


MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 303

生産技術の複雑化
—複合加工機の開発—

東京大学ものづくり経営研究センター
鈴木 信貴

2010年5月

 MONOZUKURI 東京大学ものづくり経営研究センター
Manufacturing Management Research Center (MMRC)

ディスカッション・ペーパー・シリーズは未定稿を議論を目的として公開しているものである。
引用・複写の際には著者の了解を得られたい。

<http://merc.e.u-tokyo.ac.jp/mmrc/dp/index.html>

The complication in manufacturing technology: The case of multi-tasking machine

Nobutaka Suzuki

Manufacturing Management Research Center, The University of Tokyo

Abstract

The increasing complication of end products pushes the manufacturing industries to challenge this problem. Multi-tasking machine is a tool-machine, which fuse together the technologies of lathe and machining center. Many factories install this machine to cope with product complexity.

Technology fusion can be effective in the stage of basic research, that is, before commercial stage. Sometimes, however, it is impossible to make fusion in basic stage.

This article analyzes the development of multi-tasking machine in Yamazaki Mazak, a Japanese tool-machine manufacturer. The finding from this case is that technology fusion is possible in commercial stage by specializing in an industry that has strict conditional limitation and requires deep technical knowledge for a long period of time.

Keywords

technology fusion , manufacturing technology, multi-tasking machine, Yamazaki Mazak

生産技術の複雑化

—複合加工機の開発—

鈴木信貴

東京大学ものづくり経営研究センター

要約：

最終製品の複雑化が進行しているため、製品の部品を生産する工作機械においても複雑化に対応するための機械、複合加工機に関心が集まっている。複合加工機は、旋盤とマシニングセンタの技術を融合した機械である。

技術融合は、基礎研究段階での融合が有効であると論じられてきた。しかし、この段階での技術融合が不可能な場合もある。本論文では、日本のヤマザキマザック社における複合加工機の開発事例から、基礎研究段階で技術融合が不可能な場合、実用段階で、制約条件が厳しく技術の知識を有する産業に長期間、特化することで技術融合が可能になることを分析した。

キーワード： 技術融合、生産技術、複合加工機、ヤマザキマザック

生産技術の複雑化 —複合加工機の開発—

東京大学ものづくり経営研究センター
鈴木 信 貴

1. はじめに

現在、消費者の製品ニーズは多様になる一方で、製品のライフサイクルはより一層、短縮化しつつある。最終製品の複雑化が進行しているため、製品の部品を製造する工作機械においても複雑化に対応する機械の開発が鍵となる。このような状況に答える機械として複合加工機に関心が集まっている。

旋盤とマシニングセンタの技術を融合させた実用的な複合加工機¹は、1983年に日本のヤマザキマザック株式会社（以下、マザックと略す²）にて誕生した。

複合加工機は、旋削機としての旋盤と主軸回転型工作機械（フライス盤、ボール盤、中ぐり盤など）との両機能を備えた、きわめて高性能の工作機械である。多種類の加工を1台で行うとして登場したマシニングセンタは、フライス盤、中ぐり盤等を統合した、いわば複合ミリングマシンといってよいが、複合加工機は、これに旋削機能まで付加している。マザックは、この複合加工機の開発、普及において先導役を務めてきた（長尾, 2002, p. 334）。

複合加工機は実験機のレベルであれば、マシニングセンタを開発したアメリカのカーネイ&トレッカー社が1970年のIMTS（米国国際工作機械展）シカゴショーに世界最初の複合加工機「TURN-12」を出品した。同機は、1億円の工作機械として注目されたが、3台製造されただけで商品化はされなかった。国内では池貝鉄工（現：池貝）、大隈鉄工所（現：オークマ）が見本市出品まではしたが、機械の干渉や価格の問題で、「TURN-12」と同様にその後の商品化にはつながらなかった³。

日本の工作機械産業は、そもそも、工作機械のモジュール化によって、世界1位の座に登りつめたと分析されてきた（中馬, 2002）。そして、その結果、多くの工作機械メーカーは、7割以上の部品を外部から調達し、組み立てを行うアセンブリメーカーになることで低収益に陥り、ファナックを始めとした部品メーカーが高い収益を得る構造になっていった。

それに対し、複合加工機は、マザックの会長である山崎照幸氏が「複合加工機の開発は機能の足し算だけでなく、掛け算による相乗効果の追及にこそ価値の創造がある」「単なる機能の合算だけでなく、制御面を含めたシステム展開が結果的に何倍もの効果をもたらしたと言える」と述べているとおり、工作機械の中で、最もインテグラル化が最も進んだ機械の1種である。同社の複合加工機は、従来、3台の工作機械で行っていた加工を1台の

複合加工機で実現することを可能とし、生産リードタイムも1/6まで減少させた。同時に、従来では不可能とされていた複雑な加工や精度も可能としている(マザック会社資料)。

図1 マザック複合加工機(マルチタスキングマシン)



出所：マザック会社資料

マザックは、複合加工機だけでなく、工作機械全体で内製化を進め、2010年の段階において外注しているのは、油圧機器、ベアリング等ごくわずかの部品となっている⁴。マザックは、モジュール化された産業の中で、いかにして複合加工機の開発に成功したのだろうか。

日米の工作機械市場の構造は、日本は旋盤中心、アメリカはマシニングセンタ中心で開発が進んできた(河邑, 1995, 1997)。前述のカーネイトレッカー社の事例どおり、日米それぞれの単独開発では、複合加工機の開発は難しい。このようなことを考えれば、複合加工機の開発のために、日本とアメリカの工作機械メーカーが取る選択肢は、共同開発によって、自社の技術と欠けている技術とを融合させることである。

先行研究でも、技術融合を実現するためには、実用段階ではなく基礎研究段階における研究者同士の交流によると論じられている(kong-rae Lee, 2007)。基礎研究の部分にて、技術融合を行うという方法は、例えば、工学の研究者と脳科学の研究者によるロボットの共同開発、自動車メーカーと電機メーカーとによるハイブリットカーの共同開発など、様々な産業においても数多く見られる現象である。

しかし、1980年代、マザックとアメリカの工作機械メーカーは、共同開発ができない状況にあった。その代替として、マザックは、アメリカで最も制約条件が厳しい航空機、先湯産業を探索しそこに特化し、安定した利益を得ながら、技術融合を実現した。

同社は、単にアメリカの航空機、石油産業に特化したから成功したという訳ではなく、それ以前に20年以上に渡るアメリカ進出の蓄積、三菱電機とのNC装置の共同開発、開発部門と生産部門との協力体制といった要因があったからこそ、複合加工機の開発に成功した。

本論文では、最初に、工作機械産業や技術融合に関する先行研究をレビューする。次にマザックにおいてどのようにして複合加工機が誕生したのかを明らかにし、最後にそれを可能としたメカニズムを分析する。

調査方法として、マザックにて、複合加工機の研究・開発に取り組んだ同社の関係者の方々へ2007年5月から2010年2月の間、約20回に渡り、インタビュー調査及び資料分析を行った。本論文の同社の記述はこの調査が基となっている。

2. 工作機械産業、技術融合

2.1 工作機械産業⁵

本節では、マザックにおける複合加工機開発の経緯を理解するために、工作機械の技術発展及び日本工作機械産業の歴史を振り返る。

工作機械の基本的な加工原理として、工具（バイト）を固定して工作物を回転させるのか、工作物を固定して工具を回転させるのかという2種類の原理がある⁶。前者は旋盤の原理である。後者はドリル加工、中ぐり加工、フライス加工などの原理である⁷。前述のマシニングセンタ⁸は後者の系譜に属す。そして、この2つの技術系譜を融合させたのが本論文で取り扱う複合加工機である。

