

日米工作機械産業の盛衰

——産業技術発展の日米比較のために——

小林 正 人

- 1 はじめに
- 2 アメリカ工作機械産業の現状と問題点
 - 2.1 アーテミス・マーチによるアメリカ工作機械産業論
 - 2.2 アメリカ工作機械産業における製造設備の後れ
 - 2.3 アメリカのNCのハードウェアとソフトウェアの問題点
- 3 NC工作機械開発史の日米比較
 - 3.1 アメリカにおけるNC開発史
 - 3.2 日本のNC開発史——富士通（ファナック）を中心に
- 4 日本の工作機械産業の現状と特質
 - 4.1 市場——ユーザーの多くは中小企業
 - 4.2 生産システム——FMSと量産効果
 - 4.3 日本の工作機械産業における部品調達と技術の標準化
- 5 おわりに——産業技術発展の日米比較

文献一覽

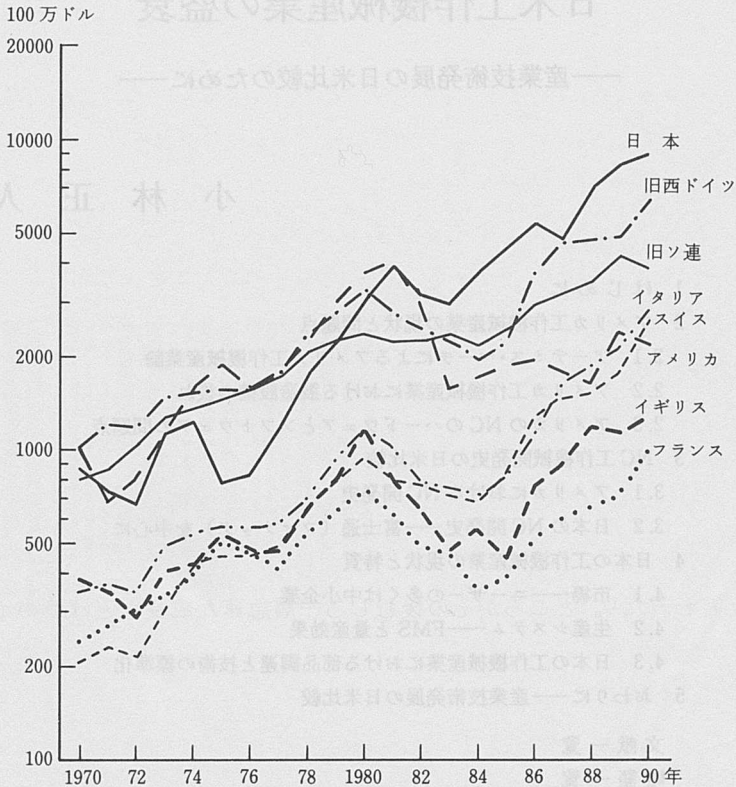
略語一覽

1 はじめに

工作機械は、金属を加工するための最も基本的な設備機械である。そのためこれを生産し供給する工作機械産業は、あらゆる製造業の発展にとってきわめて重要な役割を果たしてきた。

日本の工作機械産業はかつては欧米との技術格差が歴然としていたが、1982年以降、その生産額は世界最大となっている(図1)。他方、アメリカの

図1 主要国の切削型工作機械生産額



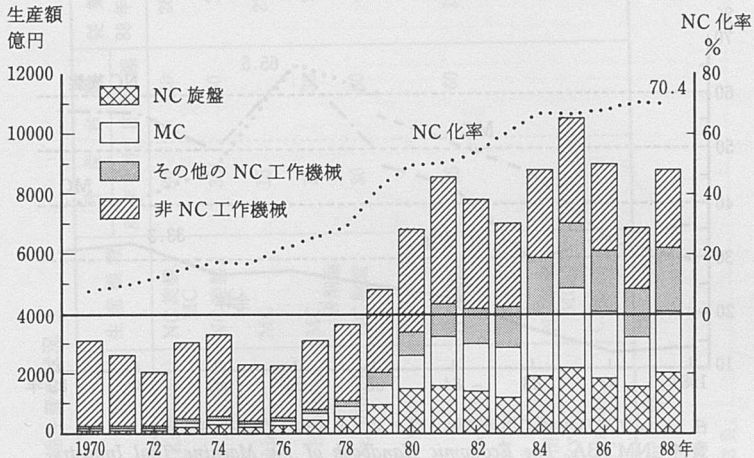
注：1990年は推定値。旧ソ連は公定レートより低いレートで計算。また一部はおおまかな推定値。

資料：American Machinist.

工作機械産業は80年をピークに生産額を激減させ、かつての先進の地位から大きく後退している。アメリカ大統領が日本を含む4カ国に対米工作機械輸出の自主規制を要請し（1986年）、87年1月から日本の自主規制が始まったことは日米の格差を象徴している。

日本の工作機械産業は日本経済の高度成長とともに成長したが、73年の石油ショックのあと75年までは深刻な不況に陥り、「構造不況業種」の一つ

図2 日本の工作機械生産額とNC化率の推移



注：NC化率＝NC工作機械生産額÷工作機械生産額。

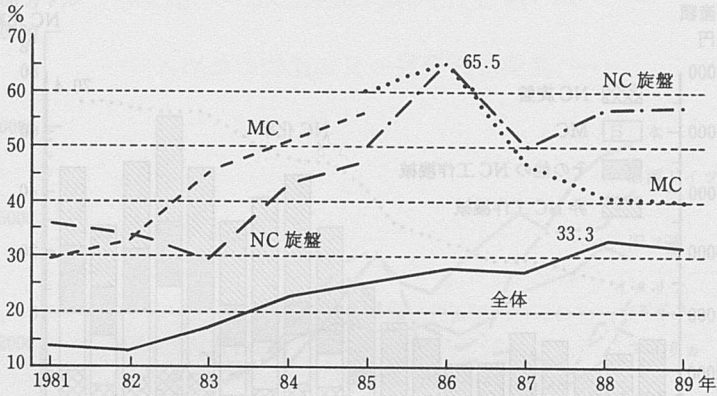
資料：通産省。

ときえ言われた¹⁾。ところがその後むしろ一層急速な成長をとげたのである。この急成長は、NC旋盤とMC（マシニングセンタ）²⁾を中心とするNC工作機械の販売が国内市場で拡大しただけでなく、アメリカ、ヨーロッパなどの海外市場へ大量に輸出されたことによるものである。1970年以降の工作機械生産額とNC工作機械生産額の推移を図2に示す。

日本からアメリカへの工作機械輸出の急増により、アメリカ市場において日本製工作機械のシェアが急上昇した。1988年にはそのシェアは約33%に達した。特に日本の輸出の中心であるNC工作機械のシェアは、1986年にはNC旋盤、MCともに65%に達した（図3）。アメリカの工作機械企業は自国の市場すら日本企業に奪われたのである。アメリカ企業はこの外国からの侵入を輸出国側の自主規制によって抑えようとしたが³⁾、日本企業は相次いでアメリカ国内での現地生産の体制を整えた（表1）。

アメリカで現地生産を始めた日本の工作機械企業は、1989年には現地工

図3 アメリカ市場における日本製工作機械のシェア



注：シェア＝日本製工作機械輸入額÷アメリカの工作機械内需額。

資料：NMTBA, *The Economic Handbook of the Machine Tool Industry*, each year. ただし1981-85年のNC旋盤とMCの輸入額は「生産財マーケティング」1987年1月, A-86頁による。

場の量産規模の拡大をはかった⁴⁾。これはアメリカ市場での日本企業どうしの販売競争(シェア競争)にそなえるためであった。しかし現地で調達する部品の品質の低さや、アメリカの景気後退などにより、累積赤字を出す企業が続出している⁵⁾。

他方、アメリカの工作機械生産額は1981年にピークに達したあと急減し、91年になってもその水準まで回復していない⁶⁾。これは、日本、旧西ドイツ、イタリアなどが80年代後半には生産を回復させたのとは対照的である(前出図1)。そしてアメリカの工作機械輸入依存度(工作機械内需に対する輸入額の割合)は、80年ごろの25%から88年には52%へと上昇した。輸入依存度を機種別に見ると、80年から89年の間にNC旋盤が30%から66%へ、MCは21%から54%へと上昇した(図4)。この80年代の状況はアメリカ工作機械産業の「衰退」と呼ぶにふさわしいものである。しかもこのときアメリカの工作機械業界では、競争力を強化する設備投資や新製品開発よりも、工場や企業の売却・買収(M&A)が相次いだのである⁷⁾。

表1 日本工作機械企業の在米現地生産の状況

日本企業	生産開始年	形態	現地企業名	場 所	生産機種	月 産 台 数		従業員 88年9月
						88年9月	目 標	
ヤマザキ マザック	1974	単独	Mazak Corporation	Florence, Kentucky	NC旋盤, MC	80	120	260人
日立精機	1979	単独	Hitachi Seiki U.S.A.	Huntsville, Alabama	NC旋盤, MC	30	50	30
牧野フライス	1981	合弁 →単独	LeBlond Makino Machine Tool	Mason, Ohio	MC	15		270
豊田工機	1986	単独	Toyoda Machinery U.S.A.	Arlington Heights, Illinois	MC, 研削盤	15	30	95
ミヤノ	1987	単独	Miyano Machinery U.S.A.	Wood Dale, Illinois	NC旋盤	30	80	47
岡本工作機械	1987	単独	Okamoto Corporation	Buffalo Grove, Illinois	表面研削盤			
大隈鉄工所	1987	単独	Okuma Machine Tools	Chalotte, North Carolina	NC旋盤, MC	35	60	100
ファンナック	1987	合弁	GE Fanuc Automation North America	Charlottesville, Virginia	CNC, PLC			
三菱重工業	1989	単独	American Precision Machinery	Hopkinsville, Kentucky	NC旋盤, MC			
三菱電機	1989	単独	Mitsubishi Electric Sales America	Mount Prospect, Illinois	CNC			

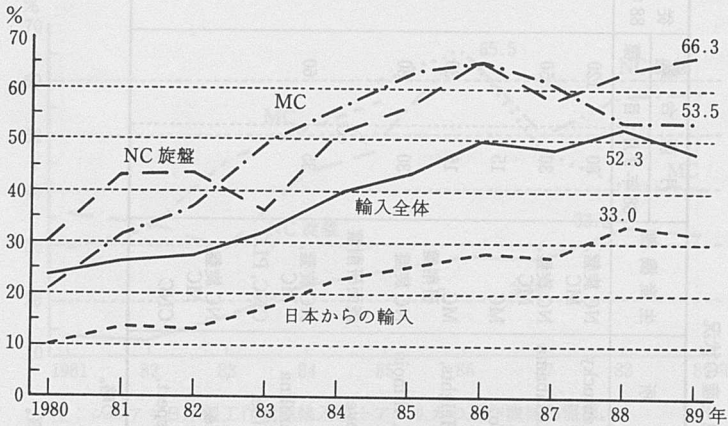
注：MCはマシンメンタの略，PLCはprogrammable logic controllerの略。

資料：通産省「21世紀の産業機械ビジョン」1989年，48頁。

JMTBA, *Machine Tool Industry Japan 1990*, 1990, p. 14.

