

Discussion Paper Series, No.24
Research Center for Innovation Management,
Ritsumeikan University

Industrie 4.0 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

立命館大学大学院
テクノロジー・マネジメント研究科 准教授
高梨 千賀子

2015 年 3 月



立命館大学イノベーション・マネジメント研究センター
Research Center for Innovation Management, Ritsumeikan Univ.

〒567-8570 大阪府茨木市岩倉町 2-150
2-150 Iwakura-cho, Ibaraki, Osaka 567-8570 Japan
<http://www.ritsumei.ac.jp/acd/re/ssrc/org/imrc.html>

- ※ 本ディスカッションペーパー中、意見にかかる部分は著者によるものであり、立命館大学イノベーション・マネジメント研究センターの見解を示すものではない。
- ※ 引用・複写の際には著者の了解を得ること。

要旨

本稿では、まず、ドイツで始動した **Industrie4.0** で描かれているビジョンはいかなるもので、その **Industrie 4.0** を捉えるための視点はどうかあるべきか、検討した。さらに、**Industrie4.0** を見越してのシーメンスの取り組みと、日本の FA システムメーカー・三菱電機の従来ビジネスを比較、考察することにより、**Industrie 4.0** 時代に日本は如何なる競争優位を用いて対抗あるいは協業しうるかを考察した。

Industrie4.0 では、バリューチェーン上の全機能がデジタル化され、縦横にネットワーク化されていくとされている。このような **Industrie4.0** の世界においては、工場システムの在り方ばかりでなく、ビジネスモデルの在り方、および企業の境界線の選択が問われていることを示した。また、**Industrie 4.0** は **CPS** がベースとなり、そのためには標準化が前提となるため、ドイツ企業が標準化から収益を上げるメカニズムを把握する必要があること、さらに、標準化はハードウェアばかりでなくソフトウェアのアーキテクチャにおいても行われるため、**HW/SW** の両面の付加価値シフトを検討する必要があると考察した。

次に、本稿では、独 FA システムメーカーのシーメンスにおける **Industrie 4.0** を見越した取り組みと三菱電機の従来ビジネスを取り上げ、両社の違いを示し、三菱電機の潜在的リスクを考察した。

本稿は、現時点での取り組み比較による潜在的リスクを考察したことで限界がある。しかしながら、当初、**Industrie 4.0** については技術的な議論に終始しがちであったことから、本稿はマネジメントの観点からの考察を試みた。

今後の研究課題としては、**Industrie 4.0** において重要視されている中堅・中小企業の IT リテラシー向上のための独政府の政策、複数業界のさらなる事例収集とそれぞれの産業構造・バリューチェーンの現状調査、**SW/HW** のアーキテクチャ上の標準化/ソフトウェアギャップを明らかにしていく **In-depth** 調査などがある。そして、日本企業のイノベーションに対する組織の硬直性の問題も独企業と比較対象しながら検討していく必要があるだろう。

This paper firstly argued what the German initiative, Industrie 4.0, is and what perspective we should examine it from. And then, we took up two cases of FA system makers, SIMENS and Mitsubishi Electric. The former has been dealing with Industrie 4.0 as a digital enterprise. Mitsubishi, one of the Japanese leading FA companies was taken up as an example of typical Japanese business. Through this comparison, we considered some possible risks the Japanese companies may face with to maintain the present competitiveness.

Under the Industrie 4.0, it is said all elements of the value chain will be digitalized and be networked vertically and horizontally. In such a circumstance, we suggested companies will be required to rethink about its business models and to make a decision on boundary of the company. In addition, we have to take into account standardization strategy and its profit mechanism as the German companies implement because standardization is a base of CPS in Industrie 4.0. In that case, we should keep in mind that SW architecture plays more important a role than HW does.

After we examined the two companies, we suggested some risk that Mitsubishi may be incorporated into the larger platform that SIEMES tries to offer and fail to maintain its present value added.

As a limitation, our discussion is based on the ongoing phenomenon and our consideration should be examined by further researches. Hopefully this paper may give some implication in management side on Industrie 4.0.

Future researches to be explored will be about German policies for the small and mid-sized companies under Industrie 4.0, further case studies, value chain and industry structure researches across the industries, impacts of SW/HW architecture standardization, and organizational rigidity and malfunction of local optimization of Japanese companies toward innovative actions. Especially, the last one is suggested in the interviews to be a deeply-rooted problem the Japanese companies have as one side of the coins of the well-known Japanese success in the manufacturing segment.

