平成 29 年度 産業と技術の比較研究 報告書

「IoT の事例とその本質－Ⅱ」

平成 30 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第２年度にあたる。初年度は 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、無人運転、流通業、外国企業の戦略、および IoT の標準化政策について、調査した。それらの結果をふまえ、本年度は IoT の技術革新を分析する枠組みを新たに構築するとともに、全般的な技術動向や事例分析の追加、深化等を行った。

「産業と技術の比較」
研究会主査
児玉文雄

目次

1. IoT と学習理論 5
   1.1. 技術の学習理論の展開 5
   1.2. IoT モジュール・サプライヤの学習方式：Learning-by-Supplying 6
   1.3. IoT システム・インテグレータの学習方式：Learning-by-Porting 12
2. IoT 産業の収益性に関する定量分析 14
   2.1. 研究開発及び設備投資の効率性低下 14
   2.3. 既存研究 15
   2.4. 分析手法 16
   2.5. 分析結果 19
   2.6. 考察と結論 21
3. 日本特許庁で運用が開始された IoT 関連特許分類の分析 23
   3.1. はじめに 23
   3.2. IoT 関連技術出願の動向 24
   3.3. IoT 関連特許の上位出願人 28
   3.4. IoT 関連技術特許の技術分類の構成 30
   3.5. IoT とビジネスモデル、人工知能（AI）技術の関係 31
4. IoT 時代のセキュリティ問題とその対応 35
   4.1. はじめに 35
   4.2. セキュリティ問題の変容 35
   4.3. セキュリティ対策へ向けた動き 40
   4.4. おわりに 43
5. 企業成長の論理：堀場製作所のケース 45
   5.1. 堀場製作所のバランス経営 45
   5.2. 堀場製作所の成長の軌跡 46
   5.3. 企業成長の理論 52
6. IoT による産業構造の変革　－自動車産業にみる 55
   6.1. 自動車産業の 4 つの構造転換　メガトレンド 55
   6.2. 電気自動車をめぐる世界の動向-各国の動向 57
   6.3. 電気自動車時代の課題 57
   6.4. 話題の企業 60
7. 建設業の自動化、IoT,　AI の現在・未来 63
   7.1. 自動化と空間知能化 63
   7.2. 住宅における IoT 66
   7.3. 建築生産工場での IoT（溶接の IoT の場合） 69
   7.4. 建設における AI　の現在・未来 71

7.5. 建設における５Ｇの適用.....73
7.6. 終わりに.....74
8. インダストリーアーキテクチャーモデルの医療分野への適用.....76
8.1. インダストリーアーキテクチャーモデルの利用可能性.....76
8.2. モデルにおける軸の設定と用語の定義.....77
8.3. RAMI4.0 の医療分野への適用.....85
8.4. モデル利用上の課題.....91

1. IoT と学習理論

1.1. 技術の学習理論の展開

技術進歩を社会による学習現象としてとらえたのは、航空機の製造経験によるコストの減少現象を分析対象とした K.J.アローによる「経験による学習（Learning-by-Doing)」である[1]。その後、コンピュータや自動化された生産システムを対象とする利用経験によるコスト削減現象は、N.ローゼンバーグにより「利用による学習（Learning-by-Using)」として定式化された[2]。

しかし、韓国のサムスンの急激なキャッチアップ、グーグルやアマゾンの情報技術（Information Technology）による社会変革は、従来の学習理論の分析枠組みでは、とらえきれない現象である。そこで、グーグルやアマゾンによる社会システムの構築は、われわれは、「統合による学習（Learning-by-Integration）を提案した[3]。しかし、この学習方式による社会システムの構築は、統合の前に、ウインテル（マイクロソフト社の OS とインテル社の MPU）と表現される、構成モジュールのハイテク・プラットフォーム構築を前提にしているのである[4]。それでは、インテルの MPU はどのようにして、プラット・フォームリーダーの地位を獲得しえたのであろうか。インテルがその創立から IBM に採用されることになる MPU8086 の発売に到達するまでに、どのような企業がインテルにマイクロプロセッサーを発注してきたかを調べた結果が、次表である。

表から明らかなように、日本企業の貢献は明らかである。すなわち、インテル社の学習は、MPU モジュールを異なる業種の異なる企業へ供給することにより、すなわち、「供給経験による学習（Learning-by-Supplying)」という形で成されたことは明らかになる。

以上を要約すれば、IT 革命の本質は、2 種類の学習（Learning-by-Integration と Learning-by-Supplying）の相互作用であるということになる。その順序は、Learning-by-Supplying により、基本モジュールのプラットフォーム・リーダーシップが確立された上に、Learning-by-Integration による社会システムの構築が可能になったということになる。

---

[1] Arrow, K. (1962): “The economic implication of learning by doing,” Review of Economic Studies,” vol. 29, no. 3, pp. 155-173

[2] Rosenberg, N.(81982): Inside the Lack Box: Technology and Economics, Cambridge University Press:

[3] Kodama, F. and et al (2017): “Changes in modes of technological learning,” in Kong-rae Lee (ed.) Managing Convergence in Innovation, Routledge, 4-28.

[4] Gawer, A. and Cusumano, M (2002): Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco drive Industrial Innovation, Harvard Business school Press

Table 1. Chronology of mounting MPU in their product

In 1971, Busicom (calculator supplier) of Japan marketed 141-PF (mounted MPU 4004)
In 1971, Intel brought MPU 4004 into market
In 1972/02, Intel collaborated with Seiko of Japan for MPU 8008
In 1972/8, 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 soft-wired 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)

Source: Okuda (2000)

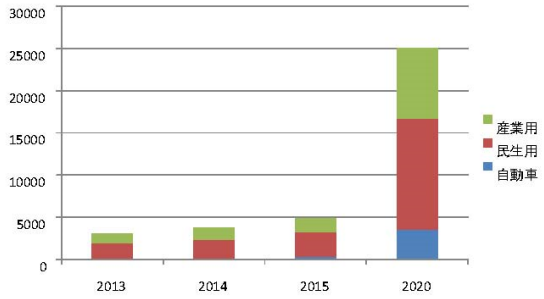
1.2. IoT モジュール・サプライヤの学習方式：Learning-by-Supplying

IoT システムの展開も、この 2 つの学習理論の有機的・動学的結合で進展すると考えられる。これを実証するために、IoT システムの開発を、（1）センサー開発、（2）アクチュエータ開発、（3）人工知能やビッグデータを活用するシステム開発の 3 部門に分けて考察する。

IT の分析で得られた学習形態の順序に従えば、Learning-by-Supplying により、それぞれの構成モジュールに、プラット・フォームリーダーが出現し、それらのドミナント・モジュールを統合して、Learning-by-Integrating という学習形態により、システム・インテグレータの支配的なプレーヤー（dominant player）が出現するという順序を想定する。

IoT につながるデバイスの数は、2015 年の 49 億個から、2020 年には 250 億個に急増すると予測されている（下図参照）。

図１　IOT につながるデバイスの数
2015 年 49 億個、2020 年 250 億個

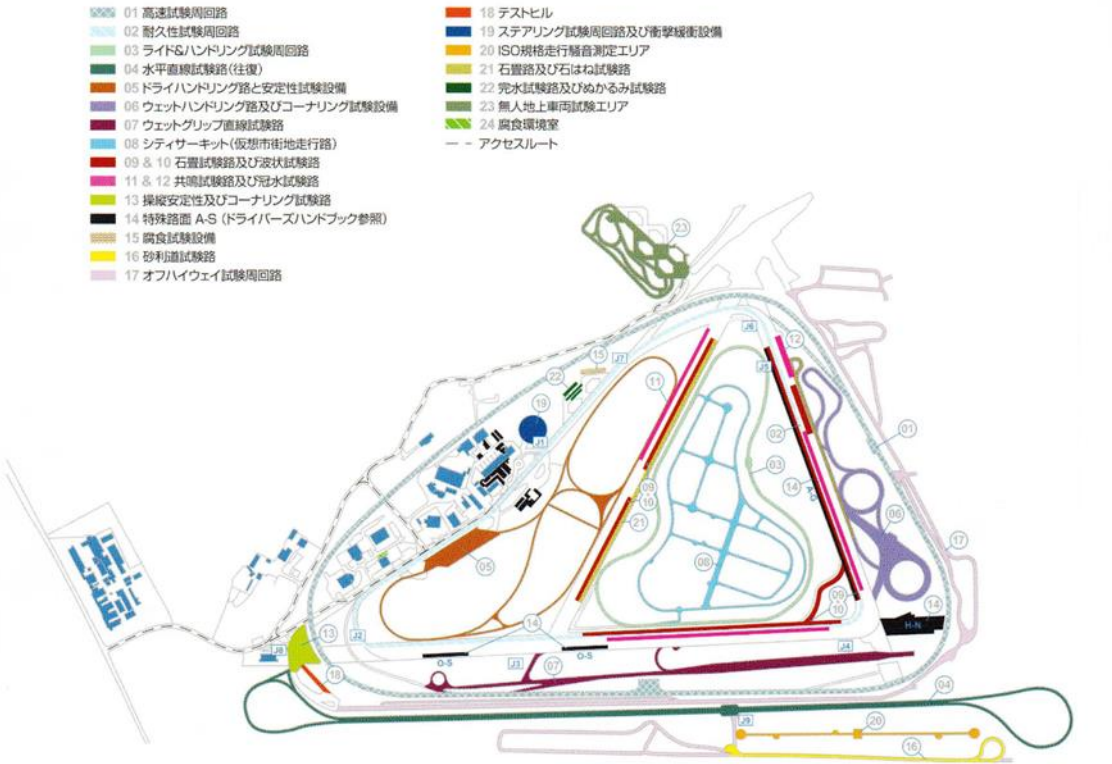


出典　Gartner（2014 年 11 月）単位 100 万個

この図によると、この数は膨大なものになり、明らかに、IoT インテグレータの開発・管理能力を超えている。センサー・モジュールや、アクチュエータ・モジュールにおけるドミナント・プレーヤーの出現は、どのような過程を経て出現するのであろうか？ドミナント・プレーヤーは、Learning-by-Supplying の学習に成功した企業になるだろう。

1.2.1.　センサー・モジュール

センサーは、何をどのようにセンスするかが問題となる。その範囲の網羅性と汎用性が問題となる。センサー・モジュールの分析では、自動車の排ガスセンサーを取り上げる。とくに、静止しているステーションでの排ガスセンサーと、道路を走行中の排ガスセンターとを取り上げる。すなわち排ガスセンシングにおける「網羅性」を問題とする。大部分のメーカーが静止ステーションでは排ガス検出に照準を合わせていたのにたいして、堀場製作所は、道路を走行中の排ガスの検出に照準を合わせた。その結果は、最近に起きた VW ディーゼル車のスキャンダルに結びついたのである。すなわち、自動車の排ガスの検出・測定技術を Learning-by-Supplying により開発したのである。現在、同社は、すでに買収した英国の MIRA 社のテストコース（下図参照）を活用して、自動車会社へのソルーションビジネス（車両性能、耐久性、乗り心地、ブレーキやシャシー開発）を提供している。



出典:　Horiba-Mira 会社概要

1.2.2.　アクチュエータ・モジュール

アクチュエータの数が膨大になることを阻止し得るのは、アクチュエータの「汎用性」である。ハードディスクのスピンドル・モーターで独占的地位を確立した、日本電産の事業別のポートフォリオが 2005 年から 2015 年にかけて、どのように変化したかを下表に示す。

Table 3. The shift in Nisdec's business portfolio from 2005 to 2015.

Business area	2005	2015
Small precision motor	51.0%	38.0%
Mounted in cars and others	7.0	47.1
Equipment	13.6	9.0
Electronics and Optics parts	24.0	9.0
Miscellaneous	4.3	0.4

Source: Compiled by the author from Nikkei Business, 2016/10/24.

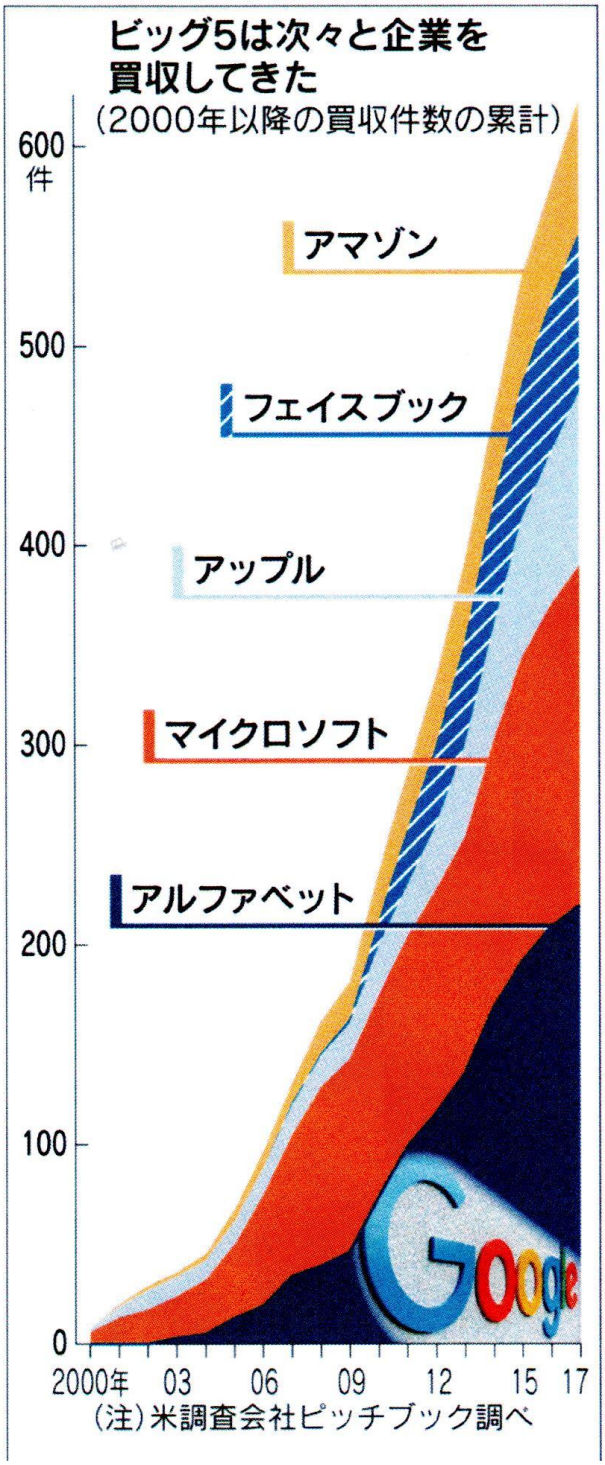
表に示すような、ハードディスクのスピンドル・モーターから、自動車の随所に必要なアクチュエータに主力を移行するには、どのような Learning-by-Supplying が存在していたのであろうか。次表に示すように、2003 年から 2016 年にかけて、精力的に行われた、国内外の企業の M&A により、Learning-by-Supplying を着実に実行していったことが明らかである。

Table 2. Chronology of M & As by Nidec.

Time	Names of Companies	Business Area	Country
2003	Sankyo-seiki		
2006	Fujisoku		
	Valeo	Motor & Actuator	France
	Brilliant		Singapore
2007	Nippon Servo		
2009	ACC	Motor for appliance	Italy
	SCWADO		Thailand
2010	Emerson Electronics	Motor; Control devises	USA
2011	Sanyo-seimitsu		
2012	The Minster Machine		USA
	Ansaldo Sistemi Industriali		Italy
	Avtron Industrial Assoc.		USA
	SCD		Korea
	Kinetek group		USA
	Kaiyu Auto Electric (Jiangsu) Co. Ltd.		China
2013	Mitsubishi Materials MC		
	Honda Elecsys		
2014	Geraete-und-Pumpenbau		Germany
2015	Montortecnia		Italy
	Chia Tex Mechanical & Electrical	SR motor-drive	China
	Arisa		Spain
	KB Electronics		USA
	EMG Electromeccanica		Italy
	Nagata Opto Indonesia		Indonesia
2016	E.C.E.		Italy
	ANA IMEP		Rumania
	Emerson Electronics	Motor-drive	
		Electric power generator	USA

Source: Compiled by the author from Nikkei Business, 2016/10/24.

なお、IT 企業のおける M&A の実績は、米国ビッグ企業については、実証済みである（日経 2018/2/12)。（下図参照）



1.2.3. モジュール・サプライヤの技術戦略

IoT を終局目的とするモジュール・サプライヤは、応用範囲の拡大を M&A により、外部技術を組織的に吸収することにより、実現していると言える。一方、モジュール・サプライヤの主要構成部品であるサブモジュール・サプライヤとの関係はどのように推移するの

だろう。日本電産の従来のアクチュエータでは、ボールベアリングが外部調達の最大部品であった。したがって、日本電産の付加価値の大部分が、NSK などのボールベアリングメーカーに与えられていた。そこで、ボールを使わない「fluid dynamic bearing」自社開発することにより、主要サプライヤから技術的に独立すると同時に、付加価値の大部分を内生化することに成功したのである（下図参照）。この付加価値と技術の内生化により、自社の製品を IoT の構成モジュールとして変身させたのである。

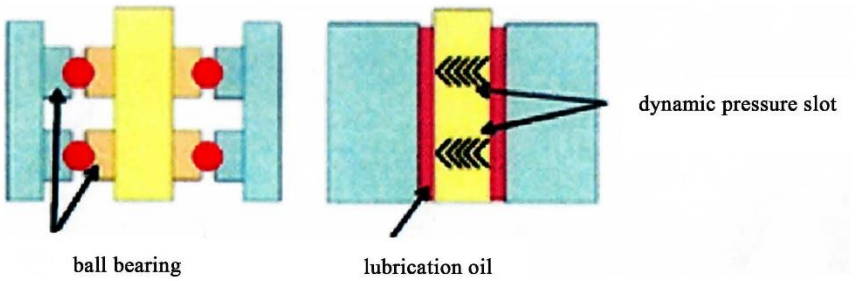


Figure 10. Comparison between ball bearing and fluid dynamic bearing. *Source*: Okayama, Y. (2012): "Technology management in a transition of HDD motors," Term Paper at Business School of Kwansei University.

トヨタ自動車は、ハイブリッドカーの開発に大成功を収めたのは周知の事実である。しかし、主要部品のバッテリーの供給は、パナソニックに依存していた。これは技術的依存でもあった。しかし、自動運転による交通システムというような IoT システムが出現すれば、自動車メーカーですら IoT システムのモジュール・サプライヤにならざるを得ない。トヨタはバッテリーを内製化したのであろうか。部品としての内製化よりも重要なことは、事実的自立性を確保したかどうかが重要である。これを、バッテリーに関する特許出願の動向で調べたのが下図である。図をみると、2000 年以降にトヨタは技術の内生化を、強力に推進したことが明らかである。IoT の進展を準備していると言える。

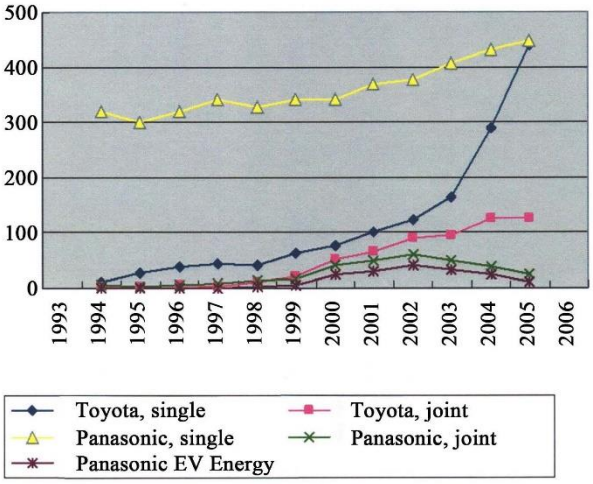


Figure 6. Patent application in battery by applicants. *Source*: Hayashi, M. (2008): Master Dissertation at MOT graduate school in Shibaura Institute of Technology, Tokyo.

1.3. IoT システム・インテグレータの学習方式：Learning-by-Porting

IoT は、しばしば、「モノとコトがインターネットでつながる」と定義されることが多い。この「つながる」を既存技術の転用により、目的を限定して、IoT システムを実現した事例として、上海万博で使用された「キャパシタ・トロリーバス」を記述する（写真参照）。これはバス本来がもたざるをえない、頻繁な停車活動という特性を最大限に活用するという形の IoT 技術である。すなわち、頻繁に行われる停留時間中に、次の停留所までのトリップに必要最小限な量を、ジャバラを立ち上げて補充電するという形で行われている（写真参照）。

出典：森五宏・堀洋一・麻岡誠司：「上海キャパシタ・トロリーバス」，ECaSS フォーラム会報，2008 年春号，3-15.

このシステムの成功の秘訣は、バッテリーではなく、キャパシタを動力源として「転用」したことである。その合理性を、堀洋一・東京大学教授は、以下のように総括している[5]。

1）３～４キロの航続距離であれば、バッテリーは必要ない。
2）キャパシタは、充電時間が短いので、航続距離の短いバスには最適。
　高速道路のサービスエリアでの数分間の停車で充分：
　特例のレーンを走行中に充電することも可能。
3）キャパシタは、電力を取り出しやすく、加速が滑らかである。
4）蓄電機能がいらないぶん、価格は大幅に下げられる。
5）現在はインバーターを途中に入れて交流モータを駆動しているが、
　インバーターは電圧が半分になっても安定して動作する。
6）内部で化学反応を起こしていないので、充放電による劣化はほとんどない。
7）ワイヤレス充電では、90%以上の効率が可能；
　プラグ式だと屋外での充電は不安定；雨天では、感電の可能性。

以上を要するに、頻繁に各所に停車しなければならないという公共交通機関のビジネスモデル（サイバー空間）に、停車場の上にのみ設置された架線から補充電するという、キャパシター―による少量・多頻度・急速充電という物理空間を、システム「融合」したことに、イノベーションの本質がある。すなわち、定期バス・サービスというシステムに、キャパシター―の技術的特徴を、転用（porting）することにより、「キャパシタトロリー輸送」という IoT システムを完成させたのである。すなわち、IoT では、システム・インテグレータは、「転用による学習（Learning-by-Porting）により、IoT システムを構築するのである。

[5] 石川憲二：「エコカーの技術と未来」（オーム社）、133～142.

2. IoT 産業の収益性に関する定量分析

2.1. 研究開発及び設備投資の効率性低下

日本の製造企業の収益性は近年低下している。この低下の原因の一つとして、研究開発投資の効率性の低下があるとされている［1］。この点、昨年度の研究会報告書においては、日本の製造企業の営業利益率を被説明変数、研究開発投資及び設備投資を説明変数とした重回帰分析を行った。その結果、研究開発比率及び設備投資比率の係数は、有意に負の値となっていることを示した。この結果は、日本の製造業の研究開発効率及び設備投資効率の低下を端的に示唆しているとも解釈できるが、業種によって、事情が大きく異なるという批判も考えられる。

特に本研究会は IoT を対象に日本の産業の課題と今後の方向性を検討するものであり、IoT に関わる産業の研究開発効率及び設備投資効率について議論することも重要であると考えられる。そこで、本章では、業種別に営業利益率を被説明変数、研究開発投資比率及び設備投資比率を説明変数とした重回帰分析を行うとともに、IoT 中心的な役割を担うと考えられる業務用機械、電気機械、情報通信機器産業に焦点を当てて考察を行うこととする。実は、研究開発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］。

このような問題意識から、昨年度において、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データを元に実証分析を行った。この結果、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。

ただし、同じ製造企業であったとしても、業種によって技術機会は大きく異なり、研究開発及び設備投資の戦略に差異がある。そのため、本章では、研究開発投資・設備投資と収益性の関係について業種別に実証分析を行うこととする。

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、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。特に IoT において中心的な役割を担う産業は業務用機械、電気機械、情報通信機器産業である。これらの産業における研究開発及び設備投資の効率性については特に着目して分析すべきと考えられる。

2.3. 既存研究

製造企業の競争力の最大の源泉は技術であり、技術進歩を目指した研究開発活動は極めて重要である。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も少なくない。例えば、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。
また、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、その優位性も万全とは言えないことが指摘されている。近年の日本の製造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］。

一方、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。また、長期的な分析結果として、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が、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示されている［7］。

ただし、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及び設備投資と収

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、前述のように同じ製造企業であったとしても、業種によって技術機会は大きく異なり、研究開発及び設備投資の戦略に差異がある。そのため、本研究では、研究開発投資・設備投資と収益性の関係について業種別に実証分析を行う。特に IoT において中心的な役割を担う産業は業務用機械、電気機械、情報通信機器産業である。これらの産業における研究開発及び設備投資の効率性については特に着目して分析する。また、近年、具体的に IoT に積極的に取り組んでいると経済産業省が認定した企業を抽出して、同様の分析を行った結果も示すこととする。

2.4. 分析手法

2.4.1. 分析データ

分析データは、日経 NEEDS に採録されている２０１５年度に日本の市場に上場している企業を対象に収集した。ただし、新興企業を中心としたＪＡＳＤＡＱ市場の企業は研究開発及び設備投資の戦略が大きく異なると考えられるため、分析対象から除外した。データ収集は日経ＮＥＥＤＳデータベースを用いた。

まず、製造業を対象に分析を行った。製造業の分析対象企業数は 1071 企業である。業種別の分析を行っているが、各業種の企業数は表 1 の通りである。分類方法は科学技術研究調査報告の中分類の定義を用いた。

表１　各業種のサンプル企業数

業種	食料品製造業	繊維工業	パルプ・紙・紙加工用製造業	印刷・同関連業	医薬品製造業	化学工業	石油製品・石炭製品製造業
ﾃﾞｰﾀ数（n）	91	36	17	12	40	130	9

業種	プラスチック製品製造業	ゴム製品製造業	窯業・土石製品製造業	鉄鋼業	非鉄金属製造業	金属製品製造業	はん用機械器具製造業
ﾃﾞｰﾀ数（n）	31	17	42	37	19	60	21

業種	生産用機械器具製造業	業務用機械器具製造業	電子部品・デバイス・電子回路製造業	電気機械器具製造業	情報通信機械器具製造業	輸送用機械器具製造業	その他の製造業
ﾃﾞｰﾀ数（n）	130	37	57	91	53	81	60

さらに本研究では、IoT 関連銘柄として、2017 年 5 月 31 日に経済産業省が選定した「攻めのＩＴ経営銘柄」及び「IT 経営企業」を対象に分析を行った。これの企業は、経済産業省が戦略的 IT 利活用の促進に向けた取組の一環として、2014 年度から、東京証券取引所と共同で選定したものである[8]。この目的として、中長期的な視点からの企業価値の向上を重視する投資家にとって魅力ある企業として紹介し、「攻めの IT 経営」の取組を促進することとしている。特に 2017 年度の選定企業は、「第 4 次産業革命」の実現に資する IoT・ビッグデータ・AI・ロボットなどの最新のテクノロジーを活用し、新たなビジネスモデルや価値を創出する取組を特に重点的に評価して選定している。

表２に選定された企業の一覧を示す。「攻めの IT 経営銘柄 2017」は 31 社、これらの企業に準ずる評価を受けた企業あるいは注目されるべき取組を行っている企業として「IT 経営注目企業」は 21 社が選定されている。興味深い点として、製造業のみならず、非製造企業の中からも数多く選ばれている。ただし、本研究では、研究開発費及び設備投資を説明変数として用いているため、分析対象企業は研究開発費及び設備投資額を公開している企業のみとした。分析対象企業を〇で示した。なお、ラクスはマザーズ上場企業であるが、その他の企業はすべて東証一部上場企業である。

表２　攻めの IT 経営銘柄及び IT 経営注目企業一覧

分類	企業名称	業種名	分析対象
攻めの IT 経営銘柄（31 社）	清水建設	建設:大手建設	〇
	大和ハウス工業	建設:住宅	〇
	東レ	繊維:化合繊	〇
	住友化学	化学工業:大手化学	〇
	NEC	電気機器:通信機（含通信機部品）	〇
	富士通	電気機器:通信機（含通信機部品）	〇
	日産自動車	自動車・自動車部品:自動車	〇
	日本瓦斯	小売業:その他小売業	〇
	日本郵船	海運:大手海運	〇
	日本航空	空運:空運	
	トッパン・フォームズ	その他製造業:印刷	〇
	中国電力	電力:電力	〇
	セコム	サービス業:その他サービス業	〇
	伊藤忠テクノソリューションズ	サービス業:その他サービス業	〇
	東日本旅客鉄道	鉄道・バス:大手私鉄	〇
	レオパレス21	不動産:分譲	
	東京センチュリー	その他金融業:その他金融業	
	日立建機	機械:運搬機・建設機械・内燃機	〇
	ヤフー	サービス業:その他サービス業	〇

