

インダストリー 4.0と わが国製造業への示唆



藤野直明



近野 泰

CONTENTS

- I インダストリー 4.0とは何か
- II インダストリー 4.0の本質と先進事例
- III 経営へのインパクト
- IV インダストリー 4.0に対する日本企業の適応の基本的な考え方
- V 日本企業の経営戦略にどう位置づけるのか
- VI インダストリー 4.0で問われているのは何か

要 約

- 1 2015年にブームの様相を呈したインダストリー4.0であるが、2016年は長期戦略として冷静な議論を行うべきタイミングと考えられる。「インダストリー4.0の話は理解したつもりだが、一体何から始めればよいのか分からない」という指摘も多い。一方、具体的な対応の方向は、業種や企業の立ち位置によって異なる。このため本稿では大きな方向感を、業種や企業規模などの差を考慮し提示した。
- 2 ドイツ政府が提案するインダストリー4.0では、製造設備産業のイノベーションを目的とし、当該産業のモジュール構造設計、モジュール間IFの国際標準化を推進している。PC、液晶TV、半導体製造装置産業などで経験した産業構造の変化とプレイヤーの転換が、製造設備産業でも起こる可能性が高いと考えられる。
- 3 インダストリー4.0に関連した海外企業の動向として、「スマートなマザー工場」と「製造プラットフォームサービス事業」への展開の2つは、注目すべき萌芽事例と考えられる。
- 4 日本企業が、こうした動向を「無視するのは危険」である。数年後の経営環境は、①製品市場では先進国の製造ノウハウを装備した新興国製造業との競争、②資本市場（M&Aなど）では新興国の成長を内部化し、株式時価総額を拡大した先進国製造業との競争、となる可能性がある。

I インダストリー4.0とは何か

1 「急成長するグローバル市場への対応」とドイツの強い危機感

(1) インダストリー4.0は「急成長するグローバル市場への対応」戦略

欧米の企業との意見交換などを通じて感じるのは、インダストリー4.0の背景は、単にIoT (Internet of Things) にかかわる技術進歩をどう活用していくかということよりも、むしろ今後、長期的に見て急成長するグローバル市場に対して、どのように適応していくのかという問題意識が大きいということである。

わが国でも、リーマンショック直後には長期戦略の重要性が語られた。当時、2007年に約6億人であった中間層市場が、2025年には約50億人の市場に拡大すると予想された。急速に台頭する新興国市場で事業展開できない場合はマーケットシェアが低下し、資本市場におけるM&A競争で敗れる危険性が高いとされた。一方、新興国の製品市場で事業展開するには、製品もローエンド製品であることもあり、先進国の製造業にとって利益を出せる事業構造を構築するのはなかなか容易ではない。

インダストリー4.0は、急成長するグローバル市場へどうやって対応するのか、その方法論についてのドイツ発の提案である。新たなゲームを挑んできたというより、むしろゲームのルールを再定義しようとの提案だと受け止めた方が有益である。

(2) インダストリー4.0の背景にあるドイツの強い危機感

さらに突っ込んだ議論をしていくと、イン

ダストリー4.0の背景にはドイツの強い危機感が感じられる。強い危機感の背景には、①米国の新ビッグ4 (アップル社、グーグル社、アマゾン社、フェイスブック社) の高い株式時価総額を背景にした産業領域への新規参入 (自動運転ほか) が将来本格化すること、さらに、②中国やインドにおけるエンジニアリング力が急速に高度化していることがある。ソフトウェア開発はもちろんのこと、近年では、ESO (エンジニアリングサービスアウトソーシング) と呼ばれる、設計・開発段階のみならず、まさに工場IoTの実現を縁の下で支えるソフトウェア開発やデジタルシミュレーションなどの、高度なエンジニアリング業務のアウトソーシングが想像以上に進展してきている。

こうした新興国の技術力高度化のスピードを考えると、「放っておくと、製造業分野でのドイツの競争優位性は、10年後維持できているかどうかは分からない」という、ドイツの健全な危機意識を強く感じる人が多い。

2 CPS (サイバー・フィジカルシステム) と統合度の高い3つの分業体制

(1) CPS

①ドイツ科学技術アカデミー報告書によるインダストリー4.0の考え方

ドイツ科学技術アカデミーが提出した「インダストリー4.0ワーキンググループ報告書」ではインダストリー4.0の定義がなされている。そこでは、第2次産業革命は電力を活用した分業体制であり、第3次産業革命はロボットを活用したオートメーションであると紹介されている。第3次産業革命は、特にPLC (プログラマブル・ロジック・コントローラ

一) という制御デバイスを活用して、ロボットが制御されたことだという定義である。つまり、単体のロボットだけの議論であれば、それは、第3次産業革命の領域であり、第4次産業革命(インダストリー4.0)ではない、ということになる。代わりに、インダストリー4.0はCPS(サイバー・フィジカルシステム)化であるとされる。

②CPSの基本的な考え方

では、インダストリー4.0でいうCPSとはどのような概念であろうか。CPSは実はドイツ・インダストリー4.0で初めて定義された言葉ではない。もともとは、NSF(米国国立科学財団)で提案された概念である。サイバーとは、インターネット経由でアクセスするクラウドが有する巨大なスケールのデジタル空間のことである。フィジカルとは、現実の物理空間のことである。

CPSとは、サイバー空間に物理空間に対応したモデル空間(数学的表現ではいわゆる「同型空間」、スローガニックにはデジタルツイン(デジタルな双子)、さらに分かりやすくいうと「コピー」)を設け、現実空間のモデルをサイバー空間に構築し、製品や部品の3次元の設計図にとどまらず、企業活動すべてをモデルとして可視化し、構造を含めてシミュレート(疑似操作)できる仕組みを構築することである。モデルを活用することにより、物理空間で発生するさまざまな業務の課題を、デジタル空間の巨大なコンピュータ資源を活用しながら解決することと考えると理解しやすいのではないか。

ここでいう業務とは、製造業における一連のモノ作り業務を意味し、製品企画・設計・

物理解析(熱伝導・振動・応力ほか)・生産加工工程設計・生産設備設計・生産ラインの設計・生産活動シミュレーションなどの業務である。こうした業務すべてが、デジタル空間上で可能となり、高度化してきた各種センサー技術を活用して、現実の物理空間との対応関係がリアルタイムに維持される仕組みを構築しようということである。

既に、テレビゲームの世界ではおなじみのロールプレイングゲームのような疑似体験・シミュレーションが、企業のあらゆる業務で可能となること、と表現すれば、分かりやすいであろうか。

