

### 第3世代イノベーションマネジメントにおけるプラットフォームビジネスの動向 — 製造業におけるプラットフォームのタイプと展開方法 —

江口隆夫  
IDX 研究所

#### 要約

本稿は、近年の価値創造の単位が企業内部から企業外部の境界を越えたエコシステムへと拡張する中で、製造業における第3世代イノベーションマネジメントのビジネス構造を整理するものである。従来の第2世代イノベーションマネジメントが、社内プロジェクトを前提とした資源配分やプロセス標準化に基づいていたのに対し、第3世代では、自社をコア企業としつつ外部主体を含むエコシステム全体が、設計・運営の対象へと転換する点に本質的な違いがある。

本稿では、製造業におけるプラットフォームを、事業特性や展開形態の違いに着目して複数のタイプに類型化し、それぞれについて、コアとなる構成要素と設計上の着眼点を整理する。分析を通じて、製造業のプラットフォームは単一のIT基盤としてではなく、意思決定・評価基盤、インフォマティクス基盤、モデル基盤、データ基盤、接続・協調基盤といった複数の要素が相互に結合した全体構造として設計される必要があることを示した。特に、評価指標が自社業績中心の考え方から、エコシステム全体の価値創造を考慮する形へと拡張されるか否かが、プラットフォーム運営の成功に大きく関係することを示した。さらに、第2世代から第3世代への移行において、社内テクノロジープラットフォームの整備による基盤形成を起点とし、段階的に外部連携へと展開していくアプローチが重要な論点となることを整理した。以上の分析を通じて、本稿は、製造業における第3世代イノベーションマネジメントを、価値創造単位および管理対象の質的転換として位置づけ、その構造的な理解を提示した。

**キーワード：**第3世代イノベーションマネジメント、製造業プラットフォーム、エコシステム、価値創造単位、意思決定・評価基盤、組織構造

#### Platform Business in Third-Generation Innovation Management — A Typology and Deployment Approaches in Manufacturing —

Takao Eguchi  
IDX Research Institute<sup>\*1</sup>

#### Abstract

This paper examines the structure of Third-Generation Innovation Management in the manufacturing industry, in a context where digitalization and modularization have expanded the unit of value creation from within individual firms to ecosystems that transcend corporate boundaries. While Second-Generation Innovation Management relied primarily on resource allocation and process standardization based on internal projects, Third-Generation Innovation Management represents a qualitative shift in which the ecosystem as a whole—centered on

---

<sup>\*1</sup> Corresponding Author: Takao Eguchi, IDX Research Institute (E-mail: idxcs@e4.gmob.jp)

the focal firm and including external actors—becomes the object of design and management.

This study categorizes manufacturing platforms into multiple types by focusing on differences in business characteristics and deployment models, and organizes the core components and design considerations associated with each type. The analysis suggests that manufacturing platforms should not be designed as single IT infrastructures, but rather as integrated structures combining multiple elements, including decision-making and evaluation mechanisms, informatics infrastructures, model-based foundations, data infrastructures, and connection and coordination mechanisms. In particular, whether evaluation metrics are extended from a firm-centric performance focus to a perspective that accounts for ecosystem-level value creation has significant implications for platform management.

Furthermore, the paper organizes key issues related to the transition from Second- to Third-Generation Innovation Management, highlighting the importance of a phased expansion toward external collaboration that begins with the establishment of internal technology platforms. Through these analyses, the paper positions Third-Generation Innovation Management as a qualitative transformation of both the unit of value creation and the scope of management, and provides a structured understanding of its underlying architecture.

**Keywords :** Third-Generation Innovation Management; Manufacturing Platforms; Ecosystems; Unit of Value Creation; Decision-Making and Evaluation Mechanisms; Organizational Structure

## 1. はじめに

1990年代以降、イノベーションの理論および実践手法は大きく進化してきた。特に2010年頃から、GAFGAに代表される企業が、自社を中心としたプラットフォームを構築し、企業組織の境界を越えたエコシステムによる価値創造を実現したことで、イノベーションの担い手や価値創造の単位そのものが変化し始めた。デジタル変革の進展により、技術や知識は企業内に閉じて保持されるものではなく、プラットフォームを介して複数の主体が関与し、再結合される形が一般化しつつある。この結果、イノベーションを単一企業の内部プロジェクトとして管理する従来の枠組みは適応しなくなり、価値創造単位および管理対象そのものの再定義が求められている。

イノベーションを実現するためのイノベーションマネジメントも、こうした環境変化に応じて段階的に進化してきた。江口<sup>1)2)</sup>は、1990年代以降の先進企業の実践を整理し、イノベーションマネジメントが第1世代から第4世代へと代代的に進化してきたことを体系的に示している。第1世代は研究開発活動を中心とした属人的管理を特徴とし、第2世代では、プロセス標準化やポートフォリオ管理を通じて企業内部の探索活動が制度化された。一方、第3世代では、イノベーションは社内完結型の活動ではなく、自社をコア企業としつつ外部主体を含むエコシステム全体を対象とする設計・運営活動として再定義される。さらに第4世代では、複数の企業および複数のプラットフォームが連携し、産業レベルで価値創造が行われる段階へと展開する。

江口<sup>3)</sup>は、主として製造業を対象に、第2世代イノベーションマネジメントの仕組みをどのように設計し、定着させるかを論じ、評価指標、意思決定プロセス、組織構造の統合が重要であることを示した。一方で、第2世代の枠組みは、企業境界を越えたエコシステム型の価値創造を十分に扱えないという構造的限界を有することも明らかにしている。しかし企業の実施例を見ると、本来の第3世代イノベーションマネジメント<sup>1)2)</sup>が、第2世代の単なる延長や高度化と

して理解・実施されているケースが少なくない。価値創造の単位が社内プロジェクトからエコシステムへと転換しているにもかかわらず、評価指標、意思決定プロセス、組織構造といったマネジメントの前提が第2世代のまま第3世代の取組みが進められ、結果として十分な成果を上げられない状況が繰り返されている。

さらに、第3世代イノベーションマネジメントへの取組みが、企業の成長性や競争優位にどのような差をもたらしているのかについても、体系的な整理は十分になされていない。Adner<sup>4)</sup>が指摘するように、エコシステムは個別企業の集合ではなく、価値創造の構造として設計・調整されるべき対象であり、参加主体間の相互依存関係を前提としたマネジメントが不可欠である。しかし、こうした視点は、製造業におけるプラットフォームビジネスの実施において十分に反映されているとは言えない。

特に製造業では、プラットフォームがIT基盤やデータ基盤として部分的に捉えられ、事業特性や価値創造の構造、展開形態の違いを考慮しない一様な概念として扱われる傾向が強い。その結果、高度な技術基盤やデジタル基盤を整備しても、意思決定や評価の仕組みが従来の枠組みにとどまり、プラットフォームが価値創造の基盤として十分に機能しない事例が繰り返されている。また、第2世代から第3世代への移行が、社内基盤の整備や評価基盤の転換を伴わないまま、外部連携の追加として短絡的に実施されることも少なくない。

そこで本稿の目的は、製造業における第3世代イノベーションマネジメントを、プラットフォームビジネスの構造という観点から体系的に整理することにある。具体的には、製造業におけるプラットフォームを事業特性や価値創造の構造に基づいて類型化し、それぞれのタイプにおいて重要となる構成要素および設計論理の違いを明らかにする。さらに、いずれのタイプにおいても、意思決定・評価基盤がプラットフォーム運営の成否を左右する重要な要素であることを示す。

