

Title	NC工作機械に関する考察(1): 1950年代・1960年代の米国
Sub Title	A study on numerically controlled machine tools (1) : U.S. in the 1950s and 1960s
Author	日高, 千景(Hidaka, Chikage)
Publisher	慶應義塾大学出版会
Publication year	2019
Jtitle	三田商学研究 (Mita business review). Vol.62, No.2 (2019. 6) ,p.65- 83
JaLC DOI	
Abstract	米国の工作機械産業は, NC 工作機械という画期的なイノベーションを創出しながらのちに競争力を喪失していく。本稿は, 空軍のイニシアティブで進められたNC 工作機械の開発および商品化のプロセスを整理した上で, これまでの研究で看過されてきた1960年代の動向に着目した。空軍の求めるハイエンドな目標を満たすべく創り出されたNC 工作機械は, 1950年代末以降, よりシンプルなものへと開発の重点が移りはじめ, 自動車産業等での広範な普及も期待されるようになる。しかし, 60年代後半に入ると, 再び開発の焦点はハイエンドなNC へと移る。軍需に代表される特殊な市場の存在は, 米国企業の経営資源の蓄積にどのような影響を及ぼしたのか。彼らの中長期の競争力を問う際には, このような観点も求められるだろう。
Notes	論文
Genre	Journal Article
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234698-20190600-0065">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234698-20190600-0065</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

# NC 工作機械に関する考察（1）

— 1950年代・1960年代の米国 —

日 高 千 景

## <要 約>

米国の工作機械産業は、NC 工作機械という画期的なイノベーションを創出しながらのちに競争力を喪失していく。本稿は、空軍のイニシアティブで進められた NC 工作機械の開発および商品化のプロセスを整理した上で、これまでの研究で看過されてきた1960年代の動向に着目した。

空軍の求めるハイエンドな目標を満たすべく創り出された NC 工作機械は、1950年代末以降、よりシンプルなものへと開発の重点が移りはじめ、自動車産業等での広範な普及も期待されるようになる。しかし、60年代後半に入ると、再び開発の焦点はハイエンドな NC へと移る。軍需に代表される特殊な市場の存在は、米国企業の経営資源の蓄積にどのような影響を及ぼしたのか。彼らの中長期の競争力を問う際には、このような観点も求められるだろう。

## <キーワード>

NC 工作機械, ジョン・パーソンズ, 米国空軍, MIT, 軍産複合構造, ビジネスモデル

## 1. はじめに

戦前から弱体を否めなかった日本の工作機械産業においては、戦争を経てさらに設備の老朽化や技術水準の立ち遅れなどが深刻化した。1950年代に入り、設備投資を活発化させはじめた諸産業が競って導入したのは外国製工作機械であった。しかし、その後、特に70年代以降のこの産業の成長は著しく、ついに82年には、長らく世界の工作機械生産でトップの座を占めてきた米国を抜き、85年には生産額で1兆円を超える規模の産業となった。<sup>1)</sup>

日本の工作機械産業の飛躍的な発展の原動力となったのは、周知のように NC (Numerical

1) 日本の工作機械産業の歩みについては、以下に詳細が記されている。日本工作機械工業会『“母なる機械” 30年の歩み』1982年；日本工作機械工業会『成長、変革——10年の記録』1992年；機械振興協会経済研究所『工作機械工業戦後発展史（Ⅰ）』1984年5月；同『工作機械工業戦後発展史（Ⅱ）』1985年2月；沢井実『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、2013年。

Control：数値制御）工作機械における成功である。戦後、NC工作機械の開発・商品化を先駆けたのは米国であり、日本を含むその他の国々は1960年代を通じて米国のリードを許し続けていた。しかし、1970年代以降の先進国経済が省力化や多品種少量生産体制の整備のためにNC工作機械を必要としはじめた時、その大量の需要を満たしたのは米国製品ではなく日本製品であった。

*Made in America* という表題で知られる MIT 産業生産性調査委員会（The MIT Commission on Industrial Productivity<sup>2)</sup>）の報告書においても、米国工作機械産業の衰退は大きく取り上げられた。同様な調査報告はいくつもある<sup>3)</sup>。その背景には、米国が受けた二重の衝撃があった。すなわち、米国の工作機械産業は、19世紀以来の長い伝統と高い技術水準を誇ってきた特別な存在で、その産業が国際競争力を失うということはとりわけ受容しがたいことであった。同時に、工作機械産業の発展の如何は、その性質上一国における諸工業の競争力にきわめて大きく影響する。したがって、その競争力喪失は一産業のそれをはるかに超えたダメージを意味したのである。

それでは、NC工作機械における日米逆転という現象は、はたしていかなる要因によってもたらされたのであろうか。この問題に接近するための最初のステップとして、本稿では1950年代および60年代の米国に注目したい。戦後の米国の工作機械産業に関する研究は、1950年代に焦点を当てたものと1970年代以降の同産業を論じたものとに大別できる。前者はNC工作機械誕生の経緯を詳細に記述しているのに対し、後者は国際競争力喪失の要因を探るといった性質の研究で、歴史的な経緯よりも国際競争上優位に立った日本等との対比を主眼とするものもっぱらである。言い換えれば、米国のNC工作機械をめぐる具体的な動向が明らかにされているのは主として1950年代のみで、60年代以降については不明な点が多い。

そこで本稿では、まず前者の先行研究に依拠しながらNC工作機械の初期の開発過程について整理した上で、これまでほとんど注目されてこなかった1960年代にも目を向け、できる限り同時代の資料に依拠しながらこの当時のNC工作機械をめぐる動向を探ることにしたい。1960年代を通じて、米国はNC工作機械の生産で世界をリードしていた。その1960年代の米国工作機械産業の動向の中に、のちの競争力喪失につながる何らかの要因を見出すことができるのかを探ることが本稿の主題である。

本稿の構成を簡単に示す。まず次節では、NC工作機械の開発の端緒と試作1号機完成までの経緯を整理する。第3節では、NC工作機械の商品化がどのように始まったのかを確認する。第4節ではNC工作機械の商品化以降の約10年間の趨勢を概観した後、1960年代後半以降の動向にふれ、そこに見出せる問題点について考察する。本稿の対象とする1960年代後半までの時期にお

2) Dertouzos, Michael L., Richard K. Lester and Robert M. Solow (eds.), *Made in America: Regaining the Productive Edge*, The MIT Press, 1989; MIT Commission on Industrial Productivity, *The US Machine Tool Industry and its Foreign Competitors*, The MIT Press, 1989.

3) 例えば以下を参照のこと。National Academy of Engineering, *The Competitive Status of the U.S. Machine Tool Industry: A Study of the Influences of Technology in Determining International Industrial Competitive Advantage*, National Academy Press, Washington D.C., 1983; National Research Council, Committee on the Machine Tool Industry, *The U.S. Machine Tool Industry and the Defense Industrial Base*, National Academy Press, Washington D.C., 1983; Finegold, David, et al., *The Decline of the U.S. Machine-Tool Industry and Prospects for Its Sustainable Recovery, Volume 1*; Finegold, David (ed.), *Volume 2*, RAND, 1994.