1958年にマシニングセンタが開発されるまでは、ドリル加工を行うボール盤、中ぐり加工を行う中ぐり加工機、フライス加工を行うフライス加工機というように、基本的に工作機械は1機械で1機能であった。1台でドリル加工、中ぐり加工、フライス加工などの様々な加工を可能とするマシニングセンタの開発には、これらの加工を制御、統合する装置、すなわち、NC⁹装置の開発を待たなければならなかった。

最初にNC装置の開発に成功したのは、アメリカのJ・T・パーソンズであった。パーソンズは、1952年に、3次元の切削を制御できる装置をシンシナティ社のフライス盤に取り付け、稼働させることに成功した（3軸制御NCフライス盤）。このNCフライス盤こそが世界最初のNC工作機械であり、画期的な発明として世界の注目を浴びた。

NC装置の発明後、従来のボール盤、フライス盤にNCを付けたNCタレット¹⁰ボール盤、NC倣いフライス盤の開発が続き、工作機械の性能は向上していった。当時のNC装置の開発に当たっては、GE社が中心的な存在であった。

これらの機械は、いずれも切削工具を回転させて加工するという共通点があった。そのため、様々な加工を一台の機械に集約し、工具の自動交換装置（ATC）¹¹を開発することにより、生産能力を向上させるとの思想からマシニングセンタの開発が開始された。

NC装置の発明から6年後の1958年、アメリカのカーネイ&トレッカー社がマシニング

センタ「ミルウォーキー・マチック」の開発に成功し、加工工程の分野に一大革新をもたらした。同機を改良した「ミルウォーキー・マチックⅡ」は爆発的な売れ行きを見せた。

NC装置は、完成の翌年の1953年に論文として日本へも伝えられた。その論文を基に、日本の大学機関等でNC工作機械の研究が開始された。そうした中、当時、富士通にてコントロール部門を任された稲葉清右衛門（ファナック創業者）は、1956年の自動制御研究会¹²において、MITにて開発されたNC装置の技術報告を聞いた。

NC装置は、頭脳に当たる情報処理回路（コントローラー）と、その指示によって工具や台座の位置、速度を制御する駆動装置（サーボモーター）からなる。機械技術者であった稲葉はサーボ機構¹³に強い興味を持ち、コントロール部門のテーマをNCと定め、MITの論文を基に研究を進めた。稲葉はMITの論文を基に、1957年にNCタレットパンチプレスを開発、これが日本初のNC工作機械となった。以後、稲葉は、NC装置の開発において先導役を務めていった。

NC化の進展とともに日本の工作機械産業は、競争力を持つようになっていった。戦後、壊滅状態に陥った日本の工作機械産業は、1982年に工作機械の生産量でアメリカを抜き、以後、2009年まで生産量世界1位の座を維持し続けた。技術面においても、日本の工作機械は高い評価を得ており、その発展は、自動車、電子機器など日本の製造業の躍進を支える原動力ともなった。

しかし、前述のとおり、工作機械、NC装置は欧米で発展してきたものであり、日本と欧米との生産量、技術力の差は大きかった。工作機械の後進国であった日本が、なぜ欧米に技術力で追いつき、生産量で追い抜くことができたのか。

日本の工作機械産業の発展に関する先行研究を整理すると、主な要因を、通産省の政策、産業構造、市場構造の3種類に分類することができる。

戦後、産業を復興させるために、通産省は様々な政策を行った。中でも、工作機械産業にとって大きな意味を持ったのは、1956年の機械工業振興臨時措置法であった。同法は、日本の機械工業の振興を目的とし、工作機械、鍛圧機械、溶接・断機、圧縮機、さらには機械部品、型・工具なども含む機械関連産業一般を対象とした。その上で、企業における生産技術の向上、製品の性能・品質の改善などの研究、事業に対し、各種の助成や政府系金融機関による低利融資を行った。また、過当競争による個々の企業体力の減衰を防止するために「共同行為」を認めた。この法律は5年間の時限立法であったが、第2次、第3次と2度に渡って更新され、工作機械産業の発展に重要な役割を果たした（長尾, 2004, p. 72）。産業政策と工作機械産業との関連について、Collisは、日本、アメリカ、ドイツの比較研究を基に、「日本は産業政策を、市場の不完全性を修正し、計画的で意義のある長期戦略を遂行している企業をサポートするために用い、その政策は成功した」と分析している。（Collis, 1982, p. 111）。

次に産業構造の違いを見てみよう。欧米の工作機械メーカーと日本の工作機械メーカーとの大きな違いは、NC装置を内製化しているか否かであった。

NC装置を内製化していた欧米に対し、日本はNC装置を内製化せずその開発をNC装置メーカーへ託した。その結果、NC工作機械の製造は、工作機械メーカーとNC装置メーカーとに分離し進められることになったけれども、それが逆に工作機械のモジュール化を生み、工作機械、NCとも急速に進歩したと分析されている（中馬, 2002）。

NC装置以外の部品の共通化、アウトソーシングも徹底されていた。Finegold et al. (1994) は、このような状況を評して、日本の工作機械メーカーは、工作機械のモジュール化という手法を導入して、従来クラフト的であった工作機械産業をコストと品質が重要な要素である量産型産業に転換させたと述べている。

モジュール戦略の長所は、①モジュール間の相互依存をできるだけ少なくすることで、対処可能な複雑性の範囲が広がる、②最終製品を構成する個々のモジュールの開発設計、生産を同時に進めることができる、③モジュール間の独立性を最適に保てるようなインターフェースが設定され、直面する不確実性への適応がより容易になる、の3点が挙げられる(Baldwin and Clark, 2000)。

1970年代から80年代の日本の工作機械産業は、この3つの利点を徹底的に享受する形で当時、NC装置を内製化していたアメリカ、ドイツの工作機械メーカーに対抗する形で、世界市場を席卷していったと分析されている（中馬, 2002, pp. 231-241）

しかし、工作機械のモジュール化が進展すると、多くの日本の工作機械メーカーは、7割以上の部品を外部から調達し、組み立てを行うアセンブリメーカーになっていった(Carlsson, 1989, p. 254)。そのため、工作機械メーカーは低収益に陥り、ファナックを始めとした部品メーカーが高い収益を得る構造になっていった（吉本・齋藤, 2003）。

最後に市場構造の違いについてである。工作機械の市場構造の違いに注目した河邑(1995, 1997)は、最初に工作機械の歴史的発展を分析軸に日本の工作機械産業を分析した。

本節の最初に述べたとおり、工作機械の加工原理には、旋盤とフライス盤とに代表される2つの原理がある。旋盤は同一の機械で多様な部品の加工を行い、フライス盤は複雑な形状の加工を自動制御によって行う。前者に対応した日本のメーカーは旋盤を中心とする中小型機種の開発、生産を追及してきたのに対し、後者を自らの発生根拠とするアメリカのメーカーは、フライス盤（マシニングセンタ）を中心とした大型機種の開発、生産を中心としてきた（河邑, 1995）。

工作機械の発展において、日本とアメリカとでこのような違いをもたらしたのは、市場構造の違いのためであった。同じ自動車産業においても、その機械加工工程の多くが、日本においては中小企業の小規模工場にて行われるのに対し、アメリカにおいては自動車メーカー自体が所有する大規模工場にて行われてきた。日本は少ない機械台数、多品種少量生産を必要とし、アメリカは大量生産、高速化を求めた。このような市場構造の違いから、日本では旋盤の開発、生産が中心となり、アメリカではフライス盤の開発、生産が中心となった（河邑, 1997）。

以上の先行研究から、日本の工作機械産業は、旋盤が中心であり、NC化を契機にモジ

ジュール化が進展し、生産量において世界1位になった。しかし、その結果、多くの日本の工作機械メーカーは、7割以上の部品を外部から調達し、組み立てを行うアセンブリメーカーになり、工作機械メーカーは低収益に陥り、ファナックを始めとした部品メーカーが高い収益を得る構造になっていった、とまとめられよう。

