

バーチャルエンジニアリングの もたらす産業革新

(国研) 理化学研究所
研究嘱託 内田 孝尚

昨今、デジタル化の話題が多いが、製造業のデジタル化は1980年代半ばから既に始まっていた。例えば、2D 図面、部品表、帳票などのデジタル化であり、これらによって、多大な効率向上の効果が得られた。次に、1995 年ごろより設計の3D 化が始まり、21 世紀に入り、3D 図面の一般普及が世界中で始まる。この3D 図面により、“図面通りのものづくり”が可能となり、世界中で形状品質の均等化と標準化が進み、日本のものづくり品質の優位性が失われ始めた。また、形状、制御アルゴリズムも含めた機能パフォーマンスをデジタルで表現可能であるバーチャルモデルは、それ自体が製品そのものの現実のパフォーマンスを示すことから、従来のリアルな製品同様のビジネス対象となり、ものづくりのビジネスモデルの変革も既に始まっている。

1. バーチャルエンジニアリング

デジタル化、3D 図面化の普及後の2010 年ごろより、自動車産業を中心に、部品やモジュールの形状を表現する3D モデルと機能を表現するシミュレーションモデルの融合したバーチャル(事実上の)モデルを基盤とした新たな開発・ものづくり体制の普及展開が始まった^{1)、2)、3)、4)}。

1.1 従来の開発・ものづくりの流れ

製品開発・ものづくりでは、企画/ブランド段階、構想設計段階、詳細設計段階を経て、量産検討、セールス展開検討の流れが存在する(図1)。それぞれの技術者、専門家により、段階ごとに製品の仕様が熟成され、最終的に仕様が決まり、量産された後に各顧客に製品が届けられた。

従来、初期検討・設計段階の企画/ブランド、構想設計の工程は、コンセプトや目標などを整合することを主な目的とし、営業、経営、企画、製品開発各専門分野のリーダーなどを中心に会議室に集まり、過去の

データ、市場の要望などを考慮して企画/ブランド、構想を決めていた。その後、具体的な形状や機能設計を行う詳細設計へ移り、試作物を用いた実験を中心とした検証を繰り返す。この段階ではCAE(Computer Aided Engineering)技術も用いながら、もの(実機)ベースでの仕様の検証と造りも含めた保証を中心に行われる。このため、大きな工数と期間が必要となるが、この詳細設計段階がなければ、製品の設計・製造に進めなかった。ここでは、製品仕様熟成と造り現場とのスリアワセが行われ、造りの効率化も考慮され、コスト競争力の高い日本品質の製品の生まれる日本のものづくり基盤となっていた。

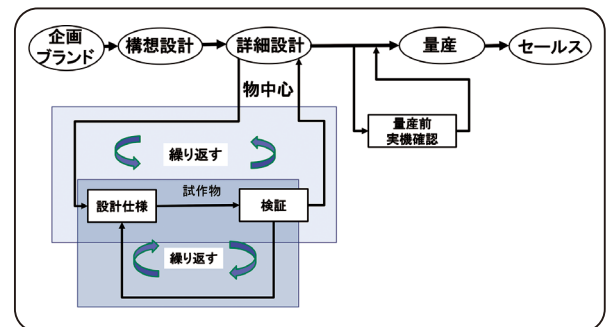


図1 従来の製品開発の流れ

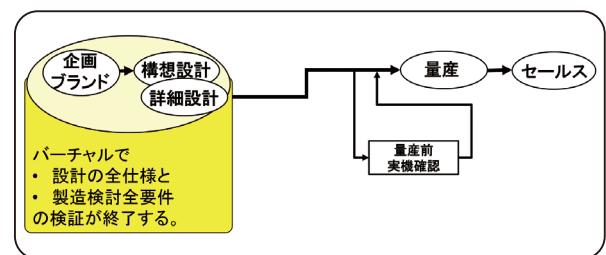


図2 バーチャルエンジニアリングの製品開発

資料：図1,2ともに「機械設計」、「バーチャルエンジニアリングとはなにか」、2019 Vol.63 No.1、日刊工業新聞社より

1.2 新たな開発・ものづくりの流れの成立

製品を市場化するための手法と流れは欧州から始まり、世界の製造業を大きく変革しつつある。従来は会議室において行われていた製品のコンセプト、基本機

能仕様の目標などを決める初期検討・設計の企画／ブランド、構想設計段階で

- ・設計の全仕様
- ・製造検討全要件

が決まる技術と環境が動き出した(図2)。

それがバーチャル(事実上の)エンジニアリングである。バーチャルエンジニアリングでは、部品・モジュールの形状を表現する3Dモデルと機能を表現するシミュレーションモデルを融合したバーチャル(事実上の)モデルが、企画／開発／製造／営業／マーケット／サービス／およびサプライヤ間で共有され、設計・造りの詳細な全仕様と全要件の検証を正確に実施する技術と環境が提供される。ここで行われていることは、ものの代わりにバーチャルモデルを用いたスリアワセの一種と考えると分かりやすい⁵⁾。このバーチャルモデルを介して開発する姿はモデルベース開発とも呼ばれている。このモデルベース開発については、日本のモデルベース開発とは定義の範囲が違うと思われるので、その詳細を後述したい。