いては、NC 工作機械に関して日本は米国のフォロワーであった。日本における NC 工作機械の開発プロセス、60年代における商品化の動向、さらに70年代以降の日米逆転およびその要因に関する考察については、続稿以降での課題とする。

## 2. NC 工作機械第 1 号機の完成まで

### 1) 開発の端緒

NC 工作機械の開発は、第二次大戦後間もない米国で始まる。以下では、初期の開発に関するイニシアティブの所在を確認しつつ、NC 第 1 号機完成までの過程の概略を示していく。

戦後、工作機械を数値データによって動かそうという試みは、米国工作機械産業の一部で始められていたが、その後の方向性を決めることになったのは、一人の工作機械ユーザーであるジョン・パーソンズ (John Parsons) という人物のアイデアであった<sup>4)</sup>。彼はミシガン州でヘリコプターのプロペラを製造するパーソンズ社 (Parsons Corporation) を営んでいた。そもそもヘリコプターのローター・ブレードは回転ごとにピッチが変わり、構造的に高い強度が必要とされることなどから、形状と重量と構造の最適な組み合わせを探すための設計作業には、航空機のそれ以上の難しさをともなった。パーソンズは、既存の計算機と計算尺頼りでは膨大な時間を要する設計作業を短縮するため、1947年に IBM602A Multiplier を導入し、設計業務への活用を試みていた<sup>5)</sup>。

設計同様に大きな困難をともなったのは、ローター・ブレードの製造工程であった。とりわけ問題となったのは、翼の形状とピッチの検査のために、多数の異なる型板を作らなければならないことだった。当時この型板の製作には、板に多数の穴をあけ、穴と穴を線で結んだ輪郭に沿って切削し、その後やすりで仕上げるという方法がとられていたが、この方法は面倒で時間がかかる上、穴と穴をつなぐ曲線の精度も疑わしかった<sup>6)</sup>。

そこで、パーソンズは加工時間を節約すると同時に加工精度を上げるため、新しいアプローチに取り組んだ。それは、より正確な輪郭を描くために上記の方法よりもはるかに多くの点の座標を IBM の計算機によって求め、この数値データにもとづいて加工作業を行うというものだった<sup>7)</sup>。

4) Reintjes, J. Francis, *Numerical Control: Making a New Technology*, Oxford U.P., 1991, p.134. NC 工作機械の初期の開発プロセスについては、この Reintjes の著書と注 5 に示す Noble の著書に詳しく記載されており、本稿においてもこれらに大きく依拠している。なお、前者は著者自らがそのメンバーであった MIT サーボ機構研究所の成し遂げた技術的成果を積極的に評価しているのに対して、後者は同所の関与をきわめて批判的に論じている。本稿ではこれらいずれの立場にも立たず、開発の経緯に関わる記述を参照するととどめている。なお、両者の対立については以下に詳細が示されている。“Origins of NC: Was MIT hero or villain?” *American Machinist*, January 1992, pp.46-51.

5) Noble, David E., *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*, Oxford U.P., 1984, pp.96-100; Mazzoleni, Roberto, “Learning and path-dependence in the diffusion of innovations: comparative evidence on numerically controlled machine tools,” *Research Policy*, Vol.26, 1997, p.412; Ashburn, Anderson, “The Machine Tool Industry: The Crumbling Foundation,” in Hicks, Donald A. (ed.), *Is New Technology Enough?: Making and Remaking U.S. Basic Industries*, American Enterprise Institute for Public Policy Research, Washington, D.C., 1988, p.46.

6) Noble, *op. cit.*, p.98.

7) *Ibid.*, pp.98-99; 機械振興協会経済研究所『技術水準格差の研究』1968年6月, p.146.

これによって加工精度は格段に向上し、長い経験や勘を必要としてきた中ぐりの位置決め操作にはさほどのスキルが要らなくなることが見込まれた。しかし、計算された膨大な数の数値を読み取って位置決めを行うのは人間であることから、その冗長な作業に耐えなければならないし、座標データの誤読の危険もあった<sup>8)</sup>。パーソンズはこうした問題を解消するために、パンチカードの情報で機械が自動的に位置決めを行える仕組みができないかと考えたが、そうした自動機械をつくるには、自社の資金力を超えた研究開発が必要であった<sup>9)</sup>。

さて、米国では大戦の終結後ほどなくして東西冷戦への備えが始まっていたが、大戦中に航空技術でドイツに先行された米国空軍では、より高速で機動性が高く、かつ有人で飛行できる超音速機の開発が喫緊の課題となっていた。高速性と機動性の高い要求水準を満たすには、機体のデザインや素材に関する様々な工夫のほか、機体の強度を高めるための試行錯誤が不可欠であった<sup>10)</sup>。そこでは、形状が非常に複雑で、かつ、頻繁に仕様が変更される大型の航空機部品を高い精度で製作できるかどうかの一つの鍵となっていた。米国の工作機械メーカーである Giddings & Lewis (以下 G&L と略記) および Kearney & Trecker (以下 K&T と略記) は、空軍に対して従来型の工作機械を用いた製作方法を提案していたが、それらの内容は空軍を満足させるものではなかった<sup>11)</sup>。

かかる状況を知ったパーソンズは直ちに空軍の担当部局を訪ね、彼の構想を説明したところ、担当者は彼に工作機械の実際のユーザーである Lockheed を訪問し、同社の人々の反応を試すよう唆した<sup>12)</sup>。当時の Lockheed では、空軍向けの航空機の翼部の強度を高めるために、従来までのリベット留めではなく一体型の構造にできないかと考えていた<sup>13)</sup>。Lockheed の担当者はパーソンズの提案に大いに興味を示し、デモを要請した。かくして1948年末、空軍と航空機メーカーの代表者を集めて、型板の中ぐりおよび切削加工の実演が行われた<sup>14)</sup>。参加者の関心の高さを感じとったパーソンズは、翌49年1月に IBM のワトソンを訪ね、パンチカードによる機械制御装置の開発を提案する。ワトソンはパーソンズにジョイント・ベンチャーの設立を提案するが、パーソンズ側にそれに応じる資金力がなかったためにこの提案は見送られた。ただ、両社は前年末に技術提携契約を交わしていたため、仮にパーソンズが空軍の後援で開発を進める場合でも、IBM はパンチカード式制御の開発に応じることが確認された<sup>15)</sup>。

こうした経緯を経て、1949年6月、パーソンズは空軍との間に契約を交わす。その内容は、カードもしくはテープによって制御され、航空機の翼部と同様な輪郭を自動的に切削しうる機械の設計と製作を行うというもので、プロジェクトの期間は21か月、予算は20万ドルであった<sup>16)</sup>。

8) Noble, *op. cit.*, pp.98-100.

9) Mazzoleni, "Learning...", *op. cit.*, p.412.

10) Reintjes, *op. cit.*, pp.134-135.

11) Noble, *op. cit.*, p.101.

12) *Ibid.*

13) Carlsson, Bo, The Development and Use of Machine Tools in Historical Perspective, *Journal of Economic Behavior and Organizations*, 5, 1984, p.103.

14) Noble, *op. cit.*, pp.101-102.

15) *Ibid.*, p.102.

16) *Ibid.*, p.103; Ashburn, *op. cit.*, p.46; Reintjes, *op. cit.*, pp.18, 135.



パーソンズはこの空軍との契約成立に先立ち、自身のアイデアにもとづく自動制御システムを Cardamatic と命名し、「二次元あるいは三次元の単純なものから複雑な形状まで、型板やモデルなしで従来よりもはるかに高精度な加工を実現するパンチカード式自動制御高速フライス盤」の販促用パンフレットを作成している。<sup>17)</sup>この Cardamatic の構想は1948年11月に *Business Week* 誌によって紹介され、そこでは計算機やカードパンチ装置をもたないユーザーに対しては、パーソンズ社がそれらのサービスを提供するなど具体的なビジネス・プランも示されていたという。パーソンズは、あくまで製造現場のニーズに即した開発構想をもっていたのである。

## 2) MIT の参画と主導権の交代

空軍というスポンサーを獲得したパーソンズ社であったが、同社には単独で開発を遂行するだけの専門知識がなかった。このためパーソンズは、IBM にカードリーダーの開発を、Snyder Tool & Engineering（以下 Snyder と略記）に機械の製作をそれぞれ委託したほか、プロジェクトに必要な人材を新たに雇い入れることになった。そのなかの一人が機械設計技師のマーシュ（Robert H. Marsh）<sup>18)</sup>であった。このマーシュが、制御装置の設計に関するノウハウをもつ MIT のサーボ機構研究所（Servomechanisms Laboratory：以下サーボ研と略記）への接触を進言したことを契機に、パーソンズ社の自動機械の開発には同研究所が加わることになる。

第二次大戦期の米国が軍事力を高めるために産業や大学との連携を深めていったことはよく知られているが、<sup>19)</sup>その中でも MIT は軍部との間に特に密接な関係を構築していた。Noble は、当時の MIT は「あたかも国防総省の一研究機関ようになっていた」とし、さらにその特異な立場から「政府支援のプロジェクトを、MIT の必要性に沿って定義しなす力をもつようになっていた」と評している。<sup>20)</sup>MIT は1944年には海軍発案のフライトシミュレーターの研究を進めるために、Whirlwind というコンピューターの開発プロジェクトに着手していた。<sup>21)</sup>サーボ研がプロジェクトに参加することになった背景には、この Whirlwind を活かせるのではないかと判断があった。というのも Whirlwind プロジェクトは海軍からの委託で始まったものの、開発半ばの意見対立や開発予算の肥大化などで問題視され、適切な応用分野を見つけられない限り財政支出を打ち切るとの指摘を受けるに至っていた。パーソンズが空軍との契約を結んだ1949年半ばという時期は、サーボ研が自らのプロジェクト存続のために新たなコンピュータ・アプリケーションと資金源を求めて、空軍との接触を図っていた時期とちょうど重なっていたのである。<sup>22)</sup>

上述のとおり、パーソンズにとって空軍との契約は、やがて民間市場に Cardamatic を販売し

17) Cardamatic に関するここでの記述は以下に依拠している。Noble, *op. cit.*, pp.102-103, 117.

