

Forschungsunion

Wirtschaft und Wissenschaft
begleiten die Hightech-Strategie

 **acatech**

NATIONAL ACADEMY OF
SCIENCE AND ENGINEERING

Securing the future of German manufacturing industry

「戦略的イニシアティブ」 Industrie 4.0」 の実現へ向けて

～Industrie 4.0 ワーキンググループ 報告書（日本語翻訳版）～

2013年4月

SPONSORED BY THE



Federal Ministry
of Education
and Research

編集後記

著者

Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance:

Prof. Dr. Henning Kagermann

National Academy of Science and Engineering
(Spokesperson of the Promoters Group)

Prof. Dr. Wolfgang Wahlster

German Research Center for Artificial Intelligence

Dr. Johannes Helbig

Deutsche Post AG

acatech – National Academy of Science and Engineering

編集部員

Ariane Hellinger, M.A.

Veronika Stumpf, M.A.

With the assistance of: Christian Kobsda, B.A.

acatech – National Academy of Science and Engineering

コピー編集

Linda Treugut, M.A.

acatech – National Academy of Science and Engineering

英訳

Joaquín Blasco

Dr. Helen Galloway

日本語訳

Yumiko Kuga

空閑 裕美子

Naoaki Fujino (n-fujino@nri.co.jp)

株式会社 野村総合研究所 主席研究員 藤野直明

レイアウトと組版

HEILMEYERUNDSERNAU ■ GESTALTUNG

heilmeyerundserнау.com

グラフィック

isotype.com

HEILMEYERUNDSERNAU ■ GESTALTUNG

連絡先の詳細/マーケティング

Office of the Industry-Science Research Alliance

beim Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft

Ulrike Findekle, M.A.

ulrike.findekle@stifterverband.de

forschungsunion.de

Platform Industrie 4.0 事務局

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt/Main

kontakt@plattform-i40.de

plattform-i40.de

英文版 発行年月：2013年4月

日本語版発行年月：2015年4月

(日本語版は、Acatech の了解のもとで作成された)

© Copyright reserved by the authors. All rights reserved.

この作品とそのすべての部品は、著作権によって保護されています。明示的に著作権法で許可されていない任意の使用は、著作者の書面による同意を要求しなければならない。使用許諾を得ずに使用した場合、法的措置を取ることがあります。

これは電子システムで複製、翻訳、マイクロフィルムおよびストレージに当てはまります。著者は、メーカーのデータの正確性責任を負いません。



目次

概要

ワーキンググループメンバー | 著者 | テクニカルエキスパート

1. 導入

2. ビジョン：スマートなネットワーク化された世界の一部としての Industrie 4.0

- 2.1 Industrie 4.0 のビジョンを具体化すること
- 2.2 Industrie 4.0 が実現する未来は、どのようなものか？
- 2.3 新しいビジネス機会とモデル
- 2.4 職場環境の新しい社会基盤
- 2.5 リアルタイム利用可能な新しいサービスに基づく CPS プラットホーム
- 2.6 Industrie 4.0 への道

Example application 1 :
生産休止中の車体組立てラインのエネルギー消費の削減

3. デュアル戦略：リーディング市場とリーディングサプライヤになる

- 3.1 リーディングサプライヤ戦略
- 3.2 リーディングマーケット戦略
- 3.3 デュアル戦略と3つの柱

Example application 2 :
全ての価値連鎖の中のエンドツーエンドのシステムエンジニアリング

4. 研究テーマ

5. 優先すべき分野

- 5.1 標準化と参照アーキテクチャのためのオープンスタンダード
- 5.2 複雑なシステムを管理する
- 5.3 産業界に幅広くブロードバンドインフラを供給すること
- 5.4 Industrie 4.0 のCSF（クリティカルな成功要因）としての安全とセキュリティ
- 5.5 産業のデジタル化に対する業務組織と業務設計
- 5.6 Industrie 4.0 のための研修と専門職継続開発訓練
- 5.7 制度的フレームワーク
- 5.8 資源効率

Example application 3 :
個別製造のサポート：個々の顧客の要求をどのように満たすか

Example application 4 : テレプレゼンス

6. ドイツと他国の比較

Example application 5 :
製造業者の不可抗力の危機により生産中に発生するサプライヤの突然の変更

7. 展望

背景：戦略的なイニシアティブ Industrie 4.0

概要



概要

ドイツは世界的にみて最も高い競争力をもつ製造業を有すると同時に、**生産設備業界においても世界のリーダー**である。これは、イノベティブな製造技術、複雑な産業プロセス管理分野における研究開発や生産活動にドイツがこれまで注力してきたことによる。ドイツが、機械製造業と生産設備製造業において高い競争力を有する理由は、グローバルにみて圧倒的に高い競争力を有するITと生産技術にある。これらはシステム・エンジニアリングとオートメーション・エンジニアリングに内蔵されたものとなっている。この2つの優位性は、ドイツが製造・エンジニアリング業のリーダーとなるに際して、非常に好都合である。ドイツは、新しいタイプの工業化である **Industrie 4.0** の可能性を探るにあたってユニークなポジションにある。

これまでの3つの産業革命は、機械化、電気の活用、IT活用の成果であった。現在既にはじまっている製造業へのIOTの導入と製造業のサービス化は、4つ目の産業革命の到来を告げている。今後、企業は、**Cyber Physical Systems (CPS)** を活用した機械群、倉庫システム、生産設備から構成されるグローバルネットワークを確立するであろう。新しい製造環境において、Cyber-Physical Systems は、スマートマシン、記憶システム、生産設備から構成され、自律的に情報を交換し合い作業指図を行い、独立して相互に制御できる機能を有することになる。Cyber-Physical Systems は、全てのプロセス（エンジニアリング、製造、資材活用、サプライチェーン管理など）とライフサイクルマネジメントでの根本的な改善活動を推進する。すでに現実のものとなった**スマート（インテリジェント）工場**は、生産に対する全く新しいアプローチを採用している。スマートな製品は、個々に識別可能で、いつでもどこにあり、自身の履歴（履歴）、カレント（現在の）ステータス、目標の達成にいたる代替ルートを知っている。埋め込み型の製造システムは、垂直的に（工場と本社との間のビジネスプロセスにより）ネットワーク化され、水平的にリアルタイムに（生産指示がされた瞬間から出荷されるまでを）管理できる分権化した価値ネットワークに接続している。さらに、Cyber-Physical Systems は、「全ての価値連鎖を横断するエンドツーエンドのエンジニアリング」を可能とする、と同時にそれを必要としている。

Industrie 4.0 の可能性は莫大である。スマート工場は**個々の顧客の要求**を満たすことができる。例えば、一回限りのアイテ

ムでも収益をあげて製造できる。Industrie 4.0 における、**ダイナミック（動的な）ビジネスとエンジニアリングプロセス**は、生産直前の変更をも可能にするだろう。例えばサプライヤに代替して、柔軟に各種の混乱と不履行に対応することが可能となるだろう。エンドツーエンドの（エンジニアリング情報の）透明性は、製造プロセス全体について提供されることで、各々のプロセスにおいて**最適な意思決定**を容易にする。Industrie 4.0 は、**価値を創造する新しい方法と新しいビジネス・モデル**をもたらすことになるだろう。例えば、スタートアップ企業と中小企業に下流のサービスを開発・提供する機会を提供することにもなると考えられる。

さらに、Industrie 4.0 は、**今日世界が直面している挑戦的な課題に取組み、解決策をもたらすことができる**と考えられる。例えば資源とエネルギーの効率性、都市における生産、高齢化への対応などの挑戦的な課題である。Industrie 4.0 によって、継続的な**資源生産性と資源効率性**の拡大が、全価値ネットワークを通じて実現できる。

Industrie 4.0 は、高齢化やその他の社会的要因を考慮した業務を組織することができる。スマートアシスタンス・システムはルーティン業務から労働者を解放する。このため労働者は価値を創造する活動に集中することができる。切迫した熟練工の不足を考えると、これは高年齢労働者の労働寿命を延長し、より長く生産的にいられることを意味する。柔軟な組織では、労働者はさらに効果的に仕事とプライベート、及び、継続的なプロフェッショナルスキルの開発を同時に実現できる。こうして、**ワークライフバランス**の改善を推進する。

製造エンジニアリング業界の国際競争は激化の一途をたどっている。また、ドイツが、IOTとIOSを製造業に展開するという傾向に気づいた唯一の国というわけではない。しかもドイツの産業に脅威をもたらすのはアジアのライバルだけではない。米国もまた「アドバンスド・マニュファクチャリング」を推進する計画を通して、産業の空洞化と戦うための措置をとっている。

従来の工業生産から Industrie 4.0 までシフトをもたらすために、ドイツは**デュアル戦略**を採用する必要がある。ドイツの製造設備産業は、伝統的なハイテク戦略に情報通信技術を矛盾なく統合することによって、世界市場におけるリーダーシップを維持しようとしなければならない。こうすることで、ドイツの製造設備産業は、

スマートな製造技術のリーディングサプライヤーになることができるのである。同時に、CPS 技術と製品の新しいリーディングマーケットを創造しサービス提供していくことが必要である。このデュアル CPS 戦略を実現するために、Industrie 4.0 の以下の施策が実施されなければならない。

- 価値ネットワークを通じての水平統合
- 全価値連鎖を横断するエンジニアリングについてのエンドツーエンドのデジタル統合
- 垂直統合とネットワーク化された製造システム

Industrie 4.0 の実現に向けドイツは大量の研究開発をしなければならない。二重戦略を実行するために、研究は製造システムの水平および垂直の統合、およびエンジニアリングのエンドツーエンドの統合に必須である。さらに、Industrie 4.0 システムの結果として生じる職場環境における新しい社会インフラ、ならびに、CPS 技術の継続的な開発にも注意しなければならない。

Industrie 4.0 の実施が成功するためには、研究開発、ならびに、当該業界による決定と産業政策の決定が必要である。Industrie 4.0 ワーキンググループは次の 8 つの**重要な領域**でアクションが必要と考えている。

● 標準化と参照アーキテクチャ：

Industrie 4.0 は、価値ネットワークを通じてネットワーク化と様々な会社の統合を必要とする。この共同のパートナーシップは共通の標準が一つだけ開発されるときに成立する。このような標準の具体的な概要とその実施を容易にするために、参照アーキテクチャが必要である。

● 複雑なシステムの管理：

製品と製造システムは複雑化している。適切なプランニングモデルと説明的なモデルは、この複雑化を管理する基礎となる。したがって、エンジニアは、モデルの開発に必要な方法とツールを習得しなければならない。

● 産業界のための包括的なブロードバンドインフラ：

包括的で高品質の信頼できる通信ネットワークは、Industrie 4.0 の鍵となる必要条件である。したがって、ドイツ国内で、ドイツとそのパートナー国の間で、ブロードバンドインターネットインフラは大幅に拡大される必要がある。

● 安全とセキュリティ：

安全とセキュリティは、スマートな製造システムの成功にきわめて重要である。生産設備と製品自体が、人々または環境へ脅威をもたらさないと保証することは重要である。同時に、生産設備と製品、特にそれらがもつデータと情報は、不正使用と未許可のアクセスから保護される必要がある。このため、例えば、安全とセキュリティ統合アーキテクチャの整備、固有 ID 番号の導入、関係する研修や継続的な専門家の育成の強化を行う必要がある。

● 業務組織と業務設計：

スマート工場では従業員の役割はかなり変わる。リアルタイム指向化は、業務内容、業務プロセスと職場環境を変える。業務組織へのソシオテクニカルなアプローチの実施は、労働者に一層大きな責任を享受する機会と個人的な能力開発の機会を提供する。このために、労働者参加型の業務設計と生涯学習措置を展開して、参照モデルプロジェクトの立ち上げが必要である。

● 研修と継続的な専門家の育成：

Industrie 4.0 は、労働者の業務と能力適性要件を根本的に変える。このため、適切な研修戦略を実行し、学習を促進する（生涯学習と職場環境での専門職継続開発訓練（CPD）を可能にする）方針で業務を編成する必要がある。このため、モデルプロジェクトと「ベストプラクティス・ネットワーク」の推進、ならびに、デジタル学習技術の調査が必要である。

- **制度的フレームワーク：**

Industrie 4.0 の新しい製造プロセスと水平な事業ネットワークが法に従う必要がある一方、新しいイノベーションを考慮し既存の法律をイノベーションに適応させる必要もある。この対象は、会社データの保護、責任問題、個人情報取り扱い、取引制限などである。これは立法化だけではなく他の措置も必要とする。例えば、ガイドラインや標準契約書、企業契約、または、監査などの自主的な規制など幅広い選択肢が存在する。

- **資源効率：**

高コストの問題はさておき、大量の原料とエネルギーを消費する製造業は、環境と供給の安全保障に脅威をもたらす。Industrie 4.0 は、資源生産性と資源効率の向上を実現する。スマート工場に新たに追加投資される資源とその結果創出される経済効果のトレードオフを計算することが必要である。

Industrie 4.0 の実現は段階的なプロセスになる。現在の基盤技術と経験は、製造エンジニアリングの具体的な要件に適合していなければならないそして、新しい場所と新しい市場のためのイノベティブなソリューションを開拓しなければならない。この成功によって Industrie 4.0 はドイツがその国際競争力を拡大し、国内の製造業を維持することに大きく貢献すると考えられる。

ワーキンググループメンバー

著者

テクニカルエキスパート



ワーキンググループメンバー | 著者 | テクニカルエキスパート

Co-chairs

Dr. Siegfried Dais, Robert Bosch GmbH
Prof. Dr. Henning Kagermann, acatech

WG spokespersons

WG 1 – The Smart Factory

Dr. Manfred Wittenstein, WITTENSTEIN AG

WG 2 – The Real Environment

Prof. Dr. Siegfried Russwurm, Siemens AG

WG 3 – The Economic Environment

Dr. Stephan Fischer, SAP AG

WG 4 – Human Beings and Work

Prof. Dr. Wolfgang Wahlster, DFKI
(German Research Center for Artificial Intelligence)

WG 5 – The Technology Factor

Dr. Heinz Derenbach, Bosch Software Innovations
GmbH

Members from industry

Dr. Reinhold Achatz, ThyssenKrupp AG **Dr. Heinrich Arnold**, Deutsche Telekom AG

Dr. Klaus Dräger, BMW AG

Dr. Johannes Helbig, Deutsche Post DHL AG

Dr. Wolfram Jost, Software AG

Dr. Peter Leibinger, TRUMPF GmbH & Co. KG

Dr. Reinhard Ploss, Infineon Technologies AG **Volker**

Smid, Hewlett-Packard GmbH

Dr. Thomas Weber, Daimler AG

Dr. Eberhard Veit, Festo AG & Co. KG

Dr. Christian Zeidler, ABB Ltd.

Academic members

Prof. Dr. Reiner Anderl, TU Darmstadt

Prof. Dr. Thomas Bauernhansl, Fraunhofer-Institute for
Manufacturing Engineering and Automation

Prof. Dr. Michael Beigl, Karlsruhe Institute of Technol-
ogy (KIT)

Prof. Dr. Manfred Broy, TU München

Prof. Dr. Werner Damm, Universität Oldenburg / Offis

Prof. Dr. Jürgen Gausemeier, Universität Paderborn Prof.

Dr. Otthein Herzog, Jacobs University Bremen

Prof. Dr. Fritz Klocke, RWTH Aachen / WZL

Prof. Dr. Gunther Reinhart, TU München

Prof. Dr. Bernd Scholz-Reiter, BIBA

Industry-Science Research Alliance and professional associations

Dr. Bernhard Diegner, ZVEI (German Electrical and
Electronic Manufacturers' Association)

Rainer Glatz, VDMA (German Engineering Federation)

Prof. Dieter Kempf, BITKOM (Federal Association for
Information Technology, Telecommunications and New
Media)

Prof. Dr. Gisela Lanza, WBK, KIT (Institute of Production
Science, Karlsruhe Institute of Technology)

Dr. Karsten Ottenberg, Giesecke & Devrient GmbH

Prof. Dr. August Wilhelm Scheer, Scheer Group

Dieter Schweer, BDI (Federation of German Industries)

Ingrid Sehrbrock, DGB (Confederation of German Trade
Unions)

Prof. Dr. Dieter Spath, Fraunhofer IAO

Prof. Dr. Ursula M. Staudinger, Jacobs University
Bremen

Guests

Dr. Andreas Goerdeler, BMWi (Federal Ministry of
Economics and Technology)

Prof. Dr. Wolf-Dieter Lukas, BMBF (Federal Ministry of
Education and Research)

Ingo Ruhmann, BMBF (Federal Ministry of Education and
Research)

Dr. Alexander Tettenborn, BMWi (Federal Ministry of
Economics and Technology)

Dr. Clemens Zielonka, BMBF (Federal Ministry of
Education and Research)

Authors – core team

Klaus Bauer, Trumpf Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG

Dr. Bernhard Diegner, ZVEI (German Electrical and Electronic Manufacturers' Association)

Johannes Diemer, Hewlett-Packard GmbH

Wolfgang Dorst, BITKOM (Federal Association for Information Technology, Telecommunications and New Media)

Dr. Stefan Ferber, Bosch Software Innovations GmbH

Rainer Glatz, VDMA (German Engineering Federation)

Ariane Hellinger, acatech

Dr. Werner Herfs, RWTH Aachen / WZL

Marion Horstmann, Siemens AG

Dr. Thomas Kaufmann, Infineon Technologies AG

Dr. Constanze Kurz, IG Metall Dr. Ulrich Löwen, Siemens

AG Veronika Stumpf, acatech

Co-authors

Dr. Kurt D. Bettenhausen, Siemens AG

Dr. Kerstin Geiger, SAP AG

Jörg Heuer, Telekom AG

Dr. Günter Hörcher, Fraunhofer-Institut IPA

Petra Köpfer-Behncke, SAP AG

Jörn Lehmann, VDMA (German Engineering Federation)

Dr. Katja Patzwaldt, Jacobs University Bremen

Steven Peters, WBK, KIT

Dr. Harald Schöning, Software AG

Joachim Seidelmann, Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation

Prof. Dr. Ursula M. Staudinger, Jacobs University Bremen

Chapter 5.4 Safety and security

Matthias Brucke, OFFIS Institute for Information Technology

Jürgen Niehaus, SafeTRANS – Safety in Transportation Systems

Chapter 5.7 Regulatory framework

Prof. Dr. Gerrit Hornung, Universität Passau

Kai Hofmann, Universität Passau

Additional authors from the Working Groups

Vinay Aggarwal, Deutsche Telekom AG

Mathias Anbuhl, DGB (Confederation of German Trade Unions)

Dr. Dietmar Dengler, DFKI (German Research Center for Artificial Intelligence)

Ulrich Doll, Homag Holzbearbeitungssysteme GmbH

Dr. Gerhard Hammann, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

Andreas Haubelt, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG

Dirk Hilgenberg, BMW AG

Bernd Kärcher, Festo AG & Co. KG

Dr. Alassane Ndiaye, DFKI (German Research Center for Artificial Intelligence)

Dr. Detlef Pauly, Siemens AG

Tobias Philipp, IWB

Dr. Heinz-Jürgen Prokop, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG

Michael Wetzel, Daimler AG

以下の技術専門家ワークショップの参加者に感謝します

“Safety and security” workshop held on 18 January 2013 in Frankfurt am Main for their input into chapter 5.4

Klaus Bauer, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH&Co. KG
Christoph Bier, Fraunhofer Institute of Optronics, System Technologies and Image Exploitation
Slavtcho Bonev, Epyx GmbH
Willem Bulhuis, secunet Security Networks AG
Stefan Ditting, HIMA Paul Hildebrandt GmbH & Co. KG
Wolfgang Dorst, BITKOM (Federal Association for Information Technology, Telecommunications and New Media)
Armin Glaser, Pilz GmbH & Co. KG Rainer Glatz, VDMA (German Engineering Federation)
Stephan Gurke, ZVEI (German Electrical and Electronic Manufacturers' Association)
Dr. Magnus Harlander, GeNUA Gesellschaft für Netzwerk und Unix-Administration mbH
Dr. Thorsten Henkel, Fraunhofer SIT
Dr. Detlef Houdeau, Infineon Technologies AG
Dr. Lutz Jänicke, Innominate Security Technologies AG
Hartmut Kaiser, secunet Security Networks AG
Johannes Kalhoff, Phoenix Contact GmbH & Co. KG
Prof. Dr. Frithjof Klasen, Fachhochschule Köln, Institut für Automation & Industrial IT
Dr. Wolfgang Klasen, Siemens AG
Jörn Lehmann, VDMA
Jens Mehrfeld, BSI
Sebastian Rohr, accessec GmbH Martin Schwibach, BASF SE
Hansjörg Sperling-Wohlgemuth, Pilz GmbH & Co. KG
Dr. Walter Speth, Bayer Technology Services GmbH
Dr. Martin Steinebach, Fraunhofer SIT
Winfried Stephan, T-Systems International GmbH
Carolin Theobald, ZVEI Benjamin Törl, Epyx GmbH Dr.
Martin Vetter, TÜV Süd AG
Michael Vöth, Robert Bosch GmbH
Dr. Alexander Walsch, General Electric Deutschland Holding GmbH
Marc Wiesner, VDMA
Oliver Winzenried, WIBU-SYSTEMS AG
Steffen Zimmermann, VDMA

“Regulatory framework” workshop held on 28 January 2013 in Berlin for their input into chapter 5.7

Till Barleben, ZVEI
Klaus Bauer, TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH & Co. KG
Dr. Georg Böttcher, Siemens AG
Alfons Botthof, VDI/VDE Innovation + Technik GmbH
Susanne Dehmel, BITKOM
Johannes Diemer, Hewlett-Packard GmbH
Kai Hofmann, Universität Passau
Prof. Dr. Gerrit Hornung, Universität Passau
Sven Hötitzsch, Universität Würzburg
Lars Kripko, BITKOM
Dr. Reinold Mittag, IG Metall
Christian Patschke, DLR
Dr. Mario Rehse, BITKOM
Natalie Swann, Hewlett-Packard GmbH
Marc Wiesner, VDMA

1. 導入



1. 導入

ドイツの製造業の未来を確実にすること

ドイツには、世界で最も競争力のある製造業界がある。グローバルな製造業は、様々な作業が様々な地域の様々なパートナーによって実行される複雑な産業プロセスを管理する能力によって実現している。数十年来、複雑な産業プロセスを管理するため、情報通信技術（ICT, Information and Communication Technology）がうまく活用されてきた。今日、全産業の製造プロセスのおよそ90%は、すでにICTによってサポートされている。過去30年ほどの間、IT革命は経済や社会に革新的な転換をもたらした。第一次産業革命の機械化、および第二次産業革命の電力に相当する衝撃である。1PCがスマートなデバイスへ進化し、またスマートなネットワーク（クラウドコンピューティング）を通じて、ITインフラとサービスはさらに容易に活用できるようになった。コンピュータは一層小型化し、インターネットの発達とはどまることを知らない。この傾向は、ユビキタスコンピューティングの到来を告げている。

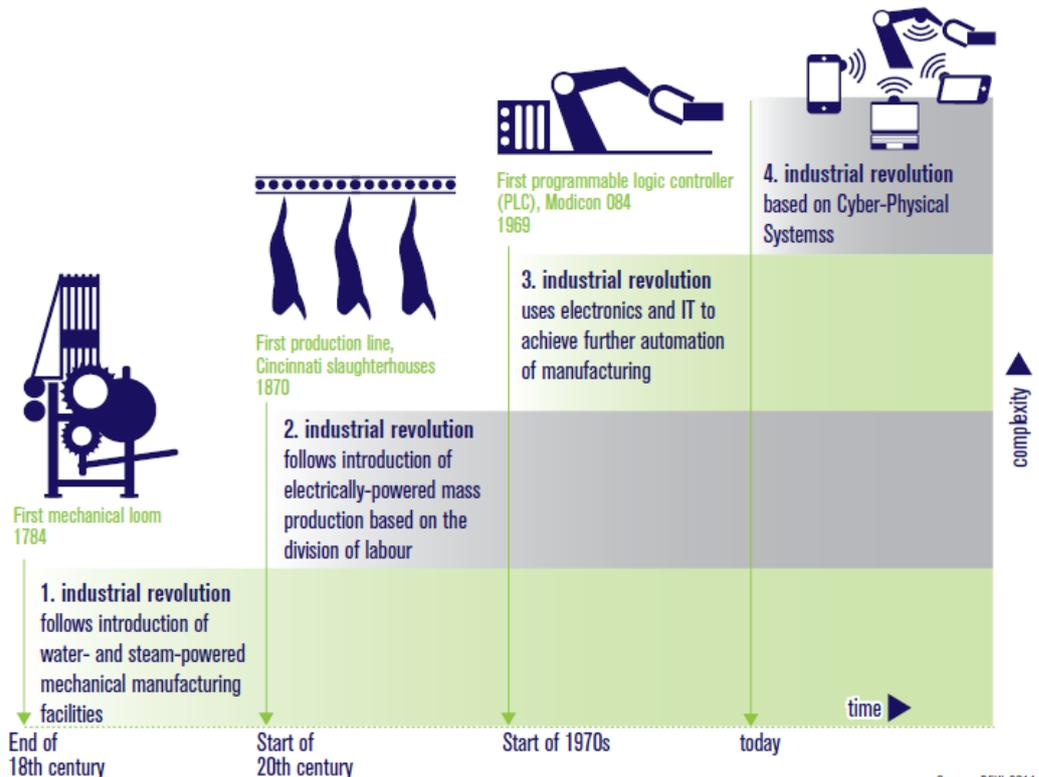
高度に自律的なマイクロコンピュータ（組み込みシステムなど）は、直接もしくはインターネット経由で、さらにワイヤレスにネットワーク化されてきている。このため、物理的な世界とバーチャルな世界（サイバースペース）とが融合し、サイバー・フィジカル・システム（CPS, Cyber-Physical System）が創造されるのである。2012年の新しいインターネットプロトコルIPv6の導入後、利用可能なアドレスは十分にあり、インターネットを経由することによって、スマートなオブジェクトが直接、広範なネットワークに接続できるようになっている。

このことは、はじめて資源や情報、オブジェクト、人々のネットワーク化が可能となり、IOTとIOS（Internet of Things and Services）を創造できることを意味する。この影響は産業にも及ぶ。製造の領域では、この技術的発展は、産業革命の第4段階、すなわちIndustrie 4.0³（図1）と言って良いだろう。

産業革命は、18世紀末期に、機械製造設備の導入から始まった。紡織機械のような機械類が生産方法に革命を引き起こしたのである。最初の産業革命の後に続いた第2次産業革命とは、20世紀初頭に始まる、電気駆動と分業化に基づく大量生産方式のことである。次に、1970年代の初めに始まり現在まで続いている第3次産業革命に取って代わられる。この第3次産業革命は、製造プロセスの自動制御の拡大のために、エレクトロニクスと情報テクノロジー（IT, Information Technology）を活用した。なぜならば、機械は「肉体労働」だけでなく「頭脳労働」の一部も引き継いだからである。

ドイツには、世界でも有数の製造機械設備産業があり、製造環境にIOTとIOSの拡大を利用した組み込みシステムの分野に定評がある。このためドイツはこれらの強みを利用する必要がある。この結果、ドイツは、第4次産業革命を先導することが可能なのである。

Figure 1:
The four stages of
the Industrial Revolution



Source: DFKI 2011

Industrie 4.0 の実現は、ドイツの競争力を強化するだけでなく、グローバルな課題（例えば資源効率とエネルギー効率）と国家的な課題（例えば高齢化）に対する解決策にもなる。しかし、社会的・文化的変化もイノベーションを推進するためには重要であるので、イノベーションをその社会文化的状況 4 の中で考えることは重要である。例えば高齢化には、我々の社会を根底から変える可能性がある。寿命の長期化によって、学習方法や仕事や健康の質、地域社会のインフラは変わってくる。これは、ドイツの生産性に重大な影響をもたらす。技術的イノベーション過程と社会的イノベーション過程との関係を最適化することは、ドイツ経済の競争力と生産性の向上に重要な貢献をすることになる。⁵

