2019 年度 産業と技術の比較研究 報告書

> 令和2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 東京大学大学院准教授

委 員 柴田 友厚 学習院大学教授

委 員 馬場 康志 昭和女子大学講師

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、IoT(Internet of Things)が IT(Information Technology)と本質的に、どのような違いがあるかを研究してきた。本年度からは、IoT 導入の最終的目的は、新しいシステム、CPS (Cyber-Physical-System)の構築により、第 4 次産業革命を成し遂げることになるという仮説を検討することに焦点を合わせることにした。そこで、この仮説がどれくらい成立するのかを、様々な業種について、多面的局面から、新たな分析を試行した。具体的な検討項目は、以下の通りである。

- デジタル化から CPS の成立に至る進化経路に法則性はあるか。
- 日本が想定する CPS の進化経路(高度自律化)の問題点と、その解決策はなにか。
- CPS を分析するための有効な概念は何か
- 建設産業は受注競争産業かつ設計・施工分離で、CPSプラットフォームは可能か
- GPT (汎用技術) がもたらすビジネスモデルの転換は日本の産業界でも観察されるか
- IOT や CPS の普及によって、素材や装置産業等の川上産業の収益性は高まるか。
- 果たして「IOT」は万能なのか? これに乗り遅れる分野はどうなるのか?
- 学術論文では、CPS についてどのような分析をしているか。

以上のリストは、今後の分析がどのような方向に、行くべきか(行くことができるか)を、 模索した結果である。我々の今後の研究は、この方向に沿って、さらに進化を続けるものと なることを期待したい。

目次

- 1. 第4次産業革命でのイノベーション__児玉
- 2. 日本の技術が生み出す CPS の新たな進化_馬場
- 3. CPS 時代に求められるアーキテクチャーの観点__柴田
- 4. 建設産業における CPS プラットフォームの可能性__藤盛
- 5. 汎用技術 (GPT) とビジネスモデル_鈴木
- 6. 製造業のスマイルカーブの実証分析_玄場
- 7. IOT が機能しない分野__ 岡松

付属資料: CPS 分野の学術的な研究動向__加納

第1章 第4次産業革命下でのイノベーション

世界が新しい世紀に突入して、20 年が経過し、ようやく、今世紀のイノベーションがどのようなものになるかが、明らかになってきた。一つは、前世紀末に世界を驚かせた IT (Information Technology)にかわり、IoT (Internet of Things)が今後のイノベーションの方向であることが定着してきた。2012 年に、ITU (International Telecommunication Union)が、IoT の定義を、

A global *infrastructure* for the information society, enabling advanced services by *interconnecting* (physical and virtual) *things* based on existing and evolving interoperable information and communication technologies.

とした。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 次産業革命の兆しである。同報告書によると、

The first *three* industrial revolutions came about as a result of mechanization, electricity and IT (Information Technology).

Now, the introduction of the Internet of Things (IoT) and services into the manufacturing environment is leading to a *fourth* industrial revolution.

In the future, businesses will establish global *networks* that incorporate their machinery, warehousing systems and production facilities in the shape of *Cyber-Physical Systems* (CPSs).

となり、世の中のシステムは、物理的空間とサイバー空間を融合した「サイバー・物理システム(CPS)」に収斂していくという。そこで、前世紀後半のどのような時代的背景が、今世紀の CPS を生み出していったかを振り返ってみよう。

1) 時代的背景

1.1 技術の変化

1999 年 6 月 21 日号のニューズ・ウイーク誌は、次のミレニアムの変化をどのように考えるか (Taking on a Millennium) という特集を組んだ。この誌上で、筆者は、この大きな変化をどのように総括するかについて、次のように答えている。

In the analog world, you can't combine (*connect*) things easily. With *digitalization*, we can make every possible combination (*connection*), and end up with something much greater than a simple merger...1 + 1 makes 3 (11). The possibilities are limitless, and the chances of coming up with some truly remarkable converged (*connected*) product is unprecedented. The convergence (*connectivity*) revolution is all about possibilities, and the possibilities are truly endless.

以上の記述の中で、()の中は、筆者が後で書き加えたものである。すなわち、20 年後の現在では、combinationやconvergenceに代わって、connectivityが主要概念になってきたからである。

1.2 マーケティングの変化

技術が大きく変化するのに合わせて、マーケティング・サイエンスも大きな変化を強いられた。1999 年に発行された Marketing Science の変化のレビュー論文 (Sheth and Sisodia; "Revisiting marketing's lawlike generalizations," *J. of the Academy of Marketing Science*, *27*, 71–87, 1999) は、以下のような出だしで始まる。

In 1960s, most markets were relatively homogeneous. The marketing discipline responded to this situation by developing and refining.

従来の market-driven orientation は、

"Be close to your customers—listen to your customers" から、技術革新が定常化するような時代に突入して、

"Being too close to the customer can stifle innovation."

へ変化していった。すなわち、マーケットが技術を引っ張っていくという、「market-driven」から、技術がマーケットをドライブするという「market-driving」へ変化していったのである。両者の違いを、

Market-driving firms seek to uncover the latent undiscovered needs of current and potential customers, while market-driven firms reinforce existing frameworks.

であるとしている。

1.3 需要表現: Demand articulation

上に述べた、技術とマーケティングの潮流が変化したことを踏まえれば、今後は、技術を 先取りして(proactively)選択する必要がある。漠然とした欲求を、製品概念に翻訳する高度な能力(a sophisticated translation skill)が不可欠のものとなる。筆者は、この行為を 「demand articulation」¹⁾(需要表現と意訳できる)を以下のように、定式化した。

Articulating demand, is a *two-step* process: market data must be *integrated* into a product concept, and the concept must be *broken* into development projects. However, potential demands are often derived from *virtual* markets. The fact that the technology is still considered *exotic* should not be a *deterrent*.

これを受けて、marketing scientists の Sheth と Sisodia は、demand articulation を 次のように、再解釈している。

"Demand articulation" is an important *competency* of market-driving firms. Most firms are more comfortable in a world of *pre-articulated* demands, wherein customers know exactly what they want, and the firm's challenge is to *unearth* that information. Firms that are able to sustain success over a long period of time, therefore, need to be market-driven and market-driving *simultaneously*; most corporate cultures, however, are attuned to one or the other orientation.

2. Connectivity articulation: どこが connectivity を必要とするか

先に述べたように、IoT と CPS の核心は、Network connectivity にあることは明らかになった。そこで、今後の技術革新では、demand articulation に代わって、「connectivity articulation」が中心概念になると言えよう。

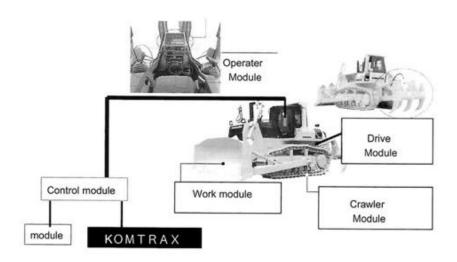
2.1 事例:建設機械のシステム化

Connectivity articulation が実現した、最も早い時期での事例は、コマツ製作所が、1997年に開発した Komtrax システムであろう。

¹ Webster 辞典から引用すると、 The word "articulate" has two conflicting meanings: (1) to *divide* into parts; and (2) to put together by *joints*. Two opposite concepts: analysis (decomposition) and synthesis (integration).

It became the *first* company that introduced RFID and GPS. RFIDs are inserted inside their machines all over the world, and all the data collected about their operating conditions is sent to Komatsu headquarters in Tokyo via *satellite* communication. The data collected by Komtrax clearly showed that the operating ratios of their machines in China were abnormally low. Before the recession was officially announced by the Chinese government offices, Komatsu halted their production for three months.

2.1 Building connectivity: The Komtrax system



2.2 誰が開発を主導したか: Agent of articulation

Demand articulation では、製品メーカーが articulation を主導するのが、自然であるが、Connectivity articulation では、そのプロセスを誰が主導するかは多少複雑である。

The development of Komtrax was not as *straightforward* as we might expect. In 1997, the business planing office had received a business plan. This plan was for remotely monitoring machinery (the prototype of the Komtrax system). This idea proceeded into the development stage. The company had completed five prototypes by 1998, and asked Mr. Chikashi Shike, the owner of Big Rental, to test the five prototypes. He agreed to take

on the prototypes for testing. Being engaged in a rental business, he had no difficulties in understanding the inherent value of the Komtrax system. Unfortunately though, it was decided at Komatsu that the remote monitoring system development should be cancelled.

Connectivity articulation のプロセスは、製品メーカー内の開発は途中で頓挫したのである。その後の展開は、

Nevertheless, Mr. Shike placed an order for 1,000 units (¥150 million). This large order enabled Komatsu to sustain this viable business, and so development was continued informally within Komatsu. In 2000, Big Rental grew rapidly and within three years became the top rental company in Fukushima prefecture. Komatsu, meanwhile, filed the *business model* patent for rental businesses. The CEO of Komatsu had aggressively pursued the possibility of utilizing Komtrax, as a tool for visualizing corporate management. Mr. Shike of Big Rental, was recruited to Komatsu as an executive officer in 2014.

すなわち、connectivity articulation の agent は、必ずしも、システムのコア部分の中に存在するとは限らない。しかし、construction network の eco-system の中には、存在するのである。

3. Enabler of Connectivity: connectivity を可能にする

3.1 概念化: Porting

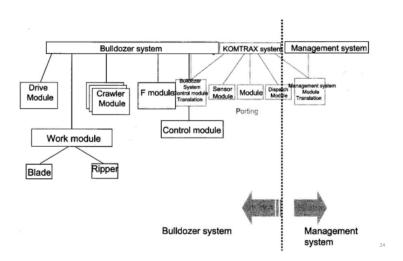
Articulate された Connectivity を実装化する技術概念はどのようになるのか。異なる Architecture 原則で設計されたシステムの間に、Connectivity を実現するには、何が必要 とか。ここで参考になるのは、「モジュール」概念を中心にして、異なるモジュール間の connectivity を設計により実現してきた、コンピュータ・システムの設計手法である。 Baldwin は、産業の進化を分析するため、コンピュータ用語を使うことを提案している2。 Baldwin and Clark によれば、

The changes that can be imagined in a modular structure are spanned by only six, relatively simple modular operators: splitting, substituting, augmenting, excluding, inverting, and porting. The "porting" operator ports the modules to other systems. Porting occurs when a hidden module "breaks

² Baldwin&Clark:

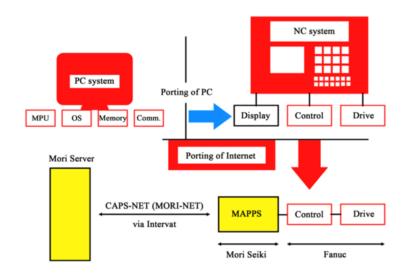
loose" and is able to function (via translation) in more than one system, under different sets of design rules, *i.e.* a different architecture.

ということになる。Komtrax システムを、企業マネジメントシステムまで展開した プロセスは、下図に示すような porting の適用により可能になったと言えよう。



3.2 CPS(Cyber-Physical-System)の構築

Connectivity を実現する最小単位は、一回の porting の適用であるとすれば、CPS の実現のためには、多重で、多段階の porting の適用が必要となる。工場間の IoT の実現のためには、その基本となる工作機械間の porting が必要となる。下図に示すように、事実、数値工作機械では、ディスプレイの構成ユニットに PC が porting されることにより、工作機械自身がインターネット・システムに porting されることが実現され、工場内・工場間の IoT が実現されていったのである。すなわち、IoT の多重・多段階の適用により、CPS が形成されるのである。



4.21世紀の技術革新

以上記述してきた諸変化をどのように総括できるのか。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 を見つけ出す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 に代わって、Connectivity articulation が中心課題になってきた。コンピューター科学の成果から学ぶことは、異なる Architecture で構成されているシステム間の Connectivity は、Porting というオペレーターを作用させることにより、実現されるという。さらに、異なる科学領域(sphere)の融合を目指す、CPS(Cyber-Physical-System)の構築には、Poring を多数回、多段階にわたって、適用することにより、可能になるということを理論的に導きだせる。

以上のダイナミックスは、技術の対立軸には、クリステンセンが提案した、Sustaining technologies 対 Disruptive technologies を横軸に採用する。一方、CPS の確立は、Architecture の構築に他ならないので、縦軸には、Architecture の Enhancing 対 Creation を配した。この構図の上に、第 4 次産業革命でのイノベーションの進化経路を下図のように Mapping できよう。

第4次産業革命での「技術・システム」の進化経路

Architecture Creation CPS Integration Porting Disruptive technologies Digitalization Connectivity Articulation

Architecture Enhancing

12

第2章 日本の技術が生み出す CPS の新たな進化

2. 1 はじめに

経済産業省は、CPS(Cyber Physical System)が「データを通じて人間を介さず、直接サイバー空間に実世界の状況が写し取られ、サイバー空間での情報処理結果が実世界の動きを制御する」[1]仕組みであると位置づけ、いずれ AI による完全自律化が達成され人間を代替すると展望している。しかし、自動運転(自動車)分野や航空分野では、CPS の自律化に伴って人間との連携に関する問題が拡大することが指摘されている。

本稿では、CPS 自律化と人間との関係について論点を示し、この問題に関する日本独自の取り組みを紹介しながら、CPS の進化に新たな経路が提示されつつあることを報告する。

2. 2 CPS の将来像に関する日米の認識差

経済産業省は、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」と定義している[1]。そして、「IT の社会への実装」において、CPS は現在「レベルIV 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、現実にフィードバックするというループの発生」という段階に位置づけられ、将来的には「レベルV AI による価値創造と完全自律・自働化」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]。

一方、米国の省庁横断研究プログラムである NITRD(Networking and Information Technologies Research and Development)は、CPS を「組込みセンサーやプロセッサ、アクチュエータが備わったスマートネットワーク・システムであり、物理世界(人間を含む)とやりとりしながら、リアルタイム性、性能保証、安全が重視される活動を支援するよう設計されたシステム」[2]と定義している。経済産業省が将来展望とした AI による CPS の自律性向上については言及がないが、今後開発が必要な主要技術のひとつとして「自律型 CPSと人間とのやりとりに関するモデルの開発」を上げ、「人間の使用に対して反応するシステムについて構造的な設計を推進」する必要性を指摘している[2]。

このように、CPS の将来展望について、自律性が向上した CPS により人間が代替されていくという日本の考え方と、あくまで人間による CPS の使用を前提として、人間と CPS との相互作用の高度化を指向する米国の考え方には、方向性に大きな違いが見られる。

2. 3 「自律性」のレベル

NITRDでは、CPSの適用が期待される領域として9つの産業セクターを上げているが、 その中で自律性について言及があるのは国防分野のみであり、国防総省が特に重視する CPS技術の3つの領域のひとつとして自律性をあげている[2]。 兵器システムも一種の CPS と捉えれば、すでにミサイルや防空システムなどは、攻撃前に人間が指示を出すだけで、あとはシステムが自律的に動作し目的を達するレベルにある。そうした現状を踏まえても、国防総省が今後さらに技術開発が必要としている「自律性」とは、行動の開始や目標の選択、破壊にいたる全ての局面で、人間の関与を必要としないレベルを指すものと考えられる。

国際人権組織のヒューマン・ライツ・ウォッチは、2012年のレポート[3]で、兵器システムが持つ自律性のレベルを、システムに対する人間の関与の程度に基づいて、表 2-3-1 のような 3 段階に分類した。

表 2-3-1 兵器システムにおける自律性レベルの定義[3]

自律性のレベル	定義	
Human- <i>in</i> -the-Loop	人間の指示によってのみ、システムは目標の選択と実力の 行使が可能	
Human- <i>on</i> -the-Loop	人間の監視下において、システムは目標の選択と実力の行 使が可能だが、人間による修正がシステムに優先される	
Human- <i>out</i> -of-the-Loop	人間とのやりとりもなく、システムは目標の選択と実力の 行使が可能	

この分類を、表 2-3-2 に示す米国自動車技術者協会(SAE: Society of Automotive Engineers)による自動運転のレベル[4]と比較すると、表 2-3-1 の「Human-in-the-Loop」はレベル 1(運転支援)ないしレベル 2(部分自動化)に、「Human-on-the-Loop」はレベル 3(条件付自動化)に、「Human-out-of-the-Loop」はレベル 4 ないし 5(完全運転自動化)に概ね相当する。

表 2-3-2 自動運転システムにおける自律性レベルの定義[4]

自動運転化レベル	名称	定義概要	監視・ 対応主体
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行			
1	運転支援	システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御 のサブタスクを限定領域において実行	運転者
2	部分運転自動化	システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブ タスクを限定領域において実行	運転者
自動運転システムが(作動時は)全ての運転タスクを実行			
3	条件付運転自動化	システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行。システムの作動継続が困難な場合は、運転者がシステムの介入要求等に対して適切に応答	運転者・ システム
4	高度運転自動化	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な 場合への応答を <u>限定領域</u> において実行	システム
5	完全運転自動化	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な 場合への応答を <u>無制限</u> に実行	システム

自動運転化レベル 3「条件付運転自動化」では、高速道路等に領域は限定されるものの、全ての運転タスクをシステムが自律的に行い、システムが対応不能になったときは、運転者が「適切」に対応することを想定している。「Human-on-the-Loop」においても、通常「監視」のみ実施している人間が、必要に応じてシステムの動作に介入し「修正」することになっている。しかし、現実問題としてそのような操作主体の交代が、迅速かつ円滑に実現するだろうか。

2. 4 CPS の高度自律化に関わる問題点

高度に自動化されたシステムについて、通常はシステムの監視に従事している人間が、突然システムが動作不能に陥る状況において、システムの介入要求に対して的確に対応可能かという問題は、主に人間工学の観点から航空分野で議論されてきた。

このような対応を困難にする要因は主に 2 つあり、(1) 自動化システムに慣れるに従い人間の手動操作スキルが低下すること、(2) 状況認識 (SA: Situation Awareness) が低下すること、とされている[5]。SA とは、人間が異常への対応を開始する前に、システム状態に関する各情報を認識し、情報を総合してシステムの状態を理解し、近い将来の状態を予測することだと定義されている[5]。この SA が低下することで、人間が正常なシステムを監視している状態から、システム異常に対応する状態に移行するために必要な時間が、より長く必要になることが実証的に示されている[5]。

また自動運転化レベル 3 について、システムが自動運転をしている間は、経過時間と共 に運転者の覚醒度が低下し、携帯電話や読書など運転とは関係のない方向に視線を移して いる場合が多く、異常発生後の対応も手動運転者に比べて遅れる傾向にあることが報告さ れている[6]。

このような問題に対して、航空分野では搭乗員の定期的な訓練や評価など組織的な対応

に加え、相応のコストを投入しても自動操縦装置を高度化させることで、一定の対応は可能である。一方で自動運転に関しては、運転者の訓練・評価を徹底しようとすれば社会的なコストが非常に大きくなり、また自動運転装置の開発についても、自動車の市販価格に直結するため投入可能なコストにも制約がある。

このように、主に「Human-on-the-Loop」や自動運転化レベル3「条件付運転自動化」以上の CPS 自律化において、人間のスキルや注意力維持の問題が顕在化することが判明しており、その解決にはコスト的な制約も存在する。高度に自律化した CPS により人間を代替しようという日本の考え方と、物理世界(人間を含む)における活動の効率性・安全性向上を CPS により支援しようという米国の考え方の違いは、上記問題点に対する認識の違いも一因になっていると考えられる。

2.5 「人と機械の融和」という方向性

CPS の自律化に伴い人間の能力・注意力が低下し、効率性・安全性を損ないかねないという問題について、独自の取り組みをしているのが日本の大手電気機器メーカー・オムロン株式会社(以下「オムロン」)である。オムロンは、「機械が人の仕事を奪うのではなく、ロボットが人に合わせて仕事をする世界」[7]を目指し、さらに機械が人の能力や創造性を引出し、人が成長し自身の(人間の)限界を超えられる、人と機械が「融和」する世界の実現に挑戦している[8]。

その一環として、オムロンは 2014 年に卓球ロボット「フォルフェウス」(以下、フォルフェウス) を発表した (図 2-5-1)。フォルフェウスはカメラによりボールの 3 次元運動を捉え、その軌道から将来軌道を予測し返球目標(位置、速度、高さ)を決めた上で、ラケットに最適な運動をさせ、的確な返球を実現している。さらに、対戦者(人間)の体の動きや打ち返すボールの軌道から、人工知能によって対戦者のスキルレベルを判定し、初心者から上級者まで自分のスキルレベルに合ったラリーを楽しめるように開発されている[8]。



図 2-5-1 卓球ロボット「フォルフェウス」 (写真提供:オムロン株式会社)

しかし、オムロンによればこれはまだ人間同士でも実現可能なレベルであり、今後「『コツ』の早期獲得を促す一流のコーチ」のレベルから、「切磋琢磨するする永遠のライバル」の域までフォルフェウスの能力を高めることで、人間の成長を飽和させず自身の限界を超えて成長できるようにしたいとしている[8]。

そして、「人間同士でも実現可能なレベル」を超えるため、異業種が持つユニークな技術 の適用を試みている。

2. 6 ゲーム用技術「メタ AI」

2019年12月、オムロンは「フォルフェウス」について、大手ゲーム・メーカーの株式会社スクウェア・エニックス(以下、スクウェア・エニックス)と共同研究すると発表した[9]。スクウェア・エニックスでは、「プレイヤーごとにゲーム展開を変化させ、人の感情を揺さぶる」[9]ためのゲーム用技術「メタ AI」を実用化している。この技術を「フォルフェウス」に適用し、「プレイヤーに合わせて、成長へのモチベーションを高める指導方法を考える AI を開発」することを、両社は目指している[9]。

「メタ AI」は、ユーザのスキルレベルやゲームの進行状況を監視しながら、敵の出現率を動的に調整したり、敵を動的に配置したりするなどして、ゲームの難易度を調整している [10]。日本のゲームにおいては、1980 年代から初歩的な機能が実装されていたが、近年ではゲームコントローラーの操作タイミングなどから、ユーザの緊張度や興奮度などを推定できるようになっている。そして、ユーザがリラックスしていれば敵を生成して緊張度を高め、それを一定時間維持した後に徐々に敵を減らし、ふたたびリラックスした状態へ導くといったサイクルを繰り返すことで、ユーザが過度に疲労することなく適度な緊張感を保ち続

けながらゲームを楽しめるよう工夫している。「メタ AI」とはスクウェア・エニックスの呼称だが、同種の技術は同業他社も保持しており、たとえば株式会社バンダイナムコでは「AI Director」と呼んでいる[11]。

こうした技術は、CPS の自律性が高度化した場合に発生する、人間の能力・注意力維持の問題にも適用可能とも考えられるが、卓球やゲームだけでなく、自動運転や製造装置など他の分野にも適用可能と考えられる理論的背景を持っている。

2. 7 「フロー」理論

心理学者のチクセントミハイは、人はどのような時に最も大きな幸せを感じるのかという命題について、シカゴ大学の彼の研究チームを中心に、イタリア・カナダ・日本などの研究者と共同で数千人を対象とした面接調査を実施した。その結果、人が幸福を感じるのは「能力(skill)が挑戦目標(opportunities for action)と適合している時」に生じ、「注意が自由に個人の目標達成のために投射され」て「身体と精神を限界にまで働かせ切っている時」に最大化されることを示した[12]。この状態について、被験者の多くが「流れている(floating)」「流れに運ばれている(flow)」といった表現を用いたことから、チクセントミハイはこの状態を「フロー」ないし「フロー体験」と名付けた。

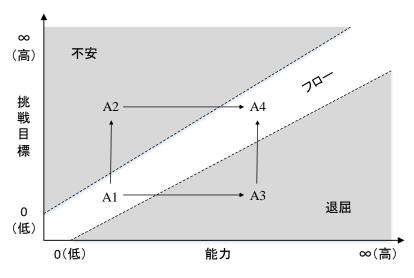


図 2-7-1 人が「フロー」に導かれる過程[12]

能力と目標の適合が人を「フロー」に導く過程を、チクセントミハイは図 2-7-1 のように表現している。能力・目標が A1 の状態にあるとき、能力が向上しても目標が変わらなければ (A3)、人は退屈を感じる。一方、A1 の状態から目標のみを高めても (A2)、すぐには能力が向上しないため、人は不安を感じる。そして、ふたたび能力と目標のレベルが合致したとき (A4)、人は A1 の状態よりもより大きな心地よさを感じ、同時に能力の向上により、A1 の状態より高度で複雑な目標に対応できるようになっている。ゲームにおいては、「メタ

AI」がユーザの能力と目標の適合を調整することで、ユーザがゲームを楽しみながら能力 (レベル)を向上させ、より高い目標に挑戦できるようになることで、より大きな楽しみを 得るようになるが、その過程も図 2-7-1 によって説明できる。

そして、この「フロー」に関する証言が、外科医、大学教授、事務職、製造業労働者など、多くの職業、文化、地域、社会階層、性・年齢の構成員からも同様に得られている[12]という点が重要である。自動車の自動運転や航空機の自動操縦だけでなく、今後自律性を高めた CPS が適用される分野は広範にわたると予想されるが、CPS 自律化の過程で直面することになる人間の能力・注意力維持の問題に対して、「フロー」を実現する「メタ AI」のような技術が今後効果を発揮する可能性がある。

