

工作機械メーカーのソリューション・ビジネス

——日本メーカーは第4次産業革命に対応できるか——

榎 本 俊 一

目 次

1. はじめに
2. 従来の製造業のITシステムと工作機械ビジネス
3. “Industrie 4.0”とスマート・ファクトリー
4. 結 び

1. はじめに

(1) 円高とグローバル化への対応

1990年代以降、我が国工作機械メーカーは、持続的円高によるコスト競争力低下に苦しみつつ、経済のグローバル化に如何に対応するかを課題としてきた。1970年代、日本メーカーは、工作機械のコンピュータ数値制御（NC）化というパラダイム・シフトを主導し、1980年代には世界市場（先進国が主要市場）で標準機を中心に競争優位を確立したが、1990年代以降、韓国等後発国メーカーが日本企業の円高による競争力低下を好機に低～中価格帯参入を本格化すると、日本メーカーは複合加工機・5軸制御機の開発に取り組み、先進国市場での競争を高付加価値化により対抗した。

2000年代、中国の爆発的な経済成長により、工作機械のグローバル競争の舞台は、先進国市場に加えて新興国市場に広がる。欧州メーカーは、中国の工作機械需要の将来的な高度化を見越し、現地生産による本格的参入

を進め、韓国メーカー等も技術力向上により高付加価値部門への参入を図った。一方、日本メーカーは世界工作機械市場の構造変化に国内集約生産を修正してグローバル生産に取り組んだが、ヤマザキマザック、オークマ、森精機等は引き続き高付加価値技術の開発により自動車・航空機・資源などの高付加価値部門の取込みを強化するとともに、工作機械の販売に併せてソリューション・ビジネスを展開し競争優位を維持しようとしてきた。

(2) ソリューション・ビジネスに関する先行研究

2000年代以降、工作機械メーカーが取り組むようになったソリューション・ビジネスとは、「工作機械の販売に加えて、顧客の製造に関する課題を探求し、解決方法を提案するサービスを提供する」ことで、顧客の困込みと収益増を図るビジネスであるが、山田（2005）は工作機械メーカーのソリューション・ビジネスを総合エンジニアリングの提供、遠隔監視・メンテナンスの二つに類型化した。

総合エンジニアリングの提供とは「開発、設計、製造など製造業の業務を支援するためのシステムの提供」であり、工作機械メーカーは顧客ニーズに基づき、設計支援のCAD、強度計算や流量計算など解析支援を行うCAE、加工データを作成する製造支援のCAM、製造工程間を自動化する工場自動化のFA、設計・製造・販売を統合するCIM等を組み合わせ、開発・設計・生産のフル・システムを提案。顧客の要求に基づく修正を経てシステムを最終的に確定し、システムに必要な工作機械・搬送装置・周辺装置等を一式調達し、顧客にフルターンキー納入するものであるという。また、遠隔監視とメンテナンスとは「工作機械の制御部分であるNC装置に通信設備を内蔵し、インターネットにて工作機械メーカーのサポートセンターに接続し、同センターにて機械の稼働状況の監視を行う」ことであ

り、顧客の機械が故障した場合にも工作機械メーカーはサポートセンターから機械の状態を把握し、的確な対応を取るとする。

山田（2005）を踏まえ、鈴木他（2009）はヤマザキマザックのソリューション・ビジネス（“Done in One”）に関する事例研究を行った。同研究はヤマザキマザックの事業説明に基づき、ヤマザキマザックは①顧客との「綿密な打ち合わせ」により、顧客の現行生産方式とその改善目標を確認し、顧客の提供する図面・素材を使用して顧客の要求をクリアする加工方法を開発、続いて②当該加工に必要な工作機械だけでなく省人化・無人化のための搬送装置・周辺装置を含む生産ラインを具体的に設計し、生産ラインを運営管理するシステム、ヤマザキマザックが機械の作動状況を遠隔監視するためのシステムも含む総合的なシステムを組み上げ、③顧客との調整を経て最終的な生産方式を確定、工作機械・ソフトウェア等を納入し、生産システム立上げをサポートするとともに、④アフターケアとしてシステムの遠隔監視・メンテナンスを行っているとした。

（3）第4次産業革命とソリューション・ビジネス

鈴木他（2009）は一事例研究であり一般化には慎重を要するが、工作機械メーカーのソリューション・ビジネスに関する貴重な研究であった。だが、2010年代半以降工作機械産業が直面するパラダイム・シフトの第4次産業革命（“Industrie4.0”）¹⁾以前の研究であり、生産システムのデジタル化に伴う工作機械ビジネスの変革を踏まえたものではない。ただし、第4次産

1) ドイツ政府はインダストリー4.0を第4次産業革命に向けた政策と称する。蒸気機関の利用を第1次産業革命、電気エネルギーを用いた大量生産の導入を第2次産業革命、情報技術の利用による自動化の進展を第3次産業革命とし、情報技術と現実世界の融合による新しい生産システムを第4次産業革命とする。

業革命への工作機械メーカーの対応においてソリューション・ビジネスの果たす役割は大きいと考えられ、鈴木他（2009）の見直しが必要である。

① ドイツの“Industrie4.0”

現在、低賃金労働を武器に製造サプライ・チェーンの川下最終工程を担ってきた中国が技術力、イノベーション力を獲得しつつあり、米国 IT 企業がグーグルの自動運転車事業など IT 技術との融合により製造部門参入を試みる中、ドイツは製造業の競争優位を維持する策として“Industrie4.0”を提唱する。IoT（Internet of Things）と FA（Factory Automation）の融合により「スマート・ファクトリー（考える工場）」を実現、更にスマート・ファクトリーをネットワークでつなぎ国全体を一つのスマート・ファクトリー化することで、変動する市場ニーズに迅速・的確に対応する変種変量生産を実現しようとしている。これは（従来までの）個別工場の枠を超えた企業・社会単位での（究極の）FA 化である。

② “Industrie4.0”以前の FA 化

従来の FA 化では、生産現場のフィールド機器を制御する PLC（Programmable Logic Control）、各工場での生産実行管理を行う MES（Manufacturing Execution System）により、工場単位での自動化が追求されてきた。工作機械メーカーは、顧客の生産ラインで用いられる工作機械の受注を巡り競争を展開、生産ラインの FA 化で工作機械以外に必要な搬送装置・周辺装置を併せて納入してきた。生産システムの IT 部分に関しては、工作機械メーカーは個別機器の実行管理に必要なソフトウェアは提供しても、工場での生産実行管理を行う MES はソリューション・プロバイダーの事業領域としてきた。ましてや、生産管理・在庫管理・会計管理・販売管理を統合管理し経営資源の有効活用を図る ERP（企業資源計画）は工作機械メーカーには“out of reach”だった。

工作機械メーカーは顧客の生産システムのうち物的部分に関与を集中

し、IT部分への関与を納入機器の制御に限ってきた。この点、鈴木他(2009)はヤマザキマザックが顧客の生産ライン全体の改善案を取りまとめ、工作機械・搬送装置・周辺機器・管理ソフトウェアをフルセット調達、生産システムをMESも含めてターンキー納入しているように報告しているが、実際はヤマザキマザックのソリューション・ビジネスも顧客の生産ラインのうち物的システムに限られたものであったと考えられる。同研究では説明が曖昧になっているが、「管理ソフトウェア」は、ヤマザキマザックの個別製品のCNCソフトであり、工場の生産実行管理を行うMESではなかったと考える。また、顧客の生産ラインの遠隔監視・メンテナンスには、工作機械メーカーと顧客のITシステムの常時接続が前提であるが、当時の通信技術水準を考えると現実味が薄いのではないだろうか。

③ “Industrie4.0”と生産のデジタル化

一方、“Industrie4.0”では、工場・生産ラインのFA化・IT化を超えた「生産のデジタル化」が追求されている。第一に、製造業のITシステム(2(1)後述)においてERP、MES、PLCを垂直統合し、市場ニーズに応じて企業全体の生産計画を機動的に見直し、生産ラインをコンピュータにより最適制御し、柔軟な生産・出荷を行う、第二に、製品・設備にICタグやバーコードを装着、それらをセンサーやカメラで読み取って通信で結び、センサー等から得たデジタル情報をクラウド上でリアルタイムに収集・分析、生産ラインを解析結果に基づき最適制御すること(CPS: Cybern Physical System)が目標である。

ここでは、従前の工作機械・搬送装置・周辺装置の最適組合せとMESによる生産ライン管理は、企業活動の統合管理のほんの一部分を構成するに過ぎない。議論を工場生産に限っても、仮想空間におけるシミュレーションにより最適生産を絶えず割り出して物的生産システムに実行指示する

CPSが付加価値の大きな部分を産み出すようになることが期待されており、物的な生産ラインにおける工作機械等の最適配置とMESによるシステム管理は相対的に重要性を失うおそれがある。このため、工作機械メーカーは物的システムの提供以外に、CPSに関与するビジネス・モデルを創り出せないか模索中であり、“Industrie4.0”に新たなビジネス・チャンスを見出そうとしている。

