

**製造企業のサービス成長と脱コモディティ化
～工作機械ビジネス革新を通じた市場誘導型
イノベーションのモデル化～**

博士論文

指導教員 井原 基 教授
金子 秀教授
朴 英元 教授
石 瑾 准教授
御審査用

埼玉大学大学院人文社会科学部
後期博士課程

榎本 俊一
(学籍番号 19GD507)

目次

第1部 製造企業のサービス化と脱市場成熟化 ～事例研究の準備～

第1章 問題の設定

1. はじめに ～製造企業のサービス化への関心の高まりと解明すべき論点～
2. 既存の議論 ～脱市場成熟を避けてきた先行研究と潮目の変化～
 - (1) 道標なき顧客ニーズ起点のマニファクチュアリング
 - (2) IoT革命と製造企業のサービス化
 - (3) ユーザとの協働によるイノベーション
3. 事例研究の方法
 - (1) 事例選択：総合工作機械メーカーのサービス化を通じたイノベーション
 - (2) “Smart Factory”と工場生産高効率化ソリューション
 - (3) 研究方法
 - (4) データ収集
4. 本論の構成
 - (1) 第1部「製造企業のサービス化と脱市場成熟化 ～事例研究の準備～」
 - (2) 第2部 事例研究：工作機械メーカーの“Smart Factory”ビジネス
 - (3) 第3部「考察：製造企業のサービス化を通じた脱市場成熟化」

第2章 先行研究におけるサービス化と脱市場成熟化を巡る議論

1. 市場成熟局面にフォーカスしてきた先行研究
2. Matthyssens and Vandembemt (2008)
～製造企業のサービス成長研究の再検討と脱市場成熟化モデルの試み～
 - (1) 実務家の期待に応えられない研究
 - (2) 新たな製造企業のサービス成長観の模索
3. ソリューション研究
 - (1) 曖昧な”Go downstream”
 - (2) ソリューション研究の示唆
4. 総括

第3章 第2部の事例研究に向けた探索研究

～制御機器メーカーIDECのソリューション・ビジネス～

1. 産業安全・機械安全を追求する制御機器メーカーIDEC
 - (1) 企業概要
 - (2) 産業安全・機械安全関連製品の開発・製造への専業
 - (3) IDECの3次に渉るサービス化への挑戦
2. 1990年代末のサービス化の萌芽的試み
～1990年代以降の制御機器・装置の市場成熟化への対応～
 - (1) 製品コモディティ化の打破とサービス化
 - (2) ユーザ向けセミナーを活用した顧客ニーズ把握
 - (3) 1990年代末のIDECの取組の限界
3. 2000年代半の「セル生産システム」ロボット化関連事業
 - (1) IDECによる「ロボット制御型セル生産システム」開発
 - (2) 「ロボット制御型セル生産システム」のビジネス化
 - (3) 「ロボット制御型セル生産システム」関連ビジネスの頓挫事由
4. 2010年代の「人と機械の協働」ソリューション
 - (1) 「人と機械の協働」と新たな安全”Safety2.0”
 - (2) 最初のヒット商品とその限界
 - (3) 先進的サービスを通じた脱市場成熟化への取組
 - (4) IDECによるシステム・インテグレータ子会社化
 - (5) IDECの差別化能力の回復と新規事業分野の創造
5. IDECのサービス化の取組に関する分析
 - (1) はじめに
 - (2) IDECの3次のサービス化の比較
 - (3) IDECの3次のサービス化の成否を分けた原因
 - (4) 探索研究としてのIDECケースの含意
 - (5) まとめ：第2部の総合工作機械メーカーの事例研究に向けて

6. 第2部の総合工作機械メーカーの事例研究に向けた総括

- (1) I D E Cに係る探索研究の基本的評価
- (2) I D E Cに係る探索研究の射程

参考1 I D E Cの製品一覧

参考2 I D E Cの産業安全・機械安全製品の用途

参考3 I D E Cの制御製品及びアプリケーション

参考4 防爆装置

第4章 ユーザ・イノベーション研究に関するレビュー

～第2部の事例研究に向けた最終的な準備

1. ユーザ・イノベーション(“User Innovation”)との関係
2. リード・ユーザ・イノベーションと知識移転
3. 知識移転に向けた制度的取組
 - (1) リード・ユーザ法
 - (2) 製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションへの適用
4. “Incremental Innovation”とユーザ組織化
 - (1) ユーザ・イノベーションにおけるユーザ組織化
 - (2) サービス化を通じた市場誘導型イノベーションと顧客組織化の重要性
5. 協創プラットフォーム
 - (1) I D E Cにおけるユーザ組織化とプラットフォーム
 - (2) ユーザ・イノベーション研究における「協創」の位置づけ
 - (3) Rayna et al. (2015) : 3Dプリンティングに係る協創プラットフォーム
 - (4) 製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションへの適用

第2部 工作機械メーカーの”Smart Factory”ビジネス

～サービス化を通じたビジネス革新の試み～

第5章 工作機械メーカーのソリューション・ビジネス

～2000年代迄のコモディティ化への戦略的対応～

1. 伝統的な工作機械ビジネスとコモディティ化
 - (1) 工作機械ビジネス
 - (2) 工作機械のコモディティ化
 - (3) 1990年代の高付加価値化を軸とするコモディティ化への対応
 - (4) 2000年代の新興国市場の登場とグローバル競争の激化
 2. 2000年以降のソリューション・ビジネス
 - (1) 伝統的な工作機械中心ビジネス
 - (2) ソリューション・ビジネス：工作機械メーカーの最初のサービス化への取組
 - (3) ヤマザキマザックの「DONE IN ONE」
～顧客との協働による新製品開発の可能性への気付き～
 3. 2000年代以降のFA化関連ソリューション・ビジネス
～製造IoT化につながる生産ラインのIT管理化への対応～
 - (1) 生産ラインFA化の難航とFA化に先立つ生産ライン改革の必要
 - (2) グローバル製造企業の生産ラインIT管理化
 - (3) 工作機械メーカーの生産ラインFA化への対応
 - (4) 従来のに止まったFA化関連ソリューション・ビジネス
 4. まとめ：2000年代の工作機械メーカーのソリューション・ビジネス
- 参考5 1990年代の工作機械メーカーの高付加価値化の取組 ～技術のオークマ～

第6章 “Smart Factory”と工作機械ビジネス

1. 総論

- (1) “Smart Factory”の定義(再掲)
- (2) 従来の物的システムとITシステムの関係
- (3) “Smart Factory”における物的システムとITシステムの関係変化
- (4) 工作機械ビジネス革新の第一選択肢：ITシステム・インテグレーション進出
- (5) 工作機械ビジネス革新の第二選択肢：工場生産高効率化ソリューション
- (6) 未開拓事業領域の工場生産高効率化ソリューション
- (7) 工場生産高効率化ソリューションの潜在的成長可能性

- (8) 工作機械メーカーの潜在的なソリューション提供能力
 - (9) 次世代製造システムの工場生産高効率化ソリューション：垂直展開と水平展開
 - (10) 工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に係る問題点
 - (11) 総括
 - 2. 2010年代のIT主導の製造システム変革：“Smart Factory”
 - (1) 2010年代初：抽象的コンセプトからスタートした“Smart Factory”
 - (2) 第1期(2014～2017年)：“Smart Factory”の機能及びシステム構成の具体化
 - (3) 第2期(2018年以降)：“Smart Factory”ビジネスの本格的立上げ
 - (4) まとめ：“Smart Factory”関連企業によるビジネス化の現状
 - 3. “Smart Factory”ビジネスの工作機械メーカーへの含意
 - ～OT企業等の下請化の脅威と工作機械ビジネス革新のチャンス～
 - (1) 脅威：工作機械ビジネスの独立性・自律性の喪失
 - (2) 第1期(2014～2017)前半の「受け身」の工作機械ビジネス模索
 - (3) 第1期(2014～2017)前半における工作機械ビジネス革新に向けた準備
 - (4) 工場生産高効率化ソリューション
 - ～総合工作機械メーカーが認知した新規事業領域開拓の可能性～
- 参考6 Siemensの“Smart Factory”展開

第7章 工作機械中心ビジネスを堅持するヤマザキマザック

～先進的メーカーの市場誘導型イノベーション停滞～

- 1. 企業概要
- 2. 第1期(2014～2017年)の他社に先行した“Smart Factory”実証
- 3. 第1期(2014～2017年)末以降のビジネス革新の停滞
 - ～伝統的な製品中心ビジネスへの回帰～
 - (1) 2010年代に工作機械メーカーの直面した課題への対応
 - (2) 第1期(2014～2017)後半以降の“Smart Factory”ビジネスへのトライ
 - (3) ヤマザキマザックの選択
- 4. 喪われた(あるいは遠退いた)可能性
 - (1) ライバル・メーカーの戦略決定の逆コースの選択
 - (2) “Smart Factory”関連ビジネスのアウトソースで喪われた可能性
- 5. 工作機械中心ビジネス維持ないし回帰の事由
 - (1) 戦略的意思決定の重要性
 - (2) 工作機械中心ビジネス維持の戦略的意思決定
- 6. まとめ

第8章 オークマの工場生産高効率化の観点からのアプローチ

～工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションへの挑戦～

- 1. 企業概要
 - (1) 技術のオークマ
 - (2) 国内集約開発生産の堅持と海外生産展開の不進捗
- 2. オークマの原体験：2000年代の国内生産システム改革
 - (1) 内需の構造的停滞に伴う高付加価値化と外需獲得に向けた取組
 - (2) グループ再編と生産システム改革
 - (3) 総合的な生産システム改革能力の蓄積
- 3. オークマの“Smart Factory”実証
 - (1) ロードマップに基づく“Smart Factory”実証
 - (2) “Smart Factory”化に限定されない総合的な工場生産高効率化の追求
 - (3) 工場生産高効率化の類型化
 - ～部品加工専業ラインと部品加工・組立一貫ライン～
- 4. オークマの“Smart Factory”ビジネス観
 - (1) 工作機械ビジネス革新の契機としての“Smart Factory”
 - (2) 工作機械メーカーの卓越した工場生産高効率化の総合プラン立案能力
 - (3) 未決の課題：工場生産高効率化ソリューションと工作機械事業の関係
- 5. 第1期(2014～2017年)末以降の“Smart Factory”関連ビジネス展開
 - (1) ソリューション・プランの開発
 - (2) 難航したソリューション・ビジネスの立上げ

6. ” Smart Factory” バイアス
 - (1)工場生産高効率化の水平・垂直展開と” Smart Factory” バイアス
 - (2)組織改革による” Smart Factory” バイアスの打破
 7. ソリューションと製品開発のイノベーション・サイクル化
 - (1)工作機械ビジネス革新に向けた道
 - (2)第2期(2018年以降)の市場誘導型イノベーション
 - (3)具体的なイノベーションの成果
 - (4)顧客との協働
 8. オークマの次なる課題
 - ～イノベーション・サイクル加速とライバル企業等に対する競争優位確立～
 - (1)問題意識
 - (2)現在評価と課題
 - (3)オークマの工作機械ビジネス革新の現状
 - (4)ライバル企業に対する競争優位の確立の模索
 9. その他
- 参考7 オークマ 2021 年度決算説明会説明資料(抜粋)

第9章 DMG森精機：市場誘導型イノベーションと独自事業領域形成

1. 企業概要
 - (1)高付加価値化及びグローバル生産展開の力を欠いた後発メーカー
 - (2)M&Aによる後発性の克服と先進メーカーへのキャッチアップ
 - (3)2010年代初のDMG森精機の置かれた状況
2. DMG森精機の初期” Smart Factory” 対応
 - (1)第1期(2014～2017)前半の自社工場における” Smart Factory” 実証
 - (2)” Smart Factory” 実証とビジネス化
3. 工場生産高効率化ビジネスのテイクオフ
 - (1)” Smart Factory” 化から工場生産高効率化への展開
 - (2)工作機械メーカーの” Smart Factory” における独自事業領域
 - ～水平展開を中心とした工場生産高効率化ソリューション・ビジネス～
 - (3)ライン・ビルダー化
 - ～DMG森精機の市場誘導型イノベーションへの開眼～
 - (4)標準化とモジュール化への取組
 - (5)工場生産高効率化に関する「プラットフォーム」の整備
4. DMG森精機の次なる課題：市場誘導型イノベーション
 - (1)工作機械ビジネス革新としての市場誘導型イノベーション
 - (2)工場生産高効率化ビジネスのテイクオフ
 - (3)DMG森精機の市場誘導型イノベーション
5. ライバル企業の模倣困難なビジネス・モデル構築
 - (1)2段階より成る市場誘導型イノベーション
 - (2)DMG森精機の第2段階「ビジネス・イノベーション」の取組
 - (3)” Smart Factory” における独立事業領域の確保
6. 更なる工作機械ビジネス革新に向けて
 - ～” Smart Factory” エコ・システム等企業提携の重要性～
 - (1)ドイツOT企業への誤解
 - (2)産業IoTプラットフォーム構築への参画とエコ・システム
 - (3)トータル・コーディネータの役割
 - (4)工作機械ビジネス革新の原動力となった日独統合
7. まとめ
 - (1)市場誘導型イノベーションの2段階モデルに基づく分析
 - (2)市場誘導型イノベーションの成否に係る要因

第3部 考察：製造企業のサービス化を通じた脱市場成熟化～

第10章 製造企業のサービス成長における市場誘導型イノベーションの位置づけ

1. サービス化を通じた市場誘導型イノベーションは可能か？
2. 製造企業のサービス成長研究における再位置付け
3. 市場誘導型イノベーションと戦略的意思決定
 - (1) 製造企業のサービス化への懐疑的姿勢
 - (2) 戦略的意思決定

第11章 市場誘導型イノベーションとユーザ・イノベーション

1. イノベーション・サイクルの高速回転と3要件
2. ユーザ・イノベーションの観点からの考察
 - (1) 知識移転に向けた体制整備と経営者のリーダーシップ
 - (2) ユーザ組織化
 - (3) 協創プラットフォーム
 - (4) ユーザ組織化、協創プラットフォーム、独立専任機関の関係

第12章 2段階の市場誘導型イノベーション

1. ライバル企業の模倣防止
2. DMG森精機による「ビジネス・イノベーション」
3. IDECとDMG森精機の事例研究からの帰結
4. IDEC及び総合工作機械メーカーの事例研究の射程

第13章 本論文の射程と今後の課題

1. "Smart Factory" 化ソリューション
2. OT企業、企業システム関連企業等のソリューション
 - (1) OT企業の"Smart Factory" 化ソリューション
 - (2) 企業システム関連会社の"Smart Factory" 化ソリューション
 - (3) 産業機械メーカー
3. 本論の射程
4. 命題ないしモデルの更なる彫琢の必要
 - (1) 顧客・サプライヤーの二項関係モデルからネットワーク・モデルへの転換
 - (2) 協創プラットフォーム
 - (3) ビジネス・イノベーションの在り方

別添 主要ヒアリング対象リスト

参考文献

第 1 部

製造企業のサービス化と脱市場成熟化

～事例研究の準備～

第1章 問題の設定

1. はじめに ～製造企業のサービス化への関心の高まりと解明すべき論点～

近年、我が国製造企業では、「ものづくり」と「ことづくり」との対比で「サービス化」への関心が高まっている。

1970年代以降、先進国製造企業は市場成熟化に直面し、低成長下での企業収益維持と、後発メーカーのコスト競争力を武器とした市場参入に苦しんできた。日本メーカーも、1980年代半以降の持続的円高によりコスト競争力が沈下、同時期に世界市場に登場した韓国、台湾、中国等の新興メーカーとの競争に直面した結果、製造企業として如何に市場成熟化に対応し企業成長を図るかが課題となってきた。

「匠の技」は日本のモノづくりの強さを語る場合の常套句である。日本メーカーは上記苦境の中で高付加価値化戦略を選択し、高品質・高性能の製品を「比類ない」生産技術で製造することでサバイバルを目指した。「匠の技」と自負する生産技術は無比だったが、製造されるモノはコンセプトも用途・機能も既に定まったものであり、そこには、1980年代までの日本メーカーの猛烈なフロンティア精神は感じられない。

例えば、かつての家電メーカーは毎年、消費者が見たことも経験したこともない製品を上市することを企業目標に掲げていたが¹、1990年以降のマニュファクチュアリングでは、新製品開発により、如何に顧客ニーズに応えるか、顧客のモノに関する考えを一変させるかという製品イノベーションへの意欲が後退し、生産技術の比較優位に支えられた「定番製品」の高品質・高性能化に重点がシフトしてしまう。謂わばマニュファクチュアリングの「ものづくり」への矮小化が起こった²。

その帰結は、ボリューム・ゾーンを抑えた新興メーカーによる技術的キャッチアップと、我が国メーカーの高付加価値セグメントからの駆逐であり、半導体・液晶パネルなど基礎部材から家電・通信端末等最終製品に至るまで事例に事欠かない。現在の「ものづくり」と「ことづくり」を巡る議論では、我が国製造企業は改めて顧客価値

¹ 家電製品協会は1981年以降、冷蔵庫・電子レンジ、テレビ、AV製マニュファクチュアリング品等を始めとする電子電気製品の国内動向や世界需要、輸出入動向、海外生産展開について分析・統計をまとめた「家電産業ハンドブック」を提供しているが、1990年までは、家電メーカー各社は毎年度新製品を開発上市することを目標とし、消費者のニーズを掘り起こし、心を掴むことに躍起となっていたかを分析報告する。

² 経済産業省は「2017年令和製造基盤白書(ものづくり白書)」において、1999年にスタートした「ものづくり白書」の歴史を回顧し、2000年代半までの白書において、「内需が低迷しデフレが進行する厳しい時代(において)...我が国製造業はコスト削減努力などを通じて収益を改善させたが、利益の相当部分は財務体質改善のための債務返済に充てられ」イノベーションへの取組が後退する中、「就業構造の変化、海外地域における工業化の進展に伴う競争条件変化、若者のものづくり離れ、熟練技能者の高齢化」等の中で「研究開発の促進や、大学との連携の重要性を指摘」してきたとする。

に立ち返り、顧客ニーズ起点の製品イノベーションに挑もうとしており、製造企業のサービス化は顧客ニーズ起点のマニファクチュアリングの観点で着目されている。

製造企業のサービス成長研究の中興の祖とされる Wise and Baumgartner (1999) は、製造企業がバリュー・チェーン川下の顧客の事業プロセスに関与し、新たな市場ニーズの発見とノウハウ・知見の獲得によりイノベーションを起こすことを提言。” Go downstream” は顧客ニーズ起点のマニファクチュアリングの一つの重要な方法として実務家からも広範な支持を得たが、我が国製造企業でも、欧米企業に2周回遅れでイノベーションによる市場成熟化打破の方法として着目されるに至った。

しかしながら、顧客ニーズ起点のマニファクチュアリングは、製造企業のサービス成長研究においても研究蓄積に乏しく、Wise and Baumgartner (1999) の魅力的な” Go downstream” 提案にも関わらず、(i) 製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii) 製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii) 顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかに関して議論は十分なされていない。そこで、本稿は事例研究を通じて上記(i)～(iii)の解明を試みる。

2. 既存の議論 ～脱市場成熟を避けてきた先行研究と潮目の変化～

改めて第2章で詳論するが、これまでの先行研究における議論を概観するとともに、IoT革命を転換点として、製造企業のサービス化を通じたイノベーションに関する研究に新たな可能性が誕生しつつあることを指摘したい。

(1) 道標なき顧客ニーズ起点のマニファクチュアリング

製造企業のサービス成長研究では、” Servitization” 概念を提唱した Vandermerwe and Rada (1988) 以来、サービス化は製造企業の市場成熟化(コモディティ化)への戦略的対応とされ、Wise and Baumgartner (1999) が、製造企業はサービス化を通じ顧客の事業プロセスに関与することで、従来看過してきた市場ニーズを認識・発見し、顧客課題を顧客と協働して解決する過程で得た知見・ノウハウを活かしてイノベーションを起こし、差別化により競争優位を回復できるとしたものの、実際には、従来の研究は市場成熟化局面にフォーカスして、主にサービスの収益化、顧客引合い確保等による市場成熟化局面における企業収益改善を論じてきた³。

唯一、Matthyssens and Vandenbempt (2008) は、製造産業の差別化局面とコモディティ化局面の循環モデルに立ち、製造企業のサービス化を市場成熟化打破と差別化能力回復による競争優位再構築の取組として捉え直そうとしたが、彼等は Oliva and Kallenberg (2003) 以来の「製造企業からソリューション・プロバイダへの変容」とい

³ Eggert et al. (2014)

う” Transition to Service” モデル⁴から離れられず、製造事業のサービス化を通じたイノベーションをモデル化できなかった。

2010 年前後以降、製造企業のサービス成長研究では、“ Transition to Service” モデル等の基礎概念を含む研究見直しがスタート。Goh and McMahon(2009), Dachs et al. (2014), Chatterji and Fabrizio(2014)は、製造企業がソリューション・プロバイダ化の道を選ばず、サービスを介して顧客関係を緊密化し、顧客の置かれた状況や制約条件、顧客の製品選択の理由等を直接的に理解し、顧客と協働して製品とサービスの組合せにより課題解決に取り組む過程で得た知見・ノウハウを製品開発にフィードバックすることで差別化製品を開発できるとする事例報告を行っている。

彼等の事例研究は貴重な取組であったが、第一に、製造企業のサービス化が確かに新製品開発の機縁となったとしても、市場成熟化の打破に資する開発であったのかを吟味しておらず、第二に、製造企業はどのようにしてサービス化を通じてイノベーションを起こし、差別化能力を回復するのか、第三に、顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかを子細に検討していない。このため、顧客ニーズ起点のマニュファクチュアリングは依然として道標なきまま放置されている。

(2) IoT 革命と製造企業のサービス化

従来研究が製造企業のサービス化を通じたイノベーションに関して蓄積が十分でないのは事例制約によるのかもしれない。2000 年以降サービス化に取り組んできた欧米製造企業でも、サービス化を通じてビジネス革新を成功させた例は IBM、GE など一部少数に限られ、通常、サービス化により一定の成果を挙げたとする製造企業も、Wise and Baumgartner (1999) がサービス化に求めたコモディティ化の打破ではなく、市場成熟化を所与の条件として顧客の引合いを維持する、防衛的な取組に止まる。

しかしながら、この状況に変化が生じつつある。1980 年代以降、一部の革新的製品 (iPad、iPhone 等) を除きコモディティ化に苦しんできた製造企業は、現在、IoT 革命により製造ビジネスを革新する千載一遇の機会に巡り合わせている (表 1 参照)。IoT 革命はモノとインターネット (サービス) の融合により新たな価値提供やシステム創造を目指すものであり、例えば、製造システムのデジタル化 (スマート化) に対応し

⁴ Oliva and Kallenberg (2003) は製造企業のサービス化を、製造企業が円滑かつ連続的にサービス・プロバイダに変容するプロセス (“ an unidirectional transition from a pure product manufacturer to a pure service provider along a product-service continuum”) と捉えた。“ Transition to service” モデルは製造企業のサービス成長研究の基礎概念の一つとなり、製造企業はサービス提供を、伝統的な部品供給・保守点検・修理等のサービスから、顧客の R&D サポートなり本来業務のアウトソースの引受けなど先進的なサービスに、段階的 (gradual) かつ連続的に (sequential) に高度化させ、“ a product-service continuum” 上を不可逆的にサービス・プロバイダに変容するとする (Böhm, Eggert and Thiesbrummel 2017; Benedettini, Swink and Neely 2017)。

て、工作機械メーカーでは、単にスマート化製品を開発供給するだけでなく、スマート化された製品を活用して工場スマート化ビジネスを立ち上げ、工場スマート化ビジネスにより得た知見・ノウハウを活かし、新たなスマート化製品を開発。それにより工場スマート化ビジネスに改めて革新する、イノベーションの好循環が期待される。

製造企業のサービス成長研究は伝統的にコモディティ化がいち早く到来した工作機械、産業機械、制御装置等資本財産業を主要研究対象としてきたが、資本財産業では、IoT革命を契機として、製品単品の開発供給ビジネスではなく、顧客の抱える課題を自社製品(を中核とした製品群)の組合せにより解決する製造ビジネスを新たに立ち上げようとしており、2010年代半以降、急速に成功事例が誕生し蓄積しつつある。

表1 製造企業によるIoTによるビジネス革新

GE (General Electric)	<ul style="list-style-type: none"> ・発電タービンにセンサ・情報端末を実装、発電機の稼働状況をリアルタイムでデータ収集。 ・発電機稼働に係るビックデータ解析、電力需給状況に最適化された発電機・発電所稼働を算定できるシステムを開発提供 ・顧客と発電機の稼働データに関して情報・意見交換することで、従来気付かなかった航空エンジン・ニーズを発見・認識。 ・リアルタイム収集した稼働データに基づき発電タービンの高効率化・高性能化を実現。
Boeing	<ul style="list-style-type: none"> ・航空機エンジンだけでなく航空機全体の主要部分にセンサを実装 ・リアルタイムで航空機のトータルのフライト状況をリアルタイムでデータ収集 ・フライトに係るビックデータを解析により、航空燃料の消費節約、フライト時間短縮等につながる最適な速度・高度・ルート等を解析できるシステムを開発提供 ・顧客とフライト・データに関して情報・意見交換することで、従来気付かなかった航空機ニーズを発見・認識。フライト・データを活用して航空機の高性能化等を実現。
Honeywell	<ul style="list-style-type: none"> ・Honeywellは石油・ガス、石油化学等プロセス産業の装置・設備の制御装置を生産 ・プロセス生産の各工程の制御装置にセンサ等を実装、生産関連データをリアルタイム収集、設備稼働状況を可視化 ・データはクラウドにて保存、Honeywellはガス・液体漏れ、汚染物質の発生源・量等を認識するAIアプリケーションを提供、AIによるプロセス生産の自動解析システムを開発提供 ・顧客は可視化情報に基づき早くガス・液体漏れ、汚染物質の量と発生源を認識、プロセス生産の円滑かつ停止しない運転を実現

(出所)各社ホームページに基づき筆者作成

問題は、事例が蓄積しこそすれ、製造企業のサービス化を通じたイノベーションを分析する方法が未だ十分に検討を重ねられていない点である。幸いにも、製造企業のサービス成長研究の一領域を構成するソリューション研究では、“Transition to Service”モデルに立ちつつ、製造企業が、先進サービス(“advanced service”)であるソリューション提供を通じて、顧客関係を緊密化して未知のニーズを発見し、顧客の事業プロセスにおける協働から獲得した知見・ノウハウを活用、改めてソリューションをライバル企業には模倣できないものに進化させるソリューション・イノベーシ

ョン研究が進められている。イノベーションのモデル化までには至っていないが、イノベーションのプロセス・構造等に関する貴重に洞察を提供している⁵。

もちろん製造企業の脱成熟化研究とソリューション研究では、前者がサービス化を通じた製造ビジネス革新(Good dominant logic)を取り扱うのに対し、後者は、サービス化を通じたソリューション創造(Service dominant logic)をテーマとする違いはあるが、製造企業がサービス化を通じて、顧客関係を緊密化して顧客ニーズを把握し、顧客との協働を通じて得た知見・ノウハウをイノベーションに活かす事象を研究する点では共通し、製造企業のサービス化を通じた製品イノベーションのプロセスやメカニズムを分析する上でソリューション研究の方法・成果は援用できるのではないだろうか。第3章の探索的研究において詳論するが、顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築、顧客との価値協創のプラットフォームの制度的手当て、サービス化に取り組む独立専任機関の設置等ソリューション研究は重要な分析視点を提供する。

すなわちIoT革命は製造企業のサービス化を通じたイノベーションに関して豊富な研究事例を供給しつつあり⁶、IoT革命に伴う先行的に研究のスタートしたソリューション研究を当座のガイドとして、製造企業のサービス化を通じた市場成熟化打破と差別化能力回復による競争優位の再構築を研究することができるのではないかと

(3) ユーザとの協働によるイノベーション

製造企業のサービス成長研究では、異なる学問的背景を有する研究者が参入することで、豊かな穰がもたらされてきたが(e.g. Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Benedettini, O. and J.M. Kay 2009; Kowalkowski, C., Windahl, C., Kindström, D. and H. Gebauer 2015)、それらはマーケティング、オペレーション、企業戦略、ソリューション分野の出身者が多く、イノベーション出身者は相対的に少なかった。

Abernathy and Utterback(1978)はイノベーションを製品イノベーションと製法イノベーションに類別、イノベーション・プロセスを流動期・移行期・固定期の3期に分けて捉えた。流動期には製品イノベーションの発生率が高く製法イノベーションの

⁵ ソリューション研究は、Mathieu(2001)によるサービス化分類のうちSSC(Service supporting customers)の最も進んだ形態をソリューション提供と考え(e.g. Penttinen and Palmer 2007; Brax and Jonsson 2010; Matthyssens and Vandenbempt 2010; Kindström and Kowalkowski 2014)、製造企業によるソリューション・ビジネスの解明に取り組んだ。彼等によれば、ソリューション・ビジネスはダイナミックな発展し続けるプロセスであり、製造企業は、先進的サービス(“advanced service”)であるソリューション提供を通じて、顧客関係を緊密化して未知のニーズを発見し、顧客の事業プロセスにおける協働から獲得した知見・ノウハウを活用して、改めてソリューションをライバル企業には模倣できないものに先進化し(e.g. Tuli et al. 2007; Evanschitzky, Wangenheim and Woisetschläger 2011)、そして、そのプロセスを弛まず続けるとする。

⁶ Kowalkowski et and Boehmer(2013); Coreynen et al. (2017); Rymaszewska, Hello and Gunasekaran (2017); Leminen et al. (2018); Boehmer et al. (2020); Kohtamäki et al. (2019); Ritter and Pedersen(2020) etc.

発生率は低いのに対し、時間の経過とともに製品イノベーションの発生率が低下し、逆に製法イノベーションの発生率が上昇、製品のドミナント・デザインが確立するにつれて製法イノベーションが製品イノベーションを発生率で逆転、固定期には(イノベーションそのものが低調化するが)製法イノベーションが主となると考えた。

また、Abernathy and Utterback(1978)はイノベーションを一回性のものと考えず、イノベーションが流動期・移行期・固定期とワン・サイクルを終了した後、新たなイノベーションの波が到来すると考え、新たなイノベーションの波の流動期において、イノベーションの源泉を産業界のパイオニア自身だけでなく、製品ユーザにも求めた。イノベーションは、技術牽引型(Technology-push)と市場誘導型(Market-pull)型に類別できるが、Tschirky et al. (2003)は「製品イノベーション・プロセスの開始時点には市場ニーズの存在がある」とし、成熟市場ではニーズは潜在化しており簡単に認識・把握できないものの、製造企業は市場(ユーザ)にコミットメントすることで潜在的ニーズを発掘し、「(市場ニーズを)製品機能に翻訳」して「特定の製品アイデアを作り出す」ことができるとしている。

この点、製造企業のサービス成長研究が提言する、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、製造企業がソリューションを通じて顧客関係を緊密化し、顧客と問題解決に向けて協働する過程で、これまで認識していなかった製品アイデア等を得、それを活用することで製品イノベーションを実現、脱コモディティ化を達成とする。これは、Tschirky et al. (2003)が提言したイノベーション・サイクル固定期における製造企業によるユーザ・イノベーションと同じ内容であり、両者は同一の事象を一方は製造企業のサービス化の観点から、一方はユーザ・イノベーションの観点から見ていると評せる。

本研究は製造企業のサービス成長研究の一環として、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを第一義的には「製造企業のサービス化」のフレームワーク内で先行研究を踏まえつつ研究することを目指している。ただし、製造企業のサービス成長研究は、市場成熟期にある製造企業がサービス化を通じて製品イノベーションを起こし脱コモディティ化することを取り扱うとしつつも、ソリューションを通じた顧客との協働、顧客との協働過程で得たアイデア等を活用した製品イノベーション等に関する研究蓄積に乏しい。一方、ユーザ・イノベーション研究は1970年代以降ユーザから製造企業への知識移転等について研究蓄積を積んできており、ユーザ・イノベーション研究の成果を製造企業のサービス成長研究の不足を補うことに活用することができると思う。

例えば、1970年代以降ユーザ・イノベーション研究を主導してきた von Hippel は、製造企業は「市場で今後一般的になるニーズに現在直面」し「それらのニーズを解決することによって多大な利益を得る」リード・ユーザを選別・特定し、リード・

ユーザから新製品・サービスに関するアイデアを引き出し、さらには、新製品・サービスの開発・改良・改善の過程でも、リード・ユーザと協働することが市場誘導型イノベーションの成功には欠かせないとし(von Hippel 1986)⁷、さらには、製造企業がリード・ユーザを発見・協働するための具体的なメソッドであるリード・ユーザ法(von Hippel et al. 1988, 1989)等を開発提供している。

製造企業のサービス成長研究において、サービス化は、製造企業が市場誘導型イノベーションを目指して、顧客関係を緊密化し、顧客と課題解決に向けた協働関係を構築・実現するための手段である。すなわち、サービス化は、ユーザ・イノベーション研究において検討・具体化されてきたリード・ユーザ等の発見・協働のための方法の一つと考えることができ、とすればリード・ユーザ法を初めとするユーザ・イノベーション研究の諸成果を製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに適用しても不当ではない。

ユーザ・イノベーション研究では、製造企業がサービス化の過程で顧客と課題解決に向けて協働し、その過程で製品アイデア等を発見・認識するだけでなく、製造企業が新製品に関するイノベティヴなアイデアを試作品から完成品に仕上げる過程でも引き続きリード・ユーザ等と協働することを想定しているが、製造企業のサービス成長研究には、顧客とソリューションで協働する過程で得たアイデア等を具体的にイノベーションに如何に繋げるかに関する研究成果に乏しいところ、ユーザ・イノベーション研究の成果を活用できるのであれば、製造企業のサービス化成長研究において新たな展開が可能となるのではないだろうか。

繰り返しとなるが、本研究は製造企業のサービス成長研究の一環として、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを、第一義的には「製造企業のサービス化」のフレームワーク内で先行研究を踏まえつつ研究することを目指している。ユーザ・イノベーション研究の援用については、第1部第2章以下において、製造企業のサービス成長研究における先行研究をレビューした上で、本研究の具体的な必要性に応じて決定することとする。

⁷ von Hippel(1986)は製品ユーザを一般的ユーザとリード・ユーザを分けて、前者は既成製品の属性や用途に精通しており、精通すればするほど新しい属性や用途を把握できなくなり、新製品開発に役立つニーズは獲得することができないユーザであるのに対し、後者は、①市場で今後一般的になるであろうニーズに現在直面しており、②それらのニーズを解決することによって多大な利益を得ることができる状況にあるユーザであることから、製造企業はリード・ユーザと協働して、リード・ユーザのアイデアや洞察から新製品開発に役立つアイデアを獲得できると考え、さらに、製品をパイロット・モデルからドミナント・デザインに仕上げる過程でも(市場関係者の誰よりも将来の製品ニーズと製品の在り方について具体的なイメージとアイデアを有している)リード・ユーザと協働して作業を進めることがイノベーションの迅速化と効率化において重要であるとした。

3. 事例研究の方法

(1) 事例選択：総合工作機械メーカーのサービス化を通じたイノベーション

① 資本財メーカーからの段階的アプローチ

1. に示したように、論者の最終目標は「製造企業」のサービス化を通じたイノベーションに関して、(i) 製造企業はサービス化を通じて脱市場成熟化(イノベーション)を達成できるか、(ii) 製造企業はどのようにサービス化を通じてイノベーションを達成できるか、(iii) 顧客関係はサービス化を通じたイノベーションの成否に如何に影響するか等を解明することにあるが、製造企業全般に通じるフレームワークの一挙構築は事例制約等もあり難しく、段階的なアプローチが適切である。

そこで、現在、IoT革命により蓄積しつつある、サービス化を通じたイノベーションの成功事例は工作機械、産業機械、制御装置等の資本財関連のものであり、本論は製造企業のサービス化を通じたイノベーション研究を資本財部門からスタートすることとする。資本財メーカーのサービス化を通じたイノベーションにおいて、就中、本論が総合工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新を取り扱う理由は以下の5点である。

② 総合工作機械メーカーの事例選択理由

第一に、工作機械・産業機械・制御装置部門はコモディティ化に一早く直面した製造分野であり、製造企業のサービス成長研究において、伝統的に主要研究対象とされてきたことから(e.g. Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Benedettini, O. and J.M. Kay 2009; Rabetino, R., Harmsen, W. and Kohtamäki, M. (2018); Baines, T. and H. Lightfoot 2014)、製造企業のサービス化を通じたイノベーションを論ずる上で攻城戦に喩えれば「三の丸」「二の丸」ではなく「本丸」から取り掛かることとなる。

第二に、工作機械・産業機械・制御装置メーカーにおいては、一部の自社営業部門による直接販売を除き、機械商社等代理店に販売・サービスを委託する間接販売制が基本となっており、顧客ニーズ等は機械商社等を通じた間接的把握に依存する部分が少なくない。このため、資本財メーカーがサービス提供を通じて、顧客と直接的な関係を構築し、顧客の抱える製造課題を協働して解決することで、資本財メーカーの顧客ニーズ等に関する知識・理解は飛躍的に高まることが期待される。それは、間接販売に資本財メーカーほど依存しない他の製造部門に増して、製造ビジネスに大きなインパクトを与えるものと考えられることから、資本財部門では、製造企業のサービス化が製造ビジネス革新に与える影響がより観察しやすいことが期待される。

第三に、製品イノベーションは多義的であり、例えば、既存製品の 카테고리には存在しなかった新製品の開発、既存製品よりも質・性能の向上した改良製品の開発等では、イノベーションの成功に関連した要素が数多存在し、顧客関係の緊密化と顧客との協働による市場ニーズ発見や知見・ノウハウの獲得がイノベーションにどの程度

貢献したかが見極め難く、また、質・性能の向上がイノベティブであるか否かを外形標準で線引きすることは難しい。対照的に、IoT革命を契機として資本財メーカーが進める製造ビジネス革新では、製品単品の開発供給ではなく、自社製品の組合せにより顧客課題を解決することを基本としており(もちろん製品の質・性能に向上がない訳ではない)、新たな製品組合せの有無によりイノベーションの存否を確認でき、顧客関係の緊密化と顧客との協働が新たな製品組合せにつながったかも検証し易い。

第四に、IoT革命では、既存製品の 카테고리には存在しない新製品の創造ではなく、既存のコモディティ化した製品をインターネット等情報処理サービスと組合せることでイノベーションを起こそうとしているが、加えて、GE、Boeing 等のような製品単品のIoT化から、Honeywell(世界を代表する制御装置メーカー)のような自社製品群を組み合わせるシステム単位のIoT化が主流となりつつあり、現時点で、工作機械・産業機械・制御装置メーカーはIoT革命のトップ・ランナーとして、自社製品の組合せにより顧客工場の生産ラインの革新を行おうとしている⁸。

第五に、通常、いずれの製造部門がイノベーションの波を迎えているかは判断が難しいが、現在、総合工作機械メーカーはIoT革命に伴い”Smart Factory”という、Abernathy and Utterback(1978)の「新たなイノベーションの波」を迎えている。彼等は顧客工場の生産高効率化等の顧客課題を自社製品・サービスを組み合わせにより解決しようとしているが、Tschirky et al. (2003)の指摘のように、成熟市場に潜在しているニーズの認識の困難さに直面しており、市場(ユーザ)にコミットメントして潜在的ニーズを発掘し製品アイデア化に繋げ、さらに、製品アイデアを市場におけるドミナント・デザインに育て上げようとしているものの、von Hippel(1986)のリード・ユーザとの協働が必ずしも実現できないことがボトルネックとなっている。

以上の理由により、本論では、製造企業のサービス化を通じたイノベーションに係る探求をスタートする対象として、IoT革命による”Smart Factory”を契機として製造企業のサービス化を通じたビジネス革新を目指す総合工作機械メーカー3社(ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機)を事例研究対象として選んだ⁹。

⁸ Copani(2014)は、工作機械等資本財が製造業の中で最もサービス化への取組が遅れた部門であると評したが、皮肉なことに論文発表とほぼ同時期に工作機械メーカー等は、ドイツが”Industrie4.0”において提唱した”Smart Factory”に対応して、製造企業のサービス化を通じた工作機械ビジネス革新に乗り出した。

⁹ DMG森精機は2009年以降、日本の森精機とドイツDMGがグローバル市場における国際競争力の強化に向けて企業提携を結び、生産・販売・サービスの日独統合を長期間かけて資本提携の進化も併せて着実に進め、2013年に社名・ブランド名を「DMG森精機」に統一、最終的に2015年に日本会社(旧・森精機)がドイツ会社(旧DMG)を子会社化する形で企業統合を果たした。したがって、少なくとも2009年迄の時点で森精機に言及する場合はDMG森精機ではなく森精機とすることが正しいが、本論文で森精機とDMG森精機の同一文中での言い換えの煩瑣を避ける観点から、2009年以前についても森精機を敢えてDMG森精機と呼ぶこととしている。企業提携後について、DMG森精機を日独で分けて言及し論ずる時には旧・森精機、旧DMGとして呼び、企業統合後のDMG森精機とは区別することとすることを承知おきいただきたい。

③ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機3社の選定事由

工作機械は、加工物(ワーク)を切削して成形加工する切削加工機と、加工物(主に鉄板)を切断・鍛圧成形・曲げ加工する板金加工機に大別でき、いずれの工作機械にも顧客工場の生産ラインを構成する工作機械・搬送装置・周辺装置等をトータルで供給できる総合工作機械メーカーが存在しており、“Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新において、それぞれが顧客工場の生産性高効率化ソリューションを通じて製品イノベーションを起こそうとしている。

我が国工作機械産業は2020年に世界トップ10社に5社が入る(ヤマザキマザックは非公開企業で売上高を公表していないが、事実上6社と推定)など世界工作機械産業を牽引しているが、総合工作機械メーカーは日本工作機械工業会加盟108社中、ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機、牧野フライス製作所、ジェイテクト、日本電産(旧三菱重工業工作機械)、新日本工機、アマダ、ファナック、三菱電機の10社となるが、全てが同一ないし類似の製品ラインアップで競合しているわけではない。

すなわちアマダが板金加工機メーカーである以外は切削加工機メーカーに分類されるが、牧野フライス製作所がフライス旋盤、ジェイテクトが研削機、日本電産・新日本工機が放電加工機、三菱電機がレーザ加工機に強みを持ち、また、トヨタ・グループに属するジェイテクトが自動車関連メーカーを主要顧客としているように、各社はそれぞれ強みを有する切削加工機に応じて顧客層も異なる。これに対して、ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機は、旋盤、マシニングセンタ(MC)、複合加工機、研削盤、研磨機、レーザ加工機など広範な製品ラインアップを誇り(近年は積層加工機まで製品ラインアップを拡張)、顧客も自動車・航空機・資源等の高付加価値セグメントを中心としつつも広範な製造部門のニーズに応えてきた。

事例選択に関して、Glaser and Strauss(1967)は、比較集団の選定では前の集団との相違を最小化する集団を選ぶことを推奨し、「死のアウェアネス理論」の調査研究で実践している。本論の事例選択においても、総合工作機械メーカーのうちで相違が最小であるヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機を比較対象とすることにより、工作機械メーカーのサービス化を通じたイノベーションの成功までのプロセスが何か、イノベーションを成功させるためには、どのような条件が必要となるのか等について、可能な限り変数を減らした形で観察・検討することができることから、本論では上記総合工作機械メーカー3社を事例研究の比較集団として選定した。

(2) “Smart Factory” と工場生産高効率化ソリューション

本論では、総合工作機械メーカー(ヤマザキマザック、マザック、DMG森精機)が、製造システムのIoT革命に伴うパラダイム・シフトである“Smart Factory”への対応を契機として、工作機械ビジネスを工場生産高効率化ソリューションにより変革させたかを事例研究するが、ここで“Smart Factory”及び工場生産高効率化ソリューションを含むソリューション・ビジネスが如何なるものかについては、第5章、第6章において改めて詳論するが、両語の定義は以下の通り。

① “Smart Factory”

” Smart Factory” とは、ドイツが2011年に” Industrie4.0” (第4次産業革命)として提言した先進国製造企業の21世紀モデルであり、絶えず変動して止まない市場動向に即応して変種変量生産を実現するため、ERP (Enterprise Resource Planning: 企業資源計画)・MES (Manufacturing Execution System: 製造実行システム)・PLC (Programmable Logic Controller: プログラマブル・ロジック・コントローラ)を垂直統合した企業ITシステムにより生産ラインをリアルタイムで最適制御することにより、製造企業ヘッドクォータの経営判断による生産計画変更に対応して、製造現場における生産ラインの段取替え等組換え及び稼働、運転管理者の配置・業務内容、ワーク・治具・工具等の定置・移動等を機動的に最適実施する製造システム。

従来の製造システムにおいては、工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置を組み合わせた生産ラインのインテグレーションと、MES・PLC等企業ITシステムによる生産ライン制御システムの構築は独立事業領域を形成。工作機械メーカーは、ユーザ製造企業が要求する加工形状・加工精度等に応える工作機械の開発・製造し、基本的には機械商社等販売代理店に顧客工場における工作機械のインテグレーションを分業させており、1980年代以降のFA化と1990年代以降の工作機械のコモディティ化に対応して、工作機械にオペレーティング・システムを搭載、加工ソフトウェアを開発・提供し製品差別化を図ってきたが、基本的には伝統的な工作機械中心ビジネスを堅持してきた。

しかしながら、ドイツが主に自動車・電機産業を念頭に構想した” Smart Factory” においては、物的システムである生産ラインと企業ITシステムが統合され、製造システムの付加価値が工作機械メーカーの事業領域とする物的システムから企業ITシステムによる制御にシフトすることが見込まれ、これまで同業他社との関係で事業領域・競争を考えてきた工作機械メーカーにとり、企業ITシステムとの関係で事業領域・競争を見直すことが求められる。

もっとも” Smart Factory” は2000年代半以降の生産ラインFA化の延長にある。生産ラインFA化では、従前のPLCによる個別機械・設備のIT制御がMESによる生産ライン単位でのIT制御にレベル・アップされたが、” Smart Factory” で

は、ITソリューション・プロバイダの事業領域であるERPとMES・PLCのシステムの統合に加え、生産ラインのIoT化と個別機械・設備よりリアルタイム収集した製造関連ビックデータをAI解析して生産ラインの最適制御を行う製造関連プラットフォームの構築が求められるため、工作機械メーカーが新たに企業ITシステム関連事業領域に参入することはハードルが高い。

このため、“Smart Factory”の次世代製造システム標準化に関しては、工作機械メーカーは引き続き伝統的な工作機械中心ビジネスを展開するか、“Smart Factory”において企業ITシステムによる生産ライン制御とは異なる方法により顧客の製造課題(工場生産高効率化等)に応える新規事業を創出するかを選択することが求められている。

②工場生産高効率化ソリューション

製造企業は、潜在的なライバルも含め競合企業との競争に打ち勝ち企業成長を達成するために、大なり小なりイノベーションの必要性に直面している。イノベーションはAbernathy and Utterback(1978)等の適示するように製品イノベーションと工程イノベーション(製法イノベーション)に分類され、製造企業はイノベーションの流動期・移行期・固定期を通じて、製品をより低価格で、顧客の需めに応じて適時適量に供給するために、製法イノベーションに取り組む必要がある。

製法イノベーションは生産技術部門の研究開発の成果が製造現場に適用されるという演繹的なものではなく、リーン生産方式(TPS)に代表されるように、製造現場においてヒト・モノ・時間のムダを可能な限り最小化する取組を一つ一つ重ねて行く過程で実現される機能的なものである。本論文で工作機械メーカーが新規事業分野として取り組む工場生産高効率化は、製法イノベーションの領域に属する取組であり、生産ラインが工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置から構成されるところ、顧客の加工ニーズに最適化された工作機械を開発提供するだけでなく、工作機械システムないし生産ラインとしての機械・設備の組合せ、及び、工作機械システムないし生産ラインの稼働を顧客の製造ニーズに最適化することでヒト・モノ・時間のムダを最小化することを指す。

具体的には、顧客メーカーの低製造コスト化及び市場受容に最適化された適時適量生産の求めに対応して、(a)生産ラインのレイアウト見直し(少品種大量生産に適合した生産ラインはそのまま多品種少量生産、変種変量生産に転換することには限界)、(b)生産ラインを構成する機械・設備の高性能化(工作機械メーカーの本来ビジネスである優秀機の開発製造)及びその組合せの最適化(工作機械システムないし生産ラインへのインテグレーション)、(c)複合加工機の活用による工程集約、(d)1980年代以降工場FA化において追求してきた自動化(究極の形態が365日24時間稼働可能な無人工場)等を組み合わせることで、工場生産高効率化が達成される。

” Smart Factory” の眼目である、企業 IT システムによる生産ラインの最適自動制御は、絶えざる市場変動に即応した変種変量生産の観点から工場生産高効率化を実現しようとするものであり、上記の工場生産高効率化の取組とは矛盾するものではなく、顧客の製造課題・製造ニーズに応じて、上記取組と組み合わせられてトータル・ソリューションとなり得る。むしろ、” Smart Factory” は Siemens 等グローバル・メガ・メーカーが 21 世紀の製造課題とするが、すべての製造企業が市場変動に即応する変種変量生産を最優先の製造課題としているわけではないことから、工場高効率化ソリューションの方が主であり、” Smart Factory” がオプションであると言うべきかもしれない。

なお、企業 IT システムによる生産ライン制御ソリューションを新規事業領域として確立しようとしている OT 企業等は、上記 (a) (b) (c) (d) の製造現場に密着した生産高効率化に関しては(ソリューション・プロバイダとして)技術・知見・ノウハウを欠き、工作機械メーカーが企業 IT システムに関してソリューション・プロバイダとしての技術・知見・ノウハウを持たないことと対照を成している。工作機械メーカーは工作機械及び工作機械システムの開発製造をコア事業とする製造企業であり、(a) (b) (c) (d) の製造現場に密着した生産高効率化に関して有する技術・知見・ノウハウが強みである。

(3) 研究方法

①リサーチ・クエスションと事例研究の適合性

本論は、製造企業のサービス成長研究が本来的には主要課題としていた「製造企業のサービス化を通じたイノベーションと市場成熟化打破」に関して、(i) 製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii) 製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii) 顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかを解明しようとするものである。

Goh and McMahon(2009), Dachs et al. (2014), Chatterji and Fabrizio(2014) のように先駆的なイノベーション事例の報告があり、ソリューション研究においては、(i) (ii) (iii) の解明のヒントとなる先行研究はあるものの、先行研究より仮説ないしフレームワークを演繹して理論実証するには研究蓄積に乏しい。このため、仮説の未樹立である領域において理論形成を図る手法として承認されており(Eisenhardt and Graebner 2007)、現象が「如何に」「何故」生じているのかを解明するのに適合的である(Yin 1994, 2018) 事例研究を、本論では基本手法として採用する。

また、定性研究に関する方法論をまとめた Rowley(2002) は定性研究に適合的な領域として以下を掲げるが、現時点での製造企業のサービス成長研究の研究状況を踏まえ

れば、製造企業のサービス化を通じたイノベーションは「理論形成が初期段階にあり新規の理論的説明が必要である研究対象」ないし「新規な研究テーマ」に該当することから、右判断の適正性は保障されると考える。

- ・ 新規な研究テーマ(新たに研究領域として打ち立てる必要性の立証)
- ・ 全体的な理論枠組みの中で、ミクロ・レベルの相互作用とプロセスを解明
- ・ 事象の頻度(frequency)より性向(nature)を理解することの重要な研究
- ・ 理論形成が初期段階にあり新規の理論的説明が必要である研究対象

②総合工作機械メーカーの事例研究に先立つ探索研究の必要性

本論では、総合工作機械メーカー3社の”Smart Factory”を契機とする工作機械ビジネス革新に関して事例研究を行うとともに、同じく資本財メーカーに属する産業・機械安全関連制御装置メーカーのIDEC(大阪府大阪市)の1990年代末、2000年代半、2010年代の3次に渉るサービス化を通じたイノベーションの取組を対象として事例研究を探索研究として実施した(第3章)。

Christensen and Carlile (2009)は探索研究(exploratory research)、記述研究(descriptive research)、説明研究(explanatory research)を一括して記述研究とし、規範研究(prescriptive research)と対比しているが¹⁰、Glaser and Strauss(1967)、Yin(1994, 2018)は、事例研究により現場から収集したデータから理論を産出するプロセスとして、リサーチ・デザイン、パイロット・スタディ、本番研究など段階を踏むことを想定する。

すなわち事例研究は、研究のテーマ・目的・主要変数・因果関係等を大まかに把握するための探索研究、リサーチ・クエスションを設定した上で研究対象の詳細な特徴及び類型、構成概念及びその相関関係の把握を行う記述研究、企業属性等とイノベーションの成否など因果関係の把握と明確化を目的とする説明研究に段階化できるが、特に、Rowley(2002)が定性研究に適合する研究領域として掲げる「理論形成が初期段階にあり新規の理論的説明が必要である研究対象」等においては、事例研究は一気に説明研究に取り掛かるわけではなく、探索研究からスタートしてステップ・バイ・ステップでアプローチする必要がある。

本論文は、総合工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とする工場生産高効率化ソリューションを通じた工作機械ビジネス革新を事例として、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのモデル化を図ろうとしている。ただし、第

¹⁰ Christensen and Carlile (2009)によれば、理論の形成構築は記述研究段階(descriptive or inductive stage)と規範研究段階(deductive process)の2段階に分かれ、前者では、研究者は事象を観察して事象の背後に存在する変数を考え、変数の類型化と相関関係を明確し、研究対象である事象を説明する理論ないしモデルを構築。後者の規範研究段階では、研究者は理論ないしモデルの追試と改良に取り組み、異なるデータ・セットにおいても通用する説明変数を絞り込み、絞り込んだ変数で事象をより精確に説明できるよう理論を改良し続け、最終的に将来の事象の予想をも可能とする理論を構築するとする。

2章では、先行研究が製造企業のサービス化を脱市場成熟化の観点から如何に取り扱ってきたかを検証するが、先行研究は製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関しては十分な蓄積があるとは言えず、ソリューション研究において、製造企業がサービス提供を通じてソリューション・イノベーションを如何に実現するかについて研究蓄積があるに止まる。

確かに、このソリューション研究から、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成功要件を類推して抽出することはできる。しかし、Wise and Baumgartner (1999)等が製造企業のサービス化に期待した脱市場成熟化の観点からは、市場誘導型イノベーションは単に製品イノベーションに終わるものではなく、「製品イノベーション→差別化能力に基づく競争優位→ライバル企業の模倣排除ないし困難化」までを求めるものであると考えられるところ、製造ビジネス革新ならぬソリューション・ビジネス革新に関するソリューション研究のイノベーションの成功要件に関する研究蓄積のみでは、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新の事例研究を以て、直ちに「製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション」のモデル化にかかることは短絡的に過ぎないだろうか。

このように十分な蓄積のない先行研究からは主要変数・因果関係等について漠然としたイメージも掴み得ない状況にあることを踏まえると、Strauss(1967)、Yin(1994, 2018)等の推奨する段階的な事例研究の進め方からは、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新の事例研究に着手するのに先立ち、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションについて、「製品イノベーション→差別化能力に基づく競争優位→ライバル企業の模倣排除ないし困難化」の全工程をカバーし、ソリューション研究のソリューション・ビジネス革新に代わり製造ビジネス革新に関する前置的な事例研究が必要であると考えられる。

そこで、IDECの3次に渉るサービス化を事例として探索研究を行った。

③ IDEC事例の探索研究としての適合性

問題は、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新の事例研究に先立つ探索研究としてIDEC事例研究が適合的であるかである。

第一に、IDECの事例研究は、市場誘導型イノベーションの全工程をカバーし、ソリューション研究に代わる製造ビジネス革新に関する事例研究たり得るだろうか。

1990年代以降、産業安全・機械安全に係る制御装置のコモディティ化に苦しんできたIDECは、1990年代以降、産業安全・機械安全に係る制御装置のコモディティ化に苦しんできたIDECは、コモディティ化の打破に向けて、1990年代末、2000年代半、2010年代の3次に渉りサービス化を通じたイノベーションに取り組み、産業安全・機械安全に関して「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」へのパラダイム・

シフトが発生した 2010 年代のチャレンジにおいて、同社は「製品イノベーション」と「差別化能力に基づく競争優位」に成功しただけでなく、さらに、ライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルの確立に向けて製品・ソリューションのモジュール化とその組合せ提供にも着手している。

したがって、IDECのサービス化を通じたイノベーションの事例は、ソリューション研究がソリューション・イノベーションの成功要件を明確化するのに止まるのに対し、市場誘導型イノベーションの成功要件について示唆を与えるだけでなく、製品イノベーションからライバル企業の模倣防止に至るイノベーション・プロセスをカバーするものとなっている。なお、IDEC事例研究の子細は第3章に委ねるとして、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは製品イノベーションとビジネス・イノベーションの2段階があり、各段階にイノベーションの成功を左右する要件があることが判った。

第二に、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新の事例研究に先立つ前置的研究として、産業安全・機械安全に係る制御装置メーカーのIDECが適格的であるだろうか。同じく資本財メーカーではあるものの、IDECは工作機械メーカーではなく制御装置メーカーである。工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新に関する前置的な研究として如何なものだろうか。やはり工作機械メーカーを探索研究すべきなのであろうか。

Glaser and Strauss(1967)は、事例研究の比較集団の選定に関して違いの最小化を推奨する一方で、比較集団の相違を最小化すると、産出される理論が局所化されるデメリットを内包する危険を指摘している。この二律背反に関して、Glaser and Strauss(1967)は、産出される理論の適用範囲の有意性に配慮して比較集団の相違の最小性を維持しつつも、可能な限りにおいて比較集団の違いを最大化することで、事例研究者は範囲の異なる集団間で共通する類型・関係性等を発見し、「理論の適用範囲を理解」することが可能となり、比較集団の違いの最小化により懸念される理論の局所化を回避できると助言する(至難な注文ないし助言であるが)。

探索研究は未だ研究のテーマ・目的・主要変数・因果関係等の見分けがつかない時点で遂行されるものであり、明確なリサーチ・クエスションの下で進められる記述研究・説明研究等とステージの異なるものであるが、Glaser and Strauss(1967)の助言に従えば、研究の局所化を避けるべく、比較集団の違いの可能な範囲における最大化にも配慮する必要があると考えられる。仮に、探索研究の対象を総合工作機械メーカーから選んだ場合、板金加工機メーカー(アマダ)なり、レーザ加工機、放電加工機等に強みを有し顧客セグメントも特化している切削加工機メーカー(牧野フライス製作所、日本電産等)なりにしても、総合工作機械メーカーは2010年代以降、顧客の製造課題にワン・ショップで応える必要から、製品ラインアップを従前通り板金加工機、

レーザ加工機、放電加工機だけに絞れず総合化せざるを得なくなっている。その結果、アマダ、牧野フライス製作所等とヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機3社との違いは一層縮小の度を加えており、Glaser and Strauss(1967)の研究の局所化が発生する虞がある(そもそもアマダ等の総合工作機械メーカーを探索的研究の対象とするのであれば、アマダ等をヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機と分けて事例研究する必要はなく、最初から一つの比較研究対象として一括りしてしまうべきであろう)。

そこで、本論では、探索研究の対象を、比較集団としての違いを極小できるものの研究の局所化の虞のある総合工作機械メーカーに代わり、工作機械メーカーと同一の製造分野(資本財)に属するだけでなく、IoT革命を契機として製造企業のサービス化を通じたイノベーションの好機に遭遇している資本財メーカーから探索研究の対象を選ぶこととした。それにより、共通性・関係性の稀薄な対象を比較集団として選択してしまう危険を回避しつつ、Glaser and Strauss(1967)の助言に従い比較集団の違いの可能な範囲における最大化を図った。

具体的には、資本財メーカーから探索研究対象を選ぶに当たり、総合工作機械メーカーとの共通性・関係性を維持すべく、(a)製造企業を顧客として、顧客工場の生産ラインを単位としたシステム構築をビジネスとする、(b)自社の広範な製品ラインアップから製品を組み合わせる顧客課題の解決を行う、かつ、(c)総合工作機械メーカーが”Smart Factory”というパラダイム・シフトに直面しているのと同じく、資本財ビジネスにおけるパラダイム・シフトに直面していることを選定基準としたが、その結果、IDECが工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新の事例研究に先立つ前置的な研究対象として適合的であった。

IDECは、第一に、産業安全・機械安全関連の制御装置・機器の総合メーカーとして、顧客製造企業の工場において、個別機械・設備の安全だけでなく、生産ライン、工場全体のシステムとしての安全をビジネス化しており、第二に、安全関連制御装置・機器の総合メーカーとして、自社の広範な製品ラインアップから製品を組み合わせる顧客のありとあらゆる産業安全上の課題を解決することをミッションとし、第三に、19世紀以来の「人と機械の隔離」による産業安全から、「人と機械の同一エリアでの共存」「人と機械の協働」を原則とする産業安全へのパラダイム・シフトに2000年代半以降直面している。

この「人と機械の協働」というパラダイム・シフトは、IoT技術により工場全体を企業ITシステムが最適制御できるようになったことで可能となったもので、工作機械メーカーが直面する”Smart Factory”がIoT革命の帰結であることとも共通している。加えて、IDECは1990年代末、2000年代半、2010年代の3次に涉りサービス化を通じたイノベーションに挑んでおり、対象としては一事例ながら、2010年代の

産業安全のパラダイム・シフトに対応したサービス化を通じたイノベーションと過去の取組を比較が可能な稀有のケースである。

以上、本論では、探索研究の対象として、総合工作機械メーカー3社(ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機)と資本財メーカーとしての共通性を維持しつつも、違いが最大化できる社として産業安全関連制御装置メーカーのIDECを選択し、研究のテーマ・目的・主要変数・因果関係等を大まかに把握するための探索研究を行い、総合工作機械メーカー3社を対象とする事例研究の準備とすることとした。

(4) データ収集

仮説検証研究と事例研究の違いを厳格に考える論者は、探索研究・記述研究・説明研究を問わず、実地調査前に一切の理論・仮説を念頭に置くことを先入観排除のため否定するが、Stebbins(2001)の指摘するように、Glaser and Strauss(1967)のグラウンDED・セオリー・アプローチ(GTA: Grounded Theory Approach)では、探索的研究においては、従前の研究に基づく帰納法的研究を行うことを認めている。

そこで、本論では、製造企業のサービス成長研究及びサービス化を通じたソリューション・イノベーション研究等のレビュー、IDECに関する探索研究を踏まえ、ヤマザキマザック・オークマ・DMG森精機3社における、“Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに関する事例研究を行うこととした。

本論は総合工作機械メーカーが“Smart Factory”を契機として工作機械ビジネスを如何に革新したかを事例研究するものであるため、“Smart Factory”に関する調査(“Smart Factory”の意義及び基本機能・システム構成は如何なるものか、如何なる企業が“Smart Factory”の具体化・社会実装及びビジネス化をどのように進めているか等)も調査する必要があり、工作機械メーカーだけに限らずOT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業等広範な関連企業についても実態調査等を行った(具体的な調査対象及びヒアリング実績については論文末尾にまとめる)。

① “Smart Factory”等の実態把握

工作機械メーカーは、“Smart Factory”の次世代製造システム標準化に対応してビジネス変革に乗り出した。工作機械メーカーがなぜ“Smart Factory”に伴いビジネス革新に乗り出したのか、工作機械ビジネス革新がなぜ工場生産高効率化ソリューションとそれを基盤とした市場誘導型イノベーションであるのか。これを理解するには、“Smart Factory”への理解が不可欠である。このため、2016~2019年、工場調査・企業ヒアリング及び文献研究により、“Smart Factory”の意義、基本機能・システム構成及び工作機械ビジネスに及ぼす影響に関する研究を行った。

●企業実態調査

- ・ 2010年代初にドイツが” Industrie4.0” で次世代製造システムとして提案した” Smart Factory” に対する関心が国内で急激な高まりを示したのは2014年以降。我が国が工場のFA化及びロボット化について世界最先端にあると自負する一方、2010年代半以降、中国等における産業用ロボットの急速な導入により我が国の工場生産性の優位が揺らぎ始めた結果、市場動向に即応した変種変量生産のツールとして、企業ITシステムによる生産ライン最適制御と柱とする” Smart Factory” が次世代「ものづくり」の鍵となると考えられ、これまで工場FA化とロボット化の先陣を切っていた自動車・電機部門のグローバル製造企業に限らず、製品特性から自動化の取組が遅れていた食品・医薬品・化粧品メーカーも含めて、爾後” Smart Factory” 化が「ブーム」となる。
- ・ このため、2016～2019年、自動車関連ではDENSO、ジェイテクト、電機・ITでは日立製作所、富士通、日本電気、Panasonic、制御機器では三菱電機、Fanuc、工作機械ではヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機、三菱重工工作機械(現、日本電産)、牧野フライス製作所、アマダ、ロボットではFanuc、安川電機等の主要工場における” Smart Factory” 実証状況を訪問見学。工場生産技術部門と従来のFA化との違いやTPS等との関係などをヒアリングし、” Smart Factory” に関する理解を深めた。

●文献調査等による補完

- ・ 2019年末以降、コロナ感染症蔓延により製造企業の工場における” Smart Factory” 実態調査の継続が困難化したものの、” Smart Factory” に関連した技術・製品・ソリューション等を企業が展示し技術及びビジネスに係る説明を行う国際見本市が引き続き開催。「工場スマート化展」「設計・製造ソリューション展」(幕張メッセ)、「ロボティクス展」(東京ビックサイト)、「国際ロボット展」(東京ビックサイト)、「IT・IoTソリューションフォーラム」(大阪インテックス)に参加。製造企業の” Smart Factory” に関する最新取組(バーチャルな形で工場等を再現)をヒアリング、工作機械、産業機械、OT、IT、企業システム企業等が顧客工場の” Smart Factory” 化のために開発提供する技術・製品・ソリューション等の最新状況を調査。
- ・ ” Smart Factory” は2010年代半までコンセプトの域を出なかったが、2014～2017年にSiemens、SAP等ドイツのOT、IT、企業システム会社を中心となって基本機能・システム構成を具体化。それらの成果を踏まえて、2019年以降、富士キメラ総研、矢野経済研究所、技術調査会等専門シンクタンクより” Smart Factory” に関する本格的な調査研究報告書が刊行。富士キメラ総研(2019)「IoT×産業用ネットワーク関連ビジネス市場総調査：IoT化の進展を背景として変革

が進む業種別産業用ネットワークの展望」、技術調査会(2021)「工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方」(第3版)、機械振興協会(2016)「日本の機械産業2016—日本版Industry4.0に向けて模索する日本のモノづくり—」、同(2017)「日本の機械産業2017—AIの急速な普及時代における日本のモノづくり—」、企業活力研究所(2016)「IoTがもたらす我が国製造業の変容と今後の対応に関する調査研究報告書」、同(2018)「新時代のものづくりにおけるAIの活かし方に関する調査研究報告書」等を参考にしつつ、従来の工場実見による”Smart Factory”理解を体系的整理した。

②工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とするビジネス革新等の実態把握

●工作機械メーカーに係る企業実態調査

・第6章で詳述するように、”Smart Factory”は2010年代初に提言された時点では次世代製造システムのコンセプトに過ぎず、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御などの基本機能及びシステム構成について具体化されるのは遅れ2014~2017年頃となった。”Industrie4.0”を唱導したドイツのOT、企業システム会社(Siemens、SAP等)が中心となった基本機能とシステム構成が具体化されると、引き続き2018年以降は”Smart Factory”化ソリューションなど具体的なビジネスの立上げが課題となっている。

・工作機械メーカー、産業機械メーカーはこうした動きに対して自社工場をモデルとして”Smart Factory”実証を行い、いち早く”Smart Factory”関連ビジネスの具体化に取り組んできたが、工作機械メーカー等の”Smart Factory”に対応したビジネス革新について2017~2019年にかけて訪問調査を実施。社長・取締役・部長等の経営人材及び自社工場の”Smart Factory”を進める生産技術部門、”Smart Factory”関連ソリューションの顧客提供を行う専門人材に対するヒアリングを行った。

(工作機械)ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機、三菱重工工作機械、
牧野フライス製作所、アマダ

(産業機械) Fanuc、安川電機、不二越、KUK、ABB

(自動車部門) DENSO、ジェイテクト、Volkswagen

(OT) Siemens、Bosch、三菱電機、Fanuc、オムロン

(IT) 日立製作所、富士通、日本電気、Panasonic、東芝、IBM

(企業システム) SAP、米 Rockwell Automations、仏 Dassault Systèmes

・内外メーカーの”Smart Factory”に関する関心の高まりを受けて、工作機械、産業機械、OT企業等は顧客工場の”Smart Factory”化に関する事業説明会、セミナー、展示会等を2016年前後より本格実施し始めたが、この機会を捉えてDMG森精機が毎年実施する「イノベーションデイ」「イノベーションフォーラム」「Digital Event」等の大規模事業説明・展示会、自動化、デジタル化、積層加工、航空機加工等の各種セミナーに参画、ヒアリングを実施。オークマ、ヤマザキマザック、三菱電機、Siemens、Fanuc、日立製作所、富士通、Panasonic、IBM、東芝、SAP、Rockwell Automations、Dassault Systèmesについても大規模事業説明会、セミナーがあれば参加、情報収集、ヒアリングを実施した。

2020年以降コロナ感染症蔓延により対面ヒアリングは困難となったが、コロナ感染症により顧客との直接コンタクトが困難となっている中、各社のインターネット上での発信はそれを補うかの如く盛んとなっており、インターネット上の事業説明会・セミナー等にも漏らさず参画し、最新情報の収集、理解・認識の更新に努めた。

●関連企業実態調査

- ・第1部において探索研究の対象としたIDECに関しては、2017～2018年、大阪本社及び子会社IDECファクトリーソリューションズ(愛知県一宮市)を3次に涉り取締役・部長・子会社社長を対象として企業ヒアリングを実施。産業安全・労働安全のコンセプトの変化とそれに対応した制御機器ビジネスの変革について調査。IDECが製品ラインアップを組み合わせ、「人と機械の協調」など産業安全・労働安全ニーズに如何に対応しているかを把握すべく、ソリューションのプロセス・方法等について担当部課長より詳細を聴き、一宮ソリューションセンタにおいて、顧客との協働作業及びソリューション開発について実地見分。
- ・工作機械メーカーは”Smart Factory”に係る工作機械ビジネス革新の一環として工場生産高効率化ソリューションに取り組んだが、顧客工場のシステム・インテグレーションについてビジネス実態を理解するため、専門インテグレータである平田機工(熊本県熊本市)、近藤製作所(愛知県蒲郡市)、三明機工(静岡県静岡市)、日本設計工業(静岡県浜松市)、ヒロテック(広島県広島市)等を訪問、本社及びソリューション工場においてシステム・インテグレーションの実態をヒアリング及び実見。

4. 本論の構成

(1) 第1部「製造企業のサービス化と脱市場成熟化 ～事例研究の準備～」

本論は3部構成となっている。本章を含めた第1部は、第2部(工作機械メーカーの”Smart Factory”ビジネス)で記述される事例を読み解くための準備を提供する。端的には、総合工作機械メーカー3社の事例研究に先立ち、産業安全関連制御装置メーカーのIDECの3次に渉るサービス化を通じたイノベーションの取組に関して探索研究を行う。

ただし、3(3)で述べたように、Glaser and Strauss(1967)のGTAが探索研究において従前の研究に基づく帰納法的研究を行うことも容認していることを踏まえ、第2章では先行研究レビューを行うこととし、第3章のIDECの探索研究において、サービス化を通じたイノベーションのメカニズム・主要変数・因果関係等を把握するのに資するアイデアを探索する。

具体的には、ソリューション研究では、ソリューション・プロバイダがサービス化を通じて顧客関係を緊密化し、顧客との協働から新たなソリューション・ニーズを認識、課題解決過程で得た知見・ノウハウを活かして新たなソリューションを開発する

「サービス化を通じたソリューション・イノベーション」に係る研究蓄積があり、第3章のIDECのサービス化を通じた製品イノベーションに関する探索研究で羅針盤といわないまでも方位磁石の役目を果たすことが期待できる。本来、製造企業のサービス化を通じたソリューション・イノベーションではなく、製造企業のサービス化を通じた製品イノベーションに関する研究蓄積があれば、それを直接的に工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とするビジネス革新に適用できれば理想であるが、あくまでも探索研究の遂行をサポートする参照的なものであり、その限りで探索研究にも用いていく必要がある。

第2章を受けて、第3章では、IDECの1990年代末、2000年代央、2010年代のサービス化を通じた製品イノベーションに向けた取組を事例比較する。「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」への産業・機械安全のパラダイム・シフトの中で、2010年代のIDECは顧客工場の労働環境のトータル安全ソリューションを通じて、安全関連制御装置ビジネスの革新に成功したが、1990年代末及び2000年代央の取組と比較した場合、顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築、顧客との協創プラットフォームの制度的手当て、サービス化と顧客との協働を担当する独立専任機の設置等がサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成功に寄与した。

顧客との長期的協働関係、協創プラットフォームの設立、独立専任機関の設置は、サービス化を通じたソリューション・イノベーション研究からの援用であるが、IDECケースでは、2010年代のみサービス化を通じた市場誘導型イノベーションが成功した事由を説明するのに好都合なものとなっている。ただし、IDECケースにおける有効性に基づき、第2部の工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とする工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに対しても、これらの要件を考察に用いることができるだろうか。IDECケースは一事例研究であり、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とする市場誘導型イノベーションに適用することは「勇み足」となる危険がある。

本論は製造企業のサービス成長研究の一環として、同研究のフレームワーク内で可能な限り分析を行うことを志すものであるが、2(3)で論じたように、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションはユーザ・イノベーション研究のフレームワークで取り扱うことができることを踏まえ、顧客との長期的協働関係、協創プラットフォームの設立、独立専任機関の設置がはたして工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とする市場誘導型イノベーションに適用することができるかについて、第1部最終部たる第4章にて、ユーザ・イノベーション研究のレビューに基づき考察を行う。

なお、製造企業のサービス化を通じたイノベーションは、先行研究の蓄積が限られ、そもそもイノベーションがどのようなメカニズムなりプロセスなりを採るかは解

明できていないが、2010年代のIDECの取組では、製造企業のサービス化を通じた脱コモディティ化のイノベーションは、画期的製品を産み出す製品イノベーションだけで終わりというわけではなく、ライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルを産み出すビジネス・イノベーションの2段構えとなっている等の示唆が得られた。

(2) 第2部 事例研究：工作機械メーカーの“Smart Factory”ビジネス

第2部は第1部の探索研究の結果を踏まえつつ、総合工作機械メーカー3社の“Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションを通じた工作機械ビジネス革新を記述する。

① 工作機械メーカーのソリューション・ビジネスと“Smart Factory”

製造企業のサービス化は、成功者とされるIBM、GE等においても、一日にして成らず長期的な取組を要するが、2010年代の“Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新も同様であり、1990年代のコモディティ化と持続的円高によるコスト競争力沈下への対応として2000年前後にスタートしたソリューション・ビジネスの蓄積が可能とした。第5章は2000年以降の工作機械メーカーによるソリューション・ビジネス展開について取り扱い、2010年代の“Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションが2000年以降のソリューション・ビジネスの何を継承し、また、乗り越えたのかを検討する準備とする。

ドイツが2010年代初に新興国メーカーの台頭とIoT革命を踏まえて先進国メーカーの次世代製造システムとして提案した“Smart Factory”を契機として、工作機械メーカーは製造ビジネスの再構築に迫られ、製造企業のサービス化を通じたイノベーションを一つの解として選んだ。製造システムにパラダイム・シフトが発生し、製造システムのコア・パーツの一つを供給する工作機械メーカーは製品ビジネスの再検討と再構築を迫られた次第であるが、“Smart Factory”とは如何なる製造システムであり、その次世代標準化が工作機械ビジネスにとり如何なる変革を迫るのかを第6章では考察する。

その上で、我が国だけでなく世界の総合工作機械メーカーを代表するヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機が“Smart Factory”を契機として如何に工作機械ビジネス革新に取り組んだかを第7～9章では記述する。

② ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機のイノベーションへの挑戦

2010年代以降、ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機は、(a)製造システムの“Smart Factory”化を契機として工場生産高効率化ソリューションをビジネス化、顧客工場の生産高効率化に顧客と協働して取り組む過程で、潜在的な製品ニーズを認識・発見、稼得した知見・ノウハウを活用して新製品を開発、(b)新製品を顧客工場の生産高効率化に活用し、顧客と協働して製品を改良・改善し製品イノベーショ

ンを実現しようとしている。ただし、3社がその取組に成功を収めているわけではなく、引き続き工作機械ビジネス革新の道を歩もうとしている社もあれば、伝統的な製品中心ビジネスに軸足を戻し堅実な成長を図ろうとしている社もある。

まず、ヤマザキマザックは、1980年代の「無人工場」以来、先進的な取組で知られ、“Smart Factory”に伴う工作機械ビジネス変革でも当初先陣を切っていたが、顧客工場の“Smart Factory”化ソリューションは工作機械の製造事業とは異なるシステム・インテグレーション・ビジネスであり、インテグレーションに係る経営資源・能力の蓄積を欠くことがボトルネックとなり、同社は伝統的な工作機械中心ビジネスに軸足を再び戻している。同社の戦略選択には、1990年代のコモディティ化への対応で同社が工作機械メーカーのうちで最大の成功を収めており、サービス化を通じたイノベーションに執着する度合いが低いこともあるが、同社がリード・ユーザを求める取組を中途半端なまま断念し、伝統的な製品中心ビジネスに回帰したことを、第7章(「工作機械中心ビジネスを堅持するヤマザキマザック：先進的メーカーの市場誘導型イノベーション停滞」)では記述する。

一方、オークマ、DMG森精機は、“Smart Factory”の次世代製造システム標準化への対応だからと言って、顧客工場の“Smart Factory”化そのものをソリューション提供することはせず、“Smart Factory”化も含めた工場生産高効率化ソリューションを工作機械ビジネス革新の起爆剤としようとしている。

オークマは、ヤマザキマザックと異なり、1990年代のコモディティ化と持続的円高によるコスト競争力低下にグローバル生産化で対応できず、2000年代に経営破綻の危機を迎えたが、“Smart Factory”の先行形態を含む国内生産システム改革により生産高効率化を実現し、競争力を回復した。同社は、工場生産高効率化にとり“Smart Factory”は唯一解ではなく、むしろ生産ラインのレイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備の組合せの最適化、自動化、工程集約等が重要であり、それらを如何に最適に組み合わせて工場生産高効率化を実現できるかが重要であると考え、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化とそれを通じた工作機械ビジネス革新に取り組んでいる。

ただし、オークマはヤマザキマザックと同様にシステム・インテグレーションに係る資源・能力の問題に苦慮しており、営業部門にソリューション・ビジネスの顧客開拓・提供も兼務させることで、リード・ユーザの開拓以前の問題として、顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築等に苦労している。オークマの思い描く工作機械ビジネス革新は、顧客との協働による新規ニーズ発見とノウハウ・知見の獲得を新製品開発につなげ、新製品をソリューションに活用することでソリューションの高度化を図る、循環的なイノベーションであるが、顧客との長期的な協働関係の構

築、顧客との協創のためのプラットフォームの制度的手当が難航して、イノベーションのサイクルをなかなか速く回転できずにいる。

第8章では、オークマのサービス化を通じたイノベーションがヤマザキマザックとの対比において如何なる特徴を持ち、ヤマザキマザックが伝統的な製品中心ビジネスに軸足を戻さざるを得なかったのに対し、オークマは工場生産高効率化ソリューションを製品イノベーションへと如何につなぎ得たか、リード・ユーザの発見と協働作業の深化が難航しているのは何故かについて明らかにする。

最後に、DMG森精機の工場生産高効率化ソリューションを通じた工作機械ビジネス革新を第9章で取り扱う。DMG森精機は2000年代までヤマザキマザック、オークマに対して後発メーカーと目されてきたが、国内外のM&Aにより、中小顧客をターゲットとした標準機メーカーから、高付加価値機までをカバーするグローバル総合工作機械メーカーに成長した。

オークマが工場生産高効率化ソリューション実施体制の整備等に難航しているのに対し、DMG森精機は専任組織を設置するだけでなく外部のシステム・インテグレータとの提携によりソリューションの実施体制を整え、自社工場の再構築でソリューション専用工場を建設、顧客と長期継続的に工場生産高効率化ソリューションを協働開発できるプラットフォームを制度的に手当した。その結果、DMG森精機は多数顧客の開拓に成功しており、オークマが構想した、生産ラインのレイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備の組合せの最適化、自動化、工程集約等を最適に組み合わせ、顧客工場の生産高効率化を実現するソリューションのビジネス化に成功。

DMG森精機はユーザ等との協働過程で発見したニーズに基づき、また、協働で得た知見・ノウハウを活用して、新製品・ソリューションを改善・改良するイノベーションをサイクル化しており、そのサイクルの回転を高速化しようとしている。また、ソリューションを顧客ニーズに最大限カスタマイズしつつコスト削減を同時に成立させるため、当初、製品ラインアップの組合せによるソリューション提供に取り組んだが、ソリューションをモジュール化しモジュールの組合せにより顧客ニーズに応える方式に進化している。

IDECの探索研究では、製造企業のサービス化を通じたイノベーションは、製品イノベーションとライバル企業の模倣困難なビジネス・モデル創造のビジネス・イノベーションの2段階に分かれるのではないかという示唆が得られたが、DMG森精機のケースでも、ソリューションのモジュール化により、ライバル企業が容易にキャッチアップしたり模倣したりできないビジネスが形成されつつある。

(3) 第3部「考察：製造企業のサービス化を通じた脱市場成熟化」

改めて本論の問題設定を振り返る。

Wise and Baumgartner (1999) を始め、製造企業のサービス成長研究は市場成熟期の製造企業の脱コモディティ化戦略を取り扱う考えであったが、先行研究は事例制約もあり研究蓄積に乏しく、本論では、(i) 製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii) 製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii) 顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかを探求することとした。

第3部では、第2部の総合工作機械メーカーの工場生産高効率化ソリューションを通じた製品イノベーションと差別化能力による競争優位再構築に関する事例研究を検討し、今後の製造企業のサービス化を通じたイノベーションに関する研究において羅針盤となる7つの命題を抽出する。

命題1	製造企業は、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて、ソリューションと製品開発をサイクル化する製品イノベーション段階と、ライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルを構築するビジネス・イノベーション段階の2段階を経る必要がある。
命題2	製造企業はサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関して、企業戦略における位置付けと目的を明確化する必要がある。
命題3	製造企業はサービスを通じた市場誘導型イノベーションにおいて、まず顧客との長期協働関係の構築が必要となる。
命題4	製造企業は顧客との協働本格化にあたり活動の組織化・継続化、経営資源の統合補完のために、顧客との協働の制度的プラットフォームを構築する必要がある。
命題5	製造企業は市場誘導型イノベーション本格化のため、本務として、サービス提供を通じて顧客と緊密な関係を築き、顧客と協働して製品とサービスの組合せによる課題解決を行う独立専任組織が必要である。
命題6	製造企業は、顧客ニーズへのカスタマイズと規模の経済を両立すべく、顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化が必要である。
命題7	製造企業はライバル企業の容易な新規参入を防ぐべく、ソリューションの標準化を徹底し、製品の組合せ又はソリューションのモジュール化に取り組むべき。

第3部を構成する三章中、第10章(製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション)では、市場誘導型イノベーションによる脱コモディティ化、命題2(企業の戦略的意思決定)を取り扱い、第11章(市場誘導型イノベーションとユーザ・イノベーション)では、製造企業のサービス化において顧客関係の緊密化が有する意味は何か、顧客関係緊密化がリード・ユーザ発見・協働につながるか否か等を考察し、命題3(顧客との長期的なリレーショナルな協働関係の構築)、命題4(顧客との協創プラットフォームの制度的手当て)、命題5(サービス化を専管する独立専任機関の設置)の通用性等を論ずる。

そして、第12章では、命題1(製品イノベーションとビジネス・イノベーションの2段階モデル)、命題6(組合せ型産業における「カスタマイズと標準化」)、命題7

(組合せ型産業における「モジュール化」)を取り扱い、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは、Wise and Baumgartner (1999) 等が構想したように、製造企業の脱コモディティ化戦略として、製品イノベーションだけに終わらず、ライバル企業が模倣困難なビジネス・モデルの確立まで含むべきことを指摘して本論文の総括とするとともに、最終章の第 13 章において今後の研究の方向及び課題について述べることとする。

	市場誘導型イノベーション実現に向けた要件
全過程共通	(命題 1) 製品イノベーション、ビジネス・イノベーションの 2 段階モデル (命題 2) 市場誘導型イノベーションの企業戦略における位置付けと目的の明確化
第 1 段階 (製品イノベーション)	(命題 3) 顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築 (命題 4) 製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当て
第 2 段階 (ビジネス・イノベーション)	(命題 5) 顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置 (命題 6) 顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化 (命題 7) 製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的追求

(出所) 筆者作成

第2章 先行研究におけるサービス化と脱市場成熟化を巡る議論

総合工作機械メーカーの工場生産高効率化ソリューションを通じた工作機械ビジネス革新に関する研究に取り掛かる前に、製造企業のサービス成長研究において、サービス化が脱市場成熟化との関係でどのように議論されてきたのだろうか¹¹。

ここでは敢えて先行研究における議論という語を用いる。仮説演繹型研究における先行レビューとは異なり、ここでは事例を含むデータで検証する仮説を抽出設定することが目的ではなく、第1章にも述べたとおり、Glaser and Strauss(1967)のG T Aが探索研究に認めた、従前の研究に基づく帰納法的研究のベースとなる「従前の研究」を浚うことが目的であるからであり、その点を逸脱しないよう自戒したい。

そもそも探索研究は未だ研究のテーマ・目的・主要変数・因果関係等の見分けがつかない時点で遂行され、明確なリサーチ・クエスションの下で進められる記述研究・説明研究等とステージの異なるものである。本章における、先行研究の議論の確認は探索研究の準備作業という位置づけであり、特定の先入観を以て対象を見ることがないよう留意が必要であり、得られた結論についても、あくまでも探索研究で事例を観察する上で参照するよう注意しなければならない。

1. 市場成熟局面にフォーカスしてきた先行研究

製造企業のサービス成長(Service-led growth in product firms)研究は、製造企業が市場・産業の成熟化と競争激化に対応して、製品の開発・製造・販売からサービスの開発・販売・提供にシフトする現象(e.g. Oliva and Kallenberg 2003; Tukker 2004; Neely 2009; Ulaga and Reinartz 2011)を取り扱うもので、Wise and Baumgartner(1999)のHarvard Business Review掲載を画期として爆発的成長を遂

¹¹ 本稿の先行研究レビューは1980年代～2010年代の製造企業のサービス成長研究の発展及び研究体系等を総括した榎本(2021c)に基づく。榎本(2021c)は、Baines et al.(2017), Baines and Lightfoot(2013), Green et al.(2017), Kowalkowski, Gebauer and Oliva(2017)等の先行研究レビューを精査した上で、まず、1988年1月～2019年12月に刊行された論文を、マーケティング、経営、経営情報システム、会計、金融など広範なビジネス研究分野をカバーするデータベースBusiness Source Premierを用い、Raddats, Kowalkowski, Benedettini, Burton and Gebauer(2019)等に倣い、製造企業のサービス成長に関連して提唱されてきた主要用語(‘servitization’, ‘product-related services’, ‘product-service system’, ‘service infusion’, ‘integrated solutions’, ‘transition from product to services’, ‘industrial services’)を検索。その上で、Academic Journal Guide(A J G)により、同ガイドが2以上のランクを付した海外査読誌に掲載された英語論文のみをリスト化した。その上でAbstractを精査して製造企業のサービス成長とはテーマ等において関連が希薄であると判断された論文をリストより除外。その上で、Google Scholarにより、A J Gランク2以上の海外英語ジャーナルに掲載されたSolution関連論文を補い、最終的にリストに残された93論文を読むことで、製造企業のサービス成長研究における基礎概念、理論的フレームワーク等の展開・体系を整理した。

げ、” Transition to service” モデル¹²、SSC・SSPのサービス分類¹³、顧客・サプライヤーの価値協創¹⁴など基礎概念を確立してきた。

初めて Servitization(製造企業のサービス化)の用語を用いた Vandermerwe and Rada(1988)以来、製造企業のサービス成長研究は市場成熟期にある製造企業の戦略的対応を取り扱うものとされ、Wise and Baumgartner(1999)は、バリュー・チェーンの川下に位置する顧客の事業プロセスへの関与(” Go downstream”)を訴え、製造企業がサービス提供を通じて新たなニーズを発見し製品イノベーションにつなげ、脱コモディティ化と競争優位再構築を実現することを求めた。

¹² Kowalkowski, Gebauer and Oliva(2017)によれば、Oliva and Kallenberg(2003)はこれまで最も引用された論文であり、工作機械・産業機械メーカー11社を対象としたフィールド調査に基づき、初めて製造企業のサービス成長とサービス・プロバイダへの変容プロセスを” an unidirectional transition from a pure product manufacturer to a pure service provider along a product-service continuum” としてモデル化した。

Wise and Baumgartner(1999)が、製造企業のサービス提供において設置ベース(” Installed base”)を梃子とすることの重要性に着眼したのを受けて、Oliva and Kallenberg(2003)は、工作機械メーカー等が顧客企業に販売・設置した機械・設備をビジネス展開の起点として、伝統的なスペア部品供給等のサービスに止まらず、顧客が製品使用のライフ・サイクルに即して各局面で直面する課題を解決するソリューション提供を「製造企業のサービス成長」のチャンスとすることを提案した。

設置ベースを起点として製品ライフ・サイクルに即したサービス提供のためには、製造企業は、顧客が自社プロセスで如何に機械・設備を使用するかを理解した上で、顧客ニーズにカスタマイズしたソリューションを提供しなければならないが、Oliva and Kallenberg(2003)は、そのためには製造企業からサービス・プロバイダへの変容が必要であり、”disruptive developments of new capabilities as response to strategic threats and opportunities “が求められるとした。

¹³ 2000年代、Oliva and Kallenberg(2003)による”Transition to services” のモデル化を受けて、PSS(Mont 2002; Tukker 2004; Barquet et al. 2013), ”Service infusion”(Brax 2005; Kowalkowski et al. 2013; Eloranta and Trunen 2015; Forkmann et al. 2017), ”Hybrid offering”(Ulaga and Reinartz 2011), ”Integrated solution”(Brady et al. 2005; Windahl and Lakemond 2010)等のサービス成長モデルが提唱される。いずれも製造企業が製品とサービスの組合せにより顧客価値を実現して競争優位・収益向上・市場シェア改善を達成するもので、製品とサービスの組合せにおいてサービスは如何なる価値を顧客に提供するのか、組合せは” Good dominant logic” あるいは Service dominant logic” のいずれによるのかなど、サービスの特性をどのように把握・理解するかが論点となった。

Mathieu(2001b)は、企業ヒアリング調査に基づき、製品と関連したサービス提供であるSSP(”service supporting the supplier’s product”)と、製品サポートから独立して顧客プロセスにおいて顧客の活動をサポートするSSC(”service supporting the client’s action in relation with the supplier’s product”)とにサービスを分類することを提案。Mathieuの問題意識は、製造企業が如何にSSCの開発・提供により差別化と企業成長を達成するかにあり、SSPは機械設備の保守・設置・修理故障など、伝統的に製造企業が製品販売に伴い付随サービスとして提供してきた「義務的」なものであるのに対し、SSCは、販売金融等のファイナンス、顧客従業員に対する機械設備の使用トレーニング、機械設備の活用等に関するコンサルティングなど、製造企業が顧客の事業プロセスに積極的に関与するサービスであると対比的に捉える見方を初めて提示した。

¹⁴ Sacconi et al. (2014); Kohtamäki and Partanen(2016); Storbacka et al. (2016); Karatzas et al. (2017); Raddats et al. (2017) etc.

しかしながら、Wise and Baumgartner (1999)以降の研究では、サービス化を通じた脱コモディティ化は、そのモデル化等に必要となる研究対象に恵まれず、結果的に事例制約により主流とはならなかった。一方、製造企業が市場成熟化を所与の前提として、サービス化を通じて如何に顧客引合い確保やサービス収益化によりインクレメンタルな企業成長を図るかについては事例に恵まれたことから、サービス化を通じた脱コモディティ化ではなく、サービスを通じた顧客引合い確保やサービス収益化に研究の関心が集中し、「製造企業は如何にしてサービス成長を達成すればよいのか」を問う実務家の求めに応えるべく、“Transition to Service”モデルに基づくサービス成長の方法・戦略に関する研究が展開された¹⁵。

この点は、先行研究がサービス化の意義を那邊に置いていたかに如実に反映されている。先行研究では、サービス化の意義を経済的便益(Wise and Baumgartner 1999; Oliva and Kallenberg 2003)、戦略的便益(Mundambi, Doyle and Wong 1997)、マーケティング便益(Eggert, Hogreve, Ulaga and Muenkhoff 2014; Fischer, Gebauer and Fleisch 2012)に分類するが、戦略的便益が「販売・提供方法の差別化(サービス

¹⁵ Oliva and Kallenberg (2003)の“Transition to Service”モデルではサービス化の道程が曖昧であったため、Tukker (2004)、Neely (2008)は製造企業からサービス・プロバイダへの連続的な変容過程を前提とするサービス発展段階論を提示。Tukker (2004)はサービス化プロセスに関し「製品志向(Product-oriented)」、「使用志向(Use-oriented)」、「結果志向(Result-oriented)」の3段階発展論を提案。

第一に、製品志向段階では、企業は製品販売に重点を置き、サービスを製品販売に付加(add-on)して提供し、サービスは伝統的なサービスである保守点検・故障修理、機械設備設置、部品補給等の製品関連サービス(Product-related service)や、製品の最適使用に係るコンサルティングに止まる(Kowalkowski et al. 2015)。第二に、続く使用志向段階では、顧客は引き続き特定企業の特定製品を選んで使用するが、実は顧客は製品そのものではなく、製品の機能を求めるに過ぎなくなり、製品の購入・所有を欲しなくなるとする(Mont 2002)。顧客は製品を自己所有化せずとも、製品の機能を必要な時に利用できれば十分であることから、Tukker (2004)は、製造企業は顧客の要望に対応して製品のリース、賃貸、シェアリング等のサービス提供を使用志向段階では行うべしとした。第三に、最後の結果志向段階では、製造企業は顧客に対して結果・能力をサービス提供する(Cook, Bhamra and Lemon 2006)。重要であるのは結果・能力であり、製造企業は顧客が求める結果や能力を実現できる製品を特定して、サービス提供に先立ち顧客に使用機種を説明するものの、製品の使用方法・態様等については相談せず、製品を使用して価値提供する。サービスへの対価は、製品志向段階とは異なり、サービス提供ではなくサービス提供の結果に対して支払われる、“output-based”のものとなった(Ulaga and Reinartz 2011)。

Neely (2008)はTukker (2004)のモデルを修正、製品志向の前段階に「統合志向(Integration-oriented)」、製品志向段階と使用志向段階の間に「サービス志向(Service-oriented)」段階を挿入する5段階モデルを提唱した。Neely (2008)は、統合志向とは、企業が垂直統合により製造バリュー・チェーンの川下に展開、製品関連サービスを事業に取り込み、製品志向型サービスの本格実施に向けた準備を行う段階とし、サービス志向段階に関しては、製品志向段階では製品にサービスが付加(add-on)されるのに過ぎないのに対し、製品とサービスが結合しない一体化されて顧客価値を実現するとした(遠隔モニタリング技術を活用した車両監視システム、ハードとソフトの結合による生産設備の稼働中止時間の最小化等を例示)。なお、製造企業はサービス化の過程で、顧客ニーズとオペレーションに関する知識を蓄積し、顧客に代わり顧客プロセスを管理・運転する(managing/operating customer processes)能力を形成(Helander and Möller 2007)、結果志向段階では、企業はパフォーマンスのみを保証するソリューション・プロバイダ化するとされた(Macdonald, Kleinaltenkamp and Wilson 2016)。

付加)による成熟化製品の引合い確保」、経済的便益が「製品付随サービスの有償化による新たな収益源の確保」、マーケティング便益が「顧客ロイヤルティ獲得による引合い確保」を挙げるように、製造企業が市場成熟局面で市場シェアを拡大し、新たにサービスを収益源とできることがサービス化のメリットと考えてきた。

ここでは、製造企業がサービス化を通じてコモディティ化を打破し、差別化製品・技術により競争優位を回復する可能性は考慮されていない。先行研究におけるサービス化の意義・効果を整理すれば下表の通りであるが、いずれも市場成熟化を前提とした製造企業の取組であることが分かる。なお、製造企業のサービス成長研究の基本モデルの一つである”Transition to Service”モデルでは、製造企業はサービス化によりサービス・プロバイダに不可逆的に変容するとされるが、下表では、「脱製造事業」「Service dominant logic”によるソリューション・サービスの創造(サービス・プロバイダ化)」がそのプロセスの最終局面に該る。

表2 製造企業のサービス化の意義・効果

“Good dominant logic”に基づく製造事業の強化			脱製造事業
	経済的便益	戦略的便益	マーケティング便益
市場成熟期戦略	製品付随サービスの有償化による新たな収益源の確保	販売・提供方法の差別化(サービス付加)による成熟化製品の引合い確保	消費者・ユーザーの製品からサービスへの需要シフトへの対応
	景気変動に左右されない安定収益の確保	製品と組み合わせとなる純正部品やサービスの魅力や製品との不可分性による顧客の囲い込み	顧客ロイヤルティ獲得による引合い確保

(出所)筆者作成

2. Matthyssens and Vandenbempt (2008)

～製造企業のサービス成長研究の再検討と脱市場成熟化モデルの試み～

(1)実務家の期待に応えられない研究

製造企業のサービス化は、Vandermerwe and Rada (1988)以来、製造企業の市場成熟化への戦略的対応を取り扱ってされてきたが、先行研究は、市場成熟化を前提とした顧客引合い確保やサービス収益化に関する研究が主流であり(Eggert et al. 2014)、実務家が製造企業のサービス化に寄せるゲーム・チェンジャー的な役割を明らかにできず、サービス投資が収益改善に繋がらない”Service paradox” (Gebauer, Fleisch and Friedli 2005)は実務家の幻滅を惹き起こした¹⁶。

¹⁶「製造企業のサービス成長」研究は事例研究への過度の依存が批判されるが、サービス成長の企業業績に与える影響については、”Service paradox”に論駁すべく、例外的に定量研究が蓄積された。サービス成長の評価基準として、企業収益(revenue) (Antioco et al. 2008; Ambroise et al. 2018)、企業価値(Firm value) (Fang, Palmatier and Steenkamp 2008)、企

こうした中、2010年代に製造企業のサービス成長研究の見直しがスタートしており、現在、研究は転換期を迎えている。”Transition to Service”モデルでは、製造企業の不可逆的なサービス・プロバイダへのシフトが自明視されてきたが(Böhm, Eggert and Thiesbrummel 2017; Benedettini, Swink and Neely 2017)¹⁷、2000年代以降、Johnstone, Dainty and Wilkinson(2008)¹⁸、Martinez et al. (2010, 2017)¹⁹等から疑義が提示されるに至り、製造企業のサービス化の意義についても、サービス収益化等の企業収益への直接的貢献ではなく、製造企業が多様なサービスを提供する能力を獲得し複雑な顧客ニーズに対応できる能力を獲得する点に求める動きがある²⁰。

業収益率(profitability) (Eggert, Thiesbrummel and Deutscher 2015; Kumar and Markaset 2007)等が提案され、製造企業の提供するサービスの市場価値については、サービス購入企業数、サービスの範囲の広狭等により測るなど様々なアイデアが提唱されたが(Visnjic, Kastalli and Van Looy 2013)、Eggert et al. (2014)が指摘するように、いずれの評価指標も不完全であり、いまだ製造企業のサービス化はパフォーマンスの定量評価の枠組みが定まっておらず、”Service paradox”への論駁の土台が築けていない。

個別指標に基づく研究成果としては、Benedettini, Neely and Swink (2015)は、新たな資源、能力、組織改革が求められる初期段階において製造企業のサービス化のパフォーマンスは低く、Kohtamäki et al. (2013)は、企業収益に明らかにプラス効果をもたらすようになるにはサービス収益は一定の閾値を超える必要があることを明らかにした。Fang, Palmatier and Steenkamp (2008)は、477企業の1990～2005年のデータを解析、サービス収益が企業収益の20～30%を超えるまで、サービス化の企業収益に対する影響は軽微に止まり、却ってマイナスとなることもあるが、この閾値を超えると「企業価値」が加速的に増大することを実証した。

¹⁷ Oliva and Kallenberg (2003)は“Transition to service”モデルを現実分析のための仮説であるとし、”such evolution is not expected and, indeed, did not find evidence for it”として将来の実証研究による確認・修正を期していたが、その後、同モデルは実証されることなきまま定説化し、製造企業は“a product-service continuum”上でサービス・プロバイダに向けて不可逆的に変容し、各時点のサービス化水準は事業・製品を問わず概ね同一であるとされるようになった(Gebauer, Edvardsson, Gustafsson and Witell 2010; Windahl and Lakemond 2010)。

¹⁸ Johnstone, Dainty and Wilkinson(2008)は、航空機部門の3企業の事例研究に基づき、(a)サービス化の最適戦略は複雑な段階を経て確立する、(b)その過程で製造企業には確かな方針や方向があるわけではなく、ましてや連続的に成長発展していくわけではない、(c)最適サービス化は、製造企業が顧客の要求のままに動いていたら成立していた、偶発的なものであるとして、製造企業からサービス・プロバイダに不可逆的かつ連続的にシフトしていくモデルが実態から乖離していることを指摘。

¹⁹ Martinez et al. (2017)は、エンジニアリング・福祉教育関連3社の事例研究に基づき、製造企業の”service journey”は通説の想定する単線的発展経路を辿らず、複雑な経路を辿り、かつ、サービスについても、伝統的なインダストリアル・サービスから先進的サービスにシフトするわけではなく、同一企業でインダストリアル・サービスから先進的サービスに至る全サービスが混在するのが常態であると指摘。製造企業が円滑かつ連続的にサービス・プロバイダに変容していくプロセスを否定した。

²⁰ Gebauer, Gustafsson and Witell (2010)は、製造企業が多様なサービスを提供する能力を獲得し、複雑な顧客ニーズに対応できることが企業競争力につながるとし、サービス化の意義は直接的な企業収益への貢献にあらず、製造企業の顧客ニーズ対応能力の拡大にあると示唆した。これを受けて、ソフトウェア企業を扱った Suarez, Cusumano, and Kahl (2013)以降、顧客ニーズ対応能力の向上に関する研究が展開された(Lay, Copani, Jäger and Biege 2010; Dachs, Borowiecki, Lay, Jäger and Schartinger 2014; Raddats, Baines, Burton, Story

これらを踏まえて、Salonen, Saglam and Hacklin(2017)は、製造企業のサービス成長研究の” an unidirectional transition from a pure product manufacturer to a pure service provider along a product-service continuum” の仮定をドグマであると断じ、サービス化は製造企業からサービス・プロバイダへの変容(脱製造事業)ではなく、製造企業が” Goods-dominant logic” に基づいて製造事業を強化する(reinforcement)するための手段であると捉え直すことを提言した。

(2) 新たな製造企業のサービス成長観の模索

① 製造企業の” Goods-dominant logic” に基づく製造事業の強化

ここでは、市場成熟期における” Goods-dominant logic” に基づく製造事業の強化(reinforcement)とは何かが問題であるが、Salonen, Saglam and Hacklin(2017)によれば、サービス化において、製造企業は製品とサービスの組合せにより顧客課題の解決を図るが、” Transition to service” モデルのサービス・プロバイダ化の仮定は当たらず、あくまでも製造事業者として製品ビジネスの成長発展を目指しており、製品の販売拡大と、製品とサービスとの組合せによる革新的な価値提供が「製造企業の” Goods-dominant logic” に基づく製造事業の強化」であるとする²¹。

彼等の事例研究では、フィンランドの工作機械メーカーMachineCo社は「革新的な製品とサービスの組合せによる顧客課題解決」「サービス化を通じた顧客関係の緊密化と顧客課題・ニーズの把握」「顧客課題・ニーズに対応した製品開発と販売促進」を達成。ここでは「革新的ソリューションによる課題解決」→「顧客関係緊密化による新たなニーズ発見・認識」→「新たに発見・認識したニーズに基づく製品イノベーション」という市場誘導型イノベーションがモデル化できそうであるが、Salonen, Saglam and Hacklin(2017)はあくまでMachineCo社の一事例研究として結論を急がず、「” Goods-dominant logic” に基づく製造事業の強化」が如何なるものかは今後の研究蓄積が必要であるとした。

② Matthyssens and Vandenbempt(2008)の「市場成熟化と脱成熟化の循環モデル」

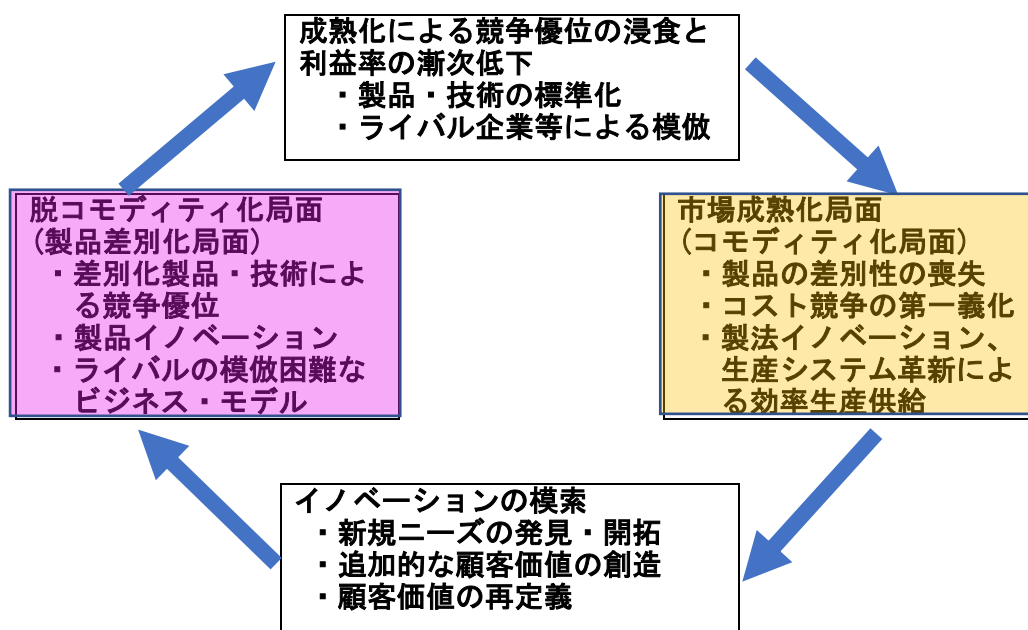
このように、製造企業のサービス成長研究において、” Transition to Service” モデルの見直しに伴い、製造企業のサービス化を” Goods-dominant logic” による製品イノベーションの契機として見直そうとする動きが近年出ている。ここでWise and Baumgartner(1999)に立ち返り、製造企業のサービス化を市場成熟期にある製造企業の脱コモディティ化戦略として改めて把握し直すことはできないだろうか。

and Zolkiewski 2016)。

²¹ Salonen, Saglam and Hacklin(2017)は、フィンランドの工作機械メーカーMachineCo社が、顧客工場の旧式機械を新鋭機並みに性能アップさせるサービスを通じて、顧客の製造ニーズや生産ラインの現状・問題点を把握し、顧客が工場生産の高効率化で必要とする工作機械及び工作機械システムの販売促進に成功している事例を「製造企業の” Goods-dominant logic” に基づく製造事業の強化」例として分析している。

Salonen, Saglam and Hacklin(2017)は製造企業のサービス成長研究の16の基本文献を選定したが、その一つのMatthyssens and Vandenbempt(2008)は、Porter(1980, 1985), Barney(2002), Mintzberg(1988)等の競争戦略論研究を踏まえ、市場成熟化を、競争優位企業の製品性能・価格面における優位性(差別化能力)が、製品標準化、ライバル企業の模倣等により浸食される事象と捉え、企業は追加的な価値提供又は全く新たな価値の創造により、再び競争優位(差別化能力)を回復することができるとした。そして、新たな競争優位もやがて標準化や模倣により浸食され、企業は改めて競争優位回復のため価値創造に取り組まなければならないとし、「市場成熟化と脱成熟化の循環プロセス」モデルを提示した(図1)。

図1 市場成熟化と脱成熟化の循環プロセス



(出所)Matthyssens and Vanddenbempt(2008)に基づき筆者作成

その上で、Matthyssens and Vandenbempt(2008)は、循環プロセスへのマッピングにより、製造企業の脱市場成熟化におけるサービス化の位置付けを考えようとし、製造企業の脱市場成熟化に向けた戦略を「製品イノベーションによる高付加価値製品の創造」「生産オペレーション効率化などプロセス・イノベーションによるコスト優位確立」「コスト競争に左右されない高付加価値品セグメントに注力するニッチ市場特化」「サービス・イノベーションによるソリューション・ビジネス創造」に4類型化。そのうちで製造企業のサービス化は「サービス・イノベーションによるソリューション・ビジネス創造」に該当するとした。

③Matthyssens and Vandenbempt(2008)のサービス化の問題

Matthyssens and Vandenbempt(2008)はWise and Baumgartner(1999)に立ち戻り製造企業のサービス化を脱市場成熟化として捉えようとした貴重な試みであるが、サー

ビス化を製造企業からサービス・プロバイダへの不可逆的移行と考える” Transition to Service” モデルに引き摺られ、十分な検討を踏まないまま、サービス化による脱市場成熟化を製造企業からソリューション・プロバイダへの移行に限定している。ソリューション・プロバイダ化は「脱」製造企業であり、もともと彼等が「製造企業のサービス化」を位置付けようとした、「製造事業」の成熟化と脱成熟化の循環プロセスから外れており、「製造企業」の脱市場成熟化戦略とは認め難い。

Matthyssens and Vandembemt(2008)が「脱製造企業」戦略を「製造企業」の脱市場成熟化戦略とする論理矛盾を犯した理由は、おそらくはサービス化を製品イノベーション、プロセス・イノベーション等と並ぶ戦略オプションとして提示したかったからではないかと推測されるが、サービス化は独立した戦略オプションとして捉えるよりも、「製品イノベーションによる高付加価値製品の創造」「生産オペレーション効率化などプロセス・イノベーションによるコスト優位確立」「コスト競争に左右されない高付加価値品セグメントに注力するニッチ市場特化」のツールとして考えるべきではないだろうか。従来の市場成熟期にフォーカスしたサービス成長研究でも、製造企業のサービス化は、市場成熟期における「収益確保」等の戦略オプションを実現するための「手段」として考えられてきた(Wise and Baumgartner 1999; Mathieu 2001b; Dachs et al. 2014; Neely 2014; Raddats et al. 2016)。

この点、一事例研究ながら、Salonen, Saglam and Hacklin(2017)は、「革新的ソリューションによる課題解決」→「顧客関係緊密化による新たなニーズ発見・認識」→「新たに発見・認識したニーズに基づく製品イノベーション」というロジックの下で、製造企業のサービス化が市場誘導型イノベーションに繋がり得る可能性を示唆しており、市場成熟期にある製造企業がサービス化を「ツール」ないし「手段」として製品イノベーションを起こし、差別化製品により競争優位を回復する可能性を示した。

④市場誘導型イノベーションのツールとしてのサービス化

製品イノベーションは市場ニーズの把握がスタート点となる。イノベーションは技術牽引型(Technology-push)と市場誘導型(Market-pull)型に類別できるが、Tschirky et al. (2003)は「製品イノベーション・プロセスのスタートには市場ニーズの存在がある」とし、成熟市場ではニーズは潜在化しており容易には認識・把握できないが、製造企業は市場(ユーザ)にコミットメントすることで潜在的ニーズを発掘し、「(市場ニーズを)製品機能に翻訳」して「特定の製品アイデアを作り出」せるとした。

2(1)で指摘したように、2010年代にスタートした「製造企業のサービス成長研究」の見直しにおいて、サービス化の意義を新規顧客獲得やサービス収益化などの企業収益への直接的貢献に求めず、製造企業が多様なサービスを提供するケイパビリティ

イを獲得し、複雑な顧客ニーズに対応できる能力を獲得する点に求める動きがある (Suarez et al. 2013 ; Dachs et al. 2014; Raddats et al. 2016)。製造企業はサービス化を通じて顧客ニーズへの対応能力を向上できるとして、Tschirky et al. (2003)の市場ニーズを起点とする製品イノベーションにどのように結びつくのか。

製造企業はサービス化を通じて顧客ニーズへの対応能力を向上できるが、サービス化すれば自動的に顧客ニーズ対応力が向上するというものではなく、サービス提供を通じて顧客ニーズへの理解を深めることができた製造企業のみが顧客ニーズ対応力の向上をさせることができる。すなわち製造企業は、販売代理店制等の下で間接的なコンタクトしかなかった顧客関係を、サービス提供を介して直接的かつ恒常的なものに変え、直接的に聴取・視認した顧客ニーズに細やかに対応する過程で、顧客の置かれた状況や制約条件を直に理解し、顧客が自社製品等を活用して如何に課題解決を行うかなどを理解できるようになる (Suarez et al. 2013; Dachs et al. 2014; Raddats et al. 2016)。

つまりサービス化は、製造企業の顧客ニーズへの理解を深め、その理解の深まりが顧客ニーズへの対応能力の向上につながる。従来、顧客がどのような課題を抱え、課題解決のために自社製品等を用いて如何なるソリューションを組み立てているか、それらのソリューションについて如何に評価しているか等については間接的把握に止まり、それらを十全に認識・理解できていたかさえも点検・評価できなかったが、サービス化を通じて顧客ニーズを直接的に認識・理解できるようになると、これまで気付かなかった製品ニーズやアイデアを認識し発見する機会が生まれる。

Goh and McMahon(2009), Dachs et al. (2014), Chatterji and Fabrizio(2014)等は、製造企業がサービス化を通じて緊密化した顧客関係を基盤として、顧客の現行製品に対する率直な評価や次世代製品に対する要求を理解し、それらを製品開発にフィードバックすることで、これまで顧客ニーズを精確に把握していなかったため実現できなかった差別化製品を開発する事例を報告しているが、製品ニーズへの理解の深まりが顧客ニーズへの対応のうち製品イノベーションに向かったものであり、これらは市場誘導型イノベーションの事例であると評価できる。

ここでWise and Baumgartner (1999)に立ち戻ると、彼等は製造企業のサービス化を通じた脱コモディティ化に関して” Go downstream” をモットーに掲げ、製造企業がバリュー・チェーンの川下に位置する顧客の事業プロセスに関与し、それにより得られた知見・ノウハウ等を活かしてイノベーションを起こすことを推奨したが、「バリュー・チェーン」「顧客の事業プロセス」「関与」の意味は必ずしも明確にしていな
い。仮に、” Go downstream” が、自社製品を用いた顧客課題解決のためのソリューションを通じて顧客ニーズ理解を深化させ、それを製品開発にフィードバックし差別化製品を開発することを意味するならば、サービス化は製造企業が市場誘導型イノベ

ーションを実現するツールとして、製造企業の脱市場成熟化に向けた戦略として位置づけ得るのではないだろうか。

⑤意義・効果に基づくサービス化の再整理

表2では、市場成熟期の製造企業の戦略的対応を整理したが、改めて市場誘導型イノベーションのツールとしてのサービス化を位置付けよう。従来研究は市場成熟化局面におけるサービス化を取り扱ってきたが、市場誘導型イノベーションのツールとしてのサービス化は脱市場成熟化プロセスに係る異局面に属する。その意義・効果は経済的便益、戦略的便益、マーケティング便益のいずれに分類すべきなのだろうか。

市場誘導型イノベーションとは、新たな市場ニーズの把握と、新規ニーズを充たす製品開発と市場開拓であり、マーケティング便益に整理できるのではないだろうか。先行研究においても、Goh and McMahon(2009), Dachs et al. (2014), Chatterji and Fabrizio(2014)は製造企業のサービス化をマーケティング便益の一つとして整理しており、これらに従って、市場誘導型イノベーションのツールとしてのサービス化を表2で位置付けるならば、下表3の 部分となる。

表3 製造企業のサービス化の意義・効果

“Good dominant logic” に基づく製造事業の強化				脱製造事業
	経済的便益	戦略的便益	マーケティング便益	” Service dominant logic” によるソリューション・サービスの創造(サービス・プロバイダ化)
市場成熟期	製品付随サービスの有償化による新たな収益源の確保	販売・提供方法の差別化(サービス付加)による成熟化製品の引合い確保	消費者・ユーザーの製品からサービスへの需要シフトへの対応	
	景気変動に左右されない安定収益の確保	製品と組み合わせとなる純正部品やサービスの魅力や製品との不可分性による顧客の囲い込み	顧客ロイヤルティ獲得による引合い確保	
脱成熟化			顧客との関係緊密化により、顧客ニーズを深く理解し、それを製品開発にフィードバックすることで市場誘導型イノベーション	

(出所)筆者作成 (注) 部分が新機軸

3. ソリューション研究

先行研究レビューにより、製造企業のサービス化と脱市場成熟化の関係については、製造企業がサービス化において、顧客関係の緊密化や顧客の事業プロセスでの協働を通じ、未知のニーズを発見し、次世代製品の開発に資する知見・ノウハウを獲得することで、ライバルの模倣できない差別化製品を開発し脱市場成熟化を実現する可能性があることが理解できた。

本論は(i)製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii)製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii)顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかの解明を試みるものだが、先行研究では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションと脱市場成熟化に関して、プロセスやメカニズムについて議論はなされていないのだろうか。

(1)曖昧な” Go downstream”

結論を言えば、先行研究はサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関する蓄積に乏しく、ましてやプロセス、メカニズムについて事例研究にも事欠く。そもそも、市場成熟期にある製造企業に対して” Go downstream” の重要性を訴えたWise and Baumgartner(1999)にしても、川下の顧客の事業プロセスに関与し、顧客ニーズを直接的に把握し、顧客との協働から、自らの革新的製品の開発に資する知見・ノウハウを獲得できるとしただけで、” Go downstream” の子細については明らかにしていない。制御機器メーカーのHoneywell社が、ボーイング、エアバス、ロッキード等航空機メーカーとの提携により、航空会社が燃料節約等に活用できる航空誘導システムの開発に成功し、新規事業分野の開拓に成功したことを紹介するに止まる。

また、「製造企業のサービス成長」の古典的研究であるMathieu(2001a)は、サービスをSSP(Service supporting the supplier's products)とSSC(Service supporting the customer's process)に分類し、製造企業と顧客の双方に対するヒアリング及びアンケート調査より、SSCは、顧客の事業プロセスに合わせた高度のカスタマイズと、その開発・提供において顧客との緊密な協働関係を要求することから、製造企業はSSCにより、ライバル企業に対して、より高レベルの差別化が可能となると結論しているが、高度のカスタマイズ、顧客との緊密な協働、高レベルの差別化がどのようなものかについては他日の課題としている。

Vandermerwe and Rada (1988) 以来、製造企業のサービス成長研究が自らを市場成熟化に対する戦略を扱うものと規定してきたことを考えると、かかる状況は不思議であるが、いずれにしても製造企業が如何にサービス化を通じて市場誘導型イノベーションを起こし再び競争優位を回復するのは未踏査のまま放置されており、そのためプロセス、メカニズムの解明に向けて事例研究が出番待ちとなっている。

(2) ソリューション研究の示唆

とはいえプロセス、メカニズムの解明に関して、何らのガイダンスも目印もなく研究を進めることは難しい。この点、2000年代半以降、製造企業のサービス成長研究において、一つの主流となっているソリューション研究に「サービスを通じたソリューション革新」に関する研究蓄積があるが、何か示唆は得られないだろうか²²。

①ソリューション研究との共通点

ソリューション研究は、Mathieu (2001a) の分類した S S C の最も進んだ形態をソリューション提供と考え (e. g. Penttinen and Palmer 2007; Brax and Jonsson 2010; Matthyssens and Vandenbempt 2010; Kindström and Kowalkowski 2014)、製造企業によるソリューション・ビジネスの解明に取り組んできた。

彼等によれば、ソリューション・ビジネスはダイナミックな発展し続けるプロセスであり、製造企業は、先進的サービス (advanced service) であるソリューション提供

²² 製造企業はサービス化において製品とサービスの組合せにより顧客に価値提供を行うに当たり、自社の製品を一方の構成要素として、これに一方の構成要素であるサービスと組み合わせる。“Transition to service” モデルでは、製造企業がサービス・プロバイダに移行すればするほど価値提供に製品の占めるウェイトは低下し、また、先進サービスとされる S S C は顧客プロセスにおける顧客サポートの最適化を目的とし、製品・サービスの組合せにおいて製品は自社製、他社製を問わず最適なものを使用すべきと考えられることから、従来の製造企業のサービス成長研究では、サービス化が進めば進むほど、製造企業は顧客への価値提供において (自社製品の販売促進を目的として) 製品とサービスの組合せを考える必要がなくなり (第一義ではなくなり)、自社製品の販売促進を差し置いて顧客課題の解決に専心することとされた。極論すれば、製品とは無関係にサービスのみで構成される価値提供もあり得ることとなり (Saul and Gebauer 2018)、製造企業のサービス化において顧客に提供されるものは、製品・サービスの組合せや P S S というモノではなく、顧客の抱える課題の解決策、すなわちソリューションとして捉え直すことが適切となる。ここに製造企業のサービス成長研究がソリューション研究に合流する接点があり、2000年代初、Galbraith (2002) が “integrated solutions” 概念を提唱する。彼は製造企業のサービス成長研究とは離れた産業組織研究の立場から、製造業を含む企業が製品中心型から顧客中心型に組織改革し、自社製か外部調達かを問わず製品・サービスを組み合わせる顧客価値の実現を図るソリューションの企業革新上の意義を再確認。そして、彼が産業組織論と並んで多大な業績を挙げた戦略論の立場から、内製・外部調達の比率と製品・サービスの統合度の二次元フレームワークにより企業戦略を決定し、その戦略に応じてフロント・バック、両エンドの組織再編を行うことを提案した。Galbraith (2002) は製造企業のサービス成長研究においてソリューション研究の動き (Shepherd and Ahmed 2000; Foote et al. 2001; Kumar and Kumar 2004; Malleret 2006; Nordin and Kowalkowski 2010; Lightfoot and Gebauer 2011; Storbacka 2011; Salonen 2011; Santamaria et al. 2012; Paiola et al. 2013; Kohtamäki and Helo 2015; Rajaja et al. 2019) を産み出しただけでなく、二次元フレームワークに基づくサービス成長戦略に関する研究 (Ferreira et al. 2013; Penttinen and Palmer 2007; Matthyssens and Vandenbempt 2010; Raddats and Easingwood 2010; Ulaga and Reinartz 2011; Raddats and Kowalkowski 2014 etc.) を勃興させた。

を通じて、顧客関係を緊密化して未知のニーズを発見し、顧客の事業プロセスでの協働から獲得した知見・ノウハウを活用して、改めてソリューションをライバル企業には模倣できないものに先進化し(e.g. Tuli et al. 2007; Evanschitzky, Wangenheim and Woisetschläger 2011)、そして、そのプロセスを弛まず続けるとする。

製造企業の脱成熟化研究とソリューション研究では、前者がサービス化を通じた差別化製品の創造を取り扱うのに対し、後者は、サービス化を通じた差別化ソリューションの創造を研究テーマとする違いはあるが、両者では、如何に製造企業がサービス化を通じて、顧客関係を緊密化して顧客ニーズを把握し、顧客との協働を通じて得た知見・ノウハウを新規ビジネス創造に活かすかを扱う点が共通する。製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのプロセスやメカニズムを分析する上で、ソリューション研究の方法・成果は援用できる余地があるのではないだろうか²³。

²³ 従来の製造企業のサービス成長研究では、製造企業がサービス・プロバイダに不可逆的に移行する“Transition to service”モデルが基本フレームワークとされてきたが、2010年代以降の研究の抜本的な見直しにより、製造企業のサービス化は製造企業の“Good dominant logic”に基づく製造事業の強化策として捉え直すべきとする見方が強くなっており(Salonen et al. 2017)、Valtakoski (2017)、Forkmann et al. (2017)は製造企業が製造事業における製品とサービスの組合せの最適化のため、“Transition to service”モデルの“a product-service continuum”上を結果志向型サービスから製品志向型サービスに「後退」する「脱サービス化(deservitization)」現象を報告するなど、製造企業はソリューション・プロバイダ化を志向しておらず、「製造企業」としての企業収益の最大化の観点から製品事業・製品毎にサービス化の在り方を変えていると示唆する研究成果が現れている(Kowalkowski et al. 2015)。

これまで製造企業のサービス成長研究の枠内で行われたソリューション研究では、“Transition to service”モデルの製造企業からソリューション・プロバイダへの不可逆的移行を(黙示の)前提として研究が進められてきた。とはいえ、Galbraith(2002)は製造企業だけでなく全業種の企業を対象として“integrated solutions”を提案したように、通常のソリューション研究では、ソリューションの提供者は製造企業に限られず、ソリューション提供も必ずしも製品なり、製品・サービスの組合せなりを必要としておらず、もともと「製造企業」のサービス化を通じた成長を研究する「製造企業のサービス成長研究」とソリューション研究には、最終的には一つとはなれない垣根が存在した。そうした中、2010年代以降の製造企業のサービス成長研究の見直しの動きは両研究の安易な混同を(正確には、製造企業のサービス成長研究におけるソリューション研究の成果の安易な流用)慎重ならしめるものである。

この点、Tuli, Kohli and Bharadwaj (2007)は、Galbraith(2002)後のソリューションの観点からの先行研究を製品とサービスのイノベティブな組合せにフォーカスし過ぎであると批判。Wise and Baumgartner(1999)の“Go downstream”を踏まえ、製造企業のサービス化におけるソリューションとは、製造企業が顧客プロセスにおいて顧客とのコンタクトにより課題を把握し、顧客と協働して課題解決にあたる「サプライヤーと顧客の協働プロセス」(“a customer-supplier relational process”)と観念すべきであるとし、サプライヤーと顧客の協働について4段階モデルに基づく分析フレームワークを確立した。Davies, Brady and Hobday (2007)、Nordin and Kowalkowski(2010)、Windahl and Lakemond(2006)等はTuli, Kohli and Bharadwaj(2007)の4段階モデルを継承、製造企業のサービス成長研究のフレームワークにおいてソリューション研究の成果を活用し、製造企業と顧客との協働の解明に取り組んだ。

Brady, Davies and Gann (2005)は、ソリューション・プロジェクトでは、従来の製品・サービスの組合せの提供に比べて長期の顧客へのコミットメントが求められるとし、Tuli, Kohli and Bharadwaj(2007)の4段階モデルを拡張、顧客との協働プロセスを個別のソリューション取引に限定せず、恒常的な長期関係と見るべきとした。これを受けて、ソリューションの開発・提供におけるサービス化企業と顧客との企業連携に関する研究が展開(Evanschitzky et al. 2011; Ferreira et al. 2017 etc.)がされたが、この過程でサービスの供給者である製造企業と受益者である顧客のみ

②ソリューション・イノベーション成功要件

ソリューション研究では、ソリューション・ビジネスのイノベーションに関して、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」を成功に向けた必要条件と捉えている。

(a) 顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係

第一に、「顧客と長期間に渉るリレーショナルな協働関係の構築」は、Tuli et al. (2007)がMathieu(2001)を踏まえて「ソリューションの開発・提供に先立ち、ソリューション供給者と顧客の間には、長期間に渉る、協働関係(“longitudinal, relational processes between the buyer and seller that precede and follow the integration of products and/or services into functional solutions”）」の構築を要するとした。

本稿で事例研究する工作機械に限らずロボット・制御装置等の資本財ビジネスでは、一般に直販制に代わり販売代理店制が採られ、販売代理店が顧客と長期的関係を結び、コンサルティングにより顧客のニーズや問題を把握し、顧客とともにソリューションを考案・設計、その上で顧客の製造現場で工作機械システム、ロボット・システム等をインテグレーションしており、製造企業は一部の大口顧客を除けば顧客とは販売代理店を通じた間接的關係を持つに過ぎない。

このため、資本財メーカーは、そもそもソリューション・ビジネスの本格事業化を目指したとしても、直接にソリューション提供できる顧客の範囲には限りがあり、販売代理店を通じてソリューション提供せざるを得ない。その結果、資本財メーカーは販売代理店のスクリーニングを経た情報しか入手できず、顧客が現行ソリューションを如何に評価しているか、顧客は次世代ソリューションにおいて何を求めるかについては、販売代理店の営業担当の関心なり認識能力なりの「スクリーン」を通過できた情報のみから、判断せざるを得ない。

販売代理店の営業担当は、自己の担当する現行製品の販売実績により評価が決まることから、顧客が現行製品に不満なり問題なりを感じていたとしても、それらを宥めて、何とか現行製品を使いこなすことを顧客に勧めるであろうし、そもそも次世代ソリューションに関する顧客のアイデアなり要望なりは営業担当の第一義的な関心事項

に注目するだけでは足りず、製造企業・顧客を含むネットワークに着眼する必要が認識され、ネットワークにおいて如何にソリューション・ニーズが発見・把握され、ネットワーク構成企業が如何に協働して、製品とサービスを組み合わせるソリューションを開発し提供するか等、ネットワーク構成者の価値創造に向けた協働に関する研究が展開成長した(Gova and Salle 2008a; Storbacka et al. 2013; Finne, Brax and Holmström 2013; Gebauer, Paiola and Sacconi 2013; Finne and Holmström 2013; Jaakkola and Hakanen 2013; Spring and Araujo 2013; Storbacka and Pennanen 2014; Rusanen et al. 2014; Finne, Turunen and Eloranta 2015; Friend and Malshe 2016; Hedvall et al. 2019)。

ではない。その結果、製造企業は、次世代の革新的製品なりソリューションを開発しようにも、販売代理店のスクリーニングを経た、リアル・ニーズから乖離した情報に依存せざるを得ず、その試みは的外れなものとなる懼れが大きい。

Tuli et al. (2007)の言う、製造企業と顧客との長期的な協働関係とは、製造企業が販売代理店制により直接把握が難しくなっている、顧客ニーズを直接的かつ継続的に把握し、顧客と協働して、製品とサービスの組合せにより顧客課題を解決する過程で、次世代の革新的なソリューションを開発するのに資する知見・ノウハウを自ら獲得するための制度的基盤であり、一過性でない、持続的なソリューション・イノベーションのため必要条件と捉えられている。

(b)顧客との協創プラットフォームの制度的手当て

第二に、ソリューション研究では、製造企業と顧客との協働関係が単発に終わらず長期持続されるには、製造企業と顧客が長期に渉り価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当てが必要であると考えている。

Aarikka-Stenroos and Jaakkola (2012)は、知識集約型企業の事例研究により、製造企業と顧客のリレーショナルな関係の解明を試み、製造企業と顧客はソリューションの開発・提供に当たり「顧客ニーズの分析、ソリューションの設計・開発、ソリューション実施に必要なプロセスの構築と資源の確保、ソリューション実行に伴い生ずる組織内部の対立の管理、ソリューション実行」(“the buyer and seller engage in diagnosing needs, designing and producing the solution, organizing the process and resources, managing value conflicts, and implementing the solution”)を協働するが、製造企業が先進的サービス(ソリューション)を恒常的なビジネスとして取り組むことで、製造企業と顧客はソリューションの開発・実行に必要な経営資源を持ち合って統合補完し、ソリューションの開発・実行に至る組織的な活動を実施できるとした。

彼等は、製造企業と顧客との長期的協働には、ビジネスの恒常化と組織化が必要であることを示すに止まったが、Storbacka et al. (2016)はさらに「先進的サービスは、製造企業と顧客が経営資源を統合し、サービス提供において価値を協創するのに必要となるインフラストラクチャーを提供するプラットフォーム」(“a platform that brings together the actors and the resources controlled by them, thus providing the needed infrastructure for value co-creation processes to occur during service provision”)であると指摘し、製造企業が先進的サービスを恒常的なビジネス・プラットフォームとして制度的に取り組む重要性を指摘した。

ただし、ソリューション研究では、製造企業がサービス化を通じたソリューション・イノベーションに取り組む上で、単に顧客とリレーショナルな関係を結ぶだけではなく、顧客と長期継続的に協働して価値創造に取り組む「場」ないし「プラットフ

ーム」を制度的に構築することが必要になるとしたが、制度的なプラットフォームが如何なるものかについては詰められていない。

(c) 独立専任機関の設置

ソリューションの協創は、Aarikka-Stenroos and Jaakkola (2012)が分析したように、知識集約化が進めば進むほど、高度の差別化が可能となり、ライバル企業による模倣が困難化するが、それに応じて、営業部門の営業担当の兼務による対応は困難化し、ソリューション専任の独立組織の設立が不可欠となる。

ソリューション研究は、製造企業のサービス成長研究の基礎フレームワークの一つである” Transition to Service” モデルを踏まえつつ、製造企業のソリューション・ビジネス研究を展開している。” Transition to Service” モデルを提唱した Oliva and Kallenberg (2003)はサービス部門の製造部門からの分離独立がサービス化の成功の鍵としたが、爾後、ソリューション研究を含む製造企業のサービス成長研究では、独立専任機関の設置がサービス化の成功のために必要となるとされてきた。

分離独立のメリットは、第一に、製品の開発・製造・販売に制約されないサービス開発が可能となる、第二に、サービス部門が業績に責任を負うことで収益向上につながり、企業文化をよりサービス志向型に転換できるとされ(Oliva, Gebauer and Brann 2012)、Davies, Brady and Hobday (2007)、Gebauer and Kowalkowski (2012)は、高度にサービス化が進んだ段階では、サービス提供の専任組織だけでなく、製品部門とサービス部門のコーディネートを担当する組織も必要となるとした。

製造企業のサービス化を通じたソリューション・イノベーションでも、営業担当が営業活動の繁忙の合間を縫って兼務するのではなく、本務として、サービス提供を通じて顧客と緊密な関係を築き、顧客と協働してソリューションを実施する独立専任組織が必要であるとソリューション研究では考えられている。

③製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションへの援用

冒頭にも述べたように、本章では、仮説演繹型研究における先行レビューとは異なり、事後的に事例を含むデータで検証する仮説を抽出設定することが目的ではなく、Glaser and Strauss(1967)のG T Aが探索研究に認めた、従前の研究に基づく帰納法的研究のベースとして「従前の研究」を浚っている。

未だ研究のテーマ・目的・主要変数・因果関係等の見分けがつかない時点で、特定の先入観を以て対象を見ることがないよう留意が必要であるが、ソリューション・ビジネスのイノベーションに関する「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」も製造

企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの必要条件たり得ないだろうか。

ソリューション、製品を問わず、イノベーションは市場ニーズの把握が必要となるが、工作機械に限らずロボット・制御装置等の資本財ビジネスでは、一般に直販制に代わり販売代理店制が採られ、販売代理店が顧客と長期的関係を結び、コンサルテーションにより顧客のニーズや問題を把握し、顧客とともにソリューションを考案・設計、その上で顧客の製造現場で工作機械システム、ロボット・システム等をインテグレーションしており、製造企業は顧客とは販売代理店を通じた間接的関係を持つに過ぎず、市場ニーズの把握に難がある。

ソリューション研究において、ソリューション・イノベーションに必要な条件とされた「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」は、資本財メーカーが販売代理店によるスクリーニングを打破して、顧客と直接的関係を取り結び、これまでに認識し得なかった顧客ニーズを把握しイノベーションにつなげるためのものである。

顧客との直接的な協働関係を構築し、間接販売制度によりスクリーニングされてきた顧客ニーズを自ら発見・認識し、イノベーションにつなげることの重要性は、製品の市場誘導型イノベーションにも共通し、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」がソリューション・イノベーションと同様に市場誘導型イノベーションに一定の有効性をもつと考えることは必ずしも不当ではないのではないか。

4. 総括

先行研究における議論を概観すると、これまでの研究は、市場成熟期において製造企業が顧客引合い確保やサービス収益化による企業収益のインクレメンタルな成長を図る取組を主に取り扱ってきており、製造企業がサービス化を通じて製品イノベーションを起こして脱市場成熟化を実現する、Wise and Baumgartner (1999) 等が製造企業のサービス成長に期待した取組に関する蓄積には乏しい。

2010年代以降の製造企業のサービス成長研究の見直しの動きの中、Matthyssens and Vandembemt (2008) 等はサービス化を脱市場成熟化戦略として位置付けるべく「市場成熟化と脱成熟化の循環モデル」を提言しているが、彼等の循環モデルに立ち脱市場成熟化を目指すサービス化を製造企業のサービス化に位置付けるならば、前掲表2のとおりであり、Salonen, Saglam and Hacklin (2017) 等の事例研究が蓄積されることで「革新的ソリューションによる課題解決」→「顧客関係緊密化による新たな

ニーズ発見・認識」→「新たに発見・認識したニーズに基づく製品イノベーション」という市場誘導型イノベーションがモデル化できる見込みがある。

改めて製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのプロセス、メカニズム等を解明する示唆たり得る研究蓄積を求めてみると、2000年代以降急速に発展したソリューション研究において、サービス化を通じたソリューション・イノベーションに関する事例研究があり、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が、製造企業の顧客ニーズ理解の深化と市場誘導型イノベーションにも重要な役割を果たし得ることが判った。

ただし、再三述べているように、本章では、仮説演繹型研究における先行レビューとは異なり、事例を含むデータで検証する仮説そのものを抽出設定することが目的ではなく、Glaser and Strauss(1967)のG T Aが探索研究に認めた、先行研究に基づく帰納法的研究のベースとして「従前の研究」を浚っている。未だ研究のテーマ・目的・主要変数・因果関係等の見分けがつかない時点で、特定の先入観を以て対象を見ないよう留意が必要であろう。ソリューション研究から援用可能ではないかとした「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに妥当するかについては、直ちに結論に飛び付かず一考察が要るのではないだろうか。

以上は、第3章において産業安全関連制御装置メーカー I D E C を対象として探索研究を進めるための「方位磁針」を用意したものである。ソリューション研究からの援用が製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにも有効であるか否かも含めて、次章では探索する。

第3章 第2部の事例研究に向けた探索研究

～制御機器メーカー I D E C のソリューション・ビジネス～

本章では、総合工作機械メーカー3社の” Smart Factory” を契機とする工作機械ビジネス革新に関して事例研究を行う前に、産業・機械安全関連制御装置メーカーの I D E C の 1990 年代末、2000 年代末、2010 年代の3次に渉るサービス化を通じたイノベーションの取組を対象として探索研究を行う²⁴。

第2章で、先行研究における、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関する議論状況を見たが、2010 年代以降に事例研究がスタートしたばかりであり、未だ研究のテーマ・目的・主要変数・因果関係等に係る研究蓄積に乏しい。Glaser and Strauss(1967)、Yin(2018)等は事例研究による理論形成において、リサーチ・デザイン、パイロット・スタディ、本番研究など段階を踏むことを求めるが、本研究では、総合工作機械メーカーによる工場生産高効率化ソリューションを通じたビジネス革新を取り扱うところ、工作機械メーカーに関する事例研究に先立つパイロット・スタディとして産業安全関連制御機器メーカー I D E C に係る探索研究を行い、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの目的なり主要変数・因果関係等なりのイメージ化を試みる。

1. 産業安全・機械安全を追求する制御機器メーカー I D E C

(1) 企業概要

I D E C は 1947 年設立のスイッチ、リレー、タイマー、センサ等制御機器、これら制御機器を組み合わせた制御装置、ファクトリー・オートメーション・システム製品、防爆・防災機器等の製造・販売事業者であり、資本金 100.6 億円、連結従業員数 3780 名(2019 年度末現在)のグローバル企業である。

2017 年度以降、アニュアル・レポート等で売上高がソリューション単位で集計されるようになり、製品別売上高を把握できなくなったが²⁵、2016 年度の連結売上高は制御機器製品 55.2%、制御装置及び F A システム製品 14.7%、制御用周辺機器製品 11.1%、防爆・防災関連機器製品 4.1%、その他の製品 14.9%となっている。

²⁴ 本章は 1990 年代以降コモディティ化に苦しんできた制御機器メーカーのサービス化を通じた差別化能力回復とビジネス革新を取り扱った榎本(2021d)に基づく。1. は I D E C 「アニュアル・レポート(2015～2020)」、同「決算短信(2015 年 3 月期～2021 年度 3 月期)」、日本経済新聞・日刊工業新聞記事(参考文献に一覧記載)に依拠。

²⁵ I D E C は 2017 年度以降「ソリューションを中核とした成長」をビジョンに掲げ、2017 年度、2018 年度決算では、売上高は「H M I ソリューション」、「盤内機器ソリューション」、「オートメーション・ソリューション」、「安全・防爆ソリューション」、「システム」、「その他」に分類。2019 年度以降、「スイッチ事業」、「インダストリアルコンポーネンツ事業」、「オートメーション事業/センシング事業」、「安全・防爆事業」、「システム」、「その他」と製品別・ソリューション別の分類が混ざった形で集計されている。

1990年代半までのI D E Cは内需中心の事業展開を行っていたが、国内経済の長期低迷を受けて2000年代以降グローバル化に取り組み、2016年には仏A P E M社を買収するなどの積極策を講じた(連結従業員数は2015年度末2222名から2016年度末に3911名に拡大)。その結果、連結売上高に占める海外比率は2010年度36.1%(連結売上高311.6億円のうち海外112.5億円)から2019年度52.0%(連結売上高583.5億円のうち海外303.2億円)と外需中心の事業構造に転換するのに成功している²⁶。

(2) 産業安全・機械安全関連製品の開発・製造への専業

I D E Cは、産業安全・機械安全関連の制御装置・機器の総合メーカーであり、製品は、工場のものづくり現場からオフィスビル、個別作業現場から公共交通システムに至る広範な分野において制御・防爆等のために適用されている。ものづくりに関して、I D E Cは顧客メーカーの個別機械・設備の安全だけでなく、生産ライン、工場などシステムとしての安全をビジネス化している。

産業安全・機械安全は19世紀の産業革命以来「人と機械の隔離」を原則として追求されてきており、20世紀半までに基本的アイデアは出揃い、制御機器・装置の基本概念・使用法は基本コンセプトが確立しており、製品イノベーションはインクレメンタルな性格が強かった。I D E Cは、一部では、自社製品を組み合わせる顧客工場等の安全性を確保するソリューションにも取り組んだが、産業安全の成熟状況から、個別製品の開発製造に専念し、技術志向型の「ものづくり」企業として「研究開発・知的財産・国際標準化の三位一体の推進」により技術優位性を維持してきた²⁷。

これまでI D E Cは工作機械・産業機械メーカーと同様、国内外を問わず、製品の販売・サービスを機械商社等代理店に依存し、顧客工場等でのシステム・インテグレーションについても代理店に任せてきた。それによりI D E Cは製品の開発製造に専念、研究開発により新たな技術を創造し、技術優位を知的財産権により保護しつつ、同時に自社技術を国際標準化することで世界市場を開拓してきたものの²⁸、一方では、

²⁶ 2019年度の連結売上高の地域別構成は日本48.0%、米州15.8%、欧州・中東アフリカ地域17.6%、アジア太平洋地域18.6%。I D E Cの2016年度の連結売上高は434.7億円であり、海外比率は36.3%(国内275.8億円、海外158.9億円)であったことから、I D E Cのグローバル展開が2010年代後半に一気に短期間で進んだことが分かる。

²⁷ I D E Cによれば「まず、科学技術の進歩と社会構造の変化に対応して技術革新を進める上で、何よりも研究開発が基本となるが、そのためには資本・人材等経営資源の投入が必要となる。資源投入に見合った収益を獲得できない事業は持続可能ではないため、知的財産保護によるライバル企業の模倣防止が欠かせない。また、制御機器、制御機器組合せ制御装置、防爆・防災機器は、産業・社会の広範な分野で、国内外を問わず用いられるため、仮に、各国で各企業が自社基準に基づき製造していたならば、ユーザは一つ一つの機器・装置が自社設備・システムで使用できるかを検証しなければならず、メーカーも製品流通が阻害されてしまうことから、標準化が重要である」とする(2017年9月20日付ヒアリング)。

²⁸ 現在、I D E CはH M I (Human-Machine Interface)をコンセプトとして「研究開発+知財+国際標準化」三位一体の事業展開を進めている。H M Iとは、1990年代以降、ものづくり現場で「人と機械の共存」する環境が主流となったことを踏まえ、生産性・安全性を同時に配慮

ユーザとの間接的關係は、新たな産業安全・機械安全ニーズの発見・認識や、見落とししていた自社製品の用途・可能性の発見を困難とする問題も有した。

(3) I D E C の 3 次 に 渉 る サ ー ビ ス 化 へ の 挑 戦

I D E C は 長 ら く 産 業 安 全 ・ 製 品 安 全 に 係 る 制 御 機 器 及 び 制 御 シ ス テ ム の 開 発 製 造 に 専 業 し て き た が、1990 年 代 央 以 降、安 全 関 連 機 器 ビ ジ ネ ス の 成 熟 化 の 問 題 に 直 面 し、こ れ ま で 1990 年 代 末、2000 年 代 央、2010 年 代 の 3 次 に 渉 り 脱 成 熟 化 に 向 け て サ ー ビ ス 化 に 挑 ん で き た²⁹。

1990 年 代 末、I D E C は ユ ー ザ 企 業 向 け セ ミ ナ ー を 活 用 し、顧 客 ニ ー ズ の 直 接 把 握 に よ る 新 製 品 開 発 を 試 み た が、専 任 組 織 な く、期 初 の 成 果 を 挙 げ ら れ ない ま ま に 終 わ る。1990 年 代 末、改 め て 自 社 工 場 向 け に 開 発 し た 「ロ ボ ッ ト 制 御 型 セ ル 生 産 シ ス テ ム」の 外 販 化 ・ ソ リ ュ ー シ ョ ン 化 を 試 み、専 任 完 全 子 会 社 I D E C オ ー ト メ ー シ ョ ン を 設 立 し て 本 格 展 開 を 狙 っ た も の の、2008 年 の リ ー マ ン 危 機 に 起 因 す る 世 界 景 気 後 退 に よ り 販 路 開 拓 が 難 航、再 び 事 業 化 を 断 念。

I D E C の 2 回 の 挑 戦 が 不 発 に 終 わ っ た 後、2010 年 代 に 世 界 経 済 が 中 国 の 成 長 に 牽 引 さ れ る 形 で 力 強 い 成 長 を 続 け る と、製 造 企 業 に は 先 進 国 ・ 新 興 国 を 問 わ ず 短 納 期 ・ 変 種 変 量 の 引 合 い が 殺 到 し、生 産 ラ イ ン の 自 動 化 ・ ロ ボ ッ ト 化 が 推 進 さ れ る。そ の 結 果、「人 と 機 械 の 隔 離」を 原 則 と し て き た 製 造 現 場 で は 「人 と 機 械 の 協 働」が 常 態 化 し、新 た な 安 全 確 保 が 求 め ら れ る こ と と な る。こ の 産 業 安 全 ・ 機 械 安 全 の パ ラ ダ イ ム ・ シ フ ト に 対 し、2010 年 代 央、I D E C は 自 社 の 蓄 積 さ れ た 産 業 安 全 ・ 機 械 安 全 に 係 る 技 術 ・ ノ ウ ハ ウ を 活 か し て、「人 と 機 械 の 協 働」環 境 に お け る 安 全 関 連 機 器 の 開 発 ・ 製 造 と 安 全 確 保 ソ リ ュ ー シ ョ ン の ビ ジ ネ ス 化 に 挑 む。

3 回 目 の 挑 戦 で は、先 行 す る 2 回 と は 異 な り、I D E C は ソ リ ュ ー シ ョ ン ・ ビ ジ ネ ス の 立 上 げ に 成 功 す る。F A シ ス テ ム ・ イ ン テ グ レ ー タ を 企 業 買 収 し て ソ リ ュ ー シ ョ ン を 担 っ せ、顧 客 工 場 に お け る 「人 と 機 械 の 協 働」安 全 確 立 に 向 け た 取 組 を 通 じ て、産 業 安 全 ニ ー ズ を 発 見 し、新 た に 得 た 知 見 ・ ノ ウ ハ ウ を 活 か し て、「人 と 機 械 の 協 働」安 全 に 係 る 差 別 化 製 品 を 開 発 し、市 場 成 熟 化 を 打 破 し つ つ あ る。で は、第 3 回 の 挑 戦 に は 1990 年 代 末、2000 年 代 央 と は 如 何 な る 違 い が あ り、成 功 で き た の か。

した機械・設備を提供して行こうという理念である。IoTにより自動化・制御ニーズはものづくり現場だけでなく病院・店舗から一般家庭にも広がるが、今後、人と機械の共存に配慮した安全・安心の確保はますます重要な社会テーマになるとI D E Cは判断している(2017年9月21日付ヒアリング)。

²⁹ 2017年9月20日付及び同21日付ヒアリング。1990年代末、2000年代央、2010年代の3次に渡る、I D E Cによるサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの試みに関する本章分析はI D E Cに対するヒアリングに依拠しており、改めて関係者に深謝したい。

2. 1990年代末のサービス化の萌芽的試み

～1990年代以降の制御機器・装置の市場成熟化への対応～

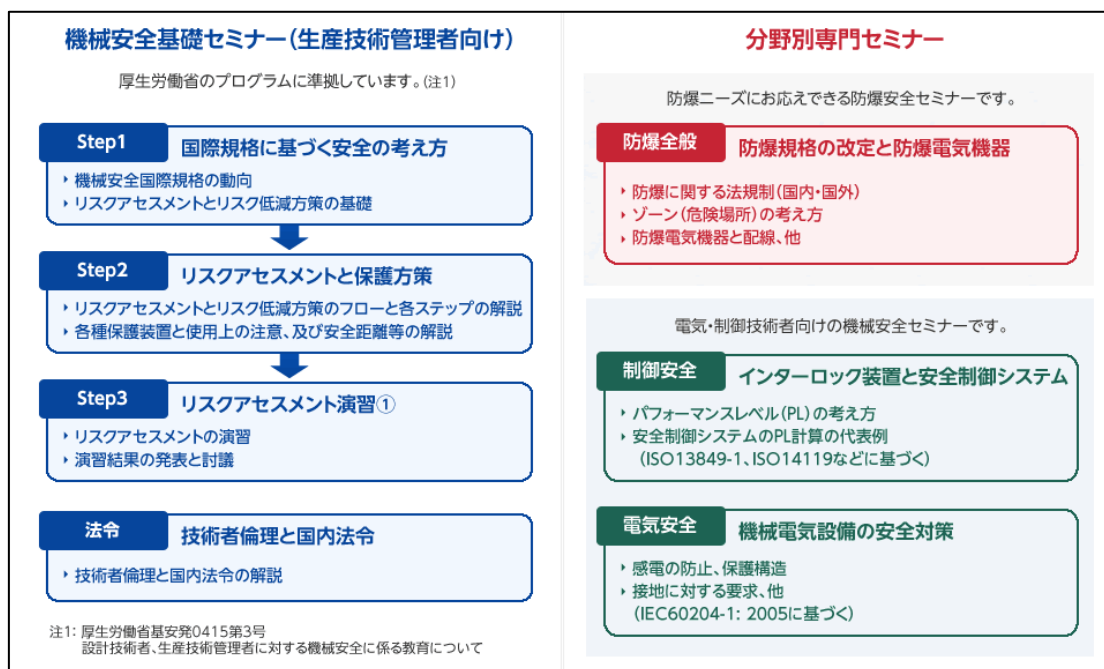
(1) 製品コモディティ化の打破とサービス化

「人と機械の隔離」を原則とする産業安全・機械安全は19世紀の第2次産業革命以来追求されてきたものであり、1980年代、産業安全・機械安全に係る制御機器・制御装置、防爆・防災機器は遂に技術的に成熟し、新たなイノベーションは困難となった。1990年代初、バブル崩壊により国内経済が長期停滞に陥り、民間設備投資が低迷すると、制御機器・装置等への需要も落ち込み、コモディティ化していた制御機器・装置事業は一層の苦境に陥る。こうした中、IDECは新たな安全ニーズを発見し、ライバル企業が模倣できない差別化製品開発によるブレークスルー模索する。