バーチャルモデルを連携した開発プラットフォームは、企画／開発／製造／営業／マーケット／サービスなどの各分野の技術とコンセプトを各分野、超越した融合を行う開発・ものづくり基盤の改革を全世界にもたらし始めた。

2. 新たなエンジニアリング環境の成立

2.1 CAEとCAD/CAMが連携

設計とものづくりのCAD/CAMと実験の代わりとして解析するCAEは、21世紀に入るまで連携されおらず、CAD/CAMの分野とCAE分野のそれぞれ別のデジタル環境が存在していた。このため、設計の中でCAEを活用する設計検討を行うためには設計者以外にCAE技術者が対応するのが主であった。しかし、ほとんどの設計現場では設計とCAEによる設計仕様検討の同期が難しい状態が続いていた。21世紀の始まった2001年、自動車産業において、汎用CADシステム上でCAE解析ができるようになり、CAD環境とCAE環境が連携された⁶⁾。この時から、分離していたCAEがCAD/CAM/CAE連携共通デジタル環境となり、設計／解析／ものづくり連携体制が始まったことになる。

2.2 データ、モデルの連携へ

CADモデルと連携したCAE解析は当初、強度／剛性／NV(騒音・振動)分野が中心であったが、その後、車全体の挙動、車体周りの流体解析などの全てのCAE分野を設計段階で解析できるようになる。多くの分野でCAE解析技術が広がったことから、解析、製造などの全ての分野の検討を設計者が行うのではなく、設計段階で解析部門や製造部門などのエンジニアが設計と同期した検討を可能にする環境技術とマネジメント技術の研究が始まった。日本特有と言われていたスリアワセがバーチャル環境で広範囲に行われるようになったと言える。これらの流れの中で、欧州の各自動車会社、ITベンダー、大学、研究機関などのメンバーが中心となり、現在のバーチャルエンジニアリング環境構築の動きが起こった。例えば、以前から行われていた実験結果やCAE解析結果をそのまま設計段階で同期させ、設計仕様、製造要件の検討に結びつけるため、各解析結果のData Format標準化や、CAE/CAD/CAMなどのデータを連携させるプラットフォームのI/F(インターフェース)共通化⁷⁾、データ連携プラットフォームの市販化、デジタルデータ運用に関する商取引ルール整備⁸⁾などが進んだ。これらは、ドイツが発表したIndustrie4.0の2010年ごろには既に整った状況であり、現在ではそれらがデファクトスタンダード(De facto Standard)として活用されている。

2.3 制御アルゴリズムも連携

現在、製品開発の中に占めるソフトウェアの比率が年々増加している。自動車に組み込まれているソフトウェアのソースコード行数は、十数年前には100万行程度だったものが、現在では100倍以上となり、軽く1億行を超えたとされている。現在では、制御ソフトウェア開発費が製品開発費の70%を超えたとされている。

従来、制御アルゴリズムの検証・検討は製品モジュールの実機・実車を用いて、制御指示と実機挙動を比較しながら行われた。現在では実機・実車のハードウェアの代わりにバーチャル環境でのバーチャルモデルを用い、制御アルゴリズムの挙動を検証する手法が普及している。実際のハードウェアが制御される部品、部材には変形、隙間などのガタが存在し、その影響によ

り制御動作に遅れ時間が生じる。ハードウェアの代わりに変形しない剛体として3Dモデルを活用すると、時間遅れが発生しないため、このままでは精度の高い制御アルゴリズムの検証はできない。そこで、制御部材の変形はCAE解析で剛性を考慮、連結部位の隙間ガタなどによる時間遅れは3D図面に入力されている公差を用い、公差解析することで、製造物の製造公差も含め、ハードウェアを用いる検証以上の“制御挙動”をバーチャル環境の中で検証することが2010年ごろより可能となった。

