

# 「インダストリー 4.0」と「IoT」を理解するための基礎 業務プロセスのIoT化・モジュール化



関 啓一郎

## CONTENTS

- I IT・ICT・IoT・Industry4.0
- II 誤解されるインダストリー 4.0
- III IoTの区分とインダストリー 4.0：Internet of Processesがインダストリー 4.0の中核
- IV IoTによる産業構造の変化と水平分業の実現
- V 複数の競争軸（1）データの利活用をめぐる主導権争い
- VI 複数の競争軸（2）標準化戦略をめぐる対立
- VII 日本企業への影響
- VIII 今後の政策課題

## 要約

- 1 インダストリー4.0について、一部分での判断や自分に都合よい解釈で誤解している人が多い。IoTは、「製品+ネット」（Internet of Products）、「部品+ネット」（Internet of Parts）から、さらにその集合体である「業務プロセス+ネット」（Internet of Processes）に発展しつつある。インダストリー4.0は業務プロセスのIoT化であり、製造業だけでなく全産業に影響する。
- 2 その狙いは、(1) 米国クラウド企業が製造業で主導権を握ることへの対抗、(2) 急増する新興国での需要への対応である。「モノからサービスへ」と同様に、製造プロセス（工場）をサービス化して、新興国企業に提供（水平分業）する。本部が現場からのデータを収集・分析し、適切な指示を出すことで、知的財産を守りつつ容易で効率的な運営を迅速に実現できる。ただし、①データの利活用の主導権（データコントローラーの地位）争いと②標準化に係る制度（デジュール）派と市場競争（デファクト）派の対立がある。
- 3 日本企業は、一般に形式知化が苦手現場主義・自前主義であり、ルール作りを軽視している。現場から本部への頭脳移転や水平分業のための社内部門切り出しへの抵抗が心配である。
- 4 政策課題は、指導者の理解を深めつつ、データの扱い（利活用ルール、プライバシー・企業秘密の保護）、仮想・現実空間双方の安全性確保、ネットワーク環境整備、顧客囲い込みの排除、標準作りへの参加支援、就労環境変化への対応などである。

# I IT・ICT・IoT・Industry4.0

## 1 定義だけでは理解困難

米国発の事象が多いため、アルファベットの略語が溢れている。ITは情報技術（Information Technology）を指し、一般に米国で使われ、ICTは情報通信技術（Information and Communications Technology）を指し、一般に欧州で使われるが、両者はほぼ同じ意味である。国内ではコンピューター関係者はIT、通信関係者はICTを使うことが多い。IoTはInternet of Thingsを指し、「すべてのものがインターネットにつながる」ということである。この程度のことは分かっていると多くの人はいうだろう。

インダストリー4.0はドイツで生まれた概念である。蒸気機関が1.0、電力が2.0、コンピューターによる自動化が3.0で、ネットワーク化・サイバー空間と現実世界の融合の時代を4.0と呼んでいる<sup>1)</sup>。

しかし、これらの説明を聞いても何だか分からない。まずは背景知識として、現在、われわれの世界で何が起きているか、起きつつあるかを理解する必要がある。

## 2 人類発展史の新たな段階：

### 知的処理能力の機械化の時代

技術革新が社会経済全般に影響を及ぼした例として、約1万～8000年前に人類が狩猟から農耕を始めて定住化し、集落、さらに国家を形成するに至った「農耕革命」がある。また、18世紀に英国で始まった、生産・交通手段を機械化し、企業と労働者を生み出した「(第一次)産業革命」がある。

産業革命は、人・牛馬の労働力(筋肉)の

機械化というイノベーションであり、経済生産性の飛躍的な向上をもたらした。農村から都市への人口移動、家業から労働者・工場への転換など、社会システムが大きく変わった。

英国の産業革命は1760年代から1830年代にわたって進行した。明治維新に始まる日本の産業革命は、1870年代以降の出来事である。英国で確立した技術、株式会社、工場システムなどをそのまま受容すればよかった<sup>2)</sup>。産業革命初期の英国<sup>3)</sup>は、ちょうど、情報通信が革命的要因をもたらす中で、その利用方法とビジネスモデルの確立に四苦八苦しており、現在のわれわれの姿に似ている。

1980年代以降急速に発展したエレクトロニクス、情報通信技術は社会生活、企業構造や行動原理、企業間取引に劇的な変化をもたらした。産業構造にもたらす変革は18世紀の産業革命(工業革命)にも匹敵することから、IT (ICT) 革命と呼ばれることもある。

情報通信技術は、脳・神経・五感という人間の知的処理能力の機械化であり、社会システムも大きく変わらざるを得ない。産業革命時の筋肉の機械化と同様に、乗り遅れると致命的となる可能性がある。また、知的処理能力の機械化においては、産業革命時の英国のような先行者がいるわけではないので試行錯誤を繰り返していかなければならない。

われわれがインダストリー4.0やIoTについてよく分からないのは、このように揺れ動く時代の渦中にいるからであり、適切な解を求めて努力していかなければならないであろう。

### 3 IoTの意義とその影響

#### (1) IoTは汎用技術たるICTが

##### 全産業に行きわたる過程

さまざまな分野で用いられる技術は「汎用技術」(General Purpose Technology)<sup>注4</sup>と呼ばれる。長期間にわたる改善・進歩をもたらし、ほかの技術に作用してその価値を高めるものである。多くの分野で活用されるゆえに社会構造自体に影響を与え、社会そのもののありようを変えてしまうものでもある。インフラや制度の整備が必要なため、電力<sup>注5</sup>の例のように汎用技術の普及には長時間を要する<sup>注6</sup>。

ICTは汎用技術であり、その影響がコンピューターなどの電子機器だけでなく、あらゆる分野に浸透していくことになる。IoTにより、チップがさまざまなモノに行きわたり、それがネットワーク化される。さらにモノの集合体としての各種の業務プロセス全体がネットワークに接続されて情報を収集・分析、それに基づいてコントロールされる。こうした世界の過程は、電力（電気製品・電気で動く装置類）の普及過程とよく似ており、時間はかかるが世の中を劇的に変えていくであろう。

将来的には、どこで何が起きているか可視化され、遠隔での運行・保守・管理も可能となり、シミュレーションで事前に結果を予測・改善できる。

#### (2) IoTが生み出す付加価値

単体のモノのIoT化（ネット接続）から進んでいく。そして、企業の業務プロセス（製造プロセスに限らない）の中に、ネット接続された機器・装置類が組み込まれていく。

製造・販売した企業がそれぞれの機器・装置類が生み出すデータを用いて、購入した企業の業務効率化に貢献していくことになる。

コマツのKOMTRAX<sup>注7</sup>や米国GEの取り組み<sup>注8</sup>がよい例である。KOMTRAXでは、建機の販売後も位置、稼働状況（稼働時間、時間帯、異常など）をオンラインでモニターし、最適な利用方法を提示するとともに、適切な時期での点検、不具合の事前察知、故障時の迅速対応などによる稼働効率の向上、盗難時における遠隔操作での停止などの付加価値を提供している。

#### (3) メカ部分（ハード）と

##### 制御部分（ソフト）の分化

チップ・センサーが組み込まれ、ネットに接続された機器・装置・工場などはスマート（賢い）機器・装置・工場などとも呼ばれている。いわばすべてのものがネット端末となる。

これらはコンピューター（チップ）で制御されており、運行管理・保守とデータの分析はネットを通じて行われ、メカ部分（ハードウェア）と制御部分（ソフトウェア）が分離されていく。ハードウェアの改善だけでなく、ソフトウェアの最新化（アップデート）によって機能の向上を図ることが可能となる。

簡単にいえば、すべてがパソコンのようになる。ソフトウェア部分のウエイトが大きくなると同時に、全体に対して各部分がモジュール化され、インターフェースが標準化される。誰でもモジュールを提供できるため、価格と機能の競争が厳しくなるであろう。

ソフトウェアのバグ（不具合）や情報セキュリティもこれまで以上に大きな問題となる。

## II 誤解されるインダストリー4.0

インダストリー4.0については、まずは多くの人の誤解を解くことから始めたい。誤解の原因として次の2つがあるように思える。

### 1 部分ばかり見て全体を理解しない

インダストリー4.0はバズワード（定義が曖昧な概念）である。加えて、意味する内容が広いため、注目する部分によって異なって見える。だから議論するとかみ合わないことがある。

「群盲象を撫でる（評す）」ということわざがある。人々が象を撫でて、鼻、背中、尻尾など、それぞれ自分の手に触れた部分だけで巨大な象を評するように、理解が一部分にとどまって全体が分からないことをいう。インダストリー4.0についてもこの現象が起きている<sup>29</sup>。次のようなイメージである。

- Aさんは手段の一つである「FA（ファクトリー・オートメーション）」
- Bさんは効果の一つである「マスカスタマイゼーション」
- Cさんは要素技術の一つである「AI（人工知能）」
- Dさんは収集・分析の対象である「ビッグデータ」
- Eさんは製造の手段である「3Dプリンター」や「ロボット」

を思い浮かべるのではないだろうか。

- 背景に詳しいFさんは「標準化」だと思うだろう

確かにこれらはインダストリー4.0のキーワード<sup>30</sup>ではあるが、それぞれその一部分しか語っていない。

### 2 自分の立場で都合よく理解する

見る人の立場（完成品・部品・製造装置などのメーカー、設計・製造・販売などの部門）によって、見方にバイアスがかかる。特に「自分たちは既にできている、分かっている」と、インダストリー4.0の真の姿を過小評価する人は多い。

古代ローマの英雄カエサルの言葉とされる「多くの人は、見たいと欲する現実しか見ていない」<sup>31</sup>のように、人間は自分に都合のいいように解釈しがちである。たとえば次のようになる。

#### (1) 大手製造業の経営者Aさんの場合

「従来からFAを進めている。インダストリー4.0でいわれていることは、既にわが社ではできている。何ら新しいことではない」とAさんが自らを安心させてしまう。すなわち、インダストリー4.0は単なるFAではなく、ネットワーク化・標準化（広くつながること）に意義がある点を見落とすことになる。

#### (2) 国内工場管理者のBさんの場合

Bさんが国内のことを念頭に置き、「わが社は十分に生産性が高い。これ以上は費用に見合った効率化は望めない」と考えたとする。これでは、インダストリー4.0は新興国での工場展開や業務提携がターゲットである点を見落とすことになる。

#### (3) 設計・開発部門のCさんの場合

Cさんが「自社工場内のIoT化は進み、データが集められているし、系列企業とのネットワークも整備している。わが社は既にデー

タを活用した設計・開発を実現している」と考えたとしたら、ガラパゴス化の道を歩んでいるかもしれない。インダストリー4.0は系列やグループといった閉じたものではなく、誰でも参加できる開いたインターフェースを目指すものである。事実上の標準（デファクト）か、標準化団体によるもの（デジュール）かは別として、自社またはグループ内の「囲い込み」ではない。

これらの議論をかみ合わせるためには、インダストリー4.0に対する誤解を解き、自らの利害を客観視し、共通の理解を作る必要がある。

### 3 インダストリー4.0とキーワード（CPS、ビッグデータ、クラウド、AI、3Dプリンター、ロボットなど）の関係

インダストリー4.0のキーワードとして、スマート工場と並んで、CPS（Cyber Physical System）、マスカスタマイゼーション（多品種少量生産、個別注文生産）、ビッグデータ、クラウド、AI、3Dプリンター、ロボットなどが挙げられることが多い。

後述のように、インダストリー4.0は、特にIoTの中で、業務プロセスのIoT化<sup>12</sup>に、さらにドイツでは製造業の業務プロセスのIoT化に焦点を当てたものであると考えられる。

CPSは、現実世界（フィジカル空間）にある多様なデータ（ビッグデータ）を各種のセンサーとネットワークを用いて収集、仮想世界（サイバー空間）で解析、データに基づきシミュレーションするなど、サイバー空間でフィジカル空間の動きを再現する。その結果

に基づいてフィジカル空間で新商品・サービスの開発・提供などを行うものである。さまざまなデータをデジタル化し、定量的に分析することで、従来は人の経験・勘でしか分からなかった知見を引き出し、それをフィジカル空間で用いることができる。

CPSは「デジタルツイン」とも呼ばれる。あたかも双子のようにフィジカル空間を映したサイバー空間を構築し、シミュレーションにより、設計・製造その他の過程を再現、それを基に現実の業務プロセスを制御・管理するからである。

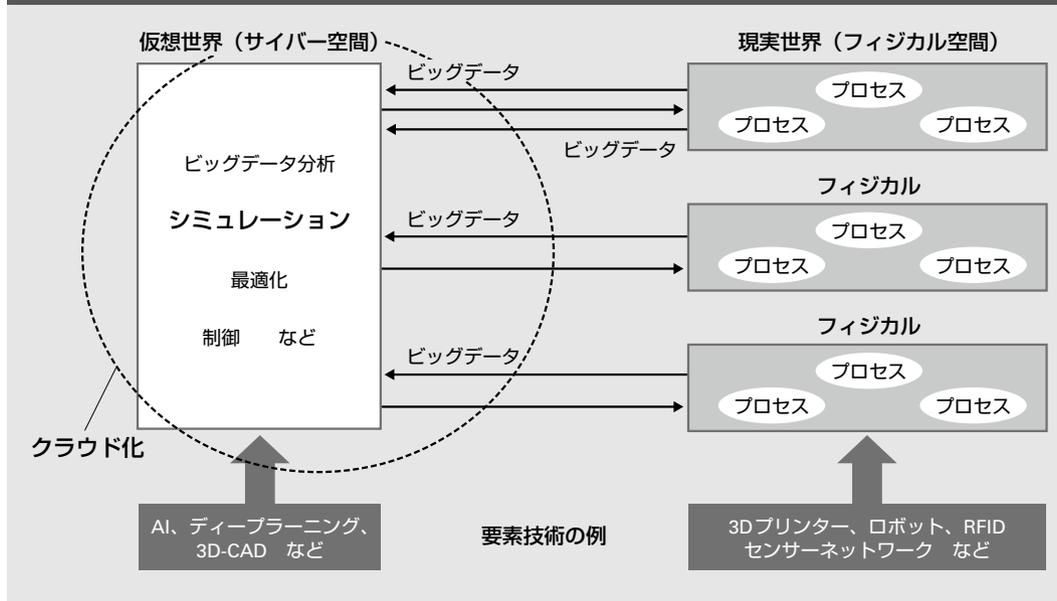
CPSにより、フィジカル空間の事象について、ネットとセンサーにつながれたモノから収集したビッグデータを、サイバー空間で分析・シミュレーションする。その際に用いられるものが、クラウドサービスや人工知能（AI、ディープラーニングを含む）、3D CAD<sup>13</sup>などである。分析・シミュレーションによる結果を基に、フィジカル空間での事象の最適化と制御を行う。これにより安いコストで個別需要への対応（マスカスタマイゼーション）が可能となる。