(2) 統合度の高い3つの分業体制

CPSのイメージとして、前述の報告書では、下記の大きく3つの統合度の高い分業体制の構築が提案されている(図1)。

①バリューチェーンの水平統合

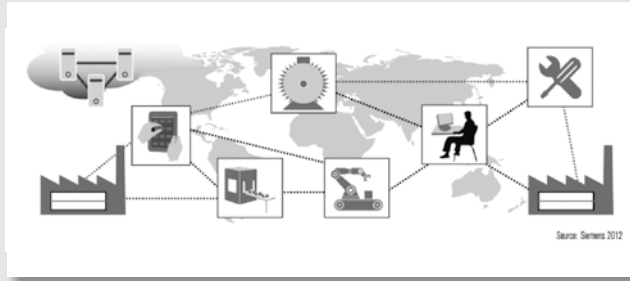
「バリューチェーンの水平統合」とは、「企業・国境を越えて緊密な国際分業体制を実現するネットワーク」を構築することである。ここでいうネットワークは、単に部品や半製品の供給連鎖構造を指しているわけではない。前述したESOのような製品設計領域や、出荷後のアフターマーケットでの保守作業などの緊密な分業体制をも、国境や企業を越えて実現することを意図しているのである。

②垂直統合と製造システムのネットワーク化

「垂直統合と製造システムのネットワーク化」は若干理解が難しい概念である。イメージとしては、「スマートなマザー工場」と考えると分かりやすいのではないだろうか。

図1 CPSでは「統合度の高い3つの分業体制」の確立を目指す

① バリューチェーンの水平統合



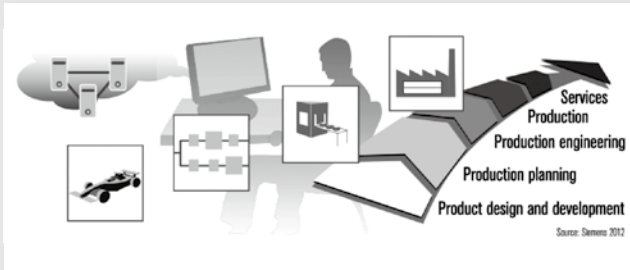
企業・国境を越えた緊密な国際分業体制を実現するネットワーク

② 垂直統合と製造システムのネットワーク化



工場の現場と中枢とをリアルタイムに連携する、グローバルで動的な、製造ネットワーク+知識データベースシステム

③ エンド・トゥ・エンドのエンジニアリングチェーン



製品企画・設計、生産準備（生産工程設計、ライン設計、アフターマーケット、サービス）までのエンジニアリングチェーン

出所) acatech 「Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 Final report of the Industrie 4.0 Working Group」より加筆

海外に多数の工場が稼働していることをイメージしてほしい。各現場では、日々さまざまな問題（たとえばチョコ停：設備の瞬時停止）などが発生する。基本的には、まず現場でこうした問題に対処することは現状と変わらない。しかし、ここでは問題の発生時の検出、問題の発生原因（設備に設置されている各種センサーデータを活用した分析を踏まえて自動的に提示される）や対応方法の選択肢

などが、マザー工場が作成したデジタル化された知識データベースにより提示される。世界中の工場は常に最新の知識データベースを参照することができる、という仕組みである。

さらに、たとえば過去に発生していない問題がはじめて発生した、またはいったん問題を解決した場合でも、ある一定周期で同様の問題が繰り返されるといふ現象が発生した場

合に、中枢のマザー工場へ世界中どこからでも問い合わせができ、その中枢のマザー工場は問題解決に即応できる仕組みを構築するというイメージである。マザー工場の支援の結果、解決された問題や新たな有効な解決策が知識データベースに反映されるわけである。

③ エンド・トゥ・エンドのエンジニアリングチェーン

「エンド・トゥ・エンドのエンジニアリングチェーン」とは、前述のようなスマート工場の機能を実現するための仕組みといってもよい。

つまり、製造業における一連のモノ作り業務のエンジニアリング情報について、すべて3次元モデルとして、世界中どこの工場のどの設備に対しても、常に最新の情報がCPSとして管理できていることである。これによって、どこの工場においても、製品・部品はもちろん生産設備まで、誰でも常に最新の情報（いつ保守が行われたか、過去の問題は何だったか）が参照でき、問題解決に即応できる仕組みが構築される。こうした仕掛けは、アフターマーケット（出荷後顧客が活用している段階）でも常に活用でき、また更新され続けるのである。

CPSは、既に日本企業では実現しているのではないかと、という印象を持つ人も多いと思うが、筆者の経験では、現実にかつこうしたことができている企業は極めて少ない。

3 GE社の考え方とインダストリー4.0の考え方の類似性

(1) GE社の考え方

図2は、GE（ゼネラル・エレクトリック）

社の報告書にあるインダストリーインターネットの考え方を整理した図に、インダストリー4.0のアイデアを同時に整理したものである。

近年のGE社は「新興国を含めた世界の社会基盤（インフラストラクチャ）整備に貢献する企業になる」という明確な戦略の下で、航空輸送・交通ネットワーク、電力ネットワーク、医療ネットワークなどの、いわば社会システムの最適化を実現するソフトウェアサービス・プラットフォームを提供する企業に変貌してきているように筆者には感じられる。

