

サイバーフィジカルシステムを前提にした 創造性教育の必要性

妹尾 堅一郎*

Email: senoh@miinet.or.jp

* 産学連携推進機構、一橋大学

◎Key Words サイバーフィジカルシステム／クラウドとエッジ／創造性教育／イノベーション／情報社会のリスク

従来「コンピュータ利用教育」とは、コンピュータを活用してヒトの教育を行う観点、あるいはコンピュータ自体を活用するヒトのオペレーショナリティとリテラシー修得という観点から用いられてきた。だが昨年度に報告したように、データを栄養として機械学習を進めるAIになると、コンピュータ自体を教育する観点が必要になってきた。他方、サイバー（ICT サービス）とフィジカル（モノ）の組み合わせによる新価値創造が産業界を軸に進展しつつある。これは、「サイバーフィジカルシステム（CPS）」を前提にしたイノベーション発想が求められていることを意味する。だが現在の創造性教育は、ともすればフィジカル側とサイバー側に分離している。そこで、この分離を超えたサイバーとフィジカルの融合型創造教育もこれまた必要になってきているのではないか。本発表では、この観点からコンピュータ利用教育の変容と多様化を整理、本学会の使命の拡張を提案する。

I. サイバーフィジカルシステムを強調する産業世界観・産業歴史観

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。その中で、最も重要な革命的变化は、サイバー側の革新的変化ではなく（それは既に起こってしまった）、サイバー側とフィジカル側の融合が行われつつあるということだ。ここで、一昨年と昨年に報告した議論を再度簡単に見ていくことにしよう。（【1】【2】の一部を加筆修正）

①ドイツのインダストリー4.0 戦略

国家によるイノベーション政策の代表例は、2011年に発表されたドイツ連邦政府による「Indutrie4.0（インダストリー4.0：第4次産業革命）」である。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」等である。

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。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

GEの「インダストリアル・インターネット」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。

「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。

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える。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、発電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

状況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。

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)

すなわち、これもフィジカルな重工業の世界とサイバーなインターネットの世界が一体化して進展するというものだ。すなわちここでも、サイバーフィジカルなシステムが展開されつつあるのだ。

③米国 IBM の「コグニティブ」

IBM は 2016 年に、従来の「Smarter planet」に変わる産業世界観・産業歴史観として「コグニティブ Cognitive」を標榜し、そのサービスである「Watson」を大々的に展開し始めた。その産業世界観・産業歴史観は、次のようにコンピューティングの概念が第三期として、「コグニティブ認知」に移行していると言う。(ただし、IBM は AI という言葉をあえて使わず、Cognitive computing と呼んでいる)。

第一世代 Tabulating system/computing の時代

第二世代 Programmable system/computing の時代

第三世代 Cognitive system/computing の時代

同社は Cognitive computing によって人類の歴史も一段階前進させようと言う。人間は(機械等による)肉体的限界の克服、(通信手段による)情動的伝達の限界の克服、(従来のコンピュータ等による)生産性の限界の克服を経て、今回のコグニティブによって複雑性の限界の克服を始めたというわけである。そしてそれは、医療等の現実のフィジカルな世界に影響を及ぼすものである。

既に病院の癌診断支援や保険金支払い審査業務等で Watson の実装が始まっている。なかでも一般的に注目を集めたのは「Watson Chef」によるレシピ創造である。従来のレシピを大量に読みこさせることを通じて学習を進展させ、それを基にして新しい(従来の人間の発想になかったような)レシピを開発・提案するというものである。すなわちサイバー側の進展により、現実のフィジカルに価値をもたらすというものである。

④妹尾の「ロボット論(機械進化論)」

筆者は、「すべての機器とあらゆる装置設備がロボット化する」こと、またそこにおいては「ハードウェアからソフトウェア、データ、アナリティクスを経てサービスへと価値形成の重点が移行していく」ことを指摘していた【3】【4】。そしてAIがそのロボットを左右することについても、関係有識者と共に「震が関宣言」を出して、問題提起を行ってきていた【5】。あるいは、それ以前から本学会でもご紹介してきた【6】。