また、顧客ニーズが単なる物的な生産システムの構築から生産のデジタル化にシフトすれば、工作機械メーカーのソリューション・ビジネスも、顧客の生産ラインの物的システムに限られたものから、ITシステムも含め対象とするものに転換すると考えられる。鈴木（2009）はIoT技術の未実用段階での事例研究であり、スマート・ファクトリーに対応したものでないため、現在、同研究を出発点としつつも“Industrie4.0”に対応した事例研究が新たに必要となっている。

(4) 本稿の目的

本稿では、“Industrie4.0”により、ソリューション・ビジネスを含む工作機械ビジネスが如何に変化するのかという問題に関し、伝統的な製造業のITシステムと“Industrie4.0”の追求するスマート・ファクトリーにおけるITシステムとの相違を明らかにした上で、工作機械メーカーがそれぞれのシステムにおいて如何なる付加価値を提供しようとしているのか、それに伴いソリューション・ビジネスの在り方が如何に変わるかを取り扱う。

伝統的な製造業のITシステム下での工作機械メーカーのソリューション・ビジネスについては、先行研究の鈴木他（2009）の検証が必要である。同研究では、工作機械メーカーは工作機械・搬送装置・周辺機器等の最適組合せを考案し（総合エンジニアリング）、機械・設備等をフルセット調達

後、生産システムに組み立てて顧客にターンキー納入するだけでなく、工場全体の製造実行管理を行う「管理ソフトウェア」も総合エンジニアリングの一環として提供しているとした。しかし、①管理ソフトウェアとは工場全体の製造実行管理を実行するMESではなく、個別機械の実行・管理に係るものを意味し、②工作機械メーカーは生産ラインのFA化等に関して工作機械等の最適組合せを考えて顧客に一括納入することに専念、生産ラインのITシステム構築はシステム・ソリューション・プロバイダーに委ねてきたことを示したい。

また、鈴木他（2009）はヤマザキマザックが生産システムの常時遠隔監視・メンテナンスもソリューション・サービスとして提供したとするが、生産システムの常時遠隔監視・メンテナンスには工作機械メーカーと顧客のITシステムの常時接続を要するところ、システム・ソリューション・プロバイダーでない工作機械メーカーには自社と顧客のITシステムの管理は難しかったと考える。本稿では、2016年11月17～22日に東京ビックサイトで開催された「JIMTOF（日本国際工作機械見本市）2016」参加の工作機械メーカー10社²⁾に対するヒアリング結果に基づき、従来の工作機械メーカーのソリューション・ビジネスを含むビジネスの実態を明確化する。

一方、ドイツが“Industrie4.0”で実現しようとしているスマート・ファクトリーでは、仮想空間におけるシミュレーションにより最適生産を絶えず割り出して物的生産システムに実行指示するCPSが、製造業の付加価値の大きな部分を産み出すことが期待されているが、従来、物的な生産ラインが製造業の競争力の源とされてきたところ、物的な生産ラインにおける工作機械等の最適配置案出と一式納入に専念してきた工作機械メーカー

2) ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機、牧野フライス製作所、ジェイテクト、三菱重工工作機械、新日本工機、アマダ、ファナック、三菱電機。

が受け取る付加価値が低下するおそれがある。スマート・ファクトリー時代においても、工作機械メーカーが引き続き生産システム関連ビジネスにおける地位を維持強化するには、第一に、総合工作機械メーカー化することにより、顧客のどのような求めに対しても、最適組合せの生産関連設備・機器を一式調達し、生産システムとして一括納入できる能力を獲得する、第二に、工作機械メーカーもスマート・ファクトリーのITシステム構築に部分的にでも関与することが必要ではないだろうか。

具体的には、“Industrie4.0”によるスマート・ファクトリー化に伴い、工作機械メーカーはソリューション・ビジネスを含む工作機械ビジネスを以下のように改革することが必要であることを工作機械メーカーの動きを踏まえつつ示す。

- ① 総合工作機械メーカー化により、工作機械・搬送装置・周辺装置・生産管理システムが一体となったシステムを一括納入できる「シングル・ソース・ターンキー・プロバイダー」成りを図る。
- ② 従来の製造業のITシステムでは、生産ラインを構成する工作機械・搬送装置・周辺装置等の最適実行管理を行うMES構築はソリューション・プロバイダーに委ねてきたが、物的システムだけでなく物的システムとITシステムを一括納入できる「生産システム・ソリューション・プロバイダー」成りを図る。
- ③ スマート・ファクトリーとの関係では、工作機械・搬送機械・周辺装置等にICタグ等を装着し、カメラ・センサーで読み取った情報をクラウド上にリアルタイムで送信できるシステムを開発・提供し、工作機械のIoT化を進める（自社システムが上位システム等と接続・協同可能であるようインターフェイスの確保が前提）。

以上、本稿では、工作機械メーカーのソリューション・ビジネスに関する

る先行研究を批判的に検証した上で、“Industrie4.0”のスマート・ファクトリー化に対応して、工作機械ビジネスがどのように変化しようとしているかを見る。なお、“Industrie4.0”ではスマート・マニファクチュアに焦点が当てられているのに対し、“Industrie4.0”に対抗的立場にあるとされる米国“Industrial Internet”では、産業機器・施設・車両等をセンサー・応用ソフトウェア等で結び、クラウド上にリアルタイムで収集されたデータ（ビックデータ）をAI等で解析し、機器のよりインテリジェントな設計・操作・保守を可能にし、より高度なサービス品質や安全性を供給することが目的とされている。ここでは実用界での付加価値創造に重点が置かれている。第4次産業革命は“Industrial Internet”も含む形で論じられることもあるが、本稿では、“Industrie4.0”と工作機械ビジネスの関係を対象を限って分析を行うこととする。

2. 従来の製造業のITシステムと工作機械ビジネス

製造業のITシステムは、生産現場の機器の制御、工場での生産実行管理、企業全体の生産・在庫・会計・販売等の統合管理の3層構造を採る。IoT技術が未実用だった従前は、3層のITシステムを統合管理することは難しく、所定の生産計画に基づき工作機械・搬送装置・周辺装置の個別機器を連携させて生産ラインを実行・管理させることが工場管理の中核だった。工作機械メーカーは、顧客の求める生産ラインのFA化等に関して、工作機械等の最適組合せを考えて顧客に物的システムを一括納入することに専念し、生産ラインのITシステム構築等はシステム・ソリューション・プロバイダーに委ねる分業を行ってきた。

ソリューション・ビジネスは「工作機械の販売に加えて、顧客の製造に関する課題を探求し、解決方法を提案するサービスを提供する」ものであるところ、“Industrie4.0”前の世界においては、工作機械のソリューショ

ン・ビジネスでは、生産ラインのFA化等の顧客ニーズに応じて工作機械・搬送装置・周辺機器等を最適に組み合わせた生産ラインを提案し、自社製の工作機械以外でも生産ラインに必要な生産機械・装置を調達して一括納入する「総合エンジニアリング」が主体だった。

(1) 製造業のITシステムの3層構造

従来のFAとスマート・ファクトリーの相違を考える場合、製造業のITシステムの構造を理解する必要がある。製造業のITシステムは、生産現場のフィールド機器の制御を司るPLC、各工場での生産実行管理を行うMES、企業の全工場を対象として生産管理・在庫管理・購買調達管理・プロジェクト管理等を行うERPの3層構造を採る(図1)。

図1 製造業のITシステム

ERP (Enterprise Resource Planning) ・生産管理・在庫管理・会計管理・販売管理を統合管理するシステム
MES (Manufacturing Execution System) ・基幹システムの指示する生産計画を受けて、最適化された形で個別機器を連携し生産ラインの実行・管理を実施、活動結果はフィードバック ・経営者は最新の生産状況と市場需要動向を踏まえ生産・販売計画を最適化、改めて生産現場に指示 ・生産現場は計画修正に対応してMESにより生産活動を改めて最適化
PLC 制御システム ・PLC (Programmable Logic Control) により個別機器のリレーやタイマー等を制御、機器をコントロール ・PLC 制御される機器を情報システムに接続、集中的にコントロールし生産ラインの全工程を自動化
個別設備・機器 (導入年代・製造会社が異なり通信規格・管理機器は非統一)

(出所) 筆者作成

(2) PLC 制御システム

通常、生産工場では導入年代・製造会社が異なる設備・機器が使用されており、通信規格・管理システムは必ずしも統一されていない。生産ラインの自動化のためには、個別機器に通信規格・管理システムが同一である制御 PLC (Programmable Logic Control)³⁾を装着し、個別機器のリレーやタイマー等をプログラムに従ってコントロールできるようにする必要がある。その上で、PLC 制御される工作機械・ロボット・搬送装置・周辺装置⁴⁾を通信ネットワークで相互接続するか情報システムに接続して集中的に制御することにより、資材運搬・加工・組立など生産ラインの全工程を

表1 FA化の構成要素

工作機械	
搬送装置	パレット・ハンドリング (パレット・プール・システム)
	ワーク・ハンドリング (ロボット, カントリーローダ, ワークコンベア)
周辺装置	計測装置, ツール ID, ツールプリセッタ, 洗浄機, エアブロー装置, 組立装置, 圧入装置, 焼嵌め装置, バリ取り装置, マーキング (レーザー, 刻印), ワークストッカ, トレーチェンジャーバッフアステーション, ビジョンセンサ (カメラ), バラ積みセンサ