2.4 バーチャルモデルを連携するプラットフォーム

バーチャルモデルを連携した開発が成立するためには、実機の各モジュールが連携して機能するのと同じように各モジュールのバーチャルモデルが連携し、例えば、車1台、飛行機1機などの実際の挙動を機能表現するための方法が必要となる。それが開発のためのモデル連携プラットフォームである。このプラットフォームに各部品、各モジュールを連携させ例えば、エンジンや、シャシー、ボディなどのバーチャルモデルを連携させる。また、運転するドライバーの免許歴、老若男女、国別などの条件も含めてモデル化され、走行する道路のモデルも同じプラットフォームに連携されるシーンを表現するシーンモデル(後述)として、バーチャルの交通環境モデル、人、国別などの活用に関する違いを表現するバーチャルモデルなどを準備し、それらを連携したモデルベース解析がバーチャル環境上で可能となった。

3. バーチャルモデルを商品としたビジネスモデル

3.1 設計仕様と製造要件の早期決定のためのバーチャルモデルを用いた協業

バーチャルモデルを用いた開発の流れでは、初期設計段階において、従来の開発の流れのうち、設計仕様、量産要件などの全てを決定するため、図3のように各分野の検討内容が集中する。そのために必要なデータのやり取りを開発部門、製造部門、営業部門などがリアルタイムで行う必要があり、さらにはこの工程にサプライヤなどの外部協業の組織も参加することが必要になる⁹⁾。

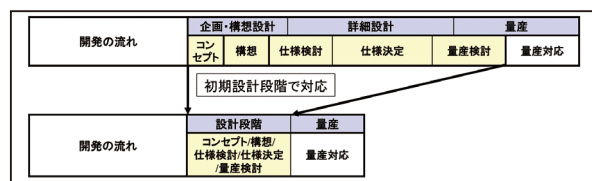


図3 初期設計段階で決定される仕様と要件
資料：図3、4ともに「機械設計」、「バーチャルモデルを商品としたビジネスモデル」、2021Vol.65、No.10、日刊工業新聞社より

このため、バーチャルエンジニアリング環境の中で、開発、製造、営業などの各部門、サプライヤなどの連携・融合のためにバーチャルモデルが行き来することになる(図4)。各分野内での検討や他分野との協業検討に必要な情報はバーチャルモデルの中に包含させるか、PLM(Product Lifecycle Management)などの中のデータとして連携リンクさせる。

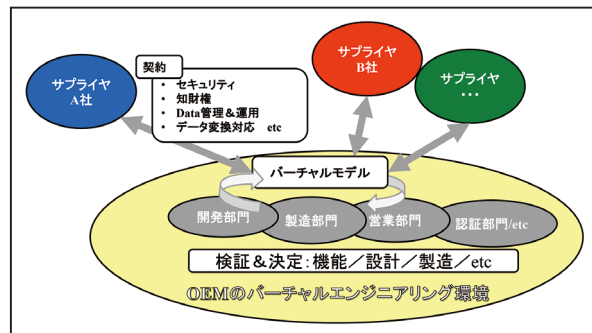


図4 OEM、サプライヤ間を交換行き来するバーチャルモデル

3.2 シーンモデルベース開発¹⁰⁾

自動車や飛行機の開発では、数万点以上の部品を組み合わせた設計を行う。そのため、完成車メーカーとサプライヤの協業設計が行われてきた。その基本的な情報交換は、従来、図面を用いて、ものづくりに絡む情報を交換していた。その協業の進め方は、バーチャルモデルをプラットフォームに連携させることで、設計仕様に基づく各モジュールの機能パフォーマンス自体のやり取りとすることができる。このビジネスモデルでは、製品開発のコンセプトや、ユーザー活用シーンなどを含めた情報を交換する開発の仕方であるシーンモデルベース開発が、基本となって行われている。日本でもモデルベース開発は進められているが、日本のサプライヤとの間では、まだ、3D化されたモデルと、シーンモデルの交換までの体制には進んでない。一方、このシーンモデルベース開発は欧州中心に2005年ごろより、一般に普及し始めていた。例えば、どのようなシーンで車がどのような振る舞いをするのかという検討を行う

ための環境情報も持ったモデルがシーンモデルである。つまり、シーンモデルは、「製品単体」、「製品の各部位」のモデルはもちろん、「製品を使う環境」、「使う人の特性」などをバーチャルモデル化し、具体的な製品の振る舞いや、それを検討するために必要な環境情報などの動作を示すいわばモデルの塊かたまりのようなものとなる。