2. 8 CPS 自律化の進化経路

表 2-3-2 に見られるように、運転自動化レベル 1 からレベル 4 には「限定領域」という制約がついている。これは「運行設計領域」(ODD: Operational Design Domain)と呼ばれ、自動運転技術が対応可能な走行環境を、道路条件(高速道・一般道など)、地理条件(都市部・山間部など)、環境条件(天候・昼夜その他)などで定義し限定することを意味する[4]。このように表 2-3-2 には、自動運転化に関する自律性のレベルを評価する尺度に、システムが対応可能な外部環境のレベルを評価する尺度が混入している。

シャーレ (2019) [13]は、自律化へ向けた技術レベルが「自動化 (automatic)」、「手順自 動化(automation)」、「自律化(autonomy)」という概念で広く捉えられていると指摘し、 その違いについてサーモスタットを例に説明している。「自動化(automatic)」では、サー モスタットは設置された環境の温度のみに反応すればよいので単純な技術で実装できる。 「手動自動化 (automation)」では、動作日時や反応すべき温度などをプログラミングでき るようにするために技術は「自動化 (automatic)」よりも複雑になるが、動作ロジックは人 間が把握している。「自律化(autonomy)」では、より複雑な環境変化へ迅速に対応するた め動作ロジックは人工知能などに任せることになり、人間はそのロジックに介入できない。 これら概念を表 2·3·1 の自律化の定義と対比すると、「自動化(automatic)」レベルのサ ーモスタットは、対応すべき環境は単純だが人間の介入無しで自律動作するため「Humanout-of-the-Loop」であると見なせる。一方で、例えば初期の自動車は、地面の凹凸にバネで 対応するだけの「自動化(automatic)」レベルと見なせるが、全ての操作を人間が行うため 「Human-in-the-Loop」であり、しかも人や他の自動車が激しく往来するような複雑で動的 な環境にも対応できる。しかし、同じ環境に「Human-out-of-the-Loop」レベルの自律化で 対応しようとすれば、各種センサーや人工知能を組み合わせた高度で複雑な技術が必要に なる。

このように、自律化のレベルとはほぼ独立して、対応すべき環境の複雑さのレベルがあり、 その組み合わせにより、システム制御に求められる技術レベルが違うことが分かる。これら の関係を図 2-8-1 に示す。

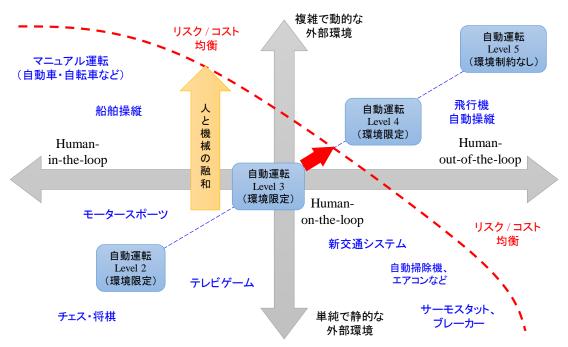


図 2-8-1 CPS の自律化と対応すべき外部環境

自律化レベルが「Human-out-of-the-Loop」に近い領域でも、自動掃除機やエアコンなどの家電は、必要なロジックとセンサーを兼ね備え、対応すべき外部環境を家庭内に限定することで実用化している。輸送分野でも、例えば東京都「ゆりかもめ」など新交通システムは、稼働環境を規格化された軌道と駅に限定することで無人運転を実現している(人間の監視下にあり介入も可能)。

自動車では、自動化システムが対応すべき環境を高速道路に限定し、対応局面も分岐や車線変更・追い越しに限定することで自動運転化レベル 2 が実現できているが、対応局面の制約が大幅に外れる自動運転化レベル 3 はまだ実用化の手前にあり、実用化しても車両価格の上昇は避けられない。飛行機の自動操縦装置についても、運用には組織的な訓練など多大なコストを要していることは前述の通りである。いずれも実用化の条件は、許容可能な安全性が一定のコストで実現することであり、これを図 2-8-1 では「リスク/コスト均衡」線として示した。

「Human-out-of-the-Loop」かつ「複雑で動的な外部環境」の領域では高い技術レベルが要求され自ずと実現コストも上昇するため、「リスク/コスト均衡」線は図 2-8-1 中央の領域に接近する。それでもなお、高度なセンサーや人工知能を用い一定のコストをかけてでも、図 2-8-1 の右上へ進もうとしているのが、自動車の自動運転化に代表される「CPS 自律化」について、従来考えられてきた進化経路である。

2.9 「人と機械の融和」がもたらす新たな進化経路と日本の強み

このような従来型の CPS 自律化の進化経路に対し、「フォルフェウス」と「メタ AI」が 目指す「人と機械の融和」は、どのような可能性を示唆するだろうか。

前述したように「人と機械の融和」という理念は、機械が人間の能力を引き出し高めることで、人間と機械との協調関係が緊密化し、より高度で複雑な活動が可能になるという考え方である。あくまで人間の能力と活動を前提としており、CPSの自律化レベルを「Humanon-the-Loop」の手前に留めたまま、人間の能力を高めることでより複雑で動的な外部環境にも対応可能にする意図と理解できる。つまり、図 2-8-1 中央からやや左に示した上向き矢印の方向を指向していると解釈でき、右上方向(図 2-8-1 赤矢印)よりも「リスク/コスト均衡」線との間隔が広いため、より複雑な環境への対応が、より安全かつ低コストで実現する可能性があると考えられる。このように見ると、米国 NITRD の CPS 定義「物理世界(人間を含む)とやりとりしながら、リアルタイム性、性能保証、安全が重視される活動を支援する」[2]も、同じ方向性を示唆していた可能性がある。

人間と機械 (CPS) との協調に「フロー」をもたらすことで、より効率的に複雑な環境に対応できるようになるという仮説を、日本のゲーム用技術「メタ AI」を用いることで実証できれば、その意義は大きい。世界のゲーム・ソフトウェア市場は拡大を続け、近年中国企業がシェアを伸ばしてきているが、それでも 2019 年第 2 四半期で売上上位 25 社のうち 9 社は日本企業で、25 社売上合計のシェア 29%を獲得するなど依然と競争力を保持している [14]。また、日本のゲーム市場は米国と並んで歴史が古く、「メタ AI」的な技術も 1980 年代から蓄積がある。日本が保持するこうした技術的な強みが、CPS の進化に新たな道を切り開く可能性は、十分にあると考えられる。

2. 10 おわりに

兵器システムにおいては、敵の通信妨害により人間による介入が不可能になっても活動継続することが求められるため、高度な自律性が要求される。「Human-out-of-the-Loop」の領域では、人間の殺傷を末端の兵器のみの判断で実行する兵器システムを、近年「LAWS(Lethal Autonomous Weapons System:自律型致死兵器システム)」と呼んでおり、韓国やイスラエルですでに実現している。こうしたシステムが自動車の「完全自動運転化」よりも早く実現したのは、人間の安全確保が目的ではなく、コストも国家安全保障の観点で決定されるからで、図 2-8-1 の「リスク/コスト均衡」線が制約にはならないからと考えられる。兵器システムの自律化に関しては、本稿で取り上げた商用 CPS に関する議論とは別に、国際法や兵器制限条約の観点も加えた議論が必要になるだろう。

参考文献

[1] 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:21-Feb-2020].
- [2] NITRD(2012), CPS Vision Statement, NITRD(Networking and Information Technologies Research and Development), [Online]. https://www.nitrd.gov/nitrdgroups/images/6/6a/Cyber_Physical_Systems_%28CPS %29_Vision_Statement.pdf. [Accessed:21-Feb-2020].
- [3] Human Rights Watch(2012), LOSING HUMANITY The Case against Killer Robots, [Online].

 https://www.hrw.org/sites/default/files/reports/arms1112ForUpload_0_0.pdf.
 [Accessed:24-Feb-2020].
- [4] 国土交通省自動車局(2018), 自動運転車の安全技術ガイドライン, [Online]. https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf. [Accessed:24-Feb-2020].
- [5] Endsley and Kiris(1995), The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation, HUMAN FACTORS, Vol37, No.2, pp381-394.
- [6] 本間他(2016), 高度運転自動時における権限移譲方式の基礎的検討, 自動車技術会論 文集, Vol47 No.2, pp537-542.
- [7] OMRON(2019), 統合レポート 2019, pp48, [Online]. https://www.omron.co.jp/ir/irlib/pdfs/ar19j/OMRON_Integrated_Report_2019_jp_17 .pdf. [Accessed:26-Feb-2020].
- [8] 八瀬(2018), 卓球ロボット開発史~人と機械の融和に向けて~, SWEST20 セッション s3a proceedings, [Online]. https://swest.toppers.jp/SWEST20/program/pdfs/s3a_proceeding.pdf. [Accessed:26-Feb-2020].
- [9] OMRON ニュースリリース(2019), オムロン、スクウェア・エニックス 「人のモチベーションを高める AI」を共同研究, [Online].
 https://www.omron.co.jp/press/2019/12/c1210-2.html. [Accessed:26-Feb-2020].
- [10] 三宅(2015), ディジタルゲームにおける人工知能技術の応用の現在, 人工知能, 30 巻 1 号, pp45-64.
- [11] 長谷(2017), 汎用ゲーム AI エンジン構築の試みとゲームタイトルでの事例, 人工知能, 33 巻 2 号, pp189-196.
- [12] チクセントミハイ (1996), フロー体験 喜びの現象学, 世界思想社.
- [13] シャーレ(2019), 無人の兵団-AI、ロボット、自立型兵器と未来の戦争, 早川書房, pp262.
- [14] Newzoo(2019), Top 25 Public Companies by Game Revenues, [Online]. https://newzoo.com/insights/rankings/top-25-companies-game-revenues/. [Accessed:27-Feb-2020].

第3章 CPS 時代に求められるアーキテクチャーの観点

1 はじめに

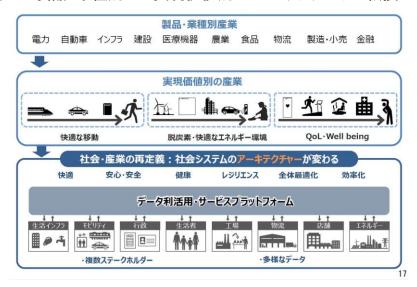
本稿は、まず Physical (実空間) の世界において、企業は一層アーキテクチャー重視の戦略に転換しつつあることを紹介したうえで、台頭する CPS(Cyber Physical System)の分析に際してもアーキテクチャー概念が一つの手掛かりになることを議論したい。

まず、経団連の中西宏明会長の発言を紹介するところから始めよう。中西会長は、2020年1月16日に経済産業省が主催するセミナーで「Society 5.0時代におけるアーキテクチャーの考え方」と題する講演を行った。その中で、企業の経営層の人たちが、アーキテクチャーの重要性をきちんと理解することが重要であり、さらに、アーキテクチャーは会社で組織を作ったり、事業を設計するのと全く同じことだ、と指摘したと報じられている(日経クロステック 2020/1/30)。

現役の経団連会長が、日本企業の経営層に対してアーキテクチャー理解の重要性をここまで呼びかけるのは異例とも言える。アーキテクチャーとはシステム全体を俯瞰したうえで、部分への分け方と全体と部分の関係に着眼するものの見方であり思考枠組みである。現場の強みとそこからの積み上げを重視してきた日本企業にとって、馴染みにくいところがあった。細部にこだわる現場思考と、俯瞰性を重視するアーキテクチャー思考では、思考の方向性が真逆だと言っても良いかもしれない。にもかかわらず、アーキテクチャーの重要性について、ここまで踏み込んだ発言をするということは、現場の強みだけではやっていけない時代に突入したという経団連会長の危機感の現れとも読める。

では中西会長が言うアーキテクチャーとは一体何のアーキテクチャーを指しているのか。アーキテクチャーとは、個別の製品やサービスを超えたところに存在する一種の思想や哲学のようなものであり、システムであれば適用できる汎用性高い概念だからだ。中西会長は産業のアーキテクチャーを念頭においているようだ。産業アーキテクチャーとは、産業全体を俯瞰した上で、どのような観点から産業を分類し、分類したものをどのインターフェースでつなぐのかに関する構想である。この背景には、Society 5.0 の時代には電機、機械など従来の産業分類はもはや有効ではなく、新しい切り口からの類型化と思考枠組みへの変更が必要だという認識があるようだ。

図表1 製品・業種別から実現価値別へアーキテクチャの転換



図表1は、従来の製品業種別から実現価値別へアーキテクチャーの点転換が必要なことを示している。図表1では実現価値として、「快適な移動」や「脱炭素・快適なエネルギー環境」をひとまとまりの価値として認識しているが、まさにその分類の妥当性こそがアーキテクチャー戦略の中核的なポイントである。これにサイバーの世界を組み込むとどうなるだろか。図表1は、サイバーの世界では、多種多様なデータの利活用はサービスプラットフォームとして共通化されるだろう(あるいはすべきだ)という読みを示している。このサイバー空間の設計思想もまた、Society 5.0 時代のアーキテクチャーを考える際の重要ポイントである。

いずれにしても、このような俯瞰的な物事の進め方が必要な時代に入ってきたということであり、それは日本企業の強みとされてきた現場力に依存した物事の進め方とはかなり異なる。そもそも現場の力は既存のアーキテクチャーを所与として発揮される。その枠組みを前提としており、その良し悪しを問わない。しかも現場の数はそれこそ多数存在しており、個々の現場から見える範囲は所詮たかがしれている。従ってアーキテクチャーが重要な時代になったとしても、優れた現場力だけでは、アーキテクチャーを変更することはできない。それゆえに経営トップの力量と俯瞰的な観点が必要になるのだ。

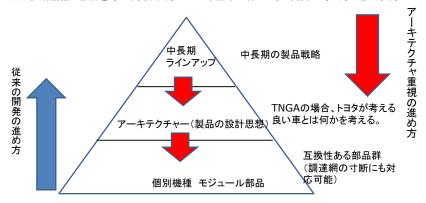
現在、企業はアーキテクチャー重視へと戦略を転換しつつあるが、トヨタとダイキン工業という2つの企業のエピソードを紹介する。

2 実世界におけるアーキテクチャー重視への転換:トヨタとダイキン工業

優れた現場力に依存したボトムアップ的な設計の進め方は、初期から全体のアーキテクチャーをきっちりと練り上げてトップダウン的に設計を進める思考プロセスとは真逆だと言って良い。図表 2 は、それを示している。

図表2 アーキテクチャー重視の考え方

中長期の製品戦略から、まず上位概念としてのアーキテクチャ(設計思想)を決める。次にその枠内で個別機種の設計を考える。従来、多くの日本企業が行ってきた開発の考え方と逆である。



優れたアーキテクチャーを策定するためには、まず、中長期的な製品シリーズを構想する製品戦略が必要になる。そのためには、顧客ニーズの動向に関する知識、差別化要因のポイントなど市場動向に関する知見、さらに部品間相互依存関係に関する技術知識など、市場と技術双方に関する知識、経験、ノウハウが必要になる。そのうえで一連の製品シリーズ全体に通底する最大公約数としてのアーキテクチャーを策定し、その枠組みのもとで、個別機種を開発するという流れを辿る。あくまでもアーキテクチャーを最初に策定し、次にその枠内で個別機種を設計するという仕事の流れだ。

他方、従来日本企業では、全体最適のための構想を十分練り上げずに、最初から個々の現場に最適な個別機種をつくる方向で製品開発をすすめていった。ボトムアップの矢印はそれを表している。しかしその進め方では、部品の種類や車の種類が際限なく増大してゆき、いずれ複雑性の壁にぶち当たることは、理屈の上で既にわかっていた。実際にところ、日本を代表するトヨタやダイキン工業でも、その例にもれなかったと言わざるを得ない。グローバル化を推し進める中で一層増大した複雑性の壁に直面し、その壁を超えるために設計の進め方をアーキテクチャー重視へと転換したのである。その両社のエピソードを紹介しよう。

2. 1 トヨタの TNGA (Toyota new Global Architecture) への転換

トヨタでは従来、主査(チーフエンジニア)が担当車種に全責任を持ち、それぞれの現場に個別最適な車を設計してきた。主査は担当車種の価値を最大限に高めようとする動機を強く持つために、細かな点まで独自色を出そうとする。その結果、基本プラットフォーム(PF)は約20種類と定めていても、現実には小分類まで含めると100種類以上になった。エンジンも、基本形式は16と定めているのだが、排気規制対応などで次々と種類が増大して現実には800種類以上になっていた。個々の現場ニーズに最適な車つくりを優先したため

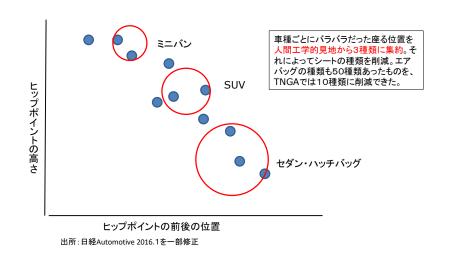
に、車種が膨大に増えてコストが増大するという問題に直面していたのである。グローバル 戦略が成功し地球上の多くの地域でニーズを満たしたトヨタ車が売れれば売れるほど、皮 肉なことだが、この問題は一層切実なものになった。

そこでトヨタは2011年から車の作り方を変更して、商品力向上と原価低減の同時達成を目的とする TNGA (Toyota new Global Architecture) プロジェクトをスタートした。トヨタが理想とする車の原型をアーキテクチャーという上位概念として策定し、その枠内で個別機種を開発するという考え方である。要するにアーキテクチャー重視への転換である。具体的には以下のようになる。

多くの部品を機能ごとに分けた部品群にまず分割し、部品群ごとに設計自由度に応じて「固定領域」「選択領域」「自由領域」の3つの設計領域に分けたのである。固定領域は文字通り、トヨタの車全でが共通して順守しなければならない領域である。守るべき制約条件がルールとして厳密に課されている設計領域である。この領域内の設計仕様については、たとえ主査でも変更することはできない。そして、選択領域については、複数の設計選択肢が存在する中から合致した設計パラメータを選択する。複数の選択肢が存在するという意味で、順守すべきルールは固定領域よりは緩い。さらに自由領域内の設計パラメータについては、守るべきルールは存在せず主査が文字どおり自由に設計できる。主査は、設計領域に応じたこのような制約条件に従って担当車種を設計することになる。

TNGA は、従来の設計手法をアーキテクチャー重視の考え方へと転換するプロジェクトだが、設計部隊だけの問題に限定してしまうと、先行研究が指摘しているようにうまくゆかないのだ。ではトヨタはどうしたか。トヨタは2013年から社長直轄のTNGA企画部を新設して、そこが主導権を取って上記のようなルールを策定していったのである。つまり、トヨタはトップが旗を振ってTNGAプロジェクトを推進した。

図表3 TNGAにおけるヒップポイント(運転手の座る位置)の集約化



アーキテクチャーのうち、トヨタが最初に決めたのはヒップポイント(運転手の座る位

置)である。ヒップポイントは、車の設計において重要な設計パラメータの一つである。図表3はヒップポイントを、前後の位置と高さの2次元で、マッピングしたものである。TNGA導入前は、車種毎にてんでバラバラだった座る位置を、TNGAでは3種類に集約させた。その際、人がどんな姿勢で座ると快適で疲れにくくなるのかを、これまでの人間工学の経験を注ぎ込んで3種類を選択した。ヒップポイントを3種類に集約したことによって、50種類あったエアバッグは10種類に集約できたのである。同様にシートの種類も大幅に削減できた。

TNGA で開発された車は、2015年の4代目プリウスから順次市場に投入された。ただし、ハイエンドからローエンドまで全ての車種をひとつのプラットフォーム (PF) でカバーすることは現実には極めて難しい。そこで TNGA では現在3つの PF が想定されている。「TNGA-C」、「TNGA-K」そして「TNGA-L」の3つである。「TNGA-C」プラットフォーム採用機種には、プリウス、カローラスポーツ、新型カローラセダン/ツーリング などがあり、「TNGA-K」プラットフォーム採用機種にはカムリ、「TNGA-L」プラットフォーム採用機種にはクラウンや MIRAI (2020年8月発売予定) などがある。

TNGAでは、これら3つのPF それぞれに責任を持つ各PF 主査が、従来の主査以外に新しく導入された。では従来の主査とPF主査の役割分担はどうなっているのだろうか。PFに関する設計ルールをしっかりと順守して、性能と機能に責任を持つのがPF主査の役割である。それに対して、主査は、感性価値や経験価値をも含めた車の商品性に責任を持つ。一応、このような役割分担はきめられているようだが、実際の開発においては主査とPF主査の見解が違い意見の対立が生まれることもあるはずだ。PF主査は主査をサポートする役回りとのことだから、主査の権限の方がPF主査よりも強い。TNGAでも主査が車の最高責任者であるという意味では従来と同じである。

ところで TNGA の効果はどの程度あるのだろうか。2019年6月29日、トヨタ本社で行われた吉田副社長の報告によれば、開発工数は25%向上し、設備投資は25%削減し、車両原価は10%削減したという。実は部品の共通化という試みは、長年トヨタでも行われてきたが、これまでのところうまくゆかなかったのである。それらの経験を踏まえて、TNGAでは、車の設計の考え方自身をボトムアップからトップダウン的に変更する試みとして理解できる。だが、果たしてトヨタの狙い通りに、商品力向上と原価削減の2つを同時達成できるかどうかは、TNGAアーキテクチャーの良し悪しに大きく依存している。

2. 2 ダイキン工業のベースモデル開発への転換

大阪に本社を置くダイキン工業株式会社は(以下ダイキンと称する)、空調機で売上高世界一を誇る大企業である。2018年度の連結売上高は24、811億円、連結経常利益は2771億円に達し、連結従業員数は76484人になる。ダイキンの事業ドメインは、空調・冷凍機事業、油・特機事業、化学事業の3つの事業から構成されているが、売り上げの9割

は空調・冷凍機事業から来ている。その意味では、売り上げ 2 兆 5 千億円に達する大企業 でありながらも、空調機の専門メーカーだと言って良いだろう。

図表4 ダイキン工業 空調事業地域別売上高推移

■日本、欧州、中国、アジア、オセアニア、アメリカの5極でM&Aも活用 しながら、生産拠点市場最寄化、現地密着型商品の創出、独自の自前販売店 開拓等の施策により、グローバル各極でバランスのとれた売上高へ成長



この成長過程では、空調機関係の M&A も積極的に活用した。例えば、2007年には、マレーシアの空調大手 OYL インダストリーズを、そして2013年には米国の空調大手グッドマンをそれぞれ買収した。買収した時点で、連結売上高がその分増加するのは自明だが、ダイキンの特筆すべき点は、その後も継続的に成長を遂げているという点だ。その結果、2000年時点では5319億円だった売上高が、2018年には約4倍にまで成長した。

その急速な成長をもたらしたものを一言で言うと、グローバル戦略の成功である。例えば空調機事業に関して言うと、95年には16%だった海外事業の売り上げ高比率は、2018年にはなんと78%に達している。空調機の約8割は海外市場で稼いでいるということだ。

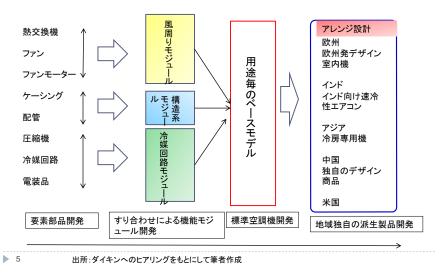
だがそれに至る今日までの過程で、ダイキンはグローバル化の成功ゆえの閉塞感に直面した。閉塞感は、グローバル戦略が成功すればするほど、海外現地ニーズに対応するための目先の開発案件が増えてゆき、毎日の業務に忙殺されて先の見えない状況が続くことからもたらされた。94年から社長に就任して、空調機のグローバル戦略を推し進めた井上礼之は当時の状況を次のように述懐する。

「グローバル展開がさらに加速すると技術開発部門に様々な要請が殺到しました。 0 4 年~5年頃になると、やれどもやれども仕事が尽きない状況に陥り、再び閉塞感が漂い始めたのです」(『人の力を信じて世界へ』井上礼之)

やれどもやれども仕事が尽きない状況とは、将来の見通しを持てないままに、目先の開発業務に際限なく忙殺される状況である。その根本的な問題解決を図るために、空調機の設計手法を転換した。それがアーキテクチャー重視で設計をすすめるというトップダウン的アプローチである。トヨタが TNGA に転換したのと同様に、ダイキンもまた、2010年か

ら空調機のアーキテクチャー策定に取り組み始めた。

ダイキンの考える空調機のアーキテクチャー重視とは、次のような製品設計の考え方を言う。グローバルに販売する空調機に関しては、まず世界中のニーズをつかんだ上でその最大公約数的な機能と性能をベースモデルとして日本で策定し開発する、その上で、ベースモデルで対応できない海外の独自ニーズに対しては、ベースモデルの一部をアレンジして迅速に提供するというやり方である。このベースモデルを策定することがアーキテクチャーの策定に相当する。ベースモデルはグローバル市場を念頭においているが、もちろんすべての需要に対応できているわけではない。ベースモデルで不足している点は、海外拠点でのアレンジ設計で個別のニーズに答える仕組みだ。基本設計を世界標準にしたうえで、そこからの派生商品を現地拠点で開発すると言っても良いだろう。



