

令和5年度 産業と技術の比較研究 報告書

デジタル・トランスフォーメーション（DX）の分析

—事例研究と分析フレーム構築—

令和6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

昨年度は、日本経済新聞等で公表されているDXの導入事例の中から、研究会メンバーの討論を通して、特徴的だと思われる事例を選択し、直接開発した企業の担当者にヒアリングした。

本年度は、昨年度にヒアリングした事例を各メンバーの立場から、各自の視点からヒアリングにより得られた内容に分析を加えた。その上、各自の知見を統合して、それぞれの立場から、将来のDXを分析するための分析軸を考察・提案した。

目次

第1章 デジタル・トランスフォーメーション：国内における定義と事例の再評価

第2章 DX事例を理解するための4つの視点

第3章 製薬・食品・化粧品企業のDXアプローチ

第4章 建設業のDX－建築芸術論から「まちづくり」DXへ－

第5章 DXによる日米企業の投資効率の変化

第6章 DXを支える半導体産業における技術覇権競争：
EUV露光機開発を巡るASMLとニコンの戦略分岐点

第7章 DXの進化過程の分析フレームワーク

第8章 ITが変える都会の社会・生活

第1章 デジタル・トランスフォーメーション：国内における定義と事例の再評価

馬場 康志

1.1. はじめに

国内では2020年頃より、「デジタル・トランスフォーメーション」（以下、DXと呼ぶ）という用語が、論文や政府系レポートだけでなく、新聞記事やテレビニュースなどでも聞かれるようになってきている。しかし、その事例として新聞等で紹介される内容を個別に見ると、大手小売業者において独自のアルゴリズムを実装した発注支援システムを導入した例（日本経済新聞, 2021a）や、大手外食業者が配膳ロボットの大量導入により合理化を進めた例（日本経済新聞, 2023a）など、2020年以前にも類似の事例はあり、特に新しい事象だとは考えられないものも含まれている。

こうしたDXの広義解釈による混乱とも考えられる事象が発生する原因のひとつとして、DXの定義の曖昧さがあるのではないかと考える。

そこで本稿では、国内におけるDXの定義についてふり返り、次に主に海外における文献調査の結果を踏まえながら定義について仮説を設定した上で、その定義から見て国内におけるDXの広義解釈がどの程度進行しているかを評価する。

1.2. 国内におけるDXの定義

総務省（2021）は、塩谷・小野（2021）を参照しながら、「現在、世の中で使われているDXの定義は厳密には一致しておらず、使い方も人や場面によってまちまちである」としている。

総務省（2021）によれば、DXという概念の初出は、Stolterman&Croon（2004）の”The digital transformation can be understood as the changes that the digital technology causes or influences in all aspects of human life”であるとしている。

国内におけるDXの定義は、時系列で文献を参照すると、以下のように整理される。

2017年12月14日：IDC Japan（2017）

企業が外部エコシステム（顧客、市場）の破壊的な変化に対応しつつ、内部エコシステム（組織、文化、従業員）の変革を牽引しながら、第3のプラットフォーム（クラウド、モビリティ、ビッグデータ／アナリティクス、ソーシャル技術）を利用して、新しい製品やサービス、新しいビジネスモデルを通して、ネットとリアルの両面での顧客エクスペリエンスの変革を図ることで価値を創造し、競争上の優位性を確立すること（下線は筆者追加）

2018年9月7日：経済産業省（2018a）

上記IDC Japan（2017）の定義を引用

2018 年 12 月：経済産業省（2018b）

企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること

2020 年 7 月 17 日：閣議決定（2020）

Digital Transformation（デジタルトランスフォーメーション、DX）は、将来の成長、競争力強化のために、新たなデジタル技術を活用して新たなビジネスモデルを創出・柔軟に改変すること。企業が外部エコシステム（顧客、市場）の劇的な変化に対応しつつ、内部エコシステム（組織、文化、従業員）の変革を牽引しながら、第 3 のプラットフォーム（クラウド、モビリティ、ビッグデータ／アナリティクス、ソーシャル技術）を利用して、新しい製品やサービス、新しいビジネスモデルを通して、ネットとリアルの両面での顧客エクスペリエンスの変革を図ることで価値を創出し、競争上の優位性を確立すること

（下線は筆者追加）

2020 年 9 月：JETRO（2020）

「デジタルトランスフォーメーション（Digital Transformation : DX）」とは、企業（機関）が変化し続けるビジネス／市場要件を満たすために、デジタル技術を用いて、（既存の）ビジネスプロセス、文化、顧客体験を新たに創造（新たな手法を用いて改善）するプロセスを指す。（中略）DX は従来のビジネス手法を変化させ、場合によっては全く新しい事業を創出する」

（下線は筆者追加）

2022 年 9 月 13 日：経済産業省（2022）

経済産業省（2018b）の定義と同一

以上の定義を時系列で俯瞰すると、「2018 年 9 月 7 日：経済産業省（2018a）」「2020 年 7 月 17 日：閣議決定（2020）」は「2017 年 12 月 14 日：IDC Japan（2017）」を引用または参照しており、「新しい製品やサービス、新しいビジネスモデルを通して」「顧客エクスペリエンスの変革を図ることで価値を創出」としている点で一致している。また、「2020 年 9 月：JETRO（2020）」は、表現は異なるものの「ビジネスプロセス、文化、顧客体験を新たに創造」「全く新しい事業を創出」という内容は、IDC Japan（2017）と類似すると考えられる。

しかし、「2018 年 12 月：経済産業省（2018b）」「2022 年 9 月 13 日：経済産業省（2022）」はこれら定義とは異なり、IDC Japan（2017）では競争優位性をもたらす要因を「顧客エクス

ペリエンスの変革を図ることで価値を創出」としていたものが、「製品やサービス、ビジネスモデルを変革する」ことに加え、企業の「業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革」も含めるかたちに変化している。つまり DX の目的を、顧客価値の創出から企業内の変革も含めたものに変更したことになる。

そして、経済産業省では、この変更後の定義を採用した「デジタルガバナンス・コード 2.0」（経済産業省, 2022）を基本要件として、DX に積極的に取り組んでいる企業を認定する「DX 認定制度」や「DX 銘柄」の選定など、国内企業の DX への取り組みを幅広く促進しようとしている。

このように、企業が取り組むべき DX の目的が、企業内の変革も含むとされたことが、発注支援システムや配膳ロボットの導入など、必ずしも顧客価値の創出につながらない取り組みも、DX の事例として認識されるにいたった原因のひとつとなっている可能性が考えられる。

一方で、JETRO（2020）や総務省（2021）では、DX とは区別されるべき概念として「Digitization」と「Digitalization」があると指摘している。「Digitization」については、JETRO（2020）は「情報をアナログからデジタルに変換するプロセス」とし、「Digitalization」については「既に確立されたビジネス手法をより単純かつ効率的に行うためにデジタル化された情報を活用するプロセス」としている。

この定義から見ると、人間の配膳ノウハウをデジタル化した配膳ロボットは「Digitization」の事例となり、すでにデジタル化されている発注支援システムを独自アルゴリズムで強化する取り組みは「Digitalization」の事例となる。これは、本来 DX とは区別されるべき事例が、日本では概念的に混同されて扱われている可能性を示唆している。

1.3. 海外先行研究による DX 関連概念の整理

1.3.1. Digitization / Digitalization/ Digital Transformation の概念整理

Verhoef et al.（2021）は、主要ジャーナルに掲載された 2000 年から 2018 年に発行された論文のうち、DX の理論的概念を扱った論文から 84 本を選び、Digitization、Digitalization との対比において、DX がどのように定義されているかについて、文献レビューにより明らかにしている。

まず、「Digitization」について、Verhoef et al.（2021）は基本的には「アナログ情報をデジタル情報にエンコードすること」であり、これにより「アナログ・タスクからデジタル・タスクへの変更」が伴い、タスクの費用対効果の改善を指すとしている。事例としては、注文プロセスにおける紙伝票からデジタル・フォームへの変更などが当たるが、それにより新たな価値が生み出されるわけではないとしている。

また、「Digitalization」について Verhoef et al.（2021）は、「IT またはデジタル技術を使用して既存のビジネスプロセスを変更する方法」としている。このプロセスの変更はコスト

削減だけが目的ではなく、例えば顧客と企業がモバイル端末により直接やりとりする手段を IT により新設することで、顧客エクスペリエンスを向上させるなど追加の顧客価値の創出も、プロセス変更の目的に含まれるとしている。

そして、「Digital Transformation」について Verhoef et al. (2021) は、デジタル技術の使用によって、企業の中核となっているビジネスモデルの革新を模索し、実行するものだとしている。既存企業のレガシーを革新し、新たな顧客価値を創出する過程では、既存のビジネスモデルの陳腐化に直面し、様々な矛盾やトレードオフに対処する必要があるとしている。

1.3.2. 企業レベルの DX と産業レベルの破壊 (Disruption)

既存企業が、その中核としてきたビジネスモデルをデジタル技術により革新し、新たな顧客価値の創出に成功した事例は珍しくない。しかし、それが特定の企業の内部変革に止まらず、生み出された新たなビジネスモデルに多くの新規参入者を呼ぶかたちで、新たな業種・産業の創出にまで至ったケースもいくつかある。

例えばデジタルカメラは、写真産業大手の KODAK によって最初期の開発が行われたが、開発の過程では SONY、CASIO、Panasonic など写真産業外部から多くの新規参入があった。さらに、デジタルカメラがスマートフォンに統合され、クラウド・SNS と連携したことで顧客価値は大幅に革新されたが、結果として当初の開発企業がビジネスの中核としていたフィルム・銀塩カメラの製造・販売、現像・焼付け・焼増しサービスなどのプロセスは消失し、KODAK は破綻し旧来の写真産業も破壊されてしまった。

また、Netflix はレンタルビデオ業者として創業したが、家庭用高速ネット回線の普及を受けて、中核のビジネスを郵送による DVD レンタルから映像コンテンツのネット配信に転換した。これにより、実店舗による DVD レンタルをビジネスの中核としていた Blockbuster などのビジネスモデルは破壊され、産業としてのレンタルビデオ業は大幅に縮小し、新たに誕生した映像ストーリーミング産業に、amazon や Disney などが新規参入した。

このように、既存企業がデジタル技術によりビジネスモデルを革新し、新たな顧客価値を創出する DX の過程では、その影響は特定の企業と顧客の範囲を超えて、産業レベルの破壊と創出を引き起こす場合があることに注意が必要である。

Vial (2019) は、282 件の文献レビューを通じて、DX を「デジタル技術が社会および業界レベルで起こっている破壊 (Disruption) の創造と強化において中心的な役割を果たすプロセス」だと説明している。その破壊 (Disruption) の過程では、既存のビジネスモデルに対する参入障壁が下がり、既存企業の持続的な優位性が妨げられ、市場の再定義が可能となるとしている。その事例として、音楽産業が、レコード会社など既存業者による物理的なコンテンツ商品の販売から、新規参入した Apple や Spotify により音楽サブスクリプション・モデルに移行しつつある状況を指摘している。

1.4. 仮説と分析方法

1.4.1. DX の定義と仮説

Verhoef et al. (2021) など先行研究では、デジタル技術によるビジネスプロセスの革新に「Digitization」「Digitalization」「Digital Transformation」の3段階(Phase)があるとしているが、本稿では Vial (2019) の視点も踏まえて第4段階として「Digital Transformation with Disruption」を想定し、以下のように各段階を定義する。

Phase.1: Digitization

価値創造・提供のための一部のプロセスが、デジタル技術により効率化・低コスト化している(アナログ情報のデジタル情報への変換を含む)

Phase.2: Digitalization

価値創造・提供のためのプロセス構造が、デジタル技術により変更され、効率化・低コスト化だけでなく、追加の顧客価値を生み出している

Phase.3: Digital Transformation

デジタル技術により、企業や産業にとって新しいビジネスモデルが開発され、新たな顧客価値が創造されている

Phase.4: Digital Transformation with Disruption

DXにより開発されたビジネスモデルが、当該分野の参入障壁を下げ新規参入を招いて既存の産業を破壊し、新たな産業を創出する可能性がある

Phase.2 までの段階と、Phase.3「Digital Transformation」の主要な違いは、「新しいビジネスモデル」により「新たな顧客価値」が生まれたかにある。ガスマン他(2016)は、ビジネスモデルは下記の4つの軸で構成されるとした。

Who (顧客軸) : 自社の対象顧客はだれか?

What (提供価値軸) : 自社が顧客にもたらす価値はなにか?

How (提供手段軸) : 自社の製品やサービスをどのように提供するか?

Why (収益モデル軸) : なぜ自社が儲かるのか?

そして、ガスマン他(2016)はこれら4軸のうち2軸以上が刷新された場合に、企業の競争優位性をもたらすようなビジネスモデルの革新と見なせるとしている。そこで本稿では、「新しいビジネスモデルにより新たな顧客価値が生まれたか?」について、「その企業の既存の主要なビジネスモデルについて、4軸のうちWhat(提供価値軸)を含む2軸が変更されたか?」と定義する。

こうした定義を踏まえ、仮説としては、国内で「デジタルガバナンス・コード2.0」(経済産業省, 2022)を中心とするDXの定義が広まり、企業が取り組むべきDXの目的として「製品やサービス、ビジネスモデルを変革」するだけでなく、「業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革」も含まれるとされている現状では、上記定義のPhase.1: Digitization、

Phase.2: Digitalization に属するべき事例が、多く DX の事例として扱われるといった混乱が生じている、と仮説を設定する。

1.4.2. 分析方法

分析対象とするデータとしては、日本経済新聞社の連載「DXTREND」を使用する。「DXTREND」は、「企業がデジタルの力で経営を変革するデジタルトランスフォーメーション（DX）が注目されて」いるとした上で、「各界の有力企業の最新の挑戦を紹介」している連載記事（日本経済新聞社, 2020a）で、2020 年 4 月から概ね毎週新規記事（事例）が追加されている。

この「DXTREND」の 2020 年 4 月～2023 年 5 月の期間に掲載された掲載記事 119 本から、「掲載日が月初に最も近い」という観点でサンプル記事を無作為抽出する。ただし、記事内容が人材育成のような間接業務に関わるものや、特定技術が複数社に採用されたといった技術動向に関わるもので、特定企業のビジネス変革に関わるものでない場合は、直近の日付の連載記事に変更する措置をとった。抽出結果は 34 本である。

このように抽出した記事に対して、前述した DX とビジネスモデルに関する定義を適用し、記事が紹介する事例がどの Phase.1～4 のどのフェーズに該当するかを判定した。

1.5. 分析結果と考察

表 2 に 34 件の事例の個別評価結果、表 1 に各 Phase に何件が該当したかの集計を示す。なお、表 1 で「△」とあるのは、一部定義に合致しているが、完全には合致していないと判断したことを示している。その場合、Phase 判定では 1.5、2.5 などと示される。

表 1 に示した通り、34 件中 27 件（約 79%）が Phase.1: Digitization、Phase.2: Digitalization に含まれ、Phase.3: Digital Transformation、Phase.4: Digital Transformation with Disruption に該当すると考えられた事例は、34 件中 7 件であった。

表.1 DX 事例の判定結果
(筆者作成)

Phase判定	件数
Phase.1	16
Phase.1.5	5
Phase.2	5
Phase.2.5	1
Phase.3	0
Phase.3.5	2
Phase.4	5
合計	34

表.2 DX 事例の評価詳細
(筆者作成)

掲載日 (yyyymmdd)	企業名	Phase.1: Digitization	Phase.2: Digitalization	Phase.3: DX	Phase.4: DX with Disruption	ビジネスモデル変更軸				Phase 判定
						Who	What	How	Why	
20200409	ニトリ	○	×	×	×					1
20200514	東電/水道	○	○	○	△	○	○	○	○	3.5
20200604	商船三井	○	△	×	×					1.5
20200702	カインズ	○	×	×	×					1
20200813	コーセー	○	×	×	×					1
20200903	オムロン	○	○	○	△		○	○	○	3.5
20201001	アフラック	○	×	×	×					1
20201105	平安保険	○	○	○	○	○	○	○	○	4
20201203	日本通運	○	△	×	×					1.5
20210114	コメ兵	○	△	×	×					1.5
20210203	TOTO	○	○	×	×					2
20210311	丸井/D2C	○	○	△	×		○		△	2.5
20210415	日本特殊陶業	○	○	○	○		○	○	○	4
20210520	セリア	○	×	×	×					1
20210603	博報堂	○	×	×	×					1
20210701	三菱地所	○	○	○	○	○	○	○	○	4
20211202	ダイセル	○	×	×	×					1
20220106	三菱マテリアル	○	○	×	×					2
20220203	日立物流	○	×	×	×					1
20220303	ファイザー	○	×	×	×					1
20220407	ソニー	○	○	×	×					2
20220512	ナイキ	○	○	○	○	○	○	○	△	4
20220609	スシロー	○	×	×	×					1
20220714	J R 東日本	○	×	×	×					1
20220803	SUMCO	○	×	×	×					1
20220901	日本精工	○	○	×	×					2
20221005	ファミリーマート	○	○	○	○		○	○	○	4
20221103	サントリー	○	×	×	×					1
20221201	昭和電工	○	○	×	×					2
20230105	三菱ケミカル	○	△	×	×					1.5
20230202	第一三共	○	×	×	×					1
20230302	サッポロ	○	△	×	×					1.5
20230420	すかいらーく	○	×	×	×					1
20230511	村田製作所	○	×	×	×					1

表 2 の個別分析では、例えば 2020 年 4 月掲載の事例（日本経済新聞, 2020b）は、小売大手傘下の物流事業会社が新たな物流システムを稼働させ、提携する中小の運送会社との間の紙伝票を廃止し、配達員のスキル情報を共有することで人員配置を最適化し、トラックの輸送効率を向上させたという事例である。システムにブロックチェーン技術を採用したことを大きく取り上げているが、本稿の DX 定義の観点からは、既存の物流を支える業務プロセスの一部がデジタル技術により効率化されたにすぎず、追加の顧客価値や新たなビジネスモデルが生み出されてはいないので、Phase.1: Digitization の事例と見なすことになる。

また、2020 年 5 月掲載の事例（日本経済新聞, 2020c）は、電力会社と自治体水道局が協力し、サービス圏内の各世帯に設置したスマートメーター等の情報から在宅状況をリアルタイムに把握し、宅配業者や近隣店舗に情報提供することで、荷物の再配達や時短営業に活用してもらおうとしているという事例である。電力会社や水道局は、インフラ設備を通じた

(How)、家庭や事業者に対する (Who) 電力や上下水道 (What) の提供を主要なビジネスモデルとしているが、宅配業者や近隣店舗 (Who) に対する在宅情報 (What) の提供という新しいビジネスモデルと顧客提供価値が生み出されており、少なくとも Phase.3: Digital Transformation の事例ではあると判定できる。

しかし、こうした在宅情報については電力会社・水道局の独占となる可能性があり、「在宅情報市場」が形成されたとしても他分野からも新規参入可能かは不透明である。こうした観点から、Phase.4: Digital Transformation with Disruption の判定としては「△」としてある。

今回の分析では、5 件の事例が Phase.4: Digital Transformation with Disruption に該当すると判定している。例えば 2022 年 5 月掲載の事例（日本経済新聞, 2022a）は、米ナイキが非代替性トークン (NFT) 技術によりネット上で所有権を明確にしながら取引可能としたバーチャルスニーカーを開発し、メタバース上で販売を開始した事例である。購買層 (Who) はナイキ・ブランドのファン層で従来と大差ないと考えられるが、商品 (What) がバーチャルスニーカーとなり、販売手段 (How) もメタバース上の直販店で、従来とはビジネスモデルが大きく異なる。また、このビジネスモデルはナイキだけでなく、すでにブランドビジネスを展開している企業も容易に参入可能で、実際イタリアのグッチが参入していると報じられている。

このように、DX により新たなビジネスモデルと顧客価値が創出されただけでなく、生まれた市場の参入障壁も十分低く他業種からも新規参入可能で、新たな産業を創出する可能性も認められる Phase.4: Digital Transformation with Disruption 該当事例も、34 件中 5 件（約 15%）ある。これは無視可能な割合とはいえ、これらの中からのかつてのデジカメや映像・音楽ストリーミングのような巨大な Disruption が発生する可能性も考えられることから、今後も適正な Phase 定義のもとで、新規事例の観察が必要だろう。

また、海外の先行事例と整合させた Phase 定義を適用すれば、サンプリングした事例の約 8 割が DX に該当しないという結果になったことは、DX 定義の広義解釈による混乱が、相当程度に拡大していることを示している。今後、そうした混乱が「DX 認定制度」や「DX 銘柄」指定によりさらに拡大する前に、それら制度の根拠となっている「デジタルガバナンス・コード 2.0」の見直しが必要ではないだろうか。

1.6. おわりに

本稿では、過去には IT による単純な自動化や合理化とされていた事例も、今日では DX の事例とされるような傾向に着目して、海外先行研究を踏まえながら DX を再定義し、その観点から国内の DX 事例をサンプリングし再評価した。その結果、国内で DX として報道されている事例の約 8 割が、本稿の定義では DX 以前の段階と見なせるが、一方では新規産業の創出につながる可能性を持つ DX 事例も、約 15%程度含まれることが判明した。

経済産業省による「DX 認定制度」や「DX 銘柄」指定に見られるような、各企業のデジタル技術活用に対する間接支援も始まっているが、DX の定義見直しにより、日本の国際競

争力の源泉となるような「Digital Transformation with Disruption」を識別することが可能であるならば、そうした事例には従来以上に強力に支援するといった取り組みも、必要になるのではないだろうか。

【参考文献】

Erik Stolterman & Anna Croon Fors (2004) “Information technology and the good life” Information Systems Research Relevant Theory and Informed Practice, pp.687-692.

Gregory Vial (2019) ”Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda.” The Journal of Strategic Information Systems, 28, 118-144.

IDC Japan (2017) 「Japan IT Market 2018 Top 10 Predictions: デジタルネイティブ企業への変革-DX エコノミーにおいてイノベーションを飛躍的に拡大せよ」, IDC Japan プレスリリース, 2017 年 12 月 14 日

JETRO(2020) 「アメリカにおけるデジタルトランスフォーメーション(DX)の現状」 JETRO/IPA New York 『ニューヨークだより』 2020 年 9 月, pp.1-17.

https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/1fb13cf2232a86ac/202009.pdf

(2024/02/28 参照)

Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi, J., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021) “Digital Transformation: A Multidisciplinary Reflection and Research Agenda.” Journal of Business Research, 122, 889-901.

オリバー・ガスマン, カロリン・フランケンバーガー & ミハエラ・チック (2016) 「ビジネスモデルナビゲーター」 翔泳社

閣議決定 (2020) 「世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画の変更について」 令和 2 年 7 月 17 日 閣議決定

<https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12187388/www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200717/siryou1.pdf> (2024/02/28 参照)

経済産業省(2018a) 『DX レポート ～IT システム『2025 年の崖』の克服と DX の本格的な展開～』 2018 年 9 月 7 日.

https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/digital_transformation/20180907_report.html (2024/02/28 参照)

経済産業省(2018b) 『デジタルトランスフォーメーションを推進するためのガイドライン』 2018 年 12 月 12 日.

<https://warp.da.ndl.go.jp/collections/info:ndljp/pid/12166597/www.meti.go.jp/press/2018/12/20181212004/20181212004-1.pdf> (2024/02/28 参照)

経済産業省(2022) 『デジタルガバナンス・コード 2.0』 2022 年 9 月 13 日.

https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/investment/dgc/dgc2.pdf (2024/02/28 参照)

塩谷幸太・小野崎彩子 (2021) 「日本における情報サービス業の変遷と今後の展望—時系

列整理と DX への取り組みを中心に―」 InfoCom Economic Study Discussion Paper Series, No. 17.

総務省 (2021) 「令和 3 年版 情報通信白書」

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd121500.html> (2024/02/28 参照)

日本経済新聞 (2020a) 「企業はデジタルで生まれ変わる DXTREND まとめ読み」

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO62378200W0A800C2I00000/> (2024/02/28 参照)

日本経済新聞 (2020b) 「デジタル物流、ニトリ変身、ブロックチェーンで納期短縮、外部受託、数百億円目指す」 日本経済新聞, 2020 年 04 月 09 日, 朝刊, 12 面

日本経済新聞 (2020c) 「電力+水道データ、生活を可視化、東電、異業種と連携で在宅把握、小売り・物流、効率化へ」 日本経済新聞, 2020 年 05 月 14 日, 朝刊, 12 面

日本経済新聞 (2021a) 「セリア、『100 均』でも高収益、アルゴリズムで売れ筋解析、利益率 10%、ファストリ級」 日本経済新聞, 2021 年 05 月 20 日, 朝刊, 12 面

日本経済新聞 (2022a) 「ナイキ、「デジタル靴」駆ける 仮想空間でもブランド磨く 若い世代とつながり EC も活用、直販率 6 割へ」 日本経済新聞, 2022 年 05 月 12 日, 朝刊, 14 面

日本経済新聞 (2023a) 「すかいら一く、ロボが主役に 1 年半で 3 0 0 0 台導入、配膳データで運営刷新」 日本経済新聞, 2023 年 04 月 20 日, 朝刊, 17 面

第2章 DX事例を理解するための4つの視点

鈴木 潤

1. はじめに

DX (Digital Transformation : デジタル変革) は、デジタル技術によって製品やサービスなどを変革し、新しい価値を生み出すことであると理解されている。しかし、GAFAM などの事例を踏まえると、市場における競争優位を獲得し、社会に大きな変革をもたらし、その変革を持続させる DX イノベーターは、以下のような複数の要件を兼ね備えることが多いことが明らかとなってきた：

BM (Business Model : 新規のビジネスモデル) 要件

社会に変革がもたらされるようなイノベーションは、あらたな技術やアイデアが、既存ビジネス・プロセスの効率化や改善ではなく、新たなビジネスモデルやマネタイズモデルの構築によりもたらされるケースが多い。例えば、初期のAMAZON がもたらしたのは、限られた種類の書籍の店頭販売というビジネスモデルではなく、膨大な種類の書籍の中から欲しい書籍をオンラインで検索し(ワンクリックで)購入することができるという、新たなビジネスモデルのイノベーションであった。また初期の Google がもたらしたのは、検索エンジンの統計処理によって関連性の高い検索結果を上位に表示する技術に基づき、個別利用者の興味を引きやすいパーソナライズ広告を実現することにより、検索行動のマネタイズをもたらししたビジネスモデルのイノベーションであった。

NE (New Entrant : 新規(異業種) 参入) 要件

新規あるいは異業種から(へ)の市場参入による破壊的イノベーション(既存の価値スケールの破壊と潜在的な需要の articulation)は、デジタル技術が注目されるようになる前からよく知られた現象である。既存の大企業は、豊富な経営資源や研究開発能力を有してはいるが、現在抱えている大口顧客からの需要を漸進的なイノベーションにより満足させるという至上命題に束縛され、既存ビジネスを毀損するような製品やサービスの開発に参入することはできない。そのため、そのようなイノベーションは、新規参入者あるいは異業種からの参入者によって、まず市場の辺縁部でのニッチな製品・サービスによってもたらされるとされている。

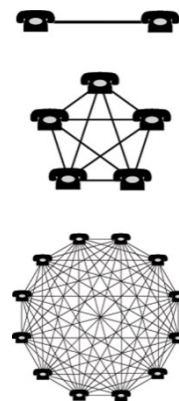
PF (Platform : プラットフォーム) 要件

デジタル技術による社会変革に様々な分野で関与しているのは、いわゆるプラットフォームと呼ばれる新興企業群である。プラットフォームは、需要サイド(例えばPCユーザー)と供給サイド(例えばアプリケーション開発者)の要求を

マッチさせるためのインタフェース（例えば PC の OS）を標準化し、オープン化することによって、誰でもが需要と供給に参加することができる環境を構築する。この結果、需要増と供給増の 2-sided (multi-sided) network effect（コラム参照）による急速な市場拡大が生じ、先行プラットフォームによる市場独占が成立しやすい。デジタル技術領域におけるインタフェースの標準化は例に示したようにインターネット普及以前にも広がっていたが、インターネットとその上で提供されるサービスの出現によって供給コストが低下し利用者が爆発的に増加したため、ネットワーク効果がさらに顕著となった。

コラム：「ネットワーク効果」とは

- ある財やサービスの**利用者の数**が増えると、各利用者の**便益**が影響を受ける効果
 - 例) 電話は加入者が 1 人の時は何の役にも立たないが、加入者が複数になるとコミュニケーション可能な相手が加入者数と共に増え、加入者の便益が増加する
 - ただし、利用者が増えすぎると「輻輳」のような、ネガティブな効果が現れる場合もある
- Two-sided network effects もしくは「2 面市場」(ほぼ間接 NW 効果と同じ):
 - ある財のユーザーが増えるとその財と補完的な財を提供する者に便益がおよび、その補完財の供給が増加する。その結果、もとの財の便益がさらに増加する
 - 例) Android OS を採用するスマートフォンが増えるとアプリの開発者が Android 向けのアプリを積極的に開発する; その結果、Android で利用可能なアプリが増え、さらに利用者を引き付ける



BD（Big data の構築と利用）要件

DX イノベーター、特にオンランサービスの提供者の多くは、早期から利用者の属性や利用パターンに関する Big data を蓄積し、データに基づく学習とサービスの最適化を行うことで、先行者利益の最大化と参入障壁の構築を実現してきた。さらに最近では、AI による学習を行わせるための情報ソースとして、オンラインで収集した Big data の重要性が増しつつある。

本稿では、日経 DX Trend から主に「BM 要件：新規のビジネスモデル」をクリアしている 3 つのケースを取り上げ、残りの要件を備えているのか、あるいは備えるために何が必要であるのかの考察を加える。これにより、日本における DX のプレイヤーの行動や戦略を理解し、社会の変容につなげていくための道筋を考察する。

2. 日経 DX Trend のケーススタディ

(1) ファミリーマートによる購買履歴からの与信事業 (2022 年 10 月 5 日記事)

概要

ファミリーマートはデジタル技術を活用した金融サービスに乗り出す。独自決済アプリ「ファミペイ」を通じて得た顧客の購買データを分析し、信用力を判定。24 時間借り入れ可能なローンを提供する。

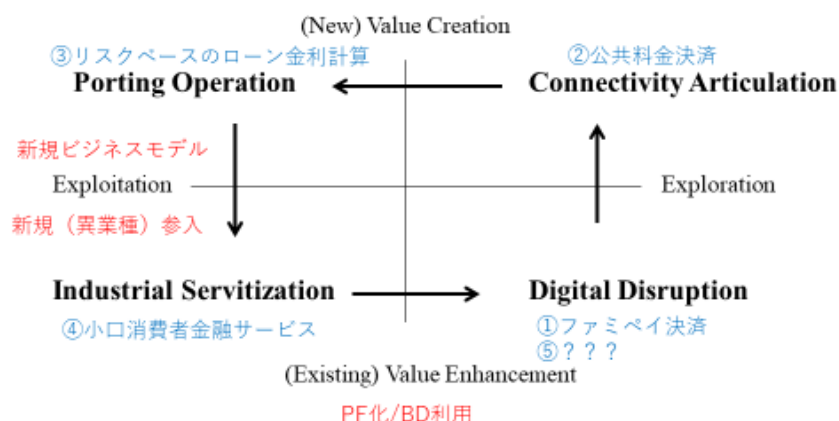
同社は将来的に非物販の営業収益だけで、現在の営業収益 (22 年 2 月期で 4514 億円) に匹敵する額を稼ぐ目標を掲げる。

「平均 1 万円の公共料金を期限までに払えない人は一定数存在する」(ファミマ)。クレジットカードで想定以上にお金を使ってしまった人や、アルバイト代が予定よりも少なかったりして一時的に手元にお金がない学生などが該当する。

最低利率 0.8% は与信の精度に対する自信の表れだ。スマホを通じたローンで競合する LINE の「LINE ポケットマネー」やメルカリの「メルペイスマートマネー」の 3% より低い。

この事例は、児玉の「DX のサイクル論」から見ると以下のように解釈される (図 1) :

図 1 : Digital Transformation のサイクル論
ファミペイのケース



- ① スタートは、コンビニエンスストアにおける現金決済をファミペイ決済に置き換えるという digital disruption を実現した時点である。これにより、個人の購買履歴というデータの蓄積が可能となった
- ② さらに、決済の対象をそれまでの店頭商品から公共料金という新たな商品 (サービ

ス) にまで拡張する exploration を行い、個人の公共料金の支払い履歴というデータの構築が可能であることを示した (connectivity articulation)

