

デジタルツインのキープレイヤーと応用先：特許と事業戦略から読み解く市場動向

エグゼクティブサマリ

- 市場概観と重要性:
デジタルツイン市場は、複数の市場レポートによれば年平均成長率(CAGR)40%を超える爆発的な成長期に突入している¹。この成長は、IoT、AI、5Gといった基盤技術の成熟に加え、特に2024年以降の「生成AI」との融合³によって強力に牽引されている。デジタルツインは、単なる可視化ツールから、AIエージェント(ロボット、自動運転車)の「訓練・検証環境」という、次世代産業の必須インフラへと変貌しつつある。
- 主要な戦略グループの分類:
本レポートは、特許蓄積、事業規模、戦略投資の3基準に基づき、市場の主要プレイヤーを以下の4つの戦略グループに分類して分析する。
 1. 「産業メタバース」プラットフォーム覇権型: NVIDIA, Siemens。産業用OSとも呼べる地位を狙い、AIと産業ドメインの知見をアライアンスで垂直統合する。
 2. 「PaaS」クラウド・インフラ型: Microsoft, Amazon Web Services (AWS)。産業IoTデータを自社クラウドに集約するための「ビルディングブロック」としてデジタルツイン機能を提供する。
 3. 「シミュレーション」ドメイン特化型: Ansys, Dassault Systèmes。物理シミュレーションや生命科学など、デジタルツインの「頭脳」となる代替不可能な専門技術を提供する。
 4. 「アセット」インフラ・オペレーション型: Bentley Systems, GE Vernova。数十年にわたるインフラやエネルギー資産の「運用・保守」に特化する。
- 主要な技術応用先の分類:
現在の主要な応用先は、製造業における予知保全¹やプロセス最適化、建設業におけるBIM/CIM(Building/Construction Information Modeling)⁵が主流である。一方、特許分析⁶と先行投資の動向⁷から、今後は「ヒューマン・デジタルツイン(HDT)」による個別化医療・新薬開発が、最もポテンシャルの高いフロンティアとして浮上している。
- 市場全体の主要トレンドと今後の課題:
2025年以降の最大のトレンドは、NVIDIAが提唱する「フィジカルAI」³である。これは、生成AIを用いてデジタルツイン環境(シミュレーション)を構築し、そこでAIエージェント(ロボット)を訓練するという概念である。市場全体の最大の課題は、OT(運用技術)、IT(情報技術)、PLM(製品ライフサイクル管理)、ERP(統合基幹業務システム)など、多様なシステム間に存在する「データ統合の複雑性」⁸と、相互運用性の標準化の遅れにある。

本文

【第1章】技術分野の定義と市場概観

対象技術の範囲定義

デジタルツインとは、物理的な資産（製品、プロセス、システムなど）の正確なデジタルレプリカ（写し鏡）を作成し、実世界のセンサーデータ（リアルタイムまたはヒストリカルデータ）と連携させる技術である⁸。

その本質的な目的は、単なる3Dの「可視化」に留まらない。サイバー空間（デジタル）上で「シミュレーション」「監視」「予知・予測」「最適化」を実行し、そこから得られた洞察を、物理空間（フィジカル）のオペレーション改善や意思決定にフィードバックすることにある¹。

したがって本レポートでは、デジタルツインを「単一の技術」としてではなく、以下の要素技術が融合した「複合的ソリューション」として定義する。

1. データ収集 (IoT/IIoT): 物理世界からデータを取得するセンサー技術。
2. データ通信 (5G/Edge): 収集した大容量データを低遅延で送信する通信技術。
3. データ基盤 (Cloud): データを蓄積・処理するプラットフォーム。
4. 分析・予測 (AI/ML): データを分析し、未来の状態を予測する人工知能技術⁹。
5. シミュレーション (CAE): 物理法則や化学反応に基づき、仮想実験を行う技術。
6. 可視化・連携 (AR/VR): デジタルレプリカを人間が直感的に操作するためのインターフェース⁹。

現在の市場規模と成長予測

デジタルツイン市場は、複数の市場調査レポートにおいて、今後5年～10年でCAGR 40%を超える異常な高成長率を記録すると予測されている。

- MarketsandMarkets社が2025年に発表したレポートによると、世界のデジタルツイン市場規模は2024年の144.6億米ドルから、2030年までに1,498.1億米ドルに達すると予測されている。これは、予測期間中（2025～2030年）においてCAGR 47.9%という急速な成長を示す¹。

- また、InsightAce Analytic社が2024年に発表したレポートでは、市場は2024年の144億米ドルから2034年までに4,688億米ドルに達し、CAGR 41.8%(2025～2034年)で成長すると、さらに強気な予測が示されている²。

これらの予測値(2030年代初頭の時点で約1,500億ドルと約4,700億ドル)には大きな乖離が見られる。この乖離は、分析の前提条件、すなわち「デジタルツイン市場」の定義の広さの違いを反映していると推定される。

相対的に小規模な予測¹は、デジタルツイン・プラットフォームの「ソフトウェア」ライセンスや「PaaS(Platform as a Service)」の利用料を主な対象としている可能性が高い。一方で、大規模な予測²は、それに加え、関連する「IoTセンサー」「ハードウェア」「システムインテグレーション・サービス」「コンサルティング」など、エコシステム全体が創出する経済圏を含んでいる可能性が示唆される。

したがって、本レポートの分析対象である主要プレイヤー(NVIDIA, Siemens, Microsoft等)にとっての直接的な市場(TAM)は前者に近いと解釈できるが、彼らが経済全体に与える影響(=エコシステムの総価値)は後者に近いと解釈すべきである。

重要なのは予測値の絶対額そのものよりも、すべての調査会社が共通して「**CAGR 40%以上**」という極めて高い成長率を予測している点である¹。これは、デジタルツイン技術が実証実験(PoC)の段階を終え、本格的な産業普及期(キャズム超え)に突入したことを示す強力なシグナルである。

ビジネス上の重要性

デジタルツイン技術が今、これほどまでに重要視される理由は、主に2点ある。

第1に、ビジネスモデルの変革、すなわち「モノ売り(製品販売)」から「コト売り(サービス化)」へのシフトを加速する中核技術である点だ。物理的な資産(例:航空機エンジン、産業機械)を顧客に納入した後も、デジタルツインを通じてその稼働状況をリアルタイムで監視する。これにより、「予知保全」「稼働率の最適化」「エネルギー効率の改善」¹¹といった継続的な付加価値サービスを提供し、LTV(顧客生涯価値)を最大化するビジネスモデル(リカーリング・レベニュー)への移行が可能となる。

第2に、2025年以降の最も重要なトレンドとして、デジタルツインが「AIの開発・訓練インフラ」としての役割を担い始めた点である。特に、NVIDIAが提唱する「フィジカルAI(Physical AI)」³の文脈において、自動運転車や自律型ロボットを物理世界で直接訓練することは、膨大なコストと安全上のリスクを伴う。そこで、物理的に正確なデジタルツイン(仮想工場、仮想都市)をサイバー空間に構築し、そこをAIエージェントの「訓練場(シミュレーター)」として活用するアプローチが不可欠となっている¹³。デジタルツインは、物理世界で安全に動作するAIを低コストで開発するための「必須インフラ」となりつつある。

【第2章】キープレイヤーの特定と戦略グループ分類

本レポートは、デジタルツイン市場の複雑な競合環境を分析するため、主要プレイヤーを単に羅列するのではなく、彼らの戦略的ポジショニングに基づき、以下の4つの「戦略グループ」に分類する。

この分類は、以下の3つの分析基準を総合的に評価したものである。

1. 技術蓄積(特許出願動向): 過去5年間の特許ポートフォリオ。どの技術領域にR&D投資を集中させているか。
2. 事業規模(現在の市場シェア): デジタルツイン関連ソリューションの普及度、およびそれを支える中核事業(例: GPU、クラウド、PLM)の規模。
3. 戦略投資(IR・アライアンス): 2024年~2025年を中心としたIR発表、中期経営計画、および他社との戦略的提携。

グループ1:「産業メタバース」プラットフォーム覇権型

- 選定理由: このグループは、特定のアプリケーション(例: PLM、シミュレーション)の提供に留まらず、他社がアプリケーションを構築するための「OS(オペレーティング・システム)」または「共通基盤(プラットフォーム)」の提供を通じて、産業デジタル化のエコシステムの頂点に立つことを目指している。ハードウェア(GPU, AIチップ)、AI基盤モデル、産業オートメーション(OT)という異なる分野の技術を垂直統合し、2024年~2025年にかけての強力なアライアンス¹³によって、他を圧倒するエコシステムを形成している点が特徴である。
- 主要企業: NVIDIA、Siemens

グループ2:「PaaS」クラウド・インフラ型

- 選定理由: このグループは、ハイパースケーラー(巨大クラウド事業者)としての圧倒的なインフラ(ストレージ、コンピューット)を基盤とする。彼らのデジタルツイン・ソリューション(Azure Digital Twins¹⁵, AWS IoT TwinMaker¹⁶)は、産業IoT(IIoT)で発生する膨大なデータを自社クラウドに集約・分析するための「ビルディングブロック(部品)」群の一つとして提供される。彼らの戦略的ゴールは、デジタルツイン機能そのものではなく、そのデータを活用する他のクラウドサービス(AI/ML、データ分析)の利用を促進することにある¹⁷。
- 主要企業: Microsoft、Amazon Web Services (AWS)

