

2020年度 産業と技術の比較研究 報告書

第4次産業革命の到来

—CPS [Cyber-Physical-Systems]に関する分析 (II) —

2021年4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)商工会館前理事長

委 員 加納 信吾 東京大学大学院教授

委 員 柴田 友厚 学習院大学教授

委 員 馬場 康志 昭和女子大学教授

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

はじめに

本研究会は、産業と技術の関係の変遷を技術の立場から分析を行なってきた。最近、第4次産業革命に突入しつつあるという議論が盛んになされるようになった。その中心概念は、CPS [Cyber-Physical-Systems]であり、サイバー空間と物理空間の融合が進展しているという。

昨年度は、IoTの7社の先行事例に基づき、IoTの技術進化過程と技術開発戦略シナリオについての分析枠組みの構築を試行した。本年度は、この分析フレームワークに基づき、日本産業が競争力を持つIoT戦略について、検討した。特に、CPSの観点から、日本産業の国際競争力を明らかにして、CPSへの進化過程のどこにいるかを考察した。

はじめに

1. 日本製造企業の多角化とスマイルカーブの分析	1
2. CPS とビジネスモデル：産業の servitization	9
3. 台頭する CPS のアーキテクチャー	28
4. ICT の成長初期市場が示す CPS 発展の方向性	36
5. 建築技術の情報化と IOT	46
6. 医療における IoT_コロナが進めた CPS としてのオンライン医療	72
7. 「IOT が機能しない分野」と「IOT が機能する分野」をめぐる考察	101
8. Integrity から Modularity へ、そして Connectivity へ	108
おわりに	115

第1章 製造業の多角化とスマイルカーブの実証分析

1.1 多角化事業への期待

日本の製造企業の収益性の低迷が指摘されて久しい。本研究会で主題としている CPS は日本製造業の今後の新規事業として、また、競争力回復の手段として期待されている。

CPS の基礎となる要素技術の一つは言うまでも無く情報通信分野やソフトウェア分野の開発である。ただし、これらの分野における研究開発は世界のインターネットビジネスを牽引する GAFA (Google, Amazon, Facebook, Apple) などのプラットフォーム企業と比較すると必ずしも競争優位を発揮しているとは言えない。この点、確かに、OS やクラウドサービスなどのソフトウェアの分野における競争力は決して高くないと考えられる。しかしながら、後述するように素材や材料、基幹部品など、いわゆる製造業の川上産業においては日本企業も競争優位を発揮できる余地があると考えられる。

日本の情報通信産業の競争力の課題が議論されて久しいが、そもそも、競争力の源泉となる研究開発への投資は乏しいのか、また、どのような産業が投資しているのであろうか。この点については統計データがある。図表 1-1 は、2000 年度における日本の製造業及び情報通信産業における研究開発費の大きい産業から順番に並べた表である。

研究開発投資額全体では、ソフトウェア・情報処理分野へ投資額は 5,000 億円程度と決して潤沢と言えるレベルではない。その一方で、ハードも含めた情報通信分野における投資額は 2 兆円を超えており、積極的な投資が行われている。

業種別に見れば、ソフトウェア・情報処理分野への投資額が最も大きい産業は情報サービス業であり、次いで通信業であることは当然であるが、それに続いて、業務用機械器具、情報通信機械器具製造業などハードウェアの産業が多額の投資を行っている。また、情報通信分野となると最も多額の研究開発投資を行っている産業は情報通信機械器具、電子部品・デバイス・電子回路製造業、業務用機械器具製造業であることが分かる。そして、投資額そのものもハードウェアの産業の方が大きいことが伺える。これらの結果から判断すると、やはり日本の情報通信分野における研究開発の主役はハードウェアの産業であることが伺える。

図表 1-1 産業別ソフトウェア及び情報通信分野への研究開発投資

上位10産業	ソフトウェア・ 情報処理分野	構成比	上位10産業	情報通信分野	構成比
情報サービス業	187,174	37.5%	情報通信機械器具 製造業	522,429	24.8%
通信業	118,127	23.7%	電子部品・デバイ ス・電子回路製造 業	342,323	16.2%
業務用機械器具製 造業	76,607	15.4%	業務用機械器具製 造業	234,069	11.1%
情報通信機械器具 製造業	59,070	11.8%	通信業	232,624	11.0%
電子部品・デバイ ス・電子回 路製造業	17,972	3.6%	自動車・同附属品 製造業	216,150	10.3%
インターネット附随・ その他の情報通信 業	9,631	1.9%	情報サービス業	171,372	8.1%
繊維工業	3,484	0.7%	電気機械器具製造 業	133,221	6.3%
電気機械器具製造 業	3,043	0.6%	生産用機械器具製 造業	67,948	3.2%
生産用機械器具製 造業	2,969	0.6%	その他の製造業	28,263	1.3%
非鉄金属製造業	2,802	0.6%	非鉄金属製造業	24,971	1.2%
.....	
全産業	498,871		全産業	2,107,712	

(出展) 科学技術研究調査報告

(注) 単位は 100 万円

資本金一億円以上の企業が対象

CPS は日本の製造業にとっては新規事業、すなわち多角化事業であり、繰り返しになるが今後競争力の確立が期待される分野である。しかし、日本企業は高度成長期には多角化が得意と言われた時期もあるものの、その後、闇雲な多角化戦略が収益性を低下させたという議論もある。そこで、本章では、日本の製造業の多角化の動向と収益性、またスマイ

ルカーブの実証分析についても併せて分析した今橋ら（2020）[1]の分析結果を紹介したい。筆者も共著者となった分析結果であるが、多角化を行っている産業ほど収益性が低下していることが示されており、日本の製造業の多角化戦略のあり方が重要であること、また川上の産業ほど収益性が高い可能性が示唆された興味深い結果である。

1.2 川上産業とサービス業の競争優位

日本の製造企業には世界最高水準の技術力があるものの、収益性は低迷している。法人企業統計によると高度成長期には一貫して製造業の営業利益率は非製造業の営業利益率を大きく上回っていたが、1980年代から徐々に低下傾向を示し、近年では、非製造業と同じ水準になり、2007年の金融危機後には、非製造業を下回ることもある。この低迷の要因としては、研究開発の効率性の低下や、さらに近年に至っては設備投資の効率性の低下も指摘されている。この点、筆者は、2000年度後半を中心に製造企業の定量データを用いて、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を提示した（玄場ら、2017[2]）。この研究成果については、一定の評価を得たものの、製造企業全体の分析結果であり、各産業によって大きく異なる結果が得られる可能性があるとの議論が提起された。

確かに、製造企業といっても、提供している製品やサービスによってイノベーション戦略は大きく異なると考えられる。特に顧客が企業なのか、あるいは最終消費者であるかによって、商取引の慣行のみならず、研究開発や設備投資などのイノベーション戦略が異なるのは当然である。良く知られている産業別の議論としては、部品やソフトウェアのモジュール化により、最終組み立てメーカーの競争力が低下しているのではないかという指摘がなされている（藤本（2003）[3]、青木ら（2002）[4]など多数）。この議論は日本のみならず、海外でも盛んになされており、共通仕様となった部品やソフトウェアが専門のサプライヤーによって効率よく生産され、それを組み立てるメーカーは製品の差別化が困難になり収益性が維持することが難しいという指摘である。

この議論に関連して、特に収益性の観点からは、スマイルカーブの議論が一般的にも広く知られている。これは学術的な指摘ではないものの、台湾のコンピューターメーカー Acer 社の創業者スタン・シー会長が提唱した概念であり、バリューチェーンにおいて川中産業の収益性が低く、川上、川下産業の収益性が高いという指摘である[5][6]。具体的には、パーソナル・コンピューターを例として、横軸をバリューチェーンの順序（川上・川中・川下の産業）に並べ、縦軸は付加価値としてグラフ化すると U 字の曲線を描き、スマイリング（笑顔）のように見えるため、スマイルカーブと呼ばれている。

そして、この動きをさらに加速させようとしているのが本研究会の主題である CPS あるいは IoT の普及である。この動きは、消費者の生活や企業の生産活動を大きく改善することが期待されており、これ自体は決して悪いことではない。ただし、IoT や CPS の普及の効果を受ける対象は幅広いものの、IoT・CPS を新しい産業の誕生と捉え、事業の参入

を考えている企業は、センサー企業やシステムインテグレーション、あるいは産業機械・設備メーカーが主となることが想定されている。本研究会でも、昨年に引き続き、IoT・CPSに積極的に取り組みを行っており、詳細な事例を紹介いただいた企業は、産業の上流の「川上産業」に属する企業が多い。具体的には、建設機械メーカー、農業機械メーカー、製造装置メーカー、社会インフラ提供企業などである。その一方で、CPSとして全く新しいサービスを提供しようとする事例も紹介された。自動運転やスマートハウスなどが代表例である。すなわち、CPS及びIoTの普及によって産業の上流である川上産業あるいは最終消費者に近い川下産業の企業に新たな技術開発や付加価値のサービスを提供する機会が登場することが期待され、収益性向上に寄与する可能性があることが示唆される。

代表的な事例としては、本研究会でも紹介されたが、欧米の大手重電メーカーの戦略として、2010年代の後半から、同社は、BtoCの事業を全て整理・売却し、BtoBに特化する戦略を対外的にも公言し、実際に事業の大胆な売却・買収を伴う事業再編を行っている。また、可能であれば、今後は、BtoBの事業を行っている企業を顧客にするという極端な川上産業へのシフトを戦略の柱にするとのことである。この理由としては、BtoCの事業リスクがあまりに高くなってしまったため、可能な限り、BtoC事業から離れた市場に注力するという明確な方針に基づいているという点である。これも前述のスマイルカーブの考え方に通じる議論である。

以上のようにスマイルカーブの概念に関しては一般に良く知られており、CPS及びIoTによって、さらに促進される可能性がある。しかしながら、実は、スマイルカーブについて実証的に分析した学術研究はほとんどない。そこで、本章では、著者も分析に関わった日本の製造業を対象にスマイルカーブの実証分析結果を公表した今橋ら(2020) [6]の研究を紹介したい。そもそも、スマイルカーブは日本の製造業においても実際に認められる現象なのかは今後のCPS及びIoTの普及による産業の在り方についても重要な示唆を与えると考えられる。

ただし、前述のようにこのスマイルカーブについては、定性的に数多くの文献が類似の議論を提示するものの、定量的な実証分析は数少ない。そこで、本稿では、著者も共著者となっている今橋ら(2020)が分析した製造業におけるB to Bなどの取引割合及び多角化の動向と収益の関係性を明らかにした実証分析の結果を紹介する。

1.3 分析方法

今橋ら(2020)の分析では、主に2000年度から2016年度の総務省統計局の「科学技術研究調査」、経済産業省の「企業活動基本調査」及び「延長産業連関表」のデータを用いて分析を実施した。「企業活動基本調査」に営業利益などのデータが示されており、それらを「延長産業連関表」における分類項目と対応させ、売上高営業利益率を算出した。その際、輸出に関する値は除いた。そして、延長産業連関表を用いて、産業間の取引関係を

定量化した B to B 率（B to B 率＝内製部門計／（内製部門計+国内最終需要計））という指標を用いた。

次に、「科学技術研究調査」の産業分類、製品分類を用いて研究開発費及び売上高構成比のマトリックスを作成し、この構成比に基づき、多角化度をエントロピー値により測定する。各調査年における業種 i の製品分野 k への研究開発投資額を R_{ik} 、業種数及び製品分野数を n とし、業種 i の研究開発投資総額に占める製品分野 k の割合 P_{ik} とおく。

業種 i の技術的多角化度を表す研究開発多角化度 E_i は、次の式で与えられる。

$$E_i = -\sum_k P_{ik} \cdot \log_2 P_{ik}$$

さらに延長産業連関表における投入関係を川上、算出関係を川下として、多角化の方向性を測定する。今橋ら（2020）では玄場、児玉と同様に内積値と角度を求め、川上多角化度と川下多角化度を測定した。 i 産業の j 製品分野における研究開発費の構成比（但し、多角化の方向性を検討することから本業の研究開発費は除く）から作成されるベクトル p_{ij} ($i \neq j$)、同様に延長産業連関表からの川下ベクトルを q_{ij} ($i \neq j$) とすると、両者の角度 θ は次の関係にある。

$$\cos\theta = p_{ij} \cdot q_{ij} / |p_{ij}| \cdot |q_{ij}| \quad (\cdot \text{は内積, } | \text{はノルムを意味する})$$

そして、角度 θ は最小 0 度、最大 90 度になるが、角度の値が小さいほど川下方向に一致することから川下多角化度を次のように定義する。

$$\text{川下多角化度} = (90 - \theta) / 90$$

また、同様に川上多角化度も算出する。その結果を用いて、売上高営業利益率を被説明変数として重回帰分析を実施した。重回帰分析には R を用いた。

1.4 分析結果

日本の製造業の全産業に関して、2000 年度から 2016 年度の延長産業連関表と企業活動基本調査のデータを用いて B to B 率及び売上高営業利益率を算出した。そして、技術的多角化度を表す研究開発多角化度 E_i 、川上多角化度と川下多角化度、川上角度、川下角度を算出した。その後、売上高営業利益率を被説明係数とした重回帰分析を実施した。なお、B to B 率については二乗値と三乗値をそれぞれ求めて分析を実施した。但し B to B 率、B to B 率の二乗値、B to B 率の三乗値は相関が強く、多重共線性のため、B to B 率のみを加えて分析を実施した。そのうち、売上高営業利益率を被説明係数、B to B 率と研究開発多角化度、川上多角化度、川下多角化度を説明変数として分析した結果を図表 1-2 に示す。

結果としては、2000 年、2013 年、2015 年と研究開発多角化度が有意にマイナスになっている。また、2011 年から 2015 年の川下多角化度も有意にマイナスになっている。これは、研究開発の多角化度の高い産業ほど収益性が低いということを示唆している。

図表 1-2 売上高営業利益率を被説明変数とした重回帰分析結果

年度	データ数	BtoB率		研究開発多角化度 E_i		川上多角化度		川下多角化度		切片		決定係数
			有意		有意		有意		有意		有意	補正R2
2000	17	0.073	*	-0.020	*	-0.036		-0.047		0.047	*	0.230
2005	18	0.066	*	-0.020		0.011		0.019		0.034		0.103
2011	18	0.037		-0.020		-0.007		-0.086	*	0.062	*	0.168
2012	18	0.038		-0.020	*	-0.008		-0.086	*	0.057	*	0.207
2013	18	0.035		-0.023	**	-0.022		-0.074	*	0.077	**	0.219
2014	18	0.026		-0.017		-0.024		-0.084	**	0.075	**	0.168
2015	18	0.025		-0.023	**	-0.026		-0.076	**	0.089	***	0.275
2016	18	0.034		-0.013		0.000		-0.038		0.050	*	-0.021

被説明係数:売上高営業利益率

*:10%有意、**:5%有意、***:1%有意

1.5 考察

研究では、2000年度から2016年度の「科学技術研究調査」と「企業活動基本調査」及び「延長産業連関表」を用いて、日本の製造業における各産業の研究開発費における多角化度と収益性の検証を実施し、日本の製造業の研究開発多角化度と収益性の分析を行った。また、B to B率と研究開発多角化度と収益性の分析を行った。

この結果から次のことが言える。それは、近年の研究開発の多角化度が高いと収益が低いことがわかったことである。これは、新規事業などを行うため、川上や川下の多角化を行うが、すぐに収益には結びつかず収益を低くしてしまうこと、もしくは、収益が低いので探索を行うために多角化を行うことが考えられるためである。昨年度、著者の今橋ら(2019)[7]が分析したB to B率と収益性の研究について、5年間分を纏めたデータの回帰分析を実施し、分散分析を行ってAICの値に関しての当てはまりの良さを検証し、B to B率の3次式においては当てはまりがよいという結果が得られた。日本の製造業についてはモデルの適合性から、B to B率が低いほど収益性が低いということが明らかになったことを踏まえて、今橋ら

(2020) は、研究開発多角化度と B to B 率と収益性の関係性を分析した。結果として、2000 年度と 2005 年度のみであるが、B to B 率が高い産業ほど有意に収益性が高いという結果が得られた。これは著者ら (Imahashi et al (2018)[8]) が分析した B to B 率と収益性を分析した結果と同じ結果であり、製造業の川上に位置する産業ほど収益性が高く、スマイルカーブの議論と整合的であると解釈できる。

研究開発多角化度と川上多角化度・川下多角化度に関する回帰分析の結果においては、有意となっていない年度もあるが、研究開発多角化度と収益性の関係性で多角化度を示す研究開発多角化度が有意にマイナスになっている傾向が認められる。川上多角化度については有意な結果が得られなかったが、川下多角化度は有意にマイナスの結果が得られる年度が多い。Kodama (1986) [9]及び玄場, 児玉 (1999) [10]の研究においては、川下多角化度が高いことがハイテク産業の特徴であり、また、それが収益性の向上に寄与しているという指摘がなされている。しかしながら、近年では、むしろ、逆の傾向を示しており、日本の製造業の苦境を示唆している可能性がある。

1.6 まとめ

以上紹介した今橋ら (2020) の分析結果から、日本の製造業において、多角化は収益性に貢献しておらず、また、川下分野への研究多角化度が高いと収益性低くなるということが示唆された。また、2000 年度と 2005 年度のみであるが、B to B 率が高い産業ほど有意に収益性が高いという結果が得られた。これは今橋ら (2019) が同様に分析した B to B 率と収益性を分析した結果と同じ結果であり、製造業の川上に位置する産業ほど収益性が高く、スマイルカーブの議論と整合的であると解釈できる。

研究開発の川下多角化度が収益性に貢献しない可能性については、従来、日本の製造業を牽引したハイテク産業の特徴とされた川下多角化度が収益性の向上に寄与しているという既存研究の指摘とは相反する結果である。この点については、今後のさらなる検証が不可欠と考えられるが、多角化度と収益性の関係も踏まえると日本の製造業においては選択と集中が求められているのではないだろうか。さらに BtoB 率が高い産業ほど収益性が高い傾向にあるという研究と合わせれば、川上分野における産業に集中するという戦略が一つの方針となり得る可能性があり、本研究会で主題と挙げている IoT や CPS の流れが日本企業にとって大きな機会になり得るとも考えられる。

(担当：玄場公規)

参考文献

- [1] 今橋 裕、上西 啓介、玄場公規 (2020) 「日本製造業における B to B 率と収益性との関係性分析」研究・イノベーション学会年次学術大会講演要旨集 (35), 151-154,
- [2] 玄場公規、今橋裕、竹岡紫陽 (2017) 「日本製造企業の研究開発投資及び設備投資と収益性の定量分析」研究・イノベーション学会年次学術大会講演要旨集 (32)、pp373-376
- [3] 藤本隆弘 (2003) 「能力構築競争ー日本の自動車産業はなぜ強いのか」中央公論新社
- [4] 青木昌彦、安藤晴彦 (2002) 「モジュール化ー新しい産業アーキテクチャの本質ー」東洋経済新報社
- [5] 別府祐弘, 山内暁「知的財産と環境マネジメント」帝京経済学研究, 40(1), 99-137, (2006).
- [6] 日本経済新聞, 華人から見た IT 産業 分業が最大価値生む 台湾・エイサー創業者 施振榮氏, 2011 年 6 月 5 日付朝刊.
- [7] 今橋裕、上西啓介、玄場公規 (2019) 「日本製造業における BtoB 率と収益性との関係性分析」研究・イノベーション学会年次学術大会講演要旨集 (34)、pp616-619
- [8] Hiroshi Imahashi, Keisuke Uenishi, Kiminori Gemba(2018), Verification of the smile curve of food industry in Japan - a consideration using the B to B rate and operating income margin, Forum Scientiae Oeconomia,4,p65-79.
- [9] Fumio Kodama, Technological Diversification of Japanese Industry, Science, 233, 4761, pp. 291-296
- [10] 玄場公規, 児玉文雄 (1999) 「わが国製造業の多角化と収益性の定量分析」研究技術計画、14 (3) ,pp179-189

第2章 CPS とビジネスモデル：産業の servitization

2.1 はじめに

世界は今、新たな産業革命のとば口に立っているとの指摘がある。すなわち、

第1次産業革命：水力と蒸気による生産の機械化（18世紀）

第2次産業革命：電力による大量生産の実現（19世紀）

第3次産業革命：エレクトロニクスと情報技術によるオートメーション（20世紀）

であったが、第4次産業革命は20世紀半ばから生じた第3次を踏み台として、物理・情報・生物の各領域を融合させるもの（CPSの概念と親和性が高い）であり、歴史上かつてない幾何級数的加速の下で、地球上のあらゆる国と産業に対して、生産と経営とガバナンスに変革を迫るとされている¹。産業革命を引き起こす原動力がGPT（汎用技術）：General Purpose Technologiesである。GPTは、経済のみならず社会構造をも劇的に変化させる技術であり、以下のような3つの特徴をもっている：

Pervasiveness（汎用性）：広範な産業セクターにおいて基本的な要素として利用される

Potential for technical improvements（改良可能性）：さまざまな改良を受け発展する

Complementarities（補完性）：下流の産業セクターのR&Dの生産性を向上させる

この特徴ゆえに、GPTには規模に対する収穫逓増（普及に伴って、技術進歩および経済成長を加速させる）効果が存在する。一方、ある地域や社会においてGPTの普及が妨げられるとそのインパクトは大幅に制約され、その地域は産業革命から大きく取り残されることになる。そのような事態に陥らないよう、BresnahanらはGPTと“広義の制度”の共進化の重要性を指摘した²。政府も、新たなGPTが普及していく過程では、国民との関係や政策立案の方法を変えていく必要があるだろう。

前年度の報告書では、新しい技術が活用されるためにはある程度の時間が必要とされ、第3次産業革命（ICT：情報通信技術）の活用で覇者となった米国の巨大IT企業群GAFAは、例外なくビジネスモデルのイノベーターであり、ほとんど製造業ですらないことなどを指摘した。それゆえ、産業革命を議論するための重要なキーワードは「ビジネスモデル」の転換であることを述べた。また、米欧型の産業進化は、新企業による多角化→多産多死→ビジネスモデル変化、という経路で進んできたが、日本型の産業進化は、大企業による内発的多角化→大企業自らが変化、という形で進むのではないかという考察を行った。すなわち、ICTを活用した上流・下流への多角化や6次産業化（1次+2次+3次）である。

ビジネスモデルの転換を示す顕著なマクロ指標が、国の経済全体のサービス化である。現在まで、様々な国の経済が産業発展とともにサービス化してきた（経済活動の中で、物を作

¹ Klaus Schwab, 2016, The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond, World Economic Forum.

² Bresnahan and Trajtenberg, 1992, GPTsは経済成長のエンジンなのか?, NBER working paper #4148.

ること自体が生み出す付加価値、あるいはそれに従事する労働者の割合が相対的に低下し、サービスの比重が増大する現象）が、それは米国でも日本でも同様（図 2-1）である。また第 1 次・第 2 次産業においても、技術開発、企画・デザインなど、直接生産にかかわらない部分の比重が高まっていることも、産業のサービス化に寄与している（図 2-2）。

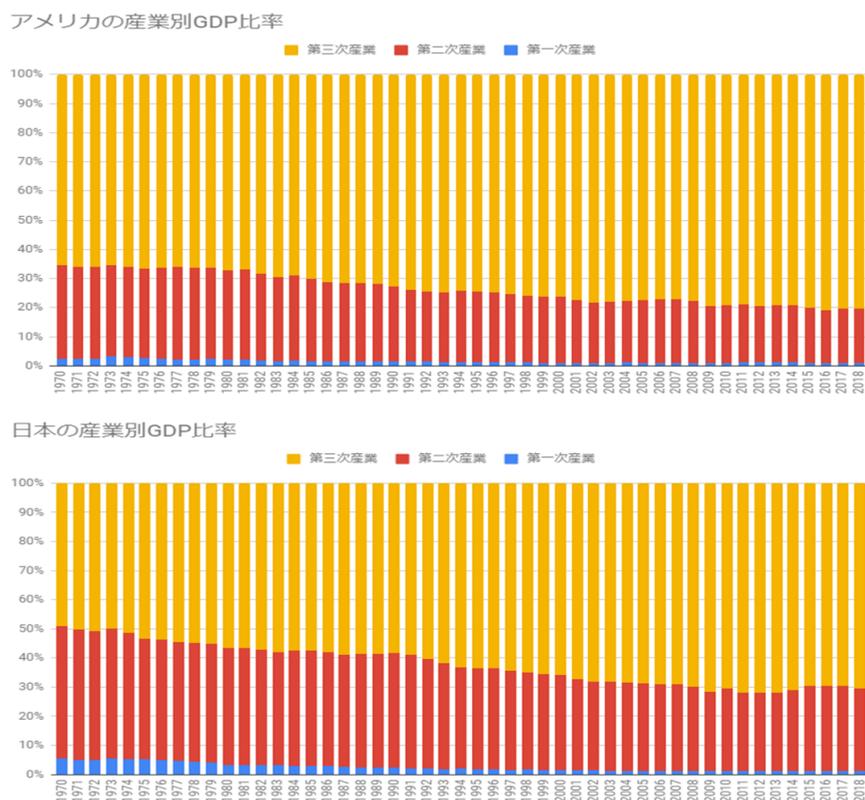


図 2-1 日米の GDP の産業別比率：1970-2018 年



図 2-2 対事業所サービスにおける「非製造業依存」（サービス依存）(METI, 2016)

2.2 日本国内のビジネスモデル特許（ビジネス関連発明）の動向

昨年度の報告書では、IOT あるいは CPS という汎用技術によるイノベーションを理解するための重要なキーワードは「ビジネスモデル」であるという見方に立って、IOT 関連発明とビジネス関連発明の動向を概観した。ここでは、まずそのアップデートから始めることとする。

図 2-3 に示すように、IOT 関連発明（広域ファセット ZIT が付与されたもの）の出願は、2017 年にピークを迎えたようである。出願から公開までのタイムラグの関係で 2019 年の

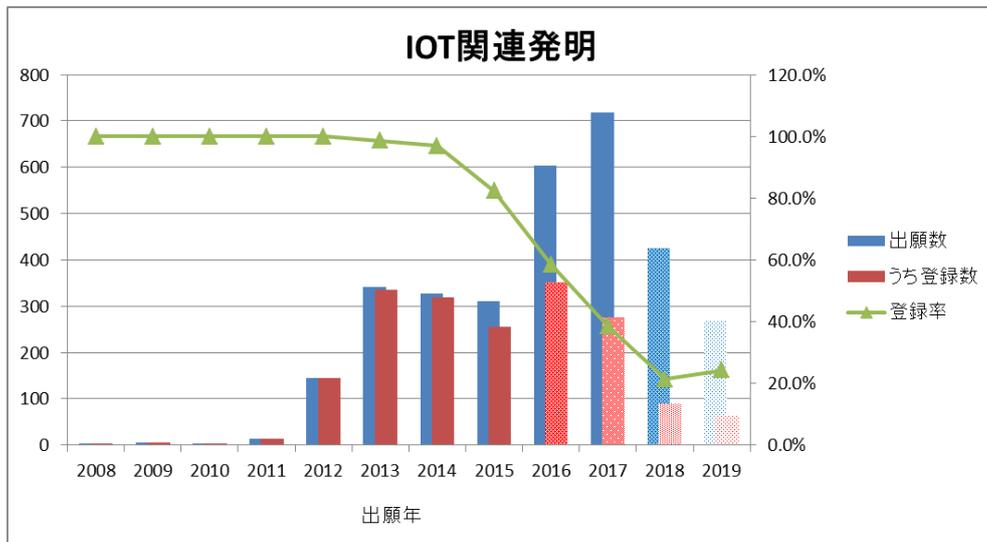


図 2-3 IOT 関連発明の推移 (2021 年 3 月時点)

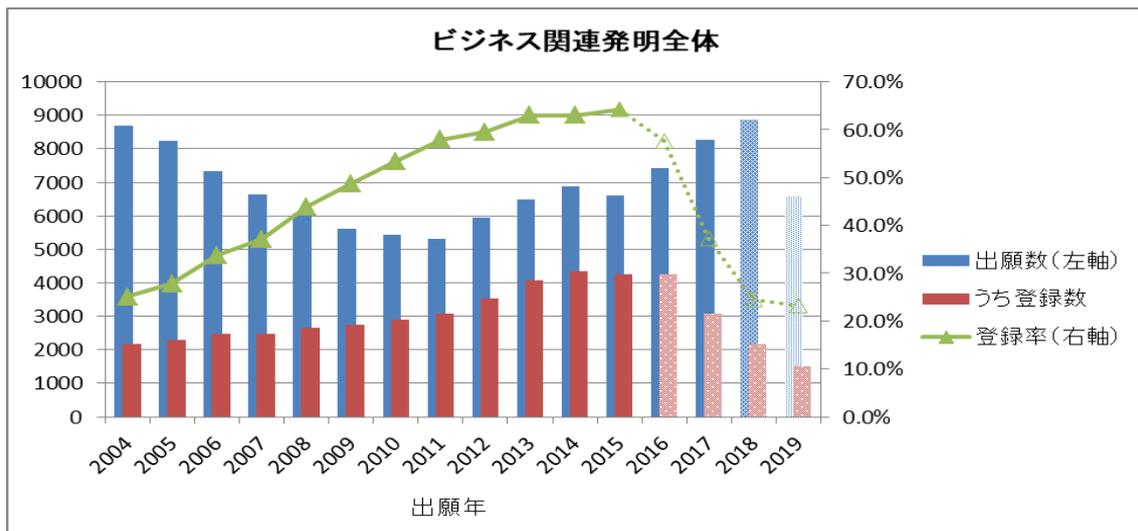


図 2-4 ビジネス関連発明の推移 (2021 年 3 月時点)

出願数はまだ判明していないが、2018 年に出願された特許はほぼ公開が終わっており、こ

れ以上件数は大きくは増えない。一方、2016年から2019年に出願された特許の登録数は、今後数年かけて徐々に増えていくものと考えられるが、おそらくは2017年に出願された特許が、登録数で見てもピークとなる可能性が高い。

これに対して、ビジネス関連発明に関しては、最新のデータでは2018年も出願数は2017年に比べて増えており（図2-4）、いまだに第二次ビジネスモデル特許ブームが続いているようである。

2.3 世界のビジネスモデル特許の動向

2.3.1 概要

EPO（欧州特許庁）が提供している世界特許データベース PATSTAT の最新版（2020 Autumn version）を用いて、世界のビジネスモデル特許（G06QのIPCサブクラス³が付与された特許）の動向を調査した。まず、出願人のレコードに収録されている country コードを手掛かりとして、国別に集計した結果が図2-5である。

rank	出願数合計	country
1	341,698	US
	286,511	不明
2	119,382	JP
3	96,281	KR
4	34,184	CN
5	20,282	DE
6	15,653	TW
7	15,248	CA
8	13,469	GB
9	10,161	AU
10	9,901	FR

図 2-5 ビジネスモデル特許類型出願数の国別内訳

出願数の現在までの全世界累計は約112万件であり、（名寄せをした後の）出願人は全世界で約40万人程度であった。PATSTATには、いくつかの方法で行われた出願人の名寄せ結果（ID）が収録されているが⁴、ここでは psn_id による出願人名寄せを採用することとした。

³ IPC 第8版（2006年10月）において新設されたサブクラス。2005年以前のレコードにも遡及して付与されている。

⁴ PATSTATの Person テーブルでは、DOC_STD_NAME_ID、psn_id、HAN_idの3種類の名寄せIDが提供されている。詳細はここでは述べないが、ビジネスモデル特許の出願人名をこれらで実際に名寄せして比較したところ、psn_idで最も良好な結果が得られた。

単純集計での国別の内訳をみると、圧倒的に米国のシェアが高く約 30.5%あり、日本は 2 番目（韓国と僅差）で 10.7%であった。ただし、図 2-5 を見てわかるように、country コードが付与されていない出願人の出願数も多く、ここには図 2-6 に示すように特に中国企業がかなり含まれているようである。

total count	G06Q count	rank	G06Q %	psn_NAME	country
318,796	10,386	1	3.3%	IBM (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION)	US
488,785	8,726	2	1.8%	HITACHI	JP
333,825	6,221	3	1.9%	FUJITSU	JP
537,343	6,121	4	1.1%	TOSHIBA CORPORATION	JP
379,578	5,882	5	1.5%	NEC CORPORATION	JP
144,356	3,668	6	2.5%	SGCC(STATE GRID CORPORATION OF CHINA)	CN
63,159	3,221	7	5.1%	OKI ELECTRIC IND COMPANY	JP
597,683	2,769	8	0.5%	PANASONIC CORPORATION	JP
115,018	2,760	9	2.4%	NTT (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION)	JP
51,198	2,733	10	5.3%	GOOGLE	US
32,788	2,675	11	8.2%	ALIBABA GROUP	KY
6,994	2,570	12	36.7%	MASTERCARD WORLDWIDE	US
5,634	2,567	13	45.6%	BANK OF AMERICA CORPORATION	US
356,832	2,439	14	0.7%	SONY CORPORATION	JP
11,653	2,371	15	20.3%	PING AN TECHNOLOGY COMPANY	
408,468	2,350	16	0.6%	MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION	JP
79,296	2,316	17	2.9%	MICROSOFT CORPORATION	US
233,961	2,292	18	1.0%	RICOH COMPANY	JP
68,444	2,282	19	3.3%	DNP (DAINIPPON PRINTING COMPANY)	JP
44,675	2,244	20	5.0%	MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING	US
6,002	2,151	21	35.8%	EBAY	US
10,244	2,147	22	21.0%	FACEBOOK	US
483,848	2,083	23	0.4%	CANON	JP
474,421	1,897	24	0.4%	SAMSUNG ELECTRONICS COMPANY	KR
28,620	1,800	25	6.3%	TOSHIBA TEC CORPORATION	JP
4,292	1,665	26	38.8%	BIZMODELINE COMPANY	KR
54,607	1,590	27	2.9%	CASIO COMPUTER COMPANY	JP
221,943	1,551	28	0.7%	SEIKO EPSON CORPORATION	JP
98,729	1,532	29	1.6%	FUJI XEROX COMPANY	JP
213,760	1,443	30	0.7%	SHARP CORPORATION	JP
33,255	1,385	31	4.2%	TENCENT TECHNOLOGY (SHENZHEN) COMPANY	CN
4,848	1,369	32	28.2%	VISA INTERNATIONAL SERVICE ASSOCIATION	US
139,802	1,248	33	0.9%	SANYO ELECTRIC COMPANY	JP
3,865	1,241	34	32.1%	YAHOO JAPAN CORPORATION	JP
6,250	1,233	35	19.7%	BEIJING JINGDONG SHANGKE INFORMATION TECHNOLOGY	
6,051	1,224	36	20.2%	BEIJING JINGDONG CENTURY TRADING	
2,564	1,183	37	46.1%	PAYPAL	US
18,532	1,159	38	6.3%	AMAZON TECHNOLOGIES	US
12,292	1,135	39	9.2%	ORACLE INTERNATIONAL CORPORATION	US
13,800	1,128	40	8.2%	SK TELECOM COMPANY	KR
2,535	1,110	41	43.8%	AMERICAN EXPRESS TRAVEL RELATED SERVICES COMPANY	US
2,729	1,098	42	40.2%	CAPITAL ONE SERVICES	US
51,728	1,087	43	2.1%	ETRI (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INST	KR
14,945	1,086	44	7.3%	KT CORPORATION	KR
321,062	1,058	45	0.3%	SIEMENS	DE
6,411	1,044	46	16.3%	YAHOO!	US
3,453	1,007	47	29.2%	WALMART APOLLO	US
10,912	985	48	9.0%	CHUGOKU ELECTRIC POWER CO INC	JP
52,116	980	49	1.9%	OMRON CORPORATION	JP
1,159	978	50	84.4%	SHINHAN BANK	KR
2,500	976	51	39.0%	ALIBABA GROUP SERVICES	HK
13,069	945	52	7.2%	AT&T INTELLECTUAL PROPERTY I (AMERICAN TELEPHONE AND TE	US
56,426	925	53	1.6%	APPLE	US

図 2.6 ビジネスモデル特許出願数上位企業⁵

⁵ 11 位の ALIBABA Group は Country コードが KY（ケイマン諸島）となっているが、これは明らかに IP 管理のためのオフショア企業である。15 位の Ping An は中国の平安保

図 2-6 の 4 列目は、各企業の全出願数中に占めるビジネスモデル特許の比率を示している。米国企業 GAFAM (Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft) + IBM は、Facebook (21%) を例外として除いても全て 2~6%程度になっており、日本の大手製造業企業の多くが 1%台あるいは 1%未満であるのに比べると、相対的にビジネスモデル特許の比率が高い。日本の上位企業では、沖電気 (5.1%) と NTT (2.4%) が例外的に高くなっている。Mastercard (36.7%)、Bank Of America (45.6%)、Ebay (35.8%) などの純粋なサービス業の企業は、当然ながら非常に高い比率になっている。中国企業では SGCC (国家电网) がビジネスモデル特許出願数第一位である。SGCC は国有の電力配送電企業で、2000 年に電力事業の上下分離 (発電と送配電の分離) により誕生した中国最大の非上場企業である。SGCC は、第 14 次 5 年計画期間 (2021 年~2025 年) において、超高压送電、電気自動車用充電器、新デジタルインフラに重点を置いて、電力網および関連産業に 6 兆元 (約 8,900 億米ドル) の投資を行う予定と伝えられている。SGCC と Alibaba、Tencent はいずれもサービス業であるが GAFAM などと同様に多量の特許を出願しており、ビジネスモデル特許の比率も GAFAM に近い値となっている。

2.3.2 ビジネスモデル特許と他の技術分野の親和性

ビジネスモデル特許に付与される IPC サブクラスである G06Q の定義は、

“管理・商用・金融・経営・監督・予測目的に特に適合したデータ処理システムまたは方法”

であるが、Co-occurrence (共起：同一の特許に対して付与される他の IPC) を集計することによって、どのような技術分野と親和性が高いのかを知ることができる。図 2-3 に集計結果を示すが、ビジネスモデル特許と最も親和性の高い分野は「G06F：電氣的デジタルデータ処理」であり、そのシェアは他の分野と比べて圧倒的に高い。この G06F や第 2 位の「H04L:デジタル情報の伝送」は、IT 技術を構成する代表的な IPC サブクラスであり、ビジネスモデル特許と IT 技術が切っても切り離せない関係にあることを示している。

