

## 全体最適へ向かうデジタルツイン ～ 拡大するデータ収集・再現対象 ～

目まぐるしく変化する外部環境に適応するため、企業はデータの利活用を進めている。多様かつリアルタイムなデータから洞察を得る手段として、デジタルツインが注目されている。

本稿では、デジタルツインの概要と、近年のデジタルツインにおけるデータ収集・再現対象の拡大について、ビジネスにおける活用例を踏まえて解説する。そして、拡大した収集データを用いて全体最適の実現を目指す潮流について述べ、デジタルツインの活用を検討する日本企業への示唆をまとめる。

### 1. デジタルツインとは

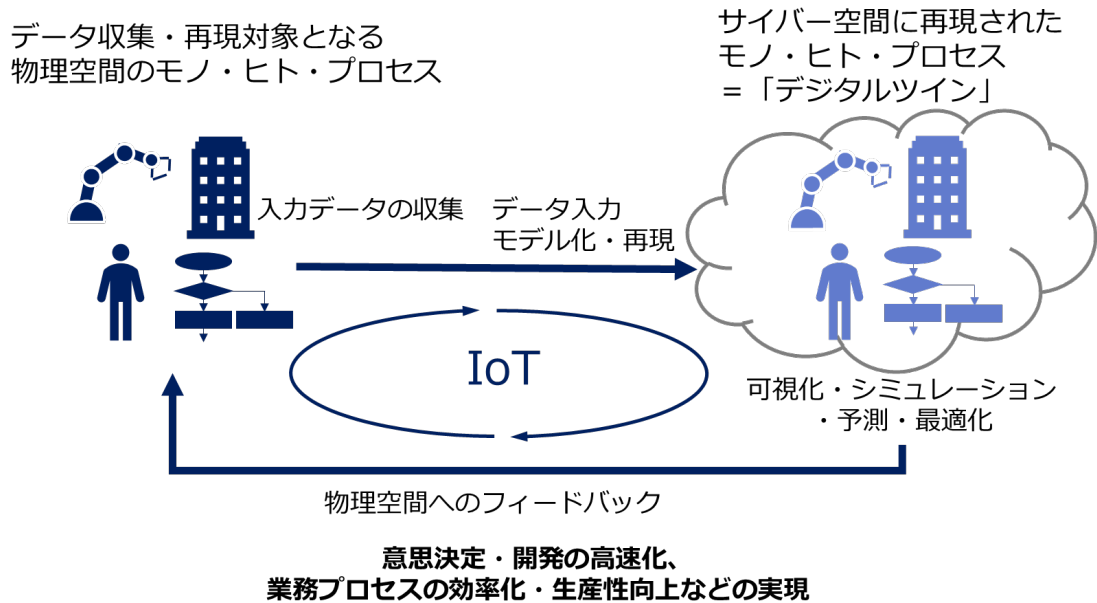
#### 1.1. デジタルツインの概要

新技術の発達や社会情勢の変化によって、現代の企業を取り巻く外部環境は目まぐるしく変化し、予測困難になっている。その変化に適応するため、企業はデータを収集・分析し、意思決定を速めつつ事業改善や新規価値創造を行っている。データを収集するセンサー技術の発達や、非構造化データを分析可能にした機械学習の発展によって、データ収集の対象や収集されるデータの種類の多様化している。多様なデータを利活用し、意思決定に役立つ洞察を得る手段として、デジタルツイン（digital twin）が注目されている。

デジタルツインとは、物理空間に存在するモノやヒト、プロセスをサイバー空間に双子のように再現したもの、またそれを活用したシステムを指す（図 1）。物理空間のモノや現象をサイバー空間でモデル化・再現することは以前から行われてきた。デジタルツインを特徴づける点は、多様でリアルタイムなデータをサイバー空間へ反映する点である。時間とともに変化する対象や周囲の環境の状態をサイバー空間内のデジタルツインにリアルタイムに反映するためには、IoT によるデータ収集が重要となる。デジタルツインの構築において、IoT は重要な要素技術である。

