

モジュール化による
連続的イノベーション

——工作機械産業におけるメトロールの事例研究を踏まえて——

林 隆 一

神戸学院経済学論集

第49巻 第4号 抜刷

平成30年3月発行

モジュール化による 連続的イノベーション

——工作機械産業におけるメトロールの事例研究を踏まえて——

林 隆 一

キーワード：製品アーキテクチャ (Product Architecture), イノベーションのジレンマ (the Innovator's Dilemma), プラットフォーム・リーダーシップ (Platform Leadership), NC (Numerical Controller), 工作機械 (Machine Tool)

1. はじめに

一般的に工作機械といえば、職人的な技術の「すりあわせ」の象徴としてのイメージが強く、当然のように日本が競争優位を持つ産業であると考えられる傾向がある。例えば、高校地歴の副教材である「最新地理図表」(第一学習社(2017)(2013))でも、本論文で取り上げた工作機械関連のメトロールを「きわめて高度な技術をもち、世界から高い評価を得ている企業」の代表として単純に紹介している。しかし現実の工作機械産業では、メトロールの新しいイノベーションも含む多重のモジュールの組み合わせにより、多様性が生み出され、「イノベーションのジレンマ」を防いでいることを本論文で明らかにする。

工作機械産業の事例研究として、林(2014)はビジネス・エコシステム(キーストーン戦略)⁽¹⁾の観点からNC装置大手企業のファナックを分析してい

(1) NC (Numerical Controller) 装置は工作機械の中核部品である。

モジュール化による連続的イノベーション

る。工作機械産業におけるキーストーン種としてのファナックはNC装置の供給で産業構造をモジュール化している。ファナックのNC装置供給により、カスタム仕様に強い国内の中小機械企業や東アジアの工作機械企業の生き残りや成長が可能となり、独自NCで汎用機に強い大手機械企業との棲み分けが成立している構図を見出した。林（2015）でプラットフォーム・リーダーシップ戦略の「外部補完者」の概念の拡張を試み、直動案内機器のTHKやNC装置競合の三菱電機が、機械産業のモジュール化を促進させ、工作機械産業のイノベーションを加速させる役割を担っていることを指摘した。さらに、林（2016）では現地調査を踏まえ台湾工作機械産業をファナックの視点から分析を行った。ファナックが自ら、スマートフォンの躯体加工向けの工作機械（最終製品）に展開し、多様性を補完し、需要を拡大させている状況を明らかにした。林（2017）では、工作機械を含む資本財全体の視点に拡張し、日本で成功した技術や製品をベースに、世界各地で異なる需要を発見し、新しい製品展開に成功したケーススタディとしてマキタの事例を分析している。

本論文では、メトロールの事例研究を通して、ファナックによるプラットフォーム・リーダーシップ戦略の4レバーの「③外部補完者との関係性」をさらに考察する。メトロールは、1000種類にも及ぶ多品種のスイッチ（センサ）を、社内体制のモジュール化によって世界各地の顧客へ供給している。ファナックがモジュール性の高いNC装置を供給するプラットフォームにおいて、メトロールのような外部補完者の製品が組み合わせられることで、多様な顧客層を抱える工作機械産業の多様性が維持・拡大されている。ファナックは、社内でソフトウェアのNCとハード機器のサーボ機構の両方をすりあわせることで、モジュールとしてのNC装置を提供している一方で、社内にモジュール戦略を取り込んだメトロールが、工作機械企業などの顧客の多様性に対応している。このように工作機械産業の多様性に対応する補完関係が成立し、産業全体のイノベーションを促している構造を明らかにする。それにより工作機械産業は、すりあわせによる職人的な技術だけでなく、モジュール化戦略が、産業全体のイノベーショ

ンを加速させていることを示す。

本論文の構成としては、まず製品アーキテクチャの先行研究を概観した上で、工作機械のグローバルな産業構造を分析し、メトロールの製品開発の経緯と販売・生産の社内体制をまとめる。その後でファナックのプラットフォーム・リーダーシップ戦略の「外部補完者」の概念やメトロールの社内のモジュール化を踏まえて、工作機械の産業構造を考察する。

2. モジュール化とイノベーションに関する先行研究

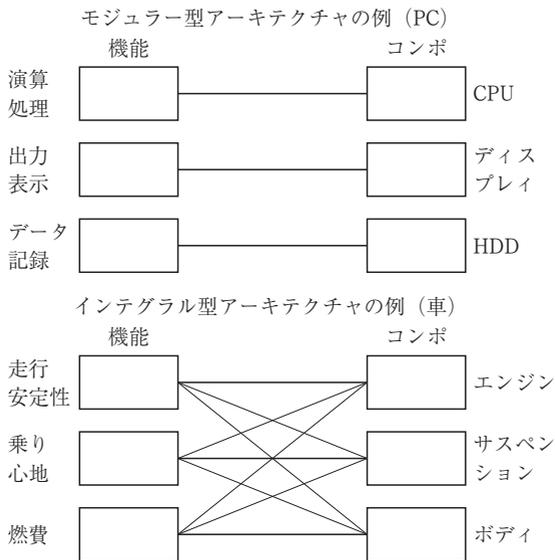
Henderson & Clark (1990) が、製品アーキテクチャの視点から技術と組織との相互関係を初めて本格的に分析した。製品が複数のコンポーネント（部品）から形成されると想定し、製品・システムを構成している各種コンポーネント間の技術的相互関係性に注目した。Langlois & Robertson (1992) はモジュール化という概念を導入した。オーディオ機器やコンピュータの産業研究を通して、モジュラー化が起こると、コンポーネント間の調整が減少するため、コンポーネントの外部調達が進み、産業システム全体としては、垂直統合型中心から、特定コンポーネントに特化・専門化した企業のネットワーク型の構造となることを指摘した。Baldwin & Clark (2000) は、製品アーキテクチャにおけるモジュール化の理論的なフレームワークを確立し、モジュール化により、①簡素化、②標準化、③独立性のメリットがあることを指摘した。モジュールの供給者（設計者）は、モジュール相互間の動作を確保する「デザイン・ルール」さえ遵守すれば自由に試行錯誤できるようになり、これが新しいイノベーションの創出を可能にすると主張した。

Ulrich (1995) は、製品アーキテクチャを、相対的にモジュール型 (modular) とインテグラル型 (integral) の2つに大別した。モジュール（組み合わせ）型アーキテクチャは典型例がパソコン産業で見られ、それぞれのコンポーネントが独立で機能し、機能と部品との関係が1対1に近い形である（図表1）。各部品それぞれが自己完結的であり、各モジュールの設計者は独自の設計や技

モジュール化による連続的イノベーション

術革新が可能のため、コンポーネントの組み合わせが多様を選択でき、製品のバラエティを増加させることができる。一方で、インテグラル（すりあわせ）型アーキテクチャは典型例が自動車産業で見られ、製品を構成するコンポーネントが、強い機能的相互依存関係によって結びついており、機能群と部品群との関係が錯綜している。すべての部品が相互に影響を与えるため、各部品の設計者は、お互いの設計の微調整が必要となる。

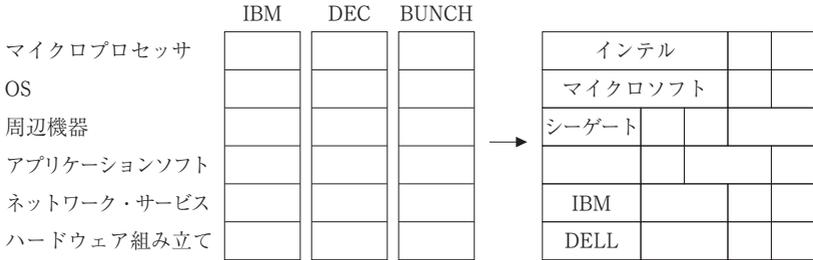
(図表1) アーキテクチャの分類例（モジュール型とインテグラル型）



(出所) 藤本・クラーク (2009) から作成

Fine (1998) は、IBM のコンピュータ開発の事例で、従来のインテグラル型からモジュール型の製品アーキテクチャを採用したことで、各コンポーネントの独立企業の設計が可能となったことを示した (図表2)。これにより、個別コンポーネントの特化が進み、マイクロソフトやインテルなどの企業が台頭し、垂直統合の産業構造が変化した。その後、多くの産業に対して、これらの製品アーキテクチャの事例分析が行われている。

