



大阪府

資料 No. 170

平成 30 年 3 月

デジタルものづくりによる 付加価値向上イノベーション

—設計開発フェーズに注目して—

大阪府商工労働部

orcie 大阪産業経済リサーチセンター
Osaka Research Center for Industry and the Economy

ま え が き

1970年代に日本の製造業が世界に冠たる技術・品質の高さを示した結果、日本製品につけられたブランドが「メイドインジャパン」です。ただ、このブランドを維持、発展させるには、近年急速に技術や品質を向上させ発展してきた中国や東南アジアなどの「世界の工場」と競争しなくてはなりません。

これら中国や東南アジアは近年3次元CAD、CAM、CAEなどを活用した「デジタルものづくり」を積極的に導入することで、急速に設計開発、製品化へのシミュレーションなど様々な分野で勢いを増しつつあります。

一方、日本では長年続いてきた設計手法である2次元ベースの3面図で検討することが多く、そのため後工程でのデータ活用への流れが分断されているようです。

3次元設計を行うことで、製造の上流工程からデジタルデータが作成され、そのデータはその後の工程での開発、品質向上、デザイン性付与などを迅速に行っていくことを可能にします。これによって、製品開発工程全体が短縮化され、加えてデジタルデータによるシミュレーション技術を活用することで設計段階から後の製造工程の一部を代替する動き、もしくは取り込んだ動きが可能となり、開発期間の短縮、製品機能向上などに大きく寄与します。

今後は、3次元CAD、CAM、CAEなどのシミュレーション技術であるデジタルものづくりがスタンダードとなり、大企業のみならず中小企業においても必須の手段となるとみられます。この時期を見逃さず、これらデジタルものづくりに取り組むことが将来の企業活動の源泉となることは間違いありません。

しかしながら、デジタルものづくりの普及状況は、明らかになっているとはいいがたく、また、デジタルものづくりがどの方向に進むのか、その必要性に関することなど一見当たり前の事象に関する調査レポートが意外と少ないようです。本調査は、こうした実態を明らかにするために実施しました。

本調査報告書が、府内のものづくり企業がデジタルものづくりを進める上での一助となれば、また自治体の支援担当者、施策立案担当者の業務推進の際の討議資料としてご活用いただければ幸いです。

本調査は、当センターの主任研究員松下隆が担当しました。

平成30年3月

大阪産業経済リサーチセンター
センター長 小林 伸生

目 次

要 約	1
第 1 章 調査の趣旨、概要	4
1-1 問題意識と調査概要	
1-2 デジタルものづくりの定義	
1-3 先行調査研究	
第 2 章 設計開発フェーズにおけるデジタルものづくりとは	14
2-1 設計から革新が始まるデジタルものづくり（歴史）	
2-2 ものづくりまでの段階を効率化、高度化	
2-2-1 3次元 CAD に実装される機能	
2-2-2 製品開発工程において多方面で活用可能な 3次元データ	
2-2-3 高度なものづくりに不可欠なシミュレーション機能	
2-3 デジタルものづくり活用のパターン	
2-3-1 産業界、設計対象で異なるツールと開発手法	
2-3-2 フロント・ローディングが進む	
コラム 1 : 歯科医療器具製作とデジタル化	
コラム 2 : 歯科衛生での法改正による歯科技工のデジタル化への政策的誘導	
第 3 章 国内、大阪でのデジタルものづくりの現状と課題	29
3-1 デジタルものづくりの現状	
3-1-1 世界（欧州、米国、中国、日本）での 3次元 CAD の普及	
3-1-2 日本国内での 3次元 CAD、CAE の販売数規模と傾向	
3-1-3 大阪における 3次元 CAD 導入年代	
3-1-4 「東中高、西低」の 3次元 CAD、CAE の普及（利用者実態）	
3-2 デジタルものづくりによるイノベーションの考察	
ー大阪の先進企業事例 株式会社シロクマを題材にー	
3-3 デジタルものづくり人材の現状と課題	
コラム 3 : 歯科医療分野でのデジタルものづくりの現状と課題（事例）	
第 4 章 デジタルものづくりによる付加価値向上イノベーションの方向性と施策	60
4-1 デジタル・ツールの普及に向けた環境整備、診断	
4-2 人材育成支援	
4-3 地域イメージの構築、発信	
まとめ	66
巻末資料	68
参考文献	71

要 約

定 義

デジタルものづくり とは	先行調査研究まとめ
<ul style="list-style-type: none">ものづくり工程の前半で3次元データを活用し、後工程の負荷を減らし、開発期間を短縮させ、ものづくりの付加価値を向上させること3次元データ活用にはデジタル・ツール（3次元CAD、CAM、CAE、3次元スキャナ等）が不可欠である	<ul style="list-style-type: none">中小製造業では、3次元データ活用が広がる大手企業では3次元データが普及している開発期間短縮、付加価値向上へ寄与できているデザイン、設計担当者の職域が拡大している

現 状

「東中高、西低」なデジタル・ツール活用	進展するデジタルものづくり
<ul style="list-style-type: none">伝統的な2次元データから3次元化に手間取るデジタル・ツール活用では、「東中高、西低」の地域差異あり金型、成形業では製造業全体よりも早い年代（主に1980 - 1990年代）に導入進むデザイン、設計担当者が簡易な解析を扱えるも、知識ノウハウなど不足	<ul style="list-style-type: none">導入当初からいきなり3次元化の中国、韓国国を挙げてデジタル化に進む欧州3次元データをIndustry4.0など自動化、Iot化にフル活用事例：(株)シロクマでの効果的導入と活用コラム：政策的誘導でデジタルモノづくりが普及する歯科技工業界事例

課 題

導入時と高度活用時の2つの段階で課題
<ul style="list-style-type: none">高い導入時のコスト負担デザイン、設計担当者の解析結果の読解力不足3次元CADは取引条件人材育成での教育機関同士のちぐはぐ感

方向性

大阪地域でデジタルものづくりの普及・活用を進め、競争優位な企業、人材を輩出する
<ol style="list-style-type: none">デジタル・ツールの普及と3次元データの活用3次元データ活用に強いマルチな能力を有する多能工育成データの設計、解析を得意とする地域づくり

支援策

支援施策
<ol style="list-style-type: none">デジタル・ツールの普及に向けた環境整備、診断人材育成支援地域イメージの構築、発信

デジタルものづくりの定義

デジタルものづくりとは、本報告書では「ものづくり工程の前半部分を指し、デジタル・ツールによって3次元データを活用し、後工程の負荷を減らし、開発期間を短縮させ、ひいてはものづくりの付加価値を向上させること」をいう。デジタル・ツールには、3次元CAD (Computer-Aided Design)、CAM (Computer-Aided Manufacturing)、CAE (Computer-Aided Engineering)、CAT (Computer-Aided Test)、3次元スキャナ、加えて、データを分類、格納する管理ソフトであるPDM (Product Data Management) ソフトが含まれる。

先行調査研究の分析

デジタルものづくりに関して、特に3次元データを最初に作成する3次元CADの普及については、国内では竹田・青島・延岡 (2004) など大企業での活用実態調査研究が挙げられる。それによれば、1990年代に大手企業では3次元CADの普及は約70%に達したとされる。しかし、中小製造業での3次元CAD普及率は30%前後 (竹田 (2015)、大阪産業経済リサーチセンター (2015)) とみられ、金型や成形業など設計が重要である業種でも50%を超えるにとどまる (大阪産業経済リサーチセンター (2016))。

先行調査研究をレビューした結果に基づき、既知な部分と未知な部分とに分け、企業、人材、地域の3点から調査研究を進めた (図表1)。

図表1 3次元CADに関する先行調査研究の到達点

	既知な部分	未知な部分
企業	・大企業では普及完了 <u>70%程度</u> ・業種別では自動車産業で普及	・中小製造業での活用実態 ・解析データ活用は中小企業で活発化か?
人材	・同時並行 (コンカレント) するデザインと開発に解析ツールを活用	・多能工化をさらに促進すべきか?
地域	・自動車産業集積で普及が進んでくるが。地域別の状況は不明	・ <u>地域別の3次元CAD普及状況は? 関西、大阪での普及はどうか?</u> ・企業支援は必要か?

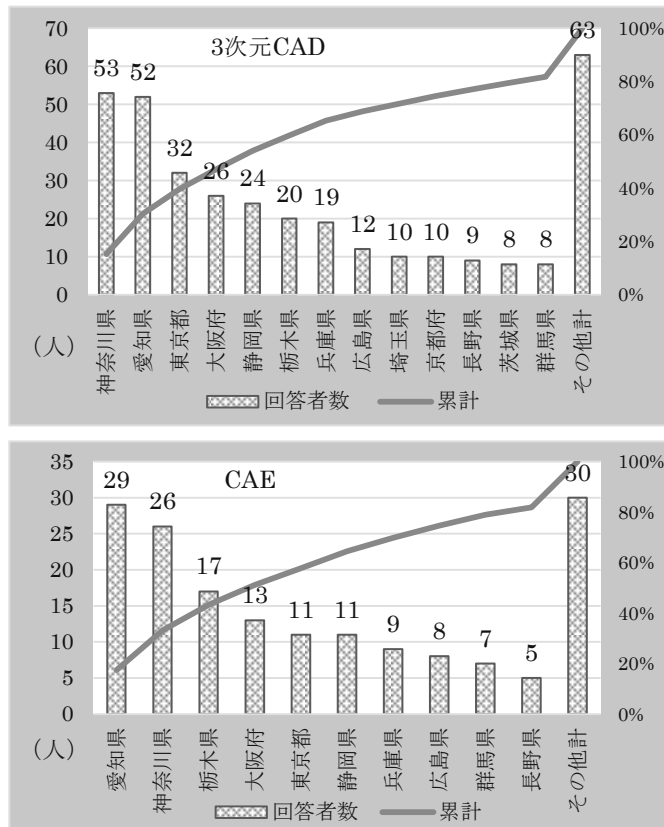
出典: 本文 図表1-4を一部加工

活用状況が「東中高、西低」なデジタル・ツール

デジタル・ツールによる3次元データの活用状況

を地域別にみれば、関東、中部地域で普及率が高いものの、関西地域では普及率が低い、「東中高、西低」の様相を示す。企業からよく耳にするこの現状について、調査研究等で少ないことから、今回明示した意義は大きい (図表2)。

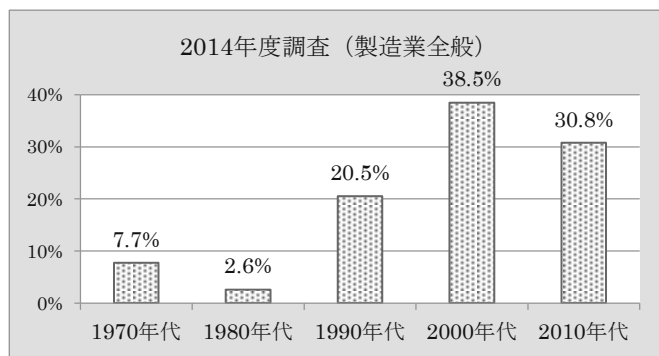
図表2 都道府県別の3次元CAD、CAE利用者数

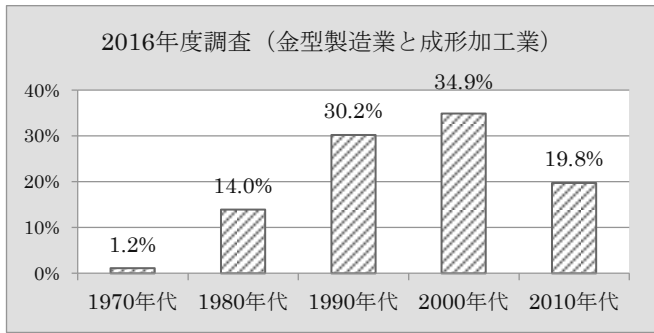


出典: fabcross for エンジニア調査 本文図表3-8、3-9

3次元CADが未導入であり、3次元データを扱えない企業では発注元からのデータ受取時に、変換に際しデータ欠損が生じやすい。こうした状況から3次元CAD導入が新規分野進出や受注における「参入要件」となっている (図表3)。

図表3 3次元CADの導入時期





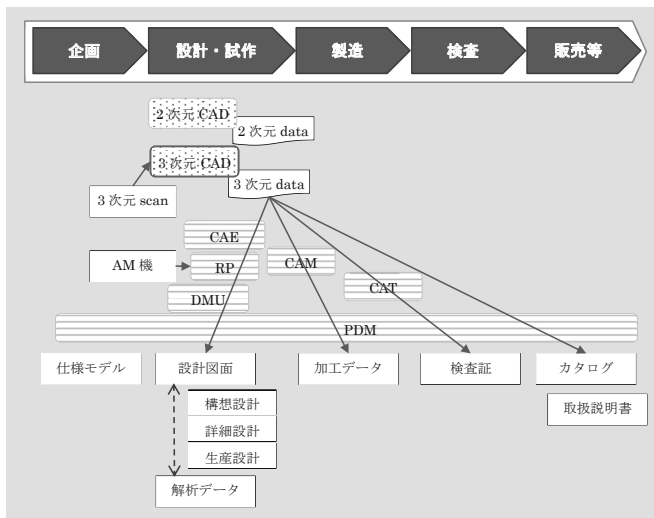
出典：本文 図表 3-4

3次元CAD導入時期については、1990年代から2000年代にかけて増加しており、近年普及は一段落している様子が伺える。

3次元データ活用で高められる付加価値

一方、3次元CADなどデジタル・ツールを活用すれば、ものづくりの初期の段階において検証、試作、シミュレーションなどを繰り返し同時並行に行える（図表4）。

図表4 製品開発工程と3次元データ活用



出典：本文 図表 2-4

そのため、特に自動車産業などでは部品同士の組付けや干渉確認、画面上で部品を組付け動作確認するデジタルモックアップなどのシミュレーション、また部品の強度などの解析を行えるようになり手戻りの解消、開発期間の短縮やコスト削減に大きく貢献する。3次元データは開発者同士の意思疎通を円滑化し、カタログ掲載や取扱説明書の作成も容易にするなど設計段階以外にも付加価値をもたらす範囲が広い。

CAE、解析、シミュレーションの活用は低調

3次元CADは一定数普及しているものの、解析やシミュレーションなどの機能についてはデータ読み込み知識などの不足などから、中小製造業のみならず、大企業でも活用率が低く。ただ、自動車産業では解析、シミュレーション機能の活用は進展する。

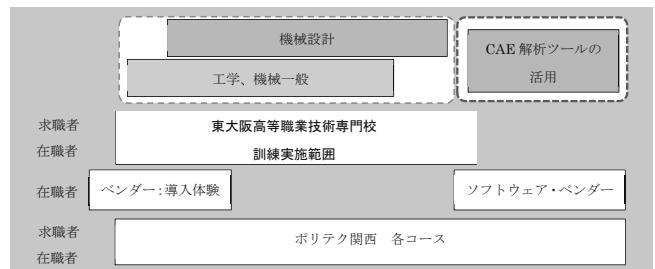
大阪地域でのデジタルものづくりの普及と支援

現状と課題から、大阪産業集積で必要なのは、デジタル・ツール、特に3次元CADの普及である。なぜなら、3次元データのシームレスな扱いが取引条件となる中、受注の前段階から営業の阻害要件の解消のためである。最も普及している3次元CAD導入には約100万円のコスト負担が必要となるため、負担の軽減策を考える必要がある。また、導入円滑化のための診断とアドバイス事業も有用である。

マルチな技能を有する技術者育成

次に、デジタル・ツールが普及すれば、デザインや設計領域をカバーした知識や経験を多方面に有するマルチな設計技術者育成の必要性が生じる。そのためには、ポリテクカレッジや大阪府内の高等職業技術訓練施設、および民間の技術講習会などの有益な研修を在職技術者等に受講させるなど研修制度を有効活用することが必要であり、そのための活用促進策も必要である（図表5）。

図表5 3次元CAD技能研修、その他研修



出典：本文 図表 3-20

デジタルものづくりを推進する地域産業プロモート

最後に、企業がデジタル・ツールを活用したものづくりについて地域一丸の取組を自治体の製造業支援策として全面的にプロモートする手立てが必要であろう。デジタルものづくりの特長を打ち出すことができれば、設計データや解析データを踏まえた高度な内容の打合せや受発注が可能となり、自動車産業や航空機産業など発展する業界からの受注へと結びつくはずである。

第1章 調査の趣旨、概要

1-1 問題意識と調査概要

近年、ものづくりの設計・開発の局面において、3次元CADなどのデジタル・ツールを導入し、3次元データを積極的に活用したものづくり工法が急速に普及し始めている。

こうした「デジタルものづくり」の流れについて、以下の点について明らかにすることが今後、政策立案をするうえで必要と考えた。

調査の視点

企業レベルの視点

1. 中小企業におけるデジタル・ツール（3次元CAD、CAM、CAE、管理ソフト、3次元スキャナなど）の普及はどのような状況にあるのか

地域レベルの視点

1. デジタル・ツール活用、普及については、日本国内で地域による差異が生じているのか
2. その地域による普及状況の差異はなぜ生じているのか
3. 地域産業振興を図るうえで、地域による普及状況の差異についてどう考えるべきか

人材レベルの視点

1. 3次元データの活用が進むにつれデザイン、設計担当者の職域は変化しているか
2. 人材、すなわち、3次元データ活用能力が高い技術者はどういう人材であり、どう育成すればよいのか

企業が置かれた経営環境

形状を作り上げる工程である設計・開発といった上流工程でのダイナミックな動きは、一般の消費者からは見えず、その変化、つまりイノベーションを実感できない。また、大阪府庁など行政サイドも、府内のものづくり企業における製品や部品の構想、設計、開発における部分のブラックボックス化された工程について、掌握できているとは言い難い。

こうした設計・開発工程は、ものづくりの「スマイルカーブ」（スマイルカーブとはものづくりの工程と付加価値の創出度合いを示す概念図のこと）の最初の部分に当たる。工程の中間部分に当たる製造工程は、スマイルカーブの底の部分に該当し、付加価値創出を期待しにくいところであり、世界の工場である中国や東アジアに拠点が配置されている。だが、構想や設計、開発などスマイルカーブの前半部分の工程は、産業の付加価値創出を担う上で重要な部分である。大都市である大阪においてこの部分を、今以上に強化していくことが重要であると長年言われ続けている。

加えて、このスマイルカーブの前半、つまりものづくりの上流工程において、創造性発

揮、リードタイム短縮、アイデア具現化の期間短縮、試作コストの削減、下流工程の前倒し検証を行うために、設計データのデジタル化とそのシミュレーションが3次元CADなどデジタル・ツールの開発により比較的容易に、加えて低コストで実現できるようになってきた。これらデジタル・ツールの活用による付加価値創出は大企業のみならず、中小企業においても必須となってきた。

調査の手法

本調査については、アンケート調査の手法を採らず、企業ヒアリングや文献収集調査による方法に拠った。

用語の定義

ここでは、本報告書で頻出する用語で、重要なものについてのみ、まとめて概説する。その他の用語等は各ページの下欄で説明することとする。

参考として、日本規格協会「JIS 規格用語」および、Web サイト「機械設計エンジニアの基礎知識」（2018年1月アクセス）を参照した。

<http://d-engineer.com/3dprint/3dsukyana.html>

・「デジタル・ツール」

3次元CAD (Computer-Aided Design)、CAM (Computer-Aided Manufacturing)、CAE (Computer-Aided Engineering)、CAT (Computer-Aided Test)、3次元スキャナ、加えて、3次元データを分類、格納する管理ソフトであるPDM (Product Data Management) ソフトなども含まれる。

・「CAD (Computer-Aided Design)」

コンピュータ上で図面を構成するソフトウェアのこと。用途によって、機械用、建築用、土木用、電気用、電子基板設計用などに分類される。また、機能と価格によりハイエンド、ミッドレンジ、ローエンドに分類される。ハイエンドCADは、主に航空機・自動車・家電業界など部品点数が多く、複雑な設計や組合せ、モデリングを必要とする分野で使用されるものであり、代表的な製品としてCATIA、Creo Parametric (旧 Pro/ENGINEER)、NXが挙げられる。一方、中小企業や機械系設計で使用されるのがミッドレンジCADであり、価格がハイエンドよりもかなり抑えられている。代表的なものがSolidWorks、Inventorなどである。

また、3次元モデルの表現方法は、開発された順にワイヤーフレーム、サーフェス、ソリッドの3種類があり、現在使用される多くの3次元CADはソリッドが主流となっている。ただ、設計の用途に応じて、使い分けがされており、最も多い組合せがソリッド中心で補助的にサーフェスを使用するケースである。具体的には、家電の筐体や自動車のボディーなどの複数の面の集合となるデザインや、流体が流れる製品（バルブ、ポンプ、タービン、

自動車のマニホールド等) で、自由曲面が多いものはサーフェスで作成し、その後ソリッドに変換して使用方法が用いられる。

・「CAM (Computer-Aided Manufacturing)」(JIS B 3401)

CAD によってコンピュータ内部に表現されるモデルを作成し、これを CAM で利用することによって進める設計・生産の形式。

・「CAE (Computer-Aided Engineering)」(JIS B 3401)