物理空間での実装前にテストやシミュレーションを行うためにサイバー空間で作成する仮想的な試作品やモデルも、デジタルツインと呼ぶ場合が多い。サイバー空間上でデザイン・修正されたモノやプロセスを物理空間に実装することで、サイバー空間と物理空間の「双子」の関係が成立する。実装後は、物理空間での動作結果をサイバー空間のモデルに反映して分析・フィードバックすることで、継続的な改善も可能になる。

図1 デジタルツインの全体像<sup>1</sup>



## 1.2. デジタルツインのユースケース

デジタルツインとして再現する対象は個々の機器にとどまらず、工場、建築物、都市、ヒト、業務・製造プロセス、サプライチェーンなど多岐にわたる。利活用の例として、機器の形や運動を3Dモデルにより再現するケースや、工場・建築物・都市の3Dモデル上に稼働状況や建築の進捗、交通状況を可視化するケースがある。他にも、利用客の移動経路のような顧客に関するデータを収集・可視化するケース、業務システムからログを取得し業務プロセスをグラフやフローチャートとして可視化するケースなどがある。このように、目的によって対象をサイバー空間に再現する方法は様々である。

サイバー空間に構築されたデジタルツインは、グラフや3Dモデルによる可視化だけでなく、予測・シミュレーション・最適化といった高度な分析にも用いられる。たとえば、工場生産ラインの変更や都市計画のように、物理空間で試行錯誤を重ねるには多大なコストや時間が必要となる場合がある。そこで実物の作成に先立ってサイバー空間上にデジタルツインを構築し、デジタルツインを用いてシミュレーション・分析・最適化を行う。その結果を物理空間へフィードバックすることで、コストや時間を短縮し、設計や生産の効率化・最適化が可能になる。また、シミュレーションと同様に様々な条件・環境をサイバー空間上で再現することで、機械学習における学習用データを生成する事例も近年現れている。

3Dモデルを用いる場合、従来はゲーム作成専用のツールであった汎用ゲームエンジンを、非ゲーム分野で活用する取組が注目を集めている。ゲームエンジンが搭載する物理エンジンを用いて、物体の運動の再現・シミュレーションや、光の描写を改善した写実的表現が可能になる。

<sup>1</sup> 「DX 白書 2023」図表 5-57「デジタルツイン」より一部加筆・修正

### 1.3. デジタルツインの先行事例

デジタルツインを先行して活用した例として、2010年代前半からGE（米国）が航空機エンジンのデジタルツインを活用した事例が有名だ。この事例では、物理空間のエンジンに関するデータを収集し、デジタルツインとして再現・分析することで、メンテナンスが必要な時期を予測した。その結果、不具合を防止しつつ、保守コストを削減することに成功したのである。同社は、この予防的な保守サービスに加え、収集データを分析し燃料消費の少ない飛行ルートを提示するサービスも提供している。また、収集データを用い、エンジンの稼働に応じた従量課金モデルへの転換も行っている。同社のビジネス変革においてデジタルツインは重要な役割を果たしている。

近年の例では、Amazon Robotics（米国）が、倉庫システムの拡張にデジタルツインを活用している。各国にあるAmazonの物流拠点の一部では、自走式ロボットが商品の載ったパレットを下から持ち上げ、配送作業員のもとへ運ぶシステムを導入している。このシステムによって、以前と比べはるかに多くの在庫を倉庫内に保管し、効率的かつ安全に在庫を移動することができる。同社はこのシステムを拡張するにあたり、NVIDIA（米国）のプラットフォーム NVIDIA Omniverse を活用し、倉庫のデジタルツインを作成した。倉庫建設前やレイアウト更新前にシミュレーションを行うことで、倉庫設計の最適化・ダウンタイムの減少につなげている。また、同プラットフォームを用い、サイバー空間上で生成した写実的な画像データを使用し、荷物の自動仕分けに用いる画像認識モデルの再学習も行っている。その結果、画像認識モデルの学習時間短縮・精度向上を実現している。