三浦東「国際化時代に勝つ新企業戦略」日刊工業新聞社，1989年，63頁。

図4 アメリカ市場における輸入工作機械のシェア
(2500ドル以上の工作機械のみ)



注：シェア＝工作機械輸入額÷工作機械内需額。

日本からの輸入には2500万ドル未満の工作機械も含む。

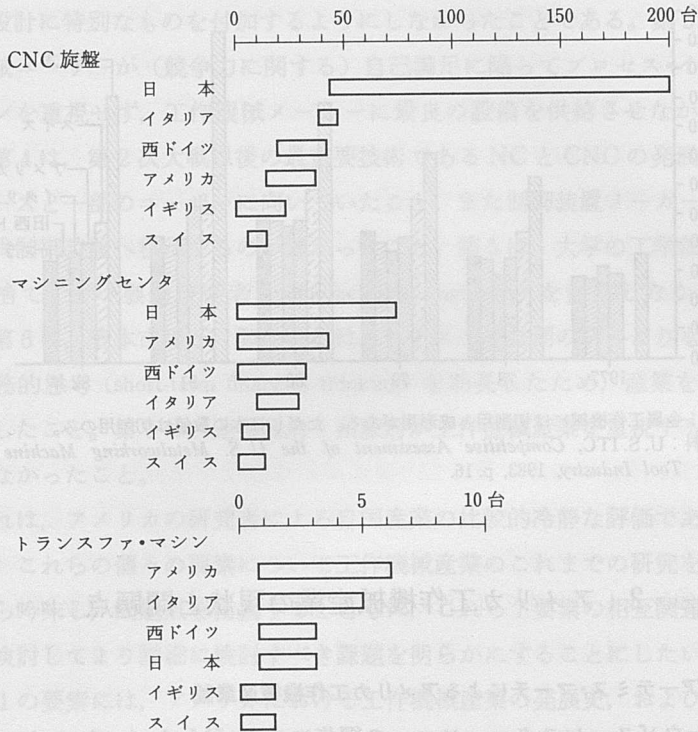
資料：NMTBA, *The Economic Handbook of the Machine Tool Industry*.

さて、急成長した日本の工作機械産業の特徴は量産体制の確立にある。

図5を見ると、日本のCNC旋盤とMCの月産台数は主要諸外国を大きく上回っている。また図6を見ると、日本の従業員1人当たり金属工作機械生産額は主要諸外国よりかなり高い。これらが示しているのはアメリカの衰退による空白を日本が埋めたというよりは、日本の工作機械産業が特異な成長と輸出を実現してきたということである。その発展の特異性は、日本の工作機械輸出率(＝輸出額÷生産額)が急上昇した一方で輸入依存度が極めて低い(5%程度)ままだであるのに対して、アメリカの輸入依存度が高くなったと言ってもヨーロッパの先進国もやはりかなり高い(1985年では旧西ドイツ30%, スイス67%, イタリア31%など)という差異にも現れている⁸⁾。

本稿は日米の工作機械産業の現在の対照的な盛衰がなぜ生じたのかを考察するものである。この考察では特に、もともとアメリカで開発されたNC技術が日本の工作機械産業の成功の基盤となり、アメリカ市場をも侵食するよ

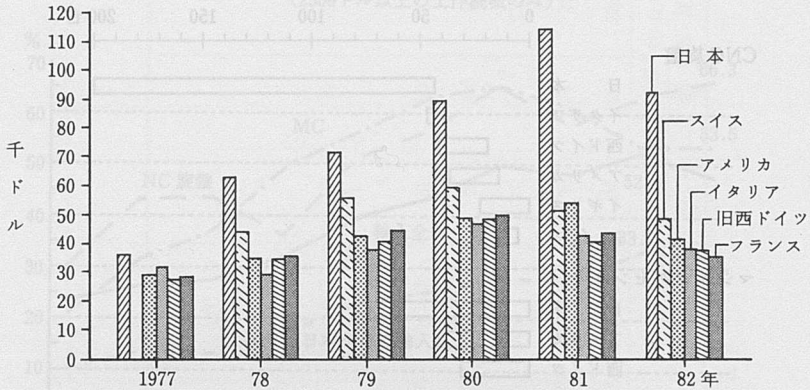
図5 主要工作機械の月産台数の国際比較（1982—83年）



出所：E. Sciberas and B. D. Payne, *Machine Tool Industry: Technological Change and International Competitiveness*, Longman Group Ltd., 1985, p. 90.

うになった理由の究明を重視する。まずはじめに、アメリカの研究者によるアメリカ工作機械産業の分析について検討する。次に日米のNC技術開発の歴史を比較検討する。さらに日本の工作機械産業の現状、特にその日本の特質を明らかにする。最後に、以上の検討を踏まえ、日米の産業技術発展の違いという視点から現代の工作機械産業の発展について考察する。

図6 従業員1人当たり金属工作機械生産額



注：金属工作機械には切削用と成形用がある。ただし日本の数値は切削用のみ。
資料：U.S. ITC, *Competitive Assessment of the U.S. Metalworking Machine Tool Industry*, 1983, p.16.

2 アメリカ工作機械産業の現状と問題点

2.1 アーテミス・マーチによるアメリカ工作機械産業論

ダートウズ、レスター、ソローの編集による『Made in America』⁹⁾はアメリカ産業の問題点を包括的に論じた著作である。その中に8つの産業を個別に検討した「産業研究篇」があり、その1つが工作機械産業の章である。そしてこの章の土台になった研究は、アーテミス・マーチの論文「アメリカ工作機械産業と外国の競争者」¹⁰⁾である。マーチはこの論文で自国アメリカの「工作機械産業の崩壊」の原因を、以下の(相互に関連した)7つの要素(elements)に要約した¹¹⁾。

第1の要素は、長い製品ライフサイクル、企業の乱立、受注残(backlog)、投資不足などが、非効率な製造慣行(manufacturing practices)、競争における視野の狭さ、そして自己満足(complacency)を生み出した(generated)ことで

ある。第2の要素は、工作機械メーカーと制御装置メーカーが、単純で標準的な設計に特別なものを付加するようにならなかったことである。第3は、工作機械ユーザーが（競争力に関する）自己満足に陥ってプロセス・イノベーションを重視せず、工作機械メーカーに最良の設備を供給させなかったこと。第4は、第2次大戦以後の最重要技術であるNCとCNCの発展が軍事的ニーズと一部のユーザーに向いていたこと。また制御装置メーカーが固体回路式制御装置へ移行するのが遅かったこと。第5は、大学の工学部が製造を見捨て、よい製造技術者（manufacturing engineers）を供給しなかったこと。第6は、資本市場が、製品またはプロセスへの長期の関与よりも短期的な財務的思考（short-term financial thinking）を助長したため、産業を資本不足にしたこと。第7は、連邦政府・州政府が工作機械産業を重視する政策を持たなかったこと。

これは、アメリカの研究者による自国産業の比較的冷静な評価である。そこで、これらの個々の要素について工作機械産業のこれまでの研究を踏まえながら吟味し、問題点を指摘するとともに、これら7要素の相互関連について再検討してより詳細に検討すべき課題を明らかにすることにしたい。

第1の要素には、アメリカにおける工作機械産業の発展史、および工作機械産業の伝統的な特徴が背景にある。工作機械の技術は産業革命期のイギリスにおいて大きく進歩したが、それは熟練機械工の存在を前提とし、そして精度の向上を中心にしたものであった。19世紀後半からはアメリカで独自の技術発展が始まったが、アメリカは労働力不足であったため、工作機械技術には生産性の高さがより強く要求された。互換性部品による大量生産（いわゆるアメリカン・システム）のためである¹²⁾。そのための工作機械が19世紀後半以降、Brown & Sharpe や Pratt & Whitney などの著名な企業によって製作された¹³⁾。

工作機械が大量生産能力を持っていても、その工作機械自体は大量生産されるのではなく、ユーザーの注文に従って一品生産されるものであった。し

かもユーザーのさまざまな要求仕様に合わせるために工作機械の機種は細分化した。こうして、特定の機種に専門特化してその小さな市場を専有する企業群が併存あるいは共存するようになった。特に、独創的な機械の発明者が創立した企業の場合はその特殊な機械技術だけが追求された（その独自の技術は特許によって保護された）。またこの傾向はヨーロッパでも存在した。ここから、伝統的機械技術に依拠する多数の中小企業が共存するという工作機械産業の特徴が形成されていった¹⁴⁾。これがマーチの言う第1の要素の中の「長い製品ライフサイクル」と「企業の乱立」の背景である。

以上を技術的要因に、景気変動という経済的要因も加わった。工作機械の市場は消費財市場とは違い、景気変動の激しい投資財市場であるため、企業は注文が激減する不況期にいつも備えておく必要があった。そこで企業は、専門とする機種の特異な技術で市場において優位を保持しようとする一方で、好況期に注文が増えても増産（＝設備投資）したり、ほかの機種に手を広げたりせずに、受注残をかかえることで不況時に備えた¹⁵⁾。マーチが第1の要素で述べている「受注残」や「投資不足」を生み出したのはこれであった。また、企業規模の拡大を制約し多数の中小企業を存続させる要因にもなった。

ところで第1の要素には工作機械メーカーの「自己満足」という指摘がある。この「自己満足」という用語をマーチは論文で何度も使っている。確かに、上記の工作機械産業の特徴は専門機種に安住するなどの保守的な対応につながりやすい（日本企業はアメリカの技術動向を絶えず気にしてきたが）。しかし、企業が「自己満足」していたというような議論は主観的評価を含まざるを得ず、産業の競争力の低下という客観的状況を説明するさいの主要な要因とするべきではない。問題は、日本企業にはNC工作機械を大量に生産できる体制・設備がある（1節）のにアメリカ企業にはない、その客観的理由である。その意味では第1の要素の「非効率な製造慣行」＝製造の非効率性や、その背景の「投資不足」が生じた理由が客観的に説明されるべきである。

第3点ではユーザー側の「自己満足」を指摘している。これは、工作機械ユーザーである自動車、家電などのアメリカ企業が外国（とりわけ日本）と競争すべく積極的な設備投資をしなかったから、革新的な工作機械の市場が拡大しなかったという見解である。しかし多数の日本製 NC 工作機械がアメリカで実際に売れているのであるから、市場がなかったわけではない。しかもアメリカ企業には航空機産業という NC 機の大ユーザーがあり、この産業が「自己満足」におちいって競争力を失ったとも言えない。従ってユーザーの自己満足をアメリカ工作機械産業の崩壊の原因と言うのには無理がある。

第4の要素の、NC 技術が「軍事的ニーズと一部のユーザーに向いていた」点は注目すべき問題である。これは、アメリカでは宇宙関連を含む航空機産業が NC 機のユーザーであったことが逆効果になったことを意味する。さらに第2の要素、および第4の要素の後半の制御装置（=NC 装置）の「固体回路」（トランジスター）化の問題とも関連する。これについては NC 工作機械産業の発展における日米の差異に大きく作用した要因として、より詳しく検討されるべきである（2.3節，3.2節）。

第5の要素は、製造現場で設備改善に持続的にとりくむ技術者の有無に関連する。また第6の要素は設備投資のための資金調達に関連する。両者はアメリカの製造業、特に成熟産業の設備投資を制約した全般的事情である（5節）。

第7点では日本の産業政策との対比が意識されている。しかし重視されているのは第6点までのアメリカ産業自体の問題である¹⁶⁾。

以上のようにマーチの論文で特に注目されるのは、アメリカ工作機械産業の製造設備の後れの問題と、NC 装置メーカーの問題である。これらの点について彼の所説をより詳しく見ていこう。