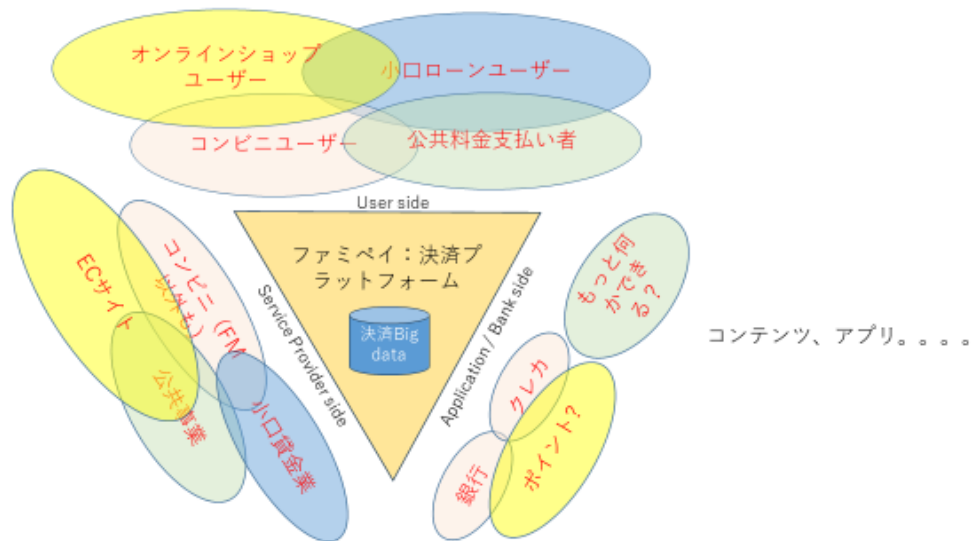
- ③ 公共料金の支払い履歴から公共料金滞納リスクを抽出するという porting operation によって、個人の返済能力情報という新たな value を生み出した
- ④ 個人の返済能力情報を金融サービスへと exploitation し、小口の消費者金融サービスに参入した

ファミペイは決済プラットフォームそのものである (図 2)。あくまでもファミリーマートというクローズドなコンビニ決済のデジタル化によって物販の DX は実現しているが、「公共料金の決済代行」という新たなキャッシュフローのデータを得たことによって、物販以外へ進出しているところが興味深い。小口ローン的一种である「ファミペイ翌月払い (2021 年 9 月 7 日より開始)」は既に開始しており、この事業はその延長上に位置づけられるが、コンビニでの支払いではなくキャッシュそのものを引き出せるところが新しい value である。個人の支払い能力を推定するためには、当然、Big Data の AI 学習を利用しているものと考えられる。

スマートホンのみで借入れや返済ができるローン (小口の消費者金融) として競合は多いが、ファミペイの膨大な購買記録や公共料金支払い記録を上手く活かせれば、低金利で競争力のあるサービスとなる。ただし、先行する消費者金融系のアプリでは、最短数 10 分で借入れが可能なものも多く、金融サービスとしてはこのあたりが今後の課題かもしれない。

一方で、「物販の決済」と「公共料金の決済」のデータの相乗作用をどのようにして得るのが、あまり明確でない。また、プラットフォームを拡大するための NW 効果をどのようにインプリメントするのか、競争力のある戦略が見えない。ファミペイ決済そのものの利用可能店舗の拡大には積極的に取り組んでいるようであるが、その面では先行する Paypay や Nanaco などの後塵を拝している。

図2：ファミペイのMulti-sided network effect のプラットフォーム



(2) MS&AD インシュアランスによる事故リスク予想事業 (2022 年 8 月 17 日記事)

概要

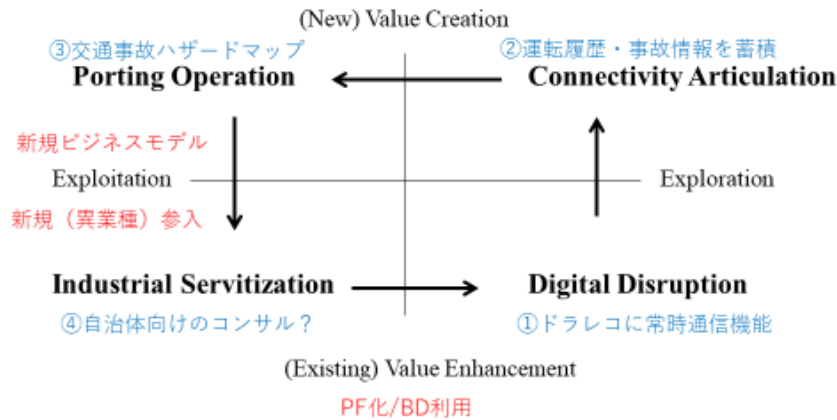
MS&AD インシュアランスグループは、自動車保険の契約者に貸し出すドライブレコーダーから得た 7 億件の走行データを人工知能 (AI) で分析する。その結果、道路ごとの危険度マップを作成し、自治体 (想定する顧客) の事故防止に役立てる。

同社がビジネスモデル転換の中心に据えるのが防災関連などのデジタル事業。デジタル関連の売上高は 2021 年度に 65 億円だったが、2025 年度までにグループ全体で 300 億円、中期的には 1000 億円を目指す。2022 年度からはグループ各社が手がけるデジタルサービスを、インターリスク総研を中核にして相乗効果を出す体制に改めた。

海外ではオンライン診療などを手掛ける中国平安保険など、保険 (インシュアランス) とテクノロジーを融合した「インシュアテック」に注力する企業が増えている。MS&AD もデジタルを活用して、既存の保険業の概念をどこまで打ち壊せるかが問われている。

この事例は、児玉の「DX のサイクル論」から見ると以下のように解釈される (図 3)：

図3：Digital Transformationのサイクル論
MS&ADインシュアランスのケース



- ① スタートは、GPS と常時通信機能を有するドライブレコーダーを自動車保険の契約者に貸し出すサービス（digital disruption）を開始した時点である。これによりリアルタイムで事故状況を把握し、迅速なサポートを行うことが可能となった。また、個人の運転履歴と事故履歴というデータの蓄積が可能となった
- ② 通信機能による事故時のサポートのみならず、データをセンターに吸い上げ事故履歴と運転履歴を地理情報や気象情報とリンクさせる exploration を行った（connectivity articulation）
- ③ 事故発生確率の高い場所と状況の特定が可能となったことから porting operation によって、交通事故ハザードマップという新たな value を生み出した
- ④ 交通事故ハザードマップを自治体向けのコンサルという新たなサービスに活用する予定

三井住友海上は、既に 2019 年から以下のように保険契約者にドライブレコーダーを月単位で貸し出すビジネスを手掛けており、2022 年 6 月時点で契約者数は 40 万人を超えている。

- ・ ドラレコ特約：月額 850 円（GK 見守るクルマの保健・プレミアム ドラレコ型）
- ・ 事故が起きるとその事故状況が映像・音声記録、位置情報とともに事故受付センターに自動送信される
- ・ 事故受付センターは画像を AI 解析し、救急車の手配や警察への連絡を迅速に行う
- ・ 事故が起きて混乱している状況でも、保険会社が臨機応変に対応してくれる

日経 DX Trend のケースは、契約者のドラレコから集めた事故データをハザードマップ

として、自治体に販売したりコンサルティングに利用したりするというビジネスモデルであるとしている。しかし、警察庁が作成して無償公開している全国版の交通事故ハザードマップが既に存在する：

https://pro.ms-ins.com/ristech/tableau/map_kyusyu_2021.html

このような状況下で、追加的コストを払って MS&AD の情報を利用したい自治体が本当に存在するのかは疑問である。

通信型ドラレコを自動車保険の特約として貸し出して、保険商品の競争力を強化するというビジネスモデル自体は良いアイデアであった。しかし、特に特許化などの権利保護はされていないようで、損保各社は既に同様の商品をほぼ同じ価格で提供している。この種の特約を取り入れたのは MS&AD が最初なのかどうかは明らかでないが、ビジネスモデル特許などで保護されていないアイデアであれば、先行者利益を守るためには、素早く大量のデータを蓄積し、AI 学習によって個人の交通事故リスクを判別し、低リスク契約者にはより安価もしくは無料でサービスを提供するなどの戦略を採用する必要があるのではないか。

ドライブレコーダーから収集した映像データを大規模に蓄積し、利用者に提供するプラットフォーム・サービスとしては、NTT コミュニケーションズが「モビスキャ」の名称で 2024 年度から提供を開始することを発表している：

<https://www.ntt.com/about-us/press-releases/news/article/2024/0112.html>

こちらは、交通事故情報に特化したものではないが、複数の特許化技術を組み合わせてオープンなプラットフォームを構築し、データ活用パートナーを広く募集しており、パートナーが求める映像データの収集と活用を実現する計画で今後の展開が注目される。

（３） ANA による「旅のメタバース」事業（2022 年 5 月 18 日記事）

概要

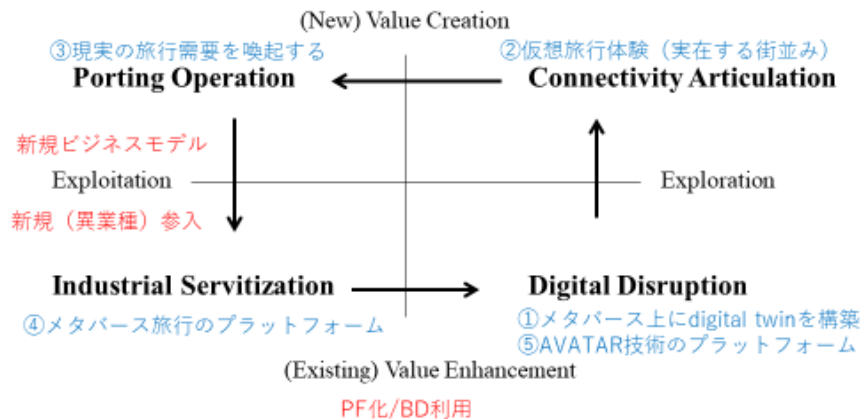
ANA ホールディングスは、メタバース（仮想空間）内で実在する街並みを再現し、分身を操作して散策や特産品の買い物を楽しめるサービスを 2022 年度にも始める。

新型コロナウイルス禍で航空産業は消費者との接点が激減した。日常的に「旅」に触れる機会をつくってコロナ前以上につながりを強め、現実の旅行需要も喚起する。メタバースで日常的に「旅」に触れてもらい、非日常のリアルの旅への意欲を高める狙いがある。

メタバース内の EC モールは「ご当地感」を重視する。ANA ホールディングスは 21 年に地域創生を担う子会社をつくり、全国 33 カ所に約 120 人を配置して特産品の販路開拓などを支援している。こうしたネットワークで地域の名店を誘致する。メタバースの運営会社である ANA NEO 株式会社は、地銀や信金から総額 45 億円を調達しており、地元企業との橋渡し役も期待されている。

この事例は、児玉の「DX のサイクル論」から見ると以下のように解釈される（図 4）：

**図4：Digital Transformationのサイクル論
ANAのケース**



- ① スタートは仮想空間内に、実在する街並みを正確に再現した仮想街並み（digital twin）を構築した時点である。
- ② 仮想空間内では瞬時の移動が可能であり「輸送」はビジネスとして成立しないが、「旅の体験」プロセスそのものを事業として提供する exploration を行い、現実の旅行をシミュレーションすることが可能となった（connectivity articulation）
- ③ メタバース内での旅行シミュレーションによって実在する街並みの魅力や楽しみ方を発信し、現実世界での旅行需要を喚起する porting operation によって、本業の航空輸送事業へのフィードバックを得るという value を生み出す
- ④ プラットフォーマーとして、メタバース内に構築した街並みに店舗（オンライン店舗）を誘致したり、メタバース内での金融決済事業を仲介したり、メタバース内の保険事業をアライアンス企業と試験提供したりなどの協業を広げていく構想

ANA NEO 社は、2023 年 12 月に「ANA GranWhale」という名称でバーチャル旅行を楽しむためのスマートフォン向けプラットフォーム・アプリの提供を開始した。2024 年 4 月時点で ANA GranWhale の利用自体は無料であるが、アプリ内の課金（キャラクターを変更したり着せ替えをしたりなど）は存在する。当初のバーチャル旅行先としては、京都や、愛媛しまなみ海道、シドニー、神津島などが登録されている。

一方、ANA グループは ANA NEO とは別の子会社 Avatarin 社を通じて、2018～2022 年に米国の X Prize Foundation の The ANA Avatar Xprize の企画と提供を行った。Avatarin

創業者の深堀昂はもともと ANA の社員であったが、ANA のビジネスを航空運輸から“モビリティ・ビジネス”へと再定義し、ユーザーが瞬時の移動を体験することができる AVATAR 技術（自身の分身となるロボット「AVATAR」（アバター）を遠隔操作し、感覚や意識、操作を瞬間移動させる技術：tele-existence の一種）の開発を進めている。この AVATAR 技術は内閣府の「ムーンショット型研究開発事業」のテーマにも採択され、深堀らの起業ケースはハーバード・ビジネス・スクールの教材にも採用されている。

前述の GranWhale は、スマホの小さな画面で仮想空間上に構築されたデジタル・コンテンツを見たり、他の参加者とコミュニケーションするのみであったが、AVATAR 技術は遠隔操作できるロボットを通じて、現実の街並みの中を探索したり、そこにいる人たちとリアルタイムでコミュニケーションしたりすることができる。Avatarin 社は newme（ニューミー）という名称で遠隔操作ロボットを 2020 年から試験的に運用しており、遠隔観光や案内、医療、教育、展示会などでの実績を蓄積しつつある（図 5）。

図 5：高齢者施設における AVATAR 実証実験の様子



https://about.avatarin.com/biz/areasolution/area/miyazaki/#miyazaki_6419

Avatarin 社資料より

ANA の事例は、日経の記事にあるメタバース上の digital twin 観光がゴールではなく、AVATAR 技術による社会変革をメインターゲットとしていると見るべきであろう。今後さらに、遠隔操作ロボットに搭載されるセンサーや利用者側のアクチュエーターが進化していけば、デジタルとリアル両方を包含する旅行や暮らしの体験をユーザーに提供することが可能となり、大きな社会変容へとつながっていく可能性がある。

3. まとめ

ファミマのケースや MS&AD のケースでは、digital disruption から得られる利益の専有可能性が低い、もしくは全くない。電子決済は多くのシステムが乱立しているし、公共料金の決済も 1 社が独占できるものではない。通信機能を持つドライブレコーダーは、ドライレコのメーカーというサプライヤーが提供するイノベーションであり、1 社の保険会社が独占できるものではない。そのため、いずれも他社に対する競争優位を確立することがで

きず、スケールアウトも達成できていない。一方、ANA のケースでは、遠隔操作ロボット (AVATAR) や、独自の通信プロトコルとハード・ソフトウェアを組み合わせた AVATAR CORE と呼ぶ技術の開発を進めており、この分野における競争優位の確立を視野に入れている。

日経 DX Trend に取り上げられた記事を俯瞰してみると、全般的にデジタル化による新たなビジネスモデルの構築までを視野に入れているものは、あまり多くない印象である。本稿で取り上げた 3 つの事例は、少ないながらも新たなビジネスモデルと異業種参入を限定的に実現しつつある例である。ただし、ネットワーク効果を通じてプラットフォーマーとして急速に成長する段階や、big data を構築して AI 学習による競争優位性を獲得する段階には、いずれのケースも至ってはいない。DX の X (transformation) を「社会変容」と解釈するならば、それを実現するためには多かれ少なかれスケールアップが必要である。残念ながら、日本の企業は多くがその段階で障害に直面しているのではないか。

加納 信吾

3.1 DXの定義と医薬品産業

製薬産業のような研究開発費が売上の2割を超えるような研究開発に傾注する業種においては、デジタル化は、まずは研究開発部門において取り組まれてきた。例えば、研究における人工知能の導入は、その1例である。一方で、デジタル化がプロセス間にまたがり、従来のビジネスモデルとは一線を画する影響を及ぼすようなケースも発生してきている。これは、ビジネスモデルの変更が起こりにくいと言われる製薬産業においても発生してきている。本章では、日経DX記事の中から、両者の事例をとりあげながら、後者のような事例が今後どのように発生してくるのかを検討しておきたい。まずは、デジタル化の定義について、Faraboshi (2023)の定義に則して、製薬産業においても、同様に定義できるかについて、整理するところから始める。

Step.1: Digitization は、「価値創造・提供のための一部のプロセスが、ITにより効率化・低コスト化を実現する（アナログ情報のデジタル情報への変換を含む）」とされているが、医薬品産業のバリューチェーンのうち、創薬研究、臨床開発、薬事申請、製造、販売といった個別のプロセスにおけるデジタル化による効率の改善やコスト削減を目的としたものである（図4-1：プロセス内デジタル化）。

紙ベースで管理していた実験ノートなどの研究記録をデジタル化し、研究データの活用方法を改善したり、臨床試験のデータ管理をデジタル化により効率化しコスト低減につなげるといったケースが該当している。販売面においては、営業データのデジタル化により営業活動の効率化によるコスト削減なども含まれる。

Step.2: Digitalization は、「価値創造・提供のためのプロセス構造が、ITにより変更され、効率化・低コスト化だけでなく、追加の顧客価値を生み出している」とされているが、ビジネスモデルには変更がないものの、従来手法では実現しなかった価値を発生させている状態と解することができる（図4-1：プロセス内デジタル化）。

創薬手法がデジタル化により改善する例としては、化合物の毒性データをビッグデータと機械学習により高い精度で予測したり、タンパク質の立体構造予測とドッキングの評価をデジタル化することで、化合物スクリーニングをバーチャル化し、化合物を合成する数を減らすといったアプローチが典型例である。しかしながら、これらの改善や変革は、医薬品産業におけるバリューチェーンやビジネスモデルの変更までは抱合していない。

Step.3: Digital Transformation は、「ITにより、企業や産業にとって新しいビジネスモデルが開発され、新たな顧客価値が創造されている」とされているが、医薬品企業が従来とっていた行動原理とは一線を画する新たな価値を医療を提供する医師・病院や最終顧客

である患者に対して提供していくものであり、産業のバリューチェーンの変更を試みるアプローチである。新しいビジネスモデルは、ステークホルダーにも行動変容を求めるものであり、産業そのものの定義を変更しかねない側面を内包するものを想定している。

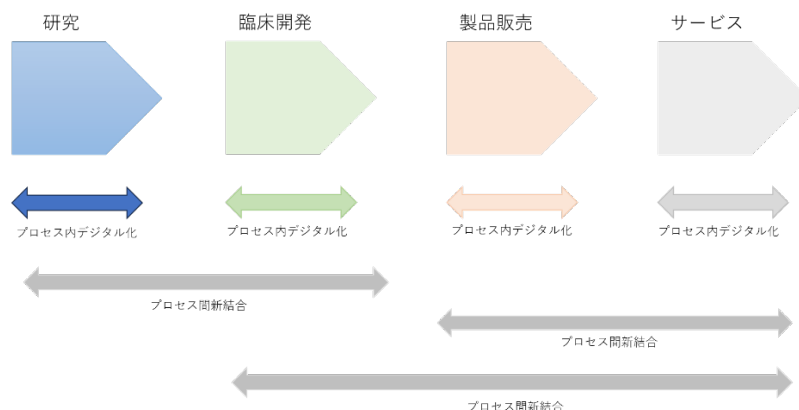


図 3-1 プロセス内デジタル化とプロセス間結合

出所) 加納作成

こうした Step1 から Step3 に該当する事例について例示しつつ、一般化を試みることにする。

3.2 Step.1: Digitization

プロセス内デジタル化について、研究、臨床開発段階に該当するものを例示する。これらの事例は、研究データや治験データをデジタル化することにより、効率化やAI 利用を可能にし、そのプロセスを改善・効率化することを意図している。

<研究のデジタル化・AI 化>

◆**第一三共／データ駆動創薬**：「データ駆動型創薬」の専門チームを 2019 年に設置し、低分子医薬の研究において、化合物のビックデータの基盤を構築し、構造活性相関のデータ整理の自動化を行い、毒性・薬効の比較表の作成が 20 倍、構造活性相関の解析を 3 倍、特許調査のスピードを 10 倍に早めたとしている。また、創薬ターゲットに対するヒット化合物の選定において、活性、溶解性、毒性など 10 項目程度を学習させて、より可能性の高いヒット化合物を AI に提案させている。数値の根拠は開示されていないが、20%の研究効率を向上させたとしており、将来的には化合物合成の自動化や抗体・中分子への適用を含めて 40%の効率改善を目指している。

◆**コーセー／官能データ高速処理**：量子コンピューター向けのソフトウェア開発企業 blueqat と提携し、高速計算による AI の利用を試みている。従来は化粧品原料を研究者が経験と勘で調合してきた。「雪肌精」では、センブクカ、トウキ、ハトムギなど 39 成分を調合しているが、原料に対する官能評価を数値化してデータ化すると同時に、創業以来の 10

万例以上の調合処方をデータ化し、原料の組合せと官能効果の学習データを構築した上で、人間の発想では生まれてこない処方を AI に提案させる試みを行っている。望む官能効果に対して従来の発想では出てこない処方を AI により生み出している。例えば、競合企業の人気クリームに類似の官能効果を出す処方を提案させた場合、ある成分を従来の 10 倍添加するなど研究者の常識では生まれてこない調合が提案させることに成功している。

＜臨床開発のデジタル化＞

◆**アストラゼネカ／治験支援アプリによるリモート治験**：通院や入院の必要性を減少させ、「分散型臨床試験」を呼ばれるが、在宅で測定できる項目に限りがあることから、ハイブリッド型が主流となっている。アストラゼネカは、臨床試験において病院での検査が必要な検査項目のうち、在宅でも実施できるモニタリング項目（体温、血圧、酸素飽和濃度、血糖値）についてデータ収集を支援するスマホアプリ「ユニファイ」を独自開発している。必要なデータの 7 割を遠隔で収集することを可能とし、治験全体で通院頻度を最大で 4 割削減することにより、新薬開発コストの 6 割～8 割を占める治験のコスト削減を目指している

3.3 Step2: Digitalization

Digitalization が Digitization と異なるのは、「価値創造・提供のためのプロセス構造が、IT により変更され、効率化・低コスト化だけでなく、追加の顧客価値を生み出している」という点にある。以下の 3 例は、健康状態の計測結果を行動変容に結び付けることで、追加の顧客価値を生み出そうとする例であるが、事業としての収益化には課題が残る。

◆**帝人／睡眠支援「スリープコンシェルジュ」**：帝人は、マスクのように装着し、睡眠時無呼吸症候群を治療する医療機器「CPAP」で国内一位であり、睡眠についての知見と医師とのネットワークを保有している。この領域での知識を活用し、枕の下に置く帯状のセンサー「スリープコンシェルジュ」（19800 円税別）を開発・販売している。圧力がかかった場所・時間・強さを基に、心拍数、呼吸数、入眠と起床の時間、睡眠の深さ、中途覚醒、寝返りから睡眠の質をスコア化している。このデータに、食事・運動・体重変化を記録するスマホアプリの開発企業であるフィンクデクノロジーズ社と提携し、これらのデータを結合することで、健康状態をモニタリングするだけでなく、より良い状態に導くための行動変容を促すスマホアプリをサービスの提供を目指している。

◆**テルモ／AI 活用人工すい臓**：テルモは、上腕に貼り極細の針で 5 分毎に測定する自動血糖値測定器、食事や運動情報から最適な投与インスリン量を AI で算出するスマホアプリ、自動でインシュリン投与するインスリンポンプを組み合わせた自動インスリン投与システムの開発に着手している。テルモは、点滴の輸液ポンプや注射針の技術を活用しインスリンポンプを自社開発し、腕に貼る血糖測定器は米デクスコム、データ解析のアルゴリズムは仏ダイアベルーブと提携している。企業側ではコントロールできないが、自動化に対してどの程度の薬価が加算されるかが収益化のカギを握っている。

◆**アステラス／糖尿病向け運動プログラム**：アステラスは、医療用医薬品を製造・販売する

製薬企業の従来のビジネスとは全く異なる、「行動科学的」アプローチによる生活習慣病（主に糖尿病）の予防医療におけるサービス開発に取り組んでいる。バンダイナムコエンターテインメントを共同で、ウェアラブル端末を用いて、腕や脚の可動域、体の重心、歩行時の姿勢を測定し、個人に合った負荷をかけながらゲームによる運動プログラムを提供することを目指している。

3.4 Step3: Digital Transformation

Digital Transformation は「IT により、企業や産業にとって新しいビジネスモデルが開発され、新たな顧客価値が創造されている」と定義されているが、こうした事例の分析においては、旧来のビジネスモデルと新しいビジネスモデル(Transformation)が対比されて説明される必要がある。以下、3 例について、新旧の違いを明らかにしながら、説明していく。

◆味の素／アミノインデックス：従来の医療サービスを拡張し、健康管理に拡大したもの。

従来のサービス：アミノインデックスは、血液中のアミノ酸濃度バランスから、がん（肺がん、胃がん、すい臓がん、大腸がん、前立腺がん、乳がん、子宮がん）、生活習慣病（脳卒中・心筋梗塞、糖尿病、認知機能低下）の疾病リスクを1回の採血で評価し、その結果に基づき生活習慣に起因する疾病の発見や予防の機会創出をサポートし、健康寿命の延伸に貢献するサービスである。これまでアミノインデックスは、全国約1500の医療機関が採用し、利用者数は年間数万人規模で、医療機関からの送られてくる血液サンプルのアミノ酸濃度バランスの分析結果を医療機関に報告し、医師が病院内で指導することに留まっていた。

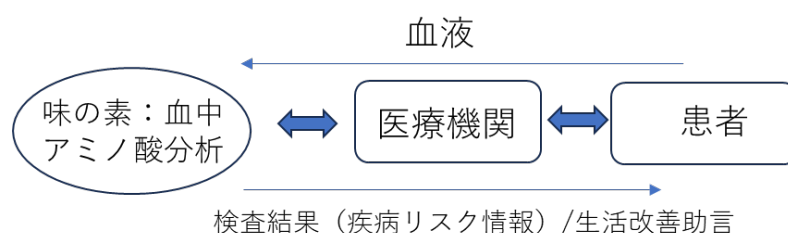


図3-2 当初のアミノインデックスにおけるビジネスモデル

出所）加納作成

変更後のビジネスモデル：これに対して、スマホアプリ「amino ステップ」を開発し、検査結果を取り込めるようにするだけでなく、万歩計による運動の記録、食事・睡眠の記録を入力することで、食事・運動・睡眠に関する改善プログラムを提案すると同時に専門医から食事や運動など生活改善のための助言を受けられるようにした。スマホのアプリを介して、患者にとっては、病院から結果を受け取るだけであったのが、追加の生活情報を入力することで検査後の生活指導が受けられるようになった。一方、専門医にとっては検査だけでなく、

検査後のフォローができるようになった他（専門医がこれに対応することによりどのような報酬が得られるかは未確認）、味の素にとってはこれまで検査受診者との接点を持つことはできなかったが、任意ではあるものの、検査結果登録により検査受診者との接点が生まれることで、顧客の囲い込みツールとして機能し、「AJINOMOTO ID」による個人情報を使って、消費者・患者の amino イデックスによる検査データを収集・蓄積して解析できるようになるだけでなく、「味の素ダイレクト」のサービス名で、サプリメント、スキンケア製品、食品の直販ルートを確保すると同時に、「味の素パーク」、「未来献立」などのサービス名で料理レシピ情報を提供したりできる情報プラットフォームが成立することが期待される。味の素は、年間検査数 10 万人規模の目標を掲げ、味の素の事業を「食と健康の課題解決」と再定義して変革を進め、顧客との接点構築を図り、顧客データを商品開発に生かすと同時に販売チャネルとしても活用している。

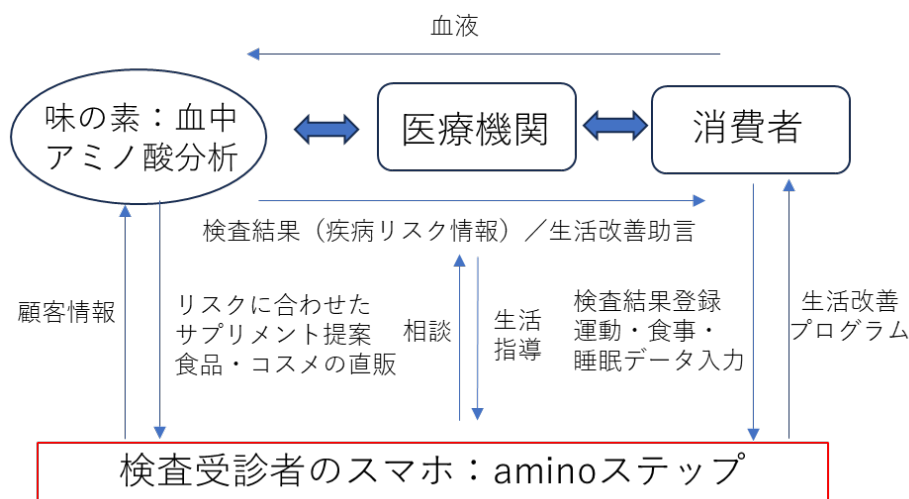


図 3-3 amino ステップ導入後のビジネスモデル

出所）加納作成

◆花王／アットコスメ：パーソナライズド化粧品実現のための科学的プラットフォーム。

従来のサービス：株式会社アイスタイルが運営する化粧品の日本最大の口コミサイト「@cosme」は、月間ユニークユーザーは 1790 人万人、会員数 940 万人、36 万点の掲載商品を擁する (2024/3) 美容プラットフォームであり、美容ポータルサイトとして、BtoB サービスとして化粧品を中心にマーケティング支援を行うメディアとして機能する（売上の 15%）他、EC と店舗により化粧品の小売り（リテール）（売上の 70%）を実施している。

変更後のビジネスモデル：株式会社アイスタイルと花王が幹事会社となり「RNA 共創コンソーシアム」（この他の参加企業は、株式会社コーセー、株式会社マツキヨココカラ&カンパニー、キリンホールディングス株式会社、パーフェクト株式会社、株式会社ヘルスケアシステムズ）を編成し、花王の解析技術「皮脂 RNA モニタリング」を用いて、@cosme 会員（初

期目標は 1 万人) から提供された皮脂 RNA や画像情報を花王が分析し肌タイプを特定し、それに適した商品の選択を支援する研究を開始している。

「皮脂 RNA モニタリング」は、あぶらとりフィルムで顔の皮脂を採取し、その皮脂から RNA を抽出して網羅的に分析する花王独自の解析技術である。DNA が、その人固有の一生変化しない情報であるのに対し、RNA は、体調や食生活、運動、ストレス、紫外線といった環境要因によって日々変化するため、その時々肌の状態を知るのに有用と考えられている。花王は、2019 年 1~2 月に 20~59 歳の女性 105 名から採取した皮脂 RNA から約 2,300 種の RNA 発現情報をもとに、階層クラスタリング解析を実施し、RNA 発現の類似度に基づいた 2 クラスタが存在することが確認している。グループ 1 で高発現するのは「免疫応答」などの皮膚免疫機能を担う遺伝子、グループ 2 で高発現するのは「角化」などの皮膚バリア機能を担う遺伝子であり、これら 2 グループは年齢の偏りが認められず、本人が申告した肌質（脂性肌・乾燥肌・混合肌・普通肌）とも関連のない、独立した指標であることが統計的にも有意にわかっており、皮脂 RNA モニタリング技術を活用し肌を客観的に理解する“肌の分類指標”を、製品開発や製品評価に利用できる可能性がある。2019 年 11 月には Preferred Networks(PFN)と提携し、花王の皮脂 RNA モニタリング技術で得られた情報に PFN の機械学習・深層学習技術を用いて、高度な予測アルゴリズムを開発し、これまでの肌測定・解析技術では把握できなかった肌内部の状態を知ることや、将来の肌ダメージのリスク評価が可能にし、さらに遺伝情報をもとにパーソナライズされた美容アドバイスやスキンケアを提供することで、肌状態の改善・予防への道を拓くとしている（花王 2019 年 11 月 20 日プレスリリース）。

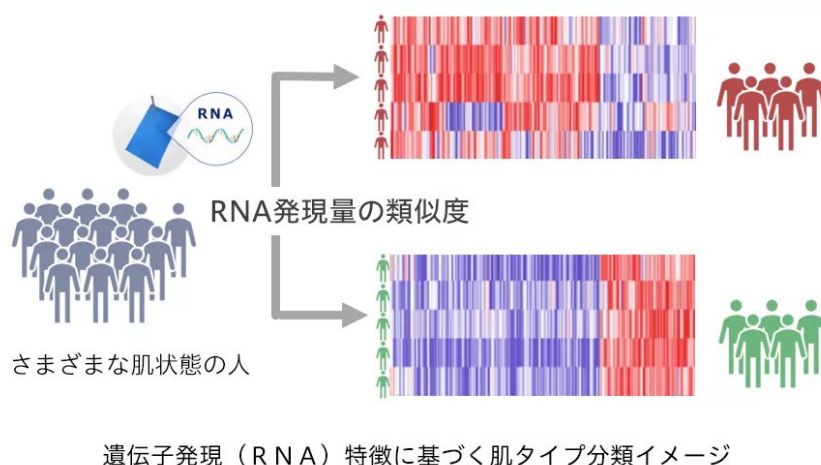


図 3-4 RNA 分析による肌タイプ分類（花王プレスリリース 2024. 2. 29 より）

肌の分類指標を利用し、その RNA データと医薬品や化粧品の適合性を評価したデータを蓄積していくことにより、現在の 2 分類からより詳細な分類と製品の適合性皮膚の個別化医療や個別化粧品の製品開発を可能とすることで、新しい皮膚科学と免疫科学の融合領

域のヘルスケア・プラットフォームが出現する。

将来的には、@cosme の会員に対して、皮脂 RNA の解析サービスメニューが提供され、個々の消費者に対する各種製品の適合性が、口コミによる評価と科学的適合性評価の両面から評価されて商品が推奨されていく新たなビジネスモデルが出現することが期待されており、@cosme のグローバル展開は、現段階では台湾、香港に限定されているが、科学的評価をベースとした個別化粧化粧品を展開することにより、欧米市場への展開も視野に入ってくる。

