

IoT時代のビジネスイノベーション ～ものづくりのビジネスモデル再構築に向けて～

Business Innovation of IoT Era: Rebuilding Business Model
for MONOZUKURI



東京大学 政策ビジョン研究センター
シニア・リサーチャー

小川 紘一 Koichi Ogawa

グローバル市場の産業構造が変わった

世界の産業界は100年に一度とも言うべき歴史的な転換期に立っている。当初、これはデジタル型・ソフトウェアリッチ型のエレクトロニクス産業で起きていたに過ぎなかったが、2000年代から太陽電池やリチウムイオン電池、LED照明などの非デジタル型産業にも現れ、グローバル市場の産業構造を一変させてしまった。近年では、自動車産業にすらその兆候が見え隠れし、この延長にIoT時代が到来する。

デジタル技術とソフトウェアが産業構造を変える第一の理由は、製品アーキテクチャーが技術モジュールの組み合わせ型になってしまうからである。第二に、モジュールをつなぐインターフェースやプロトコルがオープン標準化され、モノの内部技術を知らなくても（基礎研究による技術蓄積がなくても）、調達するモジュールを組み合わせるだけで市場参入できるからである。更に、技術が瞬時に国境を越えて結合するスピードが加速することが第三の理由である。

この意味で、パソコンやスマートフォン、液晶テレビで起きた産業構造転換とは、巨大なサプライチェーンがグローバル市場で瞬時に出現することであり、それぞれの企業が得意領域を持ち寄り、国境を越えてつながり合う（協業する）オープンなビジネスエコシステムが出現することであった。

ここから、非常に安定していたはずのフルセット垂直統合モデルが経済合理性を失い、付加価値を全て内部に取り込む伝統的なビジネス思想が機能しなくなった。2000年代になって日本のエレクトロニクス産業が塗炭の苦しみを強いられたが、

その背景もここにあったのである。富士通も例外ではなかったのではないか。

大規模な産業構造転換、およびこれがもたらす競争ルールの変化に適応できなかったのは、日本企業だけではなかった。伝統的なビジネス思想を持ち続けた1980年代後半のIBMはもとより、1990年代中期のシーメンスやフィリップスも同様であった。断トツのブランド力、技術力、人材、販売力を持って無敵だったIBMでさえ、1990年頃に15万人ものレイオフに追い込まれた。

<IoT時代になると>

IoT (Internet of Things) が大規模に広がる2020年代には、産業構造の転換がほかの多くの産業でも起きる。初期のIoTは、単にデジタル型のモノがネットワークでつながることを前提に語られていた。しかし、LSIチップとセンサーの技術革新が進む2020年代には、例えばスポーツ用品はもとより衣類や飲料品・食品、サービスやヒトでさえも、LSIチップとセンサーを付ければ簡単にネットワークでつながる。このようにモノだけでなくサービスやヒトもつながる、いわゆるIoTの時代が目の前に来ているのである。1990年代のエレクトロニクス産業で起きた産業構造の転換が、IoT時代の2020年代にはグローバル市場の隅々で起きるであろう。

産業構造の転換は競争のあり方を一変させる。多くの産業領域で従来型の勝ちパターンが機能しなくなるのである。我々は、エレクトロニクス産業で経験した悲しい出来事を繰り返してはならない。多くの日本企業が経験した塗炭の苦しみに心を寄せ、教訓を学び、IoT時代に活かさなければならぬ。

この方策を論じる前に、現在の我々が置かれて

いる経済環境の位置取りを18世紀に戻って考えてみたい。

富士通のものづくりは第三次経済革命の中にある

経済史の研究成果によれば、人類が食の安定を求めて定住する約1万年前からごく最近の18世紀まで、成長と言われるほどの経済成長はなかったという。人口も僅かずつしか増えなかった。しかし、18世紀後半から突然、指数関数的な経済成長が始まり人口も急増する。これが、18世紀末のイギリスで起きた経済革命である。多くの人々がこれを産業革命と呼んでいるが、工場の生産性を向上させただけでなく、資本主義を生み出し、世界の経済システムを変え、多くの人々の生活を一変させたという意味で、本稿ではこれを経済革命と呼びたい。