これらの問題提起の背後にある問題意識の一つは、コンピュータとヒトとの関係をどのようにとらえる

べきか、というものである。

そして、本学会においても度々「or の関係から and の関係へ」(例えば「Analog & Digital」「Real & Virtual」「Vender & User」「モノとサービス」)時代が移行していることを指摘した【6】【7】【8】【9】。

II. サイバーフィジカルシステム(CPS)の功罪

① CPS による現実世界への価値創出

前項のように、フィジカル(モノの世界)とサイバー(インターネット等のデジタルな世界)の関係性が深まっていく。これは別の言い方でいえば、クラウド側(サイバーな仮想空間)とエッジ側(フィジカルな現実空間)の相互関連化、すなわちシステム化である。従って、そこに価値やリスクが創発されるだろう。そして、何より重要なことは、これが単なる産業世界観・産業歴史観としての机上の議論ではなく、まさに現実に産業を動かしつつあるということだ。

例えば、自動車の自動走行については既にレベル1~2への移行が行われている。また、GE やジェームス(独)では「デジタル・ツイン」の概念の下、例えば重工業製品(タービンやジェットエンジン)の大胆なシミュレーションを行ったモノづくりが進んでいる。このサイバー側のデザインによって、フィジカル側を制作することは3D プリンターの進展によって容易になりつつある。現実に旅客機のジェットエンジンの取替部品は、現在、主要空港内の整備工場で作製されよう準備されているという。

あるいは、近年のネットワークの専用線の話が象徴的だ。かつて専用線と言えば、フィジカルに専用の線を敷設した。現在は、「ソフトウェア・デファインド」、すなわちソフトウェアによって「専用」領域を自由に設定できるように変えることができるようになった。すなわち、ヴァーチャルに「専用化」する話なのだ。ここでもサイバーとフィジカルがシステム化されているのである。

他方、現実世界のサービスがデジタル化されるといふサイバーフィジカルシステムというものも大いに進展している。

Uber や Airbnb のサービスがその代表だろう。ソフトウェアを介して、リアルな世界のシェアリングを可能とする、サイバーとフィジカルによるマッチングビジネスが世界で動き始めている。あるいは、パーク24の「Times 駐車場事業」も、同様である。これらを筆者は一種の「分散する未利用資源のビジネス価値化」と呼んでいるが【10】、これらが可能になるのはまさにサイバーフィジカルシステムが動きだしているのとらえられるだろう。

また、国内小売市場が2年連続で縮小するなか、ネット通販の代表であるアマゾンの売上が日本国内で1兆円を超えたという。これもまたリアルとフィジカルな世界を結んだシステムを構築した結果であるこ

とに他ならない。

あるいは、もっと身近なベンチャーも動いている。ギフト社はメールで安価な「ちょっとした返礼」をするサービスを展開している。スマホで送付されたギフト券(例えばスターバックスのコーヒー券)を店頭で表示すれば、そこで現実のコーヒーを受け取ることができる。すなわち、これまたサイバーとフィジカルをつなぐシステムを構築したと言えるだろう。

このように、現実世界は、サイバー側だけの話ではなく、フィジカル側と相互に関連しながら、現実世界に価値をもたらすように動き始めたと言えるだろう。

② CPSによる現実世界のリスク増大

しかしながら逆もある。サイバーとフィジカルとがシステム化することによってリスクの増大自体が高まっている。例えば、2017年5月に起きた、身代金要求型ウイルス(ランサムウエイ)による世界的なサイバー攻撃により、多くのネットワークやサーバーがダウンさせられただけでなく、病院手術や工場の操業等に多大な被害をもたらした。現在は、交通機関や電力網といったモノやエネルギーの運搬が狙われているという。

また、反対に、自然現象が情報社会を脅かすという、フィジカル側からサイバー側がリスクにさらされるケースもある【12】。

情報社会のリスクは、「一般的とIT特有」「人為現象と自然現象」という二つの軸によって四つに分類できる。ITに限らず「一般的・自然現象」である災害リスク(地震・火事・台風と直撃雷)への対策はもちろん必須だ。IT関連としては近年、「一般的・人為現象」である運営リスク(情報漏洩やプライバシー問題、ハッカーなどのセキュリティ対策)や「IT特有・人為現象」であるシステムリスク(ウイルスやハッカー)が注目されるが、「IT特有・自然現象」である基盤リスク(誘導雷)にも注意を向けなければならない。マイコンチップやセンサーが大量に組み込まれた製品が普及しネットワークでつながる社会では、それらのフィジカルなネットワークを雷サージが走ることによって、リスク対策用のセンサー機器やコンピュータシステム等が被害を受けるというものだ。つまり、リスク対策自体がメタレベルで脅威にさらされるのである。