1. はじめに

昨今、IoT や IoS という文字が各種メディアで取りざたされるようになった。IoT は Internet of Things、IoS は Internet of Services の略称で両者を統合して Internet of Things and Services といったようにも使われている。これらの文字のもとで、モノやサービスなど様々な要素が Internet でつながる世界が描かれてきているが、漠然としていて、捉えにくいのが現状だろう。それでも、この IoT や IoS が、日本の官民で、ICT 業界ばかりでなく製造業においても注目されている理由は、日本を挟んだ米国とドイツで、産学官で真摯な取り組みが本格化してきているからである。米国では IIC、ドイツでは Industrie4.0 である。

そこで、本稿は、日本と同様国の基幹産業として製造業の貢献が高いドイツの Industrie4.0 に着目し、①Industrie4.0 で描かれているビジョンはいかなるもので、その Industrie 4.0 を捉えるための視点はどうかあるべきか、を考察し、②さらに、それが実現した場合、日本の製造業の既存の競争優位にどのような影響を与えうるのかを、既存ビジネスとのかい離を見据えたうえで、検討する。特に、②の目的のために、独 FA システムメーカーであるシーメンスの Industrie4.0 に向けた取り組み事例と、日本の FA リーディングカンパニーの 1 つである三菱電機のこれまでの取り組みと比較する。この比較を通して、今後の日本の FA システムメーカーにとっての潜在的リスクと方向性を検討する。

2. Industrie 4.0 とは？これまでの IT 化とは異なる側面はなにか？

Industrie4.0 とは、独政府が 2011 年に採択した ICT 技術を製造業分野に統合する戦略で、この Industrie 4.0 は、Smart Service World とともに高度技術戦略「ハイテク戦略 2020 行動計画」の 10 の Forward-looking projects（産主導の産学官連携）として位置付けられている。いわゆるモノとサービスのインターネット（Internet of Things and Services）」の製造プロセスへの応用であり、独製造業が輸出国としての強みを維持していくためにクリアすべき 3 つの課題のための Principle とされている。

3 つの課題とは、生産のためのエネルギーや資源の効率性、製品の市場導入時間の短縮、Flexibility の向上である。なかでも、Flexibility の向上については、個人ニーズにきめ細かに対応する多品種・少量生産のコストと大量生産のコストとを同じレベルに抑えるためには不可欠とされており、将来にわたり PLC（製品ライフサイクル）が個人ニーズに最適化されていくことを念頭に置いている。これら 3 つは、製造業にかかわる全プロセスを最適化していくことにほかならず、その手段が CPS（Cyber Physical System）の構築である。

CPS は個々の機器とそこに組み込まれたシステムが、インターネットを介して高度な情報処理能力を備えたサイバー空間と結びついて構成されるシステムのことである。

機器とその組み込みシステムは、いわゆるメカトロニクス製品のことである。メカトロニクスは、**Mechanics** と **Electronics** の機電一体を示す合成語であるが、実際には、機械工学・電気工学・電子工学・情報工学にまたがる分野である（日本機械学会便覧 2008）。そもそも、**Mechanics** だけでは複雑な動作をさせることが困難であったことから、制御部分を電子回路化し、マイクロプロセッサでセンサやアクチュエータを制御させたことから始まった。今では自動車や工作機械などほとんどの機械産業においてメカトロニクス化が進んでいる。FA においては、センサ、コントローラ（PLC）、動力源、アクチュエータ、カムなどのメカニズム等の要素を連動システムとして構築することが重要である。FA システムでは、リアルタイム処理や妨害に対するセキュリティ、安全性が求められるため、これまで FA 専用の通信ネットワークが用いられ、FA システムメーカー間でネットワークの標準化競争が起こっていた。後述の三菱電機の **CC-Link** やシーメンスの **Profinet** がこの例である。これが昨今、**Ethernet** などの汎用ネットワークにとって代われつつある。ネットワークで囲い込むよりも、多様な FA 機器をメーカーに関わらずつなげることに對するニーズが高まったためである。この動きの先にあるのが **Industrie 4.0** である。