約200年前にイギリスで起きたこの第一次経済革命は、人類が数千年にわたって蓄積した「経験則の産業化」であった。その代表的な事例が、技術モジュールとしての蒸気機関や機械式の織り機工場である。14世紀から18世紀までは、生産性が100年でせいぜい数十%向上したに過ぎないが、第一次経済革命によって人々の暮らしが一気に20倍も豊かになった。

その100年後の1870年頃から、ドイツ（プロイセン）とアメリカで第二次経済革命が起きた。その最大の特徴は、科学者が発見した自然法則の組み合わせが技術イノベーションを加速させ、技術イノベーションの組み合わせが次々に新しい産業を生み出した点にある。

例えば、科学的な知見に支えられた基盤技術が蒸気機関の機能と性能を飛躍的に高め、輸送コストを劇的に低下させて産業構造を一変させた。発電・送電技術や電動モーター、および内燃機関の発明は、それまで人類社会が持ち得なかった電機産業と自動車産業を生み出した。これが生産性を高め、雇用と経済成長に貢献したのは言うまでもない。

また、化学者によって導かれた化学反応速度論やベンゼン環構造の発見によって化学合成の基盤技術が蓄積され、アスピリンなどの医薬品や多様な有機化合物を人工的に作り出せるようになった。現在の我々の豊かな生活を支える化学産業が、この

時期から大規模に発展したのである。この意味で、第二次経済革命は「自然法則の産業化」であった。

<第三次経済革命とは>

本稿で取り上げる第三次経済革命と第一次、第二次経済革命との違いは、製品やシステムの設計にソフトウェアが介在するデジタル型か否かという点である。ソフトウェアはプログラミング言語、つまり人間が作り出した人工的な論理体系によって開発される。我々は神が作った自然法則を変えることはできないが、論理体系なら自由自在に変えることができる。

自然法則の組み合わせによる新結合（技術開発）には多くの時間と資金を必要とするが、ソフトウェアならプログラミングを工夫するだけで、アイデアや期待を製品機能やシステム機能として自由自在に具体化できる。この意味で現在の第三次産業革命を、本稿では「論理体系の産業化」と定義する。

ソフトウェアを動かすマイクロプロセッサの性能は、1970年代にはせいぜい10倍しか進化しなかったが、1980年代の30倍を経て、1990年代以降は10年で100倍も性能が向上した。この驚異的な技術革新が、ソフトウェア主導の第三次経済革命をもたらしたのである。同じトレンドが、少なくとも今後10年は続くという。

シュンペーターは、イノベーションを経済活動の中で生産手段や資源などが従来とは異なる形で新結合し、新たな価値を生み出すことと定義した⁽¹⁾。しかし、全てのモノやサービス、そしてヒトさえもネットワークでつながる2020年代には、100年前のシュンペーターが見た世界よりはるかに容易に、そして新しい組み合わせを無限に作ることができる。またソフトウェアなら、互いにつながり合うためのルール（インターフェース）をオープン標準化するによって人為的に決めることができる。このため、結合スピードは自然法則の結合よりも格段に速く、大規模に起きる。ここから、これまで存在し得なかった価値が、ソフトウェア先導による新結合によって次々に生み出される。

2000年代から大規模に進展するクラウドエコノミーがこの潮流を更に拡大させ、全く異なる巨大産業が瞬時につながって新たな価値を作り出す。また、この延長線上に位置する2020年代のIoTの経済環境では、グローバル市場が必然的に巨大な

ビジネスエコシステム型になり、競争ルールが全く変わってしまうのである。つまり、多くの産業領域でこれまでの経営手法が機能しにくくなると言い換えてもよい。したがって、我々は競争ルールの変化を予測し、変わってしまう前に先手を打たなければならない。ビジネスイノベーションに取り組まなければならない背景がここにあった。