伝統的な「人とは機械の隔離」に基づく産業安全では、安全関連機器・装置のコンセプト及び使用方法等はほぼ確立された状況にあり、IDECは製品販売及びインテグレーションを含むサービスを代理店に一任していた。すなわち販売代理店がコンサルティングを行って顧客ニーズを把握し、IDEC製品を用いて最適なソリューションを設計、顧客の工場・プラント等でシステム構築を行い、さらにはアフター・サービスも提供する間接販売制を採ってきた。IDECの顧客ニーズ把握は販売代理店を通じた間接的なものであり、市場成熟化を打破する画期的な製品・技術の開発につながる知見を得るには、顧客との距離が遠い憾みがあった。

その結果、IDECは市場成熟化に対して有効な手が打てないまま時を打ち過ごすこととなるが、1990年代後半ともなると、最早これ以上の問題放置はできず、一日も早く産業安全・機械安全に係る新たなニーズを発見し、差別化製品を開発・上市しなければならない事態に陥った。そこで、1990年代末、IDECは、従来、安全・防爆に関する技術講習と、制御機器・制御装置、防爆・防災機器等の活用に関する啓蒙普及・指導相談を主たる内容としてきた、自社主催「産業安全・機械安全セミナー」等を活用し、顧客ニーズの直接把握と製品開発へのフィードバックを試みる。

図2 IDEC主催の産業安全・機械安全セミナー



(出所) IDEC資料

(2) ユーザ向けセミナーを活用した顧客ニーズ把握

①産業安全・機械安全セミナー

工場の機械設備・生産ライン、化学プラントでは、事故災害防止のために、安全スイッチ、ロック式安全スイッチ、非接触式安全スイッチ、非常停止用押しボタンスイッチ、イネーブルスイッチ、ライト・カーテン、レーザ・スキャナ、安全リレー・モジュール、安全コントローラ、強制ガイド式リレーなどの夥しい安全機器が用いられるが、たとえ生産技術専門家であっても、工場・プラント等で用いられる、全ての安全機器とその用法に通じていることは稀である。

このため、IDECはセット・メーカー、エンド・ユーザ等を対象として産業安全・機械安全セミナーを開催、自社の制御機器、制御機器組合せ制御装置、防爆・防災機器等を活用して、如何に産業安全・機械安全を実現するかを啓蒙普及・指導相談してきた。1990年代以降、顧客メーカーが海外生産展開を加速すると、国内法令・指針だけでなく、国際規格に適合した各種機械装置の安全対策に重点を置く配慮を行い、顧客メーカーのグローバル展開をサポートしている。

IDECは、脱成熟化に向けて製品イノベーションを実現する上で、多数の製品ユーザの参加、特に、大口需要者であるグローバル大手メーカーの参加が期待できる産業安全・機械安全セミナーに着眼。アンケートだけでなく、ユーザからの相談に応じてコンサルティングを実施し、顧客ニーズを直接把握し、製品開発にフィードバックすることを想定。1990年代後半以降、IDECは販売代理店を通じた顧客ニーズ把握

握だけでなく、直接的に顧客からニーズを把握し、製品・アプリケーションの新規開発に取り組もうとした。

②防爆セミナー

また、I D E Cは1953年の防爆形白熱灯照明器具E形の開発以来、防爆技術・製品の開発・供給に取り組む傍ら、セット・メーカー、エンド・ユーザ等を対象として「防爆セミナー」を開催してきた。

防爆とは、石油化学プラント・塗装作業場・ガソリン給油所その他、半導体製造でのアルコール洗浄工程、揮発材料を添加する化粧品・食品の製造工程など、「爆発性ガス危険雰囲気」（爆発性ガスが存在し、空気と混合して濃度が爆発限界内にある状態）を生成するおそれのある危険場所において、電気機器から発生する火花や高温によるガス蒸気の爆発を防ぎ、電気機器を安全に使用することであるが(参考4参照)、防爆電気配線に関して「電気設備技術基準」「ユーザーのための工場防爆電気設備ガイド(2012)」「工場電気設備防爆指針」に要件が示されているものの、これらが適正に施工されたかを検証する制度や機関がない。このため、顧客はかねてよりI D E Cに対して、I D E C製品を活用したケーブル配線工事、電線管配線工事等が適切に施工されているかを検証・指導するよう要望。

制御機器・制御装置は、製品種及び用途が広範多岐に涉り、製品使用のパターン化が難しく、顧客の個別ケアが不可欠であったため、I D E Cは販売代理店に顧客対応を一任してきたが、防爆では、設備工事のパターン化が一定程度可能だったことから、I D E Cは大口顧客については、販売代理店を通さず、直接コンサルテーションを行い、顧客工場等に最適化した防爆プランを提案してきた。そこで、I D E Cは防爆セミナーにおける顧客対応を更に強化し、顧客ニーズの直接把握を図り、新製品開発にフィードバックしようとした。

(3)1990年代末のI D E Cの取組の限界

I D E Cは産業安全・機械安全セミナー等を活用して、エンド・ユーザ等からの相談に応じてコンサルテーションを実施し、顧客ニーズを直接的に把握することを試みた。確かに、制御機器・装置の開発に部分的なプラスはあったものの、結果的には、1990年代の国内経済の長期停滞を背景として制御機器・装置市場が成長性を喪い低迷する中で、I D E Cが置かれた閉塞的な状況を打破するまでには至らなかった。製造企業の脱市場成熟化戦略として見ると、I D E Cの試みは以下の4点において中途半端なものであった。

第一に、国内経済の長期停滞により民間設備投資が低迷し、制御機器・制御装置市場が停滞する中では、いくら個別制御機器・装置のレベルで新製品なり新規用途をインクレメンタルに開拓したとしても、制御機器・制御装置ビジネス全体では「大海の

一滴」に止まり、市場成熟化打破の実効性に乏しかった。成熟化製品に代わる、革新的な次世代製品の開発には、市場の奥底で蠢き出しつつあるニーズを把握し、物事の見方を一新する必要があった。

第二に、市場の奥底で蠢くニーズを捉え、革新的な制御機器・制御装置の開発につながる知見を得るには、I D E C自らユーザの事業プロセスに関与し、ユーザの工場・プラント等において制御機器・制御装置等が如何に活用されているのか等を把握する必要があるが、安全関連セミナーで製品使用等に関する相談・指導事務を担当する、営業担当が兼務の形で処理できるタスクではそもそもなく、I D E Cは顧客の事業プロセスに関与しソリューション実行等を協働するまでには至らなかった。

第三に、I D E Cのビジネス発想は制御機器・制御装置など製品単位であり、個別製品の性能・用途に関心が集中していたため、自社の制御機器・制御装置を組み合わせ、顧客の課題を解決するなどのシステムの思考が弱体であった。営業担当は自己の担当する個別製品の売上高により業績評価され、仮に、I D E Cの製品ラインアップから、自己が担当するか否かを問わず、最適製品を組み合わせ、顧客の工場・プラント全体の産業安全を改善しても評価に繋がらない。自ずと営業担当の発想は製品単位に止まり、顧客から直接ニーズを聴き出すチャンスを与えられても、産業安全・機械安全システム全体のイノベーションに繋がれなかった。

第四に、現状に縛られた発想や思考を打破し、セミナー等を通じて顧客から把握したニーズを次世代差別化製品の創造につなげるには、顧客とのコンサルテーション、顧客ニーズに基づくソリューション提案等は、営業担当の兼務に代わり、独立した専門組織に委ねる必要があるが、I D E Cでは「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」はなされなかった。1990年代後半以降の業績悪化により組織新設の余力がなかったこともあるが、営業担当が業務の繁忙の合間を縫って顧客に対応するため、試みは目的を達成できず、萌芽のまま終わらざるを得なかった。

3. 2000年代央の「セル生産システム」ロボット化関連事業

1990年代末、I D E Cは制御機器・制御装置等の市場成熟化に対応して、ユーザ向けセミナーを活用し、顧客ニーズを直接把握し、新製品開発に活かそうとしたが、試みは不発に終わった。しかし、依然、成熟化打破の必要には変わりなく、I D E Cにはブレークスルーが必要だった。1990年代央以降、自社工場のロボット導入過程でセル生産システムのロボット化も実現していたI D E Cは、その知見・ノウハウを基にして、セル生産のロボット制御化をビジネス化できないかを検討する。

(1) I D E Cによる「ロボット制御型セル生産システム」開発

I D E Cがビジネス化しようとした「ロボット制御型セル生産システム」はどのようなものであったのだろうか。

①セル生産システムのロボット化ニーズ

1990年代、円高により海外に量産機能が移転されると、国内工場は高付加価値品の多品種少量生産拠点に転換し、セル生産システムが大幅に導入された。セル生産は、少人数の作業者を囲むように機械や部品を限られたスペースに配置し、1人に複数の作業を割り当てて生産効率を高める手法であり、生産品目の切替えが柔軟に実行できるため多品種少量生産に適合したが、生産効率は個別作業者の能力に依存し、人間には腕が2本しかないため同時処理できる作業は限られた。多数の部品を要する、構造の複雑な製品になるほど、作業者の「手」が部品トレイと作業台の間を往復する回数・時間が増えてしまい、人には体力・気力等に限りあることから、生産効率改善には限界があった。

一方、1990年代の国内工場では、1980年代のFA化に引き続き、ロボット導入がグローバル製造企業により主導され、生産ラインの自動化による生産効率化が追求されたが、人手に依存するセル生産システムが生産ラインに混在すると、生産ラインの自動化率が低下し、折角の生産効率の改善効果も相殺されてしまう。このため、セル生産システムのロボット化が課題となり、1990年代半以降、IDECも自社工場のセル生産システムのロボット化に取り組み、5年間の歳月を費やして汎用多関節ロボットを応用したアSEMBル・ショップを開発、2000年に制御装置を製造する滝野事業所(兵庫県)に本格導入した。

②IDECのロボット制御型セル生産システム

IDEC汎用多関節ロボットを応用したアSEMBル・ショップとは、複数の「指」を持ち「千手観音」を思わせる多関節ロボットをセル生産システムに導入することで、セル生産を自動化し、生産効率向上を図る新機軸だった³⁰。

IDECによれば、2000年のアSEMBル・ショップ導入により、それまで人手では1個当たり数分かかったスイッチ・リレーの組立を90秒に短縮することに成功。その後の機構の軽量化や部品供給速度の向上等により、2005年には、部品点数14個の製品を18秒で生産できるようになり、2006年にはロボットハンドの樹脂化により動作速度を5%向上させ、セル生産の対象製品も2000年12種から180種に拡大することに成功する(日経企業活動情報2006年4月17日付)。

³⁰ 「千手観音ロボ」のメリットは以下三点に要約できる。

- ①ロボットハンドには保持具が最大8組装着、8種類の部品を一気に掴んで運び、組立可能
- ②保持具には、部品を外側から挟んでつかむ指、部品の内側から押し広げるようにつかむ指、部品を押し込むため1本指を装備。組立中の半製品を持ち上げて向きを変え、再び治具に固定するのが可能で、これらを使い分けて製品を組み立て。
- ③製品の種類に応じて、指先の大きさや数、その組合せが異なるロボットハンドを用意。アSEMBル・ショップの内部にロボットハンドの格納スペースを設け、ロボットが必要に応じてロボットハンドを交換(生産品目を短時間で自動切替え可能)。

(2) 「ロボット制御型セル生産システム」のビジネス化

① I D E Cオートメーションの設立

I D E Cが滝野事業所で行ったセル生産システムのロボット化は、2005年に「ロボット制御型セル生産システム」として、経済産業省主催の第1回「ものづくり日本大賞・優秀賞」を受賞する。この受賞を機として、I D E Cは自社工場におけるロボット制御型セル生産システムの開発成果をビジネス化すべく、2006年、工場の品質管理と製造工程の自動化を支援する完全子会社であるI D E Cオートメーション(資本金8000万円、従業員10名)を設立する。

現在と同様に、I D E Cは自動車関連メーカー向けにトレーサビリティ(生産履歴の追跡・管理)製品を開発・供給していたが(小形固定式2次元コードリーダー

「Matrix300N」等)³¹、I D E Cオートメーションは、まず自動車関連メーカー向けトレーサビリティ関連ビジネスからスタートし、順調な滑出しを見せる³²。

② 「ロボット制御型セル生産システム」関連ビジネス

I D E Cは自動車関連メーカー向けトレーサビリティ関連ビジネスの順調なスタートを見て、2007年よりI D E Cオートメーションに対し「ロボット制御セル生産システム」のビジネス化に着手させたが、事業の立上げは難航した。

第一に、「千手観音ロボ」とは、複数の指を持つ多関節ロボットであり、セル生産システムに実装することで、人手による複数の加工作業をロボットに代替できる新機軸だったが、I D E Cで制御機器・制御装置の製造を担う滝野事業所の生産ニーズ、生産ライン等に最適化されていたため、顧客の製造現場に導入するには大幅な手直しやカスタマイズが必要であり、一般商品化は時期尚早だった。

第二に、にもかかわらず「千手観音ロボ」の販売促進を進めるならば、I D E Cオートメーションは、滝野事業所に最適化されたロボットを千差万別な顧客メーカーの製造現場にカスタマイズする、難易度の高いロボット・インテグレーションをこなさなくてはならない。I D E Cは、自社からスピンオフする形でI D E Cオートメーシ

³¹ 自動車メーカー及び同部品メーカーでは、1車種に必要な3～4万点の部品のトレーサビリティを確保するため、部品にレーザでコードを印字しているが、金属部品のように光沢の強い部品の場合、照明の種類や設置条件でコードが不鮮明になりやすく、コードリーダーで読み取れないことがあり、自動車メーカー等は外乱光の影響を受けない位置までラインをずらしたり、コードリーダー専用の照明を用意したりしてきたが、問題解決できなかった。そこで、I D E Cは、8つのLEDを内蔵し、部品を8セクターに分けて照明の照度を最適化しコードを正確に読み取る「Matrix300N」等を開発。

³² I D E Cオートメーションは、自動車メーカー及び同部品メーカーが生産ラインに「Matrix300N」等を設置するのをサポート。元々、トレーサビリティ関連事業はI D E Cのトレーサビリティ製品部門が担当し、顧客メーカーが生産ラインにMatrix300N等を実装するに当たり、最適な製品選択と最適な製品設置方法について指導・助言。I D E Cオートメーションもシステム・インテグレータとしてMatrix300N等を実装するわけではなく、顧客メーカーがMatrix300N等を実装。目的はI D E C製品の販売促進。

ョンを設立し、工場の品質管理と製造工程の自動化に対する支援ビジネスを担わせたが、創業メンバーの10名の従業員には、FA化及びロボット化に関するビジネス実績はなく、IDECオートメーションは、FAシステム、ロボット・システムのインテグレーションを専門とする企業に匹敵できる知見・ノウハウを欠いた。

③ソリューション・ビジネス化の頓挫

とはいえ、2001年以降、円ドル相場が円安局面に移行し、2002年初～2008年初に力強さに欠けるものの景気拡大(いざなみ景気)が続いたことから、国内メーカーでは、シャープの亀山モデルに代表される国内生産回帰の動きが生じ、国内工場の生産能力増強が図られた。国内メーカーは、人手に依存するセル生産システムをロボット化し、人件費抑制と生産効率向上を図ろうとして、IDECのソリューションにも関心を寄せたことから、当初、IDECの試みは順調なスタートを切ったかに見えた。

ところが、IDECオートメーションが「ロボット制御型セル生産システム」ビジネスの立上げに苦戦している最中、2008年にリーマン危機が発生。急激な世界景気後退により、国内メーカーが設備投資を抑制し、不採算事業の大規模リストラに踏み切ったため、「千手観音ロボ」の販路開拓も、セル生産システムのロボット化に係るインテグレーション案件の開拓も破綻。結果的に、2009年、IDECはロボット制御型セル生産システムの事業化を断念し、「千手観音ロボ」販売とインテグレーション事業はIDEC本社に引き取り、IDECオートメーションを解散することとした。

(3)「ロボット制御型セル生産システム」関連ビジネスの頓挫事由

「ロボット制御型セル生産システム」ビジネスの立上げの頓挫は、リーマン危機に起因する世界景気後退による面もあるが、IDECの事業戦略や事業運営にも頓挫を招く原因が存在した。

①中途半端な「製造企業のサービス化」戦略

第一に、IDECは「ロボット制御セル生産システム」関連ビジネスの事業目的を曖昧にしていた。ジャンプ・スタートで、新製品である「千手観音ロボ」販売事業を立ち上げて収益確保を図るのか、あるいは、セル生産システムのロボット化に係るインテグレーション・ビジネスを立上げ、まだ完成品とは言い難い「千手観音ロボ」を一般商品に仕上げるための知見を得るのか、事業は戦略が定まっていなかった。

仮に、「千手観音ロボ」を特段の手直しやカスタマイズなしに顧客の生産ラインで活用できる一般商品に仕上げるための知見を得ることを目的とするのであれば、IDECオートメーションは、IDECの多関節ロボット生産開発部門と連携しつつ、「千手観音ロボ」の主要販路と想定する製造分野から企業を選定し、「千手観音ロボ」の一般商品化のためのアイデアを顧客との協働過程で計画的に学習することを目指さなければならぬが、この点、IDECは明確な方針・指示を下していない。学習には、顧

客との協働関係の構築、さらには、長期的な協働が可能なプラットフォームの制度化が必要であるが、I D E Cは有効に対応できなかった。

また、I D E Cが新たに収益事業を立ち上げる場合、「セル生産システムのロボット化」が適切な参入分野であったか、疑問である。I D E Cのコア事業は産業安全・機械安全に係る制御機器・装置の開発製造であり、同社の強みは産業安全・機械安全に関する知見・ノウハウにある。「ロボット制御型セル生産システム」はそもそもF Aシステム、ロボット・システム関連企業の専門領域であり、I D E Cの強みが必ずしも活かされない。この点、新たに未知の事業分野に参入するにもかかわらず、I D E Cの戦略的検討は十分でなかった³³。

②インテグレーションに係る経営資源・能力不足への対応不実施

第二に、I D E Cは、インテグレーション・ビジネスを本格推進するに当たり、経営資源・能力を補完するための取組を十分に行わなかったことが、「ロボット制御型セル生産システム」関連ビジネスの頓挫に繋がった。

前述のとおり、I D E Cは自社からスピノフする形でI D E Cオートメーションを設立し、工場の品質管理と製造工程の自動化に対する支援ビジネスを担当させており、創業メンバーには、F A化及びロボット化に関するビジネス実績はなく、企業には専業企業に匹敵し得るだけの知見・ノウハウが蓄積されていなかった。自社の中核事業から離れた事業分野に進出する場合、企業買収あるいは企業提携により経営資源補完を行うことも有力な選択肢であるが、I D E CはF A企業やロボット・システム企業の買収にトライしなかった。

F A、ロボットは一朝一夕にビジネス化できるものでなく、F Aビジネスは1970年代、ロボット・システム・ビジネスは1990年代、それぞれ事業化がスタートし、F A企業、ロボット・システム企業は長期間かけてシステム・インテグレーションに関する知見・ノウハウを蓄積してきた。そして、彼等も1990年代末からセル生産システムのロボット化に関心を持ち、ビジネス化に向けた取組をスタートしている。

こうした中、I D E Cが「ロボット制御型セル生産システム」関連ビジネスを「第二の収益源」に育て上げたいのであれば、新参のI D E Cオートメーションが古参の

³³ I D E Cのセル生産システムのロボット化のアイデアはF A化の最先端に行く試みではあったが、国内メーカーのF Aニーズの潮流を見誤った感がある。2000年代半以降、F Aでは、個別機械・設備の自動化に代わり、生産ライン単位での自動化が多品種少量生産への対応で最優先課題となっており、生産ラインの一部に過ぎないセル生産システムのロボット化は、生産ライン単位での自動化が解決した後に取り組むべき課題であった。また、2007年当時、生産ライン全体の自動化はアイデア、ソリューションが少しずつ登場し始めたばかりであり、全体像はまだ見えていなかった。取組の先頭を切るトヨタ・グループのD E N S Oも、ORiNをプラットフォームとして工場内のすべての設備・機械を接続する工場内管理システムを構築したばかりであり、2000年代かけて生産ライン単位の自動化を着々と進めた(榎本2019)。このため、顧客メーカーには、I D E Cの試みが時期尚早に映った可能性は否めない。

FA企業、ロボット・システム企業と対抗できるよう、システム・インテグレータを買収するなりして経営資源・能力を補完することを検討すべきであった。

4. 2010年代の「人と機械の協働」ソリューション

I D E Cが滝野事務所に導入したロボット制御型セル生産システムは「第1回ものづくり大賞・優秀賞」を受賞した先駆的なものだったが、本格的なビジネス化はリーマン危機により出鼻を挫かれた。2000年代後半以降、I D E Cは、世界経済が中国経済に牽引される形で力強く成長する中、海外市場開拓に注力し、中国等の成長の取込みを図るが、長期的な企業成長を達成するには、産業安全・機械安全に係る制御機器・制御装置製造事業等の成熟化について抜本的な対策が必要であった。

2010年代、製造企業では、世界経済成長に伴う製品需要の拡大と多様化に対応して変種変量生産の徹底が課題となり、“Smart Factory”など企業ITシステムによる生産ラインの自動制御化が推し進められた。その過程で「人と機械の協働」が生産ラインで進み、従来の「人と機械の隔離」を前提とする産業安全に変わる安全システムが必要となる。I D E Cはこれを新規事業分野開拓のチャンスと捉え、1990年代末と2000年代半の新規事業の立上げ失敗にも挫けず、サービス化への三度目の挑戦を行った。

(1) 「人と機械の協働」と新たな安全” Safety2.0”

①製造現場の「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」への転換

2010年代、中国等新興国経済に牽引される形で世界経済が力強く成長する中、先進国製造企業は受注量の急増だけでなく、製品のカスタマイズ要求の高まりにも直面し、企業ITシステムによる生産ライン自動制御化、すなわち”Industrie4.0”の言う「工場スマート化」に乗り出す。工場スマート化は生産のデジタル化と自動化を柱とするもので、ロボット化が生産性向上のため自動化とセットで追求され(ロボット革命)、その結果、従来は安全の観点から隔離されてきた人と機械が同一エリアで共存したり協働したりするようになり、製造現場の安全確保に見直しが必要になる³⁴。

我が国では、自動車生産の溶接・塗装工程、電気・電子生産の部品装填工程など、メーカー大手を中心としてロボット化が進められたが、第一に、部品供給等の準備工程(段取り)は依然人手による作業が中心であり、第二に、中堅・中小メーカーでは、部品加工・組立など大企業から下請けした、細かい労働集約的な作業が多かったため、全作業をロボットで代替することは難しく「人と機械の協働」は不可避だった。

また、我が国では少子高齢化により労働人口が減少に転じ、2010年代、特に「三品産業」(食品・化粧品・医薬品)で人手不足が深刻化。食品産業では、食品の製造工

³⁴ ロボット革命実現会議(2015)「ロボット新戦略」、N E D O(2015)「ロボット白書 2014」

程、弁当・総菜等の盛付け等のバックヤード工程は作業代替可能性・費用対効果から自動化が進まず、パート等の労働集約的作業に依存してきたものの、2010年代後半、パート労働が確保できない事態に陥りロボット開発・導入が急務となった。かかる事情により、我が国の製造現場では「人と機械の協働」が急速に常態化した³⁵。

②製造現場における安全確保のパラダイム転換

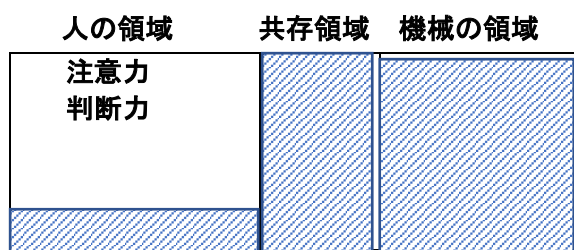
従来、製造現場での安全確保は人の注意力・判断力に依存したが、人の注意力・判断力には限界があり、機械エリアは危険度が高かったため「人と機械の隔離」が原則とされてきた。人と機械の活動領域は完全に分離され、人が誤って機械エリアに入り込まないように機械を柵で囲む等の防護措置が採られ、I D E Cも「人と機械の隔離」を前提として制御機器・制御装置等を開発してきた。

しかし、上述のように、2010年代、生産性向上と人手不足対策のため、人手に依存する生産工程への機械(ロボット)導入が進み、人と機械が協働する環境が増えると、人と機械を隔離して安全確保する代わりに、人と機械の協働を前提として安全性を如何に保つかに、製造現場における安全確保の考え方が転換する(Safety 2.0)。I D E Cはこれを自社の強みを活かして新規事業分野を開拓できる好機と捉え、「人と機械の協働」を前提とした制御機器・装置の開発に取り組んだ。

I D E Cの認識では、これは第2次産業革命以来の産業安全・機械安全のパラダイム・シフトであり、単に新製品なり新規ソリューションを事業化する好機というだけに止まらず、自社ビジネスをそもそも根底から変革しなければならない可能性も秘めた出来事と捉えるべきものであり、同社としては、製品・ソリューション開発の次元を超えてビジネス・モデルの次元での変革も含めた対応を採ることとなった³⁶。

図3 Safety 概念の発展

Safety0.0 人による安全

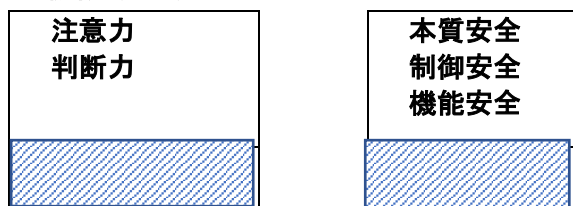


→人の領域にもリスク、人と機械の共存領域はリスク、機械の領域はリスク

³⁵ 経済産業省(2019)「ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性」

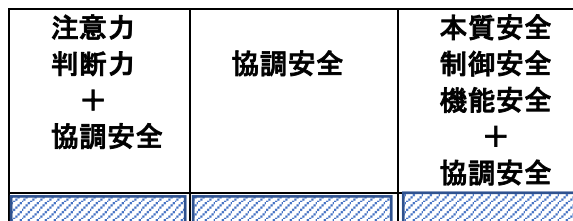
³⁶ 今後も、「人と機械の隔離」を前提とする制御機器、制御機器組合せ制御装置、防爆・防災機器等に対する需要が無くなるわけではなく、I D E Cにおいても、同製品の開発製造は重要な事業領域であり続ける。一方、同事業は市場成熟期に入っており、少なくとも先進国市場では成長を期待できない。新興国市場は、今後の成長過程で「人と機械の隔離」を前提とする制御機器・制御装置等への需要が拡大すると見込まれ、I D E Cも2010年代に新興国等への事業展開を急いだが、新興国メーカーがコスト競争力を武器に挑んでこない保証はなく、I D E Cといえども安泰ではない。

Safety1.0 人と機械それぞれによる安全



→人の領域にもリスク、人と機械の共存領域を撤廃、機械の領域にもリスク

Safety2.0 人と機械の協働による安全



→人の領域のリスク最小化、人と機械の共存を可能に、機械の領域のリスク最小化

(出所) 日経テクノロジー (<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/column/15/335160/021700004/?ST=tomict&P=2>) に基づき筆者作成

(2) 最初のヒット商品とその限界

とはいえ、直ちに「人と機械の協働」が I D E C の安全関連制御機器・装置ビジネスに変革をもたらしたわけではない。I D E C は「人と機械の協働」に関連して早速ヒット商品を生み出すが、それは過去の蓄積に基づくものだった。

1990 年代半以降 I D E C は「セル生産システムのロボット化」に取り組み、2000 年に滝野事業所にロボット制御型セル生産システムを本格導入したが、その過程で、セル生産のロボット化が「人と機械の協働」の問題を惹起することを認識し、「人とロボットの協働環境で如何に安全を図るか」をテーマとして意識し、2011 年に「3 ポジション・イネーブル・スイッチ」の製品化に漕ぎ着ける。

一見、自動化された生産設備は人の介在が不要と思われるが、設備の立上げ・変更時、ロボットのティーチング作業時には、人が安全柵内(危険区域)に入り、ロボット・アームなど可動部の近くで手動運転を行わなければならない。3 ポジション・イネーブル・スイッチは、ロボットのティーチング・ペンダントなど携帯型操作機器に組み込まれ、人が機械の手動運転を許可したり、人に危険が迫った場合、咄嗟の反射反応により運転許可を取り消して機械を停止させたりするための装置である。

一般的なスイッチのボタン操作がオン/オフの 2 段階であるのに対し、I D E C の 3 ポジション・イネーブル・スイッチは、オフ/オン/オフの 3 段階を設定。ボタンから手を放した状態(オフ)とボタンを押し込んだ状態(オン)に加え、更にボタンを押し込んでもオフになる機構を採る。予期せぬ危険に遭遇した場合、人は反射的に手を放すか、手を握り込むが、作業者がいずれの反応を示すかは予想不能できないため、い

ずれの場合でも機械を停止できるよう、3段階のオン/オフ設定を採用した。

「コロンブスの卵」のようなアイデア商品であるが、2010年代、3ポジション・イネーブル・スイッチは、世界市場でロボット出荷台数の伸びを上回る出荷を記録したヒット商品となり、IDEC推定で世界シェア90%を占め、同社の業績に大きく貢献した。しかしながら、3ポジション・イネーブル・スイッチは従来の「人と機械の隔離」を原則とする安全環境での利活用を想定していた製品であり、「人と機械の協働」に転用したところ大成果を収めたに過ぎず、「人と機械の協働」環境における安全確保に関して新しいコンセプトを得て、新たに開発したヒットした商品ではない。

2010年代前半時点では、「人と機械の協働」に伴い、製造現場の安全環境がどのように変化し、製造企業が生産性向上に配慮しつつ、安全確保のため如何なる措置を採るべきか等について知見は蓄積されておらず、まずは「人と機械の協働」環境における安全確保についてニーズを把握し、(製品単品の提供による一部問題の解決ではなく)製造現場全体の安全に関するトータル・ソリューションを考え、次に、そのソリューションの実行に必要な製品及び製品群の開発にあたる必要があったが、IDECの課題はそのプロセスを事業フロー化し、事業遂行上の制度化するかであった。

(3) 先進的サービスを通じた脱市場成熟化への取組

IDECは2000年代半以降グローバル展開により中国市場等の成長を取り込むことで企業成長を目指したが、コア事業の成熟化は、海外市場開拓により問題を一時的に棚上げできても、早晚、向き合わざるを得なかった。「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」への産業安全・機械安全のパラダイム・シフトは、制御機器・装置ビジネスのコモディティ化を打破する絶好のチャンスでもあり、IDECは、「人と機械の協働」環境における安全確保に関し、安全ソリューション提供というサービス化を通じて、顧客とともに「人と機械の協働」環境における安全ニーズを発見・認識し、新たな知見・ノウハウを獲得することで、差別化製品・技術を産み出し、新規事業分野開拓を目指す戦略的決定を行う。また、ソリューションの本格的ビジネス化に伴い、単品ビジネスから製品群ビジネスへの発想転換、ソリューションのモジュール化、独立専任組織の設置など新規事業分野の確立に向けて新機軸を打ち出す。

① 「単品」ビジネスから「製品群」ビジネスへの発想転換

差別化は、製品単品だけではなく、製品の組合せ(製品群)によっても実現され、顧客ニーズへのきめ細かい対応、ライバル企業の模倣防止の観点からは、後者による差別化の方が優れている。

IDECの3ポジション・イネーブル・スイッチは世界的なヒット商品となったものの、製造企業が製造現場の「人と機械の協働」化により直面する安全確保の問題に関して対応できる範囲は限られるが、顧客が求めるのは「人と機械の協働」化に伴う安全確保に関するトータル・ソリューションである。IDECは産業機械・機械安全

に係る制御機器・制御装置等の専門メーカーであり、元々、安全関連製品について他社の及ばない広範なラインアップを誇り(参考1)、「人と機械の協働」に起因する様々な安全問題に関し、自社製品を組み合わせる最適なソリューションを作る能力を有してきた。そこで、IDECは「人と機械の協働」に関連して、顧客が製造現場での安全確保に必要とする製品をワンストップ提供できる企業を目指した。

その前提として、IDECが、顧客の「人と機械の協働」環境における安全ニーズを把握し、自ら製造現場における安全確保のためのトータル・ソリューションを開発することが必要となる。改めてIDECは「人と機械の協働」に関連して安全確保ソリューションのビジネス化に取り組むこととし、ソリューション提供を通じて顧客ニーズを把握し、顧客と協働することで得た知見・ノウハウを製品開発に活用、「人と機械の協働」環境における安全確保にトータルに対応する「製品群」を構築しようとした。

②「製品」組合せから「モジュール」組合せへの進化

また、「人と機械の協働」環境における安全確保上、顧客の製造現場に対応して製品の組合せを一つ一つ考案してカスタマイズしなければならないとすると、安全関連ソリューションは高コストというだけでなく、あまりにも複雑かつ煩瑣であり、ビジネス化が困難となる。そこで、ソリューションをモジュール化し、顧客の製造現場に対応してモジュールを組み合わせれば安全確保できる工夫が求められることとなる。

「ロボット革命」では、自動化とロボット化の遅れていた中堅・中小メーカー、「三品(食品・化粧品・医薬品)産業」へのロボット導入が課題だったが、中堅・中小メーカーの製造現場は自動車・電機産業の大手グローバル・メーカーとは比較ならない多様なものである。また、食品メーカーが、食品の製造工程、弁当・総菜等の盛付け等のバックヤード工程のうち、いずれの工程を選んでロボット導入するかは、作業代替可能性・費用対効果次第であって一律に決定できない。その結果、「人と機械の協働」環境における安全確保に関しては、製造現場の複雑で多様な状況への対応が求められ、安全関連ソリューションのモジュール化がますます要請された。

モジュール化は机上で考えるだけでは実効的な解は得られない。IDECはソリューション・ビジネスに取り組む過程で得た知見・ノウハウをソリューションのモジュール化にも活用し、モジュールを組み合わせ、千差万別な製造現場の「人と機械の協働」関連安全ニーズに応える体制を現在整えようとしている。

③ソリューション・ビジネスの独立専任組織

「セル生産システムのロボット化」に関するソリューション・ビジネスに関して、IDECはIDECオートメーションという独立専任組織を設立したものの、自社がFAシステム、ロボット・システムのインテグレーションに関する経験・ノウハウに不足することを軽視した結果、ビジネス立上げに失敗している。

「人と機械の協働」に係る安全ソリューションは、IDECがコア事業で蓄積して

きた産業安全・機械安全に関する知見・ノウハウが活かせるビジネスであるが、I D E Cは「セル生産システムのロボット化」での失敗を反省し、インテグレーション・ビジネスに要する資源・能力の獲得のため、2014年5月、制御ソリューション・ビジネスを展開するコーネット(愛知県一宮市)及びコーネットシステム(同)を企業買収により完全子会社化、ソリューション・ビジネスを担わせることとした。

I D E Cの元々のアイデアでは、ソリューション・ビジネスの遂行には、システム・インテグレーションの能力と経験が必要であり、コーネットの完全子会社化は社内に不足する経営資源・能力を補完することを意図したものだが、以下(4)(5)に示すとおり、「人と機械の協働」安全へのパラダイム・シフトを契機とするI D E Cの制御機器・装置ビジネスの革新において中核的な役割を果たすこととなる。

(4) I D E Cによるシステム・インテグレータ子会社化

①コーネットの企業概要

コーネットは1972年に名古屋で設立されたコーセイ電機に起源を有し、顧客の集中制御・分散制御ニーズに対応して産業用機械等の制御盤・操作盤の一品設計・製作、ワイヤーハーネスを顧客(ダイフク、中立電機、古川製作所、サンワテクノス、N T N、日立ハイテクノロジーズ等)の求めに応じて一品生産してきた。

1980年代のF A化の動きに対して、コーネットはP L C (Programmable Logic Controller)ラダー設計技術を学習、制御盤・操作盤のカスタマイズ製作・機内配線・工場設置から、生産ライン自動化に対応したP L Cのカスタマイズ製造に事業拡大。同時に、P L Cのカスタマイズ能力を活かして、顧客の求めに応じて、三菱電機、オムロン等のP L Cの異なる(すなわちP L Cが連動して動くよう調整する必要がある)工作機械・搬送装置・周辺装置が、一つの生産ラインで協働するよう仕上げるシステム・インテグレーションも手掛けるようになる。

図4 コーネットのカスタマイズP L Cによる生産ライン自動化ビジネス



(出所) I D E Cファクトリーソリューションズ・ホームページ

1990年代、国内メーカーが工場へのロボット導入に取り組むようになると、コーネットも制御盤・操作盤、P L C等のカスタマイズ能力を活かし、自動車・半導体製造

分野においてマテリアル・ハンドリング系を中心としたロボット・システム・インテグレーション事業に進出する。パナソニック、日立ハイテクノロジーズ等を顧客として、半導体工場の自動搬送装置の制御、稼働モニタリングなど各種制御ソフト開発にも携わり、ロボット・システムを含む生産ライン全体の制御ノウハウを蓄積した。

2000年代、同社は顧客メーカーのアジア生産展開に対応すべく2004年に台湾科奈徳股份有限公司を設立し、2008年には、顧客の工場遠隔操作ニーズに応じて、携帯電話通信網を利用してPLCを遠隔監視・リモート制御する遠隔監視機器(ModuCon Remote)を開発・製品化するなど、技術革新に取り組んだ。

② I D E Cのコーネット選択理由

I D E Cは1990年代末、2000年代半の2回に渡りソリューション・ビジネスに挑戦してきたが、1990年代初の挑戦では、ソリューション・ビジネスを担当する専門組織が設立されず、顧客対応が不十分だったことから、取組は頓挫。2000年代半のセル生産システムのロボット化ソリューションでは、I D E Cオートメーションを専任機関として設立したものの、同社にはソリューション・ビジネスに必要な資源・能力の蓄積がなかったため、事業化を断念している。I D E Cは2回の失敗を踏まえ、「人と機械の協働」ソリューションに関しては、ライン・ビルダーを企業買収し、専任機関として事業を担わせることとした。

ただし、ライン・ビルダーであれば、誰でもよいわけではない。I D E Cは「人と機械の協働」の観点から、新たな産業安全・機械安全に係る制御機器等の事業を目指したが、顧客の生産ラインを構成する機械・システムに自社制御製品を実装し、個別工程で安全確保を実現すれば終わりというのではなく、生産ラインが制御製品の実装後も一体として効率的に作動するよう手当する必要がある。人手による工程とロボット化された工程を如何につなぐか、人とロボットの協働する工程において安全性確保と生産効率性を如何に両立させるか等を解決しなければならない。それには、制御分野でのインテグレーションの経験・ノウハウとソフトウェア開発能力が必要となる。

コーネットはPLC等制御技術に強みを持ち、顧客の生産ラインの自動化とロボット化に取り組んできたシステム・インテグレータである。インテグレータの多くは、工作機械・搬送装置・周辺装置を組み合わせて生産ラインを構築するに止まり、顧客ニーズへの対応に欠かせないソフトウェア開発能力を兼ね備えてはいないのに対し、コーネットは、PLC・制御盤・操作盤等の制御機器をソフトウェアともどもカスタマイズ製造し、顧客工場の生産ラインに実装して、顧客の制御ニーズにきめ細かく応えてきたが、I D E Cはこれを評価し、コーネットをパートナーに選択した。

(5) I D E Cの差別化能力の回復と新規事業分野の創造

2010年代、ロボット・メーカー各社がセル生産関連ロボットを開発・製品化し、

「工場スマート化」により生産システムの一層の自動化が進められる過程で「人と機械の協働」が進んだ。「人と機械の隔離」による安全確保については産業革命以来 200 年の知見・ノウハウの蓄積があるものの、そこで確立された一般原則を崩す「人と機械の共存」「人と機械の協働」における安全確保には、個別企業、個別現場により異なる、無数の例外状況への対応が求められた。I D E C は「人と機械の協働」環境における産業安全・機械安全ニーズを把握し、そのニーズに対応する製品群を開発するだけでなく、製品を組み合わせたモジュールを開発し、モジュールの組合せにより、顧客の製造現場の多様な安全ニーズに応えようとした。

①ソリューション・ビジネスの本格的展開

「人と機械の協働」環境における安全確保は、1990 年代以降ロボット化に取り組み無人化の進んだグローバル・メーカー以上に、中堅・中小メーカー、食品・化粧品・医薬品等の機械化の遅れたメーカーにおいて深刻な課題となった。皮肉にも自動化の遅れがロボット導入により直ちに「人と機械」の混在につながった。中堅・中小メーカー等は「ものづくり現場」の自動化・ロボット化に関して、高価なロボット及びロボット・システムの購入に二の足を踏む経営者が少なくなく、ましてや企業収益に短期で直接的な貢献の認めにくい安全投資には消極的であった。

中堅・中小メーカーにおける安全関連投資の促進のため、2016 年 8 月、I D E C はコーネットにおいて「協働安全ロボ・レンタル事業」を立ち上げる。これは、ロボット導入により削減できる人件費相当額まで、月次のレンタル額を抑えて、経営者のロボット導入を容易にする工夫を加えた事業であり、レンタル事業の立上げと同時に、I D E C はコーネットの社名を I D E C ファクトリーソリューションズに変更、I D E C グループとしてソリューション・ビジネスを展開していく意思を明確化する。

レンタル事業に引き続き、I D E C は 2016 年 9 月に愛知県一宮市に「協調安全ロボットテクニカルセンター」を開設、主に中小企業を対象として、(a) 生産ラインのロボット導入に伴い、「人と機械の協働」環境における安全を如何に確保するか、(b) 安全確保と同時に生産性向上のために「協働ロボット」を生産ラインに導入するか等をコンサルティングしつつ、個別の事情に応じてソリューションを設計し、顧客に提案。顧客と協働してプランを確定し、顧客の製造現場において「協調ロボット」及び安全関連製品を実装して、「人と機械の協働」環境における安全性の確保された生産ラインをインテグレーションするビジネスをスタートする。

I D E C のセールス・ポイントは生産ラインのロボット化に伴う「人と機械の協働」環境における安全確保であるが、顧客は安全確保に以上に、企業業績に直結する生産性向上に関心を寄せている。I D E C は、センターに、三菱電機、Fanuc 等ロボット・メーカー各社のロボットを取り揃え、顧客工場の生産ラインの安全確保と同時に生産性高効率化についても顧客が検討検証できるよう、各機の性能・特性を比較しな

がら、顧客ニーズに最適化した「協働ロボット」システムをどのように構築するかを展示。また、顧客メーカーが自社の商材を持ち込んで実証試験を行うことも可能として、中堅・中小メーカー、食品・化粧品・医薬品の誘引を図った。

I D E Cによれば、「協調安全ロボットテクニカルセンター」における顧客企業との活動は、I D E Cと顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」であり、I D E Cファクトリーソリューションズにより恒常的に運営管理された「プラットフォーム」を通じてI D E Cは顧客との協働関係を深めた。

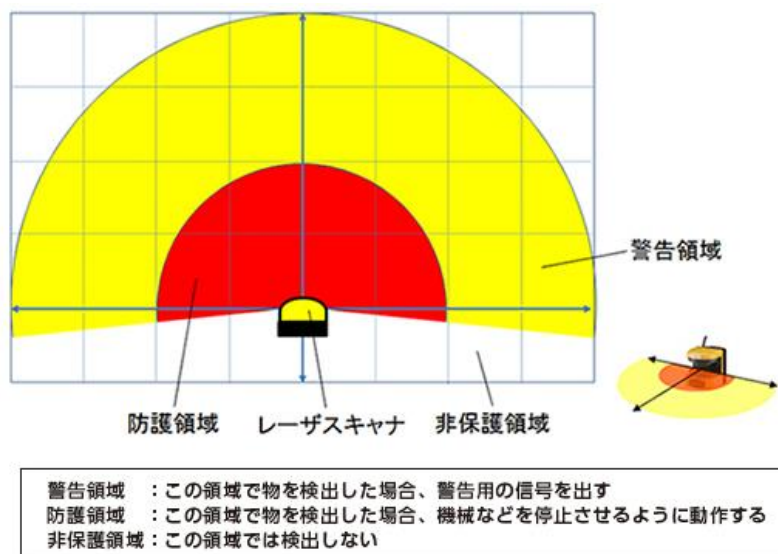
②「人と機械の協働」関連製品群の構築

I D E Cは、I D E Cファクトリーソリューションズのソリューション・ビジネス能力とイニシアティブに期待し、センター運営を一任。I D E Cファクトリーソリューションズは、ロボット各社の協調ロボットだけでなく、I D E C製の制御機器・装置、防爆・防災機器等も組み合わせたソリューション提案を行い、顧客の製造現場でシステム・インテグレーションを実施。「人と機械の協働」に関する顧客ニーズを開拓するとともに、I D E C製品の用途・事業可能性を探索し、I D E Cにフィードバックした。

それを踏まえ、I D E Cは「人と機械の協働」に係る安全関連機器を「非常停止用押ボタンスイッチ」「安全スイッチ（ロック無し及びロック付きタイプ）」「非接触安全スイッチ」「3ポジション・イネーブル・スイッチ」「セーフティ・ライト・カーテン」「セーフティ・レーザ・スキャナ」「強制ガイド式リレー」「安全リレー・モジュール／セーフティ・コントローラ」に整理し、機器毎にアプリケーションの明確化と拡充を図る。

例えば、セーフティ・レーザ・スキャナとは、生産現場で人が危険な機械や設備に近づいたことを検出する安全機器であり、人がレーザ・スキャナの警告領域に進入すると、ブザー音や表示灯の点灯・点滅を通じて人に注意を促し、人がさらに警告領域内側の防護領域に進入すると、機械の起動許可信号をオフにして機械を停止させる機器である。

図5 レーザ・スキャナ



(出所) I D E C 資料

元々、安全柵内の人の存否については、ライト・カーテン(防護扉のない出入り口における人や物の通過を光線によって検出する安全装置)やマット・センサに頼っていたが、前者は人の侵入時や退出時の検出はできるが、存在検出ができず、後者は存在検出ができるが、重量物が乗ると破損しやすく、重なると誤検出する問題点があった。顧客ヒアリングと製造現場の確認により、I D E Cでは、柔軟に設置状況に合わせて危険領域を監視できるセーフティ・レーザ・スキャナ(長距離検出により人の存在検出でき、非接触なため故障の懼れなし)を開発し、安全柵内を含む危険エリアへの人の存否を検出し、自動的に危険警告・機械停止できるシステムを開発した。

I D E CはI D E Cファクトリーソリューションズのソリューション提案を通じてレーザ・スキャナのアプリケーションを拡充。セメント工場では、セメント袋をベルトコンベアで運び、パレタイジング・ロボットでパレットに積み上げた後、フォークリフトで工場から搬出。通常、人との衝突事故を防ぐためパレタイジング・ロボットとベルトコンベア、パレットは防護柵で囲むが、フォークリフトの出入り場所は、パレットの搬出入のため柵を設置できず、扉を安全対策として設置してきたが、扉の開閉に手間と時間がかかり生産効率が低下していた。I D E Cはセーフティ・レーザ・スキャナを設置することで、扉を設置せずとも、防柵内への人の侵入を確認し、パレタイジング・ロボットを自動運転停止することを可能とした。また、自動倉庫も周囲は安全柵に囲まれているが、荷物の取出口は安全柵が低いため人が侵入でき、スタッカー・クレーンに接触するリスクがあった。セーフティ・レーザ・スキャナの活用により、腕・足がエリアに入っただけで検知し機械停止でき、自己の確実な防止が可能となった。

以上、I D E Cは「人と機械の協働」に係る安全関連機器をカテゴリーに分類した

上で、カテゴリ毎に、ソリューション・ビジネスを通じて把握した顧客ニーズに対応できる新製品を開発し、開発製品を改めてソリューション提供において利活用することで、アプリケーションの開発と拡充に取り組んだ。

このようにIDECは伝統的な「単品」ビジネスではなく「製品群」による価値提供を目指したが、IDECファクトリーソリューションズでは、IDECの安全関連機器のラインアップの拡充とアプリケーションの豊富化を土台として、ソリューション・ビジネスにおいて、更なる安全関連機器の組合せと顧客課題解決の可能性を探索。IDECはIDECファクトリーソリューションズの探索成果を踏まえ、改めて製造現場別・製造工程別・業種別に、「人と機械の協働」に係る安全ソリューションを体系化し、顧客、製造現場等により千差万別な「人と機械の協働」環境における安全確保にトータルに対応できる力を涵養した。

③モジュール化に向けた取組

「人と機械の協働」環境における安全確保のため、顧客の製造現場毎にソリューションを「一品作り」していると、安全ソリューションは高コストというだけでなく、あまりにも複雑かつ煩瑣となるため、ソリューションのモジュール化が要請される。

前項②で概観した「人と機械の協働」に係る安全関連機器のカテゴリ化とアプリケーション整理、それを踏まえた安全ソリューションの製造現場別・製造工程別・業種別の体系化は、実はIDECのソリューションのモジュール化に向けた取組でもある。まず、IDECは自動車・工作機械・半導体メーカー等の伝統的な顧客、食品・化粧品・医薬品メーカー等の新規顧客に共通適用できる基本ソリューションを抽出。顧客の製造現場における安全確保には、基本ソリューションの組合せにより対応しつつ、業種の違い、製造現場に固有の事情等により個別対応が必要となる場合は基本ソリューションをカスタマイズして対処することとした。

また、IDECは、「人と機械の協働」に関する提言” Safety2.0” をベースとして、製造現場等における安全性と生産性の最適度を示す指標CSL (Collaborative Safety Level)を開発。「人と機械の隔離」に基づく安全は、産業革命以来の知見・ノウハウの蓄積により体系化され、安全法規・安全規格も定められているのに対し、「人と機械の協働」環境における安全は、ロボット革命以降、急ぎ知見・ノウハウを蓄積している状況にあり、安全確保策も体系化に向けて試行錯誤中である。” Safety2.0” は現場レベルでの安全基準とするには概括的に過ぎるため、IDECはCSLにより製造現場の「人と機械の協働」に係る安全レベルをチェックし、安全確保に不足している要素はないか、安全確保改善のために取り組むべき事項はないか等を検証することとしているが、さらに、CSLを安全確保に必要なモジュールは何か、モジュールを如何に組み合わせるかを判断するのにも利用している。

表4 IDECによる“Safety2.0”の体系化

Safety2.0 要求事項	CSL (Collaborative Safety Level) 要求事項			
	CSL1 人の行動エリア内で、危険事象回避が可能となる手段を確保する	CSL2 人の情報を活用し、危険事象を回避するように機械を制御する	CSL3 CSL2に加えて、機械からの高度な情報により、人に行動を促すことによっても危険事象を回避可能とする	CSL4 人と機械の状態を最適な安全状態となるよう、リアルタイムに制御する
人・モノ・環境等の各構成要素を情報(ICT)でつないでいる	人の情報をモノに伝達	人・モノ接続により、モノに人の情報を伝達し、機械を制御	人・モノ接続により、人にモノの状態を伝達し、人の回避行動を促す	人・モノ（および環境）接続により、相互状態の最適化を制御する
リスク関連情報（危険・安全情報）をモニタリングし、発信している	危険情報のモニタリングと情報発信	人の行動、状態の発信により、人のリスクを確認（低減）する	モノの動作情報、蓄積情報を発信し、機械のリスクを確認（低減）する	人・モノ・環境を含めた様々な要素のリスクを共有・確認（低減）する
リスク関連情報を受けて自律的、あるいは他律的な制御により安全側に導いている	人の行動・操作（他律制御）により危険事象を回避する	関係する人の行動・操作（他律的制御）、状態確認（自律的制御）により、モノが危険事象を回避するよう制御する	モノの動作情報、蓄積情報を発信・解析し、人の操作（他律的）、機械の制御（自律的）により人が危険事象を回避するよう導く	人・モノ・環境を含めた様々な要素を分析、学習し、最適なリスク低減を実施しつつ、自律的に危険状態を回避する
生産性への貢献度	新規設備の場合：目標生産能力の実現、もしくは能力の向上 既存設備の場合：生産能力の維持、もしくは能力の向上			
通信/制御技術	信号レベル	データ通信	インタラクティブな通信双方向	AI活用

(出所) IDEC資料に基づき筆者作成

ソリューションの開発及びモジュール化は、顧客とのコンサルテーション等を通じて把握された安全ニーズ、顧客との協働を通して獲得された知見・ノウハウに依存する面が大きい。一方では、現場発の知見・ノウハウに依存し過ぎると安全確保に偏りや見落としが発生する危険もある。このため、IDECは、ソリューションのモジュール化において、IDECファクトリーソリューションズがソリューション・ビジネスを通じて把握したニーズや獲得した知見・ノウハウのみに依存せず、「人と機械の協働」環境での安全を体系整理したCSLを参照しつつ、客観的視点から検討を進めている。

④新規事業分野の確立

IDECは、産業安全等の「人と機械の協働」へのパラダイム・シフトに直面して、ソリューションを通じて差別化能力を回復し、再び競争優位を再構築しようとし

ているが、先行する1990年代末と2000年代半の2回の取組と異なり、2010年代のサービス化においては、戦略目的を明確化し「製造企業の脱成熟化」とする。

I D E Cは、「人と機械の隔離」から「人と機械の共存」への産業安全のパラダイム・シフトを新規事業創造のチャンスと捉え、新たな安全の在り方を具体化し、その実現に必要となる安全関連製品とアプリケーションをいち早く開発することで(製品イノベーション)、市場成熟化で浸食された競争優位を改めて回復しようとしている。

戦略目的の明確化を受けて、I D E Cは「人と機械の安全」関連ビジネスにおけるソリューションの位置づけを、先行する2回のサービス化の取組と異なり、顧客ニーズを把握し、顧客との協働で得た知見・ノウハウを製品開発に活用するためのツールとして位置づけた。その上で、F A、ロボット・システムの専門インテグレータを企業買収し、顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関として位置づけ、顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築、製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームを専管させる。

I D E Cは、I D E Cファクトリーソリューションズのソリューション・ビジネスを通じ、「人と機械の安全」環境における安全ニーズを把握し、製造現場の安全確保のためのソリューションの基盤となる製品群を開発、顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化を推し進めた。さらに、I D E Cは単一製品だけでなく複数製品の組合せによる安全確保メニューの拡充に取り組み、C S Lのような独自の安全基準を制定してソリューションのモジュール化にも着手。製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化は、I D E Cファクトリーソリューションズが顧客と協働してソリューション開発・実行に取り組む過程で得た知見に基づき進められ、ライバル企業が簡単に模倣できないものに仕上げられてきた。

I D E Cのサービス化を通じた脱成熟化と差別化能力回復の成果は、同社の業績に表れている。I D E Cの伝統的なコア事業はスイッチ、インダストリアル・コンポーネント、オートメーション・センシング等の制御機器、制御機器組合せ制御装置等であり、表2の太線枠部分に見るようにI D E Cの売上高において7～8割のシェアを占めているが、シェアの推移を子細に見ると、I D E Cが「セル生産システムのロボット化」「人と機械の協働」関連事業に乗り出すや、伝統的部門の売上高に占める割合は2014年度83.6%、2015年度72.2%、2016年度68.0%と低下したのに対し、「人と機械の協働」関連安全事業など新規事業分野を含む部門(表5の点線囲み部分)の売上高シェアは2014年度16.0%、2015年度21.3%、2016年度24.4%と急増している。

表5 IDECの事業部門別売上高の推移

	スイッチ	インタリアル コンポーネント	オートメーション/ センシング	安全 防爆	シス テム	その他	総計
2014	125	114	61	47	10	11	363
2015	129	114	62	48	21	42	422
2016	129	106	61	53	28	53	435
2017	282	113	82	64	29	58	598
2018	297	114	88	69	33	27	628
2019	273	103	90	67	29	22	584

(出所) IDEC「データブック 2021」より筆者作成。

もっとも、IDECは2016年12月に仏スイッチ・メーカーAPEM社を買収したため、スイッチ事業など伝統的部門の売上高が2016年度296億円から2017年度477億円に一気に増え、新規事業部門の全売上高に占めるシェアが一気に低下している。しかしながら、金額ベースでは、安全・防爆事業の売上高は「人と機械の協働」関連安全事業の伸びを反映して、2016年度53億円から2017年度64億円、2018年度69億円と着実に成長した。2019年度には、安全・防爆事業の売上高は▲2億円となったが、同年度は全売上高が対前年度比▲7.0%を記録しており、そうした中で対前年度比▲2.9%に減少幅が抑えられている点は評価すべきであろう³⁷。

5. IDECのサービス化の取組に関する分析

(1) はじめに

1990年代末以降、IDECはコア事業のコモディティ化に直面し、サービス化を通じた脱市場成熟化を1990年代末、2000年代末、2010年代の3次に涉り試みた。3回のサービス化の取組は目的、事業内容、事業化戦略等で性格的に異なり、これらの特徴が取組そのものの成否と関連していることから、同一企業の事例ながら、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションと脱コモディティ化(競争優位の再構築)のプロセス、メカニズム等について、3事例の比較研究は有意義な示唆を与えてくれることが期待される。

第2章では、先行研究における議論を概観した。従来の研究は、市場成熟期にある製造企業がサービス化を通じて製品イノベーションを起こして脱市場成熟化を実現する、Wise and Baumgartner (1999)等の期待した取組に関する研究蓄積には乏しいが、Matthyssens and Vandenbempt (2008)等は「市場成熟化と脱成熟化の循環モデル」を

³⁷ 表5「その他」には「人と機械の協働」ソリューションが含まれるが、2018年度以降の売上高の大幅減は環境関連事業の大幅減によるもので、「人と機械の協働」ソリューションは中堅・中小メーカーへの売上増により着実に増えている。

提唱しサービス化を脱市場成熟化戦略に位置づけており、彼等を踏まえたSalonen, Saglam and Hacklin(2017)等は事例研究により「革新的ソリューションによる課題解決→顧客関係緊密化による新たなニーズ発見・認識→発見・認識したニーズに基づく製品イノベーション」という市場誘導型イノベーションをモデル提示している。

そして、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションのプロセス、メカニズム等に関する研究蓄積は乏しいものの、ソリューション研究には、サービス化を通じたソリューション・イノベーションに関する研究蓄積があり、「顧客との長期に渉りリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が、製造企業の顧客ニーズ理解の深化と市場誘導型イノベーションにも重要な役割を果たし得るのではないかという示唆が得られた。

以下、制御機器メーカー I D E C の 1990 年代末、2000 年代末、2010 年代の 3 次に渉るサービスを通じた市場誘導型イノベーションへの取組について、第 2 章で概観した先行研究における議論を参照しつつ分析を行う。

(2) I D E C の 3 次 の サービス化 の 比較

すべての議論は事実からスタートする。1～4にて詳論した、I D E C による 1990 年代末、2000 年代末、2010 年代のサービス化の取組について、事実を対比しつつまとめてみよう。

本論は、総合工作機械メーカーによる、“Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションと脱市場成熟化(差別化能力に基づく競争優位の再構築)を事例研究することで、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションと脱市場成熟化のプロセス、メカニズム、主要変数等を解明せんとするものであるが、本番研究に先立ち、産業安全・機械安全関連制御機器・装置メーカーの I D E C を対象として探索研究を行っている。

そして、本論研究は(i)製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii)製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii)顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのを解明せんとするものであるが、この趣旨・目的は本番研究だけでなく探索研究にも共通であり、I D E C の 3 次 の サービス化 の 取組を比較考察する上でのポイントとなる。

ここでは上記(i)～(iii)の3点に即して事実を比較して行くが、1990年代末、2000年代末、2010年代のサービス化を通じたイノベーションについて、まずはサービス化の目的・内容、サービス化の役割及び成果を対比表化すれば以下表6の通り。

表6 IDECの3次のサービス化を通じたビジネス革新の取組

	1990年代末	2000年代半	2010年代
目的・内容	<p>19世紀来の「人と機械の隔離」に基づく産業安全が技術的に完成状態。安全関連制御機器・装置の基本コンセプト・使用方法も成熟。製品・技術の成熟化により製品イノベーションは斬新的。</p> <p>成熟産業の性格を反映して、販売・サービスは代理店制に依存。制御機器・装置メーカーは顧客ニーズ等を代理店経由で間接把握。</p> <p>サービス化では、市場成熟化打破のための画期的なイノベーションを模索(2010年代と異なり産業安全のパラダイム・シフト等の具体的な背景なくイメージ・ゼロの模索)</p>	<p>「人と機械の隔離」に基づく産業安全の技術的確立と安全関連制御機器・装置のコンセプト等の成熟化を背景として、市場成熟期にあり成長性を喪った制御機器・装置製造事業に代わる新規の収益源として、ロボット制御型セル生産システムのビジネス化を意図。</p> <p>ロボット制御型セル生産システムとは、海外量産機能移転により高付加価値品の多品種少量生産拠点と化した国内生産ライン向けのロボット・システム。IDECは画期的なロボット・システムを自社内製したが、制御機器・装置製造事業が同社のコア事業であり、ロボット・ビジネスに関する知見・ノウハウなし。</p>	<p>2000年代後半以降「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」への産業安全・機械安全のパラダイム・シフトが発生。</p> <p>IDECは伝統的な産業安全パラダイムの下でコモディティ化し成長性を喪った安全関連制御機器・装置ビジネスの革新を目指し、「人と機械の協働」に係る制御機器・装置の開発、「人と機械の協働」環境での産業安全確保ソリューションの事業化を企図。</p>
サービス化の役割	<p>具体的なイノベーションの必要やイメージを欠いたまま、代理店のスクリーニングを打破し、直に顧客の声を聴くことからのスタートに着手。</p> <p>既存の安全関連技術セミナー等を活用し、顧客メーカー等のセミナー参加者からアンケートや(アンケート回答に見るべき内容があり、顧客の同意が得られれば)面談等によりニーズの直接把握にトライ。</p> <p>その上で、新たな事業展開・製品開発につながる事が期待できそうな事案については、顧客課題の解決に協働して取り組み、製品イノベーションに繋げることを企図。</p>	<p>ロボット・ビジネスはロボット製造開発で完了する事業ではなく、製品をロボット・システムに組み立てて顧客工場の生産ラインにインテグレーションすることで完了するビジネス。</p> <p>顧客工場の製造課題等をコンサルテーションにより把握した上で、顧客課題の解決に資するロボット製品を選択しロボット・システム及び生産ラインの組込みについて立案・設計。</p> <p>その上で、顧客との打合せを経てプランを確定し、製品調達、システム組立て、顧客工場でのインテグレーションを実施。納品後も不具合等に対しアフター・サービスを実施するなど継続的ケアが求められる。</p> <p>制御機器・装置メーカーには門外漢であるシステム・インテグレータのサービス提供が要求。</p>	<p>「人と機械の協働」に基づく産業安全はドミナント・デザインが存在しない白紙状態。加えて、ロボット化と無人化の進んだ自動車等グローバル製造企業ではなく、自動化率の低い食品・医薬品・化粧品産業や規模では中堅・中小メーカーが重要な顧客層として登場した結果、千差万別な製造現場への対応が必要に。</p> <p>IDECは千差万別な製造現場に対応する力を付けるべく、顧客メーカーと協働して「人と機械の協働」環境における産業安全ニーズや在り方を一から解明。</p> <p>サービス化は、「人と機械の協働」環境での安全ソリューション・ビジネスであると同時に、顧客よりリード・ユーザを発掘して協働することで、製品・ソリューションのニーズを発見・認識、イノベーションへと繋げるツール。</p>

サービス化の結果	<p>セミナーは安全技術、製品使用方法に関する説明講習会であり、参加者は技術学習が目的。社内でも自社工場改革に関与するポジションになし。</p> <p>I D E Cの営業担当がサービス化も兼務の形で担当。営業担当は既存製品の販売拡大が主要関心事であり、製品イノベーションに繋がるニーズ探求はミスマッチの任務。</p> <p>上記事情により、セミナー参加者にリード・ユーザが含まれる確度は低く、I D E C担当側にはリード・ユーザ発掘の意図なし。</p> <p>既存製品を活用した、伝統的な産業安全環境の構築の枠をはみ出すイノベーションにつながるものを見つけることは期待できない取組。</p>	<p>ロボット・ビジネスの上記性格を踏まえ、I D E Cはロボット制御型セル生産システムのインテグレーションと販路開拓を担う独立専任組織を本社からスピンオフして新規設立。</p> <p>新組織はロボット制御型セル生産の開発・製品化に関与していたものの、ロボット・システム・インテグレーションに係る技術・知見・ノウハウの蓄積を欠き、必然的にロボット・ビジネスを本業とする競合他社に劣後。</p> <p>顧客ニーズの新規把握、ソリューション提供を通じた知見・ノウハウ蓄積については、顧客との長期的な協働関係の構築を果たせず、不成功。</p>	<p>安全関連制御機器・装置を用いて、顧客工場の「人と機械の協働」安全を構築するソリューションは、顧客と協働して新たな安全の在り方を探索し、新たな安全確保のために如何なる製品が必要であるのか、製品群を組み合わせて如何に安全確保するかの知見・ノウハウの獲得に寄与・貢献。</p> <p>I D E Cはソリューションを通じた顧客関係の緊密化と協働を推進する主体として、ロボット・システム・インテグレータを完全子会社化。</p> <p>システム・インテグレーションの技術・知見・ノウハウを持つ独立専任組織が、営業部門がカバーしていない潜在的顧客層を含めて顧客開拓に取り組み、顧客と長期継続的に「人機械の協働」環境における安全確保に関する協働関係を構築。</p> <p>顧客との協働関係を単発に終わらせず、顧客の抱える自動化等の製造課題とパッケージで取り組む場として「協調安全ロボットテクニカルセンター」を設立。顧客の困込みだけでなく、隠れたリード・ユーザとの協働を確実にする効果あり。</p>
----------	---	---	--

(出所)筆者作成

(3) I D E Cの3次のサービス化の成否を分けた原因³⁸

①戦略的意思決定

I D E Cの3次のサービス化の成否について、I D E C自身が複数の要因を指摘しているが、第一の要因として、サービス化を通じたイノベーションに限らず、企業行動の成否を左右する戦略的意思決定を挙げる。

1990年代以降、I D E Cは、産業安全・製品安全に係る制御機器・装置等の製造事業の成熟化に直面し、3次に涉りサービス化による閉塞打開を試みたが、第1回、第2回の取組は、サービス化の戦略目的が曖昧であり、顧客との長期に渉るリレーシ

³⁸ 5(3)の分析はI D E C、2017年9月20日付及び同21日付ヒアリングに基づく。

ナルな協働関係の構築さえも儘ならないうちに、取組は失敗に終わった。

第1回目では、顧客ニーズの直接把握に拠る製品イノベーションを目指すアイデアは善いが、製品イノベーションにつながるアイデアを秘め持ったリード・ユーザを探すのに、既存製品の安全技術・使用方法を顧客製造企業の現場技術スタッフに教えるセミナー等を使うのが最適であるとは考えにくく、IDECにおいて市場成熟化が如何なる問題を惹起しているのか、製品イノベーションにより市場成熟化を打破するならば、製品イノベーションの波はあるのか、波を掴えるには如何なるメディアを使うと将来ニーズ等が分かるのかなどの戦略的な意思決定と計画に欠けていた。

第2回目では、IDECの自社向けに開発したロボット制御型セル生産システムが経済産業大臣賞を受賞する優れたものであったにせよ、ロボット・メーカーでも、ロボット・システム・インテグレータでもない、産業安全関連制御機器・装置メーカーがロボット・ビジネスに新規参入することの可否について慎重な吟味のないまま、ビジネス立上げを急いだ観が否定できない。

ロボット・ビジネスについては、単にロボット製造すれば終わりではなく、ロボット製品を活用してロボット・システムをインテグレーションするインテグレータ群が必要不可欠であり、そのためには製品はインテグレータのカスタマイズが容易となるよう標準化を施す必要がある。だが、IDECの千手観音ロボは同社滝野製作所の生産ラインに最適化されたままであり、IDEC自らがロボット・システム・インテグレーションするとしても、IDECがその独立専任組織として立ち上げた組織はインテグレーションに関する技術・知見・ノウハウを欠く「素人」集団だった。これも、ロボット・ビジネスとは何か、ロボット市場に新規参入が可能なのか、新規参入する場合には如何なる条件を整えるべきか等について詰めていない単純な帰結である。

これに対し、3回目の2010年代のサービス化では、世界経済の成長と拡大に対応して変種変量生産の極限化(その一つの解が” Smart Factory”)が求められる中、ロボット革命により製造現場における「人と機械の協働」が急速に進行し、安全の在り方が「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」にパラダイム・シフトする中、IDECは製造企業のサービス化を通じた産業安全ビジネス革新を目標に設定して、「人と機械の協働」が如何なる産業安全上の課題をもたらすのか、「人と機械の協働」環境での安全を工場等のシステム全体で実現するには、如何なるソリューションが必要であるのか、「人と機械の協働」環境における安全確保のためには如何なる製品ないし製品群が必要であるのか等の無知を自覚し、その探求に直ちに乗り出している。

1990年代末の脱市場成熟化に向けた製品イノベーションの取組と同様に、何一つとして具体的なゴールなり目標なりが外部から与えられていない中、IDECは、ソリューション・ビジネスを通じて、顧客との関係を緊密化し、顧客の製造現場で安全確保に協働して取り組むことで、新たな安全ニーズについて理解を深め、安全関連機器

の開発に資する知見・ノウハウを獲得することを企図。I D E Cはこれらを活かして、「人と機械の協働」に係る安全関連機器という新規事業分野を創り出し、ライバル企業の模倣できない差別化製品を開発して競争優位に立ったが、これらは初発の戦略的意思決定において設定された方向性に即したものであり、I D E Cの3次のサービス化の取組の成否は期初の戦略的意思決定が左右したことが判る。

②顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係

第二に、I D E Cはサービス化を通じたイノベーションが成功する要因として、顧客関係の緊密化と長期的な協働関係の構築を挙げる。同社は機械商社等代理店に販売・サービスを委任する間接販売制を採っており、顧客との関係は代理店のスクリーニングを通じたものであったため、新たなニーズを把握しようにも市場との直接的なコンタクトがなかった。この点、2010年代のサービス化では、I D E Cは、顧客工場における「人と機械の協働」安全システムの構築を顧客と協働して取り組むことにより、ドミナント・デザインの形成されていない「人と機械の協働」安全分野において自らニーズやソリューションを具体化することを決心。顧客関係の緊密化と、顧客の製造現場における「人と機械の協働」安全のシステム構築における協働など、顧客との長期に渉るリレーショナルな関係の構築に意を用いた。

また、I D E Cは顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係を単発的なものとして終わらせないため、I D E Cの側においても、顧客製造企業が産業安全に関して抱える課題を理解し、長期的に顧客と協働して安全環境の継続的カイゼンに取り組み、顧客の製造現場毎に異なる最適ソリューションを提供できる体制を整えるべく、安全ソリューションの独立専任組織(I D E Cファクトリーソリューションズ)を設立。そして、2000年代半の第2回目のサービス化の反省に立ち、システム・インテグレーションに係る技術・知見・ノウハウを有する外部インテグレータをM&Aにより完全子会社化している³⁹。

さらに、I D E Cは、ソリューション専門の恒常的な施設である「協調安全ロボットテクニカルセンター」を設立し、ソリューションの開発・試作に必要な機械・設備を設置して、独立専任組織と顧客が協働してソリューション開発を実施できる場(プラ

³⁹ 製造企業のサービス化に関して、Oliva and Kallenberg(2003)等は、サービス化初期段階から独立専任組織の必要を主張するのに対し、Auguste, Harmon, and Pandit(2006)は、サービス化が未成熟であるか、サービス化が既存製品事業の市場シェア維持等の「防衛」を目的とする場合には、サービス部門の分離独立は必ずしも最適組織デザインではないとする。従来、製造企業のサービス成長は内生的なものとされ(Luoto, Brax and Kohtamäki 2017; Valtakoski 2017; Böhm, Eggert and Thiesbrummel 2017; Benedettini, Swink and Neely 2017)、M&Aは十分な取扱いを受けてこなかった。I D E Cの第3回のサービス化の成功は、制御技術とソフトウェア開発力の優れたシステム・インテグレータを企業買収して、ソリューション・サービスの独立専任機関としたことに拠る面が大きく、Raddats, Kowalkowski, Benedettini, Burton, and Gebauer (2019)は資源・能力獲得の一つの選択肢としてM&Aを位置付けるべきとしたが、製造企業のサービス成長研究において、M&Aの意義と在り方に関する研究が必要である。

ットフォーム)を整えた。I D E Cによれば、顧客との長期に渉る協働関係の制度化にプラットフォームが大きく貢献しており、ソリューションの独立専任機関の設置と並んでソリューションの本格ビジネス化と、ソリューション過程における新規ニーズの発見・認識と「人と機械の協働」安全に関する知見・ノウハウの獲得に寄与した。

③製品の組合せ化とソリューションのモジュール化による差別化

第2章で見たように、先行研究では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関して、プロセス、メカニズムに関する研究蓄積は必ずしも多いとはいえない状況にあるが、市場誘導型イノベーションにより脱市場成熟化(差別化能力に基づく競争優位の再構築)を実現するかについては、さらに議論は乏しい。

2010年代の第3回目のサービス化の取組において、I D E Cは後発参入するライバル企業に対して競争優位を確立するのに、単に新製品・ソリューションをライバル企業より早く開発上市するだけではなく、製品・ソリューションの標準化により、ライバル企業も一日では真似できない低コスト供給能力を獲得しようとしている。

「人と機械の協働」環境における安全確保のため、顧客の製造現場毎にソリューションを「一品作り」していると、安全ソリューションは高コストになるだけでなく、サービス提供としても、あまりにも複雑かつ煩瑣であり、限られた人的経営資源により多数顧客の「人と機械の協働」安全ニーズに応えることが困難となるため、ソリューションのモジュール化が要請される。

I D E Cは、「人と機械の協働」に係る安全関連機器のカテゴリー化とアプリケーション整理を行い、それを踏まえて、安全ソリューションを製造現場別・製造工程別・業種別に体系化した。ソリューションのモジュール化の実現に向けた準備だった。現在、I D E Cは自動車・工作機械・半導体メーカー等の伝統的な顧客、食品・化粧品・医薬品メーカー等の新規顧客に共通適用できる基本ソリューションを抽出。顧客の製造現場における安全確保には、基本ソリューションの組合せにより対応しつつ、業種の違い、製造現場に固有の事情等により個別対応が必要となる場合は、基本ソリューションをカスタマイズして対処しようとしている。

I D E Cによるソリューションのモジュール化は未完成であり、道半ばにある。とはいえ、同社は「人と機械の協働」環境における安全確保に関して、顧客の千差万別なニーズにきめ細かく対応できる安全関連製品群を開発し、自社製品の組合せによる安全確保ソリューションを製造現場別・製造工程別・業種別に体系化することに成功。差別化は、個別製品のイノベーションだけでなく、製品の組合せ、さらにはモジュールの組合せによっても可能であり、模倣のハードルは製品単体から複数製品の組合せ、さらにモジュールの組合せとなるほど高くなり、イノベーション主体にすれば競争優位は盤石のものとなる。

市場成熟期の製造企業は、イノベーションと言うと差別化製品開発を考えがちであ

るが、産業安全、工作機械、ロボットのように複数の機械・設備・装置からシステムが構成される製造分野では、機械・設備・装置の組合せにも、ライバル企業との差別化を可能とする付加価値が存在し、組合せ自体に独自の技術・ノウハウを要するため、製品の組合せのイノベーションはライバル企業に対する高い防壁となり得る。

ソリューションのモジュール化は、I D E Cの事例では、製造現場の安全全般に関する体系的な知と安全ソリューションに関する幅広い技術・知見・ノウハウを要求するものであり、モジュールの組合せによるイノベーションは、製品の組合せにも増して、ライバル企業の参入を阻む高い壁になると考えられる。

④まとめ

I D E Cの3回のサービス化の成否に影響したと考えられる取組を以下整理する。

表7 I D E Cのサービス化の成否に係る要因と各年代の取組状況

	1990年代末の既存制御機器・装置事業への梃子入れ	2000年代半のセル生産システムのロボット化関連	2010年代半以降の「人と機械の協働」環境における安全関連
市場成熟期における製造企業のサービス化の戦略的位置付け及び目的の明確化	市場成熟期の収益貢献なのか、脱成熟化に向けた戦略なのか曖昧	ソリューション・ビジネス創造によるサービス・プロバイダ化か、差別化製品の開発による製造企業の脱成熟化なのか、目的が曖昧。自社のコア事業領域とは無縁のFA、ロボット・システムで競合。	ロボット革命により製造現場の安全にパラダイム・シフト発生。「人と機械の協働」に基づく安全ソリューションに対応した差別化製品の開発により新規事業分野を開拓し、新たな競争優位を確立。
顧客との長期的に渉りレシヨナルな協働関係の構築	営業担当の個別製品販売の繁忙の間を縫った兼務であり、長期の協働関係は構築できず	産業安全・機械安全に係る制御関連機器製造というコア事業を離れ、FA、ロボット・システムの事業領域に進出した結果、事業立上げさえ儘ならぬうち撤退	完全子会社のI D E Cファクトリーソリューションズによる安全ソリューション提供を通じて顧客と長期の協働関係を構築・維持
製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当て	同上の理由により価値協創のプラットフォームは形成されず	同上の理由により価値協創のプラットフォームは形成できず	「協調ロボットテクニカルセンター」等、I D E Cファクトリーソリューションズの管理下に、安全確保に関して顧客と継続的協働を可能とする「場」を設立。
顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任組織の設置	独立専任組織は設置されず営業担当の兼務による対応	独立専任機関設置するも、インテグレーションに関する知見・ノウハウ不足	FA、ロボット・システム・インテグレータで制御分野に専門性を有する企業を買収、完全子会社化して、サービス化の独立専任機関化
顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップ最適化	意図せず	事業立上げさえ儘ならぬうちの撤退につき、未着手	ソリューション・ビジネスの過程で把握したニーズに基づき製品・アプリケーションを類型化しラインアップを拡充
製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化	意図せず	事業立上げさえ儘ならぬうちの撤退につき、未着手	製品組合せによるソリューションを発展させ、ソリューションをモジュール化。モジュールの組合せで顧客課題に対応すべく取り組み

(出所)筆者作成

(4) 探索研究としての I D E C ケースの含意

第2章では、先行研究における議論を概観した。製造企業によるサービス化を通じた製品イノベーションに関する研究は数が限られているが、Matthyssens and Vandenbempt (2008) が「市場成熟化と脱成熟化の循環モデル」により、サービス化を脱市場成熟化戦略として位置づけたのを踏まえて、Salonen, Saglam and Hacklin (2017) は、Wise and Baumgartner (1999) が” Go downstream” の標語で提案した、顧客の事業プロセスの関与による新規ニーズ発見と製品イノベーションに関して、「顧客課題の解決に向けた革新的ソリューション提供→顧客関係の緊密化による新たなニーズ発見・認識→新たなニーズに基づく製品イノベーション」の図式化を行った。

プロセス、メカニズム等に関しては、サービス化を通じたソリューション・イノベーション研究においては、市場誘導型イノベーションの成否を左右する要因として「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が指摘されている。本章の I D E C の3次のサービス化の取組を対象とした探索研究では、先行研究における議論を参考としつつ、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションのプロセス、メカニズム等について分析を行い、第2部の総合工作機械メーカーの事例研究の準備とした。

I D E C のサービス化の取組に概括した表6及び7から、第2部の総合工作機械メーカーによる工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに関する事例研究は、以下の示唆を得られるものと考えられる。

① 戦略的意思決定の重要性

(a) 1990年代末及び2000年代半の詰め不足の戦略的意思決定

先行研究では、市場誘導型イノベーションに限らず、製造企業のサービス化について意義・効果、プロセス、メカニズム等が対象とされるが、製造企業のサービス化の取組がその戦略的意思決定により如何程の影響を受けるかについては、論じられることは少ない。しかしながら、I D E C の3次に渉るサービス化の取組において、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションも含めサービス化は、製造企業の戦略的意思決定に、コースなり成否なりが支配されることが分かる。

第一に、1990年代末のサービス化では、安全関連制御機器・装置産業の成熟化に対して製品イノベーションによる現状打破という抽象的な意思決定があるだけであり、製品イノベーションのシーズなりアイデアなりについて全くイメージすらないままサービス化に取り組もうとした結果、安全関連技術や既存製品の使用方法等に関するセミナーを活用して、従来の製品や製品用法を否定して新たな可能性を追求しようとしているリード・ユーザを探すミスをしている。

また、間接販売制の下で販売・サービスを代理店に一任する中、I D E Cが顧客と直接的にコンタクトを行い、顧客工場等で産業安全・機械安全を確立するソリューションを実施しようにも、営業担当がそれに販売・サービスと兼務で対応することは難しい。ましてや顧客と長期協働して顧客工場の安全のカイゼンに取り組み続けることは、年度・半期・四半期毎に販売成績を問われる営業担当の関心と業務特性とは合致していない。にもかかわらず、社内にサービス化の推進体制が整備されないままだったのは、I D E C経営陣にサービス化に関する戦略的に詰めが不足した結果である。

第二に、2000年代半のロボット制御型セル生産システムのビジネス化については、自社が開発した優秀なロボット・システムを外販化し、市場成熟期の低迷した企業収益にプラスの貢献をしたいという意欲は理解できるものの、産業安全・機械安全関連の制御機器・装置メーカーが、熾烈な競争を展開しているロボット産業に新規参入して互角に競合できるかを検討した形跡に乏しい。如何にコア・ビジネスからかけ離れた事業領域に十分な検討と準備のないままに参入しようとしているかが理解できていなかったのではないだろうか。

なぜならば、ロボット・ビジネスでは、ロボット製品の開発製造だけでなく、顧客工場の製造ニーズに応じてロボット・システムをカスタマイズ製造して生産ラインにインテグレーションしなければならず、必然的にロボット・システム・インテグレータの組織化か、自社内にロボット・システム・インテグレータ部門を設立しなければならないが、自社の千手観音ロボの開発チームをそのまま分社化してシステム・インテグレータとしたI D E Cには、ロボット・システム・インテグレーションには専門的な技術・知見・ノウハウが不可欠であることに理解があったとは考えにくい。

また、ロボット・メーカーは、顧客の製造課題を解決するロボット・システムをカスタマイズ製造し、顧客工場にインテグレーションする過程(納品後のアフター・サービス過程も含む)で、新たなロボット及びロボット・システムの開発につながるヒントを得、製品・ソリューションのイノベーションにつなげているが、I D E Cのコア事業領域から離れたロボット・ビジネスでは、I D E Cはロボット・システムをカスタマイズ製造してインテグレーションする力はなく、その結果、顧客と長期に渉るリレーショナルな関係を築き上げることは儘ならなかった。

以上、I D E Cの1990年代末と2000年代半のサービス化取組は、戦略目的が曖昧であり、顧客とのリレーショナルな関係の構築も方向性が定まらず、製品イノベーションに失敗している。

(b) 2010年代の産業安全等のパラダイム・シフトに対応した戦略的意思決定

一方、2010年代の「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」への産業安全・機械安全のパラダイム・シフトに対応した、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションの取組では、I D E Cは自社のコア事業領域において、「人と機械の協働」に基づ

く新しい安全の在り方を探求し、千差万別な顧客の製造現場に即した「人と機械の協働」安全を実現するための製品・製品群の開発製造及びソリューション開発提供を戦略目標に設定した。その上で、まだドミナント・デザインの確立していない「人と機械の協働」安全については、顧客と協働して安全システムを一つ一つ構築していく必要があると判断、IDECは販売・サービスを代理店に一任することを止め、顧客と直接的にコンサルテーションを行い、顧客ニーズに応じて安全ソリューションをカスタマイズ制作し、顧客と協働で安全システムを構築することとした。

IDECは、サービス化には、市場誘導型イノベーションにより成熟化を打破し、差別化製品による競争優位を回復する力が秘められていると認識しており、リード・ユーザとの協働により「人と機械の協働」環境における産業安全システムを創造し、コモディティ化した安全関連制御機器・装置ビジネスの革新を考えた。第2章でソリューション研究からの援用を考えた「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」等のイノベーションの成功要因については、次項②のとおり、IDECは全要素をストリーム・ラインに繋げて機能させるのに成功している。

②「顧客との長期的な協働関係」等と市場誘導型イノベーション

表6に一目瞭然であるが、戦略的意思決定の堅固さの違いが、1990年代末及び2000年代末と2010年代の市場誘導型イノベーションの成否に如実に表れている。また、表7を見ると、1990年代末及び2000年代末の取組では、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」等に関する措置はバラバラであり歯車が噛み合っていないのに対し、2010年代の「人と機械の協働」安全に関するサービス化の取組では、「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」がキー・ファクターとなって、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」が同時に実現している。

IDECは、顧客工場における「人と機械の協働」安全システムの構築を顧客と協働して取り組むことにより、未だドミナント・デザインの形成されていない「人と機械の協働」安全分野において、ニーズやソリューションを具体化していくことを決心していたが、そのためには、顧客関係の緊密化と、顧客工場における「人と機械の協働」安全のシステム構築の協働など、顧客との長期に渉るリレーショナルな関係を築くことがIDECには必要だった。

また、いくらIDECが長期継続を望んでも、顧客との協働関係は単発プロジェクトであれば一時的なもので終わる可能性がある。ドミナント・デザインの存在しない

「人と機械の協働」安全分野では、安全関連制御機器メーカーはリード・ユーザを含めた重要顧客とは長期継続的に協働して、新たな安全の在り方と安全システムを模索して具体化して行く必要があり、メーカーと顧客が知恵を持ち寄り、ブレークスルーを起こし、ドミナント・デザインへ一歩一歩近づくことができる。

このため、IDECは、顧客との長期的な協働関係を確立し、顧客が産業安全に関して抱える課題を理解し、顧客とともに安全環境の継続的なカイゼンに取り組み、顧客の製造現場に最適化されたソリューションを提供できる体制を整えるべく、安全ソリューションの独立専任組織（IDECファクトリーソリューションズ）を設立。2000年代半のサービス化における独立専任機関設立の失敗を踏まえ、システム・インテグレーションに係る技術・知見・ノウハウを有する外部インテグレータをM&Aにより完全子会社化し、実質的なサービス化の推進を担わせた。

また、IDECは、ソリューション専門の恒常的な施設である「協調安全ロボットテクニカルセンター」を設立し、ソリューションの開発・試作に必要な機械・設備を設置して、独立専任組織と顧客が協働してソリューション開発を実施できる場（プラットフォーム）を整えた。IDECによれば、顧客との長期に渉る協働関係の制度化にプラットフォームが大きく貢献しており、ソリューションの独立専任機関の設置と並んで、ソリューションの本格ビジネス化と、ソリューション過程における新規ニーズの発見・認識と「人と機械の協働」安全に関する知見・ノウハウの獲得に寄与した。

以上の「サービス化を専管する独立専任組織の設立」と、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」の先後関係については、IDECの場合、「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」を中心として「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」が実現したように見える。

ただし、実態のないまま組織のみを設立することは難しいので、「顧客との長期的な協働関係」がある程度構築されてから、サービス化の「独立専任機関」が設立されるのかも知れず、サービス化の「独立専任機関」が設立されて「顧客との長期的な協働関係」が可能となると短絡せず、慎重に考える必要がある。

③製品の組合せ化及びモジュール化と差別化

先行研究における議論では、製造企業のサービス化を通じたイノベーションに関して、革新的な製品・ソリューションの開発にフォーカスされている。しかしながら、ライバル企業も後発ながらサービス化を通じて市場誘導型イノベーションに参入できるため、製品イノベーションは直ちに競争優位とはならず、ライバル企業が容易に模倣できない仕掛けなりビジネス・モデルなりの構築も必要である。

IDECでは、2010年代のサービス化の取組において、「人と機械の協働」環境の

安全に関して、製品の組合せにより、顧客工場の千差万別なニーズに最適化したソリューションを開発提供する取組を早くから展開し、更には、ソリューションをモジュール化し、モジュールの組合せによりソリューションを最適化しようとしている。現時点では、モジュール化は未完成であるが、「人と機械の協働」環境における安全に関し、顧客ニーズにきめ細かく対応できる製品群を開発し、自社製品の組合せによる安全ソリューションを製造現場・製造工程・業種に応じて体系化することに成功した。

ライバル企業が容易には模倣できない差別化は、個別製品のイノベーションだけでなく、製品の組合せ、さらにはモジュールの組合せによっても可能であり、模倣のハードルは製品単体から複数製品の組合せ、さらにモジュールの組合せとなるほど高くなり、イノベーション主体の競争優位は盤石のものとなる。元々のIDECの意図はソリューションの顧客ニーズへのカスタマイズと、ソリューションに要するコストの削減の両立であり、ライバル企業の容易な模倣の防止にあったわけではない。

しかしながら、産業安全システムに限らず、工作機械システム、ロボット・システムのように、複数の機械・設備・装置から構成される製品事業では、機械・設備・装置の「組合せ」にも、ライバル企業との差別化を可能とする付加価値が存在し、「組合せ」自体に独自の技術・ノウハウの蓄積を要する。このため、製品の組合せのイノベーションはライバル企業に対する高い防壁となり得る。また、ソリューションのモジュール化には、IDECの事例では、“Safety2.0”の開発など製造現場の安全全般に関する体系的な知と安全ソリューションに関する幅広い技術・知見・ノウハウが要求され、モジュールの組合せによるイノベーションは、製品の組合せにも増して、ライバル企業の参入を阻む高い壁になると考えられる。

IDECの事例からは、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは、製品の成熟化を打破する画期的な製品を開発する製品イノベーションと、ライバル企業の容易な模倣を防ぐビジネス・イノベーションの2段階から構成されると考えると、市場誘導型イノベーションのプロセスとメカニズムがよりの確に理解・把握できるとの示唆が得られる。

6. 第2部の総合工作機械メーカーの事例研究に向けた総括

(1) I D E Cに係る探索研究の基本的評価

本論の問いは、(i)製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii)製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii)顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかである。

そこで、本論では、総合工作機械メーカーによる、“Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションの事例研究により、上記3点に関して解明を試みることにしているが、製造企業のサービス成長研究における研究蓄積は必ずしも十分ではなく、主要変数・因果関係等について漠然としたイメージも掴み得ない状況にある。このため、I D E Cの3次に渉るサービス化を事例として探索研究を行ったところ、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいては、第一に、サービス化への取組の初期段階から、何のためにサービス化を通じて市場誘導型イノベーションを目指すのか、目的達成ないし目指すゴールに向けて如何なる市場誘導型イノベーションを起こすのか等、サービス化にコミットメントする製造企業の「戦略的意思決定」が重要となることが示唆された。

第二に、ソリューション研究における、サービス化を通じたソリューション・ビジネス革新に関する研究を踏まえて、I D E Cの3次に渉るサービス化の取組についてサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成功条件について探索したところ、先行研究がソリューション・イノベーションの成功を左右する条件として考えている「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」がI D E Cのサービス化を通じた市場誘導型の製品イノベーションにおいても重要なファクターであり、ソリューション・イノベーション研究では明確化していなかった条件間の関係について、I D E Cケースでは、独立専任機関の設立が顧客との協働関係の構築や顧客との協創プラットフォームの確立を加速化する効果が観察された。

さらに、戦略的意思決定と同様に先行研究では議論があまりなされていないが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、革新的製品を開発する製品イノベーションと、ライバル企業の模倣を防ぐビジネス・イノベーションの2段階から構成され、「顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化」「製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化」が、顧客ニーズへのカスタマイズと標準化によるコスト合理化の両立だけでなく、ライバル企業の模倣防止に資することがI D E Cのケースからは理解された。

以上、第2章の先行研究レビューにより抽出した、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関する命題を、第3章では、安全関連制御機器メーカー I D E C のイノベーション事例に当て嵌めて、現実事例への適用性を確認したところ、結果は良好であり、第2部の工作機械メーカーの” Smart Factory ” を契機とした工作機械ビジネス革新に係る事例分析でも利活用できるように思われる。

- 製造業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは製品イノベーションとビジネス・イノベーションで2段階構成される。
- 製造業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、以下の要因が成否に影響を与える。
 - ・市場成熟期におけるサービス化の戦略的位置付け及び目的の明確化
 - ・顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築
 - ・製造企業 と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当
 - ・顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置
- 製造業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのビジネス・イノベーションでは、「顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化」、さらには「製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化」が、ライバル企業の安易な模倣の防止に資する。

(2) I D E C に係る探索研究の射程

第1章2(3)で論じたように、本論は製造企業のサービス成長研究の一環として、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを、第一義的には「製造企業のサービス化」のフレームワーク内で先行研究を踏まえ研究することを目指している。そして、従前の研究では、製造企業がサービス化を通じて革新的製品を産み出す市場誘導型イノベーションに関しては、一部事例研究を除けば蓄積が十分でないため、製造企業のサービス成長研究の一翼を担うソリューション研究の成果である、サービス化を通じたソリューション・イノベーション研究を援用することとした。

第2章を受けて、第3章では、顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係、顧客との協働プラットフォームの制度的手当、独立専任機関等が、ソリューション・ビジネスだけでなく製品ビジネスにおいても、イノベーションの成否を左右する条件たり得るかを I D E C ケースで検証して見たところ、同社の不成功に終わった 1990 年代末及び 2000 年代の取組と異なり、製品イノベーションに成功した 2010 年代の取組のみ上記要件が満たされていることが判った。

ソリューションであれ製品であれ、市場誘導型イノベーションの出発点が、コモディティ化の打破に向けて、市場に潜在するニーズを発見・把握することにあるならば、製造企業にとり、革新的な製品アイデアを抱えるユーザとの協働は重要となる。例えば、顧客との協創プラットフォームは、顧客との協働関係を固定化し強化する制度的仕掛けであり、その限りにおいて、ソリューション研究より導出した市場誘導型イノベーションの成功要件は、” Smart Factory ” を契機とした工作機械メーカーの製品ビ

ビジネス革新にも活用できそうである。

しかしながら、同じく製造企業のサービス成長研究の一環であるとはいえ、ソリューション・ビジネスにおけるイノベーションと製造ビジネスにおけるイノベーションの関係はこれまで吟味されているわけではなく、ソリューション研究の成果がIDECケースにも通用することが偶然ではないと断ずることはできず、ソリューション研究の命題が製品イノベーションについても中核的命題であるかは分からない。特に、以下の4点から、ソリューション研究の成果がIDECでも通用したからと言って、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とする製品ビジネス革新に直ちに通用すると結論することには慎重であるべきと考える。

第一に、ソリューション研究から抽出した上記条件が市場誘導型イノベーションの必要条件であるのか(条件として遺漏はないのか)は精査が必要である。IDECケースでは、IDECがユーザ企業を組織化して製品イノベーションに向けたアイデア等を多数事例から抽出している。製造企業とユーザとの協働において、製造企業とユーザのいずれがイノベーションの主導権を握るのだろうか。IDECのように、製造企業はユーザ群を組織し、彼等から抽出したアイデアによりイノベーションを行うのか、ユーザと製造企業は共同開発者であるのか等をソリューション研究は明らかにしていない。

第二に、IDECの2010年代の市場誘導型イノベーションは、IoT革命に伴う産業安全の「人と機械の分離」から「人と機械の協働」へのパラダイム・シフトに対応するものであるが、製品としては旧来技術をベースとして、その製品適用についてイノベーションを図るものである。一見、パラダイム・シフト対応として”Radical Innovation”、であるかに映るが、既存技術を前提とした製品適用を革新する点では”Incremental Innovation”と見なすことができる。

製造企業のサービス成長研究では、ソリューション・ビジネスと製品ビジネスの別を問わず、市場誘導型イノベーションが”Radical Innovation” 或いは”Incremental Innovation” のいずれを目指すのかについて十分な議論がなされていないが、ソリューション研究から抽出した命題が”Radical Innovation” か”Incremental Innovation” のいずれに該当するか明確でないIDECケースでも通用したからといって、”Smart Factory”を契機とした工作機械メーカーのビジネス革新に関する分析に活用できるかは考察が必要であろう。

Wise and Baumgartner(1999)では、製造企業はサービス化を通じてコモディティ化の打破を目指すとされ、一見、”Radical Innovation”がテーマであるが如き印象を受けるものの、”Go downstream”による顧客との関係緊密化とソリューション協働から得られたアイデア・知見・ノウハウは”Radical Innovation”と”Incremental Innovation”のいずれか、或いは双方を目指すものであるのかを彼等は明確にしてい

ない。ここでは、ユーザ・イノベーションに関する研究成果を踏まえる必要がある。

第三に、ソリューション研究においても、ソリューション・ビジネスの独立専任機関が市場誘導型イノベーションにおいて如何なる役割を果たすのか等に関して研究蓄積があるわけではなく、独立専任機関が製造企業内において企画・開発部門とどのような関係に立ち、顧客との協働等から得たアイデア・知見・ノウハウ等をイノベーションにつなげているのかは明らかになっていない。さらに、独立専任機関が製造企業と顧客との「架け橋」ないし「インターフェイス」の役割を果たすこととなるとして、製造企業と顧客の間における具体的な役割は何であり、善き「架け橋」「インターフェイス」たるために何が求められるのか等についても明らかになっていない⁴⁰。

製品イノベーションにおいて、製造企業はユーザによる製品・技術の利活用を第一義的な目的として、ユーザの便益や利便性に最大限配慮して製品・技術を開発するが、ユーザによる製品・技術の活用は個別現場等により千差万別であり、製造企業の理解するユーザ・ニーズは現場から乖離しがちである。そこで、製品イノベーションでは、製造企業とユーザとのギャップを埋めてくれる存在が不可欠であり、IDECケースでは、外部機関のM&Aによりギャップを埋めるべく経営資源・能力補完を行っている。では、それ以外に、製造企業が顧客との協働過程で出会うアイデア等を正しく評価し、イノベーションに繋がるアイデア等を選び活用する上で求められる経営資源・能力を補完する方策は他に存在しないのだろうか。

製造企業のサービス成長研究では、独立専任機関が製造企業内部で果たすべき役割・機能・要件等だけでなく、製造企業と顧客とのインターフェイスとして果たすべき役割・機能・要件等について明確化できていない。ソリューション研究がソリューション・イノベーションの成功条件として独立専任機関を挙げ、IDECケースでも適用できたからとはいえ、一般化には慎重であるべきではないだろうか。なお、ユー

⁴⁰ 2010年代のIDECの取組では、IDECにより買収された、生産ラインの自動化とロボット化に強みを有するシステム・イングレータであるIDECファクトリーソリューションズがロボット・システム・インテグレーション能力を活かして、顧客工場に最適化された「人と機械の協働」に基づく産業安全システムの構築に取り組み、その過程で蓄積した「人と機械の協働」に関する知見・ノウハウをIDECにフィードバックし、新たな製品・ソリューションの開発につなげている。一方、2000年代のロボット制御型セル生産システムに係る取組では、IDECはIDECオートメーションを独立専門機関として設立しているが、IDECオートメーションはユーザ企業との協働や組織化を推進できず、結果的に製品イノベーションにつながるアイデア・知見・ノウハウを企画・開発部門にフィードバックできなかった。

2010年代と2000年代の取組の違いは、IDECファクトリーソリューションズが「人と機械の協働」環境における産業安全システムのインテグレーションに関して技術・知見を有するのに対し、IDECオートメーションがIDECの社内分社でありロボット・システム・インテグレーションに関する技術・知見に欠いたことに由来すると考えられる。すなわち「インターフェイス」たる上でロボット・システム・インテグレーションに関する専門知見・能力の有無が両者の成否を分けたが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて顧客との「架け橋」「インターフェイス」たるには、製品・技術のユーザたる顧客と同様に製品・技術を自ら使いこなし課題解決に当たる能力が必要であるとの示唆が得られる。

ザ・イノベーション研究では、ユーザの組織化、ユーザから製造企業への知識移転等の観点から、ユーザ・イノベーションの触媒としての独立専任機関の役割・機能・要件等が研究されており、一応のトータル・ピクチャーを提供している。

第四に、顧客との協創プラットフォームについて、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおける役割・機能について、ソリューション研究も I D E C 探索研究も十分な理解を提供できていないのではないだろうか。

I D E C ケースでは、I D E C ファクトリーソリューションズの運営する「協調ロボット安全テクニカルセンタ」は、ユーザ企業と顧客企業に対する製品・ソリューションの展示場であると同時に、ユーザ企業と新たな産業安全システムを共同試作する場を提供し、I D E C は共同試作の機会提供によりユーザ企業を組織化し協働関係を強めている。確かに、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて協創プラットフォームが重要なツールであることは理解できるが、I D E C においても、機械商社等を通じた間接販売、自社営業部門による大口ユーザ等重要顧客を相手とする直接販売を展開している。

とすれば、必ずしも全ての製造企業がサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて協創プラットフォームを必要とせず、例えば直接販売制等において個々の顧客関係を改善・深化させることで市場誘導型イノベーションにつなげる途もあり得るのではないだろうか。仮に、顧客との協創プラットフォームが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて死活的な重要性を有するのであれば、如何なるロジック、如何なるニーズによるものなのだろうか。ここでも、顧客と製造企業の協働の在り方について、製造企業のサービス成長研究ではトータル・ピクチャーを描き切れていない。

I D E C の探索研究は、独立専任機関の存在がサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成否において重要要素であることを感知させてくれるが、ソリューション研究の成果が” Smart Factory ” を契機とする工作機械ビジネス革新まで無条件で適用できるかまで保証するものではない。この点、第 1 章 2 (3) で論じたとおり、ユーザ・イノベーションは、顧客との協働を通じた、顧客からのアイデア・知見・ノウハウ等の獲得によるイノベーションの点で、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを包摂する上位概念であり、ソリューション研究及び I D E C の探索研究が提供できないトータル・ピクチャーを提供するものである

以上のように、第 2 章及び第 3 章で試みたように、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションについて、第一義的に製造企業のサービス成長研究のフレームワーク内で先行研究を踏まえ研究しようとした場合、ソリューション研究と I D E C の探索研究のみでは、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関するトータル・ピクチャーは描けない。I D E C ケースでも適合・通用したからといって、

ソリューション研究の成果をそのまま” Smart Factory” を契機とする工作機械ビジネス革新に適用してよいものだろうか。心許ない。結局のところ、製造企業のサービス成長研究は、市場成熟期にある製造企業がサービス化を通じて製品イノベーションを起こし脱コモディティ化することを取り扱うとしつつも、2000 年以降の爆発的な研究成長において、ソリューションを通じた顧客との協働、顧客との協働過程で得たアイデア等を活用した製品イノベーション等については解明が進んでいない。

ユーザ・イノベーションが製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを包摂する上位概念である。ユーザ・イノベーション研究は 1970 年代以降ユーザから製造企業への知識移転等について研究蓄積を積んできており、ユーザ・イノベーション研究の成果は製造企業のサービス成長研究の不足を補うことに活用することができる。第 1 章 2 (3) では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの上位概念であるユーザ・イノベーション研究の援用について、第 1 部第 2 章及び第 3 章の分析検討を踏まえて、本研究の具体的な必要性に応じて決定するとした。そこで、第 4 章では、第 2 部の工作機械メーカーの事例研究に先立ち、ユーザ・イノベーション理論の適用可能性を検討し、第 2 部の工作機械メーカーの” Smart Factory” を契機とするビジネス革新に関する事例研究の最終的な準備とする。

参考 1

I D E C の製品一覧



スイッチ



表示灯・ブザー



非常停止用押しボタンスイッチ



LED 照明



安全機器



端子台



リレー・ソケット・タイマ



サーキットブレーカ



電源機器



P L C



プログラマブル表示器



ソフトウェア



自動認識



センサ



防爆機器

(出所) I D E C 資料に基づき筆者作成

参考 2

IDECの産業安全・機械安全製品の用途

(石油・化学プラント)



爆発性ガスが存在する危険場所で、爆発の点火源にならないよう技術的対策を講じた防爆製品群が広く採用。



タッチスイッチ付表示器
EX4R形



防爆構造コントロールボックス
EC2B形

(金属加工ライン)



プレス機・工作機械に関しては、安全スイッチや非常停止用押ボタンスイッチ等安全機器、デザイン性の高い操作スイッチが採用されている。



スライドハンドル形アクチュエータ
HS9Z形



小形制御ユニット
LBシリーズ

(成形ライン)



樹脂成型を行う成型機においては操作スイッチや異常を知らせる積層表示灯等の製品が導入。



第3世代非常停止用押ボタンスイッチ 積層表示灯 Xシリーズ LD6A形

(組立ライン)



産業用ロボットのプログラミングには、イネーブル・スイッチなど安全装置を搭載したティーチング・ペンダントが採用されている。



LED照明ユニット (広角高照度タイプ) LF1D/2D形

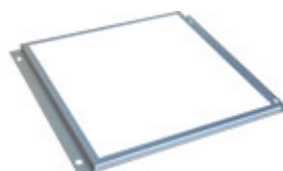


小形ティーチングペンダント HG1U形

(検査ライン)



検査工程では内容物の有無や内容物を検知するセンサや、目視検査をサポートするLED照明ユニット等が導入。



フラットLED照明ユニット LF1F形
均一な光で、より確実な目視検査をサポート。



小形光電スイッチレザタイプ SA1E-L形
微小ワークや高速移動ワークを安定検出

(出荷・搬送ライン)



出荷物にマーキングするレーザ・マーカ、仕分・管理のためのバーコードリーダなどトレサビリティ関連製品に使用。

高天井用 LED 照明ユニット
LG1H形

超小形二次元コードリーダ
matrix シリーズ

(駅・公共交通機関)



駅ホームの転落防止用可動柵の制御や、列車の位置検知システムにはプログラマブル・コントローラやセンサが使用。

コントローラ
FT1A形

超高輝度 LED 表示灯
AP22形

(店舗)



注文を入力するためのパネル式表示器や、鮮度管理を担う RFID ソリューションなどがオーダリングシステムをサポート。

プログラマブル表示器
HG3G形

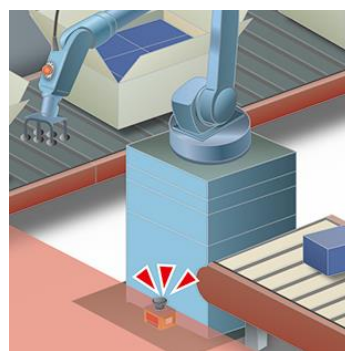
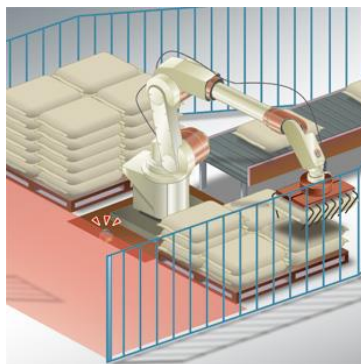
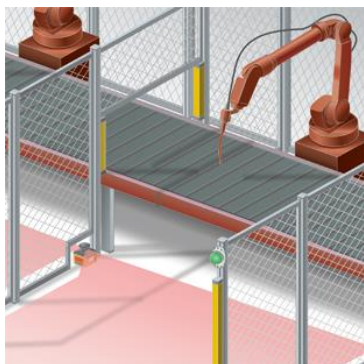
冷蔵ケース用 LED 照明
LF1E形

(出所) IDECホームページ (<http://jp.idec.com/ja/aboutIDEC/corporate/business/>)

参考3

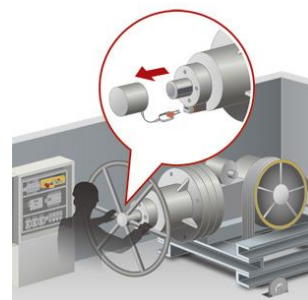
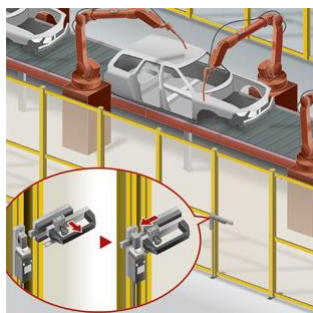
IDECの制御製品及びアプリケーション

セーフティレーザスキャナ

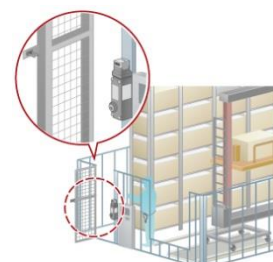
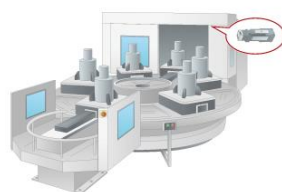


存在探知で安全柵内の人的被害削減 生産効率を保ちつつ事故リスク排除 パレタイジングベルトの弱点補完

安全スイッチ



耐久性2倍の安全スイッチ ドア安全スイッチの弱点強化で保守不要化 巻上機誤作動事故のゼロ化

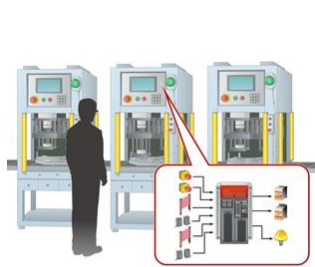


リレー故障による「意図しない」
ダウンタイム発生軽減

半導体製造装置の小型化に貢献
世界最薄のドア用安全スイッチ

自動倉庫のメンテナンス中の事故
発生防止

セーフティコントローラ



小型装置に最適な、安全コントローラによる工数削減と安全性の両立

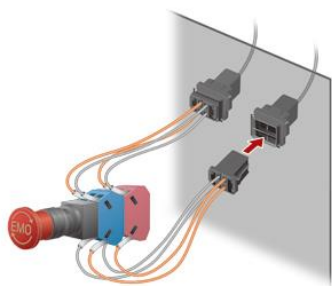


エレベータの安全性強化

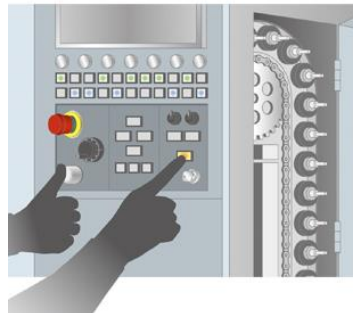


エレベータの新安全規格に対応した制御システムを IDEC コンポーネツで構築

非常停止用押ボタンスイッチ



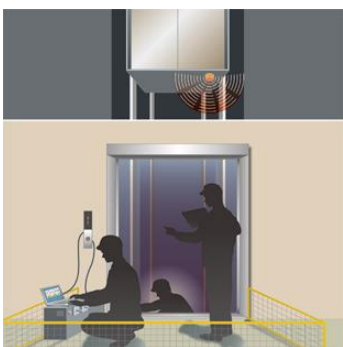
3ポジション・イネーブル・スイッチ



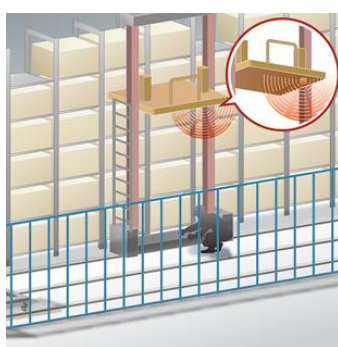
メンテナンス時間を長引かせずスイッチ交換 半導体装置の緊急停止装置破損による損害回避のための複数設置

マシニングセンタの安全性確保

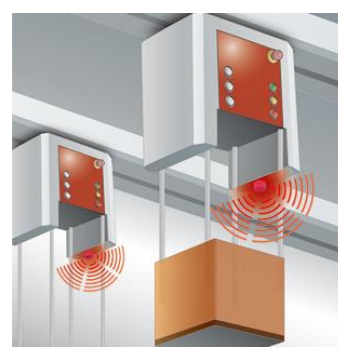
照光ブザー



籠の衝突防止



保守時の人身事故のリスク低減



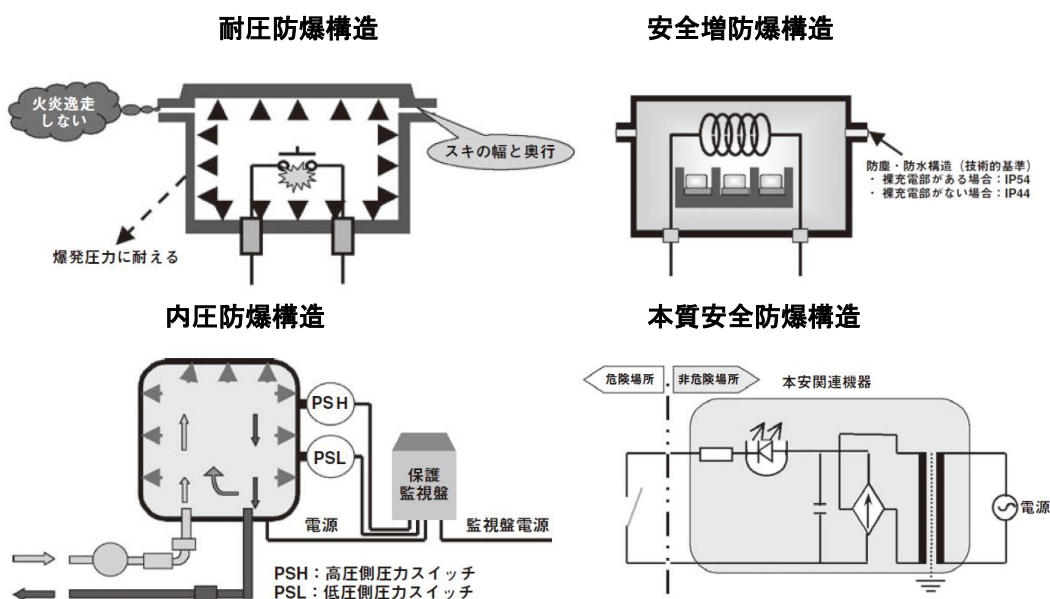
天井に潜む人身事故リスク対策

(出所) I D E C 資料

参考 4

防爆装置

1. 爆発性ガス危険雰囲気を生成するおそれのある危険場所において、危険雰囲気が生成する確率と電気設備が点火源となる確率との積を実質的にゼロと見なせるようコントロールするため、下記のような防爆装置が開発されている（I D E C資料）。



2. 各種の防爆措置については以下のとおり。

耐压防爆	内部に侵入した爆発性雰囲気の内爆に対して、容器が損傷を受けることなく耐え、かつ、容器のすべての接合部又は構造上の開口部を通して外部のガス又は蒸気の爆発性雰囲気への引火を発生させない電気機器構造。
安全増防爆	正常使用時にはアーク又は火花が発生しない電気機器に適用。過度な温度、異常なアーク・火花の発生に備え、安全性を増加する手段を講じた電気機器構造。
内圧防爆	容器内の保護ガスの圧力を外部の爆発性雰囲気の圧力を超える値を保持する、又は容器内のガス或いは蒸気の濃度を爆発下限より低いレベルに希釈することにより防爆する構造。
本質安全防爆	正常状態だけでなく仮想される故障状態において、電気回路に発生する電気火花と高温部が規定試験条件で試験ガスに点火しないようにした防爆構造。他の防爆構造は正常使用を前提とした防爆であるのに対し、本質安全防爆は電気回路の規定故障状態でも防爆性能を確保。(例示図では、商用電源の高電圧を混触防止板付の変圧器で安全な電圧に降圧、抵抗器で安全な電流に制限し、ガス蒸気に点火するおそれをなくしている)

第4章 ユーザ・イノベーション研究に関するレビュー

～第2部の事例研究に向けた最終的な準備～

1. ユーザ・イノベーション(“User Innovation”)との関係

Wise and Baumgartner (1999)等は、製造企業が”Go downstream”により顧客の事業プロセスに関与し、顧客と協働して課題解決に取り組む過程で、市場に潜在する製品ニーズや革新的な製品アイデアを発掘・発見し、コモディティ化を打破するイノベーションを起こすことを提言した。

彼等の提言は「製造企業のサービス化」の文脈から成されたものであり、ユーザ・イノベーションに関する言及はないが、製造企業がイノベーションのアイデアを製品・技術のユーザ等企業との協業等を通じて企業外部より獲得する点において、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは1990年代以降、急速に研究が進んだユーザ・イノベーションに属するものであり、Wise and Baumgartner (1999)等のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションはユーザ・イノベーションの観点から考察することにより、その意義・課題等が明瞭になると考えられる。

伝統的に、製品イノベーションは、製造企業がプロダクト・アウト、マーケット・インのいずれかを問わず、製品開発の前提となる問題発見を行い、製品開発により問題解決策(製品・技術の形で)を市場に提供すると考えられてきた(Arrow 1962; Tushman and Anderson 1986; Henderson and Clark 1990)。これに対し、ユーザ・イノベーションとは、製造企業がイノベーションのアイデアを製品・技術のユーザ企業との協業等を通じて企業外部より獲得し、製品イノベーションを起こすものであり、(科学的)計測機器メーカーの製品イノベーション・プロセスにおけるユーザの役割を分析した von Hippel (1976)を皮切りとして、製造企業が供給する製品・技術を使用・消費するのみとされたユーザが重要なイノベーションの源泉であることが明らかにされてきた。

一方、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは、Wise and Baumgartner (1999)等が製造企業のサービス化の文脈から着想し、製造企業のサービス成長研究の一環として研究が進められてきたため、顧客との協働を含むイノベーション・プロセス等の解明に関しては、ユーザ・イノベーションの観点からの研究は蓄積が未だしであるが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションはユーザ・イノベーションの一つの類型である⁴¹。

⁴¹ ユーザ・イノベーションについては、企業の内部と外部との技術やアイデアの流動性を高め、組織内で創出されたイノベーションをさらに組織外に展開するオープン・イノベーションとの相違が論点となる。von Hippel (2013)によれば、両者はイノベーション・プロセスのオープン化と顧客・ユーザ等のプロセスへの包摂の点で共通するが、オープン・イノベーションが大学や他社の技術のライセンスを受けたり、外部から広くアイデアを募集したりするなど、企業の内部と外部との技術やアイデアの流動性を高め、組織内で”Incremental Innovation”されたイノベーションをさらに組織外に展開する取組であるのに対し、ユーザ・イノベーション

そこで、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関し、製造企業のサービス成長研究と I D E C を対象とする探索研究よりイノベーションの成功条件として抽出した、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係」「顧客との協創プラットフォーム」「独立専任機関」がイノベーション実現に如何なる意味を有するのかを考える上で、ユーザ・イノベーション研究が確立してきた、ユーザから製造企業への知識移転、製造企業とユーザの協働等に関するフレームワークが活用できると考える。

2. リード・ユーザ・イノベーションと知識移転

ユーザをイノベーションの源泉として捉えるユーザ・イノベーション研究のパイオニアである von Hippel は” The Source of Innovation” (1988)において、製品開発を製造企業主導型とユーザ主導型に類別し、後者に関して、自らの革新的なアイデアに基づき、自らイノベーションの主体となって製品・用途の開発を行うリード・ユーザを “Radical Innovation” の推進役とするイノベーションをモデル化した。爾後、ユーザ・イノベーション研究では、von Hippel の多数研究者との協働も含む精力的で広範なテーマに渉る研究活動に牽引され、リード・ユーザ概念に依拠しながら研究蓄積がなされてきた⁴²。製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに対して、ユーザ・イノベーションの分析フレームワークを適用するに当たり、先ず、リード・ユーザ・イノベーションでは、顧客との協働等をどのように捉えているのだろうか。

リード・ユーザとは、重要な市場動向に先行し、彼等が直面しているニーズが数年後には一般のユーザも直面することとなる先鋭的なユーザであり、かつ、そのニーズに対する解決を発見することで高い効用を得られる者とされ、そのために製造企業が取り組むよりも前に製品イノベーションに取り組む強い動機を有し、製造企業の協力者ではなく、自らイノベータとして “Radical Innovation” を主導する (von Hippel 1986, 1989; Urban and von Hippel 1988; Herstatt and von Hippel 1992; Lilien et al. 2002)。リード・ユーザ・イノベーションとは、製造企業が自社の競争優位を左右する、社内の製品開発プロセスに企業外部のリード・ユーザを取り込むものである。

は、製造企業が顧客・ユーザのイノベーション・プロセスを理解した上で、顧客・ユーザとイノベーションに協働して取り組むべく、顧客・ユーザを組織化して、自社内部に協働プロセスを組織的・システムの的に構築するものであるとする。

⁴² 例えば、scientific instruments (Riggs and von Hippel 1994), CAD software (Urban and von Hippel, 1988, pipe hanger hardware (Herstatt and von Hippel 1992)、surgical equipment (Luethje 2003)、library information systems (Morrison et al. 2000)、sports equipment (Franke and Shah 2003; Hienerth, 2006; Franke et al., 2006; Luethje et al. 2005) 等。

すなわち、新製品開発ではアイデア探求からスタートするが、伝統的に製造企業は顧客のニーズや欲求を出発点として新製品のアイデアを探索し、製品アイデアに基づき製品開発を行い、さらには製品を上市する過程で複数回のマーケティング調査を実施することで、顧客ニーズを収集するべく努めてきた。これに対して、リード・ユーザ・イノベーション⁴³では、製造企業ではなく、リード・ユーザが問題認識、アイデア形成、問題解決の取組、ソリューション化、製品プロトタイプの創造までも自ら実施し、製造企業はその成果を商業化し普及させることを想定している(図6参照)。確かに、市場の最先端ニーズを理解し、その解決まで自ら発見しているリード・ユーザを自社の製品開発プロセスに取り組むことは、製造企業にとり極めて有益なイノベーション成果を期待できるものであり、製造企業における一連のイノベーション・プロセスをリード・ユーザにアウトソースする革命的な取組である。

製造企業の競争優位を左右する製品開発プロセスに企業外部のユーザを関与させる革命的取組であるが故に、リード・ユーザ・イノベーションは、LEGO、3Mのように製造企業がリード・ユーザを自社の製品開発プロセスに取り込み目覚ましい成果を達成した事例もあるが(Hienerth et al. 2014; von Hippel et al. 1998, 1989)、多くはリード・ユーザから製造企業への知識移転の難しさがボトルネックとなり不発に終わっている。ユーザのアイデアやコンセプトが所謂NIH(“not invented here”)症候群の犠牲となり製造大企業により拒絶されたり(Vandermerve 1987)、リード・ユーザの“Radical Innovation”は従前とは全く異なる技術・経営資源を要求するため、基盤の定まった製造大企業のケイパビリティを根底から破壊する恐れがあること(Chandy and Tellis 1998; Shane 2001)、さらには、巨大企業の官僚的機構(Chandy and Tellis 2000)やリード・ユーザ以外の主要顧客の声への過度の依存(Bower and Christensen 1995; Christensen, 1997)がリード・ユーザの急進的アイデアの採用の妨げとなっているとされるが、いずれにしても、リード・ユーザ・イノベーションでは知識移転の難しさがボトルネックとなっており、その難しさには、製造企業とリード・ユーザの情報・パワーの非対称性が関わっている。

すなわち、リード・ユーザは重要な市場動向に先行しており、数年後には一般ユーザも直面するニーズに現時点で直面し、自らソリューションまで発見しているが(情報優位)、製品プロトタイプの商業化に要する経営資源・能力を欠く。一方、製造企業は市場調査により顧客ニーズの把握に努めているが、一般ユーザとリード・ユーザは区別し難く、製造企業はリード・ユーザの発信する情報をノイズと捉えてしまいがちである。製品・市場の未来を見通せていない(情報劣位)製造企業にすれば仕方ない選択で

⁴³ 水野(2011)はRogers(1962)のイノベーション普及理論の「イノベータ(革新的採用者)」とリード・ユーザを対比し、リード・ユーザも革新的採用者も市場動向に先駆的な行動を取る点で共通するが、リード・ユーザは自らがイノベーションの主体となり新しい製品・用途を開発するのに対し、イノベーション普及理論のイノベータは製造企業が開発した製品を他より先に採用するのに過ぎないとして、両者の混同を戒めつつリード・ユーザの特異性を際立たせている。

あるが、彼等は、まだリード・ユーザのように「目覚めていない」主要顧客の声に耳を傾けて、従来の製品・技術のインクレメンタルな改善・改良を選びがちであり、リード・ユーザが既にコンセプト段階を超えてプロトタイプ製品化にまで漕ぎ付けていても、イノベティブなアイデアを正しく評価できず商品化を避けがちである⁴⁴。

このようにリード・ユーザは”Radical Innovation”において情報優位にあるが、他方では、プロトタイプ化まで漕ぎ着けた”Radical Innovation”を商業化するには、製造企業との理解と商業化に向けた資源動員が必要となる(パワー劣位)。ここで製造企業とリード・ユーザのパワー・バランスが均衡していれば、両者の協業は円滑化し”Radical Innovation”の成功確率は高まるが(Peffer and Salanick 1978; Casciaro and Piskorski 2005)、多くの場合、商業化のためのリソースを握る製造大企業が殺傷与奪の権を握る形となり(パワー優位)、両者の協業は成果が低いとされる(Casciaro and Piskorski 2005)。このため、リード・ユーザを活用したユーザ・イノベーションでは、製造企業とリード・ユーザの情報・パワーに関する非対称性を克服して、両者がイノベーションに協働して取り組み、リード・ユーザの革新的なアイデア、ソリューションを製造企業の組織的能力・経営資源を用いて商品化できるかが課題となる。

3. 知識移転に向けた制度的取組

(1) リード・ユーザ法

リード・ユーザは、一般市場の数年先を行くアイデアに基づき、商品化の可能性が定かでない革新的な製品を第一義的には自己利用を目的として開発しようとする者である。製造企業は如何にして、リード・ユーザが未知の戦略的方向を見出して、新たな製品市場と用途、新たな製品・サービスのアイデアを発展させつつあることを組織的に認知し、自社のイノベーション・プロセスに取り込めばよいだろうか。この点、von Hippel et al. (1998, 1989)は3Mにおけるイノベーション・プロジェクトの経験と観察に基づき、製造企業がリード・ユーザの動きを自社の製品開発プロセスに取り込み活用する方法、リード・ユーザ法(“lead user method”)を定式化した。

パワー優位にある製造大企業は、既成市場における自社製品の成功、きめ細かなマーケティング・リサーチによる主要顧客等のニーズ把握、同把握に基づく製品イノベーションに自信を抱いており、パワー劣位にあるユーザの”Radical Innovation”をなかなか認めることができない。これは組織にも個々の構成要員にも共通する偏見で

⁴⁴ 製造大企業は新製品開発に当たり市場調査に基づき顧客ニーズを把握し製品開発につなげるイノベーション・システムを制度化しており、イノベーションのアウトソースを前提とする、リード・ユーザを活用したユーザ・イノベーションはもともと組織的、系統的に異質のものであり、知らず識らずリード・ユーザの革新的なアイデアや試作品等を拒絶・排除しがちである。

あり、リード・ユーザ法は組織・個人のユーザ・イノベーションに係るバイアスを克服すべく、経営陣のリーダーシップの下に、リード・ユーザの探索と協働を全社プロジェクトと位置付け、全社横断的に人材を集めて専任チームを編成。自社イノベーションを過信して外部のアイデアに対する感度の低くなった企業文化を変革し、(平均的顧客から乖離した先鋭的でマージナルな)「顧客に学ぶ」ことを制度化し、「パワー・バランスの不均衡」を克服しようとしている。

具体的に、リード・ユーザ法では、「一般ユーザでなく先鋭的なユーザのニーズに注目する」「ユーザにはデータよりも、むしろユーザが先鋭的ニーズを解決するために開発したソリューションすなわちイノベーションを聴き出す」「ターゲットとする市場だけでなく、近接市場や関連市場における市場ニーズやソリューションにも関心を持ちリサーチする」「組織の多様なセクションから人材を集め領土的なプロジェクト・チームを組む」ことを組織原則化し(Eisenberg 2011)、プロジェクトの進め方としては以下の4段階を想定している。

表8 リード・ユーザ法におけるイノベーション・プロジェクトの進め方

第1段階	リード・ユーザ・プロジェクトの立上げ	リード・ユーザ・プロジェクト・チームはプロジェクトの日程を定め、現行市場の動向を研究し、プロジェクトの主要目的を形成・確定する。
第2段階	産業界における重要動向と顧客ニーズの明確化	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト・チームは、リード・ユーザとリード・ユース専門家を探し出し、研究対象領域に影響する傾向を理解し、先鋭的なリード・ユーザが有する製品ニーズへの理解を少しずつ高める。 ・その際、プロジェクト・チームは、先鋭的なユーザがその場凌ぎであっても、市場の隙間を埋めるべく如何なるソリューションを開発しているか観察する必要がある。 ・最終的に、第2段階では、第3段階で主要ポイントとなる革新的ニーズを具体化する。
第3段階	リード・ユーザのニーズと解法の探求	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト・チームは引き続きネットワーキングやインタビューによりリード・ユーザの探索を続け、必要があればリード・ユーザを訪問してイノベーションへの取組等を観察し、暗黙知を発見する。 ・リード・ユーザは自己の取組や作業の独自性や革新性に気付いていない可能性もあり、プロジェクト・チームはユーザを観察する過程で追加的な洞察を得ることができる。 ・同時に、プロジェクト・チームは、様々なリード・ユーザによるイノベーションから得た洞察や、プロジェクト・チームによる「学び」「発見」の総合の成果を纏め上げ、ソリューションの基本アイデアの素案を創り出す。 ・ソリューションの基本アイデアは、リード・ユーザとワークショップを行うことで、更なる洗練と高度化を図る。
第4段階	リード・ユーザ及びその専門家との協働によるソリューションの改善・発展	<ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト・チームは選ばれたリード・ユーザとリード・ユース専門家を招き、将来的に成功可能性のあるアイデアの素案の改善と内容追加に目的を絞ったワークショップを2日半程度開催。 ・プロジェクト・チームはワークショップで産み出した基本アイデアを取り上げ、ソリューションの他の要素と関連付け統合し、ビジネス・プランを纏め上げて経営陣に報告書を提出する。

(出所) Eisenberg (2011)に基づき筆者作成

(2) 製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションへの適用

① ユーザ・イノベーション研究と I D E C ケース

製造企業のサービス成長研究及び I D E C を対象とした探索研究では、製造企業がソリューション提供を通じて顧客関係を緊密化し、顧客との協働過程を通じて製品イノベーションのアイデア、知見・ノウハウ等を獲得できるとし、知識移転が製造企業とユーザとの関係性により阻害される可能性があることは認識していない。リード・ユーザ・イノベーション研究は製造企業とユーザとの間の情報・パワーの非対称性の捻れに着眼して、リード・ユーザ法や後述するユーザ・コミュニティ等の知識移転の円滑化・促進に向けたスキームを開発してきたが、これらは製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの場合にも有効ではないだろうか。

まず、探索研究対象の I D E C の 2010 年代の「人と機械の協働」安全に対応した産業安全システムの構築、第 2 部で事例研究する工作機械メーカーの” Smart Factory” を契機とした工作機械ビジネス革新において、I D E C と工作機械メーカーは、3 M、LEGO 等のリード・ユーザを活用したイノベーションと同様に、情報・パワーの非対称性の問題に直面することがあるのだろうか。

工作機械メーカーの事例研究については第 2 部に譲るとして、I D E C が 2010 年代にソリューション化した顧客工場における産業安全システムの構築に関して、I D E C は安全関連制御機器・装置の製造開発者であると同時に、安全関連制御機器・装置及び安全関連制御システムのユーザである。I D E C は顧客メーカーと同様に、自社工場の産業安全システムを自らインテグレートしており、その限りでリード・ユーザ・イノベーションが想定するようなユーザとの情報の非対称性は存在していない。むしろ I D E C は、顧客メーカーが産業安全システムに関して着想したアイデアや、産業安全ソリューションに関する新機軸について最も適正に認識・評価する用意がある。

ただし、I D E C はこれまで安全関連制御機器・装置及び安全関連制御システムの販売・サービスを機械商社等に依存し、I D E C は直接販売制の対象を大口顧客等に限定してきた。現在、産業安全が「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」にパラダイム・シフトする中、I D E C は新たな産業安全システムの在り方を模索しており、そのため企業規模・製造分野を問わず直接コンタクトする顧客層を拡大しつつある。I D E C は、グローバル製造企業から中堅、中小製造企業へと直接コンタクトする顧客層を拡大する過程で、これまで機械商社等に産業安全システムのインテグレーションを含めて販売・サービスを委ねてきた中小メーカーとの間で(錯誤的にでも⁴⁵⁾「パ

⁴⁵ 工作機械・産業機械・制御機器等資本財メーカーは伝統的に機械商社等を代理店とする間接販売制に販売・サービスを依存してきており、自動車・電機産業など高付加価値製品の大口顧客を対象として営業部門等が直接販売・サービスを実施する体制を採ってきた。中堅・中小メーカーは資本財メーカーに対して市場のボリューム・ゾーンを提供する重要な存在であり、製

ワー」の非対称性が発生し、中小顧客の革新的なアイデアを知識移転できない恐れはないだろうか。

② I D E C のイノベーションに向けた取組とリード・ユーザ法

I D E C では、1990 年末代の産業安全・機械安全セミナーを活用した市場誘導型イノベーションの試みは具体的な製品アイデア等に欠いて失敗に終わり、2000 年代半の「セル生産システム」ロボット化事業は製造大企業等にターゲットを絞り革新的ロボット・システム開発供給により本格立上げを目指したものの、肝心のロボット・システム供給に係るソリューションを担当する独立専任機関がインテグレーション能力等を欠き、頓挫した。これらの過去の市場誘導型イノベーションの取組は大口顧客を念頭に置いたものであり、「顧客に学ぶ」上で中小・中堅メーカーは第一対象ではなかった。

しかしながら、I D E C が産業安全の「人と機械の協働」へのパラダイム・シフトを受けて本格ビジネス化しようとしている「人と機械の協働」ソリューションはいまだドミナント・デザインの確立していない事業領域であり、従来、直接販売制の対象としてきた大口・中堅顧客に限定せず、広範な業種・規模の製造企業を対象として「学ぶ」必要がある。I D E C はこの点を認めて、自社がすべての生産現場を知悉しているわけではない以上、「人と機械の協働」安全システムと同ソリューションを成長発展させるには、中堅・中小顧客を軽視せず、彼等から学ぶ必要があるとしている⁴⁶。

ここで、von Hippel et al. (1998, 1989) 等が情報・パワーにおける製造企業とリード・ユーザの非対称性を克服するため開発したリード・ユーザ法は、I D E C と顧客メーカーの関係においても活用できるのではないだろうか。リード・ユーザ法は製造大企業を念頭に置いてはいるものの、経営者主導による社内横断型全社プロジェクトの形で「顧客に学ぶ」システムを制度化するものである。

I D E C が「人と機械の協働」に基づく安全ビジネス革新において、リード・ユーザ法から学ぶとすれば、形式として全社プロジェクトの形を探るか否かを問わず、(i) ユーザが「人と機械の協働」に向けて如何なる課題を抱え、課題解決に向けて安全システム改革等の取組を行っているかを顧客より聴き出し、(ii) 一般ユーザとは異なる独自のアイデアにより「人と機械の協働」安全を達成しようとしている「尖った」

品開発等においても軽視しているわけではないが、営業部門としては、製品単価の高い高付加価値製品を大量需要する大口顧客に第一義的な関心が向かうのは自然なことであり、資本財メーカーがイノベティブな次世代製品を開発する上でも、グローバル競争に勝ち抜くために高い技術的課題を突き付けてくる自動車・電機産業の大口顧客は重要なアイデアの宝庫であったため、中堅・中小メーカーに対する関心は劣位しがちとなった。本稿で「錯誤的」なパワー非対称性というのは、資本財メーカーにとり中堅・中小顧客はボリューム・ゾーンを形成する無視できない存在であるものの、彼等の関心・ケアは自動車・電機部門等の大口顧客に向かいがちである結果、中堅・中小メーカーに対するケア・関心が低下しがちとなる現象を指す。

⁴⁶ I D E C 訪問取材(2017年9月20日)。

顧客に対して、平均的アプローチからの乖離を否定的に捉えず、ソリューションとして何を狙っているのかを考え、(iii)一般に(深い分析等のないままに)「先進的」「高度」と考えられている自動車・電機メーカー等の「人と機械の協働」安全に係る取組と比較しつつ、「尖った」顧客のソリューションが顧客の製造現場に特有のものか、あるいは、顧客の個別現場に限らず広範な製造分野にも妥当する(少なくとも顧客の属する製造分野に妥当する)ものかを見極め、そこから一般的に適用するソリューションを抽出する「態度」「文化」の育成の必要性であり、企業経営・企業文化における制度化であるとする。

実際、IDECによれば、「人と機械の協働」安全へのパラダイム・シフトを契機とした安全システム及び安全関連ビジネスの革新に向けて、未だドミナント・デザインのない中で新しい産業安全システムを確立するには、従来から直接販売制によりコンタクトのある大口顧客だけの動きをウオッチしていても駄目であり、中堅・中小メーカーを対象を拡大して新しい産業安全システムの開発・インテグレーションに協働して取り組まなければならないとする⁴⁷。

リード・ユーザ法では、経営者主導による社内横断型全社プロジェクトの形で「顧客に学ぶ」システムを制度化し、全社横断的に選抜したプロジェクト・チームが前掲表8のプロセスに従ってリード・ユーザを探索し、リード・ユーザ等から産業界の重要動向と将来市場においてドミナントなものとなる製品ニーズを把握、その上でリード・ユースを製品化して経営陣にビジネス化を提言することとされている。IDECも「人と機械の協働」ソリューションについては松木俊之社長のイニシアティブによりプロジェクトとして立ち上げ、全社横断的にプロジェクト・チームを編成する代わりに、外部より制御機器等による生産ライン制御とロボット・システムのインテグレーションに強みのあるシステム・インテグレータを企業買収し(IDECファクトリーソリューションズ)、リード・ユーザ法に言うプロジェクト・チームと同じ役割・機能を担わせ、上記(i)(ii)(iii)に取り組ませたとする⁴⁸。

③ユーザ・イノベーションにおける顧客との協働関係

以上を踏まえると、製造企業のサービス成長研究とIDECの探索研究から、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成功条件の一つとして想定した「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」は、改めてサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの上位概念であるユーザ・イノベーションの枠組みで考えるならば、「顧客に学ぶ」システムの制度化と考えることができる。

形式として全社プロジェクトの形を採るか否かを問わず、(i)ユーザが如何なる課題を抱え、課題解決に向けて如何なる取組を行っているかを顧客より聴き出し、(ii)

⁴⁷ IDEC訪問取材(2017年9月20日)

⁴⁸ IDEC訪問取材(2017年9月20日)

一般ユーザとは異なる独自のアイデアにより問題解決している「尖った」顧客に対して、平均的アプローチからの乖離を否定的に捉えず、ソリューションとして何を指しているのかを理解しようとし、(iii)先進的企業を含めた他社の取組と比較しつつ、「尖った」顧客のソリューションが顧客に特有のものか、あるいは、顧客の属する製造分野の同業他社にも通用するものかを見極め、そこから一般的に適用するソリューションを抽出する「態度」「文化」を育成し実行して行くことが「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」であると考ええる。

第2部の工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とするビジネス革新に関して、製造企業のサービス成長研究及びIDECの探索研究より、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成功を左右する条件として措定された「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」は、顧客の製造現場において単にソリューションを協働するというものではなく、上記の(i)(ii)(iii)の取組を協働過程において背後で行うことを前提とした協働を意味するものであり、その限りにおいて市場誘導型イノベーションの成否を左右することとなると考える。

そして、ユーザ・イノベーションの成功には、プロジェクト・チームのみが「顧客に学ぶ」という「文化」を有するだけではなく、社内にも「態度」「文化」が共有され理解されることが必要である。企業文化の革新には経営陣の強い意志とコミットメントが不可欠であるが、製造企業のサービス成長研究及びIDECの探索研究では、市場誘導型イノベーションの成功が「戦略的意思決定」に基づくコミットメントに負うところが大きいとする。工作機械メーカーがソリューションを通じて、顧客工場の生産高効率化に取り組む過程で、新しい製品アイデア等を広範な製造分野・規模の「顧客に学ぶ」には、経営陣のリーダーシップの下に企業文化も変革し社内体制も整える必要がある。

以上より、第2部の工作機械メーカーの事例研究では、製造企業のサービス成長研究及びIDECの探索研究より、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成功を左右する条件として措定された「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」は、ユーザ・イノベーション研究の文脈を踏まえて適用を考えるべきであろう。

4. ”Incremental Innovation”とユーザ組織化

(1)ユーザ・イノベーションにおけるユーザ組織化

ユーザ・イノベーションは、von Hippel自身が科学的計測機器イノベーションにおけるユーザの主導的役割を明らかにした von Hippel (1976)にて類型化したように(図6)、ユーザが課題認識、アイデア具体化、課題解決の取組、ソリューション、プロトタイプ製品の開発までイノベーションを主導するリード・ユーザ・イノベーションに

限られるわけではなく、製造企業とユーザがアイデア具体化、課題解決など協働して革新的な製品開発を実現するイノベーション、製造企業が多数ユーザを組織化してイノベーション・プロセスを主導するイノベーションが存在する。製造企業とユーザのイノベーションにおける地位・役割が異なることから、当然、両者の協働の在り方やイノベーションの進め方は異なる。

図6 イノベーション過程と主役(イノベーション類型別)

イノベーション 類型	イノベーション活動の主導者					
ユーザ主導	ユーザ					最終製品製造企業
最終製品 製造企業主導	ユーザ	最終製品製造企業				
部品・材料等 サプライヤ主導	ユーザ	部品・材料等サプライヤ				最終製品製造企業
イノベーション プロセス	認識	アイ デア 形成	問題 解 決	ソリ ュー シ ョ ン	プロ ト タ イ プ 製 品 の 実 用 化 ・ 普 及	製 品 の 商 品 化 及 び 実 用 化 ・ 普 及

(出所) von Hippel (1976) に基づき筆者作成

3. で見たように、von Hippel 等リード・ユーザ論者は“Radical Innovation”を念頭に置いてユーザ・イノベーション研究を進めたが、“Smart Factory”を契機とする工作機械ビジネス革新において、工作機械メーカーが取り組むイノベーションは“Radical Innovation”ではなく“Incremental Innovation”が主である⁴⁹。製造現場をゼロ・ベースで見直し更地にした上で工場を新設することは稀であり、既存の生産ラインをベースとして、現時点での企業戦略・計画・予算等の制約の下で最善の工場生産高効率化ソリューションを考案・採用し、生産高効率化を行う取組は本来的に“incremental”にならざるを得ない。

“Incremental Innovation”において、製造企業はユーザと協働するに当たり如何なる仕掛けが必要となり有益であるのか。ユーザ・イノベーションを行う製造企業はユーザを組織化し、ユーザによる自社製品の利活用をきめ細かく把握することを通じ、潜在する課題・ニーズを発掘・発見しなければならない。リード・ユーザ法は一回的

⁴⁹ 2000年以降、工作機械メーカーはソリューション・ビジネスにおいて、自動車等大口需要者から、新製品開発に必要な加工方法の開発を不定期に引き受け、加工方法とそれに対応した工作機械を開発し、顧客工場に工作機械システムとして納入する商いを行ってきた。工作機械業界には「自動車業界から学び、鍛えられた」という表現があるが、工作機械メーカーは不定期ながら自動車メーカー等の特殊な委託の都度、新製品につながる斬新なアイデアを得て工作機械及び工作機械システムを“Radical Innovation”してきた。ただし、工作機械メーカーと自動車メーカー等高付加価値機の大口顧客との関係は、情報、パワーともに自動車メーカー等が優位にあり、工作機械メーカーはWise and Baumgartner (1999) が期待したような、サービス化を通じて顧客と長期に渉るリレーショナルな協働関係を構築し、ソリューション過程で把握・認識した市場ニーズや知見・ノウハウを活かして製品イノベーションを恒常的に実施する関係には立てなかった。

な” Radical Innovation” にフォーカスして、経営陣のリーダーシップの下に全社横断型プロジェクトを立ち上げ、外部ユーザもメンバー参加させることで、リード・ユーザを発掘する仕掛けを考案した。プロジェクトは特定目的のため設立され、目的が達成されれば終了を迎える。これに対して、” Incremental Innovation” は一回的なものではなく、長期継続的にイノベーションに取り組み漸進的に成果を上げていくものであり、新製品開発に関連するユーザを恒常的に組織し協働する必要がある。

リード・ユーザ・イノベーションには「学ぶべきものなし」と短絡せず、上記の違いを踏まえた上で、リード・ユーザ・イノベーション研究から、恒常的なユーザ組織化について何かアイデアが得られないかを確認してみよう。実は、リード・ユーザ・イノベーション研究もプロジェクト方式のみをイノベーション促進の仕掛けとしていたわけではなく、イノベーションの恒常化のための仕掛けとしてユーザの組織化を検討しており、製造企業がユーザをユーザ・コミュニティ(“user community”)に組織することを提案している。これに何か学ぶことができるだろうか。ユーザ・コミュニティは、技術・製品のイノベーションに取り組む有志(製造企業、ユーザ、大学、研究機関、個人)より構成され、そこではイノベティブなユーザがアイデアや試作品をコミュニティ・メンバーとシェアし、メンバーから新製品開発に重要な助言・支援を受け、イノベーションを実現するとされる(Baldwin et al. 2006; Franke and Shah, 2003; Franke and von Hippel 2003; Hienerth and Lettl 2011, 2014; Jeppesen and Frederiksen 2006)。

ユーザ・コミュニティは、問題を広範多岐な観点から検証でき(Terwiesch and Xu, 2008)、他のメンバーの研究・開発成果の上にイノベーションを構築できる点が“Radical Innovation” に有効であると期待されるが(Murray and O’ Mahony, 2007)、一方では、ユーザ・コミュニティの結節点である製造企業にとり、イノベーションの管理と成果の事業化が難しい。第一に、ユーザ・コミュニティはメンバーが自律的過ぎてコントロール不能であり、成果を計画的に製品開発に活かさない(Hienerth et al. 2014)、第二に、コミュニティは自由で創造的な研究開発を優先し、成果物を知的財産権に拘らず利用しようとするため、成果物の商業化が難しく(Franke et al. 2013)、結果的にユーザ・コミュニティは現実の成果に乏しく、理論研究も進まなかった⁵⁰。

(2) サービス化を通じた市場誘導型イノベーションと顧客組織化の重要性

⁵⁰ 製造企業が” Radical Innovation” においてユーザ・コミュニティ活用が難しいのは、第一に、ユーザ・コミュニティ参加は関係者の自発的な意思に基づくものであり、第二に、イノベティブなユーザは知識からの果実収穫ではなく知識創造のみに関心があり、自由な知識創造と普及を目的として活動するため、製造企業が如何にコミュニティの発起人であり取まとめ役であるからといって、そもそも彼等を制御する立場にないためである。リード・ユーザ法が想定するプロジェクト形式では、プロジェクト参加による恩典と義務が明確化されており、自由な知識創造を重視するイノベティブなユーザであっても、プロジェクトの枠組みを逸脱できない(逸脱はプロジェクト脱退を意味)。

①問題意識

以上のように、リード・ユーザ・イノベーション研究がリード・ユーザ法のプロジェクト方式以外の選択肢として提示したユーザ・コミュニティは、イノベティブなユーザによる自由な知識創造を重視し過ぎ、ユーザをイノベーションに向けて組織化できていない。”Radical Innovation”は不連続なイノベーションであり、既存の知識に囚われない大胆な発想が求められるが、その一方で製造企業は知識創造を製品化に繋げるためにユーザの組織化が必要である。リード・ユーザ法のプロジェクト方式は”Radical Innovation”において自由な知的創造と製品開発に向けた協働のバランスを取る工夫であったと考えられるが、”Incremental Innovation”を志向するユーザ・イノベーションにおいては、革新的な知識創造とユーザ組織化の関係をどのように考えたらよいのか。

第2部で見ると、工作機械メーカーは”Smart Factory”を契機として工場生産高効率化ソリューションを本格的ビジネスとして立ち上げ、ソリューション実行における顧客との協働等の過程で得たアイデア、知見、ノウハウを製品イノベーションに活かしているが、この”Incremental Innovation”において、工作機械メーカーは、自社工場の生産高効率化に取り組む顧客メーカーを如何に組織化しイノベーションに協働させればよいのか。そして、知識創造と組織化のバランスの在り方はリード・ユーザ・イノベーション研究の提示したユーザ・コミュニティと異なるのか。

②IDEC及び工作機械メーカーと顧客ユーザとの関係

改めて探索研究の対象としたIDECについて考えたい。IDECと第2部の事例研究対象である工作機械メーカーは、ソリューション目的が産業安全と工場生産高効率化と異なるが、ソリューション対象は共に工場システムであり、ソリューション提供形態が自社製品を組み合わせてシステム構築する点でも共通する。また、リード・ユーザ・イノベーションにおいてイノベーションへの協働を期待されるユーザはイノベーション志向が強く、製造企業から独立して製品試作にも取り組む存在であるのに対し、IDECと工作機械メーカーが組織化しようとするユーザは、自社工場の産業安全及び生産高効率化には関心があるものの、仮に、革新的な産業安全システムや工場生産高効率化に関するアイデアを着想したり自社工場で実装したりしていても、それを対外公表したりビジネス化したりすることは意に介さない点で共通している。

IDEC及び工作機械メーカーと顧客メーカーとの関係性については、リード・ユーザ・イノベーションにおいて製造企業はリード・ユーザに対して情報劣位にあったのに対し、産業安全システム構築と工場生産高効率化では、IDEC及び工作機械メーカーは、自ら産業安全システムをインテグレーションし、工作機械という製品を開発製造しており、いずれも顧客メーカーと同一平面に立つ存在であることから、その限りでユーザに対して情報劣位にあるわけではない。むしろ、広範多岐な分野・企業

規模の顧客を相手として産業安全システム構築や工場生産高効率化に取り組み、知見・ノウハウを蓄積してきた結果、自動車・航空機等の高度の独特な生産技術を要する製造分野を除き、自社工場のみを産業安全システム構築や生産高効率化の対象としている顧客メーカーに対して情報優位に立つと考えられる。

すなわち、ユーザは自己の製造現場については他の誰よりも知悉しており、自社工場における産業安全システム構築や生産高効率化に限れば情報優位にあり得るが、ユーザが構想する産業安全システムや工場生産高効率化ソリューションが現時点の安全・生産技術の水準において想定し得るベストであるかを、自分では判断できない(他社の製造現場は知らない)。これに対して、IDECと工作機械メーカーは、広範な製造分野・企業規模等の顧客工場を対象として産業安全システム構築と生産高効率化に取り組んでおり、ユーザの構想する産業安全システムや工場生産高効率化ソリューションが最善の選択肢であるかに関しては、ユーザよりも客観的かつ的確に判断し得るという意味で情報優位にあると評価できる。

また、リード・ユーザ・イノベーションでは、製造大企業とリード・ユーザの間的情報とパワーの非対称性の捻れが知識移転の妨げとなったが、IDEC及び工作機械メーカーとユーザの場合、(顧客がトヨタ自動車など産業安全や工場生産高効率化の面において卓越した技術力を有する者でもない限り)IDEC及び工作機械メーカーは中堅・中小ユーザに対してパワー面でも劣位にはなく、IDEC及び工作機械メーカーは情報優位を活かして、中堅・中小ユーザが自社製造現場の産業安全や生産高効率化のために開発したソリューションの価値を適正に評価、彼等からの「学び」を産業安全や工場生産高効率化ソリューションのカイゼン、製品イノベーションにつなげることに抵抗はないように考えられる。

③リード・ユーザならぬ一般ユーザからの知識移転の制約要因

ただし、ユーザの基本的性格がリード・ユーザと異なるため、IDEC及び工作機械メーカーは、相手がリード・ユーザと同じであるように考えていると、産業安全や工場生産高効率化に関する顧客との協働から製品アイデアを得、イノベーションに繋がられるかは分からない。産業安全システムや工場生産高効率化に関するユーザ・イノベーションでは、ユーザから製造企業への知識移転の不発は、リード・ユーザ・イノベーションとは正反対に、製造企業よりもユーザ側に原因があり得るのではないだろうか。ユーザは自己の現時点における利活用と切り離して、製品をユーザ全般ないしメーカーの観点から捉えることができず、その結果、イノベティブなアイデアをイノベティブなものとして表現・伝達できないことが少なくない⁵¹。

⁵¹ ユーザ・イノベーションに否定的な立場を取る向きには、リード・ユーザ・イノベーションの目指す“Radical Innovation”についても、ユーザと製造企業間の知識移転の困難から、その成功に疑念を呈し、ユーザが如何に発明性に富みビジネス・マインドに溢れるリード・ユーザであったとしても、イノベーション初期段階からして、イノベーションに貢献・寄与する

