

ジャパン・スポットライト2020年5/6月号掲載（2020年5月10日発行）（通巻231号）

英文掲載号<https://www.jef.or.jp/jspotlight/backnumber/detail/231/>

内田孝尚氏（東京電機大学 非常勤講師、博士（工学）、日本機械学会フェロー）

コラム名：Cover Story 3

（日本語版）

## デジタル経済におけるモノづくりビジネスモデルの進化 ~バーチャルエンジニアリングがもたらす製造業変革~

### はじめに

2010年以降、3D (three-dimensions) モデルと製造/開発/営業のデジタル情報を組み合わせたバーチャル環境で開発、ものづくり、マーケット検討、サービス展開等の分野で全てのレベルを検討する新しいものづくり体制が世界で普及し始めた。

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している（図1）。それぞれの技術者、専門家により、各段階毎に製品の仕様が熟成され、最終的に仕様が決まり、量産、各顧客に製品が届けられた。

従来は、初期検討・設計段階の企画/ブランド、構想設計ではコンセプト、目標等を整合することが主であり、営業、経営、企画、製品開発各専門分野のリーダー等を中心に会議室に集まり、過去のデータ、市場の要望等を考慮し、決めていた。その後、具体的な形状、機能設計を行う詳細設計へ移り、試作物等を用い、実験を中心とした検証を繰り返した。この段階ではCAE(Computer Aided Engineering)技術も用いながら、物、実機ベースでの仕様の検証と造りも含めた保証が中心である。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・製造は出来なかった。製品仕様熟成と造り現場とのすり合わせをおこない、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

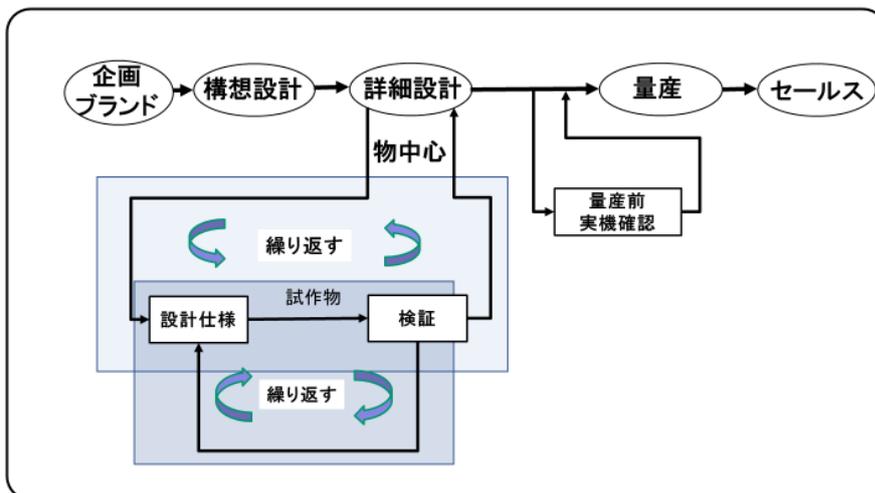


図1 従来の製品開発の流れ

（雑誌「機械設計」、連載「バーチャルエンジニアリングの衝撃」  
 “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）

図2 バーチャルエンジニアリングの製品開発

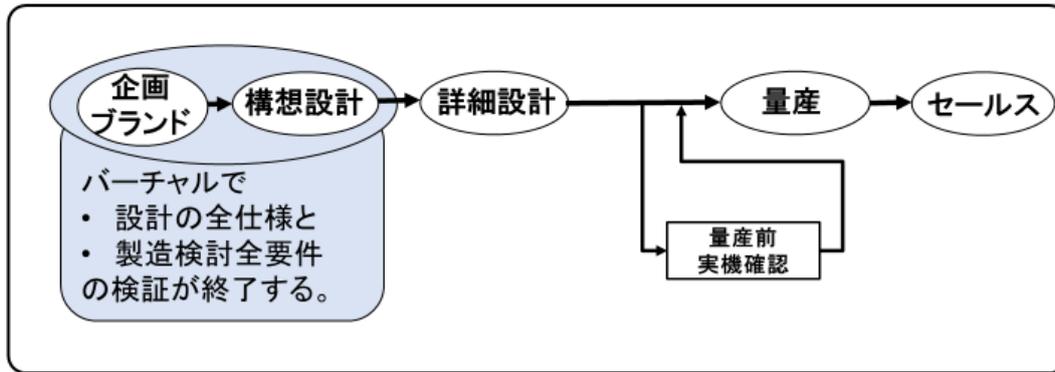


図2 バーチャルエンジニアリングの製品開発  
(雑誌「機械設計」、連載バーチャルエンジニアリングの衝撃、  
“バーチャルエンジニアリングとはなにか”，2019 Vol.63 No.1，日刊工業新聞社より)