“シーンモデルをベースにした開発”を整理すると

- ① “表現したい車両一台の振る舞い”と“使用環境モデル”を基にしたモデルの塊とした開発。
- ② 複雑/多岐な“複合シーン”を“シーンを表現する3Dモデル”を用い、検討、検証課題を明確化。
- ③ “シーン”を含む車両一台モデルを“OEMとサプライヤ”間で共有し、その振る舞いを満たすシステム機能を要求仕様とする。

(システムの意味は、例えば、ブレーキシステム、ステアリングシステムなどのハードウェア・ソフトウェアなどの集合体をシステムとして扱う。)

それらのモデルがプラットフォームに連携されることになる。

3.3 バーチャルモデルがリアルな製品と同様の取引対象へ

バーチャルモデルを用いた開発について記述してきたが、そのバーチャルモデルの定義も含めて、そのビジネス上での流れを説明したい。本稿、冒頭で「形状、制御アルゴリズムも含めた機能パフォーマンスをデジタルで表現可能であるバーチャルモデル」と記述したように、形状とパフォーマンスをデジタル表現したのがバーチャルモデルである。

この20年～30年の3D設計、デジタル解析、制御検討のデジタル化などの普及と進化により、製造部品/モジュールの形状、パフォーマンス、制御アルゴリズムの各内容のデジタル化表現が可能となった。

- a) 形状：3DCADにより、詳細な3次元形状のデジタル化が成立した。
- b) 機能パフォーマンス：CAE、シミュレーションによる理論的な原理原則に基づくパフォーマンスのデジタル化が可能となった。
- c) 制御アルゴリズム：かつて、運動方程式の組み合わせで表現していた制御の指示アルゴリズムが制御設計プログラムの進化により20世紀後半に制御アルゴリズムのデジタル化をもたらした。

これらのa)、b)、c)を連携するためのI/F(インターフェース)などを含めた標準化の技術が2010年前後までにほぼ構築され^{7)、11)}、それらの技術を駆使し、a)、b)、c)を連携したモデルがバーチャルモデルである。すなわち、「形状、制御アルゴリズムも含めた機能パフォーマンスをデジタルで表現した」モデルであり、ある意味、リアルなモノであった従来の製品と同等以上のパフォーマンスをデジタル表現したデジタル製品と言える。パフォーマンスの表現はデジタル上で従来の実物製品と同等以上であり、事実上の(= Virtualの意味)パフォーマンスをデジタルビジネス上で、活用可能な製品と言える。このバーチャルモデルはバーチャルエンジニアリング環境でサプライヤ、OEM間の連携した協業開発により、開発段階で仕様と機能保証などの熟成を行う。その連携の手法の一つとして、シーンモデルベース開発を前述した。

図5aは経済産業省、メディアなどが説明に活用しているスマイルカーブと呼ばれるモノづくり各段階別の価値を表現したイメージ図である。この中で一番価値が低いのが「生産(加工組み立て)」となっている。「生産(加工組み立て)」の前段階の「商品企画研究開発」、後段階の「アフターサービス/ブランド」が高い価値を示している。

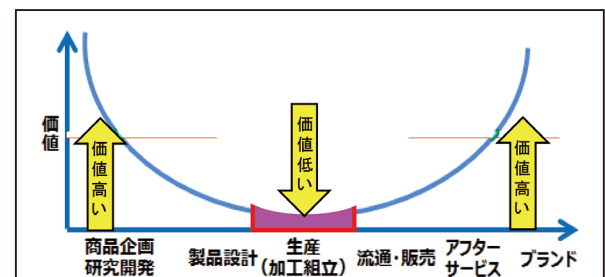


図5a モノづくりのスマイルカーブ
資料：バーチャルエンジニアリング Part3、日刊工業新聞社より

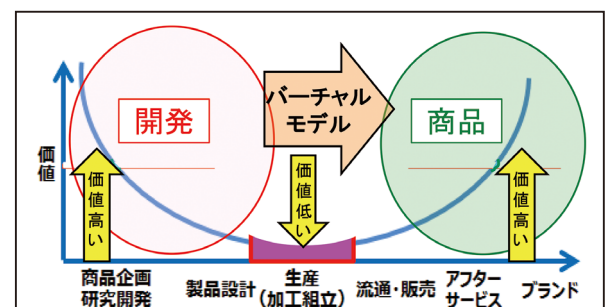


図5b 高価値を生かすビジネスモデルとモノづくりのスマイルカーブ
資料：図5bは本稿作成のため筆者が図5aに補筆

図 5b で示すように開発段階で創出する設計仕様熟成の「開発」自体が新たなビジネスとして高い価値を生むことになった。この開発結果として、Output された「形状、制御アルゴリズムも含めた機能パフォーマンスをデジタルで表現可能であるバーチャルモデル」は、価値の高い図 5b の下流域で従来の「リアル商品」と同様の扱いの新たな「デジタル商品」としての扱いとなる。

