

## 創発する組織の要件とデジタルコモンズの機能

### Requirements for Emergent Organizations and the Functions of Digital Commons

アルムハメトヴァ メルエルト

**要 約** 本稿は、組織を「創発システム」として、その全体を捉えたとき、現実の組織における構造的なボトルネックを明らかにし、そのボトルネックを解消するための要件と、デジタルコモンズが備えるべき機能・メカニズムを整理することを目的とする。まず、先行研究を批判的に検討して、創発システムの基盤となる三つの階層（①個人の認知、②場・チームにおける知識変換と相互作用、③組織による外部知識の吸収とケイパビリティ形成）が、プロセスとして連鎖して働く統合的な創発モデルを提示する。次に、創発が阻害される要因をこの統合モデルを用いて分析し、ボトルネックが初期段階の主観的知や新奇な価値仮説が十分に育つ前に失われてしまう「文化とリソースの壁」と、成果が組織のケイパビリティへと還元されない「政治と制度の壁」という二つの構造に収斂することを示す。最後に、デジタルコモンズを、組織内部では扱いきれず取りこぼされがちな主観知や未活用アセットを、いったん外部に開かれた探索空間に送り出し、そこで多様な知・資源との接続を通じて意味を育て、組織固有の政治や制度に抵抗し得る強度を獲得させたうえで再び組織に還流させるための社会的メカニズムの構築として捉えて、機能を整理する。そして、デジタルコモンズが、この二つの壁を乗り越えつつ、個人・場・組織、そして社会をまたぐ創発システムのネットワークを機能させる「カタリスト」機能を備えた社会装置であり、日本企業が外部多様性を取り込みながら環境の複雑性に適応していくための仕組みを与えることを、事例とともに示す。

**Abstract** This paper aims to identify structural bottlenecks in real organizations when viewed as an “emergent system” on the whole and to clarify the requirements for resolving these bottlenecks, as well as the functions and mechanisms that digital commons should possess. First, by critically examining previous research, we present an integrated model of emergence in which the three layers that form the foundation of emergent systems ( (1) individual cognition, (2) knowledge transformation and interaction within the field/team, and (3) the organization’s absorption of external knowledge and capability development ) work together as a process. Next, we use this integrated model to analyze the factors that hinder emergence, showing that the bottlenecks can be summarized as two structural factors: “cultural and resource barriers,” in which early-stage subjective knowledge and novel value hypotheses are lost before they can sufficiently develop, and “political and institutional barriers,” in which results are not converted into organizational capabilities. Finally, the function of the digital commons will be clarified by viewing it as the construction of a social mechanism for sending subjective knowledge and unused assets that tend to be overlooked within an organization into an open exploration space, where they can develop meaning through connections with diverse knowledge and resources, and acquire the strength to resist the organization’s inherent politics and systems before being returned to the organization. This paper will then use case studies to show that the digital commons is a social device with a “catalyst” function that overcomes

these two barriers and enables the functioning of a network of emergent systems that spans individuals, places, organizations, and society, and provides a mechanism for Japanese companies to adapt to environmental complexity while incorporating external diversity.

## 1. はじめに

BIPROGY 株式会社（以降、BIPROGY）とグループ会社（以降、BIPROGY グループ）は、「社会的価値」と「経済的価値」の創出という両輪を回すことで、多様な参加者がそれぞれ異なる立場・経験・価値観・アセットなどを組み込んで価値を創造していく「デジタルコモンズ」を、持続可能な社会づくりを実現するためのキーコンセプトとして提唱してきた。このデジタルコモンズは、単にアセットを集約するプールではなく、参加主体が持つアセットをそれぞれ持ち寄り、それらを組み合わせながら新たな社会的価値・経済的価値を共創する「場」および「コミュニティ」、「仕組み」である。第一弾では、そうしたデジタルコモンズの目的・価値について整理した<sup>[1]</sup>。

第二弾となる本稿は、組織の「創発システム」全体、つまり個人の暗黙知の起こりから価値創出にいたるまでの組織的なプロセスを対象として、現実の組織における構造的なボトルネックを明らかにし、そのボトルネックを解消するための要件と、デジタルコモンズが備えるべき機能・メカニズムを整理することを目的とする。そのためにまず、共創的価値創造を阻害する構造として、近年一般的になりつつある大企業×ベンチャーの分業モデルに注目する。このモデルでは、構想（ideation・価値仮説形成）は主としてベンチャー側で行われ、その後の実行・スケール段階から大企業が参加するという形が主流となっている<sup>[2]</sup>が、この分業構造は効率性の観点では合理的であるものの、例えば以下のような限界を内包している。

- ① ベンチャー単独では扱えるアセットの幅が限定的であり、構想段階で選択できる手段が不足しやすい
- ② 大企業は「外部で出来上がった構想」を後から評価する形になるため、理解も“入り込み”も浅くなりがちで、結果として社内稟議・合意形成のハードルが高くなる
- ③ 大企業が参入してから統合がうまく行かなかったり、元々の構想から離れていったりしてしまいやすい

こうした限界を乗り越えて価値創造の柔軟性を確保するには、本来あらゆる主体が創発の全ての段階を共同で進められる構造が望ましい。第一弾では、共創的な創発を、個人の主観知がチームにおけるコンセプトやプロトタイプへと展開され、さらに組織での実装を経て社会的価値へと連鎖していく一連の「ネットワーク拡大プロセス」（人やアセットの適切な接続の連鎖）として描いた。これにより、オープンイノベーションにおける「構想」と「実行」という従来の分断を一つの連続したプロセスとして統合する枠組みを提示し、そうしたプロセスを促進することによって社会がより柔軟に多様性を取り込み、環境の複雑性に対応できるようにする社会装置としてデジタルコモンズを位置づけた。

本稿では、このように定義したデジタルコモンズの「中身」に踏み込み、実際にどのような機能を備え、いかなるメカニズムによって共創的な創発を実現しうるのであるかを検討する。しかし、その機能を素描するためには、「現実の主要なイノベーション主体である組織において、創発がなぜうまく成立しないのか？」というその限界点をまず明らかにする必要がある。換言すれば、組織における創発プロセス全体を一つのシステムとして把握し、どの段階でボトルネック

が生じているのかを特定してはじめて、オープンイノベーションとそれを促進する装置であるデジタルコモンズが担うべき役割が明確になる。

本稿では、BIPROGYにおけるデジタルコモンズ関連の取り組みを、統合モデルが示す幾つかの要件に対応する実践例として位置づけ、具体的に検討する。まず2章で、創発的な組織変革にはネットワークの再編が鍵であることを述べた後、3章では、創発の起点となる個人に着目し、Fristonの自由エネルギー原理およびPredictive Processing理論を基に、個人の認知プロセスによる内部モデル生成・更新について述べる。4章では、個人レベルの知が組織内部で共有され、共同で具体化されていく創発プロセスを、SECIモデルとカロンの翻訳過程を基に説明する。5章では、吸収能力理論によって、組織レベルで外部知を取り込み、変換し、価値創造へと結びつける能力について述べる。6章では、個人レベル、場・チームレベル、組織レベルに社会的ネットワークレベルを加えて、カロンの翻訳過程を配置する構造を採用し、組織における創発システムの統合モデルを説明する。7章では、この統合モデルに基づいて、デジタルコモンズの要件を整理する。本統合モデルは、創発を個人、場・チーム、組織の三層構造で捉えた場合に、とりわけ個人と場・チームの間でボトルネックになりがちな「文化とリソースの壁」、場・チームと組織の間でボトルネックになりがちな「政治と制度の壁」を指摘する。さらに、それらを乗り越えるためのメカニズムとして、デジタルコモンズを構想し得ることを示す。最後に、こうした機能やメカニズムを総体として「カタリスト」の概念として整理し、実際のデジタルコモンズのアーキテクチャ設計に向けた論点を示唆する。

## 2. 変化に適応する組織システムを可能にするネットワーク

第一弾では、アシュビーの複雑性制御理論における「最小多様性の法則」を取り上げた。この法則は、外部環境からの攪乱を十分に制御し安定性を維持するには、システム側が取りうる応答パターンの多様性（内部多様性）が、外部から加えられる攪乱の多様性（外部多様性）と少なくとも同程度以上でなければならないとするものである。つまりは外部からシステムへの入力が多様であればあるほど、システム側にも十分な対応のオプションがなければ制御・適応できないということである。そして、その要件を満たすための手段は「外部多様性の圧縮」と「内部多様性の増幅」のいずれか、あるいは両方であった。

しかし、アシュビー自身も述べている通り、これはあくまで理想モデルを前提としている。現実の企業を取り巻く外部環境が技術的・市場的・社会的に高度に複雑化している中で、静的に内部多様性が外部多様性を凌駕することは不可能である。

現実のシステムがとりうる唯一の適応戦略は、その時点の外部環境を最低限必要な範囲でモデル化し、そのモデルに合わせて内部多様性を“逐次的に”更新し続けることである。そしてこの内部多様性を更新できるようにするのが、まさに第一弾でも中心となった「ネットワークの再編の力」である。ネットワークによる入力に対する素早い連動的な組み替えの力が、組織がシステムとして環境に適応し続けるためには必須であり、実際に脳神経系・生体システム・社会システム・デジタルシステムのいずれもネットワークに依存している（Bullmore & Sporns 2009; Boccaletti et al. 2006）<sup>[3]</sup>。

本稿で明らかにすべき論点は、「具体的にどのようなネットワークを、どのように構築すれば、組織がタイムリーに多様性を最適化し、システムとして存在し続けることができるか」という点である。第一弾でも共創的な創発におけるネットワーク拡大プロセスを描いたが、本

稿ではこれを、組織内のプロセスをより構造的に理解し、適切に介入できるように、組織の創発における入力から出力、そしてフィードバックまでの各要素とその関係を、既存の理論を活用しながらより精細に整理していく。

### 3. 個人の認知プロセス：FEP/PP とポランニーの暗黙知による説明

まず問題となるのは、「企業や組織の創発システムにおいて、このネットワーク再編を具体的に担っているのは誰（何）なのか？」という点である。外部環境からの情報は、組織全体に一括で届くのではなく、まずはそれを知覚した個々の構成員の認知プロセスを通過する。したがって、創発システムの起点としての個人の認知プロセスを明らかにすることが重要となる。

#### 3.1 Friston の FEP/PP における認知プロセスの説明

この問題に対しては、Friston の自由エネルギー原理 (free-energy principle, FEP) および Predictive Processing 理論 (PP) が有効である。FEP とは生物が従うとされる法則で「生物は感覚入力の予測しにくさ（サプライズ）を最小化するように内部モデルおよび行動を最適化し続けている」と定められている。なお、内部モデルとは、生成モデルとも呼ばれ、外部世界の仕組みを脳の内部でシミュレーションするものである。

一方で、PP は FEP が脳においてどのように実装されているのかという計算機構を説明するものであり、「推論・学習とは、予測誤差を最小化するように神経活動・シナプス結合<sup>\*1</sup>を更新することである」と説明できる。

脳は、外界の力学 (generative process) を内部に再構築した「生成モデル (generative model)」を保持し、この内部モデルに基づいて感覚入力を予測する。FEP/PP によれば、神経系は階層的ベイズ推論<sup>\*2</sup>を行っていると言われ、異なる層の神経集団が隠れ変数の事後期待値と予測誤差をそれぞれ符号化し、シナプス結合の強度が内部モデルのパラメータを表現する。このとき、「予測誤差を神経活動によって解消する過程」が推論であり、「シナプス可塑性によって内部モデルを書き換える過程」が学習である。

FEP の射程は脳に限らず、境界をもって環境と区別された任意の生物システムにまで拡張される。すなわち、システムが環境と相互作用しながら存在し続けるためには、そのシステムは何らかの「予測モデル」を保持し、観測と予測のずれを抑制するように働かねばならないとされる<sup>[4][5][6][7]</sup>。

数理的詳細を省けば、FEP/PP の中核は次のように述べられる。外界からの入力は決して受動的に取り込まれるのではなく、常に「内部モデルに基づく事前的な期待 (prior expectation)」との照合を経て処理される。脳はまず「世界はかくあるはずだ」という予測を生成し、感覚入力はその予測との差分、すなわち予測誤差 (prediction error) として知覚される。予測と現実が大きく乖離すれば、内部モデルが更新され、知覚経験そのものが変容するという。つまり以下のような流れである。

- 1) 既存の理解や枠組み（内部モデル）を用いて外部事象を予測する
- 2) 予測と実際の入力の差分として予測誤差を計算する
- 3) 誤差が大きい場合、内部モデルが更新され、結果として知覚・判断の構造自体が変化する

（計算論的にはベイズ推論、神経生理学的にはシナプス可塑性＝ネットワーク再編）

以上より、外部からの新情報はそのまま「与えられる」のではなく、個人の内部モデルが不断に生成・照合・更新されるプロセスを通じて初めて意味を持つ。この点が、組織において外部多様性を取り込む際の限界や可能性を理解する基礎となる。

### 3.2 ポランニーの暗黙知と FEP/PP における認知プロセスの対応づけ

前節の認知プロセスは、ポランニーが述べた暗黙知による知覚統合のメカニズム (tacit integration)<sup>[8]</sup>と構造的に同型であるとも解釈できる。ポランニーによれば、人間は外的刺激をそのまま受け取るのではなく、身体化された前提や、無意識のうちに知覚と行為を方向づける暗黙的なプロセス (tacit knowing: 暗黙知) を通して、断片的な感覚的手掛かりを統合し、意味をもつ全体 (Gestalt) として知覚する。すなわち、知覚とは受動的入力ではなく、無意識下での統合的達成 (active integration) のプロセスである。

第一弾でも触れたが、暗黙知を、言葉にしづらい知そのものや具体的な職人的技能などではなく、無意識レベルでの「知るプロセス (knowing)」として捉える点に留意いただきたい。

このようにして形成された意味情報が、他者との対話や可視化されたアセット、データなどを介して共有されることで、組織内部や複数主体間のネットワークの再編が促進される。つまり、組織の創発システムの起点となるのは、以下のように、構成員の入力と処理による出力内容であると理解できる。

- ① 外部から入力される知覚・情報と、それによって得られる予測誤差
- ② それまでに生成・更新されてきた関連する内部モデル
- ③ PP/ 暗黙知による内部モデルの更新と新しい意味づけ

創発はこのような個人の認知から始まり、その共有を通じて組織的創発へと結晶化していくのである。

## 4. 場・チームの相互作用プロセス：SECI モデルとカロンの翻訳過程による説明

本章では、個人レベルの知が組織内部で共有され、共同で具体化されていく二つの典型的なプロセスを扱う。

第一のプロセスは、類似した内部モデルや身体化された経験を共有済のチーム・場 (Ba) において創発が進む場合である。このような場では、各構成員が保持する主観知は大きな変換を経なくとも相互理解へとつながりやすい。そのため、野中らの SECI モデルが想定する「共同化 → 表出化 → 連結化 → 内面化」のサイクルが低摩擦で循環しやすい。

第二のプロセスは、組織の主体間で内部モデルが共有されておらず、つまり共有したい主観知にとっての場やチームと呼ぶべきものが予め存在せず、相互理解や「すり合わせ」が困難な状況である。この場合には、第一弾でも触れたアクターネットワーク理論 (以降、ANT) におけるカロンの翻訳過程、すなわち問題化 (problematization)、関心づけ (interessment)、関係づけ・役割化 (enrollment)、動員 (mobilization) というプロセスが求められる。そうしてネットワークが形成されることで、関係と共創が実現できる。なお、カロンの翻訳過程では人間だけではなく、あらゆるモノが対象となり、繋ぎ直される点に留意したい。

両者の違いは、Edward T. Hall のハイコンテキスト/ローコンテキスト文化<sup>[9]</sup>の区別と重ね合わせると明確になる。Edward T. Hall が提示した高コンテキスト/低コンテキスト文化の概念によれば、文化的コミュニケーションの様式は、共有された背景・文脈 (shared context)

の厚みによって大きく異なる。高コンテキスト文化では、人々は暗黙の前提・価値観・文脈を共有しているため、コミュニケーションは言語化されない意味や非言語的合図へ強く依存する。一方、低コンテキスト文化では、共有前提が薄いため、情報は明示的に言語化・形式知化されなければ伝達が成立しない（Hall 1976）。この視点を SECI モデルと翻訳（ANT）の対比に重ね合わせると、次のように整理できる。

① ハイコンテキスト文化圏（SECI と親和的）

- 共有された文脈の厚みが「内部モデルの同期」を保証する。
- 非言語的合図や行間の理解が広く共有される。
- そのため、暗黙知の相互浸透や「場」における一体的な知の生成がスムーズに進行する。
- 野中らが「場（Ba）」を重視した背景には、日本型組織に特有のこの文化的基盤がある<sup>[10]</sup>。

② ローコンテキスト文化圏（翻訳＝ANT と親和的）

- 共有文脈が薄く、明示化・データ化・モデル化が不可欠である。
- 統合のコストは高いが、多様なアクターを前提共有なしに巻き込める。
- 既存の場・チームにおける暗黙の同期ではなく、利害・立場の調整による新しいネットワークの形成が中心となる。
- カロンが述べる翻訳<sup>[11]</sup>は、この文化圏における創発の主要メカニズムと解釈することができる。

この意味で、SECI とカロンの翻訳は対立する理論ではなく、組織の創発は SECI のプロセスまたはカロンの翻訳のプロセスを切り替えながら進行するのである。

- 前提が高く共有される場面では、SECI のプロセスが優位に働く。
- 多様性が高く前提共有が難しい場面では、カロンの翻訳過程が不可欠になる<sup>\*3</sup>。なお、コンテキストの文脈度合いは文化圏だけではなく、組織サイズや組織・チームのガバナンス成熟度などの影響も受けると考えられる。

#### 4.1 内部モデルを共有している場合の相互作用：SECI モデル

SECI は関連する内部モデルを共有する他者に対して、個人の主観知を共有し、それに基づいて共同で創発を進めるプロセスとして位置づけられる。ここではその概要とプロセスの促進要件をまとめる。

##### 4.1.1 SECI モデルの概要

野中・竹内の「知識創造企業」は、知識創造を企業における中核のプロセスと捉え、「暗黙知」と「形式知」の相互作用を通じて新たな知識が創造・拡大されると主張した。本稿では「暗黙知」という言葉を、ボランニー自身が定義した認知の統合プロセスとして使用している。そのため、野中の意図する個人の中で生成された他者に伝わりにくい内容や職人的技能といった知そのものを「主観知」と呼び、それが他者に伝わるようにしたものを「客観知」と呼ぶことにする。SECI モデルは、以下の四つの知識変換モードによって構成される<sup>[12]</sup>。

#### 1) 共同化 (Socialization) : 主観知の相互浸透

共同体験、観察、模倣、身体的作業の共有といった非言語的な相互作用に加えて、対話やストーリーテリングなどの言語的コミュニケーションによって、内在的な意味や感覚、価値観を共有し、主観知の相互浸透を図る。

#### 2) 表出化 (Externalization) : 主観知から客観知への変換

メタファーやアナロジー、モデル化などを通じて、言語や図表の形でコンセプトが生成される。

#### 3) 連結化 (Combination) : 客観知から客観知への変換

既存のドキュメント、データベース、仕様書などの客観知を組み合わせ、再構成し、より体系的な知識へと発展させる。

#### 4) 内面化 (Internalization) : 客観知から主観知への変換

マニュアルやコンセプトを現場で実践することで、個々人の主観知として再び身体化される。

野中は、この四つの知識変換モードが循環し、適切な場 (Ba) の中で、知識が「個人」→「グループ」→「組織」→「間組織」へと「スパイラル的に拡大する」と述べている。ここで重要なのは、SECI が主観知と客観知の関係を単純な一方向の変換ではなく、主観知と客観知の往復運動として捉えている点である。

#### 4.1.2 場 (Ba) と知識エネーブリング要件

SECI のプロセスを支える基盤として、野中・紺野は「場 (Ba)」を提示した。Ba は「関係性が芽生える共有空間」であり、物理的・仮想的・精神的空間すべてを含む。野中は後年、「Ba is a context that harbors meaning (場とは意味を包摂する文脈である)」と述べており、場 = 文脈であることを明示している。

野中らは、知識創造を促進する組織の要件として、①知識ビジョン (どのような知識を創造するかという意図)、②個人の自律性、③ゆらぎと創造的カオス、④冗長性、⑤最小有効多様性、を挙げた。また von Krogh, Ichijo & Nonaka は、知識エネーブリング要素として、①知識ビジョンの浸透、②対話のマネジメント、③知識アクティビスト、④適切な文脈づくり、⑤ローカル知識のグローバル化を挙げている。

### 4.2 内部モデルを共有していない場合の相互作用：カロンの翻訳過程

組織では、関係主体間で関連する内部モデルが十分に共有されておらず、主観知をそのまま表明しても相互理解に至らない状況が少なくない。このような場合には、本章の「第二のプロセス」で述べた通り、意味のすり合わせそのものが課題となり、異質性を前提とした関係再編のプロセスが必要となる。本節ではカロンの翻訳過程の概要と促進要件をまとめる。

#### 4.2.1 カロンの翻訳過程の説明

カロン (1986) は、イノベーションや社会的変化は、個別主体が既存の秩序の中で協調することによって説明されるのではなく、多様な主体 (人間、組織、技術、制度など) が新しい関係構造へと再編されるネットワーク構築のプロセスとして理解すべきだと主張した。その中心

に位置づけられるのが翻訳であり、カロンはこれを以下の4段階で整理している。

#### 1) 問題化 (problemization)

ある主体(研究者や企業、政策主体など)が共通の課題を設定し、「この課題を解決するためには自分を経由する必要がある」という位置を確立する段階である。ここで、各主体の目的や関心が再定義され、共通の方向づけが行われる。

#### 2) 関心づけ (interessement)

設定された課題に向けて主体が参加するように、調整や説得を行う段階である。契約、技術的手段、制度設計、対話など、主体が実際に関与するための仕組みや条件が整えられる。

#### 3) 関係づけ・役割化 (enrollment)

関係する主体が、ネットワークの中での役割を引き受け、具体的な協力体制が形成される段階である。主体同士の関係や役割分担が合意され、安定的な関係として組み込まれていく。

#### 4) 動員 (mobilization)

最後に、ネットワーク全体を代表する主体(スポークスパーソン)が、その他の主体を代表して行動できる状態が形作られる。代表性が確保され、他の主体から信任を得ることで、ネットワークが実質的に機能するようになる。

このように、カロンの翻訳過程は、主体間の関係性や目的を再編することで、新しいネットワークを構築し、協働を実現する仕組みである。

カロンの翻訳過程は、本来は社会的ネットワークの形成過程を描写するための社会理論上の概念であり、個体の認知メカニズムそのものに言及するものではない。しかし、前章で扱ったFEP/PPの枠組みを援用すると、翻訳過程を認知レベルから次のように再解釈できる。

PPの観点では、人間は外界を直接的に受け取るのではなく、自らの内部モデルを用いて外界を予測し、予測誤差を最小化することで世界に適応する。このとき、他者との協働や共同意思決定が成立するためには、関係するアクター同士の内部モデルが、一定程度整合化されなければならない。

この認知的観点を踏まえると、カロンの翻訳過程は次のように理解できる。すなわち、翻訳とは、あるアクターが他者の内部モデルを自らの内部モデルと整合化し、予測誤差が共同で低減可能な構造を整える過程である。「通常、ひとつのアクターが他のアクターの利害またはアイデンティティを再解釈・置換し、自らの利害とそれらアクターの利害を整合させようとする」(カロン 1986, p.224)と述べられるように、まず主体となる個人が他者の内部モデルを自らの内部モデルに結びつける形で再構築し、その中に異質な他者を巻き込んでいく。翻訳は他者の内部モデルを書き換えることではなく、相互に整合するための共通解釈空間を構築し、予測誤差に共同で対処していくネットワークを形成するプロセスと捉えることができる。その結果、外界からの新しい入力(サプライズ)に対して、関係主体は共同で意味づけ・判断・行動を行う能力を獲得し、ネットワークは拡大・安定化していく<sup>\*4</sup>。

### 4.2.2 カロンの翻訳過程の促進要件

カロン(1986)は、翻訳が成立するためには、中心となるアクターが課題を定義し、他の主体がその枠組みを通過せざるを得ない「必然的通過点(Obligatory Passage Point)」を設定すること、さらに、主体に役割を割り当て、スポークスパーソンを通じて代表性を維持すること



が不可欠であると述べている。

続いて Akrich, カロン&ラトゥール (2002) は、翻訳の成功は、主体がネットワークに引き込まれるための拘束・誘引の仕組み (interessement devices) の設計に依存することを示した<sup>[13]</sup>。主体が持つ条件や関心を理解し、それらを調整しながら、代替的な選択肢 (競合するネットワーク) に勝る魅力を設計する必要があると論じている。また、翻訳が安定するためには、ネットワークを代表するスポークスパーソンが信頼を獲得し説明責任を果たすことが求められ、代表性 (representation) の正当性が保証されなければならないと指摘する。

さらに Rivera González (2012) は、翻訳は単発の交渉ではなく、コアネットワーク (中心メンバー) の形成、段階的な関係構築、継続的な調整を通じて実装される実践プロセスであることを、組織変革事例の分析から明らかにしている<sup>[14]</sup>。このことは、翻訳の成功が、単なるアイデアや目標の共有ではなく、関係インフラおよび代表性の維持という制度的・組織的条件に支えられていることを示している。

このように、先行研究では、翻訳過程が自動的に生起するものではなく、主体間の関係を再編し安定化させるための具体的な実践的条件に依存していることを示している。

## 5. 外部知識の吸収による組織の能力の醸成：ACAP

次に、創発システムの基盤となる3番目の階層、組織による外部知識の吸収とケイパビリティ形成について述べる。組織が外部の知識を取り込み、創発などに活用するケイパビリティを検討する分野としては、吸収能力理論 (ACAP) が挙げられる<sup>[15][16]</sup>。前章までで扱った理論は個人レベルや場・チームレベルのものであるのに対し、本章では組織レベルで外部知を取り込み、変換し、価値創造へと結びつける能力に焦点を当てる。

### 5.1 ACAP の概要

Cohen & Levinthal (1990) は、企業のイノベーション能力の中核に知識吸収能力 (Absorptive Capacity: ACAP) を位置づけ、「新しい外部情報の価値を認識し、それを吸収し、自社の商業的目的に適用する能力」と定義した。彼らは、従業員が蓄積している関連知識が外部情報の取り込みを容易にし、自社の研究開発投資が吸収能力の構築に資することを指摘し、ACAP を「価値認識 → 同化 → 応用」という三段階の学習過程として描いた。このとき重要なのは、ACAP が外部情報を既存の知識構造との相互作用を通じて意味づけされた情報として取り扱うことを前提にしている点である。

Zahra & George (2002) は、この概念を再定義し、ACAP を「企業が知識を獲得し、同化し、変換し、活用する一連の組織的ルーティンとプロセス」として拡張した。彼らは ACAP を次の四つの能力から構成されるとした。

#### 1) 獲得能力 (acquisition):

外部にある知識を特定し、取得する能力である。獲得の強度・スピード・方向性がこれを規定する。多様な分野に知識を蓄積している企業は、有用な知識を見出すチャンスが高まる。

#### 2) 同化能力 (assimilation):

獲得した情報や知識を解釈し、理解する能力である。異なる文脈や特異的な技術・経営ノウハウに基づく知識を、自社の枠組みの中で意味づけるプロセスである。

### 3) 変換能力 (transformation) :

既存の知識と新たな知識を組み合わせ、構造を再編する能力である。知識の追加・削除、枠組みの変更、新たな視点の導入などを通じて、競争環境の見方が変わるような洞察を生み出す。

### 4) 活用能力 (exploitation) :

再構成された知識を、新製品・新サービス・新プロセス・新しい組織形態などとして具現化する能力である。内部化された知識を探索し、長期的に活用するためのメカニズムが必要となる。

Zahra & George は、獲得・同化を「潜在的吸収能力 (potential ACAP)」, 変換・活用を「実現した吸収能力 (realized ACAP)」と区別し、外部知識を組織能力へと結びつける橋渡しのプロセスとして「変換」を重視した。ただし、ここで描かれているのはあくまで「組織的ルーティン」のレベルであり、その背後にある個々人の認知メカニズム (意味づけやモデル更新) を明示的に記述しているわけではないことに注意が必要である。

## 5.2 ACAP を促進する要件

Zahra & George (2002) は、吸収能力 (ACAP) が発現するための条件として、主として三つの要素を強調している。

第一に、先行知識 (prior knowledge) である。これは Cohen & Levinthal (1990) 以来の議論に沿っており、企業が過去の経験を通じて蓄積してきた関連領域の知識、科学技術基盤、R&D 投資などが、外部知識の価値を認識し、適切に取り込むための基盤となる。

第二に、社会統合メカニズム (social integration mechanisms) の存在である。これは、組織内部のコミュニケーション構造、部門間の距離 (物理的・心理的)、共有言語・共有認識枠組みなどを含み、ACAP の諸プロセス (獲得・同化・変換・活用) を円滑に連結させる調整要因として位置づけられる。社会統合メカニズムが弱い場合、外部知が組織内部で断片化し、ACAP の効果が十分に発現しないことが指摘されている。

第三に、制度的・環境的要因である。Zahra & George は、外部環境の変化や競争圧力などの「アクティベータ (activators)」が ACAP を作動させる契機となること、および知識成果の帰属を規定する「レジーム・オブ・アプロプリアビリティ (regimes of appropriability)」が ACAP の強度に影響することを示す。さらに、集中化・形式化といった組織構造も、ACAP の構成要素間の関係性を強めたり弱めたりする調整変数として機能する。

## 6. 組織における創発システムの統合モデル

### 6.1 統合モデルの基本構造

本稿で提示する統合モデルは、個人レベル、場・チームレベル、組織レベルという三層の相互作用を前提とし各層において創発を駆動する主要プロセスとする。ここまで見てきた個人レベルの FEP/PP、場・チームレベルの SECI およびカロンの翻訳過程、組織レベルの ACAP を配置する構造を採用するものである (図 1)。このモデルの中核は、創発とは単一理論に回収できる線形的な知識流通プロセスではなく、異なるレベルのプロセスの間を繋ぐネットワーク全体によって成立するということである。

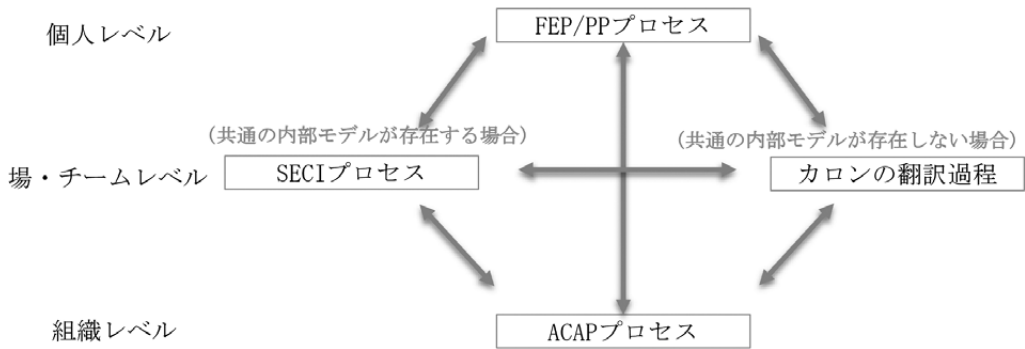


図1 組織の創発システムの統合的構造

創発の起点は個人内部における意味形成であり、PPが示すように知覚は外的入力を受動的処理ではなく、既存の内部モデルとの照合による脳内の能動推論によって形成される。この段階で得られる洞察は主観的で断片的であるため、組織の意思決定やプロダクトなどにそのまま取り込まれるわけではなく、場・チームにおけるSECIプロセスを経て具体化・客観知化される。図1の左上から右下に向かう流れは、個人の気づきが場を介して組織的知へと収斂していくプロセスを示す。

しかし、組織内の多様な主体の間で前提・価値基準・問題設定が共有されていない場合、SECIは進行しえない。このような状況では、主観知はいきなり共有されるのではなく、カロンの翻訳過程による調整を必要とする。これによって自らの内部モデルと異質な他者の内部モデルを整合させ、自らの理解や行動に巻きこむことができると解釈することができる。モデルの右上方向に向かう矢印は、共通内部モデルの欠如時にSECIではなく翻訳が主導権を持つ経路を示している。

SECI経路と翻訳経路は対立するものではなく、状況に応じて切り替わりながら循環する。SECIと翻訳のプロセスによって形成された新しい知識や（人・モノの）ネットワークは、結果的にACAPのプロセスによって組織のケイパビリティへと吸収・還元される。これは正確には場・チームレベルの次に始まるプロセスというよりも、そこに至るまでのFEP/PP、SECI、翻訳のプロセスが進行するに伴うプロセスだと言えるだろう。ただし、自動的に場・チームレベルで共創された知識や成果が組織のケイパビリティに繋がるということではなく、政治と制度に関するボトルネックを排除することを伴わなければならない（7章で詳述）。

そして、この流れは一方通行ではない。組織の新しいケイパビリティから場・チームや個人が新しくプロセスを開始する。同時に、場・チームから個人が知識を内面化するという逆向きの流れも起こる。デジタルコモンズは、これらの循環が個人・場・組織のあいだで途切れることなく回り続けるネットワークを成立させる社会装置となるように設計されている。

## 6.2 統合モデルにおける二つの壁

組織における創発は個人レベル、場・チームレベル、組織レベルの各プロセスを経て実現に至るものであり、ここまでで整理してきた各理論におけるプロセスの促進要件はいずれも不可欠である。もっとも、それら全てに対応する機能を実装する必要はなく、既存研究が創発に必要な全ての要件を網羅しているとも言い難い。

組織の目的や特性などに応じて、有機的かつ実験的に組み合わせてシステム全体を設計していくべきだが、ここでは統合モデルの構造から見て取れるボトルネックとなりやすい“二つの壁”を中心に、中核となる要件を整理する。

### 6.2.1 二つの壁の概要：「文化とリソースの壁」、 「政治と制度の壁」

創発プロセスの初期段階において最も大きな障害となるのが、「文化とリソースの壁」である。個人が保持する主観的な理解や価値判断が共有され、意味のある相互作用へとつながるためには、一定程度の前提の接続や、相互参照のための媒介が不可欠である。しかし、多くの組織では、職種や事業領域、評価軸、属してきたコミュニティの違いによって、メンバーが前提としている世界の構造が大きく隔たっている。そのため、価値仮説の重要性や意味内容が共有されず、議論が始まる以前に「何について話しているのか」という認識自体が揃わない状況が生じやすい。

こうした前提の不一致を乗り越えるためには、カロンの翻訳過程によって、異なる立場や専門性を架橋し、共通の問題設定や内部モデルを共有することが求められるが、現実の組織ではこの媒介を担う役割や機能が十分に制度化されていない。部門横断的な関係調整を担う推進者が不在であるだけでなく、自らの主観知や内部モデルを自ら捉えて共有できる形に変換して他者の内部モデルと整合させるコンセプチュアルスキルやクリティカルシンキング、各種ツールなどが意図的には育成・準備されていない。こうしたことから、必要な他者やアセットと繋がるのが困難になり、創発に必要な相互作用が始まる機会自体が失われる。

このように、「文化とリソースの壁」とは、主観知の同期や前提の接続が成立せず、共創に繋がらないという認知的・文化的要因と、それを補うためのスキル・ツールが欠如していることにより、創発プロセスが最初の一步を踏み出せない状態を指す。

また、創発プロセスが場・チームの内部で進展し、SECIや翻訳を通じて暫定的な価値仮説や新たな関係構造が形成されたとしても、その成果が組織の制度的・戦略的基盤に接続される段階で、第二の大きな障壁が現れる。それが「政治と制度の壁」である。この壁は単なる制度的硬直を意味するのではなく、既存事業部門が長い時間をかけて形成してきた強固な内部モデルと、それに結びついた組織政治の力学が、創発的取り組みを既存の文脈へと引き戻す構造的圧力として作用する点に特徴がある。

既存事業部門は、事業領域・顧客・運営ルール・評価制度・成功体験の蓄積によって、高度に整合した内部モデルを共有している。これはバーゲルマン（1991, 2002）が「構造的な文脈（structural context）」および「内部選択環境（internal selection environment）」として提示したものであり<sup>[17]</sup>、組織内部の意思決定や資源配分を規律する“見えない枠組み”として機能する。創発的活動がSECIや翻訳を通じて新しい知識・関係・価値仮説を生み出したとしても、この内部選択環境においては、それらは既存部門の評価軸に照らして「正統性のある取り組み」とみなされなければ、制度化されず、資源配分の対象にもならない。

問題は、創発的取り組みの初期に生じる知識が、しばしば未成熟で暫定性が高く、既存のKPI・組織境界・権限配置の中では位置づけを持たない点にある。そのため、価値仮説が本来持っていた探索的性質は、既存部門の内部モデルに接続される過程で矮小化され、既存事業の延長線上で解釈できる形へと押し戻される。バーゲルマンが述べるように、内部選択環境は新規事業活動の方向性を事実上規定し、制度的承認を得られない取り組みは自然淘汰される。結

果として、SECI による知識変換や ANT によるネットワーク構築が、ACAP へと繋がる前に失われてしまう。

こうした構造に対して、多くの組織は「出島」「別会社化」「スピンアウト」といった形で、創発的取り組みを既存組織の制度的文脈から切り離すことで壁を迂回しようとしてきた。しかし、外部へ切り出された取り組みが最終的に本体組織へ接続される段階では、依然として既存部門の強固な内部モデルが支配的であり、最終的には本体の政治的力学に吸収され、元の文脈へ再び回収される事例が少なくない。

このように、「政治と制度の壁」とは、創発を担う場やチームの内部で生成された知識が、既存事業部門の強固に結びついた内部モデルによって組織のケイパビリティに繋がらずに失われてしまう構造的問題である。その突破には内部からの正統化ではなく、外部での強化と還流という逆方向の制度設計が従来の方法よりも有効である（7章で詳述）。

これらの二つの壁と、組織の創発システムの統合的構造との関係を図2に示す。

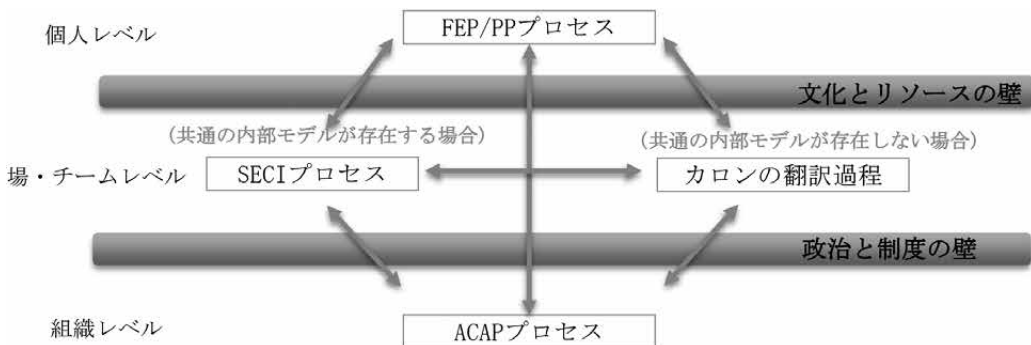


図2 組織の創発システムの統合的構造における二つの壁

### 6.2.2 既存の組織のイノベーション手法の課題による壁の裏付け

企業における新規事業創出に関しては、「両利きの経営 (ambidexterity)」「ハッカソン」「出島・別会社化」「CVC (コーポレート・ベンチャー・キャピタル)」「スピニアウト」「スタートアップスタジオ」など、多様なアプローチが試みられてきた。これらの取り組みは一定の効果をあげる一方で、多くの企業において創発が PoC 段階で停止し、事業化・制度化には至らないという課題が繰り返し報告されている。

まず「両利きの経営」について、Junniら（2013）のメタ分析では、両利き経営の実行能力と企業業績指標との間に正の相関を確認しており<sup>[18]</sup>、既存事業の深化と新規事業の探索を両立させる戦略が企業パフォーマンス向上に寄与する可能性を示唆している。一方で、その効果は業種や分析手法など条件に依存することも報告されており、実務的には探索チームの独立性と既存資源の統合というトレードオフをどう制度設計するかが大きな課題となっている<sup>[19]</sup>。国内アンケートでも、大企業の約78%がイノベーション専任組織の設置・検討を進めているとされるが、多くの事例で既存部門との連携不足や資源共有の難しさがボトルネックとなり、創出案件の拡大に至らない実態が見られる<sup>[20]</sup>。

次に「ハッカソン」に関しては、短期間でアイデアを具現化するイベントであり、参加者の技術学習やコミュニティ形成に貢献するとされる。一方で、22,183 件におよぶハッカソンプロ

ジェクトの解析では、多くのチームがイベント終了後にプロジェクトを継続せず『継続の意図がほとんどない』と回答している<sup>[21]</sup>。この結果は、ハッカソンで生まれたアイデアを事業化するには、イベント後の支援体制や開発継続の仕組みが必要であることを示している。

「出島」戦略（新規事業を本体から独立させる別会社化）は、本体の制約から解放され自由に活動できる点が注目されている<sup>[22]</sup>。実際、NRI 調査によれば大企業の約 61%が別会社化などの方式を検討・実施している。しかし一方で、独立組織は本体のリソース（ブランド・技術・販売網など）との統合も必要であるため<sup>[23]</sup>、本体との連携が不十分だと必要な資源支援が得られず限界が生じやすい。結果として、多くの事例で独立部門は本体に再吸収されたり事業が形骸化したりするリスクが指摘されている。

「CVC（コーポレート・ベンチャー・キャピタル）」では、事業会社がスタートアップに出資することで外部の技術や市場にアクセスする。米国の分析では、CVC 出資を受けた企業は独立系 VC 出資企業に比べて特許創出などでイノベーション成果が高いと報告されている<sup>[24]</sup>。しかし日本国内では、Japan CVC Report 2024 にて、複数ステークホルダー間の連携不足による意思決定遅延や、親会社との文化的ギャップ・専門人材不足が大きな課題とされている<sup>[25]</sup>。これらは CVC の成果を本体戦略に結びつける難しさを示している。

親会社から事業部門を分離して新会社とするスピンアウトでは自由度が増すが、その結果はまちまちである。Reuters の分析では 2015 年以降の 60 件のスピンオフ事例で、約 3 割超の場合に親子いずれか一方が株主リターンでマイナスとなり、8 例では親会社・新会社両者とも株主価値を毀損していた<sup>[26]</sup>。選抜や事業連携・資源還流の仕組みの構築が不十分だと、いずれの組織も中長期的に利益を生まない実態が明らかになっている。これらの知見は、従来の新事業創出手法が一定の効果を持つことを示す一方で、

- ① 創発初期における「内部モデルの共有不足」および「リソース確保困難」という構造（すなわち「文化とリソースの壁」）
- ② 事業化・制度化段階における「既存制度・評価・資源配分ロジックとの衝突」という構造（すなわち「政治と制度の壁」）

を共有するものである。このように、従来手法に対するこれまでの実証的分析は、本稿で導入した二つの壁の存在を示す裏付けとなる。

## 7. デジタルコモンズの必然性：「第三の創発システム」としての位置づけ

6.2.1 項で示したように、創発プロセスには「文化とリソースの壁」と「政治と制度の壁」が存在する。前者は SECI および ANT による共有・共創のプロセスが立ち上がる前段で失敗するリスクであり、後者はそれらの成果が組織の新しいケイパビリティとして定着する際に、組織の力学によって阻害されるという構造的問題である。

BIPROGY のデジタルコモンズは、これら二つの壁を突破するために、創発プロセスを社内の閉じた空間で完結させるのではなく、組織境界の外側に創発プロセスを展開する「第三の創発システム」としてのプラットフォーム/場を配置するという設計思想だと言える。

BIPROGY では創発の各プロセスやその全体における各種の個別具体的な課題に対する制度的・技術的・対話的ツールとしての取り組みも複数行っている。本章ではこうした具体的取り組みを、「二つの壁」と対応させながら整理する。

## 7.1 二つの壁に対応する統合的メカニズムとしてのデジタルコモンズ

BIPROGY のデジタルコモンズを、組織境界の外側に創発プロセスを展開する「第三の創発システム」と捉えると、この外部化の意図は、単なる社外連携ではなく、組織内部で適切に扱い切れない、取りこぼされる/持て余される人材・アイデア・未活用アセットを、組織の外側に広がる探索空間に送り出し、多様な主体・アセット・データとの相互作用のなかで意味を育て、強度を獲得させ、条件が整った段階で再び組織が吸収できるようにする仕組みを構築することである。それは主観的に生成されたものであれ、客観的に整理されたものであれ、創発の起点となり得る断片を、従来よりも広い範囲の主体やアセットと結びつけるプラットフォームを構築するということでもある。

これによって、以下のように「二つの壁」に対応することができる。

- ① 「文化とリソースの壁」に対しては、内部文脈に依存しない接続可能性と、広い探索空間を確保することで、初期段階の主観知や価値仮説が早期に組織文脈へ回収されて失われることを防ぎ、むしろ外部の多様な理解者や補完的アセットと出会うことによって、その断片を適切に育てることができる。
- ② 「政治と制度の壁」に対しては、外部ネットワークにおける検証の成果や他者評価を先に獲得することで、組織内部で正当性を得にくい価値仮説や新規事業案であっても、正当性を示し、内部制度を上書きするルートを確保できる。

この環境では、主観知は必要に応じて最小限の構造化やタグ付けが施され、検索可能な単位へと整えられる。他方で、客観知は静的な資料としてではなく、多様な主体が異なる文脈で再利用できる“動的資源”として扱われる。いずれの場合も、知が「扱える」状態で探索空間に投入されるため、組織内部では結びつかなかったアセットや外部主体との新しい結合が立ち上がる。ここで重要なのは、単一の組織の内部ネットワークに閉じず、組織境界を越えてネットワークの再編成が繰り返し生じるように、接続可能性を最大化する設計である。

こうした設計は、ハイコンテキスト文化の「主観知の共有とすり合わせによる共創」とローコンテキスト文化の「翻訳による異質な他者との共創」をデジタル技術によって束ね、組織境界を越えてネットワーク再編を可能にする社会技術・社会装置として、デジタルコモンズを位置づけ直すことができる。

これにより、創発は組織内部の文脈に閉じた現象ではなく、参加主体の多様性が持続的に流入する外部接続型のプロセスへと変容する。主観知が外部からの新しいアセット・データ・視点に触れ、その接触が新たな意味形成を駆動し、再び多主体へと共有される循環が、組織境界を越えて維持されるのである。

## 7.2 創発プロセスにおける個別課題を具体的に支えるツール群

本稿では、構造的に見て中核的なボトルネックになりうる「二つの壁」を整理した。創発システムの課題は、実際には主観知の生成から価値仮説の翻訳、異質アセットの結合、実験・検証、さらにはガバナンスや標準化に至るまで、様々な個別具体的な課題を内包している。BIPROGY はこうしたそれぞれの課題に対して各種の取り組みを実践しており、それらは現時点では7.1節で述べたような統合プラットフォーム構想と連動して機能しているわけではなく、個別のプロダクトやリアルでのワークショップといった形で展開されている。とはいえ、これらはデジタルコモンズのプラットフォームを機能させるための個別具体的・補助的なツ

ルやメカニズムとして、活用できるようになっている。本節では、これらの取り組みを、「心理・対話層の創発促進ツール」と「制度・ガバナンス・技術層の基盤ツール」に分け、それぞれの機能と創発プロセスとの対応関係を検討する。

なお、前者が「文化とリソースの壁」、後者が「政治と制度の壁」への対応策として紐づくわけではなく、実際にはどちらも創発システム全体において必要となることに留意したい。

### 7.2.1 心理・対話系の創発促進ツール

創発の出発点として不可欠なのは、まず個人内部で生じる曖昧で脆弱な主観知が、評価不安や文脈の拘束から切り離された状態で生成・保持される環境である。これには、単なる心理的安全性を超え、主観知やゆらぎを価値として扱える文化的枠組みも含まれ、「主観知のインキュベーション環境」を構築するということであり、野中の場（Ba）の構築に関する理論とも密接に関係する。

主観知が生成されただけでは創発は進まない。異質な主体が互いの主観的経験を受け止め、共有しうる最低限の関係性資本や内部モデルを確立することが重要である。ここには、相互理解の基礎を形成する仕組みが求められる。さらに、生成された主観知を最低限組織横断で扱える単位へと翻訳し、「課題」「価値仮説」「アセット」「構造」などの形式へと変換する能力も不可欠である。SECIの表出化やACAPの同化に対応するこのプロセスが欠けると、創発は場内で閉じ、組織的価値に接続しない。

