





インタラクション

## 新しい場所のインターフェース： 空間コンピューティングと産業メ タバース

産業メタバースがエンタープライズツールに変化するにつれて、空間テクノロジーは、データとAIを使用して現実のプロセスを再現する産業アプリケーションとして定着しつつある。

**多** 数の場合、新しいテクノロジーはアーリーアダプターや消費者を刺激し、人々の目から静かに遠ざかり、数カ月から数年後に生産性の高いビジネスツールとして再登場する。このパターンを、調査会社ガートナーによるテクノロジーのハイプサイクルに沿った動きと見る人もいれば、Tech Trends 2023で議論したように、テクノロジーからおもちゃ、ツールへの移行と理解する人もいる<sup>1</sup>。昨年のトレンド「**画面を超えて：エンタープライズ向け没入型インターネット**」では、企業が拡張現実や仮想現実（ARやVR）シミュレーションなどの新しいインタラクション機能を発見し、構築するにつれて、メタバース、つまり没入型インターネットはまもなく卒業し、本格的なエンタープライズツールになると予測した<sup>2</sup>。

今年、我々はメタバース機能のいくつかが新たな方向に、より広い空間コンピューティングの領域に向けて進展しているのを見てきた。消費者向けの玩具から企業向けのツールへと転換期を迎えた今、空間テクノロジーは特に産業用途に定着しつつあり、企業は工場やビジネスをより安全で効率的にする**デジタルツイン**、**空間シミュレーション**、AR作業指示、**協業用のデジタルスペース**に注目している<sup>3,4,5</sup>。産業メタバースによる収益は2030年までに約1000億米ドルに達すると予測されており、消費者向け（500億米ドル）や一般企業向け（300億米ドル）のセグメントをはるかに上回る<sup>6</sup>。

タブレットのような実用化済みのデバイスであれ、スマートグラスのような実験的なデバイスであれ、工場労働者、デザイナー、エンジニアは、従来の知識労働者がまだ経験したことのない方法で、没入型3Dインタラクションの恩恵を受けている。産業メタバースは、現実世界の物理学によって定義され、空間データと人工知能を使用して、現実世界のプロセスを正確に再現した没入型の視覚化表現を提供する。ライン作業員がスマートグラスを使って全国の工場の専門家に電話したり、エンジニアが物理ベースのフォトリアルなデジタルツインで新しい装置を試作したりする姿を想像してみよう。企業や組織が新しい施設を建設する場合、多くは建設前に「シミュレーション・ファースト」戦略を採用するだろう。

XR（AR、VR、MRなどの没入型技術の総称）のための高精細な3Dアセットとハードウェアの改善とアクセスが可能になることで、業界全体の作業を加速させる、現実の上にデジタル層があるような空間Webの実運用の道が開かれる。最終的には、この進歩は、自律システム、インスタント3Dモデル、量子コンピューティングなどと、例えばリモート手術のような、アプリケーションと人間の関与が最適化される形で組み合わせられた、オペレーションのシンプル化された時代につながるかもしれない。あるいは、工場のフロア全体を1人の従業員が管理可能になることを想像してみよう。

## Now：企業のシミュレーション

ここ数年、テクノロジーの進歩は産業メタバースのための足場を築いてきた。デジタルツイン、5G対応、クラウド、エッジテクノロジー、AIへの投資は、長年の課題に対処し、大きな価値をもたらしてきた。そのため、**デロイトの最近の調査**によると製造業幹部の92%は、自社で少なくとも1つのメタバース関連のユースケースを実験または実装しており、平均して現在6つ以上のユースケースを実行していると答えた<sup>7</sup>。これらの幹部はすでに、今後数年間で産業メタバースのユースケースに投資することで、売上、スループット、品質などの分野で12%から14%の改善を見込んでいる。

経営幹部が強調した最も一般的なユースケースは、プロセスシミュレーションとデジタルツインだった<sup>8</sup>。オペレーションが複雑で高価で正確な産業環境では、堅牢なシミュレーションが救世主となる。IoTと高度なネットワークを介してリアルタイムのデータがモデルに接続されている場合、シミュレーションは新たなオペレーションの構築や既存のオペレーションの最適化を成功させる可能性を高めることができる。アナリストの中に、デジタルツインの世界市場が2021年の65億米ドルから2030年には1,257億米ドルに成長する可能性があると考えている人がいても不思議ではない<sup>9</sup>。

これらの本格的なデジタルツインと対話する最適な方法は、ARを介して行われる。ARは、物理的な世界にデジタルレイヤーを重ね合わせて、3次元の没入型インターネットを作り出すことができるメディアだ。その結果、ARデバイスの世界市場は2022年に386億米ドルと推定され、関連するソフトウェアとハードウェアの2030年までの年間成長率は36%である<sup>10</sup>。現在、産業および製造業向けアプリケーションがARの最大の市場シェアを占めているが、ヘルスケアアプリケーション（トレーニング、手術シミュレーション、静脈の可視化など）は2030年まで年平均成長率44%で成長すると予想されている。パンデミックにより発生した電子商取引ブームによって促進された消費者向けアプリケーションも多く、デジタルツインのユースケースが企業だけにとどまらないことを証明している<sup>11</sup>。