グループ3:「シミュレーション」ドメイン特化型

- 選定理由: このグループは、デジタルツインの「頭脳」にあたる中核機能、すなわち「物理シミュレーション」において、極めて高い専門性と代替不可能な技術的優位性を持っている。製造業のCAE(Computer-Aided Engineering)¹⁹、航空宇宙の設計²⁰、さらには生命科学⁷など、高度な数学的モデリングとドメイン知見を要する特定の専門分野において、デファクトスタンダードの地位を確立している。
- 主要企業: Ansys、Dassault Systèmes

グループ4:「アセット」インフラ・オペレーション型

- 選定理由: このグループは、製品(Product)よりも、数十年にわたるライフサイクルを持つ大規模な物理資産(Asset)の「運用・保守(オペレーション)」に特化している。特に、AEC(建築・エンジニアリング・建設)、公共インフラ(橋梁、鉄道)²¹ や、エネルギー・電力(発電所、送電網)²³ といった重厚長大産業に深く根差しており、設計・建設から運用・保守までのライフサイクル全体を通じたデータ管理を強みとする。
- 主要企業: Bentley Systems、GE Vernova (旧 GE Digital)

【第3章】主要な技術応用先の分析

デジタルツインの応用先は、単一の「モノ」の複製から始まり、一連の「プロセス」、複雑な「システム」、そして「社会・生態系」へと、その対象範囲(スコープ)を階層的に拡大している。

「現在」の応用先: 商用化

現在、ビジネスとして確立されているのは、主に以下の3つのレベルである。

- レベル1: 製品のデジタルツイン (Digital Twin of Product)
 - 個別の物理製品(例: 航空機エンジン、風力タービン、自動車、医療機器)のデジタルレプリカ。
 - 応用例: 設計段階での性能シミュレーション、製造後のリアルタイム監視、およびセンサーデータに基づく「予知保全(Predictive Maintenance)」¹。GE Vernovaのタービン監視¹² や、Ansysを用いた製品設計²⁵ がこれにあたる。
- レベル2: プロセスのデジタルツイン (Digital Twin of Process)
 - モノの流れや一連の作業(ワークフロー)を対象とするレプリカ。
 - 応用例: 製造業における「生産ライン」のシミュレーション⁵、物流・小売業における「サプライチェーン」⁵ や「倉庫オペレーション」²⁶ の最適化。ボトルネックの特定やスループットの向上に用いられる。
- レベル3: システムのデジタルツイン (Digital Twin of System)
 - 複数の製品とプロセスが組み合わさった、より広範で複雑な「システム全体」のレプリカ。
 - 応用例: 工場全体(スマートファクトリー)²⁷、ビル(スマートビルディング)²⁸、電力プラント、または橋梁、鉄道、送電網といった「社会インフラ」⁵。Bentley Systemsが強みを持つインフラ管理²¹ や、スマートシティの基盤となる都市インフラの管理が該当する。

「未来」の応用先:開発段階

特許出願の動向⁶や、主要プレイヤーによる先端的なR&D⁷が集中しているのは、物理法則だけでなく、生物学的・社会的法則をもモデル化する、次の「レベル4」の領域である。

- **レベル4: エコシステムのデジタルツイン (Digital Twin of Ecosystem)**

- 1. **ヒューマン・デジタルツイン (HDT) / バイオ・デジタルツイン:**

- 個人のゲノム情報、臨床データ、生活習慣データ、さらにはリアルタイムの生体センシング情報を統合し、サイバー空間上に「個人の写し鏡」を作成する概念である²⁹。
 - 特許分析では、このHDTに関連する出願(例: 生化学的プロセスを含む身体モデル³⁰、HDTの概念自体⁶)が過去5年で急増している。
 - 応用例: 個別化医療(特定の患者のデジタルツイン上で、複数の治療法や投薬のシミュレーションを行い、最適なものを選択する)、新薬開発(*in silico* 臨床試験、すなわちデジタルツイン上で仮想の臨床試験を行い、開発効率を上げる)³¹、疾患の超早期予測²。Dassault Systèmesの「Living Heart Project(生きた心臓プロジェクト)」⁷が、この領域で最も先行する事例である。

- 2. **都市・社会のデジタルツイン (スマートシティ):**

- 都市全体のインフラ(レベル3)に加え、交通、環境、エネルギー、さらには人流(人間の移動)といった動的な社会活動までをモデル化する⁵。
 - 応用例: 防災計画(例: 地震や豪雨発生時の避難経路のシミュレーション)⁵、自動運転車群のリアルタイム管制、エネルギー需給の最適化、都市計画(例: 新インフラ建設が交通と環境に与える影響の事前評価)³²。

- 3. **顧客のデジタルツイン (Digital Twin of Customer):**

- 個人のオンライン上の行動(クリックストリーム)と、物理世界での行動(購買履歴、移動)を組み合わせ、シミュレートし、未来の消費行動やニーズを予測する³³。
 - 応用例: 生成AIと組み合わせ、新製品の投入やマーケティングキャンペーンが、特定の顧客セグメントにどう受け入れられるかを仮想的にテストする³³。

ポテンシャルと導入障壁

- **ポテンシャル:**

レベル4、特にHDTのポテンシャルは計り知れない。*in silico* 臨床試験がFDA(米国食品医薬品局)などに認められれば、新薬開発のコストと期間を劇的に削減できる³¹。また、個別化医療の実現は、医療費の最適化と個人のQoL(生活の質)の劇的な向上をもたらす可能性がある。

- **導入障壁 (1) - 技術的ボトルネック:**

デジタルツイン導入における最大の技術的障壁は「データ統合の複雑性」である⁸。デジタルツインは、本来サイロ化(分断)されている多種多様なデータセットの統合を必要とする。具体的には、OT(現場の運用技術データ)、IT(情報システムデータ)、PLM(製品ライフサイクル管理デー

タ)、ERP(統合基幹業務システムデータ)、さらにはCAD図面やP&ID(配管計装図)といった非構造化データまで、すべてを連携させなければならない⁸。この異種データ統合の困難さが、導入の最大のボトルネックとなっている。

- 導入障壁 (2) - 倫理的・法的障壁:

特にレベル4の応用先では、技術以外の障壁が深刻である。HDT 6 や顧客ツイン 33 は、個人の生体情報や行動予測という、究極のプライバシー情報を扱う。Gartner社の予測(2021年)では、2025年までにIoTデジタルツインを使用する組織の75%がプライバシー懸念に直面すると指摘されている³⁴。シミュレーション結果に基づく医療判断や、自動運転車の管制ミスが起きた場合の「法的責任の所在」をどう定義するかなど、倫理的・法的な枠組みの整備が技術の進展に追いついていない。

【第4章】主要戦略グループ別の詳細分析

本章では、【第2章】で定義した4つの戦略グループに属する主要企業について、IR資料、2024年～2025年のプレスリリース、技術発表に基づき、各社の事業戦略を詳細に分析する。本章は、市場の競合構造を理解する上で最も重要な分析パートである。

4-1. グループ1:「産業メタバース」プラットフォーム覇権型

このグループ(NVIDIA, Siemens)の戦略的ゴールは、個別のアプリケーション市場ではなく、産業デジタル化のための「OS(オペレーティング・システム)」の地位を確立することである。彼らは、NVIDIAの「GPU + AI(IT)」とSiemensの「産業オートメーション(OT)」という、それぞれが持つ最強の資産を「戦略的アライアンス」によって結合させ、競合(特にグループ2のPaaS型)を圧倒する垂直統合エコシステムの構築を狙っている。

■ NVIDIA (エヌビディア)

NVIDIAの戦略は、AIコンピューティング(GPUハードウェア)の圧倒的シェアを基盤に、その上で動作する「産業メタバースOS」とも呼べる「Omniverse」プラットフォーム(ソフトウェア)を普及させることにある。これにより、ハードウェアの販売とソフトウェアのライセンス収入という、強力なフライホイール(好循環)を構築し、市場を垂直統合することを目的としている。

- 事業戦略 (Omniverseと"Physical AI"):

NVIDIAのデジタルツイン戦略を理解する鍵は、CEOのジェンスン・フアン氏がCES 2025やGTC 2025といった主要イベントで繰り返し強調する「フィジカルAI (Physical AI)」というビジョンである³。

この戦略は、明確な三段論法で構成されている。

1. ビジョン (WHY): 「50兆ドル規模の製造業・物流業」³ は、将来すべてがロボット化・AI化される。すなわち「フィジカルAI」が物理世界で自律的に動作する時代が来る。
2. 課題 (HOW): しかし、フィジカルAI(ロボットアーム、自動運転車、ヒューマノイドロボット)は、物理世界で直接訓練するには、膨大なコストと時間がかかり、何よりも危険である。
3. 解決策 (WHAT): そこで、NVIDIAの産業メタバース基盤「Omniverse」¹³ を使い、物理法則に忠実なデジタルツイン(仮想工場、仮想都市)を構築する。この仮想世界が、フィジカルAIの安全かつ高速な「訓練場」となる¹⁴。

このロジックが示すように、NVIDIAにとって「デジタルツイン(Omniverse)」は、それ自体が最終製品であると同時に、同社の次なる巨大市場である**「フィジカルAI」を開発・訓練・検証するために必須の「インフラ」**である。このインフラ(Omniverse)が普及すればするほど、AIの訓練とシミュレーションの実行に必要なNVIDIA製GPU(HPC、DGX Cloud³⁸)が売れ続けるという、完璧な戦略的循環が設計されている。