	IDOM	商社:自動車販売	
	JFEホールディングス	鉄鋼業:銑鋼一貫	○
	LIFULL	サービス業:その他サービス業	○
	Hamee	小売業:その他小売業	
	三菱UFJフィナンシャル・グループ	銀行:都市銀行	
	みずほフィナンシャルグループ	銀行:都市銀行	
	野村ホールディングス	証券:証券	
	SOMPOホールディングス	保険:保険	
IT 経営注目企業（21 社）	大林組	建設:大手建設	○
	積水ハウス	建設:住宅	○
	コニカミノルタ	精密機器:計器・その他	○
	新日鉄住金	鉄鋼業:銑鋼一貫	○
	ダイキン工業	機械:その他機械	○
	日立製作所	電気機器:総合電気	○
	オムロン	電気機器:制御機械	○
	IHI	機械:その他機械	○
	凸版印刷	その他製造業:印刷	○
	ANAホールディングス	空運:空運	
	大阪ガス	ガス:ガス	○
	エヌ・ティ・ティ・データ	通信:通信	○
	パルコ	小売業:その他小売業	
	ラクス	サービス業:その他サービス業	
	ふくおかフィナンシャルグループ	銀行:地方銀行	
	大和証券グループ本社	証券:証券	
	東京海上ホールディングス	保険:保険	

（資料）経済産業省

2.4.2. 分析方法

2.4.2.1 製造企業全体及び業種別分析における回帰分析

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）

2.4.2.2　IoT 企業における回帰分析

IoT 企業の分析においては、製造業のみならず非製造業も含めた様々な業種の企業が対象となっている。また、各業種から抽出される企業数も少なく、業種別の差異を考慮した分析を行うことが必要である。そのため、営業利益率や研究開発比率、設備投資比率の源データを用いるのではなく、業種別の平均値で規格化した値を用いた分析を行う。データの規格化は以下の定義により行った。なお、この分析においても、企業規模のデータについては対数のデータを用いており、規格化を行わず、前節と同じ定義の値を説明変数として用いた。

【データの規格化方法】
規格化後営業利益率：対象企業の営業利益率／対象業種の営業利益率の平均値
規格化後研究開発比率：対象企業の研究開発費比率／対象業種の研究開発費比率の平均値
規格化後設備投資比率：対象企業の設備投資比率／対象業種の設備投資比率の平均値

これらのデータを用いて、前節と同様に営業利益率を被説明変数、他の指標を説明変数とした重回帰分析を行った。ただし、非製造企業も含まれているため、研究開発費及び設備投資費を計上している企業のみを分析対象とした。分析対象企業は表２に示した。

2.5.　分析結果

2.5.1　全製造企業の分析結果

全製造業の回帰結果を表１に示す。研究開発比率の係数については有意に負となったが、設備投資については有意ではないものの正の値を示した。

表３　全製造業による回帰分析結果

ﾃﾞｰﾀ数	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	
1071	−1.274	＊＊	0.022		0.037	＊	0.013		0.98

2.5.2　業種別の分析結果

業種別の重回帰分析の結果を表 2 に示す。サンプル数が少なく、修正済み決定係数が正とならなかった業種は除外している。

表 4　業種別重回帰分析結果

業種	ﾃﾞｰﾀ数	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	
食料品	91	1.356	＊＊	0.079		0.016	＊＊	−0.058	＊	0.193
印刷	12	0.891		0.431		0.005		−0.020		0.197
医薬品	40	−1.398	＊＊	1.738	＊＊	−0.124		0.833		0.994
化学	130	0.501	＊	0.250		−0.003		0.060		0.054
石油	9	0.703		0.510		−0.014		0.066		0.330
プラスチック	31	0.874		0.367		0.003		0.004		0.165
窯業	42	0.580		0.053		0.036	＊＊	−0.126	＊	0.196
鉄鋼	37	−1.995		0.304		0.016		−0.037		0.047
金属製品	60	1.053		0.174	＊＊	−0.009		0.077		0.221
汎用機械	21	0.497		0.218	＊	0.009		0.017		0.143
生産用機械	130	−0.381	＊	0.244		0.023	＊＊	−0.036		0.068
業務用機械	37	−1.814	＊＊			0.043		−0.031		0.948
業務用機械	37			−0.521	＊＊	0.030		−0.036		0.971
電気機械	91	0.164		0.299		0.017		−0.019		0.032
情報通信	53	−0.041		0.943	＊＊	0.001		0.019		0.209
輸送用機械	81	0.115		0.052		0.017	＊	−0.044		0.043

（注）被説明変数は売上高営業利益率

業務用機械器具製造業の分析においては、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

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、食料品製造業、化学工業の企業の研究開発費比率の係数は有意に正となった。その一方で医薬品、生産用及び業務用機械器具製造業の研究開発比率の有意に負となる結果が得られた。その他の業種の企業については有意な結果が得られなかった。

また、設備投資比率の係数については、業務用機械器具製造業の企業の係数が有意に負の値となる結果が得られた。その他の業種の企業においては正の値となっている。

前述のように IoT において中心的な役割を担う産業は業務用機械、電気機械、情報通信機器産業である。電気機械については有意な結果が得られていないものの、業務用機械や情報通信機器産業における研究開発費比率は有意に負の結果が得られており、また、業務用機械については設備投資比率についても負の値が示された。

2.5.3　IoT 企業の分析結果

IoT 企業として評価された「攻めの IT 経営銘柄」及び「IT 経営注目企業として」選定された企業を対象とした分析結果を以下に示す。

研究開発費比率については有意ではないものの、負の値を示し、設備投資比率については、有意に正の値を示した。前述のように、研究開発費及び設備投資の値は業種によって大きく異なるため、業種平均値により規格化したデータを用いている。そのため、この結果は、IoT 企業に選定された企業において、同業種の企業と比較して、設備投資額がより大きい企業は、同業種の企業と比較して、より営業利益率が高いという解釈になる。

表５　IoT 企業の分析結果

分類	ﾃﾞｰﾀ数	研究開発費比率		設備投資比率		企業規模		定数		決定係数
			有意		有意		有意		有意	
攻めの IT 経営銘柄	18	−0.317		0.400	＊	−0.112		1.648		0.376
攻めの IT 経営銘柄及び IT 経営注目企業	29	−0.173		0.395	＊＊	−0.196		2.077		0.277

（注）被説明変数は売上高営業利益率

2.6.　考察と結論

本章では、日経ＮＥＥＤＳの上場企業のデータを用いて、日本の製造企業の研究開発比率及び設備投資比率と収益性との関係について業種別の実証分析を行った。分析の結果、製造業全体としては、先行研究と同様に研究開発投資比率の係数は負の関係を示した。しかしながら、業種別では、医薬品、生産用及び業務用機械器具製造業の研究開発比率の有意に負となったものの、ほとんどの業種の企業については有意な結果が得られず、また、有意に正の値を示す業種もあることが分かった。設備投資については製造業全体有意ではないものの、正の値となった。業種別の分析においては、ほとんどの業種において正の値となった。これらの結果から、業種別の分析では大きく傾向が異なり、業種別による実証の蓄積が必要であることが分かった。特に医薬品については、2000 年以降バイオテクノロジーの進展によって､バイオベンチャーからの技術導入および M&A の件数が増加している事が想定され、会計上の研究開発費の解釈には注意が必要である。

さらに本研究会で分析対象としている IoT において中心的な役割を担う業務用機械産業と情報通信産業において、研究開発投資比率及び設備投資比率の係数は負の関係を示していることを示した。産業単位で分析した場合、ほとんどの産業が負の値を示していないにも関わらず、対象的な結果であると言える。

さらに具体的に IoT などを推進しているとされる IT 経営銘柄及び IT 経営注目企業においける分析結果では、設備投資比率に関しては有意に正の値を示しているが、有意ではないものの、研究開発費比率においては負の値を示した。

以上のように全製造企業、IoT に深く関連すると考えられる業務用機械産業においては、

収益性に対して、研究開発費が有意に負の関係を示す結果となった。IoT 関連銘柄として具体的に選定された企業においても、有意ではないが負の値を示す結果となっており、IoT に関連する企業においても研究開発の効率性の低下が大きな課題となっていることが示唆された。一方で、情報通信機器産業及び IoT 関連銘柄においては、設備投資が収益性に寄与していることが示されている。

IoT に対する先進的な事例は散見されているものの、日本においては産業界及び行政においても、その取り組みは遅れているとされる。本報告書では、次章以降において、IoT に関する日本の課題と今後の方向性について議論を行う。

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 将晴（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

[7] 玄場公規、竹岡紫陽、今橋裕、上西啓介（2015）「日本製造企業の研究開発投資・設備投資と収益性の実証分析」、研究・イノベーション学会年次学術大会講演要旨集、31、pp814-817

[8] 経済産業省 WEB サイト：
http://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170531007/20170531007.html

3. 日本特許庁で運用が開始された IoT 関連特許分類の分析

3.1. はじめに

日本特許庁では、IoT 関連技術は「従来から存在する技術の進展、適用、組み合わせ」として捉えており、庁内に IoT 審査チームを発足させ、審査体制の整備にとり組んでいる。また審査基準室では、審査基準そのものは改訂せずに、IoT 関連技術等の適切な出願や審査を促すことを目的として、実際の審査事例を審査ハンドブックに追加してきた。

このような中で特許庁は、2016 年 11 月に 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、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（下記）。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。

ZIT　Internet of Things［ IoT ］
- ZJA ・農業用；漁業用；鉱業用
- ZJC ・製造業用
- ZJE ・電気，ガスまたは水道供給用
- ZJG ・ホームアンドビルディング用；家電用
- ZJI ・建設業用
- ZJK ・金融用
- ZJM ・サービス業用
- ZJP ・ヘルスケア用，例．病院，医療または診断；社会福祉事業用
- ZJR ・ロジスティックス用，例．倉庫，積み荷，配達または輸送
- ZJT ・運輸用
- ZJV ・情報通信業用
- ZJX ・アミューズメント用；スポーツ用；ゲーム用

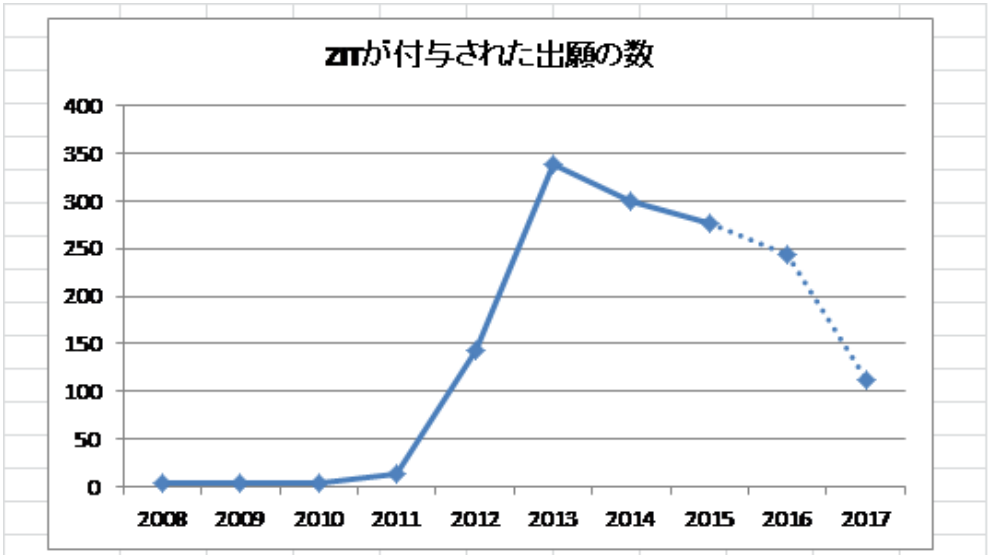
ZIT は、主に 2016 年 11 月以降に特許査定されたもの（過去の出願への遡及）、及び新たに出願された案件に対して付与されている。標準的には、日本国内で出願された特許の情報が公開公報によって開示されるのは 18 か月後であり、2016 年 11 月 1 日に出願された特許の情報は 2018 年 5 月にならなければわからない。ただし、IoT 関連特許については、多くの早期審査請求が行われており、審査を経て特許登録されたものが既に特許公報に掲載され公知になっている。

本稿では、2018 年 2 月末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（1440 件）のデータを元に、それらの具体的事例、技術分類や出願人の分析を行った結果を述べる。また併せて、IoT 関連技術と関連の深い、ビジネスモデル特許と AI 関連技術特許の動向についても述べる。

3.2. IoT 関連技術出願の動向

図 1 に、2018 年 2 月末時点で公開されている日本特許庁に出願された特許のうち、広域ファセット ZIT が付与された出願の、出願年ごとの件数を示す。2016 年と 2017 年に出願された特許の件数は、前述のように今後、出願後 18 か月を経過して公開されるものの件数が追加されていくことが見込まれるため、破線で示している。これらのうち同定可能な最も古い特許は、2008 年に出願された 4 件で、それらの出願人と発明の名称は図 2 に示すような内容であった。これら 4 件は全て審査後に特許として登録されているが、トヨタ自動車東日本株式会社が出願した特許については、2014 年 8 月に既に権利放棄されている。

図 1　IoT 関連技術の出願年別出願数



出願年	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
出願数	4	5	4	14	144	339	300	277	244	113

図 2　最も早期に日本で出願された IoT 関連技術の特許

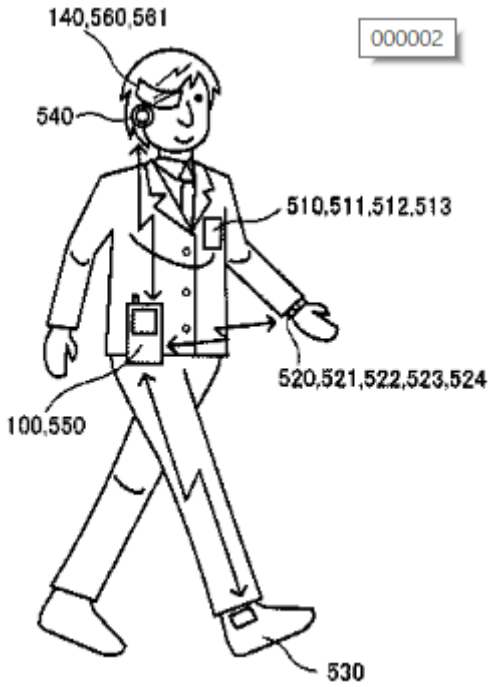
出願番号	出願日	発明の名称	出願人
特願2008-238123	2008/9/17	情報提示システム、プログラム及び情報記憶媒体	オリンパス株式会社
特願2008-289867	2008/11/12	道路施設の保守管理支援方法及びそのシステム	株式会社ネクスコ東日本エンジニアリング、株式会社横須賀テレコムリサーチパーク
特願2008-309091	2008/12/3	ステータス通知方法及びシステム	ヤフー株式会社
特願2008-329014	2008/12/25	生産システム	トヨタ自動車東日本株式会社

以下、これらの 4 件の特許の内容を少し具体的に見てみよう。

3.2.1. オリンパスの情報提示システム特許

2008 年 9 月にオリンパスが出願した特許は、明細書によると図 3 のようなウェアラブル情報機器から構成され、“これまでの情報提示システムではできなかった、日常の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を実現する”、となっている。付与された筆頭技術分類記号は G06Q 30/02 であり、いわゆるビジネスモデル特許に相当する。G06Q 30/02 の定義は、「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」である。

図 3 情報提示システム、プログラム及び情報記憶媒体の概念図（公開特許公報より）



筆頭技術分類以外に付与された技術分類（FI）とテーマコードは以下の通り：

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したもの

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

3.2.2. ネクスコ東日本の道路点検システム特許

2008 年 11 月にネクスコ東日本エンジニアリングと横須賀テレコムリサーチパークが出願した特許は、明細書によると“高速道路を含めた道路施設の保守管理に必要な情報を迅速に省力化して収集する。【解決手段】道路設備の状態を検知するセンサが測定した情報をセンサの近傍に設置された無線等の通信機能を有する小型の路側ユニットが収集し、点検車両に搭載された無線等の通信機能を車載ユニットからの送信時間間隔や送信情報種別等の指示に従って、点検車両が前記路側ユニットの近傍を走行中に、路側ユニットから点検車両の車載ユニットに前記情報を送信する”、となっている。付与された筆頭技術分類記号は G08G 1/00 であり、その定義は「道路上の車両に対する交通制御システム」である。筆頭技術分類以外に付与された技術分類（FI）とテーマコードは以下の通り、

G08B 25/10　警報状態の所在を中央局に通報する警報システム（無線伝送）
G08G 1/09　可変の交通指令をあたえるための装置

テーマコード

5C087　　警報システム
5H180　　交通制御システム
5H181　　交通制御システム（観点整理）

3.2.3. ヤフーのホームステータス通知システム特許

2008 年 12 月にヤフーが出願した特許は、明細書によると“ホームステータスを他ユーザに通知する方法及びシステムを提供し、円滑なコミュニケーションを可能とする。【解決手段】ステータス通知システムは、電化製品と通信するユーザ端末と、当該ユーザ端末と通信する他のユーザ端末とから構成される。ユーザ端末は、電化製品の使用状況を検出し使用状況に応じて家のホームステータスを決定する部位を備え、他のユーザ端末はホームステータスを受信し表示する部位を備える”、となっている。付与された筆頭技術分類記号は、G06F 13/00 であり、その定義は「メモリ，入力／出力装置または中央処理ユニットの間の情報または他の信号の相互接続または転送」である。筆頭技術分類以外に付与された技術分類（FI）はない。

テーマコードとしては、

5B083　　計算機における入出力系ＲＡＳ
5B089　　計算機・データ通信

が付与されている。

3.2.4. トヨタ自動車東日本の生産システム特許

2008 年 12 月にトヨタ自動車東日本株式会社（出願時は“関東自動車工業”）が出願した

特許は、明細書によると“ワークを自動加工する加工装置を備えた生産システムにおいて、生産ラインの生産性を向上させる。【解決手段】生産システムＸは、ワークＷを自動加工する生産ラインＬに配置された加工装置４０ａと、作業手順を含む加工データを用いて加工装置４０ａにワークＷの加工を実行させる制御装置４０ｂと、加工装置４０ａにワークＷを搬送する無人搬送装置６０と、スケジューリング端末２０とを有する。また、作業手順の中の所定作業にマーキングデータが付けられている。また、加工装置４０ａは、ワークの加工を開始した場合、マーキングデータが付けられた所定作業を実施した場合、およびワークの加工が完了した場合、それぞれ、スケジューリング端末２０に向け、その旨を示す信号を送信する。スケジューリング端末２０は、加工装置４０ａからの信号により、加工装置４０ａにおける加工の進捗状況を管理する（図 4)”、となっている。付与された筆頭技術分類記号は G05B 19/418 であり、その定義は「総合的工場管理，すなわち，複数の機械の集中管理，例．直接または分散数値制御」である。筆頭技術分類以外に付与された技術分類（FI）とテーマコードは以下の通り

G06Q 50/00　特定の業種に特に適合したシステムまたは方法

G06F 17/60　管理目的，業務目的，経営目的，監督目的または予測目的のもの

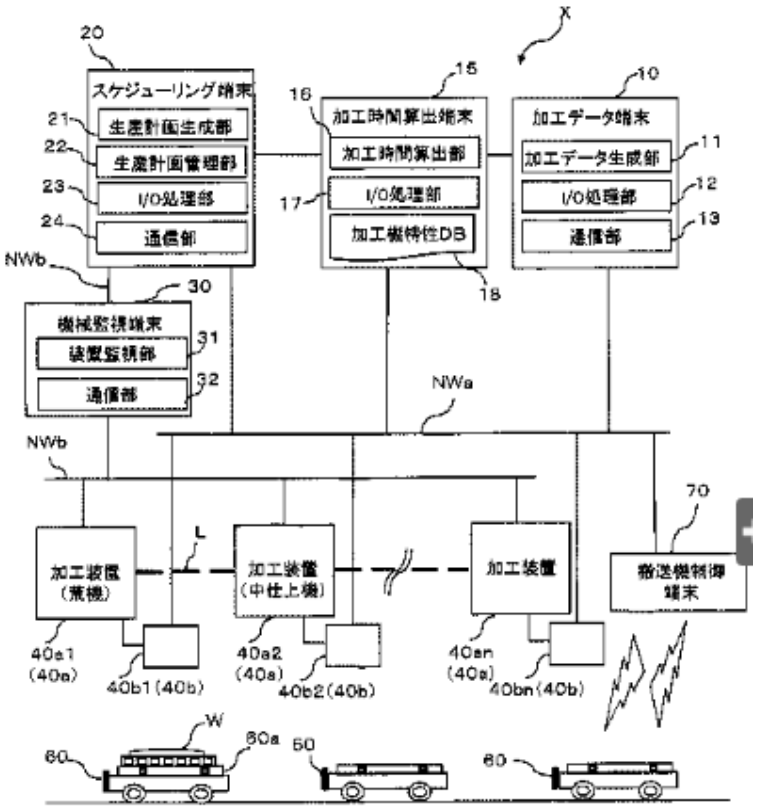
テーマコード

3C100　総合的工場管理

5B049　特定用途計算機

5L049　管理・経営・業務システム，電子商取引

図 4　ワークを自動加工する加工装置を備えた生産システム概念図（公開特許公報より）



3.3. IoT 関連特許の上位出願人

公開されている IoT 関連技術特許の出願人を名寄せして集計すると、図 5 のようになる。最も多数の出願を行っているのは三菱電機で、第二位がパナソニック、以下、日立製作所、東芝と続く。これらのエレクトロニクス製造業に属する大企業は、日本における特許出願全体の上位にも頻繁に名前が見られる企業であり、特に IoT 関連技術に特化した特徴というわけではない。一方、出願数第 5 位にはヤフー株式会社の名前が見える。また、第 8 位と第 9 位にはいずれも米国のナイキとクアルコムがランクインしている。ヤフーはポータルサイト“Yahoo! JAPAN”で、広告事業、イーコマース事業、会員サービス事業などを展開するサービス業の企業であり、日本全体の特許出願の多くを製造業の企業が占める現状から見ると、IoT 関連技術分野の特異性を表しているものと見ることができる。ナイキは運動靴をはじめとするスポーツ用品のトップ企業であり、IoT 関連技術としては運動量やフィットネス活動のモニタリングに焦点があてられている。クアルコムは、IoT のインフラとなる 5G（第 5 世代移動通信）関連の必須特許を多く有する企業であり、シンガポールの中国系企業 Broadcom による買収提案が、トランプ大統領の大統領令（2018 年 3 月 14 日）によって撤回させられたことは記憶に新しい。第 17 位の gloops は、東京都港区にあるソーシャルゲームの開発・運営を主たる事業とする新興企業である（2012 年に韓国系企業の NEXON に買収され、現在は NEXON の 100%子会社）。

図 5　IoT 関連技術特許の出願人（10 件以上出願のみ）

rank	出願数	出願人
1	56	三菱電機株式会社
2	51	パナソニックIPマネジメント株式会社
3	35	株式会社日立製作所
4	29	株式会社東芝
5	28	ヤフー株式会社
6	27	日本電信電話株式会社
7	26	株式会社リコー
8	21	ナイキ イノベイト シーブイ
9	20	クアルコム，インコーポレイテッド
10	19	シャープ株式会社
11	19	日本電気株式会社
12	18	株式会社デンソー
13	16	富士通株式会社
14	15	トヨタ自動車株式会社
15	14	東芝テック株式会社
16	14	ソニー株式会社
17	13	株式会社gloops
18	13	KDDI株式会社
19	12	楽天株式会社
20	11	ニチユ三菱フォークリフト株式会社
21	11	コンヴィーダ ワイヤレス， エルエルシー
22	11	カシオ計算機株式会社
23	11	コニカミノルタ株式会社
24	11	インテル・コーポレーション
25	10	本田技研工業株式会社
26	10	株式会社ゼンリンデータコム
27	10	大日本印刷株式会社
28	10	セイコーエプソン株式会社
29	10	富士ゼロックス株式会社
30	10	小米科技有限責任公司

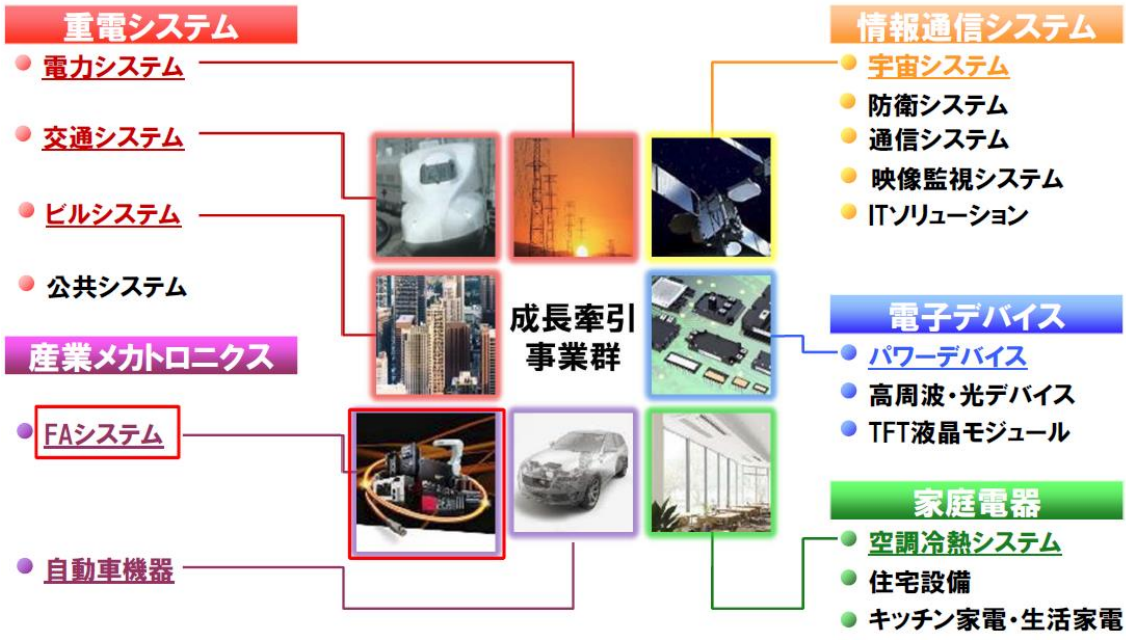
出願数第 1 位の三菱電機について、その出願内容をもう少し詳しく分析してみよう。図 6 は、三菱電機が出願した IoT 関連特許に付与された F タームのテーマコード（重複あり）を集計した結果である（上位 10 種類のみ）。テーマコードのみではややわかりにくいが、「自動運転」関連の出願が非常に多く、次いで「発・送電インフラ」関連の出願が多くなっている。

三菱電機と IoT というキーワードからは、ファクトリー・オートメーション（FA）関連の技術が連想される（三菱電機の事業ポートフォリオ参照：図 7）。しかし実際には、技術分類や発明の名称から明確に FA システムもしくは産業用ロボット関連の技術であると解る IoT 関連特許はむしろ少ない。IoT は既に FA システムでの活用の枠をはるかに超えて、様々なシステムやサービスに広がりつつあることを示しているのかもしれない。

図 6　三菱電機の IoT 関連特許に付与された F ターム（上位 10 種）

件数	Fターム	テーマ名
18	5H181	交通制御システム
12	5L049	管理・経営・業務システム
11	2F129	航行（Navigation）
11	5B049	特定用途計算機
9	5G064	電力系統
7	5G066	交流の給配電
6	3D241	駆動装置の関連制御
6	5K048	選択的呼出装置（遠隔制御・遠隔測定用）
6	5K201	電話通信サービス
5	3L260	空調制御装置