図表5 空調機のベースモデル開発(2010~)

より具体的には図表5をみてほしい。空調機を構成する主たる要素部品には、例えば、熱交換器、ファン、ファンモーター、圧縮機、冷媒回路などがある。これらの要素部品群は、部品間に密接な相互依存関係が形成されているグループをひとまとまりにして、機能モジュール群に分けることができる。例えば、風回り機能モジュールや冷媒回路機能モジュールなどがそれに相当する。風回りを実現するための熱交換器とファンとファンモーターとの間には、緊密な相互依存関係が存在している。そのために、例えば高性能な熱交換器に変更すると、その影響はファンやファンモーターにも及ぶために、それらも適切なものに変更しなければならない。要するに部品間の相互依存関係を適切に管理することが求められるのだ。その結果、風回り機能モジュールには、3つの構成部品間の相互依存関係のパターンによって、性能や機能が異なる複数のバリエーションが存在することになる。

冷媒回路モジュールも同様である。圧縮機と冷媒回路には密接な相互依存関係が存在し

ており、それを管理するために、ひとまとまりにして冷媒回路機能モジュールを作っている。 その上でベースモデルとは、性能や機能が保証された各機能モジュールの複数のバリエーションを、適宜柔軟に組み変えることにより構成される。多様な組み合わせを柔軟に実現するために、各機能モジュール間のインターフェースを規定している。ダイキンは2010年 以降、標準化を軸に据えたこのような製品戦略の検討に着手したのである。

ベースモデル開発で最もむずかしいのは、どの機能や性能をベースモデルにすると全体 最適になるのかという見極めであり、最大公約数的なコンセプトの策定である。世界中の全 ての要望を取り込めるわけではないから、ベースモデルに入れる機能を絞り込む必要があ った。しかし他方で入れる機能を絞り込みすぎると、アレンジ開発で対応する余地が大きく なりすぎてしまい、ベースモデルを作る意義は薄れてしまう。どこまでもベースモデルで対 応し、どこから先をアレンジ開発で対応すると全体最適になるのかという判断が難しい。ま た、ベースモデルの機種数についても、種類は少ない方が1機種あたりの規模の経済が働き コスト効率は高まる。だが少ない機種で対応しようとすると、1つのベースモデルに盛り込 む機能は増やさざるを得ない。アーキテクチャーを策定するには、このような判断をしなけ ればならないのだ。

さらに、空調機の製品アーキテクチャーを策定したことに伴い、グローバルな開発体制も全体最適を目指す体制に組み替えた。2017年7月から、「マザーR&D拠点」体制の構築を始めた。これは、全世界の開発拠点を組織能力と機能に応じて3階層の分業体制に分けて、グローバルな全体最適開発を目指そうとするものだ。

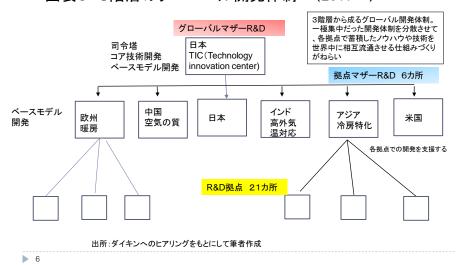
現在ダイキンのグローバル開発体制の頂点には、グローバルマザーとして位置づけられる日本の TIC(Technology Innovation Center)が存在する。TIC は、全世界の技術動向と需要動向を睨み、ベースモデルの開発に加えて、空調機のコア技術を一層磨き、グローバル開発の司令塔としての役割を果たす。ダイキンのコア技術とはインバータ、ヒートポンプ、冷媒制御の3つである。

TIC の下の階層には、日本を含む 6 カ所の拠点マザーR&D が存在する。拠点マザーは特定のベースモデル開発を行うことに加えて、特定の製品や機能についてのマザー機能を持つ。例えば、拠点マザーの一つであるベルギーは暖房機能の拠点マザーであり、0 6 年にはヒートポンプ式暖房を開発したという開発実績を持つ。同様に中国は、PM 2 . 5 対応など空気の質に関する独自のノウハウや技術を持つために、室内空気質に関する拠点マザーである。これら拠点マザーの下には通常の R&D 拠点が位置づけられており、拠点マザーの支援を受けながら現地開発を行っている。要するに、グローバルマザーとしての TIC、拠点マザーとしての拠点マザーR&D、通常の R&D 拠点の 3 階層である。R&D 拠点は全世界で 2 1 カ所に分散しており、これらの拠点で開発をグローバルに分業しているのである。

TIC と6カ所の拠点マザーR&D は、相互に情報を共有しながら、全体最適の観点からグローバルな分業開発をすすめてゆく。TIC の役割について井上は次のように言う。

「TIC が司令塔となって、各地の人材を把握して、彼らの技術や意見を吸い上げ、マザー拠点のトップと協議のうえで、どこにどう集めるのか戦略的に考えることが重要になります。これこそがダイキンの技術開発力の根本です。」(井上礼之、日経ビジネス 2019.01.21)

マザーという概念は、製造業ではマザー工場などのように生産機能に対して適用されることが通例だった。マザー工場と言えば通常日本国内に設置されて、海外などに新しく建てる工場を支援して育成するという役目を持つ工場を指す。いわば手本のような工場だ。ダイキンは、その概念を生産機能のみならず研究開発機能にまで適用したのである。開発機能へのマザー体制の導入は、製品の設計思想の標準化がすすめられたことによって可能になったと考えられる。



図表6 3階層のグローバル開発体制へ(2017~)

3 アーキテクチャー重視が加速する CPS 時代

以上2つのエピソードは、トヨタとダイキンという日本を代表する2つの大企業が、最近になって製品開発の考え方を大きく転換したことを示している。まず上位概念としての基本構想を策定したうえで、その枠内で個別製品を開発するというアーキテクチャー重視への転換である。転換を決断した背景には、業種を超えて共通した事情が存在していたことを2つのエピソードを通してみた。それは、個別最適を重視してきた従来の製品開発の進め方では、両社共に限界に直面したということである。良く指摘されることだが、欧米企業と比べた時の日本企業の収益性の低さは、このような製品開発の進め方にもその一因があるように思える。実はこのことは、理論的には2000年前後には既に指摘されてきたことであり、現実がそれに追随してきたという印象を受ける。

なぜ日本企業の戦略転換は時間を要したのか。優れた現場力を持つ日本企業は、アーキテクチャーを事前にきっちりと策定せずとも、現場が走りながら修正を加え最終的に個別

最適な製品をつくりあげることができたからである。しかし、ダイキンの技術者が成功に連れて次第に大きな閉塞感を感じたように、そのやり方はグローバル化が成功すればするほど、現場に大きな負荷がかかる仕事の仕組みなのである。その意味では、アーキテクチャーを重視して事前の基本構想策定に時間をかけることは、結果として現場を過剰な負担から解放するという意味で、働き方の改革にもつながるはずだ。

このアーキテクチャー重視の方向は、CPS の時代に一層強化されるに違いない。CPS の定義は未だ曖昧である。組み込みシステム自身が既にCPS であるという論者もいるし、CPS と聞いてクラウドを中心とするサイバー空間を想定する論者もいる。前者に従えば、例えば車に100個以上も組み込まれている ECU の制御システムは、CPS に近い、あるいは CPS それ自身だということになるだろう。このように現時点では解釈に大きな幅が存在することを認めた上で、それでも共通して言えることは、CPS の中核は半導体チップとそれを制御するソフトウェアであるということである。半導体チップの役割は、ソフトウェアで記述されるアルゴリズムに従って高速で演算処理をすることである。従って、半導体チップを制御するソフトウェアがより上位に位置することになる。

つまり、CPS という言葉をあえて使う時、その中核的な意味合いは、ハードウェアとソフトウェアが融合した一種のフィードバックシステムであるという点である。ここでハードウェアという場合、実際にはメカであったりエレキであったりするが、技術分野を横断してハードウェアという言葉を使っている。いずれであっても、ソフトウェアが端末の近傍で動作している場合もあるし、ネット空間にまで広がっている場合がある。サイバー空間の広がりをどこまで考えるかによって違いはあるが、いずれにしてもソフトウェアが稼働しているという点では違いはない。そして CPS の本質を、ハードウェアとソフトウェアが融合したフィードバックシステムと捉えるならば、その中心的な論点は、属性と特性が全く違う2つのものから構成される融合体をどのようにマネジメントするのかという問題になる。

実体がないソフトウェアの場合、そのアーキテクチャーの良し悪しが、ハードウェア以上に、その性能にダイレクトに影響する。アーキテクチャーやモジュラー化の必要性は、ソフトウェア産業で最も早く議論されてきたことからもそれは推論できる。優れたアーキテクチャーを設計することは、ソフトウェアの開発において極めて重要である。従って、ハードウェアとソフトウェアの融合体としての CPS を設計するに際して、アーキテクチャーの観点は不可欠である。

では CPS のアーキテクチャーとは一体何か。それを考えるに際して、幾つかの観点が考えられるが、CPS 独自の重要な観点は、C (サイバー空間、つまりソフトウェア) と P (フィジカル、実空間) をどこで分けるのか、そして C と P の間のインターフェースをどう設計するのかという観点であろう。

CとPをどこで分けるのかという問題は、エッジへビーにするか、クラウドへビーにするかという問題に他ならない。エッジへビーで行く場合、端末側、あるいは機械側により頭脳部分を持たせ、できるだけ多くのデータを端末で処理するという思想になる。その場合、

端末に高性能な半導体チップと制御ソフトウェアを搭載することになる。また、どのデータをクラウドまで上げるのかという基準も重要になるだろう。

他方で、クラウドヘビーで行く場合、端末あるいは機械に組み込まれているセンサーからできるだけ多くのデータを察知して、クラウドに挙げて、そこでビッグデータとして処理するという方向になる。その場合、端末側には高性能な半導体チップや高性能なソフトウェアを搭載する必要はない。むしろネット空間のクラウド側に、頭脳部分が移行することになる。

両方とも CPS だが、企業が CPS を設計する際に、このどちらでゆくのかをあらゆる観点から総合的に吟味して、初期段階で決めなければならない。例えば、セキュリティの観点、や技術進化への対応度という観点、さらにはデータ通信処理の負荷能力などの観点が重要だろう。そのような総合的な観点から基本構想を決めること、それが CPS のアーキテクチャーを策定するということに他ならない。

注)トヨタとダイキン工業のケースは、両社へのインタビュー(トヨタ自動車:202 0年3月3日、ダイキン工業:2019年11月8日および2020年1月29日)及び公 刊資料をもとに作成した。未定稿であるために許可なく引用することは禁じます。

参考文献)

井上礼之『人の力を信じて世界へ』日経ビジネス人文庫、日本経済新聞社、2011 井上礼之「脱自前主義で変化に対応」Leaders 経営者に聞く)読売新聞 2020.3.17 「ケーススタディ ダイキン工業」日経ビジネス 2019. 01.21

「さまよう工場」日経ビジネス 2020. 02.03

「世界標準プリウス」日経 Automotive 2016.1

第4章 建設産業における CPS プラットフォームの可能性

4.1 序論

日本の建設産業では2014年頃に CPS と言う言葉が散見され始めた(大成建設など)。 海外でも建設関連で CPS が最初に取り上げられたのは2014年に MIT が開催した CPS WEEK であると思われる。産業競争力会議の2015年度プロジェクト報告に「IOT, CPS を活用したスマート建設生産システム」があるが、報告書の内容には CPS に触れた部分は皆無である。同じ年、内閣府戦略的イノベーションプログラム(SIP)のプログラムデイレクターの藤野陽三東大名誉教授はインフラストラクチャの維持保全における CPS の重要性を指摘している。

それから4年後の2019 CAETEC では多くの建設業が街区や住宅内の CPS 的システム (Degital Twin) を展示しているが、未だ提案状態である。建設産業では個々の企業における IOT, AI, 自動化・ロボット化、BIM・CIM はかなり定着してきているが、バラバラでありプラットフォーマーは出現していない。CPS の必要性は認識されているが今後の課題である。建設関連産業の IOT ではコマツの KOMTRAX、CPS 概念のスマートコンストラクション、更にはオープン IOT プラットフォームとしての LANDLOG がある。しかしながら他の建機メーカーでも同様なシステムを提案しており、建機メーカー間の企業間競争となっている。

国土交通省は2015年にi-Constructionを提唱し、建設分野のICT, IOT活用を推進している。国管轄の土木工事にはある程度浸透し始めているが、地方自治体土木工事への浸透は少なく、民間土木工事は対象外である。建築分野では官庁営繕工事への適用をこれから推進する方向であるが、民間工事は管轄外である。i-Constructionは土木工事の測量から維持管理までをICT・IOT・自動化によって生産効率工場・品質向上を図るものであるが、CPS言う概念はほとんど見られない。

建築工事の協力会社では ICT, IOT の採用は緒についたばかりであるが、鉄骨・橋梁などの生産機械は IOT・AI・自動化が早まっている。建築分野では BIM (Building Information Modeling) が各方面に浸透し始め、国土交通省や関連企業による協議会の結成などで官民あげての取り組みが進んでいるが、設計・施工・維持管理の一環活用は緒に就いたばかりである。 CPS は概念としての必要性は認識されているが取り組みは未だ先である。

4. 2 コマツのスマートコンストラクション・LANDLOG の現状と未来

4. 2. 1 コマツの現状

建設関連で IOT, CPS、CPS プラットフォームへの取り組みとして最も進んでいるのはコマツである。コマツの KOMTRAX は IOT 活用、スマートコンストラクションはCPSを目指すもので、LANLOG はそのプラットフォマーへの挑戦と考えられる。KOMTRAX も個別要素のCPSと解釈することもできる。コマツの KOMTRAX、スマートコンストラクションについては昨年の報告¹⁾で児玉、柴田も取りあげている。児玉の主張は1) KOMTRAX はブルドーザーの中の Control Module がコマツ本社の経営システムに転用された"porting"である。2) スマー

トコンストラクションは CPS で、その成立要因の一つはドローン技術を KOMTRAX に転用 (porting) したことである。 3) CPS は転用 (porting) オペレーターの「多段階」適用によって可能になる。

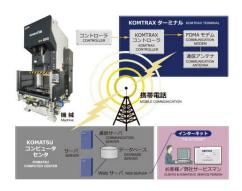


図4-1 KOMTRAX 引用: KOMATSU ホームページ

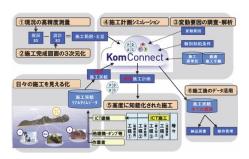


図4-2 スマートコンストラクション俯瞰図

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



図 4-3 LANDLOG の概念図 引用: コマツ ホームページ

Io Tが誘発するビジネス・システムの進化

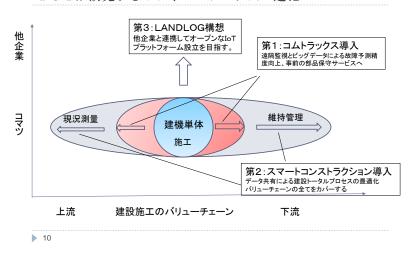


図4-4 IoTが誘発するビジネス・システムの進化(柴田) 引用:文献1

柴田は KOMTRAX、スマートコンストラクションの他 LANDLOG についても言及している。柴田の KOMTRAX、スマートコンストラクション、LANDLOG についての概念図(図 4-4)は大変分かりやすい。スマートコンストラクションは CPS、LANDLOG は CPS プラットフォームを目指すものと容易に理解出来る。柴田は LANDLOG が CPS プラットフォームに成長するためにはインテルがパソコン分野で果たした役割を例に出して次のように記している。

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

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

コマツのHPで最近の施工例を幾つか確認したが、衛星測位システムを搭載したICT建機により作業性・生産性が大いに向上したとの報告がほとんどであった。同じ現場でコマツのICT建機のみが稼働している場合にはこれらのデータを集約・分析してCPSとしての運用可能と考える。

LANDLOG 社の井川甲作社長は2019年8月30日の『日経XTECH』²⁾の記事で次のように語っている。「建設土木現場を可視化するには、建機メーカーとデータを連携すると

いう手段もありますが、これはまだまだ壁があります、苦労があります。例えば、コマツと 競合する建機メーカーの理解を得て、データを提供してもらうのは容易なことではありま せん」。

4.2.2 日立建機の動向

日立建機のレポート³⁾では「同業他社に先駆け 2000 年 6 月に油圧ショベル ZAXIS シリーズ 1 型に衛星通信端末をオプション搭載した。稼働情報を遠隔にて収集できる「情報ショベル」として販売を開始し、その後、2006 年 4 月に ZAXIS シリーズ 3 型販売時に通信端末を標準搭載としている。また、2005 年 10 月よりそれぞれの機械の稼働情報のみではなく、関連する機械の情報、技術情報などを一括で管理できる Global e-Service と呼ぶシステムを全世界で運用開始したと」と報告している。

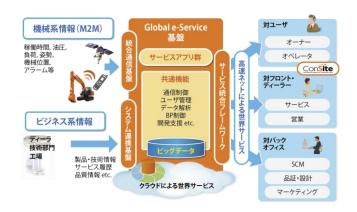


図4-5 日立建機にGlobal-Serviceの概要 引用:文献3

Global-Service は 2017 年時点で登録社数 6万社、ユーザー数 9万人で、全世界 185 5 か国/地域で利用されていると報告している。

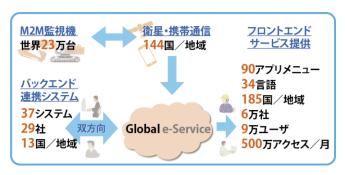
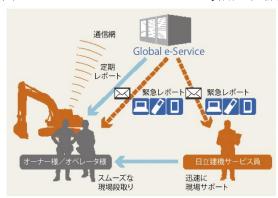


図 4-6 日立建機の GLOBAL-SERVICE の対応状況 (2017年1月現在) 引用: 文献3

このサービス活用には時間がかかる、情報活用レベルが低いなどの課題があり2013年から「お客様機械を見守るパートナ」として「ConSite」と言うサービスを立ち上げた。2016年度には全世界で5万台の契約数に達したと言う。建設機械の稼動状況を定期的にレポートし、緊急事態を必要なアドレスに届けると言うデータレポートサービスである。



図 4-7 ConSite のメニュー 引用: 文献 3



図X-8 ConSite は定期・緊急レポートを出す 引用: 文献3

日立建機は2018年に施工現場の「安全性向上」「「生産性向上」、「ライフサイクルコスト低減」に貢献する、ICT・IOT ソリューション「Solution Linkage®(ソリューション リンケージ)」の一環として、施工現場の見える化や進捗管理、指定エリアへの進入を通知する機能を持つ IOT 施工ソリューション「Solution Linkage Mobile (ソリューション リンケージ モバイル)」の発売を国内向けに開始した。このシステムはスマートフォンなどのモバイル端末を利用することが出来ると言う。



図4-9 日立建機の Solution Linkage Mobile

引用:日立建機ホームページ

同年、日立建機は土木施工現場の生産性を向上するため、スマートフォンの動画撮影機能などを活用し、土木工事の作業により発生する土の体積(以下、土量)を、簡便かつ定量的に把握することができるサービスを共同で開発し10月より、「Solution Linkage® Survey(ソリューション リンケージ サーベイ)」として、提供と発表した。



図4-10 「Solution Linkage® Survey」の概要図

引用:日立建機ホームページ

4. 2. 3 まとめ

日本の建設機械メーカーはコマツ、日立建機、クボタ、豊田自動織機、日立製作所、 三菱ロジスネクスト、神戸製鋼所、住友重機械工業、タダノなど27社がある。世界 の建設機械メーカーの売上高トップ10はキャタピラー、コマツ、ボルボ、日立建機、 テレックス、CNHインダストリアル、デイア、リーピヘル、中連重科、三一重工で、各 社とも IOT サービスに力をいれている。業界競争の最大の力点は情報化サービスで、 業界を通したプラットフォームを確立する動きはない。コマツの方向は理想的であり、 日立建機の方向は現場密着型と言える。両方の戦略が同時に成功する方策の検討が必 要である。

4. 3 国土交通省が推進する i-Construction

i-Construction は国土交通省が「生産革命プロジェクト」の一貫として、2016年に建設現場にICTを導入するために実施した施策である。ICT技術の全面的な活用により、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までの全ての建設プロセスを省力化することを目的としている。具体的な施策として図4-11に示す3つを示している。

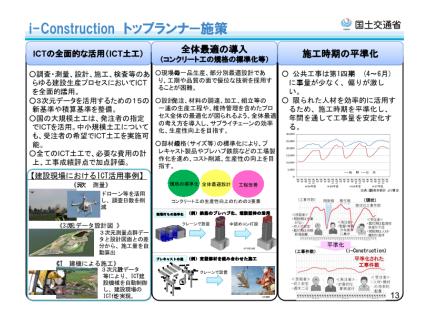


図 4-11 I-Construction の 3 つの施策 引用:国土交通省 HP

文献 4) によれば i-Construction は土木工事の測量から維持管理までを IOT, AI, 自動化、ロボット化、ドローン活用によって生産性向上を図るもので(図 4-12、図 4-13) CPS と言う概念には至っていないと考える。しかしながら土木工事の多くは国及び地方自治体の官庁工事であるため、全国一斉の取り組みが行われる。そのためビックデータ化は可能であり CPS 的取り組みの可能性大である。最近設立された i-Construction コンソーシアムの活躍が期待される。土木工事は多くの工種に渡り、工事数も多いため i-Construction はようやく緒についたばかりで(図 4-14)、先ずは最も生産性が低い「土工事」と「コンクリート工事」に注力が置かれている(図 4-15)。

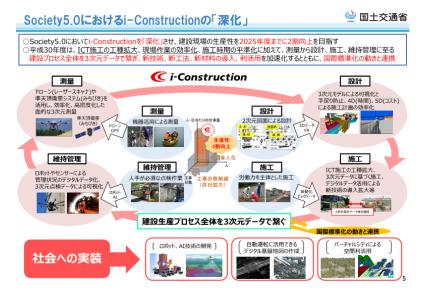


図 4-12 i-Construction の全体図 引用: 文献 4



図4-13 i-Construction は先端技術による土木工事の生産性向上 引用:文献4

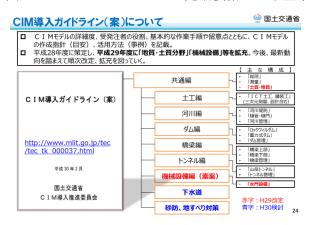


図4-14 土木工事の工事 引用:文献4

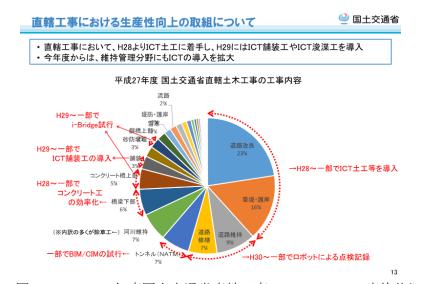


図4-15 H27年度国土交通省直轄工事1-Cnstruction 実施状況 引用:文献4

4. 4 建設業の IOT, CPS の現状

産業競争力懇談会では2015年のプロジェクトの一つとして「IOT, CPS を活用したスマート建設生産システム」が検討された。討議内容はBIM・CIM を活用した建設工事の生産性向上がほとんどで、CPS の必要性は語られているが実績はない。本節では 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) でのゼネコンの展示 (CEATEC の HP 掲載内容) から建設業の CPS を分析する。

4. 4. 1 竹中工務

五感の刺激に満ちた健康な生活空間を創出する「五感レスポンス・ウェルネス・システム」の展示を行った。人の動きに応じて五感を刺激する色々な仕組みが作用し、ストレス解消、リラックス効果、気分転換がはかられるシステムである。人の動きをセンサーして生活空間をコントロールする新しいタイプの空間知能化システムと考えられる。

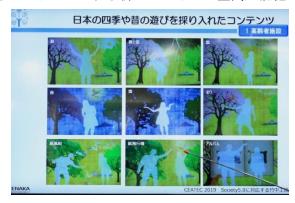


図4−16 竹中工務店の「五感レスポンス・ウェルネス・システム」 引用: 文献 5 4.4.2 清水建設

「未来のまちをつくるスマートイノベーション」をテーマに、AI、IoT、ロボット等の技術を活用した最新のまちづくりと、オープンイノベーションの事例を紹介。同社が開発・設計・施工を一貫して行った「豊洲六丁目 4-2 街区・4-3 街区」:「大規模賃貸オフィスビルと豊洲エリア最大規模のホテルを核とする総延床約 11 万 6 千平方メートルの一体複合開発」の事例である。移動に関わるオープンな交通データ基盤を整備し、交通渋滞情報の可視化等の実現を目指す。移動に関わるオープンな交通データ基盤を整備し、交通渋滞情報の可視化等の実現を目指す。主なルートは決まっているが乗降車場所をフレキシブルに対応する"呼べば来る乗り合いバス"オンデマンド型バスの導入。同社は誰もが暮らしやすい未来へ向け、車いす利用者や視覚障害者の円滑な移動を支援する屋内外ナビゲーション・システムを2016 年に開発している。