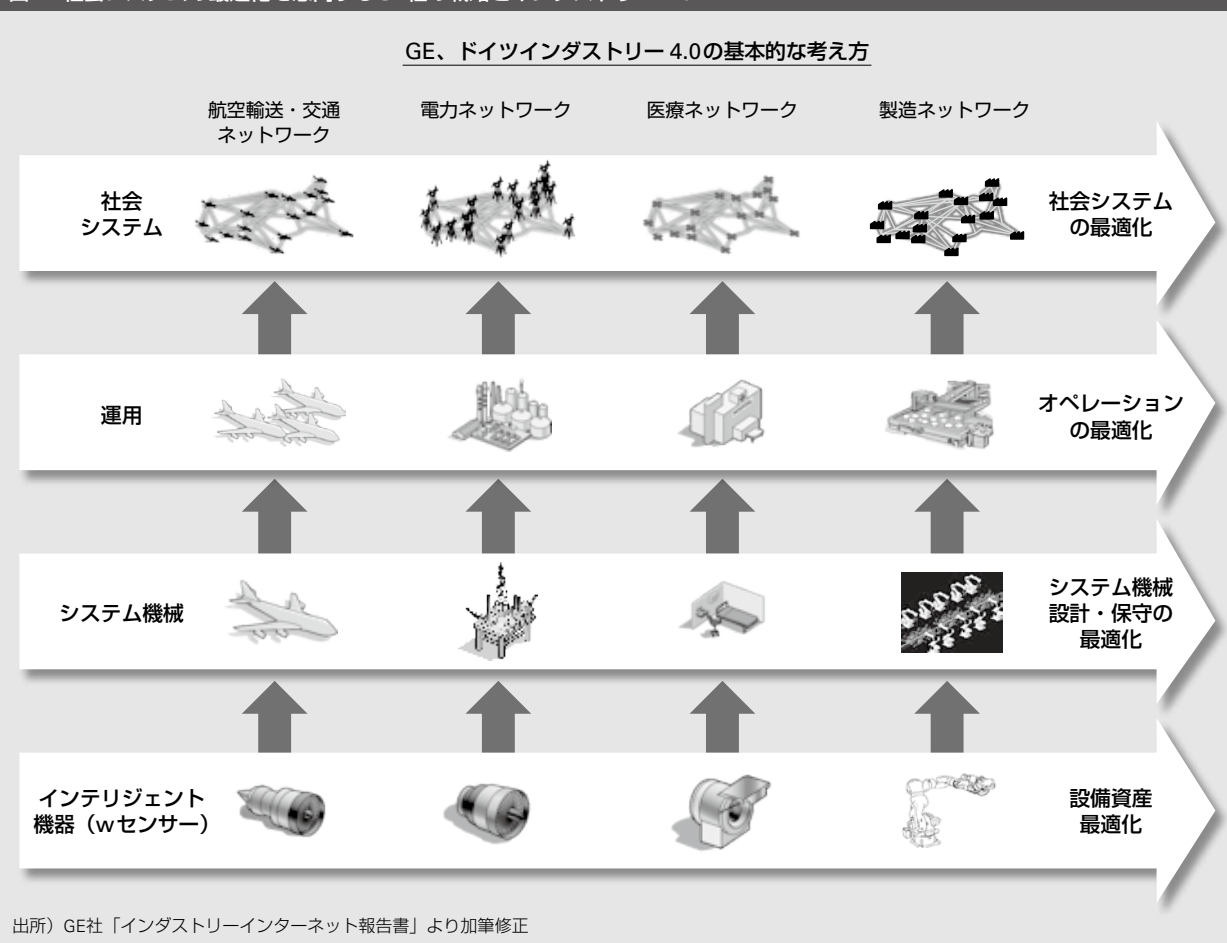
つまりGE社の考え方は、単に最下層の機器にセンサーを組み込み、ビッグデータを収集し、それを分析することで機器の最適化を果たすことだけが狙いではない。インテリジェント機器レベル、システム機械レベル、運用レベル、全体システムレベルにおいて、設備資産の最適化、システム機械設計・保守の最適化、オペレーションの最適化、社会システムとしての最適化、というそれぞれの階層における最適化を実現していこうということなのである。

(2) インダストリー4.0の考え方と

GE社の考え方の類似性

インダストリー4.0は、ここでいう製造領域での社会システムの最適化を狙ったものと考えると理解しやすいのではないだろうか。つまり、ロボットの最適化だけではなく、工場ラインの最適化、工場操業（オペレーション）の最適化、さらには、グローバルな工場管理の最適化などを通じて、社会システムの最適化を実現していくことが目標と考えるの

図2 社会システムの最適化を志向するGE社の戦略とインダストリー 4.0



である。

(3) 「IoT、ビッグデータ、人工知能」

日本では、CPSという言葉が日本語として受け入れられにくいという懸念から、「IoT、ビッグデータ、人工知能」という表現が採用され始めたようである。日本でのIoTの議論が、デバイスからのボトムアップ発想であり、「センサーデバイスからのデータをビッグデータとして蓄積し、今後発達する人工知能で解析すれば、何かすごいことができるようになる」というように聞こえがちなのは、CPSというコンセプトの定着を早々と諦めて

しまったことに遠因があるのではないだろうか。

(4) 柔軟でイノベティブな社会システムの設計作業

巨大なシステムの設計は、より広い視野から設計していくことが定石である。社会システムの設計から始めて、何段階かの階層構造を経て現場のデバイスの価値が設計できる。こうしてはじめて「インダストリー4.0」という名称にふさわしいCPSが実現できるのである。

巨大な社会システムにおいて、継続的にイ

ノベーションをビルトインするためには、階層構造を有するモジュール構造設計を行い、モジュールを入れ替えることによりイノベーションを行うことができる仕組みが重要である。

モジュール間インターフェイスの国際標準化は、巨大な社会システムにおいて、オープンイノベーションをビルトインするための設計要件なのである。

IoTが巨大な社会システムの設計作業だという認識がなければ、階層構造を有するモジュール構造設計やモジュール間インターフェイスの国際標準化活動の重要性は理解できない。

4 オープンイノベーションのためのモジュール構造設計

前述の報告書において、ドイツ科学技術アカデミーが政府に要請したのは「標準化活動の推進支援」である。

(1) 誤解されやすい

「国際標準化」活動の重要性

「標準化」、特に「国際標準化」という言葉は、特にわが国では誤解を招きやすい言葉の一つである。「技術を標準化したら技術革新が起きなくなる。標準化は、イノベーションとは相いれない。国際標準化を推進する際は慎重に」という意見は少なくない。しかしながら、ここでいう標準は技術そのものの標準化ではなく、モジュール間インターフェイスの標準なのである。

(2) 標準化活動はオープンイノベーションのためのモジュール構造の設計活動

産業政策としてのインダストリー4.0を理

解する際には、「オープンイノベーションを目的とした「産業政策としてのモジュール間インターフェイスの標準化活動」だと理解することが重要である。

図3は、岡田武氏が整理した製品開発のオープンイノベーションモデルの模式図である。製品開発の方法は近年、自前主義モデルから政策的なオープンイノベーションモデルへとシフトしてきた。

ここでいう政策的なオープンイノベーションモデルとは、新しい産業を創造する際に、当該産業にかかわるユーザー企業や要素技術の提供（ベンダー）企業が、コンソーシアムを形成し、いわゆる前競争的（Pre-Competitive）な活動（NSF：米国国立科学財団）を組織的に行うことである。