## 2. 拡大するデータ収集・再現対象

### 2.1. デジタルツインのデータ収集・再現対象

デジタルツインとして再現される対象のモノ、ヒト、プロセスのうち、これまでは主にモノや製造プロセスが再現されてきた。しかし、近年、データ収集・再現の対象はヒトや業務プロセス、サプライチェーンへと広がり、それらのデジタルツインが活用されはじめている。

「DX 白書 2023」にも掲載されている「企業を中心とした DX 推進に関する調査」において、デジタルツインを構築・活用している分野を複数回答で尋ねた（図2）。「デジタルツインを構築・活用していない」と回答した企業の割合は、米国企業では15.3%、日本企業では58.0%であった。デジタルツインを活用している企業の割合には日米で大きな差があり、米国はデジタルツインの導入で先行していることがわかる。米国企業の回答率が高い選択肢はサプライチェーン（36.5%）や業務プロセス（29.8%）であった。また、顧客（25.6%）との回答も製品（28.0%）・製造プロセス（28.0%）に次いで多い。米国ではデータ収集・再現対象が拡大し、多様化していることが読み取れる。日本企業では、製造プロセス（11.1%）がもっとも回答率が高いが、それに次いで業務プロセス（7.9%）や顧客（7.2%）の回答率が高い。ヒトや業務プロセスを対象としたデジタルツインの活用もすでに始まっていることが読み取れる。

顧客のデジタルツインのうち、顧客行動をシミュレーションする取組は、IT関連の大手調査企業 Gartner（米国）が2022年の先端技術の一つとして取上げ<sup>2</sup>、注目を集めている。顧客の満足度を改善するため、顧客プロフィールや購買履歴、小売店内での閲覧行動などのデータを収集し、シミュレーションに用いる。