位置測定機能・音声ナビゲーション機能・対話機能を備えたスマートフォン・アプリ、空間情報データベース、位置情報インフラが協調して、屋内外を継ぎ目なくナビゲーションするもので、利用者の円滑な移動をサポートする。

三井不動産株式会社、日本アイ・ビー・エム株式会社との共同で COREDO 室町1・2・3 を対象とした屋内測位環境を構築し、バリアフリーナビゲーション「インクルーシブ・ナビ」

のサービスを実装している。利用者の属性を指定すれば、視覚障害者には音声案内、車いす利用者には段差のない経路を案内するなど高精度で適したルートを案内する。空港、観光地への普及が進めば、視覚障害者の人でも一人で初めての街を歩きやすくなる。主なルートは決まっているが乗降車場所をフレキシブルに対応する"呼べば来る乗り合いバス"オンデマンド型バスの導入もその一例。IOTを取り入れたスマートシテイーの実例である。



図 4-17 スマートシテイー 引用: 文献 5

4 · 4 · 3 大成建設

AI・IOTを活用して新たな都市像をシミュレーションできる『デジタル西新宿』プロジェクトを紹介。同社は「人がいきいきとする環境を創造する」ことをコンセプトに、自然と共生する持続可能な都市像を示す。模型で再現された東京都の高層ビル街区「西新宿」にタブレットをかざすと未来の住みやすい都市像がバーチャルイメージとして現れる仕組み。西新宿が抱えるテナントビルの賃料低下、超高層ビル群の老朽化などの問題を解決するためのデジタルプラットフォームとして構築。多様なシミュレーションを行うことが可能で、ビルの間を流れる風の強弱、壁や塗装の繰り返しによる熱環境の状態、さらには街区を歩く人の流れまでタブレット上に表示する。

総合的な街づくりシステムで AI, IOT の活用が充実している。



図 4-18 まちの課題を解決するためのデジタルプラットフォーム 引用: 文献 5 $4 \cdot 4 \cdot 4$ 結論

スマート・シティは、いわば大規模な Degital 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、Degital 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。

4. 5 建築における BIM

4. 5. 1 BIMとは

BIM (Building Information Modeling) (ビルディング インフォメーション モデリング) は、建物のライフサイクルにおいてそのデータを構築管理するためのシステムである。 近年 CAD に変わって建築物の設計から施工、維持保全に活用されつつある。 3 次元的に地理、土地、建物形状・面積・構造・部屋の名称、環境設備、建物部材の仕様・性能・数量、仕上げなどの情報、積算情報が含まれる。わが国でも活用が進んでいるが、設計、施工でデータが分断されており、使用されるソフトも統一されていない。そのため維持運用保全段階での活用は進んでいない。

4. 5. 2 国土交通省のBIMへの取り組み

国土交通省の i-Construction は官庁工事が主たる対象であった。従って BIM 適用も官庁 営繕の工事が主であった。 参考文献6によれば、国土交通省の未来投資戦略(平成 30 年6 月 15 日閣議決定)では、デジタルガバメントの推進として建築関係手続のオンラインによ る簡素化、次世代インフラ・メンテナンス・システムの構築等インフラ管理の高度化として 建設プロセスへの ICT の全面的な活用等の推進を位置づけた。 さらに、成長戦略フォローア ップ(令和元年6月21日閣議決定)では、国・地方公共団体、建設業者、設計者、建築物 所有者などの広範な関係者による協議の場を設置し BIM の導入を戦略的に進めることとし た。 これを受け、企画・基本計画から始まる建築物の生産プロセスや維持管理・運用等を 含めた建築物のライフサイクルにおいて、BIM を通じデジタル情報が一貫して活用される仕 組みの構築を図り、建築分野での生産性向上を図るため、官民が一体となって BIM の推進を 図る「建築 BIM 推進会議」を国土交通省内に設置(令和元年6月)した(委員長松村東大特 任教授)。 この会議では各分野の検討状況の共有や、BIM を活用した建築物の生産・維持管 理等プロセスや BIM のもたらす周辺環境の将来像を議論するとともに、将来像に向けた官 民の役割分担・工程表(ロードマップ)を議論している。 現在第3回までの会議が行わ れ、学識経験者の他、建築関連団体のほとんど参加し活発な議論が行われている。

その中で明らかになったことは欧米に比し日本の BIM 活用が遅れていること、中小企業が置き去りになっていること、設計と施工が分断されていること、ソフトに互換性のない事、BIM 活用の費用対効果が不明なことなど問題山積みであることが判明した。一貫した BIM 活用のための環境整備の部会の設置など、政府が主導して各団体、各企業、関連政府機関を纏めて行く作業を始めたことは評価される

4. 5. 3 ゼネコンの BIM

① 竹中工務店

建設会社の中でBIMが最も進んでいるのは竹中工務店と考えられるので実態を調査した。 竹中工務店でも従来BIM活用は設計と施工が分離されていた。2017年1月に「BIM推進 室」を設置し全社的にBIM活用を推進している。BIM推進室は営業本部、設計本部、生産本部と同列に位置づけになっており、意気込みが感じられる。『竹中コーポレートレポート2019』では「生産BIMの進化とファブリケーションへの拡大」の項を設けBIMを強く意識した内容である。その記載によれば「従来は構造と設備の整合をはかるレベル」であったが、1)躯体や製作モデルとの設計段階からの連携、2)鉄骨工作・設備配管・軽鉄下地のプレカットなど工場段階との連動、3)設計と生産モデルとの連携強化が謳われている。「池袋シネコン」における設計と生産BIMとの連携、徳島日亜化学工業の現場で軽鉄下地・外装パネルのデジタルデータを工場の加工機と連携させことが報告されている。設計・詳細設計と施工との連携は始まったばかりと思われる。

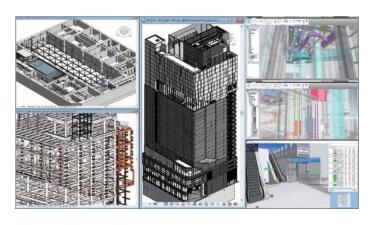


図4-19 詳細設計+躯体・外装一体 BIM モデル (竹中工務店)

出展;参考文献

② 清水建設

清水建設ではかなり早い時期から設計への BIM 導入が始まっていた。しかしながら施工への BIM 導入は遅れていた。2019年12月に「Shimizu One BIM (設計施工連結 BIM)」の構築推進を表明している。対象は鉄骨造に限定されている。

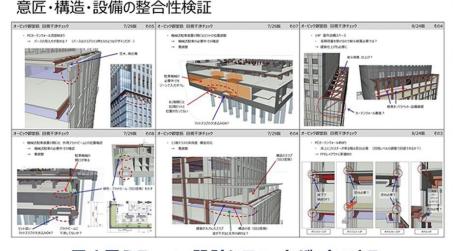


図4-20 Shimizu One BIM 引用:清水建設HP

③ 鹿島建設

鹿島建設のHPによれば、同社は2009年以降、施工現場へのBIMの積極的な導入・推進を図り、2013年にはクラウドサービスを利用したBIMプラットフォーム「Global BIM」を世界で初めて構築したとしている。2017年4月、施工部門においてさらなるBIM(Building Information Modeling)の普及展開と高度化を図るため、BIM業務を専業とする新会社「株式会社グローバルBIM」を設立した。同年10月5日、BIM技術者を多数有するBIM専業会社「株式会社沖縄デジタルビジョン」のM&Aを行った。鹿島が開発し社内運用しているBIM施工計画支援ソフト「smartCON Planner」などのアドオンソフトを公開・販売するとした。将来的には日本版 IPD(Integrated Project Delivery)の先進企業としてBIMノウハウを提供する、日本初のBIMサービスプロバイダーを目指すとしている。

『鹿島統合報告書2019』では BIM を数多く取り上げ、総力をあげて BIM を推進する 意気込みが感じられる。2016年の着工した「オービック御堂筋ビル新築工事」において は全面的に BIM が活用されている。



予め見える → 設計にフィードバックできる

図4-21 オービック御堂筋ビル新築工事における BIM 活用 (鹿島建設) 引用: 鹿島建設 HP

④ 大林組

大林組は2013年に建築本部のBIM 推進室を発展させPDセンター体制を構築した。2016年4月には大阪本店にPDセンターの大阪駐在置き、BIM活用に向けた社内体制の拡充し、建築生産システムの中でデータを一貫して共有する方向性を模索した。2017年4月にはワンモデルBIMを位置付けた。同年11月には本支店にBIMマネジメント課を発足し、現場への支援を担うBIMマネジャーという役割も設けた。2019・10月、大林組と、トランスコスモス株式会社、応用技術株式会社は、BIM(Building Information Modeling)を設計から生産設計、施工管理などで一貫して利用できる情報基盤の構築に向けて、共同で検討するアライアンスを締結した。2018年6月、BIMを基盤とする新たな建設プロセス

を「スマートBIM」と称し、設計段階から維持管理に至るまで一貫して建物データベースを 共有・活用して、生産性の向上や新たなサービスの提供を実現するさまざまな要素技術を開 発、展開し、「BIMWill」は建物完成後にスマートBIMを実現する中核システムとした。



図 4-2 2 設計・施工・維持管理を一貫して行う BIMWILL (大林組) 引用: 大林組 HP

大林組はBIMを街へ拡大するとしてSCIM(Smart City Information Modeling)を提案している。街全体をコンピューター上に再現し、街の見える化を実現している。SCIM は商標登録が行われ大林組のHPのSCIMの説明は「コンピューター上に街を丸ごと再現し、計画段階におけるシステムの最適設計や環境シミュレーション、施工段階における不具合防止、運営段階におけるエネルギーの見える化やインフラの維持管理など、街づくりのあらゆる段階でさまざまなサービスを提供するプラットフォーム」である。この概念はDegital Twinと考えられる。Degital TwinはCPSと同じ概念であるが、CPSは個別の指標データ活用のサイクル、Degital Twinはデータの集合体としてサイバー空間に再現した物理モデルである



図4-23 街をトータルコーデネイトする SCIM(Smart City Information Modeling) 引用:大林組 HP

⑤ 大成建設

大成建設での BIM への取り組みは2005年のようで、業界で元も早く取り組みを開始

したとしている。⁸⁾ 2019年 Autodesk Revit ユーザーに向けたアドインパッケージ「BooT. one(ブート.ワン)」の提供を開始することを発表した。「BooT. one」は、同社が社内で蓄積してきた「BIM 規格」のノウハウを Revit のアドインとしてパッケージ化したもの。業界の BIM プラットフォームを目指したものである。発注者へのプレゼンテーションとしても BIM を活用している。⁹⁾

⑥ まとめ

大手ゼネコンのBIMへの取り組みはかなり早い時期から行われてきたが、設計・施工・維持管理のBIMの連携は2019年に大きく推進力が働いたと考えられる。これは国道交通省の「BIM推進会議」の設定が大きく影響したと考えられる。各社はM&A, 異業種との連携、専門会社の設立など多彩な戦略がみられる。しかしながら CPS のレベルに達するにはまだ時間がかかること必須である。

4. 5 結び

建設産業における ICT, IOT は2019年から新しい時代に入りつつある。それは国土交通省が進める i-Construction, 建築 BIM 推進会議が大きく後押ししている。i-Construction は国発注工事への適用が主であり、地方自治体、民間工事への広がりは少ない。I-Construction は ICT, IOT による土木工事の生産性向上が主目的で CPS と言うレベルには至っていない。この分野ではコマツの KOMTRAX, スマートコンストラクション、LANDLOG が先行しているが、CPS としての使い方は見られない。LANDLOG はプラットフォームを目指しているが他の建機メーカーも同様な取り組みをしており、プラットフォーマーになるには障害が大きい。

BIM は建築分野での活用が急激に進んでいるが、中小企業が置き去りになっており、設計BIM と施工 BIM が分断され、ソフトに互換性のない事、BIM 活用の費用対効果が不明なことなど問題山積みである。設計・施工での BIM の一環活用は始まったばかりである。BIM が CPS 的活用されるには未だ時間が必要である。 ビックデータ活用にはプラットフォームの出現が必要であるが、建設業は B2B ビジネスで顧客獲得競争が激しくプラットフォームの出現は困難と思われる。そのためには建設産業以外からの、児玉の提唱する porting が期待される。多くのゼネコンで街全体での ICT, IOT、BIM 活用の取り組みが始まっている。 大型地域開発の営業ツールとして期待され、Degital Twin の活用が進むと予想される。

参考文献

- 1)「IOT の事例とその本質-Ⅲ」『平成30年度 産業と技術の比較研究報告書』商工会 館 令和元年6月
- 2)「日本発 IOT の進捗度はわずか 10%、ランドログ社長が語る現在地と覚悟」ランドログ 代表取締役社長 井川 甲作 氏『日経XTECC』 2019年8月19日
- 3) 濱町好也他「建設機械の遠隔監視とトータルソリューション提案の実現 (ConSite) ―情報収集・インテリジェンスフィルタ機能・情報配信の全自動化―」『デジタ

ルプラクテス』Vol.8 No.3 (July 2017)

- 4)国土交通省大臣官房技術調査課「国土交通省における i-Construction の取り組みについて」2019年2月13日
- 5) CEATECH 2 O 1 9 HP
- 6)「BIM 標準ガイドライン」第1版(素案)、建築 BIM 推進会議
- 7)『竹中コーポレートレポート2019』竹中工務店
- 8) 『建築コスト研究』「大成建設における BIM の取り組みについて」
- 9)『WEB. LIBRARY. TAISEI』「後悔しない施設づくりのために」大成建設

第6章 汎用技術(GPT)とビジネスモデル

6.1 IOT (CPS) とビジネスモデル特許

新しい技術が開発された後に、それが社会で活用される(すなわちイノベーションを起こす)までにはタイムラグがある。特に「汎用技術(General Purpose Technology: GPT)」と呼ばれる、社会に対して広範な影響を及ぼすような画期的な技術3の場合は、そのタイムラグは大きくなる傾向がある。例えば、20世紀後半に出現したコンピュータおよび情報通信技術(ICT)は、第3次産業革命をもたらした GPT であるとされている。しかしそれらの技術を活用するための設備投資が盛んに行われ始めた 1970 年代や 1980 年代には、実際のところその効果はあまりはっきりと認識されていなかった。

ノーベル経済学賞を受賞したロバート・ソローやポール・クルーグマンは、1990年代前半までの米国における ICT への投資が、国内産業の生産性向上に結び付いていないという「生産性パラドックス (ソロー・パラドックス)」の存在を指摘し、経済学者の間に大きな論争を巻き起こしていた4。しかしこの生産性パラドックスは、1990年代後半米国で高い経済成長が観察された結果として解消され(図 6·1)、今では ICT への投資と生産性向上の効果発現の間に存在した長いタイムラグが、みかけ上のパラドックスを生じさせたのだという認識が共有されている5。この米国で観察されたタイムラグの主な原因について、経済史家のポール・デービッドは「新技術の活用のための学習時間」が特にソフトウェアを使いこなす上で比較的長い時間を要したためとしているが6、そこで考慮されるべき重要な視点は新技術の活用による新しい「ビジネスモデル」の出現ではないだろうか。新たな技術は、それが活用される過程で産業や企業活動そのものやそれらの境界を変化させ、それが新しいビジネスモデルとして認知されるのかもしれない。

⁻

³ Bresnahan and Trajtenberg (1995), General purpose technologies 'Engines of growth'?, Journal of Econometrics, vol. 65, issue 1, 83-108.

⁴ ソローのオリジナルな指摘は、"You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics" (コンピュータ時代が到来した証拠は社会の至るところで見られるが、唯一、生産性統計にだけはそれが見られない), New York Times Book Review, July 12 1987, page 36

⁵ 大統領経済諮問委員会(CEA)「Economic Report of the President(2001)」p28: https://www.govinfo.gov/content/pkg/ERP-2001/pdf/ERP-2001.pdf

⁶ Paul David (2000), Understanding Digital Technology's Evolution and the Path of Measured Productivity Growth: Present and Future in the Mirror of the Past, in Understanding the Digital Economy, eds., E. Brynolfsson and B. Kahin (eds.), MIT Press.

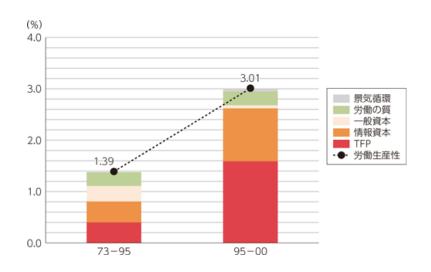


図 6-1 米国における労働生産性向上の要因 (1973-2000) : 令和元年版「情報通信白書」

新しい技術情報の開示と引き換えにその利用に対して一定期間の独占権を与える特許は、従来から主として製造業にその利用が集中してきた(表 6-1)。日本では、特に製造業の中でも電気・機械・化学関連の業種の大企業は 1 社あたりの出願件数が他の業種に比べてとび抜けて大きく、特許活動がこれらの産業・企業に偏在していることがわかる。これらの業種や企業は、主として第 2 次産業革命(電気や機械・モビリティー技術が牽引)において、大きな恩恵を受けた企業であった。

		出願	件数		1社あたり出願件数			
	大企業	中小企業	中規模企業	小規模 事業者	大企業	中小企業	中規模 企業	小規模 事業者
01. 建設業	4,229	1,145	721	424	28.4	1.8	1.9	1.6
02. 食品製造業	1,606	484	425	59	19.3	2.2	2.5	1.3
03. 繊維・パルプ・紙製造業	5,009	711	588	123	72.6	2.4	2.7	1.6
04. 医薬品製造業	1,706	384	358	26	27.1	3.6	4.0	1.4
05. 化学工業	20,768	1,812	1,681	131	146.3	4.3	4.8	1.8
06. 石油石炭・プラスチック・ゴム・窯業	12,136	1,821	1,627	194	82.6	2.8	3.1	1.5
07. 鉄鋼·非鉄金属製造業	10,039	405	368	37	109.1	3.0	3.0	2.6
08. 金属製品製造業	2,831	1,307	1,145	162	36.3	2.3	2.5	1.4
09. 機械製造業	17,532	3,834	3,329	505	84.7	3.1	3.7	1.6
10. 電気機械製造業	82,585	3,384	2,989	395	288.8	3.8	4.4	1.9
11. 輸送用機械製造業	23,684	615	561	54	146.2	3.0	3.3	1.6
12. 業務用機械器具製造業	28,002	6,516	6,359	157	363.7	16.7	21.6	1.6
13. その他の製造業	6,809	1,175	925	250	128.5	2.3	2.6	1.7
14. 情報通信業	3,564	807	688	119	20.5		1.7	1.5
15. 卸売·小売等	8,191	3,646	3,136	510	24.8	2.1	2.3	1.5
16. その他の非製造業	9,278	2,728	2,279	449	31.1	2.6	2.8	1.8
17. 教育·TLO·公的研究機関·公務	415	225	180	45	83.0	3.0	3.1	3.0
18. その他	0	73	70	3	-	4.3	5.0	1.0

表 6-1 業種大分類別企業規模別の特許出願件数:特許庁「中小企業産業財産権関係データ (平 24 年) 」より

当研究会では、IOT に関して主として製造業に属する様々な日本企業の関係者から聞き取り調査を行なってきた。この聞き取りを通じて、ほとんどの日本企業は IOT 関連技術の研究開発に取り組み、あるいは既に優れた技術を保有しているものの、いまだビジネスモデルすなわち技術をビジネスに展開し収益を得る仕組みと戦略を模索中であるとの印象を強く持った。

米国で第 3 次産業革命(ICT が牽引)の活用で覇者となった Microsoft や Intel、また来るべき第 4 次産業革命においてもリーディングカンパニーとなるであろうと目されている巨大 IT 企業群 Google, Apple, Facebook, Amazon (GAFA)は、例外なくビジネスモデルのイノベーターである。そして GAFA に至っては(ほとんど)製造業には分類され得ない「プラットフォーマー」企業である。特許庁の資料によると、2017 年に米国で公開された GAFA の特許出願数は、Google: 約 5900 件、Apple: 約 3500 件、Facebook: 約 1500 件、Amazon: 約 2600 件であった7。これらはほとんどの製造業の大企業を凌駕しており、それら特許の多くが「ビジネスモデル特許」である。

1990年代の米国では、既にビジネスモデルを特許により保護しようとする動きが始まっていた。例えば、Mondex や Citibank の電子マネーに関する特許は、1990年代初頭に出願されている。そして、後に State Street Bank 判決で有名になる Signature Financial の「ハブ・アンド・スポーク」特許も、出願されたのは 1993年である。このハブ・アンド・スポーク事許に対して無効訴訟を起こした State Street Bank は 1998年に敗訴し8、それ以降ビジネスモデルが特許によって保護され得るという認識が世界的に広まり、ビジネスモデル特許出願の第1次ブームが到来した。Amazonの躍進の基礎となった「ワン・クリック特許」は 1997年に出願され、1999年に成立している9。その結果日本でも、従来は特許とは関係が薄かった流通業や金融業、不動産業、サービス業などに属する企業から(もちろん製造業の企業からも)なかばパニック的に多数の特許が出願された。この時期に大量出願されたビジネスモデル特許は、特許要件や先行技術情報などが未成熟であったこともあり、その多くが拒絶査定を受けた。しかしその後、特許要件が明確化されるとともに事例が蓄積されるにつれてジャンク出願は減少し、真に有用と認められる発明の出願が増加して、近年では第2次ブームが到来している10と見られる(次節参照)。

.

⁷ 特許庁審査第4部 (2018年)「最近の特許の動向―ブロックチェーン、AI 関連技術を中心に―」

⁸ 特許権に関する米国の最終審である巡回控訴審は「ビジネス方法の特許性を否定する規 定は存在せず、ビジネス方法であるという理由だけで特許対象から除外されるべきではな い」という旨の判断を示した。

⁹ 日本では 1998 年に出願され、拒絶査定・分割・審判など紆余曲折を経て 2012 年に登録 された (2018 年に満了)。

¹⁰ 米国では 2014 年に連邦最高裁が「特許適格性を厳しく判断するべき」という旨の Alice 判決を下し、それ以降ビジネスモデル特許の出願が沈静化していた。しかし 2018 年 以降は、巡回控訴審のいくつかの判決から、特許適格性の判断が再び緩和される傾向になっている。

筆者の大きな問題意識は「技術はどのように産業を変えるのか?」、あるいは「産業は技術を活用するために(自ら)どのように変わるのか?」、そして「社会システムは、新しい技術を活用する新産業をどのようにして産み出すのか?」というところにある。本章では、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、ビジネスモデル特許の動向を概観する。

6.2 特許庁報告書から見るビジネス関連発明の動向

2000 年代初頭の、ビジネスモデル特許の第 1 次ブーム時においては、ビジネスモデル特許 (通称:特許庁の用語では「ビジネス方法の発明」)には国際特許分類 (IPC) の G06F サブクラスの中のサブグループ 17/60 もしくはメイングループ 19/00 が付与されることが 多かった。その当時用いられていた IPC 第 7 版における G06F19/00 の定義は、

特定の機能に特に適合したデジタル計算またはデータ処理の装置または方法であり、 管理目的,業務目的,経営目的,監督目的,または予測目的のもの

となっていた。しかし、この分類は IPC 第 8 版 (2006 年 1 月 1 日より適用)で再編・廃止され、新たにより上位の G06Q がビジネスモデル発明専用のサブクラスとして新設された。

日本の特許庁の見解によると、「ビジネス方法」そのものは自然法則を利用したものではないため、画期的なアイデアであっても特許になり得ないとされている。ただし、新たなビジネス方法が ICT (Information and Communication Technology:情報通信技術)を利用して実現された場合には、特許の可能性がある。その際、ICT 自体に新規性や進歩性は不要で、既存のシステムや ICT ツール(クラウドサービスや汎用の AI ツール等)を活用することも可能であるとされている(図 6-2)。

特許庁はそのような発明に対して「ビジネス関連発明」という呼び名を与え、2019年にその動向を調査した結果を発表した¹¹。特許庁の報告書によると、ビジネス関連発明の出願数は 2000年に生じた第 1 次ブームの後に急速に減少し、2011年に 5500件程度で底を打った。2012年以降の出願数は増加に転じており 2017年の出願数は 9100件程度となっている(図 6·3)。また、2000年のブーム当初は出願されたもののうち特許が認められる査定率が 8%程度しかなかったが、その後年々着実に向上し、2011年以降の査定率は他の技術分野とさほど変わらない 60%台後半で推移している。参考資料の蓄積や出願経験の積み重ねによって、特許になるビジネス関連発明とはどのようなものかに関するコンセンサスが形成されつつあるということであろう。

53

¹¹ 特許庁(2019年)「ビジネス関連発明の最近の動向について」 https://www.jpo.go.jp/system/patent/gaiyo/sesaku/biz_pat.html

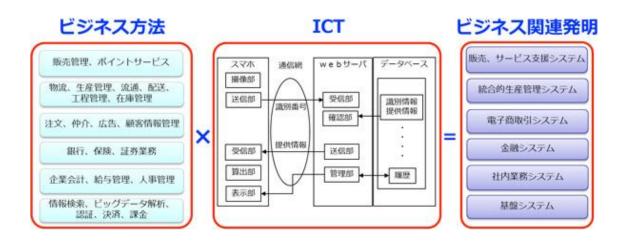


図 6-2 ビジネス関連発明の概念 (出展:特許庁、2019)