2.2 アメリカ工作機械産業における製造設備の後れ

アメリカ工作機械産業の「非効率な製造慣行」の端的な例が、自動的生産システム FMS¹⁷⁾の少なさである。アメリカの工作機械メーカーの中でインガーソール社(稼動開始 1984 年)とミラクロン社(同 1986 年)以外は FMS を持っていないが、日本ではほとんどの工作機械メーカーが 1980 年代初期までに自社に FMS を置いている、とマーチは述べている¹⁸⁾。しかもミラクロン社の FMS は、工作機械ではなくプラスチック射出成形機の工場にある¹⁹⁾。アメリカ企業は受注が増えたときも増産しようとしなくて受注残として納期を延ばすやり方をとり、納期の短い日本企業に市場を取られてきたが、そもそも日本のような増産能力がないのである。

こういう現状についてアメリカの会計検査院のレポートも次のように指摘している。「(アメリカでは)多くの工作機械が特殊な注文のために注文生産される……(アメリカの工作機械)産業は製品需要が万一減ったときの影響を和らげるため受注残を使う。反対に日本のような外国の生産者は……標準品を在庫に入れる……。彼らは量産できる工作機械の輸出に集中し、より新しくより高度に自動化された生産プロセス (more highly automated production process) を使っている。」²⁰⁾ここで言う「高度に自動化された生産プロセス」が FMS であり、これによって日本の NC 工作機械の月産台数がアメリカなどを大きく上回っているのである(前出の図 5)。日本の FMS の実情や、「標準品」の「量産」などの点は 4 節でより詳しく述べることにしよう。

なお、ここで問題になってくるのは、日本では実行されている FMS への設備投資がアメリカではなぜ実行されないのかである。それは以下の論述をへた上で 5 節で考察する。

2.3 アメリカの NC のハードウェアとソフトウェアの問題点

次は NC 装置メーカーの問題である。

NC 工作機械には NC 装置が欠かせないが、このような電子装置は工作機

械企業が自社で作っているよりも別の電機企業から購入するのが普通である。NC装置の回路は最初は真空管で作られたため、巨大で故障は多く発熱の問題もあった。「固体回路」＝トランジスターの登場により、安定した電子回路が実現し、さらに多数のトランジスターを集積したICが登場して回路はより小型で安価になった（ME化）。NC装置のIC化は必然だった。しかしトランジスターもICもアメリカで発明されたにもかかわらず、全回路をIC化したNC装置を最初に開発したのは日本の富士通だった（1966年）。こうして日本では故障の少ない安価なNC装置が量産されるようになり、NC工作機械が普及し、さらに大量の輸出もできたのである。アメリカのNC装置メーカーはこうした行動をしなかった。そのため工作機械企業はNC装置の入手に後れをとった。「ファナックの制御装置はGEやアレン・ブラッドリーよりも単純で安く、はるかに信頼性があり、量販市場をねらっている」²¹⁾とマーチは書いている。

以上の点は主にNCシステムのハードウェアの問題であるが、ソフトウェアについてマーチが注目すべき指摘をしている。それは、1950年代に開発されたNC自動プログラミング・システムであるAPT（Automatically Programmed Tool）²²⁾が、NCのユーザーが航空機などの大企業に限られ小規模企業には広がらない要因となったことである。すなわち「APTは技術的に複雑で、熟練プログラマーとハードウェア投資が必要であったため、複雑部品を作る大ユーザーに合った高級システムになった」²³⁾。この「大ユーザー」とは主に航空機産業である。もともとNCは、複雑な形をした航空機部品を素材から削りだすために開発された（3.1節）が、そのためのNCプログラムを作るには複雑な数値データが必要になる。APTはこれを大型コンピュータで計算するシステムであるが、大型コンピュータがない小企業は使えない²⁴⁾。他方、富士通は小型コンピュータが使える簡明なソフトウェアであるFAPTを開発した（1963年ごろ）が、これで日本の中小企業にもNC工作機械が売れるようになった²⁵⁾。

APTの問題については Noble も同様に述べている。「APTは、5軸輪郭フライスのような、最大限可能な工作機械能力を支援するように設計された」²⁶⁾、このような「航空機産業のぜいたくな期待に調子を合わせていた工作機械メーカーおよび制御システム・メーカーは、全く自然に他の市場にも同じ製品を売ろうとした。これは少しは成功した。しかし航空機製造には必要な精巧さは小企業にとっては不要な出費や過剰な能力となり、時には破滅的な結果になった」²⁷⁾。

NC工作機械では、プログラムを作りNC装置に投入すればあとの作業はほぼ自動になる。最初はそのプログラムを作るのに時間も手間もかかった。これを最初に簡単にしたのがアメリカのAPTであったが、航空機産業などの資金の豊かなユーザーしか使えなかった。このような高価なシステムによって利益をあげえたアメリカのNC装置メーカーにとって、中小企業でも使えるようなソフトの開発はそれほど利益にはならなかったのである。

これまで見たようにアメリカ企業にはNC工作機械の量産体制がない。またNCのハードもソフトも航空機産業向きに作られたものが主に供給された。これに対して日本では第2次大戦後、アメリカのような航空機産業は発展しなかった。この市場条件の違いが、日米両国のNCの普及のあり方を変えた客観的条件である。そこで次に、日米両国のNC技術の開発史を市場との関連に注目しながら検討することにする。

3 NC工作機械開発史の日米比較

3.1 アメリカにおけるNC開発史

NCという工作機械の自動制御方式のアイデアが生まれたのは、パーソンズ(John T. Parsons)が1948年にロッキードの航空機的设计図の中で「一体強化翼板」(integrally stiffened skins)という斬新な翼構造を見たときであった。それまでの航空機翼は部品を組み立てたフレームに金属板を鋸打ちして

造られていたが、この新しい翼構造では、翼の輪郭をした外面と内面が表裏一体になって強度を保つようになっていた。パーソンズ社は、以前からヘリコプター・ブレードの型板（templet）を作るため、その複雑な座標値をIBMのパンチカード式計算機で計算してから工作機械で作るシステムを備えていた。上記の設計図を見たパーソンズは、パンチカードで与える命令で工作機械を直接動かすことができると推論したのである²⁸。このアイデアに、「非常に複雑な、しかも頻繁に仕様変更される航空機部品を加工する」²⁹必要に迫られていたアメリカ空軍が注目し（当時は音速ジェット戦闘機の開発期である）、この新しい工作機械の開発をパーソンズに委託する契約を49年に結んだ。そこでパーソンズは、この工作機械に必要な駆動装置を開発するためMITのサーボメカニズム研究所に助けを求めた³⁰。

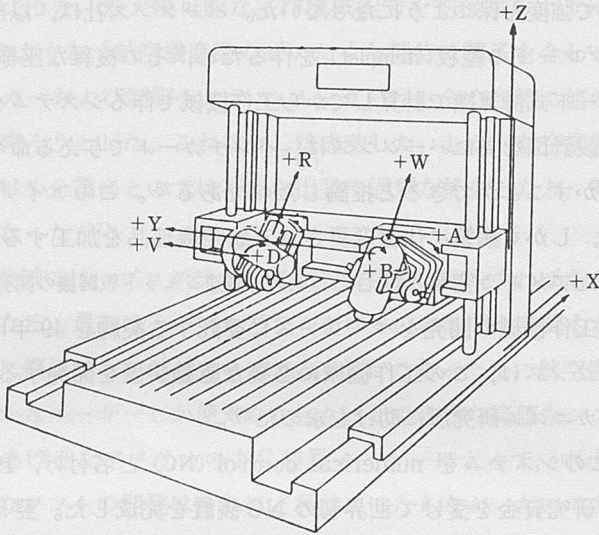
MITはこのシステムを numerical control (NC) と名付け、1951年からは空軍から研究資金を受けて世界初のNC装置を完成した。翌52年、3軸制御のNCフライス盤が完成し公開された。これが世界初のNC工作機械である。

1954年にアメリカで初めてNC工作機械（ボール盤）が販売されたという記録があるが³¹、より重要なのは、55年にG&L社が発売したNC装置「ニューメリコード」である。これはスキนมイラー（図7）など大型工作機械用の磁気テープ式NC装置で、MITとGEが協力して開発した。

同年にアメリカ空軍は納期の長い工作機械をストックしておくため、航空機産業用のNC工作機械（スキนมイラーなど）³²を105台まとめて調達することを決め、G&L、K&Tなど工作機械4社と、NC装置メーカーのGE、ベンディクスなどに発注した。56年には空軍は600台以上のNC工作機械を発注。G&LがNCスキนมイラー（55年）、K&TがNCプロファイラー（56年、NC装置はベンディクス）、J&LがNCボール盤を開発した。アメリカで航空機用の高額NC機の市場がこうして作り出された³³。

1958年、K&Tが世界初のマシニングセンタを開発した。NC装置はGE

図7 スキンミラー、プラノミラー



注：スキンミラーとは、素材から薄肉の構造物を削り出すフライス盤。
資料：【JISハンドブック工作機械】1987年，24，146頁。

製で、31本の工具を持ち、工具交換に8.5秒かかった。これがのちに工作機械の連続無人運転への道を開いた。また同年にはGE製のNCを装備したタレットボール盤、G&LのNCフライス盤などが登場した。このときはアメリカの工作機械企業が世界の工作機械技術をリードしていた。

61年には低価格のNCボール盤、67年には小型MCなど、普及機も開発された。また71年にGE、ベンディクスなどが低価格のNC装置を発売した。なお当時すでに富士通は半分の価格のNC装置をアメリカで販売していた。

しかしアメリカではNC工作機械のユーザーは広がらなかった。「アメリカの大半の工作機械メーカー……は、航空機産業のために、翼板、翼桁、タービン翼などの輪郭が複雑で超精密で少量の部品を加工するという特殊なニーズに応える、複雑かつ精巧なNC機の開発に集中した」³⁴⁾。それはまた

前述のようにプログラミング用のソフトウェアとして APT が使われたことも一因であった。こうして、「1970 年までは 5000 台の連続輪郭機械〔連続切削用 NC 工作機械のこと……引用者〕のうち 90% 以上が航空機会社にあった一方、ほとんどの小さい金属加工ショップにはなかった」³⁵⁾という状況になった。

3.2 日本の NC 開発史——富士通（ファナック）を中心に

アメリカにあまり遅れることなく日本でも NC 開発が始められたが、両国の様相はかなり異なっていた。そこで日本の NC 開発史を、世界的な NC 装置メーカーとなった富士通（のちのファナック）の歩みに注目しながら見ていく³⁶⁾。

NC 工作機械が日本で初めて紹介されたのは 1952 年、『サイエンティフィック・アメリカン』誌に掲載された NC フライス盤（上記 MIT のもの）について東大の高橋安人教授が研究報告を行なったときである。56 年からは工業技術院機械試験所が 3 年計画で NC 工作機械の研究を始め、58 年からその研究成果が公表された。これが NC に関する豊富な基礎資料になった。またこれには日立製作所、日立精機が協力した。これと平行して 1956—57 年に東京工業大で NC 旋盤が試作された³⁷⁾。

この間の 1956 年に日本初の NC システムが作られた。同年、当時は通信機会社であった富士通はコンピュータとコントローラーという新分野にも進出するため 2 つの研究チームをつくった。そのうちのコントローラーのチームは NC に関する MIT の研究レポートのマイクロフィルムをカリフォルニア大学にいた高橋教授から入手し、NC 開発への会社上層部による了承を得た上で、NC タレット・パンチ・プレスを完成した。この日本初の NC システムは、パラメトロン回路と外部調達の電気サーボモーターによる位置決め制御であったが、動きが遅く実用的ではなかった。またそれは NC 工作機械ではなかった。