（図表2）モジュラー化による産業構造の変化イメージ



（出所）Grove (1996), Fine (1998) などより作成

Christensen (1997) は HDD などの事例研究から、主要な顧客の声に耳を傾け、製品開発に活かしている企業ほど、技術変化が起こったときに、合理的に判断した結果、対応が遅れるケースとして「イノベーションのジレンマ」を提唱した。当初は市場におけるニッチ需要しかもたないが、技術革新により主流市場で求められる技術水準を超え、既存製品のパフォーマンスを引き下げる技術を「破壊的イノベーション」と名付けた。イノベーションの初期では市場規模が小さい上、不確実性も高く、現存する市場と比較すると、参入の価値がないように見え、収益性が低い破壊的技術に十分な投資をすることは難しい。楠木・チェスブロウ (2001) は製品アーキテクチャ変化が組織の不適合をもたらす「統合組織（インテグリティ）の罨」・「モジュラリティの罨」を指摘した。HDD の中核技術であるヘッドが薄膜から MR への転換で製品アーキテクチャの変化に対して、旧世代の製品アーキテクチャに適合した形で組織体制をモジュール化していた企業は適応できず、市場シェアを大きく低下させたことを観察した。Christensen, et al. (2004) などは、産業は「相互依存」の状態から「モジュール」の状態へと進化する傾向があると考えた。モジュール型は柔軟性を最適化するが、性能の犠牲の上になりたっている。市場が求める性能水準が技術進歩に対して相対的に低位に安定しているような状況ではモジュール化が優位な戦略となるが、一般に製品がコモディティ化する過程でこのような状況が生じるとした。

モジュール化による連続的イノベーション

Chesbrough (2003) らは情報のオープン・アーキテクチャ戦略として、外部化によるモジュールのネットワーク協業を行うことで、各企業が得意分野に経営資源を集中でき、優位性が高まることを指摘した。Iansiti & Levien (2004) は、ウォルマートやマイクロソフト、TSMC等の研究を通して、従来の経営戦略論の外部環境とされてきた「産業（構造）」と「市場」に対して、企業の内外がシームレスに結びついた「ビジネス・エコシステム」（ビジネス生態系）というフレームワークを指摘した。Gawer & Cusumano (2002) は、オープン・モジュラーの競争環境下にあっても高い収益性を維持するインテルなどのIT企業の研究を通して、広範な産業レベルにおける特別な基盤技術の周辺で、補完的なイノベーションを起こすように他企業を動かす能力を、プラットフォーム・リーダーシップと定義した。さらに、プラットフォーム・リーダーシップの獲得を目指すために、4つのレバーである①企業の範囲、②製品技術、③外部補完者との関係性、④内部組織の設計を駆使し、触媒となる技術を梃に、産業内で補完製品のイノベーションを誘発するように仕向けていると考えた。

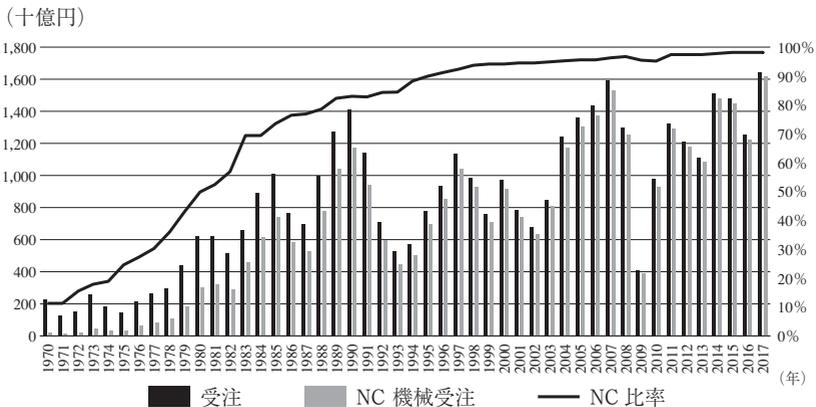
本論文で事例研究を行うメトロールは、工作機械産業におけるファナックのプラットフォーム・リーダーシップにおける③外部補完者と位置づけられる。直近では、藤本編（2013）や立本（2017）、安本・真鍋編（2017）などで、日本企業や産業構造を想定したエコシステムやプラットフォーム戦略を踏まえ、オープン・イノベーションの有効性の分析が活発に議論されている。本論文では、工作機械産業を対象に、メトロールの社内組織のモジュール化を踏まえて、工作機械の産業構造を考察する。

3. 工作機械の産業構造

工作機械産業は米国が1970年代まで先端加工技術を先導しており、NC工作機械も1951年に米国で開発されている。NCは数値による信号指令を用いるプログラム制御で、工作物に対する工具の位置や送り速度などを制御するが、当初は不完全で対応範囲が限られていた。しかし、1980年代にNCによる破壊的

技術が「イノベーションのジレンマ」をもたらし、日本の工作機械企業が台頭した。日本の工作機械産業は中小企業向けの需要が多いため、限定的な NC へのニーズも多かった。その後、NC 装置の能力向上により対象範囲が広がった。1981年に日本の自動車生産台数が世界一になったこともあり、日本は、1982年から2008年まで27年間、工作機械生産で世界一となった。日本の工作機械の2017年の市場規模は1兆6000億円超のうちでNC化比率は98%となっている（図表3）。

（図表3）日本の工作機械受注推移



（出所）日本工作機械工業会（2017），日本工作機械工業会ホームページ速報より作成

工作機械産業は需要サイクルが大きいにも関わらず、日本の企業数は96社（2015年末）と多様で、長期に亘り安定している（図表4）。日本の工作企業は中小加工業向けに機能を絞った中低価格製品の開発に注力し、多品種少量のユーザーニーズを取り込む各種の機械を、それぞれの企業が作り上げてきたことが背景にある。藤田（2008）が指摘しているように、現在でも『これらの（中規模）メーカーはさらに高級分野を拡充していこうという意識』が大規模メーカーよりも強く、『工作機械は中堅以下が業界の中核をなしていることが特徴』がある。

(図表4) 日本の工作機械企業の資本金の分布

2015年	～0.5億 円	～1億 円	～5億 円	～10億 円	～20億 円	～50億 円	～100億 円	100億 円超	合計
企業数(社)	23	18	16	5	5	11	4	14	96
工作機械生産(百万円)	45,122	55,965	60,269	56,937	57,136	304,098	91,892	803,865	1,475,284
(構成比)	3%	4%	4%	4%	4%	21%	6%	54%	100%
1社あたり生産(百万円)	1,962	3,109	3,767	11,387	11,427	27,645	22,973	57,419	15,368
(工作機械比率)	61%	46%	76%	31%	62%	83%	49%	15%	23%
工作機械従業員数(人)	1,699	1,821	2,321	1,498	1,702	11,091	2,421	18,149	40,702
(構成比)	4%	4%	6%	4%	4%	27%	6%	45%	100%
全社生産額(百万円)	73,878	121,624	79,255	182,678	92,391	365,254	186,899	5,245,110	6,347,089
全社従業員(人)	2,593	4,176	3,014	4,286	2,934	14,411	4,446	75,706	111,566
1社当たり従業員数(人)	74	101	145	300	340	1,008	605	1,296	424

