

CAMシステムにおけるマクロ情報の生成*

長坂 保美*¹, 大滝 英征*²
石川 義雄*², 綿 貫 啓 一*²

Generation of Macrocode in CAM

Yasumi, NAGASAKA, Hideyuki OHTAKI,
Yoshio ISHIKAWA and Keiichi WATANUKI

The macrofunction in computer-aided manufacturing (CAM) is executed based on a macrocode which is transformed by a series of operations input by the user. By the use of this function and a frame of a macrocode (macrotemplate) on mechanical parts, we have developed a function for transforming macrocode from data of a CAD drawing to a CAM drawing. However, it is very difficult to build the macrotemplate in the knowledge base, because to do that it must understand CAM operations very well, and the macrotemplate should be tailored to the object. In this paper, we describe a method for generating the macrotemplate automatically, and demonstrate that we have been able to achieve NC machining easily.

Key Words: CAM, CAD, NC, Knowledge Engineering, Macrofunction, Knowledge Base

1. 緒 言

CAMシステムでは、三面図に描かれた線種などを加味しながら、加工に必要な属性(ツールパスの方向、ドリルの回転など)を付加してNCコードを生成するため、知識と経験を要する面倒な作業が存在する。例えば、AutoCAD上のNC Polarisのナレッジベース機能は、一度ユーザが操作した加工手順(履歴)をデータとして登録し、加工情報(NC加工における加工条件や、ツールパス生成の条件など)を会話形式で付加して作業の軽減を図っているが、加工情報そのものを十分に熟知している必要がある。

そこで、前報⁽⁶⁾では、知識ベース(対象モデル表現⁽¹⁾におけるモデル表現)を利用して、CAMシステム上のマクロ機能(加工情報の付加など、ユーザの一連の入力操作をシステムが代行する機能)により、CAD図面からNCコード生成に至るまでの自動処理を提案し、その実用性を検証した。その際、類似した形状部品の設計/製造が効率的に行い得るようマクロ情報の枠組み(マクロテンプレートと呼ぶ)を用意する必要があっ

た。マクロテンプレートは、CAMシステムを熟知した上で、対象に応じてあらかじめ用意する必要があり、システムの運用上、知識ベース構築者に大きな負担となっていた。

本稿では、マクロテンプレートを自動的に生成できるようにし、CAMシステムを意識せずともNC加工が容易に行えるようにしたので、報告する。

2. マクロ情報の生成

2.1 マクロ情報の生成機能 マクロ情報の生成の一例として、機械部品「カム」のモデル表現を図1に示した。図1(a)は、対象モデルの概念による構造モデル表現を、図1(b)は機能モデル表現を示している。このモデル表現の具体的扱いについては、既報⁽⁶⁾にて述べた。

図2は、図1(a)のモデル表現による知識ベース内の知識表現を示したものである。知識ベース中のインスタンスユニット(図中のユニット「fpcam-###」と「fpcam-###-structure」)は、既報⁽²⁾に従い、三面図に関するCADの線種などの情報(図中の一点鎖枠:以降、図面情報と呼ぶ)が格納される。また、この上位ユニット(図2中のユニット「fpcam-***」と「fpcam-***-structure」)は、図1(a)の代表的な

* 原稿受付 平成5年1月28日。

*¹ 埼玉大学大学院 (☎338 浦和市下大久保255)。*² 正員, 埼玉大学工学部。

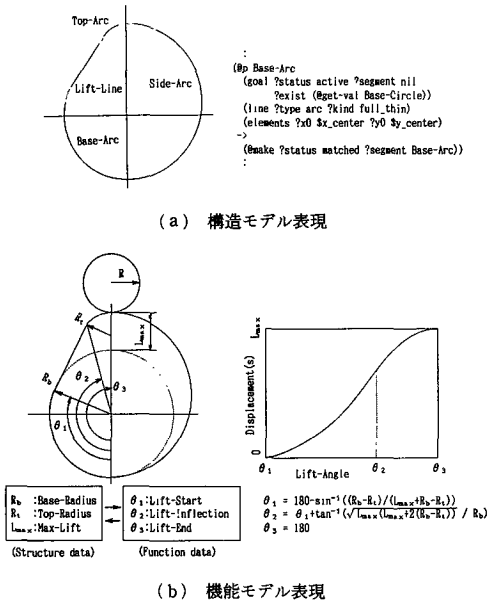


図1 機械部品「カム」のモデル表現

モデル表現の情報が格納される。そして、ユニット「fpcam-###」は、図1(b)の情報が格納される。一方、ユニット「fpcam-###-structure」は、図1(a)の構造モデル表現の情報が格納される。