(出所) DMG 森精機資料に基づき筆者作成

- 3) シーケンス制御 (予め定められた順序又は手続に従って機械が段階的に作動するよう制御すること) 専用のマイクロ・コンピュータを利用した制御装置。パソコンや専用の入力機器により制御内容をプログラム化, 機器にプログラムを逐次実行させる。
- 4) 生産ラインは工作機械・ロボットだけで構成されるわけではなく, ① ワークを移動させて複数の工程をつなぐ搬送装置, ② 計測・洗浄・組立て・バリ取りなど切削以外の工程を担う装置や素材・完成品をストックする装置等の周辺装置も一体となって生産ラインを形成する。

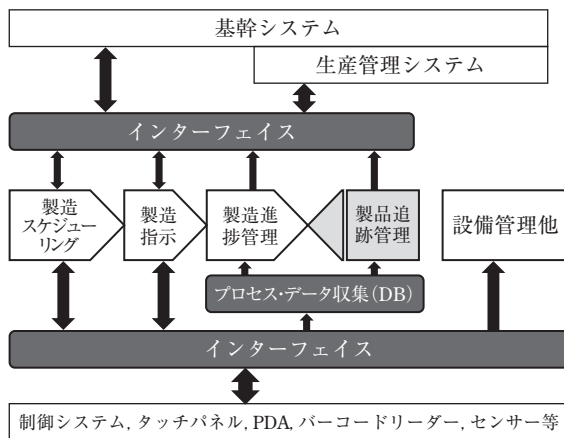
自動化することが従来のFA化で追求されてきた⁵⁾。

(3) 製造実行システム (MES)

生産ラインが自動化したならば、製造企業は生産・販売計画に基づき生産ラインを稼働させ、受注・在庫状況に応じて生産・販売計画を修正し、それに応じて生産ラインの稼働状況を修正することとなる。生産・販売の計画策定・修正は基幹システム(次項(4)参照)が行うが、製造業のITシステムにおいては、基幹システムからの生産指示を受けて、製造実行システム(MES: Manufacturing Execution System)が工作機械・ロボット・搬送

装

図2 製造実行システム (MES)



(出所) 旭化成エンジニアリング資料より筆者作成

(http://www.asahi-kasei.co.jp/aec/business/eic/product/e_mes.html)

- 5) 当初、FA化にはコスト削減が期待されたが、導入初期に巨額投資を要するだけでなく修理・保守に人員を要するため所期の効果はなく、手作業による事故・不良品発生や生産速度のばらつきがなくなり、設備の稼働率向上、品質の均一化・向上、生産調整の容易化、人間の危険な作業からの解放等に主眼が変わってきている。

表2 MESの機能

基本情報管理	製品・工程・加工・設備機器・在庫・作業者等基本情報の管理
製造計画	基幹システムより送信された製造指示（大日程計画）を管理
ロットサイジング（まとめ）	生産計画で指示された生産数を納期に合わせ最適な生産数で生産できるようロット分割・集約を実施
工程管理	ワークの工程内の流れをテーブルによりロケーション管理 ロットの動きとデータをトラッキング、進捗状況をフォロー
品質管理	工程・検査・装置等の情報を収集、情報分析・統計管理し、生産管理にフィードバック（生産品質向上に）
倉庫管理	最適な入出庫のスケジュールを決定・実施

（出所） 筆者作成

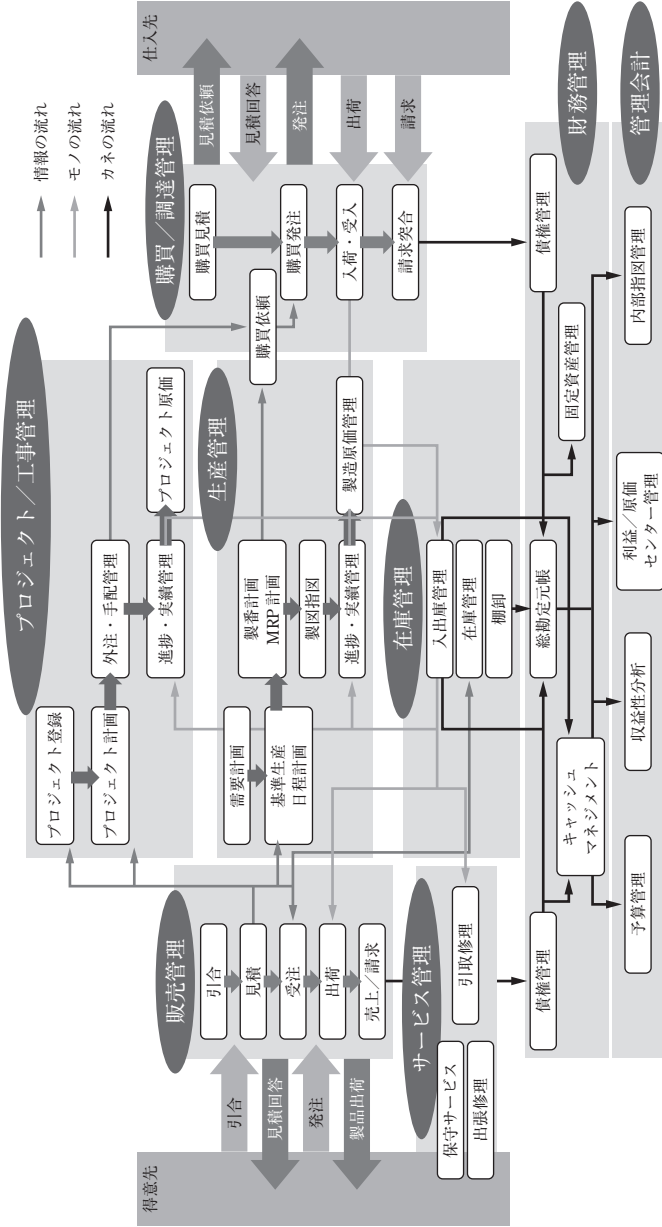
置・周辺装置等の個別機器を連携させて生産ラインの実行と管理を行う。

具体的には、MESは表2に列記した機能を実行することにより基幹システムの指示する生産・販売計画に応じて最適化された生産活動（素材・部品の受発注、生産ラインの選択・段取り替え及び機器制御、製造後のロジスティックス）を実行し、結果を基幹システムにフィードバックする。フィードバックを受けて、製造企業の経営者は生産現場の状況をリアルタイムに把握、最新の市場需要動向と生産現場の状況を踏まえ生産・販売計画を最適化し改めて生産現場に指示し、生産現場はその生産・販売の計画修正に対応してMESにより生産活動を改めて最適化し直すプロセスが繰り返される。

（4） 企業資源計画（ERP）

MESが管理対象とする生産活動は製造企業の中核的活動であるが、企業活動は受注・販売管理、在庫管理、生産管理、財務会計等の基幹業務が

図3 SAPリアルタイム統合型ERPシステム



(出所) ソルネット社ホームページ (<http://www.solnet-dot.com/products/service/sw/sap/index.html>)

ら、人事給与、経費精算、固定資産、プロジェクト管理、管理会計、顧客管理、予算管理など多岐に涉り、これらの活動を統合して効率的に行うことが競争力につながる。ERPは“Enterprise Resource Planning”（企業資源計画）の略で、企業の経営資源（ヒト、モノ、カネ、情報）を一元管理し、業務組織横断で資源を有効活用することで利益最大化を図るものである（図3）。

欧米企業は生産活動を含む全企業活動をERPにより一元管理することで、財務会計の観点から業務・資源のロスをカットし企業活動の効率化を目指している。ERPは財務会計の全体最適を目標とするものであり生産活動の効率化（部分最適）を目指しているわけではないが、企業の全工場を対象として生産管理・在庫管理・購買調達管理・プロジェクト管理等を行うERP、各工場での生産実行管理を行うMES、生産現場のフィールド機器の制御を司るPLCをシステムとして垂直統合すると、結果的に市場の多種多様なニーズに応じて生産計画を見直し、機器を適切に制御して柔軟な生産・出荷を行うことが可能となるとされ、日本でもグローバル企業を中心としてITシステムの垂直統合が課題となっている⁶⁾。

(5) 物的システムに重点を置いた工作機械ビジネス

① 製造業のITシステムの統合運用の困難性

以上、ERPは財務会計の観点から業務・資源のロスをカットし企業全

6) 日本では、独SAP社のSAP R/3、米国オラクル社のE-Business Suite、PeopleSoft等の大企業向けERPソフトウェアが商用ソフトウェア市場で競争優位にあり、SAP R/3及びSAP ERPが50%超の市場シェアを握っている。近年、オラクル社のJD Edwardsなど中堅・中小企業向けのERPソフトウェアが各社より活発にリリースされ、2007年にはマイクロソフト社が日本市場に参入しDynamics AXを発売、2015年にはSAPが第4世代ERPのSAP S/4HANAをリリースするなど激しい競争が展開されている。

