

2021 年度 産業と技術の比較研究 報告書

DX (Digital Transformation) への変化 —CPS [Cyber-Physical-Systems]に関する分析 (III) —

2022 年 5 月
一般財団法人 商 工 会 館

< 産業と技術の比較研究会 委員 >

座 長 児玉 文雄 東京大学名誉教授

委 員 岡松 壯三郎 (一財)商工会館前理事長

委 員 加納 信吾 東京大学大学院教授

委 員 柴田 友厚 学習院大学教授

委 員 馬場 康志 昭和女子大学教授

委 員 藤盛 紀明 NPO 国際建設技術情報研究所理事長

委 員 玄場 公規 法政大学経営大学院教授

委 員 鈴木 潤 政策研究大学院大学教授

はじめに

昨年度までは、デジタル技術が物理空間と情報空間との融合を可能にする「CPS (Cyber-Physical-System)」という概念を多面的に分析してきた。

しかし、デジタル技術体系が世の中にさらに浸透し、広く産業構造や社会基盤にまで影響が及ぶようになると、デジタル技術が社会全般に「変革」を強いるようになると、「デジタル・トランスフォーメーション」(DX, Digital Transformation)という表現が流布されるようになって来た。

そこで、本年度は、DX の本質を CPS との比較を重点に、製造技術、サプライチェーン、オンライン診療、建設革命、研究開発の変化、自動車の未来像という6つの項目について分析した。

目次（執筆者）

はじめに

1. Digital Transformation(DX)の類型化(Taxonomy)（児玉）	1
2. 製造業のデジタル変容史からみたCPS（柴田）	6
3. サプライ/バリューチェーンの進化的ボトルネック（鈴木）	20
4. オンライン診療 2.0 IT で激変する日本の医療（加納）	30
5. DX による建設革命と「住まい・街」づくり（藤盛）	57
6. 研究開発の外部連携と多角化の分析（玄場）	86
7. 自動車産業における構造変化の兆しと未来像（岡松）	94
おわりに	97

第1章 DX(Digital Transformation)の類型化(Taxonomy)

はじめに

インターネットに代表されるようなデジタル技術の浸透が、経済社会にどのような影響をもち、かについて、いろいろな議論が交わされてきた。その経緯を概観してみる。

まず、最初に出てきた議論はデジタル・コンバージェンス(Digital Convergence)という考え方である。典型的な事例は、放送と通信の融合現象である。アナログの世界では別々の技術基盤をもち、従って、別々の事業者により運営されていた。しかし、デジタル技術の体系では、放送と通信は、技術的には区別ができないという。

この議論に対して、スティーブ・ジョブスが反論した。技術のユーザーが置かれている状況が異なると主張した。放送としてのテレビを見ているときのユーザーは、受動的(Turn your brain off)であるが、通信のためにインターネットの画面を見ているときのユーザーは、能動的(turn your brain on)である。従って、放送事業と通信事業の合体化は進行しないと予言した。今にして思えば、思慮深い洞察である。

次に登場したのが、コネクティビティ(Connectivity)に関する議論である。アナログ技術体系下では、物事を「コネクト」するのは容易ではなかった。しかし、デジタル技術体系では、どのような組み合わせでも、物事をコネクトすることが可能になった。事実、ITU(International Telecommunication Union)では、IoT(Internet of Things)を情報社会のインフラストラクチャであり、最新の情報・通信技術を駆使して、「物理的やヴァーチャルの Things を、相互にコネクト(Connect)することにより、高度なサービスを提供するもの」とであると定義している。

デジタル技術体系が世の中にさらに浸透し、広く産業構造や社会基盤にまで影響が及ぶようになると、デジタル技術が社会全般に「変革」を強いるようになると、「デジタル・トランスフォーメーション」(Digital Transformation)という表現が流布されるようになって来た。しかし、デジタル技術体系の本質は、「コネクティビティ」にあることには変わらないので、むしろ、どのような組み合わせの「コネクション」を選択し、どのような社会変革をもたらすのかの選択が重要課題になってきた。

本稿では、コネクティビティ概念を中心に、デジタル・トランスフォーメーション(DX)についての分析を試みる。

1. DX のプロトタイプ分析:iPod の事例研究

DX はどのように構成されるのかを解明するために、ソニーのウォークマンにより初めて実現された携帯音楽(Portable Music)市場に革命を起こした iPod を事例に分析してみよう。スティーブ・ジョブは、iPod が市場に登場した理由を、携帯音楽を発明し市場の導入することに成功した、日本のエレクトロニクス・メーカーが、適切なソフトウェアを開発することができなかったからであると分析している。

このソフトウェア技術とは、ソニーがウォークマンを発明した時には、世の中にはまだ普及していなかった、インターネット技術である。それまでは、単独に使われる計算機に過ぎなかった PC が、コミュニケーション・システムの端末に変身したために、登場してきた技術体系のことである。この文脈で、ジョブは、「創造性とは物事をコネクトするに過ぎない(Creativity is just connecting things)。独創的な人は、どうしてそのようなことが出来たのかと聞かれると戸惑うであろう。当たり前のことをやっただけと答えるだろう」と言い切っている。すなわち、独創的な人には、ある種のコネクションは、当然のように見えるのである。そこで、iPod の発想の原点にあったのは「コネクティビティ」であったと言える。

さらに、ジョブ氏は「iPod 全体がソフトウェアなのだ」と言っている。すなわち、音楽の配信をクラウド上で実現したのであると言う。音楽の物理的な注文・販売・配送システムを、インターネット配信というサイバー空間で置き換えたのである。音楽の物理的な購買システムにインターネットを転用(Port)したのが iPod なのである。さらに、iPod をスマートフォンに転用して、携帯性(Portability)を決定的にしたのだ。

最後に、iPod により、音楽の注文・販売・配送というサービス形態に大きな変革がもたらされた。音楽配信システムにサブスクリプトという手順を必要としないサービス体系を作り上げたのだ。すなわち、音楽のサービス化(Servitization)に成功したのだ。一曲ごとを、99 セントで購入できて、その後は、聞くのも、コピーするのも自由になる。さらに、CDから好きな曲だけを自分用に取り出して、自分の iPod にセーブできる。

もう一つ重要なことは、音楽著作権の処理である。アップルが行ったのは、音楽販売からは収入を取らずに、この収入を海外レーベル¹に渡し、そのかわりにインターネットで販売する権利をレー

¹ 本来レーベルとは、レコードの盤面中央に貼られた、曲名・音楽家・レコード会社名などが記載された

ベルからえるという「ビジネスモデル」を確立したことである。一方、ソニーのウォークマンでは、日本のレコード会社と交渉するか、ソニー自社で持っている EMI レーベルのみを配信するぐらいしかできなかった。アップルは、4 大レーベルを全量配信することからスタートしたのである。

2. DXの一般モデル化

iPod の事例をプロトタイプとして、DXの一般モデル化を、以下のように構想することができる。

2-1)DX の構成

DX の成立は 3 つのオペレーション(Connectivity;Porting; Servitization)の実現により可能になる。Connectivity により、物事空間と情報空間が Connect されることが、DX を成立させる前提条件である。Connectivity は、一つの構成モジュールが物理的アーキテクチャから情報アーキテクチャへ「転用」(Port)されることにより、可能となる。DX の成果は、ハードウェア体系が、ソフトウェア体系と融合することにより、新しいサービスを提供するシステムへと進化 (Servitization)することにより得られる。

2-2)設計プロセス

DX の設計作業の出発点は、必要とする Connectivity を明確にする (Articulate)することから始まる。すなわち、どのようなコネクテッド・システム (connected system) を発想するかが出発点になる。すなわち、Connectivity Articulation により DX 設計プロセスが始まるのである。

次に、コネクティビティを実現する作業 (operation) が始まる。モジュール構造で構築されている 2 つのアーキテクチャの間に Connectivity を確保して、全体として一つのシステムとしてまとめ上げるのである。この操作は、一つのアーキテクチャのパートとして動いているモジュールを、もう一つのアーキテクチャの構成モジュールに、転用 (porting) すれば、2 つのアーキテクチャが Connect されるのである。

転用によりコネクタされ、創出された新しいトータルシステムは、新しいビジネスモデルを生み出

ラベルのことである。それが転じて、現在ではレコード会社の中にある一部門のことを表す言葉になった。つまり、レコード会社の中には複数のレーベルが存在することになる。ではその"レコード会社"と"レーベル"一体何が違うのか？まず、"レーベル"とは、アーティストと契約してCDの企画や製作を行う。そして"レーベル"が製作したCDなどの作品を"レコード会社"が宣伝・流通を担当する。簡潔に言うと、レーベルは製作、レコード会社は販売を担当する。

すのである。これは、デジタル技術の適用により始めて可能になるサービス化(Servitization)であり、DX のプロセスが終結するのである。

3. DX の類型化(Taxonomy)

DX の設計プロセスの類型化は、3つの構成要素のタイプの組み合わせになる。

3-1)Connectivity:コネクティビティが可能になった技術進化が、対象製品の内生的な技術進化にあるのか、外生的な要因であるかに二分することができる。先に分析した iPod の開発は、製品システム外で外生的に起こったインターネット技術の革新により、音楽を一曲ごとに発注し、購買し、手元に入手できるというコネクティビティが可能になったのである。

数値制御工作機械(NC)の制御にパーソナルコンピュータ(PC)がコネクトされるのは、NC にマイクロプロセッサが使われるようになり、NC システムが、「表示」、「演算」、「駆動」の3つに分割され、表示部が独立したモジュールとすることができるようになったことにより、初めて可能になった。

建設機械のコマツ(株)は、ブルドーザーの運転管理システムとして、ブルドーザーの各構成モジュールの状態の情報を発信するシステムとして、「コムトラックス」(Komtrax)を開発した。これにより、それぞれの建設現場で稼働中の機械についての状況データがオンラインで、衛星通信システムによりコマツ本社に送られるというシステムの技術開発に成功した。しかし、このシステムを商業化にまで発展させたのは、建設機械のレンタル会社の社長が、レンタルしているブルドーザーの稼働状況を常時把握して、自社の経営に有効に活用するという「気づき」(Awareness)であった。この気づきにより、コマツでは開発中止に追い込まれていた技術を復活させたのである。すなわち、製品の利用システム(system-of-use)の構成員の「気づき」により、レンタルされている建設機械の稼働データを、レンタル会社の経営管理システムに「コネクト」することに、コムトラックス技術を有効に活用できるようになった。

3-2)Porting:NC 工作機械の事例では、2段階の Porting が実現された。第一次 Porting は、PC が NC システムに Porting されることである。PC はインターネットにつながっているのので、自動的に、インターネットが NC システムにという第2次の Porting が実現される。このようにして、Porting の連鎖が成立する。iPod の場合は、音楽の販売システム(iTunes)が iPod システムに Porting され、さらに、スマートフォンが iPod システムに転用されることにより、まさに「携帯音楽システム」が完成する。建設機械のコムトラックスの場合は、User Innovation によ

り、建設機械のレンタル・オペレーションがコムトラックスシステムに転用されることになり、建設工事システム全体の効率化に直結する。

3-3) Servitization: NC 工作機械の場合は、工作機械がインターネットの世界に入り込むことにより、金属加工産業の「サービス化」に発展することが可能になる。iPod の場合は、携帯音楽産業という新しいサービス産業分野を創出したことになる。コムトラックスの場合は、ユーザー企業の発想により、建設機械の製造・利用が一体化し、建設業の「サービス化」を促進する。

第2章 製造業のデジタル変容史からみた CPS

本章では、サイバーフィジカルへと至る製造業のデジタル変容史を振り返り、この流れは一体どこから始まったのか、われわれは今どこにいるのか、そしてこれからどこにゆくのかという大きな流れを俯瞰的にみてみたい。

後に詳しく述べるように、この技術潮流は、1970年代に機械にデジタル技術を組み込んだところから始まった。もちろん当時のデジタル技術は現代の水準からみると初歩的な技術水準に過ぎなかったが、その後の半導体技術やセンサー技術の急速な技術進歩とサイバー空間の広がりが相まって、サイバーフィジカルへの道を拓いたのである。

そもそもデジタル化とは何か

そもそもデジタルとはいったい何か、という根本的な事柄を確認することから始めたい。おそらくデジタルに対する漠然としたイメージを持ってはいるが、その意味を正面切って聞かれると答えに窮するケースが多いのではないだろうか。

デジタルとは、情報が物理的機器との密接なカップリングから解き放たれて、全ての情報が0と1の二進数で等しく表現されることを言う。その情報は電子化されて、有線か無線かを問わず目的地に伝送され、用途に応じて様々に処理されるのだが、そういう電子化された情報を総称してデジタルと呼んでいる。情報は大きく分けて、人間が発信する情報と機械が発信する情報とに大別される。前者の典型例には、人間の購買行動に伴ってつくりだされる情報などがあるし、後者の典型例には、工場で金属を切削する機械が発する様々な稼働情報などがある。

デジタル化するとは、それらの情報が購買現場や生産現場から切り離されて、二進数の0と1の連続でのみ表現される電子情報に変換することを言う。そうすると、目的に応じていかようにも処理可能なものになる。さらに伝送路さえつながっていれば、地球上のどこであっても正確に伝達することが原理的には可能になる。

それに対してアナログ情報の場合どうだろうか。アナログ情報は、購買現場や生産現場など現場の状況と緊密な関係を持ち、現場に張り付いているために、それを現場から引き剥がして他の場所に伝達することは難しい。まして正確に伝達することは困難を極めると言って良い。その意味でデジタル化の本質とは、現場と情報をデカップリングした上で、全ての情報を0と1で表現することにある。

アナログとデジタルの違いは、健康診断時に使用される X 線を使った画像診断装置の変遷を思い浮かべるとわかりやすい。いわゆるレントゲンである。アナログの時代、人体を透過した X 線情報をフィルムに感光させてレントゲン写真にしていた。それに対して現在普及しているデジタル式では、人体を透過した X 線情報をフィルムではなくてセンサーに記録して、それを電気信号に変換し、コンピューターでデジタル信号処理する。デジタル化された診断情報は、フィルム以外の他の表示機器、例えば液晶モニターなどにも表示できる。つまり、かつてはフィルムという物理的

媒体に刷り込まれていたアナログ情報は、デジタル化されると、物理的媒体の制約から解放されて、0と1の連続で表現される電子情報としてコンピューターで自由に処理できるようになるのである。

このようなデジタル化の最大のメリットは、コンピューターによって画像処理をほどこすことができるために、診断目的に合わせた様々な画像情報が提供できるという点だろう。加えて、デジタル化された電子情報なので、それを保存したり蓄積したりすることは容易にできるし、共有することも可能だ。しかもデジタル化された情報はアナログに比べてノイズに強い。こうした長所を持つデジタル式の画像診断装置は、富士フイルムによって1980年代に最初に開発された。そして現在、世界中の医療機関で利用され、医療の高度化や効率化に大きく貢献している。

デジタル化することには以上のような多くのメリットがある。そして、デジタル技術が組み込まれている製品をデジタル機器と呼ぶのだが、現在、スマホは言うまでもなく、車や家電、建設機械など多くの製品や機械がデジタル機器に変貌を遂げつつある。その背景には、センサー、メモリやコンピューターなどの小型化・高速化・低コスト化など情報処理関連技術の急速な進歩がある。その結果、かつては機械の塊だった車にも現在多くのデジタル技術が組み込まれている。電気自動車になると、デジタル技術の占める割合は一層増加する。

デジタル化の進展がもたらすソフトウェア重視

デジタル技術の急速な浸透はどのようなインパクトを産業社会にもたらすだろうか。それは、多くの機能がソフトウェアで実現されるようになるために、社会がソフトウェアに大きく依存し、ソフトウェアの重要性が増大するということを意味する。だが、それはハードウェアが重要でなくなるという意味ではない。ハードウェアがなければソフトウェアは稼働しないからだ。ソフトウェアを支える基盤としてハードウェアの重要性は依然として変わらない。我々の産業社会の中で、ソフトウェアの果たす量的比重が大きくなり、その結果、従来の産業特性が影響を受けるという点が重要だ。

だが、なぜ、デジタル技術の浸透はソフトウェア中心の産業社会を招来するのだろうか。我々は直感的にそのことを理解してはいるが、改めて正面から問われると、これまた答えに窮するかもしれない。その因果関係を少しひも解いてみたい。

いかなるデジタル機器であれ、それを構成する中核部品は、データの論理演算を行う演算処理装置(Processing unit)と、命令コードとデータを保存しておく記憶装置(Storage unit)の2つである。演算処理装置は、使われる文脈によって CPU(Central Processing Unit)と言われたり MPU(Micro Processing Unit)と言われたりするが、ここではそれらを総称してプロセッサと呼ぶことにする。プロセッサも記憶装置も半導体技術で作られた製品である。

デジタル機器には、様々な周辺機器が伝送路を経由して連結されている。例えばパソコンには液晶ディスプレイやキーボードなどの周辺機器が連結されているし、生産現場で稼働する産業用ロボットには、モーターやアームなどが連結されている。いずれにしても、それらが有機的に一体となって稼働するように、周辺機器全体を監視して適切な指示を出すのがプロセッサである。

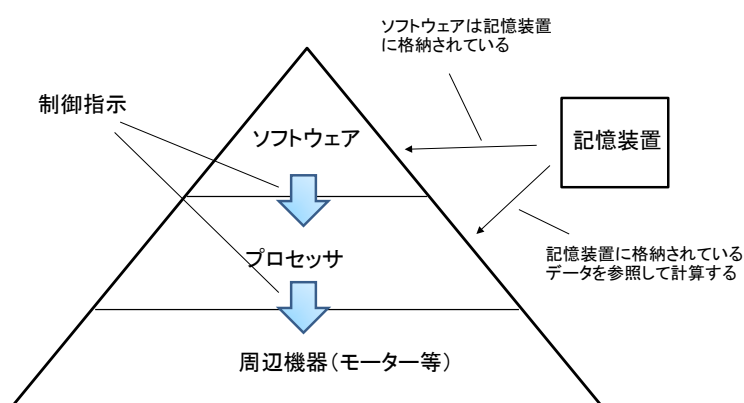
その意味でプロセッサは頭脳部とでも呼べるハードウェアである。パソコンの場合、インテルの

MPUがそれに相当するが、パソコン以外の、例えば電子書籍端末や無人運転を行う建設機械などのデジタル機器・機械でも、全体を統括する司令塔が必要であり、その役割を果たすプロセッサが稼働している。そのデジタル機器に要求される技術特性によって、プロセッサに必要な能力や性能は異なってくるが、しかし頭脳の役割と言う意味では同じである。

ここで重要なのは、誰が頭脳部としてのプロセッサに動作指示をだすのかという点だ。プロセッサは半導体技術で作られたハードウェアであり、それ独自に自律的に判断して動くわけではない。そうではなくて、メモリにソフトウェアとして記憶されている動作アルゴリズムに従って、他の周辺機器に対して動作命令を出すのだ。

例えば、周辺機器であるフラッシュメモリの何番地に記憶されているデータをいつ読み込み、どういう計算をするのか、そして、周辺機器としてのモーターを秒速何回転のスピードで回すのかというような一連のアルゴリズムが、プログラムとしてメモリに記録されている。プロセッサはそのプログラムを読み込み、それに従って連結されている周辺機器に指示を出すという流れである。このような制御指示の流れを簡潔に表現すると図表1ようになる。

図表1 制御指示の流れ



1

その意味でハードウェアとしてのプロセッサは、ソフトウェアの指示通りに稼働しているだけ、とも言える。図表1に示すように階層構造の頂点にはソフトウェアが君臨しているのだ。従って、仮にソフトウェアの出す指示・命令が間違っていれば、プロセッサはその通りに周辺機器に指示するために、デジタル機器は誤動作することになる。こうしてデジタル技術が社会に浸透してゆき、稼働するデジタル機器が増えれば増えるほど、ソフトウェアの占める比重が高まりその重要性は増大することになる。

ただし、ハードウェアとしてのプロセッサとソフトの関係は相互に規定しあい、あるいは相互に

進化を促進しあう関係になっているという点が重要だ。どれほど高度なアルゴリズムであっても、それを実際に動かせるだけの性能や処理速度などの能力が、ハードとしてのプロセッサに必要である。逆に、高性能・高機能なプロセッサは、その能力をフル活用して価値を生み出すために、高度なアルゴリズム開発を促すだろう。それがなければ、高機能・高性能なプロセッサは宝の持ち腐れに過ぎなくなるからだ。

このように、ハードウェアとしてのプロセッサとソフトウェアの関係は、相互促進的に進化を促す関係になっている。例えば AI の急速な進化がどのようにして達成されたのかをみると良い。演算処理を行うハードウェアとしての AI チップと、ソフトウェアとしての機械学習アルゴリズムとの間の相互促進的な進化によって、急速な進化がもたらされたのである。

さらに、デジタル技術とソフトウェアが中心になる産業社会の大きな特性は、再プログラム可能性(re-programmability)である。既に説明したように、デジタル機器の制御の流れは、ソフトウェアがプロセッサに対して制御指示を出し、プロセッサはその指示を受けて周辺機器を制御するという流れになっている。どのようなデジタル機器であれ、フォンノイマン型である限り、この流れは変わらないはずだ。つまり機能はソフトウェアによって実現されるのであり、新しい機能を追加する場合、プロセッサなどハードウェアを変える必要はなく、ソフトウェアを新しくすれば良い。新しい機能を実現するアルゴリズムをソフトウェアとして書き込めば良いのだ。ソフトウェアの追加・修正だけで、機能の追加修正が容易にできる。これが再プログラム性の意味である。

この再プログラム性はPC等コンピューターの世界では至極普通のことだと言ってよいだろう。PC の様々な機能は、ハードウェアを土台として、その上で稼働するソフトウェアによって実現されるのである。今日、コンピューターだけではなくて、多くの製品で再プログラムによる機能実現と機能追加が可能になりつつあり、スマート製品が台頭しつつある。スマホで新しい機能を追加する場合、ソフトウェアをダウンロードすることで実現されるが、それがわかりやすい例だ。さらに、従来は機械産業の代表格だった自動車産業もその例にもれず、車のデジタル化が進展するにつれてソフトウェア制御の重要性が増大している。

例えば米テスラ社の電気自動車はソフトウェアのアップデートにより、車体というハードウェアを変更せずに、新機能の追加や既存機能の強化ができる。たとえばエンタテインメント機能の追加や熱マネジメントシステムの機能強化、自動運転の新機能等、ソフトウェアで実現される機能は多岐にわたる。ソフトウェアは Wi-Fi 経由でテスラの車両に定期的にインストールされるのだ。このように通信によってソフトウェアをアップデートする技術を OTA(オーバー・ザ・エア)と言う。

ここで興味深いのは、ソフトウェアが定期的にアップデートされることで、時間経過とともに車の性能や機能が進化してゆき完成度が高まる点だ。従来のハードウェア中心の車であれば、機械は摩耗するために時間経過とともに車の性能は経年劣化してゆき価値は低下するというのが常識だった。ところが、中心がソフトウェアに移行すると全く逆のことが起こるのだ。

もちろん、ハードウェアの経年劣化は避けられない。したがって、車が使われれば使われるほど、ハードウェアとしての車は劣化するが、他方でソフトウェアとしての車はむしろ進化するという真逆のことが同時に進行していることになる。価値劣化と価値向上が同時に発生していると言って良

い。このことは車の製品特性や産業特性に大きな影響を与えるに違いない。

デジタル化が進行する産業は、程度の違いはあるにしても、ほぼ同様の技術潮流に直面することになる。

機械のデジタル化はどこから始まったのか

デジタル化はまず 2 進数でデータ処理されるコンピューター産業から始まったのである。1970年代汎用の大型メインフレームコンピュータが大企業の現場で使われ始めた時代から、80年代になって、個人が仕事や日常生活でパソコンを使う時代になり、デジタル化の波は広く社会に浸透した。

仮にこの段階でとどまっていれば、デジタル化はあくまでもコンピューター産業に限定されており、仕事や生活にコンピューターを活用して効率を上げるという話にとどまっていたはずだ。つまりIoT や CPS、そして第 4 次産業革命への道は開けなかったに違いない。

第4次産業革命への道を拓いたものは、コンピューター産業を超えて、家電や車、医療機器、産業機械など他産業の製品・機械にまでデジタル技術が組み込まれ、デジタル化が広くかつ深く浸透していったからに他ならない。第4次産業革命の時代を「第二の機械の時代」(セカンド・マシン・エイジ)と呼ぶ識者もいる。それは機械が肉体労働を代替することのみにとどまらず、一定の知的労働をも代替できるようになった時代を指す。つまり、スマート製品の台頭である。それによってあらゆるモノをネットにつなげてサイバー空間でデータを共有して分析・処理し、さらに現実にフィードバックさせるというサイバーフィジカルへの道が開けたのだ。

だがそもそも、この流れは一体どこから始まったのだろうか。その源流を探ると、半導体であるプロセッサの制御をソフトウェアによって行うという独創的なアイデアの誕生に突き当たる。それは1971年、米インテルが世界で最初のプロセッサ「4004」を開発したことだ。当時インテルは、日本のビジコン社と電卓用LSIの共同開発をしており、電卓に必要なハードウェア論理回路をどうやって実現するかを研究していた。その過程で着想したのが、ソフトウェアで半導体デバイスを制御するというアイデアだった。

半導体デバイスをソフトウェアで制御するというアイデアは、今となっては当たり前だが、当時としては非常に画期的なアイデアだった。当時の半導体産業にはソフトウェアという概念自身がそもそもなかったからである。ソフトウェアによる制御というアイデアは、ソフトウェアの豊富な使用経験を有するコンピューター産業からの連想に違いない。その意味で、ソフトウェアで制御される半導体デバイス、つまりプロセッサというアイデアは、半導体産業とコンピューター産業の融合から生まれたと言えるだろう。

その後半導体技術の進歩によって、プロセッサ自身の処理速度、性能、省電力、サイズなどが劇的に向上し、多くの製品・機械にプロセッサが組み込まれるようになった。同時に、センサーやメモリなどの関連要素技術も大きく進歩し、高性能で安価なデバイスが入手可能になったことも大きい。これらの技術進歩が相まって、多くの産業で製品・機械のスマート化が一層促進されることになったのである。

こうして技術史をたどってゆくと、CPSと第4次産業革命につながる起源は1971年のインテルによるプロセッサの誕生にあったと考えられる。では、プロセッサを機械に組み込んで活用した最初の製品・機械は一体何だったのか。それはキャッシュ・レジスターと工作機械用 NC 装置であり、それらを主導したのはともに日本企業だった。

インテルのプロセッサ「4004」を世界で最初に量産製品に採用したのは、テック(1999年には東芝から複写機事業を譲り受けて社名を東芝テックに変更したが、ここではテックの名称を使用する)が1973年に発表したキャッシュ・レジスターである。現在、テックのレジスターはコンビニエンス・ストアのPOSシステム(販売時点管理システム)などで多く使用されているが、このレジスターの多くはプロセッサを搭載した電子式レジスターである。しかし、60年代当時のレジスターは、電子式ではなくて機械式レジスターが主流だった。

当時は、スーパーマーケットが急速に台頭してきた時代で、機械式レジスターが抱える技術限界が次第に明らかになっていた。スーパーマーケットの顧客数の増大や処理金額の増大などで、機械式レジスターはスピードや正確さなど、処理性能の限界に直面していたのである。加えて、キータッチが重いために、オペレーターの腱鞘炎が問題になっていた。つまり、機械式という技術体系からくる技術限界に直面していた。その中でテックは4004を使用した電子式レジスター「ユータック」を世界に先駆けていち早く開発した。これは、現在のレジスターの原型とも言うべきものである。

さらに1975年、ファナック(当時 富士通ファナック)はインテルのプロセッサ「3000」シリーズを内蔵したNC装置、すなわちファナック「2000C」を開発した。プロセッサを組み込んだNCの開発にいち早く成功したことが、その後のファナックのみならず日本の工作機械産業の成長に大きく寄与した。

プロセッサを導入することは、すでに述べたように制御の中心がハードウェアからソフトウェアに移行することを意味する。ハードウェアを変更しなくてもソフトウェアのアップデートで機能追加や機能変更が可能になるという柔軟性を、日本の NC 工作機械は獲得したのである。つまり再プログラム性だ。この柔軟性が一つの大きな武器となり、NC 工作機械は大企業のみならず中小企業にまで広く導入されることになり、それを契機として日本の工作機械産業は世界の先頭へと駆け上ったのである。

これはIBMがパソコンにインテルのプロセッサを採用する6年も前のことであり、その意味で、工作機械産業はコンピューター産業よりもはるかに早くプロセッサを採用したのである。ファナックの事実上の創業者とも言うべき稲葉清右衛門は「われわれは、コンピューター産業よりも早く、半導体を使って技術革新を行った」と述べているが、それはこのことを指している。

