



reflecting reality

デジタルツイン:現実世界に
インテリジェンスを追加

#GetTheFutureYouWant

はじめに

米国テネシー州チャタヌーガでは、交通監視カメラ、911番の緊急通報データ、レーダー探知機、気象観測所など500にのぼる情報源からの情報がこの都市のデジタルツインに送られます。

デジタルツインを使って交通渋滞緩和の実験を実施するとすぐに、チャタヌーガは交通の流れを最大30%改善することができ、エネルギー効率と移動者の遅延時間も大幅に改善されました¹。別の例では、シンガポールの南洋理工大 (NTU) が、デジタルツインを使ってエネルギー使用量を31%削減し、二酸化炭素排出量も9.6キロトン減らすことができました²。これらの例からは、今日のデジタルツインの規模やデジタルツインによってもたらされる効率がわかるだけでなく、それによって得られる持続可能性のメリットも明らかになります。

デジタルツインは物理システムの仮想レプリカであり、物理世界のモデル化、シミュレート、監視、分析、常時最適化を実現できます。物理とデジタルのギャップを適切な頻度と忠実度で埋めることを目的としているため、業績と持続可能性が向上します。クローズドループの取り組みを確立して価値を引き出すことで、データ、テクノロジー、ビジネスプロセス全体に相乗効果をもたらし、インテリジェントインダストリー³のトランスフォーメーションの中核となります。「何がベスト

か」、「こんな場合はどうなるか」、「次は何か」などの疑問に答える能力を介して、デジタルツインは動的な現実世界のシステムの現在の動作状況を可視化してそれらの改善方法を提示するだけでなく、別のシナリオでどのように動作するかを予測することもできます。1つの製品または1つのシステムが、それを必要とするライフサイクルの段階により、1つまたは複数のデジタルツインを持つことができます。

デジタルツインはさまざまな面で企業が持続可能性に対する目標を達成し、拡張するエコシステムとの連携を容易にする助けとなります。構想段階においては、設計用のデジタルツインが設計作業と新機能のテストに役立ち、さらに生産プロセスの効率を大幅に向上させることができるため、コスト削減と市場投入までの時間の短縮につながります。構築段階においては、ツインは仮想トレーニングと試運転に役立ちます。その後、その製品/資産/システムの運用および保守が行われているときに、別のツインが予知保全および最適化によるパフォーマンスの向上を介してダウンタイムを低減することにより、プロセスをより効率的にすることができます。さらに、企業の新しいビジネスモデルや運用モデルの導入にも役立ちます。

はじめに

その結果、企業のデジタルツインへの投資は増加の一途をたどっています。デジタルツインの市場規模は2020年には50億ドルを上回り、2021年～2027年の年平均成長率は35%を超える予想されています⁴。

大手企業がどのようにしてデジタルツインテクノロジーをデジタルトランスフォーメーションプログラムに統合しているかを理解するため、弊社はライフサイエンス、消費財、エネルギーおよび公共事業、ディスクリート型製造業、インフラストラクチャの所有者やオペレーターを含む、世界各地に広がるさまざまな業界の1,000社を調査しました。デジタルツインの導入時に得られる価値と直面する課題を直接確認するため、デジタルツインプログラムの開始を予定している企業よりも、それを運用中の企業(調査対象の80%)に主に焦点を当てています。また、各業界のエグゼクティブや学者に対して詳細なインタビューを実施しました。

+ 本レポートは、キャップジェミニの「インテリジェントインダストリー」シリーズ⁵の一部を成すものとして、以下の疑問に対する解答を考察していきます。

01

企業はトレンドの変化に対応する備えが十分にできているか

02

デジタルツインは
いかにしてより高い
パフォーマンスと
持続可能性を
推進できるのか

03

デジタルツインは
いかにしてバリュー
チェーン全体に渡って
価値を付加できるのか

04

デジタルツインの
デプロイメントに成功
しているのはどの企業が

05

企業がデジタル
ツインジャーニーを
加速するには
どうしたらよいか

エグゼクティブ サマリー

顧客の好みの変化、増大する規制圧力、二酸化炭素排出量に対する関心の高まりが、企業のデジタルイノベーションを加速させています。それと同時に、製品、ソフトウェア、サービスの融合が進むことでさまざまな業界に大規模なトランスフォーメーションの機会が新たに生まれています。私たちはこの新しいトランスフォーメーションの時代を「インテリジェントインダストリー」と呼んでいます。AI、クラウド、エッジコンピューティングなどのテクノロジーはこのジャーニーの重要なカタリスト(触媒)ですが、デジタルツインはトランスフォーメーションの中核となります。デジタルツインによって、製品、その関連サービス、生産ライン、インフラストラクチャ、物流ネットワーク、システムオブシステムズなど、あらゆるシステムの設計、運用、サービスのフェーズを最適化できます。システムのライフサイクル全体を通してエコシステム全域でコラボレーションが可能になるため、運用が最適化され、企業はビジネスモデルを変革することもできます。企業はこのテクノロジーを何の目的で、どのように活用していくのでしょうか。また、どのような課題に直面し、それを乗り越えるにはどうしたらよいでしょうか。

弊社の調査によると、デジタルツインの導入は安全性や持続可能性、ブランドの評判の他、売上と収益の向上により推進されています。デジタルツインに取り組んでいる企業は既に、売上、納期、運用効率などの測定基準に平均15%の改善が見られ、システムパフォーマンスも25%上昇しています。また、デジタルツインは、リスク軽減やコラボレーションの拡大に取り組み、物理的に運用する前に仮想的に運用できるようにし、クローズドループフィードバックを可能にする、デジタルで柔軟な方法をもたらします。その結果、企業におけるデジタルツインの導入が今後5年間で平均36%増加することが見込まれます。デジタルツインは収益性の高い成長と持続可能性を両立させるまたとない機会をもたらします。企業はデジタルツインを使用することによって、持続可能性を平均16%向上させています。それでも、デジタルツインのデプロイメントを成功させる道筋に障害がないわけではありません。企業の半数近くで、明確なビジョン、経営陣のコミットメント、必要な投資、そして従業員の適切なスキルセットが欠如しています。

エグゼクティブ サマリー

調査対象企業の13%が、6つの領域で秀でており、そのためデジタルツイン導入においてフロントランナーでいることもわかりました。その領域とは、ビジョン、リーダーシップ、エコシステムのエンパワーメント、システム能力とインテリジェントシステム開発、デジタルプラクティス、コラボレーションプラットフォームのデプロイメントです。他の企業と比較して、これらの企業は、売上の増加、顧客満足度の向上、コスト削減、持続可能性の向上という形でメリットを65%以上多く実現しています。

デジタルツインはまだ新興テクノロジーであるため、価値と統合に基づく段階的なトランスフォーメーションが必要です。このトランスフォーメーションを着実に進めるために、企業は能力、ロードマップ、ガバナンスの面でデジタルツインをサポートするように社内を組織化し、一方でエンドツーエンドの統合に備える必要があります。これらの要素に基づき、弊社では組織がデジタルツインデプロイメントを成功させるために取り組むべき5つの主要な領域を明らかにします。

その中で一番に取り上げるのは、安全性と持続可能性の目標を統合した、長期に渡る段階的なロードマップです。また、デジタルツインを大規模にデプロイし、システムから十分なメリットを得るためには、システムエンジニアリングや分散型アーキテクチャからシミュレーション、機械学習にいたるまで、デジタルツインを設計、構築、運用するための一連の能力が必要になります。接続性、データモデル、分配、アクセスの面でエンドツーエンドの統合をもたらすデジタルツインアーキテクチャが、スケールアップの鍵となります。とはいえ、デジタルツインは多数のシステムに接続され、その結果莫大な機密情報に自由にアクセスできるようになってしまうため、企業は大規模なデプロイを行う前にデータセキュリティとプライバシー対策の強化に注力する必要があります。デジタルツインの最大の価値は、特定の変更がエコシステム全体に与える影響を予測またはシミュレートできることにあります。したがって、重要なパートナーにデジタルツインのビジョンを理解してもらい、そのパートナーとのコラボレーションプラットフォームをデプロイすることは、このようなプロジェクトがもたらし得るメリットを大幅に増やします。

デジタルツインは物理システムの
仮想レプリカであり、物理世界のモデル化、
シミュレート、監視、分析、常時最適化を
実現できます。



01

業界の主要なトレンドに 直面するための設備が 不十分という組織の考え

サービス化(製品からサービスベースのビジネスモデルへの移行)、持続可能性、規制へのコンプライアンスは、現在、直接的にせよ間接的にせよ、ほぼすべての企業に影響を及ぼしています。

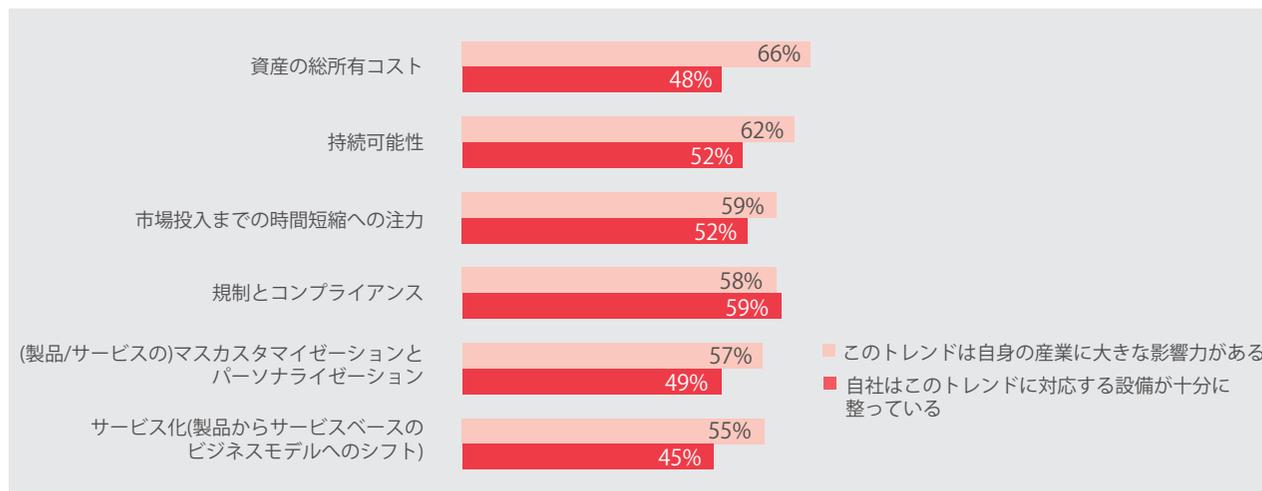
またその一方で、企業は総所有コスト、市場投入までの期間、カスタマーエクスペリエンスを継続的に最適化しなければなりません。しかし、弊社の調査では、このような市場需要を満たせていると感じている組織は半数以下に留まっています。たとえば調査対象企業の66%は、資産の総所有コストの最適化が自社に影響を及ぼす重要

な要素であると認めています、そのための態勢が十分に整っていると明言した企業はわずか48%でした。

調査対象の業界の中で、エネルギーおよび公共事業がサービス化やマスカスタマイゼーションへの適応に最も苦戦しており、同業界の回答企業のうち、このトレンドに対応する準備が整っていることを示したのは、それぞれわずか27%と22%でした。

図1

自社が影響を受ける主要なトレンドに取り組む態勢が十分に整っていると考えている企業は半数未満



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、N=1,000企業。



持続可能性と総所有コスト(TOC)の最適化の領域については、ライフサイエンス業界が後れを取っており、これらのトレンドにおける成熟度に自信を持っているライフサイエンス企業は、持続可能性については26%、TOCについては28%という少なさでした。

消費財業界は、これらの(サービス化と規制のコンプライアンスを除く)ほぼすべての市場要素から最も大きな影響を受けていますが、成熟にはまだ至っておらず、これらのトレンドに対応する態勢が十分に整っていると回答した企業はわずか36%でした。

企業が今後3年以内にサービス化のトレンドにより深く関わっていくことを予定しているのも明らかになりました。この期間中に企業がサービスベースのビジネスから得られる収益のおおよその割合は、現在の41%から53%に上昇すると推定されています。関連するトレンド予測において、弊社の調査では、企業内のシステムの29%が現時点でスマートかつコネクテッドであり、このトレンドは3年以内に35%まで上昇すると予想されます。

02

デジタルツインはいかにして より高いパフォーマンスと持続可能性を 推進するか

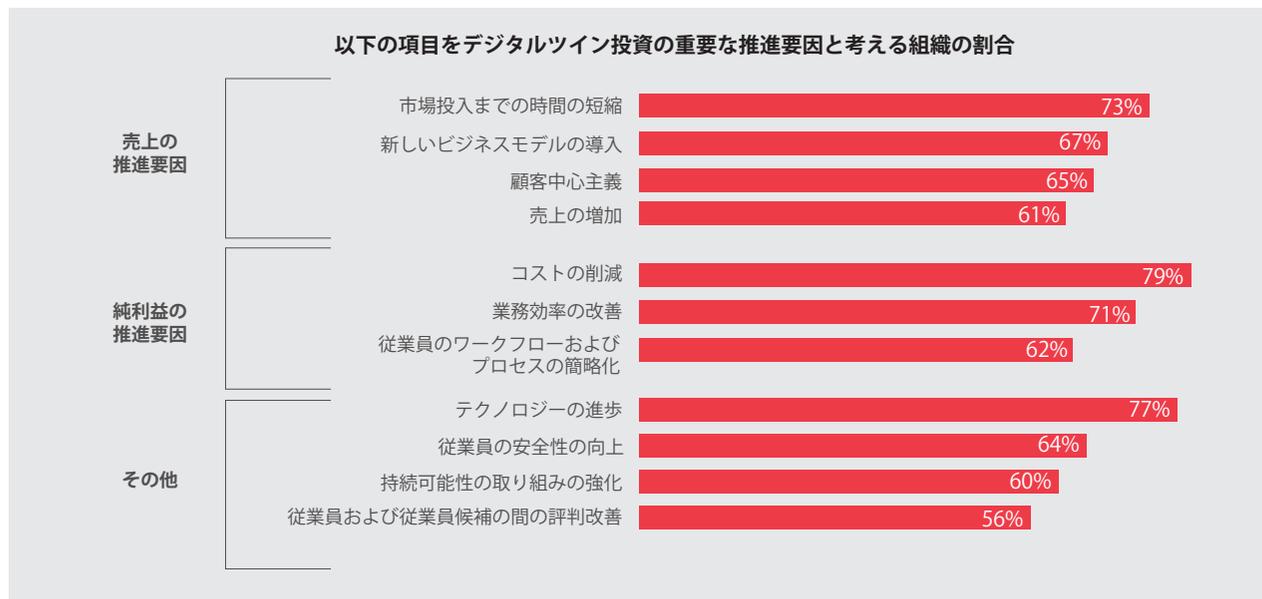
弊社の調査によると、企業は、自社が対処しているさまざまな課題に取り組む手段として、デジタルツインに注目しています。

デジタルツインは収益性と持続可能性の真のカタリスト(触媒)です。さまざまなシナリオで実験を行い、それぞれの決定が与える影響を現実世界のリスクなしで評価する機会を可能にするツールとして使

