# 平成 28 年度 産業と技術の比較研究 報告書 「IoTの事例とその本質」

平成 29 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

### < 本報告書執筆者一覧>

第1章 児玉 文雄 東京大学名誉教授

第2章 馬場 康志 朝日新聞社 メディアラボ主査

第3章 藤盛 紀明 NPO 国際建設技術情報研究所理事長

第4章 柴田 友厚 東北大学大学院教授

第5章 玄場 公規 法政大学経営大学院教授

第6章 加納 信吾 東京大学大学院准教授

第7章 岡松 壯三郎 (一財)商工会館理事長

#### はじめに

IoT を分析対象としの研究の初年度である。IoT の本質を理解するため、従来の IT と比較するという観点から、空間知能技術化 (建設業)、無人運転、流通業、外国企業 (GE,シーメンス) の戦略、および IoT の標準化政策について、調査した。その結果、IoT についての企業戦略や政策は、IT の延長線上では構想できないことが明らかになった。同じ問題にしても、セキュリティ対策などについては、問題の次元が異なっていることも明らかになった。IoT の技術革新を分析する枠組みを新たに構築する必要性を強く認識するに至った。

「産業と技術の比較」 研究会主査 児玉文雄

# 目次

第	1章	Ic	T の事例とその本質的理解	1
	1.1.	IoT	の定義と典型事例	1
	1.2.	IoT	イノベーションの特徴	3
	1.3.	社会	システムとしての定式化	5
	1.4.	参考	<b>ទ文献</b>	7
第	2章	t	:ブン-イレブンにみる「両利き(Ambidextrous)」の情報活用とその課題	8
	2.1.	はじ	こめに	8
	2.2.	分析	f観点	8
	2.3.	事例	引分析	10
	(	1)	「知の深化」活動①:プロセス・イノベーション	10
	(	2)	「知の探索」活動 ①:プロダクト・イノベーション	11
	(	3)	「知の探索」活動 ②:サービス・イノベーション	12
	(	4)	「知の探索」「知の深化」の両立	13
	(	5)	知識の組織共有へむけた活動	15
	2.4.	今後	もの課題	16
	2.5.	おれ	っりに	18
	2.6.	参考	5文献	18
第	3章	建	建設分野から見た自動化と空間知能化	20
	3.1.	はじ	こめに	20
	3.2.	建設	と産業の自動化・空間知能化関連技術の進歩	21
	3.2	2.1.	自動化・ロボット化・完全自動建設	21
	3.2	2.2.	B I M · B I M + V R · A R	23
	3.5	3.3.	建築生産の IoT、ロボット、自動化と BIM プラットフォーム提案	25

3.3. 空間知能化	26
3.3.1. 空間知能化の歴史	26
3.3.2. 空間知能化国際会議	27
3.3.3. 室内・街区・地下・都市・交通網と空間知能化	29
3.4. 空間知能化論	30
3.4.1. プラットフォームとしての空間知能化	30
3.4.2. インターフェイス論	30
3.4.3. 先端技術と技術者	31
3.5. 人間と技術	31
3.6. 参考文献	32
第4章 企業の IoT 開発戦略の構想	33
4.1. 多様な用途と要求水準	33
4.2. IoT 機器開発戦略の類型化	35
4.3. IoT アーキテクチャ	38
4.4. まとめ	39
第5章 日本企業の研究開発・設備投資の収益性低下の要因-イノベーションのパラダイム	変化41
5.1. はじめに	41
5.2. 投資効率の実証分析	42
5.2.1. 効率性の低下	42
5.2.2. 投資と収益に関する既存研究	42
5.2.3. 分析手法	43
5.2.4. 分析結果	44
5.3. IoT への対応の遅れ	46
54 おわりに	47

5.5.	参	考文献	48
第6章	B	医療における IoT とレギュレーション	49
6.1.	ГоТ	『におけるモジュール分割と医療におけるモジュール分割	49
6.	1.1.	IoT の構成要素としての「製品・データ・サービス」複合体	49
6.	1.2.	医療検査機器における「製品・データ・サービス」複合体	51
6.	1.3.	モジュール分割は薬事規制と一致しているか	54
6.2.	医规	寮 IoT に求められる技術標準とレギュレーション	55
6.2	2.1.	技術標準とレギュレーションの補完関係	55
6.2	2.2.	医療におけるモジュール分割と IoT	57
6.2	2.3.	医療 IoT におけるレギュラトリー・モジュール概念の必要性	60
6.3.	おね	<b>わりに</b>	61
6.4.	参	考文献	62
第7章	I	oT が促す産業組織の改革	63
7.1.	は	じめに	63
7.2.	產	業分類への疑問	63
7.3.	ГоІ	『のもたらす変革	63
7.3	3.1.	代表的な事例は自動車業界	63
7.3	3.2.	新たな連携のあり方	64
7.3	3.3.	中小・中堅企業の生きる道	65
7.3	3.4.	データの利用権限	65
7.3	3.5.	データの活用 「所有」から「利用」への変化	65
7.4.	流ì	通部門の IoT 化	66
7.5.	第一	一次産業の IoT 化	66
7.6.	生剂	舌・家庭内の IoT-IoT の広がりから取り残されそうな分野	67

7.6.1.	ヘルスケア	67
7.6.2.	機能サポート機器	68
7.6.3.	メンタルアシスト	69
7.6.4.	行動アシスト	69
7.6.5.	欠けている点	70
7.7. 結び	びに代えて	71
7.8. 参	考文献	71

#### 第1章 IoTの事例とその本質的理解

#### 1.1. IoT の定義と典型事例

ウイキペディアによると、「IoT (Internet of Things)」の定義は、物理的な装置、媒体(vehicles) (連結された装置とかスマート装置と言われている)、構築物、その他の項目(エレクトロニクス、ソ フトウェア、センサー、アクチュエータで装着されている)と、これらの対象がデータの収集と交換が できる「ネットワーク接続」(network connectivity)とを、インターネット経由で接続したもの (internetworking)とされている<sup>1)</sup>。すなわち、IoTにより、すべての対象が既存のネットワーク・イ ンフラにより、検出され、遠隔操作されるようになり、物理的世界をコンピュータ・システムに直接的 に統合する機会が生まれ、効率、正確性、経済価値の向上を期待できるようになるとされている。

この定義にぴったりと当てはまるのは、NC(数値制御・工作機械)に、PC(パソコン)が統合可能になった最近の事例である。この統合は、最近になってようやく、可能になったのである。実は、NCとPCは、全く異なる技術進化軌道を辿って、全く異なるモジュール・アーキテクチャに到達していた。PCは、オープン・アーキテクチャの進化軌道を辿ってきたのに対し、NCは、クローズド・アーキテクチャの軌道を歩んできた。両者の統合は、NCのアーキテクチャが「表示」「計算」「駆動」の3つの機能にモジュール分断され、相互干渉なしで動くという、オープン・アーキテクチャへと転換されたことにより、初めて実現したのである。

PC 機能が NC の表示ユニットに統合されたことにより、データベースやネットワークという、柔軟性のある高度な PC 機能が、NC システムに付与されることになったのである。付与されたデータベース機能により、NC のオペレータが、工具ファイルを直接管理し、オペレーションの表示をカストマイズして、人間とのインターフェイスを自由に構築できるようになったのである。また、PC がもつネットワーク機能を使い、工場内ではインターネットを介して遠隔操作ができるようになった。

そこで、日本最大の工作機械メーカーであり、NC 制御器のユーザーである森精機㈱は、消費者向けの PC を自身の NC システムの表示モジュールに組み込むことで、独自の PC-NC システムを開発したのである。その開発は、1997 年に始められ、2000 年に、MAPPS (Mori Advanced Programming Production System) として発表された。同社はその改善版である MAPPS III を完成し、同社のすべてのモデルに装着している。その結果、NC 制御器のメーカーとは独立して、下図 1-1 のように、オペレーションや表示方法についての独自の共通仕様を開発できた。

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> 原文では、The **Internet of things** (stylized **Internet of Things** or **IoT**) is the internetworking of physical devices, vehicles (also referred to as "connected devices" and "smart devices"), buildings and other items — embedded with electronics, software, sensors, actuators — and network connectivity that enable these objects to collect and exchange data.

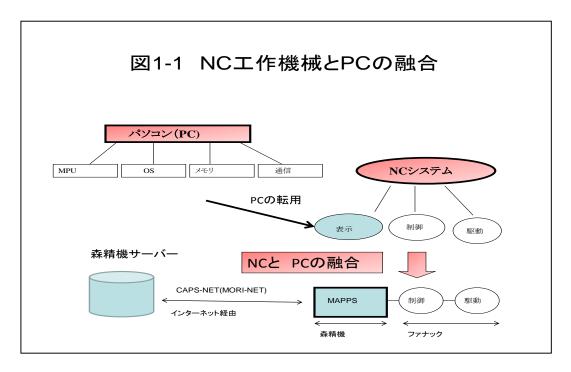


図 1-1 NC工作機械とPCの融合

(出典:柴田友厚 (2016) 「IoT とイノベーション」Nextcom vol.27, Autumn,page4.)

IoT イノベーションが何をもたらすかの事例研究として興味あるのは、建設機械メーカーのコマツ(株の事例である。コマツは、RFID (Radio Frequency Identification) や GPS (Global Positioning system) という最先端の技術を建設現場にいち早く導入し、建設機械業界のマーケット・リーダーになっている (日経ビジネス, 2007)。このシステムでは、RFID センサーが全世界で稼働しているコマツのすべて の建設機械に挿入され、その稼働状況のデータが世界中から、衛星通信網を通して、コマツ本社に送られている。このシステムを "KOMTRAX"システムと呼んでいる。2001 年に使用が開始された。

KOMTRAX システムの開発により、補修部品のタイミングの良い交換や盗難事故の防止などで、コマツの顧客サービスは飛躍的に向上した。一般的には、建設機械の運転コストは、購入コストの3倍に達するといわれている。無駄な動きや部品の在庫切れ状態は、KOMTRAX が収集した稼働状況の情報を利用して、回避できるため、顧客に有用であり、世界に配備されている販売店は、その在庫を削減することができる。

KOMTRAX システムの高度利用により、次のような、企業経営システムの変革が可能になった。 KOMTRAX システムにより収集された機械の稼働状況は、本社における需要予測の議論に有効に利用 されるようになった。この需要予測に依り、生産計画や設備投資計画が決定される。2004年に発生した 中国での景気後退は、中国政府の公式発表以前に、中国で稼働している建設機械の稼働データの分析に よりコマツ㈱には明らかになり、3カ月前に中国向けの生産を停止し、コマツに大きな恩恵をもたらした。

#### 1.2. IoT イノベーションの特徴

以上の2つの事例から、IoTのイノベーション・プロセスの特徴が明らかになる。単独の製品の場合と異なり、IoTイノベーションのプロセスは、漸進的(gradual)、追加的(incremental)、最も重要なのは、付加的(additive)、すなわち、価値が切れ目なく追加されていくのである。IoTイノベーションのもう一つの重要な分析視点は、「製造・流通・利用」という特定機械を取り巻く「エコ・システム」全体のどこに発想の原点があり、それがどのようにしてエコ・システム全体に浸透していくかという問題である。

一般的に言うと、日本企業がそのビジネスをグローバル展開するときには、その戦略的位置づけは非常に慎重なものとなる。2015 年春に、日本の森精機㈱とドイツの DMG (Gildenmeister Aktien Gesellschaft) との間の吸収合併が正式に発表された。世界 5 位の森精機が、世界 2 位の DMG の株式の 52.4% を買収したのである。かくして、DMG-MORI SEIKI Co. は、中国のメーカーを抜いて、世界最大の工作機械メーカーになったのである。DMG 社は、1870 年に設立され、2014 年の売り上げは、2892 億円であったのに対し、森精機は 1948 年に設立、売り上げは、1178 億円であった(日経ビジネス、2015/5/25)。

森精機は、この合併に6年の時間をかけた。多くの吸収合併事例では、不採算部門の切り離しと人員削減を優先し、共同生産や販売チャネルの共有というようなビジネスの統合に関する事項への優先度は低い。この統合に向けて、通常の吸収合併の常識とは真逆の3つの方法が試行された。第一の方法は、マネジメントの「重複スタッフ制度」である。すなわち、すべてのマネジメント・ポジションに両社から2人のマネジャが配置される。システム統合の手続きやルール作りではドイツのシステムが優れており、スケジュールや実行の戦略では日本のシステムが優れていると考えたからである。この重複スタッフのシステムは、合併後も続いている。

第2の方法は、十分な時間と予算をかけて、両社の従業員の間の意思疎通を密にするように配慮された。基本的な考え方と設計の仕方が異なっていたからである。DMG の旋盤には共通部品が多く、森精機に比べてコスト安になっているのに対し、森精機の機械は顧客の細かな注文に丁寧に対処するため、共通部品の使用は少ない。しかし、よく検討した結果、顧客の要望に対処する姿勢に相違はなく、違うのは顧客の要望そのものが違っていたことが分かった。

第3番目のポイントは、所有関係よりもビジネスの統合が優先されたことである。お互いの理解がなければ、吸収合併はうまく行かない。この DMG-MORI の吸収合併の分析には、国際ビジネスについて

の多くの含意がある。6年間の時間は、2つの異なる文化の間の相互理解と敬意を獲得するために費や されたと考えるべきであろう。これが、森雅彦社長の考えである。

2017年になり、DMG 森精機はネットにつながった工作機械のセキュリティ強化で日本マイクロソフトとの協業を決めたという(日経新聞、2017/4/3)。すなわち、工作機械システムの IoT 化が、さらに進展したのである。工作機械メーカーが契約に則して機器の稼働情報のビッグデータを集められるようになれば、故障の兆候を見つけて未然に部品を交換するサービスや、設備の稼働率が高まるように助言するサービスを拡充できる。一方、製品の受発注状況や製造予定数量などのデータまで共有するとカルテルにつながる恐れも出現してきのである。

KOMTRAX の開発経緯を詳細に分析すれば、直線的なプロセスではなく、いろいろの紆余曲折を経て、実現に至ったことがわかる。1990年代の中ごろには、我が国の建設ビジネスへの投資は急激に減少した。急減した設備投資に対応して、企業では機械を調達する方法を変えなければならなくなった。すなわち、所有からリースやレンタルに移行していったのである。すなわち、1993年にはリースやレンタルの比率が 21% であったのに対し、1997年にはその比率が、30%になり、2006年には、40%に達した。1997年には、後に社長になる坂根氏が、事業計画本部長に抜擢された。この本部には、各部署からスタッフが派遣された。1997年末には、開発部門から派遣されていた技術者が中心となって、10ページに及ぶ事業計画書が作成した。そこには、機械の遠隔操作の新しいビジネス・モデルの計画が提案されていたが、後の KOMTRAX の原型であった。

本部長の坂根氏は、サービス部門の経歴が長かったので、建設機械のメンテナンスの管理には経験が深かったので、KOMTRAX システムの価値と潜在性をすぐに理解し、このアイディアを開発段階へと前進させた(日本経済新聞, 2014)。KOMTRAX の開発は、事業企画本部の予算で、本部のプロジェクトとして発足したのであった。

1998年には、5基のプロトタイプ・モデルが完成し、福島県の郡山市のレンタル会社の「ビッグ・レンタル」社の四家社長から意見を徴収した。この会社は、1997年に創業した新しい会社であったが、5台のテストを引き受けた。その時、四家氏は、IT技術を駆使して、レンタルした機械の稼働率を上げるような、レンタル事業のビジネス・モデルを構想していたのである。従って、建設機械の遠隔監視のシステムは、彼のアイディアにピッタリするものであったので、プロトタイプのテストを引き受けたのである。要するに、レンタルビジネスに従事していた四家氏には、KOMTRAXシステムの本質を理解するのに困難はなかったのである。

1998年末には、コマツでは、50台の装置を引き続きテストすべきという提案があった。しかし、開発委員会の執行部では、テストの継続に否定的な意見が主流になり、四家氏を招いて、遠隔監視システムの商業価値についての意見を求めた。四家氏の返答は、このシステムは遠隔コミュニケーション・イ

ンフラの一部になるものであり、そのビジネス・チャンスを詳細に議論する時期には早すぎるというものであった。不運にも、コマツでは、開発計画の中止が決定された。コマツの開発チームは、ビジネス・モデルを想定することができなく、その本当の価値を見抜けなかったのである。

それにもかかわらず、ビッグ・レンタルの四家社長は、KOMTRAX の価値を理解しており、自社は5000 台の機械しか所有していないのに、1,000 台の注文、合計 1 億 50000 万円の発注をコマツに対して行った。当時は、KOMTRAX は外部から装着し、一台、15 万円もした。この発注により、コマツでは開発を非公式に継続できた。2000年代に入ると、ビッグ・レンタルは急成長を遂げ、3 年後には、福島県では最大のレンタル会社に成長していた。四家氏は、KOMTRAX ユニットが到着次第、レンタルしている機械に順次到着していったという。当時は、KOMTRAX ユニットは、通信端末とモデム、GPS、簡単な CPU から構成されていたので、機械の外部から、その都度、装着しなければならなかったという。機械の遠隔マネジメントと建設現場での KOMTRAX の利点は広く知られるようになり、コマツは、レンタルビジネスにおける KOMTRAX の利用方法についてのビジネス・特許を出願した。

2001年6月には、坂根氏がコマツの CEO に就任し、KOMTRAX を顧客サービスのツールとしてだけではなく、企業経営の「見える化」の手段として、その可能性を積極的に追求した(坂根, 2006)。一方、2014年には、四家氏はコマツ本社に、重役として中途採用された。この一連の出来事は、ディジタル経済の IoT イノベーションには、新しいマネジメントが必要になってきていることを示唆していると言えよう。特に、新しいビジネスの発想は、コマツ本社の内部ではなく、建設機械の生産・流通の大きなエコ・システムの中で、出現したということに注目したい。

#### 1.3. 社会システムとしての定式化

これまでは、IoT イノベーションの事例として、IT 技術の高度な適用が、工作機械と建設機械にどのような変化を持ち込んだかを見てきた。この2つの事例研究は、それぞれの機械が単独に存在するのではなく、高位の社会システムの中に、どのように組み込まれていくかの含意が大きい。この節では、この観点に注目したい。そのためには、IT 関連の個別技術、あるいは、モジュールが、全体システムに組み込まれて、システム全体としては、さらに進化していくという状況を記述する理論や分析枠組みが必要である。

ハーバード・ビジネス・スクールの学者 (Baldwin and Clark, 2000)により、コンピュータの進化という「レンズ」を通して、設計の進化や産業の発展を記述しようという野心的な作品が公刊された。彼らによれば、モジュール構造のシステムで考えられうる変化は、驚くことに、たった6つの比較的単純なオペレータ (作用素) が組み合わされ、適用されることにより、説明され尽くせるという。すなわち、この6つのオペレータにより、モジュラー構造の可能なすべての進化経路を再現できるということにな

る。6 つのオペレータとは、「分離(splitting)」、「置換(substituting)」、「追加(augmenting)」、「排除(excluding)」、「倒置(inverting)」及び、「移植(porting)」(ソフトウェアを、ある種の「翻訳モジュール」<sup>2)</sup>を介して、他のシステムでも機能するように、移植する)の6つである。

この最後の移植(porting)・オペレータは、他の5つのオペレータが一つのシステム内で作用するのに過ぎないのに対して、あるモジュールを一つのシステムから他のシステムに移植する、すなわち、複数のシステム間を移動するのである。具体的には、ある一つのシステムの中に埋没されていたモジュール(hidden module)を、独立したユニットとして切り出し(break loose)、移植されたシステムでも(翻訳モジュールを介して)、十分にその機能を果たしている(function)なら、ポーティング(porting)が実現されているのだ。複数のシステムで、異なるディシジョン・ルールの基に、すなわち、異なるアーキテクチャの間でも有効に機能できるのだ。

