

イノベーションはコンピュータ利用教育に何をもたらすか ～インダストリー4.0等による次世代産業の影響に関する一考察～

妹尾 堅一郎*

Email: senoh@miinet.or.jp

* 産学連携推進機構、一橋大学

◎Key Words インダストリー4.0/インダストリアル・インターネット/ロボットのネットワーク化/ビッグデータ・アナリシス/ソフトウェアリッチ/データリッチ/産業のスマート化

欧米の次世代産業イノベーション構想が加速度的に形成されてきている。米国では個々の企業がそのコンセプトを前面に打ち出し、欧州では国がそれを主導する。前者は例えばGEの「インダストリーインターネット」であり、IBMの「スマータープラネット」である。後者は、ドイツによる「インダストリー4.0」政策である。これらに共通する概念は、製造業のネットワーク化、仮想化、サービス化、サイバーフィジカルシステム等である。その基盤になるのが、センサーとコンピュータネットワークであることは言うまでもない。また、「すべての機械とあらゆる設備・装置がロボット化する」先にはAI(人工知能)の本格化が想定されている。さらに、シンギュラリティ(特異点)の問題もいよいよ討議され始めた。これらを踏まえると、当然のことながら、「コンピュータ利用教育」そのものへも多大な影響があるに違いない。本報告では、これらに関する議論と問題提起を行う。

I. イノベーション構想(注1)

(1) ドイツのインダストリー4.0 戦略

欧米では、次世代産業イノベーション構想が加速度的に形成されてきている。

国家によるイノベーション政策の代表例は、ドイツ連邦政府による「Industrie4.0(インダストリー4.0:第4次産業革命)」である。これは2011年にドイツ工学アカデミーのH・カガーマン会長らが「ネットを使った工業生産とIT技術の融合により、ドイツをデジタル化について世界のリーダーにする」と宣言したことから始まる。現在は官民一体となって加速的に進められつつあり、2015年の4月には、世界最大の工業見本市「ハノーバー・メッセ」において、ガブリエル連邦経済大臣とヴァンカ教育研究大臣が本構想の執行機関「プラットフォーム・インダストリー4.0」の総指揮を取ることが発表された。この機関には、民間産業側で実践するBITKOM(ドイツ情報技術・通信・ニューメディア連邦連合会)、VDMA(ドイツ機械・プラント製造業連合会)、ZVEI(電子・電気工業中央連合会)だけでなく、BDI(ドイツ産業連盟)、IGメタル(全金属労働組合)等も参加するという。いわば産官学連携で推進を行うものであると言える。

この戦略的構想の背後にあるのは、次のような歴史観である。

第1の産業革命は、18～19世紀に英国で始まった

機械技術の導入と活用によるものであった(生産の機械化)。この革命は、蒸気機関を起点として、一方で自動織機による繊維業の生産性を飛躍的に向上させ、他方で蒸気機関車や蒸気船を発達させ、モノの輸送力を高めることになった。

第2の産業革命は、20世紀に米国で始まった電力技術の導入と活用による労働集約型の大量生産方式によるものである(大量生産化)。フォードがベルトコンベアによって自動車を大量生産したことを切っ掛けにして、「科学的管理法」が発達し、一気に工場の生産性向上がなされるようになった。

3番目の産業革命は、1970年代に始まった電子技術の導入と活用による、生産工程の自動化である。(生産のオートメーション化)。コンピュータを活用した電子制御による「産業用ロボット」がその典型であるとされる。

これらの次の段階がインダストリー4.0であるという。生産工程のデジタル化・ネットワーク化技術の導入と活用によって、第4の産業革命を起こそうというものなのだ。いわゆる工場の「スマート化」である。

このインダストリー4.0の中心概念の一つは、「サイバーフィジカルシステム(Cyber Physical System)」である。これは、センサーとコンピュータのネットワーク化等によって、現実世界(Physical System)と、サイバー世界(Cyber System)が連携し、両者の一体化が進める生産の革命を起こすという。そのIOT(Internet of Things)がその背後にあることは言うまでもない。

(2) 米国GEのインダストリアル・インターネット

他方、米国では、個々の企業が大胆な概念によって、同様の動きを先導している。代表例は、GE(ジェネラル・エレクトリック)が2012年に発表・提唱をしている「インダストリアル・インターネット」やIBMの「スマータープラネット」が著名である。