製品・機械にプロセッサを組み込んでソフトウェアで制御するという技術潮流は、まさにここから始まった。プロセッサ導入前のNC装置をハードワイヤードNCと称し、導入後をソフトワイヤードNCと通称するのは、まさにハードからソフトへという変化を象徴しているように思える。

近年、日本はデジタル化に遅れているのではないかと危惧されることが多い。しかしこうした歴史的事実を振り返ると、製品や機械のデジタル化に限って言えば、日本企業は遅れているとこ

ろかむしろ世界の流れを先取りしたと言ってよいだろう。その延長線上に今日のIoTやCPSの台頭が存在するのだという位置づけが妥当なのである。

サイバー空間の拡大

機械にプロセッサを導入して、様々な機能をソフトウェアで実現するという根本思想は、現代のIoT時代においても変わることなく継続している。その意味で日本は、今に至るまで有効な根本思想を世界に先駆けて70年代に生み出したのである。

そこから出発した機械のデジタル変容の軌跡を、歴史的に俯瞰してみると一体何が見えてくるだろうか。機械のデジタル化はその後、サイバー空間の拡大と機械の知能化という2つの技術軌跡をたどったことが見えてくる。そして現在、それらの流れはCPSという概念に集約されつつある。

このような技術潮流の根本で、流れを突き動かしているものは、半導体産業の急速な進化だろう。半導体産業は、18カ月で性能が倍になるというムーアの法則に従って、高速化、高性能化、高機能化を遂げた。IoT・ビッグデータ・人工知能などで必要になる高度なアルゴリズム処理が可能になるのも、高速で高性能、高機能な半導体技術があつてこそ、の話である。このような半導体産業の技術進化を土台にしつつ、機械のデジタル化は上記の2つの方向に向かって変容を遂げたのである。

まずサイバー空間の広がりから確認しよう。今日、新たに台頭しつつあるのは、製品・機械に装着した多くのセンサーで様々なデータを察知してネット上のクラウドに蓄積し、そのビッグデータを人工知能等で分析して、実世界に循環させるという方式である。このクラウド方式は、70年代に機械のデジタル化が始まった当時には、まだ存在しなかった新しい方式である。

この方式はデータの蓄積規模という点で大きな利点があるが、とはいえ常に望ましいというわけでもなく、それは機械の特性やデータ分析の目的に依存する。その際2つの観点が重要だろう。一つはリアルタイム性でありもう一つはセキュリティの観点だ。

例えばリアルタイム処理の実現が不可欠な機械の場合、データをクラウドまで上げずに、現場に設置している独自サーバーにデータを収集・蓄積して、そこで分析・判断して現場に早くフィードバックするいわゆるエッジヘビー方式のほうが望ましい。エッジヘビーとは、エッジ、すなわち機械の近傍で処理をするという意味だ。逆に言えば、リアルタイム処理を必要としないデータであれば、クラウドにできるだけ蓄積し、そこで分析した方がより正確な分析ができる。あくまで一般論だが、できるだけ大量のデータを蓄積し分析したほうが、精緻な結論が導きだせるからだ。

またセキュリティの観点からも、クラウドまでデータを上げるよりも、エッジヘビーで処理したほうが安全性は高い。公共のインターネットを経由するクラウドでの蓄積・分析よりも、社内独自に設置されたサーバーでの蓄積・分析の方が、外部からの侵入を受けにくいことは明らかだろう。

生産現場を考えるとイメージしやすい。そこでは過酷な工場環境の中で、しかも高速で稼働する様々な機械やロボットを対象にしているために、リアルタイム処理の実現が重要な成功要因になる。そのような環境下では機械制御の遅れは大きな影響をもたらすからだ。また、生産現場に

は機械の稼働状況に関する様々な機微情報が存在しており、セキュリティの観点も重要になる。ファナックと三菱電機双方が、生産現場を対象にした CPS を提唱しているが、共通して、エッジヘビーというコンセプトを打ち出し、エッジでの処理を重視しているのはそのような理由による。

つまり、IoT で収取した実世界の膨大なデータを、サイバー領域のどの水準にまで上げて蓄積・分析し、循環を形成するののかという点について、エッジヘビー、クラウドという2つのレベルがあるということだ。CPS に取り組む企業はどちらかを選択しなければならない。その際、リアルタイム性とセキュリティという2つの観点に着目することが有益な指針になるだろう。

サイバー空間の広がりとはそのようなことを意味しており、その方向に向かって、機械のデジタル化は変容を遂げたのである。

ボトルネックが解消された人工知能

70年代以降のもう一つの技術軌跡は、機械の智能化である。この潮流を後押ししているものにはセンサー技術など要素技術の進化があるが、中でも最も強くその動きを突き動かしているものは、長年のボトルネックが解消された人工知能(AI)技術であろう。

これまでの AI の実用化に向けた苦闘の中で、最大のボトルネックは、特徴量抽出ができない点にあった。例えば人間が現実世界をモデル化する場合を考えてみよう。その場合、複雑な現実世界のうちでどの特徴量に注目すると最も現実世界を的確に反映したモデルになるかを十分に検討したうえで、その特徴量を使ったモデル化を行うはずだ。どの側面に注目するのかという特徴量抽出の良し悪しが、モデル化の成否に大きな影響を与える。ところがこれまでの AI では特徴量抽出に人間が大きく介在しており、これが AI の実用化にむけた最大の問題だったのである。

しかし、この長年のボトルネックがディープラーニングによって解消された。ディープラーニングの本質は、大量データをもとにして、どこに注目すべきなのかという特徴量を自動的に学習すること、つまり「教師なし学習」にある。従来は、人間が教師としてどこに注目すべきなのかという特徴量を AI に教えていた。膨大な現実世界から特徴量を抽出するという最も困難で計算量が大きな作業を、人間が介在せずに AI 自身ができるようになったことで従来のボトルネックは解消された。こうして現在、AI は実用化に向けて大きく前進しており、様々な産業での実装が試行錯誤されている。

既にサイバー空間の広がりについては言及した。拡張されたサイバー空間上のどこに AI 機能を置くかによってエッジAIとクラウドAIの2つに大別できる。

エッジ AI とは、AI の学習機能や推論機能をエッジ側、すなわち製品や機械に組み込むか、あるいは近くのサーバー等に置き、そこで収集された実世界データの分析・判断を行うというものだ。もちろん必要なデータはクラウドにあげてそこでも必要な分析をすることはできる。

したがって、IoT 経由で収集した実世界データのうち、エッジで処理するデータとクラウドで処理するデータを判別する必要がある。エッジAIの長所は、ネットに情報が出ないためにセキュリティが確保されるという点や、リアルタイム性が確保されるという点があげられる。リアルタイム性が重要になる自動運転の車両制御や、生産現場で高速回転する機械制御などはこの方式で処理さ

れる。

他方でクラウドAIの場合、IoT 経由で収集したすべてのデータをクラウドに上げてそこでAIの学習や推論処理を行うというものだ。この方式の長所は、分析をクラウドで行うために、複雑で膨大なデータの処理が可能になるという点だ。車の走行データに関しても、リアルタイム処理を必要とするデータとそうでないデータがある。車の走行量に応じて蓄積される膨大な走行履歴データなどは、リアルタイム処理を必要としないために、クラウドAIで分析する方法が合理的であろう。いずれにしてもAI技術の実用化が製品・機械の知能化という流れを後押ししたのである。

こうして歴史上2つの技術がほぼ同時期に台頭してゆき、CPS という概念が触発され、第4次産業革命への道が開けていったと考えられる。

日本の正念場 サイバーとフィジカルの融合へ

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

例えばその兆候は、CPSの一つであるスマートシティを巡る日米企業の取り組みにみることができる。周知のように日本では、自動車メーカーであるトヨタが東富土工場の跡地に先端的なスマートシティ「Woven City(ウーブンシティ)」の構築を計画している。東京ディズニーランドよりも広い約70万平方メートルの敷地で、様々な先端的社会実験が行われる予定だ。例えば、交通量データと信号を連動させてどの程度渋滞を防止できるのか、あるいは、高齢者にセンサーをつけてもらい高齢者の行動データなどから、行動の見守りや遠隔医療に生かすことができるのかなどがその一例である。

他方米国では IT 企業グーグルの親会社アルファベット傘下の Sidewalk Labs(サイドウォーク・ラボ) がスマートシティプロジェクト「サイドウォーク・トロント(Sidewalk Toronto)」を2017年から始めた。これは、カナダのトロント市東部に、ICT を駆使したスマートシティをつくり、そこで交通や上下水道などの公共サービスをICTにより最適制御するプロジェクトだった。しかし、最終的には、個人情報保護に懸念を持つ住民らの反対により2020年5月には中止されるという結末を迎えた。このスマートシティの挫折自身は、先端技術と個人情報との相克に関する貴重な教訓を残すことになったが、ここではその点には立ち入らない。

ここで指摘したいポイントは、スマートシティというCPSを目指して、日本ではトヨタというフィジカルな世界で事業を営んできた自動車メーカーが登り始めたのに対して、米国ではグーグルという純粋サイバー世界で事業を営んできた IT 企業が登り始めたという事実である。サイバーとフィジカルの融合である以上、どちらからでも登ることができるからだ。自動車メーカー主導か、あるいは IT 企業主導かという競争が、頂上を目指して展開されることになる。

今後、生産現場、建設現場、医療現場など多くの産業現場で CPS を巡るこのような競争が展開される。従って CPS の発展経路と最終的な CPS アーキテクチャーを構想することには大きな意味があるはずだ。

CPS の発展経路とプラットフォームの台頭

CPS の実装は徐々に進みつつあるが最終形態はまだ明瞭に見えてこない。業種によって様々な試行錯誤が行われ、発展段階は現場ごとに様々である。未だ発展途上にあるからこそ、先んじてアーキテクチャーを考えることに意味があり、最終形態の主導権を握れるチャンスがある、とも言える。

そのためにまず CPS の発展経路を検討しよう。

CPS はまず、機械単体での閉じたループから始まる。機械へ装着された複数のセンサーから IoT 技術を使って様々なデータを収集する。それらのデータをエッジで処理した方が良い場合もあれば、クラウド処理が必要な場合もある。いずれにしても収集した様々なデータをサイバーで処理・分析して、再度フィジカルの機械の監視・制御に活用するという一連の循環が、クローズドな CPS の典型的なものだ。

最も CPS が先行している生産現場を考えてみよう。工作機械やロボットのモーターの振動、発熱、負荷等の時々刻々変動してゆくデータをリアルタイムで分析し、その結果を受けて機械の診断や制御に活用する。例えば、モーターの負荷が一定の閾値を超えた時点で異常を察知して、事前にロボットの動作を停止させることができれば、突発故障を回避できるだろう。

あるいは、稼働時間やアラーム発生履歴等をクラウドに一定期間蓄積しておき、後で詳細に分析して顧客サービスの向上や製品設計の改善につなげることもできる。この循環は、自社の製品・機械単体に限定され閉じているという意味でクローズドなCPSと言って良い。他の機械とのデータ共有や連携が可能になっているわけではないからだ。

だが、実際の生産現場では、メーカーや開発年次違う多種多様な機械が混在しており、複数の接続方式や通信手順、データ仕様等が存在している。このような性質を持つ現場にはどう対応すればいいのだろうか。

抽象度を上げると、現場とは多様な機械が相互接続されて有機的に連動するシステムとして理解できる。そしてシステムには全体の足を引っ張るボトルネックが存在する。そのような現場全体の生産性を上げようとすれば、機械単体で循環する CPS では不十分である。現場に存在するあらゆる機械や設備が発する様々なデータを収集して、それらを全体で共有・分析し、全体最適

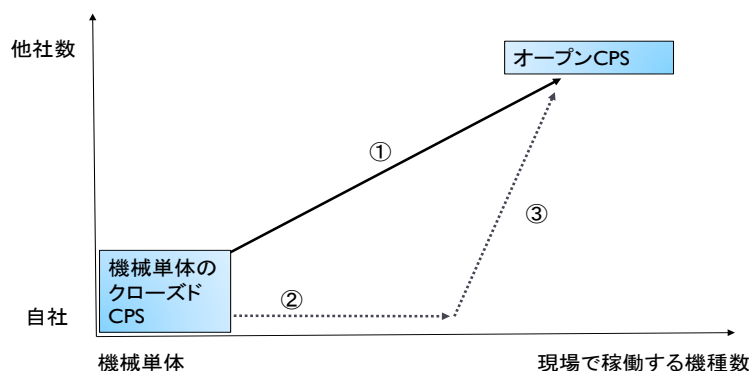
の観点からボトルネックを見つけ出し解消し、全体の生産性を上げる循環が必要になる。このような場合、収集された個別データは現場全体で広く共有されて活用されるという意味で、オープンなCPSなのである。

そのためには、個々の機械が発する独自のデータ仕様を標準化して一元管理する必要がある、それが共通基盤としてのプラットフォームである。オープンCPSの中心にはプラットフォームが存在しており、サイバーとフィジカルの2つの世界はプラットフォームを媒介として循環するということだ。従って、オープンCPSの発展過程では、一体だれが優れたプラットフォームを構築するのかという主導権争いが展開される。

このような事情は何も生産現場にだけ限った話ではない。いかなる現場であれ、そこは必ず多種多様な機械や設備で満ちており、それらが有機的に連携されてはじめてまとまった仕事が遂行される。建設現場には、ブルドーザーやトラック等機能が違う複数の機械が稼働している。そしてメーカーも違うし開発年次も寿命も違う。自動運転車が走行する走行現場もそうだ。メーカーも開発年次も違う多種多様な車が稼働しているのが、自動運転の走行現場なのである。そのような多様性に満ちた現場を全体最適に制御しようとするれば、個別機械を超えたデータの共有と活用が不可欠になり、そのためには機械横断的な共通基盤としてのプラットフォームが必要になる。

このようにして、CPSは機械単体での閉じたクローズドCPSから、現場全体を対象にするオープンCPSへと発展を遂げるはずだ。そしてオープンCPSが成立するためには、フィジカルとサイバーの2つの世界をつなぐプラットフォームが必要になる。つまりオープンCPSへの発展途上でプラットフォームの構築は不可避と言って良い。動態的観点からみると、CPSの発展とプラットフォームの台頭をこのように関係づけて理解することができる。

図表2 CPSの発展過程



CPSは機械単体のクローズドCPSから、現場全体を対象にするオープンCPSへと発展する。

▶ 2

以上のような発展経路を整理すると図表2のようになる。左下には自社の機械単体で循環するクローズなCPSが位置づけられているが、そこを起点として、現場で稼働する多種多様な機械を対象とするオープンCPSへと発展する。そこに至る経路は2種類存在する。クローズドCPSか

ら直接オープン CPS へと至る経路、つまり①の経路と、まず自社機械だけで現場を連結しその後
に他社機械をつなげてオープン CPS へと至る経路、つまり、まず②を辿り次に③を辿る経路だ。

例えば、建設機械大手コマツは、この経路で CPS を発展させた。機械単体のクローズドな
CPS としてコムトラックスから始まり、自社のあらゆる機械を接続するスマートコンストラクション
で②を経由し、最終的に現場全体を対象にするランドログというオープン CPS へと到達した。

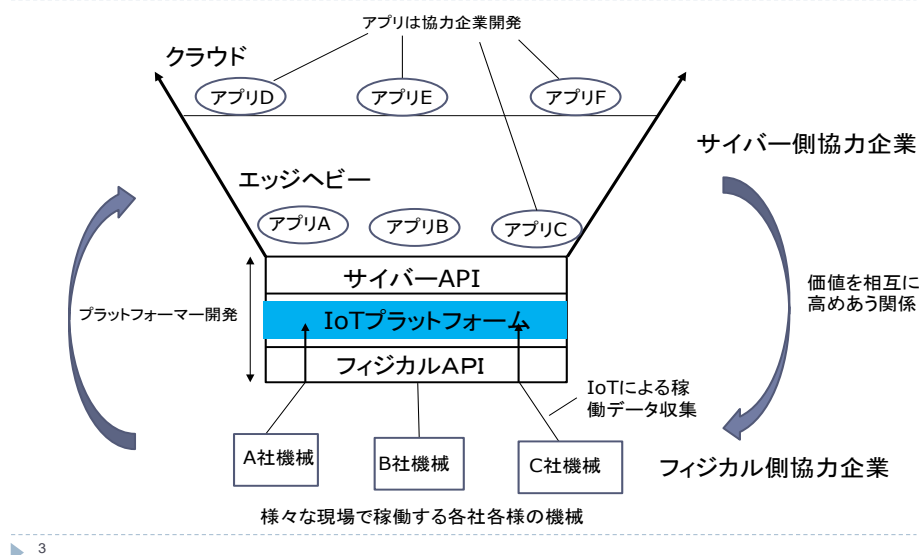
オープン CPS アーキテクチャー

今後、機械のデジタル化が一層進展するにつれて、多くの現場で全体最適化を目指すオー
プン CPS を主導する競争が始まる。先んじてアーキテクチャーを制するものは、競争上極めて有利
な位置に立つことになるからだ。オープンCPSはどのようなアーキテクチャーになるのかを検討し
よう。

アーキテクチャーとは、システムとしての CPS を、どのように分割し、そして分割したものをど
ういうインタフェースでつなぐのかという2つの観点から、全体の構想を決めることである。そしてシ
ステムを構成する個別要素の中身ではなくて、全体のつながりや関係性に着眼するのがアーキテ
クチャー策定の特徴であった。

そのような観点から考えると、CPS を3つの階層に分割してそれぞれを一定のルールの下で
連結することが妥当であろう。図表3は、アーキテクチャーの概念図を示したものである。

図表3 オープンなCPSアーキテクチャー



まず、フィジカルとサイバーの2つの世界に挟まれるようにして、IoT プラットフォーム階層が
中央に存在する。IoT プラットフォームは2つの世界を媒介し、データを一元管理する共通基盤と
しての役目を果たす。2つの世界はIoTによって媒介されるという意味で、この共通基盤階層を

IoT プラットフォームと称する。フィジカルとサイバーを循環する多種多様なデータは共通のデータ仕様に変換され、基盤としてこの階層に蓄積されるのである。

IoT プラットフォームとフィジカル世界の接点に存在するのが、フィジカル API (Application programming interface) 階層である。フィジカルの現場は、それが生産現場であれ、建設現場であれ、実に多様な機械・機器が稼働しており、それらがセンサー経由で発するデータ仕様は実に様々である。その多様な世界と、標準化されて一元管理されたプラットフォームの世界を繋ぐのがフィジカル API である。

API の実体はソフトウェアであり、いわゆるサブルーチンと言われる機能単位毎のソフトウェアの集合である。サブルーチンとは、入力と出力が明示されて、ひとつの完結した役割を果たす機能単位である。API の中には各機能に対応した多数のサブルーチンが存在しているが、入出力の変数が明示されてルール化されている。その意味では API 自身のアーキテクチャーが、モジュール型なのである。ポイントは IoT プラットフォームへのアクセスは、必ず API を経由しなければならない仕組みになっているという点であり、これによってルールが順守されている。

同様に、IoT プラットフォームとサイバー世界の接点には、サイバー API 階層が存在している。フィジカル API 同様に、モジュール化された多数のサブルーチンから構成されており、IoT プラットフォームとサイバー世界の全てのやり取りはこの API を経由して行われる。サイバー側から IoT プラットフォームへアクセスする際には、必ずサイバー API を経由しなければならない仕組みなのである。

CPS を主導する企業は、いわゆるプラットフォーマーとして、IoT プラットフォームの構築と、それをサイバーフィジカルの世界に開くための API をそれぞれ提供し、自らが主導する CPS を繁栄させようとする意図を強く持つはずだ。だが CPS を繁栄させることは、プラットフォーマーだけではできない。フィジカルとサイバーそれぞれの世界に、プラットフォーマーに協力する協力企業群が必要になる。これらの企業群は CPS を繁栄させるために、それぞれ役割を分担している。

サイバー側協力企業群の役目は、必要なサイバー API を使って、魅力的なアプリをエンドユーザーに対して開発することだ。スマホの世界で、多くの企業がアプリを開発してユーザーに提供しているが、それによって当該スマホの価値が高まるのと同じだ。

アプリ開発を促進するために、プラットフォーマーはサイバー協力企業に対して、アプリ開発用キットである SDK (Software Development Kit) を提供する。協力企業はこの SDK を使用すれば容易にアプリを開発できるのだ。サイバーの主役はデータでありソフトである。

他方でフィジカルの世界には、多様な機械・機器が稼働している。ここでの協力企業は、自社の機械・機器が CPS に連結して稼働情報等を IoT プラットフォームに提供できるように、コンバーターと言われるソフトを開発する。コンバーターとフィジカル API によって、自社機械・機器の稼働情報が共通仕様に変換される。

CPS アーキテクチャー設計のもうひとつ重要なポイントは、フィジカル世界で吸い上げたデータを、エッジで分析・処理吸するのか、あるいはクラウドまで上げて分析・処理するのかという判

断である。既に触れたように、それは対象とする現場特性に応じて、リアルタイム性とセキュリティという観点から設計する必要がある。これらの観点から見て必要度が高いデータの場合、クラウドではなくエッジでデータ分析・処理を行う方が合理的である。

ここで提示したCPSアーキテクチャーの重要なポイントは、階層間のインタフェースが明示的にルール化されたものだという点と、API 階層自身がサブルーチンの集合としてモジュール化されているという2つの点だ。つまり、モジュール・アーキテクチャーの入れ子構造になっているという点が CPS アーキテクチャーの特徴である。

現実には多様な現場が存在する。コマツの例で触れたような建設現場、さらに医療現場や生産現場、そして農業現場や自動運転の走行現場等、多様な現場が存在しており発展段階も様々である。そのような多様性の中であっても、現場全体の最適化を目指すオープンな CPS は、このようなアーキテクチャーになるはずだというのが本稿の主張である。

第3章 サプライ/バリューチェーンの進化的ボトルネック(evolutionary bottleneck)

1. DXとサプライチェーン

昨年までの本研究会の分析で、日本企業は IOT/CPS に対する興味は強く持っており、既存のビジネスプロセスの改良のために様々な取り組みを行っていることが明らかになった。自動車の各種制御にマイコンや ASIC などのデジタル技術が導入されるようになったのは、まさに自動車という製品そのものの DX(Digital Transformation)であり、第1章で述べられたような電子制御の connectivity と porting の典型例であると言える。各社は将来的には自動運転を目指しているが、これは「運転」という利用者の行為そのものを自動車が担うという servitization の流れとして理解することも可能であろう。一方、昨年までの分析では、多くの日本企業で新たなビジネスモデルの開発に対する取り組みが遅れていることも示唆された。製品の DX に伴って、製造プロセスやサプライチェーン全体、そして新たな付加価値を生み出すビジネスモデルの DX も進める必要があるが、この視点からみた日本企業はいまだ模索段階にある。

従来、財やサービスのサプライチェーン・バリューチェーン上には、様々な(潜在的)あい路の存在が指摘されてきた。例えば、ある財を生産する上で、原料や部材の供給が特定のサプライヤーや地域に集中しており、何らかの要因によってそのサプライヤーからの供給が停止すると、財の生産を継続することができなくなる。自動車の DX によって顕在化したこのような生産供給連鎖上のあい路の例として、東日本大震災により被害を受けたルネサスの那珂工場が大きなシェアを占めていた、自動車制御用半導体の例などが良く知られている(事例-1)。

事例-1:ルネサス那珂工場

世界の自動車メーカーは、部品調達をグローバル化し複数社からの調達を進めているとされている。このため、半導体を組み込んだ制御部品を供給できるサプライヤーは多様化しているように見えるが、サプライチェーンの上流をたどると、マイコンについては高い確率でルネサス社にたどり着くという。これは車載用半導体サプライヤーの間である程度の棲み分けが行われており、例えば ST マイクロエレクトロニクスが ASIC や ASSP といったカスタム度の高い品目を得意としているのに対し、ルネサスがマイコンを得意としているためである。

ルネサスの那珂工場は、数ある同社の製造拠点の中でも最先端半導体製造の前工程(ウエハ処理工程)を担っており、生産規模も 2010 年当時は最大であった。特に、自動車向け半導体(車載マイコン)のシェアが大きい那珂工場は、同社の他の製造拠点と同じく、東日本大震災により大きな被害を受けた。当初は、那珂工場は復旧まで 6 か月を要するとみられていたが、多方面からの復旧支援(顧客である自動車メーカーや電機メーカー、サプライヤーである半導体製造装置メーカーや材料メーカーからの応援人材、同業他社からの部品の融通、経済産業省からの資金援助など)を受け、実際には 3 か月弱で生産を再開し、6 か月後には震災前の出荷レベルを超える

出荷を実現している。

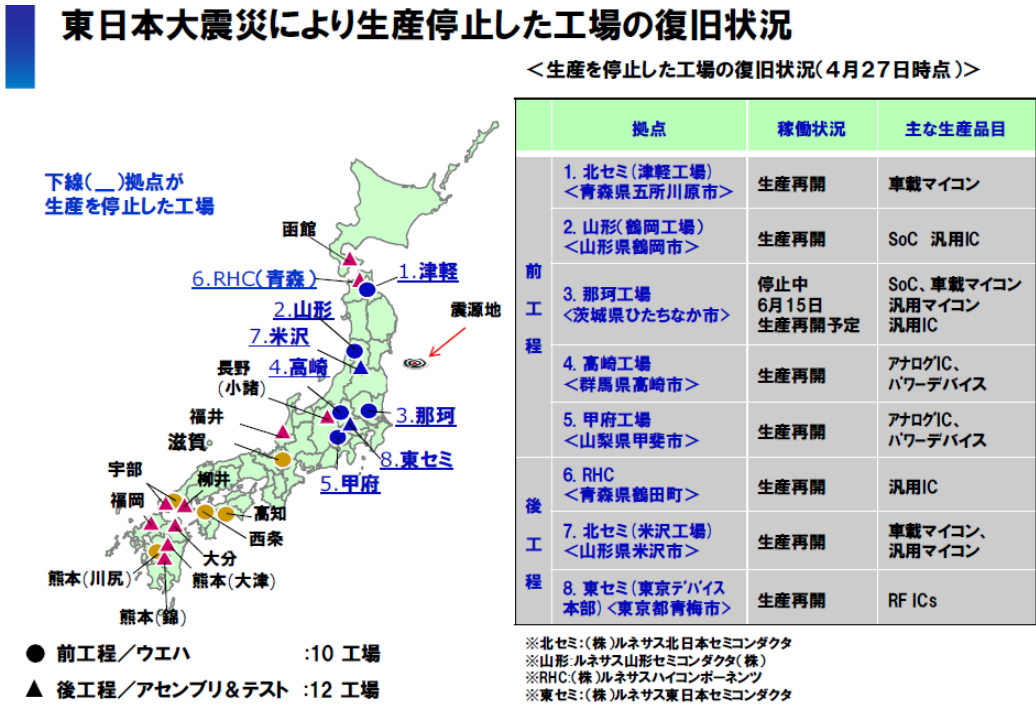
日本の自動車メーカーは各社とも震災により大きな影響を受けたが、特にトヨタとホンダが被った影響は甚大で、2011 年4月の生産台数は対前年同月比で1/5程度にまで落ち込んだという（図表1：佐伯、2012 年）。この落ち込みの原因全てが半導体のサプライチェーン途絶によるものとは言えないが、半導体が最大の要因であったことは確かであろう。車載用半導体は世界的に少数のサプライヤーによる寡占化が進んでおり、取引先の多様化はもともと限界があった。また、特定用途にカスタム化された車載用半導体は、他社が生産しようとしても容易に作れないため、生産面での代替可能性も低いという特徴を持っているとされている。東日本大震災では、ルネサス那珂工場は一時的に代替生産を委託したが、委託先は自社の他工場と一部の海外ファウンドリのみであった。

2011年4月	乗用車	トラック	バス	合計	前月	前年同月	対前年 同月比率(%)
トヨタ	48,967	3,426	1,430	53,823	129,491	249,123	21.6%
日産	38,267	5,766	160	44,193	47,590	86,180	51.3%
三菱	23,626	3,855	0	27,481	49,434	40,238	68.3%
三菱ふそう	0	1,542	64	1,606	2,635	5,495	29.2%
マツダ	34,694	619	0	35,313	39,887	70,274	50.3%
いすゞ	0	4,742	52	4,794	8,029	15,268	31.4%
ホンダ	13,832	336	0	14,168	34,754	74,398	19.0%
日野	0	4,728	212	4,940	4,727	7,562	65.3%
スズキ	50,976	7,422	0	58,398	41,790	84,811	68.9%
ダイハツ	14,540	6,038	0	20,578	28,091	55,065	37.4%
富士	24,870	521	0	25,391	16,530	40,665	62.4%
UDトラックス	0	1,220	6	1,226	889	2,649	46.3%
その他	0	90	0	90	90	101	89.1%
合計	249,772	40,305	1,924	292,001	403,937	731,829	39.9%
前月	348,474	50,781	4,682	403,937			
前年同月	627,320	94,884	9,625	731,829			
対前年 同月比率(%)	39.8	42.5	20.0	39.9			