18) *Ibid.*, pp.103-104; Ashburn, *op. cit.*, p.46; Mazzolenni, "Learning...", *op. cit.*, p.412. Snyder は、デトロイトにある専用工作機械やトランスファマシンのメーカーであった。

19) 例えば以下を参照。Hounshell, David A., "The Evolution of Industrial Research in the United States," in Rosenbloom, Richard S. and William J. Spencer (eds.), *Engines of Innovation*, Harvard Business School Press, 1996; 河村哲二『現代アメリカ経済史』有斐閣, 2003年, 第2章。

20) Noble, *op. cit.*, p.108.

21) *Ibid.*

22) *Ibid.*, pp.112-113.

ていくための通過点にすぎず、期限を守って最低限の成果を示せばよいという位置づけのものであった。また、彼にとって重要なのは問題を学術的に究明していくことではなく、製造の現場でその時々<sup>23)</sup>に直面する課題を克服し、より効率的でより経済的な生産を実現していくことであった。一方、サーボ研側は、パーソンズのアイデアが粗削りであることや、彼の目指す開発内容と空軍との契約内容が食い違っていることに困惑した。また、サーボ研にとって開発の課題は、たとえ時間がかかっても、サーボ研とそのスタッフの名声を高めうるような画期的な成果を得られるものが望ましかった<sup>23)</sup>。

両者の間のこのような齟齬は、開発目標を設定する段階で早くも顕在化する。工作機械の数値制御は、位置決め制御 (Positioning Control) と連続通路制御 (Contouring Control) とに大別される。前者は工具の最後の位置のみを制御するものであるのに対し、後者は工具の移動する通路を連続的に制御して加工を行う、より複雑なものである<sup>24)</sup>。パーソンズは、まず位置決め制御を実現すべき、すなわち、サーボ機構によって工作機械の動作を現実に制御できることを示すため、1軸制御のデモを早期に行うことが重要だと主張した。また、デモには Snyder が設計する、航空機の翼部の部品加工に適した工作機械を用いるべきだと考えた。一方のサーボ研は、より複雑な連続通路制御の実現を目指した。まずデジタルデータおよびパルス式のサーボ機構が工作機械の3軸制御に適用可能かを確かめ、その後、その技術を汎用性の高い工作機械で最適な状態で用いるための開発を目標とすべきだと考えた。そのためには、Snyder の設計する専用機ではなく、既に市場にある3軸の汎用機を用いるべきだと主張した<sup>25)</sup>。両者の意見が対立する中で、パーソンズが予定していた IBM のカードリーダーシステムの開発は、MIT の主張するテーブリーダーの開発に置き換えられ、使用する工作機械も Snyder の専用機から Cincinnati Milling Machine (以下 Cincinnati と略記) 製のフライス盤 Hydro-Tel に変更された<sup>26)</sup>。

このような経緯で、プロジェクトは実質的に MIT 側が支配するところとなり、開発の課題も進捗もパーソンズの構想とはかけ離れたものになっていく。空軍もまた、かつてパーソンズと契約を交わした時点よりも高度な目標を追求しはじめ、開発費用も予定額を大幅に超えて嵩んでいった。パーソンズはなお、空軍に契約期間の延長と追加資金を願い出れば自らのプロジェクトを継続できると考えていたが、1950年末に行われた交渉の結果、MIT と空軍はパーソンズ抜き<sup>27)</sup>の開発契約を交わすことになった。この時 MIT が空軍と交わした開発契約はパーソンズと空軍間のものとは異なり、“cost-plus contract”<sup>28)</sup>、すなわち、どれだけのコストがかかるかを気にかける必要のないものだった。他方、プロジェクトから排除されたパーソンズは、「現実の生産業務

23) *Ibid.*, pp.113, 116-117; Reintjes, *op. cit.*, pp.20-25.

24) 稲葉清右衛門「数値制御」『精密機械』34巻2号, 1968年2月, pp.70-71.

25) Reintjes, *op. cit.*, pp.27-28.

26) Noble, *op. cit.*, pp.114, 119-120. サーボ研側が主張する高度な制御を行う上で、カード式では十分な速度で情報を送れないという理由からテープ式が採用された。Cincinnati 社製の Hydro-tel は空軍から MIT に寄贈されたもので、当時はサーボ研に設置されていた。

27) Noble, *op. cit.*, pp.129-130. この間の経緯の詳細は以下を参照のこと。Reintjes, *op. cit.*, pp.38-42.

28) Ashburn, *op. cit.*, p.47.

に適した」自動制御システム Digitron の開発を企てて空軍に再度支援を要請したが、空軍はこれを断った。<sup>29)</sup>

パーソンズと空軍との契約成立から3年3か月を経た1952年9月半ば、サーボ研はNC工作機械第1号機である3次元連続通路制御のフライス盤を公開する。<sup>30)</sup>この1号機のデモは、工作機械メーカー、航空機部品メーカー、その他の3グループに分けて3日間にわたって行われ、130団体・計242名が参加する大規模なものとなった。<sup>31)</sup>MITは総額36万ドルをこのプロジェクトに費やしたが、そのうちの28万ドルは空軍から直接に、残りの8万ドルはパーソンズ社を介して、それぞれMITに支払われたものであった。<sup>32)</sup>

本節で示したように、位置決めの手間を減じたいというパーソンズの発想からスタートしたNCの開発は、MITサーボ研の関与の拡大と空軍の要請の高度化を背景に、連続通路制御というより高い成果を実現する。この開発成果がどのような経緯で商品化されていくのか、節を改めて確認することにした。

### 3. NC 工作機械の商品化

#### 1) 工作機械メーカーに対する誘導

NC第1号機開発途上の1951年頃から、サーボ研にはプロジェクトの内容についての問い合わせが寄せられており、スタッフに対する講演依頼も増えていた。また、サーボ研は数値制御関連情報の普及の観点から「オープンドア・ポリシー」をとっていたことから、外部からの見学者も多数に上った。<sup>33)</sup>さらに上記のデモによって、新たな開発の方向性は関連する産業に周知された。しかし、新技術の商品化に対する工作機械メーカー側の反応は、必ずしも積極的なものではなかった。

消極性の理由のいくつかは、デジタル・コントロールの採用に対する不信感、逆に既に1,000分の1インチ単位の精度にまで到達していたマニュアルの工作機械技術への信頼感、あるいは、当時のラジオやテレビに用いられてしばしば故障の原因となっていた真空管に対する不信感など、<sup>34)</sup>技術に由来するものであった。また、変化の激しい開発段階に早いうちから資金を注ぎ、無駄になるのを避けたいという思いもあった。<sup>35)</sup>加えて、NCの経済性や電子機器のメンテナンスに関する懸念、とりわけあまりに複雑で高価な技術の商品化の可能性に対する懸念も、工作機械メー

29) Noble, *op. cit.*, p.130. 空軍との交渉に失敗したパーソンズは、その後自身のアイデアから生まれた技術の特許管理に注力していく。

30) Reintjes, *op. cit.*, pp.45-47. 同機の制御装置には292本の真空管が用いられ、工作機械よりもはるかに大きかった。(機械振興協会経済研究所『技術水準格差の研究』(前掲), p.146。)

31) Reintjes, *op. cit.*, pp.45-46.

32) *Ibid.*, p.47.

33) *Ibid.*, pp.43, 141.