險グループ、35/36 位の Beijing Jingdong (北京京東集団) も中国の企業。

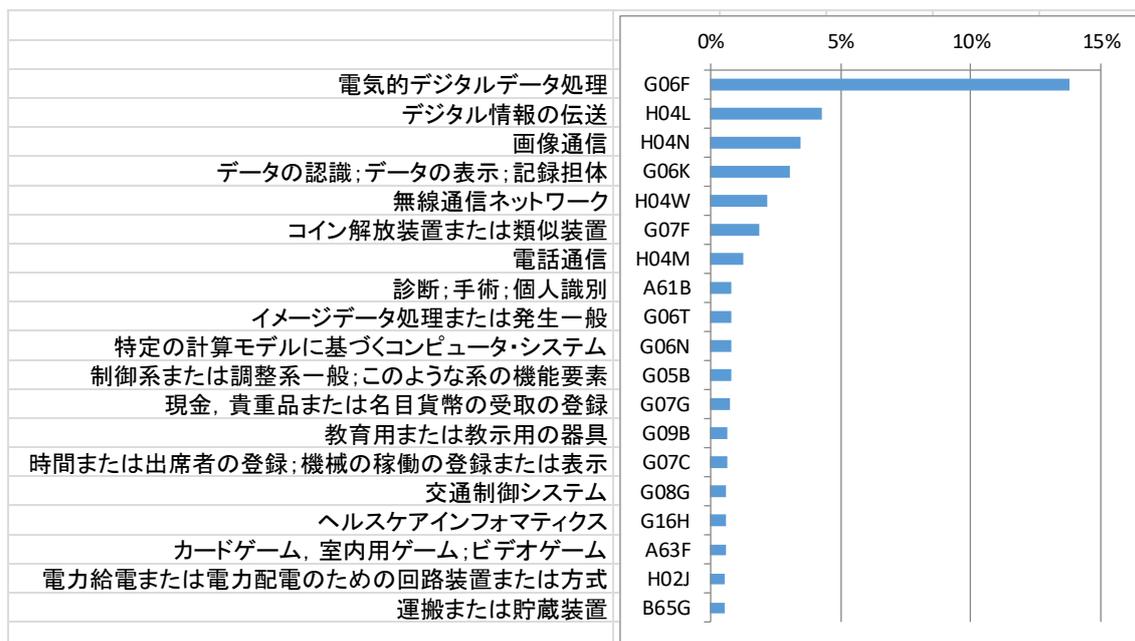


図 2-7 ビジネスモデル特許と親和性の高い技術分野

2.3.3 上位出願人の出願動向

本稿では、米国と日本および中国の上位出願人の中から 3 社ずつ（米国：IBM、Microsoft、Google、日本：日立、ソニー、NTT、中国：SGCC、Alibaba、Tencent）を抽出して、ビジネスモデル特許の出願動向と、出願された特許の登録割合、ファミリーサイズ（何か国に海外出願を行ったか）、被引用回数、共同発明者数などの年平均値を調べた。特許の登録割合（重要な特許は特許料を支払って登録・維持される）とファミリーサイズ（重要な特許は世界中で広く権利化される）、被引用回数（重要な特許は後発特許を排除するために引用される）、共同発明者数（重要な特許には大きな人的資源が投入される）などは、いずれも特許の重要性を判断するための代理指標として利用されている。これらをビジネスモデル特許と、全ての出願された特許とで比較した。また、上場企業については、公開されている業績（売上、純利益、利益率）の推移もあわせて示した。

① IBM (図 2-8)

IBM のビジネスモデル特許は、1990 年代の後半から急増し、近年も多数の出願が続いている。登録率とファミリーサイズの指標は、IBM の全特許平均と比べるとやや低いようである。共同発明者数の平均は、全分野平均と差は無い。一方、IBM のビジネスモデル特許の被引用（前方引用：Fwd_cit）は特徴的な推移を示している。すなわち、1998 年に非常に鋭いピークがあり、その前数年間も全分野平均値より高い値を示している。この時期に、非常に重要な特許が IBM から出願されたようである。なお、IBM の業績は最近 8 年ほどは低下傾向で、利益率も 7%程度にまで落ち込んでいる。

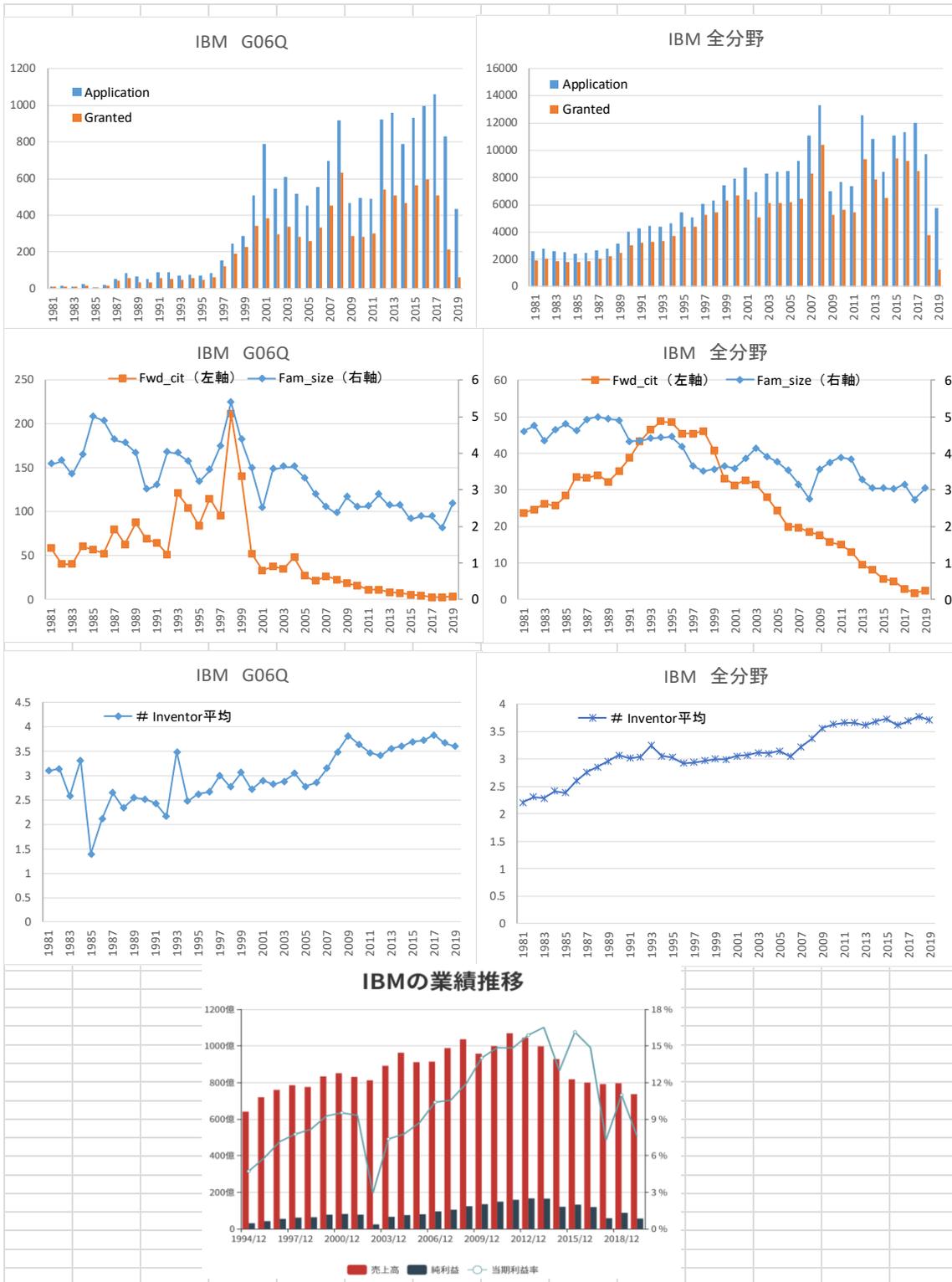


図 2-8 IBM のビジネスモデル特許の出願動向と業績推移

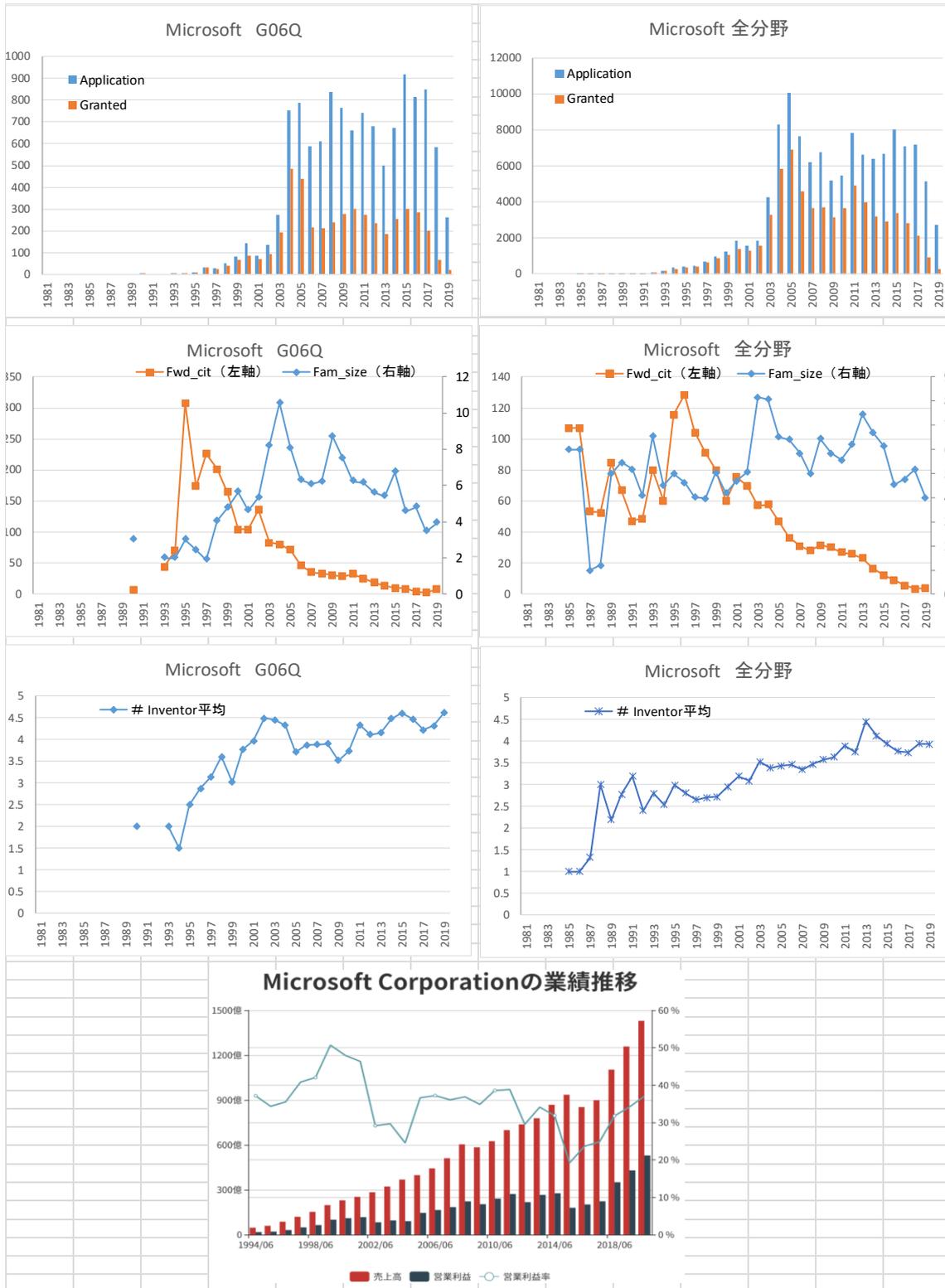


図 2-8 Microsoft のビジネスモデル特許の出願動向と業績推移

② Microsoft (図 2-9)

Microsoft は、2000 年代に入ってから特許出願を急増させ、ビジネスモデル特許の出願も全体と同期するかたちで急増した。ビジネスモデル特許の登録率は、全特許平均と比べるとやや低いようである。Microsoft の特許は全般的に非常に高い被引用の指標を示しているが、ビジネスモデル特許に関してはさらに高い値を示している。ファミリーサイズに関しては、全分野との大きな差はない。また、ビジネスモデル特許の共同発明者数の平均は、全分野平均より少し高く、この分野により多くの人的リソースを投入していることが示唆される。Microsoft の業績は基本的に右肩上がり、特に直近の 3 年間は売り上げ、利益率ともに急速に向上している。

③ Google (図 2-10)

Google も Microsoft 同様に、2000 年代、特に 2011 年頃から特許出願を急増させ、ビジネスモデル特許の出願も全体と同期するかたちで急増した。ビジネスモデル特許の登録率は、全特許平均と比べるとやや低い。Google の特許は全般的に非常に高い被引用の指標を示しているが、ビジネスモデル特許に関しては特に 2000 年頃の値が高い。ファミリーサイズに関しては、全分野との大きな差はない。また、ビジネスモデル特許の共同発明者数の平均も、全分野平均とほぼ同じである。Google (Alphabet) の業績は急拡大中であるが、利益率は Microsoft よりも低い。

④ 日立製作所 (図 2-11)

日立製作所は、過去 25 年間にわたって特許出願を徐々に減らしてきている（ただし、絶対数ではまだまだ多い）。ビジネスモデル特許の出願は 2001 年にピークを迎えた後、2006 年までに半減し、2010 年代は年間 400~500 件程度で安定的に推移している。ビジネスモデル特許の登録率は、全特許平均と比べるとやや低い。日本企業の特許の被引用は米国企業のそれに比べると全般的に低く、日立の特許も例外ではない。また、ビジネスモデル特許に関しては、全分野平均よりも低い傾向で推移している。ファミリーサイズに関しても、日本企業は米国企業よりも全般的に小さい。ビジネスモデル特許についてはさらに全分野平均よりも低かったが、徐々に増加している。また、ビジネスモデル特許の共同発明者数の平均も、全分野平均とほぼ同じである。日立製作所の業績は 2012 年以降停滞しており、利益率は 5~6%と米国企業よりはるかに低い。

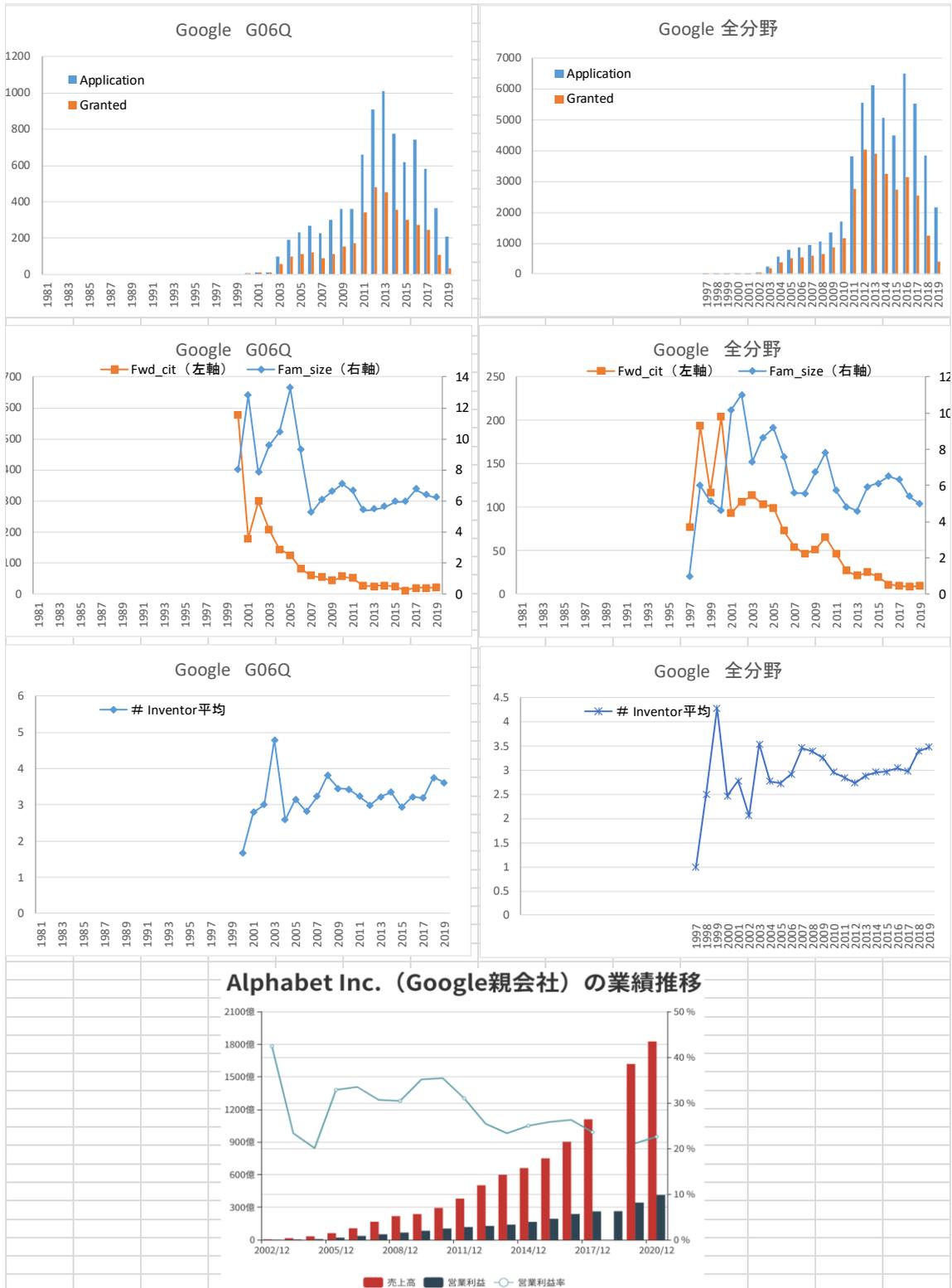


図 2-10 Google のビジネスモデル特許の出願動向と業績推移

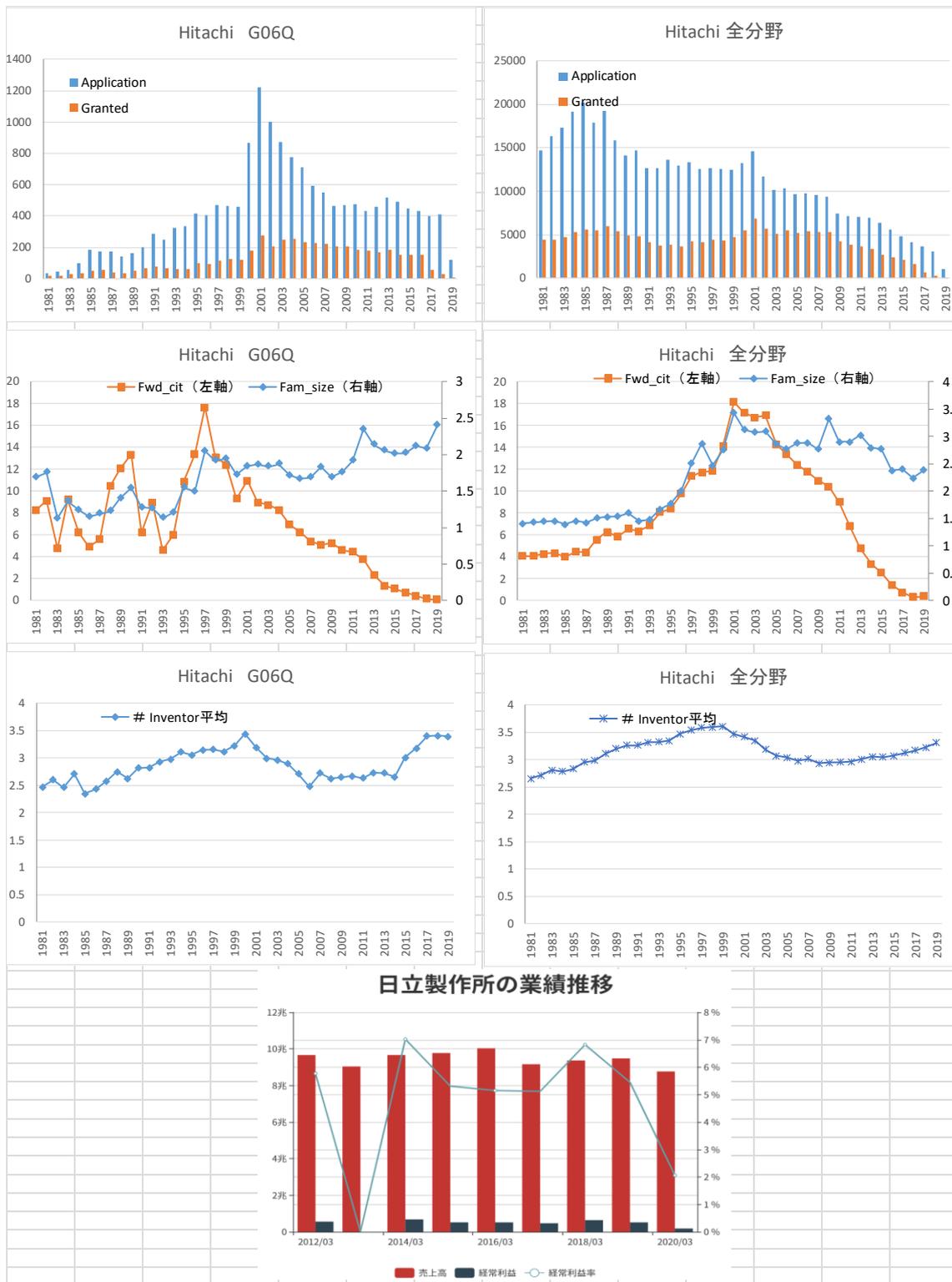


図 2-11 日立製作所のビジネスモデル特許の出願動向と業績推移

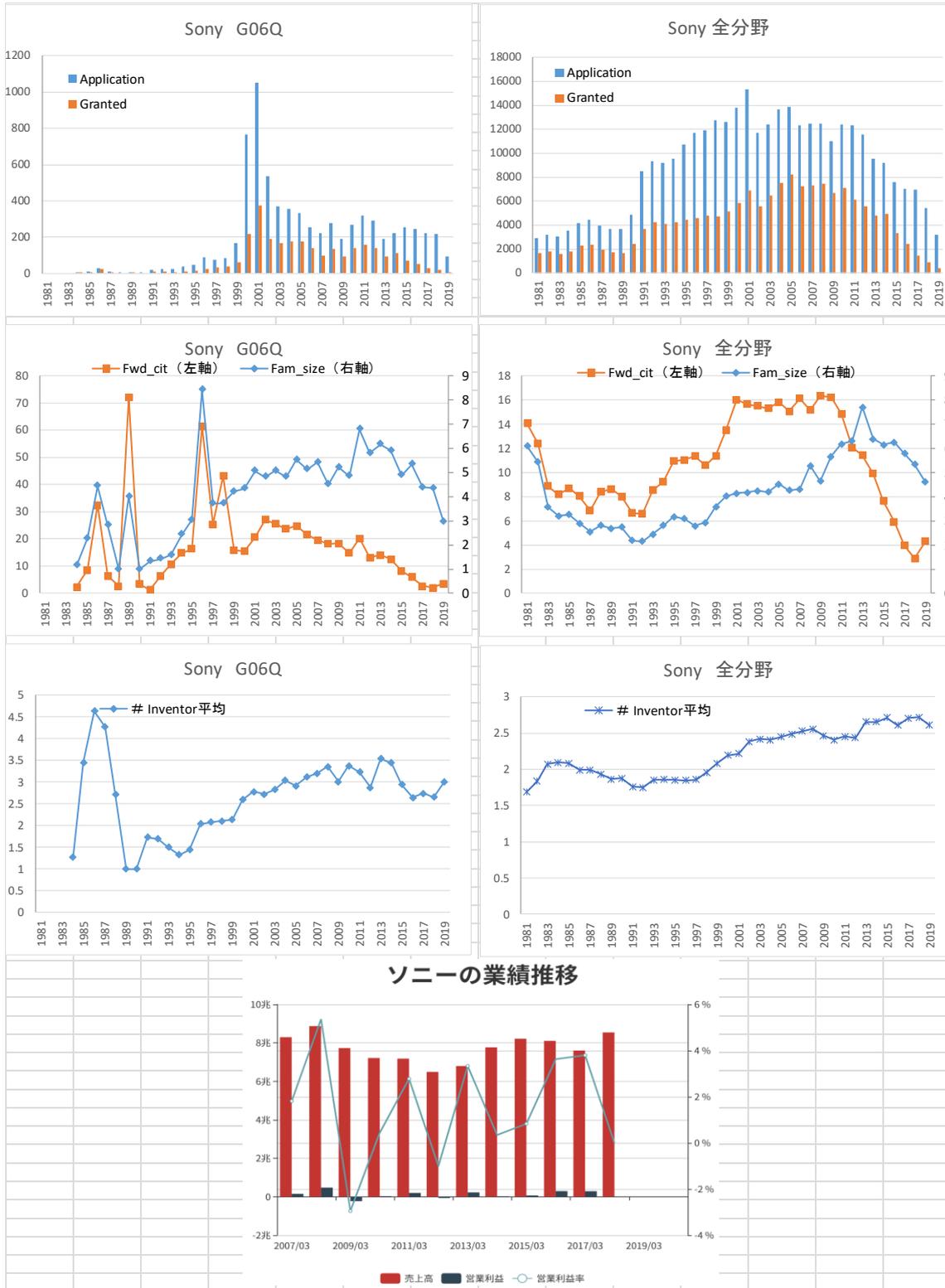


図 2-12 ソニーのビジネスモデル特許の出願動向と業績推移

⑤ ソニー (図 2-12)

ソニーは 1990 年代から特許出願を順調に増やしてきたが、2006 年以降は出願が減少傾向になっている。ビジネスモデル特許の出願は 2001 年に年間 1000 件程度の大きなピークを迎えた後減少し、2006 年以降は年間 200 件程度で安定的に推移している。ビジネスモデル特許の登録率は、全特許平均とほぼ同じである。ソニーの特許の被引用は米国企業ほどには高くないものの、日立の特許の被引用よりも高い。ファミリーサイズに関しては、ソニーの特許は日本企業の中では例外的に高く、米国企業と同程度である。ビジネスモデル特許については、2001 年の第一次ブーム以前に非常に高い被引用を示している。ビジネスモデル特許の共同発明者数の平均は、全分野平均よりやや高い。ソニーの売上げは 2012 年を底として回復傾向であるが、利益率は 4%未満で低迷している。

⑥ NTT (図 2-13)

NTT (NTT ドコモを除く) は 1980 年代から 2005 年頃まで安定的に年間 3000 件程度の特許を出願してきた。2006 年以降は出願数こそ減らしたものの、登録数は維持あるいはやや増加しており、厳選した特許を出願する傾向が強まっている。ビジネスモデル特許の出願は 2001 年にピークを迎えた後減少し、2006 年以降は年間 100 件程度で安定的に推移している。2006 年以降のビジネスモデル特許の登録率は高い。NTT の特許の被引用は全般的に高くない。ファミリーサイズに関しては、1980 年代はほぼ 1 (国内出願のみ) であったが、徐々に高くなり、近年では 2 を超えている。ただし、ビジネスモデル特許については全分野平均より低い値で推移してきた。ビジネスモデル特許の共同発明者数の平均は、全分野平均とほぼ同じである。NTT (ドコモを含めた連結決算) の売上げは 2010 年代も徐々に伸びており、利益率も日本企業としては高い値を示している。

⑦ SGCC (図 2-14)

中国企業が特許を本格的に出願し始めたのは 2010 年代以降であり、SGCC (国家电网) も 2012 年以降に突如として大量の特許出願を開始した。近年は年間 2 万件を超える特許を出願しており、登録率も高い。ビジネスモデル特許についても 2013 年以降に大量出願を開始し、さらに近年、出願数を増加させている。ただし、ビジネスモデル特許の登録率は、全分野平均よりも低い。SGCC の特許の被引用は、出願開始からあまり時間が経過していないことから精度は劣るものの、かなり高いようである。ファミリーサイズに関しては、全分野平均もビジネスモデル特許もほぼ 1 (国内出願のみ) である。共同発明者数の平均は、米国や日本と比べて高く、さらに増加し続けている。SGCC は非上場企業であるため、業績の推移については不明である。

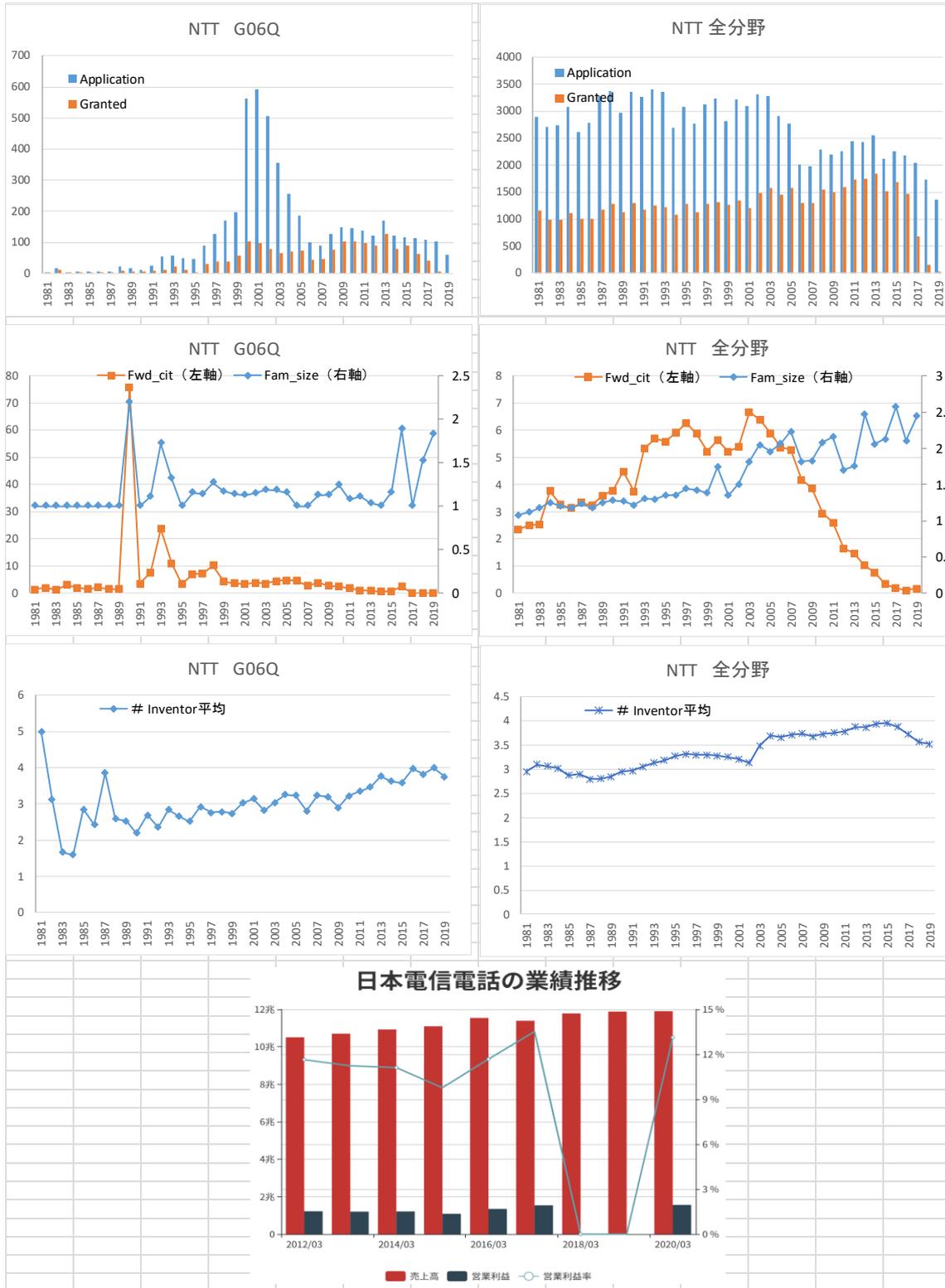


図 2-13 NTT のビジネスモデル特許の出願動向と業績推移

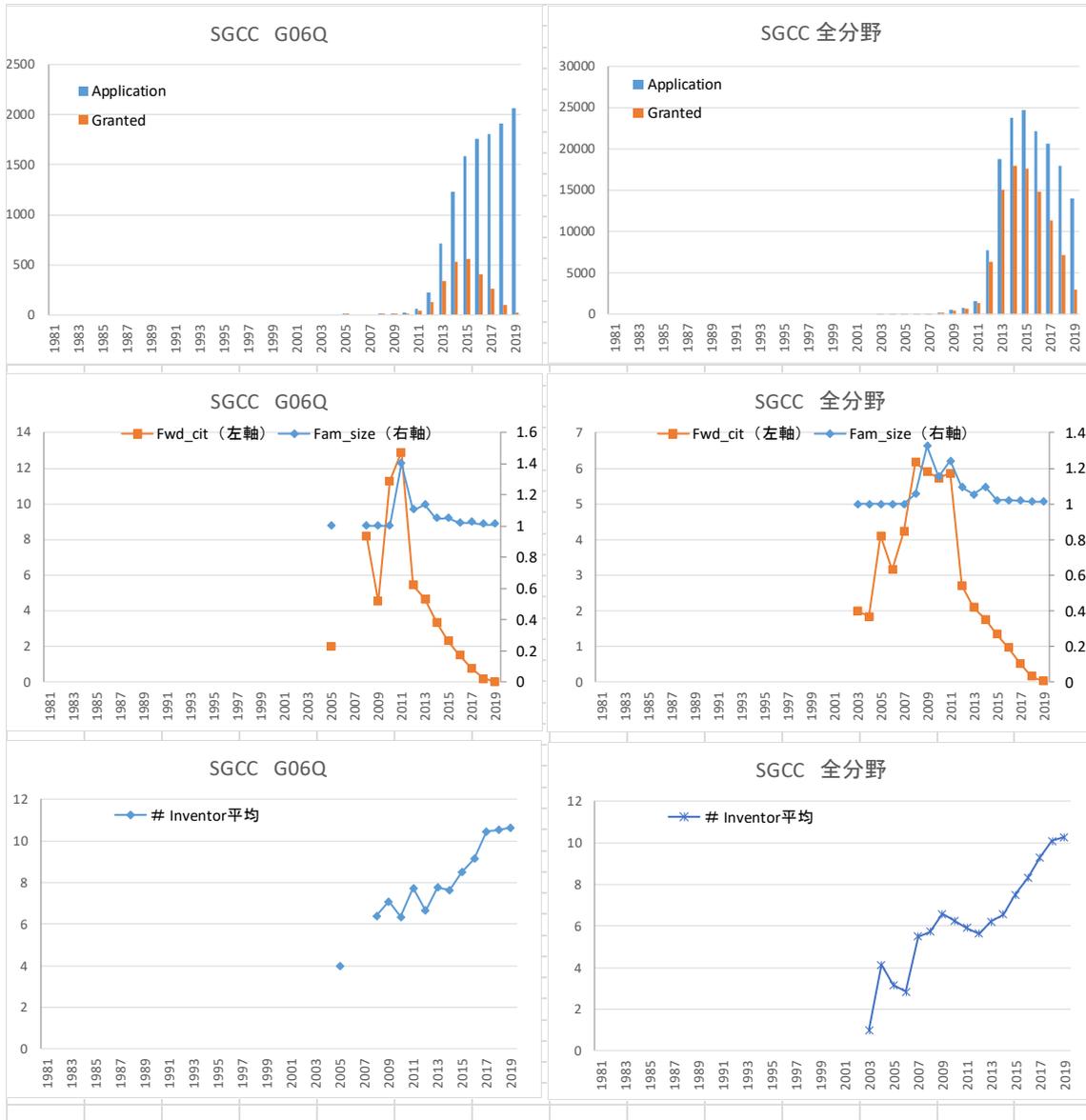


図 2-14 SGCC のビジネスモデル特許の出願動向

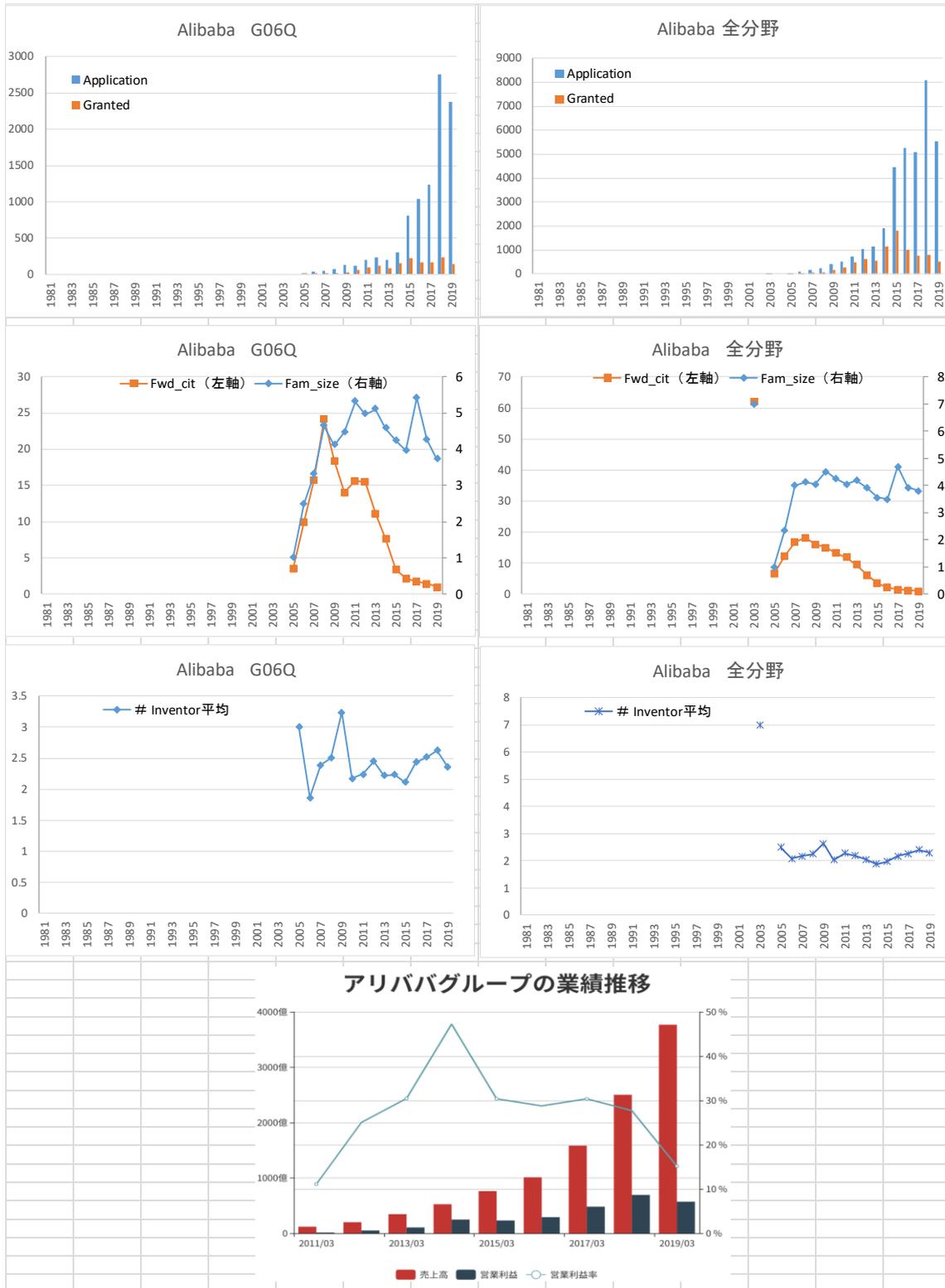


図 2-15 Alibaba のビジネスモデル特許の出願動向と業績推移

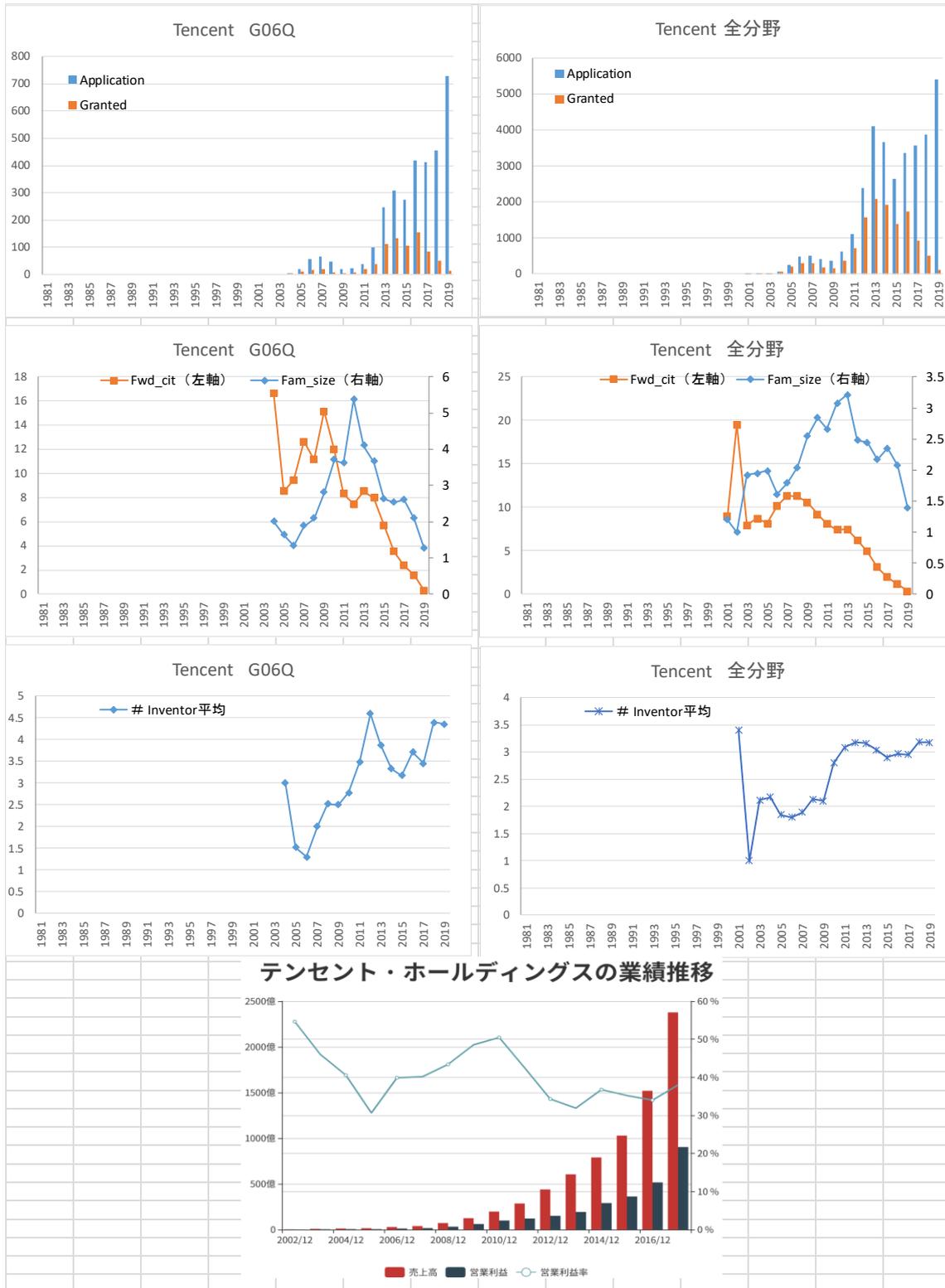


図 2-16 Tencent のビジネスモデル特許の出願動向と業績推移

⑧ Alibaba (図 2-15)