マクロ情報の生成機能は、この図面情報とモデル表現をもとに、マクロテンプレートを参照、評価することにより行われる。ここで、マクロ情報の生成機能の過程を図中の番号に沿って述べる。

(1) メッセージ交換により、図2中のユニット「fpcam-###」のマクロテンプレートを参照する。

(2) ISA関係(ISA-relation)により、マクロテンプレートの値(図2中の点線枠)が返される。ここで、マクロテンプレートの値が未定義の場合、例えば、新たに構造モデル表現を構築した場合、マクロテンプレートの生成機能が起動し、その値が返される。これについては、2・2節以降で述べる。

(3) マクロテンプレート内の変数(点線枠内の「?」で始まる文字列、例えば「?tool-file」)を決定することにより、マクロ情報を生成する。例えば、以下のマクロテンプレート①における変数「?tool-file」は、スロット「tool-file」の値「wax1」が代入され、マクロ情報②が生成される。

① (new ?tool-file @cr)

② (new wax1 @cr)

ただし、図2中の一点鎖線枠内の「?cam-drawing-1」のマクロ情報の生成については、既報⁽⁶⁾にて述べた。

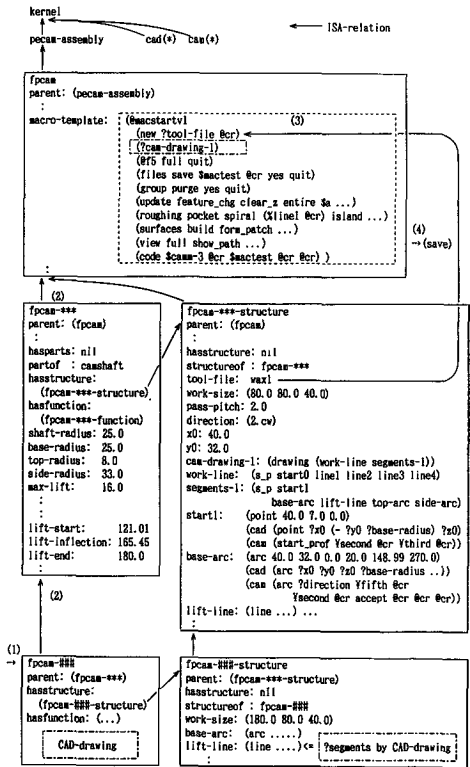


図2 知識ベース内の知識表現

(4) 生成されたマクロ情報は、マクロ情報ファイルに格納される。

このように、マクロ情報は、図2の構造モデル表現(ユニット)と、これらの下位ユニットに格納された図面情報をもとに自動的に生成される。そして、このマクロ情報をもとに、NCコードが自動的に生成され、NC加工を実現している。

2・2 マクロテンプレートの自動生成

2・2・1 マクロテンプレートの生成過程 図3は、既報⁽⁶⁾の知識ベース構築で負担となっていたマクロテンプレートについて、拡張インヘリタンス機能⁽³⁾を利用して、マクロテンプレートを自動的に生成する過程を示したものである。図例は、マクロテンプレートが未定義の場合の生成過程を示している。

この生成過程は、まずISA関係により、上位概念(図中のユニット「pecam-assembly」)のスロット「macro-template」を参照する。このスロットの値は未定義であるが、拡張インヘリタンス機能の定義(図中の「ext-inherit」)がある。そこで、拡張インヘリタンス機能により、スロット「generate-template」を参照し、ユニット「cam」にメッセージ交換を行う。

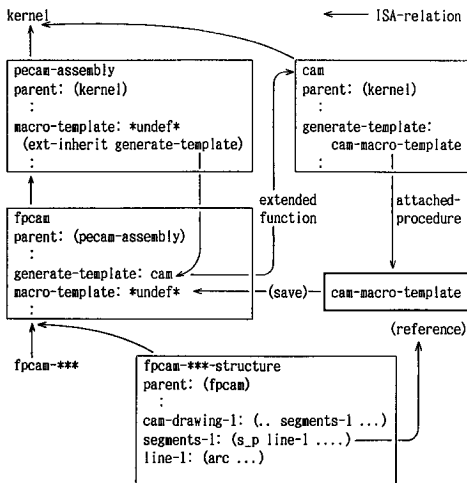


図3 マクロテンプレートの生成過程

次に、ユニット「cam」のスロット「generate-template」では、付加手続き「cam-macro-template」が起動する。この付加手続きは、構造モデル表現内の線要素群(図中のスロット「segments-1」など:セグメントと呼ぶ)、セグメント間の関係(図3中のスロット「cam-drawing-1」などを参照することにより、マクロテンプレートの生成を行う。そして、生成されたマクロテンプレートは、知識ベース内に格納され、2・1節の(3)以降が実行される。