となると、製造企業が原石状態にあるユーザのアイデア等をイノベーションの卵として認識できるか、イノベーションの「目利き」力がユーザ・イノベーションの成否を決定する。確かに製品をユーザ全般の観点から見る能力に一定の制約はあるとしても、リード・ユーザは最終的な商品化を目指して、自ら製品イノベーションに取り組もうとする存在であり、自らのアイデアや試作品を自己の利活用から切り離してユーザ全般ないし製造企業の観点から客観評価しカイゼンを加えようとする用意がある。これに対し、IDECと工作機械メーカーが組織化しようとするユーザは、前述のとおり、自社工場の産業安全及び生産高効率化には関心があるものの、たとえ革新的な産業安全システムや工場生産高効率化に関するアイデアを着想したり自社工場で実装したりしていても、それを対外公表したりビジネス化したりすることは考えようとはしない。

仮に、ユーザが製品をユーザ全般の観点から捉えられず、アイデアの革新性を表現・伝達できないならば、ユーザ・イノベーションを志す製造企業はそのユーザの限界を時には補い、時には是さなくてはならない⁵²。そのためにはユーザとの緊密な関係が前提となるが、IDEC及び工作機械メーカーは、安全関連制御機器及び安全システム、工作機械及び工作機械システムの発注があった時のみ顧客とコンタクトを取るのではなく、定期的に産業安全システム、工作機械システムの稼働・活用状況を訊き、不具合の検査、システムの更なる高効率化など提案を行うなど顧客の産業安全、工場生産高効率化を長期継続的にサポートして行かなければならない。

アイデアを産み出すことは期待できない(製造企業に理解できる形でアイデアを産み出せない)とする論もある(Hayes and Abernathy 1980; Hamel and Prahalad 1994; Martin 1995)。

このように否定論に立たずとも、製造大企業のユーザ・イノベーション・プロジェクトに参画し、自己の製品・技術の利活用ニーズに合わせてソリューションを考えるユーザは「穏健的」であり、そのイノベーションは、革新性が抑制され、低いレベルのものとなりがちであるとする向きもある(Luethje 2003; Luethje et al. 2005; von Hippel, 2005)。

一方、Lettl et al. (2006)は、これらの否定的な評価の基礎となったイノベーション・プロジェクトには共通パターンがあり、①産業を代表する巨大企業が自らの発意により“Radical Innovation”を推進、自社エンジニアをイノベーションに係るアイデア、技術、プロトタイプの開発に投入している、②製品・技術の開発・発展・改良は巨大企業組織内で実施される、③ユーザは新製品候補の市場評価と市場可能性を評価・分析するために、製品・技術のプロトタイプ開発段階で関与を求められるに止まり、“Radical Innovation”プロセス全体では一切積極的な関与を期待されていないと批判しており、リード・ユーザ・イノベーションを否定することは誤りであるとする。

⁵² 補正の程度を”Radical Innovation”と”Incremental Innovation”で比較すると、”Incremental Innovation”は既存の発明をベースとして漸進的な改良・改善を図るものであり、ここでは製造企業は既存発明をベースとしてアイデアを適正に評価できることから、その補正の度合は“Radical Innovation”に比べて軽減される。リード・ユーザの取り組むイノベーションは革新的であり正確な評価は至難であり、それに伴ってイノベーションの成功率も低下することから、ユーザ・イノベーションは von Hippel (1976, 1988)の想定した”Radical Innovation”ではなく、製造企業がより正しく評価でき、成功の確率も値踏みできる”Incremental Innovation”に適するとイノベーション方法であると考えられる(e.g. Foxall 1989; Gruner and Homburg 2000; Cooper et al. 2002; Kristensson et al. 2004)。

④ユーザ組織化の必要性

第2部でみるように、“Smart Factory”を契機としてビジネス革新を目指す工作機械メーカーは自社提供の工場生産高効率化ソリューションをカイゼンするため、ユーザから(顧客工場固有の事情により、顧客工場に特化していても)工場生産高効率化ソリューションを学ぶ必要(用意)がある。一方、ユーザは自社工場の生産高効率化を達成できれば良く、自社ソリューションを対外発信する動機に乏しい(そもそも自社の競争力の源である製造現場のレシピを公開することは競争上愚行である)。このギャップをどのように埋めればよいのだろうか。

改めてリード・ユーザ法に基づくプロジェクト方式なり、ユーザ・コミュニティなりは有効な方法だろうか。産業安全システムや工場生産高効率化ソリューションに関心がないわけではないが、自社のソリューションを対外公開したり協働開発したりすることについて熱意の乏しいユーザは、イノベーションを目的とするプロジェクトを設立しても参画は期待できず、また、ユーザ・コミュニティとして組織化することはできない。知を共有し、知を協創していこうという考えがない以上、自発的な参加を前提とするイノベーションのための組織には成立余地がないのではないだろうか。

とはいえ、IDECが産業安全の「人と機械の協働」へのパラダイム・シフトを機として本格ビジネス化しようとしている安全システム・ソリューションや、工作機械メーカーが“Smart Factory”を契機として事業立上げしようとしている工場生産高効率化ソリューションでは、広範な製造分野・企業規模等のユーザの産業安全システムの構築や工場生産高効率化に向けた取組を研究し、それをベースとして新機軸を開発成長させていかなければならない。そのためには、ユーザの自発的参画を前提としたプロジェクトなりコミュニティに代わり、製造企業がユーザを組織化しなければならない。

繰り返しとなるがIDECや工作機械メーカーの組織化の対象たるユーザは、ユーザ・コミュニティの構成員のようにイノベティブなアイデアをコミュニティとシェアし、コミュニティ内で意見を闘わずことを通じて自らイノベーションを実行していく者ではなく、たとえ(商品化可能な)イノベティブなアイデアを着想し実行していても、それを(商品化可能な)イノベティブなものとして理解し、表現・伝達することが難しい者であり、そもそも自社のソリューションを対外公開したり協働開発したりすることに慎重な者である。かかるユーザを組織化しユーザ・イノベーションに向けて協働して行くには、どのような仕掛けが製造企業には必要なのだろうか。

5. 協創プラットフォーム

(1) IDECにおけるユーザ組織化とプラットフォーム

ユーザ・イノベーションにおいて、製造企業がユーザを組織化しイノベーションに向けて協働して行くには、どのような仕掛けが必要なのだろうか。

第2章を受けた第3章のIDECに係る探索研究では、製造企業のサービス成長研究がソリューション・イノベーションの成功を左右するとした「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が、IDECのサービス化を通じた市場誘導型イノベーション(製品)においても、重要なファクターであることが判った。

IDECはソリューションの独立専任機関であるIDECファクトリーソリューションズを発足後、顧客とのソリューションの協働の場である「協調安全ロボットテクニカルセンター」を設立。IDECファクトリーソリューションズが同センターを産業安全システムの革新に関心のある顧客の組織化のために活用し、顧客との協働関係の更なる緊密化と産業安全ソリューション開発のためのツールとしている。先行研究では、プラットフォームは製品イノベーションではなくソリューション・イノベーションに係る成功条件として指定されたものであるが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて、製造企業が顧客を組織化しイノベーションに向けて協働して行く仕掛けツールたり得ることが示唆された。

ただし、協創プラットフォームが製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの必要条件であるのかは、先行研究レビュー及びIDECの探索研究だけでは回答できない。そこで、ユーザ・イノベーション研究のフレームワークにおいてプラットフォームがどのような位置づけにあるかを見ることとしたい。

(2) ユーザ・イノベーション研究における「協創」の位置づけ

改めてユーザ・イノベーション研究が製造企業とユーザの協働をどのように捉えてきたかを見る。

ユーザ・イノベーションにおいては、製造企業とユーザとの「協創(co-creation)」がイノベーションの重要な培養器であるとされ、特に”Radical Innovation”の死活的な源とされる(Lettl 2007)。従来、技術的制約やコスト制約により極めて制約された状況でしか成立せず、製品の特性として、製造企業ではなくユーザ主導の製品イノベーションが元々求められる製造分野では、製造企業はイノベーションに当たり「ユーザに学ぶ」必要があり、製造企業は顧客、イノベティブなアイデアとソリューションを有するユーザとの「協創」が企業イノベーションのコアを形成してきた。

例えば、von Hippel(1976)が初めてリード・ユーザ・イノベーションとして取り上げた科学的計測機器のケースでは、科学研究を自ら業とするわけではない計測機器メーカーは従来の科学的計測機器の課題と発展動向を踏まえて、その延長上で製品開発

を行わざるを得ないのに対し、最先端の科学研究を行うユーザは自由な科学研究を目的とし、科学研究の自由を完全に発揮するのに必要であれば科学的計測機器の限界やコンセプトに囚われず、新たな科学的計測の在り方を求めてイノベーションに取り組む。元来、科学計測機器はかかるユーザ主導で発達してきた製品分野であり、計測機器メーカーにおいては、新機軸や革新を求めて止まないユーザとの協創がイノベーションの重要な部分を形成している。

一方、すべての産業分野が科学的計測機器のようにイノベティブなユーザの独創性にイノベーションを依存しているわけではなく、製造企業がユーザ・イノベーションに取り組むには特別な仕掛けが必要となる。von Hippel et al. (1998, 1999)等が示すように、3M等はリード・ユーザ・イノベーションを全社プロジェクトとして立ち上げ、外部のユーザをプロジェクト参加者としてメンバー化し、社内プロジェクトをユーザとの「協創」の場としてきた。外部ユーザーにとり、かかるプロジェクトに参加することは相当程度のコミットメントを要求し、製造大企業と同様に社内プロジェクトとして遂行する必要が生ずるなど参加のハードルは高い。真のリード・ユーザがプロジェクトに参加する保証はなく、果たしてリード・ユーザ・イノベーションが想定する「尖った」アイデアの獲得とそれに基づくイノベーションに適した制度であるかは一概に断言できない。このためリード・ユーザ・イノベーションの成功率は必ずしも高くない。

(3) Rayna et al. (2015) : 3Dプリンティングに係る協創プラットフォーム

製造企業とユーザとの協創の制度化は容易ではないが、近年のIT技術の急速な発展より、Rayna et al. (2015)が事例研究した3Dプリンティングにおけるメーカー、ユーザ等のようにインターネット上のプラットフォームを「協創」の場とし、従来は単に製品を利活用するだけでしかなかったユーザが製品開発にも参画できる仕掛けを構築することで、ユーザ・イノベーションを実現しているケースが増えている。

Rayna et al. (2015)⁵³によれば、3Dプリンティングの産業実装がスタートした2010年代前半において、同技術の潜在的可能性を開拓する上で3Dプリンタ製造企業とユーザの「協創」が不可欠となったものの、製造企業とユーザが協創しようにも市場に散在して相互に認知やコンタクトのない状況が存在。そこで、製造企業はユーザ等との「協創」の場として、インターネットを活用したデジタル・プラットフォーム

⁵³ Rayna et al. (2015)は、ユーザ・イノベーションは伝統的に企業外部のユーザを新製品開発や製品改良のアイデアの源として活用する「外から内への知識移転(outside-in)」を想定してきたが(Christensen 1997; von Hippel 1988)、現在では、ユーザは企業と新製品アイデアの創造、製品開発を共同して市場化を目指す「内から外への存在」とも考えられるようになっている(Baldwin and von Hippel, 2006; Shah and Tripsas, 2007)とした上で、目的(マス・カスタマイゼーション or マス・プロダクション)、協創の形態(分業 or 合同)の二基準で、製造企業とユーザの「協創」を4類型に分けて、22の3Dプリンティング・プラットフォームにおける「協創」をカテゴリー分類。

を構築。ユーザ等がインターネットでプラットフォームにアクセスし、3Dプリンティングに関する情報を得たり、3Dプリンタ及び加工材料の購入に始まり3Dプリンティングの代行委託、3Dプリンティングの加工物のデザイン委託等を行え、さらには3Dプリンティング関連企業等とネットワークできる「場」を提供。その結果、3Dプリンティング産業では、2010年代前半以降、ユーザ主導で3Dプリンティングの機能・用途の開拓、異業種企業の連携によるサービスの開発等が急速に進み、産業界全体でイノベーションが急進したと結論している。

その上で、Rayna et al. (2015)は、デジタル・プラットフォーム活用の可能性の拡大を踏まえ、ユーザ・イノベーションにはユーザが参画して新技術を実見して試用したり、新しい製品・サービスの開発を共同したりできる「プラットフォーム」が必要であり、特に、インターネットを活用したユーザ・イノベーションを目指す製造企業はユーザを協創に向けて組織するツールとしてプラットフォームを構築すべしとした。

Rayna et al. (2015)は3Dプリンティング・プラットフォームに関する一事例研究であるが、①従来は単に製品を利活用するだけでしかなかったユーザが、インターネット上において製品開発にも参画できる仕掛け(プラットフォーム)を構築することで、製品の利活用だけの受動的なユーザから、製品イノベーションにも積極的に取り組む革新的なユーザに転換する、②ユーザにとりプラットフォームの魅力は自社単独では利活用できないイノベーションのためのツール(コンサルテーション等を含む)が利活用できる点大きい、③通常、製造企業とユーザは市場に散在して相互に認知やコンタクトのないところ、製造企業とユーザは「プラットフォーム」を通じて緊密な協働関係が構築できる点が、ユーザ・イノベーションにおけるプラットフォーム活用の意義であることが同研究より分かる。

(4) 製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションへの適用

ユーザ・イノベーション研究においても、プラットフォームがユーザ組織化等の観点から如何なる意義・機能を果たすか等についての研究蓄積はスタートしたばかりであり、今後、インターネット・プラットフォームがユーザ・イノベーションに果たす役割・機能等に関する研究が進むことが期待される。Rayna et al. (2015)の示したプラットフォームによるユーザの組織化は、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいても有効なツールではないだろうか。

I D E Cのケースで考察すると、産業安全関連ソリューションは” Incremental Innovation” が主であり、リード・ユーザに限らず一般ユーザも含めて、広範な製造分野・企業規模のユーザが個々の製造現場で取り組む産業安全システムの構築の在り方を幅広く研究し、その成果をベースとして製品・ソリューションの革新を実現しなければならない。伝統的に、I D E Cは間接販売制を採用し、機械商社等に販売・サービスを依存してきたため、直接的なコンタクトを有するユーザは限られていたが、

ドミナント・デザインがまだ存在していない、「人と機械の協働」に基づく産業安全システムでは、I D E Cはユーザとの距離を埋め、長期的な協働関係を構築し、さらにはユーザをイノベーションに向けて組織化することが課題となった⁵⁴。

ユーザの組織化は長期的な協働関係の構築が前提となる。個々のユーザの経営状況・経営課題を理解し、製造現場の特性に応じて如何なる産業安全システムの構築を行ってきたか、今後の製造課題は何であり、その課題解決のために工場システムをどのように改革していきたいのか等を知らずして、産業安全システム関連メーカーは顧客工場の本格的な産業安全システムのインテグレーションに取り組むことはできない。また、ユーザも自社の製造課題等について理解を欠く産業安全システム関連メーカーに対して自社工場の生産高効率化を任せる訳はなく、ましてやユーザの組織化に応ずる由もない。このため、第一段階として、I D E Cは安全関連制御機器・装置及び産業安全システムの販売及びその後のアフターケア等を通じて、顧客との関係を緊密化し、顧客工場における産業安全システム構築に関して恒常的な協働関係を築いていくこととし、そのために外部システム・インテグレータを企業買収し(I D E Cファクトリーソリューションズ)ソリューションの独立専任機関としている。

個別顧客との長期的な協働関係を構築できたI D E Cは、第二段階として、顧客がドミナント・デザインの形成途上にある「人と機械の協働」安全に係る「協創」のために集うことのできるプラットフォームを構築し、あまたある経営課題の中で「人と機械の協働」に強い関心を有する顧客と「人と機械の協働」安全の在り方を共同で研究したり、安全システムを共同で試作したりすることで、「人と機械の協働」安全に関する新たなアイデア、知見、ノウハウを獲得しようとした。他方、ユーザとしても、I D E Cファクトリーソリューションズを通して、I D E Cの技術開発部門等と直接に意見交換・情報交換を行い、また、他の顧客の「人と機械の協働」に係る創意工夫等を、I D E Cを介して知ること、自社工場の「人と機械の協働」安全の更なる進化を期待できた。

4. では、ユーザ・イノベーションにおいては、知識移転の不発はユーザにも原因がある点を指摘した。ユーザは自己の利活用と切り離して、製品をユーザ全般の観点から捉えることができず、その結果、イノベティブなアイデアをイノベティブなものとして表現・伝達できない。ユーザ・イノベーションの成否は、製造企業がかかるユーザの限界を時には補い、時には正し、原石状態にあるユーザのアイデアをイノベーションの卵として認識できるかにより決まる。そのためには、製造企業は製品・システムの受注・納品時だけでなく、定期的に製品・システムの稼働・活用状況を尋ね、必要に応じて不具合の検査や製品・システムの更なる高効率化の提案を行うなど、顧客と緊密な協働関係を結んでおかなければならないが、Rayna et al. (2015)及びI

⁵⁴ I D E C訪問取材(2017年9月20日)

DEC事例からは、顧客との協創プラットフォームは顧客との長期的な協働関係の維持発展に資することが分かる。

また、ユーザは自社工場の生産高効率化さえ達成できれば良く、自社ソリューションを対外発信する意欲に乏しい向きも少なくない(自社の競争力の源である製造現場のレシピを公開することは競争上愚行である)。かかるユーザはユーザ・コミュニティとして組織化することはできないが、工場生産高効率化ソリューション等で工作機械メーカー、OT企業等と相対で自社工場の生産高効率化に関する検討や生産ラインの試作等ができる協創プラットフォームは、ユーザを工作機械メーカー、OT企業等とのイノベーションに向けた協働に引き込む効果が期待できる。

以上、ユーザ・イノベーション研究において、リード・ユーザ・イノベーションに関してはリード・ユーザ法によるプロジェクト形式やユーザ・コミュニティ等のユーザ組織化が研究されてきたが、これらは一回的な”Radical Innovation”においてブレークスルーを実現するための仕掛けであり、”Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションのように”Incremental Innovation”をベースとするユーザ・イノベーションには適合的ではない。製造企業のサービス成長研究レビューとIDECの探索研究からは、製造企業は顧客と協働して問題解決に取り組むプラットフォームを設立することで、イノベーションに向けたユーザの組織化が可能となるとの示唆が得られたが、ユーザ・イノベーション研究でもプラットフォームのイノベーションにおける意義・機能等に関する研究は今後の課題となっている。

したがって、協創プラットフォームは、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいてユーザ組織化の有効なツールたり得るが、ユーザ・イノベーションに広く妥当するものかについては未検証であることから、第2部の工作機械メーカーによる”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新において、協創プラットフォームが市場誘導型イノベーションの成否を左右するかについては(直ちに肯定的結論に飛び付かず)慎重に検討する必要がある、その点に配慮しつつ工作機械メーカーによるイノベーションに向けた顧客の組織化を分析すればよいものと考えられる。

6. 第2部の工作機械メーカーの事例研究に向けて

以上、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関し、製造企業のサービス成長研究とIDECを対象とする探索研究よりイノベーションの成功条件として抽出した、「顧客との長期に渉りリレーショナルな協働関係」「顧客との協創プラットフォーム」「独立専任機関」が第2部の工作機械メーカーの事例研究において、留保なしに直ちに活用し得るのか等についてユーザ・イノベーションの観点から考察した。

本論文は、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションについて、第

一義的に製造企業のサービス成長研究のフレームワーク内で先行研究を踏まえ研究しようとするものであるが、やはり先行研究の蓄積不足は否めず、製造企業のサービス成長研究のみではイノベーションに関するトータル・ピクチャーが描けない。これに対して、ユーザ・イノベーション研究は1970年代以降ユーザから製造企業への知識移転等について研究蓄積を積んできており、ユーザ・イノベーション研究の成果を製造企業のサービス成長研究の不足を補うことに活用したところ、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係」「顧客との協創プラットフォーム」等が製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて有する意義・機能は明確となった。

I D E Cの探索研究は、第2章の先行研究レビューより抽出されたアイデアを確認し検証することを意図していたが、I D E Cケースでアイデアとの不適合が生じないことは歓迎されるとしても、その一事だけでは、先行研究レビューより抽出した結果が普遍妥当性を有し、第2部の工作機械メーカーの事例研究にも無条件に適用できるとは言えない。ユーザ・イノベーション研究と突合することにより、先行研究レビューとI D E Cの探索研究より抽出した命題は、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションも包含されるユーザ・イノベーションのフレームワーク内で妥当性を保証されることとなる。

引き続き第2部では、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした市場誘導型イノベーションについて、第1部第2～4章より抽出した命題を用いつつ事例研究を行い、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのモデル化を試みることとしたい。

第2部

工作機械メーカーの” Smart Factory” ビジネス

～サービス化を通じたビジネス革新の試み～

第2部では、製造企業のサービス成長研究の主要対象である資本財メーカーのサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのプロセス及びメカニズムの解明に向けた取組の第一歩として、2010年代に総合工作機械メーカーのヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機が”Smart Factory”を契機として取り組んだ工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションを、第1部の先行研究レビュー及びIDECの探索研究の成果を踏まえ分析する。

これまで工作機械メーカーはサービス化が最も遅れた製造部門と評価され(Capani 2014)、伝統的に”Good dominant logic”に基づき工作機械中心ビジネスを基本としてきた。その意味では、”Smart Factory”の次世代製造システム標準化に対応した工場生産高効率化ソリューションは、工作機械メーカーにとり異質のビジネスであり、2010年代にオークマ、DMG森精機が取り組んだ、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションと工作機械ビジネス革新は唐突の観がある。

しかしながら、工作機械メーカーは2000年以降コモディティ化に対応してソリューション・ビジネスに取り組んでおり、その蓄積が2010年代の工作機械ビジネス革新につながる。第5章では、総合工作機械メーカーが2010年代の工場生産高効率化ソリューションに先立ち、2000年以降展開してきたソリューション・ビジネスを分析する。製品コモディティ化への対応としての意義・内容・限界を概観し、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに発展しなかった要因等を考察する。

実は、2000年代中～2010年代初の生産ラインのIT管理化に対応したソリューション・ビジネスは”Smart Factory”ビジネスを予告しており、市場誘導型イノベーションへの取組に発展しても不思議ではなかった。一方、2010年代初にドイツが”Industrie4.0”報告書を発表、”Smart Factory”を次世代製造システムとして提案すると、工作機械メーカーは一転して工場生産高効率化ソリューションを本格ビジネス化し、同ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに挑んだ。わずか5年弱の間に如何なる状況変化があったのだろうか。

そこで、第6章では、”Smart Factory”とは如何なる製造システムであるのか、”Smart Factory”は工作機械メーカーにとり如何なる脅威とチャンスをもたらすものであるのかを論じ、その上で、第7～9章において、ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機が、2010年代中以降、どのように”Smart Factory”を契機として工場生産高効率化ソリューションをビジネス化し、同ソリューションを通じて市場誘導型イノベーションと工作機械ビジネス革新に取り組んできたかを、第1部のIDECの3次に渉るサービス化を事例とした探索研究の結果等を踏まえて分析する。

第5章 工作機械メーカーのソリューション・ビジネス ～2000年代迄のコモディティ化への戦略的対応～

1. 伝統的な工作機械ビジネスとコモディティ化

(1) 工作機械ビジネス

工作機械は「マザーマシン(母なる機械)」と呼ばれ、スマートフォン、デジタル機器等に用いる精密部品から、自動車・航空機・船舶等の大規模機械に至る、金属、セラミックス、ガラス等を材料とする製品を作る機械である。加工物(ワーク)より製品を作り出す加工方法には切削(旋削、フライス削り、中ぐり、穴あけ、歯切り、平削り、形削り等)、研削、特殊加工(放電加工、レーザ加工等)があり、各加工に専門化した加工機と複数加工を一台でこなすマシニングセンタ(MC)が開発供給されている。

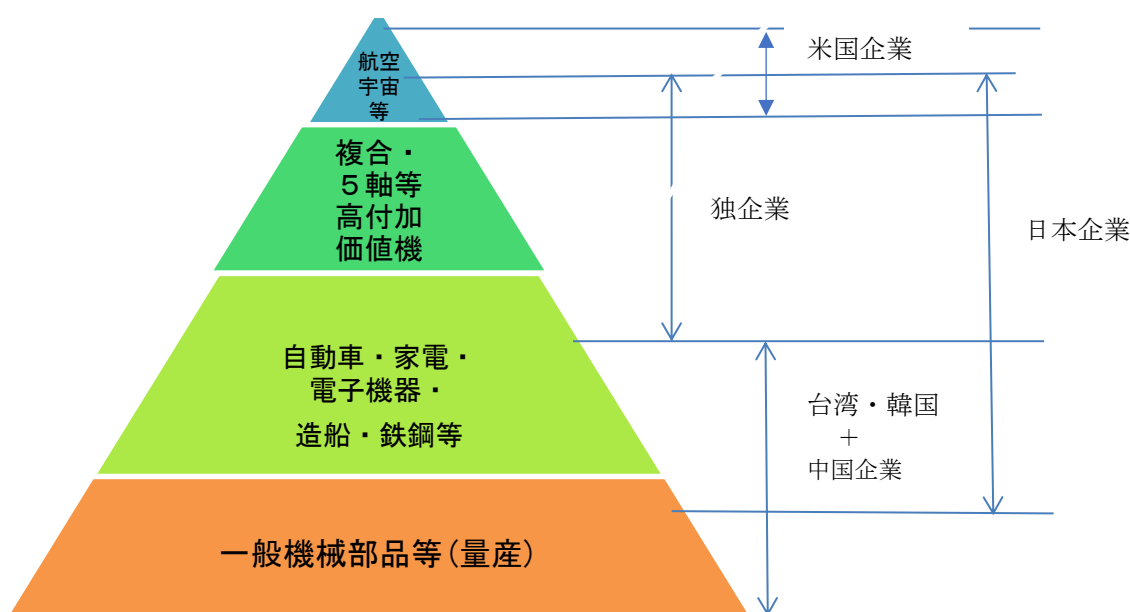
表9 工作機械の種類

旋盤	工作機械の中で数多く用いられている代表的な機種の一つ。一般に円筒、又は円盤状の工作物を回転させて加工する機械。旋盤による加工は、外丸削り、面削り、テーパ削り、中ぐり、穴あけ、突切り、ねじ切り等。
ボール盤	ドリル工具を回転させて穴あけ加工を行う機械。リーマ仕上げ、ねじ立てなどの加工も行うことも可能。
中ぐり盤	ドリル工具などであけられた穴の内面を、より精度よく、所定の大きさに加工(中ぐり加工)する機械。他にドリル加工、フライス加工等も可能。
フライス盤	フライス工具と呼ばれる工具を回転させ平面、曲面、溝などを加工する機械。加工に用いる工具には、正面フライス、エンドミル、みぞフライスなど多くの種類がある。
研削盤	バイト、フライス工具などの切削工具の代わりに砥石車を用いて加工する機械。加工精度がよく、切削加工より優れた仕上げ面が得られるという特長を持つ。
歯切り盤	ホブカッタ、ピニオンカッタ、ラックカッタと呼ばれる工具を用いて歯切り加工をする機械。
マシニングセンタ	中ぐり、フライス削り、穴あけ、ねじ立て、リーマ仕上げなど多種類の加工を連続実行できるNC工作機械。各加工に必要な工具を自動交換できる機能を具備。機械の軸構成により横形、立形、門形など各種のマシニングセンタが使用。近年、直交3軸と旋回2軸とを同時に制御することで、更なる複雑形状の加工を可能にする「5軸制御マシニングセンタ」の普及が進行。
ターニングセンタ	旋盤を複合化したNC工作機械。NC旋盤の機能をより高め、多くの工具を備え、旋削加工の他に工具を自動で交換できる回転工具主軸を持ち、フライス削り、穴あけ等の加工も行うことが可能。更に、旋回(割出し)しながら加工が可能な回転工具主軸を備える機械を特に「(旋盤形)複合加工機」と呼び、近年急速に普及が進行。
放電加工機	電気による放電エネルギーを利用して加工を行う機械。放電を行う電極の形状により形彫り放電加工機とワイヤ放電加工機に分類。その他、レーザのエネルギーを利用して切断、穴あけなどをする「レーザ加工機」あり。

(出所) 日本工作機械工業会ホームページ(<https://www.jmtba.or.jp/machine/introduction>)掲載表を筆者一部修正

工作機械は汎用工作機とNC工作機の2種があるが、1970年代、工作機械では、作業者がハンドルを手動で回し機械操作する汎用工作機から、コンピュータによる数値制御で自動運転を行うNC工作機へのパラダイム・シフトが発生し、現在ではNC工作機が国内生産の9割程度を占めるに至っている。我が国工作機械メーカーは、1970年代までは後発メーカーとして欧米先進メーカーに劣後していたが、1970年代のパラダイム・シフトにおいて米国・欧州企業に先駆けて工作機械のNC化に取り組み、中位機種を中心とした幅広い製品帯で競争優位に立つことに成功、1982年以降2009年まで世界生産高首位の座を占めてきた。

図7 主要工作機械生産国の国際的位置づけ



(出所) 日本工作機械工業会

(2) 工作機械のコモディティ化

しかしながら、先進国における工作機械のNC機転換はおおむね1980年代に完了する。NC化を主導した日本メーカーは高付加価値機から量産標準機に及ぶ広範な市場セグメントで競争優位を確立したが、1990年代前半、工作機械産業が成熟化局面に移行し、競争のポイントが性能のみでなくコストにシフトすると、日本メーカーの競争優位は低価格帯の量産機から標準機へと徐々に浸食されていくこととなる。

工作機械メーカーは、戦後日本の高度成長を支えた製造企業と同様に、国内工場の集約生産により低コスト・高効率性を実現し、先進国市場に輸出する戦略を採用したが、1980年代、国内集約生産・輸出戦略の成功が貿易摩擦の深刻化を招き、1985年プラザ合意以降の持続的円高により国内生産のコスト競争力が著しい打撃を被ると(IMF統計によれば年平均のドル円レートは1985年238.5円から2000年107.7円に2倍

以上に切り上がった)、海外生産を検討せざるを得なくなる⁵⁵。

ただし、例外的に1970年代より現地生産を方針とし、海外生産の知見・ノウハウを蓄積してきたヤマザキマザックが米国・英国・シンガポールに自社一貫生産工場を建設、海外需要地での販売サービス網の拡充により、本格的なグローバル化に成功したのを除けば⁵⁶、工作機械メーカーの多くは、現地部品調達・熟練工育成の困難さから、せいぜい国産部品を輸出して海外では最終組立のみを行うに止まり、海外生産によるコスト競争の回復を達成することができなかった。

(3)1990年代の高付加価値化を軸とするコモディティ化への対応

①高付加価値セグメントへのシフト

1990年代に工作機械産業がコモディティ化局面に移行し、量産機・標準機において価格が競争のポイントとなる中、日本の工作機械メーカーは持続的円高によりコスト競争力に深甚な影響を受け、コモディティ化への対応と企業収益維持が課題となった。

コモディティ化への対応については、①高付加価値化(高精度化、複合加工機、5軸加工機等)、②新規市場開拓(現地生産化による先進国市場の深耕、グローバル生産体制の構築による新興市場開拓)が想定されたが、1980～1990年代、工作機械メーカーはヤマザキマザックを除きグローバル生産体制を構築できず、標準機・量産機のコスト競争力維持が困難化。このため、工作機械メーカーは主力事業領域を高付加価値セグメントにシフトする高付加価値化戦略を採用し、加工の高精度化、工程集約のための複合加工機等の開発等に注力した⁵⁷(詳細は参考5参照)。

⁵⁵ 日本工作機械工業会(2002)190～195頁。

⁵⁶ ヤマザキマザックは生産・販売・サービスの三位一体の海外展開を原則としており、1968年の米国子会社設立後、1974年から米工作機械メーカーの集積するシンシナシティ地区で現地生産を開始、部品調達・人材確保の困難を克服しつつ一貫生産体制を構築。米国工場は、特に1990年代に米国市場で顧客開拓を進め、国内自動車メーカーの北米生産本格化に対応する上で強みとなった。1980年代には英(1980年)・仏(1982年)・西独(1982年)に現地会社を設立、1987年には英国工場を稼働させて欧州生産体制を整え、1990年代には伊(1996年)・仏(1997年)・蘭(1998年)にテクノロジー・センターを設置しサポート体制を強化し、欧州でも生産・販売・サービス三位一体の現地化を推進した。1990年代以降、新興市場においても海外展開に取り組み、日本製造業のアジア展開に対応して1992年にシンガポール工場を竣工、1996年以降高精度NC旋盤・立型MCを供給開始した。域内需要の伸びに応じて同工場の生産能力を拡充しつつ、テクノロジー・センターをインド・ブネ市及び上海(1998年)、台湾(2001年)、韓国(2003年)、タイ(2008年)、中国広州及び大連(2010年)に開設、販売・サービス体制を整備強化した。

⁵⁷ 日本の工作機械メーカーが高付加価値機から量産機に至る広範囲なセグメントで競争優位に立ったといっても、オークマ、ヤマザキマザック、DMG森精機では主力事業領域に違いがあり、ヤマザキマザックが最も広範囲なセグメントで事業展開していたのに対し、オークマは相対的に高付加価値機に、DMG森精機は標準機に重点を置いていた。森雅彦・森精機専務取締役(当時)は「バブルのピーク時には10機種程度の標準品だけでほとんどを稼いでいた」(『日経ビジネス』1999年1月4日号)と述べ、1990年代前のDMG森精機の基本戦略が標準品の量産・量販だったとする。汎用機をライン内で使用する場合仕様変更が必要であるが、量

②加工の高精度化

我が国の工作機械メーカーは大口顧客の自動車メーカー等の高度化する技術要求に応える過程で技術革新と成長を続けてきたが、加工の高精度化が一貫して要求された。高付加価値セグメントにシフトすればシフトするほど、要求される加工精度のレベルが上がり、高精度化がコモディティ化への対応の成否を握ることとなった。

金型・自動車部品等の複雑な形状物を精密に製造するには、工作機械にも複雑精密な動きが要求される。複雑精密な動きの前提は、工作機械と工作対象物の位置関係が常に同一に保たれ、微動たりともしない「位置決め」の精確さであり、剛性と熱変形の影響を如何に排除できるかが高精度加工のキー・ポイントとなる。

剛性とは、物体に力を加えた場合、物体は変形しようとする同時に変形に抵抗する力を発生させる性質を言う。工作機械が作業盤の上に稼働部が静止して載っているだけで、作業盤は重力の影響で変形しており、加工精度は低下する(静剛性)。また、工作機械を稼働させれば振動が生じ、加工部分に作用する力は方向や大きさが絶えず変化してしまい、場合によっては工作機械に「びびり」が生ずるなど(動剛性)、マイクロン単位のような精度での加工には致命的な結果をもたらすこととなる。

熱変形とは、物体が温度上昇とともに膨張する現象であり、長さを精密に測定する場合、温度管理を徹底しなければならない。工作機械を稼働させると各部品が発熱するだけでなく、切削時には工作対象物の温度が上昇する。このため、工作機械の稼働時間が長くなるほど、熱変形への配慮が不可欠となり、どの程度の稼働時間でどの程度の温度に達するのかを把握し、熱変化を前提とした上で位置決め等を予め補正しておくことが精密加工に必要である。

第一に、NC工作機械では、数値制御装置の制御下で工作機械の各座標軸を移動させることにより位置決め精度が決定されるため、剛性、熱変位等の問題を克服して高精度加工を実現するには、剛性や熱変位による誤差発生を予め予測して加工処理できるNC装置と加工プログラムの開発が求められる。第二に、高精度加工では、工作対象物又は工具を取り付けて回転させる主軸(main spindle)の安定が重要であるが、主軸は加工に対する応力により曲げや捻り等の作用を受け、変位・振動がないように正確に回転させるには、主軸を支持する主軸受の機械特性の高度化が欠かせない。

③マシニングセンタ、複合加工機による工程集約への貢献

高付加価値セグメントにシフトするほど、顧客の生産性向上への要求は高くなったが、顧客工場の生産性向上は個別工作機械の加工高精度化のみで達成されるわけではなく、従来、複数工程で処理してきた加工プロセスを単一工程で処理できる工作機械

産特化は顧客の要求に応じて仕様変更するノウハウの蓄積を弱め、森幸男社長(当時)は「顧客の側にも特注品を森精機に発注しようという発想がなかった」(同左)と語っている。

が開発できれば、顧客工場の生産性は飛躍的向上が可能となる。

例えば、マシニングセンタを導入し複数の加工を一台に行うことで、加工毎に工作対象物の移動・据付け、治具・工具の準備等が不要となり、作業時間の短縮が可能となり、また、工作対象物を固定したまま複数加工を実施できるため、「位置決め」直しによる加工精度の低下を回避でき、さらに、自動工具変換により作業員が刃物に触れる機会が大幅に減り作業安全が向上できた。

日本工作機械工業会(2012)で稲葉善治・同工業会副会長(当時)は「日本は高速・高精度化では早い時期から技術開発が進んでいたが、同時5軸・複合化といった分野ではヨーロッパに先行され、(2010年代は)そのキャッチアップの10年だった」とするが、1990年代のコモディティ化への対応として、我が国工作機械メーカーは、顧客工場の工程集約による生産性向上に寄与するマシニングセンタ、複合加工機の開発に取り組んだ。

(4)2000年代の新興国市場の登場とグローバル競争の激化

1990年代当時、コモディティ化への対応として、高付加価値化と海外市場開拓が想定されたが、1980～1990年代に工作機械メーカーはグローバル生産の経験・ノウハウを欠いたため、主に高付加価値セグメント・シフトに取り組んだが、2000年代、中国等新興国の爆発的成長に牽引され世界工作機械市場が急拡大すると、日本メーカーがコア事業領域とする中位機種市場に欧州・韓国企業等が本格参入してMC・NC旋盤の低価格が破壊的に進み、将来の戦略市場の新興国を巡る競争が激化する。

その結果、日本メーカーは、先進国市場では、高付加価値化に加えてコスト的にも顧客に訴求できるか、中国市場では、購買力が高くなく加工ニーズも高水準ではない地場メーカー向けに合理的価格の中位機種を開発供給できるかが課題となった。改めてコスト競争力が問題となったが、2007年以降の超円高は日本メーカーのコスト競争力に深刻なダメージを与え、遂に日本メーカーは世界工作機械市場でシェアを確保し収益維持するには、高度成長期以来の国内集約生産・輸出体制を修正し、海外需要地でのグローバル生産に取り組まざるを得なくなる。しかしながら、我が国メーカーの中でグローバル生産体制構築に成功したのはヤマザキマザックに止まった。

ヤマザキマザックは、1970年代以降の生産・販売・サービス三位一体の海外展開の過程で、1980年代以降日本製造業の収益性に深甚な影響を与えた為替変動に強い企業体質を育て上げただけでなく、海外でゼロ・ベースから現地工場を立ち上げ自前の販売・サービス網を構築するノウハウを組織的に蓄積してきたが、同社の海外展開能力は1980～1990年代の欧州・アジア地域への展開の過程でより高度化される。その結果、2000年代の中国市場の急成長に対しても、自社の三位一体の現地化能力を活かし

現地工場を立ち上げて、自前の販売・サービス網を構築することで対処した⁵⁸。

一方、2000年代前半まで国内集約生産を原則としてきたオークマ、DMG森精機は、グローバル生産体制構築に関する知見・ノウハウの蓄積を欠き、短期間で4極体制を単独構築することは不可能だった。

第9章で後述するが、1980年代まで標準機を中核事業としてNC技術等の差別化技術で出遅れていたDMG森精機は、1990年代のコモディティ化に対して、高付加価値セグメントでヤマザキマザック、オークマと競争する力が弱く、同社の1999～2005年の課題は、標準機の量産メーカーから差別化製品メーカーへの転換であり、国内メーカーのM&Aにより事業規模を拡大し経営資源を社内に蓄積、差別化製品のフルライン供給能力を獲得することに専心し、グローバル化まで手が回らなかった⁵⁹。同社

⁵⁸ ヤマザキマザックのグローバル展開を概観する。同社は1992年シンガポール工場を竣工し1996年以降高精度NC旋盤・立体MCをアジア圏で供給開始、1998年にインド・ブネ市及び上海にテクノロジー・センターを開設したが、2000年以降、域内需要成長に対応してシンガポール工場の生産能力を拡充、台湾(2001年)、韓国(2003年)、タイ(2008年)、中国広州・大連(2010年)にテクノロジー・センターを開設する。2000年代初、自動車・電機メーカーの生産拠点が上海・大連等沿岸部に集中したため、同社は国内工場・シンガポール工場から製品供給を行ったが、内陸部の生産供給体制が未整備であったため、1999年に寧夏長城機器集団と寧夏小巨人机床有限公司(生産工場)を合併設立する(中国75%、ヤマザキマザック25%)。自動生産ライン導入によりNC旋盤の高効率生産を実現、北京・上海等14ヶ所に24時間サービス網を築き事業を軌道に乗せたが、自前主義に立つ同社は順次出資比率を引き上げ、2005年には独資会社とした。

2000年代前半、日本メーカーの中国生産拠点構築が一段落すると、ヤマザキマザックは中国地場メーカー開拓を本格化し、2013年、山崎馬札克机床(遼寧)有限公司(生産工場)を設立。2000年代、中国では低位機種を中心として工作機械需要が爆発的に成長し工作機械メーカーが族生したが、NC機・MCが自給可能な水準まで至っておらず、ヤマザキマザックはいち早く現地生産体制を立ち上げて中国NC機・MC需要を掴もうとした。これは、欧州メーカーが新興国中位機種市場に現地生産による低価格戦略で参入しようとしているのと同様の展開であるが、ヤマザキマザックは生産・販売・サービス三位一体の現地化により欧州企業との差別化を狙った。

⁵⁹ DMG森精機は、1985年に倒産したラジアルボール盤メーカーの吉田鐵工所を企業買収した経験があったが、最初の本格的M&Aとなる2001年の研削盤メーカー・太陽工機の子会社化により事業領域を切削から研削まで拡大し、建設機械・航空機・自動車メーカー等への部品加工ラインの一括納入(研削盤・NC工作機・MC)を可能とした。また、森精機とヤマザキマザック等との格差の一つはNC装置ソフトウェアの自主開発能力にあり、DMG森精機は1981年以降ソフトウェア開発に取り組んだが難航、1998年のGOPⅢ、1999年のMAPPSⅠ等は完成段階にはなかった。

こうした中、DMG森精機は2002年に経営破綻した日立精機から営業譲渡を受けることで、NC装置開発技術と複合加工機技術を獲得する。第一に、日立精機のNC装置部門統合によりNC装置開発は加速し(2004年MAPPSⅡ、2005年MAPPSⅢ)、DMG森精機は顧客ニーズに合わせて差別化製品を開発製造する能力を向上させた。第二に、DMG森精機は日立精機が得意とした複合加工機技術を吸収し(2005年NT部新設)、日立精機の千葉事業所を大幅拡張して(本拠地・奈良事業所と同面積)2005年より複合加工機の一貫生産工場として稼働させ主力製品に育て上げた。

DMG森精機はM&Aによる経営資源獲得により2000年代「お客様の生産性30%アップ、利益2倍」を目標とする「Nシリーズ」の開発に取り組み、2002年のNV5000を皮切りにCN旋盤、立形マシニングセンタ、横形マシニングセンタ、複合加工機と看板製品を育て上げ、自動車メーカー等に工程全体で必要となる差別化製品を一括供給する能力を獲得(Nシリーズ

が本格的グローバルに着手するのは2007年の超円高以降であり、日米欧ア4極体制の構築は自社単独では企業体力の限界を超えるため、独DMG社との国際提携によるグローバル化を模索することとなった。

また、オークマは技術力を強みとし、要素技術からシステム化技術まで自社開発し、NC装置(ソフトウェア及びハードウェア)、サーボ・モーター、主軸を内製する「機電一体」メーカーとして、高度なメカトロ制御を実現してきたが、コモディティ化には、自動車・航空機・資源等の高付加価値セグメントへのシフトで対応。1990年代後半、国内自動車メーカーが自動車金型・部品に求める曲面の高速・高精度加工の技術革新に成功し、引き続き2000年代には、欧州メーカーが先行した複合加工機・5軸制御の開発に挑み、NC装置の自主開発能力を活かして工作機械の更なる高速・高精度・高機能化を進め、同時に熱変位制御・衝突防止・幾何誤差補正等の「知能化技術」により製品差別化を図った。

2000年代は工作機械を巡るグローバル競争は激化したものの、世界経済が米国経済の復調と中国の爆発的拡大により力強い成長を遂げた時期であり、自動車生産が先進国から新興国にも拡大し、建設機械、航空機・船舶、資源・エネルギー等重厚長大産業が活況を呈する中で工作機械需要も長期成長を続けた。こうした中、オークマは引き続き差別化製品・技術により外需のうち高付加価値部門の伸びを捕まえようとしたが、この過程で、高度成長期来の規模拡大によりグループが非効率に陥っていることを発見、第7章で後述するが、国内生産体制改革により生産高効率化を実現し、グローバル生産体制の構築できない穴を埋めようとした。

2. 2000年以降のソリューション・ビジネス

1990年代以降、工作機械メーカーは、コモディティ化と1980年代半以降の円高によるコスト競争力の低下に対して、高付加価値化(高精度化、複合加工機・5軸加工機等)、新規市場開拓(現地生産化による先進国市場の深耕、グローバル生産体制の構築による新興市場開拓)に取り組み、市場シェア確保と企業収益維持を図ろうとした。1980~1990年代にグローバル生産に成功できたのはヤマザキマザックのみであり、日本メーカーは専ら自動車・航空機・資源部門の高付加価値セグメント・シフトを進め、大口顧客の自動車メーカー等の技術要求の高度化に応じて、工作機械の加工の高精度化、顧客工場の工程集約のための複合加工機等の開発等に注力した。

2000年代、世界経済が米国経済の復調と中国の爆発的拡大により力強い成長を遂

は2005年末まで累計1万台超を販売)。日立精機は1991年に売上高世界首位となったメーカーであり、発電・石油掘削等の社会インフラ系メーカーへの直販が多く、エネルギー設備や建設機械等に強みがあったが、奈良発祥のDMG森精機は日立精機からの営業譲渡により関東地区進出・大手顧客開拓の足掛かりを得た。

げ、自動車生産が先進国から新興国に拡大し、建設機械、航空機・船舶、資源・エネルギー等重厚長大産業が活況を呈する中、工作機械需要も長期成長を続けた。ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機が、世界経済成長とともに好況を続けた自動車・航空機・資源関連の高付加価値機需要に着眼したのは正しかったが、高付加価値品を巡る競争は熾烈であり、2000年以降、工作機械メーカーは大口顧客の引合い確保のためソリューション・ビジネスに取り組み始める⁶⁰。

(1) 伝統的な工作機械中心ビジネス

工作機械は工作機械単体で機能するものではなく、生産ラインを構成する中核的なマシンとして、搬送装置・周辺装置等と組み合わせられて、生産ラインに組み込まれて初めて真価を発揮することとなる。

近年、顧客の委託を受けて、工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置等を一括調達し、工作機械システム等に組み立てて、顧客工場の生産ラインにインテグレーションするライン・ビルダーが注目されているが⁶¹、工作機械ビジネスは工作機械の開発

⁶⁰ 本章2. は榎本(2017)による工作機械メーカーのソリューション・ビジネス研究に基づく。従来の工作機械研究は、欧米先進メーカーへのキャッチアップに取り組んだ1950年代から、工作機械のNC化を主導することで世界工作機械生産の首位に躍り出た1970～1980年代を取り扱い、沢井(2013)、長尾(2002)等は産業史研究において充実した成果を挙げている。1980年代以降に関して、工作機械研究は工作機械メーカーの円高及び通商摩擦への対応に関心を向けており、水門(2008)、水野(1990)等はヤマザキマザックを例外として不成功に終わった工作機械メーカーのグローバル生産について、1985年プラザ合意以降の日本製造企業のグローバル化の一環として事例研究を行っている。これらの研究は産業史の性格が濃く、工作機械メーカーの経営戦略、ビジネス・モデル等に関する研究は必ずしも十分に展開されていない。

2000年以降産業研究が全般的に低調化すると工作機械研究も産業全体を俯瞰したり通史的に研究したりするものも数を減じ、2000年以降工作機械メーカーが展開したソリューション・ビジネスについては鈴木(2009)の先駆的研究があるものの、ヤマザキマザックによる日野自動車に対するソリューション提供の一事例研究に終わり、ソリューション・ビジネスの全体像を解明する試みはなされていない。後述するように、2000年代半時点において、ヤマザキマザックのソリューション・ビジネスは、顧客メーカーの委託を受けて生産ライン全体を設計・インテグレーションするものでも、生産ライン全体をITシステムによる最適制御化するものでもなく、顧客の生産ラインの少品種大量生産から多品種少量生産への転換に対応して、複合加工機を中心としたセル生産システムを開発・生産ラインにインテグレートするレベルに止まった。鈴木(2009)は2010年代半以降総合工作機械メーカーが”Smart Factory”ソリューションに対抗して立ち上げた工場生産高効率化ソリューションを「先取り」し過ぎたものとなっている。

また、2000年代以降の工作機械メーカーのIT化に関しては、鈴木(2010①、②)、中馬(2002①、②)、柴田(2010)等の優れた成果が存在するが、産業アーキテクチャをモジュール化の観点で捉えて、製品構造等のモジュール化により企業間関係・企業競争力等がどのように変化するかを分析するアーキテクチャ研究(青木他(2002)等)を構成するものであり、IT化により工作機械メーカーのビジネス革新を解明することを主たる目的としておらず、この意味で、2000年代以降の工作機械ビジネスについては研究に空白が存在している。本論文及び榎本(2016, 2017, 2021a)は微力ながら空白を埋めるための取組である。

⁶¹ ライン・ビルダーは、ITシステムのインテグレータと似て、顧客の製造課題をコンサルテーションして生産ラインを企画設計し、生産ライン構築に必要な工作機械・産業機械・搬送装置・周辺装置等を一括調達、自社工場にて生産ラインを仮組立して稼働・性能検査した上で、顧客工場で機械・装置を設置し生産ラインを構築、改めて稼働・性能検査を行った上でフル・ターンキー納入する、「生産システム」のインテグレータである。例えば、平田機工(熊本市)

製造だけでなく工作機械のインテグレーションの2つから成り立っている。生産ラインはメーカーの競争力を左右するものであり、基本的にはメーカー自身が生産ラインを内製してきたため、伝統的な工作機械ビジネスにおいては、工作機械メーカーは顧客メーカーの求める性能を発揮できるマシンの開発・製造に専念し、販売・サービスは機械商社等代理店に一任してきた。インテグレーションについては、顧客メーカーが自ら行うか、機械商社等代理店がサービスとして行ってきた。

1990年代以降、日本メーカーが海外工場移転を本格化させてグローバル生産にシフトすると、国内で生産ラインを新增設する機会が激減し、生産ラインを設計・構築する力が失われたと指摘され、GM、テスラ・モータース、Samsung等グローバル・メーカーから工場建設を請け負う平田機工のようなライン・ビルダーの活躍が始まったが、工作機械メーカーは伝統的な工作機械中心ビジネスを維持し、工作機械単体の開発製造に専念して、インテグレーションは機械商社等に一任し続けた。

(2) ソリューション・ビジネス：工作機械メーカーの最初のサービス化への取組

2000年前後以降本格的にスタートした工作機械のソリューション・ビジネスとは、自動車等大口需要者から、新製品開発に必要な加工方法の開発をその都度引き受け、加工方法とそれに対応した工作機械を開発し、顧客工場に工作機械システムとして納入する商いを実施するサービスである。伝統的な工作機械中心ビジネスでは、工作機械メーカー工作機械単体の開発製造に専念してきたが、2000年以降、高付加価値セグメントにおける競争が激化する中、大口顧客からの引合いを確保するためにソリューション・ビジネスを展開している。

①先駆的な牧野フライス製作所とトヨタ自動車の協業とその後の展開

ソリューション・ビジネスの先駆的事例としては、1992年、牧野フライス製作所はトヨタ自動車と、金型のリブ溝向けの微細切削加工システムを共同開発。1992年、国連環境開発会議(地球サミット)で「環境と開発に関するリオ宣言」及び行動計画「アジェンダ21」が採択されるなど、当時、自動車産業に対して省資源・省エネルギーの要求が国際的に強まり、自動車メーカーでは軽量の樹脂製部品を採用する機運が高まっていたが、放電加工による樹脂製部品製造は加工時間・コストで既存部品に対

は、国内ではトヨタ自動車、日立製作所、クボタ、キヤノン、海外では米GM、テスラ・モータース、英ダイソン、韓国サムスン電子等を顧客として、生産ラインを設計、所要の設備・装置を調達した上で、顧客工場に組立・設置を行いフル・ターンキー納入している。平田機工のようにグローバル・メーカーのものづくりを支える存在として認められたライン・ビルダーだけでなく、近年、省人化と生産効率向上のため生産システムへのロボット導入が国内製造業の課題となっている中、ロボットを活用した生産システムをフル・ターンキー方式で受注するライン・ビルダーが重要な役割を果たすようになってきている。なお、製造企業とサービス業のいずれにも位置づけ難いライン・ビルダーの産業上の位置付け、生産システム・インテグレーションのビジネス及びビジネス・モデル、機械商社・機械メーカーなどライン・ビルダーの起源に応じた類型、経営上の研究課題等については榎本(2018)が参照可能である。

抗できなかった。牧野フライスが開発したシステムでは、樹脂金型のリブ加工を従来の放電加工から切削加工に置き換えることで、加工時間を3分の1、コストを5分の1に削減することに成功。1997年にはトヨタのハイブリッド車(HV)「プリウス」の初代モデルが日刊工業新聞社十大新製品賞の大賞「増田賞」を受賞するなど、新開発システムはトヨタの製品開発に貢献した⁶²。

牧野フライス製作所とトヨタ自動車の提携事例のように、工作機械メーカーが顧客メーカーより新製品開発に必要な新加工方法の開発を請け負い、同加工方法に対応する工作機械を開発、周辺装置・搬送装置等と組み合わせて工作機械システム化して、顧客の生産ラインに設置するサービスは1990年代より登場していた。ただし、牧野フライス製作所の事例は輝かしい成功であるが、あくまでも散発的な成功例に過ぎず、ソリューション・ビジネスの本格化は、工作機械メーカーがコモディティ化と持続的円高に対応して高付加価値化戦略を採り、高付加価値セグメントにおける欧米先進メーカーとの競合に勝ち抜く必要に直面した2000年以降である。

②ソリューション・ビジネスの事業特性

従来、工作機械メーカーは工作機械単体の開発製造に専念し、製造企業のサービス化について関心が希薄だったことを踏まえると、ソリューション・ビジネスは画期的な取組であったが、2000年代に先行研究が主張したように⁶³、ソリューション・ビジネスは工作機械メーカーの恒常的なビジネスとして確立したわけではない。あくまでも、自動車・航空機等の大口顧客との取引において他社との差別化と受注確保を図るための単発サービスであり、顧客メーカーが新製品開発に伴い新加工方法が必要となった場合に、顧客メーカーからの依頼を受けて、工作機械メーカーはその都度ソリューション提供した⁶⁴。

確かに、工作機械メーカーが自動車メーカー等重要顧客の依頼を受けて新製品開発に不可欠な加工方法を開発、当該加工に必要な工作機械・搬送装置・周辺装置等を調

⁶² 日刊工業新聞 2019年1月1日(工作機械の「平成史」、30年間で戦う土俵変わる)

⁶³ 山田(2005)、鈴木他(2009)。

⁶⁴ 鈴木他(2009)はヤマザキマザックによる日野自動車への”Done in One”ソリューション提供に関する一事例研究であり、そもそもヤマザキマザックのソリューション提供が、顧客からの一時的要請に基づく特別なソリューション提供であったのか、顧客との恒常的な協働関係が形成されて、ソリューション提供が反復継続的に実施されるに至ったかをフォローしていない。榎本(2017)にも指摘したように、ヤマザキマザックは”Done in One”ビジネスを本格的に立ち上げ、顧客メーカーに対するソリューション提供を反復継続的なビジネスとすることを意図していたとしても、自前の生産技術部門を持ち生産ラインの設計及びインテグレーションを自社完結で実行する能力を有する自動車・電機メーカーなど高付加価値機の大口顧客にとり、ヤマザキマザックは自社工場の生産高効率化のパートナーとしては期待しておらず、新製品の開発・製造に新加工方法等がどうしても必要となる場合に工作機械メーカーに加工方法とそれに対応した工作機械システムの開発を委託するに止まり、”Done in One”など工作機械メーカーのソリューション・ビジネスは2010年代以降の工場生産高効率化ソリューションとは異なり本格ビジネス化するには至らなかった。

達して、顧客工場でセル生産ユニットなり生産ラインの一部なりをインテグレーションする事例はある程度の蓄積を見たものの、先行研究が主張したように、工作機械メーカーが製造分野・企業規模を問わずエンジニアリング・サービスを提供して顧客囲込みを図ったわけでも、IDECの2010年代のサービス化の取組で観察されたように、工作機械メーカーがサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを意図し、顧客と協働して継続的に新加工方法と工作機械システムの開発に挑むものでなかった。

(3) ヤマザキマザックの「DONE IN ONE」

～顧客との協働による新製品開発の可能性への気付き～

ヤマザキマザックは、1970年代来の生産・販売・サービスの三位一体のグローバル化により世界工作機械市場でのプレゼンスを確立。ライバル企業が円高に苦しんだ1990年代半以降も現地生産により標準機も含めてコスト競争力を維持したが、高付加価値セグメントにおける先進メーカーとの競争に勝つために、ソリューション・ビジネスでもライバル企業に先んじ”Done in One”としてビジネス化した。

①”Done in One”に関する先行研究

“Done in One”に関して、鈴木他(2009)は、ヤマザキマザックは(a)顧客との「綿密な打ち合わせ」により、顧客の現行生産方式とその改善目標を確認し、顧客の提供する図面・素材を使用して顧客の要求をクリアする加工方法を開発、続いて(b)当該加工に必要な工作機械だけでなく省人化・無人化のための搬送装置・周辺装置を含む生産ラインを具体的に設計し、生産ラインを運営管理するシステム、及びヤマザキマザックが機械の作動状況を遠隔監視するためのシステム等から成る総合的なシステムを組み上げ、(c)顧客との調整を経て最終的な生産方式を確定、工作機械・ソフトウェア等を納入し、生産システム立上げをサポートするとともに、(d)アフター・サービスとしてシステムの遠隔監視・メンテナンスを行ったとする。

②先行研究の4つの誤認

しかしながら、鈴木他(2009)は工作機械メーカーのサービス化について貴重な情報を提供するものだが、榎本(2017)のヤマザキマザックに対する事後調査では、同研究は将来的期待に分析が引きずられる傾向があり、その基本認識には修正を要する。

第一に、鈴木他(2009)の実態調査実施時点(2008年)では、ヤマザキマザックが顧客の生産ライン構築に必要な工作機械・搬送装置・周辺装置・生産管理システムを一括調達する能力は限定的であり(総合工作機械メーカー化は2010年代以降)、多岐多様に渉る顧客ニーズに対応して「総合エンジニアリング」をビジネスとして完全に確立していたとは考えられない。「工場建設請負人」は無論、生産ラインの設計・建設の請負いまで、ビジネス展開できていたとするのは「勇み足」である。

第二に、その「勇み足」とも関連するが、鈴木他(2009)は、ヤマザキマザックが顧

客の生産ライン全体の構築を請け負っているのか、あるいは生産ラインの一部ないしセル生産ユニットを請け負うに止まるのかを「生産システム」構築の語を用いることで曖昧にしている。ヤマザキマザックは、汎用複合加工機をコアとするセル生産ユニットを用いた工程集約のノウハウを提供することで、日野自動車が多品種大量生産に特化した生産ラインを多品種少量生産・多品種変量生産に適合したラインに作り替えるのに貢献したのは事実である。しかしながら、2008年段階のヤマザキマザックのシステム構築はセル生産ユニットを基本提供単位とするもので、顧客から生産ライン全体の構築を請け負うまでには至っていなかった。

第三に、ヤマザキマザックは生産ライン全体ではなくセル生産ユニットの構築を「総合エンジニアリング」として請け負っていたのに関連して、鈴木他(2009)はヤマザキマザックがあたかもMES(製造実行システム)のような生産ライン全体の機械・装置を統合制御するソフトウェアを開発提供していたとしたが、当時のヤマザキマザックが生産システムの生産実行管理に関して提供したソフトウェアは、個別セル生産ユニットの統合制御に限定され、現在の「工場スマート化」ビジネスのように生産ライン全体の企業ITシステムによる制御に関連したソフトウェアではない。

第四に、2016年11月時点でも「通信回線の容量が限られ通信コストも高いため、常時接続によるリアルタイム監視は困難」であり、顧客はむしろ回線接続により悪意あるハッカー、コンピュータ・ウイルスの侵襲を懸念する傾向があった。そもそも工作機械の稼働状況は企業の加工能力を端的に示す営業秘密であることから、ヤマザキマザック等工作機械メーカーは「トラブルによる稼働率低下を防ぐために顧客の工作機械と自社ネットワークの接続を提案しても、顧客はネットワーク接続を忌避する」と回答しており、ましてや2008年時点でヤマザキマザックが顧客の生産ラインを常時遠隔監視し、稼働状況に応じてメンテナンスを行っていたとは考え難い⁶⁵。

③製造企業のサービス化としての“Done in One”

結局、ヤマザキマザックの“Done in One”とは、製品供給と付随サービスの一体化により工作機械ビジネスに付加価値を付けるもので、牧野フライス製作所がトヨタ自動車と共同で取り組んだ事例のように、自動車メーカー等の重要顧客の依頼を受けて新製品開発に不可欠な加工方法を開発、当該加工に必要な工作機械・搬送装置・周辺装置等を調達して、顧客工場でセル生産ユニットなり生産ラインの一部なりを組み立てるビジネスである。従来、単発受注ビジネスとして散発的に実施されてきたものをヤマザキマザックが恒常的なビジネス化しようと試みた点に先駆性が認められる。

“Done in One”のビジネス・プロセスについて鈴木他(2009)を修正するならば、ヤマザキマザックは(i)顧客との「綿密な打ち合わせ」により、顧客の現行生産方式とその改善目標を確認し、顧客の提供する図面・素材を使用して顧客の要求をクリアする

⁶⁵ 2016年11月、日本国際工作機械見本市(JINTOF)参加10社ヒアリング。

加工方法を開発、続いて(ii)当該加工に必要な工作機械だけでなく、省人化・無人化のための搬送装置・周辺装置と組み合わせたセル生産システムを具体的に設計し、顧客工場の生産ラインにセル生産システムを組み込むべく、生産ラインを再設計して、セル生産システムの制御に求められるソフトウェアを開発・調達、その上で(iii)顧客との調整を経て最終的な生産方式を確定、工作機械システム・ソフトウェア等を顧客工場に一括納入し、顧客の生産ライン管理担当従業員に対して工場稼働に備えた事前トレーニングを自社サポート拠点で提供、(iv)工場稼働後もシステムのメンテナンスや改善提案などの事後サービスをトータルで提供した、と言い換えるべきである。

④“Done in One”における市場誘導型イノベーションの萌芽

鈴木他(2009)によれば、2000年代半のヤマザキマザックは“Done in One”の主眼を大口需要者からの引合い確保とし、同社が当時の収益変動の激しい工作機械業界で安定的に高収益を稼ぐことに貢献した点を評価していたという。一方、2017年時点におけるヤマザキマザックの振り返りでは、ヤマザキマザックにとり“Done in One”は顧客ニーズの動向を把握・理解し、新技術・製品を開発する善い機会となったとする⁶⁶。

1970～2000年の世界経済の低成長期に、世界の自動車・家電メーカー等は「限られたパイ」を巡って熾烈に争い、生産性向上・高付加価値化のために高性能工作機械導入を進めたことから、工作機械メーカーには、顧客の製造工程の高度化に伴う工作機械利用ニーズの変化を精確に理解することが重要となっていたが、世界経済が米国経済の復調と中国の爆発的拡大により力強い成長を遂げた2000年代、顧客ニーズの的確な理解・把握の上に立っての製品開発・供給がますます重要となる。

当時、自動車生産が先進国から新興国に拡大し、建設機械、航空機・船舶、資源・エネルギー等重厚長大産業が活況を呈するだけでなく、新たに半導体・携帯通信端末、コンピュータ等のIT関連産業の勃興により、工作機械需要が爆発的な成長とともに多様化・高度化を急速に遂げた結果、工作機械メーカーは、顧客の製造工程の高度化に伴う工作機械利用ニーズの変化を精確に理解し、顧客ニーズに的確に対応した製品開発がグローバル競争に勝ち抜く上で不可欠となった。

この点、現在のヤマザキマザックは、“Done in One”が顧客ニーズの動向を把握・理解し、新技術・製品を開発する善い機会となったと評価する。製造企業のサービス成長研究において、サービス化を通じた脱コモディティ化として、製造企業が顧客との協働プロセスにおいて顧客ニーズへの理解を深め、新たに獲得したノウハウ・知見を製品開発・製造に活かすことにより、再び差別化製品・技術による競争優位を回復する市場誘導型イノベーションを想定するが、ヤマザキマザックはソリューション・ビジネスを通じて、サービス化が新製品開発に繋がる可能性に気付いたと評価できる。

⁶⁶ ヤマザキマザック 2017年5月26日付ヒアリング

ただし、工作機械メーカーが市場誘導型イノベーションに取り組むのは2010年代前半の”Smart Factory”の登場まで待たなければならなかった。

3. 2000年代半以降のFA化関連ソリューション・ビジネス ～製造IoT化につながる生産ラインのIT管理化への対応～

1990年代以降、工作機械メーカーはNC機代替の完了に伴う工作機械のコモディティ化に直面し、加えて日本メーカーは1980年代半以降の持続的円高によりコスト競争力が底無しに地盤沈下する苦境に直面した。工作機械メーカーはコモディティ化に対し、第一に、高精度化、複合加工機開発等による高付加価値セグメントへのシフト、第二に、現地生産化による先進国市場の深耕、中国等新興国市場開拓を軸とした対応を展開し、製品需要の確保を図ろうとした。

2. で見たように、工作機械メーカーのサービス化は、2000年以降ソリューション・ビジネスの形でスタート。自動車等高付加価値セグメントの大口需要者から、新製品開発に必要な加工方法の開発をその都度引き受け、加工方法とそれに対応した工作機械を開発し、顧客工場に工作機械システムとして納入する商いを実施した。工作機械メーカーにとり顧客ニーズの動向を把握・理解し新技術・製品を開発する善い機会となったものの、サービス化の主眼はあくまでも大口需要者からの引合いの確保にあり、基本的には「一品作り」形式の単発受注ビジネスであった。ましてや顧客と協働して継続的にイノベーションに挑むものではなかった。

こうした中、2000年代前半、技術的ブレーク・スルーにより生産ラインのIT管理化の道が開け、グローバル製造企業は自社生産技術部門を中心として、生産ライン単位のFA化を試行錯誤しつつ進める。従来、工作機械メーカーは工作機械単体ないし工作機械システムを顧客提供し、生産ライン全体のインテグレーションについては工作機械ビジネスとして捉えてこなかった。しかし、生産ライン単位のFA化に対応し、工作機械メーカーはIT管理対応の工作機械及び工作機械システムを開発供給するとともに、自動化された生産ラインのコアとなる工作機械システムをその他の工作機械・周辺装置・搬送装置を組み合わせ、顧客に生産ライン全体をFA化するソリューション提供も開始した。

後知恵になるが、この時、工作機械メーカーには、ソリューション・ビジネスを、2010年代に取り組むこととなるサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに発展させるチャンスが生まれたが、結果的に、工作機械メーカーは伝統的な工作機械中心ビジネスを維持し、大口顧客の引合い確保を目的とする「単発ビジネス」のソリューション・ビジネスの枠から踏み出すことはなかった。

(1)生産ラインFA化の難航とFA化に先立つ生産ライン改革の必要

①2000年代前半の技術的ブレーク・スルーで可能となった生産ラインFA化

1970年代に本格的にスタートしたFA化は、生産ラインの企業ITシステムによる完全自動化を目指し、計画層・実行層・制御層の3層を統合した自動化は直ちには無理でも、少なくとも計画層・制御層を統合した自動化を実現しようとした。

しかしながら、生産管理のIT技術の限界により、1990年代までに達成できたのは、制御層レベルでの生産ラインを構成する個別機械・設備の自動化に止まり、グローバル製造企業といえども、実行層・制御層を統合し、工場の生産ラインの全ての機械・設備を連携させて、生産ラインを一体として稼働管理することは未達だった。

こうした中、2000年代前半、技術的ブレーク・スルーにより生産ラインのIT管理化に向けた道が開け、グローバル製造企業は自社生産技術部門を中心として、生産ライン単位のFA化を試行錯誤しつつ進めて行く。

②自動化に先立つ生産ライン高効率化

トヨタ・グループでは、Tier1に属するメガ企業がFA化、ロボット化などグループ横断的課題について分担して責任を負っているが、生産ライン自動化はDENSOが担当している。ここでは、我が国のグローバル製造企業における生産ライン自動化に向けた取組について、DENSOを事例として見たい。同社の事例で注意すべきは、同社は企業ITシステムによる生産ライン自動化に取り組む前に、生産ラインのレイアウト変更、工程集約等に取り組んでいる点である。

製造システムを工作機械・ロボット・周辺装置・搬送装置等から成る生産ライン(物的部分)とMES・PLC等のITシステム部分に分けて考えるならば、DENSOは企業ITシステムによる生産ライン自動化に先立ち、物的な生産ラインの生産高効率化を行った。企業ITシステムによる生産ライン自動化が工場システムの高効率化を目的とする以上、非効率な生産ラインを自動化しても工場システムは非効率なままである。したがって、生産ラインの自動化に先立ち、物的生産ラインの高効率化が先決事項となり、DENSOは当然のプロセスを踏んだということになる。

すなわち、企業ITシステムによる生産ラインの自動化では、ITシステムによる自動化プログラムなどIT部分に付加価値があるが、それは物的な生産ラインのレイアウト変更・工程集約等による高効率化と一体となって始めて真価を発揮できる。2010年代の”Smart Factory”では、企業ITシステムによる生産ライン制御等により、市場動向に即応した変種変量生産が可能な高効率工場を創り出そうとしたが、第6章以下で分析するように、”Smart Factory”の生産高効率化はITシステムのみにより可能とならず、企業ITシステムの制御対象である物的生産ラインが高効率化できるか否かにも左右される。

③工作機械メーカーの市場誘導型イノベーションのチャンス見送り

2000年代半～2010年代初の生産ラインのIT管理化(生産ライン単位の自動化)と2010年代の”Smart Factory”はこの点で共通する。DENSOは自律的な生産技術部門を抱えており、(2)で見る生産ラインのレイアウト変更・工程集約等による高効率化も、生産ラインのITシステムによる自動化も、外部企業の助けを借りずに実施できる。ただし、グローバル製造企業といえども、生産ラインの工程集約等による高効率化について全てのベスト・プラクティスに通じているわけではなく、広範多岐な顧客工場を知る強みを持つ工作機械メーカーは、この点で関与する余地があり得る。

2010年代の”Smart Factory”では、工作機械メーカーは生産ラインのレイアウト変更、工程集約、自動化など物的な生産ラインの生産高効率化をソリューション化、”Smart Factory”のインテグレーションにおいて独自価値を維持しつつ、工場生産高効率化ソリューションの提供を通じて市場誘導型イノベーションに挑んだが、2000年代半以降の生産ラインのIT管理化では、工作機械メーカーは、顧客工場の生産ライン高効率化に積極的に関与せず、ソリューション化することもなかった。そして、工作機械のコモディティ化に対しては、引き続き高付加価値セグメント・シフトなど従来対応を続けるに止まった。

(2) グローバル製造企業の実業ラインIT管理化

以下、DENSOを事例として、グローバル製造企業による生産ラインのIT管理化(生産ライン自動化)を見る⁶⁷。DENSOは生産ラインのIT管理化に先立ち、如何なる生産ライン改革に取り組み、その上で生産ラインのIT管理化を行ったのか。

⁶⁷ 第5章3. は”Smart Factory”とトヨタ生産方式(TPS)との関係を分析した榎本(2021b)に基づく。2010年代初にドイツが提唱した”Smart Factory”は、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御と製造IoTプラットフォームによるカイゼンの自動化を柱とし、先進国メーカーが中国メーカー等との競争に打ち克つための、市場動向に即応した変種変量生産を実現する次世代製造システムとされる。ドイツの一部には、①TPSは多品種少量生産に対応した生産システムであり、変種変量生産への対応には限界がある、②生産システムは、生産ラインのIoT化によりリアルタイムで収集されたビックデータをAIに解析させることで最適化でき、TPSのように生産現場のカイゼンに依存するのは時代錯誤である、③TPSは生産現場に依存するあまりオートメーション化への取組が不十分でIoT化に対応できないと批判し、”Smart Factory”がリーン生産方式(TPS)に取って代わると考える向きもある。

右批判のうち、①に関しては、TPSは「ムダの排除」を根幹に置く製造思想であり、「ムダの排除」の過程で「工程の流れ化」「ジャスト・イン・タイム」「全工程の同期化」「pull型生産」を体系化、これらを一つのシステムとして統合するため「カンバン方式」を形成・確立してきたもので、特定の製造ニーズや生産方法を前提としておらず、製造ニーズが大量生産、多品種少量生産、変種変量生産と転換する中、新たな生産システムを開発しカイゼンの積重ねにより生産性向上を図ってきた(大野1978)。現在、TPSは”Smart Factory”が看板とする市場動向に即応した変種変量生産にも、生産システム開発とカイゼンにより対応している。

次に、②に関しては、欧米の経営者・生産技術者には、TPSの人的要素を軽視する傾向が存在する。TPSでは、生産現場の「自主的に学習し絶えずカイゼンを行う組織」がTPSを統合(山崎2017)。カイゼンは問題発見と解決の繰返しであるが、生産ラインの運転管理に係る問題発見の端緒は生産現場にあるため、TPSでは、まずは生産現場が課題解決を試み、生産

①製造ニーズの変化に対応できなくなった工場システム

1985年以降の持続的円高に対応して、日本メーカーは国内工場を大量生産から多品種少量生産にシフトさせ、1990年代末も円高と市場ニーズの多様化・細分化に対応して国内工場を多品種少量生産から変種変量生産に対応させてきた。しかしながら、工場は可変的でなく、少品種大量生産に最適化された生産ラインを多品種少量生産なり変種変量生産なりに変更することは容易ではなく、日本メーカーの悩みは高度成長期の少品種大量生産に最適化された工場において、如何に多品種少量生産、変種変量生産を効率的に実施するかだった。

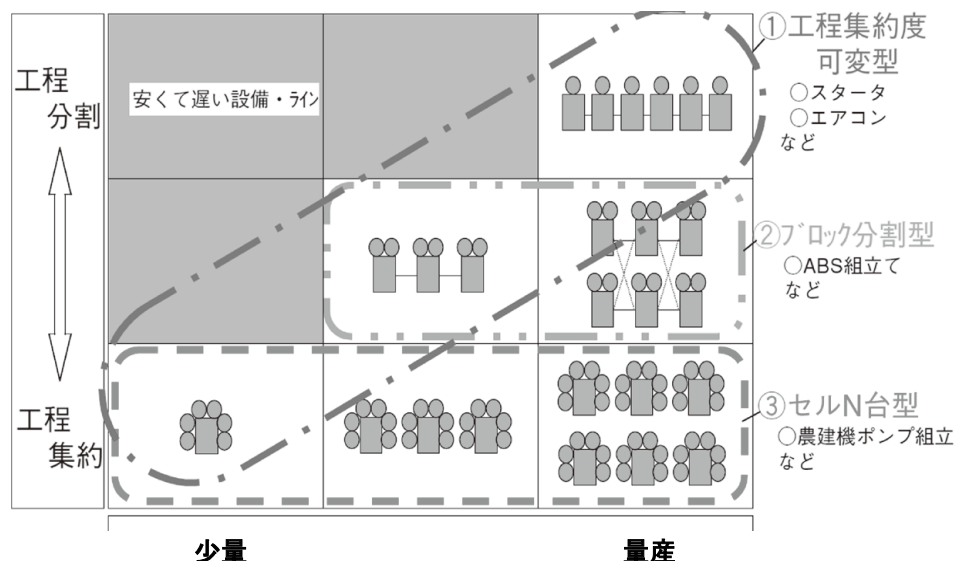
この点、DENSOも同一の悩みを抱え、1990年代以降の国内製造ニーズの変化に対応して、高度成長期の少品種大量生産に適合的な生産ラインを、生産現場が工夫して多品種少量生産に転用してきた。しかしながら、遂には、少品種大量生産向きの工場を変種変量生産に転用することは、TPSのカイゼン力で傑出した、同社の生産現場の工夫・努力の限界を超えてしまう。最終的に、DENSOは、生産ラインをレイアウトから抜本的に見直し、1990年代末に生産部品の特性に応じて工程集約度可変型・セルN台型・ブロック分割型の3生産方式を開発。高度成長期の少品種大量生産を前提として設計・建設された工場を更地化して生産ラインを作り直した(工場全体を一時に更地にはできないので、段階的に生産ラインを一つ一つ再構築)(小島 2004)。

現場だけでは解決できない場合、生産現場と生産技術部門が協働して解決してきた。TPSでは、製造現場の実態に基づき、生産システム改革もAIにより自動化できるとの見解は、同改革が生産技術部門と生産現場の協働作業として進められる実態への無知によると考えている。

更に、③に関しては、TPSは元々「ムダの排除」のため自動化を一つの柱としており、トヨタ・グループでは1970年代のFA化以降一貫して工場システムのIT化に取り組んできた。山崎(2017)によれば、トヨタ・グループにおいて工場IoT化を担当するDENSOの「リーン・オートメーション」は”Smart Factory”と同様にIoTによる組織・活動のネットワーク化も目指すものであり、TPSは生産現場に依存するあまりオートメーション化への取組が不十分でIoT化に対応できないとの批判は当たらないとする。

以上、確かに”Smart Factory”とTPSは異なる製造思想に立脚するものの、実は市場動向に即応した変種変量生産への対応として共通性も多く、ドイツにも、”Smart Factory”はTPSをベースとして具現化すべきとの見解が在るように(Kasper and Schneider 2015)、両者を二律背反的に捉えず、むしろハイブリッド化を探索することが妥当であるのではないだろうか。

図8 DENSOにおける量変動対応の生産システム類型



(出所) 小島史夫(2004)「デンソーにおける生産システム技術の現状と展望」
『デンソーテクニカルレビュー』Vol.9 No.1、9頁。

DENSOでは、生産ラインのIT管理化は1990年代から課題とされてきたが、高度成長期の少品種大量生産に適合的な工場を生産現場の工夫と努力により多品種少量生産、変種変量生産に無理に転用している状況では、DENSOは敢えて生産ライン全体のIT制御による自動化を控えた。従来、個別機械・設備の品質管理・稼働管理は、製造現場のオペレータが長年の熟練と勘に基づき職人芸的に行ってきたところ、DENSOは、IT技術の導入により、通常のオペレータでも、熟練者並みに管理できるITシステム改革を実施するに止めた。

そして、生産ラインのIT管理化はそれ自体が目的ではなく、工場システム全体の高効率化が目標である。非効率な生産ラインをいくら自動化しても、生産ラインが多品種少量生産、変種変量生産に適合的でない問題は解決できず、工場システム全体の効率化には限界がある以上、DENSOが生産ラインをレイアウトから抜本的に見直し⁶⁸、同社が生産する自動車部品の特性に応じて、工程集約度可変型・セルN台型・ブロック分割型の3生産方式を開発、生産ラインを作り直したのは当然であった⁶⁹。

②2000年代初の自動化のブレーク・スルー

(a) 変種変量生産に対応した生産ラインの自動化への要請

DENSOは1990年代末に自社工場の生産ラインをゼロ・ベースで見直し、製造する自動車部品の特性に最適化された生産ラインを開発して、高度成長期に設計・建造

⁶⁸ 高木(2006)

⁶⁹ 山崎康彦DENSO常務執行役員(2018年11月7日DENSO西尾製作所訪問)

された工場を再構築した⁷⁰。しかしながら、2000年代、国内工場における変種変量生産ニーズが加速的に増大すると、DENSOの工場システムは、生産ラインの再構築だけでは製造ニーズの変化に対応できなくなり、いよいよ生産ラインのIT管理による自動化に本格的に取り組まざるを得なくなる。

この時期、自動車メーカーが、高度成長期以来の基本戦略としてきた国内集約生産・輸出に代わり、製品需要地における「地産地消」を原則として打ち出し、北米を中心としてグローバル生産体制の構築を加速した。自動車電装部品メーカーのDENSOも、親メーカーの動きに伴走してグローバル生産せざるを得なくなり、このため国内生産拠点は安定的な製品需要を期待できなくなる。また、2000年代以降、消費者ニーズの細分化に対応した車種増加と、中国を筆頭とする新興国市場の成長に応えるために、主力製品のカーエアコンやエンジン関連ユニットの種類が急増し、かつ、自動車の売行きが車種毎に大きく変動するようになったため、DENSOでは、1990年代とは比較にならないほど製品の生産量と生産期間の予測が困難化した。

その結果、DENSOにおいては、生産品目・数量・納期の目まぐるしい変動に対応して生産ラインを機動的に組み替える必要が生じ、実行層において、MES(製造実行システム)を導入し、生産ラインを構成する全ての機械・設備を連携させて、生産ラインを一体として稼働管理する必要が生じた。1990年代末迄は多品種少量生産への対応が課題であったため、少品種大量生産向きの生産ラインを工程集約度可変型・セルN台型・ブロック分割型に作り直すことで対処できたが、変種変量生産では製造ニーズに対応した生産ラインのパターン化が困難となったため、物的な生産ラインを変えないまま生産ラインの稼働管理の機動化をIT管理により行わざるを得なくなった。

かく言うは易いが、生産ライン全体のIT管理が1990年代以降繰り返し検討されては頓挫してきたことには理由が存在した。生産ラインはメーカーや製造年代が異なる工作機械、ロボット等により構成されており、工作機械・ロボット等を駆動制御するPLC等の制御装置は往々にして互換性がなく、工作機械・ロボット等のFA管理化がスタートする以前に製造された機械・設備に至っては、そもそもPLC等の制御装置さえ実装されておらず、オペレータが手動管理しているものもある位であり、MESによる生産ラインの一体稼働管理のための前提が存在していなかった。

(b) MESによる生産ライン一体稼働管理に向けた技術革新

かかる問題に対処するべく、1998年以降、メーカーや製造年代が異なる工作機械、ロボット等の制御装置を相互接続するための標準開発が日本ロボット工業会主導でスタートし、2002年にORiN⁷¹開発まで漕ぎ着ける。DENSOはORiN開発に積極的に関

⁷⁰ 高木(2006)、山崎(2017)等。

⁷¹ ORiN(Open Robot/Resource interface for the Network)とは、工場内の各種装置に対して、メーカー・機種の違いを超え、統一的なアクセス手段と表現方法を提供する通信インタフ

与し主導的立場を採ったが、実用化にも積極的であり、2000年代前半、ORiNをプラットフォームとして工場内のすべての設備・機械を接続する工場内管理システムを構築、品質管理・設備管理を多面的にサポートするアプリケーションを開発する。

ORiNに基づく工場内管理システムにより、直ちにMESによる生産ラインの一体稼働管理が直ちに可能となったわけではないが(生産ラインの一体稼働管理のためには段取替え、治具・工具の調達管理、工作対象物(ワーク)の搬送・設置等管理も一体管理できるように工場内管理システムを拡張しなければならない)、DENSOはORiNに基づく工場内管理システムにより「設備稼働中の常時監視」「異常の予知」「異常発生時の迅速な対処」「異常の根本原因究明」「設備データ保守管理」等が可能となった。

これらは”Smart Factory”の原型というべきものであり、2000年代後半以降、DENSOは工場オペレーションの自動化を着々と進め、工場内管理システムにより、段取替え、治具・工具の調達管理、工作対象物(ワーク)の搬送・設置等管理も一体管理できる体制を整え、MESによる生産ラインの一体稼働管理を実現した。

(c) DENSOの生産システム改革の示唆

DENSOは、日本製造業だけではなく、世界製造業においても、生産ラインのIT制御の先頭を走る企業の一つである。同社は1990年代から生産ラインのIT管理化に取り組んできたが、1990年代末に工程集約度可変型・セルN台型・ブロック分割型など生産ライン改革を先行実施した上で、生産ラインのIT管化に取り組んだ。

生産ラインのIT管理化はそれ自体が目的ではなく、工場システム全体の高効率化が目標である。非効率な生産ラインを自動化したとしても、工場システム全体の効率化には限界がある以上、DENSOが、生産ラインをレイアウトから抜本的に見直し、生産部品の特性に応じて工程集約度可変型・セルN台型・ブロック分割型の3生産方式を開発、生産ラインを作り直したのは当然であった。

2010年代初にドイツが提言した“Smart Factory”は、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連ビックデータのAI解析による生産システム改善など革新的なものであるが、過去の製造システム改革と断絶しているわけではなく、2000年代中～2010年代初の生産ラインのIT管理化の延長上にある。従って、“Smart Factory”でも、生産高

ェイス。1990年代以降、工作機械・産業機械メーカー等は競うように多様な機械を開発してきたが、それらは開発企業や時期によってデータ通信規格やプログラム言語が異なり、複数の設備でシステム統合を行う場合、ソフトウェア側が異なる言語を一つ一つ習得する必要があったが、ORiNが様々な種類の言語を一つの言語に変換することで、ソフトウェア側はその言語のみを習得するだけで済むようになった。当初、[ロボット・アプリケーション・ソフトウェア](#)の標準プラットフォームとして開発され、ロボットのみならず、[PLC](#)、[NC](#)等制御装置等を統一的に扱うことのできるプラットフォームに成長。ORiNは[ハードウェア](#)に関する規定は一切なく、全規格がソフトウェアに関するものであるため、従来技術との融合もスムーズにでき、生産ラインのFA化に大きく貢献。

効率化はITシステムのみにより可能となるわけではなく、物的な生産ラインのレイアウト変更・工程集約等による高効率化と一体となって始めて真価を発揮できる⁷²。

工作機械メーカーは、2010年代の”Smart Factory”では、レイアウト変更、工程集約、自動化など生産ラインの高効率化をソリューション化、”Smart Factory”関連ビジネスにおいて独自価値を維持し、ソリューション提供を通じて市場誘導型イノベーションに挑んだ。当初、”Smart Factory”では、企業ITシステムに製造システムの付加価値がすべてシフトすると危惧されたが、工作機械メーカーは顧客工場の生産高効率化ソリューションに取り組むことで独自価値を維持できると考えるに至っている。では、2000年代半の生産ラインのIT管理化では、工作機械メーカーはどのように対応したのか。

(3) 工作機械メーカーの生産ラインFA化への対応

① 工作機械のコモディティ化対策における位置付け

2000年代の工作機械メーカーの課題は、1990年代に引き続き工作機械のコモディティ化の下で、内需低迷と円高の苦境を乗り切ることにより、中国等新興国市場の開拓、成長する自動車・航空機・資源分野の高付加価値機需要の取込みに尽力した。

第一に、中国市場等の成長については、グローバル生産により、新興国における標準機ニーズを捉え(低価格機は”out of reach”として断念)、第二に、成長分野の大口顧客の高付加価値機需要はソリューション・ビジネスにより深耕しようとした。

生産ラインFA化については、グローバル・メーカーは自社の生産技術部門とIT部門を活用して、実現に向けた試行錯誤を進めており、工作機械メーカーは、2000年以降のソリューション・ビジネスにおいて、大口顧客の新加工方法及び工作機械の開発の依頼を受けて都度対応してきたが、生産ラインFA化に関しても、基本的に大口顧客の依頼を受けてソリューション対応するに止まった。

あくまでも大口顧客との商い確保が生産ラインFA化対応においても引き続き目的とされ、工作機械メーカーのコモディティ化対応の基本である高付加価値セグメント・シフトの補完策の位置付けに変わりはない。

② サービス化と製品開発のリンケージの萌芽

とはいえ、工作機械メーカーは生産ラインFA化に対して退嬰的であったわけではなく、生産ラインFA化に関連して新製品開発を試み、ソリューションと製品開発のリンケージを試み始める。

⁷² 山崎康彦DENSO常務執行役員(2018年11月7日DENSO西尾製作所訪問)

(a) 生産ライン I T 管理化に最適な工作機械及び工作機械システムの開発

2000 年代はインターネット、クラウドなど I T 技術が飛躍的な成長を遂げた時期であり、1990 年代に実現困難でできなかった I T システムによる生産ライン管理が、トヨタ等グローバル・メーカーにおいて、2000 年以降、ORiN 開発など通信規格の異なる機械・設備の相互接続の取組からスタートした。

2000 年代後半以降、工作機械メーカーはかかるトヨタ等グローバル製造企業が生産ラインの自動化の動きを踏まえ、自社工場をモデルとして自ら生産ラインの I T 管理化に取り組み(ヤマザキマザックの「無人工場」)、その取組により得られたノウハウ・知見を活かして工作機械の I T 管理化(専用端末による運転操作、加工プログラム作成・更新、中央管理端末との接続による稼働監視等)を推進した。

生産ライン F A 化は自動化(無人化)と I T システム管理の点で 2010 年代の” Smart Factory” と連続しており、自社工場及び顧客工場の生産ライン F A 化の取組で得た知見・ノウハウを製品開発に投入するなど、工作機械メーカーはある意味で” Smart Factory” での取組を予行演習した形となった。ただし、それは意図せざる結果であり、工作機械メーカーが意識してサービス化と製品イノベーションのリンケージを図ろうとしたり、ソリューションを恒常的なビジネス化して市場誘導型イノベーションを制度化しようとしたりしたわけではなかった。

(b) 工作機械システムから生産ラインへのソリューション・ビジネスの拡張

2000 年以降、高付加価値セグメントの大口顧客の依頼を受けて、新製品開発に不可欠な加工方法を開発、当該加工に必要な工作機械・搬送装置・周辺装置等を調達して、顧客工場でセル生産ユニットなり生産ラインの一部なりを組み立てるビジネスがスタートしていたが、その延長線上で、工作機械メーカーは、生産ラインの I T 管理化(さらには生産ラインの自動化)を進める自動車メーカー等の求めに応じ、生産システムの自動化に対応した工作機械及び工作機械システムを製造・開発、顧客の生産ラインにインテグレーションするソリューションにも次第に取り組むようになる。

従来、工作機械メーカーは、個別工作機械をビジネスの基本単位とし、ソリューション・ビジネスも個別工作機械をコアとした工作機械システムを対象としてきたが、工作機械メーカーはグローバル製造企業が生産ライン自動化を踏まえ、生産ラインを構成する機械・設備群を対象としたソリューションの開発・提供についても取組をスタートした。結果的に、それは 2010 年代の製造 I o T 化と” Smart Factory” に向けた準備を整えることともなった。

(4) 従来の枠に止まったF A化関連ソリューション・ビジネス

① F A化関連ソリューション・ビジネスの潜在的可能性

生産ラインのIT管理化に対応したF A化関連ソリューション・ビジネスは、2010年代の”Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションを予告するものであり、大口顧客の引合いの確保のためのサーピスを超えて、新規事業化としてブレイク・スルーする可能性を秘めていた。

2000年以降スタートした工作機械メーカーのソリューション・ビジネスでは、新加工方法の開発請負は、顧客の新製品開発プロジェクトの一部を成すものであり、顧客の製品開発プロジェクトが開発成功により完了すれば、その都度、ソリューション・ビジネスも完結する「単発ビジネス」であった。顧客の生産ラインの自動化に対応した工作機械システムの開発供給も、基本的に「単発受注」ビジネスであり、顧客企業と長期のリレーショナルな協働関係の構築までを求めるものではないが、顧客の製品開発の都合に応じた散発的な新加工方法の開発請負とは異なり、生産ラインに組み込まれる工作機械や工作機械システムはパターン化が可能であり(むしろパターン化が生産ライン構築にとり好ましい)、反復継続的な受注機会があり得た。

また、生産ラインのIT管理は、グローバル製造企業が自社の生産技術部門主導により試行錯誤を重ねつつ進めたものであり、工作機械メーカーには、自社工場の生産ラインのIT管理システムに最適化された工作機械及び工作機械システムをその都度発注しているだけで、工作機械メーカーを生産システム改革のパートナーとして考えていたわけではない。ただし、工作機械メーカーの側では、単に顧客が要望するままに工作機械・周辺装置・搬送装置を組み合わせる工作機械システムを開発・製造・納品していたわけではなく、複数顧客からの受注を通じて経験を重ね、顧客の生産ラインの在り方への理解を深め、その成果を踏まえて複数工程を集約した複合加工機・マシニングセンタ等を開発。その新鋭機により、大口顧客に対しては、新たな生産ライン構築を提案し、新鋭機開発のヒントを与えてくれた顧客以外にも複合加工機・マシニングセンタの新機種を外販して、新規市場を開拓するなど市場誘導型イノベーションの萌芽も見られた。

② 市場誘導型イノベーションの未発

Wise and Baumgartner (1999) 等によれば、製造企業のサービス化は、製造企業がコモディティ化を打破し差別化能力を回復する戦略的選択の一つである。①で見たように、2000年代以降の生産ラインのIT管理化に対応した工作機械ビジネスの展開は、市場誘導型イノベーションへと繋がる可能性を秘めたものであり、現に、工作機械メーカーは、複数のグローバル製造企業の生産ラインのIT管理化に関与して、工作機械及び工作機械システムをカスタマイズ開発・製造する経験を通じて得た知見・ノウハウを活用し、顧客の生産ラインの工程集約に役立つ複合工作機械・マシニング

センタの開発に成功している。

しかしながら、2000年代半～2010年代初の工作機械メーカーは、生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスを市場誘導型イノベーションのツールにまで育てることができなかった。DENSOの生産システム改革で見たように、生産ラインのIT管理化は、生産ラインのレイアウト変更、工程集約等による生産ライン改革とセットで実施する必要があり、仮に、工作機械メーカーが生産ラインFA化関連ソリューションを通じて、これまで気付かなかった製品ニーズを発見・認識し製品イノベーションに繋げたいのであれば、工作機械メーカーは(現在、“Smart Factory”で取り組んでいるように)顧客工場における生産ラインFA化を独自の技術・ノウハウによりサポートし、工場IT管理化による顧客工場の生産高効率化に積極時に関与しなければならない。これは伝統的な工作機械中心ビジネスを逸脱して製造企業のサービス化にコミットメントするものであり、2000年代半～2010年代初の工作機械メーカーには、顧客工場の生産高効率化への関与を通じて知見・ノウハウを獲得し、市場誘導型イノベーションに繋げる気構えと用意はできていなかった。

気構えと用意云々以前に、2000年代の工作機械メーカーは、1990年代来の持続的円高によるコスト競争力の毀損、バブル崩壊後の国内経済の長期停滞による内需低迷により経営危機に瀕しており、企業存続のためには手っ取り早い需要の確保・拡大が急務であった。2000年以降の新規加工方法と同加工方法に対応した工作機械の開発供給を請け負うソリューション・ビジネスと同じく、生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスも、やはり自動車・航空機・資源等高付加価値機の大口顧客からの引合い確保に主眼が置かれ、顧客の生産ラインIT化要求に合わせて、工作機械及び工作機械システムを開発し、顧客の生産ラインに納入・設置することで顧客満足を勝ち取り、自社製品の引合いを確実にすることを目標とした。

また、中国の「世界の工場」化と爆発的な経済成長は巨大市場中国における商いの拡大を期待させ、工作機械メーカーにとって、可能な限り早い段階で中国に生産拠点を設けて市場参入し、ライバル企業に先行して市場シェアを獲得できるかが、将来の世界市場における地位にも影響するものとなった。このため、工作機械メーカーにおける事業優先順位は、引き続き高付加価値化とグローバル展開がトップの座にあり、生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスは2010年代以降の工場生産高効率化ソリューションと同じく市場誘導型イノベーションにつながる可能性を秘めていたが、高付加価値機の大口顧客からの引合い確保のための補完策の取扱いに終始した。

4. まとめ：2000年代の工作機械メーカーのソリューション・ビジネス

2000年以降展開されたソリューション・ビジネスは、工作機械メーカーにとり、最初の製造企業のサービス化への本格的取組だった。ただし、当時の工作機械メーカーのソリューション・ビジネスは製品コモディティ化への対応の一環であり、1990年代以降のコモディティ化に対する工作機械メーカーの基本対策は、自動車・航空機・資源等の高付加価値セグメントへのシフトとグローバル生産による中国市場等開拓による製品需要・企業収益の維持・確保にあつて、ソリューション・ビジネスは高付加価値機の大口顧客からの引合い確保を確実にするための補完策に過ぎなかった。

工作機械は工作機械単体で機能するものではなく、生産ラインを構成する中核マシンとして、搬送装置・周辺装置等と組み合わせられ、生産ラインに組み込まれて初めて真価を発揮する。近年、顧客の委託を受けて、工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置等を一括調達し、工作機械システム等に組み立て、顧客工場の生産ラインにインテグレーションするライン・ビルダーが注目されているが、工作機械ビジネスは工作機械の開発製造とインテグレーションの2つから成り立つ。伝統的な工作機械ビジネスでは、工作機械メーカーは顧客の求める性能を発揮できるマシンの開発・製造に専念し、販売・サービスは機械商社等代理店に一任しており、インテグレーションは、顧客メーカーが自ら行うか、機械商社等代理店がサービスとして行ってきた。

これに対し、2000年以降スタートした工作機械のソリューション・ビジネスでは、工作機械メーカーは、自動車等大口需要者から、新製品開発に必要な加工方法の開発をその都度引き受け、加工方法とそれに対応した工作機械を開発し、顧客工場に工作機械システムとして納入する商いを行っている。伝統的な工作機械ビジネスは工作機械中心ビジネスであり、工作機械メーカーは工作機械単体の開発製造に専念してきたが、2000年以降、高付加価値機の大口顧客の引合いを確保するためのソリューション・ビジネスでは、加工方法・工作機械の開発から工作機械システムの組立て、工作機械システムの顧客工場へのインテグレーションまで一貫通貫で対応している。

従来、工作機械メーカーは工作機械単体の開発製造に専念し、製造企業のサービス化について関心が希薄だったことを踏まえると、ソリューション・ビジネスは画期的な取組であったが、2000年代にソリューション・ビジネスは工作機械メーカーの恒常的なビジネスとして確立したわけではなく、自動車・航空機等の大口顧客との取引において他社との差別化と受注確保を図るための単発サービスに過ぎず、顧客メーカーが新製品開発に伴い新加工方法が必要となった場合に、顧客メーカーからの依頼を受けて、工作機械メーカーはその都度ソリューション提供したに過ぎない。Wise and Baumgartner (1999)が期待したような、サービス化を通じて顧客と長期に渉るリレーショナルな協働関係を構築し、ソリューション過程で把握・認識した市場ニーズや知見・ノウハウを活かして製品イノベーションを恒常的に実施するものではなかった。

先進的メーカーとして著名なヤマザキマザックはソリューション・ビジネスにも一早くコミットし、「DONE IN ONE」としてビジネス化した。これは製品供給と付随サービスの一体化により工作機械ビジネスに付加価値を付けるもので、ヤマザキマザックは(i)顧客との「綿密な打ち合わせ」により、顧客の現行生産方式とその改善目標を確認し、顧客の提供する図面・素材を使用して顧客の要求をクリアする加工方法を開発、続いて(ii)当該加工に必要な工作機械だけでなく、省人化・無人化のための搬送装置・周辺装置と組み合わせたセル生産システムを具体的に設計し、顧客工場の生産ラインにセル生産システムを組み込むべく、生産ラインを再設計して、セル生産システムの制御に求められるソフトウェアを開発・調達、その上で(iii)顧客との調整を経て最終的な生産方式を確定、工作機械システム・ソフトウェア等を顧客工場に一括納入し、顧客の生産ライン管理担当従業員に対して工場稼働に備えた事前トレーニングを自社サポート拠点で提供、(iv)工場稼働後もシステムのメンテナンスや改善提案などの事後サービスをトータルで提供した。

従来、ソリューション・ビジネスは単発受注ビジネスとして散発的に実施されてきたが、「DONE IN ONE」はこれを恒常化しようとして試みた点に先駆性が認められる。2000年代半ば当時のヤマザキマザックは「DONE IN ONE」の主眼を大口需要者からの引合いの確保としていたが、2017年時点の同社の振返りでは、「DONE IN ONE」は顧客ニーズの動向を把握・理解し、新技術・製品を開発する善い機会となったとする⁷³。

製造企業のサービス成長研究では、サービス化を通じた脱コモディティ化として、製造企業が顧客と課題解決に向けて協働するプロセスにおいて、新たなニーズを発見・認識し、新たに得たノウハウ・知見を製品開発に活かし、差別化製品・技術により競争優位を回復する市場誘導型イノベーションを想定する。ヤマザキマザックはソリューション・ビジネスを通じて、サービス化が新製品開発に繋がる可能性に気付いていたが、その可能性の実現は、工作機械メーカーが市場誘導型イノベーションに取り組む、2010年代前半の”Smart Factory”の登場まで待たなければならなかった。

2000年代半ばの生産ラインFA化は2010年代の”Smart Factory”に繋がるものであり、工作機械メーカーによるFA化関連ソリューション・ビジネスは、2010年代の”Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションを予告するものであることから、大口顧客の引合いの確保のための付随的サービスの枠を超えて、新規事業化できる可能性を秘めていた。

まず、2000年以降のソリューション・ビジネスでは、新加工方法の開発請負は、顧客の新製品開発プロジェクトの一部分を成すものであり、顧客の製品開発プロジェクトが開発成功により完了すれば、その都度、ソリューション・ビジネスも完結する「単発ビジネス」であった。FA化関連ソリューション・ビジネスも、基本的に「単

⁷³ ヤマザキマザック 2017年5月26日付ヒアリング

発受注」ビジネスであったが、顧客の製品開発の都合に応じた散発的な新加工方法の開発請負とは異なり、生産ラインに組み込まれる工作機械や工作機械システムはパターン化が可能であり、反復継続的な受注機会があり得た。

また、生産ラインFA化は、グローバル製造企業が自社生産技術部門主導により自主的に進めたものであり、工作機械メーカーには、自社工場の生産ラインのIT管理システムに最適化された工作機械及び工作機械システムをその都度発注しているだけであったが、工作機械メーカーは複数顧客からの受注を通じて経験を重ね、顧客の生産ライン改革のニーズや課題に対する理解を深め、その成果を踏まえて複数工程を集約した複合加工機・マシニングセンタ等を開発。その新鋭機により、大口顧客に対しては、新たな生産ライン構築を提案し、新鋭機開発のヒントを与えてくれた顧客以外にも複合加工機・マシニングセンタの新機種を外販して、新規市場を開拓できた。

しかしながら、2000年代半～2010年代初の工作機械メーカーは、生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスを市場誘導型イノベーションのツールにまで育てられなかった。DENSOの生産システム改革で見たように、生産ラインのIT管理化は、生産ラインのレイアウト変更、工程集約等による生産ライン改革とセットで実施する必要があり、工作機械メーカーは(現在、“Smart Factory”で取り組んでいるように)顧客の生産ライン改革をサポートし、顧客工場のIT管理化による生産高効率化に関与しなければならない。顧客工場の生産高効率化への関与を通じて知見・ノウハウを獲得し、市場誘導型イノベーションに繋げることができるが、2000年代半～2010年代初の工作機械メーカーはコミットメントしなかった。

IDECを対象とする探索研究では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成否に関連する複数要因のうち、製造企業がサービス化の意義を理解し、何を達成するかを明確にした上でサービス化にコミットメントする等の戦略的意思決定が重要であった。2000年代の工作機械メーカーは、バブル崩壊後の内需低迷と円高によるコスト競争力低下により経営危機に瀕しており、企業存続のために手っ取り早い需要の確保・拡大が急務であり、生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスも、やはり自動車・航空機・資源等高付加価値機の大口顧客からの引合い確保に主眼が置かれ、市場誘導型イノベーションが戦略的に追求されることはなかった。

確かに、工作機械メーカーにとり、生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスが、顧客ニーズの動向を把握・理解し新技術・製品を開発する善い機会となったのは事実であり、「製造企業のサービス成長」の新たな可能性を示唆するものではあったが、工作機械メーカーの生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスの位置付けはあくまでも高付加価値セグメント・シフトの補助ツールであり、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」を通じて市場誘導型イノベーションを実現する目的意識が薄かったため、「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り

組む『プラットフォーム』の制度的手当ても、「製造企業のサービス化を専管する独立専任機関の設立」も手が打たれなかった。

何故、この時期のサービス化は市場誘導型イノベーションにつながらなかったのだろうか？第1部では、IDECを対象とした探索研究等により、戦略的意思決定を含めて7つの要因を措定したが、そのうち「市場成熟期におけるサービス化の戦略的位置付け及び目的の明確化」「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度化」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が関係し得る。

これらの点に関して、ソリューション・ビジネス以前の伝統的なサービス(部品供給、故障修理等の伝統的なインダストリアル・サービス)、2000年代のソリューション・ビジネスと生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスについて比較してみると、表10のとおり、2000年代までのサービス化は、顧客の依頼を受けて、工作機械メーカーはその都度ソリューション提供したに過ぎず、Wise and Baumgartner (1999)が期待したような、サービス化を通じて顧客と長期に渉るリレーショナルな協働関係を構築し、ソリューション過程で把握・認識した市場ニーズや知見・ノウハウを活かして製品イノベーションを恒常的に実施しようとする意図は窺えない。

表 10 1990年代～2010年代初の工作機械メーカーのサービス化

	1990年代の持続的円高及び国内経済停滞への対応	2000年以降のソリューション・ビジネス	2000年代半以降の生産ライン単位のFA化対応
市場成熟期における製造企業のサービス化の戦略的位置付け及び目的の明確化	高付加価値化とグローバル化による需要確保及び開拓に注力。サービス化は伝統的サービス提供のみ。	引き続き高付加価値化とグローバル生産による需要確保及び開拓が基本。高付加価値セグメントにおいて自動車等の大口顧客の引合い確保のために、顧客の新製品開発に必要な加工方法を開発、工作機械を製造・納品するソリューション・ビジネスを展開	2000年代後半、生産ラインのIT管理化が技術的に可能化。FA化は個別機械から生産ライン単位の。トヨタ等グローバル製造企業の生産ライン自動化に対応、工作機械をIT管理化、顧客の要望に応じて工作機械システムをカスタマイズ制作し納品するソリューション・ビジネスを展開。
顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築		顧客ニーズの動向を把握・理解し新技術・製品を開発する善い機会。ただし、基本的に「一品作り」形式の単発受注ビジネスであり、長期のリレーショナルな協働関係の構築まで至らず。	顧客ニーズの生産ラインのIT管理の動向を把握・理解し新技術・製品を開発する善い機会。基本的に単発受注ビジネスであり、長期のリレーショナルな協働関係の構築まで至らないが、新加工方法の開発と異なり生産ラインのIT管理化は工作機械・同システムのパターン化が可能で、反復継続的な受注機会あり。
製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当て		基本的に「一品作り」形式の単発受注ビジネスであるため、顧客と協働して継続的にイノベーションに挑むプラットフォームの構築に至らず。	生産ラインのIT管理はグローバル製造企業が生産技術部門主導で試行錯誤しつつ推進。工作機械メーカーは工作機械システムを単発受注。顧客と協働して生産システム改革に挑むパートナーに非ず。その結果、プラットフォーム構築には至らず。ただし、複数顧客とのシステム開発を通じて、複合加工機・マシニングセンタを開発、工程集約等の生産ライン改革を提案。

(出所)筆者作成

では、2010年代の”Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションは2000年代迄のソリューション・ビジネスと何が異なり、市場誘導型イノベーションを達成する、あるいは志向できるようになったのだろうか。ドイツが提唱した”Smart Factory”は、その次世代製造システム標準化に向けて、OT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業等の激しい競争が2010年代半以降展開されてきたが、工作機械メーカーは”Smart Factory”を契機として市場誘導型イノベーションに挑んでいる。”Smart Factory”とは何か、”Smart Factory”は工作機械ビジネスに如何なる意味を持つのかについて次章第6章で取り扱う。

参考 5

1990年代の工作機械メーカーの高付加価値化の取組

～技術のオークマ～

1. 1990年代、工作機械メーカーはコモディティ化に対して高付加価値化により如何に対応したか。ここでは「技術のオークマ」を事例として概観したい。高精度加工におけるNC技術の高度化、マシニングセンタ・複合加工機等における欧州メーカーへのキャッチアップを先導したのはオークマ、ヤマザキマザックであったが、オークマの高付加価値化への取組は一頭地抜いていた。なお、1980年代まで標準機に特化していたDMG森精機は1990年代以降先発メーカーに如何に技術的キャッチアップするかが課題であり、両社の後塵を拝していた。
2. オークマは1898年創業の大隈麵機商会に起源を持ち、1904年から工作機械の製造を開始、1918年には米国製品をモデルにOS型旋盤を開発し1937年には国内で生産首位となるなど戦前より工作機械産業をリードしてきた。戦後も米国のNC技術の動向を踏まえ、1963年に絶対位置検出方式[※]のNC装置(OSP)の開発に成功、1966年にはNC旋盤製造を開始するなど、オークマは工作機械とNC装置双方を日本で唯一製造する「機電一体メーカー」として1970年代の工作機械のNC化を主導。

※ 機械加工では加工位置の不動が重要であり、位置決めにおいて、機器の立上げ時に一度原点セットをしておけば、電源をオフにしても機械位置を位置決めユニットやサーボアンプが記憶していて現在位置を保持するシステムを絶対位置検出方式と呼ぶ(機械ズレが発生しても自動補正されるため、電源再投入後の原点復帰は必要がない)。
3. 繰り返しとなるが、我が国の工作機械メーカーは大口顧客の自動車メーカー等の高度化する技術要求に応える過程で技術革新と成長を続けてきた。金型・自動車部品等の複雑な形状物を精密に製造するには工作機械も複雑精密な動きを要求されるが、オークマは、NC装置の自主開発能力を活かして、1966年に門型MC、1973年に門型5面加工機の製造を開始するなど5面加工機・多軸加工機の開発を主導した。また、1970年代に世界経済が低成長局面に移行し、自動車・電機メーカーがリーン生産と多品種少量生産に舵を切ると、オークマもユーザーの工程集約と高能率加工のニーズに応じて、多種類加工の連続自動実施可能なMC、MCに旋盤機能を加えた複合加工機の開発に取り組んだ。
4. 日本初の複合加工機の開発こそヤマザキマザックに先行されたが、オークマは1980年代「コンピュータ技術の躍進により複雑で高度な制御が可能とな」と「機電一体」の強みを活かしてMC開発を主導。自動車のプレス金型・プラスチック金型等の形状特徴である自由曲面を高速かつ高精度に加工する高速輪郭加工制御等を開発するだけでなく、金属加工の宿命だった過熱による機械加工の歪みを自動補正する熱変位補正技術等を開発し自動車メーカー等の高度加工の要求に応えた^{※※}。

※※ オークマ株式会社「工作機械メーカーが創るNCの開発とその変遷 NC装置「OSP」開発50周年を迎えて」(<http://www.okuma.co.jp/onlyone/osp/pdf/osp50story.pdf>)

5. 1990年代、イントラネットによるネットワークが普及すると、オークマは、顧客の工作機械と生産システムの一体化の求めに対応して、工作機械と生産管理システムとの連携、各工作機械の作動状態監視、ネットワーク上の機械作動プログラムの共有など工場全体の情報を管理する技術(機電情技術)を確立し、2000年以降は工作機械のPC管理化によりユーザーがWindows上で作動するアプリケーションを使用して自由に加工プログラムが組めるように機電情技術を革新してきた。
6. 1990年代後半、オークマは自動車金型・部品に求められる曲面の高速・高精度加工技術革新に成功し、国内自動車メーカーの要求に応えるとともに、2000年代、欧州メーカーの先行する複合加工機・5軸制御の開発に取り組み、NC装置の自社開発製造能力を活かして工作機械の高速・高精度・高機能化を図り、さらには熱変位制御・衝突防止・幾何誤差補正等の「知能化技術」により製品差別化を図った(下表参照)。
6. 2000年代は国内経済の停滞と対照的に世界経済が米国経済の復調と中国の爆発的拡大により力強い成長を遂げた時期であり、自動車生産が先進国から新興国にグローバルに拡大し工作機械需要が拡大する同時に、建設機械、航空機・船舶、資源・エネルギー等重厚長大産業関連需要が長期間に渡り拡大を続けたが、オークマは差別化製品・技術により海外需要の高付加価値部門の伸びを抑えることに取り組んだ。

表 オークマの知能化技術

熱変位制御(サーモフレンドリーコンセプト)	工作機械が加工に伴う熱発生や気温変化により補正が必要となる問題に関し、「①熱変形が単純で ②温度分布を均一化する機械構造でかつ素直な挙動とし、③高精度な熱変位補償制御を加える」ことで、一般的な工場環境で熱変位を気にせず安定した寸法精度で加工ができる技術
衝突防止機能(アンチクラッシュシステム)	機械・素材・工具の3次元データを用いて、機械の実動作のほんの少し先をシミュレーションすることで、実際に衝突が起きる直前に機械を停止させる技術(動作・機構が複雑な複合・5軸加工機でも機械破損させずに安心して作動できる(破損修理は極めて高額))
加工条件探索機能(加工ナビ)	加工状態を「見える化」し、熟練者でなくとも容易に機械と工具の能力を最大限に活かす加工条件を探索できる機能(例 ミーリング加工でびびり発生時に最適な主軸回転速度が自動表示され、オペレータは画面ガイダンスに従って回転速度を変更し効果確認できる)

(出所)オークマ資料に基づき筆者作成

第6章 “Smart Factory” と工作機械ビジネス

工作機械メーカーは2000年以降サービス化への取組をスタートしたが、伝統的な工作機械中心ビジネスが引き続き堅持され、1990年代来のコモディティ化対応策の高付加価値化を補完するものとしてソリューション・ビジネスが展開された。同ビジネスは自動車・航空機等の高付加価値機の大口顧客の引合い確保を目的とし、彼等からの新製品開発に関連した加工方法の開発依頼を受けて、加工方法・工作機械を開発、顧客工場に工作機械システムをインテグレーションするものであるが、大口顧客の委託を受けて一回で完結する単発ビジネスであり、Wise and Baumgartner(1999)の想定した、顧客との長期協働関係に基づく製品イノベーションは意図されていなかった。

工作機械メーカーのサービス化への取組は、2010年代、ドイツが”Industrie4.0”で提言した”Smart Factory”が次世代製造システム標準と認知されるようになると一変する。第7～9章では、総合工作機械メーカーのヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機が”Smart Factory”に対応して工場生産高効率化ソリューションを本格的ビジネスに立ち上げ、顧客と協働して顧客工場の生産高効率化に取り組む過程で潜在的ニーズを発見し、協働で得た知見・ノウハウを活かして市場誘導型イノベーションに取り組んでいることを取り扱うが、高付加価値機の大口顧客の引合い確保を目的とするソリューション・ビジネスはなぜ”Smart Factory”を契機として、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに転化したのだろうか。

“Smart Factory”は市場動向に即応した変種変量生産の極限化を目的として、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御と、生産ラインの機械・設備よりリアルタイム収集した製造関連ビックデータをAI解析することでカイゼンの自動化を図るものである。2010年代初は理念的コンセプトに過ぎなかった“Smart Factory”は2010年代半以降OT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業等により急速に基本機能・システム構成の具体化とシステム構築のビジネス化が進められ、工作機械メーカーは伝統的なマシン中心ビジネスを引き続き継続するのか、工作機械・同システムの製造・開発をコア事業としつつ、“Smart Factory”関連ソリューションに本格的ビジネスとして取り組むのか、選択を迫られる。

総合工作機械メーカー3社は“Smart Factory”を契機として工場生産高効率化ソリューションを本格的ビジネス化し、同ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションを目指したが、“Smart Factory”が工作機械ビジネスに与えたインパクトについて、第6章では、①”Smart Factory”とはそもそも如何なる製造システム改革であるのか、②”Smart Factory”は、工作機械ビジネス等との関係において、如何なる「脅威」と「チャンス」をもたらすものであるのか、③工作機械メーカーは”Smart Factory”に対して2010年代初以降どのように対応してきたのか、“Smart Factory”展開史の第1期(2014～2017年)における対応を論ずる。

1. 総論

(1) ” Smart Factory” の定義(再掲)

” Smart Factory” とは、ドイツが 2011 年に” Industrie4.0” (第 4 次産業革命)として提言した先進国製造企業の 21 世紀モデルであり、絶えず変動して止まない市場動向に即応した変種変量生産を実現するため、ERP (Enterprise Resource Planning: 企業資源計画)・MES (Manufacturing Execution System: 製造実行システム)・PLC (Programmable Logic Controller: プログラマブル・ロジック・コントローラ)を垂直統合した企業 IT システムにより、生産ラインをリアルタイムで最適制御し、企業ヘッドクォータの経営判断に基づく生産計画変更に対応して、製造現場において段取替え等の生産準備と生産ラインの実稼働、運転管理者の配置・業務内容、ワーク・治具・工具等の定置・移動等を機動的に最適実施する製造システムである⁷⁴。

(2) 従来の物的システムと IT システムの関係

従来の製造システムでは、企業 IT システムによる工場制御は、生産ラインを構成する機械・設備の FA 化 (MES と PLC を垂直統合し MES により生産ラインの実施準備・運転を自動化) に止まり、工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置を組み合わせた生産ラインのインテグレーションと、MES・PLC 等企業 IT システムによる生産ライン制御システムの構築は独立事業領域を形成してきた。

工作機械メーカーは、顧客メーカーの加工能力・加工精度等に関する要求に応え得る優秀な工作機械の開発・製造に専念し、顧客工場における工作機械のインテグレーションは基本的には機械商社等販売代理店に分業させてきたが、工場システムにおける工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置等により構成される生産ラインと MES・PLC 等企業 IT システムの統合は顧客メーカー自身か機械商社等に任せてきた。

2000 年以降のソリューション・ビジネスでは、工作機械メーカーも顧客の委託を受けて、特別に開発した工作機械システムを顧客工場でインテグレーションしたものの、ソリューション・ビジネスは例外的な単発ビジネスであり、企業 IT システムによる制御の関係では、工作機械メーカーは 1980 年代以降の FA 化に対応して、工作機械にオペレーティング・システムを搭載し、FA 化された生産ラインに工作機械を組み込み可能とするに止まった。また、工作機械の高付加価値化の一環として、工作機械単体を操作する加工ソフトウェアを開発・顧客提供し、工作機械メーカーは FA 化された生産ラインの生産効率向上に寄与してきたが、あくまでも個別マシンの生産性向上を通じてであった。

⁷⁴ Bundesministerium fuer Wirtschaft und Energie (2016); Bundschuh (2017); Andelfinger and Hänisch (2017) etc.

(3) ” Smart Factory”における物的システムとITシステムの関係変化

これに対して、ドイツが主に自動車・電機産業を念頭に置いて構想した次世代製造システム” Smart Factory”では、物的システムである生産ラインと企業ITシステムが統合され、工場の製造システムとしての付加価値は、従来の物的システムとITシステムの「和」ではなく、両者の「積」に変わり、価値のウェイトが工作機械メーカーの事業領域とする物的システムから企業ITシステムによる制御にシフトする可能性が生まれた。むしろ企業ITシステムによる制御による貢献の方が大きくなることが期待され、これまで同業他社との関係で事業領域や競争を考えてきた工作機械メーカーにとり、企業ITシステムのインテグレーションを司るOT、IT企業等との関係で事業領域・競争を再考する必要が生じた⁷⁵。

” Smart Factory”では、工場の製造システムとしての付加価値は、従来の物的システムとITシステムの「積」に変わるとしても、物的システムの貢献ウェイトがあまり低下しないのであれば、工作機械メーカーは従来通り伝統的な工作機械中心ビジネスを継続することも一つの選択である。しかしながら、「積」における物的システムの貢献ウェイトが大幅に低下してしまう場合、伝統的な工作機械中心ビジネスは” Smart Factory”以前とは打って変わって高収益を約束しなくなるかもしれない。この場合でも、工作機械メーカーは諦めて工作機械ビジネスの収益低下を甘受する選択もあるが、” Smart Factory”の次世代製造システム標準化を契機に工作機械ビジネスを革新できないだろうか。

(4) 工作機械ビジネス革新の第一選択肢：ITシステム・インテグレーション進出

一つの単純な選択としては、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御なり製造関連ビックデータのAI解析によるカイゼンなりに、工場システムの付加価値がシフトするのであれば、工作機械メーカーも、高付加価値事業領域である企業ITシステム・インテグレーションに市場参入することが考えられる。” Smart Factory”は2000年代半以降の生産ラインFA化の延長線上にある。生産ラインFA化では、工作機械メーカーも工作機械メーカーをFA対応化し、顧客工場のFA化された生産ラインに工作機械システムをインテグレーションするソリューション・ビジネスを展開してきた。とすれば、工作機械メーカーにも企業ITシステムのインテグレーションは不可能というわけではないのではないか。

しかしながら、それはやはり楽観に過ぎるだろう。生産ラインFA化は、PLCによる個別機械・設備のIT制御がMESによる生産ライン単位でのIT制御へとレベル・アップされてはいるが、個別バラバラにコンピュータ制御していた、生産ラインの機械・設備をMESで一つにまとめてコンピュータ制御したに過ぎない。一

⁷⁵ 日本機械工業連合会(2016)

方、“Smart Factory”では、ITソリューション・プロバイダの専門領域であるERPとMES・PLCのシステム統合とITシステム・インテグレーションの難易度が飛躍的にアップするだけでなく、生産ラインを構成する個別機械・設備からリアルタイム収集した製造関連ビックデータをAI解析して生産ラインの最適制御を行う製造関連プラットフォームの構築が求められる。とすれば、工作機械メーカーが技術・知見・ノウハウを全く欠く企業ITシステム関連事業領域に新たに参入することは極めてハードルが高い。

(5) 工作機械ビジネス革新の第二選択肢：工場生産高効率化ソリューション

では、工作機械メーカーは“Smart Factory”という製造システムのパラダイム・シフトを運命として甘受し、伝統的な工作機械中心ビジネスの収益性が著しく低下しても、引き続き工作機械中心ビジネスに専念しなければならないのだろうか。

確かに、“Smart Factory”は次世代製造システム標準として工場生産高効率化に寄与することが期待されているが、工場生産高効率化ソリューションは“Smart Factory”に尽きるわけではない。“Smart Factory”は、Siemens等のグローバル・メガ・メーカーが変種変量生産を極限化し、絶えず変動する市場動向に即応するための「解」として考案されたものであり、製造企業の抱える製造システム上の課題は“Smart Factory”の追求する変種変量生産の極限化に尽きず、多種多様である。

むしろ“Smart Factory”は工場生産高効率化ソリューションとしては一部のグローバル・メガ・メーカーにしか有効ではなく、かつ、これらのグローバル・メガ・メーカーにしても、自社工場の生産高効率化を達成する上で、工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革等、“Smart Factory”化以外のソリューションが重要である。場合によっては、より有効であるかもしれない。

これらのソリューションは、工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置等から構成される物的システムとしての生産ラインに係るソリューションである。前述のとおり次世代製造システムの付加価値が物的システムとITシステムの「積」として表現されるのであれば、製造企業が工場生産高効率化を達成するには、“Smart Factory”により企業ITシステムによる最適制御を実現するだけでなく、工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革など物的システムの生産高効率化が依然として必要であろう。

(6) 未開拓事業領域の工場生産高効率化ソリューション

物的システムの生産性高効率化はこれまでトータルで請け負う企業は存在していない⁷⁶。生産ラインはメーカーの競争力を左右するものであり、これまでメーカー自身が生産ラインを内製する(すべき)ものと考えられてきたため、例外的にFAシステム、ロボット・システムについてのみ、システム・インテグレータが製造企業のFA化、ロボット導入を補助してきたに過ぎない。

グローバル・メガ・メーカーとなれば、例えばトヨタ・グループでは、JTEKTがグループ全体のロボット・システム化について、DENSOが同様にFA化について責任を負うというように、FAシステム、ロボット・システムでさえ自前で処理してきた。このため、顧客工場の生産性高効率化をトータルでコンサルティングしたり、顧客に代わって工場生産高効率化を引き受けるソリューションを提供したりする企業は存在しなかった。

そこで、“Smart Factory”が標準化する次世代製造システムにおいて、工作機械メーカーが伝統的なマシン中心ビジネスだけでなく新たな事業展開を試みる場合、企業ITシステムのインテグレーションに新規参入するのではなく、物的システムである生産ライン(製造現場)の生産高効率化をトータルで引き受けるソリューション・ビジネスに参入する(新規事業分野として開拓する)ことが選択肢にならないだろうか。

(7) 工場生産高効率化ソリューションの潜在的成長可能性

ここで、一つの疑問が湧き起こるかもしれない。

”Smart Factory”の製造システムとしての付加価値が物的システムとITシステムの「積」の形で表され、「積」における物的システムの貢献ウェイトが大幅に低下した場合の対応を議論していたはずである。であれば、物的システムである生産ラインの生産高効率化に関するソリューションは工作機械メーカーにとり魅力的なビジネスにはなり得ないのではないか。すなわち、「積」への貢献ウェイトの多寡に応じてソリ

⁷⁶ コロナ感染症前、世界経済が持続的に力強い拡大を続ける中、需要拡大と少子高齢化に伴う労働人口減少に対応して、製造企業はFAシステム、ロボット・システムの導入により工場生産高効率化に取り組んだ。ライン・ビルダーはFAシステム、ロボット・システムのインテグレータとして注目を集めるに至り、ライン・ビルダーの産業組織であるFA・ロボットシステムインテグレータ協会が2018年に設立される運びとなった。榎本(2018)においてライン・ビルダーの事業、ビジネス・モデル、類型等について分析し、今後、ロボット・メーカー、FAシステム・メーカー等の協力企業として、ロボット・システム、FAシステムのインテグレーションを引き受ける存在に止まらず、第4次産業革命において次世代製造システムとされる”Smart Factory”では、企業ITシステムと物的生産ラインの一体的インテグレーションが求められるところ、ライン・ビルダーの一つの事業発展の方向として、“Smart Factory”のトータル・インテグレータたることが考え得ることを指摘した。ただし、インテグレーション・ビジネスの収益率はITシステム、生産システムを問わず低く、トータル・インテグレーションに求められる技術力・ノウハウ等に比して報酬が十分とは言えないことから、トータル・インテグレータを志向する企業は未だ登場していない。

ューションは価値評価されるので、顧客企業は企業ITシステムによる生産ラインの最適制御にはカネを喜んで支払っても、生産ラインの高効率化は製造システム全体の高効率化への寄与度が低いとして相応の対価を払おうとしないであろう。であるならば、工作機械メーカーには、生産ラインの生産性高効率化をソリューションとして本格ビジネス化する意義・必要性に乏しいのではないかと考えるのが自然であろう。

改めて次世代製造システム標準として期待される“Smart Factory”について考えると、Siemensの独アンベルク工場では、2010年代以降、世界市場におけるFA需要の爆発的成長と顧客のカスタマイズ要求の加速度的な増大により、全世界6万社の顧客の要望に対応するには年間5000回の生産計画変更、1200種類の製品製造に係る毎日500回の段取替えが必要となり、もはや生産ラインの自動化、工程集約による生産ラインの短縮など生産ラインをベースないし起点としたヒトによるカイゼンで対処できるレベルを超えてしまった結果、ERP・MES・PLCを垂直統合した企業ITシステムによる生産ラインの自動最適制御、製造関連ビックデータのリアルタイム収集とAI解析によるカイゼン自動化が要請されることとなった⁷⁷。

しかしながら、“Smart Factory”による変種変量生産の極限化は次世代製造システム標準ではないとする声がドイツの中堅・中小製造企業に根強いことから分かるように、“Smart Factory”は自動車・電機関連のグローバル・メガ・メーカーやグローバル・メガ・サプライヤーの変種変量生産ニーズに応えるものではあるが、すべての製造課題に対する解というわけではない。そもそも巨額の投資を必要とする企業ITシステム構築を賄えることができるのはグローバル・メーカーなど一部のメーカーに過ぎず、製造企業の太宗を構成する中堅・中小メーカー(特に部品加工専門メーカー)はむしろ市場の需要変動にはバッファー在庫で対応しており、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御を必ずしも必要としていない。

むしろ彼等は自社工場の生産性向上のために、工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革などのソリューションを必要としており、さらには、これらのソリューションを如何に組み合わせれば、自社工場の生産高効率化に最適化されたプランを策定して実行できるかに関心がある⁷⁸。

実は、未開拓ではあるが、中堅・中小メーカーを中心として、工場生産高効率化ソリューションに対する需要が広範に存在している。企業ITシステムによる生産ライン最適制御や製造関連ビックデータのAI解析等の新たな課題の登場に伴い、FA化、ロボット化、“Smart Factory”化など個別課題を取り扱うだけの部分的ソリューションではなく、工場生産高効率化に関連した全ての課題をトータルに取り扱い解

⁷⁷ Siemens Wentinmann シニアディレクター、2020年10月22日付ヒアリング。

⁷⁸ オークマ、2017年6月7日付ヒアリング

決してくれるソリューションへの期待が高まっている。また、21世紀に入り一層加速している新興国等の製造業化により、日米欧先進国に限らず中国等新興国においても、工場生産高効率化ソリューションへの需要が成長することが期待されることから、むしろ工場の” Smart Factory” 化そのものよりも製造現場レベルでの工場生産高効率化ソリューションの方が潜在的なニーズが大きいかもしれない。

(8) 工作機械メーカーの潜在的なソリューション提供能力

工作機械メーカーは伝統的に工作機械及び工作機械システムの開発製造をコア事業としてきたが、工作機械及び工作機械システムを活用して工場の生産高効率化を如何に実現するか、システム・インテグレータとしての能力も潜在的に有している。

工作機械にせよ工作機械システムにせよ生産ラインにインテグレーションされて初めて真価を発揮するものであり、工作機械メーカーは自社工場で自社製品を生産ラインにインテグレーションして使用してみることで、製品が上市してライバル企業との競争に耐え抜き勝ち抜けるかを検証してきた。すなわち工作機械メーカーは潜在的に生産ラインのライン・ビルダーとしてのトレーニングを積み重ねてきており、これまでも生産ラインのFA化やロボット化も含めたトータルな形で(自社工場を対象とするものながら)生産高効率化に取り組んできた。

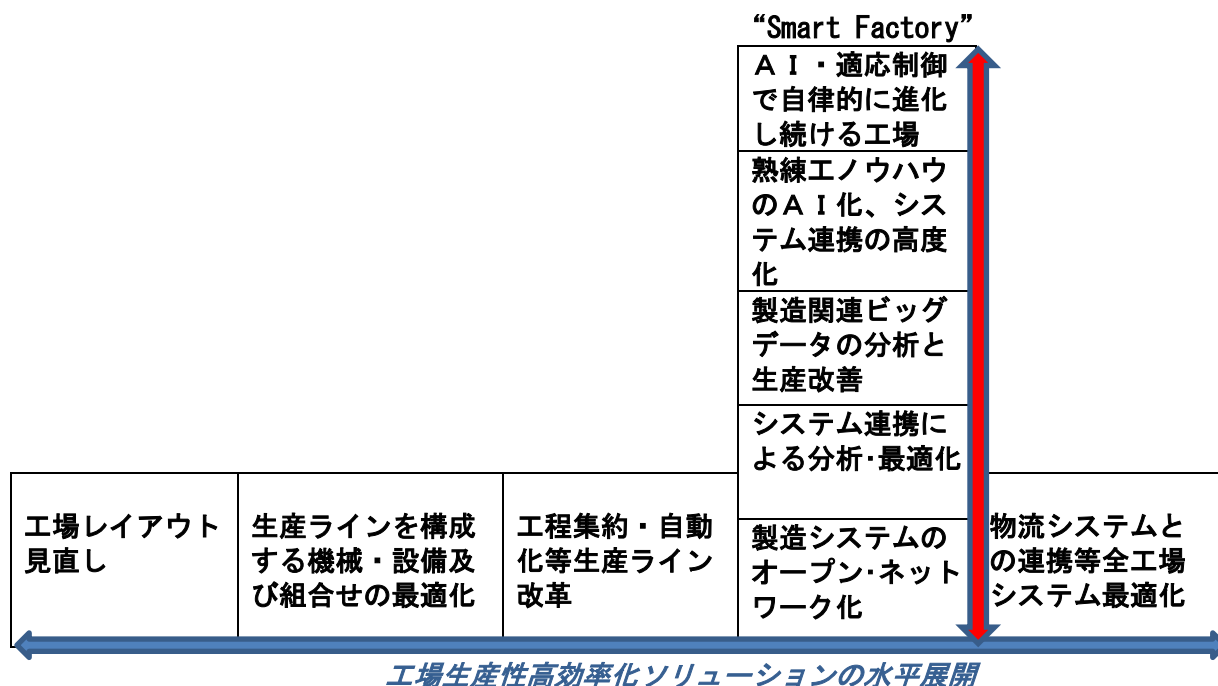
このため、工作機械メーカーは、工場生産高効率化に関して長年蓄積してきた技術・知見・ノウハウを活用して、顧客工場の生産高効率化ソリューションをビジネス化する能力を潜在的に有しており、現在、製造企業が” Smart Factory” の次世代製造システム標準化に伴い直面する、FA化、ロボット化等の部分的な形ではなく、トータル・システムとしての工場生産高効率化ニーズに応えることができる存在でと言える。” Smart Factory” 時代において、工作機械メーカーは、伝統的な工作機械中心ビジネスのみに専念しているだけではなく、物的システムの生産性高効率化をトータルで請け負う企業として新規事業分野を開拓する道も拓けている。

(9) 次世代製造システムの工場生産高効率化ソリューション：垂直展開と水平展開

ここで、工作機械メーカーの工場生産高効率化ソリューションのビジネス化を考える上で、” Smart Factory” 時代の工場生産高効率化ソリューションについて整理しておきたい。工場生産高効率化は、物的システムである生産ラインを物理的な形で高効率化する「水平方向」の展開と、” Smart Factory” 化により企業ITシステムによる生産ラインの最適制御と製造関連ビックデータのAI解析によるカイゼン自動化などを追求する「垂直方向」の展開の2種がある。” Smart Factory” は2000年代末の生産ラインFA化と連続した取組であり、物的システムである生産ラインの生産高効率化ソリューションのうちIT化にフォーカスして、これをIoT技術、AI技術、深層学習技術等により深掘りしたものであることから、垂直展開として図化した。

図9 工場生産高効率化ソリューションの展開方向

工場生産高効率化ソリューションの垂直展開



(出所) 筆者作成。

ヤマザキマザックを取り扱う第7章で、工作機械メーカーが共有する” Smart Factory” に向けたロードマップは説明するが、工作機械メーカーは、生産ラインを構成する機械・設備をIoT化し、生産ライン全体として制御管理できるようにする「製造システムのオープン・ネットワーク化」が” Smart Factory” に向けた第一歩であると考えおり、オープン・ネットワーク化を前提として、生産ラインを構成する機械・設備の稼働データ等から生産ライン全体の効率的な運転管理を分析し最適制御を行う「システム連携による分析・最適化」に取り組み、さらに、製造関連ビッグデータのAI解析により生産ラインのカイゼンを行う「製造関連ビッグデータの分析と生産改善」へと繋げ、” Smart Factory” の眼目であるERP・MES・PLCを垂直統合した企業ITシステムによる生産ライン最適制御を実現する「熟練工ノウハウのAI化、システム連携の高度化」を経て、最終的に「AI・適応制御で自律的に進化し続ける工場」に到達することを構想している。

生産ラインFA化でも、生産ラインを構成する機械・設備にコンピュータ制御用の端末ないしオペレーティング・システムを実装し、生産ライン全体をコンピュータ・プログラムにより制御管理していたが、” Smart Factory” が生産ラインFA化の延長線上にあり連続していることを反映し、これは「製造システムのオープン・ネットワーク化」とほぼ重なる。” Smart Factory” 化を目指さない場合でも、生産ラインFA化では、生産ラインを構成する機械・設備から稼働状況を収集し、生産ライン全体の効率的な運転管理に活用しており、その内容は「システム連携による分析・最適

化」と一部重なっている。ただし、「製造関連ビックデータの分析と生産改善」「熟練エノウハウのAI化、システム連携の高度化」は” Smart Factory” 独自の取組であり、工場生産高効率化ソリューションとしての重複はなくなる。

図9の「垂直展開」として示された、企業ITシステムによる生産ライン制御などの” Smart Factory” 化はITソリューション・プロバイダの事業領域であり、工作機械メーカーにはビジネス展開するための能力・資源を欠くが、生産ラインにおける「水平展開」はITソリューション・プロバイダには手出しのできない、工作機械メーカーの独擅場であり、工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革などのソリューションを組み合わせて、顧客工場の個別課題・条件に最適化された生産高効率化プランを策定して実行することとなるが、次世代製造システムの” Smart Factory” において、工作機械メーカーはITソリューション・プロバイダと工場生産高効率化ソリューションにおいて棲分け可能であり、企業ITシステムによる生産ライン制御とは異なる方法により顧客の製造課題(工場生産高効率化等)に応える新規事業を創出できる。

(10) 工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に係る問題点

問題点は、第一に、工作機械メーカーはグローバル総合工作機械メーカーといえども自動車・電機メーカー等と比べればモノ・カネ・ヒトの点で圧倒的にリソースに不足しており、伝統的な工作機械中心ビジネスを展開しつつ、同時に顧客工場の生産高効率化ソリューション・ビジネスを本格実施する余力に乏しいことである。

第二に、GM、Tesla、Samsung 等から工場建設委託を受ける、ライン・ビルダー代表格の平田機工ですら売上高営業利益率が好況期でも5%内外に止まり、不況期以外でも1~2%であることから示唆されるように、生産ラインのシステム・インテグレーションは” Service Paradox” の典型事例とも言える低収益事業である。” Smart Factory” において、製造システムとしての付加価値が企業ITシステムによる生産ライン制御にシフトしたとしても、依然、工場の生産性は生産ラインの物的能力に規定されることには変わりなく、工作機械の開発製造ビジネスがライン・ビルダー並みに低下するとは考えにくい。企業収益の補完が目的であれば、生産システム・インテグレーションは合目的な選択ではない。

第三に、工作機械メーカーが” Smart Factory” の次世代製造システム標準化に伴い、伝統的な工作機械中心ビジネスに加えて、顧客工場の生産高効率化ソリューション・ビジネスを立ち上げる場合、両者の関係が必ずしも明確ではなく、特段のシナジー効果が期待できないままバラバラに事業が展開される恐れがある。製造企業のサービス成長研究では、Wise and Baumgartner(1999)は、製造企業がサービス化を通じて顧客の事業プロセスに関与し、顧客と協働して課題解決にあたることで、潜在的な市場ニーズを認識・発見し、協働過程で得た知見・ノウハウを活かして製品イノベーシ

ョンを起こすことを期待した。工作機械メーカーが” Smart Factory” を契機として工場生産高効率化ソリューションを本格的ビジネス化するとして、工作機械・同システムの開発製造事業とは、Wise and Baumgartner (1999) 等が期待したようなリンクージなりシナジーなりがあり得るのだろうか。

第四に、工場生産高効率化ソリューションの垂直展開と水平展開の区別は、工作機械メーカーが” Smart Factory” の次世代製造システム標準化に伴い、企業 IT システム・インテグレーションから独立した事業領域を探索する上での仮定である。顧客メーカーの立場に立つならば、その区別は観念的なものに過ぎず、垂直展開、水平展開を問わず、自社工場の生産高効率化のために最適メニューを組み合わせたソリューションが存在するだけである。すなわち、工作機械メーカーは次世代製造システムにおいても独自の事業領域を確立し独自の存在意義を確保しようとして、工場生産高効率化ソリューションの水平展開に取り組むが、最終的には、企業 IT システムによる生産ライン最適制御等のソリューションを開発提供する OT、IT 企業等との協業をどうするかが問題となる。

(11) 総括

総合工作機械メーカー 3 社は、2010 年代半以降、” Smart Factory” の基本機能・システム構成が OT、IT 企業等の競業により明確化され、” Smart Factory” 関連ソリューションのビジネス化が進められる過程で、上記(1)～(11)にて述べた問題に一つ一つ直面し、工作機械ビジネス革新に向けた試行錯誤を展開した。第 7～9 章で製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションをキーワードとして、工作機械メーカーの取組を研究する前に、本章では、まず、2. において OT、IT 企業等による。” Smart Factory” の具体化とビジネス立上げを先ずは論ずる。

2. 2010年代のIT主導の製造システム変革：“Smart Factory”

2010年代前半以降、工作機械、ロボット、IT、OT、企業システム等ソフトウェアなどの生産システム関連企業だけでなく、クラウドなどインターネット企業も交えて、“Smart Factory”は次世代製造業の競争力を左右する製造システムとして、その具体化とビジネス化が激しく競われてきた。

ドイツが“Industrie4.0”で提言した“Smart Factory”は、各工場が“Smart Factory”化するだけでなく、個々の“Smart Factory”をつないで工場群・製造企業群をネットワーク化し、さらには国全体を一つの“Smart Factory”化する、企業・社会単位でのFA化を構想。インターネットには国境はないが、ドイツはさらに国境を超えた“Smart Factory”をも提言しており、その現実化の暁における影響の大きさから、先進国・新興国、規模・業種・業態等を問わず、広範な製造企業が“Smart Factory”対応に向き合うこととなった。

その結果、2010年代半以降、「“Smart Factory”狂騒曲」とでも呼ぶべきアイデア合戦、商談合戦が展開されてきたが、2014～2017年のOT、IT企業等の取組により“Smart Factory”の基本機能・システム構成についてコンセンサスが形成され(第1期)、2018年以降、OT、IT企業等は“Smart Factory”ビジネスを立ち上げようとしている(第2期)。

ドイツの原初構想の“Smart Factory”は工場、企業の枠を超えて社会全体、世界を繋げるものであるが、現在、実装とビジネス化が進められる“Smart Factory”は工場単位、企業単位のスマート化である。

(1)2010年代初：抽象的コンセプトからスタートした“Smart Factory”

2010年代初にドイツが次世代製造システムとして提案したSmart Factoryは、当初より次世代製造システムとして高い期待を寄せられたものの、長らくコンセプト段階に止まり、機能なり、システム構成なりについては将来の具体化に委ねられていた。このため、Kagermann et al. (2013)が代表的な定義とされるものの⁷⁹、“Smart Factory”には100以上の定義が存在するとされる(Moeuf et al. 2017)。以下、Kagermann et al. (2013)及びBundesministerium fuer Wirtschaft und Energie(2016)に基づき“Smart Factory”のコンセプトを概観する。

⁷⁹ “networks of manufacturing resources (manufacturing machinery, robots, conveyor and warehousing systems and production facilities) that are autonomous, capable of controlling themselves in response to different situations, self-configuring, knowledge-based, sensor-equipped and spatially dispersed and that also incorporate the relevant planning and management system” (Kagermann et al. 2013)

①ドイツ”Industrie4.0”：市場動向に即応する変種変量生産の実現

(a) 中国等新興国との競争における先進国のサバイバル

中国は1999年WTO加盟後に急速な経済的テイクオフを遂げ、続く10年間で「世界の工場」としてGDP規模を3倍とただけでなく、ファーウェイ(華為技術)など次世代情報通信の世界的企業を産み出し、アリババ(Alibaba)、テンセント(Tencent)、バイドゥ(Baidu)など米国GAFAMにも匹敵するインターネット企業がデジタル・エコノミー化を推進した。こうした中、ドイツは、先進国製造業が中国等新興国との競争に勝ち残るには、マス・カスタマイゼーションと変種変量生産を徹底して時々刻々変動する市場ニーズに迅速・的確に対応する必要があると考え、2011年にドイツ工科大学アカデミーとドイツ連邦教育科学省が“Industrie4.0”を共同発表する。

(b) 企業ITシステムによる生産ラインの自動制御

ドイツの“Industrie4.0”は、時々刻々変動する市場ニーズに迅速・的確に対応するマス・カスタマイゼーションを徹底することを目的として、第一に、IoT技術、AI技術、クラウド技術により生産システムをデジタル化し、経営層が市場動向に即応して修正する生産計画に柔軟かつ機動的に対応できるよう、企業ITシステムにより生産ラインを自動制御することを提案した(企業ITシステムのERP・MES・PLCを垂直統合して生産ラインを制御)。

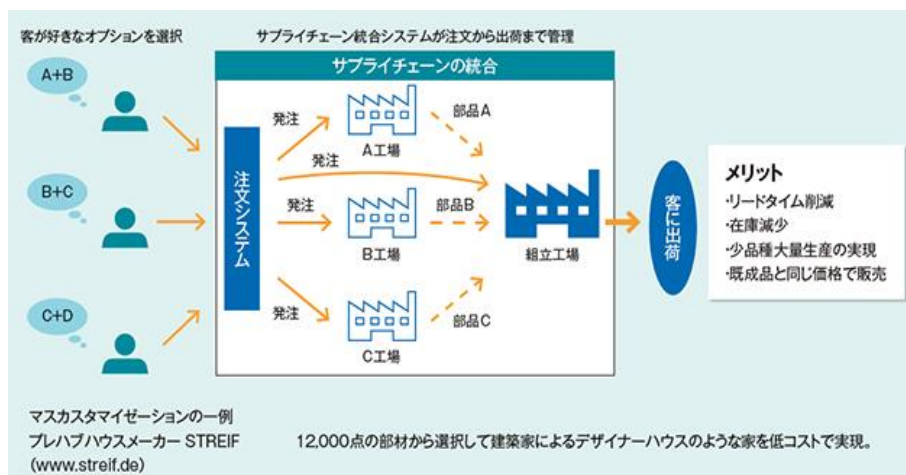
生産システムのデジタル化を前提として、第二に、生産ラインの機械・装置に装着した情報端末・センサからリアルタイムで収集したデータをクラウド上の置かれたAIにより解析、AIの導出した生産ラインの最適制御方法(各ラインの生産割当、生産順序、治具・工具・人員配置、段取替え)に従い生産ラインを制御する、第三に、生産ラインのカイゼンはトヨタ生産方式では人により担われるが、生産ラインよりリアルタイム収集したデータに基づきAIが生産ラインのカイゼン方法を解析し、その結果に基づいて生産ラインに改良を加える等を”Industrie4.0”では構想する。

(c) ”Smart Factory”のネットワーク化

また、自動車産業がトヨタ、BMW等の最終組立メーカーだけではなく無数の部品・素材メーカーの分業から成立しているように、現実世界では製品は多数企業に分業・協業により製造されており、如何なる企業も自社単独に必要な部品・材料をすべて生産し最終製品まで生産できない。市場の求める多種多様な商品を1ロットからでも柔軟・迅速に生産・出荷するマス・カスタマイゼーションを実現するには、スマート製造を個別工場・企業単位で完結させずに、”Smart Factory”同士をITシステムにより結合して(トヨタ等の親企業・協力企業の協業関係のように)全体最適化を行う中核的企業の指揮の下に、複数の異なる主体が生産管理・在庫管理・購買調達管理・プロジェクト管理等に係るシステムを共有し、あたかも一つの”Smart Factory”であるかのように協働作業を行うことが必要となる。

各工場が” Smart Factory” 化するだけでなく、個々の” Smart Factory” をネットワークでつないで工場群・製造企業群をネットワーク化、さらには国全体を一つの” Smart Factory” 化することは(従来の)個別工場の枠を超えた企業・社会単位での(究極の)FA化といえようが、ドイツは“Industrie4.0”において国全体(さらには国境を超えた)” Smart Factory” を提言した。

図10 ” Smart Factory” の結合によるマス・カスタマイゼーション



(出所) 西村健介(2015)「南ドイツから学ぶインダストリー4.0の地方中小企業への影響」

②生産のデジタル化とCPS

(a)生産デジタル化

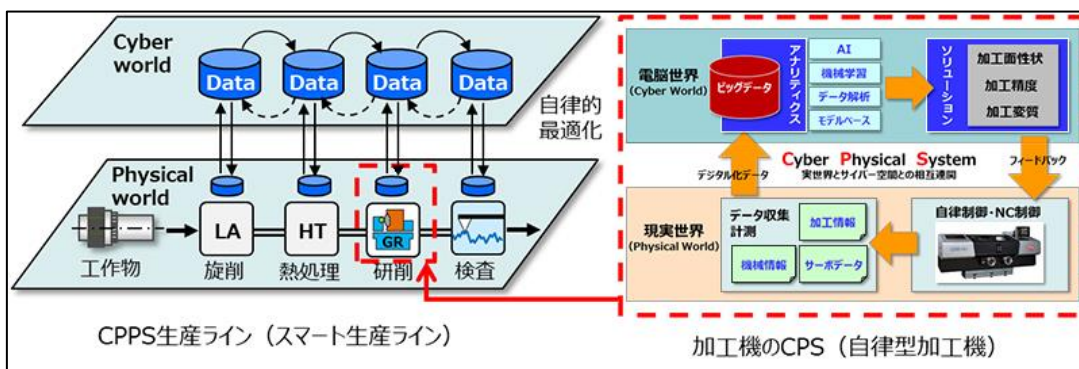
以上のように、ドイツは先進国製造業の差別化の方向として、市場の求める多種多様な商品を1ロットからでも柔軟・迅速に生産・出荷できるマス・カスタマイゼーションを掲げ、生産ラインをITシステムにより制御することで市場動向に即応した変種変量生産を柔軟かつ機動的に実行する”Smart Factory”を提言。さらにドイツは”Smart Factory”化を個別工場で終わらせず工場群・製造企業群をネットワーク化することまで構想しているが、その実現のためには生産システムのデジタル化が不可欠であり、ドイツは、近年飛躍を遂げたIoT技術とクラウド等大容量情報処理技術を活用して、製品・設備にICタグやバーコードを装着し、それらをセンサやカメラで読み取って通信で結び、センサ等から得たデジタル情報をクラウド上でリアルタイムに収集・分析、生産ラインを解析結果に基づき最適制御することCPS (Cyber Physical System)を次世代製造システムとして実現するとした。

(b)CPSによる生産ライン制御

CPSとは、物理的な現実世界のデータを収集し、コンピュータ上の仮想空間に大量のデータを蓄積して解析を行い、解析結果を物理的な現実世界にフィードバックするサイクルをリアルタイムで回すことにより、システム全体の最適化を図る仕組みであ

る⁸⁰。このため工作機械等の機能を徹底的にモジュール化し、現実の工場内の状況をコンピュータ上で仮想的に再現し、この仮想空間において、顧客注文に対応してモジュールを柔軟に自動的に組み替え、生産ラインの最適代替プラン等を現実世界にフィードバックすることで、生産ラインを自動的に顧客の注文動向に自動最適化して大量生産にも劣らない納期・価格で提供することを企図する。また、コンピュータ上のシミュレーションにより現実の工場内でのあらゆる動きを把握することで、製品の品質向上、納期短縮、生産性向上、故障検知等を実現することをCPSは目指している(図11参照)⁸¹。

図11 CPSにおける現実界と仮想界の対応関係



(出所) 産業技術総合研究所

③コンセプト段階に止まった” Smart Factory”

以上がドイツの提案した” Smart Factory” の概要であるが、工場生産がリアルな問題であるのに対し、” Smart Factory” の内容は抽象的なコンセプトに止まった。

例えば、カイゼンについて、製造システムの模範とされるTPSでは、製品の品質向上、納期短縮、生産性向上、故障検知等に関して、生産ラインの担当者が「カイゼン」に取り組み、工作機械・搬送装置・周辺装置の最適組合せ(生産ラインの見直し)や(MESによるか否かを問わず)生産ラインの最適管理を実現してきたが、” Smart Factory” では、AIが仮想空間におけるシミュレーションにより最適生産を常時割り出して、自動的にカイゼンを行うとする。

⁸⁰ JEITA(電子情報技術産業協会)は「CPSとは、実世界(フィジカル空間)にある多様なデータをセンサーネットワーク等で収集し、サイバー空間で大規模データ処理技術等を駆使して分析/知識化を行い、そこで創出した情報/価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていくものです」とする(<http://www.jeita.or.jp/cps/about/>)。

⁸¹ ロボット革命イニシアティブ協議会(2016)は次世代製造の特徴を(a)工場内の機械の生産技術データを一元的に管理・集約、そこから得られるデータを情報処理し、機械の加工効率の改善、予知保全、現場のカイゼン等のために生産管理側のERP、MES等の上位システムに提供する仕組、(b)情報処理された生産技術データを機械にフィードバックし、人がプロセス毎に部分最適を積み上げる従来の取組を超えて、人を介さずともライン全体が最適化される仕組、(c)生産技術のエンジニアリング・チェーンと生産管理のサプライ・チェーンを可視化しサイバー・フィジカルなシステムとして捉え、人工知能により統合管理しつつ、その全体最適につながるカイゼンを達成する仕組の3点に求める。