(出所) 日本工作機械工業会(2016)より作成

林(2015)では、NC工作機械の高速・高精度化により、機械の摩耗による位置ズレを防ぐため、「ボールねじ⁽²⁾」や「直動案内機器」の採用が進んできた事を示した。換言すれば、NC装置が普及したことによって「日本の工作機械の開発とは、毎年、歯車とか、ねじとか、ベルトを減らす方向⁽³⁾」に進んできた。従来、動力伝達機構の根幹のネジでは、時間を経ると摩耗によりシステム全体に「劣化」が起きていた。このネジ摩耗の問題を軽減するため、1958年に日本精工⁽⁴⁾がボールねじを投入した。ボールねじは、1965年頃からNC工作機械の送り機構の重要部品としてNC装置とセット⁽⁵⁾で使われたことで、NC採用が始まっている。また、NC装置の「電気・油圧パルスモータ」は、トルクが弱いとい⁽⁶⁾

(2) ねじ軸、ナット、ボールなどから構成される機械要素部品の一つであり、直線運動を回転運動または回転運動を直線運動に変換する。

(3) 月刊生産財マーケティング(2014)P31より花木義磨工業会会長のコメントを引用。

(4) 東証1部企業で2017年3月期の連結売上9492億円、同営業利益653億円である。

(5) 沢井(2013)によると、日本での量産は、1961年に牧野フライス、1962年にオークマ、1963年に池貝(当時)の大手企業に採用されたのが始まりとしている。

(6) ボールねじは1955年に米GM社のステアリング・ギアに使用されたが、本格的には1965年頃からNC装置とセットで使われ始めた(工作機械工業会(2012)P82)。

う短所があり、摩擦係数が高いと役に立たないが、ダイキン工業が開発した「テフロン」を工作機械のすべり面に張り付けることで問題を解消している。児玉（2007）によるとファナックを含む「3つの企業により開発された、3つの技術が「融合」して」、NC工作機が完成したとされている。

さらに1970年代に工作機械のNC装置採用が始まると、工作機械の加工対象の工作物を正確に加工するため、X・Y・Zの直交3軸の座標で表現し、各軸が正確に移動する必要性が高まった。それを受けてTHKが⁽⁷⁾、工作機械の加工物を載せるテーブルを移動するために、機械の直線運動部を「ころがり」を用いてガイドする機械要素部品である直動案内機器を世界で初めて開発した。THKは代表的な直線駆動ベアリングを1972年に販売開始したが、剛性が弱く性能も良くなかった。大きな負荷に耐えられず、高精度の工作機械で使用できるものではなかったため、「ころがり」を用いてガイドする機械要素部品への信頼が薄かった。しかし、1978年のシカゴの国際工作機械見本市で、米K&T社がTHK製品を採用したマシニングセンタを出品したことをきっかけに、日本企業の見る目も変わり、各企業が「LMガイド」を高精度マシンのうたい文句にするように変化した。1980年頃までは摺動面に職人が「きさげ加工」を施し潤滑油を供給して動かす「すべり案内」が主流だったが、機械の高速・高精度化に伴って、現在では直動案内機器の採用が大半を占めている。⁽⁹⁾NC工作機械の高速化・高精度化が進展するにつれ、実際の加工面の誤差を生じさせないために、摩擦を極力減らす必要が大きくなったためである。⁽¹⁰⁾

(7) 当時の社名は東邦精工。現在は東証1部企業で2017年3月期の連結売上2736億円、同営業利益247億円で、現在の公称シェアは国内で約70%、世界で約60%である。

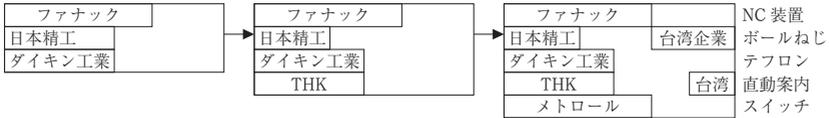
(8) 直動案内機器の代表である直線駆動ベアリングは、THKがLM (Linear Motion Guido) ガイド、日本精工がリニアガイド、日本トムソンがリニアウェイの名称を使用している。

(9) 月刊生産財マーケティング (2014) P 39 で、ハイエンド工作機械企業である安田工業の安田之彦相談役が「日本の工作機械業界の歴史を振り返ると、NCと直動案内機器の技術進展が非常に大きな意味を持っている」とコメントしている。

モジュール化による連続的イノベーション

このように、工作機械の各コンポーネントのモジュール化が進むことで、コンポーネント間の影響が低下し、各社の独自開発が促進されていると考えられる。それにより、中小の工作機械企業もコアの加工技術開発に専念することが可能になってきた（図表5）。

（図表5）工作機械のモジュール化の進展



このように工作機械のモジュール化が進んだため、NC装置や直動案内機器等のキーコンポーネントを外部調達できれば、一定の水準の工作機械を作ることができるようになって⁽¹¹⁾いる。東アジアの主要企業では、これらのキーコンポーネントを購入することで、一定レベルの工作機械の生産を拡大してきた。特に、内製化ニーズがある中国のNC工作機械の生産拡大は著しく、2009年以降、中国が工作機械生産で世界一となり、日本の工作機械産業は27年連続維持してきた世界一の座から転落している。2016年暦年の工作機械シェアは1位が中国29%、2位がドイツ16%、3位が日本16%、4位が米国8%、5位がイタリア7%、6位が韓国6%、7位が台湾5%となっている⁽¹²⁾（図表6）。

世界の工作機械の棲み分けとして、欧州企業はハイエンドに経営資源を集中する傾向がある（図表7）。日本は大手を中心に工作機械企業は、自動車や電

(10) 現在ではボールねじによって駆動される各軸は、NC装置がその移動位置を検出し、移動誤差を減らす方向でフィードバック制御している。

(11) 月刊生産財マーケティング（2014年4月号P39）では、安田工業の安田之彦相談役が「NCと直動案内機器を使えばそれなりの機械になる。それ以上のところは、工作機械メーカー各社の方向性、考え方によりけりというわけです」とコメントしている。

(12) 米国 Gardner Publications, Inc. 調べによる工作機械（切削）生産額のドルベース。

(図表6) 世界の国別工作機械生産・消費額

(百万ドル)

	CY 2016推定	生産額	構成比	消費額	構成比	純輸出
1	China	22,900	29%	27,500	35%	-4,600
2	Germany	12,450	16%	6,817	9%	5,633
3	Japan	12,174	16%	6,185	8%	5,989
4	USA	5,912	8%	8,674	11%	-2,762
5	Italy	5,489	7%	3,331	4%	2,158
6	South Korea	4,317	6%	3,511	5%	806
7	Taiwan	3,730	5%	1,555	2%	2,175
8	Switzerland	2,988	4%	1,051	1%	1,937
9	Spain	1,039	1%	663	1%	376
10	Austria	905	1%	591	1%	314
	その他	6,102	8%	18,128	23%	-12,026
	合計	78,006	100%	78,006	100%	-

(出所) 日本工作機械工業会 (2017) より作成

機向けの汎用的な加工をする機械に強い。つまり、日本企業はミドルエンドで大量生産する用途に強い。しかし、韓国企業や台湾企業に、一部でキャッチアップされており、中国もミドルエンドの大部分を中国国内で生産するようになり、日本全体としては従来の棲み分けがやや曖昧となりつつある。

(図表7) 工作機械の分類イメージ

	主な分野	中心的な企業	加工精度	価格帯	生産量
ハイエンド (高級機)	軍需 医療	欧米企業	高い	高	少ない
ミドルエンド (中級機)	一般機械 自動車・電機	日系企業 台湾・韓国企業	やや高い	中	やや多い
ローエンド (低級機)	日用品 一般品	中国企業	低い	低	多様