図 7　三菱電機の事業ポートフォリオ

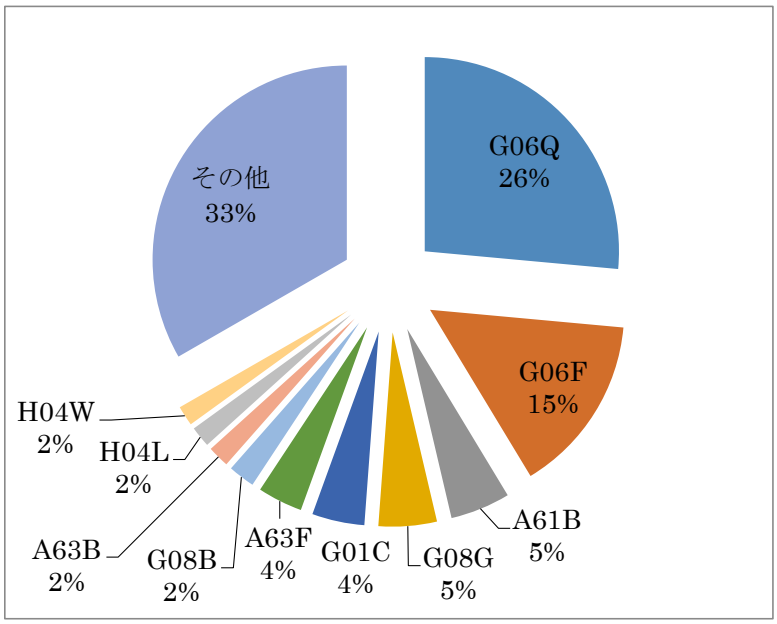


出展）三菱電機「ＦＡシステム事業戦略説明会 資料」2018 年 3 月 27 日

3.4. IoT 関連技術特許の技術分類の構成

図 8 は、IoT 関連技術特許に付与された筆頭 IPC 技術分類企業の構成である。全体の約 1/4 が G06Q のサブクラス（ビジネスモデル特許）、また 15%が G06F のサブクラス（デジタルデータ処理）に属しており、IoT とビジネスモデルが深い関係にあることがわかる。さらに、約 4%を占める G01C、各 1.7%を占める H04L、H04W のサブクラスは、センサーや計測技術、情報通信技術など、IoT の構成要素に関する技術である。一方で、上記以外の上位の技術分野は、A61B（診断・識別）、G08G（交通制御）、A63F（ゲーム）、G08B（教育）、A63B（スポーツ）など、IoT の利用が想定される分野で構成されている。

図 8　IoT 関連技術出願の筆頭技術分野の構成



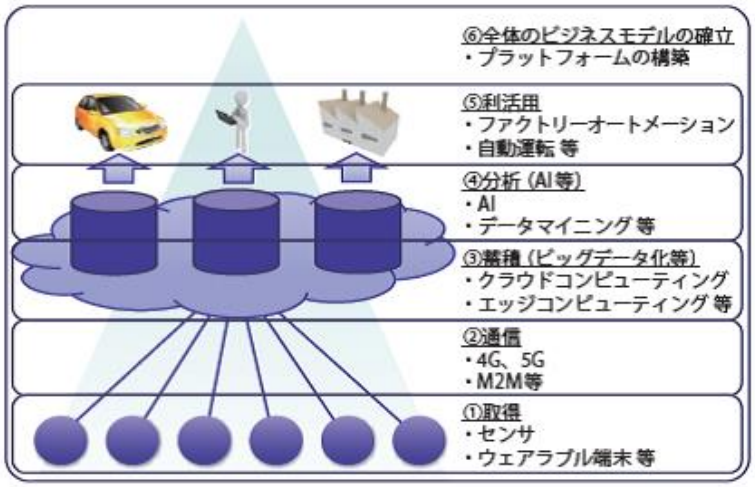
筆頭 IPC	出願数		サブクラス定義
G06Q	382	26.5%	管理目的，商用目的，金融目的，経営目的，監督目的 予測目的に特に適合したデータ処理システム 方法
G06F	215	14.9%	電気的デジタルデータ処理
A61B	72	5.0%	診断 手術 個人識別
G08G	70	4.8%	交通制御システム
G01C	63	4.4%	距離，水準， 方位の測定 測量 航行 ジャイロ計器 写真測量 映像測量
A63F	54	3.7%	カードゲーム，盤上ゲーム，ルーレットゲーム 小遊技動体を用いる室内用ゲーム 他に分類されないゲーム
G08B	32	2.2%	教育用 教示用の器具 盲人，聾者 唖者の教習， 意志を通じるための用具 模型 遊星儀 地球儀 地図 図表
A63B	26	1.8%	身体の鍛錬，体操，水泳，登はん， フェンシング 球技 訓練用具
H04L	25	1.7%	デジタル情報の伝送
H04W	24	1.7%	電気 電気通信技術 無線通信ネットワーク
その他	481	33.3%	

3.5. IoT とビジネスモデル、人工知能（AI）技術の関係

経済産業省の産業構造審議会は、2016 年 4 月に「新産業構造ビジョン」を公表し、その中で 6 つのレイヤーからなる IoT のモデルを示した。6 つのレイヤーとは、図 9 に示すようにデータの取得からビジネス展開に至るプロセスに対応したものとなっている。

図 9　IoT の 6 つのレイヤー

① 取得：様々なセンサ等からデータを取得、
② 通信：取得されたデータを通信、
③ 蓄積（ビッグデータ化等）：通信されたデータをクラウド等にビッグデータ化し蓄積、
④ 分析（AI 等）：当該データを AI 等によって分析、
⑤ 利活用：分析によって生まれた新たなデータを、何らかのサービスへ利活用、
⑥ 全体のビジネスモデルの確立：IoT におけるビジネスモデルの確立。



出典：「新産業構造ビジョン」（経済産業省 産業構造審議会）（2016年4月）に基づいて作成。

IoT を利用するソリューションビジネスは、前述のようにビジネスモデル特許として、特許の保護対象となっている（上述のモデルの⑤、⑥のレイヤーに関する技術）。そして、IoT 関連技術は、個々の要素技術のみでなく、情報通信技術やデータ分析技術（AI 含む）を農業・工業・医療といった応用分野に適用した発明、複数の技術分野の要素を含んだ発明が多くなることが想定されている。前節で示したように、IoT 関連特許とビジネスモデルが深い関係にあることがデータからもうかがわれるが、6 つのレイヤー中の「分析」で利用される AI 技術との関係はどうであろうか？

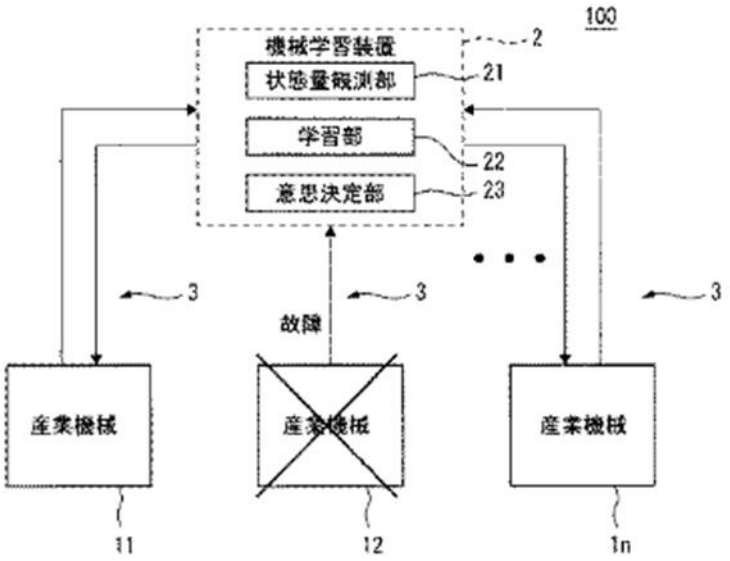
IoT 関連技術（ファセット ZIT）の出願特許 1444 件中、ビジネスモデル特許の FI を持ち、なおかつ AI 技術の FI を持つ出願が 3 件存在する（図 10）。

図 10　ビジネスモデルと AI の技術分類を併せ持つ IoT 関連技術の特許

出願番号	出願日	発明の名称	出願人
特願2016-029605	2016/2/19	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
特願2014-021294	2014/2/6	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
特願2016-529437	2014/11/10	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

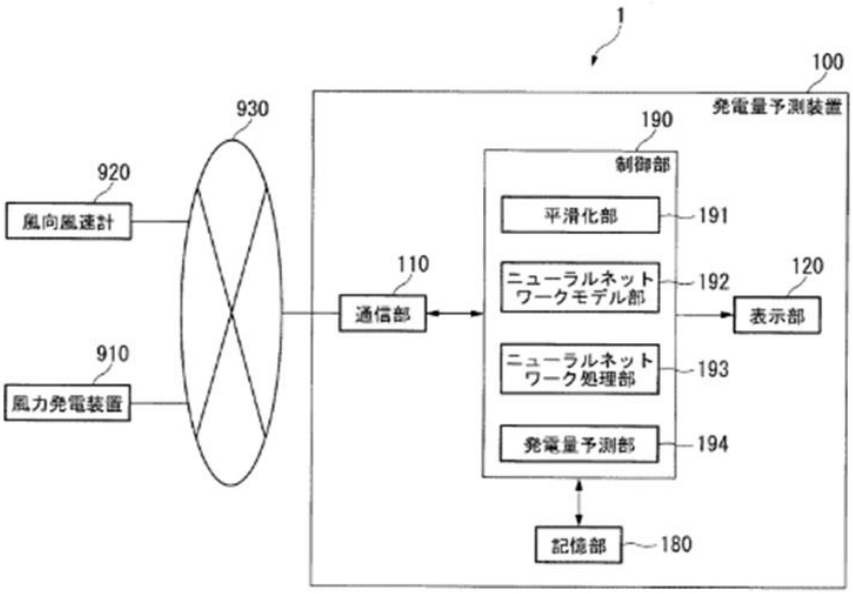
以下、これらの 3 例を題材として、AI 技術がどのように IoT に利用されるのかを見てみる。

ファナックが 2016 年に出願した特許は、明細書によると、“複数の産業機械の作業分担を最適化することのできる機械学習装置，産業機械セル，製造システムおよび機械学習方法の提供を図る。【解決手段】複数の産業機械１１～１ｎにより作業を行い、前記複数の産業機械に対する作業分担を学習する機械学習装置２であって、前記複数の産業機械の状態量を観測する状態量観測部２１と、前記状態量観測部により観測された前記状態量に基づいて、前記複数の産業機械に対する作業分担を学習する学習部２２と、を備える”、となっている（図 11）。

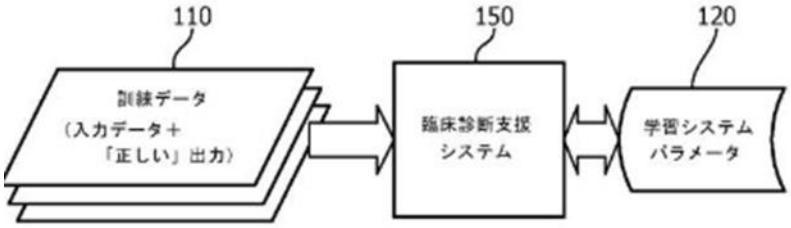


三菱重工業が 2014 年に出願した特許は、明細書によると“自然エネルギーにより発電を行う発電装置の発電量を予測する発電量予測装置であって、所定時間における気象実測値を取得し、前記気象実測値を前記所定時間における変化について平滑化する平滑化部と、前記所定時間における気象実測値について、前記平滑化部による平滑化前のデータ、平滑

化後のデータの両方をニューラルネットワークモデルへの入力値とし、前記入力値に対応する前記発電装置の発電量実績値を前記ニューラルネットワークモデルからの出力値とする学習用データを前記ニューラルネットワークモデルに与えて、入力値と出力値との関係の学習処理を行うニューラルネットワーク処理部と、直近の前記所定時間における前記気象実測値と、当該所定時間における変化について平滑化された当該気象実測値とを示す入力値を、前記学習処理の行われた前記ニューラルネットワークモデルに入力して、予測対象時刻における前記発電装置の発電量を予測する発電量予測部と、を具備する発電量予測装置”となっている（図 12)。



コーニンクレッカ フィリップスが 2014 年に出願した特許は、明細書によると“個々のコンピュータ診断支援（ＣＤＳ）システムは、「グローバル」ＣＤＳシステムに結合される。各ＣＤＳシステムは、同じ学習システム又は同じ学習システム技術を使用する。各ＣＤＳシステムからの訓練症例及びテスト症例が、グローバルＣＤＳシステムに提供され、グローバルＣＤＳシステムは、訓練症例を使用して、訓練症例に基づいた学習システムパラメータを生成する。個々のＣＤＳシステムのどのＣＤＳシステムよりも多くの訓練症例を有することにより、グローバルＣＤＳシステムによって提供されるパラメータは、個々のＣＤＳシステムのどのＣＤＳシステムよりも高品質の診断出力を提供する。グローバルＣＤＳシステムにおける学習システムパラメータは、個々のＣＤＳシステムの学習システムのパラメータを更新するために、各ＣＤＳシステムに提供される。グローバルＣＤＳシステムは更に、具現化された学習システムの構造を改良及び／又は調整することもできる”、となっている（図 13)。



以上、平成 29 年度は IoT 関連特許のファセット記号が付与され始めて日が浅いため、実際に公開された事例の解説が主となった。公開情報が蓄積される次年度の分析では、より深い分析ができるようになるものと期待される。

4. IoT 時代のセキュリティ問題とその対応

4.1. はじめに

IoT 技術の進展により「サイバー・フィジカルシステム（Cyber Physical System: CPS）」が実現しつつあるとされる。この言葉は、「人だけでなくモノのデジタル化・ネットワーク化も急速に拡大し、データを通じて人間を介さず、直接サイバー空間に実世界の状況が写し取られ、サイバー空間での情報処理結果が実世界の動きを制御する」[1]ことを意味する。

これまでサイバー空間では、データの流れに対して悪意のある人間が介入することで、機密情報や金融資産が脅かされてきた。また、こうした不正行為が「実世界」に及ぼす影響も、概ね 1990 年代以降から徐々に広がってきた。今後 IoT の進展により、サイバー空間における不正行為が、人間の生命・健康に直結する設備や機器などの「実世界」にまで「制御」を及ぼす可能性があるのではないかと懸念される。

そこで本稿では、IoT 時代におけるセキュリティ問題の変容について、過去の問題と相対化しながら、その本質を検証する。また、この問題をめぐる規格・認証制度の策定動向について俯瞰し、日本がとるべき対応について考察する。

4.2. セキュリティ問題の変容

4.2.1. セキュリティとセーフティ

「システム及びソフトウェアに課せられたリスク抑制の完全性水準」（JIS X 0134：1999, ISO/IEC 15026：1998）では、「セキュリティ，安全保護（Security)」の定義を「偶然又は悪意によるアクセス、使用、変更、破壊又は漏えい（洩）から、システム品目を保護すること」としており、「参考 情報資源に対する安全保護という意味でセキュリティを用いる」としている。この定義に見られるように、サイバーセキュリティの問題は、リスク要因として悪意をもった第三者の不正行為を想定し、リスクから保護すべき対象として主に「情報」を想定して議論されてきた。

一方で、同じく JIS X 0134 では「安全性（Safety)」の定義を、「システムが、規定された条件のもとで、人の生命、健康、財産又はその環境を危険にさらす状態に移行しない期待度合い」としている。この定義を踏まえて、製品・システムの安全性に関しては、リスク要因として操作・設計・設定におけるヒューマンエラーや、経年劣化などによって発生する故障などを想定し、リスクから保護すべき対象として主に人間の生命、環境などを想定して議論されている。

こうした Security と Safety の関係について、図 4-1 および図 4-2（次項）に示す。

図 4-1　リスクからの保護対象に関する Security と Safety の違い
（IPA(2015)[4]を参考に筆者作成）

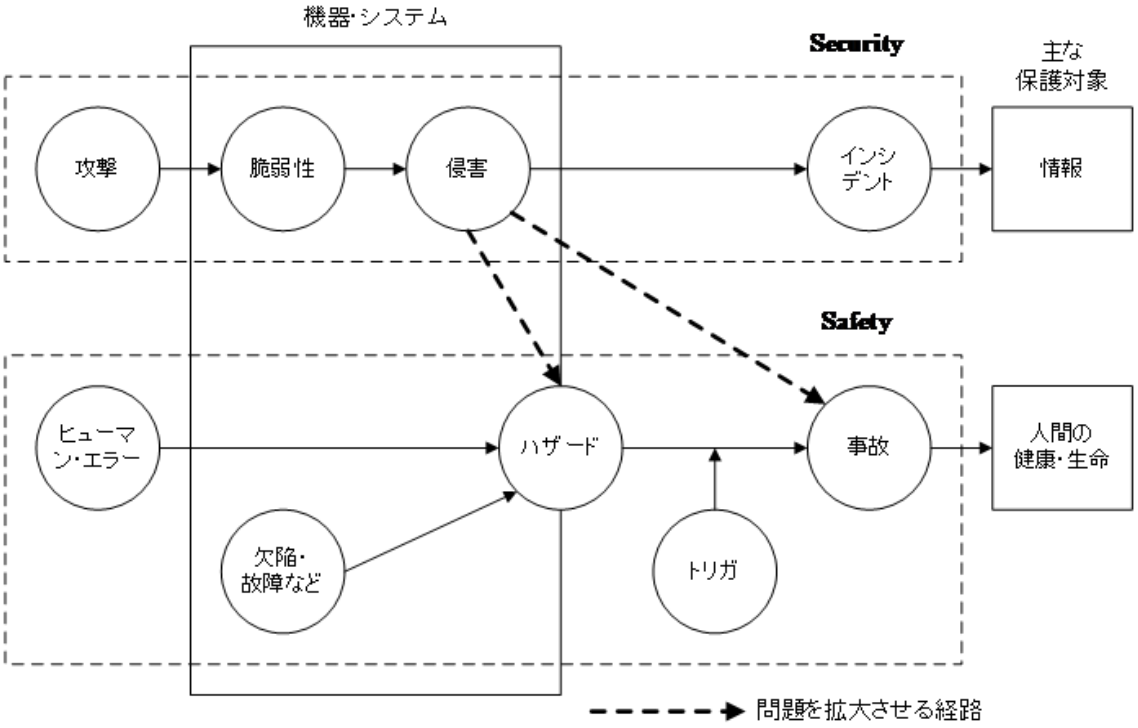


図 4-2　リスク要因想定に関する Security と Safety の違い
（IPA(2017)[2]を参考に筆者作成）

ところで、Security 確保に向けた対策と Safety 確保に向けた対策には、仮想化など双方に効果を有する対策がある一方で、対策により双方にトレードオフが発生する場合もあることが知られている[3]。例えば Security の観点では、情報の秘匿性向上のために長い暗号鍵によって暗号化することが望ましいが、それにより暗号化・復号化のための計算量が大きくなり情報伝達に遅延が発生するため、緊急時に迅速な処理を必要とする Safety の観点

からは望ましくない。また、Safety の観点では、故障に備えて部品やシステム、伝送路の冗長化が望ましいが、冗長構成を制御するためのソフトウェアや制御用の伝送路が別途必要となり、その部分に新たな脆弱性が発生する可能性があるため、Security の観点からは望ましくない。

このように、Security 対策と Safety 対策にはトレードオフが発生する部分があり、両者を調和させ両立することが難しいため、システム設計において Security が重視されるシステムと Safety が重視されるシステムは「相互に接続しない」という慣例が、1990 年代頃までは色濃く残っていた。しかし、その後この相互接続部分（図 4-2 の太線矢印の部分）が拡大したことでセキュリティ問題は変容し、被害が拡大していくことになる。

4.2.2. セキュリティ問題変容の経緯

セキュリティ問題が変容してきた経緯を、図 4-3 に示す。

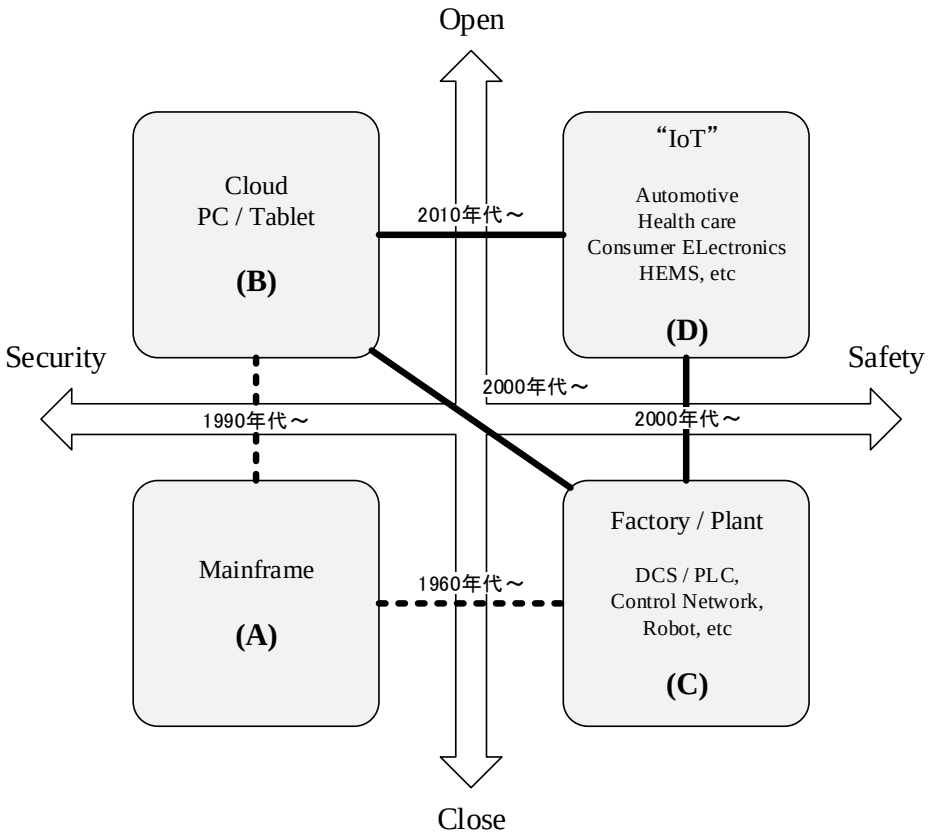


図 4-3　セキュリティ問題の変容

図 4-3 の縦軸において、「Close」とはシステムを構成する要素の内容と要素間の相互接続に関して体系的に管理されている状態を表し、「Open」とは要素の内容と相互接続について管理主体が分散し、かつ全体としてシステム構成が頻繁に変動している状態を表す。完全に「Open」な状態では、システムが何から構成され相互にどのように繋がり、各要素やサブシステムが誰によって管理されているかを、一元的に把握することはできない。

メインフレームやクラウド、パソコンやスマートフォン・タブレットなどは、主に情報

処理を目的とした機器・システムであり、Security の観点からリスク対策が議論されてきた。一方、生産設備やエネルギー・水道など社会インフラ設備は、機器故障や人為ミスによる停止が社会に多大な影響をもたらすことから、Safety の観点が重視されてきた。今後 IoT の重要な構成要素となる自動車や航空機、医療機器なども、人命に直接関わる機器・システムであることから、Safety に関しては既に多大な検討が加えられている。

また、メインフレームや生産設備・社会インフラについては、システム構成の管理態勢と管理権限が整備され、管理者の許可なく構成を変更することは通常できない。これに対して、パソコンやスマートフォンは、利用者がサービスに応じて接続先のクラウドを変更でき、必要に応じて複数のクラウドと同時に接続することも可能である。同様に、自動車や医療機器、白物家電といった IoT 機器も、今後利用するサービスに応じて柔軟な接続形態をとるものとみられる。

このように、Security / Safety と Open / Close の軸により、機器・システムを図 4-3 (A)～(D)に分類できる。これらの中で最も古く相互接続されたのは、メインフレーム（図 4-3 (A)）と生産設備（図 4-3 (C)）である。国内の代表例としては新日本製鐵（現新日鐵住金）君津製鐵所における製造オンラインシステムがあり、1960 年代には IBM のメインフレーム S/360 とプロセス制御コンピュータ群をネットワークで接続し、圧延工程の自動化に取り組み始めた。こうした、メインフレームと生産設備を直接・間接的に接続して生産工程を自動化する取り組みは、1980 年代までに多くの産業で取り組まれたが、Safety の観点からシステムの信頼性向上が重視され、Close なシステム同士の接続のため Security の問題が意識されることは稀であった。

こうした状況は、1980 年代後半から変化する。それまで政府機関や研究機関によって運用されてきた米国の NSFNet が、1980 年代末から商用ネットワークとの接続を開始し、1990 年にはそれまで制限してきた私的・商業的な利用を解禁して、商用プロバイダの元で自由に接続可能な「Internet」になった。そして、ほぼ同時期の 1988 年には、同ネットワーク上で自己増殖するウィルスがサーバ類に大量感染して大きな被害をもたらす事件が発生した（モリスワーム事件）。

また同時期（1980 年代末）には、メインフレーム（図 4-3(A)）を Internet で採用された通信プロトコル TCP/IP でネットワークに接続する装置やソフトウェアが発表され、広く利用可能となった。しかし、モリスワーム事件により Internet に接続された機器・システム（図 4-3(B)）が内包するリスクについてすでに認識が広まっており、メインフレームをこうした環境に接続すること（図 4-3(A)-(B)接続）には、各組織とも慎重に対応していた。

1990 年代から、生産設備やプラント（図 4-3(C)）において、工程監視や操作コンソールに図 4-3(B)の領域で使用される OS（Unix など）や通信プロトコル（TCP/IP）が採用され始める[5]。また、これら設備を Internet に接続する例も出現し始めた。つまり、図 4-3(C)の領域の一部が図 4-3(B)の領域に移動し、相互が接続された状態となる。

この変化は、2000 年代以降に生産設備や社会インフラ設備にセキュリティ問題を拡大させてしまう。図 4-3(B)の領域で発生したウィルス感染により、2003 年と 2011 年には米国で鉄道運行が、2009 年にはオーストラリアで電力供給がそれぞれ影響を受け、2014 年にはドイツの製鉄所で設備破損に至る重大事故が発生するなど、被害が続出した[6]。特に Safety が重視される社会インフラの領域にまで問題が拡大したことで、被害が人命や環境にまで

及び始めている。例えば2000年オーストラリアで下水道制御システムが不正操作された事例では、未処理の下水が河川に直接流入して大規模な環境被害が発生し、2008年ポーランドで鉄道制御システムが不正操作された事例では、列車4両の脱線により12名の負傷者が発生している。

4.2.3. IoTがもたらすセキュリティ問題の変化

総務省の平成29年版情報通信白書では、Internetに接続されるIoT機器は、2016年時点で約173億個であったものが、2020年までに約300億個にまで増加すると予想している。これまで、主にクラウドやパソコン・スマートフォンの領域（図 4-3(B)）でセキュリティ問題が拡大し他の領域にまで影響を及ぼしてきたが、この領域と比較して IoT 機器の領域（図 4-3(D)）には以下のような特徴がある[2][7]。

① 開発者も利用者も想定しないつながりが発生する
機器の開発者以外でも容易かつ自由に IoT サービスを構築できる上、機器設置を容易とするため機器が自律的にサービスや別の機器に接続する機能を持つ場合もあるため、開発者も利用者も想定しない接続が発生する可能性がある。図 4-3(B)の領域でも同様の問題はあるが、機器接続時に利用者を認証する場合が多く、問題は限定される。

② 管理や監視が不十分な機器もつながる
カメラやセンサーなど、利用者が直接操作せずメインテナンスも十分でない機器が多い上、場合によっては放置・廃棄された機器もつながってしまう。図 4-3(B)の領域では、利用者が機器を直接操作する場合が多く画面を通じて監視も可能で、OSのアップデートなどメインテナンスも自動化が進んでいる。

③ 機器のライフサイクルが長い
自動車や工場の制御機器などは10年以上にわたって使用される可能性もあるが、メインテナンスが十分でないと、接続された外部のセキュリティ環境の変化に追従できない。図 4-3(B)の領域の機器は、概ね耐用年数が4～5年であり、仮にメインテナンスが十分でない場合でも、機器更新によって多くの問題が解決する。

④ 機器の機能・性能が限られる
センサーやIPカメラなどの小型IoT機器では、物理サイズ・消費電力・製造コストなどの関係から計算・記憶用のリソースが制限され、暗号機能など十分なセキュリティ対策を盛り込むことができない可能性がある。図 4-3(B)の領域では、計算・記憶用のリソース制約は比較的小さい。

⑤ 人間の生命・健康や環境に被害を及ぼす場合がある

上記②③④の特徴により、クラウドやパソコン・スマートフォンなどの領域（図 4-3(B)）から、IoT機器の領域（図 4-3(D)）に対して悪意をもったアクセスを受けた場合、その侵害から IoT 機器を長期・安定的に守ることは非常に困難になる。このような IoT 機器が、上記特徴①のもとで急速に増加すれば、上記⑤のリスクが、大規模かつ高頻度で顕在化する可能性が非常に高まる。また、センサーやカメラなどの IoT 機器は、生産設備や社会インフラ（図 4-3(C)）に接続されるケースも多いと考えられ、リスクはさらに大きくなる。

これらリスクは、既に顕在化した例もある。2016 年 10 月、ネットサービス大手の米国 Dyn 社が DDoS 攻撃[6]を受け、twitter, Spotify など大手サービスが一時利用不能になったが、攻撃は 1,000 万個以上の異なる IP アドレスから行われた。原因は「Mirai」と呼ばれるマルウェアで、Internet を通じて IP カメラやルーターなどに感染を拡げ、これら IoT 機器を何者かがサーバ経由で遠隔操作できるようにしていた。感染が拡がった原因は、多くの IoT 機器が初歩的な管理用通信（telnet）による Internet アクセスを無制限に許可し、ID・パスワードを初期設定のまま使用していたためである。

