

インダストリーメタバースが加速する サイバー・リアル統合の進化

研究第三部 部長 松本 洋人
研究第三部 技術戦略グループ 主任研究員 渡部 正泰

産業インフラで起きている現実をデータに変換し、サイバー上でデジタル処理を行い、その結果をリアル空間にフィードバック（実行）する。このCPS（Cyber Physical System）のサイクルが、どのような価値をもたらすのか、課題は何かなどの研究に日立総研は携わってきた。これらの研究過程において常に重視しているのは、CPSをものづくりのヨコとタテ、つまり材料・部品供給と製造から最終顧客までのサプライチェーン（ヨコ）と開発・設計から生産、運用までのエンジニアリングチェーン（タテ）の、どの部分に適用する検討をしているのかという点である。それによって、CPSに求められる機能が異なるからである。

本レポートでは、CPSの適用拡大のために求められる機能を踏まえ、昨今注目を集めているメタバースの産業適用の意義や可能性を展望する。

1. サイバー・リアル統合の価値と課題

独ハノーバーメッセで、当時のメルケル首相がインダストリー 4.0 の構想を示し、CPSによる新しい生産システムを提言したのは2013年4月。日本でも2014年、産業構造審議会に商務流通情報分科会が設置され、CPSによるデータ駆動型社会の到来を見据えた検討が始まった。それから10年近くがたち、これらの取り組みは、ビジョンや概念の段階から実際に現場適用される実装段階に移行してきたが、その中で適用現場に合わせたカスタマイズが必要となる点、部分的なCPS適用では効果が限定的になる点などの課題が浮き彫りになってきている。

ここでは、ものづくりのサプライチェーンとエンジニアリングチェーンを軸として、CPSの実装場면을整理し、CPSの課題を検討していく。

1.1 サプライチェーンにおけるCPS適用

サプライチェーンの運用を担う計画システムは、需要予測やリソースの配置、サプライチェーンの上流・下流工程のスケジュール調整などを実施することが目的である。例えば物流業界では、倉庫業務の生産性の8割は、日々の作業計画とリソース配置の段取りで決まると言われている。倉庫業務の上流の荷主からの発注データや倉庫の在庫管理データ、作業員の出勤データ、業務下流に当たるその日のトラック出荷の時間などの情報を基に、各工程での作業待ち時間を減らし、ヒトや設備の不稼働時間を最小化した作業計画を作ることが、現場リーダーの腕の見せ所となる。このような計画系業務の生産性を向上させるには、CPSを導入し、業務実態の可視化、トラブル発生時の影響予測、原因分析に基づく対策の提示などのサイクルを効率化することが重要である。

ただし、計画系業務支援の的確性を向上させ、倉庫運営の生産性を高めるためには、管理対象業務に関するより詳細なデータを取り込むことが課題になる。例えば、個々の荷物の重さや形状などに関するデータを取り込み、荷姿から必要作業工数を個別に計算したり、作業員の熟練度別分類データを取り込み、個人別の時間効率を算出し、シミュレーションに反映したりすることで、作業要件の精度を高めることができる。また、実際の現場状況のセンシング・ポイントの数を増やし、計測頻度を高めることで、計画値と実推値の違いの発生をより早く正確に感知することができ、迅速な対策につなげることも重要となる。

サプライチェーンの現場における作業支援システムでは、作業指示の内容をより正確かつ効率的に現場に伝達することが重要である。例えば、航空機業界のように、部品数が300万点以上に及び、安全規格に対

応した厳格な作業手順が要求される現場では、確実な作業遂行が現場管理の最重要課題となっている。

このような現場にCPSを導入することで、作業の進捗状況しんちよくに合わせて作業指示を伝えたり、作業員のスキルに応じて指示の内容を変えたりすることが可能となる。さらに、作業対象の画像や温度などのセンシングと解析の精度を高めることにより、詳細な作業手順を指示することができ、作業の質を維持しつつ、作業効率を上げることが可能となるが、現場からの入力情報を増やし、サイバー空間での分析と処方しやうの精度とリアル空間での実行確実性を向上させることが課題になる。

