

平成30年度 産業と技術の比較研究 報告書

「IoT の事例とその本質－Ⅲ」

令和元年 6 月

一般財団法人 商 工 会 館

< 産業と技術の比較研究会 委員 >

座 長 児玉 文雄 東京大学名誉教授
委 員 岡松 壯三郎 (一財)商工会館理事長
委 員 加納 信吾 東京大学大学院准教授
委 員 柴田 友厚 東北大学大学院教授
委 員 馬場 康志 朝日新聞社 メディアラボ主査
委 員 藤盛 紀明 NPO 国際建設技術情報研究所理事長
委 員 玄場 公規 法政大学経営大学院教授
委 員 鈴木 潤 政策研究大学院大学教授

< 本報告書執筆者一覧 >

第1章 児玉 文雄
第2章 玄場 公規
第3章 鈴木 潤
第4章 馬場 康志
第5章 柴田 友厚
第6章 岡松 壯三郎
第7章 藤盛 紀明
第8章 加納 信吾

はじめに

本年度は、本研究会で IoT を分析対象とした研究の最終年度にあたる。前年度までの研究成果を総括するとともに、来年度から始まるより高度の CPS (Cyber-Physical-System) への連続的な移行を可能にするため、学習様式の変遷、IoT とスマイルカーブ、IoT と発明、第 4 次産業革命に向けた半導体産業の変遷、IoT とビジネス・システムの進化、IT から IoT そして IoP へ、建築と共栄する IoT、医療における IoT、などについて論考した。

「産業と技術の比較」

研究会主査

児玉文雄

目 次

第1章 IT から IoT_CPS へ：技術学習様式の変遷.....	1
1. はじめに	1
2. 予期しなかった IT の到来.....	3
3. IoT 技術革新における「接続」の構築	5
4. CPS モジュールの開発	9
5. 物理空間とサイバー空間の融合.....	10
第2章 スマイルカーブの実証分析.....	13
2. 1 IoT とスマイルカーブ	13
2. 2 スマイルカーブとは.....	14
2. 3 分析方法.....	16
2. 4 分析結果	16
2. 5 考査	21
2. 6 結論	21
第3章 IoT と発明.....	25
3. 1 はじめに	25
3. 2 IoT 関連発明の動向	25
3. 3 考査	37
第4章 第四次産業革命へ向けた、半導体産業の「かたち」	38
4. 1 はじめに	38
4. 2 2000 年代以降の半導体産業の変化	38
4. 3 半導体産業の成長に関する中期予想と論点	42
4. 4 おわりに	47
第5章 IoT が誘発するビジネス・システムの進化：コマツのビジネス・システムの事例 50	
5. 1 はじめに	50
5. 2 事例：コマツにみるビジネス・システムの革新	50
5. 3 考察	59
第6章 随筆：IOT ものがたり（IT から IOT そして IOP へ）	65
6. 1 IOT と IT.....	65
6. 2 国際障壁を乗り越える情報の流れと制限（WTO ルールをこえる情報の流れ） .	67
6. 3 IOT に並ぶ“IOP”（Person をつなぐ IT）	67
6. 4 IOT 処理のコンピューターの能力の限界と拡大.....	70
第7章 人・建築と共栄する IOT	72
7. 1 はじめに—IT のあけぼの	72

7. 2	空間知能化	73
7. 3	建設と AI	78
7. 4	5G と建設	82
7. 5	健康長寿と IoT	83
第 8 章	医療における IoT スマート治療室	89
8. 1	はじめに	89
8. 2	治療室における機器統合ニーズ	90
8. 3	プラットフォーム開発とパイロットプロジェクト	93
8. 4	国際標準化への取り組み	98
8. 5	普及に向けたシナリオ	100

第1章 IT から IoT_CPS へ ：技術学習様式の変遷

1. はじめに

2013 年、ドイツ科学工学アカデミーは、その後に「インダストリー4.0」と形容されることになるレポートを公表した*ⁱ。ドイツは、製造装置産業の世界的リーダーであるので、新しい工業化に突入するのに有利な立場に立っているという。すなわち、IoT とサービスが製造現場に導入されるという第4次産業革命が起きている。将来的には、各種機械、倉庫システム、製造設備を CPS (Cyber-Physical Systems) という形で統合するグローバル・ネットワークを、産業界は確立していくであろう。

同じような文脈で、Schwab (2016)*ⁱⁱ は、第4次産業革命の特徴は、物理領域、デジタル領域、バイオ領域の境界を不明確にするような「融合」であると明言している。すなわち、第3次革命の単純なデジタル化から、技術の組み合わせによるイノベーションへの肅々とした移行により、従来のビジネスのあり方を再検討しなければならない事態に陥っているという。

そこで、このような進展を、筆者は技術パラダイム変化と捉え、技術の学習様式が変化しているという立場から、一連の動きを分析する*ⁱⁱⁱ。周知のとおり、技術の本質を、製造経験による学習 (“learning-by-doing”) と定式化したのは、ノーベル経済学賞を受賞した Arrow (1962)*^{iv}である。製造現場での蓄積に注目したのである。しかし、コンピュータ産業の技術的本質は、だいぶ異なるとした Rosenberg (1982)*^v は、製造経験による学習と、利用経験による学習 (learning-by-using) とを峻別した。事実、米国における計算機の容量は、1970 年代と 1980 年代に、100 倍以上に増強されたが、労働生産性の上昇は、1970 年代の 3 % から 1980 年代の 1 % に後退した。このパラドクスは、「Solow’ s computer paradox (Solow, 1987)*^{vi}」として有名になった。すなわち、一国全体での情報技術への投資額の計測値と産出量の計測値の間には、大きな乖離があるという。この同じ新聞記事で、ソローは、コンピュータ普及の問題は、技術の可能性ではなく、この技術がいかに有効に使われているかであると早くも指摘している。

一方、インターネットの発明プロセスを分析した、Abbate (1999)*^{vii} は、コンピュータ技術の変化を次のように述べた：当初は独立した計算機械と考えられていたコンピュータは、コミュニケーションの手段として生まれ変わったのだ。しかし、この変容には、大方の予想に反して、長い時間がかかった。2012 年になって、ようやく、4 社のデータ・メジャー (Alphabet, Apple, Facebook, and Amazon) の株価総額が、4 社の石油メジャー (Exon, Shell, BP, and Chevron) のそれを追い越したのである (図 1-1)。

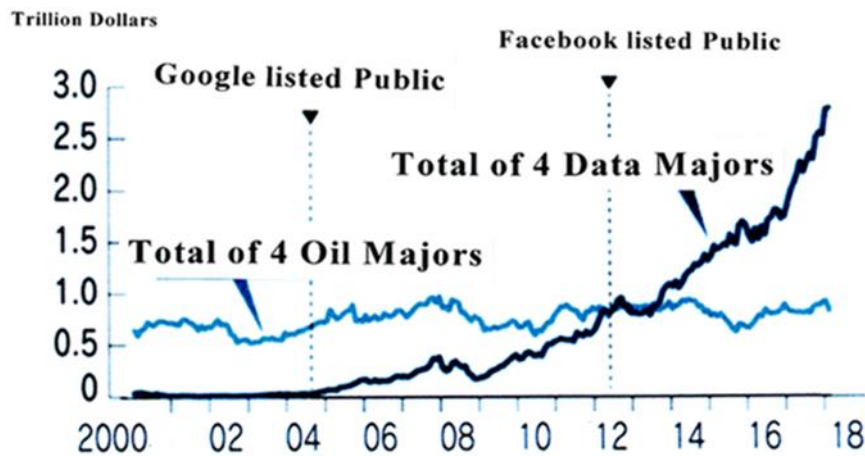


図 1-1. Oil と Data majors の株価総額の比較 (資料 日経 2018/4/3 より引用)

IT 技術の浸透により、GAFA と IT モジュール・サプライヤーの双方において、新しいタイプの技術学習様式がもたらされたことは明白である。同様に、インターネットが主要な役割を演ずる第 4 次革命では、IoT のインテグレーションと IoT のモジュール・サプライの双方においても、さらに大きな技術学習様式の変化をもたらしていることは、容易に想像できるであろう。

The Internet of things (stylized IoT) とは、情報社会のインフラであり、進化しつつある情報・通信技術を基に、高度なサービスを物理的・仮想的に連結するものであると定義されている。ITU (International Telecommunication Union)*^{viii}によれば、IoT システムが、高度なセンサーと高度なアクチュエーターで増強されれば、スマート・グリッド、スマート・ホーム、インテリジェントな交通システム、スマート都市などの、高度な CPS の事例になるという。したがって、Industry 4.0 を実現するためには、とりあえず、CPS の主要な構成モジュールである、センサーとアクチュエーターにおける技術学習様式が、どのようになるかを理解しなければならないということになる。続いて、IoT モジュール技術の学習様式の理解に基づき、物理空間とサイバー空間のシステム融合が、どのように実現されるのかを考えてみたい。

2. 予期しなかった IT の到来

米国の科学・工学アカデミーと日本学術振興会の間で、1984 年から 2000 年の 15 年間にわたって行われた日米対話には、両国の産業界と大学の研究者が参加して、活発な議論が行われた。対話の発端は、1970 年代後半から 1980 年代にかけて台頭した日本の脅威と機会をもたらした、米国が抱き出した米国自身のハイテク分野における競争力の喪失についての懸念であった。

しかし、1999 年 1 月に、米国側の議長を務めたハロルド・ブラウン博士（カーター政権の国防長官）が行った総括は、次のようなものであった。「日本の製造業の分野でのオートメーションの追及は、米国企業が IT 技術を駆使して、製造プロセスを改善したことにより、その重要性は低下した。米国企業は、just-in-time systems のような日本の実践を、IT で吸収した。米国産業を強くし、サービス産業の競争力が増した。すなわち、米国は学んだが、日本は変革に失敗した。日本のコンピュータのハードは依然として強いが、若者の自由な発想(freewheeling)が決定的となるソフトの分野では、米国が大きくリードすることになった。1980 年代の IBM は、日本企業を主なる競争相手と見なしていたが、IBM を打ち負かしたのは、日本企業ではなく、Microsoft と Intel が IBM を打ち負かしたのだ。日本には、Microsoft は出現しようもなかった。」以下では、このブラウン氏の総括シナリオに沿って、分析を進める。

2. 1 GAFA の出現 : Learning-by-comprehending

コンピュータ技術のユニークな特性を分析する。そのため、技術の学習理論が、どのように展開してきたかを調べる。先に述べたように、この理論化は、Arrow (1962)*^{ix} が経済学会誌に投稿した「The Economic Implications of Learning by Doing」という論文によりはじめられた。この学習は、製品設計で製品スペックが決定された後に起こる学習現象である。製造現場での熟練が蓄積される結果、製品の単位当たりのコストが減少し続けるという。

しかし、高度の複雑性が特徴である（当時の）コンピュータ産業には、この理論は必ずしも当てはまるものではなかった。この文脈で、Rosenberg (1982)*^x は、“learning-by-doing” と “learning-by-using” とを峻別すべきだと提案した。その提案は、「learning-by-using」のプロセスの目的は、耐久資本財の最適な性能が、利用経験の蓄積により学習されるという点にある。コンピュータのソフトウェア製品の改善は、ユーザーの利用経験によってしか実現できないという。事実、ソフト製品の発売後も、製造した企業がユーザーをサポートする仕方が定着してきた。

しかし、IT ビジネスは、単独のソフト製品の開発をはるかに超えて、ネットワーク・ビジネスに展開していった。Abbate*^{xi} は、ネットワークのレガシー(legacy)は、パケット・スイッチ技術などの新しい技術の導入と、ユーザー自身が分散的に技術開発をするとい

う慣行の確立にあるという。電子メールやウェブ技術はその典型例で、中央集権的な部署のマーケティング計画の結果ではなく、多数の独立したユーザーの自律的な意思決定の結果、生まれたのである。すなわち、「learning-by-using」を十分に経験したのちに、IT 時代が到来したのである。その結果、Microsoft と Intel が IBM を打ち負かしたのである。この学習プロセスは、製造業の「learning-by-doing」でもソフト製品開発の「learning-by-using」でもなく、米国の若者の自由奔放(freewheeling)な発想により実現されたのだ。

そこで、新しい学習理論を模索する。アップルは、すべての機能部品を全世界から広く調達し、同社のユニークなシステムに統合したのだ。しかし、個々の部品の特性と部品間に発生する相互干渉を十分に把握しなければ、システム開発に成功することはない。例えば、アップルのマッキントッシュには、ソニー社のトリニトロン TV スクリーンとキャノン社のレーザー・プリンタが不可欠だったのである。ジョブ氏は、画面タッチ技術の選択について、「最高のポインターは指である」と言っていた (Cupertino Silicon Valley Press, 2011). *xii

IT 革命は米国の若者の自由な発想により実現されたという背景には、ジョブ氏にみられるように、システムを構成する要素に起こりつつある新技術を深く理解し、どの要素技術が必要かを把握(comprehend)し、タイミングよく、自身の IT システムに取り込んでいったという事実がある。そこで、GAFA の学習様式を、“learning-by-comprehending” と呼ぶことができる。

2. 2 インテルのプラットフォーム構築 : Learning-by-accommodation

GAFA の出現は、インテルが MPU (Micro Processor Unit)におけるプラットフォーム・リーダーとしての地位を確立した後であることに注目すべきである。そこで、インテルの MPU 8086 が IBM_PC に採用された 1981 年までに、何が起きていたかを分析した。1971 年から 1981 年までに、どのような企業がインテルに、どのような MPU を、何のために発注したかを調べた。その結果は、表 1-1 の通りであった。

表 1-1. インテルへの MPU の発注年表

In 1971, Busicom (calculator supplier) of Japan marketed 141-PF (mounted MPU 4004)
In 1971, Intel brought MPU 4004 into market
In 1972, Intel collaborated with Seiko of Japan for MPU 8008
In 1972, Seiko brought into market a programmable calculator with MPU 8008.
In 1973, Toshiba Tec brought a cash register (with MPU 4004 mounted) into market
In 1974, Intel announced MPU 8080
In 1975, Fanuc developed the world's first NC system (Fanuc 2000C) built on Intel 3000.
In 1976, Apple mounted MOS 6502 in its Apple-I
In 1979, Fanuc mounted MPU 8086 in its Numerical Controller.
In 1981, IBM mounted MPU 8086 in its PC (IBM PC)

Compiled by Yasushi Baba based on Okuda (2000)*^{xiii}

表を見ると、IBM_PC に採用される MPU にたどり着くまでには、多くの日本企業が、それぞれ異なる利用目的で、インテル社に MPU を発注し、インテル社はそれぞれの要求に自分の技術を適応・進化(accommodate)させながら、対応していったといことがわかる。特に、IBM_PC に採用された、Intel_8088 の開発の基礎になった Intel_8086 の開発は、インテルとファナックの共同作業により、開発されたといっても過言ではない。

1978 年に、インテルは、8086 を開発したが、1979 年には、ファナックはシステム 6 シリーズに 8086 を使用した。このシリーズの高度化のため、ファナックは 8086 についてのアーキテクチャに関する知識を獲得するために、インテルと共同作業をした。その結果、ファナックは 8086 の世界最大のユーザーになった。そして、8086 の改良バージョンである 8088 が IBM_PC に採用されたのである。ここで、興味深いことは、MPU 技術を最初に利用したのは、工作機械メーカーであり、PC メーカーの採用は、その後になったという事実である。そこで、プラットフォーム・リーダーになるまでのインテル社の技術学習様式を、適応学習(learning-by-accommodation)と規定でき、これは、learning-by-doing とともに learning-by-using と異なると言えよう。

3. IoT 技術革新における「接続」の構築

金融危機の前の 2006 年に時価総額で 20 位以内に入っていた IT 企業はマイクロソフトだけであった。5 社もの金融機関 (City group, Bank of America, and American International Group)などがリストに載っていた。金融危機以後には、トップ 10 社のうちの 7 社が IT 企業になった。しかし、成長率でいえば、Amazon/Apple と Google/Facebook の間には、格差が大きくなってきている (図 1-2 参照、日経 2018/10/3)。これは、IT 企業と

IoT 企業の違いを示唆しているかもしれない。2019 年 1 月 9 日には、アマゾンが 22 年前に株式公開して以来、初めてトップになった。IoT が新しい学習モードを作り出しているかもしれない。そこで、IoT を特性づけている「接続性」がどのように形成されるかを分析する。



図 1－2 GAFA の株価の成長

3. 1 コマツのコムトラックスにおける「接続」の構築

接続性の構築プロセスを、コマツ株の事例で分析してみよう。コマツは、RFID（Radio Frequency Identification）や GPS（Global Positioning system）という破壊的技術を世界で初めて、土地造成作業に応用し、この分野のマーケット・リーダーになった。図 1-3 に示す通り、世界で稼働しているコマツの建設機械に RFID センサーを組み込み、その稼働データを、衛星通信網を通して、東京にある本社に送り込んでいる。コムトラックスと呼ぶこのシステムは、2001 年に稼働し始めた。

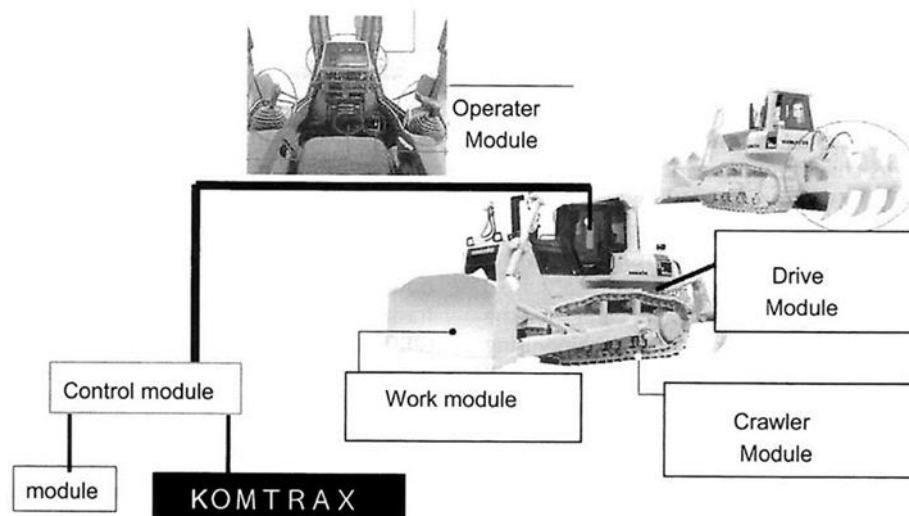


図 1-3 コムトラックス・システム

コムトラックス・システムを開発してから、コマツは顧客にタイムリーな部品交換・修理や盗難防止の手段を提供するようになった。一般的に言えば、建設機械の維持費用は購入コストの 3 倍くらいなる。したがって、コムトラックスの使用により無駄や在庫切れの事態を防げば、顧客は大変有利な立場に立てる。販売店も在庫を削減できる。

コマツ自身も、次のように莫大な利益を得ることになる。全世界から集められるコマツの機械の稼働状況のデータが、本社における生産計画の議論に活用できる。事実、2004 年に起きた中国での経済不況をいち早く察知して、生産計画を変更できた。

3. 2 モジュール転用による学習__Learning-by-porting

ところで、このようなコマツの技術開発は、どのように定式化できるだろうか？ハーバード大学・ビジネススクール教授のBaldwin と Clark (2000) ^{*xiv}は、コンピュータの設計という強力なレンズで、産業の発展を分析できると提案した。彼らは、モジュール構造のシステムの考えられるすべての進化経路は、たった6つの変換オペレータの組み合わせで再現できることを見つけた。その6つとは、splitting, substituting, augmenting, excluding, inverting, 及び porting である。その中で、“porting”（転用） operator は、その名の通り、モジュールを他のシステムに「転用」するオペレータである。他の5つのオペレータは、一つのシステムの範囲内でしか、作用しないのに対し、porting オペレータは、複数のシステムの中で働くことができ、異なるデザイン・ルール、すなわち、異なるアーキテクチャの間を移動できるのである。

アップルの iPod は、携帯端末が、音楽配信システムの中に、転用された事例である。

コムトラックス・システムの場合は、ブルドーザの中に、隠れて装着されていた Control Module が、**図 1-4** に示すように、コマツ本社の経営システムに、転用されたと解釈できる (Kodama, 2014). ^{*xv}

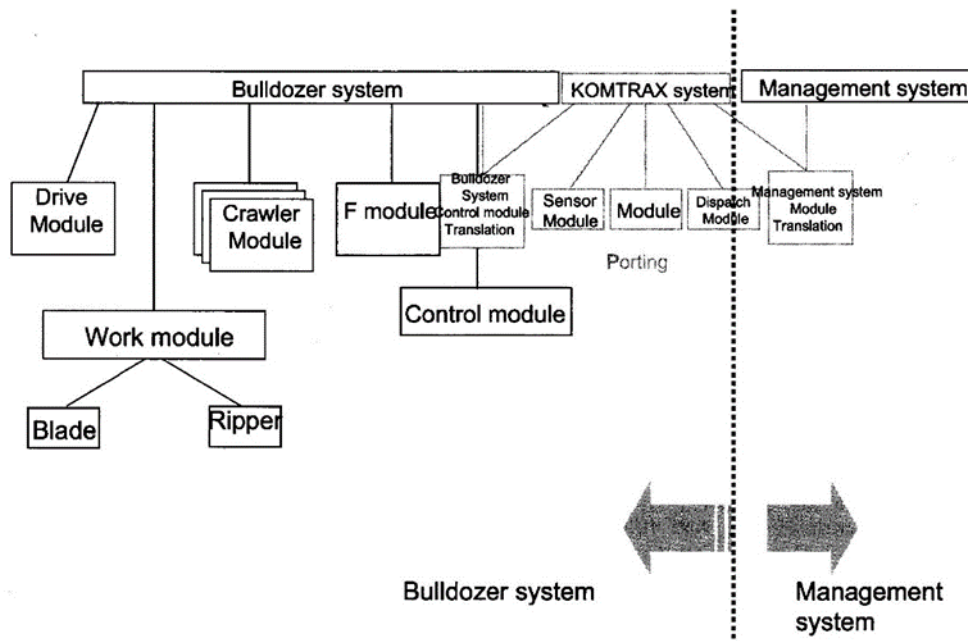


図 1-4. コムトラックスにおける転用 (porting)

3. 3 コムトラックスの発想の経緯

コムトラックスの開発経緯は、直線的には進行しなかった。1998 年に、5 台のプロトタイプを完成し、ビッグ・レンタル（1997 に創業したばかりの郡山市のレンタル会社）に、テストを依頼した。その当時、同社は、IT を使ったレンタル事業の新しいビジネスモデルを検討していた。リモート・モニタリングは、この新しいアイディアにぴったりしていた。すなわち、コムトラックス・システムの真の価値を理解していたのである。

コマツではコムトラックスの開発を中止する決定をした。コマツの開発チームは、有効なビジネスモデルを想定できなかった。それにもかかわらず、このレンタル会社は、1000 基を、総計 15 億円にのぼる発注をした。この大型注文により、コマツは開発を非公式に継続できた。2000 年の初めには、ビッグ・レンタルは急成長し、3 年後には、福島県最大のレンタル会社に登りつめた。建設現場における遠隔監視にコムトラックスが有効なことが、世間で理解されるようになり、コマツは、コムトラックスのビジネスモデル特許を申請した。

4. CPS モジュールの開発

先に述べたように、IoT システムが、センサーとアクチュエーターで補強されれば、より一段高度の CPSs (*cyber-physical systems*) の事例になる。そこで、CPS モジュール・サプライヤー、特に、センサーとアクチュエーターの技術新進歩が、どのような技術学習様式に従うのかを検討する。

4. 1 先取り先行による学習—Learning-by-preemption

2015 年、フォルクスワーゲン社は、排出ガス試験の長年にわたる隠ぺい工作を認めた。検査場のテスト中に、defeat device を作動させて、ディーゼル車の排出ガスを実際より低く測定させていたことは、多くの文献で、記述されている (Ewing, 2017)。*^{xvi} しかし、この不正を暴いたのは、日本の堀場製作所製の自動車排ガス検査システムであったかことはあまり知られていない (Bloomberg, 2015/10/2)。1998 年に、最初のポータブル検査システム、すなわち、道路を走行中の自動車排ガスの測定装置を、堀場は開発していた。

それでは、どのようにして堀場の装置が VW の不正を見抜くことになったのか？米国の研究者が、多年度にわたる研究プロジェクトで堀場の装置を使用していた。この研究により、VW が主張していた「クリーンディーゼル」という不正を暴いたのだ。走行中の排出ガスは、米国の法律で決められていた基準値の 40 倍もの空気汚染をしていた。これを契機に、ヨーロッパでは、RDE (Real Driving Emissions) という法律で、2017 年になり、走行中のガスを測定することを義務付けるようになった。*^{xvii}

すなわち、堀場製作所は、法律による規制を先取りした技術開発を実行したことになる。そこで、この学習様式を “learning-by-preemption” (先取り先行による学習) と表現でき、これが CPS モジュール・サプライヤーの学習様式であると一般化できよう。

4. 2 技術の先行開発のマネジメント

Learning-by-preemption を実現する技術戦略を、ハードディスクのスピンドルモータで世界市場を制した、日本電産㈱の技術戦略にみることができる。2015 年現在で、同社は世界で、230 社の子会社を所有している。2005 年のビジネスウィーク誌のリストで、100 社中の 42 位とされ、2014 年のフォーブス誌の世界で最も革新的な企業のリストにも入っている（日経ビジネス、2016/10/24）。

同社の特徴は、このような急成長を、国内外の企業の 33 年間にわたる 49 社に及ぶ企業買収により達成した点になる。企業買収による技術取得は迅速な技術獲得戦略ではあるが、基本的な要素技術をアウトソースに頼るという危険性をはらんでいる。この危険性を避ける技術開発戦略の事例がある。その事例は、ハードディスクドライブの軸受けについての開発である。軸受けのドミナント・デザインは、ボールベアリングであった。しかし、ハードディスクでは、その耐用年数は短く、騒音や振動が問題になっていた。それに対して、流体動圧ベアリング（fluid dynamic bearings, FDB）が開発されたが、これをボールベアリングと比較した図を図 1-5 に示す。FDB の装着は、成功裏に終わり、20 年に及んだボールベアリングメーカーの支配から解放されたのである。

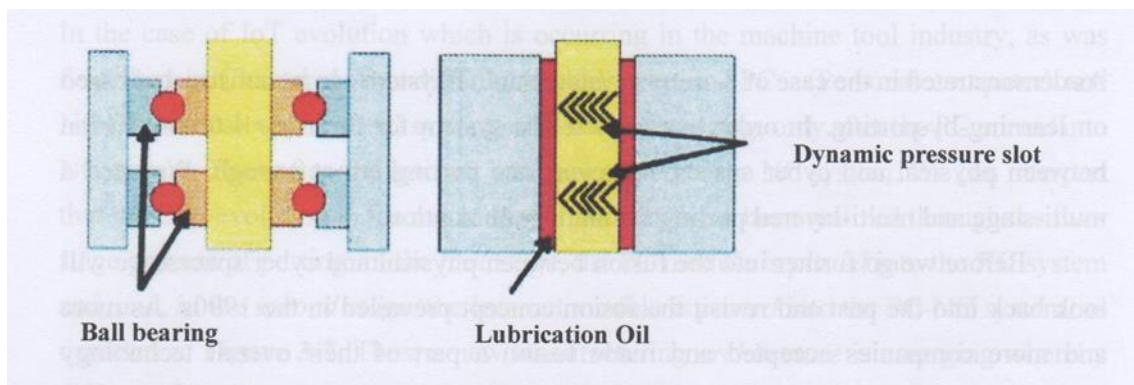


図 1-5 FDB とボールベアリングの比較

5. 物理空間とサイバー空間の融合

コムトラックス・システムの構築は、” learning-by-porting” により開発されたことはすでに述べた。しかし、Industrie 4.0、物理空間とサイバー空間との融合のためには、何が必要であろうか？そこで、CPS は、多種類の技術システムを「システム融合」した人工物（artifact）であることに気づく。機械技術と電子技術を融合したメカトロニクスや、光技術と電子技術を融合した「技術融合」とは異なり、物理空間とサイバー空間という、異なるシステムの間の融合である。すなわち、単なる技術融合を超えて、異なるシステム間の「システム融合」なのだ。

5. 1 多段階・多重の転用__Multiple Porting

コマツは2015年に発表したスマート・コンストラクション計画によって建設機械メーカーの範疇を超えて、顧客の仕事にまで関与し、ビジネス・システムを一層大きく変えようとしている。それには、ドローンのよる建設用地の自動測量が必要となった。そこで、ドローン技術をコムトラックスに、転用（porting）により、スマート・コンストラクションが可能になってきた。すなわち、CPSの構築は、転用オペレータの「多段階」の適用により、可能になるのである。

5. 2 技術戦略の転換__Strategy of Nonconsumption

CPSの戦略立案に役立つ概念は、クリステンセン達が提唱している、「無消費（nonconsumption）」である*^{xviii}。パソコンやソニーのトランジスタラジオは、発明した社の顧客がそれらの企業にとっての新規顧客だったという意味で、「無消費」市場を狙ったものであった。つまり、顧客は前の世代の製品やサービスを所有し利用したことがなかった。これまで会社の高速コピー・センターに原稿を持ち込んで、コピーをとってもらっていた人にも、職場のそばにあるコピー機能を使って、コピーをとれるようになった。キャノンが開発したコピー機により、人々は前よりずっと多くのコピーをとるようになった。

「無消費」とは、仕事を片付ける必要があるが、望ましいと思う策がこれまでの手の届かないところにあった状況に通目する。このような新市場を標的とするイノベーターを「無消費と対抗している」ということができる。すなわち、「システム融合」は、無消費状態を解消するようなイノベーション戦略なのだ。

引用文献

-
- i German Academy Science and Engineering/Forschungunion (2013): *Securing the Future of German Manufacturing Industry: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0*.
- ii Schwab, K. (2016): “The fourth Industrial Revolution: What it means, how to respond,” Foreign Affairs, 14 January 2016.
- iii Kodama, F. (1991): *Analyzing Japanese high technologies: The techno-paradigm shift*, Pinter Publishers, London.
- iv Arrow, K. (1962): “The Economic Implication of Learning by Doing,” *Rev. Econ. Stud.* 29, 155–173.
- v Rosenberg, N. (1982): *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- vi Solow, R. (1987): “We’d better watch out,” *New York Times Book Review*, 12 July 1987.
- vii Abbate J. (1999): *Inventing the Internet*. The MIT Press.
- viii <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=y.2060>
- ix Arrow, K. (1962): “The Economic Implication of Learning by Doing.”
- x Rosenberg, N. (1982): *Inside the Black Box: Technology and Economics*.
- xi Abbate J.: *Inventing the Internet*.
- xii Cupertino Silicon Valley Press, edited and compiled. (2011): *Steve Jobs: His own words and wisdom*.
- xiii Okuda, K. (2000): *When Intel Was yet Small* (In Japanese), Nikkan Kougyou Shimbun Publishing: Tokyo, Japan.
- xiv Baldwin, C. and Clark, K. (2000): *Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press: Cambridge, MA, USA.
- xv Kodama, F. (2014): “MOT in transition: From technology fusion to technology-service convergence,” *Technovation*, 34, pp. 505-512.
- xvi Ewing, J. (2017): *Faster, Higer, Farther: The Inside Story of the Volkswagen Scandal*, Penguin Random House: New York, NY, USA.
- xvii http://www.horiba.com/uploads/media/HORIBA_2015AR_jp_HQ.pdf
- xviii Christensen, C. and Raynor (2003): *The Innovator’s Solution*, Harvard Business School Press, Boston; 玉田俊平太・監訳 (2003) : 「イノベーションの解」、翔泳社、東京。

第2章 スマイルカーブの実証分析

2. 1 IoT とスマイルカーブ

IoT が普及することにより、消費者の生活や企業の生産活動に大きな影響を与えることが期待されている。ただし、IoT の普及の効果を受ける対象は幅広いものの、IoT を新しい産業の誕生と捉え、事業の参入を考えている企業は、センサー企業やシステムインテグレーション、あるいは産業機械・設備メーカーが主となることが想定されている。本研究会でも、IoT に積極的に取り組みを行っているご紹介いただいた企業は、産業の上流の「川上産業」に属する企業が多い。具体的には、建設機械メーカー、農業機械メーカー、製造装置メーカー、社会インフラ提供企業などである。その一方で、IoT を用いた全く新しいサービスを提供しようとする事例も紹介された。自動運転やスマートハウスなどが代表例である。すなわち、IoT の普及によって産業の上流である川上産業あるいは最終消費者に近い川下産業の企業に新たな技術開発や付加価値のサービスを提供する機会が登場することが期待され、収益性向上に寄与する可能性があることが示唆される。

この点、良く知られている組立製品の「モジュール化」の議論において、川中の産業である組立メーカーの収益性が低くなり、上流の川上産業、川下であるサービス産業の収益性が高くなるというスマイルカーブという概念が提唱されている。この概念に関しては、後述するように学術的な分析は乏しいものの、一般的な議論としては一定程度定着している。そして、前述のように IoT が普及し、その付加価値が高まるのであれば、様々な産業において、川上産業あるいは川下産業における収益性が高まり、加工組立を中心とした川中産業の収益性との差が一層拡大する可能性がある。昨年度の研究会になるが、欧米の大手重電メーカーの方の講演において、この十年は、BtoC の事業を全て整理し、BtoB に特化する戦略を対外的にも公言し、その戦略を基礎に事業の大胆な売却・買収を伴う事業の再編を行っていることが紹介された。さらに可能であれば、今後は、BtoB を行っている企業を顧客にするという極端な川上産業へのシフトを戦略とすると明言されたことは大変興味深い。そして、この理由としては、BtoC の事業リスクがあまりに高くなってしまったため、可能な限り、BtoC 事業から遠い四条に注力するという明確な考え方を基礎にしているという点である。これも前述のスマイルカーブの概念に通じる議論である。

しかしながら、そもそも、このスマイルカーブの概念に関しては一般に良く知られているものの、実は、それを実証的に分析した学術研究はほとんどない。そこで、本章では、著者も分析に関わった日本の食品関連産業を対象にスマイルカーブの実証分析結果である Imahashi et al. (2018) [1]の研究を紹介したい。IoT によって、川上産業あるいは川下産業に大きな機会があるとしても、そもそも、スマイルカーブが実際に認められる現象なのかは今後の IoT の普及による産業の在り方についても重要な示唆を与えられと考えられる。

Imahashi らは、スマイルカーブの分析において、食料品産業を対象とした。実は、近年の食料品製造業は製品の成熟化が進み、価格競争等による淘汰も激しいとされている。その

ため、付加価値向上による差別化が改めて重要になっている。また、川下である流通業界からの要求が厳しくなり、流通企業から発生するユーザーイノベーションの事例も小川(2000)によって述べられている[2]。そのため、技術開発の主導権が川下産業に移行しているのではないかという議論がある。その一方で、川上である食品機械メーカーは、極めて高度で効率的な機械を生産し、海外へも輸出している企業も数多い。このように川上・川下に付加価値が移行しており、その川中に位置する食品加工メーカーの収益性は低いという仮説が考えられる。この観点から、Imahashiらは日本における食料品関連産業の川中、川上、川下の各産業のBtoB率と利益率を集計し、その関係性を分析したとしている。以下では、その仮説・分析方法について説明しよう。また、本章では、同じデータを用いて統計解析を行ったが、スマイルカーブを示唆する結果が得られたことについても紹介する。

2. 2 スマイルカーブとは

スマイルカーブは台湾のコンピューターメーカーAcer社の創業者スタン・シー会長が提唱したものである[3][4]。横軸をバリューチェーンの順序(川上、川中、川下の産業)縦軸は付加価値としてグラフ化すると、U字の曲線を描き、あたかもスマイリング(笑顔)のように見える概念である。スマイルカーブの概念図を以下に示す。

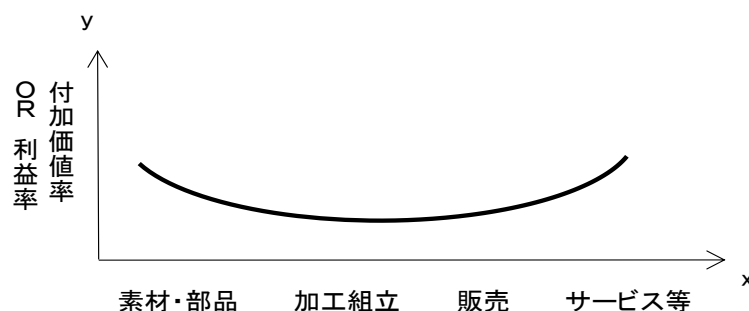


図 2-1 スマイルカーブの概念図

(資料: Imahashi et. al.)