加えて、翻訳の前提として、多様な主体が参加しても意味のすれ違いが生じない共通文脈の形成が求められる。異なる言語体系、課題構造、アセットの意味づけを最低限共有できる枠組みが整備されなければ、知の交換は表層的な情報伝達にとどまり、創発的結合には至らない。心理・対話系ツールが担うのは、この「主観知の保全」「関係性の基盤形成」「共通文脈づくり」「主観知の翻訳」という一連の条件であり、これらが揃うことで、初期の創発プロセスが初めて持続的な運動として成立する。

また、異質な主体間での文脈の翻訳や、適切なアセットの結びつけを補助し、コンフリクトを調整しながら学習のサイクルをより円滑に回すオーケストレーション/カタリスト機能も不可欠となるだろう。

#### 1) marbleMe<sup>\*5</sup>：組織で出せない主観知を共有する“デジタルサードプレイス”

創発の起点である主観知は、往々にして曖昧で脆弱であり、評価不安や役割期待、組織文脈の同調圧力によって早期に消失しやすい。SECIにおける共同化やカロンの翻訳過程の初期を成立させるためには、こうした未整理の主観知を安全に表明・保持できる環境が不可欠となる。marbleMeは、この課題に対する最も直接的な社会技術的介入として機能する。匿名性・半匿名性を含んだデジタルサードプレイスの設計によって、参加者は所属する組織では共有できない「モヤモヤ」「違和感」などの曖昧な素材を圧力から切り離された状態で持ち寄ることができる。類似した課題やキャリア背景を持つ参加者同士が相互に反応し合うことで、主観知は具体化されていき、各組織では可視化されなかった課題や価値観が明確になっていく。こういった“知”は、本来はそれぞれの組織にとっても捕捉し、活用する価値のあるニーズやボトルネックの理解であり、marbleMeは、組織にとっての外付けの“主観知のインキュベーション装置”として企図されたものである。



## 2) PRAISE CARD<sup>\*6</sup>：関係性資本の可視化と shared mental model の形成

主観知が生成されても、それが他者に受け止められ、共有されるための関係性基盤がなければ、共同化から表出化への移行は停滞する。創発においては、相互信頼や価値判断の枠組みといった関係資本が、主観知の流通を支える実質的インフラとなる。PRAISE CARD は、従業員同士が称賛カードを贈り合うことで、日々の業務の中で形成される感謝や評価を小さく可視化し、それを関係性の履歴としてデジタルに蓄積・分析する。さらに、企業固有のパスやバリューをカードのカテゴリとして組み込むことで、称賛の基準そのものが共有され、組織内に共通の価値判断フレームが形成されていく。この関係性資本の可視化と価値判断の揃え込みは、主観知が否定されずに受容されるための shared mental model を育み、創発プロセスの初期から中盤にかけて重要な支えとなる。

## 3) KaleidoSphere<sup>\*7</sup>：異質アセットの翻訳と結合可能性の発見を促す“構想場”

異なる組織や領域が持つアセットは、互いにブラックボックス化して見えにくく、接続可能性が発見されにくい。また、組み合わせたりそんな知識やアセットの目星を先につけることで、強制発想的に創発のプロセスを回すという可能性も模索されている。KaleidoSphere は、複数企業が保有するアセット（アプリケーション、顧客基盤、営業網、研究会など）を共通フォーマットのアセットカードとして棚卸しし、これらを「並べて見る」ことや、AIを活用して高速に組み合わせを試行錯誤することで、異質な資源同士の組み合わせを試行し、新しい接続可能性を探索することができる。また、強制的にお互いのアセットや知識を組み合わせることで、たまたま異なる組織や領域の間に共通の内部モデル形成のきっかけが生まれることもある。こういったことにより、可視化と試行のサイクルによって、翻訳と結合の難しさを緩和し、創発の中核である“異質な資源の組み合わせによる新しい価値仮説の創出”を支えることを試みている。

## 4) Janus Cones<sup>\*8</sup>：過去と未来の整理による共通内部モデルの生成

BIPROGY が活用しているスタンフォード大学のフォーサイト研究（2020）が提示する Janus Cones は、主観的な未来像を過去の分岐点や因果構造、ステークホルダー間の関係、必要アセットなどの客観知から繋がるストーリーとして生成・翻訳することを可能にし、言語化されにくい暗黙的イメージを組織的対話の素材へと変換する。このプロセスは、SECI の表出化や ACAP の同化に対応し、また ANT における翻訳の方向性を整える役割も果たす。Janus Cones を介した対話によって、参加者は自らの未来像を他者と突き合わせ、共通の認識フレームを形成していくことができる。

## 5) DiCE<sup>\*9</sup>：データの共有基盤をベースとして対話と共創を促すプログラム

DiCE は低リスク検証環境としての共通データ基盤（7.2.2 項 6）の Dot to Dot）を備えた対話と共創を促すプログラムとして位置づけられる。外部のオープンイノベーションプラットフォームとも連携し、複数企業を巻き込んだコンソーシアム形式のプログラムを通じて、多様な組織が参加する場を提供している。本来は共有しづらい企業がもつパーソナルデータをセキュアに相互に連携させる Dot to Dot の仕組みによって、参加者はより柔軟に各社の視点やアセットを持ち寄り、境界を越えた対話の場で新たな価値仮説を共同生成することができる。こうして DiCE は、参加者間の共通文脈形成と合意形成を支える対話・協創のハブとして機能する。

### 7.2.2 制度・ガバナンス・技術層に関わるツール

心理・対話系のツールが創発の上流から中盤にかけての流れを支える一方で、異質な主体が継続的に協働するためには、制度・ガバナンス・技術レイヤーにおける整備が不可欠となる。データの相互運用性や標準化、安全性と透明性、認証・アクセス管理といった基盤的要件が満たされなければ、創発は持続性を欠き、部分的な成功に留まる。このような仕組みはデジタルコモンズの裏側を支えることになるだろう。

アシュビーの必要多様性の法則が示すように、単一組織の内部多様性だけでは社会課題の複雑性に対応できないため、外部多様性を継続的に取り込む開放性が求められる。これを機能させるためには、アセット・データ・資源が相互運用的に結合しうる標準化とインフラ整備が前提となる。データモデルやメタデータ、アクセス権限、プロトコル、API といった接続のための“共通基盤”が成立しなければ、創発は観念的議論に留まり、実質的な実験や社会実装へと前進しない。

また、創発の深化には、アセットを持ち寄り低リスクで協働試行を行う実験環境が必要であり、こうした試行が成立するためには、データ利用の透明性、権限管理、価値配分の妥当性、プライバシー保護といったガバナンス設計が不可欠である。信頼性の欠如は即座に参加の停滞を招き、創発システムを立ち上げない。さらに、主体がアセットやデータを持ち寄り続けるためのインセンティブ設計も重要であり、これはガバナンス・制度設計と一体化して構築されなければ、制度上は開いていても行動としての参加が継続しないという問題を引き起こす。

こうした制度・技術層の要件群が整備されることで、デジタルコモンズは上流の主観知生成・翻訳過程と下流の実装・評価プロセスを一体化した“第三の創発システム”として機能する。

#### 6) Dot to Dot<sup>\*10</sup>：分散型データ流通のためのガバナンス基盤

Dot to Dot は、異なる組織間でデータを安全に流通させるために、同意管理、認証・ID 連携、権限管理、プライバシー保護といったメカニズムを分散型アーキテクチャの下で統合的に提供する。これにより、パーソナルデータを含む多様なデータを、法令順守と透明性を確保しながら企業間で活用することができる。Dot to Dot は、創発における“社会的信頼性・制度的正当性”を担保する基盤として機能し、共通データ層の成立可能性を高めるという点で、DiCE を支える制度層の中核をなす。

#### 7) Resonatex・AduME<sup>\*11</sup>：機能接続性と統合認証を担う技術的基盤

オープン API の公開・管理、認証・認可、ネットワークセキュリティを提供する Resonatex は、機能レベルでの接続性を担保するための基盤である。また、AduME などの統合 ID 基盤は、複数企業が混在する協働環境において信頼を確保するために必要な認証・アクセス管理の仕組みを整えている。これらは異質な主体が継続的に接続し、アセットやデータを相互利用できる環境を技術的に裏側から支えている。

#### 8) Rinza<sup>\*12</sup>：データ活用・AI 活用の“内側の変換装置”

Dot to Dot や DiCE によって接続されたデータを、実際の意思決定や価値創造に活用するには、データ統合・分析環境の整備と、それを扱える人材の育成が不可欠になる。Rinza は、この“内側の変換装置”として機能し、企業内部でのデータ活用能力を向上させることで、デジタルコモンズの外側から供給された可能性を内側の実践へと橋渡しする役割を果たす。

### 9) DIVP シミュレーションプラットフォーム<sup>\*13</sup>：標準化と越境ガバナンスを備えた専門領域型デジタルコモンズ

自動運転領域の DIVP シミュレーションプラットフォームは、専門領域に特化したデジタルコモンズの具体例でもあるが、異なる組織間の持つデータやモデルを共有・活用するシミュレーション基盤という意味で、技術層のツールでもある。仮想空間上でセンサーや道路環境を再現し、高リスクな実機実験を低コストで反復できるだけでなく、国際標準（Open-MATERIAL3D）に準拠することで、複数主体間でのモデル比較・再利用を可能にしている。多数のステークホルダーが参加するコンソーシアムによる合意形成を前提とする点では、polycentric governance の実践例としても位置づけられる。

## 8. お わ り に：デジタルコモンズの射程と設計原理

本稿では、個人―場・チーム―組織にまたがる創発プロセスを、FEP/PP、SECI、カロンの翻訳過程、ACAP の諸理論を総合することで全体整理し、創発を支える構造を一つのシステムとして描き直した。こうした再整理の意義は、異なるレベルで生じる認知・相互作用・組織学習を連続的に接続できるか、つまり冒頭で示したとおり、創発システム全体を機能させられるネットワーク構造を構築できるかどうかにかかっていることを理論的に明確にした点にある。

本稿で示した統合モデルは、創発を、①個人の意味形成（PP）、②場・チームにおける知識変換と関係構築（SECI/翻訳過程）、③外部知の吸収と再配置（ACAP）という連鎖プロセスとして捉えるものである。この整理は、創発が成立しにくい箇所を明確にし、どのレイヤーにどの機能を設計すべきかを検討するための指針となる。本稿ではその中で特にボトルネックとなりやすい「文化とリソースの壁」「政治と制度の壁」という二つの壁を整理した。

こうした視点を踏まえると、デジタルコモンズは、従来の組織内メカニズムや大企業×ベンチャーの分業モデルでは補いきれなかった「階層間の接続」を担う第三の仕組みとして位置づけることができる。デジタルコモンズは、個人の主観知を表現・保持し、外部アセットや多様な主体と接続し、場での共同作業につなぎ、そして組織に価値を還元するための仕組みとしてあらゆる機能を持つべきであることを整理してきたが、実はその全てが BIPROGY で以前より提唱している「カタリスト」という概念を構成すると理解することができる。「カタリスト」とは、関係者の利害や技術を調整しながら、多様なステークホルダーと共有したビジョンの実現に取り組む役割を意味する<sup>[41][42]</sup>。

「カタリスト」は人間の職能だけとは限らず、本稿で見てきた創発プロセスを加速させる多様な要件に対応する機能全体を指す概念であると解釈することができ、創発システムのネットワークを、よりよく繋げるものということができるだろう。

BIPROGY がこれまで取り組んできた marbleMe、PRAISE CARD、KaleidoSphere、Janus Cones、DiCE、Dot to Dot、Resonatex・AduME、Rinza、DIVP シミュレーションプラットフォームといった活動は、このデジタルコモンズの構成要素となり得るモジュールの初期形態である。これらは、創発プロセスの異なる段階に対応し、個人の気づきの保持、関係構築、アセット共有、試行と検証の加速といった役割を部分的に担っている。

ここで重要なのは、単一の機能を強化することではなく、個人―場・チーム―組織を繋ぐ複数のモジュールが、適切に連動するよう設計されているかという点である。デジタルコモンズ

は、そのようなモジュールを柔軟に組み合わせ、実験的に構築することで全体アーキテクチャを目指すものといえる。

こうしたアーキテクチャには、あらかじめ固定された完成形は存在しない。扱うアセット、参加主体、地域・産業構造によって必要な構成は常に異なるため、モジュールを小さく立ち上げ、検証し、組み替えながら成熟させるアプローチが求められる。本稿で提示した統合モデルは、そうした実験的なアーキテクチャ設計を行う際の理論的補助線として機能する。

今後 BIPROGY グループが目指すべき方向は、こうしたモジュールを企業、自治体、研究機関、市民など多様な主体との協働の中で再構成し、更に社会実装していくことである。デジタルコモンズは、単なるコンセプトではなく、顧客やパートナーとともに具体的なプロジェクトやデータ・アセットを扱いながら共同で形づくる社会基盤として位置づけられるべきものである。

本稿および第一弾が示した枠組みは、デジタルコモンズのアーキテクチャを協働的に構築するための理論的基盤であり、今後の実践と相互作用しながら変化し続けることが前提である。読者の皆様との共創によって、ここで述べた「カタリスト」や「実験的モジュール」がさらに磨かれ、新たな価値創造の仕組みとして育っていくことを期待したい。

- 
- \* 1 神経細胞間に形成される情報伝達の接続点であり、神経活動や経験に応じて結合強度が変化する可塑性をもつ。学習や記憶などの神経基盤を成す基本的構造である。
  - \* 2 複数のレベルで記述された、階層形式の統計モデルであり、ベイズ推定を用いて事後分布のパラメータを推定する。サブモデルを組み合わせて階層的なモデルを形成し、ベイズの定理を用いて観測データと統合して、全ての不確実性を考慮した事後分布を得る。
  - \* 3 コンテキストの文脈度合いは文化圏だけではなく、組織サイズや組織・チームのガバナンス成熟度などの影響も受けると考えられる。
  - \* 4 FEP/PP における内部モデルは確率モデルであり、コミュニケーションによって直接操作できるものではないが、Predictive Processing および Active Inference の社会的拡張モデルでは、社会的相互作用は「他者の行動からその内的状態・予測構造を推論する過程」として捉えられる<sup>[43]</sup>。
  - \* 5 働く女性が抱える健康課題やそれにより派生するさまざまなライフプランの悩みの解決を「対話」を通じて支援するサービス<sup>[31]</sup>。
  - \* 6 「称賛」を通じて組織の成功循環を創り、エンゲージメント向上を支援するアプリサービス<sup>[32]</sup>。
  - \* 7 企業が保有する多様な有形・無形のアセットを起点に、社会課題の解決と新たな事業創出を両立させることを目指す共創活動の枠組み<sup>[33]</sup>。
  - \* 8 過去と未来の双方に目を向けて、過去に起こった出来事から将来起こりうる出来事を予測しようとするフレームワーク<sup>[34]</sup>。
  - \* 9 企業同士の連携を前提に、より便利で豊かな生活を提供する新規事業開発を目的としたプロジェクト<sup>[35]</sup>。BIPROGY は、Dot to Dot を提供して、創出された事業構想の事業化を支援している。
  - \* 10 パーソナルデータ活用とプライバシー保護の両立を実現し、異なる業界や業種間の共創を促す分散型企業間データ流通基盤。三井不動産と BIPROGY が共同開発し、2020 年 11 月 26 日から柏の葉スマートシティに提供を開始した。デジタル庁が発行するデジタル実装の優良事例を支えるサービス/システムのカatalog (2024 年春版) に掲載されているデータ連携基盤である<sup>[36]</sup>。
  - \* 11 Resonatex は、金融機関向けのオープン API 公開基盤で、AduME は、Resonatex 上で API を実行する際に使われる共通 ID・認証・アカウント管理サービスである<sup>[37][38]</sup>。
  - \* 12 BIPROGY が展開する、データと AI をビジネスに活かすためのプラットフォームおよび技術体系<sup>[39]</sup>。
  - \* 13 内閣府が主導する戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期において、産官学が連携して開発した自動運転システムの安全性評価用シミュレーションプラットフォーム<sup>[40]</sup>。

- バージョンの実現」, BIPROGY 技報, BIPROGY, Vol.45 No.2 通巻 165 号, 2025 年 10 月, [https://www.biprogy.com/pdf/tec\\_info/16501.pdf](https://www.biprogy.com/pdf/tec_info/16501.pdf)
- [2] オープンイノベーション・ベンチャー創造協議会, 「オープンイノベーション白書 第二版」, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2018 年 6 月, p.8
- [3] Bullmore, E., & Sporns, O. (2009). Complex brain networks: Graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(3), 186–198.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D.-U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424, 175–308.
- [4] Karl Friston (2010). “The free-energy principle: a unified brain theory?” *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2), 127–138.
- [5] Andy Clark (2016). *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*. Oxford University Press.
- [6] Hohwy, J. (2013). *The Predictive Mind*. Oxford University Press.
- [7] 磯村拓哉, 「自由エネルギー原理の解説: 知覚・行動・他者の思考の推論」, 日本神経回路学会誌 Vol.25, No.3 (2018), 71–85
- [8] マイケル・ポランニー (著), 高橋勇夫 (訳), 「暗黙知の次元」, ちくま文庫, 2003 年 12 月
- [9] Hall, E. T. (1976). *Beyond Culture*. Anchor Books.
- [10] Nonaka, I., & Konno, N. (1998). The Concept of “Ba”: Building a Foundation for Knowledge Creation. *California Management Review*, 40(3), 40–54
- [11] Michel Callon, “Some Elements of a Sociology of Translation: Domestication of the Scallops and the Fishermen of St. Brieuc Bay”, 1986, pp.196–233
- [12] 野中郁次郎 (著), 竹内弘高 (著), 梅本勝博 (訳), 「知識創造企業 (新装版)」, 東洋経済新報社, 2020 年 12 月, p.104–117
- [13] Madeleine Akrich, Michel Callon, Bruno Latour, “The Key to Success in Innovation Part I: The Art of Interestement”, *International Journal of Innovation Management* Vol. 6, No. 2 (June 2002) pp.187–206
- [14] Eva López-Rivera, Juan José González-Badillo, “The effects of two maximum grip strength training methods using the same effort duration and different edge depth on grip endurance in elite climbers”, *Sports Technology*, iFirst article, 2012, 1–11
- [15] Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). “Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation.” *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152.
- [16] Zahra, S. A., & George, G. (2002). “Absorptive Capacity: A Review, Reconceptualization, and Extension.” *Academy of Management Review*, 27(2), 185–203.
- [17] Burgelman, R. A. (1991). “Intraorganizational Ecology of Strategy Making and Organizational Adaptation: Theory and Field Research.” *Organization Science*, 2(3), 239–262.
- Burgelman, R. A. (2002). “Strategy as Vector and the Inertia of Coevolutionary Lock-in.” *Administrative Science Quarterly*, 47(2), 325–357.
- [18] Paulina Junni, Riikka M. Sarala, Vas Taras and Shlomo Y. Tarba, “Organizational Ambidexterity and Performance: A Meta-Analysis”, *Academy of Management Perspectives* Vol.27, No.4
- [19] 石田大典, 黒澤壮史, 「組織の双面性がパフォーマンスへ及ぼす影響: メタアナリシスによる研究成果の統合」, 組織科学 Vol.51 No.2: 28–37 (2017)
- [20] 柳沢樹里, 徳重剛, 佐藤一誠, 「両利き経営の実践 イノベーション推進のマネジメント人材が成功のカギを握る」, 知的資産創造, 2023 年 8 月号
- [21] Ahmed Samir Imam Mahmoud, Tapajit Dey, Alexander Nolte, Audris Mockus, James D Herbsleb, “One-off events? An empirical study of hackathon code creation and reuse”, *Empir Softw Eng*, 2022 Sep 20;27(7):167
- [22] 柳沢樹里, 「企業のオープンイノベーションを促進する「出島」戦略——コストセンターではない投資回収の仕掛けづくり」, *NRI JOURNAL*, 2020 年 01 月 28 日
- [23] 井上佳, 「「両利きの経営」の実行は, 経営チームが自身のバイアスに向き合うこと」, *GLOBIS*, 2022 年 7 月 31 日
- [24] Thomas J. Chemmanur, Elena Loutschina, Xuan Tian, “Corporate Venture Capital, Value Creation, and Innovation”, *Tsinghua University* on January 7, 2015
- [25] JAFCO, Relic, 「JAPAN CVC Report 2024」, 2024/6/26
- [26] Jeffrey Goldfarb, “Corporate division generates problematic quotients”, *Reuters*,

February 5, 2025

- [27] bundl, 「Venture Studio Success: Why These Startups Outperform the Rest」,  
<https://www.bundl.com/articles/why-venture-studio-startups-have-higher-long-term-success-rates>
- [28] Ross Dawson, 「10 leading startup studios successfully growing multiple ventures simultaneously」,  
<https://rossdawson.com/startup-studios/10-leading-startup-studios-growing-multiple-ventures/>
- [29] Global Corporate Venturing, 「Six ways to increase university spinout success」,  
<https://globalventuring.com/corporate/six-ways-to-increase-university-spinout-success/>
- [30] J. P. Morgan, 「Understanding venture studios for startups」, November 17, 2025,  
<https://www.jpmorgan.com/insights/business-planning/venture-studios-how-they-work-and-support-startups>
- [31] marbleMe (マーブルミー) | 働く女性のためのデジタルサードプレイス, BIPROGY, <https://www.marbleme.jp/>
- [32] PRAISE CARD | 称賛によって組織を育てる, BIPROGY, <https://praise-card.com/>
- [33] 木村瑞貴, 企業アセット×共創で社会課題を解決する「kaleidosphere」, BIPROGY 技報, BIPROGY, Vol.45 No.2 通巻 165 号, 2025 年 10 月,  
[https://www.biprogy.com/pdf/tec\\_info/16502.pdf](https://www.biprogy.com/pdf/tec_info/16502.pdf)
- [34] Stanford | Foresight Methods, Stanford University,  
<https://foresight.stanford.edu/methods>
- [35] 1 年間で 4 つの新規事業構想を生み出したプロジェクト「DiCE」, BIPROGY TERASU, BIPROGY, 2024 年 3 月 26 日, <https://terasu.biprogy.com/article/dice/>
- [36] Dot to Dot (D2D) —生活者とサービスが共に歩む世界を創る, BIPROGY,  
<https://biz.dot2dot.life/>
- [37] オープン API 公開基盤 Resonatex<sup>®</sup> (レゾナテックス), BIPROGY,  
<https://www.biprogy.com/solution/service/resonatex.html>
- [38] 認証・アカウント管理サービス「AduME<sup>®</sup> (アヅミ)」 「ホワイト ID」, BIPROGY,  
<https://www.biprogy.com/solution/service/adume.html>
- [39] データ+AI 活用支援ソリューション「Rinza<sup>®</sup>」, BIPROGY,  
<https://www.biprogy.com/solution/theme/airinza.html>
- [40] 自動運転シミュレーションプラットフォーム, V-Drive Technologies,  
<https://www.vdrive-tech.com/>
- [41] 多様なステークホルダーと共に未来を創る, BIPROGY TERASU, BIPROGY, 2017 年 7 月 10 日, [https://terasu.biprogy.com/article/bits2017\\_g-1\\_paneldiscussion/](https://terasu.biprogy.com/article/bits2017_g-1_paneldiscussion/)
- [42] 持続可能な社会をつくる「デジタルコモンズ」——社会的価値と経済的価値は同時に創出できる, BIPROGY TERASU, BIPROGY, 2020 年 10 月 28 日,  
[https://terasu.biprogy.com/article/digital-commons\\_akiyoshi\\_hiraoka/](https://terasu.biprogy.com/article/digital-commons_akiyoshi_hiraoka/)
- [43] Karl Friston, Christopher Frith, “A Duet for one”, ScienceDirect, Consciousness and Cognition Volume 36, November 2015,  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105381001400230X>

※ 上記注釈および参考文献に示した URL のリンク先は、2025 年 12 月 12 日時点での存在を確認。

#### 執筆者紹介 アルムハメトヴァ メルエルト (Almukhametova Meruert)

2016 年日本ユニシス(株)入社。事業部で主に食品系顧客の DX 化支援等に取り組む。2018 年より経営企画部にて国内外企業の投資/アライアンス案件の企画・実行と共に、経営ビジョンの具現化に向けた社内外の様々なプロジェクトを主導・推進しながら、外部有識者との意見交換等も積極的に行っている。



## ついついとなる「仕掛け」で課題を解決する 仕掛け学の社会実装に向けた取り組み

Social Implementation of Shikakeology: Problem Solving with Embodied Triggers

森本 紗矢香, 齊藤 哲哉

**要約** 仕掛け学とは、人々の自発的な行動変容を引き出す「仕掛け」を体系的に研究する学問である。BIPROGY シカケラボでは仕掛け学の社会実装を推進し、誰もが楽しみながら社会課題を解決できる仕組みの構築を目指している。これまで、産学官の多様なステークホルダーと連携したフィールド実証により仕掛けの有効性を検証するとともに、仕掛けの着想を支援するワークショップの設計・開催を通じて参加者の知見の共有化を促進しながら、デジタルソリューションとの組み合わせによる新たな価値創出に取り組んできた。これらの活動は、知見やアイデアをデジタルプラットフォーム上に蓄積・共有し、オープンイノベーションによるステークホルダー間の共創を実現する、デジタルコモンズの具体的な実践例である。今後は、エコシステムデザインの知見を活かし、課題発見からエコシステム設計まで一貫通貫した社会課題の解決支援にも取り組む。

**Abstract** Shikakeology is an academic field that studies embodied triggers for spontaneous behavior change, known as “shikake,” with the aim of addressing issues. BIPROGY Shikake Lab promotes the social implementation of Shikakeology, creating mechanisms that enable anyone to solve social issues in an enjoyable way. Through field demonstrations in collaboration with stakeholders from industry, academia, and government, we have verified the effectiveness of shikake and facilitated the accumulation and sharing of knowledge by participants through designing and conducting workshops that support the ideation of new shikake, while also working to create new value by combining research outcomes with digital solutions through their business application. These activities serve as practical examples of Digital Commons, where knowledge and ideas are accumulated and shared on a digital platform, thereby realizing open innovation through co-creation among stakeholders. Looking ahead, we plan to apply ecosystem design insights to provide end-to-end support for solving social issues, from identifying challenges to designing ecosystems.

### 1. はじめに

ポイ捨てによる環境悪化をはじめとした多くの社会課題は、人々の行動の積み重ねにより引き起こされる。根本的な解決には人々の行動そのものの変容が不可欠であるが、しばしば「面倒だ」「自分だけやっても意味がない」といった心理的・社会的要因により妨げられている<sup>[1]</sup>。同時に、正論をもって人々の行動変容を促すには限界がある。京都・鴨川の事例では、「ポイ捨て禁止」と書かれた看板を設置したにもかかわらず、かえって看板の周辺にゴミが集中する結果となった<sup>[2]</sup>。このような正論では望ましい行動を十分に引き出せない場面においては、より戦略的な介入が求められる。

仕掛け学は、人の行動を「つい〇〇したくなる」ように促すことで課題を解決する仕組み＝「仕掛け」を体系的に研究する学問である<sup>[3][4]</sup>。仕掛け学における行動変容のアプローチは、行動を

人々に強制するのではなく、人々が自発的に望ましい行動を取りたいくなるよう促す点に特徴がある。似たような行動変容への取り組みに、行動経済学におけるナッジがあるが、ナッジが人々の認知バイアスを利用して無意識に働きかけるのに対し、仕掛けは人々の遊び心を利用して自発的な行動変容を促す。

行動経済学に裏付けされるナッジは、産学政官民連携の取り組みである日本版ナッジ・ユニット（BEST）を代表に、社会への普及が進んでいる<sup>[5]</sup>。それと比較すると、仕掛学の社会実装はいまだ途上にある。そこでBIPROGY シカケラボでは、仕掛学の社会実装を推進し、誰もが楽しみながら社会課題を解決できる仕組みの構築に向けて活動している。

本稿では、仕掛学の社会実装に向けた具体的な取り組みについて紹介するとともに、その取り組みがBIPROGY 株式会社（以降、BIPROGY）の掲げるデジタルコモンズのビジョンに基づく共創の場作りへとつながる可能性について考察する。2章では仕掛学の概要を説明し、3章では社会実装を見据えた具体的な実践事例を示す。4章では各事例を通じて見出された社会課題解決への有効性を分析し、オープンイノベーション 2.0 をはじめとするデジタルコモンズ概念との関係を明らかにする。

## 2. 仕掛学とは

仕掛学は、「つい〇〇したくなる」ように人の行動を引き出す「仕掛け」に着目した学問である。たとえば、ゴミ箱の上にバスケットゴールを設置した仕掛けは、人々が「ついゴミをシュートして捨てたくなる」ように仕向けることで、おのずとゴミが適切にゴミ箱へ捨てられるようになる（図1）。仕掛学は、人の行動を自発的に変える仕組みの原理や設計方法を探り、社会課題をはじめとした人の行動に起因する課題の解決を図る、実証的かつ応用的な研究領域として発展してきた。



図1 バスケットゴールを設置したゴミ箱の仕掛け（ChatGPT による生成）

「仕掛け」とは、一般的な辞書によれば「目的のために巧みに工夫されたもの」「装置」「からくり」などと定義されている。それに対して仕掛学では、単に工夫されたものではなく、仕掛けられた人が「つい〇〇したくなる」と感じるような魅力をもち、人の行動が自発的に変化することで結果的に課題の解決へとつながるものを「仕掛け」と定義している。さらには、人が仕掛けの意図に気づいたとき「おもしろい」「一本取られた」といったポジティブな感情を引き起こすものが仕掛けであると限定している。なお、人を不快にさせたりだましたりするよ



うなものは研究の対象としていない。

以降、仕掛けと言及する場合、仕掛け学で定義している「仕掛け」を指す。

## 2.1 仕掛けの事例

仕掛けが課題をどのように解決するかを説明する前に、読者がそのイメージを把握しやすくなるよう具体例を提示する（図2）。



図2 仕掛けの三つの例（ChatGPT による生成）

まず、身近な仕掛けの一例として、床面や地面に描かれた足跡マークを挙げる（図2左）。一時停止の箇所や列形成の動線を視覚的に伝える手段として広く用いられ、新型コロナウイルス感染症の流行期においてはソーシャルディスタンスを保つ目的でも普及した。単なる位置を示す印ではなく足跡の形状とすることで、つい足跡の上に足を揃えたいくなるという心理を誘発された人々が足跡の上に立ち、結果として適切な列形成を促す機能を果たしている。

次に、タバコの吸殻入れを投票箱に見立てた仕掛けを挙げる（図2中央）。街頭に設置された吸殻入れの表面に2択の質問を掲げ、人々がタバコの吸殻を入れることで“投票”できる仕組みである。投票結果としてタバコの吸殻が視覚的に積み上がっていく構造により、喫煙者はついタバコの吸殻を入れたくなる。株式会社コソドが渋谷センター街で実施した実証実験では、実施前と比較してタバコの吸殻のポイ捨てが約9割削減された<sup>[6]</sup>。

最後に、大阪大学医学部附属病院の入口に設置された、映画「ローマの休日」の代表的なモチーフである「真実の口」を模した手指消毒の仕掛けを挙げる（図2右）。口に手を入れるとアルコール消毒液が自動で噴射される仕組みであり、有名なモチーフを用いることで人々の関心を引き、つい手を入れてみたくなる心理を誘発している。実験の結果、来訪者の手指消毒率は設置前後で0.6%から10%まで増加した<sup>[7]</sup>。

## 2.2 仕掛けの要件

仕掛け学の提唱者である松村は、このような仕掛けは次の三つの要件を満たすものであると定義している。それらは各々の英単語の頭文字から「FAD 要件」と呼ばれている。

### 公平性（Fairness）：

誰かに不利益を被らせたり、だましたりしない。たとえ人が仕掛けの意図に気づいたとしても、不快に感じさせず、むしろ納得感や好意的な印象を持たせるものであることを意味する。

### 誘引性 (Attractiveness) :

「ついしたくなる」気持ちを自然に引き出す。強制感や義務感によらず、人が自発的に行動を起こしたくなるような魅力を持っていることが必要である。

### 目的の二重性 (Duality of purpose) :

“仕掛ける”側と“仕掛けられる”側の双方で目的が異なる。仕掛けを設置する側が課題解決を目的とする一方で、仕掛けられる側には課題解決という目的を意識せず、「楽しそう」「やってみたい」という意思で行動してもらえよう巧みにデザインすることを意味する。これにより、仕掛けられる側に自然と仕掛けを楽しんでもらった結果、真の目的である課題解決が実現される。

FAD 要件を満たす仕掛けは、目にした人々に「やってみたい」「試してみたい」といった前向きな心理的变化を生じさせ、自発的な行動変容を促す。個々の行動変容が累積することで、結果的に課題が解決される。FAD 要件は、このような行動変容と課題解決のメカニズムを理論的に支える原理であり、仕掛け学が提唱される以前から存在していた多様な仕掛けを体系的に整理・分析する中で導出されたものである。この原理を適用すれば、効果的な仕掛けを新たに設計することもできるようになる。

## 2.3 仕掛けのからくり

仕掛けによる行動変容のアプローチは、一見すると一般的な解決手法よりも遠回りである。例えば、ゴミのポイ捨てを防止したい場合、「ゴミはゴミ箱へ」のような掲示をするのと比べて、図1のような「バスケットゴールを設置したゴミ箱」を仕掛けるのは、構想・設計・製作・設置といった手間を要する。それでもなお、仕掛けは次のようなロジックを実現することで、正論が通じないような課題を解決することができる。まず、ゴミ箱にバスケットゴールを設置すると、ゴミを捨てるという行為が「シュートする」という遊び心のある行為に置き換わる。それを見た利用者の心理が「ゴミをシュートしてみたい」「ゴールできたら面白そう」などポジティブに変化した結果、「ゴミをゴールへシュートする」＝「ゴミをゴミ箱へ捨てる」という行動変容が促される。このような行動の積み重ねにより、結果的にゴミのポイ捨てが防止される。

この仕掛けはFAD 要件を次のように満たしていると言える。公平性の面では、バスケットゴールの設置により誰かが損害を受けることはなく、仮に意図に気付いても不快感を覚える人は少ない。誘引性については、多くの人がバスケットボールという競技を体験したことがあるため、シュートを成功させたいという意欲が自然と引き出される。そして、設置者の目的が「ポイ捨て防止」であるのに対し、利用者の目的は「バスケットゴールにシュートしたい」という行為であり、このズレが目的の二重性を満たしている。

仕掛けが課題を解決するには、FAD 要件を満たしつつ、どのような心理変化が促され、どのように行動変容へ結びつくのかというロジックを成立させることが不可欠である。FAD 要件とロジックを意識して仕掛けを設計することで、利用者に行動を強制したり不快感を与えたりすることなく、自発的に望ましい行動を引き出し、課題解決へとつなげることができる。

### 3. 仕掛学の社会実装に向けた取り組み

BIPROGY シカケラボでは様々な取り組みを通じて仕掛学の社会実装を目指している。単に仕掛けを設置・運用するだけでなく、多様なステークホルダーとの連携や仕掛けの着想支援、既存アセットとの組み合わせといった課題解決のプロセスが“共創”する実践の場として機能している。

本章では、社会課題解決に向けた仕掛けのフィールド実証への参画、仕掛けの着想を支援するワークショップの設計、仕掛学の知見を活かしたデジタルソリューションの展開の三つの事例を紹介する。

#### 3.1 フィールド実証事業

名古屋市が主導する事業「なごやまちなか実証 NAGOYA CITY LAB」では、スタートアップ企業による都市空間を活用した先進技術の実証・実装を推進している<sup>[8]</sup>。BIPROGY シカケラボは 2024 年度、株式会社 Tokai Innovation Institute 主導のもと、複数の大学・企業とともに「仕掛け」回遊創出プロジェクト」に参画した。「久屋大通パラレルワールド」と題した本プロジェクトでは、名古屋市中心部に位置する Hisaya-odori Park と、その真下に広がる地下街である Central Park をフィールドに、利用者の回遊行動や人流の創出を促すことを目的として、「つい地上・地下を行き来したくなる」二つの仕掛けを設計・実装した。

実際に設置された仕掛けの一つは電波塔を使ったものである（図 3）。地下（Central Park）の天井部に、すぐ真上に建つ名古屋のランドマークである「中部電力 MIRAI TOWER」の巨大なトリックアートを描写し、地下から見上げるとあたかも電波塔が透けて見えているかのような視覚効果を演出した。加えて、地上（Hisaya-odori Park）へつながる階段のある方角に向かった矢印とともに「ホンモノのタワーはどこにいる？」という文言を掲載することで、地上への移動意欲の促進を狙った（図 3 左）。それに呼応する形で、地下と地上をつなぐ階段の踊り場には「地下からもタワーが見える!？」と記載されたポスターを掲示し、地下への興味喚起と誘導を図った（図 3 右）。

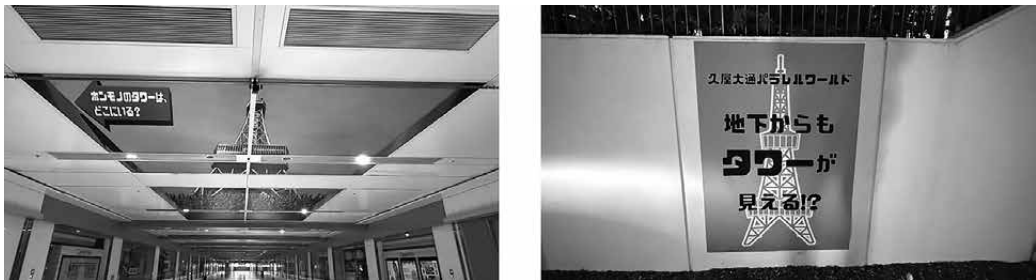


図 3 つい地上・地下を行き来したくなる仕掛け「電波塔のトリックアート」の写真

もう一つは、カメラと映像を使用したものである（図 4）。この仕掛けの特徴は、地上と地下の双方に設置されたカメラの映像を互いに投影し合う点であり、いずれも撮影から投影までに 3 分のラグを設けている。具体的にはまず、カメラを内蔵した土管を模した大型のオブジェを地上に設置し、その内部を覗き込む人の様子を撮影した（図 4 左上）。撮影した映像は、3 分後に地下の天井に投影した（図 4 下）。これにより、土管を覗き込んだ人は、3 分後に地下

へ移動することで、天井に投影された自分の姿を確認できる。一方、地下の天井にもカメラを設置して見上げる人の様子を撮影し、その映像を3分後に地上の土管の内部に表示した（図4右上）。これにより、地下で天井を見上げた人は、3分後に地上へ移動することで、土管の内部に映った自分の姿を見ることができる。このように、来訪者は地上・地下のいずれかで仕掛けを体験したあと、もう一方の空間へ移動することで「3分前の自身の姿」を目にすることができることから、仕掛けを体験した来訪者の地上・地下間の移動意欲の喚起を実現している。

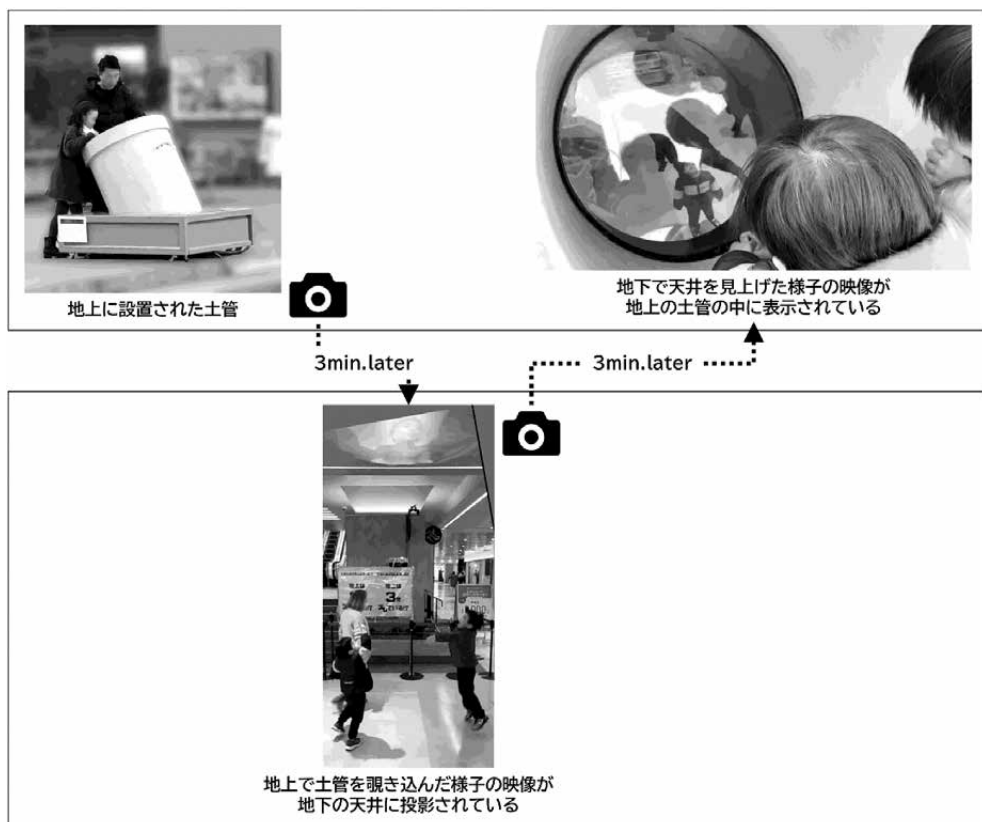


図4 つい地上・地下を行き来したくなる仕掛け「3分ズレたカメラ映像」の写真

本プロジェクトでは、2ヶ月半の実証を通じて人流の変化を観察した<sup>[9]</sup>。結果、「電波塔のトリックアート」のみを設置した場合、トリックアートの矢印で示した階段の利用率が約9%向上し、「3分ズレたカメラ映像」を追加すると約12%向上した。「3分ズレたカメラ映像」による地上・地下間の移動の動線上にあったエスカレーターの利用率も、プレスリリースの発信を経て約25%増加した。アンケート調査では「おもしろさ」の評価が5点満点中平均4.6点を示し、99%の回答者が移動意欲を感じたと答えた。このように本事例は、地方自治体の都市空間を舞台に、多様なステークホルダーが協働し、仕掛け学の理論に基づいた行動変容のアプローチを社会に実装した結果、成果があることを実証できた取り組みである。

### 3.2 ワークショップによる仕掛けの着想支援

前節のフィールド実証事業では、仕掛け学に精通したメンバーが中心となって仕掛けを設計し

だが、仕掛け学の社会実装を推し進めるには、専門知識を持たない人でも仕掛けを着想できる仕組みの提供が必須である。そこで、BIPROGY シカケラボは名古屋大学との共同研究により、仕掛け学の理解と仕掛けの着想を支援する「Prism ワークショップ」を設計した<sup>[10]</sup>。

Prism ワークショップの特徴の一つとして、仕掛けの理解や設計を支援するために開発した「仕掛けのからくりシート」フレームワークを使用していることが挙げられる。図5に、「バスケットゴールを設置したゴミ箱」を例に作成したからくりシートを示す。中央の枠に仕掛けのロジックを、右枠に仕掛けのFAD要件の充足性をそれぞれ記載することで、仕掛けのからくりが一枚の図として構造的に整理・可視化される仕組みである。からくりシートを用いれば、既存の仕掛けのロジックや要件を容易に検証・解説できると同時に、各項目を満たすように構想することで、新たな仕掛けの設計もスムーズになる。加えて、仕掛けのロジックや要件の充足性を他者に説明しやすくなるという利点もある。

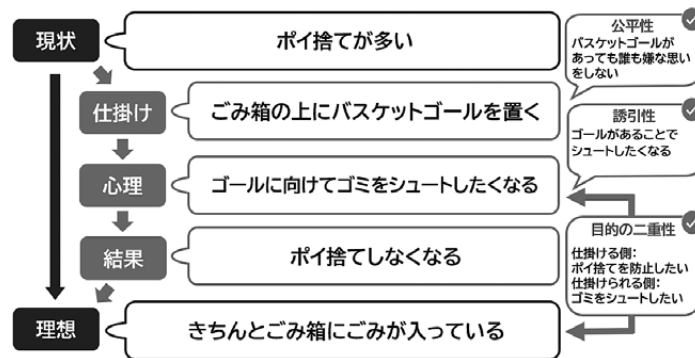


図5 バスケットゴールを設置したゴミ箱の仕掛けのからくりシートの例

もう一つの特徴は、強制発想によるアイデア発散の手法を導入していることである<sup>[11]</sup>。このプロセスでは、マンダラートと呼ばれるフレームワークに基づき、連想ゲームのように思考を広げ、アイデアを発散させることで仕掛けの着想を容易にしている。図6に、強制発想プロセスを通じて作成されるマンダラートの一例を示す。本プロセスでは初めに、課題解決のために促進したい行動変容を動詞として書く（図6左下端「まち歩きする」）。続いて、その動詞に類似する複数の動詞を連想し、周囲3マスに書き出す（図6左下「歩く」「回る」「知る」）。次に、連想したそれぞれの動詞について、関連するモノやコトを表す名詞（動詞に対する主語や目的語など）を連想し、周囲3マスに書き出す（図6左「靴」「通学」「通路」「時計」「リレー」「観覧車」「図書館」「うわさ」「新聞」）。最後に、促進したい行動変容を示す動詞と、連想して出てきた名詞を組み合わせ、「つい<行動変容>したくなる<モノやコト>」という構文を生成する（図6右「まち歩きしたくなる靴＝？」以下9件）。このようなプロセスを経ることで、生成した構文を仕掛けのアイデアとし、以降のワークで具体的な仕掛けを考えることができるようになる。

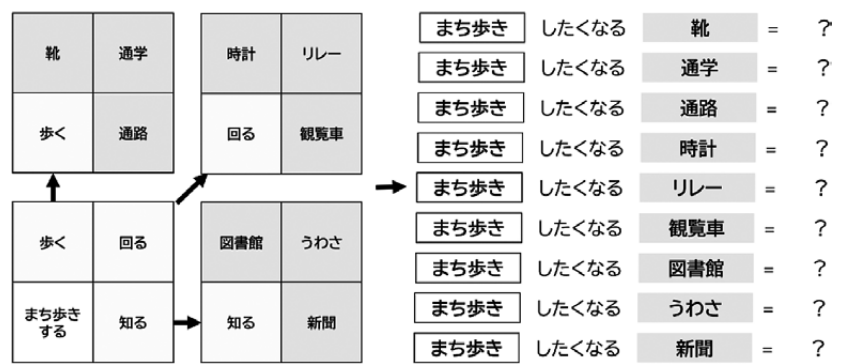


図6 マンダラートを用いた強制発想によるアイデア発散の例

以上の特徴を有する Prism ワークショップの基本的な流れを図7に示す。参加者は5名程度のグループに分かれてワークを実施する。まず参加者は、講師による「仕掛学・Prism ワークショップ入門」を受講し、仕掛学の概要と以降のワーク内容を学習する。続いて、各々が自己紹介とともに、事前に収集した身近な仕掛けの事例を紹介する。その後、からくりシートを用いて、見つけてきた仕掛けのロジックや要件を分析する。ここでは、個人でからくりシートを記入し、その後にグループ内で共有・議論することで、仕掛学の概念やからくりシートの記入方法の理解を深めると同時に、発言力の強い参加者の発想がグループの議論を支配しないよう工夫している。次に、あらかじめ設定された課題に対し、強制発想としてマンダラートを作成することで仕掛けのアイデアを発散させる。ここでも、同様の狙いから個人ワークとグループワークを分けている。そして、各グループが魅力的なアイデアをもとに、からくりシートを用いて仕掛けとして具体化する。最後に、グループごとに着想した仕掛けをからくりシートを用いて全体へ発表し、投票・振り返り・講評を経て終了となる。

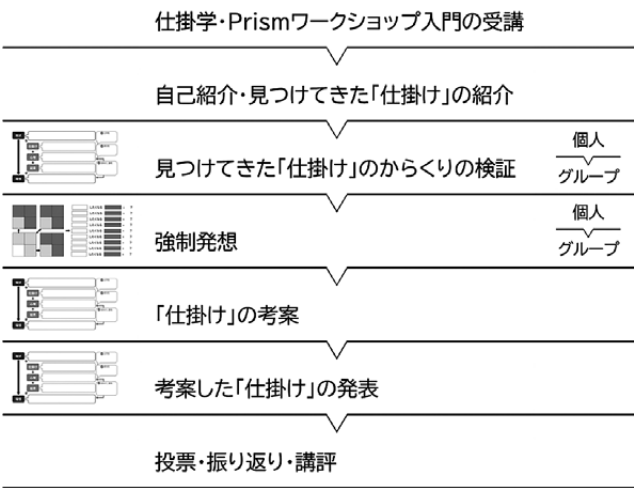


図7 Prism ワークショップの流れと使用するフレームワーク

BIPROGY シカケラボでは 2025 年 9 月までに、BIPROGY とグループ会社（以降、BIPROGY グループ）内の組織に加え、IT ソリューション、小売業、飲料メーカー、フードサービスを

