

ドイツの製造業デジタル化構想 — Industrie4.0

JST 研究開発戦略センター
海外動向ユニットフェロー
澤田 朋子



はじめに

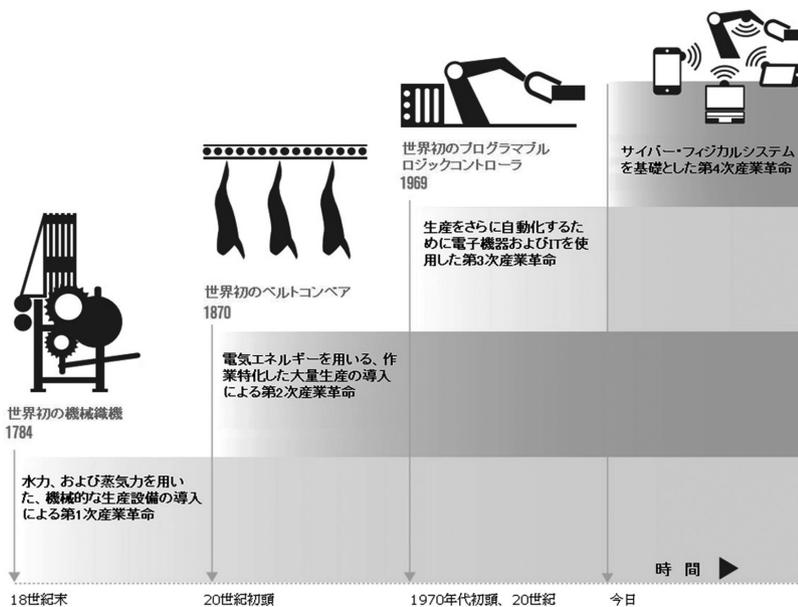
ドイツの Industrie4.0 (インダストリー4.0) が日本の製造業、特に工作機械の分野で注目を浴びている。ドイツ本国よりもむしろ日本の方で関心が高いのではないか、と思うほど昨今はセミナーや講演会が盛況だ。狭義には、インダストリー4.0 はドイツ連邦政府の製造業情報化政策であるが、今では政策の枠を超えて製造業全体のムーブメントになっている。本稿では、その実態を伝え、日本にどのような影響を与えるのかという強い関心に応えるべく、インダストリー4.0 とはなにか、政策が策定された背景はどうだったのか、そして期待される成果と今後の社会がどう変わるのかにつ

いて筆者の意見を交えて論ずることにしたい。なお、インダストリー4.0 は比較的新しい概念であり、参加するステークホルダーが少しずつ増えて、今後概念が変化発展していくことが予測される。従って、ここでは本稿執筆時点での情報に基づいているということを予めお断りしておく。

インダストリー4.0とは

第四次産業革命という意味である。第一次産業革命は18世紀の蒸気機関による機械的な生産設備の導入、第二次産業革命は19世紀後半の電気による大量生産を指すことは議論を待たない。第三次以降は専門家によって定義が分かれるが、ドイツ政府は、70年代のコンピューター

図表 1 産業革命の4段階



出典：Industrie4.0 プラットフォーム実施勧告提言書2013より転載

による生産過程の制御を第三次産業革命としている。そして、現在、人類は第四次産業革命の端緒に立っていると位置づけ、ドイツはその中でイニシアティブを取ることを目指している。しかし、これまでの産業革命にあるような革新的な、破壊的な技術があるのかというところでもないもののインターネット (Internet of Things: IoT) や生産の自動化 (Factory Automation) 技術を駆使し、工場内外のモノやサービスと連携することで、今までにない価値や、新しいビジネスモデルの創出を狙った次世代製造業のコンセプトである。現代の製造業が直面している課題は、主に生産性、スピード、柔軟性であり、インダストリー4.0を実現することによってこれらを克服し、このための技術開発や産業構造の変化を推進する。つまり、現在ある技術やプロセスのイノベーションであって、「革命」というよりは、最適な価値を生もうという「改革」＝エボリューションだということだ。