用でき、これにより主要なビジネス測定基準にプラスの影響を与えることができます。そのため、収益性を最大限に引き出し、信頼性を維持し、持続可能性を向上させる意思決定や戦略の展開を効果的に行うことができます。

図2

デジタルツインへの投資は安全性や、持続可能性、ブランドの評判の他、売上と収益の向上により推進されている



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月~10月、N=1,000企業。

デジタルツインは売上と収益の双方にプラスの影響を与える

デジタルツインを使用することで、企業はコスト、運用効率、納期、持続可能性といった多数の測定基準を改善することができます。弊社調査によると、企業はデジタルツインのさまざまなユースケース全体で平均13%のコスト削減と15%の運用効率向上を実現しています(図3を参照)。

コスト削減、次いで僅差で技術の進歩が、デジタルツインへの投資の最大の動機となっており、企業の79%がコスト削減を、77%が技術の進歩を動機として挙げています。イタリアのスポーツカーメーカー、MaseratiのGhibliモデルの製作では、この車両のデジタルツインが継続的な最適化に関する情報を開発者に提供するのに役立ち、開発に必要なコストと時間を30%削減することができました⁶。インフラの管理と再生可能エネルギーに取り組んでいるスペインのコングロマリット、Accionaは、中東の淡水化プラントの水処理を改善するためにデジタルツインを開発しています。デジタルツインでは、プロセスコントロールシステムを導入する前にその運用データをテスト

することができます。そのためプロセス検証が容易になり、システム運用の最適化が可能になります⁷。

IIT Kharagpur、機械工学教授兼Advanced Manufacturing Technology CoEのヘッド、Surjya Kanta Pal氏はデジタルツインの重要性を明確に説明し、次のように述べています。デジタルツインでは、システムを完全にリアルタイムで可視化できます。障害を識別し、可用性と残存耐用寿命を予測できるため、システムおよび設備の信頼性が大きく向上します。これにより、システムのパフォーマンス向上、ダウンタイムの低減が可能になり、結果的に生産率の向上とコスト削減を実現できます。

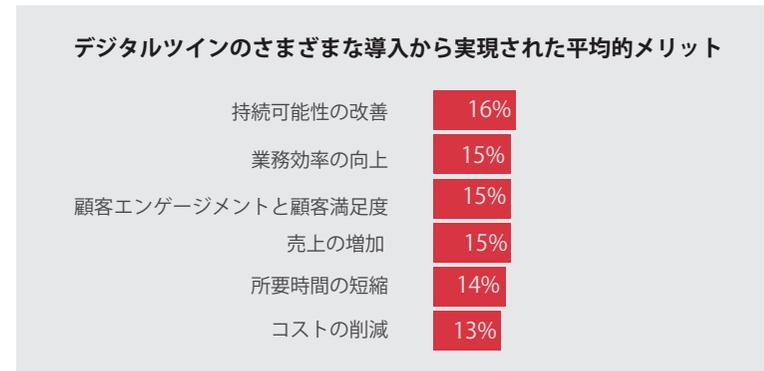
デジタルツインによって市場投入までの期間を大幅に短縮することもできます。これはデジタルツインを採用する3番目に大きな動機として挙げられており、73%に達しています。Airbusはデジタルツインを使用することで、Airbus A330のケーブルハーネスの組み立てに必要なプロセスをそれまでの5分の1の時間で実行できるようになりました⁸。これを達成したのは、デジタルツインが製造指示書を自動的に生成するための基となるデータを提供し、オペレーターがタブレットと拡張現実(AR)メガネを使用して、デバイスの指示書に従って製品を組み立てることができたためです。デジタルツインはまた、テスト、製造前のエラーチェック、設計やサービスの改善を仮想的に行えるため、開発時間がさらに短縮します⁹。

デジタルツインの導入が促進するもう1つの重要な動機は、運用効率の向上です。工業用アルミニウム製造企業のエグゼクティブは、次のような意見を述べています。

「弊社では、新しいデジタルツインの導入を2つの基本的なKPIと比較します。1つ目は、たとえば品質向上を通じて返品率を下げるなど、お客様のお役に立てられるかどうかです。そして2つ目は、計画外のダウンタイムの削減など、運用上の卓越性をもたらすかどうかです。この2つの重点分野は、使用資本の利益率を高めるのに役立ちます。」

図3

企業はデジタルツインを導入して多数のメリットを実感している



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月~10月、N=デジタルツインプログラムを運用中の企業800社。さまざまなユースケースでの平均的なメリット。

「デジタルツインでは、システムをリアルタイムで完全に可視化できます。障害を識別し、可用性と残存耐用寿命を予測できるため、システムおよび設備の信頼性が大きく向上します。」



Surjya Kanta Pal氏

IIT Kharagpur, 機械工学教授兼Advanced Manufacturing Technology CoEのヘッド

デジタルツインは新しいビジネスモデルを可能にする

図2に示すように、新しいビジネスモデルの導入も、デジタルツインに投資する主要な動機となっています。デジタルツインを通じて新しいビジネスモデルを推進する、業界の垣根を超えた関係の例として、カナダの採掘スタートアップであるThe Metals Company(TMC)は、スイスの建設エンジニアリング会社Allseasと協力して、深海団塊回収システムを開発し、責任を持って海底からポリメタル団塊¹⁰を回収し、陸上処理プラントに移送しています¹¹。このインドシアチブのテストに先立ち、TMCとノルウェーを拠点とするKongsberg Digitalは共同でデジタルツインを作成し、さまざまな利害関係者がレビューできるように動的なダッシュボードで深海でのオペレーションの3D視覚化を可能にしています。ポリメタル団塊は深さ最大4kmの真っ暗な海底にありますが、デジタルツインのおかげで、TMCは実験室条件下の見通しの利く中でポリメタル団塊を回収することができます。このプロジェクトは、「深海のポリメタル団塊回収のための世界初となる運用および環境産業の作業面」になることが期待されています¹²。

デジタルツインによって企業はビジネスモデルを再構築することもできます。企業は高度なデジタルツインを通じて「サービスとしてのプラットフォーム」(PaaS)モデルを利用できるため、新しいやり方で顧客に価値を提供できます。たとえば、ドイツを拠点として圧縮空気を専門に扱っているKaeser Kompressorenは、シミュレーションベースのデジタルツインシステムを使用して、販売プロセスをデジタル化できるようにしています¹³。「構成、価格設定、見積もり」システムの効率を高めるために、同社は、顧客が希望する構成を技術的に検証するための「サービスとしてのシミュレーション」(SimaaS)を導入しました。顧客は、製品構成を確認できる利便性や購入体験の確実性の大幅な向上という恩恵を得られる一方で、Kaeserは、デジタルツインの導入により販売コストを削減しています。



デジタルツインはいかにして 物理世界と仮想世界を橋渡しするのか

アールト大学工学部准教授のKari Tammi氏は、次のように述べています。「デジタルツインは、接続されたインテリジェントなシステムに不足しているビジネスユースケースを補うことができます。接続されたシステムから収集したデータの力を利用して、生産能力を調整し、生産を最適化し、現実世界で製品の製造効率を上げることができます。」

物理システムの仮想レプリカであるデジタルツインは、「現実世界とデジタル世界のギャップ」を埋め、安全で低コストのシステム改善を可能にする信頼できるツールです。

デジタルツインは、コラボレーションのための単一の場所を提供します。また、デジタルツインは物理システムの変更可能な仮想レプリカであるため、システムのライフサイクルに沿ってエコシステム全体で継続的に監視および最適化できます。この状況では、「システム」は、製品とそれに関連するサービス、生産ライン、インフラストラクチャ、物流ネットワーク、さらにはシステムオブシステムズのことを指す場合があります。

デジタルツインは、物理世界がデジタル世界と交わるプラットフォームを提供します。次の3つの主要なチャネルによって、物理世界と仮想世界の橋渡しが可能になります。

+

デジタル内部はソフトウェア、接続性、セキュリティなど、分散型アーキテクチャとインテリジェンスを最大限に活用する、テクノロジーによる垂直統合です。

+

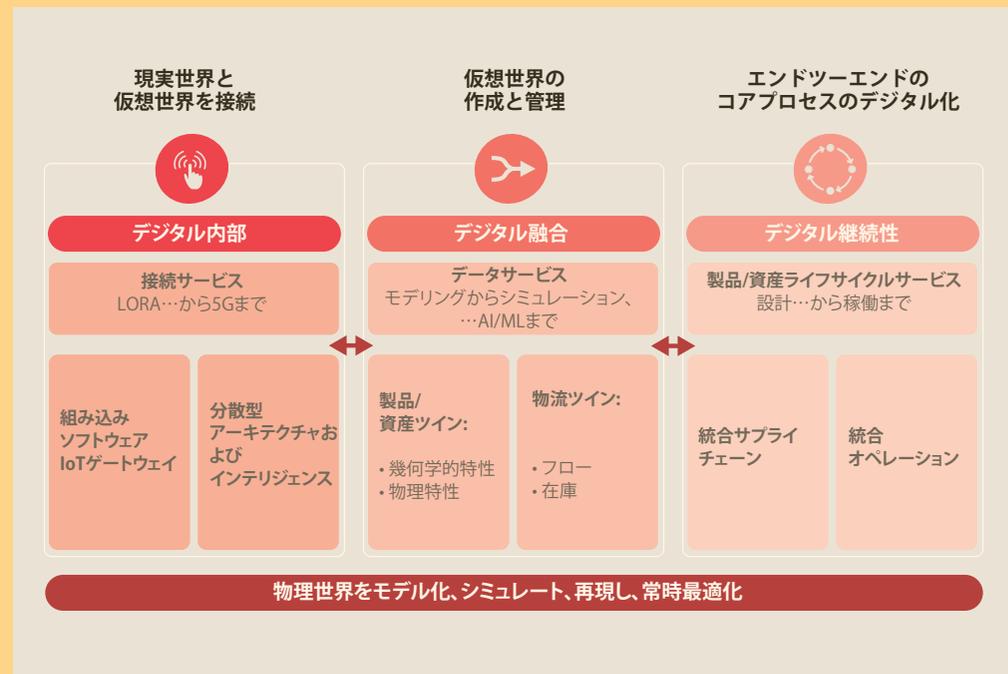
デジタル継続性は、製品/資産のライフサイクル管理、サプライチェーン管理、資産またはアフターセールス管理などのエンドツーエンドのプロセスをサポートする、成熟を続けるクラウド対応プラットフォームの力を利用するプロセスの水平統合です。

+

デジタル融合は、システムモデリング、シミュレーション、監視、分析を、これまで以上に強力なシステムに統合することです。

図4

デジタルツインが物理世界と仮想世界をつなぐ



出典: キャップジェミニ。

オープンなエコシステムとイノベーションの組み合わせ¹⁴により、企業は分散型アーキテクチャとインテリジェンスを最大限に活用して、サービス化戦略を推進できます。また、ハードウェアの寿命を延ばし、エッジコンピューティング(データを可能な限りソースに近づけて処理する)を促進し、持続可能性を向上させるのにも役立ちます。

デジタル継続性は、サプライチェーンの拡大を実現し、企業内と企業間のシームレスなコラボレーションを通じて運用モデルを最適化すると同時に、リソースの生産性を向上させます。また、希少資源のリサイクルや輸送などの運用資源の共有、積載率の最適化も可能になります。

一方、デジタル融合は、エンドツーエンドのモビリティ、サプライチェーンの統合、循環型経済など、新しい持続可能なビジネスモデルと運用モデルの開発を可能にします。これは、バリューチェーン全体に渡って既存の能力を最適化しながら、システムを中心に業界をまたがるオープンなエコシステムを強化することによって可能になります。



出典: キャップジェミニ。

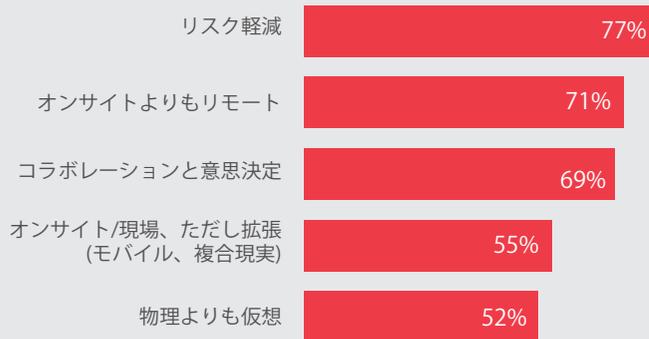
デジタルツインは、安全性を向上させ、共同での作業を可能にし、トレーニングを補完することで、従業員のエクスペリエンスを強化する

調査対象企業のおよそ5分の4が、デジタルツインテクノロジーが影響を及ぼす主な要素はリスク軽減であると述べています(図6を参照)。企業はデジタルツインによってサプライチェーンのリスクを軽減するだけでなく、従業員の健康と安全に対するリスクも軽減できます。

図6

デジタルツインはデジタル化された柔軟な働き方を実現

次のうちの働き方にデジタルツインが影響するか



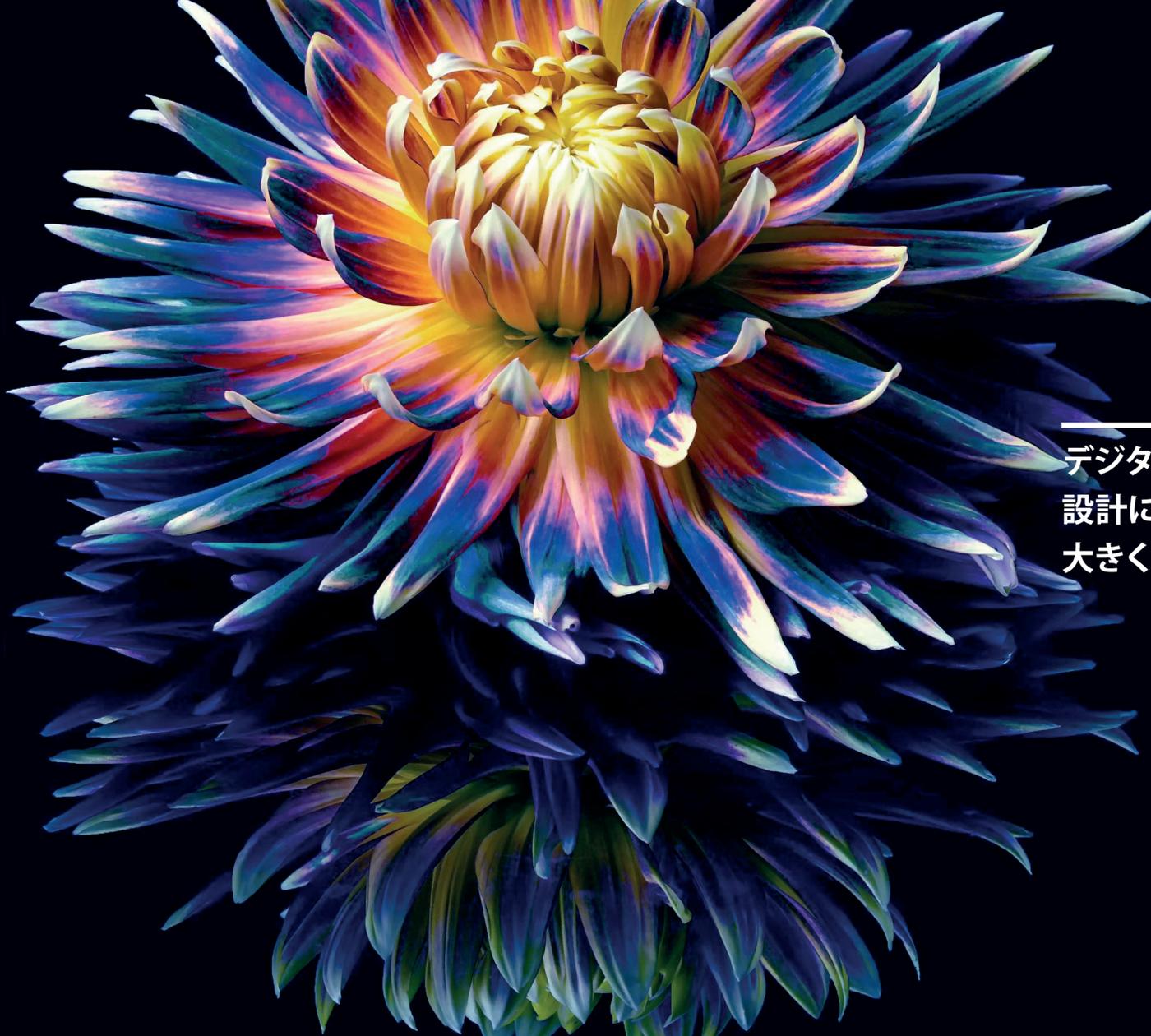
出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、N=1,000企業。