既存研究において、Hippel (1976) [5]は、イノベーションの源泉は専門的に製造を行っているメーカー企業のみならず、そのユーザーやサプライヤーなどの間に広く分布しているという考え方を導入し、ユーザーやサプライヤー、あるいは、「その他」の主体がイノベーターとなっていることを明らかにしている。そして日本の例として、小川(2000)は流通企業起点のイノベーションとして、コンビニエンスストアのセブンイレブンが製品イノベーションに貢献する背景や店舗発注システムの小売販売情報を活用して食品製造企業と共に新商品開発を行い、流通の技術開発も行われ、更なる新商品開発が後押しされていることが示唆されている。

また、食料品産業の競争優位に関する研究としては、小塚（1999）は、日米食料品企業の競争力比較と行動特性について、ゆるやかな競争による成長経験しか持たないわが国の食料品企業にとって、もっとも苦手とするのが市場での競争戦略であり、買収を主な経営手段とする欧米の食料品業界では、企業のランキングが目まぐるしく変わり、ランキング表から企業名が消滅するのが常であることが述べられている[6]。そして、グローバル化の進展は、グローバル・スタンダードによる事業経営が基本となり、日本の規制と保護の消滅は、多国籍食料品企業による競争圧力が高まり、厳しい競争を日本の食料品企業に迫ることになる。競争構造は従来までの国内企業による「共存共栄」から、競争力の強い企業が勝利する「競争型」の競争構造に変化し、競争力の弱い企業は外資企業の攻勢によって飲み込まれるか、市場から脱落する危険性が高くなるので、食料品業界も近い将来、選別淘汰の時代を迎えることになる。国内の食料品企業にとって競争に勝つことによってのみ成長が可能だと考えた時、これから予想される競争の激化を前にして、競争に勝てる競争戦略をどのように構築するかが企業にとって最大の課題になることは間違いないと示唆している。さらに野島（2007）は、日本の食料品産業について、食料品製造業の研究開発面では、新商品が市場でたやすく模倣され、その開発効果が発揮しにくいいため、製品差別化策としては広告宣伝費をより重視する産業特性があることを示唆している[7]。また、一般製造業は、経費を削減し労働生産性、資本装備率の向上を図る経営路線が主流になったのに対し、食料品製造業は、省力化路線を取らないことから労働生産性は停滞し、資本装備率の向上は相対的に弱く、むしろ労働力強化によって合理化が図られた面がある。食料品製造業は原材料費率が高く、付加価値率の低い産業であるが、高い労働力の吸収によって生産力の向上を展開してきたことを述べられている。

それに対して世界の動きとしては、Erik Millstone ら（2009）は、世界の食料品加工企業の出現について、19 世紀の工業化に伴って大市場と新技術に裏打ちされ、規模の経済を生かした専門加工業者が現れたことを示している[8]。現在は、ほとんどの国でほんの一握りの巨大食料品加工企業が登場し、彼らへの集中度合いが容赦なく高まっていることを示唆している。アメリカでは、知名度のある食料品加工企業が肉類や原材料の加工において非常な力を持っており、牛肉や豆類の場合では、約 80%、小麦の製粉では約 60%を支配している。このような食料品加工企業の力は生産のあらゆる側面にまでおよび、フードサプライチェーンを支配するに至っている。このような世界的な流れに対して、日本の食品製造業が低利益率、低生産性であることは、弘中(2008,2012)、林(2012)、金(2011)、佐藤(2013)らの研究で示唆されている[9][10][11][12][13][14]。

なお、スマイルカーブに関する分析を行った研究としては、Namchul Shin et al.(2012)[15]や木村(2003,2006)の研究がある[16][17]ものの、学術的な蓄積は未だ乏しい。また、スマイルカーブを定量的な指標で算出した研究はほとんどなく、Imahashi らの研究は連続的かつ定量的な指標で収益性との関係を直接的に分析した点で特徴がある。

2. 3 分析方法

Imahashi らは、経済産業省「平成 24 年経済センサス」と「平成 24 年（2012 年）延長産業連関表」のデータを用いて分析を実施した[18][19]。「平成 24 年経済センサス」に農業、漁業等の営業利益率などのデータが示されており、それらを産業連関表における分類項目と対応させ、営業利益率を算出した。

食品関連産業の区分としては、農林水産業の 7 産業を川上産業とした。また、食品製造業や卸売業は川中産業、小売とサービスに関わる産業を川下産業として、営業利益率の平均値を算出した。

次に、BtoB 率の算出については、産業連関表を用いて、各産業の産業間の取引関係を定量化した値から以下の式を用いた。

$$\text{B to B 率} = \text{内製部門計} \div (\text{内製部門計} + \text{国内最終需要計})$$

この B to B 率と営業利益率との関係をグラフ化するとスマイルカーブを検証可能である。BtoB 率が高ければ川上産業、BtoB 率が低ければ川下産業を意味することから、川上と川下の関係が逆になるが、いずれにしても、図中の BtoB 率との関係はスマイルの形になることが想定される。

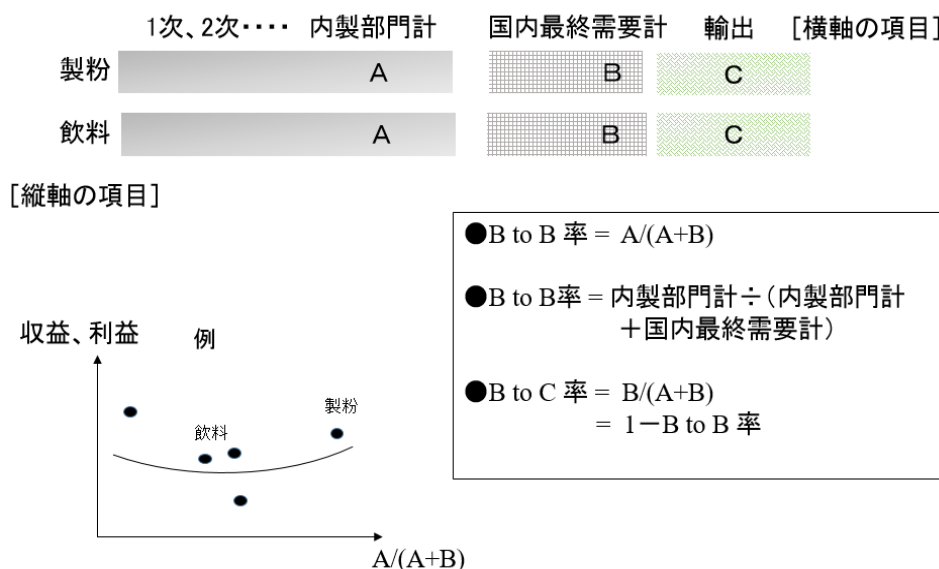


図 2 - 2 BtoB 率とスマイルカーブの関係性

(資料) Imahashi et. al.

2. 4 分析結果

2.4.1 産業分類順の分析結果

図 2 - 3 は、食品関連産業の営業利益率を図に示したものである。比較的、左側の産業と

右側に位置している産業の収益性が高いとも考えられる。

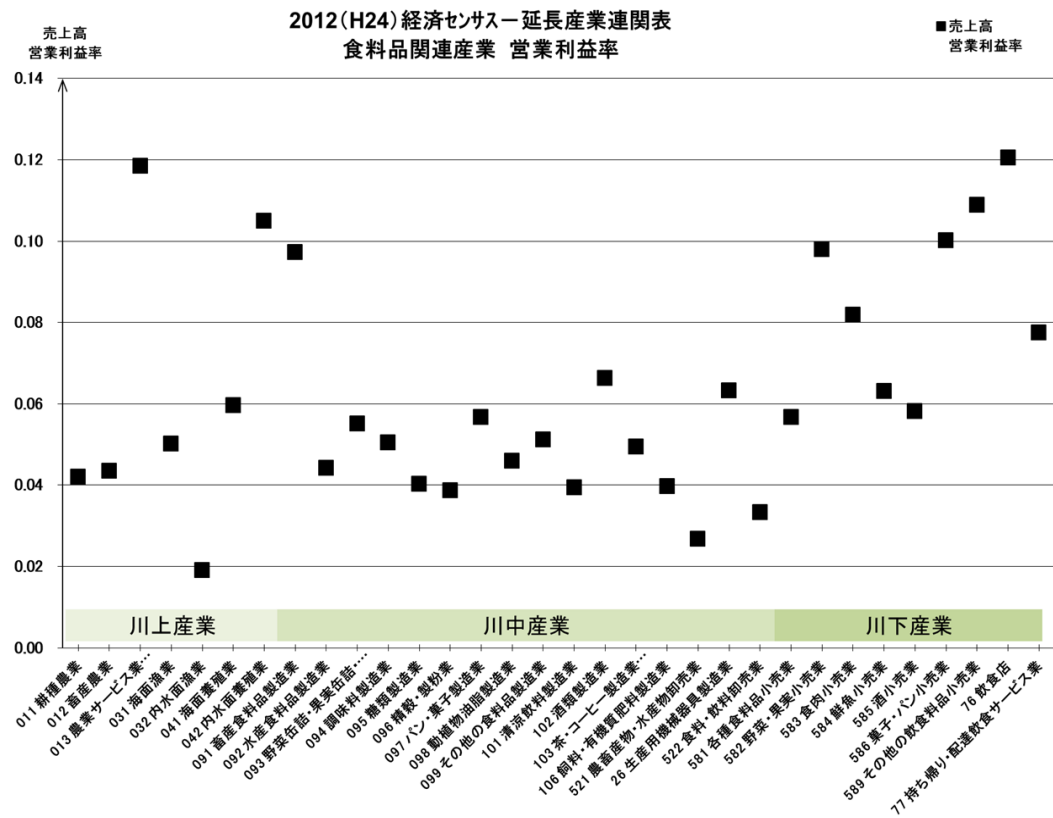


図 2－3 各産業の営業利益率
(資料) Imahashi et. al.

そこで、大まかの傾向を把握するため、川上・川中・川下産業で営業利益率の平均値を算出した。その結果を図 2－4 に示す。この結果、川下産業に区分している小売やサービス産業の営業利益率が高く、次いで、川上産業である農林水産業の収益性が高くなり、川中である食品製造業と卸売業の利益率は低いことが分かる。

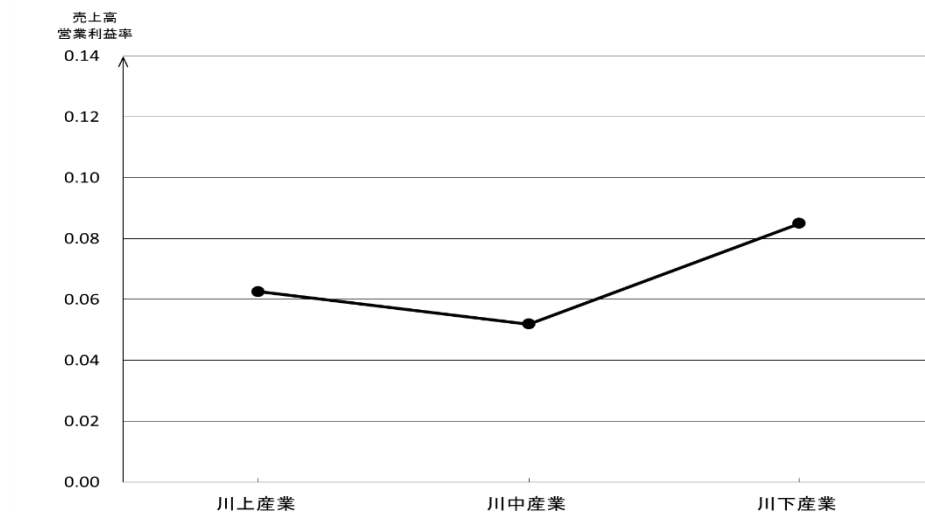


図 2－4 川上・川中・川下産業別の売上高営業利益率の平均値
(資料) Imahashi et. al.

ただし、これは産業区分という定性的な区分による分析結果である。そのため、BtoB 率という定量的な指標を用いた分析結果を以下に示す。

BtoB 率の算出結果を営業利益率とともに表に示す。

表 2-1 各産業の BtoB 率と営業利益率

(資料) Imahashi et. al.

川上産業 (原材料産業等)			川中産業 (食料品製造業等)			川下産業 (流通、小売、飲食店等)		
日本標準 分類項目	B to B 率	売上高 営業利益率	日本標準 分類項目	B to B 率	売上高 営業利益率	日本標準 分類項目	B to B 率	売上高 営業利益率
011 耕種農業	0.66	0.042	091 畜産食料品製造業	0.46	0.097	581 各種食料品小売業	0.13	0.057
012 畜産農業	0.90	0.043	092 水産食料品製造業	0.30	0.044	582 野菜・果実小売業	0.13	0.098
013 農業サービス業(園芸サービス業を除く)	1.00	0.119	093 野菜缶詰・果実缶詰・農産保存食料品製造業	0.37	0.055	583 食肉小売業	0.13	0.082
031 海面漁業	0.90	0.050	094 調味料製造業	0.42	0.050	584 鮮魚小売業	0.13	0.063
032 内水面漁業	0.82	0.019	095 糖類製造業	0.96	0.040	585 酒小売業	0.13	0.058
041 海面養殖業	0.57	0.060	096 精穀・製粉業	0.50	0.039	586 菓子・パン小売業	0.13	0.100
042 内水面養殖業	0.82	0.105	097 パン・菓子製造業	0.10	0.057	589 その他の飲食料品小売業	0.13	0.109
			098 動植物油脂製造業	0.86	0.046	76 飲食店	0.03	0.121
			099 その他の食料品製造業	0.30	0.051	77 持ち帰り・配達飲食サービス業	0.03	0.077
			101 清涼飲料製造業	0.13	0.039			
			102 酒類製造業	0.45	0.066			
			103 茶・コーヒー製造業(清涼飲料を除く)	0.53	0.049			
			106 飼料・有機質肥料製造業	0.85	0.040			
			26 生産用機械器具製造業	0.19	0.063			
			521 農畜産物・水産物卸売業	0.61	0.027			
			522 食料・飲料卸売業	0.61	0.033			
平均値	0.81	0.06	平均値	0.44	0.05	平均値	0.10	0.08

これを図にするとスマイルの形になることが想定される。図 2-5 に表 2-1 のデータを用いた結果を示す。エクセルの 2 次式による近似曲線による結果も図に示した。

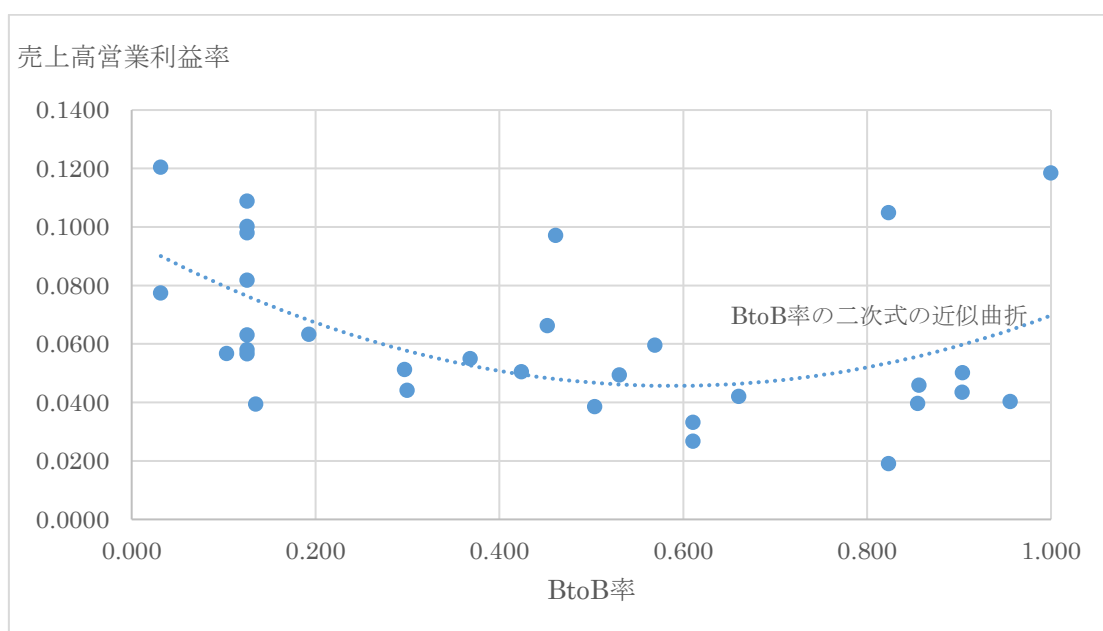


図 2－5 BtoB 率と売上高営業利益率
(資料) Imahashi et. al. のデータから筆者改訂

Imahashi らの研究では、統計解析として BtoB 率あるいは BtoB 率の二乗値を説明変数、営業利益率を被説明変数とした回帰分析を行っている。その結果、川上産業である農林水産業を除くと BtoB 率とは有意に負の関係があることが示されている。

本章では、より詳細に統計ソフトの R を用いて、BtoB 率を説明変数として 1 次式、2 次式、3 次式によるモデルの当てはめを行った。その結果を表 2－2 に示す。

表 2－2 BtoB 率を説明変数に用いた多項式モデルの当てはめ結果

次数	定数	1 次係数	2 次係数	3 次係数	AIC
1 次式	0.074788 (9.197) ***	-0.027507 (-1.843)	—	—	-137.9344
2 次式	0.09523 (8.516) ***	-0.16799 (-2.870) **	0.14242 (2.470) *	—	-142.0438
3 次式	0.08708 (4.934) ***	-0.06993 (-0.403)	-0.10128 (-0.247)	0.16051 (0.602)	-140.4548

(資料) 筆者作成

ここで着目すべきは AIC の値である。AIC とは Akaike が提唱したモデル当てはめの適合度を推定する指標であり、その値が最も低いモデルの当てはまりが良いとする指標である (Akaike, 1974) [20]。また、1 以上の差があるのであれば、適合度には大きな差があるとされている。

図の AIC の結果を見ると 2 次式の値が最も低く、その値は 1 次式あるいは 3 次式の AIC よりも 1 以上低いことから、2 次式の当てはまりが良いと解釈できる。また、係数においても、一次係数が有意に負、二次係数が有意に正となっており、スマイルカーブを示唆する統計解析結果が得られたと考えられる。

2. 5 考察

食料品関連産業の中における細分類の産業の売上高営業利益率を算出し、川上・川中・川下の産業区分における収益性との関係を明らかにした。検証結果については、以下の通りである。

1. 売上高営業利益率の平均値では、川中産業の収益性が川上産業、川下産業の収益性より低い。
2. BtoB 率を説明変数として用いた多項式による重回帰分析の結果は、2 次式を用いたモデルの当てはめが最もよく、また一次係数は有意に負、二次係数は有意に正の値を示しており、スマイルカーブを示唆する解析結果が得られた。

これらを踏まえると川下産業である小売・サービス通業の収益性は食料品製造業より高く、また、川上産業である農林水産業の収益性も若干であるが高いことが示唆される。すなわち、スマイルカーブの議論と整合的な分析結果が得られたと考えられる。

食品関連産業において、川中産業の収益性が低いことについては、弘中(2012)や林(2012)、佐藤(2012)など数多くの既存研究で指摘されている。その理由としては、販売管理費や物流にかかるコストが高いことや海外と比べて企業規模が小さいことが指摘されている。

なお、B to B 率が最も高いが、売上高営業利益率が高い産業として、「013 農業サービス業」がある点は興味深い。この産業では、本研究会でも事例発表を頂いたが、ドローンや AI を用いた精密農業が期待されており、まさに IoT によって、今後の高度化・効率化が期待される産業である。また、電機産業の川下産業である「情報サービス業」の収益性との相違を考えると興味深い。藤本(2009) [21]は、IT 産業における情報サービス産業、基本的にはソフトウェア産業の分業体制について、下請け構造を中心とした分類の類型化を示しており収益性が低いことを示唆している。その理由は、ソフトウェアシステム中の細分化されたモジュールの、かつ一部の部分的な工程の開発にとどまる傾向にあり、高い技術開発力、企画力を必要としないため収益性が低いことが考えられている。これに対して、農業サービス業は、下請けを中心とした分業構造ではなく、農家を相手とした付加価値の高いサービスを提供している可能性が高いと考えられる。

6 結論

スマイルカーブは良く知られて概念であり、日本の組立メーカーが技術開発の主導権を失い、その川上・川下産業に大きな機会があることが議論されている。しかしながら、スマ

イルカーブについて、実証的な分析を行った研究はほとんどない。Imahashi et. al.の研究は、日本の食料品関連産業に関して、公的な定量データを用い、スマイルカーブの分析を行った興味深い結果である。

統計解析の結果、BtoB 率と収益性との関係においては、二次関数式での関係が認められ、スマイルカーブを示す結果となった。上流の産業が技術開発の主導権を持つ可能性があり、また、消費者により近いサービス産業における付加価値が高まるという IoT の議論と整合的な結果が得られている。今後は、他の産業分野における分析を行い、他の産業においても、同様な結果が得られるかの検証が必要と考えられる。

参考文献

- [1] Hiroshi Imahashi, Keisuke Uenishi, Kiminori Gemba, Verification of the smile curve of food industry in Japan – a consideration using the B to B rate and operating income margin, *Forum Scientiae Oeconomia*, 4, p65-79, 2018
- [2] 小川進『イノベーションの発生論理—メーカー主導の開発体制を超えて—』千倉書房, 2000。
- [3] 別府祐弘, 山内暁「知的財産と環境マネジメント」*帝京経済学研究*, 40(1), 2006, pp.99-137.
- [4] 日本経済新聞, 華人から見た IT 産業 分業が最大価値生む 台湾・エイサー創業者 施振榮氏, 2011 年 6 月 5 日付朝刊。
- [5] E.V. Hippel “the dominant role of users in the scientific instrument innovation process,” *Research Policy*, 5, 1976, pp.212-239.
- [6] 小塚善文 (1999), 「日米食品企業の競争力比較 と行動特性」, 「フードシステム研究」, 6(1), PP.16-34.
- [7] 野島直人 (2012), 「経済のグローバル化と落花生加工業の経営戦略 —国産品加工・小売業のニッチ市場と生き残り戦略」, 『現代社会研究』, 10, pp.11-24, 東洋大学現代社会総合研究所.
- [8] Erik Millstone, Tim Lang (2009), *The Atlas of Food [2nd edition] Who Eats What, Where and Why*, (大賀圭治監訳, 食料の世界地図 第 2 版, 丸善.)
- [9] 弘中泰雅, 全要素生産性から見た日本の食品製造業の実情 低生産性の原因は技術進歩不足, *日本生産管理学会誌*, 15(1), 99-104, (2008)。
- [10] 弘中泰雅, 食品製造業はなぜ低利益率か 1 販管費が加工型食品製造業の収益を圧迫している, *食品工業*, 55(16), 82-86, 光琳, (2012)。
- [11] 林芳樹, 食品製造業はなぜ低利益率か 2 経営者のあり方が改善・改革を阻害している, *食品工業*, 55(20), 91-100, 光琳, (2012)。
- [12] 金昌柱, 小売パワーと流通のパワーシフトに関する実証実験 —食品産業における試論的分析—, *社会システム研究*, 22, 75-94, (2011)。
- [13] 佐藤俊一, 食品製造業はなぜ低利益率か 5 物流への理解不足がコストを増大させる(その 1), *食品工業*, 56(8), 94-99, 光琳, (2013)。
- [14] 佐藤俊一, 食品製造業はなぜ低利益率か 6 物流への理解不足がコストを増大させる(その 2), *食品工業*, 56(12), 94-99, 光琳, (2013)。
- [15] Namchul Shin, Kenneth L. Kraemer, Jason Dedrick, “Value Capture in the Global Electronics Industry: Empirical Evidence for the “Smiling Curve” Concept”, *Industry and Innovation*, 19(2), 2012, pp.89-107
- [16] 木村達也「わが国の加工組立型製造業におけるスマイルカーブ化現象—検証と対応—」『研究レポート』富士通総研経済研究所, 167, 2003。
- [17] 木村達也「わが国の加工組立型製造業におけるスマイルカーブ化の再検証」『研究レポート』

富士通総研経済研究所, 261, (2006)。

[18] 経済産業省「平成 24 年経済センサス」

<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/census/index.html> (2018 年 3 月閲覧)

[19] 経 済 産 業 省 「 平 成 24 年 (2012 年) 延 長 産 業 連 関 表 」

<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result.html#menu01> (2018 年 3 月閲覧)

[20] Akaike, H., A New Look at the Statistical Model Identification, IEEE Trans. Autom. Control, AC 19-6, (1974), 716-723.

[21] 藤本理弘 (2009), IT 産業の分業体制の類型化, 地域政策研究, 12(1), pp.185-194.

第3章 IoTと発明

3. 1 はじめに

日本特許庁では庁内に IoT 審査チームを発足させ、2016 年 11 月から IoT 関連技術に関する横断的な分類である広域ファセット分類記号（ZIT）を新設して運用を開始し、翌年 4 月には ZIT のサブ分類として ZJA～ZJG の 12 種類の広域ファセットを追加した。なお、ZIT の付与対象は「モノがネットワークと接続されることで得られる情報を活用し、新たな価値・サービスを創造する技術」と定義されている。

本稿では、昨年が続いて、IoT 関連発明および IoT と深い関係を持つと考えられる技術の動向をアップデートするとともに、その主たるプレイヤー（企業）や特許引用について述べる。

3. 2 IoT 関連発明の動向

3. 2. 1 IoT 関連発明はピークを過ぎたのだろうか？

昨年の報告書で既報のとおり、ZIT 分類の付与は、

- 2016 年 11 月以降に特許査定されたもの（過去の出願への遡及）
- 2016 年 11 月以降に出願されたもの

の 2 種類の発明に対して付与されている。標準的なプロセスでは、日本国内で出願された特許の情報が公開公報によって開示されるのは 18 か月後であり、2016 年 11 月 1 日以降に出願された特許の情報が開示されるのは 2018 年 5 月以降である。ただし、IoT 関連特許については、多くの早期審査請求が行われており、審査を経て特許登録されたものが公開公報による開示前に、特許公報に掲載され公知になっている例も多くみられる。

本稿では、2019 年 3 月 15 日現在に得られた、公開公報および特許公報から抽出した ZIT の全事例（2,288 件）のデータを元に、出願と登録の動向や、技術分類や出願人の分析を行った。またあわせて、IIP パテントデータベース（後述）を利用して、特許引用の分析を行った。

図 3－1 に IoT 関連発明の出願と登録の推移を示す。昨年のデータでは、2016 年以降の出願及び登録の件数が十分に捕捉できておらず、2013 年をピークとして減少しつつあるようなトレンドが見られたが、2016 年の出願をフルに把握できる本年のデータでみると、2016 年以降もさらに活発な出願が続いていることが明らかである（2017 年以降の出願数および 2015 年以降の登録数は、まだ十分に情報が開示されていないことに注意が必要）。図 3－2 は、各年に出願され登録された特許のみに関して、出願から登録までの所要日数の分布をみたものである。2012～2013 年に出願された特許は約 4 年（1400 日程度）かけて登録されたものが最も多くなっており、この傾向が続くとなると 2004 年以降に出願されたものが登録に至る数も、今後増加していくことが見込まれる。なお、上述のとおり、早期審査請求の結果 18 か月（540 日程度）を経過することなく登録され、開示された特許も多い。

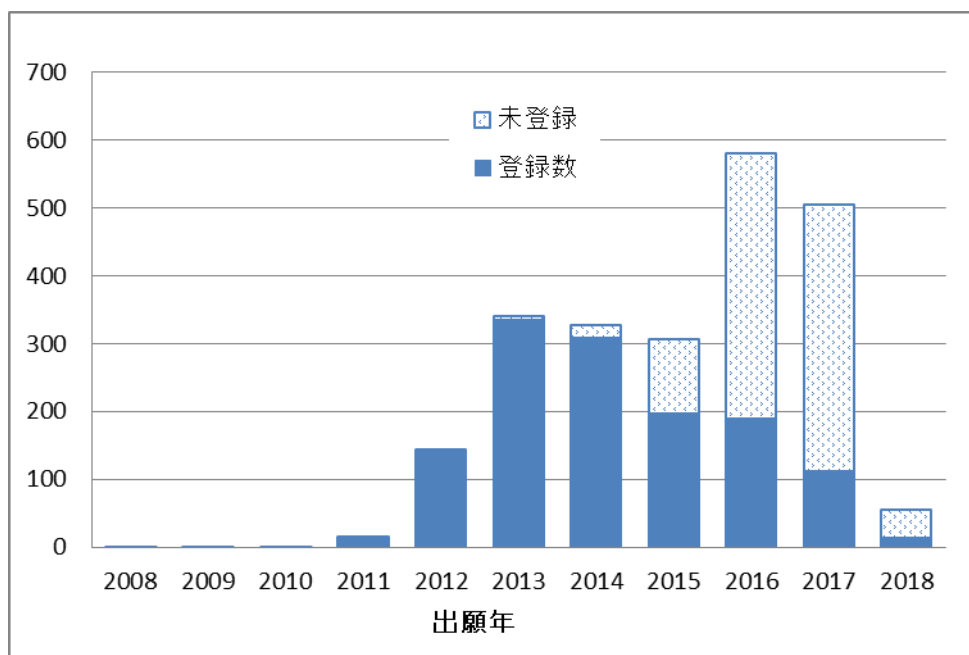


図 3－1 IOT 関連発明の推移

出所： J-PlatPat（特許情報プラットフォーム）から得たデータに基づき作成

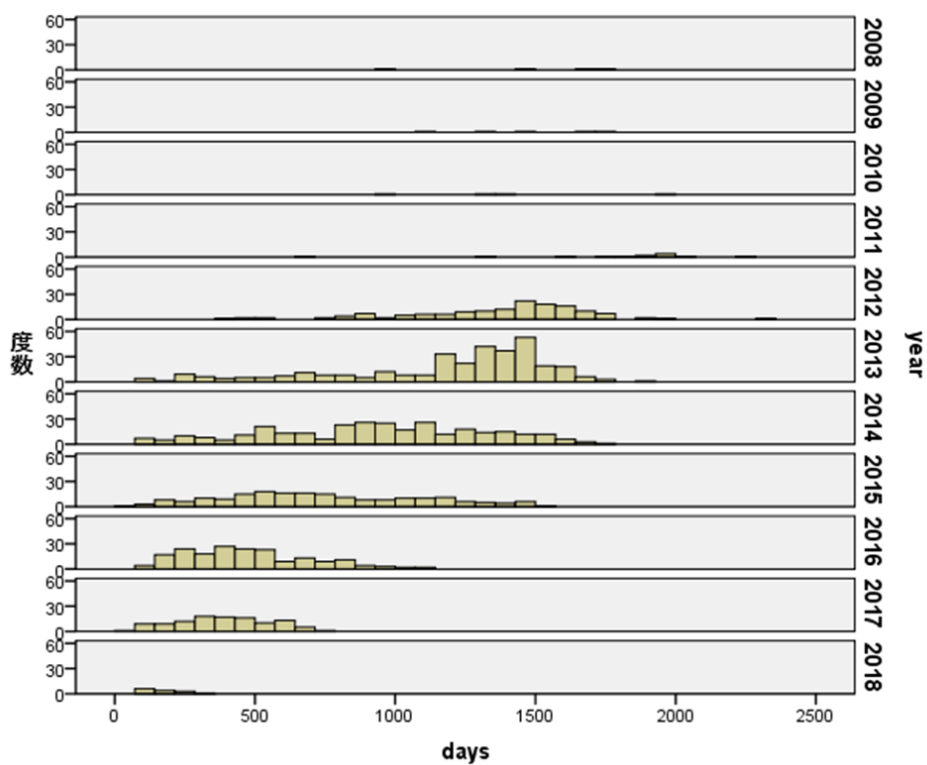


図 3－2 IOT 関連発明の出願から登録まで所要日数の推移

出所： J-PlatPat（特許情報プラットフォーム）から得たデータに基づき作成

これらの傾向から見て、IoT 関連発明は、2016 年以降に新たな成長フェーズに入ったものと考えられる。

3. 2. 2 IoT 関連発明のメインプレイヤー（企業）は変化しているのか？

IoT 関連発明は上述のように、2016 年以降に新たな成長フェーズに入ったようであるが、出願人の企業名を名寄せし、2015 年までと 2016 年以降で上位の出願企業を比較したのが表 3－1 である。表中では、2015 年までの出願数上位 10 社を色分けして示している。この表からはいくつかのことが読み取れる。