ここではGEの「インダストリアル・インターネット」を取り上げよう。これは、産業機器とビッグデータによって人々を結びつけるオープンでグローバルなネットワークを指す。この戦略的構想の背後にある歴史観は産業における大変革の波として、第3の波が訪れたとするものである。(先述のインダストリー4.0が第四段階であるとしているのに対して、こちらは第三段階であるという認識である。)

「第1の波」は、18世紀から20世紀までの「産業革命」である。機器と工場から生まれた規模と範囲の経済性を飛躍的に高めた生産革命である。

「第2の波」は、20世紀後半に世界を変革した「インターネット革命」である。コンピューティングパワーと分散機器ネットワークの台頭によって産業の大変革がなされたとする。

そして「第3の波」が、ここで提唱される「インダストリアル・インターネット」の波である。中心概念は、機器ベースの分析:物理ベース、深い専門知識、自動化、予測等であると(図1参照)。

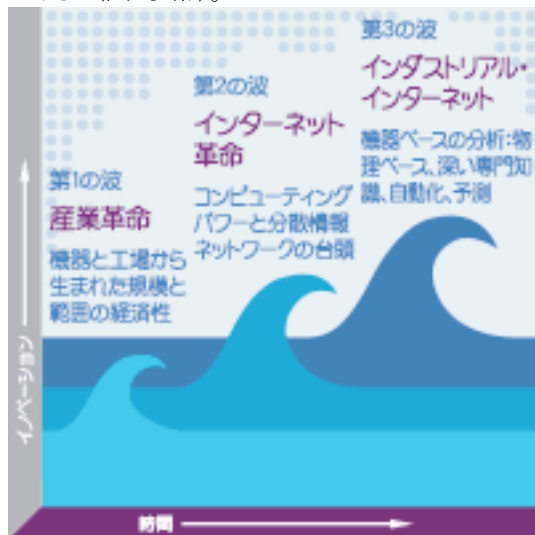


図1: GE の「インダストリアル・インターネット」イメージ

http://www.ge.com/jp/company/industrial_internet/

GE によれば、このインダストリアル・インターネットでは、主要な要素は4点ある、とされる。

①インテリジェント機器:産業機器、施設、車両を高度なセンサ、コントロール、ソフトウェアアプリケーションで接続。

②インダストリアル・インターネット:基本的な情報の流れ:ハードウェアとソフトウェアの融合により、製品やサービス、そしてビジネスモデルが実現。未来を創造しながら、生産性向上とものづくりにおいて、「革命」がおりつつある。

③データと高度な分析:予測アルゴリズムと最先端のソフトウェアを用いて、ビッグデータを可視化。

④人々:よりインテリジェントな機器の設計、操作、保守を可能にし、より高度なサービス品質や安全性を享受。

この「インダストリアル・インターネット」によって、先進的な産業機器、予測分析ソフトウェアと意思決定をする人々が結び付き、その結果、各種の変化が起きるといふ。例えば、医療技術の向上、鉄道や航空機における輸送プロセスの変革、送電における効率的なシステムの登場、等である。

運行中の航空機のエンジンや燃料、操縦システムの状態をインターネットで総合的に把握できれば、空港で停止するなり補修や点検を行うことができ、それは時間や燃料を節約やさらには遅延防止や効率化も進む、

とされる。

このように航空機や電車、ガスタービンなどの産業機器の運行や部品の状態などをインターネットで総合管理する概念を、GE は「インダストリアル・インターネット」と呼ぶのである。(図2)