ど多様な業種の顧客に対し計 19 回 Prism ワークショップを開催してきた。ワークショップを通じて着想した仕掛けを試作し、飲食店における概念実証を経て実店舗への導入につながった事例もある<sup>[12]</sup>。このようにワークショップを開催し、参加者の具体的な課題に対応する成果を積み重ねていくことは、仕掛学による社会課題解決という大きなビジョンに向けた着実な前進である。

### 3.3 仕掛学の知見を活かしたデジタルソリューションの展開

BIPROGY は、顧客企業の業務課題を解決するために、デジタルによる仕組みやサービスを提供している。しかし、仕組みの導入のみでは期待される成果が十分に発揮されない場合があり、その多くは、使い手である従業員の行動変容が伴わないことに起因する。そこで BIPROGY シカケラボでは、デジタルの仕組みに対して利用者の行動変容を促す仕掛けを組み合わせることで、導入促進や利活用の浸透を支援し、課題解決をより確実に実現するための取り組みを進めている。

その具体例の一つが、BIPROGY が販売する Microsoft 365 Copilot 関連サービスに Prism ワークショップを組み合わせたサービスである。Microsoft 365 Copilot は、文書作成・情報整理・データ分析といった業務効率化を支援する生成 AI ツールであり、BIPROGY では導入支援やハンズオン、組織内への展開支援など、ニーズに合わせた支援を提供している<sup>[13]</sup>。これに Prism ワークショップを組み合わせることで、参加者のアイデア発散を自動化し、着想した仕掛けの実装や効果測定を容易にするなどの付加価値を提供できる。

さらに、社内外のシステム・サービスの開発・運用や営業活動の場においては、BIPROGY シカケラボのメンバーが「シカケアドバイザー」として参画している。仕掛学の観点から機能拡張や利用促進の施策を提案するコンサルティング活動による支援を通じて、自社や顧客の持つ既存のデジタルアセットの利用価値を高め、サービスの競争力強化や新たな価値創出につなげている。

今後は、仕掛学による課題解決支援をセールスフックとして顧客課題を抽出し、仕掛けと仕組みの両面から解決を図るアプローチも検討していく。抽出した課題に応じて、人々の行動変容を促す仕掛けによる解決が有効と判断した場合は仕掛学の知見を応用し、制度設計やシステム整備といった仕組みによる解決が望ましい場合は BIPROGY の所有アセットを提案する。このように、既存のアセットと仕掛学の知見の双方を解決策として備えることで、幅広い課題に柔軟に対応できるようになる。

このような取り組みは、仕掛学の理論や知見を実践的に応用しつつ、既存のアセットやサービスと融合させることで新たな価値を創出する共創の一形態である。デジタルによる仕組みと行動変容を促す仕掛けとを組み合わせることで、顧客の課題解決を多角的に支援し、より持続的な価値創出につなげていく。

## 4. デジタルコモンズとの関連性

BIPROGY グループが提唱するデジタルコモンズは、デジタルを活用してあらゆる資源を共有財（コモンズ）としながら、社会課題解決や価値創出に向けて多様なステークホルダーが共創を通じてイノベーションを生み出す、オープンイノベーションのためのプラットフォーム構想である。本稿で紹介した取り組みは、デジタルコモンズ上での知識共有やアイデア創発のプ

ロセスを具体化する手段として、構想の実現に重要な役割を果たす。

フィールド実証では、産学官の多様なステークホルダーとの連携により、デジタルコモンズ構想の核でもあるオープンイノベーション 2.0 の理念を体現している。BIPROGY シカケラボと企業・大学・自治体が協働して仕掛けを設計・実装し、人々の行動変容をフィールド上で実現した本活動は、デジタルコモンズ上での価値共創プロセスに通じ、共創型イノベーションのモデルケースとなる。

Prism ワークショップの開催は、専門知識を持たない人でも仕掛けを着想し、共有・議論する機会を提供する。ワークショップを通じて得られた知見やアイデアは、共有知としてデジタルコモンズ上に蓄積・共有されることで共創の基盤を形成する。また、仕掛学の方法論が社会に広く理解されることで、仕掛けの開発・実装が促進され、自発的な行動変容による社会課題解決の促進にもつながる。

仕掛学の知見を活かしたデジタルソリューションの展開は、学問の理論や活動の知見を研究開発のみならず広く事業に適用していく過程で、自社の持つアセットやサービスとの融合を試みる。これは、既存アセットの組み合わせで新たな価値を創出することから、デジタルコモンズが実現するオープンイノベーションにおける共創の一つの形とみなすことができる。

このように、BIPROGY シカケラボが仕掛学の社会実装を目指して取り組む活動はいずれも、それらを通して蓄積された共有知を多様なステークホルダーが活用し、共創によって社会課題を解決するというデジタルコモンズ構想の具体的な実践例となり得る。

## 5. お わ り に

本稿では、BIPROGY シカケラボが取り組む仕掛学の社会実装について紹介し、それが BIPROGY グループのデジタルコモンズ構想の実現につながることを示した。既存アセットの組み合わせによる価値創出のみならず、多様なステークホルダーとの連携に加え、学問としての知見や着想された仕掛けのアイデアの蓄積・共有が、共創による価値創出を実現するプラットフォームを構成する。

仕掛学の社会実装を進めるうえでは、行政、企業、市民、研究者といった多様なステークホルダーが連携し、共通の課題に対して協働的に取り組むことが重要となる。その際には、個々の主体の利害や役割を調整しつつ、相互に補完し合う仕組み（エコシステム）を設計・構築することが求められる。エコシステムデザインとは、多様なステークホルダーが互いに価値を循環させる仕組みを設計する取り組みであり、価値循環と共創を提言するデジタルコモンズ構想にも密接に関わる。

今後は、仕掛学とエコシステムデザインの知見を組み合わせることで、課題発見から仕掛けの着想・試作・効果測定、さらにエコシステムの設計まで、一貫通貫で支援できる体制を目指していく。

最後に、本稿の執筆にあたり、共同研究や社内連携を通じてご協力いただいた関係者の方々、ならびに執筆に助力くださった方々に心より感謝申し上げます。

- 
- 参考文献** [1] 「ナッジ・行動経済学を活用した行動促進策の設計法」, 三菱総合研究所, 2023年4月, [https://www.mri.co.jp/knowledge/column/dia6ou0000056z2g-att/3x\\_pdf\\_20230425.pdf](https://www.mri.co.jp/knowledge/column/dia6ou0000056z2g-att/3x_pdf_20230425.pdf)  
 [2] 「ポイ捨て禁止看板置いたのに 京都、翌日にはごみ散乱」, 朝日新聞（大阪）夕刊,



2017年7月8日, P8

- [3] Naohiro Matsumura, Renate Fruchter, Larry Leifer, 「Shikakeology: designing triggers for behavior change」, AI & SOCIETY, Springer, Vol.30, 2014.10, pp.419-429
- [4] 松村真宏, 「仕掛け」, 東洋経済新報社, 2016年9月
- [5] 「ナッジ戦略の策定について (日本版ナッジ・ユニット BEST)」, 環境省, 2024年6月, [https://www.env.go.jp/press/press\\_03369.html](https://www.env.go.jp/press/press_03369.html)
- [6] 「“渋谷センター街” でポイ捨て9割減、“投票型” の喫煙所で見えた可能性「吸い殻がなくなれば他のゴミも減る」」, ORICON NEWS, 2024年12月, <https://www.oricon.co.jp/special/59438/2/>
- [7] 森井大一, 松村真宏, 「真実の口を模した仕掛けによる病院来訪者の手指衛生行動への介入」, 第6回仕掛け学研究会, 2019年2月, <https://www.shikakeology.org/pdf/TBC2019010.pdf>
- [8] 「なごやまちなか実証 NAGOYA CITY LAB」, 名古屋市, <https://nagoya-city-lab.jp>
- [9] 「“仕掛け” 回遊創出プロジェクト (in Central Park・Hisaya-odori Park)」, 名古屋市, <https://nagoya-city-lab.jp/project-r6#tokai-innovation-institute>
- [10] 齊藤哲哉, 成田尚宣, 栗本英和, 「Prism ワークショップ: 「仕掛け」 の着想を支援するワークショップの設計と実践」, 第14回仕掛け学研究会, 2024年2月, <https://shikakeology.org/pdf/SIG-TBC-014-11.pdf>
- [11] 森山明宏, 「シカケ〜行動したくなるデザイン〜仕掛け学 (Shikakeology) の概要と事例」, UX Yokohama, 2016年11月, <https://www.slideshare.net/slideshow/shikakeology/68484711>
- [12] 「サントリー HD と居酒屋がコラボ——「仕掛け」 で実現した行動変容」, BIPROGY TERASU, 2025年3月, <https://terasu.biprogy.com/article/tech2025-5/>
- [13] 「Microsoft 365 向けエンタープライズサービス」, BIPROGY, <https://www.biprogy.com/solution/service/o365es.html>

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は, 2025年11月7日時点での存在を確認

#### 執筆者紹介 森本 紗矢香 (Sayaka Morimoto)

2016年日本ユニシス(株)入社。総合技術研究所にて対話エージェント研究や日本語校正の学術調査に従事。2020年は社会課題解決に向けた事業構想に携わり, 2021年以降は同研究所にてプロモーション活動を担う。2024年にBIPROGYシカケラボへ参画し, 仕掛け学の社会実装に向けた活動を展開している。



#### 齊藤 哲哉 (Tetsuya Saito)

2008年12月ユニアデックス(株)中途入社。2013年4月未来サービス研究所でコミュニケーションロボットの利活用に関する研究開発に従事。2018年10月BIPROGY(株)総合技術研究所へ出向し, 仕掛け学に関する研究開発を開始。2024年5月仕掛け学の社会実装に向けてBIPROGYシカケラボを設立。総合技術研究所プロモーションチームのリーダーとしてプロモーション活動や研究営業にも従事。2025年4月BIPROGY(株)転籍。誰もが楽しく社会課題を解決できる世の中の実現を目指している。



## 社会課題解決を目指した下水処理施設のデータ分析アプローチ

### Data Analysis Approaches for Wastewater Treatment Facilities Aimed at Solving Social Issues

天 早 健 太, 福 本 真 也

**要 約** X市では下水処理工程で発生した消化ガスを発電に利用している。発電量を増加させるため、消化ガスの発生量の増加を目指しているが、消化ガスの発生原料となる生汚泥の流入量が減少しているという課題を有している。

今回、この課題についてオープンデータを用いて要因分析を行った。明確な要因の特定には至らなかったが、汚泥中に含まれる有機物の割合については「PT（最初沈殿池）流入量」と「気温」と関係があることが示唆された。合わせて、消化ガスの発生量の予測モデルを構築し、発生量に影響を及ぼす因子についても調査した。結果として、「平均気温」と、汚泥の引き抜き量に含まれる有機物の割合を表す「有機分（生）」が消化ガスの発生量に影響を及ぼす因子である可能性が示された。今回はオープンデータを用いて調査を行ったが、より詳細かつ精度の高い分析を進めるためには、分析目的に合致した質の高いデータの確保が重要となる。そのためには、有償のデータや、国や市と連携した独自のデータの継続的な収集も選択肢となる。

将来的にはX市の職員が自らデータ分析を行えるように、分析手法の確立や必要なデータ整備の実現のため、今後も本取り組みを続けていく。

**Abstract** In City X, digester gas generated during the sewage treatment process is utilized for power generation. To increase electricity output, the city aims to enhance digester gas production; however, a key challenge has emerged: the inflow volume of raw sludge, which serves as the primary feedstock for digester gas, is declining. This study investigates this issue through factor analysis using publicly available data. Although no definitive cause was identified, the analysis suggests a potential relationship between the organic content of sludge and both the inflow volume of primary settling tanks (PT) water and ambient temperature. Furthermore, a predictive model for digester gas generation was developed, and factors influencing gas production were examined. The results indicate that average temperature and the organic fraction of extracted sludge ("organic content (raw)") may significantly affect digester gas output. While this analysis relied on open data, securing high-quality datasets aligned with analytical objectives will be essential for more accurate and detailed studies. Options include acquiring paid data or continuously collecting proprietary data in collaboration with national or municipal authorities. Looking ahead, this initiative will continue with the goal of establishing analytical methodologies and organizing the necessary data infrastructure to enable City X personnel to conduct data analysis independently.

#### 1. は じ め に

X市はデジタルトランスフォーメーション（以下、「DX」）の推進を目指して、下水処理施設の多様なデータを分析・活用することで、施設運営の高度化ならびに職員の負担軽減のため

の作業効率化を図る施策を検討している。これらの施策を踏まえて、X市とユニアデックス株式会社は、これまで個人の知見や経験の下で行われていた業務を高度化・効率化することを目的に、下水処理施設から得られるデータ活用の有用性を実証する共同研究を実施している。

X市は2024年度から、下水処理工程で発生したメタン約60%を含む消化ガスを精製し、発電<sup>[1]</sup>に利用している。発電量の増加のためには消化ガスの発生量を増加させなければならないが、消化ガスの発生原料となる生汚泥において「流入する生汚泥が減少傾向にある」という課題を有していた。

今回、データを活用してX市の下水処理場に流入する生汚泥の減少傾向の要因について調査した。調査範囲は、処理場ごとに計測されるデータが異なる可能性を考慮し、調査対象の下水処理場が管理する区域に限定した。また、調査期間の都合上、使用するデータは一般に公開されている無償のオープンデータと下水処理場の計測データのみとした。

本稿では、今回実施した要因分析の手法とその結果について紹介する。まず、2章で一般的な下水処理のプロセスおよび国内の資源活用の取り組みについて説明する。3章で今回行った分析アプローチの内容について、4章で分析結果について説明し、5章で分析結果から見られる傾向と今後の取り組みにおける改善点について考察する。

## 2. 下水処理施設の取り組み

一般的な下水処理の流れ<sup>[2]</sup>としては、まず「沈砂池」で流入してきた下水中の砂や大きなゴミなどを沈ませて取り除いた後、沈砂池で取り除けなかった細かい汚れを「最初沈殿池」で沈ませ、「反応タンク」でバクテリアなどの微生物を活用して汚れを分解する。処理された下水については、一部は再利用され、残りは河川や海に放流されている。

以降、2.1節では燃料として利用する消化ガスが発生するまでの下水処理プロセスについて、2.2節では国内の下水道局における資源活用の取り組み事例について説明する。

### 2.1 下水処理施設のフロー

下水処理場で行われている下水処理プロセスのイメージを図1に示す。

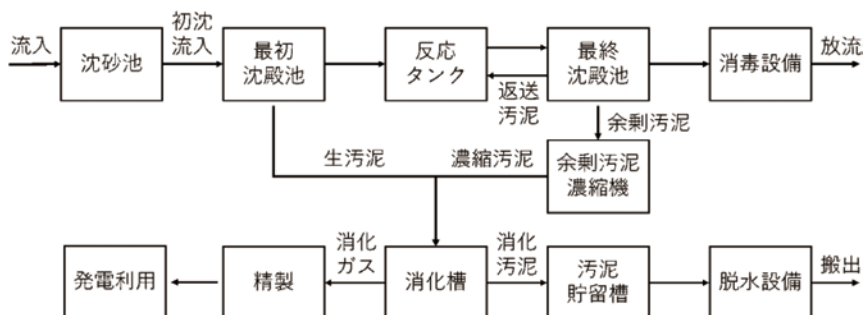


図1 下水処理場のプロセスイメージ

下水処理場に集められた下水は、まず「沈砂池」に流入し、大きなゴミや砂が取り除かれる。その後、「最初沈殿池」で固形物（生汚泥）を沈殿させ、「反応タンク」で活性汚泥が加えられ、下水中の汚れが分解される。活性汚泥は下水中の汚れを分解してきれいにする役割を担う微生物

物の集まりである。「最終沈殿池」ではこの活性汚泥の固まりを沈殿させ処理水と汚泥に分離し、一部の汚泥は反応タンクに返送し、残りは余剰汚泥として余剰汚泥濃縮機に送られる。最終的に処理水は「消毒設備」で消毒され、川や海に放流される。

上記の処理過程で生じた生汚泥や濃縮処理された汚泥は消化槽に送られ、メタン発酵することで消化汚泥として安定化する。消化汚泥は汚泥貯留槽を経た後、脱水処理され焼却や再利用のため場外に搬出される。なお、消化槽のメタン発酵にて発生した消化ガスは精製され不純物が除去されて、消化ガス発電の燃料として利用される。

## 2.2 国内の下水道局における資源活用の取り組み事例と課題

国内の資源活用の取り組みとしては、下水処理後に排出される汚泥を焼却や埋め立てで処理することが主流であったが、下水汚泥を資源として再利用することが環境負荷の軽減やコスト削減に繋がると注目を集めている。

下水汚泥の資源活用の例<sup>[3]</sup>として、「エネルギー」、「緑地・農地」、「建築資材」への利用がある。「エネルギー」への資源活用では、下水の汚泥の有機分解などによって発生するメタンを、消化ガス発電用の燃料や自動車の燃料、さらには都市ガスそして火力発電所の石炭の代替品として利用している。「緑地・農地」への資源活用では、脱離液中からのリンをMAP（リン酸アンモニウムマグネシウムの結晶粒子）として、コンポストや乾燥汚泥を肥料として、炭化物や焼成物を土壌改良剤や園芸用土壌としてそれぞれ利用している。「建築資材」への資源活用では、下水工事の埋め戻しやセメントの原料、コンクリート、骨材、ブロック、レンガなどの原料として利用している。これらの取り組みはX市のみならず、国内の様々な下水道局で取り組まれている。しかし、消化ガスを精製させるための設備の運用コストや消化ガスが季節変動を受けやすく安定的な供給が難しい点など、汚泥の利活用には課題もあった<sup>[4][5]</sup>。

X市は「消化ガス発生量の増加」を目的として、下水処理の過程で精製される消化ガスを活用したバイオマス発電に取り組んでいる。その中で、消化ガスの発生原料である生汚泥において「流入する生汚泥が減少傾向にある」という課題を有していた。そこで、この課題の要因を明らかにし、消化ガスの安定的な取得に関する課題の解決策を見出すため、今回のデータ分析を実施した。

## 3. X市における生汚泥流入量減少の要因分析アプローチ

本章では、X市の下水処理施設における生汚泥流入量減少の要因分析について、分析アプローチと調査内容を詳述する。分析にあたり、まず、生汚泥流入量の減少という課題に対して考えられる要因と仮説を整理し、その仮説に基づき、分析に用いるデータを選定した。

3.1節では要因分析アプローチについて、3.2節では今回の調査に使用したX市の下水処理場の計測データについて、3.3節ではオープンデータの取得元サイトと調査条件について説明する。

### 3.1 課題の要因と仮説の整理

分析アプローチの検討にあたって、ロジックツリーを活用して考えられる要因と仮説の整理を実施した。

整理した結果を図2に示す。今回の「生汚泥中に含まれる有機物の減少」という問題設定に

対して要因と仮説を整理するために、環境変化と行動変容に関する切り口として、「社会環境の変化」、「地域経済の変化」、「気候変動」の三つを設定した。

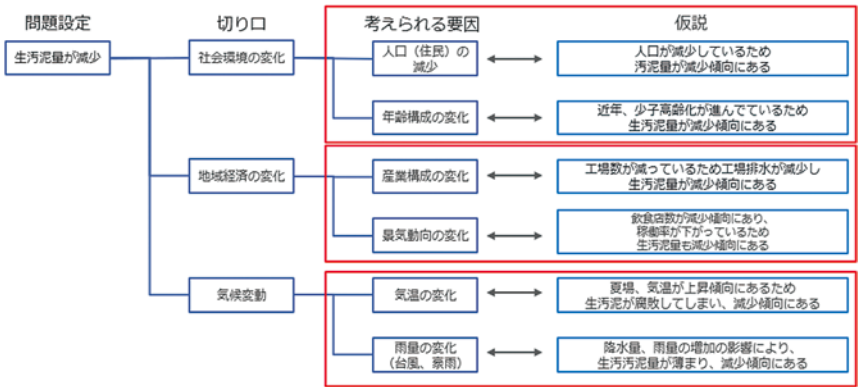


図2 要因と仮説

まず「社会環境の変化」では、少子高齢化の影響による若者の減少、高齢者の増加、対象区域の人口そのものの減少により、家庭などで排出される污水が減少し、生汚泥中に含まれる有機物が減少傾向にあるという仮説を立てた。次に「地域経済の変化」では、対象区域の工場数の減少、飲食店数の減少、各稼働率の減少により、生汚泥中に含まれる有機物が減少傾向にあるという仮説を立てた。最後に「気候変動」では、気温の上昇による影響で下水が下水処理施設に流れ着く前に、管渠内で下水中の微生物が増加し、微生物が下水中の有機物の一部を分解していることや、地球温暖化の影響により降水量が増加し、下水処理場に入ってくる汚泥中の有機物濃度が薄まっていることから、生汚泥中に含まれる有機物が減少傾向にあるという仮説を立てた。

3.2 調査に使用した計測データ

本調査に使用したデータは、X市の下水処理場の最初沈殿池から脱水設備までの処理過程の中で計測された月次の平均データである。データの期間は2002年4月から2024年3月までである。

まず、X市の下水処理場で計測されたデータの項目は以下の通りである。

[下水処理場の計測データ]

年、月、SS\_mg/L、COD\_mg/L、雨量\_mm/月、PT流入量\_m<sup>3</sup>/日、PT汚泥抽出量\_m<sup>3</sup>/日、生汚泥投入量\_m<sup>3</sup>/日、濃縮余剰汚泥量\_m<sup>3</sup>/日、ガス発生量\_m<sup>3</sup>/日、蒸発残（生）\_％、強熱残（生）\_％、有機分（生）\_％、蒸発残（余剰）\_％、強熱残（余剰）\_％、有機分（余剰）\_％、固形物量（PT流入）\_t/日、固形物量（生抽出）\_t/日、固形物量（生投入）\_t/日、固形物量（余剰投入）\_t/日、有機物量（生抽出）\_t/日、有機物量（生投入）\_t/日、有機物量（余剰投入）\_t/日

「SS\_mg/L」、「COD\_mg/L」、「雨量\_mm/月」、「PT流入量\_m<sup>3</sup>/日」、「有機分（生）\_％」、「有機物量（生抽出）\_t/日」、「固形物量（PT流入量）」、「固形物量（生抽出）」、「PT汚泥抽出量」の9項目については、最初沈殿池の処理過程の前後などで計測されたデータを示している。そ

の他のデータについては、最初沈殿池以降から消化ガスの発生処理過程の前後で計測されたデータを示している。

次に、本調査で使用した主要な項目について説明する。「PT 流入量」は、最初沈殿池 (Primary Settling Tanks) に溜まった処理される前の下水の 1 日当たりの流入量を表しており、「有機物量 (生抽出)」は最初沈殿池に沈殿した汚泥を引き抜く際の一回分の引き抜き量に含まれる有機物の量を表している。「有機分 (生)」は一回分の引き抜き量に含まれる有機物の割合を表している。

しかし、計測データには本調査の課題となる「生汚泥量」を直接示すデータは含まれていなかった。「PT 汚泥抽出量」という項目があるが、これは最初沈殿池から一定の汚泥量を調整の上、抽出した値のため、処理前の汚泥の総量である「生汚泥量」として扱うことは適切ではなかった。そこで、消化ガスの精製及び生汚泥量と関連性がある「有機物量 (生抽出)」と「有機分 (生)」を目的変数に設定した。

PT 流入量の推移と本調査の分析範囲を図 3 に示す。計測データの推移を確認したところ、2008 年 8 月ごろに PT 流入量および有機物量 (生抽出) に急激な増加傾向が確認できた。これは、2002 年 4 月から 2008 年 7 月まで、海水混入の影響を避けるため最初沈殿池の一部の流入量が制限されていたためであった。流入量の制限解除後の急激な増加傾向が調査に影響を及ぼすことを考慮し、本調査の対象範囲を、2008 年の翌年度である 2009 年 4 月から 2024 年 3 月に設定した。

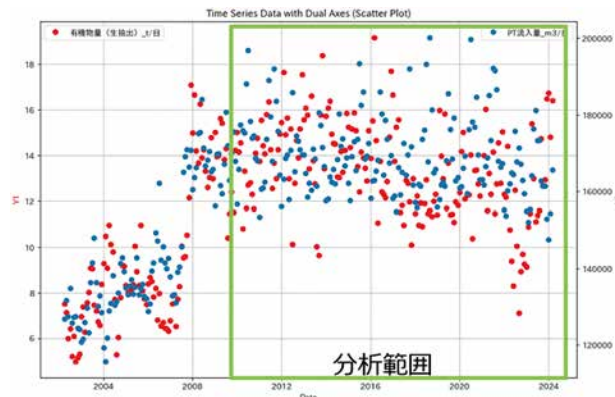


図 3 PT 流入量の推移と分析範囲

また、調査を始めるにあたり、有機物量 (生抽出) および有機分 (生) の年度の推移から、生汚泥が減少傾向にあるかを確認した。

結果を図 4 に示す。これより、1 回分の引き抜き量に含まれる有機物量は 2022 年度以降少しづつ上昇傾向にあるものの、全体で見ると 2016 年度から 2022 年度にかけて有機物量 (生抽出) と有機分 (生) のどちらも減少傾向にあったことが分かる。

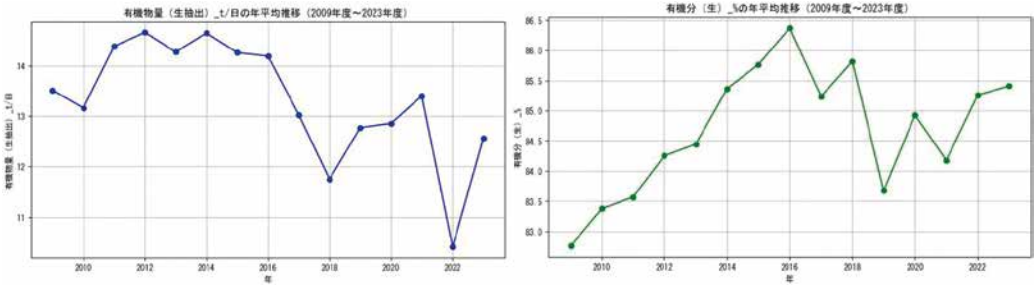


図 4 有機物量（生抽出）および有機分（生）の推移

3.3 分析に用いるオープンデータの選定

3.1 節で整理した各仮説をもとに、今回の分析に使用するオープンデータの調査を行った。調査した主なサイトを表 1 に示す。これらは「市の統計書」, 「e-stat」, 「経済産業省」, 「総務省統計局」, 「気象庁」などの市や国で実施された統計調査の結果を含むサイトである。

また、調査をする際には、以下の三つの条件をできるだけ満たすよう考慮した。

- 「X 市または対象区域のデータ」であること。
- 「2009 年 4 月から 2024 年 3 月までの月次または日次単位の連続データ」であること。
- 「エクセルまたは csv などの分析しやすいデータ形式」であること。

表 1 調査した主なサイト

No.	調査した主な Web サイト	調査対象
1	e-Stat（政府統計の総合窓口） <sup>[6]</sup>	—
2	X 市役所（X 市統計書） <sup>[7]</sup>	対象区域人口・年齢人口の推移
3	G 空間情報センター <sup>[8]</sup>	対象区域の昼間人口など
4	経済産業省（工業統計調査 <sup>[9]</sup> , 経済行動実態調査 <sup>[10]</sup> , 商業統計 <sup>[11]</sup> ）	上下水道の使用量の推移 工場の推移, 稼働率
5	総務省統計局（事業所・企業統計調査 <sup>[12]</sup> , 経済センサス活動調査） <sup>[13]</sup>	飲食店数の推移, 稼働率
6	気象庁 <sup>[14]</sup>	気温・降水量の推移
7	農林水産省（農林業センサス） <sup>[15]</sup>	農業集落排水施設数の推移
8	その他（X 市水道局 <sup>[16]</sup> , 「ホームメイト」 <sup>[17]</sup> , 「GD Freak!」 <sup>[18]</sup> ）	飲食店数の推移 上下水道の使用量の推移

表 2 は表 1 をもとにオープンデータの調査・取得結果をまとめたものである。表より、分析で使用した要件に合致するデータは、対象の市または区の「人口総数の推移」「年齢人口の推移」, 「気温・降水量の推移」のみであった。その他の「人流・昼間人口の推移」, 「上下水道の使用量の推移」, 「工場・飲食店数の推移, 稼働率」, 「農業集落排水施設数の推移」に関するデータについては、統計調査の期間が少なく長期間調査が実施されていない、または調査期間が年間ごと、2 年おき、5 年おきのようにデータの粒度が異なる、もしくは対象の市や区域のデータがないなどの理由で、今回は調査対象外とした。



表2 オープンデータの調査結果

No.	オープンデータ	取得有無
1	人口・年齢人口の推移	○
2	気温・降水量の推移	○
3	人流・昼間人口	×
4	上下水道の使用量の推移	×
5	工場・飲食店数の推移, 稼働率	×
6	農業集落排水施設数の推移	×

次に、本調査で使用するデータについてまとめる。使用するデータは、2009年4月から2024年3月の期間における、以下の月次の平均データである。

- X市の下水処理の計測データ
- X市の地方気象台の気温・降水量のデータ
- 対象区域の住民基本台帳の人口総数、年齢人口数のデータ

各データについて説明する。「X市の下水処理の計測データ」については、3.2節で記述した下水処理場の計測データと同様のデータである。「X市の地方気象台の気温・降水量のデータ」については、「平均気温」、「最高気温」、「最低気温」、「降水量」、「日照時間」、「降雪量」、「平均湿度」などのデータである。「対象区域の住民基本台帳の人口総数、年齢人口数のデータ」については、「人口総数」、「5歳階級ごとの人口数」、「各5階級の年齢人口の割合」などのデータである。ただし、「5歳階級ごとの人口数」のデータは分析するには粒度が小さ過ぎたため、年齢人口を「15歳未満の人口数（年少人口）」、「15歳以上65歳未満の人口数（生産年齢人口）」、「65歳以上の人口数（老年人口）」の3階級になるようデータクレンジングを実施した。

#### 4. 分析結果

3.3節で説明したデータを活用し、生汚泥中に含まれる有機物の減少の要因について分析を行った。分析をする際には、生汚泥が最初沈殿池に沈殿した際の一回分の引き抜き量に含まれる有機物の量を示す「有機物量（生抽出）」と有機物の割合を示す「有機分（生）」を目的変数とした。合わせて、今回取得したオープンデータを用いて今後の消化ガスの発生量を予測するモデルを試験的に構築し、消化ガスの発生量に影響を受けている因子があるかを調査した。

4.1節で目的変数とオープンデータとの要因分析の結果について、4.2節で将来の消化ガス発生量の予測分析結果について説明する。

##### 4.1 目的変数とオープンデータとの要因分析

取得したオープンデータと目的変数である「有機物量（生抽出）」および「有機分（生）」について、各変数の相関の傾向を確認するために相関係数を求めた。

相関係数の目安について図5に示す。一般的に、絶対値の値が1に近いほど相関があるとされており、相関係数の値が0.5以上の場合は正の相関の傾向、相関係数の値が-0.5以下であれば負の相関の傾向があるとされている。





め生汚泥が腐敗し減少傾向にある」こと、つまり図2で示した「気温の上昇による影響で下水が下水処理施設に流れ着く前に、管渠内で下水中の微生物が増加し、微生物が下水中の有機物の一部を分解している」ために有機物の割合が減少傾向にある、という仮説が正しいことを示唆している。

また、有機分（生）については、降水量とは相関が見られず、PT 流入量と相関があった。このことから、最初沈殿池に入ってくる流入量の内、降水量以外の各家庭の上水の使用量などが影響していることが考えられる。加えて、生汚泥中に含まれる有機物量と対象区域の人口に相関の傾向はなかったが、下水処理場に流れてくる汚水は家庭のみから排出されているわけではないため、より動的な人流などのデータを利用して分析することで、汚泥中に含まれる有機物と人口との関係性が見えてくる可能性もある。

さらに、相関分析をした結果を参考に有機分（生）を予測するモデルを構築し、モデルに対して各因子がどのくらい影響を与えているのかを調査した。モデルについては、重回帰モデルの Lasso 回帰を使用した。

精度評価の結果を表3に示す。モデルの精度を評価する上で利用した評価指標は「決定係数 ( $R^2$ )」、「平均二乗誤差 (MSE)」、「平方根平均二乗誤差 (RMSE)」の三つである。

No.1 の決定係数は、回帰分析のモデルにおいてどれだけデータを説明できているかを示す指標である。1に近いほど精度が高いとされており、目安として0.5以上であれば精度が良いと言える。No.2 の平均二乗誤差は、予測値と実測値の差（誤差）を二乗して平均した指標である。誤差を二乗するため、誤差が大きい場合は実際の誤差よりさらに大きな値を取る。No.3 の平方根平均二乗誤差は、No.2 の平均二乗誤差に平方根を加えた指標である。誤差の単位が元のデータの値と同じになることが特徴である。No.2, 3 は実測値と予測値の誤差を示す指標であり、0に近いほど誤差が少なく精度が良いモデルとされる。

今回作成したモデルについては、No.1 の決定係数の精度は0.5に届かなかったが、No.3 の平方根平均二乗誤差の値は1.3と小さく、精度が良いモデルと言える。

表3 有機分（生）予測モデルの精度評価の結果

No.	評価指標	精度結果
1	決定係数 ( $R^2$ )	0.414977
2	平均二乗誤差 (MSE)	1.934820
3	平方根平均二乗誤差 (RMSE)	1.376245

次に、今回作成したモデルについて、ある特徴量がどれだけモデルの予測精度の向上に寄与しているのかを確認するため、特徴量重要度を算出した。特徴量重要度の結果を図8に示す。使用したデータは月次平均のデータであり、使用する変数も限られていたものの、「気温」と「PT 流入量」が上位にあることから、この二つが有機物の割合と関係性があることが改めて示唆された。

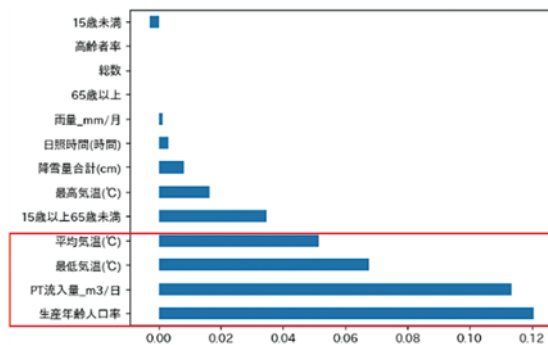


図8 有機分（生）予測モデルの特徴量重要度

#### 4.2 オープンデータを活用した消化ガス発生量の予測分析

有機物の減少の要因分析に加えて、今回調査したオープンデータなどを活用して、試験的に3年後、5年後、10年後の消化ガスの発生量を予測するモデルを構築した。消化ガスは、生汚泥以外に汚水の汚れを分解する過程で発生する「余剰汚泥」や地域バイオマスを、消化タンクに投入し発酵させることで精製される。生汚泥以外にも影響のある因子が存在する可能性が考えられるため、改めて消化ガス発生量と影響のある因子について調査を行った。

調査をするにあたって、X市が職員のデータ活用による業務効率化を目指していたことも考慮して、試験的に生成 AI サービスの「Azure AI Agent Service<sup>[19]</sup>（以下、「AI Agent」）」を用いて分析を行った。AI Agent はユーザーが実現したい目標を自然言語で設定し指示することで、AI が自動でタスクを考え実行することができるプログラムである。

消化ガスの発生量の予測モデルを構築する際には、「SARIMAX」と呼ばれる統計モデルを使用した。SARIMAX は、目的変数の周期性や季節性に加えて、外部要因を考慮して時系列データを予測することができる統計モデルである。分析期間は3.2節で説明した調査範囲と同じく、2009年4月から2024年3月までの期間である。データも要因分析に用いたものと同じデータを使用した。

また、2012年4月から2021年3月までの期間には、X市の取り組み<sup>[1]</sup>の一環として、木質系（グリーン）と食品製造系（スイーツ）の下水道に好適な地域バイオマスの受け入れを行い、受け入れたバイオマスを消化タンクに直接投入し、消化ガスの発生量を増加させる試みが行われていた。本件を踏まえて、一定期間の消化ガス発生量の人為的な増加を考慮し、グリーン、スイーツの月次の投入量のデータも含めて分析した。

まず、消化ガス発生量とその他の変数に対して、相関係数を算出し相関があるか確認した。消化ガス発生量と相関係数の算出結果について図9に示す。消化ガス発生量と相関係数の絶対値が0.5以上であった項目は「有機分（生）」、「平均気温」、「最高気温」、「最低気温」、「15歳未満の人口」、「スイーツ投入量」であった。そのうち、多重共線性を考慮して、「有機分（生）」、「平均気温」、「15歳未満の人口」、「スイーツ投入量」の四項目を説明変数として使用した。



図9 消化ガス発生量の相関係数

消化ガス発生量の予測モデルの精度評価の結果は、MAE（平均絶対誤差）が479.53、RMSE（二乗平均平方根誤差）が778.46であった。予測結果をプロットした結果を図10、図11に示す。

図10のグラフは縦軸が消化ガスの発生量を表し、横軸が日付を表している、実線が消化ガスの発生量の実測値を指し、点線が予測モデルの予測値を指している。

今回のモデルにおけるAI Agentの自動予測では、消化ガスの発生量は規則的に徐々に減少する傾向にあるとされた。また、平均気温と有機分（生）が影響を及ぼす因子だと判断された。

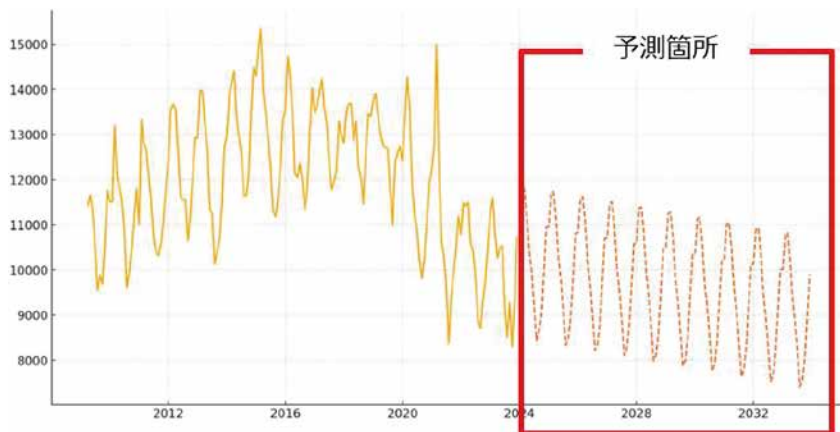


図10 AI Agent が作成した時系列データの予測グラフ



図11 AI Agent が求めた予測モデルの特徴量

## 5. 分析結果の考察と今後の課題・展望

本調査では、生汚泥に含まれる有機物の減少傾向の要因を明らかにするために、一般に公開されているオープンデータを用いて生汚泥に含まれる有機物量または有機物の割合に着目

し、減少傾向の要因について分析を行った。

まず、流入する生汚泥に含まれる有機物の量とオープンデータについて相関分析をした結果、明確な要因の特定には至らなかったが、最初沈殿池に沈殿した汚泥を引き抜く際の1回分の引き抜き量に含まれる有機物の割合を指す「有機分（生）」については「PT 流入量」と「気温」それぞれに負の相関の傾向があることが示唆された。

分析前には「降水量、雨量の増加の影響により生汚泥量が薄まり、生汚泥中に含まれる有機物が減少傾向にある」という仮説を立てていたが、降水量などには相関の傾向がなく、PT 流入量に相関の傾向があった。このことから、最初沈殿池に入ってくる流入量の内、降水量・雨量以外の各家庭の上水の使用量や工業排水や、商業施設などから排出される使用済みの水が、生汚泥中に含まれる有機物に影響を与えている可能性などが考えられる。

また、対象区域の人口については、生汚泥中に含まれる有機物量と相関の傾向はなかったが、下水処理場に排出される汚水には各家庭で使用する水だけでなく、対象区域以外の人も訪れる商業施設や工場からの水なども含まれる。そのため、対象区域の人口に限らず、より動的な対象区域の人流などのデータを用いて分析すべきであると考えられる。

さらに、AI Agent を活用し試験的にガス発生量と関係のある因子について分析した結果については、今回のモデルでは「平均気温」と「有機分（生）」が消化ガスの発生量に影響を及ぼす因子である可能性が示された。これは汚泥中に含まれる有機物の割合が消化ガスの発生量に影響を与えており、汚泥中に含まれる有機物の割合が高いほど消化ガスが発生しやすいことを示唆している。

今回の調査では、AI Agent の活用によりユーザーが実現したいことを自然言語で指示することで、データのクレンジングからモデルの構築・予測結果の出力に加えて、追加質問に応じて特徴量の出力、精度評価の指標の値を提示することができた。簡易的な分析については数分で結果が出るため、ツールとしての実用性・有用性は高い。しかし、デフォルトで使用できる予測モデルに制限があり、一部のモデルしか使用できないなどの課題もあった。また、複雑な指示であればあるほど、生成される分析工程や最終結果が指示するたびに異なってしまうことがあった。現状では、機械学習の分析などに生成 AI を使用する場合は、プロンプトの設定内容や出力内容について精査し、使用する場面についても考慮すべきと考えられる。

最後に、今回要因の特定に至らなかった原因について考察する。原因の一つとしては「データ取得」が考えられる。課題に関する仮説を立てたものの、無償で利用できるオープンデータは住民基本台帳に含まれる「人口」に関するデータと気象庁の「気温」、「降水量」などに関するデータのみであった。市や国で実施された統計調査や国勢調査のサイトなどを中心に調査したものの、「人流」や「産業構成の変化」、「景気動向」に関するデータについては「調査期間が短い」、「5年おきのデータしかない」、「分析に必要となるデータの粒度が異なる」、「対象のデータがない」などの理由で、全ての仮説に対して分析することができなかった。

今回はオープンデータを用いて調査を行ったが、より詳細かつ精度の高い分析を進めるためには、分析目的に合致した質の高いデータの確保が重要となる。そのためには、有償のデータや、国や市と連携した独自のデータの継続的な収集が必要であると考えられる。継続的なデータ収集を行った上で、統計分析および予測モデルを検討すべきである。

## 6. お わ り に

本調査では一般に公開されているオープンデータを用いて「生汚泥中に含まれる有機物の減少傾向の要因分析」および「AI Agent を活用した消化ガス発生量と関係のある因子の調査」を行った。結果としては、流入する生汚泥の減少要因の特定には至らなかったが、「PT 流入量」と「気温」が汚泥中に含まれる有機物の割合と関係があることが示唆された。

オープンデータを活用して要因分析に取り組んだ所感としては、適切なデータを確保することの重要性を強く感じた。今回の「生汚泥量の減少傾向」の要因分析で使用したデータは、市や国などで実施されている統計調査のデータがほとんどであった。こういった統計調査は、2009 年度から継続的に毎年行われているものは少なく、多くは数年おきに実施されていた。そのため、統計調査などのオープンデータのみでは適切な期間や粒度のデータが不足しており、詳細に分析するには限界があった。より詳細かつ精度の高い分析を進めるためには、分析目的に合致した質の高いデータの確保が重要となる。そのためには、国や市と連携した独自のデータの継続的な収集が求められる。

また、「生汚泥中に含まれる有機物の減少傾向の要因分析」および「AI Agent を活用した消化ガス発生量と関係のある因子の調査」について、予測モデルの精査までには至らなかったため、今後の検討の必要性を感じている。

将来的には X 市の職員が自らデータ分析を行えるように、分析手法の確立や必要なデータ整備の実現のため、今後も本取り組みを続けていく。

最後に、本稿を執筆するにあたり多大なるご指導、ご支援をいただいた皆様に厚くお礼を申し上げます。

- 
- 参考文献** [1] 阪口浩一 他, 現地レポート 神戸市下水道における資源・エネルギー回収の取り組み, 土木技術資料 = Civil engineering journal: 土木技術の総合情報誌, 土木研究センター, 2014 年 5 月, 38-41
- [2] 「下水処理の仕組み」, 公益社団法人日本下水道協会 JSWA, <https://www.jswa.jp/sewage/operation-public/>
- [3] 「下水汚泥のリサイクル」, 公益社団法人日本下水道協会 JSWA, <https://www.jswa.jp/recycle/>
- [4] 「消化プロセス導入に伴うメリット・デメリット」, 公益社団法人日本下水道協会 JSWA, [https://www.jswa.jp/wp2/wp-content/uploads/pdf/digestion\\_process\\_merit\\_demerit.pdf](https://www.jswa.jp/wp2/wp-content/uploads/pdf/digestion_process_merit_demerit.pdf)
- [5] 岡安祐司 他, 消化ガスの効率的運用に関する基礎的研究, 土木研究所, 成果報告書, 2023 年 3 月, 1-15
- [6] 「政府統計の総合窓口」, e-Stat, <https://www.e-stat.go.jp/>
- [7] 「神戸市統計書 - 住民基本台帳年齢 5 歳階級, 男女, 区別人口」, 神戸市市役所, 2025 年 7 月, <https://www.city.kobe.lg.jp/a47946/shise/toke/toukei/toukeisho/kobetoukeisho.html#jinnkou3>
- [8] 「全国の人流オープンデータ (1km メッシュ, 市区町村単位発地別)」, 一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会, 2024 年 10 月 5 日, <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/mlit-1km-fromto>
- [9] 「工業統計調査」, 経済産業省, <https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/>
- [10] 「経済構造実態調査」, 経済産業省, <https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kkj/index.html>

- [11] 「商業統計」, 経済産業省,  
<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/syougyo/index.html>
- [12] 「平成 18 年事業所・企業統計調査」, 総務省統計局,  
<https://www.stat.go.jp/data/jigyoku/2006/index.html>
- [13] 「令和 3 年経済センサス-活動調査」, 総務省統計局,  
<https://www.stat.go.jp/data/e-census/2021/index.html>
- [14] 「過去の気象データ検索」, 気象庁,  
<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>
- [15] 「農林業センサス」, 農林水産省,  
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/index.html>
- [16] 「神戸市水道局」, 神戸市水道局,  
<https://kobe-wb.jp/>
- [17] 「神戸市の市場調査データ/ホームメイト」, 東建コーポレーション株式会社,  
<https://www.homemate.co.jp/research/pr-hyogo/kobe-city/>
- [18] 「グラフで見る!神戸市の住民 1 人当たり個人所得」, 株式会社アクシスリサーチ研究所,  
<https://jp.gdfreak.com/public/detail/jp010050005010128100/1>
- [19] 「Azure AI Foundry のドキュメント」, Microsoft Corporation,  
<https://learn.microsoft.com/ja-jp/azure/ai-services/agents/>

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は, 2025 年 11 月 12 日時点での存在を確認

#### 執筆者紹介 天 早 健 太 (Kenta Amahaya)

2021 年ユニアデックス(株)に中途入社。AI チャットボットの社内外導入・運用支援, AI ナレッジサービスの機能開発・導入支援に取り組む。また, 2024 年度から下水道関連のデータ利活用業務に参画。



#### 福 本 真 也 (Masaya Fukumoto)

2024 年ユニアデックス(株)入社。技術戦略部にて AI チャットボットの導入・運用支援, 生成 AI を活用した CoE サービスの社内導入, 運用支援に取り組む。



## DIVP コンソーシアムが主導するデジタルコモンズ

### The Digital Commons Driven by DIVP Consortium

木 村 聡 輔

**要 約** BIPROGY は DIVP シミュレータの技術で、自動運転実現のためのデジタルコモンズ構築に取り組んでいる。DIVP シミュレータは BIPROGY が長年培ってきた CG 技術の上に成り立っており、日本有数の企業が集うビジネスエコシステムの中でも、主要な立ち位置を確保している。多数のステークホルダーが関与するエコシステムを機能させるためには、従来の SIer の枠にとらわれない活動が求められる。自動運転の実現に向けてはシミュレーションの活用が不可欠であり、さらに、米中の先行事例に追いつき、追い越すためには、日系 OEM 間の協調が鍵となる。DIVP コンソーシアムは産学官連携によるビジネスエコシステムの中核を担っており、DIVP シミュレータは OEM 各社が安全性評価に活用する共通プラットフォームとなることを目指している。また、DIVP コンソーシアムは国際標準化活動にも力を入れている。自動車関連の国際標準化団体 ASAM における活動では、自動車関連企業によるビジネスエコシステムが自然に機能している。本稿では、こうした活動をデジタルコモンズの好例として紹介する。

**Abstract** BIPROGY is working to create the digital commons of automated driving using a technology called the DIVP simulator. The DIVP simulator is based on the CG technology that BIPROGY has cultivated over many years, and as a result, it has secured a key position in the business ecosystem among Japan's leading companies. In order to make an ecosystem function, where many stakeholders are involved, activities that go beyond the conventional framework of a system integrator are required. The use of simulations is essential to realizing automated driving, and cooperation among Japanese OEMs will be required to catch up with and surpass the leading US and Chinese companies. The DIVP Consortium is at the core of a business ecosystem that brings together industry, academia, and government, and aims to make the DIVP simulator a platform used by OEMs for safety validations. The DIVP Consortium is also focusing on international standardization activities. The activities of ASAM, an international automotive standardization organization, feature a naturally functioning business ecosystem of automotive-related companies, which serves as a good example of a digital commons initiative.