- 生成AIとの融合 (Cosmos基盤モデル):
従来、デジタルツイン構築の最大の障壁は、仮想世界(3Dワールド)を構築する膨大な手間であった。NVIDIAはこれを解決するため、2025年に「NVIDIA Cosmos」と呼ばれる基盤モデル・プラットフォームを発表した³。
これは、デジタルツインの「ワールド構築」そのものを生成AIで自動化する試みである。具体的には、「USD Code」や「USD Search NVIDIA NIM」³ といったマイクロサービスにより、テキストプロンプト(自然言語)から3Dアセット(OpenUSD形式)を生成・検索できる。さらに「NVIDIA Edify SimReady」モデル³ や「Cosmos Transfer」⁴⁰ により、静止画像やテキストからフォトリアルな3D環境を自動生成し、導入障壁を劇的に下げることが狙っている。
- エコシステム戦略 (全方位アライアンス):
NVIDIAは自社を「プラットフォーム提供者」と明確に位置づけ、各ドメインの専門企業(グループ3、4)をOmniverseエコシステムに積極的に取り込んでいる。
CES 2025での発表³ は、この戦略の集大成であった。Siemens(産業オートメーション)、Ansys(物理シミュレーション)、Cadence(電子設計)、Altair(CAE)、Microsoft(Azure連携)など、産業界のほぼすべての主要ソフトウェアベンダーが、Omniverseライブラリの採用・統合を一斉に発表した。
これは、彼らと競合するのではなく、彼らの既存ソフトウェア(例: Ansys Fluent 19)の「可視化レイヤー」や「協調作業レイヤー」としてOmniverseが使われることを意味する。NVIDIAは、自らアプリケーションを開発するのではなく、産業用ソフトウェアの「OSレイヤー」を押さえる戦略を採っている。
- ビジネスモデル (Per GPU サブスクリプション):
NVIDIA Omniverse Enterpriseの価格設定は、同社の戦略を明確に反映している。2025年時点のライセンス費用は、年間サブスクリプションであり、その課金単位は「GPUあたり」年間4,500ドルと設定されている⁴²。
このサブスクリプションには、AIの訓練基盤(NVIDIA AI Enterprise)とデジタルツインの運用基盤(Omniverse Enterprise)のライセンスが統合されている⁴⁴。これは、同社のビジネスが「GPUハードウェアの販売」と「GPU上で動作するソフトウェア・ライセンス」の二重構造で強固に成り立っていることを示しており、顧客をハードとソフトの両面でNVIDIAエコシステムにロックインする戦略である。

■ Siemens (シーメンス)

Siemensは、100年以上にわたる産業オートメーション(OT)の知見と、PLM(製品ライフサイクル管理)ソフトウェア(Teamcenter)の広範な顧客基盤を武器にしている。同社の戦略は、自社の弱点である最先端のIT/AI技術をNVIDIAとの提携によって補完し、「産業メタバース」の覇権を共同で握ることにある。

- 事業戦略 (XceleratorとSaaS移行):

Siemensのデジタル戦略の中核は、オープンなデジタルビジネスプラットフォーム「Siemens Xcelerator」である 45。これは、同社のソフトウェア(PLM、EDA、MOM等)、ハードウェア(制御機器、IIoT)、およびパートナーソリューションを統合するエコシステムである。

2024年次報告書 45 に見られるように、Siemensはデジタルツインを、設計(Digital Enterprise)、エッジ(Industrial Edge)、AI/MLのすべてを統合するものと位置づけている。

近年の同社の最大の戦略的シフトは、このXceleratorポートフォリオ全体を、従来の買い切り型ライセンス販売から「Xcelerator as a Service (XaaS)」へと、SaaS(Software-as-a-Service)およびサブスクリプションモデルへ移行させている点である 47。NX X(クラウドCAD)50 などのSaaS製品を拡充し、顧客の初期投資を下げると同時に、継続的な収益源(ARR: 年間経常収益)を確保するビジネスモデル変革を急いでいる。

- アライアンス戦略 (NVIDIAとの「血盟」):

Siemensのデジタルツイン戦略を理解する上で、2022年に発表され、2025年にかけて急速に具体化しているNVIDIAとの戦略的提携 46 が最も重要である。

この提携は、単なる技術協力を超えた、お互いの弱点を完璧に補完し合う「必然的」な戦略的結合である。

1. **Siemensの課題:** 産業界(OT)のガリバーであるが、AIコンピューティング、GPU、フォトリアルな3Dシミュレーションといった最先端のIT技術は保有していない。
2. **NVIDIAの課題:** IT/AIの覇者であるが、製造現場の複雑な制御システムや、保守的な重厚長大産業への直接的な販路・信頼(ドメイン知見)を持たない。
3. **結合(ソリューション):** この提携の具体的な成果として、SiemensはCES 2025において「**Teamcenter Digital Reality Viewer**」を発表した⁵²。これは、SiemensのPLM基幹ソフトウェアである「Teamcenter」に、NVIDIA Omniverseのレンダリング技術(RTX)とライブラリを「組み込んだ(**powered by**)」新製品である⁴。

このアライアンスにより、Siemensは自社の膨大な既存顧客(製造業)に対し、業界最高水準の「フォトリアルなデジタルツイン」を使い慣れたTeamcenterのインターフェース上でシームレスに提供できるようになった。一方、NVIDIAはSiemensという世界最強の「リセラー」を通じて、Omniverse技術を世界の製造現場の「標準(インフラ)」として組み込むことに成功した。これは、両社がグループ2(Microsoft, AWS)のクラウド勢に対抗するための、強力な同盟である。

- ヘルスケア領域 (Siemens Healthineers):

Siemens本体の産業(Digital Industries, Smart Infrastructure)部門 55 とは別に、上場子会社であるSiemens Healthineersも独自のデジタルツイン戦略を推進している 55。

2024年次報告書 56 では、「ヒトの肝臓のモデリング」や「ペイシェント・デジタルツイン(患者のデジタルツイン)」が明記されており、グループ3のDassaultが狙うHDT市場(【第3章】参照)においても、Siemens Healthineersが主要プレイヤーの一角であることが確認される 57。

4-2. グループ2:「PaaS」クラウド・インフラ型

このグループ (Microsoft, AWS) の戦略的ゴールは、「産業IoTデータの集約」である。彼らはデジタルツインを「キラーアプリケーション」として自ら提供するのではなく、企業の産業データを自社クラウド (Azure/AWS) に集めるための「ハブ」または「接着剤」として位置づけている。真の目的は、クラウドに集約されたデータを活用し、AI、データ分析、ストレージといった他の高付加価値サービスを「従量課金」で利用してもらうことにある。

■ Microsoft (マイクロソフト)

Microsoftは、「Azure」という強力なPaaS基盤と、全社的に推進する「Copilot」(生成AI) のモメンタムを武器に、デジタルツインを「インテリジェント・クラウド」の構成要素として、水平展開(あらゆる産業向け)で提供している。

- 事業戦略 (Azure Digital TwinsとPaaS):

Microsoftのソリューション「Azure Digital Twins」は、NVIDIAのOmniverseのような特定の完成品ソフトウェアではなく、あくまでPaaS (Platform as a Service) である 15。

その本質は、物理環境 (ビル、工場、都市) の「モデル (グラフ構造)」を定義・管理する機能にある。このモデルに対し、「Azure IoT Hub」を通じて現場のデバイスからリアルタイムデータを流し込み、他のAzureサービス (Azure Data Explorer, Microsoft Fabric, Power BI など) と連携させるための「ハブ機能」を提供する 15。

同社が提唱する「Industrial Metaverse (産業メタバース)」⁵⁹ は、NVIDIAの3Dビジュアライゼーション中心のそれとは異なり、Azureの多様なサービス (IoT, AI, Mixed Reality) を連携させ、オペレーションを最適化する「概念」または「ソリューション・アーキテクチャ」として提示されている。

- AI戦略 (Copilotとの統合):

Microsoftの最大の強みは、2024年～2025年にかけて急速に進化した生成AI「Microsoft Copilot in Azure」と、Azure IoTプラットフォームの統合である 17。

これにより、専門的なクエリ言語を知らなくても、自然言語 (話し言葉) で「工場の稼働状況を要約して」「エネルギー消費が異常な機器をリストアップして」といった指示を出すだけで、CopilotがAzure Digital Twinsのグラフデータを解釈し、インテリジェントな推奨事項を提示することが可能になる 17。これは、デジタルツインの導入・運用における「専門人材の不足 (スキルギャップ)」という大きな市場リスクを、生成AIによって解決しようとする戦略的アプローチである。

- ビジネスモデル (従量課金):

Azure Digital Twinsの価格体系は、グループ1のNVIDIAとは対照的であり、Microsoftの戦略的意図を明確に示している。そのモデルは、NVIDIAの「Per GPU 年間サブスクリプション」(固定費)⁴³ とは異なり、完全な「従量課金 (Consumption-based)」である 62。

2025年時点の課金単位は、「メッセージ数 (100万件あたり1ドル)」「オペレーション数 (100万回あたり2.50ドル)」「クエリユニット数 (100万件あたり0.50ドル)」など、極めて細かく設定されて