まず、出願数の上位集中度がやや低下しているようである。2008～2015 年は上位 3 社集中度が 12.2%であったが、2016～2018 年は 11.0%になっている。個別企業では、日本電信電話やクゥアルコム、デンソーなどが出願数を大きく下げたのに対し、富士通やトヨタ自動車、東芝テックなどが出願数を伸ばしている。そして、2016 年以降は、上位企業中

表 3－1 IoT 関連発明の上位出願人

2008～2015年		2016～2018年	
出願数	出願人	出願数	出願人
52	株式会社日立製作所	43	パナソニック株式会社
49	三菱電機株式会社	42	富士通株式会社
39	パナソニック株式会社	41	株式会社日立製作所
29	日本電気株式会社	31	株式会社東芝
28	日本電信電話株式会社	27	トヨタ自動車株式会社
23	株式会社東芝	25	三菱電機株式会社
21	クゥアルコム・インコーポレイテッド	23	日本電気株式会社
19	ヤフー株式会社	21	ヤフー株式会社
19	富士通株式会社	20	株式会社リコー
18	株式会社デンソー	18	東芝テック株式会社
18	株式会社リコー	18	本田技研工業株式会社
16	ソニー株式会社	17	ニチユ三菱フォークリフト株式会社
15	シャープ株式会社	15	キヤノン株式会社
14	トヨタ自動車株式会社	15	シャープ株式会社
13	キヤノン株式会社	15	ファナック株式会社
13	株式会社gloops	15	株式会社デンソー
12	コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ	13	コニカミノルタ株式会社
12	株式会社ゼンリンデータコム	13	ナイキ イノベイト シービー
11	KDDI株式会社	12	カシオ計算機株式会社
11	楽天株式会社	12	日本電信電話株式会社
10	カシオ計算機株式会社	11	KDDI株式会社
10	京セラ株式会社	11	沖電気工業株式会社
10	小米科技有限责任公司	11	富士ゼロックス株式会社
9	コンヴィーダ ワイヤレス、エルエルシー	10	オムロン株式会社
9	セイコーエプソン株式会社	10	セイコーエプソン株式会社
9	ナイキ イノベイト シービー	8	ソニー株式会社
9	大日本印刷株式会社	8	パイオニア株式会社
8	インテル・コーポレーション	6	コンヴィーダ ワイヤレス、エルエルシー
8	グーグル インコーポレイテッド	6	ソフトバンク株式会社
7	コニカミノルタ株式会社	6	パイドゥ ユーエスエイ エルエルシー

出所：J-PlatPat（特許情報プラットフォーム）から得たデータに基づき作成

に占める外国企業の割合が低下している（7社→3社）。また、非製造業である日本電信電話やヤフー、gloopsなどの企業が比較的上位に顔を出しているのは、両期間に共通する傾向である。

3. 2. 3 IoT 関連発明の分野は変化しているのか？

表3-2はZITサブ分類の構成の変化を集計したものである。全般にサブ分類無しが増加しているが、特に2015年までは多かった「ホームアンドビルディング用；家電用」や「電気。ガスまたは水道供給用」、「情報通信用」などが大きく減少し、「金融用」や「ロジスティックス用」が増加している。

さらに図3-3は、IOT関連技術特許に付与された筆頭技術分類企業の構成の変化を集計したものである。全体の約40%がG06Q（ビジネスモデル特許）とG06F（デジタルデータ処理）で占められているのは両期間に共通しているが、3位以下の技術分類の構成はかなり変化している。G08G（交通制御システム）の構成比が4%から8%へと増加し、A61B（診断・識別）がやや減少、G01C（センサー）が5%から2%へと減少、B60W（自動車部品）やG05B（制御系または調整系一般）などが新たに上位10位以内にランクインしている。

上記以外の上位の技術分野は、A63F（ゲーム）、A63B（スポーツ）、G08B（教育）、G07G（キャッシュレジスター）など、IoTの利用が想定される分野や、H04L（デジタル通信）、H04N（画像通信）、H04W（無線通信）など、IoTのインフラを構成する分野で構成されている。このような技術分野の構成の変化と先に述べた出願企業の変化を併せて考えると、情報家電やアミューズメント、スマートメーターなどへのIoT応用が減少し、代わって自動車や金融サービス、情報通信インフラへの応用が増加しつつあるものと考えられる。

表3-2 ZITサブ分類の変化

ZIT Internet of Things[IoT] (2019.3.15現在累計)	2008～2015	2016～2018
ZJA・農業用；漁業用；鉱業用	15	7
ZJC・製造業用	33	30
ZJE・電気，ガスまたは水道供給用	74	20
ZJG・ホームアンドビルディング用；家電用	174	36
ZJI・建設業用	12	6
ZJK・金融用	16	27
ZJM・サービス業用	192	130
ZJP・ヘルスケア用，例．病院，医療または診断；社会福祉事業用	132	75
ZJR・ロジスティックス用，例．倉庫，積み荷，配達または輸送	12	27
ZJT・運輸用	146	92
ZJV・情報通信用	89	12
ZJX・アミューズメント用；スポーツ用；ゲーム用	73	30
(サブ分類無し)	179	649
計	1147	1141

出所：J-PlatPat（特許情報プラットフォーム）から得たデータに基づき作成

3. 2. 3 多く引用される（価値の高い）IoT 特許とは？

特許審査官に多く引用される（前方引用される）特許は、後発特許に対する排除力が強い（審査官による拒絶査定根拠として引用される）か、もしくは新しい知識の源としての性格が強い（後発特許において基本発明として引用される）、価値の高い特許であるとみなされる（OECD, 2009）。IIP パテントデータベース（2017 年版）によると、IoT 関連特許としては 86 の特許が 148 回引用されている。なお、IIP パテントデータベース（2017

表 3－3 被引用回数の多い IoT 関連特許

被引用回数	出願番号	出願人	発明の名称
17	2008238123	オリンパス株式会社	情報提示システム、プログラム及び情報記憶媒体
8	2009231325	KDDI株式会社	端末位置、姿勢に連動した広告表示システム、装置及び方法
7	2013097166	株式会社gloops	ゲームサーバ、ゲーム制御方法、プログラム、ゲームプログラム記録媒体、及びゲームシステム
6	2014542451	タバッド、インコーポレーテッド	物理装置またはソフトウェアアプリケーションの識別子間の関連に基づく、ユーザ活動の識別および追跡
5	2010528699	日本電気株式会社	活動データ提示装置、活動データ提示方法およびプログラム
5	2013138844	株式会社 ディー・エヌ・エー	サーバ装置、及び、ゲームプログラム
5	2013536934	ナイキ イノベイト シービー	アスレチック機能を有するウェアラブル装置アセンブリ
4	2013048253	三菱プレジジョン株式会社	駐車場管理システム
4	2014078838	株式会社gloops	ゲームサーバ、ゲーム制御方法、ゲームプログラム、ゲームプログラムを記録した記録媒体及びゲームシステム
3	2008289867	株式会社ネクスコ東日本エンジニアリング他	道路施設の保守管理支援方法及びそのシステム
3	2012270341	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ	渋滞予測装置、渋滞予測システム、渋滞予測方法、及び、プログラム
3	2012275440	株式会社日立システムズ	緊急作業指示通報システム、緊急作業指示通報方法、およびプログラム
3	2013032600	大阪瓦斯株式会社	加熱調理システム及び加熱調理システム用アプリケーションプログラム
3	2013078630	楽天株式会社	商品情報提供システム、商品情報提供装置、商品情報提供方法、及び商品情報提供プログラム
3	2016524945	三菱電機株式会社	ログ分析装置、及びログ分析方法
2	2009234262	日本電信電話株式会社	位置探索装置および位置探索方法
2	2012144739	三井造船株式会社	船舶の最適航路計算システム、船舶の運航支援システム、船舶の最適航路計算方法、及び船舶の運航支援方法
2	2012150946	株式会社大和総研ビジネス・イノベーション	OTC-FX業務用のレート生成システムおよびレート生成方法、並びにプログラム
2	2013014857	ソーラー・エナジー・ソリューションズ株式会社	太陽光発電監視方法
2	2013032598	大阪瓦斯株式会社	加熱調理システム及び加熱調理システム用アプリケーションプログラム
2	2013075569	株式会社バンダイナムコゲームス	ゲーム情報提供システム及びプログラム
2	2013094293	フリュー株式会社	画像提供システム、画像提供方法、および画像提供装置
2	2013552597	コンサート インコーポレイテッド	能動負荷管理の使用を通じて配分可能な運転用予備力エネルギーキャパシティを推定及び供給するシステム及び方法
2	2014083564	ビコム株式会社	コンテンツ提供サーバ及びコンテンツ提供方法
2	2014122943	株式会社ウィルモビル	マーケティングシステム及びマーケティング方法
2	2014123831	A・Tコミュニケーションズ株式会社	コンテンツ提供システム、コンテンツ提供方法、通信端末、コンテンツ取得方法、及びプログラム
2	2015511041	トヨタ自動車株式会社	走行環境評価システム及び走行環境評価方法及び運転支援装置及び走行環境の表示装置

出所： IIP パテントデータベース¹から得たデータに基づき作成

¹ <http://www.iip.or.jp/patentdb/> からダウンロード可能。データベースの構成等について

年版) は、基本的に 2016 年までに出願された特許の情報に基づいているため、あまり新しい特許はカバーされていないことに留意する必要がある。86 特許のうちの大多数は 1 回のみの被引用であるが、表 3 に示した 23 の特許は複数回引用されている。これらのうち特に被引用回数が大きいトップ 3 の特許について、その概要および引用した後発特許の出願人を調べた。

最も引用回数の多い 2008 年出願の特許は、昨年度の報告書にも記載した、最も初期にオリンパスによって出願された IoT 関連特許で、ウェアラブル情報端末に関する発明である (図 3-4)。なお、一般的に古い特許ほど多く引用される可能性があるのは事実であるが、現実には表 3 に示したように新しい特許 (出願番号の頭 4 桁がほぼ出願年に相当する) で多く引用されるものもあり、個別特許でみると出願時期の古さと被引用数の相関はあまり高くない。このオリンパスの特許を引用している後発特許は、オリンパス、日本電信電話、ソニー、ゼンリンデータコムからそれぞれ 2 件出願され、その他 NHN Corporation (韓国のインターネットサービス会社) やヤフー、ニコン、富士通、日本電気などからも出願されている (表 3-4)。

2008年9月にオリンパスが出願したIoT関連特許

- ・ ウェアラブル情報機器
 - “これまでの情報提示システムではできなかった、日常生活パターンに変化を与えるきっかけを提供すると共に、非日常体験のハードルを下げて、日々の生活の中で日常と非日常を適度にバランスさせることができる情報提示システム”
- ・ 筆頭技術分類: G06Q 30/02 (いわゆるビジネスモデル特許)「マーケティング、例: 市場調査と分析、調査、促進、広告、バイヤー・プロファイリング、顧客管理、謝礼; 価格の見積りあるいは決定」
 - 筆頭分類以外に付与された技術分類 (FI):
 - ・ G08G 1/005 歩行者用の誘導案内表示装置
 - ・ G06F 17/60 電子商取引
 - ・ G01C 21/26P 道路網における航行に特に適合
 - テーマコード
 - ・ 5B049 特定用途計算機
 - ・ 2F129 航行 (Navigation)
 - ・ 5H180 交通制御システム
 - ・ 5H181 交通制御システム (観点整理)
 - ・ 5L049 管理・経営・業務システム、電子商取引

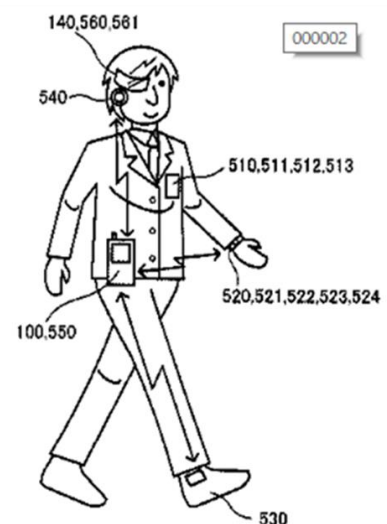


図 3-4 最も被引用 (前方引用) 回数の多い IoT 関連特許

出所: J-PlatPat (特許情報プラットフォーム) から得たデータに基づき作成

は、中村健太 (2016)を参照のこと。

表 3－4 被引用数の多いIoT 関連特許（上位 3 件）を引用した後発特許の出願人

被引用特許	出願人	引用特許	出願人
		2008237930	オリンパス株式会社
		2010111391	エヌエイチエヌ コーポレーション
		2010111391	NHNJapan株式会社
		2010126209	日本電信電話株式会社
		2010180797	ソニー株式会社
		2010270656	株式会社ゼンリンデータコム
		2011144103	オリンパス株式会社
		2012025943	株式会社ニコン
2008238123	オリンパス株式会社	2012062136	ヤフー株式会社
		2012075194	富士通株式会社
		2012514747	日本電気株式会社
		2013064442	株式会社ゼンリンデータコム
		2013110137	日本電信電話株式会社
		2013514138	スマート ハブ ピーティーイー リ
		2014025648	日本電信電話株式会社
		2014520385	クアルコム, インコーポレイテッド
		2015046801	ソニー株式会社
		2012075194	富士通株式会社
		2012173130	株式会社ミクシィ
		2012212766	大日本印刷株式会社
2009231325	KDDI株式会社	2012228006	富士フイルム株式会社
		2012260992	三菱電機インフォメーションシステム
		2012260992	三菱電機株式会社
		2014024930	ヤフー株式会社
		2014143674	ヤフー株式会社
		2014078838	株式会社gloops
		2014140071	グリー株式会社
		2014198873	株式会社セガゲームス
2013097166	株式会社gloops	2015050099	グリー株式会社
		2015127826	グリー株式会社
		2015195202	グリー株式会社
		2015240750	グリー株式会社

出所： IIP パテントデータベースから得たデータに基づき作成

被引用回数が 2 位（3 位）の特許は、2009 年に KDDI によって出願された「携帯端末装置の現在の位置、姿勢に応じて仮想空間内に存在する広告を表示する」という発明と、2013 年に gloops（ソーシャルゲームの開発・運営を行っている新興企業）によって出願された「仮想空間で使用可能な仮想アイテムを仮想ユーザに付与することが可能なゲームサーバ」という発明である。KDDI の特許を引用している特許の出願人は、インターネットサービス会社が多く、また gloops の特許を引用している特許の出願人は全てゲームに関係する企業となっている。

3. 2. 4 先行特許を多く引用した IoT 特許とは？

特許審査官が先行技術の引用を多く付与した（後方引用が多い）特許は、幅広い知識の蓄積の上に成立した発明であるとみなされる。IIP パテントデータベースによると、IoT 関連特許では 831 の特許が 3,971 の先行特許を引用しており、このうち 48 件の特許では先行特許が 10 件以上引用されている。最も多くの先行特許を引用しているのは、2013 年にオムロンが出願した特許である（表 3－5）。

表 3－5 先行特許の引用（後方引用）の多い IoT 関連特許

引用回数	出願番号	出願人	発明の名称
29	2013544617	オムロン株式会社	データフロー制御指令発生装置およびセンサ管理装置
21	2013165058	三菱電機株式会社	制御装置、機器操作システム、制御方法及びプログラム
18	2012214367	株式会社東芝 他	冷蔵庫
18	2013077882	三菱電機株式会社	冷蔵庫
18	2013224434	三菱電機株式会社	冷蔵庫
18	2014539276	ヴェーエムエフ ヴュルテンベルギッシェ メタル ヴァーレンファブリーク アクチエンゲゼルシャフト	調理器具の制御、調整、および操作装置
16	2012180997	大日本印刷株式会社	気象情報生成装置、プログラム及び通信システム
16	2014047311	株式会社穴吹カレッジサービス	遠隔品質管理システム
16	2014240768	株式会社コロプラ	ディスプレイとネットワークを介して接続される複数のコントローラとを連動させて画面操作するシステム、プログラム、及び方法
15	2012193143	YAMAGATA INTECH株式会社 他	サーバー装置、及び、情報処理システム
15	2014080333	パナソニック株式会社	ホームセキュリティに用いられる監視カメラシステム
14	2012188750	株式会社東芝	地上移動体経路導出装置
14	2012245896	三菱電機株式会社 他	家庭用電力制御装置及び家庭用電力制御システム
14	2015026637	株式会社じぶん銀行	マルチデバイスに対応したシステムにおいて用いられる装置、その装置において実行される方法およびプログラム
14	2015093773	コガソフトウェア株式会社	通知サーバ、通知方法および通知プログラム
14	2016119472	株式会社FiNC	健康管理サーバおよび健康管理サーバ制御方法並びに健康管理プログラム
13	2014045050	中国電力株式会社	電力量計、及び電力量計の検定システム
13	2015150164	明豊ファシリティワークス株式会社	プロジェクト進捗状況管理システムおよびコンピュータプログラム
12	2008238123	オリンパス株式会社	情報提示システム、プログラム及び情報記憶媒体
12	2011271564	古野電気株式会社	情報表示システム、情報表示装置、管理サーバ、及び情報表示方法
12	2013078630	楽天株式会社	商品情報提供システム、商品情報提供装置、商品情報提供方法、及び商品情報提供プログラム
12	2014058018	フリー株式会社	サーバ、その制御方法、制御プログラム、および記憶媒体
12	2014081508	ジーイー・アビエーション・システムズ・リミテッド	抽気システムの故障を予測するための方法
12	2015251505	明豊ファシリティワークス株式会社	プロジェクト進捗状況管理システムおよびコンピュータプログラム
11	2013052063	株式会社東芝	制御パラメータ調整方法、制御パラメータ調整システム及び制御パラメータ設定装置
11	2013068893	三菱電機株式会社 他	加熱調理器
11	2015001261	グーグル インコーポレイテッド	クラウドベースの印刷サービス
11	2015173424	ソニー株式会社	情報処理装置、情報処理方法、及びプログラム
11	2015505006	ウェルコーブ ファルマ	患者の健康パラメータの測定および処理のための医療装置
11	2016567118	シャオミ・インコーポレイテッド	残りの使用期間の特定方法、装置、プログラム、及び記憶媒体

出所： IIP パテントデータベースから得たデータに基づき作成

2013年2月にオムロンが出願したIoT関連特許

- データフロー制御指令発生装置およびセンサ管理装置
 - “センサに関する情報であるセンサ側メタデータと、アプリケーションに関する情報であるアプリ側メタデータ、それらのマッチング手段、それによりデータフローを制御するための指令発生装置”
 - 筆頭技術分類: H04M 11/00「他の電気システムとの結合のために特に適合した電話通信方式」
 - 筆頭分類以外に付与された技術分類 (FI) :
 - H04W 84/18 自律分散型ネットワーク
 - G08G 1/08 検出された車両の数 速度による制御
 - B60R 21/00 事故または歩行者への危害予防設備
 - H04W 4/04 無線通信ネットワーク
 - G06G 50/30 運輸業; 通信業に適合したシステム
 - H04Q 9/00 遠隔制御システム
-

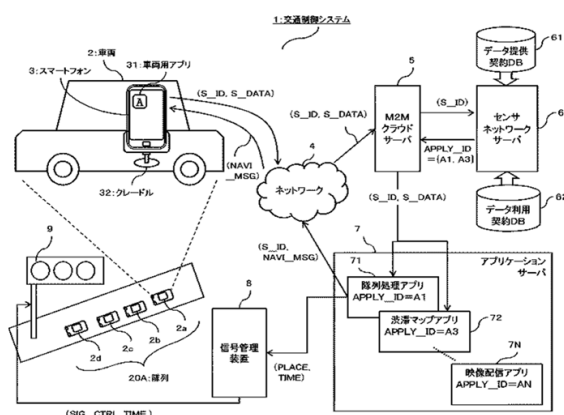


図3-5 最も引用（後方引用）回数が多いIoT関連特許

出所： J-PlatPat（特許情報プラットフォーム）から得たデータに基づき作成

この特許は、「データフロー制御指令発生装置およびセンサ管理装置」という一般的な名称になっているが、説明を読むと主に車両・交通システムの制御への応用を想定したものであることがわかる（図3-5）。例えば、交差点における交通信号と自動運転車の制御を管理するシステムが図解されている。

表 3-6 は、IoT 関連特許が引用した 3,971 の先行特許の筆頭技術分類を出願年別に集計したものである。2011 年頃までの早期には、A61B（診断・手術・個人識別）や H04Q（遠隔制御・テレメータ）が多かったが、最近では G01C（センサー）や G06Q（ビジネスモデル）が増加しているようである。

表 3－6 IoT 関連特許が後方引用した先行特許の技術分類

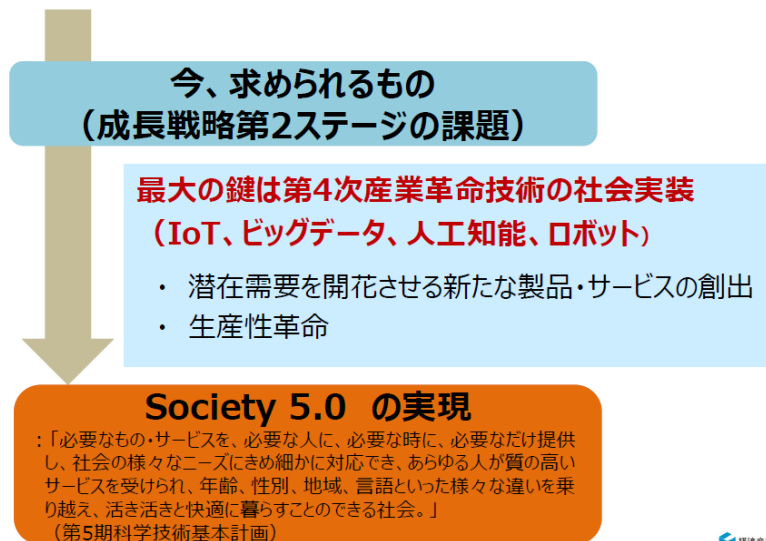
出願年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
A61B	0.0%	0.0%	28.0%	8.3%	3.5%	3.8%	3.0%	5.6%	4.6%
A63F	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.9%	2.8%	4.9%	5.8%	0.0%
G01C	3.4%	3.3%	0.0%	8.3%	6.6%	5.9%	3.3%	2.6%	5.2%
G05B	6.9%	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	2.6%	1.1%	1.4%	1.5%
G06F	27.6%	13.3%	36.0%	16.7%	15.5%	22.8%	26.1%	30.2%	27.8%
G06Q	13.8%	3.3%	8.0%	5.6%	9.7%	10.5%	11.4%	13.7%	17.5%
G08B	10.3%	0.0%	0.0%	0.0%	5.5%	3.3%	3.5%	1.0%	1.0%
G08G	6.9%	3.3%	0.0%	2.8%	7.1%	5.6%	4.2%	3.4%	5.2%
H02J	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	7.4%	4.8%	2.3%	0.8%	1.0%
H04L	0.0%	3.3%	0.0%	0.0%	2.4%	2.3%	2.7%	1.4%	0.0%
H04M	0.0%	3.3%	4.0%	2.8%	3.2%	1.7%	3.4%	1.0%	3.1%
H04N	0.0%	10.0%	0.0%	1.4%	3.0%	4.5%	6.3%	1.4%	0.5%
H04Q	3.4%	23.3%	12.0%	2.8%	2.7%	2.9%	2.5%	2.6%	0.5%
	72.4%	63.3%	88.0%	50.0%	70.4%	73.6%	74.7%	71.2%	68.0%

出所： IIP パテントデータベースから得たデータに基づき作成

3. 2. 4 IoT と AI（機械学習）に関する特許

昨年の報告書でも取り上げたが、経済産業省の産業技術審議会が指摘するように、日本の今後の成長戦略の鍵は第 4 次産業革命技術の社会実装を実現できるかどうかにある。第 4 次産業革命を支える技術としては、IoT、ビッグデータ、ロボット、AI（人工知能）がよく取り上げられるが（図 3－6）、AI 技術の中でも近年特に注目されているのは、「機械学習」に関する技術であり、特許の分類では「テーマコード：5B078 及び 5B178」に相当する。図 3－7 に、この「機械学習」関連出願の動向を示すが、2014 年頃から特許出願数が急増していることがわかる。

アベノミクス成長戦略は、今どこにいて、何が求められているのか？



経済産業省

図 3－6 日本の今後の成長戦略

出所： 新産業構造ビジョン（経済産業省 産業構造審議会）

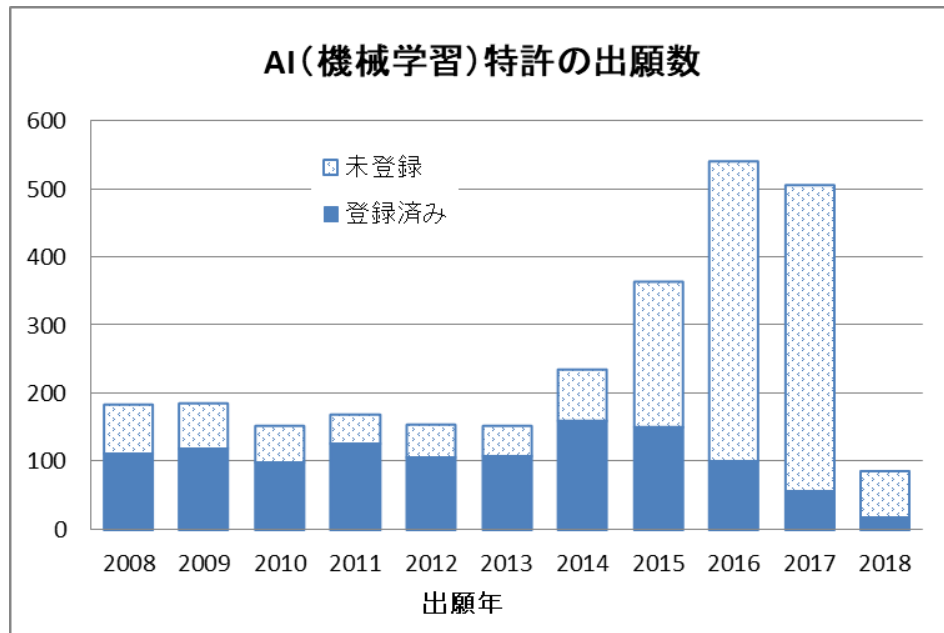


図 3-7 AI (機械学習) 関連特許の出願と登録の動向

出所： J-PlatPat (特許情報プラットフォーム) から得たデータに基づき作成

表 3-7 IoT 関連特許のうち AI (機械学習) のテーマコードを持つ特許

出願番号	出願日	登録日	発明の名称	出願人
2018175586	2018/9/20	-	サービス提供システムおよびプログラム	株式会社フューチャーアイ
2018049699	2018/3/16	-	傾聴、インタラクト、及びトーク:インタラク션을介するスピーキング学習	바이두 유에스에어 엘엘シー
2018538357	2017/8/28	-	時系列データ特徴量抽出装置、時系列データ特徴量抽出方法及び時系列データ特徴量抽出プログラム	日本電信電話株式会社
2017151456	2017/8/4	2018/7/20	ディープ(双方向)再帰型ニューラルネットワークを用いたセンサデータの時間融合に基づく効率的な運転者行動予測システム	トヨタ自動車株式会社
2017054320	2017/3/21	-	ゲートウェイ装置及びその制御方法、並びにプログラム	KDDI株式会社
2018505914	2017/3/13	-	学習サービス提供装置	オムロン株式会社
2017033896	2017/2/24	2019/3/1	工具状態推定装置及び工作機械	ファナック株式会社
2018508410	2017/1/13	-	データ統合分析システム	株式会社日立製作所
2018536523	2017/1/13	-	時系列データ適合およびセンサ融合のシステム、方法、および装置	株式会社Preferred Networks
2016231534	2016/11/29	-	検知認識システム	日立マクセル株式会社 他
2016214784	2016/11/2	-	検知装置、検知方法および検知プログラム	日本電信電話株式会社
2016193209	2016/9/30	-	自動学習装置、方法、プログラム、自動学習システムおよび自動モニタ装置	KDDI株式会社
2016129081	2016/6/29	2017/2/17	冷却装置の稼働条件を学習する機械学習装置、機械学習装置を備えた電動機制御装置及び電動機制御システム並びに機械学習方法	ファナック株式会社
2016029605	2016/2/19	2017/3/24	複数の産業機械の作業分担を学習する機械学習装置、産業機械セル、製造システムおよび機械学習方法	ファナック株式会社
2017538720	2016/1/22	-	異種環境におけるエッジデバイスのためのモデルフィルタリングおよびモデルミキシングによる機械学習	株式会社Preferred Networks
2017538722	2016/1/22	-	機械学習の異種エッジデバイス、方法、およびシステム	株式会社Preferred Networks
2016529437	2014/11/10	2019/1/18	コンピュータ化された臨床診断支援のための階層的自己学習システム	コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ
2014021294	2014/2/6	2017/2/10	発電量予測装置および発電量予測方法	三菱重工業株式会社

出所： J-PlatPat (特許情報プラットフォーム) から得たデータに基づき作成

IoT 関連特許で機械学習に関係しているものは、表 3-7 に示した 18 件である。このうち 2019 年 3 月時点で登録されているものは 6 件であるが、機械学習関連特許は図 3-7 からわかるように以前より高い登録率（70～80%）を示していることから、今後もこの中から登録されるものが増えていくものと考えられる。

3. 3 考察

IoT 関連の発明は、2016 年頃から第 2 段の成長フェーズに入り、現在も活発な特許出願が続いているものと考えられる。第 2 段の成長フェーズでは、出願人の裾野が広がり（上位出願人への集中度が低下）、技術分野としては、自動車や金融サービス、情報通信インフラ分野への IoT の応用が増加しつつある。また、IoT と関係の深い AI 技術（機械学習）の特許出願が 2014 年頃から急速に増加しており、この動きも IoT 関連特許の第 2 段成長フェーズに貢献している可能性があるだろう。

参考文献

- [1] OECD Patent Statistics Manual (2009)、
<https://www.oecd.org/sti/inno/oecdpatentstatisticsmanual.htm>
- [2] 中村健太 (2016)、『IIP パテントデータベース』の開発と利用』, 国民経済雑誌, 214 (2), 75-90.
- [3] 経済産業省 産業構造審議会 新産業構造部会 (2017)「新産業構造ビジョン」、
<https://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170530007/20170530007-2.pdf>

第4章 第四次産業革命へ向けた、半導体産業の「かたち」

4. 1 はじめに

「日本再興戦略改訂 2015」（2015 年 6 月閣議決定）において、IoT・ビッグデータ・人工知能による産業構造変革（第四次産業革命）に向けた取り組みが重要施策の一つと位置づけられてから、約 4 年が経過しようとしている。

この間、自動運転・移動支援、医療・ヘルスケア、決済・金融など多くの分野で実証実験レベルの取り組みが進められているが、各産業内あるいは産業間で、「革命」レベルの変化が起きているようには実感されない。しかし、Deep Learning や Blockchain のような汎用技術におけるブレークスルーが発生している以上、今後大規模な産業構造変化が発生する可能性は依然として大きい。では、その変化が発生するとしたら、まずどの産業から発生するのだろうか。

第四次産業革命へ向けては、ソフトウェアと同様にハードウェア（電子機器）の役割も大きい。自動車、家電、医療機器などに組み込まれた電子機器には、今後 IoT・ビッグデータ・人工知能などに対応した高度化が求められるが、それはすなわち電子機器に組み込まれた半導体の高度化を意味するであろう。多くの産業に「産業の米」を提供する半導体産業に着目し、その変化を観察することで、今後の産業構造変化もある程度見通せるのではないだろうか。