バーチャルエンジニアリング環境での新たなビジネスモデルの創出とその普及が動き出していることになる。このようなビジネスモデルは、a) 形状、b) 機能パフォーマンス、c) 制御アルゴリズムの連携が可能となった 2010 年前後より、欧州のメガサプライヤを中心に普及展開が進んでいる。

4. 日本での対応状況

4.1 3D 図面を用いた協業

2020 年版ものづくり白書では日本の製造業における設計指示の方法のうち 3D 図面の比率が 15.7% 以下¹⁾ となっており(図 6)、「我が国の製造業では 3D による設計が未だに普及しておらず、バーチャルエンジニアリングの体制が整っていない」と記述されている。また、白書には自動車工業会が調べた統計も掲載されている。それによれば、日本の自動車会社と日本のサプライヤ間で行き来している図面の半分以上が 2D 図面になっている¹⁾。日本の自動車会社と日本以外のサプライヤ間との動きの統計は白書には記述されていないが、日本国内での自動車会社とサプライヤ間でのバーチャルモデルを用いた協業は少ないと言える。

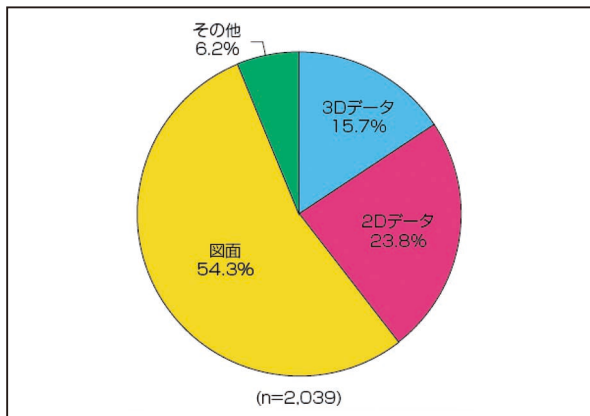


図 6 協力企業への設計指示の方法
資料：経産省発行 2020 年版ものづくり白書
第 3 節 P91 バーチャル・エンジニアリングより

4.2 日本と世界のモデルベース開発の違い

日本のモデルベース開発(MBD)と世界で広がるシーンモデルベース開発の違いを記述する(なお、日本以外ではモデルベース開発は前述したシーンモデルベース開発を意味する。本稿では、混乱を避けるためにモデルベース開発にあえてシーンをつけたシーンモデルベース開発と記述した)。日本で言われているモデルベース開発は制御用プログラム作成のアルゴリズムの設計中心に発達してきたと言える。加えて、日本の一般製造業の 3D 設計が進んでない¹⁾ことも含め、3D モデルとの連携は必ずしも進んでいない。そのため、日本におけるモデルベース開発は 3D モデルの活用がない形態が多い。このことから、日本のモデルベース開発と世界で行われているシーンモデルベース開発との違いが存在する。これを表 1 に示す。

表 1 制御製造品の開発手法

	①MBD	②MBSE	③制御設計 3次元化	④シーンモデル ベース開発
モデル 形態	・ 単モジュール ・ 制御アルゴリズムをブロック線図で表現したモジュールの設計モデル	・ 複数モジュール ・ 制御アルゴリズムをブロック線図で表現したモジュールの設計モデルを連携したシステムモデル	MBD,MBSEの動作モデルが3次元化	3次元化されたMBSEに次の状況モデルが達成 ・ 状況表現するシーンモデル ・ 検証解析条件のモデル
状況 効果	単モジュールが商品としての扱いが可能となった。	モジュール間のシステムすり合わせが可能となった。	個々の部品のリアル挙動を制御モデルに組み込むことが可能となった。	最終製品の活用シーンを検討した設計をOEMとサプライヤ間協業が可能となった。

注) MBD (Model Based Development)
MBSE (Model Based Systems Engineering)

資料：「機械設計」、"バーチャルモデルを商品としたビジネスモデル"、2021Vol.65、No.10、日刊工業新聞社より

表 1 を用いて説明すると、日本のモデルベース開発の動きは①モデルベース開発と複数モジュールを連携した②モデルベースシステムズエンジニアリング(MBSE)が中心である。3D 設計が進んでない日本は 3D モデルとの連携の③制御設計 3 次元化、④シーンモデルベース開発までには進んでない。