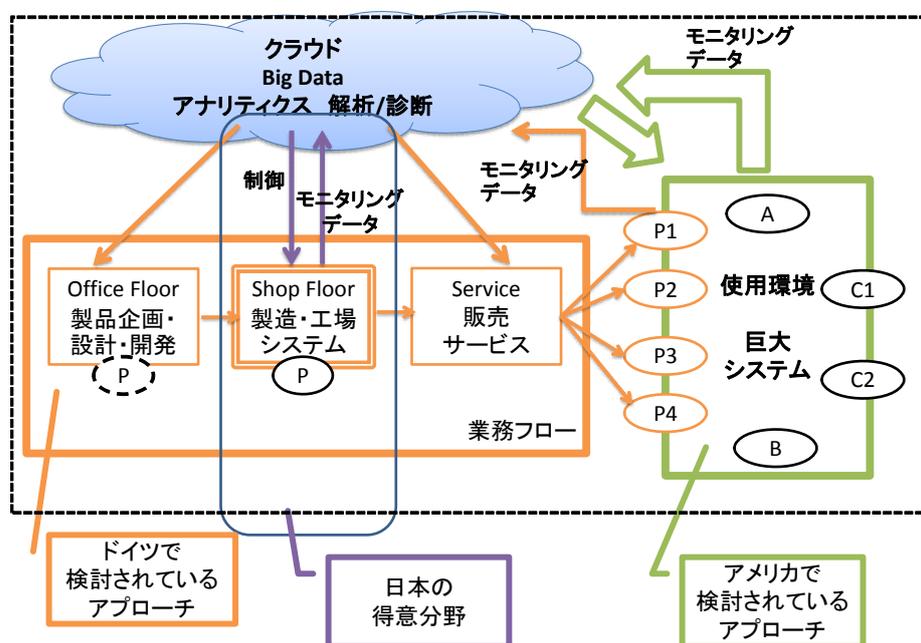
すべてがデジタル化された **Industrie4.0** 時代になると、産業機械や物流設備、生産設備が互いにつながったり、機器同士の通信による生産調整の自動化が実現したり、センサ技術により製造中の製品を個別に認識し、現在の状態や完成までの製造プロセスを容易に把握できるようになったりする。さらには、現在はまだ一つの工場の生産現場に閉じているネットワークが、生産機能を超えて他のバリューチェーン上の機能と結びつくことも可能となる。今までの製造業におけるバリューチェーンは、設計、試作などのオフィスフロア業務と、工場における生産準備、量産などのショップフロア業務は、それぞれ独立したシステムが用いられており、情報の共有化がスムーズに行われていなかった。そのため、製造準備や量産段階になって、この設計では作りにくい等、工場側からオフィスフロア側へ修正をもとめる、いわゆる「出戻り」が多かった。1980年～1990年のIT化はオフィスフロアとショップフロアに大きな生産性向上をもたらしたが、それぞれの業務において個別最適が図られただけだったのである。**Industrie 4.0** においては、異なるシステム間の意味定義や言語、データフォーマット等の標準化が図られ、バリューチェーンの全体最適が可能となり、リードタイムの短縮と生産性向上が期待されている。

さらに、このような標準化は業界を超えて共有されるため、他社のエンジニアリング、生産、ロジスティックス、サービス、マーケティングなどのバリューチェーンと結びついたりするようになる。すなわち、バリューチェーンの個々の機能がインターネットを介して縦（企業内）にも横（企業外）にもつながるようになる。それが **Industrie 4.0** の特筆すべき特徴である（**Platform Industrie 4.0, 2014**）。

ドイツでは、**Industrie 4.0** がスタートする前にすでに **CPS** に関する取り組みが始ま

っている。2009年には、ローカルレベルの組み込みシステムのネットワーク化に向けた次のステップについて、国内組み込みシステムロードマップ (National Roadmap Embedded Systems) が提言された。さらに 2012年にはドイツ科学技術アカデミー (Acatech)において「統合的リサーチアジェンダ」としてCPSが取り上げられた。これらの一連の動きがリサーチアライアンスを形成のための Industrie 4.0 ワーキンググループ活動につながり、ビジョンとしての Industrie 4.0 を示す 2014 年の Recommendation for Implementing Industrie 4.0 という提案書に結実した。

図 1. 独・米アプローチの違いと日本の立ち位置



著者作成

こうした製造業を中心にしたドイツの動きに対し、米国での IoT の動き (IIC) は、AT&T、Cisco、GE、IBM、Intel などの ICT 企業を中心である。このプレイヤーの業種の違いは、図 1 に記したように、アプローチの違いになって表れている。米 IIC ではユーザーの使用環境や潜在的ニーズを起点として、クラウドサービスと ICT システムの連動によるプラットフォーム形成などに主眼が置かれる。一方、独主導の Industrie 4.0 では、製造現場が起点となって、製品ライフサイクルや業務プロセス (バリューチェーン) の変革に主眼が置かれる。やがて、米国の場合は、このプラットフォームの影響を製造業にまで拡大し、ドイツでは製造ベースを米国に対抗するようなプラットフォームの構築に向かっていく可能性がある。両国ともにより広範な枠組み (図 1 の点線) をも含みうるのである。このように得意分野をベースにビジョンを展開する米独に挟ま

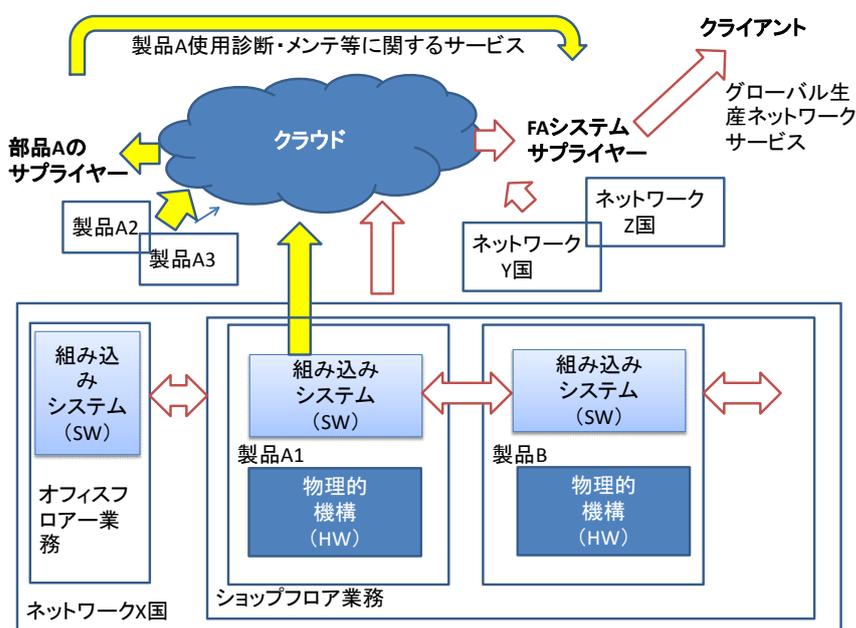
れ、これまで生産現場の強さが競争力の源泉とされてきた日本はいかなる手を打つべきか、今、問われているのである。