ドイツ科学技術 イノベーション基本政策 「ハイテク戦略」

では背景として、インダストリー4.0の上位にある基本政策に

ついて簡単に述べよう。ドイツで初の科学技術とイノベーションに関する基本的な戦略である「ハイテク戦略」は2006年に発表された。個人、企業、社会が持続的にイノベーションを興すことができるような環境を整備することを目標に、優先的に取り組む17の技術分野を特定するなどとしている。第二期にあたる「ハイテク戦略2020」は、第一期をベースにグローバルな社会的課題の解決を図るために数々の施策やプロジェクトを実施するという形で2010年に発表された。「ハイテク戦略2020」で抽出された重点分野は、環境・エネルギー、健康・食糧、輸送、安全、通信の5つで、同分野のさまざまな課題の解決のために10項目の「未来プロジェクト」というアクションプランが2011年までに順次発表された。そのうちの1つがインダストリー4.0という政策の位置づけである。

ハイテク戦略が出された 社会的背景

ドイツ国内の製造業は、これまで雇用を多く生み出してきた。Made in Germanyを支え、これに貢献してきたのがドイツの工学教育であり、マイスター制度、デュアル教育

といったドイツ特有の教育・職業訓練制度である。しかしながら70年代のオイルショック、80年代のマルク高や人件費の高騰を原因とし、生産拠点としてのドイツの地位が危うくなってきた。繊維産業を皮切りに、自動車産業までもがマーケットに近い現地生産を推進し、ドイツ国内の失業率は徐々に上がり始めた。さらに、伝統的なマイスター制度や大

学教育は、米国などと比べて資格取得や卒業までに長い時間がかかり、IT産業のようにめまぐるしく進化発展する分野の人材育成が、産業界の需要に追い付かない状況が生まれ始めたのである。このような環境にさらに大きな影響を与えたのが、東西ドイツ再統一(1990年)とそれに続く長い不況だった。旧東ドイツ地域への公的資金の投入が連邦政府の財政を圧迫しただけでなく、同時に一気に民主化した旧東欧諸国で急増した対外直接投資によって製品輸入が増大した。こうして90年代後半には失業率が上がり続け、一部の州では20%を超えるようになった。社会保障、年金、税金と構造的な問題を抱えながら、改革が中々先に進まない「改革渋滞」と呼ばれる時期が続いた。

このような状況で前政権のシユレ

ーダー首相が2002年頃から取りかかったのが先ず社会保障改革である。改革の成果が開始後景気が底を打ったのが2005年であり、2006年に誕生したメルケル政権が打ち出したのが「ハイテク戦略」だった。

スマート工場の実現

サイバーフィジカルシステム(CPS)を基礎とした生産、情報通信の技術と生産技術を統合するというのがインダストリー4.0のコンセプトである。ドイツの強みである機械、設備に関する技術とシステム開発や埋め込みソフト開発の能力を活かし、生産をデジタル化することでスマート工場を実現しようというのだ。CPSは既に自動車のナビゲーションシステムなどで実用化されている。ネットワークに接続されたナビゲーションソフトウェアによる情報とリアルな道路状況からの渋滞情報を用いて、走行をアシストしルート案内をする技術などだ。これを生産の現場で実現しようというのがインダストリー4.0の主要テーマの一つである。工場におけるCPSの実装は、新しいサービスの提供、革命的なアプリケーション、新たなバリューチェーンを作り出し、自動