体の活動の効率化を目指すのに対し、MESが工作機械等の個別機器を連携させて生産ラインの最適実行を行うことで個別工場における生産活動の効率化を追求しているように、製造業の3層のITシステムは一つのシステムとして捉えた場合に統合は容易ではない。

欧米製造業も必ずしも全ての企業がITシステムの統合運用ができていないわけではないが、我が国製造企業はITシステムの統合運用において遅れを取っており、例えばFA化が生産拠点・ライン毎に計画され、管理システムも生産拠点・ライン毎に導入されている。その結果、日本企業のERPは生産管理・在庫管理・会計管理・販売管理をシームレスに統合できておらず、例えば製品完成時に作業担当者が完成数量をコンピュータ入力して生産管理・在庫管理に反映させ、製品販売時にも販売担当者が販売金額・数量を入力して販売管理・在庫管理に反映させなくてはならない状況にあるとされる⁷⁾。

こうした製造業のITシステムの在り方を反映して、2000年代の日本製造企業では、工場で生産ラインを構築する場合、ERP、MES、PLCを垂直統合して生産管理・在庫管理・会計管理・販売管理をシームレスに統合運用することは期待されず、工作機械メーカーには、多品種少量生産・変種変量生産に最適な工作機械・搬送装置・周辺装置等の組合せを考案し、工作機械等を一式調達して生産ラインに組み立てて一括納入することが求められた。もっとも工作機械メーカーは、顧客がMESにより生産ラインを統合的に実行・管理することに備えて、工作機械等にPLCを装着する等の対応は行っていたが、工作機械メーカーの役割は物的システムの構築が基本であり、生産ラインのMESによる製造実行・管理はシステム・ソリューション・プロバイダーに委ねられた。

7) 経済産業省・厚生労働省・文部科学省「2015年版ものづくり白書」181-188頁。

顧客に納入した生産システムの遠隔監視・メンテナンスはITシステムの接続等のシステム・ソリューション提供が欠かせないが、システム・ソリューション・プロバイダーでない工作機械メーカーにとり、鈴木他（2009）の論ずるように2000年代にインターネット関連B to Bサービスを本格展開する余力があったとは考えられず、工作機械メーカーのソリューション・サービスは「総合エンジニアリング」がメインだったと考える。

② 先行研究の問題点

1. で指摘したように、鈴木他（2009）は、ヤマザキマザックが①顧客との打合せにより、顧客の現行生産方式と改善目標を確認し、顧客の提供する図面・素材を使用して顧客の要求をクリアする加工方法を開発、続いて②加工に必要な工作機械に併せて省人化・無人化のための搬送装置・周辺装置を含む生産ラインを設計し、生産ラインの運営管理システム（MES）、ヤマザキマザックが機械の作動状況を遠隔監視するためのシステムも含めた総合的なシステムを組み上げて、③顧客との調整を経て最終的な生産方式を確定、工作機械・ソフトウェア等を納入し、生産システム立上げをサポートするとともに、④アフターサービスとしてシステムの遠隔監視・メンテナンスを行っているとする。

ただし、鈴木他（2009）が証拠とするのは2003年の日野自動車でのソリューション導入の①②③に関する事例のみである。確かに2000年代を通じてヤマザキマザック、オークマ、DMG 森精機等大手工作機械メーカーが工作機械・搬送装置・周辺装置等を一括調達して生産システムをターンキー納入する能力を向上させてきたのは事実であるが、日野自動車ケースの2003年段階でヤマザキマザックが既に総合工作機械メーカー成りを果たし、生産ラインのFA化等顧客の如何なるニーズに対しても、最適な組合せの工作機械等の一式納入が可能であり、さらにはMESシステム構築も含めた「総合エンジニアリング」を展開していたと結論するのには無理が

ある。

第一に、日野自動車の事例で生産ライン改革の中心となった、複合加工機を中心とした自己完結型の生産システムであるセル生産については、いち早く複合加工機を商品化したヤマザキマザックが搬送装置・周辺装置等を含めシステムを一括納入する態勢を整えていたとしても、それはあくまでも例外である。顧客のニーズが少品種大量生産、多品種少量生産、変種変量生産と多岐に渉る中、如何にヤマザキマザックのような総合工作機械メーカーでも、顧客の必要とする工作機械をすべて提供できるわけではない。ましてやロボット・搬送装置・周辺装置は専門外であるため、2000年代初期、顧客のあらゆるニーズに対しても、最適な組合せの工作機械等のフルセット納入が可能になっていたとは考えにくい。

第二に、従来のFA化では、生産現場のフィールド機器の制御を司るPLC、各工場での生産実行管理を行うMESにより工場・生産ラインの自動化が図られてきたが、そこではソリューション・システム・プロバイダーが製造企業の相談役となってきた。工作機械メーカーも自社工場の自動化のため、自社専用のPLC・MESソフトウェアを開発し工場全体の製造実行管理を最適化してきたが、その能力を活かして、個別顧客向けにPLC及びMESソフトウェアを開発・販売するビジネスは展開していない。日野自動車の事例におけるソフトウェア納入とは、ヤマザキマザックの複合加工機を中核としたセル生産ユニット向けソフトウェアの納入であって、工場全体で個別機器を最適連携し生産ラインの実行・管理を実施するためのソフトウェアであったとは考えにくい。

第三に、鈴木他(2009)は日野自動車の工場に関してヤマザキマザックが遠隔監視・メンテナンス等を行っているかについて実は沈黙している。2002年時点のインターネット状況を考えると顧客の工作機械等の稼働状況を常時監視できたか疑問であり、かつ、生産ラインには他社メーカーの機

械が多数導入されヤマザキマザックの遠隔監視対象外であるため、生産ラインに不具合が発生した時にヤマザキマザックが有効なメンテナンスが行い得たとは考えにくい。そもそも顧客メーカーにとり、生産ラインの稼働状況は自社の能力を示す営業秘密であり、工作機械メーカーにも開示することは躊躇されたはずであり、サービスとして広く普及できたか疑問である。

③ 工作機械メーカーに対するヒアリング結果

ここで鈴木他（2009）の妥当性を評価し直すには、理想的には2008年当時のヤマザキマザックのヒアリング対応者に真意を尋ねる必要があるが、それは望むべくもないことから、2016年11月17～22日に東京ビックサイトで開催された「JIMTOF（日本国際工作機械見本市）2016」参加10社に対してヒアリング調査を行ったところ、以下の結果を得られた（論文掲載において先方の希望により回答者は匿名。対象企業は注2参照）。

- ① 第4次産業革命では、工作機械メーカーは自動化システムを総合エンジニアリング・ターンキー提供できるかが差別化要因となる。2000年代、大手メーカーや機械商社はエンジニアリング能力を強化し、自動化システムに必要な工作機械・搬送装置・周辺装置等を一式調達し、顧客に生産システムを一括納入する能力を高めてきた。ただし、顧客ニーズは少品種大量生産、多品種少量生産、変種変量生産等多様多岐に涉り、工作機械メーカーは総合メーカーとしての能力を更に高める必要に直面している。
- ② これまでは工作機械を中心に必要な治具を組み合わせるターンキー提供してきたが、今後はプレス機、射出成形機、ロボットも含む広範多岐に涉る機械・装置を組み合わせる生産ラインを構築できるエンジニアリング能力が要求され、顧客に提供できるかが工作機械ビジネスの差別化のポイントになる。
- ③ 第4次産業革命のスマート・ファクトリーでも、生産ラインの生産性向上には、工作機械の操作の巧拙、段取り、保守点検等を含めたノウハウが成果を左右する。生産のデジタル化により生産・在庫・購買調達・プロジェクト管理等を統合管理することで全体最適を追求することは意義があるが、同時に工作機械単体及び生産ラインの最適制御に関するノウハウにも大きな付加価値がある（ノウハウのソフトウェア化と顧客提供は工作機械メーカーにと

り商機となる)。

- ④ 生産ラインの生産性向上には、工作機械の多機能化を進めワークの搬送・段取り換えを最小化するとともに、トラブルによる稼働率低下をなくすことが必要。2000年以降、工作機械メーカーはトラブルによる稼働率低下抑制のため、顧客の工作機械をネットワークに接続し、メーカーのサービス拠点から遠隔で稼働状況を把握・監視するサービスを提供してきた(携帯電話網やインターネットを介して、顧客の工作機械を工作機械メーカーのサービス拠点に接続、メーカーは現在の稼働状況や過去のログ情報等を遠隔で収集し、顧客に助言や遠隔からの改修を実施)。
- ⑤ しかしながら、通信回線の容量が限られ通信コストも高いため、常時接続によるリアルタイム監視は困難。工作機械内部に設置された記憶装置に稼働状況に関するデータを蓄積、定期的にデータを工作機械メーカーのデータベースにアップロード。工作機械に不具合が発生し警報が発されると、工作機械メーカーは動作履歴データ等を用いて不具合箇所の初期解析を行うシステムが採られている。
- ⑥ 多数のユーザーは、工作機械等の情報システムが社外ネットワークと接続することにより、悪意のあるハッカー、コンピュータ・ウイルスにより生産ラインが長時間停止したり誤作動が発生したりすることを懸念。そもそも工作機械等の稼働状況は企業の加工能力を端的に示す営業秘密であり、情報漏洩により経済的損失が生じる可能性もあると考えている。
- ⑦ 特定工作機械メーカーが生産ラインを構成する機械の挙動を一括して把握し遠隔監視・メンテナンスしてくれれば便利であるが、生産ラインにはメーカーの異なる工作機械等が多数導入されており、現実的にはメーカー毎に遠隔監視・メンテナンス・サービスを受けざるを得ない。メーカー間でサービス内容・リスク管理に差があると工場全体の最適化効果には限界があり、⑤のリスクに引き合うメリットに乏しい。
- ⑧ その結果、遠隔監視・メンテナンスのサービスは、工作機械メーカー各社がそれぞれの納入した単一の工作機械等を対象として、トラブル対応などユーザーが求める問題解決に要する範囲で、断片的に稼働状況に関するデータ等を携帯電話網やインターネットを通じて入手し、顧客にサービス提供しているに過ぎない。工作機械メーカーと顧客のITシステムが常時接続され、工作機械メーカーが顧客に一括納入した生産ライン全体をアフターケアするものではない。

