Metaverse Whitepaper 2.0

(2025年版)

（2025年11月30日改訂・統合版）

一般社団法人 Metaverse Japan

はじめに

メタバース（Metaverse）は、技術革新と社会変革が交差する領域として、2022年前半から世界的な注目を集めてきました。メタバースは単なるヴァーチャル空間ではなく、「次世代のインターネット」とも呼ばれ、社会活動や経済活動、生活や娯楽など、現実世界のあらゆる営みをデジタルの3次元空間へと拡張・接続していくプラットフォームの総称である。

その後、2000年代の『Second Life』などを経て、2020年代に入るとVR/AR（XR）技術の進化、NFTやブロックチェーンといったWeb3技術の台頭、そして2022年以降爆発的に普及した生成AI（Generative AI）が組み合わさり、海外では人物模倣系のAIエージェントが広がりを見せるなどメタバースへの社会的関心は加速度的に高まりました。Facebook社の社名変更（Meta）や、Apple社のハイエンドMRデバイス「Vision Pro」参入など、大手テック企業もこぞって莫大な投資を行う一方、国際社会でも欧州連合（EU）やOECD、韓国や中国といった各国政府が「メタバース産業振興」を政策アジェンダとして掲げるなど、国際的なルール形成と競争が進んでいる。

日本においても、2022年前後からWeb3との関連でメタバースが成長戦略の一つとみなされ、「Japan Metaverse Economic Zone（日本メタバース経済圏）」構想や、大阪・関西万博との連動、内閣府などによる官民連携の検討が進行中である。さらに、ゲームやアニメ、キャラクター文化などの独自資源をもつ日本では、エンターテインメント分野をきっかけにメタバース活用が進む一方、教育・医療・産業DX（実空間とつながるインダストリアルメタバース）といった実利的用途への展開も期待されている。

本書は、このような国内外の最新動向を踏まえ、2025年時点のメタバースを取り巻く技術革新・政策・市場動向・社会実装の事例を網羅し、そのうえで今後予想される将来像と課題、さらに日本が取るべき戦略的な提言をまとめた「Metaverse Whitepaper 2.0（2025年版）」レポートである。特に以下の点に注目しながら構成している。

- メタバースを支える要素技術（XR、スマートグラス、生成AI、空間AIなど）

- 実空間とつながるインダストリアルメタバース（メタバース活用事例）

- 国際機関（OECD、EUなど）や主要国（米国・中国・韓国等）の政策・ガバナンス動向

- 日本国内の政策状況（総務省、経済産業省、デジタル庁など）と課題

- 「メタバースにおける倫理・セキュリティ・アクセシビリティ・デジタルデバイド」

- 日本の強み（コンテンツ・製造業技術）と弱み（人材・投資・標準化への関与不足）

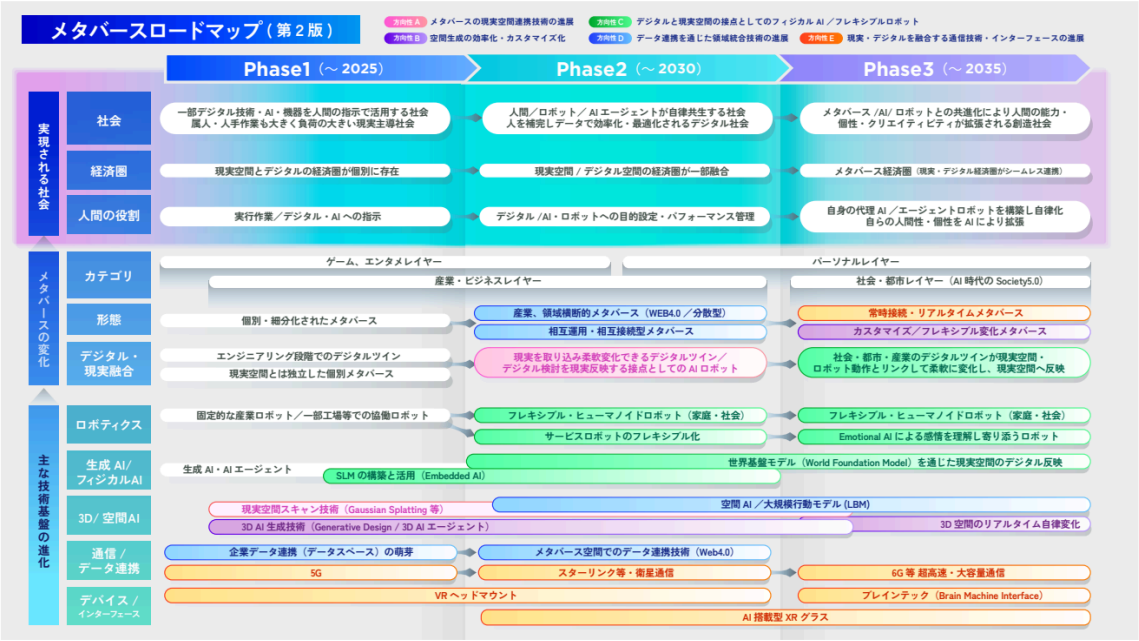
- 一般社団法人Metaverse Japan（MVJ）が目指すビジョンと今後の戦略的提言

本書は、2023年に発行した初版「Metaverse Whitepaper 1.0」と、2024～2025年にかけて各所で示されたアップデート・提言文書を統合し、さらに最新の調査結果や実証事例を追加したものである。特にMVJ（一般社団法人Metaverse Japan）による、「メタバース発展を通じた持続可能で包摂的な未来の構築」というビジョンに基づき、政策立案者、産業界リーダー、研究者、クリエイター、そして一般市民すべてにとって有用な情報およびロードマップを提供することを目指している。

それでは以下、全12章にわたり、メタバースの定義と背景、技術基盤、市場動向、活用事例、インダストリアルメタバース、生成AIとメタバース、政策・国際標準化、社会的課題、そして日本における具体的戦略提言を体系的に示していきる。

メタバースロードマップ

Metevarse Japanは10年後の2035年に向けたメタバースに関連する産業変化の方向性を提示すべく「メタバースロードマップ（第2版）」を示す。AIとの融合の中でメタバースの範囲や提供価値が拡大し、メタバースと現実世界の接点となるロボティクスの技術革新もフィジカルAI・ヒューマノイドロボットをはじめとして変化が大きい。本ロードマップにおいては、横軸としてPhase1（2025年現在までの変化）、Phase2（2030年までの変化）、Phase3（2035年までの変化）の時間軸で、縦軸のロボティクス・生成AI/フィジカルAI・3D空間/空間AI、通信・データ連携、デバイス（インターフェーズ）で構成される「主な技術基盤の変化」、「メタバースの変化」、「実現される社会」を表したものである。ロードマップにおいて示した変化についてそれぞれ要点を触れたい。



図：メタバースロードマップ（第2版） 出典：Metaverse Japan

【ロードマップ：時間軸での変化】

各時間軸における変化は下記の通りである。

時間軸）**Phase1**（**2025**年現在までの変化）：

「一部デジタル技術・AI・機器を人間の指示で活用する社会／属人・人手作業も大きく負荷の大きい現実主導社会」

2025年現在までの変化を表すPhase1は現実主導社会であり、社会では、人間が指示をして一部のデジタル技術・AI・機器を活用する段階である。属人的な作業や人手作業が多く、負荷が大きい状態である。現実とデジタルの経済圏は個別に存在し、人の役割も実作業が中心であり、一部AIへの指示を通じた効率化が拡がりつつある状況。メタバースの領域としてはゲーム・エンタメや、産業メタバースが拡がっているが、メタバース自体は個別・細分化されており現実世界との接点も限定的である。現実世界との連携としてデジタルツインの活用が産業領域では進むものの、設計段階のエンジニアリング段階が中心であり現実空間を常に反映したものや、デジタルでの検討結果を現実世界に柔軟に反映するための基盤とはなっていない。また、現実をモデルとしたメタバースの活用が拡がるものの、現実空間の状況にもとづいて変化する形態ではなく現実世界に近い個別メタバースと捉えられる。現実世界とデジタル世界の接点となるロボティクスとしても、個別にシステムインテグレーション（SI）が必要であることから固定的な繰り返し業務として産業ロボットの活用や、産業領域での人との協働ロボットの活用が普及しているものの、フレキシブルにデジタルでの検討結果を受けて動作を変化させる形式とはなっていない。一方で、ロボットや機器の制御コードもAIが生成できるようになることでフレキシブルに動作を変化させる方向性の兆しが存在。ロボットとAI・組み込み型のSLM（Embedded AI）との融合で一部フレキシブルなロボットや、ヒューマノイドロボットの萌芽が生まれている。空間側ではGaussian Splatting等による現実空間をスキャン

する技術や、AIとの自然言語での指示やパラメーター設定を通じて3D空間を生成する技術がGenerative Designや、3D AIエージェントなど産業のアーリーアダプター層へと導入がされ始めている。デバイスはVRヘッドマウントや、Webブラウザ等での活用が中心であるが、一部XRグラスなどの萌芽が生まれ始めている。

時間軸）**Phase2**（**2030**年までの変化）：

「人間／ロボット／ AI エージェントが自律共生する社会、人を補完しデータで効率化・最適化されるデジタル社会」

2030年までの変化を表すPhase2は、生成AI・AIエージェント、もしくはAI搭載型のロボットなどのAIが人の業務を補完し、データで効率化・最適化されるデジタル社会へと移行する。加えて、現実とデジタルの経済圏が一部融合し連携が図られていく変化が生まれる。人の役割は実作業の実行から、AI・ロボットに対する目的設定やパフォーマンス管理へとシフトする。メタバースの活用領域としては産業・ビジネスの裾野が拡がり多様な産業で活用が進むとともに、徐々にパーソナルレイヤーとしてユーザーそれぞれにおける業務用途や生活用途での活用の提案・導入が進む。欧州発で展開が進む企業間・組織間データ連携である「データスペース（Data Space）」が、メタバースにおいても拡がりそれぞれのメタバースの相互運用や、産業・領域横断でのメタバースの接続・拡張（Web4.0／分散型）が進む。現実世界とメタバースの連携は、現実をスキャンし取り込むとともにAIによる空間生成・反映を通じて柔軟に変化するデジタルツイン・メタバースと、デジタルでの検討結果を現実へ反映する“接点”としてのフレキシブルに自律動作調整を行うAIロボットの連携が鍵となる。それにともないロボットの適用範囲としても、ロボティクスの適用が幅広い領域へと拡がることとなる。現時点で製造業や物流など特定空間での適用がされはじめていたヒューマノイドロボットが、製造業・物流業のみならず、建設業・建物/インフラ管理等をはじめとしたBtoB産業とともに、BtoCの小売・サービス業等にも拡がることとなる。空間をAIで柔軟に変化・生成させる空間AIや、現実世界の物理動作をモデル化しシミュレーション等に活かす世界基盤モデル（World Foundation Model）やフィジカルAIを通じてロボットや自動運転をサイバー空間上で高速でシミュレーションし学習を高速化する動きが進む。デジタルと現実空間を繋ぐデバイスとしてはAI搭載XRグラスの展開が進み、より業務や生活にメタバースが溶け込み日常化していくこととなる。