CAD の過程でコンピュータ内部に作成されたモデルを利用して、各種シミュレーション、技術解析など工学的な検討を行うこと。構造解析、熱伝導解析、流体解析などに分類されるが、機械系の設計技術者等が最も使用しているとみられるのが、構造解析のうち、応力解析、振動解析である。

・「CAT (Computer-Aided Test)」

コンピュータを利用して、製品や部品の性能、耐久信頼性などの各種テスト、解析を行うこと。車の実車テストではコンピュータは、各種物理量の計測、解析のみでなく、実路面刺激を忠実に再現するロードシミュレーターなど、テスト装置の高度な制御や、自動車走行環境を室内に取り込むことによるテストの高精度、高効率化を支援している。(大車林:自動車情報事典)

・「DMU (Digital Mock-Up)」

デジタルモックアップといい、CAD を用いて製品の外見、内部構成などを比較、検討するためのシミュレーションソフトウェア。あるいは、そのようなソフトウェアを用いて作成された 3 次元モデルのこと。(IT 用語辞典)

・「3 次元スキャナ」

対象物の凹凸を感知して 3 次元データとして取り込むための装置。対象物にレーザーを照射したり、センサーを当てたりしながら 3 次元の座標データ (X,Y,Z) を複数取得する。取得された「点群データ」を三角面の集合体である「ポリゴンデータ」に変換して立体を生成する。

・「PDM (Product Data Management)」

設計データや材料の形状、素材データ、加工条件や方法などの情報を一元管理し、データベース化し、設計・開発・試作段階で過去データをリファレンスすることで、効率化、ノウハウ蓄積を行える管理ソフトウェア。

・「3 次元データ」

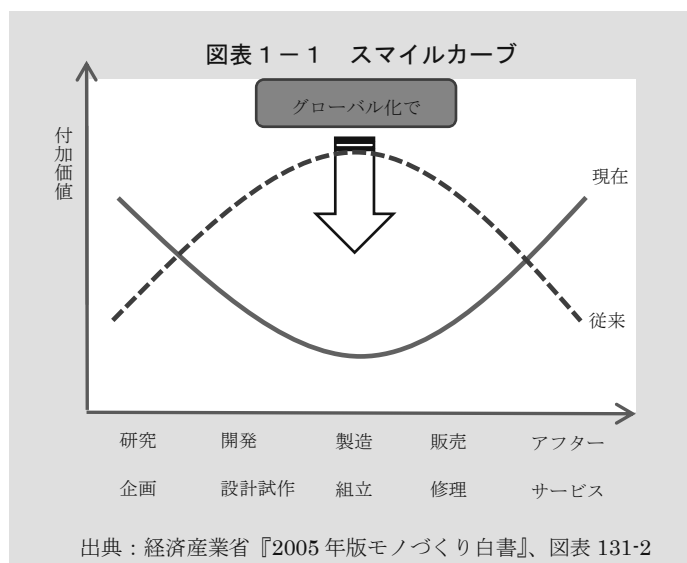
3 次元 CAD で作成されたデータであり、CAM や CAE、取扱説明書の作成、カタログ作成などデータを製造だけでなく販売面など多角的に利用できる。

・「スマイルカーブ」

製造工程の中間部分（組立、製造）は付加価値が低く、その前後、設計開発と検査、サービスメンテナンスの工程の方が付加価値は高いとする概念のこと（図表 1-1）。

・「上流設計、フロントローディング」

ものづくりの工程で上流にある設計・開発工程において 3 次元データを作成し、コミュニケーションやアイデア創発などを活性化させ、その結果をもとに解析技術などを通じて下流工程に流すようにする。いわば、設計・開発工程を前がかりの工程へと変更する。



1-2 デジタルものづくりの定義

本報告書において「デジタルものづくり」とは、「3次元 CAD、CAM、CAE 等のデジタル化されたツールを活用して、ものづくりの上流工程における設計、シミュレーションを駆使して、これまでにない新規製品や新たな部品を短期間、低コスト、高品質で製作する手法」と定義する。

ものづくりの変化

QCD 面から品質向上、生産コスト低減、生産リードタイム短縮の要請が強まっている。その対応策として、最も効果的な方法がものづくりの上流工程に位置する設計・開発工程にテコ入れし、現状よりも高機能化させることが必要である。そのために、設計・開発工程ではデジタル・ツールを積極的に活用することが求められている。

設計工程のデジタル化への動き

製造までの前段階に位置する設計、試作時点においての従来の実物試作や模型製作の方法、ソリッド 3 次元データによる方法をはじめデジタル・ツールによる方法などの比較優位性について示したものが図表 1-2 である。

横軸は、「実物試作」、「模型」、「2 次元図面」、「3 次元図面（ワイヤーフレーム、サーフェス）」、「3 次元図面（ソリッド）」に区分している。これら 5 つの方法について、「メディア機能」、「プロフェッサー機能」、「コストとスピード」を縦軸項目として比較している。

メディア機能（communication mediating function）とは、データの意味解釈が受け手の反応に委ねられており、人と人が相互作用を通じて意味や意思を伝達することを支援する機能のことを指し、設計担当者とプロジェクト責任者や意思決定者、広くは消費者などが図面を通じてコミュニケーションすることで製品の擦り合わせを行う。

プロフェッサー機能（programmed processing function）とは、あらかじめ定めた前提に従ってコード化、伝送、加工、蓄積処理を行う機能のことを意味し、作成されたデータが生産工程の流れの中でどのように活用されているのかを示す。

最後に、コストとスピードとは、プロジェクトや工程の立上げ作業や繰り返し作業における経済性と効率性を示すものである。

図表 1-2 試作方法別の各機能での優位性

	実物試作	模型	図面・2次元	ワイヤー、サーフェス 3次元	ソリッド 3次元
メディア機能					
表現可能な属性の数	○	△	×	×	△
形状の解釈の容易さ	○	○	×	×	○
階層的な表現	○	×	×	×	△
予想外のファクターの提案	○	△	×	×	△
プロフェッサー機能					
製品・工程定義の厳密さ	×	×	△	○	○
データの正確な伝送、加工、対比	×	×	△	○	○
定量的な分析能力	△	△	×	○	○
分析のフレキシビリティ	×	×	×	○	○
コストとスピード					
立上げコスト	×	△	○	○	○
立上げスピード	×	×	○	△	○
繰返しコスト（変動費）	×	△	○	○	○
繰返しスピード	×	×	○	○	○

注：「○」はとても該当する、「△」はやや該当する、「×」は該当しないを表す

出典：竹田（2000）、p.15 を元に一部変更

この図表から読み取れるのは、メディア機能に優れるのは、実物試作であるが、その後、開発されたソリッドな3次元CADが模型や2次元図面に代替可能レベルまで熟度を高めたといったことである。実物試作は意思決定者など開発メンバーに対して直感的に開発物の形状や品質を伝達することが可能であり、それによる改良発想（「予想外のファクターの提案」）が想起されるなどコミュニケーションの深化を促す。

また、一度作成した3次元データはその後の工作機械等でのCAMへの変換、変形などの解析データとしての活用面に優れている。実物試作では外力による変形等が発生すると一度の使用に限定されるが、3次元CADなら何度でも多面的にデータを活用できる「分析のフレキシビリティ」などプロフェッサー機能に優れる。

言うまでもないが、実物試作や模型を製作するには多大な時間とコストが必要であるが、3次元データに拠る工法であれば、それらの相当な削減が図れる。

こうした観点からみれば、メディア機能、プロフェッサー機能、コストとスピード面において特に3次元データによる設計工法に優位性を見出せる。

1-3 先行調査研究

ここでは、1990年代後半から現在にかけて、主として日本国内における3次元CADの利用や普及状況について取り上げた、政府をはじめ業界団体、自治体等の調査研究結果について述べる(図表1-3)。

経済産業省(1998)は平成10年に全国の中小製造企業約66万社を対象に実施した大規模な調査である「商工業実態基本調査」のデータから、企業の情報化について、CAD/CAM導入企業は中小製造業で13.4%といった結果を示した。なかでも、CAD/CAMの利用割合が高い業種として、一般機械器具製造業の18.6%、電気機械器具製造業の17.4%、精密機械器具製造業の11.4%という普及率を示している。

後藤・田野・香川(2001)は、中小・零細企業で構成される京都府における機械金属製造業の企業を対象に、IT活用に関する国の推進計画に対する施策展開のため、現状分析を目的に3次元CAD/CAMの利用についてプレ実態調査を行い、「3次元CADを中心とする3次元デジタル情報技術は府内中小製造業にとって、重要視されながらもいろいろな課題により、未導入であったり、活用による効果をうまく引き出せていない企業が多いことがわかった」(p.102)という結果を示した。翌年、後藤・田野(2002)は府内企業向けのアンケート調査による量的把握を実施し、府内機械金属製造業120社から回答を得た。その結果によれば、3次元CAD導入率は39.2%であった。

竹田・青島・延岡(2004)は、2004年までに3回実施した機械系上場企業等へのアンケート調査結果をまとめており、そこでは3次元CAD普及率は2004年では76.0%と分析している。1993年から98年にかけて急速に普及したとしている。最後の3回目の調査では2次元CADから3次元CADへの代替現象がみてとれる。

加えて、3次元化への効果については、これまでの調査と比して、「設計担当者自身が多く解析をできるようになった」など複数の項目で評価が上がったとする。これにより、設計担当者が解析担当者や試作製造・テスト担当者の業務を先に取り込む現象が生じており、部門間のコミュニケーションが前倒しにより上流工程で行われるようになっているという2点を量的に明らかにし、「フロントローディング」の実態を示した。

竹田(2015)は、機械系CADを使用する機械、金属製品製造業13業種で、北九州市内の企業127社、および周辺企業97社に対して3次元ものづくりの実態調査を行った。普及率の結果は、3次元CAD27.0%、3次元CAM10.0%、3次元CAE6.0%、3Dプリンタ4.0%、3次元測定機14.0%であった。導入年代データから普及曲線による分析を行い、「ミッドレンジCADの高機能化が進んだ2000年代広範に普及が促進された」ことを明らかにした。

加えて、本地域の企業の3次元化が遅れているのは、「この地域では顧客との関係や競争環境の圧力ではなく、自社の技術・品質を向上させるという内発的理由で取組むパターンが多い」ためとし、その結果、「3次元設計データをベースにCAMなど多様な機能への連携ができていない企業の数が多いと言えない」と考察している。また、政策的含意を検討す

る中で、「3次元ものづくりの効果は、3次元CAD単体では得られず、CAM、CAE、3Dプリンタ、3次元測定機など設計と設計以外のさまざまな機能をデータとコミュニケーションで繋ぐことで現れる」との自身の研究成果から、中小企業では追加費用と人材に乏しいため、導入推進に関して支援施策が必要と言及している。

図表 1-3 3次元CADの普及率に関する調査結果一覧

調査名称	回答企業属性	回答企業数	普及率	備考
中小企業庁(2000)	大企業、中小企業	約66万社	大:57.7% 中小:13.4%	中小企業白書、「商工業実態基本調査」(注)再編加工
竹田・青島・延岡(2002)	機械系上場、店頭公開・未上場企業等から無作為抽出	延べ339	約70%	大手企業中心の結果
後藤・田野(2002)	京都府内、機械金属製造業	120	39.2%	
竹田・青島・延岡(2004)	機械系上場、店頭公開・未上場企業等から無作為抽出	延べ522	66.0% 主要機械系メーカー76.0%	大手企業中心の結果、導入効果の分析 CAMの普及率51.0%、CAE23.0%
素形材センター(2007)	素形材関連製造業(80%が中小)	373	約70%	3次元データ活用(CAD、CAM、CAEいずれか活用)
竹田・青島・延岡・林・元(2009)	日本:機械関連上場、主要公開製造業から無作為抽出 中国:機械系企業、韓国:機械関連上場製造業	日本:153 中国:114 韓国:72	日本:約80% 中国:約70% 韓国:約65%	大手企業の3カ国比較
竹田(2015)	北九州市内、周辺地区、機械金属等13業種	127 97	27.0%	取引条件での圧力からの導入よりも、内発的理由が多い
大阪産業経済リサーチセンター(2015)	大阪府内中小製造業	217	35.9%	
大阪産業経済リサーチセンター(2016)	大阪府内金型、成形中小製造業	154	64.3%	

注:経済産業省「商工業実態基本調査報告書」、第10章中小企業の情報化、3.情報システムの利用状況(平成10年で終了)、CAD/CAM(コンピュータ設計・生産支援システム)利用率

出典:大阪産業経済リサーチセンター作成、年代別に配置した

竹田・青島・延岡 (2002) は、機械系上場、店頭公開・未上場企業等から無作為抽出により、またそれまでの調査標本を加えた 339 社での 3 次元 CAD 普及率を約 70% とした。加えて、3 次元 CAD の導入が製品開発の品質を高めることに貢献するというデータ分析結果を示している。竹田・青島・延岡・林・元 (2009) は、日本、中国、韓国 3 カ国での設計の 3 次元化をアンケート調査で明らかにし、フロントローディングの状況から、日本では意匠デザイン、設計、解析といった上流工程の仕事量が増加し、後工程の仕事量が減少する現象がみられるが、韓国ではその傾向は弱く、中国では全くないとの分析結果を示した。ほかに、素形材センター (2007) は、中小素形材製造業等の企業に対して行った調査から 3 次元データ活用企業は回答企業のうち約 70% であること、3 次元 CAD 導入のきっかけは顧客から受領する 3 次元データを確認するためという回答が多いこと、導入する 3 次元 CAD は複数の種類である場合が多く、特に取引先の種類が多岐に渡る金型業で種類が多いことなど、アンケート調査と事例調査を重厚に組み合わせ、企業実態に踏み込んだ多様な事項を明らかにしている。

大阪産業経済リサーチセンター (2015) は、3 次元積層造形技術の調査にあわせて、アンケート調査を大阪府内中小製造業 217 社に対して実施し、3 次元 CAD の普及率 35.9% という結果を得た。さらに、大阪産業経済リサーチセンター (2016) も、府内の金型業と成形業 154 社に対してアンケート調査を実施したところ、64.3% という高い普及率であった。金型業と成形業に関しては機械金属関連の他の製造業種よりも 3 次元 CAD を活用した設計が行われていることを把握した。いずれの調査も中小企業における 3 次元 CAD 導入の効果を、企業ヒアリングによっても確認するなどして、府内製造業における 3 次元化の必要性を明らかにしている。

中小企業における 3 次元 CAD 利用の普及状況や企業における 3 次元データの活用、そのための人材活用などの観点から、以上の先行調査研究の到達点をもとに既知と未知の部分について分類すると図表 1-4 のようにまとめられる。

図表 1-4 3次元 CAD に関する先行調査研究の到達点

	既知な部分	未知な部分
企業	<ul style="list-style-type: none"> ・大企業で普及完了 70%程度 ・業種別では自動車産業で普及 ・開発データ活用が活発化してきた 	<ul style="list-style-type: none"> ・中小製造業での活用実態 ・中小企業での普及限界はどのあたりか？ ・どの企業にも導入が必要か？ ・解析データ活用は中小企業で活発化か？
人材	<ul style="list-style-type: none"> ・同時並行（コンカレント）するデザインと開発を解析ツールで確認するとともにフィードバックを実施 	<ul style="list-style-type: none"> ・多能工化をさらに促進すべきか？ ・ものづくり、基礎工学をどう教育すべきか？
地域	<ul style="list-style-type: none"> ・自動車産業集積で普及が進んでいると思われるが、地域別の状況はよくわかっていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域別の3次元 CAD 普及状況はどうか？ 関西、大阪は普及しているのか？ ・自動車産業集積でなくとも、国際的設計開発、開発競争に勝っていけるのか？ ・地域における産業政策、企業支援が必要なのか？

出典：大阪産業経済リサーチセンター作成

先行調査研究からは、企業について「既知な部分」として、大企業における3次元 CAD の普及は70%を超え、普及段階に達していることがわかっている。特に、自動車産業での普及率が高い。一方、「未知な部分」としては、中小製造業での活用実態、普及状況が明らかになっていない。どの企業にも普及が進むのかどうか、今後実態解明が必要であろう。また、解析に関しては、大企業においても活用は低調であったが、近年活用され始めるようになってきている。しかし、中小企業ではその実態は掴みにくい。

次に、人材については、「既知な部分」として、大企業においてコンカレント・エンジニアリングが盛んで多様な人材が活用されていることは明らかとなっているが、今後さらに中小製造業においても同様に活用が進むのか、またその場合、ものづくりや基礎工学の基礎的知識をどう教育すべきかが「未知の部分」となっている。

地域的には、3次元 CAD の普及は、自動車産業集積の分布に強く影響されているのではないと思われるが、地域別の状況について先行調査研究で十分明らかにされておらず、また、地域として、3次元 CAD 普及を図る施策をどのように展開すべきかについても「未知な部分」である。

第2章 設計開発フェーズにおけるデジタルものづくりとは

2-1 設計から革新が始まるデジタルものづくり（歴史）

設計とは、「建築物や工業製品等といったシステムの具現化のため、必要とする機能を検討するなどの準備であり、その成果物としては仕様書や設計図・設計書等、場合によっては模型などを作ることもある」（三省堂大辞林 第三版）。

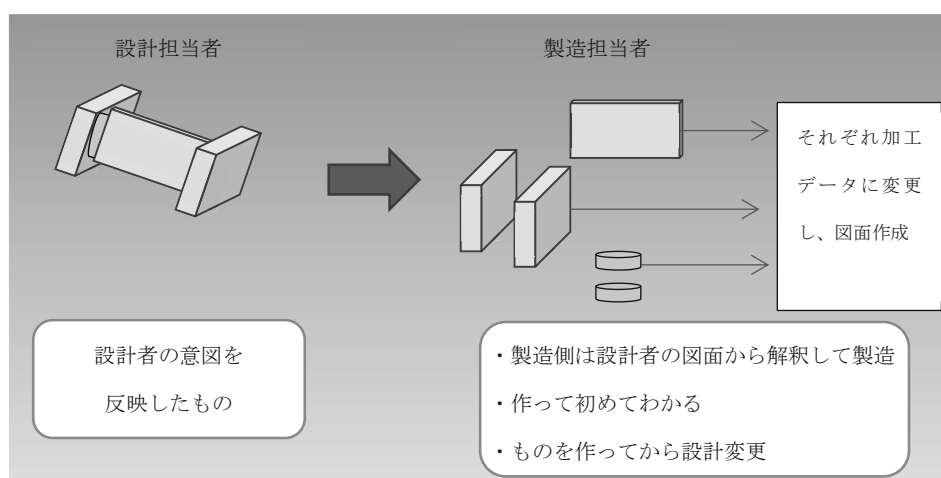
本調査においては、主として機械、工作物、自動車など工業製品の設計を対象とする。

CAD ソフトが開発される以前

2次元CADが開発される1960年まで、さらにコンピュータによる設計作業にほぼ置き換わるまでの間、人が「ドラフター」と呼ばれる設計機器と筆記具を使用し手作業で「設計図面」を作成していた。そして、設計担当者と製造を担当する者との間には大きな乖離があった。設計図面はそのまま製造図面として使用できないため、再度製造担当者が図面を引き直していた。なぜなら、設計図面は機械等の仕様や構造を示すが、それだけでは製造に着手できなかった。手加工機などで部品加工をするために、部品表を作成し、部品を機械等で製造するための「製造図面」が必要であった。つまり、ものづくり工程で「設計図面」と「製造図面」、大きく機能が異なる2つ以上の図面が必要であった（図表2-1）。

したがって、図面の訂正や履歴管理にも手間を要するうえ、部品同士の組付け確認のためにはモックアップを試作して干渉確認をするため、製造するまでに相当の時間とコストを要していた。これは「図表1-2 試作方法別の各機能での優位性」で示した「実物試作」、「模型」に該当する工法である。