デジタルツインでは、遠隔操作に対応し、身体的に危険な作業環境に人が直接関与する必要性をなくすことで、従業員の安全性を高めることができます。調査対象企業の64%が、従業員の安全性の向上を、デジタルツインへの投資の動機として挙げています。国際的なエネルギー企業であるEquinorは、デジタルツインEchoを使用して、ヨハン・スベルドラップ油田のオフショア工数を最大50%削減し、従業員がさらされるリスクを大幅に軽減することができました¹⁵。ある多国籍エネルギー企業のエグゼクティブはこう述べています。「エネルギー業界はデジタルツインの採用が最も進んでいる業界の1つです。この業界は危険に直面することもあるからです。人が介在し、身体的な事故のリスクが高いプラットフォームがある場合は、そのプラットフォーム上でのプロセスを第一に自動化すべきです。それだけでなく、リスク変数もコントロールする必要があります。私たちにとっては、それがデジタルツインの最強の導入の1つです。」

デジタルツインによってリモートでのアクセスやコラボレーションが可能になり、チームは柔軟に作業できるようになります。Nissan Motor Corp. General ManagerのShawn Sehy氏がデジタルツイン

のメリットについてこう語っています。設計とエンジニアリングは、デジタルツイン導入の観点では非常に成熟した領域であり、パナソニックがそれを大きく促進させました。設計者は互いに物理的に会うことはできませんでしたが、自宅にしながらOculusメガネ(仮想現実ヘッドセット)を装着して他のエグゼクティブと一緒にデジタル空間に入り、自動車全体を調べることができました。設計やエンジニアリングに取り組むために出張したり従業員を1つの部屋に集めたりする必要がなくなります。」

Royal Dutch Shellは、シンガポールのPulau Bukom製造所のデジタルツインを構築しています。2024年の計画完了時には、生産性、信頼性、安全性のレベルが約25%向上すると同社は予想しています。同社はこのプロジェクトを「働き方を変革する」ための手段と呼んでいます。XR(AR、仮想現実(VR)、複合現実(MR))と、接続されたタブレットにより、リアルタイムのコラボレーションが可能になります。Projects and Engineering ManagerのNarayanan Valyaputhur氏は、次のように述べています。「デジタルツインに支えられたShell Bukomのデジタル化計画は、プラントの大改革を引き起こしています。デジタルツインによって仮想プラントを構築し、現場のスタッフにタブレットを持たせることで、従業員が複雑なデータをいつでも利用できる、リモートワークの新しい文化を生み出しています。デジタル資産を築くだけでなく、新しいデジタル文化も創造しているため、今はエキサイティングな時期です。データが活発に行き交う製造工場働きながら、データサイエンティストやソフトウェアエンジニアになることに興味を持ち続けるようスタッフに伝えています。」¹⁶



デジタルツインシステムは、
設計による効率化の概念を実現に
大きく近づけました。

デジタルツインに対応するXRIは、別の重要な分野である産業トレーニングに役立つことが証明されています。デジタルツインから得られる正確で忠実度の高い詳細なデータを備えたXRツールは、従業員が直面し得るシナリオを正確に再現し、安全な環境で「実践して学習」するのに役立ちます。HoneywellのImmersive Field Simulatorは、物理的な工場のデジタルツインを組み込んだVRおよび複合現実ベースのトレーニングツールであり、この概念を使用して、対象を絞ったスキルベースのトレーニングをオンデマンドで従業員に提供します¹⁷。

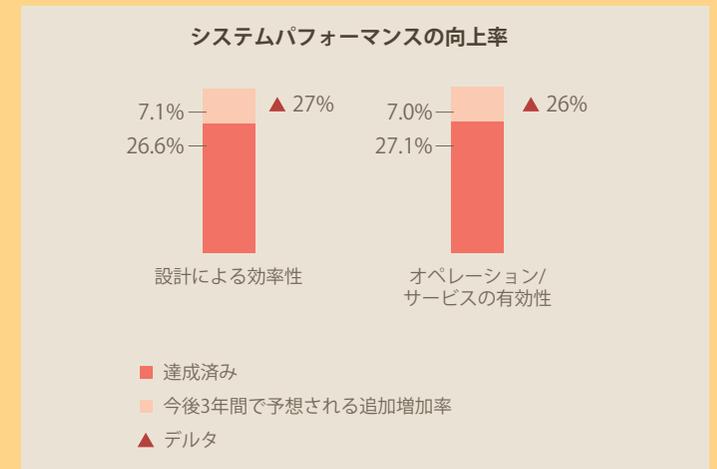
企業はシステムパフォーマンスをさらに25%向上することを目指している

設計による効率化と、運用とサービスの有効性の向上によって、企業はシステムのパフォーマンスをさらに25%以上向上し、全体的な向上率を30%超までにしたいと考えています。

デジタルツインシステムは、設計による効率化の概念を実現に大きく近づけました。デジタルツインテクノロジーにより、事実上、デジタルの設計段階で運用効率を十分にテストできるようになり、プロトタイプレビューや手直しの必要性が減って、時間とコストを節約できます。新しい製品やシステムの物理バージョンを作成する前に仮想シミュレーションを生成することで、「初回で成功する」可能性が生まれます。弊社調査によれば、企業の67%は、シミュレーションがデジタルツインによって提供される影響力のあるデータサービスであり、使用に値すると考えています。

図7

企業は効率、設計、運用有効性を等しく原動力として全体的パフォーマンスの25%向上を望む



「デルタ」は、「これまでに達成」されたものと、今後3年間に予想される全体的な増加分の差を表します。
出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、N=1,000企業。

システムパフォーマンスを改善する取り組みに向けて、企業は今後3年間で平均約2億ドルを投資する予定です。投資予定の規模は企業の規模に正比例し、収益が500億ドルを超えるエンタープライズレベルの企業は、この投資用に平均で3億ドル以上を確保しています。

図8

企業は3年に渡って平均\$2億近くを投資予定



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、
2021年9月～10月、N=1,000企業。

デジタルツインが持続可能な未来を実現する

デジタルツインにより、企業は既に行われた意思決定がもたらす影響を把握・数値化して、さまざまなシナリオの比較を行い、各種意思決定の結果予測に役立てることができます。このように、デジタルツインは無駄を減らし、効率を高め、介入を提案し、場合によっては変更の自動化に役立つため、デジタル化が進むにつれて企業や社会はより持続可能になることができます。

また、収益性の高い成長と持続可能性は今まで、ほとんどが収束的ではなく、個別の課題ごとに並列的に管理されてきました。しかし、デジタルツインはデータやコラボレーションなどの無形資産に支えられているため、バリュー

チェーンを通してリソースの使用を限定しながら、収益性を向上させるまたとない機会をもたらします。これは、物理の前に仮想で確認できる、現場の前にもリモートで確認できる、現場であっても拡張可能、クローズドフィードバックループを実現するというデジタルツインの能力によって可能になります。

環境的、社会的、経済的に、より持続可能な未来を確保するためにさまざまな業界で導入できるデジタルツインの使用例を図9に示します。



デジタルツインは収益性の高い成長と
持続可能性を両立させるまたとない
機会をもたらします。

01

エネルギーおよび公共事業

デジタルツインによってリモート操作が可能となり、陸上の危険な現場に人材を配置する必要性が低減されるため、従業員の安全性が向上します。

02

自動車

デジタルツインは設計およびテストのプロセスを支援できます。また、モデリングを可能にし、最初に作成した物理バージョンが適切であることを確認できるため、無駄を削減できます。

03

航空

電気推進システムからのデータを利用して、新しい航空機の設計段階で使用されるデジタルツインは、稼働中のパフォーマンスと耐用期間全体に渡る堅牢性を最適化できます。

04

製造

デジタルツインは「最善の方法」のモデルを作成して与えられた環境でプロセスを実行します。その結果、製品の無駄を削減できます。

デジタルツインが持続可能な未来を実現する

デジタルツインは、環境の持続可能性(設計による効率化と運用効率による)と社会的な持続可能性(医薬品開発、個別化医療による)の両方の発展に貢献します。

図9

デジタルツインはあらゆる業界で持続可能性イニシアチブの推進に貢献

05

スマートシティ

さまざまな用途の中で、デジタルツインは交通管理によって排出量を削減し、病気のホットスポットを識別することによって街を安全にし、エネルギー効率を監視することができます。

06

建築

センサーから受信するリアルタイムのデータと情報を統合することにより、デジタルツインはエネルギーが無駄遣いされているエリアを特定できます。

07

ヘルスケア

デジタルツインは、人体を正確にシミュレートすることにより、幅広い研究と治療法の迅速な開発をサポートします。

08

地球

大気、海洋、人間のシステムをシミュレートすることにより、地球が気候変動に立ち向かうためのデジタルツインを作成する作業が進行中です。

出典: キャップジェミニ

図10

調査対象企業の半数超が持続可能性向上のために
デジタルツインに依存

メリットは、プロセスの効率化による排出や廃棄物の削減から、新しい持続可能な素材の可能性をテストする能力にまで及ぶ

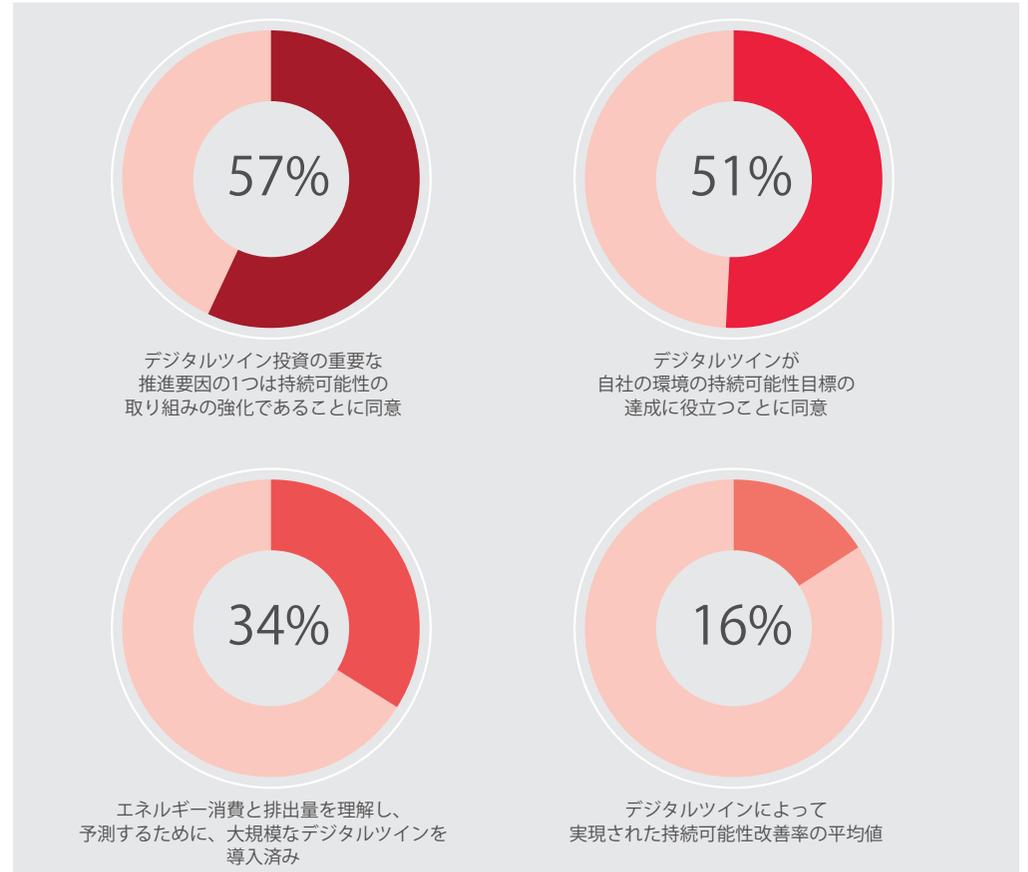
企業は持続可能性への取り組みを推進するためにデジタルツインがもたらすことができるメリットをおおむね確信しています。調査対象のデジタルツイン導入企業の51%は、デジタルツインが企業の環境持続可能性に対する目標の達成に役立つことに同意しています。また、57%は、持続可能性への取り組みを強化できることが、デジタルツインへの投資の主要な動機の一つだと述べています。

多くの企業は、このテクノロジーを使用して持続可能性の課題を進展させる取り組みに既に投資しており、34%がデジタルツインを大規模に導入して、エネルギー消費と排出量の把握と予測を行っています。消費財業界とエネルギーおよび公益事業業界は、このユースケースの導入でリードしており、これらの業界の調査対象企業のうち消費財の52%、エネルギーおよび公益事業の50%が持続可能性のためにデジタルツインを利用しています。

企業はさまざまなユースケースにデジタルツインを導入することで、その初期段階であっても持続可能性の測定基準が平均で16%向上し始めています。さらに複雑なデジタルツインの利用が増えるにつれて、この割合は増加すると予想されます。

57%以上

持続可能性への取り組みを改善できることが、
デジタルツインへの投資の主要な動機の一つだと述べている



出典:
キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、N=デジタルツインプログラムを運用中の800企業。



多くの企業が、デジタルツインがもたらす持続可能な強みから既に恩恵を受け始めているのです。

都市計画: Virtual Singaporeというシンガポールのデジタルツインは、全国の光と温度の変化を評価してソーラーパネル建設に最適な場所を特定するために使用されています。「このように、モデリングとシミュレーションは、土地が少なく建物が密集しているシンガポールで、太陽から利用できるクリーンエネルギーの量を最適化するのに役立っています」、シンガポール首相府副次官(スマートネーション/デジタルガバメント)、Tan Kok Yam氏はそう述べています¹⁸。

