

ドイツの「インダストリー4.0」の取り組みと日本製造業の課題
“German Initiative of Industrie 4.0 and the Issues of the Japanese Industry”

キーワード Industrie 4.0、IoT、Industrial Internet、システム統合、日本の製造業

概要 インターネットの新展開で製造業に注目が集まり、その関連で頻繁に取り上げられるキーワードの中で、本論文では特にドイツの「インダストリー4.0」に着目し、現地調査に基づいてその取り組みの特徴を明らかにした。インターネット高度活用で製造業革新をめざす、このドイツの挑戦からは、日本の製造業の課題も浮上してくる。

榊原清則

Kiyonori Sakakibara

中央大学大学院戦略経営研究科

Graduate School of Strategic Management, Chuo University, Tokyo

2016年10月

1. まえがき

小論の目的は、ドイツにおける「**Industrie 4.0**」の取り組みを紹介し、それとの関連で日本の製造業の課題を考察することである。

2015年11月に私はドイツを訪問し、関係者へのヒヤリングを中心に **Industrie 4.0** の実態を調査した¹。調査結果は刺激的で、その訪問は私にとって、日本の製造業の来し方行く末を考えるよい機会にもなった。そこで小論では、ヒヤリングで得た情報を中心とし、訪問前後に収集した文献や資料も参照しながら、初めに **Industrie 4.0** の特徴を私なりに整理して示し、次に日本の製造業の課題について考察したい。

インターネットであらゆるものが相互につながるようになって、製造業が新時代を迎えるという期待が生まれ、それとの関連で、似たような「バズワード」(はやりの決まり文句)が飛び交っている。なかでも「**IoT**」「**Industrie 4.0**」「**Industrial Internet**」の3つのキーワードが代表的である。これらのキーワードは意味的に互いに重なるところがあるが、そもそもそれぞれの語句を誰が、いつ言い始めたのか、またそのときのねらいはどのあたりにあったのかを、現時点で整理し、それらの語句の意味と相互関係を明らかにすることには意義があると思われ、まずはその作業からスタートしたい。

2. インターネットで製造業の新時代を

インターネットの新展開で製造業に注目が集まり、その関連で頻繁に取り上げられるキーワードの代表例として、上述では「**IoT**」「**Industrie 4.0**」「**Industrial Internet**」の3つをあげた。そこで、小論における最初の問いは、それぞれの語句がどのような意味か、そしてまたそれらを誰がいつ、どんなねらいで使い始めたかである。

IoT

第1に「**IoT**」は **Internet of Things** の略で、1999年以降使われるようになった。直訳すると「モノのインターネット」である。あらゆるものがインターネットでつながることによって実現する新たなサービス、ビジネスモデル、またはそれを可能とする要素技術をさす。**IoE (Internet of Everything)** あるいは **Smart Everything** ともいう。

従来のパソコン、サーバー、携帯電話、スマートフォンに加えて、さらに **IC タグ**、**ユビキタス**、**組み込みシステム**、**各種センサー**や**送受信装置**など、インターネットに接続されるデバイス数が近年著しく増加し、それによって新次元のネットワーク社会が出現すると期待され、**IoT** への注目度が高まっている。

¹ 国際 IT 財団が実施した「海外調査 2015」の欧州調査グループにメンバーの一人として参加した。このような海外調査の機会を与えていただいた国際 IT 財団に感謝したい。

IoT が触発する進化を機械の例で描くと、すべての装置、機械、部品にセンサーを付け、それらの情報をリアルタイムに収集して、データマイニングし、それを業務フローの中で連携活用して、全自動運転の機械を作り上げるといったイメージが一例だ。

IoT は、特定個人²が提唱した表現として 1999 年に世の中に登場したが、今や一般名詞として定着した感がある。その考え方の源流をたどるとユビキタスネットワークやオープンアーキテクチャが浮かんでくる。その関連では、有力なオープンアーキテクチャのひとつ TRON の提唱者として知られる坂村健の貢献も重要である。

Industrie 4.0

第 2 に「Industrie 4.0」(略称 4.0) は、第 4 次産業革命を意識した表現であり、ドイツ政府が 2011 年前後に議論を開始した政策のキャッチコピーである。この政策では、モノのインターネット (IoT) の製造業への適用を通じて、第 4 次産業革命とも呼び得る一大変革を起こすことがめざされている。

ちなみに、ドイツ政府の整理によると、18 世紀の蒸気機関を動力源として生産の機械化を推進した第 1 次産業革命、20 世紀初頭の電気を動力源として大量生産を確立した第 2 次産業革命、1970 年代のコンピュータを駆使してオートメーションを実現した第 3 次産業革命と続き、その次に来るのがここで第 4 次産業革命と呼ぶものである。