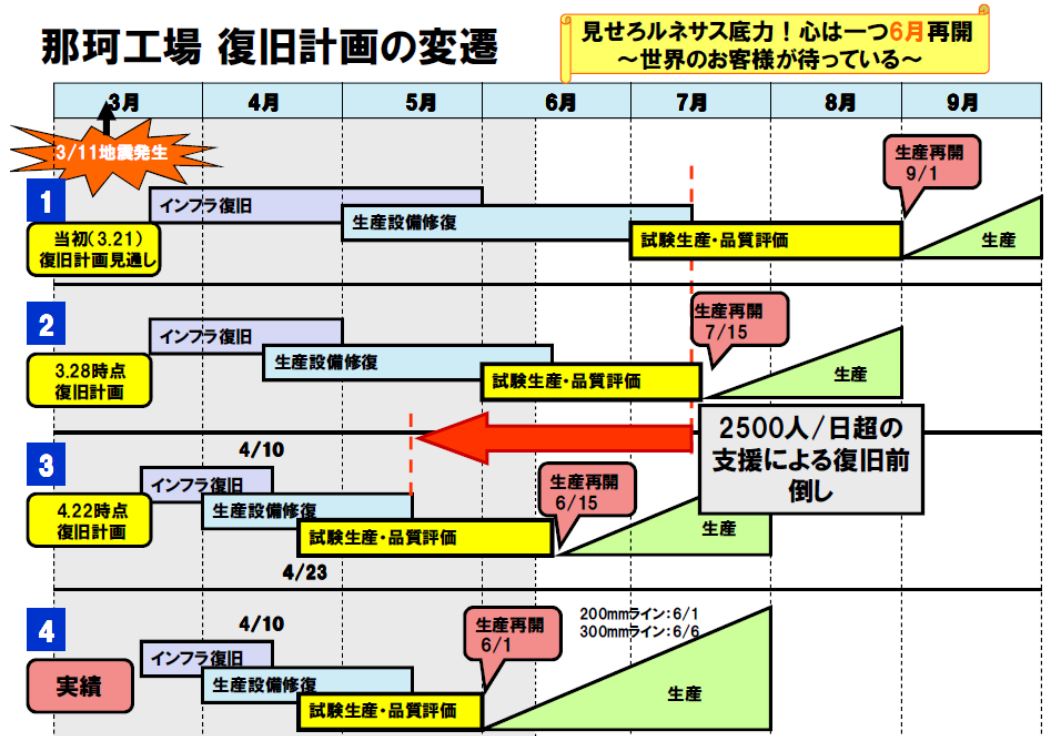
図表1:2011 年 4 月の日本の自動車メーカー各社の生産台数(佐伯、2012 年より)

ルネサス那珂工場は、東日本大震災後にも 2021 年 3 月に大規模な火災を起こし、復旧までに 3 か月を要した。この時にも自動車メーカー各社は、生産調整を余儀なくされている。さらに 2021 年 2 月と 2022 年 3 月には、福島県沖で東日本大震災の余震とみられる強い地震が発生した。これらの際にもルネサス那珂工場は一時的に操業を停止したが、大震災の教訓が活かさ

れ、免震構造化された建屋や、破損しやすい半導体製造装置の石英管などの部品をストックするなどの対策が功を奏し、数日の間に生産を再開している(図表2, 3)。



図表2:ルネサスエレクトロニクスの各工場に対する東日本大震災の影響(ルネサス社資料より)



図表3:ルネサスエレクトロニクスの那珂工場の復旧までの経緯(ルネサス社資料より)

日本の企業は、かねてから東海地震の発生など大規模地震災害等によるサプライチェーン途絶のリスクを認識し、ある程度はその対策を進めていたと考えられる。また、第1章で児玉が指摘したように、IOTによる調達・在庫情報のconnectivityの改善を利用して、サプライチェーンのマネジメントやリスク把握を行おうとする試みも行われてきた。しかし、東日本大震災の事例は、サプライチェーンが想像以上に複雑であり、トヨタのような大手完成品メーカーでさえ全容を把握しているとはいえないことが明らかとなった。また、最終製品メーカーに部品を納入する1次サプライヤー(自動車業界ではTier-1と呼ぶ)や2次サプライヤー(Tier-2)の段階でサプライチェーンがある程度多様化していたとしても、より素材に近いサプライヤー(Tier-3以上)で再び多様性が失われ、複数のTier-2が同じTier-3から調達しているようなケースでは、そこにボトルネックが発生することは明らかである。このようなサプライチェーンのリスクを正しく評価するためには、中立の立場の公的機関等に各社の調達情報を集約し、継続的にモニタリングすることが必要であると考えられる。調達先や調達量に関する情報は価格支配力や購買力に直結するため高度に戦略的な性格を持っており、各社ともライバル社や調達先に知られることを恐れる。そのため、この種の情報集約は、秘匿性を担保したうえで公的機関が担うべきであろう。2022年5月に成立した経済安保推進法では、民間企業の原材料の調達先や在庫を調査する権限を国が持つことが

定められた²。この法律は段階的に施行されることになっているが、サプライチェーンの情報をどのようなかたちで収集し分析するのか、その運用の詳細が待たれる。

2. 進化的ボトルネック

財やサービスには、イノベーションによって新製品や新サービスが生じ、旧世代の財やサービスを置換することによって絶え間なく変化していく。そして新たなビジネスモデルの実現や DX は、結果として、産業のサプライチェーン/バリューチェーンの変化を引き起こすことになり、変化に対処・追従することができなくなった企業や産業は、中長期的には衰退していく運命にある。

このような、「生き残るためだけでも、常に進化し続けなければならない」という生物の宿命は、進化生物学における「赤の女王仮説³」として広く知られている。すなわち、ある生物種が生息環境の変化に適応し、あるいは競合種との競争に負けないで生存し続けるためには、柔軟な進化を遂げるために種内の遺伝的多様性が確保される必要がある。そして、そのための仕組みとして、有性生殖や寄生虫・細菌・ウイルスなどとの共存が、多くの高等生物種において発達してきた、とする仮説である (Van Valen, 1973、マット・リドレー, 1995 など)。大きな災厄などの結果として遺伝子プールの多様性が失われると、それが進化の速度を低下させ、長期的には主の絶滅に繋がる現象が evolutionary bottleneck と表現されている。

生物の進化における evolutionary bottleneck とは

A sudden decrease in the size of a population, usually because of an environmental catastrophe, resulting in a loss of genetic variability and therefore adaptability even if the population recovers to its original size. (Oxford Reference)

赤の女王仮説は、経済学や経営学にとっても重要な視点を提供してきた。例えば、非主流派の経済学である進化経済学やイノベーション論、経営学分野の企業戦略論などでは、いずれも「変化」と「適応」を理論の基本的要素として取り込んだ議論が行われている。例えば、UC バークレー

² この法律では、サプライチェーンの調査権限に加えて、電力等の基幹インフラの設備導入の事前審査、先端技術開発における官民協力、軍事転用可能な機微技術の特許非公開化が規定されている。

³ “赤の女王 (Red Queen)” とは、ルイス・キャロルの童話「鏡の国のアリス」の中の登場人物である。Van Valen は、物語中の女王の言葉である「この国では、その場に留まるためだけに走り続けるのよ」という状況を生物進化の比喩表現として用いた。

のティースらの提唱する企業のダイナミック・ケイパビリティ論では、組織の「戦略と学習のダイナミックで素早い変更能力」を重視するべきであるということが強調され、それによって短期の競争的ポジションの改善と、長期的競争優位の構築を達成するとしている(Teece et al, 1997, Helfat et al, 2009 など)。既存の主要顧客やプロセスに対して過剰に適応し、ダイナミックな変更能力を失った企業、あるいは社内の研究開発や人材開発等を通じた「将来の製品やサービス」に関する多様性を維持する努力を過小評価する企業は、経済環境の激変や画期的な新技術の出現などに際して、市場における自社のポジションと競争優位を失っていくことになる。

企業戦略のダイナミック・ケイパビリティ論では主に、企業内の有形・無形の資産(リソース・ベース)をどのように活用するのが焦点となっている。しかし、オープン・イノベーションが近年注目されているように、新しい製品やサービスを生むイノベーションのドライバーは社外にも存在し、特に画期的なイノベーションのドライバーは他の業界からもたらされることが多いことが指摘されてきた。イノベーションを持ち込む側から見れば、porting である。この点については、次節であらためて論じる。

前節で述べたような、“仕様の定まったある財”、いうならば「きょうの製品」の生産にかかる生産供給連鎖上のあい路は、ある意味、スタティック(定常的)なあい路であるという事ができる。半導体のサプライチェーンにおけるスタティックなボトルネックに対しては、台湾企業の工場を国内に誘致するなどの措置が現在進行中である。一方、サプライチェーン／バリューチェーンをイノベーションや DX の視点で俯瞰すると、別の種類の「進化的ボトルネック」とでも表現すべきあい路の存在を指摘することができる。すなわち、中長期的な「あしたの製品」あるいは「あさっての製品」の開発にかかわるあい路である。事例-2 では、自動車業界ではなく半導体業界そのものを取り上げて、進化的ボトルネックの例を見てみる。

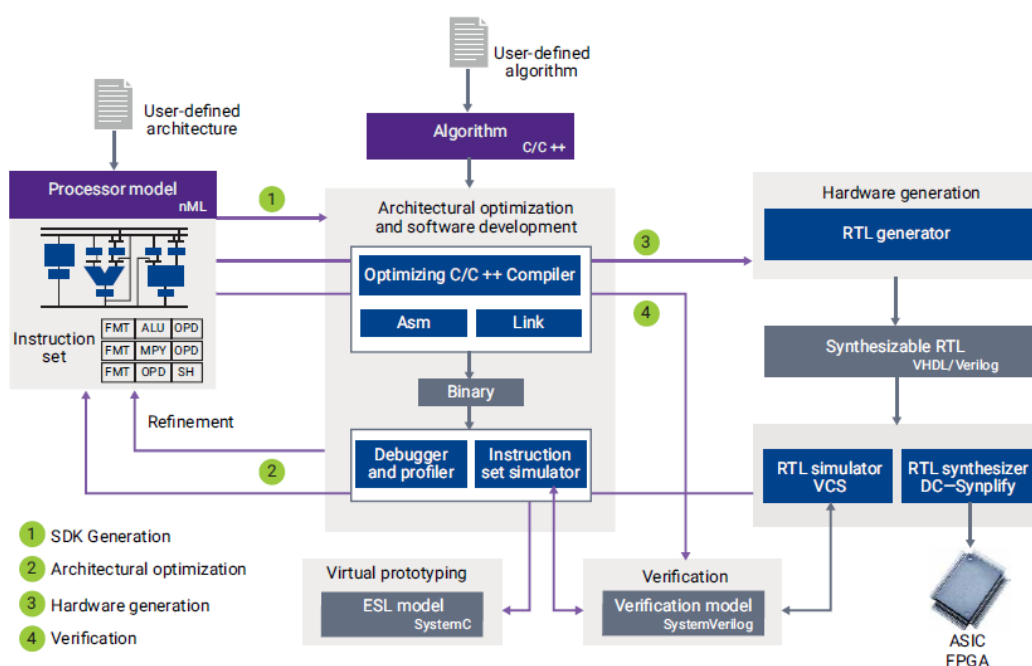
事例-2:半導体設計ツール

新たな半導体の設計には、プロセス・シミュレータ、デバイス・シミュレータそして回路シミュレータ等を統合した TCAD もしくは EDA(回路自動設計)ツールと呼ばれるソフトウェア(図表4)が用いられる。現在、EDA ツールは米国のシノプシス社とケイデンス社、ドイツのシーメンス EDA 社という3社が、世界的に大きなシェアを持っており⁴、この3社のツールは事実上の業界スタンダードとなっている。EDA ツールは回路の論理設計や物理設計にかかわる膨大なノウハウや IP(回路配置に関する知的財産権)を統合することにより、最近の 5nm や 7nm のような先端的なプロセスでは、これらを使わずに正しく動作する大規模な半導体の設計を行うことは極めて困難であるといわれている。すなわち、これら EDA ツールのベンダーは、半導体業界から見ると次世代製品開発ツールのサプライヤーであり、その供給を絶たれることは将来の競争力にとって大きな制

⁴ 大規模集積回路の EDA ツールを提供する米欧の大手 3 社以外にも、様々な回路設計ツール・ベンダーは各地に存在する。日本の株式会社図研は、半導体などの電子部品を搭載するプリント基板の設計ツール・ベンダーとして業界で認知されている。

約となることを意味する。半導体製品の進化的ボトルネックである。

実際、米国と中国の間の半導体をめぐる覇権争いにも、EDA ツールは深く関与している。2022 年 4 月には、中国最大のファウンドリである SMIC(中芯国際集成回路)と中国最大のファブレス IC 企業である HiSilicon(海思半导体有限公司)に、シノプシスが EDA ツールを提供した疑いがあるとして、当局の捜査を受けていることが報道された。米国が中長期的な戦略の下に、進化的ボトルネックを利用しようとしていることは明らかである。



図表4: プロセッサ設計用ツール・セットの例(シノプシス社資料より)

3. サプライヤーが支配するイノベーション

かつて UK サセックス大学のキース・パビットは、UK のさまざまな産業(主に製造業)における歴史上の主要なイノベーション約 2000 例の起こり方を分析した。パビットの用いた方法論は専門家の助力を得て、i) 新技術が発生した産業セクターと、ii) その新技術を利用した産業セクター、iii) その新技術を開発した企業が本業とする産業セクター、の 3 種類の産業セクターを明らかにするというものであった。そしてその結果に基づいて、産業の特性に応じたイノベーションのドライバー⁵として、以下のようないくつかのパターンを類型化した(Pavitt, 1984):

⁵ パビット自身は、これを「技術軌道 (technological trajectory)」と呼んでいる。

① サプライヤー支配型(supplier-dominated)産業

主要なイノベーションの供給がサプライヤーにより行われる；農業、建設、サービス産業、伝統工芸品、等

② 製造技術重視型(production-intensive)産業

A) 大規模生産型(scale-intensive)

主要なイノベーションは製造プロセスに関するもので、社内の生産部門やサプライヤーが供給する：鉄鋼や化学などのバルク産業、自動車、耐久消費財、等

B) 特殊サプライヤー型(specialized-suppliers)

主要なイノベーションは社内ノウハウと顧客からのニーズに基づいて社内で開発される：機械産業、等

③ 科学依拠型(science-based)産業

主要なイノベーションは、科学的知識や公的研究機関の研究成果に基づいて開発される：エレクトロニクス、医薬品、等

ある産業が大きな(急速な)変化に直面しており、かつその産業における“イノベーションのドライバー”すなわち、知識や知的財産、研究開発ツールや高度人材等の社内外のサプライヤーが、特定の地域や技術、知財、組織・部門等に高度に依存している場合には、それが重要な進化的ボトルネックになる可能性がある。そのような状況下では、特定地域に生じる災害や新たな破壊的技術の出現、特定企業の戦略転換などが中長期的な産業の成長や存続を左右することになる。

サプライヤー支配型産業の潜在的な進化的ボトルネックは、社外他産業におけるイノベーション活動であり、科学依拠型産業の潜在的な進化的ボトルネックは、企業に対する科学的知識の主たるサプライヤーとしての国内や地域内の大学・公的研究機関であると考えられる。これらの産業にとって、進化的ボトルネックの脆弱性を克服するためには、他産業や大学・公的研究機関のようなサプライヤーの多様性と活力をモニタリングするとともに、それらに対するアクセスを確保していくことが必要となる。これは、スタンフォード大学のローゼンバーグがかつて述べた、「企業が行う基礎研究は、研究者がハイテク技術情報のネットワークに参加するためのチケットの役割を果たしている」という指摘(Rosenberg, 1990)や、カーネギー・メロン大学のコーエンらが提唱した、外部の知識を探索し、認識し、消化し、活用するための「吸収能力(absorptive capacity)」というコンセプト(Cohen and Levinthal 1990)の重要性に関するもう一つの説明となる。イノベーションのドライバーの多くをサプライヤーに依存している企業は、潜在的な進化的ボトルネックの存在と脆弱性を正しく認識し、そのマネジメントにも配慮を払うことが非常に重要であろう。

一方、製造技術重視型産業では、潜在的な進化的ボトルネックは、従来は主に社内存在していた。そのため、このボトルネックが顕在化することを避けるために、社内の研究開発やイノベーション活動の多様性を確保する努力を行っていた。しかし、パビットが scale-intensive な製造技術重視型産業の例としてあげた自動車産業においても、第1節でみたように、今日ではDXに

よる大きな変革が生じている。例えば、トヨタ自動車は 2021 年 12 月に“電気自動車(BEV)戦略についての説明会”を開催したが、豊田社長は「トヨタは、未来に向けてできるだけ多くの選択肢を準備しようとしている。……選択肢のひとつとして、BEV も本気、ガソリン車も本気、燃料電池自動車(FCEV)も本気、プラグイン・ハイブリッド車(PHEV)も本気、全部本気。」という説明を行っている(トヨタ自動車資料。図表5)。これだけ多様な選択肢を残すためには、トヨタでさえも社外に目を向けざるを得ない。スタティックなサプライチェーンの把握のみならず、進化的ボトルネック把握の重要度を認識するべきであろう。



図表5: 2021 年 12 月に発表されたトヨタの電動化投資計画(トヨタ自動車資料より)

日本の経済は、バブル経済崩壊後に「失われた 30 年」を経験し、企業収益は低いままで、さらに創業率の低下や新規産業創出の低迷などが続いている。これは巨視的にみると、様々な産業における進化的ボトルネックの脆弱性が露呈した結果なのかもしれない。進化的ボトルネックの実態と影響に関する実証分析は、今後の課題である。

参考文献

- 佐伯靖雄、2012 年、東日本大震災からの復興－自動車産業の JIT 納入システムとサプライヤー・システムが直面する課題－、Discussion Paper Series, No.019 Research Center for Innovation Management, Ritsumeikan University
- 「東日本大震災におけるルネサス那珂工場生産ラインの復旧と今後の対応について」、2011 年9月6日、ルネサス エレクトロニクス株式会社発表資料
<http://www.cocn.jp/material/ec9a4f2565e27e752d082827591d868e213ba413.pdf>
- Van Valen. Leigh, "A new evolutionary law" 1973. Evolutionary Theory, 1:1-30.
- マット・リドレー、『赤の女王』翔泳社 <翔泳選書>、ISBN 4-88135-146-X, 978-4-88135-146-8、1995 年初版
- Synopsys, ASIP Designer Brochure,
<https://www.synopsys.com/dw/doc.php/ds/cc/asip-brochure.pdf>
- Pavitt, Keith, (1984), Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory, Research Policy, 13, (6), 343-373
- Teece, D. J., Pisano, G. and Shuen, A. (1997) 'Dynamic Capabilities and Strategic Management', Strategic Management Journal 18(7): 509-33.
- Helfat, C. and Peteraf, M. (2009), Understanding dynamic capabilities: progress along a developmental path Constance, Strategic Organization Vol 7(1):91-102.
- Nathan Rosenberg, 1990, Why do firms do basic research (with their own money)?, Research Policy, Volume 19, Issue 2, Pages 165-174.
- Cohen and Levinthal (1990), "Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation", Administrative Science Quarterly, Volume 35, Issue 1 pg. 128-152.
- トヨタ資料、2021 年、トヨタは電気自動車にどこまで本気なのか？豊田社長インタビュー：
https://toyotatimes.jp/spotlights/chief_editor/074.html
https://global.toyota/pages/news/images/2021/12/BEV/20211214_BEV_02.jp.pdf

4. オンライン診療 2.0 IT で激変する日本の医療

4.1 オンライン診療の普及とその周辺ビジネス

4.1.1 異業種間競合が激化するオンライン診療

前年度の報告書「第 6 章 医療における IoT コロナが進めた CPS としてのオンライン医療」にて、オンライン診療を「産業創出・技術進化サイクル」による産業分析として取り扱い、その中でロックインの解除→異業種間競合→需要表現→技術・サービス融合による技術サービスの多様化から新たな産業の創出へ、さらにそれが技術・サービスの累積プロセスへと発展していく状態を第 2 サイクルとして図式化した(図 4-1)。この中で、ロックインの解除から需要表現に至る状態を下記のように記載した。

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

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

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

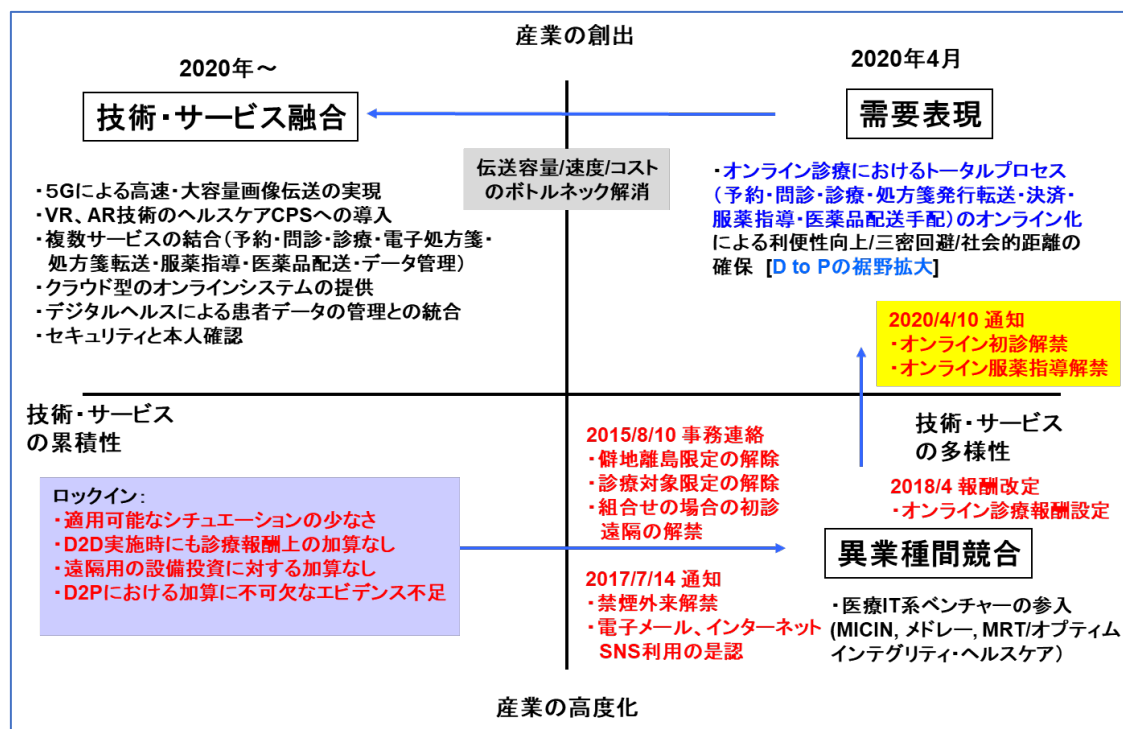


図 4-1 オンライン診療の第 2 サイクル(2020 年度報告書バージョン)

第二サイクルにおける異業種間競合の主たるプレイヤーとして、オンライン診療のプラットフォーム提供者として、MICIN、メドレー、MRT、インテグリティ・ヘルスケアの 4 社を取り上げたが、その後の展開は、これらのベンチャー企業と大手企業 IT 企業とのアライアンスがいくつも発表されたこと、新たなスタートアップがオンライン診療プラットフォームとして出現していること、旧来の電子カルテなどの足掛かりがある大手企業、製薬企業、警備会社、流通企業、大手薬局チェーンなども独自にオンライン診療に参入してきたことにより、異業種間競合が激化していることが大きな変化である。

オンライン診療の事業領域は、①遠隔医療のプロバイダー、プラットフォーム、②オンライン診療で発行された処方箋に対応した処方薬の輸送サービス、③オンラインセラピー、コーチング、ケアマ

ネジメント、④遠隔モニタリング&診断、の4つに大きく分けられる。さらには、オンライン診療の周辺に発生している医療 DX ビジネスが発展しており、リモート医療の考え方はコロナパンデミック下での「リモート治験」の発展にも進展している。

本稿では、4.1 でまずオンライン診療への企業参入状況と周辺ビジネスの発展状況をレビューしたのち、4.2 で「技術・産業サイクル論における 3 周目のデザイン問題」と題して、オンライン診療普及に対するボトルネックを想定した上で、オンライン診療の今後の発展形態を想定して第三サイクルにおける課題を抽出し、4.3 で「DX 分類学から見たオンライン診療」と題して、第三サイクルにおける課題を本プロジェクトにおける DX 分析の共通視点から解析する。

① 遠隔医療のプロバイダー、プラットフォーム事業の参入企業

対面診療とオンラインをハイブリッドにした治療モデルを提供するための情報インフラを構築し、オンライン診療を開始する診療所や病院向けに提供するビジネスである。先行ベンチャー企業は、病院チェーン、大手 IT 企業や大手医療機器ベンダーとの提携を進めており、インテグリティー・ヘルスケアは、日立システムズ、フィリップス、PHC や病院ネットワークと提携しており、MRT/オプティム連合は日本郵便と、メディカル・データ・ビジョン(MDV)はケアネットと、メドレーはドコモと提携し、メドピアは医薬品卸のアルフレッサと提携している。LINE とエムスリーのように既存企業同士の提携も発生する一方で、NEC のように電子カルテのプロバイダーが電子カルテを足掛かりにオンライン診療のプラットフォーム全体に独自に展開するといった動きも出ている。一方、新規参入ベンチャーとしては、ジェイフロンティア、リンクウェル、カラダメディカルなど、大規模なベンチャーキャピタル投資を伴う新規参入も起きており、多様な参入形態が乱立している。

海外における動向としては、米国ではアマゾンのオンライン診療分野への参入以外にも、この分野に対しては大規模なベンチャー投資が起きており、オンライン診療の発展は確実視されている。アジアにおいても、大手病院チェーンはオンライン診療に参入しており、医療サービスの供給者が自らオンライン診療のための技術開発を実施する形態をとっている点がユニークである。

表 4-1 遠隔医療のプロバイダー、プラットフォーム事業の参入企業の例

参入企業	内容
インテグリティ・ヘル スケア	オンライン疾病管理システム「YaDoc」の開発。「YaDoc」は医師が患者の状態変化のモニタリングや問診、診察をオンラインで行うことにより、対面診療を補完する ICT システム。通常の対面診療に加えて、オンラインによる症状の経時的変化のモニタリングや問診、患者さんの表情や状態を見ながらの診察を組み合わせることで、医師は患者の状態を正しく把握でき、適切な診断と治療につなげることができる。
インテグリティ・ヘル スケア&日立システ ムズ	株式会社日立システムズと、株式会社インテグリティ・ヘルスケアは、医療・ヘルスケア分野において提携し、両社は自治体、健康保険組合、企業等に対し、日立システムズが提供するセキュアなクラウド基盤上で、疾病管理(「YaDoc」)、オンライン診療や服薬指導(「YaDoc Quick」)、PHR サービス(Smart Onehealth)などを連携させることで、医療情報・データを一元的に管理し、それらの情報に基づいた総合的な健康支援サービスを 2021 年度中に提供開始することをめざす(2021 年 4 月)
パナソニックヘルスケア &インテグリティ・ ヘルスケア	PHC 株式会社(以下「PHC」)は、このたび、株式会社インテグリティ・ヘルスケア(本社:東京都中央区)が開発したオンライン診療システム「YaDoc」の PHC による販売、および「YaDoc」と PHC が販売する電子カルテシステムとの連携に関する基本合意を締結(2018 年 5 月)
フィリップス&インテ グリティ・ヘルスケア	オランダのヘルスケア大手フィリップスは 2021 年 12 月 8 日、疾患管理システムを手掛けるインテグリティ・ヘルスケア(東京・中央)と資本業務提携し、少数株主持ち分を取得し、呼吸器などの病気を抱える患者のオンライン診療を支援するシステムを共同で開発し、2022 年中の発売を目指す。2 社はこれまで、患者の体調を遠隔で管理しながらオンライン診療ができるシステムを医療機関に提供してきた。患者の健康状態のデータを取得し、患者の体調変化を察知すると医療関係者に通知する機能などを備える。資本提携により、さまざまな疾患を管理するシステムに協業対象を広げる。22 年中に睡眠時無呼吸症候群や心不全、抗がん剤の服薬を管理できるシステムの発売を目指す。新型コロナウイルス下で通院を控える人や通院が困難な地域に住む人などの疾病管理に使えるようにする。
長崎地域医療連携ネ ットワークシステム協 議会	長崎県で医療ネットワーク「あじさいネット」を運営する NPO 法人、長崎地域医療連携ネットワークシステム協議会は ICT(情報通信技術)を活用した医療の高度化に向け、オンライン診療のインテグリティ・ヘルスケア(東京・中央)、ノバルティス日本法人のノバルティスファーマ(東京・港)と包括連

