

時代の転機を見つめるⅡ

— IoT を巡るドイツとアメリカ、そして日本での展開とその将来 —

関 下 稔

目次

はじめに—承前—

1. IoT の意味するもの
2. ドイツの「インダストリー 4.0」
3. アメリカの Advanced Manufacturing と IIC (GE)
4. 日本の「ロボットセル生産」
5. モノ作りの将来を見つめて—全体の評価に代えて—

はじめに—承前—

前稿¹⁾で強調したように、2015年は時代の転機を強く予感させる年である。そこでその主な事象をテーマとして取り上げ、順次検討していこうと考え、まずはアジアにおける動向に注目して、一方での中国が中心になって作り出しつつある AIIB (アジアインフラ開発銀行) や BRICS 開発銀行と、他方でのアメリカと日本が中心になって推進している TPP (環太平洋戦略的経済連携協定) を対比させながら、その対抗と協調の関係の概要を論じ、合わせて東アジアの海域をめぐる関係諸国の安全保障問題にも関説した。それは、アジアが一方では TPP が目指しているように、太平洋を挟んで南北アメリカやオセアニア諸国と結合すると同時に、他方では中国のユーラシア構想に盛られているように、中央アジアの開発や東欧諸国との連携ばかりでなく、遠く EU 諸国とも「一带一路」の関係を築こうとしていて、時代はまさにグローバル社会の到来を待望しているかのようである。その意味で、長い間体制間の対抗や分断国家などの「冷戦の遺制」に悩まされてきたこの地域にも、ようやくそこからの脱却を志向しようとする機運が高まってきて、経済交流が活発化し、経済統合への動きも一段と進んでいくように考えられたが、事態の推移をみていると、必ずしもそうとも言い切れない。

というのは、上記のメガFTAにはさらにASEANが中心になったRCEP（東アジア地域包括的経済連携）や日中韓FTA、また日欧間EPA（経済連携協定）などが陸続として続いていて、到底一筋縄にはいかない複雑な事情がそこには伏在するからである。TPPやAIIBには特にその傾向が強いが、これらの構想には異なる原理（principle）や規範（norm）、あるいは規則（rule）や手続き（procedure）などの「国際レジーム」が基底におかれていて、そこでは自組織内への包摂を企図した、いわばスタンダードを巡る猛烈な競争と駆け引きが、直接的な経済的利益の得失のためばかりでなく、「共益圏」確立のための政治的なパワーゲームとしても展開されているからである。そして合意と参加にあたっての妥協、譲歩、裏取引、あるいは恫喝まがいの強要などが執拗に、そして多くは秘密裡に策動されていって、国民には知らされずに進行していくことになる。さらにグローバル時代の到来とともに吹き荒れた新自由主義の嵐とその蔓延は、むき出しの致富要求を各国内で顕わにさせていて、これまでの体制間の、イデオロギー的な正当性や対抗に代わって、今度は実利を求めて「国益重視」の名の下にナショナリズムを鼓吹して国家的な一体感を演出して、グローバル時代における自国の存在価値を高めようとする志向が強まっている。しかしそれはナショナリズムの擁護を通じる国民全体の利益の拡大と前進には結びつかず、巨大なグローバル企業や国有企業、あるいは有力産業の利益を優先させがちなため、むしろ国内の諸階層の利害対立を助長し、国民的な分裂を生み、今度はそれを押さえ込むため、上からの強権的で強引な政治的・行政的な手法が使われたり、あるいは言葉巧みな経済的実利の一面的な強調による推進などが謳われたりしていく。さらにアジアへの重心移動を掲げ、覇権国的な思考を止めないアメリカの政治的・軍事的な関与がそれに加重され、他方ではそれに対抗する中国の軍事的なプレゼンスも強まってきている。それらの結果、事態は複合的な性格を益々帯びていき、全体としては政治的・軍事的緊張が次第に強まってきている。

しかもオバマ政権のアジアへの重心移動の空隙をついたかのようにして、イスラム世界における紛争が次々と勃発、しかも激化してきていて、事態は容易には鎮静化する兆しを見せていない。その結果、中近東からアジアにかけて政治的な不安定性と軍事的緊張関係はかえって増大してきている。しかも事態はそれだけに止まらない。アメリカが踏み切った「イスラム国家(IS)」への無人機などによる爆撃は多数の住民の犠牲を生み出し、現地における政治的・人道的抑圧も加わって、それらの被害から逃れようとする多くの難民がヨーロッパに押し寄せ、EU諸国でも深刻な政治的・社会的問題を生み出し、対応に当たっての各国間の足並みの乱れが生じている。かくしてイスラム世界における紛争激化や社会的混乱、そして政治的不安定性の拡大がヨーロッパとアジアの双方に波及していくという、グローバル世界のネガティブな面がかえって浮き彫りにされてきている。そしてこれらのことを踏まえると、21世紀を「アジアの世紀」と称える、希望に満ちた未来像を簡単には描くことはできないだろう。とはいうもの

の、趨勢的には今後の世界経済はアジアを中心軸にして回転していくことは否定出来ないだろう。内部に深刻な主導権争いと利害対立が伏在するとはいえ、世界人口のおよそ半分を占めるこの地域がグローバル世界を牽引していく強固な力になるし、その力が世界全体の平和と繁栄に大きく寄与することにもなろう。そしてその扉を TPP や AIIB が開いたことは、疑いもない事実である。

さて今度はこのグローバル経済の進展に伴って、その基礎になる新しい科学・技術の発展と展開を織り込んだ「新機軸」に着目してみよう。これらを総称するものとして、IoT (Internet of Things, モノのインターネット化)²⁾ という言葉がにわかに喧伝されるようになってきた。パソコンとインターネットに代表される、この数十年における情報・通信の革新と深化—これは「IT 革命」(情報) とか「ICT 革命」(情報・通信) と略称されているが、筆者は両者を特別に区別せずに、通信分野を特別に意識しない限りは、情報の中に包摂されるものとして、一般的には前者の表現を使うことにしている—が経済活動全般のみならず、生活、文化、娯楽の隅々にまで浸透してきている。とりわけ、最近では製造活動での大型機械設備や部品類における IT 技術の活用とそのネットワーク化が話題になり始め、それを象徴する言葉として、この IoT という言葉が頻繁に使われるようになってきた。そこでこれを素材として取り上げ、その内容を検討してみたい。なお従来は生産における部品類の供給システムを表すものとして、主として系列内での垂直的な関係を指して、サプライチェーンという言葉が使われてきた。もちろん、両者にはオーバーラップする部分もあるが、わざわざ IoT という言葉を使うのは、インターネットを活用した共通のスタンダードに基づく水平的なネットワークを主に強調したためである。

この IoT の展開だが、現在、先頭切ってこれに邁進しているドイツでは、麗々しくも「インダストリー 4.0」(第四の産業革命) という名称まで冠して、これを国家ぐるみの一大産業政策として大々的に進めている。そして製造工業における優位性を確保して、それをグローバルなスタンダードにまで高めようとしている。一方アメリカでもオバマ政権が製造業の復活に力を入れていて、その内容を Advanced Manufacturing (進化したモノ作り)—筆者はこれが産業全体を総称する場合には「高度先進製造業」という邦訳名を当てることにする—と名付けて、その推進を謳ってきた。ただしアメリカではその具体的展開は民間主導で行われていて、有力各社はそのために自らが開発したソフトをデファクト (de Facto) スタンダード (競争を通じた勝者による事実上のスタンダードの確立) にしようとして、ネットワーク作りを競い合っている状況である。中でも代表例はジェネラルエレクトリック (GE) 社が自社のソフト—Predix—を中心においた IIC (Industrial Internet Consortium) というネットワークを立ち上げ、そのデファクトスタンダード化を目指して、精力的に活動している。また EU 内のイギリスやフランスはもとより、新興国の中国やインドでも重点的にこれに取り組んでいる。これらに比較すると、いささか立ち後れの感があった日本でも、ロボット生産世界一という特色を

生かしてこれを推進しようとして、「ロボットセル生産」という呼び名で、製造活動におけるロボットやAI（人工知能）の活用と、それをネットワークで結びつける生産活動を強化ようとしている。ただし我が国の場合は伝統的に部品メーカーを下請協力会に組織して、自社内への囲い込みを得意としてきたため、それぞれは優秀で先進的なものではあっても、独自で強力なソフトウェアを基礎にした、各企業を横断する共通のネットワーク作りには不熱心で、それが欧米流との違いを一場合によっては遅れをも一生んでいるという評価ないしは批判もある。いずれにせよ、これら各国での展開を比較して、その内容を詳細に検討することが、この課題の究明には必要かつ不可欠になろう。しかも時代は今やIoTばかりであり、そこから派生して金融面での展開をフィンテック（Finance+Technology）という造語で表したりもしている。それにはさらに各種サービス部門での援用と展開—ヒトがネットで結ばれることではIoA（Internet of Abilities, 能力発揮の連鎖）ともいわれる—も続いている。なおこれらについては、本稿では扱わない。

そこで、多様な展開を示しているこれら各国の内容を概括して、それらを比較・秤量しながら、現時点での全体的な評価を下してみたい。そこで以下での展開の順序だが、まずIoTが叫ばれるようになった背景とその意味合いを明らかにした上で、次にドイツ、アメリカ、そして日本を代表例にとって、その展開の特徴について概説したうえで、最後に全体をまとめて、その評価を行い、合わせてその将来を展望してみたい。

1. IoTの意味するもの

最近にわかに急浮上してきたIoT（モノのインターネット化）という言葉は、一見すると科学的で厳密なもののように見えるが、その実かなり漠然として曖昧な概念であって、その中には多様で雑多なものが多く詰め込まれている。また実際にも、こうしたことを反映して、かなり多義的に使われている。だからその真相に迫るには、バラバラなものを列記するのではなく、その中から共通するものを選び分けていく必要がある。一般的な意味合いでは、あらゆるモノが、土台となる共通のソフトウェアを基礎にしてインターネットで結ばれることだが、今注目を集めているのは、そのうちの製造と保守・保全と制御、そして生産上の連携における大型機械設備やその構成部品の態様と関連に関わる問題で、本稿でもそこに焦点を当てて考えてみたい。具体的には機械や部品類にセンサーを取り付けて、その情報を逐一コンピューターームでモニタリングし、その動向をリアルタイムで把握することによって、生産コストの削減や最適化、効率化、時間短縮を図り、不足資材・部品等の適切な配備や追加配送、さらには故障への即座で迅速な対応、また進んでは事前に故障の予防などを図ろうとするものであり、そのためには共通のソフトウェアによるスタンダードの確立と、それに基づくネットワークの形成がと