Alibaba が特許を本格的に出願し始めたのは中国企業の中でもやや遅く、2014 年代以降である。近年は年間 5000 件を超える特許を出願しているが、登録率は低く 20%未満である。ビジネスモデル特許についても、大量の出願を始めたのは 2015 年以降であり、登録率は低い。Alibaba の特許の被引用も、SGCC 同様に特許開始からあまり時間が経過していないことから精度は劣るものの、かなり高いようである。ファミリーサイズに関しては、中国企業としては高く、全分野平均もビジネスモデル特許も 4~5 程度あり、積極的に海外出願を行っているようである。共同発明者数の平均は、ビジネスモデル特許も全分野平均もほぼ同じで、2.5 人程度となっている。Alibaba の業績は急拡大中であり、利益率はやや低下したものの 15%程度と高い。

⑨ Tencent (図 2-16)

Tencent が特許を大量に出願し始めたのも 2012 年以降であり、ビジネスモデル特許も同時期に急増している。登録率は全分野平均よりもやや低いようである。Tencent の特許の被引用は、Alibaba より低いが、SGCC よりは高くなっており、中国企業としては高い方である。ファミリーサイズに関しては、Alibaba ほど高くはないが、2 を超えており、外国にも出願を行っている。共同発明者数の平均は、全分野平均で 3 人程度、ビジネスモデル特許ではそれよりも少し高い。Tencent の業績も急拡大しており、特に営業利益率が 30%以上の高い値を維持し続けている。

以上、ビジネスモデル特許の出願人上位企業の動向を見てきたが、米国の GAFAM や中国の新興企業群の勢いには驚くべきものがある。中国企業の特許も、かなりグローバル化し、高品質のものが増えているようである。これらに対して、日本企業や米国の IBM など旧世代の大企業の多くは、ビジネスモデル特許こそ多く出願し登録しているものの、そのトレンドや業績は停滞ないしは漸減傾向である。これらの既存企業は、いまだビジネスモデルの転換に成功していないことを示唆するデータとなった。

なお、IoT 関連技術に関する特許分類のニーズに応えるために、日本特許庁はファセット ZIT を新設し運用してきたが、その後、WIPO に対して IPC そのものに IoT 関連技術のための分類を新設するよう提案を行った。その結果、IPC サブクラス G16Y が 2020 年 1 月に発効することが正式に決定した。日本独自の付加分類である ZIT と G16Y は、その定義や付与の観点にやや異なるところもあるが、今後は ZIT の付与は停止され、これまで ZIT が付与されていた特許については、G16Y10 に機械的に付与し直すことになっている。

(担当：鈴木潤)

第3章 台頭する CPS (Cyber Physical System) のアーキテクチャー

3.1 日本の正念場としての CPS

サイバー空間の競争で、日本は米国の巨大 IT 企業の後塵を拝して、もはや挽回不可能なほど大きな後れをとった。その日本にとって、リアルとサイバーの融合領域は今後の正念場になるだろう。リアルとサイバーが融合した CPS という山を、IT 企業はサイバー側から登ろうとしているのに対して、日本の機械メーカーはリアル側から登ろうとしており、頂上で激突する可能性が高い。CPS は融合領域である以上、どちら側からでも登れるはずである。主戦場は、サイバーだけでなくリアルだけでなく、CPS という融合領域の頂点を目指して展開される登山競争に移った。

例えばその兆候は、CPS の典型例であるスマートシティを巡る日米企業の取り組みにみることができる。周知のように日本では、自動車メーカーであるトヨタが東富士工場の跡地に先端的なスマートシティ「Woven City (ウーブンシティ)」の構築を計画している。東京ディズニーランドよりも広い約70万平方メートルの敷地で、様々な先端的社会実験が行われる予定だ。例えば、交通量データと信号を連動させてどの程度渋滞を防止できるのか、あるいは、高齢者にセンサーをつけてもらい行動の見守りや遠隔医療に生かすことができるのかなどがその一例である。

他方米国では IT 企業グーグルの親会社アルファベット傘下の Sidewalk Labs (サイドウォーク・ラボ) がスマートシティプロジェクト「サイドウォーク・トロント (Sidewalk Toronto)」を2017年から始めた。これは、カナダのトロント市東部に、ICT を駆使したスマートシティをつくり、そこで交通や上下水道などの公共サービスを ICT により最適制御するプロジェクトだったが、最終的には、個人情報保護に懸念を持つ住民らの反対により2020年5月には中止されるという結末を迎えた。

重要なポイントは、スマートシティという CPS を目指して、日本ではトヨタという自動車メーカーが登り始めたのに対して、米国ではグーグルという従来サイバー空間で事業を営んできた IT 企業が登っていたという事実であり、現在はその途上にあるということである。自動車メーカーが主導するスマートシティが優れているのか、あるいは IT 企業が主導する方が良いのか

今後あらゆる分野で CPS を巡るこのような競争が展開されるはずだ。本稿では、日本が高い競争力を持つ生産現場のスマート化を例にとり、台頭する CPS のアーキテクチャーを理論的に考察し、具体的な企業事例によって例証する。

3.2 理論的検討: CPS のアーキテクチャー

CPS はいまだ発展途上にある概念であり、最終的な形態はまだ明瞭には見えてこない。実空間からサイバー空間へ、そしてそこでの分析を経て再度実空間へというフィードバック

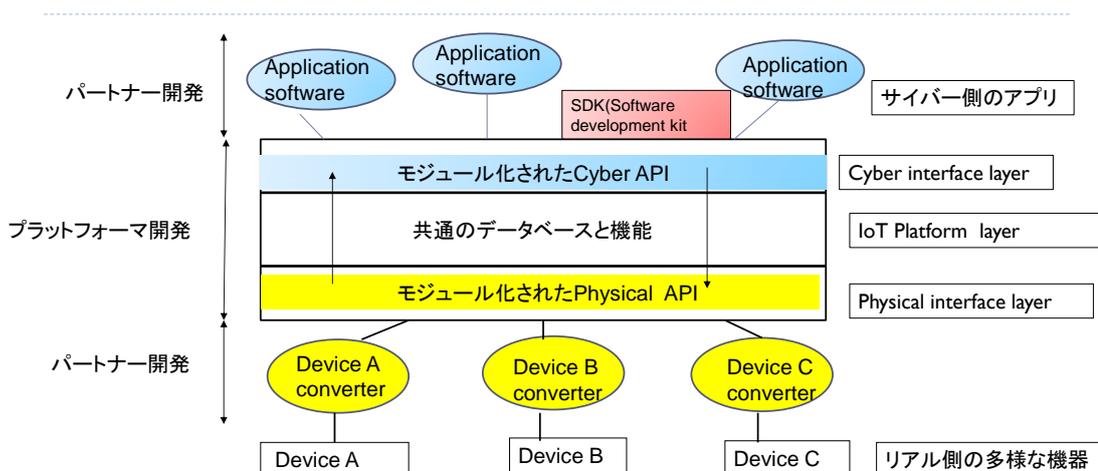
グループを高速で循環させるのが目指す姿だが、まだループがようやく回り始めた段階だろう。

CPS はまずメーカー単体でのクローズドな CPS から始まる。自社製品へ装着された複数のセンサーから IoT 経由でデータを収集してクラウドに蓄積し、蓄積したデータを分析して再度自社製品の制御にフィードバックさせるという流れが、クローズドな CPS の典型的なものであろう。例えば、工作機械やロボットに装着されているモータの振動や発熱、負荷等の時々刻々変動してゆくデータを収集し分析する、あるいは稼働時間やアラーム発生履歴等を蓄積して分析するというのが、それに相当する。この場合の CPS は、メーカー単体でループが閉じている CPS である。

だが、生産現場や建設現場等の現場では、複数のメーカーが提供する多種多様な製品が混在しており、接続方式や通信プロトコル、そしてデータフォーマット等が多数存在している。そのような現場を全体最適化しようとするれば、メーカー単体で閉じている CPS のループでは不十分なのである。現場に存在するあらゆる機械や設備からデータを収集して、全体最適の観点から分析して現場にフィードバックする CPS のループを作らなければならない。それがまさにオープンな CPS のアーキテクチャーなのである。

図表 1 は、CPS アーキテクチャーの概念図を示しているが、それによれば、CPS アーキテクチャーは 3 つの階層から構成されるモジュラーなアーキテクチャーとして表現できる。まず、実領域 (Physical domain) とサイバー領域 (Cyber domain) の丁度中間に位置して、2 つの世界を媒介する IoT プラットフォーム階層が中央に存在する。実領域とサイバー領域間でやりとりされる多種多様なデータを共通したデータフォーマットに変換してデータベースとしてこの階層に蓄積する。

図表 1 3 階層から成る CPS アーキテクチャー



IoTプラットフォームと実領域の接点には、そのインタフェースとも言うべき **Physical API (Application programming interface)** の階層が存在している。API の実体はソフトウェアであり、いわゆるサブルーチンと言われる機能単位毎のソフトウェアの集合である。サブルーチンとは、入力と出力が明示されており、ひとつの役割を果たす機能単位である。API の中には各機能に対応した多数のサブルーチンが存在しているが、入出力の変数が明示されてルール化されている。その意味では API 自身が、モジュラーなアーキテクチャーを持つ。重要なポイントは IoT プラットフォームへのアクセスは、必ず API を経由してできない仕組みになっているという点であり、これによってルールが順守されている。

一方で、実空間の現実は、実に複雑で多様である。それが工場現場であれ、建設現場であれ、あるいはスマートシティであれ、複数のメーカーの機械や設備が稼働しているからだ。しかも、古い機種から新しい機種まで稼働しており、開発年次も多岐にわたる。それが既に存在する実空間のおかれた現実である。したがってそのような現場を対象にした CPS ループを作るためには、多種多様な機械と設備に装着されたセンサー経由で集められたデータを、一度コンバータによって API に合致したフォーマットに変換しなければならない。

同様に、IoTプラットフォームとサイバー領域の接点には、インタフェースとして **Cyber API** の階層が存在している。これは **Physical API** 同様に、モジュラー化された多数のサブルーチンから構成されており、IoTプラットフォームとサイバー領域の全てのやり取りはこの API を経由して行われる。アプリケーションソフトを作成するパートナー企業は、そのアプリケーションの目的に応じて適宜必要な API をアプリケーションソフトの中から呼び出している。当該 CPS を主導する IoT プラットフォーマーは、CPS 向けの API が作りやすくなるように、パートナー企業に対して、**SDK (Software Development Kit)** を提供しており、パートナー企業はこの SDK を使用して API を作成することになる。

CPS は抽象度が高い概念であり、具体的には、工場、建設現場、自動運転等多様な業種に広がる多様な現実が存在する。どのような業種であっても、CPS を構想する以上は、このようなアーキテクチャーを共通して持つに違いないというのが、本稿での考察になる。

このアーキテクチャーの重要なポイントは、階層間のインタフェースが明示的にルール化されたモジュラーなものだという点と、API 階層自身がサブルーチンの集合としてモジュラー化されているという点だ。つまり、モジュラー・アーキテクチャーの入れ込構造になっているという点が大きな特徴である。

3.3 三菱電機が主導する **Edgecross(エッジクロス)**

日本が最も高い競争力を持つ産業のひとつは **FA 産業** である。生産現場には、工作機械や産業用ロボット、PLC など多様な機械が稼働しているが、これらは複数のメーカーから提供されておりしかも稼働中の機械年齢に大きな違いがあるというのが生産現場の特徴である。ここではまず、そのような特性を持つ **FA 産業** において高い競争力を持つ三菱電機の取り組みを紹介する。そのうえで、長年競争してきたファナックと三菱電機各社が、それぞ

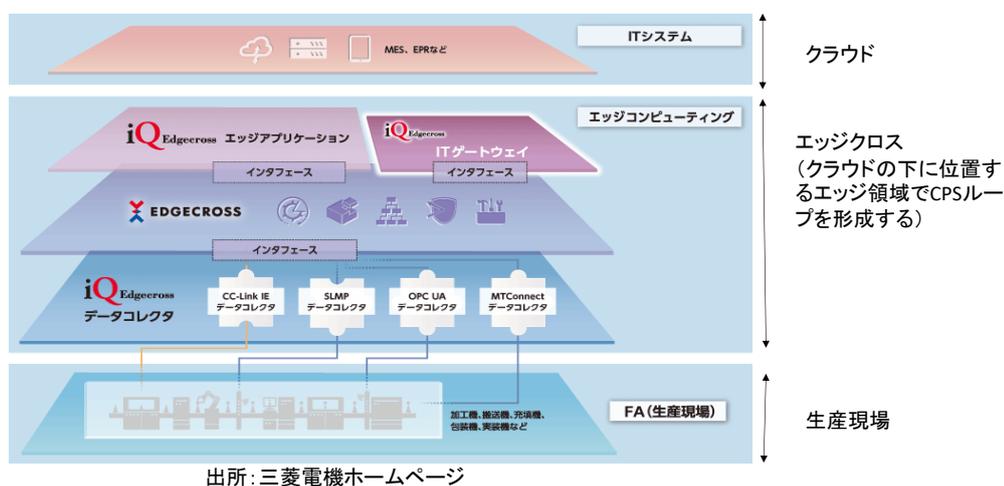
れ主導するCPSを比較分析する

三菱電機が主導しているCPSはEdgecross（エッジクロス）と呼ばれている。その目的は生産現場に存在する様々な機器や設備をつなぐことで、新たな価値を創出するというものである。その特徴は誰でもが参画できるオープン性と、エッジ領域での処理を中心するエッジヘビーだという2点だ。

エッジヘビーの意味は、インダストリー4.0で定義されている参照アーキテクチャーモデル（Reference Architecture Model Industry 4.0, RAMI4.0）に照らし合わせるとわかりやすい。RAMI4.0は、上位から下位までを7つに階層化したモデルだが、上位のクラウドと下位の生産現場の中間に位置するのがエッジと言われる階層である。エッジヘビーとはクラウドでの処理でなくてエッジ領域での処理を中心することを意味する。データをクラウドまで上げずにエッジ領域で処理するために、リアルタイム性とセキュリティに優れているという特徴を持つ。

この2つの特徴は、競合するファナックのフィールドシステムと全く同じものだ。これらは生産現場を用途に想定するCPSであり、他のクラウド中心のCPSとの大きな違いはエッジヘビーを強調している点である。そのエッジクロスのアーキテクチャーを図表2に示す。

図表2 Edgecross(エッジクロス)のアーキテクチャー

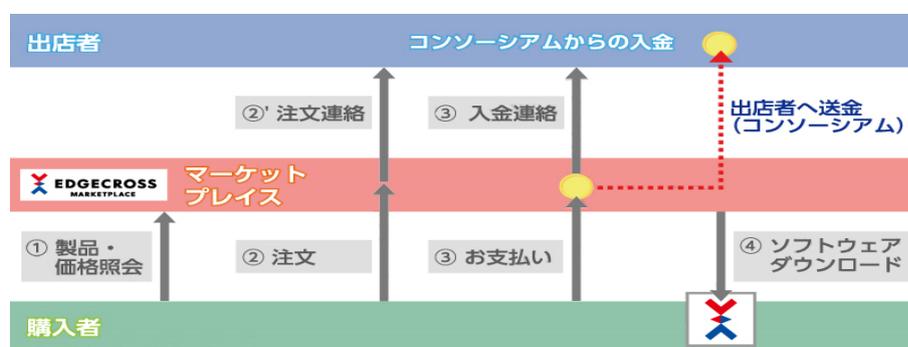


繰り返しになるが、エッジクロスはクラウドと生産現場の中間階層ともいべきエッジ領域に位置しており、その階層と生産現場の間でCPSのループを形成する。生産現場の様々なデータをデータコレクタ経由で吸収して、エッジクロスで分析・処理し、クラウドまで上げるのかどうかを判断する。リアルタイム処理を必要とするデータはクラウドまでデータを上げずに、エッジクロスで分析・処理をして、再度現場へフィードバックするという流れを辿る。

注意してほしいのは、エッジクロスが2つの階層のインタフェースで挟まれているという点だ。上位に位置するインタフェースが、Cyber APIであり、下位に位置するインタフェースがPhysical APIに相当する。そしてCyber APIの上位には、エッジアプリケーションが存在するが、これはパートナー企業が作成するエッジクロスを有効活用するための様々なアプリケーションソフトである。現在、プロセスシミュレーションやデータ分析、システム監視、エネルギー監視等様々な用途を持つエッジアプリケーションが販売されている。

エッジアプリケーションは会員企業であれば誰でも開発して、売買することができる。その仕組みを示しているのが図表3である。エッジアプリケーションの売買は、エッジクロス・マーケットプレイスを経由して行われる。ファナックのフィールドシステムとの違いは、出店希望のアプリケーションソフトの品質管理をどの程度厳格に行うのかどうかという点にある。フィールドシステムの場合、ファナックが品質をレビューしそれに合格しなければ、マーケットプレイスに出店することはできない。他方でエッジクロスの場合、基本的にパートナー企業であれば自由に出店できる。例えて言えば、スマホにおけるアップルとアンドロイドの違いのようなものだろう。

図表3 Edgecross アプリケーションソフトの売買の仕組み



出所:エッジクロスコンソーシアム ホームページ

さらに、エッジクロスの統治では、主導者である三菱電機が前面に出るのではなく、2017年11月に設立された一般社団法人エッジクロス・コンソーシアムによって管理しているという点が特徴的だろう。現在、三菱電機、オムロン、IBMや日立等を含む7社の幹事会社によって運営されており、三菱電機色をできるだけ消して中立的な仕組みで運営しようとする意図だと思われる。他方、競合関係にあるフィールドシステムの運営では、ファナックが全面的に主導権を取っている。これもまた、スマホにおいて、グーグル色を消しているアンドロイドと企業色を前面に出すアップルの戦略の違いと同じだ。

3.4 考察

ファナックのフィールドシステムと三菱電機のエッジクロス

ファナックと三菱電機は生産現場のFA事業で長年競争関係にある。それぞれ個別に独自のIoTプラットフォームを主導しているのだが、それらを比較すると次のようになる。

両社のアーキテクチャーはほとんど同じである。3つの階層構造を成しており、中央に存在するIoTプラットフォームを挟んで、実領域側とサイバー側にそれぞれAPIが存在している。そしてサイバー側には、APIを経由して様々なアプリケーションを提供するソフトウェアが存在しており、それらを開発するパートナー企業がエコシステムを形成している。一方で、実領域側には、生産現場で稼働する様々な機械や設備に対応するためにコンバーターが必要になる。またRAMI 4.0のモデルでの位置づけも同じだ。両方ともに、エッジ領域に位置づけられており、エッジヘビーとして特徴づけられている。

図表4 フィールドシステムとエッジクロスの相違点

	フィールドシステム	エッジクロス
APIの中身	APIが提供する機能のきめ細やかさやデータ分析力が、アプリケーションの作りやすさに影響を与える	同左
アプリケーションソフトの品質管理の仕組み	ソフト毎にファナックの審査がありそれを通過しなければ、マーケットプレイスに展示できない	特別な審査はなく、パートナーであれば出店できる。
CPSを統治する仕組み	ファナックが行う	7社の幹事会社で形成される一般社団法人 エッジクロスコンソーシアムが中立的に行う。

だが、大きな違いも存在し、主として3つの違いを図表4にまとめた。まず第1に、アーキテクチャーの中身が違うために互換性が存在しない。データフォーマットや通信規約、そしてAPIを構成するサブルーチンの作り方などが異なるという点だ。したがって、フィールドシステム用に作成したアプリケーションソフトは、そのままではエッジクロスでは機能しない。アプリケーションの互換性がないということだ。それは丁度スマホの世界で、アップル陣営とアンドロイド陣営の間には、アプリケーションレベルでの互換性が存在しないのと同様だ。

そして第2に、これは既に述べたことだが、アプリケーションの品質管理に違いがある。フィールドシステムはファナックによる厳格な品質管理を行っているが、他方でエッジクロスはかなりゆるやかな品質管理をしている。フィールドシステムでは、ファナックによる審査を経なければマーケットプレイスにソフトウェアを出店することができないが、エッ

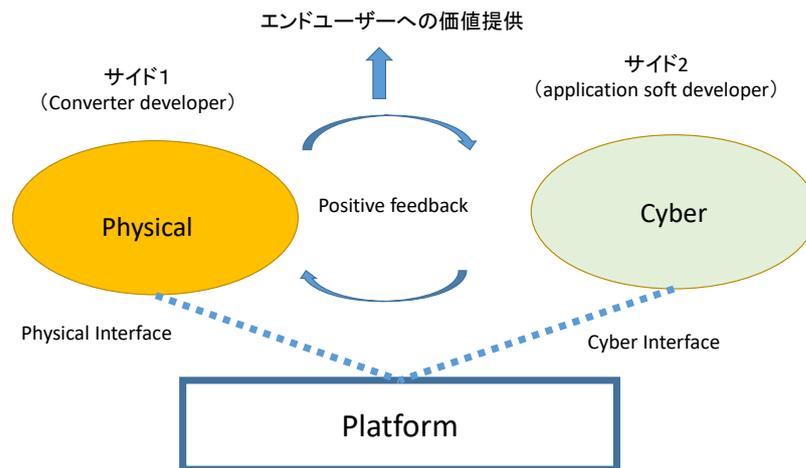
ジクロスではそのような厳格な条件はない。

第3に、これもまた既に言及したことだが、プラットフォームの統治の仕組みに違いがある。フィールドシステムはファナック中心の統治メカニズムを採用しているのに対して、エッジクロスは三菱電機も含む7社の幹事会社による中立的な共同統治メカニズムを採用している。

CPSにおけるプラットフォーム間競争のメカニズム

今後、複数CPS間での競争が展開されることになるのだが、競争の焦点は一体どこになるのだろうか。実領域とサイバー領域でどうやってネットワーク効果を早く働かせて、多くのパートナー企業を巻き込み、魅力的なサービスを作ることができるのかという点が、CPS競争の焦点になるはずだ。

図表5 サイバーとフィジカルで働くネットワーク効果



図表5を見ていただきたい。CPSは、サイバー側と実領域側という両面が存在するために、それらの両面間で相互の価値を高め合う補完的な関係が存在する。生産現場側のデバイスが増えると、それに応じてパートナー企業のアプリケーションソフトを開発する動機が高まる。そして魅力的なアプリケーションが増えれば増えるほど、デバイスメーカーのCPSへの参加意欲も高まるだろう。そのような相互促進的に価値を高め合う力が、サイバーと実領域側には働いているために、いかに早くそのようなサイクルを作り出して価値を高めることができるのかが、競争の焦点になる。そして一定の閾値に到達すると、そのサイクルは自律的に回り始めることになる。

フィールドシステムとエッジクロスには、戦略上3つの違いがあることを既に説明した。すなわち、APIの実体、アプリケーションの品質管理の仕組み、そして統治メカニズムの3つである。これらの違いが、CPSのネットワーク効果の働きにどのような影響を及ぼすの

かが今後の発展過程を考える重要なポイントになる。そのためには、C P Sを主導するプラットフォーム、つまりフィールドシステムの場合ファナックであり、エッジクロスの場合一般社団法人エッジクロス・コンソーシアムになるのだが、それらの果たす役割が重要である。

(担当：柴田友厚)

第4章 ICTの成長初期市場が示すCPS発展の方向性

4.1 はじめに

2020年3月に、日本でも5Gの商用サービスが開始された。5Gは従来の4Gに対して高速・低遅延で多数同時接続も可能となっており、フィジカル空間とサイバー空間のデータのやりとりを格段に効率化できるため、CPS(Cyber Physical System)の高度化に大いに寄与すると期待されている。

今後のCPSの高度化に対する日本の貢献を考えると、フィジカルの領域ではロボットや製造装置など、現状でも日本が強みを発揮可能な技術分野が数多くある。しかし、サイバー(ICT)の領域で重要なクラウド、AI、高速通信、高度情報端末などの分野では、残念ながら今のところ日本が強みを発揮するに至っていない。しかし、この領域では従来もスマートフォンやAI(Deep Learning)などで見られたように、技術の非連続的な発生と急速な転換・普及が起こる場合があり、今後もそうした可能性に着目しておく必要がある。

そこで本稿では、主にICT関連の技術・製品について、市場の出現が比較的最近で、現在は市場として極めて小規模だが近年急成長しており、かつ日本が強みを発揮して大きなシェアを獲得しつつある分野を抽出する。その上で、その技術分野が今後CPSにどのように貢献するかについて考察する。

4.2 ミクロなICT市場で芽生える日本の強み

4.2.1 ICT市場の概観

NEDO(2020)は、ICTのソフトウェア/ハードウェア/サービスに関わる2018年の各市場について、米国系企業について図4-2-1-1、日本系企業について図4-2-1-2のように、市場規模と占有率を示している。

図4-2-1-1が示すように、世界的に規模が大きなICT関連市場において、米国系企業は数多くの分野で高いシェアを占めており、特に旅行予約サービスやオークション、アプリケーションストアなど、サービス分野において強みを発揮している。

一方、図4-2-1-2が示すように日本系企業については、市場規模が大きくシェアの高い分野が存在しない(図4-2-1-2右上の領域)。しかし、規模が5,000億円未満と極めて小さな市場では、40%を越える高いシェアを有する分野が存在するようだ(図4-2-1-2赤枠の領域)。

本稿ではこの領域に着目し、市場成長率が大きく、その成長率を日本企業の売上成長がさらに上回り強みを発揮しつつある領域がないか調査する。

世界市場規模(円)

SW/HW/サービスの売上高と世界シェア(2018年)

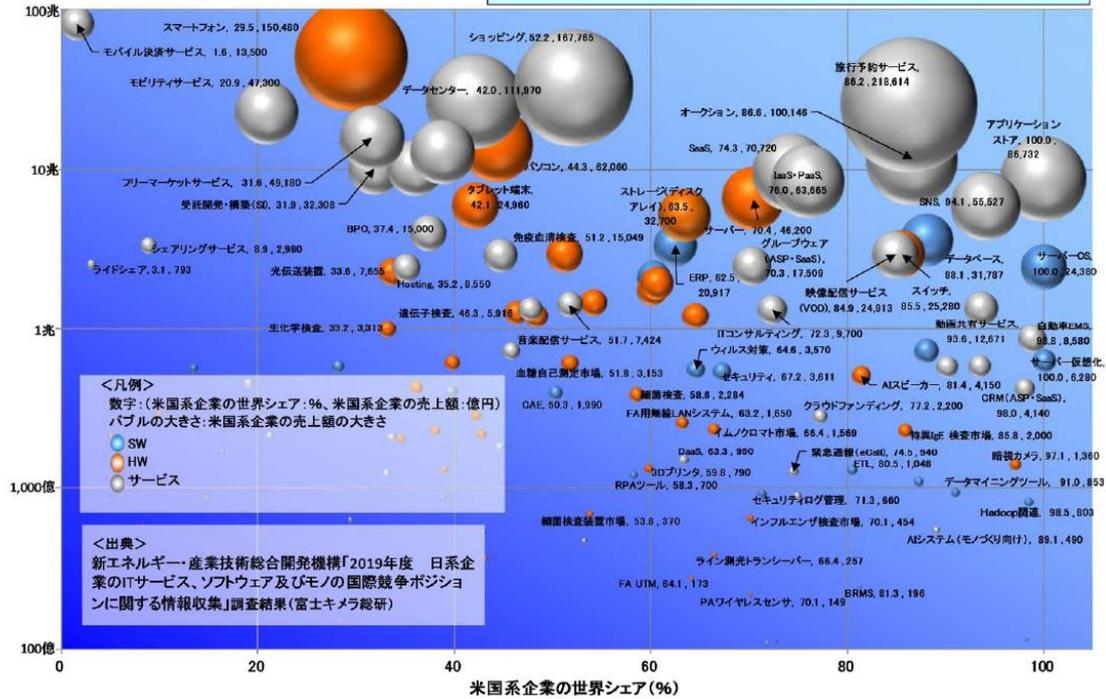


図 4-2-1-1 米国系企業が強みを発揮している ICT 分野

世界市場規模(円)

SW/HW/サービスの売上高と世界シェア(2018年)

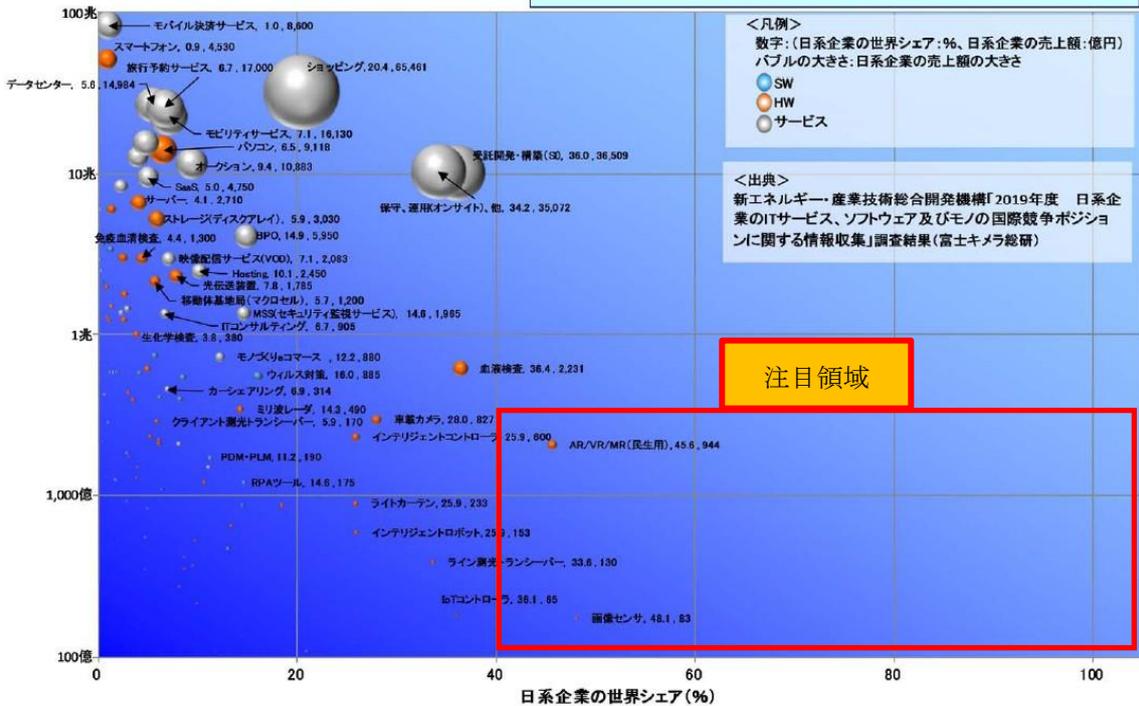


図 4-2-1-2 日本系企業が強みを発揮している ICT 分野

4.2.2 データと分析法

NEDO(2020)は、ICT のソフトウェア／ハードウェア／サービスに関する 224 品目に加えて、工業製品 686 品目および「キーテクノロジー製品」298 品目について、2014 年から 2018 年まで各年の製品販売額を、世界 7 エリア（日系、米国系、欧州系、中国系、台湾系、韓国系、その他）別に調査している。

本稿では ICT に注目するものの、CPS という観点からフィジカル領域の最終工業製品も分析対象とした。ただし、素材・部品レベルの品目は除外し、自動車・航空機・産業機械については中間製品までを分析対象とした。

そして、上記対象品目の中から下記観点でサンプルを抽出した。

- [1] 2018 年の世界 7 エリアの販売額総計（以下、世界市場）が 5,000 億円以下
- [2] 2018 年の日系販売額が世界市場規模に占める割合（以下、日系シェア）が 40%以上
- [3] 2014 年から 2018 年の世界市場規模の年平均成長率（CAGR）が 0%以上
- [4] 2018 年の日系シェアが 2014 年の同シェアに対して 0 ポイント以上成長

一部品目については 2015 年以降の調査開始となっているが、2018 年を含め少なくとも過去 3 年分のデータがある場合には分析対象に含め、上記観点から評価した。

4.2.3 分析結果

上記観点[1]～[4]により抽出されたサンプルは 56 品目で、世界市場規模の CAGR の大きい上位 20 品目は表 4-2-3-1 のようになった。

表 4-2-3-1 世界販売額の成長率が大きく日本が「強み」をもつマイクロ市場

#	製品名	世界販売額（百万円）		日系販売額（百万円）		日系シェア		世界市場規模 CAGR	日系販売額 CAGR	日系シェア増分
		2014	2018	2014	2018	2014	2018			
1	AR/VR/MR（民生用）-HMD	6,300	207,000	1,600	94,400	25.4%	45.6%	139.4%	177.1%	20.2%
2	燃料電池自動車（全体）	1,940	38,350	720	26,800	37.1%	69.9%	110.9%	147.0%	32.8%
3	移乗支援ロボット（2015-2018）	60	550	60	550	100.0%	100.0%	109.3%	109.3%	0.0%
4	電力貯蔵設備用リチウムイオンキャパシター	80	410	80	410	100.0%	100.0%	50.5%	50.5%	0.0%
5	サプライヤ検索・マッチング（2015-2018）	1,150	3,800	750	2,500	65.2%	65.8%	48.9%	49.4%	0.6%
6	AR/MR表示機器（産業用）（2015-2018）	1,600	4,300	890	3,100	55.6%	72.1%	39.0%	51.6%	16.5%
7	スカラ型ロボット	19,800	46,550	15,950	37,950	80.6%	81.5%	23.8%	24.2%	1.0%
8	コミュニケーションロボット（2015-2018）	1,700	3,000	1,700	3,000	100.0%	100.0%	20.8%	20.8%	0.0%
9	温水洗浄便座	20,180	39,600	13,450	28,900	66.7%	73.0%	18.4%	21.1%	6.3%
10	CMP装置	99,000	183,000	38,000	77,500	38.4%	42.3%	16.6%	19.5%	4.0%
11	ウェハハンドリングロボット	31,700	58,550	25,800	54,150	81.4%	92.5%	16.6%	20.4%	11.1%
12	ドライ/蒸気洗浄装置	9,000	16,300	6,500	12,500	72.2%	76.7%	16.0%	17.8%	4.5%
13	クリーンストッカ	18,700	33,450	15,900	29,200	85.0%	87.3%	15.6%	16.4%	2.3%
14	小型垂直多関節ロボット	65,000	113,600	43,000	77,500	66.2%	68.2%	15.0%	15.9%	2.1%
15	i線露光装置	16,800	29,000	12,300	23,700	73.2%	81.7%	14.6%	17.8%	8.5%
16	コータ/デベロッパ	175,500	296,270	159,600	275,770	90.9%	93.1%	14.0%	14.7%	2.1%
17	バックグラインダ	18,500	30,170	18,500	30,170	100.0%	100.0%	13.0%	13.0%	0.0%
18	マウンタ（多機能）	37,800	61,100	26,700	46,500	70.6%	76.1%	12.8%	14.9%	5.5%
19	車載テレマティクスシステム	6,280	8,980	2,160	4,110	34.4%	45.8%	12.7%	23.9%	11.4%
20	ブローピング装置	51,300	82,050	49,300	79,200	96.1%	96.5%	12.5%	12.6%	0.4%