以上の理論を既に記述してきた 2 つに事例に即して解釈すると、工作機械については、PC というモジュールが、NC システムに、移植され、工場というアーキテクチュアを、新たに構築した。さらに進んで、異なる工場をまたがる、生産システムを創出しているのだ。建設機械については、KOMTRAX というソフトウェアが、建設機械のレンタルビジネスというビジネス・システムに移植され、建設機械の設置・稼働というエコ・システムを作り上げたのだ。このシステムは、されに進化して、建設現場の自動化という、新しいアーキテクチャを構築しつつあるのだ。

以上のような新しい解釈を出発点として、従来のインベーション論を見直して、IoTに適するイノベーション論を展開しよう。前述した IoT の定義は、(1) 物理的、ソフト的な装置をネットワークで接続され、(2) システムがネットワーク接続性 (network connectivity) で構成されている、という 2 点が特徴であると言えよう。そこで、1926 年に初版が出版された、シュンペータ(Joseph A. Schumpeter)の「経済発展の理論」(シュンペータ、1926、1983)には、以下の記述があることを思い出させる。

技術的にばかりではなく、経済的に考慮すれば、生産するとは、できる範囲で、事と力を「結合 (combine)」することである。あらゆる生産の方法は、このような結合の特定形である。そこで、新しい結合が非連続的に出現すれば、「開発」という現象が生起することになる。(Technologically as well as economically considered, to produce means to *combine* the *things and forces* within our reach. Every method of production signifies some such definite combination. In so far as the *new combinations* appears discontinuously, then the phenomenon characterizing development emerges.) 既に述べたように、IoT イノベーションでは、その進化とともに、価値が定常的に、一貫性のある形で、積み上げられることにある。このことは、個々の装置を、洗練されたソフトウェアをもつネットワ

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> 「翻訳モジュール」の実例としては、(1) 高位の言語を機械言語に翻訳するコンパイラー; (2) 機械のコマンドをプリンター・コマンドにプリンター・ドライバー; (3) 機械指令をマイクロコードに翻訳する「読み出し専用のメモリー、などが考えられる。

ークで、接続することにより可能になる。すなわち、IoT のインベーションは、「規模の経済」(economy of scale)や「範囲の経済」(economy of scope)を実現するのではなく、「接続の経済」(economy of connectivity)を実現するのだ。従って、シュンペータの新結合(combination)に代わって、ディジタル経済では、新しい「(ネットワーク)接続」(network connectivity)が技術革新の中心概念として、浮上するのである。

シュンペータが主張するもう一つの重要な点は、「開発」とは新しい「結合」を「実行する(carrying out)」ことであると定義するという点である。この実行を首尾よく実現するためには、たまたま使用されていない生産手段を使用(雇用)するのではない。一般則として、新結合は、旧結合から、必要とされる生産手段を奪い取るのである。すなわち、「転用」するのだ。(Development in our sense is then defined by the *carrying out* of new combinations. We never assume the carrying of new combination takes place by *employing* means of production which happen to be *unused*. As a rule the new combinations must *draw* the necessary means of production from some *old* combinations.)

既に、述べたように、新しい社会システムの構築には、移植(porting)というオペレータが不可欠であることを述べた。そこで、旧接続から「転用」するのではなく、旧接続の中に「埋没しているモジュール」(hidden module)を切り出し(break loose)、何らかの翻訳機能を介して、新結合でも有効に機能(function)できるようにすることである。すなわち、ポーティング(移植)することにあると言えよう。シュンペータの偉大な作品を引用しながら、著者が主張したいのは、ディジタル経済の進展は、世の中に基本的な変化をもたらしているということだ(Kodama, 2017)。そこで、イノベーションを新しい観点で、再定式化することが必要になってきていると言えよう。

#### 1.4. 参考文献

- [1] Baldwin, C. and Clark, K. (2000), *Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge.
- [2] Kodama, F. (2000): Analyzing the Innovation Process for Policy Formulation: Research Agenda drawn from the Japanese Experiences, Chapter 12, OECD Tokyo Workshop on Social Sciences and Innovation. p. 117–23.
- [3] Kodama, F. (2017): "The Concept of Demand Articulation: How it was effective and how it will remain useful" Journal of Contemporary Management, Vol. 7, No. 2, Better Advances Press, Canada, pp.71—85.
- [4] Newsweek (June 21, 1999): Special Advertising Section.
- [5] 日経ビジネス (2007), 6月4日号, 28-31.
- [6] 日本経済新聞 (2014): 11/24
- [7] Schumpeter, J. (1934), *The Theory of Economic Development*, translated by Redvers Opie, Translation Publishers, New Jersey. (塩野谷祐一、中山伊知郎、東畑精一(訳):「経済発展の理論」、岩波書店、1977 年)。
- [8] 柴田友厚 (2016):「IoT とイノベーション」Nextcom Vlo.27, Autumn.

#### 第2章 セブン-イレブンにみる「両利き (Ambidextrous)」の情報活用とその課題

#### 2.1. はじめに

IoT の進展により、社会活動に関わるデータが広範に収集され、人工知能も活用してデータ解析を自動化することにより、社会変化をいち早く捉え迅速に対応することが可能になる時代が、近い将来に到来すると期待されている。

産業構造審議会 (2016) [1]では、IoT・ビッグデータ・人工知能・ロボットの各分野の技術的進展により、生産設備・物流等の効率向上だけでなく、「新たなサービスの創出、製品やモノのサービス化」等を含む「第4次産業革命」が到来するとの予測を立てている。

また、総務省(2016)[2]も、IoT・ビッグデータ・人工知能により、「企業の業務効率化(プロセス・イノベーション)」のみならず、「新商品・サービスの開発・提供(プロダクト・イノベーション)」も可能になるとしている。

業務の効率化と新商品・新サービスの開発を企業内で両立(Ambidexterity)する上では、両者をそれぞれ担う組織の間の調整や両者のトレード・オフの調整に、経営上独特な問題が存在することが知られている。技術の発展により両者の活動が促進されたとしても、それを各企業が組織的にマネジメントできなければ、「第4次産業革命」は実現しない。

そこで本稿では、ビックデータの活用により業務の効率化と新商品・新サービスの開発の両立に成功している代表的な事例としてセブン・イレブン・ジャパンを取り上げ、その組織的な情報活用について分析することで、IoT・ビッグデータ・人工知能による「第 4 次産業革命」に向けて、技術と経営の両面から今後取り組むべき課題領域を明らかにする。

#### 2.2. 分析観点

Schumpeter (1934) [3]は、「他のものの生産、あるいは同じものを別の方法で生産するということは、(筆者注:すでに存在し利用しうる)物と力を、異なるやり方で『結合』(combine)することであり(中略)、開発とは(筆者注:物や力の)『新しい結合』を試みることである」とし、この「新結合」が経済に発展をもたらすとした。この「新結合」という概念は、今日では「イノベーション」という考え方で捉えられている。

「新結合」を試みるには、少なくとも「物と力」に関する情報や知識が必要となる。経済活動の主体、例えば企業から見れば、これらの情報や知識はすでに利用している「物と力」に関するもの(以下「内部情報」と呼ぶ)と、まだ企業の外にあって利用していない「物と力」に関するもの(以下「外部情報」と呼ぶ)に大別することができる。

必要な外部情報を獲得し、内部情報と結合して知識の幅を拡げつつ更新すること(以下「知の探索」と呼ぶ)で、企業はそれまで生産したことのない製品やサービスを生み出すことができるようになると考えられる。一方、内部情報を洗練しつつ知識をさらに深め更新すること(以下「知の深化」と呼ぶ)で、これまで生み出してきた製品やサービスを、より効率的に生産できるようになると考えられる。前者は「新商品・サービスの開発(プロダクト・イノベーション)」につながる可能性が高く、後者は「業務効率化(プロセス・イノベーション)」につながる可能性が高い。

しかし、「知の探索」によるプロダクト・イノベーションは試行錯誤のための時間を要し、得られる成果も不確実性が高い。一方で、「知の深化」によるプロセス・イノベーションは、すでに馴染んだ知識領域における活動であるため短時間で実施でき、成果が上がる確率も高い。このため、企業は短期的かつ確実な業績向上を求めて、「知の深化」に関わる行動に注力しがちとなる。March(1991)は、組織内で共有される知識と各組織構成員の知識、そして外部環境にある知識の間の相互作用を確率的モデルにより解析し、「知の深化」にのみ注力することは、組織の知識を長期的には低いレベルで平衡させてしまい自己破壊的な結果につながること、「知の探索」と「知の深化」を適切な割合で両立することにより、組織の知識レベルを長期的に高めることができることを示した。現在、前者は「Competency Trap」、後者は「Ambidexterity」と呼ばれ経営学上の命題となっている。

IoT・ビックデータにより得られた情報により、企業がプロセス・イノベーションだけでなくプロダクト・イノベーションも生み出すためには、「知の探索」と「知の深化」の両立(Ambidexterity)を、「Competency Trap」を乗り越え意図的に実施する必要があると考えられる。そして、情報の活用によりすでにプロダクト・イノベーションを生み出している企業は、人工知能の助けがなくても、こうした活動にすでに取り組んでいるはずである。

一方で、IoT・ビックデータにより得られた情報は、なんらかの方法で組織の知識に変換する必要がある。しかし、漫然と収集された情報から効率的に知識を得ることは困難であり、一般には組織が持つ既存の知識により何らかの仮説を立て、仮説に基づいて収集する情報の項目や測定法を設計・実装し、収集された情報を解析することで仮説との一致点・相違点を確認し、仮説立案時の知識に更新を加えるという方法がとられる。

IoT・ビックデータにより「知の探索」と「知の深化」の両立を図ることを考えるとき、「知の深化」については、内部情報に基づいた組織の知識を用いて仮説を立てることになるため、難易度は高くないと考えられる。しかし、「知の探索」に関しては、外部情報によりもたらされる知識が組織にとっては未検証で不完全なものであり、それを既存の組織の知識と整合させながら仮説を立てることは難易度が高く、作成される仮説も誤りを含む確率が高まる。そのような仮説について行動計画を立て、行動に関わ

る情報の収集について設計・実装するためには、仮説に含まれる「未検証で不完全な知識」について、 組織内で十分に議論し共有するための活動が必要となると考えられる。

以上の考察から、IoT・ビックデータの活用によりイノベーションを生み出し成長してきた企業は、その活動において以下の特徴を持つと考えられる。

- (1) 「知の深化」活動: 内部情報により組織の知識を深め、生産活動の効率を改善し続けている
- (2) 「知の探索」活動: 外部情報と内部情報を結合して組織の知識を更新し、新たな仮説を生み 出し続けている
- (3) 「知の探索」「知の深化」の両立: 「知の深化」活動への偏りを回避し、両活動を両立するための仕組みをもつ
- (4) 知識の組織共有へむけた活動: 仮説に含まれる「未検証で不完全な知識」について、組織で 共有するために人的・時間的なコストをかけている

以下、これらの観点から事例を分析する。

#### 2.3. 事例分析

IoT の普及を待つまでもなく、これまで産業の各分野では、製造・物流・販売・決済等に関して膨大なデータを収集し、それらを分析することでビジネス的な価値を生み出してきた。特に販売の分野では、国内では 1978 年に商品識別コードが標準化されバーコードとして表記可能になったことから、1980 年代に POS(Point of Sales: 販売時点情報管理)システムが普及し、販売に関わる大量のデータが活用可能となった。

この分野には、セブン・イレブン・ジャパン(以下「セブン・イレブン」)がいち早く対応し、1983年2月にはPOSシステムを導入し全店舗(約1,600店:当時)で稼働させた。その後、POSデータなどの活用により、プライベート・ブランド商品などのプロダクト・イノベーション、共同ATM事業などのサービス・イノベーション、そして会計自動化などのプロセス・イノベーションを生み出して、「販売代理型」から「購買代理型」へその業態をも変化させてきた。

そこで、このセブン・イレブンにおける各イノベーションと情報活用の関係について、碓井(2009) [5]を対象として「2.2」の観点から分析する。

#### (1) 「知の深化」活動①:プロセス・イノベーション

セブン・イレブン各店舗において発生する発注・納品情報や、POS レジスタにより収集される販売・ 客層情報は本部に集積され、店舗間の比較分析などにより「売れ筋情報」「死に筋情報」や「品ぞろえ評 価情報」も導出された上で、本部と店舗で共有される。 各店舗では、「売れ筋情報」「死に筋情報」「品揃え評価情報」などから自店の品揃えを評価し、販売上問題となっている商品カテゴリーを特定する。これら商品について、陳列改善・値下げ・処分などの対応を店舗側で決定し、対策を取った上で一定期間後に効果を検証している。対策中の販売実績も再び本部に集積され、さらに新規投入された新商品の情報も加味された上で、再び「売れ筋情報」などが導出されて店舗と共有される。

このような品揃えの改善活動は「品揃え評価・死に筋排除のワークフローシステム」と呼ばれており、「死に筋」を排除し「売れ筋」に注力して、取り扱いアイテム数を絞り込むことで、売上・人件費率・ 在庫日数等に大きな効果があったという。

また、1991 年から 14 年をかけて、各店舗における仕入れ検品・在庫変更・月次会計などの処理を、バーコード・スキャンと連動させて自動化を進め、2005 年までに情報入力・送受信の効率化と紙伝票の廃止に成功している。この自動化による各店舗の費用削減効果は、1 カ月あたりそれまでの平均利益額に相当したという。また、こうした業務効率の向上により、発注以外のレジ・入荷検品・陳列・品だし等の業務については、店舗に在籍するパート・アルバイト全員がすべて対応できるようになったという。このようにセブン・イレブンでは、内部情報の収集・蓄積を効率化し、分析により知識を深め(「売れ筋情報」「死に筋情報」など)、これら情報・知識を組織全体で共有し業務改善を進めることで、業務効率の著しい向上(プロセス・イノベーション)を達成していると見なすことができる。

#### (2) 「知の探索」活動 ①: プロダクト・イノベーション

セブン・イレブンでは、店舗における商品販売から得られる POS 情報などの内部情報に加えて、市場・ 消費構造変化などの外部情報も収集して市場の潜在需要を探索し、これに天候・催事といった季節変動 要素も加味した上で、新商品に関する仮説を作成している。仮説は商品本部を中心に作成され、この商 品本部と外部の製造メーカーにより新商品を具体化していた。

これをさらに発展させた活動が、「チーム・マーチャンダイジング」と呼ばれるものである。例えば「オリジナルラーメン」の場合は、製造メーカー・商品本部だけでなく、有名ラーメン店、具材・スープメーカー、容器メーカー、問屋・物流会社などの外部業者や、販促部門など関連社内部門も加えてチームを編成し、各分野の専門知識を出し合い共有しながら、商品企画を立案する体勢をとっている。幅広い外部情報を取り入れることで、商品内容だけでなく、品質管理から物流・在庫管理までを含めて多角的に検討を加えることが可能となり、製造から販売完了までの日数を短縮し、鮮度を重視した生麺タイプの高付加価値商品が提供可能となった。実際、オリジナルラーメンは通常のインスタントラーメンよりも高い値付けとしたにもかかわらず、2001~2002年度で6,000万食を販売している。

さらにセブン・イレブンでは、チーム・マーチャンダイジングによりプライベート・ブランド(以下、「PB」)「セブン・プレミアム」を生み出している。この PB 商品では、POS 情報の分析によるマーケティング費用の削減、店内販促強化によるプロモーション費用の削減などコスト削減効果だけでなく、物流改善による納品リードタイム短縮で添加物の使用を廃止するなど品質改善効果も同時に実現している。この PB 商品は、ナショナルブランド商品に対して 20~30%程度の価格低減を実現し、2008 年度にはグループ合計で 800 アイテムを揃え、約 1.800 億円の売上げを記録している。

このように、商品本部と製造メーカーで商品開発をしていた時代と比較して、商品開発・製造・物流・販売といったバリューチェーンの各プロセスについて専門的な外部情報を直接取り込み、それを POS 情報など内部情報と密接に結合することで、市場競争力の高い新商品の開発に成功している。

#### (3) 「知の探索」活動 ②:サービス・イノベーション

セブン-イレブン各店舗におけるサービス業務は、1980 年代前半までは宅配便や写真 DPE の取り次ぎ、映画前売り券の販売、コピーサービスなどに留まっていた。

一方では、1990年代後半、銀行・保険・証券の各分野においていわゆる金融ビッグバンがはじまり、さらにアジア通貨危機に端を発する金融危機により不良債権問題が顕在化する中で、銀行業界では業務のコスト削減が喫緊の課題となっていた。こうした背景から、1998年にはいくつかの銀行からセブンイレブンに対して ATM 設置について打診が行われた。しかし、各銀行専用の ATM を個別に設置するという提案は、必ずしも顧客利便性を最大化しないという判断から、セブン・イレブンではこの提案に応じなかった。

しかし、これを機にセブン・イレブンでは、自社情報システム部門と電機メーカーの流通・金融の各システム部門、SIer、金融コンサルティングからなる合同チームを組織した。そして、チームによる市場・業界の分析や海外事例の調査などから、今後取り組むべき金融サービスの領域を、業務スキルを各店舗に求めずシステム化が容易で、日常的なニーズが高い「共有 ATM サービス」に絞り込んだ。

その後、メンバーに警備会社なども加えて検討を拡大し、ハードウェア・コストを従来の3分の1に押さえた共用 ATM の独自開発と、警備・監視までを含めたローコスト運用を実現する ATM 運営会社の設立からなる構想を、1998年末までにまとめた。99年3月からは主要銀行も順次検討に参加し、同年9月にはセブン・イレブン、イトーヨーカ堂に銀行6行、電機メーカー、SIerの計10社で「コンビニATM事業推進に関する覚書」を締結した。

その後、ATM 運営会社構想は銀行設立計画へと発展し、プロジェクトの主導もイトーヨーカ堂に移ったが、セブン・イレブンは引き続き ATM システム開発を支援、2001 年 5 月にアイワイバンク銀行(現セブン銀行)が発足し、共用 ATM サービスがスタートした。

外部の企業と合同チームを組むことで、ATM システムの構造、警備・監視、そして銀行業務など専門的な外部情報を直接取り込み、店舗運営など自社の内部情報と結合を図った点は、オリジナルラーメンや PB 商品を生み出したプロダクト・イノベーションの過程と類似している。しかし、当初銀行からの提案をいったん断り、まずは自社業務の知識領域に比較的近いメンバーを中心にチームを編成し、その後警備・監視関係のメンバーも加えて隣接する領域にさらに知識を広げて、最後に自社の知識領域とは最も遠い銀行をチームに入れるという段階を踏んでいる点が、商品開発の例とは異なる。

自社の知識領域から遠い業界からの提案をいったん断り、自社の知識領域周辺で検討し直してサービスを実現した例は他にもある。それは公共料金収納サービスで、1987年に東京電力からの申し入れがあったがこれを断り、バーコードと POS レジスタという従来業務の知識範囲で検討を進め、最終的に汎用的なサービスを実現させている。

March (1991) [4]は、組織の知識を吸収する能力が高いメンバーを加えながら組織を構成する場合、メンバー各自が持つ知識の多様性が大きすぎても小さすぎても、一定期間後の組織知識はあまり向上せず、知識の多様性を中程度に維持した場合に、もっとも大きな向上が見られることを示した。また、Sampson (2007) [6]は情報通信装置産業における技術提携と、提携から生み出された被引用特許との関係を分析し、技術提携により持ち寄る技術の多様性が大きすぎたり小さすぎたりするよりも、中程度の多様性において最大の成果が生み出されていることを実証的に示した。

これらの観点から見た場合、セブン・イレブンがとった段階的なチーム拡大は、知識の多様性の「幅」をコントロールしながら知識の拡大を図ったものと捉えることができ、最終的に共用 ATM サービスを実現させた、成功要因の一つになっていると考えられる。

