

12. 切削・工作機械

12-1 切 削

12-1-1 切削加工 55年の切削加工研究の動向は、54年に比べてとくに大きな変化はなく、ここ数年のさう勢である工具損傷に関する研究は55年も多い。切削機構に関しては、構成刃先の消滅条件の予測⁽¹⁾、黄銅単結晶切削の走査電顕内観察⁽²⁾、Alの超高速切削⁽³⁾、微小組織の観察による温度分布の推定⁽⁴⁾、すくい面温度解析⁽⁵⁾、切りくずカールの解析⁽⁶⁾⁽⁷⁾、三次元切削の力学⁽⁸⁾などがあり、被削性に関しては、介在物粒子のぜい性効果⁽⁹⁾、同潤滑効果⁽¹⁰⁾のほか、焼入鋼⁽¹¹⁾、強化プラスチック⁽¹²⁾、Al・Zr合金⁽¹³⁾などの被削性が研究された。工具摩耗については、サーメット工具の熱的摩耗⁽¹⁴⁾、拡散摩耗理論⁽¹⁵⁾、単結晶ダイヤモンド工具の摩耗⁽¹⁶⁾、摩耗とチップブレーカとの関連⁽¹⁷⁾があり、工具のぜい性損傷については、三次元断続切削時のぜい性破壊確率の解析⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾、断続切削時の損傷の実験的研究⁽²¹⁾⁽²²⁾、工具進入時の応力解析⁽²³⁾、AEによる工具損傷の検出⁽²⁴⁾⁽²⁶⁾、切削工具のじん性試験法の開発⁽²⁷⁾がある。びびりに関しては音響による発生限界の検出⁽²⁸⁾のほか、中ぐり加工の安定解析⁽²⁹⁾、中ぐり棒の制振⁽³⁰⁾が研究された。振動切削では、高分子材料の切断⁽³¹⁾及び振動送り切削⁽³²⁾が研究された。切削状態の監視・最適化の面では、上記AE応用あるいは音響応用のほかにレーザ光による工作物直径の制御⁽³³⁾がある。さらに、旋盤加工の適応制御の研究⁽³⁵⁾及び検出部を人手に替えた研究⁽³⁶⁾がある。切削工具の面では、ねじ面加工用フライス⁽³⁷⁾、ウォームホブ⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾、ボールエンドミル⁽⁴⁰⁾の幾何学的運動学的解析のほか、コーテッド工具⁽⁴¹⁾、窒化処理サーメット工具⁽⁴²⁾の研究がある。各種切削加工では、突切り切削⁽⁴³⁾⁽⁴⁵⁾、穴あけ加工⁽⁴⁶⁾⁽⁵²⁾、フライス加工⁽⁵³⁾⁽⁵⁴⁾、リーマ加工⁽⁵⁵⁾、エンドミル加工⁽⁵⁶⁾、歯車のシェービング⁽⁵⁷⁾⁽⁵⁸⁾及びタップ立て⁽⁶⁰⁾の研究がなされた。

〔上原 邦雄（東洋大学）〕

12-1-2 研削加工 砥粒自体に関する基礎的研究をはじめ、研削機構や研削現象などに関する研究が依然として続けられているが、同時に研削加工ソフトウェアの確立をめざす試行もなされている。精密研摩と重研削・高能率研削という両極端の研削加工技術に関する研究も活発である。砥粒に関する基礎的研究とし