その流れが大きく変革しつつある。従来は製品仕様熟成と造り現場とのすり合わせを詳細設計、量産検証段階で行われていたことが、製品のコンセプト、基本機能仕様の目標等のみを決めていた設計初期の企画/ブランド、構想設計段階で

- ・設計の全仕様
- ・製造の全要件

の検証をバーチャル技術で正確に実施され、全仕様と全要件が決まる技術と環境が動き出した (図2)。それがバーチャルエンジニアリングである。バーチャルは“仮想現実”と訳されることが多いが、本来の意味は“事実上の、実質上の、実際(上)の”である。そういうことから、“バーチャルエンジニアリング”は“実質上のエンジニアリング”が始まったことを意味する。

### バーチャルエンジニアリング台頭

1990年代以降、ITの急速な進展は自動車を中心に機械製造業等の開発や生産分野に波及し、デジタルを用いたエンジニアリング展開を可能とした。21世紀に入る前までに、世界のほとんどの自動車会社は3DCAD(Computer Aided Design)システムの普及があり、3DCADモデルは2D(two dimensions)図と同じように寸法等の情報を持つ新たな設計図である3D図面となった。また、その活用が拡がり、車一台を3Dモデルで表現するDMU(Digital Mock-Up)が登場する。

3DCADモデルはプレス部品や鋳造部品の金型を直接彫るCAM(Computer Aided Manufacturing)用の3Dモデルとしても活用出来、製造と設計が一体となる環境が整った。このため、設計図が2D図から3D図への移行が始まった。

図3 3D形状をそのまま切削

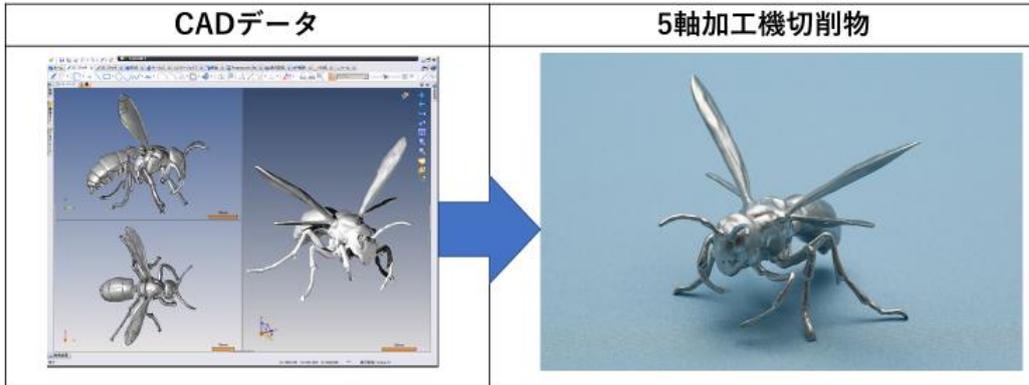


図3 3D形状をそのまま切削  
(コダマコーポレーション株式会社資料提供: <http://www.kodamacorp.co.jp/>)

### 図面通りのモノが造れる3D環境

プレス、鋳造、プラスチック射出成形等の量産製造のほとんどは型で形状を成形する。金型製作には、切削加工、研削加工、放電加工等の手法があるが、CAM用3Dモデルを用意して行われる。設計図が2D図の場合、2D図を読み取りCAM用3Dモデルを新たに作成したが、設計図が3D図の場合、その3DCADモデルを直接3DCAMモデル化することでNC(numerical control)加工パス、電極モデル等のCAMモデルデータを入手出来るようになった。これにより、設計の示した3D形状がそのまま製造出来、どこで製作しても同じ形状、同じ品質となる。金型製作だけではなく、切削加工や溶接等の分野でも、設計図の3Dモデルの活用が広がる。例えば、切削加工の分野では3Dモデル形状をNC加工機の読み込みI/F(interface)プログラムに入力するとNC加工機の切削パス計算とティーチングが、自動的に行われ、個々の切削部品が製造される。これは、3D図面形状をそのまま切削するタイプの3Dプリンタを意味する。例えば、図3のように昆虫の姿の3Dモデルが有れば、それを5軸加工機で簡便に製造することが可能である。