Industrie 4.0 はこのように、元々は国の政策パッケージにつけられたラベルであったが、その後認知が広がり、IoT でものづくりの現場を効率化する運動の、一般的キャッチコピーになりつつある。日本の雑誌には「おなじみの 4.0 ワード」という手軽なリストも出ていて、「マスカスタマイゼーション」(多品種大量生産)、「サービタイゼーション」(製造業のサービス化)、「スマートファクトリー」(IoT 化した先進工場) 等々の語句が並んでいる(『日経ビジネス』、2015 年 11 月 16 日、32-39 頁)。

ドイツの Industrie 4.0 が実現しようとしていることは何か。そのねらいは結局のところ、ものづくりに関連したあらゆることを「つなげる」ことだと、科学技術政策の専門家・永野博は近著のなかで指摘し、具体的に次の 3 つをあげている(永野、2016、117 頁)。

- ① 企業内で経営から現場までの情報の流れを一体化して、最適な状態で自律的な生産を可能にする。
- ② 企業間の情報も相互に流通できるようにして、さまざまなリソースの有効な活用をはかる。
- ③ 製品が販売された後もその所在、状況を継続的に把握することにより、製品の部品の交換時期、製品全体の廃棄時、あるいはリサイクルまでフォローする、ライフサイクル

² Kevin Ashton というのがその提唱者の名前、論文の中の著者紹介には「NPO の共同設立者/経営者」とあるが、それ以上の詳細な記述はない。本人自身による 2009 年時点の述懐によると、P&G に招かれ 1999 年に同社で講演をした際に ‘Internet of Things’ という語句を用いたが、それがその言葉の世界初の使用例だと思ふとのこと。次を参照。Kevin Ashton, “That ‘Internet of Things’ Things,” in *RFID Journal*, 22 July 2009.

ルマネジメントを可能にする。

Industrial Internet

三つ目のキーワード「Industrial Internet」は、直訳すれば「産業のインターネット」である。この語句は IBM や GE など、アメリカの代表的企業およびその経営トップ層の名前と結びつけて語られることが多い。

例えば GE はいま最高経営責任者（CEO）ジェフリー・イメルトのリーダーシップのもとで、金融サービス事業から製造業へ、事業ポートフォリオの軸足を大きくシフトさせる取り組みを進めているが、しかもそれを、旧来のものづくりへの単なる回帰ではなく、「ものからことへ」のサービス化（servitizing）を通じて、製造業カテゴリの事業を現状に比べてはるかに高付加価値化しようとしている。

象徴的な取り組みは航空機用ジェットエンジン事業である。この分野の主導的メーカーである GE では、従来のようにモノを作って売るだけではなく、エンジンに各種センサーを取り付け、遠隔モニタリングで大量のリアルタイム情報を収集し解析することによって、メンテナンスや修理の大幅効率化と収益化を図っている。こうした取り組みを通じて、不測のエンジントラブルによるフライト・キャンセルを減らすなど、様々なメリットが期待できるという。

このように GE ではモノやヒトをつなぎ、取得した情報をリアルタイムに利用する新しいビジネスモデルを確立することで、同社が関わる航空、電力、ヘルスケア、鉄道、石油・ガスの 5 分野の事業の高付加価値化を実現していく計画である。

Industrial Internet は、GE におけるこうした一連の新戦略を象徴する語句であり、イメルトによって 2012 年に打ち出された。その源流には、2004 年の通称パルミサーノ・レポートに端を発する IBM のサービス・イノベーション戦略がある。製造業に国内回帰の動きがあるアメリカで、関係する分野の経営トップは製造業の本格的な競争力強化に取り組もうとしており、その取り組みをインターネットと結びつけて加速することで、資本市場と社会全体に対して、自社の企業価値の成長ポテンシャルがいかに大きいかをアピールしている。

このような取り組みは、さらに複数企業による運動へと展開されている。2014 年にアメリカ企業 5 社(AT&T, シスコ、GE、IBM、インテル)によって創設された Industrial Internet Consortium（以下 IIC）はその一例である。IIC は Industrial Internet の産業実装とデファクト・スタンダード（事実上の標準）の推進を目的として設立された国際団体で、2015 年 11 月現在、複数の日本企業を含む 220 社が参加している。参加企業は今後もっと増えると思込まれる。