### 1. は じ め に

筆者は 2022 年 4 月より、BIPROGY 株式会社（以下、BIPROGY）で DIVP<sup>®</sup>（Driving Intelligence Validation Platform）の活動に携わっている。DIVP は、2018 年内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（以下、SIP）第 2 期「自動運転（システムとサービスの拡張）」の一环として始まった取り組みである<sup>[1]</sup>。

SIP の成果を受け、BIPROGY は 2022 年 7 月に V-Drive Technologies 株式会社を設立し、DIVP シミュレータの販売を開始した。自動運転車両の安全性評価という社会課題を解決するため、現在も精力的に活動している。DIVP での取り組みは、デジタル技術を活用して自動運



転の実現という社会的価値の創出を目指すものであり、デジタルコモンズの好例である。

本稿では、自動運転の現状に触れながら、これまでの活動内容を紹介する。まず2章で、自動運転で社会課題を解決するためにはシミュレーションの活用が不可欠であること、3章で、デジタルツインやシミュレーションがDXにとって重要な技術であることを述べる。4章では、自動運転サービスの実装で先行する米中と、安全性の確保を重視する日本の状況に触れる。5章では、DIVP コンソーシアムや DIVP シミュレータについて説明し、6章では BIPROGY の CG 技術、7章では DIVP コンソーシアムの中での BIPROGY の役割、8章では国際標準化に関する活動について述べる。

なお、本稿では、研究を推進するコンソーシアムと商品としてのシミュレータの両方に「DIVP」という名称を用いている。活動全体を指す場合は「DIVP」、コンソーシアムを指す場合は「DIVP コンソーシアム」、シミュレータを指す場合は「DIVP シミュレータ」と記述する。

## 2. 社会課題を解決するための自動運転

現在、わが国では人口減少や高齢化の進行に伴い、地域の交通手段である公共交通や物流の維持に深刻な課題が生じており、これらの解決は喫緊の社会的要請となっている。また、自動車が登場して以来、交通事故の削減は継続的な社会課題であり、国土交通省は自動運転をこれらの課題解決に資する技術と位置付けている<sup>[2]</sup>。さらに、自動運転の実現は、交通渋滞と環境問題の緩和、交通の効率化と移動の自由化、緊急・災害時の対応、視覚障がい者や運転が困難な人々の移動支援など、多方面にわたる社会的便益をもたらす可能性がある。

このように自動運転に対する期待は高いものの、現状ではその開発や普及は思うように進んでいない。本章では自動運転が抱える課題と、それらの課題解決におけるシミュレーションの意義について述べる。

### 2.1 自動運転が抱える課題

自動運転の実現に向けては技術的な課題に加え、法的・制度的課題、社会的・倫理的課題、さらにはビジネスとして実現するための採算性など、様々な障壁が存在する。以下に、それらを整理する。

技術的課題としては、センサーの精度および信頼性の確保、ならびに認識・判断アルゴリズムの高度化などがあげられる。法的・制度的課題としては、事故責任の所在の明確化をはじめとする法制度の整備が求められる。また、自動運転車の認証制度、テスト基準、運用ルールの明確化などが不可欠であり、これらの精度や基準を国際的に調和させることも重要である。社会的・倫理的課題としては、社会的受容性の確保が大きな課題であり、さらに、いわゆる「トロッコ問題<sup>\*1</sup>」のような緊急時の対応に対する社会的コンセンサスの形成も必要である。また、職業運転手の雇用への影響にも配慮が求められる。

その他の課題としては、自動運転車両の開発・製造にかかるコストの大きさ、自動運転車両の仕組みに応じたインフラの整備などの進展、サイバー攻撃や盗難への対策などが挙げられる<sup>[3][4]</sup>。

これらの課題を解決するためには、デジタルテクノロジーの活用が不可欠であり、ADS（自動運転システム）および ADAS（先進運転支援システム）（以下、ADS/ADAS という）の開発プロセスにおいても、その利用が広がっている。一方で、急速な技術の進展に伴って開発項

目が増大し、試験などの工数が開発現場にとって大きな負担となっている。

このような状況において、開発工数を大幅に削減するためには、これまでの実車試験をシミュレーションに置き換えることが有効である。既に、新たな機能をシミュレーションなしで開発することは、現実的ではなくなりつつある。

## 2.2 自動運転におけるシミュレーションの意義

ADS/ADASの開発においてシミュレーションを活用することで、実環境では不可能・非効率的なテストを可能にし、安全性を科学的に証明しつつ、開発を加速することができる。主な内容を表1に示す。

表1 シミュレーション活用の意義

観 点	シミュレーションを使わない場合	シミュレーションを活用する場合	意 義
安全性	危険なシナリオ（飛び出し、衝突回避など）の実験が難しい	危険シナリオを安全に再現・検証できる	危険事象を安全に網羅できる
テスト範囲	限られた道路・天候条件のみ	世界中の道路や気象、交通状況を再現できる	テストの網羅性を飛躍的に向上できる
コスト	実車や試験場の利用コストが高い	仮想環境を用いて大規模・低コストで検証できる	開発コストを削減できる
スピード	実験準備・走行に時間がかかる	数百万ケースを短時間で自動実行できる	開発サイクルを加速できる
統計的検証	膨大な実走行距離が必要（数億 km 規模）	シナリオ生成により短期間で統計的裏付けを取得できる	安全性を科学的に証明できる
開発段階での検証	実車やプロトタイプが完成してから本格テスト	ソフトウェア段階からテストできる（SIL/HIL）	早期に問題を発見し修正できる
社会的説明責任	実証データが限られるため説明が難しい	膨大なシナリオ検証の記録を可視化できる	規制・社会への説得力を向上できる

## 3. DX としてのデジタルツイン/シミュレーション

デジタルツインは、DX（デジタル技術を活用して、ビジネスモデルや業務プロセスを根本的に変革すること）を実現・加速させるための重要な技術の一つである。デジタル技術を活用して社会的価値と経済的価値を創出するというデジタルコモンズの観点から見ても、多くのビジネスの可能性を秘めている。

### 3.1 デジタルマップの構築

DIVP は自動運転にターゲットを絞っているため、本稿ではあまり踏み込まないが、デジタルマップを構築する取り組みには、SIP 自動走行システムを実現するための高精度3次元地図データを開発する目的で設立されたダイナミックマッププラットフォーム株式会社<sup>[5]</sup>の活動や、国土交通省が推進する日本全国の都市デジタルツイン実現プロジェクト PLATEAU<sup>[6]</sup>などがある。地図の作成に多大なコストがかかるため、いずれも思うように広がっていないのが現状ではあるが、その可能性は大きく、多くのビジネスの可能性を秘めている。

### 3.2 デジタルツインの可能性

デジタルツインを活用することで、モニタリング、シミュレーション、予知保全・異常検知など、様々な機能が実現できるようになる。これらの機能は、意思決定の支援、持続可能性の追求や環境対策、さらにはトレーニングや教育など、幅広い分野で活用されている。

具体的には、以下のような分野での活用が挙げられる。

- 1) モビリティ分野：MaaS や自動運転による移動の活発化・円滑化
- 2) セキュリティ分野：災害予測やサイバーセキュリティ強化による安全なまちづくりの推進
- 3) 経済分野：地域通貨やキャッシュレス化による地域経済の活性化
- 4) 環境・エネルギー分野：再生可能エネルギー普及促進やエネルギー取引プラットフォームによる環境負荷の軽減
- 5) 行政・教育分野：行政手続きや教育のデジタル化による住民サービスの質向上
- 6) 生活・ヘルスケア分野：見守り、遠隔医療、バリアフリー化による住みよいまちづくりの推進

このような観点から見ると、自動運転シミュレーションはデジタルツインを活用したビジネスの一事例である。BIPROGY が推進するデジタルコモンズの取り組みにおいても、こうした視点からのビジネスモデルの探索は有効であり、実際に BIPROGY 社内には同様の取り組みを進めている部署も存在する。

## 4. 自動車産業における協調と競争

自動運転は米国と中国が先行しており、日本や欧州は対応が遅れているのが現状である。このような状況に至った背景としては、技術や安全性に関する考え方の違いや既存の OEM との関係など、様々な要因が考えられる。日本勢としては、こうした遅れを取り戻すべくキャッチアップすることが急務である。そのため、国家予算によるプロジェクトを活用し、OEM 間の協調を促すとともに、DIVP シミュレータの活用を推進している。

### 4.1 自動運転をめぐる国際的な競争環境

自動運転車両の走行距離やサービス展開で先行している米国と中国の状況について述べる。

#### 4.1.1 米国勢

自動運転車両の走行距離ランキングは、2022 年の段階で Waymo が 232 万マイル (374 万 km) の 1 位で群を抜いており、Cruise が 87 万マイル (140 万 km) でそれに続き、3 位には中国の Pony.ai が入っている。日本勢はトヨタが 14 位 (1 万マイル：2 万 km)、日産が 23 位 (500 マイル：800km) に登場する、という状況である<sup>[7]</sup>。

その後も Waymo は着実に走行距離を伸ばし、日本進出の準備も進めている<sup>[8]</sup>。さらに、テスラは日本でも自動運転のテストを開始した<sup>[9]</sup>。

#### 4.1.2 中国勢

WeRide は 6 か国 (サウジアラビア、中国、アラブ首長国連邦、シンガポール、フランス、

米国)で自動運転ライセンスを取得して、積極的に海外展開を進めている<sup>[10]</sup>。

百度(Baidu)傘下のApollo Goは、ドバイ、アブダビ、スイス、トルコでサービス準備中である<sup>[11][12]</sup>。百度は、米国企業と積極的に提携する戦略を展開しており、欧州への進出にはリフトと提携し<sup>[13]</sup>、アジア中東ではウーバーと提携している<sup>[14]</sup>。さらに、Pony.ai(小馬智行)は、アメリカ、中国、韓国、ルクセンブルクでレベル4の許可を取得した<sup>[15]</sup>。これらはいずれも本稿執筆時点の情報であり、日々、新たなニュースが入ってきている。

#### 4.2 日本勢としての協調領域

自動運転車両によるサービス展開の観点でも、日本は米国や中国に比べて出遅れており、OEM各社個別の努力ではキャッチアップが困難な状況になりつつある。日本勢としては、協力体制を構築して巻き返しを図っていかねばならない。

テレマティクスデータ<sup>\*2</sup>の分析などから、自動運転車が遭遇する危険事象は、走行距離を増やせば遭遇する回数が比例的に増加するものではないことが明らかになってきている。走行距離が倍なら事故の件数も倍になる、という単純な関係ではないことは、感覚的にも理解できる。

安全性評価の観点では、ODD(Operational Design Domain)およびシナリオへの注目が高まっている<sup>[16]</sup>。ODDとは、各自動運転システムが作動する前提となる設計上の走行環境条件を指しており、自動運転車両の安全性評価の前提となる。安全性評価を実施するには、どのようにODDを設定するか、どのようなシナリオを想定するかが重要であり、ODDやシナリオの設定根拠を明確に説明することが求められる。

この分野では、ミシガン大学McityのHenry Liu教授や、オランダ応用科学研究機構(TNO)による研究が知られているが、いずれも研究途上であり、安全性評価に対する決定的な手法はまだ確立されていない。

自動運転サービスの実装で先行する米中に対して、欧州や日本では、安全性の確保を重視した議論が進められている。DIVPは、安全性評価に焦点を当て、その領域をOEM各社の協調領域と位置づけ、データの収集・整備を通じて日本の自動車産業の競争力を維持する方策をとっている。DIVPは、経済産業省や国土交通省を巻き込んで、「デジタルライフライン全国総合整備計画」などの国家予算プロジェクトを活用しながら、活動を展開している。

### 5. オープンイノベーションの場としてのSIPとDIVPコンソーシアム

DIVPは自動運転をめぐるデジタルコモンズの一端を担う取り組みであり、BIPROGYとしても、単に「DIVPシミュレータを販売する」営業論にとどまらず、自動運転の安全性評価という社会課題解決の仕組み実現に向けた活動が求められている。実際にDIVPは、オープンイノベーションの場として機能しており、企業・研究機関・行政が連携しながら、共通の課題に取り組む基盤となっている。

#### 5.1 DIVPコンソーシアムの成り立ち

SIPは、2012年末に発足した第2次安倍内閣が掲げた経済政策「アベノミクス」のもと、日本経済の再生と持続的な成長を実現するために科学技術イノベーションの重要性が強調され、創設された国家プロジェクトである。このプログラムは、内閣府の総合科学技術・イノベーション会議が司令塔として機能し、府省の枠組みや旧来の分野を超えたマネジメントにより、

科学技術イノベーションの実現を目指している<sup>[17]</sup>。

2018年から開始されたSIP第二期の取り組み課題の一つとして「自動運転（システムとサービスの拡張）」があり、BIPROGYは其中でDIVPコンソーシアムの創設メンバーとして参画した<sup>[18]</sup>。

DIVPコンソーシアムは、神奈川工科大学の井上秀雄特任教授の指導のもと、いくつかのセンサーメーカーが協力体制を整え、研究開発活動を開始した。初期にはSOLIZE株式会社、株式会社SOKEN、三菱プレジジョン株式会社、ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社、パイオニア株式会社、トヨタテクニカルディベロップメント株式会社、株式会社ユーシン、日立Astemo株式会社、株式会社デンソーといった企業が名を連ねており、コンソーシアムのメンバー構成からも、日本を代表するセンサーメーカーの連合体であることがうかがえる。

SIPの予算は2022年度末で終了したが、DIVPが主導する安全性評価基盤の構築活動は、日本の自動車産業の競争力を支える取り組みとして高く評価されている。このため、活動は経済産業省の「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業（仮想空間での自動運転安全性評価環境の構築）」として継続され、現在に至っている。

## 5.2 DIVP シミュレータの特長

自動運転の安全性評価において、センサーが対象物を正確に知覚・認識できているかどうかは、最も重要な課題の一つである。しかしその難易度の高さから、実際の現象との一致性を重視したシミュレーションは、これまで本格的な研究開発活動がほとんど行われてこなかった。DIVPの取り組みは、この分野における先駆的なものである。DIVPコンソーシアムの特徴は、以下の3点に集約される。

- 1) 基礎研究からソフトウェア実装までを見据えた、産学連携による幅広い参加者で構成されている。
- 2) カメラ、Radar、LiDARという主要センサーの開発および製造ができるセンサーサプライヤーが参画している。
- 3) 仮想空間の構築において、反射や透過といった物理特性を織り込むことができる基礎技術が集約している。

DIVPは、自動運転における安全性評価基盤の確立を目指しており、競争優位を獲得するために、最高水準の精度を誇るDIVPシミュレータの構築と、ツールチェーンによる各社との互恵的なパートナーシップの形成を進めている<sup>[19]</sup>。

DIVPコンソーシアムは設立当初から、研究開発に基づく新価値創出、国際標準化活動、ツールチェーンの実装促進、協調エコシステムの形成を明確な方針として掲げている。また、研究、ルールメイク、社会実装、エコシステム形成を、事業体と研究コンソーシアムが分担しながら密接に連携して実現することを目指しており、現在もその方針に沿って活動を継続している。

具体的には、DIVPコンソーシアムとV-Drive Technologies社が、研究開発と事業展開の両輪をそれぞれ担っている（図1）。ツールチェーンの観点では、DIVPシミュレータはMathWorks社のSimlinkのツールボックスとして機能している。また、千葉市などとの案件<sup>[20]</sup>を通じて、交通流シミュレータであるPTV社のVISSIMとも連携している。

国際標準化活動としては、デロイトトーマツコンサルティングの支援を受けながら、

ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems) や IAMTS (International Alliance for Mobility Testing and Standardization), さらには ISO (International Organization for Standardization) などの国際的な枠組みに積極的に参加している (8 章で詳述する)。これらの活動で得られた知見は, OEM, Tier1 と積極的に共有しており, DIVP シミュレータの機能向上と顧客開拓に寄与している<sup>\*3</sup>。

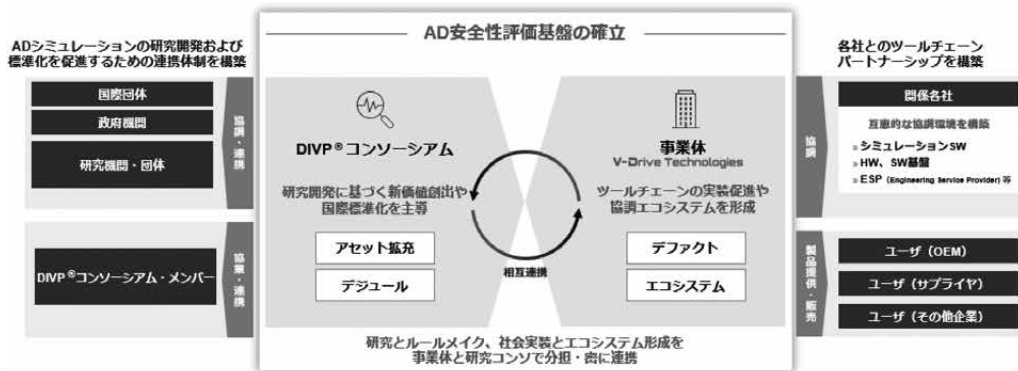


図1 研究と事業を両輪とした安全評価基盤構築体制

### 5.3 オープンイノベーションの実践

このように, DIVP は「集まる→発信する→見つける→共創する→切り出す」というプロセスで, オープンイノベーションの実践例となっている。DIVP コンソーシアムでは, SIP を通じて集まった産学の参加者が, DIVP の研究成果や V-Drive Technologies 社の事業展開などを積極的に発信している。これにより, 国家予算プロジェクトなどの過程で新たなパートナーを発掘し, 共に更なる研究・事業を展開することで, 安全性評価や国際標準化における新たな取り組みテーマを切り出すことができるようになっていく。

井上秀雄教授の指導のもと, テーマごとに分科会やタスクフォースを組成し, コンソーシアム内外の関係者と共創を進めている。そして, そこで得られた成果は, 研究成果あるいは製品の新機能として切り出されるという好循環のサイクルが実現している。

DIVP は, 自動車業界の中でセンサーメーカーを軸とした産学官のコミュニティであり, 参加者間の相互作用と価値共創を促進する動的なオープンイノベーションのプラットフォームとして機能している。

日本有数の企業がひしめく自動車業界で存在感を発揮するためには, OEM の巻き込み, JAMA (日本自動車工業会) や JARI (日本自動車研究所) などの関連団体との連携, さらには国土交通省・経済産業省といった政府機関との連携が不可欠である。DIVP コンソーシアムへの参画によって, BIPROGY 単独では実現が難しい, 研究開発や国際標準化の議論の場にも参加できるようになった。BIPROGY が DIVP コンソーシアムに参加した (あるいは参加できた) 理由については, 次章で詳述する。

## 6. BIPROGY が保有する CG 技術

BIPROGY が DIVP コンソーシアムに参画した背景には, 長年にわたって培ってきた CG 関

連の技術がある。自動運転という新しい分野への挑戦は、これまでの技術の積み重ねの上に成り立っている。

### 6.1 ものづくり支援システム

BIPROGY グループでは、汎用機の時代から 3 次元データなどを扱う「ものづくり支援システム」の開発に取り組んできた。1984 年には CAD/CAM に特化した企業として株式会社ソフト・エクセル（現 UEL 株式会社）を設立し、1997 年には統合ソリューションである「CAD-CEUS」の販売を開始した。その後も、「Dynavista」や「CADmeister」などの製品を展開し、3 次元設計・製造支援分野におけるビジネスを継続的に発展させている<sup>[21]</sup>。

### 6.2 LightMAGIC

CG ソリューションの分野において BIPROGY は、2000 年代に色・材質の正確なデジタル処理をコア技術とする高品質・高精細な車両のカラーデザインおよびスタイリング評価支援システムの開発を手掛けた。これは、トヨタ自動車社内で使用されていた CG システム「Digital Styling Review（以下、DSR）」の開発プロセス改革に関与したものである。

DSR の基本機能は、次世代レンダリング・システム「LightMAGIC<sup>®</sup>」としてソフトウェア化され、自動車の意匠（デザイン）評価をデジタルプロセス化することで、新車企画から広告・販売までの期間短縮を図るソリューションとして、2004 年から外販された。「LightMAGIC」はレイトレーシング手法を用いた高精度な CG シミュレータで、トヨタグループ以外の OEM でも導入されている。

### 6.3 天空光源シミュレータ

さらに、2017 年からは、太陽光線が人類の健康や構造物劣化などの社会課題に密接に関係することに着目し、紫外線・可視光線・赤外線を含む太陽光シミュレータとして「天空光源シミュレーション」の技術研究を推進してきた<sup>[22][23]</sup>。世界に類を見ない高い精度のシミュレーションを実現している DIVP シミュレータは、BIPROGY グループが長年にわたり積み重ねてきたこれらの技術を、ADS/ADAS 分野で活用するものである（図 2）。

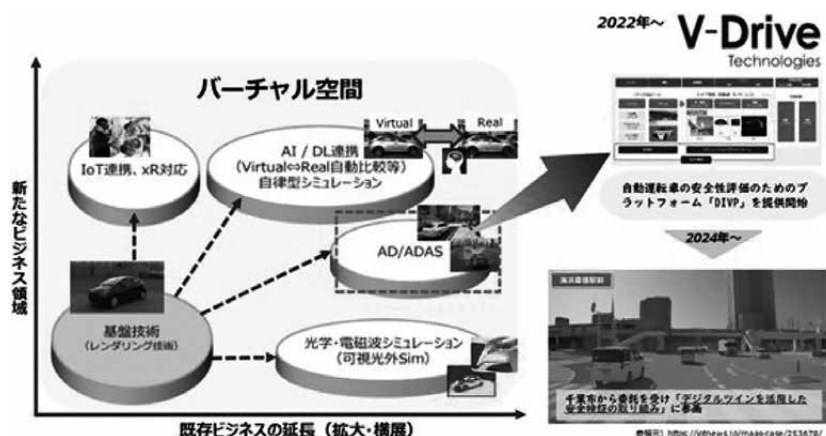


図 2 BIPROGY の CG 技術の展開

なお、DIVP シミュレータの高い精度を支えるマテリアルプロパティに関する技術は、自動車関連の国際標準化団体 ASAM の OpenMATERIAL<sup>®</sup>3D として国際標準化されている。これは、BIPROGY が中心となって開発した DIVP マテリアルの仕様を国際標準化したものであり、その観点からも BIPROGY の技術力が認められたと捉えている。この点については 8 章で詳述する。

## 7. BIPROGY によるビジネスエコシステム

DIVP シミュレータは、ADS/ADAS における安全性評価のためのプラットフォームである。交通環境下における多様なシナリオをシミュレーション化し、精緻なセンサーモデルを通じて安全性評価を可能とする本プラットフォームは、OEM や Tier1 をはじめとする自動運転関連事業者によって利用されており、自動運転車両の開発から評価、認証に至るまで幅広い工程での活用を目指している。

このような取り組みは、自動車業界という大きな産業の中で、BIPROGY がプラットフォームとしての位置の確立を目指す活動であり、そのまま自動運転分野でのデジタルコモンズの展開に直結している。

### 7.1 デジタルコモンズとしての DIVP

デジタルコモンズとは、社会に既に存在する様々なアセットー私有財（企業・団体・個人のもつ財）や余剰財（稼働率の低い財）ーを、デジタル技術によって追加コストを抑えた“共有財”として広く利活用できるようにすることで、社会課題の解決に向けて社会的価値と経済的価値の両立を可能とするコミュニティあるいは場を指す。

DIVP が実践しているシミュレーションによる安全性評価は、自動車業界各社が保有する多様な資産やアセットをシミュレーション環境上に再現し、自動運転車両の安全性確保という自動車業界の協調領域において利活用可能とするものである。これにより、DIVP は、自動運転の実現がもたらす社会的価値と経済的価値の両立に寄与している。

DIVP シミュレータというプラットフォームをデジタルコモンズとして提供する BIPROGY の取り組みは、自動運転社会の到来を加速する。

### 7.2 デジタルコモンズにおける BIPROGY の立ち位置

巨大な自動車産業の中で、BIPROGY 単体でできることには限界がある。そのため、DIVP コンソーシアムを軸としたビジネスエコシステムを構築することで、自動車業界に求められる機能を実装し、BIPROGY の立ち位置を確保していくことが求められる。DIVP の活動は、広く自動車業界および自動運転関連産業を対象に、複数の企業や団体が連携し、共存共栄していくビジネスエコシステムを構築する取り組みである。

#### 7.2.1 DIVP コンソーシアムとの関係

DIVP コンソーシアムにおいて、BIPROGY は参加企業の一社に過ぎないが、以下の二つの理由により重要な立ち位置を占めている。

第一の理由は、2022 年 7 月に V-Drive Technologies 株式会社を設立し、DIVP シミュレータの販売を担っている点である。SIP の成果を事業化するにあたり、BIPROGY は販売責任を



負う立場にあり、国家予算プロジェクトの成果を確実なものとするため、関係者全員が V-Drive Technologies のビジネス展開に協力する体制が構築されている。

第二の理由は、DIVP において幹事・事務局的な機能を積極的に果たしている点である。コンソーシアムの事務局業務は、神奈川工科大学からデロイトトーマツコンサルティング株式会社に委託されており、同社は、国や JAMA, JARI などの関連団体との連携、国際連携活動の推進などを担っている。しかし、コンソーシアムの運営においては、利害関係者との間で交渉や調整をする場面が数多く存在し、BIPROGY はその調整役としても重要な役割を果たしている。

### 7.2.2 BIPROGY の役割

自動運転という社会的価値の創出に向けたデジタルコモンズを見据えたときに、当初からその取り組みを駆動する明確なビジネスエコシステムの構造が見えていたわけではない。DIVP が関与するビジネスエコシステムは、BIPROGY が長年にわたり築いてきた顧客関係、特にトヨタ自動車株式会社との関係をはじめとする実績の上に成り立っている。DIVP における BIPROGY の強みは日々の業務の延長線上にあり、だからこそエコシステムの中で自らの立ち位置を確保できているのである。

ビジネスエコシステムがある程度組成されてくると、全体が機能するよう意識的にメンテナンスしていくことが求められる。役割分担に囚われて、BIPROGY としての守備範囲を限定すると、やがてエコシステムは停滞・衰退してしまう。こうした課題に 대응するため、DIVP の参画メンバーは従来の SIer に求められる営業活動に加え、エコシステムを機能させることを意識し、ステークホルダー間で見落とされがちな業務を積極的に拾いに行っている。実際に、DIVP 関係者の間では「どこへ行っても BIPROGY が出てくる」と言われることがあるが、それは BIPROGY の積極的な関与を示す誉め言葉であると認識している。時には「これは果たして SIer の仕事なのか」と自問する場面もあったが、その問いに対して前向きに取り組んできた。

社会課題の解決策には、前例や類似事例、明確な顧客ニーズが存在しないことが多く、さらに、社内に閉じない産官学の多様なステークホルダーとの連携が求められる。そのため、単なる営業活動とは異なる視点を持ち、社外の関係者と密接にコミュニケーションを取りながら、手探りで解決策を導き出していく姿勢が重要である。DIVP の活動においてビジネスエコシステムを機能させるために、BIPROGY はその役割を主導的に担っている。

## 8. DIVP の国際標準化活動

DIVP コンソーシアムは、立ち上げ当初から国際協力を重視して活動を展開している。コンソーシアムの草創期には、ドイツに Ilmenau 工科大学の Matthias Hein 教授およびドイツ航空宇宙センター (DLR) の Henning Mosebach 教授が率いる産学官コンソーシアム「VIVALDI」が存在した。DIVP は、VIVALDI との協力体制を「VIVID」という名称で立ち上げ、ツールチェーン、シナリオ、センサーモデルなどの技術領域において、定期的な情報交換を実施してきた<sup>[24]</sup>。

VIVALDI には BMW や Continental をはじめとするドイツの主要 OEM および Tier1 企業が参加しており、活動を通じて DIVP の先進性と技術的優位性を示すことで、強固な協力関係

を築くことができた。DIVP は井上教授の海外人脈を軸に、こうした国際連携においても実績を重ねている。本章では、これらの国際連携の中から、ASAM による国際標準化活動を紹介する。

### 8.1 自動車を巡る国際標準

日本の自動車製品は世界中に広く普及している一方で、国際標準化の分野では十分な存在感を発揮できていないのが現状である。自動車に関する国際標準には、ISO や ASAM、IEEE の自動車部会である IAVVC (IEEE International Automated Vehicle Validation Conference) などがあり、さらにシミュレーションによる認証を目指す国際的な取り組みとして「IAMTS」<sup>\*4</sup> や「PROSTEP」<sup>[25]</sup> などが存在する。

また、国際間の相互認証に関しては、自動車基準調和世界フォーラム (WP29) による活動が進められている<sup>[26]</sup>。WP29 の ANNEX5 では、実交通環境での試験、試験路での試験と並んでシミュレーションを活用した試験が明記されており、今後、シミュレーションの重要性はますます高まっていく。WP29 では、国土交通省自動車局の猶野車両基準・国際課安全基準室長が副議長を務めており、DIVP はこうした政府間の活動とも連携することで、自動運転分野におけるビジネスエコシステムの強化を図っている。

### 8.2 ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)

自動運転シミュレーションに関連する国際標準として、ASAM の「Open シリーズ」が存在する (表 2)。ASAM は、1998 年 12 月 1 日にドイツのシュトゥットガルトで、AUDI、BMW、Daimler、Porsche、VW などのドイツ自動車メーカーの主導により設立された、業界内で標準化を積極的に推進する非営利団体である。ASAM はメンバーシップ主導型で運営されており、自動車メーカー、サプライヤー、ツールベンダー、サービスプロバイダー、研究機関などが広く参加している。

ASAM の目的は、自動車開発プロセスにおけるシミュレーション、計測、キャリブレーション、テスト自動化ツール間の互換性を高め、データのシームレスな交換を実現することである。具体的には、ISO<sup>\*5 [27] [28]</sup> や SAE International<sup>\*6</sup> などが策定するプロセスレベルの標準とは異なる

表 2 ASAM OpenX シリーズ

標 準	対 象
OpenCRG	路面上の状態の記述
OpenDRIVE	道路ネットワークの記述
OpenLABEL	実測によって得られたセンサーデータをラベリングすることで、これを基にシナリオ生成することを目的とした標準規格
OpenMATERIAL3D	自動運転に使われるセンサー (カメラ、LiDAR、Radar) に対する対象物の物体特性を記述するためのフォーマット
OpenODD	自動運転システムが作動する前提となる走行環境条件を運行設計領域 (Operational Design Domain=ODD) の記述フォーマット (ODDの条件付けを記述) に関する標準規格
OpenSCENARIO DSL	バーチャルテストドライブのシミュレーションに使用するシナリオの動的要素を記述。パラメータ化された抽象的および論理的なシナリオに適する
OpenSCENARIO XML	バーチャルテストドライブのシミュレーションに使用するシナリオの動的要素を記述。パラメータ化された論理的および具体的なシナリオを対象。
OSI (Open Simulation Interface)	シミュレーション実行する時、バーチャルで作成したセンサーモデルと、それを基に実際に自動運転の駆動制御を決定する車両制御モデル側をつなぐインターフェースを定義した標準規格

り、実装レベルの標準に焦点を当てている。プロトコル、データモデル、ファイル形式、アプリケーションプログラミングインタフェース（API）などを定義する標準を策定しており、開発現場の実務での活用を重視している。

### 8.3 ASAM OpenMATERIAL<sup>®</sup>3D

現実と一致性が高い精緻なシミュレーションを実現するためには、マテリアルプロパティの取り扱いが極めて重要である。DIVP シミュレータにおいても、シミュレーションの精度を左右する要素として、マテリアル情報の整備は不可欠である。しかし、存在するすべての素材を DIVP が独自に測定・管理することは現実的ではない。各社が測定したマテリアル情報を相互に利用できれば、DIVP の負担が軽減されるだけでなくユーザーの利便性向上にもつながる。

そこで DIVP コンソーシアムは、2022 年より保有するマテリアル情報（DIVP マテリアル）の国際標準化に着手し、1 年数か月わたる ASAM での国際標準化活動を経て、2025 年 4 月に OpenMATERIAL3D が国際標準として正式にリリースされた<sup>[29]</sup>。

この標準化により、各社のシミュレータ間でマテリアルデータを流通できるようになり、同一データを用いた結果を比較できるなど、システム開発効率の向上や、ADS/ADAS の安全性向上が期待されている（図 3）。

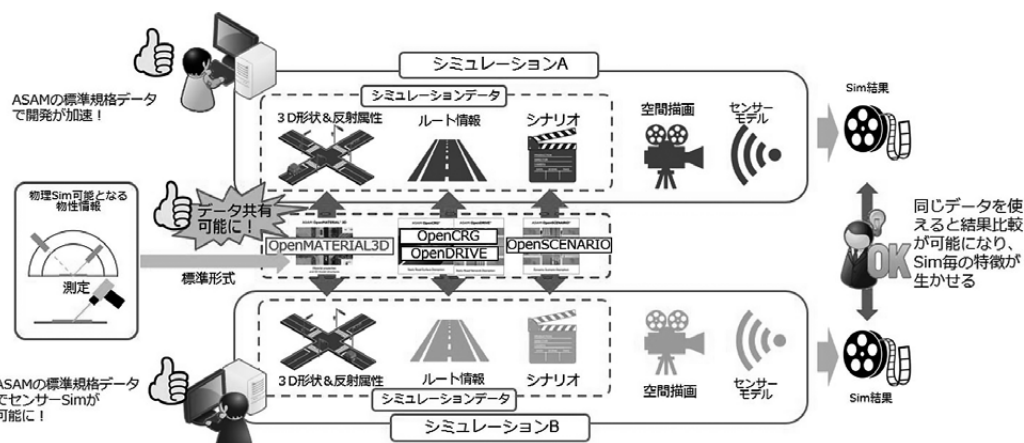


図 3 OpenMATERIAL3D のメリット

### 8.4 ASAM のビジネスエコシステム

ASAM の標準化プロジェクトは、メンバーシップ主導型で進められており、オープンかつ非競争的なグループによって開発が行われている<sup>[30]</sup>。各会議には ASAM の担当者が事務局として参加する。また、会議の運営はメンバー内から選出されたチームリーダーが担っており、コミュニティが自律的に運営するエコシステムが形成されている。

グローバルな参加メンバーが集い、取り組みの動機や課題意識を発信し、テーマを見出して共創を進め、標準として切り出す、というイノベティブなサイクルが構築されている。参加者は特別な準備をしなくても、自然にこのサイクルに合流できる体制が整備され、実践されている。

OpenMATERIAL3D の標準化活動も、OEM/Tier1 をはじめとする 9 か国 21 社が参加して

行われた。MIRO ボードや GitHub などのツールを活用し、週次でリモート会議を開催しながら、オープンな形で議論が展開された。

海外勢にただ任せるのではなく、日本からの積極的な発言と議論への関与が重要である。この点を意識し、積極的に発言することで、結果として国際議論の中で自らの立ち位置を確保することができた。海外の参加者は議論に慣れており、ファシリテーションにも長けているが、BIPROGY が主体となって開発した DIVP シミュレータの技術は、国際的な議論に十分耐えうるものであった。

ASAM は、ビジネスエコシステムを機能させる仕組みを用意し、実践している。ASAM 自体も国際フォーラムなどの場を活用して関連する組織団体との連携を図っている。また、ASAM への参加メンバーが他の団体のメンバーとして活動していることも多く、結果として異なる組織間での情報共有が自然に実現している<sup>\*7</sup>。これはビジネスエコシステムという概念を意識せずとも、オープンイノベーションを誘発する会議体・組織が自然に機能している好例である。

## 9. お わ り に

DIVP の活動は、テレビや新聞などのメディアにも取り上げられており、BIPROGY の取り組みの中でも対外的に強くアピールできる成果となっている。特に、OpenMATERIAL3D という国際標準の獲得は、これまでに例のない大きな成果であり、DIVP コンソーシアムの活動を通じて、日本の自動車業界、そして国際標準化の現場における BIPROGY のプレゼンスは確実に向上している。今後はこうしたプレゼンスの高さを、具体的な収益につなげていくことが重要な課題である。

DIVP の活動は、コンソーシアムのリーダーである神奈川工科大学井上秀雄特任教授のご指導なしには成り立たない。また、産官学連携の推進にあたっては、葛巻清吾アドバイザーにも多大なるご支援をいただいている。この場を借りて両氏に深く感謝申し上げる。

ビジネスエコシステムを機能させる SIer の枠を超えた活動については、V-Drive Technologies の今村康執行役員の背中を見ながら、日々学ばせていただいている。そして、OpenMATERIAL3D の国際標準獲得においては、UEL 株式会社の昼間詔仁氏の尽力が大きな成果につながったことをここに記して、謝意を表したい。

- 
- \* 1 制御不能なトラックが5人を轢く線路を進んでおり、分岐器を操作すれば1人のいる別の線路に切り替えられる。多数を救うために少数を犠牲にすることは正しいかを問う倫理的な思考実験。
  - \* 2 テレマティクス (Telematics) は、Telecommunication (通信) と Informatics (情報科学) を組み合わせた造語で、自動車などの移動体に通信機能を搭載し、リアルタイムで情報を収集・活用する技術を指す。テレマティクスデータは、位置情報 (GPS)、走行距離・速度・時間、急ブレーキ・急加速などの運転挙動のような、情報を含むデータ群である。
  - \* 3 隔週の定例会や、数か月に一度の技術交流会の開催実績がある。
  - \* 4 井上教授と筆者が TÜV を訪問した際に IAMTS の紹介を受けた。その時点で欧米中韓が参加しており、はからずも日本が国際連携から取り残されかねない現場に居合わせることとなった。 <https://iamts.org/>
  - \* 5 自動車関連の ISO については、日本では自動車技術会が審議団体となっている。
  - \* 6 1905年にアメリカで設立された自動車技術を専門とする学術団体。自動車だけでなく航空宇宙や産業車両など幅広い輸送技術分野を網羅しており、アメリカ国内はもちろん世界85カ国に会員を持つ国際的な組織。 <https://www.sae.org/>

- \* 7 筆者も ISO と ASAM を兼任することで、センサーモデルの国際標準化の議論の全体像を把握するように努めている。グローバル化の実践という意味で、ASAM の活動への参画は大変に有意義であり、そこから学べることも多かった。

- 参考文献**
- [1] 内閣府, 「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期」, <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip2pd.html>
  - [2] 国土交通省, 社会資本整備審議会 道路分科会 第 82 回基本政策部会 配布資料 資料 2, <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001623770.pdf>
  - [3] ゼンリンデータコム, 「自動運転実現に向けた課題とは? | 解決に向けた取り組み例も紹介」, <https://www.zenrin-datacom.net/solution/blog/automaticdriving-simulation>
  - [4] 自動運転 LAB., 「自動運転の課題 (2024 年最新版) 事故責任は誰に? ハッキング対策は?」, [https://jidounten-lab.com/y\\_1901](https://jidounten-lab.com/y_1901)
  - [5] ダイナミックマッププラットフォーム株式会社, <https://www.dynamic-maps.co.jp/ir/faq/>
  - [6] 国土交通省, Plateau, <https://www.mlit.go.jp/plateau/>
  - [7] 自動運転 LAB., 「カリフォルニアでの自動運転走行, 企業別距離ランキング」  
[https://jidounten-lab.com/u\\_33975](https://jidounten-lab.com/u_33975)
  - [8] SOMPO インスティテュート・プラス, 「Waymo 初の海外進出は日本, 2025 年初頭, 東京で地図作成に着手」, [https://www.sompo-ri.co.jp/topics\\_plus/20241217-15483/](https://www.sompo-ri.co.jp/topics_plus/20241217-15483/)
  - [9] IT Media Mobile, 「テスラ, 日本で市街地走行できる “自動運転” 「FSD」 のテストを開始」, <https://www.itmedia.co.jp/mobile/articles/2508/20/news085.html>
  - [10] 36Kr Japan, 「世界唯一, 6 カ国でライセンス取得! 中国「WeRide」, サウジでもロボタクシー試験運行へ」, <https://36kr.jp/368246/>
  - [11] 日経 XTECH, 「中国 Apollo Go, ドバイとアブダビでロボタクシー事業開始」, <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/24/02359/>
  - [12] ロイター, 「中国の百度, 欧州で無人タクシー開始目指す」, <https://jp.reuters.com/business/technology/CUSUULWJLFKE5E2ZNZYXYXVMC4-2025-05-14/>
  - [13] 日本経済新聞, 「百度, 欧州で自動運転タクシー」, <https://www.nikkei.com/us/UBER/news/?DisplayType=1&ng=DGKKZO9051172006082025FFJ000>
  - [14] 日本経済新聞, 「百度の無人タクシー, ウーバーアプリで予約」, <https://www.nikkei.com/article/DGKKZO90059090W5A710C2EAF000/>
  - [15] 自動運転 LAB., 「トヨタもホンダも全敗。中国の自動運転企業, 次は欧州でレベル 4 許可」, [https://jidounten-lab.com/u\\_53719](https://jidounten-lab.com/u_53719)
  - [16] 自動運転 LAB., 「自動運転の ODD (運行設計領域) とは?」, [https://jidounten-lab.com/u\\_autonomous-odd](https://jidounten-lab.com/u_autonomous-odd)
  - [17] 内閣府, 「SIP とは」, <https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sympo1412/about/index.html>
  - [18] 内閣府, 「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期 (平成 30 年～) 課題一覧」, [https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip2nd\\_list.html](https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip2nd_list.html)
  - [19] 渡邊龍雄, 自動運転評価プラットフォーム (DIVP), BIPROGY 技報, BIPROGY, Vol.42 No.2, 通巻 153 号, 2022 年 9 月, [https://www.biprogy.com/pdf/tec\\_info/15301.pdf](https://www.biprogy.com/pdf/tec_info/15301.pdf)
  - [20] 千葉市, 「【全国初】 デジタルツインを活用した自動運転の安全性検証を実施しました!」, <https://www.city.chiba.jp/sogoseisaku/miraitoshi/tokku/degitaltwin.html>
  - [21] UEL, 「沿革」, <https://www.biprogy-uel.co.jp/company/#history>
  - [22] 奥村知之, 天空光源シミュレーション, BIPROGY 技報, BIPROGY, Vol.42 No.2, 通巻 153 号, 2022 年 9 月, [https://www.biprogy.com/pdf/tec\\_info/15302.pdf](https://www.biprogy.com/pdf/tec_info/15302.pdf)
  - [23] BIPROGY, 「天空光源シミュレーション 研究編」, <https://www.biprogy.com/com/tech/srs/>
  - [24] ドイツ航空宇宙センター (DLR), “VIVID – Assessment of virtual validation methods for autonomous driving functions with a focus on sensors”, <https://www.dlr.de/en/ts/research-transfer/projects/vivid>
  - [25] PROSTEP, <https://www.prostep.org/en/>
  - [26] 国土交通省, 「自動車基準調和世界フォーラム (WP29) の概要」, <https://www.mlit.go.jp/common/000036077.pdf>
  - [27] 日本品質保証機構, 「ISO の基礎知識」, [https://www.jqa.jp/service\\_list/management/management\\_system/](https://www.jqa.jp/service_list/management/management_system/)

- [28] 自動車技術会, 「自動車 (TC22) 標準化活動」, <https://www.jsae.or.jp/assoc/std/tc22/>
- [29] 「DIVP シミュレーションプラットフォームが, ASAM によって策定された国際標準 OpenMATERIAL3D V1.0.0 に準拠」, ニュースリリース, V-Drive Technologies, 2025 年 4 月, [https://www.biprogy.com/pdf/news/nr\\_250425.pdf](https://www.biprogy.com/pdf/news/nr_250425.pdf)
- [30] ASAM, 「ASAM とは」, <https://www.asam.net/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=7800&token=27909dee572ce7df050a7a7370f5d2a14af6bfc7>

※ 上記注釈および参考文献に示した URL のリンク先は, 2025 年 10 月 23 日時点での存在を確認。

**執筆者紹介** 木村 聡 輔 (Sosuke Kimura)

2011 年～2014 年, NEDO 国際部出向 (2 年 8 か月), トルコ, 米国, タイ, ミャンマーを担当。

2015 年, ヤマダ電機案件で米ロボットベンチャー Fellow Robots との協業に参画。

2017 年～2022 年, 総務省情報流通行政局郵便課国際企画室出向 (5 年), 郵便インフラの海外輸出を担当。

2022 年 4 月, DIVP プロジェクトに参画。同年 7 月 V-Drive Technologies へ出向。



# モビリティ×ヘルスケアのデータエコシステムによる 社会 DX の実現

## Realizing to Social Digital Transformation through Fusion of Mobility and Healthcare

高 橋 秀 斗, 酒 井 悠 人

**要 約** 移動インフラの維持は、少子高齢化や担い手不足の影響により、もはや特定事業者の自助努力だけでは限界を迎えており、社会全体で取り組むべき構造的課題となっている。これを解決するには、移動の恩恵を受ける他産業を巻き込み、データ連携によって経済合理性を創出する「データエコシステム」の構築が欠かせない。本稿では、そのテーマとして「モビリティ×ヘルスケア」、とりわけ車を運転する人の健康や日常に関わるデータに着目する。この「ヒトのデータ」を活用することで、移動課題の解決に加え、エコシステムに参加する企業にとっても合理的な誘因を生み出すことができる。また、エコシステムを持続的なものとするには、データ提供者への明確な便益還元を循環させることが不可欠である。分散型データ連携基盤「Dot to Dot (D2D)」を活用することで、中立性と個人同意に基づく安全なデータ連携が実現し、異なる事業者間の協働が可能となる。BIPROGY はこれらの仕組みを通じて経済合理性と社会課題解決の両立を図り、個社最適を超えた社会全体の最適化、すなわち社会 DX の実装を目指している。

**Abstract** The maintenance of mobility infrastructure has reached its limits through the self-reliance efforts of specific operators alone, due to the impacts of a declining birth rate, ageing population, and labour shortages. It has become a structural challenge requiring society-wide engagement. To resolve this, it is essential to build a “data ecosystem” that involves other industries who benefit from mobility and creates economic rationality through data integration. This paper focuses on the theme of ‘Mobility × Healthcare’, particularly data concerning the health and daily lives of drivers. Utilising this ‘human data’ can not only solve mobility challenges but also create rational incentives for companies participating in the ecosystem. Furthermore, to ensure the ecosystem’s sustainability, it is essential to establish a clear cycle of benefit return to data providers. Utilising the decentralised data integration platform ‘Dot to Dot (D2D)’ enables secure data sharing based on neutrality and individual consent, facilitating collaboration between different operators. Through these mechanisms, BIPROGY aims to achieve both economic rationality and the resolution of social challenges, pursuing optimisation for society as a whole beyond individual company optimisation, namely, the implementation of social digital transformation (DX).