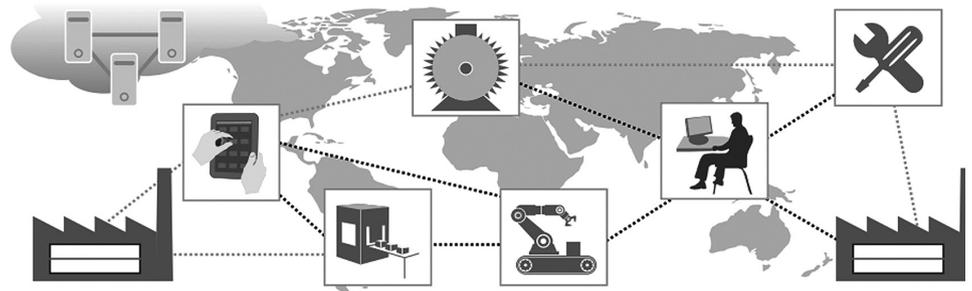
車、エネルギーや機械などのドイツの強みである産業の大変革をもたらすと考えられている。CPSの技術的な要件は、モバイルインターネット・アクセスの確保である。機械が自律的に情報交換し、判断して生産を実行するためのネットワークと、最適なセンサーや高度なアクチュエータ技術の革新のために研究開発がなされている。さらにCPSと両輪を為すのが機械側の研究開発である。操作性や機器のインターフェース改善、人と機械のインターフェースに関する技術、機械と機械が自律的に協調し特別なプログラムを必要としない連携を可能にする技術(Plug&Produce)の研究推進である。

スマート工場のネットワーク化

スマート工場においては、人間、機械、資源が社会ネットワークにおけるように、相互に知識を有する。スマート工場で生産されたスマートプロダクトは、いつ製造されて、どのようなパラメータで自分を加工し、どこに納入すべきかなど自動的に製造プロセスを支援する。デザイナーからメンテナンスに至る様々な生産のリソースにおいて、材料、エネルギー、情報の流れをITでつなぎ、

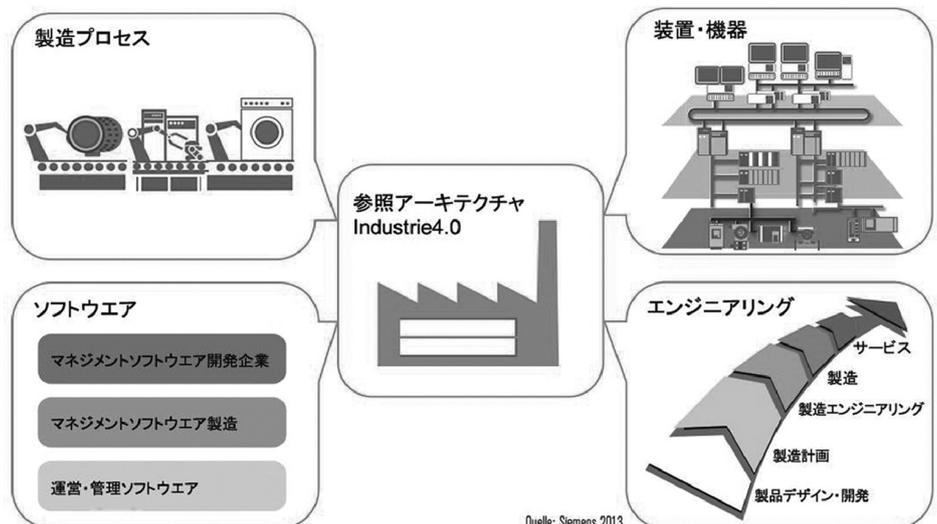
立案システム、制御システムを含んで、バリューチェーンを構成する。さらに、スマート工場は将来的に単体で存在するのではなく、スマートモビリティ、スマートロジスティック、スマートグリッド、スマートシティと、未来の統合型インフラの重要な構成要素と成ることが期待されている。現在、日本でも会社単体、もしくは系列会社も含んだ縦割りのグループ内ではすでにスマート工場を実現している企業も少なくないかもしれない。しかしドイツのそれは、企業の枠組みを超えて、複数の工場がつながることが目標なのだ。

図表2 バリューチェーンのネットワーク化



出典：Industrie4.0 プラットフォーム実施勧告提言書2013より転載

図表3 参照アーキテクチャ概念図 工場内の統合化



Quelle: Siemens 2013

出典：Industrie4.0 プラットフォーム実施勧告提言書2013より転載

企業内の垂直統合

企業内の、工場現場レベル、生産

ライン制御レベル、生産指導レベル、企業経営(本社)レベルにおける各段階の多様なITシステムを統合することを垂直統合という。現在は、直ぐ隣り合うレベルのアプリケーションは相互にコミュニケーション可能であるが、例えば企業経営レベル