(2022.4)	携協定を締結。あじさいネットは医療機関同士で受診情報の相互参照が可能な国内最大規模の医療ネットワーク。38 の医療機関が情報提供し、登録患者数は約 14 万人に上る。2020 年からインテグリティ・ヘルスケアの提供するオンライン疾病管理システム「YaDoc」を導入している。ノバルティスは、センサー付き吸入器などをぜんそく患者に提供。3 者が共同で、服薬データの分析に取り組む。
LINE ヘルスケア	Z ホールディングス傘下の LINE とエムスリーが共同出資する LINE ヘルスケア(東京・新宿)は 20 年 12 月、アプリ上で医師の診療が受けられる「LINE ドクター」を日本で開始。診療の予約から決済まで LINE 上で完結する点が特徴だ。「体調が悪い中、新しいアプリをダウンロードするのは大変。LINE をそのまま活用していただけるのが最大の強み」(担当者)。利用者数は非開示だが、22 年 2 月の診療件数はサービス開始以降最多となったという。
ジェイフロンティア	オンライン診療のプラットフォーム事業。スマートフォン用アプリ「SOKUYAKU(ソクヤク)」は、医療機関の診療から服薬指導、処方薬の配送までアプリ上で完結する。利用者は受診ののち、処方箋をもとに調剤薬局の薬剤師からビデオ通話で服薬指導を受けることができる。
メドピア	診療所向けのオンライン診療システムの開発。アルフレッサホールディングス(HD)は 2022 年 4 月 22 日、子会社のアルフレッサ(東京・千代田)がメドピアと医療機関のデジタルトランスフォーメーション(DX)を支援する共同事業の検討を始めたと発表した。同日付で基本合意書を結んだ。2022 年夏に事業を開始する予定
マイシン	オンライン診療サービス「クロン」の開発。オンライン診療向けスマホ聴診器アプリの開発(詳細は昨年度報告書)。
リンクウェル(港区)	米投資ファンドのベインキャピタルは医療 IT(情報技術)システムを手掛けるリンクウェル(東京・港)に出資(2021 年 11 月)。金額は 50 億円程度。リンクウェルは医師で米コンサルティング大手マッキンゼー出身の金子和真氏らが 2018 年に設立し、ネットでの診療予約やオンライン診療といった各種システムを医療機関に提供する。今回、ベインが主導する形で総額約 80 億円を調達する。資金はシステム開発など成長投資に充てる。
メディカル・データ・ビジョン(MDV)	人が一生涯の健康・医療情報を自ら管理できる PHR(パーソナルヘルスレコード)の WEB 診療情報保管・閲覧サービス「カルテコ」を 2015 年 6 月にリリースし、現在 11 病院が採用済。この WEB による PHR サービスに接続する形で開発されたのが、病院向けのオンライン診療システム「オンラインドクターバンク(ODB)」で、患者のパソコンやスマートフォンなどの情報通信機器を通じた患者と医療機関(医師)をつなぐオンライン診療プラットフォーム(2020 年 10 月提供開始)。ODB で、

	患者は病名や症状に応じて医師を検索して診察を受けることができ、医師は、既往歴、検査データ、健診結果、受診歴などの患者情報を確認した上で、診察をすることができる。
MDV&ケアネット	MDV は医師向けに医療コンテンツの配信などを手掛けるケアネットと包括業務提携契約を締結。 ケアネットは ODB の認知向上や登録医師の獲得などで協力する(2020 年 10 月)。
メドレー	「予約、事前問診、ビデオチャットでの診察、決済、薬・処方箋の配送をワンストップで完結することのできるオンライン診療システム」である「CLINICS オンライン診療」の開発。 「つながる」をコンセプトとし、予約～受付～診察～会計業務まで医療機関と患者がスムーズにつながる仕組みを実現するクラウド電子カルテ「CLINICS カルテ」の開発。
メドレー&ドコモ	ドコモとメドレーは 2021 年 4 月に資本業務提携を締結、8 月には、自宅療養する患者と医師を予約なしでつなぐ無償サービスを共同で始めると発表し、12 月にメドレーが開発したオンライン診療システム「クリニクス」を共同運営すると発表。ドコモ店舗のスマホ教室でオンライン診療アプリの利用を促すほか、同社の顧客 ID「d アカウント」との連携を進める。 また、オンライン薬局のミナカラ(東京・千代田)を 10 月に共同買収し、今回の共同運営により、ドコモはオンライン診療を自社サービスとして顧客にアプローチ可能となり、約 8000 万人の d アカウントとの連携を通じて利用者拡大を図る。
NEC	オンライン診療や周辺病院との連携などができるクラウドサービスを開始(2021 年 11 月)。オンライン診療システムは対面診療で使う電子カルテと連携し、情報が散らばることを防ぐ。病床数数百床以上の急性期病院を中心に、2025 年度末までに 200 施設への提供を目指す。 提供を開始したサービスは 4 種類。「MegaOak Telehealth」は、診療や周辺病院との連携をオンラインで可能にする。実証実験では、周辺の小規模病院から大規模病院へ患者 1 人を紹介する際、大規模病院での診察予約を調整するのにかかる時間が約 65%削減できた。 「MegaOak Template for 問診」は患者が診察前に自身のスマートフォンなどから問診を入力できる。「MegaOak Voice Assist」は音声認識で看護記録入力を補助し、記録にかかる時間を同じ文字数あたりで半減できるという。「MegaOak Cloud Gateway」は、これら 3 つのサービスが電子カルテと接続するための基盤となる。 NEC は 50 年以上前から医療事務システムや電子カルテなどの医療関連サービスを提供してきた。電子カルテサービスは 300 床以上の病床を持つ急性期の病院を中心に全国約 300 施設で導入されている。新サービスでは医療従事者の過重労働などの問題解決を支援することで利用の拡大を目指す。

MRT&日本郵便	医師や看護師の人材紹介事業を手掛けるMRTと日本郵便は、オンライン診療からオンライン服薬指導、処方薬の配送までの一貫したサービスを提供するプラットフォームの構築に向けた実証実験について、基本合意書締結を発表(2021年9月)。処方薬の配送は日本郵便が持つ配送網を利用する。
カラダメディカ(東京・新宿)	カラダメディカのシステムはブラウザ上で動き、専用アプリが不要な点が特徴。デジタル機器に不慣れな高齢者でも使いやすく、介護現場でのオンライン診療の活用を促す経済産業省の助成事業にも採択された。介護施設に近い病院などの需要を掘り起こす。
アマゾン	IT(情報技術)を使って、オンライン診療や薬の宅配、患者の遠隔モニタリングなどサービスを展開しており、2021年12月には消費者向け診療サービスやオンライン薬局事業を統合するため、ヘルスケア事業「アマゾンケア(Amazon Care)」「アマゾンファーマシー(Amazon Pharmacy)」「アマゾン・ダイアグノスティックス(Amazon Diagnostics)」を1つの組織にまとめている。一方で、同社は2016年以降、数十社と戦略的に業務提携し、スタートアップに出資し、数社を買収してヘルスケア業界への参入を進めている。
IHH ヘルスケア	マレーシアの大手病院グループで2020年、オンライン診療アプリを手掛けるシンガポール企業、ドクター・エニウェアが実施した総額2700万ドル(約30億円)の資金調達ラウンドに参加した。21年には同社に追加出資。本拠のマレーシアのほか、シンガポール、インド、トルコに展開。シンガポールのマウント・エリザベス病院やマレーシアのグレンイーグルス病院といった域内を代表する病院を運営。VR、ARなど複数の先進技術を組み合わせることで(医師らスタッフが既存の病院と同じように患者と関われる環境を構築できるとし、デジタル技術は「現実世界の病院に取って代わるのではなく、補完する」とした。
シロアム・インターナショナル・ホスピタルズ	インドネシアの大手病院グループで東南アジア最大の経済規模を持つインドネシアで多数の医療施設を運営。同社独自の遠隔医療アプリ「マイシロアム」の改良を続けているほか、医療診断プラットフォームを運営するスタートアップにも投資している。将来はメタバースに病院を持ち、医療サービスを提供する。VRなどの最新技術が「精神医学や心理学分野で患者に多くの医療サービスを届けるための新たな手法になることを想定。
米アフィニティ・エンパワーリング (Affinity Empowering)	在宅での診断検査サービス「eHome」や治療サービス「eCare」で、患者の既存の治療プランと統合し、専門家が一定の病気を治療したり、医療専門家によって治療プランが変更された場合に患者に最新情報を提供することができる。

②オンライン診療後の医薬品の輸送サービス

オンライン診療におけるトータルプロセス(予約・問診・診療・処方箋発行転送・決済・服薬指導・医薬品配送手配)のうち、最後の医薬品配送手配後の実際の輸送には課題が多い。特に、都市圏においても配送に数日を要したり、離島や山間部での輸送が実現しなかったり、災害時の輸送など、小口配送の迅速性やオンデマンド性の追求やドローンの利用などについて、医療スタートアップ、物流スタートアップ、ANA、JAL、ヤマト運輸などの大手輸送企業、受取を考慮したセブン&ホールディングスなどの流通企業などが参入している。

表 4-2 オンライン診療の処方薬の配達サービスの参入例

参入企業	内容
メディカルノート (医療スタートアップ)	処方薬を 30 分程度で配送するサービスを、料理宅配「Wolt(ウォルト)」のウォルトジャパン(東京・渋谷)と共同で実証実験を 4 月から開始。対象は新宿区や中央区などの複数の診療所の半径 3 キロメートル圏内。メディカルノートは診療所向けにオンライン診療システムを提供する。実証実験では同社システムを使う診療所で院内処方された薬を、ウォルトの配達パートナーが患者に直接配達。ウォルトジャパンが新たに始める法人向け即時配達サービスと連携し、配達時間を 30 分程度まで縮める。オンライン診療は通常、薬が郵送で自宅に届くまで数日程度かかる。今回の実証実験では、調剤薬局に出向くことなく希望する場所で処方薬を受け取りたいというニーズを調査する。
アオキホールディングス	ドラッグストア。店舗に併設する調剤薬局から処方薬を利用者の自宅に配送するサービスを開始。ジェイフロンティアのオンライン診療・服薬指導アプリで医師の診療を受けた後、アオキの調剤薬局に処方箋が送られ、薬が届く。新型コロナウイルス禍で外出せずに受診や薬の受け取りをしたいという需要に対応。
CBcloud	物流スタートアップ。オンライン診療や服薬指導システムなどを手掛けるサイバーエージェント子会社の MG-DX と提携し、処方薬の即日配送サービスを 2022 年 3 月から開始。新サービスは CB クラウドが手掛ける配送サービス「PickGo(ピックゴー)」を活用し、同システムに登録する全国 4 万人以上の配送パートナーが、薬局などから患者へ処方薬を即日配送する。
JAL, KDDI	ドローンで医薬品を運ぶ実証実験を報道陣に公開(2022 年 2 月)。医薬品卸メディセ

	オの物流拠点から隅田川上空を約 2 キロ飛行し聖路加国際病院付近に約 10 分で輸送。災害などの緊急時でも、空から迅速に薬を届けられる物流網の構築を計画。国の医薬品輸送ガイドラインに基づき、配送中の薬の温度変化や固定状況を検証する。発注から納品までの時間やプロセスも分析し、病院や薬局が希望する時間と場所に届ける「オンデマンド配送」の実現性も確かめる。
ANA&アインホールディングス	2021 年 9～10 月に北海道稚内市でドローン(小型無人機)を使った医薬品配送や稚内空港での離着陸の実証実験をしたと発表。2021 年 6 月に策定された政府のドローンによる医薬品輸送のガイドラインに基づくドローンでの医薬品配送は国内初。市立稚内病院のオンライン診療を受けた患者に対し、アイン HD が処方箋をもとに調剤し、オンラインで服薬指導した。ANAHD は医薬品を入れた容器に鍵をかけ、ドローンで約 1.8 キロメートル離れた患者宅に届けた。
ヤマト運輸	アルフレッサホールディングス傘下の医薬品卸会社が 21 年 12 月に岡山県和気町で、オンライン診療で処方された薬を中山間部の患者宅に届ける実証実験を実施(2021 年 12 月)。
セブン&アイ・ホールディングス	調剤最大手のアインホールディングスの薬局が処方する薬をコンビニ店舗で 24 時間受け取れるサービスを川崎市内のセブンイレブン 17 店舗で試験的に開始(2022 年 2 月)。患者はオンラインなどで診療を受けた後、アインの薬剤師からオンラインや電話などで服薬指導を受ける。その際に渡されたパスコードをコンビニ店内の宅配ロッカーに入力し、薬を受け取る。
かもめや	ドローン(小型無人機)による物流事業をてがけるスタートアップ(高松市)。調剤薬局大手のクオールホールディングス(HD)と組んで、処方薬のドローン輸送を計画。2022 年 3 月には離島に薬を届ける実証実験を愛媛県内で実施し、今夏にも香川県の離島で配送サービスを始める。オンライン診療と組み合わせ、離島での遠隔医療のモデルとする。両社は実証実験の結果を足がかりに規制緩和につなげる。

③オンラインセラピー、コーチング、ケアマネジメント

治療を事業として展開するもので、日本では存在していないが、中国、アメリカなどで事業化されており、日本企業も外国で着手しており、将来、日本での事業展開を視野に入れている。メンタルヘルス分野のオンライン診療や指導、ケアマネジメントを専門とするスタートアップが米国で急増

している。

表 4-3 オンラインセラピー、コーチング、ケアマネジメントの参入例

参入企業	内容
ミクシィ (2022.4)	往診サービススタートアップのコールドクター(東京・渋谷)が提供する医師派遣アプリを刷新し、「みてねコールドクター」(夜間や休日に医師を最短 30 分で患者の自宅へ派遣するサービス)を開始。アプリに妊娠や出産、育児の悩み相談を受け付ける助産師相談コーナーを新設。ミクシィは利用者は 1 千万人以上の子どもの写真や動画を家族間で共有するアプリ「家族アルバム みてね」を手掛け、アプリの名称に「みてね」ブランドを冠し、コールドクターにミクシィの利用者を送客する。子供の夜間の急な発熱や、体調を崩して病院に行けない高齢者などの軽症患者に訪問医師を手配する。医師が患者の自宅で PCR 検査も実施し、24 時間 365 日のオンライン診療や服薬指導のサービスも提供する。
米 CityBlock Health	21 年 9 月のシリーズ D で 4 億ドルを調達。同社はメディケイドに加入している患者や、メディケイドとメディケア両方の資格を持つ患者を対象に、オンライン診療を組み込んだ定額制のケアを提供。
米ヌーム	メンタルヘルスの分野のオンラインセラピーや不安やストレスに対処するためのコーチング。
イノシア	複数の医療スタートアップと連携し、サービスをパッケージ化する三井物産の医療DXの新会社。第 1 弾として、看護師業務のデジタル化を手掛けるドクターズモバイル(東京・港)に 6 億円出資。イノシアとして 2026 年 3 月期に売上高 20 億円を目指す。看護師業務は手書きの日誌を使ったり、経験を基に看護計画を立てたりする病院も多いが、ドクターズモバイルは作業効率を高める看護記録のデジタルな管理システム。患者ごとに回復経過を一覧で確認でき、検査や処置のデータも時系列で表示する。携帯端末で患者の情報を入力・表示できるため、看護日誌では網羅できなかったようなきめ細かな情報も引き継げる。
平安塩野義	3 億人以上の顧客を持つ保険大手の中国平安保険集団は塩野義製薬と合弁会社「平安塩野義」を設立し、健康管理アプリの開発や AI 創薬に着手。

④遠隔モニタリング&診断

「遠隔モニタリング&診断」分野は、新規デバイス開発を伴うもので、血糖値測定器などの遠隔患者モニタリング技術と遠隔モニタリングに活用する。医療費の抑制と治療効果の改善に役立つため、有病率は上昇しつつある慢性疾患のケアマネジメントでは遠隔医療の実現に必須である。

表 4-4 遠隔モニタリング&診断の参入例

参入企業	内容
オムロン	米国で遠隔医療サービスを実施。子会社を通じて、血圧計などの健康機器を用い、遠隔で高血圧患者をモニタリングするサービスを提供。測定した血圧値は自動で電子カルテに転送され、医師などが確認。異常値が出ればアラートを医師に知らせる仕組みで、患者が受診していない間でも、医師は患者の状態を把握。2025 年 3 月期までに国内外で累計 60 万人の利用者獲得を目指す。
セコム	心電計や血圧計などのデータを遠隔にある医療機関に送る。
ネクイノ(大阪市)	婦人科系のオンライン診療を手掛けるネクイノは、現在は生理痛の負担を軽減する治療薬を自由診療の枠で提供しており、診療アプリの累計ダウンロード数は 2022 年 2 月末時点で約 72 万件と約 2 年で 7 倍程度に増加している。今後は、健康データを基に子宮がんなどの発症リスクを分析し、検査受診を促すサービスを開発予定。
エーザイ	2021 年末、中国でオンラインを通じた診療サービスを開始。ネット通販大手の京東集団(JD ドットコム)と合弁会社を設立。デジタルツールを利用して認知症の診断を行う「オンライン病院」を設置し、患者に対して脳の健康度合いを測るツールや、医師らによるオンライン診療を提供。初診は対面必須だが、2 回目以降はオンライン診療可。サイトから評価の高い医師を選び、自宅から受療し、処方箋が発行されるとオンラインモールで医薬品を購入でき、京東集団の中国全土をカバーする物流インフラを生かした薬剤配達ができる。
米 Cadence	Cadence は慢性疾患向けの遠隔患者モニタリングプラットフォームを運営しており、調達資金を活用して米医療システム大手を中心にパートナーの基盤を拡大する。2021 年に 1 億ドルの増資を実施。
米 Tasso	Tasso はオンライン診療の臨床試験で使う家庭用の採血デバイスの量産体制を整える。2021 年に 1 億ドルの増資を実施。

米 Orbita	安全なチャットボットサービスを提供。同社はこのほど、改良版バーチャルアシスタントの運用を開始し、「ソリューションセンター(Solution Center)」はオムニチャネル技術(複数の音声・動画チャットプラットフォームやチャットボット技術)を使い、在宅検査の運営や軽い病気の診断、保険金の請求を担っている。
米 LifeSignals	新型コロナ患者のモニタリングに使う使い捨ての無線バイオセンサーパッチの開発を最優先で進める

4.1.2 リモート治験の進展

オンライン診療が進展する中で、新薬開発に欠かせない臨床試験(治験)を遠隔で実施する「リモート治験」が普及しはじめている。リモート治験は、従来は、患者が施設を訪れずに参加する治験として「バーチャルトライアル」(仮想治験)と呼ばれてきたが、現在は被験者の来院に依存しない「分散型臨床試験(Decentralized Clinical Trial=DCT)」と呼称されている。これはリモート医療の一形態としてとらえることができる。

コロナ下で治験の実施が困難な場合も多く発生しており、米食品医薬品局(FDA)も施設の閉鎖中でも医薬品開発を続けられるようにするため、オンラインでの臨床試験(治験)を認めている。米 IQVIA の調査によると、2020 年に世界で行われた 4000 の臨床試験のうち、65 試験が DCT を活用しており、18 年から倍増している。DCT にはいくつかの要素があり、その 1 つである遠隔診療(電話診療)はグローバル大手 50 社の 8 割が自社の臨床試験に採用している。アクセスを拡大し、施設訪問の負担を軽減することで、ペイシエント・セントリシティ(患者中心)を後押しできることが、DCT の重要なアドバンテージの 1 つとされている。治験の一部を身近な医療機関や自宅で実施することで、参加者は移動時間を節約でき、製薬各社も治験のコスト抑制と期間の短縮が期待でき、新薬開発をより効率的にできるようになることが期待されている(図 4-2)。

一方、日本においては実現には規制改革が必要であり、政府の規制改革推進会議が 2021 年 12 月に公表した中間とりまとめでは、治験に関連する規制の見直しとして、(1)非対面・遠隔での説明・同意取得に関するガイドラインの策定、(2)治験薬の直接配送、(3)訪問看護の活用、(4)治験届に関する手続きの簡素化一、の 4 点が盛り込まれ、(1)(3)(4)については 22 年度中の対応を予定し、(2)についても 22 年度中に結論を得る方針と報道されている。

(1)被験者への説明と同意取得は、対面で紙を使って行うのが通例ですが、非対面・遠隔での実施が禁じられておらず、実際、国内の臨床試験でも導入されているケースもある。一方、実施の

要件や留意点などが明確ではないため、業界側は GCP 省令のガイダンスや Q&A などでも明確化するよう要望しており、厚生労働省は、海外の状況なども踏まえてガイダンスを策定する予定とされている。

(2) 治験薬の配送は、治験依頼者(製薬企業)から治験実施施設に交付され、治験実施施設で管理することとされており、国際的な治験実施基準(ICH-GCP)でも同様に定められている。現在の規制では、治験実施施設と契約した配送業者が被験者宅に治験薬を配送することは認められており、依頼者からの直接配送を認めるかどうかはグレーゾーンとされ、今後検討することとされている。

(3) 訪問看護の活用については、DCT では自宅から参加する被験者に対して検査や服薬管理を行うため、訪問看護を活用するが、そもそも対応できる看護師の数は限りがある。今後の規制改革では、訪問看護ステーションや SMO(治験施設支援機関)などに所属する看護師などをどのように活用できるか整理し、必要な対応を行うこととされている。

このリモート治験は、リモート医療の一部であり、オンライン診療や遠隔診療に参入している企業にとっては、隣接事業領域として位置づけられ、インテグリティ・ヘルスケアやマイシン等が参入している。

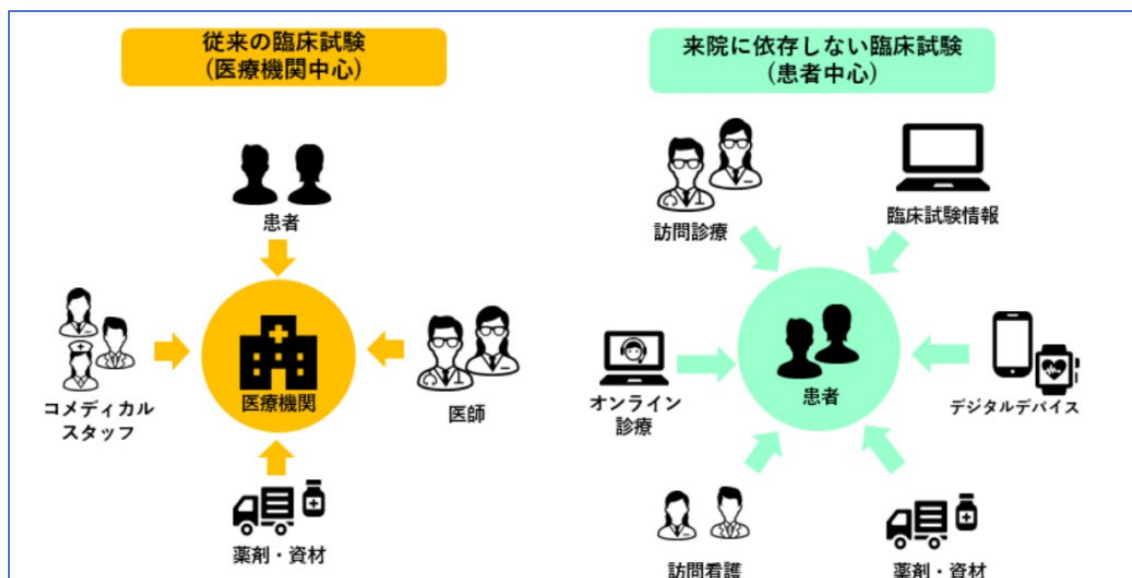


図 4-2 従来の臨床試験と医療機関への来院に依存しない臨床試験

出所)「医療機関への来院に依存しない臨床試験手法の導入及び活用に向けた検討」

(日本製薬工業協会 医薬品評価委員会 臨床評価部会 2020 年 9 月)

インテグリティ・ヘルスケアは、2018 年 7 月からアムジェンと提携し、同社が有する疾患管理システム「YaDoc(ヤードック)」を用いた慢性皮膚疾患領域におけるオンライン診療、および ePRO(Electronic-Patient Reported Outcomes: 電子的患者報告アウトカム)に関する検証プロジェクトを開始している。皮膚疾患領域は一部の難病等を除き、オンライン診療料の保険算定の対象外であったが、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大対策としてのオンライン診療の時限的・特例的な取扱い措置を受け、皮膚疾患領域でもオンライン診療が可能となったことで構想されたもの。本プロジェクトでは、「YaDoc」を用いて、慢性皮膚疾患のオンライン診療を実施する中で、ePRO を通じて患者さんの主観的症状や QOL の情報を収集し、その上で、皮膚科専門医と慢性皮膚疾患の患者さんがオンライン診療を含む疾患管理プラットフォームを用いた際に、診療のあり方や医師・患者間のコミュニケーションがどのように変化したかを把握・調査することで、より良い医療提供体制の確立に向けた課題等を検証することを目的としている。こうした経験をもとに、インテグリティ・ヘルスケアは、リモート治験専門の DCT ジャパンを設立している。

マイシンは、製薬企業の治験業務を支援するシミックやメディデータ・ソリューションズと共同で、自宅から治験に参加できる「リモート治験(バーチャル治験)」用システムを開発し、2020 年 4 月から提供を開始している。同社のオンライン診療システム「curon」をベースに、診察中の画像を撮影できる機能や医療機器と連携する機能などを搭載したシステムとなっている。治験に参加する患者はリモート治験用のアプリを利用し、ビデオ通話で診察を受ける。患者は自宅で血圧などを計測し、その数値をビデオ通話で医師に確認してもらうほか、ビデオ通話の最中に患部を撮影して画像を送付したり、無線通信に対応している医療機器から数値を取得したりできる。この他にも、患者が医薬品を主観的に評価するメディデータのシステムなどを組み合わせたサービスの提供を視野に入れている。

製薬企業も独自にアプローチを開始している。武田薬品工業は専門チームを設け、21 年から希少疾患治療薬の開発でリモート治験の活用を始めた。各地の医療機関とオンラインで結び、問診を実施し、血液や尿検査、血圧などの測定は近隣の医療機関でできるようにした。

アステラス製薬もリモート治験のシステムを 2025 年にも導入する予定とされる。

塩野義製薬は、9 月末に始めたコロナ治療向け飲み薬の治験で、ホテル療養者を対象に、病院に

通わない形式を採用している。専用スマートフォンを貸与し、アプリに体温や症状、副作用の状況などを入力してもらい、それを基に医師がオンライン診察で、治験参加者の様子を確認する仕組みとしている。

第一三共は、治験業務を担う医薬品開発業務受託機関(CRO)のリモート治験サービスの利用を検討していることが報道されている。

米ファイザー日本法人は、治験参加者の通院回数を減らす取り組みを始めており、オンライン診療を実施し、自宅での検体採取や治験薬送付などの仕組みを整えており、これにより、参加者を集めやすくなり、治験を完了できる比率を高められるとしている。

アストラゼネカは、在宅などでも治験に参加できるアプリ「Unify(ユニファイ)」を独自開発し、血糖値、酸素飽和度、血圧、体温などを必要なデータの7割を遠隔で収集でき、治験全体で通院頻度を最大4割削減できることを想定している。これにより新薬開発コストの6~8割を占める治験のコストを削減する。アストラゼネカは、米国では通院ゼロの治験を実施する計画を進めており、23年には世界規模の最終段階の治験で通院ゼロを開始する予定で、日本も準備を進めている。ルーティンの検査はアプリが担い、医師は浮いた時間をより詳しい診察に充てられる。参加者の状況を遠隔で把握できるため、症状が悪化しても早期に察知し安全性を高められる。疾患や参加者の希望に応じて「通院」「在宅」「通院と在宅のハイブリッド」を選べるようにすることが最終ゴールとされる。

この他、エムスリーも新薬の臨床試験(治験)のデジタル化に注力しており、3Hホールディングス(東京・豊島)など治験支援を手掛ける3Hグループ4社を2月に買収している。コロナ禍で治験参加者の来院が制限される中、オンライン診療やアプリを活用した治験を支援する。

4.2 技術・産業サイクル論における3周目のデザイン問題

4.2.1 医療DXが日本で進まない理由

世界では医療DXがコロナ以降劇的に進展している。例えば、米マッキンゼー・アンド・カンパニーは21年7月のレポートでは、遠隔医療サービスの利用がコロナ前の38倍に増えたことを報告しており、ベンチャーキャピタル(VC)各社はこのトレンドにすぐに飛びつき、20年には17年の3倍の資金をデジタルヘルスのスタートアップにつぎ込んでいる。個別企業の報告としては、独立系の遠隔医療サービス最大手の米テラドック・ヘルス(Teladoc Health)の事例があり、全米に外出禁止令が出されてから1週間の診察件数が前週比50%増えた、2021年4~6月期に同