製造分野において IOT と IOS を利用すること

IOT と IOS は、全ての製造プロセスのネットワーク化を可能とし、工場をスマートな環境に変えることができる。Cyber-Physical Production Systems は、スマートな、機械や倉庫システム、生産設備から成る。CPS は、デジタル化されており、インバウンドロジスティクスから生産、マーケティング、アウトバウンドロジスティクスやサービスまで、エンドツーエンドの ICT ベースの統合を可能にする。これによって生産が一層柔軟にコンフィギュレーションできるだけでなく、さらに競争力のあるマネジメントプロセスや制御プロセスを確立する機会も創出できる。

従って Industrie 4.0 は、既存の IT ベースのプロセスを最適化するだけでなく、以前は記録不可能だった詳細なプロセスと全体に及ぼす影響を、グローバルスケール⁶でトラッキングできるようにする。これは画期的である。このトラッキングには、パートナー企業（例えばサプライヤと顧客）間、および、従業員間でさらに緊密な協力が必要となる。そして、相互の利益になる新しい機会を創出する。⁷

この新しい形の産業化の可能性を追求するに当たって、世界でも有数の製造機械設備産業があるドイツはとても有利である⁸。ドイツのグローバル・マーケットリーダーの中には、専門的なソリューションを提供する多数の「隠れたチャンピオン」がいる。すなわち、ドイツのトップ 100 の中小企業のうちの 22 社は、機械プラント製造業である。そのうち 3 社はトップ 10 に入っている⁹。実際に、機械プラント製造業の多くは、主なライバルは国内の同業者と考えている¹⁰。機械やプラントも、自動車や化学製品と並んでドイツの主要輸出品の一つである¹¹。さらに、ドイツの機械プラント製造業は、将来そのリーダーシップの座を維持したいと思っている。彼らの 60% は、その技術的競争優位が今後 5 年間拡大すると思っている。他方、40% 以下の人々は、現状維持を望んでいる¹²。しかし、製造エンジニアリング産業の国際競争はますます激しくなっている。国際競争によってドイツ産業に脅威をもたらすのは、アジアのライバルだけではない。米国もまた「アドバンストマニュファクチャリング」の推進計画を通して、産業の空洞化を食い止める措置をとっている。さらに、製造の現場は常によりダイナミックで複雑になっている。例えば、レーザー焼結技術の進歩によって、現在、数時間で複雑な 3D 構造を高品質で「印刷する」ことができる。これは、エンドユーザーがさらに直接的に携わる形態の、完全に新しいビジネスモデルとサービスの出現である。すなわち、ユーザーは自分で設計したものを、「コピー屋」に電子メールで送付したり、スキャンや「コピーした」ものを所有したりできるのである。

従って、Industrie 4.0 プラットホームのパートナーはドイツ産業の競争力を確保するために、Industry-Science Research Alliance の発意でドイツ政府の戦略的なイニシアティブ（協働活動）の実施を目標としている¹³。

IOT と IOS はすでに製造環境に導入され始めている

本質的に Industrie 4.0 は、CPS を製造と物流分野へ技術的に統合すること、及び、産業プロセスで IOT と IOS を活用することを伴う。これは、価値創造、ビジネスモデル、川下のサービス、業務組織へ影響がある。



»「Industrie 4.0 によってドイツは、工業の立地場所として、また、製造機械設備産業として、IT ビジネス・ソリューションサプライヤとして、その地位をさらに強化できる。現在ドイツのすべての関係者が前進するために、Industrie 4.0 プラットホームを通して連携していることは喜ばしい。」

Prof. Dr. Henning Kagermann

acatech - National Academy of Science and Engineering

Spokesperson of the Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance and Co-Chair of the Industrie 4.0 Working Group

Industrie 4.0 イニシアティブには、次のように巨大な可能性がある。

- 各々の顧客要求を満たすこと

Industrie 4.0 によって、個別の顧客特有の基準は、設計、コンフィギュレーション、発注、プランニング、製造、オペレーションの各段階に取り入れることができる。そして直前の変更が可能になる。Industrie 4.0 では、一回限りのアイテムを非常に少ない生産量（バッチサイズ 1）で製造しても、依然として利益を上げることができる。

- 柔軟性

CPS ベースのアドホックなネットワークは、ビジネスプロセスの様々な観点（例えば品質、時間、リスク、丈夫さ、価格、環境へのやさしさ）のダイナミックなコンフィギュレーションを可能にする。これは、原材料とサプライチェーンの連続的な「トリミング」を容易にする。つまり、エンジニアリングプロセスは一層迅速になり、製造プロセスは変更でき、一時的な不足（例えばサプライヤに起因する問題）は補償され、生産高の急激な増加も短期間で達成できることを意味する。

- 最適化された決定をすること

グローバル市場で成功するためには、しばしば直前の連絡に対して正しい決定ができることが重要になっている。Industrie 4.0 は、リアルタイムでエンドツーエンドの透明性を提供する。この結果、エンジニアリングにおいては、設計の早い段階での検証が可能となり、生産においては、企業の全ての現場にわたる混乱に対してより柔軟な対応やグローバル最適化の双方が可能になる。

- 資源生産性と資源効率

各産業の製造プロセスの全てにかかわる戦略的な目標は、Industrie 4.0 に今まで通り適用される。この目標とは、所定量の資源から最大の製品生産高を達成すること（資源生産性）、ならびに、所定の生産高を達成するために最小の資源を利用すること（資源効率）である。CPS では、全ての価値ネットワーク全体で、ケースバイケースで製造プロセスを最適化できる。さらに、システムは、生産を停止させるよりもむしろ生産を続けながら、資源やエネルギー消費または有害物質放出の削減を継続的に最適化できる¹⁴。

- 新しいサービスを通して価値を創造する機会

Industrie 4.0 は、新たに価値を創造する方法と新しい雇用形態（例えば川下のサービスを通じて）をもたらす。スマートなアルゴリズムは、イノベティブなサービスを提供するために、スマートなデバイスで記録される大量の多種多様なデータ（ビッグデータ）に適用できる。特に中小企業とベンチャーには、Industrie 4.0 の B2B（産業間の）サービスを開発する機会がかなりある。

- 職場環境の高齢化に対応すること

人間とテクノロジーシステム間の双方向のコラボレーションは、業務組織と能力開発イニシアティブと連携して、高齢化を強みに変える新しい方法を企業に提供する。熟練労働者の不足と労働者に広がる多様性（年齢や性、文化的バックグラウンド）に直面して、Industrie 4.0 は、人々がより長く働き続け、より長く生産的でいられる、多様で柔軟なキャリアパスを可能にする。

- 仕事と私生活とのバランス

CPS を利用する企業のより柔軟な業務組織モデルは、従業員の仕事と私生活との間での、また個人的な成長と継続的・職業的な成長との間で、より良いバランスを保ちたいという、従業員の間広がるニーズに比較的対応しやすいモデルである。スマートな支援システムは、例えば、企業のニーズと従業員の個人的なニーズに合致するような、新しい柔軟な働き方をもたらすように業務を考える機会を提供する。CPS 企業は、従業員数が減少し一番優秀な従業員の採用をせまられる際には、明らかに有利な立場となる。

- 高賃金でも競争力のある経済

Industrie 4.0 のデュアル戦略によって、ドイツはリーディングサプライヤとしてその地位を獲得し、Industrie 4.0 ソリューションのリーディングマーケットになることができる。

Industrie 4.0 が産業界につける挑戦は、技術的または IT に関連するものだけではない。技術の進歩は組織にも広く影響を与える。例えば、新たなビジネスモデルや企業モデルを開発する機会を提供すること、多数の従業員雇用を容易にすることである。ドイツは、1980 年代早期に第 3 次産業革命

（「Industrie 3.0」）の実施に成功した。これは、Programmable Logic Controllers (PLCs)を生産技術分野に導入することによってより柔軟な自動制御化された生産を実現し、同時に、社会的パートナーシップ に基づくアプローチを通して労働者への影響を管理できたことによる。強い産業基盤や良好なソフトウェア産業、セマンティック技術¹⁵ 分野のノウハウは、ドイツが Industrie 4.0 を実施するために好都合である。現在、存在している問題（例えば、技術受入れ問題または労働市場における熟練工の不足）は克服されなければならない。しかしながら、IOT と IOS が製造業に提供する可能性を実現させるためにすべての利害関係者が連携できればドイツ産業の未来は明るい。

2006 年以降、ドイツ政府は、High-Tech Strategy の下で IOT と IOS¹⁶ を推進してきた。いくつかの技術プログラムも首尾よく始められた。Industry-Science Research Alliance は、現在分野を横断する Industrie 4.0 プロジェクトを通してこのイニシアティブを進行させている。Industrie 4.0 プラットホームの設立は、その実装に必然の次のステップであった。

¹ 訳注：社会的パートナーとは政府、使用者、労働者のこと。出典：「ILO の三者構成原則」
<http://www.ilo.org/tokyo/about-ilo/organization/lang--ja/index.htm>

事務局は BITKOM（ドイツ情報技術・通信・ニューメディア産業連合会）、VDMA（ドイツ機械工業連盟）と ZVEI（ドイツ電気・電子工業連盟）によって共同で運営されている。次の課題は、基本的な優先順位をテーマにした研究開発ロードマップを作成することとなっている。**ドイツ製造業の未来を確実にすること**—これは、Industrie 4.0 プラットホームのパートナーが自分自身に課した目標である。この革命的なビジョンが確実に実行に移されるように、プラットホームは Industrie 4.0 が提供する機会を探求し続けるよう、すべての関係者に働きかけている。

1. 「過去 30 年にわたって進行中のコンピュータ革命は、おそらく、それ以前の 200 年間よりも何よりも、根本的に我々が生きる世界を変えた。コンピュータは、初の産業革命に匹敵するような根本的な影響を労働界に及ぼした。」Kornwachs (Klaus) から引用文 : Ergänzung und Verdrängung der Arbeit durch Technik – Eine Herausforderung für die Technikwissenschaften (Enhancement and Replacement of Jobs by Technology – a challenge for engineering science), in: ibid. (Ed.): Bedingungen und Triebkräfte technologischer Innovationen (Enablers and Drivers of Technological Innovation) (acatech DISCUSSES), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2007, p. 177
2. インターネットプロトコル Version 6 (IPv6) は、プロトコルの前バージョン 4 に代わり 2012 年夏に開始した。IPv6 は以前使用していた 32 ビットアドレスの代わりに 128 ビット IP アドレスを利用する。この結果、利用可能なアドレスの数は 43 億から 340 セクステリオン (10 の 21 乗) まで拡大する。
3. Industrie 4.0 が世界中で様々な名前を与えられて言及される現象。他には、「インダストリアル・インターネット」や「第 3 次産業革命」などが用いられる。第 6 章も参照。
4. イノベーションと未来技術シナリオの詳細について、acatech (ed.) を参照。Technikzukünfte. Vorausdenken – Erstellen – Bewerten (Future Technology Scenarios. Planning, Production and Evaluation) (acatech IMPULSE), Heidelberg et al.: Springer Verlag 2012, p.16 以下の考察を含む : 「未来について考えるとき、技術革新をその社会文化的環境の外で考えないことは重要である。例えば、様々なエネルギー源の将来の役割は、主にそれらが社会 (経済状態と世界的政治情勢) によってうまく受け入れられる方法で決定される。『イノベーション・システム』『イノベーションの文化』などの用語は、このより幅広い社会文化的環境をさらに強調する最近の傾向を裏付けている。」
5. 本レポートは、主に技術革新に関して Industrie 4.0 の可能性を議論する。
6. 例えば、自動車産業で明らかな通り、製造業の国際化は今日すでに現実である。「ドイツ」車は現在、実際にはアジアや欧州、米国からの部品で製造される国際的な製品であり、各消費地で組み立てられることさえある。しかし、国際化した製造分野での情報テクノロジーの活用は、今までほとんど、このような物流と製造ネットワークの存在を反映できなかった。IT システムは、現在でも依然として企業または工場内にとどまる傾向がある。
7. 過去を振り返ると IT には、我々のやり方を変える巨大な潜在能力があることがわかる。「技術的な見地から、エンドツーエンドの情報フローは、フューチャー・ファクトリー設計の鍵である。エレクトロニックデータ処理が、グローバル情報システムによって、工場の全ての部分を互いに接続可能にしている。工場組織のコンピュータ化の最高水準は、個別のサブシステムの統合戦略が特徴となる。」Spur, Günther: Evolution der industriellen Produktion, in Spur, Günther (Ed.): Optionen zukünftiger Produktionssysteme, Berlin, Akademie Verlag 1997, p. 23.
8. 機械・プラント設備製造産業は、年間売上 2005 億ユーロと従業員およそ 931,000 人 (2011 年度の平均数字) となっており、ドイツ経済の非常に重要な一員である。
9. Wirtschaftswoche Ranking, WiWo, 4/2013, pp. 40-50.
10. VDMA: Tendenzbefragung. Internationale Wettbewerbsposition des deutschen Maschinen- und Anlagebaus (Survey of Current Trends. Global Competitive Position of German Machinery and Plant Manufacturers), October 2012.
11. Federal Statistical Office, figures for 2011.
以下のオンラインを参照 :
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/151019/umfrage/exportgueter-aus-deutschland/>
12. VDMA: Tendenzbefragung. Internationale Wettbewerbsposition des deutschen Maschinen- und Anlagebaus (Survey of Current Trends. Global Competitive Position of German Machinery and Plant Manufacturers), October 2012.
13. the German government's High-Tech Strategy (HTS) Action Plan, Strategic Initiative Industrie 4.0, p. 52ff.を参照。
以下のオンラインを参照 :
<http://www.bmbf.de/pub/HTS-Aktionsplan.pdf>
14. Vogel-Heuser, Birgit et al.: Forschungsfragen in "Produktautomatisierung der Zukunft" (Research Issues in "Future Product Automation"), (acatech MATERIALS), Munich 2012, p. 28.を参照
15. 「Internet of Services」フラッグシップ・プロジェクト後援の下、ドイツ政府は、2007~2012 年に THESEUS 研究プログラムに資金を供給した。インターネットで入手できる情報の更なる活用と価値の最大化を目指し、新しいインターネット・ベースの情報インフラの開発と試行を推進するためである。研究プログラムは、セマンティック技術に注目した。それは、従来のアプローチ (例えば文字の組合せ) を利用し内容 (単語、イメージ、音) を感知する代わりに、情報のセマンティック内容を認識し分類することができる。詳細な情報は、以下のオンラインを参照 :
<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Digitale-Welt/Internet-der-Zukunft/internet-der-dienste,did=360458.html>
16. 詳細参照 :
Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft - Wissenschaft (Ed.): Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Handlungsempfehlungen zur Umsetzung (Communication Promoters Group Report), Berlin, 2012.

2. ビジョン： スマートなネットワーク化され た世界の一部としての Industrie 4.0



2. ビジョン：スマートなネットワーク化された世界の一部としての Industrie 4.0

「スマートなネットワーク化された世界」では、IOTとIOS (Internet of Things and Services) は重要な領域の全てに存在すると考えられる¹。この変化は、エネルギー供給分野ではスマートグリッド、持続可能なモビリティ戦略 (スマートモビリティ、スマートロジスティクス)、医療分野ではスマートヘルスケアを生む。製造環境では、垂直ネットワーク、エンドツーエンドエンジニアリング、水平統合が、さらにスマート化する製品とシステムの価値ネットワーク全体に拡大し、第4次産業革命「Industrie 4.0」が進行する。

Industrie 4.0 は、スマートな製品、手続き、プロセスの創造に注力する。Industrie 4.0 の要はスマート工場にある。スマート工場は複雑なものを管理し、生産停止をできるだけ回避し、より効率的に商品を製造することができる。スマート工場では、人間、機械、資源は互いに情報を交換する。それは、まるで社会のネットワークで行われるのと同じように自然に行われる。スマート製品は、どのように製造されどのように利用される予定か、などの詳細を認識している。スマート製品は製造プロセスを積極的にサポートする。例えば下記の質問に答える。「いつ私は作られたか?」「どのパラメータが私を製造するために利用されなければならないか?」「どこに私は配送されなければならないか?」スマートモビリティ、スマートロジスティクス、スマートグリッド付きのインターフェースは、明日のスマート工場のスマートインフラの重要なコンポーネントとなる。これは従来の価値連鎖の組み換えと新たなビジネスモデルの出現をもたらす²。

このため Industrie 4.0 は、個々にアプローチしてはならず、いくつかの重要なアクションが必要な、一つの領域として考えなければならない。それゆえに Industrie 4.0 は学際的な方法で、つまり、他の重要な領域との緊密な協力で実施されなければならない。(図2を参照)

2.1 Industrie 4.0 のビジョンを具体化すること

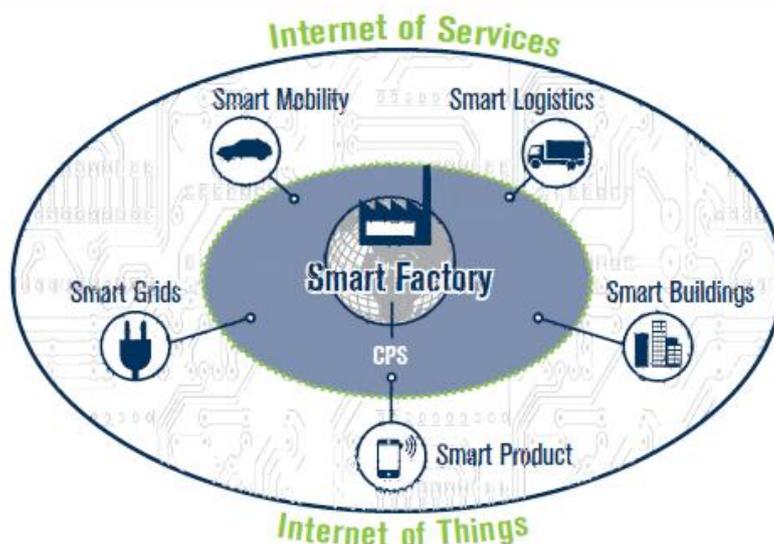
Industrie 4.0 を実現するために必要なパラダイムシフトは、長期のプロジェクトとなり段階的なプロセスを伴う。このプロセスを通して、確実に既存の製造システムの価値を維持することは重要である。同時に、初期段階からベネフィット (便益) をもたらす移行戦略を考えていく必要がある。(第3章、第5章4参照) しかし、非連続なイノベーションが起きることもある。

ドイツ産業が生き残り繁栄するため、この第4次産業革命を積極的に具体化していく必要がある。このため、次のようなドイツ産業界とドイツ研究コミュニティの伝統的な強さを利用する必要がある。

- 機械・プラント設備製造業の市場リーダーシップ
- 世界的にも重要な IT 能力の集積
- 組込みシステムと自動制御工学の優れたイノベーター
- 高度に熟練したモチベーションの高い労働力
- サプライヤとユーザーの近接性とその二者間の (必要に応じて) 緊密な協力
- 傑出した研究と研修ファシリティ

Industrie 4.0 の実施目的は、既存の技術的・経済的潜在力を活用し (つまり、ドイツの労働力の技術や実績、ノウハウを利用するシステムティックなイノベーションプロセスを通して) 総合的な最適パッケージを創造することである。Industrie 4.0 は、以下の三点に注目する。

Figure 2:
Industry 4.0 and smart factories as part of the Internet of Things and Services



水平統合とは、生産（技術）工学や自動制御工学・IT の分野で、製造と事業計画プロセスの様々な段階に利用される、様々な IT システムの統合を指す。水平統合は、企業（例えばインバウンドロジスティクス、生産、アウトバウンドロジスティクス、マーケティング）内で、及び、複数の企業間（価値ネットワーク）で、材料やエネルギー、情報のやりとりを伴う。この統合の目標は、エンドツーエンドのソリューションをもたらすことである。

垂直統合とは、生産（技術）工学や自動制御工学・IT の分野で、様々な階層的なレベル（例えばアクチュエータ、センサー、制御、生産マネジメント、製造、実行、事業計画レベル）での、様々な IT システムの統合を指す。この統合の目標も、エンドツーエンドのソリューションをもたらすことである。

- 価値ネットワークを通じた水平統合
- 全価値連鎖を横断するエンジニアリングについてのエンドツーエンドのデジタル統合
- 垂直統合とネットワーク化された製造システム

これらは、第 3 章「デュアル戦略」で更に詳細に検討する。

2.2 Industrie 4.0 が実現する未来は、どのようなものか？

Industrie 4.0 は、エンジニアリング、プランニング、オペレーション、マニファクチュアリング、ロジスティクスのプロセスに最高の品質標準と、以前よりさらにフレキシビリティとロバストネスをもたらす。Industrie 4.0 は、ダイナミックにリアルタイムで最適化できる、自律的に組織化していく価値連鎖を実現する。この価値連鎖は、多様な観点（例えばコストや利用可能性、資源消費の環境への影響度）に基づいて最適化できる。これは、適切な制度的フレームワーク、及び標準化されたインターフェースと協調するビジネスプロセスを必要とする。

Industrie 4.0 のビジョンの特徴を以下に示す。

- Industrie 4.0 の特徴は、製造に関係しているすべての主体と生産資源の間でのソシオテクニカル（社会と技術）の新しいレベルの相互作用である。この相互作用は、製造資源（製造機械、ロボット、コンベヤ、倉庫システム、生産設備）のネットワークを基礎として展開する。これらの製造資源のネットワークはとても自律的である。具体的には、どこにあってもナレッジベースをもちセンサーを装備し、セルフコンフィギュレーションし、様々な状況に応じて自らを制御できる。また、これらの製造資源のネットワークは、適切なプランニングと管理システムによって統合的に制御されている。このビジョンの要であるスマート工場の特徴は、まず企業間の横断的な価値ネットワークから構成されること、次に製造プロセスから完成品までのエンドツーエンドのエンジニアリングを実現することである。この結果、デジタル世界と物理的な世界の継ぎ目のない写像を達成することができるのである。スマート工場は、そこで働く人々のために複雑化する製造プロセスを管理しやすくする。また、スマート工場は、生産が好ましい、つまり都市環境で持続可能で同時に利益をもたらせることを保証する。
- Industrie 4.0 のスマート製品は、個々に識別可能で、いつでもどこに配置されてもよい。製造中でさえ、スマート製品は自らの詳細な製造プロセスを知っている。これは、いくつかの領

域において、スマート製品が半自律的に個々の生産段階を制御できることを意味する。その上、完成品に、自らが最適に機能可能な、及び、ライフサイクルを通して消耗の徴候を検知可能な、パラメータを確保することも可能である。この情報は、スマート工場の最適化（物流、設備展開、メンテナンス）と事業マネジメントアプリケーションの統合化のために蓄積できる。

- Industrie 4.0 の未来には、各顧客や各製品に固有の特徴を、設計・コンフィギュレーション・発注・プランニング・生産・オペレーション・リサイクルの各段階に取り込むことができる。直前の変更要求は、製造直前または製造中、そして可能性としては配送中でさえ、対応することができるようになるかもしれない。これにより、一回限りのアイテムをわずかな生産量で収益をあげて製造することが可能になる。
- Industrie 4.0 ビジョンの実施によって、従業員は、状況に応じた目標に基づくスマート生産資源ネットワークとスマート製造ステップを制御・管理・コンフィギュレーションできるようになる。従業員は、ルーティン業務から解放され、創造的な、付加価値の高い活動に集中できるようになる。従って、特に品質保証に関して従業員は重要な役割を担っている。同時に、柔軟な労働条件は仕事と私生活の両立を大幅に推進する。
- Industrie 4.0 のビジョンの実施は、サービスレベルアグリーメント(SLA)を通じて、ネットワークインフラの拡大とネットワークサービスクオリティの具体化を必要とする。これは 2 つのニーズ、すなわち、データ集約型のアプリケーションに対するハイバンド幅保証、及び、サービスプロバイダに対するタイムクリティカルなアプリケーションのランタイム保証を可能にする。



»「Internet of Things and Services は、製造分野において巨大なイノベーションの潜在的可能性を宿している。Industrie 4.0 にウェブベースのサービスを統合できれば、我々は測り知れないほどこの潜在的可能性を拡大する。」

Dr. Johannes Helbig

Deutsche Post AG

Member of the Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance

2.3 新しいビジネス機会とモデル

Industrie 4.0 は、直前のタイミングの顧客要求に対応するため、新たなビジネスモデルやパートナーシップモデルの開発をリードする。これらのモデルによって、中小企業は、現在のライセンスングとビジネスモデルの下では利用できないサービスとソフトウェアシステムを利用できる。新たなビジネスモデルは、ダイナミックな価格決定などの問題にソリューションを提供する。ダイナミックな価格決定は、顧客やライバルの状況、及び、取引先間にネットワーク化と協力関係がある状況で、SLA のクオリティの問題を考慮に入れる。新たなビジネスモデルは、潜在的事業利益が価値連鎖（新しいものを含む）で公平にすべての利害関係者に分配されることを保証するよう努める。二酸化炭素の排出（第 5 章 8 を参照）削減など一層幅広い規制要件は、これらのビジネスモデルに統合でき、むしろ統合されなければならない。モデルが事業ネットワーク（図 3 を参照）のパートナーによって全体として対応できるようにするためである。

Industrie 4.0 活用のケーススタディ、例えば「ネットワーク化した製造業」、「自律的な組織化に対応するロジスティックス」、「顧客までも含む一体化したエンジニアリング」に関連するものはビジネスモデルを必要とする。このモデルは、主として一企業ではなく、むしろ高度にダイナミックな事業ネットワークによって実施される。また、資金調達、開発、信頼性、リスク、法的責任、知的財産とノウハウの保護に関する課題を提示する。ネットワーク組織とそのサービスの適格性の識別に関しては、事業ネットワークの中で各々の責任が正しく割り当てられることを保証し、そして、それが

適切な拘束力のある文書によって裏付けられていることが重要である。

リアルタイム³のビジネスモデルの詳細なモニタリングは、プロセッシングステップとシステムステータスを文書化することで重要な役割も果たす。文書化は契約上の条件、及び、制度的条件が満たされたことを証明するために必要である。ビジネスプロセスの各ステップは常に調査され完了の書類証拠を提供する。（5 章 7 参照）個々のサービスの規定の効果を上げるためには、以下をはっきりさせる必要がある。適切な耐用年数サイクルがどのようなものか、どの約束は保証されるか、どのようなライセンスモデルや条件が新しいパートナー（特に中小企業）の事業ネットワーク加入を可能にできるのか。

上記を考慮すると、Industrie 4.0 は、予測できないグローバルな影響と高度にダイナミックな状況をもたらす可能性がある。新技術の決定的な性質と法的問題（例えば技術、デリケートな企業データ、責任、データ保護、取引制限、暗号作成の利用、その他）による予測不可能な影響は、既存の法律の法的拘束力に対する脅威となりうる。短周期のイノベーションサイクルは、制度的フレームワークの恒常的な更新処理を必要とし、法の適用の慢性的な弱点となる。従って、新しいアプローチの採用が必要である。つまり、技術は、開発前にも開発中にも合法性を検証されるということである。（第 5 章 7 を参照）Industrie 4.0 イニシアティブを成功させるもう一つの手がかりは、安全とセキュリティ

である。(第 5 章 4 を参照) この領域でも未来を見越したアプローチが必要とされる。さらに重要なことは、設計段階におけるセキュリティの概念が、単に機能コンポーネントに限定されないことである。

2.4 職場環境の新しい社会基盤

Industrie 4.0 は、人口の高齢化に苦しんでいる国にイノベーションをもたらす。ドイツは日本に次ぎ世界で 2 番目に老年期の人口が多い。多くのドイツ製造業の従業員の平均年齢は 40 代の中頃であり、若い従業員の数はコンスタントに低下している。すでに一部の職業で、熟練工見習いや志願者が不足している。高齢化が現在の生活水準を阻害しないように、労働生産性の改善・維持と同時に、ドイツは、Industrie 4.0 で今まで活用されていなかった労働力の活用を考える必要がある。雇用に高齢者と女性の割合を拡大することは特に重要である。最新の研究では、個人の生産性は年齢には依存しないことがわっている。その代わりに、労働者が特定のポジションにいた期間と、業務の組織化の方法や業務環境に関係がある。生産性が一層長い就労生活にわたって維持・拡大されるために、職場環境の以下のような面を調整・変更する必要がある。すなわち、健康管理や業務組織、生涯学習やキャリア・パス・モデル、チーム編成、情報マネジメントなどである。4 これは、企業だけでなく特に教育制度も対応しなければならない課題である。