と工場の現場を直接つなぐソフトウェアはほとんど存在しない。存在しない理由は単純で、これまでその必要がなかったからだ。しかし、インダストリー4.0では、これら複数のレイヤーをつないで、リアルタイムに情報交換を行えるようにするこ

とを目指している。これが実現すれば、経営（本社）レベルで受けた商品の受注内容がリアルタイムに工場現場レベルに反映され、生産し好みの寸前や場合によってはラインが稼働している最中でも仕様や生産量の変更が可能になるとされている。また他にも、機械に不具合が生じた場合にも、生産ライン制御のレベルが直ちにラインを止めずにライン組換が可能になり、経営レベルでは調達先や生産工場の変更がスムーズにできるなど、省エネルギー、個別化生産が現実のものとなることが期待されている。

インダストリー4.0の進捗

では、インダストリー4.0はどの程度進んでいるのか。政策文書では、2025年頃にスマート工場が実現していることを目標に置いている。政策が公表されたのが2011年、ほぼ3年経過した現在は、ロードマップの最初のフェーズ、現場工場レベルで個々の機械の通信プロトコルを標準化するというところだ。現在の工場では、異なる機械を単にケーブルでつないで、ラインを形成することは難しい。例えて言うなら、アップルのiPhoneとアン

ドロイド携帯が相互に通信できない状態にある。これは、大企業であれば、機械と機械をつなぐアプリケーションをカスタマイズしたり、システムを構築するなどして対応ができる。しかし、多くの中小企業にとっては、大きなコスト負担だし、機械にOSが内蔵されていれば、このアップデートもまた問題だ。日本と同じく国内の総企業数の99%が中小企業であるとされるドイツでは、中小企業をどう巻き込むかという戦略がたいへん重要になってくる。つまり、工場内の通信規格の標準化は、国際競争に打ち勝つためのインダストリー4.0というナショナル

チームに中小企業を参加させる条件を整えることにあると言える。さらに、ドイツがイニシアティブをとる形で、自動化技術の標準化に向けて、2014年7月に国際電気標準会議（IEC）に、インダストリー4.0の戦略グループを設置するなどしている。ドイツ電気技術委員会（DKE）が2013年末にロードマップVer.1.0を発表した。国際標準（IEC、ISO）、欧州標準（CENELEC）との連携を重視国内業界団体の専門知識を生かし、積極的に国際標準団体へ働きかけるとし、システム関連の手順と領域をま

たがるコンセプトに重点を置いていく。その後、第二フェーズの実用化、デモ工場の実現、第三フェーズの法整備、第四フェーズの汎用化、インダストリー4.0の達成段階へと進む計画だ。

ドイツ株式会社

この政策は、今のところ上手く進捗しているといえる。その理由は、産学官が一体となって取り組む「ドイツ株式会社」的なプラットフォームが構成されていることだ。政府は、標準化への準備や中小企業の研究開発支援などイノベーション環境の整備を担い、産業界は生産の効率化、低コスト化に向けて研究開発投資を積極的にしている。アカデミアも工科大学や専門大学を中心に様々な国家プロジェクト、州レベルのプロジェクトに参加し、基盤的な技術への貢献をしている。また、ドイツの公的研究機関で応用研究に特化したフラウンホーファー応用研究促進協会（FHG）が、産業界とアカデミアの橋渡し機関として機能している。さらに、ドイツでは労働組合がインダストリー4.0に賛成の立場を取っており、ドイツという国がまるで一つの企業であるかのように展開している。第二に、同政策は明確

なビジョンをもっていることが上げられる。市場のリーダーとして競争力のある産業拠点として付加価値の高い製品をドイツで生産し輸出すること、主導的サプライヤーとして工作機械と必要なモジュールを輸出し、世界の工場の製造技術を主導する2段の戦略を示していることだ。2025年頃を目標に遠すぎず近すぎない展望で、産業界のやる気を引き出していると言える。