3. Industrie 4.0 を見る視点

では、Industrie4.0 への対処を考える際、どのような視点に立つべきだろうか。

前述のように、Industrie4.0においては製造業におけるCPSの構築が目指されるが、本題に入る前に、CPSの基本的技術要素について、ここで整理しておこう。インターネットを通して接続されるメカトロニクス製品は、大きく、物理的機構（Physical System）を意味するハードウェアとそれに組み込まれる組み込みシステムであるソフトウェアがある。組み込みシステムには、機器の制御機能のほか、機器の持つ情報をアウトプットしたり、他の機器の発する情報をインプットしたりする機能、その情報を設定されたパラメータとアルゴリズムによって診断し次の動作を指示する機能など、様々なアプリケーションを付加することができる。この情報を伝えるのがネットワークである。

図2 Industrie 4.0時代のFAシステムにおけるCPSとそのサービスの一例

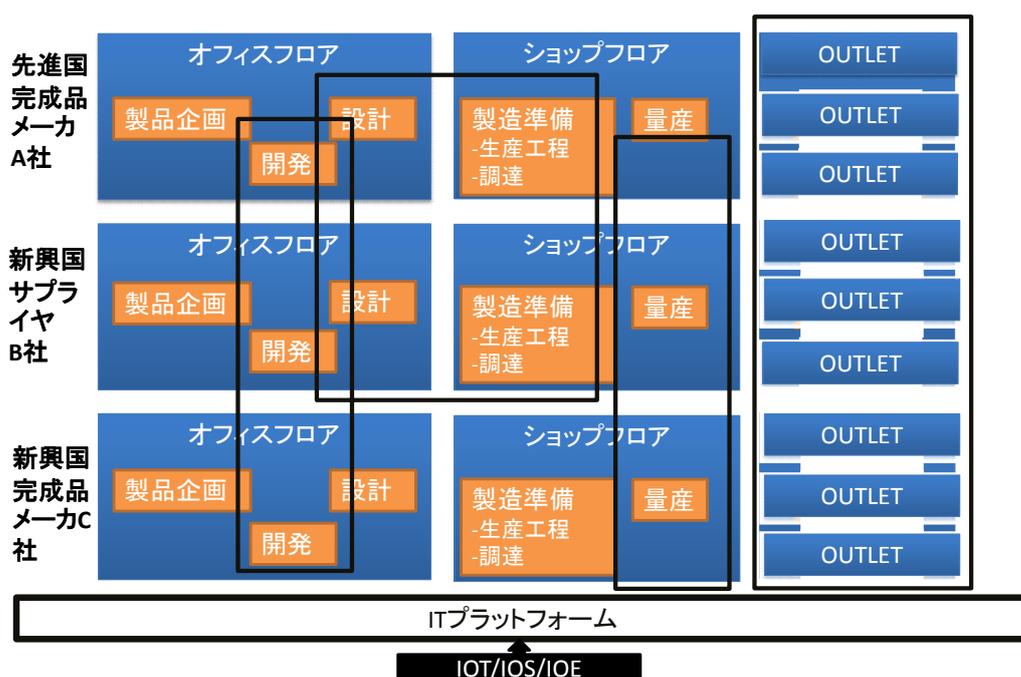


著者作成

メカトロニクス製品において、組み込みシステム（SW）は HW の制御のみを行い HW に帰属していたが、ネットワーク化されると、組み込みシステムは、他の SW と

の連携が可能となる。FA システムメーカーの専用ネットワークであれば、その FA システムメーカーが構築するシステムの範囲においてであり、それがインターネットであれば、セキュリティなどの条件がそろえば、基本的に企業内外の組織、地域や国を超えて、多様な組み込みシステムと繋がるのが可能となる。業務プロセスにおける情報ギャップも、共通基盤を作ることができれば、解消可能となる。FA システムの一部を構成する部品の提供メーカーは、自社製品（図 1 では製品 A）の組み込みシステムを通して、顧客で広く使用されている同製品の使用状況に関する情報をクラウド上に収集し、メンテナンス診断を行い、顧客の個別ニーズに合ったサービスを提供することも可能となろう。これを図示したのが、図 2 である。図 3 は、バリューチェーンのすべてがデジタル化されると、企業の枠を超えて、ここのバリューチェーンのフェーズで国際連携が可能になることを示している。