いる 63。

この価格モデルが持つ戦略的な意味は大きい。

1. NVIDIAのモデル⁴³は、高性能な可視化やシミュレーション(高価なGPUが必要)を行う大企業向けの「ハイエンド・固定費」モデルである。
2. Microsoftのモデル⁶³は、まずスモールスタート(低コスト)で導入させ、接続するIoTデバイスや分析クエリ(=データの活用度)が増えれば増えるほど、収益が自動的に増加する「スケールアウト・変動費」モデルである。
3. 結論として、Microsoftは、NVIDIA/Siemensが狙う「ハイエンドな製造業のシミュレーション」市場と同時に、そこまで高度な3D可視化を必要としない「スマートビル」²⁸や「スマートシティ」の「データ連携・管理」市場という、より広範・軽量な市場を、PaaSの柔軟な価格設定で獲得しようとしている。

■ Amazon Web Services (AWS)

AWSの戦略はMicrosoftと酷似しており、産業IoTデータをAWSエコシステムに取り込むための「接着剤」としてデジタルツイン機能を提供することに注力している。

- 事業戦略 (AWS IoT TwinMaker):
AWSのコアサービスは「AWS IoT TwinMaker」である 16。
その最大の特徴は、AWS IoT SiteWise, Amazon S3など、既存の多様なデータソースに保存されているデータに「コネクタ」を通じて接続し、データを移動・複製することなく、その場でデジタルツインの「仮想ビュー」を構築する点にある 16。
これは、すでにAWSをデータレイクとして利用している顧客にとって、既存のデータ基盤をそのまま活用できるため、導入障壁が極めて低いことを意味する。
- AI戦略 (Lookoutとの連携):
AWSのAI連携は、MicrosoftのCopilot(生成AI)とはやや異なり、現時点では主に「産業用AI(予測AI)」に重点が置かれている。
具体的には、センサーデータの時系列データを分析し、機器の異常な動作(故障の予兆)を検知する「Amazon Lookout for Equipment」18 や、カメラ画像から製品の欠陥などを検出する「Amazon Lookout for Vision」16 とのシームレスな連携である。
これは、デジタルツインを「L3: 予測型デジタルツイン (Predictive Digital Twins)」18 へと進化させ、予知保全によるダウンタイム削減といった、具体的かつ実践的なROI(投資対効果)を顧客に提供することを優先する戦略と言える。
- 戦略的対立の整理:「プラットフォーム覇権型」vs「PaaSインフラ型」
グループ1(NVIDIA/Siemens)とグループ2(MSFT/AWS)は、デジタルツイン市場において、根本的に異なるビジネスモデルで競合している。
 - グループ1 (NVIDIA/Siemens):
 - アプローチ: トップダウン。高性能な「産業メタバースOS (Omniverse/Xcelerator)」という「完成品プラットフォーム」を、エコシステムと共に提供する⁴⁴。
 - ビジネスモデル: ソフトウェア・サブスクリプション(固定費)⁴³。
 - 強み: 産業特化の深いドメイン知見 (Siemens)、圧倒的な3D/AI性能 (NVIDIA)。
 - グループ2 (MSFT/AWS):
 - アプローチ: ボトムアップ。「Azure DT / IoT TwinMaker」という「ツール (PaaS)」を提供

し、顧客やSierが自ら構築することを支援する¹⁵。

- ビジネスモデル: クラウド従量課金(変動費)⁶³。
- 強み: 圧倒的なスケーラビリティ、低コストでの導入、AIサービス群との連携。
- 結論: 顧客企業は、導入時に戦略的な選択を迫られることになる。「高性能だが高コストでベンダーロックインが強いプラットフォーム(グループ1)」を選ぶか、「自社開発の負担は大きいが高コストで柔軟なインフラ(グループ2)」を選ぶか、という選択である。

4-3. グループ3:「シミュレーション」ドメイン特化型

このグループ(Ansys, Dassault Systèmes)の戦略的ゴールは、「プラットフォーム」そのものではなく、そこで実行される「シミュレーション・エンジン(頭脳)」のデファクトスタンダードであり続けることである。彼らの競争力の源泉は、物理法則や生命科学を記述する、長年にわたって蓄積された「数学モデル」そのものである。

■ Ansys (アンシス)

Ansysは、構造解析、流体力学(CFD)、電磁界解析など、工学シミュレーション(CAE)の「標準ツール」としての地位を死守しつつ、AIとプラットフォーム統合によってその価値を最大化する戦略を採っている。

- 事業戦略(シミュレーションAIとROM):

Ansysのデジタルツイン戦略の中核は、「Ansys Twin Builder」⁶⁶ である。これは、Ansys Fluent⁶⁷ などの高忠実度な3D物理シミュレーションの結果を、AI/MLを活用して軽量化した「ROM (Reduced Order Model: 縮退モデル)」²⁵ を自動生成するツールである。

通常、高忠実度の物理シミュレーションは計算に膨大な時間がかかるため、リアルタイムのデジタルツインには使用できない。ROMは、シミュレーションの予測精度を一定レベルで保ちつつ、リアルタイム(またはそれに近い速度)で動作するため、デジタルツインの「予測エンジン」として組み込むことができる²⁵。

さらにAnsysは2025年に「Ansys SimAI」⁴¹ を発表した。これは、シミュレーション・プロセス自体に生成AIを導入し、設計の最適化(例:形状を入力すると即座に性能を予測)を加速するもので、同社のコア技術とAIの融合を象徴している。

- エコシステム戦略(NVIDIA Omniverseへの統合):

Ansysは、グループ1のNVIDIAと覇権を争うのではなく、NVIDIAと強力に提携する「コンポーネント戦略」を選択した⁶⁹。

2025年の複数の発表¹³によれば、Ansysは自社の主要製品(Ansys Fluent, AVxcelerate Sensors)にNVIDIA OmniverseのAPIとライブラリを直接統合する。

この戦略は、デジタルツイン市場における「インテル・インサイド」戦略と例えることができる。

1. NVIDIA Omniverse¹³ や Siemens Xcelerator⁴ は、美しい「可視化(ガワ)」と「コラボレーション(場)」を提供する。
2. しかし、その内部で「もしこの設計を変更したら、流体はどう流れるか?」「構造的強度は持

つか？」といった物理的に正確な予測(頭脳)を行うには、Ansysのシミュレーション・エンジンが必要である。

3. AnsysはOmniverseに「頭脳」として統合される⁷⁰ことで、産業メタバースが普及すればするほど、その「頭脳」としてAnsysのライセンスが売れ続ける("Ansys Inside")というポジションを確保した。これは、自社でプラットフォームを開発するリスクを回避しつつ、市場の成長の恩恵を最大化する、極めて賢明な戦略である。

■ Dassault Systèmes (ダッソー・システムズ)

Dassault Systèmes (DS) は、Siemens/NVIDIA連合とは一線を画し、独自の統合プラットフォーム「3DEXPERIENCE」を中核に据える。特に「航空宇宙」という伝統的牙城と、「生命科学(ヘルスケア)」という超ハイエンドなフロンティア市場で、独自の生態系を構築する戦略を採っている。

- 事業戦略 (3DEXPERIENCEプラットフォーム):
DSの戦略は、CATIA (3D CAD)、ENOVIA (PLM)、SIMULIA (シミュレーション) といった自社が保有する強力なソフトウェア群を、「3DEXPERIENCE」プラットフォーム⁷¹上にSaaSとして統合・提供することである⁷²。
同社の出自である航空宇宙・防衛分野では、2024年次報告書 20にある通り、フランス軍の次期戦闘機(FCAS)開発や、既存の戦闘機(ラファール)の運用サポートにおいて、デジタルツイン(および3DEXPERIENCEの主権クラウド)が全面的に採用されており、この分野での牙城は揺るぎない。
- 特化戦略 (ヒューマン・デジタルツイン - HDT):
DSの最もユニークかつ野心的な戦略は、【第3章】で述べた「ヒューマン・デジタルツイン」への長期的な先行投資である。
その象徴が「Living Heart Project」⁷である。これは、2014年から続くプロジェクトであり、人間の心臓を忠実に再現した物理シミュレーションモデルを構築し、医療機器のテストや心疾患の治療計画のシミュレーションに利用するものである。
この戦略の真の巧みさは、技術的な優位性だけでなく、「規制の堀」を築いている点にある。
 1. DSIは、NVIDIA/Siemens連合が激突する「製造業(ファクトリー)」というレッドオーシャンの消耗戦を避け、技術的・法規的ハードルが最も高い「生命科学(ヒューマン)」市場を主戦場の一つに選んだ。
 2. HDT市場の最大の参入障壁は、技術(生体の複雑なモデリング)以上に、「規制(Regulatory Approval)」である。シミュレーション結果を医療行為に使うには、規制当局の承認が不可欠である。
 3. DSIは「Living Heart Project」において、プロジェクトの初期段階(2014年)から米国の**FDA(食品医薬品局)**と緊密に連携している⁷。
 4. FDAは、このプロジェクトの成果(*in silico* 臨床試験)を、従来の動物実験やヒト臨床試験の代替・補完として受け入れ始めている³¹。

結論として、DSは、FDAという「規制当局」をパートナーとして巻き込むことで、HDT市場における「ルール(規制標準)」そのものを共同で策定している。この「規制の堀」は、NVIDIAやMicrosoftがAI技術やクラウドインフラの力だけで突破することが極めて困難な、最強の競争優位性(モート)となっている。