④ 従来の工作機械メーカーによるソリューション・ビジネス

(a) 第一に、工作機械メーカーに対するヒアリング結果を踏まえると、顧客の生産ラインのFA化に関して、鈴木他（2009）の研究実施時点（2008年）において、ヤマザキマザックが顧客の生産ラインに必要な工作機械・搬送装置・周辺装置・生産管理システムをすべて調達して、生産システムを一括納入する「総合システムエンジニアリング」をビジネスとして完全に確立していたとは考えられない。なぜならば、ヒアリング結果の①にもあるように、2016年11月現在時点でさえ、多様多岐に渉る顧客ニーズに応えるには総合メーカーとしての力量をさらに高める必要があるとされ、プレス機・射出成形機・ロボット等の専門外の機械・装置との組合せにも取り組む必要も②で指摘されている。

そもそもヤマザキマザックが日野自動車に提供したソフトウェアは工場システム全体に係るものではなく、個別セル生産ユニットに係るものだった。日野自動車はヤマザキマザックのセル生産に関するノウハウを活用し、少品種大量生産に特化した生産ラインを多品種少量生産・多品種変量生産に適合したラインに作り替えている。既存のラインでは、生産工程が過度に複数工程に分割され各工程に専用機が設置されていたが、生産ラインの見直しにより、分割された複数工程を集約して、汎用複合加工機によるセル生産ユニットを基本生産単位とすることで多品種少量・変量生産を可能とした。工程集約にはヤマザキマザックのノウハウが寄与し、同社製の複合加工機（インテグレックス e650）が基幹生産設備として導入され、同時にセル生産ユニットの生産実行管理にはヤマザキマザックのソフトウェアが採用されているが、あくまで個別セル生産ユニット専用である。

ヒアリング結果の③のとおり、個別機器の最適制御に関するノウハウは工作機械メーカーの強みであるが、個別機器を連携して生産ラインの実行・管理を行う製造実行システム（MES）の構築には、SAP、GE、富士通

等に劣らないビジネス・アプリケーション・ソフトの開発能力が必要である。しかし、日本の工作機械メーカーは（自社工場専用ソフトウェアは別として）個別顧客の求めに応じてビジネス・アプリケーション・ソフト開発を行っておらず（自社専用ソフトが存在したとしても顧客ニーズに応じたカスタマイズ販売はしていない）、システム・ソフトウェア開発能力の観点からも鈴木他（2009）の言及する製造実行・管理「ソフトウェア」はセル生産ユニットの制御ソフトウェアであり、工場全体の生産ラインの実行・管理ソフトウェアではないと考える。

(b) 第二に、鈴木他（2009）は、ヤマザキマザックが顧客の生産ラインを常時遠隔監視し、稼働状況に応じてメンテナンスを行っていると報告するが、2016年11月時点のヒアリング結果でも、「通信回線の容量が限られ通信コストも高いため、常時接続によるリアルタイム監視は困難」であり④、顧客は悪意あるハッカー、コンピュータ・ウィルスの侵襲を懸念するだけでなく、そもそも工作機械の稼働状況は企業の加工能力を端的に示す営業秘密である⑥と考えており、工作機械メーカーがトラブルによる稼働率低下を防ぐために顧客の工作機械と自社ネットワークの接続を提案しても、顧客はネットワーク接続を忌避する。したがって、鈴木他（2008）の公表時点でも、ヤマザキマザックと顧客のITシステムがインターネットにより常時接続され、ヤマザキマザックが顧客の生産ラインを遠隔監視・メンテナンスしていたとは考えられず、例外的に顧客の求めがあった場合に限り、自社製品のみを対象として、トラブル対応に必要な範囲で、機械の稼働状況に関するデータを定期的に得て、サービスに当たっていたのではないかと推察される。

以上を総合すると、従来の工作機械メーカーによるソリューション・サービスは、総合エンジニアリング・サービスが主体であり、一部の顧客が重要機器に関して製造元の工作機械メーカーに遠隔監視・メンテナンスを

依頼するケースはあったとしても、工作機械が工作機械メーカーのシステムと常時接続されていたわけではないと考える。

(c) 結局のところ、総合エンジニアリング・サービスに関して、これまで工作機械メーカーは総合工作機械メーカー化することにより顧客の多様な生産ラインのFA化ニーズに対応できるよう努力し、工作機械・搬送装置・周辺装置に加えてプレス機、射出成形機、ロボット等も含めた最適な生産システムを考案し、所要の機械・装置を一式調達して、顧客に生産システムをターンキー納入する能力を高めてきたが、2016年11月時点でも更なる努力が必要であると認識されていることを踏まえれば、少なくとも鈴木他（2009）の調査時点では、顧客ニーズに応じて、あらゆる生産システムを提供できる水準には到達していなかったのではないだろうか。

生産システムは物的システムとITシステムから構成され、物的システムを構成する工作機械・搬送装置・周辺装置等を連携させて生産ラインの最適実行を行うITシステム（MES）が生産システムの自動化では重要である。にもかかわらず、これまで工作機械メーカーは物的システムに専門特化して、最適システムを考案し納入することが期待され、IT部分のMSE等はシステム・ソリューション・プロバイダーの領域とされてきた。この従来の分業体制では、工作機械メーカーには、物的システムとITシステムを一体化した生産システムを考案し、顧客に提供する能力までは求められず、工作機械メーカー自身も能力形成しようとはしなかった。その結果、工作機械メーカーの総合エンジニアリング・サービスにおいて、ITシステム関連部分のウェイトは低く、物的システム関連部分がサービスの太宗を占めたと考える。

3. “Industrie 4.0” とスマート・ファクトリー

2000年代、ヤマザキマザック等の大手工作機械メーカーは、生産プロセ

スのFA化など顧客の多様なニーズに対応できるよう総合工作機械メーカー化に努め、工作機械・搬送装置・周辺装置等を組み合わせて最適な生産システムを考案し、機械・装置を一式調達した上で、顧客に生産システムをターンキー納入する能力を高めてきた。しかしながら、顧客ニーズに応じてあらゆる生産システムを提供できる水準にはまだ到達しておらず、更なる総合メーカー化が課題となっている。また、生産効率化においては、生産ラインの最適実行を行うMESが重要であるにもかかわらず、工作機械メーカーは物的システムに専門特化としており、物的システムとITシステムを一体化した生産システムを考案し顧客提供する能力形成が図られてこなかった。

“Industrie4.0”では、IoTとFAの融合により製造現場をスマート・ファクトリー化し、更にはスマート・ファクトリー同士をネットワークでつなぐことで、あたかも国全体を一つのスマート・ファクトリーとすることを構想している⁸⁾。従来の自動化でも、工場生産ラインの物的システムの最適化だけではなく、物的システムとITシステムの最適組合せが重要だったが、スマート・ファクトリーでは製造プロセスと企業間取引へのIT活用はこれまでとは比較にならないほど高度化し徹底されると予想され、工作機械メーカーが得意としてきた物的システムの最適化よりも、ITシステムの活用に付加価値が発生する事態も想定される。工作機械メーカーは従前の通り物的システムにビジネスを専門特化しているだけで足りるだろうか。

8) Platform Industrie4.0 ed., (2014). Recommendation for implementing Industrie4.0 initiative.