従来の設計図である2D図では形状を完全には表現出来ないことから、造り現場の技術で品質、形状が異なることがあった。逆に、人の技の入る余地が在り、現場の造り技術の違いで品質、機能への影響が存在していた。造り現場の優秀な日本では、世界のモノづくりの目標となる日本品質の製品が製造されていたことになる。形状の全てを表現の出来ない2D図時代は、現場の技術者、技能者の技により設計者の意図を読み取り、図面の持っている情報以上を具現化するモノづくりを行ってきた。“図面のようなモノづくり”であったと言える。現在では、形状が完全に表現出来る3D図面を用いることで誰でも、どこでも“面々通りのモノづくり”が行われるようになった。3D図面が機能と品質をコントロール出来るようになった。

このように設計とモノづくりの連携が始まり、デジタル環境の進化に伴い、設計段階で製造品の形状品質を検討することが、1990年頃から既に始まっていた。ある意味バーチャルエンジニアリングの産声が聞こえていたことになる。

## CAE と CAD/CAM が連携

設計とモノづくりの 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ておらず、CAD/CAM の分野と CAE 分野のそれぞれの別のデジタル環境が存在していた。CAE 分野について説明すると 1960 年代から既に汎用 CAE プログラムが市販されていた。当時は、CAE モデル作成専用のモデリングツールが存在し、CAE そのものの解析技術以外のコンピュータ操作等の煩雑なオペレーション技術も必要であった。このようなことから CAE 機能技術、CAE オペレーション技術、CAE モデリング技術等の教育も必要となり、CAE 独自のデジタル環境として発展してきた。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。そのため、ほとんどの設計現場では設計と CAE 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、汎用 CAD システム上で CAE 解析が出来るようになり、CAD 環境と CAE 環境が連携された。このときから、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。

設計段階で、機能仕様の検討や、製造の検討は大きな効果と同時に設計段階で対応する設計の検討範囲が拡がりをもたらした。その後、製造検討用 CAE も設計汎用 CAD 環境の中で活用できるようになる。

設計図が 3D 図になり機能と品質をコントロール出来ることから、どこで製造しても誰が製造しても図面で規定された品質と機能を持つ量産品が手に入るようになった。

## 共通デジタル環境の連携、次ステップへ

車 1 台分の CAD モデルがあれば強度/剛性/NV 分野から始まった設計段階の CAE 解析は、その後、車全体の挙動、車体廻りの流体解析等の全ての分野を設計段階で CAE 解析出来るようになった。

多くの分野で CAE 解析技術が広がったことから、解析、製造等の全て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等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。これらの流れの中で、欧州を中心とした各自動車会社、IT ベンダー、大学、研究機関等が推進し、現在のバーチャルエンジニアリング環境が動き出した。例えば、従来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、設計機能仕様、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 等のデータを連携させるプラットフォームの共通化、データ連携プラットフォームの市販化が進んだ。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。

## 制御設計も 3D モデルと連携

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が 10 数年前は 100 万行程度だったものが現在は 1 億行以上に増えたと言われている。米国戦闘機 F35 が 2400 万行、一般 PC が 4400 万行と言われており、車のソフトウェアの大きさが突出している (図 4)。ソフトウェアが複雑化し、制御設計の変革が必要となって来ており、このような背景から、CAD/CAM/CAE が連携した共通デジタル環境の中にこの制御設計が加わることになる。これは従来、実機のモジュール、実車の制御アルゴリズムの機能挙動を実車も含めて、実際の物であるハードウェアを用いて制御アルゴリズム検証、検討が行われていた。これらのハードウエ

アの代わりに3Dモデルで制御アルゴリズムの挙動を表現するやり方が普及している。実際のハードウェアの制御部材は変形、隙間等のガタが存在し、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3Dモデルが変形しない剛体として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出来ない。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等による時間遅れは3D図面に入力されている公差を用い解析することで、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年頃より可能となった。