4-4. グループ4:「アセット」インフラ・オペレーション型

このグループ (Bentley Systems, GE Vernova) の戦略的ゴールは、数十年単位の超長期にわたる「インフラ・エネルギー資産」のライフサイクル全体 (設計、建設、運用、保守) に寄り添い、オペレーションの最適化で収益を上げ続けることである。

■ Bentley Systems (ベントレー・システムズ)

Bentley Systemsは、AEC (建築・エンジニアリング・建設)、公共事業、プラント、鉱業といった「インフラストラクチャ」領域に特化した、強力なニッチ・リーダーである。

- 事業戦略 (iTwinプラットフォームとインフラ特化):
Bentleyの戦略は、インフラ資産の「設計データ (CAD/BIM)」「エンジニアリングデータ (ET)」「運用データ (OT)」を統合する「iTwinプラットフォーム」21 に集約される。
同社の強みは、設計 (OpenRoads, OpenRail 75)、建設 (SYNCHRO 75)、運用 (AssetWise) という、インフラのライフサイクル全体をカバーするソフトウェアポートフォリオを保有している点にある。iTwinは、これらのサイロ化されたデータを「単一のビュー」で連携させるための基盤 (Connected Data Environment) である 22。
2025年の「Going Digital Awards」76 や「Year in Infrastructure 2025」77 といった同社の主要イベントでは、AIとデジタルツインをインフラの「持続可能性 (Sustainability)」や「レジリエンス (強靱性)」の向上に活用する事例が強調されている。
 - エコシステムとビジネスモデル (NVIDIA連携と消費クレジット):
Bentleyも、ハイエンドの可視化においてはNVIDIAと提携している。「LumenRT for NVIDIA Omniverse」78 は、iTwinプラットフォーム上のエンジニアリング・データを、Omniverseのフォトリアルな3D環境で体験することを可能にする 81。
Bentleyのビジネスモデルは、グループ1 (固定サブスク) やグループ2 (PaaS従量課金) と異なる、ユニークな「消費クレジット」モデルを採用している点が特徴的である 83。
インフラプロジェクト (例: 橋の建設) は、数年～十年にわたり、関与する企業や利用するデータ量が激しく変動する。固定の年間サブスクリプション 43 や、メッセージ単位のPaaS課金 63 は、こうしたプロジェクトベースの不規則な消費 (Consumption) 84 に馴染みにくい側面がある。
BentleyのiTwinプラットフォームは、「クレジット」83 を事前購入し、APIコールやデータ処理量に応じてクレジットを「消費」するモデルを採用している 85。例えば、月額199ドルのプランで200クレジットが付与される 83。
このモデルは、プロジェクト単位で動くAEC業界の商習慣に最適化されている。顧客は初期投資を抑えてiTwinを導入でき、プロジェクトが本格化してデータ (価値) が増大するにつれてBentleyの収益も増加する。アセットの「ライフサイクル」に収益を連動させる、極めて合理的な戦略である。
-

■ GE Vernova (GEベルノバ)

GE Vernova(2024年にGEからスピンオフしたエネルギー事業会社。旧GE Digitalのソフトウェア部門を含む)は、自社が製造・販売する発電タービン、送電網、ジェットエンジンといった「重工業アセット」の運用効率化・予知保全を主目的とした、実利主義的なデジタルツイン戦略を採用している。

- 事業戦略 (オペレーション特化):
GEのデジタルツインは、設計 (PLM) や3D可視化 (メタバース) よりも、物理資産が稼働を開始した後の「オペレーション (運用)」段階にフォーカスしている 23。
主な応用先は、自社が強みを持つ「発電」「石油・ガス」「製造業」24 である。
その目的は、デジタルツイン・シミュレーションを活用して「予知保全 (Predictive Maintenance)」を行い、物理資産の「計画外ダウンタイムを削減する」という、極めて具体的かつ測定可能なROI (投資対効果) の追求にある 11。GE Digitalの調査では、デジタルツイン技術により計画外ダウンタイムが最大45%削減されたと報告されている 11。
- AI戦略 (成果ベースのAI):
GEのAI活用も実利的である。機械学習 (ML) モデルを活用したデジタルツイン・ライブラリを構築し、顧客が望む成果 (例: 保守作業の40%削減) を迅速に達成することを目指している 12。
また、2025年以降のエネルギー転換 23 の文脈において、デジタルツインによるエネルギー効率の最適化を通じた「炭素排出量の削減」12 も、顧客に提供する重要な戦略的価値として位置づけられている。

【第5章】特許戦略と事業戦略の整合性

本章では、【第4章】で分析した主要企業群について、特許ポートフォリオ (水面下の研究開発) と、IR資料やプレスリリース (公式の事業戦略) を比較し、両者が「一致 (Alignment)」しているか「乖離 (Gap)」があるかを評価する。この整合性 (またはギャップ) から、各社の戦略の「本気度」や「隠された戦略」を推定する。

整合性 (Match) の評価

- **Dassault Systèmes (極めて高い整合性):**
 - 特許戦略: 過去5年間の特許ランドスケープ分析において、特に「ヒューマン・デジタルツイン (HDT)」に関連する特許出願 (例: 個人の生化学的プロセスを含む身体モデル³⁰、HDTの概念⁶) が活発化している。
 - 事業戦略: 2014年から続く「Living Heart Project」⁷ や、FDAとの長期的な連携³¹ に見られるように、「生命科学」を3DEXPERIENCEプラットフォームの次なる中核事業とする公式戦略を掲げている。
 - 評価: 両者は完璧に一致している。これは、DSがHDTという巨大なフロンティア市場に対

し、10年単位の一貫したR&D投資(特許)と事業開発投資(FDA連携)を行っている「本気度」の証左である。彼らが築く「規制の堀」は、他社が容易に模倣できない強固な参入障壁となっている。

- **Siemens**(高い整合性):

- 特許戦略: 特許ポートフォリオは、産業オートメーション、制御システム、製造プロセスのシミュレーションといった、同社の伝統的なOT(運用技術)領域に強固な基盤がある。
- 事業戦略: 2024年次報告書⁴⁵やXceleratorのSaaS化⁴⁸に見られる「産業デジタル化の包括的パートナー」という戦略と、特許の強みは高く整合している。
- 評価: Siemensは、NVIDIAとの提携(IT/AI)¹³によって自社の弱点(最先端AI)を補完しつつ、本丸である「産業(OT)」の特許基盤を固める、堅実かつ全方位的な戦略を採っている。

ギャップ(Gap)の評価と「隠れた戦略」の推定

- **NVIDIA**(戦略的ギャップ=隠された野心):

- 公式の事業戦略(What they SAY):
NVIDIAは、IRやCES 2025の発表¹³において、自社の「Omniverse」を、Siemens¹³やAnsys¹³といったパートナー企業のための「プラットフォーム(OS)」であり、彼らのアプリケーション開発を支援する「イネーブラー(実現者)」である、と公式に位置づけている。
- 特許とR&D戦略(What they DO):
しかし、同社の特許出願と2025年のR&D発表³は、単なるプラットフォーム提供に留まらない。「Cosmos基盤モデル」³⁹や「フィジカルAI」¹³への巨額の投資は、NVIDIA自身が「デジタルツインを構築し、その内部で自律的に動作するAI(エージェント)」そのものを作ろうとしていることを示している。
- 評価(「隠れた戦略」の推定):
ここには、公式戦略(イネーブラー)とR&D戦略(プレイヤー)の間に、意図的な「戦略的ギャップ」が存在すると推定される。
 1. NVIDIAの公式戦略(イネーブラー)は、パートナー(Siemens, Ansys等)を安心させ、Omniverseエコシステムに参加させるための「表の顔」である。
 2. しかし、NVIDIAの真の目的(隠れた戦略)は、そのエコシステム上で動作する「自律型AIエージェント(フィジカルAI)」という次世代市場を創出し、支配することにあると推定される。
 3. デジタルツイン(Omniverse)は、そのAIエージェント(ロボット、自動運転車)を訓練・検証するための「訓練場」として不可欠である¹⁴。
 4. 結論(推定): NVIDIAの最終的な野心は、単なる「産業メタバースのOS」提供者(MicrosoftのWindowsの地位)に留まらず、そのOS上で動作する「フィジカルAI(自律型ロボット)」という次世代産業の「頭脳」と「訓練インフラ」の両方を掌握することである。デジタルツイン(Omniverse)は、その壮大な戦略を実現するための中核的手段(あるいは「トロイの木馬」)である可能性が強く示唆される。

【第6章】主要戦略グループおよび企業の競合比較

戦略グループ間のポジショニング比較

- グループ1(プラットフォーム覇権型) vs グループ2(PaaSインフラ型):
【第4章】で詳述した通り、これは「高性能・高コスト・垂直統合型(グループ1)」と「柔軟・低コスト・水平分業型(グループ2)」の戦いである。製造業のハイエンド(設計・シミュレーション)は、OTの知見とAI性能を融合させたグループ1が優位性を持つ。一方、それ以外の広範なIoTデータ管理(ビル、物流、スマートシティ)では、導入コストとスケーラビリティに優れるグループ2が、それぞれ優位性を持つと予想される。
- グループ3(シミュレーション特化型) vs グループ1(プラットフォーム覇権型):
グループ3は、グループ1のプラットフォーム(特にOmniverse)に「コンポーネント(頭脳)」として統合される道を選んだ(Ansys 70)。
ただし、Dassault Systèmes 7 のみは例外である。同社は、独自の「垂直統合型」戦略(3DEXPERIENCE + HDT)を維持しており、NVIDIA/Siemens連合と直接競合しない「専門領域(HDT)」で独自の生態系を築いている。
- グループ4(アセット・オペレーション型) vs 全グループ:
グループ4は、「インフラ」「エネルギー」という超長期のアセット・ライフサイクルに特化している(Bentley 21, GE 23)。彼らの競合優位性は、ソフトウェアの技術力以上に、各産業の「運用(オペレーション)」に深く根差したドメイン知見と、数十年にわたる保守的な顧客との関係性にある。彼らもまた、グループ1(NVIDIA)と提携し 78、自社のドメイン知見とAIの可視化能力を融合させている。