#### (4) 「知の探索」「知の深化」の両立

ここまで、セブン・イレブンにおけるプロセス・イノベーション、プロダクト・イノベーション、サービス・イノベーションについてそれぞれ述べてきたが、これらを生み出してきた情報活用サイクルは、図 2-1 のように俯瞰することができる。

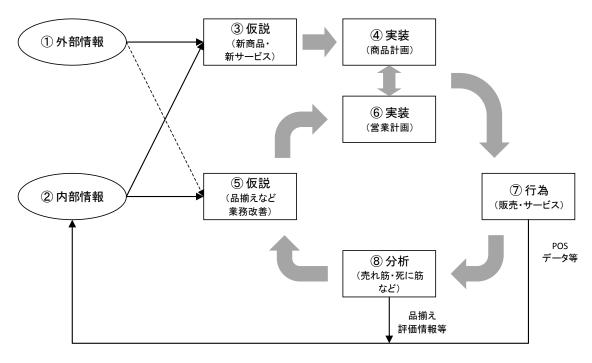


図 2-1 セブン-イレブンにおける情報活用サイクル

図 2-1 の⑤→⑥→⑦→⑧のサイクルが、「(1)」で述べたプロセス・イノベーションを生み出す「知の深化」の活動サイクルとなる。

「⑤仮説」では、本部に蓄積された POS データや品揃え評価情報など内部情報と、市場情報など一部外部情報も用いて、店舗ごとに品揃えに関するリコメンデーション情報などが提供される。しかし、セブン・イレブンではこうした情報から各店舗が自動発注せず、各店舗で現場を取り巻く外部環境も加味した上で独自に発注に関する仮説を立て、陳列改善や値下げなども店舗独自の施策をとった上で、予測した営業効果と得られた販売結果を突き合わせながら、業務改善を進めている。

そして、この「知の深化」サイクルに、①→③→④という「知の探索」活動が接続されている。パートナー企業と専門知識を出し合いながら PB 商品などの新商品、共用 ATM などの新サービスが生み出されてきた過程は既に述べたとおりだが、これらの新商品、新サービスも取扱商品・サービスに組み込まれ、店舗における営業を通じて情報が採取され分析されることになる。

こうした「知の深化」「知の探索」活動の両立により、業務効率(プロセス・イノベーション)を表す店舗平均の粗利率については 1978 年には 24.3%であったものが 2008 年には 31.0%にまで向上し、その一方では取扱商品の 60%弱がオリジナル商品(プロダクト・イノベーション)となるなど、製造メーカーの商品を販売する「販売代理型」から、消費者の立場から必要な商品を開発し揃える「購買代理型」へ、その業態を変化させてきている。そしてセブン・イレブンは、1978 年から 2008 年にかけチェーン

全店売上額を約 390 億円から約 2 兆 7,620 億円に伸ばし、店舗数を 375 店から 12,298 店に大幅に増加 させてきた。

#### (5) 知識の組織共有へむけた活動

図1に示したように、外部情報・内部情報から立案された新商品・新サービスに関する仮説と、内部情報を主体に立案された品揃え提案など現状の営業改善に関する仮説は、それぞれ商品計画と営業計画に実装されて、店舗における販売行為に移される。

セブン-イレブンでは、新商品・新サービスに関する商品計画は主に商品本部で、品揃え提案など営業 計画は主に営業本部で検討されることになるが、両計画を整合させた上で店舗に展開しなければ、現場 のオペレーションが混乱することになる。

しかし、新商品・新サービスは「チーム・マーチャンダイジング」などにより外部企業の専門知識も取り入れながら開発されるため、商品価値に関する仮説の細部までを自社の知識のみで把握することは困難である。また、当然ながら新商品・新サービスには販売実績・営業データが不足しており、販売方法や店舗オペレーションに関して不確実性がある。

したがって、このような知識の不完全性や計画の不確実性について商品本部と営業本部で共有しながら、整合の取れた商品計画・営業計画を立案し、さらにその立案意図や背景まで含めて店舗と計画を共有する必要がある。

こうした商品計画・営業計画に関するセブン・イレブンにおける情報共有体勢を、図2に示す。定期開催される「商品検討会」と「情報発信会議」に、商品本部と営業本部が出席して情報共有した上で、両本部に加え経営トップや物流・企画・システム・販促など各部門の担当者も出席する「商品計画会議」が月次で開催され、商品計画・営業計画やその店舗展開の具体策などについて意志決定が行われる。

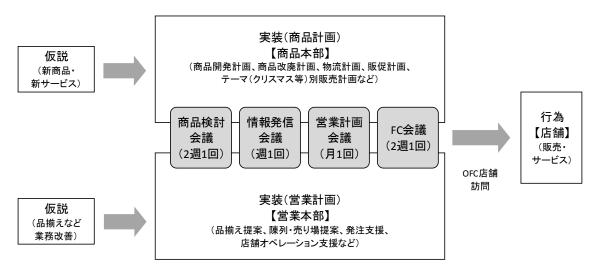


図 2-2 知識の組織共有へむけた活動

セブン・イレブンには、オペレーション・フィールド・カウンセラー (以下、「OFC」) が 2008 年度で 8 店舗に 1 人程度の割合で配置されており、各店舗の経営を支援している。この OFC2,000 名以上が定 期的に集まる会議が「FC 会議」で、商品計画・営業計画を本部と OFC で共有した上で、さらに OFC が店舗を回り、新商品や商品の改廃、売り場展開や販促方法などを店舗オーナーと話し合い、店舗ごと の施策に落とし込んでいる。

こうして、計画立案部門と意志決定者や各部門担当者、そして店舗オーナーまで含めて情報を共有し、その上で各現場に応じた多様な施策に展開することで、計画が内包する不確実性に対するリスク対策としている。

#### 2.4. 今後の課題

図 2-1 に、IoT・ビックデータ・人工知能の分野で近年著しい技術的発展が見られる範囲と、セブンイレブンの事例において、特に多くの人的・時間的リソースが投入されている範囲、慎重な「知の多様性」の管理が必要だった範囲を重ねたものを、図 2-3 (次頁) に示す。

近年、膨大な数のカメラや各種センサーなどがネットワークに接続されることで、「⑦行為」に関わるデータを大量かつ容易に採取することが可能になり、大量のデータを効率的に扱うための処理基盤技術 (Hadoop など) や、大量のデータから自動的に特徴点を抽出する技術 (Deep Learning など)、さらにはデータからモデルを高速に割り出す技術などが開発され、「⑧分析」に関わる作業も大幅に効率化されつつある。また、セブン・イレブンの事例に見たように、「⑧分析」の結果から品揃え評価・提案などの「⑤仮説」を自動的に生成することも、部分的には可能になっている。

しかし、セブン・イレブンの事例では、「④実装(商品計画)」と「⑥実装(業務計画)」の間の調整、さらには調整結果を組織内に展開し「⑦行為」へ移す過程に、人的・時間的リソースが特に多く投入されていた。また、「③仮説(新商品・新サービス)」では、知の多様性の幅を徐々に拡げるチーム・マネジメントが必要になっていた。長年にわたり情報活用に関して先進的な取り組みを続けてきたセブンイレブンにおいてすら、いまだこれらの範囲に独特な組織マネジメントを要しているということは、この領域の自動化について今後 IoT・ビックデータ・人工知能が取り組むべき課題が、まだ多く残されていることを意味している。

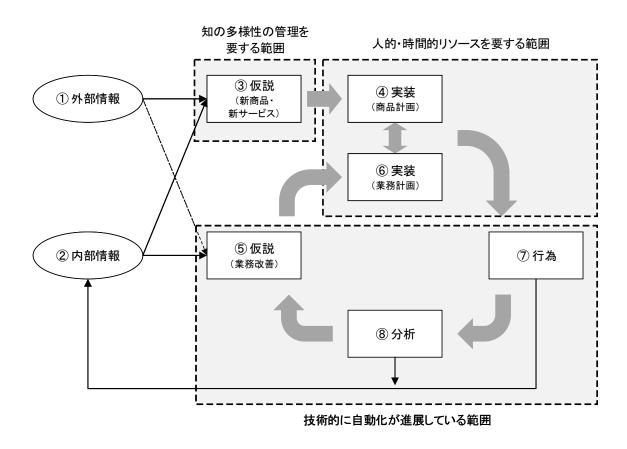


図 2-3 IoT・ビックデータ・人工知能の課題領域

特に、人的・時間的リソースを要していた領域は、「知の探索」「知の深化」両活動の「接続点」に相当する。この接続点における両活動の調整には、短期的な業績向上を求めて「知の深化」が優先されがちとなる問題(Competency Trap)[4]の他にも、両活動をそれぞれ担当する組織間の軋轢や両活動のトレード・オフを調整する組織機能の問題が存在する。

Tushman (2004) [7]は、こうした組織機能においては経営幹部同士の緊密なチーム・ワークが重要であることを指摘した。しかし、セブン・イレブンの事例では、経営トップから現場に近いレベルまで含

めて、頻繁かつ緊密な知識共有と連携が必要で、さらに共有された知識を販売チャネルの末端にまで敷 衍する活動も重要であることを示している。

加護野ほか(1983)[8]は、日米の企業組織内における行動パターン(組織過程)を分析し、組織構成 員の行動を組織目標に同調させるための方法として、日本企業の方が「価値と情報の共有」をより重視 しており、組織の意志決定に関しても、日本企業の方が「集団の合意」をより重視しているという結果 を示した。

セブン-イレブンにおける大規模な組織間調整は、こうした日本の企業組織特有の行動パターンを反映しているものと考えられ、Tushman (2004) [7]の指摘が必ずしも日本企業にはあてはまらない可能性を示唆している。

#### 2.5. おわりに

産業構造審議会 (2016) [1]が指摘する「第4次産業革命」は、図 2-1・図 2-3 に示した仮説・実装・行為・分析のサイクルを、「知の探索」「知の深化」の両面の整合を取りながら、従来よりも格段に速く回すことで実現できるものと考えられる。しかし、そのためには IoT・ビックデータ・人工知能の各分野の技術的発展が、仮説 (「知の深化」)・行為・分析のプロセスを効率化するだけでは不十分であり、セブン・イレブンの事例でも多大な人的・時間的リソースを要していた実装 (「知の探索」「知の深化」の整合) のプロセスも、同時に効率化する必要があることを本稿は示した。

技術的な観点では IoT・ビックデータ・人工知能の領域が近年脚光を浴び、経営学的な観点では「Ambidexterity」に関わる領域に近年注目が集まっているなか、「第 4 次産業革命」へむけて両者をつなぐ領域で発生している課題の解決には、技術的なアプローチだけでなく、経営学的なアプローチも必要になっていくものと考えられる。

#### 2.6. 参考文献

- [1] 産業構造審議会(2016) 経済産業省産業構造審議会,「新産業構造ビジョン〜第4次産業革命をリードする日本の戦略〜中間整理」, P4-5.
- [2] 総務省(2016) 総務省,「平成28年版情報通信白書」, P5-7.
- [3] Schumpeter (1934) Joseph A. Schumpeter, "The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle." Transaction Publishers, P65-66.
- [4] March (1991) James G. March, "Exploration and Exploitation in Organizational learning." Organization Science Vol.2, No.1, P71-87.
- [5] 碓井(2009)碓井 誠,「セブン・イレブン流サービス・イノベーションの条件」 日経情報ストラテ

ジー.

- [6] Sampson (2007) Rachelle C. Sampson, "R&D Alliances and Firm Performance: The Impact of Technological Diversity and Alliance Organization on Innovation." Academy of Management Journal Vol.50, No.2, P364-386.
- [7] Tushman (2004) Charles A.O'Reilly III and Michael L.Tushman "The Ambidextrous Organization.", HARVARD BUSINESS REVIEW, April 2004, P74-81.
- [8] 加護野ほか(1983) 加護野忠男・野中郁次郎・榊原清則・奥村昭博, 「日米企業の経営比較ー戦略的環境適応の理論」 日本経済新聞社, P38-44.

#### 第3章 建設分野から見た自動化と空間知能化

#### 3.1 はじめに

IoT、クラウド、AI、自動化、ロボット、ディープラーニングなど技術進化のスピードは加速度的であり、生産活動のみならず、経済活動、人間活動、更には社会活動全体に大きな変革をもたらそうとしている。しかしながら技術者は専門分野に特化し、経済学者は経済に特化し、社会学者は社会分野に特化して分野融合的な視野を失っているように思われる。過去の技術進歩が人間生活や社会全体にどのような影響を与えたか、その功罪の議論を今一度総合的に見直す時期ではなかろうか。

建築生産技術の自動化・ロボット化は失敗の連続であった。一方自動運転車の開発は急速に進展し、 着実に実用化が進んでいる。両者の違いの原因は何かについて考えることは、建築生産技術の未来にと って重要と考え検討を加える。

IoT 技術の進展による生産技術の進歩は目覚ましいものがあり、ドイツのインダストリー4.0 は世界中で注目を集めているが、建築空間におけるディジタル革命、IT活用では手痛い失敗の経験がある。ディジタル機器・ITシステム優先の環境管理・設計で人間を忘れたことによる「シックビル現象」の発生である。建築物は人間のためのものであり、人間を忘れた建築と建築技術は「シックビル」のみならず、幾つかの過ちを犯してきた。近年の IoT・自動化などの先端技術の議論でも生産システム・製品開発・製造機器・情報通信など生産性・経済性などの観点が主で、人間考慮の観点が不足しているように見える。移動体(ロボット、自動車など)とその環境構造(室内、街区、道路など)の議論でもそこに人間が関与する観点が抜けている場合がある。IoT や自動化の研究では対象となるものと人間との関わりの量によって議論を異にすべきである。例えば建築物では人間との関わりを十分検討する必要があり、自動運転車などではその適用目的、適用地域によって人間への配慮のレベルが異なるべきである。

自動車や動くロボットなど移動体の性能は急速な進歩を見せるが、移動体のみに着目した研究や技術開発は技術の正しい方法であろうか?移動体を包む環境・空間との連携・空間知能化、両技術融合・調和が技術の正しい進むべき方向と考える。空間知能化が IoT,自動化、ロボットの共有プラットフォームとして機能することを提案した。

建築産業では <u>BIM</u> (<u>Building Information Modeling</u>)、<u>BIM+VR</u> (Virtual Reality)、<u>AR</u> (Augmented Reality) の活用が始まっているが、ゼネコン各社の競争があり、共通化・標準化が不足である。設計事務所・ゼネコン・サブコン・ユーザー間にも一貫したシステムが無い。Construction 4.0 のような建設バリューチェーンを横刺しするプラットフォームが必要であることも提案した。

#### 3.2.建設産業の自動化・空間知能化関連技術の進歩

Akatsuki 21 system

#### 3.2.1. 自動化・ロボット化・完全自動建設

建築分野では 1990 年代には建物全体の自動建設の技術開発が全盛期であった。2000 年時点では 11 機種の自動建設工法が開発され、大手ゼネコン以外の準大手ゼネコンも開発に参画していた(図 3·1)。

# ビル自動化施工システムの開発事例



図 3-1 完全自動建設工法(前田純一郎氏講演資料)

Shuttrise system

Big Canopy system

MCCS system

建設ロボットも 1996 年時点で 140 以上も開発されていたとの記録がある。しかしながら建築ロボットの多くは失敗に終わった。自動建設工法も今では耳にしない。建築分野のロボット開発技術者は高度な制御システムを採用しがちである。高度な技術を活用したロボットは学協会の賞を受賞し、新聞雑誌に取り上げられるが、技術先行の "テクノロジープッシュ" 指向製品となり、商品化出来ず、ビジネスにはならなかった。

表 3-1 建設ロボット失敗の要因(前田純一郎氏提供)

ロボット普及の阻害要因の機種別分析結果

										(数学	ミは%) 2	001年6月	
	機種名	Α	В	С	О	Е	F	G	I	I	۲	計	
	作業区分		吹付け			ハンドリング		コンクリート		溶接	搬送	ΠĪ	
	ロボットの機能に関する要因	40	20	60	30	20	50	20	30	40	40	350	
	現場条件 に関する要因	30	10	20	30	70	40	30	20	10	20	280	
狙害要因	サブコンや協力 業者との関係 に関する要因	10	0	15	10	10	10	40	40	10	10	155	
	ロボットの運用に関する要因	10	20	5	10	0	0	10	10	30	20	115	
	構工法や需要 に関する要因	10	50	0	20	0	0	0	0	10	10	100	
	計	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	1,000	

日本建築学会は2017年1月30日に「第21回建築の自動化シンポジウム」を実施した。その発表の多くは1990年代の研究開発よりも後退している。自動化と言うよりも計測・検査が多く、自動化・ロボット化の内容はかって開発が行われていたものと同様である。完全自動建設に関するものは見当たらない。現場溶接の自動化が2件発表されている。現場溶接の自動化は数十年前に鉄骨ファブリケーターが競争して行ったが、採算が合わず撤退した。その後1990年代にスマート工法と呼んだ自動建設システムを清水建設が開発した際にも現場自動溶接機が開発された。この技術は溶接学会賞を受賞したがその後利用されていない。建設現場での溶接自動化は設置場所での溶接作業の効率化ではなく、柱一柱、柱一梁の各溶接場所が離れており、自動溶接機の移動・設置に時間を要することが課題であることは数十年前の鉄骨ファブリケーターの経験で充分認識されていたことであった。建設は技術や開発経緯の伝承が行われていない。



図 3-2 清水建設が開発した現場自動溶接機(前田純一郎氏提供)

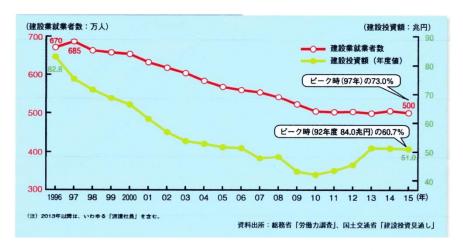


図 3-3 建設就業者数の推移(日建連 建設業ハンドブック 2016)

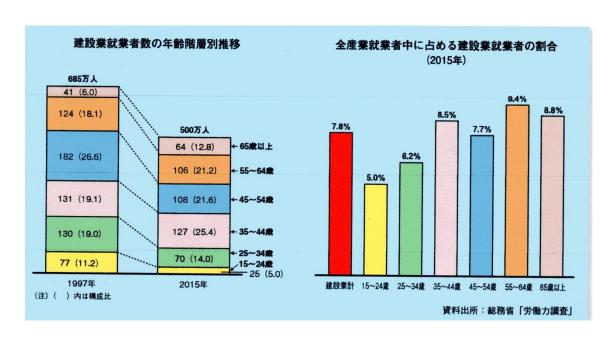


図 3-4 建設就業者の高齢化 (日建連 建設業ハンドブック 2016)

#### 3.2.2. $B I M \cdot B I M + V R \cdot A R$

建築界では IT 技術・ディジタル技術の普及は常に他産業に比して遅れ勝ちである。その理由は大学の建築授業ではデザイン志向が強いことにある。「建築工学科」では無く「建築学科」と言う表現を使用する。例えば 2016 年に組織改正する以前の東京工業大学の建築学科はその特色を以下ように記していた。「建築学(archi-tecture)は技術(-tecture)を総合(archi-) する原意をもち、人類の歴史とともに古い学問体系です。第二次産業革命以降に設立された他の工学部諸学科とは、根本的に異なり、単なる建築工学科ではなく、「学術」「技術」「芸術」を三位一体とする場であることを、まず認識する必要が

あります。その上で改めて人類の歴史を考え、最先端技術を駆使して、未来に如何なる文明・文化を創造すべきかを研究・教育する事を最終の目標とします」

技術者であると同時に芸術家でもあると言う感覚がある。以前は著名建築家が鉛筆でスケッチしたものを技術者がトレースして実施設計にすると言う事も存在していた。そのような経緯もあり、建築にCAD を導入するのには大きな抵抗があり、普及には多くの時間を要した。現在は CAD の次の次元のBIM (Building Information Modeling) の導入が始まっている。