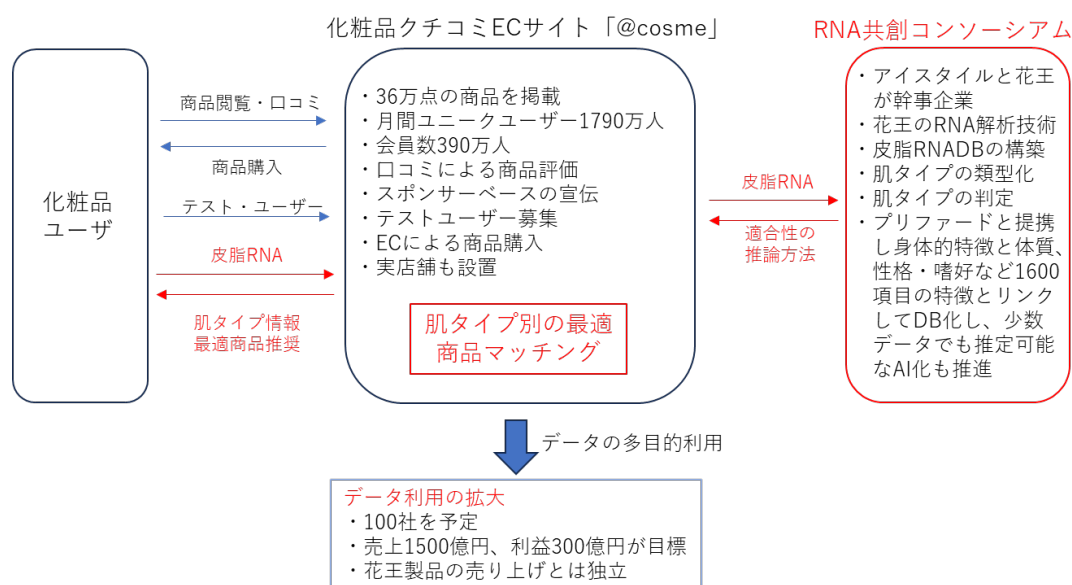


図3-4 パーソナライズ化粧品実現のためのプラットフォーム
出所) 加納作成

◆中国平安保険：オンライン診療アプリのデータプラットフォーム化と創薬研究の融合

中国の保険ビジネス最大手の中国平安保険の中核事業は、保険や銀行などの金融サービスで、1億人の保険サービスの顧客を持つ。近年はビッグデータやAIといったテクノロジーをベースに、2015年には保険の顧客だけでなく一般向けに、オンライン診療アプリ「平安好医生（平安グッドドクター）」をリリースしている。同アプリは3億4600万人（2023年）のユーザーを抱える中国最大のモバイルヘルスアプリで、提携医療機関2万カ所で、AIによるチャットでの問診後、症状を基に、1万人以上の候補から適した医師をAIが提示する。患者は他の利用者のレビューなどを参考に医師を選び、オンラインで診断を受ける。処方箋はネット経由で受け取り、中国全土の11万カ所の提携薬局で薬を購入できるようになっていることが特徴である。中国平安はグッドドクターを通じて、健康関連の膨大なデータを収集することが可能で、個々の利用者の睡眠時間のような生活データに加え、過去の治療歴や施した治療法の効果などを収集し、1億人超の保険サービスの顧客情報と結びつけたデータベースを構築している。

塩野義製薬は、日本や欧米に比べて個人の健康・医療データを利用しやすい中国の利点を生かし、リアルワールドデータなどのデータに基づく医薬品・サービス開発に着手するため、平安保険を合弁会社を設立し、平安保険が持つ数億人分の健康・医療データやテクノロジーと、塩野義が持つ製薬会社としての知見やノウハウを組み合わせ、ヘルスケア分野で新たな製品やサービスの創出を目指している。

塩野義と中国平安が合弁会社で行う事業は、①データドリブンの創薬・開発プラットフォームの構築と、それによる医薬品の創薬・開発、②AI（人工知能）テクノロジーによる製造・品質管理体制の構築と、それによる医薬品の品質保証、③O2O（Online to Offline）を活用した販売・流通プラットフォームの構築と、それによる医薬品の販売・流通の3つだが、合弁会社をアジア地域の臨床開発拠点としても位置付けている。

創薬の研究活動におけるデータベースの具体的な活用方法の詳細は開示されていないが、合弁企業では、抗菌薬「セフィデロコル」とオピオイド誘発性便秘症治療薬「ナルデメジン」のアジア地域での権利を合弁会社へ導出し、合弁会社での臨床開発するプロジェクトから着手しており、日本で開発している新型コロナウイルス感染症に対するワクチン、治療薬、診断薬についても、合弁会社へのライセンスを検討している。

販売には平安グッドドクターを活用し、現在中国で販売している後発品や、シオノギヘルスケアの OTC を同アプリを通じて供給し、ウェブと実店舗を組み合わせた新たなプラットフォームを構築し、「セフィデロコル」などの新薬の早期展開を目指している。

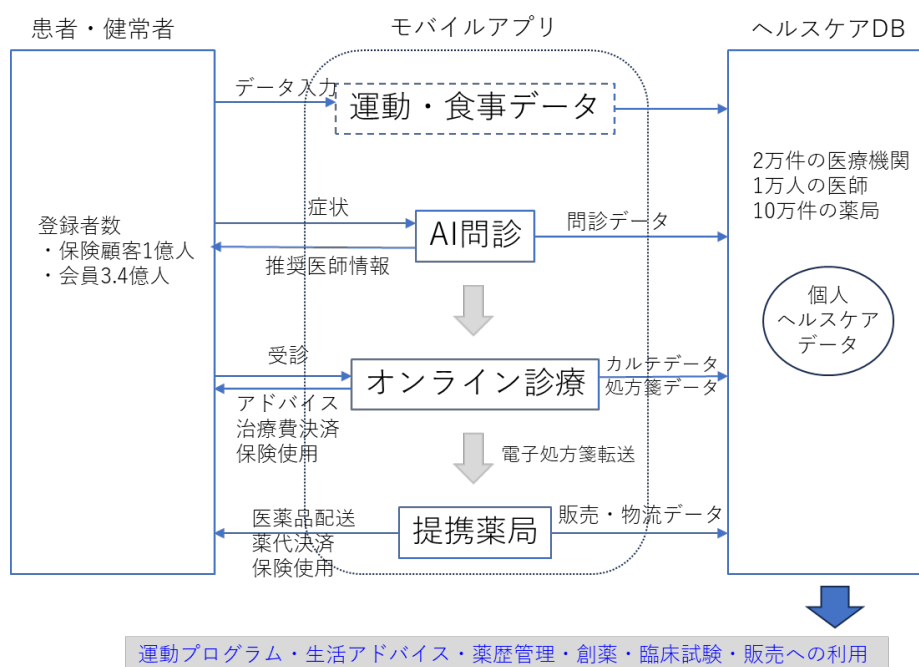
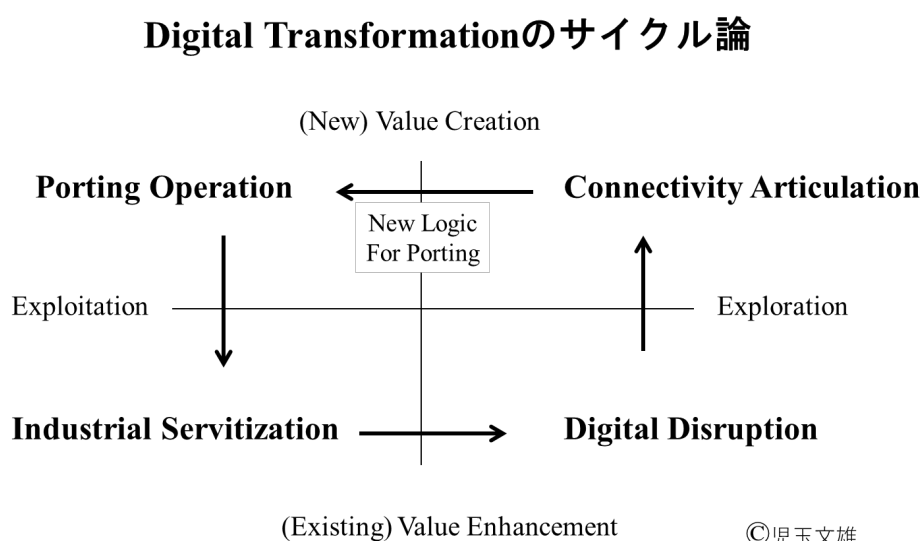


図 3-5 保険サービスと AI 問診・医師紹介・オンライン診療の統合プラットフォーム
出所）加納作成

3.5 サイクル論による分析

Digital Transformation は、リニアな3段階の Digitization、Digitalization、Digital Transformation での説明以外には、サイクル論で解釈することができる。ここでは、サイクル論のフレーム概要に触れた後、Digital Transformation に至ったと判断された味の素 amino step、@cosme の皮脂 RNA 解析サービス、平安保険のグッドドクターの例をサイクル論的に解釈してみる。



©児玉文雄

図3-6 Digital Transformation のサイクル論

3.5.1 Dx サイクルの概要

横軸は、Exploration と Exploitation の軸であり、右側では探索的、研究開発投資であり、左側では投資の回収や収穫の段階に至っていることを表している。縦軸では、(New) Value Creation と (Existing) Value Enhancement であり、上側では新規の価値を創造するための活動であり、下側は確立したビジネスモデルにより収益を強化する段階である。

したがって、第二象限である右下は探索的に既存の価値を強化する領域であり、Digital Disruption としているが、デジタル化に既存秩序の破壊であり、リニア的解釈における最初の段階である、**Step1:Digitization** に相当しており、「価値創造・提供のための一部のプロセスが、IT により効率化・低コスト化を実現する（アナログ情報のデジタル情報への変換を含む）」とした説明内容がそのまま該当する。続く、**Step.2: Digitalization** は、「価値創造・提供のためのプロセス構造が、IT により変更され、効率化・低コスト化だけでなく、追加の顧客価値を生み出しており」、ビジネスモデルには変更がないものの、従来手法では実現しなかった価値を発生されている状態と説明されているが、Step.2: Digitalization は、サイクル論的には、依然としてビジネスモデルの変更を伴わないという点を考慮すると、Digital Disruption の範囲内にあるものと解釈される。

第一象限である右上は、Connectivity Articulation であるが、構想された目的のために従来にはなかったプロセスが結合されることにより今まではなかった情報プラットフォームができあがる状態を示しており、続く第四象限である Porting Operation は、情報プラットフォームが既存の用途とは異なる用途に転用される現象を概念化したものである。

Step.3: Digital Transformation は、「IT により、企業や産業にとって新しいビジネスモデルが開発され、新たな顧客価値が創造されている」と説明されたが、新しいビジネスモデルが従来になかったプロセスの結合により実現されたプラットフォームの転用により実現した状態は同時にビジネスモデルの変更を伴っており、「Connectivity Articulation+Porting Operation」により Digital Transformation が実現したと解釈することができる。Connectivity Articulation から Porting Operation に至るためには、新たな情報の結合をマイニングし利用するための「新しいロジック」の開発を伴っている点に着目する必要がある (New logic for Porting)。

第三象限の Industrial Servitization においては、プラットフォームをベースにした情報利用の形態が多様化し、サービスメニューの集積状態を概念化したものであり、プラットフォームがプラットフォームとして成立したことが確認できる状態を表現している。

第三象限から第二象限への移行は、プラットフォームの利用によるサービスの充実が限界に達し、新たな要素を加える必要がでてきた状態になる。ここから2周目のサイクルが開始される。1周目で構築されたプラットフォームをベースとしているため、新たな要素が Digitization されると、そこから「Connectivity Articulation+Porting Operation」まで一気に進み、次の高度化されたプラットフォームの成立に至るものと想定される。

3.5.2 味の素 amino step のサイクル論による解釈

味の素 Amino Step のサイクル論的な解釈としては、血中アミノ酸検査結果のデータを個人が入力することにより、個人情報の壁を越えてデータをデジタル化して収集することができるだけでなく、アプリに入力される会員プロフィールと合わせてその周辺データとしての運動・食事・睡眠データを同時に入力することでデータを確保している (Digital Disruption)。「アミノ酸による疾患診断と予測を周辺データと連結させて疾病予防・健康管理に役立てる」ためにこれらを連結させ (Connectivity Articulation)、血中アミノ酸検査結果から得られる疾患予測データに基づいて、生活改善や健康行動改善をより実現しやすくするための補助ツールとして検査の情報価値を高めるための情報プラットフォームとして機能している。

結合されたデータを利用し、生活改善プログラムを提供される (Porting Operation) が、このためにはデータから生活改善の提案内容を導きだすための一定のアルゴリズム開発を伴う。これらは AI 化する以前に、アミノ酸の検査データと医師による医療相談・生活指導をベースにそれを裏付けするための「アミノ酸健康科学」が確立している必要があり (データ連結・利用のための新たなロジック構築)、データ連結だけでは、生活改善提案にはつな

がらない。

このプラットフォームから得られる収益 (Industrial Servitization) については、味の素 ID に紐づいた会員プロフィールに対して最適なサプリメント、コスメ、食品を提供する EC サイトから収益を得るビジネスモデルとなっている。

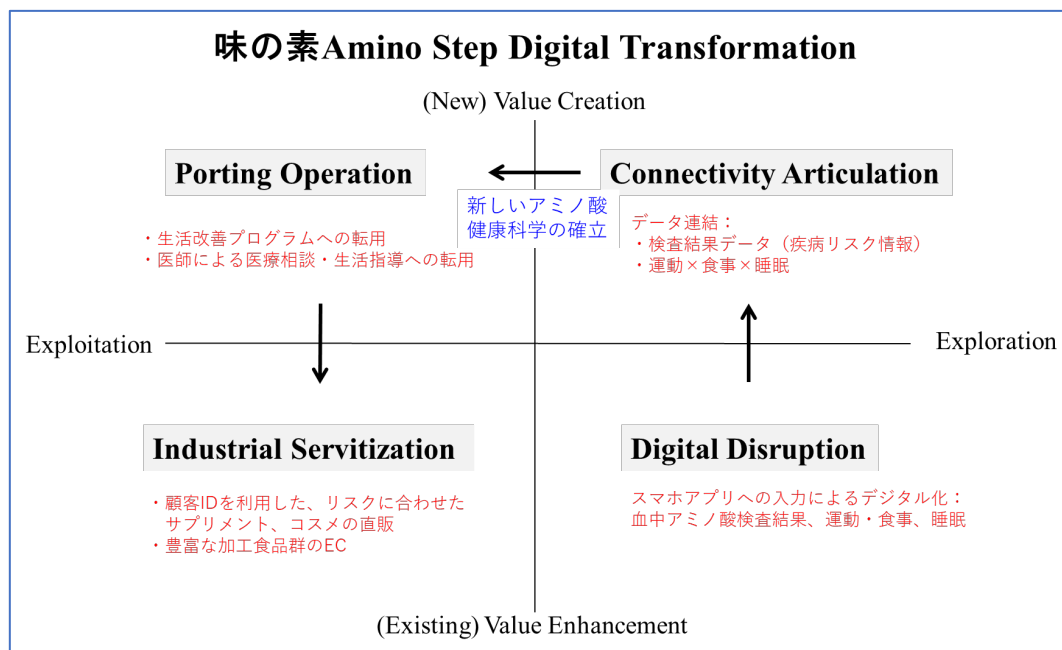


図 3-7 Amino Step のサイクル分析

3.5.3 @cosme のサイクル論による解釈

@cosme の事業展開は、サイクル論的視点にたつと 2 サイクルで構成されていると解釈される。1 周目は、RNA 肌タイピングを導入する前の状態の化粧品の口コミ EC サイトにおけるプラットフォームの構築とプラットフォームの利用による収益化である。1 周目のサイクルでは、「口コミによる商品評価と商品購入を連動させて提供する」ための **Connectivity Articulation** には成功したが、従来の化粧品と肌の相性のマッチングには、科学的なバックグラントのない経験的・感性的な根拠や利用経験に基づいており、化粧品とユーザーの適合性を評価することには限界があった（感性的データの限界）。

2 周目では、この限界をブレイクスルーするために、科学的な根拠に基づく化粧品評価の方法論として、皮脂 RNA 解析が導入され、「科学的根拠に基づく化粧品選択」のための **Connectivity Articulation** が構想された。皮脂タイピング情報が従来の情報プラットフォームと連結することにより、RNA 肌タイプと化粧品のマッチングのための皮膚サイエンスが構築され（データ連結・利用のための新たなロジック構築）、それに基づき RNA 肌タイプ別の最適商品の推奨やテストユーザー評価が実施される。

RNA ベースの皮膚サイエンスをベースとして情報プラットフォームは、新たな化粧品分類

を創造すると同時に、新たな市場を創造し収益をもたらす（Industrial Servitization）。化粧品 EC サイトの売上増他の化粧品メーカーに対しても共同研究やマーケティング支援が実施されると同時、これまで海外展開の強力なツールとなり、グローバル展開が加速される。

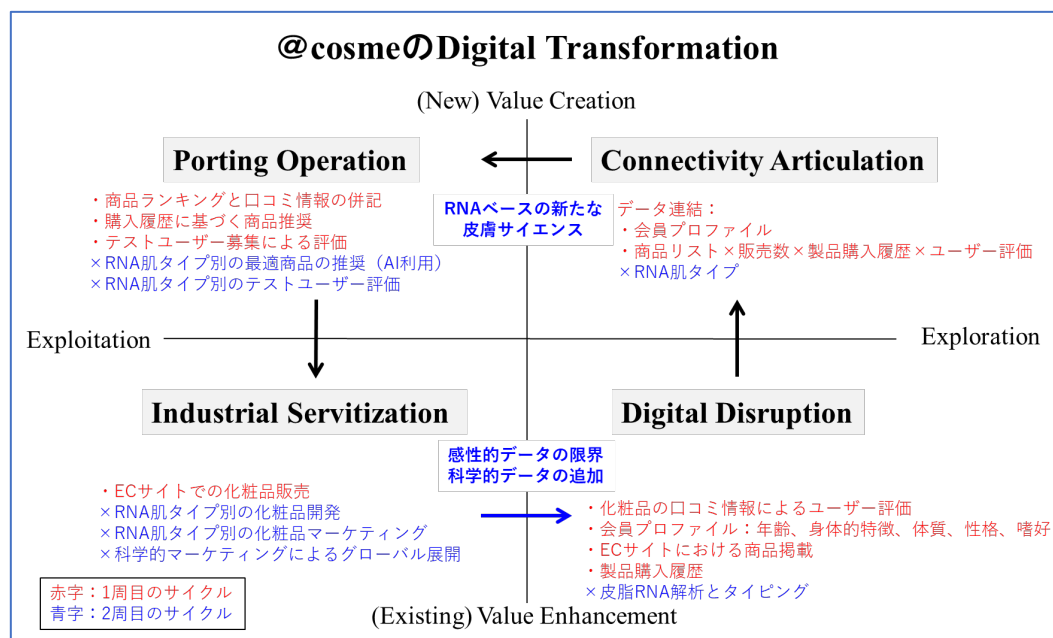


図 3 - 8 @cosme のサイクル分析

3.5.4 平安保険グッドドクター・塩野義 JV のサイクル論による解釈

平安グッドドクターは、中国で最も普及している遠隔医療サービスであり、病院にかかる患者の総数を減らし、大病院に集中させず、近隣の良いクリニックに患者を分散させるほか、通院や処方にかかる手間を効率化することで、患者と医師の双方の時間を短縮化させる効果がある。データ要素のデジタル化により、これらが結合可能な状態にすることで、グッドドクターのアプリ上で会員のプロフィール、個人病歴、個人の健康データ、問診データ、治療履歴、薬剤投与履歴と医師データ・薬局データがデジタル化(Digital Disruption)されると同時に、「会員の健康情報の全体像を把握するための統合プラットフォーム」を構築するために、これらが連結 (Connectivity Articulation) している。これにより汎用的な情報プラットフォームが実現し、会員の利用により、データが蓄積するほど情報プラットフォームとしての価値が向上していくように設計されている。

会員にとって有用なインターフェイスとして、AI 問診による推奨と利用者の口コミの両方から登録医師 1 万人の中からの最適な医師をユーザーは選択を支援し、オンライン診療につなげていくと同時に登録薬局 20 万件の中から配送可能な薬局を選択し、問診・治療・処方箋発行・医薬品の入手までのプロセスをワンストップで実現させ利便性を提供している(Porting Operation)。導入部分の AI 問診のためには、患者が訴える症状から診療科と専

門医を推定するための総合診療学を AI へ移植したエンジンの開発が行われており（データ連結・利用のための新たなロジックの構築）、第一象限から第四象限への展開を裏打ちしている。同時に治療履歴（カルテ・処方箋）、生活改善指導の内容を含めて、個人の健康・医療データが格納され、疫学的データベースとして高い価値を発生させている。生活改善指導においても、自動化のためには新たなアルゴリズムが必要となることから、ここでも新たなロジック構築とその更新が組み込まれているものと推察される。Porting Operation として列挙される各々の情報の利用には、情報間のリンクをつけるリレーショナルデータベースとしての利用（処方箋データ移送、薬局選択、医薬品配送）だけでなく、付加価値を発生させるメニュー（商流・物流の最適化、生活改善プログラムの提案、疫学データベースの利用）には、新たなデータマイニングの方法論の開発を伴っている。例えば、データベースから疾患別の患者情報を作成し、そこから研究開発に利用していくためには、利用可能な価値ある情報を抽出するためのロジックが必要となる。

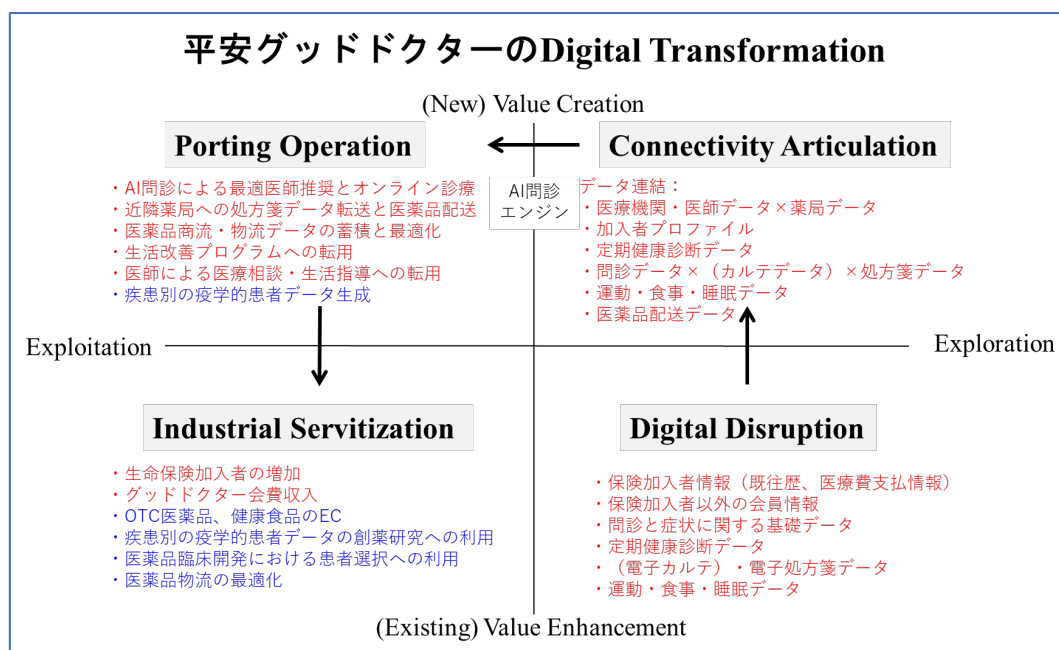


図 3－9 平安保険グッドドクターのサイクル分析

収益化のためのビジネスモデルとしては、グッドドクターの利用に対するユーザーへの課金方法は生命保険加入者（1 億人）に対しては無料で利用可能で、加入者以外にはプリペイドカードによる利用となっており、保険加入者から得られる保険ビジネスにおける収益とインフラ利用における利用料の両建てで成り立っている。また、紹介した医師や薬局からも紹介料という形でマージンを得ている可能性があるが詳細は開示されていない。処方箋から医薬品の配達までのプロセスを担っている「閃電購薬」は、処方薬の EC（電子商取引）プラットフォームであり、「閃電購薬」はこれ自体でビジネスモデルとして配送コストの負担

までを含めて収益化を果たしていると推定される。

塩野義製薬が、合併により平安保険グッドドクターの情報プラットフォームを活用し、新薬の導出と治験を進めると同時に、創薬研究への利用、物流最適化への利用、OTC 医薬品の EC による販売を進めるのは、図 4－9 の青字部分になるが、これは平成グッドドクターのプラットフォームの第三者による利用であり、Porting Operation のメニューとしての疾患別患者情報のデータアクセスがあり、これを実際に創薬に利用したり、臨床試験の患者選択や物流情報への利用を意図しているが、これらのメニューは Porting Operation の一種としても捉えることができる。

3.6 終わりに

サイクル論で 3 つの事例を紹介したが、「3.5.1 Dx サイクルの概要」で説明したように、Connectivity Articulation から Porting Operation に至るためには、新たな情報の結合をマイニングし利用するための「新しいロジック」の開発を伴うという分析上の視点を設定したが、この点は事例分析でも確認できた。味の素の事例ではアミノ酸の検査データと医師による医療相談・生活指導をベースにそれを裏付けするための「アミノ酸健康科学」が確立が必要であり、@cosme の事例では、皮脂タイピング情報が従来の情報プラットフォームと連結することにより、RNA 肌タイプと化粧品のマッチングのための皮膚サイエンスが必要であり、平安保険グッドドクターの事例では、AI 問診のための医療データと専門医の知識を結集した総合診療学が必要となっていた。単純な結合データの転用というものは存在していなかったことが確認できたことは、DX における新たな結合によるサービスメニューの開発とビジネスモデルの創出には、裏打ちするサイエンスや根拠が要求されていることの重要性を示しているものと考えられる。

また、Digital Transformation のサイクル論として、@cosme では各種情報を整理することで 2 周目のサイクルを観測できたことで、DX の発展プロセスを分解能よく分析する手法として利用できることを示せたと考えている。

第4章 建設業のDX—建築芸術論から「まちづくり」DXへ—

藤盛 紀明

4.1 序論

前回までの委員会報告で発表した「建設業のサプライチェーン」及び「建設業のDX (Digital Transformation) 論」について、最新のAI技術の進歩を勘案して再論する。そのため過去の報告の一部も活用する。日本では建設とは建築+土木である。本論は建設業（建築・土木）として議論するが、情報技術的には建築分野がより複雑なので、建築業・建築に特化して記す部分が多くなっている。建築は工学や理学と一線を画す独特な分野である。東京工大では「建築工学科」と言わず「建築学科」と永く称してきた。これは建築とは工学のみならず、芸術・文化・景観・個人の思想・景観・社会との融合・総合分野であると言う意識・認識に由来している。建築物は一品生産品であり、製造業の大量生産品とは異なっている。このことがIT化・DXとの独特な関わりをもたらしめていることについて言及する。

DXについては各所で議論・提案・調査・有るべき論・定義などがなされているが、DXとは何かの解釈（定義）は多様である。最も革新的な考えはDX=Digital Disruption(産業破壊・産業変革)であり、最も初期的な議論はDX=Digitization(アナログ情報のデジタル化、物理データのデジタル化、紙情報のデジタル化、作業の一部のデジタル化・自動化)である。総務省の2021年版情報白書ではデジタル・ディラプションを紹介、経済産業省のDX取り組みでも産業改革に言及している。一方、日本建設団体連合会（日建連）の『建設DX事例集』は後者のレベルである。

現在の建設業のDX (Digital Transformation) はビジネスモデル変革の手前のDigitalization (生産システム改革) にとどまっている。その状況を記し、その要因と将来展望について言及する。

最後に大手ゼネコンの経営戦略・中期戦略は「DXによるまちづくり」であり、国土交通省が国の政策に合わせて国家のインフラデータを公開する方向を推進していることを示した。この両者の戦略方向の一致により、本来の建設DXが進展し、大手ゼネコンの建設DXの最終目的「DXによって、個別建物造りビジネスから、まちづくり・地域づくりビジネスへと変革すること」が実現すると予想した。

4.2 建築における情報伝達とIT・AI

4.2.1 情報化時代の始まりにおける建築空間変革と建築生産プロセス変革の停滞

コンピューターやインターネットの開発・活用は1960年代前後から始まった。その情報化時代の始まりに対し、建築業界の技術的対応は、IT機器の建物側の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

一をはじめとする情報系機器の活用・保全のための空間環境技術の開発であった。建築産業の主要製品（建築空間）の変革、ある種のビジネスモデル変革（DX）とも言える。情報化時代の始まりから、建築産業は商品としての建築空間の変革、新商品開発・ビジネス変革を迫られてきた

一方、建築行為（設計・施工）のために情報システムを活用する技術の開発は遅れて開始された。多くの産業では早期に IOT が取り入れられ、CPS 的活用が行われたが、建築産業の情報化・IOT 活用は遅れて始った。CPS 的活用今でも少ない。建築産業で何故情報化が遅れたのか、IOT 時代になっても何故 CPS 的活用が少ないのかについて検討し、今後の情報化、IOT 活用、DX の方向について検討してみたい。そのために建築技術の発展の歴史を振り返り、歴史的に見て何が建築技術開発のドライブ要素であったか、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考える。そこから建築生産における情報活用は何故遅れたのか？他産業と何が異なるか？異なる要因は何かを検討し、建築の生産プロセスにおける情報技術開発の今後の在り方を検討する。

4.2.2 日本建築の本質と情報伝達

(1) 日本建築の本質

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。桂離宮は 17 世紀、八条宮智仁親王・智忠親王親子二代が 35 年の歳月を費やして建設した作品である。親王親子の王朝文化へ憧れ、貴族としての教育の基づいた思想の反映である。庭園は代表的な池泉回遊式庭園で、源氏物語の場面や舞台を思っ作庭されている。平安時代、藤原道長もこの地に別荘「桂殿」を営んでいた。桂離宮には幾つかの建物がある。月見台を持つ古書院・中書院・新御殿の美しさは格別である。この書院は月を楽しむために建てられたもので、王朝文化・貴族文化の象徴であり、風雅を楽しむ豊かな教養に溢れている。世界に一つしかない文化であり、製造業の大量生産商品（モノ）とは対極にある造形品である（図 4-1）。この書院の軒は月を長く見ることが出来るように、通常の軒先よりも極端に短くされている。常識にとらわれない自由奔放な設計である。



図 4-1 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。
他の建築部と全く異なる寸法に文化と美を創造している。
（貴族文化が集積した、完全なる一品生産物）

建築設計の情報化の発展を振り返ってみる。意匠・デザインは芸術の分野でITに馴染まないという意見は、今でも意匠設計者の間にはある。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。

学生時代（60年前）、著名な建築家谷口吉郎教授の研究室で、千鳥ヶ淵戦没者墓苑のパースの色づけを手伝ったことがある。助手の話によれば谷口先生が手書きしたデッサンを、助手がスケールで測って設計図にしたと言う。当時、建築意匠設計は芸術であり、建物の形の「線」は設計者の感性で引かれていた。



図 4-2 谷口吉郎設計の千鳥ヶ淵戦没者墓苑

当時の建築学科の学生の設計は製図版にT定規をあて、鉛筆で書いたものにカラス口で墨入れするという時代であった。その後ドラフターで製図するという時代に進歩し、IT技術の出現によりCADが出現した。世界初のCADソフトウェアは、1963年、マサチューセッツ工科大学のIvan Sutherland博士が作成した「Sketchpad」で、1982年、John WalkerがAutodesk社を設立し、パソコン向けCADソフトウェア「AutoCAD」を発売した。

最近のIT技術、3D CAD技術、AI技術の進歩は目覚ましく、建築デザイナーの感性や芸術性の部分をもかなり支援するようになっている。著名な建築家隈研吾事務所でもDXツールの活用が進んでいる。事務所ではパラメトリックデザイン（パラメーター：変数を基準として寸法を決める形状作成方法）が行われている。パラメトリックデザインには3Dソフト「Grasshopper」が良く使われる。パラメトリックデザインで自由な形状を容易に創出できるが、どのような形にするかは建築意匠設計者が決める。これは意匠設計者の思想・センス・感覚の領域である。IT技術やAI技術は意匠設計を支援するツールであるが、自らデザインを創造することは出来ない。谷口吉郎のような直線によるデザイン、曲線の女王と言われたザハ・ハデイドのような設計（図4-3）は3Dソフトをツールとして活用出来るが、アントニ・ガウディーのような設計（図4-4）の支援は現状のIT/AIソフトでは無理ではないか？

Google の生成 AI Gemini に聞いた時の回答は「生成 AI は、過去の建築物やデザインの膨大なデータセットを学習することで、ガウディの建築様式を模倣したデザインを作成することができます。しかし、AI はガウディの独創性や革新性を理解することはできません。ガウディは、単に美しい建物を作るだけでなく、社会や環境に対する深い理解に基づいたデザインを生み出すことができました」。生成 AI は模倣は出来るが創造は出来ないとしている。