ものづくりのビジネスイノベーションに向けて

日本や欧米諸国は、長期にわたるデフレ経済に悩まされている。実は、類似のデフレ経済が16世紀から17世紀に金融国家として栄えたジェノバやベネチアでも起きており、18世紀のイギリスでも同様であった。この長期停滞に終止符を打ち、経済成長の時代へ踏み出す原動力になったのが、技術や製品のイノベーション連鎖が生み出す産業革命であり経済革命である。金融経済は、16世紀の大航海時代から大規模に起きていたが、金融経済が生産性向上を先導した事実は見当たらない。先導したのは、いつも技術や製品のイノベーションであり、金融はその市場化を背後から支える役目であった。

ピケティは、資本収益率が経済成長率より常に高く、これが格差を生み出したと言うが、⁽²⁾多くのイノベーションはデフレの時代、すなわち資本収益率が非常に低い時代に起きていた。技術や製品のイノベーションが分厚い中間層を生んで所得格差を縮小させ、資本主義を安定化させて民主主



図-1 ビジネスエコシステム型の産業構造

義を根底で支えてきたのである。

2010年代になって、日本や欧米諸国は不安定な経済を金融政策で何とか支えようとしているが、金融政策は一時的なカンフル剤でしかない。経済をデフレから脱出させて成長軌道に乗せるには、実体経済を根底から支える技術や製品のイノベーションが必要なのである。イノベーションによって付加価値生産性を高め、これによって日本経済を持続的な成長軌道に乗せなければならない。

<CPS思想によるビジネスイノベーションが必要となった>

しかし、IoT経済の中に住む我々が取り組むべきなのは、第二次経済革命の時代から進化発展してきたハードウェア技術に頼る付加価値創出ではない。21世紀に我々が取り組まなければならないのは、フィジカル（ハードウェア中心）とサイバー（ソフトウェア中心）を連動させたCPS（Cyber-Physical System）の考え方による付加価値の創出である。ソフトウェアのレバレッジを効かせ、ここからモノの付加価値を2倍にも3倍にも高めるメカニズムの構築が必須になった、と言い換えてもよい。その上で、更にこの付加価値をグローバルなビジネスエコシステムの中で維持拡大するメカニズムも同時に構築しなければならない。⁽³⁾

図-1はIoT時代のビジネスエコシステム構造を模式的に示したものである。また、図-2はCPSの全

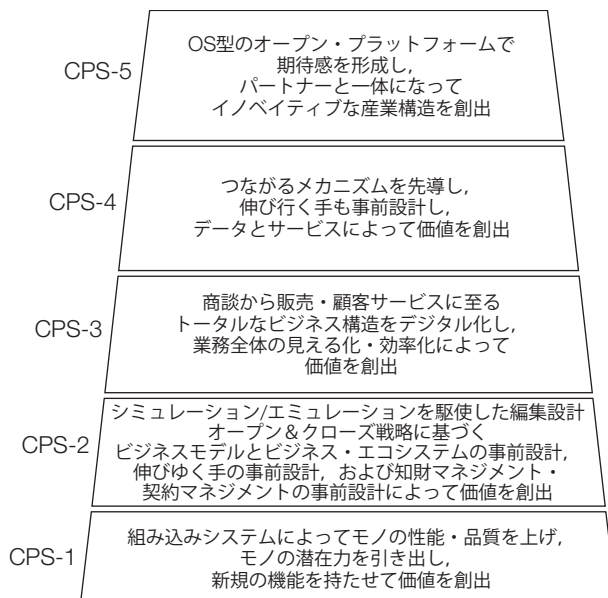


図-2 CPSの全体構造

体構造を示したものである。世界中の企業が互いに国境を越えてつながる2020年代は、それぞれの企業が図-1の全ての領域を1社でカバーできない。必ずどこかの領域(BP:ビジネスプラットフォーム)に特化するビジネスエコシステム型となる。したがって、必然的にオープン&クローズの戦略思想が必要となる。フルセット垂直統合型から、CPSの戦略思想を中核に据えたエコシステム型垂直統合モデルへ転換させなければならないのである。