インフラストラクチャ: デジタルツインは、商業ビルの所有者が二酸化炭素排出量を大幅に削減するのに役立ちます。また、NTUの例にもあるように、効率を大幅に改善し、運用コストを削減することもできます。デジタルツインの持つ予測的な性質は、新素材の適合性テストにも利用できます。建設会社のLendleaseは最近、オーストラリアのメルボルンで、持続可能な木材を使用して実際に高層ビルを建設できるかどうかをテストし判断するためにデジタルツインを構築しました¹⁹。この木材はこれまでも建設に使われていましたが、高層ビル(この場合は29階建てのマンション)では試されていませんでした。

Siemensは、人口約20万人のドイツの都市と合同で行ったプロジェクトの一環として、デジタルツインを使用して都市のエネルギー需要とインフラストラクチャをモデル化し、2035年までに二酸化炭素排出量を70%削

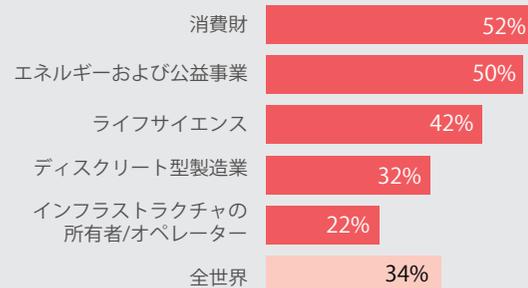
減することが間違いなく実現可能な目標であることを見出しました²⁰。

エネルギーおよび公共事業: Neptune Energyは北海、北アフリカ、アジア太平洋地域に重点を置く国際的な石油およびガスの探査・生産会社です。同社が運営するプラットフォームの5つのデジタルツインを開発したことで、エンジニアと整合性の専門家がオンショアからおよそ4,100時間の作業を実行できるようになり、オフショア移動に伴う効率が向上し、二酸化炭素排出量が削減できると同社は予想しています。最近、さらに2つの新しいプラットフォームのデジタルツインが開発されました。このデジタルツインは、オランダの産業部門が目標としている二酸化炭素量の50%超を貯留できる地域での同社の大規模な二酸化炭素回収・貯留(CCS)プロジェクトの設計をサポートしていきます²¹。

図11

消費財産業とエネルギーおよび公益事業産業がエネルギー消費と排出量を理解および予測する目的での導入をリード

排出量予測のためにデジタルツインを使用している企業の割合(部門別)



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月~10月、N=デジタルツインプログラムを運用中の800企業。

航空: Rolls-Royceはデジタルツイン対応プラットフォームによって、一部の航空機エンジンのメンテナンス間隔を最大50%延長することができ、部品やスベアパーツの在庫を大幅に削減できました。おそらくより重要なのは、このプラットフォームによってエンジンの効率が大幅に向上したことです。「2014年以来、弊社は顧客である航空会社1社が8,500万キログラムの燃料消費と2億キログラムを超える二酸化炭素排出を回避できるように支援してきました」、Rolls-RoyceのChief Information and Digital Officer、Stuart Hughes氏はそう述べています²²。

自動車: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュートがRenaultのCIOであるFrederic Vincent氏とディスカッションを行った際に²³、Frederic Vincent氏は、自動車衝突安全性テストの効率を高めることができたと言いました。「以前は自動車を壁に何度もぶつけて」実施していたテストを、クラウドで自動車のデジタルツインを使用して衝突をシミュレートし、必要なパラメータを更新、アップグレード、変更できるようになったためです。

ヘルスケア: 持続可能性の社会的側面については、GSKとSiemensが、ワクチンの開発期間を短縮して最適な品質でより早く人々に届くように、共同でワクチン開発と製造プロセスのデジタル化に取り組んでいます²⁴。

ライフサイエンス分野では、医療機器の製造だけでなく、医薬品開発や個別化医療にもデジタルツインが利用されています。Siemens HealthineersのSenior Vice President、Gerd Hoefner氏は次のようにコメントしています。「[デジタルツインは]診断だけでなく、治療の安全性のテストにも使えます。たとえば、デジタルツインの心臓で、ある心臓薬の有効性を評価できます。デジタルツインを使用して、心臓のカテーテル治療や心臓手術を事前にデジタルでシミュレートし、実際に成功の可能性があるかどうかを判断することもできます。」²⁵

リビングハートプロジェクトという別の取り組みでは、非常に高い精度でパーソナライズされた人間の心臓のデジタルモデルを開発し検証することを目指しています。これらのモデルによって心血管インシリコ医療の統一基盤が確立し、教育、訓練、医療機器設計、試験、臨床診断、規制科学の共通の技術ベースとして機能し、現在および将来の最先端の技術革新を患者ケアの向上に直接かつ迅速に転換するための効果的な道が切り開かれるでしょう²⁶。

消費財: Kimberly-ClarkのIT Global Digital Supply Chain担当Vice President、Kim Kirkconnell氏は、持続可能性への取り組みについて次のように述べています。「弊社はさまざまな分野でテクノロジーとイノベーションを利用しています。たとえば、北米では、Huggiesブランドが植物由来の成分で作られたおむつを発表しました。弊社は既にセンサー分析を使用しており、エネルギーと水の消費量を追跡してフットプリントを監視しています。今後は、製品の持続可能性を向上させるデジタルツインテクノロジーを利用する機会について検討していきます。」²⁷

さらに例を挙げると、Unileverはブラジルの施設でデジタルツインを利用して、生産の効率向上を実現しています。同社はデジタルツインを使用して、石けんを棒状にカットする前に押し出す温度などの製造パラメーターを設定しました。このプロジェクトでは、エネルギー使用量を低減し、生産性を1~3%向上させて、280万ドルを節約しました²⁸。

組織はデジタルツインのデプロイメントを大幅に増加させる見込み

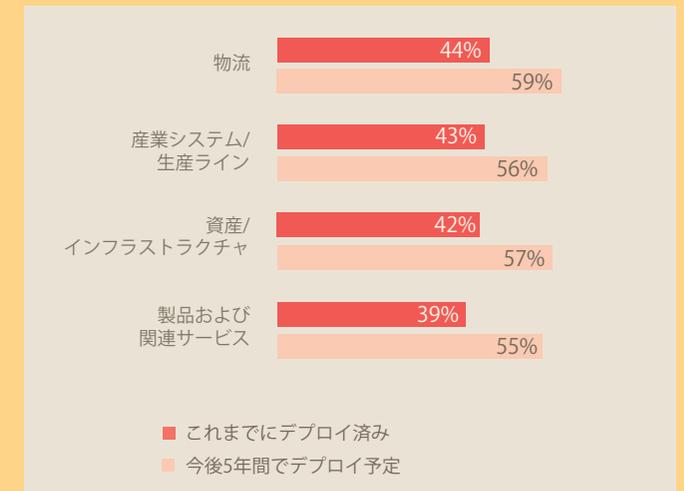
デジタルツインの導入は今後5年間で平均して36%増加すると見込まれる

企業は近いうちにデジタルツインのデプロイメントを増やすことを目指しています。デジタルツインを導入している企業内の100の物理システムのうち、平均して42のシステムが既にデジタルツインを使用しています。今後5年間でこの数は57に増え、およそ36%の成長率になると予想されています。弊社の調査では既にデジタルツインプログラムを実施している企業の対象サンプルを使用しているため、基本数は市場における導入絶対数よりも多くなります。

デジタルツインのデプロイメントは、グリーンフィールド、ブラウンフィールド、および2つの混合の間でかなり均衡が保たれており、約30%の企業がそれぞれを自社にとって好ましい手段として示しています。エネルギーおよび公益事業業界は、すべての業界のうちブラウンフィールドのデプロイメントの割合が最も高く、この業界内の40%の導入企業がデジタルツインデプロイメントをブラウンフィールドとして分類し、33%がグリーンフィールドとブラウンフィールドの混合を採用しています。

図12

既にデジタルツインに取り組んでいる企業は、デプロイメントを拡大予定



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月~10月、N=デジタルツインプログラムを運用中の800企業。

「今後は、製品の持続可能性を向上させる
デジタルツインテクノロジーを利用する
機会について検討していきます。」



Kim Kirkconnell氏

Kimberly-Clark, IT Global Digital Supply Chain担当
Vice President

03

デジタルツインは バリューチェーン全体に渡って 価値を付加

最もシンプルな形式のデジタルツインは、ロボットアームなどの単一コンポーネントまたは機器の単一ユニットの仮想ツインです。これはユニットレベルのデジタルツインとなります。このようなシンプルなツインを設計して結び付けていくと、システムレベルのデジタルツインを構築できます。そうすることで個々のツインが実現する効率性のメリットが増大します。たとえば、生産ラインのデジタルツインであるシステムレベルのツインは、複数のマシンのデジタルツインを結び付けることで生み出されます。これをさらに拡張して、複数の生産ライン/工場と一緒に結び付けることで、工場またはネットワークのデジタルツインを生み出すことができます(システムオブシステムズのデジタルツイン)。

デジタルツインがシミュレートに使用されているものを調べると、大まかに製品、資産、またはネットワークツインに分類できます。実際には、製品やシステムで複数のデジタルツインを作成できる場合があります。たとえば、設計を扱うツイン1つ、生産を扱うツイン1つ、保守部分を扱うツイン1つという具合です。製品、資産、物流ネットワークのツインのどれを検討しているかによって、価値が派生または付加される方法は異なります。デジタルツインはユースケースに基づいて大まかに次のカテゴリーに分類できます。

製品ツインは市場投入までの時間の短縮とシステムオペレーションの向上を実現

+

新製品: 新製品の設計と開発時に、デジタルツインを使用して製品設計を改善し、市場投入までの時間を短縮し、さらにはエンジニアリングと製造の継続性を維持することができます。

+

産業システム: 産業システムのデジタルツインにより、製品、プロセス、リソースの統合が可能になり、その結果、システムの出力が向上し、スケーラビリティがもたらされます。

自動車業界は10年以上にわたり、設計部門(組立ラインの設計など)とエンジニアリング部門でデジタルツインを(必ずしもその名前ではありませんが)利用してきました。年を追うごとにデジタルツインの応用範囲は拡大し、現在では、自動車メーカーがエンドツーエンドのデジタル継続性を達成するのにデジタルツインが役立ち、それによって顧客に付加価値を提供しています。たとえば、Teslaはデジタルツインを利用してカスタマーエクスペリエンスを向上させています。同社は販売するすべての車のデジタルツインを作成します。センサーからのデータは各車のシミュレーションに取り込まれ、TeslaはAIを使用して、車にメンテナンスが必要かどうか、あるいは車が意図したおりに機能しているかどうかを判断できます。さらに、Teslaは無線アップデートを通じて自動車のソフトウェアをアップデートすることもできます²⁹。

図13

製品デジタルツインによって解決される問題と付加される価値



(1) 連続プロセスの製造には専用の設計およびシミュレーションツールが必要です。

(2) CAD/CAM: コンピューター支援設計(Computer Aided Design)/コンピューター支援製造(Computer Aided Manufacturing)、DMU - デジタルモックアップ(Digital MockUp)、EDA - 電子設計自動化(Electronic Design Automation)

出典: キャップジェミニの分析。

Teslaのこれまでのユースケースをさらに拡張し、デジタルツインを使用して、ジェネレーティブデザインを通じて将来の製品の設計を最適化することも可能です。既に市場に出ている製品から得たデータに基づいて、デジタルツインをジェネレーティブデザインと組み合わせることで繰り返し使用し、製品デザインを修正したり、実際の条件下で耐用期間のパフォーマンスをシミュレートしたりすることができます³⁰。

インドのコングロマリットのエネルギーおよび公益事業に携わるエグゼクティブは、予測可能性のメリットについて次のように述べています。「電力業界では、基本的に、送電網に供給する電力の量と周波数、それができない場合の[バックアップ]計画を提出する必要があります。デジタルツインを使用することで、発電スケジュールの予測可能性が

向上し、逸脱や変動の可能性を最小限に抑えられるようになったため、業界特有の厳しい規制や金銭的な罰則を回避できます。」

図13は製品ツインの主な特徴、ツインが解決できるビジネス上の問題、および付加される価値を示しています。

物流ツインは最適化に加えてシミュレーションによってアジリティとレジリエンスを提供

+

ネットワーク: デジタルツインは需要と供給のネットワークのシミュレーションを行い、組織がパフォーマンス、レジリエンス、持続可能性を改善して、顧客中心性を強化できるようにします。

+

倉庫/配送センター: デジタルツインにより、倉庫または配送センターの環境で効果的なプロセスリソースの統合が可能になります。

Philip Morris International (PMI)は、グローバルな製造フットプリントのデジタルツインを作成しました。これにより、同社は製品ポートフォリオ、市場規制の変更、さらにはビジネスの中断が及ぼす影響を評価することができます。このソリューションにより、PMIは製造コスト、輸出入関税、ネットワーク全体の輸送コストを考慮した、将来を見据えた最適化シナリオを実行できます。その結果、同社はスプレッドシートシミュレーションの使用を90%削減し、シナリオ評価に必要な時間を数週間から数時間に短縮することができました³¹。



出典: キャップジェミニの分析。

図14

物流デジタルツインによって解決される問題と付加される価値

資産ツインは寿命を延長し、総所有コストを改善 +

既存の資産/インフラストラクチャ:

デジタルツインは信頼できる唯一の情報源とデータ層を提供することで、既存のインフラストラクチャまたは資産の総所有コスト(TCO)を削減し、チームがシームレスにコラボレーションできるようにします。

+

新しい資産の生成: 新しい資産について、デジタルツインは運用時間を短縮し、TCOも最適化します。

BMW Groupは、工場全体のデジタルツインを設計すると発表しました。同社はこのデジタルツインを使用して、既存の31の物理サイトのオペレーションをシミュレートできます。BMW AGのMember of the Board of ManagementであるMilan Nedeljkovic氏は次のように述べています。「従業員、ロボット、建物、組み立て部品を含む工場モデル全体のすべての要素をシミュレートして、仮想工場計画、自律型ロボット、予知保全、ビッグデータ分析など、AI対応のさまざまなユースケースに対応でき

ます。このアプローチにより、計画策定プロセスの効率が30%向上すると予想されます³²。

オーストラリアのソフトウェア会社であるNearaは、公益事業企業が資産(電力線など)を設計、シミュレーション、管理できるように支援しています。創設者兼CEOのDaniel Danilatos氏は次のように述べています。「以前は、電柱を調べてその動作を把握し、交換が必要かどうかを正確に判断するには多大な労力が必要でした。何百という資産全体[この場合は電柱]に正確な判断を下したいとき、すぐにはできませんでした。[弊社のソフトウェアは]深い理解と、タスクのスケラビリティとの間のトレードオフを緩和します³³。

図15

資産デジタルツインによって解決される問題と付加される価値



出典: キャップジェミニの分析。

デジタルツインシステムはライフサイクル全体を通してエコシステム全域でデータ主導の意思決定を可能にする

デジタルツインにより、チームはさまざまな種類のデータサービスでコラボレーションできます。デジタルツインテクノロジーの最大の影響は、必要なデータに迅速にアクセスできるようにする能力にあると、調査対象企業の71%が述べています。データの量と複雑さは日を追って急激に増大しており、デジタルツインは、設計者、エンジニア、アナリストがこのようなデータを直感的に把握し、貴重なインサイトを得るのに役立ちます。世界的エネルギー企業のエグゼクティブはこう述べています。