2・2・2 マクロテンプレート 図4は、マクロテンプレートの処理フローの概要を示したものである。このマクロテンプレートは、あらかじめモデル化された操作モデルを用いて、図1(a)の構造モデル表現に応じて生成される。この操作モデルは、CAMシステム上のユーザーの一連の操作、例えば、加工情報のロードからNCコード生成に至る過程をモデル化したものである。ここで、図4の太線枠の処理について述べる。

(1) 加工情報のロード (Load JOB-plan)

既報⁽⁵⁾の機械加工管理システムによって、ドリルの種類、回転数、送り速度などが設定された情報 (JOB-plan) を組込む。

(2) 図形情報の生成 (Generate CAM-drawing)

既報⁽²⁾による図面情報をもとに、ツールパス生成の図形情報を作成する。図形情報は、一筆書きが可能な閉ループ(線要素群の始点と終点が同位置で、すべて同一方向)を形成し、知識ベース中のスロット「segments-***」に記述されている。また、マクロテンプレート中の「?cam-drawing-***」によって、マクロ情報が生成される。なお、図形情報の生成過程につ

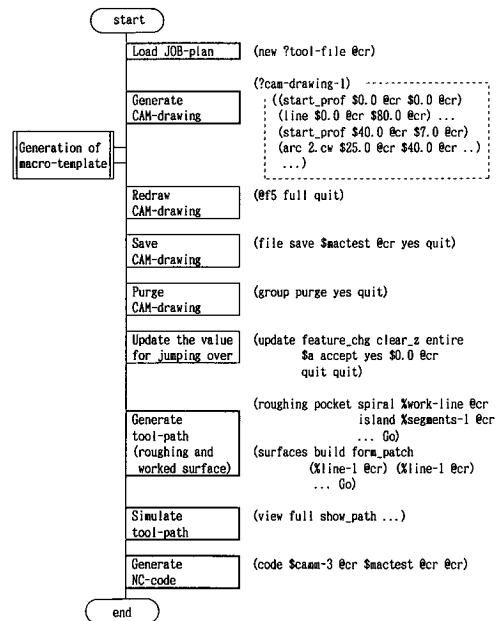


図4 マクロテンプレートの処理フロー

いては、既報⁽⁶⁾で述べた。

(3) ツールパスの生成 (Generate tool-path)

この処理には、あらかじめ加工形状を荒取りする(荒加工)処理のツールパス生成と、仕上げ面のツールパス生成から構成される。前者のマクロテンプレートの生成については2・3節で、後者は2・4節で述べる。

(4) ツールパスの検証 (Simulate tool-path)

ツールパス(工具経路)の検証を行う。構造モデル表現内のスロット「view-point」の値によって、その加工物を眺める視点の追加変更が可能である。例えば、この値が未定義の場合、

```
(view full show-path quit)
```

値が「(iso)」と定義されている場合、

```
(view full show-path get-view iso @ cr
full show-path quit)
```

というマクロテンプレートを生成する。

(5) NCコードの生成 (Generate NC-code)

NC工作機械の機械設定情報⁽³⁾を組み込むことにより、対象とする工作機械に応じたNCコードを生成する。例えば、図中のマクロテンプレートは、市販のNC工作機械「camm-3」用の情報を組込み、NCコードをファイル「mactest.t1」に格納することを表示している。

2・3 荒加工処理のツールパス生成

2・3・1 セグメント間の関係と知識表現 図5は、

荒加工処理に対するセグメント(図5中の「segments-*」)間の関係と知識表現を示したものである。図中の「work-line」は、荒取りする形状(ワーク)を示している。図例は、図1(a)に示したような2.5次元(X-Y面上にZ軸方向を有する)上の代表的な関係を示している。セグメントは、2.2節(2)の図形情報に相当し、ツールパス生成の基本要因となる。一方、セグメントとワーク間の関係は、スロット「cam-drawing-*」に記述されている。そして、荒加工処理のツールパスを生成するマクロテンプレートは、この関係をもとに生成される。

セグメントとワーク間の関係は、以下の知識表現で記述することができる。

(輪郭形状 島形状-1 島形状-2 ...)