日本の民間企業による初の NC 工作機械は、1958 年に富士通と牧野フライス製作所が共同で完成した NC 立てフライス盤である。NC 装置は真空管式の連続切削制御であった。59 年には日立精機と富士通がクローズドルブ方式の NC フライス盤を 2 台、三菱重工に納入した。これが日本初の実用的 NC 工作機械であり、複雑な形をした航空機翼の部品の製作に使われたが、サーボ回路の約 100 本の真空管が 1 カ月に 1 本の割合で切れるため保守が大変だった上、プログラムの作成が非常に面倒であった。

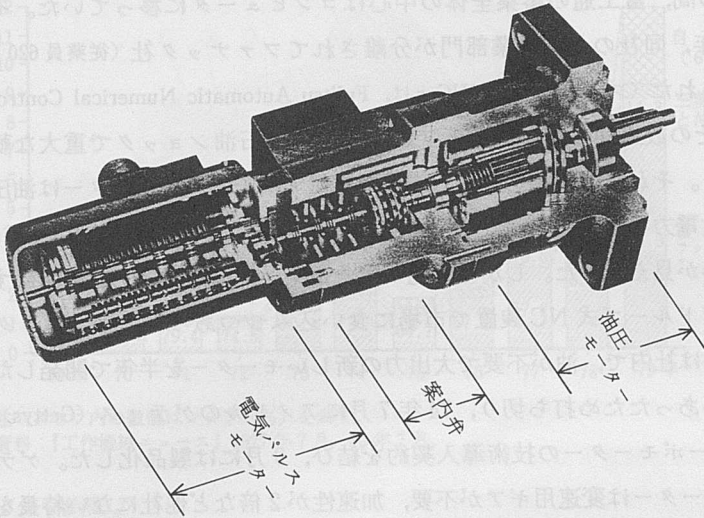
1959 年 5 月に第 3 回東京国際見本市が開かれ、機械試験所と三井精機工業の NC 治具中ぐり盤、日立製作所（NC 装置も自社製）と日立精機それぞれの NC フライス盤、などが出品された。

こうして日本は初期の開発期を終えた。これまでに大きな役割を果たしたのは、上述のような富士通と工作機械企業との積極的な共同開発であった。

富士通はこれらの共同開発と平行して 1959 年に 2 つの重要な技術を開発した。1 つは円弧と直線を計算するトランジスタ製 NC 専用コンピュータ回路（代数演算方式パルス分配回路）である。東大生産技術研究所の助言を得たもので、工具経路の計算を容易にした。また NC 装置のトランジスタ化の先駆けになった。もう 1 つは電気・油圧パルスモーター（図 8）である。これは、電話の自動交換機に使われていた回転スイッチを利用した小さな電気パルスモーターにより、油圧モーター（以前は軍艦の大砲の回転に使われていた）を制御するもので、大出力を可能にした。この独創的なモーターで富士通は日米英独仏 5 カ国で特許をとった。内部にフィードバック制御機構を持つこのモーターは、工作機械に対してはフィードバック・ループが不要な簡単な NC（オープンループ式 NC）を実現した³⁸⁾。これが日本の工作機械企業が工作機械を NC 化するのを容易にし、NC の普及に寄与した³⁹⁾。

富士通は 1960 年にトランジスタ製でオープンループ式の連続切削用 NC 装置を完成、66 年には世界初の全面 IC 化した NC 装置を完成して部品数を削減、69 年には完全モジュール化により NC 装置を標準化し価格を引

図8 電気・油圧パルスモーター



資料：『日本のNC工作機械30年の歩み』
ニュースダイジェスト社，1987年，52
頁。

き下げた。70年には自動化されたNC専用工場を設立して量産化をすすめた（その4000台という年産能力は世界最大であった）。72年にはCNC（コンピュータNC）を開発して75年から量産を始めた。富士通のNC装置＝FANUCは国内市場で圧倒的地位を占め（1965年頃で90%），低価格で信頼性の高いNC装置が日本で普及した。その後の日本が世界最大のNC工作機械生産国となる重要な基礎がここにつくられた。

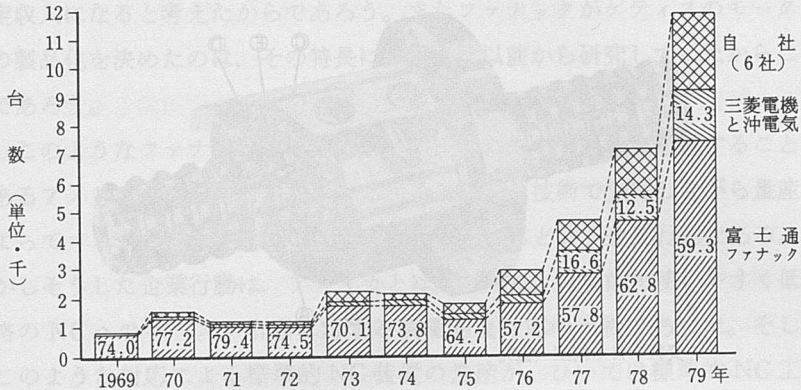
NC工作機械については、1960年にNC立て旋盤，NCラジアルボール盤，64年にはNC中ぐりフライス盤が現れた。MCはアメリカより8年後れて66年に，牧野フライス（自動工具交換装置は2年後）と安田工業によって発表された。多数のNC工作機械の直接制御（DNC）はイギリスより1年後れて68年に富士通と工作機械企業5社により実現した。これがより進化したFMSはアメリカより2年後れて72年にエンジン工場（牧野フライスが納

入) やアルミ部品工場、調整弁工場に設置された⁴⁰⁾。

この間、富士通の事業全体の中心はコンピュータに移っていた。そこで1972年、同社のNC事業部門が分離されてファナック社(従業員620人)が設立された(ファナックFANUCとは、Fujitsu Automatic Numerical Controlによる)。その設立間もないファナックが、73年の石油ショックで重大な転機を迎える。それまで市場を独占してきた電気・油圧パルスモーターは油圧ポンプと大電力を必要としたため、電気料金の高騰により販売(特に小企業への)に限界が見えてきた。しかも後発の競争企業が、高精度加工を可能にするクローズドループ式NC装置で市場に食い込みつつあった。ファナックはいったんは社内で、油が不要で大出力の新しいモーターを半年で開発したが、難点があったため打ち切り、74年7月にアメリカのゲティス(Gettys)社とDCサーボモーターの技術導入契約を結び、9月には製品化した。ゲティス社のモーターは変速用ギアが不要、加速性が2倍など他社にない特長を持っていた。さらにファナックは新製品のクローズドループ式NC装置を他社より10%ほど安く発売、またこれに接続するDCサーボモーターの量産も始めた。こうしてオープンループ式からクローズドループ式への大転換を自ら実行した。これでファナックはNC装置で60%のシェアを維持した(図9)。その後、ACスピンドルモーター(79年)、ACサーボモーター(82年)を独自に開発した⁴¹⁾。

これまで述べてきたNC装置、パルスモーターのほかに、日本のNC工作機械産業の発展にとって重要であったものに、「ボールねじ」(図10)の開発がある。ボールねじはもともと航空機のフラップなどの動きを精密に制御するために使われた特殊なねじであるが、NC工作機械ではモーターと機械本体とを接続する重要な部品であり、1台につき数本必要である。このねじの精度・品質が悪いとNC工作機械の精度は保障されない⁴²⁾。ベアリング・メーカーの日本精工によりこれを量産する体制が国内で確立されたため、日本の工作機械企業はこの重要な部品を容易に入手することができるようになっ

図9 NC装置のメーカー別シェア



注：グラフ内の数値はシェア（%）を表す。

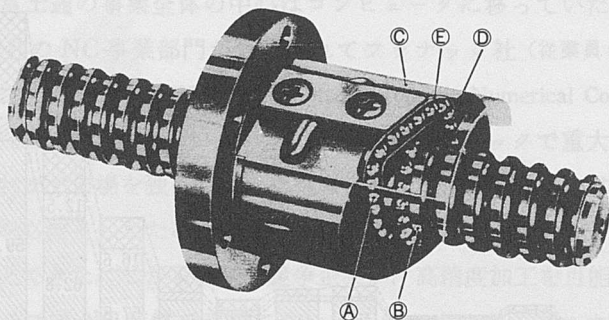
資料：『工作機械ニュース』1977年7月，80年7月。

た（4.3節も参照）。

それではここで，以上の歴史について考察を加えよう。

NC工作機械にとってNC装置とサーボモーターは不可欠の構成要素である。それらの電子技術（エレクトロニクス）は工作機械企業の従来の機械技術とは異質であったが，パーソンズのアイデアにより両技術の融合が始まった⁴³⁾。アメリカではNCは，航空機部品のような複雑な形の工作物の自動加工を必要とするユーザーに普及した。日本でも初期にNC工作機械が航空機部品の生産に使われたこともあった（3.2節）がアメリカほどのユーザーはなく，他方，自動車や家電の大企業は当時はまだ大量生産用の機械設備を主に求めていた。プログラムさえ作ればあとは自動加工するという，多品種少量生産に向けたNC工作機械が売れる相手すなわち市場は，日本では^{かながた}金型業界（4.1節を見よ）のような中小企業の多い産業しかなかった。日本の市場ではそういう企業でも買える安くて故障せず，プログラミングが簡単なNC装置しか売れる見込みはなかった。そして日本には，このようなNC装置を開発し量産する企業が存在したのである。

図 10 ボールねじ (チューブ式)



資料：日本精工（株）。

富士通は NC の開発をゼロから始めたわけではなく、アメリカで実証済みの技術を改良したのである (3.2 節)。しかし工業技術院の資料や大学研究者の協力を得ながら国内では先行した。また自社に半導体技術があったため、アメリカより早く NC 装置をトランジスター化し、IC 化できた。これが NC 装置を安価にし品質を向上させ、普及と量産の好循環をつくり出した。また富士通独自のオープンループ式モーターは、NC にまだ十分慣れていない工作機械企業にとって NC を採用しやすくした。

しかしそれらの先行技術だけで安住していたのではない。市場メカニズムの下で競争企業が市場に食い込み始めたとき、富士通から分離したファナックはそれまでの自分の技術をやめて、アメリカから輸入した技術を使ってクローズドループ式への転換を短期間で達成した。「その時もし電気油圧パルスモーターにこだわっていたら、今日のファナックはなかった」⁴⁴⁾という。この転換は、ファナックは電気・油圧パルスモーターの発明者が (事実上の) 社長をしているから (ゲティスのモーターは) 絶対採用しないだろうというゲティス社の社長の予想に反するものであった。このときもしゲティス社がファナックに技術を売らずに製品としてのモーターを日本に輸出していたら、ファナックの優位は変わっていた可能性もある。ゲティスが技術を売

ったのはおそらく、製品輸出のために設備投資するよりは技術料のほう安定収入になると考えたからであろう。またファナックがゲティスのモーターの製品化を決めたのは、その特長については以前から研究していたからこそであろう。

このようなファナックの行動は、競争圧力に対して簡単に撤退することのあるアメリカ企業とは対照的である。それは製品技術で先行しながら量産によってコストダウンをして市場シェアを拡大するという企業行動である。しかしそうした企業行動は、アメリカとは異なった、標準的で使いやすく低価格のNCへのニーズ＝市場に対する積極的な対応の産物であった。そしてこのような対応による標準的NC装置の量産が、ひいては標準的NC工作機械を量産する日本独自の工作機械産業を実現することになったのである。