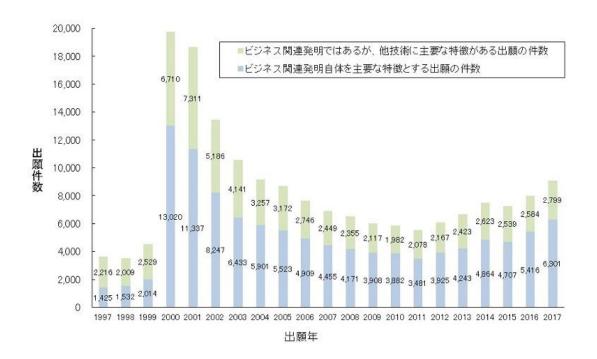


図 6-3 ビジネス関連発明の出願数の推移(出展:特許庁、2019)

国際特許分類 (IPC) 第8版におけるG06Qのメイングループは以下の7種類である

● G06Q10:管理;経営

● G06Q20:支払アーキテクチャ,スキーム,またはプロトコル

● G06Q30:商取引,例.買物または電子商取引

● G06Q40:金融;保険;税戦略;法人税または所得税の処理

● G06Q50:特定の業種に特に適合したシステムまたは方法,例.公益事業/観光業

● G06Q90:格別なデータ処理を伴わない,管理目的,商用目的,金融目的,経営目

的等に特に適合したデータ処理システムまたは方法

● G06Q99:このサブクラスの他のグループに分類されない主題事項

特許庁の報告書では G06Q20 と G06Q40 のメイングループを「金融」として統合するとともに G06Q50 を細分化して、計 10 種類の分野を定義し、分野別出願件数の推移を示している(図 6-4)。それによると、2017 年に出願されたビジネス関連発明のうち上位を占めるのは、

- (1) サービス業一般(宿泊業、飲食業、不動産業、運輸業、通信業等)
- (2) EC・マーケティング(電子商取引、オークション、オンライン広告等)
- (3) 管理・経営(生産管理、在庫管理、プロジェクト管理、人員配置等)

の3分野である。「サービス業一般」には、シェアリングサービスや民泊ビジネス等が含まれ、スマートフォンのアプリ等で提供されるサービスの多様化を反映しており、「EC・マーケティング」の出願増加は、ネット上での電子商取引とそれに伴うマーケティングや広告ビジネスの展開が、そして「管理・経営」の出願増加は、社内業務や在庫管理の最適化等に人工知能(AI)を活用する発明などが関係していることが示唆されている。

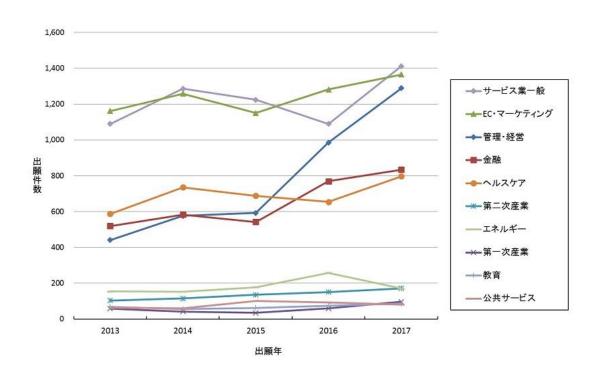


図 6-4 分野別ビジネス関連発明の出願件数の推移(出展:特許庁、2019)

6.3 ビジネス関連発明の動向の補足分析

(1) ビジネス関連発明の全体動向

まず、特許情報プラットフォーム(J-PlatPat:特許庁の関連団体である独立行政法人が提供する公式データベース)のデータに基づき、ビジネス関連発明全体の動向(2020年3月末時点)を再確認しておく。公開公報ベースでの出願数、出願されたもののうち登録されたものの数、登録率の推移は図 6-5 のようになっている12。日本における 2017年末までの出願は、調査時点で既に全て公開されているので、出願数はほぼ確定値である。2015年には出願数が一時的に少し落ち込んでいるが、これは前述の米国における Alice 判決が日本にも影響を与えたためかもしれない。しかし、2016年や2017年の出願数は増加しており、日本においてはビジネスモデル特許の第2次ブームが到来しているという見方が妥当であるう。

¹² 出願数の 2018 年の値および登録数と登録率の 2015 年以降の値は、出願公開や審査結果が確定するまでのタイムラグの影響を受けるため、この時点では未確定であり今後上昇することが見込まれる。

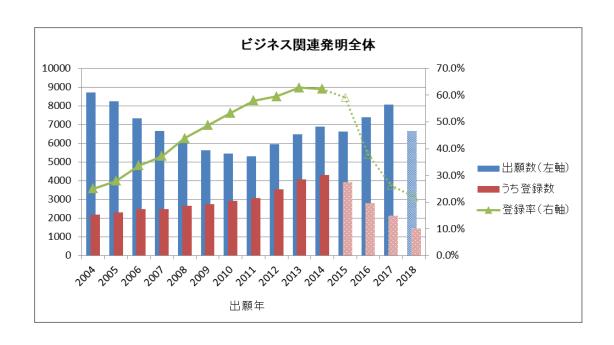


図 6-5 ビジネス関連発明全体の特許出願数、登録数、登録率の推移

前述の特許庁の報告書では、上述のようにビジネス関連発明を 10 分野にグルーピングし、主として出願数に基づいた分析を行っていた。しかし、そのグルーピング方法は上位分野では大括り過ぎて、実態を正確に掴むことは難しい。例えば、IPC の日本独自の細分類であるファイル・インデックス (FI) を用いて、EC・マーケティング分野 (G06Q30) のサブカテゴリーを見てみると:

G06Q30/00,300:・顧客との関係,例.保証書

G06Q30/02:・マーケティング,調査,促進,広告,顧客管理,価格の見積り

G06Q30/04: ・請求またはインボイス

G06Q30/06:・購買,販売またはリース取引

G06Q30/08:・・オークション

となっており、もう少し細分化することが可能である。ここでは、 $G06Q30/02\sim30/04$ を「マーケティング、広告」分野とし、G06Q30/06 を「EC」分野としてそれぞれ集計することとした 13 。

また、特定業務用システムを包含する G06Q50 のサブカテゴリーを FI で見てみると、以下のようになっている:

¹³ IPC や FI は一つの出願レコードに対して複数個が付与されることがあるため、個別集計の合計値は全体の集計値と厳密には合致しない。

G06Q50/02: ·農業;漁業;鉱業

G06Q50/04:・製造業

G06Q50/06:・電気, ガスまたは水道供給

G06Q50/08: •建設業

G06Q50/10:・サービス業

G06Q50/12:・・ホテルまたはレストラン

G06Q50/14:・・旅行代理業

G06Q50/16:・・不動産業

G06Q50/18:・・法律業;法律書類の扱い

G06Q50/20:・・教育

G06Q50/22:・・社会福祉事業(2018年まではヘルスケア含む)

G06Q50/26:・・政府または公共事業

G06Q50/28: ・ロジスティックス, 例. 倉庫, 積み荷, 配達または輸送

G06Q50/30:・運輸業;通信業 G06Q50/32:・・郵便および通信

G06Q50/34:・賭博またはブックメーキング,例.インターネット賭博

上記のうちハッチを施したサブカテゴリーは、特許庁報告書では「サービス業一般」として括られているが、これも細分化して集計する。

さらに、特許庁報告書ではノイズの多い指標である「出願数」に基づいた分析を主としているが、前述のようにビジネスモデル特許では過去に特に多くのジャンク発明が出願されるケースが多かった。ここではこのノイズの影響を避けるために、主として「出願されたもののうち登録された発明」に関する動向を概観することとしたい。

(2) EC・マーケティング・金融分野

まず、EC・マーケティング・金融分野であるが、この分野の中で特に 2014 年までの特許登録数の伸びが大きかったのは「マーケティング、広告」であることがわかる(図 6-6a)。ここに示した 2015 年以降の登録数は、当該年度の特許出願数と 2014 年の登録率を用いて計算した推定値であるが、「EC」分野「マーケティング、広告」分野ともに 2014 年をピークとして減少に転じる見込みである。一方、「金融」分野は 2016 年、2017 年にも登録数の増加が見込まれており、2018 年には「マーケティング、広告」分野を逆転する可能性が高い。

登録率は「マーケティング、広告」、「EC」、「金融」各分野とも大差なく 2014 年~ 2015 年には 60%以上に達している(図 6-6b)。

成長の著しい「マーケティング、広告」分野について、2005 年と 2015 年の特許登録数トップ 20 社の構成の変化を図 6-6c に示す。図中で製造業の企業にはハッチを施した。2005 年時点でも NTT やヤフー、グーグルなどのサービス業に属する企業が上位に見えるが、その比率は比較的マイナーである。一方、2015 年にはヤフーや楽天などのオンライン流通業の企業が躍進しており、合計の特許登録数では製造業をサービス業が逆転している。

図 6-6d は「マーケティング、広告」と関連の深い他の技術分野(FI の共起が多いもの)の 2005 年から 2015 年への変化を示したものである。この 10 年間には「特定機能デジタル計算装置」との関係が薄くなり、ハードウェアが汎用化したことが示唆される。また、下位ではかなりの技術の入れ替わりが観察されるが、これは「マーケティング、広告」分野が、ゲームやコンテンツ配信技術などとの関係が強くなったことを反映しているものと考えられる。

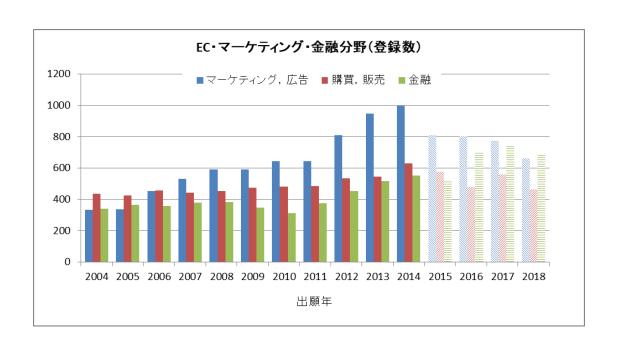


図 6-6a EC・マーケティング・金融分野の登録特許数の推移

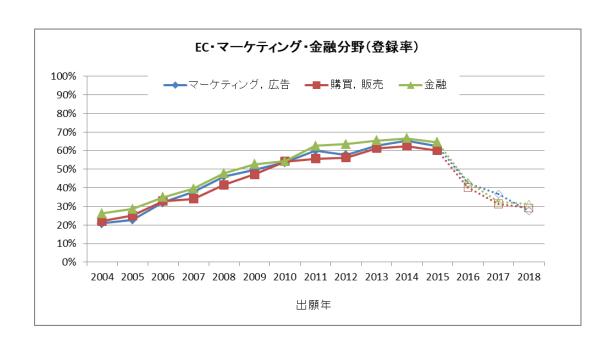


図 6-6b EC・マーケティング・金融分野の登録率の推移

順位	2005年	登録数	2015年	登録数
1	日本電信電話株式会社	19	ヤフ一株式会社	104
2	株式会社日立製作所	15	楽天株式会社	45
3	日本電気株式会社	14	東芝テック株式会社	31
4	ソニ一株式会社	13	日本電気株式会社	29
5	パナソニック株式会社	10	富士通株式会社	26
6	ヤフ一株式会社	10	パナソニックIPマネジメント株	25
7	大日本印刷株式会社	9	日本電信電話株式会社	21
8	東芝テック株式会社	9	株式会社日立製作所	18
9	富士通株式会社	8	カシオ計算機株式会社	14
10	富士ゼロックス株式会社	7	グーグル・インコーポレーテッ	12
11	マイクロソフト コーポレーション	6	グリー株式会社	12
12	グーグル、インコーポレイテッド	5	KDDI株式会社	11
13	セイコーエプソン株式会社	5	株式会社リクルートホールディ	11
14	ネイバー ビジネス プラットファ	5	シャープ株式会社	9
15	株式会社三共	5	株式会社日本総合研究所	9
16	KDDI株式会社	4	株式会社コナミデジタルエンタ	8
17	シャープ株式会社	4	株式会社リコー	8
18	トヨタ自動車株式会社	4	ネイバー コーポレーション	7
19	株式会社ナビタイムジャパン	4	株式会社JVCケンウッド	7
20	株式会社リコー	4	株式会社東芝	7

図 6-6c 「マーケティング、広告」分野の特許登録数上位 20 社の変化

2005年				201	5年			
共起順位	件数	FI		共起	順位	件数	FI	説明
	337/337	G06Q30				776/776	G06Q30	買物または電子商取引
1	337/337	G06F17		<u> </u>		216/776	G06Q50	特定業種に適合したシステム
2	109/337	G06Q50		> 2		187/776	G06F13	情報・信号の相互接続・転送
3	76/337	G06F16		<>> 3		104/776	G06F16	情報検索;データベース構造
4	49/337	G06F13		<u>⊿</u> 3		104/776	G06F17	特定機能デジタル計算装置
5	38/337	G09F19				77/776	G09F19	その他広告または表示手段
6	22/337	H04N21		₁ 6		68/776	G06Q10	管理;経営
6	22/337	H04N7		/7 7		47/776	G07G1	金銭登録機
8	21/337	G06K17		// //////////////////////////////////		36/776	G06F3	データ変換・入力装置
8	21/337	G06K7		∕		34/776	H04N21	選択的なコンテンツ配信
8	21/337	G06Q20	$\nearrow\!$	7 10)	29/776	A63F13	ビデオゲーム、電子ゲーム
	11	位以下から		11	位以下	^	H04N7	テレビジョン方式
							G06K17	装置を協働させるための方法
							G06K7	記録担体を読取る方法・装置
							G06Q20	支払アーキテクチャ

図 6-6d 「マーケティング、広告」と関連の深い技術分野の変化

(3) 第1次・第2次産業分野

次に、第一次産業(農業、漁業、工業)と第二次産業(製造業および建設業)のビジネス関連発明の動向を比較した(図 6-7a)。これらの分野の特許登録数は、全般的に 2014 年以降も増加することが見込まれる。増加率が高いのは「農業、漁業、鉱業」分野であるが、分野の登録数が多いのは「製造業」分野である。しかし、その数は年間 150~200 件程度であり、上述の EC やマーケティング分野と比べるとさほど多いとは言えない。また、これらの分野の登録率は 2012 年以降も上昇しており(図 6-7b)、70~80%にも達している。農業や建設分野では、AgriTech や i-Construction など、IOT の利用が注目されるようになってきたことがビジネスモデル特許の動向にも表れているものと考えられる。

図 6-7c は「製造業」分野について、2005 年と 2015 年の特許登録数トップ 20 社の構成の変化を示したものである。2005 年も 2015 年もほぼすべての企業が製造業に属する企業であり、また外国企業は IBM や GE、ボーイングなど米国の大企業がごく一部を占めるに過ぎない。トヨタやマツダなどの自動車メーカーが 2015 年には大きく順位を落としているが、トップの日立製作所は変わらず、2015 年には東芝、ファナック、三菱重工などの機械メーカーが上位にリストされている。関係の深い技術分野(図 6-7d)としては、やはり製造プロセスの制御系に関するものが継続的に上位を占めている。



図 6-7a 農業;漁業;鉱業・建設業・製造業分野の登録特許数の推移

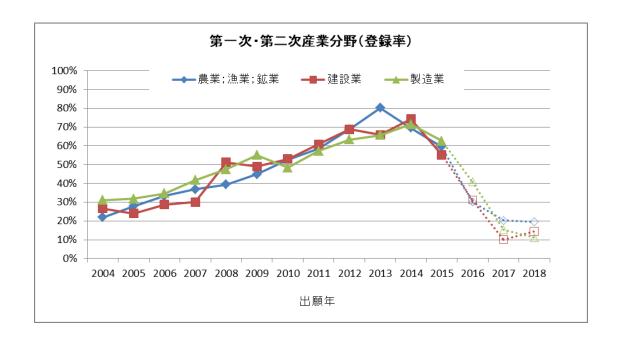


図 6-7b 農業;漁業;鉱業・建設業・製造業分野の登録率の推移

順位	2005年	登録数	2015年	登録数
1	株式会社日立製作所	17	株式会社日立製作所	15
2	オムロン株式会社	16	株式会社神戸製鋼所	8
3	トヨタ自動車株式会社	11	新日鐵住金株式会社	8
4	マツダ株式会社	11	富士通株式会社	8
5	新日鐵住金株式会社	10	株式会社東芝	7
6	キヤノン株式会社	7	オムロン株式会社	6
7	株式会社神戸製鋼所	7	ファナック株式会社	5
8	富士通株式会社	6	三菱重工業株式会社	5
9	JFEスチール株式会社	4	JFEスチール株式会社	4
10	三菱電機株式会社	4	富士機械製造株式会社	4
11	インターナショナル・ビジネン	3	富士重工業株式会社	4
12	パナソニック株式会社	3	沖電気工業株式会社	3
13	ルネサスエレクトロニクス核	3	株式会社リコー	3
14	大日本印刷株式会社	3	富士ゼロックス株式会社	3
15	中国電力株式会社	3	キヤノン株式会社	2
16	セイコーエプソン株式会社	2	ザ・ボーイング・カンパニ-	2
17	ゼネラル・エレクトリック・カ:	2	三菱電機株式会社	2
18	ヤマハ株式会社	2	トヨタ自動車株式会社	2
19	株式会社リコー	2	ヤマサ醤油株式会社	2
20	日産自動車株式会社	2	株式会社富士通エフサス	2

図 6-7c 「製造業」の業務システムの特許登録数上位 20 社の変化

2005年				2015年			
共起順位	件数	FI		共起順位	件数	FI	説明
	186/186	G06Q50			146/146	G06Q50	特定業種に適合したシステム
1	186/186	G06F17		<i>→</i> 1	87/146	G05B19	プログラム制御系
2	114/186	G05B19		→ 2	33/146	G06Q10	管理;経営
3	22/186	G06Q10		3	15/146	G06F17	特定機能デジタル計算装置
4	17/186	G06Q30		7 4	12/146	B65G61	物品の積重ね・荷おろし装置
5	14/186	G06F16		5	10/146	G05B23	制御系の一部の試験・監視
6	12/186	B62D65		<i>></i> 6	9/146	G06Q30	買物または電子商取引
7	10/186	B65G61	X	/→ 7	7/146	G06F16	情報検索;データベース構造
7	10/186	G06F3		77	7/146	G06T7	イメージ分析
9	8/186	G06K17		/ 9	6/146	B22D11	金属の連続鋳造
9	8/186	G06K7	XXX	7 10	4/146	B65G1	倉庫・マガジン内の貯蔵
9	8/186	G16Z99	\rightarrow	10	4/146	G16Z99	このクラスの他の主題
	11	位以下から		11位以	下へ	B62D65	自動車の設計, 製造
						G06F3	データ変換・入力装置
						G06K17	装置を協働させるための方法
						G06K7	記録担体を読取る方法・装置

図 6-7d 「製造業」の業務システムと関連の深い技術分野の変化

(4) サービス産業 (ホテル・レストラン、不動産、運輸・通信) 分野

次に、FI のサブカテゴリーから同定可能な特定のサービス産業(ホテル・レストラン、不動産、運輸・通信)のビジネス関連発明の動向を比較した(図 6-8a)。これらの分野の特許登録数は全般的に増加しているが、特に運輸・通信業分野の伸びが大きい。登録率は 2010 年以降、60%程度で安定している(図 6-8b)。

図 6-8c は「運輸・通信業」分野について、2005 年と 2015 年の特許登録数トップ 20 社の構成の変化を示したものである。2015 年に特に登録数が多い企業は、日立や東芝などの社会インフラ系製造業と NTT や JR などの運輸業の企業である。また、ナビゲーションやデジタルマップなどに関わる新興企業もリストに入っている。技術分野(図 6-8d)でもやはり、物流やナビゲーション関係のものが、2005 年から 2015 年への変化で上位を占めている。その一方で、ハードウェアの汎用化が傾向として認められる点は、EC・マーケティング分野と共通している。

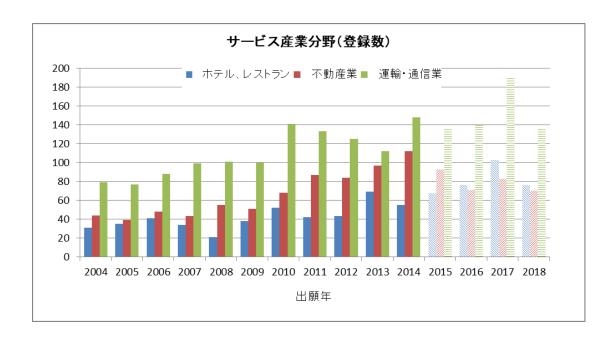


図 6-8a ホテル、レストラン・不動産業・運輸通信業分野の登録特許数の推移

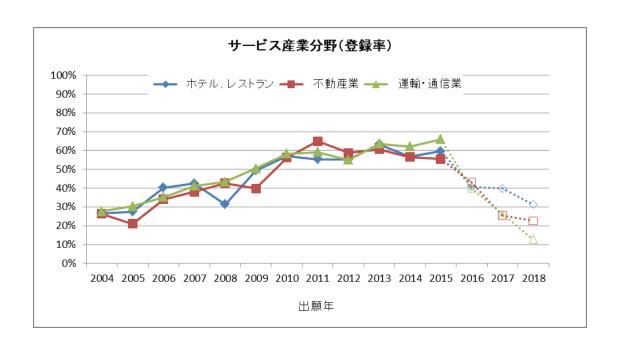


図 6-8b ホテル、レストラン・不動産業・運輸通信業分野の登録率の推移

順位	2005年	登録数	2015年	登録数
1	オムロン株式会社	6	株式会社日立製作所	16
2	株式会社ナビタイムジャパン	6	株式会社東芝	11
3	株式会社日立製作所	6	東日本旅客鉄道株式会社	11
4	株式会社東芝	4	日本電信電話株式会社	7
5	沖電気工業株式会社	3	株式会社日本総合研究所	4
6	株式会社デンソー	3	三菱重工業株式会社	4
7	公益財団法人鉄道総合技術研	3	富士通株式会社	4
8	三菱電機株式会社	3	日本電気株式会社	4
9	東日本旅客鉄道株式会社	3	ザ・ボーイング・カンパニー	3
10	日本電気株式会社	3	株式会社デンソー	3
11	富士通株式会社	3	公益財団法人鉄道総合技術研	3
12	ソニー株式会社	2	本田技研工業株式会社	3
13	中国電力株式会社	2	LINE株式会社	2
14	日本電信電話株式会社	2	ゼネラル・エレクトリック・カンパン	2
15	エヌエックスピー ビー ヴィ	1	パナソニックIPマネジメント株式	2
16	クゥアルコム・インコーポレイテッ	1	ユタカ電気株式会社	2
17	クラリオン株式会社	1	株式会社 ヴァル研究所	2
18	グローリー株式会社	1	株式会社ゼンリンデータコム	2
19	ケィティ、コーポレーション	1	株式会社ナビタイムジャパン	2
20	シンフォニアテクノロジー株式会	1	日本郵船株式会社	2

図 6-8c 「運輸通信業」の業務システムの特許登録数上位 20 社の変化

2005年				2015年			
共起順位	件数	FI		共起順位	件数	FI	説明
	77/77	G06Q50			144/144	G06Q50	特定業種に適合したシステム
1	77/77	G06F17	\	<i>→</i> 1	41/144	G08G1	道路上の交通制御システム
2	19/77	G07B15		> 2	22/144	G06Q30	買物または電子商取引
3	17/77	G08G1		7 3	21/144	G01C21	航行装置
4	14/77	G06Q30	$\overline{}$	4	18/144	B61L27	集中制御方式
5	9/77	G06Q10	X	4	18/144	G07B15	料金・入場料の集金装置
6	8/77	G01C21		→ 6	16/144	G06Q10	管理;経営
7	7/77	G06K17	\setminus	77	13/144	B61L25	車両・軌道装置の位置記録
7	7/77	G06K7		8	12/144	G06F13	情報・信号の相互接続・転送
7	7/77	G09B29	$\rightarrow \searrow$	→ 9	7/144	G09B29	地図;図面;海図;線図
7	7/77	H04W4	\setminus / \times /	> 10	6/144	B65G61	物品の積重ね・荷おろし装置
				10	6/144	G06F17	特定機能デジタル計算装置
				10	6/144	H04M11	電話通信方式
	11	位以下から		-4			
				11位以	下へ	G06K17	装置を協働させるための方法
						G06K7	記録担体を読取る方法・装置
						H04W4	無線通信ネットワーク

図 6-8d 「運輸通信業」の業務システムと関連の深い技術分野の変化

(5) 公益 (教育・ヘルスケア・政府・エネルギー) 分野

サービス産業の中でも、公益的な性格が強い 4 分野(教育、ヘルスケア、政府、エネルギー(電気・ガス・水道))の動向を比較した(図 6-9a)。いずれの分野においても 2009 年頃から特許登録数が継続的に増大しているが、特に登録数が多いのはヘルスケア分野とエネルギー分野である。登録率は、エネルギー分野がやや高く、ヘルスケア分野は 50%台で、全体平均と比べても少し低く推移している。

