ISSN 1346-9029

研究レポート

No.426　June　2015

製造業の将来

－何が語られているのか？－

主任研究員　西尾　好司

富士通総研（FRI）　経済研究所

製造業の将来 －何が語られているのか？－

主任研究員　西尾 好司

【要 旨】

・ 本稿は、米国、ドイツ、イギリス及び EU から発表された製造業の将来像に関する最近のレポートなどを概説したものである。

・ ドイツの Industrie4.0 やイギリスの Future of Manufacturing における将来像は、製造･生産から消費者参加に至るまで､サプライチェーンの全行程を末端から末端まで、製造プロセスの能力を拡張することを想定している。

・ 分散製造、あらゆるものがインターネットを活用することを前提に、自動化やロボット、付加製造技術のような「ものづくり」に留まらず、サービスと製造が一体となり、工場と消費者とのつながりや物流までを含めた、大きくいえば１つの新しい産業社会像が語られている。

・ その対象は働き方も包含し、語られている将来像を実現するためには個人や家族、そして社会との関係が一層重要になると認識されており、様々なステークホルダが参加して、イノベーションを進めることがビジョンの中に含まれている。

Key Word：

製造、Industrie4.0、IoT、ビジョン、Cyber-Physical System、働き方

目　次

1．本研究の概要 …… 1
1．1　はじめに …… 1
1．2　問題意識 …… 1
1．3　本研究のフレームワーク …… 6
2．主要なレポートの概要 …… 9
2．1　ドイツ …… 9
2．2　イギリス …… 13
2．3　EU …… 16
2．4　米国 …… 19
2．5　Peter Marsh …… 23
2．6　Suzanne Berger …… 25
3．将来の製造業の方向性の整理 …… 27
3．1　パーソナル化の促進 …… 27
3．2　分散製造(Distributed Manufacturing) …… 28
3．3　Cyber-Physical System …… 29
3．4　スマート・ファクトリ …… 31
3．5　物流・サプライチェーン …… 32
3．6　働き方 …… 33
4．おわりに …… 34
参考文献 …… 37

1. 本研究の概要

1. 1　はじめに

GE が 2012 年から提唱した Industrial Internet やドイツが 2013 年 4 月に発表した Industrie 4.0 などを受けて、日本でも製造業の ICT 化の促進やインターネットとの融合など、製造・生産の将来像について、大きな関心が持たれている。2014 年に入ってからの Industire 4.0 に対する関心の高さは、日本だけではなく海外でも同じようである[1]。

ドイツでは、Industrie4.0 Platform[2]が 2013 年に設立され、2014 年 4 月に"The German Standardization Roadmap Industrie 4.0"を発表し、標準化に向けた活動を活発にしている。また米国でも、2014 年 3 月に Industrial Internet Consortium(IIC)[3]が、AT&T、Cisco、GE、IBM 及び Intel により設立され、Internet of Things (IoT)や Industrial Internet など、M2M や製造・生産のインフラも含め、インターネットとモノを介したサービスに関する標準アーキテクチャの構築を目的に活動を開始した。このような状況から、製造業の将来について、ますます関心が高まっている。しかし、ここで注意すべきは、IoT に限定されたものではなく、製造業の将来像について、様々な国から政策や関連するレポートが出ていることである。

1. 2　問題意識

経済活動における製造業の占める割合は、付加価値額や従業員数をみると、サービス業と比較して、その重要性が相対的に低下しているように思われる。しかし輸出額や民間研究開発費をみると、製造業の割合は高く、製造業の将来像を考察することは、依然として重要なことである。McKinsey Global Institute (2012)[4]によると、米国では 470 万人分のサービス業従業員の雇用が、製造業からの需要により成立している。その一方で、製造業の従業員でサービス関連の業務についている人は 30～55%に達しており、これからは製造業の人材の中で、製造に従事しない従業員が多くなることを指摘している。このように、製造とサービスをこれまでのように別々に考えること、ことさら「ものづくり」を強調するのではなく、一体的に考えていかなければならない。

---

[1] Drath and Horch "Industrie 4.0: Hit or Hype?" Industrial Electronics Magazine, 8(2),2014
[2] http://www.plattform-i40.de/
[3] http://www.iiconsortium.org/
[4] McKinsey Global Institute (2012) Manufacturing the future: The next era of global growth and Innovation

最初に、90 年代に発行された、いくつかの書籍から、製造業の将来像やビジョンとしてどのようなことが語られていたのかについて、製造業とサービス業、あるいは製造業と ICT との関係を中心に振り返ることとする。

(1)製造業とサービス業との境界

1989 年に出された『Made in America』[5]には、工作機械企業の取り組みについて既に、「製品の多くがハードウェアとソフトウェアとサービスを統合するようになっている。・・・・工作機械メーカーは、機械の本体の他に、電子制御装置、情報システム、エンジニアリング・ソフトウェア・パッケージなどを総合したシステムを供給し始めており、メーカー自身、単に機械装置を売るのではなく、むしろ「問題の解答」をつけてプロセスの開発手法を売っていると考えているようである。」と、現在の状況を言い当てている。既に日本企業が実施していたアフターサービスと同じものとの指摘もあるが、プロセスの開発手法を売ることは、製造業のサービス化の方向を指摘していたといえる。

今日 Industrial Internet として IoT を積極的に推進している GE は、ジャック・ウェルチが CEO になる直前の 1981 年の事業計画[6]において、ハード提供企業から、サービス・ソリューションプロバイダーへ転換する方向を示していた[7]。例えば、エネルギー分野では、エネルギー・サービスを拡大し、風力・太陽など新エネルギー資源の開発に集中していくこと、顧客の生産性向上やエネルギー利用率削減を可能とするアプリケーションを提供して、エネルギー・システム企業へ転換、あるいは、ICT 分野では、商業・製造業・医療・軍事向けに、製品にシステム・サービスを統合することにより、高付加価値情報やソリューションを提供する方向へ、そして輸送及び動力分野では、航空各社の生産性向上の新手法、航空各社を破産から守る財務手法の開発等、サービス化の方向に転じることを明らかにしていた。

さらに、同社では 80 年代から研究開発活動でもサービス分野へシフトしていった[8]。例えば、1980 年代からモデムを介して病院の CT スキャナーへアクセスすることを研究して

---

[5] Dertouzos, Solow and Lester(1989)Made in America: Regaining the Productive Edge, MIT Press(『Made in America―アメリカ再生のための米日欧産業比較』草思社)

[6] ロスチャイルド(2007)『GE 世界一強い会社の秘密』インデックス・コミュニケーションズ

[7] ジャック・ウェルチは、新たに計画を作り直したといわれているが、現在の事業の柱が既に描かれていたことに注目すべきである。

[8] Bureri(2000) Engine of Tomorrow - How the World's Best Companies Are Using Their Research Labs to Win the Future, Simon & Schuster(『世界最強企業の研究開発戦略』日本経済新聞社)

いた研究者が、このアクセスを修理に用いることができると考え、遠隔診断・監視の研究開発を開始し、最初に医療サービス(遠隔からのソフトウェアのアップグレードや遠隔地診断)に導入した。このサービスは、航空機エンジンや鉄道分野へと拡大し、GE の主要なサービス、ビジネスモデルとなった。あるいは、1990 年代には、予算の 2 割(4 千万ドル)をサービス関連の研究開発費に充て、情報技術(ICT)研究開発部門の人員は、90 年代に数十名から 150 名へと増員し、サービスの研究開発を強化した。そして、応用統計分野での GE キャピタルのローン契約、エレクトロニック・コマース、家電製品の制御アルゴリズム、互換性のないシステムの統合に取り組み、故障の起こりやすい部分の発見のための試験方法、使用量の多い環境下での機器からの情報から実際の使用状態の推定方法など、具体的なサービスに適用できる研究開発を進めていた。

(2)製造と ICT の融合による新しい製造の時代

マイコンに代表される製品の電子化が進み、機械部分より製品の組み込みソフトウェアの力が製品の性能に与える影響が増し、現在では製品内部のレベルを超え、製品と外部との接続が製品の性能に影響を及ぼすようになった(西村 2014)[9]。こうした製品の電子化、ICT 化が進む中で、1980 年代の米国の製造業は、ハードウェア中心の限界を認識し、日本企業に対抗するために方向性を転換した。これについて Finan and Frey(1994)[10]は、日本はスタンドアローンが主流であり、システム商品の最終市場をリードせず、またコントロールしなかったことから、コンピュータのアーキテクチャに参入できなかったこと[11]、一方の米国はシステム志向を進め、システム設計やソフトウェア、技術サービスなどの、ハードウェアの製造力が問われない戦略的重要技術で支配力を持ったことを指摘した。

こうした言説を裏付けるように、ハードウェアのイノベーションにおけるソフトウェアの重要性は益々増し、ソフトウェアへの対応の遅れが日本の ICT・エレクトロニクス企業の弱体化につながったことを実証する研究が報告されている。例えば、Arora 等(2013)[12]は、日米の IT セクターの大手企業を対象に、米国特許データ(1980－2004)でのソフトウェア特許の引用をエレクトロニクス、半導体、IT ハードウェアの 3 つに分類して比較した。そ

---

9 西村吉雄(2014)『電子立国は、なぜ凋落したか』日経 BP 社

10 Finan and Frey(1994) 『日本の技術が危ない：検証・ハイテク産業の衰退』日本経済新聞社

11 研究開発も Tunnel Vision research であることを指摘した。

12 Arora, Branstetter, and Drev(2012)"Going Soft: How the Rise of Software Based Innovation led to the Decline of Japan's IT Industry and the Resurgence of Silicon Valley," The Review of Economics and Statistics

の結果、全体として、ハードウェア特許がソフトウェア特許を引用する例が増加し、IT イノベーションのソフトウェア依存度が高まっている。しかも、ソフトウェア依存度は米国が日本よりも高く、日本はソフトウェア依存の低いセクターに特許の偏りがみられ、その中でもソフトウェア依存度が低いこと、また、日本企業の中でソフトウェア特許を引用している特許は海外で生まれたものが多いことなどが指摘された。つまり、日本企業、さらにはイノベーションの場としての日本が、ソフトウェアの活用・開発能力が低いことが示された。あるいは Cole (2013)[13]は、日本企業は競争力を確保するためにソフトウェアの力が重要であるとの認識が不足していたこと、ハードウェア中心の事業モデルを考え、ソフトウェアはハードウェアの付属品であるとの認識が依然として強いこと(Hardware Centricity)が日本の弱体化につながったとした[14]。

海外、特に米国のコンピュータ企業の開発に関して、Iansiti and West(1997)は、新世代の製品やプロセスを開発するために、研究や開発、生産に関する幅広いバックグランドを持つ専門的なインテグレーターのチームを作り、次世代の製品のコンセプトを具体化するに当たり、社内だけでなく社外の研究開発成果も選択肢として考えて技術を選択するようにし[15]、技術統合、さらにはシステム統合力を強化していった。

こうした傾向は、エレクトロニクスや ICT だけでなく、現在のロボット戦略の中でもうかがえるのではなかろうか。現在は、ICT やエレクトロニクス製品に求められていたシステム統合力(アーキテクト)が、ロボットや自動車など他産業や製品にも必要となりつつある。この中で、日本企業の組み込みソフトの強さを強調する意見が聞かれることがある。確かに組み込みソフトの強さは、製品の機能を高めるという意味では大変重要な要素である。しかし、ソフトウェアが組み込まれているハードウェアを前提としている面が強く（Cole 2013）、ハードウェアの枠にはまったソフトウェアの議論だけでは、異種のハードウェアが接続しあう、あるいはサービスと連動するような、現在求められている、「つながること」で価値を高めるということに十分に対応できない。また、製品やサービスがネッ