欧州中心で行われているモデルベース開発は表 1 の④に示す 3D 形状を持つバーチャルモデルと解析条件を示すシーンモデルを用いた開発となる。

制御モデルと、3D 形状、機能表現のモデルが製造物のバーチャルモデルとなるが、そのモデル自体が製造現物を示す商品としての扱いになり、そのバーチャルモデルを用いた協業がOEM、メガサプライヤと各サプライヤ間で可能となった。同時に、この協業の充実の結果、実体形状と機能内容を表現するバーチャル

モデルは、従来の「リアル製品」と同様の「デジタル製品」を取引要素として扱うビジネスモデルを生じさせている。この流れに日本がついて行けない状況と言える。

4.3 バーチャルモデルのポテンシャルを活用できない日本

バーチャルモデルは、a)形状、b)機能パフォーマンス、c)制御アルゴリズムをデジタル表現し、それらを連携した機能表現が可能となっている。このため、開発の初期設計段階からサプライヤとOEM間の協業での大きなポテンシャルを持つ(図2、図4)。このバーチャルモデルの機能と活用の状況が日本ではほとんど聞こえて来ない。

前述したように3D設計の進んでない日本ではa)形状のデジタル化が進んでない。このことが、b)機能パフォーマンスのデジタル化へ影響していると言える。日本は、1960年代から、b)機能パフォーマンスのデジタル化の基本であるCAE活用について、CAEの解析技術、その普及への対応などは世界と比較してもリードしていたと言える。しかし、CAE技術者と設計者が連携し、設計機能仕様検討や、設計者が自らCAE解析を行い、設計仕様熟成は図2のバーチャルエンジニアリングの製品開発への移行の原動力であったが、3D設計の進んでない日本では対応が遅れている。CADとCAEが同一環境で活用できるようになった21世紀初頭以降⁶⁾、欧州、北米の設計段階での設計仕様検討の充実への動きに比べると、大きく水をあけられた。すなわち、前述のa)とb)の連携ができてないのである。

制御設計においても、課題が存在する。現在、製造品の開発費の70%以上が制御ソフトウェアの開発費と言われている。このため、日本でもc)制御アルゴリズムの設計は、前述したようにモデルベース開発などと呼ばれ、デジタル化の動きは進んでいる。ただし、欧州、北米のMBDには3Dモデルとの連携があるが、日本のMBDでは3Dモデルとの連携が、非常に少ない。また、CAEを用いた製品モジュールのb)機能パフォーマンスの活用も行っている例が少ない。制御設計では、動作指示のアルゴリズムの正しさとモジュールの機能としての正確な動作の確認、検討、検証が必要となる。現在、世界の流れでは、バーチャルモデルを用いた制御アルゴリズムの仕様検証が行われてい

る。これに対し、日本では、a)形状、b)機能パフォーマンスとの連携がないことから、制御アルゴリズムの検証にはバーチャルモデルを用いず、ハードウェアを用いたHils(Hardware in the Loop Simulation)中心に行われている。ということは、試作物などのハードウェアができるまでは、制御アルゴリズムの検証ができないことになる。デジタル化がほぼできていると思われるc)制御アルゴリズムの設計分野でさえも、日本では、図1の従来の開発システムから、図2のバーチャルエンジニアリング環境による開発システムへの移行のめどがほとんど立っていないことになる。

4.4 連携技術の革新に無関心?な日本

バーチャルモデルの機能であるa)形状、b)機能パフォーマンス、c)制御アルゴリズムを連携するために、モデル、データ、I/F(インターフェース)などの標準化、規格設定が行われてきた¹¹⁾。3Dモデルの標準化、モデル間I/Fの構築、制御設計共有環境の標準化など、連携に必要とする国家間を越える共同研究や、マネジメントの連携も含めて、技術構築のため、公的、民間の多数のプロジェクトが設立された。それらの展開が21世紀に入って活発となっていたものの、日本から、その活動への参加は少なかつたようである。2017年3月、日本政府より、「Connected Industries」というコンセプトを発表したにも関わらず、データ連携のための情報やその技術に対し、関心が広がらないのか、大きな動きとしての活動が見えないままである。

各機能の連携したバーチャルモデルは、その大きなポテンシャル活用への動きとして、マネジメントの連携も含め、OEM、サプライヤ間の協業ビジネスモデルの変革が動いている。今後、このビジネスモデルへの変革対応も、日本の大きな課題となりそうである。