本委員会で講演された竹中工務店技術菅田昌宏氏は <u>BIM(Building Information Modeling</u>)、BIM+VR(Virtual Reality)の活用について語った。

これらは建設分野における CAD を超えた新たなディジタル技術の活用であるが、IoT と言う概念とは異なる方向である。PDR (Pedestrian Dead-Reckoning)、I Beacon、音声認識システムの活用についても語ったが、これらは位置情報確認システムで、IoT 技術の範疇と考えられる。

清水建設は AR (Augmented Reality) の活用を開始している。タブレット端末に現場の風景を映しに、電子データなどを重ねる拡張現実 (AR) である。掘削工事で、地下に埋設してあるガス管や水道管などを可視化できるシステムである。正確に埋設物の位置を把握できるため、工事による埋設物の損傷を防げるとしている。

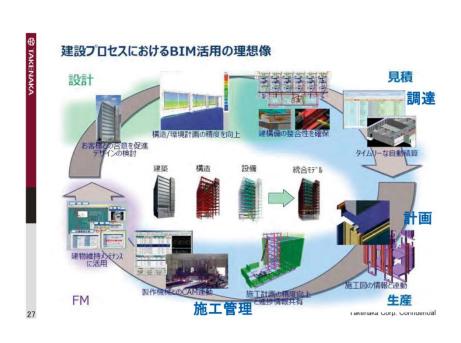


図 3-5 建設における BIM 活用 (竹中工務店 菅田昌宏氏講演資料)

①企画・設計段階でのBIM(VR)活用

# -般的なCGでは得られない高品質VRを提供



図 3-6 企画・設計段階での BIM (VR) 活用 (竹中工務店 菅田昌宏氏講演資料)

建設業のBIM、BIM+VR、AR 開発はゼネコン各社が競争して行っている。独立設計事務所間でも競争的であり、これら設計事務所とゼネコン間に共通プラットフォームがあるとは思われない。建設業は多くの協力業者で成り立っているが、協力業者の技術レベルは千差万別であり、ゼネコンのBIM化に追随出来ない業者も多い。このままではBIMが日本建設産業の生産性向上に大きく寄与するとは思われない。過去の建設ロボット開発と同様な道を歩む可能性が大きい。

建設界全体をカバーする BIM プラットフォームが必要である。Construction 4.0 とも言うべきシステムの構築が望まれる。

#### 3.3.3. 建築生産の IoT、ロボット、自動化と BIM プラットフォーム提案

建設、特に建築における自動化の現状は現在の車の自動運転技術開発とは大きくかい離している。自動運転車の登場は自動車会社にとっては致命的な問題である。それ故に全ての自動車関連企業が社運をかけて研究開発を進めている。自動車部品メーカー始め多様な裾野企業も死に物狂いで技術開発を進めている。更にはIT企業やAI・画像認識・クラウド関連企業等が自動車産業分野に食い込もうと研究開発を進め始めている。世界の全ての産業が一気呵成に技術を進歩させつつある。

一方建設の自動化は建設産業においては産業・企業の死命を制する課題とは思われていない。建設ロボット開発は実際使用する建設関連企業(鉄骨ファブなど)ではなく、ゼネコンや大学の研究者が趣味

でやっている感覚である。先述の 2017 年 1 月の建築学会のシンポジウムでは発表者のほとんどがゼネコンか大学である。

建設ロボット開発の最近のトピックに大林組の現場作業をアシストするロボットスーツ開発、清水建設の配筋アシストロボットがある。建設産業にとっての目下の最大の課題は、建設作業者の不足、高齢化、熟練工不足がある。大林組や清水建設の開発は産業・企業のニーズに応えようとする必須の開発である。建設産業の自動化開発は自動車産業の方向とは異なり、危険作業対応・技能者不足対応・空間と協調の安価ロボット・各種情報技術活用・マンマシンシステムであるべきである。

長い間、建築業協会(当時)のロボット委員会委員長を務め、韓国の高麗大学教授をされていた前田純一郎氏は"「空間」とともに「ロボット」をデザインすべき"と提案した。即ち「ロボットの機能を空間側に分散し、空間からロボットを支援することにより、ロボットをシンプルにして、現場への導入・普及を促進する」で、この考えを建物のライフサイクル全般に適用すべしとも主張していた。

建設産業では土木系の自動化は国土交通省の I-Construction、「建設ロボット技術に関する懇談会」などで多様な議論・提案が行われている。特にインフラのメンテ対応、危険作業対応についての開発に注力が行われている。また建設機械分野でも世界をリードする無人運転技術が進められている。

建設産業における IoT 技術の活用は緒ついたばかりである。建設の IoT を発展させるためには、普及 しつつある BIM を設計からメンテ・解体に至るまで利用できるようにすべきである。そのためのデジ タルプラットフォーム (BIM プラットフォーム) が必要である。

#### 3.3. 空間知能化

#### 3.3.1. 空間知能化の歴史

空間知能化の発端は 1980 年代の米国の NAHB (全米ホームページビルダー協会) のスマートハウス 研究・実証実験にある。その切掛けは 1970 年代の米国 MIT メグロポンテ教授等の新しい住宅に関する 提言があった。米国シカゴには世界初のエレクトロハウスが建設されている。

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。以後三洋電機、シャープ、松下電工などがスマートハウスを発表し、センサー・コントロール機能が充実した。

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・スマートフォー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。

#### 3.3.2. 空間知能化国際会議

2015年に国際シンポジウム「スマートな建物たちのこれから一空間知能化最前線―」が開催された。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新展開について語った。「ロボット化・自動化と空間知能化」を語るためには先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。空間のロボット化である。1990年代初期に「モーションエンジニアリング」と言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」と言う概念であった。建物のロボット化の提案の先駆けであった。

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。

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―ロボットー建築空間」と言う構成の提案で、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・空間的変化を記録し・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。

渡邊准教授は日本における「空間知能化」提案者の一人である。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言うコ 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 万円以下ももう直ぐのようである。満倉准教授の発表は脳波信号を解 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。今後が期待される研究である。 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」、前田純一郎前高麗大学教授の 「建築生産への適用」であった。 産総研のセンターは日本のロボット研究の中心組織で、 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。ロボット機能の空間へ の分散配置で、これはボック教授とは異なる試みである。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。これは前田教授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。この機能について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」としている。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いと考える。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ことは必須である。

#### 3.3.3. 室内・街区・地下・都市・交通網と空間知能化

空間は室内空間から街区・都市・都市間・地球・地球圏外へと広がっている。空間の知能化は都市間まで広がりつつある。室内空間の知能化は病院、介護施設などで既に始まりつつある。街区の空間知能化は障害のある人、高齢者用に企画され幾つかの街で実験が始まっている。



図 3-7 北九州市における街区の空間知能化実験(前田純一郎氏提供)

移動体と空間知能化技術で最も古く、典型的なものは航空機である。航空機はセンサー、自動操縦機能を有し、多くのナビゲーション技術を空間から受けて移動している。近年では土木建設機械も同様な技術を用いて運用されるケースが出ている。自動運転と高速道路での空間知能化の研究開発日本、欧米ともに 1980 年代後半から行われている。

東日本大震災後には都市全体での移動体誘導、インフラ監視、津波予知・警告について多くの研究開発が行われている。筆者も震災直後に建設専門誌に全体構想を提案している。海洋研究開発機構

(JAMSTEC) は地震・津波観測監視システム DONET を海洋に設置した。これは海洋の空間知能化と言える。

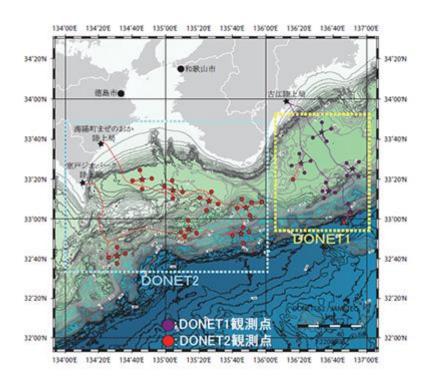


図 3-8 海洋の空間知能化 DONET (海洋研究開発機構)

# 3.4. 空間知能化論

# 3.4.1. プラットフォームとしての空間知能化

総合科学技術会議は 2004 年に「次世代ロボット共通プラットフォーム技術」を提案した。文献 9 では「ロボット単体が知能やソフトを持つだけでなく、IT やユビキタスコンピュータ技術、ネットワーク 通信技術、GPS、RFID タグの技術とも連携し、ロボットが行動するために、環境側にプログラムや情報,知識を埋込むことが各種ロボットを開発する際の共通インフラ技術として重要性を増すと考えられる」としている。ロボットや自動車など移動体のプラットフォームとして「空間知能化」を検討すべきと考える。

# 3.4.2. インターフェイス論

慶応大学三田彰教授は「生命化建築」を提案している。ロボットは機能空間と人間の「インターフェイス」と言う概念である。情報技術の社会ではインターフェイスは境界と境界のプロトコルで、ハードウエアとしては我々が日常使用する USB クリップが典型である。

自動運転車は移動する物体であると同時に移動する人間と外部空間とのインターフェイスでもあるべきである。荷物輸送のトラックの自動化は単なる移動体としての扱いで良いと思われるが、自動化されたバスや乗用車は人間と外部空間とのインターフェイス機能を有するべきである。

多くの分野における「自動化と空間知能化」でもインターフェイスと言う概念の広義化とその活用を 研究すべきと考える。



図 3-9 センサーエージェントロボット (慶応大学三田彰教授)

#### 3.4.3. 先端技術と技術者

ロボット、自動化、IoT、AI などの先端技術が急激な進歩を遂げ、社会に導入されつつある。先端技術の研究者や技術者は専門とする分野に特化するあまり、全体的・俯瞰的視野を失う傾向がある。3.2.1. で述べたように建設ロボット開発では技術プッシュ、価格無視で高性能ロボットを開発し、ほとんどのロボットが実用化に至らなった。経済性無視、他の技術との融合性無視、将来の適用先の危険性無視、人間の存在無視、連携する分野の技術レベル無視など、技術者の専門技術重視は歴史的にも大きな失敗を繰り返している。

#### 3.5. 人間と技術

コンピュータの普及に伴い 1980 年代にオフィスにコンピュータ、IT 技術を満載した「インテリジェントビル(Intelligent Building)」が普及し始めた。Smart Building とも呼ばれ日本では「高度情報化建築物」と呼ばれた。インテリジェントビルの空調などは電子機器対応に主眼を置いていたので、オフィス内で執務する人の健康障害が発生した。「シックビル」である。アメリカのインテリジェントビル協

会でも問題視され、調査に行った経験がある。最近では「シックビル」と言う用語は主として家具から 発生する化学物質に焦点が当てられ「シックハウス」として議論となっているがが、発生の最初の要因 は高度情報化したオフィスの情報機器優先の室内環境にあった。技術者が人間を忘れたためである。

自動運転技術開発も人間が何のために車を運転するか、どのようにして安全を確保しているかを考慮する必要がある。ドライブは単なる「移動」ではない。レジャー、気晴らし、団らんの場など人間活動の多様な場の提供でもある。安全運転にはドライバー同志の目配せ、顔つきなども重要要素である。米国のカントリーロードでは信号の無いロータリー交差点(ラウンドアバウト、環状交差点、円形交差点)が多い。ここでは慣習的なルールで交差点に入り、出るがドライバー同志の目・顔・手の動作などが重要である。IoTの適用対象で人間が関与する場合にはこれらの観点を忘れてはならない。

# 3.6. 参考文献

- [1] 前田純一郎(2016)「建設工事の自動化と空間知能化技術」研究会資料
- [2] 菅田昌宏(2016)「竹中工務店のIT・IoT活用~建設工事におけるIoT活用~」研究会資料
- [3] 佐藤知正(2009)「空間知能化ロボテイクスとその応用産業市場」『東芝レビュー』vol.64,no.1,
- [4] 国際シンポジウム「スマートな建物たちのこれから -空間知能化最前線-」開催報告 (2015)
- [5] 森英雄(1991)「道路環境認識とナビゲーション」『計測と技術』vol.30,no.1、
- [6] 津村俊弘 (2009)「移動体の知能化」『計測と技術』vol.30,no.1、
- [7] 橋本周司(2007)「環境知能化とロボット技術」『日本ロボット学会誌』vol.25,no.4、
- [8] 長谷川勉(2008)「環境プラットフォーム ロボットタウン」『日本ロボット学会誌』vol.26,no.5,
- [9] 谷江和雄、松日楽信人(2007)「次世代ロボット共通プラットフォーム技術―情報構造化環境プラットフォームの構築」『日本ロボット学会誌』vol.25,no.4,

# 第4章 企業の IoT 開発戦略の構想

IoTとは一体何かという理解は、現時点で必ずしも明確に共有されているとはいいがたい。定義のようなものがあるとすれば、「モノのインターネット」ということになるのであろうか。イメージとしては、ヒトを含めて、あらゆるモノをインターネットにつなげ、モノに付けたセンサーを介してモノに関するあらゆる情報をインターネット上に吸い上げるということになるだろう。現在、IoTをキーワードとした多様な用途開発が探索されている中で、企業はそれぞれの事情に応じてIoT戦略の実装を始めている。本稿は企業の開発戦略立案に際して基本的な分析枠組みを提示することを目的として書かれた試論である。

#### 4.1. 多様な用途と要求水準

IoT それ自身の機能はデータ収集機能と言って良い。例えば自動車に組み込んだ多くのセンサーを介して、その人の運転状況や自動車部品の摩耗状況などが収集できる。あるいは、工場に設置した機械にセンサーを組み込むことで、機械の実稼働状況や部品の摩耗状況などがインターネット経由で遠隔監視できる。問題は、センサーとインターネットを介して集めた機械発のビッグデータから、いかにして有用な知見を引き出せるのかということだろう。ネット経由で集めた大量の情報の山を、宝の山にできるかどうかは使い方次第による。ただ膨大なデータを集めただけでは、価値創造にはつながらない。重要なのは膨大なデータを分析する視点である。そのために、ディープラーニング機能を持つようになった近年の AI の発展に注目が集まる。つまり IoT はデータ収集機能であり、分析機能を提供する AI とセットにして戦略を議論しなければならない。

IoT と AI は現在多様な産業での活用が検討されている。製造業から始まった IoT の活用範囲が、医療、小売り、空き駐車場管理や顔認証など生活現場全般にまで範囲を広げつつある。こうなると同じ言葉を使っていても、産業や用途ごとに必要とされる分析機能と判断機能には大きな開きが出てくる。IoT の開発戦略を構想する際には、まずこのような多様性を考慮に入れることが必要である。

収集機能と分析機能に要求される水準は産業ごとに多様だが、IoT の分析には統一した分析枠組みが必要である。これらの多様な要求水準を分析するのにどのような観点が望ましいだろうか。リアルタイム処理がどの程度要求されるのかという次元と、分析にどの程度の精緻さが要求されるのかという分析の粒度という2つの次元で分析し整理することが有効だろうと考えている。その枠組みを表した模式図が図4-1であり、IoT に要求される水準の産業ごとの違いを、リアルタイム性と分析の粒度という2つの観点からマッピングしたものである。

# 図1 IoT・AIへの多様な要求水準

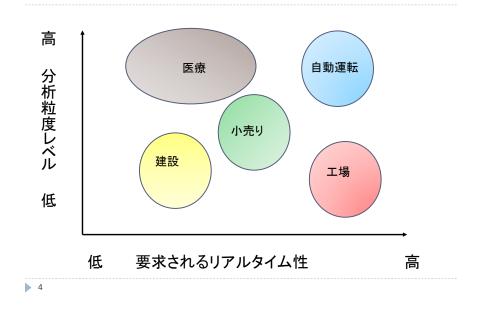


図 4-1 AI への多様な要求

車の自動運転を実現するには、高速で走行している車が、人の動きや車の動きなどを迅速に察知して、 それらの状況を正確かつ迅速に運転に反映させるという高度な制御が必要だ。例えば高度で迅速な画像 認識制御技術が必要になるだろうということは容易に推測できる。したがって、高度なリアルタイム性 が要求されると同時に、分析の粒度も緻密さが必要になり、図 4-1 では右肩上方に位置付けられること になる。

他方、医療で使われる IoT 技術は、自動運転とは異なる要求水準を持つ。がん検診での判断に AI 技術を適用しようとする場合、リアルタイム性は要求されないが、診断結果の重要性を考えると、データ分析には緻密で精緻なものが要求されるだろう。また医療での IoT 活用は自動運転以上に多様な場面での活用が想定される。そのため図 4-1 に示すように、要求されるリアルタイム性は比較的大きな幅を持つと考えられる。

さらに、小売りや流通でも IoT の活用が検討されている。例えばユニクロは、企画から生産、物流までやすべての情報を IT で一元管理して、製造小売りから (SPA) から「情報製造小売業」への進化を目指している。IoT によって店舗からの売れ筋データを商品企画に迅速に反映させ、企画段階から生産準備を始めることで、商品サイクルを最短で 10 日に短縮する。それによって、需要の読み違えを減らし、売れない商品を作ってしまうリスクの回避を目指すという。企画段階と生産準備を一部オーバーラップさせるという手法は、コンカレントエンジニアリングと称され、日本製造業の競争力の要因と指摘され

てきたものだが、IoT の活用によってそれを小売りでも実現しようとする試みとして理解できる。これらの活用は、自動運転に比べるとリアルタイム性と分析粒度の観点では要求水準は低い。したがって、図 4-1 では自動運転よりも低いところにマッピングされている。

#### 4.2. IoT 機器開発戦略の類型化

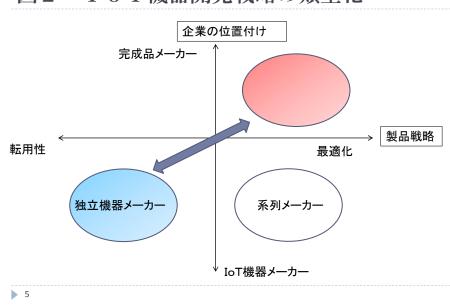
IoT機器は、既存の製品やサービス、ビジネスプロセスなどに組み込まれて使用されるのであって、それ単体で価値を生み出すわけではない。例えば工作機械にセンサーを組み込むことで遠隔監視機能を提供したり、現在の自動車に画像認識技術を組み込むことで自動運転機能を実現し、既存産業を高度化するのが IoT である。その意味では IoT は部品としての側面を強く持つ。

そのような IoT 機器の開発戦略を考える第 1 の観点は、最適化を重視した開発をするのか他の用途への転用可能性を重視した開発をするのかという点だ。特注化を志向するのか標準化を志向するのかの選択と言い換えても良いだろう。IoT も AI も既存産業の中に組み込まれて、性能、効率、信頼性を上げるために使われるために、産業特性の影響を強く受ける。既にみたように自動運転と小売り、医療では、IoT という同じ言葉を使っても、その用途と要求水準が違う。 さらに、IoT は自社製品に組み込まれて使われる場合が多いという用途特性を持つために、産業特性のみならず自社製品の製品特性の影響をも強く受け、それに最適化したものを作ろうとする力が強く働く。したがってその意味で個別企業が自社製品に最適化した IoT を開発しようとするのは、合理的な判断だと言ってもいいだろう。

しかし、個別企業あるは個別機種に最適化するということは、他への転用可能性が失われるということを意味し、他の企業あるいは他の機種向けに IoT 機器を再開発しなおす必要が出てくることを意味する。これは、コスト競争力という点では大きな負担になるだろう。他方で、転用可能性を高めることを意識して開発するということは、標準化の度合いを高めるということであるから、コスト競争力という点ではメリットがあるが、最適化という観点では劣ると言わざるを得ない。つまり IoT の開発戦略を考える第1の観点は、最適性と転用性を両端とする線分のどこに自社の製品戦略を位置づけるのかという問題になる。