時間軸）**Phase3**（**2035**年までの変化）：

「メタバース/AI/ ロボットとの共進化により人間の能力・個性・クリエイティビティが拡張される創造社会」

人間・ロボット・AIエージェントが自律的に共生し、共進化することにより人の能力・個性・クリエイティビティが拡張される。経済圏は現実とデジタルがシームレスに連携するメタバース経済圏へと移行する。人は自分の代理AIやエージェントロボットを構築して自律化するとともに、人間性や個性をAIで拡張する。利用領域はパーソナルに広がり、AI時代のSociety5.0として社会・都市レイヤーまで拡大する。メタバースは常時接続・リアルタイムで、かつカスタマイズ自在にフレキシブルに変化する姿となる。現実世界との連携は社会・都市・産業のデジタルツインがロボット動作とリンクして柔軟に変化し、現実へ即時に反映されることで社会・産業課題解決が様々な主体が相互に連携し迅速に実施されていく。ロボティクスはフレキシブルAIロボットやヒューマノイドロボットが家庭にも拡がるとともに、感情を理解し寄り添うEmotional AIとの融合によりロボットと人との連携が業務やタスク単位だけでなく、人とロボッ

ト・AIの関係性構築がなされていく。生成AI／フィジカルAIは世界基盤モデル（World Foundation Model）により現実のデジタル反映が進み、3D空間はリアルタイムに自律変化、通信は6G等の超高速・大容量となり常に現実世界を反映し変化し続けるデジタル世界と、現実世界を人々はシームレス・同時並行で行き来することとなる。加えて、「ブレインテック（Brain Machine Interface）」の進展により日々の生活において利用を意識せずメタバースやAI・ロボットの価値を享受することとなる。

【ロードマップ：変化の方向性】

メタバースの大きな変化として［方向性A］メタバースの現実空間連携技術の進展、［方向性B］空間生成の効率化・カスタマイズ化、［方向性C］デジタルと現実空間の接点としてのフィジカルAI ／フレキシブルロボット、［方向性D］データ連携を通じた領域統合技術の進展、［方向性E］現実・デジタルを融合する通信技術・インターフェースの進展の5つの方向性が存在する。それぞれの要点につき下記にて触れる。

［方向性**A**］：メタバースの現実空間連携技術の進展

現実世界の取り込みとデジタル側からの現実反映という双方向ループの完成を目指す流れ。Phase1では「現実空間スキャン技術（Gaussian Splatting等）」が整備され（3D／空間AIの行）、実世界の高忠実度データ化が焦点となる。Phase2では「現実を取り込み柔軟変化できるデジタルツイン」へと発展し、デジタル側の検討結果を「接点としてのAIロボット」を介して現実に戻す構図となる。Phase3では対象が社会・都市・産業に拡大し、「デジタルツインが現実空間・ロボット動作とリンクして柔軟に変化し、現実空間へ反映」される常時接続の運用像に到達する。

［方向性**B**］：空間生成の効率化・カスタマイズ化

コンテンツ／空間づくりを人手依存からAI中心へ移し、利用者や文脈に応じて動的に最適化する方向性。Phase1では「3D AI生成（Generative Design／3D AIエージェント）」により制作効率を引き上げる段階から始まり、Phase3では「3D空間のリアルタイム自律変化」や「カスタマイズ／フレキシブル変化メタバース」が拡がる。

［方向性**C**］：デジタルと現実空間の接点としてのフィジカル**AI** ／フレキシブルロボット

AIを物理世界で安全かつ柔軟に働かせるためのロボットとの融合を進める方向性。Phase1ではロボットや機器の制御コードもAIが生成できるようになることでフレキシブルに動作を変化させる方向性の兆しが生まれ、ロボットとAI・組み込み型のSLM（Embedded AI）との融合で一部フレキシブルなロボットや、ヒューマノイドロボットの萌芽が生まれる。Phase2ではデジタルでの検討結果を現実へ反映する“接点”としてのフレキシブルに自律動作調整を行うAIロボットの連携が進む。ヒューマノイドロボットが、製造業・物流業のみならず、建設業・建物/インフラ管理等をはじめとしたBtoB産業とともに、BtoCの小売・サービス業等にも拡がることとなる。現実世界の物理動作をモデル化しシミュレーション等に活かす世界基盤モデル（World Foundation Model）やフィジカルAIを通じてロボットや自動運転をサイバー空間上で高速でシミュレーションし学習を高速化する動きが進む。Phase3ではロボティクスはフレキシブルロボットやヒューマノイドロボットが家庭にも拡がるとともに、感情を理解し寄り添うEmotional AIとの融合によりロボットと人との連携が業務やタスク単位だけでなく、人とロボット・AIの関係性構築がなされていく

[方向性D]：データ連携を通じた領域統合技術の進展

分断されたデータや空間を横断接続し、産業・領域を越えて相互運用を実現するためのメタバース基盤整備の方向性。Phase1では「企業データ連携（データスペース：Data space）」が萌芽として生まれており、それらがメタバース間でのデータ連携へと発展する。Phase2以降ではメタバースの相互運用や、データ連携を通じた産業・領域横断でのメタバースの接続・拡張（Web4.0／分散型）が進む。Phase3においては、それぞれのメタバース空間を連携・接続させることにより、メタバースの価値提供範囲が社会・都市レイヤーへと拡張される。

[方向性E]：現実・デジタルを融合する通信技術・インターフェースの進展

Phase1においては「VRヘッドマウント」やWebブラウザが体験の前提であったが、Phase2では「AI搭載型XRグラス」により日常の生活や業務に溶け込む体験へと拡張される。Phase3においては「ブレインテック（Brain Machine Interface）」の進展により日々の生活において利用を意識せずメタバースやAIの価値を享受することとなる。加えて、通信面においても、Phase2の「スターリンク等の衛星通信」、Phase3の「6G等の超高速・大容量通信」等の進展を通じてリアルタイム・大規模接続メタバースが実現される。

第1章：メタバースとは何か – 定義・背景と2025年時点の展望

1.1 メタバースの概念と起源

メタバース（Metaverse）という言葉は、SF作家ニール・スティーヴンスンの1992年の小説『スノウ・クラッシュ』に端を発しる。語源は「Meta（超）＋ Universe（世界）」であり、小説中ではヴァーチャル的な大通りのような空間に人々がアクセスし、3次元アバターを使って没入型インターネットを体験する描写がなされている。2020年代に入り、VRヘッドセットの普及やゲームエンジン技術の発展、SNSの進化にともない、この「メタバース」という概念が現実のテクノロジーとして急速に注目され始めました。

メタバースの特徴

- 持続性：ヴァーチャル世界が常時稼働し、ユーザーがログアウトしていても世界は動的に継続する。
- 同時性：多人数が同時に参加し、互いにリアルタイムで干渉し合うことが可能。
- 経済性：ヴァーチャル通貨やNFTなどを通じ、デジタル資産の売買や各種経済活動が展開される。

- 相互運用性：理想的には、異なるメタバース間でアバターやデジタルアイテムを持ち運べる。

- 高い没入感と臨場感：VR/ARデバイスを用いた視覚・聴覚・触覚への強いアプローチ。

- 非スクリプト性：あらかじめ準備されていたシナリオやストーリーがないこと、その時参加している人たちの相互関係や行為によって非予定調和的に状況が展開するという性質。マインクラフトなどは非スクリプト性が高いプロダクトと考えられる。

現状、いわゆるメタバースを名乗るプラットフォームは多数存在するものの、アバターや経済圏が断片化しており、「真の相互運用性」は今後の課題である。また、XRデバイスやスマートグラス等のデバイスがメタバース体験を支える主軸とされていますが、既存のスマートフォンやPCでもアクセス可能なメタバースアプリケーションが増え、モバイル版・軽量版のメタバースも普及しつつある。

1.2 ブームから実用段階へ

メタバースは2021～2022年前後に大きな「ブーム」を迎えました。特にFacebook社が「Meta」に社名変更し、VRプラットフォーム「Horizon Worlds」に巨額の投資を行ったことは社会に大きな衝撃を与えました。その後、バブル的な過熱感が落ち着き、「メタバースは終わったのか？」と疑問視される局面もありましたが、2023年頃からは生成AIブームの影響もあり再注目され、ハイプ（過熱）を越えて実用段階に移行しつつあるとの見方が強まっている。実際に、ロブロックス（Roblox）やフォートナイト（Fortnite）、マインクラフト（Minecraft）のように数億人規模のユーザーを抱える「ゲーム発のメタバース」もあれば、ビジネス・産業分野でのヴァーチャルオフィス、デジタルツインによる工場・建設現場の管理なども広がりつつありる。メタバースはもはやゲームやSNSの一形態にとどまらず、教育・医療・行政サービス・産業DXにまで応用される「社会基盤的技術」へと進化している。

また、メタバースは今、単なるヴァーチャル空間から「生成AIのキラーインターフェース」へと進化しつつある。言語情報を扱うLLM（大規模言語モデル）に対し、非言語情報・空間情報・身体情報のすべてを生成AI＋メタバースの組み合わせで処理する新たなパラダイムが生まれている。これは、思考をプロトタイピングし、シミュレーションを通じて解像度を上げていく、まったく新しい発見と創造のプラットフォームとなりつつある。

その一方で、日常の多くのビジネス活動、行動、コミュニケーションは、その多くがリアル世界に存在しているのも事実である。2025年時点で、「空間を認識する能力は4歳児に及ばない」（Meta社ルカン氏）状況から、リアル世界で生きる生身の人間と、生身の人間とが交わる新しい形や場所へと進化するカギは、リアル世界という鉱脈に対して、マルチチャンネル（時間、

空間、属性等）で双方向同期できるかである。メタバースにとってもリアル世界こそフロンティアであり、物理制約を受けずに編集できるメタバースは、リアル世界のフロンティアでもある。
我々がどうより良いリアル世界を創造していくのかという議論が今後ますます重要かつ盛んになってくるように推察している。

1.3 世界概況

2025年におけるメタバース関連の世界市場規模は、推計手法にもよりますが1,000億ドルを超えるとの予測が多く見られる。特に5G/6Gインフラの整備やXRデバイスの進化、そしてAIによるコンテンツ生成の高度化により、2025年～2030年にかけて年平均40～50%近い成長率を見込む調査会社も存在する。グローバル大手企業（Meta、Apple、Microsoft、Google、Tencentなど）は引き続き巨額投資を続けており、さらに韓国や中国では政府主導でメタバース産業育成計画が進行、欧州連合（EU）でも2023年に「Web4.0とヴァーチャル世界」戦略を打ち出すなど、政策的にも本格化しているのが現在の潮流である。

日本市場においては、文化的・言語的・コスト面などから利用率は欧米や中国と比べやや低い状況ですが、大阪・関西万博でのヴァーチャル万博構想などを通じ、ここ数年で大きく状況が変わり得ると見られている。

さらに重要な変化として、メタバースが既存の国家システムを相対化し始めている点が挙げられる。ビッグテックが運営するメタバースプラットフォームは、すでに多くの国家を超える経済規模を持ち、独自の通貨システムや統治機構を持ち始めている。2030年代には、物理的な国境に縛られない「メタバース国家」が出現し、複数の市民権を持つことが一般化する可能性がある。これは20世紀型の国民国家システムと資本主義の根本的な変革を意味し、ドル・元・円といった既存通貨ではなく、データや学習リソース、創造的コンテンツが新たな価値交換の基盤となる経済圏の誕生を示唆している。

1.4 一般社団法人**Metaverse Japan**（**MVJ**）の使命

本白書を発行する一般社団法人Metaverse Japan（MVJ）は、メタバースを活用して日本社会および世界が抱える様々な課題を解決し、新たな価値を創造することを目的とした団体である。MVJは