図表2-1 設計と製造が連続せず、ものづくりが行われる



出典：水野操（2010）『絵ときでわかる3次元CADの本—選び方・使い方・メリットの出し方』、日刊工業新聞社、p.61を元に大阪産業経済リサーチセンター作成

CAD ソフトが開発されてから

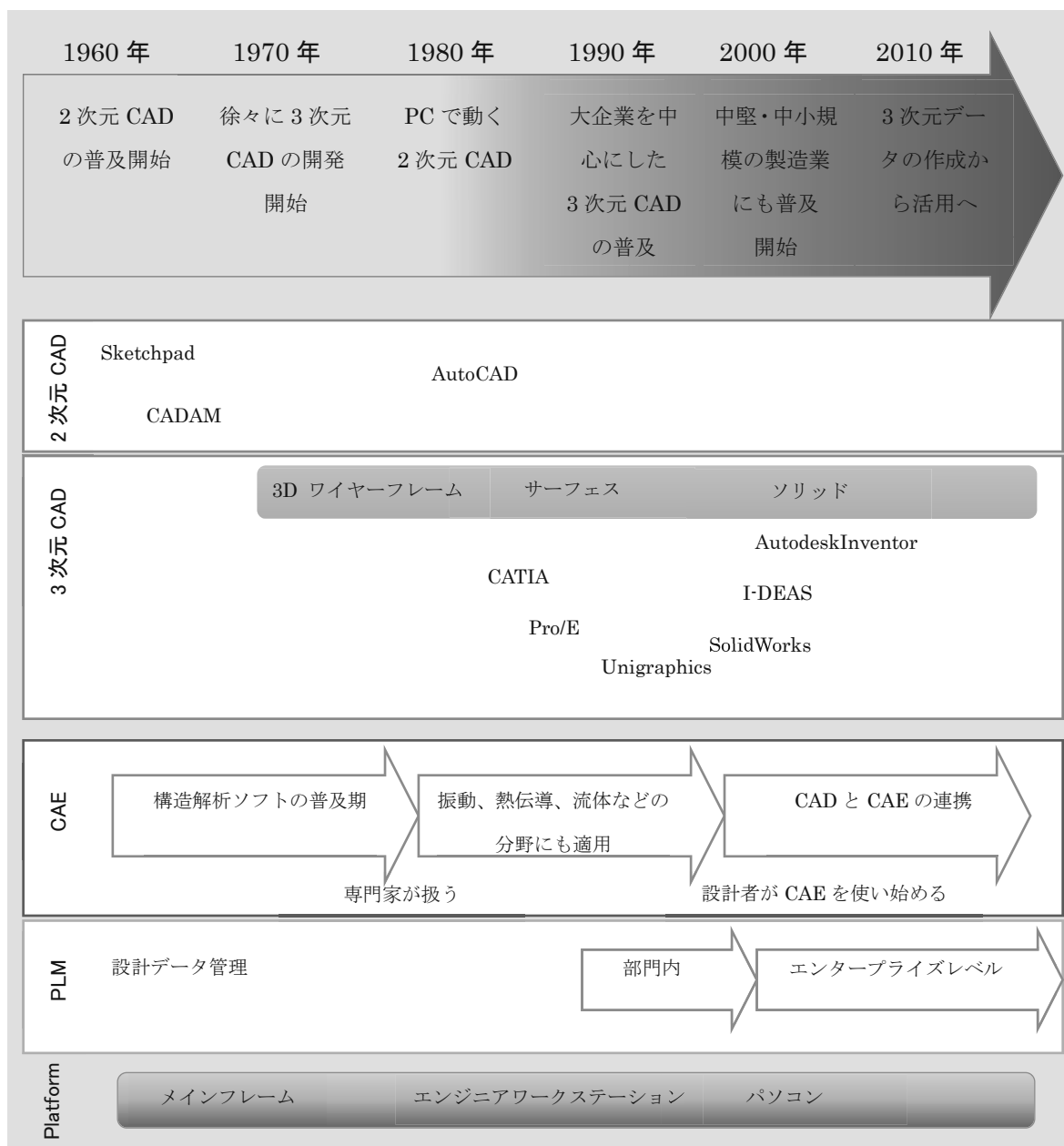
1963 年にマサチューセッツ工科大学の Ivan Edward Sutherland¹が博士論文の中で、「Sketchpad」の概念を発表した。それはプログラミングすることなくコンピュータを使うことのできる対話的インタフェースであった。映画やゲーム、教育教材、科学技術シミュレーション、産業界での設計支援などに幅広く使われている今日のコンピュータグラフィックスは、彼の開発した技術が基礎となっている。

この概念が発表され、実機が開発されたことで、机上でドラフターを使った三面図による 2 次元の設計手法が 3 次元化、デジタル化に向かって変革し始めた。

1960 年代は、手書きによる設計をコンピュータによる描画機能で代替することで、修正や保存、リファレンスを容易にすることなどが目指された（図表 2-2）。前述の通り、Sketchpad によって 2 次元 CAD による設計工法の開発の幕が開いた。1970 年代には、2 次元 CAD に続き、3 次元 CAD の開発が始まった。1980 年代には、2 次元 CAD がパソコンで軽快に動く仕様に変更された。また、3 次元 CAD が実用化され、新たな CAD の歴史が始まった。1990 年代には、高価だった 3 次元 CAD が大企業に普及し始めた。2000 年代に入って、中堅・中小企業等にも 3 次元 CAD が普及し始め、設計ツールのスタンダードな工法になった。普及の要因としては、高額で汎用性に乏しいエンジニアリングワークステーションに代わってパソコンが登場したことで、ハードウェアに要する投資金額等が抑えられたこと、また、数百万円から数十万程度のみドルレンジの 3 次元 CAD が開発されたことなどが挙げられよう。

¹ Ivan Edward Sutherland（アイバン・エドワード・サザランド）、1938 年アメリカ生まれ、コンピュータ科学者、ポートランド州立大学客員研究員。先端技術部門における第 28 回（2012）京都賞を受賞。受賞理由は「コンピュータグラフィックスと対話的インタフェースにおける先駆的業績：情報提示のためのコンピュータグラフィックス技術と、それを用いて、プログラミングすることなくコンピュータを使うことのできる対話的インタフェースの発展に先駆的かつ根幹的な貢献を行った」ことによる。京都賞（1984 年に稲盛和夫（京セラ株式会社名誉会長）設立による公益財団法人稲盛財団の創設した日本発の国際賞）サイト 2017 年 1 月アクセス <http://www.kyotoprize.org/laureates/ivan-edward-sutherland/>

図表 2-2 1960 年以降のソフトウェア開発の歴史



注：エンジニアリングワークステーション：科学技術計算やデザインなどに利用されるワークステーションのうち、CAD/CAM や CG などグラフィック関連に特化したもの。

出典：水野操（2010）『絵ときでわかる 3 次元 CAD の本—選び方・使い方・メリットの出し方』，日刊工業新聞社，p.58

サブスクリプション契約が始まる

2013年以降のトピックスは、サブスクリプション契約が始まったことである。サブスクリプション契約とは、買取方式ではなく月額固定の利用料による契約形式のことである。これまで最も早い2014年にサブスクリプション契約形式を発表したアドビでは、Illustrator、Photoshop、Acrobatの主要製品について月額利用形式が開始された。この契約の場合、メーカーや販売会社にとっては毎月コンスタントに収益があるため、キャッシュフロー面からみて、売上時点と回収時期が合致し、資金繰りが大幅に改善する。

一方、ユーザー側からみれば、少額の月額利用料を日々の運転資金から捻出できること、常に最新のソフトウェアを利用できることがメリットである。一方、デメリットとしてはメーカー都合でバージョンアップさせられること、利用料の支払い総額が買取方式に比べてやや高額であることなどが挙げられよう。

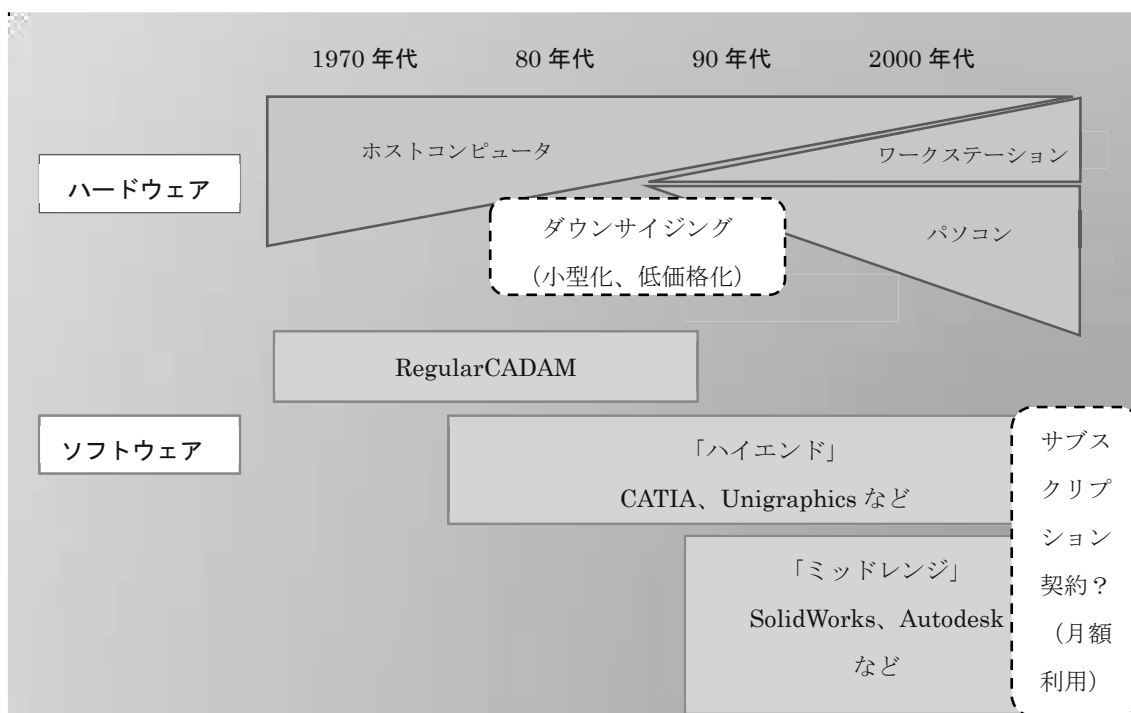
Autodeskは2014年からサブスクリプション形式を取っていたが、2016年以降に販売する単体ソフトウェアについては全面的にこの形式で行うと広報されたが、他社が追随する動きは低調である。こうした新たな契約形式は、これまで買取形式に慣れた日本国内マーケットにおいて受け入れられるかどうか未知数である。

デジタルものづくりを支える環境が整ってきた

ハードウェアの価格の下落、ダウンサイジングの技術進歩によって中小企業でも投資可能な環境が整ってきた（図表2-3）。さらには、CAEソフトウェアではオペレーション画面の簡易化や自動化が進み、扱いやすくなった。設計データなど作成されたデータを蓄積、管理し、設計時のリファレンスを効率化するためのPDMソフトウェアもあわせて充実してきた。こうした3次元データを活用する周辺機器の充実がデジタルものづくりを支えている。

この50年間で起きた二つの重要な事象は、一つに、ものづくりが手作業によるアナログ工程からコンピュータ等によるデジタル工程へと移行してきたこと、二つに、ものづくりの工程において設計など上流工程での作りこみ（シミュレーションなど）に重点が置かれてきていることであろう。

図表 2-3 ハードウェアとソフトウェア（主に 3 次元 CAD）の変遷



注：Unigraphics は現在 NX に統合

出典：コンピュータ教育振興協会（2010）『CAD 利用技術者試験 3 次元公式ガイドブック』，日経 BP 社，p.41 を元に大阪産業経済リサーチセンター作成

2-2 ものづくりまでの段階を効率化、高度化

2-2-1 3 次元 CAD に実装される機能

2 次元 CAD が普及し始めた 1980 年代では、設計が固まれば、紙で出図したうえで製造担当者へ渡していた。製造担当者は製造図面を作成して CAM への入力を行い、NC データを生成した。

この方法では、次の問題点が生じる。1. 2 次元図面を基礎にしていると、設計担当者の意図通りの形状を製造担当者に伝えにくい。これにより図面が二つ混在することとなり、混乱を招くとともに、再製図のコストが必要となる。2. 設計意図が生産の要件を加味したものでないと「手戻り」の要因となる。

これら 2 点を解決するために、3 次元 CAD では、設計物を立体でみることができる機能を保有することで、次の 3 つの機能を備えた。

1. 設計検証：部品の干渉、重量などコンピュータによる設計検証ができる
2. 設計支援：設計変更などに柔軟かつ迅速に対応することができる
3. データ活用：3次元モデルからの投影図作成が容易である

出典：コンピュータ教育振興協会（2010）『CAD 利用技術者試験 3次元公式ガイドブック』，日経BP社，p.37

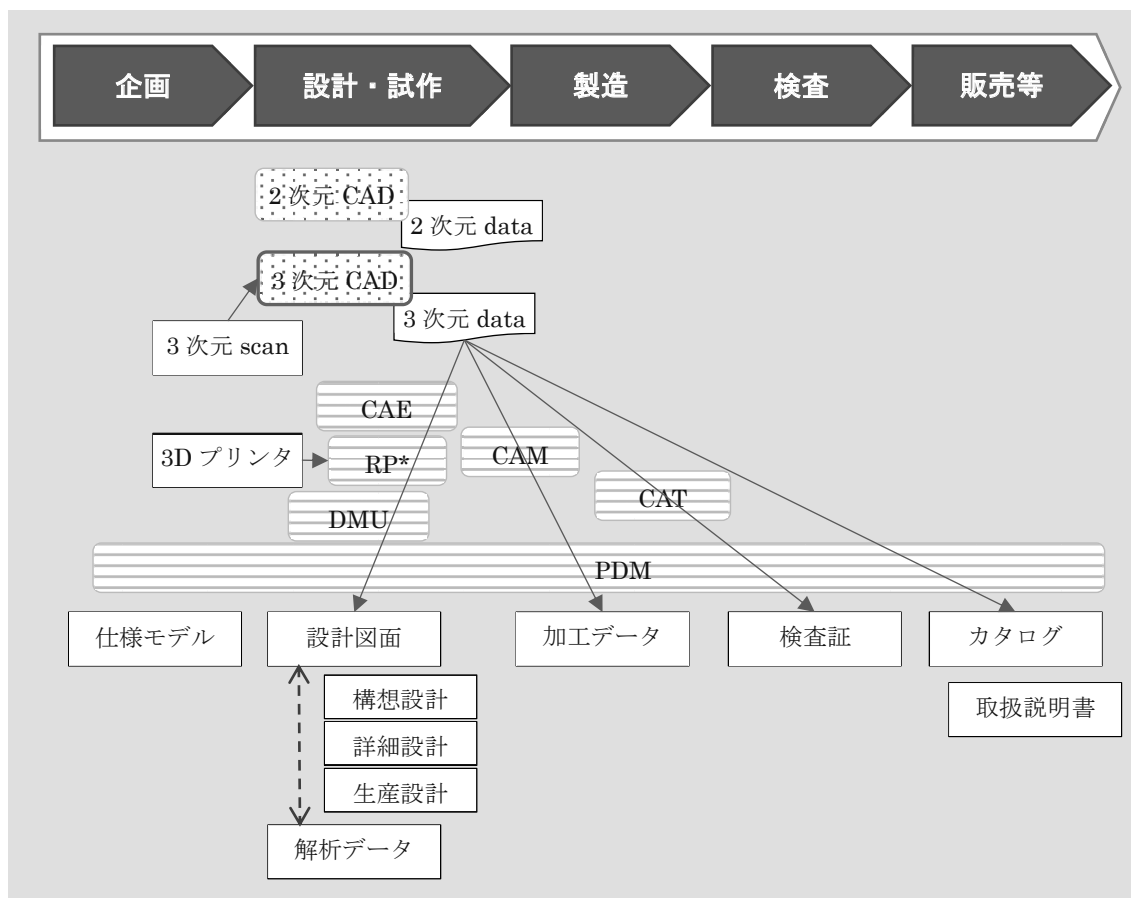
2-2-2 製品開発工程において多方面で活用可能な3次元データ

3次元データを作成すれば、製品開発工程の「設計・試作」、「製造」、「検査」、「販売等」の各段階において有効な活用が可能である（図表2-4）。一方、2次元データでは以下に示す活用が困難である。

まず、設計・試作段階では、3次元CADデータを作成する際に、CAE機能によって、設計に必要な強度や剛性などの材料データをもとに設計が成り立つのか、数値データを作成させ、確認することが可能である。これら解析ソフトウェアは、近年3次元CADに含まれるなどアクセスが容易になってきた。ほかにも、テストのために3Dプリンタを使用して、RPで試作モデルが作成可能である。主として、自動車開発で使用され出したDMU機能は、複数の部品等を組み付けて、動きをシミュレーションし、設計変更に役立てることで、リードタイム短縮、コスト削減を可能にする。次に、製造工程では3次元データを工作機械等のオペレートに変更するCAMソフトが使用される。

次工程の検査でも3次元データを検査用を使用し、設計データと製造されたものの実寸法データとの比較などに活用される。その後の工程である販売やサービスメンテ時には、3次元のデータを用いたカタログや取扱説明書を需要者に提示するなど3次元データの多様な活用が行われている。

図表 2-4 製品開発工程と 3 次元データ活用



注：RP=rapid prototyping、3D プリンタを使用し、素早く試作品を形づくる工法。

出典：大高（2009）、p.186 を元に大阪産業経済リサーチセンター作成

2-2-3 高度なものづくりに不可欠なシミュレーション機能

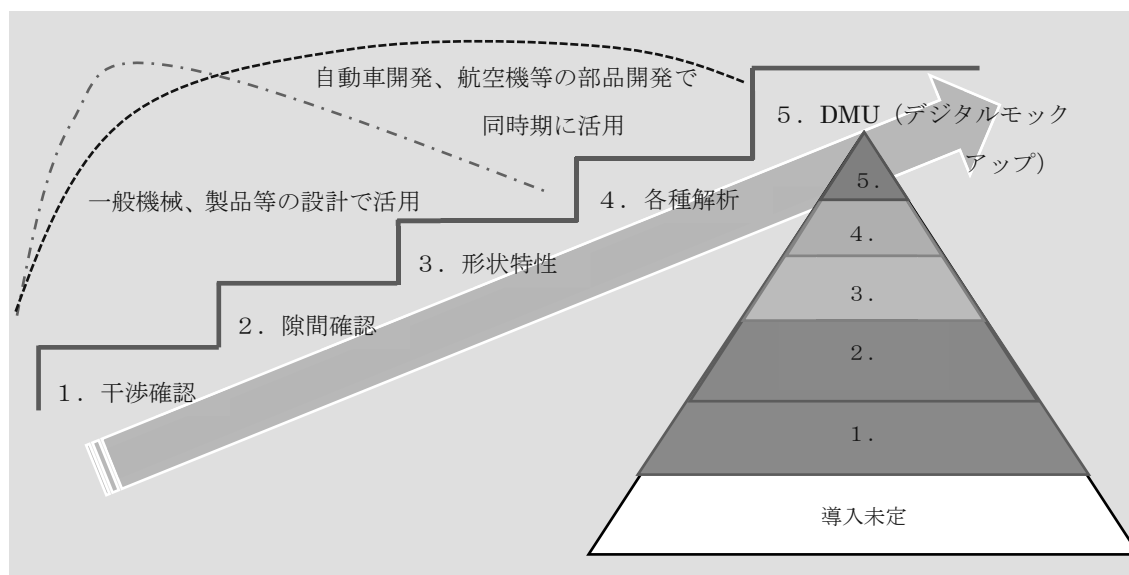
ものづくりの最上流で作成された 3 次元データは、次の生産工程でも活用される。3 次元 CAD データは切削機や MC（マシニングセンタ）など工作機械で加工するために、NC（numerical control：数値制御）データに変換される。NC データは工作機械に付けられた刃物の回転や角度を正確に制御するデータであり、CAM から数値データでアウトプットされたものが NC データである。現在では、多くの中小製造業において、3 次元 CAD と CAM がセットで活用されているケースが多い。

ただ、CAD と CAM による 3 次元データの生成と機械加工での活用以外に、さらに少し進んだ活用方法が今後重要である。それは、CAE 等を使用することで、ものづくりのフローをさらに短縮化するとともに、精度アップやコスト削減を目指すものである。それを可能にするのが、各種「演算機能」、「解析機能」である（図表 2-5）。

代表的な演算機能は以下のステップから、1. 複数部品の設計データで組付け干渉確認を行う（干渉確認）、2. 部品同士の隙間確認を行う（隙間確認）、3. 形状から質量や表

面積、重心、完成モーメントなどの形状特性を計算する（形状特性）、4. 強度・剛性、振動、熱伝導などの変化を解析する（各種解析）、5. DMU（デジタルモックアップ）：複数部品から大型機械等をコンピュータ上でアセンブリし、動作や強度など特性を計算する（アッセンブリ）といった順となる。

図表 2-5 演算機能、解析機能の種類と企業導入ステップ



出典：各種資料から大阪産業経済リサーチセンター作成

1、2、3のステップは、近年3次元CADソフトウェアにオプション設定されていることから、中小企業においても活用されている。4については、同じく3次元CADにインクルードされているため、解析結果は導けるが、その結果を読み込む基礎知識はかなり高度な領域である。大手企業では解析専門部署や専門人員で対応するなどしているが、中小企業で本格的に活用するには人材面の対応や発注元企業との情報交換により経験値を向上させることが不可欠である。

5のDMU（デジタルモックアップ）は、自動車産業や航空機産業など部品点数が多く、開発に関わる人数が多く、多数の部品をアッセンブルする際に必要な確認機能である。大手企業では社内の設計・開発段階でアセンブリを行い、その装置や機械で動作などをシミュレーションしている。近年は、工場全体の複数の機械装置等を設計して、それらのアセンブリデータからものづくり工程そのもののシミュレーションを実施できるようになってきた。このようにしてさらなるバーチャル化が進み、バーチャルデータとリアルデータの差異が確認され、アッセンブル機能がかなり用いられるようになってきている。