上記表 4-2-3-1 の上位 7 品目について、世界市場 CAGR と日系シェアの増分、および世界販売額の大きさを図 4-2-3-1 に示す。

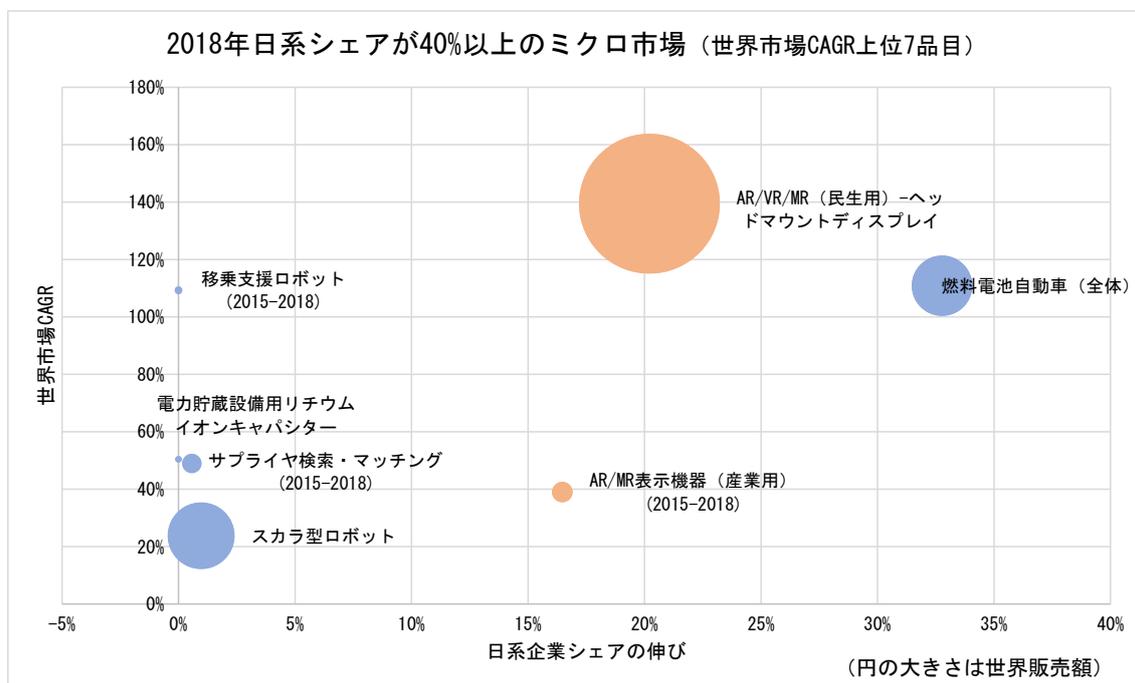


図 4-2-3-1 日本が「強み」をもつマイクロ市場（世界市場 CAGR 上位 7 品目）

これらの結果を、「サイバー領域における技術の非連続的な発生と急速な普及」という観点で見ると、2014年から2018年の世界市場CAGRが139.4%の「AR/VR/MR (民生用) ヘッドマウントディスプレイ」が注目される。また、関連して「AR/MR 表示機器 (産業用)」も同CAGR39.0%で成長している。

「AR/VR/MR (民生用) ヘッドマウントディスプレイ」について、NEDO(2020)は「VR(Virtual Reality)やMR(Mixed Reality)を投影する非透過型ウェアラブル機器ヘッドマウントディスプレイ、実際の視覚に映像を重ね合わせるAR(Augmented Reality)や現実の視覚にMRを表示する透過型機器スマートグラス」と定義している。また「AR/MR 表示機器 (産業用)」については、「メガネと同様に頭部に装着し、小型ディスプレイに様々な情報を表示するウェアラブル機器」とし「産業・実務向けに利用される透過型製品を対象とし、映画やゲームなどのエンターテインメント用途で利用されるスマートグラスやヘッドマウントディスプレイは対象外」としている。

この2つの市場について、規模の拡大状況を図 4-2-3-2、図 4-2-3-3 に示す。

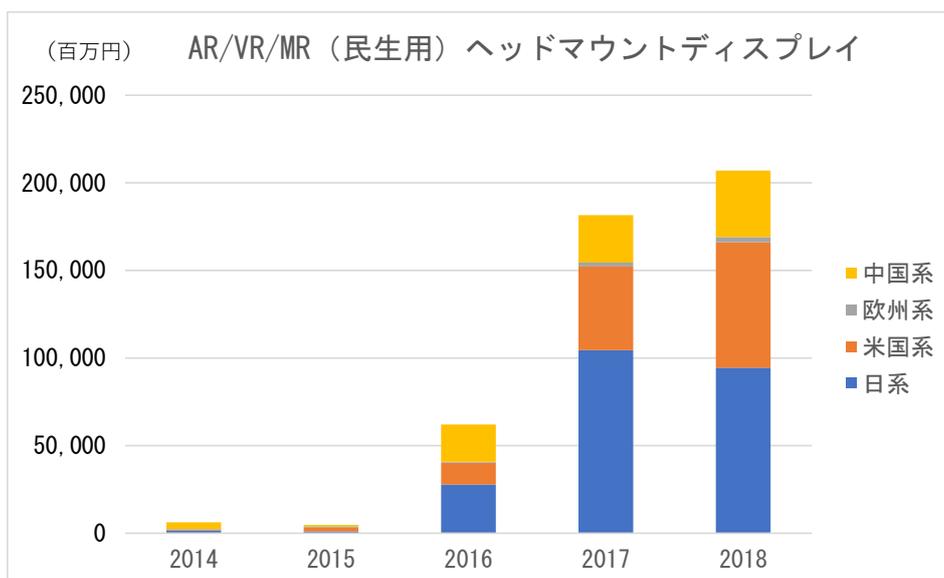


図 4-2-3-2 「AR/VR/MR (民生用)」市場の拡大推移

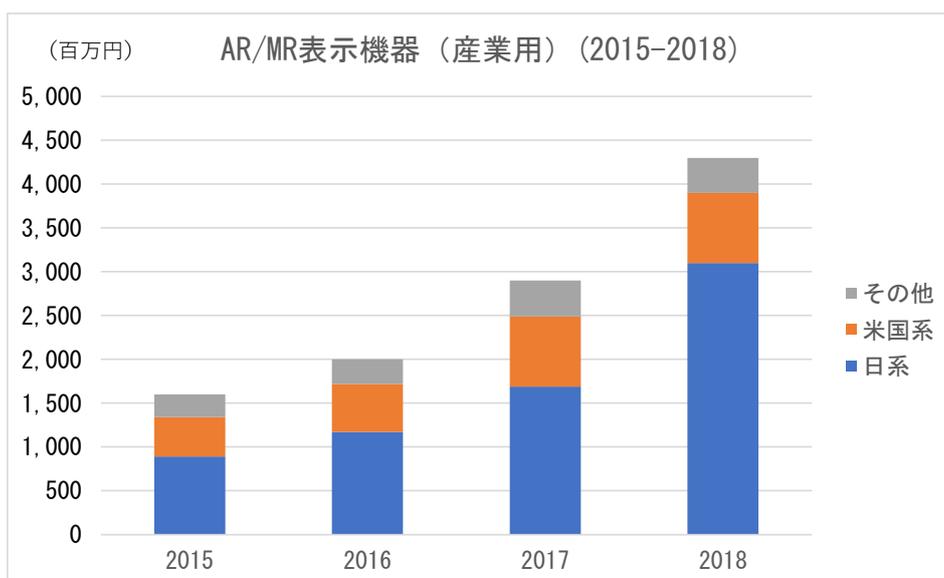


図 4-2-3-3 「AR/MR (産業用)」市場の拡大推移

「AR/VR/MR (民生用) ヘッドマウントディスプレイ」については、2014年の世界市場規模が極めて小さく、2016年から急拡大したため、CAGRが非常に大きな値(139.4%)になっている。しかし、日系企業の販売額に関しては、2017年から2018年にかけてわずかな減少が見られ、技術的なブレイクスルーによる拡大ではなく、2016年頃に発表された特定製品のヒットによるものとも見える。

実際、2016年に4K対応の家庭用ゲーム機SONY「Playstation 4 Pro」が発売され、同年にその表示装置としてVRヘッドマウントディスプレイSONY「Playstation VR」も発売されて、大きなヒットとなった。しかし、「Playstation 4 Pro」は2020年に国内出荷を

終了し、「Playstation VR」も後継機は開発されていない。こうした経緯が図 4-2-3-2 に色濃く反映されているものと考えられる。

一方で、「AR/MR 表示機器（産業用）」（図 4-2-3-3）については、図 4-2-3-2 に見られたような市場変動の不規則性がなく、着実に市場が拡大していることを示している。産業用の AR は、眼鏡型などのヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）に映る現実の画像に、被写体に関する説明などの電子情報を重ね合わせて表示することで、航空機エンジンやデータセンターの保守作業を支援するなどの目的で使用されてきた。MR は重ね合わせる電子情報が 3DCG などより高度な映像となっており、空間的な情報把握など AR より有利な面もあるが、内部機構が複雑で製品数も少なく、市場としてもまだ非常に小さいと考えられる。これに対して、AR は電子情報の表示性能が急速に向上しており、製品数も増え産業利用も拡大しており、図 4-2-3-3 は事実上 AR 機器の市場拡大状況と見ることができる。

4.3 AR 技術が CPS 高度化に果たす役割

現在、AR 技術は現場作業の支援用として、幅広い産業分野で利用されている。例えば、小売業や物流の現場では、作業員が装着する HMD のカメラが読み取った商品の形状やバーコードなどから、クラウド上で商品情報やマニュアルを検索し、HMD に表示することで現場の作業手順や取扱方法を提示している。また、一部高級車ではヘッドアップディスプレイにより、速度やナビゲーション情報をフロントガラスに映し出し現実の風景と重ね合わせて、運転支援に使用されている。

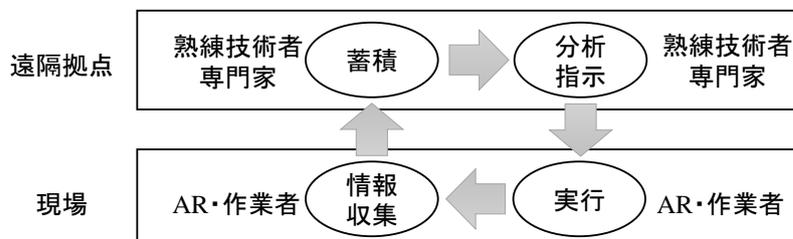
さらに、現場作業員の HMD のカメラが映す映像を遠隔地の専門家や熟練者が確認し、映像に指示を書き込んだり双方向通話で指示を与えたりしながら、現場作業を支援する目的でも使用されている。このような AR による遠隔地からの現場支援は、通信機器やビル設備のメンテナンス、製造ラインの故障対応、さらには農業など、適用分野が拡大している。特に日本では、熟練技術者や農家の高齢化が急速に進んでおり、今後こうした使用法がさらに注目されていくだろう。

そして、いずれ熟練技術者や専門家の知識や判断能力を AI が獲得し、AR が収集・蓄積した大量の映像やデータを AI が分析することで、シミュレーション結果や行動指示を AR により現場の光景に重ね合わせて提示することも可能になるかも知れない。つまり、フィジカル空間でのデータ収集だけでなく、そのデータにもとづいてサイバー空間で AI が作成する分析結果や行動指示のフィジカル空間へのフィードバックも将来 AR が担うとすれば、AR は CPS 高度化へ向けたキーデバイスのひとつになるだろう。現在の AR の利用形態と、CPS 高度化における AR の役割について、図 4-3-1 に示す。

経済産業省（2015）は、CPS を「デジタルデータの収集、蓄積、解析、解析結果の実世界へのフィードバックという実世界とサイバー空間との相互連関」と定義し、現在は「実世界をデジタルデータに変換し、そのデータを処理した上で、現実にはフィードバックするというループの発生」という段階にあるが、いずれ「AI による価値創造と完全自律・自動化」

という段階に達して、「システムの自律性が高まっていくため、中長期的に人間の果たす役割の代替が進む」と展望している。

(1) ARによる現場作業支援



(2) CPS(Cyber Physical System)

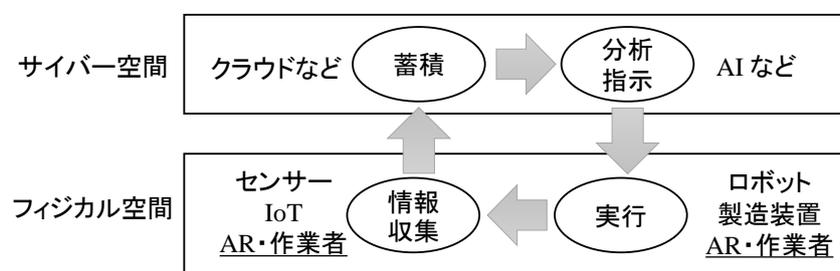


図 4-3-1 現在の AR 用途と CPS 時代に果たす役割

しかし、馬場（2020）が報告したように、CPS の自律・自動化が進むほど、CPS を利用する人間側の状況認識能力や手動操作能力が低下するという問題が拡大し、「完全自律・自動化」実現へむけた大きな課題となる可能性がある。この課題解決に要する時間やコストを考えると、「完全自律・自動化」を目指すだけでなく、サイバー空間における分析をもとに「人と機械が融和する」方向性も模索する価値があることを、馬場（2020）はオムロン社の事例により示した。

サイバー空間とフィジカル空間を重ね合わせて人間に提示することができる AR は、CPS に人間を組み込み「人と CPS が高めあう」世界（図 4-3-1（2））を実現する上で、大きな役割を果たしていくと考えられる。

4.4 AR 市場の今後の見通し

NEDO(2020)は「AR/MR 表示機器（産業用）」の 2018 年の世界市場規模を 43 億円、2015 年から 2018 年の CAGR を 39%と推計していた（表 4-2-3-1）。上述した通り、MR はまだ製品数も少なく、この推計は事実上、産業用 AR の市場状況を表していると考えられる。

今後の AR 市場の拡大について、米国の調査会社 Valuates 社は HMD について 2019 年から 2026 年の間に CAGR 22.3%で成長し、2026 年の世界市場規模は約 184 億ドルに達すると予想している（Valuates (2020)）。また、AR が適用される小売市場は 2021 年から 2026

年の間に 20.0%で成長し、同じくヘルスケア市場は 2019 年から 2026 年の間に 27.4%で拡大すると予測している。

一方、米国の調査会社 MARKETSSANDMARKETS 社は、ハードウェアやアプリケーションを含めた全体の AR 関連市場は 2019 年の約 107 億ドルが 2024 年までに CAGR46.6%で成長し、世界市場規模は 727 億円に達すると予測している (MARKETSSANDMARKETS (2020))。今後特に、ヘルスケア分野での活用や、自動車への AR ヘッドアップディスプレイ搭載も広がり、AR 市場拡大の主要因になると見ている。こうした AR 市場の拡大へ向けて、米国の ICT 大手企業も動きを活発化させており、米国 Google 社はカナダの AR-HMD メーカー North を買収したと 2020 年 6 月に発表し、米国 Microsoft 社も新型の MR-HMD 製品を 2019 年に発表、2020 年 3 月からは日本でも販売をはじめている。

NEDO(2020)は、2018 年の「AR/MR 表示機器 (産業用)」世界市場における日系販売額のシェアを 72.1%としており、2014 年からシェアを 16.5%伸ばしている (表 4-2-3-1)。この分野で主力となっている日本企業はセイコーエプソン社だが、同社はその強みについて「独自の Si OLED パネル」とその「微細加工技術」、そして「光学系アルゴリズム」にあるとしている。

しかし、AR 市場の拡大に関連して、液晶、有機 EL(OLED)に続く次世代の表示技術「マイクロ LED」が実用化しつつある。マイクロ LED は、赤、緑、青 (RGB) の微細な LED を 3 色 1 組で画素として配置する構成で、液晶や有機 EL に対して画像解像度、コントラスト、消費電力、応答速度、寿命などの点で優れるとされる (福田 (2019))。現在は製造コストに問題があり、ただちに大型テレビなどには適用できないが、AR・MR・スマートウォッチなどに使用される超小型の表示パネルから普及が始まるとみられている (Yole(2020))。将来の製造コストが予測困難なために市場規模の予想は難しいが、出荷台数は 2020 年までは 100 万台未満であるのに対し、2026 年には 1,600 万台近くに達するとする予測もある (IHS (2019))。

この市場に対し、米国 Apple 社は早くも 2014 年にはベンチャー企業 LuxVue を買収して特許を取得しており、米国 Facebook 社傘下の VR メーカー Oculus 社も、2016 年にベンチャー企業 infiniLED を買収している。日本ではシャープが、2020 年 10 月にディスプレイ事業を分社化しマイクロ LED の開発を進めているが、同時に経営再建中の JDI 社から生産拠点 (白山工場) を米国 Apple 社と共同取得している。これは、米国 Apple 社の次世代端末のディスプレイとしてマイクロ LED を搭載するための動きだとみられている。また、ソニーや京セラでも開発が進められているほか、TDK や東レエンジニアリングなどでは製造装置の開発も進められている。

こうした状況から、AR 技術において特殊有機 EL やその微細加工技術は、今後日本の持続的な強みとはならない可能性がある。残される可能性は「光学系アルゴリズム」、すなわち光学・映像系ソフトウェアということになるが、これらが CPS 高度化にいかなるブレークスルーをもたらすのか、現時点で具体的に指摘することは困難である。

4.5 おわりに

本稿では市場の出現が比較的最近で、現在は市場として極めて小規模だが近年急成長しており、かつ日本が強みを発揮して大きなシェアを獲得つつある分野として AR に着目し、今後 AR が CPS に果たす役割について考察した。また、今後大きく成長すると予想される AR 市場において、日本のシェアを支える強みについても考察したが、セイコーエプソン社の見解を踏まえれば、光学系技術、映像系技術は今後も強みになる可能性がある。

ソニーは、2004 年以來赤字に転落していたテレビ事業を、2014 年に黒字化させることに成功した。その戦略は「規模を追わず、違いを追う」というもので、液晶パネル生産から完全に撤退して調達のみで切り替え、出荷量拡大によりコストをカバーするという考え方から、徹底して音と映像にこだわり高付加価値化・差別化するという考え方に転換した。特に映像に関しては、ソニー独自の映像技術を専用プロセッサに実装しテレビに搭載することで、解像・コントラスト・動画応答といった各性能で優位性があるとしている。

AR 市場も今後、巨大企業の参入や新デバイスの導入などにより競争が激化するものと思われる。しかし、AR の本質がサイバー空間とフィジカル空間を映像として重ね合わせ人間に提示する技術である以上、日本の光学系・映像系の技術が強みを発揮していく可能性は残される。そうした強みを、高性能・高精度が要求される業務用分野で発揮して、「規模を追わず、違いを追う」姿勢を貫くことができれば、CPS 発展に日本独自の貢献を果たすことも可能であろう。

(担当：馬場康志)

【参考文献】

- [1] IHS (2019) , Dramatic Cost Reductions Set to Transform MicroLED Displays into Mass-Market Products, [Online].
https://news.ihsmarket.com/prviewer/release_only/slug/technology-dramatic-cost-reductions-set-transform-microled-displays-mass-market-product.
[Accessed:1-Mar-2021].
- [2] MARKETSandMARKETS (2020) , Augmented Reality Market by Offering (Hardware (Sensor, Displays & Projectors, Cameras), Software), Device Type (Head-mounted, Head-up), Application (Enterprise, Consumer, Commercial, Healthcare, Automotive), and Region, [Online].
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/augmented-reality-market-82758548.html>. [Accessed:1-Mar-2021].
- [3] NEDO(2020), 2019 年度 日系企業の IT サービス、ソフトウェア及びモノの国際競争ポジションに関する情報収集, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構,

- [Online].
https://www.nedo.go.jp/library/database_index.html. [Accessed:18-Nov-2020].
- [4] Valuates (2020) , Augmented Reality (AR) Market Size is Projected to Reach USD 3664.5 Million by 2026, [Online].
<https://www.prnewswire.com/news-releases/augmented-reality-ar-market-size-is-projected-to-reach-usd-3664-5-million-by-2026---valuates-reports-301096109.html>. [Accessed:1-Mar-2021].
- [5] Yole(2020), Microdisplays industry: an explosive ecosystem mixing technical innovations, strategy games and attractive applications, [Online].
http://www.yole.fr/Microdisplays_Market_Industry_Technology_Trends_Overview.aspx. [Accessed:1-Mar-2021].
- [6] 経済産業省(2015), 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 産業構造審議会商務流通情報分科会, [Online].
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shojo/johokeizai/report_001.html. [Accessed:1-Mar-2021].
- [7] 馬場 (2020) , 日本の技術が生み出す CPS の新たな進化, 2019 年度 産業と技術の比較研究報告書, pp13-22, [Online].
<https://shokokaikan.or.jp/jouhoukoukai/pdf/sangyo2019.pdf>. [Accessed:1-Mar-2021].
- [8] 福田 (2019) , 次世代ディスプレイの有力候補「マイクロ LED」,[Online].
<https://eetimes.jp/ee/articles/1910/23/news020.html>. [Accessed:1-Mar-2021].

第5章 建築技術の情報化と IOT

5.1 序論

コンピュータやインターネットの開発・活用は1960年代前後から始まった。情報化時代の始まりに対し、建築業界の技術的対応は、IT機器の施設環境整備が主たるものであった。コンピュータなどの電子機器から発生する熱の処理、有線で機器間を接続するための空間構成、電波の外部漏れを防ぐ電磁シールド技術の開発などコンピュータを始めとする情報系機器の活用・保全のための空間環境技術の開発であった。建築行為（設計・施工）のために情報システムを活用する技術の開発は遅れて開始された。

多くの産業で IOT が取り入れられ、CPS 的活用が行われているが、建築産業の情報化、IOT 活用では CPS 的活用は非常に少ない。建築産業で何故情報化が遅れたのか、IOT 時代になっても何故 CPS 的活用が少ないのかについて検討し、今後の建築産業の情報化、IOT 活用、DX の方向について議論する。そのために建築技術の発展の歴史を振り返り、歴史的に見て何が建築技術開発のドライブ要素であったか、情報伝達はどのような方法によっていたかを検討する。建築における情報活用は他産業と何が異なるか、異なる要因は何かを検討し、建築産業の情報化技術開発の今後の在り方を検討する。

5.2 建築技術の歴史

建築産業で建築作業（設計・施工）に情報技術を活用することが重視されたのは最近である。建築産業の技術の歴史は、空間を作るための技術の歴史である。古代から人類の生存の三要素は衣食住であり、住のための施設は人・モノを環境からまもる空間をつくるための外郭・モノであった。衣食住は人類生存の基本要素であるが、人間は他の動物と異なり、共同作業、集団と権力、宗教・文化・芸術の精神分野などが発展し、建築行為は単なる住空間確保から、人間社会・人間らしい生活実現のために行われ、個々の欲求、他と異なることを実現する技術を発展させてきた。

日本建築技術の粋の頂点は桂離宮である。桂離宮には幾つかの建物がある。月見台を持つ古書院・中書院・新御殿の美しさは格別である（図5-1）。



図5-1 桂離宮の書院

この書院は月を楽しむために建てられたもので、王朝文化・貴族文化の象徴であり、風雅を楽しむ豊かな教養に溢れている。世界に一つしかない文化であり、製造業の大量生産商品（モノ）とは対極にある造形品である。

この書院の軒は月を長く見ることが出来るように、通常の軒先よりも極端に短くされている。常識にとらわれない自由奔放な設計である。飛鳥時代以来、建物の設計・施工に関わる棟梁の技術は口伝・秘伝で伝承された。そのため大工達の技術は不揃いであった。江戸時代初期、大工達の技術の不揃いを統一するために、木割り・規矩術が完成された。この二つの技術は意匠設計（デザイン）・木造工事（施工）の基本技術であり、工事の生産性向上のための技術でもあった。多くの寸法の部材を持つ大型工事を良品質・短工期で完成させるのにはこの二つの技術は必須の技術であった。桂離宮の書院も木割り、規矩術と言う大工の技術によって完成されたが、それに囚われない自由さが建築美を創り出している。



図5-2 桂離宮の庭園と茶室（松琴亭）

桂離宮の美しさは書院以上に、庭園と配置された茶室の美である（図5-2）。桂離宮の庭園は、ブルーノ・タウトが評したごとく、世界のすべての人々が愛する日本の建設技術である。日本庭園の始まりは神の象徴である磐座で、自然物に神が宿ると言うのは縄文時代以来の日本列島人の宗教心である。八世紀の建設女王といわれる斉明天皇は水の祭りのために石組みを活用した大規模工事を行った。石の運搬のために長大な運河も建設している。平泉毛越寺の庭園（図5-3）は神を祭るものであり磐座の延長で、美しく石が配列され、唯一無二のものである。日本庭園には同じものはなく、繰り返して修正・発展させると言うCPS概念は皆無である。庭園の造営には掘る技術・運ぶ技術と道具が必要であり、地形・地質に対応して、多様な技術が古くから発達してきた。道具の変革は材料（石・木材・銅・鉄）の変化と新しい動力（蒸気・ガソリン機関など）によって起こされてきた。



図 5 - 3 平泉毛越寺の庭園と石

古代出雲大社の高さは かつて 48m、文献ではその 2 倍の高さがあったとも言われている。神に近づくために高く建てたと考えられる。平安時代の源為憲の『「口遊（くちずさみ）」』という本に「雲太、和二・京三」と言う文章がある。当時の高い建物を高い順に謳ったものである。雲太は出雲太郎と謳われた出雲大社で、本殿の高さは 48m、そこへ昇る階段の長さは 109m あったと言われている。神に近づくための工夫である。近年、図 5 - 4 のような大きな柱を三本束ねたものが発見された。高い柱を作るために、出雲大社では三本の木材を金物で束ねていた。



図 5 - 4 出雲大社で発見された 3 本束ねた古代の柱

建築では接合技術は重要技術であった。木造建築の接合技術は実に多彩であり、一つの文化である。現代でも超高層建設は多種多様な近代建築技術の発展を促した。高く・広く・深くは建設（建築・土木）技術・建設技術者が常に求めている方向であり、そのいずれの分野でも個性溢れた建築空間が創造された。如何に他と異なる美を獲得するかが建築技術を発展させた。建築技術では空間を構成する構造体のための技術が最重要技術とされ、多様な構造技術が発展をしてきた。製造業の C P S 概念は感じられない。

3 世紀の後半（4 世紀説もある）、奈良三輪山の麓に突然長さ 278m の巨大前方後円墳（箸墓古墳）が築造される（図 5 - 5）。



図 5 - 5 墳長 278m、高さ 30mの巨大前方後円墳の箸墓古墳 (WIKIPEDIA)

巨大古墳の設計、寸法・水平測定、巨大円の作図、大量土量の運搬築造、特殊器台の制作技術、古墳崩壊防止技術、巨大石室の石材運搬・建設技術など、巨大古墳築造には多くの土木技術の開発が必要であった。古墳の形状には前方後円墳、前方後方墳、円墳、方墳があり、建設される場所（平地・尾根・頂上）も多彩である。相似形のものはあるが、皆個性豊かである。古墳築造集団があり、集団の中で多くの築造技術が口伝により伝承されてきた。

近年では各種万博、オリンピックなどの巨大プロジェクトも新しい建設（建築・土木）技術開発をもたらした。東京オリンピックでは高速道路が建設され、巨大競技場が建設された（図 5 - 6）。オリンピック建造物は世界で唯一のものでなければならない。これらの巨大PJにおいても重要なことは寸法測定技術、設計技術、構造技術、物の運搬・揚重で、情報技術は重要視されてこなかった。



図 5 - 6 1964年東京オリンピックのために建設された国立代代木体育館 (WIKIPEDIA)

日本の建設（建築・土木）技術の発展は大災害、特に巨大地震との戦いでもあった。1964年の新潟地震では液状化現象、1968年の十勝沖地震では鉄筋コンクリート造柱のせん断破壊、1995年の兵庫県南部地震では今まで被害の少なかった鉄骨造の被害（図 5 - 7）や中間層破壊、土木構造物では高速道路の転倒・倒壊、2004年の新潟県中越地震では地盤移動、2011年の東日本大震災の津波の被害（図 5 - 8）から常に学び、新しい構造技術、品質管理技術を確立していった。大地震を経ても情報技術は重視されなかった。文部科学省の測地学審議会の第一次地震予知計画（1965~1968）では三角測量（人力作業）などが計画され

ている。第五次地震予知計画（1984~1988）になってようやく VLBI（超長基線電波干渉法）が採用されたが、記録された地震の磁気テープの輸送は郵送であった。第六次計画（1989~1993）で GPS などの宇宙測地技術が導入され、ユレダスのような地震警報システムが一部で実用化が始まった。これは防災 IOT システムの確立である。第七次計画（1994~1998）でようやく基盤的地震観測網の構築が始まった。兵庫県南部地震（1996）を契機に地震予知の重要性が認識され、高感度地震観測網の整備が決定された。日本列島各地へ地震計が設置され、そのリアルタイムでの送信・分析システムに重要性が認識されるようになった。

2011年3月11日の東日本大震災で陸域に展開する地震観測網の観測記録に基づく津波規模予測の精度に限界のあることが浮き彫りになった。以後急速に津波観測網が整備された。津波予知 IOT システムである。

風、竜巻、つなみ、噴火河川氾濫など、大災害は常に建設技術を翻弄するが、建設技術者はそれを克服し、新しい技術・予知警報システムを開発してきた。地震・津波警報システムは列島全体を覆う防災 IOT システムである。



図5-7 兵庫県南部地震で破断した建築鉄骨の柱—梁接合部



図5-8 2011年東日本大震災の津波で破壊された岩手県田老町の巨大防潮堤

近年、地球環境問題がクローズアップされ、SDGs が標榜されるようになった。地球環境にも大きく関係する産業は建設産業である。建設業の行為、技術開発が人類と地球の未来に大きな影響を与える。そのために近年の建設技術で重要視されてきたのが環境保全関連

技術である。汚染された地球（土・空気・水）を救う技術、環境を大事にする空間を創造する技術（ビル・街区・都市）、自然生態系を守り育て歴史と景観を再生活用する技術である。これらの環境を保全するには各種の環境監視システムが必要である。環境システムの設置は1950年半ばから始まっている。当初は有線であったが1980年代には無線（電波）が採用され、電力・上下水道・道路などの大規模監視システムにも無線が採用されていった。大気・水・海水汚染監視、自然生態系監視における情報技術、特にIOT活用の歴史は古い。地域の歴史と自然と文化・伝統を大事にする固有の町づくりが重要視され、そのためにも環境監視システムが重要である。環境監視システムはIOTであるがCPSと言う概念はない。

建設物は人類生存のための覆いとしてだけではなく、宗教行為、権威を示す行為、精神生活を豊かにするため、文化・芸術を楽しむため、地域を豊かにするために建設されてきた。各々、個性豊かであり、如何に他と異なるかが基本にあり、製造業の製品（モノ）とは全く異質である。

建設（建築・土木）技術の歴史を振り返ると、寸法測定技術、作図技術、接合技術、切断技術、構造技術、掘削技術、運搬技術、揚重技術で、情報を伝える技術と言う概念はない。作図された図面、口伝が建設情報伝達の手段であった。

近年の防災・環境保全のための技術・環境監視システムはいわゆるIOT概念であるが、CPSと言う扱いとは言い難い。

5.3 建築と土木の情報化概論

日本における建設とは建築と土木の総合である。しかし建築の定義は難しい。建築は人がその中で活動する構造物とその周辺空間を指すとする論が多い（建築は造形美術でもあり、必ずしも人がその中で活動することを意識しない建築もあり、無人の完全自動倉庫・自動駐車場も建築である）。建築家（デザイナー）は「芸術家＋実務家＋技術者」で、芸術家としての感情が情報システム・ITを嫌う傾向があり、IOT・CPSを敬遠させている。7世紀、百済が滅亡し百済の技術者が大挙して日本列島にやってきた。百済の大工達は飛鳥に仏教建築を伝えた。彼ら大工の技術は秘伝で、情報伝達は口伝であった。口伝による情報伝達は建築分野では長く行われてきた（図5-9）。

建築における情報は1) 建築設計用、2) 工事施工用、3) 住む人・住人用と分離して議論されてきた。最近では維持管理情報が重視され、BIMを活用した技術開発が行われている。設計と施工では意匠・構造・設備・積算分野があり、異なる技術分野として進歩してきた。意匠（デザイン）は芸術的分野であり、情報化には馴染まないという意見が今でも強い。住み方・住人用及び維持管理は設備の分野である。IOTはエネルギー管理などの維持管理用や医療機関の患者見守り、物流倉庫の管理など設備分野で活用されてきた。この活用でもCPSと言う扱いは見られない。建築設計分野では暗黙の了解があり、一番は意匠（デザイン）、次いで構造、設備は付属的扱いである。ゼネコンの設計本部のトップは常に意匠設計である。建築で情報化採用の遅れた理由の一つはここにあるのではないかと推察する。情報化の時

代、この暗黙の了解は逆転しつつあると感ずる。欧米の住宅では古いほど価値が出る。従って欧米人は家の維持メンテナンスには費用投入する。日本では古い家は建て替えが基本である。この文化の違いが維持メンテナンスの IOT, CPS 普及に大きく影響している。

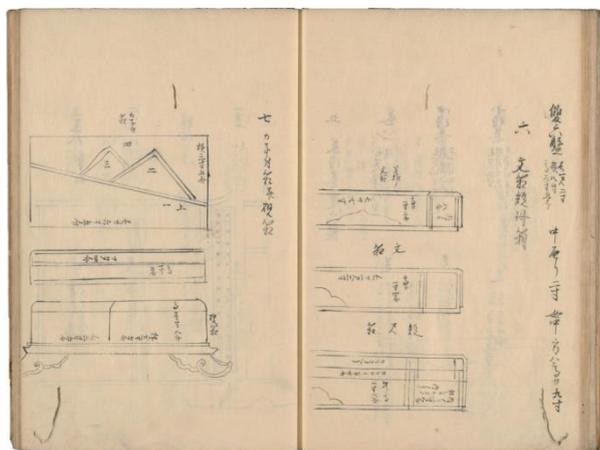


図 5-9 大工木割秘伝書 (国立国会図書館デジタルコレクション)

土木は主として公共インフラを扱い設計用、施工用、維持管理用として個別に情報技術が進歩してきた。IT・IOT は自然災害の監視、河川・自然の管理などにも活用されてきた。特に公共インフラの維持管理や津波監視、地震予報などの分野は急速に発展・普及してきている。公共インフラの維持管理は組み込み型センサーによる IOT の領域であり、情報収集・AI による解析・フィードバックと言う CPS 適用には適しており発展が予想される。但しセンサーとしては組み込み型のみではなく、ロボット検査・ドローンによる検査など多様である。

防災分野の IOT は建築・土木の区別なく、建設産業全体に関係する。最近では人工衛星を活用した地表や地殻の変動を監視するシステムも立ち上がっている。このシステムは IOT 概念とは異なり、地球観測衛星 (だいち 2 号) の情報発信源 (合成開口レーダー) が監視点に向けてマイクロ波を発信し、監視点からの反射波を受信し分析 (開口合成) して、地表や地殻の変動を監視する。

5.4 建築における情報化

5.4.1 設計 (意匠・デザイン) の情報化

意匠・デザインは芸術の分野で IT に馴染まないという意見は、今でも意匠設計者の間では主流の考え方と思われる。建築は意匠設計・デザインから始まるので、この思想が建築における情報化の遅れの根源ないかと考える。設計作業は建築に限らず製図版に T 定規をあて、鉛筆で書いたものにカラス口で墨入れするという時代があった。その後ドラフターで製図するという時代に進歩し、IT 技術の出現により CAD が出現した。ドラフターとは、各種定規や製図道具をつけるアームが付いている製図版である。平行線、垂直線、斜線など、設

計図を正確になるべく短時間で描くことが出来た(図5-10)。

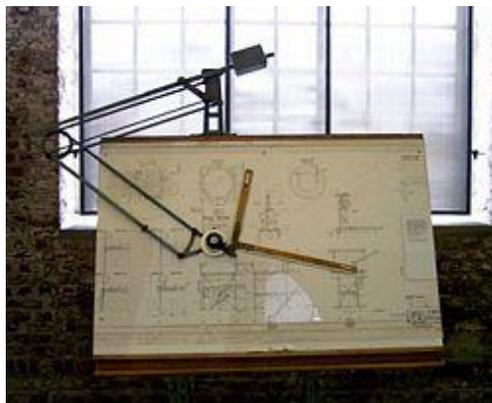


図5-10 製図用ドラフター (WIKIPEDIA)

世界初のCADソフトウェアは、1963年、マサチューセッツ工科大学のIvan Sutherland博士が作成した「Sketchpad」である。1982年、John WalkerがAutodesk社を設立し、パソコン向けCADソフトウェア「AutoCAD」を発売した。Autodeskはその翌年に日本の進出している。AutoCADは建築業界での利用を想定していたので、建築業界に広く普及した。現在盛んに活用されるようになった建築BIMでもAutodesk社が優勢である。

5.4.2 施工の情報化

建築分野の生産性向上には多くの施策があるが、その基本は省人化である。建設分野での情報技術活用は米国のエンジニアリング会社が早い。その場合も情報化システムを採用することによってどの程度省人化できるかが、採用決定要因であった。エンジニアリング・建築で省人化する要因は1. 設計で省人化を考慮する 2. PC活用など工場生産品活用を高める 3. 工法を工夫する 4. 作業の標準化 5. 自動化・機械化・ロボット化 である。省人化に情報システム活用が検討されたのは後発である。

建設では1970年代に「情報化施工」が提唱された。当時、建設現場が活用できるIT技術(位置特定技術・移動体制御技術・情報通信技術)は未発達で、場所を移動しながら作業する建設施工に利用出来なかった。2000年代になり、通信に関する規制緩和や通信技術の発展、位置特定技術の開発・普及などに伴いようやく建設施工に利用できる環境が整い、研究・開発が進められた。2001年国土交通省「情報化ビジョンー21世紀の建設現場を支える情報化施工」が策定された。2007年「ICTが変える、私たちの暮らし～国土交通分野イノベーション推進大綱」が策定された。ここで言うICT施工とは「3次元データで生産性」を高めることであった。IOT, CPSと言う概念は存在しない。

2008年2月25日に国土交通省が産学官それぞれの分野の有識者による「情報化施工推進会議」を設置し、建設の情報化施工の戦略的な普及方策 について検討を進め、「情

報化施工推進戦略」としてとりまとめた。2015年、国土交通省は建設現場でのICT導入を測量・設計から施工、管理にいたる全プロセスに広げることを発表した。更に2016年国土交通省は「i-Construction～建設現場の生産性革命～」を策定した。i-Constructionによって本格的に建設分野の施工の情報化が開始されたが、内容は主として土木分野である。

i-Constructionの3つの施策のうちの一つが「ICT技術の全面的な活用」である。「情報化施工」では施工段階のみにICTが導入されていたが、建設プロセスのすべての工程で3次元データを中心としたICTを活用するとした。ドローンなどを活用した測量、出来形管理のための基準などの整備、ICT建機のレンタル・導入するための積算基準改定、ICT活用工事に対応できる技術者育成事業などが示された。CPSという単語は挿入されているが、具体的な内容は記されていない。

建設生産自体の情報化(情報化生産)を成立させるためには、関連する組織・業界の中に高度情報化社会に共通枠組(情報インフラ)が構築されていなければならない。日本ではこのような共通枠組が存在していない。各企業・組織が独自にシステムを確立している状態である。コマツのスマートコンストラクション、LANDLOGの設立は先進的な行動であるが、建設機械業界全体には広がっていないし、建設業界にも広がっていない。

建築分野ではCADデータの設計から施工への業務を越えた利用は十分ではなく、建築確認申請のOA化も一部の利用に止まっている。3DCADの延長としてBIM(Building Information Modeling)が2005年頃から開始され、現在ようやく設計・施工・維持管理の一貫通貫の建築情報化が開始されつつある。

5.5 建設産業におけるIOTの目的と特徴

現在の情報化時代の中心はIOTの活用である。IOT時代のキーワードは技術的にはCPS・DigitalTwin・アーキテクチャ・Big Data・Deep Learningであり、ビジネス的にはプラットフォーム・Servitization・DXである。しかしながら建設分野ではアーキテクチャ・CPS・Big Data・Deep Learning、プラットフォーム・Servitizationの概念の広まりはみられない。

IOTは通常、技術的には測定対象物(Things)にセンサーを設置して(組み込んで)情報を発信させる。CPSは米国NSFの造語で、測定対象物は一つ(点的)、センサーも1個または少数での閉じたフィードバックグループであった。特定部品の最適化を達成するのが当初の目的であった。その後ドイツのIndustry4.0では生産工場全体(人や自動装置・ロボットを含む)、更には海外を含め関連するサプライチェーン全体を統合するシステムを目指した。但しこれは最終目標で、現在は目標にはかなり遠い状態と考える。