また、2008 年にトルコでは、何者かが石油パイプラインに設置された監視カメラの通信ソフトの脆弱性を攻撃して、動作制御系のネットワークに侵入した。侵入者の不正な操作により、パイプライン管内の圧力が急激に高まって爆発が引き起こされている。

4.3. セキュリティ対策へ向けた動き

4. 3. 1. セキュリティに関する国際規格と認証制度の状況

今後 IoT 化されると見込まれる製品分野は、家電から医療用機器、自動車や航空機、そしてプロセス産業や原子力分野など非常に幅広く、それに伴い機器の設置者も、公的機関・政府機関や企業、医療機関から一般消費者に至るまで、非常に幅広い層に及ぶ。

こうした IoT 機器が、4.2.3 に示したように接続構成が不明・不定なまま、かつ長期間にわたり管理不十分なまま運用され、しかも人間の生命・健康にまで直接影響を及ぼしかねないことから、セキュリティ対策としては分野横断的かつ国際的な底上げ効果をもつ方法が必要となり、Security に関わる国際規格の策定と認証制度の整備が焦点となる。

今後 IoT 化が進むとされている製品分野について、Safety と Security に関する国際規格の策定状況は表 4-1 の通り。

表 4-1　IoT へ向けた国際規格策定状況

	国際規格	
分野	Security	Safety
白物家電		IEC 60335
産業用電子機器		IEC 62061
医療用電子機器		IEC 60601
自動車	(米国規格SAE J3061)	ISO 26262
鉄道	IEC 62280	IEC 62278
航空機	DO-326A, 355, 356	DO-178C
プロセス産業	IEC 62443 (EDSA認証)	IEC 61511 / 61508
原子力設備		IEC 61513

（田口（2017）[8]などを参考に筆者作成）

[6] DDoS 攻撃(Distributed Denial of Service Attack)：広域ネットワーク上に分散した多数の拠点から、特定のネットワークやコンピュータに対して、その通信能力を超える大量の通信を一斉に開始して、機能を停止させる攻撃

表 4-1 のように、白物家電、産業用電子機器、医療用電子機器、自動車（コネクテッドカー）については、Security に関する国際規格が未策定となっている。また、国際規格が策定されている分野でも、Safety 側と Security 側で個別に存在する認証制度にどのような統一的な枠組みを与えるかの検討が難航している場合や、航空機のセキュリティ規格 DO-356 のように、北米とヨーロッパの規格団体の間で合意が取れていない場合などがある[8]。

IT 製品に関しては、セキュリティ評価基準 ISO/IEC 15408（JIS X 5070）とその評価制度が存在する。現在、米国・カナダ・日本・韓国など 17 カ国でこの基準による評価制度が運用され、評価・認証結果を相互承認するとともに、イスラエル・シンガポールなど 10 カ国がこれら認証結果を受け入れる態勢をとっている（CCRA: Common Criteria Recognition Arrangement）。

しかし、評価対象となっているのは IT 製品であり、しかも主に政府機関の調達を目的とした制度となっている。例えば、日本において評価対象としている IT 製品は、下記 6 分野に限られる。

- デジタル複合機
- ファイアウォール
- 不正侵入検知・防止システム
- サーバ OS
- データベース管理システム
- スマートカード

この制度を拡張し、評価基準に各分野固有の要求仕様（PP: Protection Profile）等を追加するなどして適用範囲を拡大する方向性もありうるが、各分野の Safety 確保を目的としてすでに確立している認証制度や業法・基準（日本では薬事承認、道路運送車両法や関連基準など）との調整も必要となる。また、製品の認証にはコスト（費用・時間など）がかかるため市場競争力を失いやすく、一般企業や消費者に認証マーク等を広く認知して製品選択基準を変えていくにも、相当な時間がかかるだろう。

4. 3. 2. 米国における新たな取り組み

2016 年 2 月、米国オバマ大統領は連邦政府に対して、「サイバーセキュリティ国家行動計画」（CNAP: Cybersecurity National Action Plan）の実施を命じた。その行動計画には、「国土安全保障省（DHS）は独立系保安会社の UL やその他産業パートナと連携し、サイバーセキュリティ・アシュアランスプログラムを開発し、IoT 内のネットワーク接続デバイスのテストを行う」[9]という内容も含まれていた。

この UL（Underwriters Laboratories Inc.）とは、1894 年に設立された米国の安全認証機関で、発足以来、家電などの電気機器から、産業機械、医療機器などにまで認証対象を広げている。この Safety 分野の認証を担ってきた機関を中心に、IoT 機器の Security 認証も担わせようというのである。

UL は米国政府や各種専門機関などと連携し、米国規格（ANS）側やカナダの国家規格（NSC）側の参画を得た規格技術委員会を組織してレビューを進めながら、産業制御システム、ヘルスケアシステムなどで使用されるネットワーク機器のソフトウェアに対するセ

キュリティ基準「UL 2900」シリーズを策定し、セキュリティ認証制度「UL CAP（Cybersecurity Assurance Program）」も 2016 年 4 月に立ち上げた（図 4-4）。「UL 2900」の策定はまだ継続しており、今後の対象として各種 IoT 機器、自動車（コネクテッドカー）などの領域固有の要求事項についても策定候補にあげている。また、「UL CAP」では、ソフトウェア・テスト・ツール群を使用した脆弱性検出や堅牢性テストなどを通じて、Safety と Security 両面のリスクを低減できるとしている[10]。

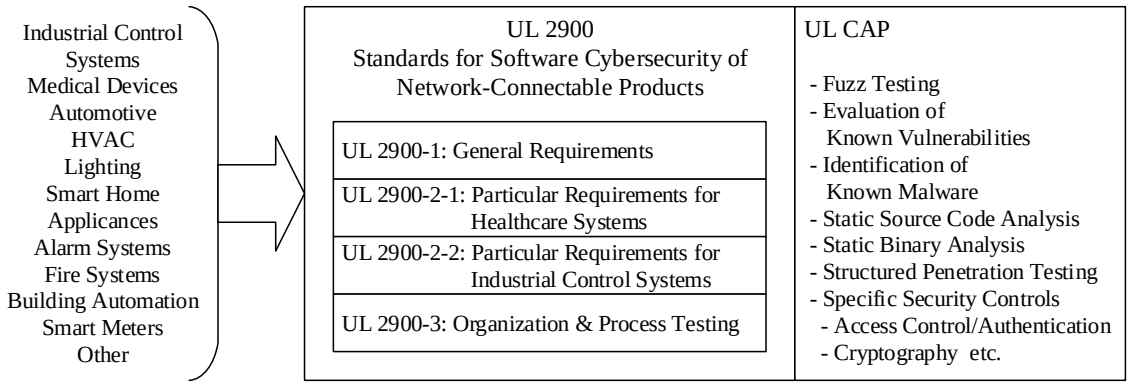


図 4-4 UL 2900 / UL CAP の概要

（UL(2016)[10]などより筆者作成）

このように、セキュリティ分野で国際規格が成立する前に、米国が独自の基準・制度を作る動きは過去にもあった。

1983 年、米国の国家コンピュータセキュリティーセンター（NCSC）は、安全保障に関わるコンピュータの評価基準及び認証制度である TCSEC（Trusted Computer System Evaluation Criteria）を策定した。これを商用分野にも適用する検討も、国立標準技術研究所（NIST）も交えて 91 年から始まり、93 年に FC(Federal Criteria for Information Technology Security)として成立させている。

欧州では、英・ドイツ・フランスなどで独自の評価基準を運用していたが、92 年欧州の市場統合を機会に統一をはかり、91 年 6 月に ITSEC（Information Technology Security Evaluation Criteria）として成立させ、暫定運用を開始した。同時期にはカナダで、米国 TCSEC と欧州 ITSEC を参考に策定された CTCPEC(Canadian Trusted Computer Product Evaluation Criteria)が成立している。

これら米国 FC、欧州 ITSEC、カナダ CTCPEC を統合する評価基準案の策定が、日本も加わった 11 カ国により 1993 年に始まり、1996 年 1 月に CC（Common Criteria）として成立した。そして、ISO で CC を国際規格とする作業が始まり、1999 年に ISO/IEC 15408 として成立させている。CC 策定に中心的に関わった 5 カ国で、この国際基準に基づき相互承認する制度（CCRA: Common Criteria Recognition Arrangement）も同時期にスタートしているが、日本が加盟するのは 2003 年にまでずれ込む。

つまり、1980 年代から 1990 年代末まで、米国がイニシアティブをとって策定されてきたセキュリティ基準・認証制度が、米国以外の国にとって事実上の非関税障壁として存在していたことになる。このような米国市場への参入障壁は、日本のコンピュータ産業の成

長にも、大きな影響を及ぼしたと考えられる。

国際的なルール形成のアプローチには、大別してデファクト型とデジュリ型があるが、特に安全保障に関わる分野では、自国内の規格・認証制度の策定を先行させ各国の追従を促すデファクト型のアプローチを、米国は強く打ち出してくる。これは、WHO の TBT 協定（貿易の技術的障害に関する協定）では、各国が独自に強制規格を導入する場合 ISO 等の国際的な規格をもとに策定することが求められている一方で、安全保障分野はその例外とされているからだ[11]。

過去のコンピュータ・セキュリティに関わるルール形成過程がそうであったように、IoT 機器のセキュリティに関しても、米国が「UL 2900」「UL CAP」で先行し、国際規格策定へ向けてデファクト型のアプローチを推し進める可能性が非常に高い。国際的な調整の場でも、国家安全保障に関わる問題で、米国が妥協することはないだろう。これに対して、欧州のデジュリ型のアプローチは時間がかかりすぎ、その間に IoT 機器の国際競争力を失う可能性も考えられる。

日本としては、過去の反省と現在の情勢から、IoT 分野の規格・認証制度に関しては早期に米国と相互認証を確立し、その後の国際規格の策定にも、早い段階から積極的に参加する必要があるだろう。

4.4. おわりに

本稿では、IT・IoT 分野における Security・Safety を巡る問題の変化と、その対策について日本がとるべき対応について、国際規格・認証の観点から考察した。今回は、機器やシステムのレベルで規格・認証の状況を見てきたが、もう一つの観点として、サイバーセキュリティに関わる要素技術のレベルで、規格・認証への対応を議論することもできる。

米国では、暗号モジュールのセキュリティ基準として FIPS 140-2、試験要件として FIPS 140-2 DTR を策定し、これらに基づく暗号モジュール認証制度(CMVP: Cryptographic Module Validation Program)を運用している。一方、日本では FIPS 140-2・140-2 DTR が国際規格となった ISO/IEC 19790・24759 に基づく認証制度 JCMVP を運用しており、CMVP との相互認証はできないものの、両者はほぼ同等の制度のため両方に対応した試験機関もあり、一度の試験で両方の認証を受けることもできる。

IoT 分野では、機器のリソースが限られるため回路規模・消費電力等を考慮した「軽量暗号」が必要とされる場合も多いが、この分野では CLEFIA（SONY・名古屋大学）が既に軽量暗号の国際標準規格（ISO/IEC 29192-2）として採用され、他にも Piccolo（SONY）、TWINE（NEC）など高い評価を受けている技術もあるなど、日本には一定の強みがある。

このように、相互認証あるいは同等の認証制度が存在する要素技術の分野で、日本の強みを活かしていく方向性も、別途考えられるだろう。

参考文献

[1] 経産省(2015): 「産業構造審議会・商務流通情報分科会・情報経済小委員会 中間取りまとめ ～CPS によるデータ駆動型社会の到来を見据えた変革～」, 経済産業省, 2015

[2] IPA(2017): 「つながる世界の開発指針～安全安心な IoT の実現に向けて開発者に認識してほしい重要ポイント～第 2 版」, 独立行政法人情報処理推進機構, 2017
[3] SESAMO(2013): “Security and Safety Modeling - D2.1 Specification of Safety and Security Mechanisms, version 0 1,” SESAMO, 2013
[4] IPA(2015): 「つながる世界のセーフティ&セキュリティ設計入門 IoT 時代のシステム開発『見える化』」, 独立行政法人情報処理推進機構, 2015
[5] 通産省（2000）：「大規模プラント・ネットワーク・セキュリティについて～重要システムのサイバーテロリズム・クラッキング対策のあり方～ 最終報告書」, 通商産業省委託事業・大規模プラント・ネットワーク・セキュリティ対策委員会, 2000
[6] 東京海上日動（2015）：「産業用制御システムのセキュリティについて」, 東京海上日動リスクコンサルティング, 2015
[7] 総務省・経産省(2016): 「IoT セキュリティガイドライン ver 1.0」, IoT 推進コンソーシアム・総務省・経済産業省, 2016
[8] 田口（2017）：「セーフティとセキュリティの統合に関する課題と方法論」, 田口研治, 2017
[9] 経産省・アイ・ビー・ティ（2017）：「平成 28 年度サイバーセキュリティ経済基盤構築事業（諸外国におけるサイバーセキュリティ対策の動向調査)」, アイ・ビー・ティ, 2017
[10] UL(2016): "UL Global Cybersecurity Service & Standards - Cybersecurity Assurance Program (CAP) for network-connectable products & systems addresses security concerns," UL, 2016
[11] 三井物産戦略研究所（2017）：「ルール形成戦略－新興国と新産業の市場獲得のために」, 三井物産戦略研究所, 2017

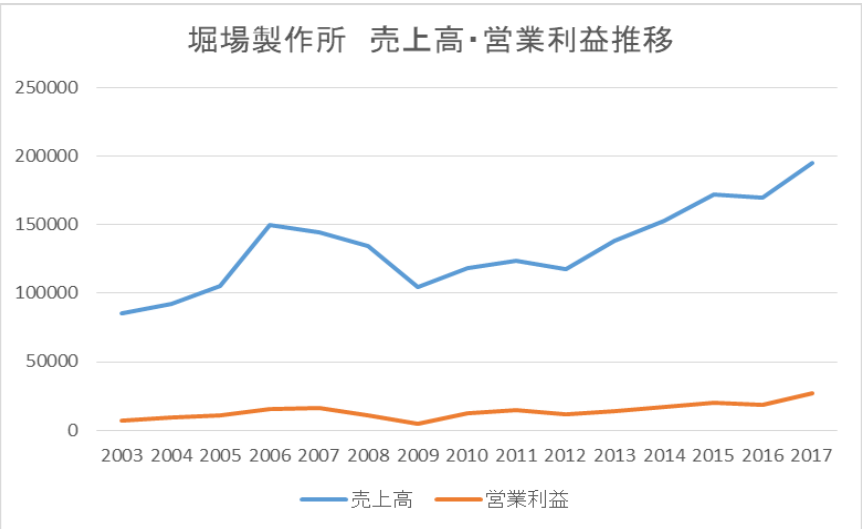
5.　企業成長の論理：堀場製作所のケース

5.1.　堀場製作所のバランス経営

堀場製作所は、１９５３年に設立された計測機器メーカーである。設立以来の主力製品は自動車排ガス測定装置だが、現在、計測技術というコア技術を多方面に用途展開して、自動車計測システム、環境・プロセス、医用、半導体、科学システムという５つの異なる市場で事業を展開している。２０１７年度現在、連結売上高は約１７００億円であり、それに占める事業ごとの割合は順番に３７％、９％、１３％、２７％、１４％と非常にバランのとれた事業ポートフォリオを形成している。バランス良い事業ポートフォリオの効果は図表１をみると明らかである。２０００年以降の売り上げ・利益の推移を表しているが、注目すべきは２００９年のリーマンショックに際してそれほど大きな業績悪化に陥ることなかった。

２００９年当時堀場の収益を下支えしたのは、景気の波を受けにくい医用システム機器と科学システム機器であり、それに対して景気の波を受けやすい半導体システム機器事業は０．９億円の赤字だった。しかし２０１７年には、データセンターやＩｏＴ、ＡＩの普及によって半導体需要が大幅に増加したために、２００９年当時唯一の赤字部門だった半導体システム機器事業部門は、営業利益が１５６億に達し、２０１７年の時点で最大の収益源になっている。特定の事業領域に過剰に依存することがないバランスの取れた事業ポートフォリオを形成していることの効果はこの辺に現れている。創業以来、赤字が一度もないというのも堀場の秀逸性を示しているが、これも不況業種を好況業種で補うというバランス経営によって可能になった。

図表１　堀場製作所の売上高・営業利益　推移



2

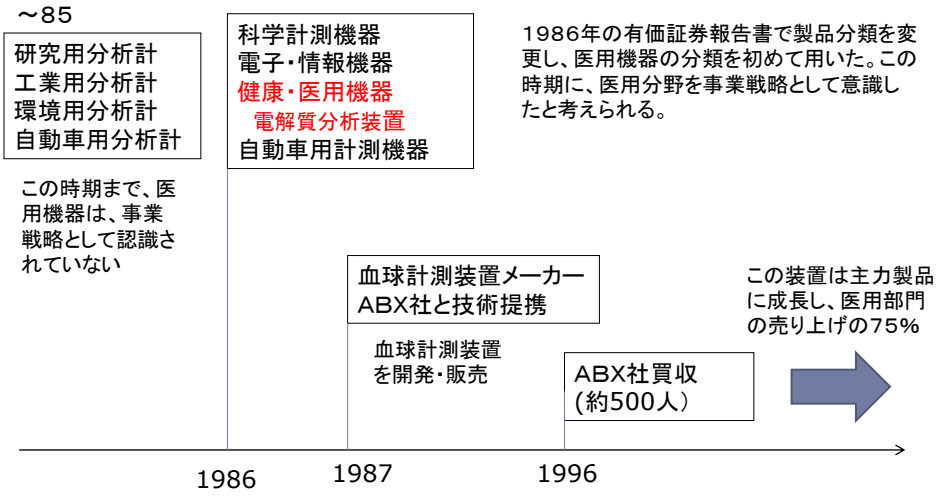
本稿はこのようなバランス経営によって着実に成長を遂げた堀場をケースにして、その背後にある成長の論理を探索し、企業成長をもたらす一つの論理を提示する。

5.2.　堀場製作所の成長の軌跡

5.2.1. 医用システム機器事業の成長過程

堀場の成長過程を明らかにするために、自動車排ガスビジネスとは市場、製品、顧客が全く異なる医用システム事業を例にとり、どのような経緯で医用分野に参入して成長したのかを明らかにする。図表２は、有価証券報告書を参考にして、医用システム機器事業の形成と成長の過程をまとめたものである。

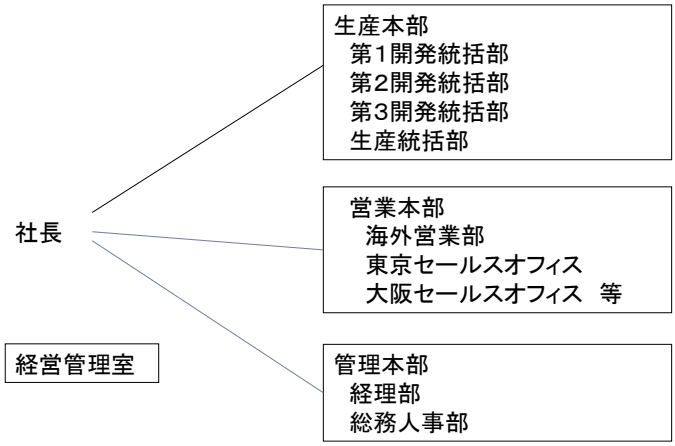
図表2　医用システム機器事業　成長の軌跡



3　出所：有価証券報告書を参考にして作成

有価証券報告書を紐解くと医用機器の名前が初めて登場するのは、１９８６年の有価証券報告書においてである。そこでは、健康・医用機器という製品分類において、初めて医用というカテゴリーが有価証券報告書に登場する。８５年までは研究用分析計、工業用分析計、環境用分析計、自動車用分析計という４つの製品分類が有価証券報告書に記載されているが、医用という名称はどこにも出てこない。つまりこの時期まで、堀場は医用を重点事業分野として明確に意識しておらず、８６年になって初めて健康・医用機器事業を経営戦略の中に位置づけた。しかしその時の医用分野の具体的製品名は電解質分析装置であり、現在の主力製品である血球計測装置とは全く異なるものである。電解質分析装置は、堀場がコア技術を応用し独自で開発したものである。

図表３　組織体制（～1997年）機能別組織



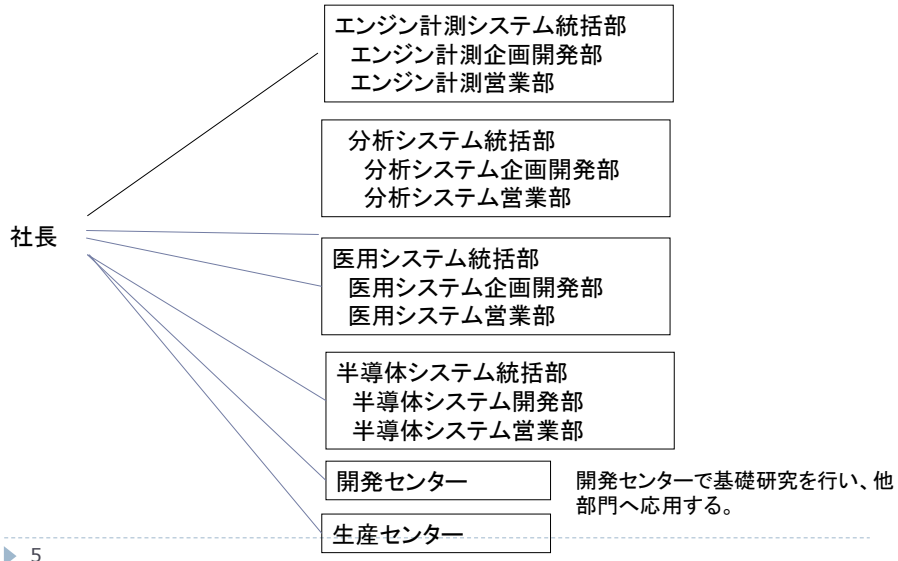
出所：堀場製作所　有価証券報告書を修正

4

当時の組織体制を有価証券報告書で確認すると、図表３に示すように機能別組織だったことがわかる。組織は戦略に従うのであるから、当時の組織体制をみることで当時の戦略を推し量ることができるはずである。当時は、生産本部、営業本部、管理本部という３つの機能軸を中心にした機能別組織体制を採用しており市場別になっているわけではない。開発は生産本部の下にある３つの開発統括部の中で遂行されていた。このような組織体制の下で行われた電解質分析装置の開発は、出口としての市場や顧客を明確に意識して行われたというよりもむしろ、技術の新規性やおもしろさを出発点として技術者主導で創発的に行われた可能性が高いと考えられる。つまり当時、堀場の製品開発は市場を明確に意識した意図的な多角化戦略のもとで行われたのではなくて、コア技術をどのようにして横展開できるかというテクノロジープッシュの観点を重視して遂行されたのではないだろうか。当時の組織体制からはそのような当時の戦略を推し量ることができるだろう。

その後、８６年に医用機器分野を製品分類として意識したのちに、８７年には血球計数装置メーカーであるフランスのＡＢＸ社と技術提携を結んだ。ＡＢＸ社は、スイスのロシュグループに属する血球計数装置メーカーである。その技術提携後、血球計数装置を共同で開発し販売する。８９年の有価証券報告書には、自動血球計測装置という製品名が新しく計上されていることから、これはＡＢＸ社との技術提携によって開発されたものであろうと考えられる。この装置の延長線上に、現在の血球計数 CRP 計測装置が存在するが、これは国内市場シェア１００％を占める製品である。つまり堀場は、技術提携によって、医用分野における製品と事業の幅を広げたのである。

図表４　組織体制（98～2010年）事業別組織



5

出所：堀場製作所　有価証券報告書を修正

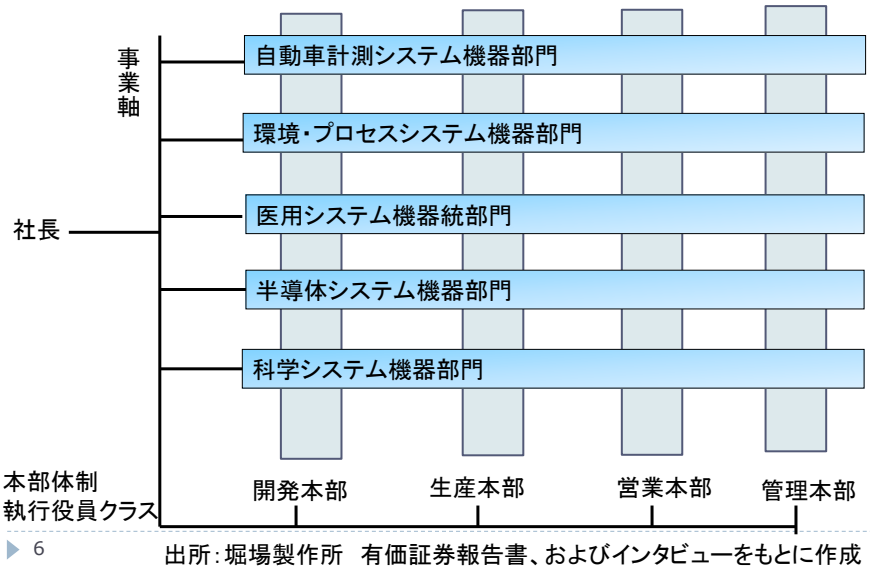
さらに９６年にＡＢＸ社を買収して本格的に医用ビジネスへ参入する。買収後の９８年には、図表４に示すように４つの事業分野で構成される事業部制組織へと組織体制を大きく転換した。エンジン計測システム、分析システム、医用システム、半導体システムの４つの事業分野である。堀場が異なる市場での事業展開を明確に意識し、多角化戦略を意図したのはこの頃であろうと推測できる。多角化という戦略の遂行は、事業別組織という組織構造によって効果的に遂行されるからである。

その後、２０１１年には事業分野を４つから５つに拡張したうえで、事業部制から図表５に示すようなマトリクス組織へ変更した。自動車計測、環境・プロセス、医用、半導体、科学システムという５つの事業軸と開発や生産等の機能軸によるマトリクスである。マトリクス組織の特徴は異なる市場ごとに組織を分散させながらも、同時に機能軸に沿った４つの本部体制（開発本部、生産本部、営業本部、管理本部）で、５つの事業分野間の共有と統合を図ろうとしている点である。各市場セグメントで強みを発揮すると同時に、お互いの弱みをたがいに補強しながらバランスよく成長させることを意図している。セグメント間で技術やノウハウを共有しあうと同時に、セグメント間で人材や生産設備等の資源を経営状況に応じて相互に融通しあったり集約させたりする。それを柔軟に行うための組織体制がマトリクス組織である。

市場特性に応じた分散と全社レベルでの相乗効果を生み出すための統合のバランスを取るという戦略意図が、マトリクス組織体制に反映されている。この組織体制の実行上の課題は、事業軸と機能軸との間で意見の違いや衝突が起きやすくそれを解決するために調整コストがかかるという点であろう。現在堀場のマトリクス組織では、機能軸である各本部長のトップは役員クラスを配置し、事業軸のトップにはそれぞれ上級部長クラスを配置している。つまり、機能軸の権限を事業軸よりも強めるという組織体制を敷いているのだが、

この資源配置からは事業特性ごとの分散よりも堀場グループとしての統合力、つまり事業間の相乗効果のメリットを引き出そうとする戦略意図が見て取れる。

図表５　組織体制（2011年~）マトリクス組織



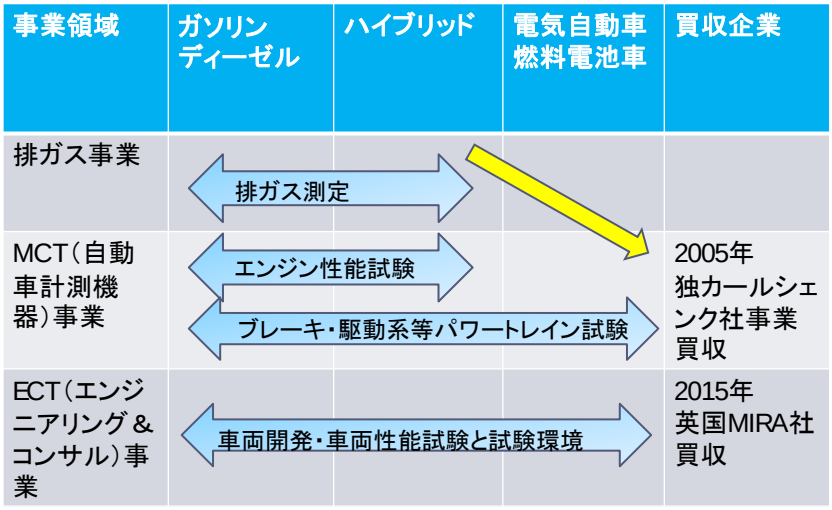
6

出所：堀場製作所　有価証券報告書、およびインタビューをもとに作成

5.2.2. 自動車市場における成長過程

堀場の主力製品は長らく排ガス計測装置であり、顧客は自動車関連メーカーである。これは非分散型赤外線吸収法（NDIR）を使用したガス分析技術を、当時社会的問題になっていた大気汚染問題の解決のために自動車の排気ガス分析に応用するところから始まった。その後排ガス計測装置は、年々厳しくなる規制への対応や、規制に合致しているどうかの多面的判断が複雑になっていることから、トータルシステムを供給できる堀場が競争力を持ち現在でも世界の市場シェアの約８割を占めている。依然として堀場を代表する主力製品と言って良い。しかし近年の堀場は、単なる排ガス計測装置を開発し販売するという事業にとどまらず、事業領域を広げビジネスモデルを転換しようとしている。図表６は堀場の自動車関連事業の成長過程を示している。