図 3 バリューチェーンに着目した連携の例

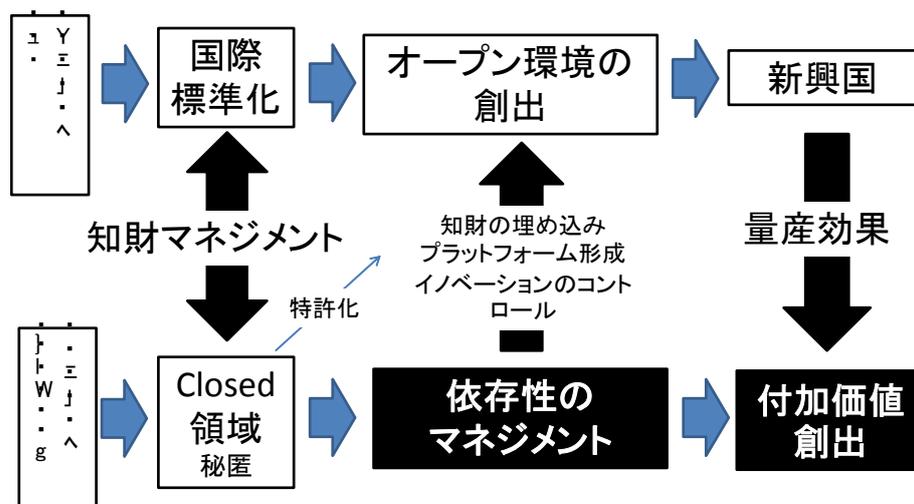


著者作成

このように、バリューチェーンの全プロセスが縦横（企業内・外）に結ばれる世界では、国際標準化の推進が不可欠である。ドイツでは、欧州統一の時から、異なる制度を持つ国々の間で物事をスムーズに行うために標準化を推し進めてきた。国内標準と EU 標準、さらには国際標準とするための制度も整っている。ドイツ企業が標準化から収益を上げる一つのメカニズムは、①標準化を推進しつつ、収益源をクローズドにする。そ

の一方で、②標準領域と依存性を持たせ標準化イノベーションの進展を操作する仕掛けを作る。③技術差がある新興国での標準普及を狙い、量産効果を楽しむというものである（図4）。このようなメカニズムが **Industrie4.0** の背後にもあることを忘れてはならない。従い、標準化リーダーにならずとも、フォロワーとして標準化動向を常にウォッチしておく必要があるだろう。

図4 標準化の収益メカニズム



高梨・立本・小川（2011）に基づき著者作成

なお、欧州の標準化策定においては、レファレンス（参照）モデルを提供している。レファレンスモデルは、ソフトウェアやハードウェアを実装して製品化する開発者のために提供された実装モデルのことであるが、簡易なものであり、そのままでは製品化できるものではない。緩やかなルールと言えるものであるが、このレファレンスモデルは戦略的に利用することも可能である。インターフェースさえ準拠していればよく、知財設定や依存性の埋め込みが容易だからである。それを許したくないのであれば、レファレンスの内容を詳細にする。逆に利用する側からすれば、どの分野でどの程度のレファレンスモデルが規定されているか、チェックすること可能である。

さらに **CPS** 構築においては、当たり前のことだが、デジタル化が進む。これにより、製品価値を規定するものが、**HW** の性能ではなく **SW** の性能にシフトすることが考えられる。これは上述のメカトロニクス製品の登場以来、見られてきたことだが、それが急加速することが考えられる。すなわち、ソフトウェアリッチ現象が急激に進む。それと同時に、**HW** がコモディティ化するスピードが速まるだろう。結果として、付加価値の所在が **HW** から **SW** へ大きく変わると考えられる。都市部でのカーシェアリングに

見るように、ある状況下においては HW の所有ではなく共有が進展する可能性もあるだろう。

このような環境変化を踏まえつつ、企業は自社で行うものと、他社に任せるものの選択を迫られることになる。これはビジネスモデルに直結する選択である。これまでの日本における Industrie4.0 議論を俯瞰してみると、製造業のモノづくりシステムにおいて何と何をどのように繋ぐかに焦点が置かれてきたが、実は、Industrie4.0 はそれだけにとどまらず、ビジネスモデルの在り方を問うているのである。

伊丹 (2007) によると、ビジネスモデルは、大きく収益モデルとビジネス・システムに分解できる。収益モデルとは、どこで自社は儲けるのか、他社に何を任せそれを自社の利益に還元していくのかを規定する。一方、ビジネス・システムは収益モデルを実現するためのシステム構築をさす。このビジネス・システムの構築にこそ、差別化要因がある。生産現場での作りこみなど日本の製造業の強みとされてきた「モノづくりシステム」はこのビジネス・システムの一つの構成要素である。