5. メタバースで広がるインダストリビジネス

5.1 バーチャル環境とメタバース環境

バーチャルエンジニアリングはバーチャル環境上でバーチャルモデルを連携し設計仕様に基づいた機能パフォーマンスの表現、検証、検討を行ってきた。20年以上前から進められ、技術的には既に構築され、活用されている。例えば、工場のものづくり現場の作業性

検討、量産性の可能性、人の動きなどの検討^{12)、13)、14)}や、前述したシーンモデルベース開発である。このバーチャル環境は自動車会社や、メガサプライヤが提供する開発プラットフォームとの連携による検討の場として、契約した企業と組織だけのクローズな環境である。現在の状況では、バーチャル環境とメタバース環境のそれぞれが持つ機能までの比較はできないが、一般対象に環境がクローズなのか、オープンなのかの違いと言える。今後、メタバース環境が成長することにより、インダストリー領域としての活用では、バーチャルエンジニアリング環境で行っていたことと同じような機能の活用ができるようになると思われる。メタバースへの期待は技術的よりもその環境の運営費用ということになる。環境が一般化されることで従来のバーチャル環境に比べると数十分の一から数百分の一のコストで対応することが予想される。過去の例でも、10年以上前になるが、高度なCAEシステムのコストが数千万円であった時、サブスクリプション型CAE活用のビジネスモデルが始まり、数十分の一から数百分の一のコストとなり、一種の革命が起こった。同様に、ほんの数年前の話であるが、VR(バーチャルリアリティ)がシステムを含めて数千万円であったが、現在では、数十分の一から数百分の一の価格で同じような機能を活用することができる。環境が一般公開されるメタバースの活用普及はバーチャルエンジニアリングのシーンモデルベース開発、造り検討、市場調査結果の共有などの活用コストが革命的に変化する可能性がある。

5.2 メタバース環境でのバーチャルモデル

前述したシーンモデルベース開発の特徴は、次の3項目である。

- ① “表現したい車両1台の振る舞い”と“使用環境モデル”を基にしたモデルの塊とした開発。
- ② 複雑/多岐な“複合シーン”を“シーンを表現する3Dモデル”を用い、検討、検証課題を明確化。
- ③ “シーン”を含む車両1台モデルを“OEMとサプライヤ”間で共有され、その振る舞いを満たすシステム機能が要求仕様となる。

これらは“使用環境モデル”、“シーンを表現する3Dモデル”が常に活用される中で開発が行われるシステムであり、メタバース環境そのものであり、その中でインダストリー領域の検討を行うことができる。従

来行われていたバーチャル環境での技術を一般化された環境の中で活用する技術が必要となるが、メタバース環境の中で活用できるように、既に活用されている技術の応用を行うことで済みそうである。また、メタバース環境ではリアルに挙動するデジタルモデルが必要となる。表現品質向上として、リアルな挙動の「バーチャルモデル」の活用は必須条件となるはずだ。「バーチャルモデル」が図5bで示したように商品としての位置付けがより強くなると思われる。

バーチャル環境では、機密契約も締結した企業が参加することで、機密保持などの課題対応を行ってきた。バーチャル環境でのシステム自体の機密対応は企業間だけで活用するクローズなデジタル環境の機密契約で対応してきた。それに対し、メタバース環境では、一般人の参加が自由となるため、バーチャルモデルなどの単体も含めた機密保証がより重要となる。ここには、ブロックチェーンや絵画などで用いられているNFT(Non-Fungible Token)などの技術と法整備が必要となると予想される。そのようなことから、新たな技術、商法のビジネスが動き出すことになる。

6. まとめ

現在のバーチャルエンジニアリングを駆使したものづくりでは、マスカスタマイゼーションが可能となった。メタバース環境において、ネット通販のように自分の欲しい機能パフォーマンスの製品をマスカスタマイズなオーダーで実現することが可能になる。図7は、2014年にドイツのミュンヘンの一般的な運動靴店で見た日常の中に既に存在した風景である。



図7 ミュンヘン運動靴店で見つかったVR発注システム
資料：筆者撮影 2014年ミュンヘン

大きなガラスのディスプレイで欲しい靴のデザインを選び、バスケットボール用、陸上競技用などのソー

ルや色を自由に変えながらオーダーする VR を駆使した発注システムである。これと同様に顧客のオーダー機能の一般工業製造品ビジネスが、メタバース環境の中で大きく拡大、普及しそうである。

従来のビジネスの歴史を見ると非常に高価なものが数十分の一から数百分の一の価格に変わった時、社会生活変革のイノベーションとなってきた。バーチャルエンジニアリングのバーチャルモデル技術、連携するための技術、それを運営するための法整備などが、既に確立し、成長している。これをそのままメタバース環境で活用することができれば、前述した内容が自然と広がる。