(出所) 日本工作機械工業会 (2012) などを参考に作成

汎用的な加工を得意とする日本の大手工作機械企業に対して、カスタム志向の強い国内の中小機械企業は、キーパーツを外部調達することで、その他の自社の差別化を追求することで生き残ってきた。同様に中国などの機械企業もキーパーツを調達することで、中国国内の需要拡大を支えてきた。結果として世界

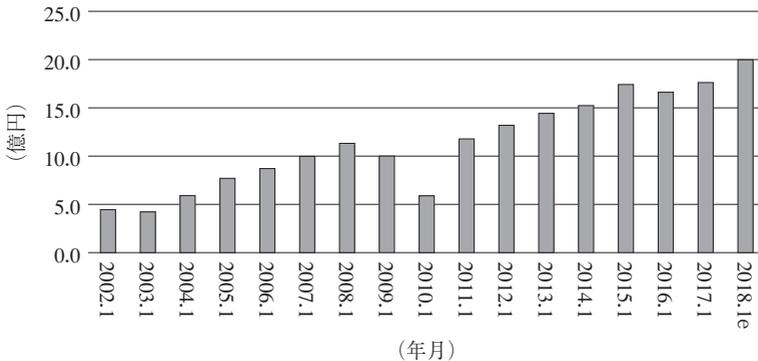
モジュール化による連続的イノベーション

の工作機械産業の棲み分けが維持されている。それがTHKなどの新しいモジュールのニーズを高める循環を生み出している。さらに次の循環として、世界中の多様な工作機械企業がさらなるモジュール化を生み出している事例であるメトロールの「位置決めセンサ」の事業展開について以下に検証する。

4. メトロールの「機械式精密位置決めスイッチ」の開発事例

メトロールは工作機械向けセンサで世界シェア7割を持ち、累積でNC工作機械企業70社の50万台以上に組み込まれている⁽¹³⁾。2016年の売上は約17億円で、過去17年は年平均で約9%のペースで拡大してきた(図表8)。社名は「measure」(計測)と「control」(制御)に由来しているように、創業から海外を意識しているが、特に直近で海外向けが伸び、海外売上比率も2001年の13%から2016年には38%まで拡大している。国内売上の約2割が間接的な輸出のため、実質的に約6割が海外で使用されていることになる。

(図表8) メトロール売上推移



(出所) メトロール(2017)、各種新聞報道より推定

メトロールの創業者である松橋章氏は、東京大学精密工学部の卒業後にオリンパスに就職し、7年間、胃カメラの開発に携わった。もともとオリンパスは

(13) 工作機械のユーザーも含めて全体の顧客では68カ国の3000社に納入している。

1950年に胃カメラで胃内部の臨床撮影に初めて成功し、日本臨床外科学会で発表していた⁽¹⁴⁾。しかし、1952年によく発売した「胃カメラⅡ型」も医療現場のトラブルが続き、担当者が民生用カメラと兼任していたため、改善も進まなかった。1953年に深海正治氏のもとで設計・製造・修理・販売の最小4名体制を敷いたことで、1956年に設計担当だった松橋章氏が、修理の容易性やチューブの柔軟性や追従性を追求した「胃カメラⅢ型」を開発した。現在の内視鏡の基本コンセプトを開発し、故障を大幅に減少させ、被験者の負担も軽減した。その後、松橋章氏は東京精密の計測事業部長に転じたが、1973年のオイルショックを機に、計測器部門の縮小が断行されたため、2名の部下とともに独立している。

1976年に松橋章氏は52歳で計測器の受託開発会社としてメトロールを創業し、1977年にトヨタ自動車の依頼で、不良品を判別し信号を出す測定器「信号付きダイヤルゲージ」の共同開発を行った⁽¹⁵⁾。もともとトヨタの生産現場で使用されていた「シグナルゲージ」は、検査工程での防水・防塵機能が不十分で、自動車生産ラインの悪環境に対応できず、度重なる故障やチョコ停の発生が問題となっていた。当時のトヨタからの要望である、1ミクロン以内の繰り返し精度、接点精度寿命300万回、悪環境対応のIP76保護構造が現製品の原点となっていた⁽¹⁶⁾。従来品はスイスのパーマエレクトリック社の小型タッチセンサー「マイコム」を組み込んでいたが、高価で壊れやすく、国産化を進めた。絶縁体のサファイアを内部で絶縁し金属に変更することで、形状を自由に変えることを可能とした。その上で油性・水溶性クーラントに対応できる「特殊ゴム」を採用し、メトロールの〔M〕とトヨタ自動車の〔T〕に由来する「MT パルサー」

(14) NHK 放送の「プロジェクト X 挑戦者たち」でも成功事例として取り上げられている。

(15) 電子生産技術部長（当時）の松原秀之氏は東京精密の顧客で松橋章氏とは既知であった。

(16) 他のトヨタの要求通り、メトロールが開発費も負担しながら、価格は現行品の1/3以下に抑さえ、2年以内で開発した。

モジュール化による連続的イノベーション

を開発し、トヨタ自動車の生産ラインの進化にも貢献した。

その後、「MT パルサー」に内蔵していたセンサを応用し、1980年に自社ブランド「MT タッチスイッチ」を発売した。しかし自社ブランド開発の戦略は受け入れられない創業の仲間と袂を分かったり、借金が膨らみ、自宅を抵当に入れ、実際に大手企業に身売り交渉を行ったりと摸索期が続いた。その最中の1983年の「旋盤のバイト（切削工具）位置確認に手間取り困っている」との相談が、工作機械向けの「機械式精密位置決めスイッチ」の開発に繋がっている⁽¹⁷⁾。完成品は日立精機（現 DMG 森精機）での標準採用が決まり、工作機械の刃先の位置決めの分野の先駆者となった⁽¹⁸⁾。

工作機械の NC 化に伴って、リニアスケール・ロータリースケールによる測定や、スイッチの信号をプログラミング化することが可能になり、位置決めがより重要となっている。切削加工を続けるうちに刃先が摩耗し、破損すると、寸法の違う不良品となり、精密な加工ができなくなるためである。切削工具の始動位置を正確に決めることが不可欠となり、作業者が設定を機械上で現物合わせをして位置決めをする必要となり、現場の職人が、その都度、計測していた。原材料を切削加工するためのツールの位置を決める「原点出し」という作業を行い、原点をツール始動の起点として、CAD で指定した数値通りに、原材料が加工されていた。

そのため「精密位置決めスイッチ」による自動化が求められた。しかし、既に幅広く使用され、制御機器大手のオムロンなどが高いシェアを持つマイクロ

(17) メトロール（2017）で、メトロールの工場長だった奥隅政治氏は、「今は工作機械の自動化、NC 化って普通のことだと思いかもかもしれませんが、当時は工作機械のツールをチェンジするたびに、刃の長さが適正かどうかをすべて現場の職人が試し刷りしていたので、機械が止まればかりで生産性があがりませんでした」とコメントしている。

(18) 1984年には制御機器大手が類似商品を開発してきたが、その社長に直談判を行い、「ベンチャー企業の芽を潰して良いのか」と抗議して、大手企業は自主的に撤退している。

スイッチ・リミットスイッチは、接点保護や量産化のため小型化に限界があった。非接触の磁気センサや光センサの場合は、検知物の材質や大きさ、表面粗さや色などの条件により熱や磁界が変化しやすい上に、電源電圧、室温、明るさなどの外部環境などによっても動作点が変わる。工作機械の内部では、金属を削った切り屑、クーラント（冷却・潤滑用液）、金属を削る刃こぼれがあり、これらが飛び交うため、非接触では精度が出にくい。センサの機能を維持するためのメンテナンスも必要になる。工作機械に要求される精度が向上した結果、電気式の限界が明らかになっていた。