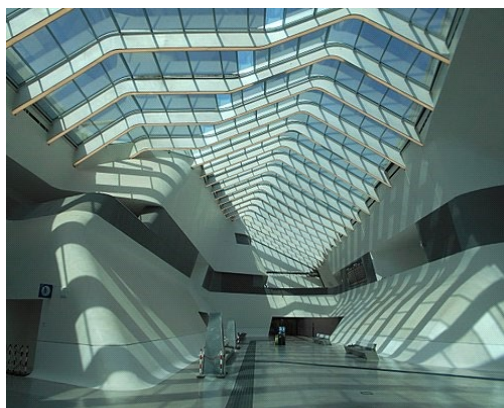


図 4-3 ザハ・ハデイド設計のナポリ・アフラゴーラ駅 (wikipedia)



図 4-4 アントニ・ガウディー設計のサクラダファミリア (Wikipedia)

2) 建築の情報伝達技術の歴史

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。飛鳥時代以来、建物の製作に関わる棟梁の技術は口伝・秘伝で伝承された。



図 4-5 大工棟梁の技を伝える手斧始め式（清水建設提供）

建築工事には多種の職種があり、施工は職人の匠の技に頼っていた。近年職人の高齢化、なり手不足が顕著になり、職人技の標準化のための AI も出て来ている。建築職人技術の DX である。古来の手法を忠実に伝承する技は IT・AI で代替可能であるが、人間国宝級の芸術領域の製品製作分野は創造の分野であり、IT・AI ツールのレベルでは代替出来ない。

578 年、聖徳太子の命を受けて、百済の国から三人の工匠が日本に招かれた。彼らは日本最初の官寺四天王寺の建立に携わった。彼らが日本の大工技術の源流である。以後建築工匠：大工が日本各地で活躍したが、彼ら大工達の技術は不揃いであった。江戸時代初期、大工達の技術の不揃いを統一するために、木割り・規矩術が完成された。この二つの技術は意匠設計（デザイン）・木造工事（施工）の基本技術であり、工事の生産性向上のための技術でもあった。多くの寸法の部材を持つ大型工事を良品質・短工期で完成させるのにはこの二つの技術は必須の技術であった。建築でも部品レベルの製作は IT・AI ツールで代替可能である、建物全体の意匠設計のレベルは先述のように創造の領域で、IT・AI ツールと別次元である。

先述の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、全体の設計（庭園・書院・茶室）は 30 年に渡る八条宮智仁親王・智忠親王親子二代の貴族王朝文化への思い、深い教養と思想から産み出されたものである。IT・AI ツールで産み出すことの出来る領域ではない。何者にもとらわれない自由な思想・哲学、平安時代以来の貴族文化の結集が、世界に唯一無二の建築美を創り出している。

桂離宮の美しさは書院以上に、庭園と配置された茶室の美である。桂離宮の庭園は、ブルーノ・タウトが評したごとく、世界のすべての人々が愛する日本の建設技術である。日本庭園も日本建築の象徴の一つである。日本庭園の始まりは神の象徴である磐座で、自然物に神が宿ると言うのは縄文時代以来の日本列島人の宗教心である。建設物は人類生存のための覆いとしてだけでなく、宗教行為、権威を示す行為、精神生活を豊かにするため、文化・芸術を楽しむため、地域を豊かにするために建設されてきた。各々、個性豊かであり、如何に他と異なるかが価値・評価を決める。庭園設計や施工に利用できる AI システムは出来ているが、写真やサンプル画像を利用した一般的な設計までで、独自の美意識・古の文化への憧れであり、独自の芸術性豊かな庭園設計を創造するものではない。



図 4-6 桂離宮の庭園

4.2.3 国土交通省における情報化政策の沿革

建設産業の生産性向上の歴史は古いが、その基本目的は省力化である。建設分野における情報技術活用歴史を見ると、米国のエンジニアリング会社における活用が、世界で最も早い。その場合も情報化システムを採用することによってどの程度省人化できるかが、採用の決定要因であった。

(1) i-Construction と CIM (Construction Information Modeling/Management) 時代

国土交通省は「情報化施工推進戦略」を 2008 年にとりまとめた。2015 年に建設現場での ICT 導入を測量・設計・施工・管理の全プロセスに広げるとし、2016 年「i-Construction ～建設現場の生産革命～」を策定し建設施工の情報化が本格的に開始された。

I-Construction のトップランナー施策として「ICT の全面活用」を標榜した。2016 年 6 月 17 日に第 1 回「CIM 導入推進委員会」の開催について～i-Construction の施策を支援する CIM の導入・普及を図ります～」を報道発表した。CIM (Construction Information Modeling/Management) では土工を対象に先行的に実施するとされた。その内容は「測量・施工・検査等の全プロセスにおいて、3 次元データを 活用する 15 基準を整備し、土工において H28 年度から ICT を全面的に適用」であった。土工において CIM を完全活用出来るように三次元データ活用環境を整備し、トンネル・ダム・橋梁の構造物に CIM 活用を広めていくとした。国土交通省の情報化は土木工事主体であった。

(2) 「BIM/CIM 推進委員会」の時代

2018 年 8 月 30 日、国土交通省は第 1 回「BIM/CIM 推進委員会」の開催～ Society 5.0 における新たな社会資本整備「BIM/CIM」を議論します～と報道発表した (図 X-7)。突然の発表でその概要は以下であった。

国土交通省では、建設現場の生産性向上を図るi-Constructionの取組において、これまで3次元モデルを活用し社会資本の整備、管理を行うCIM（Construction Information Modeling/Management）を導入することで受発注者双方の業務効率化・高度化を推進してきました。

一方で、国際的なBIM(Building Information Modeling)の動向等は近年顕著な進展を見せており、土木分野での国際標準化の流れを踏まえ、Society 5.0における新たな社会資本整備を見据えた3次元データを基軸とする建設生産・管理システムを実現するためBIM/CIM(Building and Construction Information Modeling/Management)という概念において再構築するとともに、産官学一体となった議論を行うBIM/CIM推進委員会を設置することとした。

第1回委員会では、過年度から実施している取組のフォローアップや3次元モデルによる契約に向けた検討等の今年度の主要な検討内容について議論します。

図 4-7 国土交通省は第1回「BIM/CIM 推進委員会」の開催発表

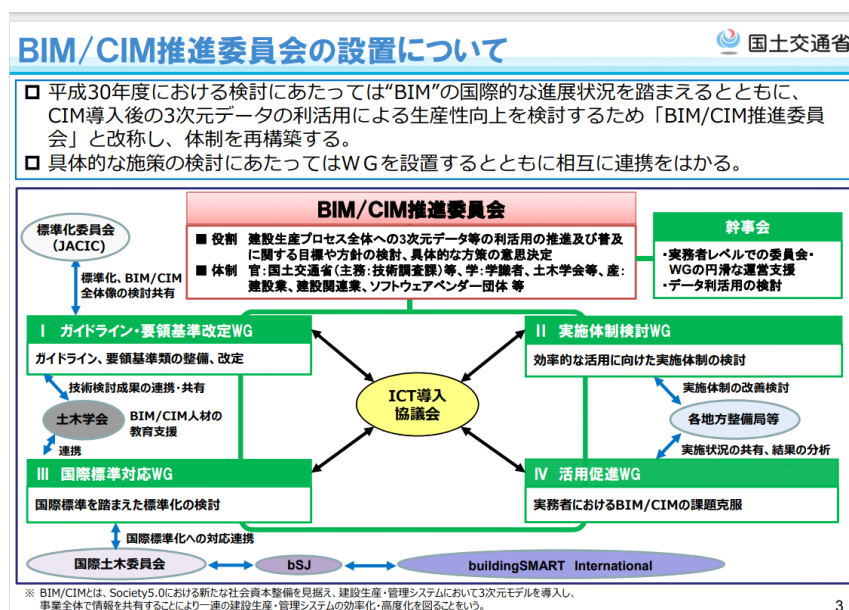


図 4-8 CIM から BIM/CIM へ改称（2018 年国土交通省第1回「BIM/CIM 推進委員会」資料）

国土交通省土木関係部局を中心として土木公共工事の情報化を促進してきたが、国際的動向、特に英国における建設の情報化は建築分野が先行し、BIM(Building Information Modeling)が国際標準になりつつあることを踏まえてのことと思われる。しかし委員は全て土木工学系の大学教授で、国土交通省のメンバーも全て土木系部局からであった。公的研究機関の（独法）建築研究所から1名参加しているのみであった。

そこで配布されている資料で説明されている内容は土木構造物のみであった（図 4-9）

BIM/CIM活用モデル事務所設置の検討(案)

国土交通省

○BIM/CIM事業におけるフォローアップにあたっては、過年度の成果品等を確実に蓄積し、施策の全体的な分析のとりまとめを行うとともに、率先してBIM/CIM活用に取り組む事務所において、そのノウハウを次のプロジェクトに活用するため、「BIM/CIM活用モデル事務所」の設置を検討。



図 4-9 改称しても実質は土木中心の CIM
(国土交通省第 1 回「BIM/CIM 推進委員会」資料)

(3) 「建築 BIM 推進会議」の時代

2019 年 6 月 7 日に漸く「BIM/CIM 推進委員会」の WG として「建築 BIM 推進会議」が設置された。学識委員は全て建築系大学関係者であった。民間委員は関係団体から選出されている。

第 1 回「建築 BIM 推進会議」の資料 (図 4-10) によれば BIM 活用の最終目的は建築生産システムのデジタル革新 (Digitalization) と思われ、その先にはデジタルによるビジネスモデル改革 DX (Digital Transformation) が見える。

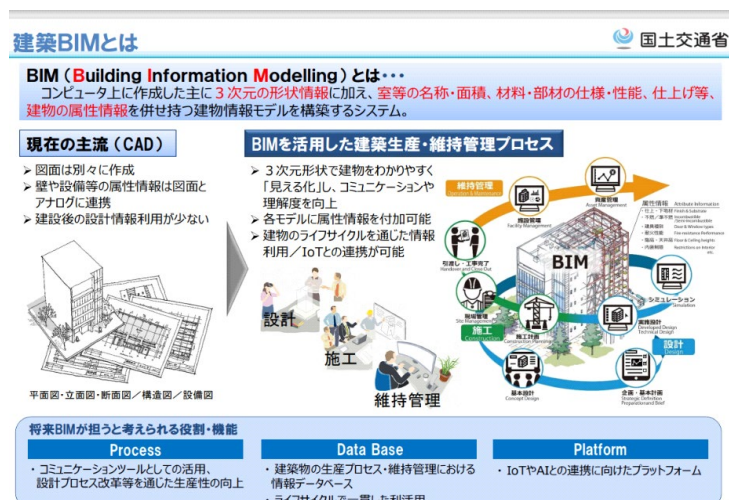


図 4-10 建築 BIM による建築生産改革
(国土交通省第 1 回「建築 BIM 推進会議」資料)

4.3 建築情報化の最前線 BIM

4.3.1 建築 DX リードする BIM

建築分野の DX の筆頭は、BIM (Building Information Modeling) である。BIM とはコンピュータ上に現実と同じ建物の立体モデルを再現して、建物づくりに活用していく仕組みである。コンピュータ上に作成した 3 次元の建物のデジタルモデル (BIM モデル) に、コスト・仕上げ・管理情報などのデータを追加した建築物のデータベースを、建築の設計・施工・維持管理までのあらゆる工程で情報活用を行う方法である。国交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 2019 年 6 月国交省内に設置した。学識経験者のほか、建築関連団体のほとんどが参加し活発な議論を開始した。会議の議論で先ず明らかになったことは欧米に比べて日本の BIM 活用が遅れている、中小企業が置き去りになっている、設計と施工が分断されている、ソフトに互換性のない、BIM 活用の費用対効果が不明なことなど、問題山積みであることが判明した。大手ゼネコンの BIM への取り組みは早くから行われたが、設計・施工・維持管理の BIM 連携は 2019 年に大きく推進力が働いた。これには先述の国交省の「BIM 推進会議」設定が大きく影響した。各社には M&A、異業種との連携、専門会社の設立など多彩な戦略がみられ、設計と施工、維持管理へとつなげる活動も徐々に進んだ。目につくのは構造設計と鉄骨製作との連動システムである。例えば、清水建設は 2019 年 12 月に「Shimizu One BIM (設計施工連結 BIM)」の構築推進を表明し、設計 BIM データを施工から製作 (発注)、運用に至る段階まで連携させるとした (図 4-11)。

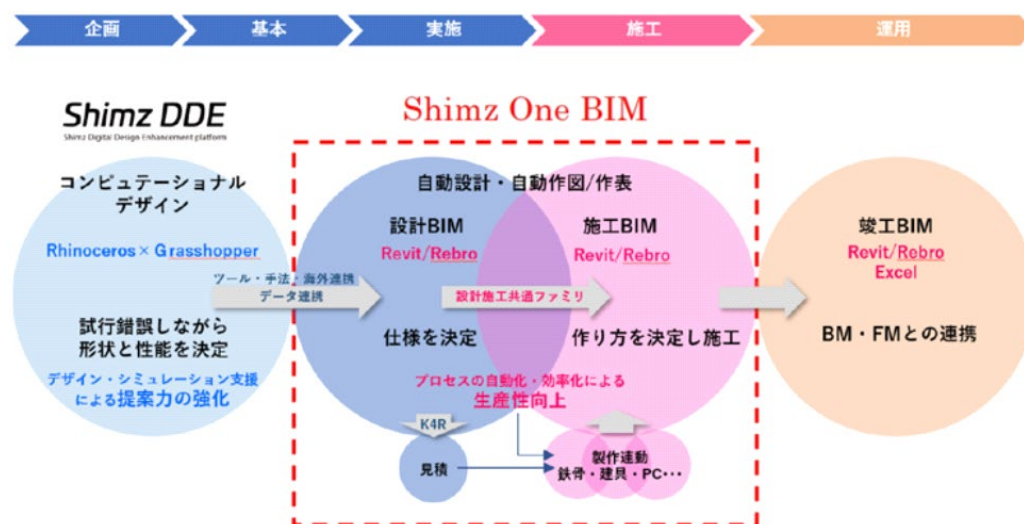


図 4-11 Shimz One BIM (清水建設提供)

その第一弾として、設計者が作成する 鉄骨造の構造データを鉄骨の積算や製作に必要なデータに変換するツール、「KAP for Revit (K4R)」を開発し、運用段階に入った。建設関連企業として鉄骨ファブリーケーターへの BIM 導入が最も進んでいるためである。大手鉄骨フ

アプリケーションは建設関連企業（サプライチェーン）のなかでは企業経営が一流で、レベルの高いエンジニアが揃っているためである。建築鉄骨構造・工事を専門に扱う雑誌『鉄構技術』はかなり早い時期から BIM 促進記事を集刊し、BIM 活用推進に大きな役割を果たした。しかしながら鉄骨ファブリケーターには中小企業も多くこれらの企業への BIM 普及の遅れは当初から懸念された。「建築 BIM 推進会議」を主導する学術委員は、当初から設計・施工一貫 BIM の普及を危惧していた。

建設分野で特に注目されたのは 街づくりへの ICT・IoT 導入である。CEATEC2019（シートック：Combined Exhibition of Advanced Technologies：「Society 5.0」の実現を目指し、あらゆる産業・業種の人と技術・情報が集い）での大手ゼネコンの展示では、街づくりへの ICT、IoT 導入が多かった。ICT・IoT・AI・ロボットを活用したスマートシティーである。街全体の情報収集・分析にも Digital Twin が利用され始めていた。CEATEC2019 で、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。

4.3.2 2020 年時点における建築 BIM の現状

国土交通省主導の「建築 BIM 推進会議」の目的は①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。②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。③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。④データを物流、不動産投資、建物評価、都市データへ広げ、スマートシティのような面的分野にも繋げていくとしている。しかし、2020 年段階での建築 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」の段階である。設計・施工・維持管理の各ステップで情報遮断があり、後工程になるほどメリットが薄れている（図 4-12）。

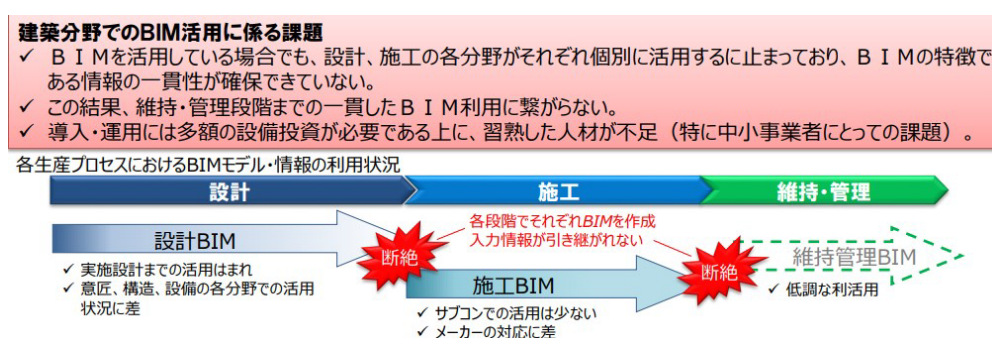


図 4-12 建築 BIM の現状（国土交通省 HP）

建築設計事務所の事情はより複雑で、同じ設計事務所の設計でも意匠・構造・設備で異なる BIM ソフトを利用しているケースがあり、各分野でそれぞれ 作業に適したソフトを選んでいる。

構造では BIM の前に構造解析ソフトで解析が行われるが、構造ソフトも多様で、設計事務所独自に開発したソフトも活用されている。大スパン建築の構造解析では、1) 計画初期の架構計画、2) 詳細設計の構造解析、3) 作図段階で異なるソフトを活用しており、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っていた。

設備 BIM は構造以上に混乱状態である。従来、設備設計は専用 CAD で行われ、その後設備 BIM に転換するケースが多かった（構造設計と似た状況）。設備設計は意匠の 2 次元図面に線を引くもので、具体的な納まりはサブコンが決めてきた。その設備サブコンが決定するのはかなり遅れるので事情はさらに複雑で、設備も実際は電気・機械と全く異なる工学分野の複合で、両方でサブコンも異なるケースが多い。

建築では設計変更がかなり多く、BIM 活用でも障害となっている。設計変更は後工程ほど大きな影響を受けるので設備 BIM にとっても大変である。最初に記したように、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・必須だが、前述のように第一ステップの設計段階でさえ多くの情報遮断がある。建築 BIM 一貫性の最大課題は維持管理 BIM への連携の遅れで、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。前者は形状情報が主となるが、後者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、設備 BIM が進展しなければ、維持管理 BIM は進展しない。

4.3.3 2022 年における BIM 実態調査

国土交通省は令和 4(2022)年 1 月 17 日～令和 4 年 12 月 16 日に BIM の活用状況・普及拡大に関するアンケートを行った。対象は建築に関する企業 696 社。ゼネコンが 43.4%、設計事務所が 38.8%、専門工事会社（協力会社：サブコン）が 13.6%、その他はハウスメーカー・維持管理会社などである。回答した会社の半数がなんらかの形で導入しているとの回答だった。（図 4-13）

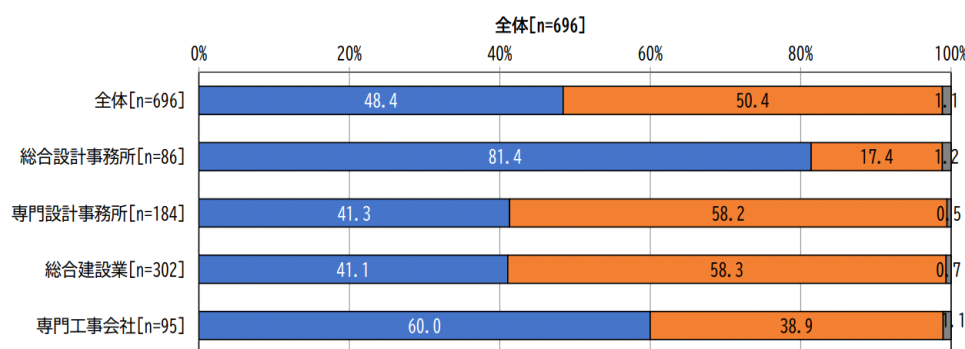


図 4-13 建設産業の BIM 活用調査 2020 年：青は導入、赤は未導入（国土交通省 HP）

半数が導入しているのは多いと思うが、多くのところから「企業における BIM の導入は 48.4%と約半数以下にとどまっています」との論評がなされた。それには幾つかの理由がある。

実際に BIM を導入したプロジェクトは、「比較的簡単な形状の建築物」や「スケジュールに余裕がある建築物」といった項目が目立ち、実務よりは試験的に BIM を利用していると考えられる。

所属部署で主にBIMを活用する建築物やプロジェクトの特徴 （n=376/複数回答/件数）（降順）

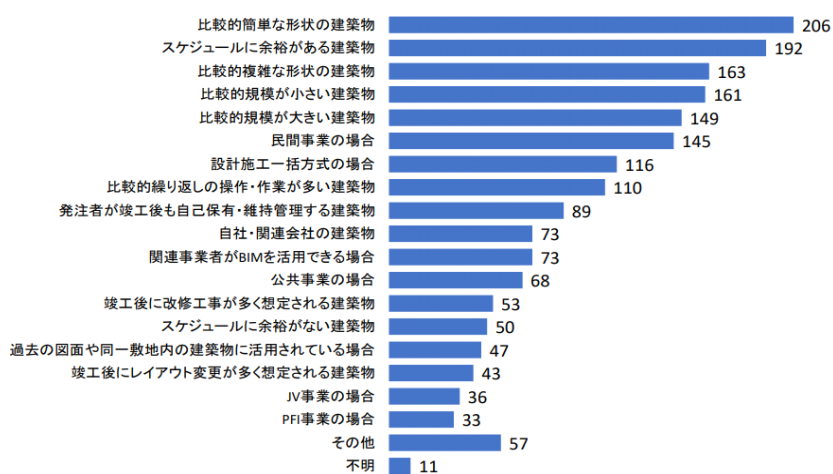


図 4-14 BIM 活用プロジェクト（国土交通省 HP）

また BIM を導入していない理由は図 4-15 である。

BIMの導入に至らない理由 （n=434/複数回答/件数）

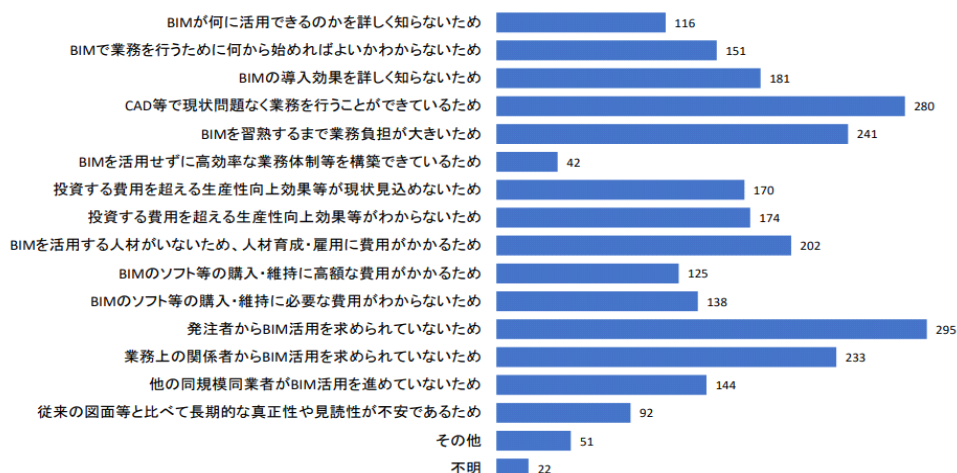


図 4-15 BIM を活用しない理由（国土交通省 HP）

この図には以下の説明がつけられている。BIMを導入していない企業は、導入に至らない理由として、「発注者・業務上の関係者からBIM活用を求められていないため」や、「CAD等で現状問題なく業務を行うことができているため」、「BIMを習熟するまで業務負担が大きいため」等の回答が多い。なお、費用に関する回答（「高額な費用がかかる」等）は比較的少ない。建築BIM導入が進んでいない点については建築雑誌などにも幾つかの論評があるが、図4-15で集約されている。

4.3.4 建築BIM・BIM連動DXの明るい兆し

2020年時点で、建築BIMとその延長・連動のDXにも明るい兆しが出ている。日本でよく使われている建築BIMソフトはAutodeskのRevit、GRAPHISOFT ARCHICAD、福井コンピュータアーキテクトのGLOOBEだが、どのソフトも設計・施工・維持管理に利用するデータが作成でき、設備BIMソフトとの連携も整備されつつある。さらにソフトはアドオンプログラムの追加により他のソフトとデータを直接やり取りすることが可能となっている。また、干渉チェックなどの機能を備えたビューワソフトを用い、異なるソフトで作成したBIMデータを重ね合わせで利用することが容易になっている。

国土交通省主催の建築BIM推進会議は5つの部会を設置し、データ流通とデータ共有を進めている。その推進のために部会横断のタスクフォース（標準化タスクフォース）を設置している。

構造分野ではBIMライブラリ技術研究組合（BLJC）や日本建築構造技術者協会（JSCA）が設計で扱う標準的ナオパラメータリストの公開を行った。この流を受けてRevit User Group (RUG), buildingSMART Japan (bSJ) 等の構造関連団体が具体的な検討を行っている。

建築生産のサプライチェーンには二つの方向（軸）で捉えることが出来る。建築生産の流れの「設計—施工—維持管理」のサプライチェーンを「横軸」、横軸の各ステップを構成するサプライチェーンを「縦軸」と捉える考え方である。

昨今、大手ゼネコンはこの「縦軸」の技術開発が活発で、鹿島の3D 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。鹿島はこの3D K-FieldをDX事業をビジネスとするアジアクエスト社からの販売を開始している。鹿島の現場生産管理ビジネスの一貫と思われる。鹿島の建築生産の縦軸・横軸を新ビジネスにする試みである。建設DXの新しい動きである。大林組はクレーン操作の安全・効率化のため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」にはもう一つ、ゼネコン—サブコン—部品—材料の流れがある。ゼネコン—サブコンの流れでは鉄骨ファブリーケーターが最も進歩している。

建築BIMは縦横軸（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4-16）。



図 4-16 清水建設が豊洲 6 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 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で、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。建築 BIM の動向で特に興味を持った事項が 2 つある。一つは長谷工コーポレーションの「HASEKO BIM & LIM CLOUD」である。LIM は Living Information Modeling である。BIM は建物の技術的属性情報だが LIM は人の暮らしの情報を解析し、快適な暮らしを創出し健康長寿に役だてると言うもの（ビジネス的にはリフォーム・住み替え、管理手法見直しの要素もある）。IT 技術の開始時期に、情報機器のみに対応した室内環境を作りその空間で働く人間を無視した建物ができ、シックビル騒動を起こした。建築 BIM 活用もこのことを忘れてはいけない。

清水建設は「デジタルゼネコン」のトップランナーを目指すとした。「デジタルゼネコン」は「ゼネコンの持つノウハウを生かし、『リアル空間』のみならず、ICT を使ってインフラを含む『デジタル空間』を創造する組織」である。この定義では「デジタルゼネコン」は現在のゼネコンの補間組織である。現在のゼネコンと並行する別企業、さらには現行ゼネコンを子会社とする上部企業としての「デジタルゼネコン」の可能性が期待される。

4.3.5 国土交通省の BIM/CIM 原則適用

国土交通省は「直轄土木業務・工事における BIM/CIM 適用に関する実施方針」を 2023 年 3 月に発表した。原則として BIM/CIM の適用は直轄土木業務・工事の全てを対象としている。2025 年度中に BIM 図面審査を開始することを目標としている。将

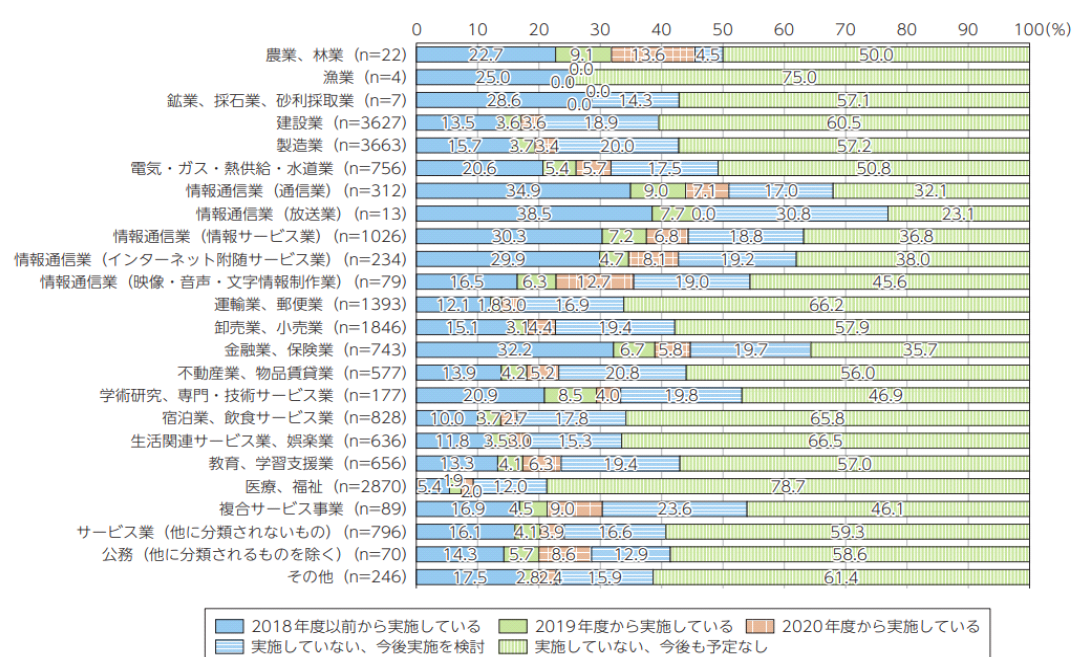
来的には IFC (Industry Foundation Classes) データを活用した審査対象を順次拡大する。

4.4 日本産業の DX と建設業の DX の現状

4.4.1 建設 DX の現状

1) 総務省調査

2022 年 12 月の総務省「令和 3 年度情報通信白書」によると、建設業の DX に取り組んでい
る企業の割合は 20.7%と、他の業種に比べて低い結果となっている (図 4-17)



(出典) 総務省 (2021)「デジタル・トランスフォーメーションによる経済へのインパクトに関する調査研究」

図 4-17 日本企業の DX 取組み状況 (総務省 HP)

2023 年 3 月の経済産業省「DX レポート 2」によると、DX 推進指標の自己判断に取り組み結果を提出した企業のうち 95%の企業は DX にまったく取り組んでいないか、取り組みを始めた段階であり全社的な危機感の共有や意識改革のような段階には至っていないという結果が出ている。総務省調査では DX の定義、レベル分類はされていない。DX 以前の Digitization (データのデジタル化)、Digitalization (生産システム改革) が多く含まれていると思われる。それでも日本企業、特に建設業の DX の取組みは少ないと言うのが実情と思われる。

2) 2023 年 11 月「土木学会・日本建築学会連携」土木建築タスクフォース

DXWG 報告「建設 DX による真の生産性向上の実現に向けて 一縦割りを脱却した土木・建築の融合」が行われた。しかしながらその報告の 1. はじめに (建設 DX の必要性について) では次のように記されている。

「近年、建設業界では DX（デジタルトランスフォーメーション）による生産性向上の取り組みが活発化している。その背景には、業界全体での労働時間削減等の働き方改革や新規労働従事者の確保等の課題があるが、実態としてはこれまでの仕事の仕方を変えることなく、交換される文書情報のみのデジタル化（デジタイゼーション）を推進していることも少なくない。紙書類をそのままデジタル化することに留まっていたのでは業務量の削減を望めな
いばかりか、連携しない複数のシステム間での入力作業の負荷や習得時間の増加等による業務の増加量の増加を生み出す。DX はデジタル技術を活用したシステムやツールの導入により、これまでのワークフローを変革し、劇的に業務の効率化、生産性の向上を図ることを目的としている」。Digitization（データのデジタル化）の状態を Digitalization（生産システム改革）に高めるとする考えで DX の一手手前の状態である。

3) 一般社団法人日本建設団体連合会

2022年3月に『建設 DX 事例集』を発行した。その紹介文では以下のように記している。「本事例集は、日建連会員企業が受注した各種工事において、「建設 DX」の適用事例をとりまとめたものです。各事例に関しては、適用する施工プロセス（調査、設計、施工、維持管理など）、機能（BIM/CIM、ICT、AI など）といった項目ごとに分類し、その特徴を一覧表として分かりやすく示しています。会員企業をはじめ、各発注機関や地方建設企業にも大いにご活用いただき、生産性向上や働き方改革に役立つことを期待しています」。

この事例集は建設プロセスに IT 関連技術を活用した事例集で、DX という概念には遠い。建設分野では学会、業会を含めて DX は Digitalization のレベルである。

4.4.2 日経電子版コラムから見た日本企業・建設業の DX Trend

日経電子版には DX TYREND というコラム欄があった。日本企業の DX 活用の最先端情報を伝えるコラムである。2023年5月時点までの113ケースを分析した。そのコラムの建設業について考察する。