併せて本稿は、第3世代イノベーションマネジメントを第2世代の拡張としてではなく、価値創造単位およびマネジメントの質的転換として位置づけるとともに、第3世代が第4世代イノベーションマネジメントへ移行するための前提段階であることを論じる。第3世代においてプラットフォームを設計・運営した経験の有無が、第4世代における企業の役割や獲得価値を大きく左右するという視点から、製造業における第3世代イノベーションマネジメントの戦略的意義を明らかにする。

## 2. 製造業における第3世代イノベーションマネジメント

### 2.1 イノベーションマネジメントの4つの世代

イノベーションマネジメントは、技術や市場環境の変化に応じて段階的に進化してきた。江口<sup>2)</sup>は、1990年代以降の先進企業の実践を整理し、イノベーションマネジメントが概ね10年周期で4つの世代へと発展してきたことを示している。各世代は、イノベーションの対象範囲、価値創造の単位、そして管理対象の違いによって区別される。

第1世代は、研究開発部門を中心とした技術探索の段階であり、対象範囲は主として研究所や技術部門に限定されていた。価値創造の単位は個別技術や製品アイデアであり、管理対象は研究テーマや技術シーズであった。イノベーションは属人的で、体系的なマネジメントは限定的であった。

第2世代では、新規事業開発や製品開発の標準プロセスや制度が組織的に整備され、対象範囲は社内プロジェクト全体へと拡張した。この世代では価値創造の単位は事業やプロジェクトであり、管理対象は開発プロセスやポートフォリオである。成果指標は自社ROIや事業収益性などに置かれ、ステージゲートや評価制度を中心とした社内完結型のマネジメントが確立した<sup>2)</sup>。

これに対し、第3世代は第2世代の延長ではなく、質的に異なる段階として位置づけられる。第3世代と第2世代の最大の違いは、管理対象が社内プロジェクトからエコシステムへと転換した点にある。価値創造の単位は単一企業

の事業やプロジェクトではなく、複数の企業や組織が関与するエコシステム全体となる。成果指標も自社の業績から、プラットフォームを中心に創出されるエコシステムの価値へと移行する。

コア資産は、標準化されたプロセスではなく、外部主体が参加・拡張可能なテクノロジープラットフォームである<sup>2)</sup>。本稿では、プラットフォームを、特定の技術資産そのものではなく、技術・データ・組織・評価を含む統合的な経営システムとして用いる。

さらに、第4世代は、複数のプラットフォームやエコシステムが相互に連結し、産業横断的に価値創造が行われる段階である。以上の定義から明らかなように、第3世代への移行は、評価指標や組織構造の調整では対応できない、管理対象と価値創造方法の根本的転換を意味している。

これらイノベーションマネジメントの4つの世代の特徴を、表1に整理した。表1は、各世代における対象範囲、価値創造単位、管理対象、成果指標、コア資産の違いを明確にしており、世代間の質的差異を把握するための基礎的な特徴を提供している。

表1 イノベーションマネジメントの4つの世代の重要な特徴 (出所) 江口<sup>1)2)</sup>より作成

世代	主な時代背景	対象範囲	価値創造単位	管理対象	成果指標	コア資産・基盤	マネジメントの特徴
第1世代	～1990年代	研究所・技術部門	技術・アイデア	研究テーマ、技術シーズ 縦割組織	技術成果、特許	個別技術、研究人材	属人的・探索中心
第2世代	2000年代～	社内全体	事業・プロジェクト	開発プロセス、ポートフォリオ など標準制度 組織の連携	自社業績、事業収益性	プロセス、評価制度	社内完結・効率重視
第3世代	2010年代～	企業、社外パートナー	エコシステム	プラットフォーム、外部組織との 連携	エコシステム価値、 将来オプション	テクノロジープラットフォーム	協調・拡張重視
第4世代	2019年頃～	複数エコシステム	産業横断価値	プラットフォーム間の 連携	社会的価値、経済価値	データ・知識連結基盤	共進化・適応型

## 2.2 製造業における第3世代イノベーションマネジメントの特徴

第3世代イノベーションマネジメントの特徴は、社内において第2世代のイノベーションマネジメントが一定水準まで確立していることを前提に、その上に、社外エコシステムを対象としたプラットフォーム運営を重ねる点にある。この結果、第3世代では、社内の事業・プロジェクト管理と、社外の多様な主体を含むエコシステム運営が同時並行で行われる二重構造（デュアルマネジメント）が、重要な構造として現れる<sup>2)</sup>。

社内側のマネジメントは、第2世代で確立されたプロセス管理やポートフォリオ管理を基盤とし、事業化の効率性や投資ルールを担保する役割を果たす。第3世代では、これに加えて、企業の境界を越えた価値創造を目的とするエコシステムマネジメントが新たに求められる。このエコシステムは、協力企業や補完企業、顧客企業に加え、プロセスの上流には大学や国の研究機関といった知識創出主体を含む広がりを持つケースもある<sup>2)</sup>。

この二重構造の運用を支える基盤が、テクノロジープラットフォームである。第3世代におけるテクノロジープラットフォームは、汎用的なIT基盤ではなく、自社が長年にわたって蓄積してきたコア技術、かつ業界内で競争優位性を持つ、最も強い技術を基盤として構築される点に特徴がある<sup>5)</sup>。プラットフォームは、コア企業がその技術を一定範囲で外部に開

放し、技術仕様やインターフェース、評価基準といった共通基盤をプラットフォーム利用者に提供する。これにより、プラットフォーム利用者から構成されるエコシステムには、多様な外部主体が参加し、それぞれの知識や資源を持ちながら、補完的な製品、用途、サービスを開発を行う。

第3世代イノベーションマネジメントは、単なるオープン化や外部連携の拡大ではない。IT基盤やデジタルプラットフォームを導入すれば、それだけで第3世代企業と同等の経営効果が出せるわけではない。技術基盤やプラットフォームのみを導入し、経営スタイルや組織構造が第2世代のままの企業は、結果としてエコシステムが機能しないケースも見られる<sup>2)</sup>。第3世代を成立させるためには、テクノロジー、組織、経営の三位一体での設計が不可欠である。強いコア技術に基づくプラットフォーム設計、社内外を横断する組織とガバナンス、そして自社業績にとどまらないエコシステム価値を創出する仕組みが同時に整備されて初めて、第3世代イノベーションマネジメントは実効性を持つ。この点が、以下で検討する製造業プラットフォームの構成要素や移行方法を理解する上での前提となる。

### 3. 第3世代イノベーションマネジメントの経営効果

第3世代企業が運営するプラットフォームエコシステムとは、企業が自社の製品やサービスを中心に、補完企業、開発者、顧客など複数の主体を巻き込みながら価値創出を行う経営形態である。次に挙げる4つの経営効果は、単なる効率化や外注拡大にとどまらず、企業の成長性、競争優位、戦略実行力にまで及ぶ点に特徴がある。

第一は、売上成長と市場拡大である。プラットフォームでは、補完者が提供する製品やサービスが増えるほど、ユーザーにとっての利用価値が高まり、ネットワーク効果によって需要が自己増殖的に拡大する。この結果、プラットフォーム企業は自社単独では到達できない市場規模を実現できる。実証研究では、補完者との価値共創がプラットフォーム運営企業の売上や市場シェアの拡大に有意に寄与することが示されている<sup>6)</sup>。

