工作機械の最近の動向*

 垣 野 義 昭*¹

Recent Trends in Machine Tools

 Yoshiaki KAKINO*²
² Kakino Research Institute,
 342-1 Enpukuji-cho, Nakagyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto, 604-8175 Japan

Key Words: Machine Tools, CNC, Lathe, Machining Center, Multi-task Machine, Spindle, Feed Drive

1. はじめに

著者は1964年に修士課程に入学してから本格的に切削加工・工作機械関連の研究に携わり、約40年経過した。工作機械は産業革命以来の長い歴史をもつ機械であり、他の機械に比べて保守的な機械であるにもかかわらず、この40年の変化はまことに著しいものがある。機械自体の変化も激しいが、産業としての変化はそれ以上に激しい。

以下、それらを国別の動向、工作機械に生じた変化、機種別の動向、エレメント・周辺機器の動向に分けて概観してみる。ただし、本報では構造的・質的な変化に重点をおいて取上げることとする。性能的側面、例えば主軸回転数、送り速度の高速化、高精度といった側面にはあまり重点をおいていないことをあらかじめお断りしておく。

2. 国別の動向

私が工作機械関連の研究を始めた当時は、工作機械はマザーマシンであり、あらゆる機械生産の基礎であるといわれていた。いまでもこれは変わっていないと思われるが、マザーマシンという言葉は昔ほどは聞かなくなった。

当時、アメリカ、ドイツ、スイスなどではあらゆる先端を行く工作機械が作られ、日本の工作機械メーカはこれらの国からマザーマシンを輸入し、精度、加工能率などの性能面では二流の機械しか作れず、量的にも質的にもはるかに遅れた状態であった。

ところがいまや図1に示すように、アメリカの工作機械生産額は著しく減少し、アメリカに有力な工作機械メーカはほとんどなくなってしまった。逆にごく最近の中国を除くと、世界一の工作機械輸入国になってしまった(もちろん、最大の輸出国は日本とドイツ)。ドイツ、スイスの状況はアメリカよりはよいが、これらの国の工作機械メーカの経営状態は決してよくない。倒産した、あるいは統合された会社が続出している。

一方日本は質的にも量的にも世界一の工作機械生産国となって久しい。日本だけでなく台湾、韓国、中国、インドといった新興国における工作機械生産が非常に勢いで増え、メーカも元気である。

このような大きな変化は、3章以下で述べるように工作機械そのものとその作り方に大きな変化が生じたためである。

3. 工作機械に生じた変化

なぜこのような変化が生じたのであろうか。それは

Fig.1 The change of machine tools production (source: American Machinist, Gardner Publications)

* 原稿受付 2006年3月1日。

*¹ 正員、垣野技術研究所(☎ 604-8175 京都市中京区円福寺町342-1)。

E-mail: kakino@crux.ocn.ne.jp

大半の工作機械はもはやマザーマシンではなくなり、産業機械の一種となり、その生産に特別の設備はいるが、昔は工作機械生産に不可欠とされていた熟練技能の大半がいなくなったことと、それらを代替するユニットの外注化が著しく進んだことが原因していると思ふ。

なんといっても工作機械に生じた変化の最大のは、NCによる運転が当たり前になったことであろう。昔は多数いた熟練した技能の持ち主である旋盤工、フライス工が生産現場にほとんどいなくなってしまった。このNCも現在ではコンピュータ制御されたものとなり(Computerized NC, 略してCNCと呼ばれている)、個々の工作機械メーカーで独自のものを自作することはほとんどなくなった。

このように、CNCをはじめとして、軸受、ボールねじ、転がり案内、ATC(工具交換装置)、APC(パレット交換装置)、サーボモータ、高速主軸ユニットに至るまで主要ユニットが市販されるようになった。工作機械メーカーがこれら自作すると、購入した場合に比べ

てコスト高になり、かつ性能的に見劣りすることが多い。その結果、工作機械メーカーはこれらの市販されているユニットを用いて工作機械の設計・組立をすることが主な仕事となりつつある。その結果として、日本の工作機械メーカーの外部調達比率は50%を超えて久しい。