### 1. は じ め に

近年、日本の移動環境は大きな転換点を迎えている。移動は単なる手段ではなく、生活や経済活動、教育、医療、地域コミュニティの維持を支える社会基盤である。しかし現在、この基盤が揺らぎつつあり、地域の衰退や社会機能の不全に直結する深刻な危機となり得る可能性がある。

この危機の背景には、複数の要因が複雑に絡み合っている。短期的な課題としては、人口減少やライフスタイルの変化による地方路線の非採算化、脱炭素など、社会的要請や燃料費高騰によるコスト増加が事業者の経営を圧迫していることが挙げられる。加えて、ドライバーの高齢化や働き方の変化への対応の遅れから、担い手の確保も一層困難になっている。

一方、長期的な課題としては、ドライバーが長く安全に運転し続けられる環境の確保や、免許返納後の移動といった潜在的な需要への対応が挙げられる。

これら移動を取り巻く構造的課題に対し、国も対策に乗り出している。その一例として、デジタル庁のモビリティワーキンググループ<sup>[1]</sup>では、地域に眠る移動需要を可視化し、効率的な供給体制へとつなぐ「交通商社<sup>\*1</sup>」機能の枠組みが検討されている。

しかし、多くの交通事業者は日々の経営課題への対応に追われ、こうした長期的課題への投資にまで手が回らない。移動の維持を交通事業者の自助努力だけに委ねるには限界があり、持続可能な移動を実現するためには、移動の提供構造そのものの変革が求められる。また、こうした構造的課題は制度面にも起因しており、担い手確保やデータ利活用、地域交通の安全管理などを支える仕組みについても、法制度や運用ルールの在り方を含めた検討を避けては通れない。一方で、制度の見直しだけでこれらの課題が解決するわけではなく、当事者だけでは対応しきれない長期的課題に対し、社会全体の投資を集中させる仕組みも求められる。ここで言う投資とは、移動インフラの恩恵を享受する他産業が、合理的な目的のもとに関与することを指す。例えば、自社のサプライチェーン維持のために投資する企業もあれば、新たな技術やサービスを開発するための実証の場として移動課題に着目する企業も多いだろう。

こうした構造変革を実現するには、多様な企業が持つ能力やサービスを有機的に連携させ、データ価値の取引による経済合理性を生み出す新たな社会構造、すなわち「データエコシステム」の構築が鍵となる。そして、その中核を担うのが、異なる事業者間のデータを安全かつ円滑に連携させるデータ連携基盤である。本稿では、移動インフラの維持に関わる制度的課題の重要性を踏まえつつも、とりわけデータを媒介とした価値循環の仕組み設計に焦点を当てて議論を進める。

本稿では、このデータエコシステム構築のテーマとして、移動インフラにおけるドライバーリソースの観点から、その健康と安全運転を支えるモビリティとヘルスケアを掛け合わせた領域に着目する。移動インフラの維持困難という社会課題の根源には、ドライバーの高齢化や担い手不足があり、彼らが長く健康で安全に働き続けられる環境の確保が喫緊の課題である。この課題を解決するには、従来の車両や運行データに加え、新たなデータの利活用が欠かせない。特に重要なのが、車中の「ヒト」、すなわち運転手自身のデータである。運転中だけでなく日常行動や健康のデータも含めて捉えることで、ドライバーの健康維持・健康増進による運転寿命延伸、ひいては健康起因事故リスクの低減にもつながり、移動インフラの持続可能性を高めることが期待できる。この「ヒトのデータ」は活用価値が高く、エコシステムに参加する企業に経済的な誘因をもたらす上でも合理的である。そこでBIPROGY株式会社（以下、BIPROGY）は、長期課題である「ドライバーが長く健康で安全に働き続けられる環境の確保」というテーマと、「ヘルスケアデータが持つ市場価値」を結びつけ、モビリティ×ヘルスケアを最初の切り口として設定した。

本稿で提案する仕組みは、BIPROGYが推進する「デジタルコモンズ<sup>\*2</sup>」の理念を、モビリティ×ヘルスケア領域で具現化する試みである。データをエンジンとするエコシステムを通じ



て、移動の担い手を支え、地域社会の持続性に貢献するとともに、他産業が投資に見合う価値を創出できる、持続可能な社会的仕組みの形成について論じる。

本稿ではドライバーの高齢化や担い手不足といった人的基盤の脆弱化に着目し、移動インフラの根底にある“ヒト”の側面をいかに支え得るかを出発点として議論を組み立てる。まず2章では、移動インフラ維持が特定事業者の自助努力に依存してきた現状とその限界を整理し、社会全体で価値を循環させるための枠組みとして「データエコシステム」という一つのアプローチを提示する。続く3章では、そのエコシステムを成立させるために必要な構成要素と要件を示し、4章では、これらの要件が現場レベルでどのように立ち上がり得るかを、ドライバーの健康と運転データを対象とした実証事例を通じて検証する。最後に5章では、得られた知見を踏まえ、移動インフラの持続可能性を高める社会的基盤の今後の展望を示す。

## 2. 移動インフラ維持の個別最適から社会全体最適へ

本章では、交通事業者の自助努力によるインフラ維持の限界と、他産業を巻き込む必要性について、前章で提起した担い手であるドライバーの健康を支えるという観点を軸として論じる。交通事業者の自助努力の限界は「個別最適の限界」であり、他産業を巻き込む社会投資は「社会全体の最適化」(社会 DX)の実現に不可欠である。

### 2.1 移動インフラの公共性と自助努力の限界

現代社会において、移動インフラは産業活動、通勤・通学、医療・福祉、観光・レジャーなどを下支えする準公共的な基盤である。にもかかわらず、その維持は長らく運送・交通事業者の自助努力と投資に依存してきた。社会全体が享受する基盤を、特定の事業者が一方的に背負う構図は持続可能ではない。

実際、事業者は車両更新や運行管理体制の強化、労働環境改善や健康管理による人材確保、採算性の低い地域路線の維持など、様々な課題を抱えてきた。しかし、少子高齢化による労働力不足、燃料・資材費の高騰、環境規制の厳格化、老朽化インフラの更新コスト増大といった外的要因が重なり、従来の経営努力の延長ではもはや対応が難しい。

加えて、技術革新により自動運転などの新たな可能性が注目されているものの、完全自動運転が現実化するには時間を要する。それを待つ間にも、移動インフラは急速に脆弱化し、収益圧迫や不採算路線維持の負担、価格交渉力の制約、担い手不足といった構造的課題が深刻化している。

このように事業者が抱える課題は多岐にわたるが、なかでも、運行を担うドライバーの高齢化や健康課題は、事業継続に直結する切実な論点であり、移動インフラを人的側面から支える視点の重要性が増している。

国土交通省の「事業用自動車総合安全プラン<sup>\*3[2]</sup>」にも見られるように、制度的・技術的対策は進められてきたが、その焦点は車両や運行管理に偏り、移動基盤を最終的に支えるドライバーへの対応は十分ではない。健康起因事故への備えや高齢化への対応は原則として各事業者委ねられ、働き方改革による労働時間規制と安全対策強化の双方が、現場の負担を一層増大させている(図1)。

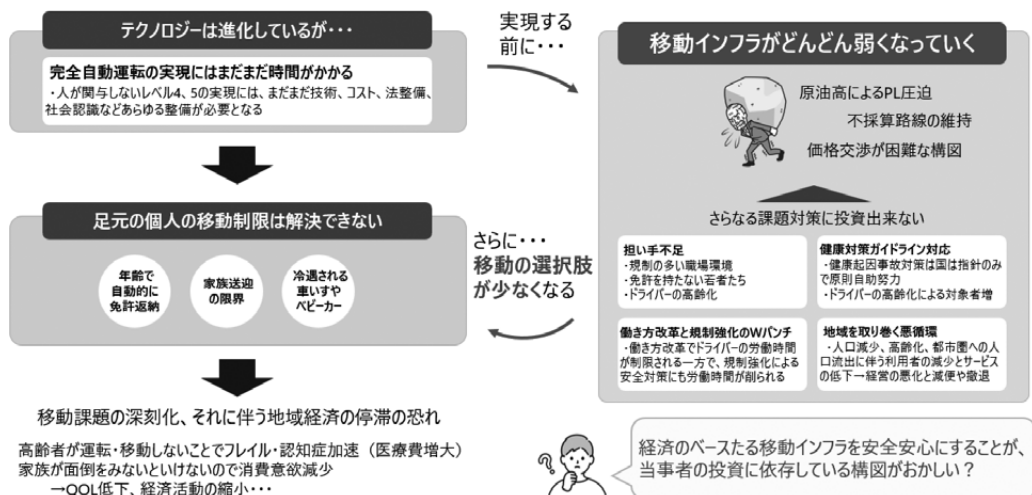


図1 移動インフラが抱える課題

移動インフラを経済と生活の基盤として持続可能にするためには、その維持を事業者任せにするのではなく、移動の恩恵を受ける多様な産業を巻き込み、社会全体で投資して支援する仕組みが不可欠である。その切り口として、移動の担い手であるドライバーの健康と労働環境に焦点を当て、この基盤を強化することによって、長期的な移動インフラの安定確保が実現できる。

## 2.2 他産業から見た移動を支える意義

移動の維持を交通事業者とそのドライバーだけの責務とせず、移動基盤の恩恵を受けるすべての産業の共通課題として認識しなければならない。安定的な移動インフラは、製造業のサプライチェーン維持、小売業の物流・店舗運営、医療・福祉の人材・患者の移動、観光業の顧客アクセス確保など、あらゆる分野の事業継続と生産性の前提条件となっている。

そのため、他産業が長期視点で移動基盤に投資することは合理性がある。移動が失われれば、供給網や人材確保が揺らぎ、自社の利益維持が困難になるからである。また、移動の課題に技術やデータを活用することは、サービス革新や新たな市場開拓の契機ともなる。移動の維持は単なる社会貢献ではなく、産業の競争力強化や新規事業創出にもつながる。

移動基盤を共通資産とみなし、多様な産業が主体的に関与することが、持続可能な仕組みの実現には不可欠である。

## 2.3 データを媒介に形成される産業間エコシステム

移動基盤を社会全体で維持していくためには、他産業が合理性をもって参画できるような仕組みが不可欠である。単なる資金拠出や協賛にとどまらず、共通課題の解決に向けて産業間で継続的な関係を築き、互いの強みを生かして新たな価値を創出する枠組みとして設計することが肝要である。

本稿では、このような関係性の集合体を「エコシステム」と呼ぶ。エコシステムは静的なものではなく、主体間の協働や投資の積み重ねを通じて結果的に立ち上がる動的な構造である。

重要なのは、交通事業者の課題を他産業の知見・資源と結びつけ、個別施策を超えた持続可能な仕組みへと発展させる点である。

その媒介となるのがデータである。データは産業を超えて状況を共有し、相互の便益を可視化する。例えば、交通事業者が提供するドライバーの健康データや運転データを、医療、保険、メーカーなどが活用できれば、健康維持や安全確保のサービス・制度設計が実現できる。こうした関係が広がり、データを媒介に多様なプレイヤーの連携が強化されることで、社会課題の解決と産業横断的なビジネス機会を両立する「データエコシステム」が形成される。

近年、データエコシステムの形成を目指して横断的に取り組む業界が出始めている。その一つに自動車業界が挙げられる。日本自動車工業会のデジタルタスクフォースは、ヒトとクルマのデータをかけ合わせたデータエコシステムを実装する「Mobility Smart Passport 構想 (MSP 構想)<sup>\*4)</sup>」を提唱している。このデータエコシステムは、これまで競争領域として業界内や自社内に閉じていたデータを開放し、モビリティが牽引役となり他産業と積極的に連携する枠組みである。これら他産業との活動を通じて社会課題を解決し、モビリティビジョン 2050 が目標とする「社会の安全・安心に貢献する」「ヒト・モノ・コト全てが自由に移動でき、社会とつながる喜びを提供する」など、新たな価値創造を実現することを目指している<sup>[3]</sup>。

このようにデータを媒介としたこれまでにない会社間・産業間の新しい構造としてデータエコシステムを形成する動きが活発になっており、新しい関係性を実現するデータ連携の重要性が増してきている。こうした社会構造としてのエコシステムを実装可能な形に落とし込むためには、その構成主体や役割、データの流れを形式化して捉える視点が必要となる。次章では、この社会的エコシステムの考え方を、データを媒介として価値が循環するモデルとして整理し、具体的に成立させるための要件を示す。

### 3. データエコシステムの構成要素と成立要件

本章では、前章で提示した「データエコシステム」を具体化するために必要な構成要素と、それを持続的に成立させるための要件を整理する。各プレイヤーが果たす役割を定義するとともに、エコシステム全体を健全に維持するルールや基盤についても説明する。以下では、まず主要な構成要素を示したうえで、各要素が満たすべき成立要件について論じる。

#### 3.1 構成要素

データエコシステムは、単独の事業者や組織によって完結するものではなく、複数のステークホルダーが相互に役割を担い、有機的に連携することで初めて成立する。本稿では、次の四つの主体を構成要素とする。

##### (1) データ提供者

エンドユーザーと直接の接点を持ち、日々の活動や健康状態といった一次データを収集し、エコシステムに提供する主体である。代表例として交通事業者とその従業員が挙げられる。

##### (2) データ管理者

提供者から受け取ったデータを保持・整備し、プライバシー保護やセキュリティを確保したうえで利用できる状態にする主体である。中立性と信頼性を備え、安心して参加できる基盤を提供する役割を担う。

## (3) データ利用者

管理されたデータを活用してサービスや制度を創出する主体である。以下二つのタイプに大別される。

- データ提供者やユーザーに直接価値を返すサービスを提供する
- データを自社の事業拡大や新規サービス開発に活用し、対価をエコシステムに還元する

## (4) データ分析者

一次データに加工や分析を施し、新しい知見や付加価値を抽出する主体である。分析結果を介して利用者や提供者を結びつけ、データの多面的な活用を広げる「橋渡し役」を担う。

このように、提供者・管理者・利用者・分析者が相互に機能を補完することで、データが循環し、エコシステムは継続的に価値を創出する仕組みとして機能する（図2）。

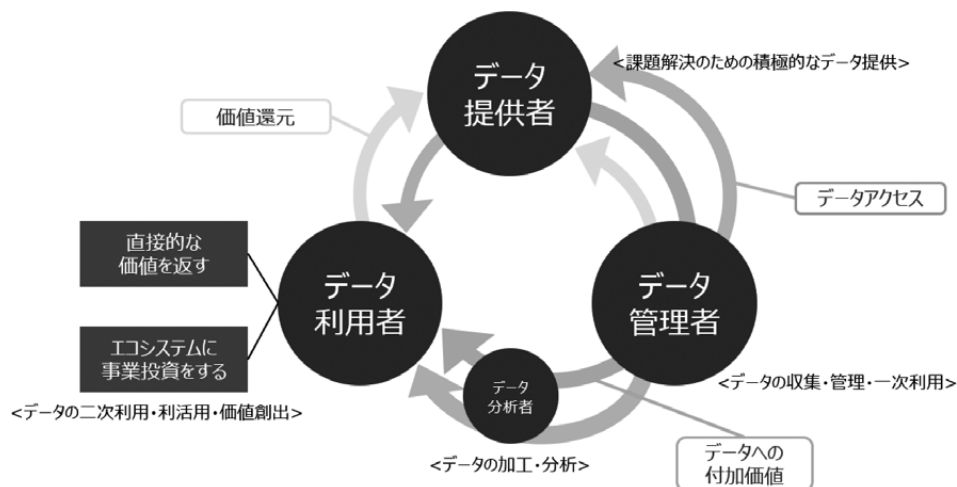


図2 データエコシステムの構成要素

### 3.2 成立要件

データエコシステムを健全に機能させるためには、構成員全体に共通する原則として「個人のデータを個人のために使う」という理念が徹底されなければならない。その上で、各プレイヤーが安心して参加し、互いに便益を循環させるための具体的な条件が必要となる。以下に主体ごとの成立要件を整理する。

#### (1) データ提供者における要件：便益循環を前提としたデータ提供の動機づけ

データ提供者がエコシステムにデータを提供する根拠は、その見返りとして具体的な便益を享受できる見通しにある。データ提供は負担やリスクを伴う行為であるため、還元が明確でなければ継続的な供給は期待できない。例えば、健康データや運転データを提供することで、事故リスクを低減する運転指導や健康維持につながるアドバイス、労働環境改善の施策といった成果が返ってくれば、提供者は主体的に参加する意欲を持つことができる。さらに、提供者は自らの課題や望む便益を利用者や分析者に伝え、還元の方向性を示す役割も担う。これにより、価値の循環がより明確となり、データ提供の動機づけが強化される。

## (2) データ管理者における要件：分散型管理と中立性の担保

データ管理者は、提供者から受け取ったデータを保持・整備し、利用者や分析者が安心して活用できる状態にする主体である。その役割において最も重要なのは、中立的な立場からガバナンスを確保することである。もしデータが特定事業者に集中すれば、生活者にとっては「どのように使われているのか分からない」という不透明性が不安を生み、産業側にとっては一部事業者による独占と主導権偏在への懸念がエコシステムへの参加を妨げる。このような集中リスクは、エコシステムの拡大を阻害しかねない。

そこで、データ管理は中央集権型ではなく分散型を採用することが求められる。複数の主体が参加できる形でデータを保持・管理し、透明性のあるルールのもとで利用できるようにすることで、誰もが安心して参加できる環境が整う。管理者が中立性を保ち、セキュリティとプライバシーを適切に確保することによって、データの流通が円滑に進み、エコシステムの持続的な発展を支えることができる。

## (3) データ利用者における要件：利用目的の明確化と透明性

データ利用者は、誰がどのような目的でデータを用いるのかを明示し、提供者から同意を得る。これは、データ提供そのものが信頼に基づく行為であり、利用の不透明さは不安や不信を招き、提供意欲を削ぐ要因となるからである。とりわけ健康や行動に関するデータはセンシティブであり、「どの主体に」「どの範囲で」利用されるのかを事前に理解しなければ、提供者は安心してデータを差し出すことができない。また、利用目的を設定する際には、提供者の課題やニーズを踏まえることが重要である。その成果が提供者にとって実際の便益となることで信頼が蓄積し、安定的なデータ提供が続く。これにより利用者は、長期的に新たなサービス開発や市場機会の拡大につなげることができ、自らの事業価値も高められる。

## (4) データ分析者における要件：多様性を前提とした N 対 N の展開

分析者は、特定の提供者と利用者の閉じた関係性にとどまらず、多様な主体が対等に参加できる N 対 N の関係性を前提とした分析を行う。分析成果を複数の利用者に展開できる形にすることで、データの活用機会が最大化され、エコシステム全体の発展につながる。

ここまでの成立要件を整理すると以下の 4 点に集約される。

- データ提供者への価値還元：データを提供した個人に、明確な便益やサービスとして価値が還元されること。
- 分散型管理：データが一箇所に集中することなく、分散型で管理されること。
- 利用目的の明確化：個人が自身のメリットと利用目的を理解し、データ利用者もその価値を正確に届けられるよう目的を把握していること。
- N 対 N の関係性：プレイヤーが特定の企業を中心とせず、N 対 N の対等な関係で参加できること。

これらの要件を満たすことで、データ提供から利用・分析・価値還元へと循環するプロセスが安定的に機能する。

### 3.3 分散型データ連携基盤 Dot to Dot の役割

BIPROGY は、パーソナルデータ活用とプライバシー保護の両立を実現し、企業同士の共創を促す分散型企业間データ連携基盤 Dot to Dot（以下、D2D）を運営している。D2D では事業者間データ連携を安全に行うことはもとより、パーソナルデータの流通を個人が個人の意思で制御する機能を持ち合わせている。

D2D は以下の点で、3.2 節で整理した要件を満たし、データエコシステムの健全な成立を支える中核的な役割を果たす。

#### (1) 分散型管理と N 対 N の関係性

D2D は、エストニアの分散データモデル「X-Road<sup>\*5</sup>」を参考に開発されたハイブリッド P2P（Peer to Peer）型のアーキテクチャを採用している。このアーキテクチャでは、データそのものは提供事業者のシステムに分散して保持され、D2D はデータ連携の制御や管理情報のみを保持する。これにより、データの集中管理に伴うリスクを回避し、データ管理者が安心してエコシステムに参加できる基盤を提供する。

また、事業者間のデータ連携は、特定のハブを経由せず直接的に行われるため、企業・団体・個人が特定の企業を中心とせず、互いに対等な立場で接続する N 対 N の関係性を構築できる。これは、多様なプレイヤーによる自由な共創を促し、新たな価値創出の機会を最大化する。

#### (2) 同意管理機能による利用目的の明確化と価値還元

D2D は、個人ユーザーがパーソナルデータ連携に対する同意を明示的に、かつ有効期限付きで設定できる同意管理サービスを提供する。この仕組みにより、データ提供者が「誰が、何のデータを、何の目的で利用するのか」を正確に把握した上で、データ連携を許可できる。

この機能により、データ提供者は自身のデータがどのように活用されるかを理解し、その利用から得られる便益（サービスや価値）を明確に認識できる。この透明性が、データ提供のモチベーションを高め、エコシステムの第一の要件である「データ提供者への価値還元」を確実なものにする。

#### (3) ID 紐づけ機能による安全なデータ連携

データエコシステムにおいては、事業者ごとに異なる個人識別子（ID）が存在するため、横断的なデータ活用には課題が生じる。D2D は、個人識別子を D2D 独自の ID と紐づける「ID 連携機能」を提供することで、この課題を解決する。この機能により、データ利用事業者は提供事業者の ID を直接共有することなく連携できるようになり、セキュリティリスクを低減する。結果として、個人情報の秘匿性を確保しつつ、多様なサービス間でのデータ利活用を促進する。

D2D は、これらの機能を通じて、単なる技術基盤にとどまらず、データ提供者の主体性を尊重しつつ「価値循環」を現実のものとする仕組みを提供する。

## 4. ドライバー健康増進を通じたデータエコシステム“原型”の成立検証

前章で述べたデータエコシステムの構成要素と成立要件を踏まえ、本章では、1 章・2 章で提起した課題に対し、その成立要件が現場でどのように具体的に実現され得るかを、トヨタ・コニック・アルファ株式会社の「ドライバーの健康増進プロジェクト」の事例を通じて論じる。

本実証は、社会全体を巻き込む本格的なエコシステムの実現を目指す過程において、その基盤となる価値循環が「小さな単位でも成立するか」を検証する入口段階の検討である。BIPROGY は D2D の提供を通して、エコシステムの検証に参画した。

#### 4.1 実証背景・目的

本プロジェクトは、担い手不足が深刻化する中で「ドライバーの就労寿命をいかに延ばすか」という視点を出発点として、2章で指摘した個別最適の限界を超え、移動課題を社会全体で支える仕組みを模索する中で企画された。1章・2章で述べたとおり、少子高齢化により職業ドライバー人口は減少し、高齢化も進行するなかで、現役のドライバーには長く健康に働き続けられる環境が求められている。

しかし現状では、運転継続に影響する疾病の多くが生活習慣に起因しているにもかかわらず、予防や早期対処の仕組みが十分に整っていない。職業ドライバーに義務付けられた年2回の健康診断は疾病の「発見」とどまり、事業者にとってはコストを伴うリスク管理施策としての性格が強い。実際には健康状態に応じた運転・就労継続支援が必要であるにもかかわらず、健康増進と安全運行を一体で扱う枠組みは未整備である。また、高齢ドライバーの運転可否判断も年齢基準に依存しており、個々の状態に応じた支援体制が不足している。こうした状況が、貴重な人的リソースを十分に活かしきれない要因となっている。

これらの課題は、実務上は事業者や個人の裁量に委ねられているが、もはや個別努力で解決できる状況ではない。求められるのは、健康と運転の双方のデータを基盤に、ドライバーにとって意味のある支援を提供しながら、そのデータを介して多様な産業を巻き込む構造的アプローチ＝データエコシステムの実現である。

こうした背景を踏まえ、本プロジェクトではまず、現場の課題であるドライバーの健康と運行に焦点を当て、データを活用した行動変容と安全運転支援の仕組みを構築しつつ、データエコシステムの成立可能性を検証した。さらに、実証で得られた知見をもとに、単発のサービス提供にとどまらず、健康・運転データを共通基盤として多様な事業者がアセットを持ち寄り、共創できる持続可能な枠組みの構想も進めている。本章では前者のプロジェクトを中心とし、後者についての具体的な参画事業者や考えられる課題解決の方向性については5章で述べることにする。

#### 4.2 実証内容

現場課題であるドライバーの健康と運行に焦点を当て、データを介して行動変容と安全運転の両立を促す仕組みの構築からデータエコシステム形成のための仮説検証として、①データ提供の持続性（ドライバーが健康維持や安全運転を目的に自らのデータを提供するか）、②エコシステムの成立（複数事業者が役割を分担しながらサービスを構築・提供できるか）、の二点に焦点を当てた。

##### 4.2.1 検証項目

本実証で設定した検証項目は以下の二点である。

##### (1) データ提供の動機検証

ドライバーが「長く健康に働き続けること」や「安全に運転を続けること」を目的に、自

らの健康データや運転データを主体的に提供するかどうかを検証した。具体的には、健康維持・改善を支援するアドバイスといった便益が提示された場合に、データ提供への参加意欲が高まるかを確認した。

## (2) エコシステムの成立

複数の異なる事業者が、それぞれの役割を担いつつ連携し、サービスを構築・提供できるかを検証した。健康データと運転データといった異なるデータが、事業者間で適切に連携・活用されることで、提供者にとって意味ある価値が生まれ、それが持続的なデータ提供の動機づけとなるかが重要であった。

以下の視点からエコシステムとして成立し得るかを確認した：

- 各事業者がエコシステム内で果たすべき役割（主に提供者・利用者）を適切に担えているか
- データの共有が提供者の不安や不信を招かず、透明性と同意の上で行われているか
- 結果として生まれるサービスが、エコシステム内の他のプレイヤーにとっても再投資や継続参画に値する成果になっているか

これらにより、ドライバーを長く安全に働いてもらうための仕組みを作りながら、一事業者単独では実現できないサービスが、複数プレイヤーの協働により可能となる構造、すなわち本稿で定義した「データエコシステム」の原型が機能するかを明らかにすることを目指した。

## 4.2.2 実証システム・サービス全体像

前節の検証項目を実施するためのスキームを図3に示す。

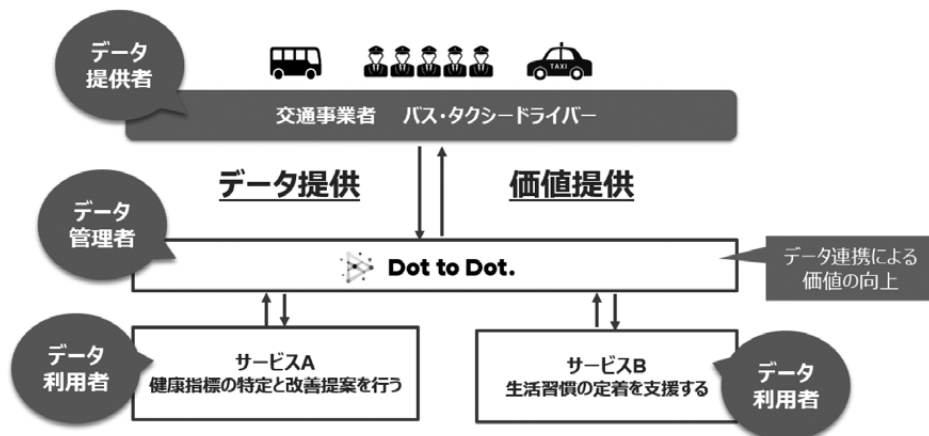


図3 実証スキーム

本プログラムでは、ヒヤリハットの発生と相関のある「健康指標」をドライバーごとに特定し、健康改善プログラムを提示するサービスと、ユーザーの生活習慣の定着を支援するサービスとを、D2Dにより連携させるスキームを採用した。これにより、健康データと運転データを利用者本人の同意の下で相互に接続し、各個人に最適化された習慣化サポートと個別フィードバックを提供できる仕組みを構築した。従来は独立して提供されていた両サービスをデータ



で統合することで、生活者に対してより実効性のある支援を実現するとともに、データ連携がサービス価値の向上に寄与することを確認することを目的とした。

#### 4.2.3 実施プログラム

複数の交通・運送事業者の協力を得て、約4か月間にわたりドライバーヘルスケアサービスの実証実験を実施した。本実証には、ドライバー28名（バス10名、タクシー8名、トラック10名）と運行管理者・事務員等11名（バス6名、タクシー2名、トラック3名）の計39名が参加した。本実証では、ドライバー自身が能動的に健康増進を行える仕組みを提供した。

具体的な実施内容は以下の通りである。

- 健康データ/運転データの収集&可視化：スマートウォッチ等のウェアラブルデバイスを通じて日々の健康データ（睡眠、活動量、心拍数など）と運転挙動データを収集し、それらを統合的に分析・スコア化して可視化した。
- 事故リスクと相関のある健康指標の特定：収集されたデータから、個々のドライバーの健康状態と運転リスクの関連性を分析し、特に事故リスクに影響を与える可能性のある健康指標を特定した。
- 健康改善プログラムの提供：特定された健康課題に基づき、パーソナライズされた健康改善プログラム（例：睡眠改善、ストレス軽減、疲労回復に関するコンテンツ）を、アプリを介して提供した。
- ヒューマンアプローチによる行動継続支援：LINE アプリを介して実際に人が、参加者の取り組みの実施・継続をサポートし、行動変容を促した。

### 4.3 結果と考察

本実証を通じて、データエコシステムの成立要件に関して具体的知見が得られた。特に、データ提供者の動機づけ、事業者間のデータ連携、技術的基盤の有効性、データ分析者の必要性といった論点が、現場での検証を通じて確認された。

#### 4.3.1 実証の結果と考察

##### (1) データ提供者への価値還元と説明の重要性

ドライバーは、健康や安全運転に直結する具体的な便益が提示されれば、積極的にデータを提供することが確認された。単に健康状態の可視化だけでなく、結果を踏まえた改善アドバイスを加えることで、行動意欲とデータ提供の継続性が高まった。ここで重要なのは、便益だけでなく、データ活用の目的と範囲を誠実に説明した点である。会社への開示には慎重でも「自分のためになる」仕組みには積極的という対比も明らかになり、データ提供者への透明な説明と価値循環が成立条件として機能することが示された。

##### (2) データ連携の付加価値と技術基盤の有効性

健康データと運転データという異なる種類のデータを掛け合わせることで、単独では得られない多面的な分析ができるようになり、ドライバーにとって「自分ごと化」できる具体的な改善点を提示できた。これは、データ連携が単なる情報集約ではなく、新たな付加価値を生み出す源泉であることを示している。また、本実証ではD2Dを活用することで、既存のサービスを組み合わせる形で仕組みを構築できた。分散型の連携基盤を介することで、限ら

れた期間やリソースの中でも迅速に価値検証を進められた。

### (3) データ提供者の役割に関する課題

データ提供が個人の努力やモチベーションに依存しすぎると、繁忙期や体調不良時等の余裕がない時にデータ収集が途切れるリスクがあることも確認された。このことは、データ提供者が担う「一次データを安定的に集める役割」に関して、組織的な仕組みや制度的な担保が不可欠であることを示している。運行管理者による定期的なフォローや、就業規則への組み込みといった組織的サポートがなければ、エコシステムとしての持続性は確保できない。

### (4) データ分析者の役割の必要性

健康データと運転データを組み合わせた分析からは新しい価値が得られる一方で、時系列的な一次データだけでは活用範囲に限界があることも見えた。この課題は、データ分析を担うプレイヤーが複数のデータを組み合わせ、知見として展開できる形に加工する役割を果たすことの重要性を裏付けている。提供者・管理者・利用者に加えて分析者が機能することで、価値循環が拡張し、持続的な発展につながる事が立証された。

本実証では特に、ドライバーの行動意欲とデータ提供の継続性が高まったことは、ドライバーが自らの状態に関するフィードバックを受けながら、日常的にデータを提供し、必要に応じて行動を修正していく循環を、現場レベルで回し得ることを示している。すなわち、一次データの継続的取得と個人の行動変容とを一体のプロセスとして支える仕組みを、エコシステムとして構築・運用し得ることが確認されたと言える。こうした枠組みは、個人レベルでは運転継続に必要な健康状態や安全運転行動の維持・改善を支える前提条件であり、その積み重ねが、結果として交通事業者の担い手確保や地域の移動サービスの持続性を下支えし得ることを示唆している。この意味で、本実証は、個人レベルでのデータ活用を起点とした価値の連鎖が、社会インフラとしての移動環境の維持に資する仕組みとして立ち上がり得ることの一端を示したものと位置づけられる。

## 4.3.2 データ提供者課題への解決アプローチとなる関連取り組み

前項(3)の課題（データ提供の持続性には組織的仕組みが必要）に対して、解決のヒントとなる実証事例を紹介する。本事例は、前節の成果を基に市場検証を進める中で連携した取り組みである。

ある地域の交通事業者は、日本バス協会による貸切バス事業者安全性評価認定制度<sup>\*6</sup>への対応を背景として、大学と連携しながらドライビングシミュレータや眼底検査を用いた視機能評価を行い、その結果を運行管理規定に組み込む実証を実施した。

従来の健康管理は「会社に受けさせられるもの」と思われがちであったが、本取り組みでは労使が協働して前提条件を丁寧に整備した結果、ドライバーが「主体的に受けたい」と考える意識転換が促された。この過程では、運行管理職員や事務職員も積極的に協力し、組織全体の雰囲気が変化していったことが確認されている。

検査結果のフィードバックにおいては社外の専門家が、過去の運行管理記録やドライビングシミュレータのデータと照合してリスクの背景を具体的に提示しながら親身に説明とカウンセリングを行った。従業員に長く運転を続けて欲しいという会社の姿勢が示されたことで、ドライバーは説明の内容に納得感と自分事化をしながら、「仕事を続けるため」という前向きな動機をもって、治療や受診に積極的に応じるようになった。この一連のプロセスを運行管理職員

が同席・観察したことは、従業員理解の深化や信頼関係の強化につながり、健康管理を「監視」ではなく「支援」として受け止められる基盤を形成した。

この取り組みから、データエコシステムの成立に関して二つの重要な知見が得られる。第一に、病院ではなく事業者にデータが集約されたことの意義である。従来は健康データが医療機関に留まり、社内にある運行管理データと結びつけることが困難であったが、今回のドライビングシミュレータと眼底検査の結果のように事業者自身がデータを保有・活用する（あるいは大学や民間企業の力を借りて間接的にでも見られるようになる）ことで、自社にとっての便益や活用可能性を具体的に描くことができる。すなわち、データ提供者は単なるデータの発生源ではなく、自らの課題や求める便益を明確化し、利用者や分析者に伝える主体として機能し得ることが示された。第二に、貸切バス事業者安全性評価認定制度における高評価の獲得とも結びつき、経営層にとって明確な投資インセンティブを生み出した点である。健康支援が単なるコストではなく、将来への投資として位置づけられるようになったことは、データ提供者（交通事業者および従業員）の動機づけを組織的に強化する有効なアプローチであり、エコシステム拡張に向けた実践的知見である。

## 5. 今後の展望

本稿では、移動や健康といった社会基盤の課題を特定業界に閉じ込めず、社会全体で支える枠組みへの転換が必要であることを示した。打開策として、データを媒介に多主体が協働し価値を循環させる「データエコシステム」を仮説提示し、実証を通じて成立条件を検証した。提供者が便益を見通せる動機づけ・制度的枠組み、利用者による透明性確保と価値還元、分析者を含む多主体連携により、新たな価値循環が現場で立ち上がり得ることが確認された。こうした価値循環が継続的に機能することで、ドライバーが自身の状態を理解し行動を調整するプロセスが日常的に支えられ、健康状態や安全運転行動の維持・改善につながる可能性が高まる。その積み重ねが、運転寿命の延伸や健康起因事故リスクの低減といった個人レベルの改善につながる可能性を高める。こうした個々の改善が集団として蓄積されることで、交通事業者が抱える人的リソース確保という構造的課題の緩和にも寄与し得ることが示唆された。この成果は、個人の健康増進が移動インフラの安定供給を下支えするという具体的な社会課題の解決に繋がり得ることを示した点で重要である。また、データエコシステムが社会 DX を推進する基盤となり得る可能性も確認された。

エコシステム形成の要は、個社の最適化を越えて複数主体が役割を分担しながらデータで結び付く設計である。そのためには、分散管理や透明性、利用者同意を前提とした相互運用性が不可欠となる。今回の実証における D2D の活用は、こうした要件に適合する基盤が実際にエコシステムの立ち上がりを支え得ることを示した事例である。加えて、既存サービスを短期間で組み合わせて価値検証に着手できた点も有効であった。

一方で、データを集める段階では、提供者（企業・自治体・生活者コミュニティ等）が便益を見通せる動機付けや、業務・制度に組み込む枠組みが必要であることが確認された。また、利活用の段階では、一次データをそのまま扱うだけでは価値が限定されるため、複数データを横断的に結び付け、課題解決につながる意味や方向性へ変換し、他主体にも共有可能な知見へと加工する“分析者”の役割が重要であることも明らかになった。提供者・管理者・利用者に加え、分析者が加わることで、価値循環は初めて循環構造として完結し、他の主体や領域へと

持続的に拡張可能なものとなる。

本稿で論じたデータエコシステムを通じて社会 DX（個社や一業界の最適化に閉じない他産業や地域を巻き込んだ社会全体での最適化）を実装に移すには、実践から得られる成果をオープンに共有し、議論を重ねながら社会全体で活用可能な形に磨き上げていくサイクルが不可欠である。単なる技術検証にとどまらず、ユーザーの行動や価値を描くストーリー、事業として成立させるスキーム、複数主体の連携枠組み、社会受容性を担保する規範やルール、エコシステム全体の設計といった多層的な論点を含む。ICT 基盤は単なる技術要素ではなく、データ流通を支える社会的インフラとして機能する。中立性と信頼性を担保し、分散的に管理されたデータを誰もが安心して活用できる環境を整えることが、エコシステムを動かす前提となる。

また、複数事業者が参画するエコシステムでは、すべてを競争に委ねると投資やリスク負担が偏り持続性が損なわれ、逆にすべてを協調に寄せるとイノベーションが停滞する。共通基盤やルールを協調領域として整備しつつ、その上で各事業者がサービスやビジネスモデルで競争することにより、新たな価値創出と持続的な参画インセンティブの両立が可能になる。このように、実践と議論の循環、協調と競争の適切な分担、そして信頼できるデータ基盤の三つが組み合わさることで、社会課題の解決と新産業の形成が両立し、社会 DX は現実の仕組みとして根付いていく（図 4）。

リアルプロジェクトで実践した成果をもとに、コンソーシアムの中でオープンな議論を展開。ビジネスユースケースを社会実装するために必要な協調領域の基盤機能や標準化などを整備する。

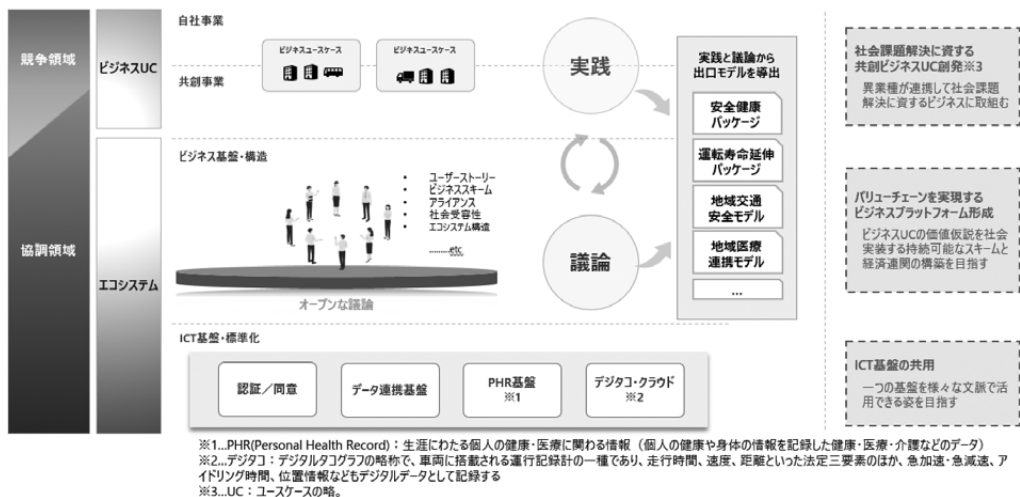


図 4 社会 DX を実現する構造

今後としては、令和 7 年度デジタル田園都市国家構想の採択を受け、地域の移動課題を軸に、住民の安全な移動の維持、健康増進、および地域 QOL の向上を目的として、前章で扱った二つのアセット（ドライバー健康増進と運転リスクのフィードバック、視機能評価と運行管理への実装知見）を活用しながら、地域課題解決に資するユースケースの創出と実装を進める。対象は職域から開始するが、高齢者や子育て世帯など地域住民へと対象を広げることで、「安全に長く運転できること」が単なる移動寿命の延伸にとどまらず、地域経済の循環や住民の生活の質（QOL）向上に寄与する仕組みを目指す。成果を広く多様なプレイヤーと共有し、持続

可能な移動社会の実現という社会的価値の創出へと発展させる。

さらにその先の展開可能性としては、モビリティとヘルスケアの連携を基盤に、社会構造レベルでの応用が想定される。たとえば、道路交通インフラの整備・運用と連携しながら、交通安全と地域の移動を一体的に支える社会基盤の形成を促すことが考えられる。また、保険会社と連携することで、失業リスクを伴う疾病——たとえば緑内障のように運転継続に影響する疾患——に対する予防策や補償スキームを構築する可能性もある。加えて、職業ドライバーを対象とした地域クリニックを起点に、遠隔医療を含む地域医療連携の仕組みを整備することで、健康と移動の両面から地域の持続性を高める構想も視野に入る。これらに共通するのは、「健康」と「移動」をデータで橋渡しすることで地域の持続性を高めるという方向性である。今後は、これらの構想を具体化し、地域におけるモビリティとヘルスケアの新たな連携モデルとして段階的に具現化していくことを目指す。

## 6. お わ り に

BIPROGY の役割は、モビリティ×ヘルスケア領域を起点に、産業や業界、地域が抱える課題を社会課題の言語に翻訳して企業の事業投資と結び付け、中立的なデータ連携基盤（D2D）とガバナンス設計を提供する触媒である。企業の共創と地域の共益、そして個人への便益還元を成立させるデータエコシステムを社会実装し、社会 DX の推進に貢献していく。

最後に、本稿の執筆にあたりご協力いただいた関係者各位に心より感謝いたします。

- 
- \* 1 地域内に分散・断片化した移動ニーズを可視化し（需要）、移動リソース（供給）と効率的・適切に繋ぐ交通サービスを提供する機能。
  - \* 2 デジタルコモンズは、社会に既に存在する私有財（企業・団体・個人のもつ財）や余剰財（稼働率の低い財）を、デジタルの力で追加コストの少ない共有財として広く利活用可能とすることによって、社会課題解決における社会的価値と経済的価値の両立を可能とするコミュニティーを指す。本稿においては、とりわけモビリティ×ヘルスケア領域において、ドライバーの健康・運転データ等の分散した私有データ群を中立的なデータ連携基盤のもとで共同利用し、移動インフラの維持と関係事業者の価値創出の両立を図るための社会的基盤として位置付ける。
  - \* 3 2021 年度には事業用自動車総合安全プラン 2025 が公表され、健康に起因する事故の増加への対応が明言されている。
  - \* 4 当社は 2022 年より MSP 構想を牽引するトヨタ・コニック・アルファ株式会社の活動に参画し、自動車業界を起点としたデータエコシステム形成に貢献している。
  - \* 5 X-Road は、各省庁・自治体・民間などが個別に構築した多様な情報システム同士をつなぐ「橋渡し」の役割を果たすデータ交換基盤であり、相互運用性を確保しながら統合・連携を可能にしている。また、こうしたデジタルインフラにより、ビジネス登録や税申告、各種許認可が迅速化され、スタートアップ創出やグローバル企業の誘致といったビジネス環境の競争力向上にもつながっている。
  - \* 6 貸切バス事業者安全性評価認定制度は 2024 年度に 2011 年度制度開始以来、抜本的見直しが行われ、運転者の健康管理を強化するため、従前の「睡眠時無呼吸症候群対策」「脳血管疾患対策」に加え、「心臓疾患・大血管疾患対策」「視野障害対策」を評価対象とし、国土交通省のガイドライン等に基づき規程等を作成し、計画的に検査を実施している事業者について高く評価することが明言された。

- 参考文献** [1] デジタル庁, “モビリティワーキンググループ（第 8 回）「交通商社機能のあり方」”, 2025 年 2 月, <https://www.digital.go.jp/councils/mobility-working-group/65e33f18-b2d0-4e42-abc6-81be87bf8945>
- [2] 国土交通省, “自動車総合安全情報 事業用自動車総合安全プラン 2025”, 2021 年 3 月, <https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/news/anzenplan2025.html>
- [3] デジタル庁, “モビリティワーキンググループ（第 6 回）「MSP 構想について」”,

2024 年 12 月, <https://www.digital.go.jp/councils/mobility-working-group/4b046f33-a187-4bb1-be6d-ea965e07dee1>

- [4] 楠田悦子, 「移動貧困社会」からの脱却—免許返納問題で生まれる新たなモビリティ・マーケット, 時事通信社, 2020 年 12 月
- [5] 鎌田実, 宿利正史, 移動困窮社会にならないために 新しいモビリティサービスへの大転換によるマイカーへの過度の依存からの脱却, 時事通信社, 2024 年 4 月
- [6] 幕武佳, 笈川貴将, 分散型データ連携プラットフォーム「Dot to Dot」のアーキテクチャ, ユニシス技報, 日本ユニシス, Vol.40 No.3 通巻 146 号, 2020 年 12 月
- [7] 山本史朗, 笈川貴将, 箱崎浩大, パーソナルデータ流通基盤“Dot to Dot”による共創の未来, ユニシス技報, 日本ユニシス, Vol.41 No.3 通巻 150 号, 2021 年 12 月
- [8] デジタル庁, “モビリティワーキンググループ (第 3 回)「モビリティ・ロードマップ 2024 (仮称) のとりまとめの方向性について」”, 2024 年 3 月, <https://www.digital.go.jp/councils/mobility-working-group/75993bde-62db-4ff4-93e9-53a935dff056>

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は, 2025 年 10 月 17 日時点での存在を確認。

#### 執筆者紹介 高橋 秀斗 (Shuto Takahashi)

2023 年 BIPROGY 入社。データ流通による共創ビジネスを創出すべく, Dot to Dot の営業・企画に従事。現在はモビリティ領域を中心に, 企業共創プロジェクトを推進。



#### 酒井 悠人 (Yuto Sakai)

2024 年 BIPROGY 入社。企業共創プロジェクトに従事。現在は保険会社の新規事業の伴走支援を行う。



## 2025 年大阪・関西万博からはじまる

### 「日常の中にヘルスケアが溶け込んだミライ社会の実現」

Realizing a Future Society Where Healthcare is Integrated into Daily Life,  
Starting from Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan

馬 場 柚 里

**要 約** BIPROGY株式会社では、新たなヘルスケアサービス事業を立ち上げるべく、そのパーパスを「日常の中にヘルスケアが溶け込んだミライ社会の実現」と定義し、健康・予防領域における生活者への価値提供プロセスの分析・評価を行った。その結果、健康・予防領域においては「情報（計測）→評価→対策」とつながるべき価値提供プロセスが分断されているという課題にたどり着いた。それらを一気通貫でつなぐ価値提供プロセスのリデザインが差別化要素になりうると判断し、『ヘルスケアドライバ事業』と命名した事業化に取り掛かっている。

事業化に向けて困難なこともあったが、2025 年大阪・関西万博「大阪ヘルスケアパビリオン」において当該プロセスの有効性を確認することができたため、万博閉幕後は社会実装を進めている。

**Abstract** BIPROGY Inc. has defined its purpose in the exploration of new healthcare services as “realizing a future society where healthcare is integrated into daily life.” In this context, we have analyzed and evaluated the value delivery process for consumers in the health and prevention sectors. As a result, it was identified that the value delivery process in the health and prevention sectors, which should consist of distinct stages: “Subject/Object -> Assessment -> Plan”, is fragmented. We concluded that redesigning this value delivery process to create a seamless connection among these stages could serve as a differentiating factor. Consequently, we have initiated the commercialization under the name “Healthcare Driver Business.” While there were challenges in commercializing the business, they were able to confirm the effectiveness of the process at the Osaka Healthcare Pavilion at Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan, and have been working on implementing it in society since the Expo closed.