2.2 技術融合

次に技術融合に関する先行研究をレビューする。先行研究を見ると、Kodama(1986, 1991, 1994)は、イノベーションの基本的な種類は、技術躍進 (Technological breakthrough) と技術融合 (Technology fusion) の2種類であるとし、NC工作機械などを事例に、技術融合が日本の産業発展において果たした役割について調査を行った。調査の結果、Kodama は、日本の産業は、技術躍進よりも技術融合によって成長してきたことを明らかにした。

Kong-rae Lee(2007)は、技術融合の概念を整理し、技術の組合せ (technology combination) と技術融合とに分類した。技術の組合せは、単に技術を組み合わせそもそもの技術と変化は無いが、技術融合は様々な技術を水平的に統合し新たな技術を創造することであると定義し、その上で、技術融合のプロセスについて分析を行った。

技術融合は、ある技術に通じた研究者同士が交流することによって達成されると仮説を立て、ロボットにおける技術融合を事例に検証を行った。検証の結果、ロボットにおいては、研究者同志の交流により、コントローラー、マニピュレーター、センサーといった工学の分野だけでなく、脳科学など人間科学も含んだ幅広い技術が融合されており、それらは実用段階ではなく基礎研究の段階分で擦り合わされ、融合されていることを明らかにした。

実用段階ではなく、基礎研究の段階で技術融合を行うという考え方は、ロボットだけでなく、例えば、自動車メーカーと電機メーカーとによるハイブリットカーの共同開発など、他の産業の共同研究、開発においても数多く見られる現象である。また、このような分析は、大規模な研究開発組織は、幅広い知識をベースとした技術融合を追求する能力を持っていると指摘した Teece(1976)の研究とも整合的である。

この理論に沿って、複合加工機の開発を考えると、旋盤を得意とする日本の工作機械メーカーとマシニングセンタを得意とするアメリカの工作機械メーカーとが基礎研究部分で協力して開発を行うことが理想的であると考えられる。

しかし、複合加工機は、次章で詳しく述べるが、多額の研究費をかけても市場があるかどうかは確実ではなく、国内外で共同研究を行うパートナーは存在しなかった。そもそも同社が複合加工機の開発を始めた1980年代は、アメリカの工作機械産業が衰退する時期でもあり、マシニングセンタを得意とするアメリカ企業と共同研究を行うことはできなかった。

「アメリカの工作機械メーカーは、1970年代前半に最盛期を迎えて、その後急速に衰退していきました。1980年に入るとカーネイ&トレッカー社、ワーナー&スエージー社、ギデング&ルイス社などの一流の工作機械メーカーに対し、M&Aが繰り返し行われていったため、これらの企業は衰退していきます。同時期にGEなどのNC装置メーカーも生産を止めてしまいました。弊社も1970年代の前半はアメリカ企業との提携¹⁴を行いましたが、我々が複合加工機の開発をする時期には、アメリカで技術提携を行う相手は存在しませんでした（マザック 桃井氏）。」¹⁵

1980年代のマザックは、マシニングセンタも生産していたが、他の日本メーカーと同様に、旋盤を中心とした会社であった。前述したとおり、日本の工作機械産業は、モジュール化が進化した産業でもあった。このような状況下で、同社はどのようなメカニズムでモジュール化した産業の中で複合加工機の開発、すなわち、工作機械のインテグラル化に成功したのだろうか。

製品がインテグラル化する要因としては、顧客側の要求や環境問題等の制約条件が厳しくなるためという要因もある。Christensen et al (2002) は、顧客の求める機能と性能にギャップがあり、その問題がインテグラル化にしか答えられないときにインテグラル化すると述べ、藤本・大隈・渡邊 (2008) は、制約条件が厳しく、しかも多方面に及ぶ時、人工物は複雑化すると述べている。

このような先行研究から考えると、技術融合は、企業間の基礎研究の段階だけでなく、顧客との実用段階の部分においても行われる可能性があることを示している。しかし、その場合は、どのようなメカニズムで行われるだろうか。これらの先行研究を踏まえ、次節では、まず、複合加工機の実際の開発経緯について論述する。

3. 複合加工機の開発経緯¹⁶

3. 1 複合加工機の開発

表 1 マザック複合加工機開発 関連年表

1965年	桃井昭二氏がマザックへ入社
1977年	桃井氏を中心に複合加工機の研究、開発スタート
1979年	スラントターン30ミルセンタを開発、発表
1981年	スラントターン40Nミルセンタを開発、発表 三菱電機と共同で対話型NC装置「マザトロールT-1」の開発に成功
1983年	美濃加茂製作所設立 スラントターン40NATCを開発、発表 スラントターン40NATCを改良したスラントターン40ATCを開発、発表
1984年	スラントターン25ATCミルセンタを開発、発表

1988年	インテグレックス40ATCミルセンタを開発、発表
1994年	インテグレックス50、70を開発、発表
1997年	インテグレックス200SYを開発、発表
2001年	インテグレックスeシリーズを開発、発表

出所：マザック会社資料、インタビュー調査を基に筆者作成

マザックにおける複合加工機の開発に当たっては、同社の桃井昭二氏（前 技術生産本部・生産技術部 シニアアドバイザー）が中心的な役割を担った。桃井氏は1965年にマザックへ入社した。専用機の設計開発から仕事を始め、入社3年目からNC旋盤の開発に取り組んだ。当時の日本は、NC旋盤が一般に普及し始めた時代であった。

NC旋盤の開発に関りながら、桃井氏は、工作機械のスピンドル（主軸）の加工を効率良く行う方法を模索していた。当時、工作機械の生産において、どの工作機械メーカーもスピンドルの加工に多くの工程と工数（加工時間）を費やしていた。単体でスピンドルを加工できる機械は存在しなかったため、スピンドルを加工するためには、最初に旋盤で加工し、次にマシニングセンタに移して加工し、再度、旋盤に戻し、その後、マシニングセンタに移すという作業を何度も繰り返さなければならなかった。スピンドルの加工には、熟練労働者による芯出し作業、段取り変え作業といった技術も必要とした。マザックにおいてもスピンドル加工の工程、工数の短縮が課題となっていた。

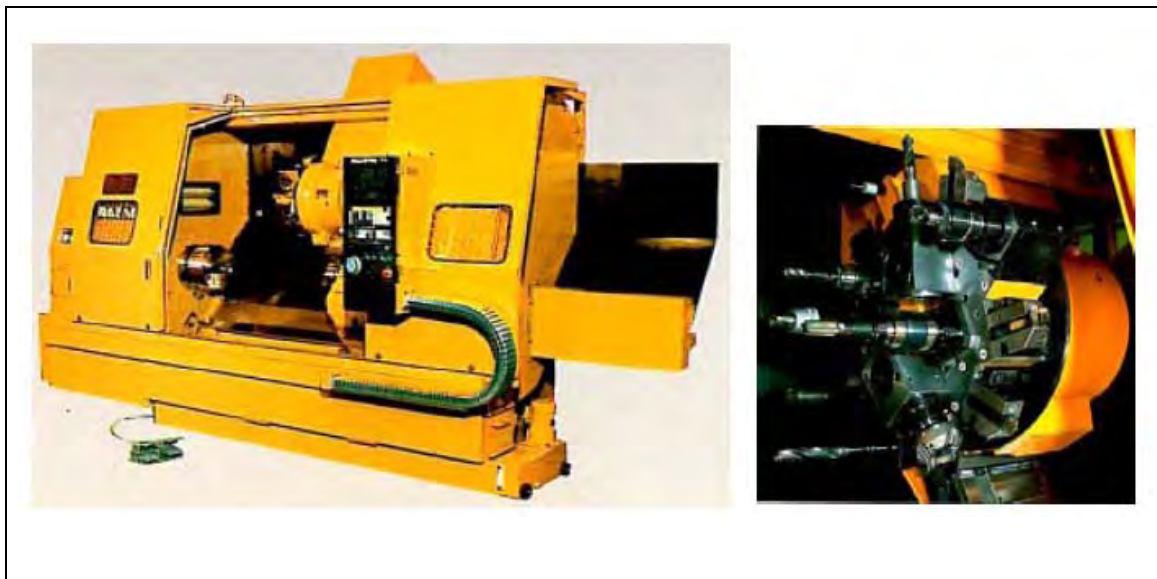
スピンドル加工を短縮するために、旋盤にマシニングセンタの機能を付けられないかと桃井氏は考えた。マザックには、生産技術の要となる主要な設備機械を自ら内製するという伝統があり、高い開発能力を持った技術者も育っていた。