製造現場は千差万別であるが、すべての製造関連データを収集できるわけではない。” Smart Factory” では、A I のアプリケーション開発段階でプログラマーが選択したデータにより、問題を発見・分析し、カイゼンを行うという。ヒトにはA I やプログラム化に馴染まない「暗黙知」があり、生産ラインそのもの、生産ラインの運転管理者、生産ライン管理組織、生産ライン方法等の諸々の要素が複雑に絡み合い、生産システムとして構成されている製造現場では、何が生産高効率化を阻む問題となっているかは、D E N S O の言葉を借りれば「モノづくりを知るヒト」「モノづくりを知るヒトから成る組織」の暗黙知のみが直覚的に発見できる。

暗黙知と言わずとも、生産ラインの運転管理における問題発見は、生産現場で運転管理する者でなければ、経験・知見の蓄積を欠き、対応困難であることは容易に理解できるが、欧米製造企業はC P S を導入しA I によるビッグデータ解析ができるようになれば、「人」によるインプットなしに機械間だけで学習して安定生産を保つ「静的な工場」も可能となるとする。しかしながら、A I によるビッグデータ解析には限界が存在し⁸²、A I が製造関連ビッグデータに基づきシミュレーションを無限に繰り返しても、生産効率性向上に資するカイゼンを考案できるか、疑わしい⁸³。

2010年代初ないし前半時点において、” Smart Factory” は、市場動向に即応した変種変量生産の実現のためには、企業I Tシステムによる生産ラインの自動最適制御と、製造関連ビッグデータのA I 解析による生産システムのカイゼンの自動化が必要

⁸² I o T 化された生産ラインにおいて、製品・設備に装着されたI C タグやバーコードからセンサやカメラで読み取られるデジタル情報とは、現時点における生産技術部門の認識・理解において必要と考えられるデータを選別して取得しているに過ぎない。現在の生産技術では認識されていない、認識されていても重要性が認められていないデータは一切捨象されてしまう。このため、C P S において構築される仮想空間は現実世界と近似していても、現実世界と同一ではあり得ず、データ取得時点での生産技術観に基づいてデータを取捨選別していることから、生産技術観に即した形で現実世界が造り直されており、C P S の仮想空間は到底現実世界と同一ないし鏡像ということとはできない。

その結果、C P S の仮想空間におけるシミュレーションから漏れ落ちる現実世界の製造課題が発生する。カイゼンとは問題発見と解決の継続反復であるが、生産ラインの運転管理における問題発見は生産現場の運転管理者でなければ無理な面がある。C P S における仮想空間の現実世界のシミュレートがどれだけ緻密化しても、C P S では発見できず対応できない問題が残り得る。また、T P S は1970年代以降オートメーション化に取り組み、現在、I o T 技術とA I を生産現場における問題発見に活用しようとしているが、生産関連ビッグデータとA I の解析結果は「段取替え時間の短縮」であれ「セル生産ユニットの効率的配置」であれ解釈を要する。そもそも生産現場で生産ラインの運転管理を行い、暗黙知も含めた知識・ノウハウを有する者でなければ、何が生産効率向上に寄与するかを判断することは難しい。

⁸³ T P S もI o T 革命の成果の活用を否定しておらず、むしろ1970年代にスタートしたF A 化以来、トヨタは一貫してI T 技術の活用と自動化に熱心に取り組んできた。現在、T P S の本家であるトヨタ自動車及びD E N S O 等トヨタ系列メーカーでは、I o T 技術とA I を生産現場における問題発見に活用しようとしている。彼等の経験では、生産関連ビッグデータとA I の解析結果は「段取替え時間の短縮」であれ「セル生産ユニットの効率的配置」であれ解釈を要し、生産ラインのI o T 化により現実世界と同一の(鏡像ともいうべき)仮想世界を構築できたとしても、生産システムの運転管理とカイゼンを含む生産システム改革をC P S により自動化・自律化できるとは考えない。

になるとコンセプトを提示したに止まる。” Smart Factory” 化に伴い、製造システムの基本機能及びシステム構成がどのようになるのか、工作機械ビジネスがどのような地位を占めることになるのか等はまったく予想も判断もできない状況だった。

(2) 第1期(2014~2017年): ” Smart Factory” の機能及びシステム構成の具体化

第1期(2014~2017年)、ドイツ政府の” Industrie4.0” 提言ではコンセプトの域を出なかった” Smart Factory” の具体化が、OT、IT、産業機械、工作機械、ソフトウェア、クラウド企業等により、同時多発的に、同時並行で推進された。” Smart Factory” は如何なる機能を果たすのか、” Smart Factory” は如何なるシステム構成を採るかに関して、OT、IT、工作機械、産業機械各社は、自社工場をモデルとして” Smart Factory” 実証に取り組み、各々のコア事業領域を出発点として” Smart Factory” の機能・構成を検討した。

これらの取組は、特段の指導的な存在がない、同時多発的な取組ではあったものの、” Smart Factory” に関連する国際フォーラム、アライアンス等を通じて、基本機能及びシステム構成に関するコンセンサスが徐々に形成されて行く。工場システムは、物的部分(工作機械、ロボット、搬送装置、周辺装置等から構成される生産ライン)とIT部分(ERP、MES、PLC等の企業ITシステム)から成るが、” Smart Factory” は企業ITシステムによる生産ライン制御を眼目とすることから、第1期における機能・システム構成の検討・詰めはIT部分が中心となった。

システム構成については、①ERP・MES・PLCの系列ですべての情報処理を行うのか、あるいは、製造IoTプラットフォームを別途構築して、市場動向に即応する変種変量生産以外の情報処理を分担させるのか、②製造関連ビッグデータの解析・処理はエッジ層とクラウド層のいずれで行うのか、あるいは、エッジ・コンピューティングとクラウド・コンピューティング間で如何に分担・協働させるかを巡り、OT、IT、企業システム、クラウド企業等により議論・検討された。

一方、工作機械メーカーがコア事業領域とする生産ライン(製造現場)に関しては、機械・設備のIoT化(MESによる生産ラインの機械・設備制御、生産ラインを構成する機械・設備に端末・センサを装着して、製造関連ビッグデータをリアルタイム収集)を巡る論争・対立はほとんどなく、第1期後半以降” Smart Factory” ビジネスの本格的立上げが進められた。これに対し、OT、IT企業等は第1期に” Smart Factory” の基本機能・システム構成を詰めるのに力を費やし、” Smart Factory” ビジネスの立上げに向けた取組は第2期(2018年以降)以降と若干遅れた。

①” Smart Factory” コンセンサスの形成

第1期(2014～2017年)、独OT企業 Siemens、企業システム会社 SAPの主導下に、” Smart Factory” 具体化作業がOT、IT、企業システム企業等により進められ、基本機能とシステム構成に関して、コンセンサスが徐々に形成された。

ドイツ連邦政府が指摘するように⁸⁴、” Smart Factory” は過去の製造システム革新と断絶したものではなく、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御が2000年代中～2010年代初の生産ラインのIT管理化(生産ラインFA化)の延長上にあるように、実は、1970年以降、IT技術と情報処理技術の進歩に応じて進められてきた工場システム管理の自動化をIoT技術、AI技術、ビッグデータ解析技術等を活用して高度化したものである。

” Smart Factory “は、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御、製造関連ビッグデータのAI分析によるカイゼンが「売り」であり、2014年以降の具体化作業はITシステムが主戦場となった。OT、IT企業等はそれぞれの得意とする事業領域からITシステムの具体化に挑んだが、Siemens等の主導により” Smart Factory” の機能・システム構成が第1期(2014～2017年)に徐々に具体化される。

②” Smart Factory” の基本機能

(a) 基本機能に関するコンセンサス形成の遅れ

絶えず変動する市場動向に即応したマス・カスタマイゼーションを実現するため、ERP・MES・PLCを垂直統合した企業ITシステムにより生産ラインを自動最適制御し、(ii) 生産ラインを構成する機械・設備にセンサ・端末を実装し、リアルタイム収集した製造関連ビッグデータをCPSにおいてAI解析し、その分析結果を踏まえて生産ラインの最適化(TPSにおけるカイゼン)を行うとされた。

初発段階で” Smart Factory” の基本機能の案はこのように出揃っていたが、” Smart Factory” が工場・企業単位に止まらず、サプライ・チェーン全体、社会全体のネットワーク化を目指すべきか議論が割れたため、コンセンサス形成が遅れる。結局、Siemens、Bosch、Volkswagenなどグローバル・メガ・メーカーの” Smart Factory” 早期実現の意向が通り、第1期(2014～2017年)、” Smart Factory” 関連企業等の間で「当座の間、工場・企業を基本単位として、(i) ERP(計画層)・MES(実行層)・PLC(制御層)を垂直統合した企業ITシステムによる生産ラインの自動最適制御、(ii) 生産ラインを構成する設備・機械からリアルタイム収集した製造関連ビッグデータを、デジタル・ツインを活用してAI解析し、生産ライン等製造バリュ

⁸⁴ Bundesministerium fuer Wirtschaft und Energie(2016)

一・チェーンの最適化を図ることが” Smart Factory” の基本機能として合意されるに至った⁸⁵。

表 11 ” Smart Factory” の基本機能

第 1 機能	ERP (計画層)・MES (実行層)・PLC (制御層) を垂直統合した企業 IT システムによる生産ラインの自動最適制御
第 2 機能	生産ラインを構成する設備・機械からリアルタイム収集した製造関連ビッグデータを、デジタル・ツインを活用して AI 解析し、生産ライン等製造バリュー・チェーンを最適化

(b) 第 1 機能「企業 IT システムによる生産ラインの最適制御」

第 1 期にコンセンサス合意された” Smart Factory” の基本機能中、「企業 IT システムによる生産ラインの最適制御」は、2000 年以降、製造ニーズが少品種大量生産から多品種少量生産、さらには変種変量生産にシフトする過程で、生産ラインの IT 管理化が追求されるようになった時点から、既に追求されてきた課題である。

従来の FA 化は IT 技術の制約により個別機械・設備を単位としてきたが、2000 年代以降、生産ライン全体の自動化が目指されるようになり、生産ラインを構成する機械・設備を IT 管理し、MES により生産計画の変更等に応じて生産を機動的に変更する試みが先進的メーカーによりなされてきた。ただし、これは MES・PLC の 2 層統合によるもので、ERP とも 3 層統合した企業 IT システムによる生産ラインの自動制御は未決の課題として残っていた。ドイツは” Smart Factory” において ERP (計画層)・MES (実行層)・PLC (制御層) を垂直統合した企業 IT システムによる生産ライン制御の完成を求めた。

現在でも、製造企業のすべてが MES ないし生産スケジューラによる工場生産管理を確立しているわけではなく、生産計画の変更に対して、工場の生産管理者が毎回生産ラインの稼働計画を修正し、工場のライン担当者に修正指示する方式を採っている工場も少なくない。しかし、絶えず変動する市場動向への対応ではヒトによる工場稼働計画変更は限界があり、MES ないし生産スケジューラによる生産管理システムを確立し、その上で、MES と ERP を連携することが必要である。

3 層垂直統合のメリットとしては、ERP と MES を連結することにより、市場に変動が発生しても、絶えず生産管理・販売管理・購買管理・在庫管理・会計・人事給与を同時最適化して、きめ細かく対応できるようになり、また、ERP をインターネット接続することで、製造企業は外部の製造関連アプリケーション、開発ツールにア

⁸⁵ 経済産業省(2018)「製造プラットフォームを中核とした『Connected Industries』のためのオープン&クローズ戦略の実践方法」等は” Smart Factory” について ERP・MES・PLC を垂直統合した企業 IT システムと製造 IoT プラットフォームによる 2 系統の情報処理ループを区別して整理するが、第 1 期(2014~2017 年)の” Smart Factory” の基本機能・システム構成の具体化を受けて、企業 IT システムによる生産ラインの最適制御、製造関連ビッグデータの AI 解析によるカイゼンの自動化の 2 機能がそれぞれの役割として想定されている。

クセスして利活用できることが期待されている(現在、製造関連アプリケーションは外部より購入・調達して、改めて機械・設備に個々にインストール)。

(c) 第2機能「製造関連ビッグデータのA I解析によるカイゼンの自動化」

第1機能は2000年以來の製造課題であり、システム的にもERP、MES、PLCなど既知のITシステムの統合に過ぎず、技術的問題、コスト的問題が解決できれば製造企業にとり特段の異論も問題もない。第1期の”Smart Factory”構想の具体化において問題となったのは、ドイツか”Industrie4.0”で新たに打ち出した「製造関連ビッグデータのA I解析によるカイゼンの自動化」であった。

第一に、TPSにおいて、カイゼンは「自主的に学習し絶えずカイゼンを行う組織」(Liker 2004)により担われ、生産ラインの運転管理における問題発見は生産現場で運転管理する者でなければ不可能な面がある(最後まで残る)ため、まずは生産現場が現場レベルで課題解決を試み、生産現場だけでは解決できない場合には、生産現場と生産技術部門が協働してソリューションを創造すると考えられてきた⁸⁶。

これに対し、「製造関連ビッグデータのA I解析によるカイゼンの自動化」では、A IがCPSを活用して「市場に最適化した生産及び方法及び生産ライン」を決定、それに対応して自動的に段取替え、部品・部材の準備等を実施して最適生産を行うだけでなく、従来ヒトが担ってきたカイゼンもCPSの仮想現実空間を活用することで自動化できると考える(Kolberg et al. 2017)。かかるカイゼンの自動化がそもそも可能であるのかは未決であるが(「A Iが人に取って代わるのか」と同旨の問いであり、現時点では、可能とも不可能とも決し難い)、少なくともカイゼンの完全自動化が難しいとしても、ヒトによるカイゼンをサポートするシステム(ヒトのカイゼン取組の一部を自動化する)が技術的に可能であるのか、具体的ニーズがあるのかが問題となった。

第二に、④で改めて論ずるが、ここではITシステムとしてのインテグレーションが問題となった。製造関連ビッグデータを一元管理し分析・生産改善を実施するというが、ERP・MES・PLCを垂直統合した企業ITシステムの情報ループと、生産ラインを構成する機械・設備等から収集した製造関連ビッグデータを一元管理・解析するCPSの情報ループの関係が曖昧であった。結果的には、”Smart Factory”は、生産ラインの制御を行うERP・MES・PLCの企業ITシステムと、リアルタイム収集した製造関連ビッグデータに基づき生産ライン最適化を解析する製造IoTプラットフォームの2つのシステムから構成されることとなるが、これは必ずしも唯一解ではなく、両者を統合したITシステムによる処理も可能だった。このため、これまでERP・MES・PLCの企業ITシステムのインテグレーションを業としてきたOT企業にとり、製造IoTプラットフォームのインテグレーションについても事業展開し”Smart Factory”に係るインテグレーションを総合的に実施するかが検討

⁸⁶ 大野(1978)、熊沢(2013)、坂本(2005)、堀切(2018)等

課題となり、同様に、米 Rockwell Automations、仏 Dassault Systèmes 等の企業システム会社にとり、製造 IoT プラットフォームだけでなく企業 IT システムのインテグレーションにも本格進出するかが課題となった。

③ “Smart Factory” 関連ビジネスの模索開始

” Smart Factory” の基本機能についてコンセンサスが形成されたと同時に、顧客に対して” Smart Factory” 化を通じて如何なる価値提供ができるのか、” Smart Factory” 関連ビジネスの模索もスタート。OT、IT、企業システム関連、ソフトウェア企業等は第 2 期(2018 年以降)に “Smart Factory” 関連ビジネスの本格的立上げに着手する。

“Smart Factory” ビジネスは、” Smart Factory” のシステム構成に対応して、基本的に 2 種類に大別される。” Smart Factory” のシステム構成については次項④で論ずるが、まず、1 種類目の “Smart Factory” ビジネスとして、ERP・MES・PLC を垂直統合した企業 IT システムのインテグレーションがある。顧客メーカーの多くは IT システム構築能力を欠き、自社工場の “Smart Factory” 化のためのシステム・インテグレーションを外部委託せざるを得ないが、経営陣が市場動向に即応した機動的な変種変量生産を実行するための基盤として、顧客メーカーの ERP・MES・PLC を垂直統合し、企業 IT システムにより生産ライン最適制御を実行できるようにシステム・インテグレーションするビジネスが求められる。

2 種類目の “Smart Factory” ビジネスとは、顧客が自社工場を “Smart Factory” 化した目的である、工場生産高効率化の達成を支援するソリューションである。例えば、“Smart Factory” では、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連ビックデータを AI 等で解析し、カイゼンの自動化を図る機能が追求されているが、具体的には、設備稼働監視管理による機械停止時間削減・稼働率向上、予知保全等による生産ラインの停止防止による工場生産性向上が目指されている。” Smart Factory” ビジネスとしては、顧客に対して、設備稼働監視管理ソフトウェア、予知保全ソフトウェアを提供し、製造関連 IoT プラットフォームにおける、製造関連ビックデータを活用した AI 解析により、顧客が個別生産ラインの設備稼働状況に応じて最適な対策を講じ、機械停止時間削減や稼働率向上を達成することをサポートすることが考えられる⁸⁷。

2 種類の “Smart Factory” ビジネスのうち、前者は IT ソリューション・プロバイダの事業領域であり、工作機械メーカーは “Smart Factory” のシステム・インテグレーションに求められる資源・能力を欠くため参入困難であることから、OT、I

⁸⁷ Siemens(2014, 2019, 2020a, 2020b)、日本 IBM2018 年 5 月 10 日付ヒアリング、シーメンス株式会社 2019 年 7 月 10 日付ヒアリング、富士通 2019 年 7 月 19 日付ヒアリング、三菱電機 2020 年 9 月 28 日付ヒアリング等

T、企業システム企業等の独擅場となる。これに対して、後者については、2000年代半以降の生産ラインFA化に関連して、工作機械メーカーも、顧客工場の生産ラインに設置した自社工作機械向けに、設備稼働監視管理ソフトウェアや予知保全ソフトウェアを開発・提供しており、“Smart Factory”に関する議論がスタートする以前より、顧客が個別機械の稼働状況に応じて、個別機だけでなく生産ライン全体が停止しないよう最適な対策を講じ、生産ラインの稼働率向上を実現する取組をサポートしてきた。かつ、2010年代以降、工作機械メーカーは、個別機に実装されたオペレーティング・システムを企業LANで繋げて統合し、個別機単位でなく生産ライン単位での稼働状況の監視管理も可能とするなどソリューションを充実してきた。

実は、第2期(2018年以降)現在でも、後者の“Smart Factory”関連ビジネスにおいては、工作機械メーカー等が先行的に開発し顧客開拓してきたソリューションを超えるものを開発・提供できていない。第1期(2014~2017年)の“Smart Factory”の基本機能及びシステム構成のコンセンサス確立後、OT、IT、企業システム会社等は既存ソリューションを超える新機軸を求めて模索し続けているが、目覚ましい成果は上がっていない。ソリューションはソフトウェア・ビジネスと密接した関係をもつことから、一見、OT、IT、企業システム会社等に優位性がある分野であるかに思われるが、工場における生産ラインの構成・稼働については、これらのIT関連企業は技術・知見・ノウハウを欠き(OT企業は制御装置メーカーとして一定の知見・ノウハウはあるが限られている)、生産ライン(製造現場)に密着した事業展開をしている工作機械メーカーに敵わない状況となっている。

いずれにしても、第1期においては、“Smart Factory”の基本機能及びシステム構成の具体化が主要課題として取り組まれ、“Smart Factory”関連ビジネスの本格立上げは第2期まで待たなければならなかった。そこで、OT、IT企業等による“Smart Factory”ビジネスについては「(3)第2期(2018年以降): “Smart Factory”ビジネスの本格的立上げ」にて改めて論ずる。

④ “Smart Factory”のシステム構成の具体化と生産システム関連企業

(a) “Smart Factory”のシステム構成

チャンドラーの「組織は戦略に従う」ではないが、「システムは機能に従う」。システムは機能を実現するためのものであり、システム構成は機能実現のために最適化された形を採る。“Smart Factory”は“Industrie4.0”では社会全体、世界をネットワーク化することを想定しているが、②のとおり、当座の間、工場・企業を基本単位として、「計画層・実行層・制御層を垂直統合した企業ITシステムによる生産ラインの最適制御」と「製造関連ビックデータのAI解析によるカイゼンの自動化」を基本機能とすることがコンセンサス化された。

それに伴い、“Smart Factory”では、ITシステムの制御対象である生産ライン

を構成する機械・設備を起点として考えると、一つは、ERP・MESの企業ITシステムと接続し、変動する市場動向に即応した変種変量生産を実現するシステムが在り、一つは、個別機械・設備からセンサ・端末を介して製造関連データをリアルタイム収集し、AI等によりピックデータ解析した上で、設備稼働監視・予知保全等生産性向上に役立てるシステムが並存する形が基本システム構成となった。

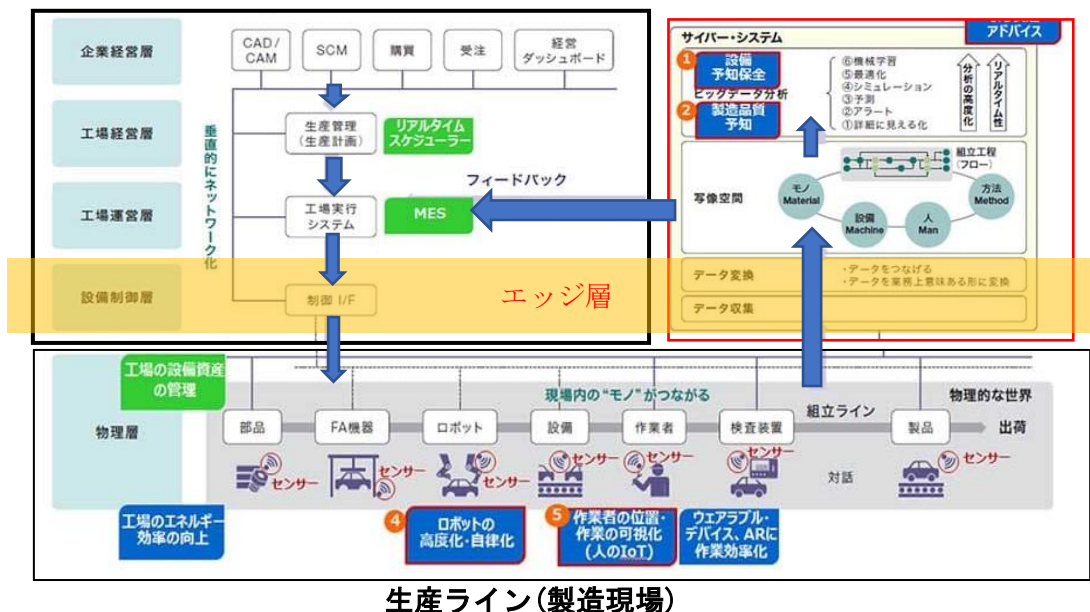
(b) 2つのシステムの独立した取扱い

第1期、Siemensは、ドイツ企業を中心としたコンソーシアムを形成し、ERP・MESプロバイダのSAP、自動車電装品メーカー兼OT企業であるBosch等と連携して、基本機能の検討と並行して、生産ライン、エッジ層、実行層にまたがる広い領域において、“Smart Factory”のシステム具体化を進める。

本来、「計画層・実行層・制御層を垂直統合した企業ITシステムによる生産ラインの最適制御」「製造関連ピックデータのAI解析によるカイゼンの自動化」に係る2つの情報処理は、ERP・MES・PLCの系統による一元処理が必ずしも不可能ではなく、2つの系統の情報処理をERP・MES・PLCの企業ITシステムにより一元管理するアイデアもあったが(2つのITシステムを構築することは投資額が多くなる)、結果的には主流とならなかった。

なぜならば、「製造関連ピックデータのAI解析によるカイゼンの自動化」では、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連データをAI等によりピックデータ解析するが、ITテック企業ではない製造企業には、AWS等クラウド企業が提供するAI、深層学習等の分析ツールの利用が欠かせない。この場合、クラウド活用のためにエッジ層とクラウド層の情報処理分担などが必要となるため、ERP・MES・PLCを3層垂直統合した企業ITシステムとは別に、“Smart Factory”では「製造IoTプラットフォーム」を構築し機能分担させる方式がシステム構成、システム投資において簡便であり、一般化することとなった。

図 12 Smart Factory の構成



(出所) IBM 資料を一部修正

(注) 青矢印棒線はデータの流れを表現。図で上左囲み部分は「企業 IT システムによる生産ラインの最適制御」、上右囲み部分が「製造関連ビックデータの AI 解析によるカイゼンの自動化」に係る情報処理を実施。図下囲み部分が、工作機械メーカーが事業領域とする生産ライン(製造現場)であり、企業 IT システムは生産ラインの個別機械・設備に実装された PLC 等と接続して、市場動向に即応した変種変量生産を展開。エッジ層には、製造 IoT プラットフォームが構築され、生産ライン(制御層)の機械・設備からリアルタイム収集された製造関連データの保管・解析、解析結果に基づくカイゼン指示を実行。エッジ層で情報処理をすべてできない場合、クラウド層の AI ビックデータ解析システムないし解析サービスと連携し、クラウド層でデータ解析を実行、解析結果に基づくカイゼン指示を制御層に仲介。

(c) 生産システム関連企業の基本 3 領域での棲分け

■ システム構成に関する検討の優先

“Smart Factory” 関連ソリューションには、一つは、従来、独立領域として個別にインテグレーションされてきた製造システムの物的部分(生産ライン)と IT 部分(企業 IT システム等)を一体としてインテグレーションする、顧客工場の” Smart Factory” 化があり、一つは、システムとして構築・完成された” Smart Factory” において、市場動向に即応した変種変量生産の実施、設備稼働監視管理による機械停止時間削減・稼働率向上、予知保全等の付加価値提供を行うソリューションがある。

OT、IT、企業システム、ソフトウェア企業等のいずれも” Smart Factory” 関連ソリューションのビジネス化が最終目的であるが、第 1 期(2014~2017 年)はコンセプト段階に止まっていた” Smart Factory” の具体化に向けて、” Smart Factory” は如何なるシステム構成を採るのか、顧客工場の” Smart Factory” 化においては如何なるシステム・インテグレーションが必要となるのかなど、” Smart Factory” のシステム構成に関する検討を優先することとなった。

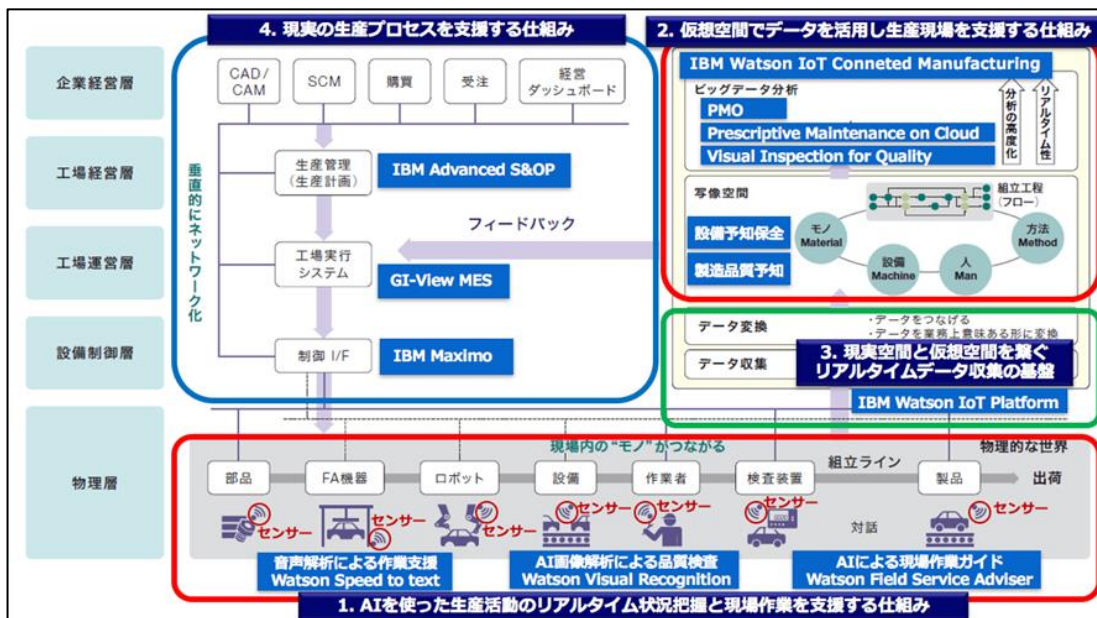
■ O T ・ I T 企業の制御技術を基盤とするシステム構築アプローチ

O T 企業は、生産ラインを構成する機械・設備向けの制御装置を開発製造するとともに、2000 年代の生産ラインの I T 管理化(生産ライン単位の F A 化)に対応して、個別機械・設備に実装した制御装置を連携連動させる I T システムを開発提供してきたが、企業 I T システムによる生産ラインの最適制御を柱とする” Smart Factory” に関しても、制御装置ビジネスの延長上に関与をスタートしている。

O T 企業は、次世代製造システムである” Smart Factory” において、生産ラインを構成する機械・設備の制御装置による一体制御を基幹ビジネスとすることを企図しており、生産ラインを構成する機械・設備に P L C 等の制御装置を実装することに加えて、I o T 端末・センサも装着して製造関連データをリアルタイム収集する仕掛けを構築することを一つのソリューションとしようとしている⁸⁸。

その上で、O T 企業は、P L C を E R P ・ M E S と垂直統合して、市場動向に対応した変種変量生産を可能とするシステムを構築するとともに(図 13 青枠囲い部分)、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連データを保存し、A I によるビックデータ解析をするコンピューティング・システムを、エッジ層において「製造 I o T プラットフォーム」として構築することを(図 13 緑枠囲い部分)もう一つのソリューションとしようと考えており、それに応じた形で” Smart Factory” のシステム構成を整理し纏め上げようとした。

図 13 Smart Factory の I T システムを構成する主要領域



(出所) I B M 資料

⁸⁸ ASCI-IoT 2017 年 06 月 27 日付記事

■企業システム関連ソフトウェア会社の2つのアプローチ

米 Rockwell Automations、仏 Dassault Systèmes 等は産業オートメーション、IT システムの製造開発会社であり、生産ライン単位のFA化に重要な役割を果たすMES等を開発し、顧客製造企業の求めに応じ、各社のニーズや経営条件に応じて企業ITシステムをカスタマイズしインテグレーションする事業を展開している。両社の強みは、製造企業等の製造活動を含む事業活動に対する理解と、それを踏まえた企業ITシステムへの顧客ニーズを的確に把握している点と、ソフトウェア開発能力の高さにある。

Rockwell Automations、Dassault Systèmes 等は、生産ラインを構成する機械・設備の制御装置、PLC自体を開発製造する能力はないが、ITシステム・インテグレーション能力を活かして、PLCとMESを連結して生産ライン制御システムを製造企業に提供してきた。今後、“Smart Factory”のシステム・インテグレーションに関し、更にERPとMESをシステム統合するソリューションを事業化しようとしている。また、両社はMES専業というわけではなく、製造企業の幅広いITシステム・ニーズに対応してきた企業であり、“Smart Factory”に関しては、生産ラインを構成する機械・設備よりリアルタイム収集した製造関連データを保存し、AIによるビッグデータ解析をするエッジ・コンピューティング・システムである「製造IoTプラットフォーム」の開発製造も主力事業にしようとしている⁸⁹。

図13では、緑枠に囲まれた部分を中核的領域として、Rockwell Automations、Dassault Systèmes 等は“Smart Factory”のシステム・インテグレーションに関与することになるが、これはOT企業と事業領域が重複する。第1期に“Smart Factory”の基本機能・システム構成の具体化をSiemens等OT企業が主導した間は、企業システム関連ソフトウェア会社とOT企業の競合関係はあまり露わになっていなかったが、“Smart Factory”の基本機能・システム構成についてコンセンサスが形成されて行くにつれ、両者の競合関係が顕在化している。Rockwell Automations、Dassault Systèmes 等は、OT企業のITシステム構築への新規参入の動きに対抗、独自に製造IoTプラットフォームを開発し、顧客メーカーの製造システムにインテグレートしようとしている。

一方、ERP等企業業務システム・ソフトウェア会社であるSAPは、OT企業等による製造IoTプラットフォーム構築の動きに対し、自社のERP・MESシステムにも製造IoTプラットフォームの一部機能を組み込み、取り敢えずの対抗の姿勢を採ったが、むしろOT企業が開発した外部プラットフォームと自社ERP等企業業務システムとのシステム連携・統合が円滑・容易となるよう自社システムを改良するなど、OT企業の開発製造する製造IoTプラットフォームとの連携・一体化を図っている。

SAPにおいては、今後、“Smart Factory”が次世代製造システムとして主流化し、

⁸⁹ Rockwell Automations 2021年2月2日ヒアリング

製造企業が次々とOT企業が開発した”Smart Factory”システムを導入していく過程で、そのシステムと親和性の高い自社企業業務システムを製造企業が基幹システムとして採用してくれることを期待しており、OT企業の開発提供する製造IoTプラットフォームと自社の企業業務システムとの事業領域を明確に切り分け、企業ITシステムにおいて自社が主導できる領域を確保し堅持する道を選んでいる。

■クラウド企業によるクラウド・コンピューティング提供

繰り返しになるが、“Smart Factory”は、制御対象である生産ラインを構成する機械・設備を起点として考えると、一つは、ERP・MESの企業ITシステムと接続し、変動する市場動向に即応した変種変量生産を実現する、一つは、個別機械・設備からセンサ・端末を介して製造関連データをリアルタイム収集、AI等によりビックデータ解析、設備稼働監視・予知保全等生産性向上に役立てる、2システムから成る。

個別機械・設備からセンサ・端末を介して製造関連データをリアルタイム収集し、AI等によりビックデータ解析するシステムについては、Siemens等OT企業は、エッジ層に製造関連データを保存し、AIによるビックデータ解析を行うコンピューティングを想定しているが、製造関連ビックデータという大容量かつ高度のセキュリティを要するデータの保存・処理はエッジ・コンピューティングよりもクラウド活用が適している。また、AWS、Microsoft等のクラウド企業はテック・カンパニーとしてAI、深層学習等の解析ツールを提供しており、自社でAIによる深層学習ツールなどを開発できない製造企業はクラウド会社の提供する解析ツールを利用した方が低コストかつ高品質のコンピューティングが可能である。

このため、“Smart Factory”では、エッジ層、クラウド層のいずれにおいて情報処理を行うべきかが引き続き議論されており、クラウド企業はエッジ・コンピューティングとの分担の下で(製造システムは時々刻々発生する事態に対応して稼働修正等を行う必要があり、即応性の観点からはクラウド・コンピューティングよりエッジ・コンピューティングの方が最適な情報処理も少なくない)、クラウド側での情報処理が主となる形での“Smart Factory”システムを提案。図13の右上赤線囲み部分を主たる事業領域として“Smart Factory”のシステム構築に関与しようとしている。

■基本3領域

第1期において、OT、IT、企業業務システム等ソフトウェア、クラウド企業の“Smart Factory”のシステム構成に関する以上の取組を通じて(表12参照)、Smart FactoryのITシステムは、SiemensなどのOT企業がシステム構築を主導する領域(制御層、エッジ層)、SAP等ERP・MES企業がシステム構築を専管する領域(実行層)、OT企業・企業業務システム会社等が多数参入してシステム構築する製造IoTプラットフォームの領域(エッジ層)の3領域が徐々に形成された。

表 12 O T、企業システム、クラウド企業等との「陣取り合戦」

O T企業	<ul style="list-style-type: none"> ●O T企業は、生産ラインを構成する機械・設備向けの制御装置を開発製造するとともに、2000年代の生産ラインのIT管理化(生産ライン単位のFA化)に対応して、個別機械・設備に実装した制御装置を連携連動させるITシステムを開発提供する企業。 ●O T企業は、生産ラインを構成する機械・設備の制御装置による一体制御を基幹ビジネスとして、生産ラインを構成する機械・設備にPLC等の制御装置に加えて、IoT端末・センサを装着して製造関連データをリアルタイム収集する仕掛けを構築。 ●PLCをERP・MESと垂直統合して、市場動向に対応した変種変量生産を可能とするシステムを構築するとともに(図13 青枠囲い部分)、生産ラインを構成する機械・設備よりリアルタイム収集した製造関連データを保存し、AIによるビックデータ解析をするコンピューティング・システムを、エッジ層において「製造IoTプラットフォーム」として構築(図13 緑枠囲い部分)。
企業システム関連ソフトウェア会社	<ul style="list-style-type: none"> ●米Rockwell Automations、仏Dassault Systèmes等は産業オートメーション、ITシステムの製造開発会社であり、生産ライン単位のFA化に重要な役割を果たすMES等を開発し、顧客製造企業の求めに応じて、各社のニーズや経営条件に応じて企業ITシステムをカスタマイズしている事業を展開。 ●PLC自体を開発製造する能力はないが、ITシステム・インテグレーション能力を活かして、PLCとMESを連結して生産ライン制御システムを製造企業に提供。”Smart Factory”のシステム・インテグレーションでは、更にERPとMESをシステム統合するソリューションを事業化しようとしている。 ●MESに限らず幅広いITシステム・ニーズに対応。”Smart Factory”では、生産ラインを構成する機械・設備よりリアルタイム収集した製造関連データを保存し、AIによるビックデータ解析をするエッジ・コンピューティング・システム(製造IoTプラットフォーム)の開発製造を主力事業にしようとする取り組み。 ●図では、緑枠に囲まれた部分を中核的領域として”Smart Factory”のシステム・インテグレーションに関与することになるが、これはO T企業と事業領域が重複。
クラウド企業	<ul style="list-style-type: none"> ●“Smart Factory”は、制御対象である生産ラインを構成する機械・設備を起点として考えると、一つは、ERP・MESの企業ITシステムと接続し、変動する市場動向に即応した変種変量生産を実現するシステム、一つは、個別機械・設備からセンサ・端末を介して製造関連データをリアルタイム収集、AI等によりビックデータ解析し、設備稼働監視・予知保全等生産性向上に役立てるシステムの2つから成る。 ●後者については、O T企業は、エッジ層に製造関連データを保存し、AIによるビックデータ解析を行うコンピューティングを想定するが、製造関連ビックデータという大容量かつ高度のセキュリティを要するデータの保存・処理はエッジ・コンピューティングよりもクラウド活用が最適。また、AWS、Microsoft等のクラウド企業はテック・カンパニーとしてAI、深層学習等の解析ツールを提供。自社でAIによる深層学習ツールなどを開発できない製造企業はクラウド会社の提供する解析ツールを利用した方が低コストかつ高品質のコンピューティングが可能。 ●“Smart Factory”では、エッジ層、クラウド層のいずれで情報処理を行うかが議論中。クラウド企業はエッジ・コンピューティングとの分担の下で(生産ラインは時々刻々変化する状況に応じて稼働修正等を行う必要あり)クラウド・コンピューティングの活用ウェイトを増やすことを提案。図13の右上赤線囲み部分を主たる事業領域として“Smart Factory”のシステム構築に関与。

(出所)日経クロストrend編(2019)、日経コンピュータ・日経ものづくり他(2014)、技術情報協会(2020)、Siemens(2014, 2019, 2020a, 2020b)、Bosch(2020a, 2020b)、Fanuc(2016)、Dassault Systèmes(2016)、ダッソー株式会社(2019)、SAP(2016, 2017a, 2017b, 2019, 2020)、Microsoft(2019)、Monoist 記事、日本IBM2018年5月10日付ヒアリング、シーメンス株式会社2019年7月10日付ヒアリング、富士通2019年7月19日付ヒアリング、三菱電機2020年9月28日付ヒアリング、Rockwell Automations2021年2月2日付ヒアリング等に基づき筆者作成。

(3) 第 2 期 (2018 年以降) : ” Smart Factory ” ビジネスの本格的立上げ

①過去の置換えからの ” Smart Factory ” ビジネスのスタート

(a) ” Smart Factory ” ビジネスによる価値提供

第 1 期 (2014~2017) に ” Smart Factory ” の基本機能及びシステム構成に関してコンセンサスが纏まったことを受けて、第 2 期 (2018 年以降) に、O T、I T、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業など ” Smart Factory ” 関連企業は ” Smart Factory ” ビジネスを本格的に立ち上げようとしている。

“Smart Factory” ビジネスにおける顧客提供価値とは何か？ (2) ③でも書いたが、自社工場の “Smart Factory” 化を考える顧客は自社工場の生産高効率化を求めている。“Smart Factory” の基本機能は、第一に、E P R ・ M E S ・ P L C を垂直統合した企業 I T システムによる生産ラインの最適制御であり、第二に、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連ビックデータを A I 等で解析し、設備稼働監視管理による機械停止時間削減・稼働率向上、予知保全等による生産ラインの停止防止による工場生産性向上にある。

(b) 最先端を行く Siemens の価値追求 : 「無人化・自律工場」

この点に関連して、” Industrie4.0 ” を牽引する Siemens は、自社アンベルク工場 の ” Smart Factory ” 化の成果として以下の 5 点を挙げている (表 13 参照)。

表 13 Siemens アンベルク工場におけるスマート化の成果

<ul style="list-style-type: none">・ 生産ラインを構成する機械・設備の運転管理、保守点検等はオペレータが機械・設備に密着して担当。設備稼働監視システムにより現場オペレータを不要化。・ 段取替え。シーメンス工場は 1200 製品の製造のため毎日 500 回実施。生産計画変更に対応した、最も効率的な生産ライン変更と段取替えを A I が解析・決定。段取替えに要するヒトの労力を節約、作業負担を大幅軽減。・ ワーク・治具・工具に RFID 装着。所在、数量、状態等を一元管理可能化。各工程の作業者が自ら保管場所に必要の都度取りに行かずとも、必要な時に必要な数量が必要とする場所に自動搬送されるよう中央管理。・ 搬送。ワーク、治具、工具は A G V 等により自動搬送。従来の自動搬送は定められたルートを規定数量の荷を積んだ搬送機が移動。A I 搭載の A G V がヒト等の障害物を避けつつ、工場の最適ルートを移動。・ 検査工程の自動化。A I の深層学習により、従来ヒト以外には不可能とされた検査をロボット等で代替。
--

(出所) Siemens 資料に基づき筆者作成

同工場は ” Industrie4.0 ” で提言された ” Smart Factory ” の最先端を行くモデル工場であり、本章 1. (9) の図 9 で示した工場高効率化ソリューションの水平方向と垂直方向の展開のうち、同社の誇る 「無人化・自律工場」 は現時点で世界最高レベルの垂

直展開を極めている（章末参考6参照）⁹⁰。

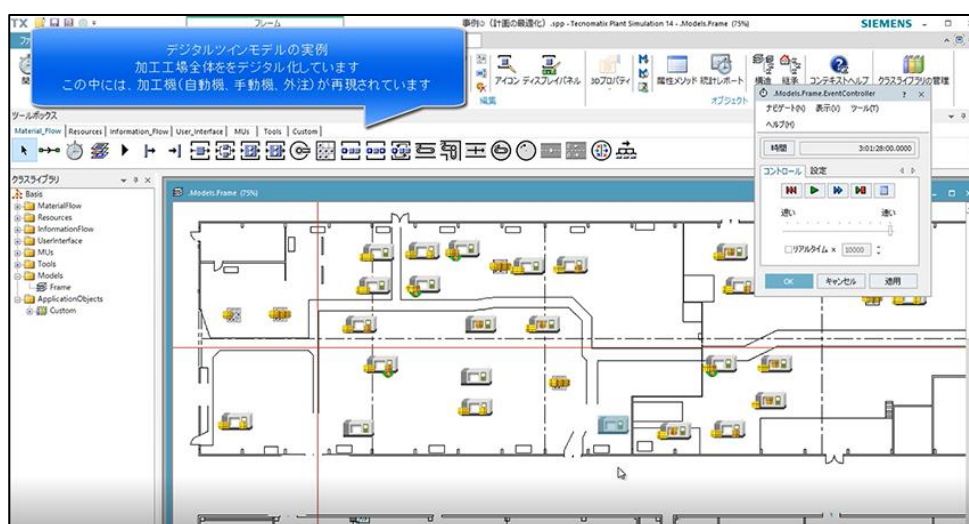
確かに、Siemens はデジタル・エンタープライズを理想としてIoT技術によるバリュー・チェーン全体最適化など工場システムが完全に自動化された”Smart Factory”の最先端を追求しており、その取組と達成は製造企業の多くにとり尊敬と垂涎の的であるが、”Industrie4.0”の提唱国であるドイツにおいても、製造業の太宗を占める中堅・中小メーカーの多くが、Siemens 流の”Smart Factory”をグローバル・メガ・サプライヤーには適合しても、自社工場の工場生産高効率化ソリューションではないと否定的な態度を採っているように、その無人化工場は万人向けではない。

(c) 先行する工作機械メーカー等とのソリューションの重複

ドイツが”Industrie4.0”で提言した、市場動向にリアルタイムで即応する変種変量生産を実現するには、工場の生産ラインは停止することなく365日24時間稼働し続けることが理想である。そのためには、生産ラインを構成する機械・設備に故障なり不具合なりが発生すれば、直ちに異常を検知して故障・不具合に対応するだけでなく、故障・不具合の発生前に、発生を予知・予見して防止策を講ずることが求められる。

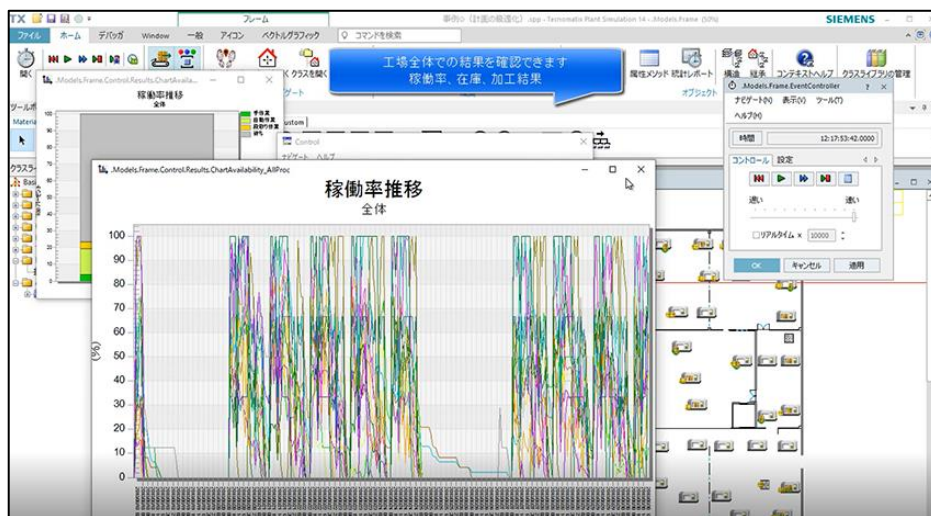
工場の運転管理者が予知保全を行うには、その前提として、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連データを活用して、機械・設備の稼働状況や保全状況を可視化する必要があり、”Smart Factory”では、ヒトによる設備稼働管理や予知保全をサポートする可視化システムを製造IoTプラットフォームに実装する方向でソリューションが開発されつつある。

図14 加工工場をデジタル・ツイン化したモデルの実例



⁹⁰ Monoist 2018年8月20日付記事「古い工場で実現したデジタルツイン、シーメンスが示す“デジタル”の本当の意味」、2019年8月19日付記事「デジタルツインで改善を加速させるシーメンスのインダストリー4.0モデル工場」、2020年3月17日付記事「変種変量生産で効率50%向上、“世界的先進工場”は何を行っているのか」、2020年7月22日付記事「工場設備の立ち上げ期間を30~40%削減、モノづくりDXの価値を訴えるシーメンス」。

工場全体の設備稼働率をグラフ表示



(出所) IoTNEWS (<https://iotnews.jp/archives/153955/2>)

ただし、「止まらない工場」や、その実現のための予知保全は、“Smart Factory”が製造システム標準になったことで初めて取り込まれるに至ったわけではなく、2000年以降、生産ラインのIT管理化(生産ラインFA化)が推し進められる過程で浮上した課題である。工作機械メーカーは生産ラインFA化に対応して、個別機械・設備に装着するオペレーティング・システムを開発したが、併せて個別機械・設備のオペレーティング・システムを企業LANに接続する形で設備稼働状況監視システムを開発し、顧客メーカーに提供していた。これは「止まらない工場」を目指すものであり、工場の365日24時間稼働に向けて、顧客の生産ラインの稼働管理と予知保全をサポートした⁹¹。

すなわち、“Smart Factory”が誕生したため従来想定もしなかったソリューションが実現したわけではなく、工作機械メーカーが先行して生産ライン(製造現場)レベルで実現していた設備稼働状況監視や予知保全のサポートを、“Smart Factory”では、企業ITシステム上、制御層(生産ライン)に代わりに実行層(製造関連IoTプラットフォーム)で処理することとしたに過ぎない⁹²。これは設備稼働監視と予知保全に限っ

⁹¹ 日経産業新聞 2013年5月21日付記事(工作機械 双方向で管理 ヤマザキマザック 装置開発 IoTを活用し新技術 保守診断やアプリ更新)、同2013年5月28日付記事(工作機械のオークマ 秘密工場で効率磨く)、同2015年12月25日付記事(製造革新 つながる工場 ヤマザキマザック 設備稼働率10%向上 映像で繁閑を分析)、日経ものづくり 2013年9月号(日経「強い工場」取材班)

⁹² もっとも“Smart Factory”にはソリューションとして全く進歩がなかったというわけではない。2000年代以降の生産ラインのIT管理化では、生産ライン(製造現場)を舞台として設備稼働状況監視システム等を構築せざるを得なかった関係で、設備稼働状況監視なり予知保全なりが不完全な形で終わっていたが、“Smart Factory”では、それらのシステムをIoT技術、AI技術、ビッグデータ解析技術等を活用して高度化しており、設備稼働監視管理による機械停止時間削減・稼働率向上、及び、予知保全はより徹底した形で実行することができるようになった。設備稼働監視管理では、稼働実績に加えてアラーム履歴、操作履歴も「見える

た話ではなく、工作機械メーカーが2000年代半以降生産ラインFA化に対応して展開してきたソリューションと、現在”Smart Factory”で提供されるソリューションは、制御層(生産ライン)と実行層(製造関連IoTプラットフォーム)のいずれで情報処理するかが違うだけで、目的・内容・効果は同一である。

その結果、工作機械メーカー等が従来から提供してきたソリューションと”Smart Factory”関連ソリューションの多くは競合し、資金・人材に恵まれているグローバル・メーカーはソリューションを”Smart Factory”ベースに切り換えつつあるものの、中堅・中小メーカーの多くは、インテグレーションに巨額の費用を要する製造関連IoTプラットフォームを費用対効果の合わないIT投資と考え、従来の制御層ベースのソリューションから切り換えるインセンティブが強くは湧かないままである。

②新たな”Smart Factory”関連ビジネスに向けた取組

現時点では、OT、IT、企業システム企業等が顧客に開発提供するソリューションは、”Smart Factory”以前に生産ラインのIT管理化に関連して既に開発・提供されてきたソリューションにIoT技術、AIによるビッグデータ解析技術を適用したものであり、”Smart Factory”ならではの生産システム革新はまだ具体化されていない。

例えば、三菱電機は2010年代の”Smart Factory”ブームに先駆けて、2000年代末から「e-F@ctory」の商標の下に事実上の”Smart Factory”ソリューションを開発提供してきたが、「稼働監視システム」「省エネ分析診断アプリケーション」「工具摩耗診断システム」「刃こぼれ検知システム」等は、工作機械メーカー等も生産ライン(製造現場)レベルで、個別機械・設備のオペレーティング・システムを企業LANに接続する形でソリューション化してきたものが少なくない⁹³。

化」。同データを用いて生産遅延・機械停止等の原因を追求・分析、機械停止時間削減・稼働率向上等の生産改善を実施。また、一定使用・稼働時間・回数後の機械的な部品交換等による予防保全に代わり、機械・設備等のリアルタイム収集した保全データに基づき、AI等により部品交換・修繕が必要か否かを分析し、必要であれば予防保全よりタイミングが前後しても部品交換・修繕を行う「予知保全」を実施。

⁹³ DENSOは、トヨタ・グループ内での活用を前提として、2000年代半以降ORiNを使って、生産ラインを構成する機械・設備等より収集した製造関連データを一元管理し、機械・設備の稼働状況や保全状況を可視化して分析・生産改善するソリューションを開発実施している。”Smart Factory”は、DENSOのようにIoT革命の到来前から製造システム改革として取り組まれてきた機能を自らの中核機能として採用している。

表 14 三菱電機の e-F@ctory ソリューション事例

<p>稼働監視システム</p>	<p>課題 現場作業者が生産実績・設備稼働状況を紙やExcelで集計しており、状況把握できるのが翌日以降となっていたため、データを生産改善に活用できない。</p> <p>ソリューション データの一元的な収集と稼働監視システムを導入。稼働状況をリアルタイムに監視し、チョコ停原因を迅速に特定。ダウンタイムの改善により稼働率が約90%に向上。改善の効果で生産数も増加、生産性が向上。</p> <p>ポイント ① 人手を介することなく、現場の状況をリアルタイムに監視することで、チョコ停の原因分析や異常発生時の即時対応が可能。 ② 加工機からのデータ収集にEdgecrossを活用することで、今まで接続できなかった加工ラインの稼働監視を実現。</p>
<p>省エネ分析・診断アプリケーション EcoAdviser</p>	<p>課題 基板実装の現場でエネルギーや生産数など省エネに活用できるデータを収集する仕組みは構築したが、膨大なデータを定量的に把握して分析し、改善につなげるのに人手では限界が存在。</p> <p>ソリューション 省エネ分析・診断アプリケーションEcoAdviserの導入。AIを搭載した分析ツールにより、エネルギー・ロスを自動抽出・診断し、基盤実装工程に潜むロスや発生要因を推定。エネルギー分析工数を月4時間から約20分と92%削減するとともに、省エネ活動を実効化。</p> <p>ポイント ① ダッシュボード画面作成機能により、エネルギー情報と生産情報を複数のグラフで同時に表示し、多角的視点での省エネ分析を実現。大画面での見せる化により、現場スタッフの省エネ意識向上。 ③ 三菱電機開発のAI技術Maisartにより、エネルギー・ロス、設備稼働率とその悪化要因を自動抽出しランキング表示。さらに、省エネ対策前後の効果検証画面にて対策効果の確認や見直しが可能。</p>
<p>工具摩耗診断システム</p>	<p>課題 メーカーは、工作機械の工具の使用回数を決めて加工を行っていることが多い。加工ワーク毎に工具の摩耗度合いは異なるが、ワークの種類に応じて交換頻度を変えことは容易でないため、使用回数を決めて工具交換すると、まだ使用可能な工具も交換したり、逆に、使用回数は少なくとも摩耗が進み交換を要する工具を使用し続けることで加工不良が発生する危険があったりした(製品の全数検査はできず)。</p> <p>ソリューション 予防保全のための「工具摩耗診断システム」導入により、工具の寿命を予測。工具交換回数を最適化し、工具コストを約40%削減するとともに、交換作業に要していた工数も削減。さらに、加工直後に正常時状態との差異から異常を検知し、不良品の流出防止もシステム化。</p> <p>ポイント ① 加工条件毎の軸負荷の変動から工具の寿命を予測、工具を使用できる残回数を表示。 ④ 工具折損や欠損などにより加工異常が発生した場合、正常時状態との差異から異常を即座に検知。</p>
<p>刃こぼれ検知システム</p>	<p>課題 加工中の刃こぼれは多数の不良品の発生につながるが、例えば1パレットに600個のワークを乗せて自動でバッチ加工している場合、途中で刃こぼれが発生すると、それ以降のパレット内の製品はすべて不良品化。ワーク1個の加工には2分間を要するため加工時間ロスも大。</p> <p>ソリューション 刃こぼれを検知する予知保全システムを導入し、加工中の刃こぼれをリアルタイムに検知。刃こぼれ発生の検知後、直ちに設備を停止させることで、導入企業は刃こぼれによる不良数を月600個から月10個へと約</p>

	<p>98%削減。同時に加工時間ロスも月約 20 時間削減され、生産性も向上。</p> <p>ポイント</p> <p>①加工負荷の微妙な違いをリアルタイムに監視・診断することで、刃こぼれを見逃さない。</p> <p>②刃こぼれが発生したら、警告灯を点灯するなどして作業員へ即通知。即座に設備を停止させることで被害を最小化する。</p>
<p>シリンダ監視システム</p>	<p>課題</p> <p>生産装置の性能低下により生産スピードが落ち、計画通りの生産ができず、メンテナンスのタイミングについても、従来、明確な基準がなく判断しかね対応に苦勞。</p> <p>ソリューション</p> <p>生産装置のエアシリンダの動作について、シリンダ監視システム導入により、一本一本の動作を監視し、シリンダのいずれかにでも、他のシリンダから僅かな遅れが発生すれば検知。最適なタイミングで装置をメンテナンスすることで、システム導入企業は生産量を分 38 個から分 42 個へと約 10%向上(平均サイクルタイムは約 1.58 秒から約 1.43 秒へと約 10%短縮)。</p> <p>ポイント</p> <p>①装置のエアシリンダ動作を 1 本 1 本監視して微妙なサイクルタイムの遅れを見逃さない。</p> <p>③遅れが出たら、警告灯や電子メールで保全へ即通知。保全実施で生産性を落とさない。</p>

(出所)三菱電機資料に基づき筆者作成

今後、“Smart Factory”が Siemens などグローバル・メガ・サプライヤーに適合した製造システムではなく、中堅・中小メーカーも含めて製造企業一般の生産高効率化に寄与することを、OT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業等は証明することを求められている。

現時点では、企業 IT システムによる最適制御、製造関連 IoT プラットフォームに関して、顧客工場へのインテグレーション件数は 2010 年代に期待されたほど伸びておらず、件数が伸びていないこともありインテグレーション・コストについても、2010 年代に考えられたほど低下していない。このため、OT、IT、企業システム企業等は、顧客工場の”Smart Factory”化と生産高効率化について実績を積み重ねるとともに、インテグレーション・コストの大幅な引下げを実現する必要に迫られている。

顧客メーカーにとり、“Smart Factory”化が自社工場の生産高効率化にどれだけ寄与貢献するかが最大の関心事である。工作機械メーカー等が 2000 年代以降生産ライン FA 化を契機として、設備稼働監視管理や予知保全等のソリューション提供を既に行っているところ、仮に、OT、IT、企業システム、ソフトウェア企業等が既存ソリューションと同一目的・内容のものを提供するのであれば、工場生産高効率化の点で既存ソリューションを大幅に上回るソリューションを提供しなければならない。やはり”Smart Factory”化したいと顧客メーカーに思わせるには、従来提供されていなかった工場生産高効率化ソリューションを陸続と開発提供しなければならない。

この点、Siemens は、三菱電機の開発する製造現場レベルでのソリューションにつ

いてもソフトウェア化を積極的に進めているが⁹⁴、優れたソリューションを短期間で数多く開発するため、ソリューション開発を自社単独ではなくネットワークで進める工夫をしている。同社は、ユーザ、OT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業に加えて、工作機械、産業機械、積層加工機、制御機器、材料・試薬等各種メーカーなど” Smart Factory” に関心のある企業・団体であれば自由に参加できるネットワークを構築し、エンド・ユーザが Siemens やソフトウェア企業が開発した IoT 関連アプリケーションを購入したり、エンド・ユーザとソフトウェア企業がアプリケーションを協働して開発・運用管理したりできる場「MindSphere」を提供している⁹⁵。

MindSphere 上で稼働するアプリケーションは毎年、対前年比において数倍ペースで増加を続けているが、Siemens はこれに満足せず、多くの企業のニーズを公約数として捉えた汎用的なアプリケーションではユーザが他社と差別化しづらく技術の陳腐化の問題も発生するとして、各ユーザの課題解決に特化したアプリケーションを開発するためのソフトウェア開発キットを提供するとともに、ユーザの個別ニーズに対応したアプリケーションを開発するパートナーを組織化しようとしている。

Siemens の取組は、産業関連ソフトウェア開発会社でもある同社のキャパシティを活用したものであり、容易に模倣追随を許さないイノベティブな事業展開であるが、OT、IT、企業システム、ソフトウェア会社など” Smart Factory” 関連企業が” Smart Factory” ビジネスを本格的に立上げ高収益事業に育てたいのであれば、ソフトウェア開発を加速化して、顧客メーカーが製造関連 IoT プラットフォームで実行できる工場生産高効率化ソリューションのラインアップを拡充する必要があるだろう。

③「陣取り合戦」と「企業提携」

“Smart Factory” は一社単独でシステム・インテグレーションすることはできない。Smart Factory の IT システムを構成する主要領域を示した前掲図 13 を見れば、OT、IT、企業システム、クラウド企業等はそれぞれに強みのある領域があり、1 社ですべての領域をカバーできる社はない。第 2 期(2018 年以降)の” Smart Factory”

⁹⁴ 例えば、Siemens は自社開発した EMS の SIMATIC IT UADM も提供しており、SIMATIC IT UADM は ERP と連携して、生産管理からの製造指示に基づいて製造実行を行うことに加え、設備稼働状況の「見える化」による工場内の効率化や生産性向上、生産設備や機器に取り付けたセンサなどで稼働状況をリアルタイムにモニタリングし、不具合や異常を検知し、致命的なトラブルが発生する前に対処する予知保全など、工作機械メーカーが「工作機械のネットワーク化」に関連して開発したソリューションを顧客企業に提供している。

⁹⁵ MindSphere は、製造バリュー・チェーン全体でのデータ統合は、顧客の導入している設備機械の製造年代・通信方式・制御装置が異なると、設備機械によってはデータ統合できないことから、Siemens はかかる設備機械からのデータをクラウドに上げて Teamcenter 等とつなぐプラットフォームとして開発提供。MindSphere はそこから発展して、エンド・ユーザが Siemens やソフトウェア企業が開発した IoT 関連アプリケーションを購入したり、エンド・ユーザとソフトウェア企業がアプリケーションを協働して開発・運用管理したりする場に成長した。Siemens は MindSphere Partner Program により参加者を拡大しようとしており、2019 年末で 200 社超をパートナー化したとする。

ビジネス立上げの過程において、OT、IT、企業システム、クラウド企業等は、一方で事業領域を争うとともに、一方では企業提携を模索した。

(a) ” Smart Factory” 関連企業による提携

第1期(2014~2017年)、“Smart Factory”のシステム構成は、OT、IT、企業業務システム、クラウド企業等の事業領域争いを通じて、アイデアが成長し、明確化した。OT企業等がどのような付加価値を顧客提供できるかは、“Smart Factory”システムのいずれの領域で主導権を握れるかに左右される。このため、OT、IT、ソフトウェア、クラウド企業等は、自社の事業領域をコアとして可能な限りシステム構成ができるよう争ったが、第2期においても、OT、IT、企業業務システム、クラウド企業等は、相互に隣接する事業領域の拡張を巡り、熾烈な「陣取り合戦」を展開した。

一方、彼等は、「陣取り合戦」の過程で企業提携の必要性を認識するに至る。“Smart Factory”は技術分野としてはIT、OT、メカニクスの技術領域に涉り、ITシステムとしては、製造現場のセンサ(制御層)から、生産ライン管理を行うMES(実行層)、EPR等基幹システム(計画層)、さらにはクラウド層に及ぶ。“Smart Factory”はITシステムとして機能的に3ブロックから構成されるが、各領域では専門性が高いソリューションが提供され、一社単独では複数領域すらカバーすることは難しい。

このため、一社単独での” Smart Factory”構築や、ソリューション提供は不可能に近く、OT、IT、企業システム、ソフトウェア企業等にとり(a) ” Smart Factory”ビジネスのどこに「陣取り」するか、(b)隣接領域については、隣接事業者と提携するのか、隣接領域者と争うかが課題となっており、異業種企業の間で、“Smart Factory”インテグレーション・サービスのOne-stop提供を目指して企業提携も加速している。

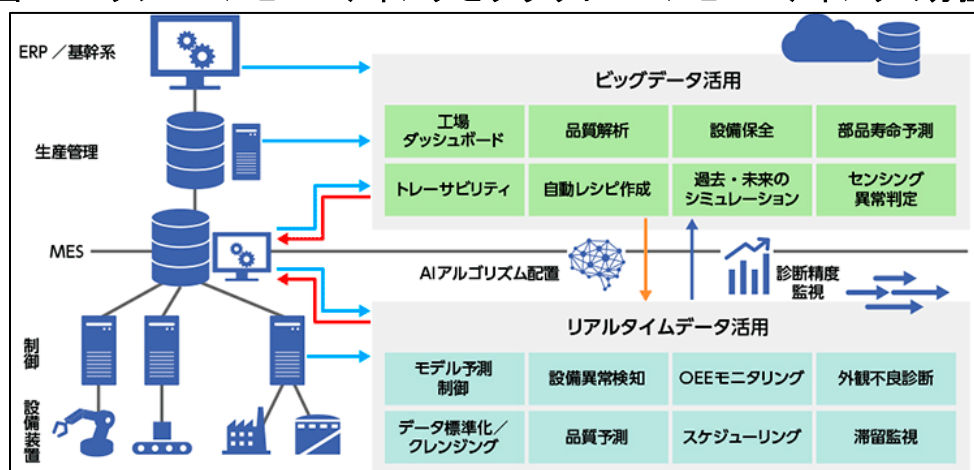
(b) エッジ・コンピューティング vs. クラウド・コンピューティング

“Smart Factory”巡るOT、IT、企業システム企業等の「陣取り合戦」において、重要論点の一つは、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連データのAIによるビッグデータ解析・処理をエッジ層又はクラウド層のいずれで行うかである。第1期、AWS、Microsoft等クラウド企業は” Smart Factory”には慎重であったが、第2期以降” Smart Factory”ビジネスへの関与を積極化している。

AIによるビッグデータ解析がエッジ層、クラウド層のいずれで実行されるかが論じられる理由は、製造関連ビッグデータ解析・処理には、高度な情報処理能力に加えて、AI・深層学習等の専門ツールが不可欠であり、クラウドでは、そのツールを提供しているからである。第1期に” Smart Factory”のITシステムを構成する3領域が形成されたが、基本的にエッジ層に設定される製造IoTプラットフォームの機能の

一部をクラウド層にどの程度移すかは未決着のままである。こうした中、第2期、“Smart Factory”ビジネス化がスタートすると、Microsoft等のクラウド企業も、クラウド領域から“Smart Factory”にアプローチを開始し、エッジ・コンピューティングとの協働・棲分けを前提としつつ、クラウド・コンピューティングの関与を拡げようとしており、エッジ・コンピューティングを基本とする Siemens 等のOT企業と対立している。

図 15 エッジ・コンピューティングとクラウド・コンピューティングの分担



(出所) S A S Institute 資料

ただし、エッジ層とクラウド層の棲分けは相対的なものであり、4Gから5G、更には6Gへの移行に伴い、情報処理が大容量・高速化することで、前代まではリアルタイム処理のためにエッジ層でしか情報処理できないと考えられていた事項がクラウド層でもリアルタイム処理可能となり、エッジ層とクラウド層の境界は絶えず書き換えられることが予想される。エッジ層で製造IoTプラットフォームを構築提供するOT企業等と、クラウド・コンピューティングを提供するクラウド企業の競合対立は、情報通信技術の発達によっても絶えず再燃し続けると考えられている。

(4) まとめ：“Smart Factory” 関連企業によるビジネス化の現状

第1期(2014~2017年)、ドイツ政府の“Industrie4.0”提言ではコンセプトの域を出なかった“Smart Factory”の具体化が、OT、IT、産業機械、工作機械、ソフトウェア、クラウド企業等により進められた。

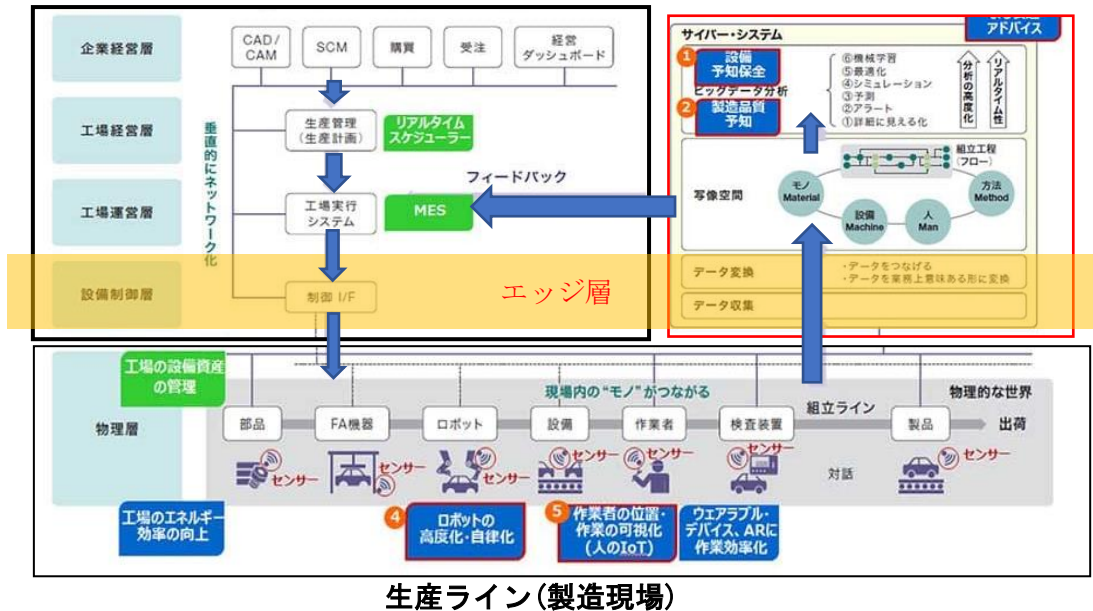
その結果、“Smart Factory”の基本機能については、当座、工場・企業を基本単位として、(i)ERP(計画層)・MES(実行層)・PLC(制御層)を垂直統合した企業ITシステムによる生産ラインの自動最適制御、(ii)生産ラインを構成する設備・機械からリアルタイム収集した製造関連ビッグデータを、デジタル・ツインを活用してAI解析し、生産ライン等製造バリュー・チェーンの最適化を図ることが“Smart Factory”の基本機能として合意された。

表 11 ” Smart Factory” の基本機能(再掲)

第 1 機能	ERP (計画層)・MES (実行層)・PLC (制御層) を垂直統合した企業 IT システムによる生産ラインの自動最適制御
第 2 機能	生産ラインを構成する設備・機械からリアルタイム収集した製造関連ビッグデータを、デジタル・ツインを活用して AI 解析し、生産ライン等製造バリュー・チェーンを最適化

” Smart Factory” のシステム構成については、IT システムの制御対象である生産ラインを構成する機械・設備を起点として考えるならば、一つは、ERP・MES の企業 IT システムと接続し、変動する市場動向に即応した変種変量生産を実現するシステムが在り、一つは、個別機械・設備からセンサ・端末を介して製造関連データをリアルタイム収集し、AI 等によりビックデータ解析した上で、設備稼働監視・予知保全等生産性向上に役立てるシステムが並存する形が基本となった。

図 12 Smart Factory の構成(再掲)



(出所) IBM 資料を一部修正

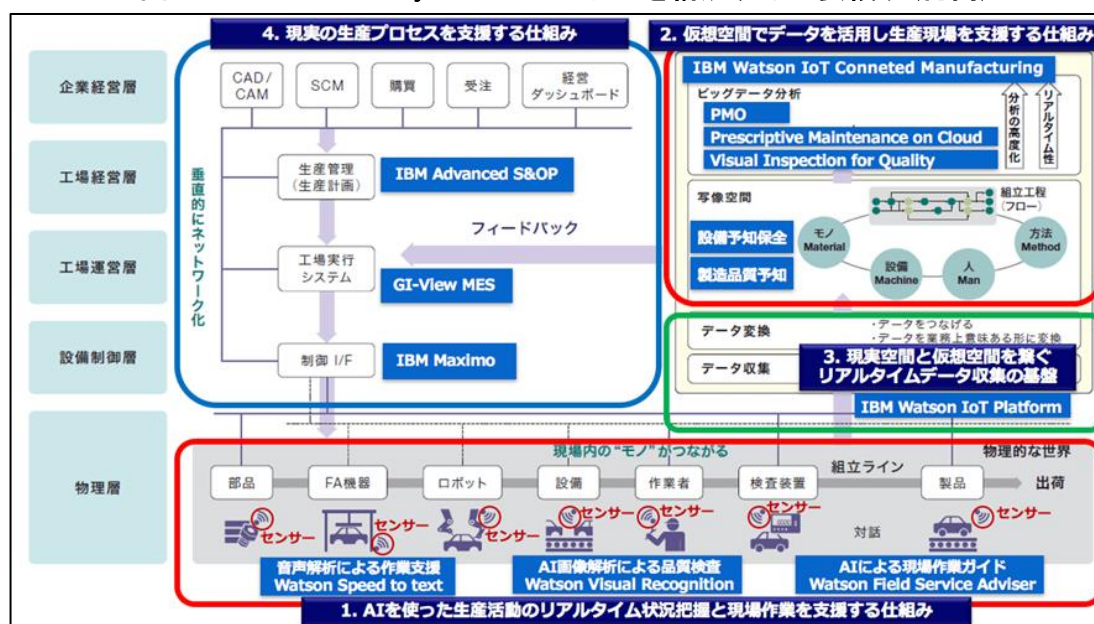
(注) 青矢印棒線はデータの流れを表現。図で上左囲み部分は「企業 IT システムによる生産ラインの最適制御」、上右囲み部分が「製造関連ビックデータの AI 解析によるカイゼンの自動化」に係る情報処理を実施。図下囲み部分が、工作機械メーカーが事業領域とする生産ライン(製造現場)であり、企業 IT システムは生産ラインの個別機械・設備に実装された PLC 等と接続して、市場動向に即応した変種変量生産を展開。エッジ層には、製造 IoT プラットフォームが構築され、生産ライン(制御層)の機械・設備からリアルタイム収集された製造関連データの保管・解析、解析結果に基づくカイゼン指示を実行。エッジ層で情報処理をすべてできない場合、クラウド層の AI ビックデータ解析システムないし解析サービスと連携し、クラウド層でデータ解析を実行、解析結果に基づくカイゼン指示を制御層に仲介。

2つの情報処理ループから構成される“Smart Factory”は、単一企業がすべてのシステム・インテグレーションを引き受けるのが困難であり、OT、IT、企業システム、クラウド企業等がそれぞれ強みのある事業領域を基盤としてインテグレーション

提案を行っている。

その結果、再掲図 13 に示されるように、“Smart Factory”では、制御対象である制御層(生産ライン)(底部の赤線囲い部分)に加えて、ERP・MESを垂直統合して企業ITシステムによる生産ライン制御を実現する領域(青線囲い部分)、生産ラインを構成する機械・設備より端末・センサを介してリアルタイム収集した製造関連データを保存しAIによるビックデータ解析を行う領域(緑線囲い部分)、OT企業は製造関連データの保存及びAI解析を製造関連IoTプラットフォーム(緑線囲い部分)のエッジ・コンピューティングで実施することを提案しているのに対し、Microsoft、IBM等のクラウド企業がエッジ・コンピューティングに代わる処理を提案しているクラウド・コンピューティング領域(右上の赤線囲い部分)の基本3領域が形成された。

図 13 Smart Factory の IT システムを構成する主要領域(再掲)



(出所) IBM資料

第2期(2018年以降)以降、“Smart Factory”関連ビジネスの本格的な立上げが開始されるが、“Smart Factory”関連企業は、“Smart Factory”を構成する主要3領域のうち自社が技術・事業上強みを有する領域を基盤として取組を展開。

“Smart Factory”の機能・システムの具体化を主導したSiemens等OT企業は、企業ITシステム及び製造関連IoTプラットフォームによる情報処理を基盤としたシステム構築を提案し、ERP・MESと制御層を接続・統合することで、IoT化された生産ラインの最適制御を行うことを主張。“Smart Factory”関連企業のうちで最も広範なシステム領域をカバーしており、総合的なインテグレーション・プランの立案と実施ができる主体となることが期待される。

“Smart Factory”では、企業ITシステムと並んで製造関連IoTプラットフォームが中核的な役割を担うが、MES等産業オートメーション・システムの開発・インテグレーション会社である米Rockwell Automations、仏Dassault Systèmes等は、OT企業が自社事業領域である製造関連IoTプラットフォームに参入を図っていることに対抗、産業オートメーションに係る知見・ノウハウの蓄積を活かした製造関連IoTプラットフォームを開発・提供しようとしている。

ERPの世界的な開発・供給者である独企業システム会社のSAPは、“Smart Factory”のシステム・インテグレーションに参入する考えはなく、自社ERPと各社の企業ITシステム、製造関連IoTプラットフォームとの接続性・機能連携を確保することで自社ERP需要が拡大することを狙っている。

Microsoft等クラウド企業は第1期には“Smart Factory”について関心が薄かったが、第2期にクラウド・コンピューティングによる製造関連ビッグデータ処理を提案、エッジ・コンピューティングとの適切な分担の下で、AIによるビッグデータ解析に必要な分析ツールを活用できる自社クラウド・コンピューティングの活用を提案している。

表12 OT、企業システム、クラウド企業等との「陣取り合戦」(再掲)

OT企業	<ul style="list-style-type: none"> ●OT企業は、生産ラインを構成する機械・設備向けの制御装置を開発製造するとともに、2000年代の生産ラインのIT管理化(生産ライン単位のFA化)に対応して、個別機械・設備に実装した制御装置を連携連動させるITシステムを開発提供する企業。 ●OT企業は、生産ラインを構成する機械・設備の制御装置による一体制御を基幹ビジネスとして、生産ラインを構成する機械・設備にPLC等の制御装置に加えて、IoT端末・センサを装着して製造関連データをリアルタイム収集する仕掛けを構築。 ●PLCをERP・MESと垂直統合して、市場動向に対応した変種変量生産を可能とするシステムを構築するとともに(図13 青枠囲い部分)、生産ラインを構成する機械・設備よりリアルタイム収集した製造関連データを保存し、AIによるビッグデータ解析をするコンピューティング・システムを、エッジ層において「製造IoTプラットフォーム」として構築(図13 緑枠囲い部分)。
企業システム関連ソフトウェア会社	<ul style="list-style-type: none"> ●米Rockwell Automations、仏Dassault Systèmes等は産業オートメーション、ITシステムの製造開発会社であり、生産ライン単位のFA化に重要な役割を果たすMES等を開発し、顧客製造企業の求めに応じて、各社のニーズや経営条件に応じて企業ITシステムをカスタマイズしインテグレーションする事業を展開。 ●PLC自体を開発製造する能力はないが、ITシステム・インテグレーション能力を活かして、PLCとMESを連結して生産ライン制御システムを製造企業に提供。“Smart Factory”のシステム・インテグレーションでは、更にERPとMESをシステム統合するソリューションを事業化しようとしている。 ●MESに限らず幅広いITシステム・ニーズに対応。“Smart Factory”では、生産ラインを構成する機械・設備よりリアルタイム収集した製造関連データを保存し、AIによるビッグデータ解析をするエッジ・コンピューティング・システム(製造IoTプラットフォーム)の開発製造を主力事業にしようとして取り組み。

	<ul style="list-style-type: none"> ● 図では、緑枠に囲まれた部分を中核的領域として” Smart Factory” のシステム・インテグレーションに関与することになるが、これはOT企業と事業領域が重複。
クラウド企業	<ul style="list-style-type: none"> ● “Smart Factory” は、制御対象である生産ラインを構成する機械・設備を起点として考えると、一つは、ERP・MESの企業ITシステムと接続し、変動する市場動向に即応した変種変量生産を実現するシステム、一つは、個別機械・設備からセンサ・端末を介して製造関連データをリアルタイム収集、AI等によりビックデータ解析し、設備稼働監視・予知保全等生産性向上に役立てるシステムの2つから成る。 ● 後者については、OT企業は、エッジ層に製造関連データを保存し、AIによるビックデータ解析を行うコンピューティングを想定するが、製造関連ビックデータという大容量かつ高度のセキュリティを要するデータの保存・処理はエッジ・コンピューティングよりもクラウド活用が最適。また、AWS、Microsoft等のクラウド企業はテック・カンパニーとしてAI、深層学習等の解析ツールを提供。自社でAIによる深層学習ツールなどを開発できない製造企業はクラウド会社の提供する解析ツールを利用した方が低コストかつ高品質のコンピューティングが可能。 ● “Smart Factory” では、エッジ層、クラウド層のいずれで情報処理を行うかが議論中。クラウド企業はエッジ・コンピューティングとの分担の下で(生産ラインは時々刻々変化する状況に応じて稼働修正等を行う必要あり)クラウド・コンピューティングの活用ウェイトを増やすことを提案。図13の右上の赤線囲み部分を主たる事業領域として“Smart Factory”のシステム構築に関与。

(出所) 日経クロストrend編(2019)、日経コンピュータ・日経ものづくり他(2014)、技術情報協会(2020)、Siemens(2014, 2019, 2020a, 2020b)、Bosch(2020a, 2020b)、Fanuc(2016)、Dassault Systemes(2016)、ダッソー株式会社(2019)、SAP(2016, 2017a, 2017b, 2019, 2020)、Microsoft(2019)、Monoist 記事、日本IBM2018年5月10日付ヒアリング、シーメンス株式会社2019年7月10日付ヒアリング、富士通2019年7月19日付ヒアリング、三菱電機2020年9月28日付ヒアリング、Rockwell Automations2021年2月2日付ヒアリング等に基づき筆者作成。

なお、いずれの” Smart Factory” 関連企業も自社単独では” Smart Factory” のインテグレーションもソリューション提供も困難であることから、第2期の” Smart Factory” ビジネス立上げの過程において、OT、IT、企業システム、クラウド企業等は、一方で事業領域を争うとともに、一方では企業提携を模索している。特に、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連データのAIによるビックデータ解析・処理をエッジ層又はクラウド層のいずれで行うかについては、4Gから5G、更には6Gへの移行に伴う情報処理の大容量・高速化に応じてエッジ層とクラウド層の協業の在り方は絶えず変化することから、企業提携に向けた暗中模索が続いている。

こうした中、第2期に” Smart Factory” 関連企業は” Smart Factory” 関連ビジネスの立上げに取り組んでいるが、顧客は自社工場の” Smart Factory” 化ではなく、” Smart Factory” による工場生産高効率化を求めており、OT企業等は企業ITシステムによる生産ラインの最適制御と、製造関連ビックデータのAI解析に基づく、設備稼働監視管理による機械停止時間削減・稼働率向上、予知保全等による生産ラインの停止防止により、顧客の工場生産性向上の要求に応えようとしている。

ただし、第2期に” Smart Factory” 関連企業が開発提供している工場生産高効率化ソリューションは、工作機械メーカー等が2000年代以降生産ラインFA化関連ソリューション・ビジネスにおいて顧客提供してきた、制御層レベルにおける設備稼働状況監視や予知保全等を実行層(製造関連IoTプラットフォーム)ベースに置き換えたものであり、情報処理を制御層と実行層のいずれで行うかが違うだけで、目的・内容・効果は同一である。

その結果、工作機械メーカー等が従来から提供してきたソリューションと” Smart Factory” 関連ソリューションの多くは競合する形となっており、資金・人材に恵まれたグローバル・メーカーはソリューションを” Smart Factory” ベースに切り換えつつあるものの、中堅・中小メーカーの多くは、インテグレーションに巨額の費用を要する製造関連IoTプラットフォームを嫌気し、なかなか制御層ベースのソリューションから切り換えられないでいる。

現時点では工場の” Smart Factory” 化ニーズが2010年代の期待ほど伸びておらず、インテグレーション・コストが低下していないが、今後、OT、IT、企業システム企業等は顧客工場の” Smart Factory” 化の実績を積み重ね、インテグレーション・コストの大幅な引下げを実現する必要がある。

そもそも顧客メーカーにとり、” Smart Factory” 化が自社工場の生産高効率化にどれだけ寄与貢献するかに最大の関心がある。OT、IT、企業システム、ソフトウェア企業等は、工作機械メーカー等の提供する設備稼働監視管理や予知保全等のソリューションを工場生産高効率化の点で大幅に上回るソリューションを提供しなければならず、また、顧客メーカーに” Smart Factory” 化したいと思わせるため、従来提供されていなかった工場生産高効率化ソリューションを陸続と開発提供しなければならない。

独 Siemens は優れたソリューションを短期間で数多く開発するため、ユーザ、OT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業に加えて、工作機械、産業機械、積層加工機、制御機器、材料・試薬等各種メーカーなど” Smart Factory” に関心のある企業・団体であれば自由に参加できるネットワーク(MindSphere)を構築し、ソリューション開発を自社単独ではなくネットワークで進めることで、顧客メーカーが製造関連IoTプラットフォームで実行できる工場生産高効率化ソリューションのラインアップを急速に拡充しようとしている。

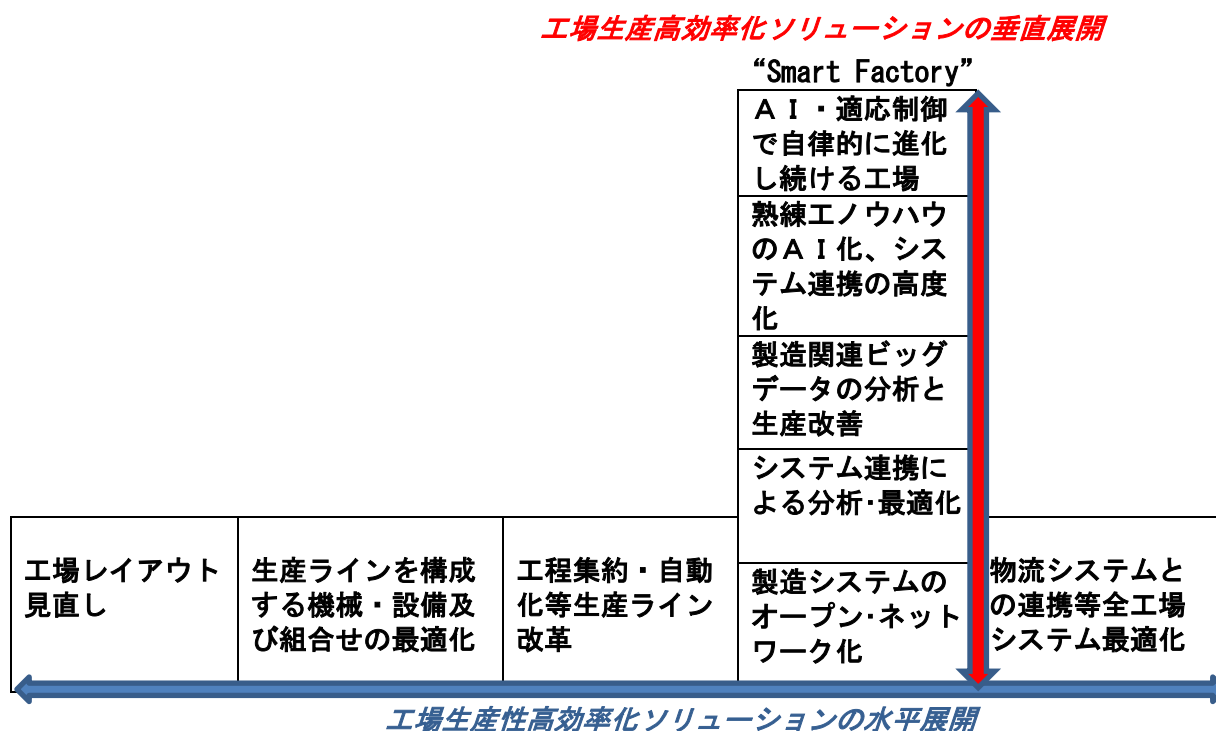
“Smart Factory” 関連企業による” Smart Factory” 関連ビジネスを顧客工場の生産高効率化ソリューションの観点から位置付ける。ドイツは” Industrie4.0” 提言において、市場動向に即応する変種変量生産の極限化を21世紀先進国製造企業の課題とシングル・アウトし、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御と製造関連ビッグデータのAI解析によるカイゼンの自動化を柱とする” Smart Factory” を唯一解と

して提案した。

しかしながら、市場動向に即応した変種変量生産の極限化は Siemens 等グローバル・メガ・サプライヤーにとっては喫緊の課題であるかもしれないが、製造企業の工場生産高効率化ニーズはそれに尽きない。あくまでも企業 IT システムによる生産ラインの最適制御は工場生産高効率化ソリューションの一つのプログラムに過ぎず、工場レイアウトの見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等生産ライン改革など工場生産高効率化ソリューションには多様なプログラムがあり、個別工場の現場状況・製造課題等に応じて、これらのプログラムを組み合わせ最適ソリューションを策定し、工場生産高効率化を達成するのが通常である。

“Smart Factory” は企業 IT システムによる生産ライン制御を IoT 技術、AI 技術、クラウド技術等を活用することで高度化を図ったものであり、工場生産高効率化ソリューションを下図のように整理して、制御層レベルでの工場生産高効率化を水平展開と捉えれば、“Smart Factory” は生産ライン FA 化を IoT 技術、AI 技術等を用いて高度化したものとして垂直展開として示すことができる。

図9 工場生産高効率化ソリューションの展開方向(再掲)



(出所) 筆者作成。

本論は工作機械メーカーが“Smart Factory”を契機として工場生産高効率化ソリューションを本格ビジネス化し、当該ソリューションを通じて市場誘導型イノベーションを起こし、差別化技術・製品による競争優位を再構築することを事例研究しよう

としているが、工作機械メーカーは” Smart Factory” に関して如何なる事業ポジションを取ることになるのだろうか。

特段のアクションを採らず、従来通りの工作機械中心ビジネスを続けるという選択肢もないわけではないが、” Smart Factory” は製造システムのパラダイム・シフトであり、1970年代の工作機械NC化において特段の対応を採らなかった欧米先進工作機械メーカーが日本の後発メーカーに逆転を許したように、工作機械メーカーの没落を招くかもしれない(或いは、招かないかもしれないが、誰も将来を確言できない)。

新たに“Smart Factory” という新しいITシステム・インテグレーションが高成長・高収益事業領域として誕生するのであれば、短絡的だが、工作機械メーカーも” Smart Factory” インテグレーションに新規参入しては如何かということになるが、ITシステム・インテグレーションに係る知見・ノウハウを欠き、資源・能力もない工作機械メーカーの参入はそもそも不可能なのではないか。

とすれば、第三の道を探さなくてはならないが、” Smart Factory” は顧客メーカーの工場生産高効率化ソリューションを本格ビジネスとする格好のチャンスである。従来は生産ラインの設計・建設などは製造企業の競争力に直結するものであるため、アウトソースせず内製することが当然であったが、2000年以降、製造システムのIT化(さらにはデジタル化)や製品開発を巡る競争のグローバル化と激化により、製造企業は製造システムを完全内製している余裕を失ってきており、ライン・ビルダー等の活躍が目立ってきている。

顧客工場の生産高効率化は” Smart Factory” 化で尽きるものではなく、工場レイアウトの見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等生産ライン改革などを、個別工場の現場状況・製造課題等に応じて組み合わせ最適ソリューションを策定し実行する必要がある。工作機械メーカーは生産ライン(製造現場)をビジネス・フィールドとする資本財メーカーであり、企業ITシステムによる生産ライン制御については知見・ノウハウは限られるとしても、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等生産ライン改革などについては余人に追随を許さない知見・ノウハウを蓄積している。この点に工作機械メーカーのブレイクスルーのチャンスは存在していないだろうか。

次項3. 「” Smart Factory” ビジネスの工作機械メーカーへの含意」では、2010年代に” Smart Factory” が工作機械メーカーに与えた衝撃と、工作機械ビジネスの革新に向けて如何なる影響を及ぼしたかを論ずる。

3. ” Smart Factory” ビジネスの工作機械メーカーへの含意

～O T企業等の下請化の脅威と工作機械ビジネス革新のチャンス～

(1) 脅威：工作機械ビジネスの独立性・自律性の喪失

2010年代初にドイツが” Smart Factory” を次世代製造システムとして提案すると、” Smart Factory” はコンセプト段階に止まり、基本機能及びシステム構成さえも明確化されていないにもかかわらず、工作機械メーカーは2010年代半以降「” Smart Factory” 狂騒曲」とでも言うべき反応を示す。

工作機械メーカーは” Smart Factory” に関して、一方で工作機械ビジネスの独立性・自律性を奪いかねない「脅威」を感知するとともに、他方で工作機械ビジネス革新の「チャンス」と捉え” Smart Factory” ビジネス化に向けて積極的に動いた。

現時点から振り返れば、工作機械メーカーの感じた「脅威」は仮想的・観念的であり、” Smart Factory” への期待も過剰感があるが、2010年代半以降の工作機械メーカーの” Smart Factory” 対応の原動力の一つは脅威感であり、脅威に負けず企業存続・企業成長の「チャンス」を掴もうとする姿勢がビジネス革新に繋がった。

① 従来の製造システム

2010年代初の” Smart Factory” は、基本機能・システム構成も具体化されていないコンセプト程度の代物に過ぎなかったが、工作機械メーカーに対し、2000年代の生産ラインFA化とは異なり「脅威」感を与えたのは何故か。” Smart Factory” は生産ラインFA化とITシステムによる生産ライン制御の点で共通し、生産ラインFA化の延長線上にある。” Smart Factory” の与えた衝撃を理解するため、まずは、従来の工場生産システムにおける企業ITシステムと生産ラインの関係を見る。

(a) 製造企業のITシステム

製造システムは、工作機械・産業機械・搬送装置・周辺装置から成る生産ライン(物的部分)⁹⁶と、ERP(計画層)・MES(実行層)・PLC(制御層)の三層構造を取る企業ITシステム(IT部分)から構成され、従来、物的部分とIT部分のインテグレーションは相互に独立した事業領域を形成し、物的部門をビジネス領域とする工作機械メーカーは同業の工作機械メーカーを競合相手として、顧客ニーズに最適化したマシンを製造開発し、顧客からの引合いを確保すればよかった。

⁹⁶ 生産ラインは工作機械・ロボットだけで構成されるわけではなく、①ワークを移動させて複数の工程をつなぐ搬送装置、②計測・洗浄・組立て・バリ取りなど切削以外の工程を担う装置や素材・完成品をストックする装置等の周辺装置も一体となって生産ラインを形成する。

(b) ERP・MES・PLCの三層構造

ITシステムは生産現場のフィールド機器の制御を司るPLC、各工場での生産実行管理を行うMES、企業の全工場を対象として生産管理・在庫管理・購買調達管理・プロジェクト管理等を行うERPの3層構造を採る(図16参照)。

2000年代半以降の生産ラインFA化では、製造企業は生産ラインを構成する機械・装置にPLC⁹⁷を装着し、個別機器のリレーやタイマー等をプログラムに従ってコントロールできるようにした上で、PLC制御される機械・装置を通信ネットワークで相互接続するか、企業基幹システム(企業LAN)に接続して集中的に制御し、資材運搬・加工・組立など生産ラインの全工程を自動化してきた。

図16 製造業のITシステム

ERP (Enterprise Resource Planning) ・生産管理・在庫管理・会計管理・販売管理を統合管理するシステム
MES (Manufacturing Execution System) ・基幹システムの指示する生産計画を受けて、最適化された形で個別機器を連携し生産ラインの実行・管理を実施、活動結果はフィードバック ・経営者は最新の生産状況と市場需要動向を踏まえ生産・販売計画を最適化、改めて生産現場に指示 ・生産現場は計画修正に対応してMESにより生産活動を改めて最適化
PLC制御システム ・PLC (Programmable Logic Control)により個別機器のリレーやタイマー等を制御、機器をコントロール ・PLC制御される機器を情報システムに接続、集中的にコントロールし生産ラインの全工程を自動化
個別設備・機器 (導入年代・製造会社が異なり通信規格・管理機器は非統一)

(出所)筆者作成

(c) 困難な三層の垂直統合

製造企業は、生産・販売計画に基づき生産ラインを稼働させており、受注・在庫状況に応じて生産・販売計画を修正、それに応じて生産ラインの稼働状況も修正することで市場動向に対応した生産活動を実現する。

”Smart Factory”前から、生産・販売計画の策定・修正を行う基幹システム(ERP)とMESを直結し、MESが計画変更に応じて機動的に生産ライン稼働を変更調整するアイデアはあったが⁹⁸、2010年代前のIT技術では、ITシステムの3層垂直統

⁹⁷ シーケンス制御(予め定められた順序又は手続に従って機械が段階的に作動するよう制御すること)専用のマイクロ・コンピュータを利用した制御装置。パソコンや専用の入力機器により制御内容をプログラム化、機器にプログラムを逐次実行させる。

⁹⁸ MESは下表の機能を実行することにより基幹システムの指示する生産・販売計画に応じて

合は難しく、ERPによるMES・PLCの自動制御は実現不能であった。このため、生産現場のフィールド機器を制御するPLC、各工場での生産実行管理を行うMESの連結により、「工場単位」での生産ラインの自動化と制御が追求された。

すなわち計画層と実行層以下の間にはシステムの「裂け目」が存在。本社が決定した生産計画を各工場が指示書として受け取り、MES以下のシステムに条件入力して生産に当たり、本社は各工場の生産実績と新たな市場需要動向等を踏まえて生産計画を修正し、改めて各工場に生産計画を指示すると、各工場がMES以下のシステムに条件を再入力し生産することを繰り返した。

②従来の物的システムに重点を置いた工作機械ビジネス

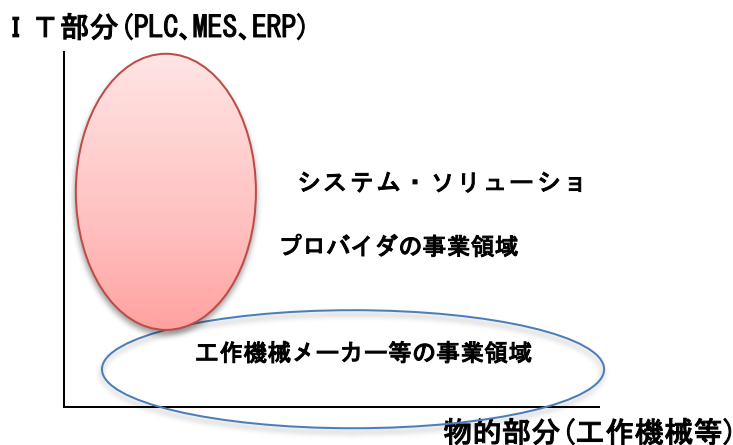
(a)物的部分とIT部分の棲分け

このように、従来の製造システムでは、物的部分とIT部分は独立的な関係にあり、2000年代の日本製造企業の多くはERP・MSE・PLCを垂直統合して、生産管理・在庫管理・会計管理・販売管理をシームレスに統合運用することまでを求めなかった。このため、IT部分はソリューション・プロバイダがインテグレーションを行い、それとは別に、物的部分は顧客メーカー自身か、機械商社、ライン・ビルダーなりが工作機械・産業機械・搬送装置・周辺装置等を組み合わせてインテグレーションするのが一般的であり、両者のインテグレーションは事業領域として独立関係にあった(図17参照)。

最適化された生産活動(素材・部品の受発注、生産ラインの選択・段取替え及び機器制御、製造後のロジスティックス)を実行し、結果を基幹システムにフィードバック。フィードバックを受けて、製造企業の経営者は生産現場の状況をリアルタイムに把握、最新の市場需要動向と生産現場の状況を踏まえ改めて生産・販売計画を最適化し生産現場に指示、生産現場はその生産・販売の計画修正に対応しMESにより生産活動を最適化し直すプロセスが繰り返される。

基本情報管理	製品・工程・加工・設備機器・在庫・作業等基本情報の管理
製造計画	基幹システムより送信された製造指示(大日程計画)を管理
ロットサイジング(まとめ)	生産計画で指示された生産数を納期に合わせ最適な生産数で生産できるようロット分割・集約を実施
工程管理	ワークの工程内の流れをテーブルによりロケーション管理 ロットの動きとデータをトラッキング、進捗状況をフォロー
品質管理	工程・検査・装置等の情報を収集、情報分析・統計管理し、生産管理にフィードバック(生産品質向上に)
倉庫管理	最適な入出庫のスケジュールを決定・実施

図 17 従来の製造システム構築における事業関係



(出所) 筆者作成

(b) マシンに注力した工作機械メーカー

製造システムの物的部分とIT部分のインテグレーションが独立事業領域を形成していることを前提に、工作機械メーカーは「マシン屋」として工作機械中心ビジネスに専念、顧客ユーザの求める工作機械を開発設計し製造供給してきた。

2000年以降、工作機械メーカーは、コモディティ化と円高によるコスト競争力低下に対して、高付加価値セグメント・シフト等の対策を採り、高付加価値機の大口顧客の引合いを確保するためソリューション・ビジネスをスタートしたが、これは大口顧客の引合い確保のための補完策であり、工作機械中心ビジネスが堅持された。

また、2010年代半までの工作機械メーカーの競争相手は同業者の内外工作機械メーカーであり、自動車・航空機関連など高付加価値品を巡る競争にしても、2000年代に先進国市場（高付加価値機が需要の中心）に並ぶ規模に成長した新興国市場（低価格・標準機が中核的な需要）を巡る競争にしても、工作機械メーカー同士が優勝劣敗を競った。

③” Smart Factory” のもたらす「脅威」と「チャンス」

(a) ” Industrie4.0” の衝撃

ドイツが” Industrie4.0”において、変動する市場動向に即応した変種変量生産に製造業の未来があるとし、次世代製造システムとして” Smart Factory” を提唱すると、工作機械メーカーを巡るビジネス環境は一変した。

従来、製造システムの物的部分とIT部分のシステム・インテグレーションは独立した事業領域を形成しており、付加価値も事業領域毎に関係者間で配分されていた結果、工作機械メーカーは、たとえ限られた機械分野に特化した中小・零細専用機械メーカーであっても十分な付加価値配分を確保できた。

一方、“Smart Factory”は、企業ITシステムがIoTとAIの活用で生産ラインの自動最適制御を行い、CPSが設備・機器からリアルタイム収集した製造関連データに基づき工場を「カイゼン」する自律的工場である。そこでは、物的部分とIT部分は一体不可分であり、ERP・MES・PLCを垂直統合した企業ITシステムが工作機械・産業機械・搬送装置・周辺装置から成る物的部分を統合制御することとなる⁹⁹。

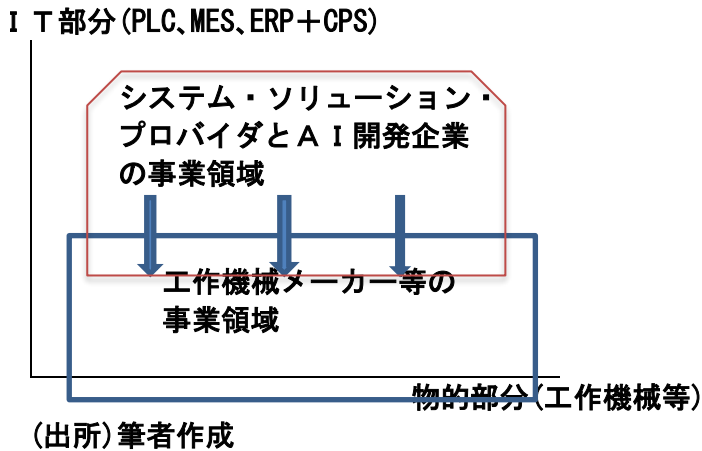
特に、CPSが運転管理者による「カイゼン」に取って代わり、生産ラインの最適制御も行うようになると、製造システムの付加価値は工作機械メーカーの事業領域である物的部分よりも、OT、IT、企業ソリューション・プロバイダの事業領域であるIT部分にシフトする可能性が生まれた¹⁰⁰。

⁹⁹ 生産活動は製造企業の中核的活動であるものの、企業活動は受注・販売管理、在庫管理、生産管理、財務会計等の基幹業務から、人事給与、経費精算、固定資産、プロジェクト管理、管理会計、顧客管理、予算管理など多岐にわたり、これらの活動を統合して効率的に行うことが競争力につながる。ERPは企業の経営資源（ヒト、モノ、カネ、情報）を一元管理し、業務組織横断で資源を有効活用することで利益最大化を図るもので、2000年以降、欧米企業は生産活動を含む全企業活動をERPにより一元管理し、財務会計の観点から業務・資源のロスをカットし、企業活動の効率化を目指してきた。ERPの本来目的は財務会計の全体最適にあり生産活動の効率化（部分最適）ではないが、企業の全工場を対象として生産管理・在庫管理・購買調達管理・プロジェクト管理等を行うERP、各工場での生産実行管理を行うMES、生産現場のフィールド機器の制御を司るPLCをシステムとして垂直統合すると、結果的に市場の多種多様なニーズに応じて生産計画を見直し、機器を適切に制御して柔軟な生産・出荷を行うことが可能となる。ERP・MES・PLCを垂直統合し、企業活動全体を「全体最適化」することが課題となっている。

¹⁰⁰ 従来、生産システムの物的部分とIT部分は本文図15のとおり事業領域として棲分けされており、工作機械メーカー、ロボット・メーカー等は工作機械・ロボット等の高度化・多様化に専心できた。第4次産業革命後の次世代製造システムにおいて物的部分とIT部分が「融合化」すると、「生産システム産業分野」での付加価値分配は、システム・ソリューション・プロバイダと工作機械メーカー等の「闘い」になる可能性がある。極論すれば、本文図5のように工作機械メーカーは物的システムを納入するシーメンス、SAP等の下請になってしまう事態も一つの未来としてあり得る。

一方、デジタル化した次世代製造システムでも、物的システムの優劣が生産システムの効率性を左右する以上、優れた物的システムを考案し、所要の工作機械等を一式調達しシステム納入できる工作機械メーカーはソリューション・プロバイダの不可欠のパートナーである。総合工作機械メーカー化し、顧客の如何なる求めに対しても、最適組合せの生産関連設備・機器を一式調達し、生産システムとして一括納入できるほど魅力が高まる。また、プロバイダはITシステムの統合について工作機械メーカーの及ばない技術・ノウハウ・経験を有するが、生産現場で工作機械等を連携させて生産ラインを最適な形で実行・管理させる技術とノウハウを有するのは工作機械メーカーであることから、工作機械メーカーは次世代製造システムの構築において、物的システムとITシステムのベスト・ミックスに優れたパフォーマンスを発揮する余地がある。このため次世代製造システムの製造開発及びインテグレーションに関して、工作機械メーカーとソリューション・プロバイダが提携・協業する余地も大いにあり得ると考えられる。

図 18 生産システム関連産業における企業関係の変化



(b) 「脅威」と「チャンス」

将来、“Smart Factory”が製造システム標準となれば、製造システムは物的部分とIT部分の一体設計・構築が必須となるが、その結果、その付加価値が物的システムからITシステムにシフトする可能性があり、工作機械ビジネスは影響を受ける。物的システムとITシステム関連ビジネスの棲分けが通用しなくなることは、工作機械メーカーにとり巨大なパラダイム・シフトであり、極論すれば、図 20 のように、工作機械メーカーが Siemens、SAP 等の下請企業となる可能性もあり得る。

一方、このパラダイム・シフトは同時にチャンスである。デジタル化した次世代製造システムでも、依然、物的システムの優劣が製造システム全体の効率を左右する。優れた物的システムを考案し、工作機械・周辺装置・搬送装置等を工作機械システムに組み立てて提供できる工作機械メーカーは存在意義を喪うことはない。むしろ、顧客の求めに応じて、工作機械・周辺装置・搬送装置を組み合わせ、最適化された工作機械システムに製作・納品できれば、「マシン屋」としての魅力はますます高まる。

また、OT、企業システム会社等はITシステム構築については工作機械メーカーには及ばない技術・ノウハウを有するが、生産現場で工作機械等を連携させて生産ラインを最適な形にインテグレートする技術とノウハウを有するのは工作機械メーカーである。”Smart Factory”の構築において、工作機械メーカーは、OT、企業システム会社等との提携・協業により、物的システムとITシステムのベスト・ミックスの実現において優れたパフォーマンスを発揮する余地がある。1990年代以降、工作機械のコモディティ化に苦しんできた工作機械メーカーは、”Smart Factory”をバネとして、新規成長事業分野を開拓できるかもしれない。

2010年代初にドイツが提案した”Smart Factory”は理念的なものでありコンセプト

トの域を脱しなかったことから、それに応じて脅威とチャンスも上記のとおり観念的であったが、工作機械メーカーは” Smart Factory” に関する探究とビジネス化に向けた模索を 2010 年代半以降本格化させる¹⁰¹。

(2) 第 1 期 (2014~2017) 前半の「受け身」の工作機械ビジネス模索

当初、観念的な” Smart Factory” 観よりスタートした工作機械メーカーの次世代ビジネス模索は、方向性、課題ともに定まらない五里霧中の状況にあり、取組は自社工場をモデルとした” Smart Factory” 実証による「手探り」から始まる。

「マシン屋」である工作機械メーカーは、先ずは工作機械及び工作機械システムの IoT 化に取り組むとともに、自社工場をモデルとした” Smart Factory” 実証を通じて工作機械ビジネス見直しに着手する。その過程で、漠然とした理解ながら、” Smart Factory” においても工場システムの生産高効率化は物的な生産ラインの高効率化が前提であり、工作機械メーカーは工作機械及び工作機械システムを介して生産ライン高効率化に貢献することで、” Smart Factory” 関与する余地があることを認識する。

第 1 期前半、工作機械メーカーは 2000 年代半~2010 年代初の生産ライン FA 化への対応の蓄積を活かしつつ、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に向けて、総合工作機械メーカー化、生産ラインのインテグレーションへの取組を開始する。これはサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに繋がる道ではあったが、工作機械メーカーは当初から全てを理解・予見して市場誘導型イノベーションに向かったわけではない。伝統的な工作機械中心ビジネスと顧客工場の生産高効率化ソリューションをどのように結びつけるか、具体的な腹案はなかった。

2010 年代初にコンセプトの域を出なかった” Smart Factory” は、第 1 期にドイツの OT、IT、企業システム会社等が中心となって基本機能及びシステム構成が具体化されるが、工作機械メーカーはいち早く工作機械及び工作機械システムの IoT 化を終え、第 1 期後半以降には、工場 IoT 化と、レイアウト見直し、工程集約、自動化等による生産ライン高効率化を組み合わせ、顧客工場の生産ラインを高効率化するソリューションをイメージするようになり、そのビジネス化に着手する。

これはサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに向かう道ではあったが、ヤマザキマザック、オークマ、DMG 森精機で道程や到着点は異なった。

¹⁰¹ 工作機械メーカーは 1970 年代に工作機械のパラダイム・シフトを経験しており、当時、世界工作機械産業で圧倒的優位にあった米国メーカーが工作機械の NC 化の重要性を見抜けず、工作機械の数値制御化に遅れを取った結果、後発メーカーであり技術力で遅れていたものの、NC 化では欧米メーカーに先んじた日本メーカーに世界工作機械産業の主導的地位を奪われた事態が” Smart Factory” で再現されることを危惧した。家城・オークマ専務(当時)等は「1970 年代の工作機械の NC 化に対応できなかった米国メーカーが没落し、日本メーカーに覇権を譲り渡したような事態が再現されないかを警戒し、2010 年代半以降スマート・ファクトリー化に関する研究と工作機械ビジネス変革をスタートさせた」とする。

①自社工場における” Smart Factory” 実証からのスタート

総合工作機械メーカーの” Smart Factory” 対応は「手探り」からスタートした。ドイツの提言した” Smart Factory” は観念レベルに止まり、次世代ビジネスの模索と言っても、そもそも方向性、課題ともに定まらない、五里霧中の状態にあり、工作機械メーカーは” Smart Factory” とは何か、企業 I Tシステムによる生産ライン制御により何ができるのか等について、自社工場をモデルとした実証作業に取り組む。

本論の事例研究対象である総合工作機械メーカー3社中、ヤマザキマザックは先進的取組を伝統とするメーカーである。1970年代初に遡る生産・販売・サービス三位一体のグローバル化はもとより、2000年代に生産ライン単位のF A化がトヨタ、SONY、日立製作所等グローバル製造企業の課題となる以前から、I T技術の発達を見越して1980年代よりフレキシブル生産システムを応用した無人化工場に取り組み、1998年にはI Tを活用して工場内をネットワークする「サイバー・ファクトリー」を提案するなど、いち早く工場の自動化・ネットワーク化を推進してきた。

” Smart Factory” についても、2014年以降、ヤマザキマザックは一早く本社大口製作所をモデルとして実証実験に取り組み、2017年にその成果を”Mazak iSMART Factory”としてコンセプト化。併せて「工作機械メーカー版” Smart Factory”」ロードマップも策定公表している。2010年代初、ドイツが提唱した” Smart Factory” はコンセプト段階に止まり、具体的な機能やシステム構成が定まらず、多くの製造企業が「途方に暮れる」中、ヤマザキマザックのロードマップは、彼等が” Smart Factory” に如何に取り組むべきかを示す「羅針盤」の一つとなったが、第1期前半に同社は後に公表したロードマップに沿った形で” Smart Factory” 実証を進めた。

表 15 “Mazak iSMART Factory”のロードマップ

第1段階	製造システムのオープン・ネットワーク化	<ul style="list-style-type: none"> ●機械・装置をネットワーク接続しデータ収集 ●通信規格としてMTコネクト(MTConnect協会が定めた最有力な工作機械用通信プロトコル)を採用 ●ネットワーク接続時のサイバー・セキュリティ確保のためMAZAK SMART BOX™を開発(クラウドにデータ収集する前に必要情報だけを収集、外部の不正アクセスを防止) ●同SMART BOX™導入によりメーカーやモデルの新旧を問わず工場全体の設備機器の情報を一元的に取得可能
第2段階	製造ビッグデータの分析と生産改善	<ul style="list-style-type: none"> ●第1段階で収集したデータを分析、生産性や品質を向上させる取組を実施 ●MAZAK SMART BOX™とMTコネクトで収集したデータをビッグデータ化し一元管理、生産設備毎に各工程の問題点を可視化 ●工作物の精度結果及び品質に関するデータと、MAZAK SMART BOX™とMTコネクトで収集した機械・装置の保全データ等を凸合して分析 ●製造システムの各部門に分析結果を生産性改善、製品の品質向上のヒントとしてフィードバックし、生産性向上と製品品質向上に活用 ●移動監視、分析ソフト(SMOOTH MONITOR Ax)開発

第3段階	システム連携による分析・最適化	<ul style="list-style-type: none"> ●ドイツの”Smart Factory”はERP・MES・PLCを垂直統合した企業ITシステムで生産ラインを制御し「カイゼン」を行うことを企図 ●将来のその実現に向けた準備として、基幹システム、製造実行システムなど等を連携させてシステム間で高度な分析を行い、各工程や工場全体を最適化 ●大口製作所ではERP基幹システムを導入、生産実行システムや自動化物流システムと接続・連携(計画層と実行層・制御層を垂直統合した企業ITシステムによる機動的な変種変量生産の実現に向けた一歩)
第4段階	熟練工ノウハウのAI化、システム連携の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ●先進国共通の熟練工不足と変種変量生産による作業複雑化に対応、経験の乏しい作業員でも使える設備、ボタンを押すだけで生産可能な自動化機械・自動化システムへのニーズに応えるべく、加工ノウハウ・生産ノウハウをソフトウェア化し「工場実装」 ●大口製作所では、機械加工の切削条件をAI技術とビッグデータで最適化するソフトウェア開発に取組中 ●機械・装置より収集したデータをクラウド上でリアルタイムに収集・分析、解析結果に基づき生産ラインを最適制御するCPSを実現(CPS技術の開発待ち)
第5段階	AI・適応制御で自律的に進化し続ける工場	

(出所)ヤマザキマザック資料等より筆者作成

②ヤマザキマザックの”Smart Factory”観

”Smart Factory”は、Siemens、Bosch、Volkswagen、Daimlerなど自動車産業のグローバル・メガ・メーカーを想定して、世界市場における製品ニーズの変種変量化の加速に対応したマス・カスタマイゼーションの徹底を目指すものだった。これに対し、自動車・航空機関連のグローバル・メガ・メーカー以外にも、自動車・航空機・資源部門を中心としつつ中堅・中小メーカーも顧客とするヤマザキマザックは、”Smart Factory”を変種変量生産の観点から捉えるのではなく、2000年代半以降、生産ラインFA化で目指してきた「無人化工場」の観点から”Smart Factory”を検討した¹⁰²。

2017年の”Mazak iSMART Factory”にて示されたとおり、ヤマザキマザックは「次世代顧客は、制御層においてIoT技術によりリアルタイムで収集した大量のデータを、実行層でAI解析することで製造ラインを最適制御する」との予想の下、(i)IoT技術を活用して工場内のすべての工作機械・装置をネットワークにつなぎ、情報を共有化してリアルタイムにどこからでも見られるよう「製造システムのオープン・ネットワーク化」を行い、(ii)先進国に共通する熟練工不足とマス・カスタマイゼーションによる作業の複雑化に伴い、経験の浅い作業員でも使える設備、ボタンを押すだけで生産できる自動化機械及び自動化システムへのニーズに対応すべく、加工ノウハウ・生産ノウハウ等をソフトウェア化し工場実装することを”Smart Factory”の要件として考え、実証に取り組んだ。

¹⁰² 2020年以降コロナ感染症蔓延による状況変化はあるが、少子高齢化による若年労働者や熟練工の不足に対応した工場スマート化など、ヤマザキマザックは”Smart Factory”を自動化による生産高効率化と捉える(2018年8月28日NetOneインダストリアルIoTセミナー説明)。

③製造システムのオープン・ネットワーク化

ヤマザキマザックは、2017年に事後的に公表された「工作機械メーカー版”Smart Factory”」ロードマップに従い、第1期前半に”Smart Factory”実証を進めた。ロードマップの第1段階にあたる「製造システムのオープン・ネットワーク化」に関して、2015年にCisco Systemsと共同でNC工作機械とIoT対応の設備機器との通信環境を提供するネットワーク・スイッチ(Mazak SMART BOX)を開発。Mazak SMART BOXでは、工作機械用オープン通信規格のMT Connectを採用し、同規格に対応した設備機器であればメーカー、モデルの新旧を問わず稼働状況等のデータを収集して工場全体での一元管理を可能とした。

図19 ヤマザキマザックの工場オープン・ネットワーク化



(出所)ヤマザキマザック資料

また、Mazak SMART BOXは生産ラインを構成する機械・設備を接続するだけでなく、エッジ層ともつながり、企業ITシステム及び製造IoTプラットフォームとの接続部の役目も担う。Mazak SMART BOXを介し、工場オフィスで作成した加エプログラムを工作機械に送信したり、工作機械のバックアップ・データをオフィスのPCに転送し保存でき、さらには、工場内だけでなく、遠隔地から生産設備・機器にリモート・アクセスしたり、世界中の工場のデータを一元管理することも可能となった。

かかる技術的成果は1980年代の「無人化工場」、1990年代の「サイバー・ファクトリー」に係る取組の蓄積に基づくが、これらの取組では、顧客工場の無人化・IT管理化そのものをビジネス化しようとしたのではなく、自動化やIT管理化により製造システムの在り方が変革されていく中、工作機械メーカーとして、工作機械及び工作機械システムを如何に革新し、製造ニーズに最適化させるかを検討するためのものであった。

④製造ビッグデータの分析と生産改善

Mazak SMART BOX 等の技術成果を基盤として、ヤマザキマザックは「工場オープン・ネットワーク化」に続き、「製造ビッグデータの分析と生産改善」に取り組む。MAZAK SMART BOX™とMTコネクトを介して、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集したデータを一元管理、生産設備毎に各工程の問題点を可視化。設備稼働状況を分析して、製造各部門に分析結果をフィードバックして、生産性向上と製品品質向上に活用することを考えた。また、そのための稼働監視ソフト、分析ソフト(SMOOTH MONITOR Ax)もヤマザキマザックは自前で開発したが、次世代製造システムの本質を明らかにし、工作機械及び工作機械システムを次世代製造ニーズに最適化するためのものだった。

⑤その後の” Smart Factory” 実証

第1期前半の実証実験は第1期後半及び第2期(2018年以降)でも継続され、ヤマザキマザックは2019年以降、第3段階「システム連携による分析・最適化」と第4段階「熟練工ノウハウのAI化、システム連携の高度化」の課題に並行して取り組んでいる(同社は自社の取組を第3段階と第4段階の間にあるものとして「第3.5段階」と評価している)¹⁰³。

(3)第1期(2014~2017年)前半における工作機械ビジネス革新に向けた準備

①工場生産高効率化ソリューションに向けた動き

総合工作機械メーカー3社の中で最も” Smart Factory” 実証に先進的に取り組んだヤマザキマザックを例として、第1期前半の工作機械メーカーによる” Smart Factory” 実証作業について記述したが、この時期は” Smart Factory” の基本機能やシステム構成が具体化されていない段階であり、彼等は「” Smart Factory” とは何

¹⁰³ 第3段階では、企業ITシステムとの連携による各工程・工場全体の最適化、第4段階では、熟練工のノウハウのAI化がテーマ。大口製作所では約200機種を年間1200台受注生産しており、フロアは3工程(部品加工、モジュール組立、製品組立)に分かれ、従来、生産管理部門の熟練者が工程毎に生産スケジュールを作成・管理していたが(月産100台程度だと人手で辛うじて対処できる)、ヤマザキマザックは熟練者に代替して生産スケジュールを作成できるスケジューラ(upper MES)を開発、3工程のスケジューラを連携させ、生産優先順位変更、山積み・山崩しによる在庫最適化などに対応して生産ライン全体を最適化するシステムを構築した。

これによりヤマザキマザックは、市場からの「引き」に即応できる、柔軟なマス・カスタマイゼーションを実現(間接工数50%減、仕掛り在庫30%減、生産リードタイム30%減に成功)としており、今後、加工・生産ノウハウのソフトウェア化と工場実装を推し進め、更には(CPS関連技術の進歩具合にもよるが)CPSによる工場制御も実現し「制御層においてIoT技術によりリアルタイムで収集された大量のデータを、実行層でAI解析することで製造ラインを最適制御する」としている。

か」を考究するのに精一杯であり、「” Smart Factory” において工作機械メーカーは如何なるビジネスを展開するか」についてまで手が回らなかった。

しかしながら、彼等がロードマップで「製造システムのオープン・ネットワーク化」を” Smart Factory” の第一段階としたように、工作機械及び工作機械システムの開発製造事業者として、自社製品が” Smart Factory” でも生産ラインに組み込みネットワークを構成できるよう、工作機械及び工作機械システムのIoT化に取り組み次世代製造システムに工作機械ビジネス修正の第一歩を踏み出す。

そして、工作機械及び工作機械システムをIoT化するとともに、自社工場において” Smart Factory” 実証に取り組む過程で、総合工作機械メーカーは、漠然とした理解ながら、” Smart Factory” においても工場システムの生産高効率化は物的な生産ラインの高効率化が前提であり、工作機械メーカーは工作機械及び工作機械システムを介して生産ライン高効率化に貢献することで、” Smart Factory” 関与する余地があることを認識する。

顧客工場の生産高効率化については、2000年以降のソリューション・ビジネスにおいて、ヤマザキマザックが顧客工場の多品種少量生産転換を支援するため、顧客工場のレイアウト見直しを実施し、セル生産ユニットを中核とした生産ラインを構築した例はあったが(” DONE IN ONE”)、これは例外的なケースであって、基本的に、工作機械メーカーは、工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、複合加工機導入による工程集約や自動化など生産ライン改革をトータルで組み合わせ、顧客工場に最適化した生産高効率化ソリューションをビジネスとして構想する段階に到達していなかった。

第1期前半では、工作機械メーカーは、顧客工場の生産高効率化をソリューションし、かつ、ビジネス化するには如何なる用意が必要となるのかを検討をし、態勢作りを行った。具体的には、榎本(2017)が2016年末時点での企業ヒアリング及び公開資料等に基づき、初期の工作機械メーカーによる” Smart Factory” に向けた準備として指摘した「生産デジタル化に対応した工作機械等のIoT化」「総合工作機械メーカーに向けた努力」「ライン・ビルダー化の模索」の3点が総合工作機械メーカー各社で実施された。

②生産デジタル化に対応した工作機械等のIoT化

工作機械メーカーは、工作機械の開発製造を業とする以上、競争に勝ち顧客を獲得するには、「優れたマシン」を企画開発し、製造供給し続けなければならない。ただし、” Smart Factory” では、近年飛躍を遂げたIoT技術と情報処理技術を用いて、機械・設備にICタグやバーコードを装着し、それらをセンサやカメラで読み取って通信で結び、センサ等から得たデジタル情報をクラウド等でリアルタイムに収集・分析、生産ラインを解析結果に基づき最適制御する。このため、工作機械も加工性能向

上等だけでなく、次世代製造システムに組み込めるようIoT化する必要がある。

第1期前半、工作機械メーカーは米国IT企業と提携、工作機械・搬送機・周辺機器等にICタグ等を装着し、カメラ・センサで読み取った情報をクラウドにリアルタイム送信できるシステムを共同開発(表16参照)。ヤマザキマザックはCiscoSystemsと、製造元・製造時期を問わず、工場内の設備機器全てを安全にネットワーク接続できる装置を共同開発。DMG森精機はMicrosoftと提携、工作機械に装着したセンサから稼働データを収集、故障予測や稼働状況を監視する技術、インターネット接続を製造時に想定していなかった中古機械のスマート化技術の共同開発に取り組んだ。

表16 工作機械メーカーと米国IT企業との提携

ヤマザキマザック	オークマ	DMG森精機
<ul style="list-style-type: none"> ●2015年11月、CiscoSystemsと工場内設備機器を安全にネットワーク接続するための装置(メーカー、新旧を問わず接続可能)を共同開発(MAZAK SMARTBOX™) ●2016年11月、CiscoSystemsと工場内設備機器を安全にネットワーク接続するための製品、ビッグデータ解析及び生産性向上のためのクラウド・サービスの共同開発を決定 	<ul style="list-style-type: none"> ●2016年11月、オークマはGEのソフトウェア子会社GEデジタルと協業を決定、産業用IoTプラットフォームのPREDIXをオークマ製品に組み込むことを決定(PREDIXは産業用機器においてデータを取得する一種のOSであり、リアルタイムな情報・データの収集・分析を実施) 	<ul style="list-style-type: none"> ●2016年9月、DMG森精機はMicrosoftと提携合意、①工作機械に取り付けたセンサから稼働状況データを収集し、故障予測や稼働状況を遠隔監視する技術、②1990年代販売されインターネット接続を想定していない中古機械のスマート化のための技術の共同開発に着手。

(出所)各社プレス発表資料等に基づき筆者作成

一方、オークマは、工作機械等に装着して稼働データ等を収集し、クラウドにリアルタイムで送信してビッグデータ解析する装置の自主開発は行わず、米国GEのソフトウェア子会社であるGEデジタルとの協業により、同社の産業用IoTプラットフォームであるPREDIXを自社製品に組み込むこととした。

なお、工作機械メーカーは、2000年代中～2010年代初の生産ラインFA化に対応して、工作機械及び工作機械システムのIT管理化を進めたが、工作機械等のIoT化はIT管理化の延長上にある措置であり、“Smart Factory”対応において最低限クリアしなければならないミニマル・スタンダードであるとともに、工作機械ビジネスの次なる展開を考えるスタート点となった。

③総合工作機械メーカーに向けた努力

顧客が企業ITシステムによる生産ライン最適制御により工場生産高効率化を図るには、それに先立ち生産ラインの高効率化を措置する必要がある。非効率な生産ラインをITシステムにより制御しても、工場の生産性は向上しない。

“Smart Factory”では、生産ラインが企業ITシステムにより制御されるようにな

っても、生産性が物的な生産ラインに左右されるとすれば、工作機械メーカーが次世代製造システムにおいても引き続き重要な役割を果たしたければ、工作機械等のサプライヤーとしての競争優位を活かして、顧客の生産ラインの高効率化に何らかの形で関与する必要がある。この点、工作機械メーカーは、生産ラインのレイアウト変更、複合加工機を活用した工程集約、自動化等を組み合わせて生産ライン高効率化プランを策定し、顧客工場でインテグレーションすることで、顧客の生産ラインの高効率化に関与する道が一つ考えられる。

過去にも、2000年代にFAが個別機械単位から生産ライン単位の自動化に進み、工場の全機械・設備を接続する工場管理システムの導入が始まると、2000年代後半以降、工作機械ビジネスの焦点は個別機械から生産ラインに移行したが、その際、工作機械メーカーは「優れたマシン」の提供に加えて、自社マシンを活用して生産ラインを最適化するソリューション提供を一部では求められてきた。

生産ラインの最適化とは、顧客に対して、工場レイアウトの変更、複合加工機を活用した工程集約、自動化等を組み合わせた工場効率化プランを提案し、顧客とのコンサルテーションを経てプランを確定し、自社マシンを活用しつつ顧客の生産ラインを最適化するインテグレーション事業である。工作機械メーカーは自社工場のインテグレーションについては高度な技術力と経験・ノウハウを有するが、専門インテグレータとして、顧客の千差万別な製造課題・現場状況等に対応して最適なプランを立案・提案・説得・実行する経験・ノウハウを欠いた。また、工作機械メーカーは間接販売制を採り、工作機械のインテグレーションを含むサービスを機械商社等代理店に依存しており、工場生産高効率化ソリューションをビジネス化する体制にもなかつた。

改めて”Smart Factory”でも、工場生産高効率化ソリューションへのコミットメントが検討の俎上に上がったが、2000年代後半と同じ理由により、工作機械メーカーが直ちに工場生産高効率化ソリューション・ビジネスにコミットメントすることは難しく、当座の対応として、顧客の生産ラインの高効率化に必要となる工作機械・工作機械・搬送装置・周辺装置・治具・工具等を”One shop”で提供できるサプライヤーとなること、すなわち総合工作機械メーカー化に取り組むこととなった。

総合工作機械メーカー化は、顧客が工作機械等を導入する場合に工作機械だけでなく生産ラインの構築に必要な機械・装置等を一括調達できるようにすることで、顧客の誘引を図るものであるが、これが顧客工場の生産高効率化ソリューションのビジネス化への扉を開く。顧客の製造現場に最適化された工場生産高効率化プランを策定するには、工作機械・搬送装置・周辺装置等について広いラインアップを用意できるほど顧客ニーズへの対応能力が高くなるが、工作機械メーカーは総合工作機械メーカー化することで潜在的ながら顧客の生産ラインをデザインし最適化する能力を向上させた。

④ライン・ビルダー化の模索

ただし、総合工作機械メーカー化は工場生産高効率化ソリューションのビジネス化を保証しない。ビジネス化にはシステム・インテグレータ(ライン・ビルダー)化の壁があり、総合工作機械メーカー化で顧客ニーズ対応力はアップしても、工作機械メーカーには、前項③でも触れたように、インテグレータ化にはハードルが存在した。

第一に、2000年以降のソリューション・ビジネスでは、高付加価値機の大口顧客が特定加工方法とそれに対応した工作機械システムの開発・製造・設置を工作機械メーカーに委託したが、生産ラインそのものは大口顧客が自ら設計・建設・管理していた。これに対し、工場生産高効率化ソリューションの顧客は、自社工場の生産ラインを設計・建設・管理する能力に不足する場合も少なくなく、工作機械メーカーには、インテグレーションに関する高度な経験と知見・ノウハウが要求されることとなる。

第二に、2000年以降のソリューション・ビジネスは、グローバル・メーカーを相手とした、散発的な要請に応えての、一回完結型サービスだったが、工場生産高効率化ソリューションでは、企業規模・製造分野を問わず千差万別な顧客を相手として、インテグレーション後も継続してフォローを行い、必要に応じてカイゼン提案を行いソリューション実行することが求められる。伝統的に間接販売制の下でインテグレーションを代理店に委ねてきた工作機械メーカーにとり、工作機械及び工作機械システムの開発製造に取り組みつつ、ソリューション・ビジネスに本格的にコミットメントできるかが問題となる¹⁰⁴。

工場生産高効率化ソリューション・ビジネス本格化には以上の問題が存在したが、第1期(2014~2017年)、工作機械メーカーは段階的に顧客工場の生産高効率化案件を発掘してインテグレーションを引き受け、ライン・ビルダーとは如何なるビジネスか、ライン・ビルダーには如何なる能力・資源が要求されるのか等を学習していく。

(4) 工場生産高効率化ソリューション

～総合工作機械メーカーが認知した新規事業領域開拓の可能性～

① ” Smart Factory” の脅威

“Smart Factory”は、第一に、EPR・MES・PLCを垂直統合した企業ITシステムによる生産ラインの最適制御であり、第二に、生産ラインを構成する機械・

¹⁰⁴ 仮に、工場生産高効率化ソリューション・ビジネスにコミットメントするとして、グローバル総合工作機械メーカーと言っても自動車・電機メーカーと比べれば小規模で資源の限られた工作機械メーカーは、すべてのインテグレーション案件を引き受けられず、引受け案件の選別をどのように行うのか、自ら引き受けない案件をどのように処理するのかという問題に直面する。また、工作機械及び同システムの販売を伴わない、純粹サービスとしてのインテグレーションは、平田機工等のライン・ビルダーが絶えず収益確保、経営安定維持に苦勞しているように、カスタマイズに手間暇のかかる割りに低収益性なビジネスであるが、工作機械メーカーとしても、インテグレーションの効率性と収益性を如何に改善・向上させるかが課題となる。

設備からリアルタイム収集した製造関連ビックデータをAI解析し、設備稼働監視管理による機械停止時間削減・稼働率向上、予知保全等による生産ライン停止防止を実現することにより、工場生産高効率化を図るものである。一部で誤解されているように、従来の製造システム改革と断絶した取組ではなく、生産ラインFA化等の成果をIoT技術、AI技術、ビックデータ解析技術等を活用して高度化したものである。

2010年代初の”Smart Factory”提案後、企業ITシステムによる生産ライン制御に製造システムの付加価値がシフトし、生産ラインを構成する機械・設備を供給する工作機械メーカー等の収益性が低下することが懸念されたことから、工作機械メーカーは”Smart Factory”という製造システムのパラダイム・シフトに対して、工作機械ビジネス革新に乗り出す。

第1期(2014~2017年)前半、工作機械メーカーは自社工場を実験場として”Smart Factory”研究をスタート。企業ITシステムによる生産ライン制御に対応してIoT化された工作機械及び工作機械システムを開発・製造し、従来のソリューション・ビジネスの本格ビジネス化を目指して、総合工作機械メーカー化、システム・インテグレーションに取り組むとともに、工作機械メーカー独自の”Smart Factory”関連ソリューション開発に向けた検討を開始した。

②工作機械メーカーが認識した新規事業領域

第1期はOT、IT、企業システム企業等が、2010年代初よりコンセプト段階に止まっていた”Smart Factory”の具体化に取り組み、基本機能及びシステム構成に関するコンセンサスを形成した時期であり、工作機械メーカーは彼等の取組と同時並行して自社工場の”Smart Factory”化に取り組む過程で、2000年代の生産ラインのIT管理化(生産ラインFA化)以降、製造システム改革で追求されてきたものは工場生産高効率化であり、変種変量生産の極限化を目指す”Smart Factory”は一つの有力な工場生産高効率化ソリューションであるものの、唯一解ではないことに気付く。

”Smart Factory”は企業ITシステムによる生産ライン制御により工場生産性を飛躍的に高めようとする、製造システムのイノベーションであり、Siemens等のグローバル・メガ・メーカーは、市場の求める変種変量生産の極限化のために”Smart Factory”化を構想したが、”Smart Factory”だけでは真の工場生産高効率化は達成できない。すなわち、企業ITシステムによる生産ライン制御は既存の生産ラインを前提としており、企業ITシステムによる制御をカイゼンすれば工場生産性が無限に向上できるわけではなく、生産ラインの高効率化には「天井」が存在した。端的に言えば、非効率な生産ラインをIT制御化しても、非効率なままに終わる。

DENSO等トヨタ・グループは、企業ITシステムによる生産ライン制御についても先進的に取り組んだが、特定時点の生産ラインを所与のものとして工場生産高効率化を考えず、絶えざるカイゼンにより生産ラインをレイアウト変更、工程集約、自

動化等により変化・成長させ続けて、生産高効率化を図った。” Smart Factory” を含め、製造システムの生産性とは、生産ラインの効率性と IT システムの制御能力の乗数であり、企業 IT システムによる生産ラインの最適制御を追求していれば足りるというわけではなく、生産ラインのレイアウト変更、工程集約、自動化等による高効率化を同時追求することで、真に工場生産高効率化が達成されると考えている。

2000 年代半以降の生産ライン FA 化への対応において、工作機械メーカーは、複数顧客からの受注を通じて経験を重ね、顧客の生産ラインの在り方への理解を深めるとともに、複数工程を集約した複合加工機・マシニングセンタを開発し、大口顧客に対して、新たな生産ライン構築を提案するとともに、複合加工機・マシニングセンタの新機種を外販して市場開拓するなどの事業展開を行ったことを述べた。かかる経験から、工作機械メーカーは少なくとも複合加工機による工程集約、工作機械の自動化などの提案により、顧客工場の生産高効率化に関与することができることを認識しており、” Smart Factory” においても、工作機械ないし工作機械システムの導入に当たり、顧客に対して、工場レイアウトの変更、複合加工機を活用した工程集約、自動化システム等を組み合わせた工場スマート化プランを提案することで、工作機械メーカー独自の事業領域を形成・維持できる可能性を見出す。

③工場生産高効率化ニーズの多様性：工作機械メーカーのチャンス

(a) 多様な工場生産高効率化ニーズ

第 1 期 (2014～2017 年) 前半の工作機械メーカーは工場生産高効率化ソリューションに本格的に着手したわけでも、ましてやビジネス化できていたわけではない。しかしながら、自社工場の” Smart Factory” 実証の過程で、企業システムによる生産ラインの最適制御のシステム構築に取り組むだけでなく、自らも工場生産高効率化を追求するうちに (工作機械メーカーは一日も休むことなくライバル企業と工作機械及び工作機械システムの製造開発で競争を続けており、自社工場を単なる” Smart Factory” 実験場としておく余裕はなかった)、工場生産高効率化ニーズは Siemens 流の変種変量生産の極限化だけでなく多様であり¹⁰⁵、多様な工場生産高効率化ニーズに応えるのに多様なソリューション提案が可能であることに気付く。

すなわち、工場生産高効率化ソリューションは企業 IT システムによる生産ライン制御に尽きず、(a) 生産ラインを構成する機械・設備の高性能化及びその組合せの最

¹⁰⁵ 第 8 章では、オークマの” Smart Factory” を契機とした工作機械ビジネス革新を取り扱うが、オークマは早くも 2000 年代半の国内生産システム改革の時点で工場生産高効率化ニーズとソリューションの多様性に気付いており、2010 年代の” Smart Factory” に対応して顧客工場の生産高効率化ソリューションを検討する過程で、部品加工・組立一貫メーカーは数万点の部品を組み立てるため余剰部品在庫を抱えられず「受注部品—部品加工—製品組立」の同期化が不可欠であり、企業 IT システムによる生産ライン最適制御が必要となるのに対し、專業部品メーカーは需要変動に対してバッファー在庫で対応できるため企業 IT システムによる生産ライン制御は必ずしも必要ではないことを認識している。

適化、(b)レイアウト変更・自動化・工程集約等の生産ライン改革、(c)企業ITシステムによる生産ライン制御、(d)製造関連アプリケーションによる工作機械・システム及び生産ライン全体の高効率化など複数の方法があることを認識する。

これを「製造ニーズ」の観点から言えば、“Smart Factory”は「市場動向に即応する変種変量生産の極限」という製造ニーズに応える工場生産高効率化であり、2000年以降の世界経済の高度成長と先進国・新興国ユーザからの無限のバラエティを持った短納期発注の増大に対応して、Siemens等グローバル・メガ・サプライヤーが求めたものであるが、製造企業の求める工場生産高効率化は個別工場の製造課題・ニーズに応じて多様であり、Siemens等の求めは一典型に過ぎない。その多様な求めに応えるには、(a)～(d)のうち最適なものを選び対応することが肝心であり、更には(a)～(d)を組み合わせて最適ソリューションを開発することが重要となる。

(b)工作機械メーカーのビジネス・チャンス

(a)～(d)の工場生産高効率化プログラムのうち、工作機械メーカーのコア事業は(a)(特に前段の個別機械・設備の高性能化)であり、工作機械メーカーは従来通り「優れたマシン」の開発製造に取り組めばよいが、2000年代後半の生産ラインのFA化への対応の過程で、(b)も萌芽状態ながらソリューション提供に取り組んだ。また、同じく生産ラインFA化に対応し、工作機械メーカーは個別機械・設備向けにオペレーティング・システムを開発・実装。同時に、オペレーティング・システムを通じて製造関連アプリケーションを提供し、顧客が特殊な加工方法や新鋭の加工方法を実行できるサービスもスタート、(d)についてもソリューション提供能力を蓄積しつつあった。

“Smart Factory”を契機として、従来は工作機械及び工作機械システムの開発・供給に専念していた工作機械メーカーは、「優秀マシン」の提供を通じて寄与貢献してきた顧客工場の生産高効率化そのものを直視するようになり、“Smart Factory”の目的とする変種変量生産の極限化は製造企業の抱える工場生産高効率化の一つの課題に過ぎず、多様な工場生産高効率化ニーズに応えるには(a)～(d)で列挙したソリューションがむしろ重要であり、その最適組合せを考案しソリューション提供することが、顧客メーカーの製造システム関連ニーズに応える道であることを発見。

そして、工作機械メーカーは、“Smart Factory”の本丸である「(c)企業ITシステムによる生産ライン制御」に関してはOT企業等“Smart Factory”関連企業に敵わないものの、(a)(b)(d)についてはOT企業等がキャッチアップできない能力・知見を蓄積しており、(a)(b)(d)のいずれか又はその組合せにより、顧客の多様な工場生産高効率化ニーズに応える能力があることを認識する。

(c) 第1期の本格ビジネス化には慎重なアプローチ

とはいえ、工場生産高効率化ソリューションは工作機械及び工作機械システムの開発製造とは全く異質の事業領域に属し、自社に参入に必要な資源・能力が足りるか分からず、また、過去、製造企業のサービス成長研究において”Service Paradox”（巨額のサービス関連投資がサービス収益化、顧客引合い確保に結び付かずサービス化企業が期待した企業成長に全く貢献しない現象）が指摘されてきたところ、工場生産高効率化ソリューションの本格ビジネス化が可能であるか確信が持てなかった。

このため、第1期(2014~2017年)前半の工作機械メーカーは、”Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションの新規ビジネス化の可能性を認識しつつも、それがビジネス革新の進むべき道であるかについて確信が持てないまま、総合工作機械メーカー化、システム・インテグレーションへの挑戦を進めた。

④”Smart Factory”と工作機械ビジネス革新の関係：

工場生産高効率化の垂直展開と水平展開

第1期前半時点の総合工作機械メーカーには(OT企業等による”Smart Factory”の基本機能・システム構成の具体化が完了しておらず、彼等の”Smart Factory”ビジネスの方向性・内容が未確定であったこともあり)認識できていなかったかもしれないが、”Smart Factory”化ソリューションと総合工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とするビジネス革新は、工場生産高効率化ソリューションの観点から整理するならば、工場生産高効率化の垂直展開と水平展開として対置でき(前掲図9参照)、両者は棲分け、更には協業も可能なものだった。

そもそも、”Smart Factory”は、ドイツによる提言後2010年代半にかけて一部が主張していたような、過去と断絶した革新的イノベーションではなく、2000年代半~2010年代初の生産ラインFA化(生産ラインのIT管理化)の延長上にあるものであり、工作機械メーカーも生産ラインFA化に関連して設備稼働監視管理、予知保全等のソリューションを提供していたように、工場生産高効率化のコンテキストでは特段浮いたソリューションではない。

改めて”Smart Factory”を工場生産高効率化のフレームワークの中で位置付けるならば、(a)生産ラインを構成する機械・設備の高性能化及びその組合せの最適化(前掲図9「生産ラインを構成する機械・設備及び組合せの最適化」)、(b)レイアウト変更・自動化・工程集約等の生産ライン改革(同図9「工場レイアウト見直し」「工程集約・自動化等生産ライン改革」)と並ぶ工場生産高効率化ソリューションの一つであり、(a)~(d)の分類を用いれば、「(c)企業ITシステムによる生産ライン制御」及び「(d)製造関連アプリケーションによる工作機械・システム及び生産ライン全体の高

効率化」を合わせたものである(同図9の「” Smart Factory” 」として垂直方向に延びた部分が該当)。

ここで、仮に、工作機械メーカーが工場生産高効率化ソリューションを本格ビジネス化するならば、OT企業等の強みのある” Smart Factory” 領域において競合しても甲斐はなく、工作機械及び工作機械システムのIoT化である「製造システムのオープン・ネットワーク化」を除き、ヤマザキマザックの公表した” Smart Factory” ロードマップ上の次段階以降の「システム連携による分析・最適化」「製造関連ビックデータの分析と生産改善」「熟練工ノウハウのAI化、システム連携の高度化」「AI・適応制御で自律的に進化し続ける工場」については、OT企業等” Smart Factory” 関連企業に任せるのが妥当である。

工作機械メーカーが進むべき道は、(a)及び(b)、すなわち生産ラインを構成する機械・設備の高性能化及びその組合せの最適化、工場レイアウト見直し、工程集約・自動化等の生産ライン改革を中心として、(c)のうち「製造システムのオープン・ネットワーク化」に含まれる「工作機械及び工作機械システムのIoT化」、(d)「製造関連アプリケーションによる工作機械・システム及び生産ライン全体の高効率化」等をソリューションとして組み合わせて、顧客工場の生産高効率化をソリューション提供していくことであろう。再掲図9に示したように、これは、ソリューションが垂直方向に深掘りされた” Smart Factory” ソリューションとの対比では、工場生産高効率化ソリューションの水平展開と呼ぶことができる。

そして、工場生産高効率化ソリューションの垂直展開である” Smart Factory” 化については、工作機械メーカーが「製造システムのオープン・ネットワーク化」を除き基本的にソリューション提供能力がないのと同様に、OT企業等” Smart Factory” 関連企業は水平展開ソリューションについて提供能力を持たない(工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置等の最適インテグレーションについて経験・知見が不十分)。したがって、工作機械メーカーが” Smart Factory” を契機として工作機械ビジネス革新を行う場合、工場生産高効率化ソリューションを水平展開することで、新たな事領域を切り拓くことが期待できる。

また、もともと” Smart Factory” はSiemens、Bosch等グローバル・メガ製造企業を対象として構想されたものであり、中堅・中小メーカーにおいては、第一に、企業ITシステムによる生産ライン自動制御にはITシステム構築に巨額投資を要する、第二に、中堅・中小メーカーには、第8章で後述するオークマの整理のとおり部品加工専門メーカー、部品加工・組立一貫メーカーがあり、前者は企業ITシステムによる自動制御を必ずしも要しないことから、” Smart Factory” は工場生産高効率化の適格的なソリューションではない。むしろ工場生産高効率化の水平展開するソリューションが中堅・中小メーカーには適格的であり、工作機械メーカーはOT、IT、企業

システム等” Smart Factory” 化ソリューション関連企業が見落としがちな中堅・中小メーカーの工場生産高効率化に取り組むことで、新規事業領域を確立できる可能性がある¹⁰⁶。

⑤新たなビジネス・モデル構築に向けた道

～ソリューション・ビジネスと工作機械製造事業のリンク～

(a)新たなビジネス・モデルの必要性

工作機械メーカーは” Smart Factory” を契機として工作機械ビジネスを革新できるか。水平展開の工場生産高効率化ソリューションは垂直展開の” Smart Factory” ソリューションから独立した事業領域としてビジネス化し得るが、問題は工作機械メーカーが工作機械及び工作機械システムの開発製造事業に加えて、単に顧客工場の生産高効率化ソリューションを事業化した(コングロマリット化した)というのではなく、両者を統合した新しいビジネス・モデルが打ち立てられるか否かにある。

工作機械メーカーはグローバル総合工作機械メーカーといえども、自動車・電機メーカーと比べれば企業規模・経営資源の点で遥かに小規模であり、コア事業である工作機械製造事業における競争優位を維持しつつ、工場生産高効率化ソリューション事業に参入することは容易なことではない。新規事業が高収益を約束するかと言えば、近年注目を集めているライン・ビルダーの代表格である平田機工が好況時で売上高営業利益率がようやく5%近傍に達する程度であり、インテグレーションは、個別製造現場に応じた細かいカスタマイズなど手間暇のかかる割には収益性が低い。

高収益の期待できない工場生産高効率化ソリューションになぜコミットするのか。少なくとも工作機械及び工作機械システムの開発製造と工場生産高効率化ソリューションの間にはシナジー効果が存在し、両者が一体となって工作機械メーカーの企業成長につながるビジネス・モデルがない限り、経営資源に限りある工作機械メーカーが工場生産高効率化ソリューションにコミットメントすることは難しい。

(b)ヤマザキマザックの” DONE IN ONE” における気付き

ここでヤマザキマザックの” DONE IN ONE” を思い起こしてみたい。

工作機械メーカーが2000年以降展開したソリューション・ビジネスは、自動車部門等の高付加価値機の大口顧客から新製品向け加工方法及び工作機械システムの開発

¹⁰⁶ 初期、工作機械メーカーの防衛的な目からは見落とされていたが、工作機械メーカーが自己のイニシアティブで発展をコントロールできる独自事業領域を維持できたならば、今後の” Smart Factory” の世界的普及の中で、生産ラインをIoT化された工作機械・工作機械システムで” Smart Factory” に最適化された形で構築する工場スマート化ビジネスは成長が期待でき、1990年代以降コモディティ化に苦しんできた工作機械メーカーにとり、成熟化を打破する新規事業分野となるかもしれない。

委託を受けて、加工方法及び工作機械システムを開発し、顧客工場に納品・設置する単発ビジネスであり、顧客と長期協働して製品開発にあたるものでなかった。

こうした中、ヤマザキマザックはソリューション・ビジネスの本格化を試み、一回的ではなく、継続的に顧客工場の生産高効率化に関与し、顧客と協働して生産ラインのレイアウト見直し、工作機械システム導入による生産ライン改革、加工ソフトウェア開発等による生産高効率化を実現するビジネス(” DONE IN ONE”)を立ち上げようとした。ヤマザキマザックとしては、顧客との長期協働を通じて、生産ライン高効率化に関する知見・ノウハウを蓄積し、新たな工作機械及び工作機械システムを開発することを企図した。工場生産高効率化ソリューションを工作機械及び工作機械システムのイノベーションの中に取り込み一体化を狙ったと評価できる。

(c) I D E Cのイノベーション・サイクル

第1部第3章におけるI D E Cを対象とした探索研究では、2010年代の産業安全・機械安全が「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」にパラダイム・シフトする過程で、I D E Cは顧客と協働して「人と機械の協働」安全の在り方を模索し、個々の顧客の製造現場等に最適化された産業安全システムを構築し、未知の「人と機械の協働」安全環境における安全ニーズを発見し、協働で得た知見・ノウハウを活かして、新しい安全関連製品及びソリューションを開発し顧客提供して行った。

ヤマザキマザックの” DONE IN ONE” では、ソリューション・ビジネスを製品イノベーションに組み込んだ形でソリューション・ビジネスと製品ビジネスのリンケージがなされていたが、I D E Cの場合、両者の関係は更に進歩し、ソリューションで得た発見・認識を活かした製品イノベーションがソリューションのカイゼンと進歩につながり、改めてソリューションのイノベーションが新たな製品開発につながる「イノベーション・サイクル」が形成されていた。

現時点から振り返れば、ヤマザキマザックが” DONE IN ONE” で狙ったのも、かかるイノベーション・サイクルの構築ではないかと考えられるが、I D E Cが顧客との長期協働関係を構築し、「人と機械の協働」安全について「協調安全ロボットテクニカルセンタ」等のプラットフォームで協働実証・開発を続けることで、ソリューションと製品開発のイノベーション・サイクルを回転し続けたのに対し、ヤマザキマザックは日野自動車以降後続事例に恵まれずイノベーションの恒常化も不発に終わった。

(d) 市場誘導型イノベーション

2010年代のI D E Cの「人と機械の協働」に係る安全関連ビジネス革新は市場誘導型イノベーションのケースであり、「人と機械の協働」に係る産業安全に関してドミナント・デザインが未確立な中で産業安全ニーズを顧客メーカーと協働して解明し、それにより得た知見・ノウハウを活用して新たな安全関連製品を開発し、その製品を産