社が手がけた遠隔診療は 450 万件で、前年同期の 270 万件から大幅に増えている。カナダの調査会社エマージェン・リサーチによると、遠隔医療の世界の市場規模は 28 年に 5983 億ドル（約 74 兆円）と 20 年から 8 倍以上に拡大する見通しとしている。

一方、日本においては、新型コロナウイルス禍で遠隔診療による初診が解禁され、2022 年 4 月から恒久化し、対面診療の約 9 割の水準まで報酬が引き上げられたが、コロナ禍での遠隔診療の対応件数の半数超が電話によるもので、顔色や表情などを読み取りやすくなるビデオ通話の仕組みを取り入れる医療機関は少数派である。日本では電話を含む遠隔診療に登録した医療機関は約 1 万 6000 件と、全体の 15%程度にとどまっている。「対面での診療と比べると診断が難しい」（国内開業医）との見方が根強く、広がりは限定的である。アクセンチュアの 2021 年の調査では、日本や米国、フランス、ドイツなど 14 カ国の平均で回答者の 23%が過去 1 年以内にオンライン診療の利用経験がある一方、日本では 7%にとどまっており、日本では利用が広がっていない。電子カルテについては、4 カ国の平均で回答者の 22%が利用経験を有する一方、日本では 9%であり、ウェアラブル技術の利用も同程度の差があった。

こうした消極性は、スマホを聴診器代わりに使えるようになれば、オンライン診療の質向上につながる可能性があるとして、マイシンが聴診器アプリを開発しているが、その効果はまだ検証されていない。

診療報酬面での制度設計上の問題は改善されつつある。従来は、対面より 3 割ほど安い点がネックになっていたが、2022 年 4 月の改定により、診療報酬全体でみると、対面の 1 割安程度まで採算が改善する。特定の病気を診察した際に申請できる「医学管理料」の引き上げにより、これまではどの病気を診察しても一律 1000 円であったものが、4 月以降は一部の病気を除き対面の 9 割近い水準となる。たとえば糖尿病患者にインスリン注射の方法を指導した場合は最大 1 万 700 円を受け取れる。しかしながら、オンライン診療の初診料、再診料、医学管理料は対面診療の点数に近づいたが、それでも初診料は対面診療の 87%にとどまる。

表 4-5 オンライン診療の 2022 年 4 月の改定内容

	対面診療	改定前のオンライン診療	改定後
初診料	2880 円	2140 円	2510 円
再診料	730 円	710 円	730 円
医学管理料	870～1 万 6810 円	1000 円	対面の約 87% の金額
厚生局への届け出義務		なし	あり

※中央社会保険診療協議会の資料を基に作成。医学管理料は疾患によって異なる。

※改定前は、2020 年 4 月の特例措置の金額。改定後も届け出をしていない場合の診療報酬は改定前と同額。

4.2.2 今後想定される規制改革

■薬剤師の服薬指導のテレワーク容認

政府は薬剤師によるオンラインでの服薬指導に関わる主な規制を撤廃する検討を開始している。これまでは医薬品医療機器法(薬機法)に基づき、薬局内での服薬指導を定めており、薬剤師は薬局で服薬指導する必要があったが、年内に自宅でテレワークできるようにする方向とされる。薬剤師がコロナ感染者の濃厚接触者となり、薬局に出勤できない事例が出ていた他、育児などと両立できる薬剤師を増やし、オンライン指導の拡大につなげるのが狙いである。コロナ禍ではオンライン指導の規制緩和が特例として認められている。従来、オンライン服薬指導とは異なる時限的・特例的な対応として、画像のない電話等を用いた服薬指導(いわゆる「0410 対応」)が可能とされてたが、2020 年 4 月より、「薬剤師の責任・判断により初回からオンライン服薬指導を実施可能とすること」「オンライン診療・訪問診療において交付された処方箋以外の処方箋においてもオンライン服薬指導の実施を可能とすること」「服薬指導計画の見直し」等が行われている。

■その他の規制緩和

22 年中にリモート治験のガイドライン整備が進展することが期待されており、23 年には電子処方箋の運用が始まる予定のほか、24 年度からは医師の残業時間に上限規制が設けられるなどが、医療機関のデジタルツールの普及拡大が後押しすることが想定される。

4.2.3 産業創出・技術進化サイクルで分析する未来 3 周目デザインの課題

昨年度の報告書では、産業創出・技術進化サイクルでは、第2サイクルでは「技術・サービスの蓄積」過程を以下のように記載していた。

『第1サイクルで課題となっていた通信容量や通信速度は、第2サイクルでは「技術・サービスの蓄積」により、5G への移行が視野に入り 2020 年以降はボトルネック要因ではなくなった点は特筆すべき進歩である。WEB 上で複数サービス(予約・問診・診療・電子処方箋・処方箋転送・服薬指導・医薬品配送・データ管理)が結合した状態で利用者が使えること、診療所から見ても複数の拠点を統合管理したり、患者データ管理と連動したり、処方箋の薬局への転送処理など、診療所の業務体系の電子化を安価に提供する仕組みがベースにある。

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

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

ヘルスケアアプリケーション向けのサイバーフィジカルシステムは、オンライン診療と相性のよいアトピー性皮膚炎や喘息などの慢性疾患から順次、疾患別の疾患管理プログラムとして、対面とオンラインを併用しながら、更には民間保険による特約契約と連動しながら、発展していくものと予想される。』

「4.1.1 異業種間競合が激化するオンライン診療」で提示した図 4-1 オンライン第 2 サイクル

(2020 年度版)は、図 4-3 オンライン診療の第 2 サイクル(改定版)として書き換えられる。本稿での追加調査を踏まえた主な追加点は以下の通りである。

- ・規制の変更:2022 年 2 月の診療報酬特例加算、2022 年 4 月の診療報酬改定
- ・異業種間競合:医療 IT ベンチャーと IT 大手の提携、電子カルテベンダ・製薬・デバイスメーカー・ドラッグストアの参入、輸送企業の医薬品輸送への参入
- ・技術・サービス融合:クラウド型のオンラインシステムの提供、遠隔モニタリングのデバイス開発、処方薬・輸送のためのロジスティック構築、山間部・離島におけるドローンの利用
- ・トリクルアップ(サービスの高度化):医師派遣サービスとの融合、分散型臨床試験(Decentralized Clinical Trial=DCT)の実施、介護におけるオンライン診療の活用、PHR の多様な活用、PHR への医師のアクセスとオンライン診療の融合、メンタルヘルス分野のオンラインセラピー、慢性疾患のオンラインセラピーと遠隔モニタリングの融合、コメディカル業務のデジタル化とオンライン診断・診療との融合

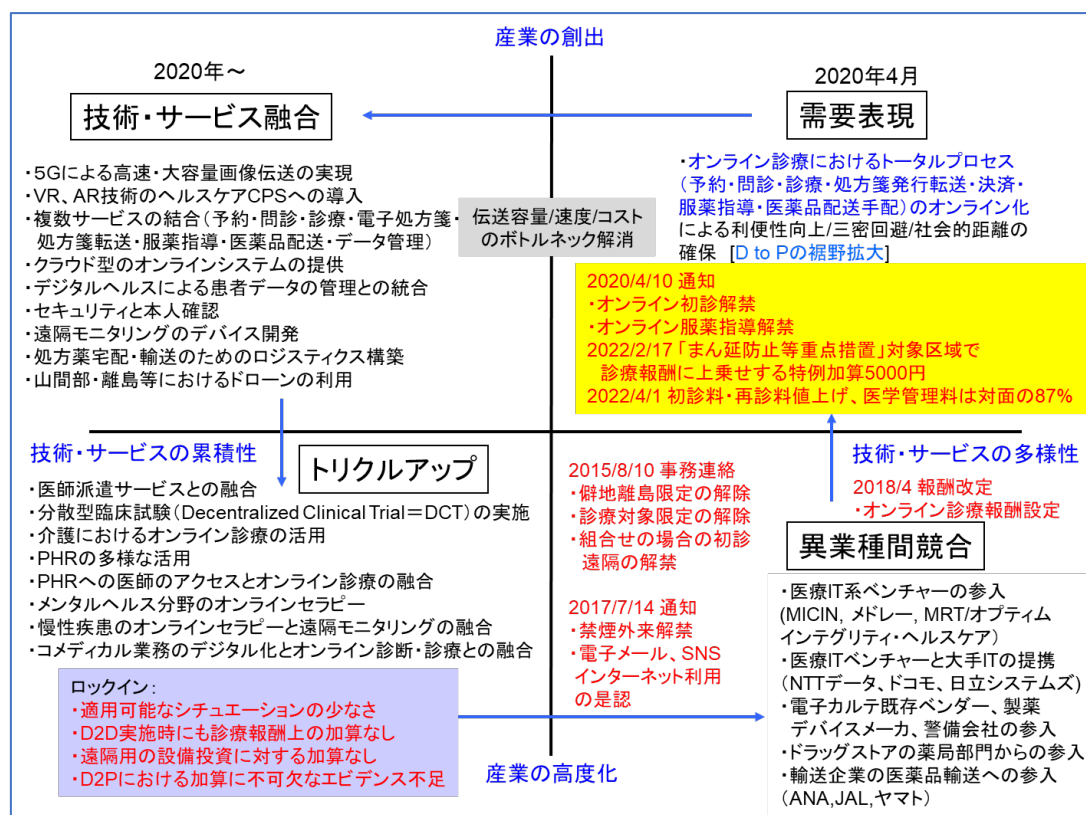


図 4-3 オンライン診療の第 2 サイクル(2021 年版改定)

技術・サービス融合によって起きるこれらの診療アプリケーションの開発と運用は現在進行中であり、従来はリモートでは実施できなかった診断や治療が新たなデバイス開発により実現可能となっていく他、電子カルテ等のパーソナル・ヘルス・レコード(PHR)整備とオンライン診療を担当する医師によるそれらのデータアクセスの実現が新たな診療サービスを生み出していくものと予想される。この状況下で当面は第2サイクル内における発展が続くものと想定される。ただし、産業創出・技術進化サイクルによる現在の産業の発展の程度の解釈は、相対的なものであり、現在はロックインが起きる前の段階にあるが、一般論としての第3サイクルへの接続とその後の展開を記載しておく。

まず第3サイクルの開始はまず技術的あるいは制度的なロックインが認識され、再び技術やサービスが多様化し、規制の新たなデザインや緩和が起きることにより、選択肢が増えていく。それと同時に新たな潜在ニーズが認識されて需要表現され、潜在ニーズが、製品概念やサービス概念と要素技術の開発目標が分解されて、それに応じられる異業種のプレーヤーが参入してくる。それによって次のブレークスルーが起きてロックインが解除され、次世代の産業がスタートする。このブレークスルーが実現する過程においては、もう一度基礎研究の貢献が求められるというのが、このサイクル論のセオリーとなっている。これにより次世代の技術的な基盤が提供され、技術・サービス融合が進展するというのが第3サイクルにおける展開である。

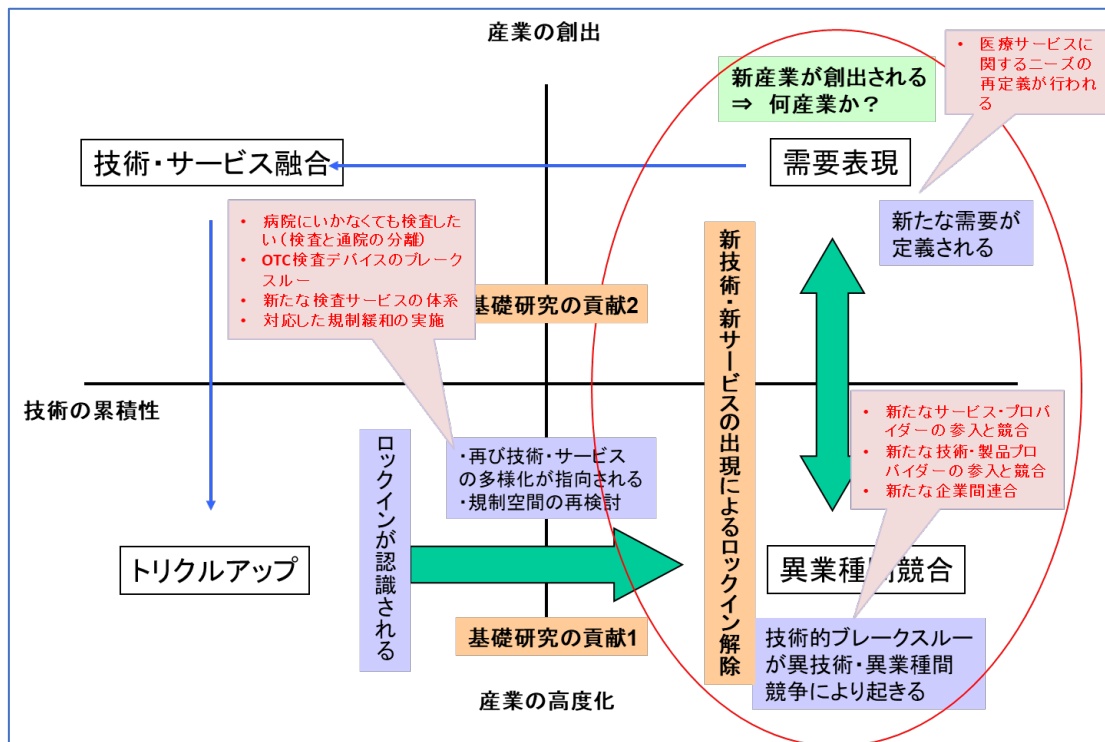


図 4-4 オンライン診療の第 3 サイクルの構図

したがって、第 3 サイクルのデザインは、第 2 サイクルにおけるロックインとなりそうな現象を特定し、それに関連した新たな潜在ニーズを想定すること、潜在ニーズを実現するためのブレークスルーを想定することになるが、オンライン診療における最大のボトルネックは、リモートであることによる診断の限界をいかに解除していくかにあり、物理的パラメーターの計測のみの場合の新たなデバイスの開発や患者の生体サンプル(血液、唾液、尿、便など)が必要となる検査の場合の、院内検査プロセスからの分離などが今後の候補となってくる可能性は高い。

4.3 DX 分類学から見たオンライン診療

本節では、第 3 サイクルのデザイン問題に対処するために、本プロジェクトで設定している DX 分類学によるフレームワークを試行的にオンライン診療に適用する探索的なアプローチをとることとする。

4.3.1 オンライン診療における DX の 3 つの構成要素

本プロジェクトでは、DX の成立は 3 つの要素「Connectivity」、「Porting」、

「Servitization」の実現により可能になるとしている。各々要素の定義とコンテキストは以下の通りである。

- Connectivity:物事と情報が Connect することがDXの目的である。
- Porting:Connectivity は、一つの構成モジュールが物理的アーキテクチャから情報アーキテクチャへ「転用」(Port)されることにより、可能となる。
- Servitization:DX の成果は、ハードウェア体系がソフトウェア体系と融合することにより、新しいサービスを提供するシステムへと進化することにより得られる。

医療サービスにおける Connectivity とは、医療サービスを実現している個々のプロセスが Connect されることと解釈することができる。オンライン診療の第 2 サイクルの描写にあたっては、「WEB 上で複数のサービス、予約・問診・診療・電子処方箋・処方箋転送・服薬指導・医薬品配送・データ管理が結合した状態で患者がトータルな医療サービスを利用できること」という内容で「需要表現」を行った。第1サイクルの遠隔医療が医療サービスにおける特定のプロセスをリモート化する(例えば、細胞診や画像診断の部分のみリモート処理する、医師間の特定の医師の判断行為の分業など)行為であったのに対し、第 2 サイクルにおけるオンライン診療は、全プロセスを WEB 上で統合して、Servitization (新しいサービスを提供するシステム)へと進化することを目指していた。従来は医薬分業の推進により、院内薬局がなくなり、患者は病院で受診後処方箋を受け取り、病院外の薬局で薬を受け取るという二重手間を余儀なくされていたが、WEB 上での統合により物理的には分業されていても、実態としては連結されたサービスを受けられるようになったのである。

医療サービスにおいて各プロセスを超えて全体プロセスを通じて、ハードウェア体系とソフトウェア体系を融合させた状態を管理するためには、サービスの対象である患者に関する医療行為全体を情報としてパッケージして管理するログが必要になるが、医療の場合には患者毎に存在する電子カルテがこの役割を果たしている。この関係は例えば、メドレーの場合のオンライン診療システムと電子カルテについての説明である

- オンライン診療システムである「予約、事前問診、ビデオチャットでの診察、決済、薬・処方箋の配送をワンストップで完結することのできるオンライン診療システム」である

「CLINICS オンライン診療」

- 「つながる」をコンセプトとし、予約～受付～診察～会計業務まで医療機関と患者がスムーズにつながる仕組みを実現するクラウド電子カルテ「CLINICS カルテ」

の関係によく表れている。これを DX 分類学のコンテキストに変換して説明すると以下のようなになる。

<オンライン診療の DX コンテキスト>

電子カルテは医療の記録であるが、その周辺情報である予約情報から支払い情報までの周辺情報を統合した「患者毎情報管理」を実現する中核的な存在である。患者情報管理媒体としての電子カルテは、患者毎の医療の各プロセス(一つの構成モジュール、オンライン診療では予約・問診・診療・電子処方箋・処方箋転送・服薬指導・医薬品配送が個別のモジュール)における医療行為を含む物理的な行為(物理的なアーキテクチャ)のプロセスと結果を、医療の記録を含む患者毎ログ(情報アーキテクチャ)へ転換 (Porting)されるための媒体であり、拡大版電子カルテ (Porting Media)がプロセス統合 (Connectivity)を実現し、統合されたオンライン診療・処方薬デリバリーサービス (Servitization)を実現する。

個別の医療プロセスにおけるリモート医療サービス (Servitization)は、ミクロには、ハードウェア体系とソフトウェア体系が結合した物理的なアーキテクチャ(診断デバイス、遠隔治療デバイス、将来的には手術ロボットなども)と過去のログ(対象患者の診療・看護・介護記録、他の患者の処置データ)を参照する行為と現在の処置を記録してアーカイブを更新する行為がセットになった情報アーキテクチャが結合した形で、実現する。

4.3.2 オンライン診療の設計プロセス

オンライン診療の設計プロセスは、「オンライン診療の DX コンテキスト」に記載したように、対象とする医療のプロセスの全体像をバリューチェーンとして定義し、バリューチェーンを構成する各プロセスを、『患者の医療情報を含むがそれ以外にも予約情報、処方箋情報、服薬情報、決済情報を含み、かつ過去の医療行為に関する同様の情報も掲載した「拡大版電子カルテ」を単位とする情報パッケージ』で、管理していくことにある。このためのプロセス定義が「Connectivity Articulation(DX の設計作業の出発点は、必要とする Connectivity を明確にする

(Articulate)することから始まる)」であり、オンライン診療のデザインにおいては、医療行為全体を視野に入れたマクロな Connectivity Articulation と、特定疾患の特定診療のみを視野に入れたミクロな Connectivity Articulation の両方は区別して議論していく必要がある。

マクロな Connectivity Articulation は、疾患非依存的な医療行為全体の中で、オンライン診療を実現していくためのインフラ構築全体を対象にしたものであり、医療行為の対価設定や情報共有のルールなど行政的な規制やルールの変更とセットでデザインされていく。

一方、ミクロな Connectivity Articulation は、疾患依存的な医療行為であり、医師の意思決定ツリーを定義している疾患別の診療ガイドラインの管理下にある診断、投薬、手術、モニタリング、リハビリなどの行為を、新たなハードウェア体系とソフトウェア体系を融合させることにより、実現する新しい医療サービスとして実施するものであり、このためには新しい医療行為を正当なものとして認めるための診療ガイドラインの更新(専門医のコンセンサス)とともにデザインされていく。

「オンライン診療の DX コンテキスト」では Porting とは予約、物理的な医療行為、資金決済などのアクションを患者固有の情報メディアに記録していくことと解釈したが、本プロジェクトでは「Porting Design」を「可能な転用可能性(Portability)のどの組み合わせを選択するかの問題」として認識しており、オンライン診療における「Porting Design」についても、「オンライン診療の DX コンテキスト」の中で解釈し翻訳しておく必要がある。Connectivity Articulation によりプロセスが定義されると、各プロセスの活動内容のログが発生するが、それをどのようなデータとして記録し、個人情報管理簿に記載し、下流プロセスでの利用に供すると同時にアーカイブデータとしても保管するかという問題に直面する。これは対面診療かオンライン診療かに関係なくログがデジタル化されて個人情報管理簿に保管されている状態であり、各プロセスで何をどのような形でデジタル化して記録し、それを使ってプロセスを Connect して新たなサービスを提供していくためにどのように使うことができるのかを構想するのが「Porting Design」を実施する作業ということになる。これまで電子カルテへの必須記載項目となっていた情報以外のものでも、「Porting Design」においては対象となりえる。

例えば、手術室の医療機器を接続してリアルタイム手術情報を遠隔で共有すると同時に手術映像と関連医療機器のデータを時間同期させてアーカイブ化してデータベース化する作業は、「手術情報」という新しいジャンルの医療データを創出したが、個人情報管理において手術情報をど

ここまで組み込むのか、といった問いを立ててそれに答えていくのが「Porting Design」である。「Porting Design」のために既存のデータフォーマットだけでなく、新たなサービスを構築していう上でデジタルデータ化していない項目も含めてデータ項目とそのフォーマットを検討していくことが求められる。

最終的にどのようなサービスを提供していくかを設計する部分が、「Digital Servitization」である。「Digital Servitization」においては、デジタル技術の適用により始めて可能になるサービス化(Servitization)が検討のターゲットである。基本的には、マクロレベルであれミクロレベルであれ、Connectivity Articulation により定義されたプロセスにおいて、Porting Design された情報アーキテクチャを利用して選択された複数の対象プロセスが Connect される形でサービスが提供される。オンライン診療システムにおいては、必ず通信を伴い、デジタル情報として個人情報管理がなされる中でサービスが実施されるため、常に「デジタル技術の適用により初めて可能になるサービス化」の範疇に含まれる。

4.3.3 オンライン診療における DX の設計プロセスの類型化

第1章 DX(Digital Transformation)の類型化(Taxonomy)では、DX の設計プロセスの類型化を3つの構成要素の種類の組み合わせにより生成されたとした。この考え方に基づいて、オンライン診療のDXとしての設計について、3つの要素において各々のどの類型に該当するかを考察しておく。

Connectivity Articulation における類型化では、新たな Connectivity が、①内生的な技術進化により新たな Connectivity が可能になったのか、②外生的に発生した技術進化を巧妙に取り込むことにより、新たな Connectivity が実現されたか、③製品の利用システム(system-of-use)の構成員による「気づき」(Awareness)がきっかけで実現する、のいずれかであったかについては、iPod と同じく、②でインターネットを利用したWEB上のサービスとして実現したものである。この考え方で第3サイクルの想定へとつなげていくとすれば、それは Articulation によりカバーされる範囲が拡大し、新たな Connectivity が実現していく方向に想定されるものということができる。

次に、Porting としての類型であるが、①第一次 Porting が第二次、第三次の Porting へと発展していく対応、②新しい Connectivity が新しいサービスへと直結するタイプ、③User

Innovation を可能にする要因のうち、②の新しい Connectivity が新しいサービスへと直結するタイプに該当している。従来は連続したサービスとしては実現していなかったサービスを連結させているのだが、予約から診察、診療結果としてのレコードである電子カルテ、医療費算出と決済情報の連結、電子カルテと処方箋の連結、処方箋の薬局へのファックスによる転送（今後は電子処方箋の転送）、オンライン服薬指導、医薬品の宅配までの結合を可能にするのは、これらが患者個人へのサービスとして個人情報を個人のアカウントとして管理することにより実現しており、この中ではカルテ情報も患者個人のアカウントに記載される情報の一部に過ぎない。音楽ソフトの配信も個人のアカウント管理によって実現しており、決済までを含めることを実現している。この考え方で第3サイクルの想定へとつなげていくとすれば、個人アカウントの収納されるデータ範囲が拡大することにより、個人情報管理がより包括的になるための個人アカウントの管理方法を開発していくということが想定される。このためには、ひとつは上流部分のデータ管理、すなわち発病前のデータ管理におけるアカウント情報、もうひとつは下流部分、介護と医療が連動する部分でのアカウント管理、より具体的には、医療情報と介護情報を同一アカウントで管理するという方向性である。

最後に、Servitaization としての類型化は、①現存するシステムの効率化にむすびつく、②新しい産業を創出する、③ユーザー産業の地位向上をもたらす、のうち①の現存するシステムの効率化にむすびつく、に該当している。医療においては個別のプロセスはこれまでの実施されてきたものだが、どれも患者自身の物理的な作業によって、順次そのサービスを受けるという状態にあった。特に、診療と医薬品の確保のプロセスは連結されておらず、独立したプロセスとして一旦政策的に医薬分業として分離されていたが、オンライン診療、オンライン服薬指導、オンライン医薬品発注・配送が自宅からワンストップで実現したことは現存するシステムの効率化に寄与している。この考え方で第3サイクルの想定へとつなげていくとすれば、健康管理、疾病管理、介護管理を同一アカウントで行うことにより、現在の国民のヘルスケアを一元的に管理することによる無駄の排除と効率化という方向に物事が進んでいくということが想定される。

5. むすびにかえて

本稿では、昨年の報告に続き、オンライン診療を「技術・産業サイクル論」で説明するアプローチをとり記載内容を現状に合わせて更新したが、特に現状が2週目の第二サイクルにある中で、今年度はさらに、3週目のデザイン問題を設計するための方法論として、本年度の研究プロジェクトが

かかげる、DXの3つの要素である、Connectivity Articulation, Porting, Servitaization の3つの視点から整理することを試みた。この作業を実施してみた結果は、オンライン診療はDXとしては iPod による音楽配信との間にアナロジーがみられ、従来は複数のプロセスが物理的に接続されていなかったものがオンライン化により接続されることにより発生した新たなサービスとして整理することができ、現在議論されているDXの整理に、3つの視点を説明するために例示された、NC 工作機械、音楽配信、建設機械のリモートモニタリング以外にも、この3つの視点が適用できることを示せたものと自負している。医薬分業による病院と薬局の分離がオンライン化により実質的に再結合されたことが、患者にとっての利便性を向上させたことは特筆すべきことである。物理的に病院と薬局が離れていてもバーチャルに結合可能となったことから、例えば、地方在住者が東京の医師にオンライン診療でかかっても、薬局は地元の薬局を利用しながら、医療サービスを受けられるようになることから、従来議論されてきた医療資源の配置も再考すべき時期にきているという点が医療 DX がもたらすインパクトの一つということができる。

第5章 DX による建設革命と「住まい・街」づくり

5.1 序論

日本における建設産業は土木事業・建築事業・エンジニアリング事業の3分野に分けられている。本論は主として建築事業に焦点をあて、必要に応じて土木事業・エンジニアリング事業についても論ずる。多くの産業が情報技術(IT)を活用して生産性向上を進めたが、建築業界のIT活用は遅々として進まなかった。建築業界において何故IT活用が進まなかったかを究明するために、建築の本質(建築とは何か)と建築技術の情報伝達の歴史について検討した。建築産業にIT技術が浸透し始めた時でもIOTやCPS的活用は進まなかった。建築産業のIT推進を阻む課題について検討し、最近の建設DX運動が過去のTQC運動と似たリスクを持つことを警告した。

ITは建設産業に生産革命とビジネス革命をもたらす可能性を秘めている。建築事業のITによる生産革命の主役である建築BIMの最近の動向、生産現場での5G活用、ゼネコンのDX活動の現状を論じた。建設DXの延長上に見えてくる建設産業のビジネス変化、スマートシティーが建設業にもたらすビジネス革命についても論ずる。

土木技術・建築技術・エンジニアリング技術のほとんどは他産業からのPortingである。建築生産技術・建築物を構成する技術は外部からPortingされた技術と建築本来の特質・技術・情報とのConnectivity, Fusionによって確立されている。これらの技術のServitizationによって、建設産業にどのようなビジネス革命をもたらすかを議論する。