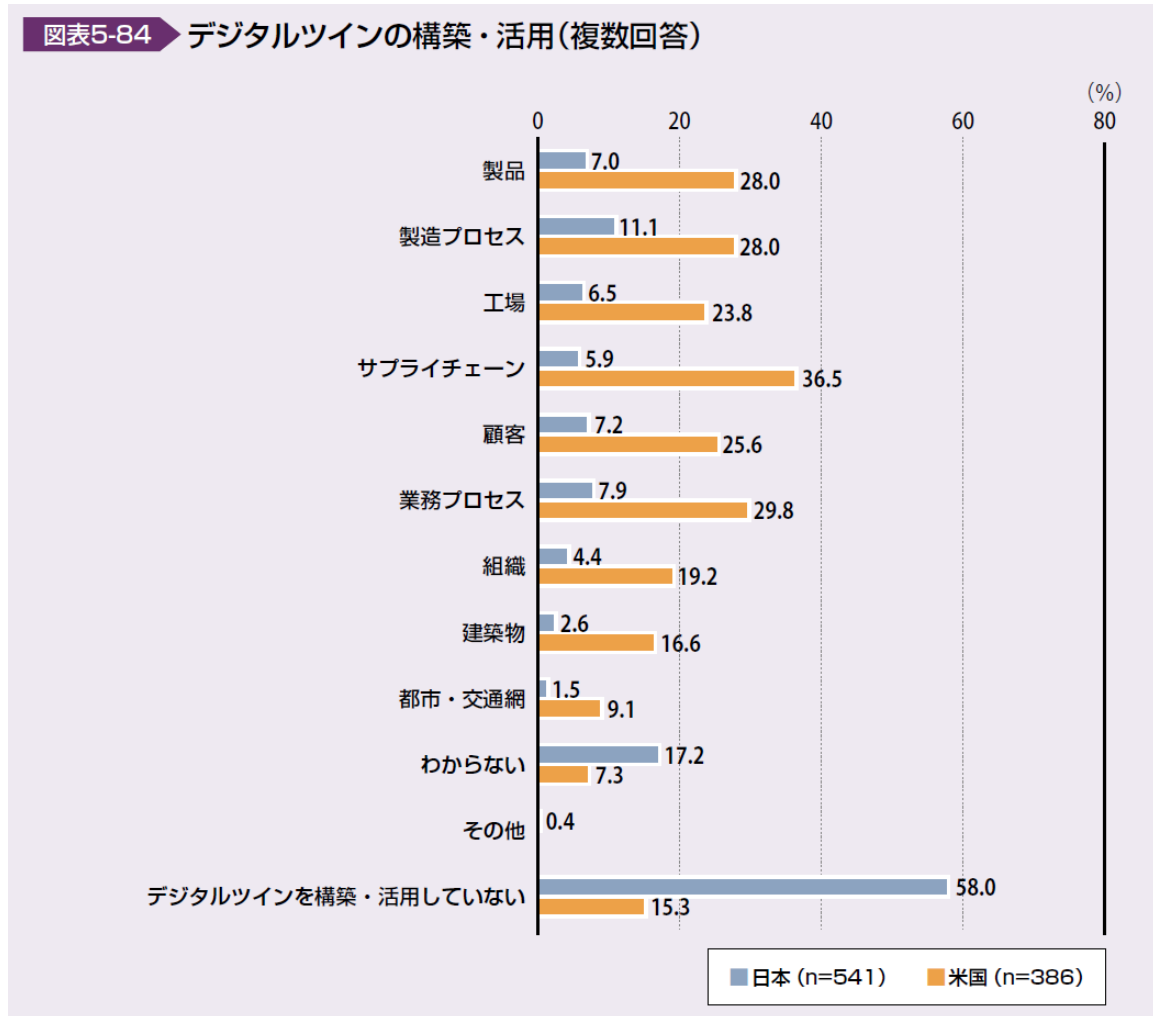
たとえば、アメリカのホームセンター大手 Lowe's（米国）は、NVIDIA Omniverse を活用して米国内の2店舗のデジタルツインを構築し、テストを行っている。その一例として、顧客体験の向上を目的に、デジタルツイン上で店舗のレイアウト変更するシミュレーションを行っている。収集した従業員や客の動線データをもとに、商品の配置を

---

<sup>2</sup> <https://www.gartner.co.jp/ja/newsroom/press-releases/pr-20220816>

変更した場合の顧客や従業員の移動をシミュレートすることで、商品配置の最適化を図っている。さらに近年では、顧客のみでなくヒトそのものをデジタルツインの対象とする取組が広がっている。

図2 日米におけるデジタルツインの構築・活用状況<sup>3</sup>



## 2.2. ヒトのデジタルツイン

ヒトを対象としてデジタルツインを作成する場合、再現対象とするヒトの機能は、外見や身体機能といった身体的な部分と、行動や思考などの内面的な部分に分けられる。現時点では、身体的な部分を再現する事例が現れているほか、内面的な部分のうち、行動を再現・分析する試みが始まっている。身体的な部分と、思考や技能まで含めた内面的な部分の双方の再現を目指す研究も行われている<sup>4</sup>。

### 2.2.1. ヒトの外見のデジタルツイン

ヒトの外見を再現する事例では、収集したデータの分析ではなく 3D モデルとして外見を再現すること自体に重き

<sup>3</sup> 「DX 白書 2023」図表 5-84「デジタルツインの構築・活用（複数回答）」

<sup>4</sup> <https://www.rd.ntt.ai/0004.html>

が置かれることが多い。画像データや点群データをもとに、著名人の容姿をサイバー空間で再現しマーケティングに活用する取組が国内外で行われている。単に精巧な 3D モデルを作成するのみではなく、声や動きの癖も再現対象に含め、リアリティを高める場合もある。本稿で定義したデジタルツインには該当しないが、非実在人物の 3D モデルをメディアやエンターテインメントで活用する取組も進んでいる。