業安全ソリューションに用いることで産業安全の新たな形を作り出し、改めてその成果を製品開発にフィードバックする仕掛けを構築した。

I D E Cの事例は「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」へのパラダイム・シフトが背景としてあり、産業安全の在り方の見直しについて方向性があるのに対し、ヤマザキマザックの” DONE IN ONE” は工場改革「よろず引受け」の風情があり、ソリューションの対象なり目的なりが茫漠としている。仮に、生産ラインの高効率化が目的であるのであれば、生産ラインの高効率化とは何であり、何によって達成されるのかが明確でなかった。顧客と協働して顧客課題を解決すると言っても、工場改革のうち具体的に何を扱うのか、その工場改革を必要としている顧客がいるのか、顧客がいるとして具体的な課題は何なのか等を詰められていなかったため、市場誘導型イノベーションの仕掛けを詰めていくことができなかった。

では、” Smart Factory” を契機とした工場生産高効率化ソリューションは市場誘導型イノベーションのツールたり得るだろうか。工場生産高効率化ソリューションは「特定時点における生産機械・設備の性能を所与のものとして、生産ラインが単位時間に生産する製品数量の最大化」を目的とし、高効率化の方法についても、2000年以降のソリューション・ビジネスの蓄積と2010年代半以降の自社工場における” Smart Factory” 実証を通じて、生産ラインを構成する機械・設備の高性能化及びその組合せの最適化、工場レイアウト見直し、工程集約・自動化等の生産ライン改革など柱は明確となっている。

残された課題は、顧客の千差万別な製造現場に対応して工場生産高効率化ソリューションを開発・実行し、その過程で、例えば、新たな工程集約のアイデアが浮かべば、複数顧客の製造現場でも同様の工程集約ニーズがあることを確認し、それらに共通して求められる工程集約を具体化して新たな複合加工機の開発につなげること、さらには、開発した複合加工機を用いた工場生産高効率化ソリューションを開発・実行し、改めて新たな工程集約ニーズについての探求をスタートすることであった。

第1期(2014~2017)前半において工作機械メーカーは、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションが可能であると確信していたわけでも、具体的に製品開発とソリューションをリンクさせて製品イノベーションを如何に起こすかまで成案があったわけではなかったが、” Smart Factory” を契機とした工作機械ビジネス革新の一つの選択肢として、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションがあることはイメージできていた。

ただし、市場誘導型イノベーションにおいては、真に製品イノベーションにつながるアイデアを有するユーザと巡り合えるかが成否を分けるところ、出会いは偶発事に近い中で、ユーザの中でもリード・ユーザを見つけられるか、少なくともリード・ユーザを見つけるには、これまで顧客でも取引相手でもなかったユーザにソリューショ

ン対象を拡大し、リード・ユーザを見落とさないことが肝心である。工作機械メーカーは工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションを現実のものとする道筋や方法について具体的なアイデアを持っていなかった。

(e) 工作機械ビジネス革新への期待

以上のように、工作機械メーカーは、ソリューション・ビジネスと工作機械製造事業をリンクさせ、ソリューションと製品開発における新機軸やイノベーションの好循環を確立できれば(イノベーション・サイクル)、“Smart Factory”を契機として顧客工場の生産高効率化ソリューションをビジネス化できるだけに止まらず、「製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション」の制度化も不可能事ではなくなった。ここには、1990年代以降、工作機械メーカーが直面してきたコモディティ化を克服し、イノベーションの恒久的を期待できる余地がある。

また、工作機械メーカーはコモディティ化に対する高付加価値化過程で自動車・航空機等関連に事業領域を狭めてきたが、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化を契機として、限られた業種・規模だけでなく、広範な業種・規模の製造企業に顧客を拡げること期待できる。さらに、OT企業等と競合する事業展開ではあるが、生産ラインのIT制御に関連した製造関連アプリケーション開発提供にも取り組み、事業を拡大できる可能性が生まれた。

⑥更なる進化：模倣困難なビジネス・モデルの構築

第1期(2014~2017年)の時点において、工作機械メーカーは工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションの可能性について認識し得たものの、具体的な実現方法等に関しては具体的なアイデアを掴めていない状況にあった。IDECを事例とした探索研究の示唆では、市場誘導型イノベーションには、革新的製品を創造する製品イノベーションと、ライバル企業等の容易な模倣を防ぐビジネス・イノベーションの2段階があるが、当時の工作機械メーカーには、第1段階の製品イノベーションはイメージし得ても、第2段階のビジネス・イノベーションについては考えが及んでいなかった。

“Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションのビジネス化や工作機械及び工作機械システムの開発製造とのリンクなりイノベーション・サイクルの構築は、実力の伯仲する総合工作機械メーカーであれば、基本的にいずれの社でも可能である。したがって、常にライバル企業に先行して工作機械ビジネス革新に着手し、イノベーション・サイクルを先行的に回し、優秀な工作機械及び同システムを開発製造した上で、一早くライバル企業に優る、生産ライン改革、生産ラインのIT制御化等の最適組合せをソリューション提供していくことが必要となる。

ただし、この「先行者利得」は薄氷の差であり、絶対安泰というわけではないので、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに取り組む工作機械メーカーには、イノベーション・サイクルを継続して迅速に回転させることに資する、ライバル企業には模倣困難なビジネス・モデルが必要である。また、IDECを事例とする探索研究も示唆するように、ライバル企業との競争では、ソリューションの質だけでなく価格優位性も重要であり、千差万別な顧客ニーズに対して可能な限りソリューションをカスタマイズしつつも、低コストを実現するビジネス・モデルも不可欠である。

第1期時点で工作機械メーカーにこれらの点に関する認識はなかったと考えられるが、第1期後半以降、市場誘導型イノベーションに取り組んでいく過程で、総合工作機械メーカーはこれらの問題に直面して解決を求められる事態が発生し、この点をクリアできた社のみが市場誘導型イノベーションを実現することとなる。

では、総合工作機械メーカー3社が、2000年以降のソリューション・ビジネス展開を土台として、どのように”Smart Factory”を契機として工作機械ビジネス革新に取り組んだか、以下、第7～9章において取り扱うこととする。

参考 6

Siemens の” Smart Factory” 展開

これまでのところ” Smart Factory” には従来提供ソリューションを超える革新的なソリューションはまだ生まれていないが、“Industrie4.0” を牽引してきた Siemens は引き続き工場システムと関連ビジネスの革新を目指して取組中である。以下、1. で Siemens の” Smart Factory” モデルである「デジタル・エンタープライズ」を概観し、2. では、Siemens が” Smart Factory” ビジネスで重点を置くソフトウェア・ビジネスを論ずる。

1. デジタル・エンタープライズ

Siemens は引き続き自社工場を実証材料として” Smart Factory” のモデル化に取り組んでおり、その成果に基づき、同時並行でグローバル製造企業に対し” Smart Factory” 化提案を行い、顧客工場の” Smart Factory” 化を引き受けている。

(1) IoT 技術による製造バリュー・チェーン全体最適化

Siemens は第 1 期 (2014~2017 年) に引き続き第 2 期 (2018 年以降) においても、いまだ観念的な所の残る” Smart Factory” の具体化に挑み続けている。

Siemens は” Smart Factory” において、製造バリュー・チェーン全体をデータ統合し、川上・川中・川下のいずれにおいて変化・変動が生じた場合でも混乱することなく、瞬時に製造バリュー・チェーン全体で最適化できるシステムを IoT 技術等により実現し、市場動向に即応した高効率な変種変量生産を可能にすることを考えている。

その背景には、Siemens の EWA 工場が、2010 年代以降、FA 需要と顧客のカスタマイズ要求の加速度的増大に直面し、全世界 60000 社の要求に対応するための年間 5000 回生産計画変更、1200 種類の製品製造に係る毎日 500 回の段取替えを要求されるようになり、もはや生産ラインの自動化、工程集約による生産ラインの短縮など生産ラインをベースないし起点としたカイゼンによる対応のレベルを超えてしまった事実がある。

これでは、設計・開発、生産準備、生産のいずれの段階において微小な変化・変更があっただけで、製造バリュー・チェーン全体に大きな影響が発生するが、どのような影響が発生するかはヒトには予測できず、その変化に対して如何なる対応を取るべきかを判断できない。このため、製造バリュー・チェーン全体への影響、その変化に対する対応を解析・指示するシステムが Siemens では必要となった。

(2) 基幹システム Teamcenter をコアとするデジタル工場・デジタル企業

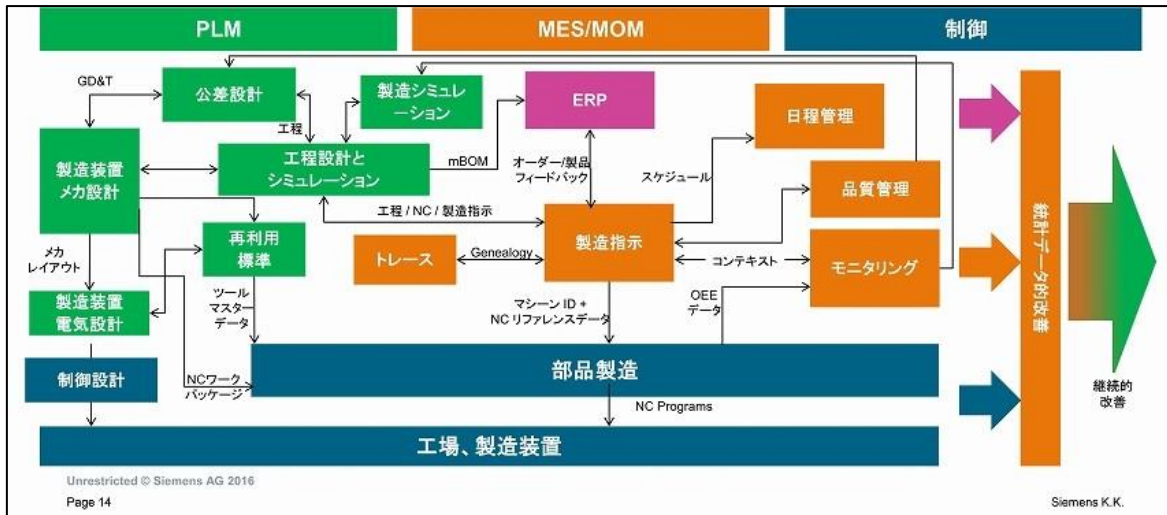
Siemens は「全体工程・製造ラインのデジタル・マニュファクチャリング」化を行い、①デジタル上に再現された工場に、発注情報や仕掛品情報、工程情報等のデータを取り込み、バーチャル環境の中で、投入計画の最適化、在庫の最適化、作業人数の最適化などを検証し生産準備を実施、個別マシン・ヒト及び生産ライン・工場全体の各レベルで生産プロセスを最適化、②最適化された生産プロセスの確定を受けて、MES・PLC システムにアドオンした基幹システム Teamcenter が MES システムを通じて製造現場に製造指示し、マシンは自動的にこの指示データを読み取りオーダーを実行するシステムを構築している。

Siemens のデジタル・マニュファクチャリングの要は基幹システムの Teamcenter であり、顧客発注に応じて生産計画が変更される都度、Teamcenter が設計・開発、生産準備、製造をデータ統合して、発注内容に即応した設計、部品表、生産プロセスを自動的に割り出し、変種変量生産のボトルネックである段取替え、治具交換等にも迅速に対処し、オーダーを瞬時に製造ラインに反映させるとする。また、Teamcenter は MES を介して個別マシンに一方向で指示するのではなく、製造現場からのフィードバ

ック・ループを確保し、製造バリュー・チェーンの川上・川中・川下のいずれからでも最適化に寄与できる仕掛けを用意している。

Siemens は、EWA工場において、生産ラインの自動化、工程集約、搬送装置・周辺装置との組合せ最適化等には取り組んできたものの限界に直面し、2000年代半以降のIoT技術、AI技術等の急激な発展を踏まえ、製造バリュー・チェーン全体のデータ統合と、デジタル・ツインによる開発・設計、生産準備、生産の最適化を Smart Factory として追求するとともに、その成果をビジネス化しようとしている*。

図 Siemens のデジタル・エンタープライズ



(注) Siemens 資料

* Siemens の” Smart Factory” 化ソリューションは、基幹システム Teamcenter によるデジタル・エンタープライズ構築である。

顧客製造企業は、Siemens と同様に、①デジタル上に再現された工場に、発注情報や仕掛品情報、工程情報等のデータを取り込み、バーチャル環境の中で、投入計画の最適化、在庫の最適化、作業人数の最適化などを検証し生産準備を行い、最適化された生産プロセスを個別マシン・ヒト及び生産ライン・工場全体について確定でき、②生産プロセスの確定を受けて、MES・PLCシステムにアドオンした基幹システム Teamcenter がMESシステムを通じて製造現場に製造指示し、マシンが自動的にこの指示データを読み取りオーダーを実行できるようになる。

また、Siemens は、EPR・EMS・PLCの垂直統合された企業ITシステムを補完する製造IoTプラットフォーム Teamcenter をエッジ層に設定し、顧客発注に応じて生産計画が変更される都度、Teamcenter が設計・開発、生産準備、製造をデータ統合して、発注内容に即応した設計、部品表、生産プロセスを自動的に割り出し、変種変量生産のボトルネックである段取替え、治具交換等にも迅速に対処し、オーダーを瞬時に製造ラインに反映させる仕掛けを顧客に提供している。

2. システム構築とソフトウェア提供を柱とするソリューション

(1) グローバル・メガ製造企業向けのシステム構築ソリューション

工場システムはIT部分と物的部分から構成され、工場システム全体としての生産性は両者のコンビネーションにより決定される。ITシステムによる制御だけがIoT技術、AI技術等により高度化されたとしても、生産ラインが非効率なレイアウト、工程、運転管理のままであれば高効率工場は実現できない。

Siemens もそれを理解した上で、敢えて自社の” Smart Factory” ビジネスをITシステム構築に「選択と集中」をしている。少なくとも現時点のSiemensには、生産ラインのレイアウト見直し、工程集約、自動化などによる高効率化を自己の” Smart Factory” ビジネスの範疇には含めていない。同社の「デジタル・エンタープライズ」は、2010年代以降FA需要と顧客のカスタマイズ要求の加速度的増大により、全

世界 60000 社の要求に対応するための年間 5000 回生産計画変更、1200 種類の製品製造に係る毎日 500 回の段取替えを要求された同社 EWA 工場に適合するものであり、自動車・電機部門のグローバル・メガ製造企業のためのプランである感は否めない。

一方、2000 年代中～2010 年代初の生産ラインの IT 管理化に対応して、工作機械メーカーが展開してきた設備稼働状況監視等のソリューションは基本的に中堅・中小顧客向けサービスである。”Smart Factory” ビジネスでも、自力で設備稼働状況監視システム等を構築できるグローバル製造企業ではなく、中堅・中小メーカーが工作機械メーカーの主たる顧客になると考えられる。とすれば、Siemens が展開する”Smart Factory” ビジネスはグローバル・メガ製造企業向けであり、工作機械メーカーには何ら脅威にはならないようにも思われる。

即断する前に、改めて Siemens は”Smart Factory” 化ソリューションを見直してみると、実は、Siemens の顧客工場の”Smart Factory” 化インテグレーションの真の狙いはインテグレーション・ビジネス自体ではなく、アプリケーション・ソフトウェア・ビジネスにある。

(2) Siemens PLM 社をコアとするソフトウェア・ビジネス

平田機工の売上高営業利益率から窺知できるように、システム・インテグレーションは高収益ビジネスではなく、インテグレーション・サービス提供と併せて、高付加価値のソフトウェアなり制御機器なりを販売できる企業のみが高収益を期待できる。Siemens も自社工場の”Smart Factory” 化により得た知見・ノウハウに基づき、製造関連アプリケーション・ソフトウェアを開発し、それを可能な限り広範な企業に販売することを考えており、製造企業のサービス化が一つには製品販売促進を狙いとしているように、Siemens も”Smart Factory” 化ソリューションによりソフトウェア販売促進を狙っている。

Siemens にはソフトウェア専門の子会社として Siemens PLM 社があり、Siemens は Siemens PLM 社の開発した製造関連アプリケーション・ソフトウェア販売をコアとして”Smart Factory” ビジネスを展開しようとしている。製造関連アプリケーション・ソフトウェアと言っても、Siemens は製造企業としての経験・知見・ノウハウを活かして競争優位に立てる分野に注力し、SAP が圧倒的な競争力を誇る ERP 等には手を出さず、ERP・MES システムをアドオンで補完する形で、PLM 製品として PDM (Product Data Management) の Teamcenter を提供し、顧客企業の製造サプライチェーン全体をデータ統合し、「全体工程・製造ラインのデジタル・マニファクチャリング」を可能とするソリューション提供している。

(3) Teamcenter によるデジタル・エンタープライズ

顧客製造企業は、Teamcenter ソフトウェアの導入により、Siemens と同様に、①デジタル上に再現された工場に、発注情報や仕掛品情報、工程情報等のデータを取り込み、バーチャル環境の中で、投入計画の最適化、在庫の最適化、作業人数の最適化などを検証し生産準備を行い、最適化された生産プロセスを個別マシン・ヒト及び生産ライン・工場全体について確定でき、②生産プロセスの確定を受けて、MES・PLC システムにアドオンした基幹システム Teamcenter が MES システムを通じて製造現場に製造指示し、マシンが自動的にこの指示データを読み取りオーダーを実行できるようになる。

また、Siemens は、エッジ層に製造 IoT プラットフォームを構築するサービスも展開しており、このプラットフォームに Teamcenter を実装することにより、企業 IT システムと製造 IoT プラットフォームを連携させ、「顧客発注に応じて生産計画が変更される都度、Teamcenter が設計・開発、生産準備、製造をデータ統合して、発注内容に即応した設計、部品表、生産プロセスを自動的に割り出し、変種変量生産のボトルネックである段取替え、治具交換等にも迅速に対処し、オーダーを瞬時に製造ライ

ンに反映させる」仕掛けを顧客に提供している**。

*** Siemens は、Teamcenter 向けに、生産準備と生産のデジタル・ツインを実現する生産シミュレーション・ソフトウェアである「Plant Simulation™」を提供。顧客企業はコンピュータ上に仮想の工場ラインを構築し、人と物の流れを現実に近い形で再現し、ボトルネック分析や変種変量生産を効率的に行うためのシミュレーションを高速に行えるソリューションを提供している。また、Siemens の製造オペレーション管理 (MOM) ソフトウェア「Opcenter™」を導入すれば、顧客企業は製品設計と関連する製造プロセスを特定し、設計変更が製造プロセス、製造プロセスが設計に与える影響の解析を容易に行い得ようになり、設計・開発、生産準備、生産のスムーズな連携が可能となるとする。

(4) エコ・システムを通じた製造現場向けソフトウェア開発

Siemens は、Teamcenter のような” Smart Factory” のシステム・オペレーティングに係るソフトウェア開発だけでなく、三菱電機等が手掛けているような製造現場レベルでのソリューションについてもソフトウェア化を積極的に進めており、この点で工作機械メーカーとビジネス競合の可能性がある。

具体的には、Siemens は自社開発したEMSのSIMATIC IT UADM も提供しており、SIMATIC IT UADM はERPと連携して、生産管理からの製造指示に基づいて製造実行を行うことに加え、設備稼働状況の「見える化」による工場内の効率化や生産性向上、生産設備や機器に取り付けたセンサなどで稼働状況をリアルタイムにモニタリングし、不具合や異常を検知し、致命的なトラブルが発生する前に対処する予知保全など、工作機械メーカーが「工作機械のネットワーク化」に関連して開発したソリューションを顧客企業に提供している。

さらに、Siemens はかかるソリューション開発を自社単独で進めるのではなく、ユーザ、OT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業に加えて、工作機械、産業機械、積層加工機、制御機器、材料・試薬等各種メーカーなど” Smart Factory” に関心のある企業・団体であれば自由に参加できるネットワークを構築し、エンド・ユーザがSiemens やソフトウェア企業の開発したIoT関連アプリケーションを購入したり、エンド・ユーザとソフトウェア企業がアプリケーションを協働して開発・運用管理したりできる場「MindSphere」を提供している***。

*** MindSphere は、製造バリュー・チェーン全体でのデータ統合は、顧客の導入している設備機械の製造年代・通信方式・制御装置が異なると、設備機械によってはデータ統合できないことから、Siemens はかかる設備機械からのデータをクラウドに上げてTeamcenter 等とつなぐプラットフォームとして開発提供。MindSphere はそこから発展して、エンド・ユーザがSiemens やソフトウェア企業の開発したIoT関連アプリケーションを購入したり、エンド・ユーザとソフトウェア企業がアプリケーションを協働して開発・運用管理したりする場に成長した。Siemens はMindSphere Partner Program により参加者を拡大しようとしており、2019 年末で 200 社超をパートナー化したとする。

MindSphere 上で稼働するアプリケーションは毎年数倍ペースで増加を続けているものの、Siemens はこれに満足しておらず、多くの企業のニーズを公約数として捉えた汎用的なアプリケーションではユーザが他社と差別化しづらく技術の陳腐化という問題も発生するとして、顧客がよりエッジの効いたビジネスやサービスをタイムリーに市場展開できるよう、各ユーザの課題解決に特化したアプリケーションを開発するためのソフトウェア開発キットを提供するとともに、ユーザの個別ニーズに対応したアプリケーションを開発するパートナーを組織化しようとしている。

第7章 工作機械中心ビジネスを堅持するヤマザキマザック ～先進的メーカーの市場誘導型イノベーション停滞～

1. 企業概要

第7章より総合工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新の取組を順次事例研究して行く。第7章ではヤマザキマザックを取り扱うが、同社は1919年に愛知県名古屋市で豊製造機メーカーとして創業後、工作機械部門に進出(旋盤)、戦後、占領軍により工作機械製造を禁止されるが、1950年に再開(高速精密旋盤)。オークマ等の伝統的メーカーが国内市場を支配する中、一早く海外市場に活路を求め、1963年に日本の工作機械メーカー初の対米輸出を行い、1974年には日本メーカー初の米国現地生産に乗り出すなど、生産・販売・サービス三位一体のグローバル展開を積極的に行った。

ヤマザキマザックは非公開会社であるため売上高も非公表であるが、1987年に工作機械メーカー売上高世界第一位を記録し、現在まで首位の座を保っているとされ(Metal Working Insiders' Report)、1970年代初に遡る生産・販売・サービス三位一体のグローバル化はもとより、2000年代に生産ラインFA化がグローバル製造企業の課題となる以前から、IT技術の発達を見越して1980年代よりフレキシブル生産システムを応用した無人化工場に取り組み、1998年にはITを活用して工場内をネットワークする「サイバー・ファクトリー」を提案するなど、いち早く工場の自動化・ネットワーク化を推進するなど、先進的取組を伝統とする工作機械メーカーである。

表 17 2010年代以降のヤマザキマザックの主要な事業成果

			
2013年(平成25年) 山崎馬扎克机床(遼寧)有限公司 工場稼働	2013年(平成25年) 英国チャールズ皇太子ヤマザキマザック U.K.LTD(英国会社)ご訪問	2014年(平成26年) 金属3Dプリンタと融合したハイブリッド複合加工機 "INTEGREX i-AMシリーズ"完成	2014,15年(平成26,27年) 新CNC装置 MAZATROL SMOOTHX,SMOOTHG,SMOOTHG完成
			
2016年(平成28年) 瀬戸内テクノロジーセンタ開設	2016年(平成28年) 中国パーツセンタ開設	2016年(平成28年) ハイブリッド複合加工機 VARIAXIS j-600 AM完成	2017年(平成29年) 大口製作所「Mazak iSMART Factory™」稼働



（出所）ヤマザキマザック社ホームページ

2. 第1期(2014~2017年)の他社に先行した”Smart Factory”実証

第6章3(2)で工作機械メーカーの初期取組の代表例として示したが、ヤマザキマザックは2014年以降一早く大口製作所をモデルに”Smart Factory”実証に取り組み、2017年に成果を”Mazak iSMART Factory”としてコンセプト化、「工作機械メーカー版”Smart Factory”」へのロードマップも公表している(前掲表15参照)。

2010年代初、”Smart Factory”は基本機能やシステム構成も具体化しておらず、多くの製造企業が”Smart Factory”化について「途方に暮れる」中、ヤマザキマザックのロードマップは、製造企業が如何に”Smart Factory”に取り組むべきかを示す「羅針盤」の一つとなった。ヤマザキマザックはそのロードマップに沿って第一段階「製造システムのオープン・ネットワーク化」、第二段階「製造ビックデータの分析

と生産改善」に取り組み、自社工場の機械・設備をIoT化してネットワーク接続し製造関連データを収集できるシステムを構築、製造関連データに基づき生産ラインの設備稼働状況等を「見える化」、これらと加工精度・製品品質等のデータ、機械・設備の保全データ等と突合して、生産性向上と製品品質向上に向けたカイゼンを実施するなど、他社に先駆けて自社工場の” Smart Factory” 化を進めた(第6章3(2)参照)。

表 15 “Mazak iSMART Factory”のロードマップ(再掲)

第1段階	製造システムのオープンネットワーク化	<ul style="list-style-type: none"> ●機械・装置をネットワーク接続しデータ収集 ●通信規格としてMTコネクト(MTConnect 協会が定めた最有力な工作機械用通信プロトコル)を採用 ●ネットワーク接続時のサイバー・セキュリティ確保のため MAZAK SMART BOX™を開発(クラウドにデータ収集する前に必要情報だけを収集、外部の不正アクセスを防止) ●同 SMART BOX 導入によりメーカーやモデルの新旧を問わず工場全体の設備機器の情報を一元的に取得可能
第2段階	製造ビッグデータの分析と生産改善	<ul style="list-style-type: none"> ●第1段階で収集したデータを分析、生産性や品質を向上させる取組を実施 ●MAZAK SMART BOX™とMTコネクトで収集したデータをビッグデータ化し一元管理、生産設備毎に各工程の問題点を可視化 ●工作物の精度結果及び品質に関するデータと、MAZAK SMART BOX™とMTコネクトで収集した機械・装置の保全データ等を凸合して分析 ●製造システムの各部門に分析結果を生産性改善、製品の品質向上のヒントとしてフィードバックし、生産性向上と製品品質向上に活用 ●移動監視、分析ソフト(SMOOTH MONITOR Ax)開発
第3段階	システム連携による分析・最適化	<ul style="list-style-type: none"> ●ドイツの” Smart Factory” はERP・MES・PLCを垂直統合した企業情報システムで生産ラインを制御し「カイゼン」を行うことを企図 ●将来のその実現に向けた準備として、基幹システム、製造実行システムなどを連携させてシステム間で高度な分析を行い、各工程や工場全体を最適化 ●大口製作所ではERP基幹システムを導入、生産実行システムや自動化物流システムと接続・連携(計画層と実行層・制御層を垂直統合した企業情報システムによる機動的な変種変量生産の実現に向けた一歩)
第4段階	熟練工ノウハウのAI化、システム連携の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ●先進国共通の熟練工不足と変種変量生産による作業複雑化に対応、経験の乏しい作業でも使える設備、ボタンを押すだけで生産可能な自動化機械・自動化システムへのニーズに応えるべく、加工ノウハウ・生産ノウハウをソフトウェア化し「工場実装」 ●大口製作所では、機械加工の切削条件をAI技術とビッグデータで最適化するソフトウェア開発に取組中 ●機械・装置より収集したデータをクラウド上でリアルタイムに収集・分析、解析結果に基づき生産ラインを最適制御するCPSを実現(CPS技術の開発待ち)
第5段階	AI・適応制御で自律的に進化し続ける工場	

(出所)ヤマザキマザック資料等より筆者作成

ヤマザキマザックの” Smart Factory” 実証は、次世代製造システムの本質を明らか

にし、工作機械及び工作機械システムを次世代の製造ニーズに最適化するためのものだったが、第2期(2018年以降)も同社は”Smart Factory”実証の手を緩めず、2019年以降、ヤマザキマザックは第3段階と第4段階の課題に並行して取り組んでいる(同社は自社取組を第3段階と第4段階の間にあるものとして「第3.5段階」と評価)¹⁰⁷。

第3段階では、企業ITシステムとの連携による各工程・工場全体の最適化、第4段階では、熟練工のノウハウのAI化がテーマ。大口製作所では約200機種を年間1200台受注生産しており、フロアは3工程(部品加工、モジュール組立、製品組立)に分かれ、従来、生産管理部門の熟練者が工程毎に生産スケジュールを作成・管理していたが(月産100台程度だと人手で辛うじて対処できる)、ヤマザキマザックは熟練者に代替して生産スケジュールを作成できるスケジューラ(upper MES)を開発、3工程のスケジューラを連携させ、生産優先順位変更、山積み・山崩しによる在庫最適化などに対応して生産ライン全体を最適化するシステムを構築した。

これによりヤマザキマザックは、市場からの「引き(pull)」に即応できる、柔軟なマス・カスタマイゼーションを実現した(間接工数50%減、仕掛り在庫30%減、生産リードタイム30%減に成功)としており、今後、加工・生産ノウハウのソフトウェア化と工場実装を推し進め、更には(CPS関連技術の進歩具合にもよるが)CPSによる工場制御も実現し「制御層においてIoT技術によりリアルタイムで収集された大量のデータを、実行層でAI解析することで製造ラインを最適制御する」としている¹⁰⁸。

3. 第1期(2014~2017年)末以降のビジネス革新の停滞 ～伝統的な製品中心ビジネスへの回帰～

2. 及び第6章3(2)で見たとおり、ヤマザキマザックは他社に先駆けて自社工場での”Smart Factory”実証に取り組み、第1期のOT、IT、企業システム、クラウド企業等による”Smart Factory”の具体化と並行して、自社で「工作機械メーカー版”Smart Factory”」を構築した。

工作機械メーカーは”Smart Factory”を契機として、コモディティ化等の問題に直面していた工作機械ビジネスの革新に進むが、ヤマザキマザックはこのように工作機械ビジネス革新に最も近い位置にいたにもかかわらず、第1期末以降、”Smart Factory”に関連したソリューションのビジネス化には慎重なアプローチを採る。

同社は、工作機械及び工作機械システムのIoT化と、工作機械向け製造関連アプリケーションの開発・提供に専念したが、オークマ、DMG森精機のように工場生産高効率化ソリューションの本格ビジネス化には乗り出さず、2000年代末以降生産ラインFA化に対応してソリューション提供していた自動化等に絞った展開を行っている。

¹⁰⁷ ヤマザキマザック訪問取材(2017年11月15日)。

¹⁰⁸ NetOne インダストリアル IoT セミナー(2018年8月28日)。

(1)2010年代に工作機械メーカーの直面した課題への対応

①1990年代以降の工作機械メーカーの課題¹⁰⁹

“Smart Factory”が次世代製造システム標準となると、従来は独立事業領域であった生産ライン(物的部分)と企業ITシステムのインテグレーションが一体化し製造システムの付加価値が物的サイドからITサイドにシフトする可能性がある。2010年代の工作機械メーカーによる“Smart Factory”対応はかかる危機感からスタートしたが、“Smart Factory”が工作機械メーカーの唯一の課題であったわけではない。

1990年代以降、工作機械メーカーは工作機械のコモディティ化に直面し、バブル崩壊後の内需低迷により業績不振が長期化しただけでなく、1980年代以降の持続的円高による価格競争力沈下は国内市場に代わる海外市場開拓にも不利に働いた。2000年代、工作機械メーカーは戦前期からのブランド企業だった池貝製作所、日立精機等の倒産など深刻な経営危機を迎える。こうした中、工作機械メーカーは1990年代に引き続き2000年代も高付加価値セグメント・シフトとグローバル生産による海外市場開拓により需要を確保し経営苦境を凌いできた。

2010年代、“Smart Factory”が次世代製造システムとして登場してきた時点でも、工作機械メーカーは引き続きコモディティ化と価格競争力の低下に起因する経営危機に直面しており、高付加価値セグメント・シフト及びグローバル生産体制構築による海外市場開拓が企業存続上の急務であった。このため、第1期(2014~2017年)時点の工作機械メーカーには新規課題に対応する余力に乏しく、“Smart Factory”関連の取組は、工作機械及び工作機械システムのIoT化、将来の工作機械ビジネスの在り方の検討に止まった。

ただし、工作機械メーカーは“Smart Factory”というパラダイム・シフトに遭遇する中で工作機械ビジネス革新の必要性は認識しており、2010年代、中国の工作機械需要が高度経済成長により急成長を続けたお蔭で収益回復すると、その余力を以て工作機械ビジネス革新に乗り出す。

②工作機械の経営危機を巧みに乗り越えたヤマザキマザック

ヤマザキマザックは1970年代の米国進出以来、海外市場開拓を重視して生産・販売・サービスの三位一体のグローバル化を基本方針としてきたが、1990年代以降の工作機械のコモディティ化と円高による価格競争力による苦境の中でも、工作機械メーカーの中で唯一日米欧アの4極生産体制の構築に成功し、海外市場で標準機から高付加価値機に及ぶ広範な市場セグメントを抑えることに成功した¹¹⁰。

¹⁰⁹ 日本工作機械工業会(2012)

¹¹⁰ 榎本(2018)、水門(2008)、水野(1990)

また、工作機械メーカーの多くが工作機械の性能を決定するNC装置及び関連ソフトウェアを三菱電機、Fanucに依存しているのに対し、ヤマザキマザックは早い段階でNC装置及び関連ソフトウェアの内製化に成功し、また、欧米メーカーが先行していた複合加工機・マシニングセンタの開発にも先鞭をつけるなど高い技術力を有したが、ヤマザキマザックは技術力を活かして、高付加価値セグメント顧客の獲得・維持についても高いパフォーマンスを示し、2000年以降、ソリューション・ビジネスを他社に先駆けてスタートし高付加価値機の大口顧客の確保にも着手していた。

その結果、オークマ等がグローバル生産体制の構築に苦戦し、2000年代中には経営破綻の危機にまで至ったのとは対照的に、ヤマザキマザックは、工作機械のコモディティ化と円高による価格競争力低下の問題を乗り越えることに成功する¹¹¹。第1期(2014～2017年)前半、工作機械メーカーは自社工場での”Smart Factory”実証を通じて、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化の可能性を認識し、第1期末以降そのビジネス化に取り組んだが、工作機械メーカーが直面した課題を一早く克服していたヤマザキマザックは工場生産高効率化ソリューションのビジネス化の成功に最も近い位置にいた。

(2) 第1期(2014～2017年)後半以降の”Smart Factory”ビジネスへのトライ

① 工作機械及び工作機械システムのIoT化

(a) ”Smart Factory”実証の成果

ヤマザキマザックは自社工場における”Smart Factory”化に取り組み、その成果を活かして、まずは、工作機械メーカーとして”Smart Factory”対応において必要最小限求められる工作機械及び工作機械システムのIoT化を行う。

”Smart Factory”は企業ITシステムによる生産ライン制御と製造関連ビックデータのAI解析によるカイゼン自律化を柱とするが、そのためには、生産ラインを構成する機械・設備をネットワークに接続し製造関連データをリアルタイム取得できる仕掛けを施さなければならず、また、PLC等制御装置を介して機械・設備を企業ITシステムの指示に従って統合稼働できるように手当しておかなければならない。

ヤマザキマザックは2015年にCisco Systemsと共同でNC工作機械とIoT対応の設備機器との通信環境を提供するネットワーク・スイッチ(Mazak SMART BOX)を開発。Mazak SMART BOXでは、工作機械用オープン通信規格のMT Connectを採用し、同規格に対応した設備機器であればメーカー、モデルの新旧を問わず稼働状況等のデータを収集して工場全体での一元管理を可能とした¹¹²。

また、ヤマザキマザックは、Mazak SMART BOXにより生産ラインを構成する機械・

¹¹¹ 榎本(2018)

¹¹² Monoist2016年11月30日付記事(工場をスマート化する“箱”、MT Connectで安全に接続)

設備をネットワーク接続するだけでなく、Mazak SMART BOX をエッジ層に接続して、企業 IT システムや製造 IoT プラットフォームとの接続部の役目も担わせることとした。ユーザ製造企業は、Mazak SMART BOX を介して、工場オフィスで作成した加エプログラムを工作機械に送信したり、工作機械のバックアップ・データを工場オフィスの PC に転送・保存でき、さらには、工場内だけでなく、遠隔地から生産設備・機器にリモート・アクセスしたり、世界中の工場のデータを一元管理することも可能となった¹¹³。

図 20 ヤマザキマザックの工場オープン・ネットワーク化(再掲)



(出所)ヤマザキマザック資料

(b) 「製造システムのオープン・ネットワーク化」ソリューション

ヤマザキマザックはこの成果を第 1 期後半にソリューション・ビジネス化する。

Mazak SMART BOX を顧客工場の設備・機器に装着し、MTコネクに対応した設備機器であればメーカー、モデルの新旧を問わず製造関連データを収集して工場全体での一元管理を可能とするプランを開発し、顧客提供をスタート。また、社内基幹システムと Mazak SMART BOX を接続することで、顧客がインターネットを通じヤマザキマザック等外部ソフトウェア開発者より購入・調達した加エプログラムを工作機械に送信してインストールしたり、工作機械のバックアップ・データを企業サーバーやクラウド等に転送したりできる機能も持たせ、工場内ネットワークだけで完結せず、インターネット、クラウドにも接続できるサービスにも取り組んだ¹¹⁴。

②” Smart Factory” ビジネス立上げに向けた障壁

ヤマザキマザックは” Smart Factory” 関連ビジネスの立上げにおいて様々な問題に直面するが、それらは 2000 年以降のソリューション・ビジネスにおいて未決のま

¹¹³ 前掲 Monoist 2016 年 11 月 30 日付記事

¹¹⁴ ヤマザキマザック 2017 年 11 月 15 日付ヒアリング

ま残されてきた問題であった。

(a) 2000 年以降のソリューション・ビジネスの問題

2000 年以降、ヤマザキマザックは他社に先駆けてソリューション・ビジネスに取り組み、顧客ニーズをコンサルテーションで把握した上で、最適化されたセル生産ユニットなど生産ライン(物的部分)を考案・設計し、所要の工作機械等を一式調達した上で、システムに組み立てて納入する(ライン・ビルド)、“DONE IN ONE”事業を立ち上げている。

ソリューション・ビジネスの顧客は、自動車部門等のグローバル製造事業であり、自社製造技術部門が生産ラインの設計・建設・管理について基本的に責任を負い対応していたことから、“DONE IN ONE”事業が受け皿となることを想定した、生産ラインのインテグレーションのアウトソースは限られ、自動車・航空機・資源部門等の高付加価値機の大口顧客のみを相手としていたのでは、市場がそもそも限定的である“DONE IN ONE”はビジネスとして成長できなかった。

このためヤマザキマザックは“DONE IN ONE”事業の市場開拓に挑戦するが、基本的に間接販売制により販売・サービスを機械商社等代理店に依存する体制では、同社営業部門が(重要顧客であるが故に直接販売制を敷いた)自動車・航空機など高付加価値機の大口顧客を相手とした販売・サービスを行う傍らで、新規に“DONE IN ONE”顧客の開拓やソリューション提供を兼務することは難しかった¹¹⁵。

(b) “Smart Factory” 関連ソリューションの問題

“Smart Factory” に関しても、ヤマザキマザックは自社工場での実証の成果に基づき、「工作機械版“Smart Factory”」像を“Mazak iSMART Factory”としてまとめ、「製造システムのオープン・ネットワーク化」「製造ビッグデータの解析と生産カイゼン」の2段階に関する成果をソリューション化した。

「最新のIoT技術を活用して工場内の全生産活動をデジタル・データ化し、可視化・分析による改善や基幹システムとのデータ連携、AI技術の応用等によって、生産の自律的な最適化を行う『高度なデジタル製造の実現』」を顧客に提供するとして、ヤマザキマザックは従来のFA化された工作機械システムの提供に加えて、AIによる最適制御を組み込んだ工作機械システムを生産ラインにインテグレーションするサービスを開始する。

ここでも、2000年代の“DONE IN ONE”と同じく、ヤマザキマザックは顧客開拓の問題に直面する。“Smart Factory”関連ソリューションの顧客はやはり自動車部門等のグローバル製造事業であり、彼等は自社製造技術部門が生産ラインの設計・建設・管理について基本的に責任を負って対処しており、“Smart Factory”関連ソリ

¹¹⁵ 榎本(2017, 2021a)

ューション事業が受け皿となることを期待している、生産ラインの” Smart Factory” 化のアウトソースは限られた。したがって、自動車・航空機・資源部門等の高付加価値機の大口顧客のみを相手としていたのでは、” Smart Factory” 関連ソリューション市場はそもそも限定的であり、ビジネス成長を期待できない。

このため、工作機械メーカーは伝統的に間接販売制を採り、製品の販売・サービスは機械商社等代理店に委託しているが、工作機械メーカーが” Smart Factory” ソリューション提供に携わり、顧客開拓と顧客との長期的な協働関係の構築に取り組む必要があった。特に、” Smart Factory” 関連ソリューションのようにドミナント・デザインが確立していない、日進月歩で改善・進化していくソリューションについては、代理店に取扱いを完全に任せてしまうことはできず、工作機械メーカー自らがソリューション提供に携わる必要が強かった。

(c) 限られた経営資源におけるソリューション実施体制整備の困難

工作機械メーカーは自動車・電機メーカーと比較すれば、グローバル総合工作機械メーカーといえども企業規模・経営資源ともに限られ、” Smart Factory” が工作機械ビジネスの在り方を一変させてしまうパラダイム・シフトであると認識していても、コア・ビジネスである工作機械及び工作機械システムの開発製造から人的資源等を引き剥がして、現時点では事業化可能性及び収益性について未知数である” Smart Factory” 関連ソリューションに投入することは難しい。

ヤマザキマザックは 2000 年代のソリューション・ビジネスにおいても、各地域に設置され顧客と技術相談等を行うテクニカルセンタを活用し、(工作機械及び工作機械システムの販売・サービスを専門とするが故に、本業外である)ソリューションに関する技術・知識が必ずしも十分ではない営業部門が、それぞれの地域のテクニカルセンタと連携を取りつつ顧客と継続的にコンタクト、ケースに応じてテクニカルセンタが主体となった顧客ニーズを把握、顧客ニーズに最適化された工作機械・同システムをソリューションとして開発提供する体制を採った¹¹⁶。

あくまでもヤマザキマザックのコア・ビジネスは工作機械及び工作機械システムの開発製造であり、ソリューション・ビジネスは補完的業務であるとの位置づけの下に、ソリューション・ビジネスを主管し、責任を以て事業としての成長を図る組織がないまま、営業部門とテクニカルセンタ等技術部門の連携により、ビジネス処理を行おうとした。ソリューション・ビジネスは自動車・航空機・資源部門の高付加価値機の大口顧客を相手とするもので、顧客数は限定的であり、かつ、顧客自ら生産ライン高効率化等を実行できる存在であったため、ソリューション提供側のソリューション実施体制が弱体であっても大過なくビジネス処理することができた。

¹¹⁶ NetOne インダストリアル IoT セミナー(2018 年 8 月 28 日)。

しかしながら、“Smart Factory” 関連ソリューションでは、高付加価値機の大口顧客ではなく、従来取引関係のなかった顧客層の開拓が求められており、営業部門が高付加価値機の大口顧客を相手とする工作機械及び工作機械システムの販売・サービスの傍らで兼務できる業務ではなく、加えて、“Smart Factory” 関連ソリューションのように日進月歩で改善・進化していくソリューションについては、事業責任主体が明確にされないまま、営業部門とテクニカルセンタ等の協業でビジネス処理を続けて行くことは難しかった。

(d) ヤマザキマザックに迫られた選択

ここでヤマザキマザックは2つの選択肢からの選択を迫られる。

一つには、“Smart Factory” 関連ソリューションを本格的ビジネスとするべく、営業部門とテクニカルセンタの連携という無責任体制に代わり、“Smart Factory” 関連ソリューション事業を専門とし事業責任を負う組織を設立し、従来の自動車・航空機等の高付加価値機の大口顧客に限らず、広範な製造分野から顧客開拓を行い、顧客工場の“Smart Factory” 化に顧客と協働して取り組む。

あるいは、工作機械及び工作機械システムの開発製造がコア・ビジネスである以上、限られた経営資源をソリューションに提供することはできず、顧客工場の“Smart Factory” 化については、その「部品」にあたるIoT化された工作機械及び工作機械システムを提供するに止め、一部顧客から、IoT化された工作機械及び工作機械システムを用いて、生産ラインの“Smart Factory” 化を求められたならば、2000年以降のソリューション・ビジネスと同様に、自社の対応能力の範囲において、限られた顧客を相手として“Smart Factory” 関連ソリューションを提供する。

前者の選択は“Smart Factory” 関連ソリューションのビジネス化の正攻法であるが、将来的に、OT、IT、企業システム企業など“Smart Factory” のITシステムのインテグレーションをビジネスとする企業と競合する事業分野である。OT企業等はヤマザキマザックの提供する制御層レベル(生産ライン)のネットワーク化だけでなく、ERP・MES・PLCを垂直統合した企業ITシステムと製造関連IoTプラットフォームの構築を含めて、“Smart Factory” 全体をデザインインテグレーションしてくれると想定されるため、ヤマザキマザックのソリューションがOT企業等に勝てるかは不確実であった。

また、“Service Paradox” など製造企業のサービス化は巨額の事業投資を要する割に収益性が低く、ITシステム・インテグレーション等の事業収益は極めて低いところ、工作機械及び工作機械システムの開発製造という本業に加えて、手間暇がかかり人的資源の相当程度の投入も必要であるにもかかわらず、低収益な“Smart Factory” 関連ソリューション・ビジネスに本格参入する理由が明確ではなかった。工作機械ビジネスと“Smart Factory” ソリューションは何かシナジー効果があるの

か。両者を一つのものに纏め上げるビジネス・モデルはあるのか。この点、ヤマザキマザックにとり、両者のシナジー効果は必ずしも明確ではなかった。

Wise and Baumgartner (1999) が想定したように、製造企業がサービス化を通じて顧客の事業プロセスに関与し、顧客と協働して顧客の抱える課題を解決する過程で、新たなニーズを発見・認識し、協働作業で獲得した知見・ノウハウを活用して製品イノベーションを起こすような相関関係が、工作機械及び工作機械システムの開発製造と” Smart Factory” 関連ソリューション・ビジネスの間に成り立ち得るのかに関する判断がヤマザキマザックの選択において重要なものとなったが、ソリューションをオークマやDMG森精機のように工場生産高効率化と広く捉えず、限定的に” Smart Factory” 化ソリューションと捉えたことから、ヤマザキマザックはソリューションと製品イノベーションとの相関関係を認めることが難しくなった。

(3) ヤマザキマザックの選択

① 伝統的な工作機械中心ビジネスの継続

ヤマザキマザックは” Smart Factory” 実証こそ他社に先駆け「工作機械メーカー版” Smart Factory”」のコンセプト化にも一早く成果を挙げたが、工作機械ビジネス革新の点では保守的であり、引き続き伝統的な工作機械中心ビジネスを堅持する選択を行った(製造企業のサービス化が一つの経営戦略である以上、これは一つの立派な経営判断であるが、” Smart Factory” が製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのチャンスをもたらすものであるならば機会を逸失することとなる)。

ヤマザキマザックは、企業ITシステムによる生産ライン制御等に対応して、工作機械及び工作機械システムのIoT化を行い、自社工場の” Smart Factory” 化を考える顧客メーカーに対して、IoT化された工作機械及び工作機械システムを” Smart Factory” の構成パーツとして供給。一方、顧客工場へのIoT化された同工作機械及び工作機械システムのインテグレーションについては限定的な取組に止めている¹¹⁷。

② ” Smart Factory” に焦点を絞った見直し

(a) 当初の出発点

工作機械メーカーは、2010年代初に” Smart Factory” がドイツにより次世代製造システムとして提言されると、” Smart Factory” の基本機能・システム構成が白紙状態であったにもかかわらず、製造システムのパラダイム・シフトに取り残されることを懼れて工作機械ビジネスの刷新に乗り出した。第1期(2014~2017年)はOT、IT、企業システム企業等により” Smart Factory” の具体化が行われたが、ヤマザキマザックも同期前半に積極的に” Smart Factory” 実証に取り組み、OT企業等と同

¹¹⁷ ヤマザキマザック訪問取材(2017年11月15日)

時並行で” Smart Factory” の具体化に取り組んだ。

そもそもヤマザキマザックは 2000 年代半以降の生産ライン F A 化に対応したソリューション・ビジネスにおいて、F A 化に最適化した工作機械及び工作機械システムの開発製造と顧客工場の F A 化ソリューションをリンクし、自社の F A 化に最適化した工作機械及び工作機械システムを活用して顧客工場の F A 化を請け負い、その過程で発見した新規ニーズに基づき工作機械及び工作機械システムを開発する、市場誘導型イノベーションの可能性を認めていたが、” Smart Factory” に関しても、当初、かかる工作機械及び工作機械システムの開発製造とソリューション・ビジネスのリンクができないかを模索していた。

同社が製造革新に関して 1980 年代以降一貫して積極的な先進的企業であり続け¹¹⁸、” Smart Factory” に関しても自社工場をモデルとした実証でライバル他社に先行してきたことを踏まえると、工作機械ビジネスそのものを見直す動きには乏しい点には意外の感がある。

(b) ” Smart Factory” の文脈に限定された工作機械ビジネス見直し

現在、ヤマザキマザックが伝統的な工作機械中心ビジネスを堅持し、2000 年代半の生産ライン F A 化において構想した、製造事業とサービスのリンクとサービス化を通じた市場誘導型イノベーションについてトライしようとしなないのは、同社の ” Smart Factory” へのアプローチが真摯過ぎて、” Smart Factory” の分脈から自由に離れられなくなっているためではないだろうか。

” Smart Factory” が製造システムをどのように変えるのか、” Smart Factory” 化が工作機械及び工作機械システムにどのような影響を与えるのか、工作機械メーカーは ” Smart Factory” において何をビジネスとするのか等々は、工作機械ビジネスと ” Smart Factory” の関係を検討する工作機械メーカーにとっては当然の質問ではあるが、これらの観点からのみ工作機械ビジネス革新を行う場合、果たしてイノベティブなアイデアは出てくるだろうか。

” Smart Factory” の次世代製造システム標準化に対し、製造企業で関心のない社はおよそ存在しないであろうが、ドイツの中堅・中小メーカーの多くが ” Smart Factory” の目的とする変種変量生産の極限化は Siemens 等グローバル・メガ・サプライヤーにのみ妥当すると回答しているように、製造企業の製造課題は ” Smart Factory” に尽きない。顧客メーカーは工場生産高効率化に関心を有してお

¹¹⁸ Monoist 2014 年 12 月 9 日付記事(ヤマザキマザック、大口製作所に最先端の次世代工場向けシステムを導入)、2017 年 6 月 6 日付記事(2つの生産拠点をデジタル統合、スマートファクトリー化で生産性を 1.5 倍へ)、2021 年 3 月 31 日(ヤマザキマザックとシスコが挑むスマート工場化、生産革新とカーボンニュートラル実現へ)等、ヤマザキマザックは工作機械メーカーの中でも先進的な企業として認められてきた。

り、“Smart Factory”はそのための一手段に過ぎない。

前掲図9に示したように、工場生産高効率化は工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等生産ライン改革、“Smart Factory”化など多様なプログラムが存在し、これらを組み合わせることで個別工場に最適な生産高効率化プランができる。ヤマザキマザックの“Smart Factory”検討は“Smart Factory”の文脈に限定されており、確かに“Smart Factory”に対する工作機械メーカーの対応の検討としては間違いではないが、元々の検討の趣旨は工作機械ビジネスの在り方の見直しであるから、工作機械メーカーが“Smart Factory”の文脈において何ができるかのみを問うと、視野狭隘に陥る危険がなかっただろうか。

(c) 最小限に止まった工作機械ビジネス見直し

ヤマザキマザックの“Smart Factory”の文脈に限定されたアプローチの結果、工作機械メーカーが“Smart Factory”化に関して関与できるのは、工作機械及び工作機械システムのIoT化と、企業ITシステム・製造関連IoTプラットフォーム等の構築など大規模投資をせずに生産ラインをIT制御化する場合の「製造システムのオープン・ネットワーク化」に尽き、基本的には、“Smart Factory”の基幹部品であるIoT化された工作機械及び工作機械システムの開発供給という結論となる。

生産ラインFA化への対応において、ヤマザキマザックは、顧客の生産ラインのIT管理化に関与することで、潜在的ニーズを認識・発見し、顧客との協働を通じて得た知見・ノウハウを製品開発に活用して、製品イノベーションを実現する可能性を認識していたが、“Smart Factory”において、ヤマザキマザックは伝統的な工作機械中心ビジネスを崩せず、生産ラインのIT管理化(生産ラインFA化)と同じく工作機械及び工作機械システムの製造開発に軸足を置き続けることとなった¹¹⁹。

確かに、ヤマザキマザックも、顧客工場の生産高効率化の文脈から工作機械ビジネ

¹¹⁹ 近年、生産ラインのシステム・インテグレーションがライン・ビルダー等にアウトソースされるようになったものの、本来、顧客工場の生産効率は顧客のメーカーとしての競争力に関わる問題であることから、顧客工場の生産高効率化は本来的には製造事業者である顧客が対処すべき問題である。かかる考えに立てば、工作機械メーカーとしてのヤマザキマザックができるのは、顧客工場の生産高効率化に資する(顧客工場の部品ないしパーツである)工作機械及び工作機械システムの開発提供であるとするのは極めて自然であり、“Smart Factory”化への対応で、工作機械及び工作機械システムのIoT化に専心するのは当然ということになる近年、生産ラインのシステム・インテグレーションがライン・ビルダー等にアウトソースされるようになったものの、本来、顧客工場の生産効率は顧客のメーカーとしての競争力に関わる問題であることから、顧客工場の生産高効率化は本来的には製造事業者である顧客が対処すべき問題である。かかる考えに立てば、工作機械メーカーとしてのヤマザキマザックができるのは、顧客工場の生産高効率化に資する(顧客工場の部品ないしパーツである)工作機械及び工作機械システムの開発提供であるとするのは極めて自然であり、“Smart Factory”化への対応で、工作機械及び工作機械システムのIoT化に専心するのは当然ということになる

スをまったく考えていなかったわけではなく、2000年代半以降の生産ラインFA化の延長にある取組として、生産ラインの自動化及び工程集約にフォーカスした取組を行っている。すなわち自動化機の開発提供、複数工程を集約した複合加工機の開発提供など、顧客が自社工場の生産高効率化を自動化・工程集約の観点から図る上で役立つマシンの開発・供給に取り組むとともに、顧客からの自動化、工程集約に関する相談を受けて、自社製品を用いて自動化、工程集約を如何に行うかをコンサルティングし、顧客ニーズに最適化された自動化機、複合加工機を提供した。

図 21 ヤマザキマザックの複合加工機製品

複合加工機 6~12インチ		複合加工機10~18インチ ミル主軸40番、50番クラス選択可	
	<p>INTEGREX i-H</p> <p>同時5軸制御</p> <p>標準主軸：HSK-A63</p> <p>最大加工径×長：Φ600×590 mm ~ Φ670×2500 mm</p>		<p>INTEGREX i-500</p> <p>同時5軸制御</p> <p>標準主軸：HSK-A63, HSK-T100</p> <p>最大加工径×長：Φ700×3082 mm</p>
	<p>INTEGREX i-150</p> <p>最小の同時5軸制御 心間300U 医療業界に好評</p> <p>標準主軸：HSK-A63</p> <p>最大加工径×長：Φ340×385 mm</p>	複合加工機15~40インチ (横形)	
	<p>INTEGREX j</p> <p>同時4軸制御 エントリーモデル</p> <p>標準主軸：HSK-A63</p> <p>最大加工径×長：Φ500×500 ~ 1165 mm</p>		<p>INTEGREX e-H</p> <p>同時5軸 長尺大径ワーク対応</p> <p>標準主軸：BT50</p> <p>最大加工径×長：Φ820×1512 mm ~ Φ1300×8219 mm</p>
複合加工機 チャックΦ610~Φ2500 (立形)			
	<p>INTEGREX i-V</p> <p>立形 同時5軸 大型ワーク対応</p> <p>標準主軸：BT50 (500VのみBT40)</p> <p>最大加工径×高：Φ730×1000 mm ~ Φ1700×1665 mm</p>		
	<p>INTEGREX e-V</p> <p>門形 同時5軸制御 大型ワーク対応</p> <p>標準主軸：BT50</p> <p>最大加工径×高：Φ1450×1600 mm ~ Φ3500×1800 mm</p>	ハイブリッド 複合加工機	
	<p>INTEGREX e-RAMTEC</p> <p>門形 同時5軸制御 ラム主軸付 内径深穴加工対応</p> <p>標準主軸：BT50</p> <p>最大加工径×高：Φ1250×1500 mm ~ Φ2350×1800 mm</p>		<p>INTEGREX AG</p> <p>ギア加工機能と計測機能の融合</p> <p>全6機種</p> <p>スカイピング・ホブ・エンドミルによるギア加工</p>

(出所)ヤマザキマザック資料

ただし、これは自動化機、複合加工機の販売に伴う顧客サービスの一環であり、Wiseman and Baumgartner (1999)が” Go downstream” で想定したように、製造企業が「受け身」ではなく、サービス提供を武器として、意図的に顧客の工場インテグレーションに関与し、顧客と協働して長期継続的に工場生産高効率化に取り組むことで、

新たな製品ニーズを発見し、製品イノベーションにつなげようというものではない。

如何なる製品イノベーションも市場ニーズから出発する必要があるが、ヤマザキマザックも、従前からの自動車・航空機部門など高付加価値セグメントの大口顧客向けに工作機械及び工作機械システムを開発・製造・納品するビジネス過程で、新たにニーズを発見・認識し、製品開発につなげている。ただし、大口顧客では、自社生産技術部門が自動化、工程集約などの工場生産高効率化に取り組み、その必要に応じて工作機械メーカーから最適マシンを調達したり、自動化機・複合加工機の開発を打診したりしており、ヤマザキマザックが製品イノベーションを意図して、顧客メーカーからサービス提供を通じて新規ニーズを把握しようとしているわけではない。

あくまでも顧客が自社工場向け生産高効率化ソリューションを工夫し考案する主体であり、ヤマザキマザックは顧客の工場生産高効率化ソリューションの開発そのものにはコミットメントせず、ソリューションにおいて役立つ工作機械及び工作機械システムの開発供給により、顧客工場の生産高効率化に寄与しようとしている¹²⁰。

③” Smart Factory” 関連ビジネスのアウトソース

伝統的な工作機械中心ビジネスへの回帰は、” Smart Factory” 関連ビジネスの実施を外部インテグレータにアウトソースすることに繋がったのか、あるいは、外部インテグレータにアウトソースしなければならないほど経営資源が不足しており、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションを断念し、伝統的な工作機械中心ビジネスに回帰したのか。これは「鶏と卵」に似た議論でもあり、双方の見方ともに真実を衝いているとも考えらる。他の工作機械メーカーが工場生産高効率化ソリューションをビジネス化し、同ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに挑んだ第2期(2018年以降)に、ヤマザキマザックはいずれにしても” Smart Factory” 関連ソリューションのビジネス化を断念し、外部インテグレータにアウトソースしてしまう。

(a) 人的資源制約による外部ソリューション・プロバイダ活用

第1期後半以降、ライバル企業のオークマ、DMG森精機が” Smart Factory” を契機とした工作機械ビジネスの立上げに邁進したのに対し、” Smart Factory” 実証の先頭にも立っていた先進的メーカーであるヤマザキマザックは逆に” Smart Factory” ビジネスの具体化をスローダウンさせただけでなく、ソリューション提供

¹²⁰ 第8、9章で後述するオークマ、DMG森精機はサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを目指し、生産レイアウト見直し、工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置の選定とその組合せの最適化、自動化・工程集約等の生産ライン改革等の多様なメニューを個別製造現場に応じて最適に組み合わせるソリューション・ビジネスに取り組んでいるが、自動車・航空機・半導体部門等の絞り込まれた製造分野の大口顧客をビジネス対象子としている限りでは、すべての工場生産高効率化に対応して工作機械及び工作機械システムの開発製造を行う必要はない。ヤマザキマザックは、従前より自動車・航空機・半導体部門の大口顧客が重視している自動化と工程集約にフォーカスして、工場生産高効率化に資する工作機械及び工作機械システムの開発に取り組んでいる。

を外部専門企業にアウトソース化してしまう。

“Smart Factory” 関連ビジネスに限らずソリューション提供には、多大な人的資源等の投入が必要であり、そもそもインテグレーションと製造事業に要求される資源・能力は異なる。ヤマザキマザックも、2015年に開発・供給開始した Mazak SMART BOX による「製造システムのオープン・ネットワーク化」についても、IT/OTの技術領域における知識・ノウハウの蓄積不足によりソリューション提供に困難を感じており、製造システムのオープン・ネットワーク化を皮切りとする” Smart Factory” 関連ソリューションの開発・提供を今後自社単独で進めていけるかが危惧された。

そこで、顧客の個別製造現場に対応して” Smart Factory” 関連ソリューションをきめ細かく提供するために、ヤマザキマザックは、自社単独によりソリューション・ビジネスを推進するのではなく、ソリューション・プロバイダ等外部資源の活用に取り組むこととした。

(b) エイムス、ネットワンシステムズとの企業提携

第一に、2008年から顧客工場の” Smart Factory” 化に取り組んできたエイムス(東京都港区)と、2017年に製造業のIoT化を支援する合弁会社(AIZAK)を設立。2018年以降、ヤマザキマザックが自社工場の” Smart Factory” 化で蓄積した経験・ノウハウを提供し、エイムスが顧客メーカーの抱える「機械加工工程の課題」についてソリューションの開発と提供を担当する形で” Smart Factory” 関連ソリューションを顧客提供することとした。AIZAK(実態上はエイムス)は、顧客工場の生産ラインをIoT技術により「見える化」し、工作機械の稼働データ等を分析して生産性・品質向上の課題を洗い出した上で、課題解決のために生産ラインの最適制御のための生産管理システム導入を顧客とともに実施している。

表 18 機械加工工程の課題

- | |
|---|
| <p>(a) 正味加工時間と比較して、現場の滞留/在庫が多い</p> <p>(b) 設備の停止時間が多く、稼働時間/稼働率が上がらない。</p> <p>(c) 設備の稼働率は高いが、予定した生産量を達成できない。</p> <p>(d) 稼働率が高く見えるが、本来の機械の生産能力の半分以下しか能力活用できていない</p> <p>(e) 機械停止/修理が、再発多く発生している。</p> <p>(f) 個品ごとの正確なトレーサビリティが追えない。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 使用した材料、加工機、工具、プログラム・ 加工時の加工機などの設定、状態・ 各作業の担当者、加工品の検査結果 <p>(g) 各種の記録が散在していて、収集/集計に時間がかかる。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 機械稼働、機械修理、品質記録など、個別に管理されている |
|---|

(出所) AIZAKホームページに基づき筆者作成

第二に、ヤマザキマザックは2015年に Mazak SMART BOX を開発・供給開始したが、IT/OTの技術領域では自社単独では顧客の「製造システムのオープン・ネットワーク化」を十分にサポートするのが難しいことを認識。2018年4月に通信系インテグレータのネットワンシステムズ(東京都千代田区)と技術支援合意を締結し、自社工場への Mazak SMART BOX 展開に関して技術支援を受けるとともに、ヤマザキマザック

が顧客メーカーの製造現場において工場IoTネットワークを構築する場合も、同社からコンサルティングと技術支援を受けることとした¹²¹。これにより、ヤマザキマザックは自社内で蓄積が十分でない、工場IoT化に必要なIT及びOTに関する知識・ノウハウを補完、顧客工場にMazak SMART BOXを導入した後の効率的な遠隔監視・運用サービスの設計についても支援を受けることとなった。

(c) ソリューション提供のアウトソース化以外の可能性

製造企業のサービス成長研究では、第2章3. で先行研究レビューに基づき述べたように、Oliva and Kallenberg (2003)以来、サービス化を専管する独立専任機関の設置がサービス化の成功のために必要であるとされ(e.g. Oliva, Gebauer and Brann 2012; Davies, Brady and Hobday 2007; Gebauer and Kowalkowski 2012)、第3章のIDECを対象とした探索研究においても、2010年代の「人と機械の協働」安全に係るサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは「IDECファクトリーソリューションズ」設立が中核主体として機能することが成功に寄与したことが判った。

これに対し、ヤマザキマザックは”Smart Factory”関連ソリューション提供に関して、自社内に独立専門組織を設立して専管させる考えは一向になく、営業担当が工作機械及び工作機械システムのインテグレーションまでは(インテグレーションの引受け企業の紹介及び確定までは)ケアするが、実際の”Smart Factory”ソリューション提供についてはアウトソース路線を選択した(これは自社が直接製品販売する顧客に関する話であり、工作機械メーカーは間接販売制を採っていることから、基本的にシステム・インテグレーションを含めてサービスは機械商社等販売代理店に一任)。

ヤマザキマザックは引き続き自社工場の”Smart Factory”化に取り組み、”Smart Factory”に関連したシステム開発の動きにも遅れずつ付いていくものの(むしろ先取り)、基本的に工作機械メーカーの本務・本分である工作機械・工作機械システムの開発供給に注力することを選択した。

4. 喪われた(あるいは遠退いた)可能性

(1) ライバル・メーカーの戦略決定の逆コースの選択

ヤマザキマザックは第2期(2018年以降)伝統的な工作機械中心ビジネスに回帰し、顧客が工場を”Smart Factory”化する上で必要となるIoT化された工作機械及び工作機械システムを開発し、顧客提供することを柱としたビジネス展開をしている。

”Smart Factory”に関しては、2010年代前半、企業ITシステムによる生産ライン制御に伴い製造システムの付加価値が物的な生産ラインからITシステムにシフトしてしまい、生産ラインを構成する主要パーツを供給している工作機械メーカーの存

¹²¹ ネットワンシステムズ株式会社、プレス発表 2018年4月13日付

在意義や企業収益が無化ないし低下してしまうのではないかを懸念して、工作機械メーカーは” Smart Factory” を契機として工作機械ビジネスの革新に乗り出した。

ここでは、O T、I T、企業システム会社等が製造関連I o Tプラットフォーム等のインテグレーションによりI Tシステムの側から顧客工場を” Smart Factory” 化する動きに対抗して、工作機械メーカーが工場生産高効率化ソリューションをビジネス化する(さらには工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに取り組む)動きが第8、9章で分析するように他社では観察された。前掲図9において工場生産高効率化ソリューションの垂直展開と水平展開として示したものだが、いずれも顧客工場の生産高効率化に独自の価値提供をしようとする取組である。

他社の動きに対して、ヤマザキマザックは” Smart Factory” 関連ソリューションの顧客提供を外部インテグレータにアウトソースし、自らは” Smart Factory” の「部品」として需要される、I o T化された工作機械及び工作機械システムの開発・供給に注力することとした。すなわち” Smart Factory” 関連ソリューション・ビジネスからの撤退を第2期に決定・実行している。

” Service Paradox” は巨額のサービス投資が企業収益に結びつかない「不都合な真実」を適示したもののだが、F Aシステム・インテグレーション、ロボット・システム・インテグレーションの収益性は極めて低く、仮に、工作機械メーカーが工作機械及び工作機械システムの開発製造に加えて、” Smart Factory” ソリューション・ビジネスを展開する意義はあるのか。経営資源に限りがある中、高収益事業である工作機械ビジネスから資源を引き剥がし、海のモノとも山のモノとも知れない” Smart Factory” ソリューション・ビジネスに投入する理由は何なのか。

ヤマザキマザックはこれらを問うた上で撤退決定している¹²²。” Smart Factory” においても工場生産性を左右するのは物的な生産ラインである。企業I Tシステムによる生産ライン最適制御が工場の生産高効率化にいかほど寄与するにせよ、非効率な生産ラインを効率的にI T制御しようとも、工場生産高効率化にはつながらない。伝統的な工作機械中心ビジネスに立ち「優秀なマシン」の開発に専念しても、工作機械メーカーは製造システムで独自の存在意義を有する主体として存続できるのではないか。2010年代前半の危惧感とは反対の帰結であるが、これは一つの卓見であろう。

しかしながら、この卓見が正解であるかは時が経過してみなければ分からない。工作機械メーカーが単に” Smart Factory” を契機としてソリューション・ビジネスにも進出したというだけであれば、ヤマザキマザックの判断は正しいかもしれない。ただし、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、サービス化企業は製品事業とソリューション・ビジネスをリンケージし、イノベーション・サイクルを構築することを構想している。

¹²² ヤマザキマザック、2017年11月15日付ヒアリング

製品イノベーションは市場ニーズから出発する必要があるが、コモディティ化した製造産業では、製品イノベーションにつながるニーズは埋もれており、製造企業はは敢えて” Go downstream” することでリード・ユーザを見つけ、イノベーションにつながるニーズを掘り起こさなければならない。” Smart Factory” 関連ソリューションは唯一の” Go downstream” ではないかもしれないが、” Go downstream” の貴重なチャンスを逃すことはイノベーションの機会を失うことにはならないだろうか。

(2) ” Smart Factory” 関連ビジネスのアウトソースで喪われた可能性

ヤマザキマザックは” Smart Factory” を契機とした工場生産高効率化ソリューションの本格ビジネス化、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションにはコミットメントしないという意思決定を下した上で、” Smart Factory” 関連ソリューション提供のアウトソースを実行しているため、第8、9章で吟味する、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションの成否を左右する取組については、当然、コミットメントが不十分であるか、そもそもコミットメントしていない。

具体的には、第2章の先行研究レビュー及び第3章のIDECを対象とした探索研究(さらには第4章のユーザ・イノベーション研究のレビュー)から、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションが成功するには、「顧客との長期に渉りリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」等の要因充足が重要であるとの示唆が得られたが、ヤマザキマザックのケースにおいては(同社が工場生産高効率化ソリューションを津通じた市場誘導型イノベーションにはコミットメントしないと決定している以上、当然の帰結かもしれないが)、いずれもクリアされていない。

第8、9章の事例研究の参考とするため、ここではヤマザキマザックの各要件に係る取組について整理しておく

表 19 ヤマザキマザックの” Smart Factory” 対応

顧客との長期に渉りリレーショナルな協働関係の構築	<ul style="list-style-type: none"> ●ソリューションは、引き続き大口顧客の引合い確保に主眼が置かれ、ライン・ビルドと生産ライン改革、生産ラインIT管理化等を組み合わせて、” Smart Factory” に対応した新規ビジネスの創造を目指さず。 ●中堅・中小顧客に対してきめ細かなケアを行い、顧客工場の千差万別な製造ニーズに対応した最適化ソリューションを提供するには、「顧客との長期に渉りリレーショナルな協働関係の構築」が必要となるが、ヤマザキマザックは人的資源制約もあり長期的協働関係にコミット不十分。
--------------------------	---

<p>製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●生産ラインのライン・ビルドとIT制御化は低収益事業(平田機工等でも営業利益率が好況期に約5%に届く程度)。顧客の工場IoT化をソリューション・ビジネス化するだけに終わり、工場IoT化ソリューションと工作機械・同システムの開発製造を循環的にイノベーション・サイクルとして繋げないのであれば、工作機械メーカーの経営戦略としては疑問あり。 ●イノベーション・サイクル化には、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」だけでなく、「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当」が重要であるが、ヤマザキマザックはかかるプラットフォームを構築するどころか、外部コンサルティング会社に“Smart Factory”ソリューションをアウトソース。 ●その結果、イノベティブな工作機械・同システムの開発により高収益と新規顧客を獲得し、新鋭機・システムをソリューションに活用して顧客満足度を高めつつ、新たに得た知見・ノウハウを製品イノベーションに投入するサイクルを構築できず。
<p>顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任組織の設置</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」を推進し、「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当」を実現するには、「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」を設置し、主体的かつ専門的にサービス化を進めて行くことが重要。この点、ヤマザキマザックは外部コンサルティング会社に“Smart Factory”ソリューションをアウトソース。 ●イノベティブな工作機械・同システムの開発により高収益と新規顧客を獲得し、新鋭機・システムをソリューションに活用して顧客満足度を高めつつ、新たに得た知見・ノウハウを製品イノベーションに投入するサイクルを構築する上でも、独立専任組織は力を発揮。にもかかわらず、ヤマザキマザックはイノベーション・サイクル構築のために専門組織を設置せず。

(出所)筆者作成

5. 工作機械中心ビジネス維持ないし回帰の事由

ヤマザキマザックは、自社工場をモデルとした”Smart Factory”実証で、他社に先駆けて「工作機械メーカー版”Smart Factory”」を具体化し、「製造システムのオープン・ネットワーク化」「製造ビッグデータの分析と生産改善」にも一早く着手した。しかしながら、オークマ、DMG森精機が”Smart Factory”を契機として工場生産高効率化ソリューションをビジネス化し、さらに市場誘導型イノベーションにつなげたのに対し、ヤマザキマザックは伝統的な工作機械中心ビジネスに回帰し、市場誘導型イノベーションの可能性を放棄している。何故だろうか。第7章の最後に、企業の戦略的意思決定がサービス成長のコースを左右する点を考えたい。

(1) 戦略的意思決定の重要性

第3章のIDECの1990年代末、2000年代末、2010年代のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを対象とした探索研究では、市場誘導型イノベーションの成否の一つにはIDECの戦略的意思決定により左右されていた。

IDECの場合、1990年代末のサービス化では、「安全関連制御機器・装置産業の成熟化に対して製品イノベーションによる現状打破を図る」という抽象的な意思決定があるだけであり、製品イノベーションのシーズなりアイデアなりについて全くイメージすらないままサービス化に取り組もうとして失敗した。その詰め甘さは、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築が不可欠であるにも関わらず、間接販売制の下で販売・サービスを機械商社等代理店に一任しており、IDECには顧客と直接にコンタクトを取り、顧客工場等でソリューションを協働実施するルートがないことの失念につながった。

2000年代末のロボット制御型セル生産システムのビジネス化については、自社が開発した優秀なロボット・システムを外販し企業収益に貢献したいという意欲は理解できるが、安全関連制御機器メーカーが、ロボット市場の熾烈な競争に参入できるかを検討した形跡が乏しい。ロボット・ビジネスはロボットの開発製造とシステム・インテグレーションの二者から成るが、IDECはインテグレータを組織化するわけでも、外部インテグレータを子会社化するわけでもなく、ロボット開発チームをスピンオフしてインテグレータとした。ロボット・システム・インテグレーションには専門的な技術・ノウハウが不可欠であることへの認識を欠いたと言わざるを得ない。

また、ロボット・ビジネスはロボット・システムをカスタマイズ製造して顧客工場にインテグレーションすれば終わりではなく、ロボット・メーカーはその後も顧客とコンタクトを取り、更なる顧客課題の解決のために、顧客と協働してロボット・システムを更新・改良していく必要がある。その過程で、新たなロボット及びロボット・システムの開発につながるヒントを得て製品イノベーションを実現するが、IDECのコア事業領域から離れたロボット・ビジネスでは、IDECは顧客と長期に渉るリレーショナルな関係を築き上げることも儘ならなかったが、これも偏にIDECの戦略目的が曖昧であり、自社のコア・コンピタンスとの関係、事業の方向性を詰めていないためであり、必然的に製品イノベーションに失敗している。

これらの1990年代末、2000年代末のサービス化とは異なり、2010年代の産業安全等のパラダイム・シフトに対応したサービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、IDECは自社のコア事業領域において、「人と機械の協働」に基づく新しい安全の在り方を探求し、顧客の製造現場に即した「人と機械の協働」安全を実現するための新製品及びソリューション開発をサービス化の戦略目標に設定。

その上で、未だドミナント・デザインの影形すらない「人と機械の協働」安全につ

いて、顧客と協働して安全システムを一つ一つ構築していくべく、I D E Cは間接販売制の顧客との壁を打ち破り、直接的に顧客とコンサルテーションを行い、顧客ニーズに応じて安全ソリューションをカスタマイズ制作して、顧客と協働して安全システムを構築した。「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当て」等、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成否に関わる要件についても、I D E Cは全要素をストリーム・ラインに繋げて機能させるのに成功している。

2010年代のI D E Cは、戦略目標を明快にし、目標達成のための方法を意識的に追求することで、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションを成功させているが、ヤマザキマザックのケースにおいても戦略的意思決定は重要な要素を果たしていた。

(2) 工作機械中心ビジネス維持の戦略的意思決定

① 戦略的意思決定に影響する要因

ヤマザキマザックは他社に先駆けて自社工場における” Smart Factory” 実証に取り組み、「工作機械メーカー版” Smart Factory” 」を取りまとめているが、工場生産高効率化ソリューション等の独自ビジネスの創造に向かわず、伝統的な工作機械中心ビジネスに回帰して、企業ITシステムによる生産ライン制御に対応して工作機械及び工作機械システムをIoT化し、IoT化された工作機械等のインテグレーションを限られた顧客相手のオプションサービスとして展開するに止めている。ヤマザキマザックが工作機械中心ビジネスに回帰するとした意思決定は堅固であり、2022年現在も同社はDMG森精機の工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに関心を持ちつつも、距離を置き続けている¹²³。

I D E Cの探索研究では、戦略的意思決定がサービス化のコースに影響を与える可能性があることは理解できたものの、戦略的意思決定を左右する要因については分からなかった。この点、ヤマザキマザックが” Smart Factory” に関連して、伝統的な工作機械中心ビジネス、あるいは、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションのいずれを選択するかを決めた際の意思決定要因を整理・吟味すると、「市場成長期待」「製品開発・事業拡大の可能性」「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威(の存否)」「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」が観察・抽出できる。

仮に、これらの4要因が他の製造企業のサービス化に係る意思決定にも妥当するとして、各要因が製造企業の意思決定に与える影響の度合いはケースに応じて変わると考える。2010年代の” Smart Factory” を契機として工作機械ビジネスを再考したヤマザキマザックにおいては、「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」が主たる意思決定要因であり、「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」を補足的な要因

¹²³ ヤマザキマザック Discover 2019(2019年11月25日)

として、工作機械中心ビジネス回帰の戦略的意思決定がなされた。

②要因「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」

ヤマザキマザックは1990年代～2000年代にコモディティ化と円高による価格競争力の低下に対して、グローバル化と高付加価値化により成功を収めており、2010年代にもコモディティ化と新興国メーカーとの価格競争に対して引き続き対応できる自信があった。このため、2010年代に”Smart Factory”が次世代製造システムとして登場しても、工作機械ビジネスの在り方を一変させる必要があるだけの、真に優先すべき、独自の価値を有する課題であるとまで認識できなかったとする。

第一に、1990年代から2000年代に、工作機械ライバル他社が、価格競争力の低下によりグローバル標準機市場のシェアを落とし、中国市場等でシェア獲得に苦戦したのに対し、ヤマザキマザックは1970年代初から現地生産を重視し、生産・販売・サービスの三位一体のグローバル化を方針としてきた結果、円高によるコスト競争力低下に相対的に苦しまず、海外市場開拓でも標準機市場を含め有利な立場に立てた。

2010年代、”Smart Factory”は工作機械メーカーの将来に関わる重要課題と認識されていたが、現実の経営に対する影響では、中国経済の爆発的成長に伴い急拡大する工作機械需要の捕捉が優先課題であり、ヤマザキマザックは2013年寧夏工場等を建設、現地生産に踏み切った。中国生産に難航したオークマ、DMG森精機と異なり、ヤマザキマザックは”Smart Factory”に企業の将来を賭ける必要が低かった。

第二に、2000年以降、ヤマザキマザックはいち早く”Done in One”を商品化し、ソリューション・ビジネスでもライバル他社に先駆けた。工作機械メーカーは1990年代以降コモディティ化に対して高付加価値化による対応を図り、ソリューション・ビジネスは高付加価値部門の大口顧客の引合い確保を目的として実施。ヤマザキマザックはソリューション・ビジネスを通じて、顧客ニーズの動向を把握・理解、先導的に複合加工機、マシニングセンタ開発を取り組み、自動車・航空機・資源部門の大口顧客からの引合いを確実なものしてきたことから、改めて市場誘導型イノベーションにコミットメントする必要性が認識できなかった。

第三に、オークマ、DMG森精機は”Smart Factory”に取り組む以前に自社の生産システム改革に取り組んでおり、例えば、オークマは2010年代のグローバル競争の激化に対応するため本社工場を一旦更地にして、部品加工専用ライン、部品加工・組立一貫ラインの理想の生産プラントを再建設、複合加工機・マシニングセンタを活用した工程集約、治具・工具・材料管理も含めた自動化などを製造IoTとセットとすることで工場生産高効率化を達成した。

彼等は製造IoT化だけでなく工場レイアウト見直し、自動化、工程集約等を組み合わせ、生産ライン高効率化ソリューションをビジネス化できることを認識する機会

があったのに対し、ヤマザキマザックは1990年代「無人化工場」、2000年代「サイバー・ファクトリー」と自社工場をシームレスに進化させてきた結果、自社工場の生産システムをゼロ・ベースで見直す機会がなく、“Smart Factory”化に対抗するソリューションとして工場生産高効率化ソリューションを着想できなかった。

以上、1990年代以降、コモディティ化と円高による価格競争力低下にライバル・メーカーが経営破綻の寸前まで行くなど苦しむ中で、ヤマザキマザックは高付加価値化とグローバル生産体制構築に成功を収めただけでなく、ソリューション・ビジネス、自社工場の自動化を中心とした生産システム改革に成功を収めてきた結果、他社と比較すると、サービス化を通じた市場誘導型イノベーション等に取り組みなければならぬ切迫感に乏しく、工場生産高効率化ソリューションの意義についても認識・理解に不足した。

②「市場成長期待」及び「製品開発・事業拡大の可能性」

自動車・航空機・資源部門は、2000年代に引き続き2010年代も世界経済のポータレス化とグローバル化により成長を続け、ヤマザキマザックはこれらの高付加価値部門の大口顧客確保のためにソリューション・ビジネスに取り組んだ。高付加価値部門の確実な市場成長予想と比べると、ヤマザキマザックには、“Smart Factory”ビジネスの成長可能性に疑問があった。

第一に、ドイツでも、市場動向に即応した変種変量生産はSiemens、Bosch、Volkswagen、Daimlerなど自動車関連グローバル・メガ・メーカーには重要課題であるとしても、製造企業一般、特に、ドイツ製造業の太宗を占める中堅・中小メーカーには妥当しないと指摘がなされ、第二に、工作機械及び工作機械システムのIoT化はある意味で「置換え需要」であるため、成長には限界ない天井が存在した。このため、ヤマザキマザックは“Smart Factory”の「市場成長期待」には慎重であり、サービス化を通じた新規事業創造には懐疑的だった¹²⁴。

③「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」

ヤマザキマザックの場合、“Smart Factory”ビジネスについては、他の「優先課題の存在」により「独自課題としての認識」に乏しく、「市場成長期待」「製品開発・事業拡大の可能性」もライバル企業に比べて高く評価していなかったが、さらに

¹²⁴ ただし、ヤマザキマザックは製品開発には熱心に取り組み、第1期(2014~2017年)前半、CiscoSystemsとの協働でMazak SMART BOXOを開発するなど“Smart Factory”に対応した「工作機械及び同システムのIoT化」をいち早く進め、Mazak SMART BOXOを介して工場オフィスで作成した加エプログラムを工作機械に送信したり、工作機械のバックアップ・データをオフィスのPCに転送・保存したりするだけでなく、遠隔地から生産設備・機器にリモート・アクセスする仕掛けをも構築しており、工作機械メーカーの競争力の源がイノベーションにあることを重視する事業展開を行っている(「先進的企業」を自負し、他からも認められてきたヤマザキマザックのDNAにはイノベーションが存在している)。

は「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」の点でも評価は低かった。

2010年代初にコンセプト段階に止まっていた” Smart Factory” は第1期(2014～2017年)に Siemens、SAP等の努力により基本機能・システム構成が明確化。生産ラインを構成する設備・機械からリアルタイム収集した製造関連データをAIでビッグデータ解析し生産システムを最適化する仕掛けとして「製造関連IoTプラットフォーム」をエッジ層で構築することが提案されるなど着実に具体化された。

ただし、OT、IT、企業システム会社等が製造関連IoTプラットフォームを通じてユーザに提供するソリューションは設備稼働状況監視、予防保全等に限られ、これらは工作機械メーカーが従来より機械・設備にオペレーティング・システムを装着して企業LANにつなぐことで提供してきたものであり、新鮮味に欠いた。

製造関連IoTプラットフォームを構築するためのコストと費用対効果を考えても、中堅・中小メーカーでは、従来とおり工作機械等にオペレーティング・システムを装着し、企業LANにつないで管理した方が安価で合理的なケースが少ない。ヤマザキマザックは、「製造システムのオープン・ネットワーク化」や「製造ビッグデータの分析と生産カイゼン」は製造関連IoTプラットフォーム等を導入しなくとも、これだけで達成できると判断しており、当面の間、” Smart Factory” 化は緊急に取り組まなければならない事情はないと考えた。

表 20 ヤマザキマザックの戦略的意思決定

優先課題の存在、独自課題としての認識有無	<ul style="list-style-type: none"> ●ソリューション・ビジネスを活用した自動車・航空機・資源等高付加価値セグメントの大口顧客からの引合い確保、生産・販売・サービスの三位一体のグローバル化による標準機市場でのシェア維持に成功。ヤマザキマザックでは、サービス化を通じた市場誘導型イノベーション等に取り組まなければならない切迫感は相対的に乏しく、工作機械メーカーとして、高付加価値セグメントの大口顧客が要求する加工ニーズに対応した工作機械及び工作機械システム、また、生産ラインのIT管理化や工場IoT化に対応した工作機械及び工作機械システムの開発に取り組み、優れた製品を産み出していくことが優先課題として認識。 ●自動車・航空機・資源部門は、2000年代に引き続き2010年代も世界経済のポータレス化とグローバル化により成長を続ける高付加価値セグメント。先進国メーカーとして、コスト競争力ではなく技術力で勝負でき、製品単価も高く高収益が見込める分野。ヤマザキマザックは、” Smart Factory” への対応も重要ではあるものの、成長を続ける自動車・航空機・資源部門の需要確保・獲得のため旧来型のソリューション・ビジネスに注力。 ●また、中国の「世界の工場」化と爆発的な経済成長は巨大市場における商いの拡大を期待させ、ヤマザキマザックでは、中国生産拠点の円滑な立上げと中国市場への浸透が短中期的に企業業績にプラスとなることから、中国展開が優先課題として位置づけ。
市場成長期待	<ul style="list-style-type: none"> ●ヤマザキマザックは、先進的メーカーとして” Smart Factory” 実証に取り組み、いち早くロードマップを作成公表した先覚者であるが、サービス化を通じた新規事業創造には懐疑的。

	<ul style="list-style-type: none"> ●市場動向に即応したマス・カスタマイゼーションがグローバル製造企業に限定されず製造企業一般の課題であるとは必ずしも断言できず、ドイツでも Siemens、Bosch、Volkswagen、Daimler など自動車部門のグローバル・メガ・メーカーに妥当しても、ドイツ製造業の太宗を占める中堅・中小メーカーには妥当しないのではないかと疑念をオークマ、DMG森精機等とも共有。 ●” Smart Factory” は 2000 年代半～2010 年代初の生産ラインの IT 管理化と連続。生産ラインの IT 管理化に対応した工作機械及び工作機械システム・ビジネスが工作機械メーカーにもたらした商機は限定的だったが、同様に、IoT 化した工作機械及び工作機械システムも、一定程度の商機を期待できるとしても限定的であると予測。
製品開発事業拡大の可能性	<ul style="list-style-type: none"> ●ヤマザキマザックは、第 1 期 (2014～2017 年) 前半、Cisco Systems との協働で Mazak SMART BOXO を開発するなど” Smart Factory” に対応した「工作機械・工作機械システムの IoT 化」をいち早く進め、Mazak SMART BOXO を介して工場オフィスで作成した加工プログラムを工作機械に送信したり、工作機械のバックアップ・データをオフィスの PC に転送・保存したりするだけでなく、さらには遠隔地から生産設備・機器にリモート・アクセスする仕掛けを構築。ただし、これらは生産ラインの IT 管理化において既に取り組んでいたイノベーション。 ●ヤマザキマザックは 2000 年以降、自動車・航空機等の高付加価値部門のグローバル・メーカーを顧客として、ソリューション・ビジネスを展開し次世代工作機械及び工作機械システムの開発に成功してきており、改めてソリューション・ビジネスの対象をグローバル・メガ製造企業から中堅・中小メーカーに拡大し、市場誘導型イノベーションを図る必要を感じていなかった。そもそも生産・販売・サービスの三位一体のグローバル化により、標準機も現地生産によりコスト競争力を相対的に維持できたことから、中堅・中小メーカー市場の開拓の必要について、他社ほど緊急性を感じていなかった。
緊急の対応とビジネス化を要求する脅威	<ul style="list-style-type: none"> ●2010 年代初にコンセプト段階に止まっていた” Smart Factory” は第 1 期 (2014～2017 年) に Siemens、SAP 等の努力により基本機能・システム構成が明確化。生産ラインを構成する設備・機械からリアルタイム収集した製造関連データを AI でビッグデータ解析し生産システムを最適化する仕掛けとして「製造関連 IoT プラットフォーム」をエッジ層で構築することが提案。 ●現時点において同プラットフォームが提供するソリューションは設備稼働状況監視、予防保全等が主。これらは従前より工作機械メーカーが機械・設備にオペレーティング・システムを装着して企業 LAN につなぐことで提供。製造 IoT プラットフォームを構築するためのコストと費用対効果を考えると、中堅・中小メーカーでは、従来の工作機械等にオペレーティング・システムを装着して合理的なケースが少なくない。 ●その結果、ヤマザキマザックは、製造 IoT プラットフォームが工作機械等に装着されるオペレーティング・システムと企業 LAN によるソリューションに短期的に取って代わる虞はないと判断。

(出所) 筆者作成

6. まとめ

ヤマザキマザックは、「Smart Factory」の次世代製造システム化の動きには迅速に対応し、自社工場における「Smart Factory」化の実証により、工場IoT化に最適化された工作機械及び工作機械システムの開発に係る知見・ノウハウを蓄積し、自社工場の「Smart Factory」化を考える顧客に一早く開発提供した。当初、「Smart Factory」を契機とした工作機械ビジネス革新のトップ・ランナーを走っているものと期待されたが、結果的には、伝統的な工作機械中心ビジネスに回帰し、「工作機械メーカー版「Smart Factory」」に向けたロードマップで第1段階に該る「製造システムのオープン・ネットワーク化」に対応した工作機械及び同システムの開発製造に焦点を絞った事業活動を展開している。

一方、第8、9章で論ずるように、ライバル企業のオークマ、DMG森精機は「Smart Factory」を契機として工場生産高効率化ソリューションを本格ビジネス化し、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに取り組んでいる。ここでは、OT企業等の「Smart Factory」化ソリューションに対抗して、工作機械メーカーも次世代製造システムである「Smart Factory」において独自価値を有する工場高効率化ソリューションを本格ビジネスとして確立した上で、工作機械及び工作機械システムの製造開発と工場生産高効率化ソリューションをリンクさせた、イノベーション・サイクルを構築しようとしている。

ヤマザキマザックはライバル2社と異なり、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に取り組まず、当然ながら「ソリューションと製品開発のイノベーション・サイクル化」に向けた動きを現時点で示していない。ヤマザキマザックもソリューション・ビジネスにおいて、顧客との協働により課題解決に取り組む過程で、新たなニーズを発見・認識し製品イノベーションにつながる可能性があることは否定しないものの、工作機械メーカーの経営資源には限りがある中で、コア事業の工作機械及び工作機械システムの開発製造とは求められる資源・能力の異なるソリューション・ビジネスに資源投入することは適切でなく、工作機械ビジネスに注力すべきとする。

また、ライバル2社は、工場生産高効率化ソリューションと製品イノベーションの間にシナジー効果が認められ、顧客との協働により課題解決に取り組む過程で、新たなニーズを発見・認識し製品イノベーションにつながるイノベーション・サイクルを確立できると考えているのに対し、ヤマザキマザックは従前からの自動車・航空機・半導体部門の高付加価値機の大口顧客と製品販売とソリューション提供により緊密な関係を保っており、製品イノベーションに資するアイデア等は十分得られていると見なしているため、工場生産高効率化ソリューション等のソリューションを通じて市場誘導型イノベーションを起こすまでもないと考えている。

このように製造企業の戦略的意思決定がそのサービス化の内容及び影響に大きな影

響を及ぼすが、これは先行研究レビュー及び I D E C を事例とした探索研究でも観察されたものであった。5 (2) で見たように、戦略的意思決定を左右する要因として、ヤマザキマザックのケースでは「市場成長期待」「製品開発・事業拡大の可能性」「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威(の存否)」「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」が観察・抽出できた。

以上、ヤマザキマザックは” Smart Factory” に関する判断に基づき、工場生産高効率化ソリューションだけでなく、「製造システムのオープン・ネットワーク化」「製造ビッグデータの分析と生産改善」に関するソリューションについても工作機械メーカーが直接コミットメントする絶対的な必要性を認めず、企業提携した外部システム・インテグレータのエイムス社等にアウトソース。ライバル2社が追求した、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションを、入口に当たる「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」において、システム・インテグレーションに係る経営資源・ケイパビリティの不足により断念した形となった。

第8章 オークマの工場生産高効率化の観点からのアプローチ

～工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションへの挑戦～

1. 企業概要

オークマの強みは技術力にあり、要素技術からシステム化技術まで自社開発し、工作機械他社と異なりNC装置(ソフトウェア及びハードウェア)、サーボ・モーター、主軸を内製する「機電一体」メーカーとして、高度なメカトロ制御を実現してきた。日本メーカーは世界工作機械市場において中位機種を中心に広範な機種帯で強みを有したが、オークマは早い段階から自動車・航空機・建設機械・資源エネルギー等の高付加価値・専用特化品の高付加価値セグメントに注力し、1990年代以降の工作機械のコモディティ化と1980年代半以降の持続的円高による価格競争力の低下に対しても、高付加価値化により対応してきた。

一方、1970年代以降海外市場開拓に注力し生産・販売・サービス三位一体のグローバル化をしてきたヤマザキマザックと異なり、海外生産の経験・ノウハウを欠いたオークマはグローバル生産体制構築による価格競争力の回復が果たせず、2000年代には遂に経営破綻の危機に瀕する。2006～2009年、オークマはグループ再編と生産システム改革により国内生産の高効率化を果たし経営再建を果たすが、この国内生産システム改革は”Smart Factory”につながる生産ラインのIT管理化に加え、工場レイアウトの見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、自動化・工程集約等による生産ライン改革等を組み合わせ、工場生産高効率化を実現したものであり、オークマの”Smart Factory”に対するアプローチの原型となった¹²⁵。

(1) 技術のオークマ

オークマは1898年創業の大隈麵機商会に起源を持ち、1904年から工作機械の製造・販売を開始、1918年には米国製品をモデルにOS型旋盤を開発し1937年には工作機械生産国内首位となるなど戦前より日本の工作機械産業をリードしてきた。戦後も米国のNC(数値自動制御)技術の動向を踏まえ、1963年に絶対位置検出方式¹²⁶のNC装置(OSP)の自社開発に成功、1966年にはNC旋盤の製造開発を開始するなど、オークマは工作機械とNC装置の双方を日本で唯一製造する「機電一体メーカー」として1970年代の工作機械のNC化を主導した¹²⁷。

¹²⁵ 第8章1.及び2.はヤマザキマザックとの比較でオークマの2000年代までのビジネス展開を研究した榎本(2016)に基づく。

¹²⁶ 機械加工では加工位置の不動が重要であり、位置決めにおいて、機器の立上げ時に一度原点セットをしておけば、電源をオフにしても機械位置を位置決めユニットやサーボアンプが記憶していて現在位置を保持するシステムを絶対位置検出方式と呼ぶ(機械ズレが発生しても自動補正されるため、電源再投入後の原点復帰は必要がない)。

¹²⁷ ヤマザキマザックは1970年代三菱電機よりNC装置を購入してNC工作機械の製造を行っていた。NC装置の性能を決定し製品差別化の武器となるソフトウェアの自主開発に成功した

我が国の工作機械メーカーは大口顧客の自動車メーカー等の高度化する技術要求に応える過程で技術革新と成長を続けてきたが、金型・自動車部品等の複雑な形状な物を精密に製造するには工作機械は複雑な精密な動きを要求されるが、オークマは、NC装置の自主開発製造能力を活かして、1966年に門型マシニングセンタ、1973年に門型5面加工機¹²⁸の製造を開始するなど5面加工機、多軸加工機¹²⁹の開発製造を主導した。また、1970年代に世界経済が低成長局面に移行し、我が国自動車・電機メーカーがリーン生産と多品種少量生産に舵を切ると、オークマを始め工作機械メーカーはユーザの工程集約と高能率加工のニーズに応じて、多種類加工の連続自動実施が可能なマシニングセンタ、マシニングセンタに旋盤機能を加えた複合加工機を開発に取り組んだ¹³⁰。

オークマは複合加工機の開発こそヤマザキマザックに先行されたが、1980年代「コンピュータ技術の躍進により複雑で高度な制御が可能とな」と「機電一体」の強みを活かしてマシニングセンタの開発を主導し、自動車のプレス金型・プラスチック金型等の形状特徴である自由曲面を高速かつ高精度に加工する高速輪郭加工制御等を開発するだけでなく、金属加工の宿命だった過熱による機械加工の歪みを自動補正する熱変位補正技術等を開発して自動車メーカー等の高度加工の要求に応えた¹³¹。

なお、1990年代、イントラネットによるネットワークが普及すると、オークマは、ユーザの工作機械と生産システムの一体化の求めに対応して、ネットワークによるプログラムのダウンロード、工作機械と生産管理システムとの連携、各工作機械の状態監視など工場全体の情報を管理する技術(機電情技術)を確立し、2000年以降は工作機械のPC管理化によりユーザがWindows上で作動するアプリケーションを使用して自由に加工プログラムが組めるように機電情技術を革新してきた。

のは1983年であり、現在でもNC装置の製造は三菱電機に委託している。

¹²⁸ 5面加工機とは、門型の工具軸取付け部が可動することにより、加工床上にセットした立方体の金属塊の5面(上・前・後・右側面・左側面)を同一工具セットにより加工できるNC工作機械。材料の再セットに手間がかかる大物製作に有効、5面全ての加工を行った場合でも工具・材料のセットが一度ですむため、最終的な加工位置精度も高くなる。5面加工機はわが国で近年急速に普及し、特に大物金型製造の生産において顕著な効果を生んだ。

¹²⁹ 複数面の同時加工は、門型加工機でなくとも、複数の工具動作軸を有するNC加工機械でも可能(多軸加工機)。各複数軸に異なる工具をセットすることで、ある軸で穴開けをする一方、別軸によりエンドミル加工を行うことができ、また、工具軸可動範囲であれば荒削りと仕上げ加工を同時に行うなど、同一面での異種加工の実施ができる。

¹³⁰ マシニングセンタは、中ぐり、フライス、穴あけ、ねじ立て、リーマ仕上げ等の多種類の加工を連続実施できるNC工作機械であり、各加工に必要な工具を自動交換できる自動工具交換装置が備えられている。複合加工機(ターニングセンタ)はマシニングセンタに旋盤による旋削機能が付加されたもので、複数台の旋盤やマシニングセンタを必要とした加工工程を複合工作機械一台に集約できる。

¹³¹ オークマ株式会社「工作機械メーカーが創るNCの開発とその変遷 NC装置「OSP」開発50周年を迎えて」(<http://www.okuma.co.jp/onlyone/osp/pdf/osp50story.pdf>)。

(2) 国内集約開発生産の堅持と海外生産展開の不進捗

以上、オークマは、自動車メーカー等の高速・高精度の加工要求に応えるべく技術革新に取り組み、絶えず工作機械の高付加価値化を追求してきた。日本メーカーが工作機械の中位機種を中心に強みを有すると言っても、ヤマザキマザックが標準製品を幅広く販売する戦略を採用するのに対し、オークマは「製品機能等が高付加価値化・特化した専用品に注力」しており、両社が高付加価値分野の「航空機・宇宙産業を顧客とする場合も顧客層は異なる」こととなった¹³²。

工作機械は日本製造業の強みとされる「擦り合わせ」型の産業であり、顧客の引合いに対して製造・組立、開発部門が連携して対応し、仕様決定・設計を経て製造・組立後も完成度点検・加工実施・立上げ検証等を行う必要があり、部品の組立・調整には熟練の技が不可欠とされるため¹³³、工作機械メーカーは国内集約生産体制に立ち輸出により海外販路開拓してきた。オークマは、自動車関連でもエンジン、トランスミッション、ブレーキ、ハブなど技術的に難易度の高い部品製造(自由曲面の高速・高精度加工等)専用の工作機械に注力するなど、開発生産に高度の「擦り合わせ」能力を要する事業展開をしており、国内集約開発生産は他社以上にオークマの根幹だった。

ただし、国内生産・輸出戦略の過度の成功が戦略修正を招く。1970年代、日本メーカーは工作機械NC化というパラダイム転換を主導し米国市場を席卷すると、1980年代に米国メーカーの倒産が相次ぎ日米工作機械摩擦が深刻化、1987～1993年には対米輸出自主規制が導入される。日本製品締出しの動きに対し、オークマは1984年に米フーダイル社と技術提携を結び米国でのMCのライセンス生産を試み、1987年には米ボルグワグナー社の工場を買収してNC工作機の現地生産に乗り出したが失敗に終わり、2002年以降米国現地生産を停止する。この点、オークマは「米国では雇用の流動性が高く『擦合せ』能力を習得した技能工を育成することは難しく、現地生産をノックダ

¹³² オークマ訪問取材(2015年12月17日)

¹³³ 中馬(2002)等は工作機械をNC装置と機械本体のモジュラー化製品と捉え、ファナック、三菱電機等のNC装置に工作機械の付加価値の大部分が存在し、NC装置を自主開発できないメーカーはアSEMBラー過ぎないとし、鈴木(2010)は工作機械メーカーがNC装置の自主開発能力を獲得することで競争優位を確立したとする。ただし、工作機械メーカーは工作機械をモジュラー化製品と考えておらず、日本工作機械工業会(2012)は「(超円高にもかかわらず)工作機械が容易に追随されなかったのは、(家電のようなモジュラー化製品ではなく)キサゲなどの作業で取付け面をより密着させるためにアタリを出したり、数 μ mの傾きをつけたりする高度な製造技術が必要とされるためである。また、はめあう部分でシメシロをつけて圧入したり、常に引っ張った状態で固定したりというノウハウに満ちた熟練作業も必要だからである。これらはすぐには真似できない技術であり、一度移転したとしても、それを維持・継続することは容易ではない。(中略)日本の工作機械が強いのは、ものづくりを尊ぶ日本人の精神にある。(中略)日々の改善をチームで共同して進めてきた。このものづくりの精神と環境とが、すりあわせを必要とする作業領域で強みを発揮してきた」と「擦り合わせ」に競争力の源を求めている(p93)。

ウン生産に留める場合でも必要となる『擦合せ』が不可能であった」とする¹³⁴。

このようにグローバル生産体制への移行が難しく、国内集約開発生産体制を採るオークマにとり、1980年代半以降の持続的円高による価格競争力の沈下は経営上厳しいものがあり、技術志向の会社として元々高付加価値化・専用品特化の傾向があったが、その動きは1990年代以降加速する。その結果、オークマは、自動車・建設機械・航空機・医療機器・IT・プラント等高付加価値セグメントの顧客を取引先として、NC旋盤、複合加工機、立・横・5軸・門形MC、研削盤と幅広い工作機械を提供、金型加工、量産ライン、精密加工、5軸加工、難削材加工等の加工ニーズに応えることで、企業存続を図った¹³⁵。

2. オークマの原体験：2000年代の国内生産システム改革

オークマは2010年代前半、ヤマザキマザック、DMG森精機と同様、自社工場における”Smart Factory”実証に取り組み、その経験に基づき”Smart Factory”関連ビジネスを構想したが、オークマは「”Smart Factory”ソリューション」をビジネス化したのではなく、「Smart Factory」を契機として「工場生産高効率化」をソリューション化した。これは2010年代初のドイツによる”Industrie4.0”提案への回答であると同時に、オークマが1990年代以降工作機械のコモディティ化と持続的円高による国内生産の価格競争力喪失に直面し、2000年代、もはや弥縫的な対処では済まず、国内生産体制・生産システムの抜本的改革に取り組まざるを得なかった経験に淵源を有している。2010年代半以降のオークマによる”Smart Factory”実証等について論ずる前に、2000年代半のオークマの国内生産体制・生産システム改革を見る。

(1) 内需の構造的停滞に伴う高付加価値化と外需獲得に向けた取組

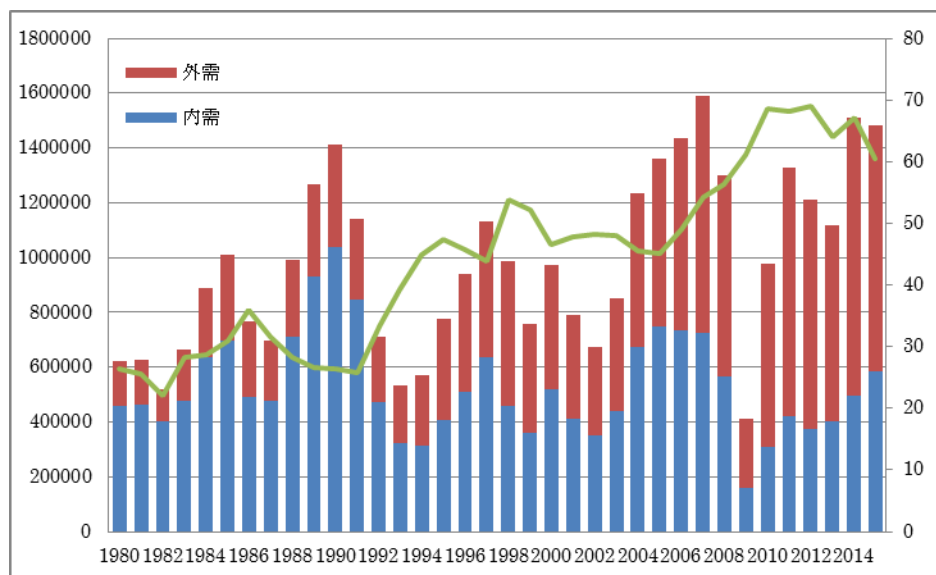
オークマの直面した問題は何か。1990年代バブル崩壊後、景気低迷と国内投資意欲低下により国内需要が構造的停滞に陥ると（日本製造業の設備投資年齢は1980～2002年に8.6年から11.7年に長期化）、工作機械メーカーを巡る経営環境は厳しいものと

¹³⁴ 水野(1990)は工作機械の海外展開を阻害した理由として①下請部品メーカーの不在、②部品調達の困難、③熟練工の不在等を指摘するが、オークマは、米国では「擦り合わせ」が不可能であることを決定的理由とする。米国では、工作機械に限らずメーカーの部品内製率が一般的に高く、部品メーカーが存在せず下請分業構造が未発達である以上、外国工作機械メーカーも米国生産では部品内製比率を高くせざるを得ない。ヤマザキマザックは1970年代の米国現地生産において板金等部品を内製することで問題解決しており、部品内製は海外生産移転のボトルネックにはなく、オークマは2008年のリーマン危機後に原価削減のため部品内製を進めたが、それにより海外生産展開が容易になったわけではないとする。問題は「擦り合わせ」を強みとする生産システムの再現可能性であり、熟練工の不在というよりも、長期雇用関係の下で「擦り合わせ」能力を習得した熟練工の育成確保の困難が海外生産移転を阻害したとする。

¹³⁵ この点、生産・販売・サービス三位一体の国際展開を経営方針としたヤマザキマザックは、国内生産は高付加価値シフトしつつも、現地生産により標準機を広範な顧客層に販売供給できたため、オークマほどに主力事業領域を高付加価値・専用品シフトせずボリューム・ゾーンを外さない事業展開を行うことができた。

なり、老舗の池貝鉄工所、日立精機等が2001年以降経営破綻し、各社は海外市場に活路を求め外需比率は1991～1998年に25.7%から53.8%に上昇した。国内需要が構造的に停滞する環境では、顧客の個別ニーズにきめ細かく対応して差別化製品が提供できるか、また、海外では成長分野の工作機械需要を如何に捉えるかが課題となった。

図22 工作機械受注高及び外需比率の推移



出所：日本工作機械工業会調べ 単位：百万円(左軸)、%(右軸)

厳しい経営環境の中、1990年代後半にオークマは、国内自動車メーカーが自動車金型・部品に求める曲面の高速・高精度加工の技術革新に成功する。2000年代には、欧州メーカーが先行する複合加工機・5軸制御の開発に取り組み¹³⁶、NC装置の自主開発能力を活かして工作機械の更なる高速・高精度・高機能化を進め、同時に熱変位制御・衝突防止・幾何誤差補正等の「知能化技術」により製品差別化を図った。2000年代は世界経済が米国経済復調と中国の爆発的拡大により力強い成長を遂げ、自動車生産が先進国から新興国にも拡大し、建設機械、航空機・船舶、資源・エネルギー等重厚長大産業が活況を呈する中、工作機械需要も長期成長を続けたが、オークマは差別化製品・技術により外需のうち高付加価値部門の伸びを捕まえようとした。

¹³⁶ 日本工作機械工業会(2012)で稲葉善治・同工業会副会長(当時)は「日本は高速・高精度化では早い時期から技術開発が進んでいたが、同時5軸・複合化といった分野ではヨーロッパに先行され、(2010年代は)そのキャッチアップの10年だった」とする。

表 21 オークマの智能化技術

熱変位制御(サーモフレンドリーコンセプト)	工作機械は加工に伴う熱発生や気温変化により補正が必要となる問題に関し、「①熱変形が単純で ②温度分布を均一化する機械構造でかつ素直な挙動とし、③高精度な熱変位補償制御を加える」ことで、一般的な工場環境で熱変位を気にせず安定した寸法精度で加工ができる技術
衝突防止機能(アンチクラッシュシステム)	機械・素材・工具の3次元データを用いて、機械の実動作のほんの少し先をシミュレーションすることで、実際に衝突が起きる直前に機械を停止させる技術(動作・機構が複雑な複合・5軸加工機でも機械破損させずに安心して作動できる(破損修理は極めて高額))
加工条件探索機能(加工ナビ)	加工状態を「見える化」し、熟練者でなくとも容易に機械と工具の能力を最大限に活かす加工条件を探索できる機能(例 ミーリング加工でびびり発生時に最適な主軸回転速度が自動表示され、オペレータは画面ガイダンスに従って回転速度を変更し効果確認できる)

(出所)オークマ資料に基づき筆者作成

しかしながら、バブル崩壊後に低迷していた国内需要が、1990年代後半、アジア金融危機に起因する国内景気後退で深刻化すると更に低迷の度合いを増したことから、オークマは、自動車メーカー等の高速・高精度の加工要求に応えるべく技術革新に取り組み、絶えず工作機械の高付加価値化を追求してきたものの、国内事業はますます収益悪化を辿る。

当時の工作機械メーカーにとり活路は海外市場開拓にあったが、1. に示したように、工作機械は「擦り合わせ」型の産業であり、開発生産に高度の「擦り合わせ」能力を要することから海外生産展開が難しく、1970年代以降、生産・販売・サービス三位一体のグローバル化を経営方針として海外販路開拓に取り組んできたヤマザキマザックを除けば、オークマも含めてグローバル生産体制構築に成功した工作機械メーカーはなかった。2002年米国現地生産を断念したオークマは、同時にグローバル生産による海外市場のボリューム・ゾーン開拓も断念せざるを得ないこととなり、2000年代に円高が昂進すると価格競争力の更なる低下により経営破綻の危機に瀕する。

(2) グループ再編と生産システム改革¹³⁷

厳しい経営環境下に成長セクターの需要を捉えようと努力する中、オークマは高度成長期来の規模拡大によりグループが非効率化している事実を発見する。第一に、グループの中核企業であるオークマと大隈豊和機械が相互に連携を取らず、独自に事業展開してきた結果、生産する製品の重複に加え、生産システムが同一グループにもかかわらず異なり海外販売網も共有できず、顧客に対して、幅広い製品ラインアップから工作機械を組み合わせシステム提案する力が弱かった。第二に、オークマ、大隈豊和機械の間で製品が重複するため、個々の工場が十分な生産量を確保できずコスト高に陥り、また、両社の工場群それぞれにおいても、製品分業が不徹底であり加工・組

¹³⁷ 2 (2)の分析は、オークマ訪問取材(2017年6月7日)、同取材(2017年11月21日)及びMonoist 2014年3月27日付記事(「日本で作って世界で勝つ」——オークマが“夢工場”で描く未来とは)、同2016年11月9日付記事(生産革新を実現する複合加工機やマシニングセンタ、工程を吸収——オークマ)、中小企業基盤整備機構(2013)に拠る。

立が融通され、一貫生産による効率化が実現できていなかかった¹³⁸。

そこで、オークマは2005～2006年にオークマ、大隈豊和機械、大隈エンジニアリングの企業統合を行い、2006～2009年にオークマと大隈豊和機械の生産システム統合と、製品重複排除と加工・組立一貫生産を原則とする工場再編に着手する。第一段階(2006～2007年)では、オークマ本社工場・可児工場、旧大隈豊和機械江南工場の再配置を実施し、本社工場に旋盤・複合加工機、可児工場に門形MC、江南工場に縦型旋盤・縦型複合加工機の生産を移管集中し、従来、同種製品を重複生産する工場間で相互融通していた部品加工・製品組立工程を各工場で一貫生産することとした¹³⁹。

表 22 グループ3工場の製品集約化

本社工場	需要旺盛な立・横旋盤・複合加工機の(加工・組立)一貫生産 需要変動に柔軟に対応する戦略的工場(15万m ²)
可児工場	MCの自己完結一貫生産工場(門形MC、立・横形MC)(10万m ²)
江南工場	旧大隈豊和機(立形旋盤、立形複合加工機、五軸制御門形MC)工場 オークマの高効率生産方式(基準生産計画、ユニット・モジュール化等)の展開 ボトルネック工程を最新鋭設備に更新、大型機増産のための組立場所再編(33.5万m ²)

(出所)オークマ資料に基づき筆者作成

第二段階(2008～2009年)では、顧客ニーズを満たす短納期対応、需要変動への迅速・柔軟な対応のために、オークマは高効率スピード生産を実現すべく生産システム改革に取り組んだ。異質の生産システムを採る旧オークマと旧大隈豊和機械の工場統合は容易でなかったが、無人自動化設備の導入、設備・人員の最適配置、加工組立標準改革、工程リードタイム見直し、物流改革等により、立・横形MCの生産性50%向上、門形MCの生産性30%向上を達成し、ユニット生産化により立形MCは受注後2ヶ月で出荷可能となった。また、部品内製化と外注費大幅削減、生産システム統合による変動費圧縮、新情報システム導入等による固定費圧縮により、オークマは収益管理体制を刷新した¹⁴⁰。

¹³⁸ T K C「戦略経営者」(2007年12月号)の取材で、富田俊雄・オークマ取締役(当時)は「オークマと大隈豊和機械は兄弟会社とはいえ、この数十年間、人事交流はさほどありませんでしたし、生産システムなども違っていた」と説明、両社は事実上の独立会社であったとする。

¹³⁹ 初期計画では本社・可児・江南の三工場体制による再配置と一貫生産化が予定されたが、リーマン危機後の世界的需要縮小により本社・可児二工場集中生産体制が決定され、2009年に江南工場の生産活動は本社・可児工場に分割移管され事実上の閉鎖となった。

¹⁴⁰ オークマ株式会社2006年度決算説明会資料(2007年5月17日)、同2007年度決算説明資料(2008年5月14日)、同2008年度決算説明会資料(2009年5月8日)等。

表 23 オークマの生産システム改革

<p>高効率スピード生産</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○無人自動化設備の導入、設備・人員の最適配置化 ○加工組立標準の改革、工程リードタイム見直し、物流改革、生産準備モニター時間短縮によるスピード生産化 ○製品のユニット化によりユニット生産システムを構築(立形MCで受注後二ヶ月出荷体制を実現) ○物流改革は、2008年に本社に新物流センターを建設、専用品・大物部品は三工場に直納(物流リードタイム及びコストが▲20%減)、共通品・小物購入品は新物流センターで集中管理化(在庫・物流コストが▲30%減)。 ○正社員の加工・組立スキルの向上と多能工化に向けて、加工組立標準改革に基づき休業教育等の研修強化
<p>収益管理体制の整備</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○変動費圧縮(内製能力強化、生産管理システム統合・強化等) ○固定費圧縮(業務処理・メール等新情報システム導入、報酬・残業代・賞与の削減抑制、ゼロ・ベース予算、外注費の大幅削減等) ○棚卸資産等在庫圧縮とキャッシュフロー重視

(出所) オークマ資料に基づき筆者作成

(3) 総合的な生産システム改革能力の蓄積

2000年代半以降、オークマは、複合加工機・5軸制御機の開発、工作機械の高速・高精度・高機能化、熱変位制御・衝突防止・幾何誤差補正等知能化技術による製品の高付加価値化・差別化と同時並行で(大隈豊和機械の高剛性技術は差別化に貢献)、以上のように国内生産システム改革に取り組んだ。

”Smart Factory”は生産ラインのIT制御を「売り」とするが、実は、生産性向上の成否は、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化・レイアウト見直し等の生産ラインの最適化等と生産ラインのIT制御のトータル・パッケージで決定される。

”Smart Factory”の目的は工場の生産性向上であり、生産ラインのIT制御は生産性向上のツールの一つに過ぎない。工作機械メーカーは企業ITシステムによる生産ライン制御等についてOT、IT、企業システム等”Smart Factory”関連企業に対抗できないが、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化・レイアウト見直し等の生産ラインの最適化等のベスト・ミックスの開発・提供に強みがあり、顧客工場の生産性向上に関して、これこそが工作機械メーカーの顧客の”Smart Factory”ニーズに応じて行く道だった。

オークマは”Smart Factory”提言前の2000年代半に自社工場の生産システム改革に取り組み、生産ラインのIT管理化と生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化・レイアウト見直し等の生産ラインの最適化等をベスト・ミックスして、工場の生産性を向上させる能力を獲得する。国内生産システム改革は、オークマの”Smart Factory”観と”Smart Factory”対応の基礎となった¹⁴¹。

¹⁴¹ オークマ訪問取材(2017年6月7日)

3. オークマの” Smart Factory” 実証

2010年代初にドイツが” Smart Factory” を次世代製造システム標準として提言すると、世界的に次世代の産業競争力を左右する” Smart Factory” の開発導入に向けた取組がブーム化。将来、製造システムとしての付加価値が企業ITシステムによる生産ライン最適制御にシフトした場合に工作機械ビジネスは如何にあるべきかを探求すべく、第1期(2014~2017年)の工作機械メーカーは、オークマも含めて、自社工場をモデルとして” Smart Factory” 実証に取り組んだ¹⁴²。

(1) ロードマップに基づく” Smart Factory” 実証

先進的工作機械メーカーであるヤマザキマザックはいち早く” Smart Factory” 実証を進め「工作機械メーカー版” Smart Factory” 」を具体化し、それに向けたロードマップを策定、2017年に公表した(前掲表15参照)。オークマは自らロードマップを公表していないが、” Smart Factory” に向けた道程に関する考えはヤマザキマザックと共通であるとしており、オークマの” Smart Factory” 実証もヤマザキマザックと同様に、製造現場のオープン・ネットワーク化、熟練工ノウハウのAI化、企業ITシステムと生産ライン制御システムの統合等と段階的に進んだ。

①製造現場のオープン・ネットワーク化

オークマも” Smart Factory” 化の第1段階は「製造現場のオープン・ネットワーク」であると考え、ヤマザキマザックのMazak SMART BOXに相当するものとしてSuite Boxを開発、工作機械に実装して情報端末化した。

製造現場のオープン・ネットワーク化を前提として、オークマは第2段階の「製造ビッグデータの分析と生産改善」に取り組み、後述する新鋭工場のDS(Dream Site)1では、Suite Boxを通じてリアルタイム収集した製造関連データに基づき加工・組立工程を「見える化」し、生産ラインにおける生産進捗状況を把握。遅れ、不具合等の発生箇所があれば原因を解明し手当て(生産ライン全体の稼働状況等を見分すると生産ラインのカイゼン案も発見できる)、機械・工具の消耗状況を見て故障時期を予想し(要すれば)部品交換や点検を行うなど予防保全を行うこととした。

②熟練工ノウハウのソフトウェア化

ヤマザキマザックと同様、第2期(2018年以降)、オークマも第3段階「熟練工ノウハウのAI化」と第4段階「システム連携」の課題に同時に取り組んだ(ヤマザキマザックは第3段階「システム連携による分析・最適化」、第4段階「熟練工ノウハウのA

¹⁴² 3. の分析は、オークマ訪問取材(2017年6月7日)、同取材(2017年11月21日)及びMonoist 2017年7月7日付記事(インダストリー4.0の動きの中でオークマが目指すもの)、2018年8月13日付記事(多品種・少量生産に対応するスマートファクトリー新工場を建設)、2019年6月11日付記事(「オークマが新世代スマートファクトリーを稼働開始、無人化技術とIoTを融合)に拠る。

「AI化、システム連携の高度化」として発展段階を逆にしているが、第3段階と第4段階への同時挑戦により、結果的に両社の取組内容は同じとなっている。

「熟練工ノウハウのAI化」については、先進国に共通する熟練工不足とマス・カスタマイゼーションによる作業の複雑化に伴い、経験の浅い作業員でも使える設備、ボタンを押すだけで生産できる自動化機械、自動化システムへのニーズが高まっており、このニーズに対応して、加工ノウハウ・生産ノウハウ等をソフトウェア化して工場に実装する必要があった。

この点、オークマは、生産ラインの最適制御方法をソフトウェア化し生産支援システムとして実装、生産支援システムが生産ラインの稼働方法・計画、各工作機械の加工プログラム、工具・治具等の準備計画を自動的に割り出し、工場オペレータはこれを素案として生産ラインの最適制御プランを決定できるようにした。

③企業ITシステムと生産ライン制御システムの統合

「システム連携」とは、ドイツの”Industrie4.0”の目指す市場動向に即応した柔軟かつ機動的な変種変量生産の実現を目的とするもので、そのためには企業ITシステムと生産ライン制御システムを統合する必要があり、オークマも日立製作所の協力を得てDS1に続く新鋭工場のDS2において製品組立工程とERPの連携を実現しようとしている¹⁴³。

オークマは企業ITシステムと生産ライン制御システムの統合の先に、AIによる生産ラインの最適制御の自動化(生産支援システムが生産進捗状況等に対応して自動的に生産ラインの稼働スケジュールを再調整し、工具・治具の準備・着脱、材料準備等も含めて生産ラインに対して再指示を行う等)があると考えており、将来、その段階においてデジタル・ツインによる最適化(CPS)等に取り組むことを考えている。

(2) ”Smart Factory”化に限定されない総合的な工場生産高効率化の追求

オークマの”Smart Factory”実証はヤマザキマザックと同様に”Smart Factory”ロードマップに沿って段階的に実施されたが、ヤマザキマザックがITシステムによる生産ライン制御に絞った形で実証を行ったのに対し、オークマは生産ラインのIT制御に限定されない総合的な工場生産高効率化に取り組んだ。オークマは2000年代の国内生産システム改革に続き生産システム改革を断行、”Smart Factory”化を追求するのではなく、”Smart Factory”を契機として工場生産高効率化を追求した。

¹⁴³ オークマは、第4段階のAIによる生産ラインの最適制御の自動化(生産支援システムが生産進捗状況等に対応して自動的に生産ラインの稼働スケジュールを再調整し、工具・治具の準備・着脱、材料準備等も含めて生産ラインに対して再指示を行う等)は、企業ITシステムと生産ラインの制御システムの統合の先の課題であり、第4段階で想定するデジタル・ツインによる最適化(CPS)等に取り組むことを考えている。

①” Smart Factory” 等製造システム改革の目的

オークマは、ドイツの” Industrie4.0” 提言には拘泥しておらず、企業 IT システムによる生産ライン制御が製造企業の唯一絶対の課題とは考えていない。Siemens 等が” Smart Factory” により実現しようとした、市場動向に即応した変種変量生産は生産ライン高効率化の一つの在り方に過ぎず、顧客メーカーが” Smart Factory” 化を含めて、製造システム改革に期待するのは工場生産高効率化であるとする¹⁴⁴。

オークマは、2000 年代半以降の自社グループの工場再編と本社工場（大口工場）のゼロ・ベースからの再建の経験から、顧客工場の千差万別な製造現場と製造課題に応じて工場生産高効率化を実現するには、企業 IT システムによる生産ライン制御だけではなく、工場レイアウト見直し、工程集約・自動化など生産ライン改革など工場生産高効率化メニューを組み合わせる最適なソリューションを作る必要があると考えた。

②スマート化を阻む「昭和の工場」

では、オークマは第 1 期に” Smart Factory” 実証にどのように取り組んだのか。

オークマの原点は、2000 年代後半に内需低迷と円高の苦境下、企業存続を賭けて生産効率向上に取り組んだ経験にある。第一に生産品目の重複していた本社工場と可児工場の間で、複合加工機・大型旋盤と門形 MC との製造分担を実施。第二に、各工場のレイアウトを見直し部品加工・製品組立工程を一貫化。第三に、顧客の短納期発注及び需要変動への迅速・柔軟な対応のために、無人自動化設備の導入、設備・人員の配置最適化、加工組立標準の改革、工程リードタイム見直し、物流改革等を行った。

しかしながら、旧本社工場は工場設計思想が一時代前のもので、工程集約やレイアウト見直しに制約のある「昭和の工場」であるため、既存工場を前提としたままの改革には限界が存在。2010 年代の超円高を前にしては、如何に IT 技術を活用しても、それ以上の生産性向上は無理だった。

旧本社工場の生産改革を阻んだ理由は、第一に、工作機械の製造工程は、製品モジ

¹⁴⁴ オークマ訪問取材（2017 年 11 月 21 日）、同取材（2019 年 7 月 10 日）、Monoist2017 年 7 月 7 日付記事（インダストリー4.0 の動きの中でオークマが目指すもの）。” Smart Factory” は市場動向に即応した変種変量生産の実現のため企業 IT システムによる生産ラインの最適制御及び製造 IoT プラットフォームによるカイゼンの自動化を目指す製造システム改革であるが、顧客工場の” Smart Factory” 化ソリューションは OT、IT、企業システム企業等の事業領域である。工作機械メーカーが次世代製造システム標準である” Smart Factory” において独自事業領域を維持するには、OT 企業等と顧客工場の” Smart Factory” 化を競争しても優位に立つことはできず、図 9 で示すように、水平方向の工場生産高効率化ソリューションに注力する必要がある。オークマは 2000 年代のグループ再編と国内生産システム改革において円高を克服できる高効率生産を追求する過程で、顧客の工場生産高効率化ニーズは” Smart Factory” に代表される垂直方向の工場生産高効率化ソリューションだけでなく、水平方向の工場生産高効率化ソリューションを顧客の製造現場・課題に最適化された形で組み合わせることで始めて充足されることを認識理解した。ヤマザキマザックとオークマの” Smart Factory” を契機とした工作機械ビジネス革新で両社の道を分けた一因はこの点にある。

ジュール化に伴い「部品加工・製品組立」の2段階から「部品加工・モジュール組立・製品組立」の3段階に転換したが、2段階工程を前提とした旧工場では、3段階工程をストリームラインにつなげる工場レイアウト変更が難しい、第二に、旧工場では、部品・工具・治具等を倉庫や中間ストック・エリアで集中保管・管理し、必要分のみ適時供給するのではなく、各加工工程の作業員が必要に応じて都度、部品・工具・治具等を調達に行き、「持ち場」に搬送せざるを得なかったため、オペレーション改善に難がある、第三に、部品・工具・治具等の集中保管・管理体制の欠如により、各組立ユニットは個別に部品・工具・治具を調達した部品等をバッファーも含めてユニット近傍に床積みせざるを得ず、組立工程全体の見直しにより、受注動向に即応した柔軟かつ機動的な生産を行おうにもフロア管理が難しい等の事情があった¹⁴⁵。

③レイアウトの見直しからスタートしたDS1スマート化

そこで、オークマは旧生産ラインを一度壊して(更地化)、第一に、部品加工・モジュール組立・製品組立が川上から川下にストリームラインに並ぶよう工程配置を行い(部品・工具・治具・材料の輸送に適した幅の広い回廊の導入も含む)、第二に、製造方法を見直して工程集約を行い、従来複数台の工作機械を要した加工を1台の工作機械により処理することでライン短縮化を図り、第三に、加工・組立工程の老朽化した工作機械等を新鋭マシニングセンタに交換するとともに、第四に、工具・治具・材料の集中保管・搬送システムを作り各加工工程・組立ユニットの必要に応じてデリバリーし、使用する工具・治具・材料等を補完するラックを各作業場に輸送回廊に沿った場に用意し作業効率を改善した。

④設備稼働状況等の「見える化」

このように生産ラインの高効率化を前提として、オークマはDS1の” Smart Factory”化に取り組んだ。

オークマでは、2000年代後半も生産設備を無線LANでネットワーク化し、工場内設置モニターやタブレットで設備稼働や品目生産の状況を確認できるよう「見える化」したが、DS1の新設に伴い、第一に、LANではなくインターネットをIT基盤に切り換え、第二に、工作機械等にSuite Boxを実装して情報端末化、生産関連情報をリアルタイムで収集、第三に、収集データは工場の管理コンピュータに蓄積、加

¹⁴⁵ オークマ訪問取材(2017年11月21日)、Monoist2018年8月13日付記事(多品種・少量生産に対応するスマートファクトリー新工場を建設)。オークマは「昭和の工場」から脱却すべく、工場をいったん更地とした上で、DS1においては、部品加工専門に最適化された生産ラインを設計し直し、新たなレイアウトに基づき部品加工専門ラインを構築した。生産ラインのレイアウト見直しは工場再建設にも等しい負担も発生しかねないため、顧客が簡単には実行に同意するプログラムではない。このため工場生産高効率化ソリューションから端から除外されても仕方がないプログラムであるが、オークマが敢えて” Smart Factory”において独自事業領域を確保するための工場生産高効率化ソリューションの基本メニューとしているのは同社の2000年代以降の国内生産システム改革の経験による。

工・組立工程の稼働状況を「見える化」(要所に置かれた表示用コンピュータ及び運行管理責任者のタブレットで確認可能)、第四に、それにより生産ラインにおける生産進捗状況を把握、遅延・不具合等の発生している箇所があれば原因を解明し手当て、第五に、機械・工具の消耗状況を見て故障時期を予想して部品交換や点検を行うなどの予防保全を行う「スマート化」を行った。

オークマはDS1のスマート化を更に推し進め、生産ラインの「つなぐ」「見える化」による工作機械の稼働状況、工具・治具等の状況、ワークの加工進捗状況等の把握だけに止まらず、加工ノウハウ・生産ノウハウをプログラム化し生産支援システムに実装し、加工部品の設計図が与えられればAIが生産ラインの稼働方法、各工作機械の加工プログラム、工具・治具等の準備計画などを割り出し、工場オペレータはそれを素案として生産ラインの最適制御プランを決定できるようにした¹⁴⁶。

⑤オークマのDS1での教訓

DS1での新工場建設の経験から、オークマは、生産ラインの「つなぐ」「見える化」など”Smart Factory”化に取り掛かる前に、個別製造現場の千差万別な状況に即し工場(生産ライン)レイアウトの見直しと工程集約等など生産ラインのコンパクト化・効率化を行う必要があり、その上で、生産ラインに対して、AIによる最適制御を組み込んだ、スマート・マシン(IoT化された工作機械)から構成される工作機械システムを導入するのでなければ、真の生産効率向上は実現できず、ましてや企業ITシステムと生産ラインの制御システムを統合しても、市場動向に即応した柔軟かつ機動的な生産などできないと結論。

オークマはかかる”Smart Factory”観をベースとして”Smart Factory”関連ソリューションを考えることとし、顧客の工場生産高効率化に向けて、生産ラインのレイアウト見直し、工程集約などの生産ライン改革と工場IoT化を一体化した総合プランを提供することを着想した。オークマの”Smart Factory”実証は2010年代になってドイツの提言を受けて動き出したものではなく、2000年代の国内生産システム改革と連続した取組であり、同社が2000年代の国内生産システム改革で蓄積した総合的な生産システム改革能力を更に”Smart Factory”実証において発展させた¹⁴⁷。

(3)工場生産高効率化の類型化

～部品加工専業ラインと部品加工・組立一貫ライン～

オークマは、自社工場における”Smart Factory”実証を通じて、”Smart Factory”を契機として追求されるべきソリューションでは、顧客工場のIoT化ではなく生産性向上自体が追求されるべきであり、そのためには生産ラインのレイアウト

¹⁴⁶ オークマ訪問取材(2017年6月7日)

¹⁴⁷ オークマ訪問取材(2017年11月21日)、同取材(2019年7月10日)。

見直し、工程集約などの生産ライン改革と工場IoT化を一体化した総合プランを提供する必要があると認識する。

顧客工場は千差万別であり、個別工場に最適化されたプランを追求するならば際限のないカスタマイズが必要となるが、一方、“Smart Factory”ソリューションをビジネス化する上でコストを合理的な範囲に抑える必要があり、ソリューションの標準化が不可欠である。オークマは自社工場の“Smart Factory”化の取組から、仮説的ながら部品加工専門ラインと部品加工・組立一貫ラインの2つの類型化を試みた。

①DS1とDS2の生産ラインの相違

オークマは本社工場の旧生産ラインを更地化した敷地でDS1に引き続きDS2の建設に着手し、DS1が複合加工機、大・中型旋盤、立型旋盤の一貫生産、DS2は中・小型旋盤、研削盤の一貫生産を生産分担することを構想した。

オークマの考えでは、DS1は部品加工専門メーカーに、DS2は「部品加工+組立」一貫メーカーに製造ニーズが似るとする。すなわち、DS1における部品加工は多品種少量とはいえ約1000品目に止まるのに対し、2017年5月に部品加工工場が稼働開始したDS2は、第一に、多品種少量生産の点ではDS1を遥かに上回る約4000品目の部品加工を行うため、ワークの移動、治具の段取り、加工工程等が複雑である、第二に、多様な中・小型旋盤、研削盤の生産を担当する関係で、「必要なものを、必要な時に、必要な量だけ」作り、急な短納期品の割込み受注や、納期・仕様の変更による生産計画変更に対応する必要がある、ワークの移動、治具の段取り、加工工程等は更に複雑なものとなっている。

DS1と比較すると、DS2では、“Smart Factory”が課題とした変種変量生産、マス・カスタマイゼーションへの要請が大きく、“Smart Factory”の眼目である企業ITシステムによる生産ラインの最適制御が必要である。なぜならば、DS1のような部品加工専門ラインは需要変動にバッファ在庫で対応できるため、ITシステムによる生産ライン制御への必要が相対的に低いが、DS2のように部品加工・組立一貫ラインでは、数万点の部品を組み立てるため余剰在庫を抱えられず、「必要なものを、必要な時に、必要な量だけ」作り、急な短納期品の割込み受注や、納期・仕様の変更による生産計画変更に対応するには、受注・部品加工・組立を同期化しなければならず、生産ラインのIT制御が不可欠となるからである。

オークマはDS1、DS2における“Smart Factory”化を含めた工場生産高効率化に向けた取組の過程で、部品加工専門と部品加工・一貫組立の2類型に基づき“Smart Factory”に関連したソリューションのビジネス化に取り組むことを決めた¹⁴⁸。

¹⁴⁸ オークマ訪問取材(2017年11月21日)、同取材(2019年7月10日)、Monoist2018年8月13日付記事(多品種・少量生産に対応するスマートファクトリー新工場を建設)。

②日立製作所との協働によるDS2スマート化

オークマは生産ラインのIT制御による工場生産高効率化についてソリューションを具体化できているわけではないが、現時点までにDS2で進行している試みについて言及しておく¹⁴⁹。

オークマは、DS1では、生産設備の自動化・無人化と稼働状況の「見える化」（“Smart Factory”ロードマップでは第1段階及び第2段階の取組に相当し、ERP・MES・PLCの垂直統合化と、3層の垂直統合された生産ラインの最適制御までは踏み込まず）により、工場の生産性や稼働率を大幅に引き上げることに成功した。

DS2については、DS1とDS2の生産ラインの質的相違から、DS1と同一の生産管理では生産の進捗を迅速に把握できないと判断。オークマは、DS2においてマス・カスタマイゼーションを徹底した「究極の高効率生産モデル」の実現を目指し、OT企業の日立製作所と提携して、「生産の見える化の進化」と「工場制御周期の高速化」をテーマとする共同実証を2017年に開始した。

DS2でオークマは、企業ITシステムと生産ライン制御システムを連携させて「受注一部品加工組立」の同期化を図り、生産優位変更指示等が急に入っても、生産状況を即座に把握して作業指示の周期を速める仕組を構築しようとしている（旧工場比で生産性2倍・生産リードタイム半減を目標）。具体的には、日立製作所のIoTプラットフォーム「Lumada」の生産計画最適化ソリューションを「進捗・稼働状況監視システム」として採用、生産進捗と設備稼働に関するデータをリアルタイムで連携収集し、生産進捗と設備稼働を一元的に監視できるシステムを開発・導入（図23参照）。

この一元化により現場データを統合的かつリアルタイムで分析できるようになり、
①工場内でトラブルが発生した場合、タブレット端末や製造現場の画面で状況を確認し、機械停止の原因究明、対策優先度の高い機械の特定など問題を早期発見し対処、
②生産に遅れが発生した場合にも、生産計画と実績の乖離と将来の影響度等をシミュレーションし挽回計画の立案が可能できるようになったとオークマは評価している。

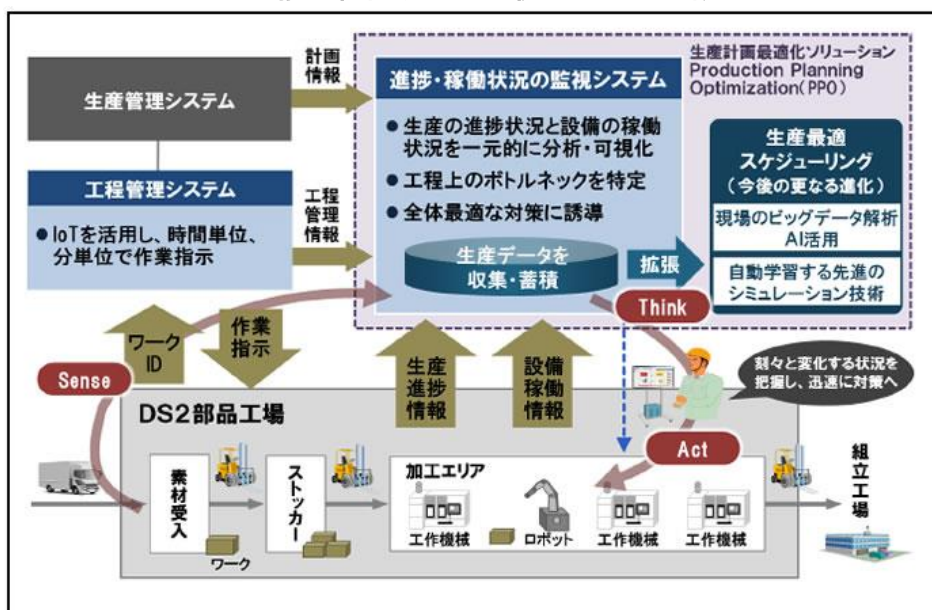
また、「工場制御周期の高速化」に関して、オークマは、日立製作所が大みか事業所で導入したワークID（認識タグ）を活用した工程管理システムを導入、素材・部品、その保管場所・搬送台車に識別用のワークID（RFIDタグ）を取り付け、すべての加工部品が工場内のどこに、どの状態で存在するかを正確に把握できるようにした。オークマでは、従来も、どの部品が、どの工程に存在するかまでは把握できていたが、日立製作所の工程管理システムの導入により、工程間を移動中のすべての部品に関する情報も時間単位で把握できるようになり、従来は日単位だった生産の作業指示が時

¹⁴⁹ Monoist 2017年5月22日付記事（スマートファクトリー化に向け実証開始、日立とオークマが協業）及び同2019年6月14日付記事（オークマの“夢工場”はスマート化とロボット化で花開く）。

間単位で可能となったとする。

オークマが第1期(2014~2017年)末以降に”Smart Factory”関連ビジネスとして立ち上げた工場生産高効率化ソリューションでは、DS2で追求されている企業ITシステムによる生産ラインの最適制御は高効率化プログラムに組み込まれてはいないが、オークマは引き続き”Smart Factory”に関する実証研究を続けている。

図23 進捗・稼働状況の監視システムの概念図



(出所)オークマ資料

4. オークマの”Smart Factory”ビジネス観

オークマは自社工場での”Smart Factory”実証の結果を踏まえ、第1期(2014~2017年)末以降、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に取り組む。オークマは2010年代に”Smart Factory”に遭遇して初めて工作機械ビジネス革新を考えるに至ったのではない。2000年代以降、経営危機から脱却すべく国内生産システム改革に取り組む過程で工場生産高効率化に関する画期的なアプローチを形成し、それを2010年代に”Smart Factory”を契機としてビジネス化しようとした。オークマの”Smart Factory”ビジネスの出発点は2000年代の国内生産システム改革における工場生産高効率化にあるが、オークマは2000年代以降の国内生産システム改革を通じて、どのような”Smart Factory”観を養ったのだろうか¹⁵⁰。

¹⁵⁰ 本稿の分析は多くをオークマ訪問取材(2017年6月7日)、訪問取材(2017年11月21日)、同取材(2019年7月10日)に負っている。”Smart Factory”の本質と工作機械メーカーのビジネス革新について眼を開くことができたことを深謝したい。

(1) 工作機械ビジネス革新の契機としての” Smart Factory”

オークマは、ドイツが” Industrie4.0” で提言する市場動向に即応する変種変量生産の重要性を認識し、” Smart Factory” の企業 I Tシステムによる生産ライン制御が重要解の一つであることも理解していたが、2000 年代の国内生産システム改革と 2010 年代の” Smart Factory” 実証を契機として実施した主力工場・大口製作所の生産システム改革を通じて、製造企業が抱える課題は市場動向に即応する変種変量生産に限定されるものではなく(PLCのグローバル・メガ・メーカーの Siemens の課題がすべてではない)、仮に、変種変量生産の極限化を追求する場合にも、企業 I Tシステムによる生産ライン制御だけでは目的達成できないこと(非効率的な生産ラインを I T制御しても高効率化は不能)を発見していた。

顧客メーカーが、工作機械・ロボット・OT等生産システム関連産業に対して要求するものは結局のところ工場生産高効率化であり、ドイツが” Industrie4.0” において” Smart Factory” を先進国製造企業の唯一解として提言したのとは裏腹に、顧客工場の千差万別な状況・条件に応じ高効率化ソリューションも多種多様であるとオークマは考えた。IoT革命により” Smart Factory” のみが着目され、” Smart Factory” 化が新規事業化しつつあると語られているが、オークマの考えでは、顧客メーカーが工場 IoT化ではなく自社工場の生産高効率化を求めている点を直視し、(” Smart Factory” 化を含む)工場生産高効率化が新たにビジネス領域として誕生していると見るべきで、ここに工作機械ビジネス革新のチャンスが存在するとした。

(2) 工作機械メーカーの卓越した工場生産高効率化の総合プラン立案能力

2000 年代の国内生産システム改革、2010 年代の主力工場の” Smart Factory” 化に伴うゼロ・ベース再構築を通じて、オークマは、工場生産高効率化には、個別工場の製造ニーズと製造現場の実態に応じて、生産ラインのレイアウト見直し、工程集約・自動化等の生産ライン改革と工場 IoT化を一体化した総合プランが必要であることを認識する。

オークマの理解では、工作機械メーカーは、2000 年以降のソリューション・ビジネス、特に 2000 年代半以降の生産ライン F A 化に関連して、「マシン中心ビジネス」から脱却し、顧客工場の生産高効率化ソリューションを事業化するチャンスがあったが、工作機械メーカーとして、工場生産高効率化ソリューションにおいて何を提供でき、何が強みであるのかを明確化できておらず、チャンスを逸している。これに対して、2010 年代の” Smart Factory” を契機とする工作機械ビジネス革新では、” Smart Factory” 化ソリューションを提供する OT 企業等との対比で、工作機械メーカーのミッションと強みが明確となったとする。

すなわちOT企業等は” Smart Factory” のITシステムに関しては、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御、製造関連IoTプラットフォームによる製造関連ビッグデータのAI解析について知見・ノウハウを有しているが、工場レイアウトの見直し、工程集約・自動化等の生産ライン改革、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化など生産ライン自体の高効率化には知見・ノウハウを欠く。

これに対し、工作機械メーカーは、ITシステムに関する知見・ノウハウには欠くが、工作機械事業の生産ラインとの密着性から、生産ラインを構成する機械・設備の組合せの最適化、レイアウト見直しや工程集約・自動化等の生産ライン改革に関する知見・ノウハウの蓄積では余人の追従を許さない。このため、” Smart Factory” においてITシステムの制御対象となっている生産ラインの高効率化がソリューション・ビジネス化されるならば、その一番の担い手は工作機械メーカーであり、工場生産高効率化の総合プランの立案で余人には負けないと考えられる。

(3) 未決の課題：工場生産高効率化ソリューションと工作機械事業の関係

2000年代の国内生産システム改革、2010年代の主力工場の” Smart Factory” 化に伴うゼロ・ベース再構築を通じて、オークマはかかる認識に到達し、エッジ・ベースでの生産ラインのIT制御(工作機械等に実装したオペレーティング・システムを企業LANに接続し工場オフィスのPC等により制御)や、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工場レイアウト見直しや工程集約・自動化等の生産ライン改革を組み合わせ、顧客の企業状況・製造ニーズに最適化された工場高効率化の統合プラン策定し、顧客工場にインテグレーションするビジネスを新たに事業化することを企図する。

ただし、工作機械メーカーは「マシン屋」であり、競争力の源は優れた工作機械の開発製造にある。製造企業のサービス成長研究においては、Oliva and Kallenberg (2003)等は” Transition to Service” モデルにおいて、製造企業がサービス化の過程を通じてソリューション・プロバイダに変容することを想定したが、オークマは工場生産高効率化に関してソリューション・プロバイダ化を一切意図していない。このため、コア・ビジネスである工作機械及び工作機械システムの開発製造に加えて、顧客工場の生産高効率化ソリューションを2つ目の事業の柱とすることになるが、問題は両事業では要求される資源・能力が異なるため、工作機械ビジネスに投入すべき経営資源をソリューション・ビジネスに割き、本来ケイパビリティを欠くサービス事業にコミットメントすることが妥当であるか否かであった。

両事業にはシナジー効果はあるのだろうか。あるいは、両事業を一つのビジネスに纏め上げて成長性ある事業とするビジネス・モデルでも存在するのだろうか。オークマは第1期(2014~2017年)末時点で明確な解を持っていたわけではないが、工場高効率化ソリューションにより顧客との長期的な協働関係を構築することで、第一に、(製

造企業のサービス化が企業収益や企業成長への貢献している)工作機械の販売促進を狙い、第二に、ソリューションを通じて得た知見・ノウハウを工作機械開発にフィードバックすることで何かイノベーションにつなげられないか(イノベーション・サイクルの萌芽)と考えて、工場生産高効率化ソリューションに取り組んだ¹⁵¹。

5. 第1期(2014~2017年)末以降の”Smart Factory”関連ビジネス展開

オークマは”Smart Factory”を契機として工作機械ビジネスの革新を目指し、顧客工場の生産高効率化ソリューションを(伝統的な工作機械の製造開発事業の補完ではなく)第二のコア事業として育成することに第1期(2014~2017年)末以降取り組む。

問題は両事業にはシナジー効果はあるのか、あるいは、両事業を一つのビジネスに統合して成長性ある事業とするビジネス・モデルがあり得るのかであるが、オークマは、工場高効率化ソリューションを通じて、顧客と長期的協働関係を構築し、顧客工場の生産高効率化を通じて得られた知見・ノウハウを工作機械及び同システムのイノベーションに活用する形(イノベーション・サイクル)での統合を考えた。

(1)ソリューション・プランの開発

①2種類の”Smart Factory”化プランからのスタート

第1期(2014~2017年)末以降、オークマは”Smart Factory”実証における、主力工場のゼロ・ベースでの工場生産高効率化の取組をソリューション化する。オークマは、工場レイアウトの見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最

¹⁵¹ オークマは経営破綻の危機に瀕した2000年に策定した「新生プラン」において技術革新を課題に掲げ、全社横断的に人材を集め、製品・技術イノベーションのブレークスルーに取り組んだ。従来の研究開発は高速化や精度向上などの既存製品の改善に偏っており、革新的技術が生み出せなかったとの反省に基づき、AI制御など次世代工作機械の要素技術を徹底的に研究、現在のオークマの差別化能力の基礎となっている知能化技術(サーモフレンドリーコンセプト、アンチクラッシュシステム、加工ナビ、ファイブチューニング、サーボナビ)(前掲表20参照)を体系化するのに成功する。しかしながら、開発成果である五軸加工機は2020年時点でも高性能機の評価を維持しているものの、販売実績ははかばかしくなく、「技術者は良い製品を作ることを意識しがちであり、顧客に長期に渉り使ってもらえない製品は価値を生みだせない」と、ユーザ・ニーズを出発点としないイノベーションの弱さや問題を改めて痛感する結果となった。オークマは「技術のオークマ」と尊称され、自動車関連メーカー等の高付加価値機ユーザの求めに応じて既存機の高速度・高精度化にフォーカスして製品・技術開発を行ってきたが、その結果、知能化技術などの要素技術においては卓越した力を身に着けることができたものの、オークマがそれらの要素技術を活用して顧客の製造現場に最適化された工作機械、さらには工作機械システムを開発・供給する段になると、自動車関連メーカー等高付加価値機ユーザ以外の顧客ニーズの把握が必ずしも十分にはできておらず、要素技術の革新的なアイデアを製品開発が上手く結びつかない事態を招いた(NIKKEI STYLE (<https://style.nikkei.com/article/DGXXZ063001120U0A820C2TJ1000/>))。1990年代後半から2000年代はユーザ・イノベーション研究が活発に展開された時期であったが、ユーザのアイデアをイノベーションに活用していく点でオークマを含め工作機械メーカーは遅れており、当初、工場生産高効率化ソリューションは工作機械ビジネスに次ぐ第二の収益の柱として立ち上げが目指されたが、次第に、市場誘導型イノベーションのツールとしての活用の余地がないかが検討されるようになった。

適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革等の工場生産高効率化メニューを組み合わせ、ソリューション・プランを設計・提供することを目標とした。

顧客の製造現場と製造ニーズはどれ一つを取っても同じものではなく、個別工場に応じて最適な工場生産高効率化プランは千変万化する。2000年以降展開されてきたソリューション・ビジネスは、自動車・航空機部門等の高付加価値機の大口顧客が対象だったが、2010年代の”Smart Factory”を契機とする工場生産高効率化ソリューションでは、オークマは顧客を自動車・航空機等に分野に限らず、企業規模も中堅・中小メーカーに拡大したため、顧客工場の工場生産高効率化ニーズとソリューションはますます多様化することが必至となった。

このため、ビジネス立上げの当初より、工場生産高効率化ソリューションを類型化なりメニュー化して顧客提供することは難しく、オークマは、類型化の目途が立っている”Smart Factory”化についてのみ、部品加工専門メーカーと部品加工・組立一貫メーカー向けソリューションを開発し、まずは顧客開拓とソリューション提供を進めることとした。個々の顧客工場においてSmart Factory”化ソリューションを提供実施する過程で、”Smart Factory”化以外の工場生産高効率化プログラムも組み合わせ、工場生産高効率化を実現する実績を積み重ね、オークマはその経験から工場生産高効率化ソリューションを類型化して行こうと考えた¹⁵²。

②部品加工専門、部品加工・組立一貫の”Smart Factory”化の違い

顧客工場の生産高効率化ソリューションの本格ビジネス化の第一歩として、オークマは、自社工場DS1とDS2の”Smart Factory”実証で得られた知見・ノウハウに基づき、オークマの顧客である部品加工専門メーカーと部品加工・組立一貫メーカーに応じた”Smart Factory”化プランを開発する。