第二に、イノベーションの加速が挙げられる。プラットフォームのある形態は、モジュール化された技術アーキテクチャと標準化されたインターフェースを提供することで、様々な外部組織による並列的な探索と実験を可能にする。この分散的な探索の仕組みにより、イノベーションの速度と多様性は大きく向上する。産業プラットフォームに関する研究では、価値創出の源泉は個別製品の性能ではなく、補完的イノベーションの総量にあると指摘されている<sup>7)</sup>。また、外部組織に開放する技術アーキテクチャとガバナンスを適切に整合させることで、外部イノベーションを安定的に取り込めることが示されている<sup>8)</sup>。

第三は、競争優位の持続性である。プラットフォームは製品差別化に依存せず、エコシステム全体への依存関係を構築することで競争優位を維持する。補完者を選択的に支援・可視化する戦略は、エコシステム内でのロイヤリティを高め、他プラットフォームへの移行を抑制する。これにより、競争は単一製品間の競争から、エコシステム同士の競争へと転換する<sup>9)</sup>。

第四に、コスト効率とリスク分散の効果がある。研究開発、市場探索、用途開拓といった不確実性の高い活動をエコシステム全体で分担することで、プラットフォーム企業は固定費負担を抑えつつ、多様な試行錯誤を行える。プラットフォームが市場のルールメーカーとして機能することで、取引コストや調整コストを低減できる点も、経営上の重要な効果である<sup>10)</sup>。

さらに、プラットフォームエコシステムは企業をメタ組織として機能させる。企業は自社組織の境界を超えて他社の行動を方向づけ、産業全体の進化の方向性を調整する立場を獲得する。技術アーキテクチャの制御やガバナンス設計を通じて、戦略をエコシステム全体に実装できる点は、従来の企業経営には見られなかった新たな経営効果と言える<sup>11)</sup>。

このように、プラットフォームエコシステムの経営効果は、売上成長、イノベーション加速、競争優位の持続、コスト効率、戦略実行力の拡張という複数の次元にわたる。これは、経営や事業の単位が企業からエコシステムへと拡張していることを示しており、製造業を含む多くの産業において重要性を増している。

#### 4. 製造業プラットフォームビジネスのタイプ

製造業におけるプラットフォームビジネスは、GAF Aのようなデジタル産業の単純な模倣では実現せず、製品特性、技術構造、価値創造プロセスの違いに応じて多様な形態をとる。筆者は、製造業のプラットフォームを、その意思決定と調整が集中するポジションと価値創造の観点に基づき、次の4つのタイプに整理した。各タイプの特徴、成立条件、構成要素を明確化し、主要企業の具体事例を通じて、製造業におけるプラットフォームビジネスの概要を説明する。

##### タイプ A： OS 型（Operation System）プラットフォーム

タイプ A は、OS・実行規約・API・更新ルールといった上位制御点を企業が握ることで、エコシステム全体の進化方向を規定するプラットフォームである。価値創造の焦点は個別製品やハードウェアではなく、ソフトウェア層における制御インターフェースに置かれる。対象領域は、アプリケーション、サービス、外部補完者の活動全体に及び、構成要素としては、① OS またはそれに準じる実行基盤、② API・SDK（ソフトウェア開発キット）・認証・配布ルール、③ 更新・セキュリティ・責任分界の統治ルールが挙げられる。製造業における OS 型は、デジタルサービス産業と異なり、安全性・信頼性・法規制・製品責任と不可分であり、意思決定と調整の集約と同時に重い統合責任を伴うポジションの設置に本質的な特徴がある<sup>4)8)</sup>。

代表例が Apple の iOS、Apple Silicon である。Apple は OS、SoC、API、アプリ配信規約を垂直統合し、実行規約そのものを支配することで、補完者の自由度と進化方向を同時に制御している<sup>5)12)</sup>。製造領域の事例では Bosch Rexroth が展開する ctrlX OS が該当する。Bosch Rexroth は産業制御分野に OS 型アーキテクチャを持ち込み、アプリストア型、すなわち一社が基盤を提供し、その上で他社が機能を追加する補完構造を構築することで、従来の PLC 中心設計からの転換を図っている<sup>13)</sup>。また NVIDIA は GPU、CUDA により、実行モデル・API・開発規約を事実上の標準として確立した。CUDA は単なる開発環境ではなく、計算実行の規約そのものを支配する OS 的機能を果たしており、第 4 世代の OS 型プラットフォームと位置づけられる<sup>7)14)</sup>。なお、NVIDIA は、第 4 世代へ進化している。

##### タイプ B モジュール・製品設計アーキテクチャ型プラットフォーム

タイプ B は、製品設計アーキテクチャの重要な要素となるモジュール（ハード・ソフト双方を含む）を固定し、その設計ルールによって製品進化を方向づけるプラットフォームである。ここでいうモジュールは、製品全体が完全にモジュール化されることを意味しない。対象領域は主に設計段階であり、製品設計アーキテクチャの一部がモジュールとして切り出され、設計前提として共有される点が特徴である<sup>15)16)</sup>。構成要素は、① 命令セット・デバイス仕様・API モジュール、② 機能—構造写像に基づく設計ルール、③ 互換性・性能ロードマップが挙げられる。

Intel の x86 命令セット は典型例である。x86 は CPU 内部仕様であると同時に、OS・コンパイラ・アプリ設計の前提条件として機能し、製品設計アーキテクチャのコアモジュールとして長年にわたり産業を拘束してきた<sup>17)</sup>。

Samsung も SoC やデバイス設計基盤を通じ、製品設計アーキテクチャにおけるコアモジュールを支配している。近年で

はソフトウェアプロダクトライン管理の重要性が高まり、API モジュールを含む設計アーキテクチャ型プラットフォームへと拡張している<sup>18)</sup>。

### タイプ C エンジニアリングチェーン型プラットフォーム

タイプ C は、製品開発、製造・運用・保守・サービスまでを含むエンジニアリングチェーン全体を統合対象とするプラットフォームである。価値創造のポイントは単一モジュールや OS ではなく、設計判断が製造・運用・アフターサービスまで連鎖的に拘束される構造にある。対象領域は、開発・製造・運用・保全・サービスであり、構成要素は、① 製品アーキテクチャ設計、② 製造・構成管理、③ データ連携・運用・保守契約、④ 長期サービスモデルである。タイプ C では、全体設計モデルが構成判断を主導する一方で、その前提として、設計・製造・サプライヤー階層を貫くデータの連続性と構成管理が不可欠であり、データ基盤・共有構造は中核的な構成要素となる。

たとえば、Hitachi の Lumada は、OT (Operational Technology) と IT を統合し、設計から運用・保全までを横断するエンジニアリングチェーンを構築している<sup>19)</sup>。Airbus の DDMS は、分散設計・製造を前提としつつ、統合設計責任を企業が保持する代表例である<sup>20)</sup>。また、Boeing は、設計判断が製造・保守契約まで拘束される構造を持っている<sup>21)</sup>。Siemens の Xcelerator、Toyota の TNGA、Woven City も、設計から生産・運用までのエンジニアリングチェーン型プラットフォームである<sup>22)23)</sup>。