本論は、建築行為・建築産業における情報論・IT論の纏めなので、2019年、2020年の報告の一部も引用した。

5.2 建築ITの諸問題

5.2.1. 建築のIT化と製造業のIT化

1960年代前後から始まった情報化時代の始まりに対し、建築業界の技術的対応は、建築工事発注者(電気産業)の開発したIT機器の建物側環境整備が主たるものであった。コンピューターなどの電子機器から発生する熱の処理、有線で機器間を接続するための空間構成、電波の外部漏れを防ぐ電磁シールド技術の開発など、コンピューターを始めとする情報系機器の活用・保全のための空間環境技術の開発であった。ICT機器のために研究開発された建築環境は、結果として人間に健康障害をもたらす「シックビル」問題を発生させた。建築空間とは先ずは人間のための空間であるべきことを再認識させられた出来事であった。IBMを始め大型コンピューター時代に

は、日本ゼネコンは IBM などの建設工事の発注者の意向を重視し、パーソナルコンピューターやモバイル通信を無視する傾向があった。特に大型コンピューター関連部門の職員は自身の職域を守る保身活動を強め、建築業界の情報化(IT 化)を妨げる方向に動いた。

情報化の時代が始まると多くの産業において IT 化が急速に進み、IOT が取り入れられ、CPS 的活用が行われた。一方、建築の設計・施工の現場での IT 技術・情報システム活用はかなり遅れて開始され、IOT 活用ではCPS的活用は現在でも少ない。

何故建築産業において IT 技術活用が遅れたか。遅れの原因を究明するために、建築とは何か、製造業の大量生産品との違いは何かを検討する。建築技術の発展の歴史を振り返り、歴史的に見て何が建築技術開発のドライブ要素であったか、古代以来建築では情報伝達はどのような方法によっていたかを検討する。そこから、建築における情報活用は他産業と何が異なるか、異なる要因は何かを究明する。

① 建築とは何か

日本建築技術の粋の頂点である桂離宮から建築とは何かを考えてみる。桂離宮には幾つかの建物がある¹⁾。月見台を持つ古書院・中書院・新御殿の美しさは格別である。この書院は月を楽しむために建てられたもので、王朝文化・貴族文化の象徴であり、風雅を楽しむ豊かな教養に溢れている。世界に一つしかない文化であり、独自の美学・精神文化による唯一の作品である。製造業の大量生産商品(モノ)とは対極にある造形品である。建築とは基本的に一品生産品である。桂離宮の書院の軒は月を長く見ることが出来るように、通常の軒先よりも極端に短くされている。常識にとらわれない自由奔放な設計である。製造業のように、標準品を定め効率化を図る製造品とは、全く次元の異なる作品(製品)である。



図5-1 桂離宮の月見台、月を見るために軒の出が短くされている

② 茶室に見る「わび」「カブキ」「綺麗さび」²⁾

日本建築の特質の一つは自然と人工の調和である。その頂点に茶室がある。茶の湯は千利休

が創造し、古田織部に伝え、更に小堀遠州に伝わる。しかしこの3人の茶人の思想・茶器・茶室は大きく異なっている。利休は全ての常識・権威を否定し、茶室も質素の極地を追求した。現存する利休の茶室「妙喜庵 待庵」は土壁・土天井に囲まれた僅か2畳の空間で、利休思想「わび」の極地である。茶碗も質素そのものである。利休は「目」で見る美ではなく、「心」で見る美を追求し、心の充足を探求した。

古田織部も利休と同様既存の権威を認めない。しかし自由な創造性を求め「まともならざる異風異体：カブキ」への興味を貫いた。織部の茶碗は激しいデフォルメと型破りな意匠である。織部の茶室「燕庵(えんなん)」は4畳半の空間に窓は8つあり「八窓庵」と呼ばれる。暗い茶室に多彩な光を入れ、不思議な感覚を与える造形である。

小堀遠州の茶碗は均整のとれた形、洗練された装飾性を持つ。ハイカラで綺麗と言う感覚で、洗練された豪華の美を楽しんでいる。「綺麗さび」である。遠州は慶長十八年(1627)の内裏造営、仙洞御所など禁中関係の造営に多く関わった。桂離宮の書院や茶室もその流れである(遠州は桂離宮の造営にも関与したと言う)。

茶道は利休・織部・遠州と弟子のつながりで伝わってきたが、三者三様である。大量生産・画一製品の製造業の製品とは対極にある。



図5-2 桂離宮の書院と茶室(松琴亭)

③ 日本の住まい³⁾

日本の住まいは自然と共存し、技術と美意識が作用しあってきた。あくまでも人間を中心にし、住まいは生活に応じて増築し、改築し、移築してきた。障子と襖の横開閉(引き戸)で、ある時は個室、ある時は大広間にして、大勢いが集まれるようにしてきた。人間の生活に空間をうまく適応させてきた。北の縄文人の竪穴住居は屋根に土を載せて寒暖に対応し、弥生時代の高床式建物は

腐食しやすい木造建築に対応する建築様式で、伊勢神宮・出雲大社にも伝わっている。住まいは人の生きる空間であり、人と自然と共にある、一品限り・一品毎の製品である。大量生産・画一製品の製造業の製品とは対極にある。



図 5-3 土で覆った竪穴住居(岩手県御所野遺跡)と出雲大社

④ 建築技術の伝達

飛鳥時代以来、建物の設計・施工に関わる棟梁の技術は口伝・秘伝で伝承された。口伝・言葉による情報伝達は人類の初期の情報伝達法であり建築は最も古い情報伝達法を最近まで活用していた、希有の産業と言える。口伝による技術伝達が長く続いたために、大工達の技術は不揃いであった。江戸時代初期、大工達の技術の不揃いを統一するために、木割り・規矩術が完成された⁴⁾。この二つの技術は意匠設計(デザイン)・木造工事(施工)の基本技術であり、工事の生産性向上のための技術でもあった。多くの寸法の部材を持つ大型工事を良品質・短工期で完成させるのにはこの二つの技術は必須の技術であった。桂離宮の書院も木割り、規矩術と言う大工の技術によって完成されたが、それに囚われない自由さが建築美を創り出している。

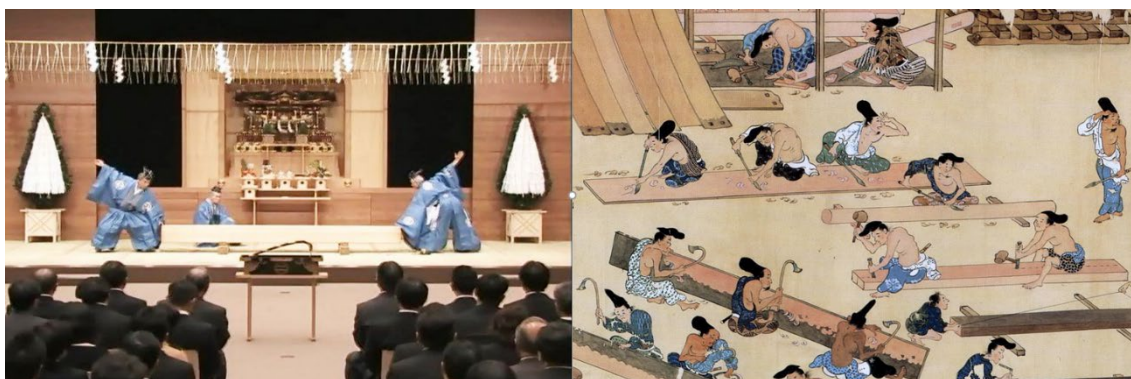


図5-5 鉾(ちょうな)始め式(清水建設提供)と板を鉾で削る大工(春日権現験記絵巻)

Wikipedia)

建設物は個性豊かであり、如何に他と異なるかが基本にあり、繰り返し大量生産される製造業の製品(モノ)とは異質である。建設技術の歴史を振り返ると、寸法測定技術、作図技術、接合技術、切断技術、構造技術、掘削技術、運搬技術、揚重技術で、情報を伝える技術と言う概念はない。作図された図面、口伝が建設情報伝達の手段であった。建設工事には各種の機械が導入され3K(きつい、汚い、危険)はかなり軽減されている。しかしながら建設業の作業が労働集約型であることはあまり変化していない。IT・AIなどの導入が始まりつつあり、今後の改善が期待される。

建築設計の情報化の発展を振り返ってみると、意匠・デザインは芸術の分野でITに馴染まないと言う意見は、今でも意匠設計者の間にはある。建築は意匠設計・デザインから始まるので、この思想が建築における情報化の遅れ要因の一つである。

5. 2. 2 建設分野における ICT プラットフォーム形成の課題

建設関連ICTでは国土交通省が推進する i-Construction がある。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。主として土木工事の、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ある。

土木工事における i-Construction の先駆けは1998年に開発されたコマツの KOMTRAX である。KOMTRAX は機械に KOMTRAX ターミナルと言う装置を装着し、機械の稼働状況を収集してお客様に情報を提供する仕組みである。この情報を分析することにより多くの改善情報、経営に役立つ情報が得られるので、CPS的役割も果たすことが出来る。コマツは更に KOMTRAX をスマートコンストラクションへと拡張した。ドローンによる測量—3次元設計によるデータ化—データによる施工計画—ICT建機による施工—作業の見える化による施工支援—3次元データによる検査—スマートコンストラクションサポートセンタによるサポートと測量から検査までをICT・IOTでつなぐ。この全データを「スマートコンストラクションクラウド」で一元管理し、様々なアプリを利用し必要な情報を見ることが出来る。衛星測位システムを搭載したICT建機に

より作業性・生産性を大いに向上させるものである。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。コマツは更にスマートコンストラクションをオープンプラットフォームとする LANDLOG を提案し、(株)ランドログを立ち上げ、他メーカーの ICT 建機情報なども含めて収集・分析し、スマートコンストラクションを CPS として役立つようにした。しかしながらコマツは2021年7月1日に株式会社 EARTHBRAIN を立ち上げ、株式会社ランドログにおけるプラットフォーム運営事業や、パートナー運営活動などは株式会社 EARTHBRAIN に引き継ぐことにした。日本には27社の建機メーカーが存在する。日立建機も ICT 建機を販売し、Global e-service システムを世界中で展開し、更に CONSITE というサービスを立ち上げ世界中で5万台契約したとしている。世界に目を向ければ建機メーカーは数多く、キャタピラーなども同様な ICT,IOT 活用をしている。スマートコンストラクションの CPS 化やプラットフォームプラットフォームの確立には紆余曲折が予想される。



図5-6 コマツが立ち上げた EARTHBRAIN 社の現場 DX と日立建機の ConSite
(EARTHBRAIN 社、日立建機社の HP より引用)

建築分野の ICT 活用の筆頭は BIM (Building Information Modeling) である。国土交通省は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。この活動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になっていること、設計と施工、維持管理が分断されていること (図5-7)、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であった。

建築分野でのBIM活用に係る課題

- ✓ BIMを活用している場合でも、設計、施工の各分野がそれぞれ個別に活用するに止まっており、BIMの特徴である情報の一貫性が確保できていない。
- ✓ この結果、維持・管理段階までの一貫したBIM利用に繋がらない。
- ✓ 導入・運用には多額の設備投資が必要である上に、習熟した人材が不足（特に中小事業者にとっての課題）。

各生産プロセスにおけるBIMモデル・情報の利用状況



図5-7 建築BIMの課題は設計・施工・維持管理が分断されていること(国土交通省（第1回建築BIM推進会議資料）)

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。これは国土交通省の「BIM推進会議」の設定が大きく影響したと考えられる。建築業界はB2Bビジネスで顧客獲得競争が激しく、大手ゼネコンが設計・施工の情報を簡単にオープン化するとは思われない。建築分野のデータがオープン化し、プラットフォームを確立するためには、国土交通省主導の「建築BIM推進協議会」のような、民間建設業以外の力が必要である。

5.2.3 TQCの歴史から学ぶ建設DXの課題

現在のDXブームと40年前のTQCブームと似たような雰囲気があり、建設DXはTQCの二の舞にならないよう注意が必要である。建設のDXに関するコメントや書籍、論文は最近になって、多数出版されているが、最近になって『あかん！DX』『なぜDXは失敗するか』が出版され、英語では既に2019年に『WHY DIGITAL TRANSFORMATIONS FAIL』が出版されている。日本に統計的品質管理が初めて紹介されたのは1950年、アメリカのデミング博士が来日して「品質管理セミナー」を開催した時である。第二次世界大戦終戦後5年経ち、戦後復興の真っただ中であつた。「管理図法」「抜取検査法」「統計的手法」「デミングサイクル」の話は当時の日本人に大きな衝撃を与えた。「品質の日本」として、日本製品が世界を席巻するきっかけであり基礎であつた。TQC(Total Quality Control 全社的品質管理)やQCサークル活動を推進したのは日

本科学技術連盟(日科技連)である。日科技連は1951年に、品質管理の優れた工場や企業に対する賞としてデミング賞が創設した。製造業の製造現場では「QC グループ」が結成され、小集団活動の「QC サークル活動」が盛んに行われた。1975 年になると製造の職場に限らず、事務、販売、設計、企画などの間接部門においても品質管理を実践するようになり、TQC(全社で全員が取り組む品質管理)運動が開始された。TQC ブーム、デミング賞ブームが起こり、1978～9 年頃、大手ゼネコンでもTQC活動が活発になる。

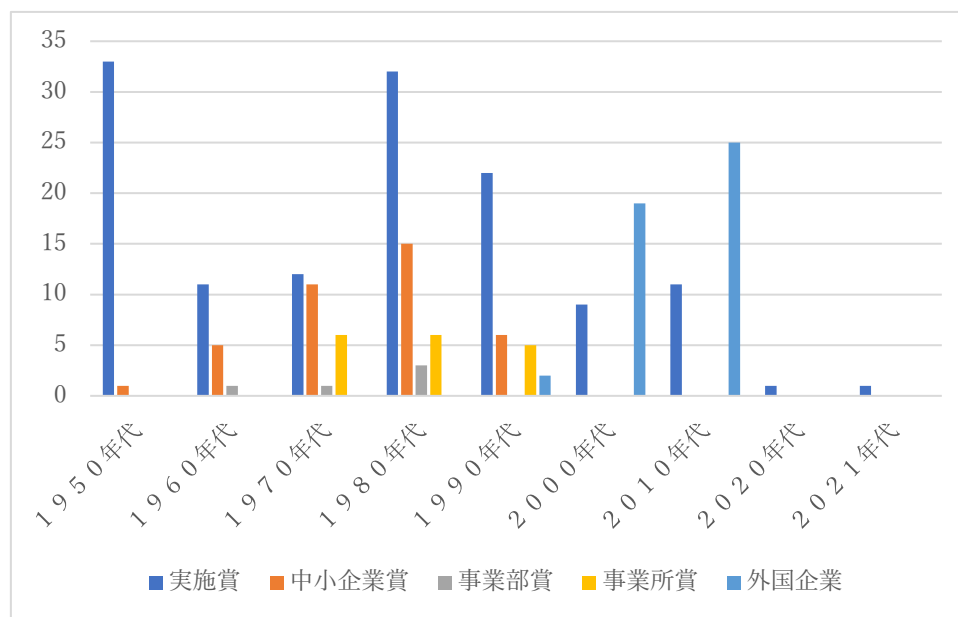


図5－8デミング賞受賞数の変化

デミング賞は1951年から始まり、デミング賞(本賞)、デミング賞実施賞設定された。その後デミング賞実施賞に「中小企業賞」「事業部賞」「事業所表彰」が追加された。1989年からは海外からの受賞も行われた。1995年に「中小企業賞」「事業部賞」は「実施賞」に一本化された。デミング賞は企業や個人への品質管理意識向上に大いに貢献し、日本製品の品質を世界高水準にする要素となったと思われるが、次第にデミング賞受賞そのものが目的とされるようになった。デミング賞受賞数の変化(図5－8)を分析すると、日科技連の行動にもデミング賞を盛り上げようとする意向が見える。応募が減少すると中小企業賞を設け、更には事業所賞、事業部賞を立ち上げる。日本企業の応募が減少すると海外企業に焦点をあてる。日科技連そのものが、デミング賞維持を目的にするようになったと思われる。

経済産業省は2015年から積極的にIT活用に取り組んでいる企業を「攻めのIT経営銘柄」として選

定し、2020年からは「攻めのIT経営銘柄」に代わり、DX に積極的に取り組む企業を「DX 銘柄」として選定することにした。この選定システムが TQC のデミング賞のように、「DX 銘柄」選定が目的にならないよう注意する必要がある。

日科技連は TQC の歴史について以下のように HP で語っている⁵⁾。1950～1975 年に QC サークル活動が盛んになり QC グループが自ら工場の品質改善に取り組み、飛躍的に日本の製品の品質が向上した。1975～1990 年には TQC ブーム、デミング賞ブームが起こった。1991 年にバブル崩壊が起こり TQC の弊害が目立つようになる。クライアントサーバー、インターネットなどシステム化が急速に進展し、TQC ではカバーできない状況が出てきた。1990 年には ISO の導入が始り、海外へ進出する企業は、ISO の認定を取得することが必修になり ISO ブームが起こる。(その結果)TQC ブームが衰退してゆく。

日科技連は TQC の弊害について以下のように記述している⁵⁾。

- ① TQC やデミング賞は企業の経営の改善や業績の向上に直接的な結びつきはない。
- ② あくまでも日本的な経営の組織力を強化する管理技術で、日本的経営の経営戦略ではない。
- ③ TQC にはない新しい面をもった様々な経営管理手法の台頭してきた。

他の論文にも TQC 衰退の理由が以下のように記されている。

- ① 「品質管理さえすれば、経営は安泰」というような風潮ができてきた。
- ② 「品質管理さえすればモノは買ってもらえる」というように誤解されるようになった。
- ③ QC 活動は QC サークル大会での発表やデミング賞を取るために、本業そっちのけで働く。
- ④ QC 活動の実務メンバーは自分たちが担当する工程を対象に取り組むが、生産工程全体では全く意味のないケースが多い。
- ⑤ 日科技連等から派遣された指導員は、個々の企業の生産の実態などほとんど理解していないので、書類を作る形式はわかっても中身は指導する方が知らない。
- ⑥ QC サークル活動そのものが目的となっている。
- ⑦ 経営者・経営スタッフ・管理監督者がやるべきことを、TQC や QC サークルに尻拭いさせている。

DX の問題点を指摘している論文・資料には以下のような指摘がされている。⁶⁾⁷⁾

- ① 単に DX の必要性が認識されているだけで、経営戦略が不透明で、具体的な実施事項に会社としての方針がない。
- ② DXを実施すれば経営が改善され業績が伸びると考えている。
- ③ 社会や同業他社の流れに乗り遅れないようにしているだけ。
- ④ DX改革の成功率が非常に低い。マッキンゼー・アンド・カンパニーの調査⁸⁾によると、DX に成功する企業の割合は約 16%、企業変革の成功率が約 30%、製造・エネルギー・インフラ・製薬といった業界に限定すると、デジタル変革の成功率は 4~11% 。
- ⑤ Transformation とは「変革」「変容」といった意味を持っており、何かを根本から大きく変えること。従って DX のゴールは「テクノロジーを活用したビジネスモデルの変革と優位性の確立」だが、実際は既存のシステムや業務プロセス、ビジネスモデルを維持したまま、ただテクノロジーを導入するだけになっている。
- ⑥ DXの成功しない要因は、経営者のコミットメントや理解度、企業文化、デジタル人材の不足。ただ IT 投資を進めるだけでは、DX の成功につながらない。
- ⑦ 経営者がDX推進を現場に丸投げしている。
- ⑧ 外部コンサルタントが会社の実情を知らずに推進・指導する。
- ⑨ 社内でのデジタル人材不足。
- ⑩ 既存システムが重荷で変えられない。

TQC と DX の問題点はよく似ている。日科技連は TQC ブームが衰退していくと 1996 年に名称を TQM に変更する。日科技連は TQM について以下のように解説している⁵⁾。「世界を相手にした競争の中では、ただ単に品質が良い、価格が安いというだけでは生き残れません。変化する市場の中で、いかにしてお客様から求められる品質や共感される価値を生み出すか、が重要なポイントになります。そのためには、戦略・企画・設計・技術・製造・販売・サービスなど、全ての部門、全社において品質や価値を理解し、それらを生み出そうとする取り組みが必要になります。TQM は、全社で品質と価値を追究するための最適な取り組みです」。近年の日本企業の国際競争力低下は激しく、大手日本企業(日産・神鋼・東レなど)の品質問題が大きく報道されている。日科技連の会長・理事長はHPで以下のように述べている⁵⁾。「日科技連では品質や TQM の考え方に根差した人材育成、DX をはじめとした新たなテラシー向上のための多様なコンテンツ

を、自らもデジタル技術を取り入れつつ提供チャンネルを増やすことで、より多くの方に、より安全に提供していきたいと考えております」「DX なくして企業の将来が見通せないと言ってもよいと思います。この企業変革力の強化・促進ならびに DX の取り組みには、これらの領域を支える人材の育成が不可欠であります」。

TQC と DX の両手法に共通する課題が存在する。DX成功の要因と言われる「企業の既存のシステムや業務プロセス・ビジネスモデル」の「変革・変容」は言う易く行うは困難である。マッキンゼー・アンド・カンパニーの調査⁸⁾では DX 成功企業16%とされている。建設 DX では「できる範囲を限定し他は自由な発展に任せる」のが良い。

5.2.4 建設ITの光と陰⁹⁾

大手ゼネコンの建築担当役員は建築における IT は管理側から見た場合と現場側から見た場合で異なると主張している。「IT は道具としては大いに活用すべきだが、もっと大切なのは現場でそれを操る技術者の人格である。現場の出来栄え・品質・安全・利益の基本は現場で働く人々の一体感・モラルであり、技術ではない。技術は協力業者の中にこそある」。建築生産現場では製造業の生産ラインと異なり、作業員(人間)の要素が非常に大きいことを示唆している。

人間問題が関与する IT 論争として、最近では「オンライン診療」があり、過去には「薬のネット販売」論争がある。「薬のネット販売」の場合、IT の便利さと薬害の論争が行われた。薬は薬害があるので対面販売、薬剤師の対応が必要だとする意見とネット時代であり国民ニーズがあり、薬局に買いに行けない人などもいるとの論争である。薬害被害者の団体はネット販売に反対(特に薬害の多い一類・二類)し、ネット販売を行っている側は ITこそ医薬品の副作用理解に役立つとの論理を展開した。

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

間環境、働く人の環境を重視した設計が行われるようになった。建設現場にコンピューターやITが普及すると現場係員は関連会社や材料会社にメールや電話で発注するようになった。現場にもほとんど足を運ばず1日中コンピューターの前に座るようになった。現場に出ない現場係員、机の前にすわりっぱなしで得意先に足を運ばない営業マンが出現した。



図5-9 初期の現場管理の IT 化

フロリダ・オランドにあるデズニーワールド(デズニーランドが幾つも集まった巨大なレジャーランド)の運営責任者は「デズニーワールドの運営には多種多様な ICT・IOT が活用されている。しかしそれらは地下街に納められており、地上のデズニーランド空間では、情報ネットワークよりも人と人との関わり・対応を重視している」と発言し、これが「デズニーの思想である」と強調している。ITが全ての社会を覆い、IT 万能風潮の現在、「基本はFACE TO FACEである」と言うデズニー思想は注視すべきである。大手ゼネコン建築担当役員の「現場の出来栄え・品質・安全・利益の基本は現場で働く人々の一体感・モラルである」も注視すべきである。

5.3 DXによる建設生産革命

5.3.1 建築生産革命を目指す建築 BIM の夜明け

建築 BIM の動きが活発化し、多くの情報活動が行われるようになってきている。Facebook(以下FB)グループ「建設 DX/BIM関係」が立ち上がっている。「建設関係、特に BIM に特化した話題を提供し合うグループ」である。この公開グループには2022年4月25日現在1698人が参加している。設計事務所・ゼネコン・BIMソフトなど最新NEWSが投稿され、BIM関係のオンラインセミナーの案内もある。



図5-10 「建設 DX/BIM関係」Facebook グループ

ソフトバンクのグループ会社「アイティメディア社」の発行する「BUILT」、日経BP社の「日経クロステック」の中にある専門メディアの「建設テック」、「週刊日経クロステック special」、「建設ITワールドマガジン」など建設IT情報に特化したメディアも数多く出されている。

建築 BIM 推進の中核は国土交通省主導の「建築BIM推進会議」である。この会議の目的は「建築生産プロセスのデジタルデータの連携により生産を効率化する。更にその生産データを循環させ、より高効率な生産体制を確立する。次いで、建物のライフサイクルを通じてのデータを蓄積して、新たな生産体制・システムの知見に繋げる。次にそのデータを物流、不動産投資、建物評価、都市データへ広げ、スマートシティーのような面的分野にも繋げていく」。しかしながら現在の建築BIMは目的確保の第一歩「建築生産プロセスのデジタルデータの連携」の段階で躓いているように見受けられる。設計・施工・維持管理の各ステップで情報遮断があり、後工程になっていくほどメリットが薄れている(図5-7)。

建築専門誌『鉄構技術』の特集¹⁰⁾では現在の建築 BIM の課題が掲載されている。

- ① 同じ設計事務所の設計でも意匠設計・構造設計・設備設計で異なるBIMソフトを利用しているケースがある。
- ② 構造設計ではBIMの前に構造解析ソフトで解析が行われるが、構造ソフトも多様で、設計事務所独自に開発したソフトも活用されている、大スパン建築の構造解析では1)計画初期の架構計画 2)詳細設計の構造解析 3)作図段階 で異なるソフトを活用している、通常の構造解析でも主架構と雑構造部材では利用するソフトが異なるとしている。
- ③ 設備設計は専用CADで行われ、その後設備BIMに転換するケースが多かった。設備設計は意匠の2次元図面に線を引くもので、具体的な納まりはサブコンが決めてきた。その設備サブ

コンが決定するのはかなり遅れる。設備と言っても実際は電気・機械と全く異なる工学分野の複合で、両者でサブコンも異なるケースが多い。

- ④ 建築では設計変更がかなり多く、BIM活用でも障害となっている。設計変更は後工程ほど大きな影響を受ける。

建築BIM活用の目的達成では設計・施工・維持管理の一貫性が重要・必須である。建築BIM一貫性の最大課題は維持管理BIMへの連携の遅れである。その要因の一つは設計・施工に必要なデータと維持管理に必要なデータの内容が大きく異なっていることである。前者では形状情報が主となるが、後者では属性情報が主である。維持管理の最重要データは設備情報である。設備BIMが進展しなければ維持管理BIMは進展しない。設計・施工と維持管理でBIMは別にすべきと言う主張もある。

建築BIMの企画—設計—施工—維持管理の一貫性は建築行為の主軸(横軸)のサプライチェーンである。「施工」の各ステップでは材料部品のサプライヤー、各工事のサブコントラクターのサプライチェーン(縦軸)が重要である。大手ゼネコンではこの「縦軸」の技術開発が活発で、鹿島のK-Fieldはセンサー技術を駆使して、仮想空間に人・材料・車を表示し現場管理に活用している。鹿島の「スマート生産ビジョン」では「全てのプロセスをデジタルに」「作業の半分はロボットと」「管理の半分は遠隔で」としている。作業も管理も人間との共業・協調の必要性を強調している。建築工事のIT化、自動化の本質を突いており、高く評価される。

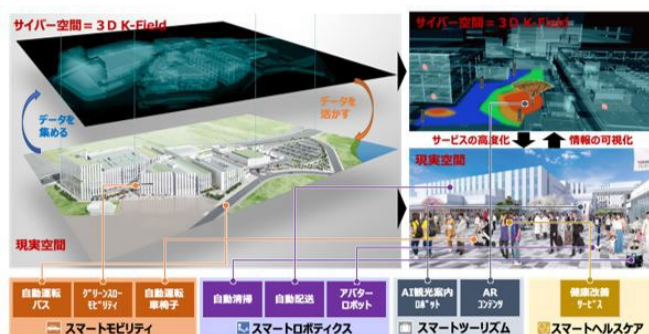


図5-11 HICityにおける3D K-Field活用の概要

(鹿島建設 プレスリリース 2020年10月22日)

大林組はクレーン操作の安全・効率化のためにBIMと連動した3D画像を活用している。BIM・IoT・AR・MR・自動化の連携でこの流れも加速しつつある。より幅広い展開のためにシステムの

簡素化と安価化が期待される。

「施工」の「縦軸」チェーンでは鉄骨ファブリケーターが最も進歩している。建築BIMは縦横軸(1次元方向)の展開から立体空間(都市デジタルツイン)への展開が急進展している。建築BIMのスマートシティへの展開である。清水建設は豊洲スマートシティの中核部分の開発を担当し都市デジタルツインを推進している(図5-12)。



図5-12 清水建設が豊洲6丁目プロジェクトで発表した都市デジタルツイン(清水建設提供)

鹿島・大和ハウス工業が設計施工を担当した東京・羽田空港に隣接する大規模複合施設「HANEDA INNOVATION CITY」では前述した K-Field(BIM 活用)も活用している。鹿島は大阪のオービック御堂筋ビル新築工事において、各フェーズにおける建物データの連携を可能にする BIM によるデジタルツインを実現したと発表した。