このように、ドイツの未来の競争力を決定するのは、新しい技術や事業、法的要因だけではなく、職場環境など、**Industrie 4.0 の新しい社会インフラ**もまた大切である。この新しい社会インフラの機能は、イノベーションプロセスに労働者がさらに構造的に関与できるようにすることである。

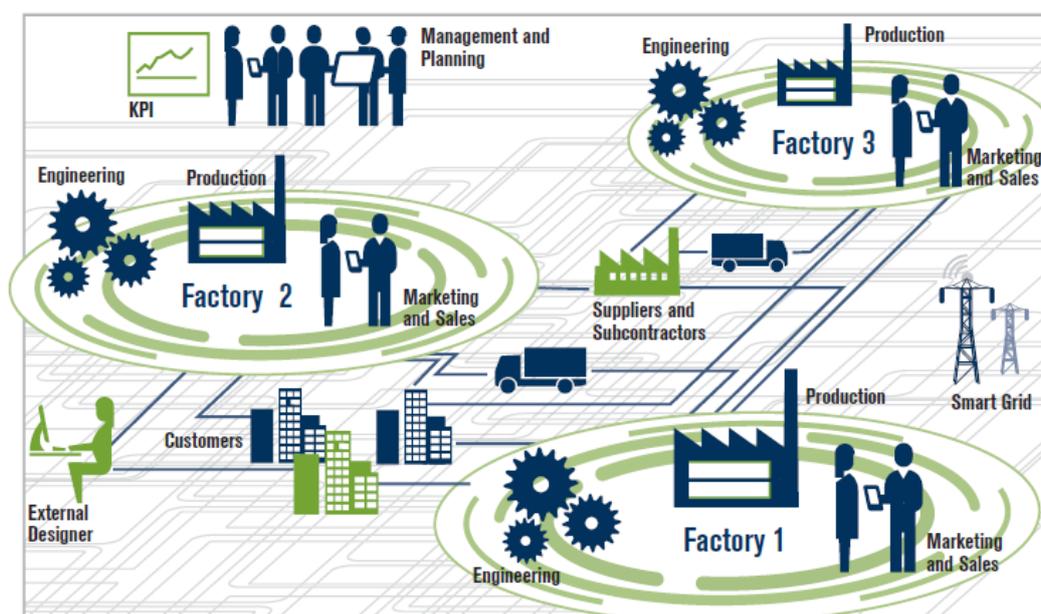
Industrie 4.0 がもたらす**人間－技術、人間－環境の相互作用のパラダイムシフト**も、重要な役割を果たす。バーチャルでモバイルの職場環境、つまり工場の外で実行できる協働の工場労働という新しいインフラである。従業員は、多モード、ユーザーフレンドリーなユーザーインターフェースで、スマートアシスタンスシステムによって作業をサポートされる。

包括的な研修と専門職継続開発訓練 (Continuing Professional Development) のみならず、業務組織とモデル設計が、従業員が歓迎するような Industrie4.0 の移行を成功させる鍵である。

これらのモデルは、高度に自動制御された自律性を分権型リーダーシップとマネジメントアプローチに組み合わせなければならない。従業員は、広い範囲の自己裁量権があり、積極的に仕事に従事し、自身の作業負荷を管理する、より大きな自由がなければならない。

Industrie 4.0 イニシアティブのソシオテクニカルアプローチによって、緊急に必要とされる開発中のイノベーションは新しい潜在能力を発揮する。そして、そのイノベーションプロセスにおいて人間の労働の重要性を一層認識させるのである。

Figure 3:
Horizontal value
network



Source: Hewlett-Packard 2013

2.5 リアルタイム利用可能な新しいサービスに基づく CPS プラットホーム

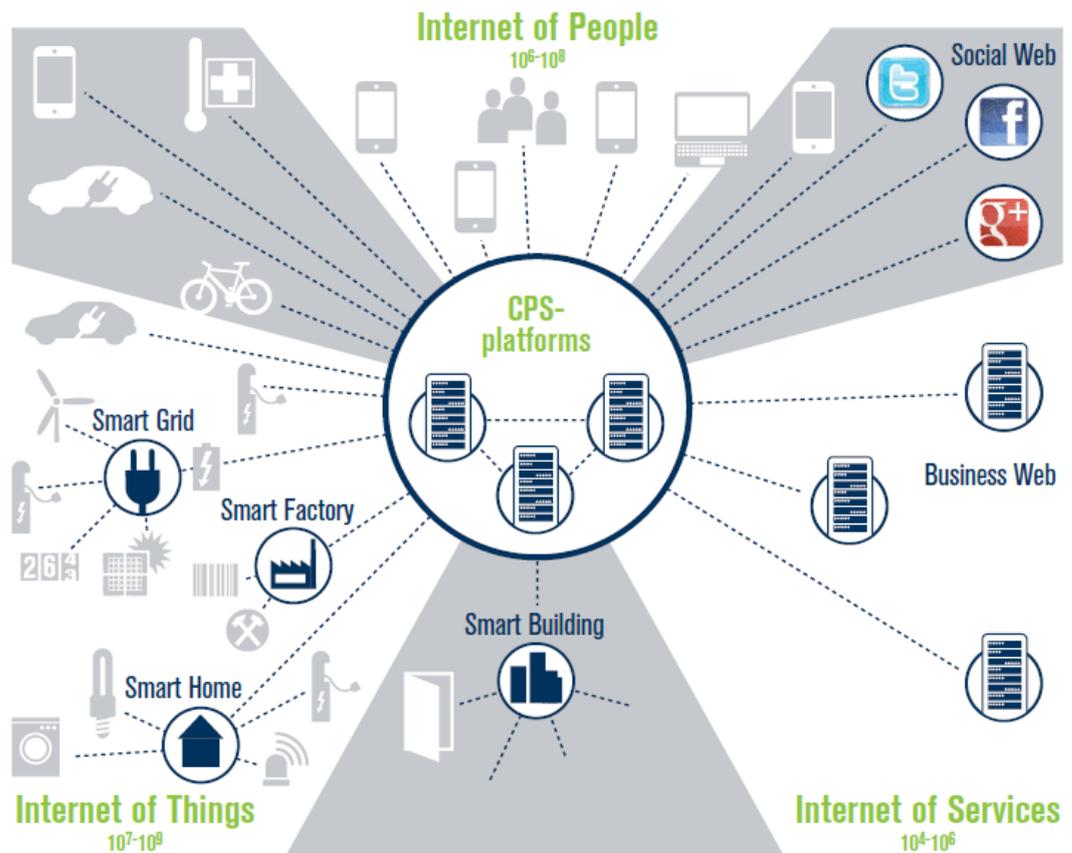
戦略的なイニシアティブ Industrie 4.0 は、協働活動をサポートする産業ビジネスプロセス、及び、スマート工場とスマート製品ライフサイクルのすべての面に関わる事業ネットワーク、を目指す新しい CPS プラットホームを生み出す。

この CPS プラットホームが提供するサービスとアプリケーションは、人、オブジェクト、システムを相互に連携する。(図 4 を参照) その特徴を以下に述べる。

- サービスとアプリケーション (CPS に基づくソフトウェアなど) の迅速で単純な協調によって提供されるフレキシビリティ
- App Store モデルに沿ったビジネスプロセスの単純な配分と展開
- ビジネスプロセス全体の安全で信頼できる包括的なバックアップ
- センサーからユーザーインターフェースまですべての安全、セキュリティ、信頼性
- モバイル端末装置のためのサポート
- 事業ネットワークにおける製造やサービス、分析、予測プロセスの協働のサポート

事業ネットワークに関しては、共有された CPS プラットホーム上のサービスとアプリケーションの協調に対する IT 開発業務に特にニーズがある。CPS の水平統合や垂直統合に対しての具体的なニーズが存在するために、産業のビジネスプロセス (第 5 章 1 参照) において新しいアプリケーションやサービスが必要となってきたためである。重要なのは Industrie 4.0 では、通常ウェブサービスで用いられるより広く『協調』(orchestration) という用語を解釈することである。Industrie 4.0 には、明らかに協働する企業間のプロセスと事業ネットワークに共有サービスと共有アプリケーションを用意する必要がある。安全とセキュリティ、確実性、信頼性、活用法、オペレータモデルコンバージェンス、リアルタイム分析、予測などの課題はすべて再検討されなければならない。理由は、協調のため、及び、協働の製造プロセスやサービスプロセスの引き続き効果的で信頼できる安全なオペレーションのため、ならびに CPS プラットホーム上のダイナミックなビジネスプロセスの実行のために必要だからである。とりわけ、共有サービスと共有アプリケーションの準備のために、様々なデータソースとエンドデバイスで起こる課題に取り組む必要がある。前述の要件は、現在汎用的なクラウドインフライニシアティブが非常に原始的な方法で対応しているだけである。企業間の CPS プラットホームの活用 (IT、ソフトウェア、サービスプロバイダ、ユーザー自身による) は、Industrie 4.0 参照アーキテクチャを必要とする。参照アーキテクチャは、ICT と製造業 (第 5 章 1 を参照) の様々な考え方に留意する必要がある。モデリング手法は、これらの CPS プラットホーム用の新しいアプリケーションとサービスを発達させるために必要

Figure 4:
The Internet of Things and
Services – Networking
people, objects and systems



Source: Bosch Software Innovations 2012

とされる。理由は、様々な学問領域と組織（第5章2を参照）の間で拡張している機能性、カスタム化、ダイナミズムと相互協力から生じる複雑性を管理するために有効であるからである。ハイバンド幅による安全で効果的なネットワークインフラの利用可能性は、安全なデータ交換（第5章3を参照）を保証する鍵である。

2.6 Industrie 4.0 への道

Industrie 4.0 ビジョンの実施プロセスは、各企業や各業界によって様々な速度で進む。職能団体 BITKOM、VDMA と ZVEI によって年初に公表された「Industrie 4.0 の見通し」の調査では、ドイツ産業の競争力におけるこの問題の重要性とさらに充実したより対象を絞った情報（図5を参照）の必要性を強調した。この調査によると、調査 5 対象企業の約 47%は、Industrie 4.0 にすでに積極的に関わっている。18%は、Industrie 4.0 の調査研究をしている。12%がすでに実行している。

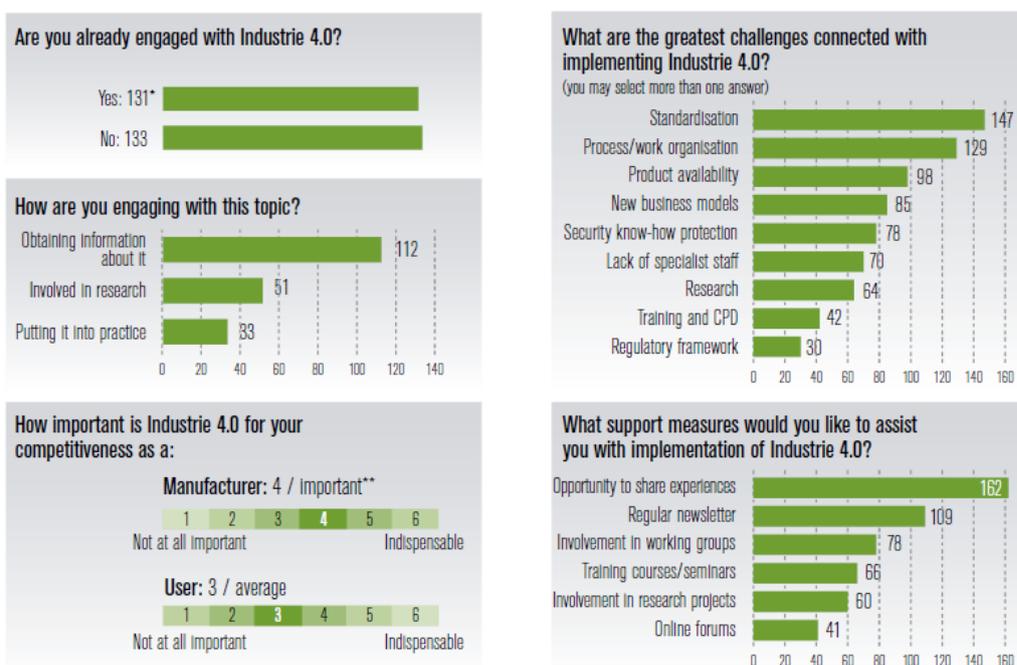
ビジョンの実施につながる最も大きな 3 つの挑戦は、標準化、業務組織、製品利用可能性である。

Industrie 4.0 の実施で企業が望むサポートは、ワーキンググループの積極的な関与と並んで、経験の共有ができるセミナーと定期的なニュースレターである。職能団体は、社会的パートナーである学界や市民との密接なコミュニケーションを保証するにあたって重要な役割を演ずる。調査対象となった企業のおよそ 50%は、Industrie 4.0 に関する情報を職能団体から得たと述べた。

上記に加えて、ワーキンググループは、企業が Industrie 4.0 へ円滑に移行できる鍵として以下の手段を検討する。

- リアルタイムで利用可能な CPS ソリューションの実装には、スペース、技術的なクオリティ、信頼性の点で、通信サービスとネットワークインフラの利用可能性が必要である。国際的にドイツの競争力を確実にするために、適切な国際標準の導入を通じてのサービスとビジネスモデルの合理化は、全国的に及び世界的に、政策立案者によってサポートされなければならない（第5章1および第5章3参照）。
- 製造業のビジネスプロセスは、現在でもしばしば、非常に柔軟性が低いソフトウェアシステムによって実施されており、今もなお静的である。しかし、このシステムを一晩でサービス優先のシステムと取り替えることは不可能である。古い技術に新技術を統合する（もしくは逆もまた同じ）ことが重要である – 古いシステムはリアルタイムで利用可能なシステムにアップグレードされる必要がある。
- IOT と IOS の製造業のための新たなビジネスモデル開発の速度は、インターネットそのものの開発やダイナミズムの速度に近づくはずである。
- 従業員は、業務組織、継続的な能力開発と技術開発（第5章5を参照）のイノベティブでソシオテクニカル的な設計に、早期の段階から関与するべきである。

Figure 5:
Results of survey
on Industrie 4.0 trends
(January 2013)



278 companies took part in the survey, mainly from the machinery and plant manufacturing industry. 205 of the companies that took part had fewer than 500 employees.

* The figures refer to the number of companies

** Average score based on answers provided by all companies

Source: BITKOM, VDMA, ZVEI 2013

- Industrie 4.0 への移行を達成するために、ICT 産業（短周期のイノベーションサイクルに慣れている）が機械・プラント製造業やメカトロニックスのシステムサプライヤ（より

長周期のイノベーションサイクルを考える傾向がある）と緊密に働くことが必要である。これは、すべてのパートナーにとって容認できるビジネスモデルを開発するためである。

TAKE-HOME MESSAGE:

スマート生産、スマートロジスティクス、スマートグリッド、スマート製品や、製造業の IOT と IOS の活用の増加は、価値連鎖を変化させ新たなビジネスモデルを導く。

戦略的なイニシアティブ Industrie 4.0 は、既存の技術的・商業的な可能性を活用する。

Industrie 4.0 によって、職場環境で新たなビジネス機会とイノベティブな新しい社会的インフラの実現が見込まれている。

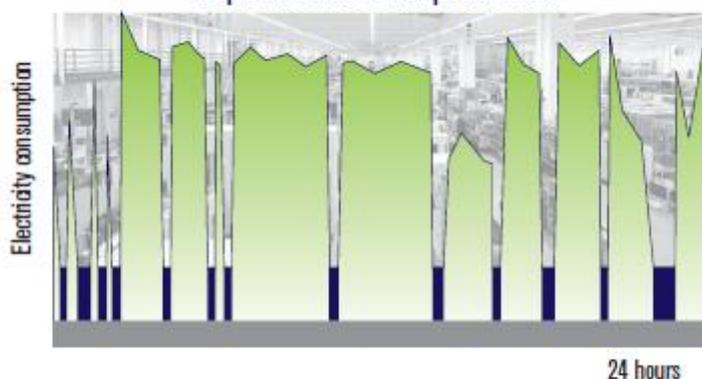
1. In 2009, the Industry-Science Research Alliance identified five key areas for action: climate/energy, mobility, health, security and communication; 詳細な情報は以下のオンライン参照：
www.forschungsunion.de.
2. 第 3 次産業革命以来、ICT は、製造業でコストと効率を最適化するためだけでなく、ロジスティクスや診断法、品質保証、メンテナンス、エネルギー管理、人的資源プランニングなど製造業に関わる、もしくは、製造業と重なるプロセスで使われてきた。しかし、様々な IT システムは、長い期間をかけて別々に開発されたので、システムのアーキテクチャは独立に進化し、大部分は互換性については配慮されていない。これは技術的にシステムを統合することが非常に複雑なことを意味し、IT システムの包括的なネットワーク化と製造システムの柔軟な再構成を非常に難しくする。つまり、このアプローチはしばしば利用できない可能性がある。Industrie 4.0 には、もはやこれらの制約はあてはまらない。
3. 遅延を伴うデータ処理とは対照的に、「リアルタイム」は、現実の世界でイベントと同期して起こるデータ処理を指す。
4. Altern in Deutschland, Vol. 9: Gewonnene Jahre, Empfehlungen der Akademiengruppe, Nova Acta leopoldina NF No. 371, Vol. 107, Stuttgart 2009, p. 49, 56. を参照。移民と低熟練工（彼らが更なる研修を受けらば）も、労働市場の未開拓の供給源となっている。OECD を参照。Zuwanderung ausländischer Arbeitskräfte: Deutschland, 2013
以下のオンラインを参照。
http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/zuwanderung-auslandischer-arbeitskraefte-deutschland-german-version_9789264191747-de
5. 278 の企業が調査に参加した。出典 BITKOM, VDMA and ZVEI, January 2013.

Example application 1 : 生産休止中の車体組立てラインのエネルギー消費の削減

今日、エネルギー効率はすでに機械に求められる重要な要件である。この要件に対応する重要なイネーブラは、生産中断しているラインの作動していない部分の組織的な省エネ能力である。

Today

Potential savings during planned and unplanned breaks in production



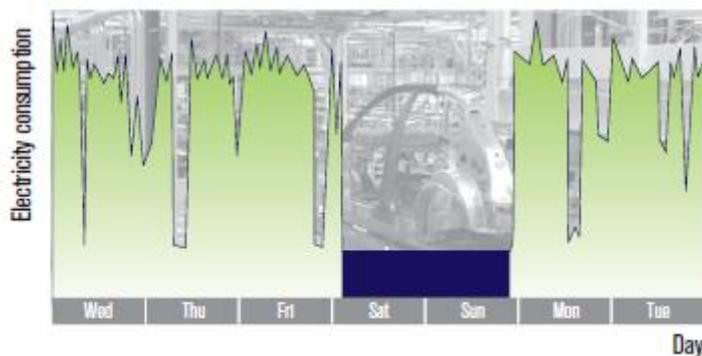
Source: Siemens 2013

現在では、多くの生産ラインまたはその一部は、生産していない休み時間、週末、交替中も稼働し続け、大量のエネルギーを消費している。例えば、レーザー溶接技術を使用する車体組立てラインの総エネルギー使用量の12%は、生産休止時間に発生する。ラインは、3つのシフトパターンに基づいて1週につき5日作動する。複雑な機械部分は週末には使用されていないが、週明けすぐに生産を再開できるように電源を入れたままである。

生産休止中の電源消費の90%は以下によって占められる。ロボット(20~30%)、エクストラクタ(35~100%)やレーザー源とそれらの冷却方式(0~50%)である。

Tomorrow

Potential savings over the weekend



Quelle: Siemens 2013

エネルギー効率可能性を活用する手段：

将来、ロボットは短期の生産休止さえ、当然の事として電源オフされる。

より長期の生産休止の場合は、Wake-On-LANモードとして知られている一種のスタンバイモードに入る¹。エクストラクタは、このようにコントロールできないモーターの代わりに要件に対応するように調整できるスピードコントロールモーターを使う。レーザー源の場合、完全に新しいシステムが、改善をもたらす唯一のやり方である。

これらの手段を合わせて考えると、生産休止中のエネルギー消費量の90%の削減を達成する。これは総エネルギー使用量12% (45,000キロワット時/w からおよそ40,000キロワット時/w まで) に相当する。CPSを設計するとき、これらのエネルギー効率上の要件は最も早期の段階から直ちに考慮されなければならない。

1：ロボットは、PROFIenergy24hourを使って制御される。

想定される経済効果

車体組立てラインの部分的な電源オン/電源オフの調整は、エネルギー効率の改善となる。既存の機械をアップグレードするコスト/リスク比率と費用効果があまり良くないとき、このアプローチは新しい機械の確立された技術的標準になる。この新しい機械は、Industrie 4.0の優れたサプライヤによって開発され、エネルギー効率の改善を可能にする。

3. デュアル戦略： リーディング市場とリーディング サプライヤになること



3. デュアル(2元)戦略：リーディング市場とリーディングサプライヤになる

第4次産業革命(Industrie 4.0)は、ドイツの製造業界に巨大な可能性をもたらす。ドイツの工場へのCPSの導入は、国内生産の効率改善によってドイツの製造業界を強化する。同時に、CPS技術の開発は、技術輸出と輸出製品にとって大きなチャンスとなる。従って、Industrie 4.0イニシアティブ(協働活動)は、まずドイツの製造業¹がドイツの国内CPS市場に対して高い潜在能力を活用すべきである。つまり、まずドイツの製造業へCPSを導入しCPSの市場を具体化すること、次にドイツの製造設備業界を強化するために**CPS技術と製品(設備)を世界市場へ展開すること**、この2つから構成される**デュアル戦略**が重要である。

3.1 リーディングサプライヤ戦略

リーディングサプライヤ戦略は、機械設備産業²の観点からIndustrie 4.0の可能性に取り組む。ドイツの機械設備産業は世界をリードする技術的ソリューションを製造業に提供しているので、Industrie 4.0製品の開発や生産、世界的なマーケティングのグローバルリーダーになる際に有利な立場にある。重要なのは、**飛躍的なイノベーション**を達成するために、現在保有する傑出した技術やソリューションを情報テクノロジーが提供する新しい可能性と組み合わせる、スマートな方法を見つけることである。この情報通信技術と従来のハイテク戦略のシステムティックな組み合わせが、急速に変化し複雑化するグローバル市場のプロセスの管理を可能にするので、企業は新しいチャンスを活用できる。

- **既存の基本的なIT技術は、具体的な生産活動の要件に合致していなければならず、個別のアプリケーションを想定して開発を続けなければならない。**広範囲に影響を拡大し規模の経済を達成するために、Industrie 4.0への移行戦略の一部として、CPSの考え方に沿って既存設備の製造技術とITシステムを改良する必要がある。同時に、新規のCPSマニファクチャリングストラクチャを設計・実施するためのモデルと戦略の開発も必要である。
- ドイツがIndustrie 4.0生産設備のサプライヤとしてリーダーシップの維持を望むならば、**研究や技術ならびに研修のイニシアティブ(協働活動)を優先すべき**である。目的は、自動制御エンジニアリング・モデリングとシステム最適化(第5章2を参照)の分野で、方法論やパイロットアプリケーションの開発をすることである。

- もう一つの重要な挑戦は、**新しい価値ネットワークを創造するために技術を活用すること**である。これは、**新たなビジネスモデル**(特に製品と適切なサービスを関連づけるもの)を開発することである。

3.2 リーディング市場戦略

Industrie 4.0の主要な市場はドイツ国内の製造業界である。この主要な市場の形成と拡大のためには、様々な地域に立地する多数の企業の緊密なネットワークと協力が一層必要となる。このためには、様々な価値創造段階や製品ライフサイクル、幅広い品揃えやこれに対応する製造システムの、エンドツーエンドの論理的なデジタル統合が必要となる。特に挑戦したいのは、**今日すでに世界的な大企業と、依然として地域レベルで営業する中小企業とを、同時に前述の具体化しつつある新しい価値ネットワークへ統合すること**である。ドイツの製造業界の強さは、多数の中小企業と少数の大企業から構成される二重構造のバランスによるところが大きい。しかし、多くの中小企業は、Industrie 4.0がもたらす構造変化に対して準備ができていない。中小企業は必要な専門スタッフが不足しているか、もしくはこれまでもそうであったが、よく知らない技術戦略に対する慎重なもしくは懐疑的な態度がその背景にある。

従って、中小企業をグローバル価値ネットワークに取り込むための重要な戦略は、**包括的な知識と技術移転のイニシアティブの設計と実施**である。例えば、パイロットアプリケーションや大企業と中小企業のネットワークのベストプラクティスの具体例は、ネットワーク化された価値連鎖の将来性を理解しやすくし、先行しているサプライヤの方法と組織、ツールと技術の採用を中小企業に納得させることができると考えられる。これにより、中小企業の障壁は取り除かれる。中小企業はCPSの方法論を学習し、CPSを自社に導入することになる。

そのためには、技術的インフラ(高速ブロードバンド・データ通信(第5章3を参照)など)の活用と開発を加速することが重要である。平行して熟練工(第5章6を参照)を教育・訓練し、同時に複雑な作業手順(第5章5を参照)をカスタマイズする能率のよい組織の設計を進めることも重要である。



≫「ドイツ経済は、その強い産業基盤、特に機械とプラント設備製造（自動車およびエネルギー業界）に特性がある。Industrie 4.0 の実施は今後の展開に欠かせない－我々は産業を停滞させることはできない。」

Ernst Burgbacher

Parliamentary State Secretary

Federal Ministry of Economics and Technology

3.3 デュアル戦略と3つの柱

ドイツのサプライヤ戦略とドイツにおける CPS 市場創造戦略が、確実に互いのベネフィット（便益）に対して貢献し、相乗効果（訳注：サプライヤの R&D 投資による高度な設備サービスとユーザーの生産性向上との相乗効果を指すと考えられる。）を生むように調整される場合のみ、Industrie 4.0 は最も望ましい方法で目標に到達できる。以下、このアプローチは、デュアル戦略と呼ばれる。戦略には、3つの柱（第2章1も参照）がある。

- 企業間の価値連鎖の開発と水平統合を通してのネットワーク
- 製品と関連製造システムの全価値連鎖を横断するデジタル・エンドツーエンドのエンジニアリング
- 柔軟でリコンフィギュレーション可能な生産システムの開発、実装と垂直統合

3つの柱は、激しく変動する市場に製造業が踊らされないための重要な道具（イネーブラ）である。製造業は、変化する市場の要求に応じて柔軟に価値創造活動を調整している。このデュアル CPS 戦略の3つの柱によって、製造業は市場価格が大きく変動しても、迅速に時間通りに正常な生産が可能となる。

3.3.1 価値ネットワークによる水平統合

価値ネットワークを通じての水平統合のモデル、設計、実施は、次の重要な課題を解決しなければならない。

CPS を活用することで、具体的にはどのようにして、企業の経営戦略や新しい価値ネットワーク、新たなビジネスモデルは持続的に支援・実施されるか？

この課題は、研究部門や開発部門、アプリケーション部門に等しく提示される（図6を参照）。「ビジネスモデル」や「様々な企業間の協力の形」以外にも、例えば「持続可能性」「ノウハウ保護」「標準化戦略」「中長期の研修とスタッフ教育イニシアティブ」などの課題に取り組む必要がある。

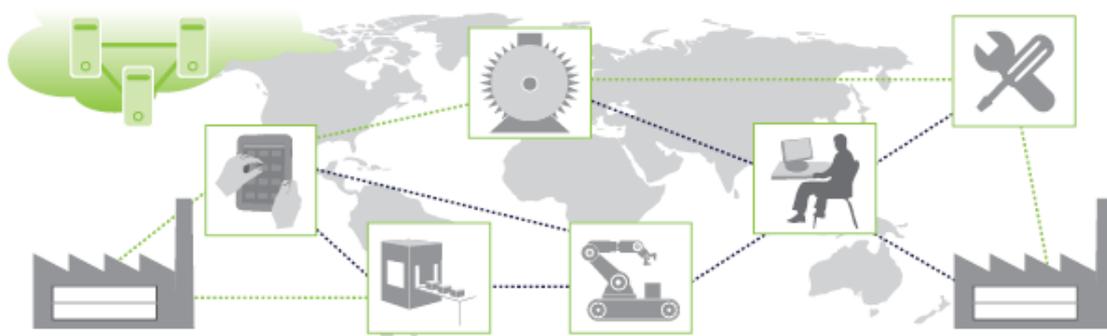
3.3.2 全価値連鎖を横断するエンドツーエンドのエンジニアリング

エンジニアリングプロセスを通してのエンドツーエンドのデジタル統合の目標（具体的にはデジタル世界や現実世界が、製品の全ての価値連鎖全体に、または、様々な企業を横断して、顧客の要求も取り入れつつ組み込まれること）について次の課題がある。