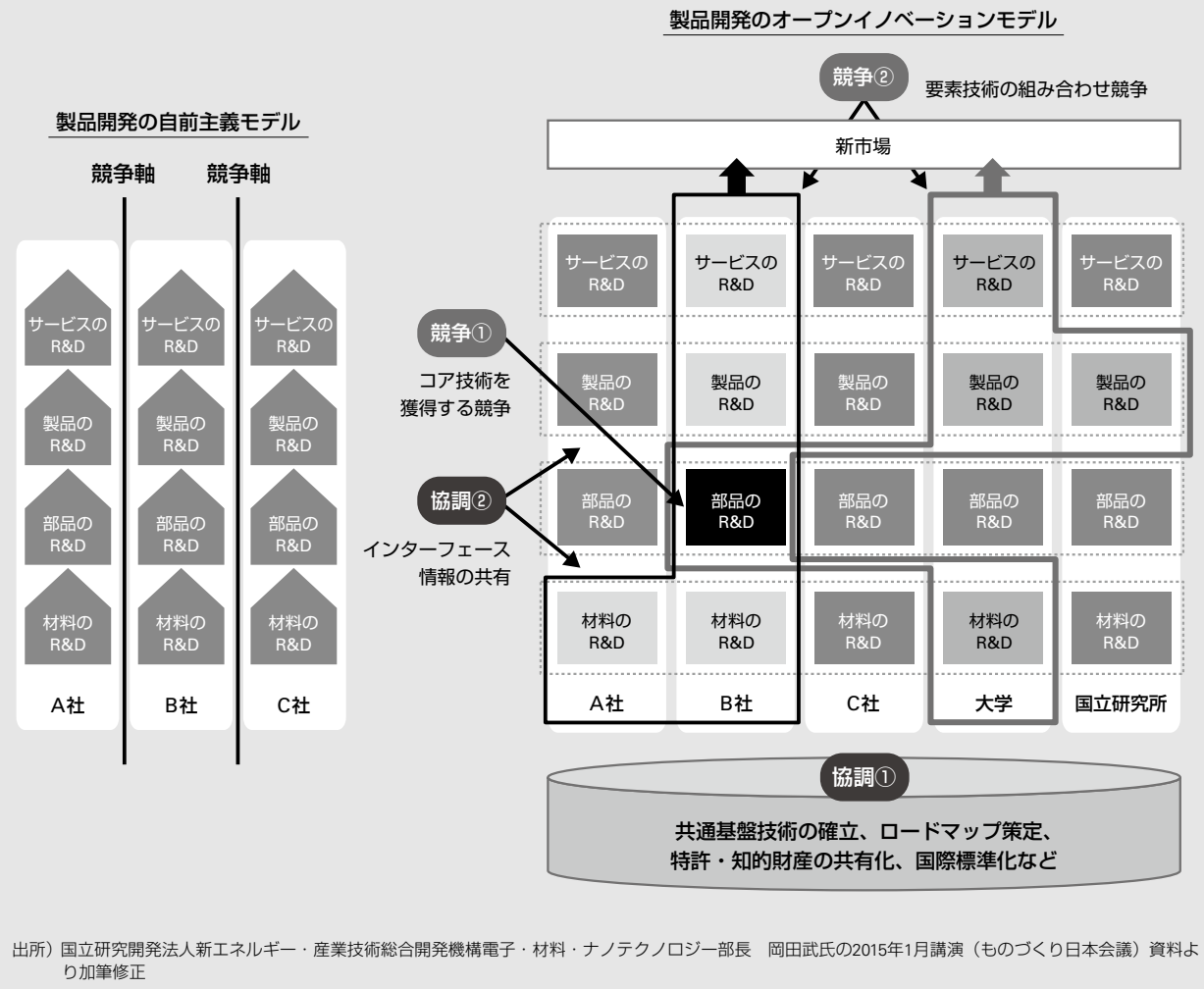
前競争的な活動の内容は、①新産業の需要表現（デマンドアーティキュレーション）、②構成要素のモジュール化、③モジュール間インターフェイスの標準化、④全体のロードマップとレファレンスアーキテクチャの作成、である。オープンイノベーションを政策的に誘導するためには、新しい産業のモジュール構造を早期に設計し広く公開することが効果的である。

逆に、競争（Competitive）で行うのは、①個々のモジュール機能の技術開発・提供、②モジュールを組み合わせるコーディネーションとサービス提供、である。後述する「プラットフォームサービス事業」に該当する産業が台頭する背景には②がある。

従前の自前主義モデルより政策的なオープンイノベーションモデルの方が、巨大システム産業のイノベーションには適している。理由は4つある。4つとは、自前主義の4つの

図3 オープンイノベーションのためのモジュール構造設計

- 製品開発は自前主義からオープンイノベーションモデルへシフト
- モジュール間インターフェイスの標準化は前競争領域
- 要素技術、および要素技術の組み合わせは競争領域



弱点に起因する。自前主義の4つの弱点を列挙する。①複雑なハイテク産業であればあるほど将来像が見えにくく、何の技術開発を行うべきか焦点・目標が定めにくいこと。②いったん製品が開発されても、市場開拓（マーケティング・セールス）活動に費用と期間を要すること。③この結果、収益を生むまでの

リスクが大きく社内の投資資金を集めにくく、製品開発に期間を要すること。経営層のR&Dに対する課題認識は、「技術開発力そのものよりも、何を開発すればよいのかという点を明確に定められないため投資が分散すること」という指摘は多い。④いったん開発された製品の継続的なイノベーションも自前で

行わなければいけないこと。モジュール化がなされていないため外部からの技術提供を受けづらい。

協力会社やグループでのいわゆる系列的取り引きが1980年代に有効に機能してきたのは、この4点をクリアすることに比較的成功したからであった。一方、インダストリー4.0は、政策的にオープンイノベーションの場を組織化することで、前述の4つの弱点を突破することを狙ったものである。

①技術開発のターゲットが 早期に明確になること

新産業の創造は、そのすべてが新技術で構成されるわけではない。モジュール構造を設計することで、既存技術が適用できる場所はどこか、新たに開発しなければいけない技術モジュールは何か、いつ頃までに必要か、その需要規模はどの程度か、が示される（需要表現）ことにより、開発すべき技術のターゲットが早期に絞れるわけである。この結果、自社にとって容易な領域、困難領域が比較的早いタイミングで明らかになり投資領域を絞り込むことができるわけである。

②ユーザーニーズを 早期に明確化できること

ユーザー産業が当初から参画したコンソーシアムにより新産業の外部機能設計が行われることで、マーケティングやセールス上のリスクは圧倒的に小さくなる。

③リスクマネーが投入できること

明らかになったモジュール構造の下で、新規技術開発領域（ミッシング・リンク）が規

定される際に、技術開発にリスクが伴うものについてはベンチャーキャピタルやファンドなど資本市場からのリスクマネーの投入が可能となる。資本市場からの資金調達が可能になる効果は計り知れない。