それに対して、メトロールの「機械式精密位置決めスイッチ」は筒の中で、T字型部分と下から突き出た棒状の部分が触れ合い、刃の先端位置をNC装置に伝える。スイッチは刃先が300万回接触しても、2000分の1ミリ以内の誤差で、加工開始時の位置ズレを自動的に補正し、作業効率が3～4割向上する。接点式は寿命についての不信感が強いが、素材は金を混ぜた特殊合金であり、300万回接触を保証している。接触式変位センサであれば1000万回の寿命が保証されるものの、実務上は300万回で大半がカバーされている。高寿命でも電気式の近接センサや光学センサは熱に弱いアンプ（増幅器）を内蔵しており、時間の経過とともにセンサ自体の発熱で誤差が大きくなり、温度変化の激しい工作機械の中では、動作の安定性に欠ける。アンプが必要のため、価格は10倍程度と高価であり、外部環境の変化を受けるため、位置合わせが必要となる。

結局、「機械式精密位置決めスイッチ」は、工作機械の無人運転時の稼働トラブルを最小限に留めると評価され、普及が進んでいる。機械式は構造がシンプルで、製造コストも安価なメトロールの数千円程度のスイッチを使えば、刃先が触れるだけで、正確な先端位置がNC装置にフィードバックされ、自動書き込みが行われる。ツールセットの熟練が不要となり、セットミスによる機械破損なども防ぐことができる。また従来の試し削り・計測・NC入力などの段取り換えの熟練も不要になるためである。先進国でも後進国でも作業者の確保が困難のため、加工前の自動検査のニーズが高まっている背景があると考えら

モジュール化による連続的イノベーション
れる。

当初はNC旋盤向けだったが、マシニングセンタなどにも対象を広げ、生産ラインナップも拡大している（図表9）。松橋章氏は「タッチスイッチ」を開発後も、600種類の製品と5000点の部品を設計した。⁽¹⁹⁾

（図表9）メトロール主要製品の販売時期

製品名	(年)	製品名	(年)
MT パルサー	1976-2005	CNC 旋盤用ツールセット	1981-
高精度 MT タッチスイッチ	1980-	CNC マシニングセンタ用ツールセット	1985-
CS-タッチスイッチ・シリーズ	1989-	タッチプローチ・シリーズ	1986-
ボールプランジャスイッチ	1998-	工具折損検出センサ	2004-
スプリングプランジャスイッチ	1998-	エアスイッチ	1990
ストップボルトスイッチ	1991-	エアロアブソーバ	2000-2004
不良品判別スイッチ	2002-	機械式エアマイクロスイッチ	2012-2015
超小型・高精度 MT タッチスイッチ	2007-	電気式エアマイクロスイッチ	2015-

（出所）メトロール（2017）やホームページなどより作成

現在では、大企業では考えにくいユニークな開発体制で、2015年東京都ベンチャー技術対象優秀賞を受賞した「エアマイクロセンサ」シリーズなどのラインナップを拡充している。開発した本庄輝夫氏は80代の技術者だが、開発リーダーだった大企業を定年後、74歳でメトロールに転職し、20代の研究者と共同で2011年から開発を重ねてきた。2014年に販売を開始し、現在はワンタッチで設定できる空圧電子式の精密着座センサに改善している。

「エアマイクロセンサ」も機械加工の自動化が進み、工作機械周辺における採用が広がっている。機械では加工物を正確な位置に固定しない「浮き上がり」と呼ばれている状態で加工すると不良品になる。しかし、実際には微細な切粉が詰ったり、位置がずれることが頻繁に見られる。「エアマイクロセンサ」は、工作機械が加工に入る前に、加工物が正確な位置に固定されているかどうかをチェックし、空気の圧力を使って加工対象物と治具の正確な密着を確認する装

(19) 東京精密時代の同僚であった佐々木清人氏も技術顧問として指導を行っている。

置である。圧縮空気の圧力変化を見ることで微少な隙間の有無を検知している。他社のセンサは、工作機械の加工エリアの外部に設置するが、メトロールは浮き上がりを検知するという用途に特化しており、防水・防塵製を備え、加工エリア内に設置できることが特徴である。圧縮空気を使う構造上、内部に設置することで、高精度かつ高速に計測ができ、2 m 以内であれば、0.8秒程度で応答する。他社の空圧式のギャップセンサの精度が20ミクロン程度だったが、1ミクロンの精度で測定できるようになっている。

例えば、工作機械を使用する自動車部品大手のデンソーも、ABS アクチュエータ部品をNC マシニングセンタで部品を切削加工する際、「エアマイクロセンサ」⁽²⁰⁾を採用している。従来の空圧式「ギャップセンサ」の繰り返し精度が20～30ミクロンで安定せず、着座不良による加工不良が発生していた。2013年の展示会で見たメトロールの「エアマイクロセンサ」展示をきっかけに、5ミクロンの精度要求の4ヶ月にわたる評価試験を経て、加工ラインに採用している。現在では、デンソーの他部門の加工ラインにも採用展開が進み、NC 工作機械におけるエア着座センサの採用率は高まっている。また、自動車部品の検査だけでなく、東京エレクトロンやディスコなどの半導体ウェハの厚さ測定、金型の密着確認などでも国内外で採用が進んでいる。

5. メトロールの企業理念「CEPS」と社内体制

メトロール製品の工作機械への採用拡大には、製品開発に加え、世界中への製品供給を可能とする社内の仕組みがある。これらを整備してきたのが松橋章氏の長男の松橋卓司氏である。1958年生まれの松橋卓司氏は、日本大学農獣医学部を卒業後、日清食品と叔父が社長を務める豆腐製造会社を経て1998年にメトロールに入社している。メトロールは「会社の仲間や仕事を愛せない社員は、製品もお客様も愛せない！」との考えから、1990年に「CEPS」を企業理念と

(20) 詳細は日刊工業新聞社（2016）やメトロールの「お客様改善事例」参照。

モジュール化による連続的イノベーション

して掲げているが、松橋卓司氏はこれらを具現化する社内制度を整備・運営している。なお「CEPS」とは、「Customer Satisfaction（お客様満足）」、「Everyone Satisfaction（全社員満足）」、「Productivity（生産性）」、「Speed（スピード）」の頭文字をとったものである。

「Customer Satisfaction（お客様満足）」と「Speed（スピード）」の具体例として、海外展開が挙げられる。松橋卓司氏の入社当時は韓国と台湾の工作機械企業に多少輸出している程度だったが、米国シカゴの工作機械展示会に出展したとき、顧客が12時間も車を飛ばして、交換用センサを買い付けに来たことがきっかけとなった。顧客の話から販売価格3万円のセンサが、商社経由で10倍弱の価格で売られていることが明らかになった。また、ブラジルと米国の顧客は、工作機械に搭載されていたメトロールのセンサ故障の交換依頼の納品が2ヶ月以上かかると言われ、メトロールに直接連絡してきた。

1998年に海外向けダイレクト販売のインターネットサイト「TOOLSESNOOR.COM」を立ち上げ、海外事業を本格化した。また2000年にグーグル検索に連動したWEB広告のサービス開始後から導入している。グーグルや百度（バイドゥ）で「ツールセッター（刃先位置のセンサ）」という言葉を検索したときに、メトロールの広告が出るようにした。その結果、広告コストの月額5万円に対して売上100万円弱の効果が得られ、効果的なマーケティングが可能となっている。⁽²¹⁾ メールマガジンとSNSの活用にも注力し、現在は6万人（国内3.5万人、海外2.5万人）のエンジニア向けに先端技術情報を発信している。

また世界中の展示会に年間25回程度出展しており、累積で延べ14ヵ国38都市の展示会に200回以上に出展している。そのため3時間で設営、1時間で撤去作業のパッケージ化された折りたたみ式展示物を用意している。現在ではウェブサイトで、英語、中国語、台湾語、ドイツ語、韓国語、タイ語、スペイン語、