### 2.2.2. ヒトの身体機能のデジタルツイン

ヒトの身体機能を再現したデジタルツインは、医療・ヘルスケア分野で実用化が始まっている。

たとえば、デジタルツインを用いた新規サービスを創出したヘルスケアスタートアップ Twin Health（米国）の事例がある。この企業は、II 型糖尿病の改善を目的に、患者のデータを収集し個別の生活指導を提供するサービスを米国・インドで展開している。まず、血糖値の測定機器や食事記録、提携する Garmin（米国）のスマートウォッチなどから患者の代謝に関するデータを収集する。そして、深層学習を用いて、生活習慣の変更が血糖値に及ぼす影響を予測する患者個別のモデルを作成する。予測結果をもとにパーソナライズされた最適なガイダンスを、モバイルアプリを通じて医師や患者に提供している。臨床研究では対象患者の 8 割以上が寛解の基準値を達成する成果を上げた<sup>5</sup>と 2022 年に報告しており、他の生活習慣病への適用も検討している。

他にも、個人差を反映して特定の臓器の機能を再現する取組や、個人差のある患部を 3D で再現し手術前のシミュレーションに活用する取組が行われている。今後、デジタルツインによってパーソナライズされた医療やヘルスケアサービスが広まっていく可能性がある。

### 2.2.3. ヒトの行動のデジタルツイン

ヒトの行動を対象としたデジタルツインでは、工場内の機器のデータに加え、ヒトのデータも取り込んで工場全体のデジタルツインを構築する取組が先行している。

例としては、BMW（ドイツ）が NVIDIA Omniverse を活用し、作業員も含めた工場のデジタルツインを作成した事例が知られている。実際の作業員のデータをもとに訓練したサイバー空間上の作業員モデルを工場のシミュレーションに組み込み、最適なレイアウトを検討することができる。その結果、人間工学や安全性に配慮した製造ラインの最適化を実現している。

また、工場以外での取組も始まっている。国内では、株式会社 NTT データが株式会社ナイトレイと協業し、街に滞在する人々のデジタルツインの開発を 2022 年 10 月に始めている。ナイトレイは、車両走行データや SNS 解析データ、GPS データなどのロケーションデータを用いて調査・分析を行っている日本のスタートアップ企業である。この取組では、地域生活者や観光客の行動を再現・予測することで、イベント実施時の経済的効果や渋滞・混雑の発生を予測する。また、混雑予測に対し、混雑緩和施策のシミュレーションも行う。この事例では地方自治体や観光業、小売業、飲食業での活用を想定している。このように、国内でもデジタルツインを活用できる産業が広がりつつある。

## 3. 全体最適へ向かうデジタルツイン

拡大した取得データを用いることで、デジタルツインの目的は全体最適へと向かいつつある。先述した BMW の事

---

<sup>5</sup> <https://www.healio.com/news/endocrinology/20220605/most-with-type-2-diabetes-achieve-remission-with-twin-precision-treatment-technology>

例のようにヒトを含むプロセスを最適化する取組に加え、よりマクロな視点から、組織内の業務プロセス全体の最適化や組織をまたいだサプライチェーンの最適化を図る取組が始まっている。