---

13 Cole(2013)Killing Innovation Softly: Japanese Software Challenges, MMRC Discussion Paper Series

14 これらは戸部等(1984)が指摘した、第二次世界大戦時の日本の失敗の例にも通じるかもしれない。「米軍は高度な技術を開発してもそれをインダストリアル・エンジニアリングの発想から平均的軍人の操作が容易な武器体系に操作化していた。一点豪華で、その操作に名人芸を要求した日本軍の志向とは本質的に異なるものであった。また、日本軍の技術体系では、ハードウェアに対してソフトウェアの開発が弱体であった。その結果の現れかの一つが情報システムの軽視であった。」(P307) 戸部・寺本・鎌田・杉之尾・村井・野中(1984)『失敗の本質：日本軍の組織的研究』ダイヤモンド社(中公文庫版より)

15 Iansiti and West(1997) “Technology Integration – Turning Great Research into Great Product”, Harvard Business Reviews, May-June

トワーク化されることは、製品やサービスが単独で存在するのではなく、社会システム・インフラの一部として存在し、その中で価値を発揮されることになるように、他の製品やサービスとの関係性やシステム化を考慮しなければならないのである。現在は、組み込みソフト[16]で製品単体の性能を高めるだけでなく、ネットワーク化された組み込みソフトによる製品やサービスの提供を広げて、Cyber-Physical System（CPS）というシステムとして価値を提供し、これらの CPS が組み合わさってインテリジェントな環境を作り、スマートシティを作り上げていくことまでを想定している。

(3)変わる製造現場

製造現場に目を転じてみると、製造現場では、機械同士のデータのやり取りやモバイルデバイスの利用などの面で、オフィスほど ICT 化が進んでいなかった。しかし、MIT の Media Lab の William Mitchell[17]は、『サイボーグ化する私とネットワーク化する世界』の第 8 章「身軽な製造」(P189)において、「我々は設計図、エネルギー、材料を寄せ集めて、必要とする人工物を作り出す。それらはいずれも、遠いところからネットワークを通じて製作現場へと運ばれてくるであろう。」と、生産管理についてプラントの管理からネットワークの管理への転換を指摘した。あるいは、設計情報自体のナプスター化を予想したり、共有された設計を変更したり、組み換えることなど、オープンソースが製造の中に入ってくること、個人的製造のような非集中化あるいは、分散化された製造を指摘した。ネットワークを活用した遠隔特注生産が拡大し、直前まで注文しない消費者やユーザが増加することに対応して、設計でなされた意思決定は、設計変数は早い拘束から遅い拘束(徐々に素材を拘束するプロセス)へ移行するという新しい生産の論理が拡大することを述べていた。

同じく Media Lab の Neil Gershenfeld は、現在の 3D プリンタのような Additive Manufacturing（付加製造技術）が普及し、製造が Desktop Manufacturing から Personal Fabrication へ移行する製造の変革の中で、個人の力の活用の重要性を指摘した[18]。つまり、製造の現場が外とつながることで大きく変革することが迫られていたのである。

---

16 ドイツは、2009 年に組み込みソフトのロードマップを作成している。SafeTrans(2009)Nationale Roadmap Embedded System

17 Mitchell(2003)『Me++:The Cyborg Self and the Networked City (邦訳『サイボーグ化する私とネットワーク化する世界』)』

18 Gershenfeld (1999) When Things Start to Think, Hodder & Stoughton （中俣真知子訳（2000)『考える「もの」たち―MIT メディア・ラボが描く未来』毎日新聞社)や Gershenfeld (2005) Fab: The Coming Revolution on Your Desktop － from Personal Computers to Personal Fabrication, Basic Books

1．3　本研究のフレームワーク

(1)本研究の目的

本研究は、先進国の製造業の将来を対象とする文献レビューを行い、先進国の製造業の将来について、どのようなことが述べられているかを明らかにすることを目的とする。本稿は、あくまでも将来について語られているものを対象とし、製造業の現状を対象とはしていない。本稿で取り上げた内容を企業の関係者と話をすると、本稿で記載するような将来の姿に関連する取り組みは、日本企業は実施してきたという意見が度々聞かれた。筆者は、現状をレビューすることはできない。これまで日本で語られてきたのは企業レベルのことである。しかし、本稿で取り上げることは、自社工場の変革、サプライチェーンの再構築、製造のプラットフォームの提供、サービスの開発・提供など、自社(グループ)だけで完結するものではなく、むしろ他社との関係が一層重要となる。あるいは、消費者が能動的に製造にかかわってくることや働き方が変わるというような従業員との関係などが重要となる。これらへの対応は、自社あるいは日本企業がやっていると言い切れるであろうか？答えはノーであろう。

当然、本書で取り上げるような将来像は自社を含む現在の製造現場と乖離しているという批判は出てくるであろう。しかし、現場だけでは将来像を描くことはできない。そもそも自社だけで自社の思うようなことを実現することはできない。各社は自社の事業領域を中心に将来像を考えるが、それらをつなぎ合わせるだけでは、全体像を描くことはできない。ハメルとプラハラードが著した『コア・コンピタンス経営』[19]で(将来)未来への構想を有利に展開する競争と名づけたように、製造の将来像を広く描き、提示していくことで競争力を高めていくことが必要であり、そのような将来像を欧米諸国のレポートでは描いている。例えば、Industrie4.0 は、決して工場レベルだけのことを書いているのではなく、産業社会のあり方の変化を書いているのである。工場の枠を超えて産業を議論してビジョンを描かねばならないのである。工場を起点にするのではなく、工場の外から工場を考える時代になっている。そして、産業の将来をイメージするビジョン構築競争が、企業や業界レベルを超えて、国レベルで始まったのである。技術戦略は、こうしたビジョンと別のものではなく、技術戦略が達成されるとどのような世界が生まれるのか、それを提示するのがビジョンということができる。

---

[19] Hamel and Prahalad(1994)Competing for the Future, Harvard Business School Press(『コア・コンピタンス経営：未来への競争戦略』日経ビジネス文庫)

(2)本稿の構成とレビューで取り上げる文献

本書は、第 2 章で、製造の将来像に関連する政策やレポート、書籍としてどのようなものが出されていたかを概説し、第 3 章でそれら主要な論文を含め、現在語られている製造の将来像を整理する。

本研究は、文献調査をベースとする。対象とする文献は、政府、産業団体や学術団体が発行した製造業の将来に関するレポート、あるいは研究者や専門家による書籍とする。また、政府のレポートに関しては、米国、EU、ドイツ、イギリスを対象とする。取り上げる文献は、2011 年以降に書かれたものとする。なお、特定の技術領域を対象としたもの、あるいは経済やエネルギー・環境の将来を中心論点とするものは除外し、幅広く、総合的に考察・展望しているものに限定する。特に第 2 章では、各国等の主要な論文として、次のものを取り上げた。本稿全体で参考にした論文については、最後に掲載する。

米国　政府

- A Strategy for American Innovation: Driving towards Sustainable Growth and Quality Jobs(2011)
- Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing (2011)
- The Competitiveness and Innovative Capacity of the United States (2012)
- A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing(2012)
- Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing (2012)

米国　National Academy of Engineering

- Making Things: 21st Century Manufacturing and Design(2010)
- Making Value: Integrating Manufacturing, Design, and Innovation to Thrive in the Changing Global Economy(2014)

EU

- MANUFUTURE 2020(2004)、Factory of the Future(2009)
- ICT For Manufacturing: The ActionPlanT Vision For Manufacturing 2.0(2012)

英国

- UK Foresight(2013)The Future of Manufacturing：A New Era of Opportunity and Challenge for the UK

ドイツ

- Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE

4.0(2013)

- SMART SERVICE WELT：Recommendations for the Strategic Initiative Web-based Services for Businesses(2014)

その他

- Peter Marsh (2012)The New Industrial Revolution, Yale University Press
- Suzanne Berger(2013)Making in America: From Innovation to Market, The MIT Press

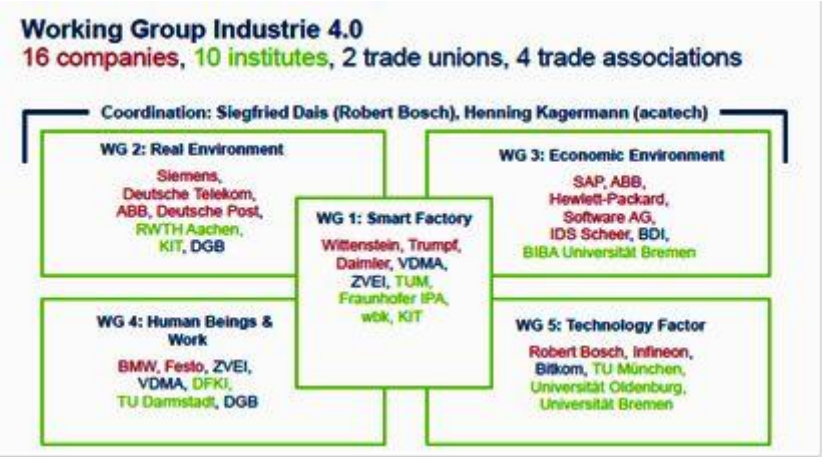
2. 主要なレポートの概要

2. 1　ドイツ：Industrie 4.0　と Smart Services

(1)概要

ドイツでは、2000 年代半ばに、製造と ICT、サービスに関連するハイテク戦略が本格的に策定されるようになった。先ず 2020 年に向けたハイテク戦略として、2006 年に"iDEEN Innovation Wachstum"を発表した。ここでは、気候変動・エネルギー、健康・食品、安全、輸送、通信分野を対象に、産業と科学のリンケージを強化したイノベーションの推進が定められた。特に通信分野の中で、重要な ICT のトレンドや社会的課題に焦点を当て、ICT の発展とビジネスの発展を融合し、ドイツ産業の新しい時代を導くことを位置づけた。そして、同年の"Nationaler IT Gipfel"(ドイツ IT サミット 2006)において、Internet of Things や Internet of Services、E-Energy のプロジェクトを始めている。この 2006 年策定のハイテク戦略は 2010 年に改定され、Industrie4.0 は、新たな未来プロジェクトの 1 つとして 2012 年から検討を開始した。これは、Acatech と Bosch のコーディネートにより、Smart Factory、Real Environment、Economic Environment、Human Being & Work、Technology Factor の 5 つのワーキング・グループを結成して進め、2012 年 10 月に中間報告、2013 年 4 月に" Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0"を発表した。その後、Idustrie4.0 Platform[20]を設立し、ABB、IBM、HP などのドイツ以外の企業も運営委員会のメンバーとなっている。

図表 1　Industire4.0 のワーキング・グループの構成



出典：Recommendations for implementing the strategic initiative Industire 4.0

[20] http://www.plattform-i40.de/

Industrie4.0 は、ドイツの強い工場・生産をネットワーク化することで、ドイツの国際優位性を強化する重要な国レベルの戦略(ドイツ発の産業革命のビジョン)である。これまでのハイテク戦略のように、スマート製造技術の提供者としてのリーダーの存在を維持するだけでなく、新しい Cyber-Physical System(CPS)技術や製品を開発して市場のリーダーとなることを目指している。そこには、米国の強い ICT の領域ではなく、ドイツの強い製造・生産システムにおいて重要な情報を獲得して、標準化での優位性、新たな付加価値を生み出す戦略がある[21]。Industrie4.0 の実現に最も重要と考えられている標準化については、DKE(ドイツ電気技術者協会)が、最初のドラフトとして、"The German Standardization Roadmap Industrie 4.0"を 2014 年 4 月に発表している。

2014 年 3 月に、2 番目の戦略イニシアチブとして、Acatech は、Accenture と共に、"SMART SERVICE WELT : Recommendations for the Strategic Initiative Web-based Services for Businesses" を発表した。これは、10 の団体、3 つのユニオン、50 社、30 の大学・研究機関などが参加して作成した。