フィジカル空間での利用状況や需要動向などがサイバー空間にフィードバックされる。設計・生産などの過程が連結され、データを基にシミュレーションされるので、手戻りが減少する。開発や修正に要する時間（リードタイム）が短縮されるであろう。

フィジカル空間では、ネットワークからのデジタルデータを基に3Dプリンターやロボットなどのスマートマシンが作業をすることになる。

CPS、クラウド、ビッグデータ、AI、3Dプリンター、ロボットなどの関係を図示する

図1 CPS (Cyber Physical System) とクラウド・ビッグデータ・AI・3Dプリンター・ロボット



と図1のようになる。

### Ⅲ IoTの区分とインダストリー4.0 : Internet of Processesが インダストリー4.0の中核

パスワードであるIoTとインダストリー4.0の概念について、つながるモノの内容やモノがつながる段階の違いで説明できる。製品レベル、部品レベル、それらの集合体としての業務プロセスレベルである。インダストリー4.0は業務プロセスをモジュール化・ネットワーク化するものである。

一口にIoTといっても、ネットにつながるT (Things) の粒度により違いがある。IoTの中での違いを認識しなければならない (図2)。

#### 1 「製品+ネット」としての IoT (Internet of Products)

ここでのTは製品である。製品レベルをネ

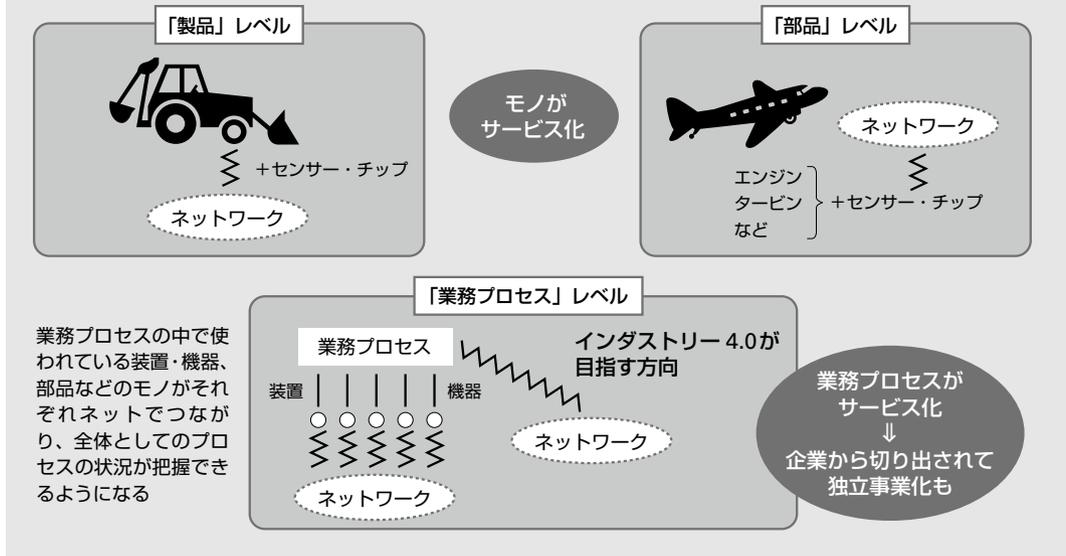
ットワーク化し、使用場所、稼働時間・時間帯、使用方法、部品の状況といった情報を収集し、顧客に対して製品販売後にも、保守管理 (点検日などの管理、異常の把握、故障予防保全、故障時の迅速な対応など)、稼働管理 (稼働状況、位置確認、各種メーターなどの数値把握など)、データ分析による省エネなどの最適な利用方法の提供、収集情報の加工による帳票類作成などの各種サービスを提供するものである。

先駆的な事例として、コマツのKOMTRAXが有名である。ほかにも、三浦工業のオンラインボイラー管理、シスメックスのネットによる医療検査機器の精度維持・リアルタイムでの異常検知、富士ゼロックスの印刷機の画質・トナー濃度・部品の磨耗状況などの監視・保守管理などが挙げられる。

これは「モノ」のスマート化 (ネット接続による付加価値、差別化) と称することができ、一般に競争力強化のための「モノからサ

図2 IoTの区分とインダストリー 4.0

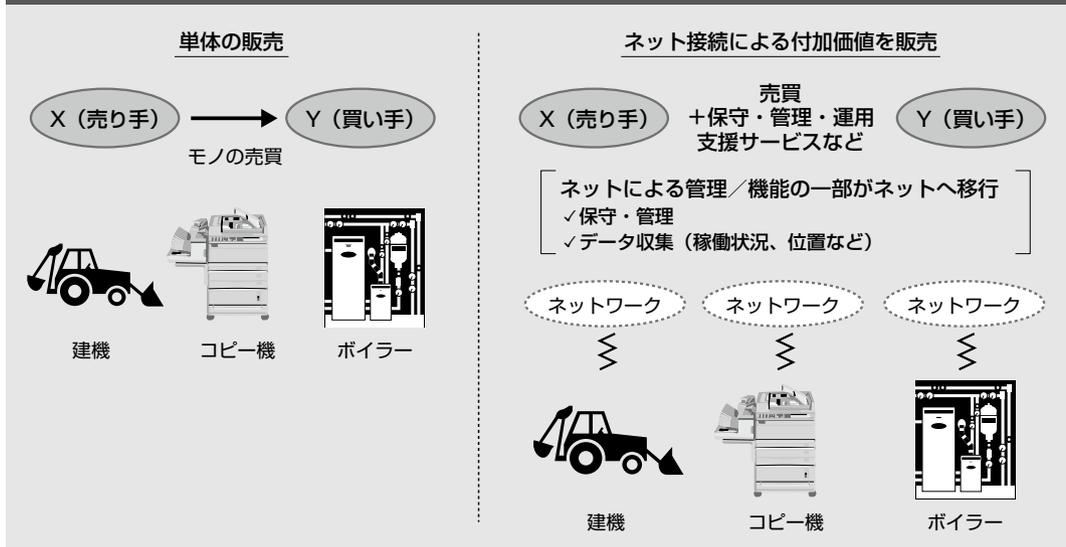
■ IoTは「製品+ネット」から「部品+ネット」というミクロの方向と「製品・部品の集合体+ネット」（業務プロセス）というマクロの両方向へ深化



サービスへ」への取り組みと理解されている。販売後、トラブル対応や最適な利用情報の提供などで継続的に顧客と関係を保ち、モノが実現する価値をサービスとして提供するという考えである（図3）。「ドリルを買おうとしている人は、ドリルが

欲しいのではなく、穴を開けたいのだ」という言葉<sup>14</sup>がある。モノ（製品）の販売から、モノ（製品）が実現する価値の提供が重要であり、そのためにはそのモノがいつもきちんと使える状態にある（ドリルの例であれば、穴を開けるというサービスを受けられ

図3 「モノ」単体のスマート化（ネット接続による付加価値、差別化）—モノからサービスへ



る)ことが望ましいのである。同じように自動車  
を欲しい人は、高価なスポーツカーなど  
車自体を欲しい場合もあるが、大部分は車を  
移手段として必要としている。暖房器具を  
製造する企業は、「暖房器具ではなく『顧客  
に対する最適な温度』を売っている」という  
説明<sup>15</sup>もある。

グーグルやアマゾンが目指している自動走  
行も、「自動車という製品」から「移動とい  
うサービス」の提供であり、ICTの上のレイ  
ヤー(階層)側からモノのサービス化を図  
うとしたものだと考えることができる。

## 2 「部品+ネット」としての IoT (Internet of Parts)

完成品の中に使われている部品をネットワ  
ーク化することも行われている。米国GEの  
取り組みが有名である。GEは、航空機のエン  
ジンや発電機のカスタマーなどをスマート

化(IoT、つまりセンサーとネットで監視)し  
て、部品から得られるデータを収集・分析す  
ることで付加価値を高めている<sup>16</sup>。

部品レベルでのGEの取り組みと、完成品  
レベルでのコマツの取り組みは、次第に範囲  
を<sup>17</sup>広げつつあり、次の業務プロセスレ  
ベルへとつながっていくと思われる。

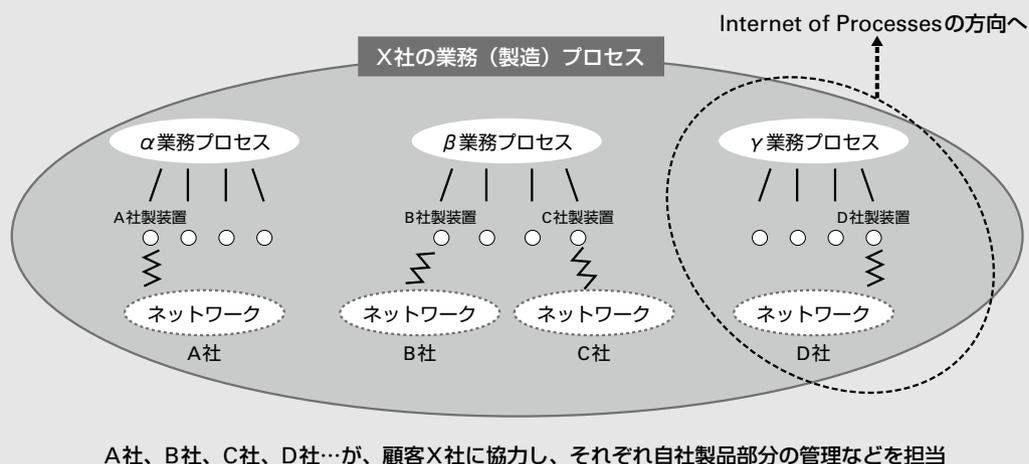
## 3 「装置類の集合体(業務プロセス) +ネット」としての IoT (Internet of Processes)

### (1) インダストリー4.0の目指す方向

IoTが深化していくと、T(モノ)が単体  
ではなく、装置類の集合体としての業務プロ  
セス全体をネットで接続するという方向に発  
展していく。業務プロセスの中で使われてい  
る装置・機器、部品などのモノがそれぞれネ  
ットでつながり、全体としてのプロセスの状  
況が把握できるようになる(図4)。

図4 業務プロセスとネット接続された機器・装置類の浸透(初期段階)

- 企業の業務プロセス(製造プロセスに限らない)の中に、ネット接続された機器(機器・装置類)が組み込まれていく
- 販売した企業がそれぞれの機器・装置類が生み出すデータを用いて、購入した企業の業務効率化に貢献していく
- 機器・装置類の保守・管理とデータの分析はインターネットを通じて行われ、メカ部分(ハードウェア)と制御部分(ソフトウェア)が分離する



この業務プロセスのIoT化（プロセスのインターネット）こそが、インダストリー4.0の目指す方向<sup>注18</sup>だと考えている。つまり、インダストリー4.0はIoTの一部といえることができる。

製品・部品というモノをサービス化していくのと同様に、業務プロセスをサービス化していき、将来的には、企業から切り出されて独立のサービスとして他企業に提供されることにもなるであろう。

なお、ここでの業務プロセスには、人間の作業（たとえば熟練工による作業のデジタルデータ化とソフトウェアへの反映）も含まれている<sup>注19</sup>。

## (2) 分断されている業務プロセス間のネットワーク接続

業務プロセスのIoT化が進展すると、最終

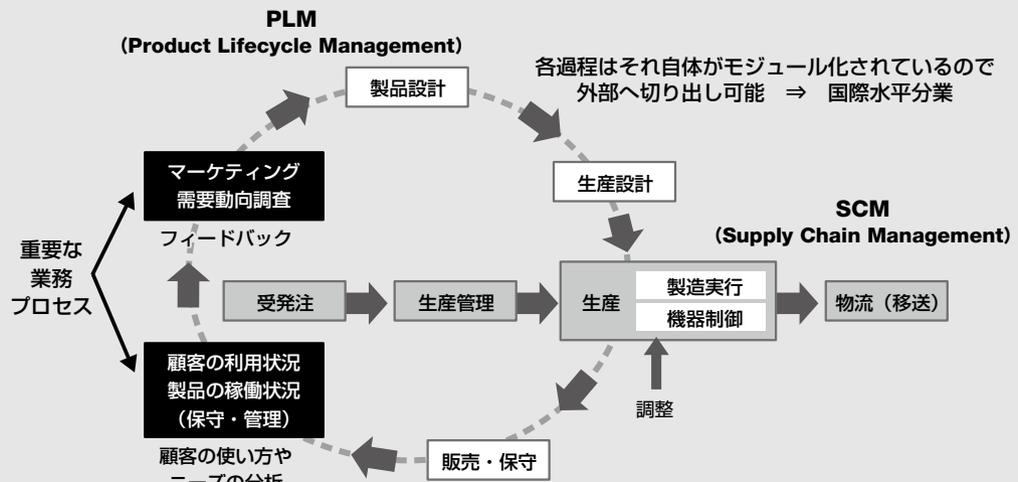
的にはすべての関係主体・プロセス間で接続が行われ、かつ必要なデータが共有されることになる。製造業の例では、製品ライフサイクル管理とサプライチェーン管理の各プロセスが連結され、調達、製造、在庫管理、原価管理、販売、財務状況、市場動向などの情報が、必要とするすべての関係者間で共有可能となる。

しかし、一般の企業では業務プロセスごとにICTの導入が進んでいる。部署・部門ごとの縦割りにより、システムも縦割り構成でデータの連結（ネットワーク化）が十分でない<sup>注20</sup>ため、個別の最適化はされても、全体の最適化になっていない。

まして、自社・系列内でも、製品ライフサイクル管理システムとサプライチェーン管理システムの連携がきちんとできている企業は少数であろう。

図5 製造業の例：PLMとSCMのすべての過程を接続

PLM (Product Lifecycle Management) の各過程をデジタル化・モジュール化し、ネットワークで接続することで、必要なデータを入手・分析し、各過程を最適化する。同様にデジタル化・ネットワーク化されたSCM (Supply Chain Management) と連携することで、PLM・SCMを通じた全体最適を実現する



製造業であっても、B2Cの場合には大量のパーソナルデータが発生（例：自動車）流通・小売・医療のように消費者が対象の場合にはパーソナルデータの扱いが特に重要

各過程をネットワーク化できれば、現状では人手で行っている連携作業を、CPSで、吸い上げたデジタルデータを用いてサイバー空間で分析・シミュレーションし、フィジカル空間に応用できることになる（図5）。

### (3) ネットワーク化による

#### 製品ライフサイクル管理の拡大

製品のライフサイクルを管理するには、製品の企画・設計から販売・保守に至る過程だけでは不十分とされる。IoTによる製品のサービス化で、販売後の顧客の利用状況・製品の稼働状況などが把握できる。また、それらの情報を用いて、需要動向を分析し、デザイン・機能の改良や新商品・サービス開発に結び付けることもできる。