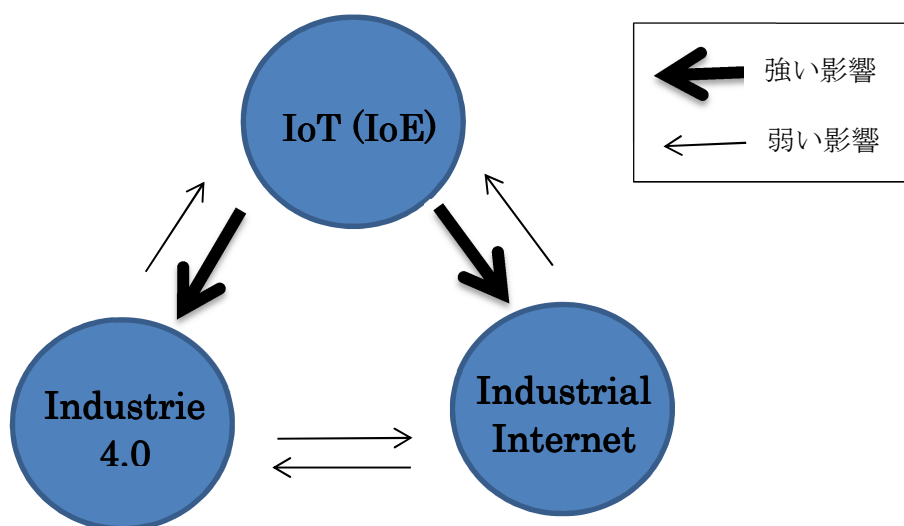
三つの語句の関係

以上に紹介した 3 つの語句は、意味的に重なる部分があり、事実、ほぼ同一の意味の語

句として使われる場合もあるが、言葉が出てきた由来は互いに異なり、相互に影響を与えながらいずれも認知を広げ、その過程で特定国や特定企業に紐づけされたローカルな語句から、より一般性を帯びた語句へと変化してきた。

われわれの理解によれば、3つの語句は互いに図1に示すような影響関係にある。すなわち、20世紀末にまずIoT(あるいはIoE)の洞察が打ち出され、その強い影響下でIndustrie 4.0とIndustrial Internetが出てきた。このうち、前者はドイツの国家政策として2011年頃に登場し、後者はGEの経営戦略として2012年に登場した。

図1 用語間の影響関係



先行したのはIoTである。インターネットの技術や産業進化についての展望的な洞察を含む、凝縮した表現として、1990年代末に提唱され、便利なラベルとして急速に一般化した。あらゆるものがインターネットでつながり、相互に情報のやりとりが可能になって、新たなネットワーク社会実現への期待が膨らんだ。

期待の高まりは、とりわけ製造業において大きかった。これまでインターネットは、電子商取引(EC)に代表されるように、どちらかという消費者向けサービスの分野を大きく変えてきた。しかしIoTの時代になって、生産現場もまた大きく変わる可能性が浮上してきたのだ。その新しい状況に、他に先んじて反応したのが、ヨーロッパではドイツ政府、アメリカではGEだった。ドイツのIndustrie 4.0政策とGEのIndustrial Internet戦略は、こうしてIoTが広い認知を得た結果、その影響下で打ち出されたものだ。この3つの語句は相互に影響し合い、競い合って、ともに広い認知を得、いまや一般名詞化して世界的潮流を形成するに至っている。

3. ドイツ訪問のねらいとおもな調査結果

2015年11月10日から11月20日までの10日間、私は欧州調査グループの一員として、ヨーロッパを訪問した。グループの訪問目的は「欧州主要国におけるIoT覇権を巡る最新情報の調査」であり、具体的には次のような質問を用意した。

- (1) 米国のIoT覇権的な動きに対して、独・仏・英は、どのようなIT戦略を構想し、実行しようとしているのか。
- (2) 国の戦略に対して、各国企業の対応はどのようなものか。
- (3) 産学連携など、IoT推進の仕組みとしてどのようなものが構築されているか。ITに関する新しい技術開発はどのようにおこなわれているか。

この欧州調査は、①当初予定されていたフランス訪問がパリ同時多発テロ事件（2015年11月13日）の勃発によりキャンセルされた結果、ドイツとイギリスの2ヶ国訪問となった、②政府関係機関が訪問先の中心で、企業訪問はごく一部だけ、といった限界をもちつつも、情報入手と意見交換の機会として、私にとってたいへん有益だった。以下では、最も強く印象づけられたドイツの取り組みを中心に、おもな調査結果をレポートしたい。

われわれのドイツ訪問は、まずもって時宜を得たものとして歓迎された。というのは、いまドイツは国をあげてデジタル化を推進中であり、2013年にデジタル・アジェンダを決定して、それまでの<産業全般のIT強化>をめざす取り組みから<自動車、機械、化学といった自国が強い産業に焦点を絞ったIT強化>をめざす取り組みへとシフトした、まさにそのタイミングとわれわれの訪問が重なっていたからだ。

訪問の直前学習で強く印象づけられたのは、日本と似て製造業比率が高く、伝統的にもものづくり立国であるドイツが、インターネット高度活用で製造業革新をめざす政策を政府主導で打ち出した点だ。Industrie 4.0の実現は「製造業とネットの融合」ともいわれる。生産現場のIoT化に向けた政策を、ほかならぬドイツが打ち出したことは、日本にとって注目に値する。

政策が出てきた経緯を略述すると、広くイノベーションの推進をめざすドイツは、その取り組みの基本方針「ハイテク戦略2020」を2010年に閣議決定し、さらに同戦略を具体化した「ハイテク戦略2020行動計画」を2012年に決定した。その行動計画の中に「未来プロジェクト10」と呼ばれる省庁横断型プロジェクト10本が立てられ、実施が決定されたが、そのなかのひとつとして登場したのが「Industrie 4.0プロジェクト」だ。ドイツ国内でIndustrie 4.0に関して議論が開始されたのは、2011年頃からのことである（岩本、2015、38頁）。