・政策提言

・産業連携

・倫理規範・標準化策定

・国民理解の促進と教育

といった多角的活動を通じ、メタバースが健全かつ持続可能な形で発展し、誰もが恩恵を受けられる未来を目指している。日本はアニメ・ゲーム・キャラクターIPなどで独自のソフトパワーを持つだけでなく、製造業の高い技術力や光学・半導体・通信などのハード領域でも強みがある。本白書（2.0）では、そうした日本の強みを再確認しつつ、グローバル潮流の中でどう戦略的に動いていくかを明らかにすることを最大の狙いとしている。

特に、メタバースが国家や経済システムの枠組みを超えた新たな社会基盤となりつつある中で、MVJは日本の立場を守りつつ、グローバルな価値創造に貢献する「調整役」としての役割も担っている。技術革新だけでなく、倫理的・法的・社会的な課題に対して、人権尊重と個人の尊厳を重視する「人に優しいメタバース」の実現を目指し、国際的な議論をリードしていく所存である。

第2章：メタバースを支える技術基盤

メタバースは複数の最先端技術が組み合わさって成り立つ総合領域であり、それぞれの進化がメタバース体験に直接影響を及ぼす。本章では、ハードウェア・ソフトウェア両面の主要技術要素を解説する。

2.1 XRデバイス（VR/AR/MR）の進化

VRヘッドセット

- スタンドアロン型の普及：Meta社のQuestシリーズが2020年代前半に市場を牽引。2023年秋の「Quest 3」ではさらなる高解像度化・軽量化・価格の抑制が進み、2024年には廉価モデルも登場しました。

- Apple Vision Proの登場：2024年に米国発売開始予定の高価格（3,499ドル）MRヘッドセット。空間コンピューティングを打ち出し、マイクロOLEDディスプレイ・先進アイトラッキングなど革新的機能を搭載。ビジネス・クリエイティブ向けを中心に大きな影響が期待される。

VRデバイスの軽量化と処理性能向上は続いており、2030年前後には眼鏡型に近いフォームファクタへの移行、6Gを活用したクラウドレンダリングによるさらなる高精細化が予想される。

AR（拡張現実**)/MR**（複合現実）と空間コンピューティング

- MRは現実空間をセンサーで取り込み、その上に3Dオブジェクトを重ね合わせる技術。HoloLens（Microsoft）やMagic Leapなどが産業用途で先行。

- Apple Vision Proは超高性能センサーとマイクロOLEDでAR/MRの自然な重畳を実現し、「空間コンピューティング」という新概念を打ち出した。

- 空間コンピューティング：人や物体、環境を3次元データとして捉え、ヴァーチャル空間と現実空間を行き来しながら計算・操作・可視化を行うプラットフォーム。

スマートグラス

- 過去にGoogle Glasが先駆けとなったが、近年は日常利用に耐えうるスマートグラスが各社から開発されている。将来的にはARグラスがヘッドセットやスマートフォンに代わるプライマリデバイスになる可能性がある。

- XREAL社の「XReal One」と「 Xreal Air 2 Ultra」がある。2025年5月に、XREALは、Googleと戦略的パートナーシップを締結し、Andorid XRプラットフォームに特化した次世代のXRデバイス「Project Aura」を発表した。

- Meta社がRay-Banとの協業でスタイリッシュなスマートグラスを発表。2024年9月には開発中のARグラス「Orion」を発表。2025年2月には、同社ARグラス開発プロジェクト「Project Aria」の次世代開発機「Aria Gen 2」を発表。

- AppleもVision Proとは別に軽量ARグラスを計画していると噂され、2025年はスマートグラスがいよいよ実用利用に向けた注目の年になりそうである。

次世代デバイスの探索

- 特にHMDを使っている時点で、私たちが住むリアルな世界感から、大きく乖離した世界になってしまう。HMDといった”被り物”がなくても、すぐそばに人の姿が見られて一緒に生活できるような新たなインターフェースを開発するべきである。スマートグラスもその意味では通過点に過ぎません。

- コンタクトレンズのような更に身体にフィットしたデバイスの他、攻殻機動隊等では「脳との人間を直接ネットに接続できるようになった電脳（cyberbrain）」が描写されていますが、現実世界でも、イーロン・マスクは、自身が設立したニューラリンク（Neuralink）で、思考だけでさまざまなものの操作を可能にするBMI（Brain Machine Interface：脳マシンインタフェース）機器を開発していて、次世代のインタフェースが生まれはじめている。

2.2 通信インフラとネットワーク技術

- 5Gの普及：各国で5Gが広がり、モバイル端末でも高速・低遅延の接続が可能に。

- 6GやIOWN構想：2030年前後に実用化が見込まれる6Gは5Gの10倍以上の速度を目指し、リアルタイムホログラムや超大容量ストリーミングを可能にする。NTTが提唱するIOWN構想（Innovative Optical and Wireless Network）では光電融合技術で超低遅延・超広帯域ネットワークを実現し、メタバースやデジタルツインをフルに支えるインフラが期待される。

- エッジコンピューティング：ユーザーに近い拠点でデータ処理を行い、遅延を削減する仕組み。メタバースの大規模同時接続やAI処理に不可欠。

- 衛星通信：例えば、スターリンク（Starlink）は、SpaceXが提供する低軌道衛星インターネットサービスであり、世界中の遠隔地でも高速・低遅延の通信環境を実現しる。アフリカやアジアの農村部において、Starlinkを用いて仮想教室にアクセスし、メタバース内で国際的な教育プログラムに参加できる事例やeSportsへの活用事例等がありる。

2.3 グラフィックスとゲームエンジン

- リアルタイム3Dエンジン：UnityやUnreal Engineがメタバース構築の標準ツールとして広く使われている。最新バージョンではレイトレーシングや高精細レンダリング、物理シミュレーションが高度化し、映画並みの画質をリアルタイムに表現可能。

- 産業向けプラットフォーム：NVIDIA OmniverseやSiemensのXceleratorなど、工業用デジタルツイン開発に特化したプラットフォームが登場し、製造・建設現場でのシミュレーションや共同開発を支えている。

- AIキャラクターやNPC：NPCにAIを組み込み、自律対話や群衆シミュレーションを実現する取り組みも盛ん。これによりメタバース空間内の「常に賑わいがある世界」を構築できる。

2.4 AI（人工知能）とメタバースの融合

- 生成AIによるコンテンツ制作
- Stable DiffusionやDALLE-2等の画像生成AI、ChatGPTやBing Chatなどの大規模言語モデル（LLM）が相次いで登場し、メタバースのコンテンツ制作コストを劇的に下げる可能性を秘めている。

- 3Dモデル生成AI（例：DreamFusion、NVIDIA Magic3D）により、テキスト指示だけで3Dオブジェクトを自動生成する研究も進行中。メタバースプラットフォームはユーザー生成コンテンツ（UGC）をさらに強化できる。

- Meta社は2023年に「AIでVR空間を誰でも簡単に構築できるツール群」を発表し、ユーザー自身がヴァーチャル世界を瞬時にデザインできる未来を提示している。

AIアバターと**NPC**

- AIアバター：ユーザーのアバター自体に高度な言語モデルを組み込み、音声対話や翻訳をリアルタイムで行う機能が試験的に導入されている。

- NPC（AIエージェント）：常にヴァーチャル空間に存在し、人間と対話したりサービスを提供したりできる。たとえば教育用に英会話レッスンを行うNPCや観光案内をするNPC、あるいはゲームのクエストを提供するNPCなどが想定される。

- 2024年には複数のスタートアップが「人間と見分けがつかない流暢な対話NPC」のデモを発表しており、教育・接客シミュレーションなどに応用可能とされる。

2.5 ブロックチェーン・**Web3**とメタバース

デジタル資産の所有とNFT

- NFT（非代替性トークン）を用いてメタバース内の土地やアイテム、アバターの装飾品などの所有権をブロックチェーンで証明し、売買可能にする動きは2021年のバブルを経て徐々に実需要フェーズに移行している。

- DecentralandやThe Sandboxのようなブロックチェーン上でヴァーチャル土地を販売する33プロジェクトも存在するが、ユーザー数やコンテンツの充実度ではRobloxやFortniteなどの既存大手プラットフォームに及ばない。

- ステーブルコインや**分散型ID（DID）**の整備が進むことで、安全に資産を保有し、複数プラットフォーム間をシームレスに移動する未来がある程度実現される可能性は依然残されている。

分散型メタバースの課題

- DAO（自律分散型組織）に基づくメタバース運営や、ブロックチェーンでの分散ID管理などは技術的には先進的だが、大規模化やUX面でハードルが高く、ユーザー利便性と規制対応の両立が課題。

- 大手企業が「オープンメタバース標準」を模索し始めたことで、Web3の思想を部分的に取り入れたプラットフォーム連携が加速する可能性もある。

アイデンティティと認証

- 分散ID（DID）をブロックチェーン上に記録し、年齢確認や資格証明などを柔軟に行う試みが日本国内でも進行中（「分散型アイデンティティ推進協議会」など）。

- メタバース上での本人確認や権利証明を国際的にどう扱うかは今後の重要論点。

2.6 リアル世界（実空間）との接続

センサーとハプティクス

- ヘッドセットやコントローラーに内蔵されるカメラ、IMU、アイトラッキングなどは、UIデバイスの機能としてではなく、我々が住むリアル世界を捉えるセンシング機能という見方もできる。

- リアルハプティクス（ボディシェアリング）技術を使えば、固有感覚を共有することで、人はより臨場感の高い状態で、共有される世界に没入できる。2025年には、H2L株式会社から身体の動きや力加減を可視化したデータの取得や売買が可能なオンラインサービス「Maaart」が発表されるなど社会実装も進んでいる。一方で、研究開発に関わる政策予算には限りがあり、国内ではこの10年急速な開発が進んでいないとの指摘もある。
- メタバースとAIの融合により、これまで「背中を見て覚える」しかなかった職人技や暗黙知を、言語化せずにそのまま伝承・学習できるようになる。ハプティクス技術と動作解析AIにより、熟練者の微細な力加減や身体感覚をデータ化し、初心者に直接体感させることが可能になる。

環境側のセンサー

- 今後は、デジタルに閉じた世界だけではなく、リアル世界と接続することが求められるため、単に装着デバイスだけでなく、リアル世界（環境）をセンシングするセンサー等も重要になる。

- 3Dレーザースキャナー等で取得される点群や、フォトグラメトリー等で得られる3D空間情報の活用、その空間情報の蓄積方法、具体的にはジオメトリ、属性等を可用性の高い記述方式への変換する技術および仕様の体系化の検討が必要になる。

- またリアル世界がメタバースと接続される未来では、リアルに設置されているセンサー間、リアルを動き回るユーザー間、実空間拠点間、インスタンス（イベント）の時間の間など、多様な組み合わせの同期・非同期での連携が可能となるため、それらをマネジメントするしくみの構築も必要になる。一例として、株式会社COMMONGROUNDでは時間と場所を超えて人と人がメタバース空間でコミュニケーションできるプロダクトを開発している。

現実空間データと**AI**

- デジタルツイン構築のため、都市をスキャンする「都市デジタルツイン実現プロジェクトPLATEAU」（国土交通省）があり、取得された膨大な3DデータをAIで解析・最適化する取り組みが主にスタートアップ等で始まっている。