#### 1. は じ め に

厚生労働省医薬・生活衛生局生活衛生・食品安全企画課による「令和4年度 健康実態調査結果の報告」によると、日常生活での悩みやストレスの有無について「ある」と回答した方が75.0%となっており、悩みやストレスの原因のうち最も気になる原因としては、「自分の健康状態、病気や介護」と回答した方が42.2%と最も多い<sup>[1]</sup>。一方で、内閣府の「令和5年度 男女の健康意識に関する調査報告書」によると、最も気になる症状への対処法については、男女ともに「十分に対処できていない」が55%程度と半数を占めており、その理由としては「金銭的な余裕がない」「どのように対処をしたらよいかかわからない」「我慢すればいいと思っている」が上位となっている<sup>[2]</sup>。

これらの結果は、わが国では国民皆保険制度により医療費が安価で済むために、生活者一人

ひとりの「疾病予防」に対する意識が希薄になっていることの現れと言える。一方で、こうした意識の希薄さによって、当たり前だと思っていた健康が時とともに失われ、予防できたはずの病気が発症することで、心身の制約が顕在化し、ようやく健康の大切さが認知される。

そのような「疾病予防」に対する意識を変えるため、BIPROGY 株式会社（以下、BIPROGY または当社）では、「日常の中にヘルスケアが溶け込んだミライ社会の実現」というパーパスを掲げた。健康・予防が日常の一部として機能し、無意識のうちに生活者一人ひとりがその人らしい健康行動へ踏み出せる社会を実現すべく「ミライのヘルスケアサービス」の創造に取り組んでいる。

本稿では、BIPROGY がミライのヘルスケアサービスの検討を進める中で得た「生活者への価値提供プロセスのリデザイン」という“気づき”を論じ、それを実現するフィールドとして2025年大阪・関西万博を契機とした社会実装事例を紹介する。まず2章で、健康・予防領域における価値提供プロセスのアプローチ仮説を述べた後、3章で、仮説に基づく社会実装事例に向けて2025年大阪・関西万博で展示した「大阪ヘルスケアパビリオン」および公募型プロポーザル「ミライのヘルスケア活動サポート事業」について説明する。

## 2. 「日常の中にヘルスケアが溶け込んだミライ社会の実現」に向けて

本章では、健康・予防領域と医療領域における「価値提供プロセス」の構造的相違（その気づき）から導出した事業仮説（アプローチ）と、それを実現する BIPROGY の新規事業『ヘルスケアドライバ事業』について論じる。

### 2.1 健康・予防領域と医療領域の定義

JAH1（公益財団法人日本ヘルスケア協会）は、「ヘルスケア」を「自らの『生きる力』を引き上げ、病気や心身の不調からの『自由』を実現するために、各産業が横断的にその実現に向け支援し、新しい価値を創造すること、またはそのための諸活動をいう」と定義している<sup>[3]</sup>。すなわちヘルスケアとは、健康な状態も病気にかかっている状態も対象とする、きわめて広範な概念であると捉えることができる。

そこで本稿では、ヘルスケアの範囲を“個人の置かれている段階”の観点から、病気と診断される前の段階を「健康・予防領域」、病気と診断された後の段階を「医療領域」と定義する（図1）。

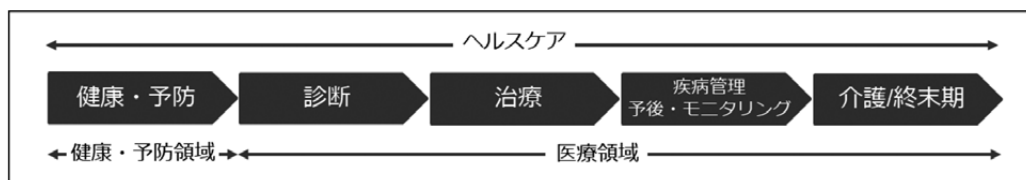


図1 ヘルスケアの範囲

### 2.2 健康・予防領域と医療領域の違い

医療領域では、診断から治療までの一貫性を表現する記録方法の一つとして「SOAP」\*1と呼ばれる考え方が一般的である。これを健康・予防領域にも当てはめ、両者の構造的な違いを



整理したものを図2に示す。

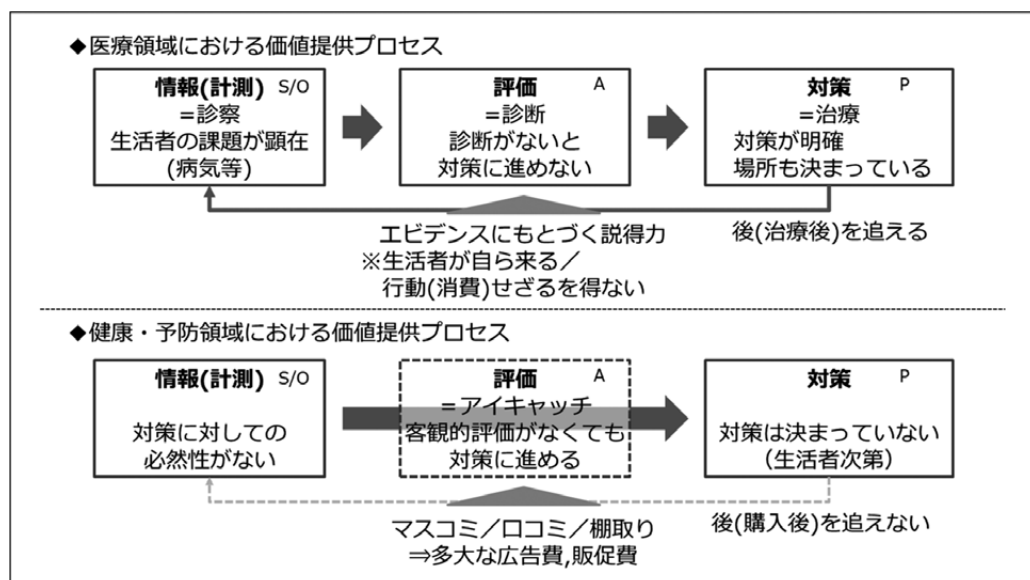


図2 医療領域および健康・予防領域における価値提供プロセス

医療領域における価値提供プロセスを見ると、「情報（計測）→評価→対策」の一連のプロセスが滞りなく進んでいる。ここには次のような特徴がある。

- ① 情報（計測）：医療領域では、生活者（患者）の課題は何らかの“症状”として顕在化しており、患者自らが診察を受けに来る。
- ② 評価：病気の診断には医師という絶対的存在が介在する。医師は患者の状態を見極め、数々の臨床試験データに基づいて、治療方針を決定する。
- ③ 対策：患者は医師が決定した治療計画どおりに治療を受ける。また、定期的な通院により治療後の観察ができる。

一方、健康・予防領域における価値提供プロセスを見ると、次のような点が医療領域とは異なっており、「評価」の前後でプロセスが分断されていることが分かる。

- ① 情報（計測）：健康・予防領域では、生活者の課題は顕在化しておらず、生活者は何らかの「対策」を取る必要に迫られていない。
- ② 評価：医療領域と比較して、「対策」を支持するエビデンスに欠ける。そのため生活者は、マスコミ報道、SNS 上の口コミ、店舗での販促ポップなどの「アイキャッチ」に影響されてしまうことがしばしばある。
- ③ 対策：医療領域における医師のように、生活者の状態を見極めて具体的な対策を提示する存在が不在である。そのため、生活者は自己判断で「対策」を選ぶことになり、また「対策」を継続するかどうかは生活者次第となっている。

このように、健康・予防領域と医療領域には構造的な違いが生じており、この違いにより、健康・予防領域では生活者に適切な対策が届かず、健康行動を起こすに至ってない（＝健康・予防領域での消費が進まない）。

### 2.3 健康・予防領域における価値提供プロセスへのアプローチ仮説

これらの整理のもと、健康・予防領域における健康行動促進のためには、以下①～③の要素を充足させ、プロセスの分断を解消し、医療領域と同様の『一気通貫の価値提供プロセスにすること』が不可欠であるとの仮説を定義した（図3）。

- ① 課題の顕在化/気付かせる：生活者自身も気付いていない生活者の健康課題を明らかにする。また、そのような機会を提供する。
- ② 対策に意味を持たせる：プロセスの中でも特に未成熟な「評価」の部分について、説得力のあるエビデンスに基づいた対策を提案して、生活者が健康行動を起こすに足る動機を提供する。
- ③ 継続的な接点を持つ：健康行動を起こした後を観察できるよう、生活者との接点を持ち続ける。

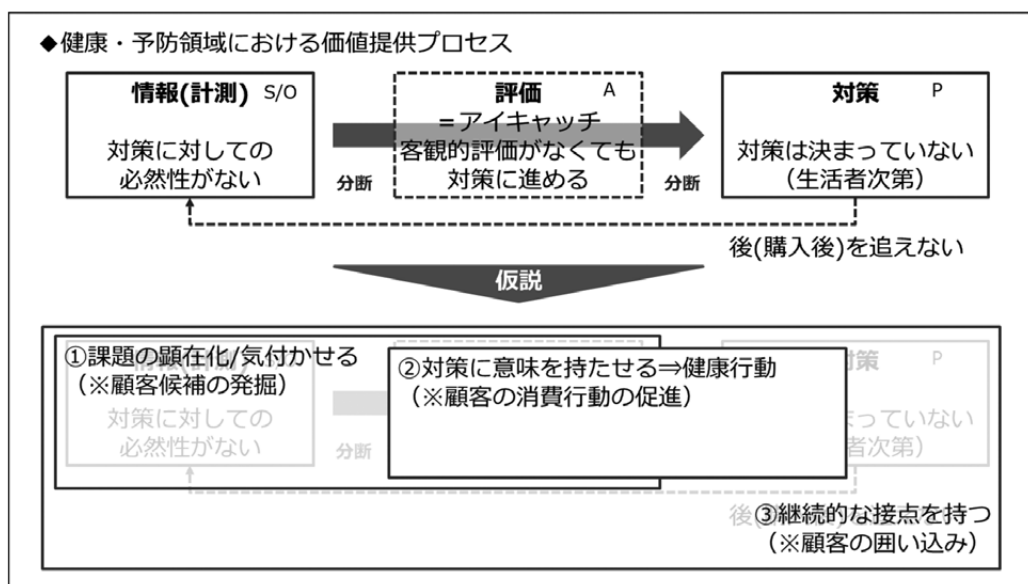


図3 健康・予防領域における価値提供プロセスへのアプローチ仮説

### 2.4 ミライのヘルスケアサービス創造：ヘルスケアドライバ事業

これまで、ヘルスケア市場にはIT 業界含め多数の企業が参入しており、レッドオーシャンと呼ばれて久しいが、前節の「健康・予防領域における価値提供プロセスへのアプローチ」を実現できている企業は確認されていない。

そこで、健康・予防領域において、SOAP の一気通貫によって「生活者への新たな価値提供プロセス」をいち早くデザインすることが重要だと考え、他社経営資源との結合などにより

“生活者への価値提供プロセス全体を一気通貫でつなげるサービス”を事業化することを BIPROGY の基本戦略とした。生活者が健康行動を取るための“駆動装置”や“推進力”となる意味を込めて『ヘルスケアドライバ事業』と命名した (図 4)。

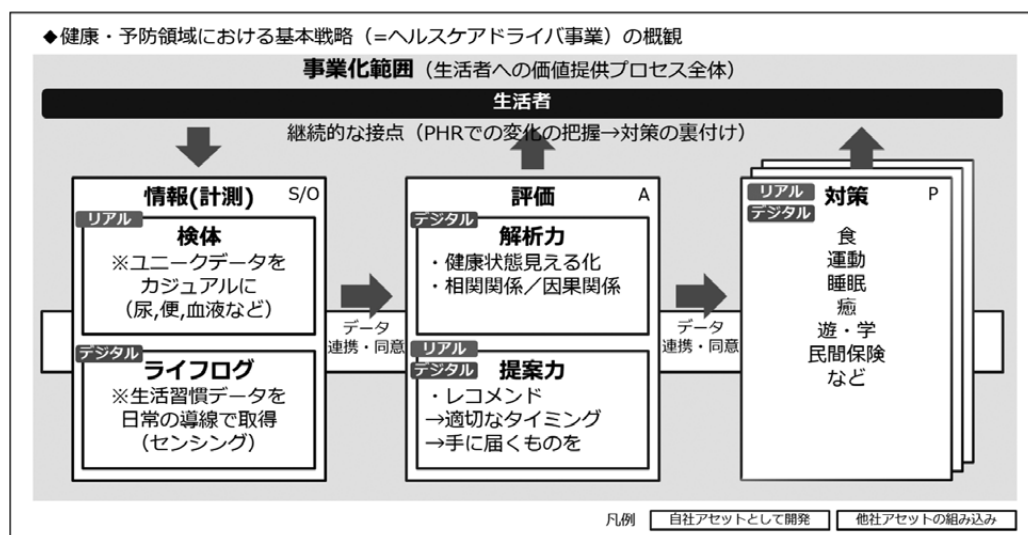


図 4 ヘルスケアドライバ事業の概観

本事業は、多面的な「情報（計測）」を組み合わせ、生活者の健康状態を深く「評価」し、その人に合った「対策」をレコメンドするものである。しかし、この価値提供プロセスは複雑であり、どこか一社のみで成し得る事はできないため、実現は容易ではない。しかしながら、「大阪ヘルスケアパビリオン Nest for Reborn<sup>\*2</sup>」（以下、大阪ヘルスケアパビリオン）における展示体験という形で実現に至った。

そして、この展示体験を万博閉幕後に社会実装することが「ミライのヘルスケアサービス」の実現であり、その中核を成す事業（サービス）が『ヘルスケアドライバ事業』である。

### 3. 2025 年大阪・関西万博を契機とした社会実装事例

本章では、2025 年大阪・関西万博「大阪ヘルスケアパビリオン」の展示体験の概要と BIPROGY 参画の意義、そしてそれを社会実装する「ミライのヘルスケア活動サポート事業」の具体的な提供サービスについて述べる。

#### 3.1 2025 年大阪・関西万博「大阪ヘルスケアパビリオン」の展示体験

本節では、大阪ヘルスケアパビリオンの「リボーン体験ルート」の概要と BIPROGY 参画の意義を述べる。

##### 3.1.1 リボーン体験ルートの概要

大阪ヘルスケアパビリオンのメイン展示体験である「リボーン体験ルート」では、「カラダ測定ポッド」を使って、肌、髪、心血管など、七つの項目を測定する。そのデータを基に生成した 25 年後の自分のアバター「ミライのじぶん」に出会い、その後ミライのじぶんと一緒に

「ミライのヘルスケア」や「ミライの都市」を体験できるブースをめぐることで、新たな自分へと生まれ変わるきっかけを提供する。

ここで、カラダ測定ポッドを「情報（計測）」、ミライのじぶんを「評価」、ミライのヘルスケア・ミライの都市を「対策」と捉えると、BIPROGY が考える「健康・予防領域の価値提供プロセス」に合致する（図5）。

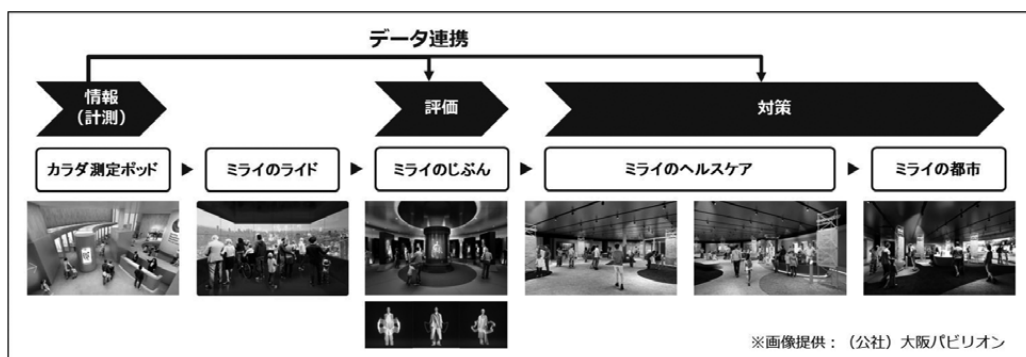


図5 リボーン体験ルートの流れ

### 3.1.2 BIPROGY が担う役割と参画意義

2章で述べたとおり、BIPROGY は、健康・予防領域の価値提供プロセス全体を、他社経営資源との結合などにより“一気通貫でつなげる”サービスの事業化を目指している。そしてこのモデルを実現するために、2023年度より公益社団法人2025年日本国際博覧会大阪パビリオンから「システムPMO業務」を受託し、大阪ヘルスケアパビリオンの展示体験を構成するシステム全体の進捗管理・課題管理・連携調整などを行ってきた。その結果、健康・予防領域の価値提供プロセスを、必要なプレイヤーを複数巻き込みながら一気通貫で実現するモデルや仕組みを作ることができた。また、展示体験を構成するシステムの一つとして、BIPROGY の分散型パーソナルデータ流通基盤「Dot to Dot」の現物協賛も行うことで、PHR（Personal Health Record）データの利活用に欠かせない「データ連携」を担うポジションを確立することができた（図6）。

「Dot to Dot」は、三井不動産株式会社とBIPROGY が共同開発したデータ連携基盤である。柏の葉スマートシティでパーソナルデータを活用したウェルネスヘルスケア領域の住民サービスを強化するために、2020年からサービス提供を開始した。「Dot to Dot」は個人の健康情報をアプリと安全に連携させることに加えて、情報利用に関する「同意管理」や、目的に照らした利用実績の確認を実現している<sup>[4]</sup>。大阪ヘルスケアパビリオンでは、「カラダ測定ポッド」で測定したPHRデータを「ミライのじぶん」や「ミライのヘルスケア」へとデータ連携する役割を果たした。

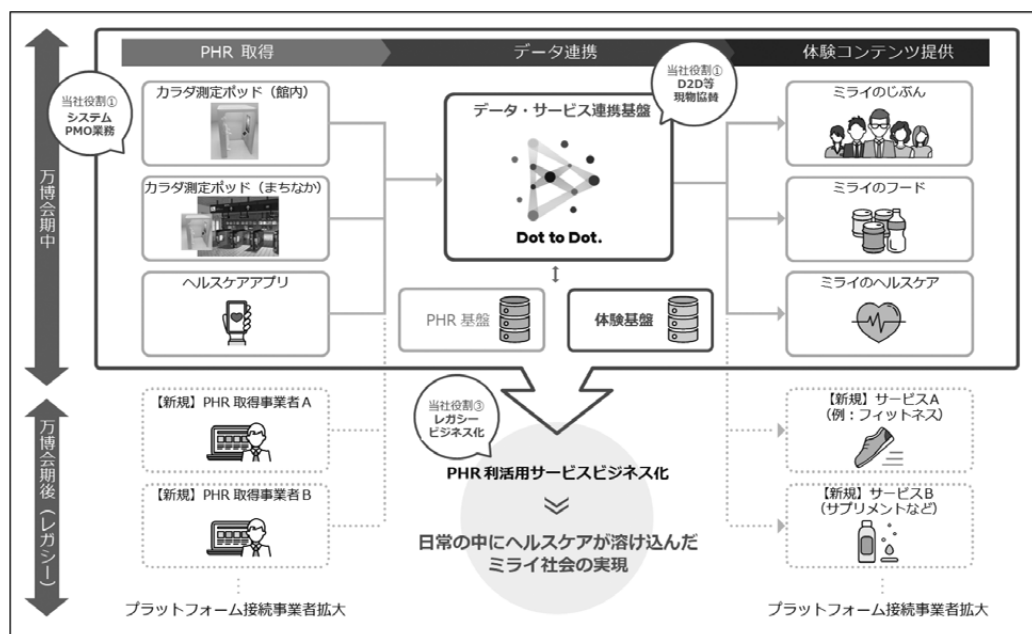


図6 大阪ヘルスケアパビリオンにおける当社役割

### 3.2 大阪ヘルスケアパビリオンにおけるミライのヘルスケア活動サポート事業

「大阪ヘルスケアパビリオン出展基本計画」において、大阪ヘルスケアパビリオンは、いのちや健康の観点から、未来社会のモデルを世界に向けて発信する取り組みをレガシーとして後世に継承することで、「大阪の成長と経済発展」および「いのち輝く幸せな暮らし」の実現に向けて貢献することをめざす<sup>[5]</sup>とされている。そのソフトレガシー化の取り組みとして、当該パビリオンが提供する「日常的に容易に健康情報を把握でき、パーソナライズされたヘルスケアを受けられる」といった体験の仕組みそのものを民間事業者を引き継ぐことを目的に、2025年1月14日に「ミライのヘルスケア活動サポート事業業務委託」の公募型プロポーザルが実施された。

これは万博で実現する一貫通貫モデル・仕組みの社会実装化であり、「ミライのヘルスケアサービス」への足掛かりとなる。そのためBIPROGYは、西日本旅客鉄道株式会社、株式会社博報堂とともに「PHR コネクト共同企業体」という共同企業体を組成して応札し、選定委員会委員による審査のもと、2025年3月26日に優先提案事業者として選定を受けた。現在は2025年度中のサービス提供に向けて準備中である。

PHR コネクト共同企業体の提案内容は図7に示すとおりである。生活者との接点とPHR (Personal Health Record)<sup>\*3</sup>を獲得する「プラットフォーム」に、PHRなどを活用する「各種サービス」がつながる2階建ての構成を取っている。なお、後者は西日本旅客鉄道株式会社と株式会社博報堂が共同で立ち上げた駅ナカ健康管理拠点「DotHealth Osaka」において提供する。

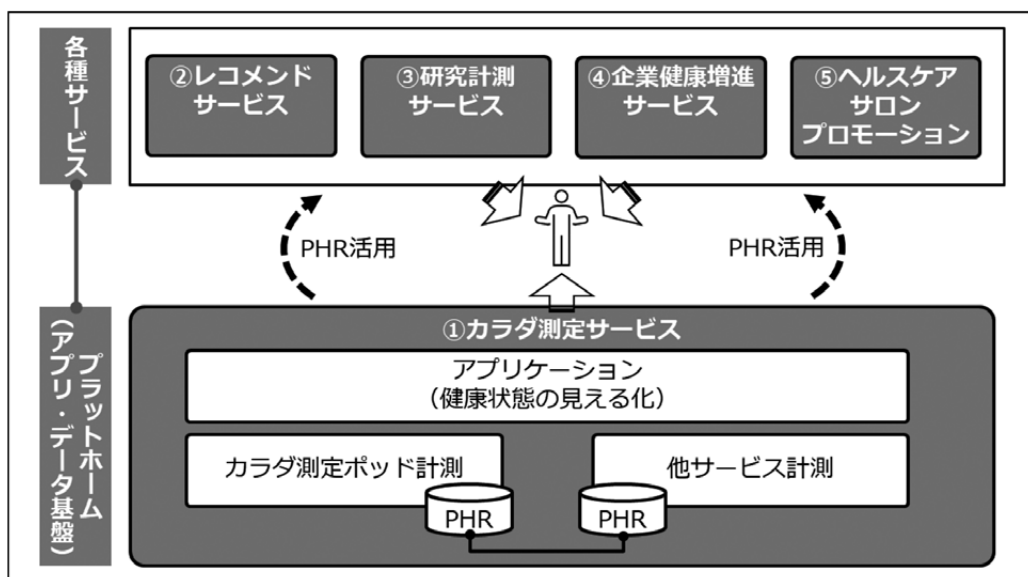


図7 「ミライのヘルスケア活動サポート事業」のサービス構成

各サービスの概要は次のとおりである。

- ① カラダ測定サービス：「カラダ測定ポッド」を生活者の日常動線である“駅”中心に設置し、センシングおよびアプリケーションを用いた見える化により、生活者が日常的に容易に健康情報を把握できる環境を構築する。また、すでに計測事業を運営している事業者<sup>※4</sup>と連携し、より専門的なPHRのデータ連携も行う。
- ② レコメンドサービス：カラダ測定サービスでの測定結果を基に、生活者に適した解決策を提案する。解決策の提供にあたっては、駅ナカのコンビニなどと連携することを計画している。情報（計測）～評価～対策の価値提供プロセスを“駅”という環境の中で、一貫通貫で実現できる点は、本事業ならではの強みである。
- ③ 研究計測サービス：カラダ測定サービスの利用者を“モニターパネル”と位置づけ、ヘルスケア分野の商品開発などを行うサービス事業者（例：食品メーカー）における研究計測（商品のモニター試験）の効率化に貢献する。
- ④ 企業健康増進サービス：“駅”という環境特性（日常の動線上）を活かし、企業従業員の定期的な健康状態把握を支援する。また、企業健康保険組合向けに特定保健指導の機能強化・簡便化や、人事部向けに未病対策ソリューションの提供なども想定している。
- ⑤ ヘルスケアサロンプロモーションサービス：JR大阪駅の日抜き通りに開設された駅ナカ健康管理拠点「DotHealth Osaka」に協賛ゾーンを設け、事業者サービスのプロモーションやイベント（実証実験含む）の機会を提供する。

#### 4. お わ り に

BIPROGYにとって大阪ヘルスケアパビリオンへの参画は、「日常の中にヘルスケアが溶け込んだミライ社会の実現」に向けた“出発点”に過ぎない。2025年10月13日の大阪・関西万博閉幕の翌日からは“社会実装”のフェーズを進める。

まずは、JR 大阪駅の一等地に構える「DotHealth Osaka」を起点に、まさに日常の動線上での先進的なヘルスケア体験を生活者に提供していく。今後の展望としては、駅以外にも様々な日常の動線上に「情報（計測）→評価→対策」の価値提供プロセスを一貫通貫で提供する拠点を展開していく予定である。例えば、オフィスワーカーにとっての日常動線である「オフィスビル」などはその筆頭候補となっており、他にもコンビニエンスストア、ショッピングモール、空港ラウンジ、自治体拠点など、様々な日常動線を押さえ、各セグメントに深く刺さるサービスを展開することで事業拡大を図っていく考えである。現時点で、駅および駅以外での新規サービスのローンチ準備中ではあるが、これら一連のアプローチについて、サービス事業開発・推進における向き合い方の一助となれば幸いである。

最後に、本稿執筆の背景となったヘルスケアドライバ事業の関係者各位、および執筆指導いただいた関係者各位に心より感謝を申し上げる。

- 
- \* 1 S (Subject) : 主観的情報, O (Object) : 客観的情報, A (Assessment) : 評価, P (Plan) : 計画 (対策).
  - \* 2 2025 年大阪・関西万博に大阪府、大阪市、2025 年日本国際博覧会大阪パビリオン推進委員会、公益社団法人 2025 年日本国際博覧会大阪パビリオンが出展するパビリオン。
  - \* 3 個人の健康・医療情報の記録のこと。本稿では主に“健康情報”として使用する。
  - \* 4 一般社団法人プレジジョンヘルスケア研究機構 (<https://j-phr.org/>) を指す。該社は生活者の健康計測を継続的に実施し、健康維持・増進のためのソリューション開発に貢献している。

- 参考文献** [1] 厚生労働省医薬・生活衛生局生活衛生・食品安全企画課, 「令和 4 年度 健康実態調査結果の報告」, P23, 2023 年 1 月, <https://www.mhlw.go.jp/content/11131500/001077224.pdf>
- [2] 株式会社マーケティング・コミュニケーションズ, 「令和 5 年度 男女の健康意識に関する調査報告書」, PP.36 ~ 38, 2024 年 3 月, [https://www.gender.go.jp/research/kenkyu/pdf/kenkou\\_r05s/01.pdf](https://www.gender.go.jp/research/kenkyu/pdf/kenkou_r05s/01.pdf)
- [3] 公益財団法人日本ヘルスケア協会 (JAH), 「ヘルスケアの定義」, <https://jahi.jp/about/healthcare-definition/>
- [4] 山本史朗, 笈川貴将, 箱崎浩大, パーソナルデータ流通基盤“Dot to Dot”による共創の未来, BIPROGY 技報, BIPROGY, Vol.41 No.3, 通巻 150 号, 2021 年 12 月, [https://www.biprogy.com/pdf/tec\\_info/15005.pdf](https://www.biprogy.com/pdf/tec_info/15005.pdf)
- [5] 2025 年日本国際博覧会大阪パビリオン推進委員会, 「2025 年日本国際博覧会大阪パビリオン出展基本計画」, P45, 2022 年 3 月, [https://2025osaka-pavilion.jp/overview/summary-plan/OsakaPavilion\\_Plan.pdf](https://2025osaka-pavilion.jp/overview/summary-plan/OsakaPavilion_Plan.pdf)

※ 上記注釈および参考文献に示した URL のリンク先は、2025 年 10 月 27 日時点での存在を確認。

#### 執筆者紹介 馬場 柚里 (Yuri Bamba)

2020 年 BIPROGY (株) 入社。ヘルスケア領域の新規事業開発に従事し、地方自治体や医療法人グループとの共創ビジネス創出に取り組む。2023 年より大阪・関西万博を契機とした新たなヘルスケアサービスの事業化に従事し、現在に至る。



## 台帳連動型デジタルツイン構築手法の確立と 実用化に向けたアプローチ

### Approach for Establishing and Practical Implementation of a Ledger-Integrated Digital Twin Framework

石 川 直 之

**要 約** 建物や社会インフラの維持管理は未だにアナログな方法が主流であり、建築物の老朽化が進む一方で、それらに対応するための労働力の不足が大きな問題となっている。その中で、3D スキャン技術によりサイバー空間上に建物や社会インフラのデジタルツインを作成し、遠隔からの管理に置き換える試みが進んでいるが、費用や担当者の負荷が高く、進展が遅い。この状況を打破すべく、物体検出 AI を用いて 3D 画像から管理対象の設備を検出して自動でタグ付けを行い、それらを設備台帳と紐づける台帳紐づけ支援機能を実装して、その省力化フローを検証した。台帳連動型デジタルツイン構築手法を確立することで、設備の所在検索・情報閲覧や履歴蓄積にあたってのボトルネックを解消し、デジタル建物管理の障壁を下げて社会課題の解決につなげられるとの仮説に基づき、実用化に向けたアプローチを進めている。今後は、建物管理などの実業務における利活用とその先にあるデジタルコモンズ構想の実現に向けて、様々なステークホルダーとの共創や価値検証を目指すオープンイノベーションプラットフォームの実用化を進める予定である。

**Abstract** The maintenance of buildings and infrastructure primarily relies on analog methods, leading to concerns about aging facilities and labor shortages. While efforts to create digital twins using 3D scanning technology are ongoing, high costs and user burdens hinder progress. To address this, we have developed a labor-saving process that uses object detection AI to automatically identify and tag equipment from 3D images, linking them to an equipment ledger. This approach aims to eliminate bottlenecks in equipment location and information access, facilitating the use of digital buildings and addressing social issues. We plan to further develop an open innovation platform for collaboration with various stakeholders to enhance practical applications in building management and realize a digital commons concept.

#### 1. は じ め に

建物や社会インフラの老朽化によりメンテナンス作業へのニーズが高まる一方で、労働力人口の減少により熟練技術の継承者が不足し、社会課題となっている。多くの建物や社会インフラにおいて、維持管理のための設備情報や点検記録などは、いまだに紙の図面や個別の Excel ファイルで管理されている。これらの情報は体系的に統合されておらず、適切なデータを迅速に検索し活用することが困難であるため、長年の経験をもつ熟練技術者の記憶や判断に頼らざるを得ない。結果として、属人的で暗黙知に基づくアナログ的な管理体制から脱却できていないのが現状である<sup>[1]</sup>。

この課題への解決策として、3D スキャン技術を使ってサイバー空間上に施設のデジタルツ



インを作成し、遠隔でのメンテナンス計画立案や履歴確認に活用する手法が注目を集めており、3D ビューアーと設備管理システムを組み合わせる形での業務改革の取り組みが進んでいる。ただ、3D は分かりやすく操作しやすい一方で、管理対象である設備の特定およびタグ付けやメンテナンス履歴の記録などをユーザー自身が都度行わなければならない、これが建物管理業務での活用を促進する上でのボトルネックとなっている。「ビルメンテナンス業の人手不足に関する実態調査（概要版）」<sup>[2]</sup>の「【図表 2-3】設備管理業の人手不足対策の取り組み（検討中含む）」によると、遠隔監視や画像物体検知などの対策を行っている事業者は 192 社回答のうち 6% となっており、技術の進展が遅い。

そこで、BIPROGY 株式会社（以下、BIPROGY）は、物体検出 AI を用いて 3D 画像から管理対象の設備を検出して自動でタグ付けを行い、これらを設備台帳と紐づける台帳紐づけ支援機能を実装した。また、この機能を使用することで、設備の所在検索・情報閲覧や履歴蓄積にあたってのボトルネックを解消し、デジタル上での建物管理の障壁を下げ社会課題解決につながれると仮定して、空間データを自動で作成しデジタルツインを活用した建物管理を目指す「台帳連動型デジタルツイン構築」の実証実験を行った。

本稿の目的は、今回行った実証実験の結果をもとに、デジタルツイン構築作業の省力化やデジタル建物の管理業務での活用促進について考察し、デジタル建物管理の導入を検討している企業に向けて、その有効性を示すことである。そのために、実証実験の概要と、物体検出 AI のチューニングおよび台帳紐づけ支援機能の実装時に検討した具体的な検討ポイントと留意すべき点を整理して紹介する。2 章でデジタルツイン構築の標準手順と自動化に向けたアプローチを説明し、その実現手法として、3 章で開発した物体検出および台帳紐づけ手法について述べる。4 章でデジタル建物の作成省力化の実証実験の内容と結果の概要について、5 章でオフィス什器自動検出の実証実験の内容と結果の概要を示す。6 章で実証実験の結果について全体をまとめ、7 章で今後の取り組みを記す。

## 2. デジタルツイン構築の標準手順と自動化に向けたアプローチ

空間データを自動で作成しデジタルツインを活用した建物管理を目指して、BIPROGY は 2023 年度から株式会社リコー（以下、共同事業者）と共同で、デジタルツイン構築自動化のための仕組みを研究開発している（以下、本プロジェクト）。

本プロジェクトでは、共同事業者が提供する「RICOH Digital Twin Workplace」<sup>\*1</sup>の光学技術や AI 技術、ならびに BIPROGY が販売パートナーとして提供・導入支援を行っている「Archibus」<sup>\*2</sup>（以下、台帳システム）の建物データベースや維持管理業務機能といった仕組みを組み合わせることで、建物をデジタルで容易に管理し、労働力不足や技術の継承者不在といった課題を抱える建設・維持管理業務を変革することを目指している。

「RICOH Digital Twin Workplace」は、建物や空間を高精度な 3D デジタルモデルとして再現する技術を提供する「デジタルツインソリューション」のジャンルに位置付けされる製品である。日本では Matterport<sup>\*3</sup>、Ricoh360<sup>\*4</sup>、OpenSpace<sup>\*5</sup>、Nossa360<sup>\*6</sup>などの製品が建設業や不動産業などを中心に利用され始めているが、建物管理・ビルメンテナンスの分野では、あまり普及が進んでいない<sup>[2]</sup>。

## 2.1 デジタルツイン構築の標準手順

デジタルで建物管理を行う場合、デジタルツイン構築の標準的な手順は概ね次の通りである。

- 1) 撮影：建物を 360 度カメラ・3 次元レーザースキャナーで撮影し、空間データを取得
- 2) 3D モデル生成：デジタルツイン上で閲覧できるデジタル建物（3D モデル）を生成
- 3) タグ付け：デジタル建物上で管理対象である設備の位置を目視で特定し、該当設備に関する関連情報を手動でタグ付け

最後の手順であるタグ付けを実施するにあたっては、設備リストの各設備が実際にどこに設置されているかを把握していることが求められるため、現場に精通した設備管理技術者、または図面と設備リストの照合と位置合わせができる IT 担当者のどちらかが実施するのが通例である。デジタル建物管理によるメリットを最も享受しうるのは建物のオーナーであるが、このタグ付けに要する手間や製品導入/利用時のコストがボトルネックとなっているため、1 章の冒頭で述べた通り、いまだに属人的で暗黙知に基づくアナログ的な管理体制から脱却できていない。

なお、ここでの「建物」とは構造物そのもの（建築・土木構造物）を指し、「設備」とはその内部や外部に設置されている空調、給排水、電気、通信、昇降機などの各種インフラ要素を指す。つまり、設備は建物に内包される管理対象であり、建物モデルを基盤として各設備情報を紐づけて管理することになるが、現状ではその紐づけ作業が手動で行われており、作業効率や情報精度に課題が残っている。

## 2.2 デジタルツイン構築の自動化に向けたアプローチ

本プロジェクトでは、2.1 節で述べた標準手順のボトルネック解消と台帳紐づけ省力化を目的とし、物体検出および台帳紐づけを自動化する仕組みを開発した。

まず、タグ付け作業を省力化すべく、タグ付けの対象となる設備を自動で検出する物体検出 AI の性能改善およびチューニングを試みた。また、「RICOH Digital Twin Workplace」と台帳システムとの関連づけを支援するユーザーインターフェース（以下、「台帳紐づけ支援機能」）を台帳システム側で開発した。

本プロジェクトで実証した標準および改良手順を図 1 に示す。これらの手順のうち、「3) タグ付け」（特に「ii）タグ付け候補自動検出」の部分）を物体検出 AI で、「4) 台帳紐づけ」を台帳紐づけ支援機能でそれぞれ省力化することを目指す。

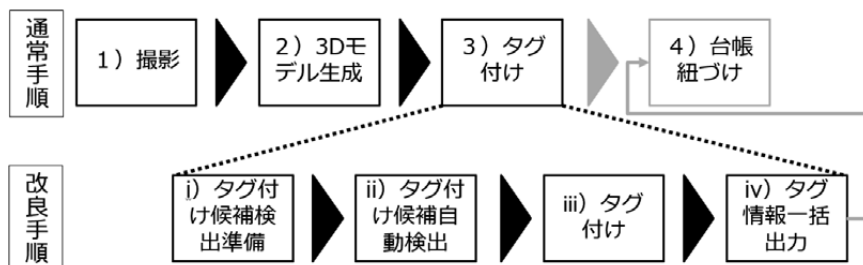


図 1 デジタルツイン構築の通常手順と改良手順

- 1) 撮影：建物を 360 度カメラ・3 次元レーザースキャナーで撮影し，空間データを取得
- 2) 3D モデル生成：デジタルツイン上で閲覧できるデジタル建物（3D モデル）を生成
- 3) タグ付け：管理対象である設備の特定のデジタル建物上での位置を特定し，該当設備に関する関連情報を手動でタグ付け
  - i) タグ付け候補検出準備：未知の設備を検出するために，管理対象一覧や図面を input として深層学習用のアノテーション作業を手動で実施
  - ii) タグ付け候補自動検出：AI 画像認識技術を活用し，デジタル建物上に存在する設備を自動検出
  - iii) タグ付け：該当設備に関する関連情報を手動でタグ付け
  - iv) タグ情報一括出力：設置個所を表す URL 付き 3D 設備リストを手動作成し，デジタル建物から自動切り出した設備写真群とセットで一括出力
- 4) 台帳紐づけ：台帳紐づけ支援機能を用いて，タグ情報付き 3D 設備リストと設備写真群を台帳システムへ取込，設備コードなどをキーとして台帳と紐づける

### 3. 開発した物体検出および台帳紐づけ手法

本章では，本プロジェクトで開発した物体検出手法と，検出した情報を設備台帳に紐づける台帳紐づけ支援機能について説明する。

#### 3.1 開発した物体検出手法と検出性能評価方法

本プロジェクトで開発した，3D スキャン技術にて取得した空間データから AI 画像認識技術を用いて物体検出する手法を説明する。検出性能を改善するにあたり，小物体の検出にも対応する高精度な物体検出アルゴリズム YOLOv7<sup>[3][4][8]</sup>を採用した。

物体検出の手順は次の通りである。

- 1) 360 度カメラ（RICOH THETA）で撮影した全天球画像を cubemap（天井面，水平面 0°，水平面 90°，水平面 180°，水平面 270° の 5 断面）画像へ変換
- 2) cubemap 変換後画像のうち検出対象を含む画像を目視で抽出し手動でラベル付け（1 画像に検出対象が複数ある場合，複数ラベル付け）
- 3) 深層学習用のアノテーション作業（物体を枠で囲み，カテゴリ名称をラベル付け）を手動で実施
- 4) 物体検出 AI により，各画像がどの設備種類（カテゴリ）に該当するかを判定

また，図 2 に示すように，物体検出 AI の検出性能は以下二つの検出率を用いて評価することとした。

- 1) 再現率：未検出の少なさ。実際に「正」であるもののうち，予測で正しく「正」と判断されたものの割合
- 2) 適合率：誤検出の少なさ。予測が「正」と判断されたもののうち，実際に正しかったものの割合

### ■ 再現率(Recall)

- 実際に「正」であるもののうち、予測で正しく「正」と判断されたものの割合
- (例) 正解画素数：100に対し、正検出画素数：50の場合、再現率は0.5(=50/100)  
→ 裏を返すと、50画素分は未検出



### ■ 適合率(Precision)

- 予測が「正」と判断されたもののうち、実際に正しかったものの割合
- (例) 検出画素数：200に対し、正検出画素数：160の場合、適合率は0.8(=160/200)  
→ 裏を返すと、40画素分は誤検出

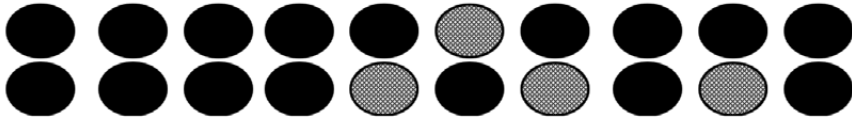


図2 検出性能の評価方法

## 3.2 台帳システム側で開発した台帳紐づけ手法

本プロジェクトでは、デジタル建物と台帳システムを組み合わせる形のデジタルツインの仕組みを実装すべく、デジタル建物の設備画像/タグ情報と台帳システムの設備台帳を簡易に関連づける台帳紐づけ支援機能を台帳システム上で開発した。なお、台帳システムとしては、建物管理/設備管理向けの業務機能とデータベースが備わっている Archibus を採用した。

開発した台帳紐づけ支援機能には、ファイル取り込み機能（タグ情報付き 3D 設備リスト＋写真群を台帳システムへ取り込む機能）と台帳紐づけ機能の二つの機能を実装した。メインである台帳紐づけ機能は、「設備コード完全一致分の一括取込」「不一致分の紐づけ/割当（候補絞込、写真表示、3D ビューアー参照）を支援できること」の二つの要件を定め、支援機能を開発した。支援機能の概要を表1に示す。

表1 台帳システムで実装した台帳紐づけ支援機能の支援機能一覧

No.	支援機能	支援機能概要
1	紐づけ支援レイアウト ※左右リスト表示 ※上下属性比較表示	設備台帳と 3D 設備リストの二つを左右に一覧表示、選択した設備の属性情報と写真を上下に表示
2	一括紐づけ	設備コードが完全一致する設備台帳と 3D 設備リストの各レコード群を一括紐づけ
3	候補絞込	設備台帳の未割当リストにて選択した設備に対して、設備コード接頭辞（ハイフンより前）、部屋、カテゴリが一致する 3D 設備のみ絞り込み表示
4	設備紐づけ	設備台帳の未割当リストにて選択した設備に対して、3D 設備リストで選択した複数設備を個別に紐づけ
5	紐づけ追加	設備台帳の割当済みリストにて選択した設備に対して、3D 設備リストで選択した複数設備を追加で紐づけ
6	紐づけ解除	設備台帳の割当済みリストにて選択した設備に対して、3D 設備リストで選択した設備との紐づけを解除

7	未割当一括登録	未割当（紐づけなし）の3D 設備リストのうち、選択した設備群を設備台帳へ一括登録 ※取込時に画面から属性値補正も可
8	属性同期	3D 設備リストにて選択した複数設備について、URL などの属性情報を紐づけ先の設備台帳へ同期取り

#### 4. デジタル建物の作成省力化の実証実験

実環境における物体検出 AI の設備検出性能と台帳紐づけ支援機能による省力化の可能性を評価するため、開発したシステムを使って、実際の建物を 3D スキャンした空間データを用いて実証実験を行った。本章では、実証内容とその結果の概要を記載する。

##### 4.1 実証概要

BIPROGY が保有する複合用途（データセンター、ソフトウェア開発センターの二つの用途）施設の設備設置エリア延べ5フロア 1200m<sup>2</sup>の空間データを用いて実証実験を行った。既存の設備台帳が存在しなかったため、実証前の事前準備として、該当施設の管理部門から設備配置図面を入手し、図面上で設備が設置されている部屋のみを抜粋する形で部屋一覧を作成した。さらに各種設備関連情報（①中長期保全計画、②保全業務仕様書、③中央監視ポイント一覧）を照合する形で設備一覧を整備し、現地で撮影した設備写真と合わせてそれぞれシステムへ台帳登録した。

物体検出 AI の設備検出性能の実証に向けて、まず検出対象設備として外見で識別できる 250 台を選定し、整備済みの設備台帳から抽出したものを管理対象一覧として共同事業者へ事前提供した。この一覧をベースに現地での 3D スキャンを実施し、実証前の物体検出 AI（従来の AI）が学習済みの 148 カテゴリ（パッケージエアコン、貯湯槽、消火栓、など）に対する学習データ数を補強し、かつ新規 26 カテゴリ分（空冷チリングユニット、環水槽、自動火災報知設備、など）の学習データを追加した。延べ 174 カテゴリの再学習によるチューニングを施した改良モデルの AI を用意し、この AI の検出性能を評価する計画とした。

また、台帳紐づけ支援機能の省力化の可能性についての実証は、物体検出 AI が画像から OCR 読み取りした設備名（実体に期されている設備名）と台帳システムの設備コードをベースに紐づけを行った際に、どの程度省力化できるかを定量的に評価する計画とした。

##### 4.2 台帳紐づけ支援機能向け物体検出 AI による設備検出性能の目標設定

設備台帳が存在しない中でデジタルツインの初期構築を行う場合、物体の見逃しが台帳の欠損に直結する。そのため、AI による物体検出性能においては、特に高い Recall（再現率）が求められる。それに対して、誤検出については初期整備段階ならば多少は人手で修正できるため、Precision（適合率）については一定の範囲（85%以上）を確保すれば実用に耐えたと判断した。これらの理由により、商用利用向け物体検出 AI の目標値は、本来であれば Recall：98%、Precision：85%とし、業務省力化と精度向上の両立を図ることが望ましい。

ただ、本実証では学習に用いる画像データが限定的であるため、設備環境の多様性や照明条件等への対応力に一定の制限がある。そのため、初期フェーズにおけるモデル精度の目標は Recall：80%、Precision：80%に設定し、業務利用に耐え得るかの実用可能性を見極めること

を目的とした。今後、検証結果をもとに物体の検出漏れや誤検出の傾向を分析し、学習データの追加収集やアノテーションの品質向上を通じて、段階的に Recall：95%、Precision：90%の目標達成を目指す方針とした。

#### 4.3 物体検出 AI による設備検出性能の検証結果

設備 250 台を対象とした物体検出 AI の設備検出性能の検証結果を表 2 に示す。検証目標 80% に対し、平均値で再現率 71%、適合率 74% の結果となり、目標に対しては未達の結果となった。とはいえ、2023 年度に BIPROGY 保有の別施設延べ 250m<sup>2</sup> で実施した際の検出率である 22% と比べて、数値を大幅に改善することができた。

表 2 物体検出 AI による設備検出性能の検証結果

設備 250 台での 検出率	再現率 (Recall：未検出の少なさ)	適合率 (Precision：誤検出の少なさ)
商用化目標	98%	85%
検証目標	80%	80%
検証結果	71%	74%

今回の実証のように多種多様なユーティリティ設備を AI で自動検出する場合、現状の手法だけでは手間や費用を掛けたとしても 70% 程度が限界であり、実用化に向けては課題が残る結果となった。この結果を踏まえ、ユーティリティ設備に比べ、統一的・画一的なラインナップである可能性が高い設備の検出の方が、より高い検出性能が見込め、かつ実用化につながりやすい可能性があると推測し、オフィス什器検出の実証実験を追加実施することとした。(5 章にて後述)

#### 4.4 台帳紐づけ支援機能による省力化の可能性についての検証結果

延べ 1200m<sup>2</sup> の空間データかつ設備 250 台を対象とした台帳紐づけ支援機能による省力化の検証結果は、目標省力化（工数削減）率を 50% 以上に設定したものの、深層学習向けの手動対応が多く、意味のある工数積算比較ができないとの理由で測定困難との結果となった。3D ビューアーでタグ付けした 250 台分のタグ情報（URL 付き設備リストと写真）を台帳システムへ紐づけるだけであれば、Archibus の技術者が DB ツールを用いることでも対応できるが、このインプットを整理する作業が現状では手動対応となっており、工数半減は見込めないとの結果であった。

今回検証した台帳紐づけ支援機能は、物体検出 AI で自動的に付与したタグ情報と設備台帳との紐づけについて、ユーザーが答え合わせしながら紐づけを確定させるとともに、誤検出の修正、未検出の追加タグ付けも実施してもらうことで、実用化につなげられるとのコンセプトで開発したものであった。しかしながら、本プロジェクトの現有技術力からすると、物体検出 AI に掛ける前の段階で答えを用意しておかなければならず、省力化の効果を引き出すことが難しい。台帳紐づけを実現するには、事前準備として顧客主体かつ手動での台帳作成と整備が必須であり、これを解消していく新たな仕組みが別途求められると結論付けた。