④モジュール入れ替えによるオープン （開放系）経済イノベーションの実現

複雑性の少ない小型の商品であれば、優秀な現場の匠の技の方が機敏なイノベーションが可能であろう。しかしながら、たとえば、スマートフォンなどの小型でも複雑なシステムを有する商品や、ましてや社会システムソリューションのような巨大システムにおいて継続的なイノベーションをビルトインするためには、開放系（オープン）で新技術をモジュール単位で常に入れ替えることができる構造を有していなければならない。新技術を常に導入するためには、モジュール構造が明確で、かつモジュール間インターフェイスが公開されていることが重要である。

モジュール化が進むことにより個々のモジュールでの競争が加速し、当該モジュールでデファクトとなった技術を有する企業の市場が拡大する結果、全体のコスト低減が起こり、さらに需要が拡大する。このことで、当該新産業の成長をさらに加速させることができるわけである。

一方、自前主義のいわゆる囲い込みモデルで巨大システムを構築する場合、いったん構築できたとしても、その後のイノベーションも自前で設計・運用・再構築しなければいけないという閉塞状態を招いてしまうリスクがある。

これら①～④の営みは、まさに製品と製造の両技術によって競争優位と差別性を構築してきた旧来の製造業における競争ルールを、根底から揺さぶることとなりかねない。物理学でいうエントロピーの法則のように、産業技術を構造化しながら、競争優位性を決めるモジュールを色分けし、おのおのに情報の開閉弁を敷設する営みにも見える。これは産業構造を劇的に転換し得るメカニズムの提示といっても過言ではなからう。

市場初期に圧倒的な技術優位性を持ち、その後の発展的で厳格な品質管理基準による優れた製品供給に強い自負を持つ製造業者にとって、その矜持と誇りが強ければ強いほど、ここで生じてくるエントロピーを主体的に制御しなければならない宿命に立たされることになる。攻めの視点といってもよい。

II インダストリー4.0の本質と先進事例

1 「スマートなマザー工場」と「製造プラットフォームサービス事業」の展開

インダストリー4.0は幅広い活動を包括している。このため応用ケースの一要素として自律分散型制御システム、マスカスタマイゼーションなどの前述の報告書で例示された個々のビジネスケースをインダストリー4.0の例として取り上げる向きも多い。しかしながら、筆者は、個々のビジネスケースを統合した形で提示されている「スマートなマザー工場」と「製造プラットフォームサービス事業」の展開との、大きく2つの萌芽事例に特に注目すべきと考えている。

2 「スマートなマザー工場」の事例：ボッシュ社プライヒャッハ工場

スマートなマザー工場の例は、ボッシュ社のプライヒャッハ工場が有名である。既に同種の製品を製造する世界11の自動車部品工場群、5000の標準設備をネットワーク化したスマートなマザー工場を運用している。

プライヒャッハ工場では、いわゆるチョコ停（設備の瞬時停止）の発生原因などの現場経験を共通知識データベース化し、世界中の同様の工場で活用できるようにしている。また、過去に類似の問題がないようなケースでは、工場の現場から中枢のセンターを呼び出し、高度なエンジニアリング分析に基づき問題解決のアドバイスを行う。この解決結果はまたさらに共通知識データベースへ書き込まれる仕組みとなっている。

ボッシュ社のこうした仕組みが構築できる理由は、プライヒャッハ工場および同種の製品を製造する世界11拠点の工場ですべてボッシュが製造した工作機械を活用しているからである。工作機械とPLCなどの制御機器などが、工場によりバラバラだとこのような「スマートなマザー工場」の実現は当面、容易ではないだろう。

しかし、現在行われているインダストリー4.0のモジュール化、モジュール間インターフェイスの標準化が進展すると、標準に対応した工作機械であれば、必ずしもボッシュ製の工作機械でなくともすべてネットワークの中に取り込むことが可能となる。こうすることで、さらに幅広い範囲の工場群において、スマートなマザー工場の整備・運用が可能になると予想される。

3 「製造プラットフォームサービス事業」の事例：

シーメンス社のサービス

シーメンス社は、2007年より約1兆円をかけて、M&Aを重ねてきた複数のソフトウェア製品群を、製品設計や生産設備設計の領域でのPLM（プロダクトライフサイクルマネジメント）、および生産加工設計、生産実行管理などの領域でのTIA（トータル・インテグレイテッド・オートメーション）に統合し、エンド・トゥ・エンドのエンジニアリングチェーンを、一つの連携したアプリケーションの下でサービスできる体制を実現しつつある。

さらに、シーメンス社は、顧客企業の生産技術部門の機能を代替し、いわゆる生産準備工程（生産設備の設計から調達、整備）の業務に加え、継続的な生産性向上活動、チョコ停の原因分析や予知保全などの業務全般をサービスとして提供するという、いわば「製造プラットフォームサービス」を始めている。

具体的には、BMWと中国（Brilliance社）との合弁工場においてシーメンス社が行っているサービスがそれである。この工場では、①フルターンキーサービス（設計から機器・資材・役務の調達、建設および試運転までの全業務を一括して請け負う契約）での納入を行い、②現地作業員は単純な制御を担うのみで習熟が不要、であるにもかかわらず、③BMWの特定の全車種を一本の生産ラインで製造（変種変量生産）、④99%以上の高い稼働率と高品質の生産を実現したとされている。

経済産業省の「日本の『稼ぐ力』創出研究会」（2014年12月）でも、前述のシーメンス社のフルターンキーサービスが話題となっている。インダストリー4.0型の生産システム

は、現地作業員に高い習熟を要しないことに対し、日本型の変種変量生産は習熟を必要とする。しかしながら、ようやく習熟した段階で転職がなされる傾向にある。生産規模を拡大しようにも人材が足りない。この場合、ノウハウが漏洩するリスクも生じる。何より、習熟するまでに数年の期間を要すること自体が既に問題である。経済産業省の委員会において、「インダストリー4.0型の生産システムが、競争優位を持つ可能性がある。」と警鐘を鳴らしたことは注目に値する^注。

III 経営へのインパクト

1 製造ノウハウの形式知化・組織知化・デジタル化の重要性

日本の製造業における製造ノウハウの形式知化についての統計的な調査は少ない。筆者の経験による認識で恐縮だが、形式知化が遅れているためにいわゆる生産技術部門が多忙を極めている企業が多いと推察する。