ハイテク戦略2020と未来プロジェクト10を所管するのは教育研究省と経済エネルギー省である。未来プロジェクト10に対して2012～2015年に合計84億ユーロの助成が予定されている。2013年には、関心をもつ企業や業界団体を会員とする「プラットフォーム

Industrie 4.0」も立ち上げられ、産業界への普及・啓蒙に努めている（岩本、2015、38-40頁）。

こうして体制整備が進むとともに、アメリカ企業のイニシアティブで設立された IIC の動きからの影響もあって、ドイツにおける Industrie 4.0 の取り組みは、当初の政府主導から民間企業主導へと、次第に変質しつつある（岩本、2015、42 頁）。

さてわれわれのヒヤリングによると、ドイツの Industrie 4.0 で特に注目すべきは以下の諸点である。

（1）**Industrie 4.0 の背景** 主要国 GDP に占める製造業比率をみると、米、英、仏の約 10% と対比し、ドイツと日本は 20% 程度と高く、製造業が強みだという点でドイツは日本と似ている。そのドイツが製造業の IoT 化を通じて国際競争力を一層高める取り組みを進めている。

重要なことは、Industrie 4.0 の背景には約 10 年先を展望したドイツの長期戦略があり、それを具体化した行動計画に盛り込まれたプロジェクトのひとつが 4.0 だということである。キャッチコピーだけが話題になっている節もあるが、4.0 はまさに長期戦略を背後にもった取り組みだという点を正しく認識することが重要だ。

（2）**連邦政府と州政府の役割分担** Industrie 4.0 で特徴的なのは連邦政府のリーダーシップである。産業政策とイノベーションは、ドイツではこれまで連邦政府でなく州政府の担当だったが、そのなかで国際戦略と標準化については、2015 年に、連邦政府がより深く関与できるように法改正がおこなわれた。

連邦政府が国際戦略・標準化などの議論に取り組む一方、州政府は産業政策とイノベーションを担う。州政府の取組例としては、例えばバイエルン州では Bayern Digital という指針が出され、①産業横断型の研究開発プラットフォームの創出、②中小企業のデジタル化支援、③2030 年までにスタートアップ企業 3000 社、を目標としている。

（3）**政策の力点は中小企業に** Industrie 4.0 の最重要ターゲットは中小企業である。ドイツ製造業の特徴は中小企業の比重の大きさであり、国の輸出総額で中小企業の占める割合は 19.2% に及ぶ（日本は 2.8%）。ドイツの中小企業には、“hidden champion”（隠れたチャンピオン企業）とも呼ばれる、高い技術力をもった独立性の高い企業が多い。デジタル化との関連では、大企業の場合各社の取り組みに任せておいてよいが、中小企業の場合そういう訳にはいかず、政府による積極的な働きかけが必要だ。

中小企業が今後グローバル市場で競争していくためには、製品の力に加えて、データ解析をしてメンテナンスのシステムを構築するなどのサービスの力も重要だ。そのため中小企業には IoT 化が必要と考えるドイツ政府は、デジタル化を試すテストの場を設けたり、ユースケースを蓄積し紹介したりするなど、中小企業の IoT 化を促進するインフラづくりに取り組んでいる。

（4）**ドイツ規格を欧州規格へ** ドイツのデジタル化政策のさらにその上位に、EU のデジタル化政策があることも忘れてはならない。EU は 2010 年 3 月に欧州経済戦略

「Europe2020」を策定し、その柱のひとつとしてデジタル・アジェンダを推進中だ。つまり 2020 年の前に欧州戦略の見直しがあり得、ドイツの Industrie 4.0 はこれに先行して進められているとも考えられる。仮に 4.0 でドイツ規格が生まれ、それが欧州規格になったら、日本への影響は小さくないだろう。

(5) アメリカとの競合 Industrie 4.0 と Industrial Internet は互いに競合する面があり、とりわけ標準化関連でそうだ。この競合ではどちらが有利か。IIC の動きもあり、企業主導の Industrial Internet の方が、動きにスピード感があって強いという声はドイツ国内にもある。ただしドイツとしては、法的・社会的な対応も含めて考えるドイツの方が、将来的には優位性があると考えている。

なおわれわれの訪問時点では、ドイツの Industrie 4.0 の動きとアメリカ主体の Industrial Internet の動きとは互いに利害が対立し、標準獲得争いで競合するとみる意見がヒヤリングの中にも出ていたが、その後 2 つの推進団体が連携する動きが表面化した。

公開情報³によると、ドイツ政府が 4.0 政策の推進のために作った共同機関である「プラットフォーム Industrie 4.0」と、GE 等が中心になって創設された IIC という 2 つの推進団体がこのほど手を組んで、互いに進める実証事業の情報を交換し、規格の標準化に向けて努力することになった⁴。