34) *Ibid.*, pp.62, 142. トランジスタは1940年代末に開発されていたが、NC1号機完成当時はまだ量産体制が整わず広く普及していなかった。

35) Noble, *op. cit.*, p.200.



カーに二の足を踏ませる要因となっていた。<sup>36)</sup>さらに、この当時の工作機械メーカーは、朝鮮戦争による軍需に沸いていた。<sup>37)</sup>

サーボ研のスタッフも空軍もこのような反応を予測し、NC に対する不信感や抵抗感を払拭する必要性を認識していた。このため、NC 1号機のデモに先立つ1952年7月にサーボ研と空軍との間で、NC 機と従来機の比較研究と NC に関する情報普及活動に関する契約が結ばれた。<sup>38)</sup>サーボ研はこの契約にもとづき、代表的な航空機部品の加工コストに関するデータ収集を開始するとともに、NC に対する理解を促すため、工作機械・電子・航空機関連各メーカーへの訪問講演などにも注力した。

空軍は、新技術に関する情報の普及をこのような形で促せば、民間企業は自ずとその商品化へ向かうものと考えていた。<sup>39)</sup>しかし、現実には民間企業が NC 工作機械の商品化に積極的に乗り出す兆しは見られなかった。空軍はこれを民間企業の資金的制約に由来するものと判断し、1954年初めに NC 工作機械の商品化に対する資金援助プログラムを開始した。<sup>40)</sup>しかし、資金援助の申し込みは航空機産業からのみで、それに関わる工作機械メーカーも G&L と K&T の 2 社にとどまり、業界最大手の Cincinnati はまだそこに加わっていなかった。<sup>41)</sup>工作機械メーカーの消極姿勢は、この翌年にサーボ研が全米工作機械工業会 (National Machine Tool Builders Association: 以下 NMTBA と略記) に NC 開発プロジェクトへの参加を求めた際、同会がこの提案を断ったことからもうかがえる。NMTBA 側の説明は、共同開発という手法は研究開発活動を競争戦略の一環とするメーカーの考え方になじまないという内容であった。<sup>42)</sup>

1955年、上記資金援助プログラムにもとづく 2 つの開発計画が現実に動き出した。<sup>43)</sup>一方は、K&T と Bendix が Glenn Martin 向けに MIT 方式の NC フライス盤を開発するという計画で、もう一方は、G&L と GE が Lockheed の依頼で Numericode という NC システムを用いたスキンミルを開発するという計画であった。Lockheed のスキンミルは、同年夏に空軍でデモも行われた。このような動きを追い風として、航空機関連の資材調達にあたる AMC (Air Material Command) と空軍内の NC 推進派は、商品化を推進するための新たな仕掛けを講じた。それが空軍による NC 工作機械の「大量調達 (bulk-buy) 計画」である。<sup>44)</sup>

言うまでもなく戦時には大量の工作機械が必要となるが、現実の軍需生産にどのような機種がどれだけ必要となるかを推定することは容易ではない上、工作機械はそれ自体製造に時間のかか

36) *Ibid.*; MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.21.

37) Holland, Max, *From Industry to Alchemy: Burgmaster, A Machine Tool Company*, Beard Books, 2002, p.35. 朝鮮戦争によって受注は急拡大し、1952～53年の出荷額は10億ドルを超える規模となった。(機械振興協会経済研究所『米国の工作機械工業』1970年6月, pp.13, 21.)

38) Reintjes, *op. cit.*, p.62.

39) Noble, *op. cit.*, pp.133-134, 137.

40) *Ibid.*, p.134.

41) Mazzoleni, "Learning..." *op. cit.*, p.413.

42) *Ibid.*

43) Noble, *op. cit.*, pp.199-201. G&L の開発計画については以下に説明されている。河邑肇「NC 工作機械の開発における日本の特質」大阪市立大学『経営研究』第46巻第3号, 1995年11月, p.87.

44) MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.21.

る製品である。このため、第二次大戦の開戦後、軍の調達担当者はその確保に苦しんだ。工作機械メーカー側も人手不足の中で24時間体制での生産を強いられ、さらに戦争終結後は、政府が戦時下に調達した工作機械約30万台が市場に安値で放出されたために二重の苦渋を味わった<sup>45)</sup>。緊急の動員は、朝鮮戦争の際にも繰り返された。このような経験から空軍は、航空機メーカーが軍需生産のために用いる工作機械のうち特にリードタイムの長い機種を計画的に大量調達し、備蓄する方針を決定していた<sup>46)</sup>。上述の Lockheed のデモの後、空軍は既に決まっていた1955年の調達計画を見直し、航空機工業会（Aircraft Industries Association：以下 AIA と略記<sup>47)</sup>）と協議した上で、当初マニュアル機を予定していたプロファイラーとスキンミル105台を全て NC に切り替えることとしたのである<sup>48)</sup>。

この空軍の大量調達計画は、有力企業を NC の商品化に誘導することに成功した。調達計画に入札するメーカーは、空軍の求める仕様を満たす機構を試作し、空軍の代表者の前でテスト部品の切削を行い、さらにそれが許容値の範囲内かのチェックを Boeing で受ける必要があった。このようなテストを経て、Cincinnati/Electric and Musical Instruments, K&T/Bendix, GE/Concord Controls/G&L, Morey Machine/Electronic Control Systems の4組が選ばれ、各工作機械メーカーには企業規模に比例してオーダーが割り振られることになった。その結果、米国最大の工作機械メーカーである Cincinnati が最大の割当を受け、G&L と K&T が残りの大部分を、Morey はごく一部を割り当てられた。制御装置については、GE（および Concord Controls）が過半にあたる55を製造することになった<sup>49)</sup>。空軍がこの大量調達計画にどれだけの金額を投じたかについては諸説あるが、いずれにせよこれによって NC 工作機械の商品化に対する有力企業の姿勢は大きく変わった<sup>50)</sup>。

## 2) APT の開発

前述のとおり MIT サーボ研は空軍からの委託を受けて、NC 機と従来機の比較研究を実施した。サーボ研は、NC 1号機の開発段階からユーザーの依頼を受けて現実の加工作業を行っていたため、加工に関わる種々のデータを収集することは難しくなかった<sup>51)</sup>。比較研究の結果、NC 機による部品の加工自体のコストは従来機よりも低いものの、セットアップに関わるコスト、とりわけプログラミングおよびテープ作成にかかるコストが加工時間の短縮によるコスト削減分を上回ること

45) National Academy of Engineering, *op. cit.*, p.14; 機械振興協会経済研究所『米国の工作機械工業』（前掲）、pp.10-12。第二次大戦期の工作機械の調達の詳細は、以下の文献に描かれている。Wagoner, Harless D., *The U.S. Machine Tool Industry from 1900 to 1950*, The MIT Press, 1968, Ch.8.

46) Noble, *op. cit.*, p.201; MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.21.

47) AIA は、AMA (The Aircraft Manufacturers' Association; 1917年設立) を前身とする航空機メーカーおよびそのサプライヤーをメンバーとする業界団体で、技術や各種の契約上の問題に関して政府と業界との調整的な役割も果たしていた。宇宙開発の進展を背景に、59年にその名称を Aerospace Industries Association と変えた。Reintjes, *op. cit.*, p.83.

48) Noble, *op. cit.*, p.201; MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, pp.21-22.

49) 入札方法およびその結果については以下を参照。Noble, *op. cit.*, p.202.

50) MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.63, note 34.

51) Noble, *op. cit.*, pp.134-135.