ては、砥粒切れ刃の熱応力解析⁽⁶¹⁾、砥粒の動的圧壊試験⁽⁶²⁾、砥粒と被削材との適合性⁽⁶³⁾、新砥粒の研削性能⁽⁶⁴⁾などがあげられる。砥石の弾性⁽⁶⁵⁾や破壊強度⁽⁶⁶⁾の解析もなされた。切りくず生成機構⁽⁶⁷⁾、白層の生成機構⁽⁶⁸⁾、目づまり機構⁽⁶⁹⁾などの研究、超砥粒砥石の研削機構や研削特性⁽⁷⁰⁾⁽⁷¹⁾及びドレッシング法⁽⁷²⁾、砥石切れ味の試験法⁽⁷³⁾、砥石摩耗の計測法⁽⁷⁴⁾⁽⁷⁵⁾なども研究された。トラバース研削についてはその研削機構⁽⁷⁶⁾、びびり振動⁽⁷⁷⁾、寸法生成機構⁽⁷⁸⁾、砥石摩耗⁽⁷⁹⁾など多彩であった。仕上面あらさの統計的解析も行われた⁽⁸⁰⁾⁽⁸²⁾。研削加工のソフトウェアに関しては、いくつかの最適化手法が提示された⁽⁸³⁾⁽⁸⁵⁾。重研削・高能率研削を指向して、正面研削⁽⁸⁶⁾、スナッキング研削⁽⁸⁷⁾⁽⁸⁸⁾、クリープフィード研削⁽⁸⁹⁾⁽⁹¹⁾、ベルト研削⁽⁹²⁾などの研削特性や最適加工条件などが明らかにされた。研削液の冷却効果⁽⁹³⁾や研削条件と残留応力の関係⁽⁹⁴⁾⁽⁹⁵⁾なども報告された。精密研摩に関する研究としてはラッピングにおける形状生成過程⁽⁹⁶⁾、ダイヤモンドラッピングの特性⁽⁹⁷⁾、MgO単結晶のラッピング⁽⁹⁸⁾などがあり、メカノケミカルポリッシング⁽⁹⁹⁾やEEM⁽¹⁰⁰⁾など新しい研摩原理の研究もなされた。

〔柴田 順二（芝浦工業大学）〕

12-1-3 特殊加工

a. 放電・電解加工 放電加工機の生産額は⁽¹⁰¹⁾、55年度（1～12月）で444億円（型彫り放電加工1351台、119億円、ワイヤカットおよびNC放電加工2552台、325億円）、前年比48%増を示し、工作機械生産額の約6%を占め、欧米よりも高い普及率と考えられる。この1年間にNC放電加工は電極の揺動運動により鏡面に近い加工面が得られ⁽¹⁰²⁾⁽¹⁰³⁾、ワイヤカットでは±5μm程度⁽¹⁰⁴⁾の真円度とピッチ精度、70mm²/minの加工速度が得られている。型彫り放電加工の研究では、従来の電流パルス幅と休止時間の制御のみならず、サーボ送りも含めた最適化方式⁽¹⁰⁵⁾、アークになりやすいが低消費特性の良い台形状放電電流波形⁽¹⁰⁶⁾、陽光柱の電界強度と電流密度の計測⁽¹⁰⁷⁾、放電加工面の残留応力⁽¹⁰⁸⁾、水中放電加工の特性⁽¹⁰⁹⁾の報告がある。ワイヤカットの研究では、ワイヤ電極の運動を解析し送り速度が早いと弦の振動数が高く⁽¹¹⁰⁾なること、コーナ部のワイヤたわみによるダレを小さくする最適制御⁽¹¹¹⁾方式、超硬合金ワイヤカット加工面劣化防止に高周波放電方式⁽¹¹²⁾が報告されている。電解加工についてはパルス電解加工⁽¹¹³⁾、電解放電加工⁽¹¹⁴⁾、

炭素含有量と電流効率⁽¹¹⁵⁾が報告されている。

[斎藤 長男 (三菱電機会社)]

b. レーザ, 電子ビーム, イオンビームなどによる加工 アメリカにおけるレーザ産業は 1980 年にはじめて 10 億ドルを超したといわれ, そのうち民需用のなかで最大の分野を占めるのはレーザ加工で約 7000 万ドルと見込まれる⁽¹¹⁶⁾. 大出力 CO₂ レーザの開発と金属材料への適用, 固体レーザによるマイクロ加工への応用などが最近のう勢である. 1980 年各所で行われた国際会議で発表されたもののうち^{(117)~(120)}, 特にめだつものはフォトマスク修正, アニール, マーキングなど半導体工業への応用分野である. CO₂ レーザを用いセラミックを直接整形し⁽¹²¹⁾, あるいは難削材の高温切削を行う⁽¹²²⁾というのも今後の発展が期待される技術であろう. いくつかの見本市で, レーザ切断機⁽¹²³⁾, NC パンチプレス^{(124) (125)}あるいはプラズマアーク⁽¹²⁶⁾と併用の切断機, レーザマーカ^{(127) (128)}, 多目的加工機⁽¹²⁹⁾などが出品されて注目をあびた.