### 3.1. 業務プロセスのデジタルツイン

ERPのような業務システムから業務プロセスに関するデータを継続的に収集し、デジタルツインとして再現・分析する取組が成果を上げている。

たとえば、ドイツの地方航空会社 Lufthansa CityLine は、2019 年から継続的なプロセス改善の取組を行っている。その一環として、Celonis（ドイツ）が提供するプロセスマイニングツール<sup>6</sup>を活用し、業務プロセスの効率化と顧客満足度の向上に成功した。荷物の積み下ろしや乗客の乗降、燃料補給、ケータリングの準備など、並行して行われる空港地上業務プロセスのタイムスタンプを ERP や関係業者の記録から取得した。そのデータをダッシュボードに可視化し、プロセスが遅延する原因を特定した。そして、一部の便で搭乗客の移動手段をバスから徒歩に変更するなど、非効率なプロセスを特定・改善する取組を継続的に行った。2018 年には出発遅延が年間累計 10,000 時間に及んでいたが、この取組によって翌年には約半分に減らすことに成功した。また、プロセスの効率化によって搭乗ゲートの閉鎖から離陸までの時間を縮めることができ、顧客満足度が向上している。さらに、同社はプロセスの異常を予測する試みも始めている。関係業者からタイムスタンプを取得していた燃料補給などのプロセスに対し、画像認識技術を用いてカメラ映像からリアルタイムなタイムスタンプを取得し、作業遅延の予測・予防を行っている。

業務プロセスに関するデータを取得し、プロセスの効率化・最適化を図る取組は、多くの企業で行われる決裁や購買といったプロセスにも適用されている。今後、様々な業界で活用される可能性がある。

### 3.2. サプライチェーンのデジタルツイン

近年、政治・経済の情勢が激しく変化し、サプライチェーン管理の重要性が増している。企業は、外部環境変化に対してサプライチェーンを動的に見直し、レジリエンスを高める必要がある。そこで、サプライチェーン全体をデジタルツインとして再現・可視化したうえで、シミュレーションによる最適化を図る取組が始まっている。変化するサプライチェーンを最適化するにあたり、収集データをもとに動的にモデルを更新し、起こりうる変化をシミュレーションできるデジタルツインは効果的な手段である。

例として、大手家具メーカー La-Z-Boy（米国）は、COVID-19 の流行に対応するため AIMMS（オランダ）のソリューションを活用し、自社のサプライチェーンのデジタルツインを作成した。パンデミックによる家具需要の急増への対応と、受注生産におけるリードタイム短縮が急務であった。AIMMS のソリューションによって、過去の生産・流通データからサプライチェーンのモデルを作成し、既存ネットワークを最適化した。さらに、最新のデータに基づき、サプライチェーンの変更案や不確定要素の影響をシミュレーションすることが可能になった。結果として、生産能力を高めるとともに、削減可能なコストを数千万ドル発見することができた。

図 2 のアンケート結果から読み取れるように、日本ではサプライチェーンのデジタルツイン活用はまだ盛んとは言えない状況ではあるが、一部ではすでに活用が始まっている。

パナソニック株式会社は、法人向けノート PC・タブレット販売事業において、サプライチェーンマネジメントサービスを提供する主要企業の一つである Blue Yonder（米国、旧 JDA Software）のソフトウェアを 2020 年から導入した。当時社内分社が実施していた同事業では、受注から納入までのリードタイム長期化、在庫の増大・廃棄ロス

---

<sup>6</sup> 業務活動のログを取得・分析し、業務プロセスの可視化・ボトルネックの抽出を行い、業務改善を目指すツール。

発生、多様なオプションや仕様変更による生産管理の負担増大といった課題を抱えていた。そこで、Blue Yonder のソフトウェアを用いて、販売会社の持つ販売データや工場・サプライヤーの生産・在庫データを可視化し、販売計画・生産計画・調達計画を連動させた。それらのデータをもとにシミュレーションを行うことで、以前は2か月先まで策定していた長期生産計画を12か月先まで策定できるようになった。また、多様なオプションにより肥大化していた品番の統一、部品の標準化を行い、ツールの効果を最大化した。これらの取組により、2021年度には、需要集計から計画作業までのリードタイムを1週間から1時間に短縮し、在庫量を2017年度比で10%削減した。なお、2021年にパナソニックグループはBlue Yonderを買収し、現在上述の販売事業を行うグループ企業のパナソニックコネク株式会社傘下に置いている。同社はBlue Yonderのサービスを自社IoT機器と組合せ、自グループのサプライチェーンの全体最適化を行うとともに、他社へのサービス提供も行っている。