(2)Industrie4.0

Industrie4.0 とは、新しい産業革命のコンセプトであり、機械による産業革命(蒸気機関の発明による機械化の進展であり、物理的に機械などが個別に存在していた状態)、電気による産業革命(大量生産の時代)、電子化と IT 化(マイコンが組み込まれ、センサやアクチュエータが付加された組み込みシステムの状態やインターネットによるネットワーク化)による産業革命に続く 4 番目の産業の革命を位置づけているからである。ここでは、分散化された製造を前提に、M2M のように相互に接続された状態であり、Internet of Things や Internet of Services を製造環境に導入し、CPS という、機械、小売・倉庫システム、生産機器などが統合・ネットワーク化された世界を描いているところに特徴がある。また、都市での製造(Urban production)も含め分散化する製造を前提としている。

Industrie4.0 の基本的なコンセプトは、Smart Product 、Smart Machine と Augmented Operator に分けられる。Smart Product は、加工中の製品の役割を拡大しシステムの一部とし、製品はタスクや製造の要求が格納されたメモリを受け取り、製品自身が自身の製造を制御できる製品である。Smart Machine とは、CPS により機械が現場で制御できるよ

[21] Siemens によると、Industrie4.0 の世界は 2030 年以降に実現可能(15 年から 50 年先のビジョン)としている。人を中心に置くものであり、機械が人を代替するのではなく、協働するものであり、その結果マス・カスタマイゼーションを実現する、としている。

うなインテリジェンスを持つ自動部品となり、他の機械や生産ライン、製品をオープンネットや意味記述などによりコミュニケートするものである。そして Augmented Operator がコンテキストを理解した情報提供を行い、現実・仮想情報で現実の情報を高め、生産プラントの中心で人を支援する。

Smart Factories は、このような構成から、末端から末端レベルまで企業間のネットワークに組み込まれた製造プロセスであり、既に製造の新しいアプローチとして登場している[22]。作られている部品や製品も含め、生産システムが、デジタルな世界とフィジカルな世界がシームレスに統合されるシステムであり、工場の中だけでなく、外との関係(つながる製造)を想定している。このようなシステムは、個別の顧客の要求に応えるものであり、ビジネスやエンジニアリングのプロセスをよりダイナミックにすることで、最終段階での製造の変更やフレキシブルな輸送に対応できる。また、末端から末端までの透明性を高めることで、最適な意思決定も推進できる。また、顧客ごと、製品ごとに異なるデザインや構成、注文、計画、製造・生産、配送を、無駄なく円滑に実現するために、固定的な生産ラインの概念ではなく、動的・有機的に再構成できるセル生産方式により、(究極的には)生産の直前、あるいは生産中であっても仕様変更などできるようにする[23]。工程作業を行うロボット(ワークステーション)が、ネットワークであらゆる情報にリアルタイムにアクセスでき、状況に応じて自由に生産方式や生産するモノを組み替えられる自律最適な生産(Self Configuration) [24]を描いている。

Smart Products とは、作られる製品自身が製造プロセスを認識している状態にあり、加工場所、これまでの加工プロセスから最終段階までのプロセス、現在や最終的な状態までの別(代替)のルートを把握(記録)している。加工中の製品の機能を拡張し、製品はタスクや製造に対する要件が格納されたメモリを受け取ることで生産システムの一部となり、製品自身が自身の製造を制御し、直前の変更にも対応する。

CPS の戦略及び研究領域としては、バリューネットワークによる水平統合、すべてのバ

---

[22] ドイツでは、SmartFactory というプロジェクトを実施しており、2005 年から生産ラインの自動化と通信技術の応用に焦点を置いて活動してきた主要企業の連合体「スマートファクリ産業プラットフォーム」を結成し、BASF、DFKI (German Research Center for Artificial Intelligence)、KSB、ProMinent、TU Kaiserslautern、Siemens などが参加している。現在は Bosch Rexroth を含む 29 社が、ドイツ連邦政府教育研究省(BMBF)及び EU の資金により活動している。

[23] エネルギーや資源の生産性や効率性の観点からも、生産を止めるのではなく、システムを継続的に最適化していく方法を採用する。

[24] Siemens 社は、フォルクスワーゲンと SmartFactory を共同開発中であり、2014 年 4 月のハノバー・メッセで、VW のモデル Golf7 の自動アセンブリ工程を再現し、3 台 KuKa 製ロボットを協調制御して、ドア・ヒンジとドア本体を実装する(レーザによる測定、蝶番の組み立て、自動車への装着)をデモを実施。

リューチェーンをカバーする末端までのデジタル化による統合、製造システムの垂直統合や垂直ネットワークを考えている。具体的には、①標準化とリファレンスアーキテクチャ、②複雑システムのマネジメント、③産業向けの包括的なブロードバンドインフラの整備、④安全・セキュリティ、⑤働く組織やワーク・デザイン、⑥トレーニング、⑦法制度の枠組み、⑧資源の効率性を重要なテーマとして挙げている。特に中小企業がグローバルなバリューチェーンに参加できるよう標準化が最も重要な課題と認識している。

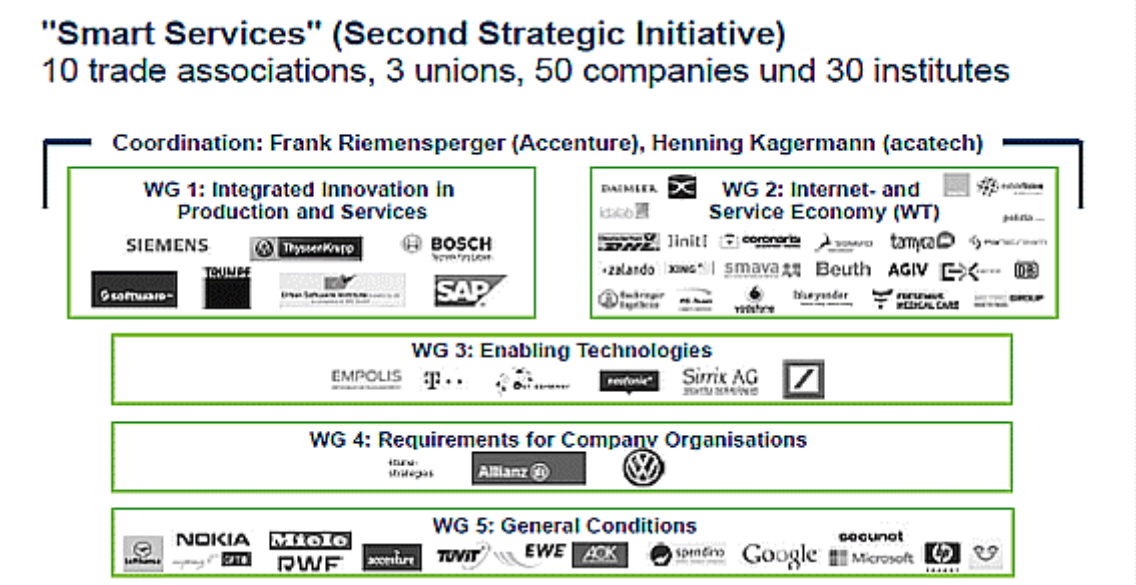
Industrie 4.0 のもう 1 つの特徴は、デモグラフィーの変化や社会的な要因を取り上げていることである。スキルワーカの不足からスキルのある高齢者が長く働けるような環境作り、仕事・生活・専門性の開発という Work-Life Balance を効果的に進める。自動化やフレキシブル化だけでは限界があり、多様な人材が働く製造の場で、しかも人の働き方がフレキシブルになるようにすることも重要なテーマとなっている。このことは、高齢者という対象に限定されたものではなく、ここから生み出されるサービスやシステムが、一般に活用されることで、利用しやすい環境を提供できるという面も重要となる。

(3)”Smart Services”の概要

Industrie 4.0 では、Internet of service を含めて議論していたが、主に対象としていたのは物理的なプラットフォームとしての Smart Products であった。2014 年に公表された「Smart Services」では、Software Defined Platform と Service Platform まで拡張し、Smart Products がサイバーとフィジカルの両方のサービスを統合して Smart Services を構築するというコンセプトで Smart Services を特徴づけている。インターネットベースのサービスを対象に、クラウド・コンピューティングの下で、Smart Services や Industrie 4.0 で述べられた Smart Products からデータを抽出し、スマートデータへ変換して、製品やサービス、サプライヤとの関係や Smart Factory の最適化につなげること、フレキシブルでオンデマンドサービスを提供することを目標としている。Smart Products は、それ自体がネットワーク化された物理的なプラットフォームとして機能し、継続的にデータを集めて、次の段階の Software-Defined Platforms で処理する。このプラットフォームは、あらゆるデータを生成・処理して Smart Services を構築することになる。例えば、ガス製造セット単体ではなく、製造したガスとエネルギー効率管理サービスを組み合わせて販売するような、製品からサービスへ転換する新ビジネスモデル(Everything as a Service)、サプライヤではなく顧客（消費者という個人の観点が強い）を中心においたモデルが書か

れている。スマートデバイスが産業装置の Software-Defined Platform を通じて稼働中のネットワークにより個々の機械から大量の稼働データを集め、装置全体の稼働を最適化するためのサービスが提供され、顧客とのインターフェースの管理ポイントが、装置の運営者からサービスのプロバイダに移ることも想定している。

図表２　Smart Services のワーキング・グループの構成



出典：Kagermann(2014)[25]

2．2　イギリス：The Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK

(1)概要

イギリスでは、2013 年 10 月に Government of Science の Foresight グループが、”The Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK”及び一連の Evidence Paper を発表した[26]。このレポートは、様々な製品やサービスを生み出す企業などが登場することで、バリューチェーンが一層分断化(Fragmentation)すること、あるいは、研究、設計、生産やサービスなど、企業活動の段階の境界が曖昧になり、設計・生産・組み立てなどの空間上の再配置が必要となるだけでなく、バリューチェーンや製品

25 http://www.raeng.org.uk/RAE/media/Events/Programmes/20140204-industrie4-Henning-Kagermann.pdf

26 Evidence paper の中に”The Factory of the Future”が含まれている。

のライフサイクルを超えた新しく統合された作業の関係構築が必要となるという問題意識をベースとしている。レポートは、製造業の将来に対して政府がどのような対応を取るべきかを提示するに当たり、製造業の将来について、①より早く、反応よく、そしてより顧客に近い製造、②新市場機会の出現、③よりサステイナブルな製造、④より高度なスキルワーカに依存するという 4 つを特徴としている。

(2)製造プロセスの統合

製造プロセスに関しては、顧客関係のマネジメント、プロセスの制御、製品の評価、製造のシミュレーション、ロジスティックス、製品のトレーサビリティ、安全システムなどの機能間のデータ統合が実現される。今後 20 年以内に、モデリングやシミュレーションが、あらゆる設計プロセスに統合され、製品・デザイン・生産システムの安全性、新しいプロセスのコンセプト・工場デザイン(レイアウト)やサプライチェーンを最適化しチェックする複雑なシミュレーションが可能になる。このシミュレーション能力がプロセスに組み込まれることでプロセスがインテリジェント化し、適応性を持ったリアルタイムな制御、画期的な品質性能や製品の複雑な選択ができるようになる。

また、スマートフォンは、組み込み GPS や RFID が付加され、Near Field Communication（NFC)、バーコード、QR コード、磁気ストライプ能力を利用することで、ユビキタスな汎用ツールとして、サプライチェーン、アセット、メンテナンスや生産の管理に使用されるようになる。AI、Natural User Interface や Intuitive コンピューティング、あるいはビックデータの新しい解析方法が統合化されることで、これまでは人を必要としていた多くのタスクが自動化される。そしてスマートフォンはロボットや自動システムの制御やプログラミングや品質のトラブルシューティング等にも活用され、工場でのタスクが多様になる。