しかし、理想とする複合加工機の開発は容易ではなかった。技術的な問題もさることながら、1970年代はNC旋盤の開発競争が激しかったため、複合加工機の開発は、当初、少人数で行わなければならなかった。

桃井氏が中心となった複合加工機の開発は、1977年に本格的に始まった。開発は、タレット旋盤¹⁷にミル加工（フライス加工）を行うためのミル加工工具を組み合わせたタレットミル方式にて進めた。1978年に、ミル駆動の動力モータに油圧モータを利用したスラント（傾斜）型工作機械「スラントターン30ミルセンタ¹⁸」を開発し、1979年の第3回EMOミラノショー、1980年の第10回JIMTOF¹⁹に出品し、ユーザーからの手応えを得た。

1981年には、スラントターン30ミルセンタを改良した「スラントターン40Nミルセンタ」を開発した。ミル駆動により出力の大きい直流モータを採用し、ホルダー内に工具を組み込んで4インチ正面フライス加工を可能とした。同機は、旋盤に面削り加工能力も備えた機械であった。しかし、完成度は低く、時に旋削とミルとで干渉を起こしてしまうこともあった。また、工具数も10本に制限されていた。

図2 「スラントターン40Nミルセンタ」(タレットミル方式)



出所：マザック会社資料

複合加工機は、旋削加工（旋盤）工具とミル加工工具の両方の工具を必要とする。マザックの当初目的であった工作機械スピンドルの全加工を行なうためには少なくとも24本以上の工具を必要とした。しかし、タレットミル方式では工具が干渉してしまうため、取付工具数が10本に制限された。ミル工具はホルダーの中に組み入れるため、大きさも制限されていた。しかし、フライス加工、エンドミル加工といった本格的なマシニングセンタの加工を行なうためには、大径テーパ工具²⁰で重切削を行なう必要があった。

そのため、桃井氏はタレットミル方式からATC方式への路線変更を検討した。ATC方式の最大の問題は、当時、複合加工機用のツール（ATC、工具）が存在しなかったことであった。

「一番の問題はATCができる複合加工機用ツールが無かったことです。マシニングセンタ用ツールは世界的に規格化され市販されていたので、ユーザーはツールメーカーから容易に入手可能でした。しかし、旋削用ATC用ツールは規格そのものが無かった。現在でも規格はありません。そのため、工作機械メーカーが独自のツールを開発し、それを製作、供給する体制を作ることが必須条件でした(マザック 桃井氏)。」²¹

更にATCの技術的な問題として、①部品点数、機能が増えることによる故障の増加、②旋削工具をATCとすることで、旋削加工精度の維持の問題、③タレットミルに比べて工具割り出し（交換）時間が長い、という問題があった。ATCを自社生産し、これらの問題を解決するには、大幅なコスト増を意味した。

コストをかけてATCの技術問題を解決したとしても、市場に高価な複合加工機の需要

があるか判断することは難しかった。そのため、旋削用A T Cを開発することに他の工作機械メーカーは二の足を踏んでいた。

しかし、マザックでは、前述のとおり、スピンドルを始めとする複合加工機の効果が分かる部品加工が自社内にあった。また、海外市場に複合加工機の需要があることを把握していた。

「マザックでは、スピンドルの加工を始めとする複合の効果が分かりやすい部品加工が社内にあります。また、早くから海外進出していたおかげで、アメリカ市場では自動化、無人化の要望があり、ヨーロッパ市場では高価で複雑な機械でも生産性が高ければ買うというメンタリティを把握していました（マザック 桃井氏）。」²²

欧米に複合加工機の市場があることを把握していたマザックは、自社内でA T Cの開発、生産を行うことを決定し、美濃加茂製作所の設立時(1983年)に同所内に独立採算性で、ボールネジ、電装盤、外装板金などとともにツール及び機械部品を製作する部門を新設した。

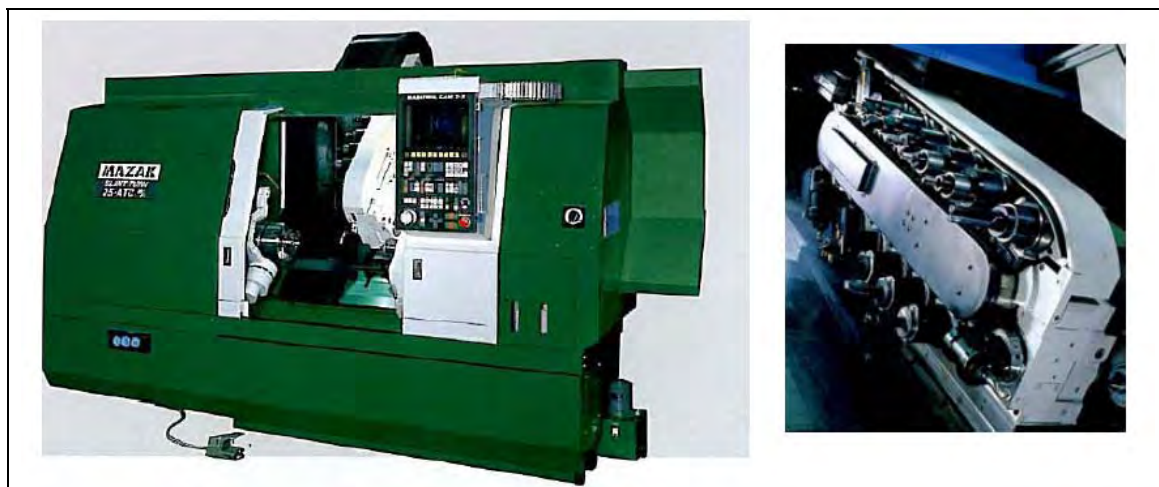
当時、マザックにおける開発設計部門と生産部門との関係はどのようなものだったのだろうか。

「一例ですが、我社のボールネジ²³は自社で生産しています。このボールネジを加工するための工作機械、つまり、雄ネジ研削盤、雌ネジ研削盤、ネジリード自動測長機などは全て自社製です。

我社では、主要な設備機械は、開発部門と生産部門との共同作業で開発してきました。組織としては、第一副社長（山崎義彦前第一副会長）が開発部門と生産部門の両部門を統括する体制だったため、開発と生産の一体感が非常に強かった。そのため、生産のネックに対して開発部門が積極的に設備機の開発も行いました。また、新機種開発にあたっては、生産部門がその試作及び量産体制作りをすばやく行ってくれました。つまり、多くの新機種開発が行われ、かつコストを抑えた量産化が実現しました（マザック 桃井氏）。」²⁴

このようにして、生産された自社製のA T Cを、桃井氏は、前年に開発したスラントターン40Nミルセンタに装備する方向で開発を進めた。そして、開発に成功した「スラントターン40N A T Cミルセンタ」を1983年の第5回EMOパリショーに出品した。同機は、A T C装置による大径テーパ工具を30本収納できるマガジンを装備したもので、複合加工機として世界で初めて商品化された機械であった。事前の予想通り、欧米ユーザー、特にアメリカの航空機産業、石油産業から取引の依頼があり、マザックもこの分野に特化して開発を進めた。

図3 「スラントターン25ATCミルセンタ」(ATC方式)