長谷工コーポレーションの「HASEKO BIM & LIM CLOUD」は独自の方向である(LIM は Living Information Modeling)。BIMは建物の技術的属性情報だがLIMは人の暮らしの情報の解析し、快適な暮らしを創出し、健康長寿に役だてると言う

5.3.2 5G の建設生産への適用

日本における 5G の本格的スタートは 2014 年の「第 5 世代モバイル推進フォーラム(5GMF)」設立である。2016 年 10 月 12 日に総務省情報通信技術分科会「新世代モバイル通信システム委員会」が設置され、10 月 25 日に第 1 回委員会が開催された。7 月には委員会報告(案)が行われ、5G サービスのイメージ・社会実装が示された。これにより 5G に関する報道が行われた。2018 年時点では建設業界で 5G に名乗りをあげているのは大林組、構造計画研究所と少な

かった。総務省は 2017 年6月「5G総合実証実験の開始」をアナウンスし、大林組はKDDI, 日本電気と組んで「建設機械の遠隔操作、移動体とのリアルタイム情報伝達の実証実験」を行うと記した。2018 年時点で「第5世代モバイル推進フォーラム(5GMF)」の一般会員119社の中、建設関連産業では唯一構造計画研究所が名を連ねている。

2020年大手ゼネコンで遠隔操作・防災・監視中心に5G活用が始まった。特にローカル5G(範囲限定5G)は建設工事活用が期待されている。総務省は 2030 年には6Gに移行するとしている。構造計画研究所は建築構造設計業務からスタートした会社だが、ITビジネス全体にビジネスを拡大。5G分野ではミリ波の解析、ローカル 5G申請に必要なミリ波のカバー範囲解析をビジネスにしている。一方住宅産業では購買者のニーズが薄く、5G・6G活用の動きはない。ゼネコンとして最も早く 5Gに参画した大林組は 2021 年の技術研究所報に 5G関連の論文を掲載し、外部セミナーの講師も担当している。

建設業の 5Gへの取組には以下の特徴が見られる。

(1)IT関連企業・ベンチャー企業・従来の発注者など多様な職種とのオープンイノベーションをおこなっている。Porting による Connectivity, Fusion が起こっている。

(2)企業により戦略が異なる

大林組:現場作業員の高齢化、若手就業者の減少、労働力不足、技能工不足をIT・AI・自動化で補い生産性の向上を図る。5G活用もその手段の一環。

大成建設:当初はトンネル工事、災害復興現場など、リスクの高い工事現場の安全対策活用であったが、最近ではスマート工場・スマートシティーなどを対象としている。

清水建設:2020 年 12 月 11 日、4.7GHz 帯ローカル 5G 実験試験用無線局を建設業として初めて免許申請。工事現場でのローカル 5G活用による生産性向上を図る。都市やオフィス空間の感性・創造性を高める方法としてローカル 5G活用。設計・都市計画手法の一つとして活用する方向で独自性がある。

鹿島建設:建設DXに注力しているが、5Gについての取組は少ない。鹿島独自のIT戦略を確立して進めている。

竹中工務店:ローカル 5Gによる工事現場安全管理に注力。発注先(NTT 西日本)との関係で進めている。

建設会社の 5G, ローカル 5G活動を以下に記す。(2020年報告に最新情報を追加)

大林組；

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

＊KDDI、大林組、NEC 5G で掘削・運搬・転圧など一連の道路造成工事の実証に成功(2020 年 2 月 14 日)

＊堤体盛土でのローカル 5G を用いた複数重機連携の遠隔操縦実証実験：大林組技術研究所報(2021 年)

＊5G 活用で「3K 職場」にサヨナラ 建設現場はジェンダーレスに(2021 年 12 月)

＊5G を活用した重機の遠隔操縦と自動化、自律化及び統合管理開発の取組み【JPI セミナー開催】(2022 年 3 月)

大成建設；

＊ソフトバンク他との共同で、北海道の後志(しりべし)トンネルで5G を使った実証実験。山岳トンネル内で 1400m 奥の坑内までの通信可能距離が得られた。5G のスライシング機能を用い、緊急時の情報の優先度を確保している(2019・12)。

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

鹿島建設；

＊NTT ドコモと 5G 通信環境の要素開発(2020・5)

＊タワークレーンを遠隔地のコックピットから遠隔操作するためのシステムに5G活用を検討(2020・6)

竹中工務店；

＊タワークレーンを遠隔地のコックピットから遠隔操作するためのシステムに5G活用を検討(2020・6)

＊建設現場の安全管理強化に向けたデジタルトランスフォーメーション、

清水建設；

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

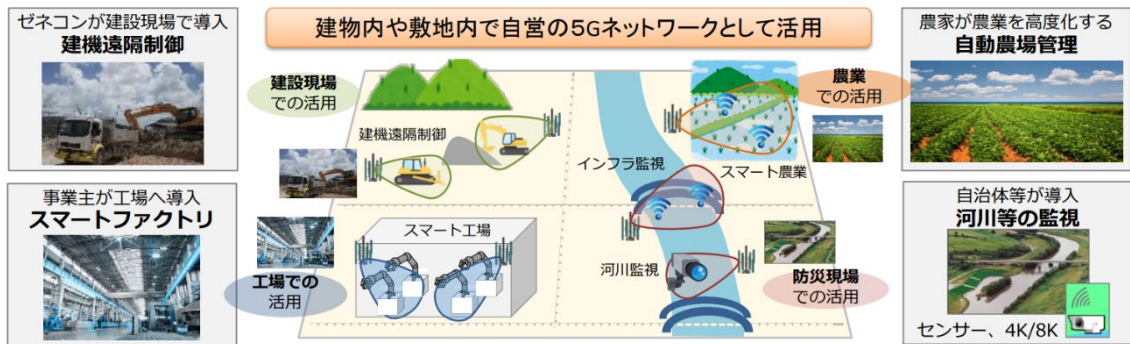


図5-13 清水建設によるローカル5G 実験(総務省東北総合通信局)

西松建設:

*無線通信ベンチャーのピコセラに依頼して 250m の距離で通信できる無線屋外型 LAN 機器を開発。西松では 5 件の採用例有。ピコセラは 20 年 8 月時点で清水建設、双日、日本郵政キャピタル、岡三キャピタルパートナーズの 4 社から資金調達したと発表。(2020・9)

*国内初トンネル坑内においてローカル 5G を使用したホイールローダの遠隔操縦を試行ー 28GHz 帯のローカル 5G 通信を山岳トンネルへ国内初適用ー(2021・10)

戸田建設:

*ピコセラと共同で超高層ビルの高層階でも無線 LAN を広く利用 できるシステム開発 (2020・7)

構造計画研究所:

*構造計画研究所とアンリツが ローカル 5G に関する共同出資会社の設立を基本合意、ローカル 5G コンサルティングのワンストップサービスを提供(2021 年 4 月)

*ローカル 5G免許申請用エリア描画ツールビジネス開始

日立建機:

*通信が困難だった山間部などの大規模施工現場においては、『ローカル 5G』サービスの適用が期待される(2020・5)

総務省平成29年版情報通信白書では 5Gの活用について以下のように記している。

①災害に強い社会:街中に設置された高性能センサーにより、被災者に最適な避難経路を迅速に届ける。

②高度モビリティ社会:辺鄙な地域にも自動運転車が配送され、高齢者はその車の中で健康チ

エックうけながら病院に行ける。

③先進医療社会：離島の緊急患者がヘリの中で、専門医の指示の下、医師が高性能画像活用で手術を担当する。

④どこでも臨場感を味わえる社会：VRを活用し、選手個々の情報を入手しながら、タブレット端末でその場にいるようにスポーツを楽しむ。

総務省の新世代モバイル通信システム委員会の資料(2019)では、5Gによって新たなビジネス加わるビジネス領域は収益の多い順に並べると1)自動車分野 2)産業機器分野 3)ホームセキュリティ分野 4)スマートメーター分野 5)その他のIOT分野である。2022年現在、建設産業での活用は予想以上に進んでいる。

建設産業に関しては更に多くの分野で5G活用が考えられる。建設の企画・設計・施工・メンテ・解体・再利用の諸段階、建設物の利用・住環境・執務環境、個別建物・街区・都市・交通の観点、防災・環境、QCDSEなどかなり幅広い活用が期待される。

①設計時にデザイン・構造・設備・現場担当の技術者が5Gを活用して同時に議論し設計を進める。

②VR, ARを活用し施工現場にいるような、あるいは完成建物を実体験しながらの議論である。

③ 設計終了後、発注者も参加して完成建物のAR内で議論する。

④海外、例えばシンガポールの現場作業所長が打ち合わせで日本に来ていても、5Gを使えば、あたかも現地の現場を歩き回る感覚で指示を与えることが出来る。

④ 病院の設計では、完成後勤務する予定の医師や看護師達に、今いる博多や札幌あるいはロンドンから、完成した仮想病院の中を一緒に歩いて貰い、彼らの意見を聞き、即座に設計変更することが出来る。

5G は建設産業革新のためのプラットフォームとしての役割を果たす可能性がある。建設業のみでは幅広い応用は不可能で、モバイル企業・ベンチャー企業などとの共同作業が行われている。建設業が5G技術を駆使するためには幅広い産業分野との連携が必要である。Porting、Connectivity、Fusion が重要である。5Gの出現によって新たなビジネス分野が創出され、既存企業でも5G関連ビジネスが拡大することは必至である。この場合 Servitization の概念が重要である。

5G活用で最も重視すべきことはセキュリティであり、建設関連産業もIT専門家と同時にセキュリティ専門家の育成が必須である。外部専門会社との連携も必要で、この分野でも

Porting, Connectivity, Fusion, Servitization の概念を念頭におくべきである。

5.3.3 建設 DX による建築生産革命

①日本企業の DX の現状

経済産業省が推進する「デジタルトランスフォーメーションの加速に向けた研究会」の「DX レポート2(中間とりまとめ)」は日本企業の DX の現状を記している

1)2020年時点での企業約500社における DX 推進への取組状況分析した結果、実に全体の9割以上の企業が DX に取り組めていないか、散発的な実施にとどまっている。

2)デジタル化トップランナーと認識する企業が40%に達しているにもかかわらず、現在のビジネスモデルの抜本的な改革に取り組む必要性を感じている企業は少ない。

3)DX の推進あるいは、デジタル化への取り組みは既存ビジネスの範疇で行っている。

他の報告でも日本の DX の現状については“単に DX の必要性が認識されているだけで経営戦略が不透明”“DX を実施すれば経営が改善され業績が伸びると考えている”と手厳しい論が出ている。

① DX による建築生産革命

建築の設計・生産・維持管理分野での DX の重要技術の一つは BIM である。国土交通省では建築 BIM 推進会議を推進し、建築関連の企業・団体・官公庁が参画し、建築分野における BIM 推進は着実に進んでいる。

建築産業の上流である設計の BIM の問題点は以下の 2 点である。

1)詳細度の高い構造 BIM モデルの作成コスト

2)設計施工へのデータ連携出来る設計 BIM モデルが不明。

これらの問題点を解決するために大手設計事務所が共同作業・情報公開・標準化の推進を行っている。

2020年8月のオートデスク社は欧米・アジア太平洋地域のゼネコン835社(日本50社)で働く建設プロフェッショナルに DX の成熟度を5段階に分けて調査した。その結果では、世界全体の過半数(58%)がまだ初期段階(個人依存・限定的導入)、28%が中期段階、13%が成熟段階(定期的管理・継続的革新)との回答を得た。日本においては初期段階が42%、中期段階34%、成熟段階24%であった。成熟段階の割合はアジア太平洋地域で最も高く、ドイツ・米国と並んで世界の上位国であった。

BIM 国際標準化団体「building SMART International(bSI)」で施工分科会を発足させたのは鹿島建設で、チェアマンを努めている。2020年10月日刊工業新聞の報道では、大手ゼネコンが経営陣の主導の下で DX を推進している状況を報道されている。大成建設では、専務執行役員社長室長がCDOを兼務し DX 推進委員会の委員長に就任。各部門を横断する作業部会を設置し、外部人材も登用。清水建設は副社長をトップに「デジタル戦略推進室」を設置。大林組も「デジタル推進室」を立ち上げ、執行役員が室長に就任。鹿島は土木、建築、事務の各役員で構成する「デジタル戦略会議」を立ち上げた。大手ゼネコンが経営陣を先頭に DX に取り組んでいる。2021年11月建設 DX「スーパーゼネコンの DX 事例まとめ」によればスーパーゼネコン毎に DX に力を入れている部分が異なっている。竹中工務店は設計補助、鹿島建設は現場管理、大林組は設計と現場、清水建設はロボット、大成建設は保守である。

日本大手ゼネコンの BIM のレベルは英国の BIM 充実度で言えばレベル1(BIM で作業)の段階で、レベル2(BIM 情報で業務効率化)には未だ遠く、レベル3の(新業務・新ビジネス化)は視野に入っていないのではと思われる。

UK Maturity Level

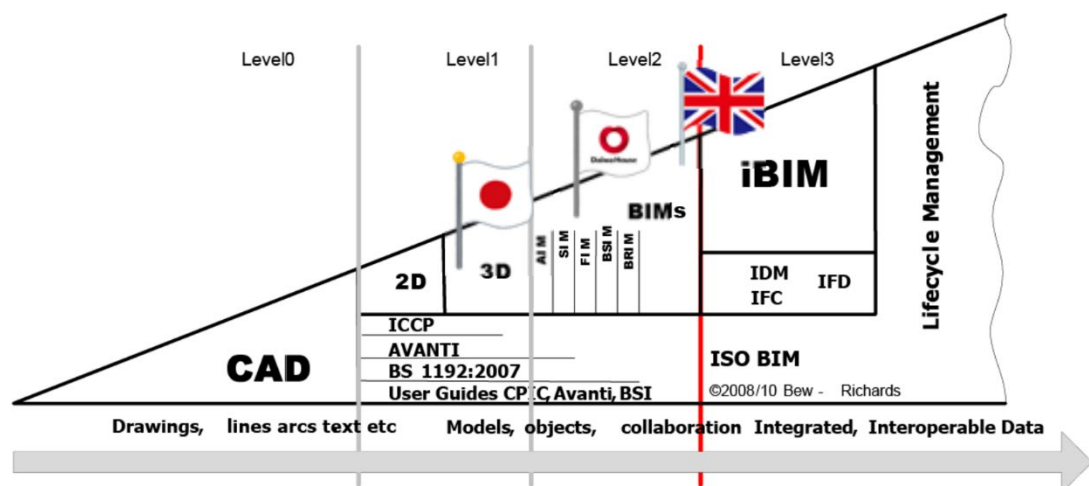


図5-14 英国での BIM レベル分類(科学技術エキスパート会議資料)¹¹⁾

経済産業省は2015年から積極的にIT活用に取り組んでいる企業を「攻めのIT経営銘柄」として選定してきている。更に2020年からは「攻めのIT経営銘柄」に代わり、DX に積極的に取り組む企業を「DX 銘柄」として選定することにした。2020年「DX 銘柄」には小松製作所(DX グランプリ)など35社が選定され、建設業からは鹿島建設とダイダン(建築設備)が選定された。2021年

には建設業からは清水建設1社が選定されている。同社は2017年に「攻めのIT経営銘柄」としても認定されている。鹿島建設の取組は「経営計画達成に向けた DX2本の矢」「持続的な成長に向けた建設生産プロセス変革」「Society5.0 を具現化するスマートな世界」「コロナ渦における取組」で、鹿島スマート生産ビジョン、HANEDA INOVATION CITY などが紹介されている。調査・評価結果を図1に示す。清水建設の取組紹介では経営ビジョンとして「デジタルゼネコン」を目指すこと、そのための組織体制、人材育成・採用、建物 OS「DX-CORE」の商品化、事業への活用、SDGs への貢献を唱っている。調査・評価結果は図5-15。清水建設は「清水建設のデジタル戦略」として「デジタルゼネコン」の軸として「ものづくりをデジタルで」「ものづくりを支える業務をデジタルで」「デジタルな空間・サービスを提供する」の3つを挙げている。更に DX(デジタル変革)、CX(企業変革・顧客体験向上)に結びつけたいとしている。建設生産革命から建設産業革命・ビジネス革命への転換の芽が見える。

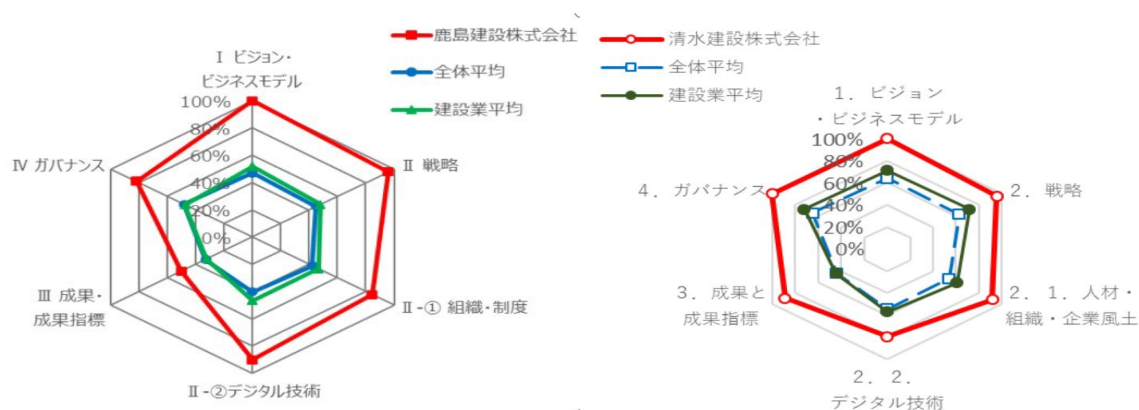


図5-15 産省 DX 銘柄選定での鹿島建設(左)・清水建設(右)

DX 調査・6軸評価達成状況(経済産業省 HP)

5.4 建設 DX による建設産業のビジネス変革

5.4.1 サービスビジネス時代のゼネコン

①サービスビジネス序論(サービスビジネスのステップ)

サービスビジネスは古代から存在し、約450種類とする資料もある。現在「モノからコトへ」「製造業のサービス化」など、多彩なサービスビジネス論が展開されている大きな要因は情報技術・IOT

技術の発展である。「製造業のサービス化」の場合「製品ユーザーのためのサービス」と「製品製造に関わるサービス」があり、製造業のサービスの変化は8段階に分類することが出来る。

ステップ1:商品(モノ)の販売促進のために客先への各種サービスの充実を図る。

造の生産性向上・品質安全確保のためのサービスの充実を図る。

ステップ2:社内でサービス部門を独立組織とする。

ステップ3:サービス部門を専業会社として独立させる。

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

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

ステップ6:親会社が独立させたサービス専業会社を吸収合併するケースが出る

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

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

② 建設業のサービスビジネス

清水建設は、中期デジタル戦略 2020「Shimz デジタルゼネコン」で「デジタルゼネコン」を宣言した。「ものづくりをデジタルで」「ものづくりを支えるデジタル」「デジタルな空間・サービスを提供」の着実な推進・実現をするとしている。土木建築事業をデジタル化する、お客様に提供する空間・施設をデジタル化する、業務をデジタル化することである。その推進のためにデジタル推進戦略室を設置している。清水建設のサービスビジネスはステップ1と2の中間段階と考えられる。K-Field を扱う鹿島の(株)Oneteam はステップ3の段階で4をも目指している。コマツのスマートコンストラクション、LANDLOGもステップ3の段階で4を目指している。

日本土木工業会が2011年に出した「建設市場の変化に対応した ビジネスモデルの提案 ～「脱・請負」とグローバル化～」は10年後の建設業の姿として「売上は施工請負>サービス、利益は施工請負<サービス」として図2を示している。この報告書で言うサービスとはPPP・PFI・コンセッションである。建設の上流・下流のサービスビジネスを重視する姿勢である。

2020年の建設業売上高ランキングは大和ハウス工業が1位で2位は積水ハウスである。大手

ゼネコンはその下にある。大和ハウス工業の特徴は商業施設事業で、建設した建物へのサービス事業(製品ユーザーのためのサービス)を推進している。PPP は Public Private Partnership であるが大和ハウス工業の PPP は Private Private Partnership と言える。リースバック方式による資金供与(Finance)も強みなので PPFP と呼ぶべきかもしれない。積水ハウスはハウス事業に注力し、住み方のサービスを徹底している。ビジョンとして示す『『わが家』を世界一幸せな場所にする』『人生 100 年時代の幸せをアシストする家』は「製品ユーザーのためのサービス」である。建設業のサービスビジネスは「製品ユーザーのためのサービス」が重要である。大和ハウス工業はM&Aした多くの企業と5万人近い社員のガバナンスのためにデジタルプラットフォームの構築を促進している。

清水建設は建物 OS「DX-CORE」を推進している。ビルを丸ごとバージョンアップする基本ソフトである。この技術は清水建設の50年に渡る建物管理システム(BECSS)の開発の延長上にある。BECSS 開発と並行してシステムサポートセンターを立ち上げ、更に建物系 SIer 事業(IT システムの全てを請負う事業)を20年前から行っている。清水建設の建物 OS「DX-CORE」事業は、現在はエンジニアリング事業本部のビジネスである。欧米ではベクトル社のようにエンジニアリング会社が主でゼネコンはその下請けである。日本ではエンジニアリング事業は建築事業の補完のような扱いを受けてきた。建設の建物 OS「DX-CORE」事業は未だステップ2であるが、ステップ3へ、更にステップ7・8へ発展する可能性を秘めている。

建物 OS「DX-CORE」事業は、建築・土木事業の上に立つ事業に育つか注目される。

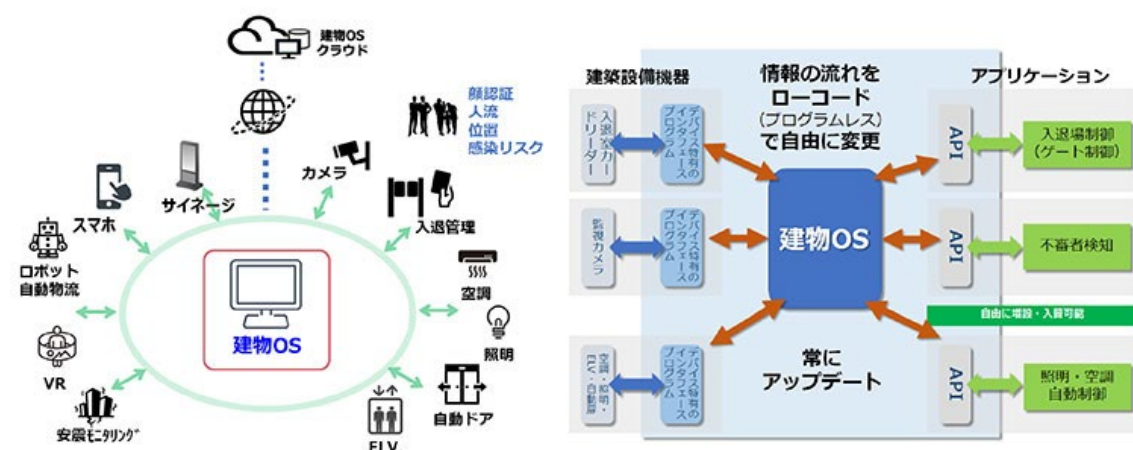


図5-16 清水建設の DX-CORE(清水建設提供)

5.4.2 建設産業の産業変革とスマートシティー

建設分野で注目される分野は街づくりへの ICT・IOT 導入である。CEATEC2019での大手ゼネコンの展示では、街づくりへの ICT・IOT・AI・ロボット活用したスマートシティーが多く見られた。このような街全体の情報収集・分析では CSP という概念よりも Digital Twin という概念で語られている。CPS と Digital Twin は同じ概念だが、CPS は個別の指標データ活用のサイクル、Digital 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。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。

政府は関係省庁(内閣府、総務省、国土交通省)連携で「スマートシティ官民連携プラットフォーム」を設置した(2019年6月)。2022年3月末の会員数は合計883団体である。省庁は12で内閣府、総務省、産業労働省、国土交通省、内閣官房、警察庁、金融庁、文部科学省、厚生労働省、農林水産省、環境省と広範囲に渡っている。企業・大学・研究機関は452団体、地方公共団体は175団体である。企業は374社で建設業、製造業、卸小売業、飲食店、金融・保険業、不動産業、運輸・通信業、電気・ガス・水道熱供給業、サービス業でその割合を図5-17に示す。

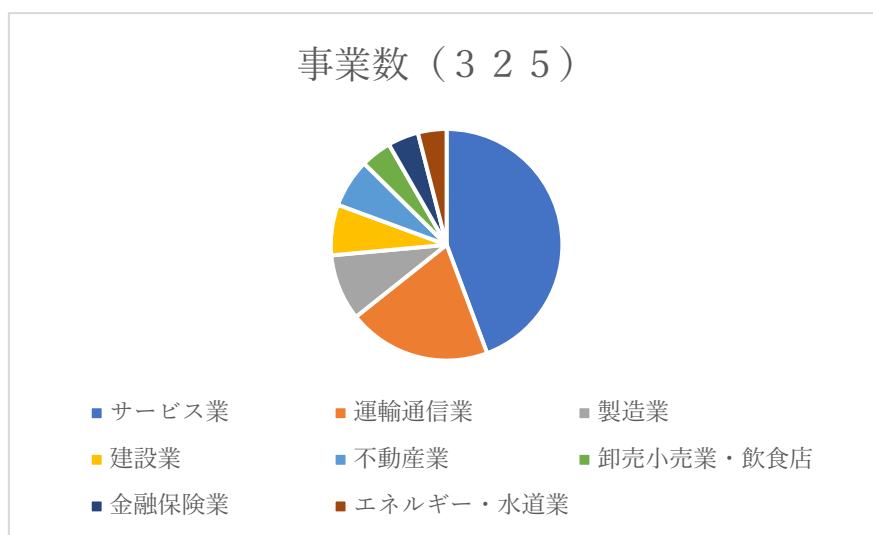


図5-17「スマートシティ官民連携プラットフォーム」参加企業分析

最大のカテゴリーはサービス業で、その内容は多種多様である。都市計画、都市管理、都市調査、シンクタンク、通信、電気、広告、コミュニティーサービス、各種IT関連サービス、交通、健康、

自動化サービス、人材サービス等々である。都市に関わる産業は幅広いことが分かる。

多くの委員会が活動しているが既に活動終了したのは3委員会。

- 1) 観光型 MaaS の発展に向けて(JTB)
- 2) ビックデータの有効活用による EBPM と効率化・生産性向上の推進(JTB)
- 3) スマートシティビジョンの検討および地域へのスマートシティ普及促進(内閣府)

現在活動中の委員会は8委員会である。

- 1) スポーツを核とした観光、健康、モビリティ、都市 OS の検討
- 2) 物流分野の効率化・省力化に関する検討分科会
- 3) スマートシティの財政面からの持続性確保
- 4) 都市マネジメント
- 5) スマートシティのセキュリティ・セーフティ
- 6) ネット・ゼロスマートシティ検討分科会
- 7) スマートシティガイドブック分科会
- 8) 3D 都市モデルの整備・活用促進に関する検討分科会

これらの委員会の活動状況から、スマートシティ推進で検討すべきと思われる課題は以下の9項目である。

- ③ 交通 ②防災 ③物流 ④環境 ⑤エネルギー⑥セキュティー ⑦財政・資金
⑧ 住民参加 ⑨観光・文化・スポーツ

上記を包含したスマートシティガイドライン、ビックデータ対応システム構築、都市全体の総合マネジメント、都市全体のモデリング(3D モデルなど)を作成する必要がある。結論として、スマートシティ街づくりには多種多様な検討項目があり、IOT として用いられるセンサーも多様多種かつ無数であることが確認される。製造業の製品製造で使用するセンサー数、分析種類とは桁の異なる膨大なものとなる。

街づくりと運営・管理は建設産業の究極のビジネスである。街の建設のみならず、街の運営・管理をビジネスすることは、建設産業の革命であり、建設DXの最終目標になりうるものである。

5.5 むすび

建築・住まい・街は基本的に人間のためのものであり、自然との融合作品である。日

本建築の粋と言われる桂離宮は、その代表であり、象徴である。茶道・茶室は更に人間の心に関

わるもので、建築とは人間の心・精神まで包含するものである。茶道・茶室は利休・織部・遠州と引き継がれた。基本精神は引き継がれたが、茶道具・茶室の姿・形は全く異なるものである。製造業の大量生産商品(モノ)とは対極にある造形品である。建築とは基本的に一品生産品で、製造業のように、標準品を定め効率化を図る製造品とは、次元の異なる存在である。建築を議論する時にはこの本質を念頭に置く必要がある。