が判明する。<sup>52)</sup>これと同じ頃、AIAの航空機体製造設備委員会（Airframe Manufacturing Equipment Committee）はNC分科会を設置し、<sup>53)</sup>現行のプログラミング方式やその向かうべき方向性に関する検討を開始していた。

このような動きを受けて、1955年、空軍はサーボ研との間に自動プログラミングソフトの開発に関する契約を結ぶ。<sup>54)</sup>当時のサーボ研では、空軍からの別の委託研究（デジタル飛行テスト装置プロジェクト）が終わろうとしており、数学者ダグラス・ロス（Douglas T. Ross）の率いるチームが担える新たな課題を探していた。<sup>55)</sup>かくして1956年の夏、ロスをリーダーとするコンピューター応用研究グループが結成され、NC工作機械のためのプログラミング言語、APT（Automatically Programmed Tool system）の開発が始まる。ロスをはじめとする研究者たちは、<sup>56)</sup>工作機械技術やその数値制御技術に精通していたわけではなかったが、1956年末にはAPTの基本構造を決定し、最初の中間報告を作成した。

その後、APTの開発はAIAとの共同で進められることになった。両者の仲介役となったのは、NC1号機の開発時からサーボ研に深く関与してきた空軍のあるエンジニアであった。上述のAIAのNC分科会の動向を知っていた彼は、<sup>57)</sup>ロスにAIAにアプローチするよう促したのである。2D-APT IIシステムと呼ばれる新たな開発には9つの航空機メーカーとIBMが参加し、サーボ研の開発したアーキテクチャーにもとづき、それぞれの企業が割り当てられたパートのプログラム開発を進めていった。彼らは、ロスのプログラミング言語の基本に従いながら、切り分けられた他のパッケージとの整合性を保ちつつそれらを発展させるという困難な作業を余儀なくされたが、プロジェクト開始から約1年後には第一段階の開発を終え、フィールドテストを行うまでに<sup>58)</sup>至る。

1958年に完成したAPT IIでは、曲線を立体的に定義することが可能となったほか、直線切削の終点をコンピューターが自動的に判断するなどの特徴ある機能が盛り込まれた。<sup>59)</sup>サーボ研は、自らが先導した開発の成果に胸を張ったが、ユーザー側の評価は必ずしもこれと一致していなかった。そもそもユーザーには、メインフレームへの投資と熟練プログラマーの確保という大きな負担が必要であった。さらに、APTは複雑な加工には確かに便利であったが、一般的な部品加工には著しく不向きで、単純な位置決めなどの場合にはマニュアルのプログラミングよりも時間を要するというのが一般的な評価であったと<sup>60)</sup>されている。

NC技術の開発スポンサーとなった空軍は、本節でみたようにNC工作機械の商品化において

52) Reintjes, *op. cit.*, p.65; MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.21.

53) 詳細は以下を参照。工業技術院機械試験所訳編『工作機械の数値制御——米国航空機工業会報告——』機械工業振興協会、1958年3月、pp.48-62。

54) Noble, *op. cit.*, p.141.

55) Reintjes, *op. cit.*, pp.78-79.

56) *Ibid.*, p.82.

57) *Ibid.*, pp.82-83.

58) *Ibid.*, pp.84-86.

59) 機械振興協会経済研究所『技術水準格差の研究』（前掲）、p.147。

60) MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.22.

も主導的な役割を担うことになった。空軍は「大量調達計画」によって自ら市場を創出し、商品化に消極的であった工作機械メーカーおよびエレクトロニクスメーカーを誘導した。また、普及のボトルネックになると懸念されたプログラミングについても、空軍はサーボ研の力を借りて早期に対処した。1949年からの10年間で、空軍は少なくとも6,200万ドルを NC 関連のプロジェクトに投じたと言われている。<sup>61)</sup> こうして商品化がスタートした米国の NC 工作機械は、その後どのような経緯をたどったのだろうか。節を改めてみることにしたい。

#### 4. 米国の NC 工作機械の趨勢

##### 1) NC 工作機械の最初の10年間

前節では NC 工作機械の商品化に関する経緯を示した。以下ではその後の約10年間、すなわち1960年代前半までの開発および生産にみられる特徴を確認する。

既にみたように NC 工作機械の開発は空軍主導で進められ、航空機産業で求められる複雑で精緻な加工ニーズを満たす連続通路制御に多くの努力が注がれた。その過程で G&L の NC フライス盤 Di Mil のような注目機種も登場した。<sup>62)</sup> この当時の NC 工作機械は、既存のマニュアルのフライス盤や旋盤に制御装置やドライブを取り付けたいわゆる「レトロフィット」が基本であったが、1958年には NC の優位性をフルに生かすことを目論んだ画期的な新製品が K&T によって生み出された。<sup>63)</sup> 工具の取替が自動的にできる自動工具交換装置 (Automatic Tool Changer: ATC) を備え、フライス加工・中ぐり加工・穴あけ加工・研磨加工などの様々な加工を、被加工物を取り外すことなしに行えるマシニングセンター、Milwaukee-Matic である。まず Hughes Aircraft の生産ラインに導入された同機は、1960年には従来機の生産とほぼ同じ毎週2台というペースで生産されるほどのヒット商品となる。

一方、この Milwaukee-Matic 登場とほぼ同じ頃、Burg Tool Manufacturing という企業が別の意味で画期的な商品 NC Burgmaster 2BH を開発した。そこに至る経緯を少し述べておきたい。<sup>64)</sup> 1946年に設立された同社は、様々な加工現場で広く用いられるボール盤に目を付け、タレットボール盤という画期的な製品を創り出していた。元々ボール盤は一度に1つの穴しかあけられず、例えば5種類の穴をあけるときは5種類の工具が必要になり、加工よりも工具のセットアップに時間がかかった。そこで同社は、1台のボール盤に複数の工具を付けて、このセットアップタイ

61) DiFilippo, Anthony, *Military Spending and Industrial Decline: A Study of the American Machine Tool Industry*, Greenwood Press, 1986, p.57.

62) 『月刊・生産財マーケティング』1987年3月号, A-141.

63) Milwaukee-Matic については以下を参照。Sciberras, E. and B. D. Payne, *Machine Tool Industry: Technical Change and International Competitiveness*, Longman Group Limited, 1985, p.29. 当時の NC 工作機械では、このような量産ベースに乗った製品は異例であった。

64) 同社は1946年創業の若い会社ながら、タレットボール盤のような独自の製品開発とユーザーに対する手厚いサービスとで高い評価を得ていた。NC タレットボール盤の成功を背景に1961年に株式を上場し、社名を Burgmaster と改める。(Holland, *op. cit.*)

65) Holland, *op. cit.*, pp.13-16.



ムを劇的に減らそうと考えた。こうして生まれたのがタレットヘッドに複数の工具を装着したタレットボール盤 Burgmaster 1A で、これによって同社は急成長を果たすとともに、航空機部品メーカーや自動車部品メーカーを含む多様なユーザーから高い評価を得ることになった。

上記の NC Burgmaster 2 BH は同社の看板商品のタレットボール盤を元にしたもので、機械そのものに特別な新規性があったわけではない。しかし、タレットボール盤という、元々簡単な操作で様々な加工を効率よく行える機械を初めて NC 化したことと、相対的に安価でプログラミングも簡単な NC 装置を用いたことによって、それまで NC とは無縁であった一般市場を開拓する機械として大きな注目を集めた。<sup>66)</sup> その成功をみて 1960 年代に入る頃には、最大手 Cincinnati を含む 3 社が NC タレットボール盤市場に参入し、また、1961 年には、Pratt & Whitney がシンプルで低価格な NC ボール盤 Tape-O-Matic を市場に投入して大きな話題を呼んだ。<sup>67)</sup> かつてパーソンズが目論んでいた、一般的な製造現場で用いられるシンプルな NC 工作機械の商品化が、ようやく動きはじめたのである。

機械専門誌 *American Machinist* は 1964 年 10 月に “Numerical Control: The Second Decade” という 48 ページに及ぶ NC 工作機械の特集記事を組み、その中で上述のような開発の趨勢について「NC はまず走ることを学び、それから歩くことを学んだ」<sup>68)</sup> と表現している。この特集の巻末には、1964 年時点で国内で販売されているほとんどの NC 工作機械の仕様等を網羅したリストが収録されているが、そこでも全体の約 3 分の 2 を位置決め制御が占めており、よりシンプルな製品の開発が活発化していたことがうかがえる。同じ記事によれば、米国では 1954 年 1 月 1 日から 1963 年 12 月 31 日に至る 10 年間で 3,583 台の NC 工作機械が出荷されているが、その内訳をみると 1954-58 年の出荷台数は全体のわずか 5% 強、続く 59-61 年では 31% で、62-63 年が 64% と圧倒的である。このように NC 工作機械の出荷台数が 1960 年代以降に急増しているのも、よりシンプルな機械の商品化が活発になったことと深い関係があろう。実際、上記 3,583 台を制御機能別でみると、位置決め制御が 2,478 台を占め、連続通路制御を大きく引き離している。<sup>69)</sup>

なお、同じ 3,583 台のユーザーをみると、航空宇宙産業が最大のユーザー（1964 年 1 月 1 日現在で 629 台を設置）で、2 番手は工作機械産業（同 490 台）、以下は電気機械や産業機械業界が続いている。一方、米国最大の産業である自動車産業では、同時点での NC 工作機械の導入実績は 194 台にとどまっていた。<sup>70)</sup> しかし、*American Machinist* は、NC が間もなくこの産業に本格導入され、製造面のみならずマーケティング面でも大きな変化がもたらされるだろうとの興味深い見解を示

66) *American Machinist*, October 26, 1964, p.NC2.