同記事によると、IIC は欧州、日本、インドなどの企業・大学・団体なども加わり、今や約 250 の企業等が参加する大組織になり、スピード感あふれる取り組みを進めている。その IIC と 4.0 陣営とが、互いに競合する関係から一転して手を組んだのだ。この独米連携の構図の中で、日本の立ち位置が難しくなったことは否めない。

4. 日本の先駆事例の先進性

以上のレポートから、Industrie 4.0 と Industrial Internet をめぐる動きは、単なるバズワードのやりとりだけではないことがわかる。そのキャッチコピーの下で、IoT の可能性を活かした先進的実験や、国際標準づくりのための作業など、多様な取り組みが進んでいる。人目を引く展示から地道な作業結果に至るまで、未だ断片的ながらいろいろな成果も出始めている。日本としては取り組みの動向を注視していく必要がある。

しかしここで確認しておきたいことは、類似の先進性をもった取り組みが、日本企業の過去の実践のなかにあったという事実である。この関連では、建設機械のコマツと自動車のトヨタの 2 事例が代表的だ。

第 1 に、コマツのいわゆる「アフターマーケット戦略」は ICT を巧みに活用した、評価

³<http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/PressReleases/2016/2016-03-02-kooperati-on-iic.html>。なお日本の報道記事は『日本経済新聞』2016年3月22日。

⁴日経報道(脚注3)によると、今回連携することとなった2つの協議機関の仲介役を果たしたのはドイツ企業、具体的にはボッシュと SAP の2社であるという。

の高い取り組みであるが、同事例は、**Industrie 4.0** や **Industrial Internet** の先駆事例とも見ることができる。

建設機械には元来メンテナンスや修理が欠かせない。本体販売後のサービス・サポートがなければ顧客に十分な価値を提供できないのが建機だと言っても過言ではない。この本体販売後のサービス事業の総称が「アフターマーケット」事業であり、売上げの中心は取換部品代と工賃（人件費）である。

アフターマーケットは、販売代理店とメーカーの双方にとって魅力的なビジネス領域に見えるが、煩雑な業務が求められ、収益化は容易でない。そこでコマツは、アフターマーケット業務に必要な情報を効率よくハンドリングするツールとして、2種類の ICT システムを構築した。第1は **KOMTRAX** というセンサーと通信機能を備えたシステムであり、建設機械にその装置を標準装備している。これは衛星および地上回線で機械の位置を特定できる GPS 機能をもつほか、機械が稼働中か否か、燃料がどれくらい残っているかといった情報を、コマツのデータセンターに送ってくる。ユーザーと販売店とコマツは、それによって機械の稼働情報を共有することができる。第2は **CSS-Net** とよばれ、コマツが蓄積してきた機械に関する膨大な技術情報をデータベース化し、その中から必要情報を素早く検索・入手し、販売店が迅速に機械サポートできるシステムである。

以上のような情報システムに支えられて、コマツのアフターマーケット事業は収益化を実現してきた。この事業は、①粗利が大きい（推定 50%）、②新車が売れないときに比較的堅い需要がある、といったように新車販売とは違った特徴をもち、近年のコマツの業績への貢献は着実に拡大している。

コマツのアフターマーケット戦略は次の2点で注目に値する。第1は、事業化に当たり当初からそれをコストセンターとしてではなく、プロフィットセンターとして位置づけ、メーカーが「サービスを売る」ビジネスモデルを確立するねらいがあった点である。第2は、センサー活用の先駆事例としてコマツの **KOMTRAX** がよく取り上げられるが、システム構築の際にコマツは先進技術だけにこだわらず、**CSS** では劣悪な通信環境下でも機能する既存技術を組み合わせ活用するなど、むしろ特定のハードウェア・データ環境に縛られない柔軟なシステム構成をめざした点である。この柔軟性があったからこそ、後の **IoT** の時代になって、適応力の大きなシステムとして力を発揮することになるのだ。

ヒヤリングによると、アフターマーケット領域で使われている **KOMTRAX** のようなシステムがコマツ社内で本格的に実用化されたのは 1990 年代後半のことであり、起点となったのは、「情報化武装」という会社方針が打ち出された 1995-6 年のことである。コマツのアフターマーケット戦略は、**ICT** の活用でいわゆる「サービタイゼーション」を実践した先駆的事例であり、その取り組みの先進性には疑問の余地がない。

第2に取り上げるのはトヨタ生産システムである。トヨタ生産システムはドイツにおける **Industrie 4.0** の先駆的実践事例と見ることができる。理由は、部品生産から完成品組み立て、流通・販売までが同期化（synchronize）され、価値連鎖の流れを全体として最適化・

効率化するという基本的考え方を、両者は共有しているからだ。

周知のように、トヨタ生産システムは大きく 3 つの構成要素から成り立っている。まずトヨタ生産システムの 2 本柱と呼ばれる「ジャスト・イン・タイム」と「自動化」があり、この 2 本柱の基礎にあるのが「平準化生産」の考え方である⁵。