オークマの顧客は部品加工専門メーカーと部品加工・組立一貫メーカーに大別できるが(オークマ顧客に限らず、製造企業の大半は完成品ではなく部品メーカー)、部品加工メーカーの8～9割は中小企業であり、工場生産高効率化ソリューションの立上げでは、中堅・中小メーカーの顧客開拓が課題となった。

ここで、部品加工・組立一貫メーカーは、受注状況に即応した”pull”型生産のため「受注-部品加工-組立」を同期化させる必要があり、生産ラインのIT管理化だけでなく、生産ラインのIT管理システムを企業ITシステムに統合する”Smart Factory”化が求められる。これに対し、部品加工専門メーカーは最終製品の受注状況の変動に在庫のバッファで対応できるため、企業ITシステムによる生産ライン制御は不可欠ではなく、生産ラインのIT管理化で足りる。

¹⁵² オークマ訪問取材(2017年6月7日)、訪問取材(2017年11月21日)、同取材(2019年7月10日)。

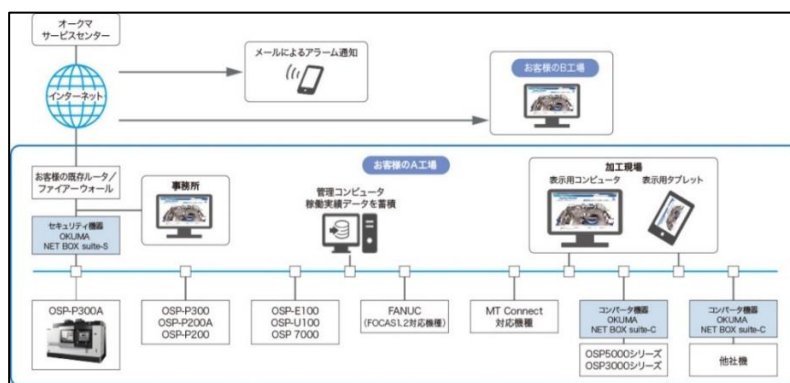
③部品加工専門メーカー向け”Connect Plan”

第1期(2014~2017年)末、オークマはこの相違に基づき、部品加工専門メーカー向けスマート化ソリューションとして”Connect Plan”を開発し提供を開始。”Smart Factory”は次世代製造システムとして期待が高いものの、中小性の高い部品加工メーカーには、企業ITシステムに関連して大規模な投資を必要とする”Smart Factory”化には「二の足」を踏むところが少なくない。そこで、オークマは、将来的に”Smart Factory”化を考える部品加工メーカー向けに、ひとまず「生産ラインの最適制御システム」導入の前提である「製造現場のオープン・ネットワーク化」を行い、ネットワーク化により生産性向上を体験できるプランを開発した¹⁵³。

”Connect Plan”では、第一に、オークマ製工作機械のNC装置(OSP)と工場稼働モニターの”Factory Monitor suite”(PC用ソフトウェア)を接続することで(オークマ旧型機や他社機は”Suite Box”をNC装置に装着)生産ラインをつなぎ(オープン・ネットワーク化)、工作機械の稼働状況、工具・治具等の状況、ワークの加工進捗状況等を「見える化」する。

第二に、”Connect Plan”では、顧客が「見える化」の成果を活かし生産性向上を図れるよう、生産ラインの稼働率に加えアラーム履歴、操作履歴も「見える化」。顧客はこれらのデータに基づいて生産遅延・機械停止等に関する原因追及・分析を行い、生産ラインのカイゼン(機械停止時間削減、稼働率向上)ができる。また、顧客は、個別機械のリアルタイムで「見える化」された稼働実績に基づき、機械停止に早く気づいて対策を打て(アラーム通知機能を活用すれば一層早く対策を講じ、機械停止時間を削減可能)、更に保守点検時期もメンテナンス・アイコンにより「見える化」したため、機械の保守を確実に行えば将来の故障停止を未然に防ぐことも可能である。

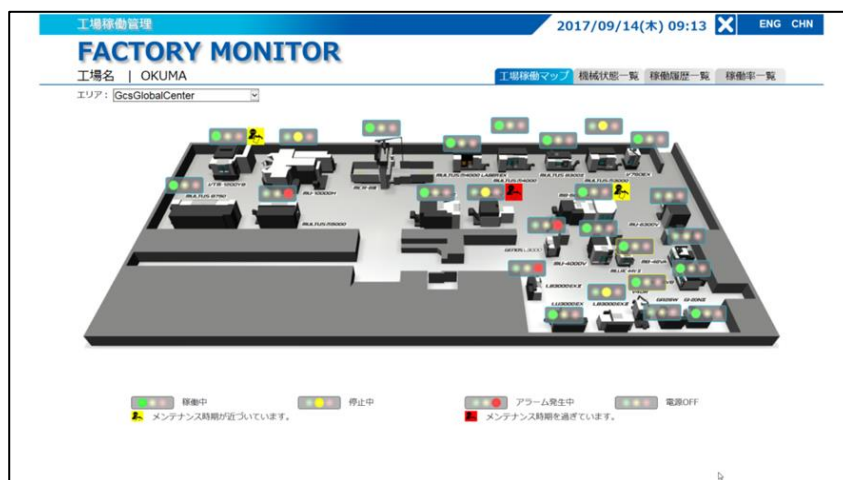
図24 ”Connect Plan”におけるオープン・ネットワーク化



(出所)オークマ・ホームページ

153 日刊工業新聞 2017年1月16日付記事、日経産業新聞 2016年2月3日付記事、中部経済新聞 2017年10月4日付記事

図 25 工場稼働状況の「見える化」



(出所) オークマ・ホームページ

第三に、“Smart Factory”化では、「生産性向上」に加えて「トレーサビリティ」も重要な目的であり、“Connect Plan”では、加工記録管理は加工したワークの固有のIDと、機械毎の加工実績・計測結果を紐付け、「いつ、どこで」「どのように」加工したのか、計測結果は「どうだった」のかを容易に確認できるよう、加工のトレーサビリティを確保しており(オークマ機のNC装置OSPには加工状態監視機能・機械情報ロギング機能を搭載)、仮に、ワークに異常のあった場合、顧客が原因を解析して、一層安心できる高品質生産を実現できるサポート機能を持たせた。

④顧客に対する段階的な”Smart Factory”化の提案アプローチ

“Connect Plan”は、「①製造システムのオープン・ネットワーク化、②生産ラインの最適制御システム構築、③企業情報システムと生産ライン制御システムの統合、④AIによる生産ラインの最適制御の自動化」という”Smart Factory”ロードマップ上に位置付けるならば、「製造現場のオープン・ネットワーク化」と「生産ラインの最適制御システム構築」の中間的なプランである。

ロードマップに従えば、生産ラインの最適制御をソフトウェア化し生産支援システムとして実装、生産支援システムが生産ラインの稼働方法・計画、各工作機械の加工プログラム、工具・治具等の準備計画を自動的に割り出し、工場オペレータがこれに基づき生産ラインの制御プランを決定できるようにする「生産ラインのIT管理化」が次の課題となる。オークマは“Connect Plan”により工場スマート化のメリットを顧客に理解させた上で、「生産ラインのIT管理化」へと進むことを提案する方針を採用した¹⁵⁴。

この点、オークマは、2000年代以降の自社工場の生産改革の経験から、“Smart

¹⁵⁴ オークマ訪問取材(2017年11月21日)、同取材(2019年7月10日)。

Factory”化は、先に工場レイアウトの見直しと工程集約など生産ラインのコンパクト化・効率化を行う必要があり、その上で、生産ラインに、AIによる最適制御機構を組み込んだ、スマート・マシンから構成される工作機械システムを導入しなければ、生産性向上は期待できないと考えているが、現実の企業の設備投資の問題としては、生産ラインのレイアウト変更はもとよりコンパクト化・効率化も中小メーカーにとり投資負担が大きく抵抗感が強いいため、オークマはステップ・バイ・ステップの顧客アプローチを採用することとした。

オークマは「最初から一気に生産ライン更新を提案せずに、顧客が新たに導入する3台程度の工作機械システムにおいて”Connect Plan”を使ってもらい、同時に工程集約で生産ラインを効率化。そして、生産ラインのオープン・ネットワーク化で得たデータを工程管理・移動監視・予防保全に活用すると、生産性を如何に改善できるかを顧客に理解させた上で、次に、顧客が10台規模の全生産ラインを新鋭設備に切り換える際に、工場レイアウト見直しと工程集約を提案、コンパクト・ラインにおいて”Connect Plan”を全面採用させる」とする。

⑤部品加工・組立一貫メーカー向け”Smart Factory”化プランへの挑戦

オークマの考えでは、数万点の部品を組み立てる部品加工・組立一貫メーカーでは、余剰部品在庫を抱えられず「受注部品一部品加工ー組立」の同期化が不可欠であって、企業ITシステムと生産ライン制御システムの統合が必要となる。前述したように(3(3)②)、オークマは部品加工・組立一貫メーカー向け”Smart Factory”化プランの具体化に向けて、本社工場のDS2において、日立製作所と提携して、マス・カスタマイゼーションを徹底した「究極の高効率生産モデル」に関する共同実証を2017年5月に開始した。

現時点では、具体的なソリューション化にまで至っていないものの、オークマは、生産進捗・設備稼働状況の監視システムで収集・蓄積した現場の製造関連ビッグデータと、自動学習するAIの先進シミュレーション技術を活用して、従来は困難だった、刻々と変化する現場の状況に応じて精度の高い生産スケジュールをダイナミックに自動生成するシステムを開発し、生産計画を市場動向に即応して柔軟かつ迅速に最適化することを目指している。その上で、オークマと日立製作所は、部品加工・組立一貫メーカーを顧客として、AI等で生産ラインの最適制御できる工作機械システムを納品するとともに、生産ライン制御システムとERP等企业ITシステムとの連携サービスも「オークマ+日立製作所」のチームで提供することを構想している¹⁵⁵。

¹⁵⁵ Monoist 記事 2017年5月22日付、同2017年6月14日付、同2019年12月9日付。

(2) 難航したソリューション・ビジネスの立上げ

オークマは” Smart Factory” を契機として工場生産高効率化ソリューションのビジネス化を狙っていたが、ビジネス立上げの当初より、顧客工場の千差万別な製造現場に対応して工場生産高効率化ソリューションを類型化して顧客提供することは難しく、現実的なアプローチとして、類型化の目途が立っている” Smart Factory” 化について、部品加工専門メーカーと部品加工・組立一貫メーカー向けソリューションを開発し、まずは顧客開拓とソリューション提供を進めることとした。

当初のオークマの構想では、個々の顧客工場において Smart Factory” 化ソリューションを提供実施する過程で、” Smart Factory” 化以外の工場生産高効率化プログラムも組み合わせて工生産高効率化を実現する実績を積み重ね、可能な限りの短期間で工場生産高効率化ソリューションを類型化しようとしたが、「営業とソリューションの組織的未分化」「” Smart Factory” バイアス」等によりソリューション・ビジネスの立上げが難航する。

① 営業とソリューションの組織的未分化

オークマの工作機械ビジネス革新では、従来顧客層とは異なる顧客開拓の必要に直面することとなった。2000年以降のソリューション・ビジネスは、自動車・航空機等の高付加価値セグメントの大口顧客に対象限定され、かつ、顧客から新製品開発に必要な加工方法の開発とその加工方法に対応する工作機械の開発製造の要請があった場合の「単発ビジネス」であった。これに対し、工場生産性高効率化ソリューションは、自動車・航空機等の高付加価値部門だけでなく広範な製造分野を対象とし、顧客の企業規模も中堅・中小に及ぶ広範な製造企業を相手とし、かつ、顧客の製造活動に即して長期的なフォローとコミットメントが要求された。

このため” Smart Factory” ビジネスには、多大な人的資源等の投入が必要であり、工作機械メーカーはグローバル総合工作機械メーカーでも企業規模・経営資源は限られ、特に人的資源制約がボトルネックとなる。” Smart Factory” 実証等の先頭走者だったヤマザキマザックは第1期(2014~2017年)後半以降” Smart Factory” ビジネスへの取組をスローダウンしてしまい、顧客工場の” Smart Factory” 化を外部のシステム・インテグレータにアウトソースするなど、事実上の撤退を行っている。

この点、オークマは人的資源制約に直面しても直ちに工作機械ビジネス革新を断念したわけではないが、やはり「無い袖は振れ」ず、専門人材、人的資源投入など踏み込んだコミットメントできなかつた。現実的な対応として、既存の営業組織の個別企業担当が、従来の工作機械及び工作機械システムの販売サービスに加えて、“Connect Plan” を含む” Smart Factory” 関連ビジネスの販路開拓を担当し、ソリューション提供も兼務することとなったが、それは新たな問題を産み出すこととなった。

②” Smart Factory” バイアスの発生

営業とソリューションの組織的未分化は” Smart Factory” バイアスの問題を惹起することとなった。

2000年以降、工作機械のコモディティ化と持続的円高による価格競争力の更なる沈下に対応して、オークマは高付加価値セグメント・シフトを更に進めたが、その結果、オークマは高付加価値機の買手である自動車・航空機分野等の大口顧客に自社の工作機械ビジネスをますます依存することとなった。これらの高付加価値分野の大口顧客は、” Smart Factory” に関しても自社工場導入に積極的であり、工作機械メーカーに相談するまでもなく企業ITシステムによる生産ライン制御化を進めている。

一方、オークマが工作機械ビジネス革新で開拓しようとしている顧客は、実は同社が2000年以降の高付加価値シフトの過程で顧客対象から外してきた企業であった。中堅・中小メーカーの多い彼等は、必ずしも工場生産高効率化のために” Smart Factory” 化を要さず、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、レイアウト見直し・工程集約・自動化等の生産ライン改革の最適組合せこそが彼等が求める工場生産高効率化ソリューションであった。

第1期(2014~2017年)末以降、オークマは工場高効率化ソリューションのビジネス化に向けて” Connect Plan” 等の提供を開始したが、中堅・中小顧客は企業ITシステムによる生産ライン制御の意義(特に費用対効果)に懐疑的であり、” Connect Plan” 等「製造システムのオープン・ネットワーク化」ソリューションに対して慎重な姿勢を採った。その結果、オークマはソリューションの販路を中堅・中小顧客に求められず、2000年以降、高付加価値セグメント・シフトにより主要顧客としてきた、自動車・航空機分野等の大口顧客を対象とすることとなった。

これはある意味で営業と組織の組織的未分化の必然的な帰結であった。なぜならば自動車・航空機・資源等の高付加価値セグメントの大口顧客を主要顧客とする営業部門の個別企業担当が、工作機械及び工作機械システムの販売・サービスとソリューション・ビジネスを兼務する以上、” Connect Plan” 等工場生産高効率化ソリューションの顧客は自然と高付加価値セグメントの大口顧客となり、オークマのソリューションも自動車・航空機分野等の大口顧客の求めを反映することになるのは当然である。

彼等はいち早く次世代製造システムである” Smart Factory” に関心を持ち、自社工場への導入を模索していたが、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、レイアウト見直し・工程集約・自動化等の生産ライン改革等による自社工場の生産高効率化については、工作機械メーカーに相談するまでもなく、自社生産技術部門が対処しており、オークマのソリューションについては専ら” Smart Factory” 化について関心を寄せた。

オークマは、個々の顧客工場において Smart Factory” 化ソリューションを提供実施する過程で、” Smart Factory” 化以外の工場生産高効率化プログラムも組み合わせることで工生産高効率化の実績を積み重ね、可能な限りの短期間で工場生産高効率化ソリューションを類型化するプランであったが、顧客の関心や求めが” Smart Factory” 化にのみ集中する” Smart Factory” バイアスが発生することとなった。

6. ” Smart Factory” バイアス

(1) 工場生産高効率化の水平・垂直展開と” Smart Factory” バイアス

ここで” Smart Factory” バイアスの意味を掘り下げて考察したい。

第6章において、工場生産高効率化ソリューションを、” Smart Factory” に特化し企業ITシステムによる生産ライン制御を深掘りする取組を垂直展開、工作機械メーカーが工場レイアウト見直し、工程集約、自動化、機械・設備及びその組合せの最適化などにより物的な生産ラインの効率化を総合的に目指す取組を水平展開と呼んだ(前掲図9参照)。

オークマは” Smart Factory” を契機として工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に取り組むにあたり、工作機械メーカーの強みを活かすべく水平展開のソリューション開発を構想したにもかかわらず、現実には、顧客が” Smart Factory” 化を優先課題として垂直展開のソリューションを求める結果、オークマは意に反して垂直展開のソリューション開発に力を割かなければならない。オークマのソリューション・ビジネスは水平方向を志向するものだが、OT、IT、企業システム企業等の提供する” Smart Factory” 化ソリューションと同じく垂直方向を向かなければならなくなり、” Smart Factory” 化ソリューションから独立した事業領域の確立が困難となる。” Smart Factory” バイアスは、自動車・航空機等の高付加価値機の大顧客から広範な製造分野の中堅・中小メーカーにソリューション顧客を拡張することが難航する結果、生ずる現象と捉えることができる。

オークマは工作機械ビジネス革新に当たり、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、レイアウト見直し・工程集約・自動化等の生産ライン改革など工作機械メーカーがOT企業等に対して強みを発揮できる領域でソリューションを開発提供することを構想。これに対し、OT企業等は生産ラインのFA化(IT管理化)からスタートして、企業ITシステムと生産ラインのIT制御システムを紐付け、市場動向に即応した機動的な生産計画・生産ライン稼働の変更を実現。製造関連ビックデータのAI解析によりカイゼンを行うなど、” Smart Factory” の生産ラインのIT制御に特化して工場生産高効率化メニューを深掘りしようとしている。

オークマが2000年代以降国内生産システム改革を通じて構想した工作機械ビジネス革新は、(a)生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、レイアウト

ト見直し・工程集約・自動化等の生産ライン改革など水平方向の生産高効率化プログラムの最適組合せのソリューション・ビジネス化、(b)水平方向を主とするソリューションで得た知見・ノウハウを製品開発に活用、ソリューションと製品開発のイノベーション・サイクル化であったが、“Smart Factory”バイアスは水平方向の工場生産高効率化ソリューションの発展を阻害するものであり、オークマの工作機械ビジネス革新にブレーキをかけるものとなった。

(2)組織改革による“Smart Factory”バイアスの打破

①“Smart Factory”バイアス排除の必要性

第1期(2014～2017年)末、オークマは“Smart Factory”化に向けた工場IoT化プランである“Connect Plan”のソリューション提供を開始、自社工場の“Smart Factory”化を考える顧客のサポートから工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に着手した。このアプローチは、“Smart Factory”とは何かに関心を持った顧客のニーズにダイレクトに応えるものであり、オークマが主要顧客とする自動車・航空機等高付加価値セグメントの大口顧客の求めには適合的だった。

ただし、オークマは、自社が工作機械メーカーとして強みのある生産高効率化ツール、すなわち工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革等を主とした工場生産高効率化ソリューションを立ち上げられない限り、元々、“Smart Factory”のITシステム・インテグレーションをコア事業領域とするOT企業等には対抗できないことを認識しており、“Connect Plan”は“Connect Plan”として事業化するが、究極的には、工場生産高効率化ソリューションの水平展開によるビジネスを狙っていた。

このため、そもそも自社の工場生産高効率化ソリューション・ビジネスに“Smart Factory”バイアスが存在したり、バイアスが発生するような業務推進体制となっていたりするのであれば、オークマとしては早期に是正策を講ずる必要があった。

②“Smart Factory”バイアス是正に向けた課題

(a)ソリューション担当組織の整備

前述のとおり、自動車・航空機等の高付加価値セグメントの大口顧客を主要顧客とする営業部門の個別企業担当が、工作機械及び工作機械システムの販売・サービスとソリューション・ビジネスを兼務する以上、“Connect Plan”等工場生産高効率化ソリューションの顧客は自然と高付加価値セグメントの大口顧客となり、オークマのソリューションが彼等の求めを反映して“Smart Factory”化に偏るのは当然である。

“Smart Factory”バイアスを打破するには、高付加価値機の大口顧客を主要顧客とする営業部門に工場生産高効率化ソリューションを兼務させる「営業とソリューシ

ヨンの組織的未分化」の是正が必要となる。また、オークマでは、自動車等高付加価値部門の大口顧客については自社営業部門がケアする直販体制を採り、中堅・中小メーカーは機械商社等代理店に販売・サービスを任せる間接販売制が採用されてきたが、一つには、代理店が取り扱う中堅・中小顧客に関して、代理店を如何にサポートして工場生産高効率化ソリューションを販路開拓させるか、二つには、代理店がカバーしていない中堅・中小メーカーに関して工場生産高効率化ソリューションの販路開拓を如何に行うかが課題であり、いずれにしても工場生産高効率化ソリューション担当組織の整備が急務となった。

(b) 技術・知見・ノウハウの組織的蓄積

工場生産高効率化ソリューション担当組織の設立は、そもそも” Smart Factory” バイアス打破の問題というよりは、顧客工場の生産高効率化ソリューションを本格ビジネス化する上で、システム・インテグレーションを本業としない工作機械メーカーにおいて、システム・インテグレーションに関する技術・知見・ノウハウを如何に蓄積するのかという問題により深く関わっている。

既存の営業組織の個別企業担当は、工作機械及び工作機械システムの販売を遂行する上で生産ライン構築に関して最低限度の知識は有しているとしても、システム・インテグレータ並みの技術・知見・ノウハウは期待できない。特に、ソリューションが企業 IT システムによる生産ライン制御にも涉る場合、工場生産高効率化ソリューション上、IT システムに関する技術・知見・ノウハウが要求されるが、当然のことながら IT システムまで対応可能な営業担当は僅少である。

第7章で見たように、ヤマザキマザックは、システム・インテグレーションに通じた組織・人材が必要となる事態に直面して、ソリューションの本格的ビジネス化を見合わせた(外部専門企業にアウトソース)、工作機械メーカーが工場生産高効率化ソリューションを本格ビジネス化したいのであれば、ソリューションに係る専門的な技術・知見・ノウハウを有する組織・人員の手当てをしなければならず、組織的に技術・知見・ノウハウを如何に蓄積するか、制度上の工夫も必要となってくる。

また、インテグレーションに係る技術・知見・ノウハウを如何に蓄積するかという問題は、中堅・中小顧客を取り扱う販売代理店にも共通し、従来の工作機械及び工作機械システムの販売・サービスの守備範囲を超える工場生産高効率化ソリューションに係るインテグレーションについては、工作機械メーカーと同様に所要の経営資源・能力に欠く。このため、販売代理店のシステム・インテグレーションに係る技術・知見・ノウハウの欠如ないし不足を如何にして補完しサポートするかも、工作機械メーカーにとり課題となる。

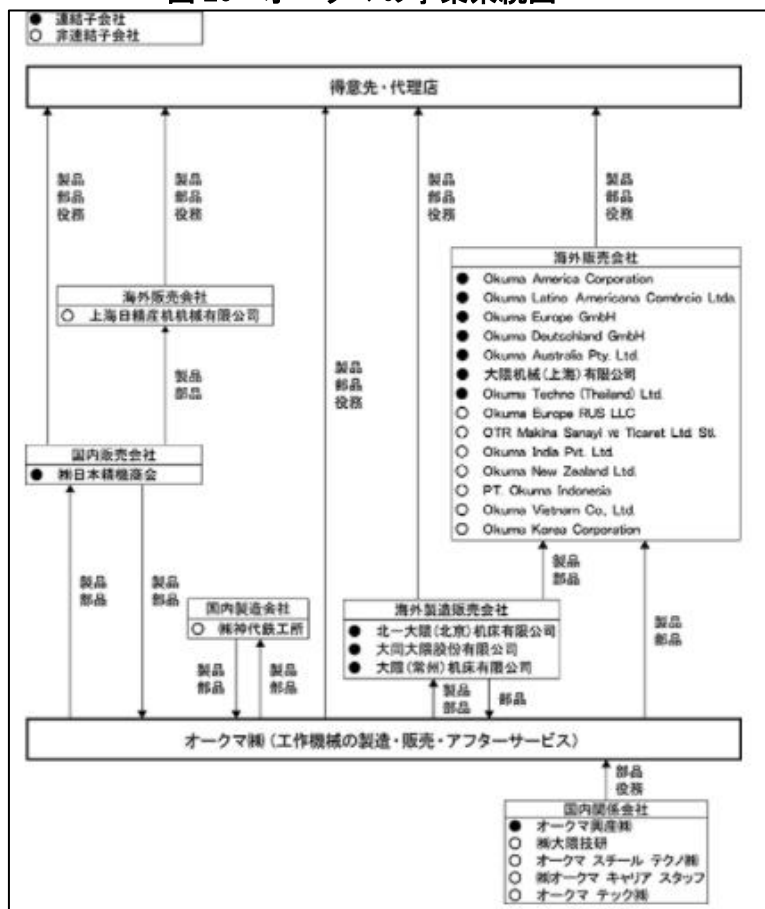
③オークマの組織的な対応

(a) オークマの伝統的な組織マネジメント

オークマは2000年代半の国内生産システム改革の経験から、工場生産高効率化ソリューションの事業化の可能性を認識しており、生産ライン単位のFA化への対応強化のため2007年に技術本部にソリューション開発センターを設立し、2010年代には組織を拡充したが（月刊生産財マーケティング2016年1月「1ワンランク上のソリューション」）、顧客に工場生産高効率化ソリューションを提供する主体でなければ、工場生産高効率化ソリューション事業の企画立案を担う責任組織でもなかった。

2000年代半以降、生産ラインFA化に対応して、営業部門が直接販売する大口顧客・中堅顧客、販売代理店を介して間接販売する中堅・中小メーカー（図26参照）に対するケアの拡充が課題となり、オークマでは、顧客の生産ラインFA化ニーズ等について、営業部門及び販売代理店が窓口として対応しつつ（顧客のオークマに対するニーズはソリューションだけでない）、生産ラインFA化等のソリューションについてはソリューション開発センターが対応する（業務分担）システムが次第に形成されたが、工場生産高効率化ソリューションについても、同様な対応が採られることとなった。

図26 オークマの事業系統図



(出所) オークマ株式会社「2020年度有価証券報告書」

(b) 本社技術本部によるサポート体制の構築

本来、オークマが” Smart Factory” を契機として工作機械ビジネス革新に本腰を入れて取り組むならば、「営業とソリューションの組織的未分化」による” Smart Factory” バイアスに対して、営業とソリューションの独立組織化を選択すべきであったが、オークマはソリューション担当の独立専任組織の設置には動かなかった。

営業とソリューション開発センターのいずれがソリューション事業の責任を負うのかを曖昧としたまま、両者が業務分担して顧客のソリューション・ニーズに対応する2000年代末以降の方式がそのまま工場生産高効率化ソリューションにも適用され、営業部門の個別担当がソリューションについても窓口を務めつつ、ソリューション開発センターに設置された、ものづくりサポート課が統括組織となって、国内・海外のテクニカルセンタが営業部門及び販売代理店の工場生産高効率化に関する顧客対応(コンサルテーション、生産高効率化プラン策定等)をサポートする道を選択する。

ソリューション事業を主管する独立専任機関の設置よりは弱い執行体制とはいえ、顧客がソリューションに関してオークマと直接相談してサービスを受けられるようになったのは確かであり、ソリューション開発センターのサポートにより、営業部門は” Smart Factory” 化を含む、幅広い工場生産高効率化に関するソリューションに関する顧客からの相談に対応できるようになり、オークマが工作機械ビジネス革新でターゲットとする中堅・中小顧客層の開拓に取り組む体制が整った。

また、販売代理店も、工作機械ビジネス革新において要求される技術・知見・ノウハウの蓄積が未だしであっても、オークマ本社技術本部(ソリューション開発センター)が統括する各地テクニカルセンタのサポートを受けられる体制が整備された。

(c) 本社技術本部における技術・知見・ノウハウの蓄積

また、技術本部ソリューション開発センターは、工場生産高効率化ソリューションに関する技術・知見・ノウハウを蓄積する中核として位置付けられ、オークマが構想する水平方向の生産高効率化ソリューションの開発に取り組むこととなる。

オークマは2000年以降のソリューション・ビジネスにおいて、顧客から新加工方法及び同加工方法に対応する工作機械・工作機械システムの開発を請け負い、顧客生産ラインに工作機械システムをインテグレーションするサービスを展開してきたが、現在、同サービスに係る技術・知見・ノウハウの蓄積は「ものづくりサポート・サービス」として結実している。

OT企業等の垂直方向に対抗しての水平方向での生産高効率化ソリューションについては、「ものづくりサポート・サービス」のようにプログラム化できるレベルまで到達していないが、顧客との協働により顧客工場の生産高効率化を達成した事例は蓄積されつつある(<https://www.okuma.co.jp/case/index.html>)。

(d) 組織体制の確立と「顧客との長期協働関係の構築」との関係

工場生産高効率化ソリューションのビジネス化は、顧客との長期的なリレーショナルな協働関係の構築と相携えて進展する。第3章で探索研究したIDECケース(2010年代の「人と機械の協調」安全に係るサービス化を通じた市場誘導型イノベーション事例)では、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係」は独立専任機関設置により一気呵成に進み、ソリューション・ビジネスも比較的短期間に立ち上がっており、ソリューション・ビジネス推進体制の確立がソリューションのビジネス化に極めて貢献することが判る。

オークマも、「営業とソリューションの組織的未分化」に対して、まったく対応しなかったわけではない。第一に、本社技術ソリューション対応統括組織を設置、営業部門及び販売代理店の工作機械ビジネス革新対応をサポートする体制を整え、第二に、営業部門・販売代理店に対し、従来顧客(高付加価値セグメントの大口顧客等)と異なる(これまで取引関係もなかった)中堅・中小顧客の一挙開拓を強かず、営業部門・販売代理店の担当が生産高効率化ソリューション案件を着実に開拓してくるのを待ち、第三に、本社技術本部の統括組織に技術・知見・ノウハウを徐々に蓄積した。

ただし、その「営業とソリューションの組織的未分化への対応」が緩慢にしか進まず、かつ、ソリューション・ビジネスに関して責任を負う独立専任機関が設置されず、複数組織が責任の所在を曖昧としたままソリューション・ビジネスを分掌する体制が取り続けられてきたため、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係」の構築は緩慢にしか進まなかった。

IDECも1990年代末、2000年代半の2次に渉る失敗を踏まえて、ソリューション・ビジネスの推進主体である独立専任機関の重要性を理解し、外部システム・インテグレータの買収・完全子会社化による独立専任機関の設置に踏み切ったが、工作機械メーカーは製造企業のサービス化に関してIDECほどの長期的準備を積んでおらず、ユーザ・メーカーへのサービス提供を機械商社等販売代理店に依存してきたことから、代理店との関係性を御破算にして、自ら独立専任機関を設置して一気呵成に顧客との協働関係を構築することにはならなかった。

7. ソリューションと製品開発のイノベーション・サイクル化

本論は製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを事例研究するものであり、総合工作機械メーカー3社の一つであるオークマについても、“Smart Factory”を契機して工場生産高効率化ソリューションをビジネス化しただけで議論が終わるものではなく、その先にオークマが工場生産高効率化ソリューション・ビジネスを市場誘導型イノベーションに如何に結びつけ、脱コモディティ化を果たすのかが関心事である。

オークマは第1期(2014~2017年)末以降、“Smart Factory”を契機として工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に取り組み、工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革等を組み合わせて、顧客工場の生産高効率化に最適化したソリューションを策定・提供した。では、オークマが工場生産高効率化ソリューションを製品開発製造事業とどのようにリンケージさせ、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションを実現させたのだろうか。

(1) 工作機械ビジネス革新に向けた道

2010年代初以降のオークマの“Smart Factory”に対する取組を振り返ると、オークマは早い段階から工場生産高効率化ソリューションのアイデアは持っていたが、当初よりそれを市場誘導型イノベーションと結びつけて考えていた訳ではなかった。

①2010年代初の“Smart Factory”に対する危機意識

2010年代初にドイツが次世代製造システム標準として“Smart Factory”を提言し、第1期(2014~2017年)にオークマは自社工場をモデルとして“Smart Factory”実証に取り組んだ時点で、オークマは“Smart Factory”を契機として工作機械ビジネス革新に取り組むことを決意していたが、工作機械ビジネス革新がどのようなものになるかについて成算があったわけではなかった。

第6章で論じたように、2010年代初の“Smart Factory”はコンセプト段階にあり基本機能・システム構成についてコンセンサスもない状況だったが、企業ITシステムによる生産ライン制御と製造関連ビックデータのAI解析によるカイゼン自動化は製造システムのパラダイム・シフトと言え、工作機械メーカーは次世代製造システムの付加価値が物的な生産ラインの生産性からITシステムによる制御にシフトする事態を危惧し、その備えとして工作機械ビジネス革新に取り組んだのが実態である。

ただし、オークマには工作機械ビジネス革新に関するアイデアがまったくなかった訳ではなく、本章2. のとおり2000年代の国内生産システム改革等を通して、2000年以降工作機械メーカーが展開してきたソリューション・ビジネスの延長上にありながら、性格の異なる工場生産高効率化ソリューションを着想していた。

②オークマの着想した工場生産高効率化ソリューション

オークマの2000年代の国内生産システム改革の経験では、工場生産高効率化を実現するには、“Smart Factory”の「売り」とする企業ITシステムによる生産ライン制御だけでは足りず、工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革等による生産ラインの生産性向上にも取り組む必要がある。また、顧客工場は千差万別であり、これらの工場生産高効率化ツールを個別工場の製造実態や製造ニーズに応じて最適に組み合わせるカスタマイズした工場生産高効率化ソリューションを考案・提供する必要がある、ここに工作機械メーカーにとり新規事業の一つのチャンスが存在すると考えられた。

そもそも“Smart Factory”が目的とする、企業ITシステムによる生産ライン制御を通じた、市場動向に即応した変種変量生様の極限化はSiemens等自動車・電機部門のグローバル・メガ・サプライヤーには至上命題であっても、ドイツの中堅・中小メーカーが指摘するように、製造企業の多くにとり、企業ITシステムによる生産ライン制御は必要であるのかは疑わしく、このため、個別企業の個別工場の実態・課題に応じて最適ソリューションを組み合わせる工場生産高効率化を実現しようというアプローチは、工場生産高効率化を求める製造企業から歓迎されることが期待できた。

また、工場レイアウト見直し、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化等の生産ライン改革等は、生産ラインの構築に必要なパーツ(工作機械)を提供するという生産ラインに密着した事業展開をしてきた工作機械メーカーが強みを有する生産高効率化メニューであり、ITシステムのインテグレーションを業とするOT企業等が知見・ノウハウを有する分野ではない。このため、仮に、顧客工場の“Smart Factory”化ソリューションがOT企業等によりビジネス化された暁でも、工作機械メーカーが独自の存在意義と競争力を発揮できることが期待でき、工作機械メーカーにとりビジネス革新のチャンスだった。

③工場生産高効率化ソリューション・ビジネスの問題点

ただし、顧客工場の生産高効率化ソリューションをビジネス化するに当たり、工作機械メーカーには2点の問題が存在した。第一に、工作機械メーカーは伝統的に工作機械及び工作機械システムの製造開発をコア・ビジネスとしており、システム・インテグレーションに係る経営資源・能力の蓄積がない。第二に、工作機械中心ビジネスを展開する工作機械メーカーには、簡単には工場生産高効率化ソリューションを事業追加できる経営資源等の余力はなく、両者が一体となって一つのビジネス・モデルを構成するのとなければ”Service Paradox”の罠に陥りかねない。

第一の点については、6. でオークマの“Smart Factory”パイアスへの対応で見たとように、オークマもヤマザキマザックと同様にソリューション・ビジネスに投入で

きる人的資源には余裕はなく、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化にあたり、その確保が早々に直面した問題であった。

第7章において事例研究したヤマザキマザックは経営資源等の限界から” Smart Factory” 関連ソリューションの本格ビジネス化を断念し、顧客工場の” Smart Factory” 化は外部のシステム・インテグレータにアウトソースした。これに対し、オークマはソリューションを専管する独立専任機関の設立にはコミットメントできていないが、営業部門と技術部門(ソリューション開発センター)が提携することによりソリューション・ビジネスに関して顧客開拓、ソリューション提供、アフターケアを実施しているのは前述のとおりである。

第二の点については、オークマも、工作機械及び工作機械システムの開発製造事業と工場生産高効率化ソリューション・ビジネスを如何にリンケージし、両事業を一つのビジネス・モデルに統合するかについて第1期(2014~2017年)に具体的なアイデアがあったわけではない。第2期(2018年以降)、工場生産高効率化ソリューションのビジネス立上げ後、製品開発製造事業とソリューション・ビジネスを一つのビジネス・モデルとして如何にリンケージさせるかについて、オークマで具体化が進められる。

(2) 第2期(2018年以降)の市場誘導型イノベーション

①オークマの「壁」

2. で論じたように、2000年代前半、オークマは国内経済停滞の長期化による内需低迷と円高によるコスト競争力の低下により経営破綻の危機に瀕したが、ヤマザキマザックのグローバル生産体制構築による外需獲得策を取らず、グループ再編と国内生産システム改革により生産高効率化を達成することでサバイバルを図った。2000年代半、オークマはギリギリのところで経営再建に成功し、生産ラインのIT管理化と生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工程集約・自動化・レイアウト見直し等の生産ラインの最適化等をベスト・ミックスして、工場の生産性を向上させる能力を獲得する。それがオークマの” Smart Factory” 観と” Smart Factory” 対応の基礎となったが、この時期、オークマは工場生産高効率化と同時に革新的技術・製品の開発にも取り組んでいる。

オークマは2000年に策定した「新生プラン」において技術革新を課題に掲げ、技術部門に限らず営業部門、企画部門からも全社横断的に人材を集め、製品・技術イノベーションのブレークスルーに取り組むプロジェクトを立ち上げる。家城淳・現オークマ社長は技術部門よりプロジェクトに参加し、「従来の研究開発は高速化や精度向上などの既存製品の改善に偏っており、革新的技術が生み出せなかった」として要素開発課の設立を提案、自ら同課課長に就任している。家城課長(当時)はAI制御など次世代工作機械の要素技術を徹底的に研究するとともに、現在のオークマの差別化能力

の基礎となっている知能化技術（サーモフレンドリーコンセプト、アンチクラッシュシステム、加工ナビ、ファイブチューニング、サーボナビ）（前掲表 20 参照）を体系化するのに成功しているが、その成果である五軸加工機は 2020 年時点でも高生産性を維持しているものの、販売実績ははかばかしくなく、「技術者は良い製品を作ること意識しがちであり、顧客に長期に渉り使ってもらえない製品は価値を生みだせない」として、ユーザ・ニーズを出発点としないイノベーションの弱さや問題を改めて痛感したとする¹⁵⁶。

家城課長の認識では、オークマは「技術のオークマ」と尊称され、自動車関連メーカー等の高付加価値機ユーザの求めに応じて既存機の高速度化・高精度化にフォーカスして製品・技術開発を行ってきたが、その結果、知能化技術などの要素技術においては卓越した力を身に着けることができたものの、オークマがそれらの要素技術を活用して顧客の製造現場に最適化された工作機械、さらには工作機械システムを開発・供給する段になると、自動車関連メーカー等高付加価値機ユーザ以外の顧客ニーズの把握ができておらず、要素技術の革新的なアイデアを製品開発が上手く結びついていなかった。1990 年代後半から 2000 年代はユーザ・イノベーション研究が活発に展開された時期であったが、ユーザのアイデアをイノベーションに活用していく点でオークマを含め工作機械メーカーは遅れていた。

②製品イノベーションと市場ニーズ把握

製品イノベーションは市場ニーズから出発する。伝統的に、工作機械メーカーは間接販売制を採り、製品販売・サービスを機械商社等代理店に委託してきたが、工作機械メーカーも市場ニーズ把握を 100 パーセント代理店に委ねてきたわけではなく、自動車・航空機等高付加価値セグメントに関しては、本社営業部門が直接的に大口顧客をケアしており、2000 年以降はソリューション・ビジネスを展開することで大口顧客の特別注文を受けて新しい工作機械開発に当たってきた。

複合加工機による工程集約、パレット交換機・ワーク（加工対象物）搬送機による自動化などの新機軸は、工作機械メーカーが自社工場における生産ライン改革等の経験から着想したものもあるが、むしろ自動車部門等の工作機械ニーズを長期継続してフォローし研究してきた成果が多い。1980 年代、本社営業部門による大口顧客の直接的なケアが新規ニーズの掘り起こしに貢献してきたが、1990 年代以降、NC 工作機の普及が一巡したために工作機械のコモディティ化が急速に進むと、自動車部門等の限られた市場セグメントの高付加価値機の大口顧客としかコンタクトがないオークマ等にとり、市場ニーズが潜在化し、次世代製品の開発に向けて新規ニーズ、革新的な製品アイデアの発見・認識が困難となった。

¹⁵⁶ NIKKEI STYLE (<https://style.nikkei.com/article/DGXXKZ063001120U0A820C2TJ1000/>)

この点、2000年以降のソリューション・ビジネスは大口顧客から最新ニーズを直接把握できる好機であり、工作機械メーカーはソリューション・ビジネスで開発した工作機械を一般ユーザにも利活用できるものに仕上げ、新製品として供給してきた。オークマも、自動車部門等の高付加価値セグメントの大口顧客の委託を受けて、新製品開発に必要な加工方法及び当該加工方法のための工作機械及び工作機械システムを開発、それにより得た知見・ノウハウを活かして新製品開発を実施してきた。

ただし、2000年以降のソリューション・ビジネスは、大口顧客の新製品開発を受けた単発的な(場合によっては偶発的な)取組であり、工作機械メーカーは大口顧客と恒常的に協働して製品開発に取り組むパートナーシップを結んでいたわけではなく、製品イノベーションは散発的なものに止まった。前項指摘の「既存製品の改善に偏った」研究開発も、工作機械メーカーの置かれた状況を反映したものであった。

また、2000年代は通信技術の発達により生産ライン単位のFA化がスタートし、工場生産高効率化の観点では自動化・工程集約等の汎用的な課題がより重要となったが、大口顧客は自社工場の自動化等については自社生産技術部門が「自前」で対処しており、工作機械メーカーの請け負うテーマは(大口顧客のニーズ等に)「特殊的」「特化的」なものであり、コモディティ化の打破にはあまりつながらなかった。

2010年代の工作機械メーカーは、コモディティ化した市場において、製品イノベーションにつながる市場ニーズが潜在化してしまい発見・認識が困難となっている中、どのようにして画期的な新製品の開発につながるニーズを掘り起こしイノベーションを起こすか、市場ニーズの発掘とそれに基づく製品イノベーションが散発的な偶然の幸運に終わらず、恒常化させるにはどうすればよいか課題となっていた。

③工場生産高効率化ソリューションと製品イノベーション

①の通りオークマの課題は要素技術を顧客ニーズに最適化した製品イノベーションにつなげることである。”Smart Factory”を契機として、工作機械メーカーが本格的なビジネス化に取り組んだ工場生産高効率化ソリューションはこの点で如何なる役割を果たせたのか。「技術者は良い製品を作ることを意識しがちであり、顧客に長期に渉り使ってもらえない製品は価値を生みだせない」という反省を出発点として、オークマが要素技術の卓越性を製品あるいは用途においてユーザの求めにマッチさせるには、イノベーションをユーザ・ニーズ起点とする必要があった。

前掲第9図では、工場生産高効率化ソリューションが、”Smart Factory”に特化して企業ITシステムによる生産ライン制御を深掘する垂直展開と、工場レイアウト見直し、工程集約・自動化など生産ライン改革、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化などにより物的な生産ラインの効率化を総合的に目指す水平展開の二つがあることを示した。もちろん後者の水平展開が、工作機械メーカーが強みを発揮できる事業領域であるが、オークマは水平展開の工場生産高効率化に取り組む

上で、製品が顧客の千差万別な製造現場でどのように活用されているのか、製品をどのように改善すると顧客の課題解決を容易にし、機械・設備の使い勝手を改善できるかを認識・理解する必要に直面した。これはピンチであると同時にチャンスであり、オークマは工場生産高効率化ソリューションにコミットメントすることで、第一に、顧客の個別製造現場や個別課題に密着した形でニーズを深く理解し、第二に、製品が要素技術に還元した時に最高レベルの機能を発揮できるかではなく、顧客の課題解決にベストの寄与できるかを基準として製品評価をする能力を獲得する機会を得た。

(3) 具体的なイノベーションの成果

オークマは要素技術の卓越性を顧客ニーズに最適化した製品に体化できただろうか。オークマには、2010年代に”Smart Factory”に対抗した工作機械ビジネス革新を模索し始めた段階では、工場生産高効率化ソリューションと製品イノベーションをリンクするアイデアが存したわけではなかった。第2期(2018年以降)に入り4年間が経過しただけであるが、オークマは工場生産高効率化ソリューションを構成する自動化、工程集約等のカテゴリーに即して、卓越した要素技術を活用した製品群の開発・拡充を大幅に進めている(2016年、2018年、2020年、2020年とオークマの自動化、工程集約等の製品群を定点観測すると年々歳々拡充していることが分かる)。

① 市場誘導型イノベーションの難しさ

オークマは卓越した要素技術を活用した製品群の開発・拡充について着実に成果を挙げており、2016年、2018年、2020年、2020年と自動化、工程集約等の製品群を年々拡充してきたが、これは成熟市場におけるユーザ・イノベーションの困難さを考えると画期的なことである。

すなわち工場高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションは、製品コモディティ化により製品が発展成長の余地を喪った段階におけるイノベーションであり、製造企業は市場に潜在するニーズを発掘しなければならず、成熟した市場はもはや新製品を新しいという理由だけで受け入れるだけの成長力がないため、製造企業は相当数の顧客との協働を通じて、製品需要が相当程度存在する(ないし開拓できる)と確信できる製品を産み出さなければならない。

ユーザ・イノベーションの難しさは、成熟産業においては画期的なイノベーションのアイデアを有する或いは具体化しつつある顧客は限られた数しか存在しない一方で、特定の製造企業、特定の製造現場など限定的なケース・条件においてのみ画期的な成果を挙げ得るアイデアでは、アイデアがいかほど新規に、独創的に見えたとしても、それを製品化しても普遍妥当性に欠けるため(製品需要に拡がりがなく)イノベーションとして成功し得ない。

このため、工作機械メーカーは工場生産高効率化ソリューションを通じて、潜在的な市場ニーズを発見・認識し製品イノベーションにつなげるには、目の前で革新的であり画期的な成果を挙げているアイデアが特定の製造企業、特定の製造現場など限定的なケース・条件においてのみ革新的であり画期的であるものに過ぎないのかを十分に考慮する必要があり、結果的に、多数の顧客との協働の成果を踏まえて、製品需要が相当程度存在する(ないし開拓できる)普遍妥当性を有する製品・技術を産み出さなければならない。

ただし、成熟市場においてイノベティブなアイデアは枯渇状態にあり、ユーザ・イノベーションにおいてイノベーションにつながる尖ったアイデアを有するユーザは極めて稀な存在である。マーケット・リサーチのように多数の顧客・ユーザに対して調査を実施するように、製造企業が多数のユーザから製品イノベーションに関するアイデアを集めて比較吟味しようにも限界がある。こうした中、オークマは可能な限りの多数の顧客との協働を通じて、工程集約、自動化等に関するイノベティブなアイデアを抽出、それに基づき開発した製品・ソリューションの試作品を試行的に顧客提供してカイゼンして行く方法を採用し、製品・ソリューションを完成させている¹⁵⁷。

②オークマの自動化プログラム¹⁵⁸

オークマは自動化プログラムを加工機の種類(旋盤、マシニングセンタ)、加工物のロット数・種類数、加工物の形状により類別化しており、その上で、加工物の形状から、治具による固定(ケース、ボックス)、チャックによる固定(シャフト、フランジ)に即した自動化メニューを開発している(前者はマシニングセンタ向け、後者は旋盤・複合加工機向け自動化)。

(a)パレットの自動搬送システム

パレットの自動搬送については、図 27 のとおり、オークマは、量産と 6 種類以上の多品種生産と、2～5 種類の複数種生産、単一品種少量生産にカテゴリー分けして、

¹⁵⁷ 製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに取り組んだオークマ、DMG 森精機に共通するが、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場導型イノベーションでは、単一顧客との協働関係から得られたアイデアから、そのまま画期的な製品・ソリューションが直ちに完成品として生まれるというようなことは稀であり、通常、多数の顧客工場における生産高効率化の取組から普遍妥当性をもつアイデアを抽出し、アイデアから製品・ソリューションを試作し、改めて顧客工場生産高効率化ソリューションで実際に試用してカイゼンを検討して完成品に近づけていくプロセスが必要となる。かかる過程において、最終的に工程集約なり自動化なりの製品・ソリューションのカタログに掲載されることになるものは「氷山の一角」であり、長期間に渉り成否未定のまま製品・ソリューション化の努力が重ねられる。この過程で如何なる顧客との協働がカイゼンにつながり、最終製品・ソリューションに結実してかは詳細な記録が残されるわけではないため、第 8 章、第 9 章における市場誘導型イノベーションの事例研究においては、イノベーションの端緒から完成に至る全過程をフォローする形を取れず最終成果のみを報告する結果となっている。今後、工作機械メーカー等の協力を得て、イノベーションの端緒から完成に至る過程全体を解明する試みに挑みたい。

¹⁵⁸ オークマ・ホームページ(<https://www.okuma.co.jp/onlyone/automation/index.html>)参照

量産と6種類以上の多品種生産にはスタッククレーンの導入、2～5種類の複数種生産には多面APC(自動パレット交換装置: Automatic Pallet Changer)、単一品種少量生産には2面APCの活用によりパレットの自動搬送システムを提供している。

図27 パレットの自動搬送システム



(出所) オークマ資料

量産と6種類以上の多品種生産向けのスタッククレーンとは、前後の走行機能、上下の昇降機能をもった、自動倉庫に荷物を格納・取出するクレーン装置であり、多品種・混流・生産変動にもフレキシブルに対応する生産システムとなっている。加工機の追加増設、洗浄機や傾転装置などを組み入れることで、多機能で拡張性の高い生産システムが構築可能となっているが、生産システムの多機能性と拡張性への配慮に関しては、第2期(2018年以降)の工場生産高効率化ソリューションの一環として自動化システムを納品した顧客との協働による生産ライン自動化において得られた知見・ノウハウを含めてソリューション・ビジネスでの成果が還元されている。

図 28 スタッカクレーン STACKER CRANE



(出所) オークマ・ホームページ

2～5種類の複数種生産向けの多面APCとは、パレット交換装置を有し、立体パレットストッカで省スペースを実現する自動化システムであり、ワーク着脱位置、本機操作盤、機内への作業動線を確認し使い易い機械構成に工夫している。ワークの着脱位置、機内の作業動線等は。多数の顧客の工作機械システムにおけるパレット交換装置の利活用の実態を踏まえた決定したものであり、スタッカクレーンと同様に、第2期(2018年以降)の工場生産高効率化ソリューションの一環として自動化システムを納品した顧客との協働による生産ライン自動化において得られた知見・ノウハウを含めてソリューション・ビジネスでの成果が還元されている。なお、多面APCの制御は加工機のPPC制御(パレット・プール・コントロール)による。

図 29 多面 APCMULTI-PALLET APC
立体式APC



適用機械：横形マシニングセンタ：MA-H II、MB-H
5軸制御立形マシニングセンタ：MU-V

6面APC



適用機械：横形マシニングセンタ MA-HⅡ、MB-H
5軸制御立形マシニングセンタ MU-V
(出所) オークマ・ホームページ

(b) ワークの自動着脱

ワーク(加工物)の着脱について、図30のとおり、オークマは多品種生産(量産、少量生産ともに)にはロボット、単一品種量産にはローダ、単一品種少量生産には単体機を用いて自動化している。

図30 ワーク着脱の自動化



(出所) オークマ資料

単一品種量産向けのローダ(LOADER)とは、少種/類似形状ワークの中・大量生産向

きワーク着脱装置であり、直動ガイドや旋回等のシンプルな動きを組み合わせ、ワーク搬送・着脱を高速化している。2軸又は3軸動作可能な装置もあり、本機天井より機内へのアクセスが可能な機種は2軸ローダ、天井からの機内アクセスが困難な機種は前面ドアからアクセスする3軸ローダと、主に2種類の動作が可能なローダ装置をオークマでは顧客工場の状況・ニーズに応じて提供しているが、天井からのアクセスか、前面からのアクセスかの違いなどには、第2期(2018年以降)の工場生産高効率化ソリューションの一環として自動化システムを納品した顧客との協働による生産ライン自動化において得られた知見・ノウハウを含めてソリューション・ビジネスでの成果が還元されている。

図 31 単一品種量産向けローダ及び単一品種少量生産向け自動化機

機上走行ローダ OGL-3FG/OGL5-0
 小型NC旋盤に組み付け、ワークの供給・取出しを行うZ軸機上形ローダ

並行スピンドル CNC 旋盤 2SP-2500H
 2台の旋盤を1台に統合、加工物を搬送するローダを標準装備した自動化対応機

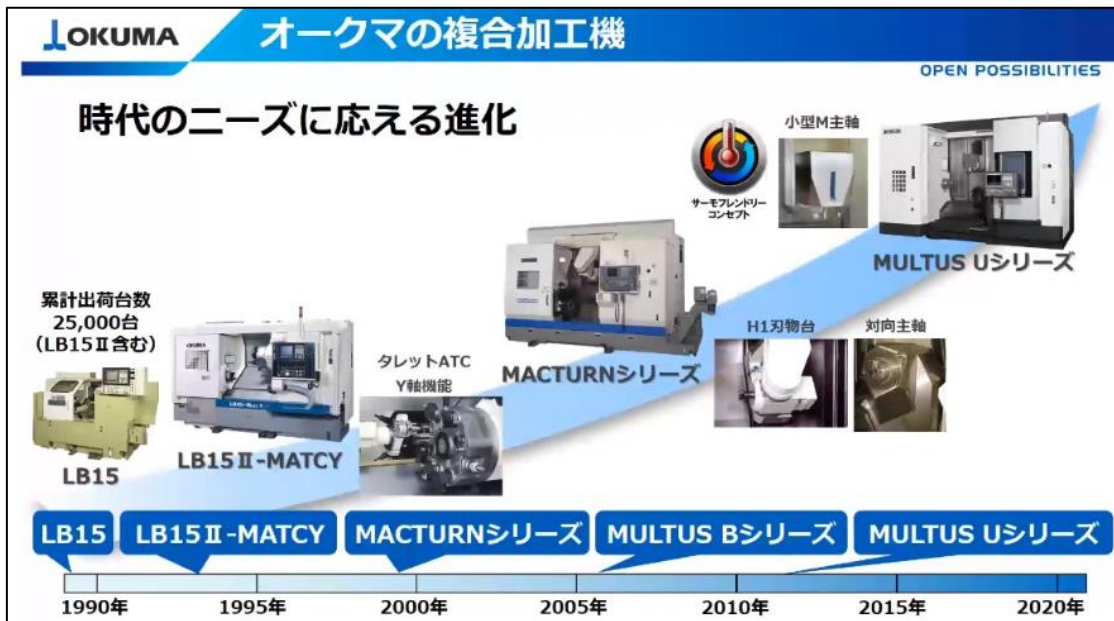


(出所)オークマ資料

③オークマの工程集約

製造現場では、生産効率の低下とつながるムダが各種存在するが、工程集約により複数加工機による加工を一台に統合することにより、治具交換、生産立上げ、動作、測定機調整のムダを解消でき、治工具の削減、加工精度の向上、リードタイムの短縮を実現でき、複数加工機の管理、複数加工機間でのワーク受け渡し等物流のムダを解消することで、工場スペースの有効活用が可能となる。このため、オークマでは、1990年代以降高付加価値機である複合加工機の開発に注力してきた。

図 32 複数加工機の加工を一台に統合する複合加工機の開発



(出所) オークマ資料

工程集約は複数工程の単一工程の集約によりムダを解消するものであるが、工程集約のための複合加工機は本体費用が高額であるだけでなく、ソフトウェア、NC装置等周辺設備の導入コストがかかり、NC制御の複雑化により運転管理者に求められるスキル水準も高まる。

第一に、治具交換、生産立上げ、動作、測定機調整、複数加工機の管理、複数加工機間でのワーク受け渡し等によるムダの発生は個別製造現場により異なり、これらのムダを解消する工程集約の在り方をまとめ上げるには、多数の製造現場における加工実態の把握と理解が求められる。

第二に、治具交換、生産立上げ、動作、測定機調整、複数加工機の管理、複数加工機間でのワーク受け渡し等によるムダを解消する工程集約プランが得られたとしても、同一製造分野に属していたとしても、グローバル・メーカー、中堅メーカー、中小メーカーでは、工程集約で得られるムダ解消と追加的な設備導入コスト等の費用対効果の評価は同じではなく、多様なプレイヤーが顧客サイドに存在する中で、商品化可能な工程集約プランをまとめるにも、多数の製造現場における加工実態の把握と理解が求められる。

問題は製品開発面だけでなく、マーケティング面においても存在する。オークマは1990年代来複合加工機の開発供給に高付加価値化の一環として取り組んできたが、複合加工機による工程集約には上記のメリットとデメリットが存在することから、複合加工機の導入の費用対効果が顧客にとり歓迎されるレベルがどこにあるのか、顧客が費用対効果の関係で満足する工程集約プランは工作機械販売の観点から購入客を十分確保できるものか(優れた工程集約が必ずしも多くの顧客を引き付けるとは限らず)等

の見定めを行った上で開発・上市をしてきた。その際、多数の顧客の意見や考え方を踏まえることが重要となる。

これまで複合加工機は高付加価値機であるため自動車・航空機等の高付加価値セグメントの大口顧客の動向を踏まえて製品開発がなされてきた。しかしながら、自動車産業が「100年に一度の大変革」と自称する電気自動車へのパラダイム・シフトを迎えており、これまで3~4万点も必要だった金属加工部品数が大幅に減ることが予想されており、工作機械メーカーも10年以内に顧客層をシフトせざるを得ない可能性がある。このため、オークマは、第2期(2018年以降)の工場生産高効率化ソリューションにおいて工程集約を協働した顧客から得た知見・ノウハウを含めて、ソリューション・ビジネスでの成果を複合加工機の開発に還元している。

図 33 加工機と測定機の複合化による工程集約



スカイピング加工機との複合化による工程集約



(出所)オークマ資料

(4)顧客との協働

上記開発にあたり、オークマは、ソリューション提供・実施の過程で学習したことを製品開発に活用することで製品イノベーションを起こし、新製品をソリューションで活用することでソリューションを改善・向上させ、改めてソリューションでの学びを製品開発に活用する、イノベーション・サイクルを実現したとする。

①顧客との長期的なリレーショナルな協働関係

まず、オークマは工場生産高効率化ソリューションと工作機械の開発製造との関係を考える上で、2000年以降の(2018年以降)ソリューション・ビジネスにおいて、大口顧客へのソリューション提供を通じて、新たな市場ニーズを認識し、その認識を新製品開発につなげてきたことをヒントとしている¹⁵⁹。

2000年代のソリューション・ビジネスを通じたイノベーションでは、自動車等高付加価値部門の大口顧客からの散発的・偶発的な委託を受けてのソリューション提供であるため、画期的製品開発につながるアイデアを得られたとしても、それを試作段階から完成段階に仕上げるプロセスになると顧客からは協力が得られず、また、新製品開発に成功した後に製品を継続的に見直し改良して行く点でも、大口顧客の協働は期待できなかった

一方、工場生産高効率化ソリューションは、広範多岐に渉る製造分野・規模のメーカーを顧客とし、顧客工場の生産高効率化に長期継続的にコミットするものであり、顧客とは工場生産高効率化という課題解決に向けて直接的な協働を行う。2000年以降のソリューション・ビジネスを通じたイノベーションでは、イノベーションは一回的に終わり持続的な取組を期待できなかったが、2010年代の”Smart Factory”を契機とする工場生産高効率化ソリューションでは「顧客とのリレーショナルな長期的な協働関係の構築」を前提としており、ソリューション・ビジネスと製品事業のイノベーション・サイクル化が可能となった。

②広範な製造分野・企業規模の顧客へのコミットメント

また、オークマの考える工場生産高効率化ソリューションは、工場IoT化もさることながら、複合加工機による工程集約、パレット・ワークの自動搬送装置による自動化、工作機械・ロボット・周辺装置・搬送装置及びその組合せの最適化などが主要ツールであり、オークマは顧客工場の生産高効率化に直接関与し、顧客と長期協働して工場生産高効率化に取り組むことで、工作機械及び工作機械システムの広範囲な分野において、新たなニーズを発見・認識し、製品イノベーションの基盤となる知見・ノウハウを大量に得ることができた。

¹⁵⁹ オークマ訪問(2017年11月21日)。

特に、オークマは中堅・中小メーカーとの協働を通じて、工場生産高効率化において汎用的なテーマである「自動化」「工程集約」に関して多数のユース・ケースを蓄積しつつあり、それにより、オークマは自社工場における自動化・工程集約だけでは蓄積できない知見・ノウハウを獲得し、新たな自動化・工程集約のソリューションを開発、その実行で必要となる工作機械及び工作機械システムを開発・上市している。

③オークマによるユーザの組織化

オークマと中堅・中小メーカーとの協働は企業秘密であるため多くは詳細を公表されていないが、技術・ソリューション導入事例がホームページにて紹介されている (<https://www.okuma.co.jp/case/index.html>)。これらの事例からは、過去10年を超える取引関係(オークマ・マシンの導入利用)を前提として、オークマが顧客製造企業の生産技術陣とコンサルテーションを重ねつつ、複合加工機を活用した工程集約、自動化等の生産高効率化プランを策定実行し、プラン実行後も継続して顧客工場の更なる生産高効率化に取り組んでいることが分かる。

オークマはこうした事例の積重ねを通じて、工場生産高効率化の観点からユーザ・ニーズを抽出・類型化し、カテゴリ毎に、同社の卓越した要素技術を活用した、ユーザ・ニーズとユーザの利便性に配慮した製品を開発し、改めて新製品を用いて顧客課題の解決に顧客と協働して取り組み、その過程で得た「学び」「発見」等を製品・ソリューションのイノベーションに活用している。ただし、オークマと顧客の関係はリード・ユーザ・イノベーション研究が想定する競合的關係ではなく、オークマが顧客メーカーを緩やかに組織化し、長期継続的な取引関係の中において製品イノベーション等を協働する形で進めている。顧客は基本的に自社工場の生産高効率化に関心があり、一般ユーザを想定して汎用的な製品なりソリューションなりを開発することに関心があるわけではないため、オークマが顧客の結節点としてユーザをまとめている。

図 34 オークマの技術・ソリューション導入事例

		
<p>高品位と短納期を両立し 自動車産業のニーズに即応</p> <p>株式会社ツバメックス 様</p> <p>業種 プレス金型とモールド金型の製造</p> <p>機種カテゴリー 5面加工門形マシニングセンタ</p>	<p>超短納期の 軸穴追加工サービスの生産性向上</p> <p>鋼屋バイテック会社 様</p> <p>業種 機械要素部品の開発・製造・販売</p> <p>機種カテゴリー 5軸制御立形マシニングセンタ</p>	<p>異形状部品加工の 段取り・時間・コストの改善</p> <p>湖北工業株式会社 様</p> <p>業種 織機部品を中心に高精度な切削部品加工</p> <p>機種カテゴリー 立形マシニングセンタ</p>



多品種少量生産で
多台持ちの機械稼働率の向上

西部電機株式会社 様

業種

搬送機械、産業機械、精密機械の開発・製造

機種カテゴリー

インテリジェント複合加工機+ビルトインロボット



多品種の受注生産でも
省力化して機械稼働率の向上

株式会社 竹中製作所 様

業種

ボルト・ナット、電子機器の開発・製造

機種カテゴリー

CNC旋盤+ビルトインロボット



長期の連続運転でも剛性が高く
精度が出る複合加工機の選定

三和ロボティクス株式会社 様

業種

精密加工、ロボテク

機種カテゴリー

インテリジェント複合加工機



大物部品加工の
リードタイム短縮

株式会社ヒロコーゼットテクノロジー 様

業種

航空・宇宙関連部品加工

機種カテゴリー

門形複合加工機、5面加工門形マシニングセンタ



寸法安定性に優れた
マシニングセンタの導入

マイクロカット株式会社 様

業種

通信業界向け金属切削加工

機種カテゴリー

立形マシニングセンタ、横形マシニングセンタ



難削材部品、
高精度部品の短納期納入

柳下技研株式会社 様

業種

自動車部品試作加工

機種カテゴリー

5軸制御立形マシニングセンタ、5面加工門形マシニングセンタ



複合加工機2台の
連続加工ラインの導入

株式会社やまびこ 様

業種

小型屋外作業機械製造

機種カテゴリー

インテリジェント複合加工機



難削材の
精密加工と短納期の両立

株式会社和コーポレーション 様

業種

自動化・合理化機械の開発、製造、販売

機種カテゴリー

インテリジェント複合加工機



2,000種以上の
航空機・ロケット機体部品の
高能率生産

熱田起業株式会社 様

業種

航空宇宙関連

機種カテゴリー

インテリジェント複合加工機、5軸制御立形マシニングセンタ

(出所) オークマ・ホームページ (<https://www.okuma.co.jp/case/index.html>)

8. オークマの次なる課題

～イノベーション・サイクル加速とライバル企業等に対する競争優位確立～

(1) 問題意識

オークマは” Smart Factory” という製造システムのパラダイム・シフトを契機として、工作機械ビジネスの革新を図ろうとしている。工作機械メーカーはこれまで製品中心ビジネスを展開してきており、1990年代以降のコモディティ化に対しても高付加価値化で対応してきたが、2010年代のオークマはOT企業等の” Smart Factory” 化ソリューションに対抗して工場生産高効率化ソリューションをビジネス化し、顧客と協働して工場生産高効率化に取り組む過程で、新たな製品ニーズを発見・認識し、協働より得た知見・ノウハウを活かして製品イノベーションを起こそうとしている。

かつ、オークマは工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションを一回限りのものとはせず、製品イノベーションがソリューション・イノベーションにつながり、再びソリューション・イノベーションが製品イノベーションにつながる、ソリューション・ビジネスと工作機械及び工作機械システムの開発製造事業がイノベーション・サイクルで結びつくビジネス・モデルを構築しようとしている。製造企業のサービス化は” Service Paradox” など企業戦略としての意義が疑問視されているところ、Wise and Baumgartner (1999)の提言に立ち返り「製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション」にコミットメントしようとしている。

第2期(2018年以降)の短い期間ながら、オークマは工場生産高効率化ソリューションのビジネス化と、そこで得た気付き・知見・ノウハウを活かして新製品開発を実現しており、イノベーション・サイクルの回転はゆっくりでありながらも、回り出している。オークマの工場生産高効率化ソリューションを通じて市場誘導型イノベーションの試みは画期的であるが、企業間格差の小さい競争の熾烈な工作機械業界では、ライバル企業は後発参入でも短期間でキャッチアップが可能であることから、オークマは一つにはイノベーション・サイクルの回転をライバル企業が追い付けないほど加速する必要がある。

第2章の先行研究レビューと第3章のIDECに係る探索研究(さらには第4章のユーザ・イノベーション研究のレビュー)では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成否には「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が重要な要因となることが示唆されたが、オークマの場合、営業部門と技術部門が責任の所在を曖昧としたままソリューション・ビジネスを分担して実施しており、顧客開拓・ソリューション提供・アフターサービス等があるべき姿と比べた場合に十分とは言い難く、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係」の構築は緩慢であるきらいは否

めず、顧客との長期協働の場として I D E C の「協調ロボットテクニカルセンタ」の如きプラットフォームが存在していない。

第 3 章の I D E C の探索事例では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションには、革新的な製品・ソリューションを産み出す「製品イノベーション」とライバル企業等が容易に模倣できない「ビジネス・イノベーション」の 2 段階から成り、広範な製品ラインアップを武器として顧客ニーズに対して製品の最適組合せで応える資本財メーカーの場合、「ビジネス・イノベーション」では、「顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化」「製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化」が成否を左右する要因となるのではないかと示唆があった。

ここで市場誘導型イノベーションの 2 段階モデルに立つと、オークマは第 1 段階の「製品イノベーション」を完成させつつある状況にあるが、第 2 段階の「ビジネス・イノベーション」には本格的に着手できていない。この点について、ライバル企業に対する競争優位確立の観点からオークマの取組は如何に評価すべきだろうか。

(2) 現在評価と課題

① 現在評価

オークマは 2000 年代半以降の国内生産システム改革の経験に基づき、“Smart Factory”を契機として工場生産高効率化に関するソリューション・ビジネスを立ち上げ、顧客工場の生産高効率化に取り組む過程で発見した顧客ニーズ、獲得した知見・ノウハウを工作機械・同システムの開発に活用して製品イノベーションにつなげる、ソリューションと製品開発のイノベーション・サイクルを確立してきた。これは 1990 年代以降、工作機械メーカーが直面してきたコモディティ化を克服し、かつ、イノベーションを恒久化する有力策である。

また、オークマなど工作機械メーカーは、1990 年代後半以降コモディティ化に対する高付加価値化過程で顧客層を自動車・航空機関連等に狭めてきたが、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化を契機として、再び顧客層を広範な業種・規模の製造企業に拡げ、自動車・航空機等に偏った製品事業領域をより広範な製造部門をカバーするものに修正するチャンスが生まれた。さらに、O T 企業等と競合する事業ではあるが、生産ラインの I T 制御に関連した製造関連アプリケーション開発提供も、顧客層の拡大で事業成長性が高まった。

② 今後の課題

2010 年代のオークマの“Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新は画期的であったが、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化、ソリューションと

製品開発のイノベーション・サイクル構築は、実力の伯仲する総合工作機械メーカーであれば、基本的にいずれの社にも可能な取組である。

このため、オークマにおいては、ライバル企業に先んじて工作機械ビジネス革新に着手し、イノベーション・サイクルを先行的に回し、優秀な工作機械及び同システムを開発製造し、ライバル企業に優る、生産ライン改革、生産ラインのIT制御化等の最適組合せをソリューション提供していくことが必要である。とはいえ「先行者利得」は薄氷の差であり、ライバルのキャッチアップから絶対安泰ではない。

そこで、イノベーション・サイクルを継続して迅速に回転させるための、ライバル企業に模倣困難なビジネス・モデルが必要である。また、競争では、ソリューションの質だけでなく、価格優位性も重要であり、千差万別な顧客ニーズに可能な限りカスタマイズしつつ、低コストを実現するためのビジネス・モデルも不可欠となる。

(3) オークマの工作機械ビジネス革新の現状

第2章の先行研究レビューと第3章のIDECに係る探索研究(さらには第4章のユーザ・イノベーション研究のレビュー)では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成否には「顧客との長期に渉りレシヨナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が重要な要因となることが示唆された。オークマの工作機械ビジネス革新はこれらの観点に照らして如何に評価することができるだろうか。第4章のユーザ・イノベーション研究も踏まえて考察する。

① 工作機械ビジネス革新の推進組織の未成熟

オークマでは、営業とソリューションの組織的未分化が完全には解決されたわけではない。確かに、営業部門・販売代理店は、ソリューション開発センターのサポートにより、“Smart Factory”化を含む幅広い工場生産高効率化ソリューションに対応できるようになり、オークマが工作機械ビジネス革新でターゲットとする中堅・中小顧客層の開拓に取り組む体制は整った。

ただし、イノベーション・サイクルを継続して迅速に回転させる観点からは、営業部隊が製品販売に併せてソリューション販売・提供をする結果、従来からの自動車関連等の高付加価値機の大口顧客に重きを置いたビジネスとならざるを得ず、中堅・中小メーカーに積極的にアクセスして販路開拓することは資源制約から容易なことではない。ユーザ・イノベーション研究では、ユーザの組織化が”Radical Innovation”、“Incremental Innovation”を問わずイノベーションの成否を左右するが、中堅・中小メーカーは自社工場の生産高効率化に関心があるのであり、工場生

産高効率化ソリューションの開発にまでコミットメントする用意のある社は少ないと考えられ、その組織化には強力な組織的当てが本来必要である。

ライバル企業の参入や模倣を防ぐには、イノベーション・サイクルを高速回転することが一つの方策であり、そのためには中堅・中小顧客の開拓を進め、多数の工場生産高効率化ソリューション実績を積み重ねることにより知見・ノウハウを蓄積する速度を上げる必要がある。しかしながら、現在のオークマの営業とソリューションの組織的未分化の状態では、顧客開拓と長期協働関係の構築のスピード・アップには限界が存在することは否めない。

②ソリューションのプラットフォームの未整備

顧客工場の生産性効率化ソリューションでは、工作機械メーカーが従来機械商社等販売代理店に任せてきた生産ラインのシステム・インテグレーションに自らも取り組む必要がある。システム・インテグレータ(あるいはライン・ビルダー)として、GM、Samsung等の工場システム・インテグレーションを引き受ける平田機工が有名であるが、平田機工は得意先であるGM、Samsungの生産ラインがそのまま再現できる規模の自社工場施設においてシステム・インテグレーションを行っており、顧客に納品する前に自社工場施設において生産ラインの仮組立てを行い、顧客に確認を受けた後に顧客工場にインテグレーションを行っている¹⁶⁰。

平田機工を例にするまでもなく、システム・インテグレータは大規模案件を引き受けるには、相手企業と同等規模の工場を(複数メーカーのインテグレーション案件を引き受けるには複数メーカーの工場を合わせた規模の工場を)構える必要がある。例えば、高丸工業(兵庫県西宮市)はもともと零細ロボット・システム・インテグレータであったが、西宮市のJFEスチールの鉄鋼プラント跡地を賃借することにより大規模案件を引き受けるスペースを確保し、その結果として企業成長を達成した¹⁶¹。

平田機工等の大規模専門ライン・ビルダーのようにグローバル・メガ製造企業のインテグレーション案件を引き受けないとしても、工作機械メーカーにおいても、中堅・中小メーカーの生産ラインのシステム・インテグレーションに対応するには、特に複数顧客のインテグレーション事案を同時並行で取り扱うためには、自社工場の片隅にてインテグレーション作業を行うことは不可能であり、プラットフォームとして専用ラインないしインテグレーション専用工場を用意する必要がある。

そこでは、顧客ニーズに応じて工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置等から生産ラインを組み立てたり、より大規模インテグレーション事案であれば複数生産ラインに在庫・物流システムを合わせた大規模生産施設を製作したりするだけでなく、I

¹⁶⁰ 榎本(2018)

¹⁶¹ 榎本(2019b)

DECの「協調ロボットテクニカルセンタ」のように、工場生産高効率化ソリューションの展示・デモンストレーション施設、顧客と協働して生産高効率化ソリューションの開発に取り組む試験場・試作場としての役割を兼ね、工場生産高効率化ソリューションに係る技術・知見・ノウハウを蓄積するプラットフォームともなる。第4章のユーザ・イノベーション研究でも、Rayne et al. (2015)のようにプラットフォームのユーザ組織化と協働に対する有用性を分析した事例研究があるが、プラットフォームは工作機械メーカーの工場生産高効率化ソリューションにおいて顧客の組織化と協働に寄与することが期待できる。

この点、オークマは、2000年以降の高付加価値セグメント・シフトの過程で、自動車等高付加価値セグメントの大口顧客に対して専属代理店と本社グローバルCSセンター(Global Communication & Solution Center、2008年設立)が連携対処する体制を採用、生産システム開発の基幹部分は本社が担当し、システム周辺の自動化技術・搬送システム・自動計測は専属代理店が対応する分業体制が敷いてきた¹⁶²。そして、“Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新でも、オークマでは、システム・インテグレーションに係る専属代理店との分業体制には変更はなく、現時点では、工作機械ビジネス革新を推進するためのプラットフォームとしてのインテグレーション専用工場は用意されず、工場生産高効率化ソリューションの展示・デモンストレーション、顧客との協働作業のためのプラットフォームも構築されていない。

¹⁶² オークマは、2000年代の世界経済の長期拡大局面において、工作機械の高速・高精度・高機能化、知能化技術による製品差別化により、先進国市場を中心に自動車・建設機械・航空機・資源エネルギー等の高付加価値セグメントを深耕した。戦略市場の米国では、石油ガス関連・自動車関連に加えて、成長する医療機器・航空宇宙関連で販売促進に取り組み、独企業と競合する欧州では、航空機・エネルギー関連の拡販、複合加工機ユーザへの浸透を図った。新興国市場でも、自動車生産のグローバル化と重厚長大産業の成長に着眼、ポーランドのテクノロジー・センターを起点に東欧・ロシア進出を図り、アジアでは、上海・北京・大連に続き内陸部に販売サービス拠点を設置、インドでもデリー、チェンナイ等にサービス拠点を設置しディーラー育成に乗り出した。

自前の生産・販売・サービス網のないオークマは、自動車・重厚長大産業の高付加価値セグメントにフォーカスし、少数大口顧客の専用機に注力する戦略を採り、専属代理店の活用で対応している。海外販売・サービスは専属代理店に任せ、顧客ニーズには専属代理店と本社グローバルCSセンター(Global Communication & Solution Center、2008年設立)が連携対処する。生産システム開発の基幹部分は本社が担当し、システム周辺の自動化技術・搬送システム・自動計測は専属代理店が対応する分業体制が敷かれ、代理店が窓口として顧客から要望等を聴取した後に、本社のグローバルCSセンターにつなぎ、センターが顧客と直接的にコンタクトしてトータル・ソリューションを詰めている。

この本社と専属代理店の協同体制は一日にして成ったわけではなく、2000年以降オークマが自動車・重厚長大産業の少数顧客の高付加価値ニーズにフォーカスする過程で、顧客ニーズを的確に把握し、専門特化された生産システムの周辺領域で技術対応できる代理店を選抜し、オークマ本社と海外専属代理店が協同して顧客開拓と顧客ニーズ対応を重ねる中で最適な関係を発展させてきた。なお、オークマは、2014年に欧州・米国にAerospace Center for Excellenceを設置し、5軸制御MC・複合加工機を中心に航空機関連の自社製品を常設展示し、顧客ケアを強化している。

したがって、オークマが引き受けることが可能な工場生産高効率化事業は数が限られるだけでなく、複数生産ラインや複数システムを組み合わせた大規模事業への対応力にも乏しく、また、ソリューション・ビジネスの立上げ過程で育てた顧客との協働を更に発展させて、恒常的に工場生産高効率化に向けてソリューション開発をパートナーとして協働する段階まで(協働の「場」がないために)歩を進められていない。結果的には、オークマが顧客提供できる自動化、工程集約に関する工場生産高効率化ソリューションは、一台の工作機械をコアとする工作機械システムが基本単位となり、生産ライン全体を対象として大規模な生産高効率化ソリューションを取り扱うには至っていない。

(4) ライバル企業に対する競争優位の確立の模索

①市場誘導型イノベーションの2段階モデル

2010年代のオークマの”Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新は画期的であったが、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化、ソリューションと製品開発のイノベーション・サイクル構築は、実力の伯仲する総合工作機械メーカーであれば、基本的にいずれの社でも可能である。このため、ライバル企業には模倣困難なビジネス・モデルが必要である。

この点、第3章のIDECの探索事例では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションには、革新的な製品等を産み出す「製品イノベーション」とライバル企業等が容易に模倣できない「ビジネス・イノベーション」の2段階から成り、「ビジネス・イノベーション」では、「顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化」「製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化」が成否を左右する要因となるとの示唆があった。オークマの取組は如何に評価すべきだろうか。

②モジュール化につながらないソリューション類型化

本章3(3)で分析したように、オークマはソリューションの標準化を重視、自社工場のゼロ・ベース再構築の経験から、部品加工専用ラインと部品加工・組立一貫ラインの生産高効率化の違いに応じたソリューションの具体化に取り組んできた。

オークマの2000年代以降の国内生産改革及び第1期(2014~2017年)以降の自社工場の”Smart”化実証で得た理解によれば、部品加工専用ラインは少品種少量生産に対応するものであり、生産ラインの企業ITシステムによる制御は不可欠というまでのことはなくオプションな仕掛けに過ぎず、エッジ・ベースでの生産ラインのIT管理化で工場生産高効率化の目的は達成できる。一方、本社主力工場の大口製作所のDS2のような部品加工・組立一貫ラインは変種変量生産に対応するものであ

り、“Smart Factory”の想定する市場動向に即応する変種変量生産の極限化には、「企業ITシステムによる生産ライン制御」が不可欠である。

オークマがソリューションを「標準化」しようとした発想は善い。顧客工場は千差万別であり工場生産高効率化ソリューションは完全な最適化を追求するならばカスタマイズに限度がなくなり、ソリューション・ビジネスとして採算が成り立たなくなる。このためソリューションの標準化を図り、顧客満足度とコストの見合いでソリューション提供できようにする工夫はシステム・インテグレーションに業として携わる者にとり必要不可欠である。

しかしながら、オークマによる部品加工専門ラインと部品加工・組立一貫ラインの違いに基づく上記整理は、Siemens流の“Smart Factory”化の要否を判断する基準としては明快だが、オークマが工作機械ビジネス革新で目標に掲げた、中堅・中小顧客の工場生産高効率化については類型化の基準とならないのではないだろうか。というのは、“Smart Factory”は実は製造ニーズの一つに過ぎず、その他ケースの方が圧倒的多数を占める中、部品加工専門ラインと部品加工・組立一貫ラインというカテゴリ設定は、かかる製造ニーズの多様性、それに対応した千差万別なソリューションの可能性を考慮に入れていないからである。オークマは、変種変量生産と少品種少量生産という製造課題の違いによりソリューションを標準化しようとしたが、変種変量生産、多品種少量生産、少品種少量生産、少品種大量生産等は、千差万別な生産ラインの形態をカテゴリ分けするには大括りである。カテゴリの間に無限のバリエーションが発生してしまい、結果的にソリューションは「一品作り」になりかねない。

工場生産高効率化ソリューションは類型化が難しいのであれば、一層のこと発想を逆転させて、生産ラインの形態類型に応じてソリューションを考えるのではなく、むしろ自動化・デジタル化などソリューションをメニュー化(モジュール化)し、モジュールの組合せにより千差万別な製造ニーズに対応するアプローチの方が現実的ではないだろうか。このアイデアからは、オークマのスタート地点における部品加工専門と部品加工・組立一貫の類型化は「釦の掛違い」「アプローチ・ミス」ということになり、この「釦の掛違い」が同社をして、ソリューションをモジュール化し、モジュールの組合せにより多様な工場生産高効率化ニーズに応えることを困難としている。

表 24 オークマの” Smart Factory” 対応

要件	オークマの取組
顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築	<ul style="list-style-type: none"> ●” Smart Factory” に対応した工場高効率化ソリューションは、対象業種を自動車・航空機・資源等高付加価値部門に限らず、規模もグローバル大企業等から中堅・中小に拡大。中堅・中小メーカーは大規模投資に二の足を踏むことから、製造現場のオープン・ネットワーク化より着手、段階的に抜本的な工場生産高効率化に取り組ませる、長期的な協働関係の構築を意図。 ●ただし、工作機械メーカーはグローバル大手であっても資金・従業員数等では自動車・電機メーカー等とは比べものとはならず、投入可能な経営資源等に限りがあるため、オークマは、既存の営業組織の個別企業担当が、従来の工作機械及び工作機械システムの販売サービスに加えて、“Connect Plan” を始め” Smart Factory” 関連ビジネスの開拓を担当し、本社の「ものづくりサポートセンター」が” Smart Factory” 関連ソリューションに関する顧客からの相談にも対応する形式を探っている。 ●その結果、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」は、独立専任機関による取組と比べて、市場誘導型イノベーションで求められる迅速さに欠ける憾みがある。
製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当て	<ul style="list-style-type: none"> ●前項に適示したように、オークマは資源制約から、既存の営業組織の個別企業担当が” Smart Factory” 関連ビジネスも兼務し、本社の「ものづくりサポートセンター」が顧客相談にも対応する、間合せ的かつ分権的な体制を採用。 ●将来的に工場生産高効率化ソリューションが市場誘導型イノベーションにつながることへの期待はあるものの、現時点では、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションの模索段階にあり、事案毎に顧客との協業を処理しており、顧客と長期継続的に工場生産高効率化に協働して取り組むまでに至っておらず、顧客との協創プラットフォームを制度的に手当てする段階には至っていない。
顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任組織の設置	<ul style="list-style-type: none"> ●資源制約から独立専任組織の設立はなされず。 ●資源制約から、既存の営業組織の個別企業担当が” Smart Factory” 関連ビジネスも兼務し、本社の「ものづくりサポートセンター」が顧客相談にも対応。 ●市場誘導型イノベーションへの期待はあるものの、現時点はビジネス化の模索段階にあり、事案毎に顧客との協業を処理。
顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化	<ul style="list-style-type: none"> ●部品加工専業と部品加工・組立一貫の類型は企業 IT システムによる生産ライン制御の要否に基づく分類。顧客工場が業種・業態・規模により千差万別であることを踏まえると、顧客工場の生産高効率化ソリューションのメニュー化の基準とするには「大括り」に過ぎる。 ●市場誘導型イノベーション・モデルに照らすと、第 1 段階を踏まず第 2 段階の「顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化」を行うことは困難。まずは、顧客関係の緊密化により新たな市場ニーズを見出し、顧客との協働により得られた知見・ノウハウを新製品・ソリューション開発に活かすことでイノベーションにつなげるサイクルの確立が先決。
製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化	<ul style="list-style-type: none"> ●オークマにおいては「顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化」の課題が未決。その先に位置する「製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化」については、引き続きオークマにとり今後の課題。

(出所) 筆者作成

9. その他

本章で取り扱ったオークマによる工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションについては、ソリューション・ビジネスと製品製造事業のイノベーション・サイクルが一応の成立を見るところまで到達したが、オークマにおいては、市場誘導型イノベーションの実施体制の整備が経営資源制約により難航している。イノベーション・サイクルをなかなか速く回転させることができないまま、市場誘導型イノベーションを第1段階の「製品イノベーション」から第2段階のライバル企業に模倣困難な「ビジネス・モデルの創造」に進むことができていない。

ただし、工作機械中心ビジネスに回帰したヤマザキマザックと比べれば、“Smart Factory”を契機とした工作機械ビジネス革新を前進させているのは事実であり、最後に「まとめ」として、オークマはヤマザキマザックと比べて工作機械ビジネス革新へのコミットメントがかくも強固であるのは何故かについて考察する。オークマの「戦略的意思決定」の堅固さは何に由来するのだろうか。ヤマザキマザックの事例では、「戦略的意思決定」には、「市場成長期待」「製品開発・事業拡大の可能性」「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」の4要因が影響を与えていたが、オークマの場合はどうであったろうか。

「戦略的意思決定」の基礎となる4要因の「市場成長期待」「製品開発・事業拡大の可能性」「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」に関して分析すると(表25参照)¹⁶³、オークマは「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」を強く意識している。これに対し、ヤマザキマザックは“Smart Factory”が次世代製造システム標準となってもマシン中心ビジネスは維持できると判断、市場誘導型イノベーションへの取組を見合わせているが、オークマは「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」を感じる一方で、「製品開発・事業拡大の可能性」と「市場成長期待」への肯定的な評価も有しており、結果としてオークマは市場誘導型イノベーションに対して、ヤマザキマザックよりも強くコミットメントをしていると考える。

表 25 オークマの戦略的意思決定

緊急の対応とビジネス化を要求する脅威	<ul style="list-style-type: none"> ●現時点でOT、IT、企業システム企業等は工作機械メーカーが2000年代以降提供してきた設備稼働状況監視、予知保全を超えるソリューションを開発できておらず、次世代製造システムの付加価値が直ちに物的部分からIT部分にシフトする切迫した状況にはないが、短中期的には、OT企業等が製造IoTプラットフォームを基盤として生産高効率化に関するイノベーションを起こす可能性あり。 ●2000年代以降、オークマは高付加価値セグメント・シフトには円
--------------------	---

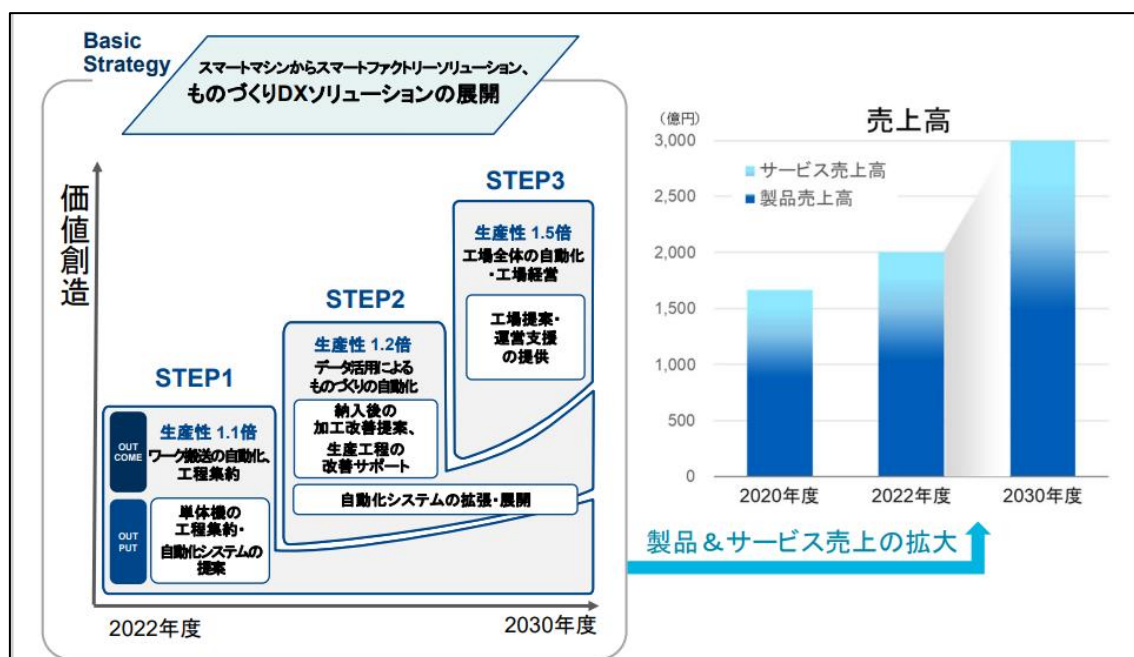
¹⁶³ オークマ訪問取材(2017年6月7日)、訪問取材(2017年11月21日)、同取材(2019年7月10日)。

	<p>滑に対応できたが、グローバル生産体制構築には難航、海外市場でボリューム・ゾーンを喪失。国内生産システム改革にも関わらず、2010年代、中国工作機械市場で高付加価値機を除きシェア振るわず。高付加価値化とグローバル化による対応に限界が見えつつある中、オークマは” Smart Factory” を契機として工作機械ビジネス革新に踏み切らざるを得なかった。</p>
<p>製品開発・事業拡大の可能性</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●2000年代、オークマは国内生産システム改革において、生産ラインのレイアウト見直し、工程集約、自動化、IT管理化を施して工場高効率化を達成。Smart Factory” 実証では、更なる生産高効率化を目指し、自社工場を更地化、製造ニーズに応じて生産ラインを設計し直し、既存の生産ラインを徹底的に工程集約、自動化、工場IoT化等により高効率化。 ●オークマにとり、” Smart Factory” ソリューションは工場IoT化に止まらず、レイアウト変更、工程集約、自動化等のメニューを組み合わせる生産高効率化を図る総合的取組を意味。工場IoT化に対応した工作機械及同システムの開発製造に加えて、工場高効率化メニューを独自に組み合わせ、顧客ニーズに最適化されたソリューションを作り上げて、提供。従来のマシン中心ビジネスに囚われず新規市場開拓を期待。 ●サービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、ソリューション過程で新たに認識・獲得したニーズ、知見・ノウハウを活かして新製品を開発。工程集約、自動化等に関する革新的なアイデアは、製造現場で実際にカイゼンに取り組んで始めて発見可能。アイデアが特定工場だけでなく、製造現場に広く通用するものかを知る上でも実地検証が不可欠。革新的なソリューション、工作機械及び同システムの開発には、工作機械メーカーが自ら” Smart Factory” ソリューションに取り組む必要。
<p>市場成長期待</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●工作機械メーカーが顧客工場の高効率化ソリューションで得られる収益は大きいものではないが(引受け件数に限界あり)、工程集約・自動化・IoT化等の組合せを類型化・パターン化し、ソリューションとそれに活用する工作機械及び同システムをメニュー化できれば、自らインテグレーションに当たらなくても、機械商社等が、顧客の製造現場に合わせてソリューションを選定、それに最適な工作機械及び工作機械システムをインテグレーションすることが期待でき、市場拡大が予想。 ●2000年以降の高付加価値機の大口顧客を相手としたソリューション・ビジネスは「単発ビジネス」であったが、大口顧客はカスタマイズ製造した工作機械及び工作機械システムを十分な数量を購入。一方、個別工場の生産ライン改革がメインとなる” Smart Factory” ビジネスでは、中堅・中小メーカーはもとより、グローバル大手メーカーであっても、大口購入は期待できず。ただし、一件あたりでは大口購入を期待できないが、日米欧先進国に引き続き中国、インドと新興国が工業化する中で、世界の製造企業からの引合いを総計すれば、” Smart Factory” 化ソリューションとそれに関連する工作機械及び同システム需要は大きい。

(出所) オークマ・ヒアリングに基づき筆者作成

なお、オークマは、工場生産高効率化ソリューションと同ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに対して、長期的に成長ドライバーとなることを期待しており(参考7参照)、同社の経営計画では、連結売上高が2021年度コロナ禍により1728億円に落ち込んでいるものの、2022年度のコロナ禍の鎮静化に伴い顧客工場生産高効率化ソリューション等により2200億円まで売上高を回復させた後、さらに2030年度までにソリューションとソリューション関連製品販売により3000億円まで引き上げるとしており、高い期待を工場生産高効率化ビジネスに寄せていることが分かる。

図 35 オークマが工場生産高効率化ソリューションに寄せる期待



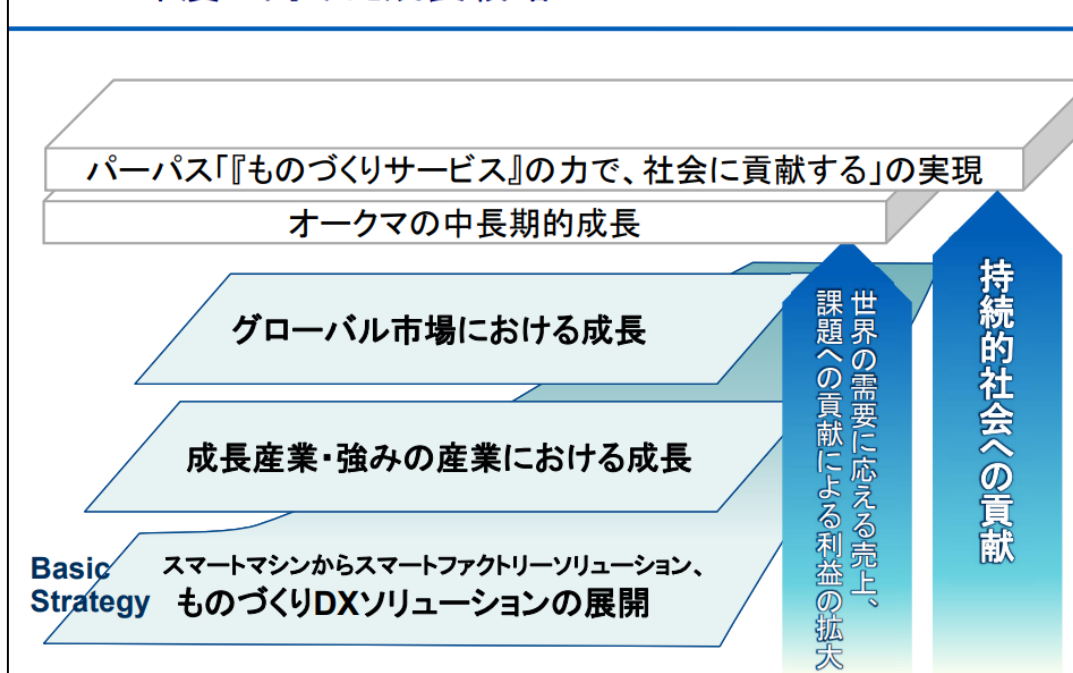
(出所) オークマ株式会社ホームページ

参考7

オークマ 2021 年度決算説明会説明資料(抜粋)

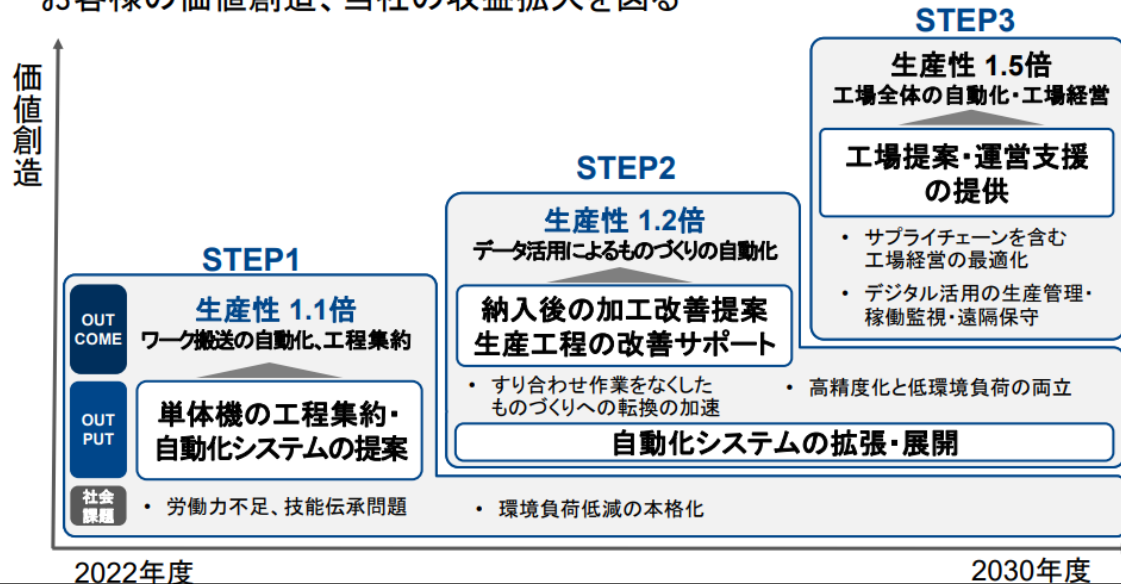


2030年度に向けた成長戦略



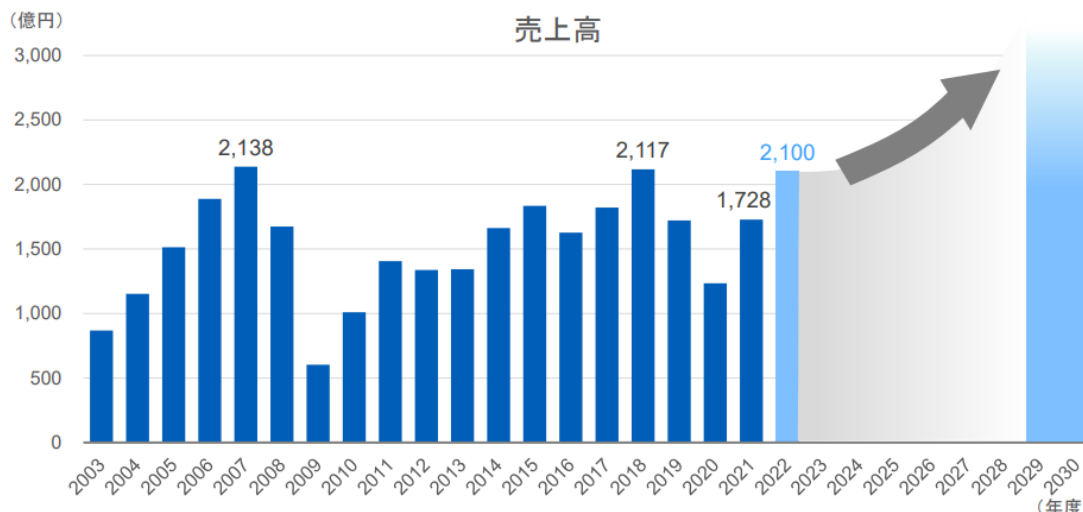
【基本戦略】ものづくりDXソリューションの展開

スマートマシンの自動化から工場全体の自動化・工場経営まで拡大し、お客様の価値創造、当社の収益拡大を図る

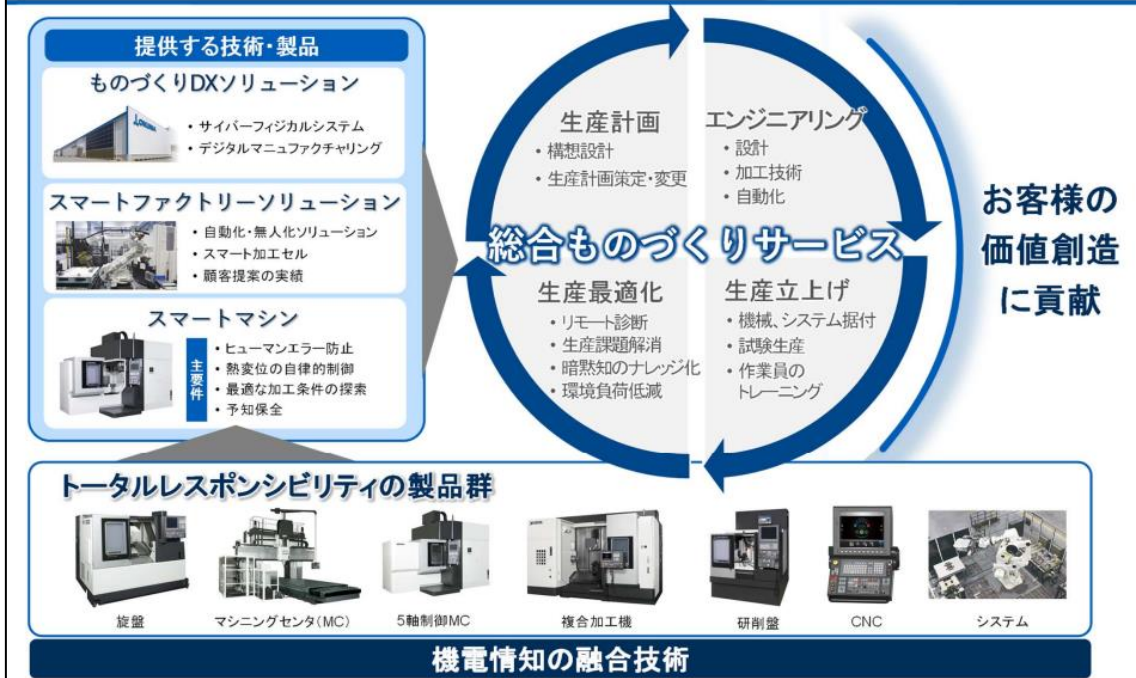


中長期ビジョンにおける経営目標

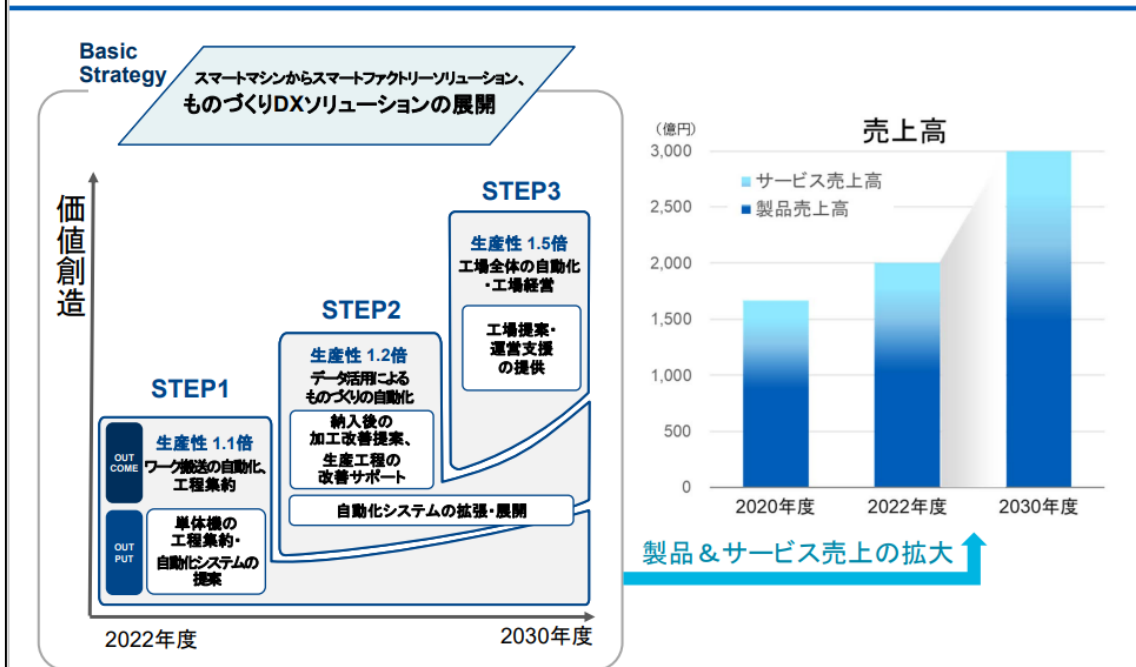
- ・ スマートマシン、スマートファクトリー、ものづくりDXソリューションの展開で、お客様と当社の価値創造、収益拡大を図る
- ・ 2030年度までに売上高 3,000億円 超えを目指す



価値創造のプロセスとビジネスモデル「総合ものづくりサービス」



【基本戦略】ものづくりDXソリューションの展開



【成長戦略】成長産業・強みの産業における成長

半導体製造装置産業

EV・自動車関連産業

再生可能エネルギー関連産業

1. 半導体製造装置関連産業

- 半導体製造装置関連でニーズの高い高付加価値スマートマシン群で国内から米・欧・中市場に展開



MULTUS series
UNIVERSAL CENTER
MU-6300V MB-80V



知能化技術

高精度 × 高生産性と低環境負荷を両立したスマートマシン

【成長戦略】成長産業・強みの産業における成長

半導体製造装置産業

EV・自動車関連産業

再生可能エネルギー関連産業

2. EV・自動車関連産業

- スマートマシンの豊富なラインアップにより、専用機の加工領域を獲得

横形マシニングセンタ



5軸制御マシニングセンタ



- 金型加工を革新するスマートマシン、技術の提供

世界に先駆け「加工」と「計測」を融合し、生産革新

門形マシニングセンタ

MCR-S



【成長戦略】成長産業・強みの産業における成長

半導体製造装置産業

EV・自動車関連産業

再生可能エネルギー関連産業

3. 再生可能エネルギー関連市場

- 適合する大型の複合加工機等を拡販
- ギヤ加工技術により、汎用機で高精度なギヤ加工を実現

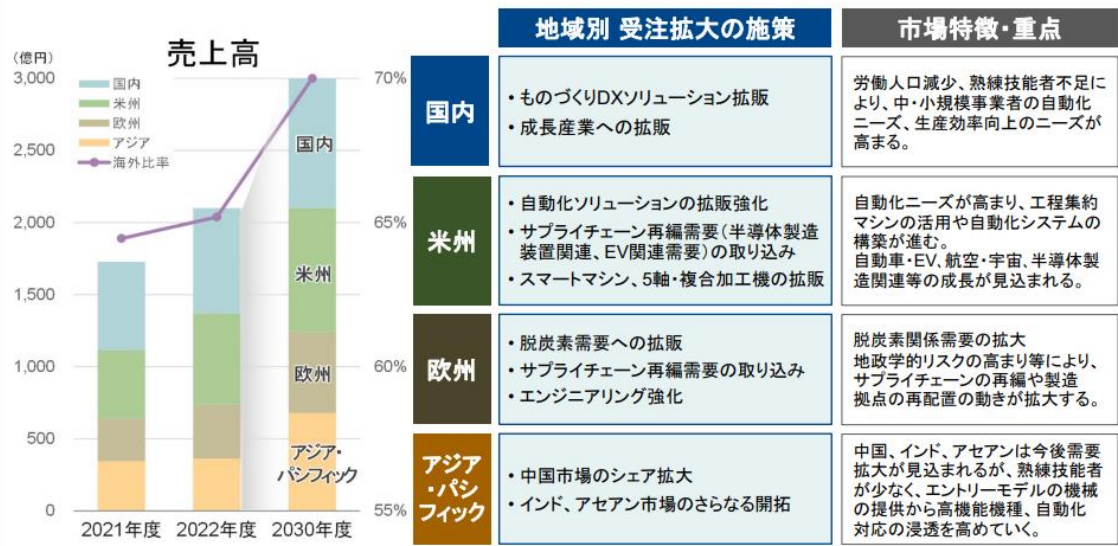


各市場における成長の土台となるオークマの強み

- 機電情知融合の独創技術、トータルレスポンスビリティ。高精度と脱炭素の両立
- 多品種少量の高効率生産、マスカスタマイゼーションへの対応力
- お客様満足の徹底追求の精神で、複雑な個客要求に応じてきたソリューション実績

【成長戦略】グローバル市場における成長

工作機械市場は、グローバルで中長期的に成長が見込まれる。
各市場でのニーズに応える製品・サービスを提供することにより売上拡大を図る。



(出所) オークマ㈱ホームページ

第9章 DMG森精機：市場誘導型イノベーションと独自事業領域形成

1. 企業概要

(1) 高付加価値化及びグローバル生産展開の力を欠いた後発メーカー

DMG森精機は、1948年に奈良県大和郡山市創業の繊維機械メーカーである森精機に起源を持ち¹⁶⁴、1958年に繊維機械メーカーから工作機械メーカーに転じた後発メーカーである。1970年代の工作機械NC化の流れに乗り大手メーカーに成長したが、1980～1990年代、ヤマザキマザック、オークマが自動車産業向け高付加価値機に力点を置き始めたのに対し、2000年代初までNC装置の内製化ができず、国内市場の中小メーカー向けNC旋盤標準機の量産量販に依存してきた¹⁶⁵。

1990年代、工作機械のコモディティ化と円高によるコスト競争力低下はDMG森精機を直撃。オークマ、ヤマザキマザックと異なり、NC装置の内製能力を欠いたため、DMG森精機は、自社ライン専用機を求める自動車メーカー等の差別化ニーズに食い込めず、海外市場を開拓しようにも販売・サービス網が未整備であり（補修用部品の大規模供給拠点が米国・欧州・アジアになし）現地工場建設には手が及ばなかった。その結果、バブル崩壊後の内需不振はDMG森精機の経営状況を深刻化させる。

(2) M&Aによる後発性の克服と先進メーカーへのキャッチアップ

1990年代以降の工作機械のコモディティ化と国内経済の長期低迷による内需不振に対しては、高付加価値セグメント・シフトが工作機械メーカーのサバイバルに必要なだったが、DMG森精機は自動車関連メーカー等の求める高付加価値機の開発製造能力を欠く後発メーカーだった。このため、DMG森精機は短期で後発性を克服するため、2000年代以降、工作機械業界では「禁じ手」とされてきたM&Aに積極的に取り組む¹⁶⁶。

① DMG森精機のM&A展開

同社の企業合併・提携は三期に分けられ、第1期は1999～2005年に国内企業買収

¹⁶⁴ 森精機はドイツDMGと2009年企業提携、2013年に将来的な企業統合の決定を機としてDMG森精機に社名変更、2015年企業統合。なお、2004年に自動車産業の集積する中部経済圏の中核都市である名古屋に本社移転。便宜上、2013年の社名変更前についてもDMG森精機の名称を本論では使用する。

¹⁶⁵ ヤマザキマザックが1970年にはマシニングセンタ(MC)の開発に成功し1977年には複合加工機の開発に着手したのに対し、DMG森精機のMCの開発・販売は1981年と遅れ、その時点では既にMC市場は自動車・電機メーカー等の工程自動化によりNC工作機市場と同等の規模まで成長していた。

¹⁶⁶ DMG森精機が1990年代末以降、企業買収により経営資源・能力を補完してヤマザキマザック、オークマ等先進メーカーにキャッチアップし、グローバル生産体制を整備するに至ったかについては榎本(2015)による。

によりNC装置内製・複合加工機等の高付加価値技術を獲得した段階であり、DMG森精機はヤマザキマザックとの技術的格差を縮めて、標準機の量産メーカーから差別化製品メーカーへの転換を図った。

第2期は2000年代半以降、欧米企業の国際買収により先進国市場中心にグローバル体制整備に乗り出した段階であり、第1期に差別化製品メーカーに転換したDMG森精機は、顧客ニーズを把握して差別化製品を開発供給していく上で、顧客を日常的にサポートする販売・サービス網の強化が必要となっていた。

第3期は2009年以降であり、グローバル化に対しての自社(森精機)単独の取組の限界を踏まえて、独DMGとのアライアンスにより、日欧米中四極のグローバル生産・販売・サービス体制を立ち上げた。

②第1期：標準機メーカーから差別化製品メーカーへの転身

第1期(1999～2005年)、DMG森精機は、国内メーカーのM&Aにより差別化製品のフルライン供給能力を獲得する。

まず、2001年に研削盤メーカー・太陽工機の子会社化により事業領域を切削から研削まで拡大し、建設機械・航空機・自動車メーカー等への部品加工ラインの一括納入(研削盤・NC工作機・MC)を可能化。

次に、2002年に経営破綻した日立精機から営業譲渡を受ける形でNC装置開発技術と複合加工機技術を獲得。2004年MAPPSⅡ、2005年MAPPSⅢとNC装置開発を加速し、顧客ニーズに合わせて差別化製品を開発製造する能力を向上させ、2005年以降は複合加工機の本格生産に取り組み、日立精機の千葉事業所を大幅拡張して複合加工機の一貫生産工場化。加えて、立形マシニングセンタ、横形マシニングセンタ等にも事業展開し、DMG森精機は自動車生産の全工程で用いる差別化製品を一括供給する能力を獲得する。

③第2期：国内集約生産からグローバル生産体制への試み

第1期に差別化製品メーカー成りに成功したDMG森精機は、第2期(2006～2009年)、海外市場の本格開拓に向けて、顧客を日常的にきめ細かくサポートできる販売・サービス網が必要となる。ただし、一社単独で全世界に直販体制を構築することは負担が大きく、第2期には欧米企業買収により先進国市場中心に販売・サービス網の構築に取り組み、2006年に米国機械商社エリソン・テクノロジーとの販売提携を拡大しシカゴ直販会社管轄分の販売・サービスを任せましたが、2007年には三井物産とエリソン社を共同買収し子会社化した。

当時、世界工作機需要の5割を占めた欧州市場では、DMG森精機は独メーカー等との競争上、短納期出荷等のために現地工場の必要性を認識し、海外メーカー買収により海外生産体制を構築しようとした。2007年にスイスの老舗工作機械メーカーのデ

ィキシー社を子会社化、同社工場を改修してディキシー製品と森精機製品の生産工場とし(初の海外生産拠点)、2008年にはチャック・治具メーカーの仏トブラー社を子会社化するが、一社単独でのグローバル生産体制構築は限界があった。

④第3期：日独企業連合によるグローバル展開

第2期迄の世界工作機械市場は日米欧先進国市場と同義だったが、2000年代に中国等新興国が目覚ましい経済発展を遂げ世界工作機械市場に構造変化が生じ、工作機械メーカーは先進国・新興国市場の双方で生産・販売・サービス三位一体のグローバル化を進めることが課題となる。

2006年以降、DMG森精機はヤマザキマザックの後塵を拝する生産・販売・サービス三位一体のグローバル化を推進すべく国際M&Aを行ったが、自社単独の生産拠点整備には限界が存在したため、米国ガードナー社調べで2009年世界売上高5位の独DMGとの提携により(森精機は世界第8位)経営資源を補完し合い、日米欧亜4極のグローバル生産・販売・サービス体制の構築に乗り出す。国内メーカー他社は国内勢同士の企業合併・提携により中国市場等での海外製販強化を模索したため、日独企業連合によるグローバル化は極めて先鋭的に受け止められたが、日独双方で以下の三点を考慮し抜いた企業提携だった¹⁶⁷。

- ①欧州に絶対的地盤を有するDMGと日本・北米に強い森精機が提携し、両社が世界各国で展開する販売・サポート拠点を統合・相互利用すれば、効率化によるコスト削減に加え、全世界をカバーする生産・販売・サービス網を構築できる。
- ②新興国に生産工場のない森精機にとり、中・印でDMGにOEM供給を任すことで、新興国市場で低価格機種をラインアップに加えられ、一方、DMGも規模の経済を享受で、更なる高効率・低コスト生産が可能となる。
- ③森精機が複合加工機・MC・NC旋盤に強みを持つのに対し、DMGは5軸MC、大型MC、低コスト機を主力製品としており、両社の製品展開は地域展開と同様に極めて高い補完性を有する。

¹⁶⁷ 森精機が2009年3月23日付で発表した「株式会社森精機製作所と独国 GUILDEMEISTER AGとの業務・資本提携に関するお知らせ」に基づき、森精機・DMGの日独統合のメリット三点をまとめた。

表 26 森精機の企業買収・提携の史的展開

<p>第1期(1999~2005年)</p> <p>○2001年 太陽工機の子会社化 2000年に池貝鉄工の経営破綻により、同社の手形6億円を保有する太陽工機の資金繰りが悪化。同社製研削盤のユーザだった森精機は資金支援を実施し子会社化。その結果、森精機は切削から研削まで事業領域を拡大、建設機械・航空機・自動車メーカー等に部品加工ラインの一括納入(研削盤・NC工作機・MC)が可能化。</p> <p>○2002年 経営破綻した日立精機より営業譲渡 森精機ハイテックを受け皿会社とし、2年間かけて重複製品整理・組織再編・技術者異動等を進めて本社に企業統合。</p> <p>①NC装置の自主開発能力の獲得 NC装置ソフトウェア等の自主開発は1981年のシステム研究所設立以降進捗せず、1997年の制御技術部設立後も難航。1998年GOPⅢ、1999年MAPPSⅠ、2000年DDモーターの開発に成功したが、1000件以上の改善要望が顧客から寄せられる(社内報もりせいき(2004年4月号))。自主開発は日立精機のNC装置部門統合により加速、森精機が顧客ニーズに合わせて差別化製品を開発製造する能力を飛躍的に向上させた(2004年MAPPSⅡ開発(2002年着手)、2005年MAPPSⅢ開発)。</p> <p>②複合加工機の技術の獲得と営業基盤の拡張 ・日立精機の複合加工機技術を吸収(2005年以降NT部設置)、千葉事業所を大幅拡張(本拠地・奈良事業所と同面積)、2005年より複合加工機の一貫生産工場として稼働。 ・日立精機は発電・鉄鋼・石油掘削等社会インフラ関連企業との取引が多く、奈良発祥の森精機にとり関東地区進出・大手顧客開拓の足掛かりとなった。(2002年、ソフトウェア開発力強化のために米国加州にデータ解析拠点DTL社を設置、国内設計部門とインターネットを介して24時間開発設計体制を構築)</p>
<p>第2期(2005~2009年)</p> <p>○2000年代前半、輸出商社依存を脱却すべく、米国ではシカゴ直販会社を設立(2003年)、独ではシュツットガルト(2003年)、ミュンヘン、ハンブルク(2004年)に販売サービス拠点を設置、海外直販力の強化に取り組んだ。ただし、一社単独の直販体制整備は負担が大きく、2006年に米国機械商社エリソン・テクノロジーとの販売提携を拡大(シカゴ直販社管轄分を委任)、2007年には三井物産と同社を共同買収・子会社化。</p> <p>○2007年 スイス・ディキシー社の子会社化 航空機エンジン部品等用の大型工作機械に強みを有するディキシー社を買収。同社ブランド・製品は維持しつつ、同社工場に追加投資して森精機製品の生産ラインを建設(初の海外生産拠点)、欧州市場に短納期出荷体制を構築(ただし年産50~90台と限定的)。</p> <p>○2008年 仏トブラー社の子会社化 欧州自動車メーカーを主要顧客に抱えるチャック・治具メーカーの仏トブラー社を買収。森精機はトブラーの販売ルートを活用し、工作機械・チャック及び工作機械を組み合わせたエンジニアリングで欧州自動車市場に参入。</p>
<p>第3期(2009年~)</p> <p>○独DMGとの企業統合(2020年目途) ・2009年、DMGとの資本業務提携を決定、製品・地域展開で補完関係の期待できる両社の統合により、日欧米中のグローバル生産・販売・サービス体制の構築を構想。 ・まず販売・サービスの共同化に着手(2009年タイ等、2010年豪・米・印、2011年墨・独等、2012年欧州全域、2013年中国全域)。製造・開発の共同化に関しては、日独技術者の交流・共同研修を重ね、2013年に共同開発したオペレーティングシステム及び15機種を欧州国際工作機械展示会で公開。新機種の共同開発の原則化、既存機種の統合、周辺機器共通化等に段階的に取り組み。 ・森精機が日・スイス工場に加え米国カルフォルニア州工場(2012年)と天津工場(2013年)を建設、DMGが独・伊・上海工場に加えロシア工場(2014年)を建設し、OEMによる相互生産開始。 ・2013年に社名共通化、2014年に東京・スイスにグローバル本社を設立、2015年にDMG森精機が公開買付により独社を子会社化。</p>

(出所) 榎本(2015) (原注) 森精機年次報告及び日本経済新聞、日経産業新聞、日刊工業新聞等より作成

(3) 2010年代初のDMG森精機の置かれた状況

①遅れた「製造企業のサービス成長」への取組

2000年代のDMG森精機(正確には企業提携前の日本・森精機)の取組は、先進技術を有する国内メーカーのM&Aによりヤマザキマザック、オークマに技術的にキャッチアップすることに重点が置かれ、中小メーカー向けNC旋盤汎用標準機一筋の工作機械ビジネスに代わり、自動車メーカー等が全生産工程で必要とする複合加工機・各種マシニングセンタ・NC旋盤等差別化製品を一社で供給する総合工作機械ビジネスへの転換が図られた。

1990年代以降のコモディティ化に対して、ヤマザキマザック、オークマは自動車等高付加価値セグメント・シフトにより製品需要確保を図り、大口顧客からの引合い確保のためソリューション・ビジネスを展開していたが、DMG森精機は両社と互角の競争ができる差別化製品メーカー成りに精一杯であり、ソリューション・ビジネスへの取組は遅れた。オークマがグローバル生産体制の構築が難航したため、国内生産体制・国内生産システム改革により生産高効率化を達成し、円高克服しようとしたのと同様、DMG森精機もグローバル生産体制の構築に難航した結果、2008～2010年に100億円を投入して伊賀工場を建設するなど国内生産体制の高効率化に忙しく、製造企業のサービス化に取り組む余力がなかった。

したがって、2000年代中～2010年代初の生産ラインのIT管理化(生産ライン単位のFA化)への対応でも、自社の工作機械等に装着するオペレーティングシステム開発など工作機械及び工作機械のIT管理化対応を除き、顧客に生産ライン自動化ソリューションを提供したりする余力はなかった。

②2010年代のDMG森精機の課題：日独統合の深化

この時期、2010年代初にドイツが”Indusrie4.0”で”Smart Factory”を次世代製造システムとして提言したことを契機に、”Smart Factory”に如何に対応するかが工作機械メーカーでも重要な検討事項となった。しかしながら、2000年代末以降のDMG森精機では、ヤマザキマザック等に比べて遅れた高付加価値化とグローバル化を進めることも重要な課題であり、同社はその「解」を日本・森精機と独DMGの業務・資本提携に求め、2010年代中まで日独統合に多大の力を割いたため、”Smart Factory”の初期対応では、ヤマザキマザック等の後塵を拝することとなった。

日独両社によるグローバル生産・販売・サービス体制の構築は、事業の地域的補完性(欧州に絶対的地盤を有するDMGと日本・北米に強い森精機)、製品ラインアップの補完性(複合加工機・MC・NC旋盤に強い森精機と5軸MC、大型MC、低コスト機を主力製品とするDMG)、規模の経済の実現(2013年度の両社計の売上高4200億円は世界首位)を考えると優れた戦略的プランだったが、ダイムラー・クライスラーが

企業戦略・生産システムの相違を克服できず企業統合を解消したように国際企業統合は失敗に終わるケースが少ないため、2010年代前半の森精機とDMGは、業務提携内容に関して段階的に合意を取り付けつつ決定することとし、2009年以降4年間をかけて企業提携を無理なく深化させることに全精力を傾けた¹⁶⁸。

- 提携発表後、森精機・森雅彦社長がDMGの監査役会監査役に、DMGカピッツァCEOが森精機の専務執行役員に就任し、森・カピッツァをヘッドとする統合促進委員会を設置。
- 製造・研究開発の共同化は、製品・部品・製造技術の共通化等解決すべき課題が多いため、先行的に販売・サービスの共同化を実施(2009年にタイ・インドネシア、2010年に豪州・米国・インド、2011年にアフリカ・メキシコ・ドイツ、2012年に欧州全域で共同化)。
- 一方、製造・技術開発の共同化のモメンタムを維持すべく新製品の共同開発に取り組み、2013年9月の欧州国際工作機械展示会で新オペレーティングシステム「CELOS」及び新デザインコンセプト機15機種を世界初公開
- CELOS共同開発後、新機種の原則共同開発、既存機種の順次統合、機械本体に加え主軸ユニット・周辺機器の共通化を基本方針化

当初より日独双方は企業提携を企業統合に発展させることを想定していたが、2013年に4年間の業務提携の進捗を踏まえ、2020年を目途に企業統合を決定し、社名・ブランド名を「DMG森精機」に統一。2014年には、東京及びチューリッヒにグローバル本社を設立し、2009年来の販売・サービス共同化を全世界で完成させ、森精機及びDMGの工場で両社製品のグローバル生産を開始。想定以上の速さでの統合進捗を受けて、両社は2015年に日本会社が独会社を子会社化する形で企業統合を果たした。

2. DMG森精機の初期”Smart Factory”対応

2010年代初のDMG森精機の状態を踏まえると、同社は2000年代を通じて、総合工作機械他社が1990年代来の工作機械のコモディティ化に対して採った高付加価値セグメント・シフトやグローバル生産による海外市場開拓を後追いするのに懸命であり、2000年前後に経営破綻も含む危機的状況にあった社業を、日立精機等先進メーカーの企業買収・統合による高付加価値技術の獲得、グローバル生産体制の構築に向けた独DMGとの提携により「成長経路」にようやく乗せたばかりであった。

緒に就いた日独統合を如何に進めるか。長期好況に沸く欧米の高付加価値機需要、中国経済の高度成長により急拡大する工作機械需要を抑えて、グローバル総合工作機械メーカーとしての地歩を如何に確立するか。多数の課題が山積し、新たにドイツの提言した”Smart Factory”の次世代製造システム標準化に対して、DMG森精機が”Smart Factory”関連ソリューションなどに取り組む余力は乏しく、工作機械ビジネス革新に乗り出す用意ができていたとは考え難い。

¹⁶⁸ 森雅彦DMG森精機社長、2017年11月10日。

しかしながら、工作機械メーカーで、“Smart Factory”を契機として工場生産高効率化ソリューションをビジネス化し、同ソリューションを通じて顧客関係を緊密化、顧客との交渉を通じて新たな市場ニーズを認識・理解し、顧客との課題解決に向けた協働のプロセスで得た知見・ノウハウを活かして、製品イノベーションを達成したのは、実はヤマザキマザックでもオークマでもなく、後発者とされたDMG森精機だった。2000年代を通じて後発メーカーとして両社の後塵を拝していたDMG森精機に何が起こったのだろうか。

(1) 第1期(2014~2017)前半の自社工場における“Smart Factory”実証

第6章では、OT、IT、企業システム企業等が“Smart Factory”の基本機能及びシステム構成を具体化した第1期(2014~2017年)、工作機械メーカーは自社工場をモデルに“Smart Factory”実証を行い、「生産デジタル化に対応した工作機械等のIoT化」「総合工作機械メーカーに向けた努力」「ソリューション・ビジネス(ライン・ビルダー化)」に取り組んだことを示した。取組をリードしたのはヤマザキマザックであり、DMG森精機はヤマザキマザック、オークマ2社の後を追う形とはなかったが、2000年代の技術的キャッチアップにより、その遅れは僅かとなっていた。

①ロードマップに基づく段階的な“Smart Factory”実証

ヤマザキマザックは2017年に“Smart Factory”に向けたロードマップを公表したが、DMG森精機もヤマザキマザックとほぼ同一のロードマップに基づき“Smart Factory”実証を段階的に進めた。

すなわち、(i)IoT技術により、工場内のすべての工作機械・装置をネットワークにつなぎ、リアルタイムで情報を共有化できる「製造システムのオープン・ネットワーク化」を実現する、(ii)過去も工作機械のNC装置を情報端末化することで生産関連データを取得し生産ラインの最適制御を試みてきたが、取得データの制限とソフトウェア開発の限界から未達だった、生産支援システムによる生産ラインの自動最適制御¹⁶⁹を実現する、(iii)市場動向に即応した変種変量生産を生産ラインに実施させるため、生産ラインの制御システムと計画層のERPをシステム統合して連動させる、その上で、(iv)CPSあるいはデジタル・ツインと呼ばれる仕掛けを導入し、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連ビックデータをAI解析し、生産ラインを市場動向に応じて最適制御するだけでなく、自動的にカイゼンし

¹⁶⁹ 生産管理システムによる生産ラインの自動制御では、従来、本社等の生産計画変更指示に基づいて各工場の熟練生産管理担当者が生産ラインの稼働計画を経験・ノウハウにより策定してきたのに代わり、生産管理システムが、生産ラインの稼働スケジュールを自動的に立案し生産ラインに稼働指示、その後、工作機械の加工進捗状況等に対応して稼働スケジュールを再調整して生産ラインを最適制御すること(工具・治具の準備・着脱、材料準備等も含めて)が想定されている。

自律的に進化する工場を目指す¹⁷⁰とした。

②製造システムのオープン・ネットワーク化

第1段階として、DMG森精機では、CELOSによる「製造システムのオープン・ネットワーク化」に取り組んだ。DMG森精機では、森精機とDMGとの企業提携に伴い、2013年に共通のオペレーティングシステムとして開発したCELOSを工作機械に搭載することで、工作機械より収集した生産関連情報(ジョブ、加工工程、機械データ)の一元管理を可能にした¹⁷¹。

ただし、ヤマザキマザックが工作機械等に搭載するMazak SMARTBOXにおいて工作機械用オープン通信規格のMT Connectを採用し、同規格に対応した設備機器であればメーカー、モデルの新旧を問わず稼働状況等のデータを収集して工場全体での一元管理を可能としていたのに対し、CELOSはDMGと森精機の企業統合に主眼を置き、他社製品等との接続性担保を目的としていなかったため、自社機械だけでなく、メーカーの違い、モデルの新旧を問わず生産ラインを構成する機械から生産関連データを収集し、工場全体で一元管理することができなかった。DMG森精機では、“Smart Factory”への対応と、日独企業統合が同時期に並行して進められたため、かかる事態が発生した。

このため、DMG森精機は2016年、日本マイクロソフト社との提携によりCELOS NETboxを開発。CELOS NETbox搭載により、メーカーや製造時期を問わず、機械・設備から生産関連データをリアルタイムで収集し、工場全体の一元管理ができるよう手当。結果的に、CELOS及びCELOS NETboxを活用して、工作機械のNC装置と工場稼働モニターを接続して生産ラインをネットワーク化し、工作機械の稼働状況、工具・治具等の状況、ワークの加工進捗状況等を「見える化」できた。

③製造ビックデータの分析と生産改善

DMG森精機は引き続き第2段階の「製造ビックデータの分析と生産改善」に取り組んだ。DMG森精機では、2002年に既にワーク(加工対象物)や工作機械等にバーコードをつけて工場の「見える化」を試みており、工作機械の稼働状況、自動運転中/段取り中/アラーム停止中等の運転履歴、加工ワーク個数、主軸負荷等の情報を収集し、工作機械単体だけでなく生産ライン全体の最適制御に関する研究を行い、生産効率性の改善、受注状況に対応した柔軟かつ機動的な生産に役立ててきた。

現在のRFID、センサ等を用いたIoT技術は2000年代前半と比べて飛躍的に大量の生産関連データを収集することを可能としており、また、生産管理システムが、生産ラインの稼働スケジュールを自動的に立案し生産ラインに稼働指示、その後、工

¹⁷⁰ 太田圭一 DMG森精機執行役員兼業務本部長 2017年11月15日ヒアリング。

¹⁷¹ DMG森精機プレス発表 2014年10月20日付

作機械の加工進捗状況等に対応して稼働スケジュールを再調整して 生産ラインを最適制御する(工具・治具の準備・着脱、材料準備等も含めて)こともソフトウェア開発能力向上で夢物語ではなくなっている。

そこで、DMG森精機は、「製造ビックデータの分析と生産改善」に関して、第1期後半の2017年に工作機械のリアルタイム稼働監視アプリケーションとしてDMG MORI Messengerを開発。Messengerは製造事業者が、時間や場所に関係なく、常にリアルタイムで機械の状態(実行状態、機械の稼働時間、現時点での生産量、無人時の状態、停止理由等)を把握、いち早く機械停止に気づき対策を講じ(アラーム通知機能あり)、機械停止時間を抑えて高生産性を維持することを可能化した¹⁷²。

また、Messengerには、指定された任意の期間やシフトに関して各機械の生産性と稼働率(機械の生産性のランキング、実稼働時間の比率、非稼働時間の比率、機械停止原因の比率等)を分析する機能が装備され、製造企業は、各機械の稼働状態の分析結果に基づき、見込み数量を正確に算出、それにより生産工程の最適化を図ることが可能となった¹⁷³。

DMG森精機は引き続き「生産支援システムによる生産ラインの自動最適制御」を課題として、伊賀工場等の生産ラインをCELOS搭載の工作機械等で構成し、工作機械より収集した生産関連データをCELOS経由でオフィスのサーバーに送信し、生産ラインの最適制御を行おうとしている。例えば、主軸に付けた加速度センサで望ましくない振動(びびり)を捉えて、びびりを発生させない条件を見つけたり、電力センサにより省エネに配慮した運転ができるよう見える化したり、また、収集したデータを解析して予防保全や故障検知につなげるプロジェクトを進めている。

④第3段階以降に関する取組

第3段階(企業ITシステムとの連携による各工程・工場全体の最適化)と第4段階(熟練工のノウハウのAI化)については、DMG森精機はヤマザキマザック、オークマと同じく、同時並行に取り組んでいる¹⁷⁴。

¹⁷² DMG森精機(2017)

¹⁷³ DMG MORI Messengerによる設備稼働状況監視システムは”Smart Factory”に対応した新機軸というわけではなく、実はDMG森精機がNC装置に加工条件検索機能・サーボ制御最適化機能・幾何誤差計測補正機能等を実装し、個別工作機械を最適制御するサービスとして提供してきたものを、生産ラインのネットワーク化に対応して拡張したものである。日独統合前、森精機は工作機械のNC装置を情報端末化し、製造関連データに基づく生産ラインの最適制御を試みたが、取得データの制限とソフトウェア開発の限界から未達に終わっていた。そこで、IoT化技術を活用して、生産支援システムを開発。伊賀工場等の生産ラインをCELOS搭載機で構成、工作機械より収集したデータをCELOS経由でオフィスのサーバーに送信。その上で、生産支援システムにより生産ラインの最適制御方法を割り出し、生産ラインの生産性を向上する仕掛けを構築した。

¹⁷⁴ 本来、”Smart Factory”のIT部分のシステム構成が確立し、ERP・MES・PLCを垂直した企業ITシステムによる生産ライン制御が完成していれば、順次、第3段階、第4段

日独統合の関係では、企業ITシステムと生産ラインの制御システムの統合について、DMG森精機では、2009年以降、日独間で部品表、PLM(CAD)、ERPデータと順次データ共通化を進めたが、ERP等の完全共通化には至らず、その結果、本社がERP等を介して伊賀工場、奈良工場の生産活動をコントロールする体制には現時点でもなっておらず、引き続き本社が受注動向に応じて伊賀工場・奈良工場に生産指示を行い、各工場が生産対応している。

伊賀工場、奈良工場では、SAPのHANAシリーズのERPをベースとして、生産計画と生産状況に応じて自動的に生産スケジュールを作成するスケジューラ(upper MES)を開発、企業ITシステムによる生産ライン最適制御の実現に向けた環境整備に取り組んでいる。もっとも、工作機械及び工作機械システムは基本的に顧客ニーズに対応したカスタマイズ製品であり、各工場の月産台数を考えるとSiemensアンベルク工場のように企業ITシステムによる生産ライン制御やカイゼンの自動化を図らなくて対応可能であるため、ERPとの統合に具体的メリットを発見しあぐねている。

また、第2段階で実現した、生産支援システムによる生産ラインの最適制御を自動化するには、加工・生産ノウハウをソフトウェア化し工場実装する必要がある。DMG森精機も、熟練工不足とマス・カスタマイゼーションによる作業複雑化に対応し、経験の浅い作業でも使える設備、ボタンを押すだけで生産できる自動化機械・システム開発に取り組んでいる(自社工場での実装を経てソリューションとして外販化)。

(2) "Smart Factory" 実証とビジネス化

ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機はそれぞれ自社工場をモデルとした"Smart Factory" 実証を行い、それにより得た知見・ノウハウを活かして"Smart Factory" に関連したソリューションをビジネス化しようとした。

ヤマザキマザックは自社工場における"Smart Factory" 化の経験をベースとしてロードマップの第1段階にあたる「工場IoT化」(製造システムのオープン・ネットワーク化)をソリューション化しようとしたが、OT企業等が"Smart Factory" に関連してITシステム・インテグレーションとして提供するソリューションと重なる事業領域であり、工作機械メーカーの強みが発揮できるものではなく、結果的にシステム・インテグレーションに係る経営資源・ケイパビリティの不足から撤退した。

ヤマザキマザックの例が示すように、"Smart Factory" ロードマップに基づく取

階と"Smart Factory" 化を進められるはずであるが、第6章で見たように"Smart Factory" は基本機能・システム構成がようやく第1期(2014~2017年)にOT、IT、ソフトウェア企業等の取組により具体化されたものであり、依然、企業ITシステムによる生産ライン制御は一部の先進的企業を除けば未実現であった。このため、第2段階完了後、工作機械メーカー各社は第3段階と第4段階の実現可能な部分から"Smart Factory" 実証に取り組まざるを得なくなっており、完全な"Smart Factory" の実現は達成できていない。

組をそのまま顧客工場の” Smart Factory” ビジネス化できるかという点と難しい。当初、オークマは顧客メーカーを部品加工専業と部品加工・組立一貫の2種類に分けて、自社工場での実証成果に基づき顧客工場の” Smart Factory” 化を図ることをソリューション化しようとしたが、ロードマップの第1段階(工場IoT化)を中心としたサービスではOT企業等との競争で独自の価値なり存在意義を主張できないに気付く。そこで、” Smart Factory” 化ソリューションに代わり、顧客の製造現場と製造ニーズは千差万別であり、必ずしも工場生産高効率化のために” Smart Factory” 化を必要していないことを踏まえ、オークマは、工程集約・自動化等生産ライン改革、生産ラインを構成する機械・設備及びその組合せの最適化、工場レイアウト見直し等を組み合わせ、顧客工場に応じて最適化された工場生産高効率化ソリューションを提供することをビジネス化する方向に転じた。

DMG森精機もオークマと同様なコースを辿る。

①第1期(2014~2017年)末以降のソリューション・ビジネス立上げ

自社工場の” Smart Factory” 実証を通じて得た知見・ノウハウを活用して、第1期末の2017年以降、DMG森精機は” Smart Factory” ソリューション提供に乗り出すが、その当初の顧客アプローチはヤマザキマザックと同様に、” Smart Factory” ロードマップを念頭に置いて、段階的な工場スマート化を提案するものだった。

工場スマート化を検討する顧客には、まず「製造システムのオープン・ネットワーク化」を提案。これはヤマザキマザックも当初のオークマも変わらない。DMG森精機は、自社製品のCELOS及びCELOS NETboxを活用して、工作機械のNC装置と工場稼働モニターを接続して生産ラインをネットワーク化し、工作機械の稼働状況、工具・治具等の状況、ワークの加工進捗状況等を「見える化」するソリューションを提供。次に、「見える化」に満足して、「製造ビックデータの分析と生産改善」に関心を示す顧客に対しては、Messenger 導入による設備稼働状況監視・予防保全システムの導入による工場生産性向上を提案・提供することとした。

改めて指摘するまでもなく、この顧客アプローチは、” Smart Factory” ロードマップに基づく段階的なものであり、一見、客観的であり計画性があるように映ることから、” Smart Factory” 化を考える顧客に対して説得性に富むように思われるが、現実には機能しなかった。何故ならば、顧客が製造現場で如何なる問題を抱えているのか、その問題を解決するに当たり” Smart Factory” は真に「解」たり得るのかを問わないまま、ロードマップと自社工場の実証体験を当て嵌めてしまう傾向があった。加えて、これらは、2000年代中~2010年代初に生産ラインの自動化(FA化)で模索したソリューションの「リメイク」であり、生産ラインFA化の先にあるはずの” Smart Factory” ならではのソリューションでなかった。

②” Smart Factory”に係る根源的問題

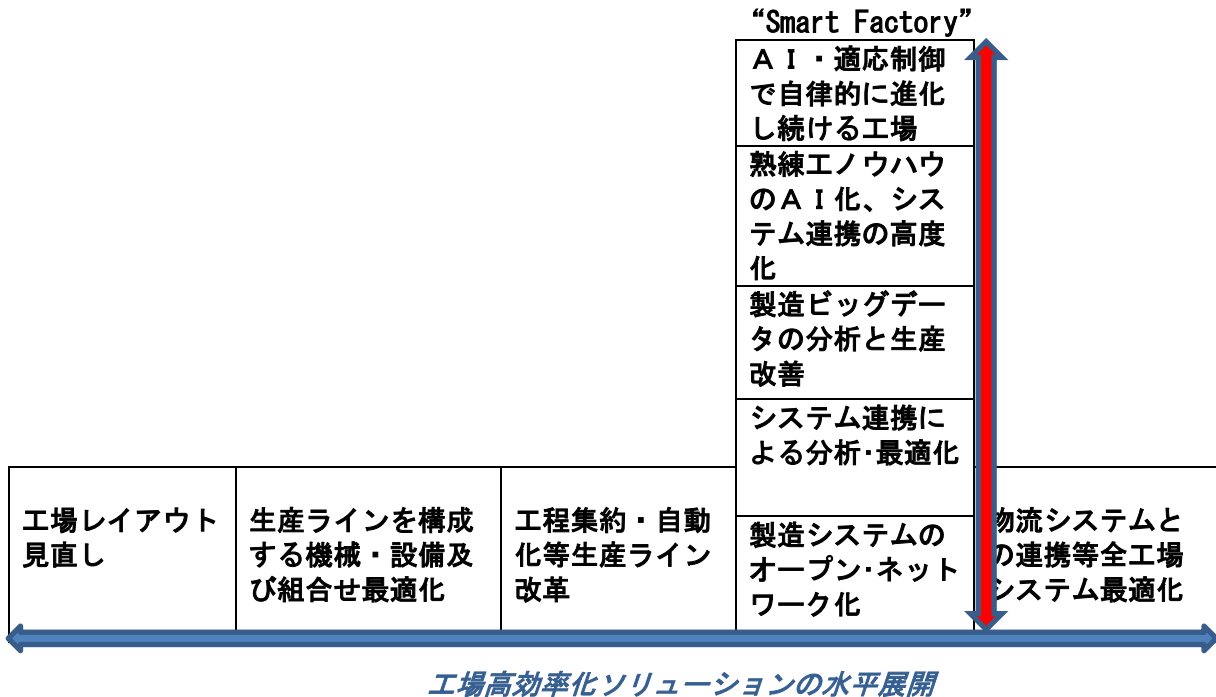
2010年代初にドイツが” Industrie4.0”において次世代製造システムとして提唱した” Smart Factory”はその後、先進国・新興国を問わず、企業規模・業種・業態を超えて広く関心と期待を集め、その具体化とビジネス化が一種の熱狂を伴って進められてきた。しかしながら、2020年代に入り2010年代を振り返ると、実は、その間、「” Smart Factory”により何が新しくできるようになるのか？」という問いは等閑視されてきた感がある。この問いは、第1期に” Smart Factory”の基本機能・システム構成を固めたOT、IT、企業システム、ソフトウェア企業等が、第2期(2018年以降)に” Smart Factory”ビジネスの立上げに着手して以来、直面している課題であり、また、工作機械メーカーも同様に「解」を求められている問題である。

この点、第8章で見たように、オークマのアプローチは明快かつ論理的である。オークマは、2000年代の自社の国内生産システム改革の経験等から、顧客は自社工場の” Smart Factory”化自体を求めているわけではなく、あくまでも工場生産性向上を命題としている、” Smart Factory”はその目的達成に必要な限りで導入採用すれば差支えない(場合によっては導入不要)と考えた。オークマは自社工場の生産システム改革に取り組む過程で、部品加工専業プラントと部品加工・一貫組立プラントの工場スマート化ニーズの違いを発見、” Smart Factory”が「売り」とする、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御は、市場動向に即応した変種変量生産を求められる後者では絶対に必要であるが、前者は需要変動に在庫調整で対応できるので不可欠とまでは言えないことを踏まえて、工場生産高効率化ソリューションを着想する。

第8章で分析したように、オークマは2000年代の国内生産システム改革以来続けられてきた自社工場での生産高効率化の経験と知見・ノウハウに基づき、顧客工場の生産効率化は、企業ITシステムによる生産ライン制御や、製造IoTプラットフォーム導入と製造関連アプリケーション活用だけでは達成できず、かかる” Smart Factory”化に先立ち、生産ラインのレイアウト変更、工程集約、自動化等を個別工場の状況に応じて最適に組み合わせ、生産ラインの生産高効率化を果たしておく必要があると結論。そして、この考えに立って、第2期(2018年以降)に、工作機械メーカーに強みがある水平展開を中心とした工場生産高効率化ソリューションを本格的なビジネスとして立ち上げた。

図9 工場高効率化ソリューションの展開方向(再掲)

工場高効率化ソリューションの垂直展開



(出所) 筆者作成

このオークマの気付きはドイツ製造企業も共有する。ドイツは” Industrie4.0” の提唱国であるが、企業ITシステムによる生産ライン制御や製造関連ビッグデータのAI解析による生産システムの最適化は、2000年代後半以降、世界市場での引合いの極端なまでの短納期・小ロット化に対応するため変種変量生産の徹底が不可避となっている、Siemens、Bosch、Daimler、Volkswagen等には妥当するが、ドイツ製造業の太宗を占める中堅・中小メーカーについては” Smart Factory” 化が必要であるのかは検証が必要であると考えている。” Smart Factory” を契機として、先進国・新興国を問わず、製造企業が21世紀の熾烈なグローバル競争を勝ち残りたいのであれば、工場生産高効率化に取り組まなければならないが、製造分野・製造ニーズ・企業規模等に応じて工場生産高効率化の在り方は一つではなく、千差万別な工場生産高効率化ニーズに最適化された方法を執らなければならない。この点、オークマが工場生産高効率化ソリューションで基本とした、顧客工場の製造現場の状況や製造ニーズ等に応じて、工場生産高効率化のメニューを垂直展開、水平展開を問わず最適に組み合わせることはドイツ製造企業もシェアするものだった。

そして、DMG森精機は、こうした事情を(DMGからの現地情報と森精機からのドイツ出向・交流により)認識しており、オークマと同様に、顧客工場の生産効率化は” Smart Factory” 化だけで達成できず、レイアウト変更、工程集約、自動化等の組合せによる生産ラインの高効率化を同時に達成する必要がある、顧客工場は千差万

別であるため、個別状況にカスタマイズした高効率化プランを創る必要があると考えるに至る。第1期(2014~2017年)末時点には”Smart Factory”ロードマップに基づく段階的ソリューション提供を考えていたが、すぐに”Smart Factory”化に拘泥することを止め、顧客工場の生産高効率化を第一義的な目的として、工作機械メーカーが強みのある水平展開の工場生産高効率化方法を組み合わせて(もちろん必要に応じて垂直展開の”Smart Factory”化もパッケージとして)、顧客工場の生産高効率化を図るアプローチを執る。これが3. 以下で論ずるビジネスの実現につながった¹⁷⁵。

DMG森精機は1990年代末以降、先進技術を保有する工作機械メーカー等を企業買収し社内統合することで、ヤマザキマザック、オークマ等先進メーカーへのキャッチアップを実現してきたが(表26参照)、“Smart Factory”への対応についても、独DMGとのアライアンスを活かして産業・企業動向に関する情報を得て、的確な対応を取ることができた。DMG森精機の強みは内外企業とのアライアンスにあった。

3. 工場生産高効率化ビジネスのテイクオフ

(1) ”Smart Factory”化から工場生産高効率化への展開

第1期(2014~2017年)前半、工作機械メーカーは自社工場をモデルとして”Smart Factory”化の実証実験を行い、第1期末以降、実証成果に基づいて”Smart Factory”ビジネスの立上げに取り組んだが、初期のビジネス化は”Smart Factory”ロードマップを念頭に置きつつ自社の”Smart Factory”化経験を顧客工場にも当て嵌めようとするもので、ビジネスとして、なかなかテイクオフしなかった。

工作機械メーカーが顧客提供する“Smart Factory”化ソリューションは「製造システムのオープン・ネットワーク化」であり、OT企業等が”Smart Factory”のITシステム・インテグレーションの初めに提供するサービスと重複しており、工作機械メーカーの強みが活かさないビジネスであることから、ヤマザキマザックは”Smart Factory”化ビジネスを断念して、工作機械中心ビジネスに回帰した。

これに対して、DMG森精機は、(a)オークマと同様に、“Smart Factory”においても、工作機械メーカーのコア事業領域は生産ラインの高効率化にある、(b)顧客工場の千差万別の生産ラインの高効率化に関しては、自らライン・ビルダー化し、顧客工場の生産ライン高効率化に顧客と協働して取り組んで始めて、経験・知見・ノウハウを蓄積できる、(c)ライン・ビルド事業では、カスタマイズと「規模の経済」のバランスが重要であり、ソリューションの標準化とモジュール化が不可欠であることを当初より認識していたわけではないが、結果的に、水平展開の工場生産高効率化のビジネス化、ライン・ビルド事業参入と独立専門組織の設置、更にはソリューションの標準化とモジュール化を矢継ぎ早に実行した。

¹⁷⁵ 2017年6月13日 藤嶋誠DMG森精機専務、2017年11月10日森雅彦社長。

その結果、DMG森精機の” Smart Factory” ビジネスは工場生産高効率化ビジネスとしてテイクオフする。

(2) 工作機械メーカーの” Smart Factory” における独自事業領域

～水平展開を中心とした工場生産高効率化ソリューション・ビジネス～

① 生産高効率化ソリューション

第8章で分析したように、オークマは、” Smart Factory” を契機とした製造企業の課題を工場生産高効率化と考え、工場システムがITシステムと物的な生産ラインから構成される以上、” Smart Factory” においてIT制御される生産ラインが非効率のままでは工場システム全体の高効率化は達成できないと結論した上で、工作機械メーカーは” Smart Factory” では、工作機械及び工作機械システムを武器として、顧客工場の生産ラインの高効率化に関与し、レイアウト変更、工程集約、自動化等を組み合わせたソリューションを纏め、それをインテグレーションすることを新規事業領域とすることができると考えた。

DMG森精機も、第1期末に” Smart Factory” 関連ビジネスの立上げに取り組む過程で、顧客に提供すべき価値は” Smart Factory” (化すること)そのものではなく、2000年代半以降、生産ラインのIT管理化(生産ラインFA化)から継続して追求されてきた生産効率向上にあると考え、” Smart Factory” では企業ITシステム、製造IoTプラットフォーム等ITシステム整備だけが重要なのではなく、生産ラインのレイアウト変更、工程集約、自動化等を組み合わせ、物的な生産ラインの高効率化を如何に図るかも重要であることを認識するに至った。むしろ企業ITシステム、製造IoTプラットフォーム等の” Smart Factory” 化は必ずしも必要ではなく、生産ラインのレイアウト変更、工程集約、自動化等を組み合わせ、物的な生産ラインの高効率化が急務であるとする顧客が多いことに気付く¹⁷⁶。