図 6-9c は、ヘルスケア分野について、2005 年と 2015 年の特許登録数トップ 20 社の構成の変化を示したものである。世界的に競争力が高い、CT や MRI などの画像診断装置、内視鏡等のメーカーが上位にリストされる一方で、富士通や NEC などの画像解析を得意とする企業、また NTT や KDDI などの通信会社がリストに入っているのも特徴的である。 2015 年のリストで 12 位にランクされている FiNC は、2012 年に設立されたスマートホン向けのアプリを開発している新興企業である。ヘルスケアと関係の深い技術分野では大きな変動はないが(図 6-9d)、ハードウェアの汎用化の傾向はここでも観察される。

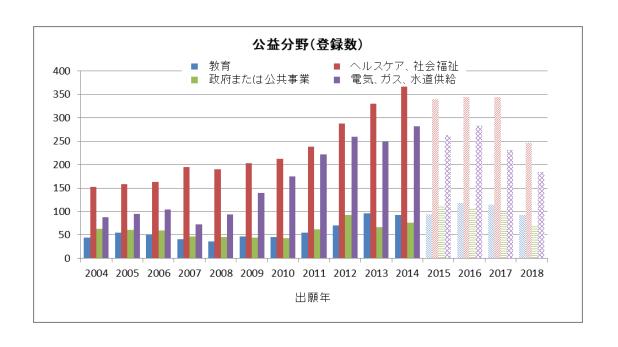


図 6-9a 教育、ヘルスケア・政府・電気、ガス、水道業分野の登録特許数の推移

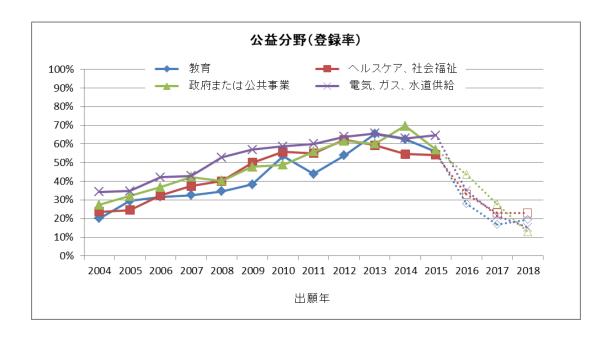


図 6-9b 教育、ヘルスケア・政府・電気、ガス、水道業分野の登録率の推移

順位	2005年	登録数	2015年	登録数
1	株式会社日立製作所	15	富士通株式会社	24
2	株式会社東芝	9	キヤノン株式会社	14
3	オリンパス株式会社	8	株式会社東芝	14
4	シスメックス株式会社	6	株式会社日立製作所	13
5	富士通株式会社	6	富士フイルム株式会社	12
6	コーニンクレッカ フィリップス :	5	パナソニックIPマネジメント株式	10
7	アイホン株式会社	4	日本電気株式会社	10
8	株式会社湯山製作所	4	オリンパス株式会社	9
9	日本電気株式会社	4	コーニンクレッカ フィリップス こ	9
10	三洋電機株式会社	3	KDDI株式会社	7
11	日本電信電話株式会社	3	日本電信電話株式会社	7
12	テルモ株式会社	2	株式会社FiNC	6
13	学校法人 栴檀学園	2	東芝テック株式会社	6
14	株式会社 資生堂	2	株式会社ケアコム	4
15	株式会社タニタ	2	株式会社トプコン	4
16	株式会社ニデック	2	富士ゼロックス株式会社	4
17	株式会社国際電気通信基礎技	2	カシオ計算機株式会社	3
18	大日本印刷株式会社	2	コニカミノルタ株式会社	3
19	中国電力株式会社	2	シャープ株式会社	3
20	アイエムエス ヘルス インコー	2	一般社団法人 医科学総合研究	3

図 6-9c 「ヘルスケア業」の業務システムの特許登録数上位 20 社の変化

2005年				2015年			
共起順位	件数	FI		共起順位	件数	FI	説明
	158/158	G06Q50			341/341	G06Q50	特定業種に適合したシステム
1	158/158	G06F17		<i>→</i> 1	341/341	G16H20	療法・健康改善計画のICT
1	158/158	G16H20	1	> 2	110/341	G16H10	医療・健康管理データのICT
3	40/158	A61B5		→ 3	77/341	A61B5	診断, 測定・記録; 個体識別
4	39/158	G16H10		<i>→</i> 4	45/341	G16H50	医療診断・シミュレーションICT
5	34/158	G16H50		→ 5	37/341	G16H40	ヘルスケア設備管理ICT
6	19/158	G16H40		7 6	33/341	G06Q10	管理;経営
7	18/158	A61G12		7 7	25/341	G08B25	警報システム
8	12/158	G06Q10		8	17/341	G06F17	特定機能デジタル計算装置
9	10/158	G06K7		> 9	17/341	G16H30	医療画像ICT
9	10/158	G16H30		>10	14/341	G06Q30	買物または電子商取引
	11	位以下から		🤻 11位以	下へ	A61G12	看護設備
						G06K7	記録担体を読取る方法・装置

図 6-9d 「ヘルスケア業」の業務システムと関連の深い技術分野の変化

(6) その他のサービス産業分野

上記の(4)や(5)で取り上げた以外のサービス業に関しては、FIのサブカテゴリーで識別することは難しいため「その他のサービス業」分野として一括して動向を調べた(図 6-10a)。この分野における特許登録数は 207 年以降継続的に増加しており、直近の出願数から推定

した 2015 年以降の登録数もさほど減少するとは考えられない。登録率は全分野平均と近い 60%台を維持している(図 6-10b)。

図 6-10c では、2005 年と 2015 年に特許登録の多い企業を上位 30 社まで拡大してリスト化した。2005 年の上位企業は 4/5 が製造業の企業であるが、2015 年には製造業と非製造業がほぼ拮抗している。2015 年の上位には、ヤフーや楽天などの流通系の企業に加えて、SNSやゲーム関連の企業も、複数社がリストアップされた。

関係の深い技術分野は 2005 年から 2015 年で入れ替わりが激しい(図 6·10d)。ハードウェアの汎用化の傾向はここでも見られ、それ以外に 2015 年には情報検索や分析に関する技術、ゲーム関連の技術、交通制御やナビゲーション、ロジスティックス関連の技術などとの関係が深くなっているようである。



図 6-10a その他のサービス産業分野の登録特許数の推移



図 6-10b その他のサービス産業分野の登録率の推移

順位	2005年	登録数	2015年	登録数
1	富士通株式会社	23	富士通株式会社	32
2	株式会社三共	21	ヤフ一株式会社	31
3	パナソニック株式会社	17	株式会社日立製作所	23
4	マイクロソフト コーポレーション	14	楽天株式会社	21
5	株式会社日立製作所	14	日本電信電話株式会社	21
6	日本電信電話株式会社	14	グリー株式会社	20
7	ソニー株式会社	12	パナソニックIPマネジメント株式	18
8	日本電気株式会社	12	KDDI株式会社	16
9	株式会社リコー	11	日産自動車株式会社	15
10	株式会社東芝	10	日本電気株式会社	14
11	ノーリツ鋼機株式会社	9	富士ゼロックス株式会社	14
12	富士ゼロックス株式会社	9	株式会社 ディー・エヌ・エー	12
13	ブラザー工業株式会社	8	富士通フロンテック株式会社	12
14	富士フイルム株式会社	7	シャープ株式会社	11
15	インターナショナル・ビジネス・マ	6	株式会社東芝	11
16	トヨタ自動車株式会社	6	大日本印刷株式会社	11
17	株式会社ナビタイムジャパン	6	株式会社リクルートホールディン	10
18	大日本印刷株式会社	6	株式会社リコー	10
19	NKワークス株式会社	5	カシオ計算機株式会社	9
20	シーエフピーエイチ, エル.エノ	5	東芝テック株式会社	9
21	シャープ株式会社	5	ソニー株式会社	8
22	株式会社NTTドコモ	5	ネイバー コーポレーション	8
23	凸版印刷株式会社	5	株式会社NTTドコモ	8
24	NECフィールディング株式会社	4	LINE株式会社	7
25	エスアーペー エスエー	4	エヌエイチエヌ エンターテインメ	7
26	カシオ計算機株式会社	4	株式会社コナミデジタルエンタラ	7
27	KDDI株式会社	3	京セラドキュメントソリューション	7
28	NECソリューションイノベータ株	3	シーエフピーエイチ, エル.エノ	6
29	グローリー株式会社	3	ブラザー工業株式会社	6
30	セイコーエプソン株式会社	3	株式会社オプティム	6

図 6-10c 「その他のサービス産業」の業務システムの特許登録数上位 30 社の変化

2005年				2015年			
共起順位	件数	FI		共起順位	件数	FI	説明
	444/444	G06Q50			874/874	G06Q50	特定業種に適合したシステム
1	442/444	G06F17		→ 1	241/874	G06Q30	買物または電子商取引
2	174/444	G06Q30		2	163/874	G06Q10	管理;経営
3	79/444	G06F21		3	131/874	G06F13	情報・信号の相互接続・転送
4	63/444	G06F12	$\backslash \backslash \nearrow$	4	72/874	G06F16	情報検索;データベース構造
5	48/444	G06F15		5	72/874	G06F17	特定機能デジタル計算装置
6	45/444	G06Q10		/ 1 6	70/874	A63F13	ビデオゲーム、電子ゲーム
7	44/444	G06F13		7 7	63/874	G08G1	道路上の交通制御システム
8	40/444	H04L9	\setminus \times	× 8	52/874	B65G61	物品の積重ね・荷おろし装置
9	38/444	G06K17	\times	9	49/874	G06F21	データのセキュリティ装置
10	36/444	G06K7		>10	42/874	G01C21	航行装置
	11	位以下から		11位以	下へ	G06F12	メモリシステム内のアクセス
						G06F15	デジタル計算機一般
						H04L9	秘密通信のための配置
						G06K17	装置を協働させるための方法
						G06K7	記録担体を読取る方法・装置

図 6-10d 「その他のサービス産業」の業務システムと関連の深い技術分野の変化

6.4 まとめ

前節では、2005 年と 2015 年のビジネスモデル特許の出願人や技術分野の変化を比較したが、加えて時代背景や産業界の動きを簡単に振り返っておこう。

2005 年当時には、米国を中心とした IT バブルが崩壊して数年が経過しており、Apple のiTune music store が日本でサービスを開始している。Facebook は前年に創業したばかりで、本格的なスマートフォン時代の幕開けを告げる iPhone(2007 年)や、IPO を行ったばかりの Google のアンドロイド(2008 年)はまだ出現していない。Amazon の Kindle も 2007年が販売開始年である。IBMが中国Lenovoに PC事業を売却し、その中国ではHuaweiの急成長が注目を集め始めていた。ソフトウェアのサブスクリプション型サービスである ASP(Application Service Provider)という概念は 1990 年代終わりごろから存在していたが、この頃には Software as a Service(SaaS)という用語が ASP に代わって使われ始めている。日本国内では、小泉政権の郵政解散が象徴するように政府機能を縮小して産業界主導の社会イノベーションを目指す動きが本格化し、地デジ放送の開始やインターネットでのブログ、SNS の Mixi などが人気を集めていた。ただし、産業界では耐震偽装事件や三菱自工のリコール隠しによる経営危機、家電メーカーの相次ぐ事業撤退などが報じられていた時期でもある。2000 年代初頭にはビジネスモデル特許の大ブームが世界的に生じたが、上記のような時代背景からみて、米国ではビジネスモデルの大転換が始まっていたが日本ではその動き顕在化するには未だ程遠い状況であったと言えるだろう。

一方前節で述べたように、日本では現在第 2 次のビジネスモデル特許ブームが生じている。2000 年代初頭の第 1 次ブーム時と比較すると、特許要件 (≒ICT 技術を利用した業務システムによって実現される新しいビジネスモデルの発明)を満たすような「まとも」な出願が増え、特許として登録されるビジネスモデルの数も大幅に増えてきた。そして現在、これらのビジネスモデルが適用される産業セクターとしては、「第 1 次産業や第 2 次産業の生産システム」という観点はマイナーな存在であり、メインとなっているのが「サービスを提供するシステム」であるのは明らかである。特許出願人のプロフィールを見ると、多くの分野で上位を占めているのは依然として製造業に属する大企業であるが、いくつかの分野では急成長中のオンライン流通やゲームを手掛ける企業、新興企業などが上位に出てきている。すなわちここには、製造業の企業が産業の垣根を越えて自社の持つ技術をサービス提供手段として活用する道を模索するとともに、新興企業の新規参入の障壁が低くなりつつあることが反映されているものと考えられる。

日本の代表的な、製造業大企業のビジネスモデル転換の動向を見てみよう。

2019年1月には、トヨタがビジネスの基盤を「自動車の製造・販売」から「モビリティサービス」を提供する会社へと転換するという宣言を行った。そのための基盤の一つが、2016年に発表された「モビリティサービス・プラットフォーム」であり、ライドシェアやカーシェア、タクシー、レンタカー会社などのモビリティ手段を提供する企業や、保険会社などにプラットフォームサービスの提供を開始している。また、2018年10月には、トヨタとソフトバンクの合弁会社MONET Technologiesが設立され、地方自治体(広島県福山市、東広島市、愛知県豊田市、横浜市、など)との共同で、モビリティサービス・ソリューション提供の実証実験を開始した。

日立製作所は2019年4月に、グループ中核企業の1社であった日立化成を売却し、脱製造業に向けた組織の再編に取り組んでいる。2018年の日経新聞のインタビューに対して、東原社長は従来型の「製造業」が成り立たなくなるという認識を示しその理由として、製造工程のデータ解析技術の進化によって工場の価値が縮小し、消費者の購買データの解析技術の進化によって需要が明確化されサービス業とメーカーの垣根がなくなる、の2点を指摘した。現在の日立グループの事業のキーワードは「社会イノベーション」と「デジタル・ソリューション」である。

ソニーは 2000 年代初頭にはアナログからデジタルへの移行に苦戦していた時期もあったが、かなり早期から製造業からの脱却を模索していた。かつての主力事業であったエレクトロニクスや半導体事業は 2018 年度にはシェアが 37%程度に低下し、金融事業と映画・音楽等のエンターテイメント事業が合計で 37%になっている。ゲーム&ネットワークサービス事業には、ゲーム機本体やソフトウェアの売上げが含まれているが、現在のソニーのビジネスはハードとソフトの売り切り型ではなく、ネットワークを通じた継続的な課金収益をもたらすサブスクリプション型へと転換を果たしている。

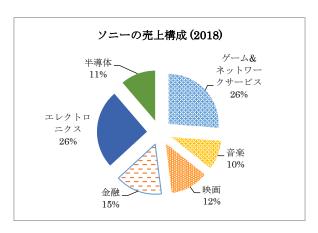


図 6-11 ソニーの 2018 年度売上構成 (ソニーの業績説明資料より)

第4次産業革命をもたらす IOT や AI 技術は、必然的にビジネスモデルの転換や産業構造の変化をもたらす。米国における大転換は、主として新興企業によって駆動されているが、これは米国のイノベーションシステムが歴史的にそのように発展してきたからである。それに対して日本のイノベーションシステムは、既存企業が自らのビジネスを転換する力を主な駆動源として様々な環境変化を乗り越えてきた。しかし、このアプローチが「産業革命」に相当するような大規模な変化にあっても有効に機能する保証はない。現在の日本の産業において主役となっているのは、第2次産業革命後に勃興した企業群であり、それらが日本的アプローチによって第3次産業革命にうまく対応しているという確証は、残念ながらまだ見出せていない。GPTとビジネスモデルの転換について、日本の産業界の動きを引き続き注視していくべきであろう。

第7章 製造業のスマイルカーブの実証分析

7. 1 川上製造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[1])。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)[2]、青木ら(2002)[3]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業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[4][5]。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、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、一昨年度の研究会になるが、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ことが紹介された。さらに可能であれば、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(2019)[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。

7.2 スマイルカーブ

スマイルカーブとは、前述のように台湾のコンピューターメーカーAcer 社の創業者スタン・シー会長が提唱された考え方である。横軸をバリューチェーンの順序(川上、川中、川下の産業)縦軸は付加価値としてグラフ化すると、U字の曲線を描き、あたかもスマイリング(笑顔)のように見えるためである。スマイルカーブの概念図を以下に示す。

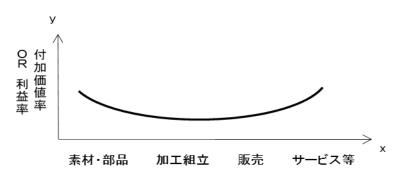


図7-1 スマイルカーブの概念図

(資料: Imahashi et. al. [7]])

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。以下は、製造業における B to B などの取引割合と収益の関係性を明らかにした実証分析の結果である。

7. 3 分析方法

今橋ら(2019)の分析においては、2011年度から2015年度の経済産業省「企業活動基本調査」と「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。また、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。この B to B 率と営業利益率との関係をグラフ化し、産業構造と売上高営業利益率についてスマイルカーブ化の概念をもとに関係性の分析を実施した。B to B 率の算出方法の概要について図 7-2 に示す。

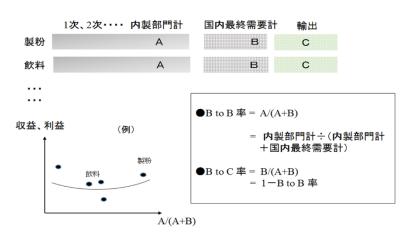


図7-2 産業連関表からB to B 率の計算方法)

(資料) 今橋ら(2019)

問題は、スマイルカーブのように BtoB 率と一定の関係性があるか否かである。これを定量的に実証するため、モデル式を用いて AIC の値に関しての当てはまりの良さの検証を行った。AIC とは Akaike が提唱したモデル当てはめの適合度を推定する指標であり、その値が最も低いモデルの当てはまりが良いとする指標である(Akaike,1974)[8]。分析においては R を用いて分析を実施し、Y を売上高営業利益率、X を B to B 率を説明変数として 1 次式、2 次式、3 次式によるモデルの当てはめを行った。

7. 4 分析結果

日本の製造業の全産業に関して、2011年度から2015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。具体的な結果は図7-3に示した。

また、モデルの当てはめに関する分析結果を表7-1に示す。AICでは、1以上の差があるのであれば、適合度には大きな差があるとされている。その結果、1次式と2次式ではAICに有意な差が得られなかったが、B to B 率の3次式においては当てはまりについてはAICに有意の差があり、当てはまりが良いという結果が得られた。表7-1に結果を示す。

表7-1 BtoB率と収益性のモデルの適合結果

(資料) 今橋ら (2019)

次数	定数	1次係数	2次係数	3次係数	AIC
1次式	0.038707	0.006604	_	_	-1272.163
100.10	(10.258) ***	(1.286)	_	_	-1272.103
2次式	0.028983	0.051292	-0.036921	_	-1272.623
201	(3.987)	(1.766)	(-1.564)	_	-1272.023
3次式	0.0007504	0.2879945	-0.5391187	0.2972253	-1284.172
3次式	(0.072)	(4.112)	(-3.914)	(3.698)	-1204.172

図7-3には、各産業のBtoB率と営業利益率、図中の点線は分析結果から得られた3次式を書き加えた。3次式であることから、BtoB率の値が小さい場合には凸型になり、その後凹型の3次曲線が描ける。具体的には、BtoB率が0から0.5程度まではBtoB率が大きくなるほど売上高営業利益率が高い傾向が表されており、BtoCの取引が高いほど収益性が低い傾向になる。また、BtoB率が0.5以上になると凹型の曲線が描かれており、BtoCの取引が高いるとり、BtoCの取引が高いるとり、BtoCの取引が高いると

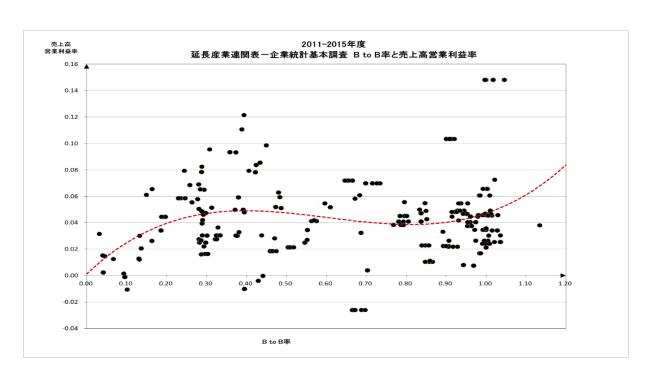


図 7 - 3 日本の製造業に関する B to B 率と売上高営業利益率の関係 (今橋ら (2019))

7.5 まとめ

以上の分析結果から、日本の製造業において、B to C 率が高いほど収益性が低く、B to B 率が 0.8 を超えるほど B to B 率が高い産業では、収益性が高くなる傾向になり、また、B to B 率が 0.5 程度の産業も比較的高い収益を示していることが分かった。B to C 率が高い産業とは、最終消費者向けの製品を主として製造している。これらの産業では、加工組立の製品を製造しているということに加えて、流通からの価格低下圧力で収益性が低いことが想定される。一方で、スマイルカーブの考え方と整合するが、B to B 率の高い、いわゆる川上に位置づけられる産業ほど収益性は高い。

また、単純にスマイルカーブのように二次式になるのではなく、三次式がもっとも当てはまりが良くなっている。この点については、ある程度垂直統合のバランスをとった産業は収益性が向上する可能性があるという仮説が考えられる。ただ、この仮説を検証するためには、今後の研究蓄積が不可欠である。いずれにしても、BtoB率が高い産業ほど収益性が高いことが定量的にも示されていることは興味深い。

なお、今橋ら(2019)の研究ではサービス業を含めていないため、スマイルカーブそのものを分析したものではない。ただ、製造業の川上の産業が技術開発の主導権を持つ可能性があり、収益性が高まる可能性があるという IoT や CPS の議論と整合的な結果が得られたことには大きな意義があると考えられる。もちろん、今回の分析は 2010 年代前半のデータを用いた分析結果であることにも注意が必要である。今後もサービス業も含めた同様の分析を行い、検証が必要である。

参考文献

- [1] 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」年次学術大会講演要旨集(32)、pp373-376
- [2] 藤本隆弘(2003)「能力構築競争-日本の自動車産業はなぜ強いのか」中央公論新社
- [3] 青木昌彦、安藤晴彦(2002) 「モジュール化-新しい産業アーキテクチャの本質-」 東洋経済新報社
- [4] 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).
- [5] 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.
- [6] 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」年次学術大会講演要旨集(34)、pp616-619
- [7] 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.
- [8] Akaike, H.(1974), A New Look at the Statistical Model Identification, IEEE Trans. Autom. Control, AC, 19(6), pp716-723.