付加価値創出のためのビジネスモデルは、図-1のそれぞれのプラットフォームで異なる。図-2に示すCPSのいずれかを選んで、付加価値を最大化しなければならない。この一連の仕組み作りがIoT時代の日本企業に必要なビジネスイノベーションであり、本稿がこれを中心テーマに据えた背景がここにある。

例えば、図-1のエコシステムを最下層で支えるBP-1では、図-2のCPS-1によるビジネスモデル設計が必要となる。ここには、地磁気センサーや電極の状態をセンサーで監視できる機能を持った二次電池など、日本企業が完成させた付加価値創出モデルが沢山ある。

BP-1では、日本企業が断トツの力を持っているのである。BP-2やBP-3では、ハードウェア部品と組み込みシステムを連動させて部品の付加価値を飛躍的に高める仕組みが必要である。ここで付加価値を最大化する方向へCPS-1の設計思想を進化させたのが1990年代の欧米企業であった。最近では、BP-2やBP-3の勝ちパターン設計にシミュレーションやエミュレーションを駆使するCPS-2の設計思想もここに導入されるようになった。こうして、サイバー空間でオープン&クローズ戦略や知財マネジメント、契約マネジメントをも事前設計できるまで、価値形成の手法が進化している。

BP-4に示す完成品やシステムの勝ちパターン設計でも、CPS-2の考え方が非常に有効である。例えば、ボーイングの旅客機設計やフォルクスワーゲンの自動車設計(MQB:Modulare Quer Baukasten, 英訳:Modular Transverse Matrix)、トヨタのTNGA(Toyota New Global Architecture)、日産のCMF(Common Module Family)、東芝の火力発電プラント、そして富士通のモノを作らないものづくり、アップルのiPhoneなどにCPS-2の考え

方が随所に取り込まれている。

いずれも、これらの全てに共通するのがオープン&クローズの戦略思想である。自社のコア領域(クローズ)からエコシステム(オープン)に向かう市場コントロールの「伸びゆく手」の形成であり、フルセット自前主義からエコシステム統合型の垂直統合モデルへの転換である。

BP-5を象徴するのが、ロールスロイス(航空機エンジン)やミシュランとブリヂストン(タイヤ)などのビジネスを支えるサービスプラットフォームである。コムトラックシステムを活用したコマツのサービスモデルも、BP-5を象徴する代表的な事例と位置付けられる。この随所にCPS-3とCPS-4を連動させた顧客価値創出の思想が刷り込まれているのは言うまでもない。

2010年代になると、少なからぬ企業が大規模な統合型のプラットフォームをグローバル市場で展開し始めた。その代表的な事例が、ゼネラルエレクトリック(GE)のPredixプラットフォームであり、シーメンスのDigital Enterpriseプラットフォームである。自動車産業のメガサプライヤーであるボッシュのConnected Industryプラットフォームもここに加えていだろう。これらのいずれも、図-2の最上位に示すCPS-5の設計思想を背後に持ち、多種多様なモノやサービスをつなぐノードとしてのプラットフォームへ進化発展させようとしている。

WindowsやAndroid OS、アップルのiOSが結合ノードとなったパソコンやスマートフォンは、特定製品の中のエコシステムに過ぎなかった。一方、BP-5の統合型サービスプラットフォームは、多種多様な産業をつなぐ大規模な結合ノード(IoT環境のOS)となって、グローバル市場の隅々に巨大なビジネスエコシステムを作り出す。

IoTの時代に日本および日本企業が輝くために

本章では、日本のものづくりが直面する課題を整理し、IoT時代に輝くための方向性を提案したい。**<Society 5.0を市場の前線へどう移植するか>**

今年から始まる第五期科学技術・イノベーション政策で、背後にCPSの基本思想を持つ超スマートな社会、Society 5.0が今後の日本が向かうべき方向として定義された。同時に、これを支える共

通基盤技術として、サイバー空間とフィジカル空間を連動させて価値を創出するIoTサービスプラットフォームが定義された。日本のイノベーション政策として画期的な出来事ではないか。