人材育成と労働

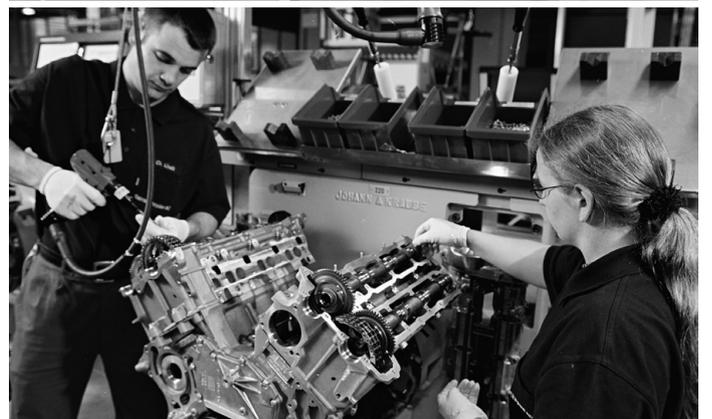
インダストリー4.0では、生産リソースとプロセスを状況に応じて制御、調整する能力が労働者に求められる。労働者は、トラブル処理や煩雑なルーチンワークから免除されることで、創造的で価値創出のための労働に集中できるようになるとされている。さらに、労働内容や条件が柔軟になることで、人材の流動性やより個人に合った職の確保が期待されている。ただし、新たな仮想作業環境の要件は、作業能力の維持と確保の危険も包含している。技術的統合が進むほど、柔軟性を要求され、仮想と経験世界との間の緊張が高まり、広がることが予想される。作業プロセスの電子化／仮想化が進んで、行動能力の喪失、自己行為

からの離脱経験が生じるかもしれない。このような関係の中では、職場組織、継続教育活動、技術／ソフトウェア・アーキテクチャが相互に調整され、「一体的に」集中して展開される社会技術的設計がなされる必要があるとしている。

ITの専門資格も、インダストリー4.0によって根本的に変化することが予測される。想定される応用領域の多様性から、教育の標準化には限界がある。デジタル経済の要件を教育に取り入れるには、製造産業との対話がますます重要で、企業と大学が密接な関係を築いていかなければならない。自然科学とエンジニアリングだけでなく、マネジメントやプロジェクト管理のような広範な専門知識にさらに取り組むことも必要との認識である。

ファクトリー・オートメーションと働き方

機械化と労働については、古くは英国における19世紀後半の織物産業で議論されてきた、日本やドイツでも工場のオートメーション化と労働について80年代頃さかんに研究されたように、古くて新しいテーマである。さらにインダストリー4.0では、生産のデジタル化、情報化によ



写真提供：ドイツ・ダイムラー社 (Daimler AG)

って機械同士がコミュニケーションを行い、自ら考えて生産できる自動化が進めば、ますます人がいらなくなるのではないかと考えるかもしれない。しかしながら、90年代には明らかになったように、ファクトリー・オートメーションによる無人化は不可能であり、必ず人間の力が必要になる。そこでインダストリー4.0では補足的な研究として、連邦政府によって将来の働き方研究が推進されている。現実には、産業分野、業種によって工場の構成要素が大きく異なり、モデル化は難しいのが現状

だ。半導体の生産工程と自動車生産の工程では人間への依存度は全く違う。今のドイツで積極的に議論されているのは、今後15年ほどの間にインダストリー4.0の進捗によって、職業訓練期に得た能力が不要になった場合、あるいはまた別のスキルが追加的に必要になった場合に速やかに二次的な職業訓練を受ける機会や制度をどう作るかということである。

製造業に与える影響

■ 個別化生産

低コストで消費者個別のリクエストに答えられる環境が整備されるためには、生産プロセスの標準化、モジュール化、デジタル化、ネットワーク化および自動化が5つの鍵である。個別化生産では、工場や生産拠点の分散だけでなく、1台の機械や設備で多品種の生産が可能となる。