メタバースによるバーチャルエンジニアリング環境の一般化で運用コストが低くなり、高コストで未普及であった製造業の各分野でバーチャルエンジニアリング技術の活用方法が生まれる。このため、日本の従来持っていた造りなどの現場技術を生かすための新たな競争力を持つ可能性がある。しかし、新たな活用方法が生まれるのは日本だけではなく、世界中のものづくり産業も同様のことである。既にバーチャルエンジニアリングの経験豊富な世界各国は、このメタバース環境においても、先行する可能性が高い。

現在、日本は 3D 設計、バーチャルモデルを用いたものづくり・開発・ビジネスなどが世界に対して非常に遅れている。これらを原点からもう一度見直し、世界に追いつき、過去の日本の良いものを見いだすことで新たなものづくりのリーディングの場に日本が再登場することを祈念する。

参考文献：

- 1). 経済産業省発行 2020 年版ものづくり白書 第 3 節 P91 バーチャル・エンジニアリング https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_pdf/pdf/all.pdf, Aug2022 確認
- 2). 内田孝尚著「バーチャルエンジニアリング」日刊工業新聞社, 2017 年刊
- 3). 内田孝尚著「バーチャルエンジニアリング Part3」日刊工業新聞社, 2020 年刊
- 4). 雑誌「機械設計」, 連載バーチャルエンジニアリングの衝撃 第 1 回バーチャルエンジニアリングとはなにか, 2019 Vol.63 No.1, 日刊工業新聞社
- 5). 雑誌「機械設計」, 連載普及が広がるバーチャルエンジニアリング 第 2 回バーチャルスリアワセ,

2021 Vol.65 No.2, 日刊工業新聞社

- 6). 内田孝尚, “設計者 CAE(Creative Design with CAE)の確立”, 日本機械学会誌, 2014, Vol. 117, No. 1144 (2014),pp20-21
- 7). Torsten Blochwitz, Martin Otter et al., Modelica 2011, 21st,22nd March, “The Functional Mockup Interface for Tool Exchange of Simulation Models”, <https://ep.liu.se/ecp/063/013/ecp11063013.pdf>, Aug2022 確認
- 8). 内田孝尚著「バーチャルエンジニアリング Part2」日刊工業新聞社, 2019 年刊
- 9). 雑誌「機械設計」, 連載普及が広がるバーチャルエンジニアリング 第 9 回バーチャルモデルを商品としたビジネスモデル, 2021 Vol.65 No.10, 日刊工業新聞社
- 10).雑誌「機械設計」, 連載バーチャルエンジニアリングの衝撃 第 9 回シーンモデルベース開発の普及, 2019 Vol.63 No.10, 日刊工業新聞社
- 11).雑誌「機械設計」, 連載普及が広がるバーチャルエンジニアリング 第 4 回バーチャルエンジニアリング運営のためのデータ、モデル関連の規格、I/F などの状況, 2021 Vol.65 No.5, 日刊工業新聞社
- 12).機械学会 D&S 部門講習会、No. 16-167 「VE/VR を用いた設計・開発・ものづくりの新しい検討手法の紹介」、https://www.jsme.or.jp/dsd/Newsletter/no45_extra_issue/No.16-167.pdf, Aug2022 確認
- 13).機械学会 D&S 部門講習会、No.17-118 <https://www.jsme.or.jp/dsd/jp/newsletters/no049/report17-118.pdf>, Aug2022 確認
- 14).機械学会 D&S 部門講習会、No. 19-368 <https://www.jsme.or.jp/dsd/Newsletter/no55/19-368.pdf>, Aug2022 確認

執筆者紹介



内田 孝尚 (うちだ たかなお)
 横浜国立大学機械工学科卒、博士(工学)。1979 年本田技術研究所入社、2018 年退社。現在、(国研)理化学研究所 研究嘱託、東京電機大学工学部非常勤講師、機械学会フェロー。著書:「バーチャル・エンジニアリング」(2017 年日刊工業新聞社)、「バーチャル・エンジニアリング Part2」(2019 年日刊工業新聞社)、「バーチャル・エンジニアリング Part3」(2020 年日刊工業新聞社)、「ワイガヤの本質」(2018 年日刊工業新聞社)、雑誌「機械設計」連載「バーチャルエンジニアリングの衝撃」(2019 年 1 月 - 2020 年 6 月日刊工業新聞社)、雑誌「機械設計」連載「普及が広がるバーチャルエンジニアリング」(2021 年 1 月 - 2021 年 12 月日刊工業新聞社)