- NTTなどが都市のデジタルツイン化や人流解析を進めており、交通・災害対策など現実社会の課題解決をメタバースでシミュレーションする試みが実現段階にある。

- 実空間データを取り込む動きとして、NVIDIAやカーネギーメロン大学などの研究者たちが開発した自然言語で生成できる物理エンジン「Genesis」がある。主に人のモーションに関しては、Large Behavior Model（大規模行為空間モデル）などを組み合わせることで、コンピューターが可読可能なリアル世界が広がり、メタバースを大きく拡張する可能性がある。

第3章：メタバース市場の現状と経済規模

3.1 世界のメタバース市場規模と予測

- 市場規模：2024年時点で世界のメタバース関連市場は1,000億ドル前後と推定される。Grand View Researchによれば、2024年に約1,054億ドルで、2030年まで年平均46.4%成長と予測するなど、非常に高い成長が見込まれる。

- 予測の幅：ゴールドマンサックスは将来的に「8兆ドル規模の価値創出が可能」と試算するなど、インターネット同様に経済全体へ大きな影響を及ぼし得るとの見方も3ある。

- 日本政府や総務省の見立て：2030年に世界メタバース市場が約78兆円（約5,700億ドル超）に拡大するとする推計を紹介しており、長期成長を期待している。

3.2 セグメント別の動向

- ハードウェア（VR/ARデバイス）：2023年にはVR/ARヘッドセットの年間出荷数が960万台規模に達し、2024年は1,120万台超の販売が見込まれる。Appleの参入で平均価格が一時高騰したが、今後低価格化も進む見込み。

- ソフトウェア・サービス：ゲームやエンタメ分野を中心にEC（ヴァーチャルグッズ販売）やイベント開催が盛ん。2023年のヴァーチャル経済は340億ドル規模に達し、2033年には9,362億ドルにまで拡大する試算もある。

- 地域差：米国や中国ではユーザー利用率が高いが、日本では2023年時点で利用経験率6.1%程度と低め。コンテンツの言語・文化的要因、デバイス価格、プラットフォームの乱立などが要因とされる。

3.3 新たな経済圏の形成

- 従来の市場規模推計では捉えきれない変化として、国家財政に乗らない新たな経済圏の形成が進んでいる。メタバース内での取引は、ドル・元・円といった法定通貨ではなく、独自トークンやNFT、さらにはAI学習データや創造的コンテンツそのものが価値交換の媒体となりつつある。

- 2030年代には、これらの「メタバース経済圏」が実体経済の相当部分を占め、既存の金融システムや税制の根本的な見直しを迫る可能性がある。特に、AIエージェント間の自律的な取引が増加することで、人間が介在しない新たな市場メカニズムが生まれつつある。

3.4 企業動向と投資状況

- 主要企業：Meta、Apple、Microsoft、Google、Tencent、NVIDIA、Sonyなどがハード/ソフト両面で投資。Meta社は2019年以降、Reality Labs部門に約500億ドル投じている。

- スタートアップと資金調達：2023年に全世界で278社のメタバース企業が合計約5億3千万ドルを調達。GameFiやPlay-to-EarnなどWeb3×ゲーム領域も活況。日本でもクラスター（cluster）、HIKKYなどが大型調達。

- 株式市場：2021年のメタバースブームで関連銘柄が急騰したが、2022年以降ハイテク株全般の調整で株価下落。2023年後半からは生成AIブームがNVIDIAなどを再浮上させ、XR関連企業も再評価されつつある。

3.5 経済波及効果

- メタバースによる経済波及効果は、直接の市場規模だけでなく、リモートワーク普及による生産性向上、遠隔医療や教育アクセスの改善、観光振興、地方創生など広範な社会変革をもたらす可能性がある。デジタル産業の新たな柱となり、ソフトウェア・半導体・通信・クリエイティブ分野など多数の雇用と投資を呼び込むと期待される。

- メタバースの普及は、エネルギー消費の地理的分布を大きく変える可能性がある。物理的な移動が減少する一方で、データセンターへの電力需要が集中し、安価で安定的な電力供給が可能な地域が新たな経済的優位性を持つようになる。

- 日本は、この「エネルギー地政学」において戦略的な選択を迫られる。再生可能エネルギーの拡大、国際的な電力融通網の構築など、メタバース時代のエネルギー安全保障戦略が不可欠である。

第**4**章：メタバースの活用分野と具体的事例

メタバースを活用した数多くの事例が生まれている。本章では代表的な応用例を整理しる。なお、活用を通じたバーチャル空間での行動データの蓄積が、次の空間AIで勝負するための武器になりる。次の空間AI、行為空間AIといったより大きなマーケットのためのデータの取得の場という側面も意識しておく必要がありる。

4.1 エンターテインメントと文化

ヴァーチャルライブ・コンサート

- 米国ではフォートナイト内で開催されたトラヴィス・スコットのヴァーチャルコンサートに1,230万人以上が参加するなど、音楽ライブの新形態が注目。

- 日本でもVTuberライブやヴァーチャル同人イベントが盛んで、HIKKY（株式会社HIKKY）主催のヴァーチャルマーケット（Vket）は同時来場者が累計100万人を超えギネス認定。HIKKYでは、コミュニティーに熱量が集まる仕掛けをどうつくるかに注目しており、リアル世界に不満足だけど、自分の能力が発揮できて、同じ方向を目指せる仲間がいて、自分の仕事や貢献を周りに見てもらえる場所であり生きるのをもっと楽しめるカルチャーを作るような場所をデザインし提供することで大きな実績につながっていると分析する。

ヴァーチャルテーマパーク・展示会

- 2025年の大阪・関西万博にて「ヴァーチャル万博」が公式に連動予定。世界中のユーザーがオンラインで各国パビリオンを見学でき、リアル会場とリンクしたコンテンツを体験できる。

- 東京ゲームショウやコミックマーケットなど大型イベントがオンライン会場を併設するハイブリッド開催が定着。メタバース上で3Dブースを自由に回り、試遊や購入ができる。

- 美術館や博物館がVR展示を導入し、ルーブル美術館のVRツアーや京都の寺社巡りアプリなど、ヴァーチャル観光・文化体験が普及。

ソーシャルゲーム

- Roblox、Fortnite、Minecraftなど大規模ユーザーを抱えるゲームプラットフォームがソーシャル機能やUGC機能を充実させ、メタバース的空間へ進化。Robloxは若年層を中心に7,700万人以上のDAU（1日アクティブユーザー）を集める。

4.3 教育・人材育成

- 学校教育・高等教育：VRキャンパスやオンライン授業をメタバース空間で実施し、遠隔地からも臨場感ある学びを提供。東京大学大学院工学系研究科の「メタバース工学部」の取り組みなどが注目される。

- 企業研修：VRで危険作業をシミュレーションし、安全教育や技能訓練を行う。ウォルマートや建設業、航空会社の整備研修などで導入進行。

- リハビリや遠隔教育：脳卒中患者のリハビリ、引きこもり支援、英会話レッスンなど、アバターを活用した柔軟な教育サービスが普及しつつある。

4.4 医療・ヘルスケア

- VR治療（ヴァーチャルセラピー）：痛みの緩和や恐怖症の暴露療法などでVRが活用され、米国ではFDA認証を受けるデジタル治療プログラムも登場。

- 医療教育・手術支援：VRで人体解剖や希少症例の手術シミュレーションを学生・研修医が行う。3D臓器モデルで術前計画や遠隔医療への応用も。

- メンタルヘルス・福祉：ヴァーチャル空間でカウンセリングや瞑想を行うサービス、高齢者や障害者が遠隔参加できるヴァーチャル旅行やコンサートも広がり、社会参加を促進する。

4.5 行政サービス・公共利用

- 「都市デジタルツイン実現プロジェクト PLATEAU」：デジタルツイン構築のため、都市をスキャンし一般公開する国土交通省のプロジェクト。都市のデジタルツインと一口にいうものの中にも複数のスケール及びレイヤーが存在し、各レイヤーでデータが歯抜け状態であり有効活用はこれからである。また、取得するだけでは活用できず、属性情報等を自動付与する仕組みの構築や、外部システムとの接続性、民間活用の促進、海外への営利展開等をさらに積極的に検討すべきとの指摘もある。

- 行政サービスのヴァーチャル化：韓国ソウル市の「メタバース首都ソウル」や、エストニアのヴァーチャル大使館構想など、住民票相談や観光案内をメタバース窓口で行う試み。日本でも長野県の移住相談や議会のVR意見交換会などが実施。

- 観光・地域振興：自治体がヴァーチャル空間で名所旧跡を再現し、訪日客の疑似体験や地域PRに活用。渋谷区の「ヴァーチャル渋谷」、京都市の「京都館PLUS X」など。

- 防災・公共安全：VRで地震・災害訓練を体験し、現場の危険をヴァーチャルで学ぶ試みが増加。消防・警察もVR訓練システム導入を検討。

第5章：実空間とつながるインダストリアルメタバース

メタバースは当初、ゲームやSNS、エンターテインメントの文脈で広く認知されました。しかし2025年現在、メタバースの真の革命は「実空間との融合」という新たな段階に入っている。これは、物理世界とデジタル世界とが相互に接続され、リアルタイムで情報を交換し、互いに影響を与え合う「実空間メタバース」の誕生を意味しる。この巨大な潮流は、日常生活、教育、医療、公共サービス、そして産業のあらゆる領域に及んでいる。

その中でも、産業領域における実装、すなわち「インダストリアルメタバース」は、最も具体的かつ大規模な変革を牽引している。製造業、建設業、エネルギー、物流などの基幹産業において、デジタルツインやXR技術、AIとロボティクスの融合により、生産性と安全性、そして創造性が飛躍的に向上している。これは単なる効率化ではなく、人間の働き方、産業構造、そして社会全体のあり方を根本から変える変革である。本章では、インダストリアルメタバースの特徴や具体事例、その将来性と課題を包括的に解説する。

5.1 インダストリアルメタバースの定義と背景

インダストリアルメタバースとは

- デジタルツインによるリアル世界のヴァーチャル再現と、複数拠点・複数企業・複数領域にまたがる共同作業を、メタバースの持つ臨場感・インタラクティブ性を用いて実現する産業向けのヴァーチャル空間。あくまでリアル世界をより良いものにすることが目的である。

- 工場やプラント、建設現場、サプライチェーン全体をヴァーチャルで可視化・制御し、設計・運用・保守・教育などのプロセスを最適化できる。

背景と市場成長要因

- 人材不足とDX推進：特に日本をはじめ先進国では製造業や建設業の熟練技能者が高齢化するなか、遠隔支援や若手の育成を効率化するニーズが高まっている。

- IoTやセンサー技術の普及：現場からリアルタイムで膨大なデータが収集可能になり、これを元に3Dモデルで現実を再現（デジタルツイン化）できる下地が整備。

- クラウドやエッジコンピューティングの進化：高負荷なシミュレーションやレンダリングがオンラインで可能になり、複数の設計チームや現場スタッフが同じヴァーチャル空間で作業しやすくなった。

- 国際競争力の確保：欧米や中国の大手企業がインダストリアルメタバースに巨額投資しており、日本企業もグローバル水準の技術導入を迫られている。

- 防衛・安全保障への関心の高まり：ウクライナ戦争や台湾海峡情勢の緊迫化を背景に、インダストリアルメタバースのデュアルユース（民生・防衛両用）技術としての重要性が急速に高まっている。重要インフラの強靭化、サプライチェーンの可視化、有事シミュレーションなど、経済安全保障の観点からも不可欠な技術となっている。