①設計の前段階：マーケティング・需要動向・デザインの流行などの分析

②販売の後段階：顧客の利用状況・稼働状況・予知保全などの分析

この2つの業務プロセスが、全体のサイクルに組み込まれることが重要である。

### (4) 「つなげる」ための

#### シーメンスの取り組み

標準化にまで至っていないが、つなげるというソリューションを売ろうとしている企業がある。シーメンス<sup>注21</sup>は、これまで40億ドルを費やして、ソフトウェア会社を買収<sup>注22</sup>することにより、システムの連結を進めている。特に、CPSでのシミュレーションに重要な役割を果たす3次元CADの大手企業を買収したのは先見の明があると思う。

これにより、生産実行システム<sup>注23</sup>のみならず、製品の企画設計や経営効率化などの各

種ソフトウェアを一体化して提供し、ユーザーが自らシステムの構築・統合を行う手間を省いている。

### (5) B2Cビジネスと

#### パーソナルデータの混入

IoT一般からのビッグデータにはパーソナルデータが含まれるが、インダストリー4.0は工場からの無機質データしか集まらないと思われるがちである。

B2Bの場合にはその通りだ。建機のように企業が使うモノの場合には、通常、パーソナルデータは関係してこない。他方、B2Cの場合には人が使うモノも含まれる。顧客の利用関係の情報（パーソナルデータ）が対象となるので、個人情報保護が重要となる。

こういったケースは、自動車を例に考えると分かりやすい。製造過程ではB2Bなのでパーソナルデータは含まれてこないが、販売後の過程では購入者の運転履歴や位置情報などのパーソナルデータが含まれてくる。

製造業以外では、小売、医療、各種個人向けサービスのように一般消費者が対象の場合には、パーソナルデータの扱いが特に重要となる。

## Ⅳ IoTによる産業構造の変化と水平分業の実現

### 1 全体最適実現と標準化

#### (1) ドイツのインダストリー4.0は全体最適を志向

企業ごと、あるいは企業グループごとのネットワーク化・スマート化は、部分最適として現在でも実現しつつある。しかし、このま

まではベンダーロックイン（顧客囲い込み）やガラパゴス化の問題を抱えることになる。

ドイツのインダストリー4.0は、グローバルにつながる事が可能な世界を考えている。そのためには、「囲い込み」ではない、誰もが参加できるオープンな仕組みが必要となる。協調により参加せざるを得ない枠組みを作り上げ、競争力の源泉（差別化）をモジュールの中に求めようとしている<sup>注24</sup>。

要点としては、

- ①機器・装置間の接続・相互運用性の確保
- ②業務プロセスのモジュール化
- ③各業務プロセス間のインターフェースの標準化（オープン戦略）により
- ④機器・装置レベルでの「囲い込み」（ベンダーロックイン）の回避
- ⑤グループ・系列間に限らない協業体制を確立し、新興国企業も含めた連携により

世界規模で増大する需要に対応

⑥モジュール内のブラックボックス化（クローズ戦略）による競争力の維持を図ろうとするものである。

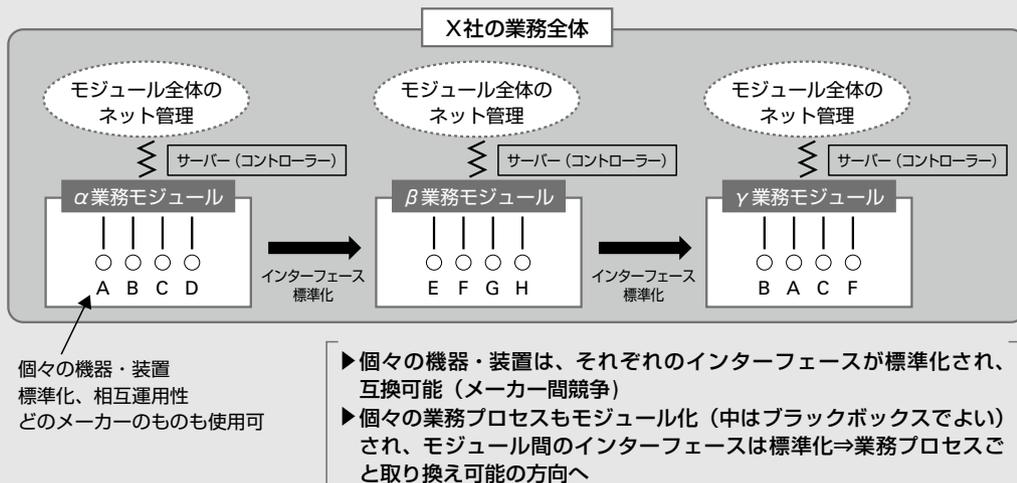
## (2) 産業全体がパソコン化（モジュールの組み合わせ化）の方向へ

既に述べたように、業務プロセスがIoT化（チップ・センサーが組み込まれ、ネットで接続）されることにより、メカ（機械）部分（ハード）と制御部分（ソフト）が分離していく。インターフェースが標準化される方向で、あらゆる企業がモジュール化<sup>注25</sup>された業務プロセスの集合体となる。産業全体が「パソコン化」（モジュールの組み合わせ化）していくイメージである（図6）。

半導体産業やテレビなどの家電産業は設計と製造（ファウンドリー、EMS）が分離<sup>注26</sup>しているが、すべての産業で各プロセスの垂

図6 産業構造の変化と水平分業の実現—モジュール化・インターフェースの標準化

- 各業務プロセスがモジュール化、モジュール間のインターフェースは標準化される方向へ  
→新興国でもすぐに業務開始可能：パッケージ化、「Plug and Produce」、本国でIoTによる管理
- モジュール（業務プロセス）ごとに参入が可能（水平分業）：産業がパソコン化！半導体産業のように！
- 「業務プロセス」内でも使用される部品、各機器・装置類が標準化・相互運用性確保→メーカー間の競争
- 製造業のみならず、農業、小売・流通業、医療、金融業、サービス業などの業務プロセスで実現



直統合が緩んでくる。業務プロセスをモジュール化して外部へ切り出す動きは、製造業のみならず、農業、小売・流通業、医療、金融業、その他のサービス業などの業務プロセスで進展<sup>27</sup>している。

### (3) データ収集・分析の観点からの オープンな標準化の重要性

ビッグデータ時代においては、収集の観点からインターフェースの標準化は重要である。各機器・装置のどのようなデータが役立つのか、集めて分析をしなければならない。同種のデータを集めるために、オープンな標準化は重要となる。オープンな標準化によってベンダーを問わずネットにつながることで、さまざまなデータが集められ、比較できることが求められるからである。

## 2 業務プロセスのモジュール化

### (1) モジュール化<sup>28</sup>とは何か

「モジュール」<sup>29</sup>とは、設計上の概念で、システムを構成する要素となるもの<sup>30</sup>であり、本稿では次のような定義で用いている。

- ①機能的なまとまりであること
- ②全体の構成部分であること
- ③容易に追加・交換（入れ替え）が可能であること＝（中身ではなくインターフェースが）標準化（規格化）されていること

モジュール化は、

- 製品・部品レベルだけでなく
- そのモジュール製品の生産ラインのような製作過程・業務プロセスレベル
- さらには工場などの組織レベル

でも可能<sup>31</sup>である。モジュール化が進むとその部分の追加・入れ替えが可能となるの

で、水平分業とオープン化が進むことになる。

### (2) モジュール化が採用される理由

かつて大型コンピューター時代は、新しい製品を開発するたびに一から新たな部品やソフトウェアを開発していた。それでは開発に手間と時間がかかるため、複数の製品で使用できるハードウェアやソフトウェアのさまざまな構成要素を用意し、新製品に必要な要素を組み合わせて開発を効率化した。これがモジュール化である。その後、自動車産業でも、消費者の嗜好の多様化に合わせて多種の自動車を生産する必要が高まった。自動車の各機能や部位を構成する部品の集まりがモジュールである。これを組み合わせて自動車を作ることで、車種を増やしても開発・製造時間の短縮やコスト削減が可能となる。自動車メーカー<sup>32</sup>は、ドア、車体、エンジン位置などの共通化・モジュール化<sup>33</sup>と、そのための自動車の設計思想の変革に取り組んでいる。

モジュール化のほかのメリットとして、各モジュールはそれぞれ独立しているので、企業間だけでなく企業を超えた水平的、並行的な分業が可能になることが挙げられる。開発に必要な時間が大幅に短縮され、市場動向へ柔軟に対応可能となる。また、各モジュールの提供での競争が活発化するため、モジュールの機能向上・低価格化がもたらされる。

オープンなものではないが、アップルによる製造の委託は、生産方法をモジュール化して外部へ切り出した例<sup>34</sup>だと考えられる。

## 3 全産業での水平分業の進展

業務プロセスのネットワーク化は全産業に影響を及ぼす。つなぐために必要な標準化が

進展することにより、産業全体が業務モジュールで構成される方向性となる。開かれたモジュールの下で、従来垂直統合であった業態は水平分業でスライスされていく。

業務プロセスのモジュール化に対応した企業間では、グローバルなレベルで水平分業が進む。特に新興国の企業との協業がやりやすくなる。相互運用性が高まるだけでなく、業務モジュール内はブラックボックス化できるので、知的財産の流出の恐れが少なくなるからである。他方、取引先変更の容易性が高まり、競争は厳しくなるであろう。

#### 4 スライスされたモジュールが独立： パッケージ化・サービス化

##### (1) 切り出された業務のサービス化

業務モジュールは独立可能なので、企業から切り出されて、アウトソーシング（外部委託）が進むとともに、サービスとして他企業へ提供されることが考えられる。

製品のIoT化で、保守・管理などのアフタ

ーサービス、利用方法の提案、利用状況に応じた課金など、モノのサービス化が可能となったが、業務プロセス（モジュール）も、独立したサービスとして別の企業に提供できるようになる。業務の管理・運営を、ネットを通じたサービスとして行うのである（図7）。

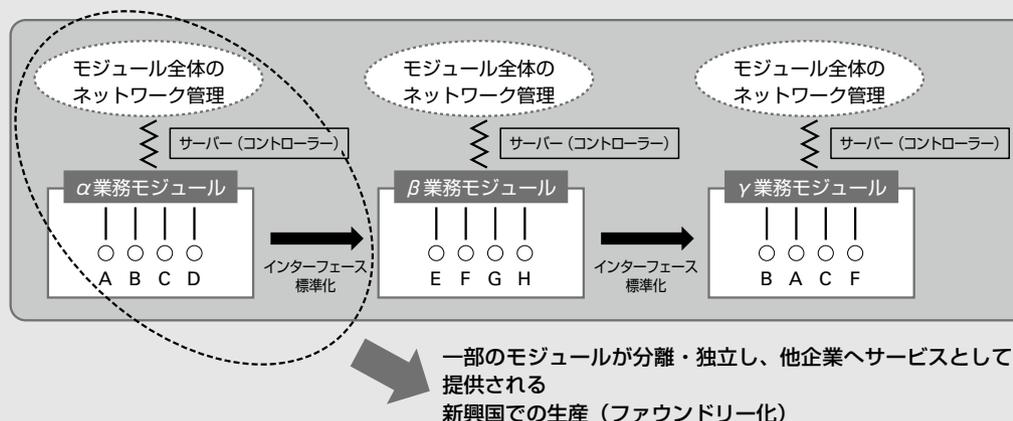
たとえば、日本の化学企業はその優れた廃棄物処理・環境対応によって、化学プラント周囲の環境汚染を防いでいる。プラントの稼働状況のモニター・データ収集とセットで廃棄物処理・環境対応業務プロセスを切り出すことにより、環境問題に苦しむ新興国企業に提供できるのではないだろうか。

##### (2) 独シーメンスの取り組み

工場運営をサービスとして提供している例として、シーメンスがBMW Brilliance（BMWグループとBrilliance China Automotive Holdingsの合弁会社）の中国での自動車組立工場に提供している、インダストリー4.0仕様の工場<sup>35</sup>がある。シーメンスは、

図7 水平分業・スライスされたモジュールの独立、パッケージ化、サービス化

- モジュール（業務プロセス）が分離・独立（水平分業）し、パッケージでほかへ提供・サービス化
- たとえば、工場立ち上げ、ライン設定、（化学などプラントでの）廃棄物・環境処理、（鉱山業での）採掘業務など、これまで業務の一部だったものがモジュールとして切り出され、サービス業として他企業へ提供可能となる⇒すべての分野で垂直統合より水平分業の方が当たり前に



BMWの組立工場を中国にフルターンキー（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）で納入し、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、BMWの全車種を1本の生産ラインで製造（変種変量生産）し、99%以上の高い稼働率と高品質の生産を実現している<sup>注36</sup>という。これは、製造プロセスをサービス業として提供する方向性を示している。なお、製造プロセス以外にも、シーメンスには発電業務を請け負っている例<sup>注37</sup>もある。こうした手法はO&M（Operation & Maintenance）とも呼ばれている。

### （3）独ボッシュの取り組み

ほかに、ボッシュのドイツ南部のプライヒャッハ工場<sup>注38</sup>では、インダストリー4.0の実現に向けた総合的な取り組みを行っている。既の実現している利用事例の動画<sup>注39</sup>をYouTubeに掲載している。動画は、新興国で未熟練労働者を使っても、稼働率の高い工場運営をボッシュが提供できるというデモである。

具体的には、世界各国に立地する工場をネットワークで管理し、指示に従えば誰でも容易に作業ができる環境を実現する。世界中から集めたデータを分析して得られた知見をデータベース化し、問題発生への対応を行う。未知のトラブルについても、現場から映像などを集め、本部で対応を検討し、データベース化して世界中の工場対策がなされる。

このボッシュの取り組みは、ノウハウや知見を本部に集中させ、未熟練労働者でも対応できるように、ラインセットや運営をサービ

スとして他国に提供<sup>注40</sup>している例として興味深い。現場は本部の指示通りに動けばよく、データ分析から得られる知的財産は本部で独占できる。そのため、ノウハウなどの流出の心配もなくなる。

## 5 協調領域（オープン戦略）と競争領域（クローズ戦略）

### （1）協調領域の設定：業務プロセス間のインターフェースの標準化

ネットワークに接続された業務プロセスは、全体としての制御が可能となる。これは全体の構成要素をなす機能的なまとまりを意味する。各業務プロセス間のインターフェースを標準化すれば、容易に追加・交換（入れ替え）が可能なモジュールとなる。

追加・交換を容易にするためには、インターフェースのオープンな（誰でも参加できる）標準化が重要である。特定の企業へのロックインを避けるためにも、企業横断的な協調領域でなければならない。

各業務モジュールは、機器・装置・機械類などの集まりで、互いに協働して一つの業務を遂行する複雑な固まりである。マイクロベースでの機器メーカーによるロックインを避けるため、業務モジュールを構成する個々の機器・装置・機械類の、相互接続や相互運用性の確保が必要である。メーカー間の競争を促すため、機器などの性能・スペックは差別化・競争領域とすべきである。

業務モジュール内部の構成は自由であり、独自性と差別化が許容される。中身までも標準化することは難しく、また標準化は固定化につながるため、進歩を止めることにもなりかねない。しかし、互換性・相互運用性のた