IoT機器の開発戦略をみる第2の観点は、完成品メーカー主導かIoT機器メーカー主導かという観点である。完成品メーカーは自社製品の価値を高めるために自社開発のIoT機器を組み込むのであるから、自社製品に最適化したIoT機器を開発しようとする動機を強く持つ。自動車メーカーは、自社の車の価値を最大限に引き出せるような最適化された画像認識製品を開発したいという動機を強く持つはずだ。もちろん産業が成熟すると、完成品メーカー自身がIoT機器を市場に外販する戦略もありうる。しかし、IoT機器の外販は、競合他社がそのIoT機器を入手でき自社の完成品に組み込めるようになるということを意味し、それは競合他社が類似した完成品を開発しやすくなることを意味するから、合理

的な戦略とは言えない。少なくとも産業初期においては、完成品メーカーが自社開発の IoT 機器を外販 するのは考えにくい。



# 図2 IoT機器開発戦略の類型化

図 4-2 IoT機器開発戦略の類型化

他方で、IoT機器メーカーは、部品としての IoTを開発し販売するが、完成品メーカーとの関係に応じて2つの戦略がありうる。一つは、自社製品に最適化した IoT機材がほしいという完成品メーカーの需要に答える戦略だ。この場合、特定の完成品メーカーと緊密な関係を構築し、それを頂点とする企業ヒエラルキーの中に入って生存することになる。自動車産業の系列取引がその典型例で、特定の完成車メーカーのいわゆる下請けになることで、長期安定的な取引が保証されてきた。

もう一つの戦略は、できるだけ多くの完成品メーカーに組み込まれ使われるような IoT 機器を開発する戦略だ。この場合、標準化を志向して高い転用性を持つ IoT 機器を開発する動機を強く持ち、特定の企業ヒエラルキーに属さずに中立的な立場を取ることが合理的な戦略になる。PC 産業の例でいうと、世界中の PC に対して標準的なプロセッサを提供しているインテルが代表的な例だ。また、自転車向け IoT 機器を手掛けるベンチャー企業のセレボもそのような企業の一つだ。セレボは自転車向けセンサーで SAP と提携し、セレボのセンサーで自転車の稼働情報を集め、どのように乗ったのかを SAP のソフトで分析できるサービスを検討している。セレボは、どの自転車でも使えるようなセンサーを開発することを目指している。

このように IoT 機器の開発戦略を分析するには、最適化重視か転用性重視かという製品戦略の観点、および完成品メーカー主導か機器メーカー主導かという企業の立ち位置という観点、これら2つの観点が有効である。これらの観点から IoT 開発戦略を分析し整理したものが図4-2である。完成品メーカーは、自社製品に最適化した IoT 機器を開発する合理性を持つし、独立機器メーカーは、転用性を重視した製品開発をする合理性を持つことを示している。

IoT を巡る一国のマクロ的な産業構造は、このような観点から個別企業が行う合理的な意思決定過程の連鎖の中で次第に形成されてゆくのである。完成品メーカーが自社製品に組み込む IoT 機器開発を主導するのか、あるいは中立的な IoT 機器メーカーが主導するのかに応じて、市場メカニズムの中で次第に IoT の設計思想と産業構造が形成されてゆくことになる。日本の場合、IoT の設計思想と IoT を取り巻く産業構造についてどのような予見ができるだろうか。誤解を恐れずに言えば、日本は完成品メーカー主導で、IoT 開発がすすむことになる可能性が高い。日本は多くの製造業で垂直統合的産業構造の色彩が強くみられるからだ。自動車産業のみならず、鉄道産業でもそうだ。鉄道産業のヒエラルキーの頂点に立つ JR 各社は、圧倒的な影響力を車体メーカーや部品メーカーに及ぼしてきたし現在でもそうだ。自動車産業における系列と同じ構造が鉄道産業でも形成されていると言っても過言ではない。その意味で中立的な部品メーカーが十分育成されていない。

従って、自然な流れとして IoT 関連産業においても、完成品メーカーが技術開発や製品開発を主導する可能性が高く、そうなると、自社製品に最適化した IoT 機器開発が合理性を持つためにその方向へ開発の動機付けが強く働くだろう。したがって市場メカニズムに任せておくと、個別の完成品メーカーに最適化された IoT 開発が先行することになり、企業や産業の垣根を越えて IoT 製品を標準化し転用性を高めるという動きは出てきにくいだろう。つまり他産業同様、企業を超えて標準化を志向する動きは IoT 開発においても鈍いと言わざるを得ない。これはいわゆるガラパゴス化に至る道であると同時に、IoT 製品のコスト高にもつながる。

一方で、海外は事情が少し異なる。例えば、ボッシュやコンチネンタルのような巨大な中立的な部品メーカーの存在感が強いドイツでは、中立的部品メーカーは合理的経営判断の結果、多くの完成品メーカーで使えることを念頭においた製品開発を志向する。したがって IoT 機器の開発においても、企業の合理的判断の結果として、IoT 機器の転用性を高めるために標準化を志向することになる。市場メカニズムの中で、そのような製品開発戦略を個別企業は合理的に選択し、その結果、それを反映した水平分業の度合いが強い産業構造がマクロ的に形成されると考えられる。このように考えると、シーメンス等ドイツ企業で強くみられる標準化志向は、市場メカニズムの中で合理的に形成されるものと理解できる。

#### 4.3. IoT アーキテクチャ

企業が IoT を具体的に開発し実装しようとするときには、そのアーキテクチャを決める必要がある。 その際重要なポイントの一つは IoT と AI のインターフェイスをどう設計するのかという問題だが、それはモジュラー型でゆくのかあるいはすり合わせ型でゆくのかという選択をすることに等しい。モジュール型とは、機能要素と構造要素の対応関係をできるだけ単純化し、構造要素間のインターフェイスをルール化するということだ。対応関係を単純化するとは、例えばデータ収集機能はできるだけ独立したまとまりある構造部品で実現するということであり、複数の部品間に機能が分散していないということである。また、構造要素間のインターフェイスをルール化するとは、構造要素間の相互依存関係を単純化して影響を予測可能にしておくということである。

モジュール型にしておくことの多くのメリットは既に先行研究で指摘されているが、IoTで特に重要な点は、今後の様々な技術進化に柔軟に対応できるということだろう。IoTも AIも、現在成熟した技術ではなくて今後さらに大きな技術進化が予測される。そのような場合、技術進化を柔軟に取り込めるような拡張性を持たせることが設計戦略上重要になる。例えば AI 技術の最新の成果を自社の IoT 製品に採用するために、モジュール型にしておけば、他の関連部品はそのままでそれに対応した構造要素だけを交換すれば良い。つまり低コストで最新の技術成果が取り込みやすくなる。他方で、すり合わせ型の場合、最新機能を取り込もうとすればインターフェイスがルール化されていないために、他の部品へどのような影響が及ぶのかを予測することが容易ではない。つまりそれは、技術進化への迅速な対応に劣ることを意味する。

例えば自動運転を支える画像認識機能を考えてみよう。人間の眼に代わってリアルタイムに道路の状況を把握し、障害物を見つけて回避行動をとるといった技術に必須の機能は画像認識である。歩行者、動物、車両、標識、車線等を正確かつ迅速に認識する機能が求められ、そのための画像認識アルゴリズムには膨大は処理を必要とする。そのために専用 LSI を使って処理する方法と、車載の汎用 LSI 上でのソフトウェア処理で対応する方法がある。前者には、オランドの Mobileye 社が開発した画像処理専用の EyeQ というチップがあるし、後者には日本のベンチャー企業であるフィーチャ(Ficha)社が存在する。車載カメラでデータを収集し、それらを専用チップや汎用チップ、その上で動作するリアルタイムソフトウェアで分析するのが画像処理技術である。モジュラー化されている場合、車載カメラが担うデータ収集機能とチップが担う画像認識機能は独立してアップデート可能になるために、技術進化に柔軟に対応できるようになる。データ収集機能の精緻度を上げるためには、画像処理技術用のチップはそのままで車載カメラだけを交換すればいのである。しかし一方で、自動車メーカー独自の車載カメラに最適化した画像処理技術からみると水準が落ちるという課題がでてくるかもしれない。

# 図3 IoTアーキテクチャー 機能要素 対応関係 構造要素 分析判断機能 専用LSI あるいは汎用LSI ずータ収集機能 データ収集機器

車載カメラ

3

図 4-3 IoT アーキテクチャ

車外データ収集機能

さらにもう一つの具体例として、工作機械産業での IoT 活用を考えてみよう。工作機械メーカーにとって大きな問題は、ユーザーの工場で機械が稼働中に突然停止するという突発停止という現象だ。そのために工作機械のいろいろな箇所にセンサーを設置してきめ細かなデータを収集し分析することで、突発停止の予兆を察知して事前に予防しようとしている。例えば機械の振動をセンサーで収集するにしても、収集した振動データがノイズなのかあるいは本当に突発停止の予兆なのかを正確に判別することはそれほど容易ではない。境界値を見つけることが難しいのだ。また機械のどこにセンサーを設置すれば効果的なデータが収集できるのかについても複数の選択肢が出てくる。さらにセンサーは機械に設置するにしても、データを分析し判断する機能をも機械側に置くのか、あるいはそれはネット側に置くのかという判断が必要になる。それは同時にデータ収集と分析機能のインターフェイスをどう設計するのかを考えることでもある。まずそのような IoT アーキテクチャを企業は IoT 戦略の立案に際して決めなければならないのである。

# 4.4. まとめ

本稿は、IoTの開発戦略を構想する際にどのような観点が重要になるのかを、製品開発に関する先行研究の知見に依拠しつつ、できるだけ具体的文脈に即して議論した。

日本でも IoT の活用と実装に向けて企業は精力的に製品開発をすすめている。しかし、繰り返しになるが、このまま市場競争に任せておくと、転用性を高める観点は軽視され、いつか来た道を再び辿ることになるのではないのかという危惧がぬぐえない。転用性の軽視は、単なるコスト高につながるだけではなくて、IoT にとって重要な連結性を阻害することになる危険性が高い。先行研究の知見から推論できることは、日本で転用性が高い。

IoT 開発を行うためには、市場メカニズムに任せるだけでは限界があるということだ。経路依存的に 完成品メーカーの力が強い日本では、最適なものを提供できる特注化志向が合理的で優れた戦略だった からだ。したがって、経路依存の力を断ち切り転用性を高めた製品開発へ移行するためには、中立的な 立場に立った調整役の役割が重要になるはずだ。その意味で、IoT の時代は、政府の役割が見直される 機会になるのかもしれない。

# 第5章 日本企業の研究開発・設備投資の収益性低下の要因 -イノベーションのパラダイム変化-5.1. はじめに

近年、日本の製造企業の収益性が低下している。この要因の一つとして、研究開発投資の効率性の低下が指摘されている。そのため、日本の製造企業は、研究開発による高度な技術力だけではなく、別の付加価値も加えたイノベーションの創出が期待されている。

また、研究開発と並び、製造企業にとっては、設備投資がイノベーションの源泉として重要である。設備投資については、直接、生産設備等に投資されるものであり、研究開発投資に比べて、より市場に近い活動への投資であり、その成果が収益に結実するまでの不確実性も低く、設備投資の収益性への貢献は十分に認められるとも考えられる。しかし、この点においても、近年、設備投資も収益性への寄与が低減してきているとする指摘もある。

本研究会では、近年の製造業を取り巻くイノベーションのパラダイムとして、「連結の経済」という新しい概念が提示している。このパラダイムにおいては、様々な製品やサービスが有機的に結合し、企業内の情報の蓄積・活用のみならず、時には業種の垣根を超え、消費者個人とも積極的な情報の連携を進めることで大きな利益を得られることになる。しかしながら、本報告書の第二章から第四章まで認められるように先進的な企業であっても、企業内の情報の活用に留まり、企業間あるいは業種を超えた情報の蓄積・活用は十分に行われていない。このような新しいパラダイムへの対応の遅れが研究開発投資や設備投資の収益性の低下に繋がっているとも考えられる。

このような議論をさらに深めるためには定量的なデータ分析が有効であるが、実は、近年の日本企業の研究開発や設備投資と企業パフォーマンスに関する研究成果は乏しい。そのため、まず、本章では、製造企業の研究開発投資及び設備投資と収益性との関係を豊富な定量データを元に実証分析結果を紹介し、研究開発及び設備投資が収益性に貢献しているかについて議論を行う。

日本の製造企業の収益性の低下の原因は数多く指摘されている。ただし、本研究会では、仮説ではあるものの、この主たる要因として、近年イノベーションのパラダイムが大きく変革しているにも関わらず、その新しいパラダイム出現を認識していない、あるいは、少なくとも、その対応に遅れがあるという根本的な戦略的思考の欠落があると考えられる。本章の後半では、本研究会で事例とした IoT への対応として、国内でも様々な先端的な取り組みがある一方で、IoT を中心とした新しいパラダイムシフトへの対応の遅さに関して議論を行う。

#### 5.2. 投資効率の実証分析

#### 5.2.1. 効率性の低下

日本の製造企業は、1980年代まで高い収益性を誇っていたが、近年、その収益性が低下している。この要因は複数あると考えられるが、その一つとして、研究開発投資の効率性の低下が指摘されている[1]。 日本の製造企業は、研究開発投資による高度な技術力だけではなく、別の付加価値も加えた新規事業の創出が期待されている。

しかしながら、そもそも、日本の製造企業の研究開発投資の効率性が低下していることを示す実証的な分析結果は未だ十分とは言えない。研究開発と企業業績について既に実証的な研究があるが、むしろ、研究開発投資と企業のパフォーマンスには正の相関関係が示唆される結果も多い。ただし、前述のように日本の製造業全般としては、収益性が低迷していることは事実であり、また、その要因として、研究開発の効率性の低下が指摘されている。

一方、研究開発と並び、製造企業にとっては、設備投資がイノベーションの源泉として重要である。 設備投資については、直接、生産設備等に投資されるものであり、研究開発投資に比べて、より市場に 近い活動への投資であり、その成果が収益に結実するまでの不確実性も低いと考えられる。そのため、 設備投資の収益性への貢献は十分に認められるとも考えられる。しかし、この点についても、近年、日 本の製造企業の設備の老朽化や効率性の低下により、特に中小企業においては生産設備への投資の収益 性への寄与が低減してきているとする指摘もある[2]。

そこで、以下では、近年の日本の製造企業の研究開発投資及び設備投資と収益性との関係を豊富な定量データを元に実証分析を行った結果を紹介する。

# 5.2.2. 投資と収益に関する既存研究

製造企業の競争力の最大の源泉は技術であり、その根幹となるのが研究開発活動である。ただし、日本企業の研究開発の効率性は低下していると指摘する既存研究は少なくない。榊原ら(2002)[3]は研究開発の効率性に関する既存研究を整理し、研究開発の効率低下は疑問の余地なく確認できるわけではないが、効率性の低下を示唆する研究は多く、その要因として、日本企業の技術戦略に課題があるとしている。

日本の製造企業の技術力は未だ世界トップレベルにあるとしても、その優位性は盤石とは言えない。 企業へのアンケート調査によれば、欧米企業に対する技術力の優位性については、全業種的に「変わら ない」と認識しているが、アジアの国々との比較においては、相手国企業の成長度合いが大きく、追い 上げられていると感じている企業が多いことが示されている[3]。

ただし、研究開発と収益性に関して実証的な分析を行った既存研究においては、むしろ研究開発投資 と企業のパフォーマンスには正の相関があると示唆する結果も得られている。例えば、鄭(2005)は東 証1部、2部の上場銘柄のうち売上高研究開発費が1%以上の企業の株式を対象にし、1年間株式を保有した際のリターンについて検証している。その結果、売上高研究開発費の比率の高い企業は超過利益をもたらす結果が得られたとしている[4]。また、会計学的な側面からの分析として、榊原ら(2006)はわが国の製造業を対象として、売上高研究開発費の比率が高い企業はPBR(Price Book Value Ratio)の高い成長株であることを見出し、特に売上高研究開発の比率の高い企業が多い産業では、研究開発投資が時価総額に対して有意に正の効果を与えることを指摘している[5]。

近年における定量的な実証分析としては、2008年度の製造企業のデータを分析し、サービス化比率が高い企業ほど収益性が高く、その一方で、研究開発費比率が高い企業ほど収益性が低い傾向にあるという分析結果がある(玄場、2012)[6]。この結果は、日本の製造企業の研究開発投資の効率性が低下しているという指摘と整合的な結果とも言える。

いずれにしても、近年の製造企業を対象にした研究開発投資と収益性に関して定量的な分析結果は十分とは言えない。また、設備投資についても、前述のように、その効率性が低下しているという議論があるが、その関係についても実証研究の蓄積は未だ乏しいと考えられる。そのため、2000年以降の長期のデータを収集し、日本の製造企業の研究開発投資及び設備投資と収益性との関係について実証分析を行った。

# 5.2.3. 分析手法

#### ①統計データ

分析対象は、日本の上場市場に上場している製造企業である。データは日経 NEEDS データベースを 用いて収集を行った。

2000年度~2014年度の売上高、営業利益、研究開発費、設備投資の費用を計上している企業のデータを用いた。サンプル企業数を以下に示す。

年度	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
企業数	1155	1204	1199	1183	1176	1182	1196	1197

表 5-1 分析対象企業数

年度	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
企業数	1170	1165	1142	1120	1115	1104	1108

#### ②回帰分析

各企業の研究開発費比率及び設備投資比率と収益性との関係を検証するため、売上高営業利益率を被説明変数、各企業の売上高研究開発費比率(以下、研究開発比率)及び売上高設備投資比率(以下、設備投資比率)を説明変数とした重回帰分析を行った。なお、規模の利益は一般に広く知られていることから、企業規模の代理変数として各企業の売上高を説明変数として加えた。ただし、売上高は対象企業間のばらつきが大きいため、対数化した指標を用いた。

以下に説明変数及び被説明変数の定義を示す。

#### 【被説明変数と説明変数の定義】

営業利益率:営業利益/売上高

研究開発比率:研究開発費/売上高

設備投資比率:設備投資費/売上高

企業規模:log10 (売上高)

# 5.2.4. 分析結果

重回帰分析の結果を表 5-2 に示す。それぞれ、修正済み決定係数及び説明変数に対する回帰係数であり、\*は各係数の有意水準を示している。なお、2011 年度以降においては、研究開発比率と設備投資比率の説明変数間の相関係数が高いため、多重共線性の問題により、どちらかのみを用いた回帰式で分析を行った。

決定係数が低い回帰結果もあるため、解釈には注意が必要であるものの、研究開発比率の係数は 2000 年度及び 2001 年度は有意に正の値であるが、それ以降は、全ての年度で有意に負となる結果が得られた。また、設備投資比率の係数については、2008 年度までは、有意な結果が得られないか、有意に正の値となっている。しかしながら、それ以降は、ほぼ有意に負の値を示す結果となった。また、企業規模の係数については、2000 年度において有意ではなかったものの、ほぼ全ての年度で正の値となった。