② OT、IT、企業システム企業等との棲分け

問題は、生産ラインの高効率化は工作機械メーカーが独立事業領域を維持できるほどインパクトがある事業領域であるか否かである。” Smart Factory” 化との関係では、ITシステムのインテグレーションを担うOT、IT、企業システム企業等は、第2期(2018年)以降の” Smart Factory” ビジネスの立上げにおいて、製造IoTプラットフォームを通して顧客の生産ライン制御に関与し、設備稼働状況監視・予知保全等、これまで工作機械メーカーが個別機械・設備のオペレーティングシステムを連携することで提供してきたソリューションを、製造IoTプラットフォームに実装するソフトウェアにより実現しようとしている。製造関連アプリケーションは、これまで工

¹⁷⁶ Monoist 記事 2016年11月18日付(DMG森精機は中小製造業へのIoTプロバイダーになる森社長)、同2018年8月9日付(5軸加工研究会を発足、工程集約への流れを加速)

作機械メーカーが生産ライン制御の最適化に果たしてきた役割を奪わないだろうか。こうした中、改めて問われるべきは「工作機械メーカーの強みは何か？」である。

” Smart Factory”においても、依然、製造システムの生産性は(I Tシステムにより制御される)「生産ライン」そのものの生産性に左右される。生産ライン(製造現場)を事業領域(ビジネス・フィールド)とする工作機械メーカーは、工作機械ないし工作機械システムの導入に当たり、顧客に対して、工場レイアウトの変更、複合加工機を活用した工程集約、自動化システム等を組み合わせた工場生産高効率化プランを提案することで、” Smart Factory” の生産性向上に貢献・寄与できる。そして、日独共通の事実として、中堅・中小メーカーの多くは、わざわざ大規模投資をして、O T、I T、企業システム企業等に製造 I o Tプラットフォーム等を構築してもらわねばならないほど” Smart Factory” 化を必要とせず、生産ラインの高効率化のついでにデジタル化も併せて外部委託できれば委託するのが一般的である。

DMG森精機の” Smart Factory” 関連ビジネスの対象は中堅・中小メーカーであり、自社工作機械及び工作機械システムを活用しつつ、自動化、工程集約、レイアウト見直し等を組み合わせて生産ラインの高効率化を達成することをソリューションとしている。2021年2月にドイツ・フロンテンで開催された” DMG Mori Digital Event 2021” では「自動化」と「デジタル化」がキーワードとされ、自動化を柱とした生産ライン高効率化に組み合わせる形で、顧客の要請に応じて工場 I o T化も一体処理するとした。これは中堅・中小メーカーの実情に合わせた” Smart Factory” ビジネスの工夫であると同時に、工作機械メーカーとしてのDMG森精機がO T、I T、企業システム企業等には手を出せない事業領域を創り出す方法でもある¹⁷⁷。

O T、I T企業は製造事業者であり工作機械及び工作機械システムを使用しているが、「工作機械及び工作機械システム」ビジネスはO T、I T企業の専門外である(ソフトウェア会社である企業システム企業は当然非専門)。彼等は工場の I Tシステムの” Smart Factory” 化を請け負うことはできても、それと併せて、生産ラインの高効率化を一体として引き受けることは不可能に近い。中堅・中小メーカーの立場に立つならば、生産ラインの高効率化が工場システムの高効率化の基本であり、それに付加する形で I Tシステムの” Smart Factory” 化がある以上、中堅・中小メーカーはO T、I T、企業システム会社等に工場システムの高効率化をコンサルテーションしにくい。したがって、生産ラインの高効率化ソリューションを提供する工作機械メーカーは、中堅・中小メーカーにターゲットを絞り、彼等の工場生産高効率化ニーズに応えることで、自らの独立事業領域を確保できる(余地が生まれる)。

¹⁷⁷ 2021年2月2～4日にDMG Mori Digital Event 2021が開催。初日2日、森雅彦 DMG 森精機社長との対談における Christian Thönes 及び独 DMG 森精機社長より発言。

この点、DMG森精機は「デジタル化のメリットを顧客にも届けたいと取り組んでいる。工作機械、情報、自動化、ワークをすべて一つのパッケージに統合した形で顧客にお届けする。DMG森精機の自動化は完全にデジタル化されており、オペレータの負担を如何に軽減するかに力を入れている」¹⁷⁸とし「DMG森精機はデジタル化、自動化、持続可能な世界に関する取組を進めており、まさに世間の方向と一致。DMG森精機の主要顧客は中小企業。顧客が生産計画の策定からサービスまで、すべての段階でデジタル化を進め、併せてDMG森精機の機械とサービスをお使いいただけるよう取り組んでいる」¹⁷⁹として、中堅・中小メーカーをターゲットとした、「自動化」と「デジタル化」の総合ソリューション提供にコミットメントするとしており、次世代製造システム標準である”Smart Factory”への対応に悩む中堅・中小メーカーが、生産ライン高効率化を柱としつつも、”Smart Factory”化の成果も取り入れ工場生産の高効率化を実現できるようサポートするとしている。

(3) ライン・ビルダー化

～DMG森精機の市場誘導型イノベーションへの開眼～

工作機械メーカーは“Smart Factory”を契機として工場高効率化ソリューションのビジネス化などに取り組んだが、ソリューションが真の目的ではなく、ソリューションを通じた製品イノベーションを追求していた。第8章で見たように、要素技術には卓越しているものの、顧客ニーズにマッチした製品開発に苦しんでいたオークマは、工場生産高効率化ソリューションを通じて自動化・工程集約等に関する知見を深め、それにより得た製品アイデア等を卓越した要素技術を活用して自動化製品、工程集約製品を開発することで、ソリューションと製品イノベーションをサイクル化し、要素技術の有効な商品化につなげた。

DMG森精機もオークマと同様、前掲図9の水平方向の工場生産高効率化ソリューションの本格ビジネス化に取り組みつつ、製品イノベーションにつなげるかを検討し始める。オークマと異なり、DMG森精機はライン・ビルト事業に本腰を入れてコミットメントしたが、ライン・ビルダーの目線で顧客工場を見る習慣をつけることにより、自動化、工程集約、生産ラインの機械・設備の組合せなど顧客メーカーが工場生産高効率化で直面する問題に即して製品群を整理し直し、製品・ソリューション開発を行っていくことが可能となった。

①市場誘導型イノベーションとソリューション

顧客工場は業種・業態・規模により千差万別であるだけでなく、同一顧客の工場であっても同じものはない。そのため、顧客工場の生産ラインの高効率化をソリューシ

¹⁷⁸ 森雅彦・DMG森精機社長、2021年2月2日

¹⁷⁹ Christian Thönes 独DMG森精機社長兼DMG森精機取締役会議長、2021年2月2日。

ヨンとする場合、工作機械メーカーは実際に顧客工場の生産ラインのシステム・インテグレーションに直接に関与してみない限り、生産ラインの高効率化ソリューションに必要となる知見・ノウハウを獲得できない。特定の固定化されたメニューを適用するのでは済まず、個別製造現場の実情に応じてソリューションを「一品作り」に近い形でカスタマイズしなければならないため、生産ラインの高効率化には、ひたすら経験の蓄積と「場数をこなした」ことで得られる知見・ノウハウが必要不可欠となる。

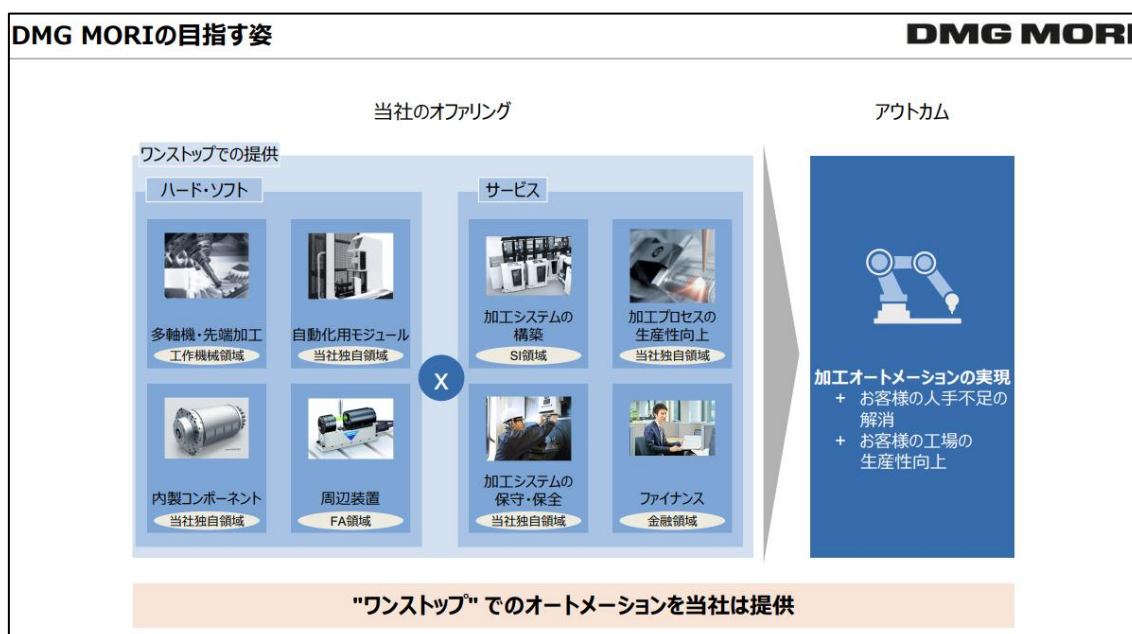
Oliva and Kallenberg(2003)は、“Transition to Service”モデルにおいて、製造企業がサービス化を通じてサービス・プロバイダに変容するとしたが、“Smart Factory”に関連して、工作機械メーカーが、顧客工場の生産ライン高効率化ソリューションに取り組むのは「ライン・ビルダー」になるためではない。ソリューションが生産ラインの高効率化に関する新たなニーズを認識・発見する道であり、かつ、顧客と協働して工場システムを改革する過程で、生産ラインの高効率化に関する知見・ノウハウを蓄積できるからである。

DMG森精機も第1期(2014~2017年)末に“Smart Factory”を契機として顧客工場の生産高効率化ソリューションのビジネス化に乗り出した段階では、工場生産高効率化ソリューションと工作機械及び工作機械システム開発製造事業をリンクさせて製品イノベーションにつなげることまで意識していたわけではなかった。2000年代の生産ラインFA化に対応して、ヤマザキマザックはソリューション・ビジネスに市場誘導型イノベーションにつながる可能性を認識したが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを実行に移せなかったのと同様、DMG森精機も工場生産高効率化ソリューションの過程で未知の市場ニーズを発見し、新たに得た知見・ノウハウを製品開発に活用する可能性には勘付いていたものの、それをシステムティックに追求することはできていなかった。

しかしながら、DMG森精機は第2期(2018年以降)自ら顧客工場の生産高効率化にライン・ビルダーとして関与してソリューション実行するようになると、自動化、工程集約、生産ラインの機械・設備の構成等について、これまで認識できなかった顧客ニーズを発見・認識し、生産ラインの高効率化に関する知見・ノウハウを飛躍的に深めることができ、それが自動化、工程集約等を問わず新製品開発につなげることができる(あるいは現在進行中の新製品開発を加速化できる)ことを発見する。ソリューションにおいて発見したニーズに基づき、ソリューション過程で得た知見・ノウハウを活かして、新たな工作機械及び工作機械システムを開発し、さらに、その新しい工作機械及び工作機械システムを用いて新たなソリューションを創り出す。この発展的プロセスの追求が“Smart Factory”ビジネスにおけるソリューションの目的であり、製造企業のサービス成長研究においてWise and Baumgartner(1999)等が期待していた、「サービス化を通じた市場誘導型イノベーション」である。

DMG森精機は「第4次産業革命の構成要素のうち生産工程の自動化が最も不可欠なものである」とし、「切削加工を行う工作機械、ワーク(加工対象物)を移動させて複数工程をつなぐ搬送装置、計測・洗浄・バリ取りなど切削以外の工程や素材・完成品をストックする装置などの周辺装置、工作機械・周辺装置を集中制御する生産管理システムを顧客の要件に合わせて柔軟に組み合わせて、自動化システムを構築する」ライン・ビルド事業に第1期(2014~2017年)末以降本格化参入する。ライン・ビルダー化に当たり、DMG森精機は、ライン・ビルド事業に対しては(赤字になるのは困るとして)収益を期待せず、ソリューションを通じて得られる知見・ノウハウの獲得と、製造現場でしか見えてこないニーズの具体化を期待するとした¹⁸⁰。

図 36 DMG 森精機の目指す One Stop サービス



(出所) DMG 森精機 2020 年度決算説明会資料(2021 年 2 月 12 日)

②ライン・ビルドの収益性

DMG森精機は、大手工場企業から従業員 30 人程度の中小企業を幅広く対象として、生産ラインの「つなぐ」「見える化」(ヤマザキマザックの“Smart Factory”ロードマップの第1段階「製造システムのオープン・ネットワーク化」、第2段階「製造ビッグデータの分析と生産改善」に相当)をサポートし、DMG森精機のマシンを「次々と」購入してもらうことを狙っているが、国内では生産エンジニアの減少が問題化しつつことから、専用機械 10 台を生産ラインとしてつなぐ案件がDMG森精機には毎月 10 件程度ずつ舞い込んでおり、主に自動車関連企業にシステム納入している。

ただし、ライン・ビルドは収益の柱とするには利益率が低く(「工場建設請負人」を自

¹⁸⁰ 太田圭一DMG森精機執行役員兼業務本部長 2018 年 7 月 27 日ヒアリング

負するライン・ビルダー大手の平田機工(熊本県熊本市)でも売上高連結純利益比率は好況期でさえ5%程度で、平年では1~2%であるのが通常)景気変動に伴う浮沈が大きい。DMG森精機の場合、一社の一工場の生産ラインのライン・ビルドを引き受けると、最初の会社の他工場だけでなく同業他社の工場も同様なライン・ビルド案件が次々と舞い込んでくるので、辛うじて収益性を維持できており(ライン・ビルドは最初の一件では開発費用を回収できないが、同一案件を再三引き受けることで投資回収できる)。コロナ感染症による景気後退前、ライン・ビルド事業は粗利益(売上総利益)で5~10億円程度稼ぐようになった(国内粗利益の約10%を占める)とする。

③工作機械メーカーにおける人的資源制約

ライン・ビルド事業が市場誘導型イノベーションにつながるものとはいえ、ヤマザキマザック、オークマが人的資源制約により”Smart Factory”を契機として工場生産高効率化ソリューション・ビジネスを立ち上げようとして苦戦したことは第7章及び第8章で示したとおりであるが、DMG森精機においても人的資源制約は大きな障壁となった。

ライン・ビルド事業は、アフターケアも重要であり、そのための恒常的組織が必要である(売上高30億円のライン・ビルダーも150人超のインテグレータを雇用)。景気変動に伴う浮沈が大きく不況期には過剰人員を抱え込むことにリスクがある¹⁸¹。このためヤマザキマザックでは、顧客工場の”Smart Factory”化ソリューションに人的資源を割く余地がないことから、”Smart Factory”ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションを断念し、伝統的な工作機械中心ビジネスに回帰している。

この点、DMG森精機は「弊社のライン・ビルドは専門ライン・ビルダーと異なり自社の工作機械を中心としたシステム納入の一環として行われるものであり(工作機械の売上で収益をきちんと確保)、また、既存のエンジニア部隊がライン・ビルドも担当するので組織的拡大はあまり伴わない」とし、「むしろ自社機械の性能に知悉しているもののライン組立に関する技術・ノウハウを持たないエンジニアが自社の工作機械だけでなく他社工作機械・周辺装置を一つのシステムに組み立てる技術・ノウハウを獲得する良い機会であり、自社のエンジニアの能力向上にも寄与する」とする¹⁸²。

DMG森精機においても、人的資源制約は工場生産高効率化ソリューションの展開において桎梏となったが、ライン・ビルド事業に関する上記の考えに立ち、自社のエンジニアリング部門を工場生産高効率化ソリューション・ビジネスの担当組織に指定し、一元的にソリューション・ビジネスを管理・実行させることとし、システム・イ

¹⁸¹ 平田機工 2017 年月日ヒアリング、日本設計工業 2017 年 9 月 11 日ヒアリング、パイナス 2017 年 9 月 21 日ヒアリング等

¹⁸² 太田圭一 DMG 森精機執行役員兼業務本部長 2017 年 11 月 15 日ヒアリング

ンテグレーションに係る技術・知見・ノウハウを蓄積するとともに、顧客との長期的な工場生産高効率化に関する協働のハブとした¹⁸³。

ただし、DMG森精機においても、エンジニアリングの組織規模は拡張できず、自社の経営資源では対応できる範囲に限りはあったが、人的資源制約が工場生産高効率化ソリューションの本格ビジネス化の障害とならないよう、外部システム・インテグレータとの提携、ソリューションのモジュール化に取り組む。

④外部資源活用と企業提携

工作機械、ロボット、制御装置など自社製品が顧客工場でのシステム・インテグレーションを要する資本財メーカーにとり、自らシステム・インテグレーションをどの程度まで実施するかは難しい。DMG森精機は、ライン・ビルド事業に参入することで、顧客の事業状況・製造ニーズを把握して、スマート化した工作機械及び工作機械システムの販路を確保・拡大できたが、すべてのインテグレーション案件をDMG森精機で引き受けることは不可能である。DMG森精機にとり、ライン・ビルド事業は「市場誘導型イノベーション」への切符を手に入れるための取組であり、自身が取り組む事業数には自ずと限りがあった。

Fanuc、安川電機等のロボット・メーカーは、大口顧客に限りロボット・システム・インテグレーションを直営で実施しているが、全てのロボット・システム・インテグレーション案件を直接実施することは経営資源上不可能であるだけでなく、Fanuc、安川電機等の競争力の源がロボットの製品の優秀性・卓越性にある以上、限られた資源の有効利用とは言えない。このためFanuc、安川電機等はロボット・システム・インテグレーションを専業とするインテグレータを協力企業として組織化し、自社のロボット・システムのインテグレーションを任せている。

DMG森精機はロボット・メーカーに倣って、外部のシステム・インテグレータを活用することとし、2018年に設立されたFA・ロボットシステムインテグレータ協会に加入、同協会加入のシステム・インテグレータを活用しようとしている。DMG森精機製の工作機械及び工作機械システムを用いて”Smart Factory”化を考える顧客であっても、DMG森精機が人的資源不足によりインテグレーションをサポートできない場合には、外部のシステム・インテグレータによる補完を用意している。

¹⁸³ DMG森精機にとり、ライン・ビルドそのものは「収益の稼ぎ頭」を事業ではなく、生産ラインの高効率化に関するニーズを発見し、現場でのインテグレーションで得た知見・ノウハウを活かして、新たな工作機械及び工作機械システムを開発し、更に新たな高効率化ソリューションを産み出すための手段である。収益追求するのであれば、それに見合った人的資源等の投入が必要となるが、DMG森精機は一定規模のライン・ビルド事業は上記目的のため維持するが、その限度を超えて人的資源を投入しないとされた。

(4) 標準化とモジュール化への取組

工作機械メーカーの強みは、工作機械及び工作機械システムの開発・製造にあり、システム・インテグレーションではないため、DMG森精機はライン・ビルド事業に参入した後、直ちに複数の問題に直面した。

第一に、工作機械メーカーは、すべてのシステム・インテグレーション案件を引き受けられない中、引受け案件の選別をどのように行うのか、自ら引き受けない案件をどのように処理するのか。第二に、専業ライン・ビルダーが絶えず収益確保と経営安定維持に苦勞するのは、工作機械及び工作機械システム等の製品販売を伴わないシステム・インテグレーションが、顧客の求め等に応じたカスタマイズに手間暇のかかる割に収益性の高くないビジネスであるところ、DMG森精機としても、インテグレーションの効率性と収益性をどのように改善・向上させるか、という問題に直面する。

① DMG森精機の自動化システムの類型化

ヤマザキマザックがグローバル総合工作機械メーカー3社の中で”Smart Factory”実証及びビジネス化において先陣を切りながらも、自社の貴重な経営資源をシステム・インテグレーションに投入することには限界があるため、同社は伝統的な工作機械中心ビジネスに軸足を移した。また、オークマも顧客メーカーの製造ニーズ類型に応じて、きめ細かな”Smart Factory”ソリューション提供しようとしつつも、ヤマザキマザックと同様に経営資源を如何に確保するかに苦慮している。

この点、第1期(2014~2017年)前半、DMG森精機は、システム・インテグレーションへの本格的参入の前であったが、システム・インテグレーションの規格化に取り組み、自動化システムを「Standard Automation」「Cells」「Systems」に類型化、それぞれの製品ラインアップを拡充し、「機械・搬送装置・周辺装置・生産管理システム、さらには加工技術・治具・工具・測定まで一体となったシステムをワンストップ」提供し、インテグレーションの効率性と収益性を改善・向上しようとしている。第2期(2018年以降)に、同社は”Smart Factory”ソリューションの標準化とモジュール化を更に推進するが、その取組の土台としてのソリューションの標準化とモジュール化は第1期前半の自動化システムの類型化に淵源があった。

表 27 DMG森精機の自動化システムの3類型

	Standard Automation	Cells	Systems
概要	<p>機械に統合された自動化システム 一台で複数のワークを連続加工可</p> 	<p>モジュール化された搬送装置の接続 だけで稼動可能な自動化システム</p> 	<p>ターン・キーの自動生産システム</p> 
使用可能機器	工作機械、モジュール化された搬送装置(機械に統合)	工作機械、モジュール化された搬送装置及び周辺機器	工作機械、搬送装置、周辺機器
機械台数	1台	8台まで	無制限
生産体制	セル生産	セル生産	セル生産、ライン生産
メリット	組込型のため短期間での納品・導入可能。機械導入後すぐに生産開始可。最も安価で省スペース。	標準仕様機のため短納期・低価格で自動化可。モジュールの組合せでニーズに柔軟対応。周辺機器のモジュール化も進めており、構築できる自動化システムも多様。	顧客ニーズに応じ、あらゆる工作機械・搬送装置・周辺機器を組み合わせて自動化システムを構築可。モジュール化されていない機器や顧客専用の周辺装置も使用可。

(出所) DMG森精機資料に基づき筆者作成

②M A T R I S : ソリューションの標準化

(a) ソリューションの対象分野・企業規模の拡大

DMG森精機では、“Smart Factory”を契機とした工場生産高効率化ソリューションのビジネス化に伴い、顧客範囲が短期間で拡大した。2000年以降、工作機械メーカーは自動車・航空機・資源部門の高付加価値機の大口顧客に限り、顧客が新製品開発に必要とする加工方法を開発し、当該加工方法に最適化したカスタマイズ機の開発と同機をコアとする工作機械システムのインテグレーションを大口顧客にソリューション提供してきたが、工場生産高効率化では、DMG森精機はソリューション対象を自動車・航空機等に分野限定せず、かつ、グローバル大企業だけでなく中堅・中小メーカーにも浸透を図った。

背景には、2000年以降のソリューション・ビジネスは、工作機械メーカーが自動車・航空機関連の高付加価値機需要を確保するための補完的なビジネスだったのに対し、“Smart Factory”は次世代製造システム標準であり、企業規模・業種・業態を問わず広範な製造企業が対象となること、また、工作機械メーカーは、“Smart Factory”対応の工作機械及び同システムの販売に当たり、工場IoT化だけでなく、工場レイアウトの変更、複合加工機を活用した工程集約、自動化システム等を組み合わせた工場高効率化プランにより顧客に訴求するアプローチを採用したことがある。

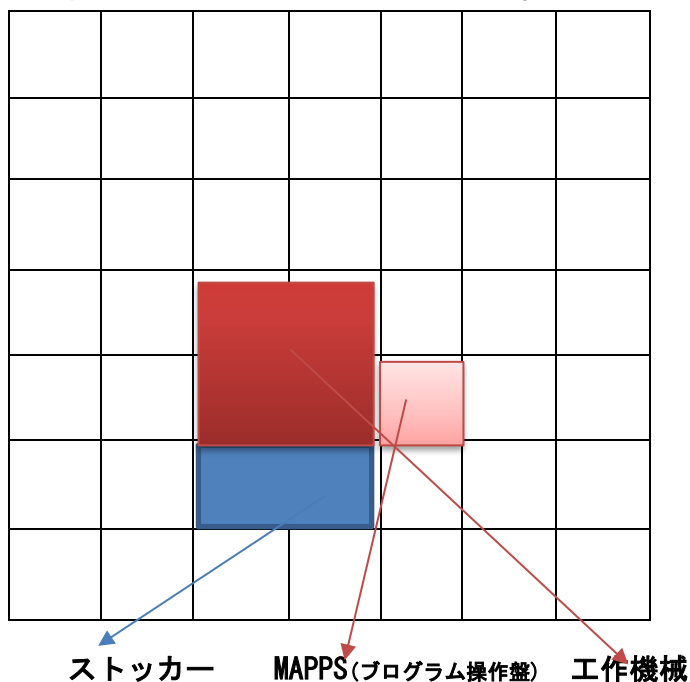
(b) ソリューションのモジュール化

第1期後半以降、“Smart Factory”ビジネスにおいて、ソリューションは重要な要素となったが、ここでDMG森精機もオークマと同じ問題に直面する。顧客範囲の拡大により、従来のソリューションのように「一品作り」に近いサービス提供は困難となり、システム・インテグレーションの規格化が必要となった。既に、第1期前半において、同社は自動化システムを「Standard Automation」「Cells」「Systems」に類型化、それぞれの製品ラインアップを拡充し、「機械・搬送装置・周辺装置・生産管理システム、さらには加工技術・治具・工具・測定まで一体となったシステムをワンストップ」提供することとしていたが、第1期後半、サービスの標準化を更に追求し、システムをモジュール化し、モジュールの組合せにより広範な顧客ニーズに柔軟に応えるM A T R I Sを開発、2018年3月に本格販売に踏み切る。

従来、工作機械・ロボット・搬送装置を組み合わせた自動化システムは、顧客の個別ニーズに応じてオーダーメイド設計され、工場全体のレイアウトの最適化等は考えずに、個別システム変更をその都度スペース等現場に合わせてカスタマイズして行った。システムの設置や組替えには巨額のコストがかかり、自動化では、工場での全体最適ではなく、部分最適しか実現できなかった。そこで、DMG森精機は工作機械、ロボット、搬送装置の寸法(設置単位面積を71cm²)を規格化し、NC装置等の通信・配線規格やプログラミングも統一。顧客がモジュール化された工作機械・ロボット・搬送装置等をお組み合わせることにより、生産量や品目の変更に応じて生産ラインを柔軟に構築し直すことができる工夫をした¹⁸⁴。

¹⁸⁴ ソリューション名のM A T R I Sはマトリックス(matrix)に由来。工場を「方眼」で区切り、マトリックスの組合せにより生産ラインを構築するアイデアであり、顧客は基幹パッケージにモジュール追加することで、工場機能を成長させ続けられる点をDMG森精機は「売り」としている。

図 37 MATRISのモジュール組立て



(出所) DMG森精機資料に基づき筆者作成

モジュール化は、従来型の自動化システムだけでなく、スマート化システムも、顧客メーカー、特に中小メーカーにとり受容しやすいものとした¹⁸⁵。市場動向に即応した変種変量生産では、迅速な段取替え、部品種・システム変更だけでなく、生産レイアウトの機動的な変更も求められる。この点、MATRISはモジュール化されたシステムであるため、顧客の工場スペースに対応してレイアウトを柔軟に変更でき、段取替えや部品種・システム変更等についても、工作機械等のプログラミングが迅速になされる工夫が施された¹⁸⁶。

(5)工場生産高効率化に関する「プラットフォーム」の整備

¹⁸⁵ DMG森精機は、2000年代半以降、生産ラインのFA化に対応して、個別工作機械の販売から工作機械システムの供給に事業シフトする過程で、生産ラインを可能な限り自社製品で構成できる「総合メーカー」化に取り組んできた。MATRISによるシステム・モジュール化は総合メーカー化に拍車をかけ、ワーク・ハンドリング、パレット・ハンドリングは各157機種、40機種の標準自動化システムを商品化、パレット・プール・システム、ローター・システム(ガントリー・ローター)、ロボット・システムについても標準自動化システムのメニューを急速に拡充。なお、自社機械等のMATRIS対応比率(“Smart Factory”対応比率とほぼ同等)を2015年4.2%、2017年9.4%、2018年11.7%、2019年16.2%、2020年20%に引き上げ(2019年初時点予想)。

¹⁸⁶ DMG森精機は、MATRIS採用により、生産ライン構築に要する期間を8日から2日に8割も短縮でき(3日目から生産ライン稼働可能)、生産ラインの事後変更についても、解体・構築・調整に5日間を要していたのが、6割の7時間に対応可能とする。工作機械等のプログラミングに関しては、稼働状況監視やスケジュール変更などシステム全体を一元管理するシステム制御盤(MAPPS connected)を使えば、ユーザは制御装置の画面でアイコンを入れ替えるだけで、工作機械・ロボット等の基本動作を設定・変更でき、ネットワークからアプリをダウンロードして新機能を追加できるようになった。

DMG森精機は日独企業統合の過程で国内生産体制の見直しも進め、2015年以降2017年末までに協力会社との分業により、国内生産体制を再構築するが、その機を活用して、伊賀工場にライン・ビルド専用の仮組立スペースを設置し、顧客工場におけるシステム・インテグレーションに先立ち生産ラインを一旦仮組立できる場を確保するとともに、生産ラインの高効率化に絶えず取り組む顧客がDMG森精機と生産ライン改革についてコンサルテーションし、必要に応じてソリューションを協働して実験できるプラットフォームを用意した。

ライン・ビルド事業の強化には、自社工場における「場」の確保だけでなく、そもそもDMG森精機が自社事業として展開する製造活動の仕分けが必要となり、DMG森精機は自社と協力企業群との協業関係の見直し・再編を行う。伊賀工場は、主軸関連等(今後より高精度が求められる)基幹部品の加工、基本性能を高める仕上げに特化させ、従来、伊賀工場で処理してきた鋳物などの粗加工から中仕上げまでの工程を、主に中部・関西地域の協力会社10社に委託することとした¹⁸⁷。

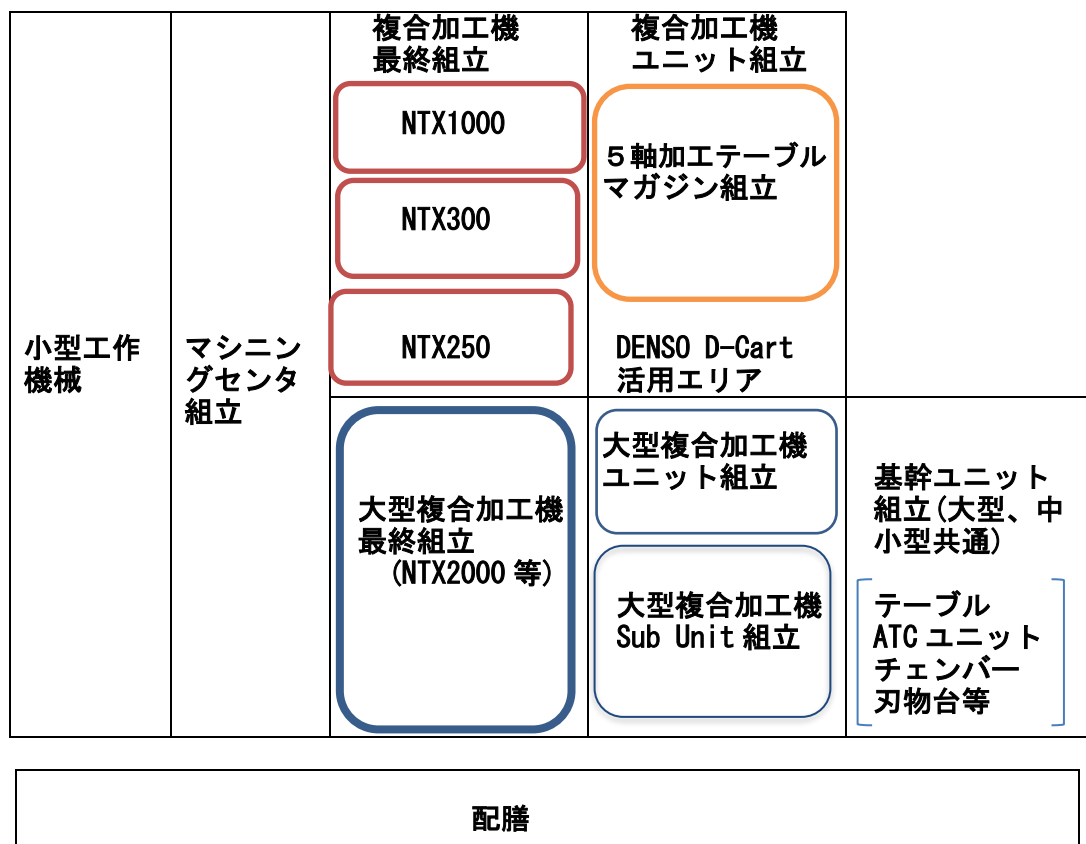
伊賀工場改革の第一段階として、DMG森精機は主軸等基幹部品加工の生産改革に着手。2015年10月以降、老朽化した東芝機械製の門型5面加工機を廃棄し、ドイツDMG製の大型5軸マシニングセンタ(DMG 340 FD)を順次導入。DMG森精機では、日独企業統合前にはドイツが強みを持つとはいえ、ドイツ製の大型5軸マシニングセンタを活用することを考えなかったが、DMGとの統合により同社の最新鋭大型5軸加工機を思い切って導入したが、従来の5面加工機に比べ加工速度が10倍となり加工時間が約49%削減、生産性が大幅向上。また、DMG 340 FD導入と同時に、同機とツールプリセッタやパレットプール等の周辺機器をネットワークでつなぎ、自社開発の組込みソフトウェアにより制御し、工具・加工スケジュール等の情報を一元管理して生産効率を更に引き上げている。

続く第二段階として、粗加工等を協力企業に移管すべく2017年に伊賀工場の既設機200台を停止、同年内に約150台を協力企業に移設(50台は廃棄)。これは伊賀工場の加工機の4割に相当、2018年4～6月に粗加工機は協力先での稼働を開始。DMG森精機は、顧客の生産ラインの高効率化ソリューションとして、MATRISをベースとしたライン・ビルド事業を進めたが、(顧客へのフルターンキー納入前の)生産ラインの仮組立のための作業スペースを整え、顧客と協働してソリューション開発できる場を用意した。なお、自動化倉庫についてもDENS Oとの提携により簡易型自動搬送ロボットD-Cartを導入し整備した(下図は組立工場・主軸工場。右に部品・治具等の巨大倉庫が存在、右から左に部品、ユニットが流れて最終組立工程に移行される

¹⁸⁷ 伊賀工場の再構築では、工作機械は単体の性能に加えて、周辺装置やソフトを含めたシステムの重要度が増しており、補修部品の迅速な供給など販売後の顧客支援がこれまで以上に重要な要素になっているとの判断の下に、DMG森精機は、周辺装置を含めた生産システムの販売・保守機能も強化している。

レイアウトが採用されている)。

図 38 伊賀工場の最新レイアウト



(出所) 筆者作成

なお、DMG森精機においては、ライン・ビルドはエンジニアリング部門が管掌することとなったが、伊賀工場にライン・ビルド専用の仮組立スペースと、顧客との生産ライン高効率化に関するコンサルテーションと協働実験のためのプラットフォームを用意する同時に、プラットフォームを結節点としてエンジニアリング部門と営業部門との連携を強化し、工場生産高効率化ソリューションを通じて把握した、顧客の事業状況・製造ニーズ等を営業部門で活用し、工作機械システムの販売促進に当たるなど組織運営の効率化に努めている。

4. DMG森精機の次なる課題：市場誘導型イノベーション

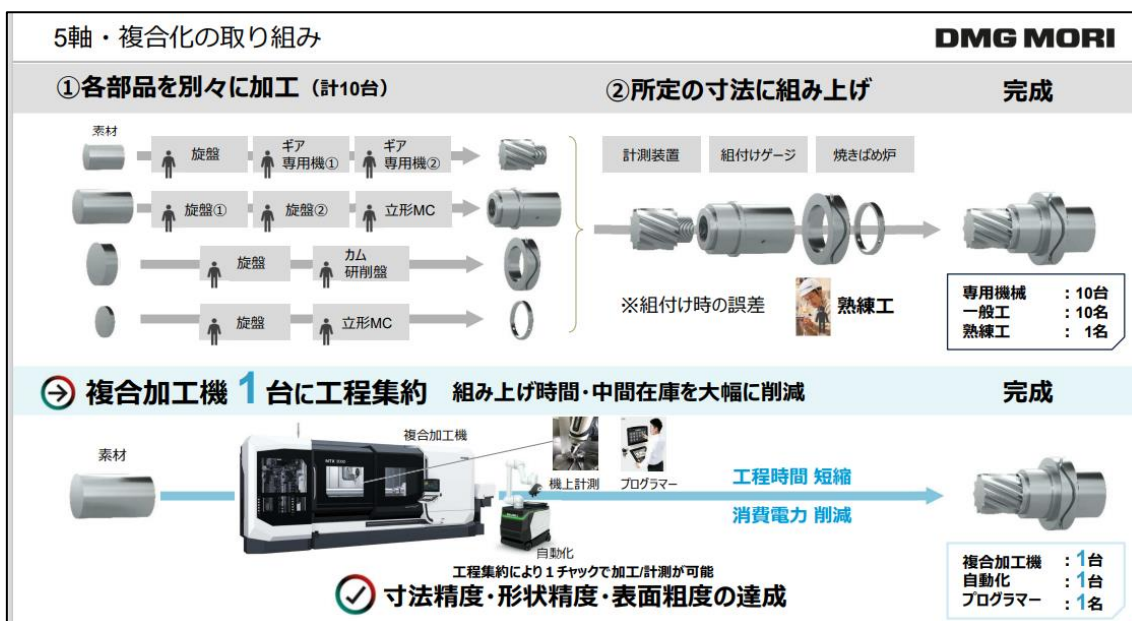
(1) 工作機械ビジネス革新としての市場誘導型イノベーション

本論は、市場成熟期にある製造企業がサービス化を通じて市場誘導型イノベーションを起こし、再び差別化製品・技術により競争優位を回復するプロセスを研究対象としている。工作機械メーカーの” Smart Factory” を契機とした工作機械ビジネス革新とは、単なる工場生産高効率化ソリューションの事業化を意味するものではない。

すなわち、工作機械メーカーが工作機械及び工作機械システムの開発製造事業に加えて、新たに工場生産高効率化ソリューション・ビジネスを事業ポートフォリオに追加したというだけでは、工作機械ビジネス革新とは呼べない。Wise and Baumgartner (1999)等が製造企業の脱コモディティ化戦略としてサービス化に期待したように、工作機械メーカーが工場生産高効率化ソリューションを通じて顧客関係を緊密化し、顧客と協働して工場生産高効率化に取り組む過程で、新しい製品ニーズや工場生産高効率化に係る知見・ノウハウを獲得し、それを活かして製品イノベーションを実現するメカニズムが確立されることが必要である。

かつ、それが一回性の偶発事で終わるのではなく、新たに開発された製品が改めてソリューションに投入されて、再びソリューション過程で顧客との協働を通じた得られた製品アイデア(ニーズ)、知見・ノウハウを次世代製品開発に活用してイノベーションを実現する、ソリューション・ビジネスと製品開発製造事業のイノベーション・サイクル化が工作機械ビジネス革新と呼ぶ上で欠かせない。

図 39 製造現場で得た知見を活用した製品開発



(出所) DMG森精機 2021 年度決算説明会資料 (2022 年 2 月 10 日)

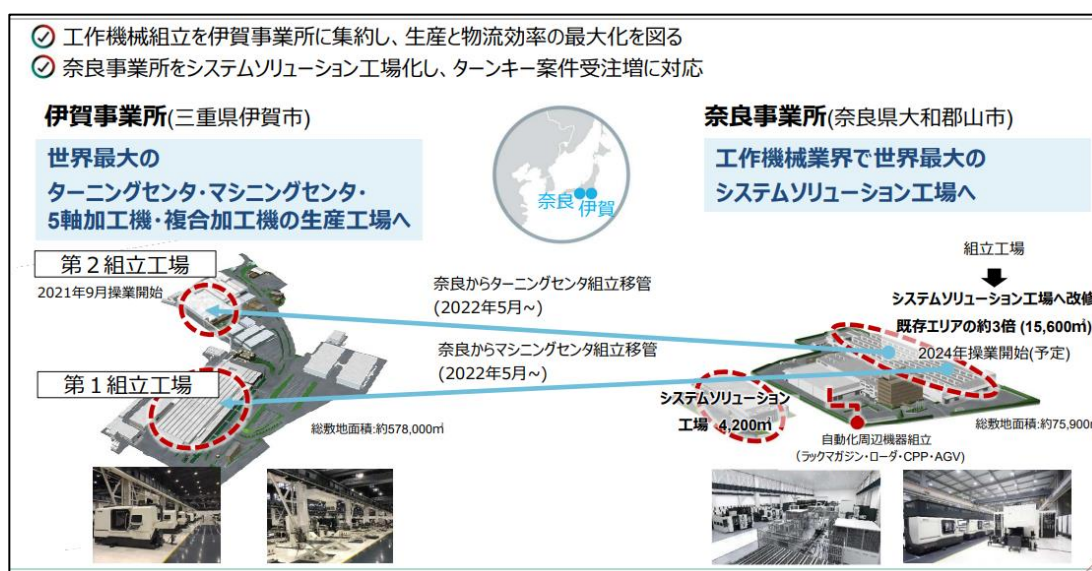
(2)工場生産高効率化ビジネスのテイクオフ

DMG森精機は”Smart Factory”を契機として顧客工場の生産高効率化ソリューションのビジネス化に取り組んだ。第1期(2014~2017年)時点では市場誘導型イノベーションを明確に意識していたわけではなく「ソリューションを通じて顧客関係を緊密化し、顧客と協働して工場生産高効率化に取り組む過程で、新しい製品ニーズや工場生産高効率化に係る知見・ノウハウを獲得することで製品イノベーションにつなげる」可能性を漠然と認識していただけであった。

第2期(2018年以降)にDMG森精機は自社エンジニアリング部門を工場生産高効率化ソリューションの独立専管組織に指定し、自らライン・ビルダーとして顧客工場の生産高効率化に取り組むとともに、オークマ、ヤマザキマザックも苦慮した人的資源制約を克服するため、ロボット・ビジネスのインテグレーションにおける協力企業制度に倣い、外部システム・インテグレータと提携してソリューション提供の分業体制を整えた。

同時期、DMG森精機は主力の伊賀工場と協力企業との分業関係を見直し、伊賀工場は主軸等基幹部品の加工と基本性能を高める仕上げに注力させ、鋳物等の粗加工から中仕上げまでの工程を協力企業にアウトソースしたが、それにより生まれた余力の一部をソリューション・ビジネスに回すとともに、伊賀工場に生まれた空きスペースにライン・ビルト専用の組立スペースと顧客との工場生産高効率化に係る協働実験の場を用意した。

図 40 DMG森精機による伊賀事業所等の再編



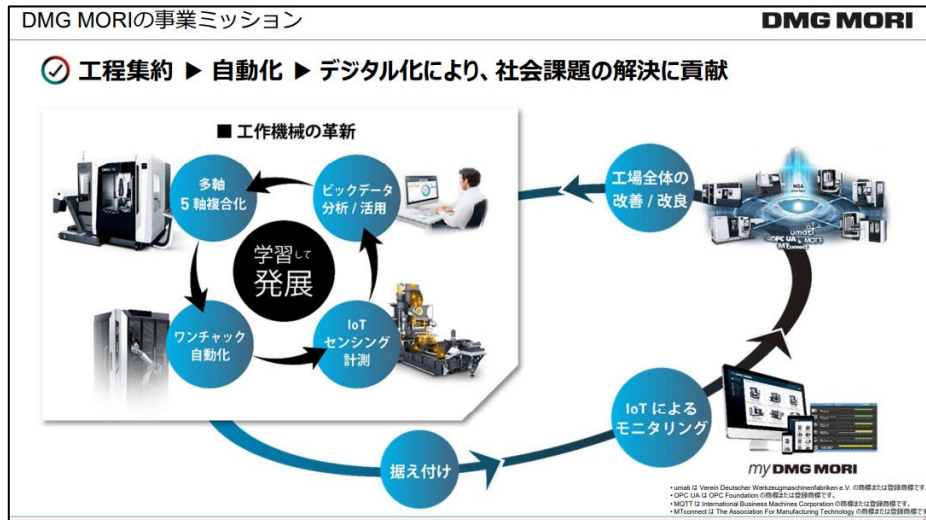
(出所) DMG森精機 2021年度決算説明会資料(2022年2月10日)

以上は3. で詳しく見たところであるが、ソリューション実施体制が、ソリューション・ビジネスを管掌する独立専任機関の設置、顧客と継続的に工場生産高効率化に協働して取り組む「プラットフォーム」設立などにより整うと、DMG森精機では「顧客との長期のリレーショナルな協働関係の構築」が加速的に進み始め、自動車関連部門が多くなったものの顧客工場の生産高効率化の事例が蓄積していく。

DMG森精機は、自動化機による自動化と複合加工機による工程集約を柱として、顧客工場の生産高効率化に取り組もうとしていたが、加速的に蓄積された事例を比較・分析・研究することで、DMG森精機はパレット搬送やワーク着脱の自動化、複合加工機による工程集約等について、新製品のアイデアや既存製品の改善・改良プラ

ンを着想し製品開発につなげ、ソリューション・ビジネスと製品製造事業のイノベーション・サイクルが徐々に形成されて行った¹⁸⁸。

図 41 DMG森精機の事業ミッション



(出所) DMG森精機 2021 年度決算説明会資料 (2022 年 2 月 10 日)

(3) DMG森精機の市場誘導型イノベーション

① DMG森精機の「自動化」を重視したソリューション

第1期前半、DMG森精機は自動化と工程集約を柱とした生産ライン高効率化ソリューションを模索し始める。同社は特に「第4次産業革命の構成要素のうち生産工程の自動化が最も不可欠なものである」とし、「切削加工を行う工作機械、ワーク(加工対象物)を移動させて複数工程をつなぐ搬送装置、計測・洗浄・バリ取りなど切削以外

¹⁸⁸ 生産ライン高効率化はどのように市場誘導型イノベーションに繋がるのか。製造企業のサービス成長研究では、製造企業はサービス化を通じて、顧客関係を緊密化し新たな市場ニーズを認識し、顧客との課題解決に向けた協働過程で得た知見・ノウハウを製品開発等に活用することで、製品・ビジネスにイノベーションを起こせるとする。

工作機械メーカーは、自ら顧客工場の生産ライン高効率化に関与することで、自社工場の高効率化からだけでは発見できなかった高効率化の方法及び方法の組合せを発見できる。そして、新たな高効率化の方法とその組合せに対応して、新たなマシンの開発が必要となり、工程集約に力を発揮する複合加工機・マシニングセンタ、積層加工等の新加工方法も組み込んだ複合加工機、ワーク・治具・工具・材料の管理・搬送システムと一体化した工作機械システム等が開発されることとなるが、かかる新製品の開発は多数の製造現場の高効率化に取り組んで始めて可能となるものである。

また、イノベーションは往々にして単発に終わるが、イノベーションが継続的・連続的に発生する仕掛けが企業成長には必要である。製造企業のサービス成長研究において、サービス化を通じたイノベーションとして想定しているのは、サービス提供という継続反復的行為を通じて新たなニーズを発見し、それに応える製品・ソリューションを開発するプロセスを継続反復していくことである。

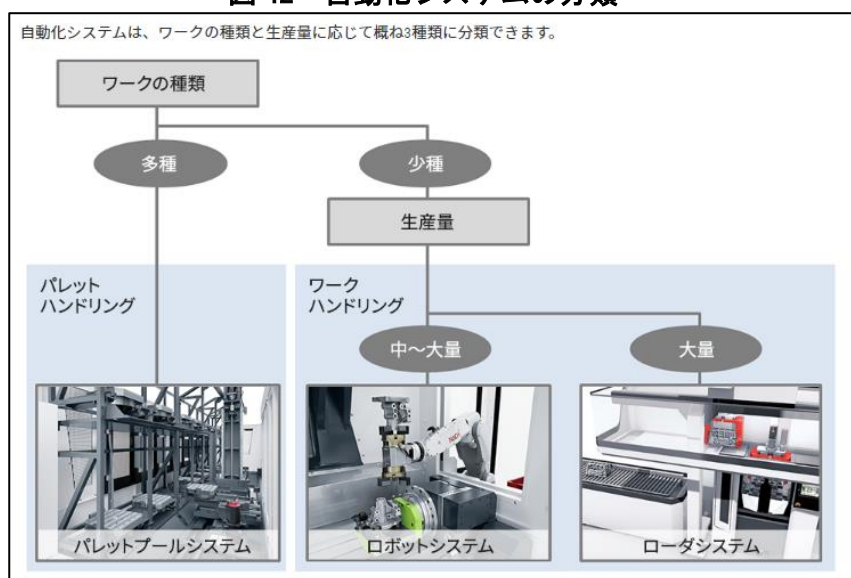
この点、生産ライン高効率化は終わりのない取組であり(顧客製造企業は市場競争に勝ち抜くために生産ライン高効率化から足を洗うことはできない)、従前の高効率化に基づき工作機械及び同システムを革新しても、IT制御や加工技術の進化に対応して、新たな生産ライン高効率化が求められ、同時に工作機械及び工作機械システムの革新が必要となる。生産ライン高効率化と工作機械等のイノベーションの循環により、無限の市場誘導型イノベーション追求が可能となる。

の工程や素材・完成品をストックする装置などの周辺装置、工作機械・周辺装置を集中制御する生産管理システムを顧客の要件に合わせて柔軟に組み合わせて、自動化システムを構築する」ことにより、顧客の生産高効率化要求に応える道を歩み出す¹⁸⁹。

第1期前半、工作機械メーカーは”Smart Factory”構築において、OT、IT、ソフトウェア会社等に対抗して影響力を確保するべく、顧客の製造現場に応じて最適な生産ラインを構築するのに必要な工作機械・搬送装置・周辺装置等を”one shop”提供できる総合工作機械メーカー化を進めたが、その結果、工作機械メーカーは、顧客から生産ラインの企画・設計、生産ラインの構築に必要な機械・装置の調達、顧客工場での生産ラインの構築を一貫して引き受ける体制が整う。

生産ライン高効率化に関して、オークマも顧客提案で段階的説得が必要と考えたように、レイアウト変更、工程集約は大規模な工場見直しを伴うため、自動化を柱としてアプローチすることが顧客にも受容しやすいが、DMG森精機は総合工作機械メーカー化により顧客工場の生産ライン構築を一貫して引き受ける体制が整ったことを受けて、顧客工場における生産ライン自動化をソリューション開発のポイントとして生産ライン高効率化ソリューションを開発・拡充して行く。

図 42 自動化システムの分類



(出所) DMG 森精機資料

②持続的なイノベーション・モデル

イノベーションを単発に終わらせず、継続的・連続的に発生する仕掛けが「製造企業のサービス成長」では想定されているが、DMG森精機は「自動化」を柱とした生産ライン高効率化ソリューションで、サービス提供という継続反復的行為を通じて新たなニーズを発見し、それに応える製品・ソリューションを開発し、改めて顧客にサービス提供することでニーズを発見するというプロセスを確立する。

¹⁸⁹ Thönes DMG MORI 取締役会議長、2021年2月3日説明(DMG Mori Digital Event 2021)

例えば、自動化システムは当初、図 42 に示す観念的なカテゴリー分類からスタートしたが、顧客の製造現場の自動化に取り組む過程で、顧客工場に自動化マシンを導入する観点からは、自動化の対象台数と生産形態の 2 軸により自動化システムを整理した方がユーザにとり理解しやすく、かつ、ユーザが自社工場を一回的ではなく継続的にインクrementalに高効率化していくことを考えるのに好都合であるため、DMG 森精機は図 43 への自動化システムを体系的に整理しているが、これは顧客工場の自動化に取り組み、それにより得た知見・ノウハウを自動化システムに活かし、新製品を顧客工場の自動化に投入し、改めて得た知見・ノウハウを製品開発につなげるサイクルの繰返しの成果である。

図 43 自動化対象台数と生産形態の 2 基準による自動化システムの整理

		生産形態		
		多様・変量生産	小〜中量生産	単一品種/大量生産
自動化の対象台数 (設置スペース・投資規模に拠る)	単体機の自動化	 Robo2Go 2nd Generation モジュール式ロボットシステム 省スペースなワーク ハンドリングシステム	 IMTR 機内走行式ロボット 素材供給から完成品出荷までを 1台で完結、非切削時間を短縮	 GX7 ガントリローダシステム 搬送速度の高速化により、 サイクルタイムを短縮
	複数台の自動化	 RPS ロータリパレットストレージシステム 驚きのコンパクトさで工場スペースをフル活用	 MATRIS モジュール式ロボットシステム プログラムの知識が不要な 次世代のロボットシステム	
	大規模ラインの自動化	 CPP コンパクトパレットプールシステム コンパクトで洗脱されたパッケージシステム	 WH-AGV 5 自立走行型ロボット 工場全体のデジタル化を実現する 次世代搬送システム	
		 LPP リニアパレットプールシステム 最適なシステムを柔軟に構築できる パレットプール	 大規模自動化システム お客様の課題を解決する オーダーメイドの自動化システム	

 : 生産量やワーク形状の変動に応じてシステムの組み換えが可能
 : 洗浄や計測など加工以外の自動化にも対応可能

MC : マシニングセンタ
TC : ターニングセンタ

(出所) DMG 森精機資料

DMG 森精機は、生産ライン高効率化による工作機械及び工作機械システムの種類数・売上高等の変化を公表していないが、2018 年時点では 40 機種標準自動化システムが顧客提供されていたものが、Christian Thönes DMG 森精機取締役会議長の 2021 年 2 月 2 日の説明によれば、2 年弱の間に「デジタル化に力を入れ始めたのは 2016 年だが、今や DMG 森精機の仕事機械には 154 機種あり、自動化ソリューションは 53 種類となった」としており、生産ライン高効率化ソリューションを通じて顧客関

係を緊密化し、そこで認識した新たな自動化ニーズや複合加工機・マシニングセンタ需要に基づき製品開発を行い、新鋭機を用いて新たなソリューションを創り出して顧客提供しニーズを発見して行くプロセスの成果がデジタルソリューションの40種から53種への拡充につながったとしている。

図44 DMG森精機の自動化マシンとソリューションの拡充



(出所) DMG森精機 2019 年度決算説明会資料(2020 年 2 月 14 日)

生産ライン高効率化は終わりのない取組であり(顧客製造企業は市場競争に勝ち抜くために生産ライン高効率化から足を洗うことはできない)、従前の高効率化に基づき工作機械及び同システムを革新しても、IT制御や加工技術の進化に対応して、新たな生産ライン高効率化が求められ、同時に工作機械及び工作機械システムの革新が必要となる。DMG森精機は、工場レイアウトの変更、複合加工機を活用した工程集約、自動化システム等を組み合わせた工場スマート化プランを顧客提案し、顧客の生産ラインを高効率化する独立事業領域を維持するだけでなく、生産ライン高効率化と工作機械等のイノベーションの循環により、無限の市場誘導型イノベーション追求を行おうとしている。

なお、DMG森精機と中堅・中小メーカー等との協働は企業秘密であるため多くは詳細を公表されていないが、同社が用意している顧客相談用シートの簡約版(表28)には既に顧客がソリューションや機械・システムを導入して生産性高効率を達成しているか事例が掲載されている。これらの事例企業は、一定期間を超える取引関係(DMG森精機マシンの導入利用)を前提として、DMG森精機が顧客企業の生産技術陣とコンサルテーションを重ねつつ課題解決を図り、自動化等のソリューション実行後もDM

G森精機が継続して顧客工場の更なる生産高効率化に取り組んでいるものであり、DMG森精機がソリューションと製品イノベーションをサイクル化した成果の一つの現れである。

表 28 DMG森精機のソリューション・シート

お悩み/課題	解決方法	お客様の導入事例	主な使用設備
① 労働時間を増やさずに設備の稼働時間を高めたい	段取りの自動化による夜間・週末の無人運転	株式会社石金精機様 5軸加工機+パレットハンドリングシステム ▶ お客様事例	→ DMU 65 / 85 monoBLOCK → PH
		アイジーエヴァース株式会社様 5軸加工機+パレットハンドリングシステム ▶ フロントランナー動画 ▶ お客様事例	→ HSC 55 <i>linear</i> → PH
② 段取りに時間がかかる(機械をなるべく止めず稼働させたい)	段取りステーションの活用	ZAHORANSKY AG 工具ステーション+パレットプールシステム ▶ お客様事例	→ DMU 60 eVo <i>linear</i> → LPP
③ 変種・変量生産を効率的に行いたい	形状の異なるワークをパレットで自動搬送稼働状況の見える化	株式会社秋谷鉄工所様 パレットプールシステム/DMG MORI Messenger ▶ フロントランナー動画 ▶ お客様事例	→ DMC 80 U / FD duoBLOCK → LPP → DMG MORI Messenger
④ 納期が厳しい	機械の稼働時間を高める	GAISER-MECHANIK GmbH 5軸加工機+ワークハンドリングシステム ▶ お客様事例	→ DMU 50 3 rd Generation → PH
⑤ 人材の採用や育成が難しく、安定した品質管理ができない	人手による作業工程をロボットで代替	株式会社フジメタル様 複合加工機+ロボットシステム ▶ フロントランナー動画 ▶ お客様事例	→ NLX 3000
		アネスト岩田株式会社様 ロボットシステム/DMG MORI Messenger ▶ フロントランナー動画 ▶ お客様事例	→ NHX 5000 3 rd Generation → DMG MORI Messenger
	最新自動化設備の活用	株式会社ユニコン様 ロボットシステム/ガントリローダシステム ▶ フロントランナー動画 ▶ お客様事例	→ NLX 1500 → CMX V

(出所) DMG森精機資料

③ユーザ・イノベーションの観点からの評価

ここで、DMG森精機の取組を持続的なイノベーション・モデルとしての観点から考える。ソリューション・ビジネスと製品事業のイノベーション・サイクルは、単にソリューションと製品開発をリンケージすればサイクルが自動回転するわけではない。例えば、リード・ユーザ等をソリューション過程で発見して、ユーザからアイデアを引き出し、製品の開発・改良・改善の過程を通じてユーザと協働できないと、市場誘導型イノベーションのサイクルは回転しない。

(a) 自動車等グローバル・メーカーに牽引されたイノベーション

工作機械メーカーは1990年代の工作機械のコモディティ化に対して高付加価値化で対応したが、その過程で主要顧客が自動車・航空機部門等にシフトする結果を招いた。自動車部門はトヨタ・グループのTPSあるいはリーン生産方式に代表されるように生産技術に対する要求が厳しく、DMG森精機のみならず我が国の工作機械メーカーは1980年代以降自動車産業を主要取引先とすることで「厳しく鍛えられた」とする¹⁹⁰。工作機械メーカーは、自動車メーカーの要請に応じて製品開発を行い、試作段階から完成品段階まで自動車メーカーの厳しい要求をクリアし続けることで、欧米等のライバル他社には真似できない高品質・高性能の製品を創り出すことができた。

工作機械メーカーは意図的にリード・ユーザ・イノベーションを追求したわけではないが、1980～1990年代、円高によるコスト競争力低下、地球温暖化等の環境規制に対応した新型エンジン開発の競争激化など、我が国の自動車メーカーは厳しいグローバル競争をサバイバルするため、工作機械メーカーに対しては、革新的な加工ニーズ（切削加工機の加工方法・性能の革新だけでなく、工程集約等加工工程の革新も含む）への対応を求め、工作機械メーカーはこれに応じて革新的な加工方法と工作機械及び工作機械システムを開発する形で、リード・ユーザ・イノベーションを実現してきた。

(b) ユーザ・イノベーションに要求される能動性

しかしながら、第4章にて先行研究レビューしたように、リード・ユーザ・イノベーションとは、製品のコモディティ化により市場が成熟化し、新規ニーズが潜在化してしまっただけを打破するため、製造企業が革新的な製品アイデアないし製品ニーズを有するリード・ユーザを発掘する能動的な試みである¹⁹¹。Tschirky et al. (2003)が「製品イノベーション・プロセスの開始時点には市場ニーズの存在がある」とし、市場誘導型イノベーションに関して、成熟市場ではニーズは潜在化しており認識は難しいが、製造企業は市場にコミットメントし潜在的ニーズを発掘し、「(市場ニーズを)製品機能に翻訳」して「特定の製品アイデアを作り出す」ことができるとしたことは誤りではない¹⁹²。だが、潜在的な市場ニーズの発掘やその製品機能への翻訳と製品アイデア化は簡単なことではなく、先行研究では、リード・ユーザから製造企業への知識移転の困難さを克服するためにリード・ユーザ法等の仕掛けが提案され¹⁹³、知識移転

¹⁹⁰ 日本工作機械工業会(2012)

¹⁹¹ von Hippel(1976, 1986, 1988, 2005)

¹⁹² Tschirky et al. (2003)は「製品イノベーション・プロセスの開始時点には市場ニーズの存在がある」とし、市場誘導型イノベーションに関して、成熟市場ではニーズは潜在化しており認識は難しいが、製造企業は市場にコミットメントし潜在的ニーズを発掘し、「(市場ニーズを)製品機能に翻訳」して「特定の製品アイデアを作り出す」ことができるとした。

¹⁹³ Vandermerve(1987), Bower and Christensen(1995), Christensen(1997), Chandy and Tellis(1998, 2000), Shane(2001), Casciaro and Piskorski(2005) etc.

の方法と成否に関する実証研究が展開されてきた¹⁹⁴。

リード・ユーザ・イノベーションでは、製造企業のリード・ユーザ発掘とイノベーションに向けた協働に対しての能動的な関与が不可欠である。von Hippel (1991)は、製造企業は「市場で今後一般的になるニーズに現在直面」し「それらのニーズを解決することによって多大な利益を得る」リード・ユーザを選別・特定化¹⁹⁵、リード・ユーザからアイデアを引き出すだけでなく、さらには、リード・ユーザと新製品・サービスの開発・改良・改善の過程を通じて協働することが市場誘導型イノベーションの成功に欠かせないとした。イノベーション・サイクルは自動的に回らないし、ましてや連続回転などはしてくれない。

(c) 1980～1990年代の恵まれたユーザ・イノベーション環境

1980～1990年代の工作機械メーカーは、リード・ユーザ・イノベーションの観点では、厳しいグローバル競争を勝ち抜くためにイノベーションに邁進する自動車メーカーがリード・ユーザとして明確に存在し、リード・ユーザの側から工作機械メーカーに対して革新的ニーズや製品アイデアを提案し、製品化を求めてくるという恵まれた環境に在ったと言える。

2000年以降、工作機械メーカーが展開したソリューション・ビジネスは1980～1990年代に自動車メーカー等とイノベーションに向けた協働を資源・航空機部門等にも拡大したものと評価することができるが、いずれにしても工作機械メーカーがリード・ユーザ・イノベーションの動因ではなく、自動車・航空機・資源部門のグローバルメーカーが1990年代以降のグローバル経済でサバイバルするために必死に革新的アイデアなり考え抜き、その実現のために工作機械メーカー等も動員する関係であった。

ただし、この幸せな関係はもはや続かないであろう。製造業は既に20世紀型産業とされ、リーディング・インダストリーが変わっていく中で、イノベーション環境も日々変化していかざるを得ない。例えば、2010年代以降の工作機械メーカーにとり、自動車産業は依然として重要顧客ではあるが、自動車産業は「100年に一度」という変革期を迎えており、次世代車のドミナント・デザインとされる電気自動車では金属加工部品の数が大幅に減ることが必至であり、それに伴い工作機械需要が激減することが予想されている。一方、デジタル化やヘルスケア部門の成長から半導体・医療製品等の新規分野で工作機械需要が伸びると予想されており¹⁹⁶、こうした中、工作機械

¹⁹⁴ von Hippel (1998, 1989), Eisenberg (2001) etc.

¹⁹⁵ von Hippel (1991)は一般的ユーザとリード・ユーザを分けて、前者は既成製品の属性や用途に精通しており、精通すればするほど新しい属性や用途を把握できなくなり、新製品開発に役立つニーズは獲得することができないのに対し、後者は、①市場で今後一般的になるであろうニーズに現在直面しているユーザであり、②それらのニーズを解決することによって多大な利益を得ることができる状況にあることから、製造企業はリード・ユーザのアイデアや洞察から新製品開発に役立つニーズを獲得できると考えた。

¹⁹⁶ Arthur Dolittle (2021)

メーカーにとり、リード・ユーザが明確に存在し、グローバル競争を展開するリード・ユーザの主導の下にイノベーションに協働すればよい環境は失われつつある。

このため、改めて工作機械メーカーはイノベーションを自動車メーカー等に過度に依存してしまうのではなく、ユーザ・イノベーションが本来想定している、製造企業自らの能動的なリード・ユーザの発掘と、リード・ユーザと協働関係を一から構築した上で、製品イノベーションに取り組まざるを得なくなっている。

(c) 2つの工作機械メーカーの課題

工作機械メーカーは自らリード・ユーザを発掘し、リード・ユーザと協働してイノベーションに挑まなければならないが、第4章3. で分析したように、従来のリード・ユーザ・イノベーション研究は”Radical Innovation”の方法としてリード・ユーザ・イノベーションを想定してきたが、1980年代以降の工作機械メーカーと自動車メーカー等とのイノベーションにおける協働は”Radical Innovation”に係るものである。これに対して、”Smart Factory”を契機として、工作機械メーカーが本格的ビジネスに立ち上げた工場生産高効率化ソリューションは顧客工場を”Incremental”に生産高効率化しようとするものであり、工場生産高効率化ソリューションを通じた製品イノベーションも基本的に”Incremental Innovation”に該当する。

生産レイアウトの見直し、工程集約・自動化等の生産ライン改革、機械・設備及びその組合せの最適化等の工場生産高効率化プランは、第6章3(1)及び(2)において分析したように、DENSO等が生産現場の「自主的に学習し絶えずカイゼンを行う組織」によるカイゼン活動を通じて行う”Incremental Innovation”であり、それらのプログラムの最適組合せも生産現場での日々のカイゼン活動から「解」が得られる性格のものである。工作機械メーカーは工場生産高効率化ソリューションを通じて、顧客製造企業と協働して工場生産高効率化に取り組む過程で、個別プログラム及びそれらの最適組合せについてアイデア、知見、ノウハウを蓄積し、最終的にイノベーションを実現することとなる。

(d) 工場生産高効率化ソリューションにおけるイノベーションの難しさ

第4章4. で論じたように、リード・ユーザ・イノベーションは”Radical Innovation”を想定して、先鋭的なイノベーション・アイデアを有し、製造企業に頼らず、自ら製品イノベーションに取り組むだけの経営力・技術力を有するリード・ユーザとの協働を想定している¹⁹⁷。このためリード・ユーザは川辺における砂金採りにも似て、極めて数は限られている。

一方、”Smart Factory”を契機とする工場生産高効率化ソリューションでは、ユーザは基本的に自社工場の生産高効率化にのみ関心を有し、自社工場の生産高効率化の

¹⁹⁷ von Hippel (1976, 1986, 1988, 2005)

ための取組やアイデアが他社工場においても有効であるか、商品化できるかについて関心がないため、仮に、革新的な工場生産高効率化のアイデアなり、それに資する製品アイデアなりを有していたとしても、ユーザがその革新性を認識するか(認識しようとするか)は不確実であり、イノベーションの成否は工作機械メーカーがかかるユーザから革新的なアイデアを抜き出せるかに係る。

また、工場生産高効率化ソリューションでは、優れたプランが多数の試行錯誤の末に生まれるカイゼン活動と同様、工作機械メーカーが工場生産高効率化に向けて協働する顧客一社一社の事例からは直ちに革新的なイノベーションのアイデアは見つからず(個別事例で工場生産高効率化に有効でも、多数事例の工場生産高効率化に普遍的に妥当するかは分からず)、多数の顧客と協働を積み重ねて、その成果を比較検討することで、ようやくイノベーションのアイデアが把握・認識でき、それに基づき製品なりソリューションなりを試作して顧客の工場生産高効率化で用いてカイゼンを加え、最終的な製品・ソリューションとして完成させることになる。

このため、第4章4. では、探索研究の対象であるIDECケースを通じて、ユーザの恒常的な組織化が、工場生産高効率化ソリューションを含む「製造企業のサービス化」を通じた市場誘導型イノベーションには不可欠であり、その成功のカギが「顧客との長期的協働関係の構築」「協創プラットフォームの設立」、さらには「独立専任機関設立」であることを示した。「協創プラットフォーム」は、ともすれば自社工場の工場生産高効率化が一段落つけば工場生産高効率化ソリューションへの関心を低下させてしまいがちなユーザとの長期的協働関係を維持強化するための仕掛けであり、「独立専任機関設立」は多数顧客との長期的協働関係を維持し、工場生産高効率化に関するアイデアを長い時間をかけて解すには責任主体が不可欠であるためである。

(e) DMG森精機によるイノベーション・サイクル化

DMG森精機は工場生産高効率化ソリューションを通じて市場誘導型イノベーションに取り組もうとしているが、工場生産高効率化ソリューションは、一つには、DMG森精機がリード・ユーザを発掘し、ユーザと工場生産高効率化に向けて協働することにより、未知の市場ニーズを発見認識し、協働過程で得た知見・ノウハウを活用して製品開発につなげるツールである。ただし、多くの場合、革新的な工場生産高効率化のアイデアを有し、自ら製品化・ソリューション化しようという意思・技術を持ったリード・ユーザは存在しないであろうから、工場生産高効率化ソリューションはDMG森精機が多数の顧客と協働して顧客工場の生産高効率化に取り組むための「場」である。

DMG森精機は顧客との長期的な工場生産高効率化のための協働の「場」を設け、多数の顧客との工場生産高効率化の取組からイノベーションのアイデアを抽出することで製品イノベーションを実現し(工場生産高効率化ソリューションと製品イノベーシ

ヨンのサイクル化)、顧客との協働関係を 2000 年以降のソリューション・ビジネスやリード・ユーザ・イノベーションのように一回的なものに終わらせず、長期継続的なものとする事で、イノベーション・サイクルの連続回転化を図った。

また、オークマは人的資源制約からソリューション実施体制が整備できておらずイノベーション・サイクル回転の加速に苦労しているが、DMG森精機はソリューション担当の独立専任機関設置や顧客との協創プラットフォームの制度的手当などソリューション実施体制を整え、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」を加速化した。顧客との協働関係の構築の加速は、DMG森精機にとりリード・ユーザとの遭遇確率を上げるものである。

5. ライバル企業の模倣困難なビジネス・モデル構築

本論では、製造企業のサービス成長研究において等閑視されてきた、(i)製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii)製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii)顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかに関して、総合工作機械メーカー3社を事例研究するものである。製品イノベーションは差別化製品の開発によりコモディティ化状況を打破する力を秘めているが、仮にライバル企業が短期間で同一ないし類似製品の開発に成功してしまえば、どれほど画期的な製品であっても差別化能力を喪失してしまい、開発企業は競争優位を確立することはできない。Wise and Baumgartner (1999)の想定した、製造企業のサービス化を通じ市場誘導型イノベーションは製品イノベーションだけでなく、ライバル企業の模倣困難なイノベーションである必要があるのではないか。

(1) 2段階より成る市場誘導型イノベーション

第2章の先行研究レビューと第3章のIDECを対象とした探索研究から、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは、画期的製品を創り出す製品イノベーション段階とライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルを創造する2段階より構成されることが示唆された。

第8章で分析したように、オークマの場合、工場生産高効率化ソリューションと工作機械事業のイノベーション・サイクルの確立を見たものの、ソリューション実施体制の整備が未だしであるためイノベーション・サイクルを速く回転させることができずにおり、第2段階のライバル企業の模倣困難なビジネス・モデル創造に取り組むまでには至っていない。

これに対し、DMG森精機では、4. で見たように、ソリューション・ビジネスを

管掌する独立専任機関の設置、顧客との恒常的な協働を可能とする協創プラットフォームの整備など工場生産高効率化ソリューションの推進実施体制が第2期(2018年以降)早々に整備されたことから、第1段階の製品イノベーションについてはイノベーション・サイクルをライバル2社よりも高速で回転させる態勢が整っている。

イノベーション・サイクル構築は、実力の伯仲する総合工作機械メーカーであれば、基本的にいずれの社にも可能である。現時点でDMG森精機は工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに係る取組でオークマ等に先行する形になっているが、オークマ等にいつ追いつかれるかは予断を許さない。ライバル企業との競争に勝つには、いち早く工場生産高効率化ソリューションを本格的ビジネスに立ち上げたならば、弛むことなくソリューション・ビジネスと製品事業のイノベーション・サイクルを回すことが重要である。

この点、DMG森精機は、ソリューション・ビジネスを管掌する独立専任機関の設置、顧客との恒常的な協働を可能とする協創プラットフォームの整備など工場生産高効率化ソリューションの推進実施体制の整備により、イノベーション・サイクルをライバル2社よりも高速で回転させる態勢を整えた。DMG森精機が弛むことなく顧客工場の生産高効率化に取り組み、イノベーション・サイクルを加速的に回転させるならば、ライバル企業のキャッチアップと模倣防止にはこれだけで十分だろうか。

(2) DMG森精機の第2段階「ビジネス・イノベーション」の取組

確かに、イノベーション・サイクルを一早く回し始め、ライバル企業よりも高速に回転し続けられれば、DMG森精機はライバル企業のキャッチアップと模倣を懼れる必要はないようにも思われる。先行者たるDMG森精機は、顧客の工場生産高効率化に関するニーズをライバル企業よりも深く理解し、工場生産高効率化に関する知見・ノウハウをライバル企業以上に蓄積することが可能であろう。

しかしながら、繰り返しとなるが、ライバル企業より先行して工作機械ビジネス革新に着手し、イノベーション・サイクルを先行的に回したとしても、「先行者利得」は薄氷の差であり、絶対的に安泰というわけではない。市場誘導型イノベーションの成否は多数ユーザとの協働が握っているが、ライバル企業よりも多くの工場生産高効率化案件を引き受け、より多くのユーザと協働することで革新的なイノベーション・相アイデアの発見の確率は高まる(前述のとおり、工場生産高効率化ソリューションはなかなかリード・ユーザの存在なり活用なりが難しいユーザ・イノベーション領域であるが、多数顧客と協働すればするほどリード・ユーザとの出会いの確率も高まる)。

では、ライバル企業よりもイノベーション・サイクルを高速で回転させるビジネス・モデルはないだろうか。

①ソリューションの標準化・モジュール化

オークマは” Smart Factory” ビジネスを進める上で、部品加工專業と部品加工・組立一貫のバターン化によりソリューションの効率提供を図ろうとしたが、部品加工專業と部品加工・一貫組立のカテゴリー分類は工場生産高効率化ソリューションの分類としては整合的ではなく、個別工場の特性・製造課題に応じたソリューションを設計・提供する上で役立つ分類ではなかった。このため、2000年以降展開してきた自動車メーカー等の限定された大口顧客を相手とするソリューション・ビジネスとは異なり、顧客範囲が飛躍的に拡大した工場生産高効率化ソリューションでは、オークマはソリューション提供を「一品作り」に近い形で提供せざるを得ず、それは人的資源等経営資源の制約から次第に困難となっている。

そこで、工場生産高効率化ソリューションを部品加工專業、部品加工・組立一貫など目的でカテゴリー分類して、個別工場をそのカテゴリーに当て嵌めるのではなく、工場生産高効率化ソリューションをモジュール化し、モジュールの組合せにより個別工場の特性・製造課題に最適化されたソリューションを作る方が「一品作り」のような過剰なカスタマイズを不要化し、人的資源等を節約しつつも、個別工場の特性・製造課題に可能な限り最適化された工場生産高効率化ソリューションが提供できる。

オークマは顧客の製造現場の多様性に直面して「一品作り」に近いソリューション提供をせざる得なかったが、DMG森精機は、この問題を標準化とモジュール化で克服した。第1期(2014~2017年)前半において、同社は自動化システムを「Standard Automation」「Cells」「Systems」に類型化、それぞれの製品ラインアップの拡充を進めていたが、第1期後半には、システムをモジュール化し、モジュールの組合せにより広範な顧客ニーズに柔軟に応えるM A T R I Sを開発し、第2期(2018年以降)から本格的なソリューション提供に活用し始めた。

従来、工作機械・ロボット・搬送装置を組み合わせた自動化システムは、顧客ニーズに応じてオーダーメイド設計され、個別システム変更をその都度製造現場にカスタマイズして行うため、システムの設置や組替えには巨額のコストと時間がかかった。M A T R I Sでは、工作機械、ロボット、搬送装置の寸法(設置単位面積を71cm²)を規格化し、NC装置等の通信・配線規格やプログラミングも統一することで、顧客がモジュール化された工作機械・ロボット・搬送装置等を組み合わせれば、生産量や品目の変更に応じて生産ラインを柔軟に構築し直せる仕掛けが施してあり、インテグレーションを請け負うライン・ビルダーもモジュール化の組合せにより顧客ニーズに柔軟に応え、短期間でインテグレーションを完遂することが可能となった。

かくしてDMG森精機は、ソリューションの標準化とモジュール化により、顧客ニーズに応じて多様なソリューション提供を可能とするとともに、「一品作り」的なカスタマイズに代わりモジュールの組合せでシステム・インテグレーションを短期化する

ことに成功する。それにより、DMG森精機はイノベーション・プロセスを速く回し、多数のソリューション経験をライバル企業には真似できない短期間で積み、製品イノベーションの達成を迅速化しようとしている。

②モジュール化によるコスト削減とマーケティング効果

ライバル企業の容易な模倣を許さないビジネス・モデルの構築について、IDECを事例とする探索研究では、ソリューションの質だけでなく、価格優位性も重要であり、ソリューションのモジュール化が価格優位性に寄与することが示唆された。

千差万別な顧客ニーズに対して可能な限りソリューションをカスタマイズする一方で、それとは矛盾しかねない要求ながら、低コスト化を実現することも不可欠である。カスタマイズとコスト抑制の二律背反する要求を満たすため、DMG森精機はソリューションをモジュール化し、モジュールを組み合わせて、千差万別な顧客工場の生産高効率化ニーズに最適化されたソリューションを提供した。

ソリューションを「一品作り」するわけではないものの、顧客ニーズに即して可能な限りカスタマイズしつつ、同時に標準化により工場生産高効率化に要するコストを抑えることが、ソリューションのモジュール化には可能である。工場生産高効率化に要するコストを削減できれば、ライバル企業より安価となった自社ソリューションへの引合いが増えるはずであり、それによりソリューション事業の規模が拡大すれば、更なるソリューション価格の引下げも可能となることをDMG森精機はM A T R I S以来狙ってきた。

また、DMG森精機は、モジュールをベースとしてソリューション及び製品を開発することで、新しい顧客ニーズや工場生産高効率化に関するアイデアに対応して、迅速なソリューション開発と製品開発が可能となり、ライバル企業よりもイノベーション・サイクルを迅速に回転することが可能となった。さらに、顧客工場の生産ラインが一旦、DMG森精機のM A T R I S等のモジュールをベースとして組み立てられるようになると、顧客は工場生産高効率化に関してDMG森精機のソリューション、製品群に継続的に依存せざるを得なくなり、DMG森精機は顧客囲込みが可能となるマーケティング効果も期待できた。

(3) ”Smart Factory”における独立事業領域の確保

①自立的な独立事業領域の堅持

第6章で見たように、2010年代初の”Smart Factory”提言時、工作機械メーカーの懸念は、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御、製造関連ビッグデータのAI解析によるカイゼンの自動化により、工作機械ビジネスが独立性・自律性を喪わないかであった。OT、IT、企業システム、クラウド企業など”Smart Factory”の

I Tシステム・インテグレーション関連企業との関係で、DMG森精機は自律的な独立事業領域を確保できたのだろうか。

DMG森精機はオークマと同様に、“Smart Factory”の目的を工場システムの生産高効率化と考え、工場システムがI Tシステムと生産ラインから構成される以上、“Smart Factory”においてI T制御される生産ラインが非効率のままでは工場システム全体の高効率化は達成できないとして、工作機械メーカーは単に工作機械及び工作機械システムを供給するだけでなく、生産ラインの生産高効率化に積極的に関与し、レイアウト変更、工程集約、自動化等を組み合わせたソリューション・プランをまとめ上げ、そのプランを顧客工場でインテグレーションすることで、顧客工場の生産高効率化に寄与する独自の存在となれると考えた¹⁹⁸。

“Smart Factory”は企業I Tシステムによる生産ラインの最適制御等を柱とし、O T、I T、企業システム、ソフトウェア会社等はI Tシステムの構築を専門とするものの、生産ラインを構成する工作機械・産業機械・周辺装置・搬送装置及びそのインテグレーションについて技術・知見・ノウハウを欠くため、生産ラインの生産高効率化は工作機械メーカー等に依存せざるを得ない。

したがって、DMG森精機は次世代製造標準の“Smart Factory”においても、その工場生産高効率化のうちで、物的な生産ラインの生産高効率化ソリューションを専管することにより、O T企業等I Tシステム・インテグレーション関連企業との関係においても、引き続き事業の独立性と自律性を維持することが可能となった。

② I Tシステム支配に対する防御機構

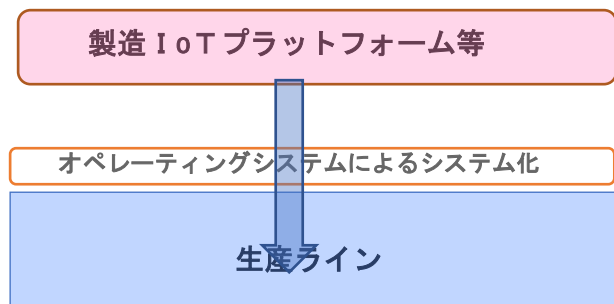
生産ラインのレイアウト見直し、工程集約、自動化等の組合せによる高効率化は、確かにO T、I T、企業システム会社等には手を出せない、工作機械メーカーに委ねられる事業領域であるが、“Smart Factory”はI Tシステムによる生産ライン制御やカイゼンの支援・自動化により工場システムに新しい付加価値をもたらそうとしている。工作機械メーカーも、この新しい付加価値創造に関与する道はないだろうか。端的には製造関連アプリケーションである。

“Smart Factory”では、O T、企業システム企業等は、製造I o Tプラットフォームを通じて製造関連アプリケーションを工場に実装し生産性向上を図るとするが、製造関連アプリケーションの多くは設備稼働状況監視、予防保全、工具管理等、工作機械メーカーが機械・設備に装着したオペレーティングシステムを活用して、企業L A Nと機械・設備を接続することにより生産ライン・ベースで実現してきたソリューションだった。このため、中堅・中小メーカーは大規模投資により製造I o Tプラットフォーム等を導入するか、あるいは、引き続き制御層レベルでオペレーティングシステ

¹⁹⁸ Christian Thönes 独 DMG 森精機社長兼 DMG 森精機取締役会議長、2021 年 2 月 2 日。

ムと企業LANを接続して処理を続けるかを選択しなければならなくなる。

図 45 “Smart Factory” の I T 制御への関与



(出所) 筆者作成

これまで、“Smart Factory” が次世代製造システム標準となれば、製造企業は製造 IoT プラットフォームを通じてインターネットから製造関連アプリケーションをダウンロードし、エッジ層でのコンピューティングにより、生産ラインを構成する機械・設備の制御機器をコントロールするようになり、その結果、制御層レベルでオペレーティングシステムを活用して、製造関連アプリケーションを実行する方式は廃れると考えられていた。しかしながら、中堅・中小メーカーとしては、製造 IoT プラットフォーム等の構築には大規模 IT 投資に見合う効果があるかに疑問があり、この点、DMG 森精機は制御層レベルでの製造関連アプリケーション活用ニーズはなくならないと考え、引き続きアプリケーション活用のためのシステム構築をソリューション提供としている(「自動化」と並ぶソリューションの柱である「デジタル化」)¹⁹⁹。

DMG 森精機の判断理由は、(a) 中堅・中小メーカーには製造 IoT プラットフォームを導入しない社も多数あり、制御層レベルでの製造関連アプリケーションの実行システムには需要がある、(b) 製造関連アプリケーションはエッジ層でのコンピューティングですべて処理されるわけではなく、制御層の機械・設備に装着されたオペレーティングシステムのレベルで相当部分が処理される(アプリケーションをカスタマイズして使用)、(c) 顧客は生産ラインを構成する機械・設備を単体毎に管理しており、旧式機もアプリケーションの更新により機能を更新するが、それはオペレーティングシステムをベースとして処理される、右 3 点である。

DMG 森精機は、“Smart Factory” が次世代製造システム標準となっても、制御層レベルでの製造関連アプリケーションの処理はなくならないとの考えに立ち、エッジ層と制御層のコンピューティングの間に役割分担・協働関係を設定し、“Smart Factory” での IT システムによる工場制御に関与しようとしている²⁰⁰。エッジ層の製

¹⁹⁹ Dr. Tommy Kuhn (Managing Director DMG MORI Software Solutions GmbH) 及び Eduard Lun (Product Owner CELOS V6 DMG MORI Software Solutions GmbH) 「CELOS V6 によるデジタル化」(DMG Mori Digital Event 2021 2021 年 2 月 4 日)

²⁰⁰ DMG MORI Software Solutions 社の Tommy Kuhn 社長は 2021 年 2 月 4 日 デジタル・セミナー

造 IoT プラットフォーム等が生産ラインと直接につながりコントロールするシステムとは別個に、制御層において、製造 IoT プラットフォーム等と生産ラインの個別機械・設備をシステム仲介する仕掛けを構築することで、生産ラインのオペレーションが OT、IT、企業システム企業等により専らコントロールされて関与できなくなる事態を防ぎ、自らの事業領域の独立性・自律性を維持しようとしている。

6. 更なる工作機械ビジネス革新に向けて

～” Smart Factory” エコ・システム等企業提携の重要性～

(1) ドイツ OT 企業への誤解

我が国製造業界は 2010 年代初のドイツの” Smart Factory” 提案以降、その次世代製造システム標準化に対して如何に対処すべきかで忙殺されてきたため、ドイツの” Industrie4.0” を主導する Siemens、SAP 等の OT、企業システム会社が IoT 革命を機に製造企業支配に乗り出したかの如き感を持つ向きも少なくないが²⁰¹、ドイツでは、OT、IT、企業システム、ソフトウェア企業など工場システムの IT 部分を事業領域とする企業だけでなく、工作機械、ロボット、制御機器メーカーなど工場システムの物的な生産ラインを事業領域とする企業が協働してエコ・システムを構成し、” Smart Factory” 及び関連ビジネスの推進に協働して当たっている²⁰²。

したがって、工作機械メーカーと OT、IT、企業システム企業等との関係は敵対的なものかと言えば、競合する部分もあることは否定しないが、総じて協調的である。例えば、5 (3) ②で製造関連アプリケーションに関する工作機械メーカーと OT、企業システム企業との競合について指摘したが、Siemens はユーザ、OT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業に加えて、工作機械、産業機械、積層加工機等各種メーカーの参加を得てネットワーク「MindSphere」を構築し、製造関連アプリケーションを工作機械メーカーも含めて共同開発している。これは工作機械メーカー

にて「工作機械は製造業のデジタル化に欠かすことはできない。その中心となるのが DMG 森精機の GELOS です。GELOS は顧客の工作機械を継続的にアップデートし、最新のデジタル機能を追加していきます。それにより機械を最新の状態に保ち続けることができます。つまり GELOS をアップデートすれば、既存の機械のデジタル・インテリジェンスを絶えず高め続けることができる。機械の部品は時とともに古くなるが、これに対し機能は常に新しくなる」 「GELOS も同じで、既存のコントローラであるシーメンス、ハイデンハイ、マックスに追加して使うことができ、統一された操作性を実現している。これにより顧客が工作機械を簡単に使いこなせるようになる GELOS の機能は 5 つのカテゴリーに分かれており、機械の生産効率を高めるプランニング、機械の準備を素早く進めるプリパレーション、ワークの品質を向上させるプロダクション、機械や工程の状態を「見える化」するモニタリング、機械の稼働率を高めるサービスである。まとめると GELOS は品質と生産性の向上に役立つ」と説明。

²⁰¹ 経済産業省(2017)「Connected Industries」等、我が国において” Smart Factory” の次世代製造システム標準化が従来の我が国の「ものづくり」の競争優位を覆すのではないかと懸念に基づいてまとめられた初期の提言になるほど、” Smart Factory” とそれに関連した活動が Siemens さらにはドイツによる覇権確立に向けた動きであるかのような見方が強くなる。

²⁰² Siemens 2019 年 8 月 28 日ヒアリング、2020 年 10 月 27 日ヒアリング等

の製造現場レベルでの生産ライン制御と、OT企業等が製造IoTプラットフォームによりエッジ層レベルで行う生産ライン制御の共存を前提とするものであり、Siemensはそもそも工作機械メーカーに対してゼロ・サム・ゲームを仕掛けているのではなく、「棲分け」と協働・協業による相互成長を期待していると言える。

(2) 産業IoTプラットフォーム構築への参画とエコ・システム

また、5(3)②で競合関係を指摘した製造関連アプリケーション・ビジネスに関しては、工作機械メーカーはレイアウト見直し、工程集約、自動化等の組合せによる生産ライン高効率化ソリューションを事業として”Smart Factory”に関わるだけでなく、OT、ソフトウェア企業等と提携することで、実は製造IoTプラットフォーム構築・運営にも関与するチャンスはあり、相互の垣根は予想外に高くはない。

DMG森精機は、2017年10月より独のCarl Zeiss社(光学機械製造)、デュル社(ライン・ビルダー)、ソフトウェア社(ソフトウェア開発。会社名は一般名称のソフトウェアを社名採用)、香港ASMパシフィック・テクノロジー社(半導体製造装置製造)²⁰³と、産業用IoTプラットフォームの開発・提供を事業内容とするADAMOS社を合併設立し、工作機械・装置メーカーの参加を得て、異なるメーカーの工作機械やソフトウェアであっても「つなぐ」ことのできるオープンな産業用IoT基盤を開発し、中小製造企業に提供しようとしている。中小製造企業は、ADAMOS社の産業IoTプラットフォームをITシステムとして導入し、自社工場内の工作機械・周辺装置・測定機器から収集したデータを同プラットフォームにおいてエッジ・コンピューティングにより解析処理することとなる。

ADAMOS社の産業IoTプラットフォームのような業種の垣根を超えた企業提携は我が国では例があまり見られないが、ドイツにおいては可能となる理由の一つとしてエコ・システムの存在は否定できない。OT、IT、企業システム、ソフトウェア企業など工場システムのIT部分を事業領域とする企業だけでなく、工作機械、ロボット、制御機器メーカーなど工場システムの物的な生産ラインを事業領域とする企業が協働してエコ・システムを構成し、”Smart Factory”及び関連ビジネスの推進に協働している成果と評価できる。

(3) トータル・コーディネータの役割

製造企業の太宗を占める中堅・中小メーカーも、絶えず生産ライン高効率化に取り組む必要があるが、グローバル製造企業のように、必ずしも工場システムの完全なI

²⁰³ 香港ASMパシフィック・テクノロジー社は、オランダのウエハ加工装置メーカーのASMインターナショナルの傘下にある半導体バック・エンド装置の世界最大手の製造企業である。

T制御を必要としない。生産ラインの生産高効率化を基本として、仮に工場システムのIT化が必要であれば措置する程度の” Smart Factory” 化であれば、中堅・中小メーカーはわざわざOT企業等に工場システムの生産高効率化を委託せずとも、工作機械メーカーに一括依頼すれば済む。

そこで、工作機械メーカーは、生産ラインの生産高効率化ソリューションに限らず、中堅・中小メーカー向けに” Smart Factory” のトータル・コーディネータの役割を引き受ける選択があり得る。製造関連アプリケーションの工場実装でも、クラウド層、エッジ層、オペレーティングシステムの間での分担を整理しなければならないが、中堅・中小メーカーにとり、” Smart Factory” 化を総合コーディネートしてくれる社は極めて重要な存在である²⁰⁴。

また、OT、IT、企業システム会社等のサイドとしても、中堅・中小メーカーが工場システム高効率化の重点とする生産ライン高効率化については、工作機械及び工作機械システム、ロボット及びロボット・システム等に関する技術・知見・ノウハウのふ足から引き受けることは容易ではないため、工作機械メーカーが生産ライン高効率化を引き受けてくれた上で、OT企業等の専門とする製造IoTプラットフォーム等のインテグレーションも含めて総合し取りまとめをしてくれるのであれば有難いこととなる。こうした協力・協業関係も” Smart Factory” エコ・システムをともに構成していることで可能・容易になるのではないだろうか。

(4) 工作機械ビジネス革新の原動力となった日独統合

① 日独統合過程における知見・ノウハウ共有

ヤマザキマザック、オークマにおいては、自社工場における生産システム改革や” Smart Factory” 実証の取組が、両社の” Smart Factory” ソリューションないし” Smart Factory” ビジネス形成につながった内生的なものだった。これに対し、

²⁰⁴ Christian Thönes DMG森精機取締役会議長は2021年2月2日デジタル・セミナーで「工作機械メーカーとしてイノベーションに取り組んでいるが、比較的小さな機械から大型機械まで多数の機械がある中で、顧客にワンストップでソリューションを提供することが重要。また、過去10~15年でテクノロジーの統合が大きく進んだ。顧客が工作機械を購入する時は、機械だけでなく、全体像を考えていただくことが重要であり、従来とおりに様々なメーカーの機械を並べて使うのか、あるいは、機械・自動化・デジタル化まですべてに対応できるパートナーと一緒に進めるのか。iPhoneはハードウェアとソフトウェアを統合して大変魅力的な製品を創り上げたが、我々も革新的な工作機械の開発に取り組んでいるが、普通の五軸加工機にギア・スカイピングやグライディングのようなテクノロジーを追加すると生産性を2倍から3倍に上げることができ、さらに、自動化やデジタル化と一緒に活用すれば顧客の競争力が大きく増進する。今後3年ももしないうちに、投資を行う場合には、機械だけでなく、全体像を考えて投資を行うことが当たり前になってくると考える。DMG森精機はこれまでもイノベーションを進めてきたが、全体像を考えて進めるという点が重要であり、今後も顧客と緊密なパートナーシップを構築していきたい。ますますイノベーションへの取組を強化するにあたり、日本との協業関係を深め、顧客に全体像を考えた上で提案を行う。工作機械メーカーであることには変わりはないが、それを取り巻く全体像も重視している」と語る。

DMG森精機の場合、第1期(2014~2017年)前半の国内工場における”Smart Factory”実証は、日独統合プロセスにおける工場システムのゼロ・ベース見直しが大きな原動力となっており、外生的な面がある。

旧森精機と旧DMGの日独統合プロセスは2009~2015年の長きに渉り段階的に販売・サービス統合、製品・技術開発の共同化、共通オペレーティングシステムの開発、製品ラインアップ統合、加工機主軸・周辺装置・搬送装置の共通化、製造システム共通化と進められた。この過程で、DMG森精機は、製造システムの在り方、生産ラインの高効率化等について再考することとなり、日独双方の知見・ノウハウを持ち寄ることで、工場システムとインテグレーションの在り方をゼロ・ベースから考え直す機会が得られた²⁰⁵。

②日独協働による”Smart Factory”ソリューション成果

前述したように、DMG森精機は「自動化」と「デジタル化」をキーワードとして”Smart Factory”ソリューションを考え、生産ラインのレイアウト見直し、複合加工機・マシニングセンタ活用による工程集約、ワーク・治具・工具・材料等の搬送・管理システムも含めた自動化等を組み合わせることで、生産ラインの高効率化を行うソリューションを”Smart Factory”ビジネスの柱としているが、自動化等と融合した”Smart Factory”ソリューションはドイツから強く提案されたものである。

また、DMG森精機は、自動化システムの3類型化から始まり、MATRISのように”Smart Factory”ソリューションをモジュール化し、モジュールを組み合わせることで、業種・業態・規模により一つとして同じでない製造現場にソリューションを可能な限りカスタマイズし最適化しようとしているが、”Smart Factory”ソリューションのモジュール化は日独の協働作業の成果である²⁰⁶。

③DMGの中堅・中小製造企業向けビジネス

DMG森精機は日独合同企業である。日本では、工作機械システムのインテグレーションは機械商社がシステム・インテグレータ(SIer)を使い対応しているが、欧米では機械商社がシステム・インテグレータを兼ねるが、仮に、工作機械メーカーが顧客に工作機械を直販する場合、顧客の生産ラインへの工作機械又は工作機械システムのインテグレーションに自ら対応するのが通例である。

ドイツでも”Smart Factory”が次世代製造システムの絶対標準であるとする見方には異論があり、”Smart Factory”はSiemens、Bosch等グローバル・メガ製造企業を対象として構想されたもので、中堅・中小メーカーにおいては、(a)企業ITシステムによる生産ライン自動制御にはITシステム構築に巨額投資を要するが、費用対

²⁰⁵ 森雅彦・DMG森精機社長 2018年5月24日付取材

²⁰⁶ 安田浩・DMG森精機執行役員、2018年5月22日伊賀イノベーション・デイ講演

効果が合わない、(b)オークマも指摘するように、企業ITシステムによる自動制御は確かに部品加工・最終組立一貫メーカーには必要であるが、中堅・中小の太宗を占める部品加工専門メーカーには必ずしも必要でないとする見解が少なくない。

DMGは、ドイツ製造企業の9割超を占める中堅・中小メーカーに工作機械又は工作機械システムを販売供給するに当たり、Siemens、Bosch 流の” Smart Factory” 化ではなく、自動化及びデジタル化(製造IoT化)を組み合わせた工場生産性向上プランを顧客とのコンサルテーションで策定し、自ら顧客工場においてスマート化された工作機械システムをインテグレーションしてきた。DMGはその過程で得た知見・ノウハウを新たな自動化・デジタル化を組み合わせた工場生産性向上プランの創造に活かしてきた。

DMG森精機(旧・森精機)では、このDMGのドイツにおける工作機械ビジネスに学び、日本においても、中堅・中小メーカーの生産ライン(製造現場)のスマート化に直接に取り組み、工場レイアウトの変更、複合加工機を活用した工程集約、自動化システム等を組み合わせた工場スマート化プランを多数引き受け、第2期に自動化・デジタル化をキーワードとする” Smart Factory” ソリューションを独自事業化した。

7. まとめ

(1)市場誘導型イノベーションの2段階モデルに基づく分析

第3章の制御機器メーカーIDECを対象とする探索研究では、製造企業のサービス化を通じ市場誘導型イノベーションは製品イノベーションとビジネス・イノベーションの2段階に分かれることが示唆され、IDECは2010年代の3回目の挑戦により、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの第1段階の製品イノベーションをクリアし、第2段階のライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルの創造を目指してソリューションのモジュール化に向けた取組を展開した。第2部の総合工作機械メーカー3社の事例研究はIDECに関する探索研究の結果を踏まえつつ進めてきたが、現時点で市場誘導型イノベーションの第2段階であるビジネス・イノベーションを達成したと考えられるのはDMG森精機である。

①製品イノベーション

市場誘導型イノベーションにおいて、オークマが第1段階におけるイノベーション・サイクルの回転迅速化に難航し、第2段階への移行が難航しているのに対し、まず、DMG森精機は工場生産高効率化ソリューション・ビジネスのテイクオフに成功し、次いで、工場生産高効率化ソリューションと工作機械及び工作機械システムの開発製造とのイノベーション・サイクルを確立した。

3. で分析したように、DMG森精機の工場生産高効率化ソリューション・ビジネスのテイクオフの成功は、(i)” Smart Factory” においても、工作機械メーカーの

コア事業領域は生産ラインの高効率化にある、(ii)顧客工場の千差万別の生産ラインの高効率化に関しては、自らライン・ビルダー化し、顧客工場の生産ライン高効率化に顧客と協働して取り組んで始めて、経験・知見・ノウハウを蓄積できる、(iii)ライン・ビルド事業では、カスタマイズと「規模の経済」のバランスが重要であり、ソリューションの標準化とモジュール化が不可欠であることを(当初からではないが)認識し、生産ライン高効率化のビジネス化、ライン・ビルド事業参入と独立専門組織の設置、ソリューションの標準化とモジュール化の措置を矢継ぎ早に実行した賜である。

工場生産高効率化ソリューションと工作機械及び工作機械システムの開発製造とのイノベーション・サイクルの確立については、DMG森精機が顧客工場の生産高効率化に向けた顧客との協働プロセスに関して、成熟市場における製品イノベーションで重要な役割を果たすリード・ユーザを発掘し協働する貴重な機会であることを認識し、顧客との協働過程で得られた製品アイデア、工場生産高効率化に係る知見・ノウハウを活かして製品イノベーションにつなげることを意識的に追求したことが大きい。

リード・ユーザを見出すには、多数の「顧客との長年に渉るリレーショナルな協働関係の構築」を推進し拡大していく必要があるが、実は、4(3)③で分析したように、工場生産高効率化ソリューションでは、イノベーションに直結するアイデアを持つリード・ユーザの存在が期待できず、工作機械メーカーは多数のユーザとの協働の成果から工作機械メーカーがイノベティブなアイデアを抽出しなければならないが、工作機械メーカーがより優れた、多数のユーザの工場生産高効率化につながるアイデアを抽出しようとするならば、ますます多くの「顧客との長年に渉るリレーショナルな協働関係の構築」を推進し拡大していかなければならない。

この点、DMG森精機が一早くソリューション・ビジネスを管掌する独立専任組織を設立し、同組織が顧客との協創プラットフォームを活用しつつ、顧客との長期的な協働関係の構築にあたる体制を構築したことが、同社の工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションの成功に寄与した。

IDECの探索研究でも共通の結論が観察できたが、DMG森精機においても、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは、「顧客との長年に渉るリレーショナルな協働関係の構築」が出発点であり、協働関係が単発的なものに終わらず恒常的な関係に発展させるために、「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当て」が要請され、「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関」が、顧客との協働関係を一時的な単発のものではなく恒常的な反復継続的なものに発展させ、顧客との協働プロセスで得た経験・知見・ノウハウを組織的に蓄積する中核であった。

②ビジネス・イノベーション

第2章の先行研究レビューと第3章のIDECを対象とした探索研究から、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは、画期的製品を創り出す製品イノベーション段階とライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルを創造する2段階より構成されることが示唆された。オークマでは、工場生産高効率化ソリューションと工作機械事業のイノベーション・サイクルの確立を見たものの、ソリューション実施体制の整備が未だしであるためイノベーション・サイクルを速く回転できずにおり、第2段階には未だ到達していない。

一方、DMG森精機は、ソリューション・ビジネスを管掌する独立専任機関の設置、顧客との恒常的協働のための協創プラットフォーム整備など工場生産高効率化ソリューションの推進実施体制が第2期(2018年以降)早々に整備され、第1段階でイノベーション・サイクルをライバル2社よりも高速で回転させる態勢が整った。ただし、「先行者利得」は薄氷の差に過ぎないことから、DMG森精機は継続的にライバル企業よりもイノベーション・サイクルを高速回転させ、製品イノベーションの鍵を握るリード・ユーザとの遭遇機会を増すビジネス・モデルを探索し、ソリューションのモジュール化とモジュールの組合せによる多様な顧客ニーズへの対応をソリューション提供の基本とし、インテグレーションの短期化と低コスト化に成功する。

また、DMG森精機は、モジュールをベースとしてソリューション及び製品を開発することで、新しい顧客ニーズや工場生産高効率化に関するアイデアに対応して、迅速なソリューション開発と製品開発を可能化。さらに、顧客工場の生産ラインが一旦、DMG森精機のM A T R I S等のモジュールをベースとして組み立てられるようになると、顧客は工場生産高効率化に関してDMG森精機のソリューション、製品群に継続的に依存せざるを得なくなり、DMG森精機は顧客囲込みが可能となるマーケティング効果も期待できた。

(2) 市場誘導型イノベーションの成否に係る要因

第2章の先行研究レビューと第3章のIDECに係る探索研究は、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成否に係る要因として、「市場成熟期における製造企業のサービス化の戦略的位置付け及び目的の明確化」、第1段階には「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当て」「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」、第2段階には「顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化」「製品の組合せによる価値提供とソリューションのモジュール化」を示唆している。ヤマザキマザック、オークマについて戦略的意思決定及び第1段階3要件について整理を行っていることから、DMG森精機についても以下同様の整理を行う。

①「戦略的意思決定」

「市場成熟期における製造企業のサービス化の戦略的位置付け及び目的の明確化」(戦略的意思決定)要件については、第3章(IDEC事例)を受けて第6章(ヤマザキマザック事例)では、「戦略的意思決定」の基礎となる4要因として「市場成長期待」「製品開発・事業拡大の可能性」「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」を設定したが、ヤマザキマザック、オークマと同様にDMG森精機にも4要素に即して考察・整理すれば表29の通りとなる。

ヤマザキマザックでは、「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」が主たる意思決定要因として、「市場成長期待」「製品開発・事業拡大の可能性」に影響し、「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」を補足的な要因として位置付けることができたが、DMG森精機はオークマと同様に「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威」がまず意思決定を左右し、「製品開発・事業拡大の可能性」と「市場成長期待」が、同社のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにコミットメントする支えとなり、「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」が補足的な要因として存在している(なお、DMG森精機とオークマは後発メーカーと先進メーカーの違いを反映して「緊急の対応とビジネス化を要強する脅威」は内容が異なる)。

表 29 DMG森精機の戦略的意思決定

<p>緊急の対応とビジネス化を要求する脅威</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●ヤマザキマザック、オークマと比較するとDMG森精機は後発メーカーであり、1980年代までは高性能機の付加価値を決定するNC装置の自主開発力もない、国内中小メーカー向けNC旋盤標準機の量産メーカー。そのため、1990年代以降、製品コモディティ化や円高によるコスト競争力低下等の経営環境の激変から受けるダメージが最も大きかった。 ●経営環境の激変に対し、ヤマザキマザック、オークマは高付加価値セグメント・シフトやグローバル生産により製品需要を確保する途があったのに対し、後発メーカーのDMG森精機は2000年代になってもM&Aにより高付加価値化技術を有する工作機械他社を経営統合し、先進メーカーと高付加価値部門で競争できる能力を獲得しようとしている状況。 ●辛うじて2010年代初迄にDMG森精機はヤマザキマザック等に対する技術的キャッチアップを完了し、日独企業提携により生産・販売・サービスのグローバル化にも目途がついたが、その取組の完了は2010年代半迄を要した。 ●過去四半世紀、DMG森精機はコモディティ化や持続的円高により経営破綻の危機に晒され続けてきたが、先進メーカーに追いつき辛うじて企業成長の道筋が見えてきたばかりのところ、2010年代初にドイツが提案した”Smart Factory”が次世代製造システム標準になることに伴い、工作機械ビジネスが独立事業領域としての地位を維持できるかが疑わしくなったことは極めて深刻であり、看過できない問題だった。
<p>製品開発・事業拡大の可能性</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●DMG森精機はオークマと同様、2000年代後半に徹底した国内生産体制・生産システム改革に取り組み、自社工場を一旦更地化、製造ニーズに応じて生産ラインを設計し直し、既存の生産ラインを徹底的に工程集約、自動化、工場IoT化等により高効率化。 ●オークマと同様、DMG森精機にとり”Smart Factory”ビジネスは工場IoT化に止まらず、生産レイアウト変更、工程集約、自動化等のメニューを組み合わせる工場生産高効率化を図る総合的な取組。工場IoT化に対応した工作機械及び工作機械システムを開発・供給するだけでなく、工程集約、自動化など工場生産高効率化ツールを組み合わせることで、顧客工

	<p>場に最適化された総合的な生産高効率化プランを作り上げてインテグレーション。従来の「マシン」単位から、製造「システム」単位にビジネス発想を転換し、新たな事業領域の誕生を期待した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ●サービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、ソリューションを通じて、新たに認識・獲得したニーズや知見・ノウハウを活かして新製品を開発。工程集約、自動化等に関する革新的なアイデアは、製造現場で実地にカイゼンに取り組んで始めて発見可能。アイデアが特定工場だけでなく、製造現場に広く通用するものかを知るにも、実地検証が不可欠。革新的なソリューション、工作機械及び工作機械システムの開発には、工作機械メーカーが自らソリューションに取り組む必要があった。
市場成長期待	<ul style="list-style-type: none"> ●工作機械メーカーが顧客工場の生産高効率化ソリューション自体から得られる収益は大きいものではないが(投入可能な経営資源に制約)、工程集約・自動化・IoT化等の組合せを類型化・パターン化し、ソリューションとそれに活用する工作機械及び工作機械システムをメニュー化できれば、工作機械メーカーが自らインテグレーションに当たらなくても、機械商社等が、顧客の製造現場に合わせてソリューションを選定、それに最適な工作機械及び工作機械システムをインテグレーションすることが期待でき、製品市場・需要は拓がることを期待。 ●2000年以降の高付加価値機の大口顧客を相手としたソリューション・ビジネスは「単発ビジネス」であったが、大口顧客はカスタマイズ製造した工作機械及び工作機械システムを十分な数量を購入。一方、個別工場の生産ライン改革がメインとなる”Smart Factory”関連ビジネスでは、中堅・中小メーカーはもとより、グローバル大手メーカーであっても、大口購入は期待できず。ただし、一件あたりでは大口購入を期待できないが、日米欧先進国に引き続き中国、インドと新興国が工業化を達成する中、世界の製造企業からの引合いを総計すれば、”Smart Factory”関連ビジネスに伴う工作機械及び工作機械システム需要は大きい。
優先課題の存在、独自課題としての認識有無	<ul style="list-style-type: none"> ●“Smart Factory”が次世代製造システム化しても、工場の生産性はITシステムだけではなく生産ラインの生産性により左右。生産ラインはレイアウト変更、工程集約、自動化等により可変的であり、工作機械メーカーは工作機械及び工作機械システムを武器として、顧客工場の生産ラインのモデル・チェンジに関与することで、”Smart Factory”の生産性向上に影響力を保持できる。DMG森精機はオークマと同様、伝統的な工作機械中心ビジネスに限定せず、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに取り組むことで、中長期的に工作機械ビジネスの独立性と自律性の維持することを優先課題として重視した。

(出所) DMG森精機ヒアリング等に基づき筆者作成

②第1段階「製品イノベーション」関連要件

市場誘導型イノベーションにおいて、オークマが第1段階におけるイノベーション・サイクルの回転迅速化に難航し、第2段階への移行が難航しているのに対し、まず、DMG森精機は工場生産高効率化ソリューション・ビジネスのテイクオフに成功し、次いで、工場生産高効率化ソリューションと工作機械及び工作機械システムの開発製造とのイノベーション・サイクルを確立した。

3. で分析したように、DMG森精機の成功は、生産ライン高効率化のビジネス化、ライン・ビルド事業参入と独立専門組織の設置、ソリューションの標準化とモジュール化の措置を矢継ぎ早に実行した賜である。「顧客と協働してサービス化に取り組む独理専任組織の設置」「顧客との協働のための協創プラットフォームの制度的手当て」「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」などソリューション実施

体制を早い段階で整備したことが、DMG森精機の工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションの成功につながった。

表 30 総合工作機械メーカー3社の”Smart Factory”対応

	ヤマザキマザック	オークマ	DMG森精機
顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築	<ul style="list-style-type: none"> ●ソリューションは、引き続き大口顧客の引合い確保に主眼が置かれ、”Smart Factory”を契機とした新規ビジネスの創造を目指さず。 ●中堅・中小顧客に対してきめ細かなケアを行い、顧客工場の千差万別な製造ニーズに対応した最適化ソリューションを提供するには「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」が必要だが、ヤマザキマザックは人的資源制約もあり長期的な協働関係の構築にコミットメントせず。 	<ul style="list-style-type: none"> ●工場高効率化ソリューションは、対象業種を自動車・航空機・資源等に限らず、対象規模も中堅・中小に拡大。中堅・中小メーカーは大規模投資を忌避するため、製造現場のオープン・ネットワーク化より着手し、段階的に本格的な工場生産高効率化に取り組ませる必要がある、長期的な協働関係の構築を意図。 ●工作機械メーカーはグローバル大手であっても経営資源等に限り。オークマは、営業組織の個別企業担当に対し工作機械及び工作機械システムの販売・サービスに加えて”Smart Factory”関連ビジネスを担当、本社の「ものづくりサポートセンター」が顧客相談対応でこれをサポート。 ●専門化・一元化がなされない対応は、独立専任機関と比べて、顧客との長期協働関係の構築に迅速さを欠いた。 	<ul style="list-style-type: none"> ●1990年代半ばの量産機メーカー時代は顧客関係を機械商社に一任してきた森精機は2000年代、高付加価値化とグローバル展開の過程でテクニカルセンタを積極的に開設。販路開拓のために、顧客とのリレーショナルな関係の構築に努力。 ●日独の製品流通は相違。日本では、機械商社がSierを下請として工作機械及び工作機械システムのインテグレーションを行うのに対し、独は機械商社がSierを兼務(独は工作機械メーカーも直接販売する顧客についてはSierを兼務)。 ●2000年代後半以降、森精機が企業統合を進めた独DMGは”Smart Factory”関連ビジネスの立上げと同時に顧客工場のインテグレーションに直接コミット、顧客との長期協働関係の構築に取り組み。 ●森精機は独DMGに倣い日本メーカーの慣行を破り、自らSierとして顧客工場スマート化にコミット。顧客との長期協働関係の構築に取り組み。
製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当	<ul style="list-style-type: none"> ●生産ラインのインテグレーションは低収益事業。工場生産高効率化ソリューションと製品イノベーションをサイクル化でできないならば、工作機械ビジネス革新は困難。 ●イノベーション・サイクル化には、顧客との長期協働関係の構築だけでなく、製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組むプラットフォームの制度的手当が重要。 	<ul style="list-style-type: none"> ●オークマは資源制約から、営業組織の個別企業担当が”Smart Factory”関連ビジネスも兼務し、本社の「ものづくりサポートセンター」が顧客相談にも対応する、間合せのかつ分権的な体制を採用。 ●将来的に工場生産高効率化ソリューションが市場誘導型イノベーションにつながることに期待はあるが、現時点では、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションを模索する 	<ul style="list-style-type: none"> ●DMG森精機はスマート化にあたり主力工場の事業整理を実施。伊賀工場は主軸関連等(高精度が求められる)基幹部品の加工、基本性能を高める仕上げに特化。鋳物等の粗加工から中仕上げまでを中部・関西地域の協力会社10社に生産設備譲渡し委託。 ●事業整理により活用可能な敷地が生まれたことから、DMG森精機は、顧客への工作機械システムのターン・キー納入のため2019年に工作機械システム専用のソリューション工場を新設(奈良事務所は自動車関連、伊賀事務所は航空機関連)。顧客との工場スマー

	<ul style="list-style-type: none"> ●ヤマザキマザックはプラットフォームを構築するどころか、外部コンサルティング会社に“Smart Factory”ソリューションをアウトソース。 	<ul style="list-style-type: none"> ●段階にあり、事案毎に顧客との協業を処理。 ●現時点では、顧客と長期継続的に工場生産高効率化に協働して取り組むまでに至らず、顧客との協創プラットフォームを制度的に手当てせず。 	<ul style="list-style-type: none"> ●ト化に係る協働プラットフォームとして利活用。
顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任組織の設置	<ul style="list-style-type: none"> ●顧客との長期的協働関係構築を推進し、顧客との協創プラットフォームを実現するには、「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」が重要。 ●ヤマザキマザックは独立専任機関の設置どころか、外部コンサルティング会社に“Smart Factory”ソリューションをアウトソース。 	<ul style="list-style-type: none"> ●資源制約から独立専任組織を設立せず。 ●既存の営業組織の個別企業担当が“Smart Factory”関連ビジネスも兼務し、本社の「ものづくりサポートセンター」が顧客相談にも対応。 ●市場誘導型イノベーションへの期待はあるものの、現時点はビジネス化の模索段階にあり、事案毎に顧客との協業を処理。 	<ul style="list-style-type: none"> ●営業エンジニアリング組織をベースとして生産システム・インテグレーション専任組織を設立。年間10~20件のシステム・インテグレーションを引き受け。 ●ただし、DMG森精機が全顧客の全インテグレーションを引き受けることは不可能。FA・ロボットシステムインテグレータ協会に加入、外部SIerと提携。企業システム会社のSAP等と同様に、協力企業ネットワークを構築。

(出所)筆者作成

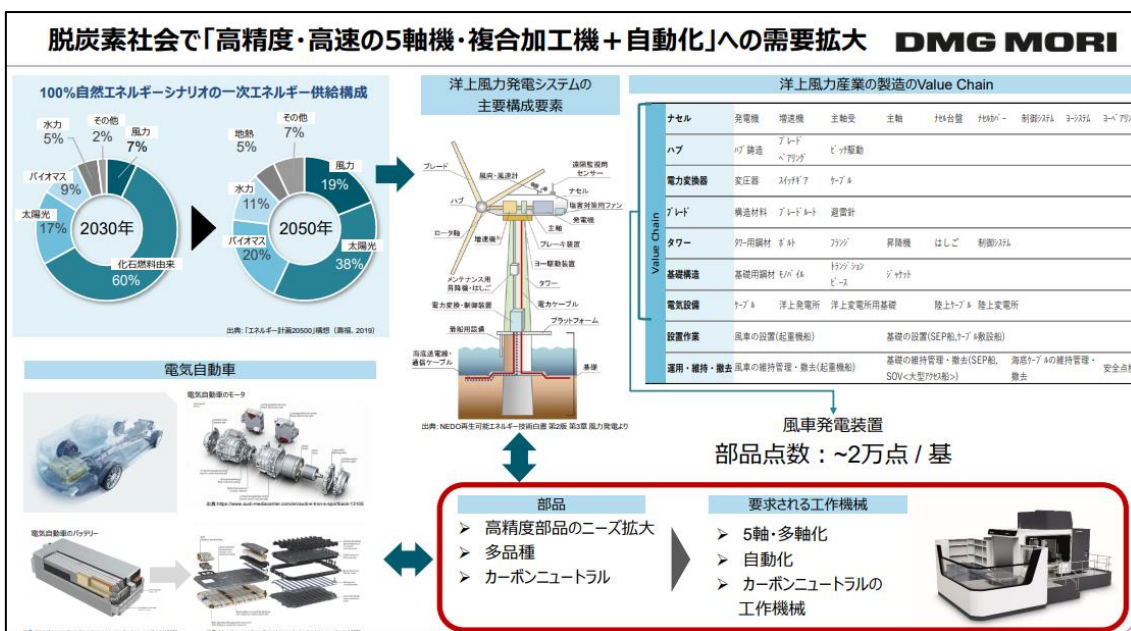
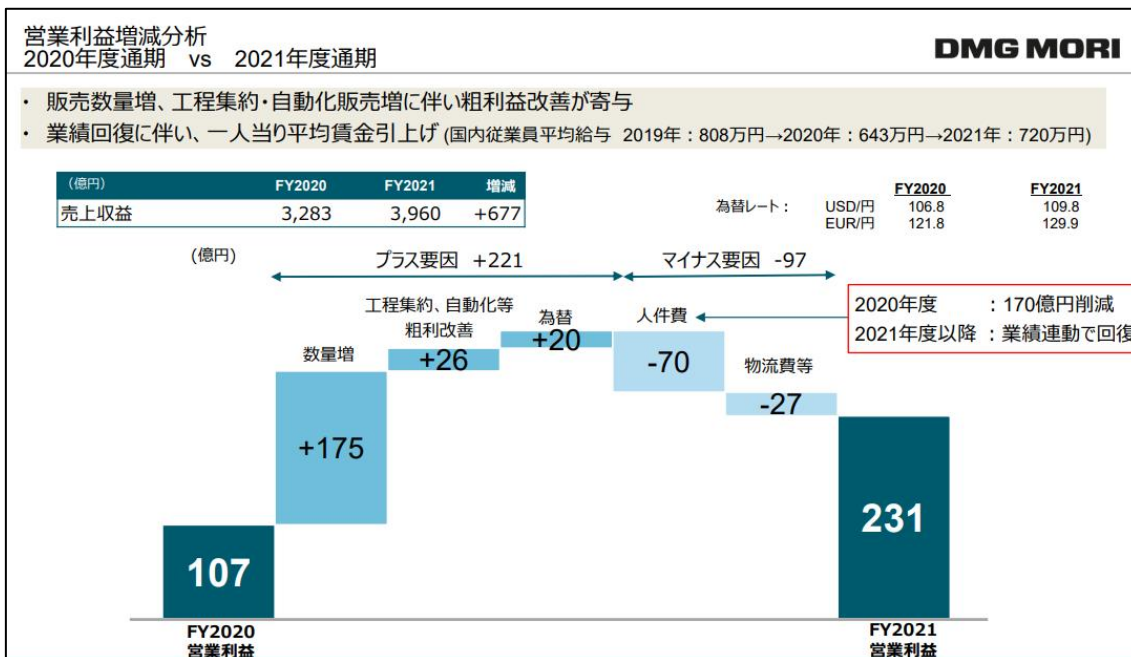
(3) 企業収益への貢献期待

オークマにおいて工場生産高効率化に関するソリューションと関連製品販売が2030年度までの同社の成長ドライバーとして位置づけられていたように、DMG森精機も工場生産高効率化ソリューションを自社事業の成長ドライバーとして捉えている。

DMG森精機が2021年度決算報告(12月期)において営業利益の増減分析を行った結果、自動化・工程集約等に係る製品販売が全販売に占める割合が高まっており、2020年度比で221億円の営業利益が改善されたが、そのうち26億円が自動化・工程集約等の工場生産高効率化に関連して営業利益増に貢献した形となった。

“Smart Factory”に伴う工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションにより、DMG森精機では、ジャンプ・スタートではないにしても着実な収益成長を挙げており、自動化・工程集約等がデジタル化と並んで企業成長の牽引役として考えられていることが分かる。今後のますますの収益成長と、工作機械ビジネスの新たな屋台骨としての貢献が期待できる。

図 46 2020 年度比による 2021 年度の営業利益増減



(出所) DMG 森精機 2021 年度決算説明会説明資料(2022 年 2 月 10 日)

第3部

考察：製造企業のサービス化を通じた脱市場成熟化

第10章 製造企業のサービス成長における市場誘導型イノベーションの位置づけ

1. サービス化を通じた市場誘導型イノベーションは可能か？

本論文は製造企業のサービス化を、市場成熟期にある製造企業の脱コモディティ化戦略として捉え、(i)製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii)製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii)顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかを総合工作機械メーカー3社の事例研究により明らかにしようとするものである。第一に、製造企業はサービス化を通じて市場誘導型イノベーションが可能であるかについて、答えはイエスである。

第8章で示したように、オークマは、工場生産高効率化ソリューションと工作機械製造のイノベーション・サイクルを確立し、サービス化を通じた製品イノベーションを達成している。オークマは、OT企業等の”Smart Factory”化ソリューションに対抗するビジネスとして工場生産高効率化ソリューションを考えたが、同ソリューションを顧客ニーズの把握ツールとして位置付け直し、顧客とソリューションで協働する過程で得たアイデア・知見を活かして製品イノベーションを実現している。

ただし、オークマでは、ソリューション・ビジネスの推進体制が未整備であり、その結果「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」が緩慢となっており、イノベーション・サイクルの回転加速化ができない。このため、市場誘導型イノベーションの次なるステップである、ライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルの構築には踏み出せてはいない。

イノベーション・サイクルは絶えざる回転加速が必要であり、回転の停滞はソリューション・ビジネスに投入する経営資源に見合ったイノベーション成果が得られないことを意味し、ヤマザキマザックのようにソリューションのビジネス化を断念し、製品中心ビジネスに回帰してしまう製造企業も生じ得る。この点、永年、後発メーカーとしてオークマ、ヤマザキマザックの後塵を拝してきたDMG森精機は、ソリューション・ビジネスを管掌する独立専任機関の設置、顧客との恒常的協働のための協創プラットフォーム整備など工場生産高効率化ソリューションの推進体制を第2期(2018年以降)早々に整えた。

その結果、DMG森精機は絶えずライバル企業よりもイノベーション・サイクルを高速回転させることが組織的に可能となり、ソリューションのモジュール化により、多様な顧客ニーズに応えつつ、インテグレーションの短期化と低コスト化に成功した。さらに、同社はモジュール化を製品開発にも適用し、新しい顧客ニーズや工場生産高効率化に関するアイデアに対応して迅速な製品開発を可能としており、イノベーション・サイクルの回転加速化により競争優位を保とうとしている。

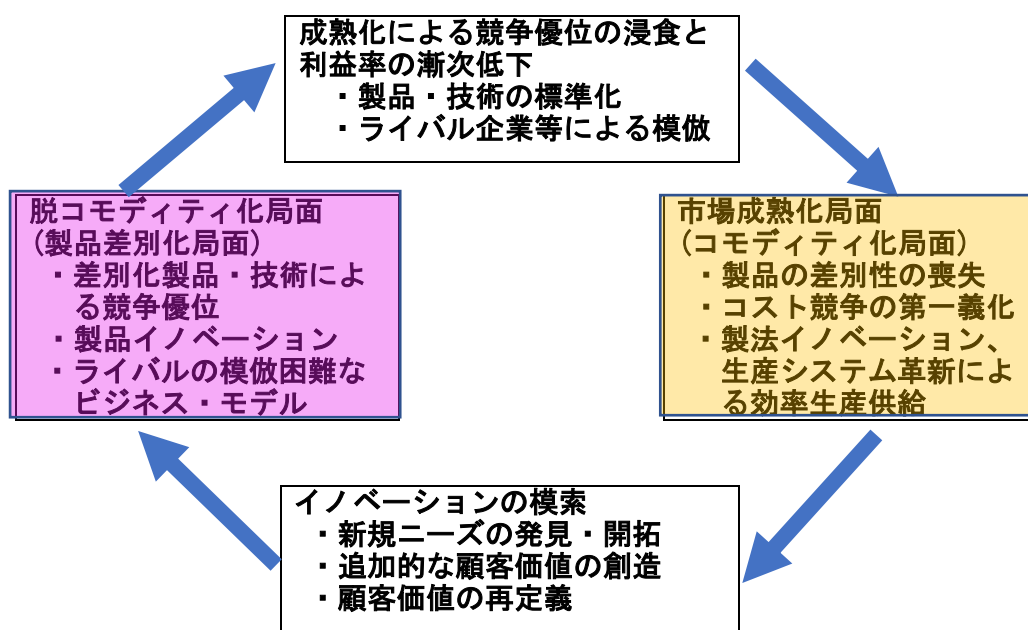
資本財メーカーにおいて、DMG森精機はこれまでのところサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにフルで成功したメーカーであり、冒頭の「製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか」の問に対しては「然り」ということとなる。

2. 製造企業のサービス成長研究における再位置付け

第2章の先行研究レビューで示したように、製造企業のサービス化は Vandermerwe and Rada(1988)以来、市場成熟期の製造企業の戦略的対応とされてきたが、製造企業のサービス化を通じた脱市場成熟化は製造企業のサービス成長研究で位置づけが曖昧なまま放置されてきた。

そこで、本論は第2章において Matthyssens and Vandembemt(2008)の市場成熟化と脱成熟化の循環モデルに立ち、製造企業のサービス化を脱コモディティ化のツールとして捉え直し、コモディティ化局面では、革新的なニーズは市場に潜在しており認識・把握が困難となっているが、Wise and Baumgartner(1999)等の指摘するように、製造企業はサービス化を通じて顧客の事業プロセスに関与し、顧客と協働して課題解決に取り組む過程で得た製品アイデア、知見・ノウハウを製品イノベーションに活かすことでコモディティ化を打破できると考えた。

前掲図1 市場成熟化と脱成熟化の循環プロセス



(出所) Matthyssens and Vanddenbempt(2008)に基づき筆者作成

そして、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは、これまで製造企業のサービス成長研究ではあまり議論のなされてこなかったため、製造企業のサ

サービス化における位置付けも明確でなかったことから、本論では、市場誘導型イノベーションのツールとしてのサービス化を脱市場成熟化プロセスに係る局面に属し、新たな製品開発と市場開拓を目指すものとしてマーケティング便益に整理。前掲表3のように市場誘導型イノベーションのツールとしてのサービス化を位置づけた。

再掲表3 製造企業のサービス化の意義・効果

“Good dominant logic”に基づく製造事業の強化			脱製造事業
	経済的便益	戦略的便益	マーケティング便益
市場成熟期	製品付随サービスの有償化による新たな収益源の確保	販売・提供方法の差別化(サービス付加)による成熟化製品の引合い確保	消費者・ユーザの製品からサービスへの需要シフトへの対応
	景気変動に左右されない安定収益の確保	製品と組み合わせとなる純正部品やサービスの魅力や製品との不可分性による顧客の囲い込み	顧客ロイヤルティ獲得による引合い確保
脱成熟化			顧客との関係緊密化により、顧客ニーズを深く理解し、それを製品開発にフィードバックすることで市場誘導型イノベーション

(出所)筆者作成 (注) 部分が新機軸

3. 市場誘導型イノベーションと戦略的意思決定

(1) 製造企業のサービス化への懐疑的姿勢

製造企業のサービス化が脱コモディティ化のツールたり得るか。この問に対する本論の回答は上述のとおり Yes である。先行研究の再整理により、表3のとおりサービス化を脱コモディティ化のツールとして再規定もした。

総合工作機械メーカーでは、DMG森精機、オークマは工場生産高効率化ソリューションを本格的ビジネスに立ち上げ、ソリューションと製品事業をイノベーション・サイクル化することに成功しているが、革新的企業として名高いヤマザキマザックがソリューション・ビジネスから撤退して工作機械中心ビジネスに回帰したように、製造企業においては、依然としてサービス化を通じた市場誘導型イノベーションについては懐疑的な姿勢が強い。

こうした中、製造企業がサービス化に組織的にコミットメントし、コモディティ化を打破できる、革新的な製品アイデアを顧客との協働の中から発見しようという試みには組織的な抵抗感は大きい。例えば、工作機械メーカーであれば、自動車・航空

機・資源等の高付加価値製品の大口顧客をターゲットとした営業展開の方が商いの規模も大きく収益率も高いにもかかわらず、売上・利益率も小さな中堅・中小メーカーを相手として、製造企業の本来的な業務、少なくともコア業務でなかったソリューションに営業部門が取り組まなければならないとしたら、組織が円滑に機能しなくなるかもしれない。

製造企業のサービス化には強いリーダーシップが必要である。工作機械メーカーは”Smart Factory”を契機として工作機械ビジネスを革新するに当たり、”Service Paradox”に終わるのではないかという疑念を克服し、一定程度の成果が得られるまでサービス化にコミットメントしなければならない。そのためには、企業としての堅固な意思決定が必要であり、トップ経営者の強い意志とコミットメントが要る。例えば、オークマでは、工場生産高効率化ソリューションのビジネス化を着想し、同ソリューションを工作機械開発製造ビジネスとリンクしてイノベーション・サイクルの確立に至るには、花木義麿社長、家城淳専務（FAシステム本部長）（いずれも当時）等経営トップの決断と支持が必要だった。DMG森精機では、1990年代末以降、同社を内需依存型の標準機メーカーからグローバル市場で闘う先進メーカーに変革してきたのはひとえに森雅彦社長の手腕と指導力であり、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいても同様であった。

(2) 戦略的意思決定

① IDECケースより得られる命題

第2章の先行研究レビューでは重要な要素として扱われていなかったが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成否に「戦略的意思決定」が相当程度影響することが、第3章のIDECの探索研究により判った。

サービス化を通じた市場誘導型イノベーションが不発に終わった1990年代末と2000年代半の取組は「戦略的意思決定」が曖昧であり定まってないのに対し、「人と機械の隔離」から「人と機械の協働」への産業安全のパラダイム・シフトに対応して、ソリューション提供を通してユーザのニーズとその動向を把握し、ソリューション協働過程で得られたアイデア等をすべて製品イノベーションに活用するという戦略的意思決定がなされた2010年の取組は着実に成果を挙げ続けている。

前項(1)において、製造企業のサービス化、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、トップ経営者の意思とコミットメントが重要な意味を有するとしたが、「戦略的意思決定」はまさにトップ経営者の意思とコミットメントの反映である。そこで、IDECの探索研究から「製造企業はサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関して、企業戦略における位置付けと目的を明確化する必要があ

る」を命題として仮定できるが、これは工作機械メーカーの” Smart Factory” を契機としたビジネス革新でも通用するかを第2部の事例研究では見た。

部分再掲表6 IDECのサービス化の成否に係る要因と各年代の取組状況

	1990年代末の既存制御機器・装置事業への梃子入れ	2000年代半のセル生産システムのロボット化関連	2010年代半以降の「人と機械の協働」環境における安全関連
市場成熟期における製造企業のサービス化の戦略的位置付け及び目的の明確化	市場成熟期の収益貢献なのか、脱成熟化に向けた戦略なのか曖昧	ソリューション・ビジネス創造によるサービス・プロバイダ化か、差別化製品の開発による製造企業の脱成熟化なのか、目的が曖昧。自社のコア事業領域とは無縁のFA、ロボット・システムで競合。	ロボット革命により製造現場の安全にパラダイム・シフト発生。「人と機械の協働」に基づく安全ソリューションに対応した差別化製品の開発により新規事業分野を開拓し、新たな競争優位を確立。

(出所)筆者作成

②ヤマザキマザックと他2社の対応を分けた戦略的意思決定

第7～9章で分析したように、総合工作機械メーカー3社の” Smart Factory” を契機として工作機械ビジネス革新において、伝統的な工作機械中心ビジネスを堅持するか、工作機械中心ビジネスを離れて、OT企業等による” Smart Factory” 化ソリューションと補完的關係にある工場生産高効率化ソリューションをビジネス化し、同ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに取り組むかの選択は、総合工作機械メーカー各社の戦略的意思決定が左右した。

ヤマザキマザックは“Smart Factory” ロードマップをいち早く作成した先覚者だが、サービス化を通じた新規事業創造には懐疑的であり、従前と同じく、製造事業者を本分として、工作機械・工作機械システムの開発製造を中核事業として、工場IoT化に対応したスマート・マシンの開発製造に注力する立場を採った。” Smart Factory” 関連ソリューションは2000年以降のソリューション・ビジネスの延長上にあり、工作機械ビジネスの変化を把握するための偵察的関与に過ぎず、ほとんどの事務を外部システム・インテグレータにアウトソースしている。

これに対し、オークマ、DMG森精機は” Smart Factory” の次世代製造システム標準化に対しては、OT企業等による” Smart Factory” 化ソリューションに対抗して工場生産高効率化ソリューションをビジネス化する必要性を認識しており、次世代製造システム標準に最適化された工作機械及び同システムの開発製造と工場生産高効率化ソリューションをイノベーション・サイクル化するビジネス革新を構想した。

さらに、後発メーカーからオークマ等に急速なキャッチアップを遂げてきたDMG森精機は、工作機械ビジネスのパラダイム・シフトへの対応に手を抜かず、ソリューション担当の独立専任機関を設置し、顧客との協創プラットフォームを設けることにより、顧客との長期的協働関係の構築を加速化した。製品イノベーション段階からライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルの確立に向けて、ソリューションのモジュ

ール化等に取り組んでいる。

一方、オークマは技術的優位性により高付加価値機の大口顧客を確保してきた余裕もあり、市場誘導型イノベーションの第1段階に在ってイノベーション・サイクルを確立したものの、ソリューション実施体制整備が難航、イノベーション・サイクルの回転を加速化できずにいるが、それでも市場誘導型イノベーションを断念せずに取組を継続している。

表 31 総合工作機械メーカー3社の戦略的意思決定

ヤマザキマザック	オークマ	DMG森精機
<p>“Smart Factory”ロードマップをいち早く作成した先覚者だが、サービス化を通じた新規事業創造には懐疑的。</p> <p>従前と同じく、製造事業者を本分として、工作機械・工作機械システムの開発製造を中核事業として、工場IoT化に対応したスマート・マシンの開発製造に注力。</p> <p>顧客の範囲が、高付加価値部門の大口顧客から拡張したが、“Smart Factory”関連ビジネスは2000年以降のソリューション・ビジネスの延長線上にあり、市場誘導型イノベーションとして期待は弱し。</p> <p>“Smart Factory”ビジネスを新たな収益の柱とするべく新規次行創造に取り組むのではなく、工場IoT化に伴う工作機械ビジネスの変化を把握し続けるため、偵察的に“Smart Factory”ビジネスに関与。</p>	<p>高付加価値化とグローバル生産による需要確保及び開拓が基本(中国市場販売が成長の原動力)。</p> <p>従来、高付加価値セグメントにおいて自動車等の大口顧客の引合い確保のために、ソリューション・ビジネスを展開。</p> <p>グローバル製造企業に限らず中堅・中小メーカーの“Smart Factory”ビジネスの成長可能性を認め、2000年代以降の自社工場の生産改革・スマート化の経験・ノウハウを活かして事業化に挑戦。</p> <p>市場誘導型イノベーションの第1段階(サービス化→製品イノベーション)にて“Smart Factory”ビジネスの事業化模索。</p> <p>ライバル企業が模倣ないし参入困難なビジネス・モデルを如何に構築するかまでは問題意識は進まず。</p>	<p>DMG森精機は、1999年以降先進メーカーのM&AによりNC装置、複合加工機等高付加価値製品の開発能力を獲得、事業領域を標準機から高付加価値セグメントに拡張するなど、新規事業分野への進出により成長を達成。</p> <p>その一環として、2000年代末以降、「世界の工場」化した中国等新興国市場の台頭に対応してグローバル生産・販売・サービス体制を確立すべく、独DMGと企業提携・経営統合。同社はIndudrie4.0に対応し工作機械ビジネスを変革、新規事業創造に挑戦。</p> <p>DMG森精機のサービス化を通じた脱コモディティ化戦略に上記2点が大きく影響。高付加価値機、グローバル展開により世界市場でシェア獲得を図りつつ、工場IoT化の「波」に乗り“Smart Factory”に係る生産システム関連ビジネスにおいてOT、IT、ソフトウェア企業等と協調・独立できる事業領域を確立し、次世代製造システム・ビジネスでの橋頭堡を築く。</p> <p>市場シェアを意識した事業展開は“Smart Factory”ビジネスにも通貫。標準化とモジュール化により規模の経済、効率性追求と多様性の確保。工程集約、生産ライン再構築サービスによる事業領域の囲い込み。</p>

(出所) 筆者作成

(注) 総合工作機械メーカー3社が、工場生産高効率化ソリューションと同ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに対するコミットメントが戦略的意思決定の相違により異なることとなったかの観点から第7～9章に基づき整理。

なお、IDECの探索研究では、資本財メーカーが戦略的意思決定を下す場合に意思決定に影響する要因を抽出することはできなかったが、第2部のヤマザキマザックの事例分析からは「市場成長期待」「製品開発・事業拡大の可能性」「緊急の対応とビジネス化を要求する脅威(の存在)」「優先課題の存在、独自課題としての認識有無」が意思決定に係る要因として抽出でき、オークマ、DMG森精機にも、意思決定に影響する要因として適用してみたところ、総合工作機械メーカー各社の戦略的意思決定が4要因で概ね説明できるものと考えられる。

第11章 市場誘導型イノベーションとユーザ・イノベーション

1. イノベーション・サイクルの高速回転と3要件

第11章では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関し設定した問題のうち、「(iii)顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのか」を取り扱う。

第2章の先行研究レビューでは、ソリューション・イノベーションに関する研究から「顧客との長期的なリレーショナルな協働関係の構築」、「顧客との協創プラットフォームの制度的手当て」、「サービス化を専管する独立専任機関の設置」が製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの成否に影響する条件たり得ることが分かり、第3章のIDECに関する探索研究において検証したところ、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションが不発に終わった1990年代末及び2000年代半の取組と、「人と機械の協働」安全へのパラダイム・シフトに対応し市場誘導型イノベーションが成功した2010年代の取組では、後者は3要件が完備していることが判明した。

そこで、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて、下記3命題が顧客関係の緊密化と、ソリューションと製品事業のイノベーション・サイクル確立に向けたプロセスにおいて如何なる意義を持つのか、これらの命題は相互に如何なる関係にたつのか。第2部の工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とする市場誘導型イノベーションにおいて検証すると、オークマとDMG森精機の間で有意な違いが存在することが分かった。

製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションでは、製造企業は顧客とソリューションを協働することで得られたアイデア、知見・ノウハウを活用して製品イノベーションを起こすことから、オークマにせよDMG森精機にせよ「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」が重要となる。そして「製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む『プラットフォーム』の制度的手当て」、「顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置」は、それらが有ると無いとで「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」に雲泥の差が生まれる。

すなわち、オークマでは、工場生産高効率化ソリューションに投入できる人的資源の制約から、営業部門と技術部門が責任の所在を曖昧としたままソリューション・ビジネスを分担して実施しており、顧客開拓・ソリューション提供・アフターサービス等があるべき姿と比べた場合に十分とは言い難く、「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係」の構築は緩慢であるきらいは否めない。また、顧客との長期協働の場としてIDECの「協調ロボットテクニカルセンタ」の如きプラットフォームが存在していないため、工場生産高効率化に意欲ある顧客、工場生産高効率化に関する先鋭的なアイデアを有し具体化することを望む顧客と協働関係を深める機を逸している。

これに対して、DMG森精機では、エンジニアリング部門を工場生産高効率化ソリューション担当とし工場生産高効率化ソリューションの責任組織とするとともに、自社エンジニアリング陣だけでは、工場生産高効率化ソリューションへの引合いに対応できないことから、ライン・ビルダーの業界団体であるFA・ロボットシステム・インテグレータ協会に加盟し、外部インテグレータの活用を図っている。また、顧客との協創プラットフォームとして、主力工場である伊賀事業所をゼロ・ベースに近い形で再構築し、システム・インテグレーション専用工場を用意。そこでは同時に複数顧客の生産ラインの仮組立ができるだけでなく、顧客と協働して生産ラインの高効率化のアイデアを試作するなど可能である。

第2期(2018年以降)、オークマとDMG森精機はともにソリューションと製品ビジネスのイノベーション・サイクル化を実現したが、ソリューション・ビジネスの推進主体があり、当該主体が顧客と工場生産高効率化について試作も含めて協創する場のあるDMG森精機はイノベーション・サイクルをオークマよりも高速で回転させることができ、自動化・工程集約などの工場生産高効率化メニューを製品・ソリューションとともに速いテンポで拡充させるのに成功している。

2. ユーザ・イノベーションの観点からの考察

Wise and Baumgartner (1999)等は、製造企業が”Go downstream”により顧客の事業プロセスに関与し、顧客と協働して課題解決に取り組む過程で、市場に潜在する製品ニーズや革新的な製品アイデアを発掘・発見し、コモディティ化を打破するイノベーションを起こすことを提言した。これは「製造企業のサービス化」の文脈からなされたものであるが、製造企業がイノベーションのアイデアを製品・技術のユーザ等企業との協業等を通じて企業外部より獲得する点において、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは1990年代以降、急速に研究が進んだユーザ・イノベーションに属するものであり、ユーザ・イノベーションの観点から考察することで、その意義・課題等が明瞭になると考えられる。そこで、本項では、ユーザ・イノベーション研究の観点から3命題について考える。

命題3	製造企業はサービスを通じた市場誘導型イノベーションにおいて、まず顧客との長期協働関係の構築が必要となる。
命題4	製造企業は顧客との協働本格化にあたり活動の組織化・継続化、経営資源の統合補完のために、顧客との協働の制度的プラットフォームを構築する必要がある。
命題5	製造企業は市場誘導型イノベーション本格化のため、本務として、サービス提供を通じて顧客と緊密な関係を築き、顧客と協働して製品とサービスの組合せによる課題解決を行う独立専任組織が必要である。

(1) 知識移転に向けた体制整備と経営者のリーダーシップ

ユーザ・イノベーションでは、特にリード・ユーザを活用したイノベーションにおいて、ユーザと製造企業の間での知識移転が問題となる。第4章ではIDECの事例により考察したが、総合工作機械メーカーの取り組む工場生産高効率化ソリューションは”Incremental Innovation”を基本としており、技術力・イノベーションの面で製造企業に対抗でき、自らイノベーション主体とならんとするリード・ユーザ的存在は多くないが、自社工場の生産高効率化のみに関心を有して、広く製造企業一般の視点で工場生産高効率化を考えて対外発信できる者が少ないため、ユーザを如何に組織化し、工場生産高効率化について顧客から「学ぶ」かが問題となる。

形式としてリード・ユーザ法のように全社プロジェクトの形を採るか否かを問わず、①ユーザが如何なる課題を抱え、課題解決に向けて如何なる取組を行っているかを顧客より聴き出し、②一般ユーザとは異なる独自のアイデアにより問題解決している「尖った」顧客に対して、平均的アプローチからの乖離を否定的に捉えず、ソリューションとして何を目指しているのかを理解しようとし、③先進的企業を含めた他社の取組と比較しつつ、「尖った」顧客のソリューションが顧客に特有のものか、あるいは、顧客の属する製造分野の同業他社にも通用するものかを見極め、そこから一般的に適用するソリューションを抽出する「態度」「文化」を育成し実行して行くことがユーザ・イノベーションでは求められるが、これは「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」を具体化したものに他ならない。

ユーザ・イノベーション研究は、特定のプロジェクト・チームのみが「顧客に学ぶ」という「文化」を有するだけではなく、社内で文化が共有され理解されることが必要であるとする。企業文化の革新には経営陣の強い意志とコミットメントが不可欠であるが、第1部で見たように、製造企業のサービス成長研究及びIDECの探索研究は、市場誘導型イノベーションの成功は「戦略的意思決定」に基づくコミットメントに負うところが大きいとする。

第2部の工作機械メーカーの事例研究においても、工作機械メーカーがソリューションを通じて顧客工場の生産高効率化に取り組む過程で、製品アイデア等を「顧客に学ぶ」には、経営陣のリーダーシップの下に企業文化も変革し社内体制も整える必要があり、オークマ、DMG森精機はトップ経営陣の決断と指導が企業文化変革と社内体制改革を可能とした。

(2) ユーザ組織化

”Incremental Innovation”において、製造企業はユーザと協働するに当たり如何なる仕掛けが必要となるのか。ユーザ・イノベーションを行う製造企業はユーザを組織化し、ユーザによる自社製品の利活用をきめ細かく把握し、そこから潜在する課

題・ニーズを発掘・発見しなければならない。” Incremental Innovation” は一回的なものではなく、長期継続に技術革新に取り組み、一步一步、漸進的に成果を上げていくものであり、ユーザを恒常的に組織し協働する必要がある。

第4章で論じたように、リード・ユーザはイノベーション志向が強く、製造企業から独立して製品試作にも取り組む存在であるが、工作機械メーカーが組織化するユーザは、自社工場の生産高効率化には関心があっても、仮に、革新的な工場生産高効率化に関するアイデアを着想したり自社工場で実装したりしていても、それを対外公表したりビジネス化したりすることは意に介さない。そもそもユーザは自己の現時点における利活用と切り離して、製品をユーザ全般ないしメーカーの観点から捉えることができず、イノベティブなアイデアをイノベティブなものとして表現・伝達できないことが少なくない。

このため、製造企業が原石状態にあるユーザのアイデア等をイノベーションの卵として認識できるが勝負となる。ユーザが製品をユーザ全般の観点から捉えられず、アイデアの革新性を表現・伝達できないならば、製造企業はそのユーザの限界を時には補い、時には是さなくてはならない。そのためにはユーザとの緊密な関係が前提となるが、工作機械メーカーは工作機械の発注があった時のみ顧客とコンタクトを取るのではなく、定期的に工作機械システムの稼働・活用状況を訊き、不具合検査、システムの更なる高効率化提案など顧客工場を長期継続的にサポートしなければならない。

ただし、工作機械メーカーには、工場生産高効率化ソリューションの改善のため、ユーザから(顧客工場固有の事情により特殊化していても)工場生産高効率化のアイデアを学ぶ必要(用意)がある一方で、ユーザは自社工場の生産高効率化を達成できれば足り、自社の内情を外部とシェアする動機に乏しい(自社の競争力の源である製造現場のレシピを公開することは愚行)。このギャップをどのように埋めればよいだろうか。

リード・ユーザ法に基づくプロジェクト方式なり、ユーザ・コミュニティなりは有効か。自社のソリューションを対外公表したり、共同でソリューション開発したりすることに熱意の乏しいユーザは、イノベーションを目的とするプロジェクトを設立しても参画は期待できず、ユーザ・コミュニティにも組織化できない。知を共有し、知を協創していこうという考えがない以上、自発的な参加を前提とするイノベーションのための組織には成立余地がない。

(3) 協創プラットフォーム

プロジェクト方式、ユーザ・コミュニティのいずれも、工場生産高効率化ソリューションに関するユーザの組織化に有効でないとすれば、製造企業がユーザを組織化しイノベーションに向けて協働して行くには、他に如何なる仕掛けがあるのか。

I D E Cはソリューションの独立専任機関である I D E Cファクトリーソリューシ

ヨンズを発足後、顧客との協働の場である「協調安全ロボットテクニカルセンター」を設立。IDECファクトリーソリューションズが同センターを産業安全システムの革新に関心のある顧客の組織化のために活用し、顧客との協働関係の更なる緊密化と産業安全ソリューション開発のためのツールとしている。先行研究では、プラットフォームはソリューション・イノベーションに係る成功条件として指定されたものであるが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて、顧客を組織化し、イノベーションに向けて協働して行く仕掛けたり得ることが示唆された。

ユーザ・イノベーションでは、製造企業とユーザとの「協創(co-creation)」がイノベーションの培養器とされるが(Lettl 2007)、「協創」は関係者から自発的に生まれてくるものではない。このためプロジェクト方式等の工夫がされてきたが、近年のIT技術の急速な発展より、Rayna et al. (2015)が事例研究した3Dプリンティングにおけるメーカー、ユーザ等のようにインターネット上のプラットフォームを「協創」の場とし、従来は単に製品を利活用するだけでしかなかったユーザが製品開発にも参画できる仕掛けを構築することで、ユーザ・イノベーションを実現している²⁰⁷。

IDECとRayna et al. (2015)の3Dプリンティングでは、プラットフォームと言ってもリアル・ワールドとインターネット・ワールドの違いがあるが、両者に共通しているのは、①関係者の参入・退出の自由が許され、関与の程度を義務化せず自由に調整できる、②自己の関心・テーマに絞って参加し、情報収集・コンサルテーション、製品購入・発注、製品試作等を選び行うことができる点にある。DMG森精機が伊賀事業所等に設置したライン・ビルド専用工場は、複数の大規模ライン・ビルド案件を取り組む場であるだけでなく、自社の工場生産高効率化についてアイデアや疑問を有する顧客が来訪して情報収集・コンサルテーションを受けたり、DMG森精機の製品を用いて生産ラインを試作したりすることが可能となっている。

リード・ユーザ法に基づくプロジェクト方式なり、ユーザ・コミュニティなりに参加しようとする顧客は自らがイノベーション主体になる意思と気概を有する者が少な

²⁰⁷ Rayna et al. (2015)によれば、3Dプリンティングの産業実装がスタートした2010年代前半において、同技術の潜在的可能性を開拓する上で3Dプリンタ製造企業とユーザの「協創」が不可欠となったものの、製造企業とユーザが協創しようにも市場に散在して相互に認知やコンタクトのない状況が存在。そこで、製造企業はユーザ等との「協創」の場として、インターネットを活用したデジタル・プラットフォームを構築。ユーザ等がインターネットでプラットフォームにアクセスし、3Dプリンティングに関する情報を得たり、3Dプリンタ及び加工材料の購入に始まり3Dプリンティングの代行委託、3Dプリンティングの加工物のデザイン委託等を行え、さらには3Dプリンティング関連企業等とネットワーキングできる「場」を提供。その結果、3Dプリンティング産業では、2010年代前半以降、ユーザ主導で3Dプリンティングの機能・用途の開拓、異業種企業の連携によるサービスの開発等が急速に進み、産業界全体でイノベーションが急進したと結論している。その上で、Rayna et al. (2015)は、デジタル・プラットフォームであるか否かを問わず、ユーザ・イノベーションにはユーザが参画して新技術を実見して試用したり、新しい製品・サービスの開発を共同できる「プラットフォーム」が必要であり、特に、インターネットを活用したユーザ・イノベーションを目指す製造企業はユーザを協創に向けて組織するツールとしてプラットフォームを構築すべしとした。