主要企業の戦略ポジショニング比較表(マトリクス)

以下のマトリクスは、本レポートで分析した主要8社の戦略的ポジショニングを、ターゲット市場、ビジネスモデル、AI戦略の観点から比較・整理したものである。

企業名	戦略グループ	主要プラットフォーム/製品	ターゲット産業	ビジネスモデル	AI戦略(2025年時点)

NVIDIA	グループ1	Omniverse	製造、自動車、ロボティクス、メディア	サブスクリプション (Per GPU) ⁴³	フィジカルAI (Cosmos基盤モデルによる訓練環境) ³
Siemens	グループ1	Xcelerator, Teamcenter	産業オートメーション、機械、インフラ、ヘルスケア ⁵⁶	SaaSサブスクリプション (XaaS) ⁴⁸	産業LLM (NVIDIA Omniverseとの統合) ⁴
Microsoft	グループ2	Azure Digital Twins	全産業(水平展開)、スマートビル ²⁸ 、政府 ⁶⁰	PaaS従量課金(メッセージ, API単位) ⁶³	Copilot (生成AIによる自然言語での運用支援) ¹⁷
AWS	グループ2	AWS IoT TwinMaker	産業IoT、サプライチェーン、物流 ¹⁶	PaaS従量課金(データ連携, API単位)	Lookout (予測AIによる異常検知・予知保全) ¹⁸
Ansys	グループ3	Twin Builder, Ansys SimAI	製造、航空宇宙、自動車、エレクトロニクス	ソフトウェアライセンス / SaaS ⁶⁶	SimAI (AIによるシミュレーション加速・ROM生成) ²⁵
Dassault Systèmes	グループ3	3DEXPERIENCE	航空宇宙・防衛 ²⁰ 、ヘルスケア (HDT) ⁷	SaaS / ライセンス ⁷²	ヒューマン・デジタルツイン (生体シミュレーション) ⁷⁴
Bentley Systems	グループ4	iTwin Platform	インフラ (AEC)、公共、プラント、鉱業 ²¹	消費ベース (Credits) (プロジェクト単位) ⁸³	インフラAI (設計・運用・保守の最適化) ⁷⁵
GE	グループ4	(Proficy,	エネル	ソフトウェア	予知保全AI

Vernova		APM)	ギー、電力、 製造(オペ レーション) 23	/ サービス	(ダウンタイム削減・効率化) ¹¹
---------	--	------	---------------------------------	--------	------------------------------

【第7章】今後の市場リスクとビジネス機会

技術的ボトルネックとリスク

- データ統合と相互運用性:
デジタルツイン市場が直面する最大のリスクであり、技術的ボトルネックである。前述(【第3章】)の通り、デジタルツインの価値は、PLM、ERP、OT(現場)、IT(クラウド)など、サイロ化したデータをシームレスに連携させることで初めて最大化される⁸。しかし、これらのシステム間のデータ形式や通信プロトコルは標準化されておらず、相互運用性の欠如が導入の障壁となっている。NVIDIAが推進する「OpenUSD」³は3Dデータ連携の標準を目指しているが、全産業のあらゆるデータをカバーするものではなく、標準化の道は途上である。
- セキュリティとプライバシー:
デジタルツインは物理世界と直結するため、サイバー攻撃がデジタル空間の混乱に留まらず、物理的な損害(工場の停止、インフラの破壊、人命のリスク)に直結する。特に「ヒューマン・デジタルツイン(HDT)」⁶や「顧客のデジタルツイン」³³の領域では、個人の生体データや行動予測という究極の個人情報扱うため、データ漏洩時のリスクとプライバシー懸念³⁴が、技術以上に深刻な社会的・法的障壁となる。
- モデルの忠実性(Fidelity):
シミュレーションが物理世界を正確に反映していない場合、デジタルツインに基づく意思決定は誤った結果を招き、巨額の損失を生む可能性がある。この「忠実性」を維持・検証し続けるためのキャリブレーション・コストと、それを担う高度な技術が課題である。

市場リスク

- ハイプ・サイクルとROIの不透明性:
「産業メタバース」⁶⁰や「フィジカルAI」³といった壮大なビジョンが、2025年現在、市場の期待値を急速に高めている。これは「ハイプ・サイクル(Gartner)」における「過度な期待のピーク」にあたる可能性がある。多くの企業が具体的なROI(投資対効果)を見出せないまま実証実験(PoC)に疲弊し、市場全体が一時的な「幻滅期」に入るリスクがある。

- コストと人材のギャップ:
グループ1(NVIDIA/Siemens)が提供するような高性能なデジタルツインの導入・運用には、高額なライセンス料(例:NVIDIAのGPUあたり年間4,500ドル)⁴³と、データサイエンティストやシミュレーション専門家といった高度なスキルを持つ人材が必要である。このコストと人材のギャップが、特に大企業以外への普及を妨げる最大の障壁となっている。

競合が手薄な「空白地帯」

主要プレイヤーの戦略が集中する市場(大企業・製造業)以外には、競合が手薄な「空白地帯(ホワイトスペース)」が存在し、これが新たなビジネス機会となっている。

- SME(中堅・中小企業)市場の空白:
現在の主要プレイヤー(グループ1~4)のソリューションは、その価格設定と機能の複雑さから、すべて「大企業」向けに最適化されている¹³。
 1. NVIDIA⁴³やSiemens⁴⁸の高機能プラットフォームは、中小企業(SME)には高価すぎる。
 2. Microsoft⁶³やAWSのPaaSは安価に見えるが、それを使いこなすための高度な開発リソース(AI/IoTエンジニア)をSMEは保有していない。
 3. 欧州のGaia-Xプロジェクト⁸⁶などでは、SMEのデジタル化が重要な課題として認識されている⁸⁷が、市場には決定的なソリューションが不足している。
結論として、特定の業種(例:金型製造、食品加工、部品サプライヤー)の「特定の課題」(例:品質検査の自動化、エネルギー最適化)のみにフォーカスした、**安価で導入が容易な「SaaS型バーティカル・デジタルツイン」**市場は、巨大な「空白地帯」である。
- 非・重工業ドメインの開拓:
 - 農業(アグリテック): 特許出願⁸⁸に見られるように、農地(土壌)、天候、作物の生育環境をデジタルツイン化し、水・肥料・農薬の投入を最適化する「精密農業」の領域は、まだ黎明期である。
 - バイオ・マニュファクチャリング: 医薬品(特に細胞・遺伝子治療)の製造に用いられる「バイオリアクター」の運用・培養プロセスをデジタルツインで最適化する領域は、特許が少なく「アンダーパテント(under-patented)」なホワイトスペースであると指摘されている⁸⁹。
 - データセンター運用: AIの普及で需要が爆発するデータセンター自体の「運用・冷却効率化」にデジタルツインを適用する市場も、新たなビジネス機会である。LG CNSによるデータセンターの障害対応や安全管理への活用事例⁹⁰が報告されている。

【総括】分析結果の客観的サマリー

本レポートは、デジタルツイン市場について、特許データベース(技術動向)とIR資料(事業戦略)の突き合わせによる横断的分析を行った。以下に、本分析によって明らかになった「客観的な事実」の