たとえば、「海外工場の立ち上げを任せられた。半年で品質を安定させて帰国しようと思ったが、結局12カ月かかりようやく品質が安定したので帰国した。しかしながら、帰国後1カ月を経ないうちに現地より連絡があり『品質が安定しないので再度来てほしい』ということになり、また地球の裏側へ出張しなければいけない」というような事態が日常茶飯事である企業が多いのではないだろうか。

このため、インダストリー4.0というコンセプトが叫ばれる前から、生産技術部門における業務ノウハウの形式知化・組織知化・デジタル化は、推進しておくべきテーマだったのではないだろうか。

2 スマートなマザー工場の重要性

さらに、急成長するグローバルマーケットを考えると、インダストリー4.0が指向する「スマートなマザー工場」の機能（中枢のコントロールセンターと製造ノウハウの知識データベース、現地には熟練の労働者は必ずしも多数は必要ないというアイデア）を整備し、どこでも、いつでもスケーラブルに展開できる能力を、ITプラットフォームと併せて構築しておくことは、事業戦略上も極めて重要なことなのではないだろうか。

知識を体系化した箱といってもよいが、世界中の工場現場の人員たちが、手先や経験を通じてバーチャルに次の良きモノ作りを議論できる仮想会議室と呼んでもよいかもしれない。

3 「製造プラットフォームサービス事業」への展開

スマートなマザー工場の業務ノウハウとITプラットフォームが構築できるとすると、いわば「製造プラットフォームサービス事業」への展開は、比較的容易とも考えられる。ITプラットフォーム構築により限界費用ゼロの経営資源を確立し、またクラウド化することでブラックボックス化を図ることは効果的、かつ必須と考えられる。

特に、製造設備産業に特有の問題、①景気変動の影響が大きく、収益の変動が大きいこと、②この結果、社内資源への思い切った投資が難しいこと、を考慮すると比較的安定した収益を上げられ、固定資産を比較的必要としないサービス事業を持株会社の下に別カンパニーとして企業ポートフォリオに加えることの意義は大きいと考えられる。

このため、多少の試行錯誤は必要となるだろうが、欧州勢において既に萌芽事例が見える「製造プラットフォームサービス事業」への展開を本格的に検討することが重要と考えられる。

モノ作りに多大な手間隙をかけてきている製造業者は、スマートなマザー工場とプラットフォーム構築を自力で成し遂げたいであろう。しかも、現場ノウハウは容易に形式知化されたくないであろうし、デジタル化など容易に情報漏洩させるリスクを自ら高めてしまうと考え、強い抵抗を感じる活動だと受け取られてしまうかもしれない。筆者はだからこそ、他社を意識したサービス展開の検討が、逆説的に自らの競争優位性を防衛するためのヒントを作る鍵となるのではないかと考えている。

4 必要となる「バリューチェーンのポートフォリオ戦略」

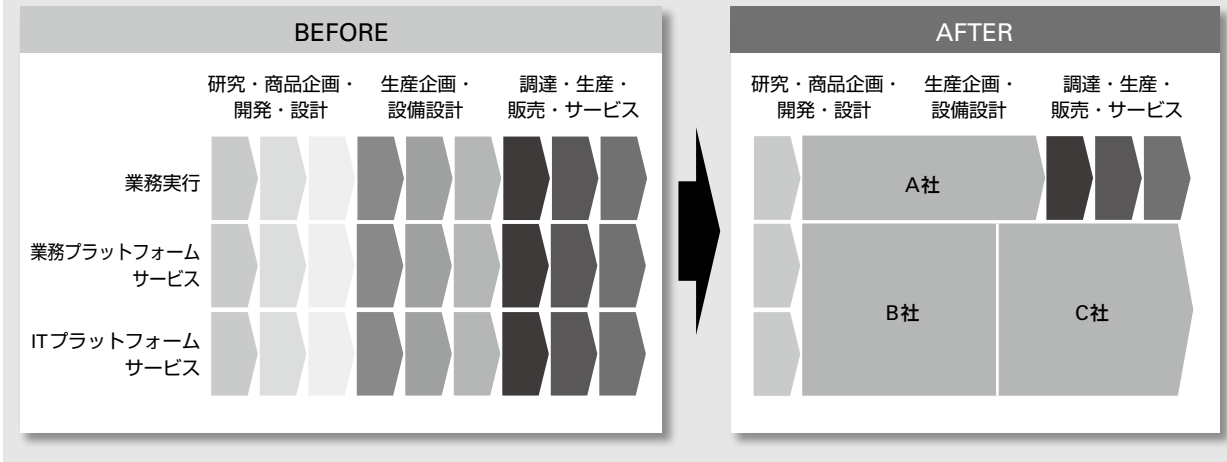
ITプラットフォームの整備に期間を要し、自社の量産ノウハウの形式知化・組織知化・デジタル化が単独では難しい場合は、外部プラットフォームサービスの活用によるスケーラブルで高速の事業展開力を早期に獲得することも重要な考え方であろう。

このように考えると、バリューチェーンの中での自社のコア（競争優位性）は何かを見定め、コア領域についてはITを活用しブラックボックス化できるのであれば外部サービスができるまで磨き上げ、コアではない領域については世界中の最も優れた外部プラットフォームサービスを活用することによって時間を買うというような戦略（＝バリューチェーンのポートフォリオ戦略）を、本格的に考

図4 外部プラットフォームサービスの活用で急成長市場へ迅速に対応

- 先進国の製造ノウハウを実装した新興国の低コスト製造業の登場
- 先進国製造業は、新興国の成長を内部化できるビジネスモデルへ転換すべき

バリューチェーンのポートフォリオ戦略のイメージ



えるべきである（図4）。

IV インダストリー4.0に対する日本企業の適応の基本的な考え方

インダストリー4.0に対する日本企業の適応の考え方は、業種や企業規模により大きく異なる。以下、大きな方向感を提示した。

1 大手製造業（OEM、大手自動車部品など）の場合

大手製造業、特に自動車の大手部品メーカーなどの場合は比較的明解である。中長期の競争力を堅持することを目標に、グローバルに見た最適な生産システムを常に維持し続けることである。このため、生産設備産業におけるモジュール化は追い風となる。

この業種においては、既に販売活動・生産活動での日本国内シェアは50%より小さいところが多い。海外拠点による先進度合いによって、本社の意向で生産設備メーカーやソフトウェアすべてを日本製としなければならない理由もなくなるだろう。