- 5.2 代表的なインダストリアルメタバースの活用シナリオ
- インダストリアルメタバースが他領域に先行して実装が進む最大の理由は、その「制約条件の明確さ」にある。工場や建設現場といった産業空間は、物理的に区画され、参加者が特定され、目的が明確で、安全規則や作業手順が確立されている。この管理された環境は、実空間メタバースを実現する上での理想的な実験場となる。ここで蓄積された技術とノウハウは、やがて制約の少ない日常空間へと展開されていく。以下、この戦略的優位性を活かした具体的な活用シナリオを見ていく。

1. 製造業のデジタルツイン（工場・プラント）

- 設計・シミュレーション：CADデータをベースに生産ラインや設備の3Dモデルを構築し、ヴァーチャル空間上でレイアウト・動線・設備干渉をチェック。試作品を作る前に多数の検証を行い、開発期間短縮やコスト削減を実現。

- 遠隔監視と保守：工場内に配置されたセンサーから稼働状況をリアルタイム取得し、メタバース空間で可視化。異常発生時には担当者がVRやARを使って迅速に対応箇所を特定し、遠隔から支援や作業指示が可能。

- 教育・トレーニング：新入社員や技能実習生が、ヴァーチャル工場で安全教育やオペレーション研修を行う。危険作業や希少故障ケースの体験もシミュレートでき、実際のライン停止やリスクを最小化しつつ学習が進められる。

- BMW：NVIDIA Omniverseを活用し、世界中の工場をデジタルツイン化して生産プロセスを検証。工程設計の短縮や新ライン設計の精度向上を実現。日産自動車：VR空間で車両デザインレビューを実施し、デザイナーやエンジニアが遠隔でも同じモデルを検討可能に。ボーイング：航空機の複雑な組み立て工程をMRでサポートし、作業者のミス削減や教育効率向上に成功した事例などがある。

2. 建設・インフラ

- BIM/CIMとの連携：建築・土木分野ではBIM（Building Information Modeling）やCIM（Construction Information Modeling）が普及しつつあり、それを使った詳細な3D設計データと環境側の情報を統合して施工管理に使えるデジタルツインを構築する動きが大手建設会社を中心に加速している。また、BIM/CIMに時間軸を加えた4Dによる施工シミュレーションに活用する動きもある。一方で、BIM/CIMの生成コストが高額のため、大規模プロジェクト以外への普及が困難であり、その解決にメタバースでも進んでいるモデルの自動生成が今後重要になるものと考えられる。

- 施工管理・遠隔臨場：大規模な建設現場を自律飛行するドローン等を活用し高精度にスキャン・モデリングし、現地に行かなくても遠隔で進捗状況や施工品質をチェックできる環境を整備している。一方で、建築、土木、地理空間等で開発がサイロ的に行われているため、業界内での互換性の確保や協調領域を設定して、相互に連携するしくみを早期に整備する必要性がある。

- 都市インフラの保守・点検：橋梁やトンネルなどの老朽化点検をドローンやセンサーでデジタル化し危険箇所を把握。作業計画を効率化し、人手不足を補う試みが進む。メタバースを利用した動きも大手建設会社の一部で見られるが、各社、建設プロセス中で生成されたモデルをどう竣工後に活用するか、事業性としては道半ばであり模索している状況である。

3. エネルギー・プラント分野

- 発電所や石油化学プラントなど巨大設備を丸ごとデジタルツイン化し、シミュレーションや予測保守（Predictive Maintenance）に活用。

- リスクの高い環境での作業や災害時対応をメタバース内で事前訓練し、事故リスクを低減。

4. ロジスティクス・サプライチェーン

- 倉庫や配送センターの在庫配置、輸送ルート、需要予測などをメタバースで可視化し、AIシミュレーションと組み合わせて最適化を行う。

- 複数の企業や拠点が同じ空間でリアルタイムに情報を共有し、緊急の需要変動や自然災害時に柔軟な連携体制を構築できる。

5. ヴァーチャルオフィス・リモートワーク

- コロナ禍でテレワークが広がる中、ヴァーチャルオフィス（アバター出社）の試みが企業で進む。トヨタ自動車やアクセンチュアなどがVR空間で社員交流や研修を行い、出社しなくても偶発的コミュニケーションが生まれる環境を作ろうとしている。

- リモートワークの一歩先として、ヴァーチャル空間でチームビルディングや雑談スペースを確保し、集中力や連帯感を維持する事例が増加。社内行事や全社会議もメタバース上で行うケースもある。

6. 営業・マーケティング

- ヴァーチャルショールーム：自動車メーカー各社がヴァーチャルディーラーを設置し、ユーザーは家にいながらアバターで車両を見たり商談したりできる。

- 企業コラボ：ナイキが「NIKELAND」と称してヴァーチャル空間でスニーカーを試着・販売、グッチやプラダがRobloxで限定デジタルアイテムを展開するなど、ブランド体験型マーケティングが広がる。

- 日本では自動車メーカー各社がクラスター社と連携し、「爆創クラブ」プロジェクトを展開。東京ゲームショウ2023で大々的に発表され、メタバース空間での車両カスタマイズ体験や若年層向けのクリエイティブコンテストなど、従来の自動車マーケティングの枠を超え

た革新的な取り組みが実現している。これは単なるPR施策を超えて、Z世代との新たな接点創出と、自動車文化の再定義を目指す戦略的な動きとなっている。

- 日本ではトヨタがメタバースゲームとコラボして若年層向けキャンペーンを行うなど、多様なPR施策が展開されている。

5.3 インダストリアルメタバースのメリットと課題

メリット

- コスト削減・効率化：試作や現場訪問の回数を削減し、工程の無駄を可視化することで大幅なコストダウン。

- 品質向上：可視化・シミュレーションにより設計ミスや施工ミスを事前に発見し、品質トラブルを回避。

- 人材育成：安全なヴァーチャル空間で熟練技術を学べる環境を作り、技能伝承を加速。若手や新入社員が短期間でスキルを習得。

- 柔軟なコラボレーション：国内外の多拠点やパートナー企業間でリアルタイムに情報共有し、イノベーション創出を促進。

課題

- コストと導入ハードル：大規模システム構築には相応の投資が必要。ROI（投資対効果）が明確でないと経営層の合意を得にくい。
- 組織文化と経営層の理解：現場主体の企業文化を持つ業種では、デジタル化への抵抗感が大きい場合があり、推進リーダーの存在や現場巻き込みが不可欠。また経営層や政策決定できる世代の理解の強化、場合によっては大胆な若返り促進なども必要。

- データの標準化と相互運用性：各社のCAD/BIMフォーマットやIoTプラットフォームが異なるため、メタバース空間で統合する際の互換性が大きな課題。

- 人材教育や確保：特に既存製造業とIT系人材の流動性の確保と、その前提となるドメイン知識のオープン化、給与体系の整合等が課題。

- セキュリティと機密保護：産業データは高度に機密性の高いものが多く、情報漏洩リスクへの対策が必須。
- 開発支援体制：NEDOなどの手続きの煩雑化および財務省による過度の用途や手続きの要求が、戦略的かつ大胆な国の研究開発予算を実質的に骨抜きにしている現状への対策が必要。

5.5 日本の展望と戦略

- 製造大国としての強み：日本は自動車、重工業、精密機械など、世界有数の製造現場を保有しており、インダストリアルメタバースの活用余地が非常に大きい。

- 光学・センサー技術の優位性：高品質なカメラや計測機器、ロボット技術などがインダストリアルメタバースに直結する。

- 課題：デジタル人材不足と投資の少なさ、海外で進むプラットフォーム競争に乗り遅れる危険。

提言：第12章の戦略提言でも触れるように、大学や企業の研究開発投資、規制サンドボックスの活用、標準化への積極参加が不可欠。

インダストリアルメタバースは、日本企業が得意とするハードウェア・製造ノウハウとXR・AI・シミュレーション技術を組み合わせることで、大きな国際競争力を発揮できる領域である。今後も急速に技術進歩が見込まれるため、産官学連携によるオープンイノベーションの推進が鍵となる。

第6章：AIとメタバース

メタバースの発展において、生成コストを劇的に低減し、かつ、リアル世界とどう連携するかが鍵ですが、その際に注目されるのがAIの活用である。生成AI(Generative AI）は、画像やテキ

ストだけでなく、音声や3Dモデルなどを自動生成する技術が進化することで、メタバースの構築や運営、そしてユーザー体験の質が飛躍的に向上すると期待されている。またリアル世界を記述する空間AIに注目が集まっており、Meta社ルカンはLLM(大規模言語モデル)を念頭に空間AIの開発に注力していると発言し、2025年時点で「空間を認識する能力は4歳児に及ばない」とも発言している。

本章では、AIとメタバースの融合がもたらす新たな可能性と課題について詳述する。

6.1 生成**AI**とメタバースの相乗効果

1. コンテンツ制作コストの劇的低減

- 自動3Dモデル生成：テキスト入力のみで建物やアバター用のアイテム、背景オブジェクトなどを作り出す研究が進んでいる。個人クリエイターでも短時間で質の高いコンテンツを生み出せるようになり、メタバース上のUGC（User Generated Content）が爆発的に増加する可能性。

- ヴァーチャルワールドのプロシージャル生成：ゲームエンジンの分野で長年蓄積されてきたプロシージャル技術が、AIと融合してよりリアルかつ多様なヴァーチャル空間を自動構築できる。大規模ワールドのメンテナンスも容易になり、常時アップデートされる「生きたメタバース」が実現。

2. アバター・**NPC**（ノンプレイヤーキャラクター）の高度化

- 自然言語対話：ChatGPTのような大規模言語モデルをNPCに組み込むことで、人間並みに流暢な対話や柔軟な応答が可能。メタバース上で24時間体制のガイドやカウンセラーとして機能する。

- 学習と自己成長：NPCがユーザーとのやり取りや環境から学習し、スキルアップや性格変化を遂げる「進化型キャラクター」も研究段階にある。教育やカウンセリング、ゲームプレイなど多彩な領域で活用が見込まれる。

- アバター生成：ユーザーの写真や音声をもとにリアルタイムでアバターを自動生成する技術が進み、誰もが手軽に高品質のアバターを作成できるようになる。

3. 翻訳・コミュニケーション

- リアルタイム翻訳：多言語のユーザーが集まるメタバースで、自動同時通訳システムとして生成AIが機能。テキストチャットだけでなく音声対話でも言語の壁を下げ、グローバルな交流を促進。

- 手話や音声合成：聴覚・視覚障害者に向けた手話通訳や読み上げなどの支援技術が進み、アクセシビリティを飛躍的に高める。

6.2 生成**AI**活用の具体事例

- Meta社の「Builder Bot」構想：自然言語入力によってVR空間内に建物や景観を即座に生成するデモを発表。ユーザーは声やテキストで指示を出すだけで、大規模な建築物やアート空間を作り上げることが可能。

- スタートアップによるNPCサービス：教育分野では語学学習NPC、医療分野では遠隔カウンセリングNPC、観光業ではヴァーチャルガイドNPCなどが登場。ユーザーがリアルタイムで質疑応答しながらサービスを受けられる。

- 3Dアセット生成の自動化：NVIDIAやAdobeなどが3Dアセット自動生成ツールを開発し、メタバースプラットフォームが公式に機能を導入する動き。初心者クリエイターがボタン一つでハイクオリティなオブジェクトを生み出せる。

6.3 生成**AI**とメタバースにおける課題

1. ディープフェイクや著作権侵害

- 悪意あるコンテンツ生成：著名人のディープフェイク音声や映像を使った詐欺、誹謗中傷、扇動などのリスク。メタバース内で流布されると拡散力が高く、社会的混乱につながりかねない。