みを、要点として再整理する。

1. 市場の定義と規模: デジタルツイン市場は、CAGR 40%超の急速な成長を遂げている¹。この市場は単一の技術ではなく、IoT、AI、シミュレーション、クラウドの複合ソリューションである⁹。市場規模の予測値に大きな幅が存在する¹のは、分析対象(ソフトウェア単体か、関連サービス全体か)の「定義」がレポートによって異なるためである。
2. 市場の構造(4つの戦略グループ): 市場の主要プレイヤーは、その戦略的ポジショニングに基づき、4つのグループに分類される。(1)エコシステムOSの覇権を狙う「産業メタバース」プラットフォーム覇権型(NVIDIA, Siemens)。(2)産業IoTデータをクラウドに集約する「PaaS」クラウド・インフラ型(Microsoft, AWS)。(3)物理シミュレーション等の「頭脳」を提供する「シミュレーション」ドメイン特化型(Ansys, Dassault Systèmes)。(4)インフラやエネルギー資産の「運用」に特化する「アセット」インフラ・オペレーション型(Bentley Systems, GE Vernova)。
3. 主要な応用先: 現在の商用化の主流は、製造業の予知保全¹、建設・インフラのBIM/CIM⁵、サプライチェーン最適化⁵である。一方、特許分析⁶と先行投資⁷から、未来の応用先として「ヒューマン・デジタルツイン(HDT)」による個別化医療²⁹、および「スマートシティ」⁵が特定された。
4. 2025年の最重要トレンド(生成AIとの融合): 2024年～2025年にかけて、デジタルツインと生成AIの融合が最大のトレンドとなっている。これはNVIDIAが提唱する「フィジカルAI」³というビジョンに集約され、デジタルツインは「AIエージェント(ロボット)の訓練・検証環境」¹⁴としての役割を強めている。
5. 主要プレイヤーの戦略的ポジショニング:
 - **NVIDIA/Siemens連合**: NVIDIA (IT/AI)³とSiemens (OT/産業)⁴⁶は、それぞれの強みを持ち寄り、産業メタバースOS(Omniverse/Xcelerator)⁴の地位を確立しようとしている。
 - **Microsoft/AWS**: 両社は、PaaS(Azure DT, AWS IoT TwinMaker)¹⁵と従量課金モデル⁶³を武器に、産業IoTデータを自社クラウドに集約するインフラ戦略を採っている。AI(Copilot, Lookout)¹⁷はそのデータ活用サービスとして提供される。
 - **Dassault Systèmes**: 「Living Heart Project」⁷とFDAとの連携³¹に象徴される「ヒューマン・デジタルツイン」という、特許と規制に守られた独自市場の構築を進めている。
 - **Ansys / Bentley**: AnsysはNVIDIAエコシステムに「シミュレーションの頭脳」⁷⁰として統合される戦略を、Bentleyは「インフラ」特化²¹と「消費クレジット」⁸³という独自モデルで、それぞれ専門領域での地位を固めている。
6. 戦略の整合性とギャップ: Dassault SystèmesのHDT戦略⁷は、特許ポートフォリオ⁶との高い整合性を示した。一方、NVIDIAは「プラットフォーム提供者」という公式戦略¹³の裏で、特許とR&D(Cosmos)³において「AIエージェント(フィジカルAI)」そのものの開発を強力に推進しており、これは公式戦略とR&D戦略の間に「戦略的ギャップ」が存在することを示す。
7. リスクと機会: 市場の主要リスクは、データ統合の複雑性⁸と、HDT領域におけるプライバシー懸念³⁴である。ビジネス機会(空白地帯)は、大企業向けソリューションが手薄な「SME(中堅・中小企業)」市場⁸⁶、および「農業」⁸⁸や「バイオ製造」⁸⁹といった未開拓なドメインに存在する。

引用文献

1. Digital Twin Market Size, Share, Industry Trends Report 2030 -

- MarketsandMarkets, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html>
2. Digital Twin Market Analysis and Forecast 2025-2034 - InsightAce Analytic, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.insightaceanalytic.com/report/digital-twin-market/1598>
 3. NVIDIA Expands Omniverse With Generative Physical AI, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-expands-omniverse-with-generative-physical-ai>
 4. Siemens accelerates path toward AI-driven industries through innovation and partnerships, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-accelerates-path-toward-ai-driven-industries-through-innovation-and>
 5. 【2024年最新】デジタルツインの活用事例20選を分野別に徹底解説 - CREX, 11月 12, 2025にアクセス、<https://crexgroup.com/ja/xr/3d/digital-twin-use-cases/>
 6. (PDF) Patent Spectrum of Human Digital Twins - ResearchGate, 11月 12, 2025にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/383138557_Patent_Spectrum_of_Human_Digital_Twins
 7. Digital twin assisted surgery, concept, opportunities, and challenges - PMC - NIH, 11月 12, 2025にアクセス、<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11736137/>
 8. Generative AI for Digital Twin | IBM, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.ibm.com/think/topics/generative-ai-for-digital-twin-energy-utilities>
 9. 日本のデジタルツイン市場規模、シェア、動向 2025-2033 - IMARC Group, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.imarcgroup.com/report/ja/japan-digital-twin-market>
 10. Digital Twin Market worth \$149.81 billion in 2030 - Exclusive Report by MarketsandMarkets™ - PR Newswire, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.prnewswire.com/news-releases/digital-twin-market-worth-149-81-billion-in-2030---exclusive-report-by-marketsandmarkets-302519436.html>
 11. Digital Twins: Modeling the Future of Manufacturing - Emerline, 11月 12, 2025にアクセス、<https://emerline.com/blog/digital-twins>
 12. The Future Of Energy: Using Digital Twins As A Strategic Asset At GE Digital - Forbes, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.forbes.com/sites/amazonwebservices/2021/12/07/the-future-of-energy-using-digital-twins-as-a-strategic-asset-at-ge-digital/>
 13. NVIDIA Expands Omniverse With Generative Physical AI - NVIDIA Investor Relations, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://investor.nvidia.com/news/press-release-details/2025/NVIDIA-Expands-Omniverse-With-Generative-Physical-AI/default.aspx>
 14. Industrial Facility Digital Twins—Use Case - NVIDIA, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.nvidia.com/en-us/use-cases/industrial-facility-digital-twins/>
 15. Azure Digital Twins - Microsoft Learn, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://learn.microsoft.com/en-us/azure/digital-twins/overview>
 16. AWS IoT TwinMaker | Amazon Supply Chain and Logistics, 11月 12, 2025にアクセ

ス、

<https://aws.amazon.com/blogs/supply-chain/category/internet-of-things/aws-iot-twinmaker/>

17. Microsoft named a Leader in the 2025 Gartner® Magic Quadrant™ for Global Industrial IoT Platforms, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://azure.microsoft.com/en-us/blog/microsoft-named-a-leader-in-the-2025-gartner-magic-quadrant-for-global-industrial-iot-platforms/>
18. Predicting “behavior” with L3 Predictive Digital Twins | The Internet of Things on AWS – Official Blog, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://aws.amazon.com/blogs/iot/l3-predictive-digital-twins/>
19. Ansys to Integrate NVIDIA Omniverse, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.ansys.com/news-center/press-releases/3-18-25-ansys-to-integrate-ov-visualization-features>
20. Annual report 2024 - Dassault Aviation, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.dassault-aviation.com/wp-content/blogs.dir/2/files/2025/07/2024-Annual-Report.pdf>
21. Infrastructure Digital Twin Software - Bentley Systems, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.bentley.com/software/digital-twins/>
22. Infrastructure Digital Twins | Bentley Systems Software, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.bentley.com/software/infrastructure-digital-twins/>
23. How Digital Twin Simulation Software Improves Manufacturing Operations | GE Vernova, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.gevernova.com/software/blog/how-digital-twin-simulation-software-improves-manufacturing-operations>
24. Digital Twin Technology - GE Vernova, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.gevernova.com/software/innovation/digital-twin-technology>
25. Ansys 2025 R2: Ansys Digital Twin What's New, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.ansys.com/webinars/ansys-2025-r2-ansys-digital-twin-whats-new>
26. 16+ Digital Twin Applications & Use Cases | 2025 - Tavus, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.tavus.io/post/digital-twin-applications>
27. 日本のファクトリーオートメーションおよび産業用制御市場規模は2033年までに352億米ドルに達すると予測 | 年平均成長率9.8%, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.atpress.ne.jp/news/9624355>
28. Design for Real Estate: Contemporary Topics by Harvard GSD - Issuu, 11月 12, 2025にアクセス、
https://issuu.com/gsdharvard/docs/design_for_real_estate_contemporary_topics
29. 【登壇報告】France–Japan Bilateral Seminar on Health Dataが開催～医療データ活用と次世代医療技術の展望 NTTグループが2つのセッションに登壇 | お知らせ - NTTプレジジョンメディシン, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.ntt-precisionmedicine.co.jp/news-jpp/single/?id=20250805jpp>
30. WO2024050133A1 - Digital twin for diagnostic and therapeutic use - Google Patents, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://patents.google.com/patent/WO2024050133A1/en>
31. Digital Twin Applications in Healthcare - Nutanix, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.nutanix.com/theforecastbynutanix/industry/digital-twin-applications->

[in-healthcare](#)

32. Digital twins will revolutionize 5 everyday systems - ASME, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.asme.org/topics-resources/content/5-digital-twins-applications-that-could-solve-the-future-s-problems>
33. How Will Digital Twins Software Transform Your Business in 2025? | Simio, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.simio.com/how-will-digital-twins-software-transform-your-business-in-2025/>
34. 10 Unbelievable Digital Twin Applications Transforming Industries - CreoPlan, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://creoplan.co.uk/digital-twin-10-applications-future-of-digital-twins>
35. CES 2025: NVIDIA Reveals New Generative AI Models for Omniverse, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.digitalengineering247.com/article/ces-2025-nvidia-reveals-new-generative-ai-models-for-omniverse>
36. NVIDIA Corporation - NVIDIA Investor Relations, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://investor.nvidia.com/news/press-release-details/2025/NVIDIA-and-US-Manufacturing-and-Robotics-Leaders-Drive-Americas-Reindustrialization-With-Physical-AI/default.aspx>
37. Physical AI and Robotics Conference Sessions | NVIDIA GTC 2025, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.nvidia.com/gtc/sessions/physical-ai-and-robotics/>
38. NVIDIA Announces Financial Results for Fourth Quarter and Fiscal 2025, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-announces-financial-results-for-fourth-quarter-and-fiscal-2025>
39. March 2025, 11月 12, 2025にアクセス、
https://s201.q4cdn.com/141608511/files/doc_financials/2025/q4/NVDA-F4Q25-Quarterly-Presentation-FINAL.pdf
40. NVIDIA Partners Bring Physical AI, New Smart City Technologies to Dublin, Ho Chi Minh City, Raleigh and More, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://blogs.nvidia.com/blog/physical-ai-smart-city-expo-world-congress/>
41. Ansys at NVIDIA GTC 2025, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.ansys.com/blog/ansys-nvidia-gtc-2025>
42. Omniverse Enterprise | Free 90-day Trial - NVIDIA, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.nvidia.com/en-us/omniverse/enterprise/free-trial/>
43. NVIDIA Omniverse Enterprise, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://resources.nvidia.com/en-us-retail-nvidia-omniverse-assets/enterprise-33>
44. NVIDIA Omniverse Enterprise, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.nvidia.com/en-us/omniverse/enterprise/>
45. Siemens-Limited-Annual-Report-2024.pdf - Digital Asset Management, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:b00f75f6-a8c8-484a-97b8-6fbb7e7b8d1f/Siemens-Limited-Annual-Report-2024.pdf>
46. Siemens and NVIDIA, 11月 12, 2025にアクセス、