「デジタルツインがエネルギー企業のような大規模な(世界中に資産の大きなポートフォリオを持っている)企業に役立つ重要な点は、データの標準化です。デジタルツインは情報を一元管理

し、データの保存や読み取る方法に関して共通の基準を推進するのに役立ちます。データ管理を支援する他に、組織内の部門の垣根を取り払い、より統合された働き方を実現するのにも役立ちます。」

2番目に評価の高いユースケースは予測能力であり、調査対象の69%がこれを最も影響力のあるサービスとして評価しています。図16に示すように、デジタルツインはシミュレーションを可能にし、設計と開発に情報をフィードバックすることができます。

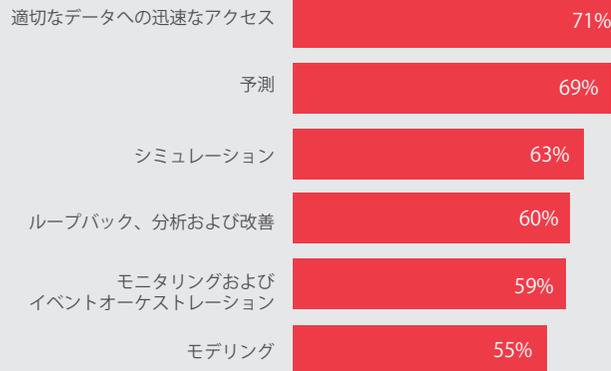
69%以上

デジタルツインが提供する最も影響力のあるデータサービスとして「予測」と回答

図16

デジタルツインによりリアルタイムでデータからインサイトを引き出せる

デジタルツインによって提供される最も影響の大きいデータサービス



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月~10月、N=デジタルツインプログラムを運用中の800企業。

デジタルツイン

製品やシステムで複数のデジタルツインを作成できる場合があります。たとえば、設計を扱うツイン1つ、生産を扱うツイン1つ、保守部分を扱うツイン1つという具合です。

デジタルツインデプロイメント 成功への道筋は平坦ではない

企業はデジタルツインのメリットや有用性を認識していますが、デプロイメントを成功させるには数々の課題があります。弊社は、デジタルツインのデプロイメントを遅らせている次の4つの主要な課題領域を特定しました。

I:強いビジョン、管理サポート、バランスの取れたガバナンスの欠如を克服

管理サポートの欠如と運用上の問題が連動して、デジタルツインのデプロイメントが失敗する原因となる場合があります。

- 55%の企業がデジタルツインをデジタルトランスフォーメーションの戦略的部分と考えているにもかかわらず、その半数近く(42%)は、デプロイ方法に関する明確なビジョンが欠如しています。
- 59%の企業がデジタルツインシステム開発の長期(5年以上)ロードマップを作成済みと主張していま

すが、そのおよそ半数(43%)がデジタルツインイニシアチブに対する経営陣のコミットメントの欠如を報告しており、49%がこのコンセプトへの投資不足という課題に直面しています。

- 56%の企業がシステムやプロセスをまたがったデジタル継続性の欠如に対応しており、55%が部門間のコラボレーション不足を報告しています。
- 報告されている強力なガバナンスの欠如は、プログラム管理の効率低下にもつながります。調査対象の3分の1の企業において、デジタルツインガバナンスはまだ正式化されていないか、完全に欠如しています。



II:中核的なビジネススキルとコラボレーションスキルの開発

さらに、デジタルツインの導入には特定のスキルセットが必要であり、その欠如が多くの企業にとっての課題となっています。図17は、デジタルツインの導入と保守に必要な中核となるビジネススキルを示しています。また、部門間のコラボレーションも重要なスキルです(回答企業の58%がそう挙げていますが、従業員内でこのスキルセットを利用できると答えたのは50%に留まりました)。

III:セキュアなエンドツーエンドのアーキテクチャのデプロイメントと統合

また、多数の技術的課題により、企業は特定の状況でデジタルツインの可能性を十分に発揮することができていません。デジタルツインはレガシーシステムを含む多くのシステムと「対話」する必要があるため、API統合、接続、その他の手段でデータを収集する必要があります。不十分な内部デジタルインフラストラクチャがデジタルツインの進行をさらに妨げています。企業の67%が、クラウドのデプロイメントとAPI統合が企業にとって大きな課題となっていると述べています。

IV:エコシステムのエンパワーメントは依然として重要な課題

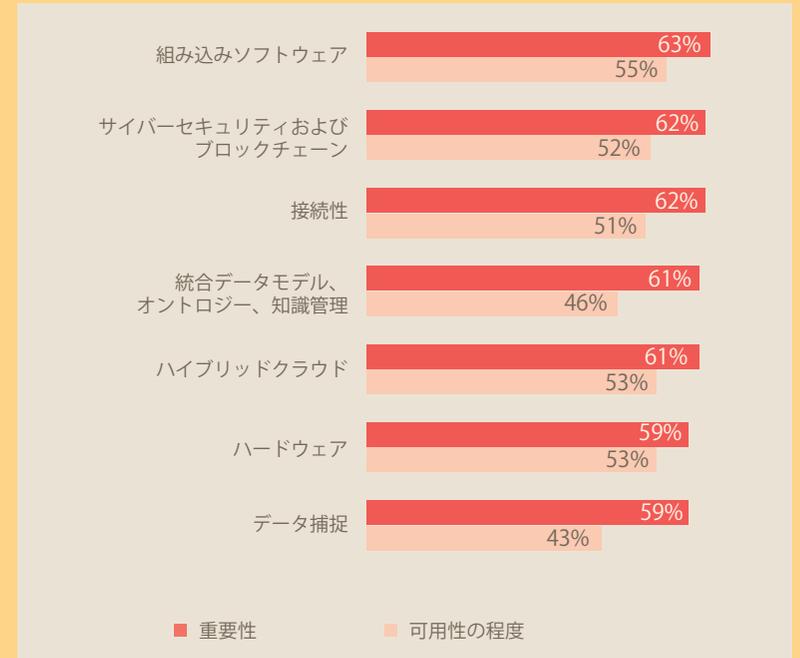
大企業は数百あるいは数千ものサプライヤーと取り引きしています。こういったサプライヤーやその他のパートナーと効率よく協働していくには、コラボレーションプラットフォームが不可欠です。しかし、下の図19に示すように、パートナーと共同利用するようなプラットフォームをデプロイしている企業は半数に届きません(とはいえ、この数も平均すると今後3年間で58%に増える見込まれています)。

61%以上

デジタルツインの導入には連結されたデータモデルとオントロジーが必要であることに同意する企業

図17

デジタルツインの導入に必要な中核的なビジネススキル



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、N=デジタルツインプログラムを運用中の800企業。

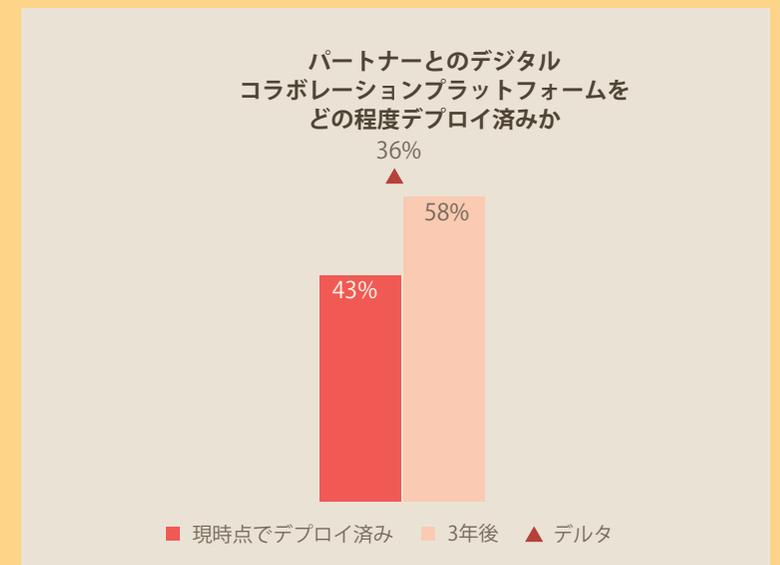
図18

デジタルツインのデプロイメントの進行を妨げる技術的課題²⁴

出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、
N=デジタルツインプログラムを運用中の800企業。

図19

エコシステム内のコラボレーションとコラボレーションプラットフォームのデプロイメントは35%超増加する見込み



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、
N=デジタルツインプログラムを運用中の800企業。



「[デジタルツインは]診断だけでなく、
治療の安全性のテストにも使えます。」

- Siemens Healthineers, Senior Vice President, **Gerd Hoefner氏**

04

デジタルツインジャーニーの フロントランナーが最大の恩恵を勝ち取る

このデジタルツイントランスフォーメーションのフロントランナーは誰か

デジタルツインによって企業は多数のメリットを享受できますが、組織は体系的な機能強化を十分に活用するため、一定の要素を整えておく必要があります。影響を受ける6つの領域で企業を分析:

- ビジョンとリーダーシップ
- 技術統合
 - コラボレーションプラットフォーム
 - インテリジェントシステム: スマート、コネクテッド、持続可能

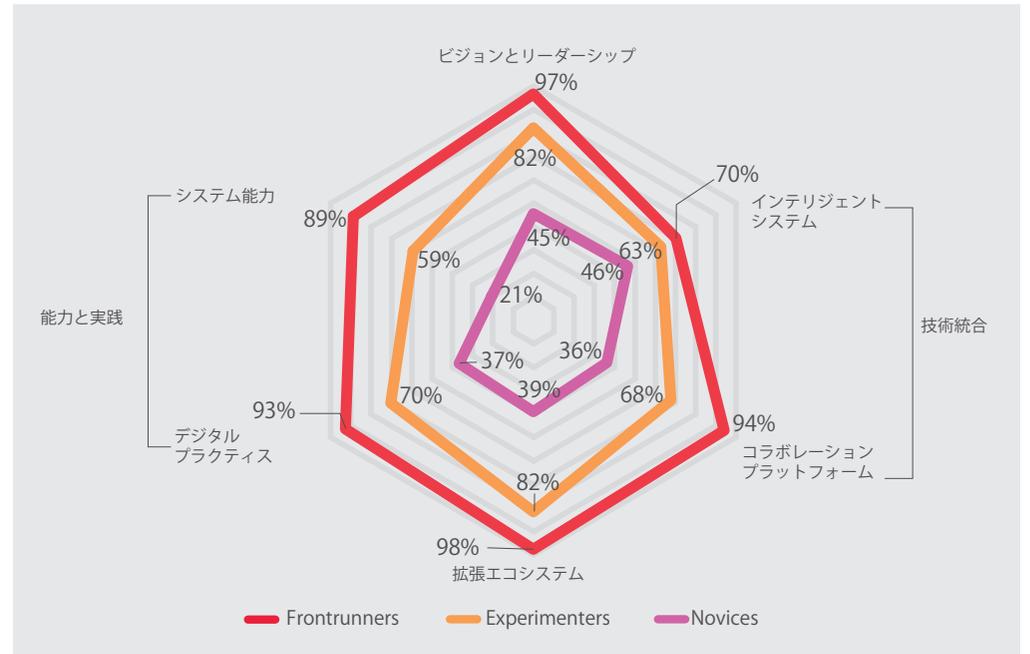
- 能力と実践
 - 利用可能なシステム能力
 - デジタルプラクティス - データ主導のデジタルな働き方 - 組織内
- 拡張エコシステム

上記に基づいて、3つの群が出現:

- **Frontrunners:** すべての領域で高パフォーマンス(調査対象企業の13%)
- **Experimenters:** これら6領域の一部で高パフォーマンス(10%)
- **Novices:** すべての領域で低パフォーマンス(77%)

図20

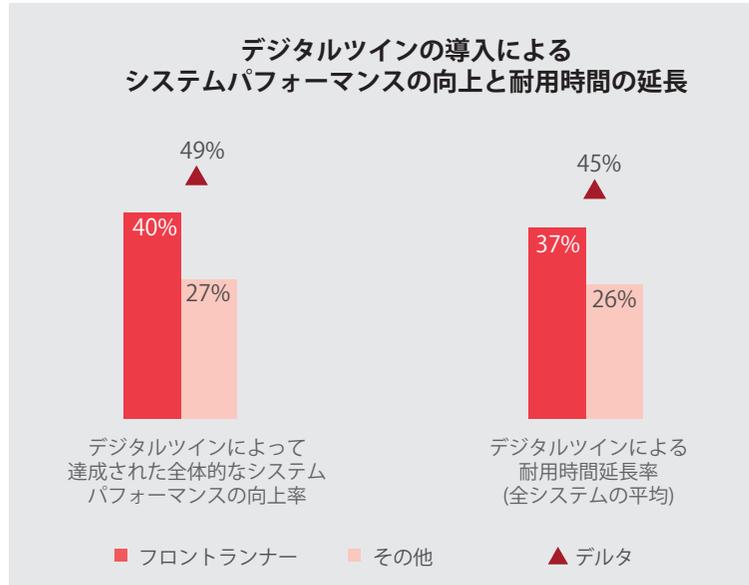
トランスフォーメーションの6領域すべてにおいてフロントランナーが他をしのぐ



注: 各軸のスコアは0~100%で評価されており、100%が満点です。
出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月~10月、N=1,000企業。

図21

フロントランナーは他者と比較して40%増のシステムパフォーマンスの向上と耐用時間の延長を実現



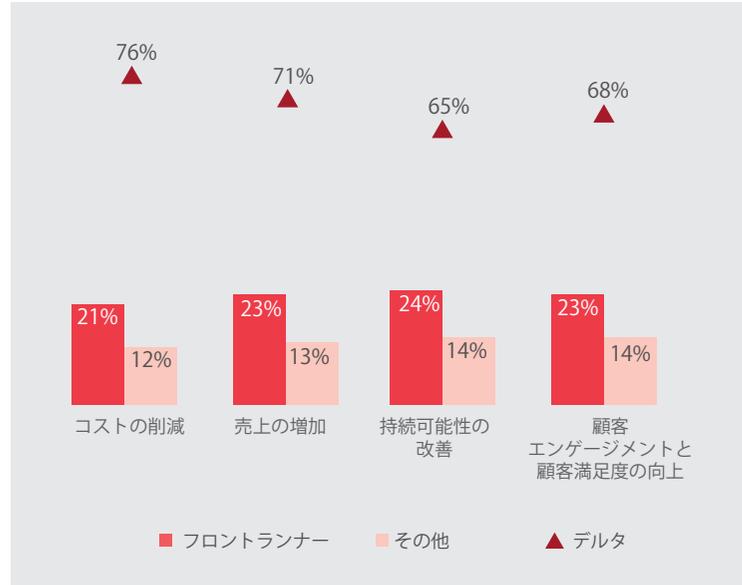
メリットは、5つのカテゴリー(製品および関連サービス、産業システム/生産ライン、資産/インフラストラクチャ、物流、販売後サポートおよびサービス)を平均したものです。

「デルタ」は、フロントランナーによって達成されたメリットの差を表します。

出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、N=131のフロントランナー、N=869のその他企業。