建設分野におけるIOTの対象物は線的、面的、空間的、時間軸的と多次元である(図5-11)。従って建設IOTでは用途に応じて多機能・多種類のセンサーを活用する。技術的

には1) 電波の受発信を同一のセンサーで行う 2) 測定対象物にはセンサーを設置せず対象物からの反射波を活用する 3) センサーと受信側の間に複数の中継点を設置 4) 多数のセンサーを配置する、と多様である。

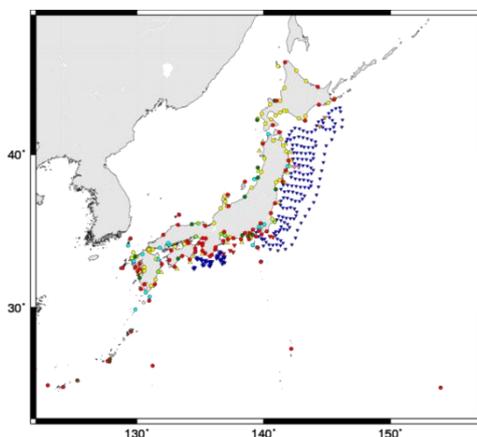


図5-11 全国の津波観測点 (気象庁)

現状では、多くの産業（製造業）において IOT でセンシングされる主たる対象物はモノ（Things）で、IOT 活用の主要目的は生産性向上・部分最適化である。一方建築関係における IOT でセンシングされる対象物はモノ以外に人・人情報（五感・満足度・好み・ニーズ）・波動・温度・湿度・放射線・照度・流量・流速・各種環境情報など多様である（図5-12）。データの蓄積とフィードバックのみならず、多地点の IOT から同時あるいは逐次発信されるデータの解析精度と速度、リアルタイムな情報発信など多様・多性能・高性能な技術が要求される。



図5-12 竹中工務店の「五感レスポンス・ウェルネス・システム」CEATECH2019HP

このような状況が建築における IOT 設置の目的であるため、IOT 活用は CPS に限定されず、DigitalTwin の活用、建築BIMと IOT との連動など、多様なメリット追及とそのためのシステムの性能・機能向上と充実に力が置かれていると考える。

はセンサーのみ設置する である。センサーをロボット機能とすれば3は2に含まれる。1. についてはトイレに人が入った時の照明の自動点灯・消灯である。2に関する研究は1990年代に盛んに行われ、現在では寝たきりの人の介護施設に応用されつつある。寝たきりの人が必要とするもの（移動式洗面台など）をロボットが持ってくるなどである。

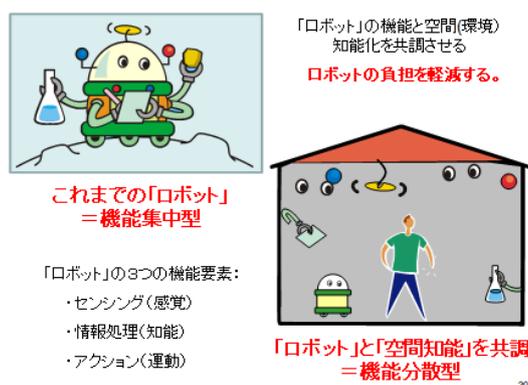


図5-14 ロボットと空間知能化の協調（前田純一郎氏製作を一部修正）

5.7 建築情報化の進展と建築 BIM の現状

建築の情報化は3DCADへと進展し、現在BIMの時代へと転換しつつある。「建築BIMの夜明け」と言う状況である。Facebookにも「BIM関係」が設定され「このグループは建設関係、特にBIMに特化した話題を提供し合うグループ」とある。設計事務所・ゼネコン・BIMソフトなど最新NEWSが投稿され、BIMの講義、オンラインセミナーの案内も投稿される。大手ゼネコンのニュースリリースもあり、清水建設が「デジタルゼネコン」を目指すとの宣言も早い時期に紹介された。建築DXを専門とするオンラインニュースも多くなっている。ソフトバンクのグループ会社「アイティメディア社」の発行する「BUILT」は建設関係の最新IT情報が充実している。日経BP社の「日経クロステック」もIT・建築・土木の多彩な技術情報を多く掲載し、専門メディアの「建設テック」も建設技術情報満載である。

建築鉄骨の専門紙『鉄構技術』は建築へのBIM導入の早い時期からBIMの重要性を主張している。建築のサブコントラクターとしては鉄骨ファブrikエーターが最も経営が確立しており、一部上場会社が多いので、早くからBIMに取り組んできた。『鉄構技術』2020年12月号は特集「これからのBIM推進とは一建築BIM推進会議を受けて」で、現在の建築BIMの状況を明確・詳細に語っている。国土交通省主導の「建築BIM推進会議」の目的は「建築生産プロセスのデジタルデータの連携により生産を効率化する。更にその生産データを（プロセス間で）循環させ、より高効率な生産体制を確立する。次いで、建物のライフサイクルを通じてのデータを蓄積して、新たな生産体制・システムの知見に繋げる。次にそのデータを物流、不動産投資、建物評価、都市データへ広げ、スマートシティーのような面的分野にも繋げていく」である。現在の建築BIMは目的確保の第一歩「建築生産プロセスのデジ

「データの連携」の段階と考えられる。設計・施工・維持管理の各ステップで情報遮断があり、後工程になっていくほどメリットが薄れている（図5-15）。

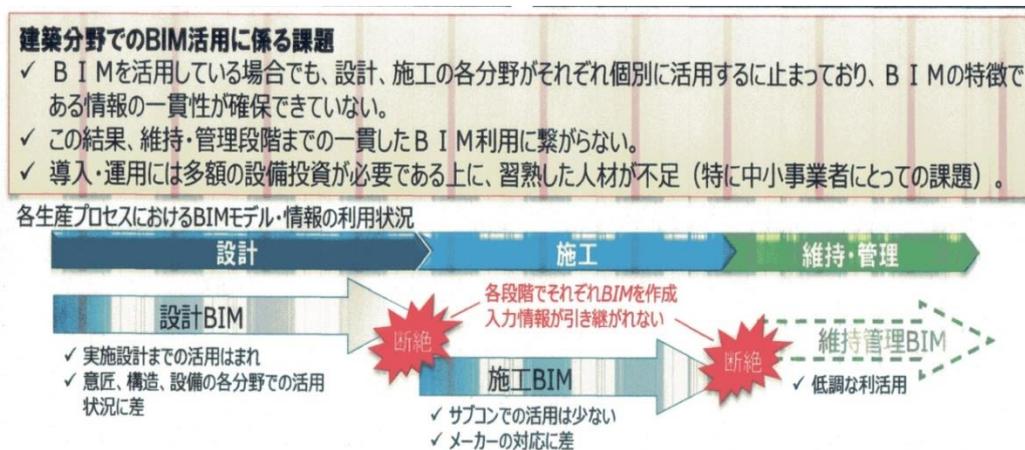


図5-15 建築BIMの設計・施工・維持管理での分断
(第1回建築BIM推進会議資料)

各設計事務所からの報告では事情はより複雑である。同じ設計事務所の設計でも意匠・構造・設備で異なるBIMソフトを利用しているケースがある。各分野でそれぞれ作業に適したソフトを選んでいる状態である。構造ではBIMの前に構造解析ソフトで解析が行われるが、構造ソフトも多様で、設計事務所独自に開発したソフトも活用されている。大スパン建築の構造解析では1) 計画初期の架構計画 2) 詳細設計の構造解析 3) 作図段階 で異なるソフトを活用していると言う。通常の構造解析でも主架構と雑構造部材では利用するソフトが異なると言う。先述した「BUILT」での大和ハウス工業・伊藤氏の連載記事によれば設備BIMは構造以上に混乱状態である。従来、設備設計は専用CADで行われ、その後設備BIMに転換するケースが多かった（構造設計と似た状況）。設備設計は意匠の2次元図面に線を引くもので、具体的な納まりはサブコンが決めてきた。その設備サブコンが決定するのはかなり遅れるので事情はさらに複雑である。設備と言っても実際は電気・機械と全く異なる工学分野の複合で、両者でサブコンも異なるケースが多い。建築では設計変更がかなり多く、BIM活用でも障害となっている。設計変更は後工程ほど大きな影響を受けるので設備BIMにとっても大変である。建築BIM活用の目的達成では設計・施工・維持管理の一貫性が重要・必須であるが、第一ステップの設計段階の中でさえ多くの情報遮断がある。建築BIM一貫性の最大課題は維持管理BIMへの連携の遅れである。その要因の一つは設計・施工に必要なデータと維持管理に必要なデータの内容が大きく異なっていることである。前者では形状情報が主となるが、後者では属性情報が主である。維持管理の最重要データは設備情報である。設備BIMが進展しなければ維持管理BIMは進展しない。設計・施工と維持管理でBIMは別にすべきと言う主張もある。

建築BIMにも明るい動きが出ている。日本でよく使われている建築BIMソフトはAutodeskのRevit, GRAPHISOFT ARCHICAD, 福井コンピュータアーキテクトのGLOOBEだが、どのソフトを用いても設計・施工・維持管理に利用するデータを作成でき、設備BIMソフトとの連携も整備されつつある。更にソフトはアドオンプログラムを追加することで、他のソフトとデータを直接やり取りすることが可能となっている。また、干渉チェックなどの機能を備えたビューソフトを用い、異なるソフトで作成したBIMデータを重ね合わせて利用することが容易になっている

建築BIMの設計—施工—維持管理—貫性の議論は建築生産の「横軸」である。「施工」の現場管理では建設機械の動き・作業員の動き・出来高・品質が重要である。この方向は「縦軸」と捉えられるが、施工BIMとの連動は未だ不十分である。大手ゼネコンではこの「縦軸」の技術開発が活発で、鹿島のK-Fieldはセンサー技術を駆使して、仮想空間に人・材料・車を表示し現場管理に活用している。大林組はクレーン操作の安全・効率化のためにBIMと連動した3D画像を活用している。BIM・IOT・AR・MR・自動化の連携でこの流れも加速しつつある。「施工」の「縦軸」にはもう一つ、ゼネコン—サブコン—部品—材料の流れがある。ゼネコン—サブコンの流れでは鉄骨ファブリーケーターが最も進歩している。建築BIMは多くの課題を抱えるが、着実に進展しているが、CPS概念は無い。今後維持管理BIMではCPS的活用が期待される。

建築BIMは縦横軸（1次元方向）の展開から立体空間（都市デジタルツイン）への展開が急進展している。建築BIMのスマートシティへの展開である（図5-16）。



図5-16 豊洲6丁目プロジェクトの都市デジタルツイン（清水建設提供）

建築BIMの動向で注目すべきものに長谷工コーポレーションの「HASEKO BIM & LIM CLOUD」がある。LIMはLiving Information Modelingである。BIMは建物の技術的属性情報だがLIMは人の暮らしの情報の解析し、快適な暮らしを創出し、健康長寿に役だてると言うもの（ビジネス的にはリフォーム・住み替え、管理手法見直しの要素もある）。IT技術の開始時期に、

情報機器のみに対応した室内環境を作り、その空間で働く人間を無視した建物が出来、シックビル騒動を起こした。建築 BIM 活用でも同様な課題が発生する可能性がある。

清水建設は「デジタルゼネコン」のトップランナーを目指す目標を掲げている。清水建設の言う「デジタルゼネコン」とは「ゼネコンの持つノウハウを生かして、「リアル空間」のみならず、ICT を使ってインフラを含む「デジタル空間」を創造する組織」である。この定義では「デジタルゼネコン」は現在のゼネコンの補間組織である。現在のゼネコンと並行する別企業、更には現行ゼネコンを子会社とする上部企業としての「デジタルゼネコン」の可能性もある。

5.8 建築情報化の未来

5.8.1 Servitization

IOT、CPS での DX でもっとも重要な事象に Servitization である。「モノ」のみではなく「コト」ビジネス・サービスビジネスが重要である。現在は、高品質でカスタム化されたサービスへのニーズが高く、サービス提供の強力な手段が CPS や IOT である。しかしながら建設産業では IOT から Servitization, 「コト」ビジネスを発想する状況は少ない。

アメリカでは 30 年前から産業のサービス化が進んでいる。最近では第三次産業のウェイトが大きくなるだけでなく、第一次・第二次産業においてもサービス化が内部でかなり進んでいる。2018 年 5 月に米アトランタで開催された IFS World Conference 2018 (IFS: スウェーデンに本社を置くグローバルプロバイダー)にて、マーク・ブリュワー氏(Global Industry Director) は「なぜサービスが大事か？それは” サービスが世界を食べている” からです。すでに世界経済の 70% はサービスですし、サービス収入が 20% しかない製造業でも、利益では 60% になるでしょう」とサービスビジネスの重要性について説いている。建設ビジネスのスマイルカーブでも川上・川下のサービスの方がより大きい付加価値があるとされる。マーケティング界の巨人でハーバード・ビジネス・スクール教授だったセオドア・レビットは「顧客が欲しているのはドリルではなく穴だ」と主張し、多くの著書で「製造業のサービス化」を予言した。1960 年代から著書や論文の中で、製造業にとってサービスは製品の「おまけ」ではないと繰り返して述べている。GE や IBM がハード製品（モノ）を売ることからソフトビジネスへの転換を始める 50 年前である。サービスビジネスで最も有名な話は GE やロールスロイスの航空機エンジンビジネスである。航空機エンジンを製品として販売するのではなく、航空機エンジンにセンサーを取り付け、そのデータを元にエンジンの出力と稼働時間を販売する「Power By The Hour」という従量課金サービスである。エンジンの「推力」を販売する「コト」ビジネスを展開している。

サービスビジネスは古代から存在し、ある文献では約 450 種類あり、これらは 21 に分類できると言われる。現在「モノからコトへ」「製造業のサービス化」など、最多様なサービスビジネス論が展開されている理由は、ビジネス収益の多くが「モノ」ではなく「コト」になっていることであり、その大きな要因は情報技術・IOT 技術の発展である。「製造業の

サービス化」では「製品ユーザーのためのサービス」と「製品製造に関わるサービス」がある。製造業のサービスの変化を参考文献2を参照に以下のステップを考えた。

ステップ1：商品（モノ）の販売促進のために客先への各種サービスの充実を図る。製造の生産性向上・品質安全確保のためのサービスの充実を図る。

ステップ2：社内でサービス部門を独立組織とする

ステップ3：サービス部門を専業会社として独立させる

ステップ4：独立したサービス専業会社が他社のサービスを担当、ユーザー側の運転・操業分担するようになる

ステップ5：サービス専業会社は独占継続発注が多く、優良会社となり株式上場し、親会社を凌駕するケースが出る

ステップ6：親会社が独立させたサービス専業会社を吸収合併するケースが出る

ステップ7：親会社がサービスを本業とし、従来の機器・ハードウェア等の「モノ」の製造販売を別会社として切り離す（モノとコトの逆転が生ずる）

ステップ8：全く異なる分野の企業あるいは新規起業者が該当サービスビジネスをカバーするプラットフォーム企業として出現する（GAFAのように）。

2010年代以降のIoT・AI・自動化・AR・ビッグデータの時代はますますサービスが大きな役割となりつつある。清水建設の「デジタルゼネコン」宣言はステップ2の段階、K-Fieldを扱う鹿島の(株)Oneteamはステップ3の段階で4をも目指していると考えられる。コマツのスマートコンストラクション、LANDLOGもステップ4の段階である。ステップ8の段階はゼネコンと全く異なる産業の企業が「デジタルゼネコン」として建設業界のプラットフォーマーとなる姿である。10年後の建設産業のメガプラットフォーム出現を予測し、その中心に建設業がいるとは限らないとしている主張も出てきている。

平成21年（2009）国土交通省「建設業の新分野展開ハンドブック」での議論は建設業が林業や農業などの異分野に出ていく話である。平成23年（2011）日本土木工業会「建設市場の変化に対応したビジネスモデルの提案 ～「脱・請負」とグローバル化～」では、10年後の建設業の姿として「売上は施工請負>サービス、利益は施工請負<サービス」として図5-17を示している。この報告書で言うサービスとはPPP・PFI・コンセッションである。建設の上流・下流のサービスビジネスを重視する姿勢は重要である。但し10年前なので「デジタル技術」については言及していない。この報告書の委員長は前田建設工業社長の前田靖治氏で、同社は実際にコンセッション事業を手掛け、企業の目指す方向として「総合インフラサービス企業」を標榜している。

2020年の建設業売上高ランキングは大和ハウス工業が1位で2位は積水ハウスである。大和ハウス工業の特徴は商業施設事業で、建設した建物へのサービス事業を推進している。前述した「製品ユーザーのためのサービス」である。PPPはPublic Private Partnershipであるが大和ハウス工業のPPPはPrivate Private Partnershipと言える。リースバック方式による資金供与（Finance）も強みなのでPPFPと呼ぶべきかもしれない。積水ハウスは

ハウス事業に注力し、住み方のサービスを徹底している。ビジョンとして示す「『わが家』を世界一幸せな場所にする」「人生 100 年時代の幸せをアシストする家」は「製品ユーザーのためのサービス」である。建設業のサービスビジネスは「製品ユーザーのためのサービス」が重要である。大和ハウス工業は M&A した多くの企業と 5 万人近い社員のガバナンスのためにデジタルプラットフォームの構築を促進している。建築 BIM についてもプラットフォーム構築を目指している。デジタルを活用した新ビジネスモデル構築の可能性はある。

5.8.2 スマートシティーと DigitalTwin

CEATEC 2019（アジア最大級の IT 技術とエレクトロニクスの国際展示会）でのゼネコン展示（CEATEC の HP 掲載内容）のほとんどは DigitalTwin、スマート・シティー関連であった。スマート・シティーは、大規模な Digital Twin である。センサーでサイバー・インディケーターと物理インディケーターをモニターし、何らかの方法で複雑な都市環境を制御する。生産システムの CPS は 2 次元的流れの中での活用であるが、都市や空間の CPS は 4 次元的であり、Digital Twin 的である。中国では CIM（City Information Modeling）、大林組は SCIM(Smart City Information Modeling)を提案している。

建築 BIM でも縦横軸（1 次元方向）の展開から立体空間（都市デジタルツイン）への展開が急進展している。建築 BIM のスマートシティーへの展開である。清水建設は豊洲スマートシティーの中核部分の開発を担当し都市デジタルツインを推進している（図 5-16）。鹿島・大和ハウス工業が設計施工を担当した東京・羽田空港に隣接する大規模複合施設「HANEDA INNOVATION CITY」では前述した K-Field(BIM 活用)も活用している。鹿島は大阪のオービック御堂筋ビル新築工事において、各フェーズにおける建物データの連携を可能にする BIM による DigitalTwin を実現したと発表した。DigitalTwin では多くの IOT が使用され、CPS 的活用が期待される。

5.8.3 建築と AI

AI 導入の多い分野は自動車と医療・福祉・創薬の分野である。自動車は自動運転開発のための AI 技術がほとんどだが、事故車の修理費算定・自動車保険算定・営業活用・マーケティングなど多彩である。医療・福祉・創薬分野の AI 活用は自動車より多彩である。AI 診断が進歩すれば医者は不要と言う議論や AI は補助的に使用すべきとかの議論も盛んである。医療分野への ICT（情報通信技術）導入は急速で、医者がパソコンの画面だけを見ていて、患者の顔も見ないと言う現象も生じている。電機メーカーは画像処理や通信技術などを駆使して医療 AI 開発を進めている。新薬開発では開発期間が 10 年、費用が 1000 億円で、問題が見つかり途中で中止も多く、成功率は数万分の 1 と言われている。武田薬品、富士フイルム、塩野義製薬などの製薬会社と富士通、NEC などの IT 会社 50 社が連合して創薬用 AI を開発し、新薬候補物質探しを行っている。一方建設分野の AI 活用は他分野ほど活発ではない。

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「ソサイエティー5.0」を標榜した。ドイツの「インダストリー4.0」は「第4次産業革命」と言うもので産業のAIによる大変革である。日本の「ソサイエティー5.0」は世界に先駆けた「超スマート社会」の実現を目指すとしている。内閣府発表に概要版では、このことを脚注の中で「情報社会に続く第5の社会を生み出す変革」と説明している。超スマート社会の具体例には我々建設産業に関係するものが多い。「インフラ維持・管理」「自然災害に対する強靱な社会」「地球環境情報プラットフォーム」「スマート生産システム」「高速道路システム」「エネルギーバリューチェーン」「新たなものづくりシステム」など12項目中7項目、約6割である。そのために必要な技術は「AI」の他「サイバーセキュリティー」「IOTシステム構築」「ビッグデータ解析」「デバイス」としている。コアとなる強みを有する技術として「ロボット」「センサー」「バイオテクノロジー」「素材・ナノテクノロジー」をあげている。

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、人工知能関連分野とした。

「人工知能の分野において、産学官を糾合し、我が国の強みをいかした技術戦略の策定・実行を指揮する司令塔機能として本年4月に設置された“人工知能技術戦略会議”において、産学官で取り組むべき人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップを策定し、研究開発から社会実装までを一元的に推進する」としている。しかしながら成長戦略全体として建設産業に直接関係するのは国土交通省が進めるI-Constructionの他はインフラのメンテ、住宅流通・リフォーム、PPP/PFIなどで、「AIと建築」と言う内容はあまり見られない。

マスコミ報道では「設計行為とAI」と言う議論は比較的多くみられる。日経アーキテクチュアは創刊40周年記念として「五輪後のキーテクノロジー」を特集し、AIが設計行為を大いに脅かすことを予測している。実際のシステムで最も有名なのは米Google(グーグル)発のベンチャー企業、Flux(フラックス)社の自動建築設計手法である。敷地に建物の意匠、構造、設備の要素データを含んだ建物の“種”のようなデータを置き、広さや高さなどを調整しながら自動設計を進める3D(3次元)モデル作成システムらしい。Flux社の記事は2014年のもので最近の記事は見当たらない。建築界でも中規模マンションやオフィスの平面計画、標準的な建物の設計は早い時期にAIで充分出来るようになると予想される。ビルの管理システムにAIを活用する技術はかなり実績が進んでいる。省エネ、セキュリティー管理、電力需要予測などにAIが活用されている。建設のAI活用は少なく、注目されるものは、清水建設と名古屋大学が共同で開発しているシールドマシンのAIによる操作ソフトである(図5-17)。シールドマシンは万能のように見えるが地盤の変化に大きく影響され、何時も危険が伴っている。熟練オペレーターの経験と知識が必要であるが、それでも事故(工事遅滞など)は多い。多くの分野に比し、建築分野でのAI活用はかなり

遅れている。

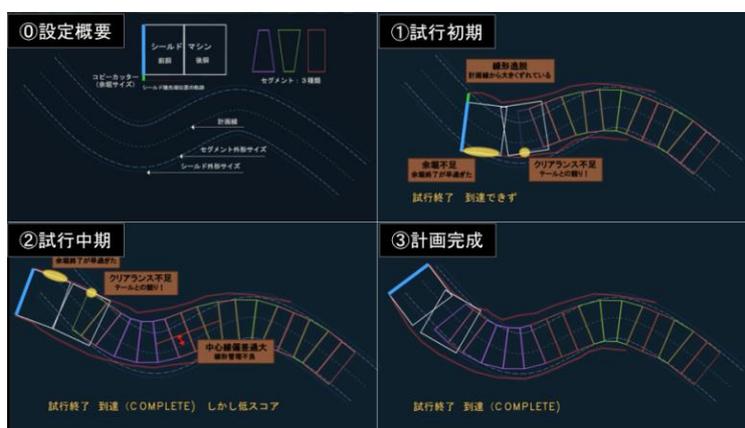


図 5-17 AI を活用したシールドマシンの屈進開発のステップ (清水建設提供)

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 月からは「建築構造の技術革新と人工知能 [若手奨励] 特別研究委員会」が活動を開始し、情報システム技術委員会では 2017 年 4 月に設置した各小委員会で AI を取り入れた研究を始めた。日本建築学会機関紙『建築雑誌』にも AI 関連記事が投稿され始めた。

5.8.4 次世代通信規格 (5G, 6G) と建築

総務省は 2018 年「5G 総合実証実験の開始」をアナウンスした。大林組は KDDI, 日本電気と組んで「建設機械の遠隔操作、移動体とのリアルタイム情報伝達の実証実験」を行うと提案している。大林組の実験は「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する」で、総務省の報道資料によれば大林組が参画する実証試験の技術目標は「1ms (無線区間) の低遅延通信の実現」である。

第 5 世代モバイル推進フォーラム (5GMF) では一般会員 119 社の中、建設関連産業では唯一構造計画研究所が名を連ねている。

建設産業における 5G 活用は 2019 年から開始された。その後の建設業の 5G の動向は以下である。

大林組；大阪府茨木市で建設中の安威川ダムの施工エリアの一部を使用して 5G を活用した災害復旧を想定した実証試験 (2019・3)、

大成建設：稲城市の現場に、ソフトバンクの基地局「おでかけ 5G」を設置。土砂の運搬や締め固めの作業で、有人の重機と遠隔操作、自動運転の重機との連携を試行 (2020・2)。

鹿島建設：NTT ドコモと 5G 通信環境の要素開発 (2020・5)

日立建機：通信が困難だった山間部などの大規模施工現場においては、『ローカル 5G』サー

ビスの適用が期待される（2020・5）

竹中工務店と鹿島建設：タワークレーンを遠隔地のコックピットから遠隔操作するためのシステムに5G活用を検討（2020・6）

清水建設：秋田県大仙市の新設工事現場で、ローカル5Gを活用した8K映像伝送実験（2020・12）

総務省は2020年11月に「Beyond 5G 新経営戦略センター設置」を発表し6Gも視野に入ってきた。

現時点では建設関連企業の5Gへの取り組みは、建設機械のリアルタイム操作などで、緒についたばかりと思われる。AR（拡張現実）、VR（仮想現実）などは建設業界でも活用が始まっており、先進的な映像体験手段の活用は急激に拡大し、多様・大量なデータの送信行われるようになってきている。建設産業に関して多くの切り口で5G実現による変化を予想して見る必要がある。建設の企画・設計・施工・メンテ・解体・再利用の諸段階、建設物の利用・住環境・執務環境、個別建物・街区・都市・交通の観点、防災・環境、QCDS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ュリティである。建設関連産業もIT専門家と同時にセキュリティ専門家の育成が必須である。欧米では各種のリスク助言を専門とする会社が多数存在する。外部専門会社との連携が必要である。

5.8.5 建設自動化VS自動運転

建設ロボットの研究者は建設現場ではロボットを高度化するのではなく、建設現場にセンサーを配置（空間知能化）し、ロボットは安価で何時でも変更出来るようにするという方針である。

一方、ヒアリングした自動運転技術開発技術者は完全自動運転車の一般道での走行を目指している。道路インフラの知能化との共同作業に頼らず、車側のセンサーで解決する方向

である。センサーなどのシステム・部品・材料には劣化が発生するが、自動運転開発者の考えは、システムには総合的な判断機能があり、センサーの劣化やミラーの異常などはリアルタイムに検知し対処出来るとする。一般道における自動運転では、狭い路地からの子供などの飛び出しがあるが、自動運転開発者の考えは高速カメラ撮影機能で撮影し、その画像をゆっくりした動きに変換して解読し対処するである。この機能により死亡などの大事故を緩和することは出来るとのことである。衝突直前で止めることが出来るとしている。ただし自動運転の現在の技術レベルには課題がある。例えば歩道脇に立っているポールと人との区別が難しい等、技術的にはまだまだ開発すべき要素が多いように推察した。

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

建築分野でも 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 機種種の自動建設工法が開発され、大手ゼネコン以外の準大手ゼネコンも開発に参画していた (図 5-18)。建設ロボットも 1996 年時点で 140 以上も開発されていたとの記録がある。しかしながら建築ロボットの多くは失敗に終わった。自動建設工法も今では活用されていない。



図 5-18 清水建設の初期 (1980~2000) の建設ロボット開発

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」の発表の多くは 1990 年代の研究開発よりも後退している。自動化と言うよりも計測・検査が多く、自動化・ロボット化の内容はかつて開発が行われていたものと同様に見える。

建築における自動化の現状は現在の車の自動運転技術開発とは大きくかい離している。自動運転車の登場は自動車会社にとっては致命的な問題である。それ故に全ての自動車関連企業が社運をかけて研究開発を進めている。自動車部品メーカー始め多様な裾野企業も

死に物狂いで技術開発を進めている。更には IT 企業や AI・画像認識・クラウド関連企業等が自動車産業分野に食い込もうと研究開発を進め始めている。世界の全ての産業が一気呵成に技術を進歩させつつある。

一方建設の自動化は建設産業においては産業・企業の死命を制する課題とは思われていない。建設ロボット開発は実際使用する建設関連企業（鉄骨ファブなど）ではなく、ゼネコンや大学の研究者中心で推進している。2017 年 1 月の建築学会のシンポジウムでは発表者のほとんどがゼネコンか大学である。建築業協会（当時）のロボット委員会委員長を務め、韓国の大学教授をされていた前田純一郎氏の提案は“「空間」とともに「ロボット」をデザインすべき”である。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」（図 5-14）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。大手ゼネコン研究所の部長の主張は BIM, PDR (Pedestrian Dead-Reckoning)、I Beacon, 音声認識、自律追従型システムの活用である。大林組は現場作業をアシストするロボットスーツ開発、清水建設は配筋アシストロボットを開発している。建設産業にとっての目下の最大の課題は、建設作業員の不足、高齢化、熟練工不足で、産業・企業のニーズに応えようとする必須の開発である。建設産業の自動化開発は自動車産業の方向とは異なり、危険作業対応・技能者不足対応・空間と協調の安価ロボット・各種情報技術活用・マンマシンシステムと考える。

鹿島建設が示した「Kajima Smart Vision」；“作業の半分はロボットと” “管理の半分は遠隔で” “全てのプロセスをデジタルに” は今後の建設ロボットの進む方向を示唆している。“管理の半分は遠隔”では多くの情報センサー技術を駆使するが“現物確認が必要なものは現場で確認”としている。現場管理は三現主義が基本だが、勤務環境も急速に変化しているので「人」と「技術」と「デジタル」のベストミックスを目指すと言うことで重要である。鹿島建設を中心として大手建設会社は開発した建設ロボットの共有をする締結を行ったことも大いに期待される。

5.8.6 建築における IT の光と陰

大手建設業で建築分野を管轄する立場の役員が建築現場での管理運営について次のように語っている：「IT は道具としては大いに活用すべきだが、もっと大切なのは現場でそれを操る技術者の人格である。現場の出来栄え・品質・安全・利益の基本は現場で働く人々の一体感・モラルであり、技術ではない。技術は協力業者の中にこそある」。

「薬のネット販売」でも同様な論争があった。IT の便利さと薬害の論争である。薬は薬害があるので対面販売、薬剤師の対応が必要だとする意見とネット時代であり国民ニーズがあり、薬局に買いに行けない人などいるとの論争である。平成 18 年（2006）4 月の第 164 回通常国会で一般医薬品（市販の薬）のネット販売が議論され、薬害被害者の団体がネット販売に反対（特に薬害の多い一類・二類）の意見を述べている。

平成 21 年（2009）厚生労働省は「第 1 回医薬品新販売制度の円滑施行に関する検討

会」を開催した。この会議では薬害被害者団体や消費者団体からネット販売反対の意見書が提出され、ネット販売を行っている側からはネット販売継続の意見書が出された。ヤフーや楽天、(社)日本通信販売協会などがその主体である。後者はITこそ医薬品の副作用理解に役立つとの論理を展開している。富山の薬売は、現在郵便販売になっており、平成21年(2009)6月の改正薬事法により第3類の医薬品以外は郵送販売が出来なくなって大変困っている。2013年1月最高裁は大衆薬のネット販売を一律規制した厚労省令を違法と判断した。それを受けて政府は安全ルールを確保した上で全種類の大衆薬を解禁すると表明し、ネット販売と対面販売に差を付けずに検討することを閣議で決定した。大衆薬ネット販売の有用性を認められるが、行き過ぎには十分な用心が必要である。

建設業のIT普及ではITの効用が先行し、大衆薬ネット販売と同様なITの陰の議論はさほど行われていない。1990年初めごろ日本では「インテリジェントビル」ブームが起こった。コンピュータ管理された設備システム、コンピュータ対応の電力・通信システムなどオフィスの中が全面OA化された。施設の発注先である電機メーカーのためにゼネコンがOA新製品をオフィスに全面的に取り入れようとした結果でもある。この分野で先進国であったアメリカのビル協会が「シックビル」問題を提起した。OA化のために密閉された空間で室内環境が非衛生になったことに対する警告であった。建築会社が設計の基本である人間のための環境・設計を無視した結果であった。日本でも室内環境やオフィス設計の在り方に反省がなされた。

現場にもコンピュータやITが普及すると現場係員は関連会社や材料会社にメールや電話で発注するようになった。現場にもほとんど足を運ばず1日中コンピュータの前に座るようになった。オンライン・テレワークの時代でも現場管理では3現主義は重要である。自ら見て・自ら人と接し・話して初めて良い仕事が出来ると言う事実に変化はない。経験豊富な設計事務所の現場管理者や建設所長は工場製作される建築鉄骨について次のように話す：「鉄骨ファブrikレーターの工場に足を運び、工場を一瞥し、製作課長や工場長に会えば、その会社の品質管理状態の全てが分かる。非破壊検査などは最後の確認や保証ではあるが、品質管理の全てではない(図5-19)」。



図5-19 鉄骨ファブrikレーター工場における超音波探傷検査(1968)



図5-20 初期の現場管理へのIT活用（タブレット端末活用）

米国フロリダ・オランドにあるデズニーワールドの管理運営責任者は次のように述べている：「情報ネットワークよりも人と人との関わり・対応を重視すべき」がデズニーの思想である。デズニーの地下には運営管理の施設があり、最新のIT技術駆使されている。各施設の混雑常態、お客さんの動き、レストランの稼働状態、各アトラクション設備の作動状況は十分に把握され、CPS的な活用がされている。しかしながら地上でのお客様対応の基本はFace to Faceである」。

デズニーの思想と建築現場管理者の「現場の出来栄え・品質・安全・利益の基本は現場で働く人々の一体感・モラルである」には共通する思想がある。IT, ICT, IOT, オンライン、テレワークは今後大いに活用されるが、対面によるコミュニケーションとのバランスが必要である。製造メーカーのように、同一作業が多く、全自動化される生産設備と異なり、建築は一品生産であり、多くの職種の専門技術者が個別の作業を行う。今後建設現場でも自動化・ロボット化・IOT・AR・VRが多く適用されるが、一品生産が基本の建築現場では人間の関わりは今後も重要である。

5.9 まとめ

建築は工学部にありながら「建築工学」と言わず「建築学科」と呼んできた歴史がある。建築は工学であるが、芸術の一部であると言う考えは今も有力である。芸術であるが故にITによる設計は馴染まないと言う見解は根強い。有名建築家は建物のスケッチを描き、助手がそのスケッチを物差しで測定し図面にしたと言う逸話も残っている。

衣食住は人類生存の基本要素であるが、人間は他の動物と異なり、共同作業、集団と権力、精神文化などが発展し、その為にも建設行為が行われ、技術を発展させた。

建設物は人類生存のための覆いとしてだけではなく、宗教行為、権威を示す行為、精神生活を豊かにするため、文化・芸術を楽しむため、地域を豊かにするために建設されてきた。個性豊かであり、如何に他と異なるかが基本にあり、製造業の製品（モノ）とは全く異質で

ある。一品生産で独自性を重視した建築と製造業の大量生産する製品「モノ」とは基本的な違いがある。建設技術の歴史を振り返ると、寸法測定技術、作図技術、接合技術、切断技術、構造技術、掘削技術、運搬技術、揚重技術で、情報を伝える技術と言う概念はない。作図された図面、口伝が建設情報伝達の手段であった。建物の設計・施工に関わる技術は古来より建築技術の基本であったが、棟梁の技術は口伝・秘伝で伝承された。

生産システムの CPS は2次元の流れの中での活用であるが、都市や空間の CPS は4次元のであり、Digital Twin 的である。鹿島建設が示した「Kajima Smart Vision」；“作業の半分はロボットと” “管理の半分は遠隔で” “全てのプロセスをデジタルに” は今後の建設ロボットの進む方向を示唆している。“管理の半分は遠隔” では多くの情報センサー技術を駆使するが“現物確認が必要なものは現場で確認”としている。現場管理は三現主義が基本だが、勤務環境も急速に変化しているので「人」と「技術」と「デジタル」のベストミックスを目指すと言うことで重要である

建設産業においてもサービスビジネスは重要である。大和ハウス工業の商業施設事業で建設した建物へのサービス事業を推進、積水ハウスの建設した建物へのサービス事業を推進して住み方のサービスを徹底するは重要である。生産した「モノ」を活用した「コト」ビジネスである。日本企業は強みの「モノ」生産を更に強化し、その強みを生かした「コト」的サービスビジネスを視野にいれるべきと考える。「モノ」も「コト」もである。

日本列島全体を覆う地震・津波警報システムは巨大な IoT システムである。このシステムと関連技術は日本が世界に誇るものである。各種の環境保全の監視システムも巨大 IoT システムである。これらのビジネス活用の検討も必要である。

(担当：藤盛紀明)

参考文献：

1. 小室博一『京の離宮と御所』文学歴史7、JTBパブリッシング、2008
2. 角忠夫「我が国における製造業のサービス化の変遷と今後の展望」『サービソロジー』
3 巻 (2016) 3 号
3. 「建築分野における ICT 活用等による 生産性向上の取組みについて」一般社団法人日本建設業連合会 施工部会長 木谷宗一 20171128
4. 「情報化施工推進戦略」情報化施工推進会議、2008年7月31日
『令和2年版通信白書』 総務省
5. 榊井孝暢「建築とコンピュータライゼーションの関係と歴史について－ CAD の歴史の体系化を通じて－」EaR 論文研修
6. 加山恵美「設計のあり方だけではなく、はたらき方を大きく変えたCAD」大塚商会HP

7. 「情報化推進戦略」情報化施工推進会議、2008・7
8. 「ICT 施工の歴史を解説！導入の経緯・情報化施工との関係は？」建設スマトレ、2020・9
9. 木谷修一「建築分野におけるICT活用等による生産性向上の取組みについて」未来投資会議 構造改革徹底推進会合、2017・11
10. 中島聡、藤原基伸、土井英治「監視制御システム技術のあゆみ」日新電機技報 Vol. 62, No. 1、2017・3
11. 大和ハウスグループ 第6次中期経営計画（2019年度～2021年度）

第6章 医療におけるIoT コロナが進めたCPSとしてのオンライン医療

6.1 コロナ禍におけるオンライン医療のデレギュレーションとリレギュレーション

6.1.1 はじめに：コロナ禍で加速したオンライン診療

厚生省の定義によると、オンライン診療とは、「遠隔医療のうち、医師－患者間において、情報通信機器を通して、患者の診察および診断を行い診断結果の伝達や処方等の診療行為を、リアルタイムによる行う行為」となっている（「オンライン診療の適切な実施に関する指針」平成30年3月(令和元年7月一部改訂)⁶）。