ジャスト・イン・タイムとは、組み立てに必要な部品が必要なときにその都度、必要なだけ、生産ラインに到着することを意味する。一方、ニンベンの付いた自動化、すなわち自動化とは、機械でいうと自動停止装置の付いた機械を意味し、機械に異常があれば直ちにそれを停止して、問題を原因からつぶしていこうとする考え方をさす。

そして、ジャスト・イン・タイムと自動化の基礎にあるのが、生産工程全体に「流れをつくる」という考え方だ。トヨタの部品引き取りでは後工程引き取りが原則であるが、後工程引き取りで各工程を同期化した場合、最終工程の生産のバラツキが大きければ、前工程が余分の人と設備を抱え込まざるを得なくなる。それを回避するには、最終工程の完成車組立ラインのロットを極力小さくし、同じものを続けて流さない「平準化」の考え方に立つことである。

あえて一般化を急げば、トヨタ生産システムで最も重視されるのは、この「流れをつくる」ということであり、しかも「流れをつくる」範囲がトヨタの場合、二重の意味で広い点が重要だ。すなわち部品生産から完成品組み立て、さらには販売に至るまでが同期化され、その流れを全体として最適化・効率化するという基本的アイデアの広さであり、そしてまたそのシステムの適用範囲を社内だけにとどめずに、長期安定取引先 (= 系列) にまで拡張したという意味での広さである。ただし、システムの適用範囲が広いとはいえ、系列以外の取引相手は適用範囲外である⁶。

このように広い意味で「流れをつくる」ことを重視した生産システムの、トヨタにおける取り組みの萌芽は、初期の実験的な試みも含めて言えば、既に 1950 年頃に生まれている。そしてその後、長期に渡る試行錯誤が続けられたのだ (大野、1978)。

一方、Industrie 4.0 に関しては、ものづくりに関連したあらゆることを「つなげる」ことがそのねらいだという永野博の洞察に言及した。4.0 がめざすものは「デジタル統合」だとも言われる。デジタル統合とは何か。スマートファクトリーの素朴な例で説明すれば、工場の生産ラインを構成する多数の機械と、ラインを流れる製品がすべてインターネットに接続され、「自律的に」行動できるようスマート化されている——これがデジタル統合の初期的イメージだ。

要するにトヨタ生産システムは、部品生産から完成品組み立て、流通・販売までが同期

⁵ 以下では、拙稿 (榊原、1988) に基づき、トヨタ生産システムに関する必要最低限の説明にとどめる。

⁶ トヨタがその生産システムを特定サプライヤーに限定適用するのは、個別企業の戦略的判断として当然である。同様にドイツの Industrie 4.0 政策が、個別企業の枠を超えたインフラ作りを目指すのも、公共政策として当然のことである。

化され、価値連鎖の流れを全体として最適化・効率化するという基本的考え方を、Industrie 4.0 と共有し、それゆえに 4.0 の先駆的実践事例だというのが、われわれの理解である。

以上、この節で取り上げたのは 2 事例に過ぎないが、わずか 2 事例とはいえ、年代的に先行する過去の日本の実践事例のなかに、Industrie 4.0 や Industrial Internet でお馴染みの基本的アイデアと共通性の高いものを見出すことができた。同様の先進的取り組みは 2 事例以外にも日本で見出せる、と展望するわれわれは、個別の企業努力の範囲内で見ることができ、ものづくり日本の最先端は世界の最先端でもあり、決して遅れていない、と考えている。

5. ドイツにはあるが日本にはないもの

さてしかし、日本とドイツは共に製造業立国を志向する点で共通ながら、イノベーション・エコシステムとして日独を比較したとき、ドイツにあって、その対応物が日本にはないものがある。言い換えると、イノベーション・エコシステムのプレイヤーとして、ドイツでは重要な役割を演じているが、日本ではその等価物が見当たらないか、あるいは「端役」に甘んじている——、そんな例に気づくのだ。おもなものを列挙する。

(1) **独立系の中小企業** 一国の経済の中で中小企業 (Small and Medium-sized Enterprises, or SMEs) が圧倒的に多いという点は、日本もドイツも共通だ。しかし独立系の中小企業がドイツには多いが、日本には少ない。

ここで独立系の SMEs とは、例えば自社ブランド品を海外で販売するといった、情報発信力と国際性をもった SMEs である。この独立系 SMEs の比重がドイツでは高く、日本では低い。日本の SMEs はどちらかと言うと部材加工特化型の中間業者が中心だ。

Industrie 4.0 において、ドイツは、そうした独立系の特徴をもった自国の SMEs を最重要ターゲットとし、IoT 化でその競争力の更なる強化へ向けた施策を打ち出している。