少し余談を許してもらえれば、次のような分野を例示させていただくことができるだろう。

次世代産業は情報ネットワークを基盤とする。それが進展すればするほど雷害が増え、社会全体のリスクが高まる。いわば「誘雷社会」の到来だ。そこで、誘導雷を想定したリスクマネジメントが求められるのだが、こうしたリスクの認知は不十分で、その対策はまだ緒についたばかりである。

昨年、筆者は、NHK「クローズアップ現代プラス」で、このことを警告させていただいた(「稲妻が超高

層ビルを襲う～明らかになる“雷クライシス”～、2016年12月5日)

何より怖いのは、リスク対策機器自体がリスクにさらされることだ。例えば、地震用の警報装置自体が、実は瞬低によって誤作動を起こしてしまい、いざという時使えないことがある。番組では、ある市役所がそれに気づいた例が紹介されたが、それは冰山の一角に過ぎない。公的な警報装置自体がリスクを内在的にもっていることであり、その対策が急がれる。落雷後に必ず防災機器を検査することが必要だ。もちろん、機器自体にセンサーをつけて、メタレベルで対策することもありえるだろう。

番組では、落雷の誘導雷で病院の透析機器が一斉に止まってしまった事例も紹介された。最近の病院は通常、停電するとバックアップ用の電源を確保しているが、いったん誤動作した機器をリブート(再立ち上げ)するための対策がなされているところは稀だ。生命に関する機器の対策こそ、まず最優先されるべきだろう。

このように、雷は「サイレントキラー」であり「IT社会へのテロリスト」である。「誘雷社会」によって雷様に情報社会の「へそ」を取られることになってしまわないように、落雷→誘導雷(雷サージの侵入)→瞬停・瞬低→誤作動やデータ喪失等、リスクの構図をしっかり把握し、それに対して対策を打つべきなのだ。

Ⅲ. サイバーフィジカルシステム(CPS)の創造性

さて、このように、サイバーフィジカルシステムが実際に価値を創出したり、リスクを増大させたりする世の中になってきた。そこでは新しい価値創出(イノベーション)を仕掛けたり、リスクへ予防保全や的確な即時的対処を行えることが求められる。早急に、関連する人財の育成を行わなければならない。そして、それらには創造性の教育が必須である。

しかしながら、現在の創造性教育は、とすればフィジカル側とサイバー側に分離している。多くの発明教育は、フィジカルなモノに関する創意工夫を主として狙っている。あるいは、創造性というと、音楽や絵画等の芸術系の教育である。

コンピュータ側での創造性教育に関しては「デジタルメディア」と称した、デジタル化したアニメやコミックやゲーム等のデザインにおける創造性が主となりがちだ。いわば「クールジャパン」のコンテンツ系の話である。

もちろん、どちらも重要である。だが、この分離を超えたサイバーとフィジカルの融合型創造教育もこれまた必要になってきているのではないかと。

従来、コンピュータによる創造性教育というのは、主としてスクリーンの中の話、すなわちヴィジブル(視覚的)ではあるがタンジブル(触れる)なものではなかった。この両者を結びつける試みとしては VR

(ヴァーチャルリアリティ)の世界があるが、それはフィジカルな世界を仮想体験する話であって、サイバー側からフィジカルをどうする、という話ではない。

一つの糸口は3Dプリンターがサイバーフィジカルシステムを体現していることだ。だが、前述した「デジタル・ツイン」の概念で一気にモノづくりの世界が変わりつつある時に、日本の遅れは著しいと言われている。ただし、これもモノの創作という領域に留まる。もっと広く、フィジカルの世界をサイバー側から価値を創出させる話、あるいはそのリスクに対応させる話がありえるのではなかろうか。特に、サービスイノベーションに関しては、サイバー側の工夫等は必須であり、それが現実に多くの価値創出をもたらすからである。