第8章 IOTが機能しない分野

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。

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 の観点からみる 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。

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。

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、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を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。

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14億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ク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。これらのビックデータ保管、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。

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ろう。

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。

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。

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エントリーすることが求められる。

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。

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 断念することになろう。

なぜそのようなことを考えるかというと、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ろう。

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あけになるかもしれない。

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。

そこで「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

ということになろうか。

14 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 XX 万人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てこれをネットワーク状に組み上げる。感染から発病までの症例データを収集しそれを各国ごとに積み上げ、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 の交流が期待される。 これこそ IOT 技術応用が生かされる局面であろう。

付属資料: CPS 分野の学術的な研究動向

1 はじめに

本稿では、まず IoT や CPS(Cyber Physical System)について、推進者である企業がアイデアや実装では先行しているものの、CPS について学術論文では現状をどのように認識し、どのような内容の論文が最も引用されているのか(代表的な論文とされているか)という観点から、主要な学術論文データベースである「Web of Science」のコアコレクションをソースとして、CPS をキーワードとしたときにヒットする論文のプロファイルを以下の3つのツールを用いることで分析することで明らかにする。

方法1: Web of Science の「結果の分析」ツールを使う。ヒットした文献の集合が、年別、国別、ジャーナル別、内容別などに群分けするなど、基礎的な集計を行うことができる。本稿でも、まずは基礎的な集計データを提示することで、まずは CPS 研究の動向を外形的に把握する。

方法2: ライデン大学で開発された VOS Viewer を使う。論文のタイトルと要旨における ワードの共起、共著、引用といった多面的な解析が可能である。WoS だけでなく、PubMed の データも使用することができる。

方法3: 坂田・梶川・森で開発された「俯瞰システム」を使う。文献の引用ネットワーク解析によるクラスタリングに強みがある。

2. Web of Science 「結果の分析」ツールによる分析

2. 1 関連キーワードの WoS における対象文献グループの抽出

Web of Science コアコレクションにおいて、3 単語の固定キーワード"Cyber physical system"、 "Cyber-physical system"の 2 つのキーワードとし、以降、この論文セットを 3 つの分析方法による解析の対象文献群とした。

検索データベース: Web of Science コアコレクション(full coverage)

検索期間: 全範囲(1990-2020)

検索キーワード: "Cyber physical system" or "Cyber-physical system"

検索日: 2020年3月20日

ヒット件数:2,751

内訳:

PROCEEDINGS PAPER (1, 562)

ARTICLE (1, 155)

REVIEW (61)

BOOK CHAPTER (37)

EARLY ACCESS (13)

2. 2 関連キーワードとの関係

「Cyber Physical System」によるヒット全 2,751 件中、「医療 (medical)・健康 (health)」との共集合は 190 件、「modul* or architecture」との共集合は 641 件、3 つの要素の共集合は 51 件であった。

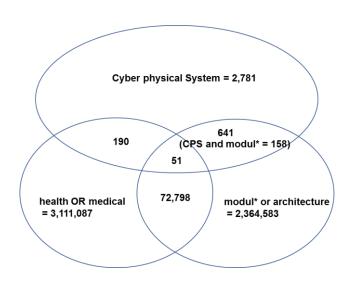


図1 WoSのヒット論文におけるCPSと関連キーワードの関係

2. 3 WoS 結果の分析ツールによる集計

2,751 件の年次推移は図 2 の通りで、2007 年からスタートしているが 2011 年から増加をはじめ、2018 年がピークとなっている。

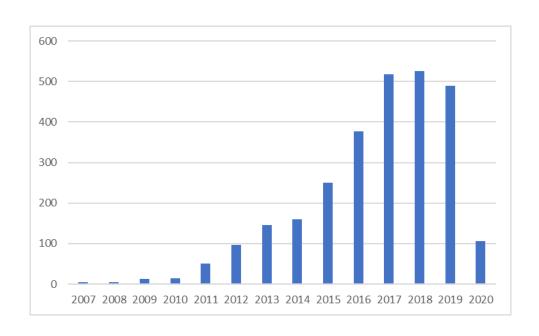


図2 CPS 関連論文の年次別推移

国別に見た場合、中国と米国がほぼ同数の 770 件程度で突出しており 3 位以降を突き放している。3 位以降は、ドイツ (180 件)、インド (150 件)、韓国 (140 件)、イタリア (110 件)、イギリス (100 件) などであり、日本は 10 位で 80 件程度に過ぎない。

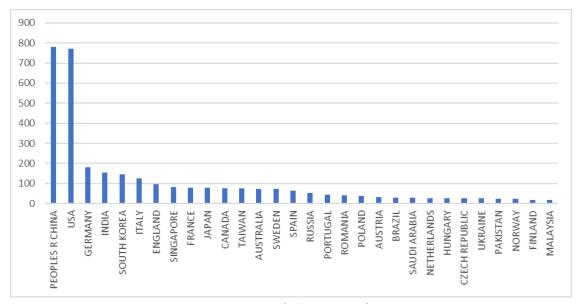


図3 CPS 関連論文の国別内訳

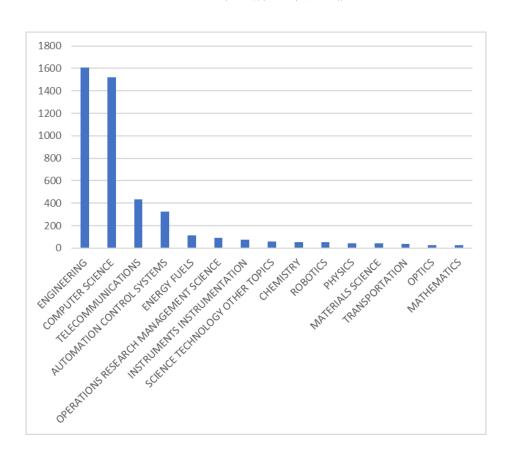


図4 CPS 関連論文の分野別内訳

図 2 は全ヒット論文の分野別トップ 15 位までをグラフ化したもの、表 1 は 16 位以下も含めた分野別論文数である。CPS に関連する論文は、エンジニアリング、コンピューターサイエンス、テレコミュニケーション、自動コントロールシステムなどが上位を占めているが、応用分野としては、エネルギー分野が 116 件トップに位置していることが特徴である。

表 1 CPS 関連論文の分野別件数

研究分野	論文数	% of 2753	研究分野	論文数	% of 2753
ENGINEERING	1607	58.37	MATHEMATICAL COMPUTATIONAL BIOLOGY	3	0.109
COMPUTER SCIENCE	1521	55.25	METEOROLOGY ATMOSPHERIC SCIENCES	3	0.109
TELECOMMUNICATIONS	434	15.77	PUBLIC ADMINISTRATION	3	0.109
AUTOMATION CONTROL SYSTEMS	325	11.81	PUBLIC ENVIRONMENTAL OCCUPATIONAL HEALTH	3	0.109
ENERGY FUELS	116	4.214	ACOUSTICS	2	0.073
OPERATIONS RESEARCH MANAGEMENT SCIENCE	91	3.305	ARCHITECTURE	2	0.073
INSTRUMENTS INSTRUMENTATION	75	2.724	BIOCHEMISTRY MOLECULAR BIOLOGY	2	0.073
SCIENCE TECHNOLOGY OTHER TOPICS	57	2.07	GEOGRAPHY	2	0.073
CHEMISTRY	55	1.998	PHYSICAL GEOGRAPHY	2	0.073
ROBOTICS	55	1.998	RADIOLOGY NUCLEAR MEDICINE MEDICAL IMAGING	2	0.073
PHYSICS	45	1.635	REHABILITATION	2	0.073
MATERIALS SCIENCE	43	1.562	SURGERY	2	0.073
TRANSPORTATION	35	1.271	AREA STUDIES	1	0.036
OPTICS	29	1.053	ASTRONOMY ASTROPHYSICS	1	0.036
MATHEMATICS	27	0.981	BIOTECHNOLOGY APPLIED MICROBIOLOGY	1	0.036
ENVIRONMENTAL SCIENCES ECOLOGY	25	0.908	COMMUNICATION	1	0.036
BUSINESS ECONOMICS	24	0.872	DEVELOPMENT STUDIES	1	0.036
REMOTE SENSING	21	0.763	ELECTROCHEMISTRY	1	0.036
EDUCATION EDUCATIONAL RESEARCH	19	0.69	FOOD SCIENCE TECHNOLOGY	1	0.036
CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY	13	0.472	FORESTRY	1	0.036
INFORMATION SCIENCE LIBRARY SCIENCE	11	0.4	GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS	1	0.036
IMAGING SCIENCE PHOTOGRAPHIC TECHNOLOGY	10	0.363	GOVERNMENT LAW	1	0.036
MECHANICS	8	0.291	HISTORY PHILOSOPHY OF SCIENCE	1	0.036
MEDICAL INFORMATICS	8	0.291	INTERNATIONAL RELATIONS	1	0.036
URBAN STUDIES	8	0.291	LIFE SCIENCES BIOMEDICINE OTHER TOPICS	1	0.036
THERMODYNAMICS	7	0.254	METALLURGY METALLURGICAL ENGINEERING	1	0.036
GEOLOGY	6	0.218	MINING MINERAL PROCESSING	1	0.036
WATER RESOURCES	6	0.218	NEUROSCIENCES NEUROLOGY	1	0.036
AGRICULTURE	5	0.182	PALEONTOLOGY	1	0.036
HEALTH CARE SCIENCES SERVICES	4	0.145	PHARMACOLOGY PHARMACY	1	0.036
MATHEMATICAL METHODS IN SOCIAL SCIENCES	4	0.145	PLANT SCIENCES	1	0.036
NUCLEAR SCIENCE TECHNOLOGY	4	0.145	PSYCHOLOGY	1	0.036
SOCIAL SCIENCES OTHER TOPICS	4	0.145	RESEARCH EXPERIMENTAL MEDICINE	1	0.036

3. VOS Viewer による分析

VOS Viewer を使い、文献セット内の同一文章内のキーワード共起関係を図 5 に、中心部の拡大図を図 6 に示す。

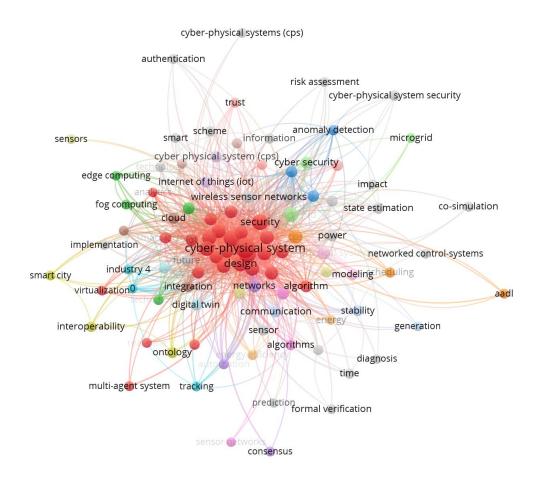


図5 キーワード共起マップ(VOS viewer)

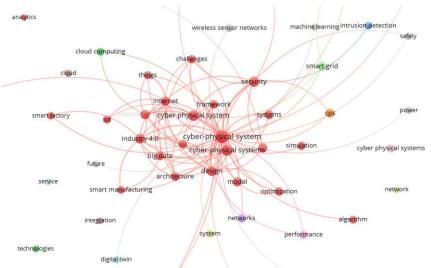


図 6 キーワード共起マップ(中心部の拡大)(VOS viewer)

「Cyber physical system」とよく共起するワードとしては、図中では赤丸で表記され、big data, industry 4.0, simulation, model, optimization, architecture, internet, framework, security, smart manufacturing, IoT, future, smart grid, could computing, smart factory となっている。

周辺部には、edge computing, fog computing, digital twin, algorithm, wireless sensor networks, cyber security などが並んでいる。

次に共著関係を分析した。VOS viewer の中国人名の英語表記による同一人物か否かの判定については、正確性が不明であるものの、文献セット中から、共著関係からネットワークを記載したのが図7である。共著関係からは、中国人の研究グループが主に検出されていることから、米国の論文が2番目に多かったことを考慮すると、米国人の報告は単著が多く、中国人の報告は共著が多いという可能性がある。

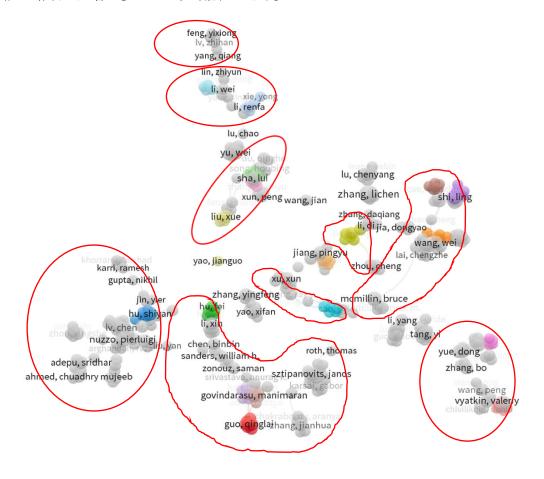


図7 共著関係から抽出された主な研究グループ(VOS viewer)

4. 俯瞰システムを利用した引用関係による論文のクラスタリング

俯瞰システム (http://ipr-ctr.t.u-tokyo.ac.jp/sklab/analytical_examples.html) を用いて、ヒット文献群を解析した。結果として、論文数 2,751 件中、ノード (結節点) 数 1,260、エッジ (ノードをつなぐ線) 数 2,118、クラスター数 23 のネットワークとなった(図 8)。

主要なクラスターを図8に記入しているが、各クラスターの主なキーワードは以下の通りである。

クラスター1:Smart Manufacturing (スマート工場)

クラスター2: Vehicular cyber-physical system (車両 CPS)

クラスター3: Power system (エネルギー)

クラスター4: Contract, Codesign (契約、共同デザイン)

クラスター5: Fog, Clinical, Healthcare (ヘルスケア)

クラスター6: Substation, Intrusion (セキュリティ)

以下、各クラスターの主要な文献のタイトル及び引用件数が上位2つの論文の要旨を日本語にて紹介し、各クラスターの特徴を説明する。

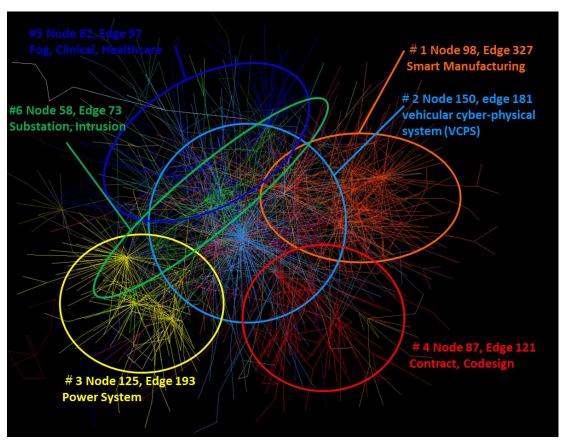
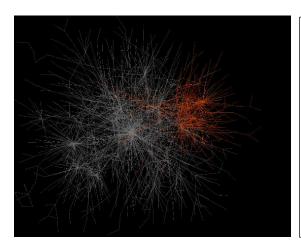


図8 引用関係から判別された主なクラスター(#1-#6)

CPS の総論を述べた論文を中核とするクラスターで、スマート製造システム、スマート工場といったワードが中心キーワードとなっている。



平均年:2017.5

ノード数:98

エッジ数:327

キーワード:

Manufacturing, intelligent manufacturing, smart manufacturing, factory, lean, smart factory, manufacturing, system, value chain

クラスター1のハブ論文

論文タイトル・著者・ジャーナル	クラスター 内次数	
Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment	32	
Lee, J et al, PROC CIRP, V16, P3 (2014)	32	
A review on the characteristics of cyber-physical systems for the future smart factories	29	
Napoleone, A et al, J MANUF SYST, V54, P305 (2020)	23	
Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based		
feedback and coordination	26	
Wang, SY et al, COMPUT NETW, V101, P158 (2016)		
Agent and Cyber-Physical System Based Self-Organizing and Self-Adaptive Intelligent Shopfloor	17	
Zhang, YF et al, IEEE T IND INFORM, V13, P737 (2017)	17	
Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions	17	
Kang, HS et al, INT J PR ENG MAN-GT, V3, P111 (2016)	17	
Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current		
status and future outlook	16	
Babiceanu, RF et al, COMPUT IND, V81, P128 (2016)		
Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review	- 15	
Zhong, RY et al, ENGINEERING, V3, P616 (2017)	15	
Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues	15	
Lu, Y, J IND INF INTEGR, V6, P1 (2017)	15	
Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment	- 11	
Bagheri, B et al, IFAC PAPERSONLINE, V48, P1622 (2015)	11	
Fog Computing-Based Cyber-Physical Machine Tool System	10	
Zhou, ZD et al, IEEE ACCESS, V6, P44580 (2018)	10	

■Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment

Lee, J et al, PROC CIRP, V16, P3 (2014) [Univ Cincinnati]

今日、インダストリー4.0の工場では、マシンは「コラボレーティブ・コミュニティ」として接続されています。このような進化には、事前予測ツールを利用する必要があり、それによって、データを体系的に処理して不確実性を説明し、「情報に基づいた」意思決定を行うことができます。 CPS に基づく製造とサービスのイノベーションは、製造業にとって2つの避けられないトレンドであり、挑戦です。この論文では、透明性と生産性を実現するための、ビッグデータ環境における製造サービス変革のトレンドと、ビッグデータを管理する「スマート予測情報ツール(smart predictive informatics tools)」の準備について説明します。

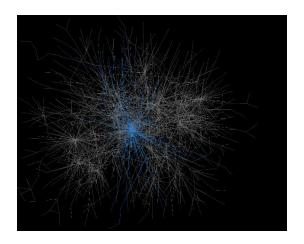
■レビュー文献: A review on the characteristics of cyber-physical systems for the future smart factories

Napoleone, A et al, J MANUF SYST, V54, P305 (2020)

新しいテクノロジーの出現により、変化し予測不可能な要求が市場からくるという現在の状況の中で、競争するための新しい方法が提供されています。この論文の焦点は、サイバーフィジカルシステム(CPS)にあります。これは、このような状況においての最も有望な革新的な技術概念の1つであり、したがって、将来のスマートファクトリのビルディングブロックとして文献で検討されています。ただし、CPS はまだ概念化フェーズにあります。

この CPS の概念化のために、多くの学術研究の労力は、技術的な特性評価にさかれてききましたが、その一方で、そのような新しいシステムを管理するためのオペレーションマネジメントの特性評価に関する知識が不足しています。この後者のオペレーションマネジメントに貢献するために、この論文では、CPS の技術的特性と運用管理特性を区別して、将来の CPS ベースのスマート工場を構築するために、文献をレビューします。

オペレーションマネジメントの特性を明らかにすることは CPS ベースの工場の製造における具体的な CPS の実装へと、オペレーションマネージャーを導くものになる可能性があるため、この論文では CPS のオペレーションマネジメントの特性に関する研究の必要性について述べています。



平均年:2015.5 ノード数:150 エッジ数:181 キーワード:

vcps, platoon, platoon based, vehicular cyber, vehicular cyber physical, vehicular cyber physical system, vehicular, geological, caching

論文タイトル・著者・ジャーナル	クラスター
Cyber Physical System (CPS)-Based Industry 4.0: A Survey	内次数
Lu, Y, J IND INTEGR MANAG, V2 (2017)	87
A Survey on Platoon-Based Vehicular Cyber-Physical Systems	
Jia, DY et al, IEEE COMMUN SURV TUT, V18, P263 (2016)	12
Vita: A Crowdsensing-Oriented Mobile Cyber-Physical System	
Hu, XP et al, IEEE T EMERG TOP COM, V1, P148 (2013)	8
Towards a Framework for Assuring Cyber Physical System Security	7
Lu, TB et al, INT J SECUR APPL, V9, P25 (2015)	1
Trustworthiness analysis of sensor data in cyber-physical systems	- 6
Tang, LA et al, J COMPUT SYST SCI, V79, P383 (2013)	0
Sensor Reliability in Cyber-Physical Systems Using Internet-of-Things Data: A	
Review and Case Study	
Castano, F et al, REMOTE SENS-BASEL, V11 (2019)	
Medical Cyber Physical System Security-Mitigating Attacks Using Trust Model	. 5
Priya, JS et al, J MED IMAG HEALTH IN, V6, P1572 (2016)	
Mining Sensor Data in Cyber-Physical Systems	
Tang, LA et al, TSINGHUA SCI TECHNOL, V19, P225 (2014)	5
Understanding Data Heterogeneity in the Context of Cyber-Physical Systems	
Integration	4
Jirkovsky, V et al, IEEE T IND INFORM, V13, P660 (2017)	
Coalition Game-Based Secure and Effective Clustering Communication in Vehicular	
Cyber-Physical System (VCPS)	4
Huo, Y et al, SENSORS-BASEL, V17 (2017)	

■レビュー論文: Cyber Physical System (CPS)-Based Industry 4.0: A Survey Lu, Y, J IND INTEGR MANAG, V2 (2017) [Univ Manchester, Univ Kentucky]

サイバーフィジカルシステム (CPS) は、物理的現実の操作とコンピューティングおよび 通信のインフラとの接続を可能にする Internet of Things と Web of things (WoB) を通じて、革新的な機能を統合することによって、高度な産業システムおよびアプリケーションを 構築するための優れた基盤を提供しました。幅広い産業用 CPS ベースのアプリケーションが、Industry 4.0 で開発および導入されています。

インダストリー4.0での CPS の開発を理解するために、この論文では、CPS の現在の研究、 重要な実現化技術(enabling technologies)、業界の主要な CPS アプリケーションをレビュ ーし、研究の傾向と課題を特定します。このレビュー論文の主な貢献は、Web of Science (WoS) データベースの 595 の論文からインダストリー4.0 の最新の CPS の状況を要約し、 CPS の想定されるフレームワークを体系的に提案していることにあります。

■レビュー論文: A Survey on Platoon-Based Vehicular Cyber-Physical Systems Jia, DY et al, IEEE COMMUN SURV TUT, V18, P263 (2016)

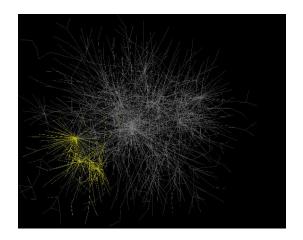
[Univ Elect Sci & Technol China, Univ Waterloo, Univ Puerto Rico, City Univ Hong Kong, Shanghai Univ Elect Power, Univ Leeds]

共通の目的がある道路上の車両は、小隊ベースの運転パターンを協調的に形成できます。このパターンでは、車両は別の車両に追従し、先行する車両までの距離がほぼ一定に保たれます。このような小隊ベースの運転パターンは、個別に運転する場合と比較して、道路の容量とエネルギー効率を大幅に改善できることが証明されています。さらに、新興の車両アドホックネットワーク(vehicular ad hoc network, VANET)により、小隊の道路容量、安全性、エネルギー効率などのパフォーマンスをさらに向上させることができます。一方、小隊内の車両の物理的なダイナミクスも VANET のパフォーマンスに影響を与える可能性があります。このような複雑なシステムは、最近注目を集めている小隊ベース(Platoon-Based)の車両サイバーフィジカルシステム(vehicular cyber-physical system, VCPS)と考えることができます。この論文では、小隊ベースの VCPS に関する包括的な調査を紹介します。

最初に、小隊ベースの VCPS の関連文献をレビューします。

次に、小隊ベースの VCPS に関連する 2 つの要素技術、車両のネットワークアーキテクチャと標準、およびトラフィックダイナミクスをそれぞれ紹介します。

さらに、小隊ベースの VCPS の基本的な問題について説明します。これには、<mark>車両の小隊</mark>編成/クラスタリング、協調型適応巡航制御、小隊ベースの車両通信などが含まれます。これらはすべて、トラフィックダイナミクスと VANET の動作の密接な関係によって特徴付けらえます。システム検証は VCPS 開発に不可欠であるため、VCPS シミュレーションツールの概要も示します。最後に、新しい研究の方向性につながる可能性があり、すでに開示されている課題に関する見解を共有します。



平均年:2016.8 ノード数:125 エッジ数:193 キーワード:

attack, contingency, power system, fdias, cyber contingency, unobservable, data injection, scada, false data, injection attack, vulnerability, microgrid

論文タイトル・著者・ジャーナル	クラス ター 内次数
Cyber-Physical System Security for the Electric Power Grid	53
Sridhar, S et al, P IEEE, V100, P210 (2012)	53
Vulnerability Assessment of Cybersecurity for SCADA Systems	20
Ten, CW et al, IEEE T POWER SYST, V23, P1836 (2008)	29
Cyber-Physical Modeling and Cyber-Contingency Assessment of	
Hierarchical Control Systems	27
Xin, SJ et al, IEEE T SMART GRID, V6, P2375 (2015)	
SCPSE: Security-Oriented Cyber-Physical State Estimation for Power Grid	
Critical Infrastructures	13
Zonouz, S et al, IEEE T SMART GRID, V3, P1790 (2012)	
On Topology Attack of a Smart Grid: Undetectable Attacks and	
Countermeasures	12
Kim, J et al, IEEE J SEL AREA COMM, V31, P1294 (2013)	
Information-Energy Flow Computation and Cyber-Physical Sensitivity	
Analysis for Power Systems	10
Xin, SJ et al, IEEE J EM SEL TOP C, V7, P329 (2017)	
A Review of False Data Injection Attacks Against Modern Power Systems	7
Liang, GQ et al, IEEE T SMART GRID, V8, P1630 (2017)	1
A Coordinated Multi-Switch Attack for Cascading Failures in Smart Grid	
Liu, S et al, IEEE T SMART GRID, V5, P1183 (2014)	7
Multivariate Gaussian-Based False Data Detection Against Cyber-Attacks	١.
An, Y et al, IEEE ACCESS, V7, P119804 (2019)	5
Impacts of Cyber System on Microgrid Operational Reliability	5
Wang, CS et al, IEEE T SMART GRID, V10, P105 (2019)	

■Cyber-Physical System Security for the Electric Power Grid Sridhar, S et al, P IEEE, V100, P210 (2012) [Iowa State Univ]

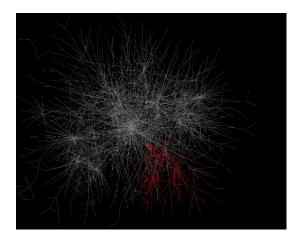
信頼できるスマートグリッドを開発するには、サイバー攻撃による潜在的な影響をより深く理解する必要があります。想定される攻撃の影響を見積もるには、グリッドのサイバーインフラストラクチャへの依存性と、潜在的な障害を許容する能力の評価が必要です。スマートグリッド内のサイバーとフィジカルの関係のさらなる調査と、起こり得る攻撃ベクトルの具体的なレビューは、サイバーセキュリティの取り組みの妥当性を判断するために必要です。

この論文では、サイバー攻撃を防止、軽減、および許容するための、「電力インフラストラクチャ・セキュリティ」とともに「電源アプリケーション・セキュリティ」の重要性について焦点をあてて説明します。階層化されたアプローチが、「物理的な電源アプリケーション」と「サポートするサイバーインフラストラクチャ」の両方のセキュリティに基づいたリスクを評価するために、導入されます。分類概念が、「スマートグリッドをサポートするために必要なサイバーフィジカルコントロール」と「サイバー攻撃から保護する必要がある通信および計算」の間の相互依存関係を説明するために提示されます。次に、スマートグリッドのアプリケーションとインフラストラクチャのセキュリティを強化することを目的とした現在の研究成果を紹介します。最後に、将来の研究活動を促進するために現在の課題が特定されています。