めには、機器・装置・機械間とともに、モジュール間のインターフェースが標準化されていることが重要である。

## (2) 競争領域の設定

収益・競争力の源泉を得るために、モジュールの中身は競争領域としてブラックボックスとなるであろう。モジュール化の恩恵として、利用者側による追加・交換が容易になるので、競争に勝つための差別化が求められる。

企業のクローズ戦略としては、PCや携帯端末で行われていることであるが、

- 差別化のため、モジュールの中をブラックボックス化、あるいは特許・非公開のノウハウなどの知的財産で守るとともに
- インターフェースの標準化およびその改定作業に積極的に参加し、可能な限り主導権を握り、改定の時期や内容にいち早く対応する

という戦略が取られる<sup>41</sup>ことになる。

## 6 新興国での需要への迅速な対応とオープンクローズ戦略

### (1) インダストリー4.0の真の狙い

IoTはモノをインターネットでつなぐこと、IoE (Internet of Everything) はあらゆるものをインターネットでつなぐこと、CPSは、フィジカル空間のデータのサイバー空間での分析・シミュレーションとその結果のフィジカル空間への当てはめ、といったように言葉で説明することは簡単である。

しかし、現象に注目するだけでなく、これらが何を狙いとするのかを理解しないと本質を誤る<sup>42</sup>。守りの面では、後述のように圧倒的に強い米国ICT企業が製造業でも主導権

を握るのを防ぐことであるが、攻めの面では、競争力を維持しつつ新興国での需要に対応することである。

### (2) スケーラビリティとオープンクローズ戦略：攻めの戦略

ドイツ企業といっても一枚岩ではないのだが、インダストリー4.0の真の狙いは、増加する新興国中間層への対応と、競争力維持とを両立するためのスケーラビリティおよびオープンクローズ戦略と考えられる。

中国をはじめとする新興国の経済成長に伴い、富裕層・中間層が爆発的に増加している。これらの人々による需要の飛躍的拡大に対して、自社だけで対応しようとすると提供機会を逸することになる。

迅速に対応するためには新興国企業との協力が不可欠であるが、ノウハウなどを含めた知的財産が流出し、競争力を失うリスクも大きい。そこでインダストリー4.0は、新興国における生産拠点の急拡大<sup>43</sup>を、低いリスクで実現する手段になる。

競争力を維持しつつ、スケーラビリティを確保するためには、他企業にオープンに提供する部分と、自社にクローズに囲い込む部分を明確に分けるオープンクローズ戦略が必要となる。ここがインダストリー4.0を実現する狙い<sup>44</sup>である。

前述のボッシュの例を思い出してほしい。新興国に立地した製造現場から、その業務状況のデータを本部に吸い上げ、分析・データベース化して世界各地の工場にフィードバックしている。新たな事例が発生すると、工場から本部に関連するデータと現場の映像を送信して、本部はその解決方法を新たな知識と

して蓄積するとともに、別の工場で同種のトラブルが発生しないように、改善の指示を出している。本部にデータを集約して分析を独占し、ブラックボックス化して結果のみを現場に指示することで、製造現場をサービス化して輸出しつつ、ノウハウなどに関する優位性を維持することになる。

## V 複数の競争軸（1） データの利活用をめぐる 主導権争い

複数の競争軸がある。IoTから生み出されるビッグデータを利用する主導権（データコントローラーの地位）をめぐり、既存の完成品・部品メーカー間の競争に加えて、クラウドサービスを武器とするICT企業との競争も始まっている。また、標準化をめぐって、オープン派と囲い込み・デファクト派の対立がある。

## 1 ベンダー主導による囲い込み （部分最適その1）

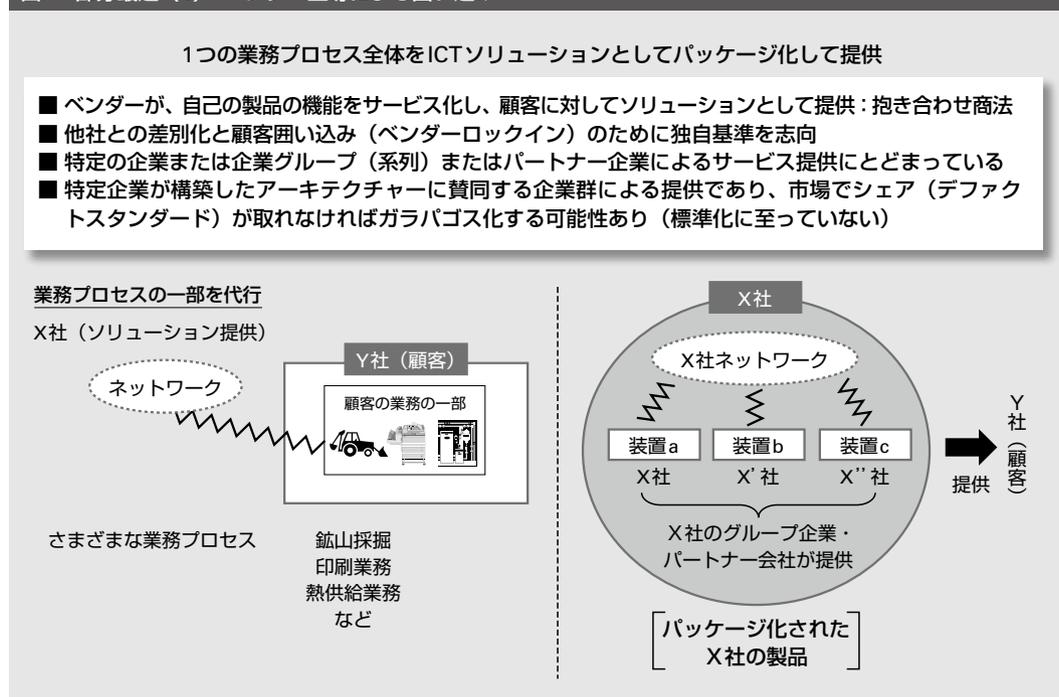
機器・装置の販売企業（ベンダー）は、GEのように自社の製品から得たデータを用いて、顧客に管理運行、保守、改善提案などの付加価値を提供できる<sup>注45</sup>ようになる。

競合他社との差別化のため、戦略としては、自社独自仕様のIoT製品を提供することが自然だろう。いったん納品すれば、データ分析という結び付きにより顧客を囲い込む（ベンダーロックイン）ことも可能になり、競合他社を排除できる。

他社との差別化と顧客囲い込みのために独自基準を志向することは、企業の個別最適としては理にかなっているが、選択の自由を奪うという点で顧客視点ではない（図8）。

オープンだと宣伝している企業もあるが、その範囲は特定の企業または企業グループ（系列）、あるいはパートナー企業によるサービス提供にとどまっていることが多い。

図8 部分最適（1）ベンダー主導による囲い込み



特定企業が構築したアーキテクチャーに賛同する企業群によるサービス提供というケースは、市場で大きなシェア（デファクトスタンダード<sup>46</sup>）を取れなければガラパゴス化する可能性がある。デファクトスタンダードを取るための提携（アライアンス）も活発化<sup>47</sup>しているようである。デファクトスタンダードを取るか、インダストリー4.0が志向するデジュールスタンダードを取るか、興味深いところだが、後述のように、現時点ではドイツ企業も含めて多くの企業が保険をかけて両睨みをしているところである。

## 2 顧客企業主導・垂直統合維持 (部分最適その2)

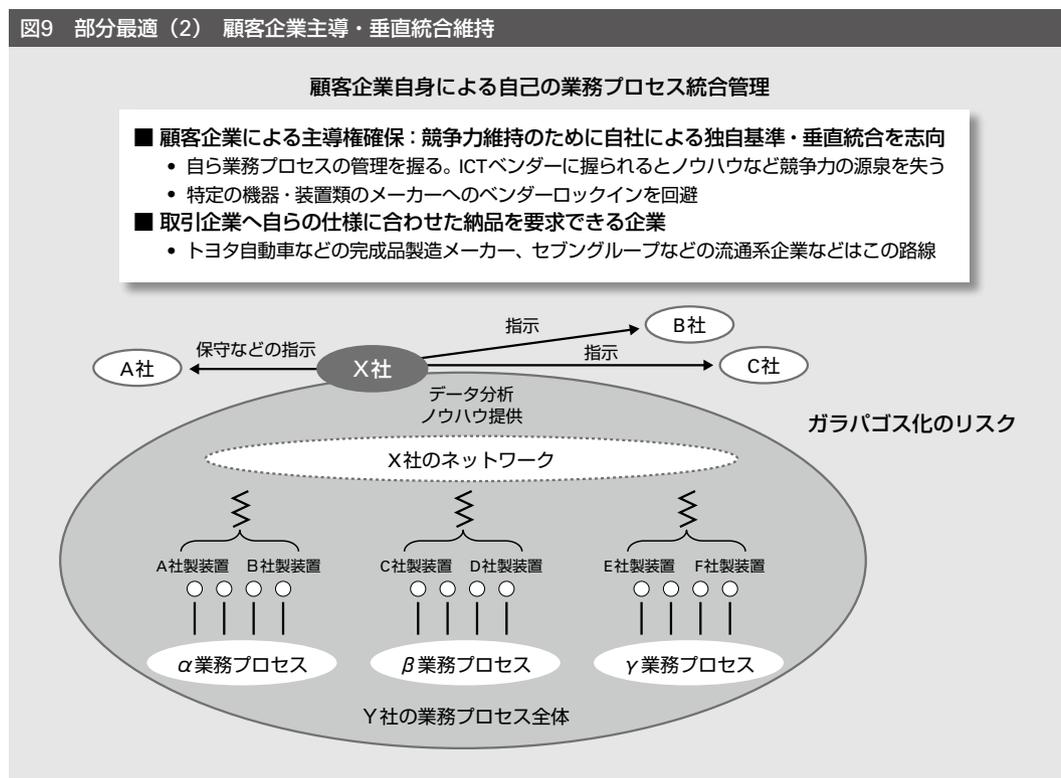
主導権を確保するため、ベンダーの顧客企業が自己の業務から得られるデータをベンダーに渡さず、自ら使おうとすることもあるだろう。GEの例<sup>48</sup>のように、ベンダーがネッ

ト経由で機器・装置の稼働状況を遠隔監視して保守・管理などを効率化できる。しかし、工場運営者であるベンダーの顧客企業からすれば、工場内の状況を示すデータの使用を許すと、生産に係る企業秘密の流出につながりかねないという危惧がある。従って、自らデータの利活用者（データコントローラー）の地位を確保したい<sup>49</sup>という考えになる（図9）。

この場合も、競合他社との差別化を図るため、独自基準を採用する可能性が高い。独自基準であれば取引先の囲い込み効果を期待でき、垂直統合もやりやすい。

顧客企業としては、自ら業務プロセスを管理することで、ノウハウなどの競争力の源泉をベンダーに握られることがなくなる。また、特定の機器・装置類のベンダーによるロックインを回避することもできる。大手の完成品メーカーや流通企業であれば、取引先企業に対して自らの仕様に合わせた納品を要求

図9 部分最適 (2) 顧客企業主導・垂直統合維持



できるので、こうした路線を選択できるだろう。

しかし、この場合も、自社でデファクトスタンダードを獲得できればいいが、競合する企業同士が協調して標準方式（デジュールかデファクトかは問わない）を採用し、そのスケールメリットを享受できる状態になれば、ガラパゴス化して競争に敗北することになる。おそらく日本企業は単独ではデファクトを取れないだろう。グローバル市場で支持を得たスマートフォンの登場で、日本で独自に発展していた「iモード」など、携帯事業者対応の端末が市場から消えた教訓から学ぶ必要がある。

### 3 データ利用をめぐるネット (クラウド) 企業からの挑戦

データ利活用をめぐる主導権争いにネット(クラウド) 企業も加わっている。

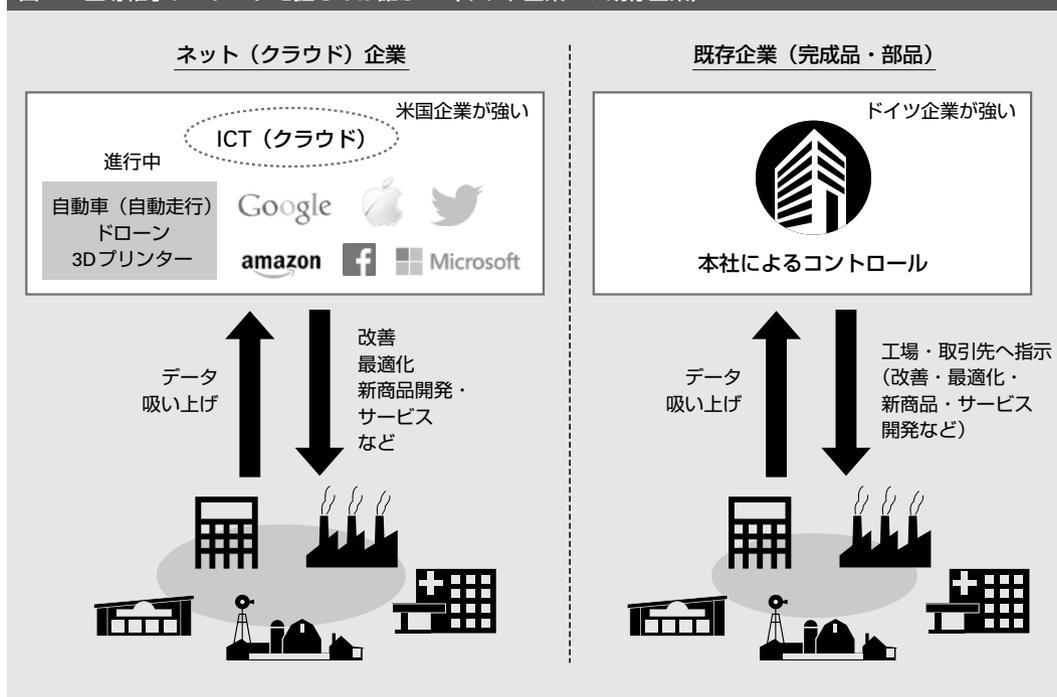
情報通信分野の企業（いわゆるネット企

業)のうち、グーグルやアマゾンなどのクラウドサービスを提供している企業をここではクラウド企業と呼ぶ。近年、クラウド企業はその有する膨大なデータとICTを用いて、モノ（製品）の世界に活動を拡張しつつある(図10)。

スマートフォンに対して、グーグルはAndroidという基本ソフト(OS)を提供しているが、スマートフォンのメーカーは、グーグルが定めた仕様を基に、デザインや機能で多少の独自性を付けて差別化を図っているに過ぎない。自動車の自動走行が完成すれば、制御システムをグーグルなどのクラウド企業が握り、自動車メーカーはその仕様に従って製造するだけになるという懸念<sup>50</sup>がある。