ビジネス・システム構築のための一つのアプローチとして、製品アーキテクチャ論がある。製品アーキテクチャは構成部品とその繋ぎ方を規定するものであり、製品アーキテクチャ「論」の議論の一つは、その統合 (モジュール) の程度に応じて適切な組織 (作業システムの在り方) を構築できたとき、競争優位を持ちうるというものである。

これまでの議論の多くは、ハードウェア (HW) においてであり、ソフトウェア (SW) の視点が欠けていた。Industrie4.0 は、バリューチェーン上の全機能がデジタル化されることを前提としており、SW のアーキテクチャを考える必要あろう。SW が単独の完成品としての財・サービスなのか、全 PLC、全バリューチェーンに広く介在し、プラットフォームとして付加価値を左右するものなのか、考慮に入れる必要がある。そして、HW と同様、SW においても何を標準化しオープンにするか、何をクローズドにしどこに収益源を置くのかという収益モデル、および、それをどのようなシステムで利益に結び付けるかというビジネス・システムを、再検討・再構築する作業が発生する。

HW/SW のどこで付加価値を創出するかを考える際のポイントは、まず、企業の組織間のレベルにおいて、相互依存性がどこに発生し、どのように相互運用を可能にするかである。相互依存性が発生する場所は、取引コスト論でいう調整コスト、資源ベース論でいう「知識 (資源) 蓄積」が存在するところである。それを特定するには、属人的作業がどこに発生しどこで標準化された作業/ツールが発生するか、そして、ソフトウェア (データおよびアプリケーション) のギャップがどこに発生するかが一つの目安となる。さらに標準化された作業/ツールが企業に閉じたものか、広く共有されたものかを検討するによって、企業外へのオープン化の程度 (他社に任せる部分) を決めていくことが可能となる。

4. Industrie 4.0 を見越したシーメンスの事例

本章では、シーメンスの事例を取り上げる。

シーメンスにとっての Industrie4.0 は、デジタルエンタープライズになることを通じて実現可能だとしている。シーメンスは、2007 年から 40 億€を投じて FA 機器メーカーからデジタルエンタープライズへと転身を図った。デジタルエンタープライズとしてのシーメンスは次の 3 つを行った。一つは CPS のための方策で、具体的にはデジタル・ツインである。これは、現実の機械や部品等とまったく同じものをヴァーチャル上でも実現すること、すなわち、実在とヴァーチャルは瓜二つで、ヴァーチャルの機械の性能は、現実の機械の性能の写し（コピー）である。このシステムを通して、次のジョブのためのシミュレーションが可能になった。目の前に当該機械や部品がなくても作業が可能になったため、作業時間は 80%も短縮することでき、生産性は 10%向上したという。彼らは、PLC のすべての段階においてデジタルツインを作り上げている。

2 つ目がヴァーチャルワールドとリアルワールドの統合である。あらゆるアプリケーション上で仮想世界と現実世界（製品・工場など実態を伴った世界）を統合した。たとえば、部品・製品・製造ラインのヴァーチャル化を推進し、製品企画部門（仮想世界）の設計エンジニアと工場（現実世界）の生産エンジニアが共通して使えるデジタルエンタープライズプラットフォームを開発した。これにより、設計から生産開始までのリードタイムを削減することが可能になった。最後はこれらのシステムで世界に点在する生産拠点をネットワーク化することである。生産拠点で必要とされる全機能を備えた生産現場とオフィスの統合的プラットフォーム MOM（Manufacturing Operation Management）を開発した。これにより、点在する生産拠点をコンピュータ上で管理することを可能になった。MOM は MES よりも広い範囲をカバーしている。これまで、調達などのシステムをグローバルレベルで実行するシステムは提供されているが、この MOM は調達に限らない。オフィスフロアで利用されている ERP や SCM とも連動するものである。従来、ショップフロア（工場）の TIA（Total Integrated Automation）システムは FA システムメーカーが、オフィスフロアの PLM（製品ライフサイクルマネジメント）システムは、IBM や SAP などの ICT 企業が提供していた。シーメンスは、FA システムメーカーとして TIA は持っていたが、これに加え、2007 年から大金を投資して ICT のノウハウを蓄積していったのである。

5. 三菱電機のこれまでの取り組み

三菱電機は、工場システムにおいて自社のコア製品を中心に 2 つのオープン度の異なるネットワークを構築している。一つは、末端の個々の機器をつなぎ、同社の PLC（シーケンサー）で制御するフィールドネットで、CC-Link と呼ばれるものである。このネットワークはそもそも自社専用ネットワークであったが、自動車産業への依存を緩めべく半導体産業でビジネス展開をしようとした際、オープン化が求められたことに伴

い、標準化した。もう一つは、SSC ネットと呼ばれるもので、同社のサーボモータを核としたネットワークである。いずれのネットワークも同社のコア製品を核としたものであるが、オープン度が異なる。前者は、PLC がマスターとしてネットワークの性能を左右する（繋がれる機器はサーボ）ため、完全オープンとした。一方、後者はネットワークの性能にサーボモータが影響を受けるため、セミオープンとし、提携関係のある企業とのネットワークとしている。