りわけ大事になることだと、大要理解してよいだろう。

大型機械や構成部品などの保守・点検・置換は生産活動のスムーズな作動のためには大事な要素であり、これまでも常に注意が払われてきた。だがそこでは定期点検ないしは故障発生時の臨時的な対応が基本であり、そのためには生産設備の稼働を一旦止めて、特別に点検作業をしたり、寿命のきた部品の更新をしたり、故障が発生した際に事後的に故障部品類の置換をするのが通例であった。そうすると、連続性の遮断による生産上の空隙や、あらかじめ故障に備えて予備的に部品類を常備しておいたり、あるいはまだ使用可能なものでも一律に取り替えたりといった、いわば機械的で他律的な対応が通常であった。つまりそこでは生産遂行上は余分な時間や空費ともいふべきものの発生、また部品類の、概算や経験に基づく予備在庫の滞留、あるいは不測事態への臨時的な対応などが求められることになる。これらにたいして、できるだけ短時間で対処したり、正確で適切な在庫量を計算してストックないしはスタンバイしておいたり、あるいは事後処理的な対応をできるだけ避けて、常に保全に努めていこうというのが、このIoTの狙い目のひとつである。そのためにセンサーとコンピュータシステムを結びつけ、さらには共通のソフトウェアに基づいてインターネットで繋いで連携を持たせ、膨大なデータ（ビッグデータ）をほぼリアルタイムで解析し、変化や不測の事態に常時対応し、かつ十分なコントロール下において常に良好な状態に維持していこうとするもので、そして最終的には「予知保全」にまで至ろうとするとところに新しさがある。

もう一つには、部品製造から完成品の生産までが同一企業内で行われず、通常は分業の利益を利用して異なる企業間の連携と協力によって進められるので、そこには生産上の連鎖が幾層にも生まれることになる。その際に異なる仕様や数量、形状、時期などの多種多様な要求にたいして、市場でのその都度の購入によって対応することは無論のこと、顧客関係が出来上がっているお得意先であっても、そうした注文に即座に応じることは容易ではない。それがもし共通の基本ソフトウェアを介して同一スタンダードによって統一され、かつインターネットによって連携されて、あらかじめ生産上の予定が判明していて、かつリアルタイムでその状況を把握出来ていれば、無駄なくスムーズに、生産が途切れずに連続して行えることになる。そのためには、部品生産から完成品製造までの統一した生産システムを構築して、一貫した仕様と一連の作業によって連続的・継続的に行おうとすることが、とりわけモジュール生産と呼ばれる「組み合わせ型」の生産システムが隆盛になるにつれて、浮上してきた。なかでもグローバル化の進展にともなって、世界中からの発注という空間的な広がり—つまり空間圧縮作用—に止まらず、即座に応じるという時間短縮作用が競争上極めて重要になる中で、これまで以上に多品種、多仕様、変量生産という、新たなグローバル生産への適切な対応の仕方が模索され、IoTがその解決策の一つとして登場してきた。そこでこのメリットを取り入れて、同一スタンダードに基づく統合生産を行おうとし、そのために有効なソフトウェアを開発し、設置し、そ

して作動させ、さらには普及させていって、最終的には統一していこうというのである。

なお日本では同一企業内ではないにもかかわらず、部品メーカーを同一系列内に包摂する「摺り合わせ型」の生産システムが隆盛であり、それは下請系列化として、「カンバン方式」とか「トヨタイズム」とか呼ばれて、日本的な生産システムの優位性として世界に君臨してきた。だから欧米流の「組み合わせ型」生産と日本流の「摺り合わせ型」生産は同一スタンダードの敷設という共通性を持ちながらも、前者では主として独立の企業間の分業体制の発展として展開され、後者では形式的には独立の形をとりながらも、事実上は下請系列化への組織化として展開されるという、違いを持っている。ただし後者では同一企業系列内だけの垂直的な関係であって、企業系列が違えば、異なるスタンダードが支配することになるので、厳密にいうと、産業通貫的なスタンダードと呼べるかどうかについては多分に疑問符が付く。したがって、正確には「疑似スタンダード」というべきかもしれない。しかも各社はソフトウェアといった定式化されたものに依拠するよりも、むしろ同一企業系列内での長年の「カン」や「コツ」といった無形の「暗黙知」—それはそれで「摺り合わせ型」の場合には有効なのだが—に頼りがちである。これに対して、前者では同一ソフトウェアを使った共通スタンダードに基づく横への水平的な関係として、産業全体を支配することになる。その差は自系列内にクローズドされたままか、それとも広くオープンになるかであり、そこでは中心に位置するソフトウェアをしっかりと確保して、それを通じた組織化が成功するかどうかか鍵になる。そうした違いがあるものの、一種のスタンダードの確立が両者に通貫する特徴であり、このことがコンピュータシステムとインターネットの普及と有力ソフトウェアによる組織化、そしてスタンダード確立とその知財化による莫大な利益の獲得という、現段階の経済活動全般の特徴を端的に示している。

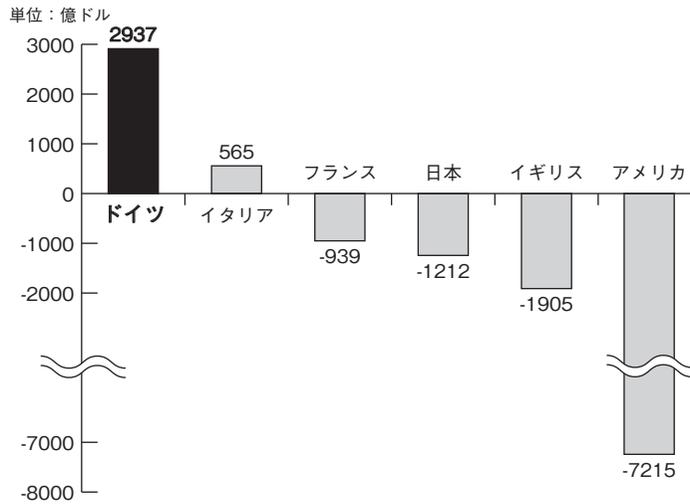
以上述べたうちの、前者の方式がアメリカのGEに典型に見られるものである。航空機エンジンなどの大型機械設備を得意にしてきたGEでは、最終的には予知保全に繋がる機械・部品の保守・点検・保全並びに制御を主要な目的にして、このIoTの展開を考えている。そして自らのソフトであるPredixをスタンダードにして、その他の関連メーカーとの一体化を目指している。それは適切な制御に基づく危険回避と保全にも繋がる、極めて大事なことである。後者はドイツの生産システムで、部品類の製造が中小の独立のメーカー—ミッテルシュタント—によって担われ、それぞれが極めて優秀であり、事実上、生産の帰趨を握るほどの力量—たとえば世界最大の部品メーカーであるボッシュの存在など—を持っているものの、それぞれのスタンダードが異なるため、連携が極めて難しいというネックを抱えていた。これを同一のスタンダードでまとめることによって、統一的な展開を図ろうとするものである。そのためには国を挙げた統一スタンダードの確立が求められ、共通の基本ソフトウェアを開発・確立することが目指され、それらの達成と普及のために国家ぐるみでの取り組みが「インダストリ 4.0」として麗々しく展開されている。

このように、両者では異なる部面での適用とその狙いの違いがあるものの、IoTはいずれにせよ、IT化の進展を活用して、センサーを取り付けたリアルタイムでのモニタリングという、上述のような対応をとろうとする点で共通性がある。ここでは、いわばリアルの世界とバーチャルの世界の、二重世界が構成されるということから、これを別名、サイバーフィジカルシステム（CPS）と表現したりもしている。このことは、一面では機械が単なる受動的な存在から脱して、自ら進化—「機械学習」という言葉を当てることもある—していくことにもなる。こうした自律性を帯びることは、自動化を大いに進め、それを一段と高いレベルに押し上げることにもなる。その点ではロボット生産やAIの活用とも繋がっている。だから水平的な連携をとりやすく、産業通貫的なスタンダードが形成されにくい日本では、「ロボットセル生産」の展開としてこれを進めようとしている。生産力の向上のための最新の科学技術の応用という点で見れば、こうした突破口も考えられるだろう。

以上見たように、一言でIoTといっても、その目標や内容や方式には多くのバリエーションがあって、一律にはいかないものだが、それが反面では多様性と広がりを持っているともいう。さらにそれが共通のスタンダードで結ばれた水平的なネットワークの形成を特に必要としていることでは、その方式として、大きくは上からの制度化されたデジュール（あるいはデジュリ）（de Jure）スタンダードとして構築される（ドイツ方式）か、有力企業間の競争を経た、強者による事実上のデファクトスタンダードの確立と拡大（アメリカ方式）かの、いずれかの形をとって進行していくことになる。この面での展開は、とりわけ前者の場合には各国政府が直接に乗り出して、まずは国内での制度化が図られ、次いで国際的な場では強力な推進役を果たすことになるので、政府の主導性とパワー如何が成否を分ける鍵となり、そのために政府間のパワーゲームが熾烈に展開されていくことになる。もっとも後者の場合でも、国内では各自の自由な競争に委ねてはいても、国際的な場において政府が傍観していいわけではない。それなりの後押しが陰に陽に必要になる。とりわけアメリカのような「覇権国」が後ろ盾になれば、極めて強力な力となる。その点では両者を隔絶したものとして、分離してみるだけでは適切とはいえないだろう。