(2) **応用技術に焦点を当てたフラウンホーファー研究所** ドイツには、産業界に直接転用できる応用技術の開発を目的とした非営利研究機関 Fraunhofer Gesellschaft (フラウンホーファー協会) という独特の組織があり、ドイツ国内中心に 66 の研究所をもっている。収入の約 3 割は政府資金なので公的研究機関とも言えるが、残りの 7 割は民間企業が支払った委託研究費を中心とする外部資金なので、半官半民の研究機関とも言える。ドイツ産業界に対して Fraunhofer は有用な技術の開発と移転を通じて貢献しているのみならず、人材供給源としても貢献している (Fraunhofer, 2015)。

日本では、強いて言えば産業技術総合研究所(略称・産総研)が Fraunhofer の対応物であるが、産総研は純然たる公的研究機関であり、企業からの委託研究は限られ (2014 年度決算で産総研の収入総額に占める受託収入の比率を計算すると 13.5%にすぎない)、テーマも基礎的・基盤的研究から製品化研究まで、幅広いのが特徴だ。Fraunhofer の対応物は日本

には存在しないと言うべきだろう⁷。

(3) **世界企業としての巨大ソフトウェア会社 SAP** SAP は元々ドイツ IBM からスピニングアウトして生まれた企業であり、売上規模で現在世界 3 位、企業向けアプリケーションの分野に限ると世界 1 位のソフトウェア会社だ。規模を見ても、グローバル企業としてイニシアティブを発揮する力を考えても、ドイツの SAP の対応物は日本のソフトウェア会社の中には存在しないと言ってよい。

ドイツの **Industrie 4.0** を含む一連の政策に対しては、シーメンス、ボッシュ、SAP を含むドイツの大企業数社が影響を与えたことは容易に推察できるが、その中でも、強い統合志向をもった **Industrie 4.0** への SAP の影響は、とりわけ強かったと思われる⁸。

(4) **産業・イノベーション政策を主導する強い州政府** 既に述べたように、産業政策とイノベーションは、ドイツではこれまで連邦政府ではなく州政府の担当だった。州政府はドイツのイノベーション・エコシステムの重要なプレイヤーなのだ。このようなドイツの分権制と類似の意味で、日本の都道府県などの地方政府がリーダーシップを発揮するのは想定困難だ。

(5) **戦略的な連携関係にある EU の存在** ドイツが何らかの政策を打ち出すときに、その上位に EU の政策がある場合には、日本として特段の注意が必要だという点は、既に何か所かで指摘してきた。EU の存在も、その等価物を日本がもっていない例のひとつではないだろうか。

以上、ドイツにあって日本にはないものを簡単に列挙してきた。このリストは、今後日本独自のイノベーション・エコシステムの機能強化をめざして、日本としてどう取り組んでいくべきか、特に何が不足しているかを考える際に示唆的であろう。

6. むすび：日本の課題

小論を閉じるにあたり、調査不足と記述の粗さが残る点をまずはお詫びしたい。今後調査を加え、記述の精緻化を図るが、ひとまず現段階で日本の課題をリストアップして、むすびに代えたい。

第 1 は、IoT 関連の技術を、基本的に日本ではこれまで企業ごとにばらばらに開発してきたが、今後は工場や企業の枠を超えて共有・活用する先進システムへ展開していくことが課題である。そうした展開に対する技術的障壁は着実に低くなっている。

第 2 に、日本の SMEs の課題であり、IoT 活用の成功事例を SMEs のなかにつくっていくことが重要だ。その結果、経営の独立性を高め、国際展開できる自立した SMEs が増え

⁷ この観点からは日本の「公設試」と呼ばれている、500 を超える公設試験研究機関の活動に着目すべきかもしれない。

⁸ SAP は 1990 年代に急成長した会社であり、<企業の様々な基幹情報を中央のデータベースで統合する>ことを謳った ERP (Enterprise Resource Planning, 統合基幹業務システム) の有力ベンダーである。

ていくことが望ましい。

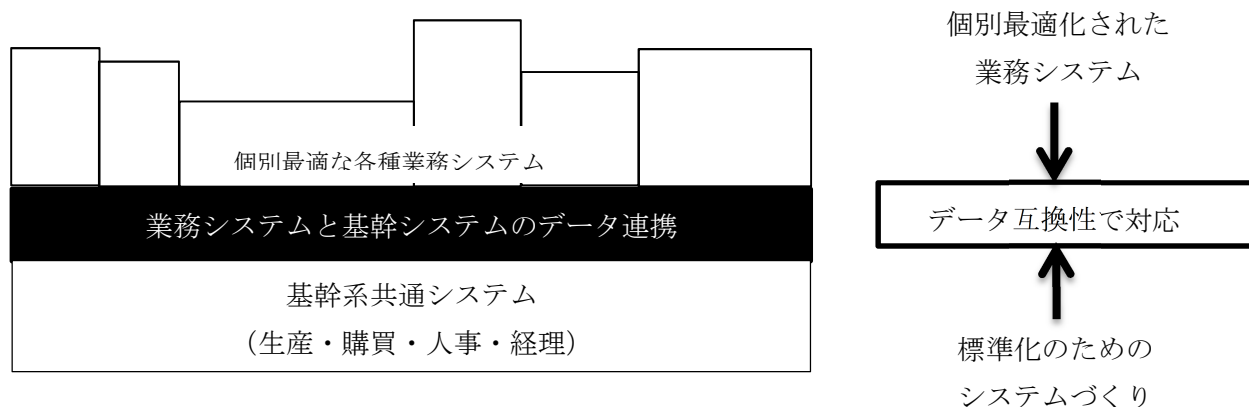
第3に、ドイツの **Industrie 4.0** における標準化関連の取り組みには、可能な限り日本も参加していくべきである。標準化との関連では国内に閉じこもってはいけない。国際連携が必要だ。そしてこの点との関連では、日本政府がこのほど発表した「IoT 技術での日独連携」は歓迎すべきことである（『日本経済新聞』、2016年4月13日）。