2-3 デジタルものづくり活用のパターン

2-3-1 産業界、設計対象で異なるツールと開発手法

ものづくりにおける3次元CAD活用は、産業、開発方式、所要人員数、CADの種類などによって異なる(図表2-6)。

例えば、自動車産業や航空機産業など大型製品、部品点数が多い製品などにおけるCAD設計では、前工程が設計した内容を正確に次工程に引き継ぐ「ウォーターフォール形式」²(システムの開発を「基本計画」「外部設計」「内部設計」「プログラム設計」「プログラミング」「テスト」という工程に分けて順に段階を経て行う方法。前の工程には戻らない前提であることから、下流から上流へは戻らない水の流れに例えて呼ばれる。(図表2-7))による開発が行われ、それに伴い所要人員数は100人から数百人に及ぶ。各人が決められた狭い専門分野における設計を担当し、設計図面は集められ、バーチャル上でアッセンブルされる。アッセンブルされたものを使って動作、検証するため、デジタルデータの優位性を十分に発揮できる。演算や解析技術を駆使して検証範囲を後工程であるものづくり工程にまで広げることで、干渉確認から動作検証、他の装置との動作検証などもシミュレーションする。こうしたシミュレーションにより、ものづくり工程でのエラーの未然発見や手戻りの削減を行う。いわば、上流工程である設計部門がものづくりの後工程の一部を補うことで、リードタイム、コストを削減することに貢献している。

自動車部品や航空機部品設計では、一部だが曲面を多用することから自由曲面の設計ができる3次元CADが必須である。このことから、多人数が関与し、自由曲面など設計内容が専門的であり、複雑な生産工程を動かし、解析を繰り返すこれらの業界においては、ハイエンドCADに分類されるCATIAなどが活用されている。

一方、家電製造業界では小さな部品を組み合わせるものの、自動車等と比べて部品点数は少なく、メカニカルな動きも少ない。しかしながら、モデルチェンジなどが頻繁であるため、部品の仕様変更が多く、また製品の形状なども常に変更がなされる。こうしたことから、様々な変更に対応できるように開発方式は都度変更を取り込める「アジャイル形式」³(ソフトウェア工学で迅速かつ適応的にソフトウェア開発を行う軽量な開発手法群の総称。様々な手法が考案されているが、繰り返しを行うため、データの品質などを保証することが難しい場合もみられる。)が採用される。この開発形式の利点は、柔軟性を持たせた設計・開発を進めることができる点にあるが、変更が多いため完成仕様が揺らいで製品品質等に課題が生じる場合もみられる。

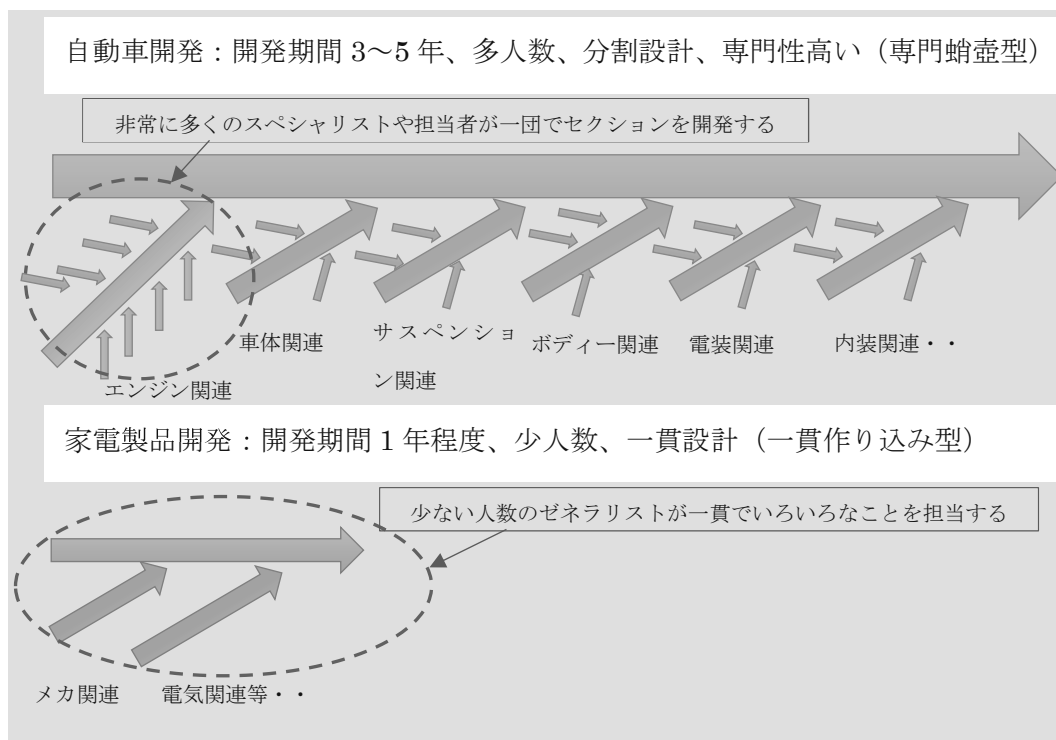
また、開発に必要な人員数は自動車産業と比べて圧倒的に少なく、数人のチームが多能的に広範囲の設計に関わることが多い。構想設計から詳細設計はもちろんのこと、解析、

² ウォーターフォール・モデルの問題点は、『前工程に間違いがない』ことを前提または期待していることで、修正があれば開発工数が増えることなどが起こりうる。

³ agile software development。アジャイルは、素早いの意味。

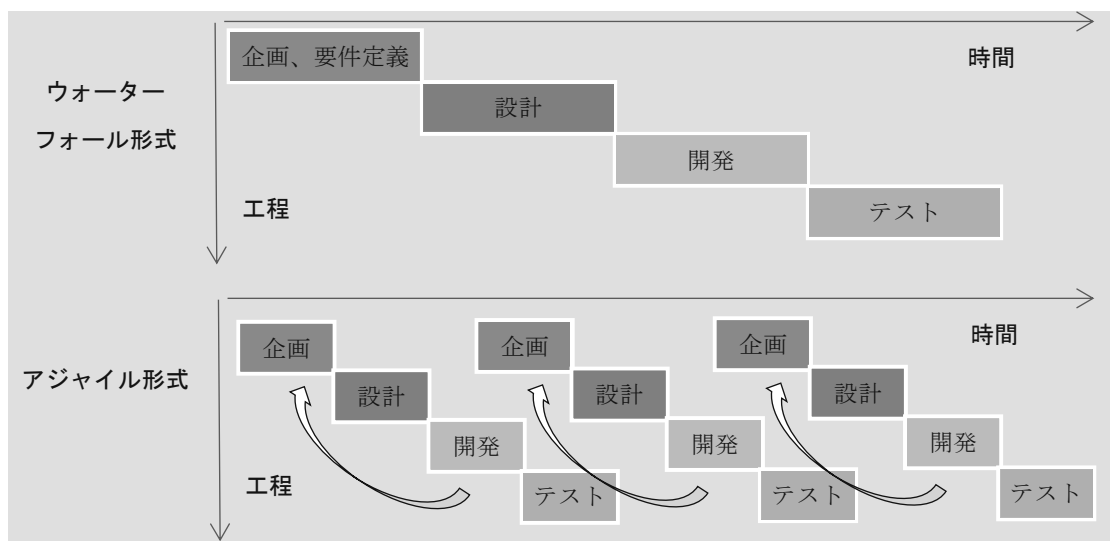
試作なども一人で担当することも多いようだ。比較的少人数で、開発期間が短く、変更の多い設計業務を行うにはミッドレンジが適し、SolidWorks、Autodesk Inventor などが活用されている。

図表 2-6 開発物の違いによる設計方法等の違い



出典：水野操（2010）『絵ときでわかる 3 次元 CAD の本—選び方・使い方・メリットの出し方』，日刊工業新聞社，p.27 を元に一部改訂

図表 2-7 設計方法の違い



出典：水野操（2010）を元に大阪産業経済リサーチセンター作成

業界ごとに異なる技術に必要なスキル

自動車産業・航空産業では、設計技術者は、各部品設計に専門特化することとなるため、狭い技術領域の中で設計を行う「専門蛸壺型」の人材が必要である（再掲図表 2-6）。スキルの領域は非常に狭く、専門性が高い。解析などによるシミュレーション結果は、ソフトウェアの進化によって容易に得られるが、結果内容を読み込むには主として物理現象に関する基礎的知識が必要となる。したがって、企業において解析担当の技術者は主として工学系の大学卒業生が担当することが多い。

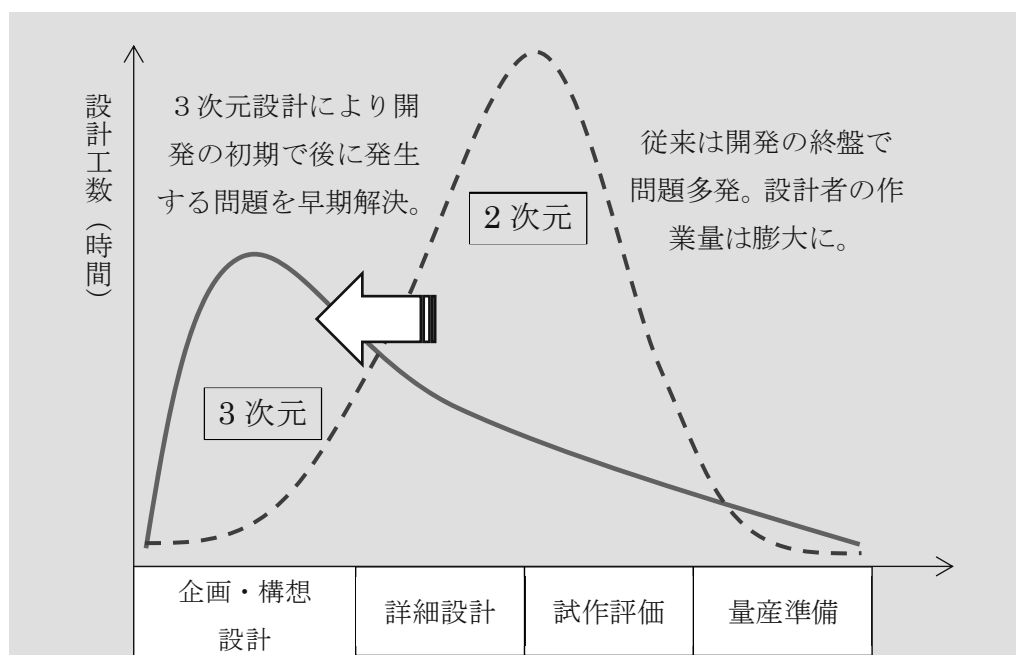
一方、家電業界では、設計技術者はひとりで多くの機能を担当することが求められ、非常に広い領域の技術知識や経験を生かして設計に当たる必要性が高いことから、「一貫作り込み型」人材が求められる。設計・開発に掛かる期間は短いため、合理的な設計が必要で、設計担当者には経験とスキルが重要であるため、経験豊富でスキルに優れた職人的な技術者が担当することが多いようである⁴。

⁴ 数社の中小製造業へのヒアリングで聞かれた内容として、大手企業では専門部署に配属されれば、専門知識と狭い範囲での知識と技術を習得し、業務に当たる。例えば、設計部署でも大手メーカーの設計者、大手設計事務所では一人の設計者に割り当てられる範囲は狭い。一方、中小企業では設計者でも場合によっては、簡単な加工工程なども担当し、設計と加工まで広い範囲で業務を担当する場合が多い。つまり、従業員数の規模が大きいほど、専門性が高く、カバーする業務領域は狭くなる。中小企業の従業員は、大企業よりも多能工と言われている。

2-3-2 フロントローディングが進む

デジタル・ツールの使い勝手が向上したことで、設計領域での業務は確実に前倒しされ、上流設計が重要になっている。設計部門の早い段階で改良し、次工程での業務を前倒しすることで、発生コストを可能な限り抑制することが可能となる（図表2-8）。問題が発生する前に、工程のできるだけ前段階で、粗方解消しておくのがフロントローディングの業務の仕方である。この方法を可能にしたのは、3次元データを作成することによるデジタルものづくりの実現である。

図表2-8 フロントローディング概念図



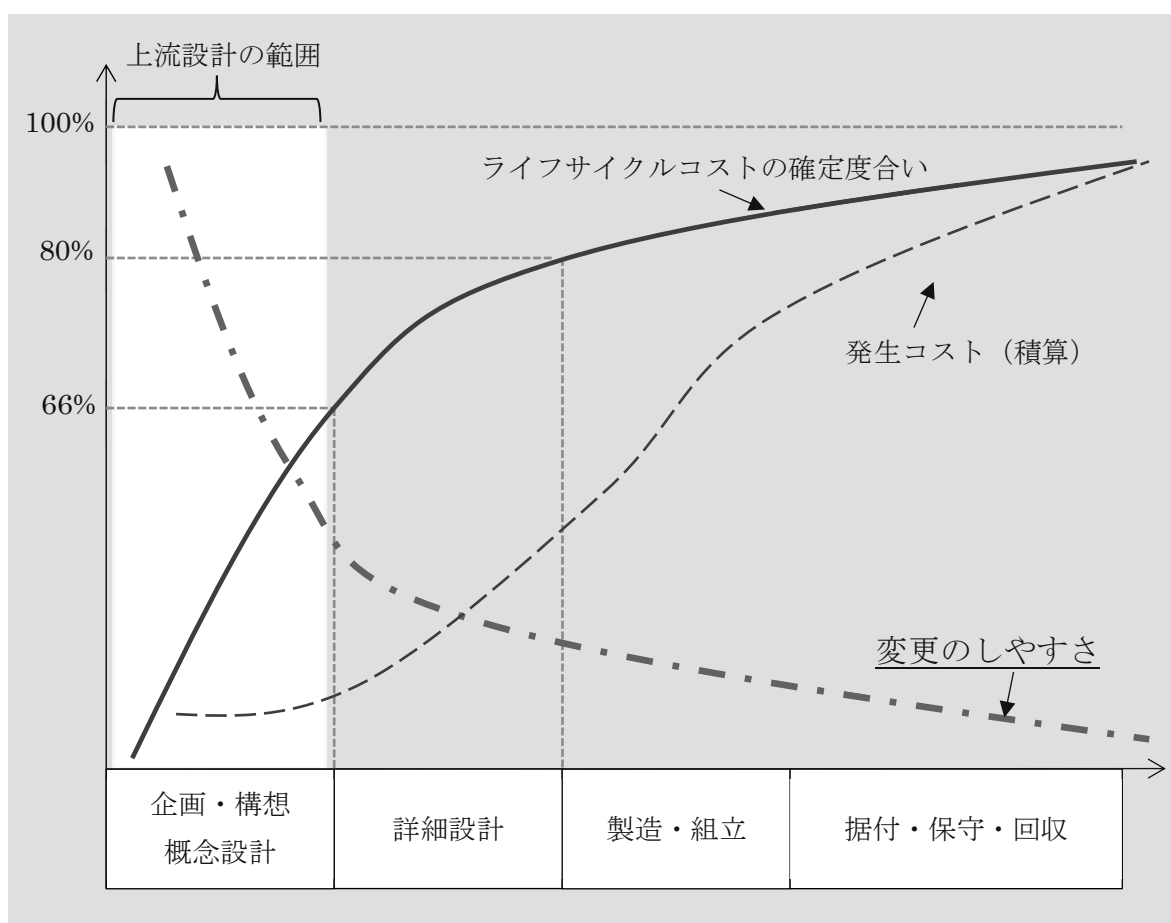
出典：「ものづくりウェブ」Webサイトを元に大阪産業経済リサーチセンター作成

図表2-8に示したように、工程が進むほど問題が多発し、改良のための作業量はかえって膨大になる。この現象を分析したものが、「設計内容の変更のしやすさ」と「発生コスト（積算）」を経験的に示した大富（2005）の図である（図表2-9）。

企画・構想・概念設計段階における変更のしやすさはかなり高いが、詳細設計段階まで進めば、変更はかなり厳しくなる。この段階になれば変更に要する発生コスト（積算）は急減に増加する。このため、大富は製品開発においては上流設計が重要であると説く。この概念は大手企業の設計や自社製品を開発する中堅、中小企業の工程を示すことに適合しているが、多くの下請け受注型の中小企業のことを想定すれば、上流での設計責任は発注者側にある。受注側の中小企業では、受け取った図面の全面的な設計変更することはできないためである。したがって、このような発注者と受注者の関係から図表2-9を考えた場合、可能な限り後工程で変更が不要な設計レベルを満たすことが必要である。中小企業

の現場でよく聞かれるのは、「大手企業の設計担当者は、製造段階のことの考慮ができていないので、受け取った図面通りでは製造できない」、「設計交差や設計寸法を詰め込みすぎて材料面での検討ができておらず、製造段階で加工ひずみやクラックなど不良が生じる場合があり、上流設計でそのあたりの考慮をしてほしい」といった意見である。このようなことから、1. 上流設計段階で経験値を積む、2. 高度な解析データを検証データとして駆使するという2つのアプローチによる設計活動が必要であるということが結論付けられる。

図表 2-9 製品開発における設計の重要性



出典：大富（2005）、p.32

コラム1：歯科医療器具製作とデジタル化

歯科業界では、コンピュータによる歯科技工物の製作技術の普及が、医療保険適用による政策的インセンティブの影響により、かなりの勢いで進展し始めている。

超高齢社会を迎えて、高齢者が増加した社会では現在よりも入れ歯や被せなど歯科技工物のニーズは高まる。しかしながら、歯科技工士の現場はきつい、長時間勤務、給与が安いなど労働条件は非常に厳しいとのイメージが強い。そのため、歯科技工士の就職希望者が少なく、歯科技工物の増加するニーズとの需要と供給のアンバランスが社会課題となりつつある。

歯科衛生の業界は、歯科医をはじめ、歯科衛生士、入れ歯などを製作する歯科技工士など多くの専門家が関わる。なかでも、部分被せや入れ歯など歯科技工物を製作する歯科技工士は、精巧さ、緻密さなどの素養と技術、経験を求められる、まぎれもない「ものづくり技術者」である。

口腔内でのフィッティングを高めるために、歯科医が採得した型（印象）から患者の歯と口腔に合った技工物を製作する。これまでの製作工程は型を転写した石膏型に対して硬さや色調の異なるワックス（樹脂）を盛り付けていた。ただ、この方法は歯科技工士のスキルに大きく左右されること、修正があれば一から技工士の手作業で再度製作するためコストが嵩張ること、製作の方法や製作時間などトレーサビリティを担保できないこと、歯科医が採得した患者の型から歯科技工士が補綴物を製作するまでに型寸法の収縮や膨張などで精度が不安定であることなど多くの課題を抱えていた。そうしたことから、歯科用CAD/CAMの利用は徐々に広がった。

近年、コンピュータによる設計技術、特に工業界におけるCADソフトウェアによる技術の高度化が進み、工業界の技術を歯科業界でも活用する動きが高まってきた。まず、2000年代に入って歯科用CAD/CAMが開発され、その後3次元化に対応した。こうしたCADソフトウェアの開発により、歯科技工物をCAD/CAMで製作する方法が開発された。1985年にスイス・チューリッヒ大学のモーマン教授らのグループが、ドイツ・シーメンス社と共同で開発して世に送り出した「CERECシステム」が最初だとされる。

注：「ものづくり技術者」とあえて強調することについて

歯科技工所が有する鋳物や盛付、切削加工などの技術は、産業界では広く一般的な技術であるにもかかわらず、医学と産業の違いから、国の所管が厚生労働省と経済産業省とに分かれている。そのため、産業一般の技術の転用や情報技術の利用がどこか分断されていることを歯科技工所のヒアリングを通じて感じた。歯科技工所の技術は産業界での技術そのものであるとの観点からここであえて、歯科技工士をものづくり技術者と記載した。

コラム2：歯科業界での法改正による歯科技工のデジタル化への政策的誘導

1985年にドイツ・シーメンス社によって「CEREC システム」が開発され、歯科でのデジタル化の普及が始まった。それは、コンピュータによる補綴物設計を行う歯科用 CAD (computer-aided design)、およびそのデータによって卓上切削加工機を動かす CAM (computer-aided engineering) の活用を前提とした生産システムであり、歯科技工士は手作業からコンピュータによる設計作業へと大きく転換していく。

「当初は、手作業での設計に慣れていた歯科技工士がシステムを扱うには大変な苦勞もみられたが、若年技工士を中心にいち早く適応した」(株式会社デンタルスタジオ石田社長)という。

その後、ソフトウェアの改良が進み、日本ではセラミックス系で高強度を有するジルコニアセラミックスでのクラウン製作で CAD/CAM システムの有効性が高まった。ジルコニアはその高強度ゆえに手作業での加工が困難であり、機械による切削加工の方法が開発されたことが CAD/CAM でのクラウン製造が本格化した要因である。

加えて、政策的インセンティブを保険適用点数で設けたことが普及を後押ししたと考えられている。厚生労働省は補綴物で昔から採用されている鋳造による金属クラウン、手作業築盛による硬質の樹脂、複合材料よりも、CAD/CAM システムを用いた切削加工機によるクラウン、いわゆる「CAD/CAM 冠」について平