そこで本稿では、まず 2000 年代から現在にいたる日本と世界の半導体産業の構造変化を、レーダーチャートを用いた「かたち」として概観し、現在提出されている半導体市場の予測も踏まえた上で、今後発生する半導体産業の構造変化と第四次産業革命に及ぼす影響について考察する。

4. 2 2000 年代以降の半導体産業の変化

4. 2. 1 分析データと分析法

世界の半導体市場における日本の存在感の低下については、これまでデジタル IC や SoC、あるいは DRAM の分野に着目した分析が多く[1][2][3]、アナログ IC やイメージセンサー、パワー半導体なども含めた半導体デバイス全体の観点で構造変化を捉えたものは少ない。しかし、第四次産業革命という産業全体の変革へ向けた変化を捉えるのであれば、主要な半導体デバイスは全て含めて出荷構成全体を捉える必要があるだろう。

世界市場における半導体品目ごとの出荷データについては、WSTS（World Semiconductor Trade Statistics）による市場統計情報が利用可能だが、集積回路（IC）4 カテゴリ・その他 3 カテゴリに大別された出荷額のみ（他に地域別がある）が公開されており、各カテゴリ内詳細品目の出荷額については WSTS 会員のみが利用可能となっている。

一方、日本の半導体出荷データに関しては、生産動態統計（旧機械統計）が利用可能で、

集積回路（IC）3カテゴリ・その他8カテゴリに分類され、さらに詳細品目ごとの出荷額も公開されているが、WSTSのカテゴリ構成とは異なる部分が多く、単純比較はできない。

そこで、一般社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）の資料[4]を参考に、表4-1のようにWSTSのカテゴリと生産動態統計の各品目を付き合わせた。

表4-1 WSTSと生産動態統計の半導体分類

集積回路(IC)

WSTS	生産動態統計
IC: MOS Micro	
MOS MPU	MPU
MOS MCU	MCU
MOS DSP	
IC: Logic	
デジタルバイポーラ	計数回路: バイポーラ型
汎用MOSロジック	ロジック: 標準ロジック
MOSゲートアレイ	ロジック: セミカスタム
MOSスタンダードセル&FPLD	
MOSディスプレイドライバ	ロジック: ディスプレイドライバ
MOS特定用途向けロジック	ロジック: その他
IC: MOS Memory	
DRAM	DRAM
SRAM	SRAM
フラッシュメモリ	フラッシュメモリ
マスクPROM	その他メモリ
EPROM	
その他のメモリ	
IC: Analog	
標準リニアIC(汎用アナログIC)	標準線形回路
専用アナログIC	非標準線形回路: 産業用機器向
	非標準線形回路: 民生用機器向

その他

WSTS	生産動態統計
Discrete	
ダイオード	シリコンダイオード
小信号トランジスタ	シリコントランジスタ: 1W未満
パワートランジスタ	
IGBT	IGBT
MOSFET	電界効果型トランジスタ
Bipolar	シリコントランジスタ: 1W以上
RF Power	
整流素子	整流素子(100mA以上)
サイリスタ	サイリスタ
その他の個別半導体素子	バリスタ
	その他の半導体素子
Opt Electronics	
Image Sensors	その他のMOS型: CCD
	その他のMOS型: その他
Lamps	発光ダイオード
Lasers	レーザダイオード
Photocoupler	カプラ・インタラプタ
Others	太陽電池セル
	その他の光電変換素子

なお、WSTS には「Sensor/Actuator」というカテゴリがあり、内訳は温度センサーや圧力センサーなどからなるが、生産動態統計の品目とは照合が難しいため、WSTS 側からはカテゴリごと除外し、生産動態統計からは温度センサーに近い「サーミスタ」を除外することで対応した。また、生産動態統計には「混成集積回路（ハイブリッド IC）」というカテゴリがあるが WSTS にはこれがないため、生産動態統計側から除外した。これら进行处理した上で、生産動態統計の各品目の出荷額を WSTS の 6 カテゴリに対応させて集計した。

そして、各カテゴリの出荷額が全体（上記項目を除いた総出荷額）に占める割合を、世界（WSTS）・日本（生産動態統計）別に同じレーダーチャート上に描き「かたち」として表現することで、両者の概観を比較可能とした。なお、WSTS は 2002 年から「IC: MOS Micro」に分類されていた一部品目を「IC: Logic」に移しており、生産動態統計も 1999 年と 2002 年の調査で分類の見直しが行われている。そこで、経年データとして比較可能な 2002 年以降 2017 年までの 16 年間を分析対象とした。

4. 2. 2 分析結果と解釈

分析結果から、2002 年、2007 年、2012 年、2017 年のグラフを図 4-1 に示す。

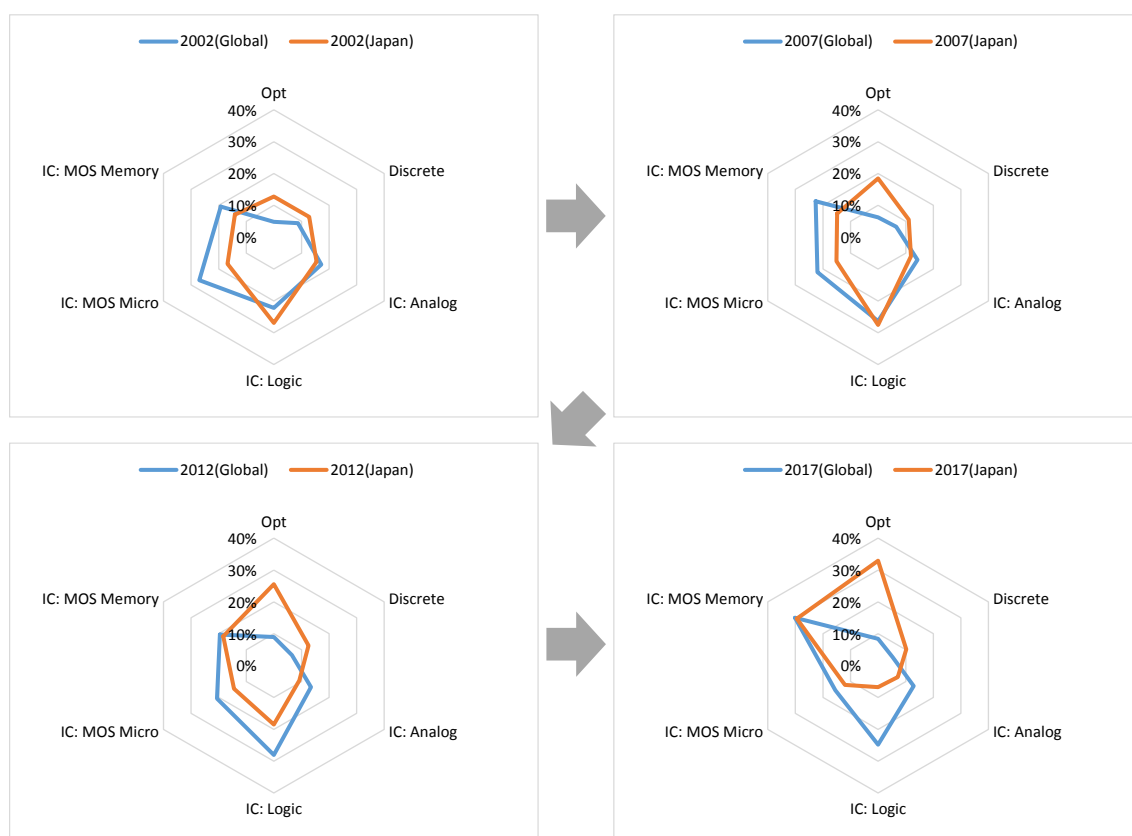


図 4-1 世界・日本の各市場におけるカテゴリ別出荷額シェア

全半導体品目を 6 カテゴリに大別しての比較となるので、品目ごとの細部には拘らず、

ここでは敢えて「デジタル」と「アナログ」という観点から大局的に観察する。なお、「デジタル」とはデジタル信号を主に扱う「IC: MOS Micro」「IC: Memory」「IC: Logic」を指し、「アナログ」とはアナログ信号や電流・電圧等を取り扱う「Opt Electronics」「Discrete」「IC: Analog」を指す（各カテゴリの詳細品目については表 4・1 参照）。

2002 年のグラフでは、世界の半導体産業は「IC: MOS Micro」を頂点に「デジタル」側に重心があり、日本の半導体産業は「IC: Logic」に「尖り」があるが、「デジタル」「アナログ」双方にバランスのとれた形状をしている。

データの連続性に問題があるため単純比較はできないが、1990 年代終盤では日本は「IC: Memory」に大きな「尖り」があった。しかし、「IC: Memory」に属する DRAM において、大型コンピューターやデジタル交換機用の高品質 DRAM から、PC や小型サーバー用の低価格 DRAM に製造技術を転換できず[3]、1998 年にはシェアで韓国に抜かれ、さらに 2001 年のインターネットバブル崩壊後に価格圧力が強まる中で、急激にその「尖り」を失った。その一方で、2002 年頃日本では、デジタルテレビなどデジタル家電や携帯電話などの需要を背景として、「IC: Logic」の出荷が伸びていた時期であった。他方、世界の半導体産業では 1990 年代後半から PC・サーバー用の MPU や DRAM を中心に、「デジタル」側へのシフトが続いていた。

これが 2007 年になると、日本ではカメラ付き携帯電話やデジカメ、携帯情報端末などの需要を背景に、その中核部品を含む「Opt Electronics」「IC: Logic」が「尖り」を増し、「デジタル」「アナログ」のバランスを保ちながら上下に細長いグラフに変化する。世界でも携帯情報端末やデジカメの需要は高まっていたが、2007 年には Apple 社が iPhone を発表、スマートフォン用 OS 開発へ向けたコンソーシアム OHA が Google 社を中心に設立されるなど、携帯情報端末の需要がさらに伸びると予想されていた。こうした動きを背景に、世界の半導体産業も、「デジタル」にシフトしつつも「尖り」が「IC: MOS Micro」から「IC: Logic」に移行しており、「IC: Logic」を巡って国際競争が激化していた。

この「IC: Logic」の分野をリードする目的で、日本では 2001 年から「あすかプロジェクト」など国家プロジェクトやコンソーシアムを通じた取り組みが強化されたが、結果的に世界市場で主導権を奪うことはできなかった[3]。その結果、2012 年・2017 年のグラフに見るように、日本の半導体産業において「IC: Logic」の「尖り」は徐々に失われていく。

また、2012 年・2017 年のグラフで注目すべきは「IC: Analog」の動きで、世界の半導体市場では大きな変動はないが、日本において急速に「尖り」を失っていることである。この分野において、1995 年当時は企業別の世界市場シェアで日本企業としては松下電器(当時)、三洋電機(当時)、NEC の 3 社が上位 10 位以内に入っていたとされるが[5]、三洋電機はその後 Panasonic に買収された上、2008 年に半導体部門が米国 ON Semiconductor に売却されるなど、日本はこの分野での国際競争力を失っていった。2017 年時点では、2010 年に NEC エレクトロニクスを統合し、2017 年に米国 Intersil 社(2015 年にこの分野で世界 5 位)を買収したルネサス・エレクトロニクスが、世界第 10 位に位置するのみである。

なお 2017 年のグラフでは、世界も日本も「IC: Memory」に大きな「尖り」があるが、これはクラウド用の DRAM や、スマートフォンや SSD 用の NAND フラッシュメモリの需要が急速に高まっていたことが背景にある。しかし、この分野では需給変化に伴う価格変動の影響が出荷額に強く反映され[6]、実際に 2017 年の「IC: Memory」の世界全体の出荷額は対前年比で 61.5%増と大幅に変動しており、生産調整可能な範囲を超えていると考えられる。このように、「IC: Memory」については、出荷額が出荷数量と大きくかけ離れた変動をする場合があるので注意が必要である。

以上のような経緯から、現在の日本の半導体産業は、全体的には「Opt Electronics」「Discrete」を中心とする「アナログ」分野に重心があり、しかも「IC: Analog」が縮小した状態になっている。これに対して世界の半導体産業は、スマートフォンやクラウドの中核部品からなる「デジタル」分野に重心があり、「IC: MOS Micro」から「IC: Logic」に「尖り」移行してきた。

以上、世界と日本の半導体産業について、6 カテゴリーの出荷額がそれぞれの市場全体に占める割合を見てきたが、世界の出荷額に占める日本のシェアを、6 カテゴリーについて図 4-2 に示す。

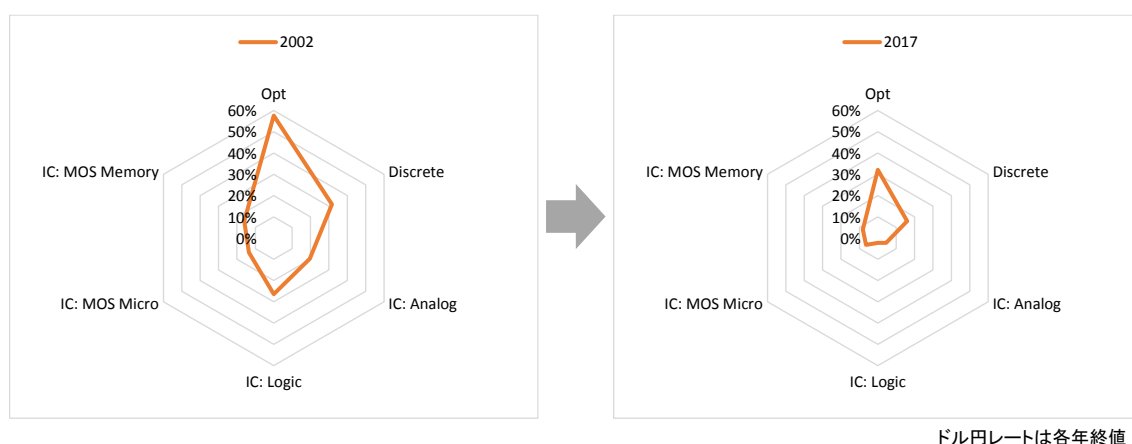


図 4-2 世界市場における日本のカテゴリ別出荷額シェア

6 カテゴリーの総計で、2002 年には世界市場の 25.8%を日本が占めていたが、2017 年には 9.3%を占めるに過ぎない。また図 4-1 の 2017 年のグラフでは、「IC: Memory」で世界と日本が同様な「尖り」を見せていたが、この分野で日本は世界市場の 9.1%を占めるに過ぎない。

4. 3 半導体産業の成長に関する中期予想と論点

4. 3. 1 半導体産業の成長を牽引する主役の交代

2000 年代後半以降、世界の半導体産業の成長を牽引してきた主役の一人は明らかにスマートフォンであり、2017 年時点でも世界の半導体産業はまだ、スマートフォンやクラウド

の中核部品が属する「デジタル」分野に重心がある。しかし、図4-3に示す通り、世界のスマートフォンの販売台数は2015年以降明らかに伸びが鈍化している。そして、次世代の成長の牽引役を求めてか、表4-2に示すように、世界の半導体産業では2015年前後から大型買収が目立つようになった。

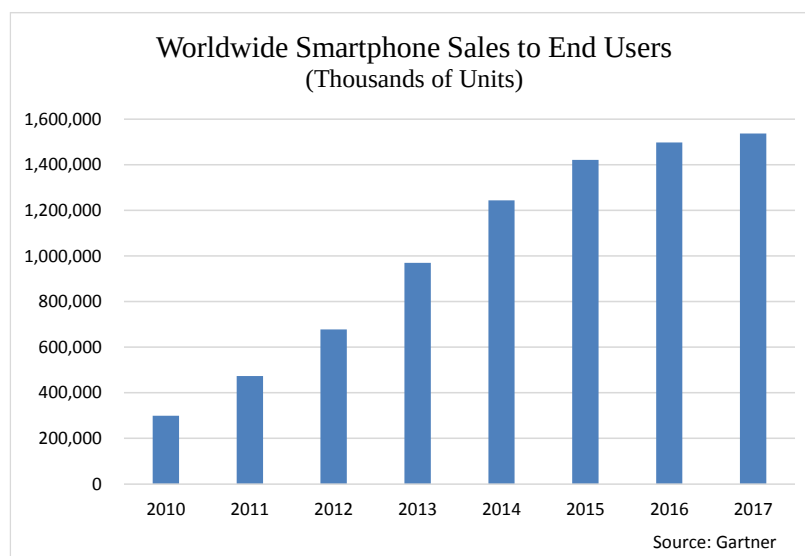


図4-3 世界のスマートフォン販売台数

表4-2 半導体業界における近年の大型買収（買収額約2,000億円以上）

発表時期	買収側	被買収側	被買収側の主力分野	買収額(*)
2015年1月	Infineon(独)	International Rectifier(米)	低圧パワー(GaN)	2,500億円
2015年3月	NXP(蘭)	Freescale(米)	車載マイコン(32bit)	1兆2,000億円
2015年4月	紫光集団(中)	OmniVision	イメージセンサー	2,000億円
2015年5月	Avago(米)	Broadcom(米)	無線系通信	4兆1,000億円
2015年6月	Intel(米)	Altera(米)	FPGA	1兆9,000億円
2015年10月	Western Digital(米)	Sandisk(米)	NANDフラッシュメモリ	2兆1,000億円
2015年11月	ON Semi(米)	Fairchild(米)	高圧パワー	2,500億円
2016年1月	Microchip(米)	Atmel(米)	32bitマイコン	3,700億円
2016年7月	Softbank(日)	ARM Holdings(英)	SoC用コアIP	3兆4,000億円
2016年7月	Analog Devices(米)	Linear Technology(米)	電源系アナログIC	1兆5,000億円
2016年7月	Renesas(日)	Intersil(米)	電源系アナログIC	3,300億円
2016年10月	Qualcomm(米)	NXP(蘭)	車載MCU/SoC	5兆8,000億円
2017年3月	Intel(米)	Mobileye(以)	車載画像認識	1兆7,000億円
2017年11月	Marvell(米)	Cavium(米)	ネットワークプロセッサ	7,100億円
2018年3月	Microchip(米)	Microsemi(米)	航空・データセンタ用	1兆1,000億円

出所: デロイト・トーマツ等の資料から筆者作成

(*) 1ドル=112円換算

表4-2の「被買収側の主力分野」に見られるように、車載用の半導体やアナログIC、パ

ワー半導体、クラウド用・通信用などの半導体分野を強化する目的の買収が多い。

例えば、市場調査会社の IHS Markit は、産業各分野における半導体需要の今後（2016～2021 年）の年平均成長率（CAGR）について、自動車分野用（主に先進運転支援システム ADAS: Advanced Driver-Assistance Systems）が最も大きく 9%強、次が製造設備用で 8%弱、クラウド用が 7%強などと予測している[8]。

また、半導体専門の市場調査会社 IC Insights によれば、産業各分野における集積回路（IC）の今後（2016～2021 年）の CAGR について、自動車用が 13.4%、IoT 機器用が 13.2%、医療機器用が 9.7%などと、集積回路全体の成長率 7.9%を大きく上回ると予測している[9]。

これら調査会社の予測と、表 4-2 に見られる買収分野を照らし合わせると、半導体需要が今後高まるとされる産業分野を狙って、企業間の買収が展開されていることがある程度分かる。半導体業界を牽引する主役は、これまでのスマートフォンから、自動車・製造機器・IoT やクラウドへ移行しようとしている。

4. 3. 2 半導体カテゴリ別の成長予測と 3つの論点

半導体業界を牽引する主役の交代は、半導体市場のカテゴリ別成長率にどのような影響を及ぼすだろうか。図 4-4 に、スマートフォンが牽引していた時代（2010～2014 年）のカテゴリ別 CAGR（データは WSTS）と、みずほ銀行産業調査部[10]および IHS Markit[11]による今後（2017～2021 / 2022 年）の予想を示す。

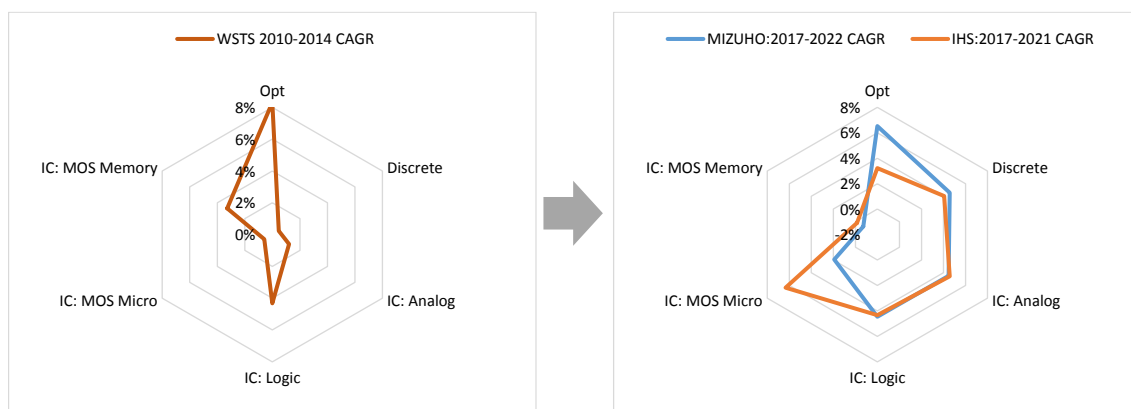


図 4-4 スマートフォン時代（左）のカテゴリ別成長率と今後の予想（右）²

図 4-4 に示した二つのグラフの「かたち」は、特徴が著しく異なる。

2010 年から 2014 年に、全世界でのスマートフォンの販売台数は CAGR で 42.9%という高率で拡大し（図 4-3）、2014 年には年間販売台数が 12 億台を超えた。その影響は、半導

² 今後の予測については、参考文献掲載のグラフから数値化したもので、精度には問題がある。また、みずほ銀行と IHS Markit では ASIC/ASSP を Logic, Analog どちらに含めるかなど分類方法が一部異なっており、IHS Markit の方が WSTS の分類に近い。

体出荷額のカテゴリ別 CAGR にも顕著に表れ、スマートフォンのカメラに使用される CMOS イメージセンサー (CIS) を含む「Opt Electronics」、年々容量が増大するフラッシュメモリを含む「IC: Memory」、そして中核となる SoC を含む「IC: Logic」に、鋭い「尖り」がある。

一方、2 社による今後 (2017~2021/2022 年) の予想 CAGR は、「IC: Memory」を除く 5 カテゴリで、一部食い違いがあるものの 4~6%程度となっている。産業分野別では、例えば自動車用の半導体出荷額について予想 CAGR が高いことは上述した通りだが、「自動車用半導体」といっても種類は極めて多数あり、電子制御用のマイコン (IC: MOS Micro) やメモリ (IC: Memory) を始め、ADAS 用のカメラ (Opt Electronics)、画像処理やレーダー制御用の SoC (IC: Logic)、電力を供給・制御するアナログ IC やパワー半導体 (IC: Analog, Discrete) など、ほぼ全カテゴリに及ぶ。これは製造設備や医療機器についても同様で、「IoT 機器」に到っては、家電から航空機まで非常に幅広い分野の機器を指すことから、ほぼあらゆる種類の半導体が必要になる。したがって、カテゴリ別の予想 CAGR が図 4-4 右のような形状となるのは、ある意味当然とも言える。

「IC: Memory」を除き、「デジタル」「アナログ」全カテゴリに渡って一定の成長が予想されていることは、世界市場に対して大きく「アナログ」側に重心をシフトしてしまった日本の半導体産業 (図 4-2 右) にとっても、成長機会の到来と捉えることもできる。しかし、2000 年代後半に「IC: Analog」における競争力が低下してしまっていることから、「アナログ」分野での成長機会にも一定の制約があるだろう。

なお、図 4-4 右については、「Opt Electronics」と「IC: MOS Micro」で 2 社の予想 CAGR に 3~4%の差があること、「IC: Memory」については 2 社共通してマイナス予想となっていることに注意を要する。これらの要因について、以下考察する。

① 「Opt Electronics」の予想 CAGR について

2010 年から 2014 年の「Opt Electronics」分野に、8%以上という高い CAGR (図 4-4 左) をもたらしたのは、スマートフォン用の CIS であったと考えられる。近年、スマートフォンでは主カメラを複数搭載する「複眼」化が進んでおり、世界のスマートフォン需要が今後買い換え需要中心に留まったとしても、CIS の出荷額はある程度増加していくと考えられる。また、自動車のバックミラーやサイドミラーに CIS を採用する動きも始まっており、これも出荷額の増加に寄与するだろう。

しかし、自動車の ADAS については、現状ではミリ波・準ミリ波・赤外線レーザーなどのレーダーが主に使用されており、CIS は一部で補助的に使用されているに過ぎない。これは、CIS が夜間や逆光、雨・雪など悪天候などの条件により画像検出性能が大きく変化してしまうためである。SONY は世界の CIS 市場の 47% (2016 年時点) を占めているが[11]、2018 年に発表した開発ロードマップ[13]でも、製造工程における歪・傷の検査に使用可能な偏光 CIS や、不可視光検査に使用可能な赤外線 CIS は将来の技術課題としている。「Opt

Electronics」に現在含まれる半導体が、IoT時代のセンシングにどの程度広く活用されるかは、まだ不確実な部分がある。

② 「IC: MOS Micro」の予想 CAGR について

スマートフォン需要が一巡したとは言え、監視カメラや家電、自動車などで収集される画像・音声をはじめとするデータは増加する一方であり、こうした「情報爆発」を背景に、今後もクラウドに対する需要は増大し続けると考えられる。しかし、このクラウド用の MPU（分類は「IC: MOS Micro」）については、その将来についていくつかの見方が出てきた。

そのひとつは、従来型の MPU の性能向上に一定の限界が見え始めていることである。これまで、MPU は微細化によって性能・コスト比を向上させてきたが、2009 年頃から微細化に限界が見え始め、28nm 以上微細化してもゲートあたりのコストは低減が難しくなり[12]、2018 年には 7nm に対応できるファウンドリーが世界で TSMC だけとなった。こうした背景から、これまでのように全ての情報処理を汎用の MPU に任せるのではなく、画像認識、音声認識、人工知能（推論・学習）、ネットワーク制御など特定の処理分野に特化したアーキテクチャーのプロセッサを開発し、それらを組み合わせて対応するという考え方も出てきている（DSA: Domain Specific Architecture と呼ぶ）。

もうひとつは、情報の発生源付近（エッジ）に分散された情報処理と、収集された大量のデータに対するクラウド上の集中処理の役割分担について、当初の予想が見直されつつあるということである。「日本再興戦略改訂 2015」が構想された当時は、産業構造審議会の議論[13]にも見られた通り、各分野から集められた画像・音声などを含む大量のデータはクラウド上で分析され、その結果をエッジにおける制御や判断に活用するイメージであった。しかし、後段においても論じるように、このイメージには分析から制御までの時間差（リアルタイム性）の問題や、エッジとクラウド間の通信量の問題、セキュリティの問題などが存在することが指摘されるようになった。現在、画像・音声処理や人工知能処理などをエッジに実装することができないか、主に「IC: Logic」や「Opt Electronics」の分野で技術開発が進められている。

以上のような観点から、クラウド用の MPU を含む「IC: MOS Micro」の将来需要には、一定の不確実性が存在すると考えられる。

③ 「IC: Memory」の予想 CAGR について

IoT 機器の増加・高性能化に伴い、「IC: Memory」に含まれる DRAM や NAND フラッシュメモリの需要は今後も拡大し続けると予想されているが、一方で NAND フラッシュメモリについては、2019 年以降急激に平均単価が低下していくとの予想が出てきた[11]。その大きな要因のひとつは、中国の参入である。

中国は 2011 年から、ソフトウェア・集積回路産業を強化するため財政優遇などの政策を打ち出してきたが、2014 年には「国家集積回路発展要項」を発表し、財政支援の強化や銀

行融資の促進とともに、「国家集積回路産業投資基金」（大基金）の設立を決定、同時に各地方における基金設立も支援する方針を掲げた。また、2015年には長期行動計画「中国製造2025」を発表し、今後重点的に取り組む10分野を設定しているが、その1分野に「次世代情報産業」をあげ、半導体とその製造装置について技術を国際水準にまで高め、国産化比率を高めていくとしている[15]。

大基金は、2017年9月時点で1,387億元（206億ドル）を調達し、中国企業への投資実績額はすでに政府補助金の規模を上回り、地方が数多く設置した基金の予算総計も、2017年時点で約3,330億元（494億ドル）に達しているという[16]。例えば、湖北省武漢市では総額約3兆円を投じたNANDフラッシュ工場が建設中で、2018年中には稼働を開始、さらに今後10年間で約11兆円が追加投資される見込みという[15]。

かつて、鉄鋼や太陽光パネルなどの分野において、中国の国策的な巨額産業投資は世界的な供給過剰を招いてきた。今後NANDフラッシュやDRAMなど「IC: Memory」の分野で、著しい供給過剰と価格低下が発生し、市場規模がマイナス成長に陥る可能性は十分にある。

4. 4 おわりに

本稿では、2000年代から現在にいたる日本と世界の半導体産業の「かたち」の変化を概観し、今後の半導体市場に関する予測について、その論点を考察した。最後に、「日本再興戦略改訂2015」構想以降に生じた第四次産業革命に関する論点について、本稿で論じた半導体分野の他に、ネットワーク・セキュリティなどの観点も加えて再度考察する。

ビッグデータの大半は、日常生活や製造・交通などの現場において、個人情報や位置・移動履歴など秘匿を要する情報を伴って、主に画像・音声など非定型のアナログデータとして発生する。こうしたデータを直ちに分析し、その結果を現場における制御にリアルタイムに反映し、なおかつ秘匿を要する情報の広域拡散を防ぐためには、人工知能・デジアナ変換・セキュリティも含めた情報処理は、データの発生元に近いエッジに集中せざるを得ない。このようなエッジ機能を、電力供給や設備が十分でない地域にまで広域に分散設置するには、低消費電力性能、耐熱・耐圧性能などが要求され、実際に半導体分野でも不揮発性の素子を使用したメモリや、推論だけでなく学習にも対応した低消費電力型の第2世代AIチップなど、関連技術の開発が進んでいる。

また、これらの性能要求はエッジ機能を接続するネットワークに対しても同様で、5Gのような高速ネットワークに注目が集まる一方で、広域をカバーするため一部では、低速・小通信容量のネットワークも必要となる。このようなネットワークには、高速化に対応しながら発展してきたインターネット技術は必ずしも適しておらず、実際LPWA(Low Power Wide Area)対応の技術開発が進み、その中には非IP通信に関する技術も含まれている。さらに、インターネットに接続された大量のIoT機器が、重要インフラ等に対する大規模なサイバー攻撃に利用される可能性も真剣に議論されており、末端が接続されるネットワークの相互接続性については、今後一定の制限をかける方向に動く可能性もある。

一方、エッジで高度な処理が加えられた情報は、それが直ちに組織の競争力の源泉となる上、個人情報や位置情報など保護が必要な情報も含まれることから、国・地域・企業など各レベルにおいて広域流通を制限しようという要請が高まるだろう。実際に、製造現場で得られたデータを企業内のクラウドに囲い込む動きや、「EU 一般データ保護規則 (GDPR)」「中国インターネット安全法」など、データの流通を国家レベルで制限する動きも始まっている。

こうした近年の動向からうかがえる第四次産業革命の姿は、以下のような性質も帯びてくる可能性があると考えられる。

- 学習能力すらもつ高度な情報処理機能を、低消費電力で稼働させるエッジに実装し
- それらが非 IP 通信を含む多様なネットワークに接続され、相互接続性も制限されて
- 有用な情報の多くはネットワークごとに囲い込まれ、各組織の競争力の源泉とされる

「新産業構造ビジョン」（産業構造審議会 2017）において、「実社会のあらゆる事業・情報がデータ化、ネットワークを通じて自由にやりとり可能に（IoT）」「集まった大量のデータを分析し、新たな価値を生む形で利用可能に（ビッグデータ）」などによって、産業・企業の枠を超えた第四次産業革命が引き起こされると考えられていたが、そうした「バラ色」の将来像は、今後一定の見直しを迫られる可能性がある。

4. 5 参考文献

- [1] 大塚正智(2009):「半導体産業における日本企業の現状分析と製品戦略マネジメント」, 創価経営論集, Vol.33, No.2, pp1-15
- [2] 佐野昌(2012):「半導体衰退の原因と生き残りの鍵」, 日刊工業新聞社
- [3] 湯之上隆(2013):「日本型モノづくりの敗北」, 文藝春秋社
- [4] JEITA(2006):「IC ガイドブック 2006 年版」, 日経 BP コンサルティング
- [5] SemiWiki(2016):“Shakeup in Analog Rankings”,
<https://www.semiwiki.com/forum/content/6217-shakeup-analog-rankings.html>
- [6] 野村證券(2018):「パワー半導体業界 ー電動化により成長加速」, 財界観測 4 月号
https://www.nomuraholdings.com/jp/services/zaikai/journal/pdf/w_201804_01.pdf
- [7] WSTS 日本協議会(2018):「WSTS 2018 年春季半導体市場予測について」
<https://www.jeita.or.jp/japanese/stat/wsts/docs/20180605WSTS.pdf>
- [8] IHS Markit(2018): "Global Semiconductor Market Trends"
<http://theconfab.com/wp-content/uploads/P-18-Len-Jelinek.pdf>
- [9] IC Insights(2017): "Automotive and IoT Will Drive IC Growth Through 2021"
<http://www.icinsights.com/data/articles/documents/1031.pdf>
- [10] みずほ銀行産業調査部(2017):「特集:日本産業の中期見通し (エレクトロニクス)」, みずほ産業調査, No2
https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/sangyou/pdf/1058_13.pdf
- [11] IHS Markit(2018):「平成 29 年度我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備