CPS は、具体的にはどのようにして、エンジニアリングの全業務フローなど、エンドツーエンドをカバーするビジネスプロセスの実現に活用できるのか？

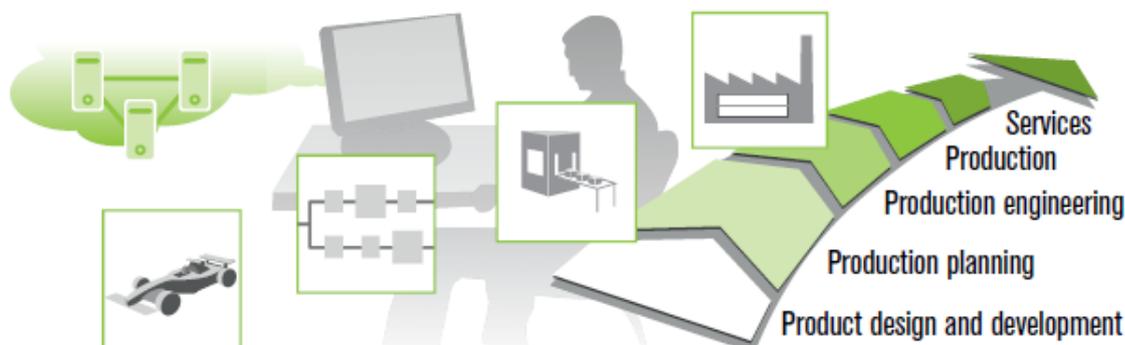
この課題に関しては、モデリングが、技術システム（第5章2を参照）の複雑化を管理するために重要な役割を演ずる。適切なITシステムは、エンドツーエンドのサポートを全ての価値連鎖に提供するために、商品開発から製造システムエンジニアリング、生産活動、サービスまで展開されなければならない。（図7を参照）様々な技術的な学問領域にわたる全体論的なシステム工学的アプローチが必要とされる。このため、エンジニアは適切な研修を受ける必要がある。

Figure 6:
Horizontal integration
through value networks



Source: Siemens 2012

Figure 7:
End-to-end
engineering
across the entire
value chain



Source: Siemens 2012

3.3.3 垂直統合とネットワーク化された製造システム

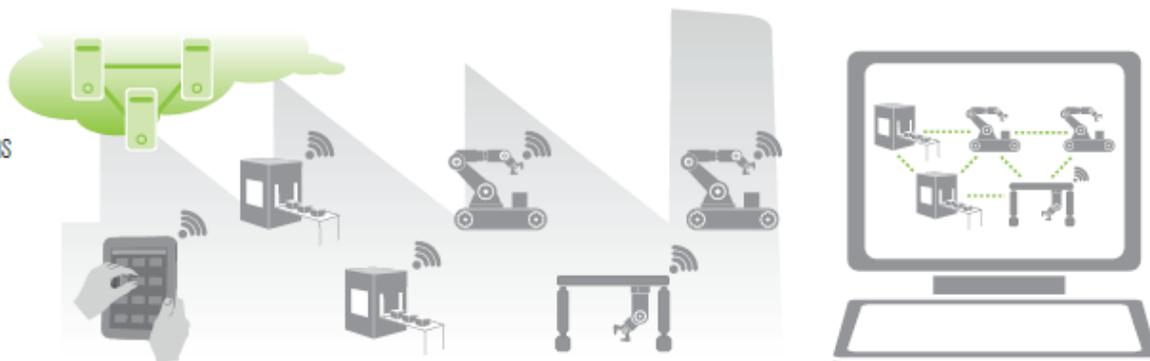
垂直統合に関しては、以下の疑問に答えなければならない。

CPS は、どのように、柔軟な、リコンフィギュレーション可能な製造システムの創造に活用できるか？

垂直統合の舞台は、工場である。未来のスマート工場では、マニファクチャリング・ストラクチャは固定されてもいないし事前に決められてもいない。代わりに、あらゆる状況に備えて、自動的にある特定の構造（トポロジ）³を構築するために、ケースバイケースで利用できる一連の IT コンフィギュレーション規則が定められる。この規則はモデル、データ、コミュニケーション、アルゴリズムに関連するすべての要件を含む。（図 8 を参照）

垂直統合を達成するために、ERP レベルまで正に様々なレベルに渡ってアクチュエータとセンサー信号のエンドツーエンドのデジタル統合を保証することが重要である。CPS のモジュール構造の設計と各モジュールの再利用戦略も重要である。こうすることで、スマートシステムの能力についての適切な表現が可能となり、アドホックネットワークキングと製造システムのリコンフィギュレーションを可能にするためである。さらに、これらのアプローチによる製造システムの運用方法や操作方法を理解するためには、現場監督とオペレータには研修が必要である。

Figure 8:
Vertical integration
and networked
manufacturing systems



Source: Siemens 2012

TAKE-HOME MESSAGE:

Industrie 4.0 は、戦略レベルで水平的な価値ネットワークの創造を可能にする。

エンジニアリング領域の業務について価値連鎖全体にわたってエンドツーエンドの統合をもたらす。さらに垂直統合・ネットワーク化された製造システムの設計を可能にする。

このため、戦略的なイニシアティブ Industrie 4.0 の実現際、研究資金調達と具体的な開発と実施手段はデュアル戦略に基づかなければならない。デュアル戦略は、ドイツの製造業間でリーディング市場を創造すること、ドイツの製造設備産業をリーディングサプライヤにすること、この 2 つの目標の達成を目指すことである。

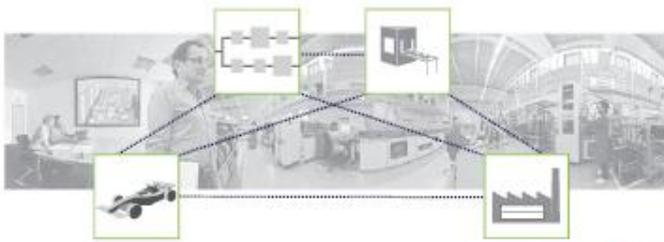
1. 製造業とは、製造システムで原材料と半製品を加工して物理的な製品を製造する（または、他の誰かに製造させる）すべての企業を指す。これには、機械加工とプロセス加工を含む。
2. 機械設備産業とは、機械やプラント製造業、自動制御製品のサプライヤ、関連するシステムやソリューション、ソフトウェア会社（例えばプロダクトライフサイクルマネジメント（PLM）システム、製造または物流ソフトウェアアプリケーション、企業プランニング・ソフトウェアシステムの供給）を含む。
3. トポロジとは、製造システムが生産資源（例えば機械類、職務、物流）のインタラクション（例えば材料フロー）から構成（コンフィギュレーション）されるという考え方を指す。

Example application 2 : 全ての価値連鎖の中のエンドツーエンドのシステムエンジニアリング

利点：エンドツーエンドのデジタル・システムエンジニアリングとその結果生じる価値連鎖の最適化は、もはや顧客は製造業が事前に仕様を決めた製品の選択肢から選ぶ必要はなく、顧客は具体的なニーズに合わせて個々の機能と部品を組み合わせマッチングさせることができるようになる。

Today

A variety of interfaces between IT support systems

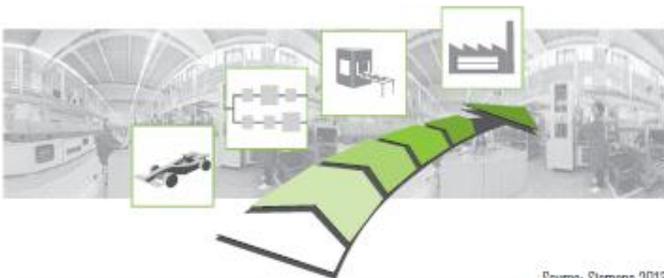


Source: Siemens 2013

今日の価値連鎖（具体的には「顧客の要求から製品アーキテクチャや生産まで」）は長い間比較的静的であり、一旦始まると途中で大きな変更がなされることは想定していなかった。エンジニアリングのための IT サポート・システムはいろいろなインターフェイスによって情報を交換し合うが、ある特定の状態に関してインターフェイスができるにとどまっている。このため、まさに現在進行形の**製品開発プロセスの観点から、グローバルに柔軟に情報交換ができる仕組みとはなっていない**。この結果、技術的には可能であっても、顧客が製品の機能全てを自由に選択することはできない。例えば、後部のワイパーをステーションワゴンの部品としては注文できるが、同じ企業が製造するリムジン用としては注文できないということである。また、IT システムのメンテナンスコストは依然として非常に高い。

Tomorrow

End-to-end system engineering across the entire value chain



Source: Siemens 2013

CPS を通じて可能になるモデルベースの開発は、エンドツーエンドのモデル化されたデジタル方法論が展開できる。このモデルは、顧客の要求から製品アーキテクチャや完成品の製造まであらゆる状況をカバーする。この開発は、**エンドツーエンドのエンジニアリング・ツール・チェーン**により、すべての相互依存関係が明確に峻別され、表現することができる。製造システムは同じパラダイムに基づいて平行して開発される。これは常に商品開発と足並みをそろえることを意味する。**その結果、カスタマイズされた個別の製品を製造することが可能になる**。さらに、現在のインストールベースの価値を維持しつつ、いくつかの段階を経て徐々にこのエンジニアリング・ツール・チェーンに移行することもできるようになる。

想定される経済効果

1. より大きな市場とより高いユーザー満足度の結果としてのより高い売上。
2. 価値連鎖のデジタル・エンドツーエンドの統合を通しての価値連鎖内のオペレーティングコストの削減。

4. 研究テーマ



4. 研究テーマ

Industrie 4.0 は産業界に広く実施されることになるが、引き続き基本的な研究が必要である。Industrie 4.0 ワーキンググループは、2012年10月に主要な中長期の研究すべきテーマとアクションを特定して提示した。以下に要約を示す。

Industrie 4.0 の主な目的は、**リーディングサプライヤ戦略**と**リーディングマーケット戦略**を両輪とする**デュアル戦略**（第3章を参照）の実施である。これは、今後の研究活動でも支持されなければならない。Industrie 4.0 では、主に ICT を生産（技術）工学・自動制御工学技術に結合する結果として、革命的なアプリケーションが生まれると予想される。

このためには、既存の CPS 機能は、製造システムに中期的に適合する必要がある。また、新しい CPS の創造を目指す独創的な開発プロセスを確立するために、ICT や自動制御工学業界の競争力とともに、機械類やプラントの製造業者のインテグレーターとしての実力の蓄積も大切である。製品モデルや製造資源、製造システムのエンドツーエンドの統合を求める新しいネットワークの世界では、さらに長期間の多大な研究開発力が必要となる。

今後は、完全に言葉で表現でき、管理しやすく、状況に応じて対応する、制御可能または自動制御型の、製造システムの調査研究と開発を優先する方針である。

長期的には、製造システムは、分野をまたぐ機能的な CPS コンポーネントで構成されるモジュラー・ツールキットから成る。モジュラー・ツールキットはヘルプ機能を利用してコンフィギュレーションできる、または、生産中に相乗作用で自らを既存のインフラに組み込むことができる。製造システムは、バーチャルな計画上の製造プロセスと現実の製造プロセスとをかなり高度に統合しなければならない。したがって**長期的には、あらゆるスマート工場モデルの要として、モジュラーCPS と対応するコンポーネントカタログを開発する必要がある。**

飛躍的なイノベーションは、製造環境の具体的な要件を満たすために既存の基盤技術を応用・開発するときこそ達成される。結果として生じる手法、アプローチやベストプラクティスの例は、**学際的な知識の獲得と技術移転**を達成するために価値ネットワークの様々な段階で普及させる必要がある。デュアル戦略（第3章を参照）をすでに詳細に考察したのは、5つの中心的な研究テーマのうちの3つを占めるためである。5つの中心的テーマとは次の通りである。

1. 価値ネットワークによる水平統合
2. 全ての価値連鎖の中のエンドツーエンドのエンジニアリング
3. 垂直統合とネットワーク化された製造システム

製造システムアプリケーションを中心とした技術主導の研究では、長期的には会社間または事業部間で学際的な協力が拡大する。学際的な協力は、主に機械・プラント製造の中小企業のために戦略的なイネーブラの働きをする。技術主導の研究は、業界が一層迅速に市場の要求に対応し、広範囲にわたる新製品、サービス、ビジネスモデルの主要なサプライヤとなることを可能とする。

しかし、異なる分野を横断して行われる協力の成果は、生産（技術）のエンジニアと自動制御のエンジニアの協力が単に増えたからという理由では実現しない。第4次産業革命がもたらす将来の就労者への重大な影響は、研究対象であることは勿論、実務的なレベルでも取り組まなくてはならない。第4の研究要件が導かれる。

4. 職場環境の新しい社会基盤

従業員の技術と経験の活用が、創造的な設計プロセスと創造的なプランニングプロセスには重要である。このため職場の労働意欲向上のためだけでなく社会的責任の観点からも、従業員を巻き込み、関与のレベルを上げることが必要である。したがって CPS は、従業員の生産性を押し上げ個々人の生涯の成長をサポートする組織にするため、全ての価値ネットワークをカバーする新しい業務組織構造を模索する。



≫「Industrie 4.0 を通して、我々は人間－技術間の相互作用のパラダイムシフトも可能にしている。これは、人間のニーズに対応するのが機械類であってその逆ではない。マルチモード・ユーザーインターフェースによるスマート産業支援システムは、職場環境に直接デジタル学習技術をもたらす。」

Prof. Dr rer. nat. Dr h. c. mult. Wolfgang Wahlster
CEO of the German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI GmbH)

Member of the Communication Promoters Group of the Industry-Science Research Alliance

職場環境の新しい社会基盤の問題には学際的アプローチが採用されなければならない。このため、エンジニア、IT 専門家、心理学者、人間工学者、社会学者、OR（オペレーションリサーチ）の学者、医者とデザイナーから成るチームの専門的技術や知識が必要である。

前述の通り、生産（技術）工学と自動制御工学の協働活動を可能にする実務的な手法と基盤技術は、現在まだ多くの領域で利用できない。

このような手法と技術が異なる IT システム、技術的な資源、適応能力から構成される、異なる企業や異なる業界で利用できるように、基本的な ICT 技術は、自動制御工学の要件に適合している必要がある。成功への更なる鍵は、実務に即した参照アーキテクチャーの設定である。とりわけこの状況は、垂直統合および水平統合（2 章参照）のための ICT プラットホームとして、または ICT プラットホームに属する、リアルタイム動作の可能なサービスベースのインフラを設立する必要につながる。このようなインフラは、技術的側面から組織され、様々な企業に利用されるように標準化される必要がある。適切なウェブサービスの設定を通して、幅広く共有される事業ネットワークの設立を可能とするためである。これは、引き続き Industrie 4.0 のために研究とアクションが必要な下記の領域に導く。

5. Cyber Physical System (CPS)技術

様々な研究テーマは、このセクションで述べた通り 5 つの研究領域に分類されてきた。Industrie 4.0 ワーキンググループ（企業や研究団体の研究を含む）を通して受けられるフィードバックは、2011 年 1 月と 9 月に Industry- Science Research Alliance に 2 つのレポートとして提出された Communication Promoters Group の勧告を基にしている。この勧告は、ドイツ連邦教育研究省（BMBF）が後援するプロジェクト「Integrated Research Agenda Cyber-Physical Systems」¹ や BMWi の研究「Das wirtschaftliche Potential des Internets der Dienste」（インターネットサービスの経済的将来性）の研究結果と共に、引き続き実施することが望ましい。従って、この勧告は、基本的な ICT 技術を自動制御工学と生産（技術）工学の要件に適応させる必要があると理解するべきである。勿論、一般的な研究テーマの継続的な取り組みも含まれる。またこれらのテーマは、前述のビジョンを実施するために求められる「インダストリアルエンジニアリング」のある特定のアプリケーション向けのアクションの具体的な記述とみなされるべきである。

関連する資金調達プログラム作成のアイデアとガイダンスにするために、Industrie 4.0 ワーキンググループは、**中長期的に重要なアクションと研究テーマ**を検討してきた。

TAKE-HOME MESSAGE:

業界と研究団体のための包括的な資金調達パッケージをまとめるために、関係省庁と Industrie 4.0 プラットホーム間の集中的な議論が必要である。Industrie 4.0 プラットホームは、Industrial Steering Committee と Scientific Advisory Committee に、生産技術、自動制御、IT、法律およびマネジメントの専門家と社会科学分野の専門家をメンバーに迎えるよう図らなければならない。Industrie 4.0 プラットホームのワーキンググループは、包括的な研究開発ロードマップを仕上げるという緊急課題を支援するため、研究団体と業界団体から新たな専門家を招集しなければならない。ロードマップは、様々な研究勧告を各々のワーキンググループの具体的な要件に適応させるのである。

Industrie 4.0 プラットホームは、Industrie 4.0 コミュニティの中で議論や非公式のやりとりを容易にするのみならず、現在存在する様々なプロジェクトやパートナーシップの間でも潜在的相乗効果をあげなければならない。

1. 製造業における CPS 研究勧告：

「生産システムへの Cyber Physical System (CPS)の導入はスマート工場を確立する。スマート工場の製品、資源、プロセスはすべて Cyber Physical System (CPS)によって特徴を記述される。CPS の高度なクオリティは、品質や時間、コストに関して従来の生産システムに勝る有利な立場を提供する。2011 年に始められた「Industrie 4.0」イニシアティブの一部として、我々は、技術的・経済的障壁を取り除き、スマート工場の導入と実装を加速するプロジェクトの設立を勧告する。」以下からの引用文。

acatech (Ed.): Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion (Cyber-Physical Systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production) (acatech POSITION PAPER), Heidelberg et al.: Springer Verlag 2011, p. 35.

5. 優先すべき分野



5. 優先すべき分野

Industrie 4.0 は、多くの相互に重複した領域を含む複雑なイニシアティブである。2012年10月に、Industrie 4.0 ワーキンググループは、包括的な中長期の**研究勧告**報告を発表した。以下のセクションは、勧告の実施に当たっての**優先分野**、ワーキンググループが特に必要と考える具体的な産業政策とビジネス上の意思決定に焦点をあてる。Industrie 4.0 プラットホームは、実施プロセスを具体化するために制定された。

5.1 標準化と参照アーキテクチャのためのオープンスタンダード

Industrie 4.0 が価値ネットワーク（第3章参照）を通して企業間のネットワーク化と統合を可能にするには、適切な標準が必要である。標準化の取組みに必要なのは、まず相互協力のメカニズムと交換されるべき情報を規定することである。これらの規定のすべてのテクニカルな記述と実装は、**参照アーキテクチャ**と呼ばれる。

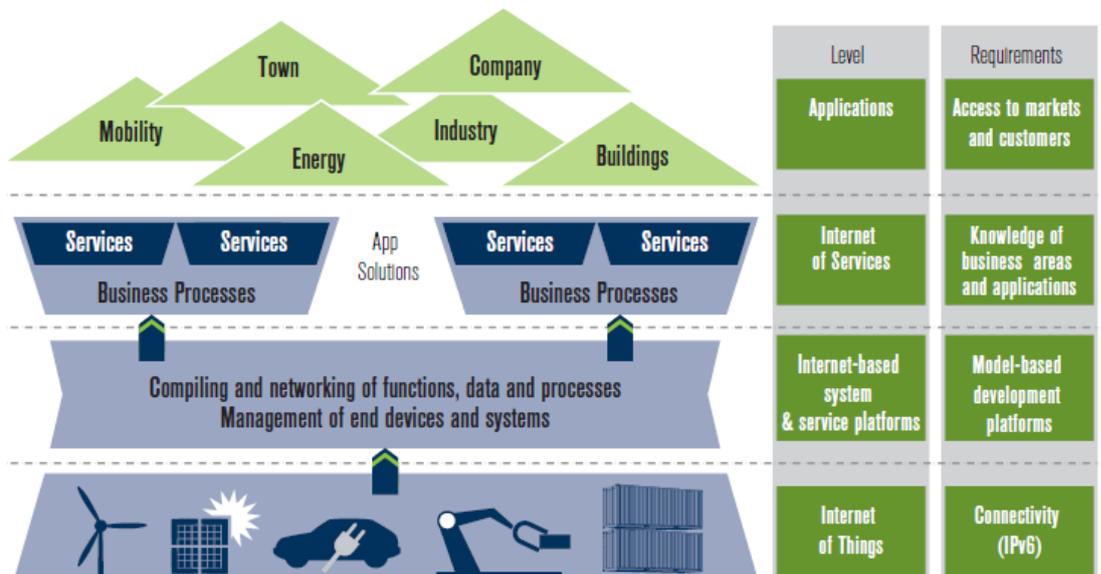
このように、参照アーキテクチャは、すべてのパートナー企業の製品・サービスに適用される普遍的なモデルである。参照アーキテクチャは、Industrie 4.0 のテクノロジカルシステムの構造化、開発、統合と運用の指針となる。参照アーキテクチャは、ソフトウェアアプリケーションとソフトウェアサービス（例：図9参照）として提供される。

Industrie 4.0 の価値ネットワークは非常に異なるビジネスモデルを持つ多くの企業で構成されるので、参照アーキテクチャの役割は、これらの企業の互いに異なるアプローチを1つの共通のアプローチにまとめることである。これは、パートナーに構造的な基本原則、インターフェース、データについて意見が一致することを求める。

製造システムの実例は、参照アーキテクチャ（図10を参照）に組み込まれる必要がある、異なる考え方を概説するのに役立つ。

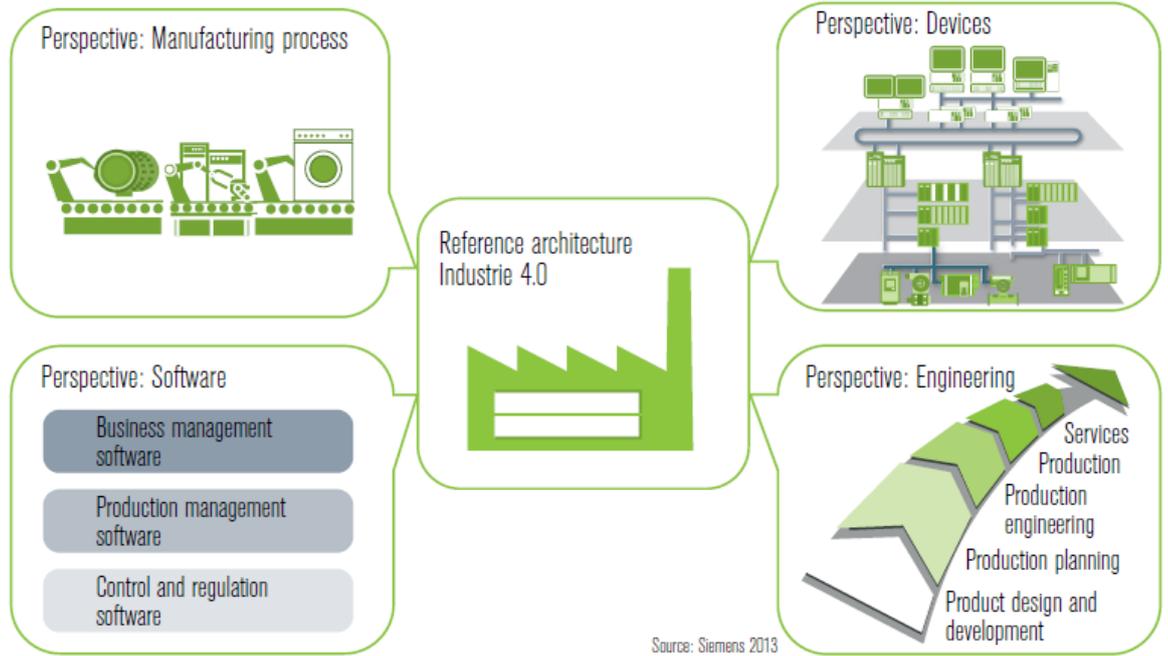
- 加工機能と運搬機能という観点からの製造プロセスの考え方
- 製造システムの特定のネットワーク化されたデバイスの考え方（例えば（スマートな）オートメーションデバイス、フィールドデバイス、フィールドバス、PLC（プログラマブルロジックコントローラ）、操作機器、モバイル機器、サーバ、ワークステーション、ウェブアクセスデバイスその他）
- 製造環境のソフトウェアアプリケーションの考え方（例えばセンサによるデータ取得、逐次制御、連続制御、インタロック、オペレーションデータ、マシンデータ、プロセスデータ、アーカイブ処理、傾向分析、プランニングと最適化機能、その他）
- 一つ以上の企業によって使われるソフトウェアアプリケーションの考え方（例えば、事業計画やマネジメント、企業間のロジスティクス、または、製造環境での適切なインターフェースや統合などのサポートをする価値ネットワーク）
- 製造システム（プロダクトライフサイクルマネジメント（PLM））のエンジニアリングの考え方。PLMでは、例えば、必要な資源（機械設備や人的資源）を見積もるために製造プロセスに由来するデータを使えると考えられる。さらに、製造システムの立ち上げから維持管理、ネット販売まで連続して、マシン（機械技術や電気技術およびオートメーション技術としての）を最適化することも可能である。

Figure 9:
Reference architecture
for connecting the
Internet of Things
with the Internet of
Services



Source: Bosch Software Innovations 2012

Figure 10:
Examples of the different perspectives included in the Industrie 4.0 reference architecture



Source: Siemens 2013

挑戦

最初の課題は、現在下記の領域の異なる確立されたモノの見方を擦り合わせ、共通のアプローチを策定することである：

- 生産工学、機械工学、プロセス工学
- オートメーションエンジニアリング
- IT、インターネット

Industrie4.0 は機械やプラント設備製造、オートメーションエンジニアリングとソフトウェア分野において、企業間の協働活動が必要とするため、まず**基本的な用語について共通の定義**を決める必要がある。

いくつかのすでに確立された標準がいろいろな技術領域や職能団体、ワーキンググループに存在するが、これらの標準は調整・見直しが必要である。従って、例えばオートメーション（工業用通信、エンジニアリング、モデリング、IT セキュリティ、デバイスインテグレーション、デジタル工場）の領域の**既存の標準**が、新しい全体の参照アーキテクチャに取り込まれることが必要である。

参照アーキテクチャは、多くの異なる考え方を組み込む必要があるのでトップダウンでの開発はできない。トップダウンアプローチはいずれにせよ非常に長期間を要する。従って、参照アーキテクチャはいろいろな出発点から**逐次開発**されることが合理的である。

この場合、現在しばしば個々の事情に基づき、そのプロジェクトに特有の方法で決定されている仕様を徐々に**国際標準**に変える必要がある。その際に、インターフェースが長期的に技術的に安定していることは、インストールベースの価値保護のために重要である。インターネットの標準化へのアプローチは、例えば機械製造業やプラント製造業といった分野で、それぞれ現在規範となっている異なるパラダイムに基づいている。以下に例を示す。

- オープンなオペレーティングシステム：Linux は 2,000 人以上の開発者が 100 以上で作業した結果である。彼らは世界で最も成功したオペレーティングシステムの一つを開発し維持している。
- オープンな開発ツール：1,500 人以上の開発者と何百万ものユーザーから構成されているコミュニティは、期待のかかるモデリング・アプリケーションのソフトウェアを開発している。
- オープンな通信基盤：「Request for Comments」は、インターネットソサイエティが 1969 年 4 月 7 日に発表したかなり古い、組織化に関する技術的な方法論である。「Request for Comments」は広く採用されたので、事実上の標準となった。有名な例はインターネットプロトコル (TCP/IP) と電子メールプロトコル (SMTP) である。

これらのパラダイムにより、標準化の取り組みははるかに速く進展することになった。

最後に、参照アーキテクチャに対する**信頼**を構築することが重要である。これは、ノウハウ保護（第 5.7 章参照）に関して特に重要である。参照アーキテクチャの想定ユーザーすべてに、当初から知的財産権の適切な取り扱いを徹底することも重要である。