出所：マザック会社資料

更に、桃井氏は、当時、マシニングセンタで盛んに行なわれていたFMS²⁵を、スラントターン40NATCミルセンタを改良し実現することを計画した

FMSで、多品種少量生産を効率良く行うために、工作物が変わった際に、それを保持するチャック²⁶の爪のスムーズな交換が必要となる。マザックは、これを自動化したAJC(自動爪交換装置)²⁷をチャックメカと共同開発した。同時に工作物着脱のための専用ロボットも開発し、工作物にあったハンドを多数用意した。

マザックは、このように開発された「スラントターン40ATCミルセンタ」を1985年の第6回EMOハノーバーショーへ出品した。FMSにも対応した同機は市場の好評を得て、欧米ユーザーを中心に多くの受注が入った。

このように欧米ユーザーから支持を受けた複合加工機であったが、価格においてNC旋盤の2.5倍以上するため、複合加工機の顧客は特定ユーザーに限られていた。そのため、マザックは、タレットミル方式を改良した機種を開発することにより価格を抑えることを計画した。

従来のタレットミル方式では工具は10本に限定されていた。そのため、スラントミルと工具収納方式としてチェーンタイプを組み合わせることにより、工具本数を16本まで増加し、価格もNC旋盤の1.5倍程度に抑えることに成功した。また、対話型NC装置マザトロールT-3を装備し、現場作業者が加工プログラムを作成するジョブショップ・プログラミングが可能となった。このようにして開発された「スラントターン25ATCミルセンタ」は、1984年のIMTSシカゴショーに出品された。同機は、欧米だけでなく日本のユーザーにも多数納入され、活用された。

スラントターン25ATCミルセンタは、世界各国のユーザーに納入され、複合加工機の良さが認められる機械となった。しかし、一方で、ユーザーから次のような要望も出された。①工具数の増化、②ミル加工能力の向上(マシニングセンタ相当の能力)、③Y軸(工

具の上下軸)の追加。④B軸(工具旋回軸)の追加。マザックはこれらの要望を次世代機の開発の課題とした。

1988年に、マザックは「インテグレックス40ATCミルセンタ」の開発に成功し、IMTSシカゴショーへ出品した。スラントターンの機種は、X軸(直径方向)、Z軸(軸方向)、C軸(主軸回転)の3軸構成であり、旋盤を主体とした加工を中心とした。インテグレックス40ATCミルセンタは、ユーザーの要望としてあったY軸を追加し4軸構成とした。Y軸を追加することで工作物の側面の加工が可能となり、マシニングセンタの加工領域へと加工対象が大きく拡大した。

ミル加工能力の向上と工具数の増加については、1994年に開発、発表した「インテグレックス50、70」で達成された。同機は、ATCの工具数を標準30本とし、60本、80本への増加も可能とした。また、ミル加工工具は大径テーパ工具を装備し、機能及び切削能力でマシニングセンタの加工が可能となった。実際の加工においても、旋削よりミル加工の加工時間が多い物が対象物となった。同機は、ターニングセンタの定義を超えた本格的な複合加工機となった。

B軸の追加については、1997年の「インテグレックス200SY」の開発にて実現した。同機は、B軸を追加することにより、5軸制御の複合加工機となった。5軸制御となったことで、立体複雑形状の加工、例えば航空機のタービンプレードの加工も効率良く加工することが可能となった。さらに、メイン主軸に加え、第2主軸を新たに追加した。これにより、メイン主軸から第2主軸に移すといった連続加工も可能となり、また、長尺工作物の全加工工程も可能となった。

複合加工機を使用するユーザーの中で、5軸制御のミル加工(フライス加工)を行うユーザーが多いことから、マザックは、インテグレックスにマシニングセンタの機能を完全融合させることを目標とした。これまで、同社のNC装置には、旋盤用に開発されたNC装置を転用していた。5軸制御のマシニングセンタに対応するために、新たなNC装置を開発し、マシニングセンタのプログラムで複合加工機の制御を行うことを可能とした。このようにして開発された「インテグレックスeシリーズ」は2001年に市場に投入された。

1977年、マザックは、工作機械のスピンドル加工を効率良く行うために、旋盤にマシニングセンタの機能が付けられないかと考え複合加工機の開発に着手した。開発は、旋盤にミル加工の機能を追加したスラントターン30ミルセンタから始まり、以後、着実に旋盤とマシニングセンタの技術を融合させ製品化してきた。ATC付の複合加工機は、2006年には出荷台数1万台を突破し、全世界の様々な産業で使用されている。

3.2 NC装置「マザトロール」の開発

複合加工機を制御するNC装置について、マザックはどのように対応していたのだろうか。当時、NC装置のコードは、旋盤系とマシニング系で異なっていた。また、NC装置メーカーであるファナックがプログラムの開発もほぼ独占し、安易に開発ができるような

状態ではなかった。複合加工機の開発に当たっては、NC装置の中身を理解し、旋盤系とマシニング系のコードを統一させることが必要であった。

NC装置については、1981年に、マザックが対話型NC装置マザトロールの開発をしてきたことが複合加工機の開発においても大きなメリットとなった。

マザトロールの開発以前は、マザックも主にファナックのNC装置を用いて工作機械を製造していた。同業メーカーと同じNC装置を搭載していたのでは、他社との差別化が図れないことから、1978年、山崎照幸氏から「独創的なNC装置を自力で開発せよ」との号令がかかり、長江昭充氏（現専務）をリーダーとするプロジェクトチームが編成された。

最終的に、長江らは、NC装置のハード部分は三菱電機に依頼し、一連のソフト開発を自前で開発することとし、1981年に世界初の「対話型NC装置」マザトロールT-1を完成させた。

このマザトロールを三菱電機と共同で開発していたため、複合加工機のNC装置を製造する際、旋盤系とマシニングセンタ系の2つのコードを統一することが可能となった。使用するツールアイテムの情報についてもマザトロールの中に盛り込みことができた。

更に、T-1発表時に、日本語の他、英語、ドイツ語、フランス語、イタリア語、スペイン語、スウェーデン語の7種類の言語ソフトも開発していたため、このことが海外市場の普及に大きく役立った。

コンピュータ、半導体の進歩もマザックの開発を後押しした。複合加工機は、制御のために、コンピュータによる高い処理能力を要求する。複合加工機の開発が進展した1980年代は、半導体が急速に進歩した時期でもあった。1980年代初頭は、NC装置に使用するCPUは8bitが主流だったため、複合加工機のデータ処理は困難だった。しかし、1985年頃には16bitとなり、データ処理が円滑になっていった。1980年代後半には32bitとなり、より複雑な加工も可能となった。NC装置のプログラムについても、1985年頃にPLMを、1990年初頭にはC言語を採用した。コンピュータ、半導体の技術進歩については、マザックから要求仕様を言えば三菱電機がそれにいち早く対応した。

4. 考察

前節では、複合加工機の開発経緯について論述した。本節では、製品の複雑化、複合加工機とNC装置開発の違い、最終製品の変化について更に詳細に見ていきたい。

4. 1 市場特性と製品の複雑化

大幅なコスト増になるATCを開発、生産の意思決定をする際に、マザックでは、スピンドルの加工を始めとする複合の効果が分かりやすい部品加工が社内であり、また、アメリカ市場では自動化、無人化の要望があり、ヨーロッパ市場では高価で複雑な機械でも生産性が高ければ買うということを開発者が理解しており、ATC開発、生産に踏み込んだと書いた。アメリカ、ヨーロッパの市場についての理解は偶然ではなく、それ以前に20年以上に渡るマザックのアメリカ進出の蓄積があったからこそ可能になった。

マザックは、1963年、日本の工作機械メーカーとして最初にアメリカへ工作機械を輸出し、その後、ヨーロッパ、アジアにおいて、直販販売、現地生産の両面で積極的な海外展開を行った。現在、同社の海外売上高比率は約85%となり、日本、アジア、アメリカ、ヨーロッパの4極体制を確立している。