ただし、これはまだ高度10万メートルで語るような抽象的な概念にとどまっている。政策マンや企業人がこれを付加価値生産性や雇用・成長に結びつけるには、高度100メートル、10メートル、そして1.5メートル（製品設計者の目線）へ下げた視点で翻訳しなければならない。この翻訳に、図-1と図-2の考え方が有効なのは言うまでもないが、これを市場の前線へ導入するアーキテクト型のソフトウェア人材が非常に少ない。

<アーキテクト型のソフトウェア人材をどう育成するか>

日本には組み込みソフトウェアの人材が多い。その特徴は、人材育成が追いつかない1990年代に、優秀な機械工学や電子工学の技術者が投入されて中核を担ったからであり、現在の日本企業が図-2のCPS-1で競争力を持つ背景がここにあった。しかし、CPS-2や3, 4, そしてCPS-5に必要な人材、およびSociety 5.0を市場の前線で具体化させる人材は、いわゆる最先端のコンピュータサイエンスを身に付けたアーキテクト型の人材であり、これが日本で決定的に不足している。

まずは、コンピュータサイエンスの先進国アメリカに学ぶ以外には手はないが、並行して小中学生の時点から、読み書きソロバン（算数）にコンピューティング（コンピュータサイエンスに基礎付けられた広い意味でのソフトウェア）を加えるべきである。コンピューティングを身に付けない人は、IoT時代が次々に作り出す産業で付加価値の高い仕事に就くことができない。世界経済フォーラムの報告書『職の未来』⁽⁴⁾によれば、人工知能やロボット、Industrie 4.0など、産業がソフトウェアリッチ型へ移行すると、主要15か国・地域で2020年までに710万人の雇用が消えるが、成長分野で生まれる新たな雇用は210万人に過ぎないという。

日本も、小中学校のコンピューティング教育に早く手を付けないと、深刻な格差社会を作り出すことになる。それ以上にIoTの時代には、イノベーションによる付加価値創出で、欧米はもとよりアジア企業にも勝てなくなる、とさえ語られるよう

になってきた。

第二次経済革命の時代に輝いたのは、科学技術を重視し、基礎科学や工学で分厚い人材育成に注力した国々であった。その100年後の第三次経済革命の時代で輝くのは、コンピュータサイエンスとコンピューティング人材の育成に注力する国である。更には、IoTがもたらす社会システムの変化を先取りして課題解決の方向性を示し、他国に先んじて政策を立案し、これを効率的に実ビジネスとして具体化する国である。

4年後の2020年には、アメリカの技術者が就く職業の63%がコンピューティング分野であると予測されている。⁽⁵⁾ アメリカの著名な大学のコンピュータサイエンス学科においては、博士課程やポストクの40%以上が中国人であり、日本人は数%にも満たない。我々はこの現実を冷静に受け入れ、アーキテクト型のコンピューティング人材育成に取り組まなければならない。

<企業制度の本質的な変化にどう対処するか>

第二次経済革命が興隆する19世紀末から企業の大規模化が進み、フルセット垂直統合型の企業制度が経済合理性を持つようになった。いわゆる、チャンドラーの言う「経営者の見える手」が主役になったのである。⁽⁶⁾ しかし、第三次経済革命が急速に進む1990年代からこれが経済合理性を失い、伝統的な見える手の経営思想が機能不全に陥る。ここから、オープン&クローズの戦略思想に基づく「経営者の伸びゆく手」の経営思想と、これが先導する「エコシステム型垂直統合モデル」という新たな経営思想を必要とする。ボーイングやGM、インテルやボッシュを含む多くの欧米企業、サムソン、そしてトヨタも、フルセット垂直統合型からビジネスエコシステム型の垂直統合モデルへ転換させて、経済合理性を追求していたのである。

しかし、CPS思想によって付加価値を最大化する延長で、従来と全く異なる企業制度が生まれようとしている。かつては純粋なものづくり企業だったシーメンスが2007年からソフトウェアカンパニーになると宣言したのは記憶に新しい。最近ではIndustrie 4.0の中でモノとしての工場や生産ライン、組み立て加工設備、治工具、材料はもとより、サプライチェーン、通信インフラ、公共IoTイ