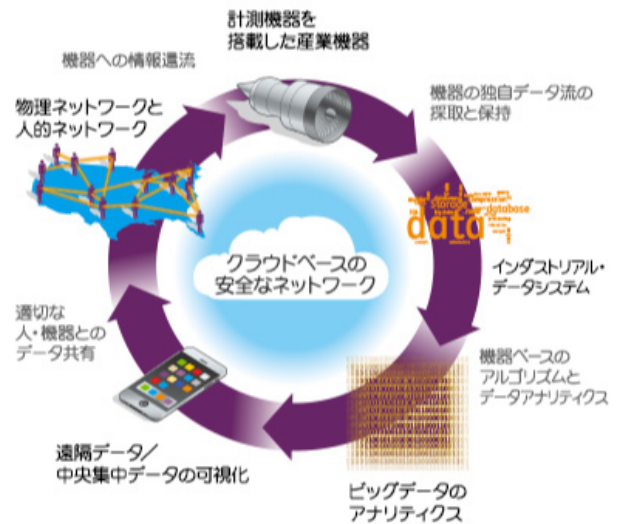


図2: GE の「インダストリアル・インターネット」の活用

http://www.ge.com/jp/company/industrial_internet/

II. 「ロボット化」から「ロボットネットワーク化」へ

さて、これらの動きを別の角度から見ることはできないだろうか。以下は筆者が以前議論したものである。【2】。それを簡単に紹介しよう。(以下、【3】を加筆修正)

すべての機械製品(や設備装置)はロボット化する。機械がロボット化する経緯を「機械世代論」として次のように示すことが可能だ。

人類は、太古の昔から、人の手先で行っていた作業の一部を順次道具や用具に代替していった(=外在化)。この道具や用具を「作業系」と呼ぶ。この時期が前機械世代である。

中世になると、手先や手足全体の働きである作業系を担う部分が、人力あるいは水車や風車といった「動力系」と組み合わせられて「駆動系」になった。つまり、道具や用具の機械化である。それまで手で縫っていた織物は、簡単な織機の出現によってその生産性を向上させた。これが機械の第1世代である。

18世紀に入ると、蒸気機関の発明によって「動力系」の機械化が進展し、軽工業を発達させた。第1次産業革命だ。これが第2世代となる。

さらに19世紀から20世紀にかけて、蒸気機関(動力系)と精密機器(作業系)の発達と組み合わせによって駆動系全体が飛躍的に進歩する。機関車や蒸気船が出現する第2次産業革命である。これが第3世代だ。

20世紀中頃になると、機械の動力源は電気に移り、機械の多くは「電動化」された。同時に、コンピュータの発達によって、人間の計算・記憶系が外在化された。機械の「電脳化」、これが第4世代である。

そして21世紀の現在、センサーによって人間の五

「ロボット化」から「ロボットネットワーク化」へ ～「機械世代論」から見る生産の変遷～ 妹尾(2009)を修正

世代	特徴
前機械世代	作業系(人の手先)の外在化
第1世代	道具から機械へ、駆動系の機械化
第2世代	動力系の機械化(第1次産業革命)
第3世代	動力系×作業系=駆動系の飛躍(第2次産業革命)
第4世代	記憶・計算系の外在化(コンピュータの発達)
第5世代	感覚系の外在化(センサーの発達) →「ロボット化」:駆動系、記憶・計算系、感覚系の統合 ロボット全体の制御系に価値が加速的に移行 (力学的制御から電子的制御へ)
第6世代	神経系の外在化(IOT等の発達:サイバーフィジカルシステム へ:リアルとバーチャルの融合) 「ロボットのネットワーク化」へ(生産のスマート化) (インダストリー4.0、インダストリアル・インターネット等)

表1:ロボット化からロボットネットワーク化へ

感という「感覚系」が外在化され、機械は第5世代に突入したのである。

駆動系(作業系×動力系)、計算・記憶系、感覚系がそろったとき、その機械を「ロボット」と呼ぶ。すなわち「機械はロボット化」していると見ることができるのだ。

そして、この観点に立てば、今や多くの家電製品はロボットであるといえる。「ルンバ」のようなお掃除ロボットだけでなく、白物家電の多くもロボット化が進んでいる。たとえばエアコンはセンサーで室温や湿度だけでなく、人の位置を感知して(感覚系)、その情報に基づきコンピュータは最適な状態を計算(計算・記憶系)、モータや羽根を調節して(駆動系)、最適な環境を整える。もちろん、走行・飛行の大半を自動制御している新幹線や飛行機もロボットであるといえる。

産業競争力に関して言えば、そこで問うべき第一は、ロボット化した機械のどこを押さえれば競争優位に立てるのか、という点である。

制御系=操縦機を押さえるものが勝つことになる。現在の制御系は、物理的にではなく電子的になされている。したがって機械には専用半導体と共に、それに組み込むソフトウェアが極めて重要な役割を担う。機械の代表ともいえる自動車でさえ、既に電子制御が主であり、コストの7割は電子制御品であると言う。また、そのソフトウェアのステップ数は1000万を超え、パソコンのOS(基本ソフト)並みの能力が求められている。