図4 ソフトウェア複雑化 プログラム行数比較

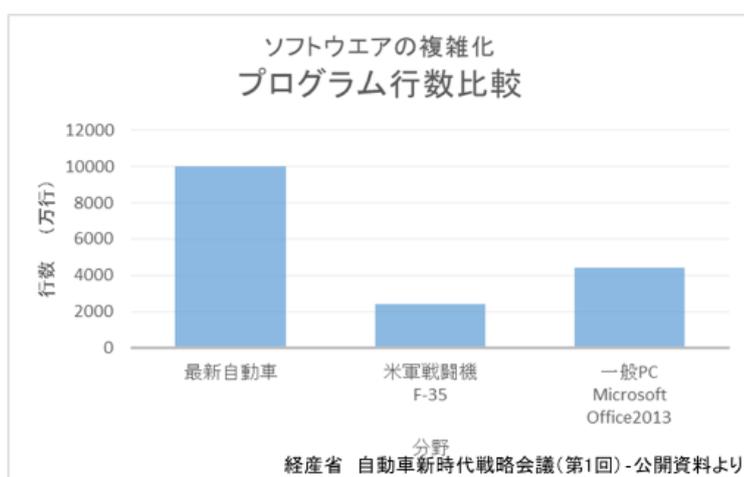


図4 ソフトウェア複雑化 プログラム行数比較  
(経産省 自動車新時代戦略会議(第1回18Apr2018)-公開資料より)

### シーンモデルベース開発の登場

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来た。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が、その図面が、2D図から3D図に変革した。これに、製品開発のコンセプトや、ユーザー活用シーン等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、欧州中心に2005年頃より、一般に普及し始めた。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。そのため、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」等をバーチャルモデル化し、具体的な製品の振る舞いや、それを検討する為に必要な環境情報等の動作を示す言わばモデルの塊（かたまり）のようなものである。

“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とサプライヤー”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。

(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等のハードウェア・ソフトウェア等の集合体をシステムをとして扱う。)

### 開発モデルを連携するプラットフォーム

シーンモデルベース開発が成立するために、実機の各モジュールが連携して機能するように各モジュールモデルが同じように連携し機能するための方法が必要となる。それが開発のためのデータ連携するプラットフォームである。このプラットフォームを中心に自動車一台の各部品、各モジュールであるエンジンモデルや、シャシーモデル、ボディモデル等が連携する。また、運転するドライバーが免許取り立て、ベテラン、老若男女、国別等の条件も含め、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 (図5)。

図5 開発設計 Data 連携プラットフォーム

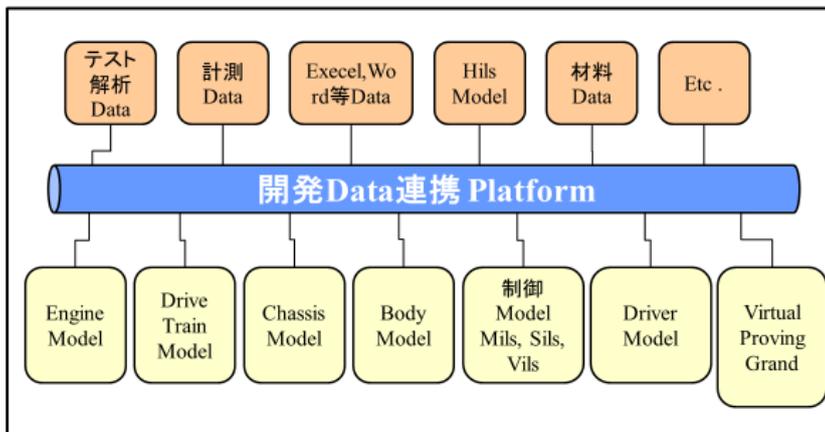


図5 開発設計Data連携プラットフォーム  
(雑誌「機械設計」、連載「バーチャルエンジニアリングの衝撃」  
「開発・モノづくりにおけるプラットフォーム環境」、2020 Vol.64 No.1、日刊工業新聞社より)

### データ交換の流れがビジネスの流れ

サスペンションシステム、変速システム等の各モジュールを設計・製造する各サプライヤは機能をモデル化したモジュールモデルを、開発プラットフォームに接続することで、完成車メーカーとサプライヤ間の協業ビジネスを行うことが出来る。そのモジュールモデルが完成車メーカーとサプライヤ間で行き来することで各モジュールの設計仕様が熟成する開発ビジネスモデルとなった。従来、実機モジュールの製作には2次、3次、・・・のサプライヤが個々の部品製作し、部位別に組み立てることから、サプライヤが何層にも繋がるサプライヤチェーンであった。サプライヤが設計する機能そのものを表現するモジュールモデルを、完成車メーカーの提供するプラットフォームに直接繋げる。サプライヤと完成車メーカーが「車両一台のありたき振る舞い」を確立するための各モジュールを機能設計することでお互いが独立した関係のシーンモデルベース開発体制を生み出した。