### タイプ D 用途展開型 (アプリケーション主導) プラットフォーム

タイプ D は、コア技術や物性を起点に、用途 (アプリケーション) を横断的に展開することで価値を累積するプラットフォームである。ここでは、用途探索と用途循環の仕組みそのものが競争優位の源泉となる。対象領域は研究・用途開発 (TS&D : Technical Service & Development) であり、構成要素は、① 再利用可能な技術・物性知、② 用途探索プロセス、③ 顧客・外部パートナー連携、④ データ循環である。

主に化学大手の事例では、BASF は用途展開・TS&D を対象に、材料を用途横断で展開しており<sup>24)</sup>、DuPont は材料起点の用途循環構造を長期的に構築してきた<sup>25)</sup>。また、DSM は社会課題起点で用途を再編し、用途主導型プラットフォームへ転換した<sup>26)</sup>。

以上、A~D タイプのプラットフォームについて、各業界の事例を表 2 に整理した。

表 2 主要企業におけるプラットフォームタイプ別整理 (出所) 筆者作成

タイプ	企業	業界	世代	プラットフォームの概要
A	Apple	電機	3	iOS、SoC (Apple Silicon)。OS・実行規約・API を制御点として統合的に支配
A	Bosch	電子部品	3	ctrlX OS。産業制御分野における OS 制御をコア機能とするプラットフォーム
A	NVIDIA	電子部品	4	GPU、CUDA プラットフォーム。仕様・設計ルール = 実行規約の支配
B	Intel	電子部品	3	x86 命令セット・CPU アーキテクチャ。モジュール・製品設計アーキテクチャ
B	Samsung	電機	3	SoC / デバイス設計基盤。モジュール・製品設計アーキテクチャ
C	Hitachi	電機	3	Lumada (OT×IT 統合基盤)。設計～運用・保全を横断するエンジニアリングチェーン
C	Volkswagen	自動車	3	VW.OS を基盤に据えた再設計。完成度は低いが見込みはエンジニアリングチェーン
C	Airbus	航空機	3	DDMS (分散設計・製造システム)。統合設計責任と製造連鎖の支配
C	Boeing	航空機	3	機体アーキテクチャ統合体制。設計判断が製造・保守まで拘束

C	Siemens	重工	4	Xcelerator。設計・製造・運用を貫くエンジニアリングチェーン
C	Toyota	自動車	4	TNGA、Woven City。設計～生産～運用の統合連鎖
D	BASF	化学・素材	3	用途展開・TS&D 基盤。用途探索・展開が価値創造の重要機能
D	DuPont	化学・素材	3	材料起点・用途循環プラットフォーム。用途横断・再利用
D	DSM	化学・素材	3	社会課題起点の用途展開基盤。用途・社会課題主導

### 5. 製造業のテクノロジープラットフォームの構成

第3世代の製造業のテクノロジープラットフォームは、単一のIT基盤やツール群の集合ではなく、以下に示す複数の構成要素が相互に結合した全体構造として設計される。テクノロジープラットフォームには自社のコアテクノロジーを一部開示し、社外の協力会社・補完会社・顧客企業が利用者として参加することを前提とする。ここでは、テクノロジープラットフォームを構成する五つの要素について、タイプA～Dの違いに応じて、どの要素に重点が置かれるか検討する。

#### a) 意思決定・評価基盤 — KPI, エコシステム価値, ガバナンスを運用するインターフェース

第3世代プラットフォームにおける特徴は、可視化・分析した結果の表示により、意思決定、評価を行う基盤にある。第2世代では、KPIは自社の投資対効果や短期収益性などの指標を置き、評価単位は個別プロジェクトであった。しかし第3世代では、中長期にわたるエコシステム全体の価値創出や将来オプションが評価対象となる<sup>27)</sup>。

Gawer and Cusumano<sup>5)</sup>は、プラットフォーム戦略において技術基盤とガバナンス、インセンティブ構造が不可分であることを指摘している。評価基盤が第2世代の価値観のままでは、外部補完者の参加意欲は高くならず、プラットフォームは発展しない。したがって、投資判断、成功の定義、KPIをエコシステム価値に対応させることが、第3世代成立の必要条件となる。

#### b) インフォマティクス基盤 — 解析、AI、思考エンジン

インフォマティクス基盤とは、計算・解析・最適化によって探索空間を提供する基盤であり、製造業プラットフォームにおけるデータ分析・思考エンジンに相当する。ビッグデータ解析、機械学習、最適化アルゴリズムは、物理的制約や安全要件の強い製造領域において、人手による試行錯誤を補完・代替し、意思決定の速度と精度を飛躍的に高めてきた<sup>28)29)</sup>。このインフォマティクス基盤が果たす役割は、プラットフォームのタイプによって異なる。

タイプA (OS型) では、インフォマティクスは主としてソフトウェアやシステム内部で機能する仕組みとして位置づけられる。OSは、アプリケーションやサービスが安定して動作するための共通基盤として、実行状態の把握、処理の調整、計算資源の配分、セキュリティの確保などを担う。これらの機能により、OSやプラットフォームはシステム全体の動作を左右する判断と調整が集まる位置となり、その上で多様なアプリケーションやサービスの開発が促進される<sup>8)5)</sup>。

タイプB (モジュール・製品設計アーキテクチャ型) では、インフォマティクスは製品設計領域で機能する。このタイプでは、設計モデル、機能と構造の対応関係、設計ルール、インターフェース定義といった製品設計アーキテクチャが主な分析対象となり、性能評価や最適化計算を通じて、重要なモジュール構成や設計案の高度化を支える。製品設計を知識集約的なプロセスとして捉え、計算機による探索と再利用を通じて設計の選択肢を拡張するアプローチは、製品アーキテクチャおよび設計支援に関する報告で説明されている<sup>15)16)</sup>。

タイプC (エンジニアリングチェーン型) では、Engineering Informatics (エンジニアリング・インフォマティクス) として位置づけられる。Engineering Informaticsは、設計・製造・建設・運用・保全といったエンジニアリング活動全体を

対象に、情報技術を用いて意思決定と統合を支援する分野として確立している<sup>7)8)</sup>。このタイプでは、デジタルツイン、PLM、構成管理、ライフサイクルコスト分析などを通じて、製品ライフサイクル全体にわたる設計・計画・運用上の判断を制約条件として明示しつつ支援する役割を担う。

タイプD（用途展開型）では、インフォマティクス基盤そのものが価値創造を担う主要機能となる。このタイプでは、材料物性、実験条件、評価結果といった多様なデータを解析する Materials Informatics（マテリアル・インフォマティクス）を代表例として、用途仮説の生成と検証が高速に反復される。さらに、探索対象に応じて、製造条件、配合設計、用途条件、システム構成といった領域へと同様の探索駆動型インフォマティクスが展開される点に特徴がある。ここでは、既知構造の最適化ではなく、未知用途や新規な組み合わせの探索そのものが主目的となり、インフォマティクスは探索活動を直接的に駆動するエンジンとして機能する<sup>30)31)</sup>。

このように、インフォマティクス基盤はすべてのプラットフォームタイプに共通して存在するが、タイプA～Cでは既知構造の制御・設計・運用の高度化を主目的とするのに対し、タイプDでは未知用途の探索と仮説創出そのものを担う点に決定的な違いがある。