(21) ニッチな分野であるため、上位30カ国に絞った3～4万人に対しても、FACEBOOKのキーワード広告は、1キーワード10円程度で、総額でも1.5万円程度である。

ポルトガル語など9カ国に対応している。2008年に中国・上海、2012年に台湾に子会社を設立している。

海外のダイレクト販売では、クレジットカードで決済し、国際宅急便で1～2週間に届ける仕組みを作った。もともと、国内の営業担当者と管理部門のマネジメントクラスには会社名義のクレジットカードが渡され、上司の決裁なしで対応したり、国内営業では社内でSuicaをチャージしたりしている。これにより経費を申告する必要がなくなり、経理の仕事も最小限になる。一方で、本業に集中することで、営業担当者の場合は1日4件の顧客訪問を行動目標として、営業はブログに日報を書き、情報を共有している。⁽²²⁾

「Productivity（生産性）」の具体例として、本社オフィスも工場も基本的に賃貸で、設備保有は必要最低限にしており、流動資産比率は約7割、固定資産比率は5%台に留めている。組織も主に「技術」、「製造」、「マーケティング」の3部門で構成され、間接部門を配置していない。「会社はオーケストラ」との持論から、人事の社員を置かず、3部門が人を出し合い、金を生まない仕事は「みじん切り」にして平等に振り分ける体制としている。経理についても、クラウド型の経費精算システムの採用で分業化を進めている。

生産面でも、1000種類のラインナップの製品を、従業員⁽²³⁾122名のうち約半分を占める地元の主婦パートが、製造の約7割を担っている。いわゆる「着せ替え人形」方式で、1万点の部品の組み合わせで、1000種類のラインナップを組み付ける。工作機械向けだけでなく、自動車や半導体業界や金型・溶接向けなどにも顧客層が広がっている。各企業や業界向けに、細かい仕様変更やコードの長さまで対応していることもあり、年3回ほど改良を加えている。そのため生産工程の約8割が手作業であり、例えば、ピンセットを片手に2～5センチ、高さ10センチの筒状のセンサを組み立てている。一般的にパートは、1年目に

(22) 社内では対面を重視し、メールは原則禁止で、CCも基本的に禁止している。

(23) 2016年6月時点で、20代が全体の53%を占め平均年齢34.8歳、女性比率は62%。

モジュール化による連続的イノベーション

50種、2年目に100種、3年目に150種と組み立てる品種を増やしていくが、100種類以上の自社製治具で、誰が作っても同じ姿勢や角度で取り付けることで、品質の安定性を確保している⁽²⁴⁾。

もともと1984年に入社した奥隅政治氏が、未経験の女性パートでも組み立てられる仕組みを作り、2001年に入社した刀祢雅男史が、2005年に後任として製造部を率い、治具をシンプルにして、標準化を進めた。現在では90%以上を受注生産し、3週間後の生産計画は立てていない。必要な部品を組み合わせ、パート社員が1個単位で生産指示を受け、分業はせず、1人の人間が中間検査から最終確認まで行い、包装している。研磨や検査は専門スキルを持った社員が必要となるが、それぞれ作業者一人ずつを確保できれば対応が可能となっている。

「Everyone Satisfaction（全社員満足）」の具体例として独自の人事制度が挙げられる。女性パートタイマーは6時間勤務だが、仕事の中身も権限も、一部の賞与規定などを除けば、基本的には正社員と同等としている。年配者向けの床暖房や「バツイチ手当」などきめ細かい配慮をしていることもあり、パートの平均勤続年数は7年と長く、20年以上の人も多い。パートタイマーは9時半から16時半までの勤務体系だが、年4回の懇親会も勤務時間の16時から行い、年1回の社員旅行は、主婦に配慮し日帰り18時解散を絶対条件として、出勤扱いで費用は全額会社負担である。

2005年から職場の様々な場所にA4サイズの「気づきの用紙」の目安箱を設置している。自分の決められた仕事だけでなく、自分の働く環境の改善・改善案も自分たちで出していくことを期待しているが、最初から改善自体は難しいので、気づきを提案させている。年間1300件以上の改善提案から翌朝には9割

(24) 一例として、松沢由賀さん（2006年入社）は寿司屋での接客から工業用センサの製造・組立の仕事に転身を図っており、図面を見るのは初めて、ノギスなどの治具（加工や組立の際に用いる道具）を使うのも初めてから、組み立てたセンサがホームページにアップされている。

を決裁しており、2回の社内懇親会では「良い気づき」を提案した社員に、社長から金賞・銀賞・銅賞が贈られている。

新卒採用では、ユニークな組織運営や賞与が年3回あることなどが話題となり、2000人を超える新卒エントリーがある。心理分析官⁽²⁵⁾の講習を受けた設計部門の社員が採用試験に参加し、概念化（思考）、ミッション意識（使命感）、内部強化（プロ意識）、外部重要性の4項目のアセスメントの評価をしている。一方で精神的自律の高い社員を採用する方針のため、自己啓発を目的とした人材研修は一切なく、人材は発掘するものとの考えを取っている。松橋卓司社長は「当社はトップダウン組織」と考えており、だからこそ、このようなユニークな制度を取り入れることができると考えている。

6. 工作機械産業における外部補完者としてのメトロール

林（2005）は、企業戦略の観点から電子部品産業・企業⁽²⁶⁾の分析を通して、「モジュール（組み合わせ）型」と「インテグラル（擦り合せ）型」を社内外で組み合わせている企業が高収益をあげている事を示した（図表10）。横軸は、社外（顧客）との擦り合せ（インテグラル）／組み合わせ（モジュール）の程度であり、「カスタム品」か「標準品」かに相当する。縦軸は、社内でのインテグラルの程度であり、「生産性重視（モジュール型）」と「技術重視型（インテグラル型）」という軸で単純化している。一方で、半導体メモリなどの製造設備は業界標準化が進んでおり、またPCなどの完成品は外部からいくつかの標準化されたモジュール（MPU, DRAM, HDD など）を購入して組み立てる点から、「生産性重視（モジュール型）」に分類される。

これらの2軸の組み合わせのマトリックスで考えると、一般的に部品企業は、ユーザー（外部）の新製品に対してカスタム（擦り合せ）対応し、最先端の

(25) 2008年頃の採用8人の新入社員が3年以内で7人辞めたが、2012年度のアセスメント評価導入後の離職率は13%まで減少している。

(26) 上場114社の電子部品企業の全ての財務データとビジネスモデルから検証した。

モジュール化による連続的イノベーション

(図表10) モジュールとインテグラルの組み合わせ戦略例 (電子部品)

		社外 (ユーザーとの関係)	
		モジュール (組み合わせ) 型 (標準品など)	インテグラル (すりあわせ) 型 (カスタム型など)
社内	モジュール型 (生産性重視)	例: DRAM など汎用半導体, PC など完成品 (21世紀に入り, 日本企業の競争 力が低下)	例: ヒロセ電機, キーエンス (キャッチアップが困難で, 利益 率が高い売上は自社の生産性 (優 位性) に依存)
	インテグラル型 (技術重視)	例: 村田製作所, Intel (標準化がポイント, 成長はユー ザー依存)	例: 日本電産, 京セラ, 電子部品 企業多数 (一般的には最も成長しにくく, 低利益)

(出所) 林 (2005) などより作成

技術を内部の擦り合わせ技術で作り上げることが多くなる。ユーザーのセット製品の市場が拡大すれば、その部品を供給する部品企業も恩恵を享受するが、最終消費者のニーズの形が顕在化してくると、セット製品の差別化が困難となり、価格競争が激化する。それとともに部品企業へのコストプレッシャーの高まりや部品の複数購買化などにより、低利益率に収斂する傾向がある。部品企業が高収益化するためには、上手くモジュール化の概念を取り入れることが重要である。しかし、社内に対しても、社外に対しても、モジュール化を行なうと、他社との差別化が難くなる。そのため、社内か、社外のどちらか一方に「モジュール化」を組み合わせることで収益を高められる可能性が高くなる。