ものづくり/解析条件/制御アルゴリズム/材料特性/表面性状等の属性情報やマーケット、ユーザーからの情報等、製品に関するあらゆる情報の連携活用が可能となり、その範囲と内容が拡大し、従来、企画・構想設計・詳細設計・量産化・営業と順に進めていた開発/ものづくりが設計初期の企画と構想設計の段階で製造・営業・サプライヤも含めた検討と検証の全てを行うことが出来るビジネスモデルへと変革した。

### プラットフォームビジネスがものづくりビジネスの中で始まった

現在、活用されているものづくりビジネスのプラットフォームは、完成車メーカー、またはメガサプライヤから提供される。例えば、エンジン、変速機等の大きなモジュールは、メガサプライヤが中心になり開発されることがある。このような場合はメガサプライヤがプラットフォームを提供する。完成車メーカーまたは、メガサプライヤの開発プロジェクト内容に対し、正式に契約したサプライヤのみがそのプラットフォームへの参加が可能となる。プラットフォームへ直接、モジュールを連結することは、完成車メーカーやメガサプライヤと各サプライヤが直接契約することになる。このため、従来の多層になったサプライチェーンとは異なり、プラットフォームの形と同じようにサプライチェーンは平坦な一層のビジネスモデルとなる（図6）。

従来、下層のサプライチェーンを持つ Tier1 として活動していたサプライヤは自社系列のサプライチェーンを持たない 1 サプライヤとなるか、または、開発プラットフォームを提供するメガサプライヤとして対応するのか、ビジネスモデルの再構築が必要となる。また、サプライチェーンの最下層に位置していた小規模サプライヤでも自社の持つ技術力をデータモデル化することで従来の系列サプライヤから独立し、完成車メーカーと直接契約する新たなビジネスを行うことが可能となる。従来は、完成車メーカーまたはメガサプライヤとサプライヤは垂直統合型ビジネスであった。ものづくりビジネスのプラットフォーム化は、水平統合型ビジネスに変革していることになる。ある意味、サプライチェーンの大改革が欧州から始まっていると言える。

図6 一層へ集約した OEM とサプライヤ間ビジネス

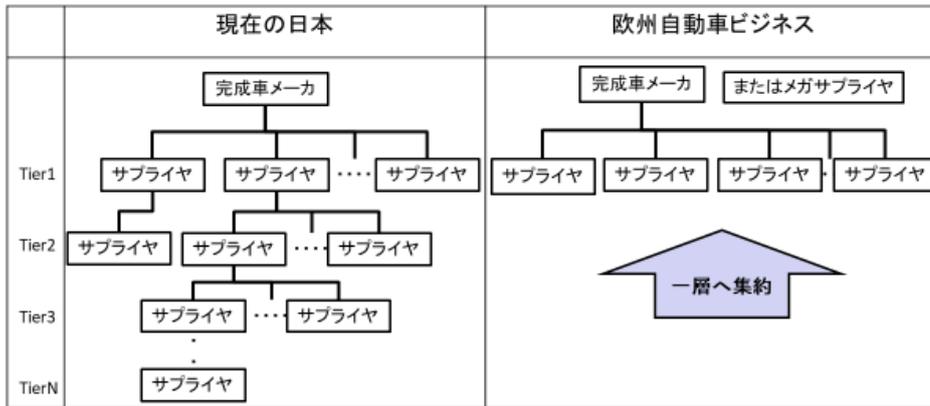


図6 一層へ集約した完成車メーカーとサプライヤ間ビジネス  
(雑誌「機械設計」、連載「バーチャルエンジニアリングの衝撃」  
 “開発・モノづくりにおけるプラットフォーム環境”、2020 Vol.64 No.6、日刊工業新聞社より)

まとめ

従来の完成車メーカーは図1のように「企画／ブランド」・「構想設計」・「詳細設計」・「量産」・「セールス」の全ての範囲を対応した。シーンモデルベース開発により、詳細設計段階はサプライヤが専門企業として対応可能となった。また、3D 図面が機能と品質をコントロールすることが可能となったことから、どこで製造しても誰が製造しても図面で規定された品質と機能を持つ量産品が手に入るようになった。2D 図面では、品質、形状のコントロールが難しく、造り現場の優秀な日本での品質が世界のモノづくりの目標であった。日本はその優位性を失ったことになる。従来、ものづくりをリーディングして来た日本は、設計図の3D化がまだ終了してない。設計図の3D化は新たなビジネスモデル参加への試金石となっており、今後の製造業の生末を左右することになる。世界各国が新しいモノづくりビジネスモデルへの変革を急いでおり、今後、日本もその中で、急速な改革展開活動へ突入することが予測される。

(了)