(電子デバイス産業及びその関連産業における市場動向及び政策動向調査)」

http://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000881.pdf

- [12] 中谷隆之(2018): 「2018 年版 半導体市場動向」, 群馬大学第 第 365 回アナログ集積回路研究会講演

<https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2018/2018-10-16nakatani.pdf>

- [13] Sony(2018): 「Sony IR Day 2018 半導体分野」

https://www.sony.co.jp/SonyInfo/IR/library/presen/irday/2018/Semicon_J.pdf

- [14] 経済産業省(2014): 「IoT 時代に対応したデータ経営 2.0 の促進」, 第 3 回産業構造審議会・商務流通情報分科会情報経済小委員会・IT 利活用ビジネスに関するルール整備ワーキンググループ, 参考資料 3

http://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/shomu_ryutsu/joho_keizai/pdf/001_03_00.pdf

- [15] みずほ銀行産業調査部(2018): 「わが国企業の競争力強化に向けて 9.エレクトロニクスー半導体業界の大型 M&A 戦略に見る、日本企業への示唆」, みずほ産業調査

https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/sangyou/pdf/1059_09.pdf

- [16] 経済産業省(2018): 「通商白書 2018 第 2 章 新興・途上国経済の台頭 第 2 節 世界的な過剰生産能力問題への対応」, pp180

<https://www.meti.go.jp/report/tsuhaku2018/pdf/02-02-02.pdf>

第5章 IoTが誘発するビジネス・システムの進化 ：コマツのビジネス・システムの事例

1 はじめに

あらゆるモノをインターネットにつなげて、モノから生じる大量データを収集し分析するIoT (Internet of things) の台頭は、ビジネス・システムの変革を促している。ビジネス・システムとは、企業が顧客に対して価値をうまく届けるための事業の仕組みのことを言い、個々の製品やサービスそのものではない。事業の仕組みですから、外からは見えにくいところがあるが、企業が競争優位を確立し持続するためには重要なものである。

企業はIoTを活用して、ビジネス・システムをどのように革新してゆけるのだろうか。本章はIoTの先駆けと称されることが多い建設機械メーカーコマツの取り組みをとりあげ、建設機械の単体売りビジネスから遠隔監視システムへ、そしてスマート・コンストラクションによるトータルソリューションへ、さらにオープンなプラットフォームの構築へと、コマツがビジネス・システムを進化させていったプロセスを分析する。

2 事例：コマツにみるビジネス・システムの革新

2.1 縮小する建設機械市場とコマツの戦略

建機市場は1990年代に成熟化し、公共投資の減少に伴って縮小し建機は売れなくなった。図5-1は、建設機械の国内販売額を表していますが、95年や96年の頃の多少盛り返しの時期を除けば、基本的な潮流は90年代ほぼ一貫して減少していることがわかる。コマツの売上高も、図2が示すように90年代は約1兆円前後で頭打ちしている時期が続き、本業の建機事業は停滞していたことがわかる。その間コマツは、80年代から90年代にかけて、脱建機を目指して本業以外への事業の多角化を試行錯誤しましたが、建機市場の縮小を補うほどには成功しませんでした。ついに2002年3学期決算で、コマツは800億円もの最終赤字を出しなかった。しかし図5-2は、それ以降のコマツの目覚ましいV字回復の様子を示している。コマツは、1990年代の多角化の失敗を教訓にすると同時に、建機ビジネスにはプレイヤーが少なく将来的に利益が見込めるという経営判断から、中長期的には建機ビジネスに集中することを決めたのである。その結果、現在のコマツの売り上げの約90%は鉱山機械を含んだ建機ビジネスである。

このように建設機械の本業回帰への成功がV字回復の主因の一つとなった。ただし本業回帰といっても従来と全く同じビジネスのやり方ではなかった。コマツはコムトラックスというイノベーションによって建設機械のデジタル化と智能化を実現し、それが更なるビジネス・システムの進化を誘発したのである。

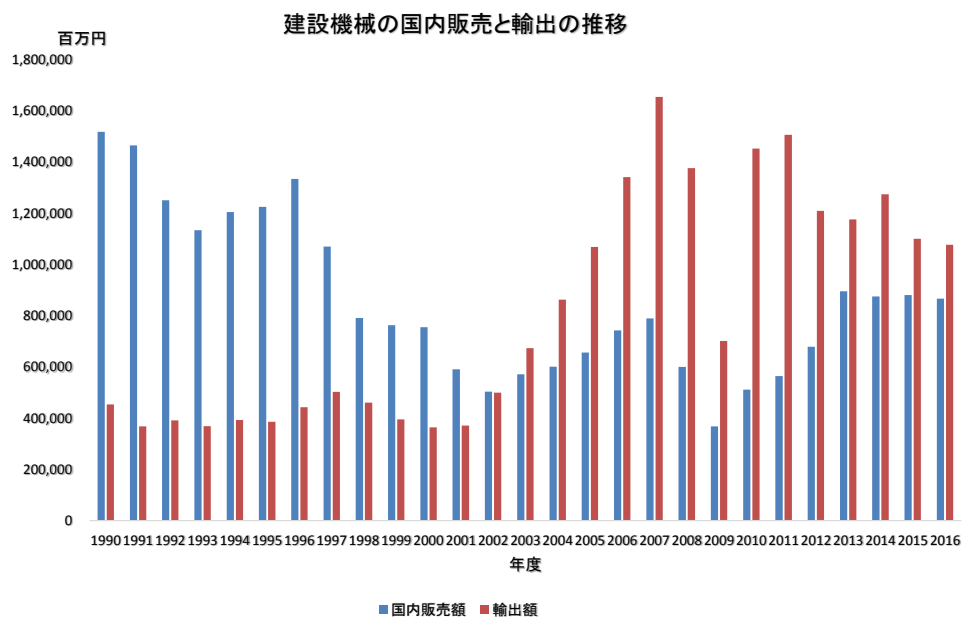


図 5－1 建設機械の国内販売と輸出額の推移

出所：日本建設機械工業会「建設機械出荷金額統計」を用いて作成

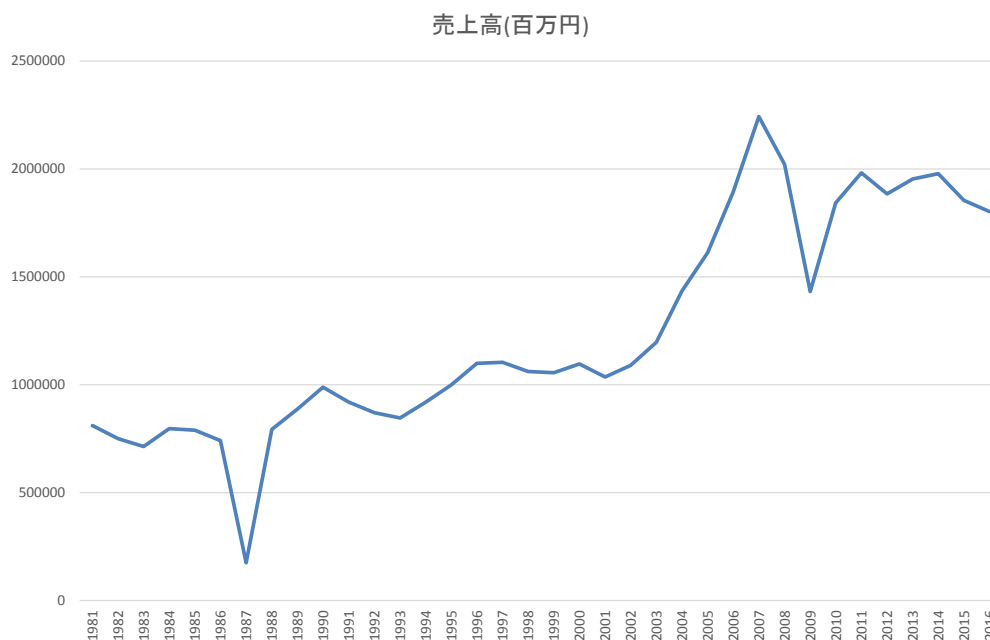


図 5－2 コマツ 売上高推移

出所：日経NEEDSを用いて作成

2. 2 KOMTRAX (Komatsu Tracking System、コムトラックス) の誕生

コムトラックスとは一言でいえば、移動体通信技術やGPS(Global Positioning System 全地球測位システム)を使って、建設機械を遠隔で管理する情報機器システムである。これ

を使えば、世界に 40 万台以上稼働しているコマツ製の建設機械の現在位置や稼働時間、燃料の残量、作業負荷、機械の異常、部品の摩耗状況、オイル等消耗品の状況など機械に関する様々なデータを、わざわざ建設現場にいかなくてもオフィスで居ながらにして把握できる。

それぞれの建機に組み込まれている複数のセンサーを介して、機械に関する様々なリアルタイムデータが、コマツのコンピュータセンタに設置されているサーバーに送られてくる。コマツはこれらの情報を販売代理店や顧客と共有している（図 5－3）。

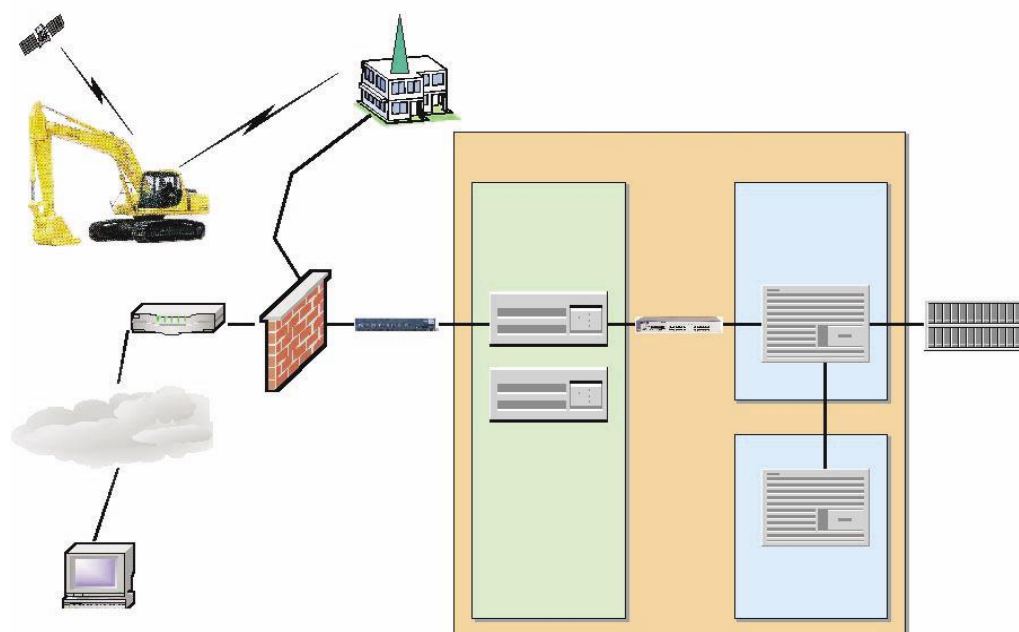


図 5－3 KOMTRAX システムの全体概要

出所：荒川秀治(2002)「KOMTRAX STEP2 の開発と展開」KOMATSU TECHNICAL REPORT, Vol.48, No.150

例えば表 5－1 は、エンジンオイルや燃料等消耗品の交換時期を、コムトラックス経由で通知している画面である。現在、コマツの販売代理店や施工業者は、世界中で稼働している個々の建機についてのこのような情報を、リアルタイムでしかもオフィスに居ながらにしてパソコンで把握できるのである。コムトラックスが「IoT (Internet of Things、モノのインターネット)」の先駆けと称される理由はこの辺にある。このようなコムトラックスのイノベーションはどのようにして生まれたのかを知るためには、そのためには 1997 年までさかのぼる必要がある。

表5-1 KOMTRAXによる消耗品交換時期のお知らせ画面

交換時期情報		[最新SMR: 5216.7 H (11/14/2010)]		履歴
項目	前回交換日	前回交換時SMR	次回交換までの残り時間	
エンジンオイル	09/13/2010	5202.5 H	485.8 H	
エンジンオイルフィルタ	08/26/2010	5195.7 H	479.0 H	
燃料フィルタ	08/26/2010	5195.7 H	979.0 H	
作動油フィルタ	08/26/2010	5195.7 H	978.9 H	
作動油タンクブリーザ	08/26/2010	5195.7 H	479.0 H	
コロージョンレジスタ	08/26/2010	5195.7 H	979.0 H	
ダンパケースオイル	08/26/2010	5195.7 H	979.0 H	
ファイナルケースオイル	09/13/2010	5200.7 H	1984.0 H	
マシナリケースオイル	08/26/2010	5195.7 H	979.0 H	
作動油	08/26/2010	5195.7 H	4978.9 H	
燃料プレフィルタ	08/26/2010	5195.7 H	479.0 H	

出所：土居下他（2010）「建設機械へのICT応用」KOMATSU TECHNICAL REPORT Vol. 56 NO. 163

1997年に 坂根正弘氏（現 相談役特別顧問）が経営企画室長に就任した。当時、経営企画室には様々な部署から人員が派遣されていましたが、開発部門から派遣された技術者が、1997年末に10ページを超える企画書を坂根に提出した。それが建機を遠隔監視する仕組みの企画書であり、今から振り返るとコムトラックスの原型とでもいえるべきものだった。サービス部門が長かった坂根氏は、建設機械の保守管理の大変さを身に染みて感じており「これは価値あるシステムだ」（私の履歴書「日本経済新聞」、2014/11/24）と直感して開発にゴーサインを出したのである。このようにコムトラックの開発は、コマツ社内で正式にオーソライズされた正規の開発プロジェクトとしてではなくて、経営企画室の資金を使った私的プロジェクトのような形でスタートしたのである。

そして1998年には5台の試作品が完成した。そこで福島県郡山市でビッグレンタルという建機のレンタル会社を営んでいた四家千佳史氏（現 コマツ スマートコンストラクション事業本部長）に、5台の試作品のテストを依頼した。当時四家氏は、ITを活用したレンタルビジネスの効率化に大変熱心に取り組んでいたからである。例えばレンタル建機の稼働率をできるだけ上げるために、ITを駆使して集中管理するというこれまでにないレンタルビジネスの仕組みを考えていた。建機の遠隔監視というアイデアはそれに合致していたために、四家氏は試作品のテストを引き受けた。

98年当時の初期のコムトラックは、どういう技術水準だったのだろうか。当時は、通信量と通信速度の技術限界から、建機の位置情報と稼働状況など最低限の情報収集しかできなかった。それに対して現在のコムトラックスが、燃料の残量や冷却水の温度、作業負荷

や部品の摩耗状況など、機械に関する様々な情報収集ができるのに比べると、雲泥の差といってよいだろう。しかしたとえそれであっても、市販のPCを使った地図の上で、建機の現在位置や稼働状況などを確かに確認することができたのである。従来は、レンタルで外に貸し出した建機は、戻ってくるまで全く状況がわからなかったのであるから、それに比べると画期的だった。

建機は大きくて重いために、1つの工事現場から他の工事現場にいかんして効率的に移動できるかが、レンタル建機の稼働率をあげるための重要なポイントになる。そのためには建機の位置情報は有効な情報になるのだ。こうして様々な試作品テストの結果、レンタル会社からみた建機の稼働率は、従来の4割から8割へと大きく向上することがわかった。レンタルビジネスにおけるコムトラックスの有効性は確認された。

しかしその後、コマツ社内では、コムトラックスの事業化を継続するかどうかに関して紆余曲折の議論があり、プロジェクトは存亡の危機にも直面した。しかし、四家氏がコムトラックスを大量発注したことによってビジネスとして成立する見通しがたち、コマツ社内で開発が続行された。坂根氏は当時の状況を回想して「福島のリENTAL会社が大量発注してくれて、ようやく事業が滑り出した」と述べている（「私の履歴書」「日本経済新聞」、2014/11/24）。コマツ社内だけでは、コムトラックスの真価を見抜くことが難しかったのであろう。

いずれにしても2000年初頭に、コムトラックスは商品化されたが、当時想定されていた用途は、建機レンタルビジネスにおける新たなビジネスモデルであった。しかも、ユーザーオプションの位置付けに過ぎなかった。

2001年 6月 坂根氏が社長に就任し、2002年コムトラックスをユーザーオプションから標準装備へ転換した。このころになると、情報通信技術の急速な進歩によってコムトラックスの性能と機能も大きく進化し、建機の単なる位置情報と稼働状況だけではなくて既に説明した様々な機械情報が、遠隔でとれるようになった。特に重要だったのは、機械の状態をリアルタイムで遠隔診断できるために、故障する前にその予兆を察知して部品を事前に交換することで、ダウンタイムを限りなくゼロに近づけることができる点である。

建設機械は高価な設備投資であるから、建設機械のダウンタイムをできるだけ少なくすることが顧客の重要な要望になる。建設現場で建機が突発故障してしまえば、仕事を中断せざるをえなくなってしまうのだ。そのため従来は、壊れたあとでどれくらいの速さで部品交換できるのかが、建設機械メーカーにとって重要な能力だった。例えばコマツの長年のライバルである米国のキャタピラーは、世界中どの場所であっても24時間以内に駆けつけますということを宣伝文句にしていた。それを実現するためには、広範な代理店網の構築と補修部品の在庫管理が必要になるが、それを構築していることがキャタピラーの強みだった。

しかしコムトラックスを使えば、部品が故障する前にそれを察知して交換し、燃料が切れる時期を予知して停止する前に燃料補給できるので、ダウンタイムそれ自身をゼロにできる。したがってそれを可能にするコマツの建機が選ばれることになった。

またコムトラックスは、保守サービスの効率アップとコスト低減をもたらしました。保守サービスに見通しが立ちやすくなりますし、交換部品の売り上げもかなり正確に予想できるようになる。補修部品の在庫を少なくできますので、在庫管理コストの削減にもつながる。機械の故障に備えた修理サービス機能もできるだけ少なくできますので、この点でもコストの削減になる。事後の保守サービスよりも予防的な事前保守サービスへと力点がシフトしていった。

さらに、コマツ自身の製品開発にもうまく使えることがわかってきた。販売した建設機械の現場での実際の使われ方がわかるわけですから、そのデータを次期製品の改良・改善などに反映させることができる。このように、コマツと顧客双方にとって、コムトラックスは多くのメリットをもたらした。

コマツにとって幸運だったともいえることは、2000年初頭から始まった中国市場の急速な成長に、コムトラックスの導入が間に合ったことである。コマツの建機であれば、広い中国のどこにいても、その稼働状況がわかることから、コマツとその代理店はリアルタイムで建機の稼働状況をつかむことができた。さらに建設機械は高価のため盗難が多いのですが、コマツの建機にはGPSが付いているために建機の居場所がすぐ分かり、盗難防止にもなった。また代金返済の不履行があれば、コマツと代理店は遠隔操作でエンジン始動を強制的にロックすることもできた。

このような機能を持つコムトラックスは、地理的に広大な中国市場で特に威力を発揮し、高速鉄道や道路の敷設工事の現場では、何千台というコマツの建機が使われた。その結果、世界全体の市場ではキャタピラーが一貫してコマツを上回っているが、中国市場ではコマツがキャタピラーを抜いて第1位のシェアを占めるようになった。さらに2009年にかけて、コマツとキャタピラーの市場シェアは一層大きく開いた（表5－2参照）。コムトラックスの実用化が、中国で建設機械の需要が開く2000年代初頭までに間に合ったことが、コマツの業績回復に大きく寄与したといっていよい。

表5－2（中国市場におけるコマツとキャタピラーの市場シェア推移）

	2001年	2002年	2003年	2004年
コマツ	18.8	17.7	18.7	21.2
キャタピラー	13.9	12.5	13.0	8.7

出所：酒井健（2014）「製造業のサービス能力の無効化」『日本経営学会誌』34号

このようにコムトラックスというイノベーションの用途は、まずレンタルビジネスにおける新たな事業の仕組みとして始まり、次にコマツの建機ビジネスにおいて、壊れた後の事後の保守サービスから予防的な事前保守サービスへと事業の仕組みが進化した。さらに施

工現場での実際の使われ方がわかることから、製品開発戦略や経営戦略策定へと新しい用途が次々に開拓されていったのである。

その後2008年にはGPSを使った鉱山向けの無人ダンプトラックシステムを本格稼働させた。これは鉱山で使う大型ダンプですが、高精度GPSで位置を測定し、鉱山内を無人で走行して土砂を運搬するダンプである。人件費は不要ですからその分のコストは下がりますし、何よりも安全だという大きなメリットがある。

さらに2013年には、ブレード（地面を削る部分）を世界で初めて完全自動化したICT建機（ICTブルドーザー、ICT油圧ショベル）を日米欧市場に投入した。ICT建機はGPSで自分の位置を把握して図面データに従ってアームなどを自動制御する。さらに設計面を傷つけないように自動停止する自動制御停止技術も備えており、効率の良い掘削作業が行えるようになっている。それによって、初心者でも熟練者なみの施工が容易に行えるようになった。これらの開発は、建設機械にデジタル技術を組み込み、機械を智能化するという意味で、コムトラックスの目指した方向をさらに推し進めたものと考えることができる。

2.3 建設プロセス全体をつなぐスマート・コンストラクションへ

現在、建設現場は、技能労働者の減少、高齢化、新卒就業者の減少など労働力不足が極めて深刻な問題になっている。そのような社会課題を背景にして、コマツは2015年に発表したスマート・コンストラクションによって建設機械メーカーの範疇を超えて、顧客の仕事にまで関与し、ビジネス・システムを一層大きく変えようとしている。

スマート・コンストラクションとは一言でいうと、建設現場で稼働する建機、現場作業員、現場の土など現場に存在する全てのものをICTで有機的につなげて、建設現場のトータルプロセスを3次元で「見える化」することである。それによって建設現場のプロセス全体の生産性を大幅に向上させることがねらいだ。

建設現場のトータルプロセスは、以下のように、複数の工事事業者が関与する複数のサブプロセスで構成されている。

まず施工の準備段階として、施工現場の現況をできるだけ正確に測定する必要がある。そして測定した現況データと施工計画データを照らし合わせることで差分を計算して、施工する範囲や土量を正確に把握して施工計画図面を作成する。その後、施工計画図面に基づいて、工期やコスト等の施工条件を操作して施工計画の様々なシミュレーションを行う。実際に施工が行われるのはこの後であり、コマツの建機が実際に使われるのはこの段階になってからである。この段階では、建機使って掘削する仕事のみならず、ダンプで土砂を運搬するなど、複数の種類の仕事が切れ目なく有機的につながる必要がある。

このように建設プロセスは、事前の現況測定から実際の施工まで複数の工程がつながっているため、コマツの商品である建機の自動化と無人化をいくら進めても、効果は部分最適にとどまり全体最適には直結しない。ボトルネックが他にあると全体の生産性は向上しないからである。実のところ、スマート・コンストラクションの提供に先駆けて、コマツは2

0 1 3 年から ICT 建機を市場に投入しましたが、建設プロセス全体の生産性向上にはつながらなかった。ICT 建機が担当する掘削作業自身の生産性は高まりましたが、ボトルネックが他にあったからである。

コマツ自身のこのような経験を踏まえて、ICT を活用して建設プロセスの全体最適を実現しようするのがスマート・コンストラクションである（図 5－3 参照）。例えば工事を始める前の現況測量を考えてみよう。現況測量をいかに高精度で効率よく行うかが重要ですが、従来は、設計図面を基に各測点の測量を行い平均断面法やメッシュ法によって施工土量の算出を行ってきた。

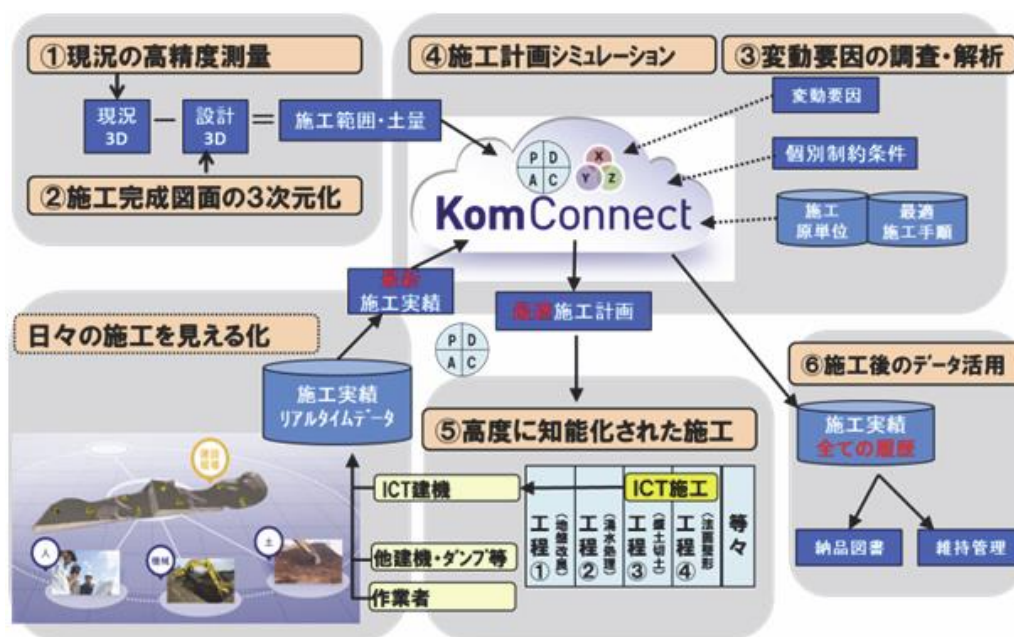


図 5－3 (スマートコンストラクション俯瞰図)

出所：四家千佳氏他(2015)「建機メーカーが描く I C T 建機施工を中心とした建設現場の未来」KOMATSU TECHNICAL REPORT, Vol.61, No.168

それに対してスマート・コンストラクションではドローン測量を行う。施工現場の上空にドローンを飛ばし、事前に入力した飛行経路に従って自動で飛び自動的に施工現場を写真撮影する。そして空撮した写真を KomConnect というクラウドサーバーへアップロードして、撮影した写真から自動的に 3 次元の点群データを作成する。これによって、従来の現況測量に比べるとはるかに効率的で高精度な施工土量の算出が可能になった。ドローン測量がなかった時代、地形の土量を正確に図る技術が実は存在しなかったと言っても過言ではない。

さらに、工事を開始してからの日々の施工中、ICT 建機による稼働データはクラウドサービス KomConnect に転送されて進捗状況に反映される。日々の進捗状況が 3 次元データとしてリアルタイムで可視化されるのだ。コマツによるとスマート・コンストラクションを

導入した現場の数は、2018年3月時点で累積5000現場を超えたといえます。

2.4 オープンなIoTプラットフォーム「LANDLOG」へ

コマツはこの取り組みをさらに先にすすめるために、2017年にオープンなIoTプラットフォーム構想「LANDLOG」を発表した。

確かにスマート・コンストラクションは、ICT導入による施工プロセス全体の効率化には貢献するのですが、建設現場で動く機械にはコマツの製品以外のものが数多くあるため、建設工事のプロセスを横断的にデータでつなぐことには限界があった。スマート・コンストラクションあくまでもコマツの機械から得られるデータを対象にしたものなのだ。一方実際の建設プロセスには、様々な専門を有する複数の工事事業者が関与するために、各種データは事業者ごとに管理されており、全体を一元管理して最適化するためには障害があった。

このような課題を解決するため、コマツは2017年10月に株式会社NTTドコモ、SAPジャパン株式会社、株式会社オプティムと共同で株式会社ランドログ（以下、ランドログ社と記す）を設立し、同社を通じてオープンなIoTプラットフォームの企画・運用を行うことを発表した。いわば大企業が協力してランドログ社というベンチャー企業を設立したと考えていいだろう。

ランドログ社が提供する「LANDLOG Platform（以下、LANDLOGと記す）」は、調査・測量・設計・施工・メンテナンス等の建設プロセス全体に関わるデータを収集し、ビッグデータとして分析することで、建設プロセスに必要なあらゆるサービスを施工業者等の顧客に対して、ワンストップで提供することを目指している。スマホに例えて言えば、建設会社向けのアップルストアを作ろうとしていると考えるとわかりやすい。

そのためには2種類のパートナーとの協力が必要になる。IoTパートナーとアプリケーションプロバイダーである。IoTパートナーは、建設現場で稼働するIoT等から得られる各種データを、API（Application Programming Interface）経由でLANDLOGに収集し蓄積する。LANDLOGはそうにして蓄積された大量データを、人工知能などを使って分析し、3次元データやAPIの形にしてアプリケーションプロバイダーに提供する。そしてアプリケーションプロバイダーは、LANDLOGに蓄積された様々なデータをAPI経由で活用して、建設プロセス全体の生産性と安全性を向上させるための様々なアプリケーションを開発し、施工会社をはじめとするユーザーに対して提供する。つまりLANDLOGは、データの蓄積と活用 に際して、それぞれ別のAPIを持っている（図5-4参照）。



図 5－4 挿入 (LANDLOG の概念図)

出所：コマツ ホームページ

野路國夫氏（現在 取締役会長）は提携の目的を次のように語っている。「顧客の生産性や安全性を高めるアプリは、アプリ提供者が互いに競い合って高い価値を提供すればよいが、プラットフォームはオープンでなければだめだ。そこで IT 企業と手を組んだ」

このオープンプラットフォームの取り組みは始まったばかりである。その成否は、IoT パートナーやアプリケーションプロバイダーとしての協力者がどの程度得られるかにかかっている。コマツだけで全部できるわけではありませんから、自前主義を脱却して仲間作りが大切になってくるのだ。そのため現在コマツは、より多くの新規パートナーと新規プロバイダーの獲得に向けて積極的に働きかけている。

コマツ自身は、今後はソリューションアプリケーションを提供するプロバイダーの 1 社として、建設現場の課題解決に集中して取り組む予定である。

3 考察

3. 1 IoT が促したビジネス・システムの進化

従来コマツは、建設現場の施工業者に対して建設機械を売って収益をあげていたが、IoT の先駆けと称されるコムトラックスの導入によって、何がどのように変わっただろうか。

まず部品が壊れる前に察知して、故障前に部品交換できるようになった。壊れたのちにいかにか早く部品を届けるのかという能力の重要性が低下し、代わって、いかに正確に故障時期を予測できるのかという予測精度が重要になったのである。そのためには多数の建機からのデータが蓄積されればされるほど、深層学習機能を備えた AI による予測精度は一層

高まることになる。

さらにコマツのサプライチェーンもメリットを受けた。従来コマツの工場は、代理店からのオーダー情報を頼りに生産を行っていたが、コムトラックスにより建機の稼働状況や部品の損傷状況がわかるようになり、生産時期の予測精度が高まった。またこれらの情報を、コマツへ部品を収めるサプライヤーと共有することで、製品リードタイムを短縮することもできるようになった。

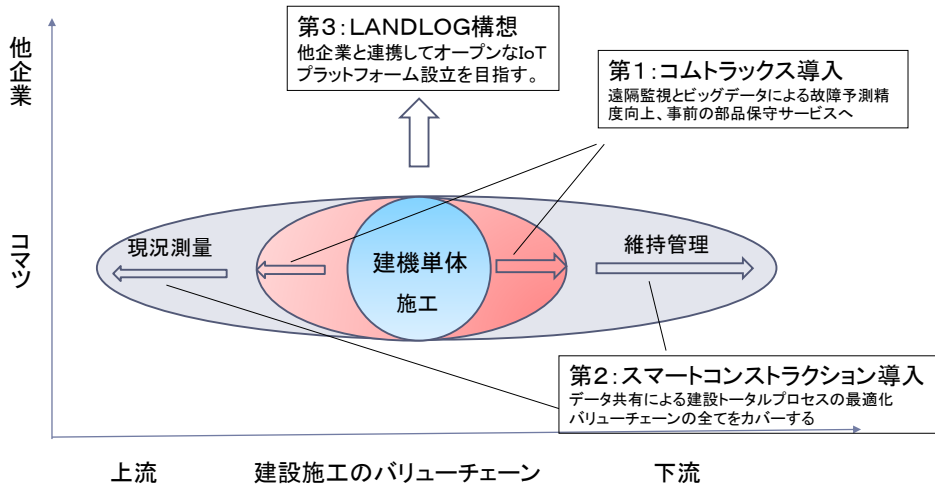
コムトラックスによって建機に関する様々な情報がデジタル化されるので、データの一元管理と共有が容易にできるようになる。そうすると建機に関する情報だけではなくて、工事の開始から終わりまでの全てにわたって、建設現場における人と機械のすべてをICTでつなぐというビジネス・システムが技術的に可能になる。それがまさにスマート・コンストラクションである。コムトラックスによる建機のデジタル化を契機として、スマート・コンストラクションという新しいビジネス・システムの誕生が促されたと言って良い。言い換えれば、スマート・コンストラクションは建機のデジタル化を前提として初めて成立するのです。

しかし工事の初めから終わりまでICTで一気通貫につなぎ、画像や3次元データも含めてあらゆるデータを一元管理し共有するというのは、コマツ単独できるわけではない。建設現場にはコマツ以外の建機もたくさん稼働しているからである。そこでコマツが構想したのがオープンなIoTプラットフォームのLANDLOGだった。スマート・コンストラクションの主役はコマツでしたが、LANDLOGの主役はコマツというわけではない。そこではコマツは単なる1つのアプリケーションプロバイダーになる。

コマツにおけるビジネス・システムの進化は、図5-5に示すように、3つのステップに分けて進展したと整理することができる。第1ステップは、機械のデジタル化と智能化による遠隔監視と事前の保守サービス化である。第2ステップは、バリューチェーン全体を通してのデータ共有によるトータルプロセスの全体最適化である。そして第3ステップとして、他企業をも巻き込んでデータを共有し活用するためのオープンなプラットフォームの構築である。