なお、ここでは日本のNCのハードウェアに関することを中心にまとめたが、ソフトウェアに関しても前述のように(2.3節)FAPTがあったのである。

さてマーチは、アメリカのNC装置メーカーの後れを工作機械産業を衰退させた要素の1つにしている(2.1節)。以上のNC開発史の日米比較によれば、アメリカでは航空機産業向けの高価なNCシステムで電機企業も工作機械企業も利益を得ていたのに対して、日本では中小企業に売れるようなNC装置、NC工作機械の開発を、電機企業が先行しながら工作機械企業と共同で行ってきたこと、そしてこの違いの根底には、両国の工作機械市場の質という客観的条件の違いがあることが明らかになった。また、現在の日本の工作機械産業の世界的な成長の基盤に、日本のNC装置メーカーの技術と生産システムにおける世界的な優位性があることも明らかになった。

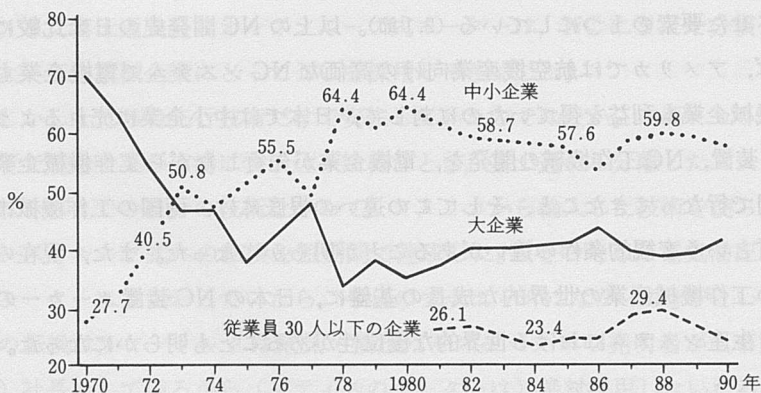
4 日本の工作機械産業の現状と特質

ここでは、日本の工作機械産業の現状を検討する。まず市場と生産システムの2つの側面を検討し、さらに同産業の日本の特質について述べる。

4.1 市場——ユーザーの多くは中小企業

日本の工作機械企業によるNC工作機械の国内向け出荷額をユーザーの規模別に見ると(図11)、1973年以降、中小企業が大企業を上回り、78年には64%に達し、最近でも60%を占めている。特に従業員30人以下の企業が25%前後を占めてきた。これらの中小企業の設備投資需要が日本のNC工作機械産業を発展させた市場であり、また工作機械企業もこれに適した製品開発をしてきた。

図11 NC工作機械国内出荷額のユーザー規模別比率



注：1. 日本工作機械工業会加盟会社（110社余り）のうち約90%（1980年までは約60%）から集計。

2. 中小企業とは、従業員30人以下または資本金1億円以下の企業。

3. 中小企業の比率には「30人以下」の企業も含む。

資料：日本工作機械工業会。

NC工作機械の販売額を業種別に見ると、一般機械製造業が最も多い（1988年で24%、ただし輸出は除く）。この業種は中小企業が多く、多品種少量生産が一般的である。その中でも典型は^{かながた}金型産業である。金属板のプレス加工やプラスチック成形加工に使われる金型は一品生産的で、しかも家電・自動車などの大企業の製品の頻繁なモデルチェンジに合わせるため重要性が増して需要が拡大した。この業種には小企業が多く（事業所の92%が従業者20人以下、1982年）⁴⁵⁾、精密な金型の製作には熟練工が不可欠であったが、人手不足もあり、1970年代からNCフライス盤、MC、さらにNC放電加工機などのNC工作機械が導入され、金型需要に対応してきた⁴⁶⁾。

このようにして日本で開発されたNC工作機械が、海外へ輸出された。アメリカでは「ジョブショップと呼ばれる下請メーカーが日本製NC機の主たるユーザー」⁴⁷⁾となった。ジョブショップとは特定の製品は持たないで機械工の腕でさまざまな部品加工や作業を受託する小工場であるが、このようなユーザーに向くようなNC機を適当な価格で供給する体制がアメリカの工作機械企業にはなかった。

それでもこうした輸出市場の開拓は日本企業にとって決して楽なことではなかった。その一例は山崎鉄工所（現ヤマザキマザック）に見ることができる。山崎鉄工所が初めてアメリカに進出したのは1962年で、68年には現地に販売会社を設立したが、ニクソン・ショック後の71年下期には15万ドルの累積赤字を出した。しかし73年には黒字を出し、70年代には日本の対米NC旋盤輸出の95%を占めるなど日本のNC機輸出を先導するようになり⁴⁸⁾、そして工作機械売上高日本最大の企業になった。山崎鉄工所が71年に対米輸出で赤字を出したことは、アメリカの中小企業向け販売（輸出）に伴う当時の経営リスクを暗示している。逆に言えばこのリスクを避けて利益率が高い市場を相手にしてきたのがアメリカの工作機械企業ということになる。

4.2 生産システム——FMSと量産効果

日本の工作機械企業は相次いでFMSを導入し、NC工作機械の量産体制をつくった。FMSがどのように使われているかを具体的に見てみよう。

FMSの導入は日本では1972年から始まった(3.2節)が、工作機械の工場に導入されるのはもっとあとである。73年の石油ショックののち日本の工作機械産業は深刻な不況におちいる。対米輸出に拍車がかけられ、日本は世界最大のNC工作機械輸出国になっていく。そして1980年の末にファナックがFMSを装備した産業用ロボット工場の稼動を開始し、「ロボットでロボットを生産する」工場と報道された。これが、工作機械企業によるFMS投資競争のさきがけになった。

まず1981年10月に稼動開始したのが山崎鉄工所のFMS工場である。NC工作機械の部品生産のための工場で、18台のMCとこれに材料を運ぶ無人搬送車がコンピュータで制御された。投資額は約40億円となったが、深夜無人運転を実現し、人員を1/18に削減して人件費を1/17にし、仕掛期間を1/30にして受注の変動に対する柔軟性を高めた。さらに翌年、同社は120億円を投資してより大規模なFMSを持つ新工場を完成させ、そのNC工作機械生産能力は年間250億円以上になった⁴⁹⁾。

82年10月には、山崎鉄工所と競争関係にある森精機がNC工作機械の部品を生産するFMSの稼動を開始した。MC13台と無人搬送車16台をコンピュータで制御するこのFMSは、従来よりも機械台数を1/4に、人員を1/9に削減した。これで夜間無人運転が実現し、同社全体の生産能力は月産でNC旋盤250台、MC100台になった⁵⁰⁾。さらに同社は87年から、40億円を投資した新工場を稼動させた⁵¹⁾。

同じ82年には大隈鉄工所のFMSが稼動を開始した。7台のMCをミニコンで管理するもので、このミニコンの下に搬送車を制御する別のミニコンが置かれた⁵²⁾。

84年6月からは牧野フライスのFMS工場が本格稼動に入った。10台の

MC と無人搬送車をコンピュータで制御するもので、加工する工作機械部品の種類は550種、同じ部品で1カ月に加工する数は多くて15個という典型的な多品種少量生産システムである。建設費は30億円であるが、人員を半分に削減し、深夜も無人運転を可能にするとともに、その日に加工したい部品があるとすぐに生産スケジュールを変更できるという柔軟性を持つ⁵³⁾。

以上のように日本の工作機械企業はFMSへの多額の投資により、工場内の材料ないし工作物の搬送を自動化して機械設備の連続無人運転を実現し、設備の稼働率を高め、人件費などのコストを大きく削減し、生産の柔軟性を高めながら納期を短縮していった。これによって量産されたNC工作機械が輸出されるならば、FMSを持たないアメリカ企業には競争力がないのは明らかである。むしろ日本ではこうした設備に投資しない工作機械企業は国内外での市場競争から脱落するしかなかった。

4.3 日本の工作機械産業における部品調達と技術の標準化

日本の工作機械産業の量産規模の大きさは群を抜いている。それはNC旋盤、MCの月産台数の多さや、従業員1人当たり生産額の著しい高さから明白である（前出図5、図6）。この量産体制の基盤にある生産システムが上述のFMSである。これにより生産過程の無駄およびコストが減らされ、量産効果が現れた。

ところで日本の工作機械産業では、NC旋盤、MCそれぞれに約60もの企業が参入して互いに競争しあう状況が生じた（1983年ごろ）。しかも1975年以降、NC旋盤メーカーがMCの生産にも参入する事例が相次いだ。つまりNC化とともに、かつては存在した企業間の生産機種の違いが薄れていったのである。「生産分野の流動化」と言われるこの現象の背景、要因について、次のような指摘がある。

「工作機械づくりに固有のノウハウのウェイト低下 [が生じている……引用者]。今日の工作機械生産においては熟練工の手づくり部分のウェイトが

小さくなってきている。設計段階から部品の機械加工段階まで、経験的手法への依存度は大幅に低下した。一方で、NC装置、シーケンスコントローラー、ボールねじ、カービックカップリング、モータ、各種ベアリング、ツーリング類と、購入部品のウェイトは増大する一方であり、工作機械メーカーのアセンブリ企業化が、急速に進んでいる。これは各社製品の没個性化をもたらしているが、このことはそのまま新分野への参入障壁が低くなっていることを意味する。⁵⁴⁾

すなわち日本のNC工作機械メーカーは、NC装置、サーボモーター、ボールねじなどのNC工作機械の重要な構成部分を、外部の専門部品メーカーからの購入に依存するようになってきている。これにより、かつては各メーカーの熟練工によって手作りされていた独自の機構などが消滅し、どのメーカーでもNC工作機械が組み立てられるようになった(参入障壁の低下)。そのため、かつては企業間にあった製品における差別性、独自性が薄れ(製品の没個性化)、工作機械企業間の技術が標準化していった。そこで多数のメーカーが同じ機種に参入することができたのである。

消滅したメーカー独自の機構の典型例は歯車機構である。歯車は工作機械の精度を決める重要部品であり、歯車機構はかつては工作機械企業の付加価値ひいては利益の源泉でもあったが、NC化によるサーボモーターの採用により消滅し電機メーカーから購入するモーターに置き換えられた⁵⁵⁾。またモーターと工作機械本体とを連結するボールねじもNC工作機械の精度を左右する重要な機械部品であるが、日本精工(3.2節を見よ)など数社が量産しているものを工作機械企業は購入している。それはこのような特殊なねじを生産するには特別な技術や設備が必要であり、さらに量産効果もあって外部のメーカーから買ったほうがコストが低いからである⁵⁶⁾。そして購入部品の最大のものはNC装置である(NC工作機械の価格の約2割を占めると言われる)。日本製NC装置の品質を高めた半導体技術(トランジスタやIC)は工作機械メーカーが持つ機械技術とは異質な電子技術(エレクトロニクス)であり、

ファナックをはじめとする電機メーカー（大部分はコンピュータ・メーカー）からの購入に依存せざるを得ない⁵⁷⁾。

このように日本の NC 工作機械産業は、製品の重要な構成部分について、いくつかの専門部品メーカーからの供給に依存している。後者の技術、品質、コストは、日本の工作機械産業が高品質の NC 機を量産し世界に輸出するには不可欠の基盤にほかならない。しかし同時にそれは工作機械企業間の技術を平準化させ、工作機械の生産工程において熟練工依存の手作りの工程の重要性を引き下げた。そのため、NC 工作機械メーカー間の競争においては生産工程の合理化、効率化が重要になった。日本の NC 工作機械企業が相次いで多額の設備投資をして FMS を導入し、工場内搬送の自動化や機械の無人稼動を実現するようになったのは、このような技術的要因を基礎とした企業間競争によると考えられるのである。

特定の専門部品メーカーへの工作機械産業の依存は、NC 化によって工作機械技術と電子技術とが融合するようになったことに端を発している。従来は機械メーカーが電子技術を受け入れようとする、多くの場合電子技術は初めから電機メーカーなどに依存する。さらに市場が拡大して電機メーカーなどの部品生産に量産効果が現れるようになると、もはや自社生産は不可能になり、この依存が定着していく。つまり専門部品メーカーへの依存は市場メカニズムの帰結である。