2. ドイツの「インダストリー 4.0」

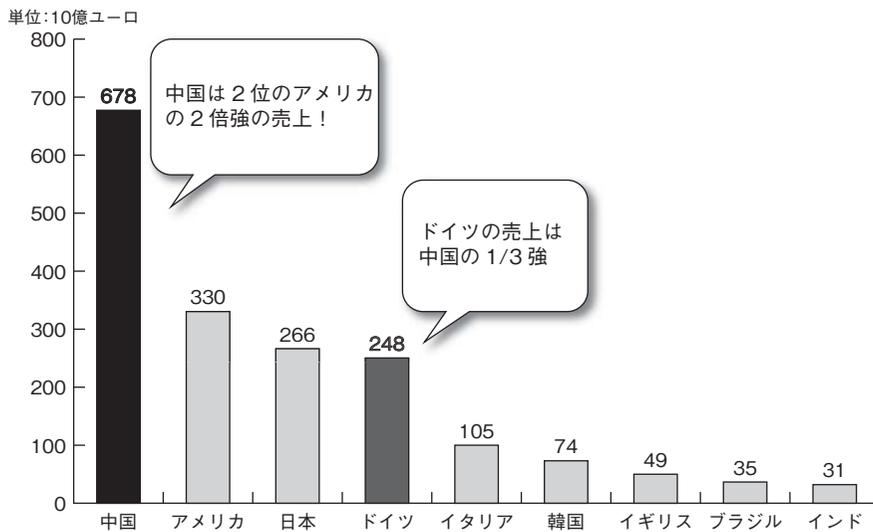
そこで、最初にドイツにおける展開を見ていこう。ドイツにおける「インダストリー 4.0」の推進には、ドイツのモノづくりの特色が色濃く反映されている。ドイツは伝統的に製造工業への傾斜とそこでの優位性を誇り、工業立国をいわば国是としてきた感があるが、現在の「インダストリー 4.0」もその延長線上で構想・構築されてきたものである。手際よくこの過程を説明している熊谷徹氏の解説³⁾によると、その特徴は以下の諸点にある、という。ドイツは現



第1図 主要国の貿易収支 (2014年)

(出典：OECD)

(資料) 熊谷徹「インダストリー 4.0 はなぜドイツで起こったのか?」『インダストリー 4.0 の衝撃』洋泉社, 2015年, 35頁による。



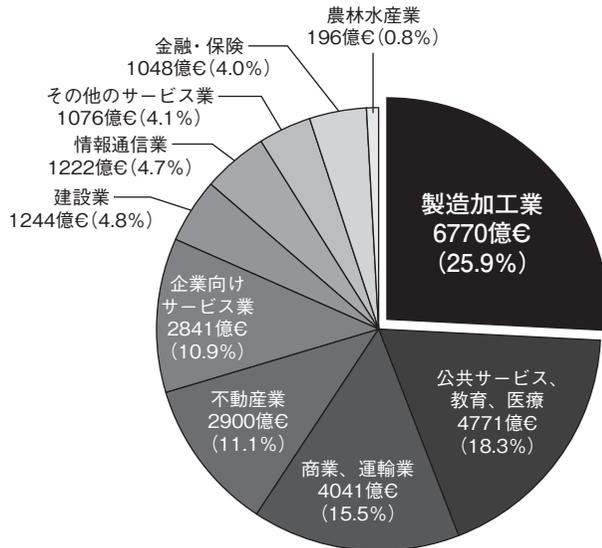
第2図 主要国の製造業の売上高 (2012年)

(出典：欧州連合統計局など)

(資料) 第1図に同じ, 64頁による。

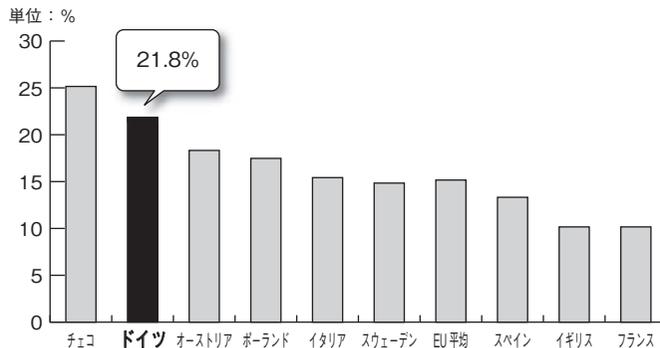
在の先進国には珍しい貿易収支の大幅な黒字 (第1図) を続けていて, しかも製造業の売り上げの高い国 (第2図) だが, その背後には強固な製造工業の地位 (GDP に占める製造工業の

単位：ユーロ



第3図 ドイツのGDPの内訳 (2014年)

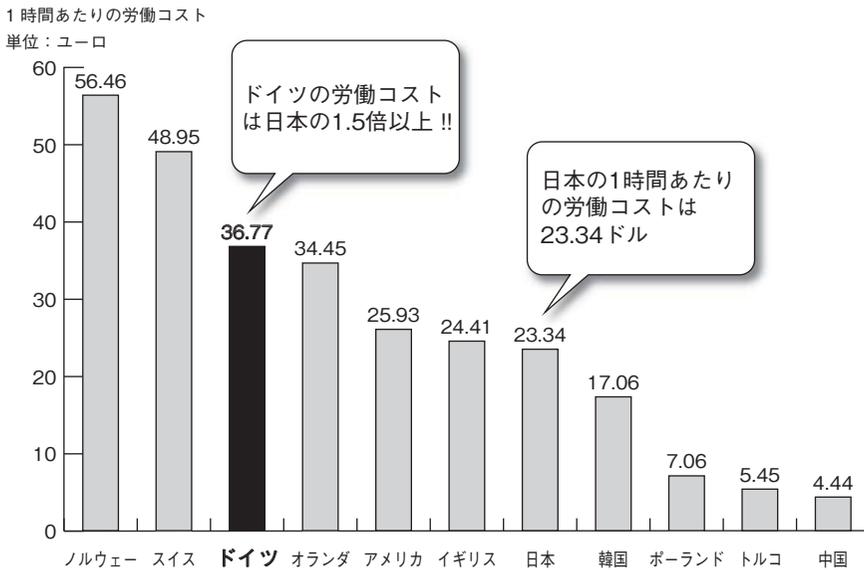
(出典：ドイツ連邦統計局)
 (資料) 第1図に同じ、35頁による。



第4図 GDPに占める製造業の割合 (2013年)

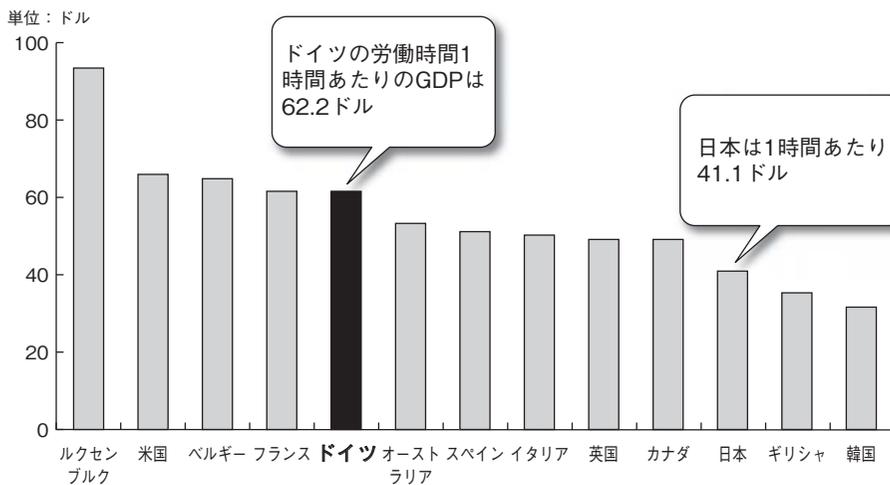
(出典：ドイツ連邦経済省)
 (資料) 第1図に同じ、35頁による。

割合は第3図並びに第4図)がある。そしてその内容だが、一つには人件費が高いこと(第5図)を生かした付加価値の高い製品に特化する必要があることと、もう一つはその部品類の担い手としての優秀な中小部品メーカーの存在を最大限に生かすことである。これらは現下の国際的な競争においてはむしろマイナスの要因と考えられがちだが、ドイツは反対にこれをプラスに変えてきている。つまり労働生産性を高める(第6図)努力を怠らないことによって、これを



第5図 主要国の製造業の労働コスト比較 (2013年)

(出典：ドイツ経済研究所)
(資料) 第1図に同じ, 41頁による。



第6図 主要国の労働生産性 (2013年)

(出典：OECD)
(資料) 第1図に同じ, 36頁による。

克服しようとしている。そしてもう一つはミッテルシュタントと呼ばれる優秀な、独立の中小部品メーカーが多いという特徴を生かして、水平的な分業関係の構築を積極的に進めているこ

とである。そのためにはコンピュータを様々な機械に組み込む（エンベッド）システムを進めていて、上記のIoTにある「サイバーフィジカルシステム（CPS）」を工業に導入することを考えだした。つまり部品や機械がセンサーを通じてコミュニケーションを取り合い、自動化のレベルを飛躍的に高め、労働生産性を引き上げることを、このシステムの推進者の一人であるヘンニヒ・カガーマン（ドイツ工業アカデミー会長）が2011年のハノーバー工業見本市において提案したのが始まりだとされている。これがその後「インダストリー4.0」の提唱に発展していったといわれている。しかも高齢化による労働人口の急激な減少が予想されるので、無人化ではなく、これまで以上に人間が創造的な仕事をすることによって、労働生産性を高めようと努めている。その結果、労働時間の短縮によるワーク・ライフバランス（労働と余暇とのバランスの取れた生活スタイル）もよくなる。またこれを成功させるためには、従来の職業訓練的な熟練技術習得のための人材教育ではなく、広く科学技術や数学、さらにはプログラミング、ソフトウェアについての知識を十分に身に着けた人材に陶冶していくことが大事になる。そこで、カガーマンのインタビュー記事などを基にして、さらに踏み込んで見てみよう。