望ましいアクション

Industrie 4.0 ワーキンググループは、Industrie 4.0 プラットホーム主催で、もっぱら標準化と参照アーキテクチャの問題に対処する**ワーキンググループ**の設立を勧める。ワーキンググループは以下の課題を検討する。

- 目標やベネフィット（便益）、潜在力とリスク、共同作業を行うために必要となる信頼を築くための、実現可能な内容と実施戦略に対する共通理解の構築が重要である。職能団体は信頼醸成のための活動を主導しなければならない。
- 重要な用語の整理と共通の「Industrie 4.0 用語集」の作成を行うこと。さらに、Industrie 4.0 固有の内容に関連する以下の問題にきめ細かく注意を払わなければならない。
 - モデルの普遍概念（基本的なコアモデル、参照モデル、アーキテクチャ設計）
 - Industrie 4.0 サービス・アーキテクチャのための標準
 - 超オートメーションレベルの手順と機能的な記述のための標準
 - 用語標準とオントロジーの活用
 - 自律的に組織化していくシステムの理解とその計画・運用・セキュリティなど
 - 特徴維持とシステム構造記述
 - 既存のアーキテクチャからの移行アプローチ
- 既存の標準の内容を説明する**ボトムアップ・マップ**の作成を行うこと。マップには、現在の傾向、既存の「オートメーション参照アーキテクチャ」アプローチや実例が掲載される。マップは、Industrie 4.0 のこれからの発展と移行に関する様々なテーマを評価するため、また、現在カバーされていないテーマを特定するための基礎になると考えられる。
- 費用便益の視点や時間制約を考慮し、**トップダウンのロードマップ**の作成を開始すること。全体論的（Holistic）アプローチが、標準化と独自性の絶妙なバランスを保つために採用されなければならない。構造はオープンで透明でなければならない、すべての利害関係者は標準の開発・活用に携わるべきである。ライセンス付与モデルにも取り組むべきである。
- **さまざまな企業から構成される「Industrie 4.0 コミュニティ」**を開発すること。コミュニティは、参照アーキテクチャのテクニカルな実施に対して責任を持ち、幅広い展開や長期間の維持を可能にする。これには、適当なライセンス付与モデルと適切なコミュニティの選択プロセスが必要である。
- ワーキンググループの検討事項には、議論の管理、勧告、評価、情報交換と動機づけなども含まれる。

ワーキンググループは、開発成功事例と参照アーキテクチャの展開を目に見える形で提示できる**フラッグシップ・プロジェクト**の推進も勧める。図 11 は、価値ネットワークを通じた水平統合に注目した参照アーキテクチャの一例である。参照アーキテクチャには、その他、製品とその関連製造システムのエンドツーエンドのエンジニアリング、もしくは、マネジメントのためのリアルタイムプロセス通信、および、非常にダイナミックで技術的な製造プロセスの制御などが考えられる。

5.2 複雑なシステムを管理する

製品と関連製造システムは、ますます複雑化してきている。これは、機能向上や製品のカスタム化、引渡要件の多様化、異なる技術規範や組織の統合、様々な企業間の協働活動のあり方の急速な変化の結果である。

モデリングは、一層の複雑化を管理するためのイネーブラ（実現手段）として機能する。モデルは、検討課題に関連する考え方についての現実または仮説シナリオの提示である。モデルの活用は、デジタル世界で重要な戦略を構成し、Industrie 4.0 では大変重要である。

モデルは基本的に二種類に分類できる。

- プランニングモデルは、エンジニアによって生み出される創造的な付加価値の透明度を上げ、複雑なシステムの構築を可能にする。プランニングモデルの例は、エンジニアが「システム上の必要条件を満たすために適切な機能をどのように実装したか」を説明するのに用いられる模式図である。このように、モデルにはエンジニアの知識が含まれている。
- 説明的なモデルは、既存のシステムを描写し、モデルを通してその仕組みについての知識を得るのである。
- これは、シミュレーションのような様々な分析プロセスを使用することが一般的である。例えば、シミュレーションは工場のエネルギー消費を計算するのに用いられる。説明的なモデルは、エンジニアの設計の選択を検証するのにしばしば用いられる。

このように、デジタル世界はプランニングモデルによって現実世界の設計に重大な影響力を及ぼす反面、現実の世界も説明的なモデルによってデジタル世界で使われるモデルに影響を及ぼす¹。

モデルが正確に定義された表現であるという事実はモデルがコンピュータで処理可能であることを意味する。計算や他の繰返し作業のようなルーティン業務をコンピュータに実行させることができる。従って、モデルの**利点**の一つは、人の手を介した活動を自動化し、以前は実世界で実行されなければならなかった活動がデジタル世界で実行できるということである。

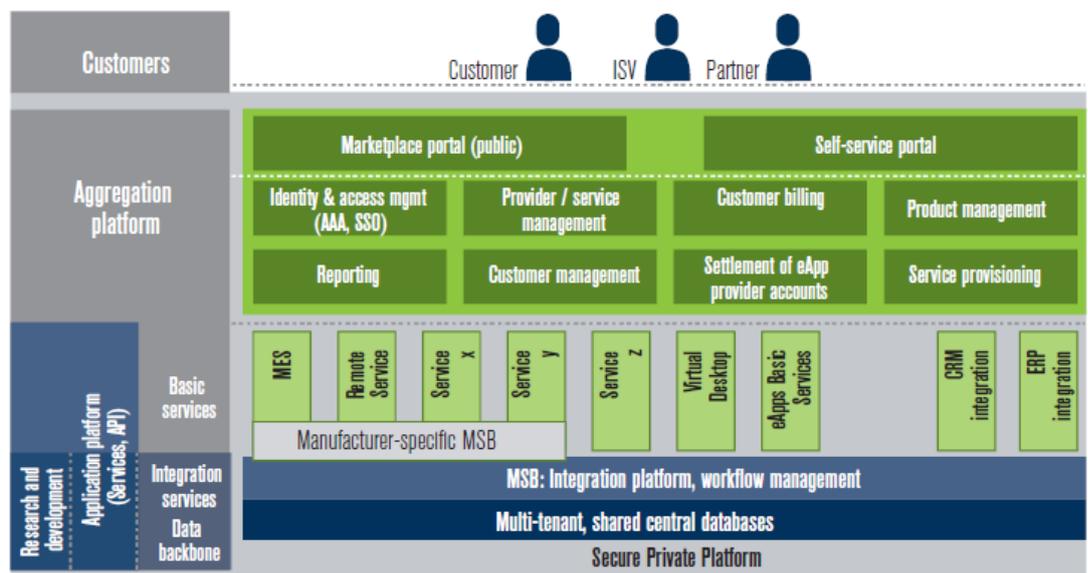
モデルには、大きな**可能性**があるが、それは Industrie 4.0 のためにだけあるのではない。例えば、モデルは、早期のエラー発見や発注された需要の検証、需要に対応する解決能力によって、プロジェクトのリスクを減少させることができる。また、モデルは、学際的な協力の改善、より一貫したエンジニアリングデータの実現によって、さらに効率的なエンジニアリングを可能にする透明な情報フローを提供することができる。

実世界での相互作用と行動を正確に定義・表現した説明的なモデルは、**開発や設計段階**の妥当性検証だけに役立つのではない。将来、説明的なモデルは主に**生産段階**に活用されると考えられる。このモデルは、生産はスムーズに運んでいるか、生産を停止させることなく部品の消耗を見つげられるかをチェックし、部品故障他の混乱を予測することができる。

挑戦

特に中小企業において、製造プロセスをコンフィギュレーションして最適化するモデルベースのシミュレーションはまだ標準的ではない。このため、Industrie 4.0 の主要な課題は、さらに幅広いエンジニアリングコミュニティにおいて、モデルの可能性を認識させ、エンジニアにバーチャル世界（第 5 章 6 を参照）で実世界の仕組みを正確に定義・表現するために適切なモデルを使うための**方法論と道具**を与えることである。もちろん、適切なモデルが存在しないシナリオ、もしくは正確に定義・表現したモデルでシナリオを記述するのが難しいシナリオ（例えば生産過程における化学変化等）もあることも事実ではあるが。

Figure 11:
Example reference
architecture for a
CPS platform



Source: Hewlett-Packard 2013

Industrie 4.0 向けのモデルの開発は、モデリングを使わないアプローチより、当初は高い費用が発生することになる。これは、将来発生するコストを軽減するために、付加価値の高い作業がプロセス初期段階に配置されているからである。このため、モデリングが**費用対効果**に見合うかという点が問題となる。その答えは、当然ながら対象となっている業種によって異なる。大量生産の産業（例えば自動車産業）または厳しい安全基準を求められる産業（例えば航空電子工学²分野）は、より高い初期投資を受け入れると予想される。少量を製造するだけ、もしくは、個別製品を製造するだけであるならば、企業は高い初期投資を受け入れない。「顧客ごとの個別対応となる作業のコスト」と「顧客に依存しない作業のコスト」との比率は、この点で重要な役割を演ずる。モデルの成功には、モデルがコスト的に効率よく開発され、設計段階の間だけでなく、後工程のオペレーション段階でも生産的に活用される必要がある。

資格のある**専門家**だけがモデリングとシミュレーションを行うことができる。従って、企業はこれらの専門家を雇用しなければならない点は重要である。現在は、機械工学領域でこのような資格のある中小企業の従業員は、むしろ「変わり種」と考えられているくらいがあるくらいだからである。

最後に、全体論的アプローチは、Industrie 4.0 のモデリングの当初から採用されなければならない。第一に、**製品と製造システム**は、モジュラー設計を備えているか、異なる専門分野（例えば製造エンジニアリング、オートメーションエンジニアリング、IT）の協働活動を保証しているかという観点から検討される必要がある。第二に、工場で起こっている実際の開発プロセス、設計・エンジニアリングプロセス、**製造プロセス**などもケースバイケースで検討されなければならない。最後にモデリングは効率的なソフトウェア**ツール**を必要とする。既存のツールやプロセスと一体化され、展開戦略と方向を同じくしなければならない。

望ましいアクション

特に製造エンジニアリングの領域において、Industrie 4.0 ワーキンググループは、**複雑なシステムを管理する手段として、専らモデリング**の課題に対処するため、Industrie4.0 プラットホーム主催で**ワーキンググループ**を設立することを提唱する。ワーキンググループの検討課題は以下の通りである。

- 代表的な**調査**は、モデリングの分野で最も緊急性の高い要件を見極めるために行われなければならない。この非常に幅広い対象領域をインプリメンテーション（実装）に際して最も重要な点に限定するためである。
- 実務家と意思決定者の間でモデリングの重要性を周知徹底し、特に中小企業の間で、**ベストプラクティスの共有**を行わなければならない。想定されるテーマは、モジュール化、バーチャル新規事業、デジタル工場などが考えられる。そのうえで、適切なイベントを用意して、参入障壁と移行戦略（業界団体による調査の詳細は第2章参照）の議論ができるようにしなければならない。モデリングについて（潜在的な）ユーザーからの質問に答えてくれるワンストップショップ（1か所での総合サービス）のように便利な**コミュニティとエキスパート集団**に対して、検討内容の履歴を示すべきである。
- ワーキンググループは、ツールユーザーやツールメーカー（プロダクトマネージャー、アーキテクト）、研修実施者のために、**コミュニティグループ**の設立を推奨するべきである。これにより参加者の相互理解の促進が可能となることが望ましい。Industrie 4.0 イニシアティブの下の主要なサプライヤは、「機械・プラント設備製造業」であるので、この業界のユーザーグループに注目すべきである。彼らの要件（例えばインテグレーションやエンドツーエンドの能力、弱点と潜在的可能性に関する）に最適に対応するよう、ツールメーカーにプラットフォームを提供するためである。既存のユーザーグループに具体的なエンジニアリング・ツールに関して課題となっているデータを提供するよう促すことが望ましい。
- さらにワーキンググループは、**適切なガイドラインと望ましいアクション**の作成にも取り組まなければならない。

プラットフォームに関する活動に加えて、モデリングとシステム工学の**研修と継続的な専門家の育成**対策にも取り組まなければならない。これは、若いエンジニアに対する研修と熟練技術者に対する専門職継続開発訓練方法などである。研修内容は、特に製造業（第5章5および第5章6を参照）の必要に合わせて調整し直さなければならない。

ワーキンググループは、既存のモデリング手法とツールを用いてテストするのにふさわしい**フラッグシップ・プロジェクト**の立ち上げも勧めている。これは、様々な状況（例：エンジニアリング対オペレーション、大量生産対少量生産または個別製品生産、加工組立型製造業対プロセス型製造業、社内対企業間、生産対ロジスティクス他）で、モデリングの価値を示すためである。

5.3 産業界に幅広くブロードバンドインフラを供給すること

CPSが広範囲に展開されるには、一般論として通信インフラ整備が必要となる。当該、通信インフラは、現在の通信網よりかなり大量のさらに高品質のデータ交換を可能にするために重要である。Industrie 4.0に必要なのは、保証された最大待ち時間や信頼性、サービスクオリティ、ユニバーサルに利用できるバンド幅を提供するため、既存の通信網を強化することである。2011年のDigital Infrastructure Yearbookで提示されたナショナルITサミットの勧告に合わせて、ドイツ国内やドイツとその製造パートナー国の中で、ブロードバンドインターネットのための通信インフラは、大規模に拡大・整備される必要がある³。

「通信の高い信頼性と接続性は、機械工学とオートメーションエンジニアリング・アプリケーションにとって重要である。保証された最大待ち時間と安定した接続は、アプリケーションのパフォーマンスに直接影響する。[...] 通信ネットワーク提供者は、企業の実務に直接影響するために努力する必要がある。

- 拘束力のある信頼できるSLA(Service Level Agreements)
- 通信の接続性と通信速度
- データリンク・デバッグ/トレーシング（特に技術支援対策）のサポート
- 広く利用できる/保証された通信の接続性と通信速度（通信速度が固定/通信速度を保証されたブロードバンド方式）の規定

- すべてのモバイル・ネットワークオペレーターに行きわたるSMS配信ステータスの通知
- すべてのプロバイダー（SIMカード・アクティブ化/アクティブ解除）をカバーするために、標準化されたアプリケーション・プログラミング・インタフェース（API）
- 通信料金マネジメント
- モバイル・サービス契約のコスト管理
- サービスクオリティ（固定バンド幅）
- 手頃な価格での国際ローミング
- 広く利用できる埋め込みSIMカード
- 未受信地域〔特に人口密度の低い場所〕のための衛星ベースの解決案

この基本的なインフラは、Industrie 4.0のためだけでなく、すべてのCPSアプリケーション（エネルギーや医療（第2章1を参照）など）のためにも必要とされる。

挑戦

多数のユーザーが利用できる効果的なブロードバンドインフラのための包括的な要件は、単純性、拡張性、安全性、接続性が担保されていて、かつそれが手頃な価格で提供されることである。

望ましいアクション

Industrie 4.0ワーキンググループは、2011年のナショナルITサミットでワーキンググループ2「デジタルインフラ」によって提案された、ドイツのブロードバンドインターネットインフラの拡大勧告にそった通信インフラ整備を強く推奨する。Industrie 4.0が必要とする正確なバンド幅とリアルタイム機能を確認するために、具体的なアプリケーションの研究が必要である。

ワーキンググループ2の勧告に従って、Industrie 4.0ワーキンググループも、ドイツのブロードバンドインターネットインフラの拡大を推奨する。

5.4 Industrie 4.0のCSF（クリティカルな成功要因）としての安全とセキュリティ

安全とセキュリティは、生産設備とその製品にとって重要なポイントである。（info panelを参照）。生産設備や製品は人々や環境に脅威をもたらしてはならない（安全）と同時に生産設備と製品 – 特にそのデータとノウハウは不正使用と未許可のアクセスから保護される（セキュリティ）必要がある。セキュリティとは対照的に、安全は、昔から生産設備と製造業が生産する製品の設計の重要な要件であった。安全は、製造システムの構築と運用を管理している多数の規則と標準によって規定される⁴。

初めて情報テクノロジーが機械工学と電子工学に出会った1960年代の終わり頃（Industrie 3.0⁵）、製造環境の安全とセキュリティの要件は劇的に厳しくなった。オペレーションの安全の確かな証拠の提出がさらに難しくなったという事実に加えて、セキュリティも問題であることが徐々に明らかになった。Industrie 3.0（Industrie 4.0の「ベータ版」）で発生した安全とセキュリティの問題の多くは、まだ完全には解決されていない。特にセキュリティ対策はしばしば実施が遅れ、しばしば部分的な手直しにとどまる。Industrie 4.0の出現で、数多くの追加安全対策やセキュリティ対策の準備が整ってきた。CPSベースのIndustrie 4.0製造システムは、多数の人間、ITシステム、オートメーション・コンポーネントとマシンから構成された高度にネットワーク化されたシステム構造である。大量のしばしばタイム・クリティカルなデータと情報の交換が、技術的システムコンポーネントの間で起こる。その交換の多くは独立して行われる。同時に、さらに多数の主体が、価値連鎖（第2章および第3章を参照）全体に関係してくる。安全とセキュリティは常に全体システムの財産である。しかし、オペレーションの安全問題に加えて、このように広いネットワークや第三者からのアクセスの恐れは、全く新しいタイプのセキュリティの問題がIndustrie 4.0の過程で発生したことを意味する。Industrie 4.0を実施し普及させるためには、以下の対策の実行が必要と考えられる。

1. 基本的な設計原理として設計に組み込まれたセキュリティ。昔は、外部の攻撃に対するセキュリティは、通常物理的な対策（例えばアクセス制限または集約型セキュリティ対策）であった。CPSベースの製造システムでは、後からシステムにセキュリティ機能を追加するだけでは十分でない。安全に関するすべての面、特にセキュリティは最初からシステムに設計される必要がある。
2. 高度にネットワーク化されたオープンで異質なコンポーネント間の相互作用に対して高度な守秘義務や確実性、接続性を付与するために、ITセキュリティ戦略、アーキテクチャ、標準は開発・実施されるべきである。このような戦略は、デジタルプロセス、ノウハウ、知的財産権、データを保護するために、適切で信頼性がありなおかつ手頃な価格のソリューションを各メーカーやオペレータに広く提供する必要がある。この保護は、第三者に対しても、異なるオペレータ及び/またはメーカーに属する部分に関しては互いに対しても行われるべきである。（第5章7を参照）。

従って、Industrie 4.0では常に、安全とセキュリティにグロー

バルアプローチを採用することが必要である。セキュリティ対策（暗号のプロセスまたは認証手続き）の安全（タイム・クリティカルな機能、資源の利用可能性）に対する影響、そして、その逆（「サブシステムの一部の重要な安全機能は、サイバー攻撃のリスクを増やすか？」）を考慮することが重要である。

さらに、現在の状況からみれば、安全とセキュリティに関しても、Industrie 4.0にはデュアル戦略が必要である。第一に、既存の工場は、新しい要件を満たすために必要な安全とセキュリティ対策をグレードアップしなければならない。機械は、通常は長い有効寿命があるにもかかわらずイノベーションサイクルは短く、またすべて異質で、場合によってはネットワークにつなげない、とても古いインフラもある。つまり、既存の工場のグレードアップは簡単な仕事ではない。第二に、新しい工場と機械のための解決策を立てなければならない。

第3次産業革命から第4次産業革命への移行は、できるだけスムーズに行わなければならない。全利害関係者がはっきりと理解しうる方法で実施されなければならない。二つの戦略の柱の鍵となるのは、実施以前に、全ての価値連鎖に連なるすべての主体が安全とセキュリティ問題、当該アーキテクチャについてコンセンサスに達することである。

「安全」は、テクノロジーシステム（機械、生産設備、製品その他）が人々または環境へ脅威をもたらしてはならないという事実を指す。一方、「セキュリティ」は、システムそのものが不正使用と未許可のアクセスから保護されている必要があるという事実を指す。（アクセス保護、攻撃に対するセキュリティ、データと情報セキュリティ）安全とセキュリティは様々な面でIndustrie 4.0に関連する。この二つの用語をはっきり区別することが重要になる。

セキュリティ/ITセキュリティ/サイバーセキュリティ：

データの保護と不正使用（例えば未許可のアクセス、修正、破壊）に対する（デジタルの）システムのサービス。セキュリティ対策の目標は、守秘義務（固有の機械/人間ユーザーに対するデータへのアクセスとサービスの制限）、確実性（データの正確さ/完全性とサービスの正しい運用）、接続性（ある時間にある機能を実行するシステムの能力を測る手段）を高めることである。対象となるテクノロジーシステムやシステムが取り込むデータとサービスによって、セキュリティは情報プライバシー（個人情報に関わる権利の侵害に対する個人の保護）の基礎を提供する。これは、ノウハウ保護（知的財産権の保護）をも有効にする。

安全：

受け入れがたいリスクや、人々とシステムのオペレーションから生じている環境に脅威がないこと。「安全」には、オペレーションの安全と高度な信頼性の両方が必要である。オペレーションの安全には、対象となっているテクノロジーシステムにより、機械や電気事故、放射線防護、蒸気や高圧に関する事故防止、その他の予防などの追加措置を含むこともある。オペレーションの安全は、システムの正しい操作に依り、またはシステムそのものによってもたらされる安全である。オペレーションの安全に必要な要素は、低い

誤操作率、高い誤操作許容性（誤操作があっても正しく動き続ける能力）とロバストネス（万一故障が起こっても基本的な機能を保証する能力）などである。信頼性は、与えられた環境で与えられた時間で、正しく操作されたテクノロジーシステムの信頼確率を指す。

挑戦

Industrie 4.0 には、安全とセキュリティに関して様々な課題がある。安全とセキュリティの解決策の成功は、技術的な課題とは全く別に、商業的、心理的、教育的な問題にも取り組まなければならない。例えば、現在、適切な安全とセキュリティの解決策を実施するには、産業界は、十分に標準化されたオペレーティングプラットフォームが足りない。オペレーティングプラットフォームの実装とコストは、業界の固有の事情に合わせて調整されてきた。このためオペレーティングプラットフォームは単にコストドライバーとは捉えられていない。既存のインフラを拡大する、もしくは、アップグレードするためにできることは多くのケースでほとんどない。特に多くの安全とセキュリティ解決策は、当初、別の業界やアプリケーションのために開発されたからである。さらに、特に IT セキュリティの問題に関して、セキュリティに対する意識は、しばしば重要な役割を演ずる。現在セキュリティに対する意識は、各業界であまりに多くの相違がある。Industrie 4.0 が価値連鎖の様々なパートナーの間でさらなるネットワークと協力を必要とするという事実を考慮すると、パートナーは自身の競争力の確かな証拠を互いに提示して、互いの競争力（セキュリティと信頼）にさらに高いレベルの信頼を持つことが必要である。

機械・プラントメーカーはソフトウェアのもつ付加価値の可能性を一層評価してきている。

結果として製造用設備と機械に組み込まれるソフトウェアコンポーネントの数は急増している。しかし、まだ関連する IT 脅威については多くの場合ほとんど何も知られていない。

マルウェア（例えば Stuxnet、Duqu、Flame）をめぐる公式の議論が起こって初めて、産業分野での IT セキュリティについて、オートメーション業界で議論され始めたのだった。さらに、ソフトウェアはセキュリティと安全を提供し維持するために一層重要な役割を演じている。しかし、これは製造プロセスではまだきちんと理解されていない部分である。このため解決策があるにもかかわらずまだ実施されていない。

一般的に、Industrie 4.0 は、今までより安全とセキュリティの対策（特に設計段階からのセキュリティ対策）にもっと能動的に取り組む必要がある。現在、安全とセキュリティ問題は、開発過程が終わった後に具体的な問題が起こってから、しばしば反動的に取り上げられるだけである。しかし、この安全とセキュリティ対策の遅れは、高い費用がかかる上、しばしば当該問題の恒久的解決策にも到達できなくなってしまう。従って、安全とセキュリティは、単に機能コンポーネントには分類できず、むしろプロセスとして研究しなければならない。速いレスポンスタイムを達成するために、モニタリングと広範囲の学際的な情報交換をサポートすることも重要である。現在、特に産業分野の IT セキュリティに関して、リスク評価指標のモニタリングは不十分である。安全やセキュリティ事故があったとしてもわずかな情報しか交換されていない。このような対策は、ウイルスまたは無差別サイバー攻撃の拡散を防止する。

望ましいアクション

サイバーセキュリティ問題の研究の一部として、Federal Office for Information Security (BSI) は、現在 Industrial Control Systems (ICS) が直面している最も重要な脅威トップ 10⁶ のリストを作成した。Industrie 4.0 ワーキンググループは、安全とセキュリティの分野でのアクションのために **8 つの優先分野** の補完的なリストを作成するために、多くの専門家と共に研究した。

1. 安全とセキュリティ戦略の統合、アーキテクチャと標準

Industrie 4.0 は、全てのシステムライフサイクルを通して、安全とセキュリティ戦略を修正し、関連する原則と手法の組織的適用をする必要がある。共有の「ナレッジプール」は、このアプローチの基礎として開発されなければならない。共有の「ナレッジプール」を活用することによって、プロセスオートメーションや機械、電気機械工業界は、IT、自動車、航空宇宙業界が採用している安全とセキュリティ戦略やプロセスを Industrie 4.0 の固有の要件に適応させ、現在使われている戦略やプロセスの強化ができる。

- サブシステムは様々なメーカーやオペレータに属しているが、同時に、オープンな協働活動も可能な、安全とセキュリティ戦略を開発する研究が必要である。これらの戦略は、まず、最初に各業界（例えば機械工学または自動車部品）向けに作成される脅威のシナリオに基づかなければならないが、最終的にすべての業界に適用できなければならない。
- ある安全とセキュリティ戦略とシステムの研究開発が、別の安全とセキュリティ研究プロジェクトと確実に密接に連絡調整されることは重要である。研究テーマは ID の安全な証明やサイバーセキュリティ、重要なインフラの保護などである。そして、その知識は、自動車業界や航空宇宙業界など他業界と交換されるのである。
- このようにして製造システムに対する安全とセキュリティ・アーキテクチャは、Industrie 4.0 イニシアティブの参照アーキテクチャと位置付けられなければならない。これは既存の Industrie 3.0 システムと可能な限り互換性がなければならない。

Industrie 4.0 の成功の鍵であるアプローチと手順を確実に標準化することに加えて、参照アーキテクチャは、テスト手順を明確にしテスト機能も設定することができる。このテスト機能は、各機械から機械へのネットワーク、アプリケーション段階へと、あらゆるレベルでシステムの全体的な安全とセキュリティをテストするのに用いることができる。参照アーキテクチャは、新しいシステムや特に既存のサブシステムに、セキュリティクラス種別と証明書を発行する基盤としても役に立てる。このアプローチは、このように移行戦略の一部をなす。

2. 製品・プロセス・機械のための安全な固有 ID 番号

全ての製造プロセスを通しての安全な情報交換は、Industrie 4.0 の受入れと成功に重要である。安全な情報交換は、機械やその部品、交換されるデータ、関連プロセス、及び、関連する全組織に適用される。この情報交換を可能にするために、各機械、プロセス、製品、部品、材料が、固有の電子 ID 番号を所有する必要がある。さらに、一種の「セキュリティパスポート」を部品と共に交付することが望ましい。「セキュリティパスポート」には、すでに開発段階で検討され軽減されたリスクと、インテグレータやインストーラ、オペレータ、ユーザーによって検討されるべきリスクの詳細などが記載される。パスポートは、上記のセキュリティクラス種別も含む。

安全な ID 番号の一部としてセキュリティパスポートは、開発や製造の間、製造環境で CPS の全体的なセキュリティを評価するために、システムの基盤となることもできる。セキュリティ格付けは、製品の価値、潜在的脅威、その修正または適切な対抗手段をふまえて検討される。"Secure Identities" についての戦略的イニシアティブは、このように「製品」「機械」「プロセス」を含むために拡大され、物質的な製品同様、仮想製品も取り込むべきである。