空間オペレーションは始まったばかりであり、実現技術は改善され続けている。遠隔地の工場にIoTセンサーと**強力な衛星ネットワーク**が組み合わさり、出力とパフォーマンスのリアルタイムデータを処理することを想像してみよう<sup>12</sup>。技術の進歩に伴い、デジタルツインの新しい時代が地平線上にある。そこでは、フォトリアルなシミュレーションがAIによって物理学に基づいて可能

になる<sup>13</sup>。さらに、**BMWが採用したOmniverseプラットフォーム**のように、企業のエコシステムにリンクされる<sup>14</sup>。この進化は、宇宙計画から設計、運用まで、企業の複数の分野に影響を与える可能性がある。

## New：空間Webは建設中

まもなく登場する**空間Web（Web 3.0とも呼ばれる）**は、デジタルコンテンツと物理的な物体の間の境界をなくし、これら2つの現実を効果的に1つに統合することを約束する<sup>15</sup>。スマートグラスなどの次世代インターフェースを通じて、空間Webは位置情報やコンピュータービジョン、または音声やジェスチャーなどの生体コマンドを使って、物理的な環境によって促されるリアルタイム情報とインタラクションすることを可能にする。それらの可能性を考慮すると、空間コンピューティングの市場は、メタバースのこれまでの予測を上回る勢いであり、2032年までに6,000億米ドルに達するという予測もある<sup>16</sup>。

空間Webが真の能力を発揮するのはまだ何年も先のことだが、イノベーターたちは今、そのインフラを構築している。今後1年半から2年の間に、企業は、空間オペレーションを採用し、従業員の仕事をより強力にする技術で武装する価値ある機会に注意を払う必要がある。

---

## 2032年までに6,000億米ドル

**空間Webの可能性を考慮すると、空間コンピューティングの市場は、メタバースに関するこれまでの予測を上回る勢いであり、2032年までに6,000億米ドルに達するという予測もある。**

## 拡張された従業員

産業現場の労働者がAR/VRツールを導入し続ける中、企業はいくつかの主要な分野で効率性と効果のメリットを享受しつつある。

- **監視の強化。** ARデバイスと空間への没入により、従業員は一度に複数の「場所」にいることができるため、より少ない専門家でより多くの施設を監視できる可能性がある。例えば、NokiaのリアルタイムeXtended Realityマルチメディアは、360度ビュー、3Dオーディオ、ライブストリーミングを提供し、人間のオペレーターが何マイルも離れた物理空間に没入できるようにする<sup>17</sup>。これにより、予知保全、セキュリティ、および品質管理を強化できる。
- **オンボーディング時間の短縮。** 新任の従業員は、シミュレーションに組み込まれた標準的な操作手順に従って作業することができ、また、作業の流れの中で学習するのに役立つ視覚的なヒントも表示されるため、学習と実践を分離する必要がなくなる。例えば、世界的な自動車メーカーの製造工場の新入社員は、ARデバイスを使用して、全米の専門家とリアルタイムで連携している。同じ視覚と音を共有することで、経験豊富なライン作業員がドアにハンマーを打つ場所と方法を正確に指示することができる<sup>18</sup>。
- **安全性リスクの低減。** 昨年紹介したように、企業は従業員にAR/VRを装着させて、危険な状況に備えることができる。Stanford Medicineは、MRIやCTスキャンなどの画像を組み合わせ、手術前の患者の体の3Dモデルを作成するVRシステムを試験的に導入している。外科医は、この解剖学的デジタルツインをトレーニング環境だけでなく、手術室自体でも、2D画像よりも詳細なガイドとして見たり操作したりすることができる。医師たちはすでに、脳外科手術のような医療で最も複雑な手術の精度と安全性の向上という恩恵を受けている<sup>19</sup>。

## 製品の設計・開発・販売

空間オペレーションのユースケースは、利益の改善に限られているわけではない。AR技術は、トップラインの売上成長を改善することもできる。例えば、大手AR企業は、衣料品小売業者がAR技術を自社のアプリケーション、Webサイト、実店舗に統合して、サービスをさらに差別化できるようにしている。生成AIにより、これらの小売業者はAR技術を使用して2D画像から3Dモデルを