- <https://www.sw.siemens.com/en-US/partners/find-a-partner/nvidia/>
47. Siemens presents Building X, an AI-based solution for transforming buildings into climate-neutral buildings, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://news.siemens.com/en-us/siemens-presents-building-x-an-ai-based-solution-for-transforming-buildings-into-climate-neutral-buildings/>
 48. Xcelerator as a Service: Gateway to Digital Transformation - Saratech, 11月 12, 2025にアクセス、<https://saratech.com/xcelerator/>
 49. Siemens Xcelerator | Seller Guide, 11月 12, 2025にアクセス、
https://assets.ctfassets.net/17si5cpawjzf/5vHvrkltSdEQUdOMpVD4NB/7624e935bd19b6bdc74a763ef35d2ce0/SX_MP_SellerGuide_forThirdPartySellers_v1.3.pdf
 50. Siemens Software expands Xcelerator as a Service; SaaS business transition accelerating, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-software-expands-xcelerator-service-saas-business-transition-accelerating>
 51. Siemens and NVIDIA Expand Partnership to Accelerate AI Capabilities in Manufacturing, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://nvidianews.nvidia.com/news/siemens-and-nvidia-expand-partnership-to-accelerate-ai-capabilities-in-manufacturing>
 52. Siemens to deliver photorealism-enhanced digital twin with NVIDIA Omniverse and Teamcenter Digital Reality Viewer, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://news.siemens.com/en-us/siemens-teamcenter-digital-reality-viewer/>
 53. Siemens to deliver photorealism-enhanced digital twin with NVIDIA Omniverse and Teamcenter Digital Reality Viewer | SemiWiki, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://semiwiki.com/forum/threads/siemens-to-deliver-photorealism-enhanced-digital-twin-with-nvidia-omniverse-and-teamcenter-digital-reality-viewer.21829/>
 54. Siemens unveils breakthrough innovations in industrial AI and digital twin technology at CES 2025 | Press | Company, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/siemens-unveils-breakthrough-innovations-industrial-ai-and-digital-twin-technology-ces>
 55. Sustainability Report 2024 - Digital Asset Management - Siemens, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:32a7154d-edba-47bc-8e9b-9761617ba774/sustainability-report.pdf>
 56. Reports & presentations - Siemens Healthineers, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.siemens-healthineers.com/investor-relations/presentations-financial-publications>
 57. Healthcare Digital Twins Market Share & Forecast, 2025-2032 - Coherent Market Insights, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.coherentmarketinsights.com/industry-reports/healthcare-digital-twins-market>
 58. Digital Twins in Healthcare Market Latest Report Analysis 2024-2031 - InsightAce Analytic, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.insightaceanalytic.com/report/digital-twins-in-healthcare-market/2366>
 59. Digital Engineering for PLM | Microsoft Industry, 11月 12, 2025にアクセス、

- <https://www.microsoft.com/en-ca/industry/manufacturing/resources/product-life-cycle-management-digital-engineering>
60. Microsoft Defense and Intelligence: Unleashing the potential of the industrial metaverse, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.microsoft.com/en-us/industry/blog/government/2023/09/07/microsoft-defense-and-intelligence-unleashing-the-potential-of-the-industrial-metaverse/>
 61. Microsoft and the industrial metaverse are enabling and accelerating the energy transition, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.microsoft.com/en-us/industry/blog/energy-and-resources/2024/01/31/microsoft-and-the-industrial-metaverse-are-enabling-and-accelerating-the-energy-transition/>
 62. Azure Digital Twins Pricing 2025: Compare Plans and Costs - TrustRadius, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.trustradius.com/products/azure-digital-twins/pricing>
 63. Azure Digital Twins pricing, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://azure.microsoft.com/en-us/pricing/details/digital-twins/>
 64. Accelerate operations excellence with 5G private networks, edge computing and IoT, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://aws.amazon.com/blogs/industries/accelerate-operations-excellence-with-5g-private-networks-edge-computing-and-iot/>
 65. Accelerating Industrial IoT Transformation with AWS, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://aws.amazon.com/awstv/watch/55a5b47e4f2/>
 66. What's New in Ansys Digital Twins | Ansys 2025 R1 - YouTube, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.youtube.com/watch?v=g8iSoz-aVxQ>
 67. Integrating Ansys Fluent with Digital Twins, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.ansys.com/webinars/integrating-ansys-fluent-digital-twins>
 68. What's New in Ansys Digital Twin | Ansys 2025 R2 | Twin Builder & Twin AI Updates, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.youtube.com/watch?v=4FU1dmJEFAQ>
 69. Digital Twin Market Size & Industry Growth 2030, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.futuredatastats.com/digital-twin-market>
 70. Ansys to Offer Access to NVIDIA Omniverse Technology, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.ansys.com/news-center/press-releases/8-12-25-ansys-oems-omniverse>
 71. 262 questions people are asking about “dassault systèmes” - AnswerThePublic, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://answerthepublic.com/research/on/dassault-systemes>
 72. Discover Our Offers - Dassault Systèmes, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.3ds.com/cloud/how-to-buy>
 73. Transform Your Business with 3DEXPERIENCE Platform - Dassault Systèmes, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.3ds.com/3dexperience>
 74. Human Digital Twins Are Set to Revolutionize Medicine - EE Times Europe, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.eetimes.eu/human-digital-twins-are-set-to-revolutionize-medicine/>
 75. Bentley Systems Advances Infrastructure AI with New Applications and Industry

- Collaboration, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.bentley.com/news/bentley-systems-advances-infrastructure-ai-with-new-applications-and-industry-collaboration/>
76. Bentley Systems Announces Winners of the 2025 Going Digital Awards, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.bentley.com/news/bentley-systems-announces-winners-of-the-2025-going-digital-awards/>
77. How Bentley Systems' AI-Driven Innovations, Open Collaboration, and Digital Twin Technologies Are Shaping the Future of Sustainable Design, Construction, and Operations - Logistics Viewpoints, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://logisticsviewpoints.com/2025/10/27/33626/>
78. iTwin | Bentley Systems | Infrastructure Engineering Software Company, 11月 12, 2025にアクセス、<https://www.bentley.com/software/itwin/>
79. Bentley LumenRT | Bentley Systems | Infrastructure Engineering Software Company, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.bentley.com/software/bentley-lumenrt/>
80. Create Real-Time Simulations with NVIDIA Omniverse and Bentley LumenRT, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://developer.nvidia.com/blog/create-real-time-simulations-with-nvidia-omniverse-and-bentley-lumenrt/>
81. Bentley Systems Announces Infrastructure Projects Achieve Measurable Results with LumenRT for NVIDIA Omniverse, Powered by iTwin, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://investors.bentley.com/news-releases/news-release-details/bentley-systems-announces-infrastructure-projects-achieve/>
82. Bentley Systems Brings Infrastructure Digital Twins to NVIDIA Omniverse, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://investors.bentley.com/news-releases/news-release-details/bentley-systems-brings-infrastructure-digital-twins-nvidia/>
83. Pricing - iTwin Platform - Bentley Systems, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://developer.bentley.com/pricing/>
84. Earnings call transcript: Bentley Systems Q1 2025 earnings beat forecasts - Investing.com, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.investing.com/news/transcripts/earnings-call-transcript-bentley-systems-q1-2025-earnings-beat-forecasts-93CH-4029023>
85. Bentley Systems Fourth Quarter and Full Year 2024 Results and 2025 Financial Outlook, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://investors.bentley.com/static-files/0c73092b-7f35-4100-96eb-ac70496b0ebc>
86. Vision Strategy | Gaia-X, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://gaia-x.eu/wp-content/uploads/2021/12/Vision-Strategy.pdf>
87. D2.12 Reference Architecture and Blueprints (Final Version) - DIGITAL MANUFACTURING PLATFORMS FOR CONNECTED SMART FACTORIES, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://qu4lity-project.eu/wp-content/uploads/2022/06/D2.12-Reference-Architecture-and-Blueprints-Final-Version.pdf>

88. Digital Twins in Agriculture: Revolutionizing Efficiency and Sustainability - Expertlancing, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.expertlancing.com/insights/digital-twins-in-agriculture-revolutionizing-efficiency-and-sustainability>
89. Strategic IP landscapes for automated bioreactors in decentralized cell and gene therapy manufacturing - PatentVest, 11月 12, 2025にアクセス、
<https://www.patentvest.com/wp-content/uploads/2025/08/Rosellini-Chow.pdf>
90. DIGITAL BUSINESS INNOVATOR - LG CNS, 11月 12, 2025にアクセス、
https://www.lgcns.com/content/dam/lgcns/images/company/LGCNS_Sustainability_Report_2024_2025_EN.pdf