1.2 エンジニアリングチェーンにおける CPS 適用

設計・開発などものづくりのエンジニアリングチェーンの上流工程においては、製造や輸配送などの下流工程まで見据えた検討が重要である。もし、生産方法や使用する部品仕様が固まった段階で、下流の製造工程で不具合などが判明した場合、その都度設計修正・検証作業が上流で発生し、結果的に開発・生産日程が大幅に遅れることになってしまうからである。

これに対して、CPSのシミュレーションを活用することで、設計・開発時に、製造工程で発生する可能性のある不具合を予測し、事前に対策を立てるといった検討が可能になる。例えば、製品の設計変更に対して、製造装置の制御・配置や作業者の配置・業務手順の変更をどのように行うかを確認する際、生産現場の設備・人員の動きをより広範かつ精密に確認することが有効である。ここでは、生産活動を担う設備と人の動きを相互連携させて、生産工程変更に応じた、作業フローや作業効率への影響、特定の設備や作業員に負荷が集中する状況などを再現することが課題となる。

また、エンジニアリングチェーンの中で、製品の耐久性や安全性試験は最も重視される工程である。現在は、さまざまな製品利用環境を試験室に再現し、試作品を用いて行う試験が中心であるが、試験期間の短縮や試験コストの縮減が長年の課題になっている。

これに対して、製品の使用環境を疑似的に構築し、製品の挙動や耐久性、安全性を確認する、CPSを用

いた走行テストが重要な役割を果たすが、いかにあらゆる場面の使用環境を想定し、さまざまな角度から精密に環境を再現し、分析するかが課題となっている。

なお、エンジニアリングチェーンにおけるものづくりの革新について今回の特集では、理化学研究所研究嘱託の内田孝尚氏に『バーチャルエンジニアリングのもたらす産業革新』というテーマでご寄稿いただき、メタバースの可能性も含め、提言いただいている。

以上1章では、冒頭で示した、CPSの実装段階で直面する二つの課題への対応について、サプライチェーンとエンジニアリングチェーンに焦点を当てて検討してきた。ここでの課題は、CPSを実装する際に現場の環境に合わせた、より多くの入力情報の収集・加工などの調整が必要であること、広範な業務を対象として、各工程間や各要素（製品、生産設備、作業員など）間の相互影響分析を行う必要があることが挙げられる。2章では、これらの課題に対応する上で、メタバースの技術的要素が役割を果たす可能性を検証する。

2. 産業分野での CPS 適用拡大を加速するメタバース関連技術・ビジネスモデル

2.1 メタバースの産業適用に向けた動きの活発化

メタバースとは何か。メタバースに関する多くの論調をまとめると以下ようになる。インターネット上に構築された3次元の仮想空間であること。ユーザはAR（Augmented Reality：拡張現実）デバイスなどで高精細映像をみながら、3次元仮想空間に没入できること。ユーザは自身をとりまく構造物や他の参加者、さまざまなアイテムとのやり取りを通じて、疑似体験ができることなどである。

ゲームやエンターテインメント、商品のプロモーションなどの分野でメタバースが登場しているが、今後、産業分野においてもメタバースの活用が進み、CPSの産業適用を加速させると考えられる。

3次元仮想空間の構築では、描画などを担うゲームエンジン（開発）企業、特に米Unity社、米Epic Games社が先行している。両社は、ゲーム制作を効

率化するための開発環境の整備や描画機能の向上などを進めてきた(表1)。中でも、ゲーム作成に必要なデジタル素材(人間や乗り物、建物や備品などの3次元モデルやCG画像など)の開発に力を入れている。各素材は再利用可能な形でライブラリー化されており、利用者層は、ゲーム業界のみならず、映画やテレビ番組の制作、さらには建築業界、都市開発、ものづくり業界へも広がっている。ゲームエンジン企業は充実したデジタル素材を武器として、産業分野でのメタバース構築においても、主導的な役割を果たすと考えられる。

表1 Unity、Epic Games 概要

企業名	概要
Unity	<ul style="list-style-type: none"> ・2004年設立 ・PC、モバイルなどマルチチャネルに対応したゲーム開発環境「Unity」を提供 ・素材データやコンテンツ共同開発機能強化
Epic Games	<ul style="list-style-type: none"> ・1991年設立 ・ゲーム開発環境「Unreal Engine」を提供 ・異なるフォーマットのデータ間の統合・調整自動化技術、データ圧縮技術を実装