近年では、サプライチェーン全体での温室効果ガスの排出量を把握するために、サプライチェーンのデジタルツインが活用される場合も増えている。今後、国内でもサプライチェーンのデジタルツイン活用が加速していくと考えられる。

#### 4. 重要になる組織間のデータ連携

これまで述べてきたように、企業は、対象が拡大した収集データを用い、デジタルツインを構築して全体最適の実現を目指すようになりつつある。全体最適を図るためには、複数の組織間のデータを活用することが必要になる。企業には、そのための仕組みづくりが求められる。

部署や企業をまたいでデジタルツインを構築する場合、データの収集・連携がこれまで以上に大きな課題となる。前提として、どのような価値を創出するのか、どのような課題を解決するのかといった目的を明確にすることが必要である。目的を部署間・企業間で共有し、調整しながらデジタルツインを導入することが求められる。データのフォーマット共通化やシステム基盤の整備においても、自社内での部分最適ではなく、ステークホルダーも含めた全体最適の視点で進めることが重要である。

また、セキュリティ強化はいっそう重要になる。デジタルツインには社内の機密情報を反映することが多い。組織にまたがるデジタルツインを構築する場合には他企業の情報が含まれることもある。デジタルツインを活用する企業は、機密情報の流出や、データの改ざんを防ぐためにセキュリティを強化する必要がある。また、ヒトのデジタルツイン構築では、個人データを収集することになる。この場合いっそうのセキュリティ強化と、個人情報保護のための法令遵守も求められる。

国や自治体、コンソーシアムによる取組が近年活発になっている点にも注目したい。

デジタルツインに関する各国の取組としては、2014年に発足したシンガポールのバーチャル・シンガポール・プロジェクトのような、政府や自治体による都市分野での取組が近年活発である<sup>7</sup>。国内でも、国交省が進める「Project PLATEAU」、東京都の「デジタルツイン実現プロジェクト」など、3D都市モデルや点群データを行政が提供し、民間や自治体で活用する取組が進んでいる。

また、欧米では、企業や大学、公的機関が参加するコンソーシアムが2020年ごろから組織されている。大規模なコンソーシアムの例として、国際標準化団体 Object Management Group（米国）の下設立され、約200の組織が参

---

<sup>7</sup> 「デジタルツインの社会実装に向けたロードマップ 第2版」

[https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/docs/roadmap/roadmap\\_docs.pdf](https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/docs/roadmap/roadmap_docs.pdf)

加する Digital Twin Consortium<sup>8</sup>（米国）がある。このコンソーシアムは、製造業界・建設関連業界の企業や IT 企業が中心メンバーとなって組織されている。業界ごとに組織されたワーキンググループ内で参加組織が協力を進めるイノベーションハブとしての役割に加え、用語集やホワイトペーパーの公開、ウェビナーの開催を行い、外部に向けた情報発信にも取り組んでいる。製造業の企業を中心に組織されている Industrial Digital Twin Association（ドイツ）や、医療・ヘルスケア分野のデジタルツインに取り組む Swedish Digital Twin Consortium（スウェーデン）のように、業界ごとの組織も立ち上がっている。

以上のように、各国で国や自治体、コンソーシアムによる取組が始まっている。国内でも、行政からの提供データを活用している企業や、国際コンソーシアムへ参加している企業が現れている。ユーザー企業は、国や自治体、コンソーシアムによる取組を注視し、自社事業での活用や取組への参画を検討していくべきだろう。

**【お問合せ先】**

独立行政法人情報処理推進機構  
社会基盤センター イノベーション推進部 先端リサーチグループ  
E-mail : [ikc-ar-info@ipa.go.jp](mailto:ikc-ar-info@ipa.go.jp)  
電話 : 03-5978-7522

---

<sup>8</sup> <https://www.digitaltwinconsortium.org/>