図表６　自動車計測システム事業　成長の軌跡



7　出所：HORIBA report 2016　を一部修正

２００５年に独カール・シェンク社の自動車計測事業（ＭＣＴ）を事業買収したことでエンジンから出る排気ガスの計測という事業から、計測・評価する領域を排気ガス以外の領域にまで広げた。カール・シェンク社は１８８１年創業の老舗企業で、エンジン評価装置以外にブレーキ等の自動車全般の試験装置を持ち、メカトロニクス領域の技術力を持つ企業だ。これによってエンジンダイナモメーター、シャシーダイナモメーターなどを含む自動車開発の全般にわたるテストセルを提供できるようになった。カール・シェンク社の技術を導入し、開発した初の製品が２０１２年に発売したＭＥＸＡ－ＯＮＥである。この製品は従来堀場が持つ排ガス測定技術に、カール・シェンク社が持つ技術を統合させて、ボディー計測を含むあらゆるデータを一元管理できるのが特徴である。堀場の開発部長は次のように言う。

「これまでは別々の測定装置が必要だったが、ＭＥＸＡ－ＯＮＥでは１つのシステムでエンジンからボディー関係まで評価できる」（日経ビジネス２０１３．４．１　「ニッチ戦略の研究」）

買収によって、従来の排ガス測定事業以外に、駆動系テストやブレーキテスト、さらには車両テストや風洞実験設備技術にまで領域を広げ、自動車計測機器（ＭＣＴ）へとビジネスモデルを拡張していった。
さらに２０１５年には英国 MIRA 社を買収したことで、車両開発エンジニアリングやコンサルティングにまでビジネスモデルの幅を広げた。ＭＩＲＡ社は英国の自動車産業の中心地であるミッドランド地方に、英国政府のバックアップのもとで１９４６年に設立された企業である。現在スタッフは約６００名を擁し、３８の主要試験設備と全長１００キロの

テストコースを持つ。この買収によってＭＩＲＡ社の持つ車両開発エンジニアリング技術と堀場の持つ分析計測技術を統合させて、自動車市場での事業領域を拡張させるのが堀場の描く戦略である。

5.2.3. EV 化への対応

堀場の主たる事業領域である自動車関連産業は現在地殻変動に見舞われている。その震源の一つは言うまでもなく、ＥＶ化の流れである。EV 化が広がると、堀場の主力製品である排ガス検査装置の需要は減少するのであるから、堀場にとってＥＶ化は好ましくない流れだと言って良いだろう。それに対して堀場は、自動車という事業領域に踏みとどまりながら、ビジネスモデルを転換することで需要の減少分を補うという戦略を描いているようだ。具体的には２００５年カール・シェンク社の事業買収や２０１５年ＭＩＲＡ社の企業買収がそれに相当する。排ガス検査装置の販売という従来のビジネスモデルの拡張あるいは転換である。

しかし、ＥＶシフトの流れは現実にはまだ微々たるものに過ぎない。にもかかわらず堀場はなぜ、まだ現実のものになっていないＥＶシフトへの対応を始めたのだろうかという疑問が生まれるだろう。排ガス規制強化の流れの中で、排ガス測定装置は堅調に推移しており、２０１７年現在業績に陰りは見えない。つまりバランスシート上で排ガス測定装置の業績は現在のところ全く問題は見えないのだ。にもかかわらず、既に説明したように、堀場は既にＶシフトへの対策を始めているのだ。このあたりに堀場の秀逸な組織能力が垣間見える。

例えばＭＩＲＡ社の買収について、ＣＥＯの堀場厚は次のように言う。

「次世代自動車技術開発に強みを持つホリバＭＩＲＡ社の買収についても、自動車産業の地殻変動に世の中が気づいた後では実現できなかったかもしれず、投資判断のタイミングの重要性を強く実感しています。」（HORIBA Report 2017）

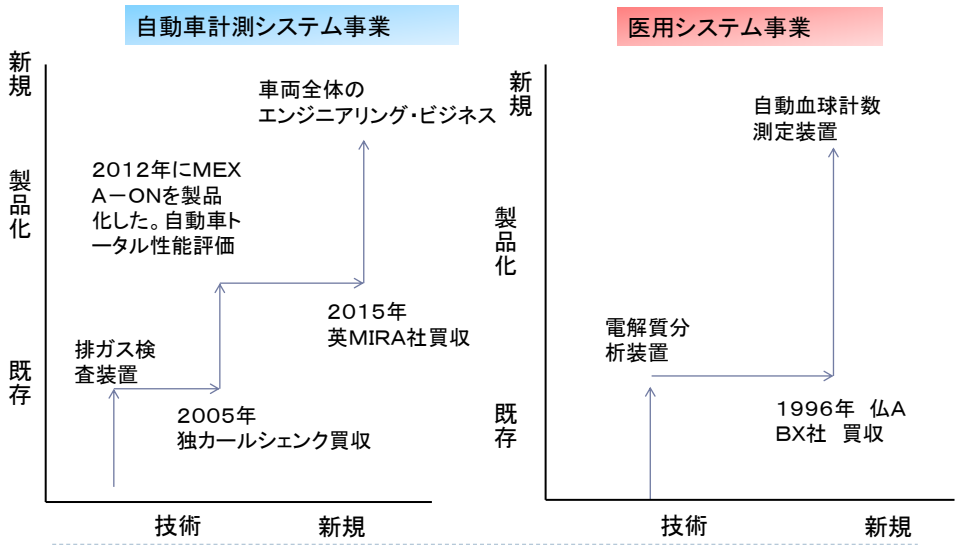
つまり世の中が気づいてから手を打ったのではもはや手遅れであり、気が付かないうちに判断することが重要なのだと堀場厚は言うのだ。まだ誰も気が付かないうちに判断することの重要性は、ＥＶシフトが従来の主力だったエンジンをモーターやバッテリーに代替する転換過程であるという性質を考えると理解できる。

EV シフトはエンジン車を代替するものであるために、自動車メーカーの中でも EV シフトに慎重な立場と積極的な立場に分かれる。EV シフトに慎重な人々は、技術課題が多く残る EV よりもエンジン車をできるだけ延命させたほうが良い、と主張するだろう。また、エンジン車の売り上げはまだまだ伸びており、EV の時代はまだ先だ、という意見もその典型的なものだろう。新しい技術が台頭しようとする時、技術と市場の将来性が見通せないためにこのような様々な意見が混在することはむしろ当たり前と言って良い。見える人には見えるが、見えない人には全く見えないというのがこのような転換期の常である。それゆえにこのような転換期にはとりわけ、組織能力の差が大きく成否を分けるのである。誰の目にもその変化が明らかになると、対応策を考えない人はいないから違いは生まれない。変化がみえるようになってからでは遅いのであり、はっきりとは見えないうちに手を打てるかどうかが勝負の分かれ目である。それは、ちょうど富士フイルムがデジタルカメラの台頭がまだ見えないうちから対策を始めたのと同じである。

5.3. 企業成長の理論

堀場の医薬システム事業と自動車計測システム事業の成長過程をみたが、共通したパターンを辿ってきたことに気が付く。それをまとめたのが図表７である。ここでは、堀場が事業バランスの良い成長を遂げた背後で働いた汎用性ある論理を考察したい。

図表７　堀場の成長戦略の論理：ニッチ製品による一点突破と買収による横展開



8

5.3.1. ニッチ製品による一点突破と買収による製品の横展開

堀場は、現在の連結売り高が約１７００億円であり、５つの事業分野でバランス良く多角化を展開している。その成長の論理を探すために主として有価証券報告書を手掛かりにして、医薬システム事業と自動車計測システム事業という性質が異なる２つの事業に焦点をあて、その成長の軌跡を分析した。そこから見えてきた成長過程は次のようなものである。

まず第１ステップとして、ニッチ製品であってもコア技術を活用し自社開発した製品で市場に参入する。それによってその事業分野での経験や知識、ノウハウを蓄積し、組織の吸収能力（Cohen and Levinthal、1983） を高めることができる。ここで吸収能力とは、ある新しい知識に関する知識がどの程度組織内部に保有されているのかを意味し、それが最低限存在しなければ、外部の知識を評価したりさらには吸収したりすることが困難になる（Cohen and Levinthal、1983）。ここでの知識とは技術的知識のみならず市場や顧客に関する知識なども含んでいる。自動車の場合の排ガス計測装置や、医用の場合の電解質分析装置が、各事業分野で第１ステップとして自社開発した製品であり、これに相当する。

次に第２ステップとして、製品領域と事業領域の幅を広げるために買収を行う。買収の目的はあくまでも堀場の技術と相乗効果を期待できる補完的技術を獲得することであり、

そのために企業買収の場合もあるし技術買収の場合もある。カール・シェンク社は技術買収であり、ＡＢＸ社は企業買収である。第１ステップで組織の吸収能力を高めることができれば、外部に存在する技術や事業、そして企業の評価能力も高まり買収効果も高まるはずだ。

重要な点は、自力でニッチ製品を開発しまず市場に参入した後に初めて、技術と製品の幅を広げるために買収するという順番である。この順番を守ることは組織の吸収能力という観点からは極めて重要である。まずはコア技術を活用してニッチでも良いから自社製品を開発して、市場に参入することによって、技術のみならず市場と顧客に関する知識や経験を獲得でき、組織としての吸収能力を高めることができるからだ。その後に、目的を明確にしたうえで事業や企業を買収するのである。組織の吸収能力が乏しければ、そもそも買収対象企業の技術力を適正に評価することは難しいし、買収した後、新しい技術の習得と獲得に際して時間がかかり買収の成果は薄れるであろう。

このように考えると、ニッチ製品による一点突破と買収による横展開という手順は理に適っており、堀場以外の他企業でも適用可能な論理ではないだろうか。少なくとも堀場の医用システム事業と自動車計測システム事業の成長過程の背後には、その論理をみてとることができるだろう。ただしこのことは、堀場が事前に意図してそのような順番で行ったということを意味しているわけではない。むしろ事前には意図しなかった可能性が高いだろう。しかし事前に意識しなかったということは論理がないということを意味しない。たとえ堀場は事前に意識しなかったとしても、それは、堀場自身も気が付かなかった潜在的な論理が存在するということを単に意味しているに過ぎない。そしていまだ気が付かなかった潜在的な論理を顕在化することによって組織能力は向上するのである。

5.3.2. 創発的な戦略形成から意図的な戦略形成へ

このような第１ステップと第２ステップでは、どのようなプロセスで戦略を作り出すのかという戦略形成のプロセスは異なるはずだ。一般に、企業内で戦略が形成されるプロセスは２種類に大別できる。一つは創発的に現場主導で下から戦略が湧き上がるように形成されてゆくやり方と、もう一つは、いわばトップ主導で意図的に戦略を形成してゆくやり方だ。堀場の成長過程では、第１ステップにおけるニッチ製品の自社開発では、現場の技術者主導で技術の転用可能性に着目した製品開発が自発的に行われたと考えられる。市場や顧客がまだ明確に見えない中でも、コア技術が活用できるかどうかを重視し、現場技術者の自由な発想による創発的な製品開発を行うことが重要である。そのためには、堀場の「おもしろおかしく」という独自の企業文化がプラスに作用したに違いない。

しかし第２ステップでは、意図的な戦略形成に切り替える必要があるだろう。トップ主導で重点事業分野を定め、そこの事業領域内でどの企業を買収するのかを決める必要があるからだ。つまり戦略形成の仕方を、最初のステップでは現場の技術者主導で創発的に広く行い、ある一定の段階が来たらトップ主導に切り替えて、意図的に戦略を形成するようにする必要があるということだ。このことは、事業の成長段階に応じて、戦略形成の考え方を臨機応変に変える必要があることを意味している。

本稿は、創業以来赤字を経験したことがなく常に右肩上がりの成長を遂げてきた堀場製作所をとりあげ、成長の論理を考察した。ここで提示した成長パターンが他企業や他産業でもあてはまるかどうかは更なる研究が必要になる。

堀場の経営を考えるうえでもう１つ重要な興味深いテーマは、企業を対象にした多品種少量生産のビジネスモデルであるにもかかわらず、１０％以上という高い営業利益率を上げている点である。例えば２０１７年度の半導体システム機器部門の売り上げは５３３億円、営業利益は１５６億円であるから、３０パーセントもの利益率を誇る。堀場のような多品種少量ビジネスモデルの場合、規模の経済を働かせることが難しく様々な手間暇がかかるために、高い営業利益率をあげることは通常は難しい。ＣＥＯの堀場厚は、この辺の事情を次のように言う。

「うちの製品は顧客ごとの細かな仕様変更が大変なうえに、相手はコスト意識の塊の優良メーカーばかり。今の１０％の利益率は奇跡と言ってもいい」(日経ビジネス２００６年 12 月２５日・２００７年1月１日号)

にもかかわらず、堀場は奇跡に近い高い営業利益率を上げているのだ。堀場の経営が投げかけるもうひとつの興味深いテーマはこの利益率の高さがなぜ生まれるのかである。しかしこれについては、改めて別の機会に論じたい。

参考文献

Cohen, Wesley M., and Daniel A. Levinthal(1983), “Absorptive Capacity: A New Perspective on learning and Innovation,” Administrative Science Quarterly, Vol. 35, April, 147-160.

原田大海「ハイテクの一歩先に　堀場製作所自動車部門の戦略」商工会館　技術と産業の比較研究会での説明資料、２０１８年1月１９日

堀場製作所　有価証券報告書（１９８０年から２０１５年まで）

「特集　ニッチ戦略の研究　６０歳のベンチャー魂」日経ビジネス、２０１３年4月１日

「特集　大志輝く会社　会社ほどおもしろい場所はない」日経ビジネス、２００６年１２月２５日

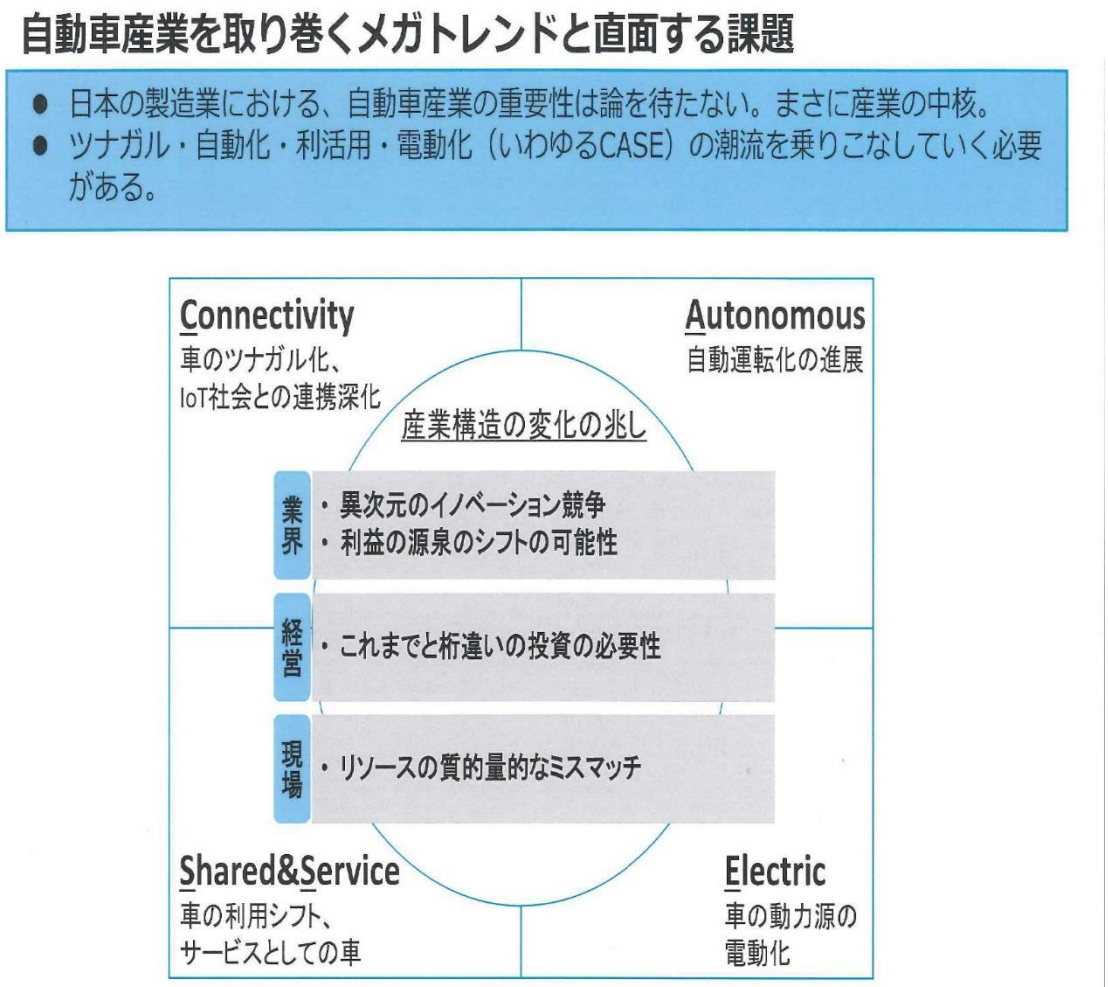
堀場製作所　HORIBA　Report 2016

堀場製作所　HORIBA　Report 2017

6. IoT による産業構造の変革　－自動車産業にみる

6.1. 自動車産業の 4 つの構造転換　メガトレンド

自動車産業は以下の 4 つのメガトレンドに対応していくことになる。（第 1 図）



未来のクルマ社会のキーワード（CASE*）

（＊独ダイムラーのツェッチェ会長の造語）

Connectivity(つながる車)　IoT 時代　ネット接続で便利に

例えば、自動運転時の最新の 3 次元地図の取り込み、車同士の加減速情報交換

スマートフォンを通じて近くの駐車場の空き状況などを調べる（FW）

車のソフトを更新して安全機能などを最新にする（テスラ）

道路の凍結個所を他の同じ車種の車に伝える（ボルボ）

Autonomous （自動運転化）IoT 時代　自動運転機能の飛躍的進展

高速道路での隊列走行（ドライバー不足の解消等のため、高速道路における後続無人 3

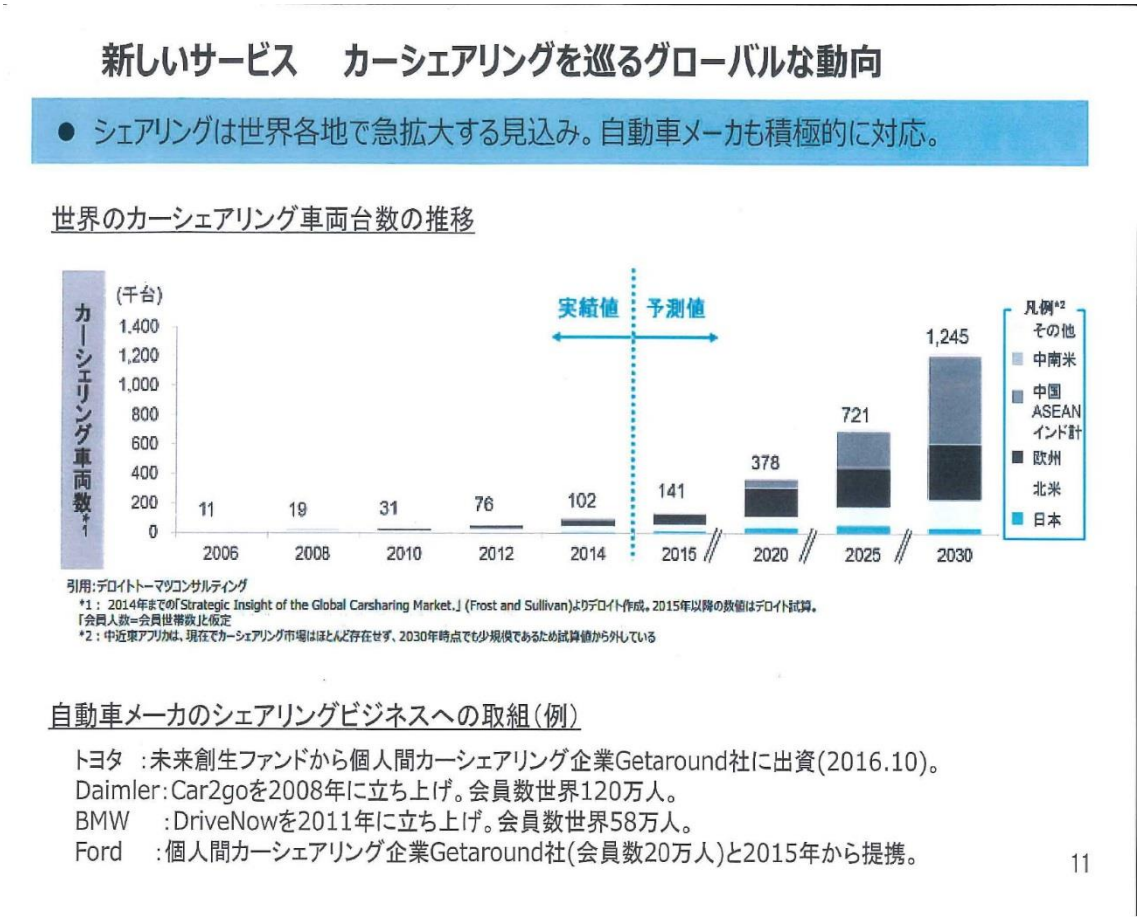
台以上のトラックの隊列走行の実現を目指す）から無人自動走行（地域の公共交通網の維持等のため、遠隔監視等に基づく無人自動走行による移動サービスの実現を目指す）

日産の事例：2018 年には高速道路での車線変更を自動的に行う、複数レーンでの自動運転技術、2020 年までに、交差点を含む一般道での自動運転技術を投入予定

ただし、国際的ルールの統一が課題

Shared & Service （共有サービス）所有から利用へ

IoT 時代の Connected Car の普及で進む　時間貸しカーレンタル方式　（第 2 図）



図：出所：経済産業省自動車課

シェアリングは世界各地で急拡大する見込み。自動車メーカーも積極的に対応

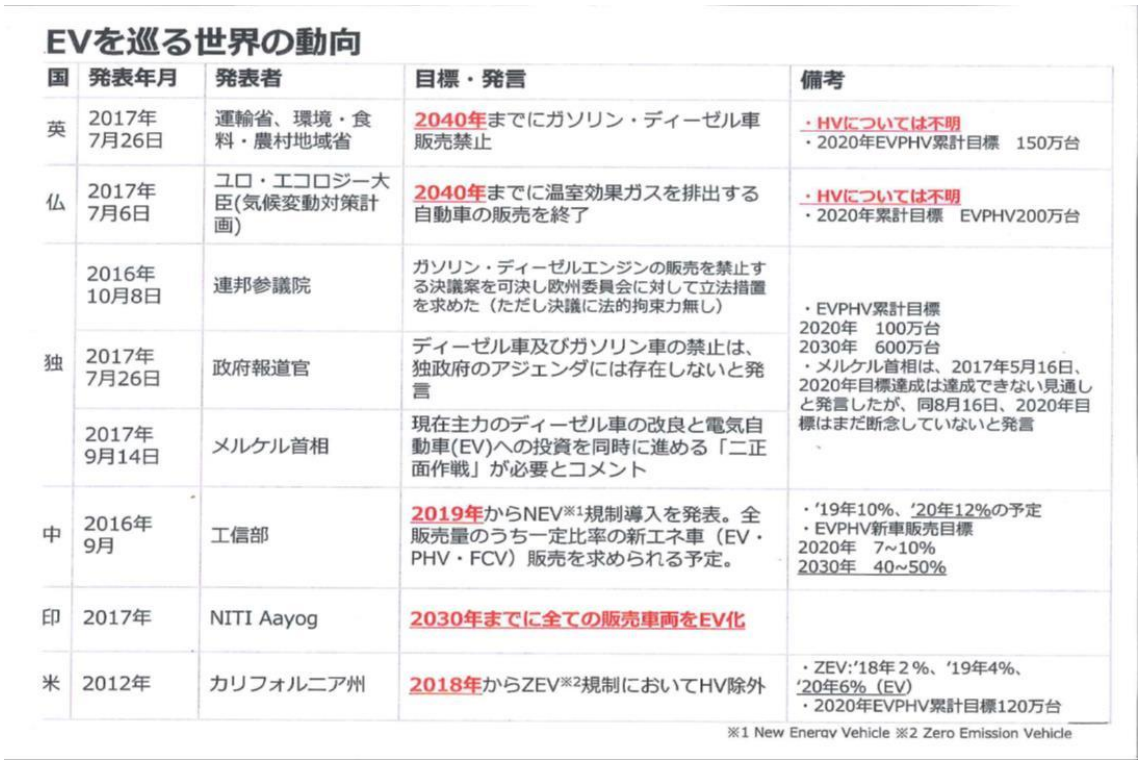
ある調査によると、現在は 70%の車は駐車している。これをすべての車を走行中に変えることにつながる。

また、経産省リポート（？）によると「一日の 95%は駐車場などに止まっている」ともいわれる　シェアリング(共有)サービスによって所有から利用へと効用のベースが移る。

Electric（動力源の電動化）別項で詳述　EV の導入により上記 3 項目の IoT はさらに進展する

6.2. 電気自動車をめぐる世界の動向-各国の動向

電気自動車をめぐる世界の動向-各国の発表（第 3 図）



EVを巡る世界の動向

国	発表年月	発表者	目標・発言	備考
英	2017年 7月26日	運輸省、環境・食料・農村地域省	2040年までにガソリン・ディーゼル車販売禁止	・HVについては不明 ・2020年EVPHV累計目標　150万台
仏	2017年 7月6日	ユロ・エコロジー大臣(気候変動対策計画)	2040年までに温室効果ガスを排出する自動車の販売を終了	・HVについては不明 ・2020年累計目標　EVPHV200万台
独	2016年 10月8日	連邦参議院	ガソリン・ディーゼルエンジンの販売を禁止する決議案を可決し欧州委員会に対して立法措置を求めた（ただし決議に法的拘束力無し）	・EVPHV累計目標 2020年　100万台 2030年　600万台 ・メルケル首相は、2017年5月16日、2020年目標達成は達成できない見通しと発言したが、同8月16日、2020年目標はまだ断念していないと発言
	2017年 7月26日	政府報道官	ディーゼル車及びガソリン車の禁止は、独政府のアジェンダには存在しないと発言	
	2017年 9月14日	メルケル首相	現在主力のディーゼル車の改良と電気自動車(EV)への投資を同時に進める「二正面作戦」が必要とコメント	
中	2016年 9月	工信部	2019年からNEV※1規制導入を発表。全販売量のうち一定比率の新エネ車（EV・PHV・FCV）販売を求められる予定。	・'19年10%、'20年12%の予定 ・EVPHV新車販売目標 2020年　7~10% 2030年　40~50%
印	2017年	NITI Aayog	2030年までに全ての販売車両をEV化	
米	2012年	カリフォルニア州	2018年からZEV※2規制においてHV除外	・ZEV:'18年２%、'19年4%、'20年6%（EV） ・2020年EVPHV累計目標120万台

※1 New Energy Vehicle ※2 Zero Emission Vehicle

出所：経済産業省自動車課

主に環境規制対応から出ているだけに各国内でも必ずしもコンセンサスを得ているわけではなさそう。今後、産業政策等との調整が進められるものとみている。また、目下、各国バラバラで国際的に歩調が揃っているものではない。　しかし、マスコミ的には、格好は話題となって次々に報道されており、この動向は注視しておく必要がある。現時点で報じられている国は、英、仏、独、中、印、米である。