3. Industrie 3.0 から Industrie 4.0 への移行戦略

移行戦略の目標は、徐々に現在の Industrie 3.0（これからもかなりの間活用され続けると考えられる）のセキュリティを改善し、Industrie 4.0 への転換の準備をさせることとなっている。しかし、既存の製造用設備の異質性や長い耐用年数、固有の性質はすべて、IT セキュリティ解決策の共通標準の開発を阻害する。従って、移行戦略は、このような Industrie 3.0 の現状評価、ならびに、迅速で実務的でコスト効率よい個別のセキュリティ解決策の実施を可能にする、標準化されたプロセスモデルの開発も必要とする。このプロセスは既存の（一般的な）IT セキュリティプロセスの改良によって達成できると考えられる。この IT セキュリティプロセスは、個別のセキュリティ目標の決定や、弱点や脅威を突き止めるための状況分析、今後実施されるべき対策リストの作成に基づく。

4. ユーザーフレンドリーな安全とセキュリティ解決策

通常ユーザーフレンドリーでないプロセスとアプリケーションは嫌がられる傾向にある。特に高度にネットワーク化された環境では、これは安全とセキュリティ解決策に致命的な結果をもたらしかねない。従って、ユーザーのニーズやユーザーフレンドリーなインターフェースに合わせて安全とセキュリティ解決策を開発し、当該アプリケーションの実行を保証する必要がある。このことは、設計の初期段階からエンジニアリングやオペレーション、メンテナンスまで配慮されなければならない。

5. ビジスマネジメントにおける安全とセキュリティ

安全とセキュリティは必然的に常にコスト要因となる。機械が故障すると、直接的な影響（例えば売上高減少）と間接的な影響（例えば顧客やサプライヤ、パートナーからの損害賠償要求、または企業イメージへの低下）が起こり得る。しかし、これまでメーカーは、ほぼ IT 問題をカバーする損害保険には加入していない。従って、Industrie 4.0 に関連したリスクと当該セキュリティ解決策の費用対効果の、さらに透明な計算を可能にする手法を開発する必要がある。IT の脅威が生じた場合または推測された場合に、製造用設備をシャットダウンするか否かの二者択一の選択とは対照的なセキュリティ解決策である。

6. 製品の著作権侵害からの安全な保護

成功を収めた製品は、必然的に製品著作権侵害のターゲットとなる。従って、グローバルマーケットでは知的財産権の保護は、先進諸国の生き残りへの鍵である⁷。知的財産権侵害は、売上への影響にとどまらず、企業イメージの低下やノウハウの流出をはらむ。最も極端な場合では、かつての知的財産権侵害者がライバルになることさえある。問題は、むしろ複合的な物理的な製品のコピーだけでなく、特に、現在まだ容易にコピーできるソフトウェアまたはコンフィギュレーション（構成）の形で、ますます企業や製品ノウハウが狙われている。

製品著作権侵害に対する保護には、価値ネットワークの様々なパートナーの間の非常に高い協力度からして、Industrie 4.0 がさらに重要な役割を演じると考えられる。従って、重要なビジネスノウハウの保護と同時に、プラットフォーム内の信用や透明性を保証する解決策を見つけるために、技術レベル、特に企業レベル、競争法レベルで取り組むことが必要である。

7. 研修と専門家の継続的（企業内）育成

IT セキュリティについての知識は、組織のすべてのメンバーに不可欠である。熟練した機械操作員からプラントエンジニアリング分野で働いているセキュリティソフトウェア開発者やプランニングエンジニアまで、製造に関するすべての関係者の間で認識を向上させることは重要である。セキュリティ解決策が企業で実施されるとき、たとえソフトウェアが技術的にユーザーフレンドリーである（ポイント 4 を参照）としても、単にインストールするだけでは十分ではない。従業員も当該セキュリティに関して十分に訓練されなければならない。製造環境に的を絞った適切な認識向上キャンペーンは、セキュリティ領域の現在の弱点克服に効果があると考えられる。また、高等教育機関での IT セキュリティ問題の必修授業化は将来の人材育成に役立つ。（第 5 章 6 を参照）

8. Industrie 4.0 のデータ保護のための「コミュニティ構築」

Industrie 4.0 は、さらに厳格なデータ保護協定を必要とする。例えばスマート工場またはスマートな支援システムによって、機械の動作についての詳細な動きを分析することを通じて、従業員の健康に関する情報を記録・分析することが技術的にはできるのである。個人情報の利用は、ドイツでは特にデリケートな問題である。ドイツでは情報の自主決定権に対する関心が非常に高い。従って、データ保護の問題は以下の組織との緊密な協力の下で取り組むことが望ましい。the strategic initiative on "Secure Identities"、the Federal Office for Information Security (BSI)、the Federal and regional Data Protection Commissioners、trade union、company works councils（第 5 章 7 を参照）

Industrie 4.0 プラットホームは、ロードマップの作成または必要条件リストの作成に当たって優先順位をはっきりさせるために、徹底的な議論をする必要がある。Industrie 4.0 の最適解を想定するとき、どのように機械と部品間の安全な通信を行うかだけでなく、各々の機械固有のセキュリティにも注意を払うことが重要である。既存の設備・機能で速やかに実施できる実際的な解決策を優先させることが望ましい。長い年月を要する「理想的な」解決策（第 2 章 1 を参照）を待つことはない。

ドイツは、複雑な IT セキュリティ解決策と安全の分野の世界的リーダーである。また、ドイツの安全とセキュリティエキスパートは正に世界中で卓越した評判を博している。しかし、従来の IT セキュリティ製品は、他国（例えば米国とイスラエル）で主に製作されている。CPS と CPS 製品の開発と平行して、ドイツには Industrie 4.0 のセキュリティ業界を立ち上げるチャンスがある。ドイツには、製造とオートメーション・プロセス、メカトロニックなエンジニアリングと組込みシステムに固有のノウハウが提供する競争優位がある。この有利な立場を Industrie 4.0 に最大限利用するために迅速に行動することが重要である。



「Industrie 4.0 は、中小企業のニーズに合致した、組織に関する技術的な解決策の開発を求めている。必要なのは、企業内で専門家のノウハウを活用することである。Industrie 4.0 の実施への鍵は、労働者フレンドリーな業務組織と職場ベースの研修である。」

Dr. Georg Schütte
Federal Ministry of Education and Research
State Secretary

5.5 産業のデジタル化に対する業務組織と業務設計

Industrie 4.0 は職場でどんな影響があるか？ CPS が普及した分権型ハイテク経済で、企業と社会はどのような責任を負わなければならないのか？どのように職場環境はこの変化に対応しなければならないのだろうか？オートメーションとリアルタイムの制御システムが拡大する未来で、どのように仕事の正しさや安全、公平を保証することができるか？

これらの疑問に対する解答は、既に獲得したイノベーションと生産性に関する蓄積を動員することができるかどうか、そして、センサを装備し自ら知識ベースを活用でき自律的に制御できる製造システムを広範囲に整備して競争優位を確保できるかどうか、によって決まる。

イノベーションの取組みは、技術的課題を解決することだけに集中することは許されない。イノベーションの検討課題は、スマートな業務組織から従業員のスキルなどまで一貫して広げる必要がある。技術革新の実施・普及の鍵は従業員だからである。オープンでバーチャルなワークプラットフォームやヒューマンマシン、ヒューマンシステム相互作用が拡大すると、従業員の役割はかなり変わりそうである。仕事内容や業務プロセス、職場環境は、柔軟な働き方や就労時間規制、医療、人口、人々の私生活に劇的な影響を与える。このため、将来の技術統合の成功を目指して、従業員はイノベティブな社会的組織（職場内）にスマートに組み込まれる必要がある。

挑戦

Industrie 4.0 の特性上、複雑さや抽象性、問題解決を管理する観点から、すべての従業員は以前よりかなり高い要求をつきつけられそうである。従業員は、一層自発的に行動可能で、優れたコミュニケーション能力と業務に対する自己管理能力を備えていることになっている。要するに、従業員の能動的な技能獲得と潜在能力が求められるのである。これは、従業員の業務の質を向上する機会や、一層興味をかきたてる職場環境、自主性の拡大、自己啓発機会の増加をもたらす。

しかし、新しいバーチャルな職場は、人的資本の維持と保護に脅威をもたらす。技術的な統合が進むと、従業員には、さらに柔軟でさらに大変な作業を要求される恐れがある。また、バーチャルの世界と従業員自身の経験の世界との間に広がる緊張も高まる。ビジネスや業務プロセスの非物質化やバーチャル化によって、従業員にはコントロール感の喪失や仕事に対する断絶感を感じさせる結果になるかもしれない。「古くて」「新しい」脅威が組み合わせられ、従業員の働きすぎの結果として、深刻な創造力と生産性の低下を引き起こす、かつてない事態を抱え込むことになるかもしれない。

最後に、製造業における IT の存在の肥大化が従業員数に与える影響は留意しなければならない。単純な手作業は減り続ける可能性が高い。これは、少なくとも一部の従業員（特に半熟

練労働者)に脅威をもたらすだろう。そのようなシナリオは、従業員の立場からも、ソーシャルインクルージョン(社会参加)というより広い公的な立場からも受け入れがたい。さらに、これは Industrie 4.0 イニシアティブの実施を阻害する。

テクノロジーと業務組織への一貫したアプローチ

スマート工場は、全従業員の利益を目指して新しい職場風土を生み出すために機会を提供する。しかし、この可能性は自然に現実にはなるわけではない。ひとりひとりの高い責任感や自主性と、分権型のリーダーシップや経営手法とを組み合わせた業務組織と組織設計モデルを用いることは重要である。そうすれば、従業員にさらに自由を与えて従業員自身に決定させることも、さらに主体的な参加、作業負担の自主管理、柔軟な労働条件も可能となる。

非常に様々な目的のためにテクノロジーを使用することは可能である。システムは、個人の業務のあらゆる詳細に制限的なコントロールを課すよう設定できる。または、システムは、従業員が意思決定をする際の基盤として使うようオープンな情報源として設定できる。言い換えると、人々の業務のクオリティは、テクノロジーによっても、いかなる技術的制約によっても決定されない。むしろスマート工場のモデルを設計し実施する科学者とマネージャーによって、人々の業務のクオリティは決定されることになる。

従って、業務組織や継続的な専門家の育成、テクノロジー、ソフトウェア・アーキテクチャの緊密な連携によって生まれてくる、ソシオテクニカルなアプローチを採用する必要がある。一つの一貫した解決策、スマートで協働的で、価値連鎖全体にわたって、従業員および/もしくはテクノロジーオペレーティングシステム間のコミュニケーションを可能とする解決策を提供するためである。

“Better, not cheaper” – 産業進歩の機会とベンチマーク

このソシオテクニカルなアプローチは、新たに効率向上を目指して従業員と協力して Industrie 4.0 イニシアティブの実施に取り組む際に、次のように主張する。すなわち、高度に標準化され頻繁に単調な作業の繰り返しを行う業務組織へ、テーラリズムのアプローチの極端な解釈を採用することは、まずもって有望な方法でない。スマート工場が高度に複雑でダイナミックで柔軟なシステムとして構成されるという事実は、スマート工場が、意思決定者とコントローラとしての権限を与えられた従業員を必要とすることを意味する。このような従業員には、業務の性質が顧客志向であるので、幅広い研修、学習を促進する業務組織モデル、包括的な専門職継続開発訓練が必要である。専門職継続開発訓練は、自律的な業務を奨励し、組織的スタッフ教育と昇進を促す手段として計画される。Industrie 4.0においては、技術開発目標と業務組織モデルは、各々の経済状況と社会状況に合わせて設定・構成されなければならない。より柔軟な生産活動を可能にする必要がある一方、従業員の仕事と私生活の間にはっきりした境界を確立すると同時に、現実的なワークライフバランスの達成を可能にする。

Industrie 4.0 はさらに、“better, not cheaper”のキャンペーンの下で労働組合が推進しているイノベーション戦略は、確固たる基準と正しい公平な良い仕事、ならびに、製造現場と従業員の安全な未来の実現に向けて道筋をつけることができると考えられる。この戦略には、従業員優先の組織設計、参加権利の強化や共同決定、研修機会の増加などがある。さらにこの戦略は、国際競争力のアップや一層の柔軟性にも対応できる。“better, not cheaper”⁸戦略は、ドイツ産業界の将来を保証する土台として、テクノロジーリーダーシップを目標とする。従って、Industrie 4.0 イニシアティブでは、正しい仕事、技術革新、労働者の経営参加は共に実現できる。むしろ、これらは、社会的に持続可能で、技術的に効率的な解決策への前向きなアプローチの一つとなる。

望ましいアクション

- Industrie 4.0 プラットホームは、**学際的な専門家のワーキンググループ**を通して「People and Work in Industrie 4.0」の問題を研究し続けなければならない。ワーキンググループは、主に以下の3点を目指して対処しなければならない。
 1. 業務、雇用(機会とリスク)への影響と従業員優先の業務と研修方針を達成するための措置を確認・立証する。
 2. 関連する参照プロジェクトと共に、ソシオテクニカルなアプローチを開発・実施するためのガイドラインと実際的な支援を提供する。
 3. 参加しやすい業務組織へのイノベティブなアプローチと、年齢、性または資格にかかわらず、全ての労働力を受け入れる生涯学習を促進する。
- プラットホームは、Industrie 4.0の実施に関する重要な進歩や問題、潜在的な解決策の透明性の高い検証と議論をするために、**社会的パートナーの間(政府、使用者、労働者)で定期的な交流を準備**しなければならない。
- プラットホームは、国家的および国際的なレベルで、社内社外の利害関係者の間で、効果的な知識移転ができるよう計画しなければならない。イノベティブな知識マネジメントに加えて、プラットフォームは広い基盤を持った社会的ネットワークの構築も必要とする。

5.6 Industrie 4.0のための研修と 専門職継続開発訓練

前節で述べたように、Industrie 4.0の実施は、業務優先のソシオテクニカルな工場と業務システムとならなければならない。これは、職業訓練や大学教育、専門職継続開発訓練（continuing professional development, CPD）と次々に新しい挑戦課題をつきつける。

これらの課題には、製造エンジニアリング部品の開発者やユーザーを対象とする対策の拡充が含まれる。

Industrie 4.0は、これから述べる二つの傾向の結果として、業務とスキル規定をかなり変えることになろう。第一に、非常に明確な分業化が特徴の従来の製造プロセスは、新しい組織構造やオペレーショナル構造に組み込まれる。新しいプロセスは、従来のプロセスの意思決定や調整、管理、支援サービス機能を補完することになる。第二に、バーチャルマシンや実在する機械、プラント制御システム、生産管理システムの間で相互作用を組織化し調整する必要がある。

事実上、これが意味するものは、ICT、製造、オートメーション技術、ソフトウェアの融合が、結果としてさらに広範囲の技術的、組織的、社会的コンテキストの一部として行われている多くの業務になるということである。

Industrie 4.0は、ITエキスパートの研修方法にも根本的な変更を求める。様々な業界でアプリケーションの必要条件を識別して開発パートナーを世界中で採用・編成する能力は、純粋に技術的な専門知識よりも、一層必要となるだろう。潜在的なアプリケーションは著しく広い範囲にわたるので、標準化された研修プログラムでは限界があると考えられる。デジタル経済が必要とする条件が研修内容に反映されるように、製造業界との交流は、一層重要になる。このため、企業と高等教育機関間の研修パートナーシップは、将来、現在よりもさらに重要となる。基本的な短期研修プログラムは、就職斡旋や上級者コースにつなげるべきである。科学技術研究を導入し移転可能な技術（例えば事業管理やプロジェクト管理）により重点を置くことは重要である。企業とその顧客こそが、ITエキスパートの大学教育に変化を引き起こすべきである。

Industrie 4.0の基本原則に照らし合わせると、ITと生産工学の研修の融合も重要なテーマである。このため、Industrie 4.0関連の履修内容は新たに特定していく必要がある。また、適切な啓蒙的で方法論的なアプローチも考え出す必要がある。特に、学際的な製品開発やプロセス開発などの創造的なビジネス領域は全く新しい資格制度を必要とするかもしれない。

この資格制度によって、デュアル戦略の一部として、縮小する労働市場と市場の高い価格変動性という問題に企業は対応できるようになる。

このため、社会人教育規定（教育法、職種規定）を作成することは重要である。スキル評価⁹は、職業訓練と大学教育の間で、また、様々な研修とCPDプログラムとCPDシステムの間で、モビリティを改善するために用いられなければならない。また、従業

員は専門領域外でも業務に関連するスキルならば理解を深めるべきである。製造プロセスに関係するすべての主体の間で、全体の状況を把握し相互作用を理解するニーズが高まっている。従って、メタ認識スキルの需要拡大と共に、以前は関係なかった部門や学問領域との関わりも増大している。現実またはコンピュータベースの相互作用が重視されてきているため、社会的スキルの重要性も増大している。技術的には学際的なスキル（これから開発されるべき領域）に重点を置きたい。

個々の研修内容がわかりやすくなるように、非正規や非公式の教育を識別する標準を策定することが必要である。目標は、人々に新しい全体論的組織モデルの原則を教えること、そして従業員が自らの仕事に自信を持てるように、システムをわかりやすく説明することである。

アカデミーキューブ

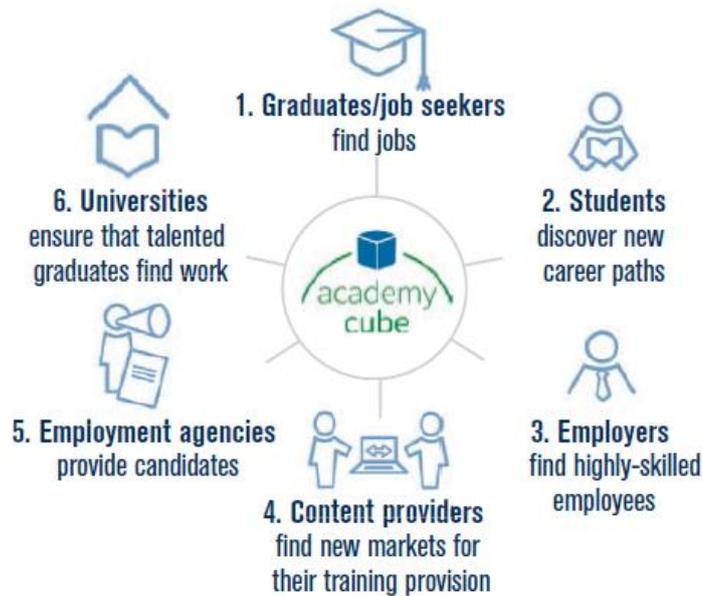
アカデミーキューブは、ドイツの国際的な製造業と公的機関が協力して始めたイニシアティブである。新しい研修フォーマットと Industrie 4.0 が取り扱う内容に対するニーズに取り組むのが目的である。現在の対策は、主に、失業率*が特に高い南ヨーロッパから熟練工を対象とする。アカデミーキューブは、熟練工の技術や知識を祖国または外国で活かせる可能性について、オンライン情報を関係者に提供する。

アカデミーキューブは ICT（情報通信技術）とエンジニアリング専攻の失業者に、資格取得の機会と、直接企業の担当者とコンタクトする機会を提供する。アカデミーキューブでは、企業と公的機関が、eラーニング・コースや、求人を掲示するクラウド・ベースのプラットフォームを提供する。プラットフォームは、求職者が具体的な求人に応募するために必要な研修を受けさせ、履修証明書を交付する。この履修証明書（標準カリキュラムに基づく）は、潜在的な雇用主に研修標準の信頼性と研修内容の透明性を保証する。成績が一番良い応募者は、自動的に参加企業の最良の求人に応募される。

アカデミーキューブ概念は、ナショナル IT サミットの Education and Research for the Digital Society —BMBFとSAP AGが議長をつとめたワーキンググループ6で検討されて、CeBIT 2013で公式に発表された。2013年3月から、プログラムは Industrie 4.0 の領域に6つの総合的なカリキュラムと12の専門コースを提供してきた。学習内容は、例えばオートメーション、ビッグデータ解析、製造プロセス&ロジスティクスプロセス、セキュリティ&データ保護などの分野である。

詳細: www.academy-cube.com

Figure 12:
Networking different
actors through the
Academy Cube



Source: Academy Cube 2013

- * 2012年のスペインの失業率は27%、スペインとギリシャの若年層の失業率は52%にもなる。(出典: Eurostat2012)
- * 欧州委員会は2015年には、ヨーロッパで70万人のICTエキスパートが不足すると予測している。(出典: European Commission News, 20.3.2012)
- * BITKOMはドイツでは毎年7,000人程度IT専攻の大卒者が不足しているとみている。(出典: BITKOM2012)
- * ICTエキスパートに対する需要は、イタリアで10,100人、ポーランドで18,300人、スペインで41,800人、ドイツでは87,800人と見込まれる。(出典: Eurostat2012)

特に CPD は、研修システムの全てに影響するが、優先的に拡大しなければならない。特に、**職場での CPD** は、長い就労生活を成就させるために、健康や運動、ライフスタイルの重要性にも留意するべきだ。

人間中心の製造業へのアプローチが達成できるように、学習を促進するように業務を整理し、従業員の教育や経験、スキルの違いを踏まえ個人や企業のイノベティブな能力を強化するような適切な研修戦略を実施しなければならない。学習を促進する業務組織は、生涯学習の鍵となる要件でもある。CPS ベースのシステムの導入の結果として予想される急速な技術の進歩を考えると、学習を促進する業務組織はスマート工場の目標の一つと考えられる。企業内対企業外の学習、または、教養教育対職業教育の効果の比較はこれからの研究対象とするべきだ。

さらに、Industrie 4.0 時代の業務は、従業員間のコミュニケーションを強化し、職場での業務のサポート、座学と実技研修を適当な間隔で通常作業日へ組み入れるために、CPS などの技術活用が予定されている。これには従業員の作業負荷の継続的な監視も必要である。

業務設計は、従業員（未熟練労働者や熟練労働者から、上級専門職や技師の資格を持つ従業員、学士修士などを持つ大卒者のスタッフや有資格エンジニアまで）の様々な役割ならびに彼らの境遇（例えば年齢、教育、経験または文化的なバックグラウンド）の違いも考慮すべきである。

望ましいアクション

Industrie 4.0 ワーキンググループは、Industrie 4.0 に関わる資格、研修、CPD について、以下の対策を推奨する：

1. モデルプロジェクトの推進

プロジェクトは、研修と CPD 戦略の開発に必要な行動を取り入れなければならない。

モデルプロジェクトは、従業員が特定の専門知識以外に持っている付加的技術を認めるだけでなく、職業訓練と大学教育の間で、そして様々な研修と CPD コースと CPD システムの間でモビリティを促進するための戦略を含まなければならない。

2. 「ベストプラクティス・ネットワーク」の設立と促進

知識移転と持続性を保証するために、研修と CPD「ベストプラクティス・ネットワーク」は、競争環境を前提として設立されなければならない。これらのネットワークは事例研究の発掘と検証を任されている。従って、いろいろな主体をネットワーク化して知識移転をサポートする。

3. 職場での知識技能習得への新しいアプローチの研究、デジタル学習技術の開発

デジタルメディアとイノベティブな学習技術（eラーニング）は、知識移転と技術開発で優れた役割を演ずる。技術の進歩や高齢化、及び、様々な学習者には様々なニーズがあるという事実を考えると、新しい教育法と学習支援システムの開発が必要である。

4. 業務組織へのクロスカッティング・アプローチの促進

すべての Industrie 4.0 の資格取得や研修、CPD カリキュラム開発には、研究者と実務家のパートナーシップによる包括的な研究が必要である。

Industrie 4.0 の業務組織やプロセス設計、マネジメント、相互協力に関する問題の研究、ならびに、業務と研修の進歩に与える影響の研究は基本中の基本である。寿命の長期化を受けて高齢労働者の雇用を維持も研究対象である。学習を促進する方針で業務を整理するために、適切な研修戦略、分析法、マネジメントモデルを開発する必要がある。つまり、全体的にみると、研修や CPD には数多くの大きな課題があることを提示している。これには包括的な**専門職継続開発訓練**条項の必要性や少なくとも部分的な研修システムの変更が含まれる。

5. Industrie 4.0 に特有の学習内容と学際的な協力の促進

システム工学的アプローチには、すべての学問領域（例えば製造エンジニアリング、オートメーションエンジニアリング、IT）の間で学際的な協力を進めることが必要である。このため、互いの状況やアプローチの相互理解を得て、戦略やビジネスプロセス、システムの総合的な視点を獲得することを、様々な学問領域に要求する。学際的な研究は、技術と法律の間のインターフェースでも必要である。法務関係者は、研究開発プロセスの早い段階から参加しなければならない。同じ理由で、エンジニアが法務関係者と十分な議論ができるように、エンジニアは一層基本的な法知識を得る必要がある。

6. テクノジカルシステムの IT ベースのモデリング

これは、現実世界やデジタル世界双方での相互作用のモデリングである。このモデリングは、正確に定義された表現、ならびに、方法論的な面（例えば、モデル化されたメカトロニックなエンジニアリング、既存のシステム（デルタ工学）の改定、対照的に完全に新しいゼロからのシステムの開発、）を含む。

5.7 制度的フレームワーク

他の基本的な技術革新と同じように、Industrie 4.0 の新しい製造プロセスには、既存の制度的フレームワーク（以下の相互に関連した二つの課題をもたらす状況）が立ちはだかっている。二つの課題のうち一つ目は、新技術や新技術に関連する責任及びデータ保護の問題の法的正当性が曖昧であることである。これは Industrie 4.0 の導入の障害となり、イノベーションプロセスが遅延すると考えられる。二つ目は逆に、新技術とビジネスモデルのデファクトの力が非常に強いことである。このため、強行して法律の適用することはほとんど不可能になっている。従って、短周期で起こる技術革新や新技術の決定的な性質は、結果として慢性的「制度不足」となる恐れがある。このように、現行の規制制度は技術の進化に歩調を合わせることができない。

一方、Industrie 4.0 が厄介な規制問題に取り組みない限り、問題はさらに複雑なものとなる。規制制度と技術を調和させるには以下の二点が重要である。

- ① 新技術の法律順守を確実にする基準の策定
- ② イノベーションを促進するような制度的フレームワークの開発。

Industrie 4.0 では、しばしば判例法に基づいた契約を通して、制度と技術の調和が可能である。いづれにしても、新技術が広く活用されるのを待つのではなく、むしろ研究開発のできるだけ早い段階で当該技術の規制の検討を始める必要がある。

挑戦

1. 企業データの保護

IOT がスマート工場に導入されると、発生する企業データの量と精緻度は上昇する。さらに、ビジネスモデルはもはや、一企業だけでなく、高度にダイナミックな企業ネットワークや全く新しい価

値連鎖（例えば RAN Project¹⁰）から成り立つ。データはスマートマシンで作成され自動的に発信される。このデータは当然一企業内にとどまることはない。この新しい状況は明らかになりに多くの危険を引き起こす。一例えば、様々な企業間で生産や物流を協働するために作成・交換されるデータは、（他のデータと突き合わせるならば）突然第三者に、パートナー企業の高度にデリケートな情報（例えば経営戦略の見通しなど）を提供してしまう可能性がある。企業が従来の競争優位を保護するために、このような情報を秘匿しておきたいならば、新しい手段と新しい制度化されたビジネスモデルが必要である。一作成される生データは、第三者にとって貴重な情報を含むかもしれない。従って、企業は、情報の共有に対して相応の負担を望むと考えられる。

このようなイノベティブなビジネスモデルは、生み出された付加価値の公平な（例えばダイナミックな価格決定モデルを用いることにより）分配を保証するために、法的保護（主に契約の形をとる）も必要とする。

企業データ保護の現行規制は、これらの危険に対してデータを大まかに企業秘密または業務上の秘密と分類するだけである。さらに、これは通常違法なディスクロージャーの場合だけに限られる。概して合法的（例えば所有者の許可）に得られた機密情報は、その後他の目的に使うことができる。

しかし、秘密保持契約のような自主規制は、このような法律上の間隙を無くさなければならない。契約法は、様々なシナリオに基づく非常に具体的な規制を達成する手段のひとつである。このため、データの保護必要度は一定の状況下でケースバイケースで決定されるべきである。

個人データ保護法の原則は、この点に関してモデルを提供することができると考えられる。

しかし、個々のケースのリスクを計算して個別契約を交渉するのは膨大な作業であるから、大量の随意的な法的合意を管理する際、契約では限界がある。従って、企業に柔軟性を残しつつ、企業が自らのデータの主権を保持できるよう新しい契約に関するモ