このようになると、各社の製品の性能に大差はなくなり(もちろんある程度の差は残っている)、同じような性能の機械間で価格競争が激化した。すると、量産メーカーのほうが安く作れるので、相対的により有利になっていった。この傾向は最近ますます激しくなっている。また新興国においても、これらのユニットを輸入すれば、それほど性能的に見劣りしない機械が比較的簡単に作れるようになった。そして先進国に比べて賃金が安い分、相対的に有利になった。

ただし後述するように、日本とドイツはこれらの主要ユニットの開発、生産、供給では世界に抜きん出ており、工作機械の生産額という点では新興国に追いつかれつつあるとはいえ、それらの基礎を供給しているという意味では、やはり傑出している。参考としてCNCの世界生産におけるメーカー別の生産台数を表1に示す。

Table 1 Estimated production amount of CNC in 2004

FANUC	110 000
Siemens	30 000
Mitsubishi Electric	28 000
Heidenhain	10 000
GSK (Guangzhu)	10 000
Total	230 000

4. 機種別の動向

本章では機種別の動向を紹介するが、日本における動きを中心に述べる。すなわち、日本やドイツでの変化が世界の先頭を走っていることが多く、それ以外の

Fig. 2 The change of CNC lathe (courtesy of Yamazaki Mazak Corporation)

国では両国にやや遅れて同じような動きが出てくることが多い。

4・1 汎用機 ある時期、汎用機という術語は非NC機という意味で使用されたが、いまではこのような使用はほとんどなくなった。もちろん、ここでは特定の部品を作ることを目的としない汎用の機械という意味で用いる。

4・1・1 旋盤 CNC旋盤は図2に示すように変化してきた。すなわち、(a)1主軸台2工具台の2軸制御機から、(b)1主軸台2工具台の4軸制御機、(c)2主軸台2工具台の6軸制御機へと制御軸数を増やし、ワンチャックで能率良く加工できるようになった。そして、比較的簡単に作れる図2(a)に示した2軸制御旋盤については、日本製はもはや国際的な競争力を失いつつある(ただし、国内での競争に負けているわけではない)。国内生産は4軸制御旋盤あるいは6軸制御以上の複合旋盤(いわゆるターニングセンタ)といった、より制御軸数の多い技術的に高度な機械に移行しつつある。

4・1・2 マシニングセンタ マシニングセンタは縦形、横形、門形および5軸制御機に分けられるが、部品生産用の比較的簡易な3軸制御の縦形の場合は、前述の2軸旋盤と同様に日本製は国際的な競争力を失いつつある。ただし、精密な金型を加工する縦形の場合は日本製の評価が高い。

横形はいわゆるフレキシブル生産セル(FMC)として、1〜3日の無人運転ができる生産システムになっているものが多いが、この場合も機械自体を作ることこそそう難しくない。むしろ、それをユーザがうまく使いこなすことをサポートするシステムの良否が、売上げを支配する時代になったように思う。日本勢はこの点では1日の長があるように思う。これは大事に守っていかねばならない。

Fig. 3 The structure of multi-task machine and its NC axes (courtesy of Mori Seiki Co., Ltd.)

門形のもの(プラノミラーと呼ばれている)は大形化した液晶関連の部品を加工するための需要が激増し、現在納期が非常に長期化している。それらは門幅4〜5m、ストローク5m前後で、平面度10 μ mという非常に高い精度要求のものが多い。この需要がずっと持続するかどうかは未知数である。

5軸制御機はいまや特別な範ちゅうの機械というより5軸制御のマシニングセンタといわれるようになり、特別な機械ではなくなりつつある。ヨーロッパではかなり以前から5軸制御機が作られてきたが、この機械の主な用途は航空機部品の加工と金型加工であった。日本では航空機部品の需要はあまり多くなく、かつ金型としては5軸制御機によっては低精度なものしか作れなかったため、需要はそう多くなかった。ところが最近では5軸制御機の運動精度も向上し、3軸制御の縦形とそう変わらないものが開発されるに及び、生産台数も金型加工用を中心として年間500台を超えるに至った。

4・1・3 複合工作機械 昔から回転形状部品を加工する旋盤と非回転形状部品を加工するフライス盤(現在はマシニングセンタ)が、汎用機の二大機種であった。これは現在も変わっていないが、回転形状と非回転形状を併せ持つ複雑な形状をした部品を加工する図3に示す複合工作機械(普通名詞としてはあまり適した術語ではないが、一般に用いられているので、ここでもこの語を使用する)も、国内だけで年間1000台以上生産されている。この機種は日本のメーカが始めたものであり、世界生産の90%程度を国内で作っており、工作機械メーカにとってはいまやドル箱的存在である。