- 著作権問題：生成AIの学習データとして、他者の作品が無断で使われるケースがあり、メタバースで生成物を商用利用する際に紛争が生じる可能性。

2. 人間らしさと倫理

- NPCやアバターが人間と見分けがつかないほど精巧になると、ユーザーが心理的に混乱を招いたり、ヴァーチャル上での人格尊重のあり方が議論される。

- AIに人格権を与えるかどうか、利用者の感情的依存や心理的影響など、倫理的課題が深刻化する可能性。

3. データプライバシーとセキュリティ

- 生成AIが収集する学習データやユーザーとのやり取りのログには機密情報が含まれ得る。メタバース上で大規模に生成AIを展開する場合、データ管理体制が不十分だと重大な情報漏洩リスクを伴う。

- NPCがユーザー情報を勝手に外部に送信したり解析したりしないよう、権限管理や監査が不可欠。

4. 計算リソースと環境負荷

- 大規模言語モデルや画像生成モデルをリアルタイムに動作させるには膨大な計算リソースが必要。メタバース全体で導入が進むと、エネルギー消費が大幅に増加する。

- グリーンデータセンターや高効率アルゴリズムの研究など、環境面への配慮が求められる。

6.4 空間**AI**とメタバース

1. 空間**AI /** 物理**AI**

- 実空間（リアル世界）との連携の上で情報の編集性のある実空間メタバースを産み出すには、空間AI（空間を認識する能力のあるAI）の構築が必要不可欠となる。
- 現在、物理現象を学習できるAI（広義には空間AI）がNVIDIAやカーネギーメロン大学などで開発され物理エンジン「Genesis」と呼ばれている。
- 既に一般化しつつあるLLM（大規模言語モデル）に加えて、Large Spatial Model（大規模空間モデル）、LBM：Large Behavior Model（大規模行為空間モデル）などを組み合わせることで、コンピューターが可読可能なリアル世界が広がり、メタバースを大きく拡張する可能性がある。
- 一方で、その構築に必要な実空間側の情報の抽出（取得）と記述体系がほとんど未整備で、デジタル空間側と接続可能なチャンネルが非常に希少。このチャンネルを増やすこ

と（センシング技術、AIによる認識技術、記述と通信の体系など）、およびその処理技術（基盤モデル化、標準モデル化など）がそこへのフロンティアとなる。

2. AIに求めるもの

- メタバースは今より更にリアル世界とつながるため、メタバースを介してやり取りするのは、アバターではあるが結局は生身の人間である。AIがその補完や代替をするには、人と人とがつながって、お互い認められているという自己肯定感で満たしてくれといった人格が必要であり、いわば「愛（AI）が込められていること」が重要な要素であると推察される。
- 愛があるAIを形成するには、他者とやり取りから相手のレスポンスを学習・分析し、各AIが個人らしい感覚を身につけていくことでが必要であり、その構築過程では、言語のAIであるLLMや、行為や行動のAIであるLBMが不可欠になる。

6.5 今後の展望

- 高度なAIアシスタントの普及：メタバース内の各種サービスがAIエージェント化し、ユーザー体験を総合的にサポートする「ヴァーチャル秘書」的存在が一般化する。時に厳しいことを言われても、愛があるAIであれば受け入れられる。そのようなAIが望まれる。

- 創造の民主化：3Dモデルやストーリー、音楽、コードなどあらゆる創作がAIの助けで容易になることで、メタバースを取り巻くクリエイティブ環境が劇的に拡大。

- 規制とガバナンス：ディープフェイクや誤情報流布を抑制しながらイノベーションを推進するため、プラットフォームや政府のルールメイキングが必須となる。

生成AIはメタバース発展を加速させる原動力であると同時に、新たなセキュリティ・倫理課題を引き起こす両刃の剣でもある。第9章（旧第7章）の課題と克服策でも触れられるように、プライバシー保護や誤情報対策、知的財産の整理など横断的な課題に取り組むことが重要である。適切なガバナンスを設計しつつ、生成AIの力を最大限に活かすことで、ユーザーがより自由かつ安全にメタバースでの活動を楽しめる未来が期待される。

第**7**章：メタバースに関する国際的な政策動向

世界の主要国や国際機関は、メタバースを次世代の重要領域と捉え、政策面・規制面での対応を模索している。本章ではOECDやEUをはじめ、米国・中国・韓国などの事例を紹介する。

7.1 OECDの提言と国際協調

経済協力開発機構（OECD）は2023～2024年にメタバースに関する報告書や勧告案を発表し、「人間中心」「価値共通」の原則を強調している。メタバースが教育や医療などの社会課題解決に寄与する一方、プライバシー・セキュリティ・誤情報拡散などのリスク管理が必要であり、以下を提案している。

- 政策支援と環境整備：教育現場へのデバイス導入支援、医療分野でのデータガイドライン策定。

- リスク規制枠組み：バイオメトリクス情報の扱い、プラットフォーム安全基準、虚偽情報対策。

- 国際協調と標準化：相互運用性を損なわない国際的ルールづくり。

- 先手的ガバナンス：技術進歩を待つのではなく、早期に原則や勧告を示すことでイノベーションと人権保護を両立。

7.2 欧州連合（**EU**）の「**Web4.0**とヴァーチャル世界」戦略

EUは2023年7月に「Web4.0とヴァーチャル世界に関する戦略」を公表し、メタバースという用語を使わずに包括的な「ヴァーチャルワールド」構想を提示している。主な柱は以下の4点である。

- 人材育成と市民エンパワーメント

- ビジネス発展と産業エコシステム

- 政府・公共サービスへの応用

- オープン・相互運用可能な標準形成

GDPRやデータガバナンス法に続き、メタバースでも欧州独自の規制モデルや国際標準主導を目指す姿勢が明確である。

7.3 アメリカ合衆国の状況

米国はBig Tech企業がメタバースの技術革新を主導しているが、連邦レベルでの包括戦略は明確化していません。FTCや州法によるプライバシー・未成年保護など部分的規制に加え、軍事・宇宙開発（DoD、NASA）でもVR訓練や遠隔操作を積極導入している。

7.4 中国の動向

中国政府はヴァーチャル通貨やNFTに厳しい規制を敷きながらも、地方政府レベルでメタバース産業育成計画を次々に打ち出している。上海や北京、深圳など都市部で3〜5年計画を策定し、数千億元規模の産業育成を目指している。テンセントやバイドゥ、バイトダンスなどIT大手も独自のヴァーチャル世界やVRデバイスを開発。ただし、検閲や実名登録など中国独自の統制が敷かれる「閉じたメタバース」になる可能性が高いとも指摘されている。

7.5 韓国・その他各国

- 韓国：2022年初頭「メタバース新興産業戦略」を政府が公表。2023年にはソウル市が「メタバース首都ソウル」公共サービスを開始し、2024年にさらなる拡充予定。ヴァーチャル世界における未成年保護、産業支援などを目的に「メタバース基本法」策定が進む。

- UAE（ドバイ）：2023年に「Dubai Metaverse Strategy」を掲げ、2030年までに4万人雇用創出を目標。

- 世界経済フォーラム（WEF）：2022年に「メタバースの定義と構築」イニシアチブを立ち上げ、国際的ガバナンスや経済圏について議論。

- 標準化：民間主導のメタバース標準フォーラム（MSF）が2022年に発足。Khronos Groupや多数の大手企業が参加し、3Dデータ形式やアバター仕様、セキュリティ標準などの調整を進めている。

第8章：日本における政策と産業界の動き

8.1 政府の方針と支援策

日本政府はデジタル社会の実現に向け、メタバースやWeb3を成長領域と位置づける動きを強めている。

- 総務省：情報通信白書（令和6年版）でメタバース特集を実施。世界市場予測や国内利用率の低さを課題視。

- 経済産業省：メタバース等Web3時代のコンテンツ産業ビジョン検討会で、ゲーム・アニメとメタバースの連携やクリエイターエコノミー育成を議論。

- デジタル庁：Web3研究会に著名ゲームクリエイターを招き、メタバースやブロックチェーン技術の社会実装を模索。2023年2月には「Japan Metaverse Economic Zone（日本メタバース経済圏）」構想を発表し、大手企業が連携して統一基盤「RYUGUKOKU（龍刻）」を構築するプランを打ち出す。

8.2 主要企業と産業界の事例

- ハードウェア（デバイス）：ソニーがPlayStation VR2を2023年に発売し、高品質VRゲーム領域をけん引。パナソニックやニコン、シャープなどは光学技術や超小型ディスプレイ開発で存在感を示す。

- ゲーム・エンタメ企業：バンダイナムコの「ガンダムメタバース計画」、スクウェア・エニックスのNFT活用やメタバース化構想、コナミ・カプコンなどもヴァーチャルテーマパークやライブ展開を模索。音楽業界ではエイベックスやジャニーズがヴァーチャルライブの取り組み。

- 通信・IT企業：NTTはIOWN構想とデジタルツインコンピューティング、KDDIは「ヴァーチャル渋谷」など都市型メタバース企画、ソフトバンクは海外メタバース企業への投資・提携を進める。富士通・NECは産業DX向けメタバースプラットフォームを展開。

- 製造業・自動車：トヨタ、ホンダ、日産が車両開発やデザインレビュー、ヴァーチャルワークスペースで実績。鹿島建設や大林組などゼネコンは施工管理のVR/AR化を推進。

- スタートアップ：クラスター社の「cluster」は大規模ヴァーチャルイベントを主導。HIKKYは「ヴァーチャルマーケット」で国際的注目。Psychic VR Lab（STYLY）、MESON、NEUTRONGEARなどAR/VRソリューション企業が台頭。

8.3 日本における課題

- ユーザー利用の拡大：利用経験率が低く、デバイスコストや文化的要因が障壁。軽量版メタバースやスマホアクセスの拡充がカギ。

- デジタル人材不足：3DCG、ゲームエンジン、ブロックチェーン、AIなど多領域にわたる専門家が足りない。大学・専門学校・リスキリング施策などで裾野を広げる必要。

- プラットフォーム競争力：世界的にロブロックスやTikTok系プラットフォームが勢力を拡大する中、日本発の主要プラットフォームが見当たらない。JMEZやNTTの取り組みがカギ。

- 国際標準への関与不足：MSFなどにおける日本企業の発言力が弱く、技術標準やルール形成でリードしにくい。

- 社会的受容と倫理：投機・詐欺の懸念や、VR長時間利用による健康リスクなど。プラットフォームガイドラインや利用者教育が必要。

第9章：メタバース発展に伴う課題と克服策

メタバースが一層拡大するうえで、技術面・社会面・倫理面のさまざまな課題がある。本章では主要課題と克服策を概観する。

9.1 プライバシーと個人データ保護

- VR/ARデバイスはユーザーの視線や表情、位置情報、場合によっては脈拍など非常にセンシティブなデータを収集し得る。しかし、メタバース事業者間でセンシティブ情報の取り扱いに関する認識は統一されていない。視線データや生体情報を「個人情報として厳格に管理する」立場と「匿名化して利用する」立場が混在し、業界標準が確立されていない状況である。

- 特に問題なのは、メタバースがグローバルサービスであるため、どこの国の人が参加しているか分からず、GDPR等の国際規制への対応が極めて困難な点である。事業者は最低

限、センシティブ情報の取り扱い方針を明確化し、ユーザーに透明性のある説明を行う必要がある。

- 対策：データ最小化の原則（不要なデータを収集しない）、暗号化や端末内処理（オンデバイスAI）を推進し、ユーザーに透明性の高い同意プロセスを提供することが不可欠。国際的にはGDPRやOECDガイドラインに即した法整備が期待される。