短期的な見方ではあるが、1 月の北米国際自動車ショーで　ホンダが 4 年ぶりに HV「インサイト」のプロトタイプを初公開　１８年夏から米国で発売予定とのこと　欧州市場でも HV 販売が伸びている　トヨタの HV 販売 17 年 38%増、欧州メーカーも力を入れる姿勢鮮明に　トヨタの使う 500V 以上の高電圧ではなく 48V（簡易で安価　燃費改善最大 15%程度）の低電圧のもの　ディーゼル車主体だった欧州市場も排ガス不正問題を契機に変化（日経ビジネス 18,1,29）

6.3. 電気自動車時代の課題

－産業構造への影響は？

自動車産業はそれぞれの国の基幹産業であり、関連産業を含む雇用面で大きな地位を占めている。電気自動車へのシフトは、現在の自動車産業を支える部品産業にも大きな影響を及ぼさずにはおかない。さらに、わが国企業の国際展開の現状から見ると、新興国経済に少なからぬ影響を及ぼすことになる

また、電気自動車への進出にあたり、自動車業界に新たな動きがみられる。一つは巨大投資への対応としての提携、新規技術へのアクセスのための新たな連携　これは業種の枠を超えて他業種との結びつきを求めることになる。さらに、いままで自動車とは縁のなかった業界からの参入が出てくる。自動運転化に伴い各自動車メーカーはすでにソフトウェア会社との連携が必要になっている。

電気自動車化に伴う課題としては、象徴的には、部品点数の激減である。具体的には現在の 3 万点についてみると、　①エンジン部品不要　(約 6900 点→０)、②駆動･伝達系部品減少（約 5700 点→3600 点)、③電装品･その他減少（約 8400 点→6300 点）などで、 ④制御･車体部品(約 9000 点)は変わらないとしても、約 40%近い部品が不要になる。

さらに神戸大　浜口　伸明教授は「ガソリン車の部品点数は約 3 万点とされるが、細かく見るとエンジンだけでも約 1 万点の部品が使われており、数え方によっては部品点数は合計は 10 万点にのぼる。これに対し EV に使われる部品の数は約 1 万点で、ガソリン車の焼く 10 分の 1 ということになる」（日経　経済教室　17,9,26）と述べている。

これは部品産業に影響するだけではなく、現在の自動車産業の中心的技術であり、各社が多年に亘り競ってきたエンジンに関する数々の技術（熱効率・省エネ、消音・振動減、小型化、軽量化等）が不要になることは、他産業からの自動車産業へのエントリーをきわめて容易にすることになる。

現に全く自動車産業と全く縁のなかったテスラ社、ダイソン社（この 2 社については後述）の自動車産業へ進出はその象徴である。

その他、下記のように、各国のいわゆるベンチャー企業がチャレンジしているのは興味深い。（日経ビジネス 18.1.15）

しかし、電気自動車への切り替えにはいくつかの大きな課題がある。

- 需要サイドでは、価格、航続距離、充電時間
- 供給サイドでは、バッテリーの供給、資源の確保、充電インフラ整備など

その一つは、使用する電池である。　その材料入手、価格、持続性、給電施設など課題がある。目下、リチウム電池が有力であるが、原料リチウムの価格高騰、産出国･生産国の偏在、早くもみられる争奪戦　これを解決する全固体電池への期待　これには大規模な投資が求められる。さらにリチウムの回収を如何に進めるかが資源制約下で重要　（この解決の一つとして全固体電池（後述）がある）

もう一つは、給電あるいは水素供給スタンドの整備である。給電施設としては、PHV の場合　家庭用電力 200V でいく場合には、充電に長時間を要しガソリンスタンドでの給油のようにいかない。しかも、充電用 200v フル充電 7･8 時間の場合、一般家庭一日平均の 2 倍以上の使用となる　他方、急速充電（車載電池への充電）方式では比較的短時間で充電できるが、このインフラの整備には電力供給サイドの整備が必要である。

水素ステーションについては、設置費用が高い上に、保守管理費が半分以上を占め、この充実が鍵を握る（経産省は、現在のほぼ 100 ヶ所から 25 年度には 320 ヵ所に増やす）。

以上の事情から電動化についてどのようなテンポで増加するかに疑問符が付く

政府の次世代自動車の普及目標（30 年まで）が未来投資戦略 2017（17 年 6 月閣議決定）に盛られており、これによると、従来車が 16 年の 65,15%から 30~50%に、次世代自動車が 34.85%から 50~70%に目標を設定している。

しかし、ゴールドマン･サックス社の予測では 2025 年の時点で内燃機関は依然として 80%以上残る。40 年にようやく EV が 32%になり、ガソリン･ディーゼル車などは 45%は残るとの見方である。（日経,17,9,11）

移行に伴う部品産業への影響が懸念されているが、修理などのアフターマーケットの存在は無視できない。ある有力自動車部品メーカーは、「現在国内保有車　約 7600 万台　毎年 500 万台づつ新規投入されたとしても、国内の半分が EV 車になるには約 8 年~10 年かかる。さらに、国外マーケットもあるとみており、その間に新しい事業分野を開発すればよい」としている。

6.4.　話題の企業

6. 4. 1. 米　テスラ*モーターズ社

典型的ベンチャー　CEO イーロン・マスク氏

＊社名は天才電気工学者でありながら変人としても有名なニコラ・テスラ（1886～1943）にちなむ

2008 年　「ロードスター」発売
2012 年　「モデル S」発売
2015 年　「モデル X」発売
2017 年　「モデル 3」*発売予定

＊航続距離　約 345 ㎞　約 390 万円　電池のコストを抑えて価格をさげる意欲的なもの

2017 年 11 月　2019 年発売予定の初の商用車　EV トレーラーを公開

部品点数がエンジン車の 3 分の 1 以下　運用コストは最低 2 割弱は下がるとマスク CEO は強調

アメリカ政府からの税制優遇ある（詳細不明）

加州では無公害車（ZEV＝Zero Emission Vehicle）を一定数量販売する義務ある。義務を果たせなかったメーカーはこの ZEV クレジットを達成したメーカーから購入することになり、電気自動車しか生産していないテスラはこの販売で莫大な利益を得ているという。

同社が今後も話題先行の商品開発を続ける限り、多くの支援が得られるので事業も続けられるが、・ライバルの自動車大手も着々と EV を開発しているだけに、行方には課題が山積

テスラが新型「ロードスター」を世界最大級のロケットで宇宙空間に打ちあげた。2 月 6 日新型ロケットの打ち上げに成功した米スペース X 社とステラの CEO(最高経営責任者)を兼務するマスク氏はロードスターからの映像をインターネット配信。（日経ビジネス　18、2,19）

直後発表の同社の決算は厳しい台所事情を浮き彫りにしている。すなわち、17 年暦年の最終赤字約 22 億ドル（約 2400 億円）前年同期の 3 倍近い。

最大要因；手ごろな価格の EV「モデル 3」本格的な量産に手間取る当初 17 年末の予定だった 5000 台／週の量産体制（ロボット活用による組み立て工程の完全自動化）が 18 年 3 月末にさらに 18 年 6 月末に遅れる見通し。20 年に年産 100 万台を達成目標としている。受注残は 50 万台とのこと（18,2,9 日経）

同社が今後も話題先行の商品開発を続ける限り、多くの支援が得られるので事業も続けられるが、ライバルの自動車大手も着々と EV を開発しているだけに、「モデル 3」の生産が遅れるほど、競争に巻き込まれるリスクが高まる。（18,1,18 日経）

6.4.2. 英　ダイソン社

電気自動車への参入を 17 年 9 月に表明　電池からモーター、車体までのあらゆるパーツを自前で設計・開発する方針。17 年に費やした研究開発費は 700 万ﾎﾟﾝﾄﾞ／週、18 年にはこれを 800 万ﾎﾟﾝﾄﾞへと上積みして開発を加速。（日経ビジネス 18,1,15）（日経 18,3,2）

幸い足元の業績は絶好調。17 年 12 月決算は、主力のスティック型コードレス掃除機等が好調で、償却前営業利益が前期比 27%増の 8 億 100 万ポンド（約 1180 億円）　非上場で外部からの圧力にさらされず、本業が好調という強みがあるものの、自動車メーカーを含めた競争は激しさを増す。家電で示したユニークさをどう実現するか。

創業者ジェームス･ダイソン氏曰く「既存の自動車業界への不満が原動力」

1947 年生まれ､英ロイヤル･カレッジ･オブ･アート卒　93 年　ダイソンを創業｡掃除機、扇風機、ヘアドライヤーなどを製造販売　経営は CEO にまかせ、会社オーナーとして製品開発の総責任者としてチーフエンジニアの業務に専念　「Sir」の称号を得ている。

彼の思い：環境汚染に対して行動を起こしたい。とりわけ自動車の排ガスによる大気汚染は深刻　この惨状を変えたいと。

＊全固体電池：11 年にトヨタと東工大菅野了次教授が共同で材料の候補物質を発見。これにより出力を上げられ、充電速度も早くなる可能性ある。現在は未だ実用化が見えていない。

・現在、世界で販売されている EV の大半は「リチウムイオン電池を搭載。この電池の液体電解質は可燃性、液漏れがおきると発火しやすいのが難点。全固体電池は固体の電解質で液漏れが起きない。充電時間は大幅に短縮できる。(家庭用 200V で 8 時間、急速充電器で約の 80%充電に 30 分程度-日産リーフの例）設計の自由度高く、高温や低温で出力が低下しない。高い安全性、出力、耐久性が期待されている。

・課題はエネルギー密度や出力密度がリチウムイオン電池に比し低いこと。トヨタ・東工大の共同研究ではこれをエネルギー密度 2 倍、出力密度 3 倍の試作品でき、この場合わずか 3 分程度で充電可能。また、固体電解質の材料も高価なゲルマニウムの代えスズ、ケイ素で実現できるという。トヨタは「20 年代前半に全固体電池搭載の EV の発売を目指している」との報道あり。

・量産技術が確立しているリチウムイオン電池は大規模な投資により生産効率が高まっているが、全固体電池の量産がまだ始まっていないので評価は難しいといわれている。

・昨年 1 月　テスラ社はパナソニックと共同で巨大なリチウムイオン電池工場「ギガファクトリー」をネバタ州に稼働させた。この 1 工場で 15 年時点の全世界の生産量に匹敵する生産能力を実現する。(以上　日経ビジネス　17,10,09）

新 CEO ジム・ローウェン　「EV と全固体電池*の開発に全力、後者には開発に 1 億ドル以上投入、量産に 10 億ドル以上の投資が必要。5 年先を見据えて自社の基盤としての優秀

な人材、新しい技術、システム・サプライチェーンの効率化などに努力。すでに EV 開発に数百人のエンジニアが参画、2022 までに全固体電池も EV もフル生産に入る」

「15 年 10 月に全固体電池を開発する米・ベンチャーSakti 3 を買収、開発を加速している。」「競争が熾烈なのでこれ以上の情報は公開せず、EV 詳細な仕様は秘密にしたい」という（日経　ビジネス　17,10,09）

ダイソンの参入表明は EV をめぐる競争が新たな段階に入ったことを示唆。

ダイソンは 17 年 9 月ダイソン工科大学（ダイソン・インスティチュート。オブ・エンジニアリング・アンド・テクノロジー）を開校。社会課題を発見し、解決するというイノベーションの原点に立ち向かうエンジニアの育成が狙いという。

7. 建設業の自動化、IoT, AI の現在・未来

7.1. 自動化と空間知能化

7. 1. 1. 建設業の自動化の歴史

建設産業、特に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、インフラのメンテナンス対応、危険作業対応についての開発に注力が行われている。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、５G（第五世代通信規則）対応の実験も大林組などによって行われている。

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機種のビル（完全）自動施工システムが開発され、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１）。

建設ロボットも 1996 年時点で１４０以上も開発されていた。しかしながら建築ロボットの多くは失敗に終わり、ビル（完全）自動施工システムも今では耳にしない。ロボット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建設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た。しかしながら技術先行の“テクノロジープッシュ”製品となり、商品化出来ず、ビジネスにはならなかった。建築現場は多様であり、かつ短時間で状況が変化する。建築現場には完全自動化は基本的に不向きで、Man-Machine システムが適している。

図１　ビル（完全）自動施工システム

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」を実施したが発表の多くは 1990 年代の研究開発よりも後退しているように思われる。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に見える。ビル（完全）自動施工システムに関するものは見当たらない。現場溶接の自動化が 2 件発表された。現場溶接の自動化は数十年前に鉄骨ファブリケターが競争して行ったが、採算が合わず撤退した。1990 年代に清水建設がスマート工法と呼ぶビル自動施工システムを開発し、その時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。建設現場では柱ー柱、柱ー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。

7.1.2. シミズ　スマート　サイト

清水建設　生産技術本部　坂本眞一副本部長が紹介した「シミズスマートサイト」は従来の課題を克服した「新時代の建築生産システム」である。基本は AI を搭載した自律型ロボットが BIM（Building Information Modeling）と連携し、現場の管理者・作業者と連携・コラボするシステム(Man-Machine　System)である。ロボットには AI の他 IoT も搭載している。タブレット化されたロボット統合管理システムから作業指示が出される。ロボットは自己の所在位置を認識しながら移動し、対象物を認識して自律的に作業を行う。作業結果はタブレットにリアルタイムに記録・蓄積される。搬送ロボット開発（図３）は重要成功要素である。建設される建物は上部を全天候型のカバーで全体が覆われる。これはかってのビル（完全）自動化システムと同じである。

図２　シミズ・スマート・サイト　（イメージ図）：清水建設提

図３　搬送ロボット（清水建設提供）

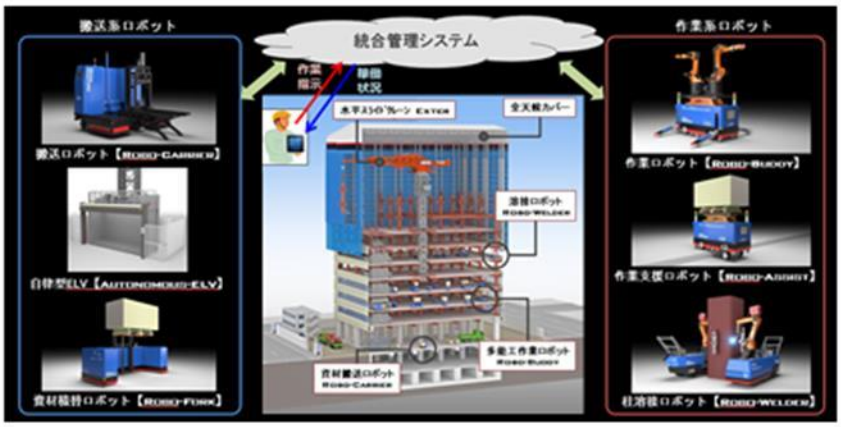


図４　統合管理システムと各種搬送システム（清水建設提供）

7.1.3. 建設業の自動化の課題

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乖離している。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全力で技術開発を進めている。更にはＩＴ企業、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むために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（鉄骨ファブリケーターなど）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。2017 年 1 月の建築学会のシンポジウムでも発表者のほとんどがゼネコンか大学である。

7. 1. 4. 自動化と空間知能化

建築関係のロボット開発の今後の方向について、建築業協会（当時）のロボット委員会委員長を長く務めた前田純一郎氏は“「空間」と「ロボット」を協調させてデザインすべき”と主張している。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」と言う提案で、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る。

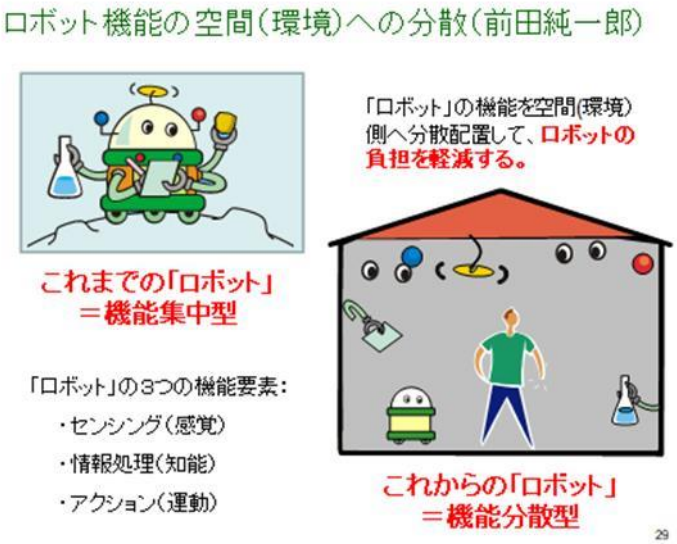


図５　ロボット機能と空間知能化の協調：前田提案

建設生産システムに使用するロボット・自動化は生産数が限定的であり、高度な自動化は価格に大きな影響を与える。建設空間の知能化とのコラボレーションによって低価格ロボット・自動機械を考えるのが良い。

竹中工務店の菅原部長はＢＩＭ(Building Information Modeling)，ＰＤＲ（Pedestrian Dead-Reckoning)、I Beacon,音声認識、自律追従型システムの活用を強調している。５G 時代にはこれらのシステムとの融合が重要である。

自動車の自動化は急速に進んでいるが、国土交通省の報告では IC の合流部や自動車事故への対応のためには高速道路の知能化が必要としている。自動車は大量生産品で高度な自動化技術を搭載しても価格への影響を少なくすることが出来るが、それでも空間の知能化とのコラボレーションは必要である。

7.2.　住宅における IoT

7. 2. 1. 住宅 IoT の歴史

住宅 IoT の始まりは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（マサチュセッツ工科大学）のメグロポンテ教授等の新しい住宅に関する提言で、米国シカゴに世界初のエレクトロハウスが建設されている。住宅内の各所にセンサーを配置して住宅環境をコントロールするシステムである。IoT の先駆けと言っても良い。住宅やオフィスの IoT は「空間知能化」と言う概念でも語られた。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。以後電気メーカー各社がスマートハウスを発表し、住宅用の空間知能化機能（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。しかしながら住宅機器自身のスマート化が進歩すると従来の住宅 IoT（空間知能化）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化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・住宅の IoT は新しい段階に入っている。しかしながら住宅内に設置される環境コントロール機器はメーカー毎に異なったシステムになっている。環境コントロール結果の見える化も進んだが、直ぐ飽きがきてしまって「宝の持ち腐れ」状態である。システムは個別住宅内でクローズになっていてコマツのＫＯＭＴＲＡＸやＧＥのインダストリアル・インターネットとは大きく異なっている。経済産業省は「住宅における IoT/ビックデータ利活用促進に関する検討会」を設置し、平成２８年度の報告書が公表されている。ビックデータ活用のための障害を的確に把握し、従来の HEMS 実績をも活用としている。「防災・緊急時対応サービス」「高齢者生活支援サービス」と重要かつ具体的に可能なことから始めようと言う内容で高く評価される。検討会の主査は野城智之東大副学長で、強いリーダーシップが期待される。

7.2.2. ハウスメーカーの住宅 IoT 論

積水ハウス吉田元紀技術部長は住宅 IoT とは HEMS と HEMS を活用した ZEH(MET ZEROENERGY HOUSE)に始まるとしている。住宅内の様々な設備がインターネットでつながり、制御されて快適環境を維持し、安全・安心を確保し、省エネ・費用削減になる。２０２０年までには標準的な新築住宅で ZEH を実現するとしている。

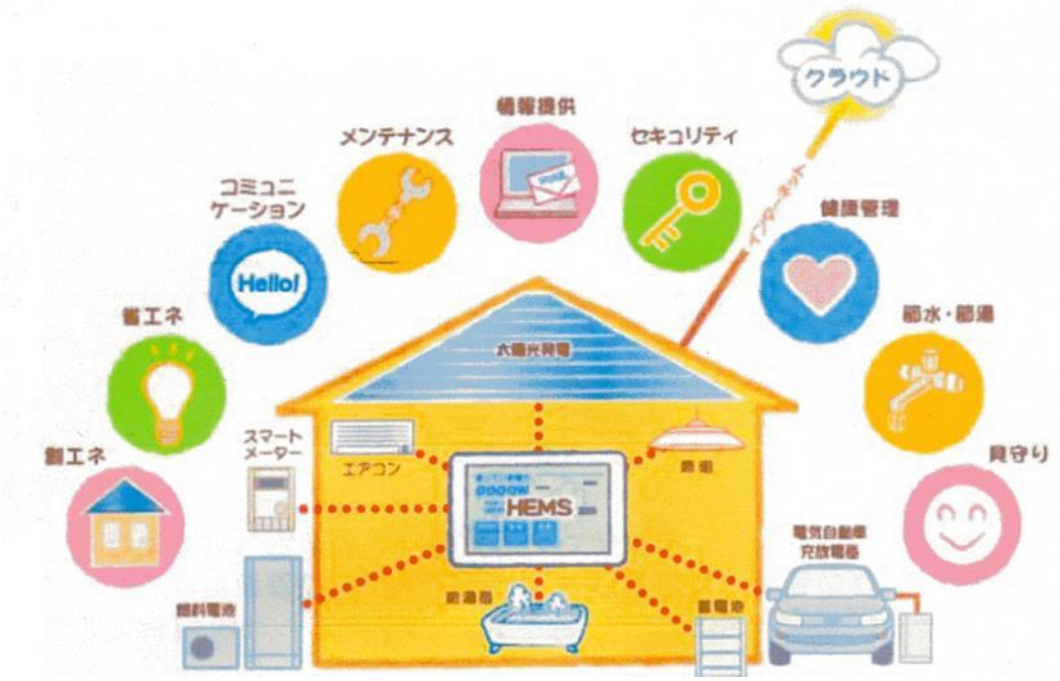


図６HEMS 普及による IoT 住宅（吉田元紀氏講演資料）

図７　ZEH（吉田元紀氏講演資料）

しかしながら現在の HEMS には下記の課題があるとしている。

１）省エネ・創エネ機設備中心で他の設備への拡大が必要。

２）メーカー独自のシステムでメーカー間の汎用性が無い。

３）設備間の接続・稼働保証が誰がするか曖昧。
４）生活者目線であるか検討必要。
５）リモコンがメーカー間で共用出来ない。
６）薬事法などの既存法律の規制がある。
吉田部長も経済産業省の「住宅における IoT/ビックデータ利活用促進に関する検討会：主査　野城教授」に期待をよせている。防災・緊急時対応サービス、高齢者生活支援サービスの WG は設備メーカーの枠を超え、自治体全体や関連省庁連携となり、本来的な IoT 活用が期待される。

IoT を活用した社会システム開発について､経済産業省は H２８年度補正予算として｢IoT を活用した社会システム整備事業」を実施した。この事業に対して積水ハウスは東京都内の賃貸マンション３棟・３１戸について実証実験を行った。福岡県みやま市は地域全体での IoT 取り組みを行っている。藤沢市は町全体の監視システムを実施している。これらの取り組みの普及により、個別 IoT から広域 IoT へと拡大することが期待される。

7. 2. 3. 住宅 IoT と空間知能化

住宅・ビルの IoT 化は空間知能化の歴史である。空間知能化の歴史は表１のように６段階に整理することが出来る。今後は AI スピーカーや慶応大学三田教授提案のインターフェースの発展がキーとなる。

表１　空間知能化のステップ

ステップ	内容
第一段階	セキュリテイーセンサーの時代
第二段階	**空間知能化による人間行動分析**
第三段階	**空間知能化による機器･設備･家電管理**
第四段階	空間の機能化（空間のロボット化）
第五段階	**機器･設備･家電の知能化･自動化**
第六段階	インターフェース（AI スピーカー）

住宅やビルのＩＴ化では人間不在の空調管理、ＩＴシステム優先の空調管理が「シックハウス」「シックビル」問題を発生させた。IoT の適用でも自然や人間の存在を忘れてはならない。

7.3.　建築生産工場での IoT（溶接の IoT の場合）

建築鉄骨や鋼橋梁は鉄骨橋梁ファブリケーターで製作される。その工場の主要機器は溶接機である。溶接機の IoT の現状について検討する。　溶接の品質やアーク現象論などでは古くから溶接プロセスのデータ収集が行われてきた。産業機械で最も早く自動化が行われたのは溶接で、建築鉄骨ファブリケーターでも早い時期から大活躍している。

図８　建築鉄骨工場の自動溶接（日本ファブテック提供）

溶接では各種のセンシングとプロセス管理への適用が行われてきた。IoT の先駆けと考える。最新の IoT 技術では鉄骨製作工場内の多数の溶接機からの情報が一括管理され品質管理や生産性向上に大きく貢献出来る状態になっており、溶接の IoT は着実に進展している。ただし個々の工場内でのデータ処理に終わっており、異なるメーカーの溶接機が併用された場合に統一的に情報集・コントロールできる状態ではない。

欧米の溶接機メーカーはビックデータの活用やオープンネットワークの必要性を強調している。これは GE のインダストリアル・インターネットやシーメンスのインダストリー４．０と共通する概念である。しかしながら多くは構想段階であり、溶接の IoT では日本メーカーの方が現実的かつ着実である。オーストリアの溶接機メーカーは、インダストリー４．０では「リアルタイムデータ通信」が重要で、アーク現象の溶滴剥離の周波数が１５０Hz、一つの短絡アークのサイクルの間に少なくとも５０－１００回の相互作用が必要と指摘している。IoT 環境としてこのような条件での制御はかなりチャレンジなことと指摘し、オープンネットワークではセキュリテイーが重要との指摘もされている。産業要素によっては対象となる技術の要求と現在の IoT 技術の乖離も考えられる。５G でどの程度カバーできるか検討が必要である。

溶接の IoT は住宅の IoT と同じく、一つの工場内での処理に留まっており、異なるメーカーの機器への対応も不十分である。住宅の IoT は経済産業省が主導した検討会でビックデータの活用やオープンネットワークへの対応が進められている。経済産業省では製造業向けの IoT プロジェクトが多く設置され、スマート工場の実証事業も行われている。しかしながら経済産業省の報告でも日本の製造業の IoT は「自社で閉じている」「大量生産を念頭においたもの・変種変量には対応していない」が問題としている（参考文献２）。

鉄骨フアブリケーターは受注生産で、典型的な「多変種・変量産業」である。今後どのように IoT 化を進めるかについて産官学で充分な検討が必要である。鉄骨ファブリケータ

ーは従来鋼構造系の学者にアドバイスを得てきたが、生産システムが自動化、IoT,AI 主導となる時代にはこの分野の専門家のアドバイスを得る必要がある。『溶接学会誌』では東京大学システム創生学専攻の青山和浩教授が溶接 IoT について語り、造船工場についてインダストリアル４．０、CPS（Cyber-Physical System）などを語っている。内容も大変現実的である。

参考文献
１）「住宅における IoT/ビックデータ利活用促進に関する報告書」経済産業省　平成２９年３月
２）「IoT によるものづくり変革」経済産業省　製造産業局　平成２７年４月

7.4. 建設における AI　の現在・未来

建設分野のＡＩ活用は他分野ほど活発ではない。新聞記事にも建設分野の発表は非常に少なく、建設ＡＩに関する記事は建設ＡＩ関係の未来予測や評論的なものが多い。

7.4.1. 政府の AI 戦略における建築 AI の扱い

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「ソサイエテイー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 IoT,ＡＩによる大変革である。日本の「ソサイエテイー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。「超スマート社会」の具体例には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靭な社会」「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ー」「IoT システム構築」「ビックデータ解析」「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。

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。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、今後数年が重要である。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。

政府全体としてはAIに大いに力を入れているが建設産業に直接関係する国家戦略は国土交通省が進めるＩ－ＣＯＮＳＴＲＵＣＴＩＯＮである。これは土木分野を主体とする戦略である。インフラのメンテ、住宅流通・リフォーム、ＰＰＰ/ＰＦＩなどは言及されているが、「ＡＩと建築」と言う内容はあまり見られない。

7.4.2. 建築における AI

日経アーキテクチュア創刊４０周年記念では「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。実際のシステムとして米 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がある。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である。Flux 社の情報は２０１４年以降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ビルの平面計画、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を活用する技術は確実に実績が進んでいる。省エネ、セキュリテイー管理、電力需要予測などにＡＩが活用されている。建設のＡＩ活用の１号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（図９）。シールドマシンは地盤の変化に大きく影響され、常時危険が存在する。熟練オペレーターの経験と知識が必要であるが、事故（工事遅滞など）は多く、このような分野へのビックデータ活用やデイープランニング活用は重要であるが、この技術は土木分野のものである。多くの分野でのＡＩ活用の情報があるが、建築分野はかなり遅れている。

図９　シールドマシーン操作の AI 化（清水建設提供）

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。２０１６年４月から「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ている。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・定着にようやく拍車がかかった状況である。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。ＢＩＭは建設会社横断の活動が活発になっており、ようやく成果が出てきている。