センシングのインフラストラクチャが一般的になり、その信頼性も高まり、情報は益々機械から生み出され、在庫の自己チェック（Self-Checking Inventories)、スマートコンテナ、自動生産ライン変更システム、自己診断や故障予測など状態のモニタリング・サービスが拡大する。シミュレーションが高度化することでプロセスの自律性(Autonomy)が高まり、適応力を持ち、製造が大きく変わる。つまり、このようなフレキシブルな機械やインフラ、スタッフが、顧客の要求やその変動性に迅速・柔軟に反応し、良い俊敏性を持つことで、Reconfigurable Factory を可能にする。

(3)製品のカスタム化・パーソナル化

Additive Manufacturing（付加製造技術）は、今後数十年で本質的な製造ツールとなること、この技術の普及により、医療用インプラントのように個々の利用者の要求に適するようなパーソナル化が多くの製品で生まれると考えている。無駄を削減するように設計を最適化でき、効率的なバリューチェーンの管理、複雑な操作の改善に対するニーズや素材、緩衝用在庫(Inventory Buffer)、サプライチェーンに対する需要の削減を可能とする。製造場所の柔軟性が大幅に増し、消費者自身も製品を作ることができるようになる。

製品は顧客の声をより反映して直接的に設計される。あるいは、利用時にシグナルを伝送することで、修理が必要な電話の利用を止めることや、製品の利用者の利用状況や利用スタイル合わせて製品を変更できるようになる。より正確で詳細なデータを集め、好みや製品の利用のばらつきを明らかにし、製品の性能を高めることで、製品やサービスのパーソナル化が一層進み、顧客にオープンになり、生産者・顧客間で強い関係を構築する。

(4)IoT

物理的、化学的、生物学的なセンサがデバイス、装置、衣服、機械や人々に組み込まれ、無線や NFC によりつながる。そして工場内やプロセス制御された環境下で、バーチャルにあらゆるものが、中央ネットワークやインターネットを通じて接続され、製品は数百万個のセンサが一体化されたシステムとなり、機能的に今まで以上に自動化される。また、Manufacturing Execution System（MES）はリアルタイムで様々な生産プロセスの要素の制御を可能にし、生産のアウトプットを改善し、製造の意思決定を行えるようになり、クラウドベースのアプリケーションとして Shop Floor で使用される。

(5)働き方

自動化により、コンピュータビジョンやセンサ(レーダ、GPS、ネットワークによるコミュニケーション、遠隔制御のアルゴリズム)の開発が進み、ウェアラブルなロボットスーツ、人工的に増強された視覚・聴覚や触覚、遠隔制御・操作、AI などが開発され、製造だけでなく、医療・手術、配膳、あるいはクリーニングや消費者の行動において多くのルーチン作業が減少していく。3D ビジョン技術は、ジェスチャ、動作の追跡、顔を認識し、新しい製品やアプリケーションの可能性を創造し、ロボットとヒトが同じ空間で共同作業する

のを支援する。従業員は、マニュアル化された作業ではなく、知識ベースの役割を果たすことで雇用される。こうした労働者の知識は、生産現場だけではなく遠隔から作業するような新しいスキル開発が必要な時代となる。

（６）分散化

Additive Manufacturing のような技術により、マイクロスケールの製造が可能となり、家庭や戦場でも製造可能なモバイル・マニュファクチャリングが拡大する。工場は都市でも立地し、環境の観点から「よりよい隣人」になる。複雑な製品では、資源集中型のスーパーファクトリに移行するが、それ以外ではサプライチェーンのパートナーとの立地共有や統合化により再配置可能になる。

2．3　EU：ICT For Manufacturing: The ActionPlanT Vision For Manufacturing 2.0

⑴概要

EU は継続的に製造の将来に関するビジョンやロードマップを発表してきた[27]。例えば、2000 年 3 月のリスボン欧州理事会で提示された「リスボン戦略」をベースに、2004 年 11 月に”MANUFUTURE 2020： A Vision for 2020”を発表し、2009 年には、European Factories of the Future Research Association が、”Factories of the Future 2020”を作成し、環境及び人と協調することによる持続可能な製造、ICT 化やデジタル化によるバーチャルで、インテリジェント化されたスマート工場を実現すること、適応性の高い製造機器、高精度製造や不良ゼロの製造のような高い生産性や材料効率性を実現する製造プロセスなどを実現するために戦略的な研究ロードマップを提示している。

戦略的な方向性として、大量生産をヨーロッパに戻すこと、そのためには知識ベースの製造エンジニアリング、次世代の工場用 ICT インフラ整備や教育、都市環境に適用した良き隣人としての工場となるための製品や製造プロセス、工場と自然の消費を少なくし、クリーンで、グリーンな工場となるための製品ライフサイクルを持った新しいビジネスモデルの開発を挙げている。

2012 年に発行された、”ICT For Manufacturing: The ActionPlanT Vision For Manufacturing 2.0” [28]においては、製造現場における ICT の利用に関して記載している。

---

[27] http://www.manufuture.org/manufacturing/

[28]

ここでは、センサ、自動コントローラ、組み込みシステムは一般化してきたが、依然として多くの企業が、IoT をローカルで、隔離・閉鎖的なシナリオでしか捉えていないと批判している。特に、モバイルデバイスは、絶えず活動し、常時接続しているユーザに魅力的な提案を提供するものであり、消費者市場に普及しているのに対して、製造・事業現場では限定的であることから、”Beyond the shopfloor”を強調した。

図表３　EU の製造の将来像に関するレポート

年	レポート
2003	The Future of Manufacturing in Europe 2015-2020: The Challenge for Sustainability
2004	Manufacturing: A Vision for 2020”
2008	A European Economic Recovery Plan：Factories of the Future が 1 つの柱
2009	European Factories of the Future Research Association” Factories of the Future 2020”
2010	EU smart, sustainable and inclusive growth: the European strategy：EU 2020 strategy Thematic Report by the working team on Advanced Manufacturing, High-Level Group on Key Enabling Technologies System(2010)
2011	Manufacturing 2030(Manufuture)(2011) Design, producing, testing, distributing, recycling new products High-Level Expert Group key enabling technologies, Final report(2011)： Advanced Manufacturing as key pillars of growth and investment
2012	Advanced Manufacturing as key pillars of growth and investment ICT for Manufacturing: The ActionPlanT Roadmap for Manufacturing 2.0

出典：筆者作成

(2)市場・競争環境への対応

ベンチャーのようなダイナミックな小規模企業が、グローバル化などのビジネス環境を活用でき、以前よりも早くイノベーションを推進できるので、既存企業はアジャイルで、素早い対応が一層求められるようになる。接続性・モバイル化やインテリジェント化を推進するため、一層の ICT の活用やコラボレーション、従業員や消費者等の人的要素の統合などにより、効率性を追及するプロセス志向の製造とカスタム化という顧客・市場を志向する製造の間のギャップを埋めていく。

新興国における、大都市化の進展やミドルクラス層の拡大により、これまでニッチ市場と考えられていた、これらの市場向け製品の需要が増大する。しかも製品の購買は、安全性、品質、パーソナル化・カスタム化できる製品などのブランドとしての認識により決定

http://www.actionplant-project.eu/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=56

される。また、消費者の安全性や労働者の安全性などの規制が、あらゆる地域で連関性を持ち、地域や国際的な規制遵守を保証する能力が、新しい国際的な標準化、顧客の期待を高め、製品の市場シェアを獲得することにつながると考えている。

(3)消費者と製造との関係・ビジネスモデル

生産現場から顧客に至るまで、サプライチェーンの全行程を、末端から末端まで製造プロセスの能力を拡張する生産現場のプロセス化が求められ、生産現場と顧客との接続が益々重要となる。オンライン取引が増大し、間際まで購入しない消費者が増加するので、迅速なサプライチェーンを構築し、サプライヤやサブコントラクタと協働して、素早く顧客に製品を届けなければならなくなる。また、次世代の製品サイクルマネジメントは、最良の製品設計だけでなく、特に付加価値やアフターサービスを強調して製品のサービス寿命を考えなければならなくなる。それは、遠隔サービス管理により、装置の使用可能時間やコスト削減(サービス提供のための移動の削減、サービスの効率性の向上)、first-visit-fixed-rate やデバイスソフトウェアの遠隔アップデートを可能とするような、ケイパビリティ・ベースの契約により、使用単位で料金を支払う方法が主流となる。

図表４　ActionPlanT における将来像

項目	将来像
Agile Manufacturing Systems and Process	標準化されたインターフェースによりシームレスに統合化され、データを交換できる。また、製造プロセスは、リアルタイムで変化に対応できる
Seamless factory lifecycle management	ヴィジュアル化されたリアルタイムの追跡や予測によるメンテ情報をプラントのマネージャーやオペレータが活用でき、マネージャーは、稼働中ですら KPI により生産エリアを ドリルダウンでき、スループットや利用・消費を観察
Fostering collaborative supply network	遠隔サービス管理により装置の稼働時間、サービスのための移動などコスト削減、first-visit-fix-rate のような価格設定によるサービスの効率性の向上、遠隔から機器のソフトウェアのアップデートなどイノベーションプロセスの促進
Aiming at customer-centered design manufacturing and services	Customer Engagement をさらに進め、Feedback を引き出したり、コラボレーションによるインテリジェント化された製品設計により品質と価格のサステイナビリティを獲得し、オーダーメイドの生産の障壁をなくし、複雑で多様性に富むパーソナル化された製品を消費者に提供

出典：筆者作成

顧客との関係も、共創のパートナーとして、モバイルの世界における新しい事業機会や

事業創造のために、顧客参加から利益を獲得できるよう、コラボレーティブな製造やサービスのマネジメントが必要となる。コラボレーションや接続性を高めることから、豊富なコンテキストやデータが生まれ、迅速に解析し、マネジメントとプランの両方のレベルで必要な情報や結果を、モバイルデバイスを通じて、意思決定者が活用することになる。

(4)働き方

労働力の高齢化に対応するため、ユーザフレンドリな ICT ツールを使った日常業務の支援が必要となる。優れたユーザ・インターフェースを持った、教育的な User Experience が主導するワークフロー、モバイルデバイスやサービス・ロボットなどの支援手段を活用した高齢労働者の支援が行われる。また、製造現場では、スキルや知識を効果的にイノベーティブな製品の創出につなげるため、高齢労働者から若い労働者への知識移転の推進の必要性が高まり、知識の移転・伝送の画期的な仕組みを通じて、スキルの継続的な開発が行われ、より優れた機器を活用した次の世代へのスキル移転を進めていく。

2．4　米国：National Network for Manufacturing Innovation: A Preliminary Design

米国は政府レベルで製造業の将来という形で広範なビジョンを打ち出すというよりも、主要な技術分野、イノベーションシステムを強化する方向を重視しているようにみえる。

(1)概要

米国では、2009 年 12 月の"A Framework for Revitalizing American Manufacturing"の発表まで、政策面で製造を支援することについての関心は低かったが[29]、オバマ政権の中間選挙敗北により、政府では製造業の競争力や雇用に対する関心が高まった[30]。National Institute of Standard and Technology 傘下の Manufacturing Engineering Laboratory では、製造技術の研究開発を行っている。ここでは、インテリジェントマシン、リアルタイム計測のための高機能センサ、正確な機器制御のためのソフトウェア、製品ライフサイクルのあらゆる要素を統合する ICT などの、将来の製造技術の核となるインテリジェント製造に必要な技術開発に取り組んできた。あるいは、National Advanced Manufacturing Testbed の運営など、将来の製造技術をサポートする先端インフラ技術の研究に取り組んでいる。しかしながら、国レベルで本格的な製造に関する取り組みが関心を集めたのは最

[29] Council on Competitiveness が 2011 年 12 月に発表した" Make: An American Manufacturing Movement" において、産業界でも同様であったと考えている。
[30] 米国企業のリショアリングの拡大も重要な要因として挙げられる。