輪郭形状は、切削の対象となる領域(切削領域)の外側のセグメントを示しており、図5中のワーク(work-line)に相当する。一方、島形状は、切削領域の内側のセグメントを示している。以下の知識表現は、この知識表現をもとに、図5の関係を記述したものである。

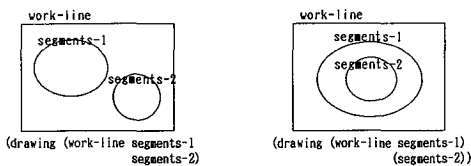
③ (drawing (work-line segments-1 segments-2))

④ (drawing (work-line segments-1) (segments-2))

⑤ (drawing (work-line segments-1) (segments-2 segments-3))

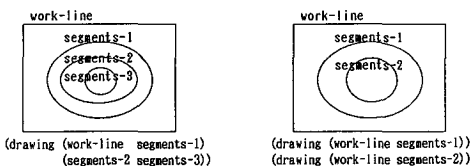
⑥ (drawing (work-line segments-1)) (drawing (work-line segments-2))

例えば、図5(a)の関係は、ワーク内のセグメントが互いに包含関係にない状態を表している。この関係は、輪郭形状(work-line)内の二つの島形状(seg-



(a) 包含関係にない状態

(b) 包含関係にある状態



(c) 重複する包含関係がある状態 (d) 異なる階層を有する状態

図5 セグメント間の関係と知識表現

ments-1, segments-2)が互いに独立している、という知識表現③で記述できる。

一方、図5(b)と(c)の関係は、ワーク内のセグメントが互いに包含関係にある状態を示している。そして、図5(b)は、セグメント(segments-2)内を切削し、図5(c)は、セグメント(segments-2)内に同様な包含関係が存在する。前者の関係は知識表現④で記述でき、後者は知識表現⑤で記述できる。

また、図5(d)の関係は、ワーク内のセグメントが互いに異なる階層を有している状態を表している。この関係は、知識表現⑥で記述することができる。

2.3.2 荒加工処理のツールパスを生成するマクロテンプレートの生成 図6は、荒加工(Roughing)処理のツールパスを生成するマクロテンプレートフローを示したものである。図中の(a)~(d)は、図5の关系到相当し、図中の番号はフローの段階を示している。

最初の段階は、切削領域とツールパスの経路を指示する。例えば、切削状態(方向)と切削タイプの選択[図中(2)~(3)]を行う。図例のポケット(pocket)は、輪郭形状の内側から島形状の外側に向かって切削することを示し、フェイス(Face)はこの逆を示している。次に、どのセグメントからどのような形状をしたセグメントまで切削するかを指示[図中(4)~(6)]する。そして、これらの指示が完了[図中(7)]したことを指示する。

次の段階は、ツールパスに対する加工情報の設定

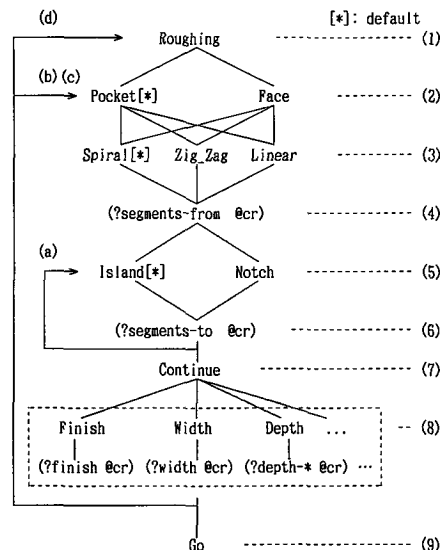


図6 荒加工処理のマクロテンプレートフロー

[図中(8)：点線枠]を行う。例えば、最終仕上げ代(Finish)、工具軌跡間の距離(Width)、最終の切削深さ(Depth)、切削深さ間の距離(Pass-Depth)などを設定する。

最終段階は、実際のツールパスを生成するためのメニューの指示[図中(9)]を行う。

荒加工処理のツールパスを生成するマクロテンプレートの生成は、上記の知識表現③～⑥をもとに、図6のフローに沿って実現される。知識表現の輪郭形状は、図中の「?segments-from」に、島形状-1と島形状-2は図中(a)のフローに従って「?segments-to」に組込まれ、切削領域とツールパスの経路が生成される。例えば、知識表現③は、以下のマクロテンプレートを生成する。

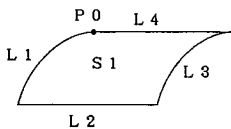
```
(Roughing Pocket Spiral %work-line
@ cr
Island %segments -1
@ cr
Island %segments -2
@ cr
Continue
Finish ?finish @ cr
Width ?width @ cr
... Go)
```