(1) スマート・ファクトリー

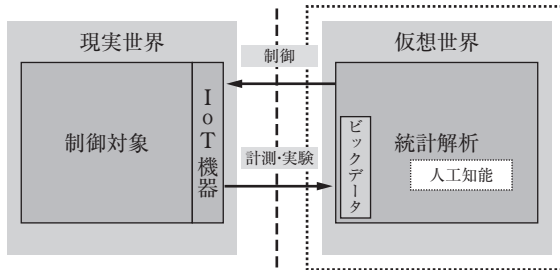
① サイバー・フィジカル・システム（CPS）

従来のFA化においては、生産現場のフィールド機器の制御を司るPLC、各工場での生産実行管理を行うMESにより工場・生産ライン単位の自動化が図られており、財務会計の全体最適実現の観点から業務・資源のロスのカットするべく、企業の全工場を対象として生産管理・在庫管理・購買調達管理・プロジェクト管理等を行うERPがPLC、MESの上位に位置するシステムとして導入されてきた（前掲図1参照）。

このITシステムはいずれの層の自動化・IT化が不足しても（生産ラインの一部に人手に依存しITシステムと接続されていない部分が存在する、日本企業に多く見られるようにMESとERPがシステムとして統合されていない等）、ERPにより経営資源を一元管理し、経営資源を組織横断で有効活用して財務会計の全体最適を達成することができなくなる。“Industrie4.0”は3層構造のITシステムにおいて自動化・IT化を究極まで追求しようとするものであり、その限りでは、従来の自動化・IT化の延長線上にある。ただし、自動化・IT化の目的が財務会計の全体最適からシフトしている。

第一に、ERP、MES、PLCの垂直統合により、市場の多種多様なニーズに応じて企業全体の生産計画を機動的に見直し、生産ラインの機器を最適制御して、柔軟な生産・出荷を行うことに“Industrie4.0”は主眼を置いている。第二に、現場のスタッフが試行錯誤により生産ラインの改善策を突き止めるカイゼン（トヨタ生産方式等）に代わり、製品・設備にICタグやバーコードを装着、それらをセンサーやカメラで読み取って通信で結び、センサー等から得た膨大なデジタル情報（ビッグデータ）をクラウド上でリアルタイムに収集・分析、生産ラインを解析結果に基づいて最適制御するサイバー・フィジカル・システム（CPS: Cyber Physical System）を目指している。

図4 CPSにおける現実界と仮想界の対応関係



(出所) 筆者作成

CPSとは、物理的な現実世界のデータを収集、コンピュータ上の仮想空間に大量のデータを蓄積し解析、解析結果を物理的な現実世界にフィードバックするサイクルをリアルタイムで回すことにより、システム全体の最適化を図る仕組みを言う(図4)⁹⁾。“Industry4.0”では、現実の工場内の状況をコンピュータ上で仮想的に再現し、コンピュータ内のシミュレーションにより現実の工場内でのあらゆる動きを把握することで、製品の品質向上、納期短縮、生産性向上、故障検知等を実現しようとしている¹⁰⁾。

9) JEITA(電子情報技術産業協会)は「CPSとは、実世界(フィジカル空間)にある多様なデータをセンサーネットワーク等で収集し、サイバー空間で大規模データ処理技術等を駆使して分析/知識化を行い、そこで創出した情報/価値によって、産業の活性化や社会問題の解決を図っていくものとする(<http://www.jeita.or.jp/cps/about/>)。

10) ロボット革命イニシアティブ協議会(2016)はCPSに基づくスマート・マニュファクチャの特徴を以下の3点に要約する。第一に、工場内にある機械の生産技術データを一元的に管理・集約、そこから得られるデータを情報処理し、機械の加工効率の改善、予知保全、現場のカイゼン等のために有用に加工されたデータとして、生産管理側であるERP、MES等の上位システムに提供される仕組みが構築されている。第二に、情報処理された生産技術データを機械にフィードバックさせることにより、プロセスごとの部分最適を人が積み上げていくという従来の取組を超えて、人を介さずともライン

“Industrie4.0”は、ドイツ製造業の差別化の方向として、市場の求める多種多様な商品を1ロットからでも柔軟・迅速に生産・出荷できるマスカスタマイゼーションを掲げている。そのため工作機械等の機能を徹底的にモジュール化し、コンピュータ上の仮想空間において、顧客注文に対応してモジュールを柔軟に自動的に組み替え、生産ラインの段替えを現実世界にフィードバック、生産ラインを自動的に顧客注文動向に最適化し大量生産に劣らない納期・価格で提供することをCPSで追求している。

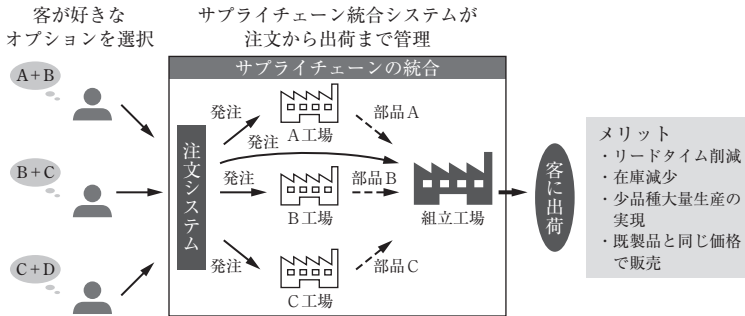
② スマート・ファクトリーの提携・結合

また、従来のITシステムは、生産現場のフィールド機器の制御を司るPLC、工場の生産実行管理を行うMESにより、基本的に工場・生産ライン単位で自動化を図るものであった。先進的企業においては、全工場を対象として生産管理・在庫管理・購買調達管理・プロジェクト管理等を行うERPがPLC、MESの上位に位置するシステムを構築し、財務会計の全体最適実現の観点から経営資源配分の統合管理を行ってきたが、あくまでも企業で完結する閉じたシステムである。

しかしながら、現実世界では製品は多数企業の分業・協業により製造されており、如何なる企業も自社単独で必要な部品・材料をすべて生産し最終製品まで生産することはできない。このため、市場の求める多種多様な商品を1ロットからでも柔軟・迅速に生産・出荷できるマスカスタマイゼーションを実現したいのであれば、スマート・マニュファクチュアを個別工場・企業単位で完結させずに、スマート・ファクトリー同士をITシス

全体が最適化される仕組みが構築されている。第三に、生産技術であるエンジニアリングチェーンと生産管理であるサプライ・チェーン（生産管理）の全体を可視化し、場合によっては人工知能を活用することにより、統合的に管理し、現場をサイバーフィジカルなシステムとして捉え、その全体最適につながるカイゼンを達成できる仕組みが構築されている。

図5 スマート・ファクトリーの結合によるマスカスタマイゼーション
(プレハブハウスメーカー STREIF のケース)



12,000点の部材から選択して建築家によるデザイナーハウスのような家を低コストで実現

(出所) 西村健介(2015)「南ドイツから学ぶインダストリー 4.0の地方中小企業への影響」

テムにより結合して(トヨタ等の親企業・協力企業の協業関係のように)全体最適化を行う中核的企業の指揮の下に、複数の異なる主体が生産管理・在庫管理・購買調達管理・プロジェクト管理等を行うシステムを共有し、あたかも一つのスマート・ファクトリーであるかのように協働作業を行うことが必要である(図5)。

(2) 工作機械メーカーのスマート・ファクトリーへの対応

① CPS に対応する工作機械等のインテリジェント化

2. で論じたように、IoT 技術が未実用だった従前は、所定の生産計画に基づき工作機械・搬送装置・周辺装置等を連携させて生産ラインを実行・管理することが生産管理の中核だった。生産現場の機器の制御、工場での生産実行管理、企業全体の生産・在庫・会計・販売等の統合管理の3層構造を採るITシステムにおいて、個別工場の生産ラインの最適化に大きな関心が払われた。しかし、“Industrie4.0”では、生産のデジタル化に

より、企業が変動する市場ニーズに機動的・柔軟に対応して生産を行うスマート・ファクトリー化、更にはスマート・ファクトリーをITシステムで結びマスカスタマイゼーションに対応することが目指されており、それにより、工場システムの中核は物的システムからITシステムにシフトせざるを得ない。

ドイツが構想するようにスマート・ファクトリーが産業社会の大勢となれば、工作機械メーカーも、顧客の製造ニーズに工作機械・搬送装置・周辺装置・生産管理システムの組合せを最適し、物的な生産システムをターンキー納入するだけでなく、生産のデジタル化に対応したシステムを一括納入することを求められるようになる。CPSでは、生産ラインを構成する工作機械・搬送装置・周辺装置にICタグ・センサーを装着し、センサー等から得た膨大なデジタル情報をクラウド上でリアルタイムに収集・分析を行い、生産ラインをその解析結果に基づいて自動的に最適制御するが、工作機械等の稼働状況などCPSの基盤となるデータが生産システムにおいて収集できるよう工作機械等のインテリジェント化に取り組むことが工作機械メーカーの課題となる。

② 工作機械メーカーの競争戦略1

——工作機械等の開発・製造の競争優位の更なる強化——

ただし、工作機械等のインテリジェント化を図るだけでは、工作機械メーカーはCPSの構築を行うシステム・ソリューション・プロバイダーの下請けと化してしまう。この点、2(5)③のJINTOF2016参加企業へのヒアリングでは「第4次産業革命のスマート・ファクトリーでも、生産ラインの生産性向上には、工作機械の操作の巧拙、段取り、保守点検等を含めたノウハウが成果を左右する。生産のデジタル化により生産・在庫・購買調達・プロジェクト管理等を統合管理することで全体最適を追求することは意義があるが、同時に工作機械単体及び生産ラインの最適制御に関する