成 26 年に保険診療として認定するとともに、最も高い点数を付与している(図表 2-9)。加えて、患者が CAD/CAM 冠の方が、金属冠よりも自身の歯の色調に近く、審美性が高く、選択されることが多いなどの要因も加わって CAD/CAM 冠は平成 26 年以降 28 年にかけて急速に普及している(図表 2-10)。

図表 保険適用の点数

補綴物種類	固定点数
金属歯冠修復 全部金属冠	454
ジャケット冠	390
硬質レジンジャケット冠	768
CAD/CAM 冠	1200

出典：厚生労働省

図表 診療行為算定回数(一般診療、後期診療含む)

	平成25年	平成26年	平成27年	平成28年
全部金属冠	960,101	964,606	979,868	925,006
ジャケット冠	16,000	9,571	12,190	10,846
硬質レジンジャケット冠	92,633	101,793	77,980	70,861
CAD/CAM冠	—	17,831	75,360	100,364
計	1,068,734	1,093,801	1,145,398	1,107,077

	平成25年	平成26年	平成27年	平成28年
全部金属冠	86.7%	87.1%	88.5%	83.6%
ジャケット冠	1.4%	0.9%	1.1%	1.0%
硬質レジンジャケット冠	8.4%	9.2%	7.0%	6.4%
CAD/CAM冠	—	1.6%	6.8%	9.1%
計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

出典：厚生労働省「社会医療診療行為別統計」各年版

第3章 国内、大阪でのデジタルものづくりの現状と課題

3-1 デジタルものづくりの現状

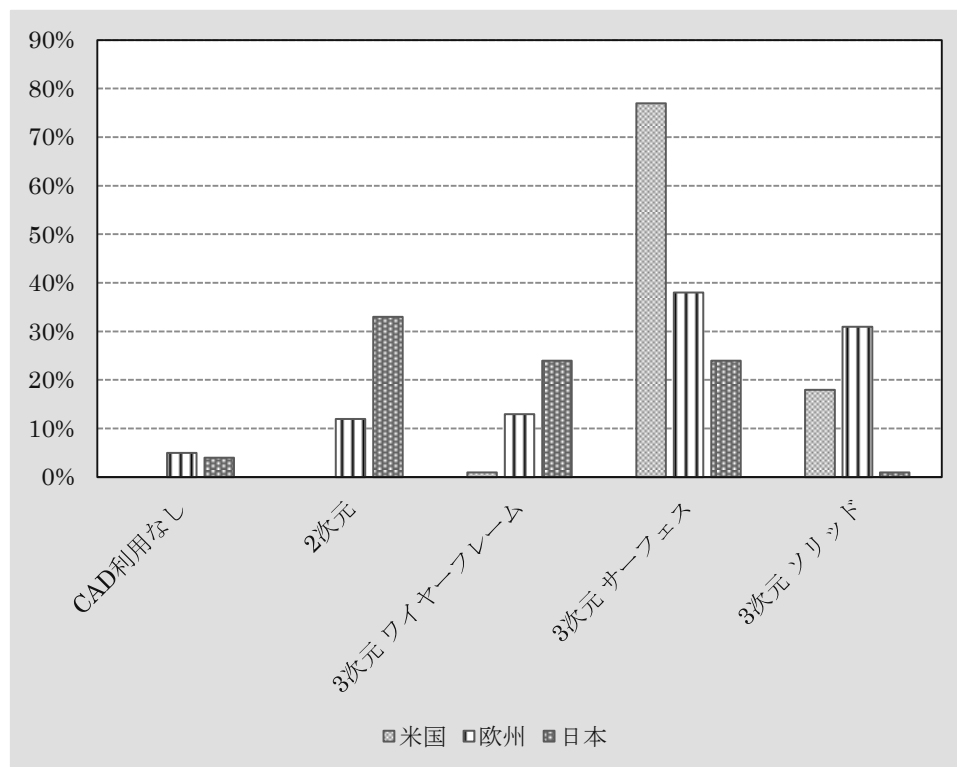
3-1-1 世界（欧州、米国、中国、日本）での3次元CADの普及

延岡・藤本（2004）は、1990年代後半における自動車産業の企業での部品開発における3次元CADの活用に関して、開発グループマネージャーにヒアリング調査を行って米国、欧州、日本の実態を比較している⁵。

DMU(デジタルモックアップ)を有効に活用する3次元のソリッドのCADの導入についてみれば、米国が18%、欧州31%に対して日本は1%と大きく出遅れている（図表3-1）。ただ、本研究では日本は他国よりもフロントローディングが進み、生産性において成果を挙げていることを実証し、その理由として、3次元CADツールによる「ツール主導型」のアプローチではなく、「プロセス主導型」であることを指摘している。日本では1990年代当時、各部門の担当者が一堂に会して開発について意見を交換するデザインレビューが盛んに実践されていたことで、3次元CADツールを用いなくても、生産性向上を実現していたと分析している。しかし、本研究結果からみて、当時、日本での設計の3次元化は、米国や欧州に比べて遅れていたといえよう。

⁵ 「1980年代から開始された調査は約20年間継続され、現在までに日本9社、欧州10社、米国3社の合計22企業から74プロジェクトのデータが収集された。調査方法としては、質問票調査と聞き取り調査を組み合わせている。回答者は質問内容により複数にわたる。通常は、プロジェクトマネージャーを筆頭に、各設計・開発分野から参画したプロジェクトのコアメンバーが回答する。回答を受理した後、企業訪問や電子メール、電話などにより不明点を再調査した。」延岡健太郎、藤本隆宏（2004）、p.4。おそらく22企業は大手自動車関連企業だと推測される。

図表 3-1 米国、欧州、日本における自動車産業での設計ツールの活用状況



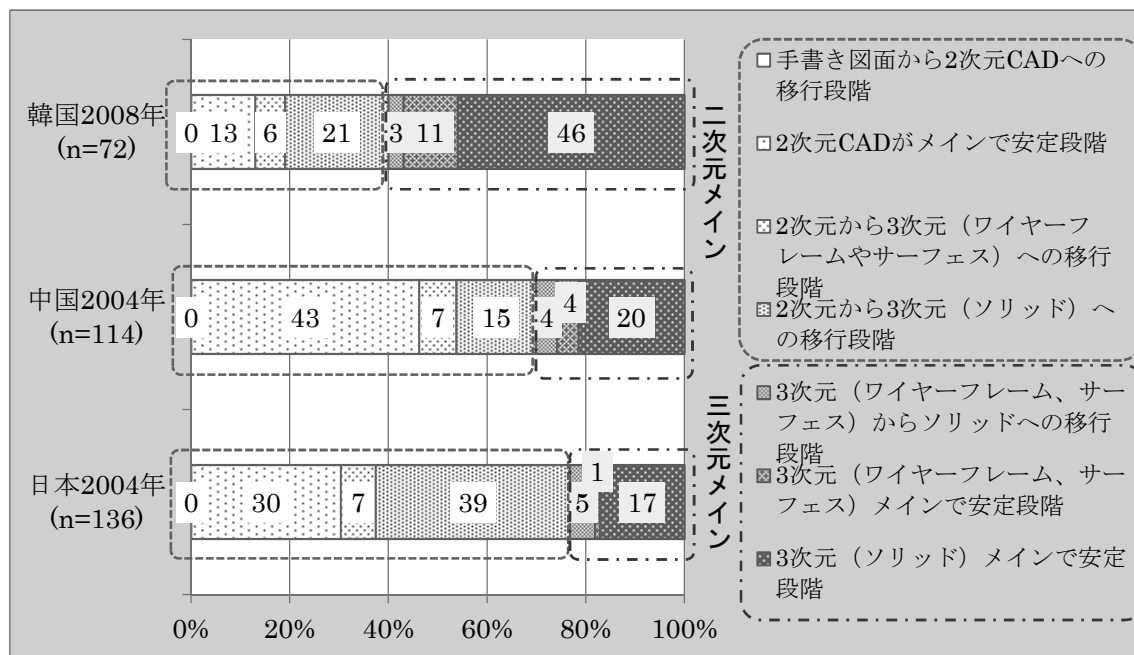
出典：延岡健太郎、藤本隆宏（2004）、p.15 より一部を大阪産業経済リサーチセンター作成

しかしながら、2000年代に日本でも3次元CADは普及し始め、竹田、青島、延岡（2004）によれば、日本の自動車産業の大手約150社を超える調査対象企業において、3次元CADの普及は66.0%、主要機械系メーカーに限れば76.0%に至っていると分析している。

さらに、竹田、青島、延岡、林、元（2009）では、日本と中国、韓国の設計での3次元化の動きとプロセス成果について比較調査分析⁶している。その結果、主に3次元CADの普及について（3次元メイン：「3次元（ワイヤーフレーム、サーフェス）からソリッドへの移行段階」と「3次元（ワイヤーフレーム、サーフェス）メインで安定段階」、「3次元（ソリッド）メインで安定段階」の3つ選択肢の合計）、日本では普及率が23.2%だが、中国では30.1%、韓国が60.0%といずれも日本よりも高い。これら2国では2次元CADよりも早期に3次元CADの普及が進む（図表3-2）。

⁶ 日本（136社）：東証1部と株式公開の機械関連製造業の主要企業、アンケート調査、中国（114社）：機械系企業、聞きとり、韓国（72社）：機械関連製造業の企業、アンケート調査を実施。

図表 3-2 日本、中国、韓国での CAD 利用段階



出典：竹田陽子，青島矢一，延岡健太郎（2009）、p.55

日本国内においては、自動車産業、もしくは大手企業における 3 次元 CAD の普及はかなり進んでいるといえよう。しかし、先行研究にもあるように中小企業における 3 次元 CAD の普及はいまだ、かなりの格差がある。

3-1-2 日本国内での 3 次元 CAD、CAE の販売数規模と傾向

株式会社矢野経済研究所（以降、「矢野経済」）が調査した『2016 年版 CAD/CAM/CAE システム市場の中期展望』プレスリリース資料を元に日本国内でのデジタル・ツールの販売数の動向をみていく⁷。

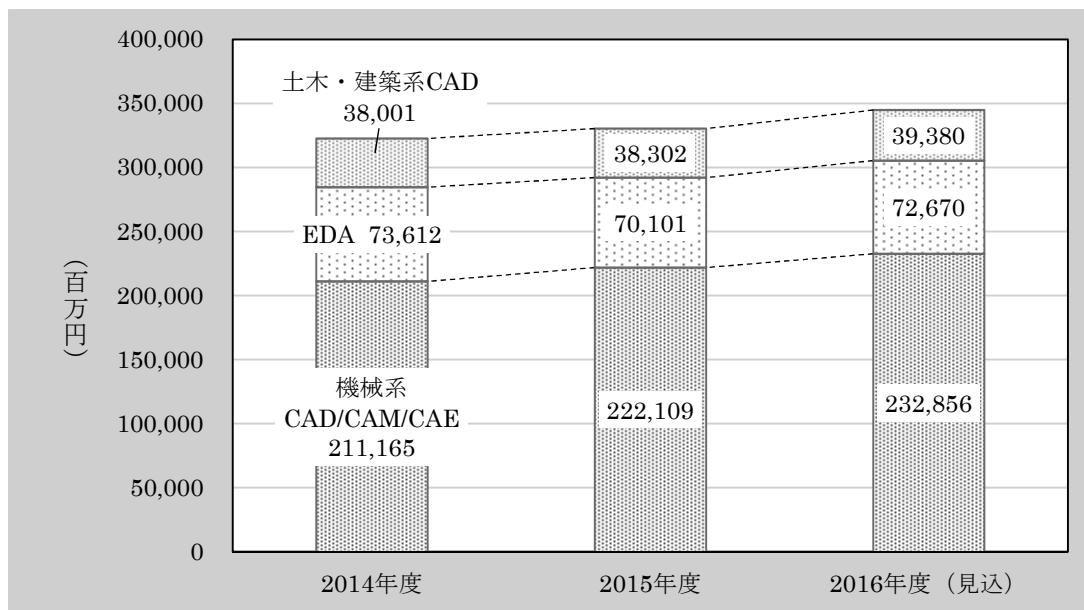
矢野経済では 2016 年 5 月～10 月に機械系 CAD/CAM/CAE メーカー 65 社、機械系 CAD/CAM/CAE ベンダー 16 社ほかに対して直接面談形式にて行ったヒアリング調査および文献調査から以下のように販売数規模⁸とその傾向をまとめている。

CAD/CAM/CAE システムの市場規模の推移は図表 3-3 のとおりであり、2014 年度から 2016 年度（見込）にかけて機械系 CAD/CAM/CAE の市場規模は、2014 年度の 2,112 億円が 2015 年度には 2,221 億円（対前年度比 5.2%増加）となり、2016 年度（見込）には 2,329 億円（対前年度比 4.8%増加）と伸びている。

⁷ 当調査結果を本調査報告書に掲載させていただくことについて、株式会社矢野経済研究所さまの許諾済み（2017 年 12 月）。

⁸ 業績推移データの基準：ヒアリング結果をもとに各種システムの売上高（ハードウェアは含まない、サービス・保守売上高を含む）、市場規模とシェアの算出は、CAD/CAM/CAE システムメーカー出荷ベース

図表 3-3 デジタル・ツールの販売数



	2014年度	2015年度	前年度比	2016年度 (見込)	前年度比
機械系 CAD/CAM/CAE	211,165	222,109	105.2%	232,856	104.8%
EDA (半導体等設計ソフトウェア)	73,612	70,101	95.2%	72,670	103.7%
土木・建築系 CAD	38,001	38,302	100.8%	39,380	102.8%
合計	322,778	330,512	102.4%	344,906	104.4%

出典：株式会社矢野経済研究所（2016）『2016年版 CAD/CAM/CAE システム市場の中期展望』、プレスリリース資料

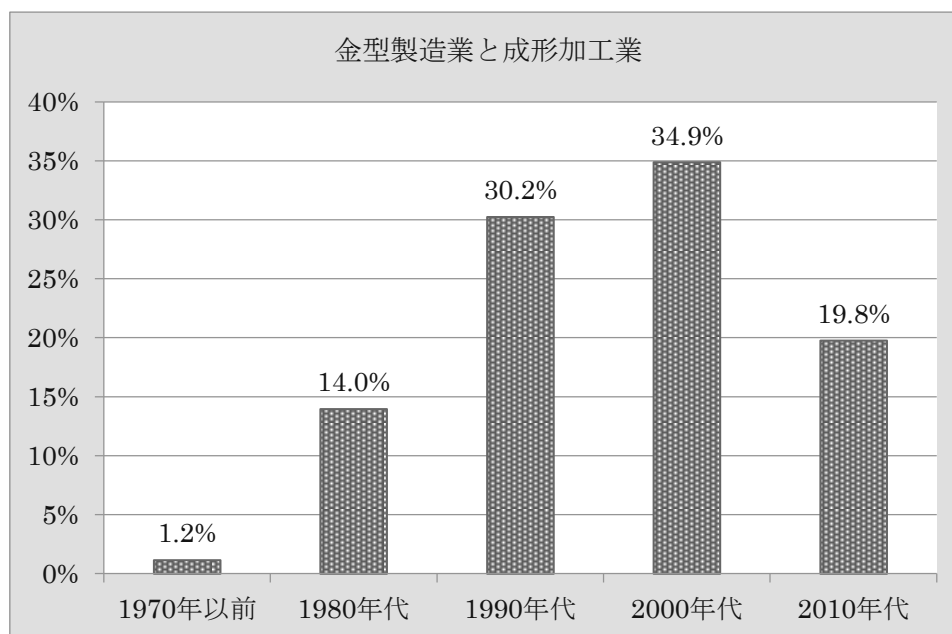
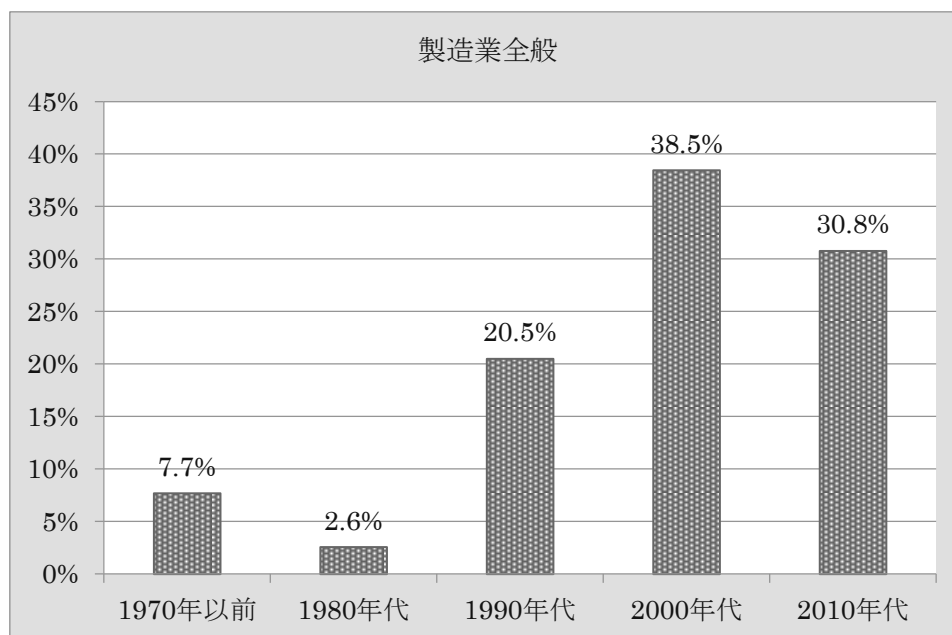
3-1-3 大阪における3次元CAD導入年代

3-1-1で述べたように、日本は米国や欧州よりもやや遅れて、2000年代に3次元CADが導入されたことが調査結果で明らかになっている。大阪の企業への導入時期についても、大阪産業経済リサーチセンターの過去の調査結果から分析してみたい。

大阪産業経済リサーチセンター（2015）は製造業の府内中小企業、大阪産業経済リサーチセンター（2016）は金型製造業と成形加工業の府内企業における3次元CADの導入時期について調査を実施した（図表3-4）。

その結果、大阪産業経済リサーチセンター（2015）の調査（78社）での3次元CAD導入時期は、2000年代が約40%を占め最大であった。同じく大阪産業経済リサーチセンター（2016）の調査（86社）でも同様に2000年代導入が約35%と最大であった。両調査の結果が異なるのは、3次元CAD導入時期で最も多いのが、2000年代である点は同じであるが、次いで多いのは大阪産業経済リサーチセンター（2015）では2010年代であるが、大阪産業経済リサーチセンター（2016）では1990年代と2000年代を挟み前後になっている点である。これは、金型製造業と成形加工業において3次元CADへの転換、業界での導入が他の製造業種よりも早かったことを示しており、自動車産業における3次元CADの早期の普及が影響していると考えられる重要な示唆を与えている。

図表 3-4 中小製造業、および金型製造と成形加工業における 3 次元 CAD の導入時期の差異



出典：大阪産業経済リサーチセンター（2015）、p.42、及び同（2016）、p. 123

3-1-4 「東中高、西低」の3次元CAD、CAEの普及（利用者実態）

2016年に株式会社メイテック⁹が運営する技術者支援サイトにおいて全国の製造業の研究・設計・開発の業務を担う機械系エンジニアを対象に、アンケート調査が実施された。そして「仕事で利用するツール/システム」に関して、500人のエンジニアからネットで回答を得た。

調査は、2016年3月に全国のメーカーで働くエンジニア3,558名（男性3,376名、女性182名）にスクリーニング調査を行い、次いで研究・設計・開発系（機械関連）の業務に就くエンジニア500名に調査を実施するという形式によって行われた。アンケート調査の概要は以下のとおりである。

名 称：fabcross for エンジニア調査 「仕事で利用するツール/システム」
実施時期：2016年3月23日～28日
調査対象：全国の研究・設計開発系（機械関連）の業務に就くエンジニア500名（男性488名、女性12名）
質問内容：3次元CAD/CAMやCAEなどのツール/システムがどの程度利用されているのか、業務にどのような影響を与えているのかについて

本調査では、全国の機械設計業務等を担当する技術者に対して、デジタルものづくりの上流工程で使用する3次元CADの設計ツールや解析を行うCAEについて、普及の程度を本調査から抜粋して引用することとする¹⁰。

なお、以下に掲載する全国の技術者がどのような設計などの業務環境に置かれているのか、どのようなツールを使用しているのかなどの実態を把握した調査は、国内では当調査において他にみられない。本報告書を取りまとめていくうえで、当調査が有益なデータを提供しているものと考え、引用することとした。

勤務先は大手企業が多いが、3分の1は中小製造業

企業規模は、1～100人が19.1%、101～300人が11.4%であり、2つのカテゴリーを合わせた製造業の中小企業の比率は、30.5%である。一方、1万人以上の企業も約3割を占める。このことから、回答エンジニアが勤務する企業の内訳は、3分の1が中小企業、残り3