2012年、アマゾンは、物流センター向け自律運搬ロボットメーカーのKiva Systems<sup>51</sup>を7億7500万ドルで買収した。目的は、物流センターでの商品選択、梱包・発送などの効

図10 主導権争い：データを握るのは誰か？（ネット企業 VS 既存企業）



率化を目指すもので、アマゾンによる本業の強化策である。こうして、ネット企業が製造業を子会社に持つことになった。

さらに、アマゾンは2013年に小型無人飛行機（ドローン）での配送サービス「Prime Air」構想を発表している。商品配送の時間短縮などの効率化という本業の強化であるが、同社は、目的に合わせたさまざまなドローンファミリーを自ら設計・開発している。自動走行のためには、センサーによる検知や遠隔制御による回避のためのデータ収集・分析などICTが重要である。また、AWS（アマゾン ウェブ サービス）などのクラウドも駆使されるだろう。前述したロボットの事例と同様に、ネットに接続されたモノ（IoT）の製造ノウハウを着実に蓄積し、かつ自らの業務プロセスに組み込みつつあるといえる。

グーグルは、2013年12月から2014年1月までの2カ月間で、東京大学発のベンチャー企業であるSCHAFT（シャフト）など、ロボット関連企業を7社買収したという<sup>注52</sup>。これは産業用ロボットへの参入や、ロボットを端末とした新ビジネスを考えてのことかもしれない。

また、グーグルは、2014年1月にNest Labsの32億ドルでの買収を発表している<sup>注53</sup>。Nest Labsは、家の温度調整を行うサーモスタットや火災報知機を製造する会社<sup>注54</sup>で、同社のサーモスタットは人工知能を搭載し、温度の自動調節でエネルギーを節約するものだが、ほかの家屋内機器のコントローラーとしての機能も有する。グーグルは、ネットワークに接続して家の中のデータを収集・分析することで、スマートハウスの中心となる戦略を持っていると思われる。将来的には、照

明や洗濯機などの家電もグーグルの仕様に合わせる必要が出てくることもあり得る。

製造業が強いドイツでは、一番の収入源（おそらくはデータ収集・分析・利活用のプラットフォーム機能）をクラウド企業に奪われることを恐れている<sup>注55</sup>。インダストリー4.0は、自動車メーカーなどが自らデータの利活用者（データコントローラー）になろうとする努力の現れと考えることができる。

ただし、競争・対立は単純ではない。デファクトスタンダードを狙うGEは、AWS、アクセンチュア、Pivotalに加え、AT&T、シスコ、インテルとも協調関係を構築して、ネット企業と連携するための布石も打っている。前述のように日独の企業にもインダストリアル・インターネット・コンソーシアム（IIC）参加を呼び掛けて、仲間作りに腐心している。単独ではなく同盟を結ぶ点は戦略的であり、日本企業にも参考となる。

## VI 複数の競争軸（2） 標準化戦略をめぐる対立

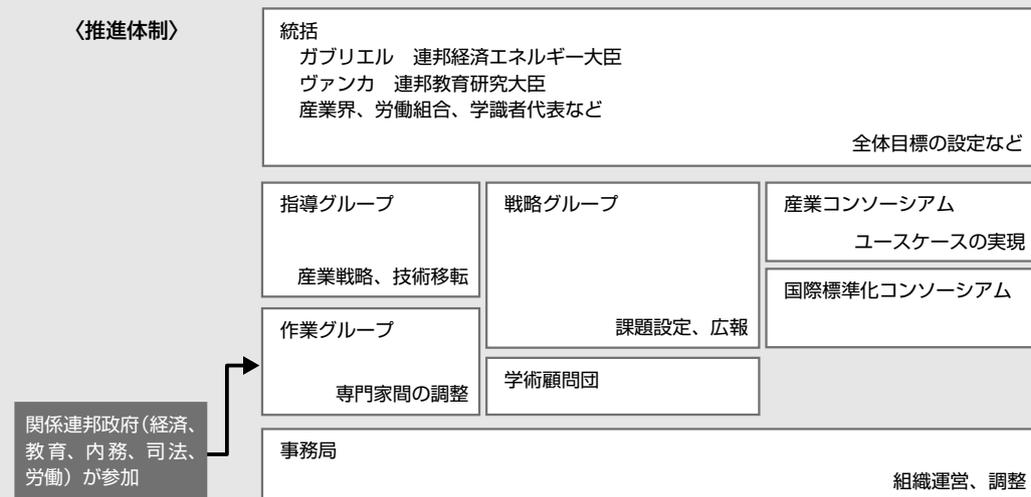
前提として、業務モジュールが追加・交換可能であるためには、インターフェースが標準化（規格化）される必要がある。誰もが参加できるようになれば、閉鎖的なグループよりも有利になる。

### 1 デジュールスタンダードを狙う グループ

一般にはドイツ企業はデジュールスタンダード派、米国企業はデファクトスタンダード派といわれるが、企業によって思惑は異なる。また、両睨みの企業も多い。

図11 ドイツにおけるインダストリー 4.0への取り組み

- 2013年4月、ICT活用により製造業におけるドイツの国際競争力を強化するため、連邦教育研究省 (BMBF) の支援の下、同省諮問機関である「研究連盟」が「未来プロジェクト インダストリー 4.0への移行の提言書」を取りまとめ、メルケル首相に手交
- 同提言書に基づき、インダストリー 4.0の概念を実用化するため、産学連携による推進体制「プラットフォーム・インダストリー 4.0」を設立。2015年4月、新たに連邦経済エネルギー省・連邦教育研究省が指導グループに加わることが発表され、産官学からなる新体制が発足



出所) 総務省作成資料から一部変更

ドイツでは、「プラットフォーム インダストリー4.0」<sup>注56</sup>が、政府の支援を受けて、標準化を含めた推進活動に取り組んでいる(図11)。

標準化活動を担っている団体は、国際標準化機構 (ISO) や国際電気標準会議 (IEC) である。ドイツ電気・電子工業連盟 (ZVEI) など<sup>注57</sup>は、「Reference Architecture Model Industrie4.0 (RAMI4.0)」(2015年5月)や「Status Report Reference Architecture Model Industrie4.0 (RAMI4.0)」(2015年4月 独語版、英訳版は同7月)をまとめ、IECに設置されたSG8 (インダストリー4.0の標準化を検討する戦略検討グループ)に報告している。

また、IEC市場戦略委員会 (MSB<sup>注58</sup>)に設けられた「Factory of the future」プロジ

ェクトチームが、ドイツのフラウンホーファー研究所の協力を得て「Whitepaper Factory of the future」<sup>注59</sup>(2015年6月)を作成している。こうした動きにはドイツ企業だけでなく、米国企業なども参加しており、標準化をめぐる協調も模索されている。

## 2 デファクトスタンダードを狙うグループ (市場競争派)

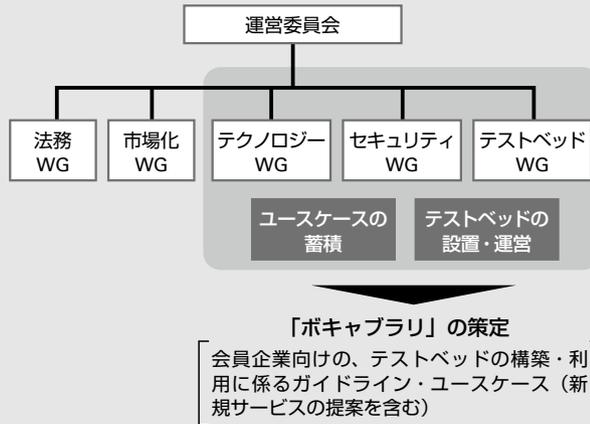
市場での事実上の標準を獲得するために、米国では民間主導の団体が設立されている。代表的なものはGEが主導するIICである。2014年に、GEがAT&T、シスコ、インテル、IBMとともに立ち上げたものである(図12)。

このIICには、2015年にドイツの有力企業で

図12 IIC (インダストリアル・インターネット・コンソーシアム)

- 2014年、GEが提唱し、AT&T、シスコ、インテル、IBMの4社とともに設立したIoT推進団体
- インダストリアル・インターネットは、「インテリジェント機器」「高度なデータ分析」「つながった人々」を組み合わせることで、主要産業において業務の効率化を図ることを目標。主な活動として、会員企業のニーズに即した複数のテストベッドを構築・運営し、知見を共有している

〈推進体制〉



〈テストベッドの例（救急サービス）〉

International Future Industrial Internet Testbed

- 会員企業であるボーダフォン、EMCなどがアイルランドに設置
- 当面の間は、救急車が患者を搬送中、病院との間で安全な情報交換を行うための実証実験に活用
- 今後、モバイル通信とダイナミックなデータ交換に係る新規IoTサービスに関するオープンな利用を想定

出所) 総務省作成資料から一部変更

あるシーメンス、ボッシュ、SAPも参加した。さまざまな動きに迅速に対応する意図<sup>注60</sup>であろう。2015年5月に日本での組織もでき、トヨタ自動車、日立製作所、東芝、三菱電機、富士通、NEC、富士フイルム、富士電機などが参加している<sup>注61</sup>。

米独の企業の立場が接近すれば、インダストリー4.0の動きが加速することになる。且本企業も受動的な参加でなく、能動的に業務プロセスのモジュール化について対応していく必要がある。

GEは、Predix<sup>注62</sup>というインダストリアル・インターネットのためのソフトウェアを開発し、自社製品だけでなく他社用にも提供している。Predixは産業用のOSといえるものである。データ分析・シミュレーションなどのアプリケーションの構築・管理を容易に

行うことができるという。

IICはこのPredix関連製品・サービス<sup>注63</sup>の開発・利用企業の集まりと考えていい。

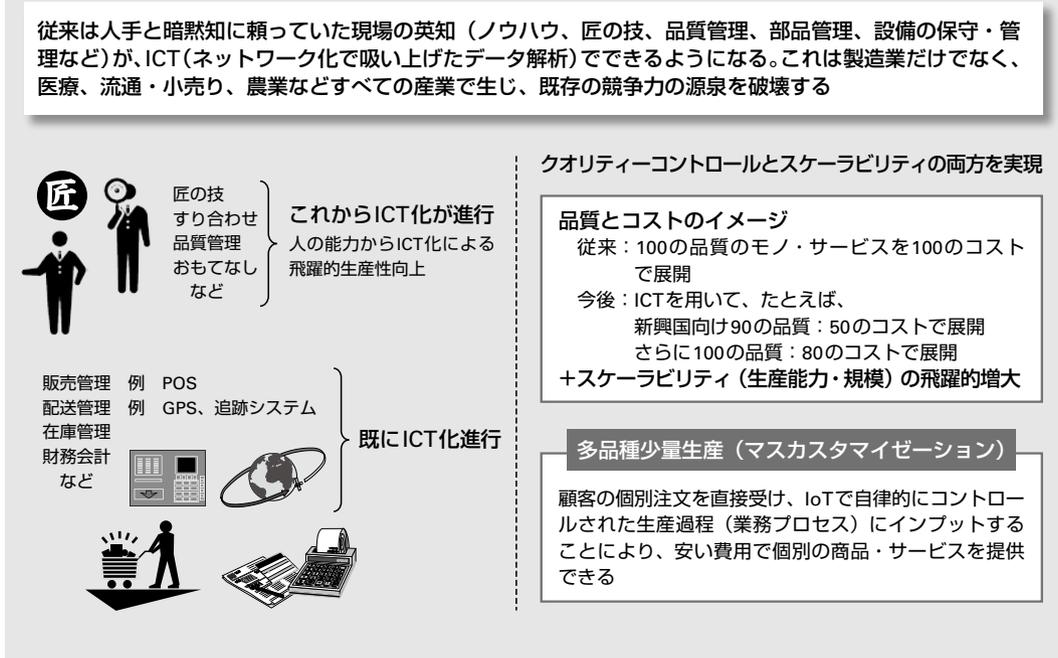
## Ⅶ 日本企業への影響

### 1 競争力の源泉の変化

センサーとネットワークによって、従来は入手できなかった業務プロセス全体のデジタルデータを収集・分析できるようになると、人手に頼らざるを得なかった部分にもICT化が進む。

経験と勘、いわゆる「暗黙知」に頼っていた現場の英知（ノウハウ、匠の技、品質管理、部品管理、設備の保守・管理など）が、ICT（ネットワーク化で吸い上げたデータ解析）によってできるようになる。これは製造

図13 業務プロセスのICT化は既存の競争力の源泉を破壊



業だけでなく、医療、流通・小売り、農業などすべての産業でも同様であり、つまり既存の競争力の源泉を破壊する。

暗黙知のままではICTを導入することはできない。形式知化が必要であるが、これは日本企業が大変苦手とする分野である。インダストリー4.0やIoTの推進について、日本が遅れを取るのではないかと危惧をしている（図13）。

優秀な匠の技（人手）で100の品質のものを作っていたが、コストも100かかるとしよう。日本製品は高価だが品質が良いことで競争力を持っていたといわれる。

これが、ICTを用いて、80の品質であるが50のコストでできたとしたらどうなるか。新興国は価格が低い方が魅力的ではないだろうか。増大する新興国中間層の需要に迅速な対応をするため、ICTの利用は不可欠となる。

年月をかけて熟練工を育てるやり方では、とても規模とスピードの点で対抗できない。スケーラビリティを実現するために匠の技のデジタル化とサイバー空間上の再現を図るインダストリー4.0への移行が必要となるのである（技術の進歩とデータの蓄積により、80の品質も価格が50のままでいずれ100に近づいていくことになるだろう。そのころには匠の技の伝承ができなくなっているかもしれない）。

業務プロセスのIoT化（インダストリー4.0）により、個別需要への対応（マスカスタマイゼーション）も可能となる。個々のニーズに応じた多様な種類の製品を少量生産する場合であっても、設計段階からネットワーク化で情報をやり取りし、個別の運行管理が可能となるインダストリー4.0であれば、低コストで生産できるのである。

## 2 現場の頭脳部分の形式知化と本部機構への移動

### ：日本型現場主義の崩壊

従来、競争力の源泉であった匠の技・品質管理といった現場の暗黙知は、デジタルデータ化され、本部機構（本社部門やマザー工場）へ集約される。業務システムの運行管理に係るノウハウなども同様である。従来は希薄だった本部機構のシステム部門と工場の運行管理部門システムの連携も進めなければならない（図14）。

これに伴い、企業の組織や権限の見直しが必須となる。本社の指示で改善、設計変更、生産量調整などを行うようになるからである。その結果、ノウハウや営業秘密を開放することなく、新興国での工場展開や外国の委託工場での生産が容易になる。前述したオー