ここでのキーワードは、IoT、スマート工場、マスカスタマイゼーション、標準化、そしてサイバーフィジカルシステムなどである。このうち、スマート工場はアプリケーションを追加して生産できる製品バリエーションを増やしたり、複数の生産ラインをネットワークでつないで、全体を一つの統合した生産システムとして扱うもので、日本のセル生産やアメリカのリーン生産方式から学んだものである。そうすると、多品種少量生産、タイムリーな製品供給、在庫の最適化などへの対応が可能なマスカスタマイゼーション（大量生産＝マスプロダクションと注文生産＝カスタマイゼーションを結合した造語で、ここでは敢えて「変種変量生産」と翻訳しておく）が実現出来ることになる。そして究極の自動生産ラインであるダイナミックセル生産方式に到達出来ることになろうが、それには4つの段階での標準化が必要になる。すなわち、レベル1は製造装置や機器を繋ぐための標準化、レベル2は製造装置を制御するためのコントローラー（PLC）の標準化、レベル3は製造ラインや工場間を繋ぐ情報の標準化、そしてレベル4は経営管理に必要な原価管理や生産性の指標の標準化を内容としている。こうして仮想空間（サイバー空間）が現実世界（フィジカル）と融合して一つの仕組みを形成する、サイバーフィジカルシステム（CPS）が出来上がることになる。

これは一つの見取り図にすぎないが、IT化の進展に合わせて、モノ作り（生産現場）とコト作り（経営管理）の両面において最新の情報技術の成果を取り入れ、かつ両者を統一して、矛盾なく展開しようとしており、それは生産と需要との不照応という、資本主義と私的企業生産システムの究極の矛盾の解消に迫ろうとするものである。これは、需要の変化に即座に応じることができ、いわば「需要感応型」生産システム—あるいは一種のスーパー計画経済システムと呼ぶべきか—の構築を目指しているものである。加えて、部品メーカーから完成品アセ

ンプラーまでの生産の一貫性と統合化を自系列内への包摂によってではなく、それぞれの専業と分業のメリットを維持したまま共存・共栄させながら展開して、全体としての生産体制を数段グレードアップしていこうとするものである。さらにいえば、これは科学・技術と人間との調和と共栄の物語でもある。

こうした特徴を生かしたドイツのモノ作りの推進は、実際の製造活動ではミッテルシュタントに依拠するとはいえ、その旗振りにはシーメンス（電子・電機）、フォルクスワーゲン（自動車）、ボッシュ（機械部品）、SAP（ソフト会社）といったグローバルな大企業が担うことになる。彼らが一丸になって、ドイツ流の独自のソフトを作り、それを共通の土台（プラットフォーム）として確立した上で、今度はグローバルスタンダードにまで高めていこうとしている。その背後にはドイツ政府があり、国を挙げた推進のために「インダストリー 4.0」（「第四の産業革命」）という麗々しいキャッチフレーズを掲げて、公民一体になって展開している。なおこれを彼らの宣伝どおりに「第四の産業革命」といえるか否かについては、後段で論じてみたい。

以上見てきたドイツのIoTの展開の特徴を、ここで再度要約しておこう。前述のヘンニヒ・カガーマン⁴⁾が強調しているように、インダストリー 4.0の狙いは端的に言えば、部品が「スマート（考えるよう）になること」である。つまり分散型制御システムを確立して、その上でデジタル化されてコピーを持つこと、それは人間と機械のコラボレーションを追及することであり、そのためには、規格の統一化が必要であり、さらにこのドイツ発の規格をグローバルスタンダードに仕上げていくこと、そのためにオープン・プラットフォームを採用して、優れたノウハウを進んで公開すること、しかもこのノウハウはソフトウェアの形をとり、知財として保護させていくことになる。そうすると、巨大企業の自家葉籠中になってしまうのではという危惧一当然の懸念だが一があるかもしれないが、そうはならないだろうと断言している。というのは、ドイツ経済の屋台骨である年商5～10億ユーロほどの中規模企業が大企業のプラットフォームと接続することによって、大企業への隷属は起こらず、むしろ開かれたプラットフォームへの参加が自分たちの知財保護をしながら、協力関係を結んで、さらに発展させることに繋がるとみるべきだ、という。なおこの点に関しては後段でM&Aとの関係でさらに考察してみよう。さらに「スマート・サービス」と呼ぶ製品データと顧客データを両者とも具備して、それを突き合わせ、需要と供給の一体的な推進を図ること、そして持続的な成長を実現して、さらに環境の改善にも努め、社会生活上もワーク・ライフバランスを改善していくと説いている。いささか楽観的でバラ色の未来像だが、一つのストーリーは出来上がっている。

以上「インダストリー 4.0」の概要をみたが、その全てについてここで詳細に検討することはできないので、最後に筆者が特に注目している以下の4点を要約的に上げておこう。

第1にここではモノ作りのグレードアップが強調されているが、その実、肝心の勝負所はモノ自体の生産方法にではなく、産業横断的なインターネット敷設のための共通の土台（プラッ

トフォーム）の建設にあり、それは強力なドイツ流の独自のソフトウェアをスタンダードとして確立することにある、という。その点でモノ作りのための新たな技術開発と技能力の陶冶そのものが中心ではないことに、まず瞠目すべきである。ハードの強化のように見えて、実はソフトの問題だというのは、今日のネットワーク社会の特質を十分に心得ているからだといえよう。時代はまさにモノ作り（製造）からコト作り（知財・サービス化）へと重心が移動し、しかも知財という強固な鎧で覆われた情報は両者に貫通して、莫大な利益を生む「金の成る木」として、其処此処に盤踞するようになってきている。しかもその先頭にはアメリカがいて、この国の巨大情報企業によるソフト支配が世界に屹立している。このアメリカ式知財＝情報企業の産業支配が強固であることを身をもって知らされているので、後進ドイツは、一面ではそれに対抗しつつ、他面ではその轍の跡を追って成り上がっていかようとしている。

第2に刮目すべきは、土台になる共通ソフトによってスタンダードを確立し、それをインターネットで結んで動作させていくが、そのシステムの確立と技術的基盤を重視するのは無論のことだが、むしろそれよりも大事なこととして、それを動かしていく人材に徹底的に拘っていることである。人材をいかに有効に活用し、かつ陶冶していくかに最大の力点を置いている。しかもそこには若年層ばかりでなく、経験豊富な中高年層も含まれている。そして人材の新規育成ばかりでなく、現役軍の再教育による活用をも視野に収めている。その結果、人材の有効活用と再活性化、そして新規養成とが結びつき、若年層が熟年層を排除するのではなく、相互に切磋琢磨しながら、補完され合う関係を作り出そうとしている。これは技術の継承と産業の発展のために、極めて大事な視点である。新しい機械体系が旧式の人間を時代に合わないものとして排除し、そのことによる省力化を実現することではなく、人間が主導して機械を操作し、使いこなすことを考え、しかもこの人間が機械の発達とともに、自らも進化していくことを目指している。つまり生産という価値創造の現場における人間相互間の共働・共創ばかりでなく、そこでの人間と機械との共栄・共存をも志向している。そのための人材の育成と陶冶であると心得ている。

第3の点は、優れた部品生産の技術と能力を最大限に生かそうとしていることである。しかもそれらは中小メーカーによって担われている。ドイツの高い技術力とそれが裏付けとなった高い工業力は、実はミッテルシュタントによって担われてきた伝統を忘れず、それを今日の状況に合わせて、維持、保存、発展させようとしている。産業の興隆のためには、産業の裾野が広く、かつ分厚いことが大事である。分厚い中間部品加工の裾野に支えられてこそ、最終完成品の見事さも、その優秀な競争力も生まれる。その点で精緻な部品加工能力を維持し、育てていくことは極めて大事になる。それと最終組み立ての間を共通のソフトを土台に置いたスタンダードとして確立し、その縦横の連携を緊密にしていければ、鉄壁になること請け合いである。そこに留意していることは極めて大事な視点である。低賃金だけが強い競争力を生むわけでは

ない。産業競争力強化とその勝利はコスト (C), 品質 (Q), 納期 (D) の組み合わせと、それらを束ねる経営戦略と起業家精神による総合力だとよくいわれるが、実際には、コスト要因に安易に傾きがちである。それでは生産拠点を低賃金国に移動する以外に解決策はなく、途上国の所得上昇とともに、いずれは消えてなくなってしまう恐れがある。とすると、それを維持し続けるために強制的な搾取を続ける以外にはなくなり、途上国での労使問題を深刻にさせるだけである。また企業が苦境に陥ると、すぐにリストラによる人員削減が企図される。だがそれは本当に正しい解決策であろうか。長年にわたって技能を高め、技術力を磨いてきた人材こそが、企業の財産であり、それを手放してしまうことは最大の損失である。せめて人員削減は最後まで手を着けない、できれば一人たりとも首を切らないという、経営陣の矜持と覚悟がなによりも大事なのではないだろうか。こうした通例の安易な打開策ではジリ貧に陥るだけで、未来がない。ゼロサム世界ではなく、先進国も途上国も相互にプラスになるプラスサム世界を構築すること、また貴重な人材を首切らずに配置転換や再教育を通じて再活用をはかることこそが、長い目で見れば企業の存続と再活性化のために大事である。というのは、労働力は供給要因であると同時に、需要要因にも成るからであり、賃金上昇=所得上昇が需要増を生むことに確信を持って、世界がともに歩んでいけるようになることを切望したい。

第4に最終的にはマスカスタマイゼーションの進展によって、好きなものを好きなだけ、好きな時に注文すれば、それが直ちに商品となって出てくるという、人類の長年の夢を実現することにつながるだろうか。それはまた需要と供給の不照応という、資本主義の宿病ともいべきものの解決に繋がるだろうか。21世紀の今日、生産能力の拡大が競争に促迫されて生産の無制限拡大に暴走するのを避け、正確な需要予測の下に、事実上の計画生産へと転換しようとしているのは、はなはだ心もとない「市場原理」なるものに委ねるよりは、はるかに現実的であり、賢明だろう。これは、欲望に基づく生産という点で、従来の生産本位の計画経済化ではなく、新しい生産体制の提唱に繋がりはしないだろうか。