このため、むしろ常に最適な仕組みを選択でき、組み換えていくための仕組みをあらかじめ構築しておくことがリスクヘッジとなる。特定グループ固有の技術に依存することは、むしろリスクマネジメント上、必ずしも正しくない。

大手製造業の課題は「グローバルオペレーションの再設計、および生産技術管理機能の再構築」である。今後急拡大する世界中の生産拠点のスピーディーな立ち上げと量産オペレーション・品質管理の両立を、「現地+本社工場からの応援」という、現在の生産技術

組織の限られた人的資源だけで対応することは既に限界を露呈し始めている。

特に、本社からの応援で世界中を飛び回る「生産技術部門のエンジニア資源の調達力の限界」という日本の弱点が露呈することとなる。中長期的に見ると、エンジニアの数では日本に拠点を置くこと自体が劣勢を招きかねない。

もちろん現地の人材の教育が重要であるのみならず、加えて自社固有の生産技術を形式知化・組織知化し、グローバルに活用できる共通の「生産技術知識データベース（多言語）」の仕組みを構築し、生産現場での問題解決活動と同期し常に進化させていく仕組み作りが重要となる。

さらに、同様の製品を生産する工場群を階層構造化し、海外工場で問題解決に行き詰まった場合に即応できるスマートなマザー工場を構築することが重要である。

このためには、製品設計情報だけでなく、製造プロセス情報までをグローバルに管理できるPLM、MESなどの、これまで日本では本格的な導入が遅れていた領域でのシステム投資が必要となる。

2 中小製造業の場合

中小製造業の取り引き先（大手製造業）は、既に先進国（欧米）では現地ベンダーを含めて取り引き先を選択する傾向が強まっている。そのため、取り引き先の海外展開に付いていかなければ、日本国内での取り引きも長期的に見て頭打ちになることはいうまでもない。しかし、中小製造業の生産技術部門の規模は比較的脆弱で、とてもグローバル展開に十分な人的資源は保有していない。

このため中小製造業では、今後拡大してくと考えられる「製造プラットフォーム産業」を上手に活用して、最先端のソフトウェアや組み換え可能な生産設備資源をサービスとして活用することで、比較的小さなリスクで、スピーディーで安定した生産拠点展開を実現することが、有力な選択肢となり得る。

情報システムや生産設備のオペレーションインフラそのものを、自社だけでゼロから投資して構築する必要はない。むしろ、各種の製造プラットフォームサービスを組み合わせ、自社固有のノウハウに特化した投資を行うことで、競争優位性を確保し続けることに注力するのが妥当と考えられる。各種の製造プラットフォームサービスの台頭は、これら企業には朗報である。

3 製造設備関連企業（大手）の場合

これまで、「製造設備＋制御ソフトウェア」などを一体的に構築し、提供することが競争優位の源泉であった企業である。すべてを自前で構築してきたため、現時点での技術力・組織力は広範囲に高い。

ところが、インダストリー4.0の動きというのは、この製造設備産業の産業構造のモジュール化を行い、破壊的イノベーションが意図されているわけである。この試みが必ず成功するとは限らないが、かつてのPC産業と同じような産業構造の変化が当該業種に発生する危険性も否めない。

このため製造設備関連企業においては、少なくとも戦略のポートフォリオを考えるべきであろう。つまり、現行の品質の高い垂直統合型の事業を当分の間堅持することである。その一方で、これまで参入が必ずしも容易で

なかった欧米市場に対して新たな戦略や事業で取り組んでいくことも検討してみてもはどうだろうか。

つまり、①自社のコア技術の優位性を背景にしたモジュール単位での販売戦略、を採用するとともに、②他社のモジュールを含め顧客ニーズに則して組み合わせるコーディネーション（ラインビルディング）事業、③設備のトータルな保守作業やカイゼン活動の継続的なサービスを提供し続ける事業、を新たに立ち上げることが効果的ではないだろうか。

顧客のフロントに立つことで、これまで見えにくかった顧客の真の課題を一緒に解決できる立場を獲得する。これを次の製品開発に生かしていくことが効果的である。

もっとも、製品事業と顧客側に立つサービス事業とは、短期的には利益相反する危険性もある。できれば、別カンパニーとして新たなサービス事業を立ち上げることが一層効果的である。

4 中小製造設備産業（設備関連制御ソフトウェアなどを含む）の場合

キラリと光る固有技術を有する中小設備産業は、これまで大手企業グループ内の取り引きを中心に成長してきた。インダストリー4.0で起きつつあるモジュール化・国際標準化の動きは、これらの製造業にとって大きなビジネスチャンスである。

自社の競争優位な技術は、これまではグループの傘下企業の中でしか位置づいていなかったが、これからは国際標準のIFに対応することで、いきなりグローバル市場へ展開することが可能となる。技術提携やアライアンス、M&Aなどもグローバルに行える可能性

は高い。

実際、欧州系の中小企業は、既に中国や日本へ進出し、事業拡大してきている。モデルは豊富であろう。インダストリー4.0の狙いの一つは、中小企業のグローバル展開の加速である。

5 製造設備のラインビルダー（設備提供者）の場合

欧州には多数のラインビルダーが存在している一方で、わが国にも少数とはいえ有力なラインビルダーが存在している。

インダストリー4.0は、ラインビルダーにとって願ってもない新たな事業機会を提供している。ラインビルダーは、「他社のモジュールを含め顧客ニーズに則して組み合わせるコーディネーション（ラインビルディング）サービス」を既に提供している。モジュール化・モジュール間IFの標準化が進展することで、選択の範囲は拡大し最適化の価値は向上する。新たな技術を評価する力は、ラインビルダーの真骨頂である。

さらには、「設備のトータルな保守作業やカイゼン活動の継続的なサービスを提供し続ける事業」への展開も、今後提供されることになる「生産ラインの運営ソフトウェア・プラットフォーム」を活用することで、比較的容易にグローバルサービスを展開できる。実際、中小製造業ではこうしたサービスに対するニーズは比較的高い。

ラインビルダーの悩みは、設備投資が景気の波や製品のライフサイクルに左右されるため需要変動リスクが激しく、ピークに応じた人的資源の確保が難しいため事業成長が容易ではなかったことである。事業の中で継続的