完全オープンの CC-Link においては、依存性の仕掛けと収益源の埋め込みを行った。完全オープンとはいえ、三菱 PLC と親和性の高い機器がメインである。その親和性は、三菱が提供している開発チップにより構築できた。そのチップは三菱が独占提供しているものである。

三菱がフィールドネットワークを提供することで、ユーザー側ではシステム開発やメンテナンスのコストが削減でき、利便性が上がった。一方、三菱でも、クライアントの信頼が厚い機器をネットワークに加えることができ、魅力が高まった。この CC-Link の標準化事例は、成功事例である。

最後に、三菱では、これらのネットワークを含む工場のトータルシステム e-F@ctory を提供している。これらの採用企業も世界規模で 200 社に達しているという。ただし、このトータルシステムの上位ネットワークは IBM など他社製であり、それらの企業との協業に基づくシステムとなっている。

6. ビジネス比較と潜在的リスクについての考察

三菱電機の従来ビジネスは、工場管理能力が高く自社でシステムを構築する大手日系企業に対して、キーデバイス（コントローラ、サーボモータ）の単体売りが中心であり、これらのコンポーネントのシェアを高めることが CC-Link と SSC ネットの 2 種のネットワークのインストールベースとなっている。自社の規格をベースに標準化した CC-Link では、規格に準じたチップを開発キットに埋め込み独占的に提供することで、ネットワークの親和性（信頼性）を確保すると同時に、収益源となっている。これにより、規格に準拠した他社端末機器とも接続可能となり、ネットワークの魅力を高めている。標準化しつつも、三菱の競合他社を排除しつつ三菱のキーデバイスに依存するというロックイン状態を作り出すことで、標準化からの収益を確保している成功事例である。ロックイン状態は、依存性のマネジメントとオープン度のコントロールによって達成している。

しかしながら、工場の統合システムとしてみた場合、三菱の e-F@ctory における自社のコントロール範囲は狭く、上位システムにおいては他社製品に依存している。これはすなわち FA システムメーカーにおけるインテグレーター機能が限定的であることを示している。一方、シーメンスは、オフィスフロアで活用される ERP、MES 等とショップフロアで活用されるトータル工場システムとの間にソフトウェアのギャップがある

ことに着目し、それを橋渡ししデータのやり取りがシームレスにできるプラットフォームを構築、クライアントの PLM を企画から生産・販売、さらにバックオフィス管理にまで拡大した。三菱に比し、プラットフォームの統合度は高い。そのために自社のノウハウを多大な投資を通じて蓄積しており、コントロール範囲は広い。

こうした違いは、クライアント企業との取引関係、クライアントの製品アーキテクチャや産業構造が大きく影響しているものと考えられる。大手クライアントの属する自動車産業がよい例であろう。日本の場合、完成車メーカー自体が高いインテグレート機能を持っていることが多い。また、製品アーキテクチャも、モジュール化を推進しているドイツ自動車メーカー（VW や BMW など）よりも相対的にインテグラルである。

しかしながら、CPS に基づく Industrie 4.0 においては、自動車を含め、取引環境が劇的に変化する可能性がある。2 章で述べたように、Industrie 4.0 においては、標準化、デジタル化、コモディティ化が加速し、ネットワークで繋がることで企業の境界線が大きく変わる可能性が高い。

すでに、FA においては、汎用化の進展という気になる動向も見られる。例えば、①企業ベースのネットワークが Either Net などの汎用ネットワークにとって代わられつつあること、②ソフト PLC の動きなどである。②は独インテグレートにみられる動きで、ハードウェアにおいては汎用 PC を用い、自社の SW を組み込むというものである。汎用 PC の CPU の性能向上とシステムのリアルタイム処理性能も上がってきている。これに対し、三菱電機では、HW と SW を組み合わせる一体型ビジネスを行っている。こうした汎用化の動きは、Industrie4.0 でさらに加速するデジタル（SW 支配）化、国際標準化によってさらに活発化してくとみられる。

さらに注意を要するのは、より上位のプラットフォームに統合されるリスクであろう。情報システムのプラットフォーム化により、上位レイヤーから、下位レイヤー（デバイス）の情報の活用を許してしまう可能性がある。これは、ノウハウの吸い上げに繋がる。また、上位システムからのコントロール（プラットフォームの改版によるイノベーションの速度や方向性のコントロール）も考えられる。これらにより、プラットフォーム下層の機器の制御や機器の機能アップに追い込まれるリスクがあるものと考えられる。

ただし、現時点では、企業の境界線の変動はあまり見られない。いずれのクライアント企業もグループ内にとどまっており、Industrie4.0 の縦横無尽にオープン化されている世界とは隔たりがある。しかし、プラットフォームと既存システムとの間で IF や言語が共通化（標準化）されれば、それは実現しやすくなるだろう。標準化の動向は、今後、注視していくべき分野である。米 IIC の動きに共時的に反応し、加速する可能性もある。