数十個までの複雑形状の中形部品、例えばレーシングカーのクランクシャフト、射出成形機のシリンダシャフトなどを加工する場合には、旋盤と縦形マシニングセンタで工程分割して加工するより、複合工作機械1台で工程集約して加工するほうがはるかに能率良く加工できる。

ただ本機種はまだ開発途上にあり、精度、構造、自動プログラミング、干渉チェックシステムなど、今後改良すべき点が多数ある。これらが解決されれば、旋盤、マシニングセンタに並ぶ有力な主力機種になる可能性を持っている。

4・1・4 研削盤 マシニングセンタでは原則として研削加工は行われないので、研削加工が必要な場合は従来は平面研削盤やジググラインダで加工していた。研削加工も行えるマシニングセンタすなわちグライディングセンタは1985年ごろ提案されたが、当

初はなかなか需要が伸びず、メーカは苦勞してきた。ところが最近では様変わりして、セラミック部品の加工用を中心として年間 200 台近く売れるようになってきた。

研削加工機の精度が向上し、かつ硬い材料の研削加工が行える工具が開発されたことにより、鉄鋼材料の研削加工が減少する一方、セラミックスなどの研削加工が増えつつあり、需要の動向にどう対応してゆくかがメーカにとって今後の課題となっている。

付言すべきは、歯車研削盤と高精度な研削盤は、まだ輸入が多いことである。これらの機械は需要がそう多くなく、かつ開発に高度な技術があるので、新規参入が難しいことが原因していると思われる。

4・2 専用機

4・2・1 自動車用エンジン加工システム 自動車エンジンの主要な部品であるシリンダブロック、シリンダヘッド、ミッションケースは、典型的な多量生産される部品である。これらの生産は以前はいわゆるトランスファーマシン(TM)で行われていたが、一つのラインで複数種類の部品を生産するフレキシブル・トランスファーライン(FTL)が用いられるようになり、それはさらにフレキシビリティを増やすために、生産量と種類をある程度自由に変更できる変種変量生産システムへと移りつつある。

その一例を図4に示す。図4に示す変種変量生産システムではホーニング盤や洗浄装置などの非加工機の部分は別として、切削加工するところは汎用のマシニングセンタを少しだけ改良した機械で構成されている。これらの機械では従来生産性向上の決め手とされてきた多軸ヘッドはもはや使用せず、すべてシングルツールを使用して高速で加工し、生産性を確保しつつフレキシビリティを向上させている。また、図中の破線で囲まれた部分は将来の増産に備えた余裕スペースである。このシステムはもはや単純なライン生産方式ではなく、同種の機械を横方向に多数並べているのが

Fig. 4 Newly developed flexible automated manufacturing system for the cylinder block of the passenger's cars (courtesy of Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.)

最大の特徴である。このような工夫により、ある程度までは変種変量生産に対応できるようになっている。

4・2・2 歯車加工機 公害対策と省エネを目指して始められたドライ切削は、断続切削の典型であるホブ切りでは極めてうまくいき、ホブ切りはかなりの程度ドライで行われるようになった。しかも、コーティングハイスで 200 m/min という高速で加工する方式が国内では完全に定着した(250 m/min も普及しつつある)。

クーラントを用いないドライ加工は、ギヤシェーパなど断続切削する加工でもある程度普及しつつあるが、切りくず処理と仕上げ面粗さなどの点で一般化するまでには至っていない。

周知のように、ホブ盤も従来の歯車列を用いて工具とワークの同期回転運動を行っていたものが、いまでは工具軸とワーク軸にサーボモータとエンコーダを取付けて、数値制御して加工されるようになってきた。

5. エレメント・周辺機器の動向

5・1 CNC CNC は高級機と廉価版の二つに分化している。新興国で作られる工作機械は基本機能だけに用途を絞った廉価版の CNC を用いているものが多いのに対し、日本やドイツでは各種の機能を豊富に盛り込んだ高級機種 CNC を用いているものが多い。表1からわかるように、CNC の世界のマーケットは日独の4大メーカによって 80% 占められ、それ以外の製品は近年シェアを落としている。