なサービス部分のウエイトを上げていけば、事業の安定性が拡大し、人的資源の調達も比較的容易となる。リスクを抑制できることで加速成長が期待できる。

V 日本企業の経営戦略に どう位置づけるのか

1 日本企業には避けられないテーマ であり、長期戦略（5～10年） 検討に着手すべき

筆者は、現在のインダストリー4.0の潮流が、3年以内に日本企業に致命的な影響を与える確率は高くないと考えているが、今後5～10年というスパンだと、経営戦略には必須のテーマとなるであろう。無視して放置しておくことは危険だと考える。

その理由は、数年後の経営環境の見通しにある。すなわち、①製品市場では先進国の製造ノウハウを装備した新興国製造業との競争、②資本市場（M&Aなど）では新興国の成長を内部化し、株式時価総額を拡大した先進国製造業との競争、となる可能性があるからだ。

そのため、通常の経営計画とは異なる長期戦略計画、破壊的イノベーションのシナリオライティングを踏まえた、5年以上先までを睨んだ長期戦略の立案が効果的である。さらに、この長期戦略計画立案スタッフの活動も今後継続的に行う組織活動に位置づけるべきと考えられる。

検討すべきは製品やサービスのポートフォリオ戦略に加え、「バリューチェーンのポートフォリオ戦略」が重要となる。自社のコア・モジュールを明確に定義し、どのモジュ

ール、レイヤーで価値創造を行っていくのか、ITによるコア・モジュールのブラックボックス化の方法、さらには新興国のリソースを活用してレバレッジを効かせられるビジネスモデルは何か、逆にITプラットフォームを活用し事業拡大できる可能性はあるのか。また、先進的なプラットフォームを最大限に活用し挑んでくるライバル企業が出てきた場合はどう対応するのか、などのシナリオへの適応策の構築は重要と考えられる。

2 検討チームの キャストイングが重要

前述の長期計画に携わる検討チームのキャストイングには留意するべきと考える。そもそも、5年以上のスパンで戦略を検討しているスタッフを抱えていない企業が多い。また、IT部門ではこうした自由度の高いテーマは必ずしも得意ではないことも予想される。さらに検討は、必ずしも短期で終わることができるとは限らず継続的な活動となることが予想される。

このように考えると、検討チームメンバーのキャストイングには当該企業の次世代のエース級を充てることが必要と考えられる。また、製品戦略、技術戦略、財務戦略、IT戦略、マーケティングなどの組織の混成チームで、かつ世界中から英知を結集することが重要ではないだろうか。

3 日本だから提供できる価値を見極め、 世界の製造業に一石を投じる べき

IT産業では米国の存在が圧倒的で、ドイツやフランスも脅威を感じながら、製造業

IoTの世界で新たな生産システム構築の主役を標榜している。体系化と形式知化、モジュール化やシステム化など、欧米が主導しやすい概念が横行しそうな勢いであるが、ITシステムの世界にもデータベース構造に依存しない、革命的なメカニズムが動き始めている。とはいえ、製造業における最も重要な情報・知識の本質は、より人間臭い営みをベースに蓄積された「現場情報：Things」である。

製造業IoTにおいて、人間の重要な役割を再設計して、それらを生かしきれぬ新たなシステム設計が問われている。次の製造業を制する者はほかでもない、モノ作りの現場と人が介在した失敗・成功の経験値や推論手法を、見事にシステムに転写できた企業ではないだろうか。創造者は一部の開発者やホワイトワーカーに限られないだろう。彼らと共に歩んできた、手先を通じた勘やコツ、経験を最も豊富に蓄積している現場であり、エンジニアやワーカーの参画が必須なのである。

欧米の真似をしても勝てない。製造業IoTでは、彼らの良い面を謙虚に学び、活用するのは使いながら、彼らの思考の延長ではできないこと、現場や人を主体とした全員参加の思想、その価値を見いださなければならない。それが製造業における新たな社会システムの構想になるのではないだろうか。

Ⅵ インダストリー4.0で問われているのは何か

インダストリー4.0では、製造業のグローバルオペレーションの再構築力、エンジニアリング力が問われている。本稿では触れな

ったが、海外企業ではほぼ常識化しつつある下記の6つのグローバルな業務活動・機能を設計・運用していくことも同時に重要である。実は、スマートなマザー工場の考え方はこの一部分にしか過ぎない。

- グローバルなマーケティング・新製品投入タイミング・設備投資・M&Aの組織的な意思決定モデルの導入（S&OP）
- 製品・サービス（ビジネスモデル）の企画・設計・開発活動（グローバルな製品開発機能：PLM）
- 資材・部品・組立などの供給連鎖の設計・運用（グローバルSCM機能）
- 生産設備・ラインの制御系システム設計・整備活動（生産技術センター機能）
- 生産活動・設備保守・工場運営（生産ノウハウの知識DB整備：MES）
- 製造業のサービス化革命への挑戦とビジネスモデルの革新

さらに、製造業では、グローバルな本社機構として、上記機能を担う新たな組織整備が必要と考えられる。また、当然であるが、ITの効果的な活用が必須である。急拡大する市場へ、スケーラブルに、かつスピーディーに展開する能力獲得を組織的に行うためには「徒手空拳・竹槍で戦う」わけにはいかないのである。

また、インダストリー4.0は、自動車産業や自動車関連産業で起きている現象で、その他の産業ではあまり関係ないという意見も多いが、実態は異なると筆者は考えている。

「オープンなクラウドサービスの上で、国際的な分業体制の下で極めて多数の主体が円滑に業務を行っていく」というビジネスモデルは、自動車産業のように品質管理水準が高

く、高度な分業体制や生産管理能力が問われるところだから、ようやく現実になってきたわけで、その他の産業、たとえば、アパレルファッション産業、社会基盤（いわゆる土木・建築・保守など）産業、国際物流産業などでも既に同様の例は多数存在する。ほかの産業では既に、「第4次産業革命」は現実なのである。

注

シーメンスは、BMWの組立工場を中国にフルターンキーで納入した。インダストリー4.0型の生産システムでは、現地作業員は単純な制御を担うのみ（複雑な制御などのノウハウはブラックボックス）であ

り、高い習熟を要しない。

一方、日本型の変種変量生産は、生産現場の作業員の習熟が必要とされる部分が大きく、ノウハウも漏洩しやすい。このため、インダストリー4.0型の生産システムが、競争優位を持つ可能性がある（経済産業省「日本の『稼ぐ力』創出研究会」2014年12月資料より抜粋）

著者

藤野直明（ふじのなおあき）

グローバル製造業コンサルティング部主席研究員
専門はSCM革新の変革マネジメント

近野 泰（こののやすし）

グローバル製造業コンサルティング部長
専門は経営戦略