デルを開発する必要がある。

2. 法的責任

デリケートなデータが様々な企業間で交換されるとき、例えば、受取人が十分な IT セキュリティ対策を取らなかった場合、データが第三者に利用および／または不法に開示、または、ハッキングされるリスクがある。この問題の解決策のひとつは、すでに幅広く利用されている下記の契約条項である。この条項は必要な技術的合意や組織に関する合意、及び、あらゆる付加的な措置

(例えばあらゆるセキュリティ問題や違反を通知する義務) を掲げ、不遵守の場合の罰則を明記する。しかし、Industrie 4.0 の製造設備は、これより更に広い範囲の問題に対して責任がある。製造設備は、もっとも重要な信頼性 (製品の耐久性、正しい動作と外観に関して) を満たせない場合だけでなく、スマートオブジェクトのネットワークの一部としての役割を欠く場合も、訴訟の対象になると考えられる。

このようなシナリオでは、法的責任と信頼性の問題はさらに重要になる。具体的には、自律的なシステムがネットワークで展開されるとき、構造的な透明性が不足していると、誰がどの行動をしたかははっきり特定することがほとんど不可能になる。この結果、法的責任の所在が曖昧になる。

自律的データ処理を行う製造システムを活用している企業が、第三者に対して製造設備と製品のセキュリティに対して法的に責任があるというのは事実である。ドイツの現在の不法行為ならびに製造物責任法 (tort and product liability law) は、この分野で十分な解決策をすでに提供している。しかし、ネットワークの他のパートナーが共同責任を課されるとみなされたくないならば、あるいは、彼らが少なくとも他のパートナーに対してリコースをしたいならば、彼らの責任が初めから契約上明記されること、および／または、明らかに訴訟は各システムの所有者に帰されることは重要である。これは、残存リスクの保険引受け可能性と保険業界による関連プレミアムの計算方法とも密接な関わりがある。

責任の正しい帰属は、様々な製造ステップとシステムステータス (特定の個人に関する高度に詳細なプロトコルデータがデータ保護法に抵触する可能性がある) の正確な証拠書類規定によって容易になる。従って、個人ベースまたはデバイスベースのデジタル署名など、技術を活用した文書化手続きは、Industrie 4.0 ではるかに重要な役割を演ずる。

3. 個人データ取扱い

従業員と CPS の間の相互作用が増加するにつれ、各従業員の個人情報の量と精緻度も上昇する。特に、従業員の所在地やバイタルサイン、業務評価の情報を記録するアシストシステムの場合が顕著である。この問題は、情報の自主決定に関する従業員の権利を脅かすかもしれない。グローバルなシステムは、特にこの点に関して問題がある。ドイツのデータ保護法は、欧州連合 (EU) または欧州経済地域 (EEA) (同じグループに属している企業を含む) 外に所在する企業に、以下のアウトソーシングを厳しく規制している。スマート工場に集められるデータ分析、ま

たは従業員の個人情報を含む企業データの欧州外へのディスクロージャー。データ受信国のデータ保護基準が欧州の基準より低い場合、この規制は特に適用される。この問題は、グローバルにネットワーク化された価値連鎖にとって制約になると考えられる。

現行制度は、これらの問題を十分に扱うことができないでいる。データ処理のアウトソーシングモデルは、すでに困難 (例えばクラウド・コンピューティングの領域) に遭遇している。通常、欧州以外の国のデータ保護基準は適用不可であるから、実際には、クライアント企業がデータ保護責任を満たすことは不可能であることを意味する。

従って、企業は、個人情報を取り扱うに当たって、法的に曖昧でない実際の解決策を模索している。企業内で拘束力のある企業規則、労働協約、企業契約を通して、ある程度解決できる場合もあるが、これらが既存のデータ保護基準をどんな状況でも下回ってはならないことは重要である。いずれにしても、このような解決策は、Industrie 4.0 の特色を踏まえて採用される必要がある。

カスタム製品のためのデータ保護法の要件は、製品やアプリケーション次第である。例えば、特に Industrie 4.0 に関連する問題の一つは、データ処理部品の最終製品への組み入れである。データ処理部品は当初は製造プロセスに利用されるかもしれないが、最終的には、当初意図されなかった目的に利用するエンドユーザーに所有されるかもしれない。このようなデータ処理のビルトイン部品の転用を防止するために、その機能は、データ保護法の規定に従って厳しく限定されなければならない。

4. 取引制限

さらに多くの複雑なシステムが Industrie 4.0 に活用されるようになると、各コンポーネントはますます国家的・国際的な取引制限の対象になると考えられる。暗号化技術は、顧客にとって守秘義務と CPS コミュニケーションの確実性を保証するために必要である。しかし、多くの新興国 (例えば中国) では、暗号化製品の使用、販売、輸出入は、ライセンスに基づき許可されるだけである。他方 EU では、暗号化技術の出荷は、欧州内と他に数か国 (例えば日本、カナダと米国) に対して許可されている。しかし、その他の多くの国向けの暗号化商品は、デュアルユース¹¹の商品とみなされ、輸出制限の対象となる。今日でさえ、将来有望な市場でグローバルに活躍したい企業は、暗号化商品がかなり広く製造設備に組み入れられるので、すでに法的グレーゾーンで業務せざるをえないことに多かれ少なかれ気づいている。この法的な曖昧性は Industrie 4.0 において増加するばかりで、取引の重大な障害になると考えられる。

望ましいアクション

上述の制度の問題は些細なものではない。Industrie 4.0 イニシアティブが成功するためには、その解決策を見つけることが重要である。ほとんどの場合、これらの「解決策」は、立法措置を伴わず、むしろ、制度的、技術的、政策的要素から成るさまざまな手段を必要とする。さらに重要なのは、職能団体と省庁の関与によって、中小企業に上記の問題の認識の向上を図ることである。

特に中小企業にとって重要であるのは、実際のガイドライン、チェックリストとモデル契約条項の作成である。新しい契約モデルは、ビジネスと企業秘密の保護を保証する必要がある。一方、新しいビジネスモデルから生み出されたいかなる付加価値も公正に分配されることを保証しなければならない。従って、できるだけ正確にいろいろなパートナーの役割を定めることが必要である。

（様々なインフォメーションブローカーなどの新しい役割を含む）

責任については、データ保護と証拠となる記録資料の受渡し条件に重点を置いてサポートしなければならない。特にアイテムがあるパートナーから次のパートナーへ手渡される時点が大切である。従業員データ保護に関しては、企業契約サンプルを含むベストプラクティスモデルは、Industrie 4.0 の要件が従業員のデータ保護権利を侵害しないように作成されなければならない。第三者に属しているデリケートな企業データの安全で極秘の取扱いに関しては、例えば IT セキュリティ標準の遵守の監査または証明といった対策を通して、自己規制を進めることが望ましい。それでもなお、法律の制定が必要な問題は残る。例えばデータ処理のアウトソーシングである。現在この領域の法整備のニーズが存在するのは EU レベルである。

また、取引制限の是正（特に暗号化製品に関して）も急務である。ドイツが Industrie 4.0 の主要なサプライヤとしての位置を確保するためには、共通の国際的な規制制度の設定を進める中長期的な取組みが必要である。（例えば WTO を通して）。

さらに一般的には、技術が規制制度に抵触する領域で Industrie 4.0 が提起する課題は、学際的な研究を必要とする。法務関係者が研究開発プロセスの最も早い段階から参加することは重要である。同じ理由で、エンジニアが法務関係者と十分な議論ができるように、エンジニアは一層基本的な法知識を知る必要がある。このようなエンジニアと法務関係者の協力は、Industrie 4.0 市場でドイツに本物の競争優位をもたらすことができると考えられる。このため、Industrie 4.0 プラットホームでは、法務関係者が早い段階からいろいろなワーキンググループに関与できるようにすべきである。

5.8 資源効率

製造業界の特質は、先進国の原材料の消費が断然多いことである。民間部門の一次エネルギーと電力消費も一番多い。この状況は、原材料費の高騰、ならびに、環境や供給の安全保障にリスクを伴う。このようなリスクは規制によって最小にする必要がある。従って、産業界は、エネルギーと資源の消費を削減するか、代替資源を見つけるために大きな努力をしている。しかしこの努力が実を結ぶには長い年月がかかる。最終的には、この取り組みは製造プロセスや機械・プラントの設計に変化をもたらす。製造プロセスや機械・プラントの設計が、唯一、材料やエネルギー消費に影響を与えられる領域だからである。

出発点は、企業内外の価値ネットワークを通して、製造業が利用する資源の量である。下記の通り資源を3つに区分し、その利用方法を示す。

1. 原料、添加材、産業資材とすべてのエネルギー源（エネルギー源の転換を含む）
2. 人的資源（すなわち人間の労働）
3. 金融資源（すなわち必要な投資と運営経費）

これらの資源の利用方法に関しては、①所定の資源の量でアウトプットを最大にすること ②最小資源量で所定のアウトプットを獲得すること、の二つの観点から考える。①のシナリオでは**資源生産性**を計算すること、②のシナリオでは**資源効率**を計算することが重要である。さまざまな測定法が、これらの測定に利用される。（ライフサイクルアセスメント、カーボン・フットプリント法¹²その他）

挑戦

一般的には、Industrie 4.0 は、工業生産プロセスの間に消費される資源を削減する方法を、全体として、または生産活動に利用される機械や設備ごとに、調査・実施する必要がある。ドイツ連邦教育研究省（BMBF）とドイツ機械工業同盟（VDMA）合同の「Efficiency Factory」（Effizienzfabrik¹³）イニシアティブの成果は、この点に関してモデルとなると考えられる。製造プロセスの効率的な実施には、ダイナミックな状況下で、基本機能だけでなくプロセスの安定度も考慮することが重要である。例えば、欠陥生産物による頻繁な生産停止と再開、さらにその防止手段は、材料とエネルギーの無駄となる。

不安定なプロセスは、次々に製品の修理や完全なリメイクが必要となるクオリティ問題を引き起こす。従って、不安定なプロセスを予防する観点から**生産性**を考慮することが必要である。**利用率**にも留意する必要がある。製造設備は故障の可能性があるため、（生産停止のリスクを最小にするためにリダンダンシー（冗長性）を組み込むことは重要である）必要なときに資源はすぐに利用できない場合がある。また、在庫水準は必要量（半成品や完成品）と一致していない場合がある。

Industrie 4.0 の重要な挑戦の一つは、下記を立証することである。CPSと関連インフラの整備に投資される追加資源は、資源生産性向上に十分な機会をもたらすことができる。資源効率は、エンジニアリング、製造、生産管理、内部物流、調達と販売の物流に使われた合計資源量に基づき改善する。

Industrie 4.0 は、資源生産性と資源効率の向上をケースバイケースで最適化する機会を提供する。

望ましいアクション

Industrie 4.0 ワーキンググループは、Industrie 4.0 プラットホームを通して資源生産性と資源効率の問題に特化する**ワーキンググループ**の設立が望ましいと考えている。ワーキンググループの検討課題には以下に示す。

- BMBF/VDMA「Efficiency Factory」イニシアティブの研究結果の採用
- 当該資源の生産性の保証、もしくは常に資源が利用可能との保証がないことから（予め準備しておく）必要が生じていた代替プロセスの必要がなくなることにより、製造環境の生産性と効率の向上が実現される結果、省資源が実現されること
- CPS やその関連インフラの整備に必要な資金と経済効果との間のトレードオフの計算と評価。この計算と評価は、既存の生産ラインを高度化するのか、新しい生産ラインと必要なオートメーション設備に投資するのか、この決定をする際、様々な種類の資源についても試算されなければならない。これらの評価は、当該産業またはセクター、価値ネットワークの範囲は地域であるか全世界であるかを考慮しなければならない。
- 現在のプロジェクトとイニシアティブで資源生産性や資源効率、環境へのやさしさを評価するのに用いられてきた様々な測定法や KPIs（重要なパフォーマンス指標、key performance indicator）に注意を払うことも必要である。特に産業のオートメーションの領域で、透明性の高い、資源優先の投資判断をするのに必要な基本データと共に、Green Production Index などの意思決定を支援する KPIs の開発も重要である。

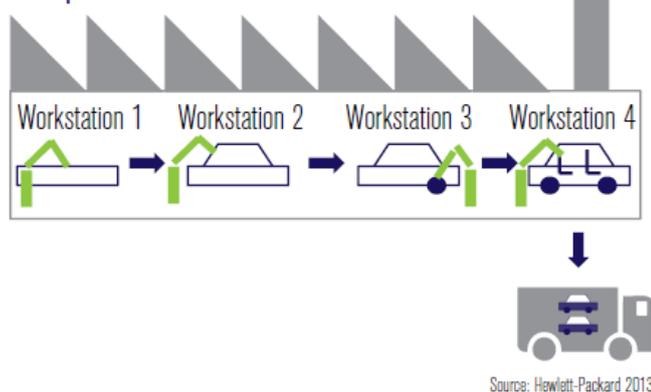
1. モデルは、非常に広い多様な現実や仮定のシナリオ、例えばテクノロジカルシステム、を扱うことができる。テクノロジカルシステムとは、製品、生産資源または製造システム全体、生物（例えば人間行動、生物学的相互作用）、物理的または化学的相互作用と影響、または組織（例えば組織の構造、ビジネスプロセス、事業フロー）などである。
2. Avionics（＝航空電子工学。用語は「航空」（ラテン語のavisつまり鳥）と「電子機器」に由来する。）は、航空機に装備されるすべての電気・電子機器に関連する。
3. 以下の引用文の引用元：
Arbeitsgruppe 2 des Nationalen IT Gipfels (Ed.): Digitale Infrastruk- turen. Jahrbuch 2011/2012, 2012, pp. 176-177.
4. これらの規則の例は以下の通り。European Machinery Directive 2006/42/EG and its German transposition in the shape of the Ninth Regulation of the Equipment and Product Safety Act, 9. ProdSV.
5. プログラマブルロジックコントローラ（Modicon 084）は 1969 年に初めて製造業に使用された。第 1 章を参照。
6. BSI Cyber-Security Analyses, BSI-A-CS 004, Version 1.00, 12.4.2012.
7. ドイツ機械工業同盟（VDMA）によって行われた最新の調査によると、ドイツの機械・プラント製造部門は、2011 年に、著作権侵害により 80 億ユーロ相当（2 年前の調査に比べ 24% の上昇）の売上を失った。このような形で失われた金額は、業界で 37,000 人の雇用に匹敵する。調査に参加した企業のはぼ 3 分の 2 は、現在、思いがけない副次効果として著作権侵害の影響を受けている。概して国際的に活躍している従業員 1,000 人以上の企業では、その影響は 93% にまで及ぶ。（VDMA: Studie der Arbeitsgemeinschaft Produkt- und Know-how-Schutz, Produktpiraterie 2012, November 2012 を参照）。
8. Tanja Fondel/Jochen Schroth: Innovationsführerschaft durch Mitbestimmung? In: Martin Allespach/ Astrid Ziegler (Ed.): Zukunft des Industriestandortes Deutschland 2020, Marburg, 2012, pp. 174-192. 参照
9. German Qualifications Framework (DQR) は、作業の複雑さや独自の意思決定が必要になる領域に基づく 8 つの技術レベルを制定する。産業界の職能団体と労働組合によると、「スキル」は「現在と未来のオープンエンドの複雑な状況で単独で行う個人の能力」と定義される。: BITKOM, Gesamtmet- all, VDMA, ZVEI (Ed.): Die Anforderungen des Beschäftigungssystems. Ein Beitrag zur Gestaltung des Deutschen Qualifikationsrahmens, 2007, p. 10.
10. RAN (RFID ベースの Automotive Network) プロジェクトは、ドイツ連邦政府経済技術省の「AUTONOMICS : 中小企業のための自律的なシミュレーションベースのシステム技術プログラム」主催の 14 のプロジェクトのうちの一つである。RAN は、自動車産業で透明性の高い最適化プロセス制御を供給しようとする。プロジェクトは、企業間の受注処理プロセスマネジメントの費用効果が良い、新しいアプローチと手法を研究している。Workstream 3 は、オート ID 番号データが様々な企業の間で交換できる、標準化された I T インフラストラクチャ ("information broker") を開発している。目的はビジネスプロセスの改善である。詳細な情報は、以下を参照：
www.auran.de.
11. 特に、輸出規制の分野では、商品の表示に、「デュアルユース商品」という用語が利用される。デュアルユース商品は、一つ以上の目的を持つ（例えば機械、ソフトウェアまたは技術）に利用される可能性がある。これらの商品は民生用アプリケーションとして製作されたかもしれないが、その特性（例えばその材料または性能仕様書）は、軍事用に利用可能であることを意味する。
12. ライフサイクルアセスメント（LCA）は、環境への製品の広範囲な影響を分析する。製品の川上、川下プロセス同様、製造、使用から廃棄までを含むライフサイクル全体を通しての分析である。（環境には、鉱石や原油、環境に放出されるあらゆる物質（例えば廃棄物または二酸化炭素の排出）など、製造のために環境から抽出されるあらゆるものを含む。）（例えば関連する原材料、添加材と燃料の生産; ISO 規格 14040 と 14044 を参照）。LCA は、製品計画と設計段階では持続可能な製品の設計を保証し、マーケティング段階と再設計目的で、製品報告書をまとめる際にも利用できる。製品のカーボン・フットプリントとは、全ライフサイクルを通しての温室効果ガス排出のことである。言い換えると、この指標は、LCA のうちを製品の気候変動へ与える影響をクローズアップする。
13. BMBF（連邦教育研究省）と VDMA（ドイツ機械工業同盟）共同の「Efficiency Factory」イノベーション・プラットフォームは、BMBF 資金提供プライオリティー「Resource Efficiency in Manufacturing」の下でグループ化された 31 のプロジェクトの研究調査結果を普及させる。プラットフォームは、様々なプロジェクトの根底にある傾向の分析に注目する。その後、資源効率の良い生産活動をまとめた解決策は、関心のある企業に利用される。詳細な情報は、以下のオンラインを参照：
www.effizienzfabrik.de.

Example application 3 : 個別製造のサポート : 個々の顧客の要求をどのように満たすか

Industrie 4.0 のダイナミックな価値連鎖は、設計・コンフィギュレーション・発注・プランニング・生産・物流の、顧客別・製品別調整を可能にする。この価値連鎖は、生産直前や生産中でさえも、ぎりぎりのタイミングでの変更を取り込める。

Today

Rigidly sequenced car manufacture on a production line



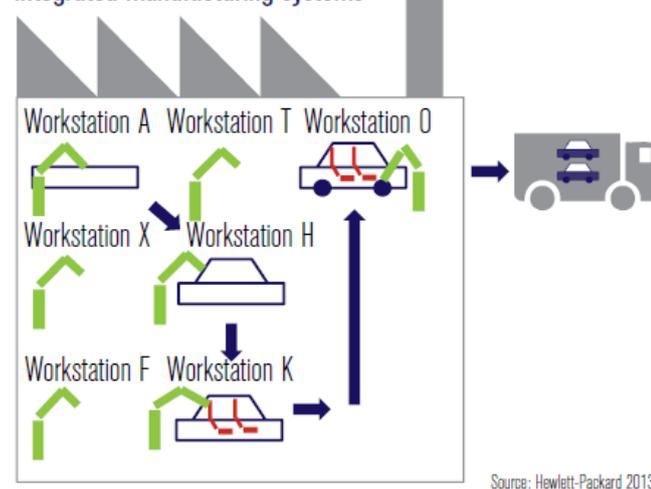
今日の自動車産業は、静的生産ライン（事前に決められた順番での生産）のため、新しい派生車種を作るために変更するのは難しい。Manufacturing Execution Systems (MES) はソフトウェアでサポートされているが、通常、生産ラインのハードウェアに基づく厳密に定義された機能で設計されているので、同じく静的である。

従業員の業務も、生産ラインの機能によって決定され通常非常に単調である。独自性は想定されていない。

その結果、例えばフォルクスワーゲンにポルシェのシートを取り付けたいといった個々の顧客からの要望は、どちらのシートも同じ企業によって作られているにもかかわらず、実現できない。

Tomorrow

Decoupled, fully flexible and highly integrated manufacturing systems



Industrie 4.0 はダイナミックな生産ラインの出現をもたらす。車両は、組立工場中を、ある CPS プロセスモジュールから次のモジュールまで自律的に動くスマート製品になる。生産ラインのダイナミックリコンフィギュレーションは、車両に合った部品を組み合わせ、組み立てを可能にする。さらに、各バリエーション（例えば別の車両シリーズのシートを取り付ける）は、前もって規定されたタイミングに束縛されることなく、物流の事情（ボトルネックなど）に応じていつでも製造できる。この種の変更を実行することは簡単である。そして、車は自律的に関連するワークステーションへ移動する。現在、Manufacturing Execution System IT ソリューションは、最初から最後まで（設計から組立てや運送まで）主要なコンポーネントを構成する。

想定される経済効果

前述の通り、最初のアプリ、MOS ソリューションと共有 IT プラットホームは比較的すぐに、すなわちここ数か月以内に実現する。しかし、エンドツーエンドの、CPS 使用可能でダイナミックな生産ラインが実現するのは数年後である。それでも、部分的な製造プロセスはある程度早い段階に実現すると考えられる。

Example application 4 : テレプレゼンス

遠隔サービスは、ここ数年間メーカーが遠隔操作で機械にアクセス・制御することによって、顧客に迅速で効果的なサポートを提供してきた。製造システムのネットワーク化は、さらに生産性向上に貢献する。

Today



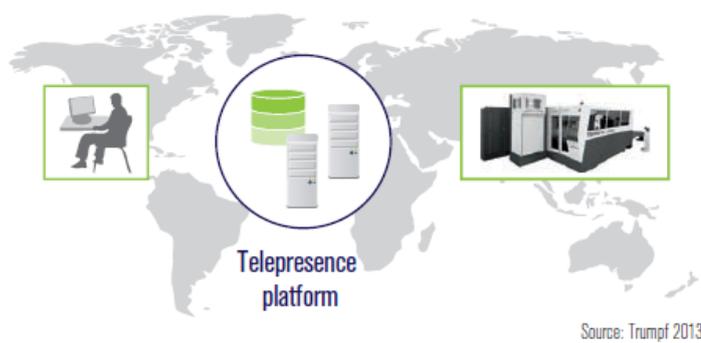
遠隔サービスは、機械サプライヤとユーザーの間で個別の通信手段の設定によって可能となる。

技術者は、通常モデムによって直接機械につながる。インターネットの出現以来、顧客企業ネットワークの安全なアクセスが可能になったので、VPN 接続（バーチャルプライベートネットワーク）は普及してきた。このアプローチの目標は、予定外の停止とダウンタイムを短縮するために、機械を遠隔操作で診断・制御することである。

通信回線の構成と管理は、かなり多くのマネジメントワークを必要とする。それぞれの顧客と個別に使用条件を合意しな

ければならないからである。さらに、このアプローチは現在、受動的なサービス（例えば事故発生後のメンテナンス）の提供のために利用できるだけである。

Tomorrow



Industrie 4.0 では、もはや、技術者はサービスを提供している機械にマニュアルではつながらない。製造システムは「社会的マシン」として一社会的ネットワークと類似しているネットワークの中で一動作すると考えられる。製造システムは、問題となっている状況を扱うのに適切な専門家を探すために、クラウドベースのテレプレゼンス・プラットフォームに自動的に接続する。専門家は、モバイル機器を通じて伝統的な遠隔保守サービスを一層効率的に実行する、統合された情報プラットフォームやテレビ会議ツール、改良されたエンジニアリング手法を利用できる。さらに、機械は自らの能力を引続き改良・拡張する。テレプレゼンス・プラットフォームで標準化された、安全な通信回線によって関連する機能とデータを自動的に更新ロードするからである。

複雑な計算作業（例えばシミュレーションや予測）を、機械から分離しポータルに移動させることによって、できるだけ短時間で巨大な処理能力を使用することができる。こうして、さらなる生産性向上が図られる。

想定される経済効果

最近利用できるようになったクラウドベースのテレプレゼンス・ポータルは、将来何が可能であることを示唆している。このようなポータルの急速な発展は、ここ数年の間に製造システムに革命を起こすと考えられる。

6. ドイツと他国の 比較



6. ドイツと他国の比較

ドイツは、製造業に IOT を活用する(Industrial Internet¹) 方向性を認識し、IOT が製造業の発展に決定的な影響を及ぼすことを見抜いた唯一の国というわけではない。世界では、Industrie 4.0 (第 4 次産業革命) の現象を表す様々な用語が利用されている。特に英語圏や EU では、通常 IOT やデジタル化傾向を第 3 次産業革命という用語を利用している。第 3 次という理由は、第 2 次産業革命 (機械的大量生産の確立) を第 1 次産業革命の一部とする²、もしくは、製造プロセスの自動化から生じた業界の第 3 の変化を、第 3 次と見做さないからである。^{3,4}

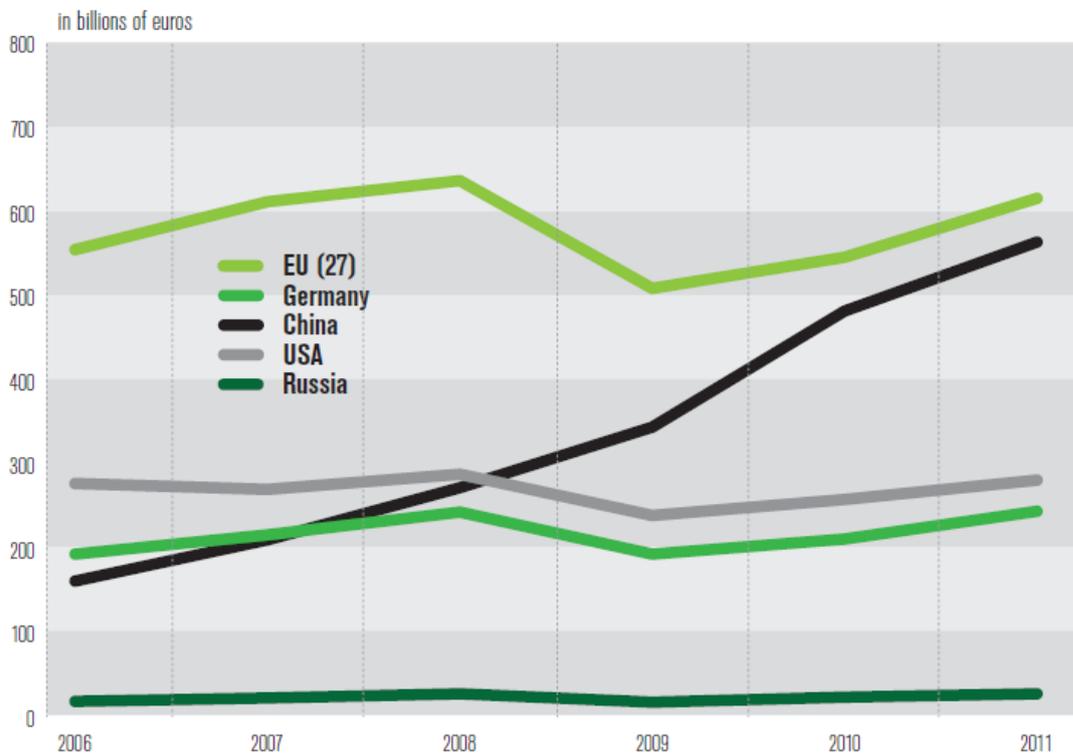
「スマート生産」や「スマート製造」「スマート工場」などの用語は、欧州や中国、米国で使用される⁵。これらの用語は、スマート製造システムの実現を目指す、特に生産のデジタルネットワーク化を指す。一方、最近よく耳にする用語、「アドバンスドマニュファクチュアリング」は、さらに広範囲の製造環境の高度化傾向を指す⁶。

以下に、機械・プラント設備製造、電気工学、自動制御工学、ICT の世界市場に関して、いくつかの国のこのような傾向に対する政策例を示す。

国際的な市場動向

ドイツの機械・プラント製造業の受注と生産は、2004～2008 年に素晴らしい成長をした後 (およそ 38% の生産高上昇)、世界的な金融危機により劇的な落ち込みを経験した。しかし、産業界が危機の間に失われた市場の回復に努めたので、景気は 2009 年中頃という早い時期に再び上昇し始めた。需要は現在正常に戻ってきており、2013 年には 2% の成長を予測している。