この論理はコマツのケース分析から導かれたものだが、コマツ以外の他企業や他産業でもあてはまるのかどうかを考察することが、今後重要になってくる。そのような観点から、工場現場におけるファナックや三菱電機、森精機の動向を観察すると、建設現場におけるコマツの進化経路とほぼ同じ進化経路を志向しているように思える。

I o Tが誘発するビジネス・システムの進化



▶ 10

図5-5 I o Tが誘発するビジネス・システムの進化

3. 2 自前主義からオープンイノベーションへの戦略転換

I o Tが促すビジネス・システムの進化は、サプライチェーン上の位置取りを上流又は下流へ拡張しようとする方向に働く。そうすると、自社単独でできることには限界があるために、他企業や他業種企業との連携が必要になり、自前主義からオープンイノベーションへと戦略の転換が必要になる。つまりIoTを活用してビジネス・システムを進化させようとする、オープンイノベーション重視へと戦略を切り替える必要があるのだ。ここで、オープンイノベーションについて少し経緯をレビューしておこう。

日本企業はできるだけ自社内で研究開発を完結させようとする、いわゆる「自前主義」にこだわる傾向が伝統的に強いと言われてきた。最近はそのに対比する形で、オープンイノベーションの重要性が指摘されることが多くなった。

オープンイノベーションを提唱したカリフォルニア大学バークレー校教授のチェスブローは、オープンイノベーションを「知識の流入と流出を自社の目的にかなうように利用して社内イノベーションを加速するとともに、イノベーションの社外活用を促進する市場を獲得すること」とかなり広く定義した。そのためオープンイノベーションは意味が広く解釈に多義性が残っている概念になっている。大きく言うならば、大学や他の民間企業や新興企業なども含めて、広く外部の経営資源を活用して研究を進めることを総称している。

技術と知識の方向性によって、オープンイノベーションはインバウンド型とアウトバウンド型の2種類に大別できる。前者は、外部から技術や知識を導入し拡大することによる価値の創造と獲得を行うものであるのに対して、後者は外部への技術や知識の提供と普及を

行うことによる価値の創造と獲得を行うことである。前者の具体例として、ユーザーやサプライヤーあるいは大学との共同研究開発や知的財産の購入などがあり、後者の具体例には、スピンオフや知的財産のライセンス供与などがある。

重要なことは、オープンイノベーションを推進するためには、組織体制もそれにふさわしいものにしなければならないということである。

コマツもまた野路社長の時代（２００７－２０１３年）に、技術自前主義からの脱却を目指して、オープンイノベーションを推進するために組織体制を整備した。自前主義からオープンイノベーションへ戦略を転換するためには、組織体制もそれに合わせる必要があるからだ。具体的には CTO 室と CTO という役職を新設した。

CTO 室は、ゲートキーパーとして外部とコマツ内部の媒介役となり、外部の技術をフィルタリングし、有効な情報を社内につなぐ企画的部署である。CTO 室が目標とするのは、単なる顧客が満足する製品・サービスではなく、社会の変化を先取りした社会的イノベーションにつながる課題解決型ソリューション・ビジネスを生み出すことである。新設した CTO 職は、研究開発全般に対するマネジメントを統括する研究開発本部長と外部の技術のゲートキーパー役を果たす CTO 室を統括して、両者を取りまとめる役割を果たす。

そのような体制のもとで、ICT 建機やスマート・コンストラクションを推進するために、オープンイノベーションを展開した。CTO 室を窓口として、企業連携（シリコンバレーに拠点）や産学連携（例えば大阪大学）を積極的にすすめた。主要な対象技術は、画像技術などの ICT 関連技術である。コマツは元来建設機械を作ってきたことから機械技術の蓄積はありますが、ICT 関連技術の蓄積は十分ではなく、ICT 建機やスマート・コンストラクションを展開するには十分とは言えなかった。シリコンバレーに拠点を持つスカイキャッチ（SkyCatch）社との連携で、「Edge Box」を開発したことが、代表的な例である。Edge Box を使うことで、従来６時間かかっていた現場のドローン測量を３０分で実施できるようになった。

３．３ プラットフォームリーダーへの道

LAND LOG のソリューションアプリケーションは、他の大手建設機械メーカーが使用することも可能である。そうすると、コマツの競争相手に利益をもたらすことになりかねない。にもかかわらず、なぜコマツは LAND LOG のようなオープンなプラットフォームを構想したのだろうか。コマツは目先の利益を超えて、建設産業全体の進化を引っ張るプラットフォームリーダーを目指しているように思える。そのためにはパソコン産業全体の進化を先導したインテルのケースが参考になる。

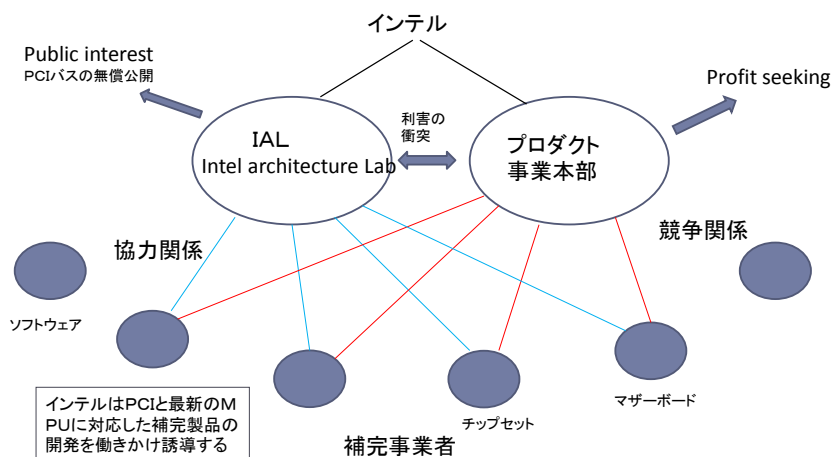
パソコンの場合、パソコンのプラットフォームとも言うべきバスの革新は、MPU メーカーであるインテルによって先導された。パソコン初期は、ISA (Industrial Standard Architecture Bus) バスが使用されていた。ISA バスとは、IBM 社のパソコンである PC/AT で採用されたバスの規格を、IEEE が標準化したものである。パソコン用バス規格として

はもっとも普及し、一時期はデファクト・スタンダードとなっていた。しかし、ISA バスの最大データ転送速度は 8MB/s しかなく、MPU の性能を十分に発揮できなかった。どんなに MPU の処理速度を高めても、バスの伝送速度が遅いと、メモリーや HDD など他のデバイスとのデータ通信が遅いために、パソコン全体としての性能は向上しない。

そのためインテルは単なる MPU メーカーの立場を超えて、PCI バスなどの次世代バス規格を採用すべく他のパソコンメーカーやデバイスメーカーに積極的に働きかけた。インテルは利害関係者間の複雑な調整を先導して行い、その結果、2001 年頃には ISA バスから PCI バスへの置き換えがほぼ完了した（図 5－6 参照）。PF としてのバスが革新されたことによって、その恩恵はインテルのみならず全ての利害関係者に広く行き渡った。

インテルが作り販売しているものは MPU であって、バスでない。にもかかわらずインテルは、PF であるバスを革新し進化させるために、利害関係者全体の調整を率先して行った。公共財としての性質を強く持つバスのような財を革新するためには、産業全体を進化させるために、労を惜しまず汗をかく存在が必要になる。それがプラットフォームリーダーと呼ばれる存在であり、コマツもまたそれを目指しているようだ。

インテルは複雑な利害調整を行った



▶ 11

図 5－6 プラットフォームリーダーとしての利害調整

3. 4 機械発データからの価値創造

データから価値を生み出すことの重要性が一層増大しているが、その際、機械発のデータと人間発のデータを区別して議論することが有益である。機械発のデータを適切に生かし価値を生み出すには、人間発のデータとは異なるノウハウや知識が必要になるにもか

かわらず、その違いが認識されていないように思える。

例えば、突発故障を防ぐための建設機械の部品の摩耗予測を実現するには、そもそも部品のどこをセンシングすれば効果的なデータが得られるのかに関する知識やノウハウが必要になる。無用なデータをどれだけ大量にセンシングしても、単に大量のごみを作り出しているだけに過ぎない。さらに、センシングしたデータに関して、どの値以上であれば異常検知と見なすべきなのか、その境界値を定めることは容易ではない。

また、機械発のデータと人間発のデータでは、求められる時間精度が大きく異なる点にも注意が必要だろう。工場レベルでは100分の1秒単位、機械レベルでは100万分の1単位での管理が求められるのに対して、会社などの事務所では1秒単位の管理で十分である。このような要求される時間精度の違いを区別して議論することが重要であろう。

つまり機械発のデータから価値を生み出すには、ただ単に、機械に多くのセンサーを取り付けて大量データを収集すれば良いという単純な話ではない。単体での機械特性や動作のみならず、使われる環境に応じた機械動作の変動等に関するノウハウ、知識、経験、さらには高度な時間精度に応えることができる技術力が必要になる。それは、長年機械の開発に携わり使用経験を蓄積した企業こそが持つ、組織能力である。

このような事情はコマツが作る建設機械のみならず、工作機械でも同様である。例えば森精機は、工作機械の突発故障を防ぐためにどこのデータをセンシングすればいいのか、そして異常検知の閾値をどの水準に設定すればいいのかについて、1年以上かけて試行錯誤してきた。森精機のような工作機械メーカーですら、それだけの試行錯誤が必要になる。

この違いを認識することが、今後のサイバーフィジカルシステム（CPS）戦略を構想する一つの鍵である。CPSへ至るには2つの道がある。サイバーからフィジカル側へ参入する経路と、フィジカルからサイバーへ参入する経路の2種類である。ものづくりに強みがある日本は、今後のCPS競争において、デジタル化されて知能化された機械側、つまりフィジカル側を起点として、サイバー側へどういう経路で攻めてゆくのか、そしてサイバーとフィジカルのインタフェースをどう設定するのかという戦略を考えるべきであろう。

参考文献

- [1]荒川秀治(2002)「KOMTRAX STEP2 の開発と展開」KOMATSU TECHNICAL REPORT, Vol.48, No.150
- [2]長内厚・榊原清則（編著）2012『アフターマーケット戦略』白桃書房
- [3]玄場公規（2018）『ファミリービジネスのイノベーション』白桃書房
- [4]四家千佳氏他(2015)「建機メーカーが描くICT建機施工を中心とした建設現場の未来」KOMATSU TECHNICAL REPORT, Vol.61, No.168
- [5]酒井健（2014）「製造業のサービス能力の無効化」『日本経営学会誌』34号
- [6]坂根正弘『ダントツ経営：コマツが目指す「日本国籍グローバル企業」』日本経済新聞出版社、2011

第6章 随筆：IOT ものがたり（IT から IOT そして IOP へ）

6.1 IOT と IT

6.1.1 はじめに（IT から IOT へ）

IT は「コンピューターやインターネットを中心とするネットワークを活用し、企業の業務や生活に役立てるための技術を指すことが多い。現在は、「ICT」という用語が使われることも多い」（ASCII.jp デジタル用語辞典）といわれる。

これが IOT となると「インターネットにさまざまな装置（モノ）をつなぎ、連携させることで、多様な価値を産出する仕組み」（ブリタニカ国際大百科事典）である。

6.1.2 IOT が最も生きる分野

IOT が最も生きる分野としては、労働集約的分野＝一次産業＝農業 林業 水産業であろう。しかし、目下は製造業―流通業―小売業―消費者をつなぐものとして急速に普及している。

6.1.3 IOT の応用分野

IOT の応用分野としての家庭にどのように入れるかが国民経済的にみて肝心なところであると考えられる。というのは、効果がすぐにはかれる経済活動に対し、家庭の場合は効果が広く薄くなるので、経済活動として取り組みが遅れやすい。

① 家庭での IOT

家庭の主婦の日常の活動を考えると、掃除、洗濯、料理、買い物などであるが、これに IOT を当てはめると、どうなるか？

料理を例にとろう； センサーが様々な材料を取り込む―自宅冷蔵庫にあるもの、冷凍庫にあるもの、台所の棚に置かれたもの、近くのスーパーにあるもの、各種調味料など

次にこれらを組み合わせ、様々な加工が加えられる。ということは、料理されるということであるが、今日の食事を供するメンバーによって、近日中の料理との競合などが当然考慮される。

最後に、料理に合わせて食器が選ばれ、その日の夕食に参加する人の数とそれぞれの人の好みに合わせて食卓に料理が並ぶ。

食事のあと使われた食器は、食洗器に入れられ洗浄される。その後、それぞれ区分されて食器棚に収容されて、一回の食事が終わる。

この一連流れが IOT として処理できるとすると、翌日は別な形の料理が行われるという繰り返しが可能となる。

② このプロセスを IOT はどう機能するか？

まず、センサーが素材情報を取り込んでいること、すなわち、これがクラウドに収められている。その中から「今夜の夕食」にふさわしい料理という「価値」を産出する。

これを一般化してみると、いわゆる料理番組でいう「レシピ」を軸にして、多くの種類の「レシピ」に必要な素材をできるだけ多く呼び込みクラウドに入れておけば、主婦はその場のニーズに合わせて好みの「レシピ」と取り出し、その指示通りに加工していけばよいことになる。かくして、家庭の一大作業である料理は IOT 化により、「軽労、省力化」、そして、無駄の少ない料理、すなわち「環境負荷の削減」になるのではなかろうか？

③ その他 掃除、洗濯

料理を例にとったが、掃除、洗濯についても同じように IOT 化が計れるはずである。

「お掃除ロボット」、「自動洗濯器」（一昨年の SEATEC で出会った自動洗濯機はその一歩手前まで来ていた）の働き

課題は、合理性を求める経済活動の中で、果たしてどこまで企業が取り組んでくれるかである。

6.1.4 IOT はどこまで行くか？

その限界は何によって仕切られるのか？

物語としては述べられるが、現実には「コスト対販売価格」から限界がある。

しかし、これも利便性が評価されれば進められることになる。

6.1.5 IOT はどこまで行くか？

家庭に IOT が入るとなると、個人情報保護、セキュリティが問題になる。

「家庭の情報」こそ、目下、頻発している老人宅を襲う強盗が知りたがる貴重な情報である。具体的には、何人家族、その構成、預金額等々 これらの流出をいかに防ぐか、いわゆる「鍵」の掛け方が同時に導入されなければならない。

これらの障害を取り除きながら、人手不足と、高齢化していく社会に、IOT を如何に普及させていくかは、政府が取り組むべき課題であろう。

6.2 国際障壁を乗り越える情報の流れと制限(WTOルールをこえる情報の流れ)

経済の国際化に伴い、情報の国境越え、国外からの情報へのアクセスは、いわゆる物の取引を前提にしてつくられている国際ルールをこえる動きが可能である。

一方、センサーに呼び込まれるデータは広く集められて初めて価値を生む。

他国のデータはほしいが、自国のデータは出したくない。このアンバランスは如何に克服されるか？

WTOのルールは「もの、人、カネ」の動きをコントロールしてきた。原則自由の取引の世界で、情報の流れを如何に捉えることができるのか？ 情報そのものではなく、情報によって得られる利益を捉えるというのが一つの対応であろうが、あまたの情報が集まるクラウドにどのように規制の網をかけるのか？ これについての国際ルールは新たな課題として取り組む必要がある。

捉え方としては、先述のように、情報そのものを捉えるのではなく、それを利用した結果の成果を捉えることしかないかもしれないが、これとてもなかなか把握しにくいものであろう。

6.3 IOTに並ぶ“IOP”(PersonをつなぐIT)

これも広い意味のIOTであるが、人々をつなぐIOP(Internet of Person)が興味深い。

6.3.1 個人情報

ひとりの人に関する様々な情報；個人の履歴・出身校(小・中・高・大・院・留学先) 家庭情報、就職後の職場 趣味など、係累、仕事ぶり、勤務する組織、健康状態・病歴・医療情報、姻戚関係、遺伝情報、ファミリーツリー、政治的信条、友人情報などなど これこそいわゆるビック・データである。

これの活用の仕方としては、就活 適性の審査、求人・求職活動のマルチ化である。

6.3.2 ←副題？

① 活用 その1 人事異動

人事担当経験から言えば、これほど便利なものはない。

約200人の人事異動にあたり、その適正、上司・部下との相性、過去の経験ポストなどを考えて組んでいくが、組織の中の人事異動は一連のつながりが求められる。いわばいくつかの“貨物列車”をつなげる作業となる。そして退職する人数に合わせていわば何本かの“貨物列車”を作り上げることになる。この際、クラウドにある情報は大いに活用される。

この情報が外部からもアクセスできるとなると、人材がスカウトされるおそれ、本人からは他に転職する場合の自分の評価を知ることができる。

新規採用にあたり求職者から一定の情報を提供させ、それを過去の既採用人材と対比してみることによる採用の可否の決定は極めて容易になる。すでにある程度の情報の活用による採用は行われている。これは IOT というよりは、まだ、IT の域をでていないようであるが。

新卒だけが雇用される労働市場が変化し、いわば中途採用市場、言い換えれば、常時求人・求職がありうる市場が広がりつつある現状は新しい変化が期待される。

現在一人の人を中心に友人のネットワークを見るシステムがあるが、それをこえて、一人ひとりの背後にビックデータがついてくると、このネットワークは無限に広がっていく。

この中から利用者が必要とする情報を抜き出す、取り出すことは、それほど難しいことでは無い。

この場合、個人情報の中の本人が知られたくない情報をどう消していくか、言い換えれば自分の情報をチェックできることが必要である。とくに、病歴、家庭環境についてのマイナス情報などは。

② 活用 その2 雇用環境の変化

それに引き換え、この情報網の意義、プラス面は多い。従来組織の中に埋もれやすい日本の雇用環境が欧米型の個人中心の雇用関係に変化していく時期にはきわめて意義深いものとなる。個人が自分を売り込むとき、自分の幅広いデータを持って評価してもらえることを望むことができる。

以上は、広い意味の就活である。

③ 活用 その3 電子カルテ

今や多くの病院でカルテの電子化が常識になっている。ある病気について広くデータが開示されると、似たような病状について如何に対処していくか 難病の場合には情報が広く共有、活用され有効である。それも単に現在の病状だけでなく、本人の過去の病歴との関係からさらに判断の範囲が深まる。

病歴にいては、もとより個人情報であるが、本人が特定できない形にして提供することができる。その結果、情報に制限がかかるが、活用できるであろう。

④ 活用 その4 各種名簿

観点をかえて、学士会の「会員氏名録」で考えてみよう。未だに、4万人を超える会員数を擁しているため、この名簿は電子化されている。これを取り込む。そしてその一人一人についての個人情報と繋がってくる。このビックデータは宝の山である。

これを如何に活用するか？ いわゆる、就活、婚活、人材スカウト、同郷人の会、趣味の会の結成、同窓会の結成などなど、いくらでも利用方法は広がる。

何も学士会に限らない、わが母校は100年を超える歴史があるが、この名簿の取込みも有益である。何も母校に限らない、同じような伝統校、いや新興校も取り入れていけば。この輪は果てしなく広がる。

⑤ 活用 その5 婚活

男子校、女子校を広く取り込むことにより、今やわが国の大きな課題である未婚、晩婚の解消に役立つのではないかと。適切な出会いの場（Virtualな場）なるが故に、進めやすいかもしれない。いわゆる「釣書」の電子版である。

婚活にあたり、マルチデータから相手の絞り込みだけでなく、過去の成功事例、失敗事例の投入は有効である。よく言われる「性格の不一致」による離婚事例などは役に立つであろう。

⑥ 活用 その6 高齢化・少子化

今やわが国の最大の社会的課題は、高齢化と少子化である。

まず、高齢化について、現状、予測、地域ごとの分布などが取り込まれれば、行政面の対応、民間企業の活力をいかした係わり方、それらの対策の緊急性と手順、必要な人手、そのために求められる外国人労働者の受け入れ方等々、利用方法に際限がない。介護活動、介護施設、介護士・被介護老人との適正な出会いなどにも活用できる。高齢化世帯についての情報は、親類縁者情報の開示とともに、当事者のセキュリティ、周囲の人々からの支援の要否、御用聞き復活、インターネット＝無店舗販売の導入につながる。

次に少子化対策について、現状、近未来予測、解決策など、いわゆるきめ細かい対応を進めるためのデータが提供できる。保育園不足、保育士不足などの課題を一段高い視点から解決策を見つけることができるはずだ。保育士・被保育児童・両親の適正な出会いなどにいかされるであろう。

⑦ 活用 その7 政治活動

各種選挙戦で選挙人名簿から人のつながりを検索し、この縁を投票行動につなげていくことは、きわめて有効である。市町村議会、市町村長、都道府県議会、都道府県知事、国政選挙それぞれのレベルである後援会組織をIOPを活用してまとめ

ていくことは、いわゆる浮動票が多くなっている、言い換えれば、政治への関心が薄れてきている今日大いに活用できる分野であろう。

投票行動において、政治的信条と同じように人とのつながりが重視されるわが国においては、IOP の活かし方が大いに勝ち負けにきいてくると思われる

⑧ 活用 その8 ドローンの視点

これらのテーマについて、いわば「ドローンの視点」での観察が必要であり、それによる対応策等が生まれてくる。

これらのテーマについて、需要と供給の「ミスマッチ」が言われるが、十分な情報の提供によりこれを極力避けることができるのではないか。

今や労働市場は国際的に広がってきている。わが国には根強い外人アレルギーが存在するが、これも十分加味したシステムが組めるはずである。

大事なものは現状把握と対応策に加えて、将来予測が可能となり、いわゆる「後手後手になる行政」を回避できるはずである。

6. 3. 3 情報の秘匿性

以上ビックデータの活用の範囲は、際限なく広がっていくが、最大の課題は「情報の秘匿性」である。とくに、ここで説く“IOP”についてはこの課題への対応が最も重要である。

個人データの取り込みについては、当該個人の下承を得ることは、第一原則である。ただし、4 万人をこえるデータについて、一人一人の下承をとることは不可能に近い。とすると、取り込みの時ではなしに、活用の局面で何らかの下承を得るようにすることかもしれない。そのデータへのアクセスを絞ることも一案であるかもしれない。この辺の知恵を出すことが何としても必要である。

また、誤ったデータの削除・修正を本人がやるのか、やれるのか大きな問題である。同じく誤ったデータ、ないし本人が好まないデータへのアクセスの阻止などが適切に行われなければならない。

6. 4 IOT 処理のコンピューターの能力の限界と拡大

さて、これまで述べてきた話を適切に処理できるコンピューターは存在するのか？その能力の拡大が期待される。

思うに情報の蓄積を受け持つメモリーについては、現在飛躍的に拡大しており、対応可能であろうが、これを生かす検索処理は可能であろうか。

また、一般人の IOP システムへのアクセス その促進策と限界が気になる。しかしこれは、いわゆる「ユビキタス・コンピュータ」に期待することになる。

以上

第7章 人・建築と共栄する IOT

7. 1 はじめに一ITのあけぼの

1985年から2年間かけて全米の大学、国立研究機関、シンクタンク、リサーチパークの調査を行い、1987年にMITの近くのビル（One Kendall Sq）に研究オフィスを構えた。S Technology Center America Inc.（S,Techと称した）と言う米国会社である。当時はAPPLEがMACHINTOSHを売り出し始めた直後であり、米国の幾つかの大学内でインターネットの試験使用が開始された直後であった。IT社会がまさに始まろうとする瞬間であった。しかしながらS TechではMacは使用せず、電話・FAX・ワープロが主要情報機器であった。本社にMac購入を申請したが誰も理解できなかった。当時本社はIBMの大型コンピュータを利用しており、日本IBM社は重要な得意先でもあった。恐らくIBM大型コンピュータ担当者やIBM営業担当者の大反対があったものと思われる。

モバイル電話の原点のようなものをインテル（記憶では）から売り込まれたこともあった。本社に提案したが、日本の電波法では禁止されていると言われ、導入出来なかった。法律で阻止されているからこそビジネスチャンスと再度提案したが無視された。

ダッソー社による3次元CADの一般売り出しも始まった時期で、これも本社に情報を伝えたが、本社は2次元のAUTO CADに固執し続けていた。1988年に東京デスニーランドに第2テーマパーク構想（デズニーシー）が出された。一旦中止されたが1992年に再開の動きが出た。デズニーで技術部門を担当する「デズニーイメージニアリング社」の技術担当副社長からスペースマウンテン建設は骨組みが複雑なので4次元CADの使用が必要との情報を得ていた。既に米国エンニアリング会社ベクテルでは空港の荷物輸送システムの設計や化学プラントの複雑なパイプラインの設計には4次元CADが活用されていた。流石に保守的な本社側も、実務に迫られ、4次元CADの開発・活用が急速に推進された。

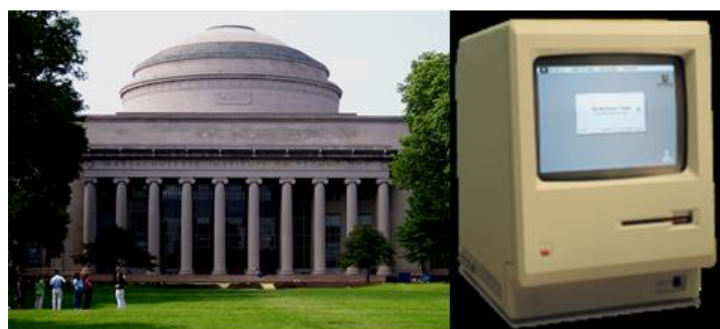
連邦道路局の友人から全米の高速道路網の新しい検査手法を紹介された。高速道路を車で走り、道路設計図を取り込んだ携帯端末に道路の不具合箇所をリアルタイムで記入し、オフィスでデスクコンピュータ処理する方法である。この情報を本社技術研究所のIT技術担当者に伝えたところ、彼は現場検査方法にこの手法を活用した。

C TO Bで新技術を売り込む場合には旧技術を活用する人々に抵抗を受ける。現在のICT技術はB TO Cで即座に普及する。技術の普及もCustomerを如何に味方につけるかが重要である。

本研究会では多くの産業界の方からの講演を聞くことができ、現在では産業・商業・農林業・都市・生活・環境・医療・観光など、多くの分野の全てのプロセスでICT, IOT, AI、自動化が活用されていることが報告された。1980年代の日本企業の情報機器・システムに対する認識は今では誰も信ずることは出来ないであろう。

1980年代後半の情報関連機器、コンピュータ機器は大型装置であり、それを設置するには強力な冷房など、従来の居住環境とことなる空間環境が要求された。世の中に電子機器が出た直後から、人間よりも電子機器保護のための環境整備が要求され、各種の空間コン

トロールシステムが開発された。インテリジェントビル、超精密空間、超情報空間などと呼ばれた。1980年代後半のIT社会の曙から5Gを迎える2019年までの35年間、建設産業分野でのIT関連論説を行ってきた。その幾つかを再編集して紹介する。



ARPANET, NSFNET等に初期から
関係したMIT（旧正面）

APPLEのMACINTOSH 128K
（1998年ごろ）WIKIPEDIA

図 7-1 1980年代のボストン周辺ではPCとインターネットが始動しはじめていた

7. 2 空間知能化

7. 2. 1 建設産業のIOTの原点

建設産業におけるIOTの原点は「空間知能化」である。「空間知能化」とは、建築空間にセンサー、モニター、監視機能を配置し、空間各の各種管理を行う試みであった。空間知能化の発端は1980年代の米国のNAHB（全米ホームビルダー協会）のスマートハウス研究・実証実験にある。日本では1982年に三井ホームと東芝がエレクトロハウスのHOPES-24でソーラーシステムとエレクトロニクス技術を組み合わせた実験住宅を建設した。音声認識、来客・防犯モニター、照明監視、健康・家計管理など幅広い範囲の住宅管理システムであった。1985年に大阪ガスがアイデアル住宅NEXTを発表し大いに話題となった。エネルギー管理システム、情報システム、住居内安全・安心システムなどを盛り込んでいた。

欧米、特に北欧でもスマートハウスの開発が進められ、ドイツのシーメンス、フランスのルグラン社なども参画した。住宅機器自身のスマート化が進歩すると空間知能化に特化するシステムは行き詰まりを見せた。

1998年に住宅情報化推進協議会（ALICE FORUM）が設置され、住宅の情報化を全産業協力して進めることが謳われた。2000年代になるとIT技術が進歩し、住宅内設備をネットワークするスマートシステムが普及する。更にインターネット・パソコン・スマートフォンの活用になり監視・制御、防犯・防災、情報管理・予約、文化・芸術・娯楽までもがシステム化可能になった。

2012年経済産業省は「スマートハウス・ビル標準・事業促進検討会」を開始し、HEMSタスクフォースが設置された。HEMS (Home Energy Management System “ホーム エネルギー マネジメント システム”) は家庭で使うエネルギーを節約するための総合管理システムで、スマートハウス・住宅空間の知能化は新しい段階に入っている。しかしながら企業間競争が激しく、全産業共通の動きが少ない。

空間内に動くものが存在する次元の空間知能化は従来のスマートハウス技術とは次元の異なるものである。この分野の研究はロボット分野から始まった。ロボット分野の空間知能化論には4つの発想があった。1. 空間そのものをロボット化する 2. ロボット機能の一部を分散配置する 3. 空間にセンサーとロボット機能の一部を分散配置する 4. 空間にはセンサーのみ設置する である。センサーをロボット機能とすれば3は2に含まれる。1. についてはトイレに人が入った時の照明の自動点灯・消灯である。2に関する研究は1990年代に盛んに行われ、現在では寝たきりの人の介護施設に応用されつつある。寝たきりの人が必要とするもの（移動式洗面台など）をロボットが持ってくるなどである。

7. 2. 2 空間知能化 VS 完全自動運転

当委員会はMO T (技術経営) 研究者が多く集まる委員会である。車の自動運転技術の進歩が話題となった際、国土交通省が研究開発を進めている各種の道路側の対応、例えば走行支援道路システム (AHS : Advanced Cruise-Assist Highway System : 一種の空間知能化) など不要になるとの意見が出された (と言うよりも「時代遅れ」と評された)。自動運転技術の開発は4段階あり、その第一段階の自動ブレーキは既に実用化され、幾つかの車種に搭載されている。自動運転技術開発は非常に早く進んでおり、最近ではグーグルやアップルなど米国IT大手企業も参入し、第4段階の「ドライバー不要 : 完全自動運転」を目指している。グーグルらは自動運転車時代には、既存の自動車メーカーに代わって、ICT企業が、自動車産業のリーダーになることを目標としているようにも見える。

以前、北九州市で車椅子のために街区の各所にセンサーを配置する (空間知能化) 実験を行ったNPO国際建設技術情報研究所の前田純一郎理事は「横の道路から突然飛び出してくる子供の自転車は、どんなに自動運転が発達しても避けられない」と主張し、「自動化・ロボット化と空間知能化の相互連携が重要」と強調している。空間知能化不要論では「クラウド情報とその解析が進んでいる。目に見えないリスクや予測出来ないリスクにも対応できるようになる。グーグルなどICT企業のこの分野の技術進歩は目覚ましい」と言う主張である。前田氏の主張は重要と考える。安全に「絶対」は無いと考えるべきである。

車いすロボットと空間知能化

建物(環境)に設けたRFIDタグから情報を獲得してロボットの走行制御を行う。



環境(園芸用柵)に設置したタグ



環境(石垣)に設置したタグ



RFIDタグによる自動走行実験



歩行通路での追従走行実験

図 7-2 北九州市での街区の空間知能化実験 (前田純一郎氏提供)

7. 2. 3 空間知能化に関する国際シンポジウム

「科学技術エキスパート会議」(STEM: Science & Technology Expert Meeting for Technical Development & Supports: 日本建築住宅センターの公益活動組織)に「空間知能化技術の最新状況調査」を提案した。この提案を基に元建築研究所所長・理事長の山内泰之氏が中心となって議論を進め、「建築研究開発コンソーシアム」(CBRD: Construction for Building Research & Development)に慶応大学三田彰教授を委員長とする委員会が設置し、更にNPO国際建設技術情報研究所主催の国際シンポジウム「スマートな建物たちのこれからー空間知能化最前線ー」を開催した。

シンポジウムの基調講演はミュンヘン工科大学のボック教授。氏は今後のロボットの展開について語った。「ロボット化・自動化と空間知能化」を語るためにはまずはロボットや自動化の未来を語る必要がある。ボック教授は自動車の形態・形状を自由変化させることを実現した。更に建物の内部も自在に変化出来る可能性を実現させた。建物そのものの

ボック教授は近い将来ロボットは現在のパソコンと同様な発展・状況となると予測している。特にサービスロボットは、よりユーザーフレンドリーとなり、安価・多対応・小型化し、あらゆる分野・範囲に拡散する。多くの機器・装置・システム・を統合し、シームレスに活躍するだろうと言う。現在のパソコン・ICT技術を彷彿させる。最近のロボット技術や製品の状況を考えれば可能性の高い予測と思われる。

スマートな建物たちのこれから—空間知能化最前線—

Future perspective of smart building -Cutting edge research on smart space-

「空間知能化」技術は、高齢者対応、省エネ、施設や街区・道路・生産現場の安全安心、生産施設の生産性向上などを目的として発展してきている。

近年では複雑システムの代表である生物の本質に学ぶ研究も進んでいる。

また空間とロボットの協調・連携についても議論が進んでいる。

本シンポジウムでは国際的な視野から「空間知能化」の最新情報を交換し、今後の方向を究明する。

Detail

日時	2015年12月19日（土）13時-17時30分
会場	東工大蔵前会館 くらまゑホール（360名収容） http://www.somuka.titech.ac.jp/ttf/index.html
主催	NPO国際建設技術情報研究所
協賛	株式会社 日本建築住宅センター 建築研究開発コンソーシアム 日本サステナブル建築協会 慶應義塾大学グローバルスマート社会創造プロジェクト
後援	日本建築学会（予定） 日本ロボット工業会
企画協力	科学技術エキスポ会議（STEM） 建築研究開発コンソーシアム 生命化建築研究会
参加費	3,000円（資料代）、学生は無料
司会	藤盛 紀明（NPO国際建設技術情報研究所 理事長）