### c) モデル基盤とデジタルツイン—— シミュレーション、製品体系の利用

モデル基盤は、製品・プロセス・設備をデジタル空間に再現するための主要要素であり、デジタルツインとして具現化される<sup>32)33)</sup>。物理モデル、シミュレーションモデル、制御モデルが再利用可能な形で管理されることにより、設計・製造・運用を横断した整合性が確保される。

タイプC（製品体系型）では、このモデル基盤が特に重要な役割を担う。AirbusのDDMSに代表されるように、モデルは製品全体のアーキテクチャが共通の記述体系として機能し、サプライヤー階層を含む統合的な設計と変更管理を可能にする<sup>34)</sup>。タイプDでは、モデルは材料特性や物性データを用い、用途ごとの仮説検証を高速に反復するための探索ツールとして用いられる。

### d) データ基盤と共有構造—— データ蓄積と循環、共有構造

データ基盤は、設計・製造・運用の各段階で生成される多様なデータを蓄積し、複数主体が利用可能な形で共有するための基盤である。第3世代プラットフォームにおいては、データは単なる保管対象ではなく、再利用と再結合を前提とした共有構造として設計される<sup>35)</sup>。

タイプAやBでは、仕様の互換性確保や性能比較を目的としたデータ共有が主に重視される。一方、タイプDでは、用途別アプリケーションや実験活動から生成されるデータが横断的に結合され、分析と探索を通じて次の用途仮説へと接続される。このように、データが蓄積・共有にとどまらず、継続的に探索活動へと還流する構造は、エコシステムの複数のステークホルダーが利用する第3世代プラットフォームに固有の特徴である。

### e) 接続・協調の基盤—— API, IoT, 外部接続

接続・協調の基盤は、設備、ITシステム、外部パートナーを結ぶインターフェース群から構成される。CPS（Cyber-Physical Systems）やIndustry 4.0では、接続性はプラットフォームの前提条件として位置づけられている<sup>36)</sup>。

タイプAでは、APIやSDKを通じた開発者との協調が重要となる。タイプCでは、PLMや構成管理を介したサプライヤーとの協調が重視される。一方、タイプDでは、顧客や研究機関との軽量かつ柔軟な接続が、用途探索のスピードと多様性を左右する。

表3に、製造業テクノロジープラットフォームを構成する要素について、タイプA～D別の用途に応じた重要度をまとめた。第3世代イノベーションマネジメントにおいて重要なのは、自社が採用するプラットフォームタイプに応じて、5つの構成要素のどの要素を競争力の源泉として設計するかを見極めて、継続的に発展させることにある<sup>2)4)</sup>。

表3 製造業テクノロジープラットフォームにおけるタイプ別構成要素の重要度

構成要素 プラットフォームタイプ	a) 意思決定・評価基盤	b) インフォーマティクス基盤	c) モデル基盤・デジタルツイン	d) データ基盤・共有構造	e) 接続・協調の基盤
タイプA：OS型 (ソフトウェアコア)	● エコシステム評価	○ OS上の共通解析・制御機能	△ 共通インタフェースモデル	○ 仕様互換性のためのデータ共有	● API・SDKによる開発者接続
タイプB：モジュール型 (ハードウェアコア)	● 仕様支配と将来価値評価	○ 性能設計・最適化計算	○ 物理挙動・制御モデル	△ 標準仕様・互換性データ	○ 相互接続インタフェース
タイプC：製品体系型 (統合アーキテクチャ)	● 全体最適・長期判断	△ 構成最適化アルゴリズム	● 全体設計モデルが主導	● デジタルスレッド・構成管理	● サプライヤー階層協調
タイプD：用途展開型 (アプリケーション主導)	● 探索型・オプション評価	○ 用途探索・データ解析	△ 仮説検証・高速試作モデル	● 用途横断データ循環	○ 顧客・研究機関との軽量接続

凡例 ●：競争力の源泉 ○：重要要素 △：補助的要素

タイプA（OS型）では、APIやSDKを中心とした接続・協調の基盤と、それを支える意思決定・評価基盤が重要な機能となる。ここでは、いかに多くの外部開発者や補完者を引き込み、エコシステム全体の拡張を促せるかが価値創造の鍵となる<sup>7)8)</sup>。一方、タイプB（モジュール型）では、物理的な技術モジュールとその仕様の支配が中心となり、意思決定・評価基盤は将来の性能進化や用途拡張を織り込む形で設計される必要がある<sup>5)15)</sup>。タイプC（製品体系型）では、モデル基盤と接続・協調の機能が主要な基盤として位置づけられる。統合アーキテクチャの設計能力と、それを支えるサプライヤー階層との協調構造が価値創造の前提となるため、部分最適ではなく全体最適を志向する評価・意思決定の仕組みが不可欠となる<sup>16)38)39)</sup>。タイプD（用途展開型）では、データ基盤と共有構造が中心的役割を果たし、用途ごとに生成されるデータが次の用途探索を加速する循環構造が競争力の源泉となる<sup>40)4)</sup>。

ここで、すべてのタイプに共通して重要な機能となるのが、a) 意思決定・評価基盤である。第3世代イノベーションマネジメントでは、価値創造の単位が社内プロジェクトからエコシステムへと移行しており、それに対応した評価ロジックがなければ、いかに高度な技術基盤を整備してもプラットフォームは機能しない<sup>4)27)</sup>。KPI、投資判断、成功の定義が第2世代の枠組みにとどまっている限り、外部補完者の参加は限定的となり、結果としてプラットフォームは単なるIT基盤にとどまる<sup>7)</sup>。したがって、本章で整理した5つの要素の組合せは、単なる構成要素の一覧ではなく、どの要素を重要な機能として設計し、どの評価基盤によって全体を駆動するかを検討するための設計指針である。この評価基盤の転換こそが、第2世代から第3世代への移行における最大の課題であり、次章で論じる移行プロセスの出発点となる<sup>2)3)</sup>。

## 6. 第2世代から第3世代イノベーションマネジメントへの移行

第2世代から第3世代への移行は、単なる組織拡張や外部連携の追加だけではなく、イノベーションマネジメントの目的そのものが変わる転換である。第2世代では、自社内の新規事業や製品開発を効率的に管理し、自社の業績やROIを最大化することが中心課題であった。一方、第3世代では、企業は自社をコア企業とするエコシステムの設計者・運営者となり、エコシステム全体の価値創出を通じて自社価値を高めるという経営手法へと転換する必要がある<sup>2)</sup>。この移行は一足飛びには実現しない。実務的には、三つの段階を踏んで進めることが現実的である。

### 第1段階：社内テクノロジープラットフォームの構築

第3世代への移行における第一段階は、社内におけるテクノロジープラットフォームの構築である。ここでいうプラットフォームとは、単なるIT基盤ではなく、社内に分散して存在する技術資産、データ、モデル、設計ルールを、再利用可能な形で統合した共通基盤を指している。

第2世代の組織では、事業部やプロジェクト単位で技術やデータが管理されてきた結果、社内においてさえ知識や資産の共有と再利用が十分に成立していない場合が少なくない<sup>41)</sup>。この状態では、外部主体との連携以前に、プラットフォームとしての基盤条件が欠如している。この段階では、評価指標は引き続き自社のROIを中心に据えつつも、将来的な用途拡張や外部連携を見据え、共通基盤としての整合性と再利用性を優先した整備に注力することが求められる。