67) Holland, *op. cit.*, p.40; 『月刊・生産財マーケティング』（前掲）、A141-142。1960 年の工作機械見本市（シカゴショー）には 100 種類もの NC 工作機械が出展された。（*American Machinist*, October 26, 1964, p.NC6.）

68) *American Machinist*, October 26, 1964, p.NC6。大隈鉄工所で NC 工作機械の開発に携わり、のちに同社の常務・顧問を務めた長岡振吉氏は、初期の米国製品について次のように述べている。「P to P は庶民の NC で、いわば山の麓から登っていくようなもので、アメリカの NC は貴族のようなものです。頂上から降りてきて、送りの指定に V/L/ 秒という人間の感覚にない数字を使う。だから誰でも使えるというものではありませんでした。」SME 日本支部「SME LIBRARY 4 日本の工作機械を築いた人々 長岡振吉氏」, p.12。

69) 10 年間の出荷実績の内訳は全て以下に依拠。*American Machinist*, October 26, 1964, p.NC2.

70) *Ibid.*, p.NC8.



している。<sup>71)</sup>

1950年代の米国の自動車産業では、複数のトランスファマシンを連続したシステムとして動かすいわゆる「デトロイト・オートメーション」の導入が進み、標準化された部品の大量生産能力は大いに高まっていたが、一方でこのような生産システムのフレキシビリティの欠如が問題視されはじめていた。<sup>72)</sup>そこで、例えば高いフレキシビリティが求められる金型の製作等に NC 工作機械を活用しながら、オートメーションの大量生産能力と組み合わせれば、新しいモデルの設計から市場投入までのリードタイムが大幅に削減でき、旬のデザインをタイムリーに市場に出す武器となり、戦略的に大きな意義をもつはずだというのが、*American Machinist* の指摘するところであった。

上述の特集では、このようなユーザー産業の動静や半導体技術の進化などを背景に「次の10年間は NC が未曾有の規模で産業に導入されることは間違いないし、また、導入のペース以上に技術開発が進むだろう<sup>73)</sup>」との展望が示されている。また、今後特に NC の活用が予想される分野として、①規模の大小を問わず様々な工場で活躍するシンプルな1軸のボール盤、②1台で何役もこなすマシニングセンター、③マニュアル機では不可能だった加工をこなす専用機の3つが挙げられている。<sup>74)</sup>

このような期待がある半面で、この当時 NC 工作機械が広く一般製造業で導入されるためには克服すべき課題もあった。その一つは価格の高さで、例えば1964年の値でみると位置決め制御機械は NC 工作機械台数全体の76%、販売額でも69%を占めている。台数と販売額の間にはそれほどまでの差がないことから、機能のシンプルな位置決め制御機械でありながら連続通路制御機械と大きくは変わらない価格だということがうかがえる。<sup>75)</sup>

1950年代末以降位置決め制御機械の開発・商品化が本格化していたにもかかわらず、なぜこのように価格は高止まりしていたのだろうか。その一つの要因は、NC 装置にあるものと考えられる。1964年時点で米国企業が生産する NC 装置は全部で54種類（34社）あり、制御機能別では位置決めが13種類、位置決め・直線切削が28種類、輪郭制御が11種類、その他が2種類、すなわち、相対的に単純な制御機能を備えた NC 装置だけでも、40種類を超える製品が市場に乱立していたことになる。<sup>76)</sup>こうした状況を反映して、例えば先述の Burgmaster のヒット商品である NC タレットボール盤の NC 装置は、Bendix, GE, Hughes, Rheem 製のいずれかからユーザーが選択する仕様になっており、同様なオプション制は他社製品でも散見される。<sup>77)</sup>つまり当時の NC 装置には対抗製品が多く、大手メーカーであったとしても量産によるコスト削減は容易ではなかったものと言えよう。

71) *Ibid.*, pp.NC3, NC8.

72) Carlsson, Bo, "The Development and Use of Machine Tools in Historical Perspective," *op. cit.*, p.102.

73) *American Machinist*, October 26, 1964, p.NC9.

74) *Ibid.*, p.NC10.

75) MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.24.

76) *American Machinist*, October 26, 1964, pp.NC42-48.

77) *Ibid.*, pp.NC26-41.

NC 工作機械の一般製造業への普及を妨げる要因は価格以外にもあった。その一つは、プログラミングやトレーニング、コンピューター・サポート、メンテナンスなどに要した多大なコストである。<sup>78)</sup> ユーザーが大企業であればこれらの業務に専従のスタッフを配置することもできるが、小規模な企業の場合そうした余裕はなかった。<sup>79)</sup> いま一つの重大な要因は、製品とユーザーニーズとのミスマッチである。すなわち、この当時の工作機械および NC 装置の能力は、実は大半のユーザーのニーズをはるかに上回っており、反面で彼らが求める操作のシンプルさや容易さからは大きくかけ離れていたと言われている。<sup>80)</sup>

## 2) 1960年代後半の趨勢

上述のように1964年10月の *American Machinist* では、NC 工作機械が未曾有の規模で米国の産業に導入されるだろうとの展望が示され、またそれに相応しい製品の開発への期待が寄せられていた。しかし、1960年代後半の米国ではこれとは大きく異なる展開が生じていく。増加傾向にあったシンプルな位置決め制御機械の出荷額は1967年を境に急速に減少し、68年以降は連続通路制御機械の出荷額に大幅に水をあげられたまま低調で推移する。<sup>81)</sup> こうした趨勢が最も顕著に現れているのがボール盤である。ボール盤の年間生産台数は1961年の約200台から著増し、66年には約1,150台にまで達するが、その後急減し、70年には61年とほぼ同じ水準にまで落ち込んでいる。<sup>82)</sup>

ユーザーについてはどうだろうか。米国商務省のデータによれば、1964-68年の5年間で航空機産業が他産業を大きく引き離す1,718台もの NC 工作機械を購入し、さらにこれとは別に少なくとも1,404台が政府資金で購入され、その大部分が航空機産業のプラントに設置されている。<sup>83)</sup> 1950年代末以降「歩くこと」を学びはじめ、広く製造業に普及していくことが期待されていた NC 工作機械であったが、60年代後半には再び「より速く走ること」に傾斜していったことがうかがえる。無論その背景には、ベトナムへの軍事介入の強化や宇宙開発の本格化という要因があった。<sup>84)</sup>

これに関連して、1965年5月の *American Machinist* に“Buy 551 NC profilers by 1969”というタイトルの興味深い記事を見出すことができる。<sup>85)</sup> それは、米軍・航空関連メーカー・工作機械メーカー等の代表者20名から構成される工作機械諮問委員会が空軍に対して行った提言の内容を紹介

78) MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.24.

79) 当時 NC 装置で最大のシェアを有していた GE は、このようなニーズに応えるために1965年夏に西海岸の2都市で NC メンテナンスに関する講習を開始している。( *American Machinist*, July 5, 1965, pp.78-79.)

80) MIT Commission on Industrial Productivity, *op. cit.*, p.24.

81) Mazzoleni, Roberto, “Innovation in the Machine Tool Industry: A Historical Perspective on the Dynamics of Comparative Advantage,” in Mowery, David C. and Richard R. Nelson (eds.), *Sources of Industrial Leadership: Studies of Seven Industries*, Cambridge U.P., 1999, p.184.

82) 機械振興協会経済研究所『工作機械工業戦後発展史(Ⅱ)』1985年2月, p.188.