これらを鑑みると、従来の創造性教育の範囲を拡張(もちろん、従来の創造性教育を否定しているわけではない)、サイバーフィジカルシステムを前提にした、新しい創造性教育を試みる必要があるのではなかろうか。要するに、「コンピュータ利用教育」をもっと拡充する必要があるのではないか。

その具体的な教育手法等についてはまだまだ未開拓ではあるが、ここで、その必要性についての問題意識は、是非共有したいと考えるものである。

IV. むすび: ヒトの教育、AIの教育

今までの議論は、「コンピュータ利用教育」がさらに進展すべきことの提案を導く。

第一段階として、コンピュータを利用して従来の知識体系をより効果的・効率的に伝授するというところを行ってきた。(教える・教わる:知識伝授)

第二段階は、「コンピュータ」を利用して、学ぶ者の支援が問われた。(学ぶ・援ける:学習支援)。

第三段階は、「コンピュータネットワーク」を利用して、気づき・学び・考える仲間づくりを行うことが目指された。(学び合い・教え合う:互学互習)

そして、次に二つの流れができつつある。

一つは、AIの本格的進展により、「コンピュータ自体の教育」という課題の出現である。一般には、AIと人間の関係が、代替・競合関係、補完・補足・支援関係、そして相乗/相殺関係のいずれであるか、という議論が少なくない。しかしながら、我々は企業や大学が人材育成を検討するのみならず、その伴走・併走・随行をしていくコンピュータ自体の教育にも注力することが必要になってきたと捉えるべきである。またそれにより、AIが人間自体の学習を進展させ、ヒトの可能性を拡張することに寄与しうるのだ(人間の棋士は、コンピュータ将棋によって、さらに高度になっていく)。

もう一つは、今回述べたようなサイバーフィジカルシステム(CPS)の時代の到来と共に、単なる知の世界(インヴィジブル)を進展させるためのコンピュータ

教育(スクリーン上のヴィジブルな活用)だけではなく、フィジカルでタンジブルな世界における価値の創出やリスク削減につながるコンピュータ(サイバー)の活用を創造的に行うことである。(新価値の創出=イノベーションと、創造的問題解決)

これらを踏まえると、CIECもコンピュータ利用教育学会として、そのコンセプト自体も時代と共に進展させていくべきではなかろうか。本学会の使命も、こういった点を視野に入れるべく拡張されなければならないのではないか。この点を強調して、本論による問題提起としたい。

【参考文献】

【1】妹尾堅一郎「イノベーションはコンピュータ利用教育に何をもちたすか～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～」、2015 PC Conference 論文集、CIEC 学会、2015年。

【2】妹尾堅一郎「コンピュータ自体を教育する」時代の到来～教育とコンピュータの関係に関する一考察～」、2016 PC Conference 論文集、CIEC 学会、2016年。

【3】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。

【4】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」機械で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。

【5】「ロボット政策に関する霞が関提言」、「すべての機器とあらゆる装置はロボット化する」有識者委員会、EY アドバイザリー、2015年03月13日@霞が関。

【6】妹尾堅一郎「教育イノベーション第3期に向けて～図ディア環境の変容と多様化の中に学びに関するイシューを整理する」、PCC 基調講演、2011.08.06@熊本大学、2011年。

【7】妹尾堅一郎「Atom, Bit, and Contents～電子書籍と電子教材の俯瞰的 ABCs」、PCC 2013 シンポジウム「電子書籍の未来構図を語る」、2013.08.03@東京大学、2013年。

【8】妹尾堅一郎「“コンピュータ利用教育”を再考する～イノベーション社会における知の変容と多様化」、PCC2014基調講演(1)、2014.08.08@札幌学院大学、2014年。

【9】妹尾堅一郎「イノベーションはコンピュータ利用教育に何をもちたすか～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」PCC2015@富山大学分科会(21-E-12)、PCC、2015年。

【10】妹尾堅一郎、「シェアで価値をつくる～未利用資源をつなぐ発想を～」、卓見異見、日刊工業新聞、2017.2.27。

【11】妹尾堅一郎「情報社会=誘雷社会」の到来～リスク社会のサイレントキラーへの備えを怠るな～、「妹尾教授のビジネス探訪～新潮流のビジネス航海術～第5回」、月刊『時局』2017-5、2017年。