113 企業のDX内容を以下の7つのカテゴリーに分類した。但し一つのコラムで複数のカテゴリーに該当するものは、該当カテゴリーに複数数えた。結果は①既存ビジネス改善：50 ②新事業・新商品創出：43 ③商品開発革新技術：18④IT人材育成：4 ⑤商品・システム・ビジネスのプラットフォーム確立：4 ⑥まちづくり：2 ⑦その他：4であった（図4-18）。

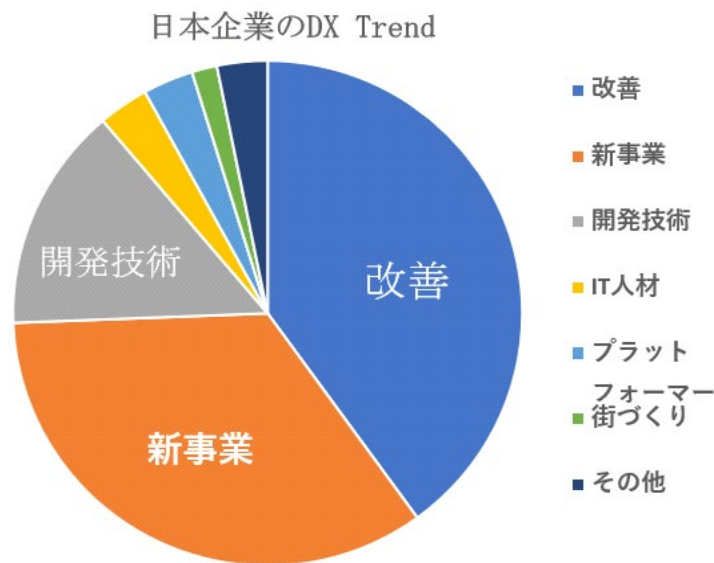


図 4-18 日本企業の DX Trend(日経電子版よりグラフ化)

日本経済の復活で興味深いテーマはプラットフォームとサプライチェーンに関するものである。プラットフォームとして有名なのは GAFAM (Google, Apple, Facebook:現メタ, Amazon, Microsoft) である。グローバルビジネスでプラットフォームになる日本企業が現れれば、日本企業復活の種となる。同様にグローバルビジネスのサプライチェーンの要を押さえる日本企業が出れば、これも日本企業復活のキーとなる。米国カルフォルニア大サンディエゴ校のウリケ・シェーデ教授は日本企業は「集合ニッチ戦略」「他社にない技術を身につけ、ライバルを出し抜き、北東アジアのサプライチェーンの要となるべき」と主張している。大林組はあらゆるメーカーの建機を無人で動かす仕組みを整えるとしていて、建設施工分野のサプライチェーンの一部を押さえる可能性がある。建設工事機械自動化のプラットフォームになろうとするものである。鹿島は溶接ロボットの操作に熟達した技術者を育て、大手ゼネコンの現場で下請け業者として工事を手がけるとしている。これも建設工事のサプライチェーンの一つであり、ロボット技術で現在の下請け工事会社を QCDSE で上回れば、この部分を押さえることが出来、グローバルビジネスでも戦える。

大林組の建設工事機械自動化のプラットフォーム推進の前に、コマツがこの分野でのプラットフォームとなろうとし、スマートコンストラクションを標榜した。コマツは 1998 年に土木の i-Construction の先駆けとして KOMTRAX を開発し、建設機械の稼働状況を収集してお客様に情報を提供していた。コマツの「スマートコンストラクション」は KOMTRAX を拡張したものである。ドローン測量・設計・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・検査を ICT・IoT でつなぐとした。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化するために LANDLOG を提案した。(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 (サイバーフィジカルシステム) として役立つようにした。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、世界中で展開している。海外にも多くの建機メーカーが存在し、各社独自の ICT, IoT を活用をしている。建機メーカーの国際競争は激しく、建機の自動化や土木施工のグローバルプラットフォーマーなることは紆余曲折が予想されていた。日経の DX Trend の 2021 年 7 月に「コマツ、工事コスト半減へ 3D で現場再現し人員最適化 中国勢台頭 土俵変える」が掲載された。この記事でコマツのスマートコンストラクション推進本部長四家千佳史氏は「IoT 化した建機などを使うスマートコンストラクション事業を 15 年に始めた。だが本当の変革を起こせていなかった」と語っている。

大林組は「10 年以内にコマツや米キャタピラーなどメーカーを問わず、全ての建機を自動運転する仕組みを構築する計画」。少なくとも大林の現場で工事する建機はこの仕組みを使用することになる。「後付け装置だけでなく、ソフトの販売」も検討するとしている。このソフトはプラットフォーマーになる可能性を十分秘めているが、現状では進捗していない。

鹿島の記事は「鹿島、建設現場に「ロボ職人」派遣 競合（竹中工務店：筆者追記）からも工事受注」2020 年 11 月である。鹿島のこの建設ロボット開発の動きは現在では「建設 R X コンソーシアム」へと発展し、2023 年 4 月の発表では「会員企業数が 200 社（正会員 28 社、協力会員 172 社）」となっている。HP や規約を見た限りでは「建設ロボット学会または協会」の雰囲気があり、共同開発・情報交換の場のように思える。2024 年には大手ゼネコン 5 社が全て参加している。鹿島は「ロボット運用の専門部隊を立ち上げ他社の工事を受注する」としている。建設工事のサプライチェーンの要の一つを抑えられれば、大きなビジネスになる（図 4-19）。



図 4-19 大手ゼネコンの躯体作業ロボット開発

鹿島は子会社の「鹿島クレス」で溶接ロボットの操作に熟達した技術者を育てて切り込み役とし、ロボットごとに専門部隊を立ち上げて様々な現場に派遣する方針と記している（2020 年 11 月）。2023 年 6 月時点で「鹿島クレス」の HP を見ると建設事業（施工管理）、BIM 事業、溶接事業、積算事業の 4 事業部門となっている。溶接事業以外の 3 事業はゼネコンビジネスのキーで大手競合他社からの受注は困難と思われる。競合が少ない中小企業や海外企

業、ゼネコン以外の建設関連企業・下請け企業からの受注は可能と考える。一方溶接事業は下請け工事なのでロボット溶接で品質・価格・施工性が優れていれば大きなビジネスになる可能性がある。「鹿島クレス」HPの東日本地域の主要実績を見たが、施工会社は鹿島・鹿島JVだった。溶接事業の実績は確認出来なかった。大林組の建設工事機械自動化のケースは建設サプライチェーンの一部のプラットフォーマーである。鹿島の溶接ロボットを活用した現場溶接事業への参入も建設サプライチェーンの一部への参入で、その工事のプラットフォーマーになれば大きなビジネスになる。

4.4.3 インターネットで公開されている建設DX

2020年8月のオートデスク社の調査：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ンにDXの成熟度を5段階に分けて調査。結果、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）と回答された。日本では初期段階42%、中期段階34%、成熟段階24%で、成熟段階の割合はアジア太平洋地域で最も高く、ドイツ・米国と並んで世界でも上位国の1つとなっている。

建設専門誌『鋼構造技術』の特集報告では、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。オートデスク社の調査結果を証拠づけている。

2020年10月日刊工業新聞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している。①大成建設では、谷山二郎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。②清水建設は今木繁行副社長をトップに「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、岡野英一郎執行役員が室長に就任。③鹿島建設は土木建築、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に取り組んでいる様子が見えるが、この報道ではDXのレベルについては言及していない。

2021年11月建設DX「スーパーゼネコンのDX事例まとめ」ではスーパーゼネコンのDXがどのような分野・作業に力を入れているかを報道している。①竹中工務店は設計補助、②鹿島建設は現場管理、③大林組は設計と現場、④清水建設はロボット、⑤大成建設は保守。日本の大手ゼネコンはDXに力を入れていると報道しているが、DXのレベルは部分的なDigitalization(生産システム改革)に過ぎない。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)にはいまだ遠く、レベル3の(新業務・新ビジネス化)は視野に入っていないと思われる。

4.4.4 経済産業省「DX銘柄」選定と建設業

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。さらに、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 社が選定されている。

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 社が選定された。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。鹿島建設の取り組みの紹介の大見出しには「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」とあり、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 X-20, 21 に示す。

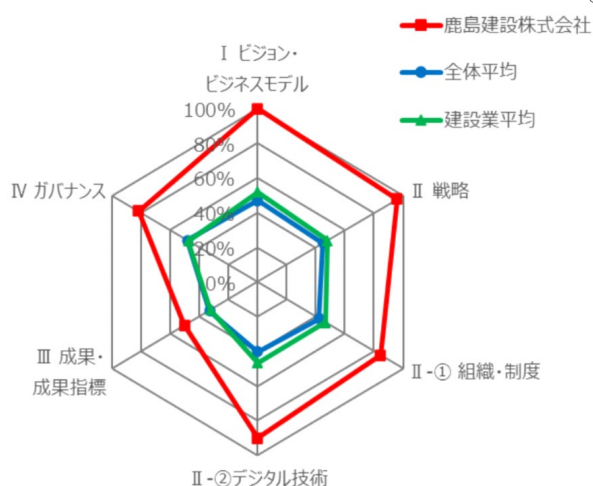


図 4-20 経産省 DX 銘柄選定での鹿島建設の
DX 調査・6 軸評価達成状況（経済産業省 HP）

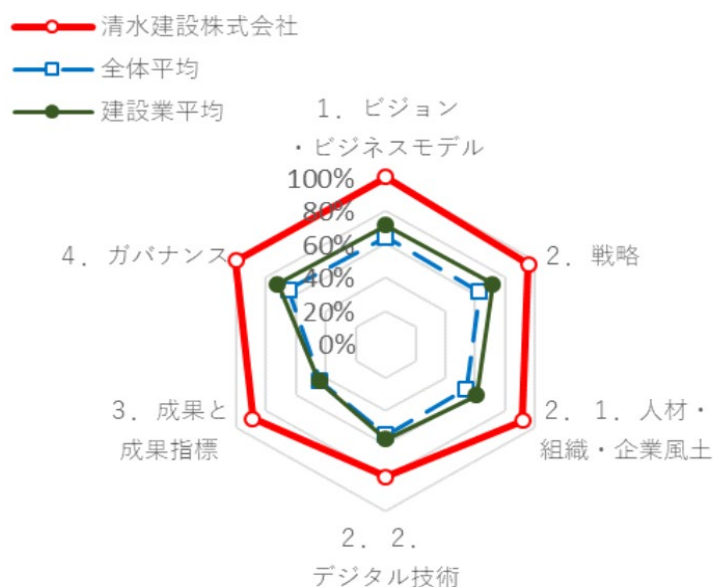


図 4-21 経産省 DX 銘柄選定での清水建設の DX 調査・6 軸評価達成状況
（経済産業省 HP）

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。清水建設建築企画室のは「Shimizu 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。さらに 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（図 X-22）。



図 4-22 清水建設が目指すデジタルゼネコン（清水建設提供）

大手ゼネコンの DX は着実に進歩している。2021 年 12 月 9 日の日経新聞は清水建設の建物 OS「DX-CORE」を大きく取り上げている。ビルを丸ごとバージョンアップする基本ソフトで、無数に存在する既存ビルの価値向上を新たな事業の柱にするものと報道している。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、さらに建物系 SIer 事業（IT システムのすべてを請負う事業）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。欧米ではベクテ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。建物 OS「DX-CORE」事業は建築・土木事業の上に立つ事業になる可能性がある。（図 4-23）

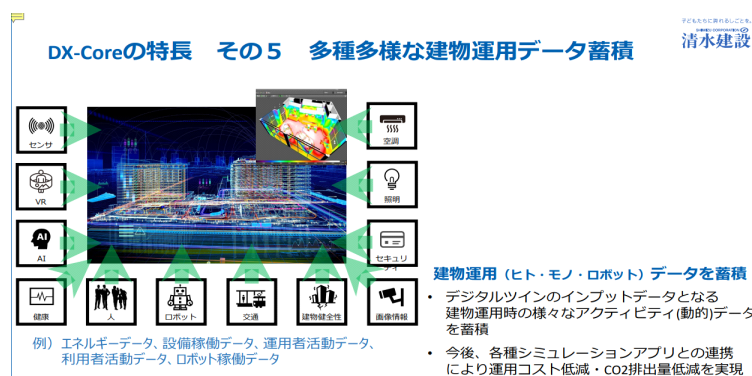


図 4-23 清水建設の DX-Core（清水建設提供）

4.5 建設業の経営戦略と DX

4.5.1 建築意匠・デザインと DX の未来

4.1 序論で述べたように、建築は工学部にありながら「建築工学」と言わず「建築学科」と呼んできた歴史がある。建築は工学であるが、芸術の一部であるという考えは今も有力である。4.2.2 日本建築の本質と情報伝達 では、建築は芸術であるが故に IT による設計は馴染まないという見解は今でも根強いと記した。有名建築家は建物のスケッチを描き、助手がそのスケッチを物差しで測定し図面にしたという逸話も残っている。建設物は人類生存のための覆いとしてだけではなく、宗教行為、権威を示す行為、精神生活を豊かにするため、文化・芸術を楽しむため、地域を豊かにするために、人々の生活を豊かにするために建設されてきた。個性豊かであり、如何に他と異なるかが基本にあり、製造業の製品（モノ）とは全く異質である。一品生産で独自性を重視した建築と製造業の大量生産する製品「モノ」とは基本的な違いがある。

しかしながらこのような芸術活動にも情報化技術、DX の波が押し寄せようとしている。設計のための情報収集・分析・整理への情報技術活用、新しいアイデア創出のための AI 活用、3D プリンターや VR/AR による簡便な模型製作、各種デジタルソフト・ツールによる創造性向上・表現力の向上、関連する専門家とのコラボの容易化などである。更には、デジタルアート制作と言う技術も進んでおり、建築家の設計のアシストをする多様なソフトの出現も予想される。設計アシストツールの多様化・高度化は進んでも、建築設計者・意匠デザイナーの創造性を代替することは出来ない。

4.5.2 大手建設業の未来戦略と DX 戦略

大手建設業の経営戦略を分析した結果、未来計画の大きな潮流は「まちづくり・地域づくりとその運営管理」と解釈した。従来の箱物造り主体から脱却して、人々の社会生活の分野に入り込み、まちづくり計画・施設を含む 地域建設・地域と施設運営・維持管理・リサイクルを SDGs の観点で行い、そのためにデジタルとロボテックスを大いに活用しようと言う内容である。町や地域全体の PPP・PFI 事業への事業拡大とも考えられる。

大林組は、中期経営計画（2022）で「技術とビジネスのイノベーション」を掲げ、DX やオープンイノベーションによって加速させるとしている。ビジネスイノベーションを実現するのはデジタルも含め他の技術の総合としていることは注視すべきである。DX はビジネス変革を促進するツールであるが、ビジネス変革には他の技術も重要である。但し、DX によって建設産業に異業種が参入し、産業そのものが変革する（デジタル・デストラクション Digital Disruption）可能性は存在する。清水建設が提唱する「デジタル・ゼネコン」「超建設」の未来にはその可能性がある。

大林組は、現時点では「人々が集う空間、街、環境などのサステナビリティに係わる社会課題にソリューションを提供する」とし、ロボティクスコンストラクション構想・現場のすべてを管理する現場デジタルツインを提案している（図 4-24、図 4-25）。



図 4-24 大林組の ROBOTICS COSTRUCTION(委員会資料)

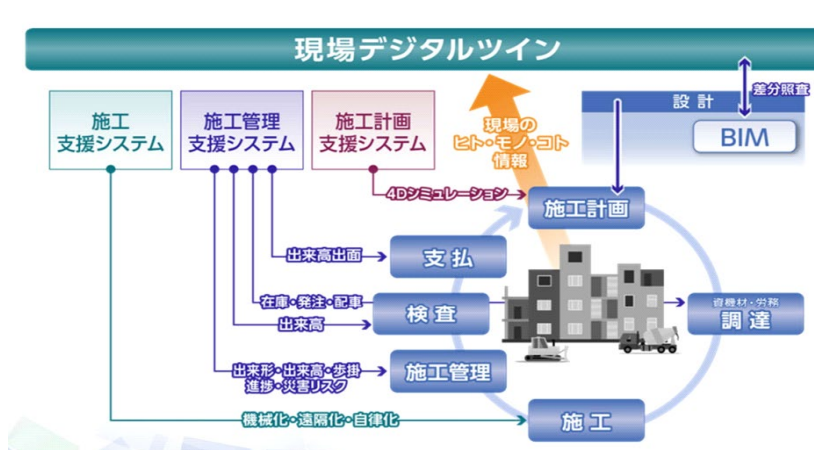


図 4-25 大林組の現場デジタルツイン（委員会資料）

鹿島建設は「魅力ある地方に人が流入し、より生き生きとした地方の実現」を掲げ、グローバルに展開するスマート・コンストラクションを提示している。大成建設は社長のメッセージで「未来の町づくりとすべての人のために」を標榜し、3つのX: IX（業界再編圧力）、SX（環境・社会課題）、DX（DXが競争力を左右）をからみ合わせて大きな変革をもたらすとしている。竹中工務店は「グループの事業領域をまちのライフサイクル全体に重ね合わせ、まちの価値を高める」とし、建築デジタルプラットフォームを示している。清水建設の経営方針には「人に優しい施設やまちづくりを通じて、健康・快適に暮らせるインクルーシブな社会の実現に貢献」「ICTを活用したまちづくり」「well-beingの提供」と記されている。

井上社長がオープンイノベーション拠点「温故創新の森 NOVARE（ノ ヴァーレ）」（図 4-26）」は「“超建設”という考え方を体現する場にしたい」と話している。



図 4-26 清水建設のオープンイノベーション拠点「温故創新の森 NOVARE（ノ ヴァーレ）」（清水建設提供）

“超建設”は新しいビジネスモデルの開発、建設産業の革新も見据えたものと思われ、建設 DX の究極の方向を模索するものと予想される。清水建設はいち早くデジタルゼネコンを提示し、社長直轄のデジタル戦略推進室を設置した。従来のゼネコンを超す、上位概念としてのデジタルゼネコン確立を期待される。サプライチェーンの強化を述べている会社が目立つが、サプライチェーンの一部をビジネスに取り込もうとする動きもある。鹿島建設は、ロボットを活用した溶接事業・建設施工管理事業・BIM 事業・積算事業の 4 事業を行う「鹿島クレス株式会社」を設立。建設のサプライチェーンの一部を担うプラットフォームを目指すものである。清水建設は異業種と合同で無人搬送フォークリフト関連ソリューションを提供する「リードテック株式会社」を設立。レンタルのニッケンも参加しているので物流事業のプラットフォームになる可能性を秘めている。大林組も異なるメーカーの産業機械・設備機器を制御・管理できるプラットフォームソフトを活用する PLiBOT 株式会社を設立。大手ゼネコンが描く未来は、地域の PPP・PFI 事業と建設サプライチェーンのビジネス化と理解出来る。デジタルゼネコンはゼネコン業務全体をカバーするプラットフォームとなることを期待される。

4.5.3 国土交通省「まちづくりの DX 実現会議」

国土交通省は 2022 年 4 月に「まちづくりの DX 実現会議」を開催した。国土交通省の「まちづくりの DX 実現会議」は、DX という先端技術でまちづくり（社会問題）を解決しようとするものである。会議に主催者 都市局の宇野善昌局長が一委員として入っているという

珍しい組織であった。会議の結論は素晴らしい内容である。最先端都市空間 DX の活用、官民連携とその役割分担の明確化、地域主導、データのオープン化を掲げている。AI やデジタルツインなどの最先端 IT 技術を活用して、「人間中心のまちづくり」実現を目指すとしている。そのために都市づくりの3つのビジョン、4つの重点取組テーマ、5つのまちづくり DX 原則を示している（図 4-27）。

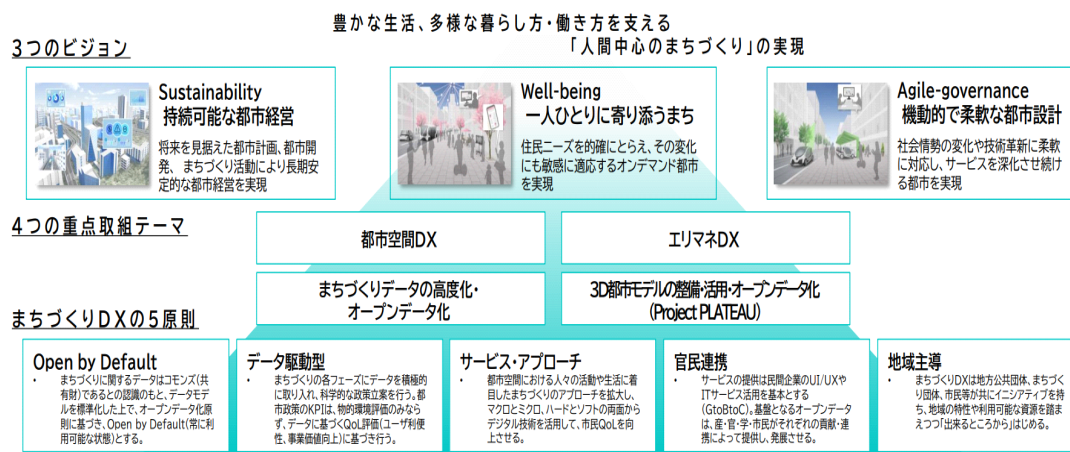


図 4-27 都市づくりのビジョン・重点テーマ・DX の 5 原則
(国土交通省 HP)

第 1 回会合での宇野局長の発言の一部を紹介する。「官がまちをつくるという考え方ではなく、官と民が連携して一緒にまちをつくっていく」「いろいろと ICT が進む中で（略）、リアルに人々が対面する、交流することの必要性はいささかも衰えていない」「多種多様な人が触れ合い、意見、雑談も含めて会話することでイノベーションが生まれるのが都市」「都市というのは総合体なので、いろいろな部局に関わっているので、そこは主導していろいろなところに提案をする、巻き込む、そういうことはしていかなければいけない」。委員の齋藤精一氏の発言を一部紹介する。「東京だけではなく、大都市の開発というのは、（略）金太郎あめ化している、同質化していると思っています」「皆さんが言っているのは、いのちの豊かさみたいなところに変容しているのではないかな。これは人間だけではなくて、そこに存在する生物や、少し日本的だと八百万的なことも含めて、そういう価値観に変容しているような気がします。これが、“Well-being” のところに後でつながると思います」。吉村雄二氏の発言も同様で「今のまちは人間だけが住むものではないと思います。動物、昆虫、それこそ無生物、無機物というか、バクテリアも住んでいるということを考えると、そういうものに対しても“Well-being”を高めていく」と発言している。複数の委員からは国交省だけでなく、いろいろな省庁や関係機関と連携してやっていくことが重要との意見が出され、内閣府、内閣官房、デジタル庁などの関連部署・委員会との連携 が追加記載された。最終回第 4 回では エリア経営がまちづくりの中で非常に重要な単位になっている、一自治

体でもエリア、一ブロックでも一字（あざ）でもエリアとの意見が出された。まちづくりは、まず可能なエリアで、必要とするエリアで始めることの必要性が主張された。一年毎に全てのことが違う。そのスピード感に、仕組みなどの革新が追いつかないと、残念な結果に終わるリスクもあるとの指摘もされた。都市局長の宇野氏は最終回の第4回時点では他部署に異動していたが、委員会に出席して次のように発言している。「他局や他省庁、要は他の行政分野と都市行政、まさに都市行政はプラットフォームなので、つないでいくということに広げられると、（提案の）ver2.0に進化していくのではないか」「一般の自治体の方やごく一般の人が読んで本当に理解できるかという点に非常に心配があります」「エリアを限ってやってみるということは、小さな成功を少しずつつくっていく、それが推進力になる」。

この提案が実効性を上げるか否かが重要である。国土交通省都市局の担当者に問い合わせた結果、「まちづくりのデジタル・トランスフォーメーション実現ビジョン（ver1.0）」はいまだ推進されておらず、進められているのは既存の都市3次元モデル PLATEAU であった。1)「DXは社会技術に展開できるか」を議論する以前の状態である。宇野局長が他部署へ転出し、新しい局長の方針は異なる方向となったと予想される。国・県では担当者が2年ごとに移動しPDCAが全く廻らないのが実情である。しかし宇野局長時代に得られた結論は民間で実行すべき方向である。

4.5.4 建築産業とDXの未来

建設産業の最大課題は2024年問題である。本年、2024年4月に建設業でこれまで猶予されていた残業時間の上限規制が適用された。労使間で特別条項付きの協定を結んだ場合でも、残業時間が年720時間に制限される。月45時間を超えられる月も年6カ月までとなる。この建設業界の「2024年問題」で、働き方の抜本的な見直しが迫られている。未来ではなく、今日の課題である。日経XTECで2024年4月に主要建設会社アンケートを実施した結果、約4割の企業で規制をクリアする目処が立っていないとした（図4-28）

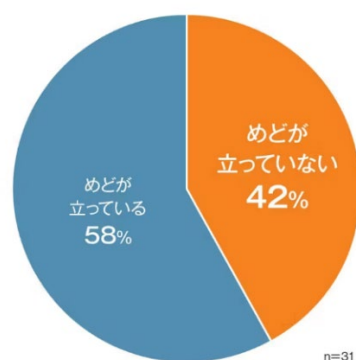


図4-28 建築現場で残業規制をクリア出来るのか？

（出所：日経クロステック 2024年4月調査）

大手ゼネコンは、建築現場ではその対策として現場管理の全てにデジタル技術活用を推進している。

大成建設は施工技術者の管理を全てデジタル化する方向である。カメラ画像や計測データを基に施工状況を見える化し、施工管理システム「T-iDigital Field」を実用化した。従来手作業で進めていた情報管理を丸ごと IT 化し、社員が個々のスマートフォンやタブレットで常時確認する方法である。清水建設はメタバース上で建物の実測データと設計データを重ね合わせ、建物を検査するシステムを開発した。設計担当者が建設現場まで移動する回数や設計担当者の同行人数を減らす。空調工事大手の高砂熱学工業は現場で取り付ける設備機器や配管、ダクトなどを工場でユニットとして事前に組み上げる取り組みを広げている。空調設備類の施工プロセスの一部を工場でのユニット生産に切り替えるなど生産性向上を目指す「T-Base プロジェクト」を 22 年に始めた。

建築生産プロセス（設計・施工・維持管理）を通して生産性向上を図るためのキーとして BIM が浸透委しつつある。BIM は建築生産プロセスのみならず建築産業・建設産業の全ての行為をカバーするキー技術となることが期待されている。

大手建設業の未来戦略には街づくり・都市づくりとその運営・維持管理が書き込まれている。そのためにキーワードは DX であり、技術的には CPS・DigitalTwin・アーキテクチャ・Big Data・Deep Learning である。DX として新ビジネスモデル創出のためにはプラットフォーム・Servitization の概念が必要である。IoT は通常、測定対象物（Things）にセンサーを設置して情報を発信させる。CPS では測定対象物は一つ（点的）で、閉じたフィードバックグループで特定部品の最適化を達成するのが目的である。一方、建設産業の工事対象（道路・都市・各種施設と周辺）における IoT の対象物は線的、面的、空間的、時間軸的と多次元である。製造業において IoT でセンシングされる主たる対象物はモノ（Things）で、IoT 活用の主要目的は生産性向上・部分最適化である。サブコントラクター、例えば鉄骨ファブリーケーターなどの鉄骨製作では製造業としての IoT・CSP 活用が期待される。施設の維持管理でも今後 IoT による CPS 的活用が期待される。一方建設産業が扱う範囲は広く、モノ以外に人（移動・位置・動き）、人情報（五感・満足度・好み・ニーズ）、波動、温度、湿度、放射線、照度、流量、流速、地震波、津波、各種環境情報など多様である。データの蓄積とフィードバック（CPS）のみならず、多地点のセンサーから同時あるいは逐次発信されるデータの解析精度と速度、リアルタイムな情報発信が要求される。このような状況が建築における IoT 設置の目的であるため、IoT 活用は CPS 以上に、DigitalTwin 的活用、建築 BIM と IoT との連動などが期待される。都市や空間の CPS は 4 次元、Digital Twin 的、スマートシテイは建築産業での IoT・BIM・DigitalTwin の活躍の場である。

4.6 日本における DX の進め方論と建設 DX の進め方

4.6.1 建設DXの象徴・スマートシイターの成功要因

米カルフォルニア大サンディエゴ校 (UC San Diego) ウリケ・シェーデ教授が語る日本再興論は、日本企業の世界における立ち位置を示している。その内容は2019年に出版した『The Business Reinvention of Japan』(日本語版『再興 THE KAISHA』2022)に詳しい。日本企業では、米国企業に比して真のDigital Transformation (ビジネス変革) を起こす環境が少ない(ほとんど無い)と感じているが、シェーデ教授の論はそのことの本質をついている。日本におけるDX実現には欠かせない認識である。

シェーデ教授は「タイトな文化」の日本と米国の「ルーズな文化」との比較している。「タイトな文化」とは「何が正しい行動かについて強い合意がある」「過激な変化を好まない」文化と言う。一方、シリコンバレーの「ルーズな」論理は「破壊しろ、改良しろ、成功しなければ失敗だ」「徹底的に打ちのめされることもあるが、誰かの失敗は別の人のチャンスでもある」「そのため多くのイノベーションが起こり、よりクレージーで独走的なアイデアが生まれる」と言う。Transformationを起こす文化とはこのようなアメリカの文化において起こしやすいと言うことと理解できる。国の文化は簡単には変えられず、その国にあるビジネス戦略があるべきだと言う。

日本の大企業には次の3種類の行動がある、①いつも礼儀正しく②適切であること③迷惑をかけない。日本のタイトな文化でも変化を起こす方法がある。「三つのうちの二つを守り、一つは破ってもよい」、日本の改革者達はそうやってきた。「タイトな文化」とは「調和の文化」である。聖徳太子の「十七条憲法」の最初は、「一曰く、和をもって尊しとし、逆らわないのを教義とせよ」と同じである。これは弥生時代の環濠集落の中で人々の和を保つ必要性から始ったもので、日本人の本質と考える。シェーデ教授の「三つのうち二つを守り一つを破る」は三千年続いた文化の中でイノベーションを起こすための重要な考えである。大手ゼネコンはスマートシティを進めている。これは古来以来の日本社会・日本のまちづくりとは大いにことなっている。まちづくりで何を守り、何を破るかは大いに議論すべきである。

清水建設は豊洲スマートシティを推進し、鹿島・大和ハウス工業は東京・羽田空港に隣接する大規模複合施設「HANEDA INNOVATION CITY」を建設した。シェーデ教授の示す方向をどのように取り入れるか、重要な議論と考える。DX議論・Digital Twin議論のみに集中せず、日本文化の中でのスマートシティのあり方を議論することが重要と考える。

4.6.2 「まちづくり・地域づくり」・ビジネス変革でのDXの役割

前節で記したように、大手ゼネコン未来計画の大きな潮流は「まちづくり・地域づくりとその運営管理」である。国土交通省は2022年4月に「まちづくりのDX実現会議(以下会議)」を設置し、地域や社会の課題を解決するDXのビジョンや重点的な取り組み・施策などについて議論し、同年7月に「まちづくりのデジタル・トランスフォーメーション実現ビジョン[ver1.0]」を公表した。建設業にとっては大変重要なビジョンと考える。

「まちづくりと地域づくり」は「社会づくり」である。「社会づくり」に DX は活用できるかを考える。

「DX は社会技術に展開できるか」と言う議論がある。「社会技術」とは「新しい社会システム構築のための複数領域の技術融合」である。

ケネディ大統領の副大統領だったリンドン・ジョンソンはケネディ暗殺事件により 1963 年第 36 代アメリカ大統領に就任した。彼は貧困撲滅、公民権確立を推進するために「偉大な社会 (Great Society)」を掲げ、その実現には科学技術の活用が不可欠とした。若い貧困者・高齢者への対策や「宇宙科学技術応用計画」を策定し、宇宙技術開発企業に社会問題（ゴミ収集、犯罪防止など）解決を依頼した。当時の宇宙技術、開発初期のドローンや監視カメラなども活用された。宇宙技術は社会問題解決とはかみ合わず、当時のドローン・監視カメラはコスト高・性能不足で充分活用できなかった。さらにこの二つの新技術は安全性、プライバシーの問題でも市民から批判が噴出した。技術の進歩は目覚ましく、現在ならばジョンソン大統領の政策は成果を上げた可能性が高い。技術の社会問題への活用は長期間にわたる。技術進歩を勘案しての活用が必要である。

第 37 代のニクソン大統領は RANN Project (Research applied to national needs : 国民ニーズ対応研究) を推進した。このプロジェクトは NSF (National Science Foundation) に設置され、巨額の資金を投じた。目的は環境・エネルギー・教育など国民の生活に直接関係する分野において、基礎研究から応用研究までを一貫して支援することだった。1970 年代前半には多くのプロジェクトが推進されたが、思うような成果が得られず、1981 年には廃止されプロジェクトは挫折した。プロジェクトを担当した NSF が基礎研究を支援する組織で、応用技術開発の促進が不十分だった。