近になってからといえよう。

米国では、2011年から2013年にかけて、President's Council of Advisors on Science and Technology（PCAST）や National Science and Technology Council（NSTC） などから、雇用創出と経済成長、国家安全保障などの観点で、製造業の競争力強化やイノベーションに関する様々な報告が行われていた。2011 年 2 月に"A Strategy for American Innovation: Driving towards Sustainable Growth and Quality Jobs" [31]、同年 6 月"Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing"、翌 2012 年 1 月に"The Competitiveness and Innovative Capacity of the United States"、 同年 2 月に"A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing"を発表した。

図表５　米国の製造に関する政府や団体からのレポート

	政府の主要なレポート	政府以外のレポートの例
2009	A Framework for Revitalizing American Manufacturing	
2010		National Academy of Engineering : Making Things: 21st Century Manufacturing and Design(2010, Oct)
2011	A Strategy for American Innovation: Driving towards Sustainable Growth and Quality Jobs(2011,Feb) PCAST : Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing (2011,July)	Council on Competitiveness : "Make: An American Manufacturing Movement" (2011,Dec)
2012	The Competitiveness and Innovative Capacity of the United States (2012,Jan) A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing(2012,Feb) Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing (2012,July)	Institute of Defense Analyses : Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing(2012,Mar) McKinsey Global Institute Manufacturing the future: The next era of global growth and Innovation National Academy of Engineering"Making Value: Integrating Manufacturing, Design, and Innovation to Thrive in the Changing Global Economy" (2012)
2013	National Network for Manufacturing Innovation: A Preliminary Design(2013, Jan)	

出典：筆者作成

ここでの１つのキーワードは、Advanced Manufacturing（先端製造）である。この先端製造は、"Report To The President on Ensuring American Leadership In Advanced Manufacturing"において、情報・自動化・コンピュータ計算・ソフトウェア・センシング・

[31] 2012 年 3 月 Institute of Defense Analyses が、広範な技術トレンドや各国の強さに関する分析レポート Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing を発表している。

ネットワーキング等の利用や調整に基づいて、物理学・生物学・ナノテクノロジー・化学による成果と最先端材料を活用する一連の活動と位置づけ、既存製品の新しい製造方法と新技術による新製品の製造の両方を含む[32]。また、2012 年 7 月 17 日に出された"Report to the President on Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing"の中で、「先端製造」は、新興の技術に限定されるものではなく、むしろ、それは世界的に競争力のある米国のメーカーやサプライヤなどが、効率的・生産的で、高度に統合され、厳密な制御プロセスから構成されているものとしている。これらのレポートでは、新製品だけでなく既存製品においても、製造というプロセスのイノベーションが重要な領域と位置づけており、製造イノベーションを推進するためのイノベーション基盤、ビジネス環境の整備、人材育成の方向性を示している。

米国は、省庁横断的な産学官連携の取り組みとして、Advanced Manufacturing Partnership(AMP)を設立し、2012 年 7 月に"Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing"を発表した。ここでは、米国のイノベーションシステムの強化を指摘し、製造方式を一変させる新技術により世界をリードすることに重点を置くべきとし、製造基盤を強固にするための 16 の提言をしている。11 の分野横断的な技術領域への重点的な研究開発予算の投入や、基礎研究と製品開発のギャップを埋めるために産業界や大学、連邦政府や州・地方政府機関を結集し、中堅・中小製造業支援にもつながる製造業イノベーション研究所を全国各地に設置することを打ち出している。オバマ大統領は、2013 年 2 月 13 日に、"Our first priority is making America a magnet for new jobs and manufacturing" というメッセージを発し、2014 年 1 月のオバマ大統領の一般教書演説では、製造業による雇用創出が重要政策であること、3D プリンタなどの技術革新が製造業を大きく変えることを強調している。

(2)National Academy of Engineering のレポート

政府以外に、National Academy of Engineering によるシンポジウムにおいて製造業の将来像についての議論が行われている。例えば 2010 年 10 月に開催したシンポジウムの内容を、2012 年にレポート"Making Things: 21st Century Manufacturing and Design"として発表した。その中で、前 GM 副社長の L.D.Burns が、現在の Manufacturing とはデ

[32] 先進製造を米国で加速、繁栄させるためには、地域社会、教育者、労働者、企業だけでなく、連邦、州、地方自治体の積極的な参加が必要としている。

ザイン、エンジニアリング、資源調達、製造・生産、物流、マーケティング及び販売を含めた統合システムであり、これからはカスタマ・エクスペリエンスが主導するものであること、この分野のイノベーションはまだ歴史が浅いこと、技術の変化が激しく、労働者のスキルや組織構造が現状のままでは維持できなくなることを指摘した。

このシンポジウムの 2 年後に開催したシンポジウムの結果は、レポート"Making Value: Integrating Manufacturing, Design, and Innovation to Thrive in the Changing Global Economy"として発表された。この 2 年の間に主題が、"Making Things"から"Making Value"へ転換しており、"Making Value"を実現するために、前述の Burns が述べた統合システムとは、顧客を理解する統合システムとならなければならないとして、顧客との協働の重要性を一層強調している。"Making Value"を実現するイノベーションの事例として、Rolls-Royce の航空機エンジンビジネスを取り上げ、航空機のエンジンは、ジェットエンジン以降、破壊的なイノベーションというよりも漸進的なイノベーションが行われてきたが、エンジンのモニタリング、メンテナンス、サポートなどのサービスを導入することで、漸進的なイノベーションにサービスを組み合わせて提供することで、新しい価値を生み出すことに成功したことを紹介している。

あるいは、個人による製造やデザインが可能となる（"We are all producers, we are all designers"）（P16）ことで、個人の力を活用したり、Colocation の時代に向かうという認識を示している。ここで注意すべきは、ICT だけで共創することはできず、航空機により遠方の移動がより安価で実現することになると、Face to Face のコミュニケーションが重要になるような例を挙げている。

(3)IIC の取り組み

米国では、2014 年 3 月に Industrial Internet Consortium(IIC)が、AT&T、Cisco、GE、IBM 及び Intel により設立された。Internet of Things や Industrial Internet など、インターネットによるサービス(M2M や製造や生産のインフラも含め)に関する標準アーキテクチャの構築を目的に活動を開始している。IIC の設立や活動には米国政府も関与している。設立企業以外にも、Microsoft や HP などの米国企業や日本企業も参加し、参加する企業の技術の接続性・互換性を検証するフレームワークやそのための Testbed の取り組みが行われている。

2．5　Peter Marsh　：”The New Industrial Revolution”

(1)概要

Peter Marsh はイギリスのジャーナリストである。過去 250 年の製造業を振り返りつつ、低価格競争で台頭している新興国により先進国の製造業が衰退するという指摘に対して、先進国の製造業が十分に競争力を持ち、新しい製造業となる革命「New Industrial Revolution」として、将来の姿を考察している。この革命は、2005 年頃から始まり 2040 年頃まで続く(変化による全効果の発揮は今世紀末まで)と指摘している。

(2)マス・パーソナル化

企業は ICT を活用して、マス・パーソナライゼーションや複雑な設計や生産プロセスを実現してきている。例えば、フランスの光学レンズ企業の Essilor は、Mass Personalization を実現した企業の 1 つであり、たった一人の顧客用の眼鏡を 1 つ製造するもので、2010 年には 1000 万個の独自の眼鏡を作り、内 200 万が標準デザインとなっている。2 万台のコンピュータを使用しており、製造業よりも情報企業と呼べる。あるいは、イタリアの鉄鋼企業の Arvedi Group の Endless Strip Production はセンサとコンピュータの制御で実現した。Embraer 社(ブラジルの航空機)は、Computer Aided Analysis を積極的に活用し、武器等の軍事企業の Armor Designs 社は、専用ソフトウェアが制御する複雑なパターンを可能にするデザイン専門企業として活動している。

マス・カスタマイゼーション(多品種大量生産、例：自動車)やマス・パーソナライゼーション(自動化生産と手作りの融合、例：メガネ)の進展により、多くの企業は、従来以上に幅広い選択肢の製品提供が可能となる。

Additive Manufacturing に関して、2040 年までに 3D プリンティングは製造業のメインになる、と予想している。特に、個人的・心理的なニーズにフィットするカスタマイゼーションが重要な製品では、この傾向が強い[33]。この技術が通常の製造の一部となった場合に、マス・パーソナル化が実現され、このパーソナル化は高コスト国の製造業にとって有用な時代となる。これまでは、狭いニッチ企業が特別な顧客をターゲットとしていたが、これをグローバルに拡大でき、だれもが実現可能になるという意味で、Industrial

[33] Victor and Boynton(1998)は、ユーザ個人の経験を感じ取り、反応し、受け入れるトータルで統合化された製品を提供していくことで、ユーザのニーズの変化に応じて製品をカスタム化していくことの必要性を主張し、この取り組みは決して終わらない活動とした。Victor and Boynton (1998) Invented Here: Maximizing Your Organization's Internal Growth and Profitability, Harvard Business School Press

Democracy が生まれる時代になるとしている。

技術は Systemic Resource として考えなければならず、自動化機械の開発には多くの技術を知らなければならない。20 世紀前半までの製造業の変革は、相対的に少ない技術開発によりなされた(蒸気機関、鉄鋼、電力や化学)が、エレクトロニクスやバイオ、インターネットやレーザのように、多くのエリアで細分化された技術によりなされるようになった。さらに、ナノ材料(プロセス)、付加製造(AM)、ロボット、スマート製造のような分野のプラットフォーム技術は、多くの企業がアドバンテージを獲得でき、1 社だけで独占できるものではない。技術は、異なった分野の発展が多様な新製品やプロセスを創出するために結びつくように、システムとして取り扱われる、Technology Association の時代である。

(3)先進国での製造

消費地での生産が志向され、中国及びその他の新興国での生産の割合は一層高まるが、消費地に近い場所での開発・製造(ローカリズム)は先進工業国でこそ拡大する。ローカリズムと並行し、先進工業国は高品質製品の輸出者としても引き続き役割を担う。設計、開発、生産からサービスの一連のプロセスがグローバルバリューチェーンによって各地域に分散し(広がり)、高コスト、低コストいずれの国にもビジネス機会が生まれる。高コスト国と低コスト国での生産プロセスを併せ持つ「ハイブリッド」な製造が、大企業だけでなく、中小企業でも可能になる。中小企業も含め多国籍企業が増加し、ローカルレベルの消費用の製造も特徴的になる。

ニッチ市場も世界的な広がりを持つため可能性が広がり、そのため、専門領域に特化した高コストの企業にとってもビジネスの機会が拡大する。高コスト国において生産及びデザインを行うことの意義はより明確になる。商品開発を担う高能力層に対する雇用や、技術、デザイン、製造に対する国の文化の役割が大きくなり、デザイン専門製造企業が、今よりも存続可能になり、ダイナミックなグループとなる。また、技術のアイデアの移転が、物理的なプロダクトよりも、グローバルなバリューチェーンの重要な部分を占めるようになる。消費者との関係でも、製造ビジネスがコンサルタントのように活動し、多くの時間と労力をかけて、顧客と要求について議論を行った後で、そのニーズにあった製品を製造するようなことも行われる。

2．6　Suzanne Berger：”Making in America: From Innovation to Market”

(1)概要

本書は、Industrial Performance Center の Suzanne Berger を代表とする MIT Task Force on Production and Innovation のメンバーが、米国内、ドイツ、中国、日本など約 250 の専門家へのインタビューなどをベースに約 3 年かけて検討した”Production in the Innovation Economy”(PIE)[34]の結果である。取り上げている領域は、イノベーション政策、スタートアップ企業、ドイツや中国のスケールアップへの取り組み、地域イノベーション政策など広範である。製品とサービスの融合、分散化製造などをベースと考えている。