パーソナルコンピュータ NC は十数年前からその将来性を期待されていたが、実際には長年月における信頼性の確保という点で伸び悩み、従来形の CNC がパーソナルコンピュータ NC の利点である通信機能やデータ処理機能を取込んで、PC & NC という形に姿を変えて依然として多用されている。

5・2 ガイド 工作機械のガイドとしては古くからすべり案内が使用されてきた。20 年ほど前日本のメーカがいわゆるリニアガイドと称する転がり案内を開発し、摩擦抵抗が小さく、高速用に有利であり、かつ製造のために大形のベッド研削盤がいらないという点、結果的にコスト安ということなどで大いに普及し、いまやマシニングセンタ用では 80% 以上が転がり案内を用いるようになった。旋盤用の案内としてはまだそれほど普及しているわけではなく、依然としてすべり案内も多用されている。

この傾向は国内だけではない。ボールガイドが日本で広く採用され出した当初、ドイツのメーカは「転がり案内を用いた機械は工作機械ではない。産業機械

Fig. 5 Motion accuracies of machining centers measured by KGM method (courtesy of Yasda Precision Tools K. K.)

だ」というていたが、いまや彼らも転がり案内を多用している。ただし、ヨーロッパで使用されている転がり案内の多くはローラガイドであり、国内で主流となっているボールガイドとは異なっている。また、転がり案内を最初に始めたのはドイツのメーカのほうが早い。大々的に採用し、普及したのは日本においてである。

5・3 送り駆動機構 工作機械用には古くから台形ねじが送り駆動機構として使用されてきた。これはNC機用には摩擦が大きすぎるというので、ボールねじが一般的に使用されるようになった。さらに現在では主として高速・高加速度の送り用にリニアモータが使用されだした。しかし、ボールねじ駆動もねじピッチを20～30mmに増大させ、高速回転のサーボモータを用いることにより、60m/min程度は無理なく出せるようになってきた。それでごく最近ではリニアモータ駆動は単なる高速・高加速度でなく、その高応答性を生かした高速・高精度な輪郭加工用にも使用範囲を広げつつある(図5)。

永久磁石を用いたこの種のモータは旋回軸にも使用され、いわゆるDDモータとして、旋回軸送り速度の高速化が可能になった。すなわち、これによって従来のウォームとウォームホイールを用いる場合の50/minから一挙に3000/minまで高速化できるようになった。このように高速回転になると高速の送り用としてだけでなく、切削軸の駆動用としても十分使

用できる。

5・4 大形の旋回軸ユニット ドイツのメーカが開発した大形のプラノミラー用のミリング主軸のA、B旋回軸ユニットは、多くのメーカにおいて採用されている。これは一つのトレンドであり、もはや各社が独自のユニットを開発して対抗するのは難しい時代に入りつつある典型的な一例であるように思う。

6. 今後の動向と必要な対応

日本の機械工業においては多種少量生産化が急速に進んでいるので、従来の工程分散をした生産形態から工程集約した生産形態により適した工作機械にしていけないと、今後の需要は先細りになってしまうであろう。ホーニング盤のような特殊な用途の加工機はさておき、切削加工機や研削加工機においては従来のフライス盤、ボール盤、中ぐり盤が統合されてマシニングセンタとなったように、他の機種も持っている機能の統合化を一段と進める工夫が必要である。いまのところ外国では工程集約とフレキシビリティの増大は日本ほど進んでいないが、やがては変化するものと思われる。

ただし、以上述べた工程集約は一挙には進まないであろう。なぜなら、工程集約すると加工機における切りくず処理と工具交換のトラブルの発生頻度が、工程分割した場合に比べて増えるという大変厄介な問題を抱えているからである。この問題は論議の対象となりにくいが、個々のケースでは十分考慮しておかねばならない。

もう一つ対応せねばならないのは、新興国メーカとの競争である。いまのところ彼らは日本やドイツから主要なユニットを調達しているが、やがては彼ら自身が開発・生産を開始することは必定である。そうになると、競合する工作機械の価格低下が生じる。日本メーカが高級機種の生産だけでいまの仕事量を確保できるかどうかは疑問である。

やはり需要の多数を占める普及品の分野でも競争力を維持してゆかねばならない。そのためには、機種の選択的な集約と量産化が不可欠であると思われる。このための努力は複合化よりもいっそう重要であると思う。