両大統領は社会問題の解決に先端科学技術を活用しようとしたが、問題が多発して失敗した。リチャード・R・ネルソン コロンビア大学名誉教授は「月とゲトロー科学技術と公共政策」を出版し、「われわれは月に人を送り込むことができたのに、なぜ都市の貧困の問題を解決できないでいるのか？」と問いかけた。両大統領の科学技術を活用した社会問題解決政策が必ずしも成功しなかった要因には、先述した先端技術の問題以外に以下のような要因があった。①各省庁にはそれぞれ異なる専門分野や方針があり、連携がうまくいかず、プログラムの効率的な実施を妨げた。②他の政府機関の管轄・政策に重なるものが多く、重複や競合が生じた。③プログラムの内容を各州（特に南部の州）や市の特性に合わせて調整することをせず、画一的に実施し効果が十分に発揮されなかった。④官僚的な手続きや規制、予算の不足などが障害となった。⑤政治的な支持や合意形成が不十分で保守派や反動勢力の抵抗や批判に直面した。ただし、ジョンソン大統領の場合はベトナム戦争の影響も大きく、ニクソン大統領の場合は先述したように、NSF の本来業務が基礎研究であったことも影響している。NSF の担当官や責任者のほとんどは大学教授経験者である。

両大統領の失敗要因の分析は大手ゼネコンの DX による「まちづくり・地域づくり」推進に大いに役立つと考える。

4.7 まとめ：DXによるゼネコンビジネスの変革

4.7.1 DX 定義の変遷

世界で最初に DX に言及したのは、当時スウェーデンのウメオ大学教授のエリック・ストルターマン氏と言われている。彼は 2004 年の「Information Technology and the Good Life」と言う論文の中で以下のように記している。” The digital transformation can be understood as the changes that digital technology caused

or influences in all aspects of human life.”。2010 年代にスイスのビジネススクールのマイケル・ウェイド教授らはデジタル・ビジネス・トランスフォーメーションという概念を提唱し「デジタル技術とデジタル・ビジネスモデルを用いて組織を変化させ、業績を改善すること」とした。世界的経営コンサルタント会社 Gartner 社は 2014 年に「仮想世界と物理世界が融合され、プロセスや業界の動きを変革する新しいビジネスデザインを実現した改革プロセス」、IDC Japan 社は 2015 年に「新しい製品やサービスを通して競争上の優位を確立すること」と定義し、2021 年には用語解説の中で DX を以下のように説明している「企業が外部エコシステム（顧客、市場）の破壊的な変化に対応しつつ、内部エコシステム（組織、文化、従業員）の変革を牽引しながら、第 3 のプラットフォームを利用して、新しい製品やサービス、新しいビジネスモデルを通して、ネットとリアルの両面での顧客エクスペリエンスの変革を図ることで価値を創出し、競争上の優位性を確立することを指す」。

最初に DX を定義したストルターマン氏は、2022 年に日本企業のエグゼグティブアドバイザーに就任し、定義を 3 つのレベル「**DX for Society**(社会の DX)」「**DX for Public sector** (公共の DX)」「**DX for Private sector**(プライベートセクターの DX)」として再策定した。「社会の DX」は「DX とは、よりスマートな社会と、各個人が健康で文化的なより良い生活を送れるサステナブルな未来をもたらすこと」、「公共の DX」は重要な指摘で、政府・自治体での DX のあり方を定義している。氏がエグゼグティブアドバイザーに就任したデジタルトランスフォーメーション社の HP の訳文の中では「(公共の) DX は住民をより安全・安心にし、快適で持続可能な社会へと導くことができるソリューションを生み出すことで、住民の幸せや豊かさ、情熱を実現し、地域やエリアの価値を向上させること」と記されている。「プライベートセクターの DX」は企業の立場の DX で、HP の記述は「企業がビジネスの目標やビジョンの達成にむけて、その価値、製品、サービスの提供の仕組みを変革すること」である。2023 年ヒューレッドパッカード社研究所のパオロ・ファラボッシ氏は「Digital

Transformation: Lights and Shadows」と言う論文で DX へ向けての 3 ステップ論を展開している (図 4-29)。

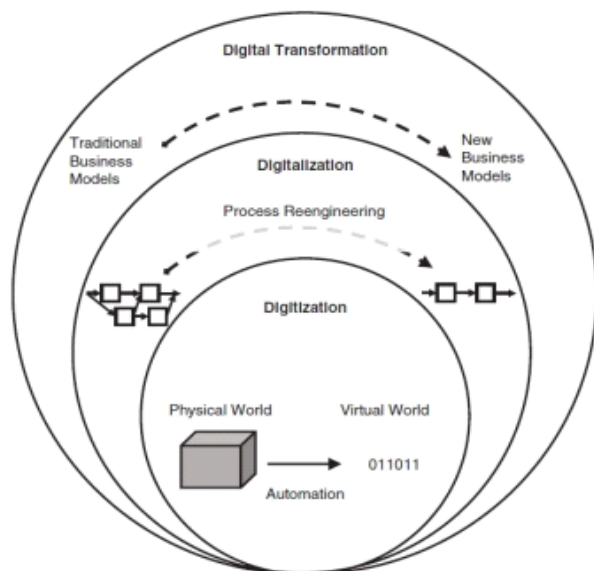


図 4-29 パオロ・ファラボッシ氏の DX へ向けての 3 ステップ論

ステップ 1 Digitation (Physical World から Virtual World へ)、ステップ 2 Digitalization (Process Reengineering)、ステップ 3 Digital Transformation (Traditional Business Model から New Business Model へ)。

この 3 ステップの内容理解も多数あるが、Digitation: アナログ・物理データ・紙データのデジタル化、Digitalization: 個々の業務・製造プロセスの生産性向上のためのデジタル化、Digital Transformation (DX): “顧客起点の価値創出” のための新商品・新サービス、新事業や新ビジネスモデルの創出 との理解が多い。

米国のリサーチ会社ジェイムス・マキベイ副社長は 2013 年にデジタル・デスラプションを発表している。最近「デジタルによる産業破壊・創造」としてクローズアップされ、総務省も 2021 年の情報白書で企業活動の DX の章の中でデジタル・デスラプションを記し、日米における実例を説明している。

4.7.2 ビジネス変革の中心は DX のみか

4.5.2 大手建設業の未来戦略と DX 戦略で述べたように、大林組は、中期経営計画 (2022) で「技術とビジネスのイノベーション」を掲げ、DX やオープンイノベーションによって加速させるとしているが、ビジネスイノベーションを実現するのはデジタルも含め「他の技術の総合」としていることは注視すべきである。DX はビジネス変革を促進するツールであるが、ビジネス変革には、他の多くの技術との総合、ビジネス環境の変化、経営決断による M&A

などなどが重要である。過去に行われた、企業の新商品開発・新ビジネス開発・主力ビジネス変革・新ビジネスへの転換の歴史も研究する必要がある。日経電子版の DX Trend で真の意味での DX が少ない理由も研究・分析が必要である。

富士フィルムが医薬品ビジネスに参入出来たのは、写真ビジネス環境の変化によるもので、新ビジネスは M&A によって行われた。医薬品ビジネスに参入できたのは写真フィルム製造に活用していたファインケミカル・ナノ粒子技術の力が大きい。日立造船の環境ビジネスへの参入も同様な状態であった。

4.7.3 日本政府の DX 政策

日本政府は 2020 年 7 月 17 日の閣議決定「世界最先端デジタル国家創造宣言・官民データ活用推進基本計画の変更について」の脚注に DX が以下のように説明されている「将来の成長、競争力強化 のために、新たなデジタル技術を活用して新たなビジネスモデルを創出・柔軟に改変すること（以下省略）」。

経済産業省は、DX を実現するために「デジタルトランスフォーメーションに向けた研究会」を設置し、「DX レポート～IT システム『2025 年の崖』の克服と DX の本格的な展開～」と題した報告書を 2018 年に発表した。以後 4 回にわたり DX レポートを発表している。2020 年に発表した「DX レポート」では DX を次のように定義している。「企業がビジネス環境の激しい変化に対応し、データとデジタル技術を活用して、顧客や社会のニーズを基に、製品やサービス、ビジネスモデルを変革するとともに、業務そのものや、組織、プロセス、企業文化・風土を変革し、競争上の優位性を確立すること」。この時点での経産省の認識では DX とは“製品やサービス、ビジネスモデルの変革”で、生産性向上とは唱っていない。DX (Digital Transformation) の Transformation の意味は「変革」で、DX はデジタルによる（何かの）変革である。しかし経産省の「DX レポート 2」では図 4-30 のようにステップ 1～ステップ 3 の全てを DX と認めているようであった。その後、誤解を産んだとしてステップ 3 のみを DX と強調している

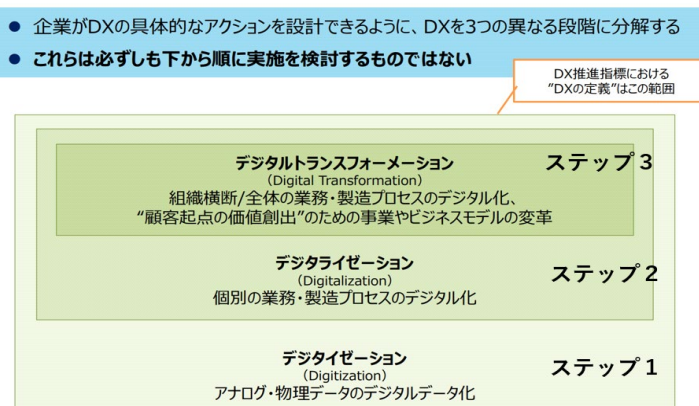


図 4-30 経産省DXレポート2「DX成功パターンの策定 | DXの構造」
(ステップ 1, 2, 3 は筆者追記)

4.7.4 国土交通省のDX戦略

国土交通省は2020年7月に「国土交通省インフラ分野のDX推進本部」を設置し、2022年3月には「インフラ分野のDXアクションプラン」を発表した。重要な点は国土交通省が保有するデータをオープンにしようとしていることである。既に記したように、国土交通省は早い時代からIT技術に取り組んで来た。i-Construction, BIM/CIM, 3D都市モデルPLATEAUなどである。これらの成果を2020年7月17日の閣議決定に合わせようと努力しているように思われる。国交省の今後のアクションプランは幅広い分野に渡っている。1) DXデータセンターの構築(河川・道路の点群データなどを一元的に保管し、閲覧可能とする)。2) 3D都市モデル(PLATEAU)のオープン化の推進(「スマートシティ」をはじめとしたまちづくりのデジタルトランスフォーメーションを進めるため、その基盤となる3D都市モデルの整備・活用・オープンデータ化を推進)。3) 国土交通データプラットフォームの構築(官民が保有する様々な技術やデジタルデータとの連携により、同一プラットフォーム上で一括した表示・検索・ダウンロードを可能とする)。

4.7.5 DXによる建設業の未来戦略

「土木建築タスクフォース」でも「都市全体のデジタルデータ化」が議論されている。大手ゼネコンの未来計画は「まちづくり・地域づくりとその運営管理」である。箱物造りから脱却して、地域建設・地域施設運営・維持管理の新しいビジネスモデルである。国交省が「まちづくり」の基本となる都市関連データを一元管理し、民間が自由に活用できるようにするという方針は、建設業の未来計画推進の強い味方である。建設業の新しい方向を支援する官民一体建設DX推進すると思われる。

大手ゼネコンの建設DXの最終目的は「DXによって、個別建物造りビジネスからまちづくり・地域づくりビジネスへと変革すること」と予想する。都市・街の変革は社会変革である。国土交通省も高精細なデジタルツインの構築を目指す「建築・都市のDX」をSociety 5.0を実現するための必要不可欠な施策としている。

本論での議論がゼネコンの未来戦略の実現に資することを期待する。

参考文献

- 【1】国土交通省 情報化施工推進会議「情報化施工推進戦略」2008年7月
- 【2】国土交通省 BIM/CIM 推進委員会国土交通省
- 【3】建築BIM推進会議
- 【4】総務省 情報流通行政局情報通信政策課情報通信経済室
「デジタル・トランスフォーメーションによる経済へのインパクトに関する調査研究」1202年3月
- 【5】清水建設 HP
- 【6】大林組 HP

- 【7】 鹿島建設 HP
- 【8】 大成建設 HP
- 【9】 竹中工務店 HP
- 【10】 PIVOT 公式チャンネル 「【逆説の日本企業論】カリフォルニア大 (UCSD) の経営学者「小兵力士・舞の海」から学べ」／ウリケ・シェーデ教授が明かす集合ニッチ戦略／大企業にも「隠れた良さ」
- 【11】 Paolo Faraboschi 他 「Digital Transformation: Lights and Shadows」2023/4
- 【12】 経済産業省 デジタル産業の創出に向けた研究会「D X レポート 2.1 D X レポート 2 追補版)」令和 3 年 8 月
- 【13】『鉄構技術 特集 BIM の将来像』2024 年 6 月

第5章 DXによる日米企業の投資効率の変化

玄場 公規

1. はじめに

デジタルトランスフォーメーションは日本企業にとっても重要な経営課題である。しかしながら、情報処理推進機構の調査によれば、日本企業は、デジタイゼーションやデジタルイゼーションの領域での成果はあがっているものの、顧客価値創出やビジネスモデルの変革といったトランスフォーメーションのレベルの成果創出は不十分であり、本来の目的「X=変革」に向けてさらなる取組の深化が必要であると指摘されている（独立行政法人情報処理推進機構「DX 白書」2023[1]）。日本で DX に取組んでいる企業の割合は 2021 年度調査の 55.8% から 2022 年度調査は 69.3% に増加し、2022 年度調査の米国の 77.9% に近づいており、この 1 年で DX に取組む企業の割合は増加している。しかしながら、全社戦略に基づいて DX に取組んでいる割合は米国が 68.1% に対して日本が 54.2% となっており、全社横断での組織的な取組を進めていく必要があるとされる。さらに先進技術の活用に関しても米国企業は先進技術への感度が高く、DX に必要な「先んじて挑戦し失敗からも学ぶ」というやり方で、いち早く DX を進めており、日本企業はマインドシフトや取組方の見直しが必要であると結論付けている。

このように DX は米国の方が進んでおり、特にビジネスに直結した成果が認められるとの指摘は少なくない。この点、後ほど述べるように、近年の日本企業のビジネス展開には課題があり、収益性の低下が課題であることを主張する既存研究は多い。

もちろん日本企業は今でも高い技術力を有しており、魅力的な製品を提供し続ける能力は十分保持していると考えられる。そのため、研究開発投資及び設備投資の効率性が下がっているからと言って、安易に「投資額を減らす」という経営判断は、従来蓄積してきた技術力を低下させることに直結する。これらのような問題意識から、本章では筆者も共同研究者となった日本及び米国の製造企業の研究開発投資及び設備投資と収益性との関係を長期に分析した二つの研究成果を引用したい（今橋ら、2023）[2]、（鈴木、2023）[3]）。

これらの研究成果が明らかにすることは、日本企業のみならず、米国企業においても、研究開発投資と収益性は負の関係にあり、また、多くの年度で設備投資でも負の関係にあるということである。すなわち、投資効率の低下は両国の企業ともに認められる現象である。その中で一部の米国企業は世界の市場を席卷する企業が表れていることも事実であり、研究開発投資及び設備投資を安易に放棄するというのではなく、今後、DX を中心に戦略的に積極的な投資が不可欠であるという考え方が重要であると考えられる。

2. 既存研究

日本企業の研究開発の効率性が低下しているのではないかと指摘する既存研究は多い。榊原ら（2002）[4] は研究開発の効率性に関する既存研究を整理し、研究開発の効率低下は疑問の余地なく確認できるわけではないが、効率性の低下を示唆する研究が多くあり、その要因として、日本企業の技術戦略に課題があるとしている。

ただし、過去の研究開発と収益性に関して実証的な分析を行った研究においては、研究開発投資と企業のパフォーマンスには正の相関があるとする結果が示されている。例えば、鄭（2005）[5]は東証 1 部、2 部の上場銘柄のうち売上高研究開発費が 1%以上の企業の株式を対象に分析し、1 年間株式を保有した際のリターンについて検証している。その結果、売上高研究開発費の比率の高い企業は超過利益をもたらす結果が得られたと主張している。また、榊原ら（2006）[6]は、日本の製造業を対象として、売上高研究開発費の比率が高い企業は PBR（Price Book Value Ratio）の高い成長株であることを見出し、特に売上高研究開発の比率の高い企業が多い産業においては、研究開発投資が時価総額に対して有意に正の効果を与えていることを指摘している。

その一方で、筆者は、2008 年度の製造企業のデータを分析し、サービス化比率が高い企業ほど収益性が高く、その一方で、研究開発費比率が高い企業ほど収益性が低い傾向にあるという分析結果を得た（玄場、2012）[7]。この結果は、日本の製造企業の研究開発投資の効率性が低下しているという指摘と整合的とも言える。さらに筆者は長期的な分析結果を行い、研究開発投資と収益性は、2000 年代前半までは正の関係にあるが、近年は負の関係にあり、また、設備投資についても有意な結果が得られていない年度があるものの、2010 年度までは概ね正の関係にあったが、設備投資比率も収益性には有意に負の関係にあることを示した（玄場ら、2016）[8]。

このように確かに過去の日本企業は投資とリターンに正の相関があったものの、近年は投資効率が低下している可能性がある。その理由として、上記のように、顧客価値創出やビジネスモデルの変革の成果創出が不十分であり、変革に向けた努力が必要であるとの指摘は説得力がある。一方で、米国企業は、DX を中心として、全社戦略に基づいて変革に取り組んでおり、成果が得られているとされている。それでは、日本企業は長期において投資効率が低下し、一方で米国企業は投資効率が低下していないのだろうか。本章では、この点について長期の豊富なデータを用いた具体的な実証分析結果を紹介したい。

3. 日本企業の分析結果

まずは、日本企業の投資と収益性を分析した結果を以下に引用する（今橋ら、2023）。分析対象は、2015 年度から 2021 年度に上場製造企業である。データは日経 NEEDS データベースを用いて収集を行い、2015 年度から 2021 年度の売上高、営業利益、研究開発費、設備投資費を計上している企業が分析対象となっている。全製造業の分析対象企業数はおおよそ 1,300 企業である。

各企業の研究開発費比率及び設備投資費比率と収益性との関係を定量的に実証するため、

売上高営業利益率を被説明変数、各企業の売上高研究開発費比率（以下、研究開発比率）及び売上高設備投資費比率（以下、設備投資比率）を説明変数とした重回帰分析を行っている。なお、規模が大きい企業ほど利益性が高い規模の利益は一般に知られていることから、企業規模の代理変数として各企業の売上高を説明変数として加えている。以下に説明変数及び被説明変数それぞれの定義を示す。

【被説明変数と説明変数の定義】

営業利益率：営業利益／売上高

研究開発比率：研究開発費／売上高

設備投資比率：設備投資費／売上高

企業規模：log10（売上高）

各年度の重回帰分析の結果を図表 1 に示す。それぞれ、修正済み決定係数及び説明変数に対する回帰係数であり、*は各係数の有意水準を示している。なお、研究開発比率と設備投資比率の説明変数間に高い関連性がある場合、多重共線性を避ける必要があるため、分散拡大要因 VIF（Variance Inflation Factor）を算出して判断した。VIF 統計量が 10 以上であれば、多重共線性が問題となるため、VIF 統計量が 10 以上の場合はどちらかの説明変数のみを用いた回帰式で分析を行った。

ほとんどの年度において、研究開発比率の係数は有意に負の値となっている。また、設備投資比率については、2019 年度と 2021 年度は有意に正の値となる結果が得られたが、有意に負の年度も多い。やはり前述のように日本の製造企業の研究開発費の効率性が低下しているという指摘と整合的な結果が得られ、設備投資についても効率性の低下に悩む企業が多いことが示唆されている

ただし、今橋ら（2021）の研究では、今後の日本企業は投資意欲が拡大していく可能性もあると指摘されている。実際に研究開発投資に積極的な日本企業もある。トヨタ自動車（1 兆 904 億円）、本田技研工業（7,801 億円）、日産自動車（5,035 億円）と大手自動車企業が並んでおり、その後にデンソー（4,900 億円）、武田薬品工業（4,558 億円）などの大企業の他、モダリス、ブライトパス・バイオ、アンジェス、メドレックス、ヘリオスなど医薬品に注力するベンチャー企業も売上高研究開発比率は 1000%～10 万%程度であるとしている。これらのベンチャー企業の売上高営業利益率は大きなマイナスであるが、医薬品という成功すれば投資リターンの大きな市場に積極的に投資する戦略であると考えられる。

年度	研究開発比率		設備投資比率		企業規模		定数		決定係数 補正R2
		有意		有意		有意		有意	
2015	-1.49	**	-0.07		0.024	**	-0.005		0.952
2016	-1.22	**	-0.06		0.043	**	-0.100	*	0.988
2017	-1.35	**	0.07		0.005		0.08	**	0.996
2018	-1.29	**	—		0.020	*	0.02		0.997
	—		-10.64	**	0.174	**	-0.19		0.930
2019	-1.52	**	0.92	**	-0.021	*	0.17	**	0.996
2020	-1.33	**	—		0.008		0.06		0.994
	—		-13.44	**	0.162	*	0.06		0.936
2021	-1.25	**	0.12	**	0.200	**	-0.88	**	0.999

* :5%有意、** :1%有意

図表 1 日本の製造業企業の分析結果

4. 米国企業の分析結果

上記のように日本企業の研究開発及び設備投資の効率性の低下を示唆する定量分析が示されたが、これは日本企業だけの経営課題と言えるのだろうか。この点、実は米国企業でも効率性が低下していると指摘する研究がある。例えば、経済産業省産業技術環境局（2021）「我が国の産業技術に関する研究開発活動の動向」によれば、米国企業も、多額の研究開発費を費やしているが、それが効率的に利益に結び付いていないことが示唆されており、研究開発投資の効率性の低下が指摘されている [9]。また、1996 年～2005 年と 2006 年～2015 年を第 1 期と第 2 期の期間に分けて、研究開発の効率性（研究開発効率性＝生産性上昇率/研究開発支出）の低下に関する研究結果によれば、米国製造業の場合、第一期と第二期を比較すると、第二期の方が研究開発の効率性が低下している [10]。さらに米国の研究開発の効率性が年率 10%程度で低下していることを示す研究結果もある [11]。また、投資後の利益のバラツキに関する研究もある。研究開発投資によってもたらされる将来便益が、設備投資と比較すると、非常に大きな不確実性を有することを報告している [12]。

このような既存研究を受けて、前述の鈴木ら（2023）は米国企業の研究開発・設備投資と収

益性との実証分析を行っている。以下、その結果を引用しよう。分析対象は、米国の上場市場に上場している企業である。データは FactSet を用いて収集を行った。2010 年度～2021 年度の売上高、営業利益、研究開発費、設備投資の費用を計上している企業のデータを用いた。サンプル企業数は 1,000～1,800 である。

分析方法は日本企業と同じである。以下に説明変数及び被説明変数の定義を示す。

【被説明変数と説明変数の定義】

営業利益率：営業利益/売上高

研究開発比率：研究開発費/売上高

設備投資比率：設備投資費/売上高

企業規模：log10（売上高）

重回帰分析の結果を図表 3 に示す。本章の主題である研究開発投資及び設備投資比率の係数の正負のみを引用した。決定係数は修正済み決定係数であり、***は各係数の有意水準を示している。なお、どの年度も多重共線性の問題はなかった。分析の結果として、日本企業と同様に研究開発比率の係数は全ての年度で有意に負の値であった。また、設備投資比率の係数については、2019 年度及び 2021 年度は有意に正、2011 年度に有意ではない正の値であるが、それ以外は、全ての年度で有意に負となる結果が得られた。

年度	研究開発比率		設備投資比率		企業規模		定数		決定係数 補正R2
		有意		有意		有意		有意	
2010	-1.34	***	-4.44	***	18.470	***	-41.053	***	0.572
2011	-1.43	***	0.73		11.937	***	-27.821	***	0.977
2012	-1.14	***	-22.73	***	7.878		-13.095		0.850
2013	-1.70	***	-3.08	**	13.734	***	-29.697	***	0.651
2014	-1.78	***	-2.58	***	6.170	***	-13.293	***	0.947
2015	-2.19	***	-13.22	***	-6.744	*	20.192	**	0.775
2016	-1.18	***	-10.11	***	6.733	***	-14.200	***	0.878
2017	-2.15	***	-0.68	***	8.485	***	-17.325	**	0.977
2018	-1.33	***	-0.71	***	11.211	***	-23.388	***	0.933
2019	-1.61	***	0.99	***	2.466	*	-5.845	*	0.933
2020	-1.37	***	-3.90	***	42.185	***	-93.613	***	0.206
2021	-2.05	***	1.80	***	6.445	***	-15.421	***	0.998

図表 3 米国企業の分析結果

(注) 被説明変数は売上高営業利益率

***：0.1%有意、**：1%有意、*：5%有意

5. 考察

前述のように米国企業の研究開発費の効率性が低下していると指摘する既存研究があり、鈴木ら（2023）の研究でも、それらの指摘と整合する分析結果が得られたことになる。それでは、研究開発投資あるいは設備投資を安易に辞めれば良いのだろうか。もちろん、研究開発費を削減すれば収益率は向上するかもしれないが、その後の企業成長は困難になる。例えば、代表的な業界である半導体業界の場合、2023 年現在、足元では市況が低迷しているが、研究開発を遅らせると次世代品で競合他社にシェアを奪われ、競争に負けてシェア低下や再編につながる可能性があり、収益悪化につながるかもしれないが、長期的な視点で継続的に研究開発投資の必要があると言われてしている[13]。

その一方で研究開発費を削減して収益率を向上しようとする企業があることも事実である。この点、数多くの企業データを用いて、企業の業績予測が研究開発に与える影響について実証分析を行った研究がある[14]。この研究においては、1980 年から 2001 年までの米国製造企業の研究開発費を対象に企業のパフォーマンスなどが研究開発投資に関する意思決定にどのように影響するかを分析した結果、業績目標を達成する可能性が低いと想定された場合には研究開発活動が活発化し、対照的に、自社のパフォーマンスが高く改善すると期待される場合、研究開発活動が低下するというものである。すなわち、経営のパフォーマンスが十分であると想定されるのであれば、株主の代理人である経営者としては利益を確保するために、むしろ研究開発投資に消極的になるということになる。

前述のように米国企業では投資と収益の好循環が実現しているとする指摘もある。ただし、本章の分析結果を踏まえれば、米国企業全般において、投資と収益の好循環が実現しているのではなく、世界市場を席卷するような有名企業に焦点を当てて言及していると考えられる。また、これらの企業は短期的な収益を目的とせず、将来の企業成長を実現するために積極的な戦略的な投資を行っているとするのが適切である。例えば、鈴木ら（2023）の研究では、GAFA と呼ばれる成長企業の研究開発投資額及び売上げに対する比率も日本企業とは桁違いの値となっていることが指摘されている。具体的には、Amazon が 732 億ドル、Alphabet が 395 億ドル、Apple が 262 億ドル、Facebook が 353 億ドルであり、為替によって比較する値が上下することを勘案しても、日本企業で最大の投資額と考えられるトヨタ自動車の約 1 兆円の 5 倍～10 倍となる。

これらの企業の売上高は巨額だから投資も可能になるとの反論も考えられるが、売上高に占める研究開発費の比率についても、Facebook が 30%と最も高く、Alphabet が 14%、Amazon が 14%、Apple が 7%となっている。そして、興味深いことに営業利益率は、Apple が 30%と最も高く、Alphabet が 26%、Facebook が 25%、そして、Amazon が最も低く 2%となっている。端的に言えば、GAFA の中では研究開発費を抑えながら高い利益率となっている Apple に対して、世界最大の研究開発企業と言える Amazon は、利益が出ていないにも関わらず、研究開発投資に邁進していることになる。

これに対して、日本企業の研究開発費と営業利益率は少し見劣りしていることは否めない。今橋ら（2023）の研究では、具体的な企業の数字が紹介されている。2021 年度の上場企業の製造業のなかで研究開発費が多い企業は、トヨタ自動車（1 兆 904 億円）、本田技研工業（7,801 億円）、日産自動車（5,035 億円）と大手自動車企業が並んでおり、次いで、デンソー（4,900 億円）、武田製薬工業（4,558 億円）となっている。ただ、これらの企業でも売上高研究開発比率及び営業利益率は大きく異なっており、それぞれ、トヨタ自動車は 4%、8.1%、本田技研工業 5.9%、5%、日産自動車 6.4%、-1.9%となっている一方で、デンソーが 10%、3.1%、武田薬品工業が 14.3%、15.9%であった。

繰り返しになるが、このような低収益率だからといって、日本企業が研究開発及び設備投資などの企業の成長に不可欠な投資活動を安易に辞めることを推奨することはできない。冒頭でも述べたが、むしろ、日本企業は DX 対応に遅れをとっており、特に新しいビジネスモデルや顧客獲得の点での課題が指摘されており、これらの改善のためにも戦略的投資が不可欠であると考えられる。

6. 結論

DX 対応は日本企業にとって喫緊の課題である。特に顧客価値創出やビジネスモデルの変革といったトランスフォーメーションのレベルの成果創出は不十分であるとされている。そして、日本企業の投資効率の低下が大きな課題となっており、米国企業のように投資と収益向上の好循環がなされていないともされている。

ただし、本章で示すように日本のみならず米国企業においても研究開発及び設備投資の投資が必ずしも収益に結び付いていない可能性があることが示唆された。この結果からは、日米企業とも投資を辞めて収益率を向上させるか、あるいは持続的な成長を目指して投資を継続するか、の難しい経営判断に迫られていることが分かる。どちらを選択するのかは各企業の経営者の判断に任せる他はないが、投資を安易に辞めることは、その後の企業成長の可能性を低下させることも忘れてはならない。

折しも政府の支援策として DX 投資促進税制が 2024 年度から改訂されて延長となった。この制度の適用を受けるためには単なるデジタル投資（D）を行うのだけでなく、変革（X）が計画に含まれることが不可欠とされている。特に「デジタル人材の育成・確保の取組や、成長性の高い海外市場の獲得を含めた国内外での売上上昇につながる「攻め」の DX を行っていないと計画認定されない」ことが明記されており、正に戦略的な投資が求められているのである。

参考文献

- [1] 独立行政法人情報処理推進機構「DX 白書」2023
- [2] 今橋裕、鈴木貴之、玄場公規「コロナ禍をふまえた日本製造企業の研究開発投資及び設備投資と収益性の定量分析」日本経営システム学会第 71 回全国研究発表大会論文集、2023
- [3] 鈴木貴之、今橋裕、玄場公規「米国企業の研究開発・設備投資と収益性の実証分析」日

本経営システム学会第 70 回全国大会講演論文集、2023

- [4] 榊原清則，辻本将晴；「日本企業の研究開発の効率性はなぜ低下したのか」ESRI Discussion Paper Series No.47, 内閣府経済社会総合研究所, 2003
- [5] 鄭義哲；R&D 企業の株式パフォーマンス-以上リターンと R&D ファクター，証券アナリストジャーナル 10 月号，pp. 98-10, 2005
- [6] 榊原茂樹，與三野禎倫，鄭義哲，古澄英夫；企業の研究開発投資と株価形成，証券アナリストジャーナル 7 月号，pp48-58, 2006
- [7] 玄場公規；「製造業の多角化の定量分析」，研究技術計画学会年次学術大会講演要旨集，27，pp1082-1085, 2012
- [8] 玄場公規，竹岡紫陽，今橋裕，上西啓介；「日本製造企業の研究開発投資・設備投資と収益性の実証分析」，研究・イノベーション学会年次学術大会講演要旨集，31，pp814-817, 2016
- [9] 経済産業省 産業技術環境局（2021）、我が国の産業技術に関する研究開発活動の動向－主要指標と調査データ－
- [10] MIYAGAWA Tsutomu & ISHIKAWA Takayuki, 2019. "On the Decline of R&D Efficiency," Discussion papers 19052, Research Institute of Economy, Trade and Industry (RIETI).
- [11] Bloom, N., and Jones, C. I., and Van Reenen, J., and Webb, M.; "Are Ideas Getting Harder to Find?" American Economic Review 2020, Vol.110, No.4, 1104-1144, 2020.
- [12] Kothari, S. P., T. E. Laguerre, and A. J. Leone.; "Capitalization versus Expensing: Evidence on the Uncertainty of Future Earnings from Capital Expenditures versus R&D Outlays", Review of Accounting Studies, Vol.7, pp.355-382, 2002.
- [13] 半導体装置開発、「顧客の近く」必須に 日立ハイテク、米台韓拠点に数百億円、KOKUSAI、サムスン付近で増強. 日本経済新聞. 2023 年 2 月 8 日，朝刊，p. 14.
- [14] Chen, WR.; "Determinants of Firms' Backward- and Forward-Looking R&D Search Behavior", Organization Science, INFORMS, Vol.19, No.4, pp.609-622, 2008.