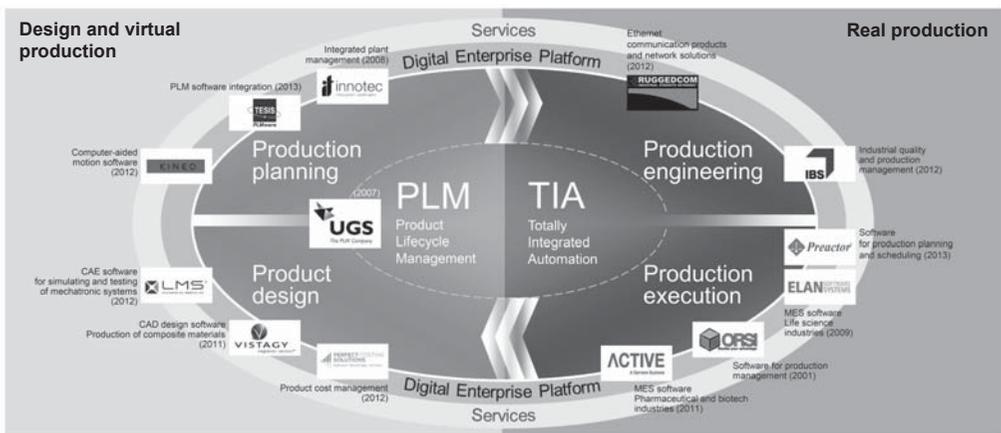
このように、ドイツ流のIoTは、ソフト重視、人材重視、中小部品メーカー重視、そして需給の一致を目指そうとしている。これは、これからの経済発展と工業の発達を考える際に、極めて重要な視点とヒントをわれわれに与えてくれているように思われる。そこには機械と人間の調和、コンピュータとそれを操作するヒトとの間の親和、ハードとソフトとの折り合い、そして部品メーカーと完成品アSEMBラーとの間の協調・協力関係、生産と消費との間の一致がある。そして低賃金だけが競争力を測る基準ではないこと、つまり科学技術の発展が人間を排除せず、その調和ある協力と発展を促すという、明るい未来像をわれわれに示してくれているように思われる。それは、あたかも人間による、機械を使った人間労働の支配と搾取からの解放を呼びかけているようでもある。

ただし、それが現実になるためには、資本の支配という資本主義の根本に関わる問題につい

での検討が必要であり、その点では巨大資本による中小資本の併呑や支配をいかに排除するかについての深い洞察と綿密な考慮、そのための道筋の提起が不足しているように思われる。その点での懸念を上で表明したが、一例としてシーメンスによるソフトウェア企業の買収状況を第7図に示しておこう。それはある意味では製造業のサービス化への取り組みを示しているが、それを越えたサービス部門の併呑をも目指すものだとすると、これが実態だとすれば、巨大資本の支配下でしかこれらのバラ色の未来が描けないとしたら、寂しいことになる。とはいえ、ドイツの目指す共通プラットフォーム作りがデジュールスタンダードとして参加企業の独立の維持の上に築かれるか、それともアメリカ流の巨大企業の支配下でのデファクトスタンダードに変質していくのか、その帰趨はまだわからない。いずれにせよ、科学技術と生産システムと経営管理はとうに次の段階へと到達しようとしているにもかかわらず、資本というこの巨大な魔物は依然として割拠して、毒牙を研ぎ続けている。この対抗と矛盾を人間のパワーがいかに克服できるか、勝負はこれからである。

3. アメリカの Advanced Manufacturing と IIC (GE)

さて今度はアメリカの番である。その代表格は GE (ジェネラル・エレクトリック) 社である。GE が進めているものをわかりやすく図示したものが第8図である。アメリカ重工業の代表的存在であった GE は、1980 年代には金融業に大きく傾斜していた。それがその後製造業への回

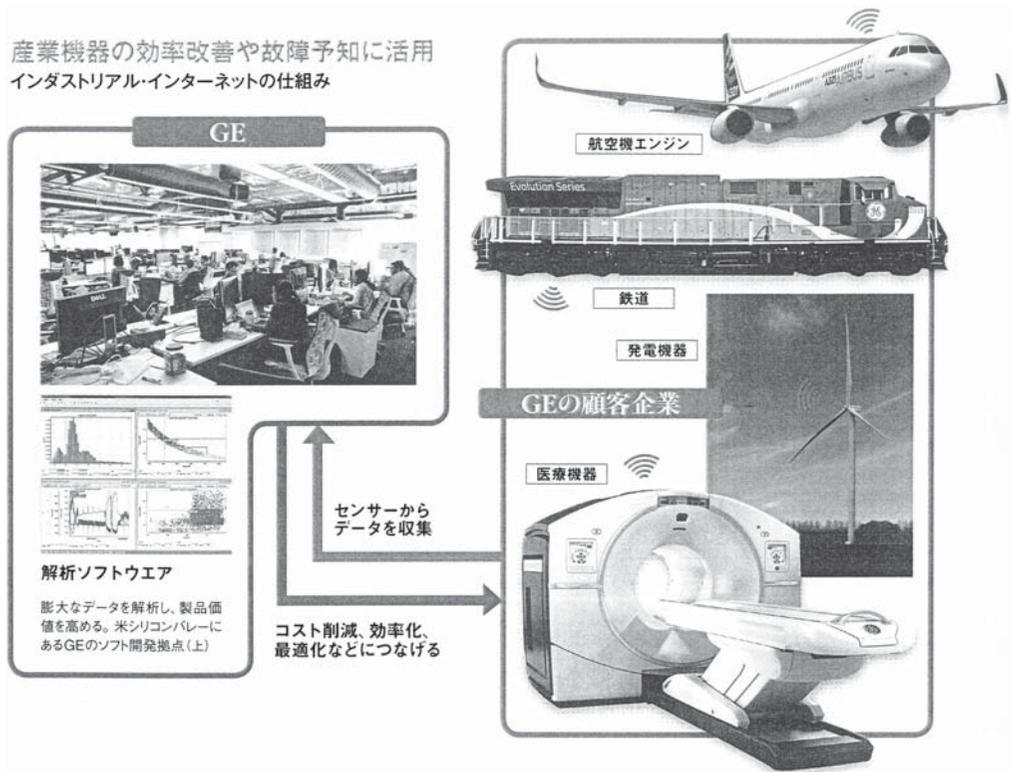


Unrestricted / © Siemens AG 2014. All Rights Reserved.

第7図 シーメンスによるソフトウェア企業買収

原資料：シーメンスホームページ

(資料) 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編『2015年版ものづくり白書』2015年181頁による。



第8図 GEのインダストリアル・インターネットの仕組み

(資料)『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3月15日, 49頁による。

帰を目指して2018年までに全事業の見直しを行い、90%の売り上げを製造業で売ることを目指している。その基礎にあるのがIIC (Industrial Internet Consortium)である。その対象になるのは、ジェット・エンジン、ガス・タービン、ウィンド・タービン、ウオーター・ポンプ、医療現場のCT/PET スキャナー、原油やガスの掘削機器などである。これらの機器にセンサーを搭載して、そのインテリジェンス・マシーンからデータを収集する。たとえば、ウィンド・タービンなら、ブレードに取り付けられたセンサーが風向き、風速、空気圧などを計測し、それをコンピュータで解析し、最大限の発電のために最適なブレードの回転速度をはじき出す。同社のウィンド・タービンは世界中に2万2000台ある。こうした効率化によって、2020年までに1.3兆ドルの価値を生むと計算している。そしてこのIICのOSであるPredixを全世界に提供しようと考えている。つまりGEはデータ解析企業になることを目指している⁵⁾。

またグローバルな民間航空機エンジンの市場の6割を握るGEが、世界中の航空機の膨大な運航データを収集し、様々なノウハウを蓄積して、それを活用した燃料費の大幅な節約を

可能にしている。そればかりでなく、今や世界中の民間航空機の運航ルートそのものを事実上支配していることになる。従来、GEはエンジンの素材や燃費効率の改善といったハード面の性能向上や、部品交換や修理などの保守サービスに注力してきた。だがデータとソフトを駆使すれば、ハードは同じままでもはるかに効率を高められる。それに加えて、航空機エンジンの故障の前兆を見つけることができるソフトも開発した。これによって、GEがめざす予知保全も可能になる。さらにフライトの遅延やキャンセルの場合に、航空会社を支援するソフトも開発した。そしてそれらの共通ソフトとして統合されたのがPredixである。しかもそれを2014年にオープン化し、デファクトスタンダードにすることを目指している。だから、こうしたソフトを活用した機器の価値の向上、生産技術の革新、開発の迅速化を3本の柱とした新たなモデルを構築し、製造業の中身を激変させて、いわばデータ解析業に進化しようとしている。そればかりではなく、将来はさらにadvanced manufacturing（進化したモノ作り）の考えに沿って、3Dプリンターや材料技術、新たな生産システムを活用して、モノ作りを進化させようとしていて、新型エンジン「LEAP」には20個のノズルが使われているが、それを3Dプリンターで作り出している。将来はさらに3Dプリンターを活用して、金型が不要になる方式までも考えられている。さらに金属粉を溶かす際に、レーザーではなく電子ビームを利用して、「チタンアルミ」という、従来より半分も軽い軽量合金を加工できるようにした。さらにfast works（スピードアップ）と呼ばれる、すぐに市場に出し、半年でバージョンアップしていくやり方を採用していくことを考えている。つまり改善を通じて常に新品を市場に提供する、一種のスタートアップ企業化を目指していることになる⁶⁾。

こうした背景には以下の事情がある。自動車とは異なり、航空機業界ではエンジンメーカー（GE、プラット&ホイットニー、ロールスロイス等）が完成機メーカー（ボーイング、エアバス等）とは独立して存在していて、エアライン（航空輸送会社）や航空機リース会社は購入する機体を決定した後、別途、選択可能なエンジンの中から、実際に購入するエンジンを選定するのが通例になっている。この中で、エンジンメーカーは競合他社との差別化や技術向上にこのIoTを役立てている。中でもGEの予知保全は代表的なアプリケーションの一つになっている。というのは、航空機エンジンはジェット燃料を高温・高圧の激しい環境下で燃焼させることによってタービンを回転させ、推進力を得る仕組みによって動く。その結果、長い寿命の中で、かなりの頻度で多くの部品を交換することが必要になる。これがこうしたサービスの背景にある。IoTを活用したエンジンの状態監視によって、エンジンメーカーは保守・修繕・点検（Maintenance, Repair, and Overhaul, MRO）の競争力を強化させ、将来に向けた技術を進化させ、競争力を高めることになる⁷⁾。こうしたことによって、エンジンの状態をリアルタイムでモニターし、適切なチェックをして故障を早期に発見し、予防し、また効率的な作動を促すことなどがエンジンメーカーの売りになる。