膨大なデータを瞬時に処理するソフトを開発するには多大の能力とコストを必要とする。機械産業に携わる各社が従来の技術力だけで独自に開発を続けることは不可能だ。当然、各社共通のプラットフォームとなる技術の標準化が始まっているのはそのためである。

そのプラットフォームとなるOSあるいはミドルウェア(異なるOSでもアプリソフトを動かせるようにする中間

ソフト)の開発で主導権を握る企業や国が強い競争力を持つことになるだろう。

第二に問うべきは、ロボット化した機械で競争優位に立った後、それを継続・強化するには何が必要か、である。

ロボット化した機械はセンサーとコンピュータを組み込んでいる。だから実際に動くと、どのような状況下でどのように動き、どのような結果になったか、などの情報をリアルタイムで把握できるようになる。そこで、その機械の稼働情報をネットワーク経由で集約したらどうなるか。つまり、機械を情報システムの端末として見なすことになるだろう。

C Ken SENOH 2015

例えば、これまで「単体機器

(スタンドアロン)」であった自動車は、カーナビゲーションによってネットワークとつながり「ネットワーク機器」になる。Hondaは埼玉県で、ネットワークを通じて得たデータを基に多くの車が急ブレーキを踏む場所を特定し、道路の改良を提案するという実証実験を行った。また、自動車のワイパーの作動状況をネットワークで収集できれば、世界中の天気や即時で把握できる、というのは著名なアイデアである。最近では、スマートフォンを活用して自動車をネットワーク化する試みも始まっている。このように社会全体から見れば、自動車は情報システムの端末であるのだ。

自動車に限らず家庭やビルや町中にある機械、たとえば自動販売機などがネットワーク化されれば、電力の最適制御ができたり、多様な情報が収集できたりする。それがスマートハウスやスマートシティと呼ばれるものなのである。

ここで重要なのは全ての機械やあらゆる設備装置がネットワーク機器になりうるということだ。それがIOTの議論を呼んでいるのである。ネットワークの中で機械をどう作動させるかを決める全体の制御系が、他社との差異化を生むからである。

このことは、自動車のような量産品だけではなく、一品生産や少量生産である重工業製品においても同様になる。たとえば、巨大な遠心分離器やタービンなどは、従来は匠の技に裏付けられた性能が大きな価値を持っており、その精密さが日本企業の競争力の源泉だった。だが、新興国の技術力の向上と低価格化により、日本製品の競争力は衰えた。そこで再び差異化する方法の一つとして、機械にセンサーと組み込みソフト内蔵のコンピュータを取り付けてロボット化すると共に、それをネットワークとつなげ、機械全体の最適稼働をさせる上位の制御系を作り上げることが一斉に始まっている。つまり、「作業系」での技術上の競争優位が保てないなら、次は「制御系」という自ら価値形成できる上位

レイヤーに移行することが要諦となるのだ。これは、「ソリューション化(コモディティ化した製品を使いこなす上位レイヤーへの移行)」ともいえるだろう。

さて、機械全体とその各部分の稼働記録を「ログ」と呼ぶ。ログを蓄積・活用すれば、機械の価値はさらに上がる。蓄積されたログを解析すれば、制御系自体のソフトの改善や機械の改良に活用できる。並行して、アプリソフトの開発も進む。その結果、組み込みソフトはより進化した、顧客の囲い込みも可能になるだろう。

また、ログ解析によって機械をどのように使えば顧客の個別具体的な状況に最適な動かし方がわかるようになる。それは機械活用の「レシピ」として意味を持つ。「制御系」が「情報系」と関係を深めると、競争力が強化されるのである。

そして、今後あらゆるログが集積されて超巨大な量になる。それを「ビッグデータ」と呼ばれ、その解析手法が「第4の科学」として注目を集めているのである。なぜなら、ビッグデータ解析を通じてサービスイノベーションが起きるかもしれないからだ。ビッグデータへの対応が情報産業のみならず製造業の競争力を左右することは言うまでもない。さらにAI(人工知能)の本格化が想定されているのである。

このように、IOTは単なる産業の「ロボット化」を超えて、「ロボットのネットワーク化」を進展させる。現実世界の作業系をセンサーとコンピュータで密接に連携させより効果的・効率的に運営し、また、モノづくりでは、設計や開発、生産に関連するあらゆる事象をセンサーでとらえデータ化し、それを蓄積・分析・活用することで、自律的でスマートな生産システムを活かすことになる。