7. 最後に

本報告では、Industrie4.0 では標準化が推進され、インターネットで組み込みシステ

ムが繋がることで、企業の境界線が変化すること、それに伴いビジネスモデルの在り方が問われていることを示した。特にデジタル化の中では、HW より SW の支配権が拡大するため、標準化によって HW ばかりでなく SW のどの部分に付加価値がシフトするか、統合的に見る必要があると論じた。

Industrie 4.0 が今後、どのようなスピードで進むかは本稿の範囲を超えるものであり、また、本稿は、現時点での取り組み比較による潜在的リスクを考察したことで限界がある。しかしながら、当初、Industrie 4.0 については技術的な議論に終始しがちであったことから、本稿はマネジメントの観点からの考察を試みた。ハーバードビジネスレビューの4月号では、ポーターがIoT時代の競争戦略について論考を提供するなど、今後、マネジメントの観点からの議論も活発になっていくものと思われる。ポーターの議論と本稿の違いは、IoT 全般ではなく Industrie4.0 という具体的 Initiative に限定し、日独の FA システムに事例をとったこと、Industrie 4.0 の要には CPS があり、そのためには標準化の動向を見据えた戦略が不可欠であり、HW と SW の両者における付加価値シフトを考慮する必要があるとした点であろう。

最後に、今後の研究課題に振れておきたい。本稿では、大手企業2社を取り上げたが、Industrie 4.0 においては中堅・中小企業の IT リテラシーを高めることも触れられている。特に中堅企業（ミッテルシュタントと呼ばれる）は、輸出においても貢献度が高く、彼らの底力を Industrie 4.0 の中で維持していくことが重要視されている。同じような産業構造を持つ日本においても、ドイツの中小企業政策は参考になろう。加えて、実証面では、ディスクリート、プロセス両産業に広く事例を求め、それぞれの産業構造とバリューチェーンの現状を調査することや、SW/HW のアーキテクチャ上の標準化/ソフトウェアギャップを明らかにしていく In-depth に調査していくことが必要だろう。

そして、イノベーションに対する組織の硬直性の問題も Industrie 4.0 では大きな課題となりうると思う。本稿をまとめるに当たり、既存のシステムが細分化され、局所的個別最適化が進んでいる日本企業のイノベーションに対する機能不全の話も多く聞いた。特に、現在の日本製造業では、製造業＝モノづくりという意識が強く、現場のモノづくりシステムを構築する層と収益モデル、ビジネス・システムを構築する経営上位層の間に、大きな隔たりがあることも指摘されていた。ドイツとアメリカとの間で、日本の製造業はイノベーションにどう向かい合うのか、今後も目が離せない。

注：

本稿は、2014年11月にドイツにおいて現地調査を行ったほか、2014年8月から2015年3月にかけて実施した日系FA企業4社へのインタビュー、および、日本機械学会生産システム部門つながる工場分科会での議論などに基づいたものである。

謝辞：

実名は控えさせていただきますが、本稿の執筆に当たり、多くの皆様にご協力をいただきました。ご協力くださった日系企業およびドイツ企業・業界団体の皆様、日本機械学会生産システム部門つながる工場分科会での定期研究会でお世話になった皆様、NEDO および政府機関の皆様にご協力いただきありがとうございます。また、本現地調査は（成果は別稿に譲ります）、産学連携調査の一環として科学研究費助成事業（基盤C：25380554）の助成を受けて実施いたしました。

参考文献

- Ashkan Negahban & Jeffrey S. Smith (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33 (pp241-261). Elsevier Ltd.
- 伊丹敬之 (2007). 『経営を見る眼』 東洋経済新報社.
- 小川紘一 (2014). 『オープン&クローズド戦略』 翔泳社.
- 川野俊充 (2014) 『インダストリー4.0 : ドイツが描く第4次産業革命』 .ITmedia
- Stephen Mellor (2014,Nov.) .*The Industrial Internet: A Sense of the Future*. Paper presented at the meeting of IIC.
- 立本博文・高梨千賀子 (2010). 「標準規格をめぐる競争戦略」 日本経営システム学会誌 26 (2), pp.67-81.
- 高梨千賀子・立本博文・小川紘一 (2011). 「標準化を活用したプラットフォーム戦略-新興市場におけるボッシュと三菱電機の事例-」 国際ビジネス研究 3 (2), 61-79.
- マイケル E. ポーター&ジェームズ E. ヘプルマン (2015) 「IoT 時代の競争戦略」 『Harvard Business Review』 (pp.38-69), ダイヤモンド社.
- Platform Industrie 4.0 ed., (2014). Recommendation for implementing Industrie 4.0 initiative
- 西岡靖之 (2015, 3月). 『リファレンスモデルによる緩やかな標準の勧め』 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会配布資料.
- 『革命の火蓋切ったドイツの焦りと決意』 日経ビジネス 2014年7月22日号
- 望月智治・ユリア・クリューガー (2013) 「Industrie 4.0 : 製造業に革新を」 『ジェトロセンサー』 2013年9月号. J (pp.66-67) Jetro.
- 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.