### 第2段階：社内エコシステムの形成

次の段階では、構築したテクノロジープラットフォームを基盤として、研究、開発、製造、営業といった社内ステークホルダー間のエコシステムを形成する。この段階では、部門ごとに分断されていた技術、データ、モデルを横断的に共有し、新規製品開発や用途探索を部門横断で推進する体制が求められる。第2世代のプロジェクト管理手法をそのまま適用した場合、部門ごとの最適化が優先され、共通基盤として構築したプラットフォームが十分に活用されないまま形骸化するリスクが高い。これを回避するためには、評価指標においても、個別プロジェクトの短期的成果だけでなく、共通基盤への貢献度や再利用価値を評価対象として組み込む必要がある<sup>3)</sup>。

### 第3段階：社外エコシステムへの拡張

最終段階では、社内で成熟したプラットフォームと運営ルールを基盤として、協力企業、補完企業、顧客企業、さらには大学や研究機関を含む社外エコシステムへと拡張する。この段階においては、経営の目的そのものを明確に転換する必要がある。すなわち、自社の売上や利益の最大化に加えて、外部ステークホルダーにとってのメリット、すなわち参加インセンティブを明示的に設計・提供することが不可欠となる。Adner<sup>4)</sup>が指摘するように、エコシステムは個別企業の最適化によって成立するものではなく、参加者全体の成功条件が満たされて初めて機能する構造である。そのため、自社最適のみを追求する姿勢では、エコシステムは持続的に機能しない。

この移行過程では、いくつかの典型的な失敗パターンがある。まず、ガバナンスや評価基盤が不在、あるいは第2世代の価値観のまま社外連携を進める場合である。この場合、外部補完者は十分に報われず、結果としてエコシステムは定着しない<sup>7)</sup>。また、経営者が短期的成果を急ぐあまり、社内プラットフォームや運営ルールの整備が不十分な状態で社外連携を拡大するケースがある。このような場合、ルールや責任分担が曖昧となり、参加主体間の期待値の不一致から関係が不安定化しやすい。

以上より、第2世代から第3世代への移行は、社内基盤の構築から始まり、段階的にエコシステムを拡張しつつ、評価・意思決定の方法を自社業績評価中心からエコシステム価値中心へと転換するプロセスである。この転換を意識的に設計できるか否かが、第3世代イノベーションマネジメントの成否を分けると言える。

## 7. 第3世代企業の組織構造とイノベーションマネジメントの仕組み

第3世代イノベーションマネジメントを実装する企業では、組織構造そのものが第2世代から質的に転換する。第2世代では、R&D、用途開発、事業部が共通プロセスで連結されていたが、基本的な価値創出単位は、あくまで社内プロジェクト単位であった。これに対し第3世代では、価値創出の単位が、自社をコアとするエコシステム単位へと拡張され、それに対応した組織設計が必要となる<sup>2)</sup>。以下に第3世代の組織体制を整理する。

### 7.1 プラットフォーム責任組織

第3世代企業では、CEO直下にプラットフォーム責任組織（Platform Office / Platform Owner）が設置される。この組織は、単なるIT部門や研究組織ではなく、テクノロジープラットフォーム全体の進化、外部公開範囲、標準化方針、知財境界を統括する役割を担う<sup>8)</sup>。このプラットフォーム責任組織は、第2世代的な事業管理とは異なるマネジメント論理を担う存在であり、二重構造（デュアルマネジメント）の一翼を構成する。

具体的には、①コア技術のロードマップ管理、②API・仕様・データモデルの定義、③エコシステム参加条件の設計、④プラットフォーム投資の優先順位付けを行う。Gawer and Cusumano<sup>7)</sup>が示すように、プラットフォームの競争力は技術そのものよりも、設計された統治構造によって左右される。

### 7.2 事業部との関係

第3世代において事業部（BU：Business Unit）は、もはやイノベーションの唯一の主体ではない。BUは引き続きP/L責任と量産・供給を担うが、プラットフォーム上の一利用者、あるいは主要補完者として位置づけられる<sup>5)</sup>。

新規用途や新市場の探索は、BU主導ではなく、プラットフォーム責任組織と用途開発・事業開発機能が主導し、成熟段階でBUに引き渡される。この分離により、既存事業の論理が探索活動を抑制する問題が回避される<sup>3)</sup>。結果として、BUは短期業績に集中しつつ、長期的にはプラットフォームの成長果実を享受する構造が成立する。

このような役割分離は、2.2で整理した「二重構造（デュアルマネジメント）」を組織構造として具体化したものである。すなわち、既存事業を担うBUのマネジメント論理と、プラットフォームを核とした探索・エコシステム運営のマネジメント論理を意図的に併存させることで、第2世代と第3世代の要求を同時に満たす構造が形成される。

### 7.3 エコシステム統括機能

第3世代企業では、エコシステム統括機能（Ecosystem Management / Orchestration）が独立した組織として設けられる。ここでは、協力企業、補完企業、顧客企業、大学・研究機関との関係性を一元的に設計・管理する<sup>42)</sup>。役割は、①参加主体の選定、②役割分担と価値配分の設計、③データ・知財の共有ルール策定、④紛争解決とガバナンス維持である。Adnerが指摘するように、エコシステムは自然発生的に機能することは難しく、意図的な設計と継続的な調整が不可欠である<sup>4)</sup>。

### 7.4 経営トップの役割転換

第3世代において、CEOやCxOの役割は大きく変わる。第2世代までの経営トップは、主に個別プロジェクトへの投資判断者であった。しかし第3世代では、経営トップはエコシステム設計者として責任を負う必要がある<sup>5)41)</sup>。

自社と外部主体との間で、技術、データ、意思決定権、価値獲得の範囲をどのように配分するかという判断が、経営の主要課題となる。この判断は、単年度ROIでは評価できず、将来オプション価値やエコシステム全体の成長可能性を含めて行われる<sup>37)27)</sup>。第3世代において経営トップが担うべき役割は、この二重構造（デュアルマネジメント）を前提として、両者の境界と接続を設計・維持することである。

以上のように、第3世代企業の組織構造は、「プラットフォーム責任組織」「事業部」「エコシステム統括機能」がCEO直下で並立し、それぞれが異なる価値創出単位を担う多層構造として設計される。この組織構造こそが、第3世代イノベーションマネジメントを持続的に機能させる基盤である。

### 7.5 第3世代組織構造の実装事例

実際に第3世代の組織構造を制度化している企業として、NVIDIA、Siemens、Intel、Volkswagenが挙げられる。これらの企業では、いずれもプラットフォーム責任組織がCEO直下に置かれ、事業部（BU）とは明確に分離されている点が共通している（図1）。

NVIDIAでは、CUDAやOmniverseといった複数の技術プラットフォームに対し、Platform EngineeringおよびDeveloper Ecosystem機能が統合的に設計・運営されており、価値創出単位は個別製品ではなく開発者エコシステム全体に置かれている<sup>43)</sup>。Siemensは、Siemens Xceleratorを基盤に、専任のプラットフォーム組織とエコシステム戦略機能を設置し、事業部はプラットフォームの利用者として位置づけられている<sup>44)</sup>。Intelにおいても、CTO直下のPlatform Engineering GroupがAPI・アーキテクチャ・開発者支援を統括し、Partner Alliance機能を通じて外部補完者との関係を制度的に管理している<sup>45)</sup>。Volkswagenグループでは、CARIADがグループ横断のソフトウェア・プラットフォーム責任組織として独立し、各ブランドBUとエコシステムパートナーとの関係を分離・統合する構造が採用されている<sup>46)</sup>。