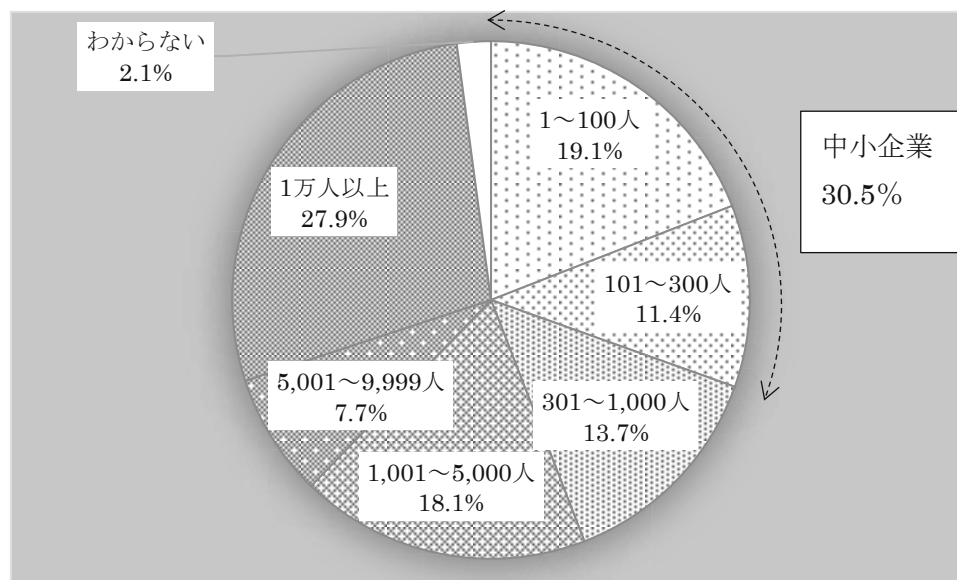
⁹ 株式会社メイテックは、1974（昭和49）年設立、本店名古屋市中区、東証一部上場、売上高899億79百万円（グループ連結：2017年3月期）、社員数7,132名（2017年3月31日現在）でエンジニアリングソリューション事業（機械設計、電気・電子設計、ソフトウェア開発、ケミカルエンジニアリング、解析・評価）、労働者派遣を行っている。

「fabcross for エンジニア」は、製造業の設計開発業務をサポートしながら、自社のエンジニアに対し、エンジニアという職業を軸とした働き方・エンジニアのキャリアアップを支援する目的で開設された。Webサイトアクセス（2018年1月）

¹⁰ 当調査内容を本調査報告書に引用させていただくことについて、株式会社メイテックさまの許諾済み（2017年12月）。

分の 2 が大企業であり、1 万人以上が勤務する大手企業が全体の 3 割を占める。

図表 3-5 回答者の勤務する企業規模



(単位：人)

従業員数 規模	1~100人	101~300人	301~1,000人	1,001~5,000人	5,001~9,999人	1万人以上	わからない	合計
回答者数	99	59	71	94	40	145	11	519

出典：株式会社メイテック（2016）「仕事で利用するツール/システム」『fabcross for エンジニア調査』

このように、当調査の対象となったエンジニアが勤務する企業の規模は、比較的大きい。

製造業なら従業員 300 人以下が中小企業の定義であり¹¹、当調査では 1~100 人の企業勤務が 99 人、101~300 人以下が 59 人となっており、したがって従業員 1~300 人以下の中小企業に 158 人（30.4%）が勤務している（図表 3-5）。

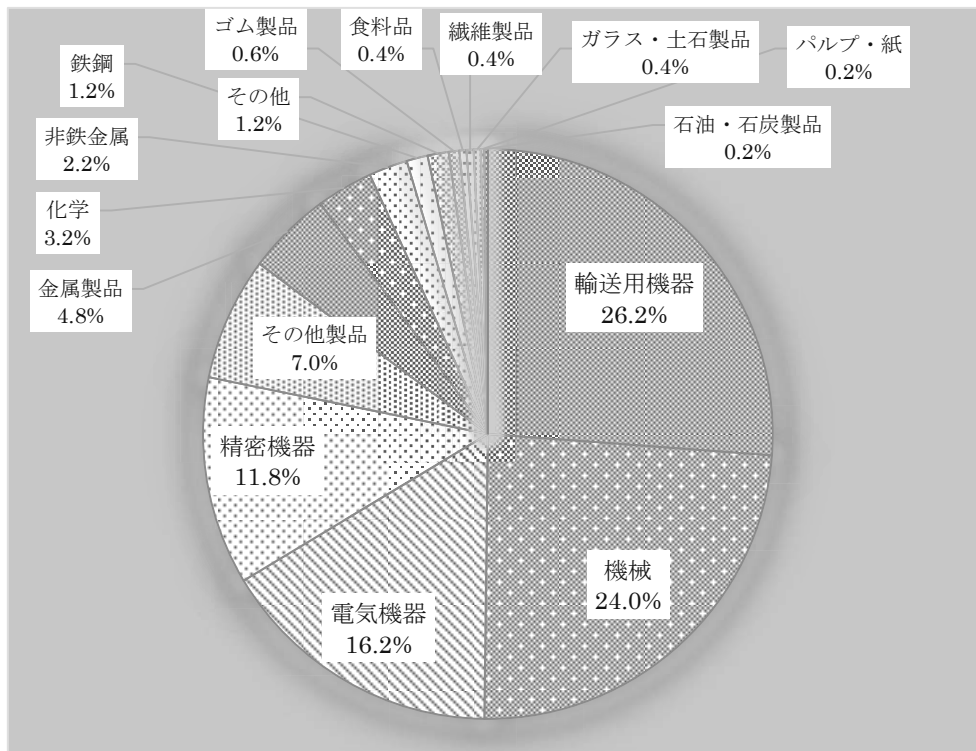
通常、全事業所数に占める中小企業の事業所数の比率は約 99% を占める。当調査の回答者は 3 割が中小企業に勤務し、残りの 7 割が大企業勤務である。こうした属性を有する当調査結果は、製造業の実態を反映しているとは言い難いものの、大阪産業経済リサーチセンター（2015）で、府内中小製造業における 3 次元 CAD の普及率が 35.9%、後藤・田野（2002）で京都府内の機械金属製造業での普及率が 39.2% である結果からみれば、考察対象の属性とみてよいと考えた。以下の結果は、これら属性面を考慮して分析することが必要であることを付記しておく。

¹¹ 中小企業の定義は、製造業で従業員数 300 人以下もしくは資本金 3 億円以下という条件である。

輸送用機器、機械製造企業に勤務するエンジニアが多い

回答者が勤務する業種は多い順に、輸送用機器(26.2%)、機械(24.0%)、電気機器(16.2%)、精密機器(11.8%)となっている(図表3-6)。

図表3-6 回答者が勤務する企業の業種



(単位：人)

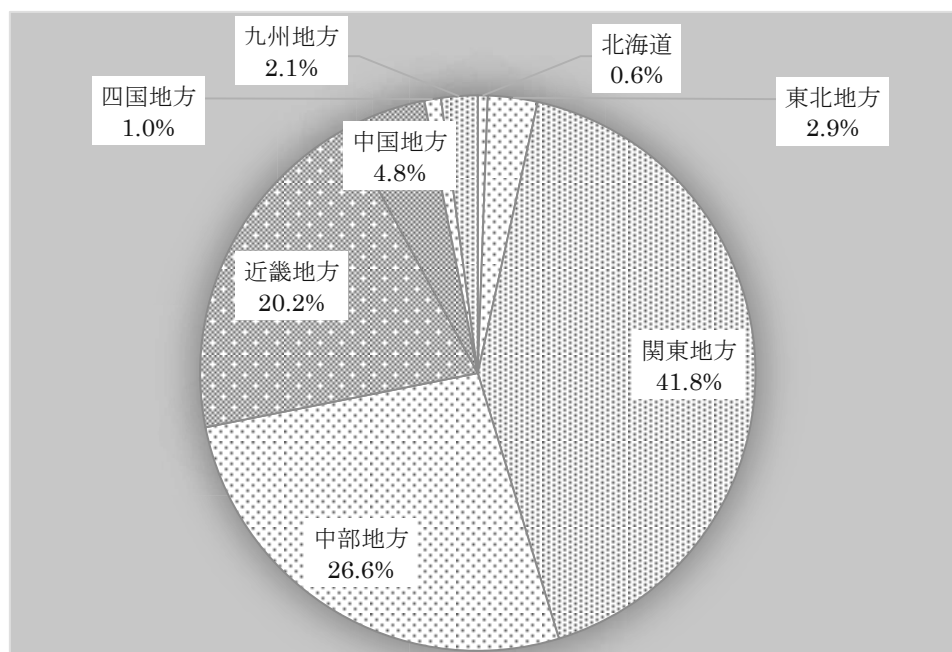
業種	食料品	繊維製品	パルプ・紙	化学	医薬品	石油・石炭製品	ゴム製品	ガラス・土石製品	鉄鋼	非鉄金属	金属製品	機械	電気機器	輸送用機器	精密機器	その他製品	その他	合計
回答者数	2	2	1	16	0	1	3	2	6	11	24	120	81	131	59	35	6	500

出典：株式会社メイテック（2016）「仕事で利用するツール/システム」『fabcross for エンジニア』

回答したエンジニアの多くは、関東地域に所在する

回答者の地域分布を全国 8 地域に分割して集計した。最も多いのが関東地方の 41.8%¹²、次いで、中部地方の 26.6%、近畿地方の 20.2%の順となっている（図表 3-7）。

図表 3-7 エンジニアの所在地域



(単位：人)

地域	北海道	東北 地方	関東 地方	中部 地方	近畿 地方	中国 地方	四国 地方	九州 地方	合計
回答者数	3	15	217	138	105	25	5	11	519

出典：株式会社メイテック（2016）「仕事で利用するツール/システム」『fabcross for エンジニア』

¹² 北海道地方：北海道（1道）、東北地方：青森、岩手、宮城、秋田、山形、福島（6県）、関東地方：東京、茨城、栃木、群馬、埼玉、千葉、神奈川（1都6県）、中部地方：新潟、富山、石川、福井、山梨、長野、岐阜、静岡、愛知（9県）、近畿地方：京都、大阪三重、滋賀、兵庫、奈良、和歌山（2府5県）、中国地方：鳥取、島根、岡山、広島、山口（5県）、四国地方：徳島、香川、愛媛、高知（4県）、九州地方：福岡、佐賀、長崎、大分、熊本、宮崎、鹿児島、沖縄（8県）

大阪府は3次元CADの活用では第4位

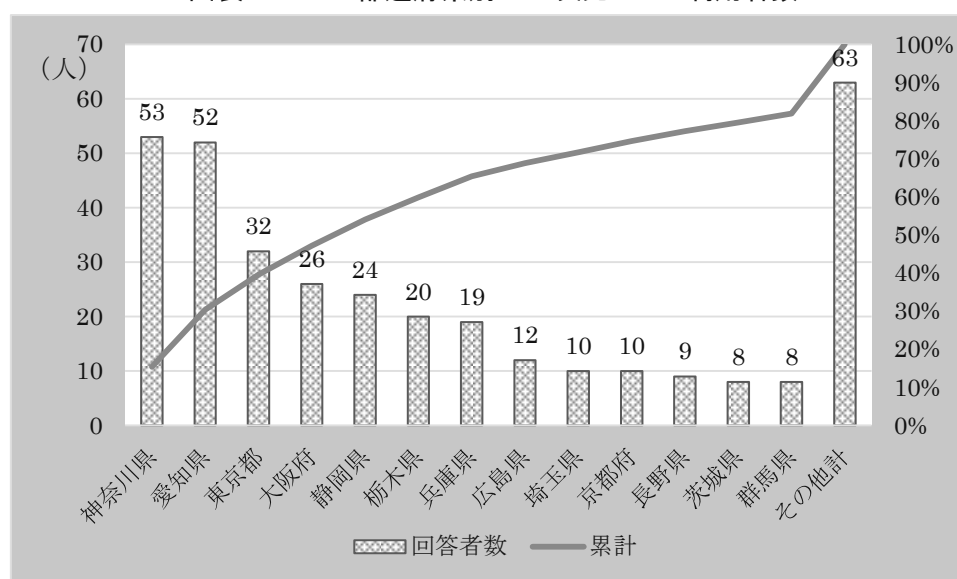
3次元CADの活用者数を都道府県別にみると多い順に、1位神奈川県、2位愛知県、3位東京都、4位大阪府となっている（図表3-8）。

なお、本調査報告書には掲載していないが、『fabcross for エンジニア』では2次元CADの利用についても調査している。その結果と3次元CADの利用とを比較すると、静岡県は3次元CAD利用率が他県よりも高いことが特徴的である。

理由としては、圏内に軽自動車メーカーの本拠地や大手自動車メーカーの研究所、部品サプライヤーが集積していること、2輪バイクメーカーが2社集積していることであろう¹³。

利用者が多い上位80%の13都道府県を、先の8地域別に再集計すると、関東地域が6、中部地域3、近畿地域3、中国地域1の構成となった。この結果から、3次元CADの普及は、「東中高、西低」と結論付けられる。これは、自動車産業の集積度合いと関連性が強いためであろう。

図表3-8 都道府県別の3次元CAD利用者数



順位	エリア	都道府県	利用者数 (人)	利用割合	累計
		合計	346	100.0%	
1	関東	神奈川県	53	15.3%	15.3%
2	中部	愛知県	52	15.0%	30.3%
3	関東	東京都	32	9.2%	39.6%

¹³ 4輪自動車メーカー関連：スズキ株式会社本社・工場（浜松市）、トヨタ自動車株式会社東富士研究所（裾野市）、部品サプライヤー：ジャトコ・トランステクノロジー株式会社（富士市）など、2輪バイクメーカー関連：スズキ株式会社本社・工場（浜松市）、ヤマハ発動機株式会社本社・工場（磐田市）などが立地。

4	近畿	大阪府	26	7.5%	47.1%
5	中部	静岡県	24	6.9%	54.0%
6	関東	栃木県	20	5.8%	59.8%
7	近畿	兵庫県	19	5.5%	65.3%
8	中国	広島県	12	3.5%	68.8%
9	関東	埼玉県	10	2.9%	71.7%
10	近畿	京都府	10	2.9%	74.6%
11	中部	長野県	9	2.6%	77.2%
12	関東	茨城県	8	2.3%	79.5%
13	関東	群馬県	8	2.3%	81.8%
		その他計	63	18.2%	100.0%

注：多重回答、利用者数をカウントしている、上位 80%までを表記

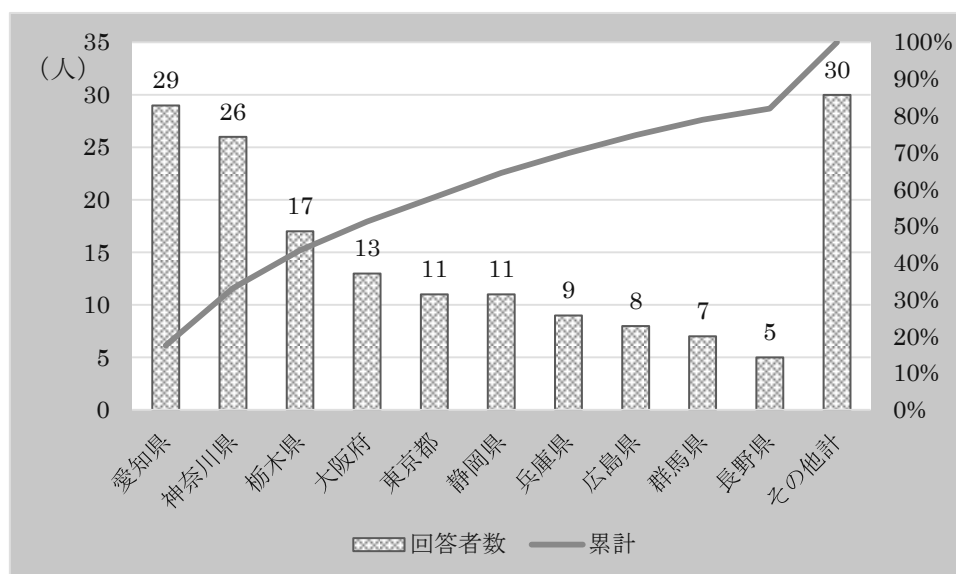
出典：株式会社メイテック（2016）「仕事で利用するツール/システム」『fabcross for エンジニア』

自動車産業の製造業の立地地域で普及する CAE

また、CAE の利用率についても調査結果を元に分析した（図表 3-6）。その結果、3次元 CAD の利用結果よりもさらに自動車産業の立地地域との関連性が強い影響を受けていることが推測される（図表 3-9）。

愛知県¹⁴、神奈川県¹⁵、栃木県¹⁶では、大手自動車メーカー等が工場拠点を構えているため CAE の利用者が多いのであろう。特に、3次元 CAD の利用で順位の低い栃木県が上位 3 位になっているのは、大手自動車メーカーの研究施設等があることによると推測できる。

図表 3-9 都道府県別の CAE 利用者数



順位	エリア	都道府県	利用者数(人)	利用割合	累計
		合計	166	100.0%	
1	中部	愛知県	29	17.5%	17.5%
2	関東	神奈川県	26	15.7%	33.1%
3	関東	栃木県	17	10.2%	43.4%
4	近畿	大阪府	13	7.8%	51.2%
5	関東	東京都	11	6.6%	57.8%

¹⁴ トヨタ自動車株式会社の本社工場拠点とその関連サプライヤーの集積。トヨタ生産方式、JIT (Just In Time) 生産方式を稼働させるために集積化。

¹⁵ 日産自動車株式会社の本社（横浜市）、横浜工場（横浜市）、追浜工場（横須賀市）、日産車体湘南工場（平塚市）が立地。

¹⁶ 日産自動車株式会社栃木工場（河内郡上三川町）、本田技研工業株式会社生産企画統括部・パワートレイン生産企画統括部（塩谷郡高根沢町）・パワートレインユニット製造部（真岡市）、品質改革センター栃木（芳賀郡芳賀町）、ホンダエンジニアリング（株）（芳賀郡芳賀町）、いすゞ自動車株式会社栃木工場（栃木市）が立地する。

6	中部	静岡県	11	6.6%	64.5%
7	近畿	兵庫県	9	5.4%	69.9%
8	中国	広島県	8	4.8%	74.7%
9	関東	群馬県	7	4.2%	78.9%
10	中部	長野県	5	3.0%	81.9%
		その他計	30	18.1%	100.0%

注：多重回答、利用者数をカウントしている、上位 80%までを表記

出典：株式会社メイテック（2016）「仕事で利用するツール/システム」『fabcross for エンジニア』

「東中高、西低」の意味するところ

3次元CADとCAEの地域別の普及状況について、株式会社メイテックの技術者向け利用実態調査の調査結果を元に考察した。このような技術者のシステム利用実態を地域別に分析できデータは他にはみられない。したがって、先に触れたようにデータ属性として実態とやや整合しにくい点もみられるが、重要な示唆を得られたと考える。

関東地域、中部地域では3次元CAD、CAEの利用率は他地域よりも高いことがわかった。自動車産業においては、開発期間が長く、多くの部品をコンカレントに設計し、それらの干渉確認、さらにはDMU（デジタルモックアップ）による組付け動作確認などで3次元データを有効に活用し、リードタイムやコスト削減を目指すフロントローディングが実施されていることの証左である。

ここで考えたいのは、このようなデジタルものづくりの実施が関西地域、なかでも大阪府において、やや低調なのは自動車産業の集積度がやや低いことに起因するものであると結論付けてしまってよいものだろうか。

大阪の中小製造業自体が内包する特性など以下の仮説が想起されるが、分析は次回の調査研究に引き継ぎたい。

1. 大阪産業のイノベーティブ性が、低調となってきたのではないか
2. 取引条件に強く影響され導入する必要性が少なくなっているのではないか
3. 従来から部品素材産業が主体で、3次元データを利用するうまみが考えにくいのではないか

次に、大阪の中小製造業でも比較的早い段階からデジタル・ツールを活用して、実績をあげてきた事例について、その沿革と活用実態を詳細に分析し、なぜ活用成果をあげているのかについて考察したい。

3-2 デジタルものづくりによるイノベーションの考察

—大阪の先進企業事例 株式会社シロクマを題材に—

企業事例の選定

ここでは大阪府内の中小製造業が3次元CAD、CAM、CAEなどのデジタル・ツールの導入、現在の活用状況、それによって得られた効果、および課題について具体的な事例を題材に考察する。

企業事例としては、社内の設計、製造データ作成・利活用において3次元データを活用していること、そのデータを設計や製造段階以外で多方面に活用していること、加えて設計・開発段階で各種解析ツールを活用していること、企業情報にヒアリングを通してアクセス可能なこと、大阪産業集積で最も事業所数のシェアが高い金属製品製造業¹⁷であることなどの条件の中から企業を選んだ。

大阪市で創業、企画製造販売卸を行い、自社ブランドを有する

株式会社シロクマは、1947（昭和22）年創業で、創業当初から建築金物、家具金物の製造販売を営んできた。創業者熊代喜八郎氏（故人）は、熊代製作所を立ち上げ、3年後の1950（昭和25）年に社名を丸喜金属製作所に改め、1964（昭和39）年に丸喜金属株式会社を設立した（図表3-10）。

事例企業でまず注目すべきは、創業当初から自社ブランドを有し、法人設立前に現在でも使用する白熊印のブランドロゴを活用していたことである。自社の知的財産権とものづくりの価値を大切にしている意思がみえる。