日本の NC 工作機械企業の技術が平準化、標準化していることは、日本工作機械産業の重要な特質である。例えば 1979 年のある産業レポートは、「『NC 装置さえ購入すれば、NC 機はどんなメーカーでもつくれる』といわれるように、メーカーの技術レベルはいまや完全に平準化してしまっている」⁵⁸⁾と述べた。また花山浩氏は、60 社近い MC メーカーがあるがどれも似たり寄ったりで性能に大差ない、これはファナックの NC 装置、日本精工 (NSK) のボールねじなど、昔は各メーカーが自製で苦勞した物が簡単、手軽に入手できることなどによる⁵⁹⁾、と述べている。

こうして日本の NC 工作機械産業は、標準機量産型の機械産業として世界的な成長をしてきたのである。この点は、日本の NC 工作機械のトップメーカーの 1 つである森精機の社長の、以下のような趣旨の発言からも裏付けられる。すなわち、日本の工作機械メーカーが世界でシェアを拡大できたのは基本技術が格段に進歩したからではなく、日本の NC 制御装置メーカーが装置を標準化して量産したことによる、この 10 年間の日本の工作機械生産の 70% 前後が標準化された量産型 CNC 機である⁶⁰、と。

欧米型の伝統的な工作機械の生産方式は、熟練工依存の受注・一品生産であった（2.1 節）。これに対して日本では NC 化（電子化）を基礎に、標準機量産型の工作機械産業が成長してきたのである。

5 おわりに——産業技術発展の日米比較

NC 工作機械の開発と製品化を中心に、日本とアメリカの工作機械産業の発展過程を検討してきた。両国の違いをもたらした要因として注目したのは、企業の「自己満足」というような主観的なことではなく、市場の性質などの客観的な経済条件の違いであった。この節では、アメリカが最初に NC 工作機械を開発したにもかかわらず生産額では日本が世界一になったという問題を意識しながら、日米工作機械産業の盛衰を、産業技術発展の日米比較という大きな枠組みの中で考察する。

まず考慮すべき点は、NC 工作機械がもともとは音速ジェット機の構造部品を製造するための設備機械として開発されたことである。ジェット機は、第 2 次世界大戦で戦勝国となったと同時にスターリン体制下のソビエト連邦との軍事的対抗（冷戦）を基本政策としたアメリカ政府にとっては重要兵器であった。ジェット機のような構造体を設計するには、空気抵抗が小さくてしかも強度を保つようななめらかな曲線を理論的に計算しなければならない。こうして計算された設計値のとおり金属素材を削り出せるような自動

工作機械として、NC工作機械が開発されたのである。そしてアメリカ空軍は1955年、スキンミラーなどの航空機用NC工作機械を大量に調達し、冷戦に備えようとした。軍用＝航空機用NC機の市場がこうして作り出されたが、これがアメリカの工作機械企業やNC装置メーカーにとって有利で安定した市場になった（以上、3.1節）。

NC工作機械の細かい動きの一つ一つを指定するプログラムを作ることは、初めは手間がかかり、誤りも多い作業であった（3.2節に実例）。NCを有効に使うにはプログラミング（プログラム作り）をもっと楽にすることが必要になる。そこで初めて開発されたのがAPTというプログラミング・ソフトウェアであった⁶¹⁾。ところがAPTを開発したのがMITと米航空機工業会であった（2.3節の注22）を参照）ため、どんな複雑な形状でもプログラミングできる汎用性が目標とされ（そこで計算能力として大型コンピュータが必要になる）、事実上は航空機部品への対応が目標になった。それはまた、すでに稼動していた多数のスキンミラーなどの有効利用にとっても必要であった。こうして高価になったAPTに代わりうる、一般の産業でも使いやすいようなソフトウェアを開発することは、エレクトロニクスには不慣れた工作機械企業ではなく、電機メーカーしかできなかった。しかし軍用市場で利益を上げていたアメリカの電機メーカーにはそうしたソフト開発をする誘因がなかった。これがアメリカでジョブショップのような中小工場にNC工作機械が普及するのを妨げる要因になった。

これに対して敗戦国となった日本では、軍に関連する航空機産業の発展は許されなかった。NC工作機械が売れるとすれば民需用の機械産業（特に自動車部品や家電部品の産業）や金型産業であった。これらの産業はアメリカではすでに第2次大戦以前に発展していたが、戦後初期の日本には競争力がなかった。1949年に設定された1ドル＝360円という為替レートは日本企業の輸出にとって（戦後しばらくは）苦しいハードルであり、1960年代の貿易自由化と資本自由化はアメリカ企業との競争にさらされる脅威として受け取られ

た。そこで日本企業はアメリカなみの競争力を持つことを目標に、欧米からの技術輸入によって安上がりに技術を獲得し、迅速に量産体制を確立して価格競争力を得ることを迫られた。すなわち日本でNC工作機械のユーザー＝市場となりうる産業には、一定の国際経済環境から、コストダウンへの圧力がかかっていたのである。このコストダウン圧力は、円高や石油ショック(1973, 79年)のさいにもくり返し現れた。これが日本で機械産業を中心に中小企業の積極的な設備投資を促し⁶²⁾、NC装置とNC工作機械の広大な市場を生み出したのである(4.1節)。

他方、為替レートのハードルはアメリカには無関係であった。戦後の国際通貨体制ではアメリカのドルが基軸通貨となったので、他の国を悩ませた(輸入の不可能を意味する)ドル不足は問題にならなかったし、冷戦に対応するための巨額の軍事支出などでアメリカの国際収支が赤字を続けても、その是正が重要課題となることもなかった。アメリカ政府が貿易収支の改善のために企業の競争力の強化を重要な政策課題とする必要もなかった。同時にアメリカ企業もあえて輸出に力を入れなくても寡占体制のもとで広大な国内市場から利益をあげることができたし、賃金がより安い海外で生産して逆輸入したほうが有利になることさえあった。

反対に日本は、高度経済成長の初期に外貨不足に悩まされ(いわゆる「国際収支の天井」)、企業の国際競争力の強化と輸出促進を重要な政策課題としなければならなかった(そのための日本独特の一連の経済政策がいわゆる「産業政策」である)。戦後の両国の国際経済環境は大きく異なっていた。

ところで日本産業にコストダウン圧力がかかっているにもかかわらず、日本企業が輸入技術をもとに量産を始めたときにアメリカ企業からより優れた新技術(製品技術)が開発されれば、日本は追いつけない。逆にその技術が原理的には完成し、根本的な変化が起きないもの(成熟技術)であれば、あとはその技術をより洗練し、市場で売れる製品に仕上げた企業が競争で優位に立つ。この競争で重要になるのは、製品の品質を良くし、同時に価格を適当な水準に抑

えるような優れた製造技術であり、価格について言えば、いかにして量産し機械設備を効率的に稼働させコストダウンを実現するかである。NCは幸運にもそのような成熟技術であった。NCは工作機械のプログラム制御の1つの方式であったが、これに取って代わる制御方式は登場しなかった。従ってNC装置を量産し、あるいはNC工作機械を量産した企業が市場で優位に立つ可能性をもてたのである。

日本の民需製品が広大な市場になった他の成熟技術の例に、小型ラジオに対するトランジスター、電卓に対するICがある。これらはアメリカでは軍用の通信・制御機器が最初の市場になった（ICの場合は核ミサイル）が、日本では民需市場に向けた企業間の価格競争、そのための量産規模を拡大する設備投資競争が展開された。このエレクトロニクスの発展の上に、今や日本の独壇場となったVTRがある。このVTRにおける競争優位も、微細な回路を印刷し装着する技術などの量産指向の製造技術に支えられている⁶³。

成熟技術の場合には量産技術が企業間競争の決め手になる。しかし、その技術を実現するには、その製造技術を体化した機械設備を建設するのにかかる相当額の設備投資資金と、完成した機械設備を不断に改良し効率的に操業する人材という2つの要素が新たに重要になる。これらの要素の有無が日米の産業技術発展の明暗を分けた。

日本の高度経済成長期には日本銀行が低金利政策をとり、また勤労者の所得のかなりの部分が金融機関（銀行や保険会社）に預けられた。ここからくる豊富な資金が金融機関から企業に貸し出され、企業の設備投資資金となった（間接金融）。このため日本のGNPに占める民間設備投資の比率は、先進工業国の中で最高水準を続けた。設備投資資金の多額の借入は企業の金利支払いを増加させ売上高利益率を低下させたが、日本ではこれは（株式の相互持ち合いなどにより）問題にされなかった⁶⁴。

しかしアメリカ経済には、巨大な設備投資を実現するような金融的メカニズムはなかった。設備投資を行うと企業から大量の資金が流出し、短期

的には企業の利益は低下するから、株主に払う配当も低下する。すると高配当を求めるアメリカの投資家はその株を市場で売却する（ほかの配当の高い株に買い換える）。これにより株価が安くなると、企業買収が盛んなアメリカではその企業は買収の脅威にさらされるのである。また投資家の保護を基本理念とするアメリカでは、株式会社は収益状況を3カ月ごとに公表しなければならない。そして配当や株価を下げた経営者は取締役会から罷免される。こうしてアメリカ経済では、設備投資のように長期的にしか利益に現れない方針をとることは経営者の得にならないのである⁶⁵⁾。

バンク・オブ・アメリカの元会長は、「米国では企業の上級管理者が……短期的な利益追求にのみ重点をおくといわれているが……根本的な原因は、短期取引を重視する今日の株式投資の風潮であって、企業経営者がその囚人と化している」と述べている⁶⁶⁾。この発言は、アメリカ企業の製造技術あるいは設備投資の後れが経営者の短期的（近視眼的）視野によるというよりも、より根本的にはそうした方針を経営者に強制するアメリカの客観的な経済メカニズムによることを示している。アメリカの工作機械産業における「製造設備の後れ」（2.2節）の原因も、以上のようなアメリカ産業全体をおおう客観的な経済メカニズムにあると見るべきなのである⁶⁷⁾。

優れた製造技術を支えるもう1つの要因は人材である。機械設備が新しく出来たばかりのときは欠陥が多く、また作業者の工夫しだいで稼動成績もかなり異なってくる。日本の労働者達は学校などでの日常生活経験から集団行動には慣れており、個人生活へのメリットがすぐには表れにくいQC活動のような集団活動にも抵抗がなかった。さらに日本の大学が送り出した大量の工学部卒業生が製造業の技術者となり、現場作業者と一緒になって欧米技術を洗練し不断の改良に努めた。

他方、アメリカの大学の工学部ではカリキュラムの中心が応用科学ないし理論工学になった。その卒業生達は企業の技術者になっても、個人としての研究の成功や昇進（他の企業への転出を含む）を重視した。そのため、現場の製

造技術の改良のような、誰の発明による成果であるかがはっきりしない技術開発は彼ら個々人には無意味であった。しかも戦後のアメリカでは、鉄鋼や自動車や工作機械などの産業はもはや古く、航空、宇宙、コンピュータ、半導体などが先進的な産業として研究者の関心を引き付けるようになっていた。それはこの分野には国防総省など政府から研究費が潤沢に提供されたからでもあった⁶⁸⁾（1節で述べた、マーチの言う第5の要素に関連する）。

このほか、日本の年功賃金制や「終身雇用制」（正確には「定年退職制」である）は技術者を長期間同じ企業に留めて、不断の製品改良、製造技術改良には有利であったのに対して、アメリカでは研究者・技術者の企業間移動が頻繁であるため企業内の技術の継承・改良が難しいという要因もあった。