国内では CO₂ レーザの大出力化がめだち, 5~7.5 kW クラスの発振があいついで発表された. 研究分野では, レーザ加工の基礎, 反射鏡の損傷, 表面硬化, などについての発表^{(130) (131)}が顕著である. 実用面では, YAG レーザを用いたマイクロ溶接, トリミング, 水晶振動子のチューニング, などへの定着化が認められる.

電子ビーム露光装置は国産ですぐれたものが完成し, マスク作成は実用化段階に入りつつある⁽¹³²⁾. 半導体ウエハ上に直接描画し, 超 LSI 技術への対応を図ろうとする努力が続けられているが, 高真空中高精度位置ぎめなどの面で解決しなければならない点が多い^{(133) (134)}.

イオンビームの応用として, イオン注入装置の実用化は始まっている⁽¹³⁵⁾. 従来の湿式エッチング法に代わるものとして, イオンミリング法, スパッタエッチング法, プラズマエッチング法などの乾式エッチング法の確立が強く望まれている^{(133)~(135)}.

[小林 昭 (埼玉大学)]

12.1.4 加工システム制御 シカゴショウ '80 において, 磁気軸受を用いた 6 万 rpm の高速主軸回転を可能とする五軸マシニングセンタおよび 4 万 rpm 着脱式スピンドルの発表があり, 超高速切削加工システム^{(136) (137)}の実用化期を迎えた. また第 10 回東京国際工作機械見本市では, CNC 装置の多くが CRT, プラズマディスプレイを装備した作業者の視覚化による確認と MDI 操作機能の充実をめざし, NC 指令情報の伝達媒体として紙テープから一挙に磁気パルカセ

ト, 半導体メモリカセット, PROM を用いたライブラリカセットへの移行機運が進み, また NC テープ作成に音声入力方式⁽¹³⁸⁾, ツールパスの自動決定機能を内蔵した加工形状直接入力方式の CNC 旋盤⁽¹³⁹⁾の実用化がなされた.

一方, 主軸スピンドルおよび送り用サーボモータの AC 化⁽¹⁴⁰⁾への移行が開始され, AE を用いた工具破損検出装置⁽¹⁴¹⁾の実用化およびロボット, パレットコンベヤ付き NC 工作機械との組合せによる終夜無人運転を可能とする加工セル「ミニ機械工場」の商品化例⁽¹⁴²⁾があいついで発表された. NC 工作機械と電算機間の高速度, 高信頼性データリンクとして, 光ファイバデータリンクを用いた DNC システム^{(143) (144)}の開発が行われ, 大量の CL データ転送を必要とする自由曲面加工に利用されはじめた.

金型, 航空機部品などの自由曲面加工への NC 工作機械の利用機運がもり上がり, 学協会中心形の産学協同による研究グループ⁽¹⁴⁵⁾がいくつか誕生し, ミニコン, マイコンベースでの曲面加工用自動プログラミングシステムも多数開発され, FD を用いた自由曲面 NC 加工を行う具体例⁽¹⁴⁶⁾が報告された.

生産性とフレキシビリティを目標とした FMS は国内外において多数稼動⁽¹⁴⁷⁾しているが, 現在の FMS はフレキシブルとは言いがたく, FMS 開発にあたっては経済的観点からユーザ主導のもてで行う必要性が指摘⁽¹⁴⁸⁾された.

[斎藤 勝政, 岸浪 建史 (北海道大学)]

12.1.5 工具

a. 切削工具 55 年度の特種鋼工具の生産高は, 対前年度比 24.5%, 超硬工具では 30.1% と高い伸長を示した (表 1).

同年中の切削工具の開発, 改良および普及状況は次のとおりである. (1) 多結晶焼結ダイヤモンド工具; 材料開発面での進展は見られなかったが, アルミニウム合金切削用チップとして普及し, スローアウェイチップとして組み込んだ専用正面フライスも商品化された. (2) 焼結立方晶窒化ほう素工具; 窒化ほう素のもう