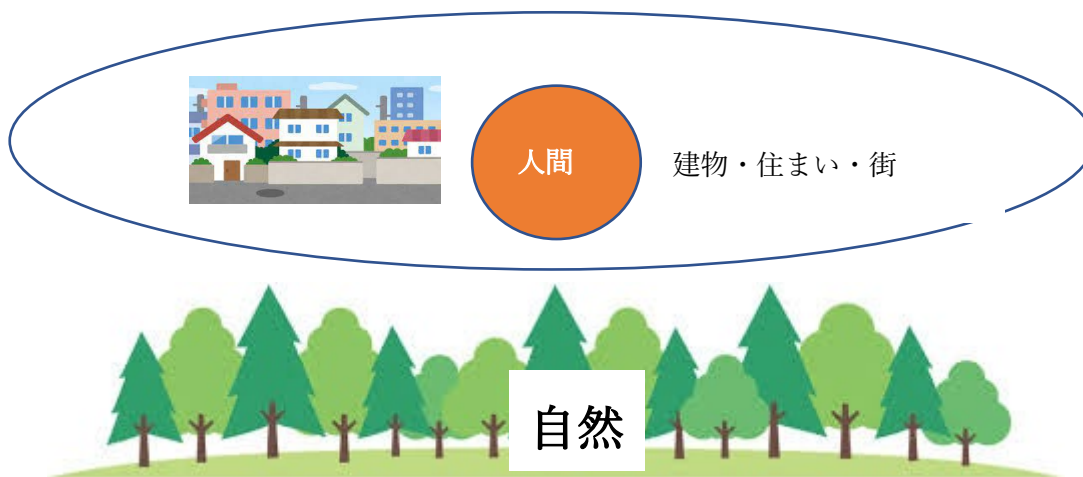


図5-18 人間・建築・自然

建設産業は土木事業・建築事業・エンジニアリング事業の集合で、土木事業・建築事業は現在でも労働集約型事業である。労働者不足・専門家不足の時代となり、労働集約型体制のままでは産業の未来が危うくなってきた。そのため、近年ようやくIT化・自動化・ロボット化・AIの活用が進み始めている。

土木事業の製品は社会の基盤・社会インフラを構築である。建築事業はそのインフラの上に建築物を構築する。エンジニアリング事業はその建築物の中に、建物機能充実のための各種設備を設置する。エンジニアリング事業では比較的早くIT技術の導入が行われていた。近年の情報化時代の流れの中で土木事業・建築事業でもIT化が進み始め、建設DXが議論されるようになってきた。

建築事業ではPFI(Private Finance Initiative), PPP(Public Private Partnership)が1990年代より導入された。PFIとは公共施設等の建設、維持管理、運営等を民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用して行う新しい手法で Servitization 的ビジネスは建築事業で

は比較的早く導入されていた。IT 化の進展によりこのビジネスは更に進展すると予測される。

IT技術集合の頂点としてスマートシティーが議論され、多くの産業・企業が参入を試みている。しかしながら街・住まいの本質を理解できる産業は建築産業である。多くの産業が参画しても、それは部分への参画と思われる。建築事業とはプロジェクトマネジメント、多種多様なプロジェクトのマネジメントである。この基本能力によって建設業はスマートシティーの Servitization 的ビジネスの統括者となり得る。このビジネスは多様多種・大量のデータ集積を伴う。このデータを用いたビジネスこそが、未来の建設産業の主力ビジネス、Digital Servitization になると考える。

参考文献

- 1.『京の離宮と御所』文学歴史7、JTB パブリッシング
2. 小堀宗実、熊倉功夫、磯崎新、龍居竹之介ほか：
『小堀遠州 綺麗さびの極み』新潮社
- 3.『生活文化史1 日本の家—日本人のこころ』雄山閣1983年11月
- 4.『大工木割秘伝書』(国立国会図書館デジタルコレクション)
5. 日科技連HP
6. DOORS 編集部「DX(デジタルトランスフォーメーション)推進における日本企業の課題と解決策」2020年10月
- 7.「深刻 日本企業が抱える課題とは？解決策も合わせて解説」TRYETING コラム、2021年1月
8. Mckinsey&Company「マッキンゼー緊急提言 デジタル革命の本質：日本のリーダーへのメッセージ」2020 年9月
9. 藤盛紀明「建設関連産業のための技術評論 連載第42回 「IT の光と陰」『鉄構技術』2014年1月
- 10.『鉄鋼技術』「特集 2022年 BIM の動向と課題」2021年10月 VOL.34 No.403
11. 大和ハウス工業 伊藤久晴：「日本の BIM の現状と課題」科学技術エキスパート会議、2021年1月

第6章 研究開発の外部連携と多角化の分析

1. はじめに

本研究会が対象としている経済・社会のデジタル化を実現する「デジタル・トランスフォーメーション」(Digital Transformation)は喫緊の課題である。この点、第一章において、「デジタル・トランスフォーメーション」のためには、様々な製品・サービス・技術のコンバージェンス (Convergence)あるいはコネクティビティ(Connectivity)が不可欠であると指摘されている。すなわち、各産業において、DX 化のためには自社が長年本業で蓄積した産業技術以外に多様な技術が必要であり、また、場合によっては異業種との連携が不可欠であることを意味している。

この点、技術経営の分野においては、本業以外の産業技術の研究開発を「研究開発の多角化」として様々な研究が提示されている。また、異業種との連携についてはオープンイノベーションが注目されている。ただし、いずれも定性的な分析に留まっている研究が多く、日本の多角化の動向や外部連携の効果を定量的に分析した実証的な研究はほとんどない。本章では、日本の製造業の研究開発費に関する豊富な統計データの定量分析により「多角化」と「オープンイノベーション」の動向を定量的に分析した研究成果を紹介する。また、これらの効果として、収益性への寄与を分析した結果も示す。

2 既存研究

実は従来から多角化に関する既存研究は数多い。欧米においては、多角化の戦略タイプを分けて、多角化と収益性との関係进行分析する研究成果が数多く提示されている。著名な多角化研究としては、多角化の戦略タイプを7つ(専業型、垂直型、本業・集約型、本業・拡散型、関連・集約型、関連・拡散型、非関連型)に分けるという分類方法が導入された(Rumelt, 1974)[1]。この研究では、246 の企業の多角化と利益率の相関分析をしており、「中核的能力と競争力」に関連した分野に限定して多角化を行った企業の利益率が高いという結論を得ている。同様に「関連分野における多角化を行った企業」が「非関連分野における多角化を行った企業」よりも高い収益性を有していることを示した研究もある(Christensen and Montgomery, 1981)[2]。

一方、日本における定量的な実証分析としては、今井ら(1975)[3] 及び吉原ら(1981)[4] が詳細な分析を行っている。例えば、吉原ら(1981)は、日本の 100 社以上の代表的企業をサン

ルとして、分析している。その結果、日本企業の多角化とその成果との相関は、前述の Rumelt の実証結果とほぼ同様であることを報告している。また、Kodama(1995)[5] は、ハイテク産業において、川下方向の多角化が売上高成長と強い相関があり、輸出競争力が低下した産業が川上方向に多角化していることを示した。さらに、日本の製造業の豊富な統計データを用いて、非関連分野における多角化が収益性を低下させたことを示した研究成果もある [6]。

さらに、研究開発の多角化と同じように異分野の研究開発成果を取り込もうとする戦略として「オープンイノベーション研究」が近年注目されている。Chesbrough(2003) [7]は「企業が技術革新を続けるためには、企業内部のアイデアと外部のアイデアを用いて企業内部または外部において発展させ、商品化を行う必要がある。オープンイノベーションは、企業内部と外部のアイデアを有機的に結合させ、価値を創造することをいう」という極めて広い概念を提唱している。オープンイノベーションの戦略においては、様々な研究機関との外部連携の重要性が指摘されている。すなわち、大企業だけでなく、中小企業、大学、公的研究機関等においても積極的な研究開発の外部連携が行われていることが指摘されている。オープンイノベーションの研究領域の中には研究開発の外部連携について取り上げた既存研究が数多い。

以上のように、従来、多角化研究とオープンイノベーション研究は行われてきたが、近年の日本の産業を対象にした定量的な研究は数少ない。特にオープンイノベーションの戦略においては、外部連携の重要性を指摘する研究は数多いが、定量的かつ実証的な分析結果は驚くほど少ない。このような中、筆者も共著者となった研究において、日本の製造業の多角化及び外部連携の動向について実証分析を行った分析結果が公表されている(志方ら(2021)[8])。本章では、その研究と同じ研究方法を用いて主要産業の多角化及び外部連携の分析結果及び収益性との関係について回帰分析を行った結果を示す。

3 研究開発活動の多角化度の分析

(1) 分析データ

従来の多角化研究の多くは、企業単位のデータを用いて分析を行っている。しかし、多くの日本企業は、詳細な事業分野別の売上データを公表していない。そのため、データ収集上の制約から、多くても 100 社程度を分析対象としていた。また、十分なデータが揃っていないため詳しい定量分析を行うことが困難であった。

実は、日本では多角化に関する統計データは長年整備されてきた。この統計データは、我が国の

大企業のみならず中小企業も対象にした大規模な調査に基づいており、詳細かつ客観的なデータとして扱うことが可能である。また、統計法に基づく指定統計でもあるため、企業は細心の注意を払って記入することが義務付けられている。具体的には、我が国では、以下、二つの多角化統計データがある。一つは研究開発費の多角化統計の総務省統計局「科学技術研究調査報告」である。この統計は、1970 年から各企業の製品分野別研究開発投資を調査し、それを産業別に集計している。例えば、鉄鋼業を本業とする製造企業であっても、本業である鉄鋼製品のみならず、化学製品、通信・電子製品等について、それぞれ研究開発投資を行っている。これらの研究開発費を製品分類ごとに統計表に報告することになっている。これを産業別製品別に集計した結果が、毎年統計表として総務省統計局の web サイトに公表されている。

もう一つは事業の多角化統計である経済産業省「企業活動基本調査」の統計データが公表されている。前述の研究開発の多角化統計に遅れて、1985 年から工業統計表、1991 年からは毎年集計されている。

(2) 研究開発活動の多角化度の測定

本研究では、2011～2018 年度の研究開発の多角化について調査、分析を行った。この内部使用研究費とは企業、非営利団体・公的機関及び大学等の内部(組織内)で使用した研究費をいう。自己資金及び外部(外部の研究開発組織)から受け入れた資金のうち、内部で使用した研究費は含み、委託研究(共同研究を含む)等の外部へ支出した研究費は含まない。本分析を行うにあたり、科学技術研究調査の産業分類・製品分類を用いて、これらの 9 業種×31 製品分野の内部使用研究費のマトリクスを作成した。この構成比に基づき、多角化度をエントロピー値により測定する。各産業の i 製品分野における内部使用研究費の構成比を P_i とすると、研究開発活動の多角化度を表すエントロピー値を次のように定義する。

研究開発活動の多角化度

$$= \sum_i P_i \log_2 (1 / P_i)$$

(3) 研究開発活動の多角化度の分析結果

主要9業種の分析結果を図 1 に示す。エントロピー値であるため、数字の絶対値においては大きな意味はないが、業種間の比較と時系列の分析には意義がある。特徴的な産業としては、非鉄

金属産業や一般機械機械器具製造業の多角化度が高い。ただ、注目すべきは医薬品製造業や自動車製造業の多角化度が低いことである。本業が比較的好調であり、本業に研究開発を集中させていることが分かる。ただ、若干ではあるが、その値が少し上昇傾向にあることが分かる。

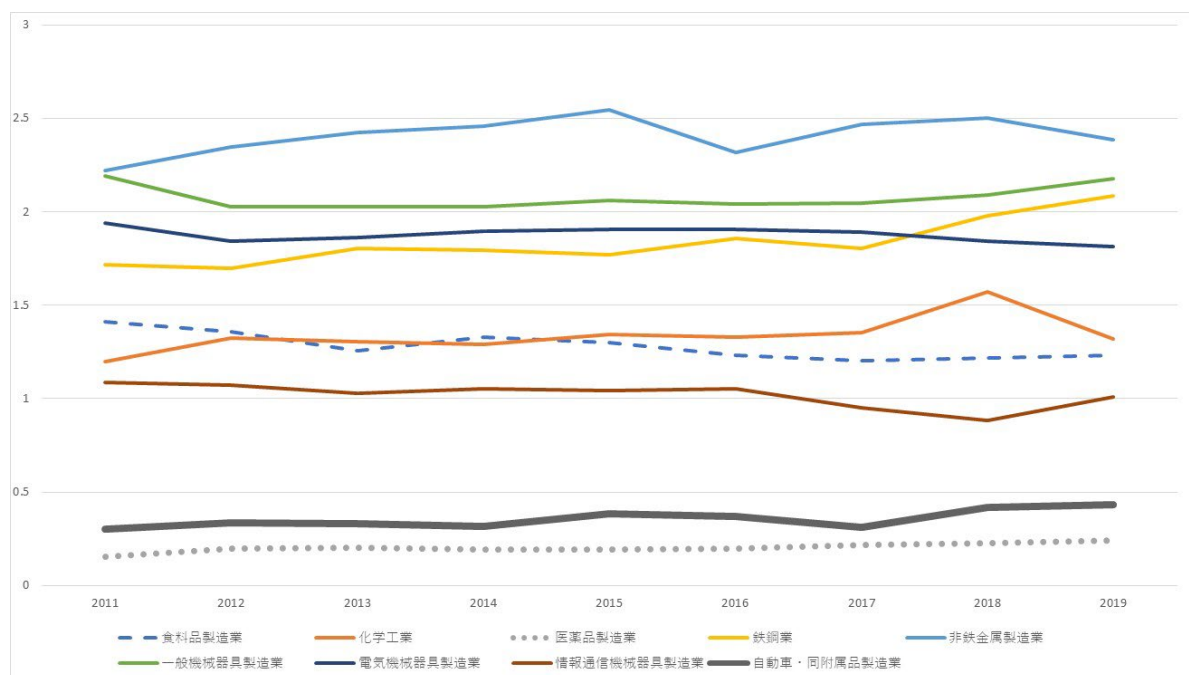


図2 主要9業種の研究開発費の外部連携度(2011年～2019年)

4 研究開発活動の外部化

(1) 分析方法

研究開発活動の外部連携の動向を明らかにするために、ここでは、研究開発費の外部連携度という指標を定義し、これを分析する。

外部連携度：社外支出比率＋受け入れ研究費比率

社外支出比率：社外支出研究費／社内使用研究費

受入研究費比率：受入研究費／社内使用研究費

分析対象となる統計データは、総務省統計局「科学技術研究調査」から得た。外部支出研究費とは、外部へ研究費として支出した金額をいう。また、受入研究費とは、外部(外部の研究開発組織)から研究費として受け入れた金額をいう。

(2) 分析結果

図2に主要9業種の外部連携度の分析結果を示す。多角化度と異なり、外部連携度が最も高いのは、医薬品製造業であり、次に高いのが自動車製造業であることが分かった。図に示した産業では、2019 年以外において、外部連携度が最も低い産業が食品産業である。

また時系列の変化をみると自動車産業においては減少傾向にあるものの、医薬品産業は外部連携度が上昇している。

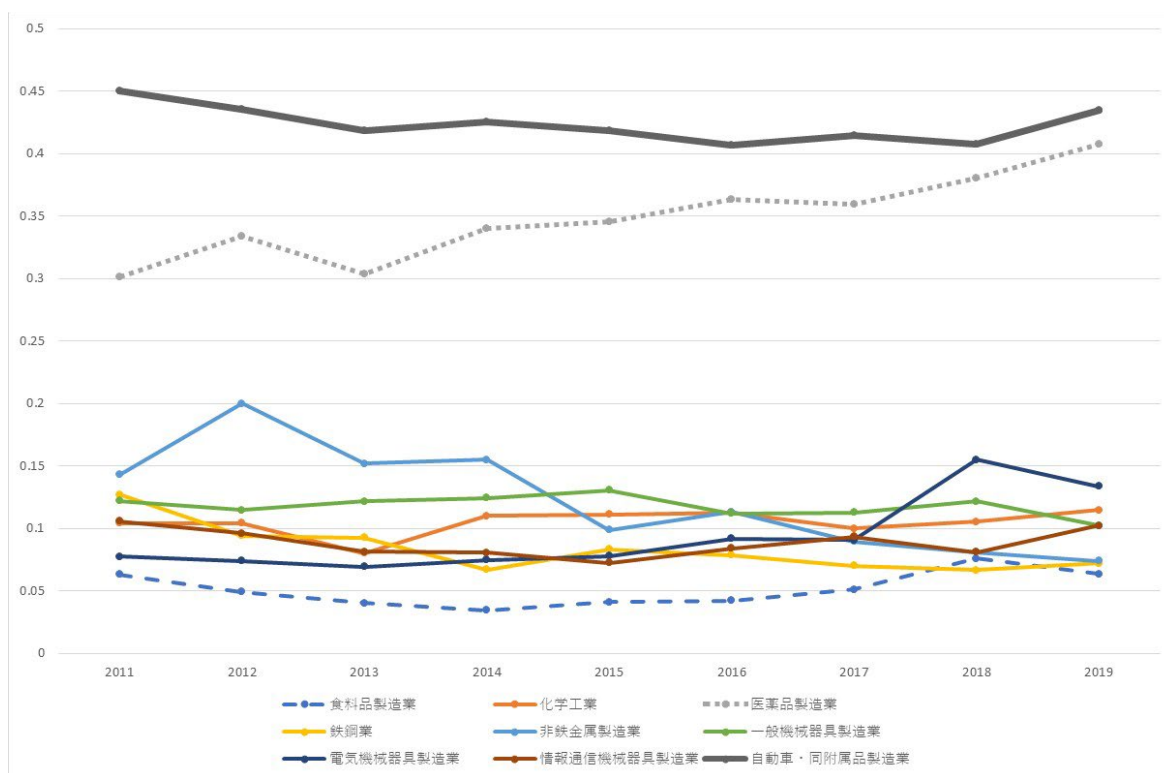


図 2 主要 9 業種の研究開発費の外部連携度(2011 年～2019 年)

5 製造業の研究開発多角化及び外部連携と収益性の分析

(1) 分析方法

以上のように自動車製造業、医薬品製造業の両産業は、本業に集中しており、研究開発多角化度は低い。一方で、本業の新技术獲得のための外部連携の割合が高い。このような研究開発の多角化及び外部連携は収益性との関係があるのだろうか。本章では、その関係を分析するため、回帰分析を行った。

分析データは、前述の「科学技術研究調査報告」に加え、経済産業省「企業活動基本調査」を活用し、全製造業の2011～2019年の売上高営業利益率を被説明変数、研究開発多角化度と外部連携度を説明変数とした重回帰分析を行った。分析対象データ数は自動車・同附属品製造業、医薬品製造業以外の製造業の分析では144(16業種×9年間)である。なお、多角化と収益性に関して分析を行った既存研究では、説明変数として、いくつかの指標が加えられている。本研究においても、以下の説明変数を加えて分析を行った。具体的には、規模の利益は一般に広く知られていることから、各企業の売上高を説明変数として加えた。売上高は対象企業間のばらつきが大きいいため、対数によるデータの規格化を行った。また、研究開発費比率は各企業の技術力を示す代理指標と考えられるため、収益性に正の相関があると想定できる。以下に変数の定義を示す。

【変数の定義】

[被説明変数]

・売上高営業利益率＝営業利益/売上高

[説明変数]

・研究開発多角化度

・外部連携度

＝外部支出比率＋受入比率

▷外部支出比率

＝外部支出研究費/内部使用研究費

▷受入比率

＝受入研究費/内部使用研究費

・企業規模＝ $\text{Log}_{10}(\text{売上高})$

・研究開発費比率＝内部使用研究費/売上高

各年度に合わせたダミー変数を付与した。

(2) 分析結果

売上高営業利益率を被説明変数とした重回帰分析の結果を表1に示す。企業規模に対する係数は有意に負の値を示している。これは、企業規模の大きな重厚長大産業の収益性が低迷していることが示唆される。一方、研究開発費比率及び外部連携度の係数は有意に正の値となった。研究開発に積極的な投資を行っており、また、外部連携を積極的に行っている産業ほど収益性が高いと解釈できる。

表1 製造業の売上高営業利益率を被説明変数とした重回帰分析結果

	売上規模 指数	研究開発 比率	外部連携度	多角化度	ダミー	切片
係数	- 0.00771	0.72	0.0532	0.00197	0.00198	0.034
t	-4.34	7.95	2.96	0.43	2.73	2.46
有意水準	1%	1%	1%	—	1%	1%

決定係数:0.44

6 結論

以上のように、総務省統計局「科学技術研究調査報告」と経済産業省「企業活動基本調査」の統計データを活用して、我が国の製造業の研究開発活動の多角化と外部連携の分析を行った。その結果、①「自動車・同附属品製造業」、「医薬品製造業」の2業種は、本業に集中しており、技術獲得のために外部連携を行っていた。②積極的に研究開発の多角化と外部連携を行っている産業ほど収益性が高いことが示唆された。

冒頭で述べたように日本の産業におけるDXを実現するためには外部連携が重要であると指摘されている。この点、外部連携と収益性との関係が示されたことは今後の日本のイノベーション戦略の一つを示唆していると考えられる。

参考文献

- [1]R.P.Rumelt: Strategy, structure and economic performance, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1974
- [2]H.K.Christensen, C.A.Montgomery: “Corporate economics performance: Diversification strategy versus market structure”, Strategic Management Journal, 2(4), pp.327-343, 1981
- [3]今井賢一, 後藤晃, 石黒恵: 企業の多様化に関する実証分析, 日本経済開発センター, 1975
- [4]吉原英樹, 佐久間照光, 伊丹敬之, 加護野忠男, 日本企業の多角化戦略－経営資源アプローチ, 日本経済新聞社, 1985
- [5]F.Kodama: Emerging Patterns of Innovation, Sources of Japan’s Technological Edge, Harvard Business School Press, 1995
- [6]K.Gemba, F.Kodama: “Diversification Dynamics of the Japanese industry”, Research Policy, 30/8, 2001
- [7]H.W.Chesbrough: Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology, Harvard Business Review Press, 2003
- [8]志方宣之、今橋裕、玄場公規「研究開発の多角化と外部連携戦略」経営システム学会全国研究発表大会、2021

第7章 自動車産業における構造変化の兆しと未来像

(車社会以前)「かごに乗る人、担ぐ人、そのまた草鞋を作る人」

(車社会)「車に乗る人、造る人、そのまた部品を造る人」

(EV時代)「箱に乗る人、Parts を造る人、それらをまとめあげる人」 ⇒EV 車が徹底すると今とは違ったメーカーが多数参入することになる

以下検討を進めていく。

- ・自動車産業は基幹産業として現在圧倒的な存在

製造品出荷額 62.3 兆円(2018 年)

生産台数 922 万台(2019 年)

雇用者数 542 万人程度(2018 年)

設備投資額 1,5 兆円(同)

研究開発費 3,9(同)

いずれも全産業の 10%弱

- ・この自動車産業の姿は来るべき次世代では大きく変化していく。

まず、部品点数は現状では約3万点といわれるが、EVでは半減するといわれる。「5 分の 1 になる」という業界人(日本電産永守会長)もいる。

- ・欧州の自動車産業はEV時代には異業種(台湾企業)との連携が進む。

欧州は特徴ある車で勝負してくるとの見方がある。

- ・アジアの自動車産業は何で勝負することになるのかについて一例として

台湾では車台開発を続ける自動車メーカーに対し、部品メーカーや半導体メーカー、IT大手など異業種を含め参加企業が約 2000 社に急拡大との情報がある。

- ・ところで現在の「自動車」の機能から余分なものをそぎ落としていくと「箱にモーターと車輪」で充分ということになる。

このように本来の機能本位に戻ると、安全性は必須として、その他の機能は運転方式を含めて極限までシンプルにすることができる。

こうなると他業種ははじめ多くの企業に参加の可能性が広がることになる。

ということは、既存のいわゆる「自動車産業」の裾野は崩れ、新しい移動体メーカーが生まれる可能性大である。

- ・そもそも「車とは、人・ものを運ぶもの」かつての「かご」から「車」そして「車付きの箱」へと変化していく。

- ・公害問題が起きてくると、工場の煙、排水などの公害対策に対し、移動体の環境対策の中心は車だった。その排ガス規制が課題とされてきた。

EV 化は環境対策上プラスとして歓迎されているが、それが実現する過程での環境対策は今

後の検討課題であろう。

- ・そもそも用途に応じた乗り物として、
 - スピード(用途次第で高速から超低速)
 - 積載可能量(一人乗り、二人乗り、4・5 人乗り、1t・2t・3t積等)
 - 快適性(快適にこしたことはないが、用途次第で必ずしも重要ではない)
 - 安全性(基本的要素でレベルは社会の要請で高まることはあっても下がることなし)
 - 価格(運ぶものに応じた運搬手段として考慮される)が主要ポイントである。
- ・産業論としてみると、現在の自動車産業の雇用者の規模は必要とされないのでは、電動化は大量失業の発生が懸念される。それを吸収する分野はどこか？
- ・また、これらの変遷により先進国・途上国の差がちじまることになる
 - ＝残るは豪華さ・快適さの勝負かすなわち、先進国は豪華な雰囲気、操作がより簡単な車
- 途上国は機能本位の車
- を追求していく
- これは車の2極化となるであろう。
 - 快適な空間 対 単なる搬送手段
 - ゴージャス 対 走る機能本位の安価なもの
 - 早い移動手段 対 速さは求めない、簡単な操作*
- *免許証不要な乗り物＝電動自転車プラスα
- ・安全性 対 EV 化による簡素化の流れは、新しいメーカーの参入となる。
 - 報道によるとソニーグループがホンダと提携 新たな AV 連合「ソフト×量産」(ホンダ「面白い車作れる」、ソニー「試作で壁に突き当たり、新しい技術を求める」)現在の垂直統合型の産業ピラミッドは崩れつつある。
- ・日本の強みである電機・IT(情報技術)と自動車(車体製造のノウハウや世界での販売網)の日本連合が勝ち残れる条件は何か？ EV 化に伴う電池の制御のソフトの比重が大きいのではないかとの意見がある。
- ・IT が自動車産業にもたらす”光と影”
 - 箱に車輪を付けるだけだと、異業種からの参入ありうる。
- ・わが国は世界の潮流に乗り遅れているのだ
 - 英 国 30 年にはガソリン車禁止、
 - 仏 40 年ガソリン車禁止、
 - 米加州 35 年ガソリン車禁止、
 - 中 国 35 年 新車主流 EV、すべて環境車
- ・21 年の世界の EV 販売 TOP20 社実績 中国勢 12 社がずらりと並び
- 日本は日仏連合(日産・ルノー・三菱)1 社が 5 位に在るのみである。

因みに ホンダは 27 位、トヨタは 29 位である

- ・新たな投資として脱炭素に必要な設備である水素供給拠点とし 30 年に 1000 基が求められる。

- ・急速な EV 傾斜に対する日本車の対応は；

現在まで 3 万点に及ぶ部品の「擦り合わせの妙」で勝負してきたが、構造が簡素な EV では大胆な国際分業が起きてきている。日本メーカーはハイブリッド車に頼り続けていては「イノベーションのジレンマ」に陥る恐れあるといわれる。EV 時代に日本車の強みは何なのか 100 年に一度の大転換を成長の好機にしなければならないとの警鐘が鳴る。

- ・世界の趨勢を見るに、過去数年で各国の電気自動車(EV)への傾斜が鮮明になってきている。

EU 然り、中国・アメリカも EV 重視の姿勢鮮明である。

日本メーカーはトヨタを筆頭にその対応の遅れが気になるとはいえ、潤沢な内部留保、厚みのある技術陣に期待するところである。1社での対応から新たな企業提携(ホンダ+GM など)、業界再編も考えられる。

- ・他方、別な動きとして、「空飛ぶ車」の登場がそう遠くない日実現することになるのではないか。

これは道路の制約を受けないのが最大の利点である。代わりに別な安全性基準の厳しさに加え、空の交通の規制を受けざるを得ない。

代表的メーカーSkyDrive 社は 25 年の大阪万博を目指している。

23~24 年度中に会場と空港、大阪市内などを結ぶ 8 路線(1時間 20 便程度)、周辺での遊覧飛行などを可能とする制度の整備が求められる。

その場合の課題は、制度設計、管制空域、飛行機・ヘリ・ドローンとの交通管理である。

時代の求めに応じて新しい技術が生まれ新しいメーカーが生まれていくのだ。

おわりに

DX(デジタル・トランスフォーメーション)は、CPS(サイバー・フィジカル・システム)の単なる延長線上に位置するものではないと明らかにした。分析した6つの技術領域には多少の違いが存在するが、DXの影響は、新しいイノベーション・モデルの出現を示唆していることが明らかになった。この新しいモデルを基に、日本技術の国際競争力を分析していくことが必要になってきた。