図22

フロントランナーは他者と比較して65%～75%高いメリットを実現



「デルタ」は、フロントランナーによって達成されたメリットの差を表します。

出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、N=131のフロントランナー、N=869のその他企業。

フロントランナーは極めて高いメリットを実現できる

弊社の分析によると、フロントランナーは高いメリットを実現できる立場にあることがわかります。フロントランナーはデジタルツインのおかげでシステム全体のパフォーマンスが平均40%改善したと報告していますが、他の企業は27%に留まっています。この差の理由の1つは、フロントランナーが設計による効率性を活用してはるかに高い運用効率を達成できるためです。

同様に、フロントランナーは他の企業より76%多くコストを削減し、68%多く顧客エンゲージメントを向上させたと報告しています(図22を参照)。

05

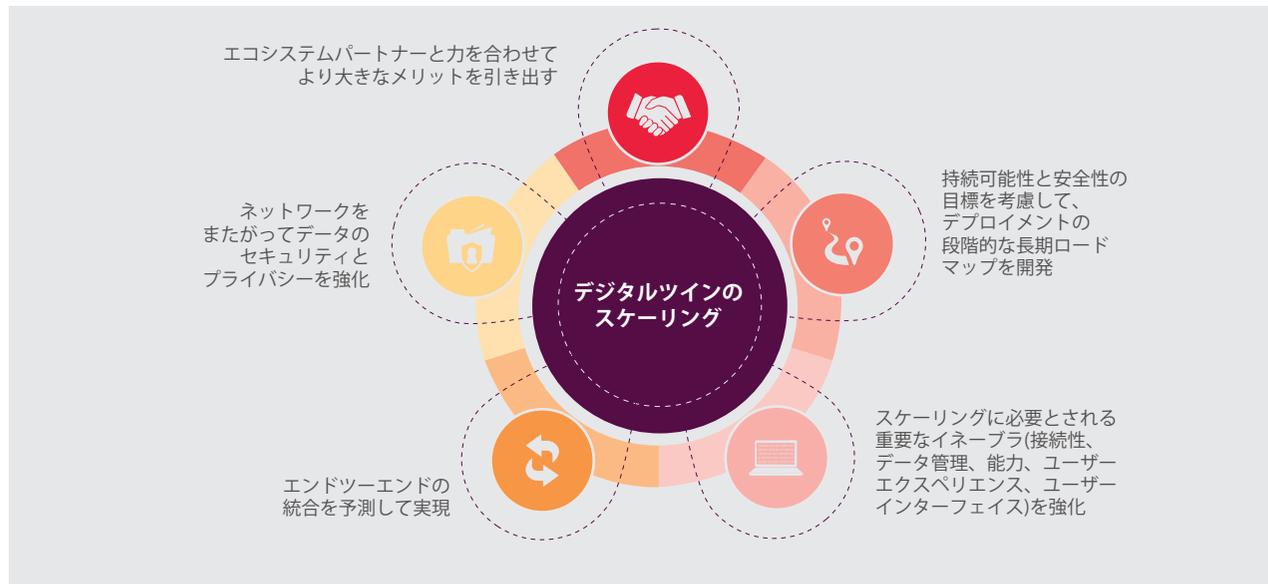
デジタルツインによって トランスフォーメーションを加速する方法

さまざまな業界の企業が、市場投入までの時間の短縮、運用効率の向上、持続可能性に関する課題への対応、カスタマーエクスペリエンスの向上のためにデジタルツインを頼りにしています。しかし、その多くが、デジタルツインを適切にスケールしてもたらされるあらゆるメリットを享受するために必要なインフラストラクチャを設置できていません。早期導入者の採用したベストプラクティス、調査結

果、弊社の市場経験に基づき、企業がデジタルツイントランスフォーメーションを大規模に推進するために投資すべき領域を以下のように特定しました。

図23

デジタルツイントランスフォーメーションの加速



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュートの分析。

持続可能性と安全性の目標を考慮して、 デプロイメントの段階的な長期ロード マップを開発

企業は通常、デジタルツインジャーニーを試験的に、あるいは概念実証として始めます。しかし、デジタルツインデプロイメントのスケールアップのためのロードマップを持つことが重要です。97%にも及ぶフロントランナーがデジタルツインの長期(5年以上)ロードマップを持つ(これに対してその他企業は58%のみ)ロードマップは、企業が社内の各部門にあるギャップや、ギャップを埋めるために必要なイネーブラ(データ管理、スキルセットなど)を特定するのに役立ちます。また、ロードマップによって、必要な資金がこれらの取り組みに確実に充てられるようになります。企業はデジタルトランスフォーメーションやその他の進行中のプロジェクトに限られた予算で取り組みながら、仮想、リモート、拡張オンサイトなどのアプローチ(セクション2を参照)を通じてデジタルツインがもたらす安全上のメリットや、バリューチェーン全体に渡る最適化リソースの利用、運用効率の向上、コスト削減の実現による持続可能性のメリットについて検討することもできます。企業がデジタルツインのビジネスケースを決

定する際に考慮すべきもう1つの重要な点は、デジタルツインは既存のシステムに役立つだけでなく、企業が新しいビジネスモデルを導入して収益を生み出す機会も引き出せるようにしてくれるということです。

繰り返し発生する問題点や戦略的問題に 対処するユースケースを最初にデプロイ

全面的なデジタルツインのデプロイメントには、ソフトウェア、デプロイメントの期間、スキルを備えた人材、予算の面で、多額の投資が必要になります。したがって、概念実証が終わったら、デジタルツインのメリットが既に証明されていて、それを適用することによっていくつかの問題点または戦略的問題に対処できるユースケースに取り組むことを推奨します。Kimberly-ClarkのDigital Technology担当元Global DirectorであるAmy Sausen氏は、デジタルツインイニシアチブについて次のように語っています。

「デジタルツインの設計が考え抜かれたものであることは重要です。その設計は指針であり、私たちは最初から正しい方向に進む必要があるのですから。」



Sacha Porges氏

GKN Automotive、Customer Quality & Programs
担当Global Director

「[デジタルツイン]テクノロジーは、まだ弊社の製品イノベーションに役立っている段階ではありません。デジタル環境で液体力学を使用するのは(たとえば、KleenexティッシュやHuggiesのおむつがどのように水分を吸収するかをモデル化する試みなど)、非常に複雑になる場合があるからです。とはいえ、デジタルツインを使ってリアルタイムでシステムを監視できる環境を作り出し、そこからインサイトを得て、そのインサイトを予測的行動や規範的行動に変換するというのは、製造オペレーション内で利用できるデータが膨大にあるため、強力な活用法です。弊社は現在、マシンの予知保全のユースケースを試験運用して、マシンが故障する可能性のある時期や故障の理由を把握しようとしています³⁵。」

従業員に付加価値を納得させるためにクイックウインに対応

デジタルツインのタイプにかかわらず、価値を解き放つことができるのは、ツインと相互作用している従業員が分析、軌道修正、予測のためのアプリケーションを使用できる場合のみ作業現場での資産の流れの追跡といったクイックウインへの取り組みは、従業員に価値を分からせるのに役立ち、ライトハウスプロジェクトの役割も果たします。

明確に定義されたガバナンス構造も、ビジネス内のどのエンティティがそれぞれのデジタルツインから生成されたデータを所有するか、どのエンティティがデータハイジーン維持(デジタルツインと物理ソースとの同

期、データ品質、データへの不正な変更の防止など)を担当するかを定める助けとなります。

ガバナンスチームが考慮すべき重要事項は、デジタルツインを使用することになる従業員に、デジタルツインが自分たちの仕事を強化でき、さらなる意思決定に役立つという点をしっかり認識してもらうことです。つまり、従業員が体験する没入感が従業員のオペレーションと一致したものであるようにするという事です。企業がこれを達成するには、アプリケーションのテストに必要なプラットフォームとツールを従業員に提供すると同時に、従業員のスキルアップとイノベーションを後押しする協力的な文化の中で学んでいく必要があります。

スケーリングに必要とされる重要なイネーブラを強化

大規模なデジタルツインをデプロイし、システムの恩恵を十分に受けるために、企業は一定の基盤が整っていることを確認する必要があります。

+ **セキュアな接続性**現在のビジネス環境では、システム、企業、プロセスがかつてないほど密接に結びついています。エッジからクラウドまで、そして設計から運用やサービスまで、サプライチェーン全体で情報の継続性を確保するには、接続性とセキュリ

ティが必須です。それらがあって初めてシステムのメリットがすべて実現されます。

+ **データ管理**デジタルツインでモデリング、シミュレーション、予測、監視を効果的に行うには、データの継続性と複数のデータソースとの連携が必要です。デジタルツインで運用動作を模倣するには、迅速な計算が不可欠です。さらに、さまざまなシステムからのデータを分析して解釈する必要があります。これは単一のまたは一連のオントロジーを通じて先験的にデータの相互運用性を設定することにより、迅速に実現できます。これにより複雑なデジタルツインを管理し、関係性を明確にすること

単一のまたは一連のオントロジーを通じて先験的にデータの相互運用性を設定することは、複雑なデジタルツインを管理するのに役立ちます。

ができます。一部のオントロジーはデータのモデリングに役立ち、データの欠落やデータセキュリティなどの問題に対処することができます。フロントランナーはこれらの課題を認識しており、95%がデジタルツインの導入を成功させるには、一元化されたデータプラットフォームが不可欠だと述べた一方で、同様の回答を寄せた他の企業はわずか54%でした。

「デジタルツインを使ってリアルタイムでシステムを監視できる環境を作り出すのは、膨大な量のデータを利用できるため、強力な活用法です。」



Amy Sausen氏

Kimberly-Clark, Digital Technology担当元Global Director



デジタルツインの規模が拡大するにつれて、この課題も大きくなり、企業は、これらのオントロジーについて、既存のものを使用するか新たに作成するか、それらをどうやって検証し維持していくかなど、開発の方向を決断しなければなりません。デジタルツインから十分なメリットを得るには、企業はデータ管理戦略を設計しデプロイする必要があります。また、デジタルツインは計算量が非常に多いことがあるため、企業はインフラストラクチャを拡大し、クラウドシステムをスケールアップする必要もあります。

+

能力: 企業はデジタルツインを設計し運用するために、一定のスキルセットを強化する必要もあります。

設計能力: デジタルツインシステムの設計には、システムエンジニアリング、モデリング、多次元シミュレーションなどのスキルセットが必要

オペレーションとサービスの能力: データキャプチャ、分散型アーキテクチャ、人工知能/機械学習の他、イベント管理能力など

コラボレーションスキル: バリューチェーン全体に渡り、社内外のエコシステム全域

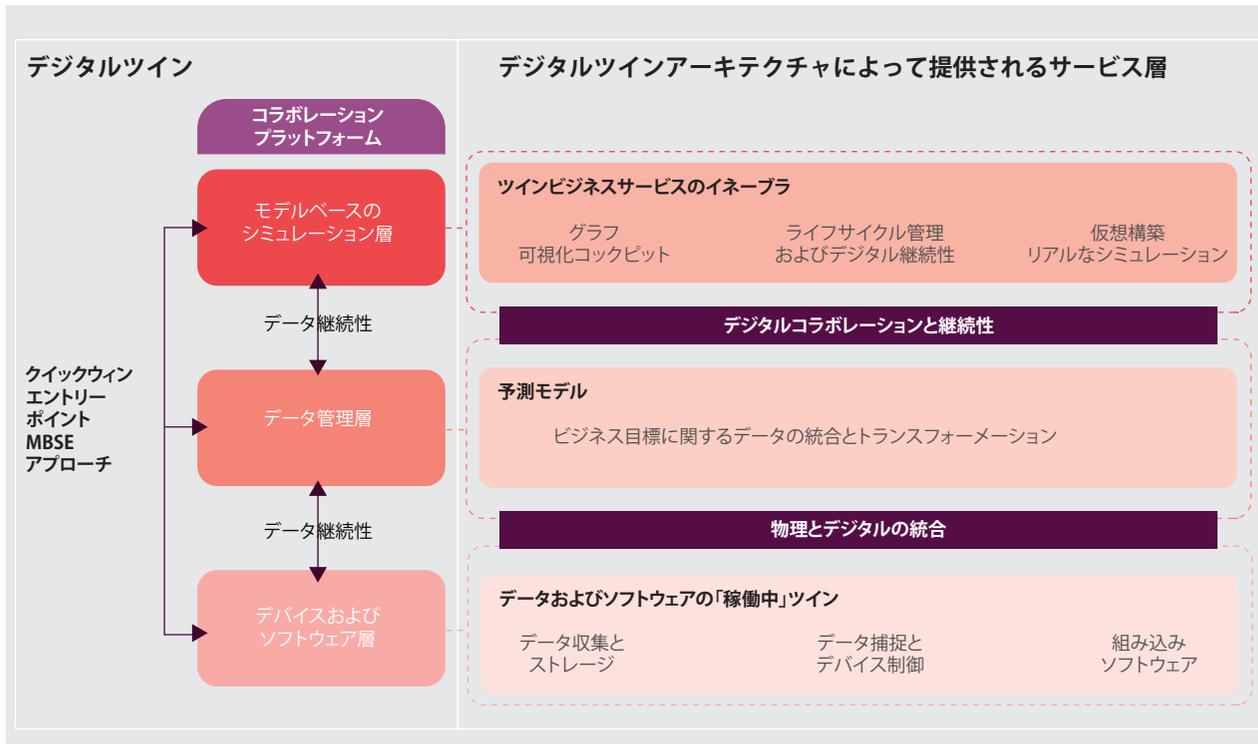
+

ユーザーエクスペリエンスとユーザーインターフェイス: 最後に、接続されたスマートなシステムやそのフィールドのプロセスの潜在能力を十分に引き出すには、直感的なUX/UIも必要です。デジタルツインを扱う従業員は、アプリケーションを使用し、ナビゲートし、アプリケーションに没入できる必要があります。これを達成するにはUXとUIがユーザーにとって考え抜かれた直感的なものでなければなりません。

GKN AutomotiveのCustomer Quality & Programs担当Global DirectorであるSacha Porges氏は、これらのイネーブラの重要性を次のように強調しています。「**デジタルツインの設計が考え抜かれたものであることは重要です。その設計は指針であり、私たちは最初から正しい方向に進む必要があるのですから。物理世界と仮想世界をどうやってつなぐか、そのためにはどんな技術が必要かなど、物理資産をデジタルツインと統合できるようにする実現テクノロジーを理解しておく必要があります。同様に、IoT[モノのインターネット]デバイスからのリアルタイムのデータの流れると、他のエンタープライズシステムからの運用データと取引データとの統合を可能にするには、必要なデバイスとソフトウェアのタイプを定義する必要があります。**

図24 デジタルツインアーキテクチャの設計と導入

概要レベルのデジタルツインアーキテクチャ



出典: キャップジェミニ。

デジタルツインアーキテクチャはデジタルツインイニシアチブを円滑に進めるうえで役立ちます。図24は実行に必要な3つの主要なテクノロジー基盤と、デジタルツインによって可能になるサービスのアーキテクチャを概要レベルで示しています。