## 5. オフィス什器自動検出の実証実験

実環境における物体検出 AI の学習前後でのオフィス什器検出性能を評価するため、開発したシステムを用いて、実際のオフィス空間を 3D スキャンした空間データを使用して実証実験を行った。本章では、実証内容とその結果の概要を記載する。

### 5.1 実証概要

実証は、BIPROGY が利用しているオフィス執務室の一部区画 200m<sup>2</sup> の空間データを用いて実施した。既存の什器台帳が存在しなかったため、事前準備として、該当施設の管理部門から什器配置図面を入手し、図面に記されている島やエリアを部屋と見立てて部屋一覧を整備し、かつ部屋コード+什器カテゴリ接頭辞+連番を設備コードとして付番する形で什器（設備）一覧を整備し、それぞれシステムへ台帳登録した。

物体検出 AI の什器検出性能の実証に向けて、まず検出対象設備として外見で識別可能かつ管理が求められる想定 130 台を選定し、整備済みの設備台帳から抽出したものを管理対象一覧として共同事業者へ事前提供した。この一覧をベースに現地での 3D スキャンを実施し、再学習前に従来 AI での什器検出性能を実証した。

次に、椅子や机の種類を細分化する形で新規カテゴリ分の学習データを補強することで再学習によるチューニングを施した改良モデルの AI を用意し、この AI の検出性能を評価する計画とした。評価にあたっては、検出すべき対象が検出できたかの観点を重視すべく、再現率や適合率（個々の画像ごとの未検出や誤検出の割合）ではなく、対象となる物体ごとの検出率（複数視点の画像の何れかから対象物が検出できた割合、すなわち、複数のポイントから撮影した画像において、対象の物体が何枚の画像で正しく検出できたかの割合）を用いることとした。

### 5.2 オフィス什器検出性能の目標設定

本実証は、物体検出 AI を活用したオフィス移転コンサルにおける現地調査の効率化を目的として行った。この業務においては、現場の机・椅子・収納棚などの「実在する資産の取りこぼし（見逃し）」が最も大きな業務リスクとなるため、Recall の高さが最も重要となる。同時に、不要な物品の誤検出が増えると移転設計やレイアウト提案の精度が下がり、手戻りが発生するため、Precision も高水準を維持する必要がある。

そのため、商用化に向けた目標値としては Recall：95%、Precision：90% が相場であることから換算し、本実証での検出率として 98% を設定した。これを踏まえて、初期の実証フェーズとしては、検出率 90% 以上に改善すること（学習前の状態では 60% 程度との試算）を目標とし、物理資産の正確な把握による設計の最適化および現地調査時間の削減を目指すこととした。

### 5.3 従来 AI によるオフィス什器検出性能の検証結果

椅子や机などのオフィス什器 130 台を対象とした従来 AI（再学習前の物体検出 AI）の什器検出性能の検証結果を表 3 に示す。目標 60% に対し 82% の検出率となり、目標を大きく上回った。

オフィス移転業務などで活用するには、椅子や机の種類（メーカー/型番ごとの色合いや形状、部位ごとの素材の違いなど）を細分化する形で検出が求められる場合もあり、あくまで

ユースケース次第である。とはいえ、未検出分の補完を支援する機能があれば再学習無し、かつ低コストで利用できるため、椅子や机の種類等は考慮不要かつ安価に抑えたい場合は、今回の結果を目安として実用化できる見込みが立った。

表3 従来 AI によるオフィス検出性能の検証結果

什器 130 台での 検出率	再現率 (Recall：未検出の 少なさ)	適合率 (Precision：誤検出の 少なさ)	検出率 (複数視点の画像の何れかか ら対象物が検出できた割合)
検証目標	—	—	60%
検証結果	71%	74%	82%

#### 5.4 改良モデルの AI によるオフィス什器検出性能の検証結果

同じく、オフィス什器 130 台を対象とした改良モデルの AI（再学習後の物体検出 AI）の什器検出性能の検証結果を表4に示す。椅子種類等の特定可否を含め、目標 90% に対し検出率は 100% の結果となり、目標を上回った。ただし、今回の検証においては、椅子は 7 種、机は 2 種に分けて深層学習を施した結果、約 2 週間のリードタイムを要した。実用化に向けては、この所要期間やコストを許容できるか否かが課題になる。

表4 改良モデルの AI によるオフィス検出性能の検証結果

什器 130 台での 検出率	再現率 (Recall：未検出の 少なさ)	適合率 (Precision：誤検出の 少なさ)	検出率 (複数視点の画像の何れかか ら対象物が検出できた割合)
商用化目標	(95%)	(90%)	95%
検証目標	—	—	90%
検証結果	(78%)	(85%)	100%

## 6. 実証実験結果のまとめ

4 章と 5 章で、デジタルツインを活用した建物管理の実用化を目指すにあたり求められる基盤技術と、その技術を用いた①台帳連動型デジタルツイン自体の構築省力化、②実用化に向けた価値検証の二つをテーマとして、実証実験を行った結果を述べた。

テーマ①デジタルツイン構築省力化にあたっては、「物体自動検出性能向上」と「台帳紐づけ支援機能活用による省力化」の二つの観点で実証した。一つ目の「物体自動検出性能向上」については、前回（2023 年度）は研修施設での実証だったため学習ラベル数が不十分だったことや、学習済のオフィスビル向け設備とは異なるカテゴリの設備も多かったことなどにより、検出率は 22% という厳しい結果であった。この教訓を活かし、今回は延べ面積および検出設備数ともに約 5 倍相当規模とし、複合用途の施設を実証フィールドとして選定することで十分な学習ラベル数を確保した。加えて、オフィスビルや研修施設で学習済みのカテゴリに属する設備に加え、データセンター向け設備をカテゴリに追加する形で実証した。適切な実証フィールドの選定に加え、アルゴリズム「YOLOv7」の効果により、検出率は 70% 超にまで改善することができた。目標としていた 85% 以上には届かず、また学習コストに見合った効



果を得るまでには至らなかったが、さらなるアルゴリズム改善やユーザー側での補正を支援する機能を開発し提供することで、実用化レベルに到達しようとの感触を得た。二つ目の「台帳紐づけ支援機能活用による省力化」については、構想通りの機能は開発できたものの、深層学習向け手動対応が多く意味のある工数積算比較が困難であったことから、省力化の可能性は測定困難との結果となった。

また、テーマ②実用化に向けた価値検証については、事前実証としてオフィス什器自動検出の性能を検証した。オフィス什器自動検出は、共同事業者オフィスでの実証で学習済みであったことから、椅子種類特定なしの条件ではあるものの、再学習なしでも82%を検出でき、椅子種類をカテゴリ分けして再学習した結果としては100%検出という申し分ない結果が出た。今後は、明文化済みの3D スキャン（空間撮影）時の注意点を事前に提示することで、ユーザー自身が撮影する場合でも検出性能等を満たせるかを検証し、総務業務やオフィス移転支援業務等での活用を視野に入れて価値検証を進めていく。

## 7. 今後の取り組み

本章では、今回の実証実験に関する今後の活動および中長期的な視点でのオープンイノベーションへの展開に向けた取り組みについて述べる。

### 7.1 実証実験に関する今後の取り組み

本節では、「物体自動検出性能向上」と「台帳紐づけ支援機能活用による省力化」のそれぞれについて、今後の取り組みを述べる。

まず、「物体自動検出性能向上」に関しては、三つの取り組みを計画している。1点目は検出可能設備カテゴリを現状の174から増強する予定である。2点目は顧客向け再学習に要するラベル数として100～600個を収集することを前提条件とし、顧客施設の特性に合わせたチューニングを行うことで精度を確保することを予定している。3点目はアルゴリズムの改善と見直しである。生成AIの進展に伴い追加学習なしに物体を検出できる手法（zero-shot<sup>\*8</sup>）も提案されていることから、現手法にとらわれず最新技術のキャッチアップを並行して進めていく。

次に、「台帳紐づけ支援機能活用による省力化」に関しては、台帳システム側ではなく、「RICOH Digital Twin Workplace」側で物体検出AIの検出結果を3D Viewer上へ反映し、検出ミス（誤検出や未検出）をユーザー自身が確認し補正しやすくするタグ付け支援機能の実装を共同事業者主体で進めている。1章でも述べた通り、3Dは分かりやすく操作しやすい一方で、管理対象である設備の特定・タグ付けやメンテナンス履歴の記録などをユーザー自身が都度行わなければならない、これが建物管理業務での活用を促進する上でのボトルネックとなっている。

タグ付け支援機能の処理フローを図3に示す。現在開発中のタグ付け支援機能の提供により、管理対象である設備の特定およびタグ付け作業の省力化が実現でき、さらに開発済みの台帳紐づけ支援機能と組み合わせることで台帳システムと相互に連携させることで、台帳システム側機能で蓄積したメンテナンス履歴の3D viewerでの参照や利活用につなげられる。なお、物体検出AIの利用にあたっては再学習・チューニングのコストが掛かるため、まずは任意選択のオプション機能とする想定であるが、このAIでタグ付け候補を自動反映することで、ユーザーでのタグ付け作業が大幅に省力化できる可能性がある。利用しない場合のコスト（ユーザー工数

を費用換算)よりも、AIを利用する場合のコスト(費用)の方がコスト削減につながることを立証していく予定である。

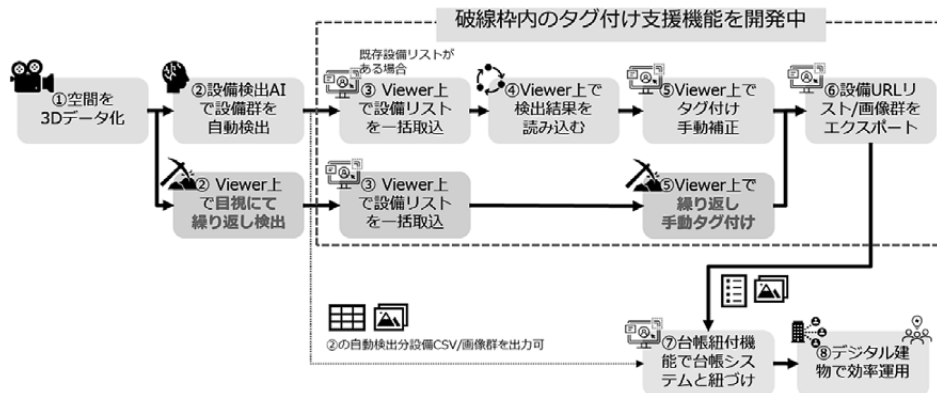


図3 タグ付け支援機能の処理フローイメージ

## 7.2 オープンイノベーションへの展開

今後は、「物体自動検出性能向上」と「台帳紐づけ支援機能活用による省力化」の取り組みを活かし、建物管理やオフィス移転などの業務におけるデジタルツイン利活用に向けて、様々なステークホルダーとの共創や価値検証を目指すオープンイノベーションプラットフォームの実用化を進めることを予定している。

実証目的である社会課題解決に向けたテーマとして、ゼロエミッションや都市OSなどの取り組みがあることから、これらの活動は広義にはデジタルコモンズのスコープに含まれる。データやプラットフォームを共有資源として効率的に管理・活用することは、環境負荷の低減や都市機能の最適化といった社会的価値の創出に寄与する。今回のアプローチにより、3Dを活用した様々なステークホルダー間で共同利用できるデジタルファシリティ管理プラットフォームが整備できれば、ビルOSや都市OSとの相互運用性が高まり、より包括的かつ持続可能な都市管理の実現に寄与できる。

## 8. おわりに

本稿を執筆するにあたりアドバイスを下さった方々、実証実験に協力いただいた本プロジェクトの共同事業者様をはじめとしたプロジェクトメンバーの方々に感謝の意を表する。

- \* 1 既存の建物の内部構造を3Dデータで再現したバーチャル空間を手軽に作り、管理業務に活用できるようにするサービス
- \* 2 企業の不動産ポートフォリオ、オフィススペース、インフラ施設の管理など、ワークプレイスの最適化を支援するソフトウェア・プラットフォーム
- \* 3 あらゆる空間を3Dでスキャンし、バーチャルツアーを作成するためのデジタルツインプラットフォーム
- \* 4 リコーが提供する360度画像・動画を中心とした業界横断型プラットフォーム
- \* 5 建設現場の状況を360度カメラで記録・管理する画像管理ツール
- \* 6 360度カメラにつないでリアルタイムに現場の状況を共有できるソリューション
- \* 7 物体検出のAIモデルで用いられる、予め設定された矩形領域のこと。これに基づいて物体の位置を予測し、サイズや形状を調整する

- \* 8 AI モデルが特定のタスクに対応するために、特別な追加学習（ファインチューニングなど）をせずに、既存の知識やプロンプトだけでタスクを解決する能力

- 参考文献** [1] 山口修平/八千代ソリューションズ, MONOist, 「設備保全 DX の“タイムリミット”が迫る 今こそ業務デジタル化推進を」, 2025 年 2 月, <https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2502/17/news002.html>
- [2] 「ビルメンテナンス業の人手不足に関する実態調査〈概要版〉」, ザイマックス不動産総合研究所 RESEARCH REPORT, 2024 年 8 月, [https://soken.xymax.co.jp/wp-content/uploads/2024/08/2408-labor\\_shortage\\_4\\_summary.pdf](https://soken.xymax.co.jp/wp-content/uploads/2024/08/2408-labor_shortage_4_summary.pdf)
- [3] nokomoro3, 「YOLOv7 を完全に理解した (YOLOv7 の論文を読んだ)」, 2022 年 7 月, <https://dev.classmethod.jp/articles/yolov7-architecture-overall/>
- [4] Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, Hong-Yuan Mark Liao, Cornell University, "YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors", 2022 年 7 月, <https://arxiv.org/abs/2207.02696>
- [5] 山田竜輝, 松村遼, 北風裕教, 「YOLOv7 によるキクラゲ自動収穫のための画像認識 結果の一考察」, 山口県立大学, 山口県大学共同リポジトリ, <https://ypir.lib.yamaguchi-u.ac.jp/on/586/files/167134>

※ 上記参考文献に含まれる URL のリンク先は、2025 年 12 月 9 日時点での存在を確認。

**執筆者紹介** 石川直之 (Naoyuki Ishikawa)

1994 年日本ユニシス・ソフトウェア(株)入社。2007 年日本ユニシス(株)転籍。2017 年から設備保全向けシステムの保守・提案, 2019 年からファシリティマネジメント向けソリューション「Archibus」の開発・提案に従事。認定ファシリティマネージャー(CFMJ)。



## 対話型 AI エージェント機能を備えたアバターの検証と展望

### Verification and Future Outlook of Conversational AI Agent Avatars

名 雪 健 治, 松 岡 大 樹, 前 田 忠 宏

**要 約** 本研究は、人口減少と労働力不足という社会課題に対し、AI 技術と XR・メタバースを統合した「対話型 AI エージェント機能を備えたアバター」の可能性を検証したものである。現在、メタバースは、Gartner® の「2025 年の日本における未来志向型インフラ・テクノロジーのハイプ・サイクル」において「幻滅期」に位置付けられている<sup>[1]</sup>。そこで、来たる啓発期を見据えアバターを活用した視覚や非言語コミュニケーションが労働力を補完する手段になるという仮説を立て、その有効性を実証した。実証の結果「対話型 AI アバター」は情報伝達の質を向上させ、心理的負担を軽減する効果が確認された。受付業務や住民相談での実証実験を通じ、利用者の高い満足度と実用性が示された。

さらに、特定業務に特化した「ベテラン AI アバター」の概念を提示し、これを人材派遣のように活用する「AI アバター派遣の仕組み」が、従業員の負担軽減、さらには企業のコスト削減に寄与する可能性について論じる。

また、自律エージェントの実現と、AI 同士が協調する「AtoA (エージェント to エージェント)」社会の到来を展望し、人と AI アバターの役割分担された共存が、未来の社会基盤である「デジタルコモンズ」の形成に貢献する可能性を示す。さらに、人と AI が共生する新しい社会の実現に向けた、実践的な知見を提供する。

**Abstract** This study examined the potential of “avatars equipped with conversational AI agent functions”—integrating AI technology with XR and the metaverse—to address societal challenges of population decline and labor shortages. While the metaverse has currently positioned in “Trough of Disillusionment” phase in Gartner® 2025 Hype Cycle™ of Future-Oriented Infrastructure and Technology in Japan<sup>[1]</sup>. We hypothesized that avatar-based visual and nonverbal communication could serve as a complementary labor force solution in anticipation of the upcoming Slope of Enlightenment phase, and we demonstrated the effectiveness of this approach. The results confirmed that “conversational AI avatars” enhance the quality of information transmission and reduce psychological burden. Field tests in reception duties and resident consultations demonstrated high user satisfaction and practicality.

Furthermore, the concept of “Veteran AI Avatars” specialized for specific tasks is introduced. The paper discusses how a “AI Avatar Dispatch System,” utilizing these avatars similarly to staffing agencies, could contribute to reducing employee burden and further cutting corporate costs.

We also envision the realization of autonomous agents and the advent of an “AtoA (Agent to Agent)” society where AI collaborate. We demonstrate how the role-sharing coexistence of humans and AI avatars could contribute to forming the “digital commons,” the future societal infrastructure. Additionally, we provide practical insights toward realizing a new society where humans and AI coexist.

## 1. はじめに

現代社会は、人口減少に伴う労働力不足という大きな課題に直面している。この課題を解決するため、本稿ではAI技術とXR・メタバースを活用した新しいアプローチを提案する。現在、メタバースは、ガートナー社が発表した「2025年の日本における未来志向型インフラ・テクノロジーのハイプ・サイクル」において「幻滅期」に位置付けられている<sup>[1]</sup>。BIPROGY株式会社とグループ会社（以下、BIPROGYグループ）は、現在（本稿執筆時点）を、来るべき「啓発期」に向けた技術開発と検証の好機と捉えている。

BIPROGYグループは、この大きな変革の波が到来する前に、AI エージェント機能を備えたアバターを生成・管理するサービスを市場に投入することを目論み、新たな可能性を切り開く計画を進めている。このサービスは、単なるテキストによる対話を超え、アバターを活用した視覚や非言語コミュニケーションが労働力不足を補うという仮説を検証する試みである。

本稿では、AI エージェント機能を備えたアバターの開発、社内外における検証、および多岐にわたる協業を通じて得られた知見をもとに、AI アバターがもたらす未来の展望を論じる。さらに、将来的には、「AtoA（エージェント to エージェント）」による自律的なエージェント同士のコミュニケーションが、人類が直面するさまざまな課題を解決する糸口となる可能性を示す。まず2章でAI エージェントサービスが求められる背景を述べた後、3章でサービスの構成と概要、4章で実用化に向けた社内外での検証について述べる。5章では、AI アバターが社会の新たな基盤である「デジタルコモンズ」をどのように形成し、人とAI が共生する未来を創造していくのかを展望する。

## 2. AI エージェントサービスが求められる背景

労働人口の減少が進行する中で、特定の業界における労働力不足の問題とその背景をまとめる。

### 2.1 労働力の減少

労働力の減少が深刻化している。出生率の低下と高齢化が主な要因であり、これが経済に与える影響は無視できない。労働力を単に労働人口として捉えるのではなく、労働時間として捉えることが重要である。パーソル総合研究所の「労働市場の未来推計 2035」<sup>[2]</sup>によると、2023年には1日当たり960万時間の労働力が不足しており、2035年にはその不足が1.85倍に深刻化し、1日当たり1,775万時間になると見込まれている。シニア、女性、外国人労働者の雇用が増加しているものの、増加した層の多くは短時間労働者のため、全体の労働時間不足を補うまでには至っていないのが現状である。特に地方では、都市部への人口流出が続いているため、労働力不足が一層深刻化しており、労働力の確保が難しくなっている。

短時間労働者が多いサービス業は、労働力不足の影響を強く受けている。2024年、厚生労働省の「労働経済動向調査」<sup>[3]</sup>によると、正社員では「学術研究、専門・技術サービス業」、パートタイム労働者では「宿泊業、飲食サービス業」で、特に人手不足感が高まっていることが分かる。とりわけ地方のサービス業における労働力不足が深刻化すると予測されているため、今後需要が増加すると考えられる接客業務に焦点を当て、労働力不足の解消に向けた取り組みが求められる。

## 2.2 AI の必要性

ChatGPT をはじめとする大規模言語モデル (LLM) は、人工知能 (AI) 技術の一分野であり、自然言語処理の高度化に伴って日々進化を続けている。AI は 24 時間稼働できるため、AI の活用は労働力不足に対する有効な解決策として注目されている。AI の活用により、業務の自動化や効率化が促進され、特に定型的な業務やデータ処理の分野において労働力不足の改善が期待される。

## 2.3 AI + 企業固有の業務知識の組み合わせ

AI と企業固有の業務知識を組み合わせることで、接客業務における労働力不足の解消が期待されている。AI は性能の向上とともに、Web 上の知識によって常識を習得し成長を続けている。実際の業務では価値観や立場の異なる利用者ごとに最適解が求められるため、すべての顧客に受け入れられる万能の AI の実現は難しいが、企業固有の業務知識や過去の経験を AI に学習させることで、より効果的な業務補助ができるようになる。

## 2.4 アバターによる視覚情報の追加

現在の AI はテキストベースの対話を主としており、顔を持たないため、視覚的なコミュニケーションが欠如している。脳科学や心理学の研究によれば、人間は社会的動物であり、他者とのコミュニケーションや協力は古来より生存に不可欠な要素とされている。人間の脳には、顔を認識するための特化した領域である「紡錘状回顔領域」が存在し<sup>[4]</sup>、顔や目は相手の感情や意図を読み取るための重要な手掛かりとなる。さらに、乳児においても生後 6 か月頃から目線追従が見られることが分かっており<sup>[5]</sup>、目線の向きは相手が何に注意を向けているかを理解するための重要な情報である。このように、人間は、顔や目の情報から、危険を察知したり、共同作業を円滑に進めたりする能力を発達させてきたと考えられている。

顔や目から素早く、そして無意識に、相手の感情や意図を認識する能力は、人間が進化の過程で獲得した重要な特性である。こうした背景を踏まえると、AI にアバターを付与して、視覚的な情報を AI に追加することは、より自然で効果的なコミュニケーションを実現し、さらなる労働力不足の解消につながると考えられる。本稿では、AI エージェント機能を備えたアバターを「AI アバター」と呼称する。

### 2.4.1 AI アバターの特長と機能

AI アバターは、デジタルヒューマンやバーチャルヒューマンとも呼ばれており、CG で作成されたキャラクターが AI によって操作され、他者とコミュニケーションを実現する (図 1)。物体認識や聴覚を備え、物や人に反応し、会話を行うことができる。AI アバターは、現実の物理空間と仮想空間をつなぎ、人間と同じように表情が目に見えるだけでなく、24 時間年中無休で利用できるため、接客業務に大きな変化をもたらすことが期待されている。

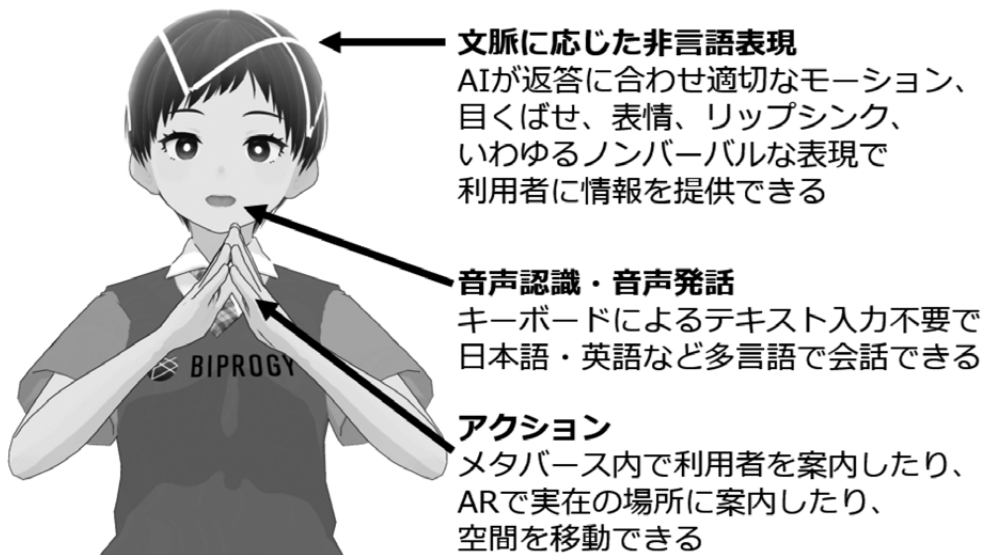


図1 AI アバターとは

#### 2.4.2 AIチャットボットと比較したAIアバターの特長

一問一答で解決する簡単な質疑応答はAIチャットボットで実現できるが、複雑なマニュアルの習熟を要する接客業務については実現困難である。その理由は、AIチャットボットは顔を持たないため、表情やジェスチャーなど非言語コミュニケーションができないことが大きな要因であると推測される。

アメリカの心理学者アルバート・メラビアンによって1971年に発表された「メラビアンの法則」<sup>[6]</sup>によると、人がコミュニケーションをとるときに相手から受け取る情報の内訳は、言語情報が7%、聴覚情報が38%、視覚情報が55%であるとされている。言語によるメッセージよりも非言語によるメッセージの方に影響力が強いことが示唆されており、AIアバターは聴覚情報や視覚情報を処理する能力を活用し、人による接客業務の代替が可能であると考えられる。これにより、無人化・省人化に代表される新たな価値を提供し、接客業務の効率化に貢献すると期待されている。

テキストベースのAIチャットボットとAIアバターの大きな違いは、AIアバターが言語に依存しない表情、顔色、声のトーン、話す速度、ジェスチャー、視線などの非言語コミュニケーションを実現できる点である。

テキストのみのUI（ユーザーインターフェース）とアバターを利用するUIの比較に関する過去の研究として「授業動画におけるバーチャルアバターがもたらす学習者への効果」<sup>[7]</sup>の調査がある。この研究では、授業動画の視聴しやすさに関する順位データを分析した結果、最も視聴しやすいと回答された順は、1.アバター動き有（165名）、2.アバター動き無（125名）、3.音声のみ（80名）であった。この順位データに対してフリードマン検定<sup>\*1</sup>を実施したところ、有意水準1%で統計的に有意な差が確認されている<sup>\*2</sup>。

また、テキストのみのコミュニケーションサービスとアバターを利用するサービスの比較に関する過去の研究として「Avatar Communication Provides More Efficient Online Social Support Than Text Communication」<sup>[8]</sup>の調査がある。この研究では、テキストベースのコミュ

ニケーションサービスのユーザー計 8,947 名を対象に比較調査を実施している。その結果、アバターを利用するサービスのユーザーは、テキストベースのサービスユーザーと比較して、オンライン上でより多くの精神的・実質的なサポートを受けており、アバターが「安定したオンラインの関係性」の構築に寄与していると報告された。このことから、テキストのみの UI やコミュニケーションと比較して、アバターの利用はより有益であると判断することができる。

## 2.5 労働力不足を解消する仮説の立案

AI にアバターを付与して視覚的な情報を追加することで、人間が進化の過程で獲得した顔や目を無意識に認識する能力を活用できるため、自然で効果的なコミュニケーションができるようになる。さらに、AI アバターがコミュニケーションを通じて得た聴覚や視覚情報を適切に処理し、非言語的なメッセージを提示する仕組みによって、従来の AI のみの場合と比較して接客業務の代替を一層加速させ、労働力不足の解消に寄与するとの仮説を立てた。

## 3. AI エージェントサービスの構成と概要

変更容易性が求められる現代においては、事業者自身が AI アバターを構築するサービスを利用して、AI アバターを進化させ、さまざまな環境に順応できる仕様が望ましい。そのため、BIPROGY グループでは、誰でも簡単に目的に応じた対話型の AI アバターを作成し、自ら AI を成長させ、さまざまな場所やデバイスで利用できるよう、ブラウザベースのサービスを提案すべく、現在市場投入に向けて開発を進めている。このサービスは、アバター、AI エージェント、外部システム、配信先、オーサリングツールの五つの要素で構成されている。図 2 に構成イメージを示すとともに、以下に各要素の概要を紹介する。



図2 AI エージェントサービスの構成



### 3.1 アバター

アバターとはインターネットなどの仮想空間において、自分の分身として存在するキャラクター像のことである。アバターの種類は、大きく分けて仮想世界で活動する「2D アバター」と「3D アバター」、および現実世界で活動する「ロボット型アバター」の三つに分類される。本研究では、ディスプレイを用いた対話型 AI アバターを対象とし、2D アバター技術の「Live2D<sup>\*3</sup>」と 3D アバター技術の「VRM<sup>\*4</sup>」を中心に開発を進めている。

### 3.2 AI エージェント

AI エージェントとは、ユーザーに代わって目標達成のために最適な手段を自律的に選択してタスクを遂行する仕組みである。本研究における AI エージェントは、対話の制御や情報連携を担う中核的な役割を果たしており、アバターのモーションや表情を制御するアバターコントローラー、外部 API 連携やさまざまな AI との連携を担う AI エージェントコントローラーがある。

#### 3.2.1 アバターコントローラー

アバターのモーションや表情を事前に準備し、対話の文脈やシチュエーションに応じて適切に切り替える仕組みである。このアプローチにより、アバターのより人間らしい振る舞いを実現し、ユーザーに親しみやすい対話体験の提供を目指している。

#### 3.2.2 AI エージェントコントローラー

会話内容に合わせて適切な AI エージェントを選択する仕組みである。BIPROGY で管理する AI エージェントの他に、他社が管理する API との連携や、個別用途の AI エージェントを作成して連携することもできる。BIPROGY が管理する AI について、三つの主要な学習方法を紹介する。

##### 1) FAQ 機能

質問 (Q) と回答 (A) のペアを学習させることで、特定の質問に対して一言一句正確に回答を生成する機能である。定型的な問い合わせや明確な回答が求められる場面において有効である。

##### 2) ベクトル検索機能

データをベクトルとして数値化し、質問とデータ間の類似度を計算して、最適な検索結果を提供する機能である。これにより、FAQ 機能よりも柔軟な情報検索を実現できる。

##### 3) プロンプト機能

AI に対して、シチュエーション（立場、口調、回答の長さ、言語など）を指定して学習させることで、文脈に応じた臨機応変な回答を生成する機能である。

AI を用いて回答を生成する際に、情報の正確性と信頼性を維持すること（完全性）に課題が存在する。本研究では、コンテンツフィルター機能を実装し、AI が不適切な内容を話さないように制御している。「ヘイトと公平性」、「性的」、「暴力」、「自傷」の四つのカテゴリを対象として、AI からの回答を「安全」、「低」、「中」、「高」の四つのリスクレベルに分類し、適切なフィルタリングを行うことで、AI の出力内容の安全性を確保している。

### 3.3 外部システム

VOICEBOX や、Microsoft が提供する AI サービス Azure Cognitive Services など、複数のサービスと連携し、テキスト音声発話変換機能や多言語対応機能を提供するとともに、ChatGPT などの複数のエンジンを組み合わせた AI エンジンを提供する。

AI は多様な情報を学習対象として扱うことができ、他社が管理するデータの取得によって専門知識を学習することができる。さらに、API や既存システムとの連携により、単なる情報取得だけでなく、既存システム上で必要なアクション（データの登録・更新など）を実行することもできる。

### 3.4 配信先

AI エージェントサービスでは、デジタルサイネージ、PC、スマートフォンなど、さまざまな場所やデバイスで利用できるブラウザベースのサービスを構築した。これにより、AI アバターサービスを作成する際に配信先を特定のデバイスに限定していた制約を解消し、柔軟な利用環境を提供する。さらに、将来的な需要が見込まれるメタバース内での AI アバター活用も視野に入れており、Web ベースで動作する軽量の AI アバターの開発も進めている。

ブラウザベースでの構築を採用することで、クライアント環境の更新作業を不要とし、クラウド上で迅速にサービスをアップデートすることができる。

一方、デバイスごとに対応した柔軟なアセットの構築が必要となるため、実端末での動作確認に時間を要する点や、クラウド上のコンテンツのファイルサイズ増加に伴う通信料の抑制が課題となる。

### 3.5 オーサリングツール

オーサリングツールとは Web ページ、e ラーニングコンテンツ、ゲーム、マルチメディア作品など、さまざまなデジタルコンテンツを作成するためのソフトウェアを指す。提供するサービスでは、アバター、AI エージェント、外部システム、配信先といった要素をノーコードで組み合わせることで事業者自身が AI アバターを構築できるオーサリングツールを実現した。

オーサリングツールでは、以下の機能をノーコードで利用でき、AI エージェント機能を搭載したアバターを簡単に構築することができる。

- ・アバター：用途に応じて自由にキャラクターを選択する。
- ・AI エージェント：対話内容を柔軟に構成できる。
- ・背景：利用シーンに合わせて背景画像を選択する。
- ・音声：アバターの話し方や声質をカスタマイズできる。
- ・配信先：デバイスに合わせて配信先を選択できる。
- ・応答時の画像：会話に合わせて関連画像を表示する。

専門知識を持つ人材や企業に委託せずに、利用者が AI アバターを簡単に構築し、すぐに展開できるため、制作時間の削減や業務効率化につながる。オーサリングツールの導入により、Web サイトや店舗のデジタルサイネージ、メタバースなどで対話型 AI エージェント機能を備えたアバターを使った接客や質疑応答など幅広い活用が期待される。

## 4. 検証と評価

対話型 AI エージェント機能を備えたアバターの実用化について、社内外で検証した結果、実用化の可能性は高いと評価した。検証内容とその評価をまとめる。

### 4.1 チャットボットとの比較によるアバターの有効性検証

2.4.2節で提示した先行研究では、テキストのみのUIやコミュニケーション手法と比較して、アバターを活用したインタラクションが有望であることが示唆されている。しかし、本研究で採用するアバターにおいても同様の効果が得られることを改めて検証するべきと考えた。

そこで本研究では、テキストベースのチャットボットとアバターを比較し、アバターの有効性を改めて検証することを目的に、京都芸術デザイン専門学校の生徒 491 名を対象に実験を実施し、アバターがコミュニケーションの質やユーザー体験に与える影響を評価した。

本検証では、授業動画にアバターを用いた場合の、学習者への効果の検証を目的に、アバターによる動きの有無がもたらす影響を検証した。専門学校で新たに新設されるコースの紹介動画（以下、紹介動画）と、日常会話における日本語と英語のニュアンスの違いを勉強する動画（以下、勉強動画）の2種類に対して、以下の三パターンを用意した。図3は実際の動画の例である。

- 1) アバターなし：スライドに音声のみを追加したもの
- 2) アバターあり（動きなし）：スライドと音声に、所定の位置から動かないアバターを追加したもの
- 3) アバターあり（動きあり）：スライドと音声に、説明内容に応じて画面内を動くアバターを追加したもの

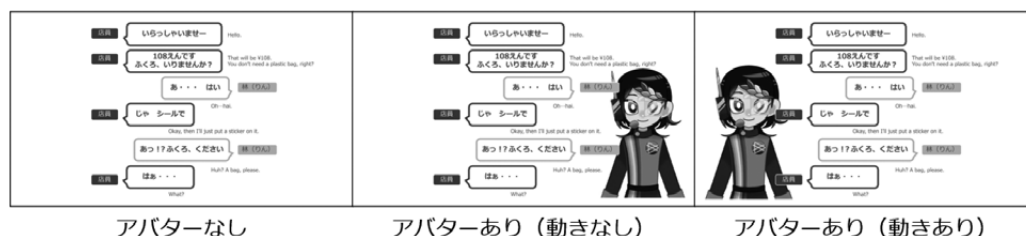


図3 動画の例

三パターンの授業動画で使用した説明用音声はすべて同一である。動画終了後に、授業動画に基づいたテストとアンケートを実施した。

授業の見やすさに関するアンケート結果では、紹介動画においては、合計 407 名から回答を得た。「最も視聴しやすい」と回答した割合は、アバターなしが 84 名 (20%)、アバターあり（動きなし）が 144 名 (36%)、アバターあり（動きあり）が 179 名 (44%) となった。勉強動画においては、合計 395 名から回答を得た。「最も視聴しやすい」と回答した割合が、アバターなしが 47 名 (12%)、アバターあり（動きなし）が 145 名 (37%)、アバターあり（動きあり）が 203 名 (51%) という結果となった。

これら2種類の動画における結果に大きな差は見られなかったが、いずれの場合もアバターなしよりアバターありの方が視聴者の理解度を高める傾向が示された。特に、アバターあり（動

きあり) の場合, 紹介動画ではアバターなしに比べて 24% 高い支持を得ており, 勉強動画では 39% 高い支持を得た. 支持を得た理由として, 「人が話しかけているようで聞きやすかった」「内容に集中しやすい」といったコメントが多く見られ, 視覚的に注意を引きやすく, 動きがあることでより印象に残りやすいことが示唆される.

以上の結果を踏まえ, 本研究ではアバターあり (動きあり) を採用し, AI アバターの検証を推進していく方針とした.

## 4.2 AI アバター導入による受付業務の効率化とカスタマーゼロの取り組み

顧客候補にサービスを試行してもらう前に, 自社が最初の顧客となることで品質を向上させ, リアルタイムのフィードバックを得る「カスタマーゼロ」の取り組みとして, 2023 年 6 月中旬から 9 月末の期間で, BIPROGY 豊洲本社 1 階受付に, 来館者向け受付 AI アバター (以下, 受付 AI アバター) を併設した. 有人受付業務を受付 AI アバターで代替する際の抵抗感や課題を明らかにすることで, 有用性検証を実施した.

検証後に社内外の利用者へ実施したアンケートでは合計 43 名から回答を得た. 受付の IT 化 (QR コード・アバター対応など) に対する意見として, 「受付の IT 化を検討すべき」は 88.2%, 「有人の受付のみでいい」が 11.8% であった. このことから約 9 割の利用者が有人受付業務を受付 AI アバターで補助する際の抵抗感がないことが分かった.

課題としてアンケートのコメント欄では, 「前に立てばアバターの方から利用者に話しかけてくれると誤解した」などのコメントがあった. これを受けて, アバター上部に話しかける文言を表示するなど, 利用者に話しかけることを促す対応を実施した. ほかに以下 1) から 3) の知見を得られた.

### 1) ジェンダーバイアスを避けたアバター

昨今のダイバーシティ, エクイティ & インクルージョンの一環として, 受付 = 女性のイメージにとらわれず, 男性, 女性のどちらでも選出できるようにする方が良いなどの要望が多かった. 今後, 動物のアバターを含めさまざまな多様性を表現できるアバターの採用を検討する.

### 2) コミュニケーションに抵抗がある

AI アバターに「こんにちは」などと話しかけることに, 恥ずかしいと感じる人が少なくないことが分かった. 今後は設置場所を壁際にするなど, プライバシーに配慮するとともに, アバターの方から話しかける仕組みを導入するなど, 自然なコミュニケーション方法を検討する.

### 3) レスポンスに少し間があり不安を感じる

AI アバター利用時, レスポンスに少し間があり, 聞き取れているのか不安を感じる, 相槌などのコミュニケーションが不足しているなどの指摘があった. レスポンスの間をポーズや相槌などのノンバーバル (非言語) なコミュニケーションで補完する方法を検討する.

### 4.3 他社サービスと連携した実証実験

BIPROGY 株式会社は、AI エージェントと外部システムを連携するモジュールの開発を進めており、その有効性を検証するため、大日本印刷株式会社（DNP）と共同で他社サービスと連携した実証実験を実施した<sup>[9]</sup>。本実証実験は、DNP が運営する三次元仮想空間「メタバース役所」を舞台に、AI エージェントを活用した住民相談サービスの提供を目的としたものである。

実証実験では、国内七つの自治体に参加し、住民から寄せられた 75 件の具体的な相談に対応した。AI エージェントは、匿名性や 24 時間対応の特長を活かし、相談内容は夫婦関係や子育て、職場の悩みなど幅広い分野にわたり、特に離婚関連の相談が多く寄せられた。

アンケート結果によると、利用者の約 85% が AI エージェントとの対話を「自然」と感じ、約 65% が「心の軽減」を実感したと回答した<sup>[10]</sup>。特に、外部システムとの連携による情報の即時提供や、利用者の意図を正確に理解する能力が高く評価された。また、「匿名で 24 時間利用可能」という特長が心理的な抵抗を下げ、気軽に相談できる環境を提供した点も利用者から一定の評価を得た。

### 4.4 教育分野への適用に向けた実証実験

AI アバターは利用者に対して抵抗感が少なく、AI エージェントとしてメタバース空間での相談を通じて、「自然」でありながら匿名性を保ち、さらに 24 時間対応できる話し相手となることが確認された。すべての業務に AI エージェント搭載のアバターが人に替わって業務を行うことは現時点では難しいが、人を補助する現場からビジネス化を進めることが現実的であると判断し、学校を対象とした導入検討を開始した。

学校環境が有望であると判断した理由は、第一に、デジタルネイティブ世代が中心であり、年齢層が固定化されている点である。第二に、教師の負担軽減が求められている点である。

アバターを教育に活用した先行研究として、「小規模学級に多様性を与える転校生アバターの開発と授業実践」<sup>[11]</sup>では、「山坂ほか（2020）は動画教材にアバターを登場させ学習意欲が向上したこと、小林（2020）はアバターによるオンライン授業のほうが実写に比べて人気だったことを報告している。柳沢（2012）は学生の代わりにアバターが教師に質問してくれることで前向きに授業に取り組めたことが報告されている」と言及している。これらの研究結果から、学校環境におけるアバターの活用は有望であると考えられる。

本研究の目的は、「アバターを起点とした教育効果の検証」や、「会話ログを収集するだけでなく、そこから得られるデータを分析し、他分野に応用できる可能性を探ること」にある。例えば「質問が多い子どもほど学力が高い」といった相関関係が得られれば、教育現場における新たな指導方法の提案につながる可能性がある。この仮説を検証するため、株式会社イトーキと協業し、岐阜県の中学校において探求学習における効果検証を実施中である。

## 5. 今後の展望とまとめ

本研究では、AI エージェント機能を備えたアバターを試作し、社内外における検証を通じて実用性に関する一定の手応えを得つつある。本章では、これらの検証結果をもとに、今後の展望と最終的に目指す社会の姿をまとめる。

### 5.1 非言語コミュニケーションを備えた「新たなインターフェース」としての可能性

AI アバターは、非言語コミュニケーションを実現することで、従来のテキストや音声ベースの UI よりも親密で直感的なインターフェースとして機能する。特に、非デジタルネイティブ層にとっては、無機質なチャットボットよりも信頼できるパートナーとしての存在感を持つ点が重要である。

AI アバターには、顔や表情、ジェスチャーといった視覚的要素を通じて、ユーザーに安心感を与え、より自然なコミュニケーションを実現することが期待される。また、メタバースが「啓発期」を迎え、技術が民主化された際には、AI アバターが「自分の代わりに仕事をこなしてくれる分身」としての役割を果たす可能性がある。例えば、日常業務や接客業務を代替するだけでなく、ユーザーの個性や価値観を反映した「パーソナライズされた分身」として、より高度なタスクを遂行することができる。このような特性は、特に高齢者やデジタル技術に不慣れな層にとって、AI アバターが新たな社会的インフラとして受け入れられる要因となる。

これらの可能性は、AI アバターが単なるツールではなく、ユーザーに寄り添う存在としての価値を持つことを示している。非デジタルネイティブ層への新たな UI としての役割や、メタバースの「啓発期」における「分身」としての活用は、AI アバターが社会に浸透するための重要な要素である。

### 5.2 特定業務に特化した「ベテラン AI アバター」の育成

BIPROGY グループが試作した AI アバターは、現時点では完全に人間を代替するものではなく、業務を補助するツールとしての役割を担っている。そこで、段階的なアプローチとして、まずは成果が出やすい業務に焦点を当て、その分野の知識と経験を深く蓄積した「ベテラン AI アバター」の創造を目指す。社内に埋もれている業務知識（暗黙知）を形式知化し、AI に学習させることで「ベテラン AI アバター」を実現する。知識構造<sup>\*5</sup>は三層で構成される。

- 1) 第一層：AI の基本知識
- 2) 第二層：全顧客向けの接客業務
- 3) 第三層：顧客独自の知見

この構造により、各企業に特化した専門的な AI アバターを構築できる。また、過去の会話を記憶する能力を付与することで、まるで長年連れ添ったパートナーのように、利用者にとって信頼できる存在へと成長させることを目指す。

### 5.3 「AI アバター派遣の仕組み」とコスト削減・従業員負担軽減

「ベテラン AI アバター」は、人材派遣のようにさまざまな現場で活用できる「AI アバター派遣の仕組み」の実現につながる。Web ベースで提供するため、初期投資を抑えながら、企業の規模やニーズに応じた柔軟な運用ができるため、人件費やヒューマンエラーによるコストの削減が期待できる。

さらに、AI アバターがルーティン作業や資料整理といった非効率な業務を代替することで、従業員はより専門的で創造的な業務に集中できるようになる。これにより、組織全体の作業効率の向上と顧客満足度の改善に直結する。加えて、AI アバターとの対話は、従業員が自身の考えを客観的に見直す機会を提供し、クリティカル・シンキングを促進することで、業務の質の向上にも貢献する。

#### 5.4 自律エージェント (Autonomous Agent) の実現と AtoA 社会への貢献

AI アバターが特定業務で得た知見を応用することで、将来的には教育、医療、行政サービスなど、幅広い分野における活用が期待できる。その最終的な目標は、環境を自律的に感知・判断・行動する「自律エージェント」の実現である。また、AI アバターは、人とコンピューターをつなぐ UI としての役割から進化し、将来的には AI 同士が協調して新たな価値を創造する「AtoA (エージェント to エージェント)」社会の到来が予測されている。

#### 5.5 AI アバターと人が共生する未来を創造していく「デジタルコモンズ」の実現

本研究の最終的な展望として、AI アバターと人が共生する未来を創造する「デジタルコモンズ」の実現を掲げる。「デジタルコモンズ」とは、社会全体が恩恵を享受できるデジタル基盤を指し、個人、企業、公共機関が協力して構築する共有の社会資産である。この概念は、AI 技術や XR、メタバースといった先端技術を活用し、社会課題の解決と持続可能な発展を目指すものである。

BIPROGY では、2050 年までに「1000 年先まで人類社会が続くという持続可能性に確信を得て、世界すべての国の人々が希望をもって平和で健全な暮らしができていく」という状態を目指してきた<sup>[12]</sup>。この「デジタルコモンズ」の実現は、持続可能な社会の基盤を形成するだけでなく、AI アバターと人が共生する新たな社会の構築にも寄与する。この社会では、AI 同士が協調して新たな価値を創造するとともに、AI アバターと人によるデータの収集・分析・活用を通じた生活支援が行われる。さらに、コミュニティ全体で共有される資源や知識が、新たな価値の創造につながる。

本研究は、AI アバターと人が共生する新たな社会の実現に向けた重要な第一歩であると確信している。

#### 5.6 まとめ

AI アバターは、非言語コミュニケーションを可能にすることで、従来のテキストや音声ベースの UI よりも親密なインターフェースとして機能する。これにより、接客業務の効率化といった短期的な目標だけでなく、ユーザーの心の負担軽減や正解のない相談への対応といった中期的な展望が期待される。さらに、物理空間と仮想空間を行き来する AI アバター派遣の仕組みや、自律エージェントの実現、そして「AtoA (エージェント to エージェント)」社会の到来とともに、誰もが分け隔てなく恩恵を受けられる社会基盤「デジタルコモンズ」の実現へとつながる長期的なビジョンを有している。

BIPROGY グループは、この AI アバターを新たな事業の柱として育成し、社会全体のコミュニケーションをより効果的かつ便利にすることを目指している。

### 6. おわりに

AI アバターの進化は、単なる業務効率化にとどまらない。これまで人とコンピューターとの対話を中心だった世界は、AI アバターの発展により、AI 同士が協調して新たな価値を創造する「エージェント to エージェント (AtoA)」の時代へと進化していく。この新しいコミュニケーションの形は、AI が人間の代わりに情報を交換し意思決定を行うことで、社会全体のコミュニケーションをより効果的に便利なものへと変えていく可能性を秘めている。

人間は古来より、コミュニケーションや協力を通じて危険を察知し、共同作業を円滑に進める能力を発達させてきた。AI アバターは、こうした人間の本質的な能力を補完し、さらに拡張する存在となるだろう。

BIPROGY グループは、AI 技術と XR・メタバースを活用したアバターを新たな事業の柱としてインキュベーションし、多様な社会課題の解決に取り組んでいく。将来的には、この取り組みを通じて、誰もが分け隔てなく恩恵を受けられる社会基盤「デジタルコモンズ」の実現へとつながることを念頭に置き、最新技術の導入と活用を積極的に推進していく。

BIPROGY グループは、AI アバターが人と共生し、新たな価値を創造する未来を確信している。このビジョンを実現することで、持続可能な社会の発展に貢献していく。

- 
- \* 1 フリードマン検定とは、三つ以上の対応のあるデータ間の中央値の有意差を調べるノンパラメトリックな統計検定である。正規分布に従わないデータや順序尺度データに対して使用され、データに順位を与えて、各群の順位の合計（順位和）に差があるかを評価する。
  - \* 2 有意水準1%で統計的に有意な差が確認されたとは、偶然では説明できない差が99%の確信をもって存在すると判断されたことを意味する。
  - \* 3 2D のイラストを立体的に動かすことができる表現技術、およびその技術を使ったアバターデータ形式。イラストの質感を保ったまま、モデルの表情や体の動きにアニメーションを与えることができ、VTuber やゲーム、アニメーション制作などで広く活用されている。
  - \* 4 人型 3D アバターのデータ形式。複数のアプリケーション間でアバターデータの互換性を持って利用できるように、モデルの形状やテクスチャ、表情、物理演算、ライセンス情報などを1つのファイルにまとめている。VTuber や VR（仮想現実）などのアプリケーションで活用されている。
  - \* 5 知識構造とは、学んださまざまな情報や知識を関連付けて整理し、バラバラにならないよう体系的に関係づけて整理・分類し、つながりを持った一つの体系として理解・活用できるように構造化しておく考え方である。世の中にあふれる膨大な情報の中から、重要な知識だけを抽出し、効果的に利用するための概念である。

- 参考文献** [1] Gartner® Press Release, 「Gartner, 2025 年の日本における未来志向型インフラ・テクノロジーのハイブ・サイクルを発表」, 2025 年 10 月 1 日,  
<https://www.gartner.co.jp/ja/newsroom/press-releases/pr-20251001-infratech-hc>  
**GARTNER and HYPE CYCLE are trademark of Gartner, Inc. and its affiliates.**  
*Gartner は、Gartner リサーチの発行物に掲載された特定のベンダー、製品またはサービスを推奨するものではありません。また、最高のレーティング又はその他の評価を得たベンダーのみを選択するようにテクノロジーユーザーに助言するものではありません。Gartner リサーチの発行物は、Gartner リサーチの見解を表したものであり、事実を表現したものではありません。Gartner は、明示または黙示を問わず、本リサーチの商品性や特定目的への適合性を含め、一切の責任を負うものではありません。*
- [2] パーソル総合研究所, 労働市場の未来推計 2035,  
<https://rc.persol-group.co.jp/thinktank/spe/roudou2035/>
- [3] 厚生労働省, 労働経済動向調査（令和 6 年 2 月）の概況, 2024 年 3 月,  
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/itiran/roudou/koyou/keizai/2402/>
- [4] 堀悦郎, 顔と身体認知, 富山大学医学会誌, 富山大学医学会, Vol.25 No.1, pp43-49, 2024 年, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmjutmed/25/1/25\\_43/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmjutmed/25/1/25_43/_pdf)
- [5] 大藪泰, 乳幼児のジョイント・アテンションに関する研究, 2005 年 3 月,  
[https://waseda.repo.nii.ac.jp/record/3120/files/Oyabu\\_14510170.pdf](https://waseda.repo.nii.ac.jp/record/3120/files/Oyabu_14510170.pdf)
- [6] 株式会社カオナビ, メラビアン法則とは？【わかりやすく解説】第一印象, 誤解, カオナビ人事用語集, <https://www.kaonavi.jp/dictionary/melabians-law/>
- [7] 小島隆次, 授業動画におけるバーチャルアバターがもたらす学習者への効果—バーチャルアバターの有無と動きに注目して, 2021 年 9 月  
[https://www.jcss.gr.jp/meetings/jcss2021/proceedings/pdf/JCSS2021\\_P2-28.pdf](https://www.jcss.gr.jp/meetings/jcss2021/proceedings/pdf/JCSS2021_P2-28.pdf)



- [ 8 ] 高野雅典, 横谷謙次, 加藤隆弘, 阿部修士, 高史明, Avatar Communication Provides More Efficient Online Social Support Than Text Communication, 2025 年 6 月 7 日  
<https://www.cyberagent.co.jp/techinfo/news/detail/id=32043>
- [ 9 ] 大日本印刷と BIPROGY「AI エージェント機能を搭載したアバター」をノーコードで簡単に構築できるツールを開発, BIPROGY 株式会社, 2025 年 3 月 19 日  
[https://www.biprogy.com/pdf/news/nr\\_250319.pdf](https://www.biprogy.com/pdf/news/nr_250319.pdf)
- [10] 大日本印刷株式会社, AI 相談員を活用した「メタバース役所×離コンパス」の実証事業で, その有効性を確認, 2025 年 5 月 21 日  
[https://www.dnp.co.jp/news/detail/20176724\\_1587.html](https://www.dnp.co.jp/news/detail/20176724_1587.html)
- [11] 小林溪太, 向井敏幸, 安永太地, 塩田真吾, 小規模学級に多様性を与える転校生アバターの開発と授業実践, 福井大学, 2024 年 5 月 1 日  
<https://u-fukui.repo.nii.ac.jp/record/2000211/files/BD10126734.pdf>
- [12] 平岡昭良, デジタルコモンズで未来を変える一知を開き, 地球貢献に挑む企業経営の新戦略一, 株式会社リバネス, 季刊誌「創業応援」, Vol.39, pp5-9, 2025 年 9 月,  
<https://lne.st/business/publishing/sougyou/>

※ 上記参考文献に示した URL のリンク先は, 2025 年 10 月 23 日時点での存在を確認。

#### 執筆者紹介 名 雪 健 治 (Kenji Nayuki)

2007 年日本ユニシス(株)入社. .NET 関連技術者として技術支援を担当, 2015 年より総合技術研究所において映像解析, AR/VR/MR 関連技術の研究を実施, 2023 年度より XR 技術支援, AI アバターの開発に従事. 2024 年度よりユニアデックス(株)へ出向.