第6章 DXを支える半導体産業における技術覇権競争

: EUV 露光機開発を巡る ASML とニコンの戦略分岐点

柴田 友厚

1 はじめに

言うまでもなく、DXを支える基盤技術のひとつは半導体技術である。半導体は大きく分けてデータを記憶するメモリー半導体と演算処理を行うロジック半導体の2種類に分類される。DXによる価値創造、つまり新たなビジネスモデルや新たなサービスを生み出すという点からいえば、より重要なのは演算処理を行うロジック半導体である。ソフトウェアで記述された様々なアルゴリズムに従って高速かつ正確に演算処理を行うロジック半導体があって初めて新たなサービスやビジネスモデルが生み出される。特に生成AIや自動運転制御などの先端技術分野では高速・高精度制御が要求され、そのためには微細化が進んだ先端ロジック半導体が欠かせない。微細化が進めば進むほど高速で処理できるからだ。そして微細化を実現する鍵は、半導体生産プロセスの中で回路図をウェハーに転写する役割を担う露光装置にある。現時点で最も微細なロジック半導体を実現するためにはEUV (Extreme ultra violet、極端紫外線) 露光装置が不可欠である。

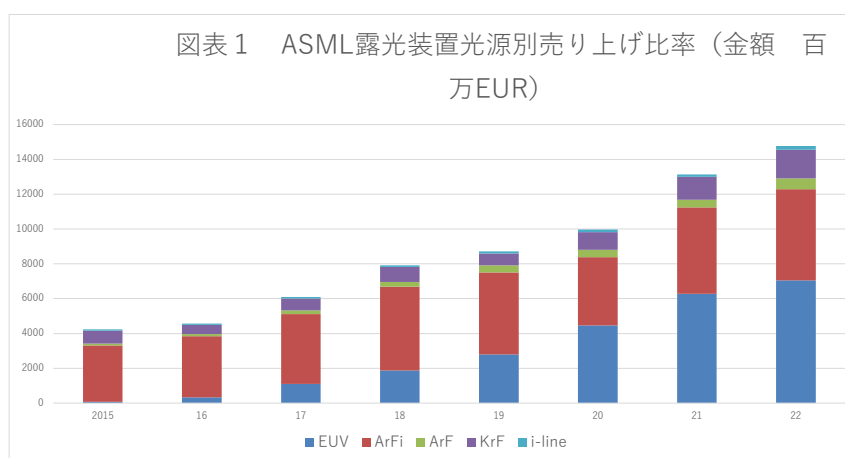
だがEUV露光装置の開発は、現代で最大の技術的ギャンブルだったと言われるほど開発に困難を極めた。EUVは通常の紫外線よりも波長が非常に短く(13.5nm)、X線にかなり近いところに位置する。EUV露光装置とは、このEUVを使って露光を行う装置を指し、7ナノなどの線幅を持つ最先端の半導体チップはEUV露光装置でしか作ることはいない。EUVを使うというアイデア自身は80年代に既にあった。その後、X線やイオンビームなど複数の技術オプションの評価を経て、EUVが最有力候補として業界全体で共有されたのは2000年前後であり(Nasiri,2023)、それ以降各社がEUVの技術探索を本格的にスタートさせる。

しかしEUVは、13.5nmという非常に短い波長をもち、現在主流のKrFやArFと比べると波長が一桁違う。248nmのKrFから193nmのArFへは漸進的な進歩であるのに対して、一桁違うEUVへの到達は不連続的な飛躍といって良いだろう。その意味でEUV露光装置の開発は、未知の領域を拓く技術フロンティアの開発と言っても差支えない。EUVを導入した半導体生産ラインで、初めて商用に供する半導体チップが量産されるのは2019年であり、サムスン電子のスマートフォンギャラクシー向けの半導体生産ラインにおいてであった。つまり、EUVの実用化・産業化に至るまでになんと20年にも及ぶ忍耐投資を必要としたのである。

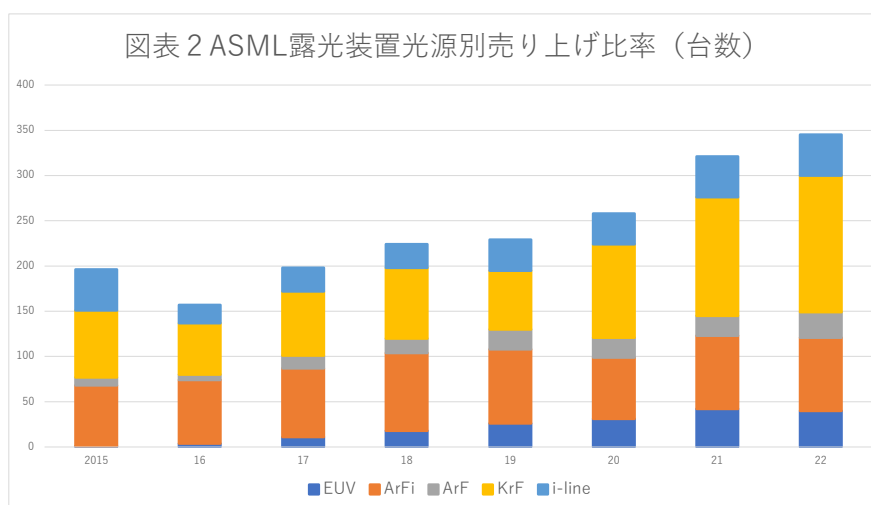
本稿は、「史上最も精密な機械」と称される半導体露光装置産業において、ASMLとニコンの間で繰り広げられたEUV開発競争に焦点をあてる。両社は2000年前後からEU

V開発に参入したが戦略は分岐し明暗は大きく分かれた。20年以上に及ぶ忍耐投資を経てEUVの産業化にまでたどり着いたASMLに対して、ニコンはほぼ同時期に開発をスタートしたが10年代初頭にEUV開発を断念した。その結果、現在EUV露光装置を提供できるメーカーは世界中でASMLのみである。

EUV産業化の成功は、半導体産業全体の成長に貢献したことは言うまでもないが、成功したASML自身も多くの経済的果実を得た。図表1は光源別の露光装置売上比率の推移を示しているが、EUVの産業化が収益にいかに関与したかを如実に物語っている。図表2が示すように2022年時点でEUVの出荷台数は約30台程度だが、それが売り上げの半分近くを占めている。



出所：ASML アニュアルレポートを参考にして筆者作成



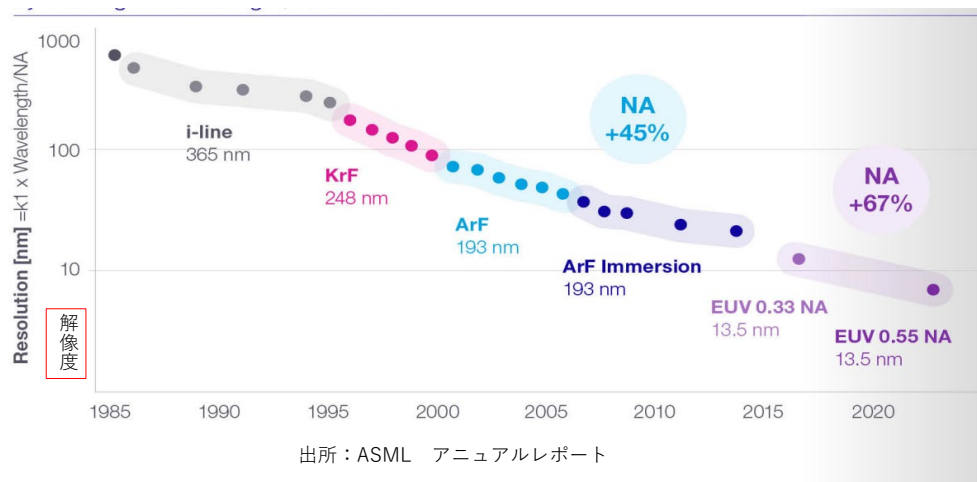
出所：ASMLアニュアルレポートを参考にして筆者作成

2 A S M L とニコンの E U V 開発競争史

半導体産業は、極めて少数の価値次元に競争の焦点が絞られるエッジ型産業の典型である。その一つは線幅を規定する微細化であり、半導体産業では長年にわたり微細化競争が繰り広げられてきた。この微細化競争のカギを握る製造装置こそが半導体露光装置であり、露光装置の最も重要な性能は、半導体チップの線幅を規定する解像度である。従って、露光装置の技術革新の焦点は、如何にして解像度を上げるのかという点に絞られてきた。

解像度を上げるためのカギは、光源の波長を短くすることであり、そのため波長が短い光を光源として使う露光装置の開発が長年追求されてきたのである。こうして可視光から紫外線へ、そして KrF や ArF などのエキシマ・レーザー（D U V）へ、さらには X 線領域に近い EUV へという短波長化が 3 5 年にわたって追求されてきた。図表 3 は短波長化の追求に伴い解像度が向上してきたことを示している。

図表 3 3 5 年に及ぶ解像度の向上

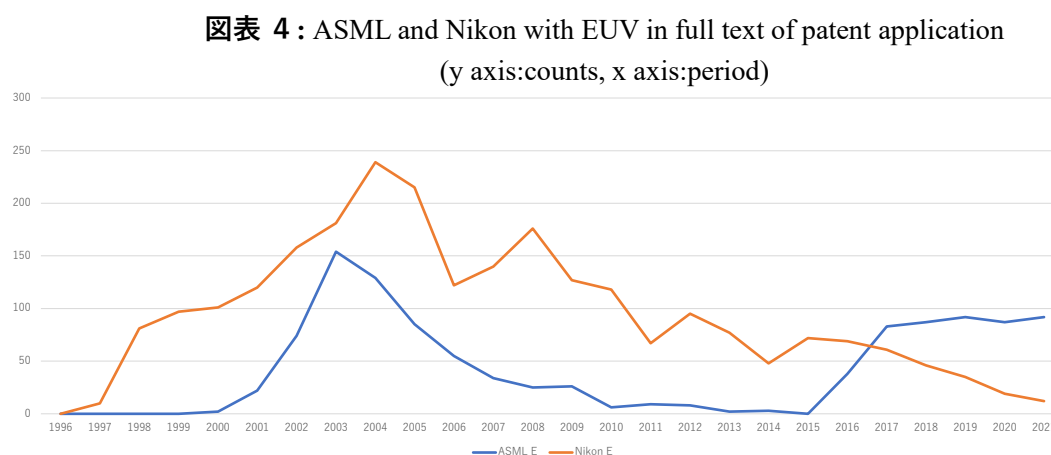


2. 1 特許出願状況からみえてくる E U V 探索の軌跡

2 0 年以上におよぶ EUV の探索戦略の全貌をつかむには、A S M L とニコンの EUV に関する特許出願状況の推移をみるのが有効である。そこで E U V という文字列を特許明細書に含んでいるかどうかを分析し、E U V 文字列を含む特許出願数の推移をカウントした。つまり EUV に言及している特許の出願状況の推移を分析した。ここではそのような特許を EUV 特許と称する。この分析では、E U V の文字列が明細書の中でどのような文脈で、どういう目的でどう言及されているのかは明らかではない。したがって、E U V の技術探索に直接寄与する特許であることを保障しているとは必ずしも言えない。だが、EUV に

言及している以上は EUV を意識した特許であることは間違いなく、そのような特許の出願推移をみることで、EUV 探索に向けた技術戦略の軌跡を推論できるはずだ。

図表 4 は、ASML が欧州特許庁に出願した EUV 特許数の推移、およびニコンが日本の特許庁に出願した EUV 特許の推移をプロットしたものである。



Source: Prepared by the author from patent data

ASML とニコンの探索の軌跡は大きく違うことがわかる。ASML の EUV 特許出願状況には 2 つのピークが存在する。そして 2 つのピークに挟まれた 11 年から 14 年頃までは全くと言って良いほど特許を出願していない。なぜこのような 2 つのピークが存在するのだろうか。後ほど詳しく紹介するが、この時期は当初想定していた技術ロードマップが瓦解し EUV の実用化に対する疑念が生じた時期と重なる。おそらくその時期は、ASML は技術開発自体よりも技術戦略の立て直しに経営資源を集中させていたと考えられる。ASML は戦略を再構築した上で、EUV 開発を再加速させたのである。それが 2 番目の特許出願ピークとして表れている。

他方、ニコンの軌跡にはそのような特徴が見られない。第 1 ピークは ASML とほぼ同時期であり、その後、次第に EUV 特許出願は右肩下がりに減少してゆく。EUV 特許の軌跡から言えることは、ニコンが最も EUV 探索に力を入れたのは第 1 ピークの頃であり、その後次第に EUV 探索への投資を減らしていったということである。そして最終的に EUV からニコンは撤退する。

こうして探索戦略の全貌をみると、20 年以上の長期におよぶ EUV 探索の軌跡は、一様に進展したわけではなく、3 つのステージを踏んで進展したと考えられる。第 1 ピークを中心にした 2000 年代前半のステージ 1、EUV の実用化に対する疑念が生じたステージ 2、そして ASML が戦略を再建したうえで EUV 開発を再加速させたステージ 3 の 3 つである。以下、ステージごとに詳細に分析する。

2. 2 ステージ1 試作品の開発まで（～2010）

A S M L とニコンはE U V探索をいつ頃から始めたのだろうか。

A S M Lのアニュアルレポートによれば、A S M Lが社内でE U Vプログラムを始めたのは97年である。ただしこれは公式的な部署を設置したわけではなくて非公式な研究プロジェクトであろうと考えられる。A S M LがE U Vに特化した正規部署をどの時点で設置したのかは明らかではない。他方、ニコンは03年に、E U V開発に専念する正式な部署を設置して開発をスタートした。このニコンの本格的スタートの背景には、経済産業省とN E D Oの支援を受けた技術研究組合E U V A（極端紫外線露光システム技術開発機構）が02年6月に発足したという事情があったと考えられる。この研究組合は、露光装置メーカーや半導体メーカーなど10社がメンバー企業となり、E U V露光装置の開発を目指していた。また前掲のE U V特許の出願状況の推移からは、両社がE U V開発に取り組み始めた時期に大きな違いはなく、共に2000年前後から始めたことがわかる。

通常、先端技術の開発と実用化は次のようなステップを経て行われる。まず試作機を作りそこでの様々な試験と検証を経た後、量産への移行可能性が図られる。試作段階は大きく2つのステップに分かれており、まず α 機の開発から始まり次に β 機の開発と評価へと進む。 α 機は要素技術を具現化して評価することに主眼がおかれ、その段階では公的研究機関が強く関与し公的資金が投入される。他方で、 β 機の場合、量産を視野に入れた最終仕様の確定が目的であり、 α 機と比べて民間企業が主体となって物事を進める。従って β 機の評価段階では、 β 機を実際の顧客現場に導入してデータの収集と分析を行う場合が多い。

では、E U Vの開発に際して、 α 機の開発時期を見てみよう。A S M Lは06年の8月に、 α 機をI M E Cと米オルバニーナノナノテック（S U N Y）に出荷した。一方ニコンは、同様の水準のE U V 1を07年の上期にS e l e t e（Semiconductor leading Edge Technologies;半導体先端テクノロジーズ、共同研究を行う株式会社で1996年設立して現在は解散）に出荷した。 α 機の出荷時期はA S M Lに比べて約1年遅れたが、転写結果での性能を見ると、この時点で日本のE U V技術は世界のレベルには追いついたと考えられた（武田計測先端知財団 報告書 2008/9/9）。例えば上記の評価報告書では、「これで世界に並んだ、次は製品化のステップ」という文言が踊って、製品化に向けたステップへの期待が語られている。政府がバックアップするE U V Aによる支援が、 α 機の開発へ一定の成果をあげたものと考えられる。

α 機の次は、量産を視野に入れた β 機の開発に移る。 β 機を先端顧客の現場に導入して評価データを採取して量産を意識した最終仕様を固めるというフェーズだ。

A S M Lは2010年に韓国サムスン電子の研究開発センターにE U V露光機TWINSCAN:NXE 3100を導入した。この機種のスループットは単位時間あたり4枚であり、量産で使えるにはほど遠い水準だったが、大手顧客にE U Vが導入されたのはこの時点が

初めてである。この時点が β 機の開発と評価と考えていいだろう。

ニコンもまた β 機である EUV2 を 2009 年末には市場投入する計画を持っていた(日経エレクトロニクス、2007 年 7 月)。図表 5 には EUV1 と EUV2 の性能スペックを示す。EUV2 についてはあくまでも予測値ではあるが、非常に具体的に目指すべき性能設計値が記載されていることがわかる。しかし、残念ながらニコンが β 機の投入を実現したという事実は筆者が知る限り存在しない。

図表 5 Nikon EUV1 (α 機) EUV2 (β 機) の技術仕様

仕様	EUV1	EUV2 (暫定値)
露光領域	26 × 33 mm ²	26 × 33 mm ²
NA, 縮小倍率	0.25, 1/4 倍	0.25, 1/4 倍
解像度	密集線のハーフ・ピッチ 45nm (目標 32nm), 孤立線の線幅 25 nm	密集線のハーフ・ピッチ 32nm (目標 22nm), 孤立線の線幅 21nm
波面収差	0.7nm (rms 値)	0.5nm (rms 値)
フレア	10%	7%
重ね合わせバラつき	10nm (3 σ)	7nm (3 σ)
ウエハ寸法	300mm	300mm
処理速度	5 ~ 10 枚/時 (中間集光点での出力 10W, レジスト感度 5mJ/cm ²)	50 枚/時 (中間集光点での出力 50W, レジスト感度 5mJ/cm ²)

図4 立ち上げを急ぐ「EUV1」

ニコンの EUV 露光装置「EUV1」は現在 Selete で組み立ておよび調整中である。2007 年 9 月に EUV1 による最初の露光結果が Selete から出る予定。Xtreme technologies 社の Xe-DPP 光源を搭載する。ASML 社の「ADT」はフレアが 16% だが、後発の EUV1 は 10% に低減する。「EUV2」に関しては、現在概念設計を進めており、2009 年末の出荷を目指している。ニコンの資料を基に本誌が作成。Xe-DPP 光源の写真はウシオ電機が提供。

出所：日経エレクトロニクス、2007 年 7 月号

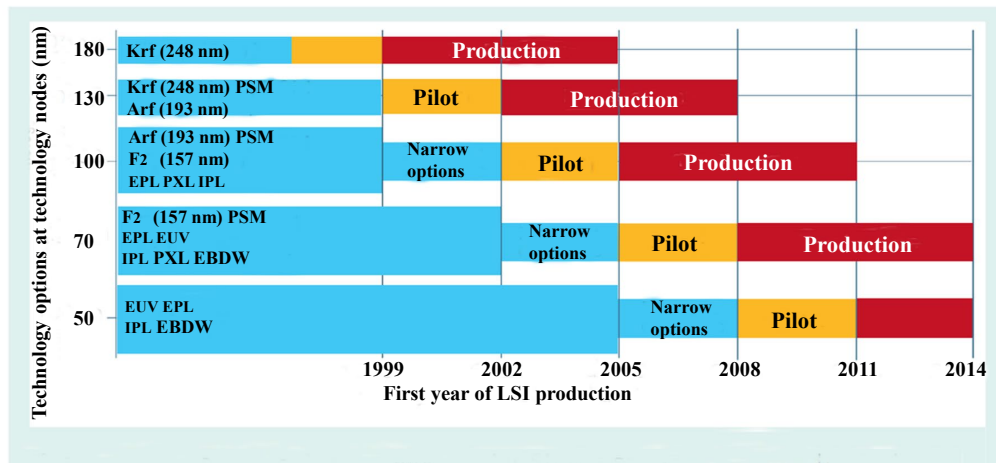
短波長化の限界がささやかれていたこの時点で、半導体業界は EUV の実用化の時期についてどのようなロードマップを描いていたのだろうか。3 種類の資料が有益だろう。一つは、学術雑誌が EUV の実用化の時期をどうみていたのかだ。2 つめは、国際的な業界団体がどういうロードマップを描いていたかだ。3 つめは EUV 開発に参入していた当事者である企業、すなわち ASML とニコンが EUV のタイミングどうみていたのかである。

2000 年に発行された Nature をみると、2011 年までに試作段階は終了し、それ以降は量産フェーズに移行するという見込みを持っていたことがわかる。2000 年時点で、学術界はそういう見通しを持っていたわけだが、同様のロードマップは学術界のみならず国際半導体業界や個別企業でも共有されていた。例えば ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors) が 03 年に発行したロードマップでは、EUV は 10 年から稼働開始の予測をしている。さらに、ニコンの 06 年のアニュアルレポートを見ると、09 年には EUV の売り上げが 1% に上るという見通しを持っていたことがわかる。

当時の業界紙も、EUV の実用化への期待を熱く語っている。例えば日経エレクトロニクス 2007 年 7 月号は次のように述べている。

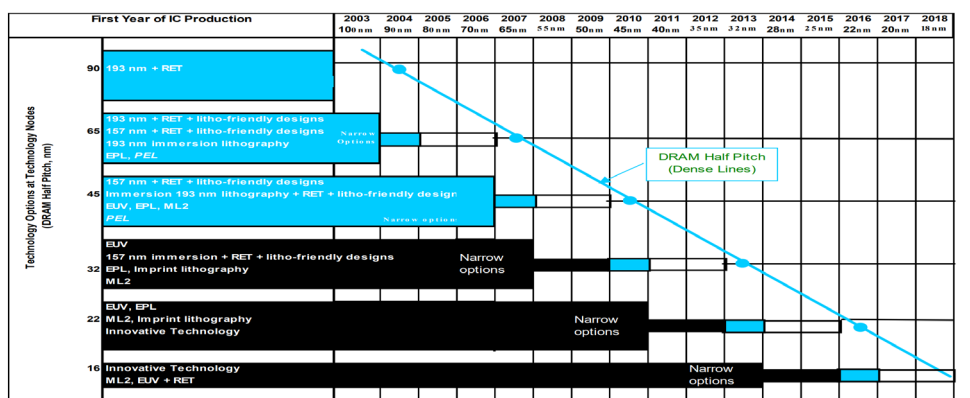
「これまで遠い将来の技術と思われていた EUV 露光技術がついに実用化に向けて動き出した。、、、(途中省略) 早ければ 2010 年にも部分的に利用され始め、2011 年には量産への適用が始まる見通しである」(日経エレクトロニクス、2007 年 7 月号)

図表 6 : Pushing the limits of lithography. Nature, 2000.



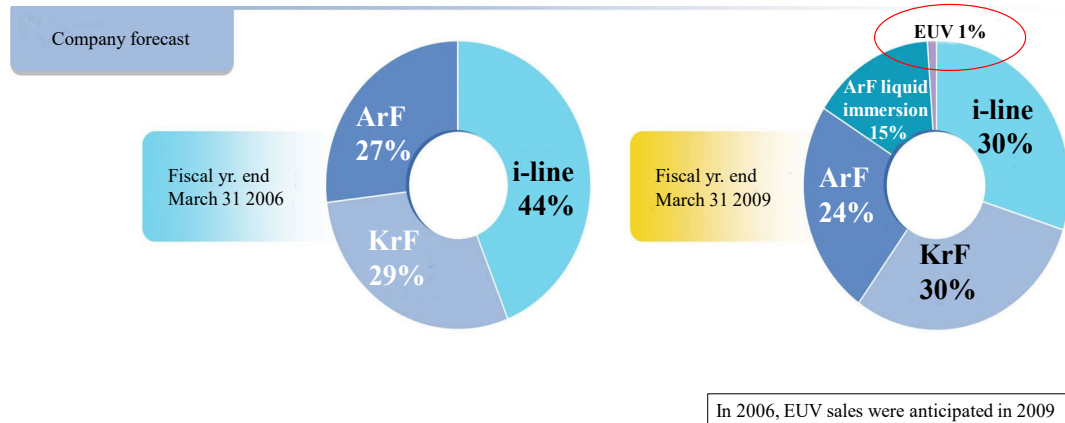
7

図表 7 Roadmap projected by ITRS in 2003 regarding timing of different lithography technologies



Source: ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductor)

図表 8 : Nikon's outlook 2006–2009



Source: Nikon 2006 mid-term business plan

9

これらの複数の資料を見る限り、11年以降にはEUVの量産ラインでの使用が視野に入るというロードマップを、業界全体で共有していたことは明らかであろう。

しかし現実はそのよりもはるかに遅れたのである。ASMLでEUVの立ち上げに責任を持っていた当時のCTOは、当初、EUVの量産ラインへの導入は2006年頃にはできるだろうと考えていたと回想し、そして、これほど時間がかかるとは思ってもみなかった、とも述懐する（ASMLアニュアルレポート）。

なぜこれほど難航し、当初のロードマップよりも大きく遅れてしまったのだろうか

2.3 フェーズ2 実用化への疑念と戦略の分岐

EUVへの懐疑と450mmウェハの台頭

EUVは従来のDUVと比べて光の特性が異なるために多くの技術課題を解決する必要があった。例えば、EUVは空気を透過しないために真空チャンバーを必要としたし、レンズで集光して露光するという従来技術が使えないために鏡で反射させて集光する必要があった。

中でも特に開発に困難を極めたのはEUV光源の出力だった。鏡で反射する過程でEUV光が減衰するために、大きな出力を必要としたのである。そして光源出力はウェハを処理するスループット、すなわち時間あたりウェハを何枚処理できるのかという生産性に大きな影響を与える。光源出力が低いと十分に生産性が上がらないのである。ウェハを処理する生産性がDUVと同程度にまで向上しないと、半導体の量産ラインにEUVを導入することは難しい。例えば、2006年に α 機として出荷したEUVのスループットは、0.33であり、2010年に韓国サムソンの研究所に納入したEUVでも、スループットはたかだ

か4程度だった。このように当時のEUVは生産性が低く量産ラインでは使い物にならなかったのである。(ちなみに現在のEUV露光機のスループットは170である。)

このような当初の予想以上の技術的困難さに直面して、露光機メーカーをはじめとする業界全体にEUVの実用化に対する疑念が生じたのは不思議ではない。EUVは半導体の量産ラインで本当に使えるようになるのだろうかという疑念であり、それはEUV戦略をこのまま継続することに対する不安を生んだに違いない。

例えば、2012年9月30日からベルギーで開催されたEUVLシンポジウムでは、「EUVはもしかしたら筋の悪い技術なのではないか?」という疑問が出始めた、シンポジウムに出席した湯之上は業界ジャーナルで報告している(Electronic journal 2012年11月号)。EUVは果たして本当に実現するのかという疑念が業界全体を覆いだしたのである。

このような疑念と動揺が広がりつつあったのとほぼ同じ時期に、別次元の技術探索が台頭しつつあった。それはウェハーサイズを450mmにする技術探索だが、短波長化による解像度の向上というEUV開発の狙いとは異なる目的の技術探索だった。当時は300mmが主流だったが、サイズを450mmにすることができれば、個数で約2.4倍の半導体を取り出すことができ、製造コストの削減に大きく寄与する。450mmのメリットは、解像度の向上ではなくコストの削減である。

半導体メーカーの中で、450mmへ最も積極的に動いたのはインテルだった。インテルがTSMCとサムスン巻き込みながら一緒に450mmへの流れを強めていった。その流れの中で2011年にG450C(Global 450 consortium)が米国で設立された。これはインテル、サムスン、TSMの有力半導体メーカーにIBMとグローバルファンドリーが参加し合計5社で構成された研究組合で、300mmから450mmへの移行が円滑に進むように支援することを目的としていた。半導体メーカーの需要の高まりもあり、露光装置メーカーとしてASMLもニコンも450mmへの対応に迫られた。ニコンは以下に示すように積極的に対応したのに対して、ASMLは450mmへの移行へのメリットは見出しにくいという理由で、むしろ否定的な評価だった。450mmへの評価と積極性という点で両社に違いはあったが、対応したという点では同じである。

ここで、2011年から12年にかけての半導体業界の状況を改めて整理すると次のようになる。当初の予想以上にEUVの産業化は難しいという現実を業界全体が突きつけられ、その結果EUV露光機の実現可能性に対する懐疑の念が生まれた、そのほぼ同時期に、450mmウェハーという別次元の技術課題が台頭してきた。この時期の状況は、方向性が異なる2つの技術探索が共存していたのであり、その意味では方向性が見えにくい一種の混沌とした時期だったのではないだろうか。

ニコンの名誉ある撤退

ニコンとASMLの戦略が大きく分かれたのは、まさにこの時期である。

ニコンはEUV開発から撤退し450mm対応のDUV露光機開発に大きく舵を切っ

たのに対して、ASMLは450mm対応を睨みつつもぶれずにEUV開発を堅持し続けた。

2013年のニコンのアンニュアルレポートでは、EUV開発よりも450mmへの対応をより重視する方向性が、次のように記述されている。

「EUVLが次世代装置の本命だと言われて5年以上たちますが、開発は予定通りに進んでいないのが現状です。そうした状況で、半導体メーカーは450mm ウェハ対応装置の検討を始めています。これはまさに我々が以前より描いていたロードマップと合っており、あとは450mm ウェハ対応装置の開発を予定通りに進めることがいっそう重要になります。」(2013年のニコンのアンニュアルレポート)

さらに、2014年6月にニコンのCEOに就任した牛田一雄は、同年9月に行われた雑誌のインタビューで450mmについて次のように語っている。

「悲願のシェア奪回を期すのは、近々予想されるウェハー口径の300ミリから450ミリへの転換期だ。ASMLは既に「ツインステージ」というカードを切ってしまったが、ニコンにはまだ切っていない「秘蔵のカード」がある」

2014年の時点で、450mmへの転換が近々起こることを予想し、それにかける意気込みが伺える。実際ニコンは、2013年のプレスリリースにおいて、450mm対応のArF液浸露光装置の試作機を2015年に出荷すること、次いで量産機を2017年に出荷すること表明した。15年の出荷計画はASMLの当時の計画よりも1年早いものだった。さらに、450mmウェハーを使った生産プロセス開発の機会をG450Cへ早期に提供することにより、450mmウェハ対応のArF液浸露光装置の業界標準化を目指すことを、プレスリリースで表明している。450mmで世界をリードしようとする意気込みが伝わってくる。実際ニコンは、15年には世界で初めての450mm対応のArF液浸露光装置を開発した。

またCEOの牛田一雄は、同じ雑誌インタビューの中で、EUVから撤退した背景にも次のように言及している。

「ASMLはEUV（極端紫外線）露光という、次世代技術の開発に注力した。ニコンも研究したが、EUV露光は開発費が膨大で、量産化においては経済合理性が成り立たない可能性が強い。マッハ超えは達成しても商業的には失敗した超音速旅客機コンコルドの轍を踏む恐れがあると、私は考えた。」(『PRESIDENT』2014年9月1日号 牛田一雄(ニコン社長)インタビュー)

つまり EUV から撤退した大きな理由は、技術限界の認識ではなくて膨大な開発費負担だったと考えられる。さらに続けて、今後の戦略を次のように語る。

「われわれは、ArF（フッ化アルゴン）液浸露光という、今ある技術に狙いを定め、主力部隊を一点に集中して戦う戦略を選んだ。半導体の微細化で、今視野に入る一番先端までは、ArF 液浸で達成できる自信がある。判断にブレはなかった。」（『PRESIDENT』 2014 年 9 月 1 日号 牛田一雄（ニコン社長）インタビュー）

こうしてニコンは EUV というブレークスルー技術の開発から撤退した。つまり短波長化による微細化の追求を断念したのである。その代わりに、従来技術の ArF 液浸露光装置に資源を集中させダブルパターンニング技術を加えることで、微細化要求に対応する道を選択した。光源は従来の波長を使うが、他の技術を取り入れることで微細化を実現する道を選択した。ただしそれは単なる撤退ではなかった。EUV 開発は中止するが、しかし代わりに、450nm 対応には ASML よりも積極的に取り組むことで顧客のニーズに答えるという「名誉ある撤退」だったと言うべきだろう。

ニコンは 03 年に公式的に EUV 開発チームを発足させ、その後約 10 年にわたり EUV 開発へ継続的に投資をしてきたのであるから、EUV からの撤退について組織内に賛否両論の様々な議論があったであろうことは想像に難くない。しかし 450nm への対応が顧客ニーズにより敵っているのだという理屈が、EUV から撤退することの妥当性と合理性を高めたように思える。つまり「名誉ある撤退」を後押ししたのは 450nm 対応という新たな顧客ニーズの台頭である。

ASML の戦略再構築

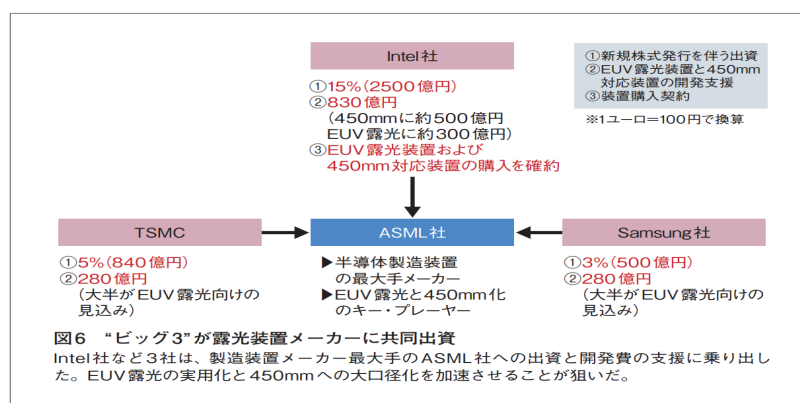
顧客の要望ゆえに 450nm へ対応せざるを得なかったという点では、ニコンとそれほど変わるところはない。大きな違いは、業界全体に疑念が生じた中であっても ASML はぶれずに EUV の可能性を追求したという点にある。ただし、単に従前からのやり方を継続したのではなくて、戦略を再構築した上で EUV 開発を継続したのである。戦略再構築の大きな柱は、EUV 開発に伴う様々なリスクをどのようにして軽減するのかだ。EUV 開発に伴うリスクには、膨大な開発費負担による資金リスクと、仮に完成しても本当に顧客は買うのかという市場リスクがある。そこで ASML は 2012 年から 5 年間、CCIP (Customer Co-Investment Program、顧客共同投資) プログラムを立ち上げた。