ンフラなど、モノとしてのビジネスドメインを次々に手放し始めた。

これに代わって、CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) などの設計ツールや製造設備、工程管理、生産システムとその制御機能、メンテナンスサービス、更には物流のオペレーションをも、モノとしてではなく、全てノウハウと一体化されたデジタル情報としてサイバー空間に持つのである。いわゆるフィジカルなモノを手放し、サービスビジネスやデータビジネスへ大規模に移行しようとしているのである。モノをサイバー空間に表現し、ここからフィジカルなモノの市場をコントロールする新たな「伸びゆく手」の形成へと経営戦略をダイナミックに変えた。

フィジカルなモノを持たなければ、経営が市場変動に左右されず安定化する。モノではなくデジタル情報なら在庫管理が格段に楽になり粗利益(付加価値)が増える。モノへ投資しなければ減価償却をコストへ含める必要がなく、更に付加価値が高まる。資本の投資効率(ROE)が非常に高く安定した経営ができるようになるのである。ROEが非常に高く、しかも安定していれば、株式時価総額も非常に高くなる。欧米企業が日本企業よりROEが非常に高い背景がここにあった。

例えば、2010年代になって、GEやシーメンス、ボッシュなどが、先進国の製造ノウハウを装備した生産性の高い工場システムをフィジカルなモノとして開発するだけでなく、同時にフィジカルなモノそれ自身をサイバー空間のデジタル情報として開発・表現するようになった。ここでノウハウをデジタル化してクローズ領域へ封じ込めながら、フィジカルなモノとしての工場システムを、いわゆるフルターンキーソリューションとしてインドや中国企業へ一括提供する。欧米企業が手の内に持つのは、生産要素のオペレーションノウハウを常に進化させてサイバー空間で表現するコンピューティング能力であり、生産ソリューションをも常に進化させてサイバー空間で表現し、ここから新たなビジネスモデルを生み出す組織能力である。クローズ領域が、モノではなくサイバー空間に秘匿されるようになった、と言い換えてもよい。オープン&クローズの戦略思想がここま

で進化してきた。

この潮流を否定し、フィジカルなものづくりの原点に戻れと言うのは簡単だが、現在のままなら日本企業のROEや企業価値が欧米企業よりはるかに劣る状態が続くであろう。それ以上に、10年後の日本企業は、最先端の工場システムを持つアジア企業と生産性で対抗し得るであろうか。CPS思想が加速するこの潮流は、1980年代のアメリカ、1990年代のヨーロッパ、そして2000年代の日本企業が直面した競争ルールの変化をはるかに越えて日本企業に迫るのではないか。我々は、CPS思想の潮流を止めることができない。

IoT時代に日本企業が輝くための課題は非常に多いが、多くの政策マンや企業人、アカデミアが課題を共有すれば解決できる。内閣府や霞が関の省庁が課題解決のための政策を立案し、実行に移そうとしているが、政策は必要条件に過ぎない。政策を実ビジネスの現場に活用し、IoTの経済環境で付加価値生産性を高めるのは企業人の役割である。

日本のICT産業を代表する富士通に、その先陣を切ることが強く期待されているのは言うまでもない。同時に、我々アカデミアの住人は、単に過去を整理・解釈するだけではなく、課題解決のための方向性を歴史的・空間的な視点から俯瞰し、具体的な実施策を提案し続けなければならない。これを再度確認して本稿を終えたい。

参考文献

- (1) ヨーゼフ・シュンペーター：経済発展の理論。岩波文庫，1977.
- (2) トマ・ピケティ：21世紀の資本。みすず書房，2014.
- (3) 小川紘一：増補改訂版 オープン&クローズ戦略。翔泳社，2015.
- (4) 世界経済フォーラム：職の未来。
<http://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs>
- (5) Computer Science Statistics。
<https://sites.google.com/site/coolcsdemos/statistics>
- (6) アルフレッド・D・チャンドラー Jr.：経営者の時代。東洋経済新報社，1979.