その後、製造部門（仕上加工）を別法人として生野区に創設し、地域の外注先との協業を進めるとともに、製造機械装置を導入し内製化率を高めるなどものづくりの生産効率を向上させた。

現熊代社長がデジタル化の導入で企業価値を高める

平成に入った1991（平成3）年に創業者喜八郎氏が死去し、長男の現代表取締役社長である熊代誠一氏が後継した（図表3-11）。その数年前から実質的に経営的なポジションに就いていた熊代社長はこれを機会に社内改革、ものづくりのデジタル化に舵を切っていく。

1990（平成2）年に2次元CAD/CAMを導入し、設計から生産までの図面の流れを手書きからデジタル化に移行した。他の業界と比較すれば、この時期に2次元CAD/CAM導入を実施したことは、早いとはいえない。しかし、3次元CAD/CAMや3次元CG、および3Dプリンタの導入は業界に先駆けて進めた。熊代氏が社長に就任して社業を継承する機会にデジタル化を推し進めたことが、現代に至るまでの設計・開発、および製造における工

¹⁷ 2017年度版『なにわの経済データ』、p.35

程での効率性や品質の向上、アイデア創出力の飛躍的向上につながっていることに疑う余地はない。

図表 3-10 会社概要

商号	株式会社シロクマ SHIROKUMA CO.,LTD.(英文商号)
代表者	代表取締役社長 熊代 誠一
所在地	【本社】 〒543-0023 大阪市天王寺区味原町3番7号 TEL : 06-6768-3131(代) FAX : 06-6768-3132(代) URL : http://www.shirokuma.co.jp 【工場】大阪市平野区 【倉庫】大阪市天王寺区・平野区・東大阪市
創業	1947 (昭和 22) 年
設立	1964 (昭和 39) 年
資本金	8,000 万円
従業員	101 名 (グループ会社 8 人含む)
年商	3,021 百万円 (平成 28 年 6 月期)
商標	 白熊印  WB印
取扱商品	建築金物・家具金物・住機部品・手すり関連の製造卸 ドア取手、レバーハンドル、丁番、戸当り、戸引手、タオル掛、ネクタイ掛、フック、サイン、手すり、ブラケット、スピーカー・アンプ・オーディオ製品、ニット製品 他

出典：株式会社シロクマ Web サイトから一部抜粋

図表 3-11 沿革

1947 (昭和 22) 年	大阪市内にて熊代製作所を創業
	白熊印建築金物、家具金物の製造販売を開始する
1964 (昭和 39) 年	丸喜金属株式会社を設立 資本金 500 万円
1972 (昭和 47) 年	現在の本社所在地に地下 1 階、地上 5 階建ビル建設
1977 (昭和 52) 年	自社製品加工仕上部門として、大阪市生野区で大栄鍍金株式会社を経営する
1991 (平成 3) 年	創業者 代表取締役社長 熊代 喜八郎死去
	長男 熊代 誠一が代表取締役社長を継承

出典：株式会社シロクマ Web サイトから関連事項について抜粋、詳しくは巻末資料に掲載

データの3次元化でさらにデジタルものづくりが加速する

1993（平成5）年に3次元CGソフト「Swivel3D」¹⁸を導入した（図表3-12）。このソフトは外形形状のみを位置決めし、それらを結束して形状を指定するCGソフトである。このソフトを導入して画面上で3次元形状を描くことで、作りたい形状から素早く設計し、後から2次元CADで寸法等を規定する方法を採った。「Swivel3Dは画面で自由に絵を描くことができ、非常に扱いやすかった。専門的な3次元CADを扱ったことがなかったので、設計を3次元で入門するには、よい方法であったかもしれない」（熊代社長）。

当時、3次元データの作成にチャレンジするのに、いきなり高度な設計用の3次元CADを導入するのではなく、その継続利用、社内設計担当者の活用スキル、設計品の形状や設計アプローチなどを考慮して、試行を重ねながら進めた企業が多かったようである。したがって、事例企業でも「変化球的な」導入アプローチがマッチし、効率性を発揮したと考えられる。

図表3-12 シロクマでのデジタル・ツール導入の履歴

年	種類	名称	他ツール と関連	3次元CAD導入判断と効果	現有
1990年	2次元CAM	ViewMAX			
1992年	2次元CAD	ICAD/SX		手書きからデジタル化で企画力アップと管理が容易になる	
1993年	3次元CG	Swivel3D		回転体を製造前にデザインし、スピードアップ	
1995年	CAE、線形	KSWAD+FEM5			
1998年	3次元CAD	NEOFORM	セット	流線型のサーフェスから設計可能なため導入	
	3次元CAM	MAQUETT VOLUME			
	3次元CAD	SolidWorks	セット	機械系で設計内容にフィット、サーフェス機能が弱かったため他のソフトを模索したが、機能が充実したのでメインストリームに。解析モジュールとの連動が良い	○

¹⁸ Mac用のアプリケーション。適用製品：ドアつまみ、効果：設計期間の短縮、試作回数削減、課題：CADではなかったので2次元に戻す手間などコスト削減効果は低い、図面に大きさを加えられない

	CAE	COSMOSWorks			
1999年	2次元CAD	EXPERT-CAD			
2000年	3Dプリンタ	U社		光造形、樹脂	
2003年	3次元CAD	thinkdesign	3Dプリンタ	SolidWorksのサーフェスの弱さをカバーするため導入、その後SolidWorksの充実で不使用に	
	3次元CAD	RhinoCeros	3Dプリンタ	曲面形状の編集ソフトとして導入	○
	3Dプリンタ	O社		インクジェット、樹脂	○
2004年	3Dプリンタ	Z社		粉末固着積層、樹脂	○
2005年	3次元レーザースキャナ	ローランド	セット		○
	リバースモデリング	Pixform ProIII			
	3次元モデリング	Clay Tools		SolidWorksで取り込んだデータに有機的な表情や動きをつけるための編集ソフトとして導入	○
2006年	3Dプリンタ	C社		パウダーベッド、金属	○
		E社		光造形、樹脂	○
2009年	3次元CAM	FF/cam	MC		○
2010年	CAM	One CNC	5軸MC		○
2011年	3Dプリンタ	S社		インクジェット、樹脂	○
2017年	3次元スキャナ	キーエンス			○

注：「MC」は、マシニングセンタ

出典：株式会社シロクマからの提供資料

しかし、このCGソフトの扱いは簡易だったが、寸法等の設計データを後で2次元CADに移したうえで追加し、CAMデータにする手間が大変であったため、3次元設計に使用するメインストリームにはならなかった。

3次元CAD設計のメインストリームとなる「SolidWorks」の導入は、1998（平成10）年であった。1993年から1998年の間に、3次元CAD「NEOFORM」およびセットで3

次元 CAM「MAQUETT VOLUME」を導入したが、「これだと思って導入してみたが、使
いづらくてすぐに変更を検討した」（熊代社長）という。

企業の設計体制、設計担当者の素養、設計物の形状、部品点数など様々な設計に関わる
要素が異なるため、最適な 3 次元 CAD 等を選択することは、使ってみないとわからないも
のである。100 万円を超える投資であり、慎重を期して、他社での使用状況を販売メーカー
などから情報収集するなど最善を尽くしても、うまくいかないケースが多いであろう。

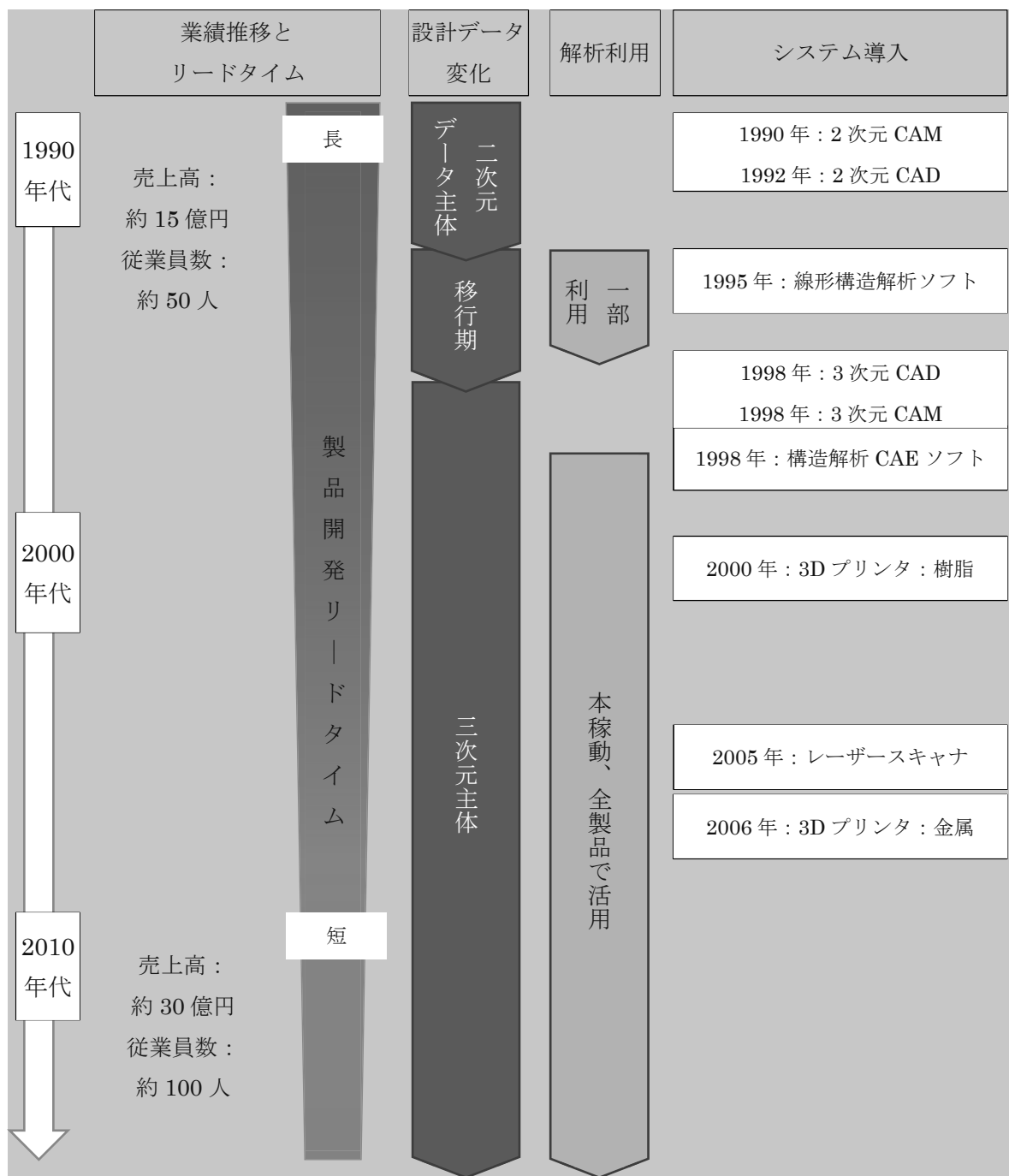
1990 年代から 2010 年代にデジタル・ツールが実用化され、普及段階に至る 30 年間に
かけての、デジタルものづくりの体制構築について図表 3-13、14 にまとめた。

図表 3-13 種類別デジタル・ツール導入年代

	CAD、CG、リバース		CAM	CAE	スキャナ	導入 件数計	
	2次元	3次元					
1990年代	5	2	3	2	2	0	9
2000年代	4	0	4	1	0	1	6
2010年代	0	0	0	1	0	1	2

出典：株式会社シロクマ会社案内資料を元に大阪産業経済リサーチセンター作成

図表 3-14 株式会社シロクマのデジタル・ツールの導入履歴



注：「システム導入」欄では、それぞれの種類のツールを最初に導入した年を示す

出典：株式会社シロクマ会社案内資料を元に大阪産業経済リサーチセンター作成

1990年代では、まず2次元CAD、CAMの導入から始まった。その後、現在も使用している3次元CADの導入までは紆余曲折があった。曲線や複雑図形もモチーフとした各種建築金具を設計製造しているため、1990年代後半にリリースされたソリッド系3次元CAD

よりも、サーフェス系の 3 次元 CAD の方が作業を進めやすかった。そのため、サーフェス系 CAD の導入を幾度か進めたが、履歴が参照できないため手直しに手間取ることなどソフトウェアの仕様がネックとなって主力にはならなかった。一方で、ソリッド系 3 次元 CAD がバージョンアップされ、直線形状のみならず曲線や複雑な形状へも対応が可能となったため設計担当者が満足いく機能を有するものとなり、「SolidWorks」が設計ツールのメインストリームへと定着した。

3 次元 CAD の導入初期の 2000 年に、3D プリンタを導入している。3 次元データを活用して試作段階までの動きを早めるには設計データから素早くモデリングするまでの素早い意思決定支援が必要である。そのためにも、3D プリンタは設計、確認・検証作業を素早く動かすうえで不可欠であった。以後、3D 樹脂プリンタや中小製造業では珍しい金属プリンタの導入などで効率性が格段に向上した。

また、各種解析ツールを都度導入していることも事例企業の特徴であろう。建築金物を設計するため、一定荷重に対する設計保証が必要となる。そのため、設計図面に基づき、試作品を製造し、それをもって耐荷重、引張試験などの強度検証を行い、設計データにフィードバックして設計の高度化を行っていた。このサイクルが数度必要な場合は、試作品のコストと検証サイクルの時間を要することとなり、そのコストが価格へ影響し、加えて販売までの期間が長期化するため販売時期を逸するなど課題が多かった。

そこで、1990 年代後半、中小製造業では相当早い段階において線形解析ソフトウェアを導入した。このソフトウェアを用いて一部製品については、各種強度試験を設計段階から数値で検証し、設計データにフィードバックし、その結果を元に製品製造を行い、再度実物検証を行うといったバーチャルと実物検証の 2 段階構えで実施した。この作業は導入当初は手間を要するが、数をこなせば急速に解析のノウハウを高めることができ、設計担当者が試作業務を解析ツールにて代替する現象、つまり、「試作から設計へのフロントローディング」が起きた。以上のように、3 次元 CAD、CAM、CAE を導入し、デジタルものづくりが着実にメインストリームの工法となり、定着したことで、付加価値を生んでいる。

外部連携し、3 次元データ活用の範囲拡大で付加価値創出を目指す

3 次元 CAD データの活用はかなり進んできたが、さらに組付け干渉や解析などを社内で行えるようにすれば、製品化に向けた 3 次元 CAD データの活用レベルを格段に上げられる。ただ、企業によっては解析などのソフトウェアのオプションの購入は高額であること、解析結果を読みとる基礎知識を持ち合わせる者が社内に少ないことなどいくつかの課題が考えられる。ただ、3 次元データを解析、シミュレーションするなどし、部品や製品の付加価値を設計段階から高めることはどの企業においても重要である。このような中で最も多く取り組まれているのが、「構造部品の軽量化」のシミュレーションである。

事例企業は外部連携により、トポロジー最適化（ある条件の下で不要な材料を削って最適な設計案を見出していく方法）を取り入れた設計、それによる試作、製品の評価など一

連のシミュレーションを活用し、こうした部品の軽量化に取り組んだ。

SIP 事業でのユースケーステストに参画

地方独立行政法人大阪産業技術研究所和泉センターの成形加工部のメンバーは国の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）¹⁹の革新的製造設計部門での「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」²⁰をテーマとする調査研究事業に大阪大学工学部、株式会社パナソニックと 3 者で参画している。この中で、京都大学の研究メンバーからトポロジー最適化ソフトの提供を受けている。そのユースケーステストとして一定の選定条件を経て、株式会社シロクマの製品で実施されることとなった。ドアノブの 3 次元データをもとに、トポロジー最適化をシミュレーションなどが行われた調査研究の結果を以下で紹介する。

軽量化、意匠性付与を目的にドアノブのトポロジー最適化シミュレーションを実施

ドアノブは上部から力を込めて押し込むことで、ドアノッチを移動させてドアを開閉させる。このため、ドアノブは比較的重く作られてきた。しかし、軽量のドアノブの方が上下を押し込むのに軽快であり、また材料原価を抑えられる可能性がある。そこで、たわみ強度の確保、意匠性の向上、材料容積縮減によるコストダウン、加工性の実現などを目指すべくトポロジー最適化ソフトの活用が検討された。

京都大学・西脇研究室が開発したトポロジー最適化ソフト（ベース部分は、COMSOL Multiphysics^{®21}）を使用して、現商品であるレバーハンドルについて、荷重を加える箇所・領域や向き、形状の細かさを変えるパラメータや目標とする体積（重量）といった条件を変え合計 36 パターンのシミュレーションを実施した。

その結果、製品化を検討した場合、金属 3D プリンティングでは価格が合わないことがわかり、切削による方法を選択することになった。そこで、切削加工による方法で対応できること、及び製品として意匠性に優れることからシミュレーション結果（No.26、No.33）

¹⁹ 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）は、科学技術イノベーション総合戦略（平成 25 年 6 月 7 日閣議決定）及び日本再興戦略（平成 25 年 6 月 14 日閣議決定）において、総合科学技術・イノベーション会議が司令塔機能を発揮し、科学技術イノベーションを実現するため創設した。SIP は、府省・分野を超えた横断型のプログラムであり、総合科学技術会議が課題を特定し、予算を重点配分するものであり、課題ごとに PD（プログラムディレクター）を選定し、基礎研究から出口（実用化・事業化）までを見据え、規制・制度改革や特区制度の活用等も視野に入れて推進する。<http://www.jst.go.jp/sip/>

²⁰ 異方性カスタム設計・AM 研究開発センターは SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「革新的設計生産技術」の「三次元異方性カスタマイズ化設計・付加製造拠点の構築と地域実証」プロジェクト推進のため設立されたセンターである。

<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/sipk/am/>

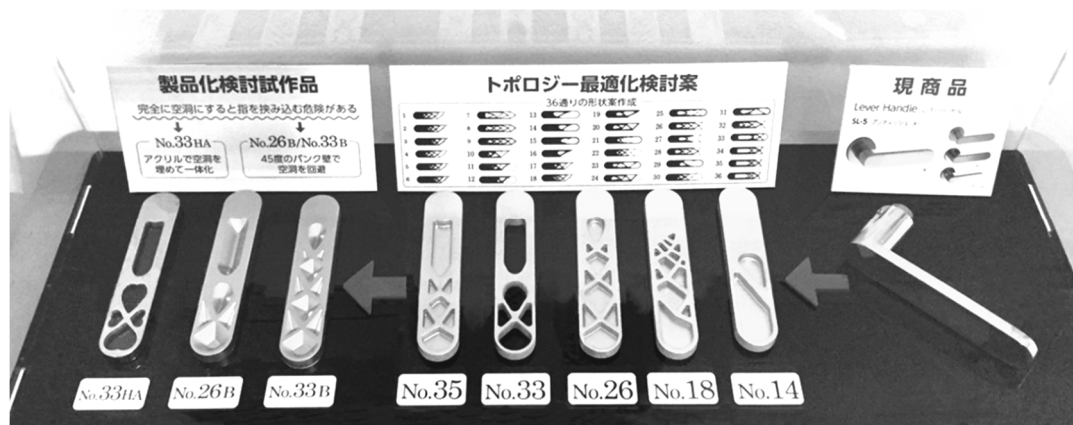
²¹ スウェーデン・COMSOL AB により開発された、マルチフィジックス解析を前提として設計されている有限要素法(FEM)ベースの汎用物理シミュレーションシステムソフトウェア。

<http://www.kesco.co.jp/comsol/index.html> 計測エンジニアリング(株)が扱っている。

を選択し、試作を行った。

No.26は45度のバンク角度がついた形状でレバー裏まで貫通していないものである。一方、No.33は裏まで貫通した形状である。裏面まで貫通させた形状では、指詰め危険があることから試作段階では亚克力板を空洞に埋めることで意匠性は保持しながら、製品の危険性を無くすことができた。これらユースケーステストで試作されたレバーハンドルは、2017年10月に大阪市のインテックス大阪にて開催されたリードエグジビションジャパン株式会社主催の「第20回関西 設計・製造ソリューション展」で、SIPプロジェクトのブースに展示出展された（図表3-15）。展示をみて、試作品を手にした来場者からは取組の面白さ、試作品の強度を備えた機能美などが好評を博した。今後、これらのユースケーステストについては製品化の方向で検討予定である。

図表3-15 展示ケース俯瞰



出典：株式会社シロクマ 「第20回関西 設計・製造ソリューション展」での展示

上図各フリップ拡大図は巻末資料にて記載

試作、展示物



出典：同上

事例のまとめ

事例では、早期から3次元データを活用した中小製造業の実際の取組を詳細に振り返り、3次元化までの足取りやそこに至る努力の実態について明らかにした。

事例企業は、図表1-2で示した「メディア機能」として、3次元データを打ち合わせでの活用、わかり易い提案書の作成、Webでの配信などに取組んでいる。また、「コミュニケーション機能」として、試作工程に対してはその上流において簡易な解析を完了することでコンカレントな動きを進め、ものづくりの付加価値を向上させた。また、3次元データ活用をさらに進めるために、3Dプリンタを積極的に導入して活用し、解析やシミュレーションを積極的に行うことにより、さらに付加価値を高めたということも確認できた。