これは、顧客に ASML の株式を購入してもらうという前例のない投資戦略と言って良いだろう。ASML の主要顧客である主要半導体チップメーカー、インテル、サムスン、TSMC の 3 社はそれぞれ、15%、5%、3% の ASML の株を購入して ASML に直接投資を行った。これら直接投資の総額は、3.85 (billion) ユーロにもなった (ASML、2012, p47-49)。さらにこれらの 3 社は、2013 年から 2017 年の間に、ASML の研究開発に合計で 1.38 (billion) ユーロの資金を提供した。その各社ごとの内訳は、インテルが 829

(million)、サムスンが277 (million)、そして TSMC が276 (million)を投資した。この投資への見返りとして、3社はEUV露光機を優先的に獲得する権利を得た。こうしてASMLの顧客である半導体メーカー3社は、株式購入による直接投資と研究開発への投資を合わせて、5年間で総額5.23 (billion)をASMLに投資した。

特にASMLの株式を顧客である半導体メーカーが購入したことのインパクトは大きかった。例えば、インテルがCCIPプログラムに参加するとの発表は、ニコンの株価を過去1年で最も低い水準にまで大きく引き下げることになった。インテルは長年にわたりニコンから露光装置を購入し緊密な協力関係を維持していたが、インテルのCCIPへの参加はニコンからASMLへの傾斜を意味したからである。CCIPへの参画を通してEUV開発への顧客のコミットメントを引き出すことに成功し、ASMLと顧客はEUVの産業化という点で一種の運命共同体になったとも言えるだろう。この革新的な投資戦略は、財政リスクと市場リスクの双方を大きく低減させる働きをしたに違いないのだ。

図表9 CCIPの概要



図表9は、CCIPの概要を整理したものである。CCIPの目的にはEUV開発のみならず450nm対応も含まれていた。CCIPが構想された2012年当時、450nm対応が半導体産業全体にとってEUVに負けず劣らず重要な技術課題だったのである。その意味でニコンがEUVから撤退して450nm対応に戦略をシフトしたのも、限られた経営資源を450nm対応に集中させると言う観点で、当時の状況を考えると理に敵った判断だったとも言える。だが、ASMLは翌年の13年には450nm対応を中止する。なぜASMLは中止したのか。その背景には、450nmへの移行を支持してきたTSMCの戦略転換があった (Shang-Yi)。

TSMCの元技術担当幹部、Shang-YiはComputer History Museumのインタビューに答えて、次のような経緯を公開している。2013年にTSMCは開発の優先順位を450nmではなくて微細化に置くことを、インテルとサムスンに伝えた。450m

m対応に最も積極的だったインテルは、T S M Cの戦略転換に困惑したと言う。しかしその後インテルもまた、開発の優先順位を4 5 0 m mから微細化に移すことを表明する。つまりT S M Cの戦略転換が引き金となり、インテルの戦略転換をも誘発したと考えられる。

ではなぜT S M Cは、4 5 0 m m戦略を転換したのか。そこには競争戦略上の判断があったと考えられる。当時のT S M Cはインテルやサムスンよりもはるかに小規模な半導体メーカーだったために、3 0 0 m mから4 5 0 m mへの移行は、T S M Cにとって大きな負担となり、インテルやサムスンにつぶされてしまうのではないかという危機感が働いたからである。半導体業界では、かつて2 0 0 0年前後2 0 0 m mから3 0 0 m mへ移行した際、競争状況が大きく変わったという経験を共有していた。それと同様の変化が起こり、それはT S M Cに不利な状況になるのではないかと危惧したからである。4 5 0 m mに元来否定的だったA S M Lは、顧客からの要望がないという理由で、この機会に乗じて4 5 0 m m開発を凍結する判断を下した。

A S M LはC C I Pで得た資金をもとにしてE U V開発を加速させる。当時最大の技術課題はE U V光源の出力不足だった。その問題を解決するために、1. 9 5 billion ユーロで米国C y m e r社を買収することを1 2年1 0月に発表した(ASML プレスリリース、2 0 1 2年1 0月)。だが、市場価格の変動に伴う買収価格の交渉、米国や韓国等ASMLが活動している地域での独占禁止法への懸念をクリアするために、買収完了の発表は1 3年5月まで持たなければならなかった。買収の発表から実際の完了まで、約7カ月に及ぶ交渉を必要としたのである。また、実際の買収価格は3. 7 billion になった(The San Diego Union-Tribune, 2013, May 30)。

ASMLはCymerとは従来から緊密な協力関係にあったのだが、あくまでも独立した別会社であり、EUV光源の開発にどの程度資源を投入させるのかという判断はCymer自身の戦略による。ASMLの意図通りにCymerが動くわけではない。EUV光源の開発にもっと資源を集中させて開発を加速させるためには、別会社のままでは不十分であり、買収によって統治を強化させることが必要だったのである。この買収によってASMLはEUV光源のみならずDUV光源の技術も手に入れることができた。

戦略再構築の具体的な意味合いとは、C C I Pプログラムの構想と立案、それに対する顧客の説得と巻き込み、さらにCymer買収戦略の策定と交渉などである。C C I PにしてもCymer買収にしても、ASML単独で実行できるわけではない。Cymer買収の発表から完了までに約7カ月を要したことが如実に示しているように、顧客である半導体メーカーやサプライヤーとの度重なる交渉が必要だった。つまりこの時期は、EUVの研究開発自体の促進というよりも、戦略をどう立て直すのかという点に膨大な経営資源を必要としたに違いないのである。そのことは、特許データの出願動向からもうかがい知ることができる。

前掲の図表4を見ていただきたい。ASMLの特許出願状況の時系列推移である。2つの特許出願ピークの大きな山に挟まれるようにして、2 0 1 3年頃から1 5年頃まで、特許出願数はほとんど行われていないことに気が付く。継続的に研究開発が行われていれば出

願状況に多少の波はあるにしても、このような極端な出願状況にはならないはずだ。そこには何らかの意図が存在していたに違いないと考えるのが自然だろう。この期間、特許出願につながる研究開発成果がほとんど出なかった、つまり、研究開発への資源投入はこの時期極めて限定的なものにとどまっていたと考えられるのである。なぜ限定的な研究開発しか行えなかったのか。一つの推論は、EUV開発を再スタートするための戦略の立て直しにASMLは集中していたために、研究開発自体までは手が回らなかったのではないだろうかというものである。

2.4 フェーズ3 EUVの産業化へ

2013年にCymerの買収を完了したASMLは、EUV光源出力の向上と生産性の向上に向けて開発を再加速させる。図表10は、13年のCymer買収以降、生産性が向上する様子を示している。14年の第四半期には時間当たり10ウェハーだった生産性が、17年には100ウェハーを超えた。つまりEUVの生産性はたかだか3年で10倍にも伸びたのである。

図表10 Cymer買収後 EUV生産性の急速な向上

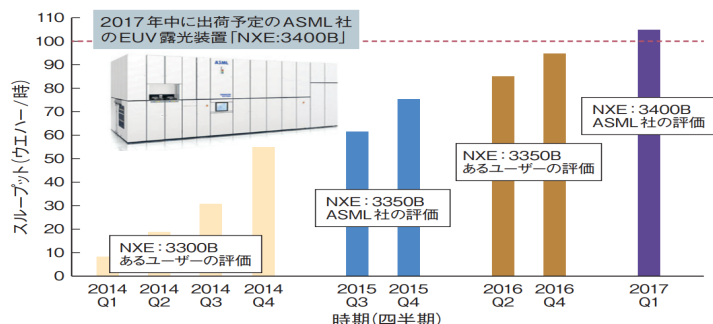


図1 EUVの生産性は3年で10倍超に
ASML社が2017年7月に公開した、同社製EUV露光装置の生産性を示した。近く出荷予定の製品「NXE:3400B」ではカタログ値として125ウェハー/時。実績値として100ウェハー超/時を得て、2014年第1四半期時点の10倍超になったとする。(図: ASML社の資料を基に本誌が作成)

出所: 日経エレクトロニクス 2017 9月号

こうしてEUVの生産性が実用に耐える水準まで向上する見通しが立ち、EUV産業化に向けた技術開発が再加速する。その様子が特許出願の第2ピークとして表れている。ただし特許出願の第1ピークと2番目のピークでは、技術開発の方向性が異なっている点に注意が必要だ。第1ピークは、EUV露光機自体に必要な要素技術開発に軸がおかれていたのに対して、第2ピークは、EUVを半導体の量産ラインに導入して、安定的に稼働させるという産業化に軸足があった。

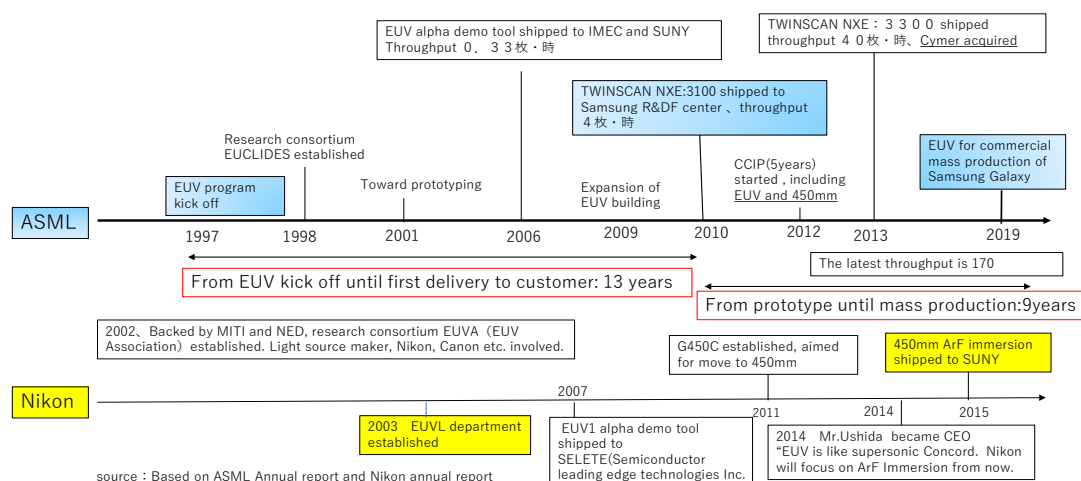
EUV露光機を半導体の量産ラインに導入するには、生産ライン全体の最適化が必要になった。EUV露光機の導入は他の製造装置にも影響を与えるために、生産ラインに組み込んでEUVの価値を最大に引き出すためには、レチクルや感光材、さらにはEDAなどの設

計ツールに至るまでの大幅な変更を必要としたのである。第2の開発ピークはエコシステムの開発を主目的としており、その意味で第1ピークとは開発の内容が違うように思える。

3 考察 何が戦略の分岐をもたらしたのか

図表1-1は、上記の事例分析を基にして、EUVの産業化に至る軌跡をASMLとニコンの動向を中心にして、比較・整理したものである。ASMLがEUVの技術探索を開始した時期を97年とし、EUV露光機で実際の最終製品に組み込まれる半導体チップが初めて作られた2019年を、EUVの産業化が実現した時期とするならば、実に22年の歳月を要したことになる。この間、ニコンとASMLの戦略は分岐した。

図表1-1 Comparison of ASML and Nikon toward EUV from historical perspective



まずEUV探索の開始時期に関して、ASMLとニコンで大きな違いは見られない。両社とも2000年前後というほぼ同じ時期にEUV探索を開始した。さらに、 α ツールの開発時期についても、ニコンはASMLの1年後には同水準のものを出荷したのであるから、多少の遅れはあったにしてもそこに決定的な違いを見出すことは難しい。

にもかかわらず、探索プロセスのステージ2においてASMLとニコンの戦略は分かれた。ASMLは戦略を立て直した上でEUV探索の追求を継続したが、ニコンは撤退して別の道を辿った。ASMLはぶれることなく20年間追求し続けたのに対して、ニコンは実用化への疑念が生じた時期に、450mmウェハの台頭を契機としてEUV開発から撤退した。両社の分岐点は、EUVの実用化への疑念が業界全体を覆いだした11年から14年頃に訪れたと言って良いだろう。EUV探索に対する執拗性が両社で違っていたと言わざるを得ない。

では一体何が探索の執拗性(Exploration persistency)に影響を与えたのだろうか。2つの要因が考えられる。まず第1に、既存事業の存在、すなわち今回の場合はDUV露光機(ArFやKrFなど)事業の存在である。ニコンはEUVへの開発投資を継続しなくても、既

存の DUV 露光機の改良で当時の状況で必要な解像度はある程度達成できると判断した。さらに EUV への開発投資からの撤退は、むしろニコンの収益性を高めることにつながると考えた。こうして EUV から撤退して DUV に特化することは、収益性からみて合理的な判断となる。既存の DUV 露光機事業は今の収益を生む不可欠な事業であるが、同時に EUV 探索の執拗性を弱める方向にも作用するということだ。

そして、第2に主要顧客との関係性という観点である。ASML とニコンは、インテル、TSMC、サムスンなど主要顧客を共有しており、これら主要顧客の意向を重視してそれに答えようとすることで成長してきた。だが、EUV のような不確実性が高い次世代技術を探索する局面では、実は主要顧客自身が探索技術の実用可能性に対する確固とした展望と確信を持っていたわけではない。EUV であれ 450 nm であれ、膨大な開発投資を必要であり、実用化に関する大きな不確実性があるという点では同じだ。

このような局面で、顧客に対する関わり方が ASML とニコンでは違っていた。ニコンは主要顧客であるインテルの言いなりになってしまい 450 nm に大きく舵を切った。一方で、ASML は EUV 開発に対して顧客を巻き込み、顧客のコミットメントを引き出した。CCIP において、ASML の株を主要顧客3社が購入したことで、ASML と顧客は一種の運命共同体になったとも言える。顧客との関係性の構築について大きな違いが存在するように思える。顧客の要望に応えようとする余り振り回されてしまったニコンと、むしろ、顧客に積極的に働きかけて巻き込み、コミットメントを引き出していった ASML という違いだ。EUV のような不確実性が高い技術探索を行う場合、顧客自身が実用化に関して十分な見通しと確信を持っている訳ではない。そのような不確実性が高い状況の時、顧客へのかかわり方の違いが、両者の戦略を分けたのである。

参考文献)

ASML アニュアルレポート (1995~2020)

An-Chi Tung and Henry Wan.2023. "Organizational Investment: The case of ASML-Can the Product Make the Producer." *Foreign Trade Review* 58(1)176-191.

Baldwin, Carliss Y., and Kim B. Clark. 2000. *Design Rules: The Power of Modularity*. The MIT Press.

Chuma, Hiroyuki. 2006. "Increasing Complexity and Limits of Organization in the Microlithography Industry: Implications for Science-based Industries." *Research Policy* 35(3): 394-411.

Mohammad N. Nasiri , Susanne van der Velden , Niels Noorderhaven , & Henk Akkermans.2019 "Incumbent Success in the Era of Ferment: The Selection of the Next Generation of Technology " [Academy of Management Annual Meeting Proceedings](#) 2019(1):18560

中馬宏之.2005 “我が国半導体露光装置産業が直面する複雑性と組織限界”

榎波・田路、2017.アーキテクチャー進化における製品開発マネジメント、『一橋ビジネスレビュー』Win.214-227.

廣田義人 (2001)「半導体露光装置ステッパーの開発、普及とその要因」『技術と文明』12巻、2号 (118) の

林征治.2015.オープンイノベーション論の再考－半導体露光装置産業の事例から．『立教大学 経営学論集第86集』

G450 からの TSMC 撤退について

<https://bits-chips.nl/artikel/tsmc-pulled-the-plug-on-450-mm-wafers-for-fear-of-intel/>

第7章 DX の進化過程の分析フレームワーク

児玉文雄

はじめに

先のミレニアムの終了後に出現してきた、IT 技術およびその利用形態における一連のイノベーションは、2000 年までの工業社会を支配続けていた、技術開発とビジネス様式の両方の進化過程に、一連の断絶（disruption）をもたらすものになった。

G. Vial による「DX 研究のレビュー」（2019）では、DX の定義を「情報技術、コンピュータ技術、コミュニケーション技術およびコネクティビティ技術の組み合わせにより、その性質に大きな変化を惹起して、あらゆるものを改善するプロセス」としている。

その成長が非線形である新規企業には、顧客とビジネスパートナーとのコネクティビティを可能にする

「デジタル・ファサード（façade）」を構築し、顧客とサプライヤーとの関係を強化することが、成功の鍵になるという（Tumbas et al. (2015)¹）。

本章では、デジタル・ファサードのプロセス、つまり DX のダイナミックスに焦点をあわせる。そのため、Vial が DX の特性としている中心概念を、DX のダイナミック・プロセスに再編成する。Vial が分析対象としているのは、デジタル技術の最初の出現と IT ビジネスモデルの構築としての DX、つまり、デジタル・デストラクション（断絶）である。

しかし、現在進行している DX は、最初のデジタル・デストラクションの後に起こっているものである。これは、連続的に起きるイノベーションと異なるビジネスモデルの間に起きている競争である。すなわち、上昇スパイラル状に展開されている、DX の繰り返しプロセスである。そこで、本章では、DX のサイクル・モデルを構築した。

1. デジタル・デストラクション

DX に関する過去の論文は、デジタル技術は本質的に破壊的（disruptive）であるとしている。デストラクションは、消費者行動と期待、競争状況、データの入手可能性において起きるのだ。

消費者行動と期待：デジタル技術の使用により、消費者は、組織とその利害関係者の間のダイアログでの能動的な参加者になる。その重要な意味は、顧客は取引する企業に支配されるのではなく、彼らに提供されるサービスへの期待は膨らむのである。その結果、消費者の期待の変化に対応するよりもそれを予想することが、企業への戦略的至上命令になる。

競争状況：デジタル技術は企業か置かれている市場にデストラクションをもたらす。この技術

¹ Tumbas, S., Berente, N., Seidel, S., and vom Brocke, J. 2015. "The 'digital façade' of rapidly growing entrepreneurial organizations," International Conference of Information Systems, Forth Worth, TX.

は、企業が現在提供している製品とサービスの再編成を促し、製品よりもサービスを重要視する新しいデジタル提供（offering、品揃え）を創出し、参入障壁を低くし、既存のプレイヤーの競争優位の維持を困難にさせる。

例えば、音楽業界では、物理的商品の仲介業者による販売が、業界の本流ではない企業により提供されるサブスクリプション・サービスにより取って代わられた。最近の事例では、ブロックチェーン技術が本流になり、分散的なデジタル・インフラの創出に結びついた。このインフラは、伝統的な集権化している制度を補完したり、代替していった。すなわち、権威のある仲介業者を通さずに、ピアからピアに安全にファンドを交換できるようになったのだ。

データの入手可能性：直接的なオペレーション以外にも、デジタル技術はデータの生成を可能にした。例えば、モバイル・デバイスの利用による生成されるデータをトレースすることが可能になった。DXにより、企業はデータのポテンシャルを自分の利益のために深掘りしたり、場合によっては、それらのデータを第三者に売ることによりデータを金銭化できるのである。データ分析により、企業は顧客のニーズに、より良く、効率的に応えるサービスと提供し、構想に打ち勝つことができる。すなわち、データ・ドリブンの意思決定アルゴリズムの利用である。

結論的には、DXのプロセスがあらゆる種類のデジタル。デスラプションをもたらし、最終的には、ドラスティックなビジネス。トランスフォーメーションに結びつくのだ。

2. コネクティビティの重要性

過去の研究は、DXの特徴を、デジタル技術が組織に命令を与え、自身の競争優位を獲得・維持するために何らかの対応を強いるプロセスであるとしている。

この対応の効率性は、デスラプションを感知し、それを把握し（戦略的対応を通して）、それに従って、ビジネスモデルを再構築する、企業の能力がキーであるという。

この文脈において、G. Vail は、「ダイナミック・ケイパビリティ（DC, dynamic capabilities）」を理論的基礎にして、企業に戦略の更新を可能にさせるメカニズムを分析できるという。DCは、リソースに基づく企業論（RBV, resource-based view）の延長線上にあり、そのリソース・ベースを環境に合致し、そのサバイバルを確実にするように、意図的に変更することに焦点を合わせる概念である。DC概念は、企業をして通常の活動を利益率の高いものに向かわせることを可能にする高度な活動と結びついている²。

デジタル技術は、情報、コンピューティング、コミュニケーション、コネクティビティを増強させる。特に、最後の項目の「コネクティビティ」は、異質のアクター間の分散的ネット

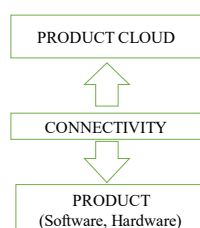
² Teece, D. J. 2014. "The foundations of enterprise performance: Dynamic and ordinary capabilities in an (economic) theory of firms," *The Academy of Management Perspectives* (28:4), pp. 328-352.

ワークの新しい形の協調を可能にする。そうすることにより、その関心が完全には一致していないアクター間の依存性を作り上げる。

例えば、IoT (Internet of Things) の ITU (International Telecommunication Union) による定義は、情報社会のグローバル・インフラで、現在および将来の相互性を持つ情報・通信技術により可能になる、物事（リアルとバーチャル）を相互に接続する、先進的なサービスであるという³。

Porter and Heppelmann⁴による「スマートでコネクテッドな製品 (smart and connected products)」についての研究では、図 1 に示すように、新しい技術基盤 (technology stack) の構図の中心の位置を占めるのがコネクティビティである。この構図では、コネクティビティのボックスが、プロダクト・クラウド（アプリ、ルール/分析のエンジン、プラットフォーム、データベース）のボックスと、製品（ハードと組み込みソフト）そのもののボックス、の二つのボックスに作用（影響と方向づけ）するものとされている。

Technology Stack for Smart, connected products
(Porter, M. E., and Heppelmann, J. E. 2014, HBR)



以上の2つの分析を統合すれば、如何にコネクティビティを明確化 (articulate) できるかの重要性が明らかになる。特に、デジタル・イノベーションが次から次に発生する段階になると、先に述べたダイナミック・ケイパビリティ (DC) を超える、コネクティビティ・アーティキュレーション (connectivity articulation) の能力が不可欠になると言えよう。

³ ITU (2012). *ITU-T Recommendations*. Available at <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=y.2060>

⁴ Porter, M. E., and Heppelmann, J. E. 2014. "How smart, connected products are transforming competition," *Harvard Business Review* (92:11), pp. 64-88.

3. ポーティングの重要性

デジタル・プラットフォームやエコシステムの関連では、オーガニゼーション・政策の研究は次の3つの種類のDC：イノベーション能力、環境をスキャンしてセンシングする能力、および、それらを統合する能力、が重要だとする。DXに関する研究は、最初の2つの能力には触れているが、第3番目の統合能力には、DXの論文と戦略研究の双方において、まだ十分には分析されているとは言えない。

前節において、DXの本質が「コネクティビティ」であると述べた。それでは、コネクティビティ概念と結びつくDXの統合能力とはどのようなものになるのか。コネクティビティと中心概念とするシステムとはどのような構造を持っているのか。モジュール構造を持つシステムが、コネクティビティを中心概念に押し上げているのだ。

ハーバード大学の二人の学者、Baldwin and Clark⁵は、コンピュータ成立過程を分析のレンズとして、デザインの進化および産業の進化を観察し分析することを試みた。その結果、モジュール構造の基で可能な進化形態は、比較的簡単な、6つのモジュール・オペレータ（作用素、operator）で包含することができるとことを明らかにした。

すなわち、これらのモジュール・オペレータにより、モジュール構造の進化軌道のすべてを生成できるという⁶。この6つのオペレータの中で、ポーティング・オペレータとは、その名の通り、あるモジュールを、他のシステムに、転用（port）するのである。

そこで、このポーティング・オペレータを働かせることにより、すなわち、複数のシステムの中で共有されている基本的なモジュール（デジタル技術）を他のシステムへと転用（port）すれば、DXを構成しているすべてのシステムを、デジタル・トランスフォーメーションへと統合（あるいはコネクト）できるのである。

4. ビジネス・トランスフォーメーション

前節のIC（Integrative Capabilities）により製品、リソース、およびビジネスモデル、の新規導入や修正が可能になる。

更に、デジタル技術は、異種類のアクター間の分散的ネットワークの間に、新しいタイプのコラボを可能にする。それによって、利益が完全に一致しているアクター間の相互依存関係が作り出される。その結果、ビジネスのトランスフォーメーションが実現する。

ビジネス・トランスフォーメーション（BX）は、DXという意味では、ビジネスモデルの変更ばかりでなく、再定義にもつながる。BXは、次のような点において、顕著な変化をもたらす。価値の提供物（value proposition, VP）、価値のネットワーク（value network,

⁵ Baldwin, C. and Clark, K. (2000). *Design Rules: The Power of Modularity*. Cambridge, MA: The MIT Press.

⁶ この6つのオペレーターとは、splitting、substituting、augmenting、excluding、inverting、およびポーティング（porting）の6つである。ポーティング・オペレータとは、その名の通り、あるモジュールを、他のシステムに、転用（port）することである。他の5つのオペレーターは、それぞれのシステムの範囲内だけで作用するのである。

VN)、およびデジタル・チャンネル (digital channel) の3点である。

VP (*Value Propositions*) : デジタル技術は、その内容がますますサービスの提供となってきた、VP の新しい提供を可能にする。デジタル技術により新しいVP を創出した典型的な事例は、*Netflix* である。元々のビジネスモデルは、物理的メディアにストアされていた映画のレンタルであった。その後、ビデオ・ストリーミングの大口の提供者になった。さらに、映画の観客が楽しむ内容ばかりでなく、それがコンテンツの制作に役立つ情報を、ストリーミング・サービスの利用データを解析するようになった

VN (*Value Networks*) : デジタル技術はVP の再定義を可能にする。企業は次の2つの仲介戦略を実行できる⁷。

脱仲介 (*disintermediation*) 戦略では、デジタル技術が仲介業者をバイパスして、VN の参加者、つまり、顧客の間の直接取引を可能にする。一方、再仲介 (*remediation*) 戦略では、VN の参加者のカプリングを強化して、さらに密接なコラボや協力を可能にする。サプライ・チェーン内の交換を調整するプラットフォームを通して可能になる。

デジタル技術は、顧客に、VN 内で価値の共同創造者 (prosumers) になる能力を付与する。例えば、ソーシャル・メディアは、その技術を利用する義務はないユーザーの積極的な貢献に全面的に頼っている。したがって、企業は価値の共同創作を促進するようなインセンティブを顧客に与えることが必須の事項になる。

チャンネル (*Digital Channels*) : 組織は、デジタル技術を使って、販売・分配経路に変化をもたらすという証拠がある。これは次の2つの方法で可能だ。まず、顧客を向き合う新しいチャンネルを作る。ソーシャル・メディアで、顧客と対話をすることができる。

第2の方法は、デジタル技術のアルゴリズムによる意思決定により、組織間の調整をするソフトを使い、以前には不可能であった機会を得ることができる。製造業では、IoT で装着されているセンサーとその関連技術で自動化されスマート発注法により、サプライ・チェーンの効率性を高めることができる。

以上を要するに、ビジネス・トランスフォーメーションは、現存のVP、VN、および販売チャンネルを大幅に変えるような、破壊的なイノベーションを生むデジタル技術のポテンシャルに起因するのである。

5. 動学モデリング

最近の文献では、デジタル成熟 (digital maturity) という概念が提案されている⁸。変化に対して適切に対処する能力のことである。デジタル技術が世の中のあらゆる箇所に蔓延

⁷ Andal-Ancion, A., Cartwright, P. A., and Yip, G. S. 2003. "The digital transformation of traditional businesses," MIT Sloan Management Review (44:4), pp. 34-41

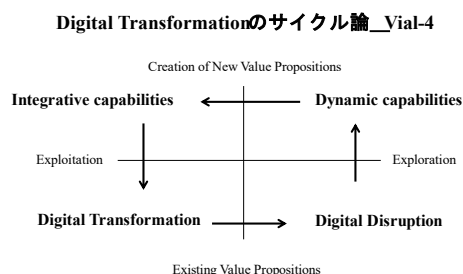
⁸ Kane, G. C. 2017. "Digital maturity, not digital transformation." Retrieved September 1, 2017, from <http://sloanreview.mit.edu/article/digital-maturity-not-digital-transformation/>

し、デジタル社会が熟成期を迎えているという。この状況では、デジタル技術を新しく利用することではなく、どのようなデジタル技術をどのような形でどのような箇所に提供して、全体としての生産性の向上に貢献できるかが問題となる。

そこで、本節では、成長期にある DX とデジタル成熟期の DX に働くダイナミックスの違いについて考察する。デジタル技術により環境の変化に敏速に対応することができるようになる。すなわち、イノベーションの機会をいち早く見つけ出し、競争的な市場を獲得するという組織の「機敏性」(agility) に役立つのである。そこで、上に述べた 2 種類のダイナミック・モデルにおいては、現存する製品構成 (proposition) の高度化を目指すのか、それとも、従来とは異なる新しい製品構成を創出するのか、の二分法が DX 分析の枠組みの第一の分類軸 (ビジネス) になる。

一方、デジタル技術を「両手利き」(ambidexterity) の戦略を実現するものとする研究も報告されている。すなわち現存する技術を最高度に利用 (exploitation) することと、新しいデジタル・イノベーションを開拓 (exploration) することの両面作戦を実現できるという⁹。そこで、我々の DX 分析枠組みの二分法として、技術の高度利用 (exploitation) と新分野の開拓 (exploration) の区別を第二の分類軸 (技術) に採用する。

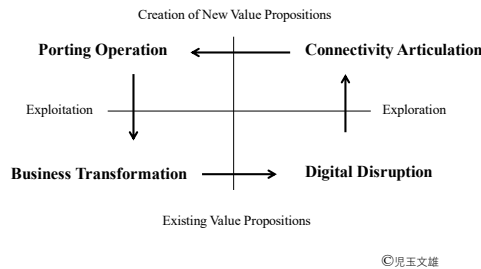
我々の DX モデルは、デジタル技術の初期の導入時期とデジタル成熟を経験した時期での 2 種類を考える。初期導入期の第 I バージョンでは、G. Vial のサーベイ論文で、詳述されている諸概念を、4 象限に配置した、図 2 に示すようなモデルになる。



デジタル成熟期の第 II バージョンでは、これまでの各節での後半で我々が提起した概念を、4 象限に配した図 3 に示したモデルとなる。

⁹ Svahn, F., Mathiassen, L., Lindgren, R., and Kane, G. C. 2017. "Mastering the digital innovation challenge," MIT Sloan Management Review (58:3), pp. 14-16. T

Digital Transformationのサイクル論_2024.05.27



©児玉文雄

おわりに

世界の歴史が新しいミレニアム（千年紀）に突入すると同時に、世界の人々が「デジタルである（being digital）とは何を意味するのか」を突如として議論をし始めたのは、単なる偶然の一致（coincidence）なのだろうか。事実、ニューズウィーク誌の1999年6月21日号は、「来るべき千年紀をどのように受け入れるべきか（Embracing a Millennium of Change）」という特集号を発刊している。

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たらすかについて、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容易に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。その文脈で登場したのが、IoT（Internet of Things）を情報社会のインフラストラクチャであり、「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という考えである。

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、最近になり、「デジタル成熟」(digital maturity) という現象が叫ばれるような時期に突入した。この時期の重要課題は。「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、我々が生きているミレニアムの重要課題になってきたと言えよう。

第8章 ITが変える都会の社会・生活

岡松 壮三郎

* 街づくり

—ITを生かした新たな街と既存の街の「関係」はなかなか難しいのではないのか
人がつながるか？ 交通手段によるか？ 新技術によるか？

—生活重視の傾向

通勤し易さより生活し易さの重視される時代になっている感じがする。
その結果は休日に家族みんなで楽しく過ごせる環境が好まれることになる。
これはとりもなおさず、「企業戦士」時代の終焉ということなのか。

* 新しい住まいの姿

ITを駆使し住まいの改善が図られることになる。

すなわち、より人手を省く生活スタイルが求められ住まいが変化してくることになる。

「共稼ぎ世代」の生活が変化し、それに伴い住まいも変化しているのではないのか

* 近所付き合い

遠い親戚より「近くの他人」と言われた時代があったが、今は皆それぞれの生活で手一杯で「近くの他人」もあまり期待していないし、期待できない。「近所付き合い」は従来より減っていると思われる＝「隣は何をする人ぞ」か

* 生活現場

ITを生かした新しい生活スタイルで重視されるのは手間を省くこと　たとえば、台所＝使いやすさ＝取り出し易さ＝しまい易さ

兄弟たち・親類付き合いもほとんど接触なし

* 通勤

距離より時間が肝心、通勤地獄は覚悟し「休日樂園」が選ばれる傾向あり

所要時間 1時間以内が理想　しかし、現実はいかに？

* 新たな環境

就業者の減少と人員の確保

30年・▲13%、40年 ▲26%、 50年▲36%

＝生産性の向上 ロボットの活用 各種関連機器の自動化

外国人の活用？

家庭の中までは入れないのではないのか

どうしても外国人の働き場所は限られるのではないのか

さらに、外国人の選別には適正な仲介者の存在が必要

―チームリーダー制度か

とはいえ「共稼ぎ世代」の広がりはこの点を変えてくる可能性あり

以上