ＡＩを進化させている技術はビックデータとデイープラーニングであるが、ポスト・デイープラーニング、デイープラーニング対応半導体チップなどが提唱され技術進歩は早い。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。建設分野以外の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。

7.5. 建設における５Ｇの適用

7.5.1. ５Ｇの動向

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。自動化、IoT，ＡＩ，をより有効に活用するためにも５Ｇは必須である。５Ｇの検討・実現が急速に動いている理由は、第一に携帯電話などの普及による電波容量不足の逼迫がある。電波の利用は無線通信用途のみならず、交通・医療・スマートシテイーなど多くの分野に広がっている。通信容量は勿論であるが質の要求も拡大の一途である。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いる。IoTデバイスの数は２０１５年に１５４億個であったが２０２０年には３００億個になると推定されている。移動体の無線技術では「高速・大容量」は勿論、「超低遅延（発信・受信の時間差がほとんど無い)」「多数同時接続」が必要とされている。

国際通信連合（ＩＴＵ－Ｒ）は２０１２年２月にＬＴＥなどの３．９Ｇは４Ｇと呼んでも良いと承認した。ＮＴＴドコモはＬＴＥを更に高速化・大容量化したLTE-Advancedを開発し、昨年９月からPremium4Gのサービスを開始し、画像ダウンロード時間が従来の1/5としている。

５Ｇは４Ｇの延長ではない革新的な通信レベルである。最高伝送速度はＬＴＥの１００倍、同時接続台数は１００万台/ｋｍ２でＬＴＥの１００倍、遅延は１ミリ秒程度でＬＴＥの1/１０である。遥か遠くの状況が、目の前で行われているようにリアルタイムで見ることが出来る。このような電波送信レベルなればどのようなことが実現できるかについてモバイル通信各社は勿論、多くの産業・企業が報告している。総務省の平成２９年版情報通信白書は以下のように記述している。１）災害に強い社会：街中に設置された高性能センサーにより、被災者に最適な避難経路を迅速に届ける。２）高度モビリテイー社会：辺鄙な地域にも自動運転車が配送され、高齢者はその車の中で健康チェックうけながら病院に行ける。３）先進医療社会：離島の緊急患者がヘリの中で、専門医の指示の下、医師が高

性能画像活用で手術を担当する。４）どこでも臨場感を味わえる社会：ＶＲを活用し、選手個々の情報を入手しながら、タブレット端末でその場にいるようにスポーツを楽しむ。韓国が平昌冬季五輪で行おうとしている５Ｇは４）の一部である。

7.5.2. 建設業と５Ｇ

総務省の新世代モバイル通信システム委員会の資料では、５Ｇによって新なビジネス加わるビジネス領域は収益の多い順に並べると
１）自動車分野　２）産業機器分野　３）ホームセキュリテイー分野　４）スマートメーター分野　５）その他の IoT 分野　である。後者の分野ほど接続数は多いとしている。３）４）は建設業に関わる分野である。しかしながら５Ｇで建設産業・関連産業がどのように変化するかの報告は無い。既に開始されている大林組の実験では「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。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５Ｇになればより容易になると思われる。現時点では建設関連企業の５Ｇへの取り組みは緒についたばかりであるが、建設産業の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、ＱＣＤＳＥ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。最近の株価動向分析でも“次世代通信「５Ｇ」関連銘柄 10 選”なども報告されている。これらの企業では新たな投資が行われ、箱物以上に情報設備関連システム・エンジニアリングシステムが発注されると予想される。建設関連産業にとっても受注増が期待される。

５Ｇ時代でもっとも気を付けるべきことはセキリュテイーである。建設関連産業もＩＴ専門家と同時にセキュリテイー専門家の育成が必須である。

7.6. 終わりに

技術の進歩には光と陰がある。自動化・IoT・AI の分野の陰の部分として語られるのはセキュリテイー分野がほとんどである。住宅・建築の分野では IT 技術の進歩による OA 化が急速に進められた時期があった。OA 化の急速な発展時に発生したのはシックハウス、シックビル問題であった。住宅やビルには人間が居住するが、人間の存在を忘れた開発がこのような問題を引き越した。

AI の分野では AI と人間の関係について仕事の在り方、職業の変化や哲学的議論が進んでいる。しかしながらインダストリー４．０、自動化、IoT の議論では人間の存在の議論が希薄である。自動運転車に関しては移動と言う観点からの議論や事故時の責任論・保険論がほとんどである。「車の運転」と言う行為は移動のみが目的ではない。運転する人間の目的は多様である。自動運転車も移動・安全のみならず安心・快適・健康などの人間中心分野も検討が必要である。車は地球空間と人間のインターフェースと言う概念を持つべきである。インターフェースと言う概念は今後の技術革新では重要要素である。

移動する物の自動化、IoT 化、AI 化の技術は急速に進歩しているが、移動物体を包む空間の知能化とのコラボレーションを重視すべきである。高度化しつつある車の自動化の場合においても高速道路の合流部や事故車対応のためには高速道路の知能化整備が必要である。建築機械等のように生産数が限られるロボット・自動機械の場合には空間知能化とのコラボレーションによる低価格確保が必要である。

8. インダストリーアーキテクチャーモデルの医療分野への適用

8.1. インダストリーアーキテクチャーモデルの利用可能性

ドイツが提案したインダストリー4.0においては、どのような技術標準と使用例が必要なのかについての理解を共有するために、Reference Architecture Model Industry 4.0（RAMI4.0）を作成している。RAMI 4.0は、それに基づく標準間の相関を分析することを目指しており、RAMI 4.0の主な目標は、(1) 既存の標準のマッピング、(2) 標準の特定と標準欠陥の修正、(3) 標準重複の特定と好ましい解決策の作成、(4) 標準の数を最小限にすること (5) ユースケースのマッピング、(6) 関係マッピングとなっている[1]。

この説明が何を意味しているかをただちに理解できる人は明らかに少数派と想定される。図1に示すRAMI4.0の概念図を示されたときに、この3次元空間が何を意味しているのかがわかりにくく、更に関連文書を読むに従い、次第に理解不能になっていく人は多い。まず、用語の体系が一般のマネジメント用語とは異なっているために記載事項が解釈しづらく、更にはRAMI4.0で技術標準間の関係を分析した具体例があまり公表されていないという点も理由のひとつであろう。全体プロセスをモジュール分割し、モジュール間の結合に対して、結合様式のスタンダードをあてはめていく作業は、全ての産業で共通したモジュール化と統合化における手続きであるが、インダストリーアーキテクチャーモデルはそのための効率的なツールとなり得るのかという点は誰もが持っている疑問である。

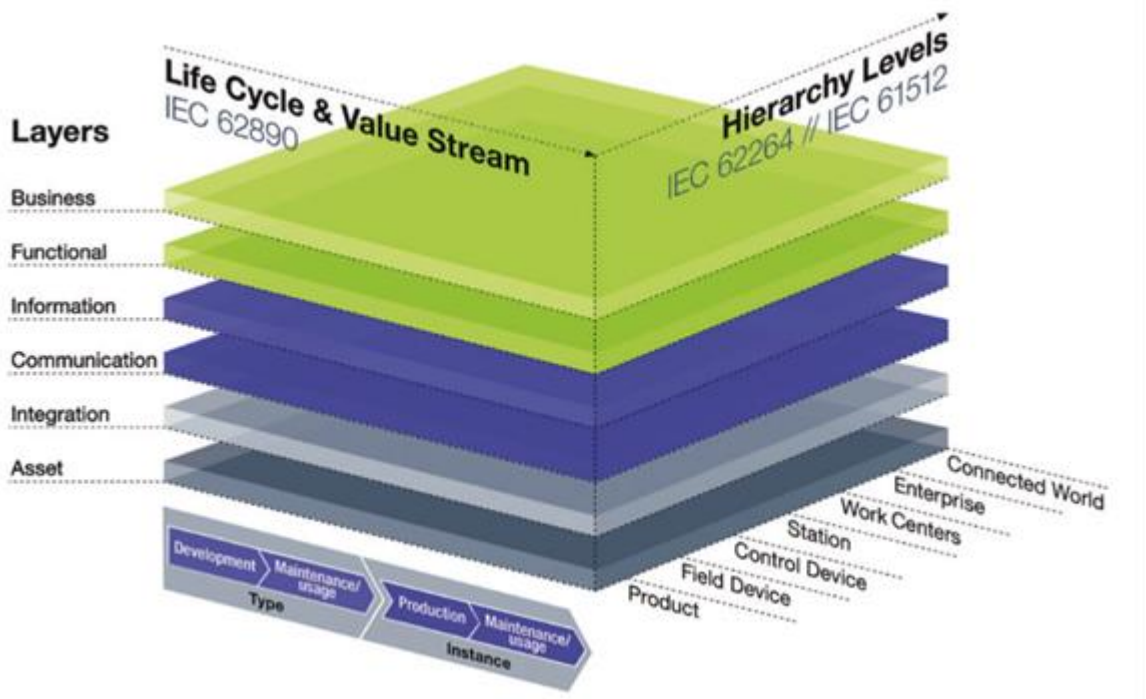


図1　Reference Architecture Model Industry 4.0（RAMI4.0）[1]

一方、医療分野においては、医薬品、医療機器、再生医療の3分野において薬事審査のためのガイドラインとして、いわゆるGxP（Good X Practice ； Good Laboratory Practice,

Good Clinical Practice, Good Manufacturing 等）のような基準の他に、個別製品カテゴリー毎に従来の審査基準のみでは判断できない部分を補完するための製品特異的なあるいは技術特異的なガイドラインや品質や性能を担保するための技術標準が整備されている[2]。有効性、安全性、品質を保証していくために、レギュレーションと技術標準は、複雑に交差しながら補完的に機能しているが、この関係の体系的な整理が行われていない[3]。

この点は薬事審査上のガイドラインを整備している審査当局でも問題となっており、米国 FDA では、「COMMON STANDARDS DEVELOPMENT AND USE OF STANDARDS」と題するスタッフマニュアルを整備し、FDA の審査官に対して技術標準をレギュレーションのデザインに連結させるための標準的なマネジメント・マニュアルであり、技術標準に対する FDA 内の統一的なアプローチを実現するためのポリシーと手続きを定めている。こうした医療の規制当局による技術標準に対する積極的な取り組みは、複数ある技術標準間の関係性が複雑化したことにより、医療上規制と技術標準の関係性も複雑化し、技術標準整備と医療上の規制の両方に対する知識を持ち、両者の整備に関与していくことが求められてきていることの証左である。

新しい技術・製品やサービスの出現に対して、求められる最適な薬事規制上のガイドラインや技術標準を同定する作業は、既存の技術基準とガイドラインとの間の相互依存性、技術標準間の連動性や重複が正しく認識できるかどうかに依存している。しかしながら、この 2 つの手段の組み合わせを効率的にデザインする方法がないため、新しい技術やサービスとルール整備との間にあるギャップを特定する方法を開発する必要がある。医療における新しい技術やサービスを適切にコントロールするためのルール整備の方法論は、この 2 種類の基準の組合せの最適化問題を解く必要があり、そのベースとなる医療の製品とサービスの「インダストリーアーキテクチャーモデル」を構築していく必要がある。この目的のためには、他産業で利用されている「インダストリーアーキテクチャーモデル」の有効性と限界を把握し、この作業をベースにして医療特有の問題を抱合する形での新たな「メディカルアーキテクチャーモデル」を構築していくというステップを踏むことが求められている。

8.2. モデルにおける軸の設定と用語の定義

8.2.1 RAMI4.0 の先行モデル

RAMI4.0 は、既存のモデルを参考にしながらデザインされており、既存モデルにおける用語の定義を参照しながら、理解していく必要がある。

(1) Smart Grid Architecture Model (SGAM)

RAMI4.0 は、従来からあった「インダストリーアーキテクチャーモデル」に類するモデルの考え方を利用している。典型的なアーキテクチャーモデルは、スマートグリッド(Smart Grid Architecture Model (SGAM) Framework)であり、RAMI4.0 にも援用されており、電力に限定したアーキテクチャーモデルである SGAM の理解は、RAIMI4.0 の理解に不可欠である[4]。SGAM は、相互接続性を議論するために、RAMI4.0 と同じく 3 次元構造をと

っている。3 軸の内容を説明すると、以下のようになる。電力関係に限定されている具体性がより軸が何を意味しているかをイメージさせやすくなっている。

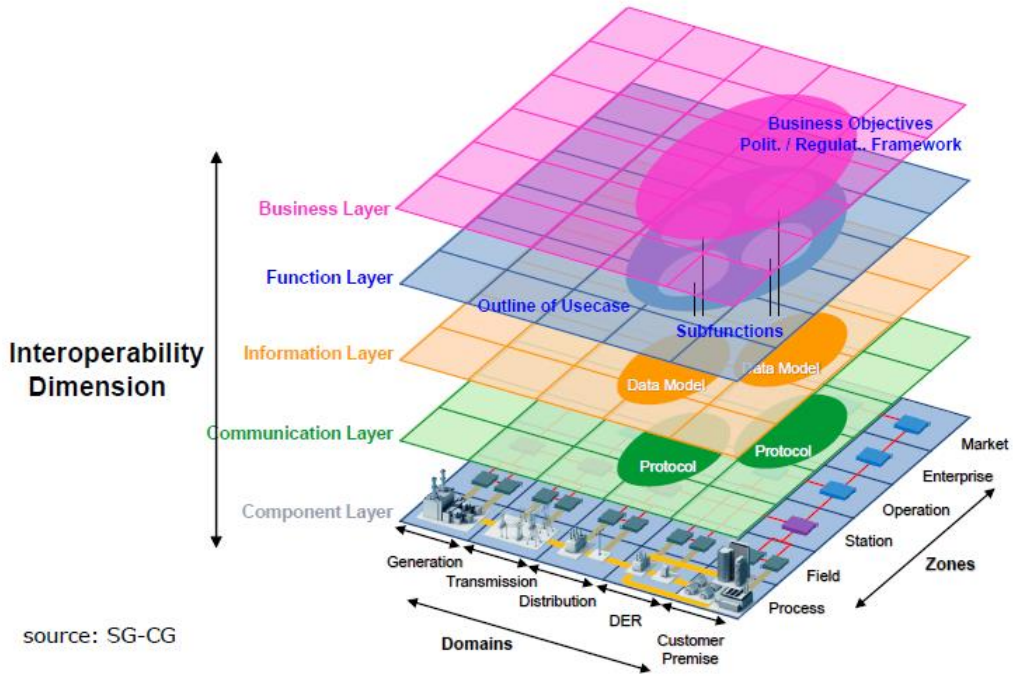


図 2　Smart Grid Architecture Model (SGAM)（出典：SG-CG）

ドメイン(Domain)軸は、電力系統を構成する機器を分類しており、発電(Generation)、送電(Transmission)、配電(Distribution)、分散電源(DER)、需要家機器(Customer premises)で構成されている。

ゾーン(Zones)軸は、制御対象範囲を規定している。制御される機器（変圧器等）制御対象とするプロセスゾーンとそれらの程を行う機器を制御太陽とするフィールドゾーン、複数の機器から構成される拠点を制御対象とするステーションゾーン、複数の拠点をまとめた電力系統を制御対象とするエンタープライズゾーン、電力市場を制御対象とするマーケットゾーンから構成されている。

相互接続レイヤー（Interoperability Layer）軸は、相互接続が求められるサービスや機能をそれらの機能レベルに応じて配置した複数のレイヤーとして表現されている。ビジネスレイヤー（市場構造や規制を配置）とファンクションレイヤー（スマートグリッドで実現されるサービスを物理的実装から独立に配置)、情報レイヤー（物理的実装やファンクションの間でやりとりされる情報構造を配置)、通信レイヤー（機器間の情報転送のためのプロトコルや機構を配置）から構成されている。

SGAM が参考になるのは、技術標準のマッピング作業を例示している点にある。First Set of Standards レポート（出発点として、今ある技術標準がどのようにマッピングされているかを分析したもの）として、SGAM が提唱された時点での IEC 標準や欧州標準それぞれ

の SGAM 上での位置づけとその技術標準文書の整備状況を示した報告書を出版している点にある[5]。また、ユースケースとして、注目するサービスについてのシステム挙動の詩ケースを記述し、ユースケースを起点にすることが、開発する標準の適用範囲を明確にすることができるようにし、これを一般化されたユースケース（Generic Use case）に変換した後、SGAM 上にマッピングし、既存の標準の配置と今後標準が必要となる部分(gap)に区分した上で、標準化を進める部分を同定するというプロセスが想定されている。これが本来的なアーキテクチャーモデルを用いた技術標準の相互関係のマッピングの用途と考えられる。しかしながら、SGAM においても、規制と技術標準の関係の記述は依然として不明確なままであり、より複雑な記述や表現については課題があることがわかる。

図 1 と図 2 を比較すればわかるが、RAMI4.0 は、SGAM の Component Layer を Asset Layer に置き換えて設定し、かつ Asset Layer の上に、Integration Layer を挿入している。しかしながら、Layer の分解の仕方は SGAM の考え方を基本的には踏襲している。

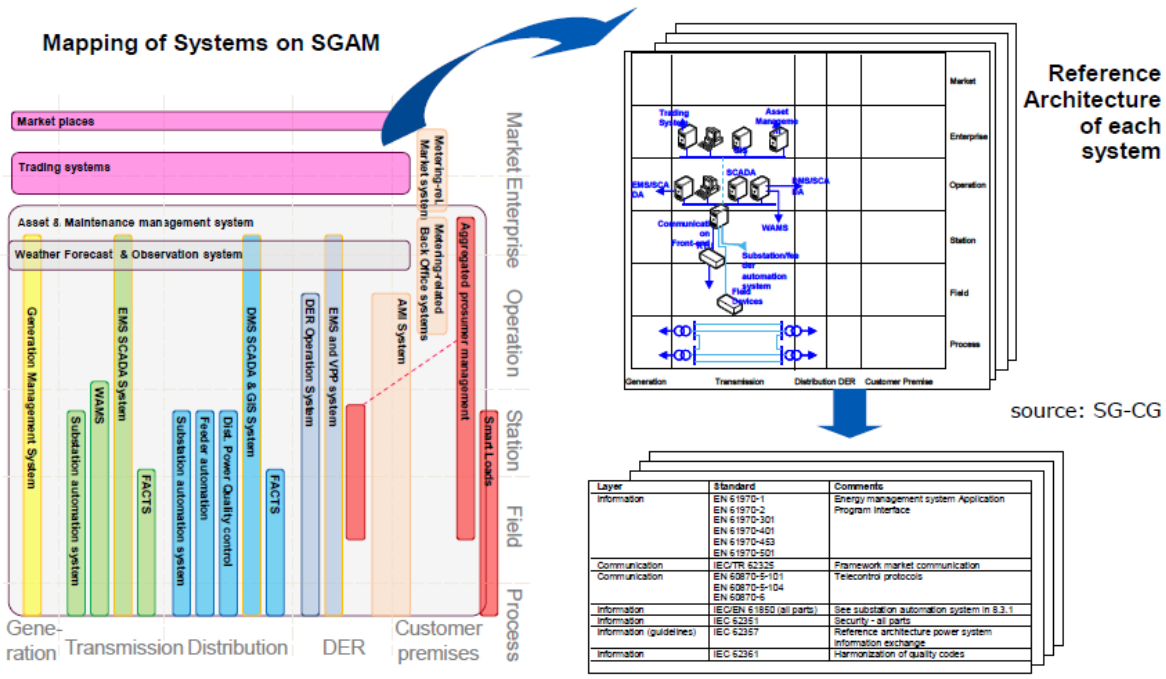


図 3　First Set of Standards の例（SG-CG）

（2）IEC62264

RAMI4.0 が工場の階層（Hierarchy Levels）軸の設定にあたり、参考にしているのが、IEC62264 及び IEC61512 である。製造業の業務の構造、モノと情報の流れ、意思決定のしくみをモデル上でデザインし合意した上で、ICT のしくみを実装するという目的、言い換えると経営上の意志決定と工場における生産を連動させるという目的のために必要となるモデル構築のために参考にすべきモデルをリファレンスモデル（参照モデル）といい、ISA-95（Enterprise-Control System Integration：ビジネス及び製造システム統合）は、製造オペレーションマネジメントのリファレンスモデルとして欧米で主流となりつつあり、

その内容がほぼそのまま IEC/ISO 62264 として国際標準になっている。RAMI4.0 は、工場生産における情報化のためを分解する方法として ISA-95 の階層概念を採用している[6]。

機能階層モデルは、パデュー・リファレンスモデルを継承したもので、図 4 に示すように、レベル０からレベル４まで定義されており、経営計画（プランニング）とロジスティックスはレベル４（タイムフレームは、月、週、日）に、製造オペレーションマネジ メントはレベル３（タイムフレームは、日、シフト、時間、分、秒）に、バッチ、連続、ディスクリートの各コントロールはレベル２（タイムフレームは、時間、分、秒、１秒以下）とレベル１（タイムフレームは、秒、ミリ秒）に位置づけられる。この機能階層モデルでは、機能を実現するためのアクティビティや、 意思決定が行われる管理サイクルの時間スケール（タイムフレーム）が、その階層を特徴づけられている（レベル０のタイムフレームは、リアルタイム)。

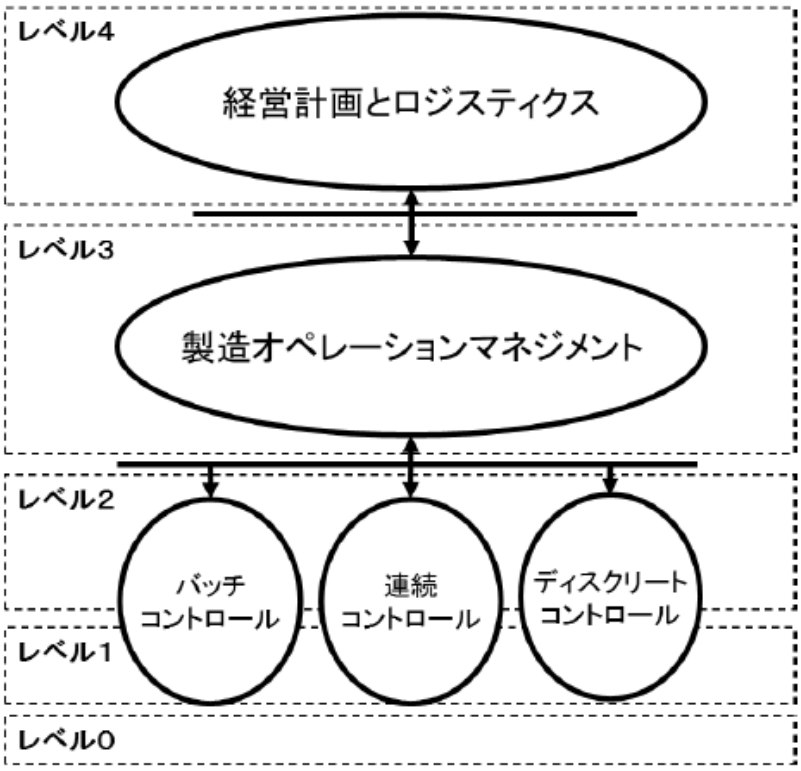


図 4　機能の階層レベル

非特定営利法人ものづくり APS 推進機構による「製造オペレーションマネジメント入門」では、ISA-95 の階層について下記のように説明している[6]。これらの記述は、RAMI4.0 の階層（Layer）軸の理解のためには不可欠であるため、長いが引用しておく。

●レベル４のアクティビティ：

レベル４では、原材料や交換部品などの副資材の管理、引当可能な在庫量の管理、エネルギー使用量の管理と供給の確保、そして工場内の仕掛品や中間在庫の管理など、生産の

ための資源を管理するアクティビティがある。また、製品の品質保証および顧客別の個別仕 様の管理を行うとともに、予防保全、予知保全の計画のための設備稼働履歴の管理、作業者に関する人的資源の管理により、生産設備や資源の品質の向上に取り組むとしている。生産にあたっては、基準生産計画（Master Production Planning : MPS）や工場全体のスケジュールの管理を行うとともに、設備稼働状況、エネルギー状況、保全要求などに対応した基準生産計画の変更、そして、生産を考慮した保全計画や設備更新計画の立案を行う。す。さらには、資材所要量計画や調達計画を加味した最適在庫レベルの管理、生産の割り込みに対応した基準日程計画の修正、必要な生産に対応した設備やエリア単位での能力計画の立案といったさまざまな計画業務を実施する。

●レベル３のアクティビティ：

レベル３では、生産現場により近い立場から、さまざまなアクティビティが実施される。たとえば、エリアごとの詳細スケジューリングを行い、生産のための原価管理と費用の最小化を図る。そして、作成したスケジュールに基づきラインや設備の運転と稼働管理を行いながら、状況に対応した詳細スケジュール変更、さらには、生産ラインや設備の保全業務、品質検査の実施と結果の管理、そして原材料やワークの移動または保管といったアクティビティも必要となる。また、生産内容に関する実績報告、生産や在庫に関するデータ収集の他に、品質保証の立場から、実績データの統計的な分析、そして作業者の作業時間管理と能力管理などもここで実施される。

●レベル２，１，０：

レベル２以下では、生産セルまたは生産ラインの内部において、より細かな粒度の生産プ ロセスを対象とし、管理・監視機能、設備オペレーションや制御機能、プロセスコントロール機能が実施される。レベル２以下では、生産の形態に応じて、バッチコントロール、連続コントロール、ディスクリートコントロールに分かれる。ただし、これらは ISA-95 のスコープ外であり、これらのレベルにおける業務あるいはアクティビティは定義されていない。

●設備の役割階層モデル

工場を、エンタープライズ全体からなる巨大な設備（equipment）ととらえることが可能であり、この設備は、さらに下位の細かな設備によって構成されている。これを繰り返していくと、図 5 に示すように、生産のための設備は、エンタープライズ、サイト、エリア、そしてワークセンタ、ワークユニットという役割概念によって、階層的に整理することができる。

図 4 の機能階層モデルにおけるレベル４の機能は、主に図 5 のエンタープライズ、サイト、そしてエリアの役割階層で対応している。同様に、レベル３の機能は、エリアを最上位として、ワークセンタ、ワークユニットの役割階層で対応している。設備のそれぞれの階層の詳細なイメージは以下の通りである。これらの用語は RAMI4.0 と共通しており、その理解には不可欠であるので、同じく文献[6]より引用しておく。

エンタープライズ：エンタープライズは、サイトの集まりで、設備の役割の階層モデルの最上位に位置する。エンタープライズは、どの製品を製造するか、それをどのサイトで製造するか、総合的にどう製造するかなどについて意思決定する役割を持つ。

サイト：サイトは、エンタープライズを構成する物理的、地理的、または論理的な要素である。たとえば、地理的に独立した工場はサイトに対応する。サイトは、エリアの集まりで、さらに生産ライン、プロセスセル、生産ユニットなどが含まれる。それぞれのサイトは独自の製造能力を持つ。

エリア：エリアは、サイトを構成する物理的、地理的、または論理的な要素である。ここには、プロセスセル、生産ユニット、生産ライン、貯蔵ゾーンといったワークセンタが含まれる。エリアは、通常、サイト内の地理的ロケーションや生産能力の種類によって識別され、製造能力および能力量を持つのが一般的である。機能と階層モデルにおいて、レベル４、つまり経営計画とロジスティクスのレベルのアクティビティが対象とするのは、エリアの階層までである。

ワークセンタとワークユニット：ワークセンタは、設備の役割階層レベルにおいて、エリアの下に位置する。生産の形態によって、バッチコントロールに対応するバッチ生産用設備の場合はプロセスセル、連続コントロールに対応する連続生産用設備の場合は生産ユニット、ディスクリートコントロールに対応するディスクリート生産用設備の場合は生産ラインと呼ばれる。また、生産の形 態に係らず、貯蔵または移動用設備の場合は貯蔵ゾーンと呼ばれる。ワークユニットはワークセンタのさらに下に位置づけられ、ワークセンタを構成します。１つの エリアの中に、さまざまな種類のワークセンタが存在する場合もありえる。たとえば、ある飲料メーカのエリアにはバッチで調合を行う生産ユニットがあり、その後に連続で殺菌を行う設備があり、その製品を充填・包装するディスクリートの充填ラインがある。