マザックの海外進出へのきっかけは、1962年、米国専門商社A社からの「旋盤を買いたい」との問い合わせに始まった。当時、社長であった山崎照幸氏（現会長）は、この問い合わせに半信半疑であった。なぜならば、1960年代、日米における工作機械の技術格差は大きく、日本製の工作機械を米国市場へ輸出するなど、とうてい考えられなかった時代であったからである。しかし、春先にはA社の経営トップが来日、マザックの大口工場の生産現場を視察した後、200台の工作機械を発注した。

交渉当時、日本は不況（昭和40年不況）であり、他方、アメリカは好景気で工作機械が足りない状況であった。そのため、A社は、日本のマザックに注文を出したのである。事実、A社の経営トップは交渉時に「米国市場における中古機械の代替品として日本製品を買うのだ」と言い切った。

最初のアメリカへの輸出は、価格交渉の段階から中古機械並の値下げを要求され、その後、何度にも渉る機械の修正を求められたため、コスト面ではマイナスであった。しかし、マザックは、当時、工作機械の最先端であったアメリカの技術レベル、国毎に異なる顧客ニーズ等を認識、学習することができ、後にそれが同社の経営に大いに役立つことになった。

マザックの海外展開において、注目すべき点は、1968年にA社との輸出契約解除後、商社を介在させず、山崎照幸氏の判断で自らの力で海外市場を開拓する方針を取ったことである。また、マザックでは、アメリカ進出直後から、開発者が直接、ユーザー、代理店を訪問する制度を構築していた。このような制度は、当時の欧米、日本の工作機械メーカーにはなく、同社の大きな特徴であった。

「我社の開発者は、年に2、3回は海外のユーザー、代理店を訪問します。そこで、加工物、加工機、加工方法を見学し、ユーザー、代理店の要望、要求を開くと同時に、納入機の不具合、クレームも聞き処置します。こうした海外ユーザー訪問は、社長（山崎照幸現会長）自らも積極的に実行されてきました。こうした経験が基となって、新製品の開発と現製品の改良が行われてきました。国内ユーザーより海外ユーザーへ数多く訪問し、その国特有の代表的ユーザーから数多くの貴重な情報を得ることができました（マザック 桃井氏）。」²⁸

マザックの開発者は、このような制度があったために、アメリカ市場では自動化、無人化の要望があり、ヨーロッパ市場では高価で複雑な工作機械でも生産性が高ければ買うという市場特性を把握することができ、複合加工機の開発を進めることができた。

更に、マシニングセンタの主要ユーザーであり、最も精度と複雑性を求められるアメリカの航空機産業、石油産業との長期取引が大きな意味を持った。

「当時、アメリカの軍も含んだ航空機産業は、大量生産の思想から、高い性能を持った飛行機を効果的に素早く少量生産する思想へ転換し始めた時期でした。高性能の飛行機を製造するためには、加工において高い精度と複雑性が求められていました。他方、石油産業は、石油を掘る機械の開発、生産リードタイムの短縮を考えていました。いかに石油を早く掘り、権利を獲得するかがポイントでした。両産業では、価格が高くともそれを上回るメリットがあるため、複合加工機は積極的に導入されました（マザック 福村氏）。」²⁹

マザックも戦略として、航空機産業、石油産業を重点市場として位置付け、複合加工機の開発を進めた。同産業の企業と長期取引を行うことで、安定的なキャッシュ・フローを得ることができたため、複合加工機の開発も継続することが可能となった。

技術融合を実現するため、先行研究では、基礎研究分野による研究者同士の交流が有効であると論じたが、マザックは、最も要求が厳しく研究者レベルのユーザーと技術開発者が直接、交流するシステムを構築したといえる。

Fine(1998)は、製品がインテグラル化する際は、①技術変化、②最終製品メーカーと部品メーカーの力関係の変化、③統合・インテグラル化することによって利益が得られそうな時、といった要因にて製品はインテグラル化すると述べたが、マザックは、技術融合と安定した利益を得られる最適な市場を探索し、その市場に特化する形で開発を進めたといえる。アメリカの航空機、石油産業以外の産業と共同研究を行っていたとしたら、複合加工機の開発は難しかったのではないかと考える。

4. 2 複合加工機とNC装置の開発の違い

マザックの選択肢として、単独ではなく、マシニングセンタを得意とするアメリカの工作機械メーカー、もしくは日本の工作機械メーカーと基礎研究の部分から共同開発を行うという選択肢もあったのではないかと考える。アメリカの工作機械メーカーと共同研究ができなかった理由については、前述したが、なぜ、日本の工作機械メーカーと組まなかったのだろうか。その一方で、NC装置の開発においては、同社は三菱電機と共同で開発を行い、対話型NC装置の開発に成功した。複合加工機とNC装置におけるこのような相違は、どのような要因によるものなのだろうか。

複合加工機の開発に当たっては、前述のとおり、ATCの技術問題があり、それを解決したとしても、複合加工機の市場があるかどうか分からない状態であった。市場があるかどうか分からない状況では、リスクが高いため、積極的に共同研究を行う企業は少ない。逆説的ではあるが、企業間で共同研究せず、市場に複合加工機のコセプトを問い続け、開発者が直接、顧客の声を聞き、それを製品開発に生かすというマザックのシステムが、「実

用的な」複合加工機を開発、改良することに大きく寄与したといえよう。もし、このようなアプローチを取らなければ、同社の複合加工機もカーネイ&トレッカー社のように実験機レベルで終わってしまった可能性が高かったのではないかと考える。

逆にNC装置においては、当初から市場が明確であったため、開発の速度が要求された。そのため、単独で開発せず、電気メーカーである三菱電機と基礎研究の部分から技術交流を行った。

「マザトロールの開発に当たっては、工作機械の作業者向けにプログラムや段取りが簡単なNC装置が欲しいという明確な目標がありました。単独で開発するよりも、共同で開発するメリットを感じ、三菱電機と共同で開発を行いました（マザック 村木氏）。」³⁰

複合加工機では、20年の年月を掛けて旋盤とマシニングセンタの技術を融合させていったのに対し、NC装置マザトロールの開発は3年間で行った。

以上の事実をまとめると、市場（目標）が明確な場合は、先行研究どおり、技術を持った企業間、研究者同士が基礎研究の部分での交流することが可能となり、他社よりも早く技術、製品を開発するスピードが重要となる。

一方、市場（目標）が不明確になればなるほど程、企業間、研究者同士の調整が必要とされ、製品化は難しくなる。市場の不明確度が高過ぎる場合は、企業間、研究者同士の交流は起こらない。代替措置として、このような状況において技術融合を実現するためには、企業の研究者と市場の研究者レベルのユーザーとが交流することが有効であると考えられる。そして、適切なユーザーと交流するためには、各市場の特性を的確に把握する能力が必要とされる。このような場合、技術融合が実現するまでに、長期の時間を必要とする。

複合加工機の開発においても、市場（目標）が明確であれば、マザックは、マシニングセンターを得意とする工作機械メーカーと共同開発を行うこともでき、より短い期間で実用的な複合加工機が完成したと考える。

4. 3 最終製品の変化

アメリカの航空機産業、石油産業から生まれた複合加工機であるが、現在は、自動車産業も含め、幅広い産業で使用されている。現在の複合加工機・多軸加工機の普及の理由を、茨木創一京都大学大学院工学研究科准教授は、工作機械ユーザー側、メーカー側の両視点から以下のように分析している³¹。

まず、工作機械を使用するユーザー側の理由として、①部品の分解性・リサイクルを高めるため共通化によるコスト削減などの目的で部品点数の減少、それに伴う部品形状の複雑化が進み、それを加工できる加工機の需要が高まった（部品点数の減少と複雑形状化へのシフト）、②主軸速度や送り速度の高速化の技術進歩が一段落し、加工時間短縮のために、搬送段取り替えなど非切削時間の短縮が求められるようになり、工程集約の重要性が再認