作成できるようになり、空間Webにおける顧客エンゲージメントのためのデジタル資産の可用性が向上する。

このようなAR技術は、買い物客に服の画像を重ねる以上のことができる。例えば、布地がどのように顧客にかかるか、ステッチのさまざまなラインがどのように影を作るかをシミュレートできる。そしてその効力は明らかである。一部の小売業者は、AR技術を導入した後、訪問者1人当たりの売上が50%以上増加した<sup>20</sup>。ブランドが空間コンピューティングで顧客との関連性を維持することを目指しているため、AR企業は小売業の現場を超えて、教育、エンターテインメント、旅行などの分野での影響も想定している。

空間オペレーションのもうひとつの活用方法は、シミュレートされた条件下での製品の設計とテストだ。これにより、俊敏性、市場投入までの時間、さらには持続可能性が大幅に向上する。例えば、自動車メーカーは数百回の衝突テストを現実で行う代わりに、初期データを使って数千回の衝突テストをシミュレートしたり、現実世界では簡単に再現できない自然災害のような事象を考慮したりすることができる。製薬大手のGSKは、この原理を応用してワクチン製造のシミュレーションを行い、実験に要する時間を3週間から数分に短縮することに成功した<sup>21</sup>。また、鉱業のような伝統的な資本集約型産業重資産産業では、シミュレーションは、より再生可能エネルギーへの移行に備えながら、効率性のために機械の動きを微調整し、排出量を削減するのに役立つ。

## 空間計画とシミュレーション

「石橋を叩いて渡る」などの古い格言は、空間コンピューティングの時代に新しい意味を持つようになった。企業は、コストのかかる投資を行う前に、空間コンピューティングを使用して施設のレイアウトを視覚化、シミュレーション、テストすることができる。3,000回石橋を叩いてから、1回渡るのだ。建築家は、工場や病院の正確なレプリカを設計することができ、そこに何人の人間や機械が存在し、それらがどのように相互作用し、どのように移動するかを予測することができる。例えば、緊急医療対象の患者をトリアージするための混雑した廊下は、病院の通常の対応許容量についてのシミュレートとは別のケースとして、拡張的に実施する必要があるかもしれない。あるいは、自動車メーカーは、計画中の工場が今後の電気自動車の需要急増にどのように対処するかを予測したいかもしれない。

現代自動車がUnityと提携して、先駆的で本格的な工場シミュレーションを構築したのは、まさにそれを念頭に置いていたからだ。同社は、工場をバーチャル上でテストして最適な運転方法と間隔を計算し、将来的には工場管理者が遠隔で問題を評価できるように計画している<sup>22</sup>。同様に、産業メタバース分野のパイオニアであるシーメンスは、最初にデジタル世界で完全に計画され、シミュレートされるドイツの新しい工場を発表した<sup>23</sup>。デジタルインサイトに基づいて設計図を調整してから、同社は現実世界の構内施設を建設する計画を立てている。

空間コンピューティングは、新しい空間を設計するユースケースとは別に、企業の既存の物理的な場所の使用を最適化することもできる。例えば、GUESSの小売計画チームは、店舗内のアップデートをデジタルで計画し、仮想テストの後にのみ実行した。その結果、30%のコスト削減と、店舗内のアップデートを行うための移動の削減による二酸化炭素排出量の削減を実現した<sup>24</sup>。

## Next : さあデジタル化しよう

まもなくリリースされるApple Vision Proによって、「空間コンピューティング」という言葉がこれまで以上に主流になった<sup>25</sup>。この最新のトレンドは一過性の流行ではないかと考える人もいるかもしれないが、我々は単純な考えに賭けることはしない。**技術の歴史**は、よりシンプルなインタラクションの形式が、技術のアクセシビリティ、ひいては利用における大きな段階的変化を確実に解き放ってきたことを証明してきた<sup>26</sup>。空間コンピューティングもそのような変化の一つかもしれない。そこでは、我々のジェスチャーなど自然な物理的な世界とのインタラクションの方法をデジタルの世界に適応させることができ、生物学とテクノロジーの理想的なマッチングを生み出すことができるかもしれない。

インタラクション技術はコンピューターサイエンスを超えて自然科学の領域を拡大し続けており(**xTech dimensions**で議論しているように)、ブレイン・コンピューター・インターフェース(BCI)は単純化に向けた進歩の最も遠い目標となっている<sup>27</sup>。現在のBCI機能は、人間の能力(歩行能力など)を回復することに集中しているが、将来の取り組みでは人間の能力を拡張し、以前では考えられなかったスピードとスケールでデジタ

ルの、物理的なタスクを達成できるようになるかもしれない。

そのためには、6GネットワークやIoTなどの実現要素となる技術が必要である。高速接続と大規模マシンタイプ通信(mMTC)によって、未来のマシンは相互にシームレスに連携できるようになるかもしれない<sup>28</sup>。そして、世界経済フォーラムはすでに、IoTセンサーがどこにでも存在して物理的な人間の作業をデジタル化し、高度な自動化を可能にする日が来ると予測している<sup>29</sup>。このような進歩は、マシンが環境や状態についてよりスマートに通信できるようになれば、我々とマシンとの対話があるかにシンプルになる道を開くかもしれない。