先述の推奨事項で説明したように、データ管理層により、容易なデータ分析が可能になります。デバイスとソフトウェア層により、従業員とチームがツインと相互作用できます。単純なユースケースまたはウィックウインの場合は、この3つの層すべてに、個別に、またはモデルベースシステムエンジニアリング (MBSE) を通じて対応できます。MBSEは、複雑なユースケースに必要な、これら3つの層での相互運用性をもたらします。

この図は、デジタルツインアーキテクチャがもたらすサービス層も示しています。この層はデータの収集とストレージ、データキャプチャとデバイス制御、

組み込みソフトウェアを通じて物理とデジタルの統合を可能にします。また、デジタルのコラボレーションと継続性はデータ統合によって実現します。これらすべてを成功させるには、企業はライフサイクル管理、デジタル継続性、コックピットとダッシュボードサービスに注力する必要があります。

図24の最下層は、「コールド」(過去のシステムの仕様やモデルなど)と「ホット」(IoT、OT、リアルタイムイベント)のデータ、および「記述」(GIS、BIM、CAD/CAMなど)と「トランザクション」(PLM、ERP、MESなど)のデータを統合する、信頼できる最新かつ唯一の情報源を構築するために、データ収集を行っています。デジタルツインのモデリングは、予測/予防アラートやリアルタイムインシデントを効率よく管理するために柔軟性が需要で、モデリングとシミュレーション、直感的な可視化、分析とAI/ML、イベントオーケストレーションなどの高度なデータサービスを提供できる必要もあります。

47%以上

デジタルツインイニシアチブのために
戦略的パートナーシップを検討している企業

38%以上

デジタルツインの導入に向けて新規/既存
パートナーとの連携に前向きである企業

ただし、信頼できる唯一の情報源は、必ずしもすべてのデータソースとコンピューティングアクティビティを一元管理する必要があることを意味するものではありません。そのようなシナリオでは、データの一貫性とパフォーマンスを管理できません。そのため、データのサイジング、同期、コンピューティングに関して適切なバランスを取ることがスケールアップには重要です。

ネットワークをまたがってデータのセキュリティとプライバシーを強化

デジタルツインは多数のシステムに接続されていて、多大な量の機密情報へのアクセスがオープンになるため、セキュリティの弱いデジタルツインにハッキングすると、ビジネスシステム全体の内部データに直ちにアクセス可能になります。ビジネス情報と個人情報の機密性を保護する上で、システム機能とデータには権限のあるユーザーのみがアクセスできるようにすることが最重要です。

また、処理中、転送中または保管中のデータ/操作の不正な変更または破壊も防止する必要があります。生み出されるデータの信頼性を守り、コマンド/アクションの否認防止と真正性を確保するために、システムの整合性を維持しなければなりません。当然ながら、これにはデジタルツインと物理的なソース間の安全な通信が必要です。

デジタルツインと物理的なソースに影響を与える攻撃者は、2つのエンティティの動作または状態に相違をもたらす可能性があります。2つの間の双方向のリンクを前提として、攻撃者は一方の変更を通じて両方に悪影響を与える可能性があります。

デジタルツインのデプロイメントに関連するプライバシーとセキュリティのリスクは多岐にわたります。したがって、デジタルツイン導入前にはデータのセキュリティとプライバシーを強化することが不可欠です。これには、エンドツーエンドのサイバーセキュリティに大きな変化をもたらすことを計画している調査対象企業の69%が同調しています。

パートナーと協力してより大きなメリットを引き出す

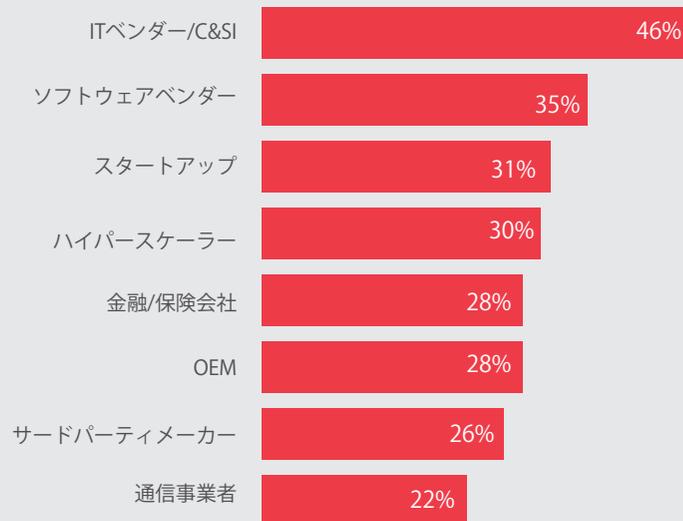
デジタルツインの最大の価値は、特定の変更がパートナーのネットワーク全体に与える影響を予測またはシミュレートできることにあります。これは、パートナーからのデータや入力、またはパートナーに関するデータや入力をデジタルツインに送り込むことによるのみ可能になります。個々の企業の境界をはるかに超えてより広いエコシステムにまで及ぶような複雑なツインを構築するには、企業は重要なパートナーにデジタルツインのビジョンを共有してもらい、コラボレーションプラットフォームをデプロイする必要があります。

企業は、テクノロジー企業と協力または提携してデジタルツインの導入を推進する必要があることも理解しています。たとえば、HVAC(暖房、換気、エアコン)およびセキュリティ機器メーカーのJohnson Controlsは、Azure Digital Twins IoTプラットフォームと独自のOpenBlue Digital Twinプラットフォームを統合し、物理空間を管理しながら効率を最大限に活用できるようにすると発表しました³⁶。企業はサプライヤーや顧客だけにとどまらず、ITベンダーやコンサルティングおよびシステムインテグレーター(C&SI)、ソフトウェア会社、スタートアップ、ハイパースケーラー、金融機関、OEM、電気通信事業者など、さまざまなパートナーと協力しています。さらに、企業の47%がデジタルツインイニシアチブのために戦略的パートナーシップを検討

図25

デジタルツインイニシアチブに最も相応しいパートナーであり続ける
C&SIパートナーおよびソフトウェア会社

デジタルツイン導入に相応しいパートナー



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、
N=デジタルツインプログラムを運用中の800企業。

しており、38%がデジタルツイン導入を目指して新規または既存のパートナーと協力することに意欲を示しています。企業の46%が、さまざまなパートナー候補の中でITベンダー/C&SIを選好企業上位3社に位置付け、続いてソフトウェアベンダーを選んでいきます(図25を参照)。

エネルギーおよび公共事業部門はデジタルツインの潜在能力を活用することに強い意欲を示しています。ただし、これらの企業は小規模のツインに焦点を当てていますが、配電網や原子炉のデジタルツインを構築するのは間違いなく複雑であり、企業がこのような高度なツインを独自に開発するのは、多くの場合困難です。その結果として、企業はソフトウェアベンダーや機器プロバイダーと提携しています。たとえば、E.ONはコンソーシアムを通じて複数の業界パートナーと協力し、110 kVの電力変圧器の資産の健全性とパフォーマンスを監視するデジタルツインを構築しています³⁷。他にも、フランスの公共事業の巨大企業EDFが、さまざまな学術パートナーや業界パートナーと共同で、同社の原子炉56機のデジタルツインをデプロイすることを計画しています³⁸。

また、コンソーシアムはデジタルツインの設計や開発において一役買っています。コンソーシアムが標準形式の採用を支援し、企業にリソースやガイドラインを提供するため、採用の規模が拡大します。たとえば、Microsoft、GE Digital、Northrop Grummanが創設メンバーであるDigital Twin Consortiumは、ベストプラクティスと標準要件の推進に取り組んでいます。メンバーはデジタルツインテクノロジーの用語、アーキテクチャ、セキュリティ、相互運用性の一貫性を促進することを目指しています³⁹。

+ キャップジェミニと提携してデジタルツインを 使用したトランスフォーメーションを目指しましょう

私たちは迅速に価値をもたらす一連のデジタルツインソリューションを提案します



3Dモデルのデジタル継続性を提供する、支援と承認のためのすべてを装備した他に依存しない没入型リモートプラットフォーム



1D-3Dの地理情報や拡張操作のIoTデータをネイティブに統合する連結データモデル



セキュアなセンサーやOPCUA接続からエンドツーエンドのOEE管理まで

+ 調査方法

大手企業がデジタルツイントランスフォーメーションにどのように取り組んでいるかを把握するため、弊社では質的・量的要素の両方を使用して広範な調査を実施しました。

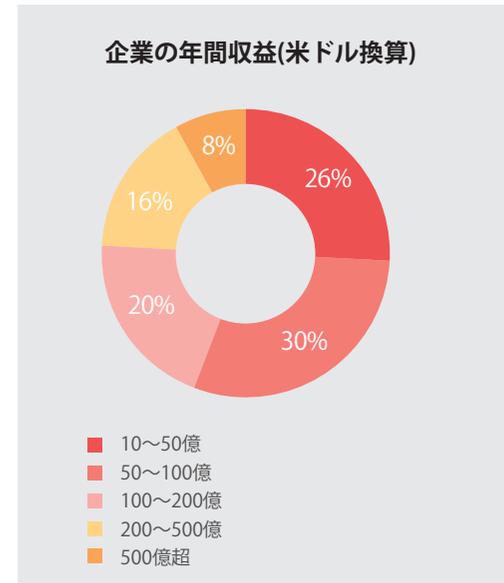
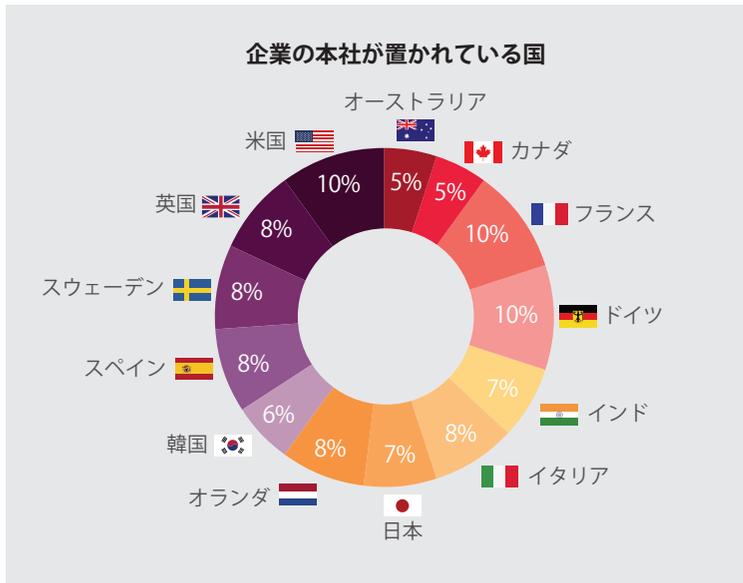
詳細なインタビュー

さまざまな企業や大学の業界エキスパート、研究者、シンクタンクに対して14の詳細なインタビューを実施しました。

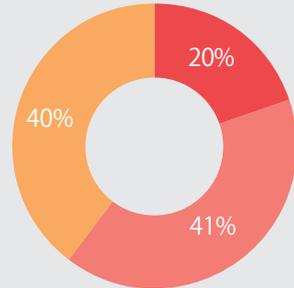
エグゼクティブサマリー

企業1,000社を調査したところ、そのうち80%に進行中のデジタルツインプロジェクトがあり、残りの企業は開始を予定していました。選定された回答者とその企業の分布は図のとおりです。

調査結果は、この調査のオンライン質問表にお答えいただいた回答者の見解を反映しており、方向性のある指針をもたらすことを目的としています。回答者の詳細については調査方法をご参照ください。また、具体的な影響についてお知りになりたい場合はキャップジェミニのエキスパートまでお問い合わせください。

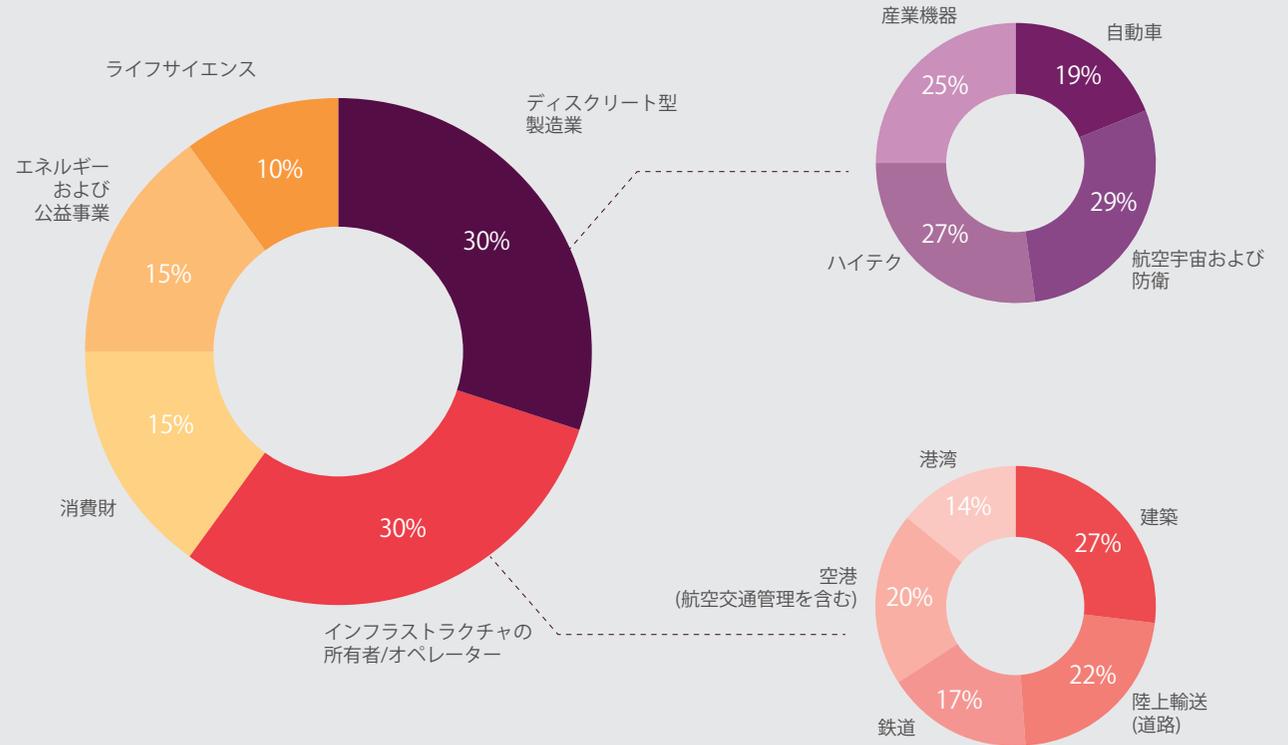


企業のデジタルツイン導入のジャーニー



- 今後12か月以内にデジタルツインの導入を開始予定
- バリューチェーンの特定の1部分に焦点を当てたデジタルツインプログラムを実施中
- バリューチェーン全体に渡る包括的なデジタルツインプログラムを実施中

企業の業界分布



出典: キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュート、デジタルツイン調査、2021年9月～10月、N=1,000企業。

*調査結果は、この調査のオンライン質問表にお答えいただいた回答者の見解を反映しており、方向性のある指針をもたらすことを目的としています。回答者の詳細については調査方法をご参照ください。また、具体的な影響についてお知りになりたい場合はキャップジェミニのエキスペートまでお問い合わせください。