メトロールの販売・生産を2軸の組み合わせのマトリックスに当てはめると、社外 (顧客) には1000種類のラインナップを供給するすりあわせ (インテグラル) だが、社内はパート従業員が各部品を組み合わせるモジュール戦略をとっていると解釈できる。メトロールが、顧客である工作機械企業に多様なセンサを供給することで、顧客企業も位置決め精度を保証しながら、自社の強みを活かしつつ差別化した工作機械の設計が可能になる。結果として、工作機械産業のエコシステムの多様性に貢献し、メトロールも売上拡大を達成してきた。

一方で、NC装置のファナックは、社内はすりあわせ (インテグラル)、社

外はモジュールの戦略をとることで、高収益を得ていると考えられる。林（2014）では、工作機械産業におけるキーストーン種としてのファナックの戦略を、以下のようにプラットフォーム・リーダーシップ戦略の4レバーの①企業の範囲と②製品技術の視点で分析を行った。

① 企業の範囲（何を社内で行い、そして何を外部の企業にさせるべきか）

ファナックは、すりあわせ度合の大きい、ソフトウェアのNCとハード機器のサーボ機構の両方をセットとして1社で手掛け、工作機械企業にNCモジュールとして提供している。工作機械メーカーは最終ユーザーとのすりあわせを担当し、ユーザーニーズを取り込んだ機械を開発する。ファナックはモジュール化により、最終ユーザーのニーズ動向に過度にとらわれず開発することができ、工作機械企業はコア部品のモジュール化を進めることで、ユーザーニーズを取り込む活動に注力することが可能になった。

② 製品技術（アーキテクチャ、インターフェイス、知的財産に関する意思決定）

柴田・玄場・児玉（2002）によると、ファナックは1980年代まで主要コンポーネントを内製化し続けてきたが、新型NC装置の開発でインターフェイス部分のオープン化を進めている。1985年に量産開始したSeries 0（ゼロ）は、オーダーメイドマクロというカスタム化機能を提供し、工作機械ユーザーが自由に革新できる範囲が広がった。さらに1997年のSeries 16iでは、ハードウェアを表示部、演算部、駆動部の3つの大きな部品ユニットに分断した。この結果、IBM互換パソコンの表示装置を使用し、最終的な操作仕様等も工作機械企業でカスタマイズが可能となり、ユーザーの中小工作機械企業に必要なオープン化が満たされている。

本論文の内容からファナックの「③外部補完者との関係性」として関連部品企業の流れを解釈できる。NC導入期の日本精工（ボールねじ）とダイキン工業（テフロン）に加え、NC普及期のTHK（直動機器）の普及、直近のメトロールの事例が適用される。メトロールに関しては、NC装置のグローバル化

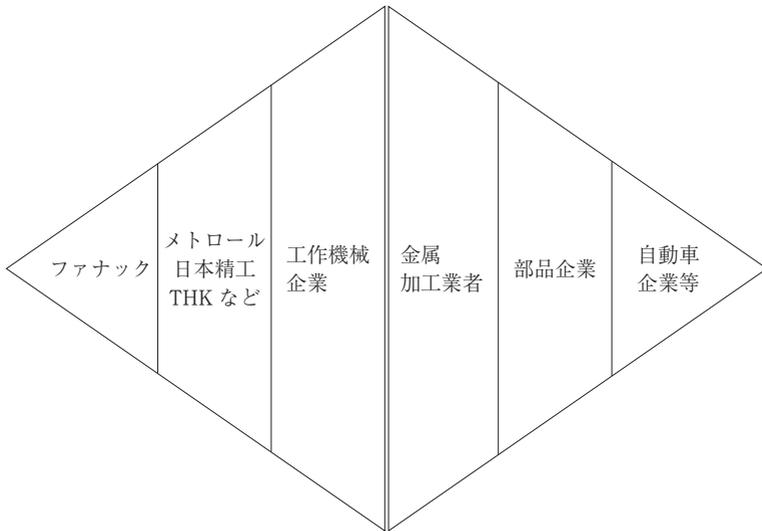
モジュール化による連続的イノベーション

を追い風としてきたが、ファナックから直接的な働きかけがあった訳ではない。しかし、工作機械各社の多様性の広がりに伴い、部品企業も顧客に対応した多様な製品対応を求められるが、ファナック 1 社で対応するのは非効率だと考えられる。むしろ、社内にモジュール戦略を取り込んだメトロールが、社外の顧客の多様性にすりあわせていくことが効率的である。モジュール化が進んだ工作機械産業では、NC 装置の高速化・高精度化の進展に伴い、新規企業も新しいイノベーションを独自に興しやすい環境が整っている上に、多様化が進んでおり、メトロールのような外部補完者が多様な顧客層に貢献する余地が生まれている。さらに、メトロールのような外部補完者の製品が NC 工作機械の導入と多様化につながる好循環があったことが指摘できる。

⁽²⁷⁾
自動車のように多くの部品から成り立つ産業では、一般的にサプライヤーがピラミッド構造をとっているが、末端の部品企業に対応するために、機械企業は多様なニーズの機械を求められることになる（図表11）。工作機械を使用する金属加工業者は、各種の部品加工が求められるため、工作機械企業も多様性が常に求められることになる。日本の大手工作機械企業は、経営効率上なるべく広範囲に加工ができる機械を対象に生産している。一方で、工作機械の中小企業は特徴のある差別化製品の開発に注力してきた。逆に、それらの企業に NC 装置を供給してきたファナックの立場では、顧客、つまり工作機械企業が最終用途を広げる役割を担っていると考えられる。メトロールなどのモジュールをうまく活用した部品企業が補完者として、工作機械産業の多様性に貢献している。NC 装置企業がそれらに全てに対応しては収益性が低下する恐れがあるため、部品企業各社がモジュール部品を供給することで、産業全体の多様性を確保できていると考えられる。

(27) 1 台の自動車の部品点数は、一般的に約4,000種類 2～3 万個といわれている。

（図表11）工作機械と顧客産業の産業構造イメージ



7. まとめ

本論文では、メトロールの事例研究を通して、ファナックによるプラットフォーム・リーダーシップ戦略の4レバーの「③外部補完者との関係性」の観点を踏まえて分析した。ファナックがNC装置をモジュール化したことで、工作機械全体のモジュール化が進み、外部補完者であるメトロールがセンサを生み出し、工作機械のイノベーションを促進し、自律的發展を促していることを検証した。ファナックは、「社内」でNCとサーボ機構をすりあわせることでモジュールとしての「NC装置」を提供し、外部補完者のメトロールは「社内」で機動的でユニークな制度でモジュール性を組み、顧客の多様性に貢献する「機械式精密位置決めスイッチ」を提供している。これらにより、工作機械産業全体のイノベーションを促進させ、「イノベーションのジレンマ」を避けることに成功している構造を示した。

今後の課題として、さらなる機械産業の事例研究を積み上げるとともに、本

モジュール化による連続的イノベーション

論文で示した工作機械など生産財の産業構造を、物量や収益も含めた定量面で検証する必要がある。また、工作機械産業の分析のためには、自動車産業などの主要顧客との関係を含めて構造を理解する必要もある。具体的には、機械産業内の製品間の複雑な関係を（製品）物量と付加価値の流れを定量的に推計し、「売上・付加価値分配のデータベース」を作成し、外部からは見えにくいアジア全域での生産財を通して生まれるイノベーション・付加価値の流れを定量・定性の両面から明らかにする必要がある。生産財の「エコシステム」の分析に加え、生産財を使用する自動車部品企業の生産性・コストの社内データをすりあわせ、最終顧客からの視点も含め生産財の生産性と付加価値の流れを明らかにすることで、産業構造の検証を行う必要がある。