表 5-2 重回帰分析による回帰係数

年度	研究開発比率		設備投資比率		企業規模		定数		決定係数
		有意		有意		有意		有意	補正 R2
2000	0.64	* *	0.26	* *	0.001		0.011		0.112
2001	0.53	* *	0.44	* *	0.006	*	-0.010		0.179
2002	-0.17	* *	-0.07		0.017	* *	-0.044	* *	0.039
2003	-0.27	* *	-0.10		0.022	* *	-0.049	* *	0.052
2004	-0.21	* *	0.01		0.012	* *	0.004		0.034
2005	-0.26	* *	0.06		0.011	* *	0.018		0.054
2006	-0.14	* *	0.29	* *	0.010	* *	0.008		0.055
2007	-0.96	* *	0.31	* *	0.019	* *	-0.016		0.486
2008	-1.14	* *	0.22	* *	0.026	* *	-0.047		0.498
2009	-1.17	* *	-0.20	*	0.035	* *	-0.097	* *	0.557
2010	-1.30	* *	0.15	*	0.035	* *	-0.100	* *	0.776
2011	-1.31	* *	_		0.014	* *	0.032		0.866
			-0.30	* *	0.056	* *	-0.207	* *	0.036
2012	-1.26	* *	_		0.025	* *	-0.031		0.976
	_		-0.23	* *	0.071	* *	-0.292	* *	0.852
2013	-1.13	* *	_		0.031	* *	-0.068	* *	0.994
	_		-0.84	* *	0.078	* *	-0.298	* *	0.967
2014	-1.37	* *	_		0.015	* *	0.03		0.989
	_		-6.45	**	0.062	**	0.08		0.902

# (注)被説明変数は売上高営業利益率

2011年度~2014年度のデータにおいては、研究開発比率と設備投資比率の相関係数が高かったため、 どちらかのみを用いた回帰式で分析を行った

\*:5%有意、\*\*:1%有意

以上のように、日経 NEEDS の上場企業のデータの分析結果によれば、研究開発投資と収益性は、2000 年代前半までは正の関係にあり、また、設備投資についても有意な結果が得られていない年度があるものの、2010 年度までは概ね正の関係にあった。しかしながら、近年の分析結果においては、研究開発比率及び設備投資比率と収益性には有意に負の関係にあることが分かった。業種によって大きく異なる結果が得られる可能性があるものの、この結果は、近年の製造企業の研究開発及び設備投資の効率性の低下を示唆するものと考えられる。

## 5.3. IoT への対応の遅れ

IoT は、仮説段階ではあるものの、イノベーションの大きなパラダイムシフトの可能性が高い。本研究会においても事例として紹介されている先端的な取り組みは一部あるものの、日本企業全体の対応の遅れが指摘されている。

IoTに関しては欧米の取り組みが先行しており、日本の取り組みが遅いことを指摘する識者は多い3。 その理由としては、政府の対応の遅さを指摘するだけでなく、企業の取り組みも遅れていることが大きな要因となっていることである。IoTでは企業間外の連携が不可欠となるが、特に日本企業は企業間でのデータの連携には消極的であり、これが IoTの推進において大きな課題となる可能性が高いことが指摘されている。さらに企業間の連携による標準化についても欧米に比べて日本企業が遅れていることも問題となっている。例えば、住宅業界においても、HEMSなどの活用が期待されているが、積水ハウス代表取締役会長兼CEOである和田勇氏は、「日本の企業はこれまで新しい技術が出てきたときに、1社で独占しようとする傾向があったのが良くなかった。HEMSを見ても、住宅メーカーの間で標準規格が定まっていない。汎用性が無いわけです。IoTに関しては、オールジャパンでやらないとだめですよ。汎用性のある基準を決めて、世界に打って出ていかないといけません。(中略)そうしないと、世界の国より周回遅れになってしまいます。もうずいぶん遅れてしまったと心配しています。」と懸念を表明している4。

本報告書でも、詳細な議論が展開されているが、IoT を推進するためには、十分な情報セキュリティ対策が必要不可欠であると考えられる。しかしながら、この分野においても対策が遅れていることを指摘する声も多い。例えば、サイバーディフェンス研究所専務理事・上級分析官である名和利男は日経新聞のインタビューにおいて、「日本では I Tがコスト削減の手段とみなされてきたため、人材も IT の専門部署や企業に偏在している。IoT の時代を迎え、新たにビジネスを立ち上げようとしている家電など

 $<sup>^3</sup>$  日経コンピュータ 2016/08/04 号「和田 勇 氏 積水ハウス 代表取締役会長 兼 CEO (最高経営責任者)「家 歴」データで事業を伸ばす IoT はオールジャパンで」、 $p50{\sim}53$  (2016/8/4)

<sup>4</sup> 日本経済新聞「国家絡むサイバー攻撃、実態は――サイバーディフェンス研究所専務理事・上級分析官名和利男氏、 日本の防衛力 3 周遅れ (創論)」(2016/12/18)

の事業部の技術者にはセキュリティの知識が乏しい人も多い。これまで IT 分野で蓄積されてきたセキュリティ対策の知識が活用されていないことが心配だ」5と指摘している。

そもそも、日本発のイノベーションのパラダイムの提案は乏しい。もちろん、新しく提案されたイノベーションのパラダイムが必ずしも大きな成功を収めるとは限らないが、日本において、イノベーションのパラダイムシフトに関する議論が根本的に不足していることが大きな課題であると考えられる。

新しいコンセプトの提案、それに対応した制度設計、あるいは企業間の積極的な連携などは日本企業が得意とするところではないことは事実である。従来の日本企業は欧米企業のキャッチップを行い、それでいながらも高い技術力で競争優位を確立してきた。しかしながら、近年ではイノベーションサイクルが早いことだけでなく、グローバルでのイノベーションの普及が急速となり、キャッチアップからの競争優位の確立は容易ではなくなってきている。もちろん IoT が必ずしも成功するパラダイムシフトであるとは誰も断言できない。しかしながら、成功の確実性が高まってから本格的に取り組む姿勢では明らかに取り残されることから、企業のみならず、行政も積極的に関与しながら、新しいパラダイムシフトへの積極的な議論と制度改革や積極的な企業間連携などの試行錯誤が求められると考えられる。

#### 5.4. おわりに

本章では、製造企業の研究開発投資及び設備投資と収益性との関係を豊富な定量データを元に分析を行い、日本製造企業の研究開発投資及び設備投資と収益性には明確な負の関係があることを示した。もちろん、これは IoT への対応の遅れが収益性を低下させていることを直接的に実証したものではない。他にも日本の製造企業の収益性の低下の原因は数多く指摘されている。しかしながら、いずれにしても、従来のイノベーションパラダイムに基づいた戦略では、収益性の低迷から脱却することは難しいと考えられる。IoT は一例に過ぎないかもしれないが、今後、根本的なイノベーション戦略の転換が必要と考えられる。

<sup>5</sup> 日本経済新聞「国家絡むサイバー攻撃、実態は――サイバーディフェンス研究所専務理事・上級分析官名和利男氏、 日本の防衛力 3 周遅れ (創論) | (2016/12/18)

# 5.5. 参考文献

- [1] 平成23年度年次経済財政報告(2011)-日本経済の本質的な力を高める-、内閣府
- [2] 平成25年度年次経済財政報告(2013) ――経済の好循環の確立に向けて――、内閣府
- [3] 榊原 清則、辻本 将睛 (2003)「日本企業の研究開発の効率性はなぜ低下したのか」 ESRI Discussion Paper Series No.47、内閣府経済社会総合研究所
- [4] 鄭義哲 (2005) R&D 企業の株式パフォーマンス・以上リターンと R&D ファクター・ 証券アナリストジャーナル 10 月号: pp.98-10
- [5] 榊原茂樹、與三野禎倫、鄭義哲、古澄英夫(2006) 企業の研究開発投資と株価形成 証券アナリストジャーナル7月号:pp48-58
- [6] 玄場公規 (2012)「製造業の多角化の定量分析」、研究技術計画学会年次学術大会講演要旨集,27,pp1082-1085

## 第6章 医療における IoT とレギュレーション

# 6.1. IoT におけるモジュール分割と医療におけるモジュール分割

# 6.1.1. IoT の構成要素としての「製品・データ・サービス」複合体

IoT は、「製品+ネット」(Internet of Products)、「部品+ネット」(Internet of Parts)からより拡張されて、「業務プロセス+ネット」(Internet of Processes)として、複数のプロセスを統合した形で定義されるようになってきている[1]。

この考え方は、「現実世界の出来事をモノに組み込まれたセンサーを通じてデジタルデータに変換しネットに送り出す機器や仕組み」であり、データをネットワークに送り出す技術、その技術が組み込まれた機器、またはこれを実現するための通信やデータ管理のサービスだけでなく、「デジタルデータで蓄積しモデル化して再現し、アナログな現実世界にフィードバックする仕組み(Cyber Physical System=CPS)」が構想されている[2]。

データのハンドリングの構造は、「データ収集」、「データ解析」、「データ活用」に分けて図式化される ことが多い(図 6-1 左)。

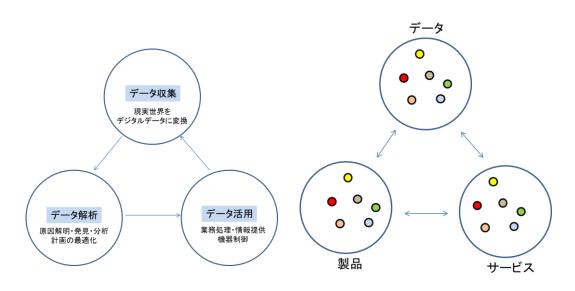


図 6-1「データ収集・解析・活用」サイクルと「製品・データ・サービス」区分

現在、医療の IoT では事例として挙げられてくるのは、身体にセンサーを付けて、体温や心拍数、血圧などの生体情報をモニタリングし、ネットワークに繋がるスマートデバイスを用いて、健康管理をしたり、特定の疾患の状況をモニタリングするといったボトムアップ型のセンサー・ネットワーク・データ解析の組合せなどであり、医療全体のデザインとデータの関係については議論されてきていない。医療における Cyber Physical Systems (Medical Cyber Physical Systems がどのようにデザインでき

るか、そのためにはまず何から検討する必要があるか、またそのレギュレーションはどうあるべきかを 初期的な事例を使って検討することを目的としたい。この図 6-1 は、現実のデバイスを医療において想 定した場合を想定してみると以下のようになる。

「データ収集」は病気の診断のための判断根拠となるデータセットとそれに基づき診断した結果の 収集(活用した結果のフィードバック)であり、機器による診断である「センサー(検査機器)と ネット(データ収集)」、及び医療の記録であるカルテ(電子カルテ)が相当している。

「データ解析」は検査結果に基づく病気の診断や医師による判断でありその一部は AI などによっても代替される。解析結果は、カルテにも記載される。

「データ活用」は医師による処方(医薬品を含む)、処置や手術に相当しており、病気の診断に基づく治療行為が相当している。当然にこの記録もカルテに記載されるが、

医療における IoT を検討する場合には、医療行為における「データ収集」、「データ解析」、「データ活用」との対応関係をどのように定義するかあるいは分類するかで異なり、全体を定義するか、その部分を定義するかで IoT の適用範囲の解釈は異なってくる。この収集・解析・活用の3つの関係は、実際には医療行為全体をカバーしていると捉えることもでき、ヒトが生身で全てを実施するか一部を機械化するかの違いであって、どの部分を解析対象とするかによって異なってくる。また、患者情報の中のどの部分の情報をデータとして組み込むか及び提供されている医療サービスのどの部分が範囲なのかという点も整理していく必要があるだろう。

もうひとつの区分方法は、特定の医療行為を別のモジュール区分で分割して整理する方法である(図 6-1 右)[3]。製品(デバイス)・データ・サービスで区分する方法である。

したがって、「データ収集・解析・活用」による区分と「データ・製品・サービス」による区分の関係は、対象とする医療行為の範囲が同じであっても、モジュール分割の方法が異なる。「データ収集」、「データ解析」、「データ活用」による区分は、全てにサービス概念が含まれるという点で全く異なっているが、両者のモジュール分割の方法の違いを考慮して、医療への適用を考えていくことで技術の進展と医療の進展の関係を整理することが期待できる。つまり、医療を「データ収集」、「データ解析」、「データ活用」で区分する方法と「製品・データ・サービス」で区分する方法を併用することにより、実態としての医療を体系的に整理することが可能になり、「一般論としての IoT」と「医療における IoT」の共通部分と特殊部分を整理していくこと、ひいては Medical Cyber Physical Systems の概念設計の可能性を本稿では検討したい。医療における IoT は、薬事規制や医師法・医療法上の問題を解決するためのハードルがあり、一般論と同じように処理できないのではという漠然とした疑問に対して、レギュレーション上の課題と全体の Cyber Physical Systems の関係を整理するための指針を提供する効果が期待してのことである。

# 6.1.2. 医療検査機器における「製品・データ・サービス」複合体

新しい検査手法や検査機器、治療手段の出現は、診断行為、治療行為における製品とサービスの境界に変更をもたらし、同時に医療のディシジョンツリーにも変更をもたらす[4]。先端医療技術と先端医療の関係は、具体的な製品やサービスが出現してくる場合には、「製品・データ・サービス」区分で検討するほうが解析しやすく、その結果もたらされる診断行為・治療行為を検討する場合には「データの収集・解析・活用」区分で分析することにメリットがある可能性がある。

また、医療における技術進歩は、その技術を利用した製品やサービスが薬事承認を前提にしており、 分割された医療上の行為(医療モジュール)が「製品・データ・サービス」へ更に分割されたモジュー ルが、薬事承認上のモジュールでもあるという点で技術の進展を分析しやすいという点でメリットがあ る。この点についてはモジュール分割の方法に課題があることは後述する。

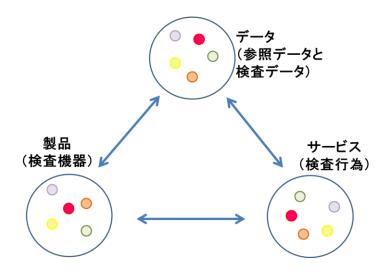


図 6-2 医療検査行為における「製品」・「データ」・「サービス」の関係

図 6-2 では、診断の「製品・データ・サービス」への分解を示している。製品と患者サンプルがサービスを実施する場所に送られ、検査する場所(病院内もしくは病院外)にて検査が実施される。サンプルが計測されたデータは、参照データ(陽性・陰性のみを判断する検査では参照データは不要だが、判定基準があるものは全て参照データが必要)と照合され、データの解釈とともに、診断を意図した医師の元に診断データが報告される。

近年、参照データが頻繁に更新される検査機器が出現している。例えば、臨床微生物検査の分野においては、マトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析法(Matrix-assisted laser desorption/ionizationtime of flight mass spectrometry: MALDI-TOF MS)(図 6-3 参照)を用いた微生物同定法は、参照されるデータが更新されていく検査の例として有名である。MALDI-TOF MS 法によ

り得られた微生物特有のリボソームタンパク質を主成分とした分子のフィンガープリント(マススペク トルパターン)を、既知標準菌株ライブラリーと検索・照合し、目的菌種を同定する新手法である[5]。 従来法に比して特異性・迅速性に優れている。このマススペクトルパターンのライブラリーが「参照デ ータ | 部分となり(図 6-4 参照)、30,000 以上のスペクトルから、臨床上重要な約 800 菌種を判定できる データセットが構築されている。製品(質量分析器)、データ(解析パターン)、サービス(血液サンプ ルの入手、解析パターンと参照データの照合と微生物種の判定)により、検査サービスが提供される。 MALDI-TOF MS を用いる質量分析は、一般細菌、嫌気性細菌、抗酸菌、酵母様真菌や糸状菌といった 同定も一つのシステムで実施できることが大きな利点である。薬剤耐性菌の鑑別にも、β-ラクタム系や カルバペネム系抗菌剤を含む培養液で2~4時間培養した後に、これらの薬剤が加水分解されると、マ ススペクトルパターンが変化することを利用して判定できる。微生物をマトリックス溶液と混ぜるだけ で MS 測定ができ、試料の前処理の必要もなく、サンプル調製から測定まで 3 ステップで測定開始から 2分で測定が完了する。これにより、ハイスループット分析を実現し1日あたり1台で1000検体以上 が処理できる低コスト分析な手法となっている。あらゆる菌種に対応できるという汎用性とともに、菌 種やその薬剤耐性変異種を参照するためのデータベースが適宜更新されるため、データ部分のみが「デ ータ・モジュール」として分離して認識可能であるという点が、従来の検査システムとは異なっている (図 6-5 参照)。





図 6-3 臨床微生物検査に使用される質量分析器 (左:島津製作所、右:ビオメリュー)

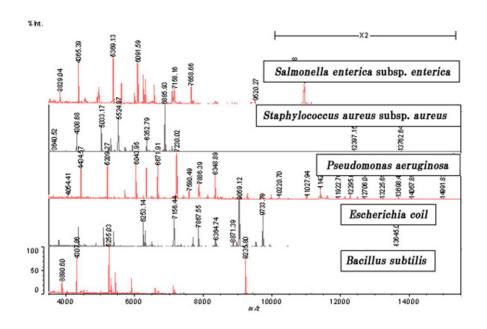


図 6-4 菌種ごとのマススペクトルのパターン

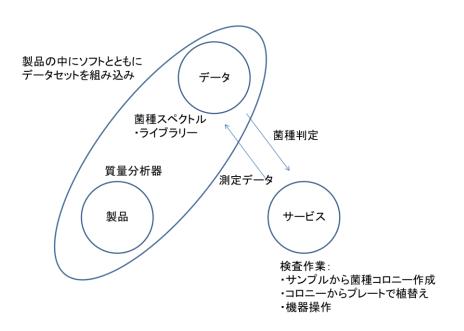


図 6-5 質量分析器による臨床微生物検査の「製品・データ・サービス」分解

#### 6.1.3. モジュール分割は薬事規制と一致しているか

質量分析器を用いた微生物検査は、クラス I の医療機器[6]として形式的な内容のみを確認され医療機器として認可されているが、現状製品部分に対してのみ薬事承認が与えられており、菌種スペクトル・ライブラリー(データ部分)は審査対象とはなっていない。参照されるデータは検査においては重要な要素を占めるにも関わらず、参照データに関する要件(正確性や再現性)は定義されていない状態にある。

一方、サービスを実施する検査室に対する要件も、検査作業のサービス品質についての要件も薬事規制上は定義されていない。米国にも同様にこの検査法は導入されているが、検査サービスの品質は、臨床検査室改善法(Clinical Laboratory Improvement Amendments: CLIA)にて一定以上のレベルを維持することが義務化され、検査ラボは CLIA 準拠で運営されている必要があり、サービス品質の維持のために、データベースの更新に対応する義務をサービス側から課すという形で品質保証を行っている。

つまり、日米ともに「データ」を独立に品質保証させる規制体系は構築されておらず、データを製品 の附属物として見るか、サービスの附属物として見るかで対処しているのが現状である。

同様に遺伝子検査サービスにおいても、近年、次世代シーケンサの劇的な性能向上により迅速な遺伝子配列の解析が可能となり「精確な医療」がスタートし[7]、米国では特定の遺伝疾患(Cystic Fibrosis)に対して DNA シーケンサが医療機器として認定され検査サービスが実施されているが[8],[9]、これも参照するデータベースは常に更新されているものの、データを独立のユニットと見做して、データベースの品質保証を定義する規制体系は構築されていない。

一方、日本では厚生労働省が「医療機器に関する単体プログラムの薬事規制のあり方に関する研究」 (平成 27 年度日本医療研究開発機構研究費 (医薬品等規制調和・評価 研究事業)において検討を行い、「医療機器プログラム等の承認申請に関するガイダンス」が発出されているが[10]、これは疾病診断用プログラムや疾病治療用プログラム等の製造販売承認申請のためのガイドラインであり、ソフトウェア単体に対する制御を定義したものであり、参照データを独立なモジュールと見做す考え方は導入されておらず、データ側が独立にかつリアルタイムに更新されていく状態を想定していない。

ソフトウェア製品も含めて、製品のみをレギュレーションの対象としてきた日本の薬事規制は、今後、 更新されるデータ、検査機器とサンプルの取扱を定めたサービス品質の両方に対して、その品質を保証 していく必要があり[3]、医療におけるデータやソフトウェアの頻繁な更新や人工知能等新しい機能の導 入が予想されることから、製品のみの制御から、製品とサービスの両方の制御、更には製品・データ・ サービス全体の制御へと制御範囲を拡大していく必要に迫られている。製品・データ・サービス全体を 制御するためには、部分をわずかでも変更するたびに薬事申請し承認を待つのは非現実的であることか ら、製品・データ・サービスをモジュールに分割して、モジュール毎の制御(薬事承認)へとシフトしていくことは必然である。