以上を要約してみれば、GEは航空機エンジンと発電用タービンを中心にしているが、そこでは第1段階ではモノ作りの段階、第2段階はサービス化（販売、保守）への傾斜、そして第3段階はIICによってPredixという独自のソフトを活用したモノとデータとの融合を考えている。これはさらに「進化したモノ作り」へと進展していき、マイクロファクトリー（世界に分散した小工場システム）での効率的で迅速な生産をグローバル化に合わせて企画している。⁸⁾ こうした3Dプリンターを使用した自動生産やそれで結びついたグローバルな分散生産への、新しい道を追求しているのは、先に見たドイツとは異なる、アメリカ流の効率性第一主義の現れだともいえよう。それは多国籍企業（Transnational Corporations）からグローバル企業への脱皮の道筋の一つを示している。そしてそのためにこそ、自社総合ソフトPredixのデファクトスタンダード化を目指しており、その基礎にはリアルとバーチャルの二重世界をもつサイバーフィジカルシステム（CHS）の定立がある。だから、グローバル企業はバーチャル企業でもあり、その全貌は自社のコンピューターームの、厳重にロックされた秘密のパスワードによって守られた中を開けない限りはわからないことになる。

ところで、こうしたソフト重視の路線はアメリカ国内での熾烈なこの面での競争状況を反映している。「知財王国」アメリカでは情報を商品として取り扱う企業は今日、隆盛を極めていく。その中でIoTに関わって、自社ソフトをデファクトスタンダードにすべく、コンソーシアム作りを進めている有力なものは、第9図のような状況である。このうち、メーカーが中心になっているのは、GEのIICである。Predixは石油・ガス、電力、水、輸送、航空、ヘルスケア等の、GEが強みを持っている分野で他社にアプリケーションソフトを提供する。これにたいして他社はGE製ソフトウェアへ対応することになるが、その結果、産業機器におけるデータの収集・解析・処理の分野においてGEがデファクトスタンダードを握り、世界中の産業機器のデータがGEに集まる可能性もでてくる。そうすると、GEは製造を基礎にしながら、そこから付随するサービスへと、より一層傾斜していき、そこからの利益がますます大きくなることになる。ビッグデータ解析による付加価値創出の効率性は一般に収穫逓増的に増大すると考えられるので、こうしたGEのシフトは関連業界の脅威になりうる⁹⁾。またその対極にクアルコムが中心になった機器関連通信の標準化団体ALLSEEN ALLIANCEがある。この2グループほどの参加企業はないが、インテル、グーグル、アマゾンなどネット企業が中心になったものがあり、さらにアップルが中心のものもある。後者に見られるような、いわゆるIT企業がモノ作りへの進出も多くあり、たとえばグーグルが携帯電話や自動車を開発したり、アマゾンがドローンを活用して物流に参入するといった動きもある。製造業はIoTを活用して「モノ作りの進化」を図っているが、一方IT企業はIoTを活用して、世の中に存在するあらゆる「モノ」の情報を取得し、それらを互いに繋ぎ、解析することで「システムの最適制御」というサービスの提供に乗り出そうとしている。それはハードウェアはシステムの要求どおりに動く単なる



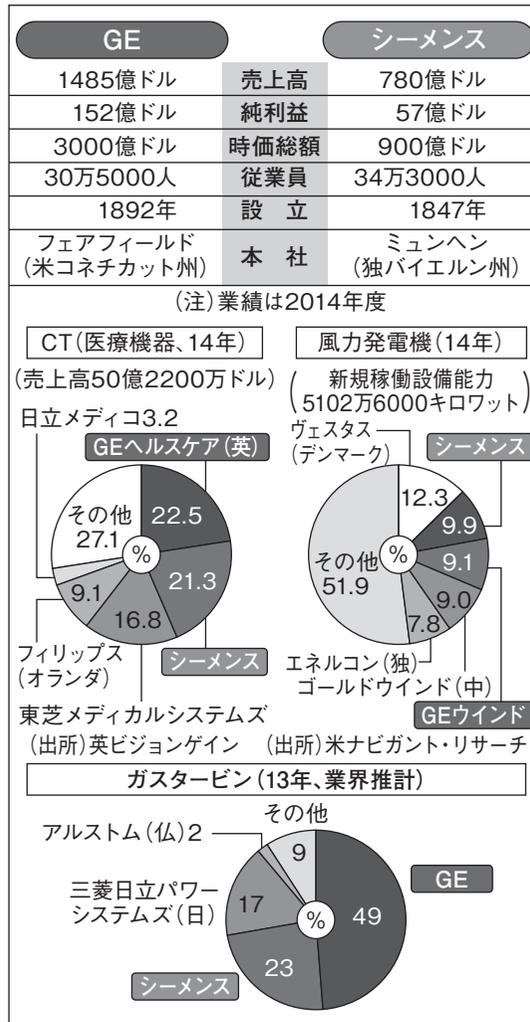
第9図 主要なコンソーシアムの状況

(資料) 第8図に同じ, 33頁による。

手足にすぎず、ハードウェア自体の価値は限りなく小さくなる可能性が高いからである¹⁰⁾。そうすると、情報こそが最大の価値を生み、それを握ることが最大の武器になるということの意味することになる。だから製造業やサービス産業という従来の区分けよりも、「知財型」情報産業として当該企業群を一括して括った方が正確だろう。

さらに国際的にはGEとシーメンスの間には重電部門における熾烈な首位争いがグローバルに展開されており、『日本経済新聞』2015年11月10日によれば、第10図のような状況である。その中で、GEは「接続産業」(connected industry)の首位になることを呼号している。以上見てきたアメリカとドイツとの間のIoTにおける展開の背後には、こうした両者の競争もあって、これはグローバルな巨大企業間の競争の一コマでもある。

ところで、こうした経営刷新を進めていくには人材教育が必要であり、そのためにはGE独自の経営上の理念をバリューとして従業員に植え付ける、従業員教育が強力に進められることになる。そしてGEの文化を世界中に広げようとしている。GEピリーフと名付けられる、どこの会社も社訓としている類いのものがそこには並べられている。それはワークアウト、シッ



第10図 GEとシーメンスの競争関係

(資料)『日本経済新聞』2015年11月10日、による

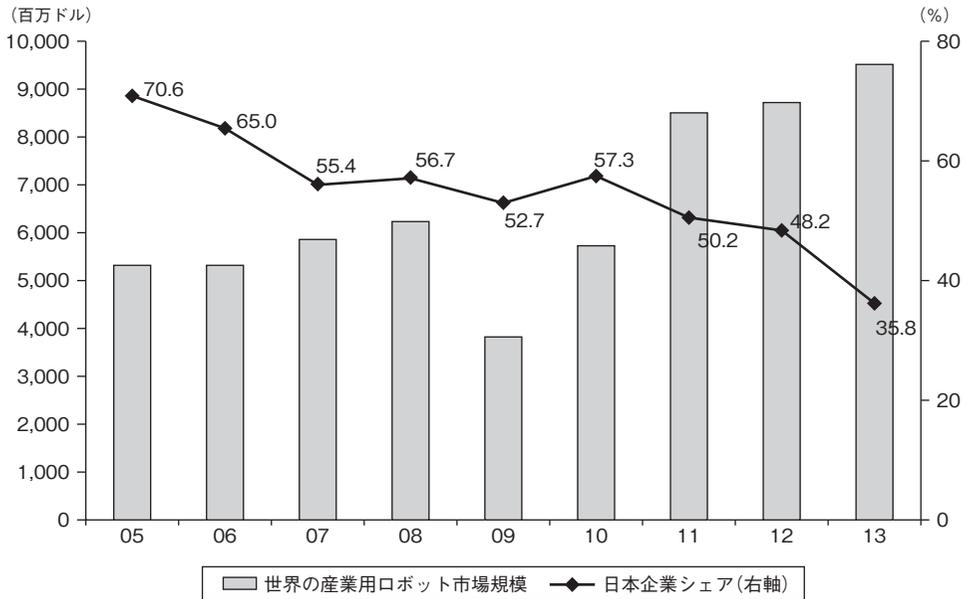
クスシグマ、ファーストワークス、リーン、チェンジ・アクセラレーション・プロセスの5つに要約される。そしてそのためのリーダーを育てることに注力している。GEの文化を強調し、それを波及させていくこと、そのためにGE流のデファクトスタンダードによる波及が不可欠だと強調していて、この論調は、スタンダードには技術的な優位性は希薄で、それぞれの企業文化の優位性を売り込むという、実はイデオロギー的な攻勢が中心だということを図らずも物語っていて、はなはだ教訓的である。そのための社員教育であり、人材育成である。