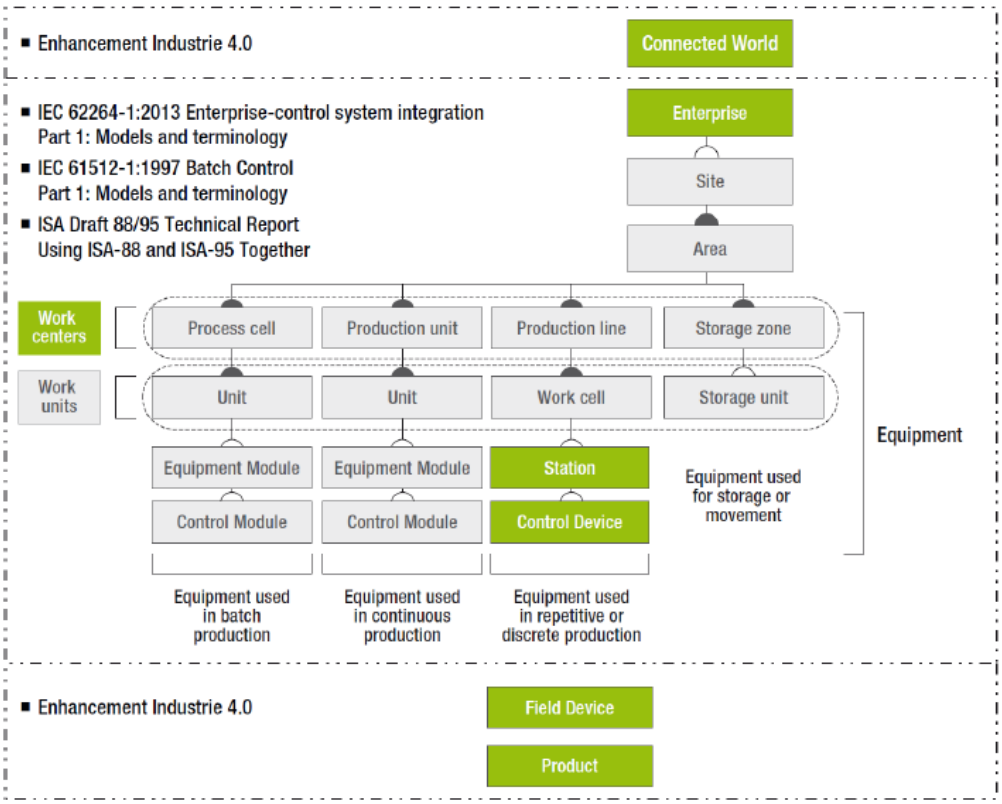


図 5　IEC62264 の設備階層モデルと RAMI4.0 の採用部分[1]

工場内の位置づけにあたり RAMI4.0 がこの軸について参考にしているのは、この IEC 62264 および IEC 61512 の規格である（図 5)。プロセス技術から工場自動化まで可能な限り数多くの業種について統一した考察ができるように、IEC 62264 および IEC 61512 の規格の中に記載されている選択肢の中から RAMI4.0 は「エンタープライズ」、「ワークセンタ 」、「ステーション」、「コントロールデバイス」を採用している。インダストリー4.0 には，コントロールデバイス（中央制御等）のみでなく、一台の機械や装置の内部についても考慮することが決定的に重要な意味をもつため、コントロールデバイスの下位に「フィールドデバイス」を追加している。これはたとえば知的センサなどの知的フィールド機器の機能的レベルである。

さらにインダストリー4.0 では製品の製造のための装置に加え、製造する製品自体も分析のために重要となる。したがってレベルの下段にはさらに「製品」を挿入している。こうすることで RAMI4.0 において製造する製品と生産装置をその相互依存関係とともにむらなく分析することが可能となる、としている。

階層レベルの最上段にもやはり追加した項目がとして、IEC 規格はいずれもひとつの工場内の各レベルしか表示していないが、RAMI4.0 ではさらに一歩進んで、工場の連携や社外エンジニアリング事務所、納入業者、顧客等との協働なども記述することを想定している。そのため分析のためにエンタープライズレベ ルの上にさらに「コネクテッドワールド」のレベルを挿入している。これにより、「設備の階層性」を規定している。

（3）IEC62890

RAMI4.0 は、相関関係やつながりを可視化し、標準化するため、第二軸にライフサイクルおよびそれと結びついた Value Chain を採用している。RAMI4.0 における Life Cycle& Value Stream の軸である。この軸は IEC 62890 の考え方をそのまま踏襲し、開発と生産をそれぞれ「タイプ」「インスタンス」と分けてモデル化する、いわゆる Product Lifecycle Management を表現している。IEC 62890 のタイトルは「Life-cycle management for systems and products used in industrial-process measurement, control and automation」であり、その中ではタイプとインスタンスを明確に区別している。以下にその定義をあげておく[1]。

タイプ：タイプとは常に、アイデアの発想とともに生まれるものであり、すなわち「デベロップメント」段階における製品の誕生とともに成立する。デベロップメントとは、指示・開発・試験から試作品第一号およびプロトタイプの製造までを意味する。つまり、この段階において製品や機械などのタイプが成立する。すべての試験および妥当性の確認が終了すると、そのタイプの量産ができるようになる。

インスタンス：一般的なタイプに基づき，生産によって製品の製造が行われる。そして製造された製品のひとつひとつが、それぞれこのタイプのインスタンスとなり、一意的な製造番号などがつけられる。各インスタンスは販売に回されて顧客に出荷される。顧客にとっては、製品は差し当たってタイプにすぎない。それがインスタンスになるのは、製品が具体的な装置に取り付けられた時点である。タイプからインスタンスへの変化が何度も繰

り返される可能性がある。

タイプが確定すると特定の製品バージョンが発表される。次にシステムは連続生産用に発表されたタイプをベースにして、タイプのインスタンスである製品が製造される。部品の製造中止や改良で製品を変更することが必要になる場合、変更が確定して発表されるとタイプが変更され製造工程に新製品のバージョンとして導入される、といった文脈で表現される。

しかしながら、この軸は SGAM が採用しているドメイン軸と RAMI4.0 における Life Cycle& Value Stream の軸とではかなり異なる。SGAM では完成形におけるドメインの連結を想定している（インスタンスのみを想定している）のに対して、RAMI4.0 では途中の半完成品を記載するようにしているという点で、開発段階にある状態を記載しようとしているが、記載がより複雑になることは避けられない。この点の功罪は、開発段階を記載することの重要性に依存しているものと想定され、医療においては開発段階（特に臨床開発段階）に適用されるルールが重要であることから、後述することとする。

8.2.2　マネジメント用語との違い

SGAM や RAMI4.0 では通常使われるマネジメント用語とは異なる定義が導入されており、これが理解を妨げている。特に Layer におけるビジネスとファンクションはこの２層が直接的に規制と関連することから、医療への適用を考える際には十分な注意が必要となるため、その定義を確認しておく。ビジネスとファンクションは、SGAM と RAMI4.0 で共通である。RAMI4.0 の文書では、下記を列挙している[1]。

ビジネスレイヤー：

・Value Chain における各機能の整合性確保
・ビジネスモデルおよびそれから生じる総合プロセスのマッピング
・法律・規制等の環境条件
・システムが遵守しなければならない規則のモデリング
・ファンクショナルレイヤーの各種サービスのオーケストレーション
・異なるビジネスプロセスを連結するエレメント
・ビジネスプロセスを先に進めるためのイベントの受け取り

ファンクショナルレイヤー：

・各種機能の形式仕様記述
・さまざまな機能の水平統合用プラットフォーム
・ビジネスプロセスを支援する各種サービス用のランタイム環境およびモデリング環境
・アプリケーションおよび専門機能のランタイム環境

公表されている SGAM の事例においても、ビジネスレイヤーとファンクショナルレイヤーの具体的な記述は少なく、ビジネスレイヤーにおける Value Chain の各機能の整合性確保及びそれに付随する規制は業法とビジネスプロセスの関係を論じており、発電と送電の分離といったビジネスの大きな枠組みに対する規制がイメージされている。また、「ビジネ

スプロセスを先に進めるためのイベントの受け取り」とは、Value Chain を構成する各プロセス間の連結部分を表現したものであり、ファンクショナルレイヤーは Value Chain を構成する各プロセスの機能を表現している。SGAM の相互接続レイヤー（Interoperability Layer）軸は、「相互接続が求められるサービスや機能をそれらの機能レベルに応じて配置した複数のレイヤーとして表現され、ビジネスレイヤー（市場構造や規制を配置）とファンクションレイヤー（スマートグリッドで実現されるサービスを物理的実装から独立に配置）」に 2 分解して表現している。SGAM では物理的な実装を表現しているドメイン軸での記載が発電、送電、配電、分散電源、需要家機器といった内容であるのに対して、それに対応するビジネス上の定義を提供していると解釈することができる。最下層が物理的な機器の実装であるのに対して、中間層がそれを接続するための階層で、上位層がビジネスモデルを定義するための用語で構成されている。

8.3. RAMI4.0 の医療分野への適用

8.3.1. 医療分野における RAMI4.0 の適用の条件

こうしたアーキテクチャーモデルを医療分野に適用するためには、工場生産システムや電力供給システムを想定していたモデルに対して、医療分野ではどこにアナロジーが存在しているのかという基本的な問いに答える必要がある。医療の全体システムを論じるためには、定期健康診断から予防・診断・治療・リハビリまでの全体プロセスに対してどの部分を対象にしているのかという、「全体と部分」の関係を設定しておくことがスタートラインになる。例えば、病院で実施されているサービスの体系は、工場生産における「多品種少量生産システム」とアナロジーがある捉えることもできるであろう。「病院≒工場」としてアナロジーを追求するというアプローチである。ただし、病院が持つ機能は多様であり、病院機能の一部を対象として解析を進める必要がある。疾患を限定してプロセスを規定するという分解方法も想定できる。いずれにせよ、医療のどの部分を切り取って、アーキテクチャーモデルの適用を試みるのかという点を決めておく必要があり、何故、その部分にモデルを適用することの意義を明らかにした上で、部分を設定する必要があろう。

更に医療では、サービスを提供している主体は医師とコメディカルであり、これらの主体が提供しているサービスをどのように規定するかである。製品を使ったサービスを主体がどのように展開していて、その中のどの部分をモデルの対象とするかあるいはすべきかを明示しておかなければ、分析の範囲が確定しない。

また、完成品や完成されたサービスと開発中のものをどう表現するかという問題がある。RAMI4.0 や IEC62890 は「タイプ」と「インスタンス」を区別しており、開発段階のものを記載することを念頭におく必要がある。

いずれにしても、医療における技術標準とガイドラインをマッピングするためにアーキテクチャーモデルを利用するという作業の中で、最初に実施すべきは対象とする医療の部分に対して、既存の技術標準とガイドラインをリストアップし、それらを SGAM における「First Set of Standards」と同じように、「First Set of Standards and Guideline for Medical Application in RAMI4.0」として、マッピングしてみることが適用可能性をチェックするための第一歩であり、本稿は試行的にマッピングを例示し、利用上の課題を検討す

ることが目的である。

8.3.2　DNA 診断分野における RAMI4.0 の適用

医療における「First Set of Standards and Guidelines」の対象範囲を選択するにあたっては、比較的最近製品が出現し、技術標準と技術特異的な審査ガイドラインが整備された領域を対象として分析してみること、製品とサービスの両面を分析してみることが本稿の目的である、「パイロット的な分析」に適しており、本稿では「DNA 診断」に焦点をあてて、アーキテクチャーモデルを適用してみることとしたい。医療の全体プロセスの中で、診断サービスの中でも診断機器を用いた診断は、院内で処理されるものと院外に発注されるものがある。図 6 のフローに示すように、DNA 診断の多くは院外の検査センターに外注されており、患者のサンプル（血液）は医師が取得し、病院は血液サンプルを検査センターに送り、検査センターは検査デバイスを使って検査した結果を病院に送り、検査データをもとに医師が判断を行い、患者に対する処置を決めている。本稿における分析の対象は、サービスの国際技術規格がある検査センター（Diagnosis Laboratories）と最近 ISO が整備された DNA チップによる DNA 検査デバイスを製造しているデバイスメーカ(Microarray Manufacturers)を対象とする。

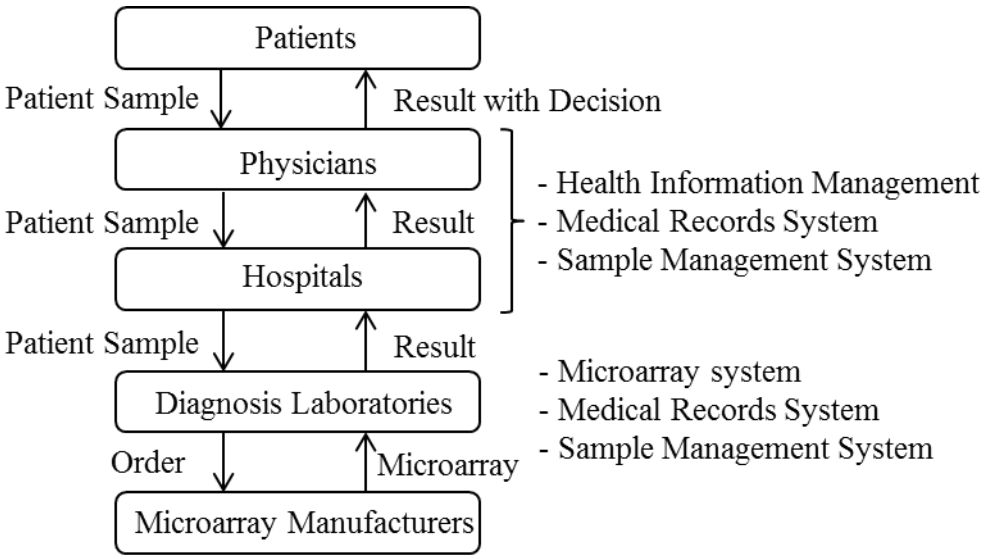


図 6　DNA 検査における患者・医師・病院・検査センター・デバイスメーカの関係

(1) Value Chain 軸における製品とサービス、タイプとインスタンスの関係性

検査サービスに用いられる製品は、デザインされて製品候補として臨床試験でテストされる段階は「タイプ」として認識することができ、薬事承認された段階で製品として確定し「インスタンス」となる。一方、検査センターでは、検査デバイスを用いて初期段階では、検査サービス自体が試行的に実施される段階では「タイプ」であり、商業的に実施される段階に至って、「インスタンス」となる。検査データは将来的にはリアルワールドデータとして、共有されて製品開発にも生かされていくと想定されるが、これは将来的な情報

のパスであり、現段階ではつながっていない。

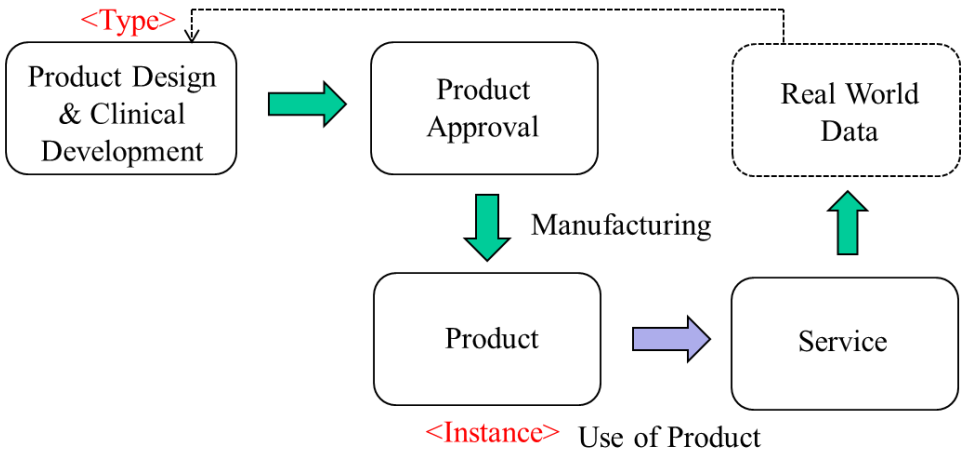


図 7　タイプ・インスタンスと製品・サービスの関係

(2) Hierarchy Level 軸

表 1 の DNA チップメーカのヒエラルキー軸を示す。タイプとインスタンスの両方を記載しているため、複雑になるが、開発段階（タイプ）では DNA チップの搭載する遺伝子（診断マーカー）の権利保持者や臨床試験を実施するための医師や病院とのネットワークがあり、製品販売段階（インスタンス）では、販売先である検査センター、チップ製造のための原材料の供給者と接続されている。エンタープライズとしては研究所、工場がそれぞれの段階での拠点となる。ワークセンタでは、バッチ生産のためのプロセスセルとなる。ステーションとしては、DNA チップ製造のための設備モジュール全体が対象となり、その中でコントロールデバイス、プロダクトが設備の階層構造を構成している。

表 1　DNA チップメーカの Hierarchy Level

ヒエラルキー	DNA チップメーカ
接続される世界	診断マーカーの権利保持者（タイプ） 臨床試験のネットワーク（タイプ） 検査センター（インスタンス） 原材料の供給者（インスタンス）
エンタープライズ	研究所（タイプ） 工場（インスタンス）
ワークセンタ	バッチ生産のための「プロセスセル」（ユニットを含む）（インスタンス）
ステーション	DNA チップ生産のための設備モジュール（インスタンス）
コントロールデバイス	設備モジュールのためのコントロールデバイス（インスタンス）
フィールドデバイス	-
プロダクト	DNA チップとそのための装置

表 2 の検査センターでは、主にインスタンスの段階のものを掲載しており、エンタープライズとして検査センター企業の各検査事業所が相当している。ワークセンタとしては、冷蔵サンプル保管施設と連動した受発注・データ管理システムがあり、そのためのプラットフォームとなるサンプル ID 管理システム、サンプル分析のためのラインがある。ステーションとしては DNA チップ運用システムが検査センターの区間にあり、その下に設備階層が構成されている。

表 2　検査センターの Hierarchy Level

ヒエラルキー	検査センター
接続される世界	病院 DNA チップの供給者
エンタープライズ	検査センターの事業所
ワークセンタ	受発注・データ管理システム サンプル管理システム サンプル分析ライン
ステーション	DNA チップ運用システム
コントロールデバイス	DNA チップ分析装置
フィールドデバイス	DNA チップ
プロダクト	分析結果

(3) Layer 軸

レイヤー軸と Value Chain 軸の対応関係の記載が最も重要と考えられるが、現段階ではレイヤー軸の内容は試案である。ビジネスレイヤーに記載される法規及びガイドラインを列挙することと、法規及びガイドラインとファンクショナル・レイヤーとの対応関係を検討することが、医療に対するアーキテクチャーモデルへの適用可能性を検討する目的（技術標準とガイドラインをアーキテクチャーモデルへのマッピングとギャップの同定）であり、この部分は今後とも精査が必要である。

DNA チップメーカが製品を製造する場合に、製品開発段階で準拠する必要のあるルールは、薬機法、GLP/GCP、ISO16578[7]、テーラーメイド医療用診断機器（DNA チップ） 開発ガイドライン 2007 （開発ガイドライン）[8]、遺伝子発現解析用 DNA チップ・審査ガイドライン[9]であり、ファンクションは現在のところ暫定的に、タイプを更に分解して前臨床試験、臨床試験、薬事申請、インスタンスを分解して、製造と販売としているが、これが当てはめが適合しているかどうかは今後の検討課題である。

検査センターについては、臨床検査室に特化した ISO として ISO15189[10]があるが、これは従来の品質マネジメントシステム要求事項である ISO 9001 と、技術的能力があり分析試験結果の品質を保証する ISO 17025 (試験所及び校正機関の能力に関する一般的要求事項)の性質を併せ持つものである。この ISO は欧米を中心に、アジア、豪州ではすでに多くの検査室で取得され運用されているが、最近、日本においても検査センターや大学病院の検査部で取得される例が増えている。米国においては米国独自の CLIA と CAP があり、検

査品質を保証するための法律が存在している。ファンクショナルレイヤーの下には、サンプル自体の ID 管理、検査のためのサンプル加工（DNA の抽出、精製、増幅）の品質管理、検査データの管理のための情報があり、そのための ID 管理のためのバーコードシステムやデータ管理のためのフォーマットがコミュニケーションレイヤーにあり、アセットとしては、検査センターを運営するために必要なアセットを列挙している。

表 3　DNA チップメーカのレイヤー軸

レイヤー	DNA チップメーカ
ビジネス	全般: 薬機法 タイプ: GLP/GCP, ISO16578, 21 CFR Part 11, 開発ガイドライン, 審査ガイドライン インスタンス: GMP, GSPS, ISO16578
ファンクション	タイプ: 前臨床試験、臨床試験、薬事申請 インスタンス: 製造、販売
インフォメーション	タイプ: 薬事申請に必要な前臨床試験と臨床試験のカテゴリーとその情報と対応事項 インスタンス: 品質データ
コミュニケーション	タイプ: 薬事申請に必要な電子データのフォーマット インスタンス: 管理シェルに対して生産データを共有するために必要な共通のデータフォーマット
インテグレーション	タイプ: 実験データの電子化 インスタンス: 管理シェル
アセット	タイプ: 研究者、実験データ設備、サンプル インスタンス: 製造担当者、製造設備

表 4　検査センターのレイヤー軸

レイヤー	DNA チップメーカ
ビジネス	ISO15189, CLIA(US), CAP(US)
ファンクション	サンプル ID 管理、DNA 抽出、DNA 増幅、DNA 分析、データ管理、結果報告
インフォメーション	サンプル ID についた分析データ、サンプル処理の品質データ
コミュニケーション	バーコード、品質データのフォーマット、作業管理レコードのフォーマット
インテグレーション	バーコードシステムによるサンプル管理、端末データ管理
アセット	ラボのオペレーター、患者サンプル、DNA 抽出機、DNA 増幅器、DNA チップ診断システム（データ管理システム付)、バーコードラベル、データ管理ソフト等

(4) 技術標準とガイドラインのマッピング

技術標準とガイドラインをマッピングするためには、主にレイヤー軸におけるビジネスレイヤーとファンクショナルレイヤーを中心に見ていくことになる。図 8 と図 9 は、ビジネスレイヤーにルールを配置し、ファンクショナルレイヤーへの対応関係を明らかにしたものである。GLP、GCP、CMP、GSPS は各々のファンクションとの対応関係が明確であるが、ガイドラインはカバーしている範囲が広範囲であり 1 対多の対応関係となる。タイプの段階での製造とインスタンスの段階での製造は、スケールが異なることから、これらを同時に記載することの妥当性は別途検討しておく必要がある。

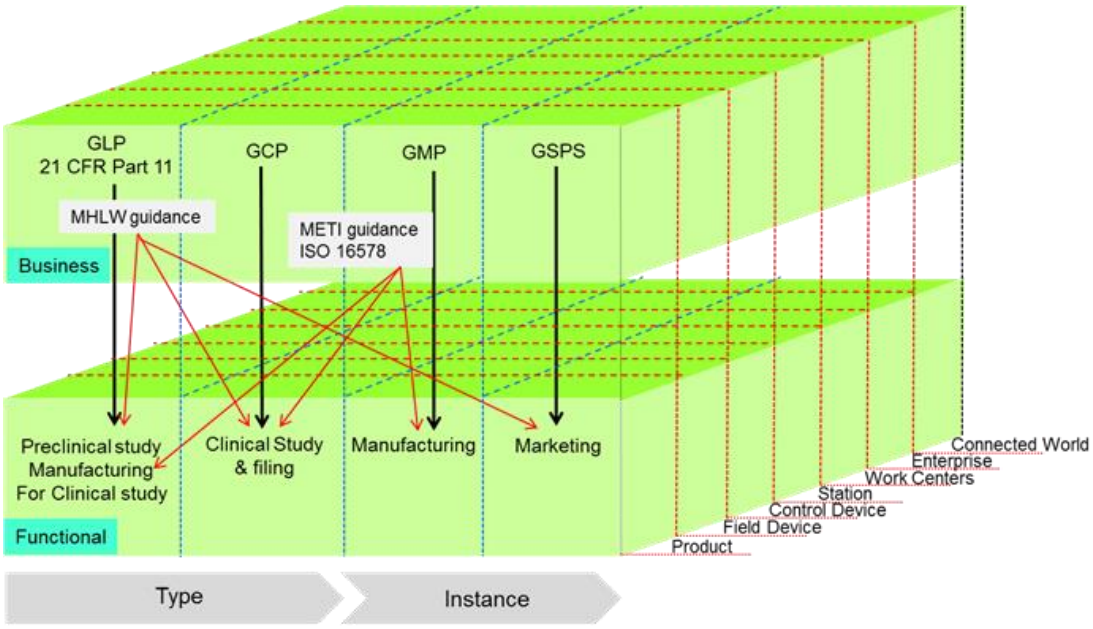


図 8　DNA チップメーカにおける技術標準とガイダンスのマッピング

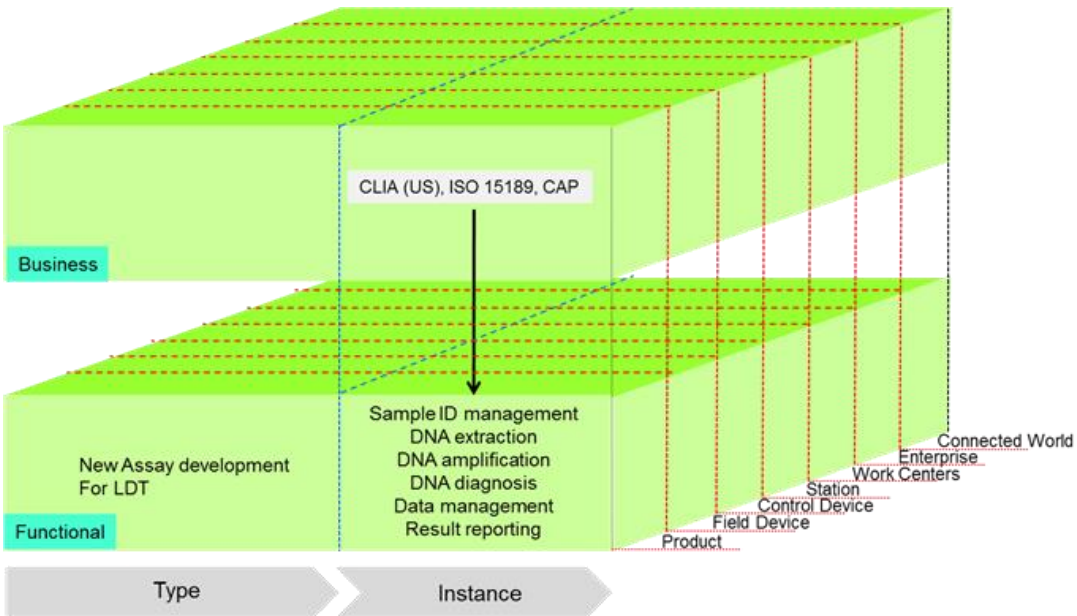


図 9　検査センターにおける技術標準とガイダンスのマッピング

8.4. モデル利用上の課題

本稿では技術標準とガイドラインのマッピングを主にレイヤー軸の最初の上位２層とバリューチェーン＆ライフサイクル軸をメインに行ったが、これによりビジネスレイヤーとファンクショナルレイヤーの対応関係を医療においてどうとるのかという初期的な課題に一定の解決策を提示することはできたものと思われる。

しかしながら、製造に関する記載の多い開発ガイドライン、製造における準拠ルールである GMP や、臨床検査室のサービスの品質基準である ISO15189 では、これらがヒエラルキーレベルに展開した場合の記載事項は、3 次元構造から各平面に対してマッピングして詳細を検討する必要があり、今後の課題としておきたい。

参考文献

[1] ZVEI., Industrie 4.0: The Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0). 2015.

[2] GxPs: https://regulatory.usc.edu/consulting/resources/drugs/gxps/

[3] US FDA, Common Standards Development and Use of Standards, https://www.fda.gov/downloads/AboutFDA/ReportsManualsForms/StaffManualGuides/UCM240278.pdf

[4] CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group, Smart Grid Reference Architecture, November 2012.

[5] Johannes Stein、Smart Grid Standardization, CONFERENCE ON ROLLING PLAN ON ICT STANDARDISATION Session 3: Sustainable Growth: Smart grids and smart meters, ICT environment, on behalf of the Smart Grid Coordination Group (SG-CG) Brussels, 2014-03-25

[6] 特定営利法人ものづくり APS 推進機構「製造オペレーションマネジメント入門－ISA-95 が製造業を変える！」、2015 年 3 月 16 日

[7] ISO15189:2012 Medical laboratories -- Requirements for quality and competence, ISO, Geneva. https://www.iso.org/standard/56115.html

[8] METI, Microarray Guidance for Product development, 2007 (in Japanese) http://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/service/iryou_fukushi/downloadfiles/200705-1.pdf

[9] MHLW, Examination Guidance of Genetic Typing using DNA Chip, 2008 (in Japanese). http://dmd.nihs.go.jp/jisedai/tsuuchi/H20.4.4 薬食機 040402.pdf

[10] ISO16578:2013 Molecular biomarker analysis -- General definitions and requirements for microarray detection of specific nucleic acid sequences, ISO, Geneva. https://www.iso.org/standard/57185.html

以上