識された（段取り時間の短縮による生産性の向上）といった要因がある。

次に、工作機械メーカー側の理由としては、日本国内の工作機械メーカーが特に、台湾・韓国などのメーカーに対し、国際競争力を維持し、十分な利益を確保するため、より付加価値の高い機械を製造する必要に迫られてきたこと（国際競争力の強化）といった要因がある。

最終製品がモジュール化すればするほど、それに対応するために工作機械は複雑化しているといえよう。また、現在、複合加工機の開発については、マザックだけでなく、森精機、オークマといった競合他社も力を入れている。この事実も、複合加工機がより広い分野で使われていることの証左となろう。

5. 結

工作機械産業の歴史において画期的な技術革新の一つである旋盤とマシニングセンタを融合させた複合加工機は、どのような経緯、要因にて日本の工作機械メーカーであるマザックにて誕生したのだろうか。すなわち、モジュール化が進展する日本の工作機械産業の中で、どのようにして技術融合、インテグラル化した工作機械の開発に成功したのだろうか。本研究では、同社へのインタビュー調査及び同社提供の資料を基に、その経緯、要因を分析してきた。

日米の工作機械市場の構造を考えれば、複合加工機の開発に成功するために、日本とアメリカの工作機械メーカーが取るべき選択肢は、それぞれ得意な分野と不得意の分野を融合させることである。

マザックの複合加工機開発の開発では、自社の生産設備の開発からスタートし、次にアメリカの工作機械メーカーとの共同研究ができなかったため、アメリカの航空機、石油産業という制約条件が厳しい市場を自ら探索し、そこで製品の複雑化を成し遂げてきた。

マザックは、単にアメリカの航空機、石油産業に特化したから成功したという訳ではなく、それ以前に20年以上に渡る海外進出の経験の蓄積、三菱電機とのNC装置の共同開発、ATCの開発に見られる開発部門と生産部門との協力体制といった要因があったからこそ、複合加工機の開発は成功したといえよう。

アメリカの航空機、石油産業で生まれた複合加工機は、その後、最終製品が複雑化していく産業に随時、導入され、現在では、自動車産業も含め、多くの産業で使用されている。

【謝辞】

本論文は、2007年5月から2010年2月にかけて行ったヤマザキマザック株式会社の福村直慧常任顧問、桃井昭二シニアバイザー（技術生産本部・生産技術部）、大橋肇主幹（品質CS本部 品質・サービス管理部）、村木俊之グループリーダー（技術生産本部 新技術開発部第3グループ）へのインタビュー調査及び同社提供の資料を基にしています。同社には、3年に渡り、インタビュー、資料提供の点で大変、お世話になりました。この場を借りて改めて、感謝致します。また、茨木創一京都大学大学院工学研究科准教授には、工作機械の研究動向を教えて頂くなど大変、お世話になっています。合わせて感謝致します。なお、本論文の会社の所属等はインタビュー当時のものとなっています。

-
- 1 複合加工機は、長尾（2002）の定義にあるとおり、一般的には、旋盤とマシニングセンタの両機能を持った工作機械のことを指す。
マザックを始めとした多くの工作機械メーカーもこの定義を用いている。
「旋盤とマシニングセンタの両方の機能を併せ持った工作機械として『マルチタスキングマシン（複合加工機）』があります。」（マザック会社資料）
本論文でも複合加工機という用語を用いる時は、この定義に従う。
ただし、広義の意味では「複合加工機とは、加工原理が本質的に異なるものを複数組み合わせ合わせて同じ機械上で使用できる」（ニュースダイジェスト社編, 2007a, p. 179）機械を複合加工機と呼び、この場合、例えば、切削加工と熱処理を同時に行う機械も複合加工機と呼ばれることもある。
なお、マシニングセンタなどの工作機械の解説は、第2節にて解説する。
 - 2 ヤマザキマザック株式会社は、複合加工機の開発途中の1985年に山崎鉄工所株式会社から現在の社名に変更した。本論文では便宜上、マザックにて統一した。
 - 3 オークマ（1998, p. 168-169）及びマザック社資料参照。
 - 4 『日刊工業新聞』2004年11月9日及びマザック会社資料。
 - 5 本節の技術的な記述は、主に、長尾（2002, 2004）、ニュースダイジェスト社編（2007b）を参照にした。
 - 6 その他の工作機械の加工原理として、「鋳造加工」、「プレス加工」に加え、電機や化学の力を利用する「放電加工」、「電解加工」、「レーザー加工」、特殊な音波のエネルギーを利用する「超音波加工」等が存在する。
なお、日本工業規格（以下、JISと略す）は、工作機械を「主として金属の加工物を切削、研削などによって、又は電気その他のエネルギーを利用して不要部を取り除き、所用の形状に作り上げる機械」と定義している。
 - 7 ドリル加工は、工具（ドリル）で工作物に穴を開ける方法である。中ぐり加工は、既に開けられている穴を更に目的に応じて繰り広げ、それと同時に精度の高い穴の表面加工を行う方法である。フライス加工は、多数の歯を持ったフライスと呼ばれる工具を回転させ、工作物に送りを与えて工作物の表面、溝、あるいは複雑な輪郭などを切削する方法である。
 - 8 マシニングセンタ：「主として回転工具を使用し、工具の自動交換機能（タレット形を含む。）を備え、工作物の取り付け替えなしに、多種類の加工を行う数値制御工作機械。機械の構造によって、主軸が水平の横形マシニングセンタ、垂直の立形マシニングセンタ、門形構造のコラムをもつ門形マシニングセンタなどがある」（JIS定義）。
 - 9 NC：Numerical Controlの略称。「数値制御工作機械において、工作物に対する工具の位置を、それに対応する数値制御で指令する制御方式」（JIS定義）。
なお1972年にオークマがコンピュータを内蔵したNC装置、いわゆるCNC（Computerized NC）装置の開発に成功し、以後、CNC装置が普及した。CNC装置が普及し始めた頃は、NC装置とCNC装置は明確に区別されていた。しかし、現在では、ほとんどの数値制御装置がCNC装置であるため、一般的には、両者を区別せず、合わせてNC装置と呼んでいる。本論文でも引用の部分を除き、NC装置で統一した。
 - 10 タレット：「2個以上の工具を放射状に取り付け、旋回割出しを行う刃物台」（JIS定義）。
 - 11 ATC：Automatic Tool Changerの略称。「工具を自動で交換する装置」（JIS定義）。
 - 12 自動制御研究会は現在の計測自動制御学会の前身である。なお、この時の研究会で、MITで開発されたNC工作機械の技術報告を行ったのは高橋安人カリフォルニア大学教授であった。
 - 13 サーボ機構：「物体の位置、方位、姿勢などを制御量として、目的の任意の変化に追従するように構成された制御系」（JIS定義）。

NCにより指示された命令通りに動くように構成された機構。俊敏で高精度な動作を実現するため、自身の動作状態を常に確認し、指令とのずれが出ないようにフィードバックする。指令信号とフィードバック信号との差が小さくなるように制御することが重要となる。なお、サーボ(Servo)は、ラテン語で奴隷を意味する Servus が語源と言われている。