9.2 セキュリティと安全性

- ハッキングや詐欺、アバターなりすましなど新たな手口が登場。ヴァーチャル通貨ウォレット連携によるフィッシングなどのリスクもある。

- 対策：多要素認証、ゼロトラストアーキテクチャ、プラットフォーム間の脅威情報共有、人手とAIを組み合わせた監視体制が求められる。利用者教育も必須。

9.3 有害コンテンツ・モデレーション

- メタバースでのハラスメントや差別発言、アバターへの不適切接触といった問題は深刻化し得る。

- 対策：コミュニティガイドラインを明確化し、AIモデレーションとユーザー通報システムを整備。未成年向けにはペアレンタルコントロールの標準実装を義務付ける施策などが検討される。

9.4 デジタルデバイド（格差）

- 高額なヘッドセットや高速通信が必要なため、低所得者層や地方在住者、高齢者などが取り残される恐れ。

- 対策：デバイスの低価格化、公的施設での機材整備、5G/6Gインフラの加速、クラウドレンダリングによる低スペック端末支援、多言語対応などを推進する。

9.5 標準化と相互運用性

- 互換性がないプラットフォーム間でユーザーが分断される問題。アバターやアイテムの持ち出し、決済システムの統合、データ形式の統一が課題。

- 対策：メタバース標準フォーラムやISO/IECでの国際標準策定に積極参加し、オープンで誰でも利用しやすい規格を整備。大企業のプラットフォーム競争を越えた協調が鍵。

9.6 知的財産と法制度

- ヴァーチャル空間での著作物侵害やブランド模倣が容易。NFTの偽物取引問題も深刻。

- 対策：権利者が迅速に申立できるプラットフォーム制度、法的救済措置の整備。スマートコントラクトによるロイヤリティ自動分配などの仕組み。国際的に共通ルールを検討。

9.7 健康への影響と倫理

- 長時間VR利用による視覚・身体負担、ヴァーチャル世界への依存・中毒。

- 対策：デバイス側で利用時間管理や休憩アラートを提供。医療機関が注意喚起を行い、利用ガイドラインを普及する。

- 倫理面ではヴァーチャル殺傷表現、AIによる人格シミュレーションなど、深い議論が必要。

第10章 未来展望：2030～2040年に向けた技術革新と社会変革

10.1 XR技術の進化：**AR**グラスから触覚・**BMI**まで

2030年代を見据え、拡張現実 (AR) グラスは飛躍的な進化を遂げる見込みである。現在プロトタイプ段階にある軽量ARグラスが普及し、多くの人々が日常的に装着する未来が想定される。専門家調査でも「2040年までにXR（複合現実）は完全没入型のVRよりもARやMR技術が中心になる」と予測されており、将来的にはARグラスがスマートフォンに代わる主要デバイスになる可能性が指摘されている。

視野いっぱいにデジタル情報を投影しつつ周囲の現実環境も見渡せるARグラスは、道案内や対話者のプロフィール表示、作業手順のガイドなど、仕事や生活のあらゆる場面で活用されるだろう。

XR インターフェースも多感覚化が進み、触覚フィードバックを提供するデバイスの進化によって「触る」「感じる」ことが可能になりつつある。2030年代には軽量な触覚スーツや指先フィードバックデバイスが一般化し、デジタルと物理の境界が一層縮まる。研究者は、真の触覚を加えることでデジタルなやりとりがより自然で魅力的になると指摘しており、触覚インターフェースはヴァーチャル世界と現実世界のギャップを埋める鍵と期待される。2040年までには触覚のみならず匂いや味の再現装置も登場し、五感すべてを巻き込んだ没入体験が可能になっているかもしれない。

先進的なインターフェースとして、BMI (Brain-Machine Interface、脳接続インターフェース) の実用化も視野に入る。脳波や神経信号でコンピュータを制御するBMIの研究が加速しており、2040年頃までには限定的ながら脳とメタバースを直結する体験が実現している可能性がある。視覚障害を持つ人が網膜の代わりに脳に直接映像信号を送り込む装置や、四肢麻痺の患者が思考でアバターを操作できるBMI技術が発達するだろう。一般ユーザー向けにも、頭部に装着する簡易BMIデバイスでアバターの動きを直感的に操作したり、テレパシーのようにメッセージを送ったりする応用が考えられる。

XR体験を下支えする基盤として、クラウドレンダリングと超高速通信網の普及が重要である。膨大な演算資源をクラウド側で担い、映像ストリーミングによって端末に転送するクラウドレンダリングにより、薄型軽量のXRデバイスでも高品質なグラフィックスが楽しめる。2030年代には6Gといった無線通信のさらなる高速・低遅延化により、クラウド上のサーバでレンダリングしたフォトリアルな3D映像を遅延なく配信可能になる。この結果、XRデバイスは軽量化・長時間駆動化し、日常生活の常用に耐えうるものとなる。2040年には眼鏡型やコンタクトレンズ型のXRデバイスが当たり前となり、クラウド上のメタバースと常時接続された「常時装着型コンピュータ」として機能している可能性が高い。

10.2 インダストリアルメタバースの未来像：サイバーフィジカル融合による産業革新

産業分野でもメタバース技術の浸透が進み、「インダストリアルメタバース」と呼ばれる新たな生産・管理基盤が形成されつつある。これは製造業や建設、物流、都市運営といった領域で、現実世界の設備やプロセスをヴァーチャル空間上に精密に再現 (デジタルツイン化) し、リアルタイムに連携・制御する仕組みである。

- フルスケールデジタルツインの普及
  2030年代には工場やプラントのフルスケールのデジタルツインが当たり前となり、生産ラインやサプライチェーン全体をヴァーチャル上でシミュレーションしながら運用するのが標準手法となっている。工場内の機械やロボット、作業員の動きがセンサーでデータ化され、ヴァーチャル工場空間に投影される。管理者はそのヴァーチャル空間を通じて稼働状況を一望でき、AIが最適化提案や異常検知をリアルタイムに行うことで、生産効率の向上やダウンタイムの削減が実現する。

- 建設・インフラ分野での活用
  建設現場ではMRデバイスを装着した作業員が施工計画や配線図を現場に重ねて確認できるようになるなど、施工前にヴァーチャル空間で綿密なシミュレーションを行い、問題点を洗い出してから実施工に移ることで手戻りを削減できる。完成後も建造物のデジタルツインが維持管理に活用され、点検や修理をヴァーチャル上で計画・実施することで安全性と効率が高まる。

- サプライチェーン・メタバース
  物流分野では倉庫の在庫や配送トラックの動きをメタバース上に写し込んだサプライチェーン・メタバースが構築される。需給予測に基づく在庫配置の最適化や配送経路のリアルタイム再計画が可能となり、物流の無駄が大幅に削減される。

- 都市**OS**と市民参加
  都市運営では交通、エネルギー、水道などインフラ全般のデジタルツインを構築し、都市運営の最適化を図る。行政はメタバース上にヴァーチャル市役所を開設し、市民は自宅からアバターで窓口業務を行ったり、都市計画の説明会にヴァーチャル参加して意見を述べたりできる。メタバース上で都市と市民が双方向にデータと意思をやり取りすることで、より住みやすい都市づくりへの市民参加が促進される。

- 人間の役割と課題
  インダストリアルメタバースの浸透により、人間は危険作業や単純作業をロボットとAIに任せ、高度な判断や創造力を要する業務に集中するようになる。ただし相互運用性の確保やセキュリティ、プライバシー保護といった課題も並行して解決する必要がある。

10.3 生成**AI**との融合進化：創造性と知能を拡張するメタバース

生成AIはメタバース発展と融合し、新たな創造の地平を切り拓いている。

- **3D**コンテンツ生成**AI**の進化
  2020年代半ばには画像生成AIや文章生成AIが普及したが、2030年代に向けては3Dモデルやアニメーション、音声といった時空間コンテンツの自動生成が一層高度化する。テキスト指示だけでヴァーチャル環境を即座に構築し、デザイナーやゲーム開発者は開発期間を劇的に短縮できるようになる。

- **AI**エージェントとの協働空間
  ヴァーチャルオフィスやコミュニティ空間には、高度な対話AIを備えたエージェントが共に活動する。教育やプロジェクト管理の場でAIエージェントが知識提供や資料生成を行い、人間と協調してタスクをこなす。技能伝承や新人教育では、ベテラン技術者の知見を学習したAIがヴァーチャル師匠として指導に当たる。

- デザイン支援**AI**

建築や工業設計では、AIが強度解析や材料選定などをリアルタイムで行い、革新的なソリューションを提案する。人間の創造性とAIの網羅的知識が融合し、個人の能力を超えたアイデアが次々と生み出される。

- 創造の民主化と課題
  生成AIの力で誰もが創造者になれる一方、著作権やオリジナリティの定義という課題も浮上する。2040年までには人間とAIの共同制作物に関する法制度や倫理指針が整備され、創造性の価値を守りつつ技術を活用する枠組みが確立されていることが望ましい。

10.4 ロボティクス・現実世界との融合：サイバー空間からリアルへの働きかけ

メタバースはロボティクスとの融合により現実の物理領域にも影響を及ぼしている。

- 遠隔操作とテレイグジスタンス
  人々がメタバースを通じて遠隔地のロボットを操縦する光景が一般化する。危険環境や医療分野での遠隔手術、建設機械の遠隔操作など、テレイグジスタンスが人命リスクを回避しつつ作業を継続できる手段として定着する。
- デジタルツインとロボット管制
  ロボットの動作や状況をデジタルツイン上でモニターし、AIが異常検知や制御最適化を支援する。ヴァーチャル環境で事前シミュレーションを行い、安全性を確保してから現実のロボットに実行させるサイクルが確立する。

- 身近なロボットとの相互作用
  家庭やオフィスでは、ユーザーがARデバイスでスマートロボットを直感的に制御できる。離れて暮らす家族をアシストするロボットを遠隔操作し、介護や家事を支援する利用も拡大する。

- 相互進化
  メタバースがロボット開発の実験場となり、ヴァーチャル空間で試行錯誤した最適解が実ロボットに実装される。ロボットの現場データはメタバースで分析され、次世代ロボットの設計改良とAI制御の高度化にフィードバックされる。

10.5 Beyond Human Metaverse：多様な主体のための仮想空間

「General Purpose Metaverse」の概念に基づき、2030年代にはメタバースが人間だけでなく、AI、ロボット、動物、植物など多様な主体のためのプラットフォームとして機能することが期待される。

- 動物のためのメタバース研究の進展
  すでに生物学者による昆虫とVRの研究が進んでおり、昆虫やマウスの行動研究にメタバースが活用されている。植物学者も植物のためのVR環境を構築し、新たな研究アプローチを開拓している。これらの研究により、昆虫の視点から見た世界を理解し、その知

見を製品開発や農業技術の改良に活かす取り組みが始まっている。2030年代には、これらの基礎研究が実用化段階に入り、バイオミメティクス（生物模倣技術）の新たな展開が期待される。

- **AI**とロボットの学習環境としての発展
  メタバースはロボットとAIにとって理想的な学習・実験環境となっている。物理世界では危険や高コストを伴う試行錯誤を、安全かつ効率的に実施できる。2030年代には、メタバース上でAIが人間と見分けがつかない状態で活動し、ロボットの社会実装前のテスト環境として標準的に利用されるようになる。