プンクローズ戦略である。

データ収集・利用の重要性に伴い、その処理のためのクラウドサービスが浸透していくことになるであろう。

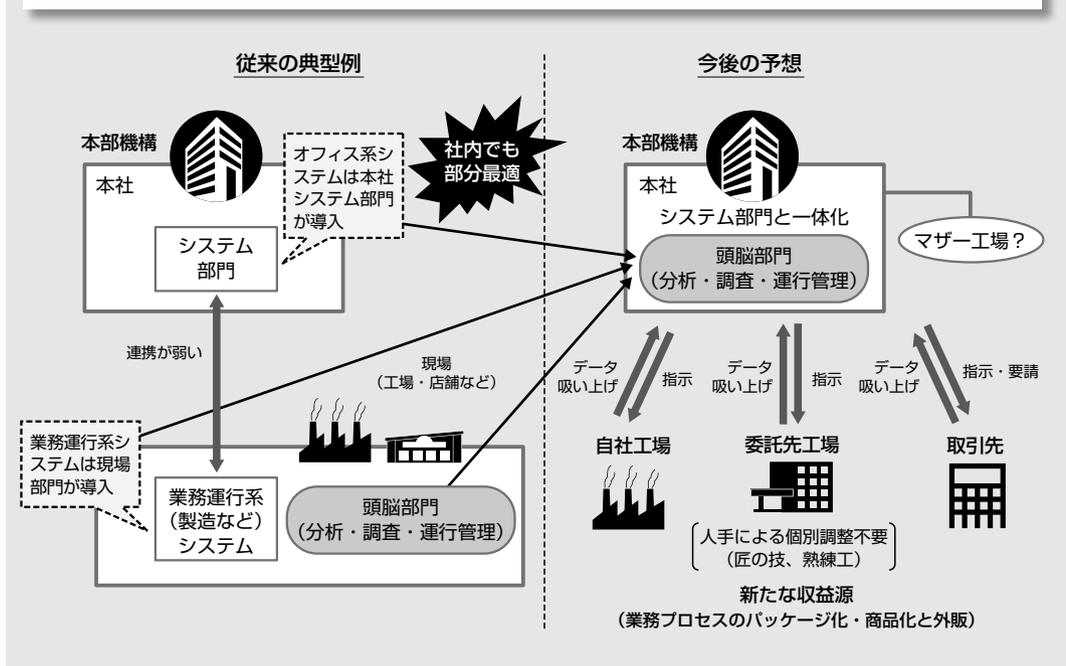
組織や権限の見直しは、水平分業と並んで日本企業にとって苦手なことだろう。多くの日本企業は垂直統合志向だけでなく、現場主義だからである。

米国企業は本社集権的である。転職が一般的であるため、マニュアル型の形式知で業務をこなしている。マニュアルを作る本社レベルの人たちはいろいろな事態を想定し、頭を振り絞っている。従って「現場は指示通りに働けばいい」ということになる。

他方、日本企業では、製造業に限ることではないが現場に頭脳がある。分散型システムである。本社がマニュアルを作り、個別に指

図14 現場の頭脳部門の形式知化と本部機構への移動：日本型現場主義の崩壊

- 業務システムの運行管理部分が、暗黙知から形式知化され、現場部門から本部機構に移動
- 従来は連携が弱かった本社機構のシステム部門と工場の運行管理部門システムの連携が進む
- 本社の指示で改善、設計変更、生産量調整などを行うようになる。その結果、ノウハウ・営業秘密を開放することなく、新興国での工場展開や外国の委託工場での生産が容易化



示するのではなく、日々発生する問題について、現場にいる人たちが知恵を振り絞って解決方法を考えている。いわゆる「カイゼン」はその典型例である。

日本の現場主義には、臨機応変に柔軟な対応ができるというメリットがあるのだが、一般には、形式知化していない点でICTを導入しにくいという問題があった。

インダストリー4.0では、こうした現場の英知をデジタル化するとともに、各種機器・装置やコントローラーからのデータを本部機構に吸い上げることによって、データベース化されて、別の現場でも役立てられるのである。熟練者による微調整も含めた業務システムの運行管理部分が、暗黙知から形式知化され、現場部門から本部機構（本社、マザー工場など）に移動する。加えて、本社、工場、取引先がネットワークで結ばれ、本部機構のシステム部門と工場の運行管理部門システムの連携が進む。企画・設計段階から製造段階までシステムが統合され、そこからのデータが収集・分析され、サイバー空間でシミュレーションされてフィードバックされる。サイバーフィジカルシステム（CPS）である。本部機構の指示で改善、設計変更、生産量調整などを行えば、ノウハウや営業秘密を開放することなく、新興国での工場展開や外国の委託工場での生産が容易となる。

日本企業の強い現場は、このような変化を受け入れることができるだろうか。プライドの高い現場から頭脳部門が引き剥がされる組織改革を了承するだろうか。従来の日本企業の競争力の源泉は、現場の力にあった。この成功体験はインダストリー4.0型への改革を妨げる大きな抵抗力となるだろう。

### 3 水平分業を妨げる 日本企業の自前主義

日本企業には自前主義の呪縛も根強い。固定費が大きく規模の利益が高い分野は、自前にこだわる必要はない<sup>64</sup>が、終身雇用制の下で切り離して外部に任せる決断がしにくい状況にある、モジュール化され、製造プロセスがサービス化されて外部に提供されることへの抵抗は強いと思われる。そもそも、モジュール化・外部提供が利益になるという発想は乏しいのだろう。

現状でも製造業の構造が変わりつつある。アップル、ビジオ、クアルコム、ユニクロ、任天堂などの企業は設計・デザインに注力し、モノを作ってはいない。インダストリー4.0では協業が当たり前となる。半導体産業で、EMS（電子機器受託生産サービス）<sup>65</sup>やファウンドリー<sup>66</sup>への対応が遅れたのと同じような過ちが、全産業で繰り返されるという危惧<sup>67</sup>を払拭できない。

### 4 日本国内の動き

本格的な動きは2015年に入って加速している。

総務省では同年9月、情報通信審議会情報通信政策部会にIoT政策委員会が設けられ、同年12月4日に同審議会から「IoT／ビッグデータ時代に向けた新たな情報通信政策の在り方」中間答申が出されている。この中間答申では、「IoT・ビッグデータ時代」の到来を見据え、これを支える情報通信政策のあり方という観点から、「①ネットワーク・インフラ」「②ネットワーク・サービス」、「③IoT・ビッグデータの利活用方策のあり方」の3点について、今後の検討の方向性が打ち

出されている。

また、同年10月に、総務省・経済産業省の協力の下、IoT・ビッグデータ・人工知能時代に対応し、企業・業種の枠を超えて産官学でデータの利活用を促進するため、民間主導の「IoT推進コンソーシアム」<sup>注68</sup>が設立された。技術開発、利活用、政策課題の解決に向けて提言活動を行うとされている。同コンソーシアムの下に「技術開発WG（スマートIoT推進フォーラム）」「先進的モデル事業推進WG（IoT推進ラボ）」、セキュリティやプライバシーなどの課題を検討する「専門WG」が設けられている。

経産省が関与する民間の動きとしては、2015年5月に設立された「ロボット革命イニシアティブ協議会」<sup>注69</sup>の下に、「IoTによる製造ビジネス変革WG」が設けられ、課題や解決方法などの検討が行われている。

同省の産業構造審議会商務流通情報分科会の下に設けられた情報経済小委員会において、2014年12月から「IoT時代に対応したデータ経営2.0の促進」について検討が開始され、2015年5月に中間とりまとめ報告書が出されている。同審議会新産業構造部会では、2015年9月から「第4次産業革命への対応の方向性」について議論が行われており、12月には討議用の論点が事務局によりまとめられている。

そのほか、日本機械学会生産システム部門の有志の提言「日本的な『つながる工場』実現へ向けた製造プロセスイノベーションの提言」（2014年6月）、同部門「つながる工場」研究分科会中間報告「Industrial Value Chain Initiative『つながる工場』によるつながるものづくり」（2015年3月）から発展した

「インターネット・バリューチェーン・イニシアティブ（IVI）」<sup>注70</sup>が、2015年6月に発足している。ここでは、ゆるやかな標準化のためのリファレンスモデルの開発などの活動が行われている。

## Ⅷ 今後の政策課題

### 1 業務プロセスのIoT化・モジュール化の中で何を守るべきか：競争力の源泉の再確認

業務プロセスのIoT化・モジュール化の流れの中で、産業構造が大きく変わろうとしている。大企業でも戦略を誤れば危うくなることあり得るが、中小・中堅企業の将来が心配である。標準化の流れに乗れば、中小・中堅企業であってもグローバルに活躍できる可能性がある。しかし、標準化は大企業の経営者でも理解しにくい。いち早く対応できるような啓発活動が政府には求められる。

「匠」の技術を持つ優れた中小・中堅企業が、熟練者の高齢化やデジタル化とIoTによる「匠」の機械化の流れの中で、次第に競争力を失ってしまうことを恐れる。手遅れにならないうちに対応<sup>注71</sup>を考える必要がある。政府は、業務プロセスのIoT化への理解を促し、匠の技のデジタル化と中小・中堅企業のグローバル展開を支援すべきである。大きなチャンスにもなるだろう。

### 2 構造変化に係る日本の立ち位置の見極めと改革の方向性についての世界への発信

GEのインダストリアル・インターネット、ドイツのインダストリー4.0など、ネーミン

グが良い。日本は自らの強みなどの立ち位置を見極め、国内に閉じこもることなく、かつ「ものまね」ではない独自の方向性について、世界に発信していく姿勢が必要である。

### 3 IoT推進のための環境整備

#### (1) 種々の視点からの

##### データの保護のあり方の検討

##### ①データの利活用に係るルール

データの利活用をめぐる民間の主導権争いを見つつ、政府は利活用に関するルール作りを検討する必要がある。状況は流動的であり、法制度整備は当面は無理であろう。緩やかなガイドライン、標準契約の提示、協議の場の設定などが政府には求められる。

##### ②IoT時代のプライバシー保護

IoT時代のプライバシー保護のあり方も重要である。ネット上や各種センサーから機械的・自動的に取得されるパーソナルデータに係る本人関与のあり方、行動追跡からの保護、企業の保有する個人情報の管理のあり方に焦点を当ててきた現行法に対し、ビッグデータの蓄積・分析によるプロファイリングというパーソナルデータを企業が生成する状況への対応など、新たな課題が続出している<sup>注72</sup>。他方、医療情報のように機微なものではあるが、集積や統計的分析ができれば有意義なデータについての、保護と利用における法制度の整備も求められる。

##### ③企業秘密の保護

業務プロセスのIoT化は、あらゆる業務がネットワークにつながり、状況が可視化されている状態である。従って、重要な情報が漏

洩する危険性も今以上に高まる。不正競争防止法の改正による営業秘密の保護が強化されているが、IoTを想定した企業秘密流出防止などの産業スパイ対策が必要である。

#### (2) サイバー空間とフィジカル空間双方の安全対策

すべてがつながるIoTにより、脆弱性は従来以上に高まる。業務プロセス保護のためのサイバーセキュリティ（技術、啓発、情報共有など）対策が講じられなければならない。

また、ロボットの導入や工作機械の自動化も進む。労働者との共存が必要であり、労働環境面での安全確保も必須である。

#### (3) IoTのためのネットワーク環境整備

IoTの場合には、短い距離の通信が重要になってくる。また、現場に近いほど遅延のない通信が求められる。電源のない場所もあるだろう。周波数、機器ID・識別符号、通信方式、省電力化、電池長寿命化など、ネットワーク関係の環境整備が重要となる。

#### (4) 財・サービスの提供者と

##### 利用者の責任分界点に関するルール

自動走行車を例に取れば分かりやすいが、事故が起きたとき、自動走行制御システム側にどこまで責任があるのか不明瞭である。ネットワーク化された財・サービスでは、利用者だけでなく提供者側の関与が多くなる。当初はケース・バイ・ケースになるかもしれないが、事例を蓄積・分析し、トラブル発生時の責任分界点に関するルールを検討する必要がある。

## 4 経営者・指導者の理解を深める方策

中小・中堅企業はもとより、大企業であっても、IoTに対する経営者の関心が高いとはいえない。IoTが生み出す構造変換について、分かりやすく定量的・定性的にメリットを可視化するとともに、対応を誤ると大きな問題になる<sup>注73</sup>ことも同時に、提示する必要がある。経営者の理解を深めるため、官民協力し、マスコミ・経済団体などを通じた啓発活動が求められる。

ドイツではメルケル首相自らが旗振り役をしている。わが国でも政治家などのトップクラスの指導者の理解を深める努力をしなければならぬ。

## 5 利害関係者間の調整（困り込みの排除）

全体最適を目指すほうが良いと分かっているにもかかわらず、部分最適に走る可能性が高い。「囚人のジレンマ」<sup>注74</sup>の問題かもしれないが、利害関係者の調整、全体最適実現への誘導（困り込みやベンダーロックインの排除）を行うのは、政府のような公的部門の役割であろう。

## 6 米独の関係者と標準化機関などで実務的に協議できる者への支援

わが国では、標準化の重要性についての理解が低い。定められたルールの上で努力するのは得意かもしれないが、ルール自体を作る者の方が先手を打てるので有利<sup>注75</sup>である。標準化およびその改定作業に積極的に参加し、可能な限り主導権を握り、自己の事業展開に有利な方向に誘導することが望ましい<sup>注76</sup>。仮

にルール作りの主導権を握れなくても、少なくとも不利にならないように、きちんとルール作りに参加しておく必要がある。デファクト・デジュール双方の可能性を考慮して、国内でも専門家や実務家を集めた議論や意見作りの場を設定しておくことが必要ではないだろうか。

既に米独などの関係者は、IECのMSB/SG8など、国際標準化の舞台で話し合いをしている。日本政府や企業経営者は、実務的に協議できる者が議論に積極的に参加できるように支援をすべきである。

## 7 就労環境の劇的な変化に対する対応支援（人の役割をICTが代替する時代における人の役割）

前述したように、経営者には、水平分業と業務プロセスのモジュール化の中で、権限分配・職制などの組織体系の見直しが求められる。また、IoTの進展による労働のミスマッチを防ぐための再訓練・継続教育などへの支援を行うことが求められる。ミスマッチを防ぐことができれば、労働生産性の向上による所得増をもたらすことになる。

注

- 1 空閑裕美子、藤野直明訳「Industrie 4.0ワーキンググループ報告書『戦略的イニシアティブ Industrie 4.0』の実現に向けて」（2013年4月）P.4では、「現在既に始まっている製造業へのIoTの導入と製造業のサービス化は、4つ目の産業革命の到来を告げている。今後、企業はCyber Physical Systems（CPS）を活用した機械群、倉庫システム、生産設備から構成されるグローバルネットワークを確立するであろう。」（下線は筆者）と説明している