(2)今後 5 年間の重要な製造関連技術

本書では、今後 5 年間の重要な製造技術をいくつか挙げている。例えば、分散型製造を推進するための 3D Printing や Maskless Nanolithography などにより、より小さく、より俊敏な、よりフレキシブルな、よりエンドユーザに近づく製造として、Programmable Manufacturing Process を挙げている。また、既存の大規模製造プロセスの生産性や柔軟性を高めるための技術、部品を製造・流通段階で追跡できる RFID なども紹介している。

あるいは、Robotics and Adaptive Automation では、Human Labor を代替、または拡張する インテリジェントな自動化(組み込みセンサ)、再設計可能なロボット、無線・リアルタイム・センシング、遠隔ロボットや遠隔操作可能なネットワーク化された制御が拡大していく。ロボットとヒトの協働は、既存の製造におけるバリューチェーンに沿って重要な地点での効率性や生産性を大幅に高めるものとしている。

(3)分散型製造

過去 50 年をみると、商品は小型化し、製造は迅速に対応しなければならない世界となっているが、実は、過去 30 年をみるとプラントは大型化し、製造は統合化の方向に動いていたことを指摘した。今後は、分散型製造(Distributed Small-Batch Manufacturing)が拡大することにより、ロングテールのような小ロットの製品や顧客が特別に求める複雑な製品がより可能になる。Additive and Precision Manufacturing が拡大し、家庭での 3D プリンティング、CAD や次世代 Injection Molding(射出成形)を統合したラピッド・プロトタイピング、プロトタイピングやレーザベースの製造における MOSIS のようなファン

[34] http://web.mit.edu/pie/

ドリー企業が増えていく。分散化された製造においては、輸送が重要な役割を果たし、Peer to Peer Shipping が拡大し（物流の民主化）、Less than truckload industry(混載型輸送・小口輸送)など、フレキシビリティが高い物流の重要性を指摘している[35]。

[35] The Executive Office of the President and the U.S. Department of Commerce(2015)Supply Chain Innovation: Strengthening　America's Small Manufactures

3. 将来の製造業の方向性の整理

以上取り上げたレポートでは、モバイルやウェアラブル端末をユビキタスな汎用ツールとして、サプライチェーン、アセット、メンテナンスや生産の管理に使用し、製造・生産現場のデジタル化やネットワーク化が拡大し、企業内の R&D から、設計、製造、物流や消費までのプロセスやサプライチェーンマネジメントまでシームレスにつながり、工場や企業の境界を超えてつながる製造が想定されている。本章では、これらの示されている将来の製造業の方向性を、パーソナル化の促進、分散製造、スマート・ファクトリ、物流・サプライチェーン、働き方の５つの点からまとめる。

3．1　パーソナル化の促進

現在、消費者は様々な選択肢を獲得できるようになり、マス・カスタマイゼーションが進んでいる。途上国の大都市化の進展やミドルクラス層の増大により[36]、グローバルにその動きが拡大している。このような状況で、高品質で Reasonable で、広範な要求に適う製品やサービスが求められ、効率性や有効性、価格を犠牲にしないで、カスタマイズだけでなく、パーソナル化する個人の好みを満足するため、異なった製品を大量生産のような形態で提供しなければならなくなっている。

製品レベルでは、様々なセンサがデバイス、装置、衣服、機械に組み込まれ、M2M など広範にデータが活用され、診断や故障の予測など、状態のモニタリングや自己診断できるようになる。そして、正確で詳細なデータが集まり、消費者の好みや利用状況が明らかになる。さらには秒刻みのデータのやり取りにより、利用時でも、修理が必要な機械の利用の停止や、より適切な利用方法にするためのフィードバック情報も獲得できるようになる。また、自動遠隔管理、適切な装置の使用時間やコストの削減、デバイスソフトウェアの自動アップデートが可能になる。このような製品レベルのインテリジェント化により、使用量ベースでの料金設定のようなケイパビリティ･ベースの支払いが中心となるように、ビジネスモデルが転換されていく。

3D プリンタ等の Additive Manufacturing 技術が普及し、個人に合わせた製品が作られることで、消費者は益々自分の独自の製品やサービスを求める。製品が新たなサービスと融合することで、パーソナル化が一層進み、個々のニーズに対応した製品やサービスを大

[36] World Economic Forum(2012) “The Future of Manufacturing：Opportunities to drive economic growth”

量に効率的・迅速に提供できるマス・パーソナライゼーションが進む[37]。大量生産に適合させてきた組織形態をネットワーク型の組織や経営に転換し、製造プロセスがよりモジュラー化していく。

3．2　分散製造(Distributed Manufacturing)

(1)分散化の拡大

途上国発のイノベーションが、先進国にとって破壊的イノベーションになるリバース・イノベーションが拡大している[38]ように、イノベーションが生まれる場所はグローバル化、分散化しつつある。製造でも、アフリカを含め全世界に広がることになる。その一方で、先進国では、住宅地・都市部でも、Urban Production と呼ばれるような、環境・エネルギー・騒音などに配慮した製造が可能となる。まさしく、Design Anywhere, Manufacturing Anywhere である。なお、再生可能エネルギーが普及すると、これまでの中央集権型で効率性を高めていたものが、工場や自宅、オフィスでの発電のような自律分散型が可能になり、分散製造の動きは一層促進することになる。

(2)Cloud Manufacturing の時代

製造の分散化は、距離とは無関係に優れた企業との関係の構築を容易にし[39]、開発・製造・サービスのプロセス／バリューチェーンをグローバルに組み替え、製造の進め方、参加者、ビジネスの方法にも影響を与える。個人も含め様々なステークホルダが、アイデア、設計、製造に関与して製品やサービスを共創する時代になる。例えば、サプライチェーンのパートナー同士による Co-Location や Industrial Commons と呼ばれる製造の立地共有化が進む。あるいは、クラウド環境下で、製造資源プールをバーチャル化することで、異質で地域的に分散している製造資源を取り出すことを可能にする Cloud Manufacturing という考えも出されている。これらは、分散化した並列型の製造を行い、共創環境を企業や個人に提供(共有)して、製造のエコシステムを構築し、共創を実現するものである。

---

[37] これまでの市場ニーズの多様化への産業界の対応は、伝統的な職人的生産の回帰よりも(熟練に支えられた手作りの一品生産も根強く存在)、大量生産の基本を踏襲しつつ、フレキシブル生産の能力を獲得する活動だった。

[38] GE は Local Growth Team による、新興国や BOP 市場で現地に合った超音波診断装置や心電計の開発を、NOKIA や SAP は、アフリカや南アメリカで Living Lab による新サービス開発を進めている。

[39] Siemens の North Carolina 州 Charlotte の工場では、全世界 350 社のサプライヤとつながり、他の同社のセンターにいる 3,000 人の技術者と連携して、医療機器や自動車の製造(Networked Manufacturing)をしている(Marsh(2012))。

(3)高まる小規模企業や個人の存在感

ICT の普及や製造がグローバルで可能になると、少量生産であっても Long Tail Manufacturing と呼ばれるようなビジネスも可能になる。企業規模を小さく保ったまま規模の経済の実現が可能になり、先進国にある高コスト企業でも専門製品による事業機会が拡大し、高コスト・低コストいずれも事業機会が拡大する。

あらゆる場所の資源を活用してビジネスを行える環境ができ、創業時からグローバルな関係で事業展開できる「Born Global」型の創業も可能となり、さらに、Marsh(2012)が Micro-Multi-Nationals と呼んだような小規模な企業であっても多国籍にビジネスを展開できる。中小企業も高コスト国と低コスト国の両方でも製造プロセスを保有することが可能となる(Hybrid Manufacturing)。

また、デザインのプロセスが消費者にオープンになり、消費者自身がデザインし、生産者と消費者間で強い関係が構築され、消費者とニーズを議論し製品を設計・製造することが拡大しているように、このような取り組みは、別のプロセスにも拡大していく。CAD や 3D プリンタなどの設計・製造ツールが普及し、モバイル・マニュファクチャリングのような家庭や場所を問わないで軽微な設備で製造も可能になり(パーソナルファブリケーション)、企業が個人のアイデアを広範に集める活動やクラウドソーシングサービスが拡大することで、製造者として個人の存在が重要になる。分散化されていた資源を再配置できる製造サービスが提供され、企業や個人は、このようなサービスを利用することで、オンデマンドでシームレスな製造を行える。

意思決定も、分散化することは、分権化が求められる。分散化することは、品質の管理も集中的行うのではなく、分散化することになる。

3. 3 Cyber-Physical System

デジタル化、ソフトウェア技術・サービスなどの、新しい「ソフトウェア」の力で、製品単体だけでなく、他の製品やユーザとつながることで一層製品やサービスの価値を高めることができる時代になった。つまり、自然法則(物理・化学・電気)が支配する、または自然法則に制限される製品やサービスから、情報科学(吉田 2013)[40]という人の創造性をより自由に発揮できる技術を活用することで製品やサービスを生み出すことが可能になった。

今後は、個々の部品や、製造ラインを構成する様々な装置などに個別の IP アドレスを

[40] 吉田民人(2013)「近代科学の情報論的展開　プログラム科学論」勁草書房

付与し、M2M でのデータの通信が爆発的に増え、自己コントロール・自己最適化していくようになる。車や航空機のような製品は単体の機器ではなく、ICT を介して社会システムのインフラとして組み込まれることになる。そのため、ソフトウェア単体の信頼性だけでなく、ソフトウェアと物理世界が相互作用し、統合して信頼性を高くし、システムを構築する設計手法やマネジメントが求められる。

Informatics と Engineering とを融合した研究・教育が必要となるが、日本では ICT のユーザ企業の ICT 能力が特に問題となる。米国では ICT のユーザ企業に IT 技術者が多く[41]、自らが自社開発する傾向が日本よりも強い(谷島 2014) [42]。ICT の能力が事業サービスと直結する時代を向かえ、ユーザのプロフィットセンターでの ICT の力が必要となる。

Industrie4.0 で取り上げられた CPS は、米国で生まれた言葉である。NSF が 2006 年に CPS をテーマとするワークショップを開催して CPS の可能性や課題を議論した。さらに、2009 年に NSF は CPS をテーマとする研究プログラム(年間 30 億円)を開始した。ここでは、CPS の概念を打ち出すことも含まれており、必ずしも具体的な CPS の姿というものが共有されていたわけではなかった。

この CPS のコンセプトが重要となっているのは、製品ベースの組み込みソフトをベースとするシステムの複雑さが急速に増したことから、製品、インフラなど相互に接続してよい世界を作るためには、これまでとは違う考え方が求められるからである[43]。ソフトウェアと物理世界が相互作用、統合して信頼性高く設計する手法が求められる。つながるだけでなく、コントロール・自己最適化しなければならない。信頼性や安全性が求められ、さらには分散化することで、意思決定のメカニズムや証明・認証（Certification）、保護、防犯（Security）などの対応も当然必要となる。

ここで重要なことは、CPS は決して Cyber 企業が Physical 企業を支配するということではない。Cyber の世界でのサービスを開発する能力があっても、Physical な世界を支配することはできない。「ものづくり」の強みと「ソフトウェア・システム・ネットワーク」の強みを統合して CPS による価値を高め、製造企業は、William Mitchell (2003) が指摘していたようにプラント管理からネットワークの管理へ重点を移していく必要がある。