Figure 13:
Mechanical engineering
industry sales in selected
countries*



* Mechanical engineering industry not including services such as installation, repair and maintenance; as far as possible, the sales figures include all the companies that manufacture in the respective countries

Source: VDMA, Stand November 2012



»「我々の調査研究で明らかになったのは、ドイツは、Internet of Things and Services の分野で、将来世界を相手に勝ち続けるために必要な、製造技術や機械工学の能力すべてを備えているということである。」

Dr. Siegfried Dais

Robert Bosch GmbH

Co-Chair of the Industrie 4.0 Working Group

機械工学部門の全世界の売上は、2011 年におよそ 2 兆 1000 億ユーロに達した。ドイツ機械工業同盟（VDMA）の最近の調査によると、大多数のドイツの機械工業企業は、今もなお自らを世界のリーダーとみなし、主なライバルはドイツ国内の企業であり、2 番手 3 番手の米国とイタリアはかなり遅れていると考えている⁷。ところが、いくつかの国の機械工業の状況を見ると、ドイツ企業の見方とは著しく異なった状況が明らかになるのである。（図 13 も参照）。

米国の機械工業部門は、2002 年以降、外国へ大規模な生産移転を行った結果、輸入への依存度が急激に上昇した。機械工業業界の雇用者数は、2002～2010 年の間に 25% 減少した⁸。しかし、国内・国外双方の需要増加で、2010 年以降緩やかな回復傾向を示している。米国の報道機関は、この回復傾向の基本的な著しい変化とは何なのかを説明する際に「リショアリング」⁹や「インソーシングブーム」¹⁰などの用語を使ってきた。

中国は、他国同様、機械工学技術のキャッチアップに大きな努力をしており、市場での地位も上昇している。過去 5 年の間に世界最大の機械製造国になり、2011 年には 5630 億ユーロの売上を上げている。同時に、中国は輸出も倍増した。2011 年に、中国の投資財産業は、877 億ユーロ（前年比 20%以上の増加）の商品を輸出した。機械輸出国では世界第 4 位のし上がり、市場占有率は 10.2%である。

ロシアは、2010 年以降、機械とプラントの需要が顕著に増加した。**ロシア**（今年のハノーバー見本市の公式パートナー国）は、

中国、米国、フランスに続き、すでにドイツの機械工業企業の第 4 の輸出市場である。ドイツはロシアの一番の機械サプライヤでもあり、市場占有率は 22.6%である。ロシア政府はここ数年引き続きロシアの市場の成長を予測しており、数十億ユーロの資金提供プログラムを用意し、この成長をサポートしている。Industrie4.0 製品のロシアへの輸出は、ドイツの機械・プラントメーカーにとってさらに長期間にわたって大きな可能性がある。

2011 年に、電気工学の世界市場は、3 兆 4140 億ユーロであった。**ドイツの電気工学市場**は 1160 億ユーロで、中国（1 兆 1190 億ユーロ）、米国（4860 億ユーロ）、日本（2840 億ユーロ）、韓国（1550 億ユーロ）に次いで世界第 5 位である。近年、電気工学市場で成長しているのはほとんど新興工業国であり、2011 年にはその市場規模が合計 1 兆 7000 億ユーロとなり初めて先進工業諸国と同レベルに達した。

2012～2013 年の成長は先進工業国より新興工業国でかなり高い水準で続くと予想される。

自動制御工学の世界市場は最近 3500 億ユーロに達した。これは全世界の電気工学市場の十分の一以上を占めることを意味する。ここ数年で**中国**は最大の地域市場の一つになった。その市場規模は現在 1000 億ユーロであり、世界市場の 29%を占める。これは、すでに 930 億ユーロの市場しかない**欧州**を追い越したことを意味している。これらの 2 つの市場の次には、**米国**（12%、400 億ユーロ）と**日本**（8%、260 億ユーロ）が続く。**ドイツ**は 210 億ユーロ（6%）で、国別では世界第 4 位の市場である。

中国は、自動制御工学製品製造に関してはさらに大きくリードしている。**中国**は、世界生産額合計 3500 億ユーロのうち 1030 億ユーロ、つまり 30%を占める。**米国**と日本は、それぞれおよそ 11%、ドイツは 10%となる。しかし、**ドイツ**は自動制御工学製品とシステム（290 億ユーロ）の輸出国としては世界最大である。次いで中国（270 億ユーロ）と米国（210 億ユーロ）が続く。

ICT 業界の全世界の総売上高は、2013 年は 4.6%上昇し、2 兆 6900 億ユーロになると予測される。2 つの重要な部門、情報テクノロジーとテレコミュニケーションはそれぞれ 5.2%と 4.2%で、両方とも高い伸びを示している。しかし、地域によって市場動向には大きな違いがある。ICT 業界は、新興工業国で好況の一方、西ヨーロッパの大部分では横ばいか低下である。新興工業国の中では、**中国**、**インド**、**ロシア**は、2012 年に世界の ICT 需要の 7 分の 1（14%）をすでに占めている。中国の市場は 2013 年に 6.6%成長するため 2350 億ユーロと予測される。つまり、世界の 2 番目に大きい ICT 市場の日本（2210 億ユーロ）を追い越す。ICT の需要については、**米国**市場は誰もが認めるリーダーであり続ける。最新の数字では 7250 億ユーロ（5.8%の増加）である。**西ヨーロッパ**の成長は、他地域に比べると低調である。2013 年には、ICT 売上高は、なんとか 1.3%上昇し 6250 億ユーロと見込まれている。他方、**ドイツ**の I T 市場は、2013 年には 750 億ユーロで 3.0%成長すると予測される。

ドイツのソフトウェア市場は、5.1%上昇し 178 億ユーロになるとみられる。ハードウェア市場が 1.2%の穏やかな成長になっている一方、アウトソーシングとメンテナンスなど IT サービスの市場は、359 億ユーロと 3.0%で成長すると予測される。

SAP 社や Software AG 社、Telekom 社は米国（例えば IBM 社と HP 社）やアジアの企業の主要な子会社と共に一致団結すると、ドイツにはグローバルにかなりの IT 能力がある。これにより、ドイツは Industrie 4.0 で主導的役割を果たす新たな機会を獲得する。

他国の産業政策資金イニシアティブ

諸外国も、製造業界の高度化のための資金提供プログラムや研究イニシアティブをサポートしている。しかし、米国や中国などでは、Industrie 4.0 イニシアティブが想定する変化は沢山の傾向（たとえば新しい材料と技術の導入）の中のほんの一つしか考えられていないようである¹¹。

米国

米国政府は、**機械工業**を再び重視し始めている¹²。政府は、現在、雇用の創出と米国の製造業の再支援のために活発な産業政策を遂行しようとしている。2011 年夏にオバマ大統領は、Advanced Manufacturing Partnership (AMP) を立ち上げた。これは、新技術のさらなる開発・投資を計画するために、研究団体や産業界、政界の代表を集めた民間部門主導の団体である。AMP Steering Committee は、主要な工科大学（MIT、カリフォルニア大バークレー校、スタンフォード、CMU、ミ

シガン州立、GIT）の学長と、主要な米国企業（キャプラー、コーニング、ダウ・ケミカル、フォード、ハネウェル、Intel、ジョンソン・アンド・ジョンソン、ノースロップ・グラマン、プロクター・アンド・ギャンブル、ユナイテッド・テクノロジーズなど）の CEO から成り立つ。

2012 年 7 月に、AMP は、米国製造イノベーションネットワーク（NNMII）の設立など、16 の勧告を詳述するレポートを発表した¹³。これらの研究所（官民協働の形態）は、米国企業の国際競争力を向上させるために「卓越した製造業を目指す地域のハブ」として、米国の製造業に対する投資を拡大することを目的としている¹⁴。さらに、オバマ政権は、製造分野の研究にさらに多額の研究開発資金を拠出している。2013 年度の予算に、アドバンスドマニュファクチャリング用に指定される資金は、19%増加し 22 億ドルになった。国立標準技術研究所（NIST）（標準化を担う団体）は、国内製造業界に技術的なサポートを提供するために、研究施設とノウハウの提供に対して 1 億ドルの資金を割り当てられた。NIST は、AMP の勧告で設定された Advanced Manufacturing Portal¹⁵ に対しても責任があり、この分野で政府、大学、民間のイニシアティブ間でネットワーク化を推進する。最後に、米国政府の Jobs and Innovation Accelerator Challenge イニシアティブは、アドバンスドマニュファクチャリングの分野で、さらに 2000 万ドルを 10 の官民協働パートナーシップに投資している。

すでに数年前から米国では **CPS** と **IOT** に公的資金を提供している。CPS は、すでに 2006 年には全米科学財団（NSF）から重要な研究領域と指定されている。しかしながら、実際には製造分野での CPS 活用はごくわずかしかない¹⁶。Networking and Information Technology Research and Development (NITRD) Program は、Human-Computer Interaction and Information Management など様々な IT 領域の研究をコーディネートするために 18 の研究機関をまとめる。2011 年の NITRD の予算には 30 億ドル以上が計上された。

中国

中国も、機械工業の発展を奨励している。第 12 次 5 年計画（2011-2015）は、外国への技術依存を低減し、ハイエンド機器製造や次世代情報技術など 7 つの「戦略産業」で全世界の技術的リーダーシップをとることを目的としている¹⁷。中国は 2015 年までこの目標に合計 1 兆 2000 億ユーロを用意して、助成金や租税優遇措置、その他の奨励金を通して需要と供給を刺激している。また、2015 年まで GDP の 1.5 から 2%を研究開発投資として増額するつもりである¹⁸。工作機械部門の優先事項は、「インテリジェントな製造設備」や「インテリジェント制御システム」、「高度な数値制御機械」の発展である。一方、IT における優先事項は IOT とそのアプリケーション（「技術管理と自動制御」など）である。

2010 年以降、中国政府は IOT に対する優先順位をかなり引き上げた¹⁹。

中国は 2010 年以降毎年 IOT 会議を開き、中国最初の IOT センターは 2010 年の会議中にオープンした。この研究セン

ターは、基本的な IOT 技術と関連する標準化要件を研究するために、1 億 1700 万米ドル相当の資金提供を受けた。さらに、大連工業大学ソフトウェア学校は早くも 2009 年に研究グループを設立し、自動制御工学における CPS アプリケーションの調査などを始めた²⁰。中国は、江蘇省の無錫市で 7 万人以上を雇用している 300 の企業とともに「IOT イノベーション地帯」も創設した。中国のリーダーは、今から 2015 年までに合計 8 億米ドルを IOT 業界に投資する計画である²¹。

EU

EU では現在、IOT への研究は、the Seventh Framework Programme for Research (2007- 2013) から一層の支援を得ている。90 億ユーロ以上の最大の予算が、優先的に ICT 向けに配分されている。プログラムには、**製造業界での IOT 実施**に向けて調整する多国間のイニシアティブがある。シーメンス社主導の「IoT@Work」プロジェクトは、実際的な条件で Plug&Work 概念を開発するために、580 万ユーロの予算を提供された。一方、合計 24 億ユーロが ARTEMIS 技術プラットフォームに、8 つの下位プログラムで研究開発計画を推進するために投資された。プログラムには「Manufacturing and Production Automation」と CPS などがある²²。さらに、12 億ユーロが、官民協働イニシアティブ「Factories of the Future」に与えられ、毎年、スマートな ICT による製造プロジェクトのための提案の募集を始めた。このイニシアティブの主催で、SAP 社主導のプロジェクト「ActionPlanT」は、最近 Vision for Manufacturing 2.0 を発表した。このレポートは、the Eighth Framework Programme for Research - "Horizon 2020" (2014-2020) の下で未来の研究資金調達イニシアティブのために、たたき台となることを目的とする。Horizon 2020 の 800 億ユーロの予算は、世界最大の研究開発資金調達プログラムになる²³。

インド

インドの 5 か年計画 (2012-2017) は、イノベーションの資金調達を主要な優先分野の一つとしており、官民の研究開発投資を GDP の 2% まで増やすつもりである²⁴。2011 年に、「**Cyber-Physical Systems Innovation Hub**」プロジェクトは、いろいろな領域 (人型ロボット・ロボット工学など) の研究を行うために、Communications and Information Technology 省後援で始められた。さらに、ボッシュ社は 2011 年 11 月にバンガロールで CPS 研究のためのセンターを設立した。フラウンホーファー協会とインドのいくつかの主要な研究センターは、顧問としてこのプロジェクトに参加している。未来の IT エキスパートのための最適な研究環境と業務環境の整備を目的とするパートナーシップは 228 億ユーロも資金を供給される。今後も支援は例えば研究契約を通して産業界と研究団体に提供される²⁵。Zebra Tech Company による最近の研究によれば、今日でさえ、インドの企業は IOT の技術の活用では世界的リーダーである²⁶。

TAKE-HOME MESSAGE:

ドイツのライバル国の多くも、製造環境での IOT の活用の重要性を認識し、さまざまな組織的・財政的措置を進めている。Industrie 4.0 ワーキンググループは、ドイツは Industrie 4.0 における全世界のペースメーカーとなる際に良い位置にあると考えている。Industrie 4.0 プラットホームは、ドイツが実施・計画する対策がこの目標の達成にどの程度成功しているか、定期的に慎重な解析的評価を受けなければならない。

ドイツはこれからの 10~15 年に、国際的なライバルと市場についてさらに多くの詳細解析を行う各研究プロジェクトを設立すべきである。

1. 2012年末に、米国籍企業ゼネラル・エレクトリック社（GE）は、Internet of Things（IoT）に注目する幅広い基盤をもったイニシアティブを公式に立ち上げた。GEの"Industrial Internet"戦略には、様々な領域に多くの種類のアプリケーションがあるが、製造業には重点をおいていない。GEは、様々な業界でIoTの展開を通して世界的に著しい節約ができると思っている。商業用航空旅行業界の燃料消費量が15年間1%削減できるとすると、300億ドルが節約できる。医療や貨物輸送と鉄道輸送機関において効率が上がると、業界はそれぞれ660億と270億ドルを節約すると計算できる。（Evans, Peter C./Annunziata, Marco : Industrial Internetを参照。Pushing the Boundaries of Minds and Machine (GE Study), November 2012, p. 4)
2. この用語の活用方法の詳細については、例えば Evans, Peter C./Annunziata, Marco : Industrial Internet. Pushing the Boundaries of Minds and Machine (GE study), November 2012, p. 7f.を参照
3. これは、European Commissioner for Industry and Entrepreneurship AntonIoTajaniによる声明を支えている理論である。彼が2012年5月に第3次産業革命を宣言した（欧州委員会：Building a New Industrial Revolution in Europe. In: Unternehmen und Industrie Magazin, June 2012.を参照）。公開の協議を経て数ヶ月後に、Tajaniは、EU、加盟国、民間の主体によって将来強化されなければならない6つの重要な領域を特定した。これらの領域の2つは、Industrie 4.0に直接関連する。"advanced manufacturing technologies"と"key enabling technologies"の促進。（欧州委員会：Industrial revolution brings industry back to Europe (press release), 10 October 2012.を参照）
4. 第3次産業革命をめぐる談話は、再生可能エネルギーの使用と拡大が特徴の新しいイノベーション・サイクルともある程度関係がある。（例：Rifkin, Jeremy : The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World, 2011を参照）。資源生産性の劇的な増加と新しい材料、物質とプロセスの活用（例：3Dプリント；Hill, Jürgen: Das Potential von 3D-Druck, in: Computerwoche, 29.01.2013を参照）
5. ブログ：smartmanufacturing.comまたはinitiative Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC) www.smartmanufacturingcoalition.orgを参照
6. アドバンスドマニファクチャリングは、情報、自動制御、計算、ソフトウェア、センサ、ネットワークの使用と調整による、および／または物理学と生物科学（たとえば微小工学、化学、生物学）によって可能になる最先端の材料と新しい能力の使用による一連の活動である。これは、既存の製品を製造する新しい方法と先端技術から生まれる新製品の製造の両方を含む。米国政府の最も重要な技術傾向諮問委員会の一つである、大統領科学技術諮問委員会（PCAST）で作成されたこの定義は、この用語がどのように使用されるかの典型である（PCAST：Report to the President on Ensuring American Leadership in Advanced Manufacturing, June 2011, p. ii.を参照）
7. 合計483の企業がVDMA調査に参加した（VDMA：Tendenzbefragung.Internationale Wettbewerbsposition des deutschen Maschinenund Anlagebaus [Survey of Current Trends. Global Competitive Position of German Machinery and Plant Manufacturers], October 2012.を参照）
8. Le Monde Diplomatique：Die Zukunft der Industrie liegt in Asien, in: Atlas der Globalisierung - Die Welt von morgen, 2012, p. 28.を参照
9. Minter, Steve：Evidence for U.S. Manufacturing Reshoring Builds. In: The Global Manufacturer, October 2012, and The Economist: Reshoring manufacturing. Coming home, Special Report, January 2012.を参照
10. Fishman, Charles: The Insourcing Boom. The Atlantic, December 2012.を参照
11. 例としてMcKinsey Global Institute: Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation, November 2012.を参照
12. これは、少なくとも部分的に大統領科学技術諮問委員会（PCAST）の呼びかけに呼応している。2012年の"Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing"についてのレポートでは、PCASTは「米国は主要な製造国としての地位を失っているにもかかわらず、他の先進国と違って、ほとんど政策を立案していない」と米国政府に忠告している。
13. PCAST: Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing. AMP Steering Committee Report, July 2012;またはNational Science and Technology Council（NSTC）：National Strategic Plan for Advanced Manufacturing, February 2012.を参照
14. ネットワークは現在開発中である。連邦政府に代わり10億ドルの投資が多数の米国州政府と企業から補完される予定である。目的は、アドバンスドマニファクチャリングの様々な面に注目する合計15の研究所を設立することである。これは大学での研究と企業内での製品開発との間の調整の改善を意図する。（また、付録1：Technology Development Workstream Report, in: PCAST: Capturing Domestic Competitive Advantage in Advanced Manufacturing. AMP Steering Committee Report, July 2012.を参照）
15. 以下のオンラインを参照。www.manufacturing.gov.
16. 2008年以降50万～100万ドルの資金提供を受けた108のプロジェクトのうち、わずか1つが特に製造業でのCPSの使用に注目していたようである。

17. これらの領域では、計画は「かえるとび」的な飛躍を強調する。
18. これで 2015 年には中国の研究開発費は、ドイツの現在の研究開発費のおよそ 3 倍の 2150 億ユーロになる。(Nürnberg, Jörg/Wang, Thomas: Implications of the 12th Five Year Plan For German Machinery Manufacturers, April 2012.を参照)
19. 2010 年以降、活発な外交を繰り広げる温家宝首相は、多くのスピーチで中国の発展のための重要な技術として IoT の重要性を述べた。また、工業情報化部担当 Li Yizhong 大臣は、「我々は、伝統的な業界を改革・改善するために、IT を使用しなければならない」と題される記事の中で、この問題を以下のように強調した。「我々は、IOT の発展を勧奨する方針を作成しなければならない。」
(<http://en.cbf.net.au/Item/639.aspx> - last visited by the authors in January 2013.を参照)
20. Geisberger, Eva/Broy, Manfred: agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (agendaCPS. Integrated Research Agenda Cyber-Physical Systems) (acatech STUDY), Heidelberg et al.: Springer Verlag 2012.を参照。
21. Voigt, Kevin: China looks to lead the Internet of Things, (CNN), 28 November 2012.を参照
22. 2008 年以降、ARTEMIS は毎年世界的に「CPS week」も組織してきた。The European Research Cluster on the Internet of Things (IERC)は、この領域でヨーロッパの研究活動をコーディネートする the Seventh Framework Programme for Research から資金を供給されるイニシアティブである。
23. 現在英国では製造業の未来を研究している専門家グループがいる。「The Future of Manufacturing」プロジェクトは、2050 年に至る製造業の潜在的発展戦略を研究する。
24. Government of India, Planning Commission: Faster, Sustainable and More Inclusive Growth. An Approach to the Twelfth Five Year Plan, October 2011, p. 115 を参照。
25. Geisberger, Eva/Broy, Manfred: agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems (agendaCPS. Integrated Research Agenda Cyber-Physical Systems) (acatech STUDY), Heidelberg et al.: Springer Verlag 2012.を参照
26. CXO today News Desk: Indian CIOs keen on adopting Internet of Things, 11 October 2012.を参照

Example application 5 :

製造業者の不可抗力の危機により生産中に発生するサプライヤの突然の変更

製造業者の不可抗力の状況（例えば予想外の天災または政治危機）では、生産中にしばしば突然サプライヤを替えなければならないことがある。Industrie 4.0 は、影響を被る下流のサービスのシミュレーション（たとえば様々なサプライヤを評価し最良の選択を行う）をすることによって、かなり円滑にこのような変更をできる。

Today

サプライヤが予想外に倒産した場合、製造業者が現在の生産と下流のプロセスへの影響を評価して、タイムリーな対応をすることは難しい。突然のサプライヤ倒産は少なからぬ追加コストと生産の遅延を生じ、企業の事業に重大なリスクを伴う。製造業者は下記について迅速な決定をする必要がある。どのサプライヤを代替に使うか、どのように現在生産中の商品の物流を実行するか、どのくらい現在の在庫がもちそうか、どの製品が倒産したサプライヤからの部品を含むか、そして、代替サプライヤには納期に間に合わせる能力と技術が実際にあるかどうか。現在 IT は、部分的にしかこのような決定の役に立っていない。

Tomorrow

Industrie 4.0 では、製造プロセスにおけるすべてのステップをシミュレーションして、生産に対する影響を推測することができる。これには、在庫レベルならびに輸送と物流のシミュレーション、部品の使用履歴を調査する能力が含まれる。部品の使用履歴は部品の寿命に関する情報の作成・提供にすでに活用されてきた。このシミュレーションにより、製品別のセットアップコストを計算し生産資源の再構成を最低限にとどめられる。関連するリスクを評価することも可能である。また、代替サプライヤにかかる様々なコストとマージンや、二つのサプライヤを利用したときの環境への影響のシミュレーションもできる。製造システムの広範なネットワークは、代替サプライヤとその時点でのその対応能力の分析を可能にする。サプライヤクラウドの中で適切で安全なチャネルを通して直接サプライヤに連絡・約定ができる。

想定される経済効果

ビッグデータやクラウドなど IT イノベーションは、リアルタイム最適化のシミュレーションを実行できる。必要なソフトウェア設計はすでに存在する。このアプローチの迅速な実施を支持する価値連鎖や価値ネットワークの推進者は、時間とコストの節約やビジネスリスクの最小化を期待している。

7. 展望



7. 展望

ドイツには、Industrie 4.0 のリーディングマーケットとリーディングサプライヤになる条件が備わっている。この実現には、技術的課題を解決し開発を具体化するため、様々な業界とその従業員が協働することが不可欠である。Industrie 4.0 プラットホームは、すべての業界で Industrie 4.0 の潜在的なイノベーションを実現する重要な足がかりとなる。

Industrie 4.0 ビジョンの実施プロセスは、各企業や各業界によって様々な速度で進む。したがって、デモンストレーションプロジェクトをできるだけ早く立ち上げ、新製品を発売しなければならない。

Industrie 4.0 の実施は、デュアル戦略によらなければならない。既存の基本的な技術と経験は、生産（技術）工学の要件に合致し、広範囲にわたる基盤に迅速に展開される必要がある。同時に、新しい製造場所と新しい市場のためのイノベティブなソリューションの研究開発も必要である。この開発が成功するならば、ドイツは Industrie 4.0 のリーディングサプライヤとなる。さらに、リーディングマーケットの確立は、ドイツをより魅力的な製造場所とし国内製造業界の維持に役立つ。

Industry-Science Research Alliance は、2011 年の初めに戦略的なイニシアティブ Industrie 4.0 を始めた。2013 年 4 月現在、業界の職能団体 BITKOM や VDMA、ZVEI は、財界、学界、市民団体の関係者と行動を共にしつつある。これはイニシアティブが確実に一致団結して実施されるためである。すべての利害関係者が相互に技術的・社会的イノベーションを共有し合うシステムティックなアプローチは、協働を成功に導く確固たる基盤を提供する。

戦略的なイニシアティブ Industrie 4.0



戦略的なイニシアティブ Industrie 4.0

Industrie 4.0は、2011年11月にHigh-Tech Strategy 2020 Action Planの一部として採用されたドイツ政府の「戦略的なイニシアティブ」である。これは、Industry-Science Research Alliance (FU) の COMMUNICATION Promoters Group によって、2011年1月に始められた。その最初の実施勧告は、acatech -National Academy of Science and Engineering のコーディネーションの下で、2012年1月～10月に Industrie 4.0 ワーキンググループによって策定された。ワーキンググループは、Siegfried Dais 博士、Robert Bosch 社の副取締役会長、Henning Kagermann 教授 (acatech 総裁) が議長をつとめた。勧告はドイツ政府へのレポートとして、2012年10月2日に Produktionstechnisches Zentrum Berlin で開催された the Industry-Science Research Alliance's Implementation Forum で提出された。更なる実装対策は、Industrie 4.0 プラットホームの下でいくつかのワーキンググループを通して進行する。Industrie 4.0 プラットホームは最近、業界の職能団体 BITKOM、VDMA、ZVEI によって設立され、現在団体事務局の支援を受ける。

ドイツ政府は 2006 年以降 High-Tech Strategy を続行し、リサーチやイノベーションの学際的な協働活動に向けて調整してきた。技術革新を通してドイツの強い競争力を確保するのが目的である。具体的には、High-Tech Strategy 2020 と下記の 5 つの優先分野に注目している。すなわち気候/エネルギー、健康/食物、機動性、セキュリティとコミュニケーションである。High-Tech Strategy 2020 は、数多くの「戦略的なイニシアティブ」(Industry- Science Research Alliance が 10～15 年間にわたって具体的な中期科学技術開発目標を扱っている) を中心に展開している。イニシアティブは、ドイツが世界的な課題にソリューションを提供するリーダーとなるための、具体的なイノベーション戦略と実装ロードマップを策定した。

このレポートは、2012年10月の Industrie 4.0 ワーキンググループによる勧告を拡張して、2013年4月に始まる Industrie 4.0 プラットホームにおける研究の基盤を提供する。

業界科学研究アライアンスのホームページ：
forschungunion.de

入手可能なハイテク戦略アクションプラン：
bmbf.de/pub/HTS-Aktionsplan.pdf

Industrie 4.0 ワーキンググループレポート：
acatech.de/industrie4.0

Industrie 4.0 プラットホーム

職能団体 BITKOM、VDMA、ZVEI は、イニシアティブの進
行と整合性があり、様々な分野を横断するアプローチを実現する
ために、共同で Industrie 4.0 プラットホームを設立した。

プラットフォームの中心的なコーディネーションとマネジメント主体
は、業界主導のステアリングコミッティである。ステアリングコミッティ
は、プラットフォームの重要な方針を決定し、ワーキンググループを
指名し研究を先導する役割を果たす。ステアリングコミッティは、
生産（技術）工学、IT および自動制御工学業界ならびにいく
つかの学問領域からのメンバーを含む Scientific Advisory
Committee が支援する。ワーキンググループはステアリングコミ
ティに報告するが、自らの組織は自ら決定することができる。ワー
キンググループは、すべての利害関係者に開かれている。

Governing Board は戦略に関する情報を提供し、プラットホー
ムの政治活動を支持する。必要な場合、Governing Board
は、政策担当者やメディア、市民に対してプラットフォームの代理と
なる。

事務局は 3 つの職能団体のメンバーを職員に置き、ステアリン
グコミッティに組織や管理の支援を提供する。事務局は、情報移
転、内部の関係調整、類似したイニシアティブとの関係調整に対
処する。事務局は、メディア対策や広報活動も行う。

事務局

マネジメント : Rainer Glatz, VDMA
Dr. Bernhard Diegner, ZVEI
Wolfgang Dorst, BITKOM

事務局住所 :

Lyoner Straße 9, 60528 Frankfurt/Main
お問い合わせ :
kontakt@plattform-i40.de
plattform-i40.de

Figure 14:
Provisional
organisational
chart of the
"Industry 4.0"
Platform