ノウハウにも大きな付加価値がある（ノウハウのソフトウェア化と顧客提供は工作機械メーカーにとり商機となる）」との見解が示された¹¹⁾。

工作機械メーカーは、シーメンスとは異なりシステム・ソリューション・プロバイダーでなく、物的装置である工作機械の生産者である。生産のデジタル化の過程で工場システムの重心が物的システムからITシステムにシフトしても、依然、生産システムの生産性・効率性を決定するのは物的システムである。したがって、工作機械メーカーは工作機械等の開発・製造・供給における競争優位を強化し、スマート・ファクトリーにおける物的システムの供給者として余人の真似できない地位を獲得することが競争戦略の一つとなる。この点、大手工作機械メーカーは総合工作機械メーカーへの志向を強めており、DMG森精機は目標を「シングルソースターンキープロバイダ」としている。

③ 総合工作機械メーカーに向けた努力

「工作機械等の開発・製造の競争優位の更なる強化」とは地道であり、従前の取組から大きく変わらないものであるため、“Industrie4.0”への抜本的戦略には見えないかもしれないが、実は最も有効な対策であるのかもしれない。JINTOF2016開催期間に実施したヒアリングでは、ヤマザキマザック、オークマ、DMG森精機等は、総合的に工作機械・搬送装置・周辺装置・生産管理システムを取り扱う総合工作機械メーカーたらんとして

11) JINTOF2016参加企業10社に対するヒアリングでは、「製造業の高度化は生産プロセスの機械化により実現されてきており、スマート・マニュファクチャーにおいても工作機械を核とする加工プロセスは生産において重要性を減じない」「加工プロセスは工作機械の操縦の巧拙により大きな差が生じ、段取り・保守点検等も含む総合的なノウハウが生産性を左右する」との回答が10社よりあり、「工作機械メーカーは工作機械・搬送装置・周辺装置等の最適化された組合せを提案し、生産ラインを効果的に実行・管理するノウハウを提供することを競争の武器とし得る」と7社が回答。

表3 自動化システムの3類型

	Standard Automation	Cells	Systems
概要	<p>機械に統合された自動化システム 1台で複数のワークを連続加工可</p> 	<p>モジュール化された搬送装置の接続だけで稼動可能な自動化システム</p> 	<p>ターンキーの自動生産システム</p> 
使用可能機器	工作機械，モジュール化された搬送装置（機械に統合）	工作機械，モジュール化された搬送装置及び周辺機器	工作機械，搬送装置，周辺機器
機械台数	1台	8台まで	無制限
生産体制	セル生産	セル生産	セル生産，ライン生産
メリット	組込型のため短期間での納品・導入可能。機械導入後すぐに生産開始可。最も安価で省スペース。	標準仕様機のため短納期・低価格で自動化可。モジュールの組合せでニーズに柔軟対応。周辺機器のモジュール化も進めており，構築できる自動化システムも多様。	顧客ニーズに応じ，あらゆる工作機械・搬送装置・周辺機器を組み合わせて自動化システムを構築可。モジュール化されていない機器や顧客専用の周辺装置も使用可。

（出所） DMG 森精機資料に基づき筆者作成

おり，生産ラインを構成する工作機械等がスマート・ファクトリーにおいて全体システムと接続・協同可能となるように技術・製品開発に取り組んでいる。

例えば，DMG 森精機は「第4次産業革命の構成要素のうち生産工程の自動化が最も不可欠なものである」と考えており，前掲表1に示したように，「切削加工を行う工作機械，ワーク（加工対象物）を移動させて複数工

程をつなぐ搬送装置、計測・洗浄・バリ取りなど切削以外の工程や素材・完成品をストックする装置などの周辺装置、工作機械・周辺装置を集中制御する生産管理システムを顧客の要件に合わせて柔軟に組み合わせて、自動化システムを構築する」とする。

そして、自動化システムは対象となるワーク、生産工程、自動化実現方法により多様であることから、DMG 森精機は自動化システムを「Standard Automation（機械に統合された自動化システム）」「Cells（モジュール化された自動化システム）」「Systems（ターンキーの自動生産システム）」に大別し、それぞれの製品ラインアップを拡充していくことにより、「機械・搬送装置・周辺装置・生産管理システム、さらには加工技術・治具・工具・測定まで一体となったシステムをワンストップで提供できる」「シングルソースターンキープロバイダ」として顧客ニーズに合ったシステムを提案・納入するとしており、総合工作機械メーカー化を極めようとしている(表3)。ソリューション・ビジネスも「総合エンジニアリング」力の強化に注力されることとなる。

④ 工作機械メーカーの競争戦略2

—システム・ソリューション・プロバイダーとの競争・提携—

“Industrie4.0”による企業・社会のスマート・ファクトリーに伴い工場システムの重心が物的システムからITシステムにシフトした場合、生産システムの構築と提供の分野における工作機械メーカーの競合相手としては、CPSの構築を行うシステム・ソリューション・プロバイダーが想定される。前項③では、工作機械メーカーの物的システムにおける競争優位を総合メーカー化により一層強化することで、システム・ソリューション・プロバイダーの下請けには陥らず、プロバイダーへの対抗力を確保することを考えた。

しかしながら、“Industrie4.0”の産業社会において生産システムの中核

となる IT システムを抑えるシステム・ソリューション・プロバイダーに付加価値の相当部分を持って行かれる可能性も否めない¹²⁾。未来は予測不能である。システム・ソリューション・プロバイダーは製造業の IT システムを垂直統合し CPS を構築しようとしているが、工作機械メーカーとしても、システム・ソリューション・プロバイダーへの対抗力を確保するため、スマート・ファクトリーの中核である IT システムに関して何らかの付加価値提供力を獲得する必要がある。

もちろん工作機械メーカーが、システム・ソリューション・プロバイダーと互角の立場で、IT システムの垂直統合と CPS 構築で競争しても意味はない。プロバイダーは ERP, MSE, PLC という「IT システム」の統合については、工作機械メーカーには及ばない技術・ノウハウ・経験を有している。一方、生産現場の工作機械・搬送装置・周辺装置等の個別機器を連携させて生産ラインを最適な形で実行・管理させる技術とノウハウを有しているのは工作機械メーカーであり、物的システムと IT システムのベスト・ミックス、MSE と PLC の最適統合では、工作機械メーカーは優れたパフォーマンスを発揮する余地があるのではないだろうか。

ただし、顧客の製造企業はスマート・ファクトリー化にあたり ERP・MSE・PLC が垂直統合されたシステムを導入し、一挙にスマート化することを求めており、いくら優れた MSE・PLC 統合システムであっても、当該部分だけを工作機械メーカーから導入するとは考えにくい。仮に、システム・ソリューション・プロバイダーと工作機械メーカーが共同で顧客のスマート・ファクトリー化をサポートする体制が整えられるのであれば、工作機械メーカーもシステム・ソリューション分野に参入できよう。かかる工作機械メーカーの関与を「生産システム・ソリューション・プロ

12) 経済産業省・厚生労働省・文部科学省「2016年版ものづくり白書」181-188頁。

バイダー」と呼べば、工作機械メーカーのソリューション・ビジネスは物的生産システムに関する総合エンジニアリングに加えて、スマート・ファクトリー化サポートにも対象が広がる。

⑤ 米国 IT 企業との提携

——通信規格の共通化・相互接続性担保——

工作機械メーカーがシステム・ソリューション分野への進出を果たすかは将来の話であるが、2015年以降、工作機械メーカーは米国 IT 企業との提携により、工作機械・搬送機・周辺機器等に IC タグ等を装着し、カメラ・センサーで読み取った情報をクラウド上にリアルタイムで送信できるシステムを共同開発しようとしている。

“Industrie4.0”は最終的にスマート・ファクトリーの結合・連携を目指しているが、複数企業のシステムのインターネットによる結合・連携は、通信規格の共通化・相互接続性担保が前提となる。そもそも通信規格の共通化・相互接続性担保は企業システム間だけの問題ではなく、個別企業の IT システムの段階で通信規格を共通化・標準化してしまえば容易に解決できる。現状では、生産ラインの工作機械等の通信規格がメーカーにより異なり、工場内の機器制御を行う制御系ネットワーク、企業単位の業務システムを構築するための基幹系ネットワークも通信規格が統一されていないため、工作機械等の通信規格、制御系ネットワークの通信規格、基幹系ネットワークの通信規格の統一ないし相互接続性確保への取組が進められている¹³⁾。

13) ドイツでは、製造現場が市場と直接つながることを念頭に置いて、制御系ネットワークと基幹系ネットワークの接続に国際規格「OPC-UA」が推奨されているが（2015年のハノーバーメッセにおいて OPC-UA を推奨通信規格とするインダストリー4.0コンポーネントが定められた）、工場内の制御系ネットワークに関してはシーメンスの「PROFINET」やベッコフオートメーションの「EtherCAT」等が並立している。