資料：両社公表資料

一方、情報システム・サービス・設備制御システム企業もメタバースの産業適用に向けた動きを活発化させている。米 Microsoft は3次元モデル、プロセスシミュレーションとAR(Augmented Reality: 拡張現実)を統合した環境をインダストリーメタバースとして開発を進めている。独シーメンスは、2022年6月、米 NVIDIA と提携し、産業向けメタバースの実現に向けた取り組みを発表した¹⁾。米 PTC や米 Autodesk など産業用ソフトウェアベンダは、AR 関連企業の買収を進めている。

ここでは、メタバースの産業分野への適用にむけた各社の取り組みが、実装段階に入ったCPSの適用拡大を加速するとみて、二つの技術要素に注目する。

2.2 デジタル素材の充実化(入力情報収集・加工)

入力データの充実化は、産業分野におけるCPS適用を拡大するうえでも、重要課題の一つである。例えば、仮想空間で自動運転車の走行テストを行う場合、道路の3次元データと天候に応じた道路の状況の変

化、周辺の建造物や他のクルマ、歩行者など利用環境を表現するためのデジタルデータを準備しなければならない。これに対し、ゲームエンジン企業は仮想環境上で利用可能なデジタル素材のライブラリーや、開発環境、開発者ネットワーク、あるいは外部開発者による素材を取引する仕組みを提供し、ものづくりにおいて、仮想空間上での開発業務を行う際にも、共通の基盤になっている。

例えば、Epic Games は、デジタル素材を Asset と呼び、それらを収集・蓄積・活用しやすくする取り組みを進めている。まずはデジタル素材のライブラリーを拡充するために、自社みずから、現実世界のさまざまな物体をレーザースキャニングし、社員を現地に赴かせて、世界各地の3次元地理空間データをスキャニングしてデータ化している。さらに、外部クリエイターに、デジタル素材の開発環境を安価または無償で公開するとともに、開発企業との素材の取引環境を整備することで、外部クリエイターが提供するデジタル素材を自社ライブラリーに取り込んでいる。

さらに、同社はこれらのデジタル素材の開発効率を飛躍的に高めるための技術も提供している。さまざまな状況変化、例えば時間が経過して、太陽光の位置が変わった時に、見え方がどのように変わるかなどを確認するためのシミュレーション機能を提供している。また、同社が提供するメタ・ヒューマンは、人間らしいフォトリアルな外観を持ち、自然な挙動ができる上、群衆としての自然な動きを再現する機能を持っている。骨格を含め設定を変えることで、オリジナルのデジタル人間をつくることも仕立てられている。

このような開発環境と質・量ともに充実したデジタル素材の提供は、仮想空間での製品試験、事故防止対策の学習プロセスに必要な膨大なデータや想定環境を準備する上で有効である。先行する動きとして、2020年独BMWは、自律走行開発のためのゲームエンジンUnityを用いた3次元仮想空間構築を発表し²⁾、2021年には、仏ルノーやCAD企業仏ダッソーなどが、Epic GamesのゲームエンジンであるUnreal Engineを用いた、多目的走行シミュレーション環境強化を目的としたジョイントベンチャーの設立を発表³⁾するなど、仮想環境をものづくりに活用する動きがある。

2.3 データ処理技術の進化（相互影響分析）

CPSの適用拡大を加速すると期待されるメタバースの技術的要素の二つめが、メタバースで再現されるさまざまな対象同士の相互影響を分析するためのデータ処理技術の進化である。

世界初のフルCGアニメーション映画を制作したピクサー・アニメーション・スタジオ（以下ピクサー）は、異なる3次元CG制作ソフトウェア間での作業結果のやり取りを可能とするデータ形式：USD（Universal Scene Description）フォーマットを開発している。

ピクサーは2016年にUSDをオープンソースとして公開し⁴⁾、Unity、Epic Games、NVIDIAなどが採用している。特に、産業用途の分野ではNVIDIAはメタバース環境であるOmniverseをUSDで構築し、2022年8月には、ピクサー、Adobe、Autodesk、シーメンスなどとともに産業向けUSD対応強化のための構想とロードマップ策定計画を発表している⁵⁾。