第三に問うべきは、競争優位であり続けるためには、どのような産業生態系をイメージすればよいか、そのとき、特に企業は何をなせば良いか、ということとなる。

機械においては、力学を基盤においた作業系(機械そのもの)が大切であることは疑いないとはいえ、センサーやコンピュータが融合したロボット化が進むと制御系が相対的な価値を増す。そこでは組み込みソフトなどが競争力を左右する(ハードウェアリッチからソフトウェアリッチへ)。さらにネットワークを通じて情報系との関係が深まると共に、ログの蓄積・解析等の活用を通じてサービス系との価値共創が進むのである(データリッチ、アナリスリッチ、サービスリッチへ)。機械をこうした文脈でとらえることが次世代競争力を導くのである。

とすれば、機械産業の中で、誰が制御系や情報系を担い・押さえるか。その勝者が強い競争力を持つことになる。この点を戦略的構想として提案したのが、前述の「インダストリー4.0」であり、「インダストリアル・インターネット」なのである。

Ⅲ. コンピュータ利用教育への示唆

製造業のネットワーク化、仮想化、サービス化、あるいはサイバーフィジカルシステム等の基盤になるのは、コンピュータネットワークである。これらを踏まえると、当然のことながら、「コンピュータ利用教育」そのものへ

も多大な影響があるに違いない。

例えば、その動向は、筆者が企画・モデレータを担当した「2014PCCONFERENCEシンポジウム2:新しい研究・産業領域におけるコンピュータ利用とその教育」でも論じられた。【注1】

人財的には、大きく3点あると考えられる。第一は、「ソフトウェアリッチ」の状況は、制御系が極めて重要になり、ソフトウェア開発人財がその鍵を握ることになる。しかし、日本のソフトウェア技術者の教育や育成では欧米やイスラエル等に水をあけられている。プログラマーの数についてもインドや中国等に負けるという。

第二に、「データリッチ/アナリスリッチ」においては、ビッグデータ等の解析を行える人財が鍵を握る。統計実務の専門家は日本において枯渇しており、また、米国大学では40もの統計学部があるのに対して日本では一つも統計学部がない。数学系の人財の転用で賄うだけですむ段階ではないのか。

第三に、当然のことながら、このような産業動向が進展すれば、コンピュータ利用の高度化的変容と多様化に対応できる人財の育成は欠かせない。どう産業にコンピュータを利用するのか、それは専門的人財によるものだけではない。理系・文系、技術系・事務系の枠を超えて広く産業全体の人財がコンピュータ利用の先行きを理解し、活用を構想できなければならない。そして、その構想を具体化・実践できる人財が多数いなければならない。世界の優秀な人財を登用することと、それらの人財を活用できること、これらの教育・育成がさらに求められることになるだろう。

これらを踏まえれば、コンピュータを利用した教育は、コンピュータを利用することを学び・考える教育にさらに進化する事が求められる、ということの意味するのである。

【注1】「2014PCCONFERENCEシンポジウム2:新しい研究・産業領域におけるコンピュータ利用とその教育」:パネリスト:池田靖史(慶應義塾大学環境情報学部教授、建築家)、久野良木健(サイバーアイ・エンタテインメント株式会社代表取締役社長 CEO、元ソニー(株)副社長、プレイステーション開発者)、齊藤秀(株式会社オプト最高解析責任者 CAO(Chief Analytics Officer))、三上浩司(東京工科大学大学院メディアサイエンス専攻准教授)。モデレータ:妹尾堅一郎(産学連携推進機構理事長)

【参考文献】

【1】GE サイト「インダストリアル・インターネット」
http://www.ge.com/jp/company/industrial_internet/

【2】妹尾堅一郎「ロボット機械としての電気自動車～機械世代論から見た次世代自動車の価値形成」in 渡部俊也編『東京大学知的資産経営総括寄附講座シリーズ』第1巻、白桃書房、2011年。

【3】妹尾堅一郎「機械はロボット化する:制御系を握る者が勝つ」「機械の価値は情報系との関係がカギに」機械部品企業が主導権を握る可能性、新ビジネス発想塾、『週刊東洋経済』、2012.7.7号、7.14号、7.21号、東洋経済新報社、2012年。