くないが、通常のユーザは自社のソリューションを対外公開したり、共同でソリューション開発したりすることに慎重である。そうした顧客を「協創」に巻き込む上で、Rayna et al. (2015)の3Dプリンティング・プラットフォームの長所が活きる。①の「参入・退出の自由」「関与の程度」の調整可能性は、自社の創意工夫を他社とシェアするのに慎重な通常ユーザには不可欠であり、②の「自己の関心・テーマに絞った」参加、「情報収集・コンサルテーション、製品購入・発注、製品試作等」から、現在の自社の関心・ニーズにマッチした活動を選べることも、元々、製造企業と協働でソリューション開発を行うインセンティブを持たない通常ユーザの巻き込みには重要である。

DMG森精機のライン・ビルド専用工場では、生産ラインの高効率化について見学したり、自らのアイデアをDMG森精機のエンジニアとコンサルテーションしつつ試作したりできるだけでなく、同一敷地内にあるDMGのショールームに行けば加工機だけでなく生産ラインを構成するのに必要な装置を一式試すこともでき、自動化・工程集約のメニューも学習できるようになっている。ユーザとしてはライン・ビルド専用工場を訪問するのに一定の時間をかけても、トータルで時間を有効活用できる。参加者の自発性と契約等に縛られない自由な創意工夫が実りをもたらすプラットフォームでは、一面では「楽しさ」も必要であるが、DMG森精機はその点も配慮している。

(4) ユーザ組織化、協創プラットフォーム、独立専任機関の関係

ユーザ・イノベーション研究においても、プラットフォームがユーザ組織化等の観点から如何なる意義・機能を果たすか等についての研究蓄積はスタートしたばかりであり、今後、インターネット・プラットフォームがユーザ・イノベーションに果たす役割・機能等に関する研究が進むことが期待される。Rayna et al. (2015)は一事例研究であるが、同研究の示したデジタル・プラットフォームによるユーザの組織化は、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいても有効なツールではないかと考えるが、現在、DMG森精機及びIDECが顧客に提供しているプラットフォームはリアル・ワードにおける「協創プラットフォーム」である。ただし、デジタル・プラットフォームと同様に、①関係者の参入・退出の自由が許され、関与の程度を義務化せず自由に調整できる、②自己の関心・テーマに絞って参加し、情報収集・コンサルテーション、製品購入・発注、製品試作等を選び行うことができる点は保証されている。

ユーザ・イノベーションの観点から「製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション」を考えてきたが、顧客との協働関係の構築、顧客との協働関係の構築を加速化するユーザの組織化、ユーザの組織化ツールとしての協創プラットフォームはすべて相互連関する「連鎖」「繋がった鎖の輪」であり、経営トップの市場誘導型イノベーションに対する意思決定とコミットメントを受けて、独立専任機関が全社的サポートを受けて顧客との協働関係の構築を加速し、協創プラットフォームを活用して

顧客ユーザの組織化と顧客との協働の内容を深化させることに成功できた製造企業がサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを遣り遂げることができるのではないだろうか。

2事例ながら、DMG森精機及びIDECのケースは、ヤマザキマザック、オークマと対比することで、先行研究レビューより抽出した、仮の命題3～5の通用性を確認するに足りるものであり、ソリューション・ビジネスの責任主体である独立専任組織がコアとなって、協創プラットフォームを運営し、顧客の組織化を進めることが製品イノベーションの成功にとり重要であることを示している。

DMG森精機及びIDECのアプローチの違いは、社内にロボット・システム・インテグレーションに要する経営資源・能力を欠いたIDECの場合は外部専門機関の企業買収により独立専任機関の経営資源・能力を補完したのに対し、自らも製造企業として工場生産高効率化に関する経営資源・能力を有するDMG森精機の場合は自社のエンジニアリング部隊にライン・ビルドの経験を積ませ、彼等を独立専任機関化するアプローチを採った点である。

本研究は探索研究を含めれば工作機械メーカー及び安全関連制御装置メーカーを対象としたものであるが、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて、第1段階の製品イノベーションの成否を左右する「独立専任機関」については、ソリューション・ビジネスに係る経営資源・能力の確保・蓄積については「内部蓄積型」と「M&A型」に分類することができるのではないだろうか。

命題3	製造企業はサービスを通じた市場誘導型イノベーションにおいて、まず顧客との長期協働関係の構築が必要となる。
命題4	製造企業は顧客との協働本格化にあたり活動の組織化・継続化、経営資源の統合補完のために、顧客との協働の制度的プラットフォームを構築する必要がある。
命題5	製造企業は市場誘導型イノベーション本格化のため、本務として、サービス提供を通じて顧客と緊密な関係を築き、顧客と協働して製品とサービスの組合せによる課題解決を行う独立専任組織が必要である。

第12章 2段階の市場誘導型イノベーション

1. ライバル企業の模倣防止

本論では、製造企業のサービス成長研究において等閑視されてきた、(i)製造企業はそもそもサービス化を通じて、イノベーションにより差別化能力を回復し、市場成熟化を打破できるのか、(ii)製造企業はサービス化を通じて、どのようにイノベーションを起こし差別化能力を回復するのか、(iii)顧客関係の緊密化と顧客との協働は、製造企業のサービス化を通じたイノベーションにおいて、どのような意義と役割を持つのかに関して事例研究した。第10章では(i)、第11章では(iii)を取り扱ったが、第12章では(iii)から立ち返って(ii)の問題について考察する。

製品イノベーションは差別化製品の開発によりコモディティ化状況を打破する力を秘めているが、仮にライバル企業が短期間で同一ないし類似製品の開発に成功してしまえば、どれほど画期的な製品であっても差別化能力を喪失してしまい、開発企業は競争優位を確立することはできない。Wise and Baumgartner (1999)の想定した、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは製品イノベーションだけでなく、ライバル企業の模倣困難なイノベーションである必要があるのではないかと。イノベーションとして、製品イノベーションでは完了せず、ライバル企業の模倣困難なビジネス・イノベーションを第二段階として必要とするのではないだろうか。

この点、先行研究では、市場誘導型イノベーションの2段階モデルを具体的に取り扱った研究は見当たらないが、探索研究で取り扱ったIDECは「人と機械の協働」に基づく顧客工場の安全システム関連ソリューションを通じて市場誘導型イノベーションを実現しようとし、まずは製品イノベーションによりコモディティ化の打破を図り、次いで、革新的な製品・技術による競争優位をライバル企業等の模倣から守るためのビジネス・モデル創造への取組を行っている。

現時点では、IDECは第2段階に着手したばかりであり、ソリューションのモジュール化を視野に入れつつ、顧客ニーズの類型化とそれらに対応した製品ラインアップを最適化する取組をスタートしたに過ぎないが、同社はその取組において、自社製品の組合せにより顧客の多様な(潜在的なものも含め)ニーズにきめ細かく応え、ライバル企業が自社の安全関連ソリューションを簡単には模倣できないようにすることを意図しており、顧客工場の「人と機械の協働」安全関連ソリューションを通じた市場誘導型製品イノベーションは製品イノベーションとライバル企業の模倣防止に向けたビジネス・イノベーションの2段階から成ることを意識していた。

そこで、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは製品イノベーションとビジネス・イノベーションの2段階から成り、第1段階の製品イノベーションでは革新的な製品・技術の創造によるコモディティ化の打破、第2段階のビジネス・イノベーションでは、革新的製品・技術による競争優位をライバル企業等の模倣

から守るためのビジネス・モデルの創造が課題となると考え、以下の3つの命題を想定。その上で、第2部の工作機械メーカーの事例研究で命題の検証を試みた。

命題1	製造企業は、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて、ソリューションと製品開発をサイクル化する製品イノベーション段階と、ライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルを構築するビジネス・イノベーション段階の2段階を経る必要がある。
命題6	製造企業は、顧客ニーズへのカスタマイズと規模の経済を両立すべく、顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化が必要である。
命題7	製造企業はライバル企業の容易な新規参入を防ぐべく、ソリューションの標準化を徹底し、製品の組合せ又はソリューションのモジュール化に取り組むべき。

2. DMG森精機による「ビジネス・イノベーション」

第9章で見たように、DMG森精機は、ソリューション・ビジネスを管掌する独立専任機関の設置、顧客との恒常的な協働を可能とする協創プラットフォームの整備など工場生産高効率化ソリューションの推進実施体制の整備により、イノベーション・サイクルをライバル2社よりも高速で回転させる態勢を整えた。

しかし、イノベーション・サイクル構築は、実力の伯仲する総合工作機械メーカーであれば、いずれの社にも可能であり、オークマ等にイノベーションを巡る競争において、いつ何時に追いつかれるかは全く予断を許さない。競争に勝つには、いち早く工場生産高効率化ソリューションを本格的ビジネスとして立ち上げ、ビジネス立ち上げ後はイノベーション・サイクルをライバル企業よりも絶えず高速で回転し続けるしかないが、そのためのビジネス・モデルはないだろうか。

この点、DMG森精機は「ソリューションの標準化・モジュール化」を採用した。正確には「顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化」が先行し、その取組が「ソリューションの標準化・モジュール化」に発展解消されている。”Smart Factory”がコンセプト段階に留まり、工作機械メーカーも含め”Smart Factory”の基本機能・システム構成を模索していた第1期(2014~2017年)、その前半にDMG森精機は自動化システムについて顧客ニーズに応じた類型化を行い、各類型に応じて最適化された製品ラインアップを整え、その拡充に努めてきた。この取組を土台として、第1期後半以降、同社はソリューションの標準化を更に深化させ、システムをモジュール化し、モジュールの組合せにより広範な顧客ニーズに柔軟に対応するMARTRISを開発している。

「顧客ニーズの類型化、それに対応した製品ラインアップの最適化」については、オークマも”Smart Factory”ビジネスを進める上で、部品加工専業と部品加工・組立一貫のバターン化によりソリューションの効率提供を図ろうとした。しかしながら、オークマ・マシンの主要ユーザである中小部品メーカーと中堅モジュール・メー

カー²⁰⁸に即した、部品加工専用ラインと部品加工・一貫組立ラインのカテゴリ分類は工場生産高効率化ソリューションの分類としてはやや粗であり、多様な顧客ニーズに応えるべく製品ラインアップを整理し体系化する基準とはならなかった。その結果、オークマは必ずしも顧客ニーズをパターン化できたとはいえず、ソリューションを「一品作り」に近い形で提供せざるを得ないでいる。

これに対し、DMG森精機は、多様な顧客への対応の問題を標準化とモジュール化で克服。第1期(2014~2017年)後半、システムをモジュール化し、モジュールの組合せにより広範な顧客ニーズに柔軟に応えるM A T R I Sを開発、第2期(2018年以降)から本格的なソリューション提供に活用した結果、「一品作り」的なカスタマイズに代わり、モジュールの組合せで顧客ニーズに応じた多様なソリューション提供が可能となるとともに、顧客工場においてシステム・インテグレーションに要する時間の短期化に成功する(顧客は生産ラインの停止・運休期間の短期化により大いに裨益)。

また、モジュール化は標準化により工場生産高効率化に要するコストを抑えることが可能であり、DMG森精機はモジュールの組合せにより、千差万別な顧客ニーズに対応して可能な限り工場生産高効率化ソリューションをカスタマイズするだけでなく、ソリューション提供に要するコストを削減、ライバル企業に対して優位に立った。加えて、モジュールをベースとしてソリューション及び製品を開発することで、新しい顧客ニーズに対応して、迅速なソリューション・製品開発が可能となり、ライバル企業よりもイノベーション・サイクルを迅速に回転することが可能となった。

以上のように、DMG森精機では、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションを単なる製品イノベーションで終わらせず、ソリューションの標準化とモジュール化により、千差万別な顧客ニーズにモジュールの組合せできめ細かく対応し(顧客ニーズへの対応力の向上)、かつ、インテグレーションに要する時間とコストを削減して(コスト競争力と供給力)、製品イノベーションで確立したソリューションと製品事業のイノベーション・サイクルをライバル企業より高速回転させ、ライバル企業のキャッチアップと模倣を防ごうとしていることが分かった。

3. I D E CとDMG森精機の事例研究からの帰結

I D E Cの探索研究を踏まえ、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションには2段階あり、第1段階の製品イノベーションによるコモディティ化打破、第2段階の革新的製品・技術による競争優位をライバル企業等の模倣から守るためのビジネス・モデルの創造を想定した。

²⁰⁸ 近年、標準化した部品の組合せにより製品を設計するモジュール化の動きが、擦合せ型といわれる自動車産業でも一般化しているが、モジュール・メーカーとは、自社で内製した部品や部品メーカーより調達した部品を組み立てて、最終製品メーカーが最終製品の製造で用いるモジュールを製造するメーカーのことである。

I D E Cにおいては、「人と機械の協働」に基づく安全関連ソリューションと安全関連製品ビジネスにおける競争優位を維持・強化するため、「顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化」への取組を本格化させ、「製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求」に着手しようとしていたが、DMG森精機においては、工場生産高効率化ソリューションと製品ビジネスのイノベーション・サイクルを高速回転することにより、ライバル企業のキャッチアップを防ぐことを意図して「(自社)製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求」に取り組んでおり、ソリューション・製品のモジュール化は顧客ニーズへのカスタマイズしたキメ細かな対応と「規模の経済」によるコスト削減の両立を可能とし、DMG森精機のソリューション・ビジネスと製品事業の競争力の引上げに貢献することとなった。

したがって、I D E Cの探索研究から推定した2段階モデルは、オークマとDMG森精機の事例比較からはおおむね通用性・妥当性を有すると考えられ、それを踏まえて、第1部で推定した「製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション」に係る7つの命題と、製品イノベーションとビジネス・イノベーションの2段階モデルを組み合わせて整理するならば、以下の整理が可能である。

市場誘導型イノベーション実現に向けた要件	
全過程共通	(命題1) 製品イノベーション、ビジネス・イノベーションの2段階モデル (命題2) 市場誘導型イノベーションの企業戦略における位置付けと目的の明確化
第1段階 (製品イノベーション)	(命題3) 顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築 (命題4) 製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当て
第2段階 (ビジネス・イノベーション)	(命題5) 顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置 (命題6) 顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化 (命題7) 製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求

(出所) 筆者作成

製造企業のサービス成長研究においては、“Go downstream”を唱えたWise and Baumgartner (1999)は、製造企業がバリュー・チェーン川下の顧客の事業プロセスに関与し、顧客の課題解決に協働することにより、新たな製品・ソリューションのニーズやアイデアを発見・認識し、課題解決に関する知見・ノウハウを獲得することで、製品イノベーションを実現できるとしたが、革新的な製品・技術による競争優位を如何に維持するかについては言及がない。ユーザ・イノベーション研究も同様であり、

ユーザをイノベーションの源泉と捉え、ユーザからの革新的なアイデアの移転を取り扱うものの、革新的な製品・技術による競争優位の維持については射程外である。

しかしながら、1970年代後半～1980年代半のApple社の自社クローズド型のPCがIBMによるオープンなIBM互換式PCの前に急速に市場支配力を失い、1990年代に世界で初めて液晶テレビを開発・上市した日本電機メーカーが、基幹部品である液晶パネル、DRAM等での競争優位を維持できず韓国電機メーカーに世界市場から駆逐されたように、革新的製品の発明企業が競争優位を短期間で失うケースは枚挙に事欠かない。

この意味で、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて、革新的な製品・技術の創造でイノベーションを終わらせず、革新的な製品・技術による競争優位を如何に永続化させるかを問うことは重要である。そもそも製造企業のサービス成長研究が製造企業のサービス化によるコモディティ化の打破と競争優位の回復をテーマとしてきた以上、製品イノベーションを受けて革新的な製品・技術による競争優位を如何に維持・強化するかが不可欠の検討課題であると考え。そして、IDEC、総合工作機械メーカーの事例より抽出した上記モデルはこの要請に応えるものであると考える。

4. IDEC及び総合工作機械メーカーの事例研究の射程

ただし、IDEC及び総合工作機械メーカーの事例研究に基づく「製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション」モデルに関して、2段階モデルは直ちに一般化することについては慎重を要するかもしれない。

両者は第一に製造企業の生産ラインのインテグレーションをビジネス領域とし(IDECは産業安全・機械安全の観点から、総合工作機械メーカーは工場生産高効率化の観点から生産ラインをインテグレーション)、第二に、安全関連制御装置又は工作機械の製品単体の提供だけでなく、むしろ自社製品(さらには提携企業の製品も)をシステムとして組み合わせることで顧客価値の実現を図る(IDECは産業安全、総合工作機械メーカーは高効率生産)製造企業である。第2段階のビジネス・イノベーションにおいて、「顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化」「製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求」がかかる製造企業にはライバル企業のキャッチアップを防ぐ手段として親和するかもしれない。

彼等とビジネス領域及びビジネス形態が共通・類似する製造企業等であれば、両者の事例より抽出した「製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション」モデルは適用可能かもしれないが、ビジネス領域及びビジネス形態において共通性を欠く企業には通用するだろうか。第2段階のビジネス・イノベーションにおいて、「顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化」「製品の組合せによる

価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求」に代わり、ライバル企業のキャッチアップなり模倣を防ぐ方法が他にあるのではないだろうか。

I D E C及び総合工作機械メーカーの事例研究の射程が問われる。本論文は製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関する一般的なモデル構築が目標であるが、上記の命題はどの範囲までが通用性を持ち得るのだろうか。

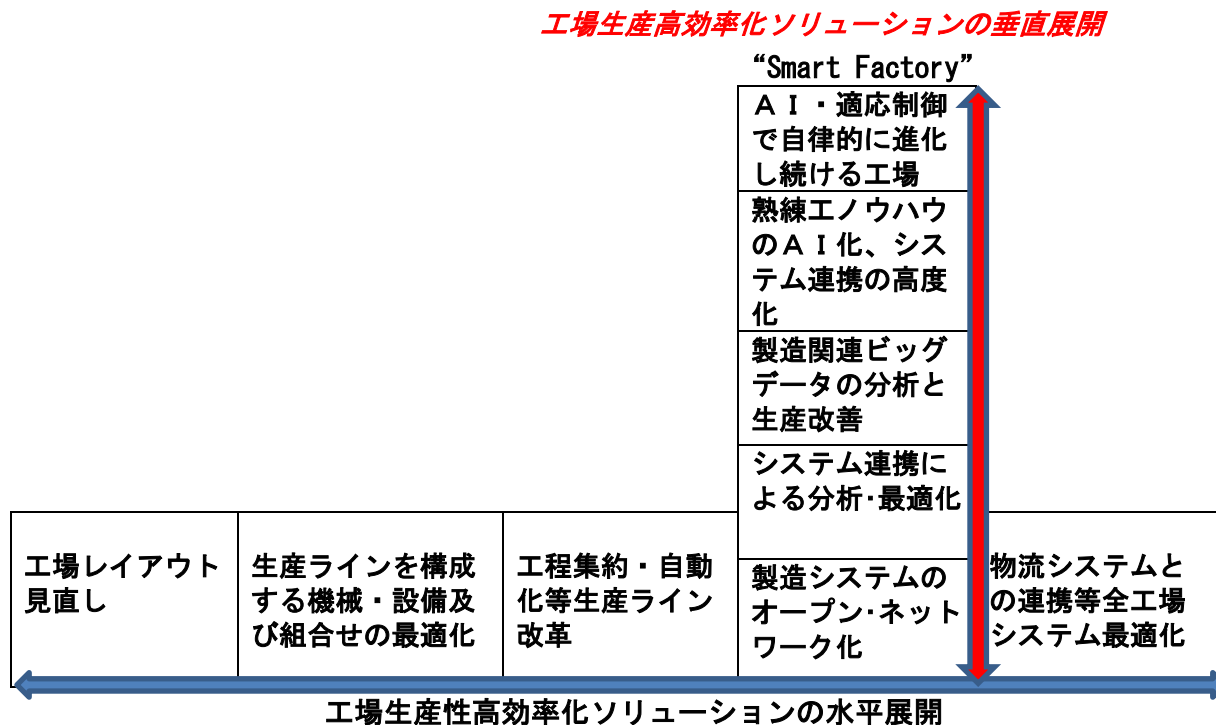
第13章 本論文の射程と今後の課題

1. ”Smart Factory”化ソリューション

第1部において、総合工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機としたビジネス革新を事例研究の対象とする事由について、「IoT革命では、既存製品のカテゴリには存在しない新製品の創造ではなく、既存のコモディティ化した製品をインターネット等情報処理サービスと組み合わせることでイノベーション」を起こそうとしており、「GE、Boeing等のような製品単体のIoT化から、Honeywell等のような自社製品群を組み合わせるシステム単位のIoT化」が主流となりつつある中、工作機械・産業機械・制御装置メーカーがIoT革命のトップランナーとして、自社製品の組合せにより顧客工場の生産ラインの革新を実現しようとしている点を挙げた。

21世紀にIoT革命が経済社会をどこまで変革するかは全く予想が付かないが、IoT革命のトップランナー案件として製造IoT化がある。企業ITシステムによる生産ラインの最適制御を柱とする”Smart Factory”は製造IoT化の根幹を成すものであるが、工場生産高効率化ソリューション(水平方向)は工作機械メーカーが”Smart Factory”ソリューションに対抗して製造IoT化の一翼を担う事業分野として本格ビジネス化したものである(再掲図9)。

再掲図9 工場生産高効率化ソリューションの展開方向

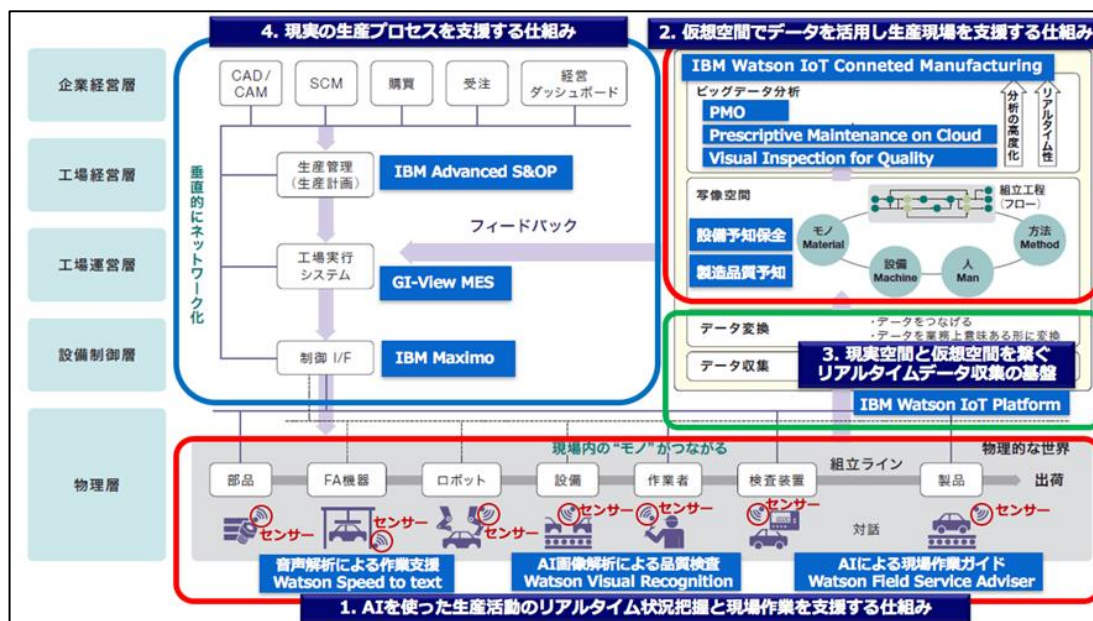


(出所)筆者作成

本論文は工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とするビジネス革新を取り扱ってきたことから、工場生産高効率化ソリューションの垂直展開である”Smart

” Smart Factory” 化ソリューションについては第 6 章で概要を論ずるに止めたが、” Smart Factory” 化ソリューションは工作機械メーカーの工場高効率化ソリューション(水平展開)と多くの共通項を有しており、第一に、製造企業の生産ラインを企業 IT システムとシステム統合することにより、生産ラインの最適制御を図る「生産ラインのインテグレーション」であり、第二に、OT 企業等は制御装置等の単品を提供するだけでなく、(さらには提携企業の製品も)をシステムとして組み合わせることで顧客価値の実現を図っている。

前掲図 13 Smart Factory の IT システムを構成する主要領域



(出所) IBM 資料

2. OT 企業、企業システム関連会社等のソリューション

(1) OT 企業の” Smart Factory” 化ソリューション

OT 企業は、従来、生産ラインを構成する機械・設備向けの制御装置を開発製造し、生産ラインの IT 管理化に対応して、個別機械・設備に実装した制御装置を連携連動させる IT システムを開発提供してきたが、” Smart Factory” においては、生産ラインを構成する機械・設備に PLC 等の制御装置を実装することに加えて、IoT 端末・センサも装着して製造関連データをリアルタイム収集する仕掛けを構築し、生産ラインを構成する機械・設備の制御装置による一体制御を基幹ビジネスにしようとしている(前掲図 13、底部赤枠囲い部分)。

その上で、OT 企業は、PLC を ERP・MES と垂直統合して、市場動向に対応した変種変量生産を可能とするシステムを構築するとともに(図 13 青枠囲い部分)、生産ラインを構成する機械・設備からリアルタイム収集した製造関連データを保存し、AI によるビックデータ解析により生産ラインのカイゼン策を割り出すコンピューテ

イング・システムを、エッジ層において「製造IoTプラットフォーム」として構築することを(図13 緑枠囲い部分)もう一つのソリューションとしようとしている。

このように、OT企業は、自社製品を組み合わせつつ、顧客工場の生産ラインをITシステムと統合し生産高効率化に寄与しようとしている。ただし、企業ITシステムによる生産ライン制御は、単に企業ITシステムと、生産ラインを構成する機械・設備に実装した制御装置・IoT端末等を接続し、システム統合すれば足りるものではない。顧客の製造現場の在り方に応じて、生産ラインの機械・設備の効率的な稼働を実現するITシステムを考案する必要がある。また、製造関連ビックデータのAI解析による結果を生産ラインのカイゼンに役立てるとしても、生産ラインの在り方に知悉せずに製造IoTプラットフォームを開発・インテグレーションできない。

OT企業は、工作機械及び工作機械システムを主力製品とし、顧客工場の生産ライン・インテグレーションにもコミットメントする工作機械メーカーと比べると、顧客工場の製造現場に関する直接的な知識の蓄積で劣り、水平展開の工場生産高効率化ソリューションに関する知見・ノウハウにも欠く。このため、OT企業は、現在、ソリューション提供を通じて顧客の製造現場に関する知識の蓄積を進め、顧客工場の”Smart Factory”化の過程で得たアイデア、知見、ノウハウを活用して、自社ソリューションにおける企業ITシステムによる生産ライン稼働の更なる効率化を図り、製造IoTプラットフォームを顧客工場の生産ラインのカイゼンに資するものに改良しようとしている。これはIDEC、総合工作機械メーカーがソリューション提供を通じて得られたアイデア、知見、ノウハウを製品イノベーションに活用し、更にはソリューションと製品イノベーションをサイクル化したのと同じ取組である。

(2) 企業システム関連会社の”Smart Factory”化ソリューション

”Smart Factory”化ソリューションはITソリューション・プロバイダも大きな役割を果たしている。米Rockwell Automations、仏Dassault Systèmes等の企業システム関連会社は産業オートメーション、ITシステムの製造開発会社であり、生産ライン単位のFA化に重要な役割を果たすMES等を開発し、顧客製造企業の求めに応じて企業ITシステムをカスタマズしてインテグレーションしてきた。彼等には、OT企業のように、生産ラインを構成する機械・設備の制御装置を開発製造する能力はないが、ITシステム・インテグレーション能力を活かして、PLCとMESを連結した生産ライン制御システムを提供してきた。

”Smart Factory”に関し、Rockwell Automations、Dassault Systèmes等はPLCとMESの連結に加えてERPとMESをシステム統合するソリューションを事業化、さらには、生産ラインを構成する機械・設備よりリアルタイム収集した製造関連データを保存し、AIによるビックデータ解析をするエッジ・コンピューティング・システムである「製造IoTプラットフォーム」の開発製造に注力している。前掲図13で

は、彼等は緑枠に囲まれた部分をコア事業領域として” Smart Factory” のシステム・インテグレーションに関与しているが、これはOT企業と事業領域が重複する。

第1期に” Smart Factory” の基本機能・システム構成が明確化されていく過程で、両者の競合関係が顕在化。Rockwell Automations、Dassault Systèmes等は、OT企業のITシステム構築への新規参入の動きに対抗して、独自に製造IoTプラットフォームを開発し、顧客メーカーの製造システムにインテグレートしようとしているが、自らも制御機器メーカーとして、製造現場に関する知見を(工作機械メーカーほどでなくとも)一定程度有するOT企業に比べると、ITソリューション・プロバイダである両社は製造現場に関する知見・ノウハウの蓄積が乏しいことは否めない。

このため、両社はこれまでMESビジネスを通じて蓄積してきた製造現場や顧客工場の生産ライン制御に関する知見・ノウハウをベースとして、現在、ソリューション提供を通じて顧客の製造現場に関する知識の蓄積を進め、顧客工場の” Smart Factory” 化の過程で得たアイデア、知見、ノウハウを活用して、自社ソリューションにおける企業ITシステムによる生産ライン稼働の更なる効率化を図り、製造IoTプラットフォームを顧客工場の生産ラインのカイゼンに資するものに改良しようとしている。さらには、自社の知見・ノウハウの不足を補完するため、OT企業、水平方向の工場生産高効率化に関連して生産ラインのインテグレーションを行うライン・ビルダー等と企業提携し、顧客工場の” Smart Factory” 化に取り組もうとしている。

Rockwell Automations、Dassault Systèmesは、工作機械メーカー、OT企業のように工作機械・制御機器等の有体物を製造開発するメーカーではなく、企業システム関連ソフトウェアを開発提供するITソリューション・プロバイダである。自社開発の企業システム関連ソフトウェアを組み合わせ、顧客工場の” Smart Factory” 化を行っているが、ソリューション提供を通じて得られたアイデア、知見、ノウハウを活用してソフトウェアを改良・改善し、企業ITシステムによる生産ラインの効率化、製造IoTプラットフォームによるカイゼンのプログラム及び質の向上を図ろうしており、IDEC、総合工作機械メーカーがソリューション提供を通じて得られたアイデア、知見、ノウハウを製品イノベーションに活用し、更にはソリューションと製品イノベーションをサイクル化したのと同じ取組を展開している。

(3) 産業機械メーカー

ロボット・メーカーの安川電機、F a n u c (世界市場でSiemens、三菱電機と並ぶPLCメーカーとしての同社はOT企業の側面もあるが、本項ではロボット・メーカーとしての取組を取り扱う)は、” Smart Factory” の次世代製造システム標準化に対応して、工作機械メーカーと同様の対応を採っている。安川電機、F a n u c等は産業用ロボット・メーカーとして、自動車の加工組立ラインのように加工組立ラインの用いられるロボットを開発提供してきた。

図 47 日産自動車栃木工場の自動車組立ライン



(出所) 日産自動車資料

従来、安川電機、F a n u c等は、自動車メーカー等の大口顧客については自社エンジニアリング部門がロボット・システム・インテグレーションを担当してきたが、基本的には機械商社等に販売・サービスを委託する間接販売制を採り、ロボット・システム・インテグレータを組織化して顧客工場におけるロボット・システムのインテグレーションを担わせてきた。しかしながら、企業ITシステムによる生産ラインの最適制御を柱とする”Smart Factory”の次世代製造システム化に対応し、工作機械メーカーと同様に水平展開の工場高効率化ソリューション(前掲図9)の本格ビジネス化に取り組み、顧客と協働して顧客工場の生産高効率化に取り組む過程で得たアイデア、知見等をロボット及びロボット・システム等の製品イノベーションに活用し、その成果であるロボット及びロボット・システムをソリューションで用いることにより顧客工場の更なる生産高効率化を実現しようとしている²⁰⁹。

DMG森精機はライン・ビルダー(生産システム・インテグレータ)と提携して顧客工場の生産高効率化ソリューションを提供しており、必要に応じてロボット・システム・インテグレータを活用してロボット・システムを組み込んだ工場生産高効率化ソ

²⁰⁹ 安川電機は水平方向の工場生産高効率化ソリューションのうち工場IoT化に力を入れており、同社の提供するi³-Mechatronics(アイキューブメカトロニクス)は「(当社は)工場の生産ラインの一つの単位である『セル』を産業用ロボットやサーボモータ、インバータで自動化することを得意」としてきたが、「セル」の自動化に加えて「それらをデジタルデータで管理していくことをご提案」し、「工場のセルやシステム(設備機器など)の機器や装置を①integrated(統合的)でデータを視える化してIT層」へと繋ぎ、「次に収集したデータを②intelligent(知能的)に分析・解析してフル活用」し「稼働している設備の向上や生産品質の安定といった③innovative(革新的)な状態」とし、顧客が目指す「スマート工場化につなげていく」とする(https://www.yaskawa.co.jp/product/i3-mechatronics#i3_solution)。

リユーションを顧客提供している。これに対し、現時点ではロボット・メーカーは工作機械システムまで工場生産高効率化ソリューションに組み込まず、ロボット・システムによる生産ライン改革にのみ注力しており、結果的に、水平方向の工場生産高効率化ソリューションと言いつつも、ロボット・システムと企業ITシステムとの統合などOT企業等と事業分野が重複する工場IoT化にフォーカスした形となっている。

とはいえ、工作機械メーカーと異なり工場IoT化に重点を置いている点と、生産ラインを切削加工機中心に構成するか、産業用ロボット中心に構成するかによるソリューションの内容の違いこそあれ、安川電機等ロボット・メーカーは、総合工作機械メーカーによる工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションと同様のビジネス革新を志向していると考えられる。

3. 本論の射程

第10～12章にて論じたように、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機としたビジネス革新の事例研究から、これまで製造企業のサービス成長研究が十分な研究取組を展開してきたとは評し難い、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関して、以下の7つの命題が抽出できたと考える。

命題1	製造企業は、サービス化を通じた市場誘導型イノベーションにおいて、ソリューションと製品開発をサイクル化する製品イノベーション段階と、ライバル企業の模倣困難なビジネス・モデルを構築するビジネス・イノベーション段階の2段階を経る必要がある。
命題2	製造企業はサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関して、企業戦略における位置付けと目的を明確化する必要がある。
命題3	製造企業はサービスを通じた市場誘導型イノベーションにおいて、まず顧客との長期協働関係の構築が必要となる。
命題4	製造企業は顧客との協働本格化にあたり活動の組織化・継続化、経営資源の統合補完のために、顧客との協働の制度的プラットフォームを構築する必要がある。
命題5	製造企業は市場誘導型イノベーション本格化のため、本務として、サービス提供を通じて顧客と緊密な関係を築き、顧客と協働して製品とサービスの組合せによる課題解決を行う独立専任組織が必要である。
命題6	製造企業は、顧客ニーズへのカスタマイズと規模の経済を両立すべく、顧客ニーズの類型化とそれに対応した製品ラインアップの最適化が必要である。
命題7	製造企業はライバル企業の容易な新規参入を防ぐべく、ソリューションの標準化を徹底し、製品の組合せ又はソリューションのモジュール化に取り組むべき。

また、第12章にて論じたように、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションが、DMG森精機、IDECが製品イノベーションに引き続き「顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化」「製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求」に取り組んだよう

に、製品イノベーションとビジネス・イノベーションの2段階から構成されるイノベーション・モデルとして考えることができるのであれば、上記の7命題はさらに以下の整理が可能であり、今後、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関する研究を行う上で出発点にできるのではないだろうか。

市場誘導型イノベーション実現に向けた要件	
全過程共通	(命題1) 製品イノベーション、ビジネス・イノベーションの2段階モデル (命題2) 市場誘導型イノベーションの企業戦略における位置付けと目的の明確化
第1段階 (製品イノベーション)	(命題3) 顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築 (命題4) 製造企業と顧客が継続的に価値創造に協働して取り組む「プラットフォーム」の制度的手当
第2段階 (ビジネス・イノベーション)	(命題5) 顧客と協働してサービス化に取り組む独立専任機関の設置 (命題6) 顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化 (命題7) 製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求

しかしながら、上記の命題は総合工作機械メーカーの” Smart Factory” を契機とするビジネス革新という限定された事例より抽出されたものであり、あくまでもモデルとしての通用性・妥当性の更なる検証が必要である。本論文は製造企業一般に妥当・通用する「製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション」のモデル化を目指すものであるが、第1部で工作機械メーカーを事例研究対象とする理由で説明したように、工作機械メーカーを含む資本財メーカーは伝統的に製造企業のサービス成長研究の主要研究対象であり、製造企業はIoT化を契機として製品とソリューションを一体化することで新たな事業領域と付加価値と創造しようとしている中で工作機械メーカー等資本財メーカーがトップランナーを走っていることから、まずは資本財メーカーについてモデル化に取り組むとした。

OT企業、制御機器メーカー、企業システム関連ソフトウェア会社、産業機械(ロボット)メーカーは、工作機械メーカーと並び資本財部門のコアを形成する企業群である。本章の1. 及び2. で示したように、総合工作機械メーカーが工場生産効率化ソリューションを本格的ビジネス化する機縁となった” Smart Factory” 化ソリューションに関連して、Siemens、日立製作所、三菱電機、沖電気、オムロン等のOT企業、Rockwell Automations、Dassault Systèmes等の企業システム関連ソフトウェア会社は工作機械メーカーと同様に、ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションを志向しており、また、安川電機等ロボット・メーカーは工作機械システムではな

くロボット・システムを中核とした顧客工場の生産高効率化ではあるが、工場生産高効率化ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションに取り組んでいる。

したがって、本論文でIDEC及び工作機械メーカーの事例より抽出した、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関するモデルは、OT、企業システム関連ソフトウェア企業及びロボット・メーカーによる”Smart Factory”ソリューション及び同ソリューションを通じた市場誘導型イノベーションにも通用・妥当することが期待される。そこで、本研究に引き続き資本財関連企業による製造IoT化を研究対象として、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのモデル構築に取り組みたい。

4. 命題ないしモデルの更なる彫琢の必要

本論文において、工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機としたビジネス革新から抽出した、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに係る命題ないしモデルは「ポイント」に過ぎず、当然ながら更なる彫琢を要する。今後、OT企業、企業システム関連ソフトウェア会社、ロボット・メーカー等資本財関連部門を対象として命題ないしモデルの通用性を検証していく過程で、併せて検討する必要があると考える。

(1) 顧客・サプライヤーの二項関係モデルからネットワーク・モデルへの転換

第一に、製造企業のサービス成長研究では、Wise and Baumgartner (1999)は製造企業に対して顧客の事業プロセスの関与と顧客との課題解決に向けた協働を通じた市場誘導型イノベーションを提示したが、彼等の視野は製造企業と顧客との協働に限定されているが、はたして市場誘導型イノベーションはサプライヤーと顧客の二面関係に完結したものであるのだろうか。

製造企業のサービス成長研究において、Tuli, Kohli and Bharadwaj (2007)以降、Evanschitzky, Wangenheim and Woisetschlager (2011)等主要研究は、サプライヤーと顧客との二面関係にフォーカスしてソリューションの開発・供給等を研究してきたが、その過程で、視野をサービスの供給者である製造企業と受益者である顧客のみに限定せず、製造企業・顧客を含むネットワークに拡げ、ソリューション・ニーズが如何に把握され、ネットワーク構成企業の如何なる協働により、ソリューションが開発・提供されるのかを研究する重要性が次第に理解されるようになる(Storbacka, Windahl, Nenonen and Salonen 2013; Jaakkola and Hakanen 2013)。

それを受けて、Storbacka, Windahl, Nenonen and Salonen (2013)は、多国籍企業52社に対する長期研究に基づき、製造企業がネットワークを形成して自社では容易に内部形成できないケイパビリティを形成・獲得している実態を明らかにし、Barquet, De Oliveira, Amigo, Cunha and Rozenfeld (2013), Ferreira, Proença, Spencer and

Gova (2013)は、製造企業がそのバリュー・チェーンにおける主要アクターと提携関係を発展させることの重要性を指摘。Karatzas, Johnson and Bastl (2017)はサービス化企業と部品・サービス等のサプライヤー、Finne and Holmström (2013)はサービス化企業と中間取引企業(intermediaries)との協働関係に関する研究を行った。かかる研究蓄積により、従来、顧客・サプライヤーの二項モデルにより検討されてきた製造企業のサービス化は、製造企業と顧客を中心としつつも、サービス開発・提供に関与する全主体を含むネットワーク・モデルにより理解・把握が試みられるようになった。

本論の事例研究対象とした工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とするビジネス革新においても、第9章で示したように、DMG森精機は工場生産高効率化ソリューションを通じて顧客関係を緊密化し、顧客との協働過程で得たアイデア、知見等を活かすことにより市場誘導型イノベーションを実現するだけではなく、DMG森精機独子会社(旧独DMG)を通じて、Siemensがユーザ、OT、IT、企業システム、ソフトウェア、クラウド企業、工作機械・産業機械・積層加工機等各種メーカーと共に形成するネットワーク「MindSphere」に参画、ユーザ以外のネットワーク構成者とともに工場高効率化ソリューションに不可欠な製造関連アプリケーションを共同開発し、ネットワーク参加企業と提携して工場生産高効率化ソリューションを協創している。

さらに、DMG森精機は2017年10月より独のカールツァイス社(光学機械製造)、デュル社(ライン・ビルダー)、ソフトウェア社(ソフトウェア開発)、香港ASMパシフィック・テクノロジー社(半導体製造装置製造)と、産業用IoTプラットフォームの開発・提供を事業内容とするADAMOS社を合併設立し、OT企業の”Smart Factory”に係るコア事業領域である製造IoTプラットフォーム・ビジネスに事業拡大している。同社の”Smart Factory”を契機とするビジネス革新はサプライヤー・顧客の二項モデルではなく、イノベーションに関係する全主体を含むネットワーク・モデルにより理解することが適切であり、今後の製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーション研究でもネットワーク・モデルの視点が必要になると考える。

(2) 協創プラットフォーム

製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションは製造企業のサービス成長研究の枠組みで探求されてきた。これまで製造企業のサービス成長研究はマーケティング、オペレーション、企業戦略、ソリューションなど異なる学問的背景を有する研究者が参入することで、豊かな穰がもたらされてきたが(e.g. Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Benedettini, O. and J.M. Kay 2009; Kowalkowski, C., Windahl, C., Kindström, D. and H. Gebauer 2015)、イノベーション出身者は相対的に少なく、顧客の知見を活用する点で、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションはまさにユーザ・イノベーションに他ならないことから、本論文ではユーザ・イノベーション研究の成果を活用して研究を深めるべく努めた。

ユーザ・イノベーション研究は、3M等の製造大企業を念頭に置いて、全社プロジェクト方式を採用して、特定テーマについて、期間を限定した上で、ユーザを組織化し、革新的な製品・技術の創造につながるアイデアないしその萌芽を有するユーザを発掘、ユーザと協働して製品・技術のイノベーションの繋げることを提案する(リード・ユーザ法)。これは一般ユーザとは異なる独自のアイデアにより問題解決している「尖った」顧客を発掘し、期間は限られても「顧客との長期に渉るリレーショナルな協働関係の構築」を図るには優れた手法であるが、工作機械メーカーの工場生産高効率化ソリューションを含む製造IoT化ビジネスにおいて、顧客には自社工場の生産高効率化が課題であって、製造企業一般を対象とした工場生産高効率化ソリューションの開発には関心がないため、ユーザの組織化の方法には適さないことを指摘した。

そこでIDECの探索研究で得られた、顧客との協働関係の深化とユーザの組織化のための「協創プラットフォーム」のアイデアを総合工作機械メーカーの”Smart Factory”を契機とするビジネス革新について検討してみたところ、第一に、DMG森精機は顧客との協働関係を工作機械及び工作機械システムの受注時に限定せず、恒常的に顧客工場の生産高効率化に関与し続ける制度的工夫として、自社工場をゼロ・ベースで再構築してライン・ビルド専用工場を設けており、第二に、顧客に対して、生産ラインの高効率化について学習したり、自らのアイデアをDMG森精機のエンジニアとコンサルテーションしつつ試作したりする機会を提供することにより、顧客関係の緊密化とユーザの組織化、さらには工場生産高効率化に関する革新的なアイデアを持つリード・ユーザの発掘を図っていることが判った。

3Dプリンティングに係るデジタル・プラットフォームに関するRayna et al. (2015)などユーザ・イノベーション研究の成果を踏まえ、製造企業が顧客との協働関係を深化・恒常化し、顧客をイノベーションに向けて組織化するツールとしての「協創プラットフォーム」の特質として、本論文は①関係者の参入・退出の自由が許され、関与の程度を義務化せず自由に調整できる、②自己の関心・テーマに絞って参加し、情報収集・コンサルテーション、製品購入・発注、製品試作等を選び行うことができることを抽出した。ただし、ユーザ・イノベーション研究においても、ユーザ組織化の手段としてのプラットフォームに関する検討は始まったばかりであり、今後、顧客関係の緊密化とユーザ組織化のツールとしてのプラットフォームの役割・機能について更なる研究が必要であると考えられる。

(3) ビジネス・イノベーションの在り方

本論では、IDECと総合工作機械メーカーの事例研究から、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションに関する命題を抽出したものであり、両者は第一に、製造企業の生産ラインのインテグレーションをビジネス領域とし(IDECは産業安全・機械安全の観点から、総合工作機械メーカーは工場生産高効率化の観点から

生産ラインをインテグレーション)、第二に、安全関連制御装置・機器又は工作機械の製品単体の提供だけではなく、むしろ自社製品(さらには提携企業の製品も)をシステムとして組み合わせることで顧客価値の実現を図る(I D E Cは産業安全、総合工作機械メーカーは高効率生産)製造企業である点で共通する。

この共通性から、I D E Cと総合工作機械メーカーには、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションの「ビジネス・イノベーション」段階において、「顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化」及び「製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求」がライバル企業のキャッチアップを防ぐ手段として最適である。今後の研究対象として上掲したO T企業、制御機器メーカー、企業システム関連ソフトウェア会社、ロボット・メーカーなど、I D E C及び総合工作機械メーカーとビジネス領域及びビジネス形態が共通・類似する製造企業等であれば、「製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求」等はビジネス・イノベーションの有効な取組たり得ると考えられる。

ただし、ビジネス領域及びビジネス形態において共通性を欠く企業にまで通用するかについては確証はなく、第2段階のビジネス・イノベーションにおいて、「顧客ニーズの類型化と、それに対応した製品ラインアップの最適化」「製品の組合せによる価値提供と、ソリューションのモジュール化の組織的・制度的な追求」に代わり、ライバル企業のキャッチアップなり模倣を防ぐ方法が他にあり得るであろう。例えば、Microsoft社はWindows OSをベースとしてソフトウェア開発するソフトウェア開発会社・技術者を組織化し、開発ツールの供与、新型モデルのOSに対応した開発方法の教育訓練等を施すことで、自社OS向けのソフトウェアを充実させてWindows OSの顧客価値を高める戦略を採った。これは自社OSの製品自体の魅力を高める代わりに、製品とリンクされた製品群・サービス群の魅力を高めることで、自社OSの競争優位を築く戦略であった。

今後、O T企業、企業システム関連ソフトウェア会社等、工作機械メーカーやI D E Cと共通性の高い資本財メーカーから研究を継続する考えであるが、最終的な目標は、製造企業一般に通ずる、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのモデル化であることから、資本財メーカー以外の製造分野に属する製造企業のイノベーションの在り方についても並行して研究を進める必要があると考える。

本論文の論考はここで終わりである。引き続き、今後、第13章の考察を踏まえ、製造企業一般に通ずる、製造企業のサービス化を通じた市場誘導型イノベーションのモデル化に向けて研鑽を積み、鋭意研究に取り組んでいきたい。

別添

主要ヒアリング対象リスト

1. 工作機械

ヤマザキマザック

- 1 2017年5月26日 ヤマザキマザック(愛知県大口町)
堀田政春執行役員大口製作所製作所長
稲鶴勇部長
- 2 2017年11月15日 ヤマザキマザック(愛知県大口町)
岡田聡・技術部本部長
堀部和也・同本部ソリューション開発部長
- 3 2018年8月28日 NetOne インダストリアル IoT セミナー
堀部和也・執行役員兼ソリューション事業部長
- 4 2019年11月25日 ヤマザキマザック美濃加茂製作所
ヤマザキマザック Discover 2019

オークマ

- 5 2017年6月7日 オークマ(愛知県大口町)
家城淳・常務取締役
國光克則FA開発部部長
一木洋介ソリューション開発センター長
- 6 2017年11月21日 オークマ(愛知県大口町)
家城淳・専務取締役(技術本部管掌兼FAシステム本部部長)
角谷幸一・ソリューション開発センター長
中山真治・経営企画室長
- 8 2019年7月10日「MONOist IoT Forum 名古屋」
領木正人専務取締役「IoTが拓く“スマートファクトリー”の展望」
- 9 2020年8月5日 オークマ大口製作所(愛知県大口町)
Okuma Connect Plan 1 IoTサポート課
金型プロジェクト リーダ 大橋一弘
- 10 オンライン・セミナー
2020年8月4日 ものづくりDXセンター 角谷 幸一 センター長
大物金型における生産リードタイム短縮に向けた取組
2020年8月5日 金型プロジェクト 大橋 一弘 リーダ
5軸制御マシニングセンタ・複合加工機が実現する作業効率の向上
2020年11月18日 研究開発部 安藤 知治 次長
ものづくりに役立つ工作機械のAI・知能化技術について
2020年12月9日 FAシステム本部ソフトウェア技術部 奥田 和博 次長
OSPが備える金型加工技術
2020年12月16日 ソリューション&システム技術部 梶野 誠 次長
工程集約のすすめ
2021年8月24日 ソリューション&システム技術部 高桑正倫 次長
オークマの自動化について

2021年8月27日 ソリューション&システム技術部 高桑正倫次長
多品種少量生産にフレキシブルに対応する人とロボットのタイムシェアシステム
「ARMROID シリーズ」

DMG森精機

- 11 2016年6月7日 DMG森精機伊賀事業所(三重県伊賀市)
藤嶋誠専務執行役員
大岩一彦伊賀加工技術部部長
奥田崇・伊賀商品部部長
加治敏・5軸コンペテンスセンタ部長
- 12 2017年6月13日 DMG森精機(愛知県名古屋市)
藤嶋誠専務、熊谷部長、BUG DMG森精機(北海道)
- 13 2017年11月10日 DMG森精機(愛知県名古屋市)
森雅彦社長
- 14 2017年11月17日 DMG森精機(愛知県名古屋市)
太田圭一・業務本部長
- 15 2017年11月20日 DMG森精機伊賀事業所(三重県伊賀市)
森雅彦社長
- 16 2018年5月24日 DMG森精機伊賀事業所(三重県伊賀市)
安田浩執行役員(開発本部システム・小型機開発統括)
- 17 2018年7月27日 DMG森精機(愛知県名古屋市)
太田圭一・業務本部長
- 18 2019年5月17日 DMG森精機伊賀事業所(三重県伊賀市)
DMG森精機テクノロジー・セミナー
Ralf Roesing, Die and Mold Excellence Center
「金型産業の市場動向及び最新金型加工ソリューション」
Mario Haidlmair, CEO Haidlmair GmbH 「Digital Moldmaking」
佐藤順一・豊田合成(株)金型設備製造部次長
「グリル金型製作における5軸加工の活用」
Christian Schneider,
Leader of the Training and Academy Center, Heidenhain GmbH
「TNC Controlによる金型加工アプリケーション」
堺真二郎・三菱日立ツール(株)開発技術本部野洲分室アプリケーショングループ長
「金型加工に関する最新工具と加工事例紹介」
- 19 2019年7月13日 DMG森精機伊賀製作所(三重県伊賀市)
DMG Mori Innovation Day 2019
藤嶋 誠 R&Dカンパニープレジデント 「DMG MORIのデジタルファクトリー」
安田 浩 常務執行役員 「自動化 進化する工作機械の自動化~ロボット・周辺機器・
トータルシステムの未来」
- 20 2019年11月22日 DMG森精機伊賀事業所
DMG森精機「大型機セミナー」
Rainer 販売統括部長「大型機ラインアップ Gantryシリーズの加工事例紹介」
多賀充・次世代機種開発マシニングセンタ部長、新家秀規・設備計画管理部長
「第2精密加工工場の設備機 Smart Factory化の取組」

- 21 2020年8月26日 オンライン・セミナー
システム企画部 柏木悟、AGV開発室 長末 秀樹
「進化する工作機械の自動化」
- 22 2021年2月2～4日 オンライン・セミナー DMG Mori Digital Event 2021
2日 GEO Talk: Interview with Dr. Masahiko Mori and Christian Thönes
Dr. Masahiko Mori (President of the DMG MORI COMPANY LIMITED)
Christian Thönes (Chairman of the Executive Board of DMG MORI
AKTIENGESELLSCHAFT)
Irene Bader (Executive Officer, Director of DMG MORI Global Marketing)
- 3日
Christian Thönes (Chairman of the Executive Board of DMG MORI
AKTIENGESELLSCHAFT)
Key Note Speech オートメーション
Raphael Kostas (Produktmanager DECKEL MAHO Pfronten GmbH)
「オートメーション入門」
- 4日
Dr. Markus Glose (Head of Product Management
GILDEMEISTER Drehmaschinen GmbH)
「DMG MORI のスタンダードオートメーション: Robo2Go」
Ralf Riedemann (Executive Officer Engineering and Application for Global DMG
MORI Sales & Service),
Rainer Pfaff (Site Manager Wernau DMG MORI Management GmbH)
「簡単操作のオートメーションとターン・キー・ソリューション」
Thomas Lochbihler (Head of Technology Excellence
DECKEL MAHO Pfronten GmbH)
「デジタル・ツイン」
Dr. Tommy Kuhn (Managing Director DMG MORI Software Solutions GmbH)
Eduard Lun (Product Owner GELOS V6 DMG MORI Software Solutions GmbH)
「GELOS V6 によるデジタル化」
Harald Hoofs (Senior Consultant Professional Service, DMG MORI Software
Solutions GmbH)
Torsten Böck (Head of CAD / CAM Systems, DMG MORI Software Solutions GmbH)
「デジタル・ツール・プロセス・チェーンへの参入」
Dr. Damir Hrnjadovic (Managing Director - DMG MORI Digital GmbH)
「TULIP を活用したペーパーレス化」
ハロルド・ホーフス (DMG 森精機ソフトウェア・ソリューション)
「DMG MORI PLUGIN TOOL The simple entry into the digital tool
process chain」

2. IDEC

- 23 2017年9月21日 IDECファクトリーソリューションズ(愛知県稲沢市)
IDECファクトリーソリューションズ
武仲清貴社長、鈴木正敏取締役(ロボットシステム部長)
IDEC
モンディ・アルノ 常務執行役員(セールスマーケティング統括本部長)
土肥正男・国際標準化 Safety2.0 推進部長
- 24 2017年9月20日 IDEC本社(大阪府)
IDEC
土肥正男・国際標準化 Safety2.0 推進部長

2. OT企業等

DENSO

- 25 2018年11月7日 DENSO西尾製作所(愛知県西尾市)
DENSO 山崎康彦・常務執行役員

Siemens、Bosch、三菱電機

- 26 2019年8月28日 シーメンスDIソフトウェア社(神奈川県横浜市)
シーメンス・デジタル・インダストリー・ソフトウェア
貴島雅史・インダストリー営業本部本部長
サギ・ルーヴェン 製造オペレーション管理ビジネス開発マネージャー
- 27 2020年10月22日 シーメンスDIソフトウェア社(神奈川県横浜市)
野田智孝・シーメンス(株)シーメンスDIソフトウェア技術本部長
Wolfram Wentingmann (ウォルフラム・ウェンティングマン)
シーメンスAG デジタルファクトリー事業本部
ファクトリー・オートメーション部
インターナショナル・オペレーションズ&コンサルティング シニア・ディレクター
- 28 2019年7月10日 Realize Live Japan 2019
ボブ・ジョーンズ Siemens Digital Industries Software
グローバルセールス、カスタマーサクセス担当
野田智孝 シーメンス株式会社技術営業本部製造ソリューション部長
- 29 2020年6月8日 Bosch Today
Kevin Jones Senior Sales Manager Bosch. IO GmbH
Bodo Schmidt IIoT expert & Key Account Manager Bosch. IO GmbH
- 30 2020年9月28日 三菱電機株式会社名古屋製作所
三菱電機株式会社 名古屋製作所FAソリューションシステム部技術推進グループ
野末 直道 グループマネージャー
Edgecross 推進協議会
長谷川政行・参与/IIoT エバンジェリスト

3. IT企業

IBM

- 31 2018年5月10日「IBM自動車産業エグゼクティブセミナー名古屋」
日本IBM 理事 寺門正人
日本IBM エグゼクティブ・コンサルタント 富田祐司
- 32 2019年8月29日 IBM Cognitive Manufacturing Forum 2019
日本IBM 理事 GBS事業IoTサービス担当 寺門正人
沖データ(株)
生産統括本部LED統括工場 生産技術部 第二チームリーダー 新井保明
技術開発部コンポーネント設計部 第一チーム サブチームリーダー 谷川兼一
- 33 2019年5月30日 IBM Automotive Forum 名古屋
Dirk Wollschlaeger, Global Manager,
Global Automotive, Aerospace & Defense Industry, IBM Corporation
マツダ(株)技術本部本部長 安達範久
パナソニック(株)ライフソリューションズ社 新潟工場工場長 森川誠

富士通、東芝

- 34 2019年7月10日 Siemens Realize Live Japan 2019
須川朋司 ものづくりビジネスセンター
グローバル・プロモーション推進部マネージャー
- 35 2020年11月2日 富士通本社
富士通 大西俊介・執行役員常務 グローバルソリューション部門
エンタープライズ・ソリューション・ビジネス・グループ長 (兼)
グローバル・サービス・ビジネス・グループ長
- 36 2020年11月4日 東芝
東芝 執行役上席常務 最高デジタル責任者
東芝デジタルソリューションズ取締役社長 島田太郎

4. 企業システム、クラウド企業

Rockwell Automations 他

- 37 2021年2月2日
吉田高志 Rockwell Automations Japan
パートナー戦略事業本部 (エバンジェリスト)

AWS

- 38 2019年4月16日 AWS Innovate オンラインカンファレンス
山崎翔太アマゾン ウェブ サービス ジャパン ソリューションアーキテクト
園田修平 IoT スペシャリストソリューションアーキテクト
- 39 2019年12月17日 Amazon Web Service (AWS) “re-Invent 2019”
亀岡 AWS Service Evangelist

5. ロボット・メーカー

- 40 2019年12月19日 国際ロボット展
山西基裕 オムロン(株)インダストリアル・オートメーション・カンパニー
ロボット推進プロジェクト本部長
- 41 2019年12月19日 国際ロボット展
榊原伸介 Fanuc(株) ロボット事業本部技監
- 42 2019年11月10日 国際ロボット展
MUJIN 海野義郎・営業本部長

6. ライン・ビルダー

- 43 2017年9月11日
日本設計工業(静岡県浜松市) 名倉慎太郎社長
- 44 2017年9月14日
三明機工・三明電子産業(静岡県静岡市) 社長
- 45 2017年9月13日
平田機工(熊本県熊本市) 平田雄一郎社長
- 46 2017年9月20日
泉谷機械工業(大阪市堺市) 泉谷俊男代表取締役
高丸機械工業(西宮市) 高丸正社長
- 47 2017年9月21日
バイナス(愛知県稲沢市) 渡辺 亙 代表取締役社長

参考文献

- Aarikka-Stenroos, L. and E. Jaakkola (2012), "Value co-creation in knowledge intensive business services: a dyadic perspective on the joint problem solving process," *Industrial Marketing Management*, 41(1), pp.15-26.
- Abernathy, W. J. (1978) , *The productivity dilemma: Roadblock to innovation in automotive industry*, John Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Abernathy, W. J. and J. M. Utterback (1978) , "Patterns of industrial innovation," *Technology Review*, 80 (7) pp.40-47.
- Adner, R. and R. Kapoor (2010), "Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations," *Strategic Management Journal* 31 (3), pp.306-33.
- Alghisi, A. and N. Sacconi (2015), "Internal and external alignment in the servitization journey - overcoming the challenges," *Production Planning & Control* Vol.26, pp.1219-1232.
- Altman, E. J. and M. Tripsas (2015), "Product to Platform Transitions: Implications of Organizational Identity," In Shalley, C., Hitt, M. and J. Zhou eds. *Oxford Handbook of Creativity, Innovation, and Entrepreneurship: Multilevel Linkages*, Oxford University Press, Oxford.
- Ambroise, L., Prim-Allaz, I. and C. Teyssier (2018), "Financial performance of servitized manufacturing firms: A configuration issue between servitization and customer-oriented organizational design," *Industrial Marketing Management*, 71, pp. 54-68.
- Andelfinger, V.P. and T. Hänisch (2017), *Industrie4.0 Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern*, Springer
- Antico, M., Moenaert, R.K., Lindgreen, A. and M.G. Wetzels (2008), "Organizational antecedents to and consequences of service business orientations in manufacturing companies," *Journal of the Academy of Marketing Science*, 36(3), pp.337-358.
- Antorini, Y.-M. and A. Muñiz (2013) "The benefits and challenges of collaborating with user communities," *Research-Technology Management* 56(3), pp.21-28.
- Auguste, B.G., Harmon, E.P., and V. Pandit (2006), "The right service strategies for product companies," *The McKinsey Quarterly*, No.1, pp.40-51.
- Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention
- K. Arrow (1962), "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention," *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, National Bureau of Economic Research, Inc.
- Bardakci, A. and J. Whitelock (2003), " Mass-customization in marketing: The consumer perspective," *Journal of Consumer Marketing* 20 (5), pp.463-79.
- Baines, T. S., Bigdeli, A.Z., Bustinza, O.F., Shi, V.G., Baldwin, J. and K. Ridgway (2017), "Servitization: the state-of-the-art and research priorities," *International Journal of Operations & Production Management*, 37(2), pp.256-278.
- Baines, T. S. and H.W. Lightfoot (2013), *Made to Serve: How Manufacturers can Compete Through Servitization and Product Service Systems*, Wiley

- Baines, T. S. and H.W.Lightfoot (2014), “Servitization of the manufacturing firm: Exploring the operations practices and technologies that deliver advanced services,” *International Journal of Operations & Production Management*, 34(1), pp.2-35.
- Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Benedettini, O. and J.M. Kay (2009), “The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(5), pp.547-567.
- Baines, T. S., Lightfoot H.W., Peppard, J., Johnson, M., Tiwari, A., Shehab, E. and M. Swink (2009), “Towards an operations strategy for product-centric servitization,” *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 29, No. 5, pp.494-519.
- Baker, R. (2011), “The contribution of case study research to knowledge of how to improve quality of care,” *Business Management Journal*, 20(1), pp.30-35.
- Baldwin, C., G. Hienerth and E. von Hippel (2006). “How user innovations become commercial products: A theoretical investigation and case study,” *Research Policy* 35, pp.1291-1313.
- Baldwin, C. and E. von Hippel (2011) , “Modeling a Paradigm Shift: From Producer Innovation to User and Open Collaborative Innovation,” *Organization Science* 22 (6) , pp.1399 – 1417.
- Barney, J.B. (2003), *Gaining and Sustaining Competitive Advantage*, Pearson Education (岡田正大訳(2003)『企業戦略論』ダイヤモンド社)
- Barquet, A., De Oliveira, M, Amigo, C., Cunha, V. and H. Rozenfeld (2013), “Employing the business model concept to support the adoption of product-service systems (PSS),” *Industrial Marketing Management* 42(5), pp.693-704.
- Bartlett, C. and S. Ghoshal(1989), *Managing Across Borders: The Transnational Solution*, Harvard Business School Press, Boston, M. A. (吉原英樹監訳(1990)『地球市場時代の企業戦略』日本経済新聞社)
- Bauer, S.-V., Strandhagen, J.O. and F.T.S. Chan (2018), “The link between Industrie4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda,” *International Journal of Production Research*, 56(8), pp.2924-2940.
- Benedettini, O., Neely, A. and M. Swink (2015), “Why do servitized firms fail? A risk-based explanation,” *International Journal of Operation & Production Management*, 35(6), pp.946-979.
- Benedettini, O., Swink, M. and A. Neely (2017), “Examining the influence of service additions on manufacturing firms’ bankruptcy likelihood,” *Industrial Marketing Management*, 60, pp.112-125.
- Belz, F-M. and W. Rambach (2010) “Netnography as a method of lead user identification,” *Creativity and Innovation Management* 19(3), pp.304-313.
- Bilberg, A. and R. Hadar (2012), “Adaptable and Reconfigurable LEAN Automation — A competitive Solution in the Western Industry,” In 22nd International Conference on Flexible Automation Intelligent Manufacturing (FAIM), Barcelona, Spain, 1-8. Piscataway, NJ: IEEE, September 16-19.
- Böhm, E., Eggert, A. and C. Thiesbrummel (2017), “Service transition: A viable option for manufacturing companies with deteriorating financial performance ?” *Industrial Marketing Management*, 60, pp.101-111.
- Boehmer, J.H., Shuka, M., Kapletia, D. and M.K. Tiwari (2020), “The impact of the Internet of Things (IoT) on servitization: an exploration of changing supply relationships,” *Production Planning & Control*, 31, pp.203-219.

- Bogers, M., Afuah, A. and B. Bastian (2010), "Users as innovators: A review, critique, and future research directions," *Journal of Management* 36 (4), pp.857-875.
- Bosch(2020a), *IoT solutions for connectivity and field data usage*
- Bosch(2020b), *Industrial IoT: how companies increase transparency and optimize operational efficiency*
- Boudreau, K. J. (2010), "Open Platform Strategies and Innovation: Granting Access vs. Devolving Control," *Management Science*, 56(10): 1849-1872.
- Bower, J.L. and C.M. Christensen (1995), "Disruptive technologies: catching the waves," *Harvard Business Review*, Vol.73, pp.43-53.
- Brabham, D. C. (2010), "Moving the crowd at threadless," *Information, Communication & Society*, 13(8), pp.1122-1145.
- Brady, T., Davies, A. and D. Gann (2005), "Creating value by delivering integrated solutions," *International Journal of Project Management*, 23(5), pp.360-365.
- Brandenburg, D. and A. Ellinger(2003), "The future: just-in-time learning expectations and potential implications for human resource development," *Advances in Developing Human Resources*, Vol.5 No.3, pp.308-320
- Brax, S. (2005), "A manufacturer becoming service provider - challenges and a paradox", *Managing Service Quality: An International Journal*, Vol. 15 No. 2, pp. 142-155.
- Brax, S. and K.Jonsson (2010), "Developing integrated solution offerings for remote diagnostics: A comparative case study of two manufacturers," *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 29 No. 5, pp.539-560.
- Brax, S. and F. Visintin (2017), "Meta-model of servitization: The integrative profiling approach," *Industrial Marketing Management* Vol.60, pp.17-32.
- Brettiol, M., Di Maria, E. and S. Micelli ed. (2020), *Knowledge Management and Industry4.0 New Paradigms for Value Creation*, Springer.
- Brookshear, J.G. (2012), *Computer Science: An Overview*, 11th Edition, Pearson (神林靖、長尾高弘訳(2017)『入門コンピュータ科学 ITを支える技術と理論の基礎知識』ダウンロード)
- Brynjolfsson, E. and B. Kshin (2000), *Understanding the Digital Economy*, the MIT Press.
- Buenstorf, G. (2003), "Designing clunkers: Demand-side innovation and the early history of the mountain bike," in Metcalfe, J.S. and U. Gantner ed. *Change, Transformation and Development*, Springer.
- Bundesministerium fuer Wirtschaft und Energie (2016), " *Plattform Industrie4.0 Digitale Transformation "Made in Germany"* .
- Bundschuh, Dominik(2017), *Industrie4.0 in Deutschland Der Digitale Wandel in der Automobilindustrie*, Studylab.
- Butun, I. ed (2020), *Industrial IoT Challenges, Design Principles, Applications and Security*, Springer.
- Cappelli, P. and N. Rogovsky(1998), "Employee involvement and organizational citizenship: implications for labor law reform and 'lean production,'" *Industrial & Labor Relations Review*, Vol.51 No.4., pp.633-653.
- Carnes, K. and S. Hedin(2005) "Accounting for lean manufacturing another missed opportunity?," *Management Accounting Quarterly*, Vol.7 No.1, pp.28-35.

- Casciaro, T. and M. J. Piskorski (2005), "Power Imbalance, Mutual Dependence, and Constraint Absorption: A Closer Look at Resource Dependence Theory," *Administrative Science Quarterly*, 50(2), pp.167-199.
- Ceccagnoli, M., Forman, G., Huang, P. and D.J. Wu (2012), "Cocreation of value in a platform ecosystem: the case of enterprise software," *MIS Q.*, 36(1), pp.263-290.
- Cenamor, J., Parida, V. and J. Wincent (2019), "How entrepreneurial SMEs complete through digital platforms: The roles of digital platform capability, network capability and ambidexterity," *Journal of Business Research*, 100, pp.196-206.
- Charmaz, K. (2006), *Constructing Grounded Theory: A Practical Guide through Qualitative Analysis*, SAGE Publications.
- Chandy, R.K. and G.J. Tellis (1998), "Organizing for radical product innovation: the overlooked role of willingness to cannibalize," *Journal of Marketing Research*, Vol.35, pp.474-487.
- Chandy, R.K. and G.J. Tellis (2000), "The incumbent's curse? Incumbency, size, and radical product innovation," *Journal of Marketing*, Vol.64, pp.1-17.
- Chatterji A.K. and K.R. Fabrizio (2014), "Using users: When does external knowledge enhance corporate product innovation?" *Strategic Management Journal*, Vol.35, No.10, pp.1427-1445.
- Chaudhuri, A. (2019), *Internet of Things, for Things, and by Things*, CRC Press
- Chesbrough, H. W. A. M. M. (2007), "Open innovation and strategy," *California Management Review*, 50(1), pp.57-76.
- Chesbrough, H. (2003) *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*, Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Chetty, S. and C. Campbell-Hunt(2004), "A Strategic Approach to Internationalization: A Traditional versus a Born-global Approach", *Journal of International Marketing*, 12(1), pp.57-81
- Choudary, S.P. (2015), *Platform Scale, Platform Thinking*, Labx Pte.Ltd
- Christensen, C.M. (1997), *The Innovators Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Harvard Business School Press, Boston, MA(玉田俊平太監修、伊豆原弓訳(2001)『イノベーションのジレンマ—技術革新が巨大企業を滅ぼすとき』翔泳社)
- Christensen, C. M. and P.R. Carlile (2009), "Course Research: Using the Case Method to Build and Teach Management Theory," *Academy of Management Learning & Education*, 8(2), pp.240-251.
- Churchill, J., von Hippel, E. and M. Sonnack (2009) *Lead User Project Handbook: A Practical Guide for Lead User Research Teams*, Lead User Concepts, Inc., Cambridge and Minneapolis.
- Cook, M.B., Bhamra, T.A. and M. Lemon (2006), "Transfer and application of product service systems: from academia to UK manufacturing firms," *Journal of Cleaner Production*, 14(17), pp. 1455-1465.
- Cooper, R.G., Edgett, S.J. and E.J. Kleinschmidt (2002), "Optimizing the stage-gate process: what best practice companies do," *Research Technology Management*, 45, pp.21-27.
- Coreynen, W., Matthyssens, P. and W. Van Bockhaven (2017), "Boosting servitization through digitization: Pathways and dynamic resource configurations for manufacturer," *Industrial Marketing Management*, 60, pp.42-53.

- Cortada, J.W. (2019), *IBM The Rise and Fall and Reinvention of a Global Icon*, the MIT Press
- Cova, B. and R. Salle (2008a), "Marketing solutions in accordance with the S-D logic: Co-creating value with customer network actors," *Industrial Marketing Management*, 37(3), pp.270-277.
- Cova, B. and R. Salle (2008b), "The industrial/consumer marketing dichotomy revisited: a case of outdated justification?" *Journal of Business & Industrial Marketing* Vol.23 No.1, pp.3-11.
- Dachs, B., Borowiecki, M., Lay, G., Jäger, A. and D. Schartinger (2014), "Servitisation of European manufacturing: Evidence from a large scale database," *Service Industries Journal* Vol.34(1), pp.5-23.
- Dahlander, L. and L. Frederiksen (2012), "The core and cosmopolitans: A relational view of innovation in user communities," *Organization Science*, 23(4), pp.988-1007.
- Dassault Systèmes (2016), *A PRACTICAL GUIDE TO TRANSFORM MANUFACTURING OPERATIONS WITH SMART PULL White Paper*
- Dastbaz, M. and P. Cochrane ed. (2019) "Industry4.0 and Engineering for a Sustainable Future" Springer
- Davies, A. (2004), "Moving base into high-value integrated solutions: A value stream approach," *Industrial and Corporate Change*, 13(5), pp.727-756.
- Davies, A., Brady, T. and M. Hobday (2006), "Charting a path toward integrated solutions," *Sloan Management Review*, 47(3), pp.39-48.
- Davies, A., Brady, T. and M. Hobday (2007), "Organizing for solutions: Systems seller vs. systems integrator," *Industrial Marketing Management*, 36(2), pp.183-193.
- de Geus, A. (1997) "The Living Company," *Harvard Business Review*, March-April, pp.51-59.
- Detty, R.B. and J.C. Yingling (2000), "Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study," *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 2, pp. 429-445.
- Dietrich, B.L., Plachy, E.C. and M.F. Norton (2014), *Analytics Across the Enterprise How IBM Realizes Business Value from Big Data and Analytics*, Pearson Publishing Inc.
- Eggert, A., Böhm, E. and C. Cramer (2017), "Business service outsourcing in manufacturing firms: an event study", *Journal of Service Management*, Vol.28 No.3, pp. 476-498.
- Eggert, A., Hogreve, J., Ulaga, W. and E. Muenkhoff (2014), "Revenue and profit implications of industrial service strategies," *Journal of Service Research*, 17(1), pp. 23-39.
- Eggert, A., Thiesbrummel, C. and C. Deutscher (2015), "Heading for new shores: Do service and hybrid innovations outperform product innovations in industrial companies?" *Industrial Marketing Management* 45, pp.173-183.
- Eisenberg, I. (2011) "Lead-user research for breakthrough innovation," *Research Technology Management* 54(1), pp.50-58.
- Eisenhardt, K. M. (1989), "Building Theories from Case Study Research" , *The Academy of Management Review*, 14 (4), pp.532-550.
- Eisenhardt, K. M. and M.E. Graebner (2007), "Theory building from cases: Opportunities and challenges," *Academy of Management Journal*, 50(1), pp.25-32.

- Eloranta, V. and T. Trunen (2015), "Seeking competitive advantage with service infusion: a systematic literature review", *Journal of Service Management*, Vol.26 No.3, pp.394-425.
- Evans, D. S., Hagiu, A. and R. Schmalensee (2006), *Invisible Engines: How Software Platforms Drive Innovation and Transform Industries*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Evanschitzky, H., Wangenheim, F.V. and D.M. Woisetschläger (2011), "Service & solution innovation: Overview and research agenda," *Industrial Marketing Management*, 40(5), pp.657-660.
- Fang, E., Palmatier, R.W. and J.B.E. Steenkamp (2008), "Effect of service transition strategies on firm value," *Journal of Marketing*, 72(5), pp.1-14.
- Ferreira, F.N.H., Cova, B., Spencer, R. and J.F. Proença (2017) "A phase model for solution relationship development: a case study in the aerospace industry," *Journal of Business & Industrial Marketing*, 32(5), 625-639.
- Ferreira, F. N.H., Proença, J.F., Spencer, R. and B. Cova (2013), "The transition from products to solutions: External business model fit and dynamics," *Industrial Marketing Management*, 42(7), pp.1093-1101.
- Finne, M., Brax, S. and J. Holmström (2013), "Reversed servitization paths: a case analysis of two manufacturers," *Service Business*, 7(4), pp.513-537.
- Finne, M. and J. Holmström (2013), "A manufacturer moving upstream: Triadic collaboration for service delivery," *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol.18(1), pp.21-33.
- Finne, M., Turunen, T. and Y. Eloranta (2015), "Striving for network power: The perspective of solution integrators and suppliers," *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21(1), pp.9-24.
- Fischer, T., Gebauer, H. and E. Fleisch (2012), *Service business development : strategies for value creation in manufacturing firms*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Foot, N., J. Galbraith, Q. Hope and D. Miller (2001) "Making solutions the answer," *The McKinsey Quarterly*, Vol. 3, pp.84-93.
- Forkmann, S., Ramos, C., Henneberg, S. C. and P. Naudé (2017), "Understanding the service infusion process as a business model reconfiguration," *Industrial Marketing Management*, 60, pp.151-166.
- Foxall, G.R. (1989), "User initiated product innovations," *Industrial Marketing Management*, 18, pp.95-104.
- Franke, N., P. Keinz and M. Schreier (2008), "Complementing mass customization toolkits with user communities: How peer input improves customer self-design," *Journal of Product Innovation Management* 25 (6), pp.546-59.
- Franke, N. and F. Piller (2004), "Value creation by toolkits for user innovation and design: The case of the watch market," *Journal of Product Innovation Management* 21 (6), pp.401-415.
- Franke, N. and M. Schreier (2008), "Product uniqueness as a driver of customer utility in mass customization," *Marketing Letters* 19 (2), pp.93-107.
- Franke, N. and S. Shah (2003), "How communities support innovative activities: An exploration of assistance and sharing among end-users," *Research Policy* 32 (1), pp.157-178.

- Franke, N. and E. von Hippel (2003), "Satisfying heterogeneous user needs via innovation toolkits: The case of apache security software," *Research Policy* 32 (7), pp.1199-1215.
- Franke, N., E. von Hippel, and M. Schreier (2006), "Finding commercially attractive user innovations: A test of lead-user theory," *Journal of Product Innovation Management* 23 (4), pp.1-15.
- Franke, N., Poetz, M.K. and M. Schreier (2013), "Integrating problem solvers from analogous markets in new product ideation," *Management Science*, 60(4), pp.1063-1081.
- Friend, S.B. and A. Malshe (2016), "Key Skills for Crafting Customer Solutions Within an Ecosystem: A Theories-in-Use Perspective," *Journal of Service Research* Vol.19(2), pp. 174-191.
- Galbraith, J. R. (2002), "Organizing to deliver solutions," *Organizational Dynamics*, 31(2), pp.194-207.
- Gabrielsson, M., Kirpanani, V.H.M., Dimitratos, P., Solberg, C.A. and A. Zucchela (2008), "Born Globals: Propositions to Help Advance the Theory", *International Business Review*, 17, pp. 385-401
- Gawer, A. and M.A. Cusumano (2002), *Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation*, Harvard Business School Press, Boston.
- Gawer, A. and M.A. Cusumano (2014), "Industry platforms and ecosystem innovation," *Journal of Product Innovation Management*, 31(3), pp.417-433.
- Gawer, A. and N. Phillips (2013), "Institutional work as logics shift: The case of intel' s transformation to platform leader," *Organization Studies*, 34(8), pp.1035-1071.
- Gebauer, H. (2008), "Identifying service strategies in product manufacturing companies by exploring environment-strategy configurations," *Industrial Marketing Management*, 37(3), pp.278-291.
- Gebauer, H., Edvardsson, B., Gustafsson, A. and L. Witell (2010), "Match or mismatch: Strategy-structure configurations in the service business of manufacturing companies," *Journal of Service Research*, 13(2), pp.198-215.
- Gebauer, H., Fischer, T. and E. Fleisch (2010), "Exploring the interrelationship among patterns of service strategy changes and organizational design elements," *Journal of Service Management*, 21(1), pp.103-129.
- Gebauer, H., Fleisch, E. and T. Friedli (2005), "Overcoming the service paradox in manufacturing companies" , *European Management Journal*, 23(1), pp.14-26.
- Gebauer H., Gustafsson A. and L. Witell (2011), "Competitive advantage through service differentiation by manufacturing companies," *Journal of Business Research*, 64, pp.1270-1280.
- Gebauer, H. and C. Kowalkowski (2012), "Customer-focused and service-focused orientation in organizational structures," *Journal of Business & Industrial Marketing*, 27(7), pp.527-537.
- Gebauer, H., Paiola, M. and N. Sacconi (2013), "Characterizing service networks for moving from products to solutions," *Industrial Marketing Management* Vol.42(1), pp.31-46.

- Gershenfeld, N., Gershenfeld, A. and J. Cutcher-Gershenfeld (2017), *Designing Reality How to Survive and Thrive in the Third Digital Revolution*, Basic Books Inc., New York
- Glaser, B. G. (1992), *Basics of grounded theory analysis: Emergence vs forcing*, Sociology press.
- Glaser, B. G. and A. L. Strauss (1965), *Awareness of Dying*, Weidenfeld & Nicolson (木下康仁訳 (1988) 『「死のケア理論」と看護：死の認識と終末期ケア』、医学書院)
- Glaser, B. G. and A. L. Strauss (1967), *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*, Aldine (後藤隆、大出春江、水野節夫訳) (1996) 『データ対話型理論の発見— 調査からいかに理論をうみだすか』、新曜社).
- Goh, Y. and C. McMahon (2009), "Improving reuse of in-service information capture and feedback", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 20 No. 5, pp. 626-639.
- Goto, F. (1989), "Maintenance prevention" In S. Nakajima.ed. *TPM development program — implementing total productive maintenance*, Productivity Press, Cambridge, MA.
- Green, M.G., Davies, P. and I.C.L. Ng (2017), "Two strands of servitization: A thematic analysis of traditional and customer co-created servitization and future research directions," *International Journal of Production Economics*, 192, pp.40-53.
- Grönroos, C. (1997), "Value-driven Relational Marketing: from Products to Resources and Competencies," *Journal of Marketing Management*, 13, pp.407-419.
- Grönroos, C. (2011), "A service perspective on business relationships: The value creation, interaction and marketing interface," *Industrial Marketing Management*, 40(2), pp.240-247.
- Gruner, K.E. and C. Homburg (2000), "Does customer interaction enhance new product success," *Journal of Business Research*, 49, pp.1-14.
- Gulati, R. (1998), "Alliances and networks," *Strategic Management Journal*, 19(4), pp.293-317.
- Hagiu, A. and J. Wright (2015a), "Marketplace or reseller?" *Management Science*, 61(1), pp.184-203.
- Hagiu, A. & Wright, J. (2015b), "Multi-sided platforms," *International Journal of Industrial Organization*, 43, pp.162-174.
- Hamel, G. and C.K. Prahalad (1994), "Competing for the Future," *Harvard Business Review*, 72, pp.122-128.
- Harhoff, D. and K. Lakhani, eds. (2016) *Revolutionizing Innovation: Users, Communities, and Open Innovation*, MIT Press, Cambridge, MA
- Hassan, S.S. (2008) "Bringing lead-user innovations to the market: Research and management implications," *SAM Advanced Management Journal* 3(4), pp.51-54.
- Haunschild, P. R. and C.M. Beckman (1998), "When do interlocks matter?: Alternate sources of information and interlock influence," *Administrative Science Quarterly*, 43(4), pp.815-844.
- Hayes, R.H. and W.J. Abernathy (1980), "Managing our way to economic decline," *Harvard Business Review*, 58, pp.59-82.
- Hax, A. C., and D. L. Wilde (1999) "The Delta model: Adaptive management for a changing world," *Sloan Management Review*, Vol. 19, No. 4, pp.11-28.

- Hedvall, K., Jagstedt, S. and A. Dubois (2019) "Solutions in business networks: Implications of an interorganizational perspective," *Journal of Business Research*, 104, pp.411-421.
- Helander, A. and K. Möller (2007), "System supplier's customer strategy," *Industrial Marketing Management*, 36(8), pp.719-730.
- Helander, A. and K. Möller (2008), "How to become solution provider: System supplier's strategic tools," *Journal of Business-to-Business Marketing*, 15(3), pp.247-289.
- Helo P., M. Suorsa, Y. Hao and P. Anussornnitisarn (2014), *Toward a cloud-based manufacturing execution system for distributed manufacturing*, Computers in Industry, Elsevier Ltd.
- Henderson, R. and K.B. Clark (1990), "Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms," *Administrative Science Quarterly*, 35, pp.9-30.
- Herstatt, C. and E. von Hippel (1992), "From experience: developing new product concepts via the lead user method: A case study in a "low-tech" field," *Journal of Product Innovation Management* 9 (3), pp.213-21.
- Hjalmarsson, A., Juell-Skielse, G. and P. Johannesson (2017), *Open Digital Innovation A Contest Driven Approach*, Springer
- Hiennerth, C. (2006) "The commercialization of user innovations: The development of the rodeo kayak industry," *R&D Management* 36 (3), pp.273-94.
- Hiennerth, C., Keinz, P. and C. Lettl (2011) "Exploring the nature and implementation process of user-centric business models," *Long Range Planning* 44 (5-6), pp.344-374.
- Hiennerth, C. and C. Lettl (2011) "Exploring how peer communities enable lead user innovations to become standard equipment in the industry: Community pull effects," *Journal of Product Innovation Management* 28 (s1), pp.175-195.
- Hiennerth, C., Lettl, C. and P. Keinz (2014) "Synergies among Producer Firms, Lead Users, and User Communities: The Case of the LEGO Producer-User Ecosystem," *Journal of Production Innovation Management* 31(4), pp.848-866
- Hines, P. and D. Taylor (2000), *Going Lean*, Lean Enterprise Research Center, Cardiff.
- Homburg, C., Fassnacht, M. and C. Guenther (2003), "The Role of Soft Factors in Implementing a Service-Oriented Strategy in Industrial Marketing Companies." *Journal of Business-to-Business Marketing* 10 (2), pp.23-51.
- Hukkala, T. and M. Kohtamäki (2017), "Solution providers' strategic capabilities," *Journal of Business & Industrial Marketing*, 32(5), pp.752-770.
- Jaakkola, E. and T. Hakanen (2013), "Value co-creation in solution networks," *Industrial Marketing Management* Vol.42(1), pp.47-58.
- Jacobides, M. G. (2005) "Industry change through vertical disintegration: How and why markets emerged in mortgage banking," *The Academy of Management Journal* 48 (3), pp.465-498.
- Jaekel, Michael (2017), *Die Macht der digitalen Plattformen: Wegweiser im Zeitalter einer expandierenden Digitalisphaere und kuenstlicher Intelligenz*, Springer
- Jeppesen, L. B. and L. Frederiksen (2006) "Why do users contribute to firm-hosted user communities? The case of computer-controlled music instruments," *Organization Science* 17 (1), pp.45-63.

- Jeppesen, L. B. and M. J. Molin (2003) "Consumers as co-developers: Learning and innovation outside the firm," *Technology Analysis and Strategic Management* 15 (3), pp.363-383.
- Jeschke, S., Brecher, C., Song, H. and D.B. Rawat ed. (2017), *Industrial Internet of Things*, Springer
- Johnstone, S., Wilkinson, A. and A. Dainty (2014), "Reconceptualizing the Service Paradox in Engineering Companies: Is HR a Missing Link?," *Engineering Management, IEEE Transactions on*, vol.61, No.2, pp.275-284.
- Josephson, B.W., Johnson, J.L., Mariadoss, B.J. and J. Cullen (2016), "Service transition strategies in manufacturing implications for firm risk," *Journal of Service Research*, 19(2), pp.142-157.
- Kagermann, H., Helbig, J., Hurzig, A. and W. Wahlster (2013), *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry: Final Report of the Industrie4.0 Working Group*, Acatech, Berlin.
- Karadgi, S. (2014), *A Reference Architecture for Real-Time Performance Measurement An Approach to Monitor and Control Manufacturing Processes*, Springer.
- Karatzas, A., Johnson, M. and M. Bastl (2017), "Manufacturer-supplier relationships and service performance in service triads", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.37 No.7, pp. 950-969.
- Kasper, S. and M. Schneider (2015), "Lean Und Industrie4.0 in Der Intralogistik: Effizienzsteigerung Durch Kombination Der Beiden Ansaetze," *Productivity Management* 20(5), pp.17-20.
- Keinz, P., G. Hienert and C. Lettl (2012) "Designing the organization for user innovation," *Journal of Organizational Design* 1 (3), pp.20-36.
- Khanchanapong, T., Prajogo, D., Sohal, A.S., Cooper, B.K., Yeung, A.C.L. and T.C.E. Cheng (2015), "The Unique and Complementary Effects of Manufacturing Technologies and Lean Practices on Manufacturing Operational Performance," *International Journal of Production Economics* 153, pp.191-203.
- Kindström, D. (2010), "Towards a service-based business model-Key aspects for future competitive advantage," *European Management Journal* 28(6), pp.479-490.
- Kindström, D. and C. Kowalkowski (2014), "Service innovation in product-centric firms: a multidimensional business model perspective," *Journal of Business & Industrial Marketing*, 29(2), pp.96-111.
- Kindström, D., Kowalkowski, C. and E. Sandberg (2013), "Enabling service innovation: A dynamic capabilities approach," *Journal of Business Research*, 66(8), pp.1063-1073.
- Kinnunen, R. and T. Turunen (2012), "Identifying Servitization Capabilities of Manufacturers: A Conceptual Model," *The Journal of Applied Management and Entrepreneurship*, 17(3).
- Kletti, J. (2007), *Manufacturing Execution System - MES*, Springer.
- Kohtamäki, M. and P. Helo (2015), "Industrial services - the solution provider' s stairway to heaven or highway to hell?," *Benchmarking: An International Journal*, 22(2), pp.170-185.
- Kohtamäki, M., Parida, V., Oghazi, P., Gebauer, H. and T. Baines (2019), "Digital servitization business models in ecosystems: A theory of the firm," *Journal of Business Research*, 104, 380-392.

- Kohtamäki, M. and J. Partanen (2016), "Co-creating value from knowledge-intensive business services in manufacturing firms: The moderating role of relationship learning in supplier-customer interactions," *Journal of Business Research* Vol.69(7), pp. 2498-2506.
- Kohtamäki, M., Partanen, J. and V. Parida (2013), "Non-linear relationship between industrial service offering and sales growth: the moderating role of network capabilities," *Industrial Marketing Management*, 42(8), pp.1374-1385.
- Kolberg, D., Knobloch, J. and D. Zuehlke (2017), "Towards a lean for workstations," *International Journal of Production Research*, Vol.55, No.10, pp.2845-2856.
- Kowalkowski, C. and P.O. Brehmer (2013), "Technology as a driver for changing customer-provider interfaces Evidence from industrial service production," *Management Research News*, 31(10), pp.746-757.
- Kowalkowski, C., Gebauer, H., Kamp, B. and G. Parry (2017), "Servitization and deservitization: Overview, concepts, and definitions," *Industrial Marketing Management*, 60, pp.4-10.
- Kowalkowski, C., Gebauer, H. and R. Oliva (2017), "Service growth in product firms: Past, present, and the future," *Industrial Marketing Management*, 60, pp.82-88.
- Kowalkowski, C., Kindström, D. and H. Gebauer (2013), "Service infusion as agile incrementalism in action," *Journal of Business & Industrial Marketing*, 28, pp.506-513.
- Kowalkowski, C., Windahl, G., Kindström, D. and H. Gebauer (2015), "What service transition? Rethinking established assumptions about manufacturers' service-led growth strategies," *Industrial Marketing Management*, 45(2), pp.59-69.
- Kreye, M., Roehrich, J. and M.A. Lewis (2015) "Servitising manufacturers: The impact of service complexity and contractual and relational capabilities," *Production Planning and Control* Vol.26(14), pp.1233-1246.
- Kristensson, P., Gustafsson, A. and T. Archer (2004), "Harnessing the creative potential among users," *Journal of Product Innovation Management*, 21(1), pp.4-14.
- KuÈssel, R., Liestmann, V., Spiess, M. and V. Stich (2000) "TeleService a customer-oriented and efficient service?" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 107, No.1, pp.363-371.
- Kumar, R. and U. Kumar (2004) "A conceptual framework for the development of a service delivery strategy for industrial systems and products," *Journal of Business & Industrial Marketing*, Vol. 19, No.5, pp.310-319.
- Kumar, R., and T. Markeset (2007) "Development of performance - based service strategies for the oil and gas industry: a case study," *Journal of Business & Industrial Marketing*, Vol. 22, No. 4, pp.272-280.
- Laage-Hellman, J., Landqvist, M. and F. Lind (2018), "Business creation in networks: How a technology-based start-up collaborates with customers in product development," *Industrial Marketing Management*, 70, pp.13-24.
- Langner, B. and V.P. Seidel (2015), "Sustaining the flow of external ideas: The role of dual social identity across communities and organizations," *Journal of Product Innovation Management*, 32(4), pp.522-538.
- Lay, G., Copani, G., Jäger, A. and S. Biege (2010), "The relevance of service in European manufacturing industries," *Journal of Service Management* Vol.21(5), pp. 715-726.
- Lea, P. (2020), *IoT and Edge Computing for Architects*, Packt Publishing, UK

- Leminen, S., Rajahonka, M., Westerlund, M. and R. Wendelin (2018), "The future of the Internet of Things: toward heterarchical ecosystems and service business models," *Journal of Business & Industrial Marketing*, 33(6), pp.749-767.
- Lettl, G. (2007), "User Involvement Competence for Radical Innovation," *Journal of Engineering and Technology Management*, 24(1), pp.53-75.
- Lettl, G., C. Herstatt and H. G. Gemuenden (2006) "Users' contributions to radical innovation: Evidence from four cases in the field of medical equipment technology," *R&D Management* 36 (3), pp251-272.
- Lewis, M.A. (2000) "Lean production and sustainable competitive advantage," *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.20, No.8, pp.959-978.
- Liao, Y., Deschamps, F., Lourse, E.D.F.R. and L.F.P. Ramos (2017), "Past, Present and Future of Industry4.0 — a Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal," *International Journal of Production Research*, 55(12), pp.3609-3629.
- Lightfoot, H. W. and H. Gebauer (2011) "Exploring the alignment between service strategy and service innovation," *Journal of Service Management*, Vol.22, No.5, pp.664-683
- Liker, J.K. (2004), *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*, McGraw-Hill, New York.
- Liker, J.K. (2007), *Toyota Talent: Developing Your People the Toyota Way*, McGraw-Hill, New York, NY.
- Liker, J.K. and M. Hoseus(2008), *Toyota Culture: The Heart and Soul of the Toyota Way*, McGraw-Hill, New York, NY.
- Lilien, G.L., Morrison, P.D., Searls, K., Sonnack, M. and E. von Hippel (2002) "Performance assessment of the lead user idea-generation process for new product development," *Management Science* 48 (8), pp.1042-1059.
- Löfberg, N., Witell, L. and A. Gustafsson(2010), "Service strategies in a supply chain", *Journal of Service Management*, Vol.21 No.4, pp. 427-440.
- Luoto, S., Brax, S.A. and M. Kohtamäki (2017), "Critical meta-analysis of servitization research: Constructing a model-narrative to reveal paradigmatic assumptions," *Industrial Marketing Management* Vol.60(1), pp.89-100.
- G. Lüthje (2003), "Customers as Co-Inventors: An Empirical Analysis of the Antecedents of Customer-Driven Innovations in the Field of Medical Equipment," Proceedings from the 32nd EMAC Conference, Glasgow, Scotland.
- Lüthje, G. and C. Herstatt (2004) "The lead user method: An outline of empirical findings and issues for future research," *R&D Management* 34 (5), pp.553-568.
- Lüthje, G., Herstatt, C. and E. von Hippel (2005), "User-innovators and 'local knowledge': the case of mountain biking," *Research Policy*, Vol.34, pp.951-965.
- Macdonald, E.K., Kleinaltenkamp, M. and H.M. Wilson (2016), "How business customers judge solutions: solution quality and value in use," *Journal of Marketing*, 80(3), pp.96-120.
- Malleret, V. (2006), "Value Creation through Service Offers," *European Management Journal* Vol.24(1), pp.106-116.
- Mann, D.W. (2005), *Creating a Lean Culture Tools to Sustain Lean Conversions*, Productivity Press, New York, NY.

- Markeset, T. and U. Kumar (2003) "Design and development of product support and maintenance concepts for industrial systems," *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 9, No. 4, pp.376-392.
- Marquis, D.G. (1982), "The Anatomy of Successful Innovation", in Tushman, M.L. and W.L. Moore eds., *Reading in the Management of Innovation*, Pitman, Boston, pp.29-41.
- Martin, J. (1995), "Ignore your customer," *Fortune*, Vol.131, pp.123-126.
- Martinez, V., Bastl, M., Kingston, J. and S. Evans (2010), "Challenges in transforming manufacturing organisations into product-service providers," *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(4), pp.449-469.
- Martinez, V., Neely, A., Velu, C., Leinster-Evans, S. and D. Bisessar (2017), "Exploring the journey to services," *International Journal of Production Economics* Vol.192, pp.66-80.
- Mathieu, V. (2001a), "Product services: From a service supporting the product to a service supporting the client," *Journal of Business & Industrial Marketing*, 16(1), pp.39-61.
- Mathieu, V. (2001b), "Service strategies within the manufacturing sector: Benefits, costs and partnership," *International Journal of Service Industry Management*, 12(5), pp.451-475.
- Matthyssens, P. and K. Vandenbempt (2008), "Moving from basic offerings to value-added solutions: Strategies, barriers and alignment," *Industrial Marketing Management*, 37(3), pp.316-328.
- Matthyssens, P. and K. Vandenbempt (2010), "Service addition as business market strategy: identification of transition trajectories," *Journal of Service Management*, 21(5), pp.693-714.
- McIntosh, R. I. et al. (2000) "A Critical evaluation of Shingo's 'SMED' (single minutes exchange of die) methodology," *International Journal of Production Research*, 38(11), pp.2377-2395.
- Mersha, T. and R. Merrick(1997), "TQM implementation in LDC's driving and restraining forces," *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.17, pp.164-183.
- Miles, M. B., Huberman, A. M. and J. Saldana(2013), *Qualitative Data Analysis: A methods sourcebook (3rd ed.)*, SAGE Publications.
- Miller, D., Hope, Q., Eisenstat, R., Foote, N. and J. Galbraith (2002), "The problem of solutions: Balancing clients and capabilities," *Business Horizons*, 45(2), pp.3-12.
- Mintzberg, H. (1988), Generic strategies: Toward a comprehensive framework. *Advances in strategic management*, Vol. 5, pp.1-67.
- Moeuf, A., R.Pellerin, S.Lamour, S.Tamayo-Giraldo and R.Barbaray(2017), "The Industrial Management of SMEs in the Era of Industry4.0," *International Journal of Production Research* 92, pp.1-19.
- Mont, O. (2002), "Clarifying the Concept of Product-Service System," *Journal of Cleaner Production* 10 (3), pp.237-245.
- Morrison, P.D., Roberts, J.H. and E. von Hippel (2000), "Determinants of user innovation and innovation sharing in a local market," *Management Science*, Vol.46, pp.1513-1527.

- Mrugalska, B., Trzcielinski, S., Karwowski, W., Di Nicolantonio, M. and E. Rossi (2019), *Advances in Manufacturing, Production management and Process Control*, Springer.
- Mudambi, S.M., Doyle, P. and V. Wong (1997), "An exploration of branding in industrial markets," *Industrial Marketing Management*, Vol.26(5), pp.433-446.
- Murray, F., and S. O' Mahony (2007), "Exploring the foundations of cumulative innovation: Implications for organization science," *Organization Science* 18 (6), pp.1006-21.
- Neely, A. (2009), "Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing," *Operations Management Research*, 1(2), pp.103-118.
- Negahban, A. and J.S. Smith (2014) Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33 Mellor. Elsevier Ltd., pp.241-261.
- Neu, W.A. and S.W. Brown (2005) "Forming Successful Business-to-Business Services in Good-Dominant Firms," *Journal of Service Research*, 8(1), pp.3-17.
- Nordin, F. and C. Kowalkowski (2010), "Solutions offerings: a critical review and reconceptualization," *Journal of Service Management* Vol.21(4), pp.441-459.
- Ogawa, S., and F. Piller (2006), "Reducing the risks of new product development," *MIT Sloan Management Review* 47 (2), pp.65-71.
- Oh, W. and S. Jeon (2007), Membership herding and network stability in the open source community: The ising perspective," *Management Science* 53 (7), pp.1086-101.
- Ohno, T. (1988), *Toyota Production System — beyond large-scale production*, Production Press, Cambridge, MA.
- Oliva, R., Gebauer, H. and J. Brann (2012), "Separate or Integrate? Assessing the Impact of Separation between Product and Service Business on Service Performance in Product Manufacturing Firms," *Journal of Business-to-Business Marketing*, Vol.19(4), pp.309-33.
- Oliva, R. and R. Kallenberg (2003), "Managing the transition from products to services," *International Journal of Service Industry Management*, 14(2), pp.160-172.
- Olson, E. L. and G. Bakke (2001), "Implementing the lead user method in a high technology firm: A longitudinal study of intentions versus actions," *Journal of Product Innovation Management* 18 (6), pp.388-95.
- O' Mahony, S. and F. Ferraro (2007) "The emergence of governance in an open-source community," *Academy of Management Journal* 50 (5), pp.1079-106.
- O' Mahony, S. and B.A. Bechky (2008), "Boundary organizations: Enabling collaboration among unexpected allies," *Administrative Science Quarterly*, 53(3), pp.422-459.
- Oviatt, B.M. and P.P. McDougall (1994) "Toward a Theory of International New Ventures", *Journal of International Business Studies*, 25(1), pp.45-64
- Öz, Ü, (2016), *Lean Production & Smart Factory*, Grin Verlag Norderstedt, Germany
- Paiola, M., Sacconi, N., Perona, M. and H. Gebauer (2013), "Moving from products to solutions: Strategic approaches for developing capabilities," *European Management Journal*, 31(4), pp.390-409.
- Park, Patrick H. (2016), *Big Data War: How to Survive Global Big Data Competition*, Business Expert Press.

- Parker, G. G., Van Alstyne, M. W. and S.P. Choudary (2016), *Platform Revolution*, W.W. Norton & Company.
- Patnaik, S. (2020) *New Paradigm of Industry 4.0 Internet of Things, Big Data & Cyber Physical Systems*, Springer.
- Pfeffer, J. and G.R. Salancik (1978), *The external control of organizations : a resource dependence perspective*, Harper & Row, New York.
- Pegels, C.C. (1984), "The Toyota Production System — lessons for American management," *International Journal of Operations and Production Management*, 4(1), pp. 3-11.
- Penttinen, E. and J. Palmer (2007), "Improving firm positioning through enhanced offerings and buyer–seller relationships," *Industrial Marketing Management*, 36(5), pp. 552-564.
- Porter, M. E. (1980), *Competitive strategy. Techniques for analyzing industries and competitors*, The Free Press, New York.
- Porter, M. E. (1985), *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*, The Free Press, New York.
- Potts, G. W. "Exploiting Your Product' s Service Life Cycle," *Harvard Business Review*, 66 No. 5, pp. 32-35.
- Pugh, E. W. (1995), *Building IBM Shaping an Industry and its Technology*, The MIT Press
- Rabetino, R., Harmsen, W. and M. Kohtamäki (2018), "Structuring servitization-related research," *International Journal of Operations & Production Management*, 38(2), pp. 350-371.
- Raddats, C., Baines, T., Burton, J., Story, V. M. and J. Zolkiewski (2016), "Motivations for servitization: the impact of product complexity," *International Journal of Operations and Production Management* Vol. 36(5), pp. 572-591.
- [Raddats, C.](#) and J. Burton (2011), "Strategy and structure configurations for services within product - centric businesses", [Journal of Service Management](#), Vol. 22 No. 4, pp. 522-539.
- Raddats, C. and C. Easingwood (2010), "Services growth options for B2B product-centric businesses," *Industrial Marketing Management*, 39(8), pp. 1334-1345.
- Raddats, C. and C. Kowalkowski (2014), "A reconceptualization of manufacturers' service strategies," *Journal of Business-to-Business Marketing*, 21(1), pp. 19-34.
- Raddats, C., Kowalkowski, C., Benedettini, O., Burton, J. and H. Gebauer (2019), "Servitization: A temporary thematic review of four major research streams," *Industrial Marketing Management*, 83, pp. 207-223.
- Raddats, C., Zolkiewski, J., Story, V.M., Burton, J., Baines, T. and A.Z. Bigdeli (2017), "Interactively developed capabilities: evidence from dyadic servitization relationships," *International Journal of Operations & Production Management*, 37(3), pp. 382-400.
- Raja, J.Z., Chakkol, M., Johnson, M. and A. Beltagui (2018), "Organizing for servitization: examining front- and back-end design configurations," *International Journal of Operations & Production Management*, 38(1), pp. 249-271.
- Rajaja, R., Brax, S.A., Virtanen, A. and A. Salonen (2019), "The next phase in servitization: transforming integrated solutions into modular solutions," *International Journal of Operations & Production Management*, 39(5), pp. 630-657.

- Rayna, T., Striukova, L. and J. Darlington (2015), "Co-creation and user innovation: The role of online 3D printing platforms," *Journal of Engineering and Technology Management*, 37, pp.90–102.
- Riggs, W. and E. von Hippel (1994), "Incentives to innovate and the sources of innovation: the case of scientific instruments," *Research Policy*, Vol.23, No.4, pp. 459–469.
- Ritter, T. and C.L. Pedersen (2020), "Digitization capability and the digitization of business models in business-to-business firms: Past, present, and future," *Industrial Marketing Management*, 86, pp.180–190.
- Rönnberg Sjödin, D., Parida, V. and M. Kohtamäki (2016), "Capability configurations for advanced service offerings in manufacturing firms: Using fuzzy set qualitative comparative analysis," *Journal of Business Research* Vol.69(11), pp. 5330–5335.
- Rogers, E.M. (1962), *Diffusion of innovations*, Free Press of Glencoe, New York.
- Rother, M. and J. Shook (1999), *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA.
- Roy, D., Mittag, P. and N. Baumeister (2015), "Industrie4.0 — Einfluss der Digitalisierung auf die fünf Lean-Prinzipien Schank vs. Intelligent," *Productivity Management*, 20(2), pp. 27–30.
- Rowley, J. (2002), "Using Case Studies in Research," *Management Research News*, 25, pp. 16–27.
- Ruettimann, B. and M. Stoeckli (2016a), "Lean and Industry4.0—Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems," *Journal of Service and Management*, Vol.9, pp. 485–500.
- Rusanen, H., Halinen, A. and E. Jaakkola (2014), "Accessing resources for service innovation—the critical role of network relationships," *Journal of Service Management*, 25(1), pp. 2–29.
- Rymaszevska, A., Helo, P. and A. Gunasekaran (2017), "IoT powered servitization of manufacturing - an exploratory case study," *International Journal of Production Economics*, 192, pp. 92–106.
- Saccani, N., Visintin, F. and M. Rapaccini (2014), "Investigating the linkages between service types and supplier relationships in servitized environments," *International Journal of Production Economics* Vol.149(C), pp. 226–238.
- Saldanha, T. (2019), *Why Digital Transformations Fail*, Berett-Koehler Publishers, Inc. Oakland, CA
- Salonen, A. (2011), "Service transition strategies of industrial manufacturers," *Industrial Marketing Management*, 40(5), pp. 683–690.
- Salonen, A. and E. Jaakkola (2015), "Firm boundary decisions in solution business: Examining internal vs. external resource integration," *Industrial Marketing Management* Vol. 51, pp. 171–183.
- Salonen, A., Saglam, O. and F. Hacklin (2017), "Servitization as reinforcement, not transformation," *Journal of Service Management*, 28(4), pp. 683–690.
- Sawhney, M., Verona, G. and E. Prandelli (2005), "Collaborating to create: The internet as a platform for customer engagement in product innovation," *Journal of Interactive Marketing* 19(4), pp. 4–17.
- Santamaria, L., Nieto, M. and I. Mile (2012), "Service innovation in manufacturing firms: Evidence from Spain," *Technovation* Vol.32, pp. 144–155.

- Saul, C. J. and H. Gebauer (2018), "Born solution providers - Dynamic capabilities for providing solutions," *Industrial Marketing Management*, 73, pp.31-46.
- Schmenner, R. W. (2009), "Manufacturing, service, and their integration: some history and theory," *International Journal of Operations & Production Management*, 29(5), pp. 431-443.
- Scholten, B. (2007), *The Road to Integration A guide to applying the ISA-95 standard in manufacturing*, ISA
- Schreier, M. (2006), "The value increment of mass-customized products: An empirical assessment," *Journal of Consumer Behaviour* 5 (4), pp.317-327.
- Schreier, M., Oberhauser, S. and R. Prügler (2007), "Lead users and the adoption and diffusion of new products: Insights from two extreme sports Communities," *Marketing Letters* 18 (1-2), pp.15-30.
- Sekine, K. (1992), *One-piece flow — cell design for transforming the production process*, Production Press, Portland, Oregon.
- Shah, S. K., and M. Tripsas (2007), "The accidental entrepreneur: The emergent and collective process of user entrepreneurship," *Strategic Entrepreneurship Journal* 1 (1-2), pp.123-140.
- Shane, S. (2001), "Technological opportunities and new firm creation," *Management Science*, Vol.47, pp.205-220.
- Shepherd, C. and P. K. Ahmed (2000) "From product innovation to solutions innovation: A new paradigm for competitive advantage," *European Journal of Innovation Management*, Vol. 3, No. 2, pp.100-106.
- Shingo, S. (1989), *A Study of Toyota Production System from industrial viewpoint*, Productivity Press, Cambridge, MA, pp.85-164.
- Siebel, T.M. (2019), *Digital Transformation*, Rosetta Books, New York
- Siemens(2014), *Motion World Vol.1*
- Siemens(2014), *MindSphere Enabling the world' s industries to drive their digital transformations*
- Siemens(2020a), *Industrial Edge and AI Bring IT to the machine - Scalable, reliable and easy*,
- Siemens(2020b), *Artificial Intelligence In Manufacturing*
- Siggelkow, N. (2007), "Persuasion With Case Studies," *Academy of Management Journal*, 50(1), pp.20-24.
- Sinha, A., Bernardes, E., Calderon, R. and T. Wuest (2020), *Digital Supply Networks*, McGraw-Hill, New York.
- Sjödin, D., Parida, V., Kohtamäki, M. and J. Wincent (2020), "An agile co-creation process for digital servitization: A micro-service innovation approach," *Journal of Business Research*, 112, pp.478-491.
- Smith, W. K. and M.L. Tushman (2005), "Managing strategic contradictions: A top management model for managing innovation streams," *Organization Science*, 16(5), pp.522-536.
- Song, X. M. and M. M. Montoya-Weiss (1998), "Critical development activities for really new versus incremental products," *Journal of Product Innovation Management* 15 (2), pp.124-135.

- Spring, M. and L. Araujo (2013), "Beyond the service factory: Service innovation in manufacturing supply networks," *Industrial Marketing Management* Vol.42(1), pp.59-70.
- Staufen AG (2016), *Deutscher Industrie4.0 Index 2015*, Satufen AG, Koengen.
- Stebbins, R.A. (2001), *Exploratory Research in the Social Sciences*, Sage, Thousand Oaks, CA.
- Stewart, P. (1998), "Out of chaos comes order from Japanization to lean production: a critical commentary," *Employee Relations*, Vol.20 No.5, pp.127-137.
- Stone, K.B. (2012), "Lean transformation: organizational performance factors that influence firm's leanness," *Journal of Enterprise Transformation*.
- Storbacka, K. (2011), "A solution business model: capabilities and management practices for integrated solutions," *Industrial Marketing Management*, 40(5), pp.699-711.
- Storbacka, K., Brodie, R.J., Böhmman, T., Maglio, P.P. and S. Nenonen (2016), "Actor engagement as a microfoundation for value co-creation," *Journal of Business Research*, 69(8), pp.3008-3017.
- Storbacka, K. and R. Pennanen (2014), *Solution business: Building a platform for organic growth*. New York: Springer.
- Storbacka, K., Windahl, G., Nenonen, S. and A. Salonen (2013), "Solution business models: transformation along four continua," *Industrial Marketing Management*, 42(5), pp.705-716.
- Story, V., Raddats, G., Burton, J., Zolkiewski, J. and T. Bains (2016), "Capabilities for advanced services: A multi-actor perspective," *Industrial Marketing Management* Vol.60 , pp.54-68.
- Stremersch, S., Wuyts, S. and R. T. Frambach (2001) "The purchasing of full-service contracts: An exploratory study within the industrial maintenance market," *Industrial Marketing Management*, Vol.30, No.1, pp.1-12.
- Suarez, F.F., Cusumano, M.A. and S.J. Kahl (2013), "Services and the Business Models of Product Firms: An Empirical Analysis of the Software Industry," *Management Science* Vol.59(2), pp. 420-435.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. and S. Uchikawa (1977), "Toyota Productions System and Kanban System: Materialization of Just-in-Time and Respect-for-human System," *International Journal of Production Research*, Vol.15, No.6, pp.553-564.
- Tamboli, A. (2019), *Building Your Own IoT Platform*, Apress
- Terwiesch, G. and Y. Xu. (2008), "Innovation contests, open innovation, and multiagent problem solving," *Management Science* 54 (9), pp.1529-1543.
- Thomas, L. D. W., Autio, E. and D.M. Gann (2014), "Architectural leverage: Putting platforms in context," *The Academy of Management Perspectives*, 28(2), pp.198-219.
- Thomke, S. and E. von Hippel (2002), "Customers as innovators: A new way to create value," *Harvard Business Review* 80 (4), pp.74-81.
- Thompson, S. A. and R. K. Sinha (2008), "Brand communities and new product adoption: The influence and limits of oppositional loyalty," *Journal of Marketing* 72 (6), pp.65-80.
- Thun, J.H. (2006) "Maintaining preventive maintenance and maintenance prevention: analyzing the dynamic implications of Total Productive Maintenance," *System Dynamics Review*, 22(2), pp.163-179.

- Thun, J.H., Drueke, D. and A. Gruebner (2010), "Empowering Kanban through TPS-principles — an empirical analysis of the Toyota Production System," *International Journal of Production Research*, Vol.48, No.23, pp.7089-7106.
- Tschirky, H., Savioz, P. and H. Jung (2003), *Technology and Innovation Management on the Move: From Managing Technology to Managing Innovation-Driven Enterprises*, Verlag Industrielle Organisation, Zürich (亀岡秋男監訳(2005)『科学経営のための実践的MOT—技術主導型企業からイノベーション主導型企業へ』、日経BP社)
- Tukker, A. (2004), "Eight types of product-service system: Eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet," *Business Strategy and the Environment*, 13(4), pp.246-260.
- Tulli, K. R., Kohli, A. K. and S.G. Bharadwaj (2007), "Rethinking customer solutions: From product bundles to relational processes," *Journal of Marketing*, 71(July), pp.1-17.
- Tushman, M. and P. Anderson (1986), "Technological discontinuities and organizational environments," *Administrative Science Quarterly*, 31(3), pp.439-465.
- Tushman, M., Lakhani, K. and H. Lifshitz-Assaf (2012), "Open innovation and organization design," *Journal of Organization Design*, 1(1).
- Uлага, W., and W. Reinartz (2011), "Hybrid offerings: How manufacturing firms combine goods and services successfully," *Journal of Marketing*, 75(November), pp.5-23.
- United States-China Economic and Security Review Commission (2018), *China, the United States and the Next Generation Connectivity - 5th Generation Wireless Technology(5G), Internet of Things(IoT) Standards and Technology Development, Huawei and ZTE Security Controversy*
- Urban, G. L. and E. von Hippel (1988), "Lead user analyses for the development of new industrial products," *Management Science*, 34(5), pp.569-582.
- Urban, G. L. and E. von Hippel (1988), "Lead user analyses for the development of new industrial products," *Management Science*, 34(5), pp.569-582.
- Valtakoski, A. (2017), "Explaining servitization failure and deservitization: A knowledge-based perspective," *Industrial Marketing Management* Vol. 60, pp.138-150.
- Van Alstyne, M. W., Parker, G. G. and S.P. Choudary (2016), "Pipelines, platforms, and the new rules of strategy," *Harvard Business Review*, 94, pp.54-62.
- Vandermerve, S. (1987), "Diffusing new ideas in-house," *The Journal of Product Innovation Management*, Vol.4, pp.256-264.
- Vandermerwe, S. and J. Rada (1988), "Servitization of business: Adding value by adding services," *European Management Journal*, 6(4), pp.314-324.
- van Eijnatten, F.M. and G. Putnik(2004) "Chaos, complexity, learning, and the learning organization — towards a chaotic enterprise," *The Learning Organization*, Vol.11 No.6, pp.430-449.
- Veneri, G. and A. Capasso (2018), *Hands-On Industrial Internet of Things*, Packet Publishing, U.K.
- Visnjic Kastalli, I. and B. Van Looy (2013), "Servitization: Disentangling the impact of service business model innovation on manufacturing firm performance," *Journal of Operations Management*, 31, pp.169-180

- von Hippel, E. (1976) "The dominant role of users in the scientific instrument innovation process," *Research Policy* 5(3), pp.212-239.
- von Hippel, E. (1986) "Lead users: A source of novel product concepts," *Management Science*, 32 (7), pp.791-805.
- von Hippel, E. (1988), *The sources of innovation*, MIT Press, Cambridge, MA. (榊原清則訳(1991)『イノベーションの源泉：真のイノベーターは誰だ』ダイヤモンド社)
- von Hippel, E. (1989) "New product ideas from 'lead users' " *Research Technology Management* 32(3), pp.24-27.
- von Hippel, E. (1998), "Economics of product development by users: The impact of 'sticky' local information," *Management Science* 44 (5), pp.629-644.
- von Hippel, E. (2001), "Perspective: User toolkits for innovation," *Journal of Product Innovation Management* 18 (4), pp.247-257.
- von Hippel, E. (2005), *Democratizing innovation*, MIT Press, Cambridge, MA
- von Hippel, E. (2007), "Horizontal innovation networks—By and for users," *Industrial and Corporate Change* 16 (2), pp.293-315.
- von Hippel, E. (2013) "User innovation: An interview with Eric von Hippel," *Research Technology Management* 56(3), pp.15-20.
- von Hippel, E. (2006), *Free Innovation*, MIT Press, Cambridge, MA (サイコム・インターナショナル監訳(2017)『民主化するイノベーションの時代—メーカー主導からの脱皮』、ファーストプレス社)
- von Hippel, E. and R. Katz (2002), "Shifting innovation to users via toolkits," *Management Science* 48 (7), pp.821-633.
- von Hippel, E., Thomke, S. and M. Sonnack (1999) "Creating breakthroughs at 3M," *Harvard Business Review* 77(5), pp.47-56.
- Wagner, T., C.Herrmann and S.Thiede (2017), "Industry4.0 impacts on lean production systems" , *Procedia CIRP* 63, pp.125-131.
- Wang, J., Kosaka, M. and K. Xing (2016), *Manufacturing Servitization in the Asia-Pacific*, Springer.
- Westergren, U. H. (2011) "Opening up innovation: the impact of contextual factors on the co-creation of IT-enabled value adding services within the manufacturing industry," *Information Systems and e-Business Management*, Vol.9, No.2, pp.223-245.
- Wieandt, J. (2015), *MES- und ERP-Systeme Aufgabenverteilung in der Planung und Steuerung*, Grin Verlag, Norderstedt, Germany.
- Windahl, C. and N. Lakemond (2006), "Developing integrated solutions: The importance of relationships within the network," *Industrial Marketing Management*, 35(7), pp.806-818.
- Windahl, C. and N. Lakemond (2010), "Integrated solutions from a service-centered perspective: Applicability and limitations in the capital goods industry," *Industrial Marketing Management*, 39(8), pp.1278-1290.
- Wise, R., and P. Baumgartner (1999), "Go downstream: The new profit imperative in manufacturing," *Harvard Business Review*, 77(5), pp.133-141.
- Womack, J., D.Jones, D.Roos (1990), *The Machine that Changed the World*, Rowson Associate, New York, NY.
- Womack, J. and D.Jones(1996), *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*, The Free Press, New York, NY

- Wright, P. (2013), "Cyber-physical product manufacturing," In *Society of Manufacturing Engineers* (pp.49-53), Elsevier Ltd.
- Yamamoto, Y. and M. Bellgran (2010), "Fundamental mindset that drives improvements towards lean production," *Assembly Automation*, Vol.30 No.2, pp.124-130.
- Yin, R. K. (1994), *Case study research: Design and method(2nd ed.)*, Sage Publications (近藤公彦訳(2011)『ケース・スタディの方法(第2版)』千倉書房).
- Yin, R. K. (2018), *Case study research and applications: Design and Methods*, Sage publications.
- Zhu, F. and M. Iansiti (2012), "Entry into platform-based markets," *Strategic Management Journal*, 33(1), pp.88-106.
- Zhu, F. and N. Fur (2016), "Products to platforms: Making the leap," *Harvard Business Review*, 94, pp.73-78.
- West, J., Salter, A., Vanhaverbeke, W. and H. Chesbrough (2014), "Open innovation: The next decade," *Research Policy*, 43(5): 805-811.
- 青木昌彦他編(2002)『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』東洋経済新報社
- Arthur Dolittle(2021)『令和2年度高度な自動走行・MaaS等の社会実装に向けた研究開発・実証事業費 CASE等による産業構造変化を見据えた国内技術動向調査』
- 浅羽茂(1995)『競争と協力の戦略』有斐閣
- 荒木靖弘、大谷晋平、小林正人他著(2016)『Amazon Web Services 企業導入ガイドブック』マイナビ
- 伊東諒、水野順子編著(2009)『工作機械産業の発展戦略—日独並の突力—』工業調査会
- 伊東諒、森脇俊道(2019)『工作機械工学』コロナ社
- I D E C 『アニュアル・レポート』(2015~2020)
- I D E C 『決算短信』(2015年3月期~2021年3月期)
- 一般社団法人日本工作機械工業会(2012)『創立60周年記念草子 工作機械産業ビジョン2020 ~我が国工作機械産業の展望と課題~』一般社団法人日本工作機械工業会
- 伊藤誠吾(2011)『株式会社デンソー 自動車用発電機：Ⅲ型オルタネータの開発・事業化』、一橋大学イノベーション研究センター。
- 今枝昌宏(2006)「製造業のサービス化とサービスマネジメントへの2つのアプローチ」『一橋ビジネスレビュー』54巻2号, 36-50頁
- インテル(2014)『Internet of Things(IoT)による製造パフォーマンスの向上』
- 梅田弘之「ディープラーニングを使った異常検知の方法」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- ASCI-IoT 2017年06月27日付記事『『現在は標準が乱立して麻痺状態、業界はもっと落ち着く必要がある』IoTエッジの相互運用性目指す『EdgeX Foundry』設立、デルに聞く』(<http://ascii.jp/ele/000/001/505/1505203/>)
- AWS(2019)『製造業界のIoTにおけるAWS活用事例とデザインパターン』
- SAP(2016)『目前に迫る第四次産業革命、今、SAPが描く企業のデジタルビジネス変革とは?』
- SAP(2017a)『予知保全・調達改善「Factory IoT・SAP連携」製造ラインと基幹業務システムを繋げて工場改革』
- SAP(2017b)『SAPが提供する予知保全ソリューション「SAP Predictive Maintenance and Service」の中身とは?』
- SAP(2019)『BIツールを完全解説~ビジネス・インテリジェンスの概要・他システムとの違い・機能・メリット・デメリット・選び方~』
- SAP(2020)『SAP Softwareはインダストリー4.0をどのようにサポートするか?』
- NTTコミュニケーションズ(2015)『Enterprise Cloudシステム構築ガイド』NTTコミュニケーションズ

- 榎本俊一(2015)「後発工作機械メーカーの戦略的M&A展開～森精機の経営資源獲得とグローバル化」『商学論纂』第57巻第1・2号471～502頁
- 榎本俊一(2016)「工作機械メーカーの一産業三態のグローバル化～オークマとヤマザキマザックを中心に」『商学論纂』第58巻第1・2号377～412頁
- 榎本俊一(2017)「工作機械メーカーのソリューション・ビジネス：日本メーカーは第4次産業革命に対応できるか」中央大学商学研究会『商学論纂』第59巻第1・2号, 515-553頁
- 榎本俊一(2018)「生産システム・インテグレーションとライン・ビルダー～第4次産業革命の一翼を担う存在たり得るか」『中央大学商学論纂』第60巻1・2号, 449～494頁
- 榎本俊一(2019a)「DENS Oのものづくり～”Smart Factory”はTPSに収斂するのか?～」『中央大学商学論纂』第61巻1・2号, 537～598頁。
- 榎本俊一(2019b)「独立システム・イングレータを目指して ある小企業の挑戦 高丸工業」『中央大学商学論纂』第60巻5・6号, 413～471頁
- 榎本俊一(2021a)「工作機械メーカーのスマート・ファクトリー・ビジネス—第4次産業革命に対応したソリューション・ビジネスの新たな展開」、馬奈木俊介編『人工知能の経済学Ⅱ AIは社会を豊かにするのか』、217～290頁。
- 榎本俊一(2021b)「Smart Factory”はTPSに収斂するのか?—日独製造思想の対決」、馬奈木俊介編『人工知能の経済学Ⅱ「AIは社会を豊かにするのか』、291～344頁。
- 榎本俊一(2021c)「転換期にある『製造企業のサービス成長』研究」、関西学院大学商学部『商学論究』69(1), 161-208頁。
- 榎本(2021d)「制御機器メーカーのソリューション・ビジネス～サービス化による差別化能力の回復～」、『関西学院大学商学論究』第69巻2号
- 太田圭一(2015)『工作機械生産システムの解析』(京都大学博士論文甲第18978号)
- 太田圭一、森雅彦、藤島誠、真鍋研二(2012)「工作機械企業における生産管理—(株)森精機製作所における人間中心型生産管理の事例」『経営システム』第21巻第6号
- 太田桂吾「工場内でのディープラーニングの活用とデータ処理の仕方」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 太田雅晴(2009)『生産情報システム(第2版)』日科技連出
- 大野耐一(1978)『トヨタ生産システム—脱規模の経営をめざして—』ダイヤモンド社
- 大沼雅也(2014)「ユーザ・イノベーションの研究の新たな展開」『日本経営学会誌』34(0)、26-36頁。
- 緒方隆司(2018)『製造企業のDX』日刊工業新聞
- 岡田一成「振動測定による状態監視装置の導入と活用の方法」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 岡田一成「動作音をAIで解析して機器の異常や故障を検知する方法」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 小川進(2000)「ユーザー起動型ビジネスモデル」『国民経済雑誌』5月号, 65-76頁
- 小川進(2002)『イノベーションの発生論理—メーカー主導の開発体制を超えて』千倉書房
- 小川進(2006)『競争的共創論』白桃書房
- 小川進(2013)『ユーザー・イノベーション』東洋経済新報社
- 大沼雅也(2014)「ユーザ・イノベーションの研究の新たな展開」『日本経営学会誌』34(0)、26-36頁。
- 家電製品協会『家電産業ハンドブック』(1981～2021年版)
- 川畑英貴「IoTデータ活用から始める製造現場の品質改善の方法」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 河邑肇(2000)「NC装置メーカーの技術革新と工作機械の価格競争力」『商学論纂』第41巻第4号269～308頁
- 機械振興協会(2016)「日本の機械産業2016—日本版 Industry4.0に向けて模索する日本のモノづくり—」機械振興協会

- 機械振興協会(2017)「日本の機械産業 2017—A I の急速な普及時代における日本のモノづくり—」機械振興協会
- 機械振興協会経済研究所(1992)『工作機械の流通機構に関する調査研究報告書』機械振興協会
- 企業活力研究所(2016)『IoTがもたらす我が国製造業の変容と今後の対応に関する調査研究報告書』企業活力研究所
- 企業活力研究所(2018)『新時代のものづくりにおけるA I の活かし方に関する調査研究報告書』企業活力研究所
- 岸本太一(2012)「日本機械産業B to B 中小企業の生き残り戦略—多くの長期存続企業で見られた戦略セッター—」『MMRC Discussion Paper Series』No. 41
- 近畿経済産業局編(2017)『ロボットシステムインテグレーション集』
- 國光克則(2016)「新世代知能化CNC『OSP1 suite』」『機械と工具』2016年2月号
『月刊生産財マーケティング』2015年2月号(「自動化で利益を出す生き残るための国内生産」)
- 熊沢光正(2013)『トヨタ生産方式大全第2版 大野耐一の思想・理論・写真で見る実践』
大学教育出版
- 経済産業省(2017)『2017年製造基盤白書(ものづくり白書)』
- 経済産業省(2017)『スマートファクトリーロードマップ』
- 経済産業省(2018)『製造プラットフォームを中核とした「Connected Industries」のためのオープン&クローズ戦略の実践方法』
- 経済産業省(2019)『ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性』
- 幸田亮一(2011)『ドイツ工作機械工業の20世紀』多賀出版
- 小島史夫(2004)「デンソーにおける生産システム技術の現状と展望」『デンソーテクニカルレビュー』Vol. 9 No. 1、9頁。
- 小林守(2007)「中国の工作機械業界の現状と日本工作機械メーカーの進出動向」『商学研究所報』第39巻第3号
- 坂爪裕(2012)『セル生産方式の編成原理』慶應義塾大学出版会
- 坂本清編著(2005)『日本企業の生産システム革新』ミネルヴァ書房
- 沢井実(2013)『マザーマシンの夢 日本工作機械工業史』名古屋大学出版会
- GE(2014)『新しいインダストリアル・カンパニーのかたち』
- シスコシステムズ(2018)『工場のデジタル化に向けたネットワークソリューション』
- シーメンス『Motion World』2014~2020年号
- 柴田友厚(2010)「日本工作機械産業の技術的發展メカニズム」『研究技術計画』第24巻第4号、342-343頁
- 柴田友厚(2019)『日本のものづくりを支えたファナックとインテルの戦略:工作機械産業50年の革新史』光文社
- 嶋村公一、佐藤朋美、鎌田聖一「プロセス系工場のIoT/AIを活かした品質改善への取り組み」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 志村健二「IoT・AI導入工場における古い設備のデータを活用する方法」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 重化学工業通信社編(2019)『産業機械工業年鑑』重化学工業通信社
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2014)『NEDOロボット白書2014』
- 新宅純次郎(1994)『日本企業の競争戦略』有斐閣
- 杉戸克彦、井上保、上島益美、竹田修二、横井俊之(2004)「変化に対応し長期間使える循環型生産方式」『精密工学会誌』Vol. 70 No. 6、737-741頁。
- 杉沼浩司、SmartGridニューズレター編集部(2019)『5Gが実現する産業用IoT 産業ロボット/工場の無線化/ローカル5Gが作る巨大市場』インプレス

- 鈴木信貴(2010①)「交渉力と設計能力の構築によるアーキテクチャ・シフト—森精機によるMAPP S開発の事例—」『MMRC Discussion Paper Series』No. 326
- 鈴木信貴(2010②)「生産技術の複雑化—複合加工機の開発—」『MMRC Discussion Paper Series』No. 303
- 鈴木信貴・相山泰生(2009)「工作機械メーカーのソリューション・ビジネス—ヤマザキマザック株式会社—」京都大学大学院経済学研究科 Working PaperJ-72, 1-17 頁
- 鈴木信貴(2021)「コアモジュール部品間の調整戦略：日本工作機械産業における森精機の事例研究」『日本経営学会誌』(48), 3-17 頁。
- 瀬川友史(2015)「ロボットエンジニアリングの海外動向」日本ロボット学会『日本ロボット学友誌』Vol. 33 No. 5, 306~309 頁
- 高木博巳(2006)「デンソーにおけるダイカスト部品の高品質化の取り組み」『デンソーテクニカルレビュー』Vol. 11 No. 2, 59-66頁。
- 貴田義和「既存設備を活かす『稼働監視』と『予知保全』の方法」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 高梨千賀子(2015)「Industrie4.0時代の競争優位についての一考察 日独FAシステムメーカーを事例に」立命館大学イノベーション・マネジメント研究センターDiscussion Paper Series, No. 24
- 高橋俊哉「e-Factoryによる、データ分析・活用の仕方とスマート工場実現への取り組み」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 竹本充生「デジタル化時代に生き抜くモノづくりへの挑戦—デジタル化と現場力の融合—」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- ダッソー株式会社(2019)『世界で進む製造業のデジタル革命 日本のものづくり企業はどう乗り切るか』
- 田村孝文「既存工場にIoT・AIを導入するためのレイアウト改善の進め方」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
- 中小企業基盤整備機構(2013)『世界—の—高効率生産を実現へ オークマ株式会社代表取締役社長 花木義麿』(J-Net21)
- 中小企業金融公庫総合研究所(2008)『中小工作機械メーカーのものづくりとマーケット戦略』(中小公庫レポートNo. 2008-6)
- 『中部経済新聞』2017年10月4日(オークマ,「コネクトプラン」欧州で販売)
- 中馬宏之(2002①)「モジュール設計思想の役割—半導体露光装置と工作機械産業を事例として—」
- 中馬宏之(2002②)「日本のもの造り方式とイノベーションの関係—工作機械産業の発展事例に見る良循環の構図」伊藤秀史編『日本企業 変革期の選択』東洋経済新報社
- 辻直志(2017)「製造業のデジタル化と日本の競争力 進む第四次産業革命」野村総合研究所『知的資産想像』2017年2月号
- 津田朋子(2015)『次世代製造技術の研究開発』科学技術振興機構研究開発戦略センター DMG森精機『ジャーナル』2014~2021年各号
- DMG森精機『プレス発表2014年10月20日付』(「新型オペレーティング・システム CELOS JIMTOF2014 出展の全機種に搭載」)
- DMG森精機『プレス発表2018年1月29日付』(「DMG MORI フロンテンオープンハウス開催のお知らせ」)
- DMG森精機(2017)『DMG MORI Messenger V2 Product Information』
- 寺田充宏, 五十嵐剛, 柳浦健一郎(2018)「デジタル化によって変化する製造業の競争領域」『オペレーションズ・リサーチ』2018年4月号

『東洋経済 Online』2011年12月1日号(世界の工作機械メーカーは今後4分の1に収斂される、開発技術だけで製品バリューが決まる時代は終わった—森雅彦・森精機製作所社長)

『東洋経済 Online』2015年3月27日号(DMG森精機が「日独統合」を早めた理由)

徳田昭雄(2017)『組込みシステムからCPSへ EUにおけるエコシステム・デザインと標準化』科学情報出版

独立行政法人情報処理推進機構(2018)『成功事例に学ぶシステムエンジニアリング~IoT時代のシステム開発アプローチ』独立行政法人情報処理推進機構

長江昭充(2001)「工作機械産業とIT」『精密機械工学会誌』第67巻第5号, 730-731頁

長尾克子(2002)『工作機械技術の変遷』日刊工業新聞社

長尾高明、畑村洋太郎、光石衛、中尾政之(2000)『知能化生産システム』朝倉書店

中村実・正田耕一編(2000)『MES入門:ERP, SCMの世界と生産現場を結ぶ情報システム:製造業の情報化と経営改善のキーテクノロジー』工業調査会

生田目章、井上孝司、村田和美、高橋克彦(2018)『ゲームチェンジングテクノロジー2019』日経BP

日刊工業新聞編(2008)『図解森精機』日刊工業新聞社

『日刊工業新聞』

(IDEC関連)

2012年6月28日付(IDEC、海外生産比率40%に)

2013年7月17日付(戦略ライン・強みはここ/IDEC-ロボセル生産で多品種対応)

2014年6月3日付(IDEC、制御機器関連2社を子会社化-ソリューション事業を強化)

2014年10月16日付(IDEC、国際安全規格対応の安全スイッチ24機種を発売)

2014年10月22日付(世界市場へのパスポート・国際標準化の重要性)

2014年10月24日付(IDEC、FA向け薄型インターフェースリレーを国内投入)

2016年3月22日付(設計・開発フロンティア/IDEC-制御関連機器)

2016年4月26日付(IDEC、人とロボ協働作業エリア内で安全確保が可能なモデルパッケージ提案)

2016年6月21日付(IDEC、産業用協働安全ロボットのレンタル事業開始)

2016年8月23日付(IDEC、協調安全ロボテクニカルセンターを愛知・一宮市に開設)

2016年12月16日付(IDEC、仏アペム完全子会社化—292億円で買収、スイッチ拠点活用)

2017年1月31日付(IDEC、生産効率化へ産業用スイッチの機種削減-利益率目標達成を前倒し)

2017年10月25日付(広がるロボット活用(4) IDEC-協働型ロボで生産体制柔軟に)

2018年5月24日付(IDEC、東京センサを完全子会社化)

2018年12月5日付(IDEC、スイッチ投入 安全関連製品を充実)

2019年1月23日付(IDEC、産業用スイッチで欧州テコ入れ 仏子会社工場に自動化設備導入)

2019年3月13日付(IDEC、スイッチガード 意図しない操作防ぐ)

2019年4月19日付(IDEC、ロボ安全管理資格の取得支援 事前講習・受験料負担)

2019年6月17日付(IDEC/産ロボ用ティーチング機器 タッチパネル搭載で簡単操作)

2019年8月27日付(IDEC、プッシュイン式制御製品)

2019年9月2日付(IDEC、防爆マットスイッチ発売)

2019年12月24日付(IDEC、安全リレーモジュール 国際規格に対応)

2020年2月6日付(IDEC、インドに子会社設立 制御機器販売)

2020年8月4日付(IDEC、ワンタッチ接続制御ユニット発売)

2020年11月3日付(IDEC、安全制御機器7機種 予知保全向け)

2020年11月23日付(IDEC、国内営業を分社化 サービス向上)

2021年1月13日付(IDEC、協働ロボの生産能力3倍に 新工場4月稼働)

- 2021年1月18日付(IDE C子会社、米で制御盤規格認証)
 2021年3月30日付(IDE C、協働ロボシステム増産 新工場を来月稼働)
 (IoT関連)
 2015年8月19日(オークマ, IoT対応 工作機械ネット化推進)
 2015年11月12日(「ヤマザキマザック, スマート・ファクトリー提案—工作機械ソフト
 刷新 IoT対応を強化」)
 2017年1月16日(工作機械, ソリューションに活路)
 2017年9月12日(エイムネクストがヤマザキマザックと提携し機械加工のIoTサービス)
- 『日経企業活動情報』2006年4月17日付
 『日経XTECH』2020年11月12日付記事『日経企業活動情報オンプレもエッジもクラウドも一元管理、MSやIBMが狙う「新たな困り込み」』
 日経クロストrend編(2019)『AI・IoTデータ活用総覧2019-2020』日経BP
 日経コンピュータ・日経ものづくり他(2014)『すべてわかるIoT大全 モノのインターネット活用の最新事例と技術』日経BP
 日経コンピュータ『ケーススタディー: DMG森精機: デジタルツインで仮想切削 世界大手が挑む顧客接点DX』
 『日経産業新聞』
 2013年5月21日(工作機械, 双方向で管理 ヤマザキマザック装置開発
 IoT活用し新技術 保守診断やアプリ更新)
 2013年5月21日(ヤマザキマザック サイバー工場世界展開)
 2013年5月28日(工作機械のオークマ 秘密新工場で効率磨く)
 2013年12月16日(ヤマザキマザック 無人で長時間部品加工)
 2015年12月25日(製造革新 つながる工場 ヤマザキマザック 設備稼働率10%向上
 映像で繁閑を分析)
 2016年2月3日(IoT先駆 自社工場で芽 オークマ, つながる工場で新事業)
 2016年4月12日(ヤマザキマザック サイバー工場世界展開)
- 日経「強い工場」取材班「コンパクトライン革命」、『日経ものづくり』2013年9月号
 (<https://tech.nikkeibp.co.jp/dm/article/HONSHI/20130823/298983/>)。
 日経BPグリーンテックラボ(2018)『GAF Aの成長戦略分析 MaaS、IoTデバイス、
 SaaSはこう変わる』日経BP
 『日経ビジネス』1999年1月4日号(森精機製作所 日本がダメなら海外で売る)27~29頁
 『日経ビジネス』2005年1月24日号(森精機製作所 通説に逆らう経営)56~60頁
 『日経ものづくり』2014年3月号(DMG森精機取締役社長森雅彦 グローバル競争にこう勝ち残る)6~8頁
 『日経ものづくり』2006年4月号(私が考えるものづくり 山崎智久ヤマザキマザック代表
 取締役社長)6~8頁
- 日経ものづくり編(2010)『実践ものづくりイノベーション』日経BP
 日本機械学会編(2005)『生産システム工学』丸善
 日本機械学会編(2008)『メカトロニクス・ロボティクス』丸善
 日本機械工業連合会(2016)『世界の製造業のパラダイム・シフトへの対応調査研究
 ~ICTの徹底活用と新しい現場力 TAKUMI4.0を目指して~』
 『日本経済新聞』
 2016年12月15日付(IDE C、仏産業用スイッチ企業を292億円で買収)
 2019年1月18日付(制御装置の生産能力6割増 IDE Cが台湾に新工場)
 2019年3月19日付(産業用スイッチのIDE C、独社と協業)
 2021年4月2日付(IDE C、中国で産業用スイッチ生産倍増 工場を拡張移転)
 2021年4月30日付(IDE C、スキューズの工場システム事業を買収)
- 日本工作機械工業会(1985)『日本の工作機械産業: 機械工業の発展を支える産業』日本工作機械工業会

- 日本工作機械工業会(2002)『世界への途、半世紀 創立 50 周年記念』
 日本工作機械工業会(2012)『創立 60 周年記念草子 工作機械産業ビジョン 2020～わが国工作機械産業の展望と課題～』
 日本鑄造工学会編(2002)『鑄造工学便覧』丸善
 日本能率協会編(1983)『F A 生産システム設計法』日本能率協会
 日本半導体装置製造協会編(2007)『液晶ディスプレイ製造装置用語辞典』日刊工業新聞社
 ネットワンシステムズ株式会社『プレス発表 2018 年 4 月 13 日付』(ネットワンシステムズ、ヤマザキマザックの製造業向け IoT ソリューションを技術支援)
 長谷川徹(2020)「食品工場の IoT 化の基礎と導入効果、運用・実践のポイント」技術情報協会編『工場・製造プロセスへの IoT・AI 導入と活用の仕方』技術情報協会
 林隆一(2021)『工作機械・ロボット産業のエコシステム：日本企業が支える世界の「モノづくり」基盤』晃洋書房
 ビジネス+IT 2021 年 3 月 4 日付記事『ERP ベンダーをガートナーが比較、SAP・オラクル・富士通富の戦略から何がわかるのか』
- 日立製作所・日経エレクトロニクス(2014)「稼ぐビック・データ・IoT 技術徹底解説」日経BP
 百嶋徹「製造業などにおける AI・IoT の利活用の在り方」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへの IoT・AI 導入と活用の仕方』技術情報協会
 平野貴浩(2010)「日本工作機械産業の現状と課題」『Mizuho Industry Focus』Vol. 81
 深谷安司(2017)「オークスマートファクトリーの最新技術」『機械技術』2017 年 1 月号
 深谷安司(2016)「IoT 時代のモノづくりを実現する新世代知能化 CNC『OSP suite』」『機械技術』2016 年 1 月号
 藤岡誠(2017)『IoT & インダストリー 4.0 とテクノロジーサイクルのご紹介 DMG MORI が提案する IoT・AI』(DMG 森精機伊賀イノベーション・セミナー資料)
 藤岡誠(2017)『Industrie 4.0 について』(自動車部品工業会報告)
 藤川裕晃(2005)『多層階工場レイアウト入門』工業調査会
 富士キメラ総研(2019)『2019 センサーデバイス/ビックデータ・IoT 市場調査総覧』下巻 (IoT 市場編)富士キメラ総研
 富士キメラ総研(2019)『5G 通信を実現するコアテクノロジーの将来展望 2020』富士キメラ総研
 富士キメラ総研(2019)『人工知能ビジネス総調査～クラウドからエッジコンピューティングへ領域が拡大する人口知能(AI)市場を包括的に分析～』富士キメラ総研
 富士キメラ総研(2021)『2021 ワールドワイド エレクトロニクス市場総調査』富士キメラ総研
 富士キメラ総研(2021)『2021 IoT × 産業用ネットワーク関連ビジネス市場総調査～IoT の進展を背景として改革が進む業種別産業用ネットワークの展望～』富士キメラ総研
 藤田泰正(2008)『工作機械産業と企業経営—なぜ日本のマシニングセンタは強いのか—』晃洋書房
 富士通(2015)『IoT 時代にビジネス・社会のイノベーションを引き出すヒント テクノロジー・ソリューション 活用モデル』
 藤本隆宏編(2013)『「人工物」複雑化の時代—設計立国日本の産業競争力』有斐閣
 法山敬一・斎藤俊之(2002)「ネットワーク利用によるリアルタイム工作機械管理システム」『三菱重工技報』Vol. 39 No. 4, 220-223 頁。
 朴泰勲(2001)「工作機械メーカーの製品開発」、藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣, 195~207 頁。
 堀切俊雄(2016)「世界最強の工場運営のノウハウ 新しいトヨタ生産方式『トータル TPS』」日経BP
 堀部和也, 村木俊之(2017)「デジタル化による工場の統合と IoT」『精密工学会誌』Vol. 83 No. 1, 36-41 頁
 ファナック(2016)『ファナックの新たなる IoT への取り組み Field system について』

Microsoft(2019)『現実世界のIoT 製造企業の場合』

マイケル E. ポーター, ジェームズ E. ヘプルマン (2015)「IoT時代の競争戦略」『Harvard Business Review』, ダイヤモンド社

マイケル E. ポーター, ジェームズ E. ヘプルマン (2016)「IoT時代の製造業」『Harvard Business Review』, ダイヤモンド社

水野学 (2011)「製品開発に果たすユーザーイノベーションの役割 : 顧客の声とリード・ユーザー」『阪南論集』47(1)、95-106 頁

『Monoist』記事

(ヤマザキマザック関連)

2014年12月9日付「ヤマザキマザック、大口製作所に最先端の次世代工場向けシステムを導入」

2016年11月30日「工場をスマート化する“箱”、MT Connect で安全に接続」

2017年6月6日「2つの生産拠点をデジタル統合、スマートファクトリー化で生産性を1.5倍へ」

2021年3月31日「ヤマザキマザックとシスコが挑むスマート工場化、生産革新とカーボンニュートラル実現へ」

(オークマ関連)

2014年3月27日『『日本で作って世界で勝つ』——オークマが“夢工場”で描く未来とは』

2016年11月9日「生産革新を実現する複合加工機やマシニングセンタ、工程を吸収——オークマ」

2017年5月22日「スマートファクトリー化に向け実証開始、日立とオークマが協業」

2017年6月14日「オークマの“夢工場”はスマート化とロボット化で花開く」

2017年7月7日「インダストリー4.0の動きの中でオークマが目指すもの」

2018年8月13日「多品種・少量生産に対応するスマートファクトリー新工場を建設」

2019年6月11日「オークマが新世代スマートファクトリーを稼働開始、無人化技術とIoTを融合」

2019年12月9日「複合加工機と組み合わせる次世代ロボットシステム、自動化システム構築を容易に」

(DMG森精機関連)

2015年7月15日「世界1位の工作機械メーカーが目指すインダストリー4.0 DMG 森精機 社長が語る」

2016年11月18日「DMG 森精機は中小製造業へのIoTプロバイダーになる」森社長

2018年8月9日「5軸加工研究会を発足、工程集約への流れを加速」

2019年7月10日「24時間以内発送率95%以上で部品保有点数は1.5倍に、DMG 森精機の新パーツセンター サプライチェーン改革」

2020年7月1日「DX構築と先進技術のための新たな開発拠点を奈良に開設」

2020年7月6日「工作機械の試加工をデジタルツインで、DMG 森精機がデジタルショールームを開始」

2020年11月06日「自動化とデジタル化のモデル工場新設、ドイツでマシニングセンタ生産開始」

2021年4月27日「工作機械中心の自動化システム、全オペレーションを制御するソフトウェアを開発」

2021年8月17日「多品種生産の自動化に対応、工具4000本の搬入と搬出ができる自動化システム」

2021年10月12日「AGV+協働ロボットでツール搬送を自動化、デジタル人作業支援も行う DMG 森精機 スマート工場最前線」

2021年10月13日「無軌道型AGVと人協働ロボットを組み合わせた次世代搬送システム発売 協働ロボット」

(OT、企業システム企業関連)

- 2016年3月10日「プラットフォームが勝つ時代、産業の基盤を目指すダッソー」
2016年8月30日「ファナックのスマート工場パートナーに200社以上が参加、デファクト形成へ加速」
2017年10月4日「現場志向のIoT基盤『FIELD system』が運用開始、稼働監視などを年間100万円で」(Fanuc 関連)
2018年8月20日「古い工場で実現したデジタルツイン、シーメンスが示す“デジタル”の本当の意味」
2018年11月15日「ファナックがFIELD systemで描く、スマートに“動かす”工場の実現」
2019年8月19日「デジタルツインで改善を加速させるシーメンスのインダストリー4.0モデル工場」
2020年3月17日「変種変量生産で効率50%向上、“世界的先進工場”は何を行っているのか」日立おおみか事業所
2020年7月22日「工場設備の立ち上げ期間を30~40%削減、モノづくりDXの価値を訴えるシーメンス」
2020年12月8日「アマゾンのエッジ侵攻が加速、国内製造業は違いを見せられるのか」

水門正良(2008)「工作機械におけるグローバル化」『精密工学会誌』Vol.74 No.1, 20-24頁

水野順子(1990)「主要工作機械企業の国際化戦略」北村かよ子編『機械産業の国際化と部品調達』JETRO

みずほ銀行産業調査部(2016)「日本産業の中期見通し(工作機械)」『みずほ産業調査』56巻3号

三菱重工工作機械(2015)『トータルメンテナンスサポートのご紹介』

宮崎勝実(2001)『工具学 切削工具の技術・管理の実務的ノウハウ』大河出版

武藤一夫(2007)『進化し続けるトヨタのデジタル生産システムのすべて』技術評論社

村山省巳「ロボットを活用した生産ラインの自動化のレイアウト設計の考え方」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会

村山省巳(2018)『グローバル自動化ラインの基礎知識』日刊工業新聞

MONOist2015年07月15日配信(「DMG森精機 社長が語る：世界1位の工作機械メーカーが目指すインダストリー4.0」)(<http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1507/15/news043.html>)

本橋洋介(2019)『業界別AI活用地図』シナノ

森雅俊「IoT・AI導入工場内におけるデータの統合と一元管理の方法」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会

森雅彦(2003)『工作機械分野における国内外生産ビジネスモデルに関する研究』

森雅彦(2006)「日本の工作機械産業の国際競争力」『日本機械学会誌』第109巻第1046号, 16頁

森雅彦(2007)『工作機械産業における技術経営』(日本科学技術連盟「クオリティのひろば」No.48)

森田亮一, 小原潜(2011)「産業機械・工作機械業界におけるM2M技術の活用」『NEC技報』Vol.64 No.4, 53-55頁

森野勝好(1995)『現代技術革新と工作機械産業』ミネルヴァ書房

矢野経済研究所(2020)『躍進する中国AI市場の実態と展望2020』矢野経済研究所

柳康裕, 池田和隆, 神蘭建太「既存工場への後付けIoT・AI導入」技術情報協会編(2020)『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会

山崎康彦(2017)『デンソーのモノづくりの進化~ダントツ工場づくりへの挑戦~』。

ヤマザキマザック『Cyber World』2011~2021年各号

ヤマザキマザック『プレス発表2017年5月8日付』(「本社 大口製作所のスマート化完了『Mazak iSMART Factory』として稼働開始」)

ヤマザキマザック『プレス発表2017年5月22日付』(「主力工場を大規模スマート・ファクトリー化 岐阜県美濃加茂市の2つの生産拠点をデジタル統合し、生産性1.5倍へ」)

ヤマザキマザック『デジタル化による工場統合とIIoT(Industrial Internet of Things)』
山田敏之(2005)「工作機械産業とソリューション・ビジネス」『機械情報産業カレント分析
レポートNo.11』 機械振興協会経済研究所, 1-2 頁
山田浩貢「品質保証体制を強化するためのIoT・AIの活用方法」技術情報協会編(2020)
『工場・製造プロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
山田浩貢「機械学習による故障予測・異常検知の方法」技術情報協会編(2020)『工場・製造プ
ロセスへのIoT・AI導入と活用の仕方』技術情報協会
Rockwell Automations(2021)『製造現場における予兆保全と そのデータ信頼性』
ロボット革命イニシアティブ協議会(2016)『スマートマニュファクチャリングの実践
ケース:工作機械を核とする加エプロセスの生産性向上』
『Robot Digest』
2020年3月16日付及び同17日付記事「製造業の川上工程でPF戦略と自動化が加速/ダッ
ソー・システムズ」
2019年2月18、19日付(人とロボットの協調目指して)
2019年6月7日付(使いやすくて軽いティーチングペンダントを発売/IDEC)