Time Table

13:00-	主旨説明 藤盛 紀明（前掲）
13:05-	基調講演 トーマス ボック（ミュンヘン工科大学 教授） “My” interpretation of smart building
13:50-	第1部 生命化建築 生命化建築とは 三田 彰（慶應義塾大学 教授） 建築空間の生命化デザイン 渡邊 朗子（東京電機大学 准教授） 脳波によるヒューマンインタフェース 満倉 靖恵（慶應義塾大学 准教授）
15:50-	休憩
16:00-	第2部 空間知能化と建築生産 ユビキタス・ロボティクス 大場 光太郎（産業技術総合研究所 副研究センター長） 建築生産への適用 前田 純一郎（NPO国際建設技術情報研究所 理事）
17:25-	閉会挨拶 山内 泰之（NPO国際建設技術情報研究所 副理事長）

Contact

参加ご希望の方はメールにて「お名前、ご所属、メールアドレス」を記載の上、akari19194@yahoo.co.jp（前田）宛てにお申込みください。

図 7-3 空間知能化に関する国際シンポジウム

20年以上前に「モーションエンジニアリング」という概念を提唱したことがある。MITのコナー教授、秋山宏東大名誉教授、和田章東工大名誉教授等がメンバーであった。その提案の一つが「建物形状が自在に変形し、自由に移動する」という概念であった。

シンポジウムの第一部は「生命化建築」と言う分野で、慶応義塾大学の三田彰教授の「生命化建築とは」、東京電機大学の渡邊朗子准教授の「ロボットと共生する生活デザイン」、慶応義塾大学の満倉靖恵准教授の「脳派によるヒューマンインタフェース」が報告された。三田教授の報告は「人間—ロボット—建築空間」という構成の提案で、ロボットは、人間の感情・状態、室内環境を取得して、空間をコントロールする装置にその情報伝えるエージェント（センサエージェントロボット）としている。更に人間と言う生物の生存システム（生体リズム・気分・体調・行動をコントロールする系）を環境コントロールに取り入れ、更にはその時間的・空間的变化を記録し・予測して空間制御や建築設計に取り入れるとしている。三田教授はこれを「生命の生理的適応を応用した研究」とし「空間ホメオスタシス制御」と称している。

渡邊准教授は「空間知能化」の日本における提案者。生活空間に多機能センサーを設置して人の行為や行動を感知し、その情報によって空間の各種機能や室内設備をコントロールするというコンセプトである。ボック教授は建築空間を物理的に変化させようとしているが、渡邊准教授は空間環境をロボット化して、独居老人の見守り、最適環境設定などを行う実験をしている。魅力的なのは装置が安価なことで、セット全体で10万円以下もう直ぐのようである。満倉准教授の研究は衝撃であった。脳波信号を解析することによって、人間の感情を即座に判明させる。人間の5つの感性を直ちに把握すると言うのである。この技術は三田教授や渡邊准教授のシステムの基本技術となる。

第二部は「空間知能化と建築生産」で、産業技術総合研究所（産総研）ロボットイノベーション研究センターの大場光太郎副研究センター長の「ユビキタス・ロボテクス」、前述の前田純一郎理事の「建築生産への適用」である。産総研のセンターは日本のロボット研究の中心組織である。2003年から室内にロボット機能を張り付けてロボットサービスを行う実験を行ってきている。これはボック教授とは異なる試みで、日独の違いは興味ある。2006年—2009年にはロボットの作業環境構築のための研究として「環境と作業構造のユニバーサルデザイン」プロジェクトを行った。これはロボットを有効に活用するための物理的環境、情報環境のあるべき姿を追求したものである。これは建設現場においてロボットが活躍するための基本的な研究ともなると高く評価される。産総研はこの発想を社会全体に拡大する構想を推進している。これは前田理事等が北九州市で試みた「街区の空間知能化」を更に発展させたものである。産総研の発想は都市全体の中でロボットがより自由・安全に活動できるようにする構想である。空間知能化とロボットの協調関係の究極の姿である。前田理事は「ロボットにはセンシング（感覚）、情報処理（知能）、アクション（運動）があるが、この3要素は一体である必要はない。この機能をロボットを取り巻く環境に分散させ、ロボットは必要最小限の機能を保有する。こうすることで、ロボットの移動の自由度や機能もより拡大する」と言う。より安価で多様なロボットの活躍には前田理事の発想が良く、空間知能化とロボットの協調、更には生命化情報の活用により、建設産業でも設計・施工・メンテナンスの全ての段階でロボットの活躍する場が増えるであろう。

ロボット機能の空間(環境)への分散



23

図 7-4 前田純一郎氏の提案するロボットと空間知能化の協調

I C Tが社会にとって不可欠な時代となり、I O T, I O Eの時代と言われるようになった。ロボットは長い間生産活動への応用が主流で、サービスロボット・人間型ロボットは報道での喧伝の割には、実際の普及はさほどではなかった。しかしながらサービスロボットの多様化、自動運転技術の急激な進化、A Iの新展開、各種センサーの発展、クラウド情報技術の進化、生命化理論を活用した空間知能化の新段階などで、社会活動全体に対するサービスロボットの実用化が急進している。I C T技術では日本は欧米に一步遅れをとってきたが、ロボット技術は今でも日本は多くの分野で世界の最先端を行っている。今こそ日本はI C Tとロボット、そして空間知能化の活用で更なるリードを広めるべきである。少子高齢化や作業者枯渇の時代、建設産業全体でも再考の必要がある。

建設業は「インテリジェントビルディング・情報化建築」推進の際、そこで活動する人間を忘れて、情報技術一辺倒に走り、「シックビルディング」現象を引き起こした。テーマパークの情報化でデズニーを調査した時、彼らは最も大事なものは人と人との対面であると話していた。ロボットが如何に進化しても、人間同士のFace to Faceの重要性を忘れてはならない。

7. 3 建設とAI

7. 3. 1 政府のAI戦略と建設

日本政府は2015年末に 第5期科学技術基本計画を発表し、ドイツの「インダストリー

4. 0」に対抗して「ソサイエティー5. 0」を標榜した。ドイツの「インダストリー4. 0」は「第4次産業革命」と言うもので産業のAIによる大変革である。日本の「ソサイエティー5. 0」は世界に先駆けた「超スマート社会」の実現を目指すとしている。内閣府発表に概要版では、このことを脚注の中で「情報社会に続く第5の社会を生み出す変革」と説明している。超スマート社会の具体例には我々建設産業に関係するものが多い。「インフラ維持・管理」「自然災害に対する強靱な社会」「地球環境情報プラットフォーム」「スマート生産システム」「高速道路システム」「エネルギーバリューチェーン」「新たなものづくりシステム」など12項目中7項目、約6割である。そのために必要な技術は「AI」の他「サイバーセキュリティ」「IoTシステム構築」「ビッグデータ解析」「デバイス」としている。コアとなる強みを有する技術として「ロボット」「センサー」「バイオテクノロジー」「素材・ナノテクノロジー」をあげている。第5期科学技術基本計画は建設産業とその関連企業のために作られたと思われるほどである。しかし建設関係者はどの程度認識しているだろうか。

政府は2016年4月「日本再興戦略2016」を示し、成長戦略第二ステージとして「官民戦略プロジェクト10」に着手するとした。その第一に示したのは「第4次産業革命と有望成長市場の創出で、今後の生産性革命を主導する最大の鍵は、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボット、センサーの技術的ブレークスルーを活用する「第4次産業革命」である」とした。更に「特に、第4次産業革命における勝敗の鍵は、人工知能関連分野である。競争のフィールドが、製造現場など日本が強みを持つリアルなデータをめぐる戦いに移りつつある中、まだ、勝機はある。人工知能関連技術とリアルなビジネス領域における我が国の技術的な強みをどう活かして第4次産業革命に挑戦していくのか。今後数年が勝負である。産学官の縦割りを排除し、本気で取り組んでいかねば、我が国の将来はない。そうした危機感を持てるのか、我が国の命運はそこにかかっている」とも述べている。「人工知能の分野において、産学官を糾合し、我が国の強みをいかした技術戦略の策定・実行を指揮する司令塔機能として本年4月に設置された“人工知能技術戦略会議”において、産学官で取り組むべき人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップを策定し、研究開発から社会実装までを一元的に推進する」としている。しかしながら成長戦略全体として建設産業に直接関係するのは国土交通省が進めるI-CONSTRUCTIONの他はインフラのメンテ、住宅流通・リフォーム、PPP/PFIなどで、「AIと建築」と言う内容はあまり見られない。

7. 3. 2 建設のAI

ネット検索や新聞・雑誌を見ると「設計行為とAI」と言う議論は比較的多くみられる。日経アーキテクチュアは創刊40周年記念として「五輪後のキーテクノロジー」を特集し、AIが設計行為を大いに脅かすことを予測している。実際のシステムで最も有名なのは米Google（グーグル）発のベンチャー企業、Flux（フラックス）社の自動建築設計手法である。敷地に建物の意匠、構造、設備の要素データを含んだ建物の“種”のようなデータを置き、

広さや高さなどを調整しながら自動設計を進める 3D (3 次元) モデル作成システムらしい。この会社を訪問した様子を写した写真も公開されているが、1980 年代のベンチャーブーム時代の米国のベンチャー企業とそっくりである。当時喧伝された米国の建築関係ベンチャーのほとんどが今は存在しない。Flux 社の記事は 2014 年のもので最近の記事は見当たらない。建築界でも中規模マンションやオフィスの平面計画、標準的な建物の設計は早い時期に AI で充分出来るようになると予想される。ビルの管理システムに AI を活用する技術はかなり実績が進んでいる。省エネ、セキュリティー管理、電力需要予測などに AI が活用されている。建設の AI 活用で最も興味深いものは清水建設と名古屋大学が共同で開発しているシールドマシンの AI による操作ソフトである。

シールドマシンは万能のように見えるが地盤の変化に大きく影響され、何時も危険が伴っている。熟練オペレーターの経験と知識が必要であるが、それでも事故（工事遅滞など）は多い。このようなソフトへのビックデータ活用やディープラーニング活用は貴重である。多くの分野での AI 活用を調査したが、やはり建築分野はかなり遅れているように感ずる。

日本建築学会では AI に関する勉強会・研究が始まっている。例えば 2016 年 4 月からは「建築構造の技術革新と人工知能〔若手奨励〕特別研究委員会」が活動を開始し、情報システム技術委員会では 2017 年 4 月に設置した各小委員会で AI を取り入れた研究を始めた。『建築雑誌』にも AI 関連記事が投稿され始めた。しかしながら現在の建築界は BIM (Building Information Modeling), BIM+VR (Virtual Reality), AR (Augmented Reality: 拡張現実) の普及・定着により拍車がかかった状況と感ずる。建築界では CAD の導入にも暫く時間がかかった。建築界は芸術的・職人的側面があり、デジタル拒否感が強いと思われるが時代は変化している。AI を進化させている技術はビックデータとディープラーニングであるが、ポスト・ディープラーニング、ディープラーニング対応半導体チップなど技術進歩が止まらない。人間と AI の関係、AI 時代の雇用問題など社会科学的側面・哲学的側面の研究も進歩している。建設業の技術開発はその実用化が始まる 7 年前から始めるべきと考えている。他分野の AI は加速度的に進みつつあり、建設業でも AI 活用の実用化の時期である。ゼネコンも産学官金連携、異業種連携を大いに進め、実用技術開発を促進する時期になっている。

7.3.3 技術の継承と AI

ゼネコン社員の技術伝承で最も重要なことは現運営管ゼネコン社員の技術伝承である。現場管理のマネジメント力では個別技術と管理運営の両面がある。現場作業を構成する要素技術の知識、管理のポイントの伝承が無ければ QCDSSE は確保出来ない。最近ではコンピューターの進歩によりネット管理中心となり、発注部材の製作現場に足を運ばないケースが増えている。発注部材がどのようにして製作されているか、その品質の良否の見極めのポイント何かは重要な伝承ポイントである。発注先に足を踏み入れた第一印象で、部材の良否の凡が分かるようではなければならない。現場作業でも IT 管理が充実してきている。コンピ

ユーザー上では完璧でも大きな抜けが有りうる。現場を一回りした時に問題を発見出来る「匠の技」が伝承されていなければならない。

「匠の技」には科学的に分析可能で標準化・自動化・ロボット化・AI化可能なものと不可能なものがあると考える。「匠の技の4つの窓」(図7-5)を考える必要がある。領域Aは本人も認識し、周囲の人も認識できる領域である。領域Dは確かに匠に存在する能力・技であるが、本人も周囲の人も何故出来るか分からない領域である。人間の五感、個人独自の感觸の領域である。領域Aは標準化・自動化・AI化出来る領域である。領域B, Cも努力すれば標準化・自動化・AI化出来るかもしれない。しかしながら領域DはOJTでしか伝わらず、最終的には師と異なる独自の「技」を創出すべき領域である。「技」と言う概念には「技術」と「技能」を含む。「技術」は記録出来何かで置き換えられる。一方「技能」は人に宿っているもので、その人以外には存在出来ないし変化するものである。領域Dはこのようなものである。

作業所の統括責任者の能力は個別職種の管理能力とは大きく異なる。建設工事は地域や社会との関係が密接であり近隣問題・社会問題が何時も大きく関係する。更に工事のサプライチェーンは政府・自治体から発注者、材料メーカー、協力会社など数多く、幅も広い。社内調整・交渉力も重要要素である。個人と個人のコミュニケーション、組織を動かすリーダーシップ、組織と組織とのダイナミックス(グループダイナミックス)などの能力、更にリスクマネジメント力等が必要である。いわゆるプロジェクトマネジメント力、プログラムマネジメント力(複数プロジェクトのマネジメント力)である。この能力も図F-5に示した4つの領域に分けることが出来る。マネジメント力もAI化出来るものと出来ないものがある。強いリーダーシップを発揮するタイプ、自主性を重んじチームワーク力を出させるタイプなどは個人に付属したもので、OJTで体験しかつ自らが獲得する必要がある。そしてそれは経験によって変化するものである。私の現在の謡の師の教えは20年前と異なる。匠の技は変化するもの、領域Dは常に変化するものである。AIの活用は重要であるが、AIで代替できないものこそ伝承の重要要素・本質である。

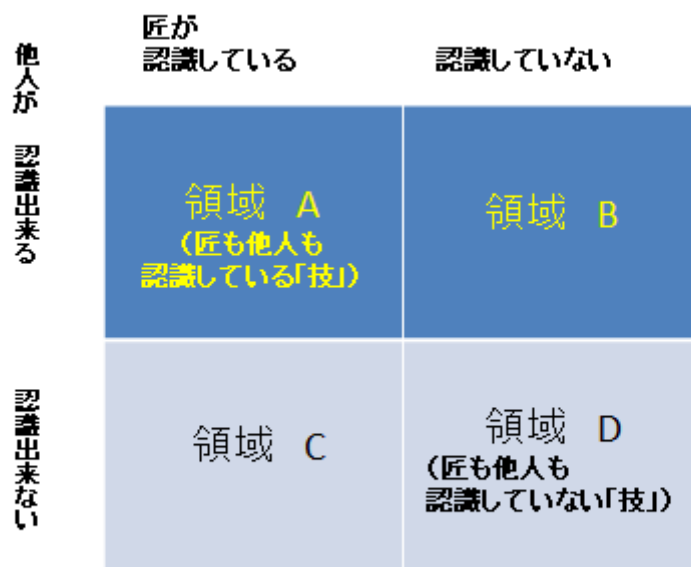


図 7-5 巧の技の4つの窓

7. 4 5G と建設

7. 4. 1 建設における5Gの現状

建設関連産業で5Gに名乗りをあげているのは大林組、大成建設、構造計画研究所などと少なく、取り組みは始まったばかりである。総務省は昨年6月「5G総合実証実験の開始」をアナウンスした。その実施概要では、大林組はKDDI、日本電気と組んで「建設機械の遠隔操作、移動体とのリアルタイム情報伝達の実証実験」を行うと記されている。第5世代モバイル推進フォーラム(5GMF)では一般会員119社の中、建設関連産業では唯一構造計画研究所が名を連ねている。総務省は本年5G向けの周波数割り当てを行うとしている。多くの産業・企業がビジネス化を着実に進めていることは確実である。AR(拡張現実)、VR(仮想現実)などは建設業界でも活用が始まっており、先進的な映像体験手段の活用は急激に拡大し、多様・大量なデータの送信行われるようになってきている。5Gは既に見えている技術であるが建設関連会社の動きは遅い。

大林組の実験はプレスリリースでは「このたびの実証試験では、5Gの特長である高速・大容量、低遅延通信を建設機械による遠隔施工に応用することで、既存のモバイル通信では実現が難しい大容量な高精細映像の低遅延伝送を実現し、遠隔施工の作業性や品質の向上を検証します」としている。総務省の報道資料によれば大林組が参画する実証試験の技術目標は「1ms(無線区間)の低遅延通信の実現」である。移動する建機をリアルタイム

に操作するための情報伝達実験である。大成建設が2017年に開発に着手したと報道された「力触覚伝達技術を利用した遠隔操作システム」も新たに5G適用を行った。

7. 4. 2 建設における5G活用予測

建設産業に関して多くの切り口で5G実現による変化を予想してみる必要がある。建設の企画・設計・施工・メンテ・解体・再利用の諸段階、建設物の利用・住環境・執務環境、個別建物・街区・都市・交通の観点、防災・環境、QCDS Eの観点等である。例えば設計時にデザイン・構造・設備・現場担当の技術者が5Gを活用して同時に議論し設計を進める。VR、ARを活用し施工現場にいるような、あるいは完成建物を実体験しながらの議論である。設計が終了したら発注者も参加して完成建物のAR内で議論する。シンガポールの現場作業所長が打ち合わせで日本に来ていても、5Gを使えば、あたかも現地の現場を歩き回る感覚で指示を与えることが出来る。病院の設計では、完成後勤務する予定の医師や看護師達に、今いる博多や札幌あるいはロンドンから、完成した仮想病院の中を一緒に歩いて貰い、彼らの意見を聞き、即座に設計変更することが出来る。建設業が5G技術を駆使するためには幅広い産業分野との連携が必要である。今まで以上に幅広い異業種連携が求められる。5Gの出現によって新たなビジネス分野が創出され、既存企業でも5G関連ビジネスが拡大することは必至である。

5G時代でもっとも気を付けるべきことはセキュリティである。仮想通貨が時代の趨勢ともてはやされているが、コインチェックのNEMの巨額流出が発生した。建設関連産業もIT専門家と同時にセキュリティ専門家の育成が必須である。自社で無理ならば外部専門会社との連携が必要である。欧米では各種のリスク助言を専門とする会社が多数存在する。とは言え5G活用は既に始まり、ポスト5Gも議論が始まっている。建設産業の売上額は中国企業がトップで、中国は5G推進に熱心である。日本建設業も5G時代対応を急ぐべきである。

7. 5 健康長寿とIoT

7. 5. 1 国家戦略としてのフレイル対応とIoT

最近「フレイル」と言う言葉を聞くようになった。「健康」と「介護」の間の状態を言う。日本老年医学会が2014年5月に、高齢になって筋力や活力が衰えた段階をフレイルと名付けて予防に取り組むことを提言した。「フレイル」=Frailty=「虚弱」であるが、「虚弱」は“加齢に伴って不可逆的に老い衰えた状態”である。老年医学の分野でのフレイルは“しかるべき介入により再び健康な状態に戻るという可逆性が包含”される。

2014年の日本老年学会の提言を受けて厚生労働省は翌年に厚生労働科学特別事業「後期高齢者の保健事業のあり方に関する研究」を立ち上げてフレイルの概念整理とガイドラインの素案を作成した。

内閣府でも同じ年の経済財政諮問会議でフレイル対策の推進を示した。この会議の結果

に基づき厚生労働省では2016年に「高齢者の保健事業のあり方 検討ワーキンググループ」を設置し、2018年4月に「高齢者の特性を踏まえた保健事業ガイドライン」を策定した。結論の要は「地域ぐるみで介護・フレイル予防を一体的に実施し、健康寿命を伸ばそう」である。

経済産業省もフレイル対応事業を行っている。最も重要な役割を果たしているのは「次世代ヘルスケア産業協議会（以下協議会）」「新事業創出WG」である。協議会がヘルスケアに資するとして重点化している産業分野は1）農業 2）観光 3）スポーツ である。経済産業省の調査結果では、ヘルス産業の範囲は非常に広く、2020年の健康維持分野の市場規模は10.3兆円、患者・要支援・要介護分野で17.3兆円と推定している。健康維持分野としては運動、住、食など12分野を表示している。経済産業省の推進する地方版ヘルスケア産業で推進されている事業はオンライン医療サービス、重症予防プログラム提供、簡易農作業、高齢者運転能力向上プログラムなどでICT, IOTがキー要素である。

ネットでフレイル商品を開発している企業を検索すると2件検索された。東京港区の都築電機が東京都長寿健康センターと共同でフレイル予防のICTシステム構築を図るものである。NECは昨年10月に独居高齢者向けのコミュニケーションシステム・ICTを発表している。

フレイル対応ビジネスではICT, IOT, AI, ビックデータがキーワードになっている。ウェアラブルセンサー、データ収集のためのITネットワーク、ビックデータの分析とAI, 介護システムへのIOT活用などである。

7. 5. 2 フレイル対応まちづくりとIOT

東京大学高齢社会総合研究機構の秋山弘子特任教授は「超高齢化社会のニーズをビジネスにする」を提案している。主題は高齢者の存在を考慮した総合的なまちづくりである。多様な移動手段、高齢者の働く場創造、ニーズに対応した多様な住宅、病院から在宅へとして遠隔医療やプライマリケア、24時間対応訪問看護が提示されている。高齢者の働く場としては市民農園、屋上農園、ミニ野菜工場、学童保育支援が示され、具体事例も示されている。これらの提案の実現にはICT, IOTが重要な役割となる。

まちづくりの対象範囲は地域特性に応じて定めればよく、フレイル対応を考慮した長寿健康を考慮した都市計画策定と考えれば良い。似たような概念に「日本版CCRC」があるが、フレイル対応をより考慮した地域住民も居住する「拡張版CCRC」とも言える。プレ・フレイル状態またはフレイル状態の人々が通常の生活行っているという環境・認識の下で自然とフレイル対策が出来ている状態を演出するのが大切と考える。周辺が山や川に囲まれた地方都市のケースを考えてみる。国土交通省は自転車活用推進本部を設けて自転車活用を推進している。日常状態で健康増進する良い方法である。散歩や軽いジョギングも勿論健康に良い。「長寿健康まちづくり」では先ず、これらの道路整備やルート整備から始めてはどうか。多種類の自転車レンタルサービス事業や観光集客にも活用出来る。これらには

ICT・IOT が活用されることになる。周辺の山や川にも散策道を整備し、森林セラピーも出来るようにする。これらのガイドはプレ・フレイル状態の高齢者が担当する。ガイドマップ ICT が活用され、高齢者にはウェアラブル IOT がなどが採用される。耕作放棄地にはレンタル農園を設置し高齢者に貸し出すが、ここにも ICT, IOT システムが適用される。スポーツジムには ICT・IOT が多く取り入れたフレイル対策サービスを入れ、会員外も利用可能とする。「総合健康ランド」で内容的には多種類のレストラン、映画館、会議室、ホールなどのある豪華クルーズ船と同様なものが考えられる。高齢者もここで働けるようにする。

7. 5. 3 地域（秋田県）でのフレイル対応と IOT

首都圏から秋田県を支援する団体の「秋田産業サポータークラブ」では秋田県庁との合同 P J “秋田サポート P J”（以下 P J）で医工連係をテーマにしている。P J の主査は『日経メディカル』の前社長で、彼はメディカル分野ではフレイルが最大のトピックになっていると言う。秋田県の高齢化率は 2016 年に 34.7% で日本一、2030 年には 40% を超える予想である。そのため 2018 年 3 月に策定された『第 3 期あきた元気創造プラン（以下 3 期計画）』（2019 年～2022 年の中期計画）では「健康寿命日本一」のために「フレイル予防」を重点施策としている。そこで P J では「秋田県の産業重点施策としてフレイルに関する研究開発・商品開発に取り組む」よう提案した。

秋田県大館市には旅館のほとんどが閉鎖されている温泉街がある。このような地域では温泉施設の復活が考えられ、他の施設も活用してヘルスツーリズムが考えられる。温泉に入浴する高齢者は IOT システムで健康管理する。これまで記したことは地域全体を含む新型健康まちづくりである。各種の新施設建設工事が行われるが建設作業そのものも作業支援器具や IOT システムで支援された高齢者もかなり参加出来る。健康維持器具、フレイル対策ソフト・バイオ食品・音楽・演劇・IOT システム、電子案内システム、各種自動移動システムビジネスも生まれる。関連特許を取得し、この構想を東南アジアに輸出すれば海外工事も考えられ、海外への「フレイル」商品輸出も出来る



図 7-6 健康長寿のためのフレイル対策には ICT, IOT がキー技術

7. 5. 6 おわりに一人間と共にある IOTー

建設現場管理一筋の人生を送ってきた大学同級生（大手建設業役員）は IT について以下のように語っている。「IT は道具としては大いに活用すべきだが、もっと大切なのは現場でそれを操る技術者の人格である。現場の出来栄え・品質・安全・利益の基本は現場で働く人々の一体感・モラルであり、技術ではない。技術は協力業者の中にこそある」。

「薬のネット販売」の是非についても興味深い論争があった。薬は薬害があるので対面販売、薬剤師の対応が必要だとする意見とネット時代であり薬局に買いに行けない人などもあるとする意見の対立であった。ヤフーや楽天、(社)日本通信販売協会などは ITこそ医薬品の副作用理解に役立つとの論理を展開している。マスコミの論調はネット販売全面開放側に大きく傾いている。大衆薬ネット販売の有用性を認めるものであるが、行き過ぎには十分な用心が必要である。

建設業の IT 普及では IT の効用が先行し、大衆薬ネット販売と同様な IT の陰の議論はさほど行われていない。多くの人が忘れ去っているが 1990 年初めごろ日本では「インテリジェントビル」ブームが起こっていた。コンピューター管理された設備システム、コンピューター対応の電力・通信システムなどオフィスの中が全面 OA 化された。大得意先である電機メーカーのためにゼネコンが OA 新製品をオフィスに全面的に取り入れようとした結果でもある。ところがこの分野で先進国であったアメリカのビル協会が「シックビル」問題を提起した。OA 化のために密閉された空間で室内環境が非衛生になったことに対する警

告であった。建築会社が設計の基本である人間のための環境・設計を無視したしっぺ返しであった。以後日本でも室内環境やオフィス設計の在り方に反省がなされた。

現場にもコンピューターやITが普及すると現場係員は関連会社や材料会社にメールや電話で発注するようになった。現場にもほとんど足を運ばず1日中コンピューターの前に座るようになった。筆者は大学の講義ではこのことについて警告を発し続けた。現場に出ない現場係員、机の前にすわりっぱなしで得意先に足を運ばない営業マンは不要である。やはり3現主義が基本である。自ら見て・自ら人と接し・話して初めて良い仕事出来るはずである。熟練した鉄骨工事の現場管理者は、鉄骨ファブrikレーターの工場に足を運び、工場を一瞥し、製作課長や工場長に会えば、その工場の品質状態全て把握することができる。

ITは今後も多様な分野で重要なツールであり続ける。国土交通省は安倍政権の「日本再興戦略」でIT活用（特にインフラメンテナンス分野）を提案している。東京建設業協会は『建設IT読本2011』を発行し、建築・土木の現場必要なIT全てを示している。建設分野ではRFID（Radio Frequency Identification）の活用の研究が早くから進められ、ビックデータ（道路交通等）、クラウド（NEC他の企業の建設産業の財務管理・現場管理）の活用も検討され始めている。建築設計・施工におけるBIM（Building Information Modeling）活用は急速に進歩している。ITツールも今やスマートフォンやタブレットの時代である。手を使わずに操作するIT機器技術も開発されている。

20年以上前に大型テーマパークのIT技術調査のためにフロリダ・オランダにあるデズニーワールドを訪問した。ここで聞いたことは「情報ネットワークよりも人と人との関わり・対応を重視すべき」とのデズニーの思想であった。ITが全ての社会を覆っている現在、「最も考慮すべきはFACE TO FACEである」と言うデズニー思想は今後も大切にされるべきである。大学同級生の「現場の出来栄え・品質・安全・利益の基本は現場で働く人々の一体感・モラルである」は非常に重要な提言である。

（参考文献 引用文献）

- [1]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.26 NO.303「建設関連産業の未来のための技術評論
連載第37回 日本国のロボット戦略と建設業」（2013/8）
- [2]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.26 NO.304「建設関連産業の未来のための技術評論
連載 第38回 スマートハウス・スマートシティー」（2013/9）
- [3]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.27 NO.307「建設関連産業の未来のための技術評論
連載 第42回 ITの光と陰」（2014/1）
- [4]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.27 NO.318「建設関連産業の未来のための技術評論
連載第51回 日本電子産業の興亡に学ぶ」（2014/11）
- [5]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.29 NO.334「建設関連産業の未来のための技術評論
連載 第68回 空間知能化最前線」（2016/3）
- [6]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.30 NO.346「建設関連産業の未来のための技術評論

- 連載 第 80 回 自動運転車 V S 建設自動化」(2017/3)
- [7]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.30 NO.347「建設関連産業の未来のための技術評論
連載第 82 回 シーメンスのインダストリー 4.0」(2017/5)
- [8]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.30 NO.348「建設関連産業の未来のための技術評論
連載第 83 回 AI と建築」(2017/6)
- [9]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.30 NO.352「建設関連産業の未来のための技術評論
連載第 86 回 住宅 IOT と溶接 IOT」(2017/9)
- [10]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.31 NO.359「建設関連産業の未来のための技術評論
連載 第 93 回 5G (第 5 世代通信規格) の建設への適用」(2018/4)
- [11]藤盛紀明『鉄構技術』VOL.32 NO.370「建設関連産業の未来のための技術評論連
載 第 104 回 フレイルと建築」2019/3
- [11]藤盛紀明『土木学会誌』VOL.102 NO.12 「技術伝承の本質」December 2017

第8章 医療におけるIoT スマート治療室

8.1 はじめに

(医療のIoTにおける従来の接続の対象)

IoTとは、「何かと何かを接続する」エコノミーである。医療分野のIoTでこれまで提案されてきた製品やサービスは、「何かと何かを接続する」際に、「接続する対象」を手術のような直接の治療行為ではなく、日常生活における健康診断や睡眠の測定、病院の経営システムの効率化といった、ハードな医療行為ではないものを対象とした、センサー、ハード、アプリケーションの組み合わせによるものが多かった。

(これまでの医療向けのIoTの典型的な事例)

例えば、「スマートホーム」といったコンセプトでは、老人を対象に、自宅にAIカメラを設置して要介護老人の転倒などの検知し怪我をしたときに自動でナースコールするといったもの、見守り機能付き電動ポット、起き上がりを検知するセンサー付ベッドなど、行動の検知と通報を組み合わせたサービスが提案されてきた。健康人を対象にしたものでは、睡眠・歩数・消費カロリーを計測する時計やアンダーウェア、歯の磨き方を計測するスマート歯ブラシ、病人を対象としたものでは、血糖値を測定するコンタクトレンズなども提案されてきた。より医療現場の活動を支援するシステムとしては、外来患者の誘導システム、すべての医療機器・電動機器をインターネットで接続してモニタリングし故障を通報するシステム、インフォームドコンセントを支援するための情報システムなども提案されてきた。これらは医療に関連しているが直接的な医療行為としての診断や治療に踏み込んだものではなく、その周辺業務をサポートするためのものである。

(医療行為におけるIoT化による支援の不在)

一方、医師の医療行為をサポートするシステムとして、病院内での医師・看護婦の医療行為全体を体系化し、それを計測し、データ化し、利用するアプローチは、製品・サービスの開発者側からの提案はなく、あくまで部分としてのデータ管理のための電子カルテシステムや、個別の特定機器（診断機器、治療機器）とそのデータ管理・保守管理に留まってきた。医療機器同士の接続が困難であるのは薬事規制上の問題も含まれており、医療行為に用いる複数の機器とデータを組み合わせること自体は医師や病院の責任において行われるものであり、接続した状態が安全であるかは薬事規制の対象外とされてきたため、単独の製品同士（とりわけ異なるメーカーの機器同士）を接続するのは医療機器メーカーが実施できる行為ではなかったという事情がある。

(医療機器の手術室でのスタンドアロンでの利用)

「機器と機器を接続する」、「複数の機器と複数のデータベースを接続する」行為はIoT的なアクションであるが、手術中に手術室では常に複数の機器が作動した状態で、その機器が計測したデータを人が読み上げて、手術を担当する医師に情報を伝達するという形で、リアルタイムな情報共有がなされ、機器同士が物理的に接続されることはなかったのがこれま

での手術室での機器の利用のされ方であった。例えば、脳外科の手術では、MRI、ナビゲーションシステム、神経モニタリング装置、術中迅速診断装置等が配置されているが、これらはすべてスタンドアロンで利用されてきた。

(スマート治療室を IoT 事例として取り上げる理由)