第4に「システム統合」の問題があり、これは難問だ。**Industrie 4.0** では、個々の技術やシステムは当然重要だが、それらを接続した全体の最適化が最も重視されている。ここでいう「全体の最適化」は「価値連鎖全体にわたるエンジニアリングの、徹底的なデジタル統合」（**End-to-end digital integration of engineering across the entire value chain**）とも表現されている。これを「システム統合」と呼べば、システム統合は日本がいま追求すべき正しい目標かどうかという問題がある。

システム統合の問題

ドイツの **Industrie 4.0** が掲げる「システム統合」から、多くの日本企業は **SAP** など、代表的な **ERP** ベンダーがかつて用いた営業トークを想起するのではないか。そしてその営業トークを信じて **ERP** を導入したものの、「使い勝手の悪い部分最適のシステムだった」との不満も、併せて思い出すのではないか。使い勝手の悪さはしかし、**ERP** ベンダーに言わせると、システムの推奨パッケージをそのまま用いず、要はカスタマイズしたユーザー側の責任だということになる。

図2 日本企業の「分断したシステム構造」



ベンダーとユーザーのどちらに責任があるかはともかく、重要なことは、結果として日本企業の現状が「分断したシステム構造」になっていることだ。図2はその状況をイメー

ジ図に描いたもので⁹、(例えば販売戦略に合わせた)個別最適な業務系システムと、(世界の工場での生産に必要な標準化のための)基幹系システムという、2つのレイヤーに進化が分断され、両方のレイヤー間をデータ互換性で対応している日本企業の現状を描いている。

一方、Industrie 4.0の基本的考え方は、図2の業務システムと基幹系システムのすべてを一括したひとつのシステムに統合することであり、それによって「他社」とのデータ互換も簡単になり、業界の競争力強化にもつながると考えているのだろう。その背後にIoTの進化があることも明らかだ。

日本企業は、個別最適化された業務システムで高効率を実現してきたが、同時にその反面システム構造が分断化し、バラバラになってしまい、他との互換性がとりにくくなってしまった。その結果、内部効率が低下すると共に、外部との連携も困難になってきた——というのが多くの日本企業の現状ではあるまいか。

問われているのは、未来社会を創っていくときの、対照的な方法論の選択問題だ。一方には、完全なシステム統合は幻想と割り切って、当面視野の外に置き、むしろ現実的・実地的な標的を目先の課題に定め、出来るところから統合度を高める努力を積み上げていく方法がある。他方には、強力にイニシアティブを発揮するリーダーをいただき、構想や夢やビジョンなど、要するに「大きな絵」を描いて、到達イメージを共有し、それに向かって集団努力を結集する方法がある。

ドイツとアメリカにはIndustrie 4.0やIndustrial Internetに関わり、強力にイニシアティブを発揮してきたシンボリックなリーダーがいる。ドイツ首相のアンゲラ・メルケルとGE社CEOのジェフリー・イメルトがそうだ。この二人を中心に、それぞれ「大きな絵」が描かれ、運動の求心力となってきた。

日本はそれに対して、例えば「技術のロードマップ」など、ディテールの細部にわたる作り込みは得意だが、「大きな絵」を描くのは従来から不得手であり、一番弱い所であった。新しい得意技の獲得が、日本にも必要ではないだろうか。

[参考文献]

Fraunhofer, *Annual Report 2014*, Fraunhofer-Gesellschaft, Munchen 2015.

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』日刊工業新聞社、2015年。

永野博『ドイツに学ぶ科学技術政策』近代科学社、2016年。

⁹作画に当たり機械メーカーのベテラン実務家の協力を得た。

大野耐一『トヨタ生産方式——脱規模の経営をめざして——』ダイヤモンド社、1978年。

長内厚・榊原清則『アフターマーケット戦略』白桃書房、2012年。

榊原清則稿「生産システムにおける革新:トヨタのケース」、伊丹他著『競争と革新——自動車産業の企業成長』東洋経済新報社、1988年、79-106頁。