- 2 岡崎哲二「ITの『日本化』で停滞打破」(『日本経済新聞』経済教室 2010年8月11日)では、日本でも近代工場組織の導入にはいくつかの課題を解決する必要があり、時間がかかったとしている。「幕末開港直後の日本にとって、西欧で発達した近代工場組織自体が新しい汎用技術であった。」「日本の製糸業で大規模工場が効率的に稼働するようになったのは20世紀初めであり、1870年に前橋藩が最初の西欧式モデルプラントを設置してから約30年が経過していた。」(下線は筆者)
- 3 堺屋太一『千日の変革—日本が変わる社会が変わる』(1991年、PHP研究所) P.103には、「イギリスなどの博物館を訪ねると、19世紀人の行った途方もない技術開発の努力の程がよく分かる。何とも奇妙な機械や製品が何万と試されていたのだ。」とある
- 4 略してGPTとも呼ばれる。  
“General Purpose Technologies: Engines of Growth?” T. F. Bresnahan, and M. Trajtenberg (1995), Journal of Econometrics, January.  
野口悠紀雄、遠藤論『ジェネラルパーパス・テクノロジー 日本の停滞を打破する究極手段』(2008年、アスキー出版) P.50では、汎用技術とは「産業横断的に使用され、さまざまな用途に使用しうる技術のことである。その特徴としては、発展性、改良・改善の可能性、他の技術との補完性などがあげられる。」としている
- 5 前掲岡崎「ITの『日本化』で停滞打破」では、電力を例に「米国では19世紀末に電力の電灯事業への利用が開始されたが、工場動力の電化は遅れ、電化によって産業の生産性が上昇したのは1920年代以降であった。この時差の理由としてデービッド教授は、電化が旧設備の廃棄というコストを伴ったこと、および電化が生産性上昇に結びつくためには工場組織の再設計などの関連するイノベーションが必要とされたことを挙げている。」としている
- 6 前掲野口・遠藤『ジェネラルパーパス・テクノロジー』P.51では、汎用技術は「経済活動に不連続的な大変化をもたらす。その変化は一国全  
体、あるいは地球全体という広がりをもつ。半面において、その利用のために社会的なインフラストラクチャが整備される必要があるので、効果が現われるまでに時間がかかる。」としている。電力の例では100年近く要している
- 7 室井雅博・譲原雅一『企業変革のためのIT戦略』(2015年、東洋経済新報社) P.65~76で、経緯や導入時の苦勞も含めて説明している
- 8 GEの事例は数多く紹介されている。たとえば、『日経ビジネス』「まるわかりインダストリー4.0 第4次産業革命」(2015年、日経BPムック) P.48~57のほか、GEの戦略を説明するものとして、洋泉社MOOK『インダストリー4.0の衝撃』(2015年、洋泉社) P.66~77、月刊『事業構想2015年7月号通巻第34号』(事業構想大学院大学出版部) P.24~27、岩本晃一『インダストリー4.0 ドイツ第4次産業革命が与えるインパクト』(2015年、日刊工業新聞社) P.56など
- 9 同様の見解として、長島聡『日本型インダストリー4.0』(2015年、日本経済新聞出版社) P.4「日本企業の人々が、インダストリー4.0に対して抱いているイメージは、人により大きく異なるということだ。(中略)いずれの場合も、インダストリー4.0の狙いや全体像ではなく、一部を捉えて誤解している部分があるのではないかと感じてしまう。」
- 10 鍋野敬一郎「これだけは知っておきたい キーワードでわかるインダストリー4.0」(『インダストリー4.0の衝撃』2015年、洋泉社MOOK) P.6~17によると、次の言葉が挙げられている。スマート工場、IoT、マスカスタマイゼーション(多品種少量生産)、標準化、サイバー・フィジカル・システム(CPS) (「デジタルツイン」とも呼ばれる)。  
また、『週刊東洋経済』2015年9月19日号「【深層レポート インダストリー4.0】—先行するドイツを米国と日本が追う」P.53では次の言葉をキーワードとして挙げている。IoT、マスカスタマイゼーション、ロボット革命イニシアティブ協議会、3Dプリンター、モジュール化
- 11 塩野七生『ローマ人の物語(ユリウス・カエサ

- ル ルビコン以前)』
- 12 ただし、コマツのKOMTRAXのようにIoT化した製品から利用企業の業務プロセスに入り込むケースや、GEのPredixのようにジェットエンジンやタービンというIoT化した部品から、航空会社や発電所運営会社の業務プロセスに入り込むケースがある。業務プロセスのIoT化は、製品や部品のIoT化をさらに進展させたものと考えられる
- 13 3次元Computer Aided Designの略で、コンピューターによる設計支援システム
- 14 セオドア・レビット『マーケティング発想法』(1968年)
- 15 飯山辰之助、佐藤浩実「今さら聞けない、『インダストリー4.0』って何?」(2015.10.09、日経ビジネスオンライン)
- 16 航空機用エンジンにセンサーを搭載し、エンジンの稼働状況、温度燃料消費量などの多様なデータを収集・分析し、エンジンの保守・管理や改良だけでなく、航空会社に対してより燃費を向上させる航路や操縦方法を提案している。ほかにも発電用タービン、医療機器などの多様な製品にセンサーを付け、ネットに接続してデータを収集・分析し、保守管理の最適化、運用効率の改善や新製品開発などに役立っている
- 17 報道発表(2014年1月29日付)によれば、コマツはGEと提携し、次世代の鉱山機械の開発を行う合弁会社を設立するとのことだ。これは鉱山採掘という業務プロセスのIoT化を進める布石となるだろう
- 18 前掲長島『日本型インダストリー4.0』P.13は、インダストリー4.0について、「IoT(モノのインターネット)を製造プロセスへ応用して、ネットワーク化しようという考え方だ。」としている。また、P.32「工場もモジュール化」の項でも、「フォルクスワーゲンは、モジュール化の概念を車両開発だけでなく、生産にも適用している。」「今後はさらに生産と開発におけるモジュール化の融合が加速し、より多様なニーズの商品やそれらの受注状況に連動した開発・生産体制の組み替えが進んでいくと考えられる。」としている。「プロセスのインターネット」という説明ではないが、モジュール化という視点から同様の指摘をしていると考えられる(下線はいずれも筆者)。
- また、同書P.148で、SAPジャパンの村田聡一郎氏が私と同じ「Internet of processes」という言葉を用いているので驚いた。「(前略)個々のバリューチェーンごとの活動がITにつながる垂直連携だけでなく、それら全体のプロセスが1つのシステム上につながる水平連携(=Internet of processes)の状態を作り上げなければならない。」(下線は筆者)としている
- 19 このようなケースを「モノのインターネット」に対比して、「コトのインターネット」と呼ぶことがある。類例として、総務省「ICTコトづくり検討会議」(座長 三友仁志早稲田大学教授)の報告書(2003年6月)、「ものこと双発学会」などを参照
- 20 製品ライフサイクル管理における業務プロセスの連携を例にとる。設計段階での3D-CAD(3次元 Computer Aided Design)などのコンピューター支援システムの使用は一般的だが、そのデータは必ずしもオンラインで生産過程に引き継がれているわけではない。工場での実際の生産データがシステム上自動的に設計過程にフィードバックされるわけでもない。生産過程とその後の販売・保守過程のデータもシステム上連携されていると言い難い。設計データ、生産データ、保守管理データが連携すれば、事前のシミュレーションにより手戻りを減らしてリードタイムを短くできる、故障データを基にシステムティックに設計の修正ができる、顧客の利用状況を製品開発に活かせるなどの利益を享受できる。
- サプライチェーン管理の各プロセス間も同様に現状でのつながりは不十分である
- 21 シーメンスやGEのソフトウェアに係る取り組みについては、『2015年版ものづくり白書』(2015年6月9日、経済産業省、厚生労働省、文部科学省)P.180に詳しい
- 22 2007年にUGS(3次元CADソフトで世界3強の

- 一つ)、11年に米ヴィステージ社(素材関連ソフトウェア)、12年にVRコンテキスト(3D)、LMSインターナショナル(シミュレーション・ソフトウェア)、14年に米Camstar Systems(MES)、独TESIS・PLM(PLM環境や製品開発プロセスの構築支援)などを買収し、業務プロセスに関するソフトウェアを抑えつつある
- 23 MES(Manufacturing Execution System)という。生産ラインの実行・管理を行うもの。工場の生産ラインから情報を収集し、製造工程における原材料、仕掛品などの追跡、設備状態などのリアルタイムでの把握、生産計画に基づく作業のスケジュール設定、作業への指示、作業手順に関する情報提供、製造状況の報告、トラブルへの対応などを行うシステムである
- 24 高梨千賀子「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」(2015年、Discussion Paper Series, No.24、立命館大学イノベーション・マネジメント研究センター)は、「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、収益源をクラウドにする。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、量産効果を享受するというものである(中略)。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。」(下線は筆者)としている
- 25 小笠原治『メーカーズ進化論 本当の勝者はIoTで決まる』(2015年、NHK出版新書)P.169-170では、「(前略)インダストリー4.0というのは、モノづくりにおける壮大な生産革命であることは間違いありません。それが実現する前提には、モノづくりにおけるモジュール化と同じように、工場自体をモジュール化してしまおうという試みがあります。」(下線は筆者)としている
- 26 半導体産業における水平分業の経緯については、西村吉雄『電子立国は、なぜ凋落したか』(2014年、日経BP社)P.135「第6章 日本の半導体産業、分業を嫌い続けた果てに衰退」、同P.159「第7章 アップルにも鴻海にもなれなかった日本メーカー」に詳しい。同氏は、設備投資に係る減価償却費と製造技術の進歩が設計と製造の分離を促したとしている。また、同P.175では、「(前略)歴史的には、垂直統合型大企業を発展させたのは20世紀の米国である。その米国が、モジュール化とネットワーク化の利点を活かすべく、自ら作りあげた垂直統合型大企業体制をあえて壊し、ベンチャー企業や大学を巻き込んだ水平分業を発展させる。」としている
- 27 農業では、トマトなどの野菜について、オランダなどの先進国では、二酸化炭素濃度、気温、湿度、日照時間などをモニターし、過去のデータを分析して最適な環境での栽培がなされているが、この管理プロセスをアフリカなどにサービスとして輸出している。コンビニのPOSシステムも、今風にいえば、販売時点管理により、人気商品、顧客、販売時間、場所のデータを吸い上げ、天気や行事などの外部環境との関係を分析し、商品仕入れ・店舗運営ノウハウとしてフランチャイズという形で外部販売、つまり業務プロセスをサービス化してビジネスとしている例と考えられる
- 28 モジュール化全般については、青木昌彦・安藤晴彦編著『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』(2002年、経済産業研究所「経済政策レビュー4」)参照
- 29 原義は、基準となる長さ・大きさ・単位などを意味する言葉であった。転じて当該基準で交換可能な単位・部品・かたまりを意味するようになった
- 30 三省堂ワールドワイズ・ウェブ「10分でわかる『モジュール』の意味と使い方」  
藤本隆宏『日本のもの造り哲学』(2004年、日本

- 経済新聞社) P.127では、製品の場合のモジュールについて説明しているが、その説明は業務プロセスについても同じく当てはまる
- 31 西村清彦『日本経済 見えざる構造転換』(2004年、日本経済新聞社) P.52は、「製品のモジュール化は、製作工程のモジュール化を可能にし、組織のモジュール化を生じさせる。モジュール化が進むと、企業が外部から製品や部品を容易に調達することができる。いわゆるオープン化が生じるのである。調達におけるオープン化は、製品や部品のサプライヤー側から見れば、アウトソーシングや外注化ととらえることができる。」(下線は筆者)としている
- 32 モジュール化への取り組みは、トヨタでは「TNGA」(トヨタ・ニュー・グローバル・アーキテクチャー)、日産とルノーでは「CMF」(コモン・モジュール・ファミリー)、VWでは「MQB」(独語Modulare Quer Baukasten、英語Modular Transverse Matrix)と呼んでいる。なお、インダストリー4.0の取り組みは、モジュール化を部品レベルだけでなく業務プロセスに拡張していくものである
- 33 ただし、自動車の場合には各メーカーとその系列内の標準化にとどまっておらず、PCのような業界横断的なものにはなっていない
- 34 尾木蔵人『決定版インダストリー4.0』(2015年、東洋経済新報社) P.50は、アップルが「生産方法をモジュール化し、アジアの新興国に部品の製造を委託するというビジネスモデルを確立した」としている
- 35 シーメンスのARC Forum Tokyo 2014資料「ITの進化による製造業の未来—より高い競争力を目指して」P.13
- 36 経済産業省 第8回「日本の『稼ぐ力』創出研究会」事務局資料(2014年12月22日) P.9から引用。同資料によると、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多く、ノウハウも漏洩しやすいのに対し、シーメンスが提供しているものでは、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とのことである
- 37 前掲長島『日本型インダストリー4.0』P.39~44「複雑化・巨大化するプラント制御のあり方を変える統合制御」に詳しい。同P.41「(前略)シーメンスは、発電システム全体の制御システムを統合し、自社のガスタービンのみならず、他社製品も含めてO&M(オペレーション・アンド・メンテナンス)を一括で引き受けることで発電システム全体としてのパフォーマンスを最大化するソリューションを提供している(後略)」(下線は筆者)
- 38 前掲室井・譲原『企業変革のためのIT戦略』P.128~134に詳しい。P.131で「製品ではなく、スマートファクトリーの販売構想」(下線は筆者)と説明している
- 39 次のURL(YouTubeでの動画)を参照 [https://www.youtube.com/watch?v=370NDwj\\_DP4&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=370NDwj_DP4&feature=youtu.be)
- 40 前掲尾木『決定版インダストリー4.0』P.79は、「新たな輸出」と捉える点では私と同じ考えだと思われる。「グローバルな水平連結は、同じ企業の海外拠点のネットワークを連結するところから始まるはずで、これがグローバルチェーンに広がり、各国の企業に広がっていく。そこで利用されるのが、ドイツが提供するスマート工場のプロトコル、機器、システムだったらどうでしょうか。それは、膨大なインダストリー4.0テクノロジーの利用者の出現です。ドイツに工場システムや機器丸ごとの提供を望む新興国の企業もあるでしょう。インダストリー4.0ビジネスを新たな輸出産業として育成する意味がここにあるのです。」(下線は筆者)
- 41 高梨千賀子、立本博文、小川紘一「標準化を活用した新興国市場におけるプラットフォーム戦略—ボッシュと三菱電機の事例—」(2011年、『国際ビジネス研究』3(2))は、付加価値の発生する部分の位置取りとして、「モジュールのブラックボックス化」と「プラットフォームと周辺モジュールを統合してシステム」にする(周辺モジュールを取り込んでブラックボックス

化する範囲を拡大)の2点を挙げている。また、規格策定の中心にいること(インターフェースマネジメント)の重要性について説明している

- 42 IoT化についての説明であるが、前掲室井・譲原『企業変革のためのIT戦略』P.137は、「IoT化を進める際に重要なのは、センサーを使うことでも、センサーを使ってデータを集めることでも、集めたデータを分析することでもない。分析結果から顧客が喜ぶ提案が常に提供できるか。そのデータを使った、新たなサービスを開発する能力、アイデア、視点をいかに高め、進化を続けられるか。さらに、顧客に適切にモノやサービスを届けるだけの組織体制や組織能力をどれだけきちんと整備できるかである。」としている。全く同感である。手段と目的を混同してはならないと思う