要するにアメリカでは個人の能力（経営、研究開発の）が厳しく評価されるのに対して、成熟技術にかかわる産業競争では設備投資資金の面でも人材の面でも日本のほうに有利な条件があったのである。

例えば現在のFMSの原型は1967年にモリンス社が発表した「システム24」であるが、イギリスでは完成せずアメリカ企業に売却された⁶⁹⁾。その後アメリカで開発されたFMSは航空機産業などの特定の分野でしか使われていない。ところがFMSの基本特許を持つモリンス社は、FMSを利用する日本の工作機械企業などに対して特許料の支払いを求めている⁷⁰⁾。すなわち、ここで看取すべき点は、欧米で最初に出された独創的構想を、日本の技術者や技能者たちが、実際の製造現場で運用し、改良を重ねて実用化していったということである⁷¹⁾。

さて日米の工作機械産業の技術水準について、アメリカ国際貿易委員会の報告書が次のような要領を得た指摘をしている。

「一定の製品についてはアメリカは優れた技術を持っている。これはアメリカのメーカーがこれらの製品に集中してきたからにすぎない。航空機、軍用設備などの特殊な製品の生産に使われる大型で精巧な工作機械がその製品に含まれている。外国のメーカーはだいたいはこの市場では競争力を

持っていない」「中小型の NC 工作機械 (small- and medium-sized NC machine tools) の市場は事情が違う。特に日本のメーカーは標準的 NC 工作機械 (standard NC machine tools) の分野に生産努力を集中してきた。このタイプの工作機械の市場は電気機器および機械類の製造会社、ならびに諸産業に部品を供給する小さなジョブショップ (small job shops) から成り立っている。70年代の日本の NC 工作機械メーカー間の競争と NC 制御装置のコスト低下が、機械価格の相当な低下をもたらした。旋盤や MC のような標準的 NC 工作機械の生産に規模の経済が達成され、販売価格が下がり、これが70年代後期のアメリカにおけるこれらの工作機械への需要の盛り上がり重なった。自動車産業、航空機産業および石油関連財メーカーの設備更新が拡大し、これら産業に供給するジョブショップは標準的 NC 工作機械を要求していた。そのときアメリカのメーカーはこの市場にほとんど関心を示さず、特殊な用途の大型で精巧な工作機械 (large, sophisticated machine tools for specialised use) を生産し続けた。」⁷²⁾

この指摘は、これまでの本稿の議論を踏まえると、次のように理解することができよう。すなわち日本の工作機械企業は中小型の標準的 NC 工作機械を量産 (規模の経済の達成) して、アメリカのジョブショップを中心とする市場に対応してきたが、アメリカの工作機械企業は航空機用、軍用などの特殊な用途の、大型で精巧な工作機械しか製品化してこなかったこと、それは、このタイプの工作機械が高付加価値を保障するのに対してジョブショップ向けの市場で競争力を保つには量産が必要であり、それは資金調達、技術的人材の確保、企業が買収される恐れなどの客観的条件がアメリカ企業には不利であった、ということである。

ところで、このようなアメリカ工作機械企業の対応は、ヨーロッパおよびアメリカにおける工作機械企業の伝統的な経営方針を、戦後のアメリカ経済の諸条件の中で継承、延長したものである。この伝統的経営方針とは、工作機械の機種多様性、専門性と、その需要変動の激しさのために、自己の得

意とする特殊な機種に専門特化し、これを受注生産するという方針である。言い換えるならば量産は追求せず、得意とする機種の専門的技術で他社より製品を差別化しておくことにより経営を安定させることである（2.1節）。この場合の工作機械技術は、精密加工や重切削を可能にするメカニカル（機械的、非電氣的）かつ特殊な機械構造を設計し、これを機械工の職人的熟練によって一品生産的に製作することにより成り立っている。このようなメカニカルな設計・製造技術は西ドイツやスイスなどヨーロッパの工作機械企業では現在でもその基盤であり、電子技術に依存するNC化がヨーロッパで進まなかった要因の1つでもあった。

このような、特殊な技術の工作機械を受注生産するという事業のやり方をアメリカ企業も継承したが、戦後のアメリカではそれが、冷戦体制の中での航空機産業の育成、軍事・宇宙関連先端技術への研究資金と人材の偏在、などの条件の下で延長されたのである。

ヨーロッパやアメリカの、歴史的に蓄積された優れた（メカニカルな）工作機械技術に、日本の工作機械企業が追いつくことは容易なことではなかった。ところが日本の高度経済成長の中で、自動車、家電などの民需向け量産型機械産業が急速に発展し、それはまた下請け中小企業による活発な設備投資需要、工作機械需要を生み出した。この需要＝市場に対応した低価格で標準的な性能を持つ工作機械（非NC）を日本の工作機械企業は量産した。この高度成長期の量産経験と、日本独自の優秀なNC装置（およびサーボモーター）メーカーの存在（3.2節）とが結合し、そして1970年代から80年代に新たなコストダウン圧力を受けた中小企業の設備投資需要、工作機械市場の拡大に対する積極的な工作機械企業の対応により、標準機量産型のNC工作機械産業が日本で成長していったのである。

日本工作機械産業の世界的成長は、欧米では「貿易摩擦」のような反発を引き起こした。それは、戦後日本の特殊な経済的条件の下で発展した工作機械産業が、欧米で形成されていた工作機械産業の伝統的な事業方針ないし競

争秩序にとっては異質であるからである。しかし現在の日本工作機械産業は、NC技術という非メカニカルな技術に効率的に順応すれば必然的に生まれてくる工作機械産業なのであり(4.3節)、NC工作機械の世界的な普及という工作機械技術史において必然的な過程を、先行的に担っているにすぎない。これが、世界の工作機械産業史において現時点の日本工作機械産業が占める位置なのである。

〔注〕

- 1) その当時までの日本工作機械産業の発展史については、小林 [1984] を見よ。
- 2) NC, MC などの略語については末尾の「略語一覧」を見られたい。
- 3) この自主規制の効果についてはさしあたり岡本 [1991] がある。
- 4) 例えばヤマザキマザックは月産 80 台から 100 台へ (NC 旋盤と MC の合計)、大隈鉄工所は 30 台から 100 台へ (同上)、などが計画された (『日本経済新聞』1989 年 1 月 16 日)。
- 5) 『中日新聞』1991 年 3 月 12 日、『日本経済新聞』1992 年 2 月 28 日。
- 6) 『生産財マーケティング』1992 年 4 月、A-68 頁。
- 7) 三浦 [1986] 44 頁に詳しい。
- 8) 貿易統計などから見た日本工作機械産業の国際的特質については、小林 [1983] を見よ。
- 9) Dertouzos, Lester and Solow [1989].
- 10) March [1989].
- 11) *Ibid.*, pp. 33-34.
- 12) Lilley [1965] pp. 153-154. 伊藤ほか訳, 185-189 頁。
- 13) Rosenberg [1976] pp. 9-31.
- 14) この点はすでに小林 [1983] で述べた。
- 15) 同上, 91 頁。例えばアメリカの Moore 社, スイスの Kummer 社, Ewag 社はそれぞれ独自の精密工作機械を製品にしているが、いずれも小規模企業で、どんなに需要があろうと納期を延ばし、急成長を計画しないとされている。花岡 [1984] 89 頁を参照。
- 16) DiFilippo [1986] は、「日本の工作機械産業の成功は大部分が、革新的技術努力に対する、補助金のついた研究開発プログラムと優遇税制とによる」(p. 161) と日本の成功をもっぱら産業政策に帰着させつつ、アメリカの工作機械産業を弱めた要因は景気循環と「大規模かつ継続的な軍事目的の研究開発支出」(p. 82) であるとし、「もし民間用研究開発支出を工作機械メーカーが利用できたなら」日本にある

ような「自動化生産技術」が導入されただろう（p. 71）と述べている。軍事的技術開発の持つマイナスの効果は確かにあるものの、政府支出のあり方が変われば産業発展も全く変わるというのは正しくない。日本とアメリカの産業の盛衰の原因は、まず民間企業の状況の分析に求めるべきである。

- 17) FMSについては、末尾の「略語一覧」、ニュースダイジェスト社編 [1983]、小林正人「現代技術と人間労働の理論」『講座・構造転換』4、青木書店、1987年、などを参照。
- 18) March [1989] p. 19. ただしマーチは「1972年からもっているところもある」と書いているが、これは工作機械企業のことではないであろう。
- 19) 三浦 [1986] 42頁。
- 20) Comptroller General of the U.S. [1979] p. 118.
- 21) March [1989] p. 26.
- 22) APTは1952年ごろからMITで開発が始められ、57年に実用的なAPT-IIができ、さらにAIA（米航空機工業会）が4年かけて61年に完成したAPT-IIIへと改良された（研野、稲葉 [1974] 198頁）。ただしNobleによればAPT-IIの完成は1959年である（Noble [1986] p. 143）。
- 23) March [1989] p. 22.
- 24) 「APTやEXAPTはもともと大型コンピュータによるバッチ処理用として開発された汎用システムであり、必ずしも使いやすいとはいえない」（伊東諒、森脇俊道『工作機械工学』コロナ社、1989年、101頁）。なおFawcett [1976]は、小規模の金属加工工場（またはジョブショップ）にNCが普及しない理由として、「コンピュータ・プログラミング（パート・プログラミングは明らかに主要な技術問題である）、コンピュータ操作（テープをプログラムする特殊な熟練や能力が必要）」（p. 83）を挙げている。これもNCの普及がソフトウェアの質に左右されるという指摘である。ただ彼が、NCが「最適なのは小さいジョブショップ（job-shop）の作業」（p. 82）と述べているのは、大規模な航空機工場を無視することになり正しくない。
- 25) 田口 [1985] 87頁。
- 26) Noble [1986] p. 207.
- 27) *Ibid.*, p. 225. なおアメリカでも1958年ごろ小型コンピュータが使えるプログラミング・システムが作られたが使われなかった（*Ibid.*, p. 210）。
- 28) American Machinist [1977] p. 82; Noble [1986] p. 101. すなわちFawcettが言うように、アメリカ空軍はNCを、強度対重量比（strength-to-weight ratios）が設計上で重要な「超音速航空機の構造体の生産」のための「手段として開発した」（Fawcett [1976] p. 81）のである。従って、NCはヘリコプター・ブレードの

型板の製作のために考案されたという、日本の文献にしばしば見られる解説は正しくない。これはおそらく日本のNCに関する重要文献(研野, 稲葉 [1974])の中の, パーソナズはヘリコプターのブレードの検査のための「板ゲージ [型板のこと……引用者] を加工する工作機械」についての考案を空軍に提案した。……これがNCの「うぶ声」(3頁)という記述が誤解されやすいところからきたものと考えられる。

- 29) 機械振興協会経済研究所 [1968] 146頁。
- 30) March [1989] p. 20. なお, その後この研究プロジェクトの主導権はMITに移っていった。その経過についてはNoble [1986] pp. 113-131 に詳しい。
- 31) American Machinist [1977] p. 86.
- 32) 航空機産業用の工作機械についてはさしあたり, 『生産財マーケティング』1991年2月, A-118頁以下。
- 33) 「1950年代に製作された百数十台の [NC工作機械の] ほとんどは航空機あるいは宇宙開発用機器」のための機械であった(機械振興協会経済研究所 [1968] 147頁)。
- 34) March [1989] p. 23.
- 35) *Ibid.*, p. 24. またFawcett [1976] は1966年ころの議会資料に基づいて, 工作機械産業の生産物の40-50%が軍事生産と直接, 間接に関連した工場で使われた(p. 160)と述べている。
- 36) 以下の叙述は特に断わらない限り, ニュースダイジェスト社編 [1987], 稲葉 [1987], 『FANUC会社案内』1984年11月, などに基づく。
- 37) 海老原ほか [1957]。
- 38) 「パルスモーターによるオープンループ方式」は「調整, 保守が容易な簡潔なサーボ系」(『工作機械副読本』ニュースダイジェスト社, 1977年, 109頁)と言われた。
- 39) マーチはアメリカでNCの普及が後れた原因としてNCシステムのハードとソフトの複雑さと高価格を主に取り上げている。ただ, 日本でNCが普及した要因としては, ファナック独自のパルスモーターによってオープンループ式という比較的簡便なNCシステムが可能となり, 中小企業ユーザーにもNC工作機械が使いやすくなったことも重視すべきである。
- 40) FMSの歴史については, ニュースダイジェスト社 [1983]。
- 41) 交流電流を使うACモーターはブラシが無い(DCモーターは摩擦するブラシのメンテナンスが必要), 小型になるなどの特長がある。
- 42) 井上正允「ボールねじ」『機械設計』28巻8号, 1984年。
- 43) Noble [1986] p. 102.