表 1 特殊鋼工具及び超硬工具の生産実績と輸出入実績

| | 生産及び輸出入実績 (単位: 億円) | | |
|----------|--------------------|--------------|--------------|
| | 53 年 | 54 年 | 55 年 |
| 特殊鋼工具 | 581.2 | 666.6 | 829.5 |
| うち輸出 (%) | 63.0 (10.9%) | 81.7 (12.3%) | 92.6 (11.2%) |
| 輸 入 | 23.9 | 29.9 | — |
| 超 硬 工 具 | 629.7 | 790.7 | 1028.4 |
| うち輸出 (%) | 50.2 (8.0%) | 62.7 (7.9%) | 72.1 (7.0%) |
| 輸 入 | 43.5 | 53.9 | 68.8 |

一つの高圧相であるウルツ鉱型結晶を使用した材料も発表された。用途面では、高硬度材切削用、鉄系焼結部品切削用として普及しつつある。(3) コーテッド超硬工具；改良、多様化が進み新材種の発表が活発に行われた。用途も旋削中心から、フライス、穴加工用へと広がっている。(4) コーテッドハイス工具；コーティングにより性能向上する工具（ホブ、エンドミルなど）と効果の少ない分野（ドリル、低廉工具など）が明らかになり、用途が定着しつつある。(5) サーメット工具；窒化物含有サーメットが高じん性サーメットとして定着し、用途、使用量とも拡大している。(6) セラミック工具；じん性面の改善努力が続けられ、従来の Al_2O_3 -TiC系に比べてもかなり高じん性のものが現れた。(7) クイックチェンジ式工具；工具交換時間の短縮要求に沿って飛躍的に普及し、対象工具も正面フライス、サイドカッタ、ボーリング工具と拡大し、その機構も多様化した。(8) スローアウェイ式正面フライス；構成部品が少なく、チップ精度が正面振れに影響しない刃先基準形のものが急速に普及している。(9) エンドミル；超硬ソリッドエンドミルが小径用として普及した。又、ボールエンドミルの超硬化も急速に進み、スローアウェイ化された商品も発表された。(10) ドリル；従来、不可能とされた鋼用超硬ドリルが超硬材種開発、刃型開発が進んで商品化された。又、工作機の高剛性化に助けられて超硬スローアウェイドリルも普及しはじめた。(11) 切れ刃自動交換工具；旋削用として、切れ刃摩耗基準、あるいは切れ刃欠損信号と連動したものが開発され関心が高まってきた。

JIS 関係では、B 4005（フライス用ストレートシャンク部の形状、寸法）、B 4455（管用テーパねじ切ダイス）、B 4456（管用平行ねじ切ダイス）が新設された。又、改正 6 件（B 0107、B 4238、B 4409、B 4217、B 4219、B 4220）、及び、統合 1 件（B 4451）が行われた。

〔根岸 秀夫（三菱金属会社）〕

b. 研削工具 55年の研削砥石の生産は、対前年

度比4%の伸びにとどまった（表2）。輸出金額は約70億円で、輸出比率は約10%であった。種類別では、刃物研削及び平面研削用のマグネシア砥石が、平均を上回る伸びを示した反面、切断用ラバー砥石は減産となった。

精密研削のビトリファイド砥石は、自動化システムのプランジ研削用砥石が順増した。

自動化センタレスプランジ研削では、710×650×355 mmの、超広幅センタレス砥石が開発された。粗研削のレジノイド砥石は、研削効率の良い、アルミナ・ジルコニア砥粒が、スイング、オフセット砥石に導入され順増した。

JIS 関係では、解砕形アルミナ質研削材（HA）の呼称改正などに伴い、JIS R 6210などが改正され公示された。又、機情法に基づく第10次寸法カルテルの改正が行われ公示された。

ダイヤモンド工具の生産は、対前年度比12%の伸びを示し、金額422億円に達した。この伸びは、主として石材用のセグメント形ダイヤモンド切断砥石及びセラミック材料や、金属研削加工用のダイヤモンド、CBN砥石の需要の拡大によるものである。CBN砥石は、高速度鋼、ダイス鋼などの、硬質難削材の研削に確実に伸びを示し、又、結合剤の改良、専用研削盤の開発などにより、軸受鋼や浸炭鋼などの易削材分野への使用範囲が拡大した。特にビトリファイド CBN 砥石は、内面研削や総形研削に需要が拡大している。

ホーニング加工分野にも、CBN砥石が積極的に導入されている。シリコンや、セラミック材料のスライシング用砥石の厚さは、年々極薄化されているが、0.1～0.05 mm（φ50 mm）の水準となった。