- 43 前掲長島『日本型インダストリー4.0』P.59「生産拠点の急拡大を可能にするデジタル工場」では、効率的な生産拠点の拡大に係る問題について次のように述べ、仮想空間上での工場建設のシミュレーションが解決に役立つとしている。(下線は筆者)

「これまで長い間、製造業における主要テーマは、いかに生産性を上げるかであり、さまざまな生産性改善プログラムが開発・導入されてきた。これにより、確かに生産性スピードは飛躍的に高まり、生産性コストの削減も進んできたが、どんな工場を作るべきかという検討やその工場をいかに早く立ち上げるかという課題に対しては、体系的な取り組みが見られなかった。したがって、企業はひとたび工場や生産ラインを持てば、そこから生産性を改善していくことは得意だが、そもそも工場や生産ラインを建設するステージにおける、生産性はなかなかあがらない。工場建設に多大な時間とコストを費やしてきたのである。」

- 44 前掲空閑・藤野訳「Industrie 4.0ワーキンググループ報告書『戦略的イニシアティブIndustrie 4.0』の実現に向けて」P.26~31は、(公式な狙いとして)「デュアル戦略」を挙げている。一つ

は、「リーディングサプライヤ戦略」で、ドイツ企業がインダストリー4.0に対応する機器・装置類の製造でグローバルな競争力を得ることであり、もう一つは、「リーディング市場戦略」で、中小企業を含めて、ドイツをインダストリー4.0に対応した最先端の市場とすることで、企業化の緊密な連携とネットワーク化のための啓発、ブロードバンドなどのインフラ整備や教育・訓練などを行うとしている。

前掲岩本『インダストリー4.0 ドイツ第4次産業革命が与えるインパクト』P.27~35にデュアル戦略とドイツの事情が説明されている

- 45 GEのインダストリアル・インターネット、IBMのIoTソリューション、三菱電機のe-F@ctoryなどが、顧客に対するソリューションとして有名である
- 46 国際機関や標準化団体による公的な規格・標準(デジュールスタンダード: de jure standard)ではなく、市場で圧倒的なシェアを獲得し、事実上の標準とみなされるようになった規格・標準のこと。「デファクト」とはラテン語で「事実上の」という意味である。VHSやWindowsなどの例がある
- 47 工場や設備の通信に使う「産業用ネットワーク」の推進団体である「CC-Link協会(CPLA)」(三菱電機系)と「プロフィバス&プロフィネット国際ナショナル(PI)」(シーメンス系)が提携したという記事(『日経ビジネス』2005年12月14日号、P.16)。同記事によると、提携の狙いは産業用ネットワークをまたいだ設備や機械の接続を可能にすることで、2016年中には、CC-Linkを採用している日本の工場にPIに対応したドイツ製の機械をつないだり、その逆を容易にするという
- 48 GEの例では、現時点では、相手企業が航空会社や発電会社などの非製造業であるため、製品に係るデータの利活用をめぐる争いとはなっていない
- 49 前掲「まるわかりインダストリー4.0」P.34は次のように説明。  
「せっかくの機能が宝の持ち腐れになっている

ー。トヨタの工場にロボットを納める、ある大手機械メーカーの役員はこうこぼす。『トヨタさんがインターネットにつながせてくれない』。納入したロボットは、工場の外部とつながる遠隔監視機能を搭載している。本来ならインターネット経由で稼働状況をモニターし、保守業務を効率化できるはずだが、現時点では不可能だ。インターネットに接続すると『生産ノウハウが社外に流出しかねない』と、トヨタが難色を示しているからだ。故障したらその場で人がすぐに対応できるように『担当者が工場に常駐して見張っていてほしい』とトヨタから要望されたという。」

- 50 前掲「まるわかりインダストリー4.0」P.34～37「トヨタが“下請け”になる日」
- 51 同社のロボットは、カメラとリアルタイム画像処理システムを搭載し、物流センター内を自律移動して荷を運搬する
- 52 山口平八郎「日本のベンチャーも買収、ロボット産業へ参入したGoogleの真意」(2014年4月8日付、ITpro記事)
- 53 前掲小笠原『メイカーズ進化論 本当の勝者はIoTで決まる』P.152「グーグルに巨額で買収された温度調節装置メーカー」、同P.154「モノとモノをつなげるネスト」に詳しい
- 54 同社のサーモスタットは家庭用で、家全体の温度管理をするコントローラーとしての機能を有する。AI(人工知能)が搭載されていて、冷暖房が必要な時間を学習してくれる。スマートフォンから操作できるようにiOSやAndroid用のアプリを提供している。また、同社の火災報知機(Protect)は一酸化炭素を感知すると連動して元栓を締めるなどの対処を行う
- 55 前掲尾木『決定版インダストリー4.0』P.50は次のようにドイツ企業の危機感について解説している(下線は筆者)。  
「IoT(モノのインターネット)が進む社会では、ものづくりの製造プロセスにまでその大きな影響が及ぶという考えが、欧米では広がっています。(中略)  
ついに、グーグルが自動運転車の開発を始め

ます。またアップルは、生産方法をモジュール化し、アジアの新興国に部品の製造を委託するというビジネスモデルを確立します。自動車産業や、機械産業のものづくりの分野にデジタル技術というIT分野の巨人たちが進出してくれば、ドイツが牽引してきたものづくりの世界の状況も、大きく変わるに違いありません。  
ドイツ企業がアメリカのIT企業の単なる下請けになってしまい、低い収益の価格のたたき合い競争に巻き込まれてしまうかもしれない。このような危機感が、インダストリー4.0という国家戦略をたてることを後押ししたのです。」

- 56 JETRO調査レポート「インダストリー4.0実現戦略」(2015年)の発表資料は次の通り説明している。  
「ドイツIT・通信・ニューメディア産業連合会(BITKOM)、ドイツ機械工業連盟(VDMA)、ドイツ電気・電子工業連盟(ZVEI)の3業界団体は2013年4月、ドイツ連邦政府のIndustrie4.0構想を受け、その具体化・実現化に向けた『インダストリー4.0プラットフォーム』事務局を立ち上げた。  
同事務局は、発足以来、8優先分野の研究開発ロードマップの作成など精力的に作業、提言を行ってきたが、産業界だけでは同構想の実現に必要な、幅広い課題への対応に限界が生じつつあった。このため、2015年4月のハノーバー・メッセの開催に合わせて、政府、産業界、労働組合や研究所が参加する裾野の広いプロジェクトへと発展的に解消し、新たな『インダストリー4.0プラットフォーム』事務局に再編された。同プラットフォームには、ドイツ経済エネルギー省や教育研究省などが参加している。」
- 57 ドイツ技術者協会(VDI)、電気・電子及び情報技術協会(VDE)
- 58 Market Strategy Boardの略
- 59 <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-futurefactory-LR-en.pdf>
- 60 前掲尾木『決定版インダストリー4.0』P.138「両方参加しておけばどちらが勝ってもいい」
- 61 前述のように、IoTの先駆者で有名なコマツも

GEと次世代鉱山機械の開発合弁会社を設立している

- 62 GE 2013年10月11日付報道発表（下線は筆者）  
「業界は現在、産業機器から生成されるデータが、その他のビッグデータ・セグメントの2倍に増大する時代に突入しています。GEは高度に複雑な規模・量・スピード・セキュリティ・規制を有する産業ビッグデータを処理する新たな共通プラットフォーム『Predix』を構築しました。これによってGEの開発部門は、ジェットエンジンからMRIスキャナーに至るまで、いかなるシステム・工程・機器に対しても対応可能であり、インダストリアル・インターネットを通じて、遠隔地から監視、制御、改善することができます。このプラットフォームを活用した新ソリューションは、顧客の既存のソフトウェアや、データ管理機器と容易に統合し、生産性を向上させ、無駄を省き、業務運営を改善させることができます。

Predixは自社やクラウド環境下において、分散コンピューティング、分析技術、資産管理、機器間通信、モバイル技術を結合させることが可能です。新たなPredixプラットフォームの構成にはPredix Machine, Predix Insight, Predix AssetとPredix Experienceを含みます。これらは産業機器をよりインテリジェントに、またそれぞれの産業機器個々に必要とされるより先進的な資産管理能力を付与し、移動の多いエンジニア等に、先進的でモバイル機器等を通じたユーザー経験を提供します。」

Predixに係る経緯については、前掲「まるわかりインダストリー4.0」P.50に詳しい

- 63 Predix Cloudは産業データ分析用のクラウドサービス、Data Lakeは各種センサーから送られるデータを収集・蓄積・分析するデータベースなど。また、分野別のPredictivity solutionsは、ネットを通じて、遠隔地から監視、制御、改善するもので、全体としての管理・運用の最適化、効率的な稼働による燃料消費の低減、異常の有無やメンテナンスの時期の通知による予期せぬトラブル対応時間の最小化などが可能とな

るとい

- 64 垂直統合には一長一短がある。工場のように多大な設備投資で固定費が大きい場合には、規模の利益が大きく働く。したがって、他企業から製造を依頼される専門の企業の方が製造を内製する企業より有利となる。また、こうした専門の企業にアウトソースして、生産部門を持たない、いわゆるファブレス（fabless）企業がコスト・スピード面で有利となり、垂直統合企業よりも水平分業の方が競争に勝つことになる
- 65 他企業から各種エレクトロニクス機器の受託生産を行う企業。大量生産設備を使用し、複数の企業から受注することによって操業度を高め、量産効果を活かした生産を行う。鴻海（ホンハイ）精密工業（台湾）、フレクストロニクス（シンガポール）、ジェイビルサーキット（米）、セレスティカ（カナダ）、シークス（日本）など
- 66 半導体チップの受託製造を専門とする企業で、TSMC（台湾積体回路製造）やUMC（聯華電子）など。外部に100%生産委託するファブレスと対をなし、高度に水平分業された事業形態である
- 67 西垣淳子「電機業界の失敗を繰り返してはならない」（2015年07月29日 MONOist製造マネジメントインタビュー記事）は、「2000年以降にGDPが大きく落ちたのは『電気機械』だ。これはEMSなどモノづくりの仕組みが変化したことなどから、グローバルにおける競争環境の中で日系製造業の地位が低下したことによるものだ。モノづくりにおける大きな環境変化に対応できなかったといえることができるかもしれない。」としている
- 68 会長：村井純（慶応大学教授）、副会長：鶴浦博夫（日本電信電話株式会社社長）、中西宏明（株式会社日立製作所会長兼CEO）
- 69 会長：岡村正（日本機械工業連合会会長、東芝相談役）、副会長：山本正己（電子情報技術産業協会会長、富士通会長）、中西宏明（日本電機工業会会長、日立製作所会長）、津田純嗣（日本ロボット工業会会長、安川電機会長兼社長）
- 70 理事長：西岡靖之（法政大学教授）。正会員54

社、中小企業正会員26社、サポート会員16社、中小企業サポート会員11社、賛助会員7社、学術会員15人（2015年12月15日現在）

- 71 高木俊郎「インダストリー4.0は日本の中小製造業で花開く」（前出『インダストリー4.0の衝撃』所収P.86）は、「かつての徒弟制度により、親方から弟子に伝承された技術・技能は、熟練工からコンピューターに伝承することが可能であることが証明された。技術伝承は差別化の源泉である。このイノベーションが、ビッグデータ時代を迎え、スマート工場で極めて重要になってくる。」（下線は筆者）としている。

前掲尾木『決定版インダストリー4.0』P.186～189「日本の巧みの技をデジタル化する」では、P.187で「（前略）ものづくりの匠の技をデジタル化して保存すれば、競争力のあるデジタル工場を実現できるという点があります。高齢化が進む中でも、熟練の技術者のノウハウを生かし続けることができます。」とし、ノウハウの流出への心配に対しては、「ものづくりのデジタル化は、効率化や製品化を迅速に行うための進化ととらえることができます。進化は逆戻りできないもの。たとえ誰かがこの進化に抵抗しても別の誰かがこれを利用して時代を切り開いていくことは、これまでの歴史が示しています。」（下線は筆者）としている。

前掲岩本『インダストリー4.0 ドイツ第4次産業革命が与えるインパクト』P.33も、ドイツについてであるが、「現在、高齢化しつつあるマイスターが保有する技能やノウハウを早く機械に覚えさせることが喫緊の課題になっている。製造業の強さを支えるものとして職人技による『摺り合わせ技術』があげられるが、さまざまなケースによる膨大なビッグデータを蓄積し、データベースとして分類しておけば、サイバー・フィジカル・システム（CPS）でシミュレーションを繰り返すことで、熟練職人が行ってきた『摺り合わせ』と同じことができるようになる。」（下線は筆者）とする

- 72 拙著『ポイント解説 平成27年改正 個人情報保護法』（2015年、ぎょうせい）の「13 今後の課

題」参照

- 73 前掲長島『日本型インダストリー4.0』P.99は、「負け組となるのはインダストリー4.0が突きつける変化の必要に気づきながらも、具体的な取り組みに遅れが出てしまっている企業である。そして何よりも大変なのは、オープン化やより大きなシステムでの全体最適といった大きな潮流にまったく気づいていない企業、気づいていながら見て見ぬ振りを続けている企業だ。」（下線は筆者）

- 74 協力する方がよい結果になることが分かっている、相手を出し抜いた方が利益を得る状況下では、互いに協力しないことをいう。各人が合理的行動をとっても社会的には最適な結果とならない

- 75 前掲岩本『インダストリー4.0 ドイツ第4次産業革命が与えるインパクト』P.98は、「（前略）モジュール化の『標準化』が世界中で進み、かつ日本国内には日本独自の規格が普及しがラバゴス化してしまったら、国際標準のモジュールの中に日本製が組み込めなくなり、日本の創造現場には外国製の設備を導入できないか、もしくは、すべて外国製に置き換わるかのいずれかである。外国製のモジュールで組まれた外国企業の製造ライン向けには、日本製の機械を販売することができなくなる。」と危惧している

- 76 前掲室井・譲原『企業変革のためのIT戦略』P.129で「ドイツが国を挙げてIoTを推し進めるのは、『標準化』競争で優位に立つためだ。メーカーの異なる機械をネットワークで結んでも、規格やプログラムが異なるせいで、うまく連動して生産活動ができないのでは意味がない。規格を統一する際に、自社が得意とする技術や仕組みが採用されるように、他国よりも先行して実績を作り、なるべく多くの企業に採用してもらうことが不可欠である。」、P.137で「（前略）ドイツの『インダストリー4.0』のねらいは標準化、つまりゲームのルール作りにあった。ルールに従うよりは、ルール作りに参加できたほうが有利なことは間違いない。したがって、横並び意識で同業他社が動くのを待つのではなく、

他社に先んじてリスクをとっていくことが必要である。」(下線は筆者)としている

**著者**

---

関 啓一郎 (せきけいいちろう)  
未来創発センター主席研究員  
専門は情報通信政策