BCIによって、アセンブリライン上の相互接続された一連のマシンの起動、監視、および変更が可能になる、将来のインタラクションを想像してみよう。工業的な仕事も、デスクから行われるリモートワークになり得る。そして、言語は人間の思考の効率性と比較すると、ボトルネックのように感じるかもしれない。

可能性はエキサイティングだが、企業は岐路に立たされている。アーリームーバーになりたければ、バズワードを超えなければならないし、イノベーターに追いつこうとしなければならない。コンピュータービジョン、センサー技術、空間マッピングアルゴリズムについてエンジニアを雇用したり訓練したりするだけでなく、潜在的なリスクを先取りする必要もある。物理的な世界をデジタル操作に開放するには、プライバシーの問題(コンピュータービジョンの拡大)、サイバーセキュリティの問題(物理的な世界がハッキング可能になる)、データ保護の問題が伴う<sup>30</sup>。幸いなことに、初期のデジタルツイン技術と3Dモデルの進歩は、我々が前進するための貴重な教訓を提供している。

産業環境における空間オペレーションの初期的効果が明らかになり始めたタイミングで、企業もそれに備える必要がある。空間コンピューティングの自然な進化は、今後数年のうちに、消費者向け、企業向けアプリケーションとの対話方法を根本的に変える可能性があるからだ。

---

# Endnotes

1. Gartner, “Gartner Hype Cycle,” accessed October 2023.
2. Deloitte Insights, *Through the glass: Immersive internet for the enterprise*, December 6, 2022.
3. Aaron Parrott, Lane Warshaw, and Brian Umbenhauer, *Digital twins: Bridging the physical and digital*, Deloitte Insights, January 15, 2020.
4. Deloitte, “Unlimited Reality for operations,” accessed October 2023.
5. Deloitte, “Unlimited Reality for the workforce,” accessed October 2023.
6. ABI Research, *Evaluation of the enterprise metaverse opportunity*, September 20, 2022; Transparency Market Research, *Industrial metaverse market outlook 2031*, June 2023.
7. Paul Wellener et al., “Exploring the industrial metaverse,” Deloitte and Manufacturing Leadership Council, accessed October 2023.
8. Ibid.
9. J. Pankaj, M. Neha, and V. Vitika, *Digital twin market size, share and trends analysis by 2030*, Allied Market Research, July 2022.
10. Grand View Research, *Augmented reality market size and share report*, 2023.
11. Ibid; Markets and Markets, *Augmented reality market report*, August 2021.
12. Deloitte, *xTech Futures: SpaceTech*, 2023.
13. MIT Technology Review Insights and Siemens, *The emergent industrial metaverse*, March 29, 2023.
14. Deloitte, “Connect and extend: NVIDIA’s vision for modernizing legacy applications,” Deloitte Insights, November 9, 2022.
15. Allan V. Cook, Siri Anderson, Mike Bechtel, David R Novak, Nicole Nodi, and Jay Parekh, *The spatial web and Web 3.0*, Deloitte Insights, July 21, 2020.
16. Market.us, *Global spatial computing market report*, August 2023.
17. Nokia, “Real-time eXtended Reality Multimedia,” accessed October 2023.
18. Jack Siegel, “HoloLens 2 brings new immersive collaboration tools to industrial metaverse customers,” Microsoft, December 20, 2022.
19. Mandy Erickson, “Virtual reality system helps surgeons, reassures patients,” Stanford Medicine News Center, July 11, 2017.
20. Deloitte interviews.
21. Deloitte, “Unlimited Reality for operations.”
22. Hyundai Motor Company, “Hyundai Motor and Unity partner to build Meta-Factory accelerating intelligent manufacturing innovation,” press release, January 6, 2022.
23. Siemens, “Siemens to invest €1 billion in Germany and create blueprint for industrial metaverse in Nuremberg metropolitan region,” press release, July 13, 2023.
24. Deloitte, “Unlimited Reality for operations.”
25. *Tech Trends* is an independent publication and has not been authorized, sponsored, or otherwise approved by Apple Inc.
26. Deloitte, *Tech Trends 2023 Prologue: A brief history of the future*, Deloitte Insights, December 6, 2022.
27. Deloitte, *Tech Trends 2023 epilogue*, Deloitte Insights, December 6, 2022.
28. Charles McLellan, “What is the state of 6G, and when will it arrive? Here’s what to look out for,” ZDNET, February 17, 2023.
29. Francisco Betti, Thomas Bohné, and Cathy Li, “The industrial metaverse and its future paths,” World Economic Forum, January 19, 2023.
30. Wellener et al., “Exploring the industrial metaverse.”