また、製品の試作やシステムの試運転などでは、さまざまな開発当事者が仮想環境上にアクセスし、機能の変更、システムの設定変更を含めた最終確認を行う。試行錯誤の状況を迅速に仮想環境に反映させることが重要であり、数値データを画像や動画に変換および逆変換処理を行うレンダリング技術のリアルタイム化の必要性が高まっている。

3. メタバース空間でのコミュニケーションや仮想体験が実現する価値

産業分野でのメタバース活用は、さまざまな業種においてCPSの実装を加速させる。仮想空間上に、自動車の生産工場や発電プラント、商品やサービスが消費される想定場面などが構築され、そこではさまざまな検証が行われ、ものづくりにおいて新たな価値を提供するようになるであろう。

3.1 ヒトと産業システムとの連携拡大

仮想環境上でのサプライチェーンやエンジニアリングチェーンの検討結果を現実の業務・作業環境に効率的に実装するための仕組みとして、AR（Augmented Reality：拡張現実）の重要性が拡大している。（今回

の特集では、国立研究開発法人産業技術総合研究所人間拡張研究センターの持丸正明研究センター長に、『人間拡張で拓くメタバースの産業応用』というタイトルでご寄稿いただき、人間拡張技術の可能性などを展望いただいた）

AR技術は、現実世界にバーチャル映像を重ねることで、作業指示を正確に伝達し、確実な遂行を支援するうえでの重要技術となる。ARソフトは、サイバー上でのCAD/CAE¹⁾の製品設計データやBOM²⁾（部品表）と連携しており、そのデータを基に、組み立て作業手順をARデバイス（ゴーグル）を通じて、現実の対象物に投射させるなどして、メタバース上での検討結果に基づき、高効率でミスが少ない作業の遂行を支援する。さらに、ARデバイスに付帯する小型カメラは、作業者の視線を追跡するなどして、作業者の動作をチェックし、誤りを指摘して作業を補正させたり、ARデバイスに標準作業時間と実際の作業時間の差異を表示し、作業ペースの調整を促したりしている。

米NVIDIAのOmniverseは、生産現場の工程全体、各工程の進捗を仮想空間上に再現し、そこで検討された作業指示を現実の作業進捗に合わせて調整し、作業者に伝達する機能を担う。作業者に対してはARゴーグルを通じて、コンベヤーを流れる製品のピックアップ順序、タイミングなどをリアルタイムで指示する機能などを提供しており、米ペプシコの工場において、これらの技術が採用されていると公表されている⁶⁾。

このように、産業分野でのメタバースとARを組み合わせることで、仮想環境での工程検討・調整結果を産業システムのみならず、ヒトに伝達することができ、両者の的確な作業連携を促すことが可能になると考えられる。

3.2 部門横断の連携の円滑化

メタバースにおいて、業務担当者は仮想空間の中で、高精細グラフィックスの3次元動画を視聴し、他の参加者と現実感のあるコミュニケーションをとり、臨場感のある仮想現実を体験することが可能となる。ここでは、複数が同時にログインし、体験を共有する。例

¹⁾ CAD/CAE: Computer Aided Design/Engineering

²⁾ BOM: Bill Of Materials

例えば、サプライチェーンにおけるスケジュール調整において、荷主や物流倉庫業者、輸配送事業者、作業員派遣会社など、さまざまな部門のスケジュール担当者が、シミュレーションに同時に参画することができれば、全体のスケジュール策定までのプロセスを共有できるようになる。企業や組織の枠を越えて、共同で計画を策定することで、各部門の事情や全体の中の位置づけを理解し、お互いに譲歩したり、運用設計改善を提案したりすることができるようになると期待される。

さらに、時間をさかのぼり、過去の計画策定プロセスを再現し、評価する振り返りを共同で行うことも可能となる。メタバース上で、荷物の受け渡し時間や頻度、オーダー変更のタイミングなど、過去に起きた業務上の不具合を仮想環境で再現しながら、サプライチェーン全体で要する工数や人員、待ち時間の総計などを最小化し、より良い運用ルールに変更できないかといった検討を共同で行う取り組みも可能になる。