一方、遠隔医療の定義は、古くは1996年に組織された厚生労働省の遠隔医療研究班では「遠隔医療とは、映像を含む患者情報の伝送に基づいて遠隔地から診断、指示などの医療行為及び医療に関連した行為を行うこと」と定義されていた。日本遠隔医療学会の2005年の定義によれば「遠隔医療（Telemedicine and Telecare）とは、通信技術を活用した健康増進、医療、介護に資する行為をいう」となっているが、さらに、2011年に日本遠隔医療学会が公表した「在宅患者への遠隔診療実施指針」（2011年度版）では「通信技術を活用して離れた2地点間で行われる医療活動全体を意味する」と再定義されている⁷。

海外では、米国遠隔医療学会 ATA（American Telemedicine Association）が“Telemedicine is the use of medical information exchanged from one site to another via electronic communications to improve patients' health status.”、「遠隔医療とは、患者の健康状態を改善するために電気通信により伝送された医療情報を利用すること」と定義しており⁸、2011年の日本の定義同様、広い定義を採用している。

医療・介護分野におけるIoTやCPSの市場としては、健康支援システムの分野でウェアラブルIoTによる健康支援やコラボヘルス/企業向けPHR（個人健康記録）など「デジタルヘルス」と称される分野、診療支援システム分野では遠隔診療/オンラインケアや、クラウド電子カルテ等院内支援、さらに介護福祉システム分野では、見守り・緊急通報サービスや介護支援ロボット/リハビリ機器の需要が拡大する可能性があり、遠隔医療そのものが遠隔で実施している段階で既にCyber化していると捉えることができ、本稿では「遠隔医療＝CPS」として捉えて分析をする同時に、オンライン診療はその中でもリアルタイム性を伴う診療行為であり、リアルタイムCPSの特徴を描く手法を導入する。

従来から全国的にへき地の医療過疎が進行しており、医療資源の乏しい地域の医療を確保するため、遠隔医療を含むICTを積極的に活用することが期待されてきた。僻地医療の医療サービス供給のための遠隔医療を普及させることは日本の地域医療の主要な課題とな

⁶ オンライン診療の適切な実施に関する指針, <https://www.mhlw.go.jp/content/000534254.pdf>

⁷ 図説・日本の遠隔医療 2013, 日本遠隔医療学会

http://jtta.umin.jp/pdf/telemedicine/telemedicine_in_japan_20131015-2_jp.pdf

⁸ What Is Telemedicine, Exactly?, American Telemedicine Association,

<https://www.americantelemed.org/ata-news/what-is-telemedicine-exactly/>

っているが、西村ら（2020）⁹が海外、特に米国、英国、豪州での特徴的な事例として

- (1)米国のへき地で家庭医が実践するオンライン診療は、医師患者間の良好な関係性やスタッフのネットワークにより、地域医療を支える有効な手段となっている。
- (2)英国では、AI を活用した体系的なトリアージシステムが、オンライン診療の安全性や有効性を高め、GP(General Practitioner:総合診療医)の負担軽減や患者の予約待ち時間短縮に貢献している
- (3)豪州の広大な国土における医療格差を低減するために、専門医によるオンライン診療が導入されている

の3つを報告しており、オンライン診療が海外でも医療を変革しつつあることがわかる。

一方、僻地医療の問題とは独立に、コロナ禍を機に、「新しい生活様式」としてのリモートが三密回避とソーシャルディスタンス実現のために導入され、多くの領域で「対面」が自粛される中、医療分野においても2020年以降急速にリモート化が進展した。

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の流行に伴い、「オンライン診療」において規制改革も進み、「初診もオンラインが認められ、医師による電話やスマートフォンなどの情報通信機器を用いた診療、いわゆる「電話・オンライン診療」が時限的・特例的に認められた。

従来は電話等を用いた初診料は算定不可で、電話再診料も定期的な医学管理を前提として行う場合は算定不可としてきたが、それが2020年4月の厚生省による事務連絡で、

- (1)受診歴のない患者に対する初診
- (2)過去に受診歴はあるが、現在は定期受診していない患者に対する初診
- (3)定期通院中の患者に生じた別症状への診断・処方(再診)に対する「電話・オンライン診療」が特例的に認められ（表1参照）、初診からのオンライン診療の恒久化も検討されている。

これに伴い、オンライン診療をサポートする情報システムを医療機関に提供してきたIT企業も市場が一気に拡大することが期待されるようになり、「医療サービスのCPS化」が広範囲に進展する可能性が出てきた。

本稿では、医療のオンライン化が医療に根本的な変革を促している現状を体系的に分析するため、ニーズがルールを変更させ、新たな活動空間（マーケット）ができあがり、活動空間における技術の進展が活動空間を拡大していく過程を従来から提案されてきた「産業創出—技術進化サイクル」¹⁰を一部修正することによりその発展過程を描くことを試みると同時に、オンライン診療・遠隔医療をCyber Physical System (CPS)として捉えなおすことで、今後の技術発展を従来とは異なる観点から展望することを試みる。

⁹ 西村謙祐、横田啓、原田昌範、諸外国におけるオンライン診療、月間地域医学, Vol.34, No12, 2020

¹⁰ 児玉文雄、新規事業創出戦略「産業創出・技術進化サイクル論」による事例分析、生産性出版（2000）、ISBN 13：9784820116936

6.1.2 特例規制で発生したオンライン診療の規制空間

遠隔医療に関するルール設定は、主に以下の3つの通知からなる。

- ・「情報通信機器を用いた診療（いわゆる「遠隔診療」）について」（平成9(1997)年12月24日健政発第1075号 厚生省健康政策局長通知）¹¹
- ・「情報通信機器を用いた診療（いわゆる「遠隔診療」）について」（平成27(2015)年8月10日事務連絡 厚生労働省医政局長）¹²
- ・「情報通信機器を用いた診療（いわゆる「遠隔診療」）について」（平成29(2017)年7月14日医政発0714第4号 厚生省健康政策局長通知）¹³

1997年12月24日付通知は、遠隔診療の基本的考え方や**医師法第20条「対面診療の原則**との関係から留意すべき事項を示したもので、遠隔医療の基本的な考え方を下記のように提示し、遠隔医療への道筋をつけた日本の医学史に残る画期的な通知である。

「診療は、医師又は歯科医師と患者が直接対面して行われることが基本であり、遠隔診療は、あくまで直接の対面診療を補完するものとして行うべきものである。

医師法第20条等における「診察」とは、問診、視診、触診、聴診その他手段の如何を問わないが、現代医学から見て、疾病に対して一応の診断を下し得る程度のものをいう。したがって、直接の対面診療による場合と同等ではないにしてもこれに代替し得る程度の患者の心身の状況に関する有用な情報が得られる場合には、遠隔診療を行うことは直ちに医師法第20条等に抵触するものではない。

なお、遠隔診療の適正な実施を期するためには、当面、左記「2」に掲げる事項に留意する必要がある。」

この中で、付帯条項として、限定的に遠隔医療を許容する条件を複数列举した上で、遠隔医療をスタートさせた。

2015年8月10日付事務連絡は、遠隔診療の活用に関して厚労省が後押しした形となり、民間の遠隔診療サービスが相次ぎ立ち上がるきっかけとなった。特に、

- (1) 遠隔診療の適用が可能な対象を、平成9年遠隔診療通知で例示した「離島やへき地の患者」に限定しないこと
- (2) 遠隔診療の適用疾患や診療内容を、平成9年遠隔診療通知で例示した9種類に限定しないこと

¹¹ <https://www.mhlw.go.jp/bunya/iryoku/johoka/dl/h23.pdf>

¹² <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10800000-Iseikyoku/0000094452.pdf>

¹³ <https://www.pref.chiba.lg.jp/iryoku/documents/enkakushinryou.pdf>

(3) 対面診療と適切に組み合わせて行われるのであれば、初診を遠隔診療とすることも可能であること、
の3点が明確化された。

2017年7月14日付通知は、スマートフォンやパソコンのビデオチャット機能などを使い、インターネットを介して医師が診療を行う遠隔診療（オンライン診療）に関して、「平成9年遠隔診療通知」の内容を再度周知し、遠隔診療だけで完結する禁煙外来や、遠隔診療における電子メールやソーシャルネットワーキングサービス（SNS）の利用が可能であることを明確にすることを目的としたもので、同様の趣旨で2015年8月10日に医政局長名で出した事務連絡を、「保険者が実施する禁煙外来」と「遠隔診療に利用するツール」の2つの点から補足する内容となっている。具体的には次の二つの記載である。

「保険者が実施する禁煙外来については、定期的な健康診断・健康診査が行われていることを確認し、患者側の要請に基づき、患者側の利益と不利益を十分に勘案した上で、医師の判断により、直接の対面診療の必要性については柔軟に取り扱っても直ちに医師法第20条等に抵触するものではないこと。なお、患者側の理由により診療が中断し、結果として遠隔診療のみで診療が実施された場合には、直接の対面診療が行われなくとも直ちに医師法第20条等に抵触するものではないこと」

「平成9年遠隔診療通知の「1 基本的考え方」において、直接の対面診療に代替し得る程度の患者の心身の状況に関する有用な情報が得られる場合には、遠隔診療を行うことは直ちに医師法第20条等に抵触するものではないと示しているとおり、当事者が医師及び患者本人であることが確認できる限り、テレビ電話や、電子メール、ソーシャルネットワーキングサービス等の情報通信機器を組み合わせた遠隔診療についても、直接の対面診療に代替し得る程度の患者の心身の状況に関する有用な情報が得られる場合には、直ちに医師法第20条等に抵触するものではないこと」

こうした遠隔医療のルール設定の上に、厚生労働省は、平成30(2018)年に「オンライン診療の適切な実施に関する指針」を発出し、診療報酬においてもオンライン診療料を設けた。令和2(2020)年、新型コロナウイルス感染拡大に伴い、患者の受診抑制を背景に4月10日に初診からのオンライン診療を時限的・特例的措置として可能とした。医療機関における感染予防策として活用される一方で、不適切と思われる事例も報告され、それが平成30年12月26日付の2つの通知につながり、令和元年7月の改定を経て、コロナ禍に対応した令和2年4月10日付の事務連絡へと発展してきた。ここでは、コロナ対策としてのオンライン診療のデレギュレーションをレビューし、新たに生まれた「規制空間（レギュラトリースペース）＝活動空間」の特徴を整理しておく。

2018年度診療報酬改定で、ビデオ通話などを利用したオンラインでの診療について「オンライン診療料」が新設さ、継続的に対面による診察を行っている患者に対して、情報通信機器等を用いた診察を行った場合に患者1人につき月1回に限りオンライン診療料（71点

／月) とオンライン医学管理料 100 点を合わせて 171 点の診療報酬が算定できるように改定された。一方、この改定では対象疾患が糖尿病や脂質異常症、高血圧症などの生活習慣病、パーキンソン病などの難病、てんかん、認知症、統合失調症等精神科在宅患者などに限定される上、3 ヶ月連続で算定できないなど、オンライン診療の導入としては限定的なものにとどまっていた。

2020 年度診療報酬改定では、事前の対面診療の期間が 6 ヶ月から 3 ヶ月に短縮され、在宅に関しては 3 ヶ月連続での算定が可能となり、緊急時の「おおむね 30 分以内に対面による診察が可能な体制」という要件も撤廃され、対象疾患が拡大された。(表 2)。この改定以前にはオンライン診療はエリアが限定され、初診から 6 ヶ月以上経過しなければ算定できなかったのが、要件が若干緩和された。

表 1 オンライン診療の指針と関連通知¹⁴

施策の名称	行政手段
「オンライン診療の適切な実施に関する指針」の策定について	平成 30 年 3 月 30 日付け医政発 0330 第 46 号厚生労働省医政局長通知
オンライン診療における不適切な診療行為の取扱いについて	平成 30 年 12 月 26 日付け医政医発 1226 第 2 号厚生労働省医政局医事課長通知
「オンライン診療の適切な実施に関する指針」に関する Q & A について	平成 30 年 12 月 26 日付け医政医発 1226 第 3 号厚生労働省医政局医事課長通知
オンライン診療の適切な実施に関する指針」の改訂について	令和元年 7 月 31 日付医政発 0731 第 7 号厚生労働省医政局長通知
「「オンライン診療の適切な実施に関する指針」に関する Q & A について」の改訂について	令和元年 7 月 31 日付医政医発 0731 第 3 号厚生労働省医政局医事課長通知
新型コロナウイルス感染症の拡大に際しての電話や情報通信機器を用いた診療等の時限的・特例的な取扱いについて	令和 2 年 4 月 10 日事務連絡
新型コロナウイルス感染症の拡大に際しての電話や情報通信機器を用いた診療等の時限的・特例的な取扱いに関する Q & A について	令和 2 年 5 月 1 日事務連絡
オンライン診療に手話通訳者等が参加する場合の取扱いについて	令和 2 年 8 月 24 日事務連絡
新型コロナウイルス感染症の拡大に際しての電話や情報通信機器を用いた診療等の時限的・特例的な取扱いに関する留意事項等について	令和 2 年 8 月 26 日事務連絡

この次に起きた大きな変化は、中央社会保険医療協議会（中医協）総会は 4 月 10 日は電話等情報通信機器を用いて初診患者を診療した場合に算定する「電話等を用いた初診料」**(214 点)の新設を了承した点**にある。新型コロナウイルス感染症の拡大を鑑みた特例的な対応として、初診におけるオンライン診療も認められ、初診からのオンライン診療の恒久化も検討されている（表 2、図 1 参照）。この改定により、臨床現場は大きく変わり、診察室

¹⁴ オンライン診療に関するホームページ（厚生省）

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/iryuu/rinsyo/index_00010.html

には感染予防の衝立やビニールカーテンが常備され、医師も患者もマスクをしたまま診療をすることを常態化し、病院に来られない患者のために電話再診による薬物の処方認められ、臨床現場では Zoom を用いたリモート診療が大幅に導入されはじめた。

表2 オンライン診療ルールの変遷¹⁵

	2018年改定	2020年改定	新型コロナ関連通知(2/28)
算定点数	オンライン診療料(70点) 処方箋料(68点) オンライン医学管理料(100点) 電話等再診(73点)	オンライン診療料(71点) 処方箋料(68点) 各医学管理料の情報通信機器を用いて行った場合 電話等再診(73点)	オンライン診療料(71点) 処方箋料(68点) オンライン医学管理料(100点) 電話等再診(73点) 初診料(214点)
事前の対面期間	6月	3月	複数回以上
対象疾患	特定疾患療養管理料、小児科療養指導料、てんかん指導料、難病外来指導管理料、糖尿病透析予防指導管理料、地域包括診療料、認知症地域包括診療料、生活習慣病管理料、在宅時医学総合管理料、精神科在宅患者支援管理料の算定対象となる患者	慢性頭痛を追加	慢性疾患等を有する定期受診患者 新型コロナの疑いは受診勧奨・遠隔相談
緊急時の対応	おおむね30分以内に対面による診察が可能な体制	患者が速やかに受診可能な医療機関で対面診療を行えるよう、予め患者に受診可能な医療機関を説明した上で、診療計画に記載しておくこと	—
患者の同意	必要	必要	—
診療計画	対面による診療とオンライン診察を組み合わせた診療計画	対面による診療とオンライン診察を組み合わせた診療計画	事前に診療計画が作成されていない場合であっても差し支えない

出所) 大西大輔(2020)より

令和2年4月10日付の事務連絡「新型コロナウイルス感染症の拡大に際しての電話や情報通信機器を用いた診療等の時限的・特例的な取扱いについて」(以下、「0410事務連絡」と略す)の目次構成は以下のボックス「0410事務対応の内容」のようにになっている。

「1. 医療機関における対応」では、初診となる場合、既に対面で診断され治療中の疾患を抱える患者の場合とオンライン診療による初診を行った患者の場合の両方を実施可能とし、各々の場合の注意事項と求める要件や処方箋の薬局へのファックス等による転送手続きを記載しており、「2. 薬局における対応」では、オンライン診療を実施した医療機関から受けとる処方箋の法的な扱い(普通の処方箋として扱える)、オンライン服薬指導が実施可能であること、および調剤した薬剤の配送方法を記載している。

また、「3. 新型コロナウイルス感染症患者に対する診療について」では、自宅療養又は宿泊療養する軽症者等に対する診療については、患者の診断を行った医師もしくはその紹

¹⁵ 大西大輔、電話・オンライン診療を導入する前に確認すべきポイント 初診から算定可能になったが注意すべき点が多い、クリニックマガジン 47(6): 9-13, 2020

介を受けた医師によるオンライン診療が可能であること、入院中の新型コロナウイルス感染症患者に対する診療については、重症患者に対する十分な集中治療の経験がない医師に対して呼吸器の専門医が情報通信機器により、遠隔でサポートすることを可能にしている。結果として、図1のような対応体系となっている。

この「0410 事務連絡」の重要な点は、「5. 本事務連絡による対応期間内の検証」で、この措置が、時限措置であって「原則として3か月ごとに、新型コロナウイルス感染症の感染拡大の状況や、本事務連絡による医療機関及び薬局における対応の実用性と実効性確保の観点、医療安全等の観点から改善のために検証を行うこととする」として、実験的にスタートさせたことにより、デレギュレーションに対する賛成派、反対派双方の対立を吸収した点にある。これによって、初診時にオンライン診療からはじめて、処方箋を電子的に発行して薬局に転送し、薬局が患者に服薬指導をオンラインで実施し、医薬品を患者に郵送するという一連の流れが一貫して実現し、オンライン診療のための活動空間が法的に整備された。

また、「4. 医療関係者、国民・患者への周知徹底」という観点からは、図2のようなポスターも作成している。

「0410 事務連絡」の内容

1. 医療機関における対応

- (1) 初診からの電話や情報通信機器を用いた診療の実施について
- (2) 初診からの電話や情報通信機器を用いた診療の実施する場合の留意点について
- (3) 2度目以降の診療を電話や情報通信機器を用いて実施する場合について
- (4) 処方箋の取扱いについて
- (5) 実施状況の報告について
- (6) オンライン診療を実施するための研修受講の猶予について

2. 薬局における対応

- (1) 処方箋の取扱いについて
- (2) 電話や情報通信機器を用いた服薬指導の実施について
- (3) 電話や情報通信機器を用いた服薬指導を実施する場合の留意点について
- (4) 薬剤の配送等について
- (5) その他

3. 新型コロナウイルス感染症患者に対する診療について

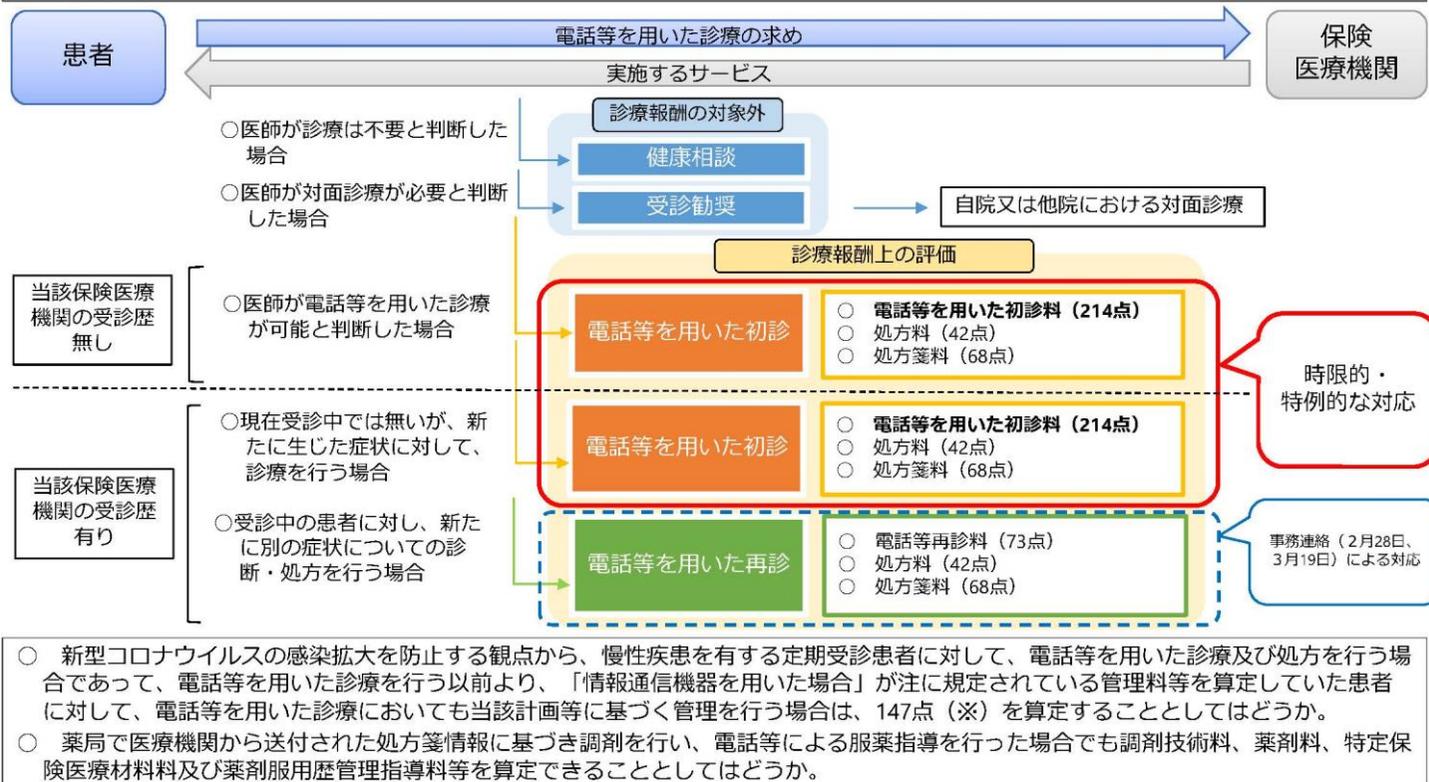
- (1) 自宅療養又は宿泊療養する軽症者等に対する診療等について
- (2) 入院中の新型コロナウイルス感染症患者に対する診療等について

4. 医療関係者、国民・患者への周知徹底

5. 本事務連絡による対応期間内の検証

新型コロナウイルス感染症患者の増加に際しての電話等を用いた診療に対する 診療報酬上の臨時的な取扱いについて①

○ 新型コロナウイルスの感染が拡大し、医療機関の受診が困難になりつつあることに鑑み、時限的・特例的な対応として、「新型コロナウイルスの感染拡大に際しての電話や情報通信機器を用いた診療等の時限的・特例的な取扱いについて」（令和2年4月10日厚生労働省医政局医事課、医薬・生活衛生局総務課事務連絡）が発出されたことを踏まえ、当該事務連絡に関連する診療報酬の取扱いについて、以下の対応としてはどうか。



※算定告示B000「特定疾患療養管理料」の注に規定する「許可病床数が100床未満の病院の場合」の点数

4

図1 オンライン診療報酬体系の詳細 (令和2年4月10日中医協資料より)

新型コロナウイルス感染の懸念から、
お手持ちの電話やスマホで医療機関に相談や受診することができます。

電話・オンラインによる診療が ますます便利になります。

高額な機器や難しいシステムは不要です。

※実施していない医療機関もあります。



<p>1 診療内容の確認</p> <p>電話・オンライン診療を行っているか確認 受診しようと考えている医療機関のホームページを確認するか、直接医療機関の窓口にて、電話やオンラインによる診療を行っているかご確認ください。</p> <p>かかりつけ医等 または 最寄りの医療機関 まずは、普段からかかっているかかりつけ医等にご相談ください。かかりつけ医等をお持ちでない方は、下記のホームページから電話・オンラインによる診療を行っている最寄りの医療機関*にご連絡ください。</p> <p><small>※医師の判断によっては、すぐに医療機関を受診する必要があるため、できるだけお住まいの近くの医療機関を選択することをお勧めします。</small></p>	<p>2 事前の予約</p> <p>電話の場合 電話の場合は、医療機関に電話し、保険証などの情報を医療機関に伝えた上で予約します。</p> <p>オンライン診療の場合 オンライン診療の場合は、医療機関によって予約方法は異なります。詳しくは各医療機関のホームページをご覧ください。</p> <p>支払い方法の確認 予約の際に合わせて支払い方法についても確認します。</p>	<p>3 診療</p> <p>診療開始 医療機関側から着信があるか、オンラインで接続され、診療が開始します。</p> <p>本人確認後、症状説明 まずは、受診を希望されているご本人であることを確認するために、求められた個人情報を伝えた後に、症状等をご説明してください。電話やオンラインによる診療では診断や処方が必要な場合があることにはご注意ください。</p>	<p>4 診療後</p> <p>医療機関への来訪を推奨されたら 医療機関に来訪して受診するよう推奨された場合は、必ず医療機関に直接かかるようにしてください。</p> <p>薬の処方を受けた場合 薬が処方され、薬の配送を希望する場合は、薬を出してもらった最寄りの薬局を医療機関に伝えた上で、診療後、薬局に連絡してください。電話やオンラインによる服薬指導を受けられ、その後、薬が配送されます（薬局に来訪されて服薬指導を受ける必要がある場合もあります）。</p>
---	---	--	---

上記の流れは一例です。医療機関によって異なる場合があります。



電話やオンラインによる受診が可能な医療機関のリストや
今回の時限的な取り組みについては厚生労働省のホームページをご覧ください。
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/iryuu/rinsyo/index_00014.html



図2 厚生省のオンライン診療のポスター

6.1.3 オンライン診療サービス支援のための情報システムの参入事例

オンライン診療は、遠隔診療の2番目のルール設定であった2015年8月10日の事務連絡により診療の対象となる地域・疾患が広がったことをきっかけとして、多くの会社が2016年頃より遠隔診療専用システム提供し始めている。ここでは各ベンダーで共通に設定されている業務フロー、提供機能、導入メリットを紹介した後、4つの事例紹介を行う。

医療機関に対してオンライン診療のための情報システム導入を呼びかける場合、多くのベンダーが共通してあげるメリットは、医療機関・患者双方にとってメリットを強調している。例えば、治療継続率の向上、待ち時間のないスムーズな診療、通院負担の減少、二次完全の防止、集患能力の拡大、スマホによる健康管理データとの連携などを挙げている。

6.1.3.1 オンライン診療、オンライン服薬指導の流れ

オンライン診療では、図3のように「予約」、「問診」、「診察」、「決済」、「医薬品の配送」までの全プロセスをシステムがカバーしており、スマホやPCから操作すると同時に、ビデオ通話による診療が行われる。



図3 オンライン診療の流れ

出所) 株式会社 MICIN ホームページより (<https://curon.co/>)

オンライン服薬指導は、図4のように、ベンチャーの顧客としては医療機関ではなく薬局となるため、別のシステムとして設定される。上述の株式会社 MICIN の場合には「curon お薬サポート」として、処方箋の医療機関からの受取りから、医薬品の配送まで、医療機関・患者・薬局を接続するサービスとなっている。このサービスは、オンライン診療後の患者によっては、処方箋を医療機関から発行してもらった後もオンラインで医薬品を入手する必要がある、シームレスにオンライン化されていることは必須である。

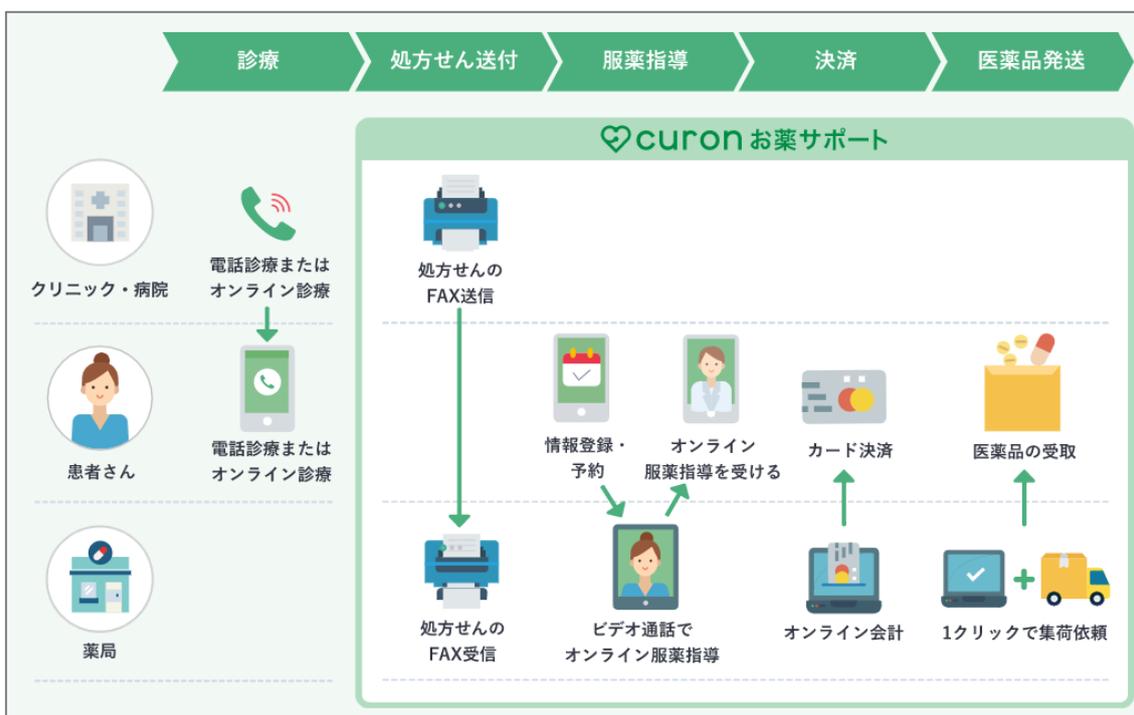


図4 オンライン服薬指導の流れ

出所) 株式会社 MICIN ホームページより (<https://curon.co/>)

業務フローとしては、「処方箋受付」、「服薬指導」、「決済」、「医薬品発送」の流れとなっており、これを支える情報システムとしては、FAX 処方箋受信、服薬指導予約機能、事前質問票のフォーマット提供、患者管理機能、クレジットカードによる決済機能、宅配便業者とのシステム連携による配送サービス（ラベル自動記入、集荷自動依頼）、月次レポート機能、チェーン薬局向け店舗管理機能などが設定されている。業務の効率化、感染予防、患者の満足度向上（移動時間・待ち時間のストレス削減）、医療機関との連携強化などのメリットをあげているのが特徴である。

6.1.3.2 主なオンライン診療システム・ベンダー

主なオンライン診療システム・ベンダーの製品、会社の特徴をあげておく。

■オンライン診療・服薬指導アプリ CLINICS (クリニック)¹⁶: 株式会社メドレーが提供。2009年医療介護の求人サイト「ジョブメドレー」からスタートし、2015年オンライン医療辞典の提供開始、2016年2月からオンライン診療システム「CLINICS (クリニック)」の提供を開始し、2018年にはクラウド型電子カルテをはじめている。同社は2019年マザーズに上場している。CLINICS (クリニック)は、予約(24時間いつでも予約可能)、問題シ

¹⁶ オンライン診療・服薬指導アプリ CLINICS (クリニック)
<https://clinics.medley.life/>

(アプリで回答)、診察(待ち時間ゼロ)、会計(クレジットカード利用)、処方(院外処方の場合、処方箋データをアップロードし、調剤薬局にオンライン服薬指導を申し込める)、服薬指導(リンク先の調剤薬局が調剤し、服薬指導、決済、登録住所への郵送)までが完結する状態を特徴としている。

■ **オンライン診療サービス・お薬サポート「curon(クロン)」¹⁷**：人工知能を利用したアプリケーション開発に取り組んでいる株式会社 MICIN が提供。2016年4月から提供開始。患者は手持ちのスマートフォンやパソコン、タブレットでご利用可能で、予約から問診、診察、決済、医薬品の配送手続き(院内処方の場合)までをオンラインで完結させることができ、医師も手持ちのパソコン・タブレット端末で開始でき、初期導入費用・月額費用0円としていることが特徴。補完的な薬局向けのオンライン服薬指導サービス「curon お薬サポート」は2020年5月より開始。株式会社 MICIN は、この他にも、医薬品の臨床開発支援のための情報システム、手術後の予後管理フォローアップアプリ、産後うつ病の疾患マネジメントアプリを開発している。

■ **オンライン診療ポケットドクター¹⁸**：MRT 株式会社・株式会社オプティムが提供。株式会社オプティムは、あらゆる人にその時に必要な体験(知識、ノウハウ、情報、感覚、感動)を遠隔から共有する「Remote Experience Sharing」構想を実現して、ユーザーは本来のやりたいことだけに集中でき、その手段に関する専門知識を必要とせず技術進化による恩恵を最大限享受できる世界を目指し、ネットを空気のように快適で、息をするように無意識に使える世界をめざしている。一方、MRT 株式会社は、医師の互助組織として発足以来、築き上げてきた医師のネットワークを強みとして、「医療を想い、社会に貢献する。」を企業理念のもと、医療現場の主役である医師、医療機関、患者およびその他医療関係者に医療情報のプラットフォームを提供することで、豊かな医療の創造の実現を目指している。オンライン診療ポケットドクターは両者のコラボレーションによるもの。

ポケットドクターの特徴は以下の4点である。

- ・相談者がスマートデバイスのカメラで映している映像や画像、ウェアラブル機器、ヘルスケア機器から取得されるバイタルデータを医師へ共有することができる。高画質の映像や画像、バイタルデータを共有することで医師は相談者の状態を詳細に把握することができる。
- ・相談者が映像や画像の共有を行う際に、医師は赤ペン機能や、指差し機能を用いて、映してほしい箇所の指示や、症状の説明を的確に行える。
- ・医師は、診療の合間の空き時間を活用して、「予約相談」、「今すぐ相談」を受け付けることで、空き時間の有効活用が行える。医療機関以外の場所でも「予約相談」や「今す

¹⁷ オンライン診療サービス・お薬サポート「curon(クロン)」 <https://curon.co/>

¹⁸ オンライン診療ポケットドクター <https://www.pocketdoctor.jp/>

ぐ相談」の受け付けが可能のため、産休育休中の女性医師も就業できる。

- ・相談者や医師および医療機関は、スマートフォンやタブレットに「ポケットドクター」のアプリをインストールすることご利用できる。「ポケットドクター」アプリはiOS8.0以降のiPhoneやiPad、Android™4.0以降のスマートデバイスで動作する。

■オンライン診療システム **YaDoc Quick** (ヤードック クイック)¹⁹: 株式会社インテグリティ・ヘルスケアの提供によるもの。同社は医療機関向けに、オンライン診療システム、疾病管理システムを提供し、一般患者向けにオンライン診療サービス、疾患管理アプリを提供している。医師も患者もアプリのインストールは不要で、診療から服薬指導までをカバーしており、ブラウザ画面から利用可能な点が特徴である。ただし、ビデオ通話を利用する場合は専用アプリのインストールは必要となっている。医療機関が利用を申し込むと各医療機関の予約フォーム URL が作成され、URL を医院のホームページ上でリンクすれば、オンライン診療がはじめることや予約機能画面の充実度がセールスポイントとなっている。患者の資金決済方法としては、「クレジットカード」、「銀行振り込み」、「次回来院時」から選択できるようになっており、患者の多様な資金決済ニーズに対応できる点も特徴である。

6.2 遠隔医療・オンライン医療のニーズ表現

6.2.1 遠隔医療のニーズとその表現

遠隔医療は大きく2つのタイプに分けられ、①患者に対して実施される遠隔診療(D to P)、②医療従事者間で行われる遠隔医療(D to D)の2種類がある。

①「遠隔診療」(D to P)は、「患者」に対して、「主治医」から「医療」を提供する遠隔医療である。患者は、自宅等において、遠隔地の医療施設等にいる主治医とテレビ電話等で対話を行う。併せて、伝送された患者の心身の状態をもとに主治医が判断し、患者の療養を支援するものである。このタイプの遠隔医療を遠隔診療“Telecare”といい、看護師が主体となって在宅の療養者に対して実施される遠隔看護“Telenursing”もこのタイプの事例のひとつである。現在オンライン診療といわれているのはこの区分に該当する。テレビ電話診療が始まったのが1995年9月30日であり、1997年には厚生省によりテレビ電話による遠隔診療のモデル事業が開始されている。

1990年代における対患者遠隔診療は、少子高齢化と医師不足・医師偏在による過疎地・僻地医療への医療サービスの提供の困難さを解消する必要性からスタートしている。その他、1997年12月24日付通知に記載された適用可能なケースは限定されていたものの、特定の慢性疾患患者のフォローにおいても、遠隔医療と対面を組合せることによる患者・医師双方の負担軽減するニーズも存在する。

一方、②「医療従事者間遠隔医療」(D to D)は、主として、「主治医」と「専門医」の間で

19 オンライン診療システム YaDoc Quick <https://www.yadoc.jp/quick>

実施される遠隔医療であり、「狭義の遠隔医療」とも言われる。「主治医」に対して、専門知識や経験を元に、高度で専門的な診断の委託や治療方針のコンサルテーションなどが行われている。CT や MRI 画像の読影等を遠隔地から実施する遠隔画像診断“Teleradiology”や患者から採取した組織や細胞の標本について病理学的診断を行う遠隔病理診断“Telepathology”などはその代表事例である。また、高度な専門知識に関わる遠隔教育や、症例について専門的立場から知識・経験を持ち寄り討議する遠隔カンファレンスもこれに含まれる。こちらは、1996 年厚生省科研費情報技術開発研究事業による研究班「遠隔医療に関する研究」（通称遠隔医療研究班）（班長：開原成允・東京大学教授（当時））が組織され、当時は画像伝送を中心とした取組みが多かったことから、研究班では「遠隔医療とは、映像を含む患者情報の伝送に基づいて遠隔地から診断、指示などの医療行為及び医療に関連した行為を行うこと。」と定義された。1990 年代前半はデジタル化された通信網 (ISDN) の普及の黎明期で、64kbps の通信で、1 回分の画像データを送るのに長い時間を要していた。このため、通信料金が安い時間帯である夜間に Teleradiology に関わる情報を送信していた。

大学病院などを除くとすべての専門医が揃っている医療施設は限られており、医師が患者について、MRI などの画像の読影を行う遠隔画像診断や、手術で得られた病理標本を診断する遠隔病理診断など、その領域の専門医に画像による診断の補助を依頼したり、確認したりするニーズは非常に多い。診察の中で視診が大きな位置を占め、比較的専門医が少ない眼科や皮膚科では、専門医が近くにいない地域において遠隔医療による専門医のサポートが有用である。眼科では細隙灯顕微鏡を専門医の遠隔操作によって患者を診察したり、皮膚科では、病変部を肉眼より鮮明に拡大表示したりすることも可能となってきた。

また、定期的に訪問診療を行っている医師にとっても遠隔医療のメリットがある。現在は保険診療上、最低月 2 回の訪問診療が必要であるが、病状が安定している患者に対して月 1 回の訪問診療と月 1 回の遠隔診療が認められれば、その分の移動時間を他の患者の診療に回すことができ、より多くの患者の在宅診療が可能になる。救急医療においても、救急搬送中に心電図モニターや呼吸状態を遠隔で把握することができれば、必要な処置をより早く救命救急士に指示することができ、受け入れの準備もよりの確にできるため、生命予後の改善も期待できるなど、医師と医師の間の遠隔医療のニーズは多様である²⁰。

1990 年代当時の遠隔医療研究者は、自分の診察を一部でもいいから遠隔地でやりたいと希望があり、「遠隔診察」という用語を用いていた経緯があり、遠隔診察、遠隔医療、と現在のオンライン診療の 3 区分が提唱される場合もある。1995 年当時はまだ現在の定義である在宅医療自体が成り立つ以前であり、在宅医療の定義が十分確立していない頃から医師法第 20 条（無診察診療の禁止）に対する 2003 年の解釈通知（在宅アトピー等）が出たが、これは在宅医療に関する診療報酬制度を全く想定していないものであった。