これらの事例は、第3世代企業において「プラットフォーム責任組織」「事業部」「エコシステム統括機能」がCEO直下で並立する多層構造が、理念ではなく実装段階にあることを示している。

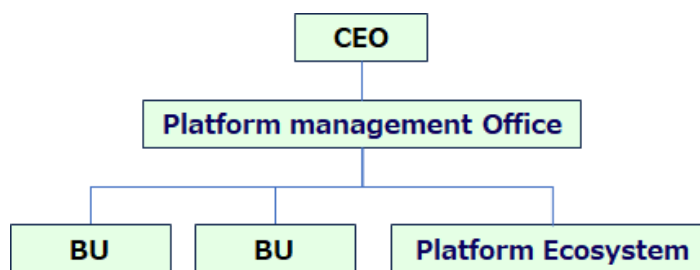


図1 第3世代企業（NVIDIA、Siemens、Intel、Volkswagen）の組織構造（出所）筆者作成

### 8. 第4世代への移行準備としての第3世代

第3世代イノベーションマネジメントは、それ自体が経営体制の完成形であると同時に、第4世代への移行準備段階として決定的な意味を持つ。第4世代では、単一企業が主導するプラットフォームエコシステムを超え、複数のオーケストレーター企業が連携し、産業レベルで共通基盤を形成することが前提となる。このとき、第3世代で自社プラットフォームを構築・運営した経験の有無が、参加企業の役割と獲得価値を大きく左右する。

第3世代イノベーションマネジメントの特徴は、自社を中心としたクローズド／オーケストレーテッド・エコシステムを設計し、技術、データ、用途、評価基盤を統合的に運営する能力を獲得する点にある。この段階で企業は、外部主体を巻き込みながら価値を創出するためのガバナンス、データの開示範囲、参加インセンティブを自ら定義する<sup>2)</sup>。これらの能力は、第4世代において不可欠となる企業横断的な連携を成立させるための前提条件となる。

実際に、第3世代イノベーションマネジメントを十分に成熟させた企業同士が連携することで、第4世代に近い産業レベルのプラットフォームが形成されつつある。欧州の産業データエコシステムに見られるように、この段階では、個別企業が構築したエコシステム同士が直接統合されるのではなく、データモデル、接続ルール、ガバナンス原則が共通化されることによって、複数のプラットフォーム間の相互接続が可能となる<sup>47)</sup>。このような構造では、各参加企業が、自社データの意味や利用価値を説明できることが求められる。この、第3世代において培われた、用途を起点としてプラットフォームを運営する能力が、事実上の前提条件となっている。

一方で、第3世代の実践経験が十分でない企業であっても、第4世代の枠組みに形式的に参加すること自体は可能である。しかしその場合、多くの企業はデータ提供者や受動的な参加者にとどまり、標準定義やルール設計に主体的に関与することは難しい。Adner<sup>4)</sup>が指摘するように、エコシステムにおける価値獲得は、単に参加しているか否かではなく、設計や調整への関与度によって左右される。第3世代においてオーケストレーションの経験を積んだ企業ほど、第4世代では制度設計に関与する立場に回る可能性が高い。

以上より、第3世代は第4世代と置き換え可能な段階ではなく、第4世代への移行を可能にする前提段階として位置づけられる。第3世代を通じて、自社プラットフォームを構築し、外部主体との価値創出の仕組みを設計・運営してきた企業のみが、第4世代においても主体的に価値獲得に関与できる。この連続的な関係を理解することが、第3世代イノベーションマネジメントの戦略的位置づけを明確にする。

## 9. まとめ

本稿は、製造業における第3世代イノベーションマネジメントを、プラットフォームビジネスの構造とタイプ別展開という観点から整理し、その成立条件と第3世代への移行方法を明らかにした。要点はつぎの4点である。

### 要点1：価値創造単位と管理対象の質的転換

第3世代イノベーションマネジメントが、第2世代の高度化ではなく、価値創造単位と管理対象の質的転換として位置づけられる。第2世代が社内プロジェクトと自社ROIを前提としていたのに対し、第3世代では、価値創造の単位がエコシステムへと拡張され、テクノロジープラットフォームがそのコア資産となる<sup>2)</sup>。

### 要点2：製造業特有のプラットフォームの設計

本稿では製造業プラットフォームをタイプA～Dに類型化し、それぞれでコアとなる構成要素が異なることを示した。これは、プラットフォームを単一のIT基盤や抽象的概念として捉える従来研究に対し、製造業特有の物理制約、用途開発、組織能力を踏まえた構成要素の整理を与えるものである<sup>7)5)</sup>。すべてのタイプに共通して「意思決定・評価基盤」が重要な役割を果たすことも示した。プラットフォームの成否は技術的完成度ではなく、どの価値を成功と定義し、どの主体にインセンティブを与えるかという評価方法に強く依存する<sup>4)</sup>。企業は自社に適したプラットフォームタイプを見極め、それに応じて重点投資すべき構成要素を選択する必要がある。5つの要素を網羅的に整備すること自体が目的ではなく、どの要素を競争力の源泉として設計するかが経営判断となる。

### 要点3：第3世代のプラットフォームエコシステムの構築は、社内から社外へ展開する

第3世代への移行は失敗事例から、外部連携の拡大から始めるべきではない。社内テクノロジープラットフォームとエコシステムを整備した後に社外連携を進めると、責任分担や期待値が明確となり、エコシステム戦略は成功しやすい<sup>8)</sup>。

**要点4：第3世代企業では、プラットフォーム経営に重点を置いた組織体制を構築する。**

第3世代企業では、プラットフォーム責任組織がCEO直下に置き、事業部（BU）とは明確に分離している。また、CEOやCxOの役割が投資判断者からエコシステム設計者・運営へと転換する。どの技術を開示し、どの価値を自社に残すかという経営のデザインは、単年度指標では評価できず、将来オプション価値を含めた判断が求められる<sup>6)</sup>。

上位の第4世代では、単一企業が主導するエコシステムを超え、複数のプラットフォームが接続・協調する構造が前提となる。しかし、その前提条件は、第3世代において自社プラットフォームを設計・運営した経験にある<sup>2)</sup>。

日本企業では、DX推進、インダストリー4.0へ向けた取組みが激化している。しかしながら本稿で説明したように、デジタル化やデータ連携といった部分的な取組みでは、プラットフォームの経営的な効果は見込めない。顧客・市場にインパクトを与えるプラットフォームエコシステム戦略をしっかりと構築し、この効果を最大化する自社のコアテクノロジーの展開、適切なプラットフォーム基盤、エコシステムを拡大する経営手法と組織体制といった必要な要素を堅実に積み重ねてこそ、成功に繋がれると考えられる。