この「分割」(モジュール化)してモジュール毎に「制御」(規制)するという考え方は、「データ収集」、「データ解析」、「データ活用」による区分法よりも「製品・データ・サービス」による区分法のほうが、性能評価基準、安全性基準、品質基準といった基準を作成していく上で適しており、統合した形での品質評価とは別に、データを分離・独立した形で品質基準を設定するという考え方は IoT 全般にも導入されるべきかという問題提起につながってくる。

## 6.2. 医療 IoT に求められる技術標準とレギュレーション

#### 6.2.1. 技術標準とレギュレーションの補完関係

製品・データ・サービスをモジュールに分割して、モジュール毎に制御するというやり方は、基準を提供する方法論の使い分けをどうするかという次の問題を生じさせる。通常、薬事審査における審査ガイドラインには、品質基準、性能基準について ISO や JIS を引用して審査及び認可後の品質維持に用いている。

しかしながら、製品を薬事申請・承認システムで承認するだけでは医療行為全体の品質保証にはならず、医療行為全体の品質保証と使用される製品の品質保証の両方を追求する必要がある。医療行為の全体を制御しているのは医師法・医療法であり、特定の疾患における医師に対する診断・治療のガイドラインであって、その下位概念として、医療行為の一部分が医療行為から分離されて、サービス化されている。診断にしても、治療にしてもそれに用いられる製品(器具・機器・医薬品・装置等)が薬事法により承認され、使用されて最終的にサービスとして提供されている。

したがって、部分として切り出されたサービス行為を構成する製品とそれを用いた作業を、①医師に対する標準診療ガイドラインでコントロールするか、②薬事規制によって品質保証するのか、③薬事規制ではなく、製品やサービスを技術標準に準拠することにより品質保証するかという選択肢のうち、個別の製品やサービスの品質を医師に対する標準診療ガイドラインでコントロールすることはできないため、②、③の組合せあるいは補完により品質保証していく必要がある。このためには、<u>薬事規制と技術標準の2つの基準が「部分化された医療行為」(医療モジュール)にどのように作用しているのかを明らかにする必要</u>が出てくる。ところが、この2つの使い分けに関して研究された文献はほとんど存在していないのが現状である。つまり、医師をコントロールする診断・治療ガイドラインのツリー上にある「部分化された医療行為」(医療モジュール)は、「製品・データ・サービス」複合体で構成されており、この医療モジュールは薬事規制と技術標準のいずれかまたは両方によって性能が保証されるという関係が存在する(図 6・6)が、この関係は双方を理解する外部の観察者がほとんど存在しないため、実務家の

みが個々の製品に対して把握しており、体系的な実証分析は始まったばかりであり、個別製品の審査ガイドラインに対する ISO や JIS の引用関係からの分析が存在するのみである[11]。

例えば、臨床検査においては、日本では「臨床検査室認定」が行われている。臨床検査(一般検査、血液学的検査、生化学的検査、免疫学的検査、微生物学的検査、病理学的検査など)を実施する臨床検査室の技術能力を決定する手段の一つとしての認定手続きと位置づけられる。国際規格「ISO 15189(臨床検査室・品質と能力に関する特定要求事項)」に基づき、対象となる臨床検査室の審査を行い、臨床検査を行う能力を有していることが第三者機関(日本適合性認定協会)により認証されている[12]。臨床検査室は「精確な(accurate)結果」を提供する能力が問われる他、検査室外のいかなる人も検査結果を変更することができない業務の独立性が要求される。このため、ISO 15189 は、「品質マネジメントシステムの要求事項」と「臨床検査室が請け負う臨床検査の種類に応じた技術能力に関する要求事項」の2つから構成されている。日本では検査のサービス品質を国際規格 ISO15189 に準拠して定めており義務化はされていない一方で、米国では臨床検査室改善法(Clinical Laboratory Improvement Amendments: CLIA)にて、サービス品質の維持を法律にて定めている[13]。つまり、サービス品質を担保する方法として、ガイドラインや法で定めるか、国際規格で定めるかは選択の問題であり、どちらの方法が妥当であるか、あるいは両方が必要でこれをバインドさせるのが妥当なのかは今後の検証課題となっている。

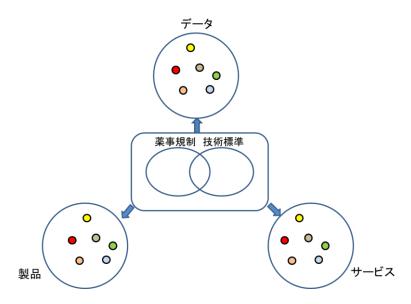


図 6-6 製品・データ・サービス複合体の薬事規制と技術標準による制御

質量分析による微生物検査のように、対象となる検査の参照データが更新される場合は更に問題は複雑となってくる。データを製品側から結び付けて制御するか、サービス側からデータの更新をサービスの一環と見做して制御するか、独立したものとしてデータの品質を制御するのかという問題が発生し、

データを更新する度に、頻繁な薬事申請を求める事態を避けるためには、データ部分をモジュールとして分割し、モジュール毎に承認する措置が必要となってくる。したがって、全体像を把握するためには、図 6-6 のような製品、データ、サービスが分割された状態で制御していくことが、データ更新が重要かつ頻繁な検査の場合には求められてくる。こうした視点からは、対象となる診断や治療行為を「データの収集・解析・活用」でモジュール分割するよりも「製品・データ・サービス」でモジュール分割するほうが、整理しやすいのではないかと筆者は考える。「デジタルデータで蓄積しモデル化して再現し、アナログな現実世界にフィードバックする仕組み(Cyber Physical System=CPS)」の医療版とは、レギュレーションの問題を処理する必要があることから、レギュレーションにとって好都合な区分方法も設定する必要があると考えられるのである。

# 6.2.2. 医療におけるモジュール分割と IoT

ドイツが主導するインダストリー4.0 では、産業プロセスをモジュール分解し、モジュール間の接続インターフェイスに技術標準を順次導入していくことを目指している。対象とする産業にとって、産業プロセスが企業間で接続され、そのインターフェイスが国際技術規格により定められることにより、モジュールのパーツを生産する企業に対するアクセスの機会を与えることにより、ドイツの中小企業に対する事業機会を増やすことを意図しているように捉えられる[14]。個々のモジュールを生産する工場はネットワークで結合されてより効率の良い生産体制を目指す。

インダストリー4.0 のアプローチの医療に対する示唆あるいはアナロジーとしては、『医療サービスの 供給体制は、個々の医療行為のモジュールに分解され、結合されると同時に、接続方法が標準化され、 診断・治療のデータが収集・蓄積されて、次の医療サービスの判断に利用されていく状態』がイメージ できる。つまり、<u>モジュール分割された医療行為のモジュールのひとつひとつに対して「製品・データ・</u> サービス複合体」があり、それらは縦横無尽に接続されて、全体として「データの収集・解析・活用」 のサイクルが出来上がり、より正確で効率の良い医療サービスが実現するといった別の医療の見方が提 供される。



図 6-7 異なる分割方法による医療の区分と医療モジュール

図 6-7 は、異なる分類による医療サービスの構造と機能が結合した「医療モジュール」が存在するこ とを表現した図である。例えば、分子標的医薬がもたらした診断と治療の融合は、典型的な異なるモジ ュール間(診断モジュールと治療モジュール)の特定なパスの連結の促進であり、定期健康診断と個別 の病気の診断もモジュール間連携と見做すことができる。個人の医療データと集団としての医療データ も、データ間の連結の問題となる。疾患分類は、病気のモジュール化である。漢方医学の疾患分類と西 洋医学の疾患分類は全く異なっているが、これは「モジュール分割の方法が異なっているから」という 説明も可能である。平成 19・20 年度厚生労働科学研究費補助金(統計情報総合研究事業)「漢方医学の 証に関する分類の妥当性」研究班においては、ICD-11 (国際疾患分類第 11 版)の日本の漢方療法に関 するコーディング草案(表)が作成されている。また、病気や死因の統計に使われる病気の分類法「国 際疾病分類」に、漢方など東洋の伝統医学を加えることが WHO で決められたが、分類の根本的な考え 方が異なっているため、WHO のマーガレット・チャン事務局長は「2018 年を目指し、分類の改訂準備 を進めている。伝統医学を加えて歴史的な改訂になるだろう」と述べているが、接続ルールの作成は容 易ではないと想定されている。この他、大きな変化としては、近年の個別化医療における予防・診断・ 治療の融合は、新たな構造と機能の連結を意味していると思われる。新しい技術は、新しい医療上の分 類をもたらす。病院の診療科の区分にも変更が生じる可能性が高い。血液内科、消化器内科、呼吸器内 科といった分け方は医療資源の区分方法として本当に正しいのだろうか?医師の絶対数を含めて医療 のリソースが限られる中で、現在の分類は本当に最適化されているのか、といった疑問は検証の方法が あるかという問題を棚にあげると、次々に提起できる。従来提案されているような、ボトムアップ型の 「健康状態のモニタリングにスマートフォンを用いることがまず提案されるようなアプローチ」は、既 存の分類に基づいてデータの流れを整備していく、リアルタイム性を持たせていくといったアプローチ が多いが、これは従来の区分の元でのネットワーク化の進展を意味している。ボトムアップのアプロー

チが従来の医療区分に変更をもたらすこともあり得るが、医療全体の区分方法を従来型の A 分類から、 新しい B 分類に再整理した後に、結合のための連結方法をデザインしていくというアプローチはこれと は異なる、ゼロベースでどのような区分が最適かを検討することの是非はもう少し議論されてよい。従 来の生産システムと IoT を組み込んだ生産システムの違いは何かという質問が頻出であるように、従来 型の医療の区分で考えるのと、医療全体をモジュール化して結合状態を再設計するアプローチとでは何 が異なるのかという質問は当然にして出てくるものと想定される。しかしながら、このようにして再設 計された後にデータ蓄積されていく状態が、Medical Cyber Physical Systems として定義し得るので は、と現状では想定している。あるいは逆に、既存の分類からデータ収集を開始したとしても、人工知 能の発達ともにデータが新しい区分方法を提示するという事態も想定しておく必要があるだろう。 療の効率をあげていくためには、これまでとは異なるネットワーク化や IoT 化を推進する必要があり、 個々の単一医療行為(医療モジュール)に分割する方法を再検討すること、これに基づいてモジュール 内の評価基準とモジュール間の接続ルールを整備していくことが求められてくるのではないだろうか。 モジュール化の範囲が拡大してきていることは、従来はモジュール分解には適さないとされた自動車 産業を例にとることでイメージできる。何故自動車の設計・生産でモジュール分割が実現するかについ て、日産自動車は、(1)編集設計技術、(2)シミュレーション技術、(3)機能統合と小型化を実現するため のルール設定の3つが実現したことを理由として列挙していた[15]。別の表現をとるならば、これら3 つの要素が揃ったことによりモジュールの分割方法の妥当性を探索的に検証するための方法論が整備 されてモジュール分割が可能となったということであり、医療データを活用した医療の実現のためには、 既存の分類・分割方法を超えて、医療行為をどうモジュール分割することが妥当なのかという議論をス タートさせること、モジュール分割の妥当性を検証する方法を用意すること(自動車や半導体と同じく 類似の3つの要素となる可能性が高いのか否かは検証が必要だが)が必要であるように思われる。現在 の医療行為の分類が妥当かという検証活動がモジュールから発生するデータの結合と利用に革新をも たらし、医療を効率化していく可能性を我々は検証すべきタイミングにきているのではないだろうか。 ドイツのインダストリー4.0 に学ぶべきは「体系的なモジュール分割をデノボで志向する考え方」にあ り、分割の方法が決定された後に分割後のインターフェイスに求められる標準は何かという検討が開始 されている。医療の IoT 化は、モジュール分割の妥当性の検討が行われた後に、本当に実施されるべき データの収集・統合・解析がスタートし、製品とサービスの品質や性能(医療用語では、品質、有効性、 安全性)が担保されていくのではないかと筆者は考える。現在の医療のカテゴリー分類のまま、情報の 接続を進めることで実現することも多いと思われるが、最適設計された医療の体系は、今から検討を始 めるべきであり、診療ガイドラインの束が医療を構成していくことを考慮すると、医療のロジックを構 成する診療ガイドライン、カルテ情報、医療経済上の情報、治療成績が結合された先にある最適な分割

方法は模索されていくことで、Medical Cyber Physical Systems の全体像ができあがってくるのではないか。

## 6.2.3. 医療 IoT におけるレギュラトリー・モジュール概念の必要性

モジュール分割は、医療以外の産業では、製品のモジュール化、設計のモジュール化、製造のモジュール化、利用のモジュール化(サービスのモジュール化)など、各局面におけるモジュール分割の議論がなされている。それぞれの分割方法には、分割する合理的な理由、統合後の全体としての性能評価の方法が付随しており、分割の方法の違いによって、整理されてくるものが異なることから、異なるモジュール分割がプロセスの上流・下流という形で並立するのか、しないのかは慎重に検討しておく必要がある。

医療の IoT を想定する際に難しいのは、IoT を導入することによって変更される最終的な医療サービスに対してどのように性能評価をする必要があるのかであり、品質保証、安全性保証、有効性保証を行う上で最適なモジュール分割を行っていく必要があることから、レギュレーション上必要となる対象を認識できる必要がある。医療が個々の医療モジュールに分割された後、個別の医療モジュールを構成している「製品・データ・サービス」複合体が更に、「製品・モジュール」、「データ・モジュール」、「サービス・モジュール」に再分割されるという区分方法は、レギュレーションの対象を分割して認識可能にするという意味で、「レギュレーション上のモジュール化(regulatory module)」と見ることもできる。医療全体を個別のモジュールに分割した後に、再分割の方法として「製品・データ・サービス」複合体が設定されるため、医療のモジュール分割後の、再分割はモジュール分割としては並立する関係にある(図 6-8)。

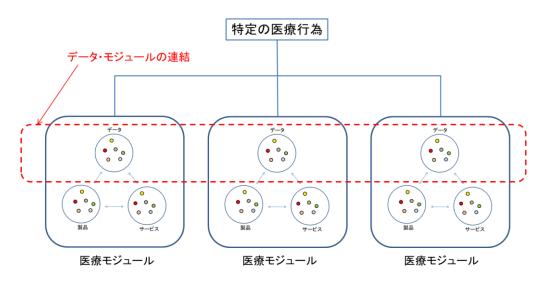


図 6-8 医療モジュールと「製品・データ・サービス」複合体

現在は「製品・サービス」複合体の薬事上のレギュレーションも発展途上にあり、「製品」を「製品(ハード)」と「ソフトウェア」に分離した段階にあり、ここから更に「データ」をレギュレーション上のモジュールとして分離していく作業は、日米欧ともに途上にある。今後は「データ」部分の分離は不可欠であると考えられ、「レギュレーションのモジュール化(regulatory module)」は、薬事規制や技術標準をデザインしていく上で、再分割されたモジュールの品質・性能保証という問題は必須になっていくと同時に、「データ・モジュール」間の連結、「サービス・モジュール」間の連結が下部構造の機能的連結として、浮上してくるものと予想される。検査センターのサービス品質は、個々の検査項目に対するサービスが統合されたものであり、下部構造の中の共通項目は既に ISO や CLIA でも対象としていることから、分割後の別の結合方法も検討されていくことと想定される。

# 6.3. おわりに

本稿は、医療の区分方法として、「データ収集・解析・活用」サイクルとは異なる「製品・データ・サービス」区分を提示し、データが独立に分離されて管理されていく可能性を、臨床微生物検査における質量分析器の事例を通して提示した。これに加えて、インダストリー4.0 の医療版とも言うべき、Medical Cyber Physical Systems が、新しい区分が先か、データが新しい区分をもたらすかは別として、新しい医療の分類概念とともにバーチャル空間に整備されていくことで、医療の効率化をもたらす新しい結合の形態を提示する可能性について指摘した。全ては作業仮説の段階にあり、実証分析は今後の課題と認識しているが、医療の IoT を考える上で、ボトムアップのアプローチだけでなく、疾患の分類方法も含めて医療の区分概念そのものに変更を加えていくトップダウンアプローチが Medical Cyber Physical Systems の設計とともに出現してくる可能性を提起し、そのための鍵は医療行為のモジュール化(新たな分類概念の構築)にあり、Medical Cyber Physical Systems の設計上も品質、安全性、有効性を担保するためのレギュレーション上のモジュール分割が想定されることを提案した。

# 6.4. 参考文献

- [1] Oriwoh et al(2015) 'Things' in the Internet of Things: Towards a Definition, International Journal of Internet of Things, 4(1): 1-5
- [2] Jazdi (2013) Cyber physical systems in the context of Industry 4.0, Automation, Quality and Testing, Robotics, 2014 IEEE International Conference on 22-24 May 2014

  http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6857843/
- [3] 松岡、加納(2017) 臨床検査における製品・サービス複合体の解析, 日本 MOT 学会研究発表 2016 要旨集
- [4] 中山(2016), 診療ガイドライン作成の How To, 尿酸と血糖, vo12 no.4, 40-42
- [5] 大楠(2012)、質量分析技術を用いた細菌の新しい同定法、モダンメディア、58巻4号、113-144
- [6] PMDA ホームページ, 医療機器に係る分類と規制
  https://www.pmda.go.jp/review-services/drug-reviews/about-reviews/devices/0013.html
- [7] Collins et al(2015) A New Initiative on Precision Medicine, The New England Journal of Medicine, 372:793-795
- [8] Sosnay et al(2013) Defining the disease liability of variants in the cystic fibrosis transmembrane conductance regulator gene, Nature Genetics 45, 1160–1167
- [9] Iullmina 社ホームページ (Cystic Fibrosis Testing の説明)
  https://www.illumina.com/clinical/diagnostics/cystic\_fibrosis.html
- [10] 厚生省: 医療機器プログラムの承認申請に関するガイダンスの公表について(平成 28 年 3 月 31 日) https://www.pmda.go.jp/files/000211620.pdf
- [11] 木戸、加納((2017) 先端医療ガイドラインの引用分析によるマッピング手法の開発 -薬事規制と技術標準のリンケージ解析を中心に一、日本 MOT 学会研究発表 2016 要旨集
- [12] 日本適合性認定協会、臨床検査室の認定(ISO 15189) https://www.jab.or.jp/service/clinical\_examination/
- [13] FDA ホームページ: Clinical Laboratory Improvement Amendments (CLIA)

  <a href="https://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/IVDRegulatoryAssistance/ucm124105.htm">https://www.fda.gov/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/IVDRegulatoryAssistance/ucm124105.htm</a>
- [14] 関(2016) 「インダストリー4.0」と「IoT」を理解するための基礎 業務プロセスの IoT 化・モジュール化、知的資産創造、2016 年 3 月号、72-107
- [15] 柴田(2014) モジュール化の開発プロセスの構築 —日産 CMF でのデザイン・ルール策定過程—, 赤門マネジメントレビュー, 13 巻 12 号, 477-499

# 第7章 IoT が促す産業組織の改革

#### 7.1. はじめに

昨年 CEATEC を児玉さんのお誘いで加納さんと一緒に広い会場を見て回った時に IoT が如何に産業組織の変革に影響を及ぼしつつあるか、また、及ぼす可能性があるかに気づかされた。いわば大きな衝撃を受けた。