また、ネットワークを介して遠隔地からの参加が可能というメタバースの強みを生かすことで、海外拠点におけるサプライチェーン管理の担当者が、本国のマザー工場のアドバイスを受けながら、生産スケジュール調整における改善の可能性を議論するといったことも、より円滑に行えるようになるであろう。

4. インダストリーメタバースを通じた社会・環境・経済価値の同時向上

産業分野におけるメタバースの活用はものづくりにおいて、サイバー・リアルの統合を加速させ、企業・組織、時間や物理的距離を超えた関係者間の協働を促す。同様に、エネルギーや交通、水道など、デジタル化が進み、さまざまな事業者の協力で運用が成立している社会インフラの分野でも、産業分野での実装進展に伴い、メタバース活用の可能性が広がるだろう。例えば、地域の電力需給調整や運用ルールの検討に関して、供給側である発電・送配電事業者の供給計画、需要側である工場やビル管理事業者などの大口需要家の事業計画や世帯の需要予測に加え、行政による節電要請などの利害調整を、電力インフ

ラの運用シミュレーションを繰り返しながら、行うことも可能になる。

この点について、本特集の「Voice from the Business Frontier」コーナーでも紹介されている英国の National Digital Twin Programme 政策プログラム (NDTp) は、電力インフラや交通インフラなどの社会インフラを対象とした、仮想空間上での運用調整を行うための取り組みとして注目を集めている。英ビジネス・エネルギー産業戦略省 (BEIS: Department for Business, Energy & Industrial Strategy) が推進するプログラムであり、さまざまな社会インフラの計画や運用を連携させ、社会全体が受ける便益と必要な資源、環境負荷などの最適化を目的として、必要なデータの共有・統合を実現する枠組みの開発を進めている。

以上、サイバー・リアル統合と CPS の課題をまとめ、産業分野におけるメタバース活用の可能性について述べてきた。

われわれを取り巻く経営環境の変化・変動が、ますます激しさを増す中、企業は柔軟で強靱な経営・事業運営の実現を求められる。それには、状況を的確に把握し、早期に対策検討を実行につなげる仕組みの構築が必要である。メタバースは、シミュレーションによる予測や意思決定の精度を向上させることで、このような仕組みの構築と強化に貢献すると考えられる。

また企業には、ネットゼロ社会実現など、自社の事業活動だけでは達成できない、他社との連携が不可欠な取り組みが、さらに強く求められるようになる。自社の個別最適と社会全体の最適の両立や、温室効果ガス削減投資と事業収益追求の両立など、トレードオフ関係にある目的を同時に成立させる計画の立案や事業者間協力が重要となるが、メタバースは、複数の参加者がシミュレーション体験を共有し、それを繰り返しながらより良い解決策を検討する場を提供するソリューションとして、重要な役割を果たすであろう。

メタバースは、産業分野、特に社会インフラ分野への適用が進む中で、人間中心の社会をめざす Society5.0 を実現する上でも重要な牽引役となると期待される。

- 1) NVIDIA (2022.09) Siemens and NVIDIA to Enable Industrial Metaverse
- 2) Unity (2020.08) BMW's autonomous driving journey with Unity
- 3) Epic Games (2021.05) Multi-purpose car simulation environment gets a boost from Unreal Engine
- 4) Pixar (2016.07) Open Source Release — Universal Scene Description 22.11 documentation (pixar.com)
- 5) Nvidia (2022.08) NVIDIA and Partners Build Out Universal Scene Description
- 6) NVIDIA (2022.03) PepsiCo Simulates and Optimizes Distribution Centers with NVIDIA Omniverse and Metropolis

執筆者紹介



松本 洋人 (まつもと ひろと)
日立総合計画研究所 研究第三部 部長
日立製作所中部支社などを経て、現職。最近のテーマはAI、IoT、ロボティクス、サプライチェーン革新など。



渡部 正泰 (わたなべ まさやす)
日立総合計画研究所 研究第三部 技術戦略グループ主任研究員
(株)ボストン・コンサルティング・グループ、三菱UFJリサーチ & コンサルティング(株)を経て、現職。最近のテーマはデジタルプラットフォーム、デジタルエンジニアリングなど。