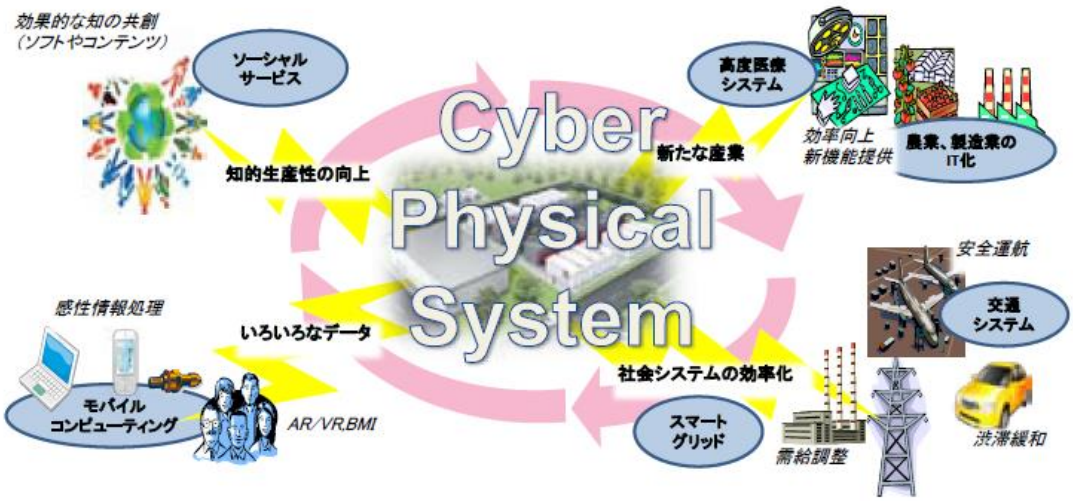
---

41 情報処理推進機構『グローバル化を支える IT 人材確保・育成施策に関する調査(概要報告書)』(2011 年 3 月)

42 谷島宣之(2013)『ソフトを他人に作らせる日本、自分で作る米国』日経 BP

43 The Industrial Cyber Physical Systems(iCyPhy)プログラムは、IBM, United Technologies, Caltec、UCB により 2013 年春より活動を開始している。

図表６　CPS の概念の例[44]



IIC や Industire4.0 を主導した GE や Siemens などはソフトウェアの研究開発力を強化している。例えば、GE はソフトウェア売り上げを現在の 25 億ドルから 2015 年に 50 億ドルに拡大することを目標に、ソフトウェアの開発能力[45]を高めている。グローバルソフトウェアセンターを NY に設立(5,000 人)し、Silicon Valley software and data analytics center(800 人のプログラマとデータサイエンティストを擁す)、Michigan Advanced Manufacturing and Software Center などの拠点を設置し、再生可能エネルギー、ジェットエンジン、ガスタービンにおける、ソフト開発、データアーキテクチャ、ネットワーキング、Business Intelligence の専門家を配置するようにしている[46]。Siemens の Research & Technology Center には、150 人のデータ解析専門に研究している人がいるといわれている。また ABB も同様に取り組みを強化した[47]。

3．4　スマート・ファクトリ

パーソナル化の進展は、サプライヤや企業からみると、オーダーがその日ごとに変動す

---

44 科学技術振興機構・研究開発戦略センター(2012)『CPS(Cyber Physical Systems）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』

45 Regalado(2014)"GE's $1 Billion Software Bet" MIT Technology Review, VOL. 117, NO. 4, 76-77

46 GE は User Experience Lab ではオフィスや病院などの利用(Context)データ・試験など人・機械・ICT との関係性の中で人を理解する取り組みを強化していることも注目すべきである。

47 ABB　"Why ABB is a software company" (ABB Review, March, 2012)

るため、顧客の要求やその変化の激しさに対して、迅速・柔軟に対応しなければならない。

顧客関係のマネジメント、プロセスの制御、製品の評価、製造のシミュレーション、ロジスティックス、製品のトレーサビリティ、安全システムなどを含む機能間、あるいは、生産現場と消費者間でデータがつながるようになる。Siemens は、実際に製品を作る製造現場や製造プロセスと、厳密にシミュレーションする仮想世界をシームレスにつなぎ、現実と仮想両製造世界の完全な一致を目標とし、PLM と SCM を一貫・統合させ、製品のライフサイクルの全段階をシミュレーションすることを狙っている[48]。

製品・デザイン・生産システムの安全性、工場のデザインやサプライチェーンの最適化や評価に活用するため、あらゆる設計・製造プロセスはモデリングやシミュレーションを統合する。そして、AI などにより適応力を持つリアルタイムな制御、高度な品質性能や製品の複雑な選択が可能になり、バーチャルな世界と物理的な世界が融合する CPS の世界で、機械の構成自体も再配置可能に、自己最適化した(考える)製造が行われるようになる。

Manufacturing Extension System（MES）によるリアルタイムで様々な製造工程が制御されるだけでなく、クラウド上でアプリケーションを伝送し管理する。さらに製造機械が製品を加工する時代から、作られる製品が機械に作業を指示することも想定されている。

ここで記載したことは、先進国の先進的な製造に限定される話ではなく、期間は別にして、いずれ製造業の広範に影響を与える動きである。B2B と B2C の違いがあり、顧客と製造の関係の場合に、顧客が企業の場合と一般消費者の場合とでは異なるかもしれないが、B2C で起こることは B2B でも起こる。

3. 5　物流・サプライチェーン

製造のフレキシビリティとは単に工場の機械の自動化・ICT 化や工場とオフィスがつながることなどで実現するのではなく、物流や働く人のフレキシビリティが必要となる。研究、設計、生産、サービスの境界が曖昧になり、研究から顧客参加に至るまで、サプライチェーンやバリューチェーンの分断化、再編が進む。物流[49]に関しては、間際まで購入しない(直ぐに手に入れたい)消費者やオンラインでの取引が増大し、迅速なサプライチェーンを構築し、サプライヤやサブコントラクタ等と協働して、素早く消費者に製品・サービスを届ける。そして、バリューチェーンや製品のライフサイクルを超えた新しく統合され

---

48 ロイエル等(2008)『数学が経済を動かす』シュプリンガー・ジャパン

49 米国の先端製造に関するレポートでは物流の記述は少ないが、Suzanne Berger は”Making in America: From Innovation to Market”(MIT Press, 2013)の中で、物流の重要性を指摘している。

た作業の関係を構築するために、設計・生産・組み立てなどの空間上の再配置が必要となる。

3. 6　働き方

人と機械の関係(人を支援する機械、人とロボットが一緒に活動する場)のように人への配慮も重要な項目である。工場の現場でも、高齢化の進展と労働人口の減少が前提となる。そのため、人と機械の関係において人への配慮が重要となり、高齢者が働きやすい環境作り、高齢労働者から若い労働者への知識移転の推進、ユーザフレンドリな ICT ツールにより日常業務の支援が必要となる。また、高齢者の労働への配慮は、一般従業員の働き方の柔軟性向上に活用できる[50]。Hatch(2013)[51]が指摘したように、操作するために研修が必要な機械ではなく、Rodney Brooks(MIT 教授、iRobot, Rethink Robotics の創業者)が[52]述べたように、工場の一般労働者が、CAD やロボットのプログラミングや操作ができる時代となる。

フレキシビリティが求められるのは組織や労働者も同様である。これまでの省人化のようなものではなく、高齢者あるいはそのタスクの初心者でも円滑に作業ができるようにしていく。つまり、新しい仕事・職場に入りやすいような支援が行われる。自動化が拡大することで専門技能が必要な機械や作業が減少する中で、従業員は、より高度なスキルや遠隔操作に対応したスキルが求められる。ロボットやプロセスの自動化機器により、現在の人ー機械関係の基準が変化し、新しい機械とオペレータのインタラクションが起こる。

このように工場は、様々な人と機械が働く Universal な場となる。自動化が拡大することで専門技能が必要な機械やそれを使った作業が減少する。その一方で、高度・新スキルが必要となる[53]。人と CPS との関係性は、1980 年代の CIM のような省力・省人化に向かうというよりは、人が CPS と組み合わさることにより、個人のスキルや能力が活かされるようになり、人とロボットが個別に作業をするのではなく、一緒に作業をすることが製造現場では拡大していく。

---

[50] 現在は、技能の高い人と低い人が一緒に働かないようになっている。

[51] Hatch(2013)The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers, McGraw-Hill

[52] Council of Competitiveness(2012)Making Things: 21st　Century Manufacturing and Design

[53] アナログの世界では、高度な匠の技術がますます必要とされる。日本でも特殊溶接工の育成を強化する大企業があることを忘れてはならない。

4. おわりに

これまで概観したような将来像は、生産から消費者参加に至るまで、サプライチェーンの全行程を末端から末端まで、製造プロセスの能力を拡張することが想定され、自動化やロボット、付加製造技術のような「ものづくり」に留まらない。これまでの生産・製造の自動化とは異なる。分散化すること、あらゆるものにインターネットを活用することを前提に、製品を作るだけでなく、ものづくりの現場の枠を超えて、サービスと製造が一体となったビジョンであり、大きくいえば 1 つの新しい産業社会像を描いているともいえる。現在、指摘されていることは、特に新しいことではないかもしれないが、企業やグループを超えて、ようやく具体的なアクションが始まったともいえる。

製造業と商業の違いに関して、再販売するために購買し、購買したものと物理的には同一のものを再販売するものを商業とし、購買したものに手を加えて、違った形でそれを再販売するのを製造業と考えられてきた。これまでの製造の歴史を振り返ると、手工業の時代では、道具は高価ではなかったが、産業革命による機械化の中で、特に精巧で、それ故特殊な機械・設備など製造における固定資本(機械、土地など)が著しく拡大し、工業生産に相応のリスクを伴った投資が必要となった。しかも、製造自体が複雑化し、製造が、高価な機械を購入できる組織・企業家を中心として行われるようになった[54]。ところが現在では、製造とサービスの境界は曖昧になっている[55]。大量生産・流通を実現するための高額な設備投資が必要でなくなりつつある。Cloud Manufacturing や 3D プリンタが普及するならば、高価な固定資産を必要とせずに製造業に参入しやすくなる。あるいは、FabLab や TechShop のような場所により、個人レベルで様々な製造が可能になる。テレビ製造産業がなくなったとみられた米国から VIZIO のような企業が生まれたこと、あるいは、日本でもイオンやアイリスオオヤマからプライベートブランドの電化製品が提供されるようになったことなどは、ものづくり・製造企業の定義、製造業とサービス業の区別について考えさせるきっかけとなるであろう。今井(1984)[56]が指摘した「技術をどの企業もが利用することができ、かつ市場への参入と退出が摩擦なく（特別のコストを支払うことなく）行われるならば、大企業には市場支配力が存在しない」という現象が、製造でも生じることとなる。既に電機産業でみられるように、統合システム化能力の弱さが製品・サービス価

---

54 ヒックス(1969)『経済史の理論』講談社学術文庫

55 Walmart が製造業を支援することを強調して、大きなイベントを開催して、GE の Imelt が参加した。

56 今井賢一(1984)『情報ネットワーク社会』、岩波書店

値に影響することから、製造業の中だけで考えるのではなく、サービス業から製造業をみる、サービス企業のビジネスと製造業のビジネスの融合などを考えていくことも必要となる。

今回取り上げたレポートで共通していることは、中小企業やベンチャー、個人の力を重要と位置づけていることである。つまり、アイデアがあれば、小規模企業による製造も実現でき、創業時からグローバル事業展開できる企業が出現し、小規模企業でありながら多国籍企業として活動できる時代となる。Long Tail Manufacturing と呼ばれる、企業規模を小さく保ったまま規模の経済の実現が可能となり、高コスト企業でも専門商品による事業機会拡大が期待されている。

しかし、個人の力が重要ではあっても、一人で素材や部品、ましてや製品を作ることはできない[57]。大量に製造することの効率性があり、大量に同じものを作らなければならない領域は必ず残る。現在でも無人工場はあり、簡単な組み立て製品であれば無人・自動生産は可能である。ただし、Flexible Manufacturing System (FMS) は作り手側の問題であったが、現在議論されているものは、究極的には消費者向け一品流しの完全自動化に向かっていく話である。カンバン方式は工場内のコミュニケーションであったが、現在は工場の内外でのコミュニケーション、工場とオフィスや工場と消費者との関係が問題となっている。サプライチェーンや消費者との関係が、オフィスと消費者のつながり、オフィスと工場のつながりに限らず、工場と消費者とのつながりまで拡大し、物流の効率性も含まれる。