83) Mazzoleni, “Innovation...,” *op. cit.*, p.184.

84) ベトナム戦争が工作機械需要に与えた影響については、以下を参照のこと。DiFilippo, *op. cit.*, pp.96-97.

85) *American Machinist*, May 24, 1965, pp.77-78. 同年7月には、10年後の空軍所有の工作機械および生産設備の見通しを示した記事が掲載され、そこでもやはり難削材に対応でき、より高い精度を満たす高級機の必要性が強調されている。 *American Machinist*, July 5, 1965, pp.80-82.

したものである。この記事によれば、政府の受託業者とその下請業者は既にプロファイラーを2,753台（NC：356台、倣い制御：2,397台）保有しているが、これらは従来多用されてきたアルミニウムなどの素材を加工するために設計されたもので、今後宇宙開発をはじめとするハイエンドな分野で使用が進む難削材（hard-to-machine materials）には大部分が対応困難であるし、そこで求められる高い精度を満たすにも不十分である。したがって、難削材の加工に適し、かつ、公差0.002インチ以内の精度をもったNCプロファイラー551台を1969年までに調達する、総額2.5億ドルの計画を直ちにスタートさせるべきであるというのが、諮問委員会の提言の内容であった。

こうした新たな大量調達計画が、多くの工作機械メーカーやエレクトロニクスメーカーに大きな影響を与えたであろうことは想像に難くない。記事のような政府資金による工作機械の調達計画においては、設備が設置・運用される4～5年前に機械の仕様が公表された<sup>86)</sup>。そこで示された仕様は、明確な技術目標として有力メーカーを開発に駆り立てる要因になったものと考えられる。また、こうした開発には、コストを気にせず行うことができ、かつ、安定的な利益を見込めるといふ大きな魅力があった。なぜならば、上記のような大量調達計画を通じて買い上げられる工作機械の価格は基本的に“cost-plus”、すなわちかかったコストに一定率の報酬を上乗せする方式で決定された<sup>87)</sup>。さらに、ケネディ政権下で国防長官となったマクナマラ（Robert MacNamara）が軍需調達のコスト算定に“historical costing”と呼ばれる方式を導入したことによって、コストの制約はより緩やかになった。この方式の下では、現実的なコスト見積りとは無関係に、過去のコスト増加をベースに算定された率までコストを増やすことが認められたのである<sup>88)</sup>。以上の点を考えれば、当時のメーカーが再び特殊な市場で用いられるNC工作機械の開発・製造に向かうことには十分な合理性があったとすることができる。

しかし、軍需部門や航空宇宙部門というきわめてハイエンドかつ大規模な需要の存在や上述のような調達方法が、これに関わる企業の中長期の競争力に負の影響を及ぼしていたこともまた否定できまい。ここでは2つの側面から考えたい。

第1に、この特殊な市場においては、彼らはいわゆるビジネスモデルを考える必要がなかった。すなわち、製品の買い手も、買い手に与えるべき価値もあらかじめ決まっている。また、どのようなコスト構造をとり、どのようにして利益を生み出すかという、企業として最も重要かつ難しい課題に悩む必要もない。米国の工作機械産業に関するある報告書は、上記のようなコスト算定方式の下では、先端的な機械設備の導入など生産の効率化を図ることでコストを下げようというインセンティブが働かなかつた<sup>89)</sup>と指摘している。また別の研究者は、従来米国の工作機械メーカーはコスト最小化を追求してきたが、上記の“historical costing”の導入によって契約メーカー

86) National Research Council, *op. cit.*, p.55.

87) Melman, Seymour, “How the Yankees Lost Their Know-How,” *Technology Review*, October, 1983, p.58.

88) *Ibid.*

89) National Research Council, *op. cit.*, p.56. 別稿で明らかにするように、日本の工作機械メーカーのうちNC化とともに競争力を高めていった企業に共通する特徴の1つは、彼らが自社の工場に対してNCをはじめとする最新機械設備を積極導入し続けていることである。これによって彼らは生産効率を高めるとともに、自らがNC工作機械のユーザーとなることによって、次世代の製品開発のための貴重な情報を蓄積していった。

は逆にコストを増やしていこうと考えるようになり、「(かつて工作機械メーカーが追求していた)コスト最小化は、補助金の範囲内でのコスト最大化に置き換わった」と指摘している。<sup>90)</sup>

第2に、工作機械メーカーがこうした特殊な市場と深い関わりをもっていたことにより、彼らはコングロマリットの恰好の買収ターゲットになった。<sup>91)</sup> 米国におけるコングロマリットの台頭は1950年代末頃から始まり、成長著しいエレクトロニクス技術と関わる分野は買収先として特に人気を集めた。<sup>92)</sup> NC化への歩みを進める工作機械業界は、無論これに該当した。また、工作機械メーカーの多くは創業者家族を中心とする同族企業で、そうでない場合でも株式所有は少数の株主に集中していた。加えて、景気変動を受けやすいという産業の特性上、名の知られた工作機械メーカーは概して保守的に運営されており、借入比率が低かった。これらはいずれも、買収先を探すコングロマリットにとって望ましい条件であった。そして、何よりも工作機械業界の市場には軍需産業という確かな顧客がいた。米国がベトナムへの軍事介入の度合を高めていくなかで、工作機械業界への期待はいっそう高まり、1960年代半ば以降、工作機械メーカーは「誰もが買いたがっていて、売りがたがっている者はいない」と言われるほどの状況となったとされている。<sup>93)</sup>

当時の米国商務省は工作機械産業をめぐるこうした趨勢に対して、「合併や買収により、独立した産業としての地位と、新たな生産工程や生産方法の開発、革新の担い手としての地位を失い、ひとつの産業としての独自性が損なわれ、産業内での地位が低下することになる恐れがある」との懸念を抱いていたことが伝えられている。<sup>94)</sup> 実際、コングロマリットの傘下に入った工作機械メーカーの中には、それまで築いてきた競争力を喪失してしまうものもあった。<sup>95)</sup>

先に述べた Burg Tool Manufacturing (1961年に Burgmaster と社名変更) はその一つであり、コングロマリットによる同社の買収の経緯や買収以降の事業の変容は、Holland の研究によって明らかにされている。<sup>96)</sup> それによれば、Burgmaster は1965年に Houdaille というコングロマリットの傘下に入ることで、短期的には潤沢な設備投資資金を得るなどのメリットを享受する。しかし、ほどなく目先の利益を求めるコングロマリット本社からの干渉が強くなり、生え抜きの経営者は更迭される。新たに本社から派遣された経営者は、従来同社が競争力をもっていた製品ラインと

90) Melman, *op. cit.*, p.60. 以下の研究もこの指摘を支持している。Carlsson, Bo, "Small-Scale Industry at a Crossroads: U.S. Machine Tools in Global Perspective," *Small Business Economics*, 1, 1989, p.253.

91) 日本開発銀行「米国工作機械企業の欧州進出」『調査月報』1968年10月, pp.75-76. 同報告書によれば、当時工作機械の買収を行ったコングロマリットは、Litton Industries, Gulf & Western, Textron, Teledyne などであった。

92) 米国におけるコングロマリットの台頭については、例えば以下を参照のこと。O'Sullivan, Mary A., *Contests for Corporate Control: Corporate Governance and Economic Performance in the United States and Germany*, Oxford U.P., 2000, Ch.4.

93) 買収先としての工作機械メーカーの特徴についての記述は以下に依拠。Holland, *op. cit.*, pp.59-60, 84.

94) 日本開発銀行「米国工作機械企業の欧州進出」(前掲), p.76.

95) コングロマリットによる工作機械メーカーの買収およびその後の事業縮小・撤退については、以下の文献で紹介されている。機械振興協会経済研究所『市場メカニズムと工作機械企業の国際化戦略』1986年6月, pp.43-45.