- 44) 稲葉 [1987] 87 頁。
- 45) 田村重幸「金型工業の現状と今後の動向」『鑄鋼と鍛鋼』387 号, 1985 年, より。
- 46) 浜良次「『無人』工場」『コンピュータ革命と現代社会』3, 大月書店, 1986 年, 参照。
- 47) 日本長期信用銀行調査部 [1980] 35 頁。
- 48) 沢井 [1990] 185 頁。
- 49) ニュースダイジェスト社 [1983] 54 頁, 三浦東『新企業戦略』日刊工業新聞社, 1989 年, 57 頁。
- 50) ニュースダイジェスト社 [1983] 59 頁, 『日本経済新聞』1982 年 12 月 20 日。なお筆者が 1990 年 11 月 14 日に森精機の工場を見学したさいの会社資料によれば, この FMS を装備した FA 工場の本格稼働開始は 1983 年 8 月である。
- 51) 『日刊工業新聞』1990 年 9 月 27 日。
- 52) ニュースダイジェスト社 [1983] 60 頁, 伊東誼, 岩田一明『フレキシブル生産システム』日刊工業新聞社, 1984 年, 176 頁。
- 53) 『日経産業新聞』1984 年 6 月 15 日, 『日本経済新聞』1984 年 7 月 16 日。
- 54) 『生産財マーケティング』1983 年 3 月, A-66 頁以下。
- 55) 日経インダストリー・レポート『メカトロニクス——加速する機械の電子化』日本経済新聞社, 1979 年, 6 頁。
- 56) 筆者は 1984 年 7 月 24 日, 日本精工の工場にて, 熱処理工程をはじめとするボールねじ製造技術を見聞する機会を得た。
- 57) なお, ボールねじ（森精機など）や, NC 装置（大隈鉄工所）を自社生産している企業もあるが, これらの企業も品質とコスト（これは量産規模に左右される）において, 専門メーカーより大きく劣ることはできない。
- 58) 日経インダストリー・レポート, 前出, 7 頁。
- 59) 花岡 [1984] 90 頁。
- 60) 『生産財マーケティング』1991 年 1 月, A-65 頁。なおこの発言では, 最近の変化として, かつてのような標準機のまま出荷することより, 完成した標準機にさまざまなアクセサリやシステム改良を加えて出荷することが多くなったことも付け加えられている。
- 61) APT-II は「空間曲線を数学的に指示すれば, これを微小な線分に自動的に分解して, 指令テープを作ることができる」（研野, 稲葉 [1974] 198 頁）。ここで言う「指令テープ」とは, プログラムが記述されたテープである。
- 62) 1979 年ごろに NC 工作機械の国内販売が増加した要因として, 「機械関連の下請け企業の間巻き起こっている新鋭設備の導入競争」が言われた（『日経産業新聞』1979 年 7 月 13 日）。

- 63) 「征服された米 VTR 市場」『日本経済新聞』1990年5月10日。
- 64) 日本企業の売上高利益率の低さは多くの研究者により指摘されているが、例えば1986年の日本の製造業平均が3.37%に対し、アメリカは8.22% (400社平均) というデータがある (新納徳男『アメリカ企業経営を知る』有斐閣, 1988年, 78頁)。
- 65) 日本の都市銀行による過大な融資はオーバーローンと呼ばれるが、アメリカと対比した競争上の有利さについてジョンソンが次のように述べている。「オーバーローン・システムの利点の一つは、経営者が株主の圧力をうけないことである。これは経営者が自分の業績の尺度である短期の収益性を無視して、外国市場への進出、品質管理、長期的製品開発などに専念できることを意味した。これは、日本の経営者がアメリカ企業と本格的に競争するようになったとき非常に有利な点になった。なぜなら短期の収益性と配当支払いがアメリカ企業の資金調達能力を左右したからである (アメリカの経営者の在職期間も左右したことは言うまでもない)。」(Johnson, Chalmers, *MITI and the Japanese Miracle*, Stanford University Press, 1982, p. 204. 矢野監訳『通産省と日本の奇跡』1983年, 224頁)
- 66) 加護野, 野中 [1983] 109頁。
- 67) 三浦 [1986] はアメリカ工作機械産業における「市場メカニズムの欠如」、あるいはアメリカ工作機械企業が寡占市場にのみ投資し、競争市場に進出ししようとしなかったことを主張しているが、価格競争はなくても株式市場を含む資本主義経済の市場メカニズムは確固として存在している。アメリカでは株式市場を含む市場メカニズムが、売上高利益率を低下させるような市場行動、設備投資行動を抑制するように企業に作用している、と言うべきであろう。
- 68) これらの点についてはさしあたり、川合幹雄『技術大国アメリカの凋落』日本経済新聞社, 1981年, 森谷正規『日米欧技術開発競争』東洋経済, 1981年, などを参照。
- 69) 『日本経済新聞』1984年2月21日。
- 70) 同上, 1986年4月26日。
- 71) 同様の指摘が例えば鉄の連続鑄造技術についてもなされている。「連続鑄造においては鑄造技術者に加えるに、良質の耐火物の開発、鋳型やロールなどの機械部品の改良……などに幅広い技術者が結集し……た」(『岩波現代産業情報 '86』岩波書店, 204-205頁)。
- 72) U.S. International Trade Commission [1983] p. 103. なおこのレポートについて森野 [1985] が詳しく紹介している。

〔文献一覧〕

- American Machinist, 1977, *Metalworking: Yesterday and Tomorrow*, McGraw-Hill Publications Co.
- Braverman, Harry, 1974, *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*, Monthly Review Press. 富沢賢治訳『労働と独占資本』岩波書店, 1978
- Comptroller General of the U. S., 1979, *United States-Japan Trade: Issues and Problems*, U. S. General Accounting Office.
- Dertouzos, Michael L., Lester, R. K., and Solow, R. M., 1989, *Made in America*, MIT Press. 衣田直哉訳『Made in Amerika: アメリカ再生のための米日欧産業比較』草思社, 1990
- DiFilippo, Anthony, 1986, *Military Spending and Industrial Decline: A Study of American Machine Tool Industry*, Greenwood Press.
- Fawcett, Clifford W., 1976, "Factors and Issues in the Survival and Growth of the U. S. Machine Tool Industry," Ph. D. dissertation, George Washington University.
- Lilley, Samuel, 1965, *Men, Machines and History*, rev. ed., Lawrence & Wishart Ltd. 伊藤新一ほか訳『人類と機械の歴史』増補版, 岩波書店, 1965
- Machine Tool Panel, National Academy of Engineering, 1983, *The Competitive Status of the U. S. Machine Tool Industry*, National Academy Press. 日本工作機械工業会訳『米国工作機械産業の競争力とその現状／米国工学アカデミー報告書』1983
- March, Artemis, 1989, "The US Machine Tool Industry and its Foreign Competitors," in *MIT Commission on Industrial Productivity: Working Paper*, MIT Press.
- Noble, David F., 1986, *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*, Oxford University Press.
- Rosenberg, Nathan, 1976, *Perspectives on Technology*, Cambridge University Press.
- U. S. International Trade Commission, 1983, *Competitive Assessment of the U. S. Metalworking Machine Tool Industry*, September.
- 稲葉清右衛門, 1987, 「技術と経営」石井威望編『高度情報社会の企業経営』東京大学出版会
- 海老原敬吉ほか10名, 1957, 「数値制御工作機械の試作」『日本機械学会誌』60巻

467号

- 岡本六史, 1991, 「工作機械対米自主規制の経済効果」『国民経済』155号
- 加護野忠男, 野中郁次郎ほか, 1983, 『日米企業の経営比較』日本経済新聞社
- 機械振興協会経済研究所, 1968, 『技術水準格差の研究』機械振興協会経済研究所
- 機械振興協会経済研究所, 1969, 『技術水準格差の研究』機械振興協会経済研究所
- 小林正人, 1983, 「日本工作機械工業の技術発展の統計的分析」『経済論叢』132巻1・2号
- 小林正人, 1984, 「日本工作機械工業の高度成長と戦後における発展形態」『経済論叢』133巻1・2号
- 沢井実, 1990, 「工作機械」米川伸一, 下川浩一, 山崎広昭編『戦後日本経営史』2, 東洋経済新報社
- 田口佳孝, 1985, 「NCソフトウェアの日米の現状と比較」『アメリカ機械工業の現状分析とその評価』機械振興協会経済研究所
- 通産省, 1989, 『21世紀の産業機械ビジョン』通商産業調査会
- 研野和人, 稲葉清右衛門, 1974, 『数値制御工作機械』増補9版, 大河出版
- 日本長期信用銀行調査部, 1980, 「工作機械工業」日本長期信用銀行『調査月報』177号
- ニュースダイジェスト社, 1983, 『FMS実践技術と製品総覧』ニュースダイジェスト社
- ニュースダイジェスト社, 1987, 『日本のNC工作機械30年の歩み』ニュースダイジェスト社
- 花岡浩, 1984, 『MCを考える』三豊製作所
- 松本俊郎, 1991, 「工作機械メーカーにおけるCIM化の実態」岡山大『経済学会雑誌』22巻3・4号
- 三浦東, 1986, 『市場メカニズムと工作機械企業の国際化戦略』機械振興協会経済研究所
- 森野勝好, 1985, 「ITC報告にみるアメリカ工作機械産業と問題点」(I)(II)『立命館経営学』23巻6号, 24巻1号
- 吉田三千雄, 1986, 『戦後日本工作機械工業の構造分析』未来社

〔略語一覧〕

AC	alternating current, (電気の) 交流
APT	automatically programmed tool (NC用のプログラミング言語/ソフトウェア)
CNC	computer numerical control, コンピュータ数値制御
DC	direct current, 直流
DNC	direct numerical control, 直接数値制御/群管理
FMS	flexible manufacturing system, フレキシブル生産システム
G & L	Giddings & Lewis (アメリカの工作機械企業)
GE	General Electric Co. (アメリカの電機企業)
IC	integrated circuit, 集積回路
J & L	Jones & Lamson (アメリカの工作機械企業)
K & T	Kearney & Trecker Corp. (アメリカの工作機械企業)
MC	machining center, マシニングセンタ (NC工作機械の一機種)
MIT	Massachusetts Institute of Technology, マサチューセッツ工科大学
NC	numerical control, 数値制御 (デジタルな電気信号による自動制御)