上記「%***」は、セグメントの要素番号[2・2・2項の(2)で生成された図形情報の番号]の一つが組込まれることを示している。

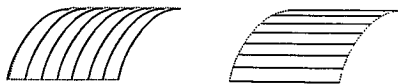
2・4 仕上げ面のツールパス生成

2・4・1 仕上げ面と知識表現 図7は、仕上げ面と知識表現の関係を示したもので、Z軸方向はドリルの上下方向を示している。

図7(a)は、仕上げ面が4本の結合された線要素から基本的に構成されることを示している。図例は、仕



(a) 仕上げ面の基本構成



(S_P P0 L1 L3 L2 L4) (S_P P0 L2 L4 L1 L3)

(b) 仕上げ面のツールパス生成別

図7 仕上げ面と知識表現

上げ面(S1)が4本の線要素(L1, L2, L3, L4)から構成されている。この構成は、以下の知識表現で、知識ベース中のスロット「segments-***」に記述される。

```
(S-P 起点 基準線 目標線 輪郭線1 輪郭線2)
```

この記述は、基準線を二つの輪郭(線輪郭線1と輪郭線2)に沿って目標線まで、均等にツールパスを生成することを表現している。なお、起点は、ドリルが移行して来る際のツールパス開始点である。

例えば、図7(b)は、上記の知識表現をもとに、仕上げ面のツールパス生成例の違いを示したもので、以下の知識表現の違いによる。

```
⑦ (S-P PO L1 L3 L2 L4)
```

```
⑧ (S-P PO L2 L4 L1 L3)
```

知識表現(7)は、基準線(L1)を目標線(L3)まで、輪郭線(L2, L4)に沿ってツールパスを生成することを示している。また、知識表現(8)についても同様である。このように、上記の知識表現によって、加工の形状やワークの強度などに応じて、ツールパスの経路を設定することができる。

仕上げ面には、図7(a)の関係以外に、3本あるいは5本以上の線要素から構成される面、さらに軸回転により生じる面や、並行移動によって生じる面なども存在する。図8は、このような仕上げ面に対する知識表現の例を示したものである。

例えば、図8(a)は、3本の線要素(L1, L2, L3)で仕上げ面を構成する例を示している。図例は、以下の知識表現⑨で記述することができる。

```
⑨ (S-P PO L1 L2 L3)
```

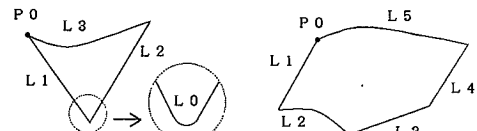
```
⑨' (S-P PO L1 L2 L3 LO)
```

知識ベース中の知識表現⑨は、ドリルの径に影響しない架空の線要素「LO」を自動的に組込み、知識表現⑨'に変更して、図7(b)と同様なツールパスを生成する。

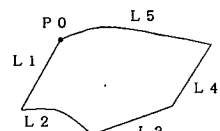
一方、図8(b)は、5本の線要素(L1, L2, L3, L4, L5)からなる仕上げ面の例を示しており、以下の知識表現⑩で記述することができる。

```
⑩ [S-P PO L1 L4 (L2 L3) L5]
```

知識表現⑩中の(L2 L3)は、輪郭線「L2」から「L3」



(S_P P0 L1 L2 L3)



(S_P P0 L1 L4 (L2 L3) L5)

(a) 3本の線要素による仕上げ面 (b) 5本の線要素による仕上げ面

図8 基本的な仕上げ面以外の知識表現

義はまったく同じ)によってその面荒さが異なることがわかる。

3. 結 言

本研究をまとめると、以下のようになる。

(1) マクロ情報の生成機能により、CAMシステムにおける一連の操作入力を代行するので、製造過程の効率化に役立つ。

(2) マクロテンプレートの生成機能は、CAMシステム上の操作を意識することなく、知識ベースを自動的に構築する。それ故、初心者でもNC加工が容易

に実現できる。

(3) 既報⁽⁶⁾の形状マクロコードの生成機能とともに、CADシステムの図面情報に、柔軟に対応できる。

文 献

- (1) 上野, 電子通信学会技法, AI86-4(1986), 21-28.
- (2) 長坂・ほか3名, 設計工学会, 27-12(1992), 537-542.
- (3) 長坂・ほか2名, 機論, 58-547, C(1992), 975.
- (4) 長坂・ほか2名, 機論, 58-549, C(1992), 1680.
- (5) 長坂・ほか3名, 機論, 58-552, C(1992), 2560.
- (6) 長坂・ほか3名, 機論, 59-559, C(1993), 947.