**参考文献**

- 1) 江口 隆夫 (2025). 戦略的イノベーションマネジメントの仕組み：新規事業の成功率を高めるイノベーション・プラットフォーム. IDX 研究所. ISBN: 979-8-2696-1342-0
- 2) 江口隆夫 (2025). イノベーションマネジメントの進化と世代. IDX Research Institute Working Paper. <https://doi.org/10.51094/jxiv.2271>
- 3) 江口隆夫 (2025). 第2世代イノベーションマネジメントの仕組みの設計手法. IDX Research Institute Working Paper. [https://www.idxri.com/\\_files/ugd/a0cf2e\\_45f45d343b5147b0a16fe64eda1cd2f6.pdf](https://www.idxri.com/_files/ugd/a0cf2e_45f45d343b5147b0a16fe64eda1cd2f6.pdf)
- 4) Adner, R. (2017). Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. *Journal of Management*, 43(1), 39–58. <https://doi.org/10.1177/0149206316678451>
- 5) Cusumano, M. A., Gawer, A., & Yoffie, D. B. (2019). *The business of platforms: Strategy in the age of digital competition, innovation, and power*. Harper Business.
- 6) Ceccagnoli, M., Forman, C., Huang, P., & Wu, D. J. (2012). Cocreation of value in a platform ecosystem: The case of enterprise software. *MIS Quarterly*, 36(1), 263–290. <https://doi.org/10.2307/41410417>
- 7) Gawer, A., & Cusumano, M. A. (2014). Industry platforms and ecosystem innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 31(3), 417–433. <https://doi.org/10.1111/jpim.12105>
- 8) Tiwana, A. (2014). *Platform ecosystems: Aligning architecture, governance, and strategy*. Morgan Kaufmann.
- 9) Cennamo, C., Kretschmer, T., & Zhou, S. (2022). Platform strategy: Managing ecosystem value through selective promotion of complements. *Organization Science*, 33(6), 2019–2044. <https://doi.org/10.1287/orsc.2019.1290>

- 10) Boudreau, K. J., & Hagiu, A. (2009). Platform rules: Multi-sided platforms as regulators. In A. Gawer (Ed.), *Platforms, markets and innovation* (pp. 163–191). Edward Elgar.  
<https://doi.org/10.4337/9781848440708.00017>
- 11) Kretschmer, T., Leiponen, A., Schilling, M., & Vasudeva, G. (2022). Platform ecosystems as meta-organizations: Implications for platform strategies. *Strategic Management Journal*, 43(13), 2551–2576. <https://doi.org/10.1002/smj.3250>
- 12) Apple Inc. (2024). Apple developer documentation.  
<https://developer.apple.com/documentation/>
- 13) Bosch Rexroth AG. (2023). ctrlX OS: The operating system for automation (White paper).  
<https://www.boschrexroth.com/>
- 14) NVIDIA Corporation. (2024). CUDA C++ programming guide.  
<https://docs.nvidia.com/cuda/>
- 15) Baldwin, C. Y., & Clark, K. B. (2000). *The power of modularity*. MIT Press.
- 16) Ulrich, K. T. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*, 24(3), 419–440. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(94\)00775-3](https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)00775-3)
- 17) Intel Corporation. (2023). Intel® 64 and IA-32 architectures software developer’s manuals. <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/intel-sdm.html>
- 18) Samsung Electronics Co., Ltd. (2022). System LSI and SoC platform strategy.  
<https://semiconductor.samsung.com/>
- 19) Hitachi, Ltd. (2023). Lumada: Data-driven innovation platform.  
<https://www.hitachi.com/products/it/lumada/>
- 20) Airbus. (2018). *Digital design, manufacturing and services (DDMS)*. Airbus Group.
- 21) Boeing. (2021). *Commercial airplanes: Development and lifecycle services*.  
<https://www.boeing.com/>
- 22) Siemens AG. (2023). Siemens Xcelerator portfolio overview.  
<https://www.siemens.com/xcelerator>
- 23) Toyota Motor Corporation. (2023). Toyota New Global Architecture (TNGA) and Woven City. <https://global.toyota/en/>
- 24) BASF SE. (2022). *Technology & innovation: From material science to applications*.  
<https://www.basf.com/>
- 25) DuPont. (2021). *Innovation and application development*. <https://www.dupont.com/>
- 26) DSM-Firmenich. (2022). *Purpose-led innovation strategy*. <https://www.dsm-firmenich.com/>
- 27) Lev, B., & Gu, F. (2016). *The end of accounting and the path forward for investors and managers*. John Wiley & Sons.

- 28) Chen, W., Goldstein, I., Jiang, W., & Lin, Y. (2019). Going digital: Implications for firm value and performance. MIT Sloan School of Management Working Paper.  
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3350201>
- 29) Zheng, S., Li, Z., & Wu, J. (2025). Digital transformation and competitive advantage in manufacturing. *Economies*, 13(7), 209. <https://doi.org/10.3390/economies13070209>
- 30) Butler, K. T., Davies, D. W., Cartwright, H., Isayev, O., & Walsh, A. (2018). Machine learning for molecular and materials science. *Nature*, 559(7715), 547–555.  
<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0337-2>
- 31) Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service. *CIRP Annals*, 67(1), 157–160.  
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.04.050>
- 32) Tao, F., Cheng, J., Qi, Q., Zhang, M., Zhang, H., & Sui, F. (2018). Digital twin-driven product design. *CIRP Annals*, 67(1), 157–160.
- 33) Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. Y. C. (2023). Digital twin in industry. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(2), 1233–1248.
- 34) Airbus. (2018). Digital design, manufacturing and services (DDMS). Airbus Group.
- 35) Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. (2016). Industrial big data as a result of IoT adoption. *Procedia CIRP*, 55, 290–295.
- 36) Monostori, L., et al. (2016). Cyber-physical systems in manufacturing. *CIRP Annals*, 65(2), 621–641.
- 37) Cusumano, M. A. (2023). Is there a “platform premium”? An exploratory study of unicorn business models and valuations. Platform Strategy Research Symposium.  
[https://questromworld.bu.edu/platformstrategy/wp-content/uploads/sites/49/2023/06/PlatStrat2023\\_paper\\_5.pdf](https://questromworld.bu.edu/platformstrategy/wp-content/uploads/sites/49/2023/06/PlatStrat2023_paper_5.pdf)
- 38) Chandler, A. D. (1962). *Strategy and structure: Chapters in the history of the industrial enterprise*. MIT Press.
- 39) Brusoni, S., Prencipe, A., & Pavitt, K. (2001). Knowledge specialization, organizational coupling, and the boundaries of the firm: Why do firms know more than they make?. *Administrative Science Quarterly*, 46(4), 597–621. <https://doi.org/10.2307/3094825>
- 40) Chesbrough, H. W. (2003). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business School Press.
- 41) Teece, D. J. (2018). Business models and dynamic capabilities. *Long Range Planning*, 51(1), 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2017.06.007>
- 42) Jacobides, M. G., Cennamo, C., & Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39(8), 2255–2276.
- 43) NVIDIA Corporation. (2023). *NVIDIA Developer Ecosystem and Platform Strategy*. NVIDIA Annual Report / Investor Day Materials.

- 44) Siemens AG. (2023). Siemens Xcelerator: Open Digital Business Platform. Siemens Sustainability Report.
- 45) Intel Corporation. (2023). Platform Engineering and Open Ecosystem Strategy. Intel Investor Relations Materials.
- 46) Volkswagen AG. (2023). CARIAD – Software Organization and Platform Strategy. Volkswagen Group Corporate Website.
- 47) International Data Spaces Association. (2019).IDS reference architecture model 3.0. International Data Spaces Association (IDSA).<https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/2019/03/IDS-Reference-Architecture-Model-3.0.pdf>