以下にその一面を、理解した範囲で、紹介したい。

# 7.2. 産業分類への疑問

一昔前、企業の経営の多角化ブームの中で企業はいわば左右に翼を広げグループ化を推し進めて行った。これがもたらしたものは、企業のいわば所属(産業分類)の不鮮明化である。すなわち、たとえば東洋レーヨン(東レ)は繊維産業に分類されていたが、現在の東レは繊維のほか、化学、炭素繊維等に事業を拡大している。これを繊維産業として処理することには疑問がある。このほか、旭化成、スタートの業種は異なるが、富士フィルムなどについても同じような問題がある。

# 7.3. IoT のもたらす変革

IoT のもたらす事業の拡大、提携はこれを超える激震といえ異業種連携また別の見方をすると資本系列を超える連携となっている。これらの動きは、もしかすると、工場設備を伴う第二次産業部門よりも金融部門の連携・変革が先行しているのではないか。

さらに注意すべきは、経済のグローバル化の進展の下で、これらの連携に外国企業が絡んでくると見ておかなければならない。

#### 7.3.1. 代表的な事例は自動車業界

代表的な事例は自動車業界であろう。これから自動車メーカーが取り組むべき課題は、自動走行の推進であり、この分野で国際競争力を確保し、世界の交通事故の削減等に貢献するために、産官学が総力を挙げて取り組んでいかねばならない。

自動走行を検討するにあたって、自動車メーカー、部品メーカー、電子メーカーなどが広く参加し、経産省、国土交通省が一体となって議論を進めている。協調すべき分野として、地図、通信インフラ、認識技術・判断技術、人間工学、セーフティ、セキュリティ、ソフトウェア人材、社会の受容性が挙げられている。これらの分野をみると、自動車メーカーを超えて広い範囲の技術を必要とし、提携関係は複雑になる。(自動走行ビジネス検討会より)

他方、無人自動車の公道実験が遠隔操縦を条件にしながらも認める方向である。この場合事故時の責任は、操作している人やメーカーが責任を負うとされている。具体的には愛知県は今年度中にも大学や企業と連携し、公道での無人運転車の実験を行う方針という。2020年までに遠隔操縦による無人バス・タクシーの実用化、さらに 2025年には遠隔操縦不要な完全な無人運転の実用化が進んでいくといわれる中で、事故の責任関係について議論を深める必要がある。(読売 4/13 参照)

自動運転について、自動車メーカーを超える動きはアメリカで進んでいる。米アップルがカリフォルニアから認可を受けて走行実験に乗り出すという。アップルはこの開発を秘密にしてきたが、今や「公然の秘密」を認めることとなり、先行した企業を追走する。

すなわち、先行しているのは米テスラや米グーグル系のウェイモである。テスラは市販車両に自動運転に必要な路上情報を集める装置を搭載し 2 億マイル以上の情報を集めたといわれる。ウェイモは 2012 年から路上運転をはじめ完全な自動運転の走行が 200 万マイルに達しているという。(日経 4/16 参照) わが国にはまだこのような動きは見られないが、わが国ソフト業界でも密かに取り組んでいるのではないか。 なぜなら、自動運転の前提となる電気自動車すなわち、エンジンの無くなった自動車は、極端に言えば、車のついた箱でしかなくなるからだ。

その一例が「TESLA」である。シリコンバレー発の電気自動車で、スポーツカー並みの性能を引き出している。「車を動かすにはタイヤが回るモーターがあればよい」という発想からできているこの車は、パーソナルな乗り物、パーソナルモビリティという安価な車の登場につながることになろう。(「IoT ビジネス入門参照)さらに TESLA は車に積まれたシステムを常に最新状態にアップグレードし、最新・最高の状態に維持することを可能としている。(同上)

## 7.3.2. 新たな連携のあり方

このような動きを見てくると、IoT を契機に企業間の新たな連携が進むと考えられる。これに乗り遅れると IoT 革命に乗り遅れることになる。これは既存の連携の基礎である金融系列、技術系列とは異なる系列を生むことになる。その場合、企業丸ごとの連携ではなく、企業の分社化ー技術に応じた分子レベルー原子(アトム)レベルに分解したものの連携が考えられる。

あるレベルの M&A-新しい組織論-を考えると、これに対応できる人材の育て方が必要になるし、 頭の切り替えをして「内部人材」に拘らずに、適材を「外部人材」に求めることが必要である。 そし て「内部人材」、「外部人材」という言葉がいつか死後になっていくのではないかとすら思えてくる。逆 の見方をすると企業の中の人材から、企業を離れた「個の勝負の時代」に入っていくと考えられる。

さらに、発想を広げると、連携、人材について海外との連携、海外からの人材、海外への人材の流失 を視野に入れておくことが、今後ますます必要になると考えられる。 これらの展開の中で、韓国、中国メーカーの追い上げに勝つには、日本式企業連携、すなわち企業連携 内での共同開発(メーカーとユーザーが一体となった)言い換えると、互いに顔の見える連携が必要で あろう。

また、見方を変えると、連携が長期持続的なものとは限らず、目的に応じた連携・集団をつくり、目的達成で解散するというかつての「技術研究組合」的な考え方がとられるケースがありうるし、そして次々に新しい課題に応じた新集団の結成へというアメーバ的な企業のあり方が IoT を通じて生じてくることが考えられる。

# 7.3.3. 中小・中堅企業の生きる道

下請け中小企業の生き方を考えた場合、求められるのは独自技術である。パーツ・メーカーに独自の技術を活かした製品があれば、村田製作所、アルプス、TDKのように、スマホ向けのコンデンサでは高い競争力を持ち、さらに IoT を見越したセンサーの開発や車載用部品の開発を進めており、大メーカーの専属下請けにならずに、生きていける。

# 7.3.4. データの利用権限

別の観点からいわゆるビックデータの利用権限についての議論が経産省の審議会で行われている。ある企業が得たデータは基本的に原始的に入手したメーカーに独占されるが、このデータを広く活用するためにはこれを業界全体で活用できるように官が仲介して情報インフラを整える必要がある。企業秘密のほかは原則として共有できるように制度を整えていくことは官の仕事であろう。

特に自動車、工作機械、ビルメンテナンスなどではすでに個別の対応が見られるがこれを一定の条件 の下で広く活用できるようにしたい。

事例としてファナックが NTT と組んで進めているもの、森精機がマイクロソフトと進めているものがある。工作機械メーカーは機器の稼働状況から故障の兆候、部品交換の時期の把握からこれを進めるサービスがはじまる。(日経 4/3 参照)

# 7.3.5. データの活用 「所有」から「利用」への変化

データ活用の先進的事例としては、コマツの建機稼動管理システム KOMTRAX であろう。これによりプロダクトサポート(部品交換リコメンド、故障の予兆把握、盗難リスクの軽減)、顧客オペレーションの改善、新製品・新サービスの開発・設計に役立てている。 同時にマイナス面として経営状況が外部に漏れることになる、それをユーザーに内緒にしておいていいのかという新たな課題が出てくる。

(「2030 年の IoT」参照)

リースにウェットリースとドライリースがある。

メンテ付のものをウェットリースというが、航空機の販売などで使われる。

前述のものは、このウェットリースに属する。

これに機器の稼働状況をつかむ機能(センサー)をプラスし、そこから得られる情報に基づき修理・ 部品の発注、本体の取替え時期などに生かしていく、さらにこれを機器の生産ラインにつないでいくこ とは、そう難しいことではない。これにより在庫管理を含めて効率化につながるし、そのネットワーク はこの機器部品メーカーへとつながっていく。ユーザー:生産者:部品生産者:この間の流通業者の輪 は IoT 技術で大きく広がっていくことになる。

これの発展型として「『所有』から『利用』への変化」が出てくる。すなわち、メーカーは製品を売り 切るのではなく、その利用を補修付きで提供する。代金は売り切り代金ではなく、利用ついての毎月支 払いとなる。 コピー機などについて販売ではなくレンタル料金を取るのに近い。これにより企業は継 続的ビジネス・モデルに近づくことになるし、ユーザーの囲い込みにつながる。

#### 7.4. 流通部門の IoT 化

セブンイレブンの事例を見るまでもなく、流通業には IT が早くから導入されていた。 問題はそれをどのように活用するかの勝負である。その典型が POS 情報の活用であろう。これにより売れ筋管理から始まり、在庫管理、発注、さらに新製品の開発へとつなげていくことが出来る。セブンイレブンではこれを活用し PB の開発につなげていくが、そこで注目すべきは顧客の嗜好に合った商品の開発を進めるとともに、的確な在庫管理から無駄の排除が出来ていることである。 これらを可能としているのはコンプューターデータだけではなしに頻度高いミーティングを行い現場のコミュニケーションを重視していることに注目すべきであろう。機械的情報を補う人的情報が極めて重視されている。

これがなされているためにサプライチェーンシステムによる自動的発注が可能となっている。バーコード利用による仕事の簡素化・効率化、ペーパーレス化が進むし、会計処理の自動化による省力化はもとよりである。いわば、インターネット利用により生活者起点のサービスが可能となってくる。(昨年9月の碓井氏のレク)

#### 7.5. 第一次産業の IoT 化

昨年の CEATEC で農業分野への IoT の活用事例として、水田の水位、温度の管理による遠隔地からの操作の事例が見られた。 これを一歩も二歩も進めて水田でいえば、春先から取入れまでの時期・時期に応じた管理を、ドローンも利用して、進めることはそう遠くない将来にはじめられよう。センシング技術+ネットワーク+自動化は既存の技術の組み合せで可能であろう。

新しい**養鶏業**は、完全に密閉された鶏舎内で温度管理、餌の配合・数量、飼育、清掃などを徹底することにより、今後カメラを設置することにより遠隔地からの監視も可能となりうる、極めて効率のよい養鶏業が何とフィリピンですでに行われている。

**水産業**ではわが国で開発された魚群探知機は使われて久しいが、水揚げ状況の把握から中間流通業者をこえて大消費地の魚市場までつなぎ管理することで最大の成果を挙げることができる。市場価格に応じた漁業の現場の対応はそう難しいことではない。

さらに天気予報とつなぐことにより、安全な、かつ、効率のよい操業が可能となろう。

**林業**についても、人手不足のなかで、広い面積の管理を効率よくやるには、ドローンによる状況の把握、必要な施肥、切り出しの手順などなどまだまだ導入の余地がある。

**農業(漁業、林業とも)** について最終需要者である消費者に、あるいは消費者からの情報がこのネットワークを通じてフィードバックされれば、生産者から消費者までつながるシステムとして動き出す。 こうなるとこれを進めるのは生産者ではなしにむしろ流通業者が全体を仕切るのではないか。これを通じて一次産業と流通業の合理化、生産性の向上に資することとなる。

これらを一つのシステムとしてやるには今のままの規模ではあまりに小さい。IoT を導入することを 契機に農地、漁船、林地の単位の拡大が求められる。これは政策的に誘導することも一つであるが、む しろ自由にやることを認めるなかから競争を通じて自ら単位の拡大の方向に動かすことが期待される。

#### 7.6. 生活・家庭内の IoT - IoT の広がりから取り残されそうな分野

IoT を生かした生活の質(Quality of Life)の向上は重要な課題である。というのは、生産過程、流通過程等経済活動については、その競争性から積極的に新しい技術・システムが導入されるが、どうしてもこの分野は劣後におかれる可能性がある。健康で快適な生活の実現のための技術の具体的分野としてみていくと、以下のようになる。

#### 7.6.1. ヘルスケア

健康を維持し、病気の予防のための各種情報の収集し異常を検知する機器として、外出時や自宅でも 簡単に操作できるもの、あるいは持ち運びの可能なものが出現している。さらにウェアラブルなものが 登場している。これにより、常時血圧、脈拍、体温、呼吸状態をリアルタイムで測定し健康管理に役立 てている。情報技術を生かした遠隔地の治療もかなり実績が生まれてきている。これを踏み台にして更 なる高度医療に生かしていきたいものである。これは無医村問題の解決の一助として期待される。

#### 7.6.2. 機能サポート機器

世界一の速さで高齢化が世界一の速さで高齢化が進むわが国で、高齢者の勤労意欲をサポートし、生産性の向上につなげる身体機能サポート機器はわが国の得意の技術を生かす分野と考えられる。

#### 7.6.2.1. 身体機能をサポートする電子機器

# (1) 視力

加齢とともに最も変化するのが視力であり、これには従来多焦点レンズで対応してきたが、最近アメリカでレンズの中に液晶を入れ電気的に度数を変化させる電子眼鏡が開発されている。今後 度数変化率、応答速度、供給電源、重量等の課題はあるものの従来型に比し焦点の合う距離範囲を大幅に広くできる可能性がある。

# (2) 聴力

加齢とともに劣化する。現在の補聴器の課題を改善する骨伝道方式を活用したヘッドホンが実用化されている。今後、小型・軽量、通信機能との融合、使いやすいデザインにより新しい機器への発展が期待できる。

# (3) 筋力

低下した筋力を維持するためゲーム感覚でのトレーニング システム、筋力支援ロボットの開発が進行中

#### (4) 動作

高齢者の落ちてきている反応速度を補うディスプレイや出入力機器が重要に、また、遠隔操作など ICT を応用した補助機器開発に期待

#### 7.6.2.2. 認知症対策

増加してくる認知症高齢者の生活を支える地域包括ケアシテが待たれる。綜合警備保険(株)は位置情報を基にした見守りネットワーク支援システムの実証実験を開始している。高齢者にタグとこれに対応する専用アプリを保護者らに持たせる方式である。このシステムを子供の登下校状況確認に利用可能となる。これに加え、都市部では監視カメラの活用も重要でありこれに通信機能を付加することが考えられる。これを利用して鉄道施設や高速道路等への立ち入り防止にも応用できる。

# 7.6.2.3. 介護施設 (ケアハウス)

介護現場での AI の活用により介護福祉士の負担軽減、ベッドへのセンサーのセットによる患者の動きの把握、また、Virtual Realty を活かした外出が不自由な患者のストレス解消策にも役立てられよう。このように介護現場にロボットやセンサーの導入による高齢化と人手不足に対応していくことになる。介護のデータ活用によりどんなリハビリや介助が症状の改善いたかを集め効果の高い介護モデルをつくることに役立つ。政府は医療・介護に ICT を活用し、集めたデータを一元管理するシステムも 20 年度までに本格稼働させるという。(日経 4/15 参照)

トヨタはリハビリ支援ロボットを大学と組んでスタートしている。

以上の機能サポート機器の他、以下のようなものもある。

#### 7.6.3. メンタルアシスト

#### 7.6.3.1. AI 搭載ロボット

産総研開発のアザラシ型ロボット「パロ」は動物そのものを 飼うのは難しく場合に癒し効果を発揮しており、国内だけではなくアメリカでも医療機器として認証されている。その効果は高齢者の精神の安定ならびに会話を取り戻すことに役立ち、小型高性能、高信頼性お電子部品、AIの学習機能が生かされている。これは子育て世代の見守りロボット、若者世代の癒しのロボットとして生かされている。

#### 7.6.3.2. 子育てアシスト

妊娠中の母親の悩みや不安をなくす可能性があるのが胎談 (胎児と話す)である。これをサポートする機器がプリガフォンであり、このワイヤレス化、さらに必要な家庭への行政からの貸し出すことも考えるべきであろう。

# 7.6.4. 行動アシスト

#### 7.6.4.1. 歩行アシスト

「リズム歩行アシスト」(本田技研)にみるように脚力の低下した高齢者の使用が期待される。

#### 7.6.4.2. アシストカー

村田製作所の KeePace その後継機の**リトルキーパス**は坂道走行に対応した機能を進化させている。 今後の改良点としては、日本の道路事情にあった転倒防止等の事故防止機能の追加によりさらに市場は 広がるであろう。

#### 7.6.4.3. 子育てアシストカー

ベビーカー、ママチャリなどでの幼児、子供の事故防止のためにセンサー、通信機能を持った製品が出てくると期待される。ライフアシストとして以上触れた分野等を総合的に考えたアシスト社会の構築は重要である。これらを相互に補完するシステムが社会にできるために今後発展する IoT 技術の活用と我が国の得意分野である電気・電子技術、AI,ロボティック技術を駆使した各種サポート機器の開発実用化が次世代の QOL 向上には不可欠であろう。「これらの機器に使われる電子部品は多様化や信頼性の向上高性能化が求められる一方で、一般的に広く普及するためには経済性の要求も満足させるものでなくてはならない。」(JEITA の年次報告より)

# 7.6.4.4. ヒューマンライフ支援

ヒューマンライフ支援のプロセスをなぞると、状況確認 (モニター)、認識、対応措置各段階において 音声認識、文字読み取り、伝達等の局面で各種のマン・マシン・インターフェイスの技術の進展に負う ところ大である。

#### 7.6.5. 欠けている点

ここに述べたヒューマンライフの向上でまだかけているのは、生活・家庭分野まで踏み込んだ IoT 技術の活用がなされていない。昨年の CEATEC 会場で出会った Laundroid – Seven Dreamers Laboratory は洗濯機とその後の衣類の戸棚への保管までを行う試験機であった。まだまだ、大型でとても家庭内に入ることはできないが、一つの試みとして注目した。このように生活・家庭内の高齢者の作業を軽減する技術・機器が今後出てくることが期待される。例えば、食洗器と洗浄後の食器の収納、洋服ダンスとそれらの衣類の着せ掛けロボット、料理の必要な食材の冷蔵庫からの取り出し、品ぞろえなど、必要な香辛料、みそ・醤油などの残量表示と買い増しの催促、お掃除ロボットの自動開始・終了などなどまだまだ高齢者が求めるアシストはいくらでもある。

ホームセキュリティの面では、侵入検知、火災検知、救命ボタン、エネルギーはじめ室内機器連携などがあるが、導入にあたっての障害は Privacy の保護のための守秘義務との trade off である。 得られる情報を如何に管理していくか 一つの方法としては入手元への適時適切な情報開示であろう。この分野にはセコムに代表されるホームセキュリティ企業のほか、鉄道会社による沿線住宅向けのサービス提供、さらに個別家庭とつながりを持つ電力会社、ガス会社、水道会社も制度の自由化とともに十分参入の資格がある。

これらは一般のアシスト機器とは違い、家庭では作業環境が全く異なる多様化した分野であるこれらに対応していくにはいわゆるカスタマイズがいるが、それには自ら限度があるので、いくつかに分類し

て対処できるような「セミ・カスタマイズ」されることにより機器の開発が進むのではないかと思われる。

とはいえ、これらの分野は経済的負担に耐えられないユーザー(高齢者、身障者など)であることを考えると、国が目標を定めこれらの機器の開発に一定の助成をし、開発を促すロードマップを決め、それを実現するよう進めていく必要を感じるところである。

## 7.7. 結びに代えて

「IoT が促す産業組織の変革」を論じていくと、すでに着手されている分野のほかは何か「近未来小説」を書くような手法で様々な分野の変革を論じていくことが求められるのではないか? そして製造業、第一次産業、流通業、消費者(家庭)という切り方がすでに時代遅れなのではないか? これらは互いに絡み合いながら発展していくように思えてくる。

今後、競争を通じて、そして競争が機能しにくい分野では官の支援を待ちながら、着々と進行してい くことに期待したい。

# 7.8. 参考文献

- [1] 一般社団法人電子情報医術産業協会(2017)「2026 年までの電子部品技術ロードマップ」『JEITA 年次報告』
- [2] 桑津浩太郎「2030年の IoT」,野村総合研究所
- [3] 小泉耕二「図解 IoT ビジネス入門」

# 今後の課題

今後の課題は、産業と技術の関係の変遷を技術の立場から分析することである。IoT 技術・ビッグデータ・人工知能の組み合わせが、産業構造変化において、どれくらいの範囲まで及ぶか、という問題はとくに重要である。ある産業においては、生産性の急上昇に結び付いている場合もあり、ある産業においては、従来とは全く異なる産業形態へと変質していかなければならなくなった場合もある。いくつかの産業を取り上げ、その影響がこの両極端の間のどこに位置するかを調査研究することが必要とされているのである。