本報告で取り上げる事例は、2014 年度より、AMED（国立研究開発法人日本医療研究開発機構）プロジェクト「未来医療を実現する先端医療機器・システム研究開発／安全性と医療効率の向上を両立するスマート治療室の開発」で実施されている治療室 CPS(Cyber Physical System)ともいえる次世代治療室 SCOT（Smart Cyber Operating Theater）の実証実験プロジェクトである。

本プロジェクトでは、スタンドアロンで利用されてきた手術室の医療機器を接続するため、工場における産業用ミドルウェア ORiN を転用して開発された医療向けのミドルウェア「OPeLINK」をベースとして、個々の医療機器を接続されたスマート治療室 SCOT を実現し、接続されることによるメリットの検証実験を行っていることが特徴である。

スマート治療室の事例が医療行為における IoT の本格的な導入という観点では、最初の事例であること、医療版 CPS の全体像の構想からスタートしており、今後の医療の IoT 化において「OPeLINK」のようなミドルウェアをベースにした発展形が想定できるかを検討する上でも、本事例が唯一無二の事例であるという点が本事例を取り上げる理由である。

(第 8 章の目的)

この章の目的は、SCOT を事例として、医療における IoT 化におけるニーズの内容、ベースとなるミドルウェアの選択と追加開発、アプリケーション開発、IoT 化の予想された効果と実現した効果、普及のために必要となる技術標準と薬事規制、ビジネスモデルと普及シナリオの展望を整理し、本格的な医療向け IoT の普及に向けた課題、とりわけ技術標準の整備の過程で抽出されてきている課題をレビューし、医療の IoT 化で発生してくる問題の一般化に取り組みすることにある。

8. 2 治療室における機器統合ニーズ

(医療機器の多様性がもたらす課題)

外科の手術室では、下記の 4 種類の機器が設置されている。

- ・患者の状態をリアルタイムでモニタリングするもの（呼吸、心拍、体温、麻酔記録等）
- ・患部の状態を診断するもの（顕微鏡、MRI、超音波診断等）
- ・治療を行うもの（電気メス、手術支援ロボット等）
- ・手術者の動作等を補助・支援するもの（治療器具の手渡し、手ぶれの補助等）

手術支援ロボット「da Vinci」は国内で既に 200 台以上が導入されており、前立腺全摘出術の治療法として確立されており、MRI や超音波診断装置などの術中診断画像を用いた新

たな治療法も開拓されるなど、外科手術で使用する機器類は、単体としては発展してきているが、手術や治療を施行する治療室そのものは機器を搬入して治療を行うスペースのみを提供するという役割であり、自動麻酔記録システムを除き、治療室内で使用する機器との情報連携やシステム連携はされていない。

そこで、特定の手術目的のために、基本手術機器、術中画像診断機器、診療科・疾患特有の機器を選定してパッケージ化する作業が第一段階として必要となる（図8－1）。

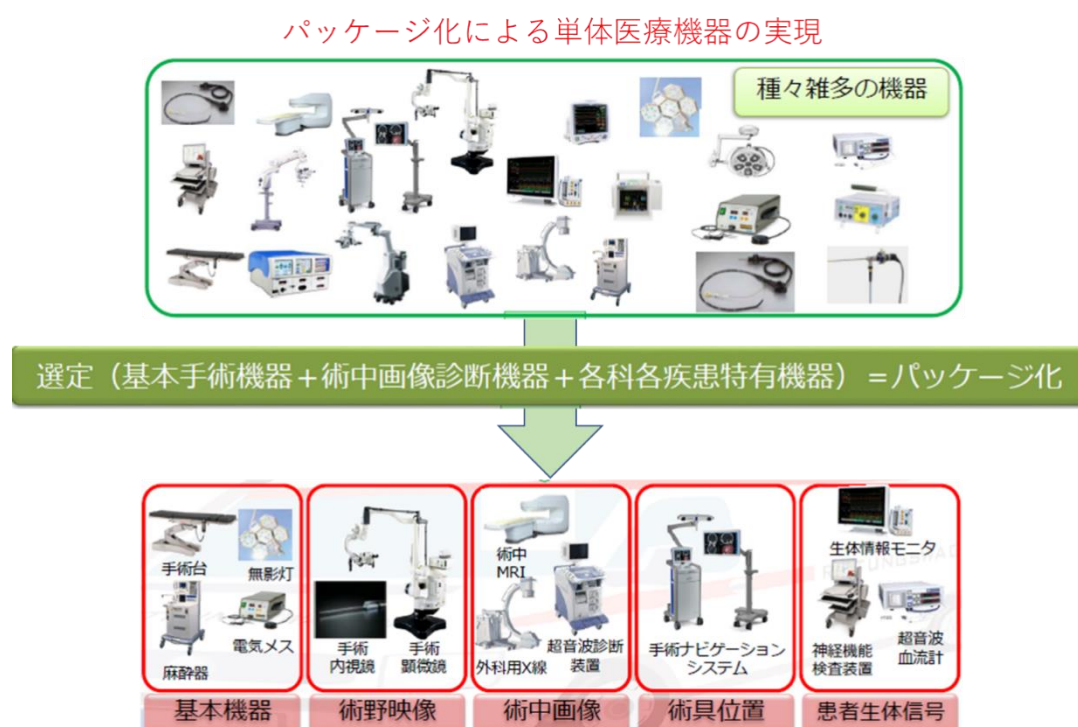


図8－1 パッケージ化による医療機器のラインナップ

出所）東京女子医大、村垣 善浩教授の資料より一部改変

（医療機器のネットワーク化）

これらのパッケージ化された機器は、情報の統合的な収集・表示・保存に課題がある。治療において医師や看護師の医療行為とその結果である患者の生体情報は、それぞれの機器に各社が決めた固有のフォーマットで保存され、画像や動画の情報、手打ちのテキストデータ、手書きメモ等、さまざまな形式で記録・収集されるが、個々の機器のシステムクロックは同調されておらず、連続データの場合のサンプリングの周期も固有であるため、複数の情報を時系列に再現することは非常に難しい。そのため、これら術中データは医療情報として利活用する際の信頼性、有用性、客観性が乏しく、医療現場のシステムの（人、組織、機材など）な欠陥に起因した医療過誤が発生した際の原因究明や、治療に起因する合併症の原因

探索とその解決策の提示などは非常に難しい。

このため、利用される機器を共通のオンラインインターフェイスで結合してネットワーク化する必要が出てくる。治療室の機器をネットワーク化し、術中データの最適表示、融合表示等を行うことで、術者の意思決定をサポートするためのシステムインテグレーションが実現する（図8-2）。



図8-2 医療機器のネットワーク化

出所）東京女子医大、村垣 善浩教授の資料より一部改変

（情報共有の重要性）

また、手術室の情報は、治療現場外のサポート（医師・技師等）にも共有されることで、指導医が若手医師に指導することが可能となり、治療の精度や安全性が高まることが期待される。また、手術情報を「時系列の治療記録」として管理することでより高度な解析も可能となり、保守・管理の面でも、単純な操作ミスの防止やコスト管理（稼働時間の短縮、電気使用の低減）に大きなメリットをもたらすことが期待される。

（治療室における Cyber Physical System の理想型）

ドイツが提唱した製造業の革新を目指す「Industry 4.0」では、製造現場（Physical）での全ての機器をインターネットで繋げ、これらのデータを一旦コンピュータのデジタル空間上（Cyber）へ読み込み、解析・分析を加えて現場（Physical）にフィードバックし、製

造現場の最適化を目指す CPS (Cyber Physical System) という概念がベースとなっている。SCOT プロジェクトでは、図 8-3 に示すような、『Physical 空間としての治療室』におけるネットワーク化された医療機器と、「治療データベース、意思決定ナビゲーションシステム、デバイス稼働監視・不具合解析システム、精密誘導手術システムが統合された『Cyber 空間』が結合された、手術室版 CPS (Cyber Physical System) を提唱している。

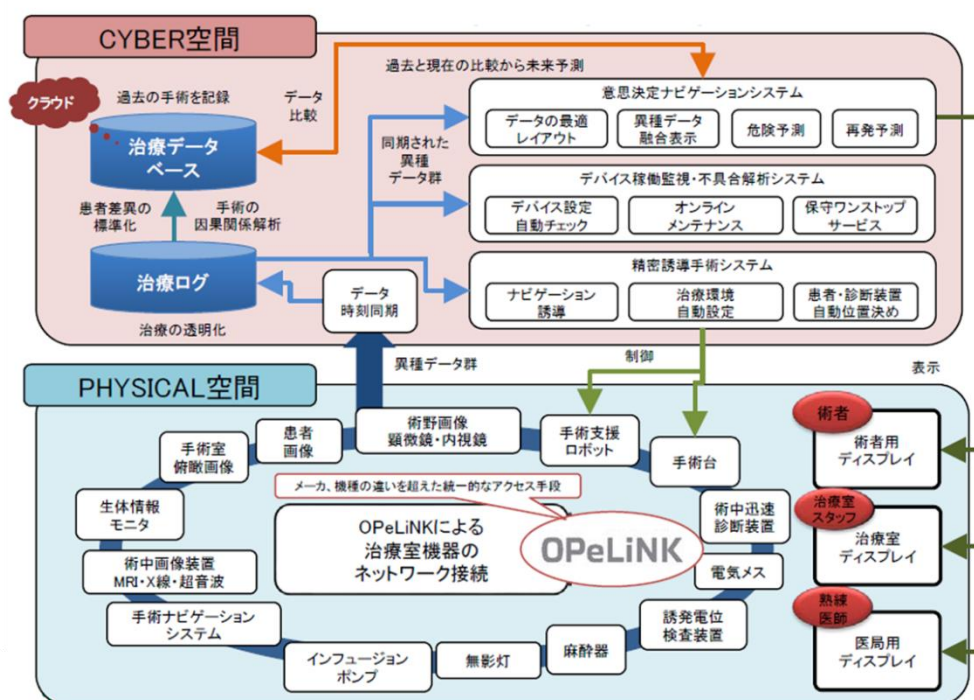


図 8-3 手術室の Cyber Physical System

出所) 岡本淳、スマート治療室が実現する Medicine 4.0、未来医療、Vol.30, p44-49, 2017

8.3 プラットフォーム開発とパイロットプロジェクト

(ミドルウェアとしての ORiN の選択)

これまで未接続であったこれらの機器をネットワークに接続するため、SCOT プロジェクトでは、SCOT の中核となる治療室インタフェースとして産業用ミドルウェア ORiN (3 Open Resource interface for the Network) を用いている。

当初、ORiN はロボットの標準プラットフォームとして開発されたため、ORiN の『R』は Robot の『R』を示していたが、ORiN のアーキテクチャはロボットのみならず、その他の FA 機器、データベース、ローカルファイルなど、幅広いリソースを扱うことができ、FA 全体に効果があるということから、今では Resource の『R』を示している。現在、「ORiN2 SDK」として実用化され、パソコンのアプリケーションソフトウェアから、異なるメーカーのロボット、PLC、NC 工作機械などの制御装置の情報を、共通化された方法でアクセスする

ことが可能である。ORiN を活用することで、メーカー固有の制御装置へのアクセス方法に合わせることなく、統一的なアクセスを実現できる。

パソコンの汎用言語（C#, C++, Visual Basic, LabVIEW, Java など）で開発できることから、パソコンから各種 FA 機器のコントローラーを制御したり、情報収集したりすることが可能となり、ソフトウェア開発の工数削減やソフトウェアの再利用性、さらに保守性の向上が期待できる。ORiN により、従来はメーカー固有の制御装置のアクセス方法に合わせて開発していたアプリケーションソフトウェア開発の工数が削減され、さらにアプリケーションソフトウェアの再利用性、および保守性が向上する等のメリットがある。

ORiN は、ロボット、PLC、CNC など広範な適用範囲があり、ORiN を適用するために装置側の改造は不要で、XML データを介した他システムとの連携可能でかつ Internet 対応のためのソフト開発は不要であり、ゲートウェイ機能による各種フィールドバス接続が可能などの特徴がある。

エンジンは、標準プログラムインタフェースと共通の機能を持ち、各デバイスの違いを意識することのないアプリケーション開発環境を提供する。一方、プロバイダは、各種 FA 機器とパソコンを接続する通信インタフェースを持ち、機器ごとに異なる通信仕様の差異を吸収することで、上位アプリケーションに統一的なアクセス手段を提供する（図 8－4）。



図 8－4 ORiN によるデバイス・アプリケーションの接続イメージ
出所) <https://www.orin.jp/>

これらにより、FA 機器メーカーはクライアントアプリケーションに依存せずにデバイスが持つ機能を公開することが可能となり、アプリケーションベンダは、各種 FA 機器に依存しないでクライアントアプリケーションを開発することができる。

医療機器の接続にミドルウェアを利用するのは「工場で利用されてきたミドルウェア」を医療分野に転用することにより、ORiN はミドルウェアとして

- ・ 様々な通信規格への柔軟な対応ができること
- ・ 産業の現場で既に活躍しており信頼性が高いこと
- ・ ORiN と接続するための様々な一般機器のプロバイダが既に開発済みであること
- ・ 産業用ネットワークの国際標準規格（ISO 20242-4）に採択されていること

などから、治療室向けのミドルウェアとしての要件を満たしていると SCOT プロジェクトでは判断された。ORiN は通信方法として LAN やシリアル通信等の規定をしておらず、様々なプロトコルに対応しているが、そもそもデータの出力を持たない医療機器は接続することができないという事情があり、SCOT プロジェクトでは接続機器のデータ出力機能の追加もプロバイダ開発と並行して実施し、ORiN ベースの OPeLINK をプロジェクトメンバー（5 大学、12 企業）のうちデンソーが中心となって開発し、各種医療機器やアプリケーションとの接続を実現している（図 8－5）。

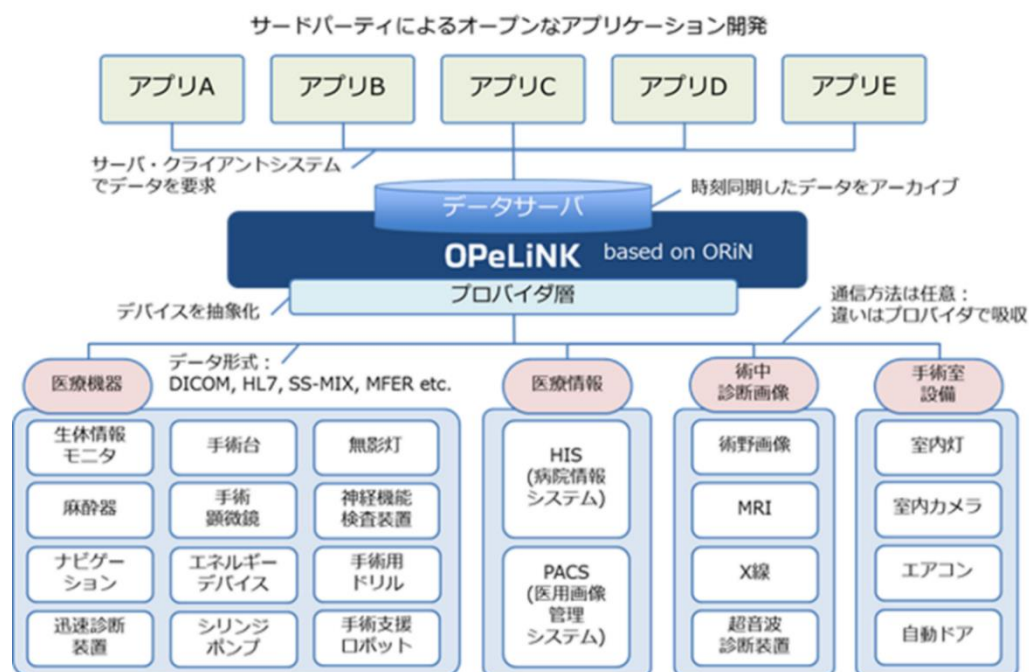


図 8－5 OPeLINK による医療機器・アプリケーションの接続イメージ

出所) https://www.amed.go.jp/news/release_20180709-01.html

(SCOT プロジェクトで実現した機能)

SCOT プロジェクトで実現した機能は、以下のとおりであり、図 8 - 3 の Cyber 空間での記載内容に沿って、説明していく。

<手術室における機器接続の仕様>

Hyper SCOT では、異なるメーカーの約 20 種類の機器が相互に接続されており、薬事承認の対象となる医療機器に加え、非薬事対象の情報機器なども含まれる。



図 8 - 6 OPeLiNK による医療機器・アプリケーションの接続仕様

出所) https://www.amed.go.jp/news/release_20180709-01.html

<治療ログ>

治療室で収集された各機器からのデータはコンピュータ上の **Cyber** 空間で時刻同期され、「**治療ログ**」として記録される(図8-3の左上)。手術におけるインプット(例えば電気メスの出力、ナビゲーションシステムが示す術具の位置データ等)とアウトプット(例えば誘発電位検査装置データ、生体情報モニタデータ等)が術野映像とともに時刻同期されて保管され、再生できる。手術データは位置情報および時間情報とリンクした形で表示・保存される。手術のプロセス全体を、位置および時間と同期させたデータとして丸ごと保存できるため、治療に起因する合併症の原因探索や、医療過誤が発生した際の原因究明を行うことができ、治療の透明性を向上させることが可能となる。

今後の課題としては、「**治療データベース**」(図8-3の左最上)の実現があり、術後の再発や合併症データを追加的に入力し、さらに患者ごとに異なる形態的な差異を標準形態データに自動変換するアプリケーションを開発することで、過去の治療を記録し、手術中の治療と比較検討が可能なデータベースの実現が構想されている。

<意思決定ナビゲーションシステム>

SOCT プロジェクトでは、外科医にとって術中の意思決定に役立つデータを術中にその場で提供するシステムを「**意思決定ナビゲーションシステム**」と呼称している(図8-3右)。

画像データ以外は数値データとして取得するため、ユーザの希望するレイアウトで **Physical** 空間の術者用、治療室スタッフ用、医局の熟練医師用ディスプレイへ集約して表示する。また、異種データを融合表示することも可能となる。神経機能検査装置や迅速診断フローサイトメータ、生体情報モニタ、術野映像、術中 **MRI** 画像、電気メス、ロボット(術者コックピット)などの使用状況が、時間同期した形で表示され、保存される。ディスプレイ上では異なるメーカーの機器のデータを、融合表示することが可能となっている。

ディスプレイ上に各種データを最適レイアウトで表示することにより、術中の統合情報(術野映像、患者の生体情報、手術ナビゲーション情報等)の表示、異種情報(形態的情報・組織的情報・機能的情報)統合ナビゲーション、スーパーバイザー(例えば医局や遠隔地にいるベテラン医師)による遠隔モニタリングと助言が実現する。

<デバイス稼働監視・不具合解析システム>

手術室で発生する技術的エラーのうち、44%が機器のコンフィギュレーション・設定ミスによるものとの報告もあり、採用する医療機器の機種絞込みによるパッケージ化により、ユーザサイドのアプリケーションに手術のシナリオごとの各機器の設定を登録しておくことで、ミドルウェア経由の一元管理により各機器の設定値をチェックできるため、設定ミスを防止・削減することができる。

＜精密誘導手術システム＞

画像誘導下の手技の実現：例えば、画像上で治療計画を立て、ロボットを用いて穿刺針の位置を決めて患部を穿刺する手術や、集束強力超音波（HIFU）を照射する手術等である。術中モダリティ、手術ナビゲーションシステム、位置決め支援ロボットが画像情報・位置情報を Cyber 空間のアプリケーションレベルで統合することで、メーカーや機種を超えた精密誘導手術が可能となる。

機器のロボット化による治療環境の自動設定：機器のロボット化による治療環境の自動設定も可能となる。ロボット化した手術台（ロボティック手術台）や顕微鏡（ロボティック顕微鏡）を開発することにより、症例ごと、術者ごとにあらかじめ設定したパターンに治療環境を自動設定することで、手術の準備時間短縮に貢献する。また、ロボティック手術台は MRI の様な術中診断装置への患者の自動搬送を可能とし、術中 MRI の撮影は簡易的に、短時間でできるほど多くの回数撮影することができ、摘出率の向上に大きく貢献する。

＜開発モデルの推移＞

SCOT は、開発年代別に、ベーシック、スタンダード、ハイパーがあり、それぞれ参加大学に設置されており、年代ごとに機能が追加されている（図 8－7）。

モデル	ベーシック	スタンダード	ハイパー
設置場所 (年)	広島大学(2016)	信州大学 (2017-18)	東京女子医科大学（プロトタイプ：2016 病院：2019)
機能	術中MRIを中心とした国産医療機器を情報統合可能な形にパッケージ化したもの。	臨床利用可能なレベルの OPeLiNK が導入されたスマート治療室。手術室のほぼ全ての機器がネットワークで接続され、病院医療用画像管理システムとの連携や、手術室外医師・スタッフとのコミュニケーション機能も装備。	左記に加え、新規開発のロボットベッド等のロボット化、情報のAI化を目指し、高密度集束超音波等の新規精密誘導治療の検討を行う。
位置づけ	スタンダードモデル向けに OPeLiNK ネットワークの研究開発を実施。広島大学では、脳外科以外の整形外科等へも展開中。	2018年7月より脳外科にて臨床研究開始。情報統合による手術の効率性・安全性を実証する。	2018年度末に東京女子医大に臨床研究可能なハイパーモデル」を設置し、2019年度事業化のスタンダードモデルに、ロボットベッド、新規精密誘導治療等新たな技術を導入していく。

図 8－7 SCOT の 3 つの開発モデル

出所) https://www.amed.go.jp/news/release_20180709-01.html

8. 4 国際標準化への取り組み

スマート治療室は、異なるメーカーから別々に開発製造された様々な機器がネットワークに接続されることが前提となっている。このような異なる機器同士の接続はセキュリティを保持しつつ情報をやり取りするとともに、全体のシステムとして安全で効果的に機能し、医療機器に該当する場合は薬機法にも適合することが求められている。

そのため、システム全体が正しく機能するように、各々のメーカーが守るべき規則や各々の機器が満たすべき規格を規定する必要があるが、独立に薬事承認された医療機器がミドルウェアを介して接続された場合の薬事規制上の要件や技術標準のための規格要件は現状定められておらず、医師の裁量権による病院内での実証実験の段階から、実用化段階に向かうにあたっては、技術標準と薬事規制への対応が不可欠となる。

図8-3にあるような「手術室の Cyber Physical System」の実現においては、他のネットワークや DB との互換性を有する必要もある。日本国内だけでなく海外市場を獲得していくためには、国内外の関連する活動と連携を図り、国際的に受け入れられる仕組みである必要があるが、既に米国とドイツでは、手術室の ICT 化のためのミドルウェア開発が別の形で進行しており、OPeLINK は標準を整備していく上でこれら 2 者と協業していく必要がある。

米国の DPnP (Medical Device “Plug - and - Play”) というプロジェクトでは麻酔科医が主導しており、「OpenICE」というミドルウェアを公開している。Massachusetts General Hospital (MGH)とその研究所が中心となって 2004 年より開発を進めており、接続可能な機器は、主に麻酔器、人工呼吸器、生体情報モニタであり接続範囲は限定されているが、標準化活動の成果として、「ASTM F2761-09 (Medical Devices and Medical Systems - Essential Safety requirements for equipment comprising the patient-centric integrated clinical environment (ICE) -Part 1: General requirements and conceptual model) が公開されている。

一方、ドイツの OR.NET プロジェクトは耳鼻咽喉科などの外科領域を対象としたオープンインテグレーションを行っており、「Open Surgical Platform (OSP)」というミドルウェアを開発している。ライプツィヒ大学、リューベック大学、ミュンヘン工科大学、アーヘン工科大学が中心となって 2012 年より活動している。現在は 5 年間のプロジェクト期間を終え、非営利団体として活動している。OR.net の特徴は SOA (Service-oriented Architecture) を採用していることであり、各機器とは Web サービスの方式で通信をする設計となっている。具体的には、DPWS (Device Profile for Web Service)を拡張した MDPWS (Medical Device Profile for Web Service)という規格を IEEE11073-20702 として現在策定を進めている。医療機器としての承認戦略としては 3 つのレベルのテストを想定しており、レベル 1: IEEE11073-conformity testing、レベル 2: inter- and intraoperability testing、レベル 3: Usability integration tests とし、IHE で行われているコネクタソン形式の評価会を実施するとしている。

こうした情勢下、経済産業省は、「安全性と医療効率の向上を両立するスマート治療室に関する国際標準化」についての FS 事業をたちあげ、IEC/SC62D Electromedical equipment（医療電子機器）での NP 提案を目指している。同時に、平成 28 年、29 年の医療機器開発ガイドライン策定事業として、「スマート治療室」を採択し、ワーキンググループでの検討を進め、平成 30 年 3 月に報告書を発表している。次節では、この報告書を元に、スマート治療室が実用化と普及に向けて、どのような課題を有しているかを整理しておきたい。

8. 5 普及に向けた課題

スマート治療室では、接続するためのミドルウェアが中核となるが、WG で議論された論点は、ミドルウェアを巡る課題としては、セクターに関係なく発生してくる IoT に共通する問題と、医療特有に発生してくる問題を分けて整理しておく必要がある。

1) 医療であるかどうかに関係なくミドルウェアに関連して発生してくる課題

<関与者の定義とその利益>

- ・ ミドルウェア開発者、デバイス開発者、アプリケーション開発者、導入者、使用者（病院等）を定義する必要がある。参加者としてはアカデミアというカテゴリーもあり、研究として作るアプリケーションも想定されるが、その場合はユーザとベンダが同一となる場合もある。
- ・ デバイス開発者にとって OPeLiNK 規格に参加するデメリットが少ないため、参加は容易であるが、アプリケーション開発者にとって参加するメリットとデメリットが明らかでない。ルールを明らかにして各開発者の参加を促す必要がある。
- ・ ビジネスモデル、特にミドルウェア開発者の利益モデル、使用者（病院等）における追加コストの負担方法が決まらなると関与者（プレイヤー）が決まらない。
- ・ 導入者とは何か。システムインテグレータか責任機関（病院）ともに導入者となる可能性があるため、プレイヤーとしての導入者を定義している。
- ・ 導入者と使用者（病院等）との関係：導入者は導入記録を残すべきである。しかし、導入記録は導入者のノウハウであるため、それを使用者に渡すかは契約次第である。

<ミドルウェア（OPeLiNK）の範囲と接続部の定義>

- ・ 機器側のプロバイダ部、データサーバ、アプリケーションのクライアント部がミドルウェア（OPeLiNK）である。
- ・ プロバイダは、医療機器ベンダが作る場合と OPeLiNK 側が作る場合があるが、プロバイダを誰がどのようなルールに基づいて作るかをはっきりさせる必要がある。
- ・ ミドルウェア（OPeLiNK）に対応するデバイス（医療機器）を作る側は、作る際に守るべきルールを提示してもらわないと作りようがない。しかしながら、ルール作りは事業性に関連するので初期段階では決めにくい。

<セキュリティ>

- ・ ネットワークサイバーセキュリティのガイドラインの動向については注意する必要があるが、これは医療の問題というよりは、より一般的な問題であるので、それらに関する安全性等は引用すればよい

<バージョン問題>

- ・ OPeLiNK がアップデートした時の安全性は担保されるのかについてはベースとなっている ORiN では完全上位互換になっているため、バージョンアップに対応できる。

2) 医療におけるミドルウェアと接続される医療機器が抱える特殊性に由来する課題

<薬事申請との関係>

- ・ OPeLiNK 部分は SOUP(Software of Unknown Provenance)であるため、非医療機器である(アプリケーション側がリスクマネジメントすべきという意味)。
- ・ アプリケーションごとに目的と機能を明らかにして薬事申請がなされるべきである。
- ・ アプリケーションの医療機器該当性とクラス分類は標榜する効果効能と付随するリスクによって決定される。機器が単体で認証／承認を受けたクラスによって決まるものではなく、OPeLiNK に接続しようとした場合の効果効能が異なる場合には、別途クラスについては検討する必要がある。

<接続対象となる医療機器の侵襲性の取扱>

- ・ 侵襲性のあるデバイスについて：医療機器の侵襲的なパラメータはミドルウェアを介しては変更されない、すなわち医療機器本体のインターフェイスが変更されても侵襲性に変更はないことを前提とする。ただし、ミドルウェアを介して侵襲的なパラメータを変更される医療機器も存在することは念頭においておくべきである。
- ・ 治療室という概念には、手術室の他にカテーテル室等が含まれる。

<手術情報の定義と電子カルテとの連携>

- ・ 手術情報：現状定義されていないが、手術情報の範囲を定義しない限りハンドリングできないが、手術情報がどのように使われるかによって異なるため、範囲と用途の両面から規定していく必要がある。また手術情報のカルテ情報への組み込みは、将来的には検討されるべきであるが、電子カルテからはデータをもろう流れのみとすることでシステムの構築を進めたほうがよいが、Cyber 空間でのデータの臨床上的価値は片方向で低下する。

<手術情報の二次利用について>

- ・ 治療データベースの構築のためには、手術情報の二次利用が前提となるが、二次利用のためのガイドライン整備が不可欠である。

<国際標準化と開発ガイドラインのすみわけ>

- ・ 安全性については国際標準化でも議論されているが、開発ガイドラインと国際標準化で内容的にオーバーラップする部分はでてくる可能性がある。

3) 普及に向けた課題と医療 IoT の一般問題

スマート治療室の普及には、いくつかの課題に対して、答えが明確になる必要がある。

第一に、プレイヤーの参加コストと利益の関係が整理されることが前提となる。例えば、

- ・ミドルウェアの開発者が開発コストを回収するための利益モデルを構築できるかである。とりわけ、バージョンアップに際しての追加コストを負担可能かという問題が控えており、持続可能な料金体系を組むことも前提となる。ミドルウェアの技術的な寿命はどれくらいかという点はバージョンアップの問題と連動している。
 - ・医療機器ベンダは、ミドルウェアへの接続のためのプロバイダ開発コストを回収できるか。技術標準が整備されれば、接続可能要件が明確になり、医療機器ベンダによっては市場の拡大につながる可能性がある。
 - ・スマート治療室の導入者である病院は、導入コストを回収できるか。スマート治療室を利用して手術をした場合とそうでない場合で医療費が異なるのかという点が明らかになる必要がある。
 - ・アプリケーション開発者は、開発コストを回収できるかについては薬事対応の負担がどの程度かに依存している。医療用ソフトとして扱われる場合には薬事申請が必須となるが、そのためのコストが試算できることがアプリケーション開発に参入する前提となる。データベースとの連動や人工知能とのリンクにより、治療がより安全になり、高度な治療ができるようになった場合に、誰が導入コストを負担するのが課題となる。
- CPS として高度化すればするほど、コスト負担の問題は重くなる。

といった問題である。

第二に、依然として薬事上の取り扱いが不明確であり、アプリケーションごとに目的と機能を明らかにして薬事申請がなされるべきという点が確定した場合、薬事申請コストがスマート治療室普及のボトルネックとなる可能性がある。

第三に、スマート治療室が医療版 CPS として機能していくためには、手術情報の範囲と用途が規定され、技術的な利用可能性とは別に、手術情報が個人情報として保護されることがボトルネックとなり、そのポテンシャルが発揮できないといった事態も想定される。

第四に、スマート治療室に関連して策定される技術標準が、接続可能な医療機器の範囲を拡大するか否かである。技術標準が提供されることにより、接続要件がより明確になると同時に薬事審査上も利点が出てこなければメリットは少ない。

第五に、ミドルウェアの適用対象が治療室以外へ拡大した場合、治療室に依存せずに病院経営全体への貢献から、導入コストを負担できる可能性がある。

スマート治療室の普及のみならず、治療に踏み込んだ医療の IoT においては、技術的な課題の解決だけでなく、薬事規制上の取り扱いが明確にならない限り、各参加者の導入コストと導入による便益の予測性がないため、薬事法対応による保険診療とするのか、医師の裁量権により治療をスマート化するか否かという点が普及上の課題となってくるものと想定される。

《平成30年度 産業と技術の比較研究スケジュール》

第1回	4月20日(金)
	議題:平成30年度研究計画討議
第2回	5月25日(金)
	議題:平成29年度報告書提出確認
第3回	6月22日(金)
	講師:(株)小松製作所 スマートコンストラクション推進本部長 四家 千佳史様 議題:スマートコンストラクション
第4回	7月20日(金)
	講師:三菱電機(株) FA本部 副本部長執行役員 高橋 俊哉 様 議題:「スマート製造～IoTを活用したものづくり～」(エッジクロスコンソーシアムについて)
<8月休会>	
第5回	9月21日(金)
	講師:SBDドライブ(株) 吉川 祐介様 議題:「自動運転ビジネスの取り組み」
第6回	10月15(月)
	講師:東京大学 新領域創成科学研究所 堀 洋一教授 議題:「EVインフラ、キャパシタ・バス」
特別回	11月2日(金) 公開セミナー(平成30年度研究会報告会)
	協力:(独)経済産業研究所、協賛:日本MOT学会
第7回	11月16日(金)
	講師:大和ハウス工業(株) 経営企画部 上席主任 海老名 祐様 議題:「インテリジェント物流センター/スマートホームグランド」
第8回	12月14日(金)
	講師:加納先生 講演資料:「Fit考」 講師:馬場先生 講演資料:(仮題)「IoT時代へ向けた、半導体産業の『かたち』」
第9回	1月18日(金)
	講師:(株)マビオン 取締役 佐藤 孝也 様 議題:「地図とIoT・地図と健康」
第10回	2月15日(金)
	講師:加納先生 議題:「IoTで実現するスマート治療室SCOT」
第11回	3月8日(金)
	講師:(株)クボタ 飯田 聡 特別技術顧問 議題:「スマート農業の現状と今後の展開」
第12回	3月29日(金)
	議題:平成30年度 報告書案検討