96) Holland, *op. cit.*

97) Houdaille はのちに日米貿易摩擦のきっかけをつくった存在でもある。その経緯は以下に記載されている。日高千景・金容度「工作機械に関する日米貿易摩擦」(平成16年度経済産業政策研究報告書), 2005年3月。



はかけ離れた、ユーザーにとって明らかに過剰性能の超高級機に進出したり、リーズナブルな価格で同社の看板商品となっていた機種的大幅値上げを断行したり、同社が蓄積に努めてきた熟練労働力をコスト削減のために切り捨てたりと、ビジネスモデルを大きく混乱させる。最終的に、同社は事業としての売却すらかなわず、設備をバラ売りするという形で廃業するに至った。

## 5. 結びにかえて

米国における NC 工作機械の開発は製造現場の課題解決という発想から始まったが、ほどなく発案者の手を離れ、スポンサーである空軍と開発を主導した MIT サーボ研の意向の下で、当初からハイエンドな目標達成を目指すことになった。商品化のプロセスもまた、空軍の大量調達計画という強力な誘導の下で進められた。1950年代末以降、それまでのハイエンドな製品から比較的シンプルな製品へと開発・生産の重点が移り始め、自動車産業等における大規模な普及の期待やそれがユーザー産業にもたらしうる変革の可能性も語られるようになった。しかし、60年代半ば以降、再び趨勢は逆転する。その背景にもやはり軍需や航空宇宙関連という特殊なユーザーの存在があった。

このような強力な開発スポンサーや特殊な大型市場の存在がなければ、米国における NC 工作機械の開発や普及のプロセスは実際とは大きく異なるものとなっていたに違いない。コンピューターや半導体同様、NC 工作機械も米国の軍産複合構造という背景に大きく支えられていたのである。一方で、このような市場においては、企業は与えられた特殊なニーズを満たすことだけに集中し、いかにコストを削減するか、いかに利益を生み出すかを考える必要がなかった。このことは、日本との比較でみた場合、マイナスハンディとなった可能性も否定できない。

次稿で明らかにするように、日本における NC 工作機械の開発は米国に数年遅れて始まった。当初は MIT のレポートを「バイブル」として始まった開発<sup>98)</sup>であるが、それを取り巻く環境は米国とは大きく異なり、巨額の開発資金を投じうるスポンサーも、金に糸目をつけない買い手も存在しなかった。したがって、NC を手がけようとする者は、単に一定の性能の実現を目指すだけでなく、どうすればそれが商品として成立しうるかを模索しながら開発を進めなければならなかった。ビジネスモデルをめぐる模索の中で企業が学習し獲得していく知見や経験が、競争力に関わる独自の資源を形成していくという観点<sup>99)</sup>に立つならば、そうした模索の必要のない環境は、企業の成長にとっては望ましくなかったということになる。

ただ、本稿で接近を試みた1960年代の米国工作機械産業の動向は、あくまで断片的なものではない。当時の産業の実状や個々の企業の動向を明らかにする作業を今後も続けなければならない。

98) 稲葉清右衛門『ロボット時代を拓く——「黄色い城」からの挑戦』PHP 研究所、1982年、p.16；稲葉清右衛門『黄色いロボット』日刊工業新聞社、1991年、p.22。

99) このような企業観については以下を参照されたい。Penrose, Edith, *The Theory of the Growth of the Firm* (3<sup>rd</sup> edition), Oxford U.P., 1995.



## 参考文献

- American Machinist*, October 26, 1964.
- American Machinist*, December 7, 1964.
- American Machinist*, May 24, 1965.
- American Machinist*, July 5, 1965.
- American Machinist*, January 1992.
- Ashburn, Anderson, "The Machine Tool Industry: The Crumbling Foundation," in Hicks, Donald A. (ed.), *Is New Technology Enough?: Making and Remaking U.S. Basic Industries*, American Enterprise Institute for Public Policy Research, Washington, D.C., 1988.
- Carlsson, Bo, "The Development and Use of Machine Tools in Historical Perspective," *Journal of Economic Behavior and Organizations*, 5, 1984.
- Carlsson, Bo, "Small-Scale Industry at a Crossroads: U.S. Machine Tools in Global Perspective," *Small Business Economics*, 1, 1989.
- Dertouzos, Michael L., Richard K. Lester and Robert M. Solow (eds.), *Made in America: Regaining the Productive Edge*, The MIT Press, 1989.
- DiFilippo, Anthony, *Military Spending and Industrial Decline: A Study of the American Machine Tool Industry*, Greenwood Press, 1986.
- Finegold, David, et al., *The Decline of the U.S. Machine-Tool Industry and Prospects for Its Sustainable Recovery, Volume 1*, RAND, 1994.
- Finegold, David (ed.), *The Decline of the U.S. Machine-Tool Industry and Prospects for Its Sustainable Recovery, Volume 2*, RAND, 1994.
- Holland, Max, *From Industry to Alchemy: Burgmaster, A Machine Tool Company*, Beard Books, 2002.
- Hounshell, David A., "The Evolution of Industrial Research in the United States," in Rosenbloom, Richard S. and William J. Spencer (eds.), *Engines of Innovation*, Harvard Business School Press, 1996.
- Mazzoleni, Roberto, "Learning and path-dependence in the diffusion of innovations: comparative evidence on numerically controlled machine tools," *Research Policy*, Vol.26, 1997.
- Mazzoleni, Roberto, "Innovation in the Machine Tool Industry: A Historical Perspective on the Dynamics of Comparative Advantage," in Mowery, David C. and Richard R. Nelson (eds.), *Sources of Industrial Leadership: Studies of Seven Industries*, Cambridge U.P., 1999.
- Melman, Seymour, "How the Yankees lost Their Know-How," *Technology Review*, October, 1983.
- MIT Commission on Industrial Productivity, *The US Machine Tool Industry and its Foreign Competitors*, The MIT Press, 1989.
- National Academy of Engineering, *The Competitive Status of the U.S. Machine Tool Industry: A Study of the Influences of Technology in Determining International Industrial Competitive Advantage*, National Academy Press, Washington D.C., 1983.
- National Research Council, Committee on the Machine Tool Industry, *The U.S. Machine Tool Industry and the Defense Industrial Base*, National Academy Press, Washington D.C., 1983.
- Noble, David E., *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation*, Oxford U.P., 1984.
- O'Sullivan, Mary A., *Contests for Corporate Control: Corporate Governance and Economic Performance in the United States and Germany*, Oxford U.P., 2000.
- Penrose, Edith, *The Theory of the Growth of the Firm (3rd edition)*, Oxford U.P., 1995.
- Reintjes, J. Francis, *Numerical Control: Making a New Technology*, Oxford U.P., 1991.
- Sciberras, E. and B. D. Payne, *Machine Tool Industry: Technical Change and International Competitiveness*, Longman Group Limited, 1985.
- Wagoner, Harless D., *The U.S. Machine Tool Industry from 1900 to 1950*, The MIT Press, 1968.
- 『月刊・生産財マーケティング』1987年3月号。
- 日高千景・金容度「工作機械に関する日米貿易摩擦」(平成16年度経済産業政策研究報告書), 2005年3月。
- 稲葉清右衛門「数値制御」『精密機械』34巻2号, 1968年2月。
- 稲葉清右衛門『ロボット時代を拓く——「黄色い城」からの挑戦』PHP研究所, 1982年。

- 稲葉清右衛門『黄色いロボット』日刊工業新聞社，1991年。
- 河邑肇「NC 工作機械の発達における日本的特質」大阪市立大学『経営研究』第46巻第3号，1995年11月。
- 河村哲二『現代アメリカ経済』有斐閣，2003年。
- 機械振興協会経済研究所『技術水準格差の研究』1968年6月。
- 機械振興協会経済研究所『米国の工作機械工業』1970年6月。
- 機械振興協会経済研究所『工作機械工業戦後発展史（Ⅰ）』1984年5月。
- 機械振興協会経済研究所『工作機械工業戦後発展史（Ⅱ）』1985年2月。
- 機械振興協会経済研究所『市場メカニズムと工作機械企業の国際化戦略』1986年6月。
- 工業技術院機械試験所訳編『工作機械の数値制御——米国航空機工業会報告——』機械工業振興協会，1958年3月。
- 日本開発銀行「米国工作機械企業の欧州進出」『調査月報』1968年10月。
- 日本工作機械工業会『“母なる機械” 30年の歩み』1982年。
- 日本工作機械工業会『成長，変革——。10年の記録』1992年。
- 沢井実『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，2013年。
- SME 日本支部「SME LIBRARY 4 日本の工作機械を築いた人々 長岡振吉氏」。