なおオバマ政権は製造業の復活を目指して、「進化したモノ作り」(Advanced

Manufacturing), つまりは「高度先進製造業」を中核に置いたその振興策を続々と打ち出した。これらについて筆者はかつて21世紀のアメリカの競争力の新展開を検討した際に取り上げ¹¹⁾, また米中間の政治経済関係を論じた際にも, 一部関説した¹²⁾。ここで再度, 概要に触れておこう。2011年の「高度先進製造業」(=「進化したモノ作り」)へのアメリカのリーダーシップの強化」と題する, 科学技術諮問委員会(PCAST)による大統領への報告書では「高度先進製造業」(Advanced Manufacturing)とは, 具体的には情報・オートメーション・コンピュータ計算・ソフトウェア・センシング・ネットワークングなどの利用と調整に基づき, 物理学・ナノテクノロジー・化学・生物学などによる成果と最先端材料を活用する一連の活動であり, 既製品の新しい製造方法と, 新しい先進技術による新製品の製造の両方が含まれる, と規定されている¹³⁾。ただし, これは厳密なものではなく, 概括的な定義である。またこの中ではアメリカの製造業での競争力が落ちていることを認めているが, その回復にはローテク製品の低賃金を利用しての輸出ではなく, ハイテク製品での競争力をつけなければならず, それはイノベーションと, そのためのR&Dの強化によって図らねばならないことを強調している。この主張はアメリカの競争力の回復と強化が主張されはじめた1980年代後半からの一貫した主張である。とりわけ「高度先進製造業」には潜在力があるとし, しかも先進国はこぞってこの分野に注意を払ってきている。したがって, アメリカでも連邦政府もこの点を重視すべきであると述べている。こうした勧告を受けて, 官民共同のAMP(Advanced Manufacturing Partnership)が作られ, 早速に翌年の同じPCASTの大統領報告書「高度先進製造業」での国内の比較優位を確保するために」という報告書¹⁴⁾が出された。これがいわばアメリカのこの問題での基本文書になっていく。ここでは7点の勧告を行っていて, 第1にAMP推進のために官民挙げた展開が必要なこと, 第2に年功者を上手に活用すること, 第3にコミュニティカレッジが彼らの訓練には役立つこと, 第4にそのためのスキルを持った人材を大いに採用すること, 第5に大学レベルでもその強化に協力すべきこと, 第6に連邦政府が進んでそのスポンサーになること, そして第7に大学院でそれ独自の修士号を作ることをあげている。このように, 後にSTEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)と呼ばれるようになる, 大学院修士課程卒業と同等の能力を持った科学技術労働者を新たに育てる必要を強く提唱している。なおこの育成状況に関しては筆者は別稿¹⁵⁾で論じた。

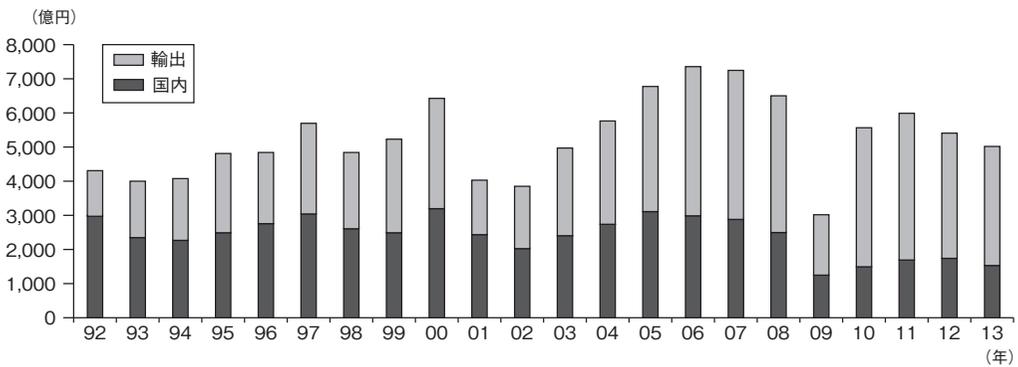
4. 日本の「ロボットセル生産」

我が国はGDPに占める製造業の割合が先進国ではドイツに次いで大きい, 屈指の工業国である(2013年ではドイツの22.1%にたいして, 18.8%)¹⁶⁾。しかし趨勢的には企業の海外進出にともなう現地生産の展開による国内「空洞化」, さらには近年の急激な円安による海外資



第11図 世界の産業用ロボット市場規模と日本企業シェア推移

資料：国際ロボット連盟，(一社)日本ロボット工業会
 (資料) 第7図に同じ，67頁による。



第12図 産業用ロボット出荷額の推移

出典：(一社)日本ロボット工業会
 (資料) 第7図に同じ，67頁による。

材の輸入割高化などもあって、肝心の加工輸出は伸びず、また製造業の割合も低下傾向にある。その打開策の一つとして考えられているのが、世界のロボット大国（第11図並びに第12図）であるわが国の特色を生かして、IoT時代を「ロボットセル生産」つまりはITと融合し、ビッグデータ、ネットワーク、人工知能（AI）を使いこなせるロボットの活用一で世界をリードす

ることを一つの柱にして、世界に先駆けてロボット革命を実現していくことを打ち出した。「成長戦略進化のための今後の検討方針」（2015年1月29日）の中で「ビッグデータ・人工知能・IoT等による産業構造の改革」を位置づけ、さらに第6回ロボット革命実現会議において「ロボット新戦略（5か年計画）」を取りまとめた。この中では、ロボット生産のみならず、ロボットの活用を促進することを謳っている。特に中小企業での産業用ロボットの活用や、医療や介護、農業での活用の拡大が見込まれている¹⁷⁾。これは製造活動の国内回帰に繋がる。

上でも述べたが、日本はドイツ流でも、アメリカ流でもない、第三の道を模索している。それはロボットを活用して、AIと結びつけ、さらに生産の現場での「セル生産」のメカニズムを踏襲しながら、これに情報機器類をウェアラブルで装備した作業員と共同しながら生産を進めようとするものである。セル生産方式は、少品種大量生産を宗とするライン生産方式の対極として、一人または少人数の作業チームが製品の組み立て工程の完成まで行うもので、多品種少量生産に適していて、日本独自のものとして生み出された。一説にはソニーによってはじめられ、「ワークセル」生産方式—金辰吉ソニー生産革新センター長の命名—と呼ばれている。特に家電や情報機器、自動車部品や工作機械などで今日広く採用されている。この方式をロボットの活用を盛り込んで、さらにグレードアップして展開しようというのである。これは今後さらに進展していくもので、その成否については現在ではまだ論じられないだろう。ここでは一段と進化したロボットの利用に加えて、ウェアラブル機器を装着した作業員による作業が目論まれている。しかもそれを担うのは多く非正規の職員で、それをこなしている中年女性の姿を新聞報道などでよくみかける。こうした日本の「ロボットセル生産」の展開が、日本の「モノ作り」復活の救世主となり、製造業の国内回帰をもたらすかどうか。ただしそれが中小企業と非正規職員によって主に担われていることでは、ドイツやアメリカでのIoTの展開とは異質なものを感じさせ、かつこれまでの「摺り合わせ型」の日本式生産方式の延長を想起させる。「摺り合わせ型」生産を維持しながら、AIやロボットやウェアラブルを活用しようとする、この日本のIoT展開は極めて興味深いテーマでもあるので、その実態を含めて、稿を改めて、詳しく検討してみたい。

以上見てきたように、IoTと呼ばれるものの共通の土台には、あらゆるモノがインターネットで結ばれる、新たな時代の生産システムの到来がある。それが未来志向なだけに、その理解と内容を巡っては多くのバリエーションがあって、一律にはいかないのは当然である。反面では、その多様性と多義的な理解が多くの試行錯誤を生んで、事態を進めてきているともいう。最後に、目下事態を先導しているアメリカ流のIoTの展開とドイツ流の「インダストリー4.0」の提唱を比較して、とりわけ後者のように、これを第4の産業革命と呼ぶのが妥当か否かに関して、簡単にコメントしておこう。ドイツ流の第4の産業革命論は、蒸気と機械化による第1次の産業革命（イギリス）、電気と大量生産による第2次産業革命（アメリカ）、そして

戦後はコンピュータとインターネットが花開いた第3次産業革命に継ぐ、IoT(モノのネット化)による第4次の産業革命が今始まっているという触れ込みである。これだけを聞くと、なるほどと肯かないわけでもないが、それを特に論証してみせているわけでもない。これにたいして、ポーターとヘプルマンは『ハーバードビジネスレビュー』に最近載せた論文¹⁸⁾の中で、このIoTを取り上げているが、そこではコンピュータとそのネットワークが生み出す進化の過程と捉えている。すなわち、第1段階はパソコンを利用したコンピュータ化の時代、第2段階はそれらをインターネットで結ぶ時代、そしてその上に、今日到来したモノのネット化の時代、すなわちIoTが来る。これらを括るのは情報化の進展という流れである。IoTはセンサー—プロセッサ—ソフトの接合による、クラウド上でのデータの解析を行い、リアルの世界とバーチャルの世界を一体化させる二重世界、つまりサイバーフィジカルシステム(CPS)を出現させる。これはアメリカの現実からの見方である。さらにこれを多少日本での現実に取り寄せたのが『情報通信白書』¹⁹⁾の観点である。そこでは1780年代の第1次産業革命(蒸気と機械)、1870年代の第2次(電気と自動車)、1970年代の第3次(半導体とコンピュータ)、そして現在の第4次(AI、ビッグデータ、自動制御、クラウド)があり、その先には3Dプリンターを使い、ロボットを使ったロボットセル生産が待っていて、将来はやがてコンピュータが人間の知性を上回るシンギュラリティ(技術的特異点)が来るのではという予測まで、立てている。

これらにはそれぞれの根拠があり、視点があって、歴史的な発展としての、現在IoTと呼ばれているものの実態に迫ろうとしていることはわかる。しかし学術的な観点からすれば、十分な根拠無しに「第四次産業革命」と断定するのは、いささか早計で、とても首肯できない。キャッチフレーズが踊っている感が強い。むしろ、客観的に見れば、情報化の進展度合いとしてこれを見ていく方が一貫性もあり、より正確に現在の立ち位置を確認できるのではないだろうか。だがドイツもアメリカも部品専門メーカーの存在を分業の発展に伴う必然的な結果だと考え、その延長線上でIoTの出現を考え、共通ソフトに基づくスタンダードの確立による、それへの対応を考えている。だが日本はそうではない。部品メーカーを形式上は独立のまま、実質的に下請け系列化する、元請けメーカーの包摂化の過程としてみている。産業貫通的なスタンダードの確立には興味を示さない。かつまた機械と人間との共働という、極めて独自の生産システムも手放していない。それによって、AIとロボットとウェアラブル装着に対応しようとしている。事実、そのことによって、熟練労働者の高技能化かつ高技術化の達成による、省力効果と低人件費活用を維持し続ける。そう考えると、「ロボットセル生産」という日本流のアプローチ(第三の道)も捨てがたい。これらを巡って、今後学術科学研究の前進のための論争と追求が起こるだろう。未来は多様かつ可塑的なもので、流動的でもある。だから現実の動向とその展開過程を冷静に見つめ、その筋道を辿っていくことが、真実に到達できる、唯一とはいわないが、有力で確かな道であることを銘記しておこう。