■ 省資源

工業国では、生産部門が電気エネルギーの大手消費者である。コストに直接的に影響することから、産業界は消費を抑えたり、代替策を講じ

たり、様々な努力を行っている。とりわけ、原材料を含むエネルギー資源管理が最重要課題となる。CPSによる工場の管理によって、生産プロセスと機械、設備の稼働を効率化することが可能になる。例えば、工場は週末などに休止している間も速やかな生産再開のために電源が入った状態になっており、エネルギー全消費量の12%に上っている。こうした状態をスマート工場では排除できるようにする。

■労働の高度化

自律的に学ぶ機械、考える工場によって労働者の作業は容易に効率的になる。また、熟練した高齢の労働者を補助する機能を備えることで、彼らのノウハウを長期にわたり工場に備えることが可能になる。企業内では機械だけでなく人のつながりも密になり、情報交換や知識の共有が可能となる。生産の拠点が分散化するのに伴い、高度技術者を複数の工場でシェアすることも現実のものとなる。

結語にかえて

果たしてドイツのインダストリー

4・0は成功するのだろうか？

隠れたチャンピオンとして知られる、ドイツの創造的中小企業がドイツの経済を支えているといわれている。研究開発費が多い世界の上場企業1000社の研究開発投資は平均して売上高の3・6%である一方、ドイツの隠れたチャンピオンは、売上高の5・9%を研究開発に費やしているという。こうした研究開発に熱心な中小企業がドイツには2000社あまりあると言われている。また、自動車などの消費財に比べあまり知名度はないが、ドイツはソフトウェアの開発でも世界のトップグループにおり、組み込みシステムでは米国、日本について世界第3位である。特に産業向け組み込みシステムのシェアはさらに存在感が大きい。従来型のものづくりとソフトウェアの開発の両方の能力を兼ね備えたドイツは、モノとサービスのインターネットの世界で一歩先を行っていると言っても過言ではない。

さらに、ドイツでは人間の働き方がインダストリー4・0によってどう変わるかという議論が、基盤技術の研究開発と同時並行で行われている。ここに、ドイツ社会に大きな影響

響力を持つ労働組合がインダストリー4・0の推進に賛成している理由がある。労働力も重要な資源ととらえ、この資源を省くだけでなく合理的に用い、またその役割をさらに進化させるといふ理念である。迅速なイノベーションの実現にはアイデアから市場投入まで一貫して行うことが求められ、さらに産学連携の重要性が増す。生産現場からのフィードバックがリアルタイムになり、また研究の場が生産に近いところで行われる中で、若い労働力、高度な技術者の育成も同時に行える環境が創出される。

一方で、2025年頃のドイツ製造業がどういう姿になっているか、なり得るかという問いに答えるのは容易ではない。技術的な側面からいえば、セキュリティ分野の研究開発がロードマップ通りに進むか否かが鍵になると思われる。簡単に複製できるソフトウェアやコンフィギュレーションのノウハウの模倣も増えてきている。いかに企業間で、企業秘密と透明性を保証できるかという問題を解決しなければならぬ。また、ネットワークのセキュリティ対策も、工場内、工場間がネットワークでつ

ながる以上、最初の設計からエンジニアリング、運用・保守に至るまで、ユーザーの要請に合わせ、ユーザーフレンドリーなインターフェースで、アプリケーションの実行を保証するセキュリティ・ソリューションを開発しなければならぬ。これらを解決するためにはクラウド側に情報を持たせるのではなく、ドイツが得意とする機械の側で情報を守る戦略が重要である。

澤田 朋子 (さわだ・ともこ)

独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター
海外動向ユニット フェロー

1969年生まれ。2000年8月 ミュンヘン大学政治学部大学院修了。専門は国際政治比較、経済地理。帰国後、IT系ベンチャーでウェブマーケティング、海外向けウェブコンサルティングに従事。本業の傍ら各地の地域資源活性化事業に携わり、大小プロジェクトに参画。2013年9月より現職、ドイツの政策動向分析と国際機関のイノベーション戦略調査を担当。東京出身。

主な報告書等 「主要国の研究開発戦略」(2014) JST、共著、ドイツを担当。「競争力ある小国の科学技術動向」(2014) JST、共著、データ編を担当 以上