- 実際の事例でも、ロボットの存在によりユーザーの定着時間や愛着が伸びることが確認されており、人間とAI/ロボットが自然に共存する環境としてのメタバースの可能性が実証されつつある。

- 暗黙知の形式知化と技能伝承
  「背中を見て覚える」という職人技のような暗黙知を、メタバースとAIの組み合わせで伝承できるようになる。2030年代には、熟練者の身体感覚や微細な力加減をデータ化し、初心者に直接体感させる技術が普及し、技能伝承の効率が飛躍的に向上する。

- 発見プロセスの革新
  フランシス・ベーコンの線形モデル（理論→発明→産業化）から、現象からモデルが生成される世界への転換が、メタバースを通じて実現される。メタバースは発見を最大化するプラットフォームとなり、メタバースで観察された現象を生成AIで理論化する新たな科学的方法論が確立される。これは単なる試行錯誤ではなく、体系的な発見プロセスへの進化を意味する。

- 社会実装への展望
  メタバースは「もしもボックス」と「4次元ポケット」の両方の機能を持つ。世界を作って体験し、必要なものを必要な時に取り出せる環境として、2030-2040年にかけて、教育、産業、科学研究のあらゆる分野で活用されることになる。特に、社会実験を比較的安全にシミュレーションできる環境として、新技術の社会的影響を事前に検証する標準的な手法となることが期待される。

10.6 2040年に向けた社会構造・職業・倫理観の変容

- 職業と働き方の変革
  AIと自動化により従来の単純労働は大幅に削減される一方、メタバース関連の新職業が次々と生まれる。ヴァーチャル空間の土地開発やイベント企画を専門に行うメタバースプランナー、企業のメタバース進出を支援するヴァーチャルコンサルタント、アバターのファッションをデザインするデジタルスタイリストなどが登場し、一人が複数の職業アイデンティティを持つことも増える。

- 社会構造とコミュニティ

人々は同時に複数のヴァーチャルコミュニティに属し、多重的な市民権を持つ時代が到来する。ヴァーチャル通貨やブロックチェーンを基盤とした自治システムを備えるヴァーチャル国家も現れ、現実世界の政府機関と連携・調整が求められるようになる。

- アイデンティティと自己拡張
  アバターを文脈に応じて使い分けることが日常化し、自己定義が多層化する。プライバシーと信頼性を両立する分散型IDの普及が鍵となり、ユーザーは安心して複数の世界を行き来できるようになる。

- 倫理観と社会課題
  ヴァーチャル空間でのハラスメントや犯罪、AIキャラクターの権利など新たな課題に向き合う必要がある。長時間のヴァーチャル生活による健康影響や社会的孤立を防ぐため、教育カリキュラムや法律の整備、技術的な対策が求められる。

- **2040**年の展望
  2040年にはメタバースと現実が高い次元で融合し、仕事も娯楽も学びもシームレスに行われる。メタバースは人類の生活様式を拡張する新たな現実となっているだろう。その未来を実現するかどうかは、我々が技術と社会を調和させながら倫理的に実装できるかにかかっている。

第11章：国際的潮流の中での日本の立ち位置

11.1 日本の強み

- 豊富なコンテンツIPとカルチャー：アニメ・漫画・ゲームなど世界的ファンを抱えるコンテンツがメタバース展開において強力な集客力を発揮。

- ハードウェア・エレクトロニクス技術：光学レンズやディスプレイ、精密機器、半導体など、XRデバイスのコア技術に強み。

- 安全・信頼のブランド：日本企業は品質管理・誠実性の点で国際的評価が高く、セキュリティやユーザー保護でも優位性を打ち出しやすい。

- クロスオーバー人材：エンタメ×IT、製造×XRなど複数領域の経験を持つ人材が多く、独創的イノベーションを生む土壌がある。

11.2 日本の弱み

- デジタル化の遅れ：行政や企業のDXが欧米中より遅れ、メタバース対応も腰が重い。

- 投資・資本力：大手企業は保守的でスタートアップ投資が少なく、米中の巨額投資に劣勢。

- 国際発信力・標準化：英語情報発信が弱く、国際会議や標準団体でのプレゼンスが低い。

- 人材の量的不足と多様性：少子高齢化でIT人材が不足し、海外や女性人材の参入も限定的。

11.3 戦略的立ち位置

- 日本は「すべてに勝つ」必要はなく、コンテンツと品質で強みを発揮しながら技術基盤と国際協調で補完する戦略が現実的。
- Cool Japan Metaverse：日本発のアニメ・ゲーム文化を軸に、ヴァーチャルジャパンやメタバーステーマパークを世界へ発信し、そこから標準や技術を広める。

- 産業・公共分野でのモデルケース：製造業DX（Industrial Metaverse Japan）やデジタルツイン都市開発で着実に成果を出し、国際的な成功事例を作る。

- 価値観外交的アプローチ：中国型の厳格統制と米国型の自由放任の中間として、人権尊重や個人情報保護など「人に優しいメタバース」を提唱し、国際会議で調停役を果たす。

第**12**章：日本の戦略と提言 **–** 現実的かつ未来志向の方策

最後に、日本がメタバース時代に主導権を握り、自国の利益と社会的価値を守りつつ、グローバルにも貢献していくための戦略を具体的に提言する。

提言**1**：人材育成と教育改革の推進

- 大学・大学院でのメタバース関連学位創設

- 「XR工学」「デジタルツインデザイン学」など新領域の研究科を整備し、奨学金拡充で専門人材を育成。

- 産業界との連携インターンシップやハッカソンを拡充し、実践的スキルを身につけさせる。

- 中高生・社会人のリスキリング

- オンライン講座（3DCG、プログラミング、AI、ブロックチェーンなど）を全国で無償提供する取り組み。

- 地方の技術者やクリエイターも学べる環境づくりで人材裾野を拡大。

- 多様な人材参加

- 外国人エンジニアへの奨励金制度、ビザ要件緩和、海外クリエイター招聘などにより、多文化・多言語対応のメタバースを開発できる体制を整備。

提言**2**：技術開発投資とオープンイノベーション

- 研究開発投資の拡大

- 官民でXRデバイス、通信インフラ、AI、コンテンツ制作ツールなどメタバース基盤技術への大規模投資を実施。NEDOやムーンショット型プロジェクトを活用。

- スタートアップ支援と資金調達環境

- 政府系ファンドがメタバース特化投資枠を設置し、ベンチャーキャピタルと連携して有望企業を支援。

- ICOやトークン発行の制度整備、投資家への減税措置などイノベーション誘発策を検討。

- オープンイノベーション促進

- 「メタバース共創ラボ」（仮称）を産総研やデジタル庁がハブとして設立し、異業種・学術機関・スタートアップの共同試作を支援。法規制や標準化の専門家も交え検証する場を作る。

提言**3**：制度整備とガバナンス強化

- メタバース推進本部の設置

- デジタル庁を中心に総務省・経産省・文科省・内閣府など関係省庁をまとめる総合調整機能を持つ機関を設置。

- 規制のサンドボックス化

- 金融や医療、教育などでメタバースの社会実験を柔軟に行える規制特区を拡充。試験結果を踏まえて本格導入時の法改正を迅速化。

- プライバシー・権利保護ルールの整備

- 個人情報保護法のガイドラインを改訂し、視線データや生体情報を含むメタバース固有のセンシティブデータ保護を強化。

- 著作権法や不正競争防止法を見直し、ヴァーチャル空間での二次創作やブランド模倣への対応策を明確化。

- ユーザー保護と安全基準

- 未成年向けの利用規制、ハラスメント通報機能、年齢確認システムをプラットフォーム側に義務付けるガイドライン策定。

- 「セーフメタバース認証」といった第三者認証制度で安全・安心の可視化を推進。

提言**4**:標準化と国際協力への積極参加

- 国際標準化リーダーシップ

- 日本企業や研究者がMSFやISO/IEC/IEEEに積極参加し、3Dファイル形式、通信プロトコル、アバター仕様などコア領域での提案を強化。

- 政府が人材育成や参加費補助、標準化貢献企業の表彰などを行い、参加インセンティブを高める。

- 価値観を共有する国との連携

- G7やAPEC、OECDなどでメタバース議題を主導し、EUとはデータ保護や児童保護の価値観が近い点を活かし協力。韓国・シンガポールなどアジアの先進国とも二国間連携。

- 開発途上国支援

- VR教育や遠隔医療を途上国に普及するデジタルODA的な取り組みを進め、国際貢献と市場開拓を両立。

提言**5**:社会実装と普及啓発

- 官公庁による率先利用

- 省庁間会議をVR空間で行う、行政手続をヴァーチャル窓口で完結できる実証など公的部門が先導し、企業や自治体を巻き込む。

- 産業別モデルケース創出

- 製造業の「ヴァーチャル工場見学」、建設業の「遠隔VR施工管理」、観光業の「47都道府県ヴァーチャル観光スタンプラリー」など具体イベントを支援し、他業界への波及を狙う。

- 国民への理解促進

- 政府広報や教育現場でメタバースの可能性とリスクを周知。NHKや民放と連携したドキュメンタリー制作などで正確な情報を伝える。

- 毎年「メタバース白書」を官民共同で発行し、政策効果や最新技術・事例を共有。

おわりに

メタバースは一過性のブームではなく、今後10年～20年をかけてインターネットの次の進化形として社会インフラ化する可能性が高い技術領域である。エンターテインメントから医療・教育・産業DX、行政サービスに至るまで、すでに具体的な応用事例が登場し、成長の芽を広げている。一方で、プライバシーやセキュリティ、知的財産、アクセシビリティといった多面的課題が顕在化しており、国際ルール形成と産業界・研究者・市民の協働によるガバナンス確立が急務である。

日本はこれまでのインターネットやスマートフォンの波で主導権を握れなかった反省を踏まえ、メタバースにおいては「コンテンツ力」と「製造業技術力」の両輪を武器に、世界標準の形成や実利的な産業応用のモデルケース創出を目指すべきである。すでに一般社団法人Metaverse Japan（MVJ）をはじめとする官民の取り組みが動き出しており、大阪・関西万博やJapan Metaverse Economic Zoneなどのプロジェクトは日本独自の強みを世界に発信する好機となるだろう。

メタバースは、その世界観だけを切り取ればSF的なきらびやかさや過度な期待を抱かせる一方、「誰が実際に恩恵を受けるのか」「社会はどう変容していくのか」といった根本的な問いが常に付きまとう。私たちがいま下す決定や制度設計、投資・教育へのコミットメントが、10年後、20年後のメタバース社会のあり方を大きく左右するのである。本書で提言した一連の方策は、あくまでそのための一歩に過ぎません。実行に移すには、産業界のリーダー、政策立案者、研究者、教育者、そして一般市民が連携し、相互理解を深めながら協調する必要がある。

一般社団法人Metaverse Japan（MVJ）は、メタバースの発展を通じて「知が循環し、社会のあらゆる主体が未来を共創できる」世界を目指し、政策提言や産業連携、国際標準化、ユーザー保護・倫理規範づくりなど様々な活動を継続してまいりる。日本のみならず世界と連携し、技術面での先端開発だけでなく、社会面・人文面での合意形成を進めることで、メタバースが誰もが参加可能な「包摂的な新次元の公共空間」となるよう貢献していく所存である。

本書「Metaverse Whitepaper 2.0（2025年版）」が、その実現への羅針盤として皆様のお役に立ち、日本と世界のメタバース発展をより良い方向へ導く一助となることを願って、ここに締めくくらせていただく。