最後に付言すれば、ドイツの近年の製造工業品の輸出超過を過大視してはならないだろう。マルク高でユーロ安の現実は、もしマルク建てで輸出が行われれば、これほど輸出超過を生まなかつただろう。とすると、ギリシャなどの財政危機が反映してユーロ安に傾いているとすれば、ドイツにとってユーロ建てが輸出超過に大きく手を貸していることになり、皮肉にも EU の停滞がもっけの幸いになったわけでもある。このことを忘れてはならないだろう。だが、ウクライナへの東方展開がロシアとの対立を深めたばかりでなく、シリアへの空爆が大量のヨーロッパへの難民を生みだし、かつまたフォルクスワーゲンの排ガス不正操作まで露呈して、ドイツに逆流が吹き荒れている。「強国」ドイツの台頭にブレーキが掛かり始めている。

5. モノ作りの将来を見つめて—全体の評価に代えて—

最後に、結びに代えて、これまでの IoT の展開について若干の感想も兼ねて、簡単にまとめておこう。

第1に、モノは無料でコトは有料というビジネスモデルが蔓延してきている。この中で、センサー—ソフト—ビッグデータ—解析—スタンダード化—知財としての販売という、「知財型」情報販売業化が進んでいる。ここでは産業融合と共同化への道が進められ、総合化と専門化の結合を生み出しているが、今日ではそれはソフトの規格化を巡るグローバルな競争と支配の確立として、国家をも巻き込んで熾烈に展開されている。

第2に、事態は機械化、無人化、自動化への一方的な進行か、それともヒトとロボットの統合が深化してくのだろうか。その結果、将来、AI は人を追い越すことになるのだろうか。そうした疑問がふと湧いてくる。だが AI ほどに完璧ではなく、時には誤り、時には逡巡し、そして時には後退してでも、賢明な人智は多分それを超越していくだろうという、密かな希望的観測を持っている。

第3に、科学技術労働と技能（熟練）労働の一体化は「高度科学技術＝高技能労働者」（アメリカ流には STEM）の新出現を迎えたが、その結果、一方で科学・研究活動のビジネス化、人材の活用とスカウトの活発化によって、人材のグローバルな移転が盛んになっている。他面では生涯を通じて生産現場へのフィードバックを媒介にした人材教育と自己陶冶の機会を拡大している。これらのことは科学技術の一層の進展と普及、その世界的な波及を生み、世界の平準化に進むのだろうか。そして科学と技術と企業と社会の一体的展開による、世界の人々の連帯を強める方向に進んでいくだろうか。

第4に、趨勢的には創意・創新・創造活動の優位性と共働・共創・共営化が展開され、今後、益々、その傾向が発展していくことが見込まれる。それは誰でも起業家になれる時代の到来であり、中小規模のベンチャー企業が盛んになる、希望と確信の時代でもある。

第5に、再び生産（供給）主導による需要の包摂・管理か、それとも双方向性（プロシューマー）の進展か。そして後者を基礎に誰でも生産者になり、創意工夫と主体性の発揮が花開く時代が到来すれば、生産と需要の一致という経済学の理想的平衡状態が現実に生まれるだろうか。そして好きなときに、好きなものを、好きなだけ手に入れることができる理想の時代の到来がもたらされるだろうか。

第6に、時代は自前主義、自社内への包摂、統合化、総合化を宗とする巨大企業体制の限界を意味しているのか。それは企業間提携の進展と中小ベンチャー・部品製造・一品専門のニッチ世界の余地が拡大していくことになるのだろうか。

第7に、リアルとバーチャルの二重世界の構築は将来どこへ向かうのか。予定調和の世界、あるいは完全な計画経済体制の出現か。それとも仮想が現実を誘導し、凌駕していくことになるのか。その結果、夢の中で全てが完結して終焉を迎えてしまうのか。

(2015年11月13日脱稿)

注

1) 関下稔「時代の転機を見つめる—2015年は新しい時代の始まり?—」『立命館国際経済』28巻2号, October 2015.

2) 以下で概説するIoTや「インダストリー4.0」に関連しては多くの概説書や研究書、雑誌の特集、さらに調査報告書が出ている。その全ては列記できないが、そのうち筆者が目にしたいくつかのものを順不同で上げておこう。本論の展開に当たっては、それらを適宜、参考にした。

清威人『スマートファクトリー』英治出版, 2010年, 岩本晃一『インダストリー4.0』日刊工業新聞社, 2015年, 吉川良三編『日本型第4次ものづくり産業革命』, 日刊工業新聞社, 2015年, 尾木蔵人『決定版インダストリー4.0』東洋経済新報社, 2015年, 『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」Special Edition 4, 2015年5.15, 『インダストリー4.0の衝撃』洋泉社, 2015年, 「ドイツ「Industrie 4.0」とEUにおける先端製造業技術の取り組みに関する動向」日本貿易振興機構, (ジェトロ) プリュッセル事務所, 海外調査部, 欧州ロシアCIS課, 2014年6月, みずほ銀行産業調査部「第Ⅲ部 ドイツマクロ経済」『みずほ産業調査』50, 2015, No.2, 沢田朋子「ドイツ政府の第4次産業革命 Industrie 4.0」産業技術振興機構研究開発戦略センター(CRDS), 2014年9月17日, CRDS, 調査報告書「次世代ものづくり～基盤技術とプラットフォームの統合化戦略」(中間とりまとめ), 2014年, CRDS, 『CPS基盤技術の研究開発とその社会への導入に関する提案・高齢者の社会促進を事例として』2012, 日本機械工業連合会『平成26年度世界の製造業のパラダイムシフトへの対応調査研究』平成27年3月, 「特集 インダストリー4.0は怖くない」『日経ものづくり』2015年9月号, 「いまさら聞けないIoTの全貌」『週刊ダイヤモンド』015年10月3日, 「特集IoTの衝撃」Diamond Harvard Business Review, 2015年4月号, 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編『2015年版ものづくり白書』財団法人経済産業調査会, 2015年, 総務省『情報通信白書 ICT白書』平成26年版, 日経印刷株式会社, 2014年,

3) 『インダストリー4.0の衝撃』洋泉社, 2015年。

- 4) 同上, 18-27 頁。
- 5) 同上, 滝口範子氏による解説。67 - 71 頁。
- 6) 『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」日経 BP ムック, 2015 年 5 月 15 日, 48 - 53 頁。
- 7) 経済産業省・厚生労働省・文部科学省編『2015 年版ものづくり白書』財団法人経済産業調査会, 2015 年, 194 頁。
- 8) 『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」, 前掲。
- 9) 『2015 年版ものづくり白書』前掲。
- 10) 同上。
- 11) 関下稔『国際政治経済学要論』晃洋書房, 2010 年, 同『21 世紀の多国籍企業』文真堂, 2012 年。
- 12) 関下稔『米中政治経済論』御茶の水書房, 2015 年。
- 13) Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing, Executive Office of the President, President's Council of Advisors on Science and Technology, June 2011, p. ii .
- 14) Report to the President Capturing a Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing, Report of the Advanced Manufacturing Partnership Steering Committee, Annex3: Educational and Workforce Development Workstream Report, July 2012.
- 15) 関下稔「知識労働を考える - 21 世紀型社会における労働者概念とその状態に関する考察 -」『立命館国際研究』26 卷 3 号, 2014 年 2 月。
- 16) 『2015 年版ものづくり白書』30 頁。
- 17) 同上。67 頁。
- 18) Michael E. Porter and James E. Hepplemann, *How Smart, Connected Products are Transforming Competition*, Harvard Business Review, April 2015. ただしマイケル・E. ポーター, ジェームズ・E. ヘプルマン「IoT 時代の競争戦略」, 『Diamond ハーバード・ビジネス・レビュー』, 2015 年 4 月号, による。
- 19) 総務省『情報通信白書 ICT 白書』平成 26 年度版, 日経印刷株式会社, 2014 年。

（関下稔, 立命館大学名誉教授）

The Internet of Things (IoT) and Great Change in Manufacturing

The Internet of Things (IoT) has recently been attracting a great deal of attention in the world. The IoT makes it possible to create networks which incorporate the entire manufacturing process, thereby converting factories into a smart environment. Cyber-Physical Production Systems are comprised of smart machines, warehousing systems and production facilities that have been developed digitally and feature end-to-end ICT-based integration, from inbound logistics to production, marketing, outbound logistics and services. This not only allows production to be configured with more flexibility but also taps into the opportunities offered by a more highly differentiated management and control process. Germany has one of the most competitive manufacturing industries in the world. In Germany the manufacturing industry is described as the fourth stage of industrialization, or Industrie 4.0.

The United States is falling behind in manufacturing, not just in low-tech industries but in the production of high-tech products. As U.S. leadership in manufacturing declines, other nations are investing heavily in advancing their manufacturing capabilities, innovation systems, and R&D. Advanced manufacturing has the potential to create and retain high-quality jobs in the United States. A strong, advanced manufacturing sector is essential to national security. General Electric Company (GE) is relying on high-tech machinery, skilled workers, and composite materials to create value-added parts for fuel-efficient jet engines in the United States. A truly industrial IoT platform requires being able to connect a wide variety of machines, sensors, control systems, data sources and devices. These can include building infrastructures, mining equipment, aircraft engines, healthcare devices, and even government systems. Predix is the foundation for all of GE's Industrial Internet applications, providing powerful, consistent, and scalable support for efficient solutions.

On the other hand, Japan is eagerly promoting the introduction of more industrial robots in every manufacturing process. Japan has a great advantage in the production of robots and utilises the Cell Production System which provides a more excellent system in production efficiency in a cell-type production system, suitable for wide-variety and small-amount production. This production system is unique in the world. Japanese companies are moving towards uniting Artificial Intelligence (AI) technologies, industrial robots and Cell Production System to strengthen the capacity of their manufacturing production systems.

(SEKISHITA, Minoru, Professor Emeritus, Ritsumeikan University)