標準化関係としては、ダイヤモンド切断砥石及びダイヤモンド、CBN砥石の、JIS 原案作成が進められている。

研磨布紙の生産は、木工関係などの需要の不振などがあり、対前年度比98%と微減となった。又、フラッ

表2 研削工具の生産実績（各工業会資料による）

| 研削工具の種類 | 54年 | | | | 55年 | | | | |
|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | 生産量 t | 前年比 % | 金額 億円 | 前年比 % | 生産量 t | 前年比 % | 金額 億円 | 前年比 % | |
| 研削砥石 | ビトリファイド法 | 20783 | 114 | 193 | 111 | 21325 | 103 | 223 | 115 |
| | マグネシア法 | 1650 | 126 | 9 | 129 | 1743 | 106 | 12 | 133 |
| | レジノイド法 | 43453 | 114 | 308 | 112 | 45215 | 104 | 356 | 115 |
| | ラバー法 | 2145 | 107 | 11 | 138 | 1798 | 84 | 11 | 100 |
| 研削砥石合計 | 68031 | 114 | 521 | 112 | 70081 | 104 | 602 | 115 | |
| ダイヤモンド工具 | 17440*1 | 154 | 366 | 142 | 19608 | 112 | 422 | 115 | |
| 研磨布紙 | 900*2 | 112 | 196 | 120 | 879 | 98 | 214 | 109 | |

(注) *1 ダイヤモンド工具の生産量は1000カラット単位。

*2 研磨布紙の生産量は1000連単位。

プホイールの需要の拡大に伴い JIS 化が進められている。
〔中嶋 一浩 (三井研削砥石会社)〕

12.1.6 工作用機器 工作機械の国内合理化投資および輸出の拡大により、工作用機器もその影響が大きく作用し、その生産、出荷は前年比、それぞれ 132%、131% と高率で伸びた (表 3)。

工作用機器のうち、工作機械の NC 化率の増大により顕著な傾向を示したものは、

(1) 部分品：ボールねじメーカーの生産設備の増加および新規参入企業もあったが、前年比 187% と記録的な伸びを示した。需要動向はまだ生産実績よりもさらに増大しつつあり、単体輸出も増大するものと考えられる。

又、需要については、NC 工作機械のみならず、放電加工機、航空機、原子力機器、精密測定機と拡大の傾向にあり、繁忙状況が続くと見られている。

(2) 工具保持具：マシニングセンタ用ホルダ類が前

年比 141% と伸びた。これらは NC ツーリングとしてのシステム化の要求が多く、メーカーとして特定品種に専門化することが困難である。又、工作機械と工具とのインタフェースとしてとらえ、工具メーカーの新規参入がみられる。

(3) 工作物保持具：NC 旋盤用パワーチャックが前年比 159%、その他チャックが 158% と著しく伸びているが、専用機用も含めてニーズが多岐にわたるものと考えられる。又、パワーチャックではジョーのクイックチェンジ化の要求が増大するとみられる。

(4) 附属品：割出し台が前年比 134%、円テーブル 130% を示しているが、これらも NC 化、電動化のユーザニーズが顕著にあらわれている。又、省力化、量産化にともなう専用化のものも多くなっている。

(5) 附属機器：55 年度からの新たな分類であるが、生産のシステム化にともない、クーラントセパレータ、油温コントローラ、チップコンベヤなど、システムのインタフェースとしての附属機器は今後拡大するものとみられる。