#### 松 岡 大 樹 (Daiki Matsuoka)

2021 年日本ユニシス(株)入社. データベース技術者として技術支援を担当, 2023 年度より業務効率改善ツールの開発, XR 技術支援, AI アバターの開発に従事. 2024 年度よりユニアデックス(株)へ出向.



#### 前 田 忠 宏 (Tadahiro Maeda)

1989 年日本ユニシス(株)入社. 金融営業として地方銀行ならびに信用金庫を担当, 2009 年度より金融企画部門にて戦略立案からパッケージ企画に従事し, 2011 年度, 地方銀行担当事業部東日本営業部長, 2013 年度, 同西日本営業部長, 2021 年度より DXB インキュベーション部にて新規事業創出に従事し, XR メタバースを担当.



## IT と OT の融合に伴う OT セキュリティの課題と対策

森 下 直 樹, 白 木 啓 子

### 1. は じ め に

人工知能 (AI), デジタルツインなどのデジタル技術の進展や, 製造・サプライチェーンの連携といったエコシステム化が進むことで, 情報技術 (Information Technology: 以下, IT) と運用技術 (Operational Technology: 以下, OT) の融合が進んでいる. この融合により, 製造業やエネルギー分野において, 生産性や品質の向上, さらには現場要員の削減などが実現されている<sup>[1]</sup>.

OT とは, 工場や発電所などに使われるシステムや設備を最適に稼働させるための技術やその装置の総称である. OT の目的は, 物理的なプロセスを安全かつ効率的に動かすことであり, リアルタイム性や長期運用 (10 年以上) といった特性を持つ.

IT と OT の融合により, 現場で取得した膨大なデータをクラウドなどのデジタル空間で分析し, その結果を現場にフィードバックすることで, デジタルツインなどのサイバーフィジカルシステム (CPS) を構築することができる. その結果, 生産ラインを最適化し, 工場生産の可視化を実現することができる. 具体的には, センサーや機械から収集した稼働データをクラウドで解析し, その結果を即座に現場へ反映することで, 遠隔監視や即時の意思決定ができるようになる. さらに, エネルギー消費や稼働率などの KPI を可視化することで, ボトルネックを特定し, プロセス改善に活かすことができる. 加えて, スキル・役割・導線を考慮した人員配置のシミュレーションを行うことで人員の最適化を実現できる. このように, IT と OT の融合が, 経営と製造現場の乖離を解消し, スマートマニュファクチャリング (生産プロセスの可視化・自動化・最適化) の発展を促進する. それを発展させるには, 現場のデジタル情報の収集が不可欠であり, IT と OT の融合はますます重要になってくる<sup>[2]</sup>.

しかしながら, これまでの OT は閉鎖した環境で運用されてきたため, 生産設備の安全かつ安定した稼働を最優先とした設計がなされており, 外部からの影響やサイバー脅威に対する考慮は最小限にとどまっている. IT において必須とされるセキュリティ機能を欠いた通信プロトコルが利用され, 侵入後の被害を拡大させる恐れがあることから, サイバー脅威への対策が急務となっている. 本稿では, IT と OT の融合によるメリット, ならびにそれに伴うデメリットと対応策について述べる. まず, 2 章で IT と OT の融合によるメリットを説明し, 3 章で両者の違いに触れた後, 4 章で融合によって生じる問題を述べる. 5 章で OT のセキュリティ対策, 6 章でインシデント対応のために求められる全社的な体制について述べる.

## 2. IT と OT の融合がもたらすメリット

IT と OT の融合により、生産のボトルネックを特定し、生産効率を向上させることができる。また、製品不良の要因を特定して製品品質を管理することができる。製品品質の判別に AI を利用することで属人化を解消し、それらの作業を自動化することで、人材不足の解消も含めて、多くのメリットが得られる。これらのメリットは単に期待される効果ではなく、現場の OT 機器やセンサーからのデータを継続的に収集・集約し、IT 側の解析基盤（AI や分析モデル）で傾向・異常・予兆を検出したうえで、その結果を現場へ迅速にフィードバック（制御指示や運用改善）する一連の仕組みによって実現される。以下の節で具体例を詳述する。

### 2.1 データドリブン経営

データドリブン経営とは、データに基づいて迅速な意思決定を行う経営手法である。その一例として、現場の OT から取得したリアルタイムのデータを IT 側で集約・分析することで、経営層や管理者は生産状況を可視化して的確な意思決定ができるようになる。センサーや機械から集まる稼働データをクラウドで解析し、その結果を即座にフィードバックすることで、工場の生産状況を素早く把握することができる。また、IoT で収集したリアルタイムデータにより、遠隔監視や即時の意思決定ができるため、生産効率の向上やダウンタイムの削減が実現できる。エネルギー消費や稼働率などの KPI を可視化することで、ボトルネックを特定し、プロセス改善に活かすことができる。

### 2.2 AI による予知保全

製造装置や設備のセンサー情報を蓄積し、AI で解析することで、故障の予兆を検知し、事前に保守対応を行う予知保全が実現できる。従来の定期点検や事後保全に比べて、必要最小限の交換や修理で、設備のダウンタイム短縮と保守コスト削減につながる。例えば、トヨタ自動車株式会社（以下、トヨタ自動車）では、機械の劣化状況を AI が予測し、部品交換の頻度を必要最小限に抑えることで、保全業務の効率化と保守費用の削減を実現している。また、花王株式会社では製造プロセスの異常を AI が自動検知し、オペレーターにアラートを出す仕組みを導入し、熟練者でなくとも品質を維持できるように支援している<sup>[3]</sup>。

### 2.3 プロセス改善・生産性向上

OT から収集された稼働データや品質データを分析することで、製造プロセスを最適化することができる。ライン上のセンサーデータを解析して不良品発生の原因を特定・改善し、機械の稼働パターンから最適な生産スケジュールを導き出すことができる。データに基づいて工程全体を調整することでムダやバラツキを削減し、品質と生産性の向上が期待される<sup>[4]</sup>。

デジタルツインを用いて生産ラインをシミュレーションし、レイアウトの変更や設定の調整の効果を事前に検証することができる。これにより、生産工程全体の継続的改善が

データドリブンで行なわれ、製造のリードタイム短縮や在庫の圧縮が実現される。

## 2.4 人手不足の解消・技能の伝承

日本の製造業では、少子高齢化に伴う人材不足や熟練技能者の高齢化が深刻な課題となっている。その課題に対して、IT と OT の融合による自動化・効率化は、限られた人員でも生産を維持・向上させる手段となる。

例えば、AI 画像検査装置によって人間の目視検査を代替し、AGV（自動搬送車）や協働ロボットを用いて搬送・組立作業を自動化することで、単純作業に割いていた人手を削減できる。また、現場のノウハウや報告書などを IoT データとして蓄積・分析することで、暗黙知を可視化し新人育成に活用することもできる。技能者の勘所をデータとしてモデル化し、作業手順の標準化や MR/AR 技術による支援システムに組み込むことで、ベテランの知見を若手に継承しやすくすることができる<sup>[5]</sup>。

## 3. IT と OT の違い

IT と OT では、その目的や動作環境の違いから、情報セキュリティの優先順位が異なる。工場の制御システムやインフラ監視システムなどの OT システムでは、物理的プロセスを直接制御・監視するため、安全性や継続稼働が最優先となる。一方、企業の情報処理システムなどの IT システムは機密性の保持が最優先であり、データの処理や保存を主目的として設計されている。この違いにより、両者のパフォーマンス要件、可用性要件、リスク管理の重点、運用方法などに大きな差異が生じている。以下の各節で、IT と OT の違いを 10 の観点から整理する<sup>[6]</sup>。

### 3.1 パフォーマンス要件（リアルタイム性、スループット、ジッタ、緊急対応）

OT システムではリアルタイム性が極めて重要である。産業用機器の制御においては、厳格なタイミングと決まった応答時間が要求され、わずかな遅延やジッタ（応答のばらつき）も許容されない。一方、IT システムでは高いスループットや安定した平均応答が重視され、多少の遅延やジッタは問題とならない場合が多い。例えば、モーター制御のループが通信遅延によりタイミングを逸脱し、ステップ運転ではオーバーラン、繊細な調整を要する制御では不安定化を引き起こす恐れがある。

### 3.2 可用性要件（信頼性、冗長性、再起動の許容性など）

OT システムでは連続稼働の可用性が極めて重視される。製造プラントや社会インフラは 24 時間 365 日の稼働が求められており、予期せぬダウンや再起動は、稼働停止による生産遅延、納期遅延などの経営影響や緊急停止による人災につながる可能性がある。一方、IT システムでは一部サービスの一時停止や定期的な再起動が業務上許容されることもあり、可用性要求は IT システムの用途に応じて異なる。

### 3.3 リスク管理（対象リスク，影響，優先事項）

OT システムでは人命・安全の保護やプロセスの継続が最優先され，フォールトトレランスによって物理的被害を防ぐことに重点が置かれる．IT システムでは主にデータ資産の機密性・完全性の確保が最重要であり，サイバー攻撃による情報漏洩や改ざんのリスク対策に重点が置かれる．

### 3.4 システム運用（OS，アップグレード，ベンダー依存）

OT システムでは，組込み OS のような一般的でない OS や古いソフトウェアが継続して使用されることが多く，システムのアップグレードやパッチ適用が容易ではない．一方，IT システムでは最新の OS や自動化ツールを用いた定期的なアップデートが一般的であり，比較的頻繁にソフトウェア更新や機器更替が行われる．

OT の運用管理は IT 部門ではなく制御エンジニアによって行われることが多く，IT とは異なる運用文化が存在する．制御システム特有のソフトウェア（SCADA ソフト<sup>\*1</sup> や PLC プログラム<sup>\*2</sup> など）は一般にベンダー依存が強く，バージョンを変更するとサポート対象外となるためベンダーとの検証などの期間や費用がかかり，更新についても工場などの環境の停止を伴うため，容易にアップデートは適用できない問題がある．

### 3.5 リソース制約（ハードウェア・ソフトウェア拡張性）

OT 機器（PLC や組込みコントローラなど）は計算資源やメモリ容量が限られている場合が多く，導入後にセキュリティ機能を追加することが難しい．

一方，IT システムはリソースが不足すると CPU やメモリを増設し，ソフトウェアを追加インストールして機能拡張することが比較的容易である．

OT 機器は専用装置としてコスト最適化されており，産業用コントローラは大量導入されるため，一台あたりのコストや消費電力を抑える目的で余計なハード資源を積んでいないことが要因となっている．

### 3.6 通信（プロトコル，ネットワーク構成，設計者）

OT システムの通信では，工業用専用プロトコル（例：Modbus，CC-Link IE，PROFINET，DNP3 など）や特殊な通信媒体（フィールドバス，シリアル回線，無線）が使用されることもある．

これらはベンダー独自仕様や業界ごとの標準仕様となっており，一般的な IT 通信（TCP/IP，イーサネット，HTTP など）とは異なる．IT エンジニアではなく制御システムエンジニアが設計する場合が多く，IT の常識とは異なり，ネットワークセグメントを分割しない設計が一般的である．リアルタイム制御通信を最優先するために，IT トラフィックとは分離したネットワークを構築するという設計思想が採られることが一般的である．

### 3.7 変更管理（アップデート頻度、影響範囲、検証）

OT システムでは、制御システムが一度停止すれば安全・生産両面で重大な影響があるため、変更そのものがリスクと考えられる。また、システムごとのカスタマイズ度合いが高く、現場ごとに異なる構成のため、変更前には念入りの検証が行われ、変更の影響範囲を極力局所化するように慎重に計画して実施される。IT システムでは、組織的に整備された変更管理手順（承認フロー、バックアップ、検証テストなど）に基づいて、計画的に変更作業を実施している。変更に伴う一時的なサービス停止も許容される範囲で行われる。

### 3.8 サポート体制（ベンダー依存、サポート方法）

OT システムの保守・サポート体制は、特定ベンダーに大きく依存するケースが多い。制御装置やソフトウェアはメーカー独自仕様が多くの、トラブル時にはそのメーカーやシステムインテグレータに頼らざるを得ない。特にプラント全体を制御する DCS（分散制御システム）<sup>\*3</sup> や SCADA システムの場合、導入したベンダー技術者が定期点検や障害対応を行う。IT システムはマルチベンダー環境が一般的であり、社内の IT 部門や複数のベンダーから成る体制でサポートすることが多い。

### 3.9 コンポーネントの寿命（ライフサイクル）

OT システムを構成する機器・コンポーネントの寿命（ライフサイクル）は非常に長く、工場の制御装置などは 10～15 年単位で使用され続けることが多い。そのため、ソフトウェアについても古いバージョンを長期間使用し続けることになり、その結果、サポート期限を過ぎた OS が残存することになる。一方、IT 機器（サーバや PC、ネットワーク機器など）は 3～5 年程度で更新されることが多い。

### 3.10 コンポーネントの設置場所（アクセス性、遠隔性）

OT システムの構成要素は、工場現場や遠隔地に設置されることが多く、その物理的アクセスには制限や困難が伴う。工場の生産エリア、プラントの制御室、遠隔監視所、さらには地理的に離れた変電所・上下水施設・石油プラットフォームなど、現地に行かなければ直接操作や交換ができないため、保守員が現地対応するには時間と労力がかかる。

IT システムは、社内のサーバールームや IT に特化したデータセンターにあり、物理的にアクセスしやすい場合が多い。

## 4. IT と OT が融合していくことで起きる問題

IT と OT の融合がもたらす利点の一方で、従来は分離・閉鎖されていた工場制御システムなどが企業内ネットワークやインターネットに接続されるケースが増えている。それに伴い、サイバー攻撃の対象範囲が IT 領域から OT 領域まで拡大し、OT 環境がサイバー攻撃の標的になるリスクが高まっている。IT と OT のネットワーク接続によって効率向上やデータ活用が期待できる一方で、新たな脆弱性や予期せぬ問題が発生する可能性がある。

#### 4.1 OT のセキュリティにおける課題

以下の各項で OT システムの特性上の課題を述べる。

##### 4.1.1 脆弱性の顕在化

OT システムは本来インターネットに接続しない前提で設計されているため、外部からの攻撃に対する防御に手薄な部分が多い。OT システムが、ネットワーク経由で IT システムと接続することで、攻撃者が OT 側に侵入する足掛かりが増加する。例えば、外部に公開されるポートが増えるとアタックサーフェスを発見され、攻撃するための情報を収集される。その後、攻撃が成功し、OT ネットワークが悪用されると、エネルギー設備や製造プラントなどの基幹インフラが遠隔から混乱させられる危険性がある。

##### 4.1.2 攻撃面（アタックサーフェス）の拡大

OT 環境に接続するデバイスや産業用 IoT 機器の増加により、サイバー攻撃対象が増加する。複雑に相互接続された OT デバイス群の場合、どれか一つでもセキュリティ保護が不十分であれば、システム全体に脆弱性が連鎖する可能性がある。

##### 4.1.3 レガシー機器の問題

OT システムで使用される制御機器は寿命が長く、古い OS や老朽化したシステムが多数稼働しており、メーカーサポートがないため、セキュリティの維持に課題がある。古い機器は設計時にサイバーセキュリティが考慮されておらず、暗号化や認証機能を欠くものも多く、Modbus のような古い産業用通信プロトコルは不正アクセスや改ざんに対して脆弱であり、攻撃者に狙われやすいという問題がある。

##### 4.1.4 セキュリティパッチ適用の困難性

OT システムを止めることが難しいため、OT 機器へのソフトウェア更新やパッチ適用ができず、セキュリティの維持が難しい。その結果、放置された脆弱性が残った状態でネットワーク上に晒されることになり、攻撃者の標的になる可能性がある。

##### 4.1.5 資産の可視化不足

多くの企業では OT ネットワーク上の機器や通信の可視性が不十分で、自社の資産を十分把握・監視できていない。グローバルな調査では 73% が把握できていないとの回答がある<sup>[7]</sup>。見えない機器が放置され、資産管理台帳が整備されておらず、IT システムのような統合ログ監視や侵入検知体制が無い、もしくは不十分な場合、脅威の検知や影響範囲の把握が遅れるリスクが高まる。

##### 4.1.6 IT セキュリティ製品の適用が困難

一般的な IT セキュリティツールを OT 環境に適用するには以下の問題がある。

### 1) 可用性への課題

ネットワーク上でアクティブにスキャンを行うものや大量のリソースを消費するものがあり、これを OT システムに適用すると制御システムの誤作動や停止、データ欠損を引き起こす可能性がある。そのため、可用性を損ねない専用ソリューションの選定が不可欠となる。

### 2) OT 資産の可視化不足

OT 製品は独自の通信を行っているため、IT 製品では OT 資産の可視化は困難である。そのため、どのような脅威が存在するか把握ができず対策不足となる可能性がある。

### 3) OT 通信の可視化不足

OT 独自の通信を IT 製品では把握することは困難であり、IT と OT をネットワーク接続する時に、ファイアウォールなどによるネットワーク分離やアクセス制御の設計が難しい。設計や設定を適切に実施しなければ、IT 側の侵害が OT 側に波及する可能性がある。

## 4.2 セキュリティ運用上の課題

OT セキュリティと IT セキュリティを運用する上で、以下の問題が存在する。

### 4.2.1 組織体制

OT セキュリティでは、責任の所在が不明確であり、指揮命令系統や役割分担が明確でないケースが散見される。IT 部門のセキュリティ担当者が OT の知見を持っていない場合が多く、OT 側にも専任のセキュリティ責任者が置かれていない状況がある。その結果、IT 部門と OT 部門の連携が不足し、OT への対策が遅れる。また、インシデント発生時に速やかに対処する体制・フローが整備できていない企業が多く、初動対応は現場担当者に委ねられることになる。そのような体制では、セキュリティインシデントに対する知識の不足から、初動判断や情報連携が遅れる恐れがある。

### 4.2.2 技術的課題

PwC が 2023 年 11 月に実施した国内企業向け OT セキュリティの実態調査<sup>[14]</sup>によると、有効回答を得た 299 社のうち 82% の企業が自社の OT 環境の資産を把握できていないことが分かっている。隠れたデバイスがセキュリティホールになるリスクがある。パッチ適用やセキュリティ対策に伴う停止リスクへの懸念から、OT 機器の更新には膨大な時間とコストを要するため、既知の脆弱性が放置される傾向がある。OT 環境特有の制御プロトコルや製造機器は、一般的な IT 向けセキュリティ製品では監視・防御できない場合が多く、専用の製品が不可欠である。OT 環境は IT のような統合監視体制が整っていない場合が多く、障害の原因の特定が難しい。

## 4.3 実際に起きたインシデント事例

IT と OT の融合がもたらす利点の一方で、そこにつけ込む脅威も顕在化している。特に、



ランサムウェアとサプライチェーン攻撃が挙げられ、従来の IT システムだけでなく、融合した OT 環境にも深刻な被害を及ぼしている。以下の各項で、実際に発生した事例を示す。

#### 4.3.1 ランサムウェア

工場系組織へのランサムウェア攻撃は、2024 年には前年度より 87%増加<sup>[12]</sup>しており、Dragos<sup>\*4</sup> がモニターしている 80 グループのうち 50%が製造業を狙っている。IT 環境との融合が進む中で、単なるデータの暗号化だけでなく、OT プロセスの停止や物理的な設備への損害につながる可能性が高いため、より脅威が拡大していくと考えられる。

WannaCry (2017 年) の事例を紹介する。WannaCry は、Windows の脆弱性を悪用し、ユーザの操作なしに拡散し、感染後にファイルを暗号化し、ファイルの複合と引き換えにビットコインで身代金を要求した<sup>[8]</sup>。これにより、ランサムウェアの脅威が広く認識され、対策が検討されるようになった。

#### 4.3.2 ICS 特化型マルウェア

ウクライナやイスラエルのような紛争地帯で ICS 特化型マルウェア<sup>\*5</sup> を利用した攻撃が行われている<sup>[12]</sup>。電力網の一部を乗っ取る、検出の困難なマルウェア (IOCONTROL) や、簡易的な攻撃でセンサーやコントローラに対して攻撃を行うマルウェア (Fuxnet, FrostyGoop) などが存在し、侵入後は容易に攻撃できる脆弱性があることが攻撃グループに認識されている<sup>[12]</sup>。脆弱性が放置されている状態では、今後も被害が拡大していくと考えられる。

Stuxnet (2010 年) と Industroyer (2016 年) の事例を紹介する。Stuxnet は、世界初の産業制御システム向けマルウェアであり、イランの核燃料濃縮施設において OT ネットワークがエアギャップ環境であったため、最初の感染経路は感染した USB ドライブを介して Siemens 製 PLC に侵入した。このマルウェアは、遠心分離機を異常回転させる一方で、監視画面には正常稼働を装うよう設計されており、遠心分離機を破壊させたことが OT/ICS のセキュリティに注目を集める要因となった<sup>[8]</sup>。

Industroyer は、民間インフラを標的とした最初のマルウェアであり、OT プロトコルである IEC-104 を直接操作する機能を持ち、ウクライナにおいて大規模な停電を引き起こした<sup>[8]</sup>。これは OT プロトコルのセキュリティ脆弱性を突いた例となった。

#### 4.3.3 フィッシング (標的型メール) 攻撃

TXOne Networks の 2024 年調査で確認されたサイバー攻撃の 68%が IT 環境から侵入しており、攻撃の入り口となっている。フィッシング攻撃もその一部に挙げられ<sup>[11]</sup>、IPA の情報セキュリティ 10 大脅威 2025 にも挙げられており、今後も継続すると考えられる<sup>[13]</sup>。

BlackEnergy (2015 年) の事例を紹介する。サイバー攻撃者集団が送信した標的型メールを、ウクライナの電力会社の従業員が開封してウイルスに感染した。IT ネットワーク

に侵入した攻撃者は、電力網を制御する SCADA システムにアクセスして攻撃を行った。停電を引き起こし数十万人に影響を与えた BlackEnergy は、重要インフラに対するサイバー攻撃の事例となった。

#### 4.3.4 サプライチェーン攻撃

部品メーカーや関連会社を攻撃し、取引先のネットワークが侵害されると、そこから上流企業や取引先全体に被害が連鎖的に広がる<sup>[11]</sup>。これも IPA の情報セキュリティ 10 大脅威 2025 にも挙げられており、今後も継続すると考えられる<sup>[13]</sup>。

TSMC 新規導入機器からの感染 (2018 年) とトヨタ自動車サプライチェーン攻撃 (2022 年) の事例を紹介する。TSMC は、新規導入した製造設備のソフトウェア導入時に供給業者経由でウイルスに感染し、1 万台以上の装置がマルウェアに汚染された。この結果、一部製造ラインの停止や出荷遅延が発生した<sup>[9]</sup>。新規に導入する装置に対してもセキュリティ対応を検討するべき例となった。

小島プレス工業株式会社の子会社の脆弱なりモート機器経由でランサムウェアに感染し、システムが停止した。サプライヤーの業務停止により、トヨタ自動車は国内 28 ラインを 1 日停止することになった<sup>[10]</sup>。サプライチェーンのセキュリティについても対応を検討するべき例となった。

### 5. OT セキュリティの対策手法

OT のリスクマネジメントには、「組織・人」、「運用」、「技術」の三要素が不可欠である。経済産業省が公開している「工場システムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン<sup>[15]</sup>」は、チェックリストを利用して現状を把握するのに有益ではあるが、実行する具体的なツールについては明記されていないため、以下に紹介する。

#### 5.1 OT 資産管理

OT 資産管理ツールの特徴としては、以下の点が挙げられる。

- 1) OT ネットワークをパッシブで監視し、正常時の通信を把握
- 2) OT プロトコルを把握し、PLC や IoT 機器のような資産情報を可視化
- 3) 脆弱性データベースとの紐づけ
- 4) 製品の EoL (End of Life : サポート終了) 情報との紐づけ
- 5) ゾーン設定を行い、ゾーンを跨る通信を把握
- 6) 正常時から逸脱する通信を検知

OT 資産管理ツールは、資産を可視化して構成の管理を行うだけでなく、IDS (不正侵入検知システム) の側面も持つ。また、パケットキャプチャなどで (パッシブ) 監視する場合、セグメント毎に情報を収集する。すべてを取得することは困難であるが、能動的に通信して (アクティブ) 監視する場合、古い機器への負荷がかかる懸念があるため、慎重に導入することが肝要である。

製品例としては、Claroty 社の「xDome」、Armis 社の「Armis Centrix」、Nozomi Networks 社の「Guardian」、Forescout 社の「Forescout eyeSight」、Cisco Systems 社の「Cyber Vision」などがある。これらのツールは、「工場システムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」の以下の項目に対して有効である。

- 業務の重要度の設定
- 保護対象の整理
- 保護対象の重要度の設定
- ゾーンの整理と、ゾーンと業務、保護対象の結びつけ
- ゾーンとセキュリティ脅威による影響の整理
- セキュリティインシデントの検知
- ライフサイクルマネジメントの資産管理

ただし、本製品を導入してすべてが解決するわけではなく、導入の目的に達するかどうかの確認と運用が重要になるため、PoC（概念実証）と運用体制の構築が不可欠である。

## 5.2 ネットワークセキュリティ・ゾーニング

ネットワークセキュリティ・ゾーニング製品の特徴としては、以下が挙げられる。

- 1) セグメント単位で通信の制御を行う
- 2) OT プロトコルを把握し、制御を行う
- 3) IPS 機能、正常時の通信の把握
- 4) リモート保守用 VPN

FW（ファイアウォール）、IPS（侵入防止システム）機能がメインとなるため、一部製品では資産の可視化ができるが、IT 資産管理と比べると資産の脆弱性情報やソフトウェアバージョン情報の管理などができないことが多い。リモート保守用 VPN は、2020 年から新型コロナウイルス感染症の影響により、リモートメンテナンスの需要増加に伴って導入が増加した。その後、運用管理者が不在などの管理体制の問題により、脆弱性が存在する状態で放置されることで、攻撃され侵入される事象が多く報告されている。また、ID・パスワードが窃盗された場合は、攻撃者が自由に工場内へアクセスするリスクが存在し、ゼロデイ脆弱性を悪用した攻撃も多く存在するため運用には注意が必要である。

製品例としては、TXOne Networks 社の「EdgeIPS」や「EdgeFire」、Fortinet 社の「FortiGate Rugged NGFW」、Cisco Systems 社の「ISA3000 Series」などがある。

TXOne については、IPS 機器に問題が発生した場合はバイパスモードに切り替わるため、既存環境に導入する際の影響検討が少なく済む利点がある。現状の通信を把握するために Auto Rule Learning を用いて整理することもできる。

これらのツールは、「工場システムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」の以下の項目に対して有効である。

- ネットワークにおけるセキュリティ対策

構成分割、接続機器制限、内部秘匿、通信データ制限、通信監視・制御、構成管理、脆弱性対策と幅広く対応することができる（表1）。しかし、適用できる範囲はネットワー

ク境界であるため、可視化できる範囲が狭く、対処が難しい内部からの攻撃に対しては個別の検討を要する。

表1 ネットワークにおけるセキュリティ対策（例）のIPS対応範囲<sup>[15]</sup>

対策項目	対応強度	対 策	侵入防止	活動抑止	運用支援
構成分割	中	VLAN などによる論理ドメイン細分	○	○	
接続機器制限	中	IP アドレス, MAC アドレス制限	○	○	
内部秘匿	高	NAT 内部ネットワークの隠匿 不正通信防止（ゲートウェイ）	○		
通信データ制限	高	送信元/宛先の制限（FW） 通信電文種別制限（DPI） 電文内容解析, 異常通知（IDS） 電文内容解析, 異常通信遮断（IPS）	○	○	
利用者制限	中	パスワードポリシー策定 個人ID 認証 多要素認証は外部 IdP が必要	○	○	
通信監視・制御	高	通信状況可視化・監視（NDR） 異常検知（IDS） 異常通信遮断（IPS, フィルタリング）	○	○	○
構成管理	中	接続機器管理・可視化			○
脆弱性対策	高 （一部）	仮想的な対策（IPS, 仮想パッチなど）	○	○	
ログ取得	中	機器内ログ取得 IDS ログ連携			○

### 5.3 ゼロトラストネットワークアクセス（ZTNA）

ゼロトラストネットワークアクセス製品は、VPN 製品と比較して以下の特徴がある。

#### 1）外部からの攻撃に強い

ZTNA ゲートウェイからクラウドと接続することにより、TCP ポートを直接インターネットに公開せずに済むため、仮に脆弱性が発見されたとしても、外部から攻撃することは難しい。

#### 2）ユーザ毎にアクセスできる資産を制限できる

ユーザ毎に認証と認可を設定して、アクセスできる資産を最小化することで、不要な資産へのアクセスを制限することができ、ユーザ情報が漏れた場合のリスクを軽減できる。また、利用の申請・承認フローを組み込むことができるため、想定外の利用についても制限することができる。しかし、IT 用の ZTNA を入れた場合、OT 特有のセグメンテーション管理や IP アドレス管理の問題があり、OT では利用できない場合がある。そのため、OT 向けの ZTNA ソリューションを利用すべきである。

製品例としては、Cisco Systems 社の「Secure Equipment Access」、Dispel 社の「Dispel」、Claroty 社の「xDome Secure Access」などがある。

これらのツールは、「工場システムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」の以下の項目に対して有効である。

●ネットワークにおけるセキュリティ対策

ZTNA は、「ネットワークにおけるセキュリティ対策（例）」にそのまま当てはめることはできないが、以下のような観点（対策項目）で有効である（図 2）。ZTNA の導入にはリモートアクセスの制御及び認証・認可の管理、アクセス許可対象を最小化することが重要である。また、外部からのアクセス手段を増やすため、攻撃手段として利用されないように運用を検討することが肝要である。

表 2 ネットワークにおけるセキュリティ対策（例）の ZTNA 対応範囲<sup>[15]</sup>

対策項目	対応強度	対 策	侵入防止	活動抑止	運用支援
構成分割	中	アクセス許可対象の範囲制御による論理ドメイン細分	○	○	
接続機器制限	高	接続機器の論理証明 接続機器の信頼性確保	○	○	
内部秘匿	高	内部ネットワークの隠匿 不正通信防止（ゲートウェイ）	○		
通信データ制限	—	ユーザ毎で IP + Port による制御	○	○	
利用者制限	高	パスワードポリシー策定 個人 ID 認証 多要素認証	○	○	
通信監視・制御	—	外部への IP 公開を行わないことによる攻撃面の軽減	○	○	○
構成管理	中	接続機器管理・可視化			○
脆弱性対策	—	VDI での自動的な更新	○	○	
ログ取得	中	機器内ログ取得 IDS ログ連携			○

●セキュリティ対策の実行、及び計画・対策・運用体制の不断の見直し（PDCA サイクルの実施）

ZTNA は、利用者に対して詳細な権限を付与して管理し、接続対象以外のアクセスを防ぐことができるため、セキュリティ管理作業を行う上で有益である。製品ごとに機能が異なるため、自社での管理者、運用者、利用者を定義して、運用を検討すべきである（表 3）。

表3 ZTNAにおけるセキュリティ管理作業（例）<sup>[15]</sup>

管理対象	管理すべき情報	運用技術
利用者	装置・機器別の利用者一覧（ID、権限）	IDと権限をシステム上で一元管理することができる。利用者への権限付与及び削除が容易に行える。
接続機器	ネットワーク別の登録機器一覧	アクセスする対象機器を制限することができるため、必要な利用者に必要な対象機器のみを提供できる。
実行プログラム	装置・機器ごとの実行プログラム	Dispelはクラウド上でVDI（仮想のデスクトップ）の作成・パスワード発行・削除の管理を行うため、必要なアプリケーションのみをインストールして、利用者が実行する。 Secure Equipment Accessは、端末管理は利用者となるため他の手段での対応が必要となる。
媒体	媒体一覧 媒体別利用管理	Dispelは、VDI上のアクセス対象を制限可能であるため、外部サービスを用いて持ち込む情報を制限することができる。
装置・機器バックアップ	バックアップ履歴	機器の設定情報などを取得保管する上でリモートアクセスを利用することができる。
パッチ	パッチに関する情報	DispelはVDIのOSパッチ管理は自動で行う。

#### 5.4 EoL 機器へのセキュリティ対策

WindowsやLinuxのような汎用OSを利用している場合、EoL（End of Life：サポート終了）を迎えた後も利用し続けるケースがある。その場合、ウイルスや脆弱性に対して無防備になるが、以下の方法でリスクを軽減することができる。

製品例としては、TXOne Networks社の「EdgeIPS」や「Stellar Protect」などがある。

EdgeIPSは既知の攻撃に対して防御を行い、アンチウイルス機能などを利用してネットワークからの攻撃を軽減することができる。Stellar Protectについては、Windowsでのみ利用できる。Windows 2000 SP4以降に対応しているため、機器の延命として利用することができる。ただし、いずれも軽減策であるため、汎用OSの更新も併せて検討すべきである。

#### 5.5 外部記憶媒体対策

製造・保守ベンダーが持ち込む新規機器やPC、USBについて、チェックを実施しない場合、ウイルスが持ち込まれ、社内・工場内に拡散する恐れがある。

持ち込み対策の製品例としては、TXOne Networks社の「Portable Inspector」や「SafePort」、ハギワラソリューションズの「ワクチン USB3」などがある。

Portable Inspectorは、インストールが不要であるため、ベンダーのPCやオフライン環境のPCをチェックする上で有効である。ただし、持ち込みPCを利用する際は、運用上ウイルススキャン実行時間を考慮すべきである。SafePortについては、持ち込みUSB

のウイルススキャンを実行して、持ち込まれたデータがウイルスに感染していると判定した場合、そのデータを一時退避させて USB を持ち込ませることができる。ワクチン USB3 は、Portable Inspector と同様にウイルスチェックによりベンダーの PC のチェックを行う事ができるが、ストレージ機能を持たない。したがって、持ち込まれる USB はウイルススキャンのために PC への接続を要するため、注意しなければならない。

本ツールは、「工場システムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン」の以下の項目に対して有効である。

#### ●機器におけるセキュリティ対策

通信制限のある機器に対しての利用ポート、構成管理、脆弱性対策に対応している。汎用 OS の新規持ち込み機器内にマルウェアが存在するセキュリティ脅威に対しても対応できる。しかし、USB による対応は運用負荷が高くなるため、継続して対応するには、システムの改善を個別に検討しなければならない。

### 6. OT セキュリティの運用体制

OT インシデントへの対応には、組織横断的な体制の整備が不可欠である。まず、経営層（CISO や CSO）は、企業の情報セキュリティ活動全般を統括する役割を担い、ポリシーの策定とリソースの配分を行い、経営判断への参加体制を整えなければならない。OT の環境特有の問題を理解して、全社的なセキュリティ戦略や標準を策定することが求められる。そのため、本社 IT セキュリティ部門が策定する際には、OT に関する理解者が助言できる環境を整えて、各工場やプラントの OT 部門に展開することが重要である。工場レベルでは、日常的な運用・監視を行う OT セキュリティ担当者の他に、異常時に初期対応を実施する FSIRT（Factory Security Incident Response Team）の体制を構築することが求められる。インシデント対応を行うためには、以下の体制と関係性が不可欠である。

#### 1) SOC (Security Operations Center)

各工場やプラントを監視するチームであり、IDS やネットワーク監視ツールを用いて OT ネットワークを常時モニタリングする。異常が検知された場合には、工場現場の担当者へ通知し、対応支援を行う。IT 部門の SOC と連携することで、IT および OT 両領域を横断して広範な脅威に対応できる体制を構築することが求められる。

#### 2) FSIRT (Factory Security Incident Response Team)

CSIRT（Computer Security Incident Response Team）とは違い、工場の安定稼動実現のためにインシデント発生時の対応を統括するチームであり、問題発生現場と本社 IT チーム、SOC チームをつなぐハブとして機能する。事態の収束に向けて調査・対策をコーディネートし、対応状況や分析結果を経営層、法務、広報などの関係部門へ報告する。また、外部 CSIRT（例：JPCERT/CC など）や関係取引先への連絡・情報共有窓口も担う。

#### 3) 工場（OT）部門

制御システムや運用プロセスに精通した技術者が、OT 環境固有のリスクや制約を理解しつつ、障害時には迅速に現地対応し、安全措置を実施する。

#### 4) IT 部門

IT ネットワークや情報セキュリティの技術者が、OT 環境への侵入経路の遮断、IDS 導入、フォレンジック技術（証拠保全や原因分析に用いられる技術）の提供などを行う。IT セキュリティ人材は OT システム特有の通信プロトコルや可用性要件を把握し、OT 担当者と協力して対策を検討する。

### 7. お わ り に

本稿の目的は、IT と OT の融合に伴うセキュリティの課題と、体制を含めた対策の重要性を明示することである。IT と OT の融合を図り、セキュリティを維持するためには、IT と OT の相互理解が不可欠であり、経営層の調整が重要である。インシデントが発生した場合の被害額は年々増加しており<sup>[16][17]</sup>、OT を対象とした攻撃も増加している。今後、新たな攻撃手法が開発され、その対策が急務になる中、継続してセキュリティインシデントに対応する体制が不可欠であり、セキュリティシステムも重要である。本稿が、OT セキュリティの体制や対策を検討中の読者にとって参考になれば幸いである。

- 
- \* 1 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ソフトは、工場などの施設にある機器や設備の状態を、ネットワーク経由で遠隔から一元的に監視および制御するシステムである。
  - \* 2 機械や設備を自動制御するためのプログラム。入力信号と出力機器の動作を論理的に結び付け、様々な機会の自動運転を実現する。PLC は、Programmable Logic Controller (プログラマブルロジックコントローラ) の略。
  - \* 3 大規模プラントなどで、各機器の制御装置を分散し、それらをネットワークで接続して、全体を統合的に監視・制御するシステムのこと。長期の安定稼働、オペレーションの効率化や省力化を実現する。
  - \* 4 OT に特化したサイバーセキュリティ企業である。OT セキュリティに関する包括的なソリューションを提供している。
  - \* 5 産業制御システム (ICS: Industrial Control Systems) や運用技術 (OT: Operational Technology) 環境に物理的な悪影響を及ぼすことを目的として特別に設計された悪意のあるソフトウェアである。一般的な IT マルウェアとは異なり、産業機器の挙動や制御プロトコルを理解した上で攻撃を行う点が特徴である。

- 参考文献**
- [1] 長野・直富商事、AI で産廃選別を省人化 新工場に導入、日本経済新聞社、日本経済新聞会員限定記事、2024 年 10 月、  
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOCC262IZ0W4A920C2000000/>
  - [2] 三菱電機デジタルイノベーション、製造業に影響を与える CPS (サイバーフィジカルシステム) とは？概念から活用事例まで紹介、三菱電機デジタルイノベーション、2022 年 9 月、  
[https://www.mdsol.co.jp/column/column\\_123\\_2169.html](https://www.mdsol.co.jp/column/column_123_2169.html)
  - [3] AI による予知保全の事例 5 選 | 導入方法や 2 大メリットも紹介、AI 総研、2024 年 7 月、  
<https://metaversesouken.com/ai/ai/predictive-maintenance/>
  - [4] 武田薬品工業が製造 DX の事例を紹介、2023 年は作業時間を年間 11 万時間削減、アイティメディア、2024 年 09 月、  
[https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2409/06/news080\\_2.html](https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2409/06/news080_2.html)
  - [5] 中期事業計画を支えるブリヂストン流の DX「モノづくり領域」にて匠の技を伝えるシステムを開発、ブリヂストン、2021 年 04 月、  
<https://www.bridgestone.co.jp/corporate/news/2021041301.html>



- [6] Keith Stouffer, “NIST SP 800-82 Rev.3 Guide to Operational Technology (OT) Security”, NIST, 2023 年 9 月,  
<https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/82/r3/final>
- [7] Cyolo, “New Research from Cyolo and Ponemon Institute Identifies Significant Gaps in Securing Access to Connected OT Environments”, Cyolo, 2024 年 2 月,  
<https://cyolo.io/press-releases/ponemon-survey-secure-access-risk-ot-environments>
- [8] Forescout, “Since Stuxnet: A Brief History of Critical Infrastructure Attacks”, Forescout, 2025 年 2 月,  
<https://www.forescout.com/blog/since-stuxnet-a-brief-history-of-critical-infrastructure-attacks/>
- [9] TSMC, “TSMC Details Impact of Computer Virus Incident”, TSMC, 2018 年 8 月,  
<https://pr.tsmc.com/english/news/1969>
- [10] 小島プレス工業株式会社, “ウイルス感染被害によるシステム停止事案発生のお知らせ (第 2 報)”, 小島プレス工業株式会社, 2022 年 3 月,  
<https://www.kojima-tns.co.jp/news/news0003406/>
- [11] TXOne Networks, “Annual OT/ICS Cybersecurity Report 2024”, TXOne Networks, 2025 年 3 月,  
<https://www.txone.com/security-reports/ot-ics-cybersecurity-2024/>
- [12] “Annual OT/ICS Cybersecurity Report 2024”, Dragos, 2025 年 3 月,  
<https://www.dragos.com/ot-cybersecurity-year-in-review/>
- [13] 独立行政法人情報処理推進機構, “情報セキュリティ 10 大脅威 2025”, 独立行政法人情報処理推進機構, 2025 年 1 月,  
<https://www.ipa.go.jp/security/10threats/10threats2025.html>
- [14] PwC Japan, “エンドユーザーとベンダーの視点から考える, OT セキュリティの現実解 (三菱電機)”, PwC Japan, 2024 年 8 月,  
<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/column/awareness-cyber-security/df2024-06.html>
- [15] 経済産業省, “工場システムにおけるサイバー・フィジカル・セキュリティ対策ガイドライン”, 経済産業省, 2024 年 4 月,  
[https://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/wg1/factorysystems\\_guideline.html](https://www.meti.go.jp/policy/netsecurity/wg1/factorysystems_guideline.html)
- [16] IBM, “Cost of a Data Breach Report 2024”, IBM, 2024 年 7 月,  
<https://www.ibm.com/reports/data-breach>
- [17] 日本ネットワークセキュリティ協会, “インシデント損害額調査レポート 別紙 2025 年版”, 日本ネットワークセキュリティ協会, 2025 年 7 月,  
<https://www.jnsa.org/result/incidentdamage/202507.html>

※ 上記参考文献に示した URL のリンク先は, 2025 年 11 月 10 日時点での存在を確認。

#### 執筆者紹介 森 下 直 樹 (Naoki Morishita)

2009 年入社。2018 年まで金融業界のネットワーク導入保守作業に従事。その後 2023 年より OT セキュリティに関する研究製品検証に従事しビジネス化に関する業務を担当している。ネットワークスペシャリスト取得。情報処理安全確保支援士。



白 木 啓 子 (Keiko Shiroki)

2006 年入社. 2018 年まで無線ネットワーク設計構築および各種プロジェクトの PM に従事. その後 DX ビジネス企画開発業務を経て, 2023 年より OT セキュリティに関する企画開発業務を担当している.