表4 工作機械メーカーと米国IT企業との提携

ヤマザキマザック	オークマ	DMG 森精機
<p>○2015年11月、シスコシステムズと工場内設備機器を安全にネットワーク接続するための装置(メーカー、新旧を問わず接続可能)を共同開発(MAZAK SMART BOX™)</p> <p>○2016年11月、シスコシステムズと工場内設備機器を安全にネットワーク接続するための製品、ビックデータ解析及び生産性向上のためのクラウド・サービスの共同開発を決定</p> <p>○2017年3月、村田製作所と共同開発した自動バレータイジング・システムを販売開始(上位システムのERP、MESと連携可能)</p>	<p>○2016年11月、オークマはGEのソフトウェア子会社GEデジタルと協業を決定、産業用IoTプラットフォームのPREDIXをオークマ製品に組み込むことを決定(PREDIXは産業用機器においてデータを取得する一種のOSであり、リアルタイムな情報・データの収集・分析を実施)</p>	<p>○2013年合併直前に森精機とDMGは、工作機械等を実装することでタッチパネルによる機械操作や、油圧・油冷却装置温度等の確認が可能であり、社内システムに接続すれば生産計画・進捗管理に加えアプリケーション・プログラムをダウンロードして機械を制御できるオペレーティング・マシン(CELOS)を開発</p> <p>○2016年9月、DMG森精機はマイクロソフトと提携合意、①工作機械に取り付けたセンサーから稼働状況データを収集し、故障予測や稼働状況を遠隔監視する技術、②1990年代販売されたインターネット接続を想定していなかった中古機械のスマート化のための技術の共同開発に着手</p>

(出所) 各社プレス発表資料等に基づき筆者作成

この点、ヤマザキマザック、DMG 森精機は米国IT企業との共同開発路線を選択しており、ヤマザキマザックはシスコシステムズと、メーカー・製造時期を問わず工場内設備機器を安全にネットワーク接続するための装置の開発に加えて、ビックデータ解析及び生産性向上のためのクラウド

ド・サービスの共同開発に着手している。DMG 森精機はマイクロソフトとの提携により、工作機械に取り付けたセンサーから稼働状況データを収集し故障予測や稼働状況を遠隔監視する技術、インターネット接続を想定していなかった中古機械のスマート化のための技術の共同開発に着手している（表4）。

DMG 森精機は遠隔監視技術を開発しようとしているが、工作機械メーカーによる顧客の工作機械の遠隔監視・メンテナンスのサービスは、JINTOF2016参加企業ヒアリング結果でも紹介したように、セキュリティ、営業秘密保護等の観点から頓挫した形となっているが、今後、“Industrie4.0”に伴う産業社会のインターネット接続の一般化とセキュリティ技術の開発により、工作機械メーカーにおいて総合エンジニアリングに次ぐソリューション・ビジネスに成長することが期待できるのではないか。

なお、ヤマザキマザック、DMG 森精機とは対照的に、オークマは工作機械等に装着して稼働状況データ等を収集し、クラウドにリアルタイムで送信してビックデータ解析する装置の自主開発は行わず、米国 GE のソフトウェア子会社である GE デジタルとの協業により、同社の産業用 IoT プラットフォームである PREDIX をオークマ製品に組み込むことを決定している。

4. 結 び

工作機械メーカーは1990年代以降円高に苦しみつつも後発メーカーの挑戦に複合加工機・5軸制御機の開発等により対抗し、2000年代の中国等新興国市場の台頭には更なる高付加価値とグローバル生産体制構築により競争優位を維持してきた。ソリューション・ビジネスは工作機械メーカーの競争上の武器の一つであったが、先行研究に乏しく実態等が十分解明されないまま今日に至っている。

現在、工作機械メーカーは大きなパラダイム・シフトに直面している。ドイツが中国の製造大国化と米国 IT 産業の製造部門進出に対抗して、21 世紀にも自国製造業の競争優位を堅持する策として打ち出した“Industrie4.0”である。ドイツは IoT と FA の融合によりスマート・ファクトリーを実現し、スマート・ファクトリーをネットワークでつなぎ国全体を一つのスマート・ファクトリー化することで、変動する市場ニーズに柔軟かつ機動的に対応できる変種変量生産を実現しようとしている。

果たしてドイツの供給サイドからの産業革命が成功するかは断言できないが、生産システムの構造的変化は工作機械ビジネスを一変させる。従来、製造企業の競争力は物的システムの生産ラインにあり、工作機械メーカーは工作機械・搬送装置・周辺装置等の最適組合せを顧客に提案、生産ラインに必要な工作機械等を一式調達し、生産システムをターンキー納入してきた。しかし、スマート・ファクトリーでは生産システムの競争力は物的部分から IT 部分にシフトしてしまう可能性があり、工作機械メーカーの前にシステム・ソリューション・プロバイダーが新たなライバルとして登場する。

本稿では、伝統的な製造企業とスマート・ファクトリーでの IT システムの構造変化を分析し、工作機械メーカーがシステム・ソリューション・プロバイダーの下請にはならず、スマート・ファクトリー時代に競争力を維持するには、① 自らの強みである物的システムの提案・構築力を更に強化しつつ（総合工作機械メーカー化）、② 物的システムに関する技術・ノウハウを活かし、物的システムを最も有効に実行管理できる MES の開発力を獲得する（生産システム・ソリューション・プロバイダー化）必要を示した。

かかる工作機械メーカーの在り方の変化に即応して、ソリューション・ビジネスも物的システム中心の総合エンジニアリングから、物的システム

と IT システムの最適組成を提案する総合エンジニアリングに発展しなければならず、また、顧客の工作機械等の遠隔監視・メンテナンスはセキュリティ等の理由でビジネス化できていなかったが、“Industrie4.0”に伴うインターネット接続の一般化とセキュリティ技術の開発により新たなビジネス成長が期待できることを示した。

本稿はヤマザキマザック、オークマ、DMG 森精機など総合工作機械メーカー化と生産システム・ソリューション・プロバイダー化が期待されるメーカー群を念頭に執筆されたが、今後、中堅・中小工作機械メーカーが“Industrie4.0”において如何に事業展開していくべきかを研究することとしたい。なお、本稿の取りまとめに当たり多数の方々に御協力いただいたが、各位に心からの感謝を表して擱筆することとしたい。

参考文献

- 今枝昌宏 (2006) 「製造業のサービス化とサービスマネジメントへの2つのアプローチ」『一橋ビジネスレビュー』54巻2号, 36-50頁
- 大野治 (2016) 「IoTで激変する日本型製造業ビジネス・モデル」日刊工業新聞社
- 企業活力研究所 (2016) 「IoTがもたらす我が国製造業の変容と今後の対応に関する調査研究報告書」企業活力研究所
- 経済産業省・厚生労働省・文部科学省「ものづくり白書」2014, 2015, 2016年版
- 島田太郎 (2016) 「デジタルエンタープライズの動向」企業活力研究所, 28-31頁
- 鈴木信貴・楢山泰生 (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 PaperJ-72, 1-17頁
- 高梨千賀子 (2015) 「Industrie4.0時代の競争優位についての一考察 日独 FA システムメーカーを事例に」立命館大学イノベーション・マネジメント研究センター Discussion Paper Series, No. 24
- 津田朋子 (2015) 「次世代製造技術の研究開発」科学技術振興機構研究開発戦略センター
- 日経コンピュータ・日経ものづくり他 (2014) 「すべてわかる IoT 大全 モノのインターネット活用の最新事例と技術」日経 BP
- 日立製作所・日経エレクトロニクス (2014) 「稼ぐビックデータ・IoT 技術徹底解

説」日経BP

- 法山敬一・斎藤俊之（2002）「ネットワーク利用によるリアルタイム工作機械管理システム」『三菱重工技報』 Vol. 39 No. 4, 220-223頁
- マイケル E. ポーター, ジェームズ E. ヘブルマン（2015）「IoT 時代の競争戦略」『Harvard Business Review』, ダイヤモンド社
- マイケル E. ポーター, ジェームズ E. ヘブルマン（2016）「IoT 時代の製造業」『Harvard Business Review』, ダイヤモンド社
- みずほ銀行産業調査部（2016）「日本産業の中期見通し（工作機械）」『みずほ産業調査』56巻3号
- 山田敏之（2005）「工作機械産業とソリューション・ビジネス」『機械情報産業カレンダー分析レポート No. 11』機械振興協会経済研究所, 1-2頁
- 山本宏「グローバル IoT トレンドと Industrie4.0について」企業活力研究所（2016）, 32-37頁
- ロボット革命イニシアティブ協議会（2016）「スマートマニュファクチュアリングの実践 ケース：工作機械を核とする加工プロセスの生産性向上」Bundesministerium fuer Wirtschaft und Energie（2016）. *Plattform Industrie4.0 Digitale Transformation "Made in Germany"*
- Negahban, Ashkan & Jeffrey S. Smith（2014）. Simulation for manufacturing system design and operation : Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33 Mellor (pp241-261). Elsevier Ltd.
- Paul Wright（2013）. Cyber-physical product manufacturing. *Society of Manufacturing Engineers*, (pp. 49-53). Elsevier Ltd.
- Petri Helo, Mikko Suorsa, Yuqiuge Hao, Pornthep Anussornnitisarn（2014）. *Toward a cloud-based manufacturing execution system for distributed manufacturing*, *Computers in Industry*, 65 (pp. 646-656). Elsevier Ltd.