■Vulnerability Assessment of Cybersecurity for SCADA Systems

Ten, CW et al, IEEE T POWER SYST, V23, P1836 (2008) [Iowa S. Univ Sci & Technol] 脆弱性評価は、電力システムに関する NERC のサイバーセキュリティ基準の要件です。目的は、「監視制御およびデータ収集 (supervisory control and data acquisition: SCADA)」システムに対するサイバー攻撃の影響を調査することです。基準を満たすための要件の遵守は、システムが広範囲に分散するにつれてますます困難になっています。「コンピュータ通信システム」と「物理インフラストラクチャ」間の相互依存関係も、情報技術がデバイスやネットワークにさらに統合されるにつれて、複雑さを増します。

この論文では、SCADA システムの脆弱性をシステム、シナリオ、アクセスポイントの3つのレベルで体系的に評価するための脆弱性評価フレームワークを提案します。提案された方法は、ファイアウォールとパスワードモデルが埋め込まれたサイバーシステムに基づいており、これは、今日の電力業界における主要な保護モードとなっています。潜在的な電子的な侵入の影響は、電力系統における潜在的な負荷損失によって評価されます。この機能は、ロジックベースのシミュレーション手法とパワーフロー計算用のモジュールを統合することで可能になります。IEEE 30 バスシステムは、変電所ネットワークの外部または内部からの攻撃の影響を評価するために使用されます。サイバーセキュリティの向上のための対策が特定されています。



平均年:2016.7 ノード数:87 エッジ数:121 キーワード:

contract, powertrain, codesign, low duty, duty cycle, low duty cycle, design automation, cycle network, duty cycle network, low duty cycle network, duty

論文タイトル・著者・ジャーナル	クラス ター 内次数	
A Platform-Based Design Methodology With Contracts and Related Tools for the		
Design of Cyber-Physical Systems	19	
Nuzzo, P et al, P IEEE, V103, P2104 (2015)		
Theoretical foundations and applications of cyber-physical systems: a literature	15	
Zhang, CM et al, LIBR HI TECH, V38, P95 (2019)	15	
A Model-Based Design Methodology for Cyber-Physical Systems	14	
Jensen, JC et al, INT WIREL COMMUN, , P1666 (2011)	14	
Cyber-Physical System Design Contracts	10	
Derler, P et al, ACM IEEE INT CONF CY, , P109 (2013)	10	
Driving-Style-Based Codesign Optimization of an Automated Electric Vehicle: A		
Cyber-Physical System Approach		
Lv, C et al, IEEE T IND ELECTRON, V66, P2965 (2019)		
From Electronic Design Automation to Cyber-Physical System Design Automation: A		
Tale of Platforms and Contracts	8	
Nuzzo, P, None, , P117 (2019)		
Codesign Methodologies and Tools for Cyber-Physical Systems	8	
Zhu, Q et al, P IEEE, V106, P1484 (2018)	0	
Design Automation of Cyber-Physical Systems: Challenges, Advances, and	7	
Seshia, SA et al, IEEE T COMPUT AID D, V36, P1421 (2017)		
Model and Tool Integration Platforms for Cyber-Physical System Design		
Sztipanovits, J et al, P IEEE, V106, P1501 (2018)	6	
Levenberg-Marquadt Backpropagation Training of Multilayer Neural Networks for		
State Estimation of a Safety-Critical Cyber-Physical System	6	
Lv, C et al, IEEE T IND INFORM, V14, P3436 (2018)		

■ A Platform-Based Design Methodology With Contracts and Related Tools for the Design of Cyber-Physical Systems

Nuzzo, P et al, P IEEE, V103, P2104 (2015) [Univ Udine, Univ Verona, Univ Calif Berkeley, Univ Bologna]

契約を使用してサイバーフィジカルシステム (CPS) のコンポーネントを指定および抽象化し、CPS 設計フロー全体に正式なサポートを提供する、「プラットフォームベースの設計方法論」を紹介します。設計は、上位レベルの仕様から下位レベルのコンポーネントのライブラリから構築された実装までの一連の改良ステップとして実行されます。

抽象化のさまざまなレベルで設計を指定、分析、または合成するために使用できる形式と ツールを確認します。 レベルごとに、契約業務を具体的に計算する方法と、それらを完全 に実装するために直面する必要がある研究課題に焦点をあてます。航空機配電システム用 の組み込みコントローラーの設計に関するわれわれのアプローチを例示します。

■Theoretical foundations and applications of cyber-physical systems: a literature review

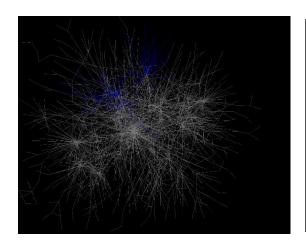
Zhang, CM et al, LIBR HI TECH, V38, P95 (2019) [Univ Udine, Univ Verona, Univ Calif Berkeley, Univ Bologna]

目的: この論文の目的は、ライブラリ内のアプリケーションを含む、2017 年から 2019 年までの CPS の理論的基盤とアプリケーションに関する現在の研究をレビューすることです。

設計/方法論/アプローチ:この論文は、イントロダクション、文献レビュー、CPS の理論的 基礎、CPS のアプリケーション、ライブラリでの CPS のアプリケーション、および結論の 6 つのパートで設計されています。著者は 70 の論文をレビューし、上記の 6 つの部分に分類 します。著者は、2017 年から 2019 年までの 70 の論文を学術データベースに収集しました。

結果: この論文では、学者と実務家に包括的な概要を提供することを目的とした学術データベースにおける 2017 年から 2019 年までの CPS の理論的基盤とアプリケーションに関する 70 のペーパーをレビューします。各研究カテゴリーの論文の内容は、ライブラリーの CPS アプリケーションを含む理論的基礎とアプリケーションから要約されています。

独創性/価値:このレビュー論文の主な貢献は、ライブラリ内の CPS の現在の最先端の理論 的基盤とアプリケーションを体系的にまとめたものです。



平均年:2016.7

ノード数:82

エッジ数:97

キーワード:

fog, clinical, healthcare, intestine, small intestine, disease, denf, paroxysmal, medical, mcps, patient, auditing

論文タイトル・著者・ジャーナル	クラスター 内次数	
From wireless sensor networks towards cyber physical systems	25	
Wu, FJ et al, PERVASIVE MOB COMPUT, V7, P397 (2011)	_ 25	
Review of Cyber-Physical System in Healthcare	15	
Haque, SA et al, INT J DISTRIB SENS N, (2014)	13	
Health-CPS: Healthcare Cyber-Physical System Assisted by Cloud and Big Data	10	
Zhang, Y et al, IEEE SYST J, V11, P88 (2017)	10	
A Secure, Energy- and SLA-Efficient (SESE) E-Healthcare Framework for Quickest Data		
Transmission Using Cyber-Physical System	6	
Sharma, A et al, SENSORS-BASEL, V19 (2019)		
Smart cyber society: Integration of capillary devices with high usability based on Cyber-		
Physical System		
Ahmad, A et al, FUTURE GENER COMP SY, V56, P493 (2016)		
A dynamic control middleware for cyber physical systems on an IPv6-based global network	6	
Park, SO et al, INT J COMMUN SYST, V26, P690 (2013)	0	
A Cyber-Physical System Framework for Early Detection of Paroxysmal Diseases	5	
Gu, ZX et al, IEEE ACCESS, V6, P34834 (2018)	J	
Cyber-Physical Systems in the re-use, refurbishment and recycling of used Electrical and		
Electronic Equipment	4	
Sharpe, RG et al, J CLEAN PROD, V170, P351 (2018)		
A survey on run-time supporting platforms for cyber physical systems		
Sun, Y et al, FRONT INFORM TECH EL, V18, P1458 (2017)	4	
Cost Efficient Resource Management in Fog Computing Supported Medical Cyber-Physical		
System	4	
Gu, L et al, IEEE T EMERG TOP COM, V5, P108 (2017)		

■From wireless sensor networks towards cyber physical systems Wu, FJ et al, PERVASIVE MOB COMPUT, V7, P397 (2011)
国籍 Taiwan 組織 Chung Hua Univ, Natl Chiao Tung Univ

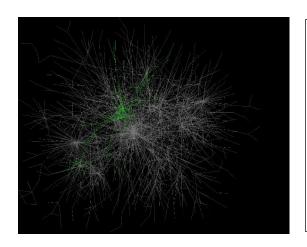
過去 20 年間、モバイルアドホックネットワーク (MANET) とワイヤレスセンサーネットワーク (WSN) の分野に多くの研究が実施されてきました。最近では、サイバーフィジカルシステム (CPS) が、物理世界と仮想世界の相互作用を強化する有望な方向として浮上しています。

この論文では、まず、ネットワークの問題、カバレッジと展開の問題など、WSNのいくつかの研究活動をレビューします。次に、ヘルスケア、ナビゲーション、レスキュー、高度道路交通、ソーシャルネットワーキング、ゲームアプリケーションなど、最近開発されたCPS プラットフォームとシステムをいくつかレビューします。これらのレビューを通じて、CPS アプリケーションが WSN によって収集された物理情報を活用して実際の空間とサイバー空間を橋渡しし、CPS 設計に関連する重要な研究課題を特定する方法を実証したいと考えています。

■Review of Cyber-Physical System in Healthcare
Haque, SA et al, INT J DISTRIB SENS N, (2014)
国籍 Australia 組織 Def Sci & Technol Org, Univ S Australia
アブストラクト

サイバーフィジカルシステム(CPS)は、物理プロセスと計算および通信の統合です。 それは社会生活により多くの知性を加える能力を持っています。強力なセンシング機能は CPS アプリケーションの主要な推進要因の1つであるため、ワイヤレスセンサーネットワ ーク(WSN)は CPS の重要な部分になる可能性があります。しかしながら、CPS はまだ初期 の技術であると考えられており、まだ対処されていない多くの課題があります。ヘルスケ アにおけるいくつかの CPS アプリケーションはこれまでに提案されており、センサーネッ トワークとコンピューティングリソースの統合のようなテクノロジー統合の柔軟性に欠け ています。

この論文では、これまでに学界および産業界によって提案されてきたヘルスケアアプリケーションにおける CPS の研究を紹介します。ヘルスケアにおける CPS のアプリケーションに必要なさまざまなコンポーネントと方法を特徴付けて分類する包括的な分類法も提供されます。この分類法は、WSN およびクラウドコンピューティングの観点から、CPS でヘルスケアに利用されている最新のテクノロジーの類似点と相違点を強調するだけでなく、さらに調査が必要な領域を特定します。この分類法と関連システムへのマッピングは、ヘルスケア向け CPS のさらなる開発に非常に役立つことが期待されています。



平均年:2016.3

ノード数:58 エッジ数:73

	クラス
論文タイトル・著者・ジャーナル	ター内次数
Robust Cyber-Physical Systems: Concept, models, and implementation	內次数
Hu, F et al, FUTURE GENER COMP SY, V56, P449 (2016)	11
Effect of Intrusion Detection and Response on Reliability of Cyber Physical Systems	
Mitchell, R et al, IEEE T RELIAB, V62, P199 (2013)	10
Cyber-physical systems and their security issues	
Alguliyev, R et al, COMPUT IND, V100, P212 (2018)	9
Modeling and Analysis of Attacks and Counter Defense Mechanisms for Cyber Physical	
Mitchell, R et al, IEEE T RELIAB, V65, P350 (2016)	8
Behavior Rule Specification-Based Intrusion Detection for Safety Critical Medical Cyber	
Physical Systems	8
Mitchell, R et al, IEEE T DEPEND SECURE, V12, P16 (2015)	
Reliability Modeling and Analysis of IEC 61850 Based Substation Protection Systems	0
Lei, HT et al, IEEE T SMART GRID, V5, P2194 (2014)	- 8
Cyber-Physical Energy Systems: Focus on Smart Buildings	7
Kleissl, J et al, DES AUT CON, , P749 (2010)	1
BRIoT: Behavior Rune Specification-Based Misbehavior Detection for IoT-Embedded	
Cyber-Physical Systems	4
Sharma, V et al, IEEE ACCESS, V7, P118556 (2019)	
COMMUNICATION PROTOCOLS IN FRIEND: A CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR TRAFFIC	
FLOW RELATED INFORMATION AGGREGATION AND DISSEMINATION	
EI-Tawab, S et al, INT CONF PERVAS COMP, , P447 (2013)	
Risk Assessment for the Power Grid Dispatching Process Considering the Impact of Cyber	
Systems	3
Chen, BY et al, ENERGIES, V12 (2019)	

■Robust Cyber-Physical Systems: Concept, models, and implementation Hu, F et al, FUTURE GENER COMP SY, V56, P449 (2016)

国籍:Peoples R China, USA, Greece

組織: South Univ Sci & Technol, Univ Alabama, Univ Western Macedonia, Colorado Tech Univ

この論文では、<mark>復元性のある(resilient)統合されたサイバーフィジカルシステム (CPS)を構築するための概念と戦略を包括的に調査します。ここで、復元力</mark>

(resilience)とは 3S 指向の設計、つまり安定性(stability)、セキュリティ(security)、および体系性(systematicness)を指します。安定性とは、入力(センシングデータ)にノイズまたは攻撃があったとしても、CPS が安定したセンシング-アクチュエーションの閉じたループの制御を実現できることを意味します。セキュリティとは、システムがサイバーフィジカルの相互攻撃を克服できることを意味します。さらに、体系性とは、システムにセンサとアクチュエータがシームレスに統合されていることを意味します。また、CPS モデリングの問題は 3S 設計の基本となるため、説明します。

成功したプロジェクトの2つの詳細な例を使用して、強靭で体系的なCPS設計を達成する方法を説明します。事例1は、サイバー(センサー)とフィジカル(ロボット)を統合したリバリテーションシステムの設計です。事例2は、埋め込み型医療機器の設計に関するもので、CPSセキュリティ原則の特徴を示しています。このサーベイの主な特徴は、原則的な議論と実用的なサイバーフィジカルカップリング設計の両方があることです。

■Effect of Intrusion Detection and Response on Reliability of Cyber Physical Systems

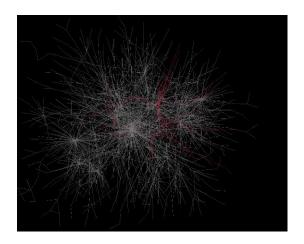
Mitchell, R et al, IEEE T RELIAB, V62, P199 (2013)

国籍 USA 組織 Virginia Polytech Inst & State Univ

この論文では、センサ、アクチュエータ、コントロールユニット、および物理インフラストラクチャを制御および保護するための物理オブジェクトで構成されるサイバーフィジカルシステム(CPS)の信頼性に対する侵入検知と応答の影響を分析します。

確率的なペトリネットに基づく確率モデルを開発して、一連の攻撃者の動作を示す悪意のあるノードと、実行時に悪意のあるイベントを検出して応答する侵入検知応答システム (IDRS) の両方が存在する場合の CPS の動作を記述します。

我々の結果は、検出された攻撃者の強さと行動に応じて検知と対応の強さを調整することで、CPS の信頼性を大幅に向上できることを示しています。 物理的解釈が与えられた、持続的でランダムで潜行性の攻撃を受ける CPS の数値データを報告します。



平均年:2015.9

ノード数:57

エッジ数:74

キーワード:

aviation, aviation cyber, aviation cyber physical, aviation cyber physical system, regulated, sampling rate, quadrotor, modelica, avatar, power router, system convergence

	クラス
論文タイトル・著者・ジャーナル	ター
	内次数
Toward a Science of Cyber-Physical System Integration	20
Sztipanovits, J et al, P IEEE, V100, P29 (2012)	20
Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems	10
Bradley, JM et al, SENSORS-BASEL, V15, P23020 (2015)	10
Coupled Cyber-Physical System Modeling and Coregulation of a CubeSat	9
Bradley, JM et al, IEEE T ROBOT, V31, P443 (2015)	9
Aviation Cyber-Physical Systems: Foundations for Future Aircraft and Air Transport	8
Sampigethaya, K et al, P IEEE, V101, P1834 (2013)	٥
Toward Continuous State-Space Regulation of Coupled Cyber-Physical Systems	8
Bradley, JM et al, P IEEE, V100, P60 (2012)	0
Recursive Total Principle Component Regression Based Fault Detection and Its	
Application to Vehicular Cyber-Physical Systems	
Jiang, YC et al, IEEE T IND INFORM, V14, P1415 (2018)	
Data-Driven Monitoring and Safety Control of Industrial Cyber-Physical System:	
Basics and Beyond	
Jiang, YC et al, IEEE ACCESS, V6, P47374 (2018)	
A Cyber Physical Interface for Automation Systems-Methodology and Examples	5
Kao, HA et al, MACHINES, V3, P93 (2015)	3
A Monte Carlo-based exploration framework for identifying components vulnerable	
to cyber threats in lenuclear power plants	
Wang, W et al, RELIAB ENG SYST SAFE, V175, P24 (2018)	
Computationally Efficient Predictive Control of Grid-Tied Three-Level NPC Active-	
Front-Ends: A CPS Based Solution	
Zhang, ZB et al, None, , P4622 (2017)	

■Toward a Science of Cyber-Physical System Integration Sztipanovits, J et al, P IEEE, V100, P29 (2012) 国籍 USA 組織

Univ Notre Dame, Univ Maryland, Gen Motors, Vanderbilt Univ

システム統合は、大規模なサイバーフィジカルシステム(CPS)設計という「陶磁器の店」(原文: the elephant in the china store)に進入したの迷惑な象のようなものです。科学的に過小評価されていると同時に、エンジニアリングされたシステムの存在と将来に大きな影響を与える「他のテクノロジー」を見つけることは難しいでしょう。CPS 統合における固有の課題は、コンポーネントと相互作用の不均一性から生じます。この不均一性により、物理ドメインと計算/ネットワークドメイン間のクロスドメイン相互作用のモデリングと分析の必要性が高まり、設計フローにおける異種抽象化レイヤーの影響を深く理解する必要があります。

CPS 統合の課題に対処するには、モデルベースで正確かつ予測可能な新しい科学技術基盤が大きく進歩を遂げる必要があります。この論文は、安定性に焦点を当てた異種システムの構成理論を提示します。

具体的には、この論文は、<mark>ネットワーキングと計算によって引き起こされるタイミング</mark>の不確実性から安定性を切り離す受動性ベース (passivity-based) の設計アプローチ を提示します。

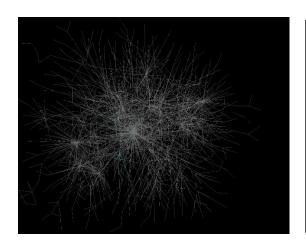
さらに、この論文では、モデルベースの完全に自動化されたソフトウェア生成と高忠実度のパフォーマンス分析に効果的なソリューションを提供するクロスドメインの抽出 (cross-domain abstractions)について説明します。この論文で紹介する手法を使用して実証された設計対象は、ネットワーク化された無人航空機 (UAV) のグループ調整と、クワッドローターUAV の高信頼性組み込み制御ソフトウェア設計です。安全性や性能などの安定性を超えた特性を保証するための組成設計理論(the theory of compositional design)の拡張を含む、この領域の未解決の問題についても議論します。

■Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems Bradley, JM et al, SENSORS-BASEL, V15, P23020 (2015)

国籍 USA 組織 Univ Michigan, Univ Nebraska

サイバーフィジカルシステム (CPS) は、緊密に統合された計算、通信、および物理要素で構成されています。医療機器、建物、モバイル機器、ロボット、輸送およびエネルギーシステムは、CPS の共同設計および最適化技術の恩恵を受けることができます。サイバーフィジカルビークルシステム (CPVS: Cyber-physical vehicle system) は、リアルタイムコンピューティング、制御、人工知能の進歩により急速に進歩しています。学際的または多目的の設計最適化により、CPS の効率、機能、および安全性が最大化され、オンラ

イン規制により、車両はかく乱、モデリングエラー、不確実性に対応できます。CPVS 最適化は、設計時および実行時に行われます。この論文では、これまで個別に検討されてきたサイバーシステムと物理システムのランタイム協調最適化または協調最適化について概説します。ランタイム CPVS は、サイバーリソースと物理リソースの両方がサイバーシステムと物理システムの両方の要件に対応する方法で利用される場合にも、共同して規制(cooperatively regulated)または同時規制(co-regulated)されます。このペーパーでは、モバイルロボットおよび車両システムへのアプリケーションを使用して、共同最適化および共同規制スキームでサイバーリソースと物理リソースの両方を検討する研究を調査します。時変サンプリングパターン、センサ・スケジューリング、常時制御、フィードバック・スケジューリング、タスクとモーションの計画、およびリソース共有が検討されます。



平均年:2015.7

ノード数:56 エッジ数:63

キーワード:

m2m, modelplex, outlier, product line, dynamic logic, verification, differential dynamic, differential dynamic logic, fault injection, nonlinear numerical, numerical constraint, log

	クラス	
 論文タイトル・著者・ジャーナル	ター	
	内次数	
Review on Testing of Cyber Physical Systems: Methods and Testbeds	9	
Zhou, X et al, IEEE ACCESS, V6, P52179 (2018)	3	
A Systematic Mapping Study on the Verification of Cyber-Physical Systems	8	
Duan, PF et al, IEEE ACCESS, V6, P59043 (2018)	0	
Modeling security in cyber-physical systems	8	
Burmester, M et al, INT J CRIT INFR PROT, V5, P118 (2012)	0	
Learning from Mutants: Using Code Mutation to Learn and Monitor Invariants of a		
Cyber-Physical System	4	
Chen, YQ et al, P IEEE S SECUR PRIV, , P648 (2018)		
M2M Security Technology of CPS Based on Blockchains		
Yin, SY et al, SYMMETRY-BASEL, V9 (2017)	4	
Log-based Anomaly Detection of CPS Using a Statistical Method	4	
Harada, Y et al, INT WORKSH EMPIR ENG, , P1 (2017)	7	
Online Monitoring of a Cyber Physical System against Control Aware Cyber Attacks	4	
Gawand, HL et al, PROCEDIA COMPUT SCI, V70, P238 (2015)	7	
Monitor Based Oracles for Cyber-Physical System Testing	4	
Kane, A et al, I C DEPEND SYS NETWO, , P148 (2014)	4	
A Method for Modeling and Evaluation of the Security of Cyber-Physical Systems	4	
Orojloo, H et al, INT ISC CONF INFO SE, , P131 (2014)		
A game-theoretic approach to model and quantify the security of cyber-physical		
systems	3	
Orojloo, H et al, COMPUT IND, V88, P44 (2017)		

■Review on Testing of Cyber Physical Systems: Methods and Testbeds Zhou, X et al, IEEE ACCESS, V6, P52179 (2018)

国籍 Peoples R China 組織 Beihang Univ

サイバーフィジカルシステム (CPS) は急速に開発されており、規模、複雑さ、異質なものを含む程度が増大しています。しかしながら、CPS を体系的にテストして、それらが高い信頼性で動作することを確認することは、依然として大きな課題です。したがって、より効率的な CPS テストのための新しい発明を生み出すことを目的として、既存の成果と技術を体系的に要約する必要があります。

したがって、この論文ではまず、さまざまなテストパラダイム、テクノロジー、および一部の非機能テストメソッド(セキュリティテスト、堅牢なテスト、脆弱性テストなど)を含む、10の側面から CPS テストメソッドの進歩を調査しました。

次に、CPS テストベッドのインフラストラクチャについて、アーキテクチャと対応する 機能分析の観点からさらに詳しく説明します。

最後に、課題と将来の研究の方向性が特定され、議論されます。将来の CPS テストでは、モノのインターネット、ビッグデータ、クラウドコンピューティング、AI などのより新しい最先端のテクノロジーを統合することにより、多目的のための異なるパラダイムとテクノロジーの組み合わせにさらに焦点を当てるべきであると結論付けることができます。

■A Systematic Mapping Study on the Verification of Cyber-Physical Systems Duan, PF et al, IEEE ACCESS, V6, P59043 (2018)

国籍 Peoples R China 組織 Southeast Univ

サイバーフィジカルシステム (CPS) は、複雑なリアルタイムハイブリッドシステムの一種であり、計算プロセッサ、通信ネットワーク、および物理環境間の深い相互作用を含み、次世代のコンピュータアプリケーションの主要な実現要素と見なされています。ただし、CPS を効果的に検証する方法は常に大きな課題です。 CPS 検証 (verification) に関する現在の科学的研究に基づいて、この論文では、現在の研究のギャップを特定し、将来の研究の有望な分野を提案することを目的としています。

そのために、サイバーフィジカルシステムの検証に関するトピックについて体系的なマッピング調査を実施します。 2006 年から 2018 年まで、11 の電子データベースで出版物を幅広く検索しています。研究の選択のステップの後、80 の論文が、提案された研究の質問、集中した質問、および統計的な質問に答えるための主要な研究として選択されます。これらの質問とその回答によると、この論文では、検証の課題、抽出手法、検証手法、支援ツール、検証作業の各ステップを表す検証シナリオの定量的で包括的な分析を提示する

だけでなく、CPS の体系的な性質、メイン検証のルーチンと将来の研究の方向性を示します。この調査により、現在の研究活動のギャップを特定し、将来の研究に対する新しい洞察を明らかにできると考えています。