なお、本論文は JSPS 科研費 17K18575（挑戦的研究（萌芽））の助成による研究内容が含まれている。

参考文献

- Baldwin, C. Y. & Clark, K. B. (2000) *Design Rules: The Power of Modularity*, Vol. 1, Cambridge, MA, MIT Press. (安藤晴彦訳「デザイン・ルールーモジュール化パワー」, 東洋経済新報社, 2004年)
- Chesbrough, H. W. (2003) *Open Innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*, Harvard Business School Press (大前恵一朗訳「OPEN INNOVATION—ハーバード流イノベーション戦略のすべて」, 産能大出版部, 2004年)
- Christensen, C. M. (1997) *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press (伊豆原弓訳「イノベーションのジレンマ」, 翔泳社, 2000年)
- Christensen, C. M. et al. (2004) *The Innovator's Dilemma: Seeing what's Next*, Harvard Business School Press. (宮本喜一訳「明日は誰のものか」, ランダムハウス講談社, 2005年)
- Clark, K. B & Fujimoto, T. (1991) *Product Development Performance*, Harvard Business School Press. (田村明比古訳「製品開発力」, ダイヤモンド社, 1993年)
- Fine, C. H. (1998) *Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*, Reading: Perseus Books (小幡照雄訳『サプライチェーン・デザイン—企業進化の法則』, 日経 BP 社, 1999年)
- Gawer, A. & Cusumano, M. A. (2002) *Platform leadership: how Intel, Microsoft, and*

- Cisco drive industry innovation, Boston: Harvard Business School Press. (小林敏男
監訳「プラットフォーム リーダーシップ：イノベーションを導く新しい経営戦略」,
有斐閣, 2005年)
- Grove, A. S. (1996) Only the Paranoid Survive: How Exploit the Crisis Points that
Challenge Every Company and Career, New York: Currency Doubleday.
- Henderson, R. M. & Clark, K. B. (1990) “Architectural Innovation: The Reconfiguration
of existing Product Technologies and the Failure of Established Firms,” Administrative
Science Quarterly, 35, 1.9-30
- Iansiti, M. & Levien, R. (2004) The Keystone Advantage: What the New Dynamics of
Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability, Harvard
Business School Press (杉本幸太郎訳「キーストーン戦略 イノベーションを持続
させるビジネス・エコシステム」, 翔泳社, 2007年)
- Ulrich, K. (1995) “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,”
Research Policy, 24, 419-440
- 青木昌彦・安藤晴彦編 (2002) 『モジュール化』 東洋経済新報社
- ウェッジ (2015) 「Wedge」 2015.2
- 大河出版 (2014) 「ツールエンジニア」 2014.3
- 楠木健・チェスプロ, H. W. (2001) 「製品アーキテクチャのダイナミック・シフトー
バーチャル組織の落とし穴」, 藤本・武石・青島編 (2001) 『ビジネス・アーキテク
チャ』 所収, 有斐閣, 263-285
- 黒崎誠 (2015) 『世界に冠たる中小企業』 講談社
- 経済界 (2015) 「経済界」 No 1043, 2015.7.7
- 児玉文雄 (2007) 『MOT シリーズ技術経営戦略』 オーム社
- 沢井実 (2013) 『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
- 柴田友厚・玄葉公規・児玉文雄 (2002) 『製品アーキテクチャの進化論』 白桃書房
- 週刊ダイヤモンド (2010) 2010/11/11号
- 第一学習社 (2017) (2013) 『最新地理図表 GEO 初訂版』 2017年版, 2013年版
- 立本博文 (2017) 『プラットフォーム企業のグローバル戦略—オープン標準の戦略的
活用とビジネス・エコシステム』 有斐閣
- タナベ経営 (2018) 「FCC REVIEW (ファーストコールカンパニーレビュー)」 2018
February
- ちばぎん総合研究所 (2017) 「マネジメントスクエア」 2017.3 No. 325
- 日刊工業新聞社 (2013) 「工場管理」 2013年1月号, Vol 59, No. 1
- 日刊工業新聞社 (2014) 「機械技術」 2014年10月号, Vol 62, No 10
- 日刊工業新聞社 (2016) 「機械技術」 2016年10月号, Vol 64, No 11
- 日経BP (2009) 「日経ビジネス」 2009.1.19号
- 日経BP (2011) 「日経ビジネス」 2011.3.14号

モジュール化による連続的イノベーション

- 日経 BP (2013) 「日経トップリーダー」 2013.3 号
日経 BP (2016) 「日経ビジネス」 2016.12.5 号
日経 BP (2017) 「日経ものづくり」 2017年10月号
日経 BP (2018) 「日経ものづくり」 2018年2月号
日本工作機械工業会 (2012) 『工作機械産業ビジョン2020』 日本工作機械工業会
日本工作機械工業会 (2016) 『工作機械統計要覧2016』 日本工作機械工業会
日本工作機械工業会 (2017) 『工作機械統計要覧2017』 日本工作機械工業会
日本政策金融公庫 (2016) 「中小企業事業 JFC 中小企業だより」 2016.9
日本能率協会 (2016) 「JMA マネジメント」 2016.4
日本労務研究会 (2014) 「人事労務実務の Q&A」 2014年10月号
ニュースダイジェスト社 (2014) 「月刊生産財マーケティング」 2014年4月号
林隆一 (2005) 「経営戦略・思想で見る電子部品業界」 『財界観測』 第68号第1号所収,
P 82-113
林隆一 (2014) 「製造業におけるプラットフォーム・リーダーシップ戦略とキースト
ン戦略—工作機械産業の事例研究—」, 神戸学院経済学論集46巻1・2号
林隆一 (2015) 「プラットフォーム・リーダーシップ戦略における補完者の拡張—工
作機械産業の事例研究—」, 神戸学院経済学論集46巻3・4号
林隆一 (2016) 「台湾工作機械産業におけるエコシステムの検証—プラットフォーム・
リーダーシップ戦略の現地調査—」, 神戸学院経済学論集47巻3・4号
林隆一 (2017) 「資本財企業による先進国の需要開拓—電動工具企業のマキタの事例
研究—」, 神戸学院経済学論集48巻3号
樋口晴彦 (2012) 「組織の失敗学」 中央労働災害防止協会
樋口晴彦 (2017) 『続・なぜ、企業は不祥事を繰り返すのか—重大事件から学ぶ失敗
の教訓』 日刊工業新聞社
ビジネスパブリッシング (2016) 「人事マネジメント」 2016 June
廣田義人 (2011) 『東アジア工作機械工業の技術形成』 日本経済評論社
藤田泰正 (2008) 『工作機械産業と企業経営』 晃洋書房
藤本隆宏編 (2013) 『「人工物」複雑化の時代』 有斐閣
藤本隆宏・キム B. クラーク (2009) 『【増補版】 製品開発力—自動車産業の「組織能
力」と「競争力」の研究』 ダイヤモンド社, 田村明比古 (翻訳)
メトロール (2017) 『株式会社メトロール 40周年史』 株式会社メトロール
安本雅典・真鍋誠司編 (2017) 『オープン化戦略—境界を越えるイノベーション』 有
斐閣
NC network (2016) 「エミダスマガジン」 2016 Winter
SMBC コンサルティング (2017) 「SMBC マネジメント」 2017.9
THK 株式会社 (2001) 『THK 30年のあゆみ』 THK 株式会社

日刊工業新聞 2013.8.23, 2015.7.14, 2015.10.27, 2017.9.12, 2017.9.14

日経産業新聞 2012.11.21

日本経済新聞 2010.6.4, 2010.9.2, 2015.3.23