〔平松 豊 (日本工作用機器工業会)〕

表 3 55 年 (1 月~12 月) 工作用機器生産動態集計表

| 品 目 | 科 目 | 生 産 | | 出 荷 | | |
|-------------|---------------------------|-------------------|--------|---------|-------|-----|
| | | 金額(百万円) | 前年% | 金額(百万円) | 前年% | |
| 部 分 品 | 機 械 ク ラ ッ チ | 784 | 109 | 757 | 105 | |
| | 電 磁 ク ラ ッ チ | 19 612 | 124 | 19 185 | 124 | |
| | 親 ね じ | 65 | — | 65 | — | |
| | ボ ー ル ね じ | 8 184 | 187 | 8 184 | 187 | |
| | 高 速 回 転 軸 | 560 | 76 | 560 | 76 | |
| そ の 他 部 分 品 | 316 | — | 318 | — | | |
| 小 計 | 29 521 | 136 | 29 069 | 136 | | |
| 附 属 品 | 割 出 し 台 | 940 | 134 | 1 456 | 129 | |
| | 円 テ ー ブ ル | 1 183 | 130 | 1 426 | 120 | |
| | マ シ ン バ イ ス | 885 | 108 | 930 | 106 | |
| | そ の 他 附 属 品 | 361 | 288 | 436 | 292 | |
| | 小 計 | 3 369 | 132 | 4 248 | 127 | |
| 工 作 物 保 持 具 | 手 ス ク ロ ー ル チ ャ ッ ク | 3 201 | 101 | 3 295 | 109 | |
| | ジ ャ ッ ク 四 つ め 単 動 チ ャ ッ ク | 709 | 101 | 791 | 110 | |
| | め ぐ け 其 の 他 の チ ャ ッ ク | 310 | 158 | 291 | 147 | |
| | パ ワ ー チ ャ ッ ク | 3 838 | 159 | 4 000 | 150 | |
| | 磁 力 チ ャ ッ ク | 1 684 | 122 | 1 665 | 124 | |
| | コ レ ッ ト チ ャ ッ ク | 109 | 72 | 138 | 91 | |
| | 回 転 セ ン タ | 464 | 111 | 484 | 103 | |
| | そ の 他 の 工 作 物 保 持 具 | 844 | 142 | 901 | 129 | |
| | 小 計 | 11 159 | 84 | 11 565 | 85 | |
| | 工 具 保 持 具 | コ レ ッ ト | 2 009 | — | 1 961 | — |
| | | ホ ル ダ | 4 859 | 141 | 4 843 | 140 |
| | | ス リ ー プ ・ ソ ケ ッ ト | 912 | 91 | 843 | 84 |
| | | ア ー バ 類 | 650 | 110 | 630 | 106 |
| | | ド リ ル チ ャ ッ ク | 2 609 | 98 | 2 781 | 101 |
| | | そ の 他 の 工 具 保 持 具 | 3 015 | 138 | 2 991 | 129 |
| 小 計 | 14 054 | 195 | 14 049 | 190 | | |
| 附 属 機 器 | クーラントセパレータ | 326 | 134 | 325 | 128 | |
| | そ の 他 の 附 属 機 器 | 415 | — | 431 | — | |
| | 小 計 | 741 | — | 756 | — | |
| 合 計 | 58 844 | 132 | 59 687 | 131 | | |

12.2 工 作 機 械

12.2.1 概説 昭和 55 年の工作機械需要動向は、国内外のおう盛な合理化、省力化投資に支えられ、統計指標はいずれも当初の見とおしよりも 10~20% 程度高くなった。その主たる要因は、自動車工業向け需要の拡大 (受注前年比 180%)、欧米向けを中心とする輸出の増加 (受注前年比 140%)、ならびに一般機械工業向け需要 (受注前年比 135%) が堅調に推移したことによる。この結果、年間受注総額は前年比 142% の 6 216 億円、年間生産高も前年比 141% の 6 830 億円となり (表 4、5)、54 年に引き続き過去最高を更新した。機種別では、NC 機の年間生産高が前年比 165% の 3 393 億円となり、工作機械全生産高における NC 化率は 49.7% に達し、NC 機による設備の合理化の傾向がますます顕在化した。このうち、NC 旋盤の寄与率 41%、マシニングセンタ 38%、NC 放電加工機 11% を占め、特にマシニングセンタと NC 放電加工機の年間生産高

表 4 工作機械受注実績

〔単位：百万円、%〕

| | 受注総額 | 国内向け | 一般機械 | 電気機械 | 自動車 | 輸 出 |
|-------|----------|----------|----------|--------|---------|---------|
| 55 年 | 6 215 27 | 4 56 934 | 1 79 312 | 23 327 | 165 470 | 164 593 |
| 54 年 | 4 36 361 | 3 18 645 | 1 33 230 | 21 781 | 92 077 | 117 716 |
| 55/54 | 142.4 | 143.4 | 134.6 | 107.1 | 179.7 | 139.8 |

(注) 一般機械、電気機械、自動車は国内向けの一部である。

(社) 日本工作機械工業会の提供資料による。