Cyber 空間と Physical な空間が複雑に融合した世界の中で、Perpetual Beta のような考えを CPS の世界に導入する場合に、製品やサービスの品質・安全性を考慮すると、完全自動化、パーソナル化には一定の制限がかかるであろう。安全性の観点から、作り手・サービス提供者の都合で無責任なサービス、安全性を合理的に考慮しないと判断されるような場合は、大きな代償を支払うことになりうる。ソフトウェアやサービス企業よりも、長年にわたり様々な経験をしてきた Physical な製品を扱ってきた企業の強みとなる。このような自動化の流れの中で、製造の現場では、益々経験が離れていくことになる。新しいものを創出していくためには、現場の経験や感覚をいかに継承していくかが企業の存続にとって重要となる。

本稿でみてきた将来像は、製造技術や IoT のような技術やサービスだけでなく、働き方

[57] トウェイツ(2012)『ゼロからトースターを作ってみた』飛鳥新社

にまで広げて語られており、そこでは個人や家族、そして社会との関係が一層重要になる。Industrie4.0 において、社会的な課題として重要な分野を設定したのは、ドイツでは、当然労働組合が企業経営に参加しているという特殊事情はあるであろう。ドイツに限らず欧州では、様々な市民グループ、NGO や労働組合などと議論し、様々なステークホルダが参加して、共通善を設定し異なる利害を調整する能力を構築して、イノベーションを実践することがビジョンの中に含まれており、製造業やサービス業という産業レベルでなく、様々な関係者を交えたビジョン作りが求められる。

本稿で取り上げたことは、新しく言われたことはでない、あるいは考えていた、知っていたという意見も多いであろう。重要なことは、将来像を提示すること、そして、開発していく技術やその用語が結びついてどのようなシステムを作っていくのか、あるいは、そもそも技術やつながることの目的は何かをアピールしていくことである。

参考文献

- Arora,A., L. G. Branstetter and M. Drev (2012)"Going Soft: How the Rise of Software Based Innovation led to the Decline of Japan's IT Industry and the Resurgence of Silicon Valley," *The Review of Economics and Statistics*
- Berger, S.(2013)*Making in America: From Innovation to Market*, The MIT Press
- Bureri, B(2000) *Engine of Tomorrow - How the World's Best Companies Are Using Their Research Labs to Win the Future*, Simon & Schuster（『世界最強企業の研究開発戦略』日本経済新聞社）
- Cole, R. E.（2013）*Killing Innovation Softly:Japanese Software Challenges*, MMRC Discussion Paper Series
- Council on Competitiveness(2011)*Make: An American Manufacturing Movement*
- Dertouzos, M. L., R. M. Solow and R. K. Lester(1989)*Made in America: Regaining the Productive Edge*, MIT Press (『Made in America―アメリカ再生のための米日欧産業比較』草思社）
- Drath, R. and A. Horch "Industrie 4.0: Hit or Hype?" *Industrial Electronics Magazine*, 8(2),2014
- EU(2004)*MANUFUTURE 2020*
- EU(2009)*Factory of the Future*
- European Factories of the Future Research Association(2012)*Factories of the Future PPP FoF 2020 Roadmap: Consultation document*
- European Factories of the Future Research Association(2012)*ICT For Manufacturing: The ActionPlanT Vision For Manufacturing 2.0*
- Finan and Frey(1994)『日本の技術が危ない：検証・ハイテク産業の衰退』日本経済新聞社
- Forschungsunion and acatech(2013)*Recommendations for implementing the strategic initiative Industire 4.0*
- Forschungsunion and acatech(2014)*Smart Service Welt:Recommendations for the Strategic Initiative Web-based Services for Businesses*
- Gershenfeld, N. (1999) *When Things Start to Think, Hodder & Stoughton* （中俣真

知子訳（2000)『考える「もの」たち―MIT メディア・ラボが描く未来』毎日新聞社)

- Gershenfeld, N. (2005) *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop － from Personal Computers to Personal Fabrication*, Basic Books
- Hatch, M.(2013) *The Maker Movement Manifesto: Rules for Innovation in the New World of Crafters, Hackers, and Tinkerers*, McGraw-Hill
- Hamel, G. and C.K. Prahalad(1994)*Competing for the Future*, Harvard Business School Press（『コアコンピタンス経営：未来への競争戦略』日経ビジネス文庫）
- Iansiti, M., and J. West(1997) "Technology Integration - Turning Great Research into Great Product", *Harvard Business Reviews*, May-June
- Institute of Defense Analyses(2012)*Emerging Global Trends in Advanced Manufacturing*
- Kagermann, H.(2014) Industrie 4.0 - what can the UK learn from Germany's manufacturing strategy? Royal Academy of Engineering, 04 February
- Marsh, P. (2012)*The New Industrial Revolution*, Yale University Press
- McKinsey Global Institute(2012)*Manufacturing the future: The next era of global growth and Innovation*
- Mitchell,W.(2003)Me++:The Cyborg Self and the Networked City (『サイボーグ化する私とネットワーク化する世界』)
- National Academy of Engineering (2010)*Making Things: 21st Century Manufacturing and Design*
- National Academy of Engineering (2014)*Making Value: Integrating Manufacturing, Design, and Innovation to Thrive in the Changing Global Economy*
- Regalado, A. (2014)"GE's $1 Billion Software Bet" *MIT Technology Review*, Vol. 117, No. 4, 76-77
- SafeTrans(2009)*Nationale Roadmap Embedded System*
- Siemens(2014) *Industry Journal*, 2014.1
- Smil, V. (2013)*Made in the USA: The Rise and Retreat of American Manufacturing*, The MIT Press
- The Executive Office of the President and the U.S. Department of Commerce(2015)*Supply Chain Innovation: Strengthening America's Small*

Manufactures

- The Information Technology & Innovation Foundation (2011)*The Case for a National Manufacturing Strategy*
- The Information Technology & Innovation Foundation (2013)*Are Robots Taking Our Jobs, or Making Them?*
- U.S. Department of Commerce(2012)*The Competitiveness and Innovative Capacity of the United States*
- U.S. National Economic Council(2011)*A Strategy for American Innovation: Driving towards Sustainable　Growth and Quality Jobs*
- U.S. NSTC(2012)*A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing*
- U.S. PACAST(2012)*Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing*
- U.S. PACAST(2012)*Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing*
- U.S. PACAST(2013)*National Network for Manufacturing Innovation: A Preliminary Design*
- UK Foresight(2013)*The Future of Manufacturing：A New Era of Opportunity and Challenge for the UK*
- Victor B. and A. Boynton (1998) *Invented Here: Maximizing Your Organization's Internal Growth and Profitability*, Harvard Business School Press
- World Economic Forum(2012) *The Future of Manufacturing：Opportunities to Drive Economic Growth*

- 今井賢一(1984)情報ネットワーク社会、岩波書店
- 科学技術振興機構・研究開発戦略センター(2012)『CPS(Cyber Physical Systems）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』
- 情報処理推進機構『グローバル化を支える IT 人材確保・育成施策に関する調査(概要報告書)』(2011 年 3 月)
- トウェイツ,T(2012)『ゼロからトースターを作ってみた』(The Toaster Project)飛鳥新社
- 戸部・寺本・鎌田・杉之尾・村井・野中(1984)『失敗の本質：日本軍の組織的研究』

ダイヤモンド社(中公文庫版中央公論新社)

- 西村吉雄（2014）『電子立国は、なぜ凋落したか』日経 BP 社
- ヒックス, J・R・『経済史の理論』講談社学術文庫(1969)
- 谷島宣之(2013)『ソフトを他人に作らせる日本、自分で作る米国』日経 BP
- 吉田民人(2013)「近代科学の情報論的展開　プログラム科学論」勁草書房
- ロスチャイルド,W・E・（2007)『GE 世界一強い会社の秘密』インデックス・コミュニケーションズ
- グロイエル G.M., R.レンメルト, G.ルップレヒト(2008)『数学が経済を動かす』シュプリンガー・ジャパン

研究レポート一覧

No.426	製造業の将来 －何が語られているのか？－	西尾　好司	（2015年6月）
No.425	ハードウエアとソフトウエアが融合する世界の展望 －新たな産業革命に関する考察－	湯川　　抗	（2015年5月）
No.424	これからのシニア女性の社会的つながり －地域との関わり方に関する一考察－	倉重佳代子	（2015年3月）
No.423	Debt and Growth Crises in Ageing Societies: Japan and Italy	Martin Schulz	（2015年4月）
No.422	グローバル市場開拓におけるインクルーシブビジネスの活用 －ICT企業のインクルーシブビジネスモデルの構築－	生田　孝史 大屋　智浩 加藤　　望	（2015年4月）
No.421	大都市における空き家問題 －木密、賃貸住宅、分譲マンションを中心として－	米山　秀隆	（2015年4月）
No.420	中国のネットビジネス革新と課題	金　　堅敏	（2015年3月）
No.419	立法爆発とオープンガバメントに関する研究 －法令文書における「オープンコーディング」の提案－	榎並　利博	（2015年3月）
No.418	太平洋クロマグロ漁獲制限と漁業の持続可能性 －壱岐市のケース－	濱崎　　博 加藤　　望 生田　孝史	（2014年11月）
No.417	アジア地域経済統合における2つの潮流と台湾参加の可能性	金　　堅敏	（2014年6月）
No.416	空き家対策の最新事例と残された課題	米山　秀隆	（2014年5月）
No.415	中国の大気汚染に関する考察 －これまでの取り組みを中心に－	趙　　瑋琳	（2014年5月）
No.414	創造性モデルに関する研究試論	榎並　利博	（2014年4月）
No.413	地域エネルギー事業としてのバイオガス利用に向けて	加藤　　望	（2014年2月）
No.412	中国のアジア経済統合戦略：FTA、RCEP、TPP	金　　堅敏	（2013年11月）
No.411	我が国におけるベンチャー企業のM&A増加に向けた提言－のれん代非償却化の重大なインパクト－	湯川　　抗 木村　直人	（2013年11月）
No.410	中国における産業クラスターの発展に関する考察	趙　　瑋琳	（2013年10月）
No.409	木質バイオマスエネルギー利用の現状と課題 －FITを中心とした日独比較分析－	梶山　恵司	（2013年10月）
No.408	3.11後のデマンド・レスポンスの研究 ～日本は電力の需給ひっ迫をいかにして克服したか？～	高橋　　洋	（2013年7月）
No.407	ビジョンの変遷に見るICTの将来像	Innovation and Technology Insight Team	（2013年6月）
No.406	インドの消費者・小売業の特徴と日本企業の可能性	長島　直樹	（2013年4月）
No.405	日本における再生可能エネルギーの可能性と課題 －エネルギー技術モデル(JMRT)を用いた定量的評価－	濱崎　　博	（2013年4月）
No.404	System Analysis of Japanese Renewable Energy	Hiroshi Hamasaki Amit Kanudia	（2013年4月）
No.403	自治体の空き家対策と海外における対応事例	米山　秀隆	（2013年4月）
No.402	医療サービス利用頻度と医療費の負担感について 高年齢者の所得と医療需要、負担感に関するシミュレーション	河野　敏鑑	（2013年4月）

http://www.fujitsu.com/jp/group/fri/report/research/

研究レポートは上記URLからも検索できます

富士通総研　経済研究所

〒105-0022　東京都港区海岸 1 丁目 16 番 1 号(ニューピア竹芝サウスタワー)
TEL.03-5401-8392 FAX.03-5401-8438
URL http://www.fujitsu.com/jp/group/fri/