調査方法

+ 注ならびに参考資料

- 1 SmartCitiesDIVE、「Are digital twins the future of urban planning?」、2021年
- 2 NTU Singapore. IES. (公開日不明)。2022年2月25日に<https://www.iesve.com/ntu-singapore>から取得
- 3 キャップジェミニは次世代のトランスフォーメーションを表すために「インテリジェントインダストリー」という用語を作りあげた。インテリジェントインダストリーは、企業がインテリジェントな製品、運用、サービスを大規模に構築できるように、デジタルとエンジニアリングの世界の相乗効果を促進することを目的としている。インテリジェントインダストリーはエンジニアリング、IT、デジタルを統合することで、物理世界と仮想世界の融合を可能にする。
- 4 「Global Market Insights, Digital twin market size by application (product design & development, machine & equipment health monitoring, process support & service), By end use (manufacturing, healthcare, automotive, aerospace & defense, energy & utility, infrastructure buildings, retail & consumer goods), Industry Analysis Report, Regional Outlook, Growth Potential, Competitive Market Share & Forecast, 2021 – 2027」、2021年7月
- 5 キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュートの「インテリジェントインダストリー」シリーズにはこの他、以下のようなレポートがある。
 - 「Conversations for Tomorrow #3: Intelligent Industry: The Next Era of Transformation」、2021年12月、<https://www.capgemini.com/research/conversations-for-tomorrow/conversations-for-tomorrow-3/>
 - 「Next Destination: Software」、2021年9月、<https://www.capgemini.com/research/software-the-new-battleground-of-the-automotive-industry/>(「次なる目的地: ソフトウェア」、<https://www.capgemini.com/jp-jp/research/next-destination-software/>)
 - 「Accelerating the 5G Industrial Revolution」、2021年6月、<https://www.capgemini.com/research/the-5g-industrial-revolution/>(「5G産業革命を加速するために」、<https://www.capgemini.com/jp-jp/research-reports/the-5g-industrial-revolution/>)
 - 「Sustainable Operations」、2021年6月、<https://www.capgemini.com/research/sustainability-operations/>
 - 「Scaling AI in Manufacturing Operations」、2019年12月、<https://www.capgemini.com/research/scaling-ai-in-manufacturing-operations/>(「製造オペレーションにおけるAIの大規模展開」、<https://www.capgemini.com/jp-jp/research-reports/scaling-ai-in-manufacturing-operations/>)
 - 「Smart Factories @ Scale」、2019年11月、<https://www.capgemini.com/research/smart-factories-at-scale/>(「Smart Factories @ Scale - 大規模スマートファクトリー」、<https://www.capgemini.com/jp-jp/smart-factories-at-scale/>)
- 6 Siemens、「Getting to market quickly」、2015年10月
- 7 Siemens、「Siemens in collaboration with Acciona, creates a Digital Twin for water treatment plants」、2020年6月10日
- 8 Lantek、「The digital transformation of Airbus」、2022年2月10日にアクセス
- 9 同上
- 10 深海のポリメタル団塊は、海底で大量に見られる鉱物の固まりである。これには都市インフラストラクチャに必要な重要な金属が大量に含まれている。これらの団塊の深海採鉱では、陸上での採鉱に伴う環境問題を一部回避でき、カーボンフットプリントも少なくなる。出典: <https://www.nature.com/articles/s43017-020-0027-0>
- 11 Kongsberg、「The Metals Company enters agreement with Kongsberg Digital to develop digital twin of deep-sea operating environment ahead of polymetallic nodule collection system test」、2021年11月
- 12 同上
- 13 SAP、「How will a leading compressor company reinvent sales with a digital twin?」、2020年

- 14 イノベーションの組み合わせとは、さまざまな概念やテクノロジーを組み合わせた結果として可能になるイノベーションのことを言う。
- 15 Equinor、「With a little help from my digital twin」、2022年1月7日にアクセス
- 16 Shell、「Shell develops digital talent and pioneers new virtual manufacturing technology」、2020年8月27日
- 17 Honeywell、「Honeywell introduces Virtual Reality-based simulator to optimize training for industrial workers」、2020年10月26日
- 18 GovInsider、「Exclusive: Inside Singapore's strategy for battling climate change」、2020年3月
- 19 World Economic Forum、「How digital twins will troubleshoot – and even help design – the buildings of the future」、2021年
- 20 Siemens、「6 success factors for using digital twins to decarbonize energy systems」、2021年6月
- 21 Neptune Energy、「Neptune Energy's new digital twins support Dutch New Energy projects」、2022年1月
- 22 CIO、「Rolls-Royce turns to digital twins to improve jet engine efficiency,」2021年6月
- 23 Capgemini Research Institute、「Conversations for Tomorrow #3, Intelligent Industry: The Next Era of Transformation, Discussion with Renault Group」、2021年
- 24 Siemens、「Stepping up the pace in vaccine development and production」、2021年
- 25 The Economic Times、「Digital twin tech will take personalised medicine to the next level: Gerd Hoefner, Siemens Healthcare」、2020年11月。
- 26 Dassault Systemes、「The Living Heart Project」、2022年2月25日にアクセス
- 27 Capgemini Research Institute、「Conversations for Tomorrow #3, Intelligent Industry: The Next Era of Transformation, Discussion with Kimberly-Clark」、2021年
- 28 The Wall Street Journal、「Unilever uses virtual factories to tune up its supply chain」、2019年7月
- 29 IndustryWeek、「Taking digital twins for a test drive with Tesla, Apple」、2020年4月29日
- 30 同上
- 31 PR Newswire、「River Logic partners with Philip Morris International to create digital twin of the company's global manufacturing network」、2020年9月
- 32 NVIDIAブログ、「NVIDIA, BMW blend reality, virtual worlds to demonstrate factory of the future」、2021年4月13日
- 33 Australian Financial Review、「Big-name VCs pile into digital twin company Neara」、2021年4月20日
- 34 オントロジーとは、IoTシステムやビルなどの特定分野の一連のモデルのことを言う。通常は、グラフのスキーマとして使用される。セマンティック技術は大量のデータを効率よく管理できるようにし、データの相互運用性をもたらす。
- 35 Capgemini Research Institute、「Conversations for Tomorrow #3, Intelligent Industry: The Next Era of Transformation, Discussion with Kimberly-Clark」、2021年12月
- 36 Microsoft News Center、「Johnson Controls and Microsoft announce global collaboration, launch integration between OpenBlue Digital Twin and Azure Digital Twins」、2020年12月8日
- 37 DNV、「DNV creates Digital Twin for E.ON」、2022年3月11日にアクセス
- 38 NS Energy、「Why France is developing digital twins for the country's nuclear reactors」、2020年12月30日
- 39 Digital Twin Consortiumウェブサイト、2022年1月4日にアクセス。

注ならびに参考資料

+ 執筆者の紹介



Roshan Gya

Global Head of Intelligent Industry, Managing Director
roshan.gya@capgemini.com



Jean-Pierre Petit

Digital Manufacturing Group Offer Leader, Capgemini
jean-pierre.petit@sogeti.com



Jacques Bacry

EVP Digital Continuity & PLM Group Offer Leader
jacques.bacry@capgemini.com



Brian Bronson

President and Managing Director, Capgemini Engineering Americas and APAC
brian.bronson@capgemini.com



Alexandre Capone

Vice President, Global Digital Manufacturing
alexandre.capone@capgemini.com



Udo Lange

Head of Smart Products & New Business Model, Capgemini Invent
udo.lange@capgemini.com



Verena Gertz

Vice President, Digital Engineering & Product Lifecycle Management, Capgemini Invent
verena.gertz@capgemini.com



Nicolas Croué

Vice-President, PLM CTO & Head of Digital Continuity, Capgemini Engineering
nicolas.croue@capgemini.com



Jacques Mezrahid

CTO, Smart Factory, Capgemini Engineering
jacques.mezrahid@capgemini.com

**Alex Berg**

Communications Lead, Capgemini Engineering Americas and APAC
alex.berg@capgemini.com

**Nithin Divakar Naik**

Head, Digital Engineering and R&D, Invent India
nithin.naik@capgemini.com

**Elena Vasilyeva**

Digital Twin Offer Lead, Capgemini
elena.vasilyeva@capgemini.com

**Jerome Buvat**

Global Head of Research and Head of Capgemini Research Institute
jerome.buvat@capgemini.com

**Subrahmanyam Kanakadandi**

Senior Director, Capgemini Research Institute
subrahmanyam.kvj@capgemini.com

**Ramya Krishna Puttur**

Assistant Director, Capgemini Research Institute
ramya.puttur@capgemini.com

**Shreya Pande**

Manager, Capgemini Research Institute
shreya.pande@capgemini.com

執筆者の紹介

本レポートの執筆にあたり、本調査にご協力いただいた以下の方々にご心よりお礼申し上げます(敬称略)。Moise Tignon、Louise Barbolosi、Oliver Moron、Tobiah Master、Mike Dwyer、Graham Upton、Neil White、James Forrest、Philippe Vié、Jörg Junghanns、Ralf Bus、Cyrille Greffe、Pascal Feillard、Michael Denis、Jean-Marie Lapeyre、Lee Beardmore、Frédéric Arquier、Karl Bjurström、Sanket Solanki、Joyce W Chew、Walid Negm、Dietmar Wendt、Benjamin Dawes、David Jackson、Nicolas Chanteloup、Mikhail Kazakov、Christophe Vidal、Ron Tolido、Simon Pilhar、Matthias Maurer、Murali Chandrahasan、Julian Fowler、Anton Turchenko、Camila Fierro、Olivier Marcillaud、Ranjit Gangadharan、Thomas Zühlke、Baljeet Yadav、Somkalpa Laha、Srinivas Varanasi、Pritam Subba、Kristin Morris。

キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュートについて

キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュートは、デジタル全般に関するキャップジェミニの社内シンクタンクです。この組織は、大規模な従来型/既存のビジネスに対するデジタル技術の影響について調査し、その結果を公開しています。ここでは、チームがキャップジェミニのエキスパートたちによる世界規模でのネットワークを活用し、教育機関や技術パートナーたちと緊密に連携しています。キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュートは、インド、シンガポール、イギリスおよびアメリカに専用のリサーチセンターを開設しています。近年、独立系アナリスト企業からリサーチの品質を認められ、世界ナンバーワンの格付けを得ています。

キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュートについては、以下をご覧ください。www.capgemini.com/researchinstitute/

私たちにご連絡ください。 さらに詳しい情報をお届けいたします。

Global contact

Roshan Gya
Global Head of Intelligent Industry
roshan.gya@capgemini.com

Jean-Pierre Petit
Digital Manufacturing Group Offer Leader,
Capgemini
jean-pierre.petit@sogeti.com

Jacques Bacry
EVP Digital Continuity & PLM Group
Offer Leader
jacques.bacry@capgemini.com

Moise Tignon
VP, Intelligent Industry
moise.tignon@capgemini.com

Regional contact

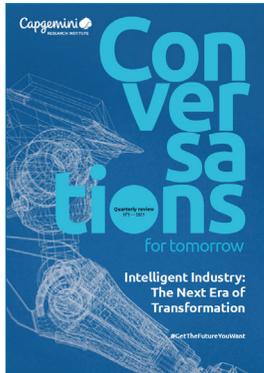
Frédéric Dispa
Intelligent Industry Leader - Southern
& Central Europe
frederic.dispa.externe@capgemini.com

Mark Landry
Intelligent Industry Leader - Americas
mark.landry@capgemini.com

Vikas Kumar
Intelligent Industry Leader - APAC
vikas.g.kumar@capgemini.com

Udo Lange
Digital Continuity Leader
udo.lange@capgemini.com

+ キャップジェミニ・リサーチ・インスティテュートのその他のレポート



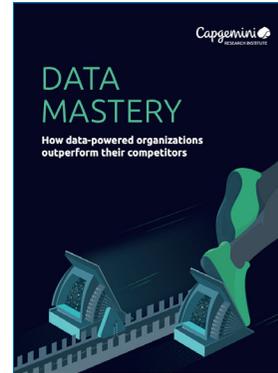
[Conversations for Tomorrow, 3rd Edition: Intelligent industry: the next era of transformation](#)



[Next Destination: Software \(次なる目的地: ソフトウェア\)](#)



[Accelerating the 5G Industrial Revolution \(5G産業革命を加速するために\)](#)



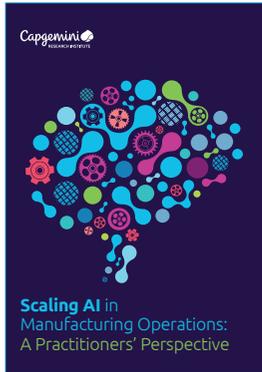
[Data mastery: How data-powered organizations outperform their competitors](#)



[Sustainable Operations](#)



[How automotive organizations can maximize the smart factory potential \(自動車関連企業がスマートファクトリーのポテンシャルと最大化するためには\)](#)



[Scaling AI in Manufacturing Operations](#)



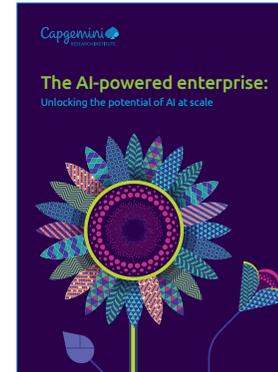
[Smart Factories @ Scale](#)



[Digital Engineering](#)



[Circular Economy for a Sustainable Future](#)



[The AI-powered enterprise: Unlocking the potential of AI at scale](#)



[The data-powered enterprise: Why organizations must strengthen their data mastery](#)

+ キャップジェミニ・リサーチ・インスティテューションの 最新の調査レポートをぜひ定期購読してください。



最新レポートは、以下のQRコードまたはウェブサイトにてダウンロードできます。

<https://www.capgemini.com/jp-jp/capgemini-research-institute-subscription/>

名 *
 姓 *
 メールアドレス *
 インタビュー要約にご協力いただけますが、 *
 国 *
 日本
 会社名/組織名 *
 「ご利用条件」と「プライバシーポリシー」を熟読し、個人情報を提供することに同意する **

Submit



キャップジェミニについて

キャップジェミニは、テクノロジーの力を活用して企業ビジネスの変革・推進を支援するパートナーシップにおけるグローバルリーダーです。キャップジェミニグループは、テクノロジーを通して人々が持つエネルギーを解き放つことで、包摂的で持続可能な未来を目指し、日々まい進しています。私たちは世界約50ヶ国の34万人に及ぶチームメンバーから成る、極めて多様的で責任感の強い組織です。キャップジェミニは、55年にわたって積み上げてきた経験と実績そして豊かな専門知識を活かし、クラウド、データ、AI、コネクティビティ、ソフトウェア、デジタルエンジニアリング、プラットフォームなど、急速に進化するイノベータータイプなテクノロジーを原動力として、戦略から設計、オペレーションに至るまで、お客様の幅広いビジネスニーズすべてに対応して、お客様から厚い信頼をいただいています。グループ全体の2021年度の売上は、180億ユーロです。

Get the Future You Want - 望む未来を手に入れよう |
www.capgemini.com/jp-jp