その後、2008 年前後に在宅医療が普及し、今の形の在宅医療となってくる。その頃に総

20 再掲) 図説・日本の遠隔医療 2013、一般社団法人日本遠隔医療学会

務省の事業費により、ICT を利用して人口密度を薄いエリアをカバーする解決策として遠隔医療、テレビ電話診療を用いた事業も始まり、医師・看護師・患者による遠隔医療（患者が看護師という場合の遠隔医療、後にこれは、患者が看護師という場合のオンライン診療と呼ばれるようになる）、いわゆる D to N to P (Doctor to Nurse to Patient) という形態を生み出したのは、その頃に取り組んでいた新見市や山形県朝日町などであったが、これも大きくは D to P の Telecare に類型化される²¹。

したがって、こうした遠隔医療のコンセプトは、①患者に対して実施される遠隔医療(D to P)は“Telecare”、②医療従事者間で行われる遠隔医療では(D to D)、“Teleradiology”や“Telepathology”などの“Tele-X-ology”としてくることができ、より高度な機能を工学的・医学的に求めており、当時は大学病院で診る診療行為が前提となっていた。ここでの普遍的な欲求を表現するとすれば、D to P, Do to D の両者を縫合する形で「どこにいても、いつでも、(物理的な制約を受けることなく) 診断・診療データを転送することで、移動することなく、(比較的高度な) 医療サービスを受けられること」となる。²²

6.2.2 オンライン医療のニーズとその表現

これまでに見てきたように、遠隔医療は、僻地医療における医療過疎対策といった側面から、指定された慢性疾患に限定して開始され、コロナ禍を経て 2 次感染回避・三密回避・ソーシャルディスタンス確保という側面も入ってきたことから、オンライン診療として再度定義され、時限的ではあるものの、大幅に進展した。こうした流れは、従来の遠隔医療の定義やニーズとどう異なっているのかを検討しておきたい。

まずは、オンライン医療の定義をチェックすることになるが、冒頭で紹介したように、オンライン診療の厚生省による定義は「遠隔医療のうち、医師－患者間において、情報通信機器を通して、患者の診察および診断を行い診断結果の伝達や処方等の診療行為を、リアルタイムによる行う行為」であった。この内容は、オンライン診療を機能的に定義したものであるが、従来の遠隔医療における 2 つの側面、①患者に対して実施される遠隔医療である D to P の“Telecare”にフォーカスされたものと解釈できる。遠隔医療が高度な医療を僻地に提供することを念頭においていたのに対して、オンライン診療は、「一般の診療所で診る診療行為」をオンライン化するという違いがある。しかしながら、なぜこのような“Telecare”の機能が必要かというニーズ的な側面を記述としては不十分である。オンライン診療のためのシステムを提供する会社の WEB ページに並んでいるニーズを書き出してみると

²¹ 佐藤大介、長谷川高志、歴史から紐解く日本の遠隔医療、日本医療政策機構：Japan Health Policy NOW (JHPN)、<http://japanhpn.org/ja/fict-1/>

²² 篠田英範、遠隔医療システムの現状と将来、課題、Medical Imaging Technology, Vo.16, No.16, p603-609, (1998)によれば、1998 年のマレーシアの Multimedia Super Corridor (MSC)での遠隔医療のコンセプトは、「マレーシア国民は、いつでも、どこでも、どのような場合でも等しく、良質な医療サービスを受けることができる。」となっており、類似する。

- ・発熱外来など初診の場合でもオンラインで診察を受けたい
- ・通院の時間コスト・移動コストを削減できる
- ・物理的に薬局に行って薬をもらう時間・手間を避けたい
- ・病院で待ち時間を使いたくない
- ・かかりつけ医にオンライン診療で見てもらえると安心だし、時間も節約
- ・2次感染・三密を回避するため、リアルに病院に行きたくない
- ・自らが感染症患者の場合、周囲に2次感染させたくない

などであった。これらを総合するとオンライン診療のニーズの詳細な表現は

移動時間コスト、移動費用コスト、待ち時間コストを払うことなく、また感染する危険のある第三者と接触することなく、「診療予約サービス・診療サービス・服薬指導サービス・医薬品配達サービス」という（病院に行きたくなくてもよい）一連のサービスを、通信デバイスを用いて、どこにいても、移動することなく、一気通貫で受けられること

と記載できる。診療予約サービス・診療サービス・服薬指導サービス・医薬品配達サービスは、総括すると「医療サービスの全体プロセス」とすると、より簡単には

どこにいても、安全性を確保した上で、と最低限のアクセスコストで通信デバイスを用いて、適切な医療サービス全体の全体プロセスを、移動することなく、享受できること

となる。さらに通信デバイスを省略し、手段はすべて適切性に含まれると解釈して、シンプルにしていくと、

どこにいても、適切な医療サービスが受けられること

となる。このように定義すると遠隔医療のニーズに限りなく近くなる。リアルタイム性は、オンライン診療だけのものではなく、“Telecare”としての共通部分が残ると考えられる。

オンライン診療がどのような局面で役立っているかという点については、小児科のオンライン診療の例として、黒木（2020）²³がアレルギー性鼻炎、注意欠如・多動症、便秘・反復性気管支炎、夜尿症などの患者を例にとり、利点と限界を説明しているが、多くは対面診療とオンライン診療を組み合わせることにより、患者の通院の負担を減らしながら効率的に診療を組み立てられる点を強調している。こうしたリアルとオンラインの組合せによる効果・効率の最大化については、上記の表現においては「適切な」の中に含まれていると解釈しておいても大きな問題はなさそうである。対面には対面のメリットが、オンラインにはオンラインのメリットがあり、組合せにより最適化を追求するのは、ビジネスでも教育でも医療でも同様である。

²³ 黒木春郎，オンライン診療の現状と課題，小児科臨床，Vol.73，No.6，p813-819（2020）

6.3 産業創出—技術進化サイクルへの展開

6.3.1 サイクル論としての取扱い

児玉ら²⁴により提唱された「産業創出・技術進化サイクル」による産業分析は、産業と技術の間の相互作用を分析するフレームワークであり、産業技術パラダイムの転換点を分析する手法として確立しており、広範囲な産業に対して汎用性が高い分析の方法論として提示されている。科学技術と経済の会による事例分析により、鉄鋼業、医療用製品、ガス器具、繊維、デバイス、デジタル通信、i-モード等で分析例が報告されているが、本稿では、「産業創出・技術進化サイクル」による分析の有効性を、遠隔医療・オンライン診療を事例として分析してみることで実証すると同時に、産業の大きな転換点が共通した法則性に基づいて表出してくることを示しておきたい。

「産業創出・技術進化サイクル」の分析フレームワークでは、縦軸に、上側に「産業の創出」、下側に「産業の高度化」をとり、横軸には、「技術の多様性」と「技術の累積性」をおき、産業の発展状態に4つの象限をとり、4つの象限に「需要表現」「技術融合」「トリクルアップ」「異業種間競合」の4つの産業発展段階ごとの事象(イベント)を当てはめていた(図5)。

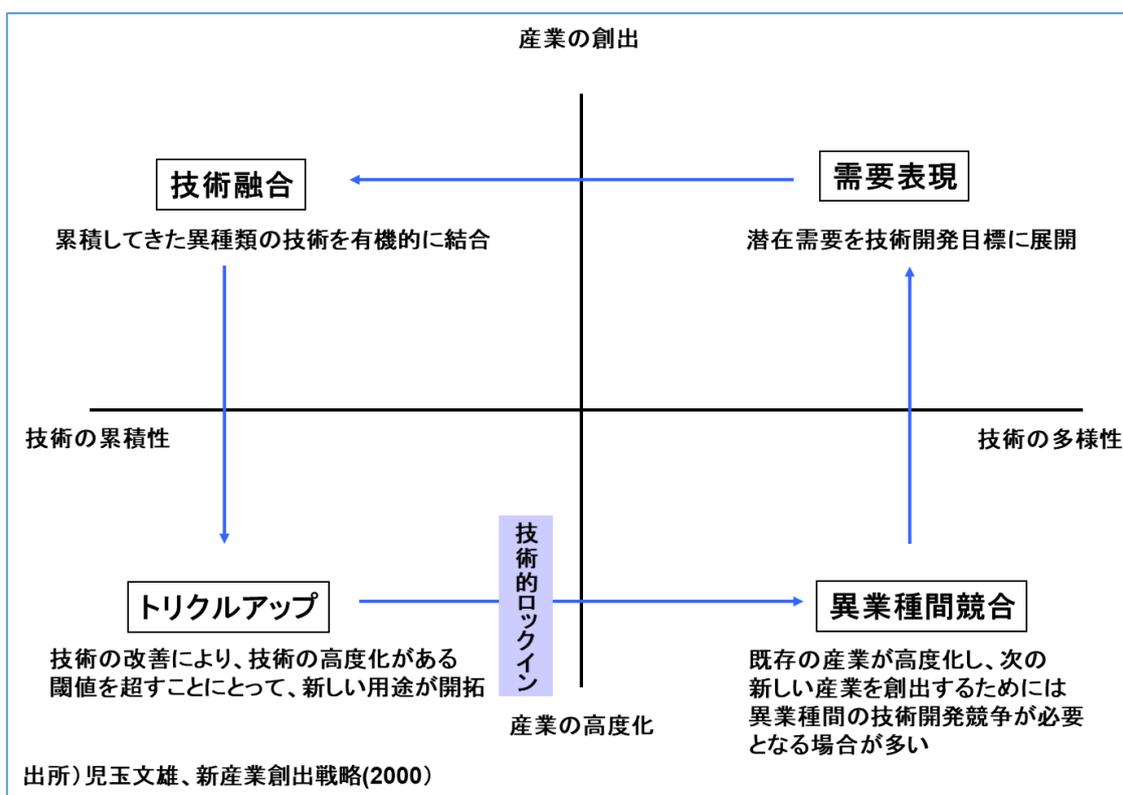


図5 産業創出・技術進化サイクル

²⁴ 「新規事業創出戦略」＜産業創出・技術進化サイクル論＞による事例分析、児玉文雄、玄場公規編著、科学技術と経済の会監修、2000年、生産性出版

これに対して、修正版フレームワークである図6では、医療などのサービスも含めて分析するためには、従来の産業創出・技術進化サイクルの中で、「技術」の部分、「技術・サービス」とした点にある。この図6の場合、従来の説明に若干の修正が入る。ひとつの産業は、まず「何を指すのか」という「潜在需要を製品概念やサービス概念として定義し、それを技術開発目標に分解する」ところからスタートするところには変わりはない。この活動を「需要表現」と呼ぶ。「技術・サービスの多様性」が増大し、「産業の創出」に向かうところで、社会の潜在的なニーズを汲み取り、技術開発目標を設定していくところに、産業が興ることを表している。

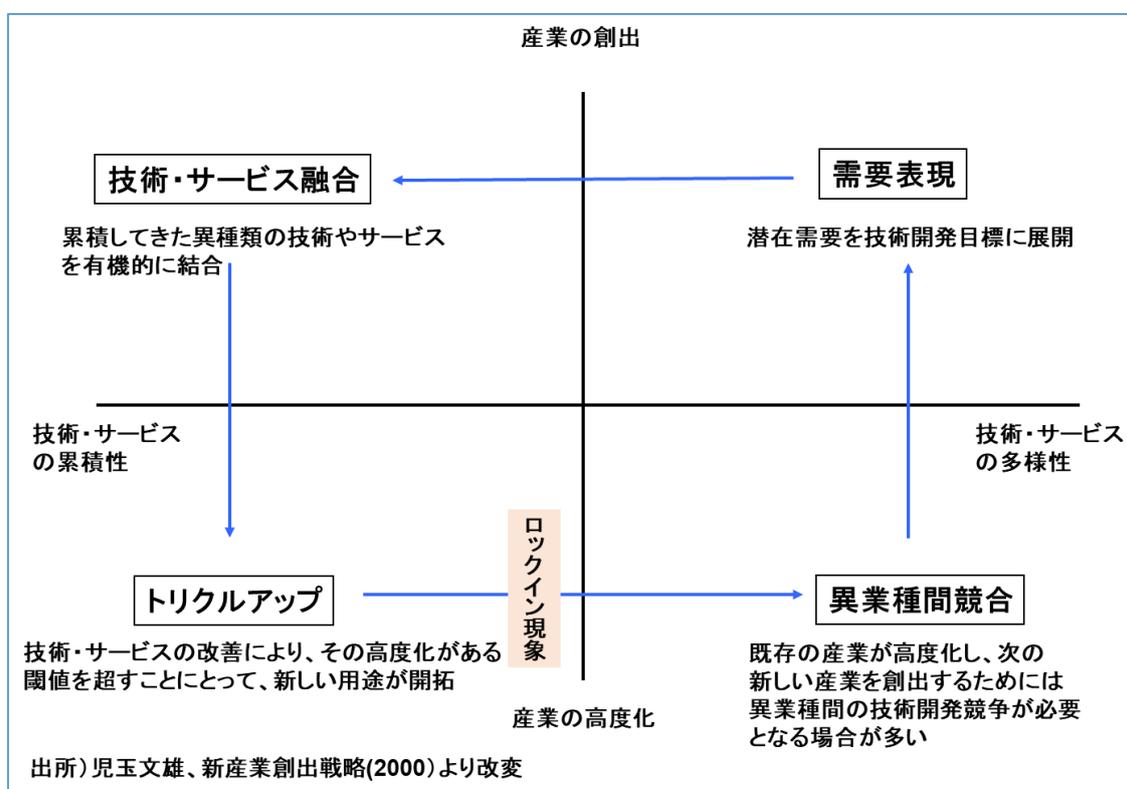


図6 産業創出・技術サービス進化サイクル

潜在的な需要が製品概念やサービス概念として定義された後、それを実現するために技術が累積していく。それがなおかつ単一の技術ではなくて複数の技術やサービスが融合されていく。これを従来は「技術融合」過程としていたが、広義には「技術・サービス融合」として汎用性を高く設定しておきたい。これにより「産業の創出」の過程で「技術・サービスの累積性」が上昇していく。

「技術・サービス融合」が進展し、ある程度の完成度に達した後は、「トリクルアップ」と呼ぶ領域へ移行する。技術やサービスの改善によって技術・サービス複合体の高度化がある域値を超すことによって新しい用途が次々と開けていく状態をこう表現している。「トリ

クルダウン(trickle down)」とは、水が滴り落ちるという意味であり、公共投資による民需刺激の例えとして用いられるが、「トリクルアップ」はこの反語であり、自然に用途開拓がなされるのではなく、技術・サービス複合体の高度化がおきて初めて需要開拓が可能となるという意味で用いられている。

このフレームワークでは、技術・サービス融合による技術・サービス複合体の高度化を経てさまざまな市場が開拓された(トリクルアップした)後に、壁にぶつかるという図式を置いており、これを従来は「技術的ロックイン」現象と称してきたが、ここも技術・サービス複合体が技術的、サービスのあるいは社会規範的な「ロックイン」現象に陥ると状態としてより一般化された形に修正される。特定の技術体系やサービス体系に固執することによって新たなマーケットニーズに対応できなくなる状態、あるいは技術・サービス複合体が発展しようにも規制の枠組みがそれを許さないような状態であり、ロックインに陥るとそこから脱却するためには次なる技術的あるいはサービスのなブレイクスルーやサービスの裏側にある新たな規制の創設や規制の緩和などのブレイクスルーが必要となる。この段階に至って次に「異業種間競争」が起きる。異なる技術的なバックグラウンド、あるいは異なった企業文化やサービス機能を持ったプレイヤーが新たな目標を掲げて参入してくる。技術的あるいはサービスの多様性を持ったプレイヤーが参入し、ビジネスの構成要素の多様性が増大する中から、競争を勝ち抜いたプレイヤーだけがロックインされたものを解除することができ、環境変化をとらえて発展することができる。異業種からの参入者は新たな潜在需要と新たな製品・サービス概念が意識しながら、ブレイクスルーを達成し、次のサイクルの創始者として、次のサイクルを回す主要なプレイヤーとして登場してくるのである。

このように「産業創出・技術進化サイクル」の前提となるのは、「技術・サービスの多様性」－「技術・サービスの累積性」軸と「産業の創出」－「産業の高度化」軸の2つの軸の設定であり、この2軸で区切られる4つの象限にひとつの産業のステータスが「需要表現」「技術・サービス融合」「トリクルアップ」「異業種間競争」の4つの事象がこの順番に変化していくのが産業の発展の基本形であるという想定に立つ。

サイクル論のなかではひとつの産業パラダイムが転換するという現象は、技術が高度化した後に発生した後に発生する行き詰まり＝「技術・サービス複合体のロックイン状態」から次の「需要表現」に向けて移行する過程の中で発生する。この過程で起こる技術革新やサービス革新は不連続な変化であり、新たな社会的ニーズに照準を合わせた製品やサービスに対する概念を実現するために、異分野の参入者によって次世代の技術・サービス複合体の軌道が開始され、不連続な変化を起こすきっかけとなるひとつの技術的あるいはサービスのなブレイクスルーの完成をもって、異業種間競争の段階から需要表現段階へとシフトし、次世代のパラダイムが始動する。

この意味ではひとつの産業・技術パラダイムは、「異業種間競争」という助走期を経て、「需要表現」に始まり「トリクルアップ」に至ってその使命を終え、「技術サービス複合体のロックイン」に至って次なる社会的要請に対応しきれなくなって、停止すると捉えること

ができる。

次節から、「産業創出・技術進化サイクル」の技術部分にサービスの要素も組み、かつロックイン現象をより広くとらえた「産業創出・技術サービス進化サイクル」による視点から、遠隔診療・オンライン診療のパラダイム転換の説明を試みる。

本稿では、2016年に株式会社メドレーや株式会社 MICIN のような医療に造詣の深い IT ベンチャーが遠隔診療サポートビジネスに参入してきた状態を医療サービスの提供を目的とする異業種間競争として捉える。したがって、それ以前（1997年～2016年の20年間近傍）を第1サイクル、それ以降を第2サイクル（2016年以降）として捉えること産業創出・技術進化サイクルによる分析を開始することとする。

6.3.2 第1サイクル —遠隔医療の実現—

6.3.2.1 産業の起点としての需要表現

全く新しい産業が興るときには、サイクル論的な観点ではその起点は「需要表現」の段階にあると考える。第1サイクルにおける遠隔診療がどのようにスタートするのか、その起点となった動機やニーズを探り当てることが、第1サイクルを同定する上での出発点になる。

1996年から設置された厚生省の遠隔医療研究班の班長であった開原は、1997年当時の遠隔医療が普及しない理由として、①法令上の問題、②経済的問題、③医師間のコンセンサス、④技術的な課題、の4つをあげて、遠隔医療研究班の成果として発出された1997年12月24日の1075号通知の前後の状況を説明している²⁵。①法令上の問題として、医師法第20条「対面診療の原則」がボトルネックとなっていたが、第1075号通知で解消したこと、②経済的な問題として、遠隔医療が保険医療に含まれておらず、1998年3月時点で「電話再診」のみがテレビ電話も含めて認められていたことのみで、遠隔医療の設備投資に対する保険措置がないこと、③の医師間のコンセンサスとして、不十分な情報で診療すること、技術的な医療画像の解像度の問題の2点で一致を見ていなかったこと、④の技術的な問題としては、高精細画像が必要な場合に供給できないという問題があったことを指摘している。

最大のボトルネックであった医師法第20条「対面診療の原則」については違反には当たらないとの解釈が通知化されたことで、遠隔医療は合法的にスタートすることができ、その場合の需要表現は、「2.1 遠隔医療のニーズとその表現」でも検討したが、当時の遠隔医療の研究班は、遠隔医療のコンセプトを、D to P, Do to D の両者を抱合する形で、「映像を含む患者情報の伝送に基づいて遠隔地から診断、指示などの医療行為及び医療に関連した行為を行うこと」と定義している。

6.3.2.2 技術・サービス融合

第1サイクルでの遠隔医療は医師主導ではじまるが、何が遠隔医療を実施する上で、技術

²⁵ 開原成允、日本における遠隔医療の実現について、映像情報メディア学会誌、Vol.52, No.9, pp1244-1246, (1998)

開発上、あるいはサービス開発上の課題であり、どのような技術開発・サービス開発でそれが解決されて実現していったかをレビューしておく。

当時の技術開発課題の認識がどのようなものであったかは、1998年当時の投稿論文「遠隔医療システムの現状と将来課題」²⁶は、技術開発課題として5つの要素、加えて組織の整備の必要性を挙げている。

(1)セキュリティ

遠隔医療システムでは各種医療データがネットワーク上を流れる。医療データは個人の秘密に属す情報も含む。情報の不当アクセス、漏洩、改竄などがあってはならない。

(2)データ圧縮

医療画像はものにより非常に大容量となる。診断に悪影響のない圧縮方式が必要である。現在,Wavelet 変換,JPEG,MPEG などの医療的有効性が検討されている。

(3)システムの信頼性

医療供給システムが情報システム上に構築されると、システムが安定して稼動することが医療の前提となる。故障が少なく、ダウンタイムの短い信頼性が高く安価なシステム構築が要求される。

(4)医療データの保存

セキュリティとも絡むが、医療データを長期に安定的に利用できるように解決すべき課題は多い。その一つが、媒体の互換性である。数十年の長期にわたり、また数世代にわたり互換性が保証された媒体はまだない。

(5)システムのインターオペラビリティ

未来の医療は個人の健康管理情報の適切な共有、交換可能性の上に成り立つ。これが保証されるためには、情報を管理する情報システム間のインターオペラビリティは情報交換の標準化が必要である。

1990年代後半の遠隔医療システム開発の実証プロジェクトでは以下の機能が組み込まれている。

- ・各種画像伝送方式の検討（テレビ電話,CATV,ISDN,B-ISDN）
- ・院内 PACS と遠隔画像診断システムの統合
- ・地域医療ネットワークとの接続（中核病院と診療所間の情報ネットワーク）
- ・D to D リアルタイムコンサルテーション機能（画像と時間を共有しながらコンサル）
- ・D to D 非リアルタイムコンサルテーション機能（時間差あり）
- ・逐次的なルール改正と診療報酬体系の改正

²⁶ 再掲) 篠田英範、遠隔医療システムの現状と将来、課題、Medical Imaging Technology, Vo:16, No.16 , p603-609, (1998)

特に 1997 年以降 2015 年以前の逐次的なルール改正と診療報酬体系改正については下記図 7 の通りであり、2003 年、2011 年にも一部ルールが変更されていない。



出所) 逐次的なルール改正の流れ (厚労省、平成 30 年 2 月 8 日)

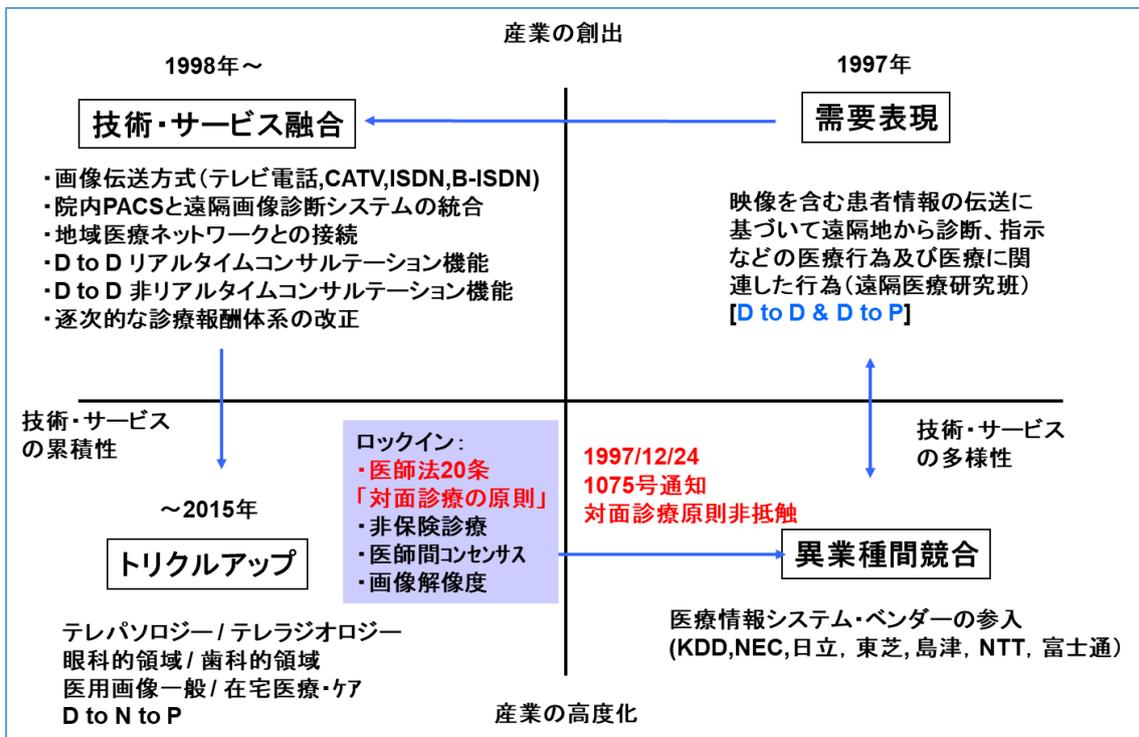


図 7 遠隔医療のサイクル (1 周目)

6.3.2.3 遠隔医療の幅の広がり：第1サイクルにおけるトリクルアップ現象の発生

サイクル論では、技術やサービスの改善によって技術・サービスの高度化がある域値を越すことによって新しい用途が次々と開けていく状態を「トリクルアップ」としたが、遠隔医療のサービスメニューが増えていく状態を見ておきたい。

遠隔医療の実施例としては、「D to D」分野では、①遠隔放射線画像診断、②遠隔病理診断、③聴診、血圧、体重、体重、酸素飽和度、心電図、ピークフローメーターなどの生体モニタリング、④眼科遠隔医療、⑤皮膚科遠隔医療、⑥遠隔妊婦検診（保健師立ち合い）などが実施されている。NTT 東日本が実施したアンケート調査では、遠隔医療のサービス提供開始年である2004年を境に徐々に普及し始め、2015年から2020年にかけて多く、サービスが提供されている（図8 サービス提供開始年）。

一方、「D to P」分野では、⑦在宅医療、⑧遠隔看護などがあるが、普及率は圧倒的に低い。

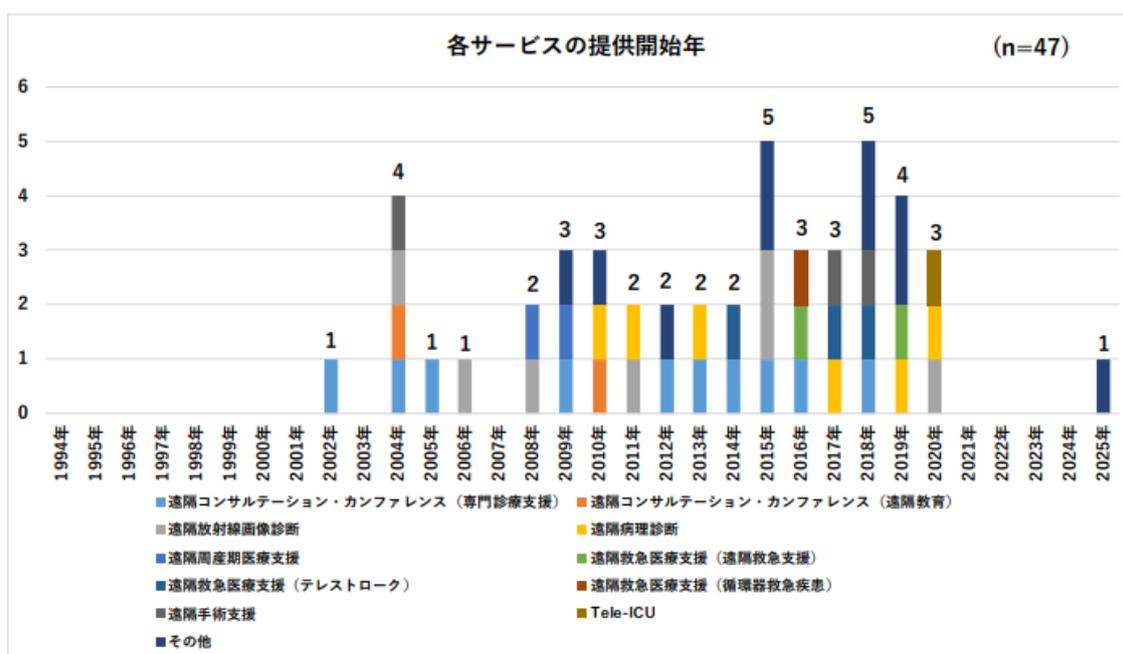


図8 遠隔医療のメニュー毎のサービス開始年

出所) 医師対医師の遠隔医療の実施状況に関する調査報告書(2020年3月31日)(NTT)

平成29年度の厚生省医療施設調査によれば、遠隔画像診断の依頼を受けた件数5万件、依頼を出した件数が22万件と多いのに対して、遠隔病理診断は、依頼を受けた件数が2300件、依頼を出した件数は7千件とすくなく、遠隔在宅診療・療養支援では、総件数で700件と規模的に極めて小さいことがわかる。

件数の多い、遠隔画像診断に限って病床規模別に普及率の2005年～2017年までの推移をみると、2014年までは各規模別にみても一貫して上昇していたが、2014年から2017年の期間はほとんど増加しておらず、普及率には頭打ち傾向がみられる。

表3 遠隔医療の病小規模別普及状況

	総数	遠隔画像診断					遠隔病理診断					遠隔在宅診療・療養支援	
		施設数	診断依頼を受けた		診断依頼に出した		施設数	診断依頼を受けた		診断依頼に出した		施設数	患者延数
			施設数	件数	施設数	件数		施設数	件数	施設数	件数		
総数	8412	1348	712	49031	1310	223112	210	69	2341	124	7282	21	719
20～49床	919	91	17	113	82	3785	6	-	-	4	140	-	-
50～99	2088	301	41	1735	366	28961	23	3	76	21	1429	7	188
100～149	1426	218	68	2594	204	35142	20	-	-	16	329	3	38
150～199	1365	248	62	2777	261	45321	13	-	-	10	1272	4	249
200～299	1114	181	116	8064	174	32851	36	10	590	24	869	2	13
300～399	700	153	199	11308	125	32247	48	8	17	30	954	1	10
400～499	389	72	86	7456	50	24793	21	8	165	10	657	1	115
500～599	168	36	44	2017	28	12009	16	8	70	6	101	-	-
600～699	109	26	38	5426	13	3304	11	9	319	2	1529	1	-
700～799	55	5	15	3324	3	3953	3	3	11	-	-	1	1
800～899	26	10	11	1013	3	632	5	5	989	1	2	1	105
900床以上	53	7	15	3204	1	114	8	15	104	-	-	-	-

出所) 厚生省医療施設調査平成 29 年版 表 J62

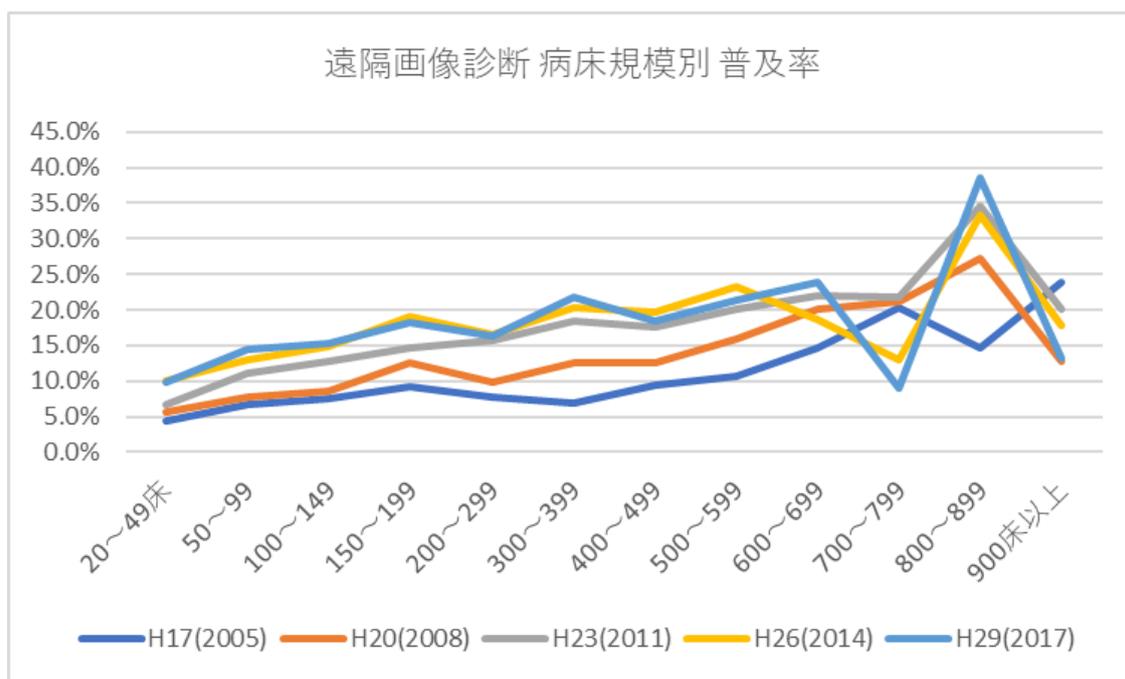


図9 遠隔画像診断の病床別普及率の変遷 (厚生省医療施設調査より筆者作成)

6.3.3 第2サイクル —オンライン診療サイクルの始まりとヘルスケア CPS—

6.3.3.1 技術・サービス複合体のロックイン現象とその解除

「D to D」の遠隔医療は、医療資源の不足と偏在を補う目的での導入が進められてきたが、テレパソロジー（遠隔病理診断）を導入した常勤病理医不在病院では、医療の質的向上と患者の術後の QOL 向上などの効果が認識されているものの、術中迅速診断を病理医が臨場して実施しても、遠隔で実施しても保険点数は同じであるため、経済的なインセンティブは設定されておらず、普及が一定以上進まない原因となっていた。

テレパソロジー（遠隔病院診断）においては設備コスト負担に見合った遠隔診断加算を設定することが必要不可欠であるにもかかわらず、遠隔診療では再診料と処方箋料しか算定できず、実施すると医師の報酬が少なくなる「診療報酬」体系であることが、遠隔診療の普及の妨げとなっていた。

この結果、遠隔画像診断の場合、病床数で 100 床から 500 床くらいの中規模病院での普及率 15%～20%となっているものの、件数的には伸びておらず、医療資源の偏在を積極的にカバーするには至っていない。これを制度的なロックインを見做し、図 10 では「D2D 実施時にも診療報酬上の加算なし」、「遠隔用の設備投資に対する加算なし」としている。また、遠隔医療は離島・僻地とのやりとりに限定しているとの解釈は、地域のネットワーク化の阻害要因となっていた（「適用可能なシチュエーションの少なさ」）。

「D to P」の遠隔診療においては、医療制度上の制約もあり、未だ実験的・研究的位置づけでの運用が多く、試行段階にとどまっていた。遠隔診療の有効性、安全性などのデータの互換性を考慮し、相互に検証できるような研究計画に基づいて実施されているプロジェクトは極めて少なく、保険診療化を実現するには、エビデンスの集積が求められる。そこで遠隔医療のニーズ、安全性、有効性を検証するため、平成 22(2010)年度から厚生労働科学費で研究班が組織され、平成 27(2015)年の報告書では、①臨床研究やガイドライン作り、質保証や医療安全、診療記録管理の取り組みは検討途上であること、②同診療科間連携が主流で、他科専門医と地域のプライマリケア医の遠隔指導の研究事例を見いだせなかったこと、③医師・多職種間の遠隔医療による支援や専門医からの地域への支援のニーズは高いこと、④実施可能な対象行為、請求できる報酬などの詳細情報不足でリスクを犯せないことが多く、立ち上げの支援不足であること、⑤診療報酬としては電話等再診さえ活用が十分ではなく、電話等再診を対象とした有効な対象、安全な実施の手法を示す具体的な遠隔診療指針の作成が必要であること、などの実態が明らかにされた²⁷。

遠隔医療の実現により、患者（およびその家族）あるいは医師（および医療スタッフ）の移動する時間やコストが節減される効果が期待できる。医療機関には遠隔医療設備のコスト負担を要する一方、社会全体としての費用負担は節減されるにもかかわらず、診療報酬体

²⁷ 厚生労働科学研究費補助金 平成 27 年度総括報告書「遠隔診療の有効性・安全性の定量評価に関する研究」研究代表者酒巻哲夫（平成 28 年 3 月）
<http://plaza.umin.ac.jp/~tm-research/pdf/info/TRG20160323-2016SUMMARY.pdf>

系のデザインが追い付かないことが普及を妨げていたが、一連のエビデンス取得も終了したことから、1.1、1.2 で整理したように、一連の診療報酬体系の改革がスタートする。

2015年8月10日の事務連絡では、従来、僻地離島と記載していたのは例示であってこれに限定しないとし、診療対象の限定を解除し、対面・遠隔組合せの場合には初診は遠隔でも可とし、2017年7月14日の通知では、禁煙外来を解禁し、利用可能な情報通信手段の範囲を拡大する。続く2018年4月にはオンライン診療の報酬体系を設定し、コロナ禍の2020年4月にはオンラインのみの初診及びオンライン服薬指導を時限付きで解禁した。これら一連のルール改正により、オンライン診療において患者が関与するプロセス全体（予約、問診、診療、医療費決済、電子処方箋の発行、処方箋の薬局への転送、服薬指導、医薬品の配送手配）がオンラインで実施可能となった。

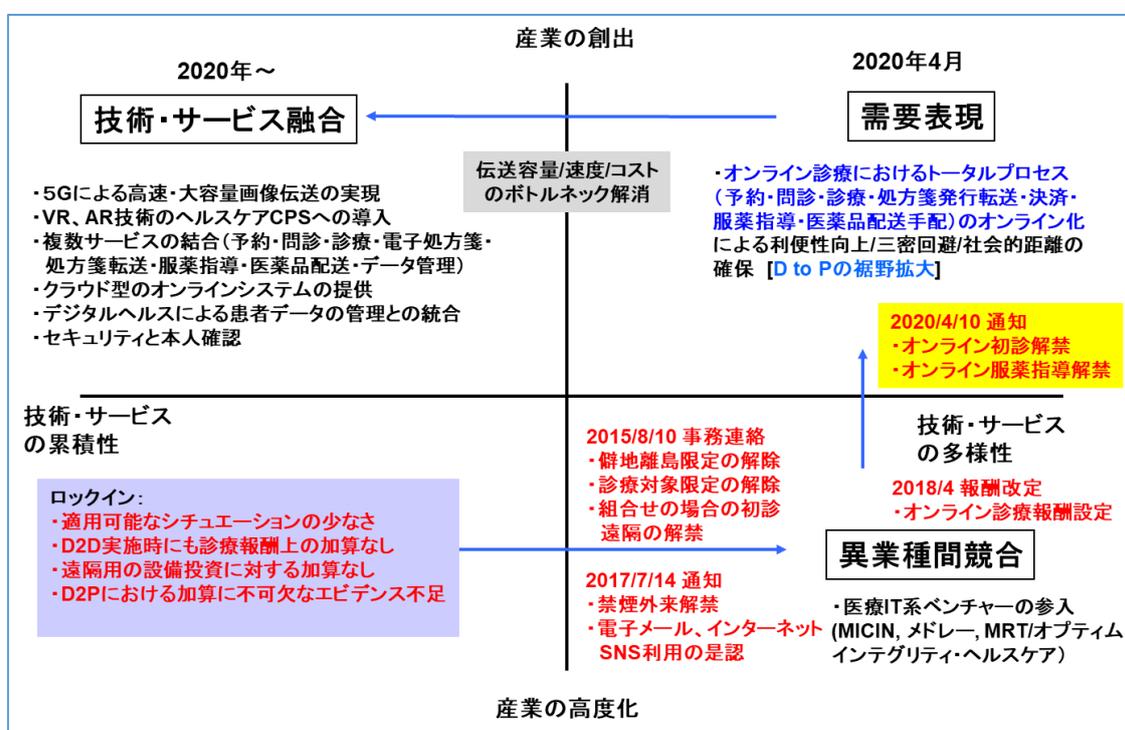


図10 オンライン診療のサイクル（2周目）

6.3.3.2 異業種間競争と新たな需要表現

ロックインの認識は、社会的要請と既に社会実装されている技術やサービスが実現しているものの間に存在するギャップを象徴している側面があり、ある種の集合意識的なところがある。そこからブレークスルーの必要性が認識され、他の技術的な選択肢を取り込む模索が開始されると同時に、技術的・文化的なバックグラウンドの異なる全くの異業種からの新たなプレイヤーの参入が起こり、「異業種間競争」の様相を呈する。ロックインの解消過程においては、産業のベクトルとしては横軸を技術・サービスの多様性を増大させる方向に進