- 14 マザックは、複合加工機だけでなく、旋盤、マシニングセンタについても基本的には自社開発で製品化を進めた。マシニングセンタについては、1966年から研究を始め、1970年4月に製品化に成功した。1970年7月に、同社は、アメリカのバグマスター社、ツールワーク社とそれぞれマシニングセンタ、旋盤の技術提携を結ぶが、これらの提携は生産機種幅を広めることが主な目的であった。
また、両社との技術提携は、それぞれ、複合加工機の開発が始まる1977年以前に解消されている。そのため、1980年代に本格化する複合加工機の技術融合の過程において、この技術提携は、直接には寄与しなかった(マザック会社資料)。
- 15 マザック 桃井氏コメント(2008年4月8日)。
- 16 複合加工機開発の記述については、2007年5月から2010年2月までのマザックにおける調査結果による。
- 17 タレット旋盤：「タレットヘッドを備え、これに多くの刃物又は工具を取り付け、タレットヘッドを削り出してこれらを順次使用する旋盤」(J I S定義)。
普通旋盤に回転式の工具交換器を取り付けた旋盤。ハンドルの操作で工具を交換し、工具の交換時間を短縮する。
- 18 ミルセンタは、当時、マザックが名付けた用語であり、現在の分類ではターニングセンタに分類される。なお、同社では、ターニングセンタの定義がなされた後もミルセンタという名称を使用している。
ターニングセンタ：「主として工作物を回転させ、工具の自動交換機能(タレット形を含む)を備え、工作物の取付け替えなしに、旋削加工のほか多種類の加工を行う数値制御工作機械」(J I S定義)。
「ターニングセンタは、タレット刃物台に回転工具を装備して、通常の旋削加工のほかに、エンドミル、ドリル加工、タップ加工(ネジ穴加工)などをワンチャックで行える複合加工NC旋盤で、旋盤のマシニングセンタ化といえる」(ニュースダイジェスト社編, 2007b)。
複合加工機に関する厳密な定義は存在しないため、どの程度、マシニングセンタの要素が入れば、複合加工機になるのかという区分は難しいが、マザックでは、「インテグレッタックス50、70」以降を本格的な複合加工機として捉えている。
- 19 J I M T O Fは日本国際工作機械見本市の略称。1962年に大阪で1回目が開催され、1964年に東京にて2回目が開催された。以後2年ごとに大阪・東京で交互に開催されていたが、2000年(第20回)以降は、東京の開催のみとなっている。J I M T O Fは、I M T S(米国国際工作機械展)、E M O(欧州国際工作機械展)とともに、世界の三大工作機械見本市に数えられている。
- 20 テーパー工具：工作物を先細状の形状に加工するための工具。
- 21 マザック 桃井氏コメント(2008年2月21日)。
- 22 マザック 村木氏コメント(2008年2月20日)。
- 23 ボールネジ：工作機械等で高精度の位置制御をするために使われるシャフト状のネジ。
「雄ねじと雌ねじの間に多数の鋼玉(ボール)を入れたねじ。雄ねじと雌ねじの間のすべり接触による摩擦抵抗を、ころがり抵抗に置きかえて軽減するもので、自動車のステアリングギア、工作機械の送り装置など、ねじの軽い動きが必要な個所に用いる」(百科事典マイペディア)。

-
- ²⁴ マザック 桃井氏コメント (2008年2月29日)。
- ²⁵ FMS : Flexible Manufacturing System の略称。工作機械と加工物自動搬送装置を含んだ自動加工システム。
- ²⁶ チャック : 「主軸端に取り付けて、工作物を保持するための部品」(J I S 定義)。
工作機械部品の一種で、工作物を加工する際に、工作物を保持するための部品。チャックは、主軸端に取り付けて使用。
- ²⁷ A J C : Automatic Jaw-Changer の略。「チャックのつめを自動で交換をする装置」(J I S 定義)。
- ²⁸ マザック 桃井氏コメント (2007年5月2日)
- ²⁹ マザック 福村氏コメント (2007年5月2日)
- ³⁰ マザック 村木氏コメント (2008年4月1日)
- ³¹ 茨木京大准教授コメント (2007年4月11日)

【参考文献】

- ・青島矢一・武石彰 (2001) 「アーキテクチャという考え方」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編著『ビジネスアーキテクチャ』有斐閣, pp. 27-70.
- ・Baldwin, C. Y. and Clark, K. B. (1997) “Managing in an Age of Modularity,” *Harvard Business Review*, vol. 75, No. 5, pp. 84-93.
- ・Baldwin, C. Y. and Clark, K. B. (2000) *The Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press (安藤晴彦訳『デザイン・ルール—モジュール化パワー』東洋経済新報社, 2004年)。
- ・Christensen, C. M., Verlinden, M., Westerman, G. (2002) “Disruption, disintegration and the dissipation of differentiability,” *Industrial and Corporate Change*, Vol. 11 No. 5, pp. 955-993.
- ・中馬宏之「モジュール設計思想の役割」青木昌彦・安藤晴彦編『モジュール化』東洋経済新報社, 2002年。
- ・Fine, C. H. (1998) *Clockspeed : Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*, Massachusetts, Perseus Books.
- (小幡照雄訳 (1999) 『サプライチェーン・デザイン —企業進化の法則』日経 BP 社)。
- ・Finegold, D., K. W. Brendley, R. Lempert, D. Henry, P. Cannon, B. Boultinghouse, M. Nelson (1994) “The Decline of the U. S. Machine-tool Industry and Prospects for Its Sustainable Recovery.” Vol. 1, Rand.
- ・Finegold, D. (ed.) (1994) “The Decline of the U. S. Machine-tool Industry and Prospects for Its Sustainable Recovery.” Vol. 2, Rand.
- ・藤本隆宏・大隅慎吾・渡邊泰典 (2008) 「人工物の複雑化と産業競争力」, 一橋ビジネスレビュー56巻2号, pp90-109.
- ・児玉文雄 (1991) 『ハイテク技術のパラダイム : マクロ技術学の体系』中央公論社。
- ・河邑肇 (1997) 「NC工作機械の発達を促した市場の要求—日米自動車産業における機械加工技術—」『経営研究』第47巻第4号, pp. 103 - 122.
- ・河邑肇 (1997) 「日本工作機械産業における量産体制の確立」『大阪市立大論集』第86号,

pp. 1 - 16.

- ・河邑肇(2000)「NC装置メーカーの技術革新と工作機械の価格競争力」『商学論纂』第41巻第4号, pp. 269 - 308.
- ・Kong-rae Lee(2007) “Patterns and Processes of Contemporary Technology Fusion:The Case of Intelligent Robots,” *Ajian Journal of Technology Innovation*, Vol. 15, No2 pp. 45-65.
- ・Kotha, S. and Nair, A. (1995) “ Environment as Determinants of Performance: Evidence from the Japanese Machine Tool Industry,” *Strategic Management Journal*, Vol. 16, No. 7, pp. 497-518.
- ・溝口清久・棚橋誠(1989)「FMSからCIMへの課題」『機械と工具』1989年11月号, pp. 18-23.
- ・日本工作機械工業会(2010)『工作機械統計要覧2009』日本工作機械工業会.
- ・ニュースダイジェスト社編(2007a)『5軸・複合加工機の選びかた使いかた』ニュースダイジェスト社.
- ・ニュースダイジェスト社編(2007b)『はじめての工作機械・副読本』ニュースダイジェスト社.
- ・長尾克子(2004)『日本工作機械史論』日刊工業新聞.
- ・長尾克子(2002)『工作機械技術の変遷』日刊工業新聞.
- ・長江昭充・大橋肇(2003)「情報技術と機械技術が融合したサイバーファクトリー」『精密工学会誌』Vol. 69, No. 12, pp. 1689-1692.
- ・Rosenberg, N. (1976). *Perspective on Technology*, New York, Cambridge University Press.
- ・柴田友厚・玄場公規・児玉文雄(2002)『製品アーキテクチャの進化論：システム複雑性と分断による学習』白桃書房.
- ・鈴木信貴(2008)「技術融合と市場特性—ヤマザキマザックにおける複合加工機の開発—」『京都大学経済学会院生モノグラフ』No. 200808154, pp. 1-30.
- ・鈴木信貴・梶山泰生(2009)「工作機械メーカーのソリューション・ビジネス—ヤマザキマザック株式会社—」京都大学大学院経済学研究科 Working Paper J-72, pp. 1-17.
- ・高嶋克義・南千恵子(2006)『生産財マーケティング』有斐閣.
- ・Teece, D. J. (1976) *Vertical Integration and Vertical Divestiture in the US Petroleum Industry*, Stanford, Stanford Institute for Energy Studies.
- ・吉本陽子・齋藤禎(2003)「生産機器システム産業」森谷正規編『機械産業の新展開』N T T出版.