み、複数の選択肢が試されながら、最もパフォーマンスの高い技術を開発したものが、次のサイクルの創始者の地位を得る。

第 1 サイクルの主要なプレイヤーは、電気・通信分野での大手企業で医療情報システムに参入していた企業群であったが、彼らの顧客は地域の中核病院や大病院を中心とした地域コンソーシアムであり、遠隔医療の中でも「助成金を財源とした実証プロジェクトを起点とする委託開発業務の請負が主流であった。しかしながら、設備投資に対する診療報酬体系は不十分な中で、既存の PACS による画像管理の延長線上に大規模な設備投資が期待できないことから、先進ユーザーのみを顧客とする事業にとどまっていた。一方、第二サイクルの主要なプレイヤーは、医療系 IT ベンチャーであり、従来大手 IT ベンダーとの間の「異業種間競争」が始まっている。顧客層も大病院・中核病院ではなく、小規模な診療所を主要顧客とし、システム導入コストを極限まで低くすることに注力しており、薬局との連携、宅配サービスとの連携などトータルプロセスの連結を実現しつつクラウド型でアプリケーションのインストールも不要なケースも多く、大手 IT ベンダーでは採算がとにくい領域を医療系 IT ベンチャーは攻略している。

需要表現としては、株式会社 MICIN のキャッチフレーズ「予約」から「処方箋の配送」までのトータルサポートに端的に表れているが、事例として挙げた 4 社に共通する内容を記載すると、「オンライン診療におけるトータルプロセス（予約・問診・診療・処方箋発行・転送・決済・服薬指導・医薬品配送手配）のオンライン化による利便性向上」ということになる。

6.3.3.3 技術・サービスの蓄積とヘルスケア CPS の始動

第 1 サイクルで課題となっていた通信容量や通信速度は、5G への移行が視野に入り 2020 年以降はボトルネック要因ではなくなった点は特筆すべき進歩である。WEB 上で複数サービス（予約・問診・診療・電子処方箋・処方箋転送・服薬指導・医薬品配送・データ管理）が結合した状態で利用者が使えること、診療所から見ても複数の拠点を統合管理したり、患者データ管理と連動したり、処方箋の薬局への転送処理など、診療所の業務体系の電子化を安価に提供する仕組みがベースにある。

これに追加して、ウェアラブル機器、ヘルスケア機器から取得される高画質の映像や画像、各種センサーから得られるバイタルデータを共有することで医師は相談者の状態を詳細に把握することができるようにするなどの工夫も一部のシステムでは実現している。VR 技術、AR 技術は、医療業界向けの遠隔教育ソリューションとしても有効であり診断・治療だけでなく、手術手技のトレーニングなどにも応用されていくものと期待されている。

慢性疾患管理（心血管疾患、てんかん、聴覚障害、呼吸器疾患など）のための遠隔医療システム、薬物摂取管理サポート、遠隔ホームケアシステムは、全てサイバーフィジカルシステムとして解釈できるものであり、結核管理をサポートするためのモバイルヘルスシステム、マルチ通信リンクを備えたモバイル遠隔医療システム、および小児疾患の統合管理をサ

ポートするためのタブレット PC とスマートフォンベースのシステムなどに発展している。ヘルスケアアプリケーション向けのサイバーフィジカルシステムは、オンライン診療と相性のよいアトピー性皮膚炎や喘息などの慢性疾患から順次、疾患別の疾患管理プログラムとして、対面とオンラインを併用しながら、更には民間保険による特約契約との連動しながら、発展していくものと予想される。

6.3.3.4 アプリケーションの高度化とトリクルアップ

規制緩和による発展が予想される「D to P」におけるオンライン診療の発展は、「D to D」における遠隔診療の発展にも影響を及ぼしていくことが既に予想されている。2017年1月に開催された中央社会保険医療協議会では、オンライン診療との適合性が高い遠隔診療形態の7つのパターンが例示されている（表4）。これらは、「D to D to P」や「D to N to P」の形態を含みつつ、医療資源の不足と偏在をカバーするためにオンライン CPS 医療として、更に診療報酬体系の柔軟な設計を合わせて進化していくものと期待され、新しい技術を利用することは続くものの、オンライン診療、遠隔診療は、技術開発的な側面よりも、社会制度設計、サービス開発、保険商品開発、診療報酬体系の変更といったサービス開発的な側面が強いことから、ここしばらくは、トリクルアップが継続していくものと想定される。

表4 遠隔診療の7つの形態モデル

	モデル名称	説明
1	専門的診療支援	テレラジオロジー、テレパソロジー、ホルター心電図解析など、特定領域の専門家に専門的診断を委託するモデル（DtoD）。異なる専門領域で診断能力の差が大きく、依頼者が提供者の能力を修得することは必ずしも狙わない
2	救急医療支援	救急医療の場で、当該医療機関に搬送された患者の治療を当該医療機関の緊急医が診られない場合の各種支援（DtoDtoP）。二次搬送トリアージ、二次搬送しない場合の治療指導などの事例がある
3	在宅医療への適用（ケア）	在宅医療の患者に、訪問診療の間に遠隔診療でフォローを入れる。訪問看護師の訪問日など、患者側に医療者がいれば実施するDtonotP / DtoDtoPなどがある 対象者は在宅医療の患者だけでなく、一般的患者への診察もあり得る（DtoP）
4	専門医の支援、現地研修（同科支援）	医師不足病院に、研修医の診察もしくは専門領域が異なる疾病の患者診察を行う場合、専門診療科や大学医局から支援を行う場合。同診療科・医局内支援でDtoDtoPを実施する場合や遠隔カンファレンスなどの形態がある。異科支援の場合は、へき地医療などで「依頼者の診察能力向上（支援を受けずに診察する能力の習得）」を目指す場合を含める
5	慢性疾患の重症化予防	心臓ベースメーカー、喘息患者の呼気量、慢性心不全患者の血圧・体重など、モニタリングして日常の指導や早期通院・入院による「再入院抑制」「増悪抑制」を行う
6	健康指導・管理	保健師などによるモニタリングでの健康指導、メールやテレビ電話による特定保健指導、重症ではない患者への診察による重症化予防。老人ホームなどの入居者を病院から管理するケースなども考えられる
7	地域プライマリケア支援（専門診療＝他科支援）	総合診療医（相当）が、他専門医のバックアップを受けながら、離島・中山間地やへき地での診療を行うケース、他科専門医が地域看護師を指導して診療する場合も含める。日本国内での実践例は少ない

出所) 2017年 中央社会保険医療協議会総会資料より作成

6.4 おわりに

本稿では、医療のオンライン化が医療に根本的な変革を促している現状を体系的に分析

するため、地方における医療資源の不足を偏在を解消したいというニーズがルールを変更させ、さらには都市部におけるオンライン診療ニーズへの対応から新たな活動空間（マーケット）ができあがり、コロナ禍による二次感染の防止が完全なるオンライン診療を実現させた状態を、「産業創出—技術進化サイクル」を一部修正することによりその過程を描くことを試みると同時に、オンライン診療・遠隔医療を **Cyber Physical System (CPS)** として捉えなおすことで、その技術発展を従来とは異なる観点から解釈を試みた。

（担当：加納信吾）

第7章「IOTが機能しない分野」と「IOTが機能する分野」をめぐる考察

7.1 農業分野

農業分野で考えると、ビニールハウス内の温度、湿度などの自動管理、水田の水量調整などは、既に実施されている。これらはいわば単品の IOT といえる。

これを IOT 的に飛躍させると、多くのビニールハウス情報を Cloud に上げ、片や天気予報から得られる情報をもとに、当該ビニールハウスに最適な管理を最適なタイミングで自動的に行うことによる省力化、収量の最大化を多くの実績から判断し、実施する。この収量最大モデルは一農協の領域を超えて広く普及させることができる。

ここでは温度、湿度、水量だけを例示しているが、最適肥料の選定、その配合方法なども可能であるであろう。

さらに災害時の対応についても、必要な資材の量、普及に要する期間、費用の概算などを素早く提供することが可能となろう。

次に畑作物ものについて考えると、長年の経験から対処しており、ほとんど IOT 化できそうにない。大型の散水装置が設置されているが、稼働が自動化されているようには見受けられない。植え付け、施肥、害虫の駆除、収穫などは個別の農業者の判断に委ねられている。この過程で農協の情報は助けになっている面はあろう。

アメリカの大農経営を思い浮かべると、IOT 化しているとは思えない。

IOT 的に数値管理された「野菜工場」が一部の高級野菜についてかなり普及しているが、どこまで普及するかは、疑問であり、まだ限定的であろう。

7.2 建築業

そもそも建築は顧客の「注文もの」であり、IOT に馴染にくい。

住宅については、一般にはモデルから選択するが、細部は顧客の注文となる。勿論、ドア、窓枠、パネルなどの Parts については、部材リストなどから選択するがこれは IOT とは呼べない。いわゆる、「プレハブ住宅」は、生産工場で量産し、建築現場は人手で処理するが、Parts の中から施主が選ぶもので、上記に同様であり、「プレハブ住宅」は次第に減少していくであろう。

プレハブは、住宅に限らず、事務所・倉庫・作業場などがあるが、これはいわばドンガラに近く、汎用性のあるモデルで勝負できる。しかし、これを IOT の観点から見ると、それ程トータルな数量は多くなく、IOT 効果は少ないのではなかろうか？

唯一例外は、いわゆる公団住宅的なもの、公団住宅・団地アパートであり、統一企画で建築後、販売される。これは画一的な大量生産型の住宅建設であるが、今や下火であろう。人口減の時代がさらにこれに拍車をかけることになる。

都会ではマンションが今や主流であるが、一棟 50~100 戸を超えるものでは、備品 Parts のあり方は、公団住宅の高級版としてある程度の既製品の取り付けとなろう。これを嫌う日本人は特注品を希望することとなり、IOT ビジネスからは離れていく。ビジネス用ビルの建築も同じようなものであろう。

7.3 土木工事

ドローン撮影による土量の推定が行われ、これをもとにブルの無人運転が行われている。これを IOT 化というであろうか？

類型化が期待できないこの分野の IOT 化は難しい。

7.4 国民生活分野

人手不足が急速に進む中で、IOT で取り組むにも、国民生活分野というものは多様化していて、しかも個々の作業量は「マス」ではない。

例えば、料理、洗濯、掃除の IOT 化は高齢化が急速に進むわが国ではこれらの IOT 化ニーズは年々高まっていく。

しかし、先年 CEATEC に展示された全自動洗濯マシーンは、一つの方向、試みを示唆していたが、終了後の（棚への）かたづけ（折り畳み）が課題。サイズからして家庭用ではなく、業務用といえるものであった。

料理については、インターネットで注文し取り寄せることは可能であるが、どれだけの広がり、選択肢があるのか。この分野は需要の広がりがある範囲に封じ込める形で進展が期待できる。料理の IOT 化は、素材の選択、加工方法、味付けなどの幅広い選択肢を考えると、興味深い分野である。

掃除については、お掃除ロボットが動き始めているが、人手とロボットの競争は未だ勝負になりそうもない。掃除の対象(建物の中の構造)が、多様化している中でなかなか IOT 化は困難が予想される。指示を待たずに必要性を判断することがもとめられるか。

その他の国民生活分野の課題

介護ロボット：老人ホームでのお手伝いなどある程度ロボットの活躍の余地のある分野。課題は物でない個体差が大きく、かつ、意思のある 文句も言う人間を扱う難しさがある

看病ロボット：孤独な老人の話し相手をするロボットなど。老人の体調の変化を察知したり、病状の判断とこれについての必要な連絡ができるなどの確な対応が期待できる。

お散歩ロボット：「犬を連れてくる散歩」に代わりロボットがお散歩のお供をする。安全の確保・確認が課題

見方を変えて国民生活への IOT の生かし方。

今の生活習慣のままで IOT 化は無理なら IOT 向きに生活を変える。いわば、IOT と

IOT 化しようとする活動との歩み寄り その結果効果大となれば被 IOT 化活動から歩み寄りのインセンティブが働くことになる。

7.5 顔認証技術にみる IOT と個人情報の Privacy 議論

顔認証はわが国が (N 社) 目下リードしている技術で、毎秒 2 億 3000 万件を識別することが可能であるという。この分野は IOT の応用分野として、その正当性、他に比べることのないスピードにより、単に個人の識別だけでなく、セキュリティ、決済、マーケティングにひろがり、さらに将来ヘルスケア分野へ応用が期待されているが、それに伴う課題として Privacy とのバランスが求められる。

顔認証技術で、わが国に迫る中国では全人口約 1.4 億人の顔認証を行い国家の管理下に全国民を抑え込んでいる。勿論旅行者として入るわれわれについても同様である。これを生かして IOT 処理され、様々な加工がなされているであろう。

わが国でも通関の際にパスポートとの突合手段として取られる顔の映像はビッグデータとして国に保存されている。さらに運転免許証取得に際しても、写真と顔映像の確認が行われている。これらのビッグデータ保管、活用にあたっては、本来この種のデータに関する基本原則である当該個人の承諾が前提となるが、これなしで流用、流布されるおそれがあり、Privacy 議論が軽視されていないか議論を深めなくてはならない。

これに身体等の特徴を加えると、ますます個人が特定される 犯罪予防・捜査への活用が可能となる。

アメリカの著名なシークレットサービスでレーガン大統領を救った男といわれる Jerry Parr 氏の著書「シークレットサービス」(中央公論新社)によると、「加害者の見分け方の基本は群衆の中においてその場に溶け込まない顔の向き、目の方向から判断する」という。

7.6 自動車生産に代表される工場生産と自動運転技術

自動車はフォード社の T 型にはじまる大量生産品の典型であり、時代とともに自動化という観点からみると進化している。ベルトコンベアー方式あるいは動く生産ラインで IOT 化は、生産性の向上、コスト削減競争から日進月歩である。

この分野については、個別の顧客の希望に如何に添えるかが今や勝負どころであるが、一方で国際市場からくる合理化競争のため、ほっておいても異業種との連携をはじめ IOT 化は進む。

自動車という物の製造から離れ、その利用・運転支援となると、完全自動運転に向けて現在の Level 1 から Level 5 までのチャレンジが続いている。これは Risk とコストの均衡、外部条件としての交通法規制との関連を図りながら、IOT 化が進んでいくことになる。

自動運転を突き詰めていくとその究極は無人運転であろう。人手不足はそれを促進する要素だ。

小型バス； 町に敷かれた線の上を走る 昔の路面電車の小型・無人版と考えればよい。それが進化すると予定された道筋ではなく、空からの指示=Needs に応えて動くことにつながるか。

乗用車について；エンジンは部品生産の約20%という。エンジン技術を中心に競ってきた自動車メーカーは、エンジン無しの車となると、新規の参入が容易になる、言い換えれば、参入障壁が低くなる。既存の Car Maker だけでなく「動く箱」（運転しないで遊び部屋などが動く）で競う。新しいメーカーが参入、たとえば、電動モーター企業の参入が始まってくるのではないか。（テスラ、dyson などの参入はその例か）

「空飛ぶ車」は、自動操縦で指示された二地点間を飛ぶ、あるいは、自分で行き先を検索して飛ぶ、安全さえ確保できれば、地上より導入は早いかもしれない。

これらの動きから自動車産業の構造改革の足音が聞こえる業界の変革とは、既存自動車メーカー率いるピラミッド型産業構造の消滅となろう。

7.7 IOT と生産性向上策=人手不足対策としての IOT

事業全体ではなく、ある作業分野について IOT で対応しこれをコネクトする形で事業全体の全体の効率を上げる事例は、農業分野、家庭内作業など前述の通りである。

IOT が機能しない分野の生産性向上策-IOT 以外の方策とは単品 IT または人手に頼ることとなるが、その分野がいわば後進分野として残ることになる。これは社会的必要性の有無により、淘汰される。

他方、国際競争にさらされない分野=市場が国内に限定されている分野には、新規技術の導入=IOT の導入のインセンティブが働かない。合理化から取り残される分野についてその認識がない。これに気づくとしたら、生活保護費、社会保険料の増額の必要性による社会的コストの増額からであろう。

7.8 IOT が得意な分野

膨大な資料の活用・整理 - 例えば、医療分野のカルテ これを個人情報にあたる部分を削り集めることにより、IOT 処理により、同種の病状に対する診断の比較検討が可能となり、辺境の地、あるいは無医村で大都会の名医の診断結果を生かすことが可能となる。

その前提としては、処理しやすいようにデータの整理をするフォームの統一、カルテの形式、様式の統一が求められる。

某病院では己の電子カルテを類似の病院と共有する構想に参加すると、なにがしかの協力金（6000万円？）支給されると聞いているが、それから先これをどのように生かしていくかはまだ決定されていない。しかし、こういう動きがようやく緒についてきている。

7.9 家計の合理化への IOT の活用

あるグループに属する人々について、IOT による合理的な家計の審査を家計簿の自動記載から始めることは可能であろう。

限られた収入を如何に合理的に支出するかについて、例えば、食費、住宅費、公共料金、被服関係費、医療費、教育費、娯楽費、雑費、貯金等に分類して区分し、理想的な支出モデル（家庭画報などの主婦向け雑誌にある）から判定され、これを参考にして行動する。

さらにこの延長線として、これらのデータを活用し、家計動態調査に利用することが考えられる。さらに、消費動態調査、消費者物価指数の動態化が可能となる。その前提としては、町ぐるみ、県単位など多数の原データが活用されることが求められる。

7.10 IOT を組み上げるために必要な人材

IOT をまとめ上げるにはそれに携わる人材が求められる。

どのようにして必要な人材を確保するかは大きな課題である。これはひいては産業の国際競争力に関係して来るし、また、先進国はこの分野を通じての国際協力としてのいわゆる“Capacity Building”が進めることが求められる。

7.11 どこまで人手を省き機械でやれるか？

例えば、木工加工、陶器製造などの作業現場を考えると、定型的作業（ろくろ回し）は機械にまかせるとしてもその作業と作業をつなぐところは IOT が入り込むのは難しく、人力が必要でありここに「技能」が働くことになる。

また例えば、歯科の治療の IOT 化はどこまでできるか？ おそらく検討の入り口から断念することになるろう。

なぜそのようなことを考えるかという、近未来に間違いなく到来する人手不足への対応である。取り敢えずは、価格メカニズムが正しく働くなら、給料の増額による人手不足解消ということになるが、その先は、人手市場の国際的開放となるであろう。その際に賃金と機械の導入とのコスト比較となるろう。

7.12 何のための IOT か IOT と生産性向上

IOT により当該分野についての生産性向上がなされるとした場合、残りの分野はどうするか？

IOT化ができる分野＝これを「Parts」としてこれを限りなくつないでいく、コネクトしていく。

これにより、IOT化が可能な分野とIOT化がうまくいかない分野をつなぐことにより、全体の効率化が図られることが期待される。

IOTを使える分野・部門だけ使い、これをコネクトする＝IOTをつなぐ網のようなもの＝網状のネットワークの形成が考えられる。「Parts」のコネクトでカバーするとすると、このコネクト技術が新たな開発期待分野となる。

ところで、IOTがこれほど素晴らしい技術とすると、その技術の汎用性が期待される。

IOT技術の活用と個人との接点が次の課題となる。個人が自らを起点として上記のネットワークを組み上げていく姿は新しい時代の幕開けになるかもしれない。

7.13 IOTが機能しない分野の特長＝IOTが機能する分野の裏返し

上記の観察から、「IOTが機能しない分野」とは、「IOTが機能する分野」の、いわば裏返しである。

前述7.8の「IOTが得意とする分野」をベースに「IOTが機能する分野」の特徴をあげれば

- * 電子的に処理された膨大なデータがあること
- * それを加工することに価値があること
- * 様々な切り口から加工することが可能であること
- * 人力(手作業)＝人海戦術では到底処理できないこと
- * いわば無機質データから分析により有機質のデータを生み出すこと
- * 個々のデータの秘匿性が守られていること

これらの条件を満たす分野以外の分野は、「IOTが機能しない分野」と考えられる。

これのポジリストでざっくり整理を試みるに、

- * ニーズが多様化している分野
- * いわゆる「マス」でないこと
- * ここに切り込むことの必要性の有無

ということになるろうか。

IOTによる変革の必要のない分野とは、どういう分野か？

例えば、国際競争のない分野 ＝ 進化しにくい分野

IOT化の限界の見極め；人間生活の中でIOTを活用できない分野とは、いわゆる合理化から、取り残される分野 既述の国民生活のほか、教育分野、かなりの医療部門などなど

7.14 伝統工芸品=匠の技と IOT

一見両極端。しかし、匠の技を分解していき、作業の Parts に分けると・・・
無数の技の中から選び出して並べ直すと…IOT 化ができるか？

7.15 現下の課題への活用

世界的に拡大している新型コロナウイルス対策への対応は可能であろうか？
今や全世界で 1.4 億人(2021 年 3 月段階)に拡散しているこの病原を世界規模で収集し、これをできる範囲で各国ごとに組み上げる。感染から発病までの症例データを収集し、そこから発病状態に応じた対処策について、新薬の活用を含めて Discussion の交流が行われることが期待される。

これこそ IOT 技術が生かされる局面であろう。

(担当：岡松 壯三郎)

第8章 Integrity から Modularity へ、そして Connectivity への変遷

8.1 時代背景

高品質・高機能の製品群で、1990年初頭まで高い国際競争力を誇っていた日本のハイテク企業は、1990年代後半になるとその競争力が突然に失われた。その背景には何があるのでしょうか？

8.1.1 Product Integrity の時代

日本の競争力が頂点に達していた時代の中心的概念は、どのようなものであったか？製品がシステム化するにつれ、部品間の擦り合わせが重要となり、「Product Integrity」(製品統合性)が技術の中心概念となった。その理由を考えると、アナログ技術が技術ベースであったからである。

しかし、技術体系の変化は、技術システムの部分的なデジタル化からシステム全体に及んだ。それと同時に、システムの複雑性が一段と進展した。その進展により、fit-and-finishにより、システムのインテグリティ(integrity)を担保することが困難になった。そこで、このシステム複雑性を克服する方法論が模索されるようになった。

8.1.2 モジュール化(Modularity)の時代

複雑になったシステムの設計方法として、モジュールに分割するという方法が進展した。モジュール化の設計概念が浸透してくると、主要な構成部品システムが構成モジュールに変化し、設計業務においても、アッセンブラーから主要部品メーカーへのアウトソーシングが行われるようになった。その結果、垂直分業から水平分業へと産業構造が変化した。これは、コンピュータ産業で始まり、ほかの産業にも波及していった。

この構造変化で国際競争力を一挙に失ったのが、PCに代表される電子産業であった。すなわち、垂直分業から水平分業に、PCの産業構造が急速に変化したのである。これは、米国のIBM社においても当てはまることです。

「ハーバード・ビジネスレビュー」は、産業界と学術界の双方に対して、世界で最も影響力を持つ雑誌の一つと言って良い。そのタイトルの変遷をみると、モジュール化に向かう研究動向をうかがい知ることができる。一例を挙げるならば、ハーバード・ビジネススクール校長のKim Clark(当時)はハーバード・ビジネスレビューにおいて、1990年には、「Power of product integrity」というタイトルの論文を出したが、1997年には「Managing in the age of modularity」という論文を発表するに至った。つまり1990年には製品Integrity(統合性)の重要性を主張していたが、97年にはModularity(モジュール化)の重要性へと主張を大きくシフトさせた。統合性からモジュール化へという論点のシフトは、当時、世界の産業界でモジュール化が大きな経営課題として台頭していったことを表している。要

するに 90 年代、世界の潮流はモジュール化に向かったのである。この流れに、日本企業が気づくのが遅れ、実装はさらに遅れたと言えるのではないだろうか。

事実、米国の 1980 年代の最大の関心は、日本によって提起された技術的リーダーシップ喪失の問題であった。いわゆる、「日本の挑戦」に対する米国の官民をあげての対応が盛んになり、この対応を政府間交渉でやるのではなく、自由な意見交換を基にした「知的な学習」により実現しようとした。そこで、米国の科学と工学の両アカデミーの提案に基づき、日本学術振興会の中に、第 149 委員会（「先端技術と国際環境」）が設置された。筆者は、日本側委員会の幹事として、その後 15 年間（1984～2000）にわたって日米対話に、直接的に参加することとなった。しかし、2000 年 3 月に発刊された報告書の執筆のために行われたインタビューでは、米国側議長を務めた H. Brown 博士は、「米国側が多くを学んだが、日本側は自己変革するのに失敗したのではないかと総括した。日米対話の初期における米国側の最大関心事であった競争力の問題は、対話の期間中に起きた日米経済の変化により、沈静化してしまった。「情報技術」の応用が、米国において、遂に、生産性の上昇に結びついたのである。

しかし、このモジュール化の動きは、自動車産業の競争力においては、電子産業ほどに決定的ではなかった。主要部品における「エンジン」のモジュール化がそれほど容易ではなかったからである。しかし、日本の自動車産業は、このモジュール化の潮流を用心ぶかくマネージして、国際競争力が強くなるという結果になった。

8.1.3 Connectivity の時代

全ての分野において、モジュール構造化が構築されると、次のステップに移行する。それは、それぞれ独立した形で構築されたシステムの間でコネクティビティを構築することが全体最適化に直結するようになる。それぞれ独立に構造化されたモジュール間にユニークな「連結性(Connectivity)」を創出し、その結果が、新しいビジネスモデルを作り出すようになった。

このコネクティビティの技術機会を取り逃がしたのが日本産業にとって致命的であった。わかりやすい事例は、ファクシミリで断トツの競争力を誇示していた日本産業は、インターネットの出現により、電気通信における競争力を一挙に失った。原稿執筆から送信へ、受信した情報を基に新しい情報を付加して、それをさらに送信するという一連の行動に、一貫した連結性が実現されたからである。昨今のコロナ危機では、ファクシミリ通信に依存していた一部の行政機関が、コロナ感染数の全国集計に大幅な時間遅れを生じさせていた。日本のシステムがこの連結性欠如していたことを如実に世間に知らしめることとなったのは、依然としてまだ記憶に残っている。

もう一つの典型的事例は、アップルを創業したスティーヴ・ジョブズに関するものである。Walkman から iPod への移行である。一曲ごとに、購入し、その段階で、著作権の決済を済ませ、自分独自のコレクションを編集するという一連の連結性は、インターネットを介入

させない、Walkman では、実現できなかったのである。続いて、ジョブズは、iPad 技術を市場に導入した。これは液晶画面に、「指タッチ」で操作すると、作業の一連の流れを、一挙にスムーズにするという商品開発であった。すなわち、Connectivity の勝利であったのだ。事実、ジョブズの言行録 (His Own Words and Wisdom, Cupertino Silicon Valley Press @2011) によれば、「Creativity is just *connecting* things.」(独創性とは、物事を連結ことに他ならない) と語ったという。以下に引用すると、

When you ask creative people how they did something, they feel a little guilty because they didn't really do it, they just saw something. It seemed obvious to them after a while. That's because they were able to connect experiences they've had and synthesize new things.

ということである。

8.2 技術的背景

上記に述べた大きな変化を引き起こしたのは、2000 年直前に、突如登場したインターネットの急速な普及に他ならない。そこで、インターネットの誕生の経緯を以下に記述する。そのコア概念は、Connectivity(連結性)であることが明らかになる。

8.2.1 インターネットの誕生

パケット交換方式: 電話は音声信号をアナログ式で伝えるために、何回も中継を重ねたりすると、信号の波形が崩れてしまう。そこでアナログ方式の代わりに、デジタル方式が採用された。信号をいくつかのブロックに区切り、それぞれ独立に別個のルートを通じて目的地まで伝達し、到着地点で各ブロックを集めて元の信号に組立てるという方式が可能になった。

「分散型」の通信手段: この「分散型ネットワーク」の出発点は「核戦争」への対策であった。米国は、冷戦時代の初頭に、核戦争が起こって都市が破壊されても「サバイバルできる通信システム」(survival communications) を作ろうとした。パケット交換方式は、各ステーションをネットワークで結び、いくつかの中継点が破壊されても、信号が自動的に「迂回路」(distributed routing) を探して目的地にたどり着くような「分散型」の通信手段を提供することになった。一つのブロックを 1024 ビットの大きさに区切り、各ブロックの中に宛先と差出人の情報を書き込むようにした。バランはこの考えを 1964 年に『分散型通信について』という報告書に書いて提出した。

タイムシェアリング: 英国の国立物理研究所のデービス(Donald Davies)は、コンピュータに遠隔からアクセスすることができるような技術を開発しようとしていたが、そこで、米

国のバランの研究を知るようになる。バランのパケット方式の通信は、実はコンピュータの OS の技術と密接な関係をもっていた。処理する時間を小分けにしながら実行する「タイムシェアリング」という方法が OS 技術として登場していた。バランの分散型のデジタル通信方式は、この OS 技術とうまく結びつくものであった。デービスは英国政府の後押しもあり、コンピュータをつなぐネットワーク技術の実験を行なっていたが、不況の影響もあり大規模な実験は断念せざるを得なかった。

ARPANET：米国では、国防総省の下に ARPA (Advanced Research Projects Agency) と呼ばれる部局が 1957 年に設けられた。この ARPA は、1970 年まで、研究所におけるコンピュータのタイムシェアリングの種々の研究プロジェクトを支援していた。その結果、最初の大規模なパケット交換方式のネットワークは、この ARPA により構築されることになり、このコンピュータを結びつけるネットワークは「ARPANET」と呼ばれることになった。

電子メール：ユーザーによる利用目的の変更：ARPANET の開発には、大学研究機関と企業であったが、各大学のコンピュータ学科の研究者や大学院生からなる開発グループも参加した。ARPANET の目的は、貴重なリソースのシェアリングであり、研究者が希少資源と考えられていたコンピュータにアクセスできるようにすることであった。しかし、皮肉にも、研究者は自分のところに、コンピュータが豊富で恵まれており、計算自体では困ることはなかった。そこで、ARPANET のユーザーは、ネットワークの新しい使い方を思いついた。それが「電子メール」であった。

8.2.2 ビジネスモデルの創出

上記のインターネットの紆余曲折をまとめた、Janet Abbate 著の「Inventing the Internet」(The MIT Press, 1999) は、「コンピュータ技術の変遷は劇的であった。コンピュータはもともと単体としての計算器 (an isolated calculating device) として開発されたが、コミュニケーションの手段へと生まれ変わった (reborn)。コンピュータが珍しく、高価で扱いにくかった時代には、これをコミュニケーションの手段として使うなどということは想像もできなかった」で始まり、「大きく変化してきたインターネットの歴史の中で、唯一『変わらないもの』(constant) があつたとすれば、それは『驚き』(Surprise) である。システム開発者にとって全く想定外の出来事が、繰り返し起こり、ネットワークをどのようにして使いどのように理解すべきかについて、根本的な変化を経験した」と総括する。

この「驚き」こそ、今で言う、「ビジネスモデル」の創出のことである。この PC がインターネットの導入により、ビジネスモデルの「連続的創出」という結果をもたらすことになった現象を、実証分析するため、PC 出荷台数の市場成長曲線に分析を加えた。上限値が変化するロジスティック成長曲線を当てはめた。その結果は、下図に示すように、上限値がロジスティック曲線に沿う形で、連続的に成長するという結果になった。

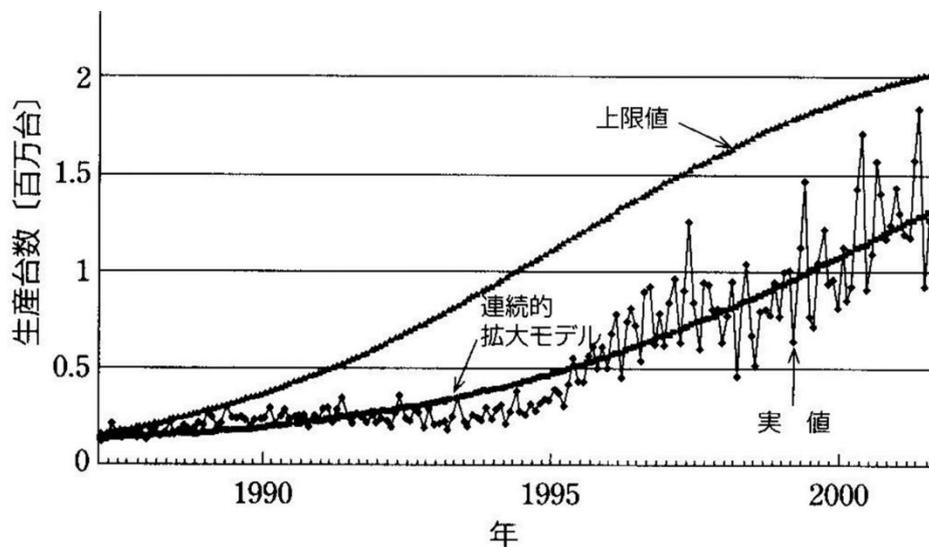
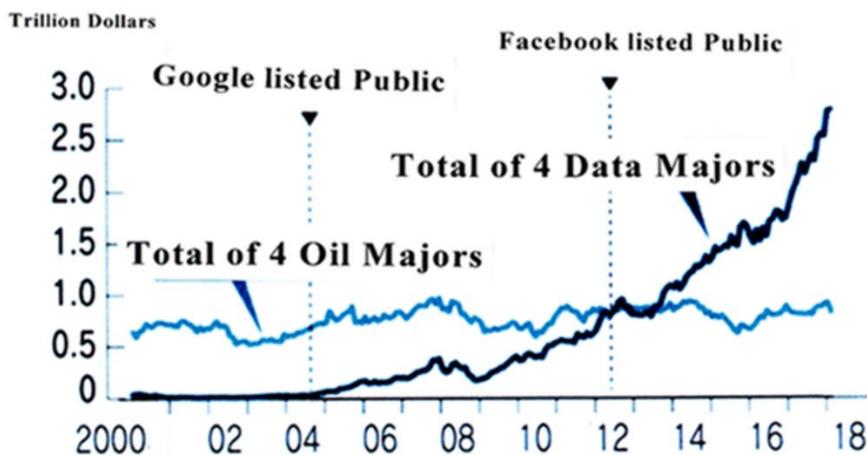


図 3・12 パソコンの市場成長へのモデル適用

すなわち、この上限値の成長は、インターネットが次々と新しい Connectivity を生み出し、これが、新しいビジネスモデルを創出していったことに結びついたのである。「Connectivity = ビジネスモデル」、という等式が成立する時代になったのである。その結果、GAFA と呼ばれる巨大 IT 企業が次々と誕生し、インターネット以前の産業の主役であったオイルメジャー4 社の時価総額を、インターネット後の GAFA のデータメジャー時価総額が、下図に示すように、2015 年に追い越し、両者の差はますます拡大していつているのである。



8.2.3 第4次産業革命

インターネットが持つ Connectivity を高度に利用して、IoT(Internet of Things)システムが構築され、生産現場でも、新しいビジネスモデルを創出され、産業技術革新の主役の躍

り出ていったのである。ITU (International Telecommunication Union)によれば、IoT の定義は、「物理空間とサイバー空間を『inter-connect』することにより、新しい高度なサービスを創出する世界のインフラ」ということにある。

もう一つの明確な動きは、2013年に、ドイツの科学工学アカデミーが提唱した、「Industry 4.0 (*Industrie 4.0*)」と表現される、第4次産業革命の兆しが出現していると主張した。Industry 4.0を提唱したのは、ヘニング・ガガーマン(H. Kagermann)であった。しかし、彼の最初の出版は、ハーバード・ビジネス・レビューの“Reinventing your Business model”という、破壊的技術を提唱したクルステンセン氏等との共著論文であった。このことは、ガガーマンが主張したかったのは、IoTの導入により、産業界に新しい「ビジネスモデル」を導入することが可能であるとするものである。以上の経緯を、総括すれば、connectivityがビジネスモデルに結びつくのは、IoTを経由することに気づくのである。すなわち、インターネットにより可能になった connectivity が、生産における IoT を可能にし、その結果、新しいビジネスモデルが世の中に出現するようになったということになる。

この大きな潮流は、近代史の技術的な主役を演じ続けた自動車産業にも大きな変革をもたらしている。製品としての自動車がモジュール構造に変身するのに最大の障害となっていた、基本的にはアナログ的製品である「内燃機関」が、電気モータに置き換えられるという事象が進展してきている。その結果、自動車全体が完全なモジュール構造になることが現実化しつつある。その結果、自動車産業においても、Connectivity が中心概念になりつつある。IoT への流れでは、Maas(Mobility as a service)が大きく取り上げられ、日本ではトヨタ自動車がスマート・シティへの大規模な実験を始めた。

8.3 まとめ

20世紀の後半から部分的に顕著になってきた Digitalization の動きは、21世紀に突入すると、世の中のすべてに浸透することになった。デジタル化が世の中のすべての局面に浸透すると、技術開発の中心課題は、システム間の Connectivity を見つけることに推移してきた。すなわち、20世紀の中心課題であった Demand articulation (需要表現) に代わって、Connectivity articulation が中心課題になってきた。この観点から、前章までに記述されたものから、Connectivity articulation について、いくつかの事項を列挙してみる。

—スマイルカーブという経験則を前提にすれば、材料技術や製造装置に競争力のある日本産産業を CPS の川下レイヤーに結びつける、connectivity articulation 活動が必須ということにある。

—どのような政策と産業組織が、今後主流となる「産業の servitization」への connectivity articulation の主役を受け持つのか。

—IoT プラットフォームからのエッジ領域への connectivity articulation はどのような形で

進展するのか。

－AR/MR が CPS の主役になりうるには、どのような connectivity articulation が必要とされるのか。

－建設業の IoT を導入するような connectivity articulation には、どのような企業形態が必要となるのか。

－ヘルスケアにおける CPS を実現するための connectivity articulation はどのような形で行われるのか。

－IoT を機能させるための connectivity articulation とは、どのようなものか。

(担当：児玉文雄)

おわりに

以上は、CPS の観点から、日本産業の国際競争力について、検討した。その結果、日本が CPS のインテグレータとして国際競争を勝ち抜くことは、困難であるが、CPS の素材・部品技術としての競争力は依然として強い産業や企業が存在していることが明らかになった。これを仮説として、2021 年度は、CPS 時代の日本産業技術の世界市場における「生き残り戦略」シナリオの構築を試行する計画である。