デジタルものづくりを企業で推進するための要件

本事例から考察から、こうしたデジタルものづくりの取組を企業において推進していくための要件は、以下のようにまとめられる。

1. 社長がトップダウンで導入を決めること
2. 社長が新しい技術に関心が高く、試してみることで判断するスタンスを有すること
3. 自社製品を有し、意思決定が自社中心に行えること
4. 試作工程を3Dプリンタなど先端技術の活用により製品開発期間を短縮していること
5. 3次元データ作成に応えられる素養を有する技術者を確保していること
6. チャレンジする姿勢があること
7. 技術は何かを実現するツールだと捉え、貪欲に実際に試して取捨選択すること

会社のスタンスや戦略は、中小製造業の場合、社長が技術やツールに対して、前向きであり「おもしろいから導入してんねん」というような経営者の考え方ひとつで決まる。ただ、こうした新しい技術に対して俊敏に判断し、対応する姿勢が強いこと以上に奥深い意思決定があろう²²。大阪のものづくり企業が直面する課題を解決していく上で、このような考え方を実践する根幹部分に関わる思考を経営者が持つこと最も重要ではなからうか。

²² 熊代社長へ疑問をぶつけた。「多様な装置を揃えたのはなぜですか？」の問に、「おもしろいから導入してんねん」。「どういう意味ですか」の問に、「特徴的な機械装置ばかりそろえているから不思議がられるけど、外注加工のできないものは納期が不透明で高くつく。この状況を避けて付加価値のある特徴的なものを作るには尖がった装置が必要。そうして導入していくと、金型製作から無縫製機までの装置が揃った」とのことであった。

3-3 デジタルものづくり人材の現状と課題

ここでは、まず、3次元データの普及で素早いデジタルものづくりが実現している現状(コンカレント・エンジニアリングが進む)において、デザイナー、設計担当者、試作担当者それぞれの「職域」での変化について考察する。次に、デジタル・ツールの活用が可能な設計担当者等の人材育成について現状と課題をまとめたい。

コンカレント・エンジニアリングの進展で設計者での職域が変化している

3次元データが普及し、デジタル・ツールの機能が拡大する中で、デザイナーはデザインスケッチを創作するだけでは済まなくなってきた。デザイナーはCGのみ扱えばよいという話は過去のものであり、現代ではデザイナーであっても自ら3次元CADなどを駆使して設計データを作成する必要性が出てきた。背景にあるのは、3次元CADソフトウェアのオペレートなどが扱いやすくなったことが挙げられる。デザイナーが3次元CADを駆使して、後工程で使用可能な3次元データを作成するケースも一部だが確認できる²³。

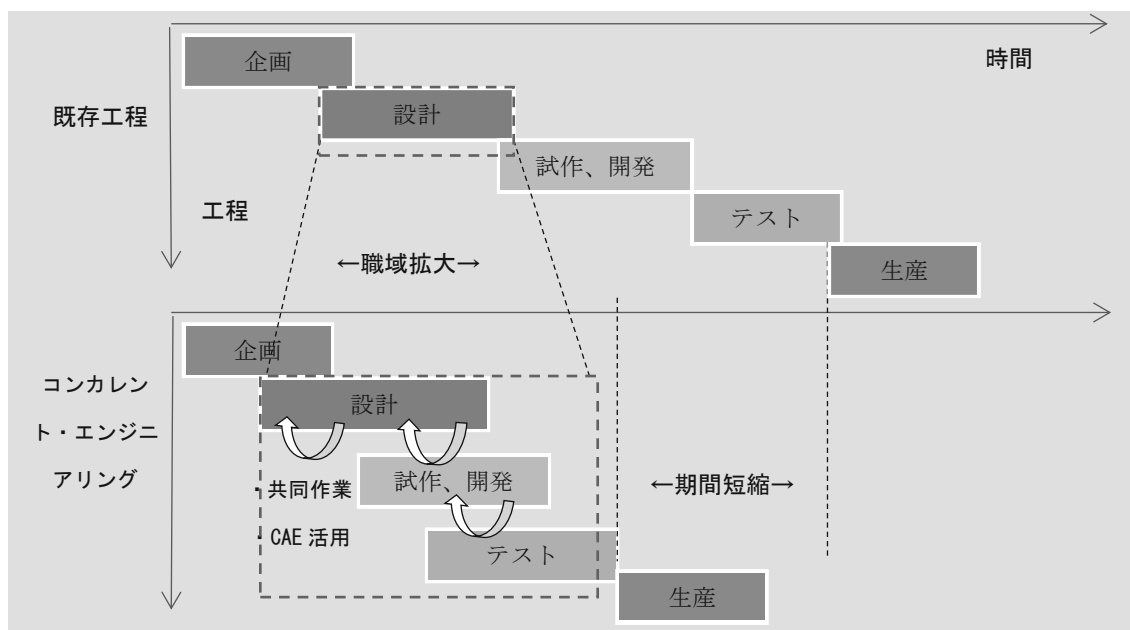
しかしながら、デザイナーが作成する設計データは、形状のみで寸法データを詰めきれていないなどデータが未完成なことも多い。こうした未完成な3次元データを受け取った設計担当者は、そのデータを元に詳細設計をしていく必要がある。ただ、未完成であっても設計データを元に形状確認することが可能であり、両者のコミュニケーションはデジタル・ツールが使用されていない時と比べて、確実に密になっているはずである。この事象はデザイナーが後工程の設計担当者の範疇まで「職域」を拡大していることを示している。

また、デザイナーだけでなく設計担当者にもデジタル・ツールの多機能化による職域拡大の事例がみられる。設計担当者は3次元CADにより、工程の途中で設計した部品などの強度解析など実施し、設計ミスなどの手戻りを無くす。その際には3次元CADに付随するCAEを使用し設計データの検証を逐次行う。この事例は、かつてCAEの操作が難しく、専門家だけしか扱えなかった時代からみれば、設計担当者が後工程の範囲まで職域拡大していることを示すものにほかならない。設計に合わせて解析を繰り返し実施することで緻密なコンカレント・エンジニアリングが実践できる(図表3-16)。

ただ、設計担当者が上流工程であるデザイナーの領域に職域拡大するケースは、後工程である解析や試作へ向かうケースよりも少ないようである。しかしながら、中小製造業など従業員数が少ない場合、製品開発などを行っている組織においては設計担当者がデザイン領域から解析、試作まで一貫して手掛けるケースがみられる。

²³ 有限会社アイ・シー・アイデザイン研究所の飯田氏のヒアリング(2018年1月)。「プロダクト・デザイナーである私は、20年以上前から3次元CADを扱うことに注力し、3次元データの作成が可能となった。CADで使用可能な3次元データを扱えるデザイナーが社内にいれば、受注の際に他社よりも優位に感じてもらえる。こうしたデザイナーは大阪でも数人活躍しているようだ」。

図表 3-16 コンカレント・エンジニアリングによる設計担当者の職域拡大



出典：大阪産業経済リサーチセンター作成

しかしながら、こうしたコンカレント・エンジニアリングの取組はどの企業においても可能とはいえない。なぜなら、解析ツールは簡易に計算結果を導くことが可能であるが、その結果を物性面から読み解き、理解する必要がある。つまり、そのデータが意味する背景に関する知識が必要である。

こうした背景となる知識としては、例えば「工学」、「物理」があるが、これらは通常は大学教育で学ぶ範囲のものであり、社会人が各種外部研修で習う程度のものである。工学や物理に関して中小製造業では社内で教育する余裕はなく、技術者自らがあらゆる情報ソースを駆使して自己研鑽を積んでいる。しかし、大阪府内のものづくり企業においてこのような技術者の専門知識レベルが十分であるとは言い難い。

コンカレント・エンジニアリングを支える設計担当者の技能訓練メニューと役割分担

デジタル・ツールを駆使するには先述のように、技術進展により取扱いが容易になりつつある解析ソフトの活用が求められる。応力解析や強度計算など高度な解析は専門化に任せるのが好ましい。設計担当者に必要なのは設計段階で必要となる簡易な解析である。

また、近年「設計担当者は素材の物性などわからずに詳細設計を行っている」という意見が Web サイト等で散見される²⁴。設計担当者として部品や機械等を設計するには、工学の基礎を最低限習得しておく必要がある。

²⁴ 「機械設計者は材料の特性知識等が乏しくてもいいのか?」『@MONOist』 2009年08月21日 Web サイト 2018年1月アクセス

大阪地域での 3 次元 CAD 技術養成事業

大阪地域での 3 次元 CAD 設計技術者養成事業としては、公的機関実施のもの、民間企業実施のものに大別される。公的機関実施事業として、大阪府の高等職業技術専門校が行う各種の訓練を、また、民間企業実施事業として、大手 S 社取扱ディーラーが実施する研修を取り上げる。

図表 3-17 大阪地域における CAD 設計関連訓練、研修一覧

	名称	費用	期間	条件	定員	備考
求職者向け						
ポリテク関西	CAD/CAM 技術科 CAD/NC 技術科	無料 実費あり	6 ヶ月 年 2 回	なし	22 名（半 期）	
東大阪高等職業 技術専門校	機械 CAD 設計科	有料（授業料 等）、実費	1 年間	18 歳以上 34 歳以下	30 名	簡易な解析も 実施
在職者向け						
ポリテク関西	各種コースあり	数万円	数回、短期	在職者	10-20 名	設計技術の基 礎、CAE など 専門的
東大阪高等職業 技術専門校	レディメイド	数千円	数回、短期	在職者	10-20 名	CAD の基礎
	オーダーメイド	実施なし	—	—	—	—
民間企業 S 社	各種コースあり	数万円、コー スによる	数回	なし		導入体験、解 析活用に重点

出典：東大阪高等職業技術専門校 Web サイト、ポリテク関西 Web サイト、S 社の大阪での研修一覧 Web サイトを参照し、大阪産業経済リサーチセンター作成

先に示したとおり大阪府では、東大阪高等職業技術専門校において機械 CAD 設計科で、18 歳以上 34 歳以下の求職者に対して 3 次元 CAD のみならず、機械製図の基礎から、2 次元 CAD での操作、3 次元 CAD での図面作成について、1 年間訓練している（図表 3-18）。訓練生の経歴はばらつきが大きく、製造に関わったことがある者よりもない者の方が多い。そのため、習熟度合いを把握しながら進捗管理をするなど、きめ細かな訓練を実施している。

カリキュラムには設計ツールの活用も含まれ、ツールにはダッソー・システムズ・ソリッドワークス社の「SolidWorks」を採用している。そして、府内のものづくり企業やロボットを活用する組立企業等の需要に合わせたカリキュラムを実施している。大阪には金属製品製造業、生産用機械製造業の事業所数が多く²⁵、金属・機械業が集積している。こうした立地特性にからみ、講座で使用されるミドルエンドのCAD「SolidWorks」は、部品設計など金属・機械業で通用する技術者を育成する上で、最適なソフトであると考えられる。

図表 3-18 東大阪高等職業技術専門校の機械 CAD 設計科の訓練体系図



出典：東大阪高等職業技術専門校の「5つの学科紹介」サイト 2018年1月アクセス

一年間の限られた期間に3次元CAD検定の2級、準1級レベルの合格を目指す。現在では「解析ツールの活用」には力点を置かず、2次元CADによる製造の基礎を徹底して習得させて、3次元設計につなげていくというステップで訓練を行っている。

当科では、機械設計だけでなく、工学の基礎や材料についての基礎知識も加えて教育するなどして、デジタル・ツールの扱い方だけではなく、今般知識不足が指摘されるような基礎的な設計技術内容の授業を設けるなどポイントを押さえた教育訓練を実施している(図表3-19)。加えて、簡単なCAEや解析を実習カリキュラムに盛り込み、3Dプリンタで設計物を出力し積層造形技術との連携ノウハウを教えるなど、一年間の長期間に渡る訓練期間を考慮すれば、かなり特色のある充実した訓練内容である。

²⁵ 2017年度版『なにわの経済データ』、p.35

図表 3-19 東大阪高等職業技術専門校の機械 CAD 設計科教科内容

主な教科	教科内容
機械工学概論	機械要素、機構及び運動、機械一般
電気工学概論	回路理論、電気磁気学、電力と三相交流
NC 加工概論	数値制御概論、NC 言語、NC プログラミング
材料力学	材料の力学的性質、荷重の種類と応力
材料	金属組織、金属材料、非金属材料
機械工作法	鋳造、鍛造、工作機械、塑性加工
機械製図	機械部品の製図、部品図及び組立図の製図
機械設計	機械要素の設計、機械器具の設計
機械設計実習	機械要素の設計、機構設計、電子カタログの活用
図面管理実習	図面ファイル管理、図面ファイル加工
機械工作実習	旋盤加工、フライス盤加工、ボール盤加工
CAD/CAM 実習	操作方法、シミュレーション
電気制御実習	シーケンス制御、空気圧制御

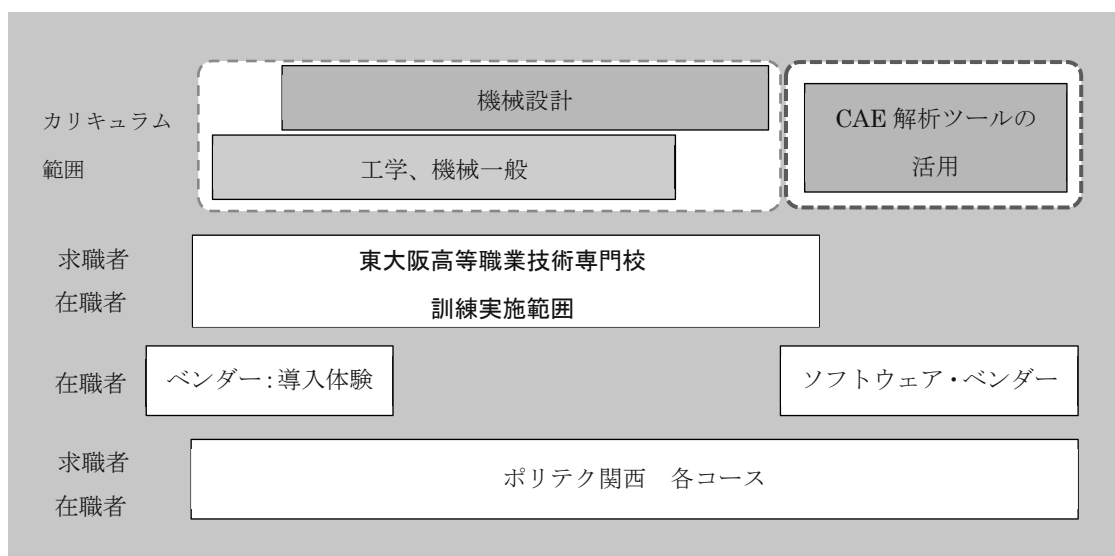
出典：東大阪高等職業技術専門校の「5つの学科紹介」サイト 2018年1月アクセス

一方、国の機関である独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構大阪支部がポリテクセンター関西で実施する求職者訓練は次の2コース設けられている。手描きによる製図、2次元CADの知識などの基礎をカバーするCAD/NC技術科、CADとCAMに重点を置いたCAD/CAM技術科である。いずれも6ヶ月の訓練期間で、年齢制限はなく、力学の基礎などの基礎知識の習得とそれによるシミュレーションも教えている。

また、民間の大手研修ディーラーでは、構造計算等のための基礎知識やそのシミュレーションを教えている。

以上の大阪地域での3次元CADに関する技能者訓練、養成について、図表3-20のように、まとめられる。

図表 3-20 大阪地域での 3次元 CAD の訓練、研修俯瞰図



注：機械設計（専門科目）：機械製図、機械設計、機械設計実習、図面管理実習、CAD/CAM 実習など
 工学、機械一般（基礎科目）：機械工学概論、電気工学概論、NC 加工概論、材料力学、機械工作法、機械
 工作実習、電気制御実習など

出典：大阪産業経済リサーチセンター作成

コラム3 歯科医療分野でのデジタルものづくりの現状と課題 (事例)

大阪市内で営業する歯科技工所のひとつである株式会社デンタルスタジオでは、10年前にデジタル・ツールである CAD/CAM をまず導入した。石田社長は「歯科技工の世界は、古い技術が継続されている世界。近いうちに必ず、工業界のように3次元 CAD が導入され、手作業でワックスを盛付けする古い方法は取って代わられるのではないかと考えた。

歯科技工の伝統的手法であるワックス盛付けによる補綴物製作は、技工士ごとに技法や考え方が異なり、技術の再現性は見込めない、または技工士の腕前や仕上がり品質が安定しないことなど多くの課題を抱えていた。

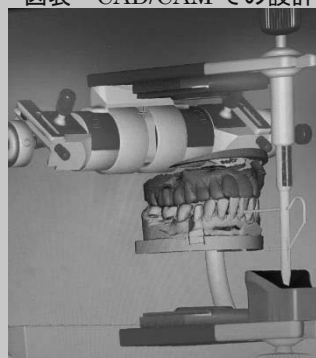
こうした課題を解決したのが歯科用 3 次元 CAD/CAM (以下、「歯科用 CAD/CAM」) である。2005 年に歯科用 CAD/CAM を最初に導入し、歯科技工士数人のグループに試用させた。当初は、これまでの手作業を画面上で行うのに慣れないこと、またはペン型操作具が個々人の感覚に合わないなど課題が多く、手作業によるレベルと同等のレベルの設計ができるようになるまで相当の期間 (実質稼働したのが 2006 年) を費やした。「歯科技工士養成学校で習ってきたことのない画面上での設計に慣れるには、外部研修や内部での教え合いなどを通じて、年代の若い技工士から習熟していった。現在では、ほぼ問題なく活用できるようになった。」(石田社長)

その後、2014 年に保険適応の硬質樹脂材料「CAD/CAM 冠」が実用化したことで、当社においても、3 次元 CAD/CAM で設計し、CAD/CAM 冠を卓上小型切削機で加工し、仕上げるようになった。現在では、設計データ作成には時間を要するものの、手作業による樹脂材料の盛付作業に比べて、切削加工の所要時間が短縮され、造形精度も大きく向上した。

社長は工業界の動きを情報交換の中から察知し、素早く歯科技工の上流工程である設計部分をデジタル化した。この先鞭をつけたことが現在、設計データをもとにした CAD/CAM 冠の製造を実用化する動きに結実している。

「先行投資の数年間投資が重かったが、ようやく投資したデジタル化の技術が花を開き、業界では最先端の動きをフォローできている。思い切った決断だったが、間違いではなかった。今後も、業界で課題になっているトレーサビリティや精度改善にこうした手法で立ち向かっていきたい」と石田社長は意気込む。

図表 CAD/CAM での設計



出典：筆者撮影

本事例に関しては、下記拙稿で詳述している。

松下隆 (2018) 「デジタルものづくりによる産業の構造的変化 - 先進的な歯科技工所のイノベーションを題材に - 」『産開研論集』、第 30 号、pp.27-35

第4章 デジタルものづくりによる付加価値向上イノベーションの方向性と施策

4-1 デジタル・ツールの普及に向けた環境整備、診断

ここまでみてきたように、3次元CAD、CAM、CAEなどのデジタル・ツールは大手企業ではかなり活用されており、製品や部品の設計開発において、フロントローディングによって開発期間の短縮やコスト削減に貢献し、企業活動の付加価値獲得に成果をもたらしている。しかし、中小製造業では、金型業や自動車関連部品製造業、または完成品メーカーなど特定分野では普及しているが、それら以外では未だ普及しているとは言い難い。

しかし、大手企業が作成する設計図面、製造図面が3次元データにシフトし始めている現段階において、中小製造業が新たな企業から引きあいがあっても、自社が3次元CADに対応していなければ、失注する可能性が高まる。こうした機会損失を防ぐためにも、3次元対応は進めておかなければならない。

また、3次元データは設計試作段階におけるシミュレーションによる試作や手直し回数の減少、後工程の工数の削減、試作時の3Dプリンタによる造形確認をはじめ、製造段階でのCAMデータへの変換利用、販売やサービスメンテ段階でのカタログ・取扱説明書の作成や説明動画の制作など様々な2次利用で付加価値向上イノベーションを可能にする。このような付加価値を得るためにも、中小製造業では3次元データへの対応を進めておく必要がある。環境変化へいち早く対応する準備をしておくことが、これからの新たな取引先開拓、新技術の導入においては、重要であり、避けて通れない。

非接触式3次元スキャナが普及の起爆剤に

3次元データの作成は、かつては一から設計する必要があり、専門的知識や経験、CADオペレート技能が必要であった。しかし、近年、非接触式の3次元スキャナが高性能となり、簡単に3次元データの大部分を取得できるように変化してきている。すなわち、3次元スキャナを導入すれば、図面がない部品や歴史的な構造物（例えば、重要文化財の寺社仏閣の部品補修）などの図面を起こす手間は、かなり軽減される。

この非接触式3次元スキャナの普及も、製造図面の3次元化を加速させる起爆剤になっているといえよう。

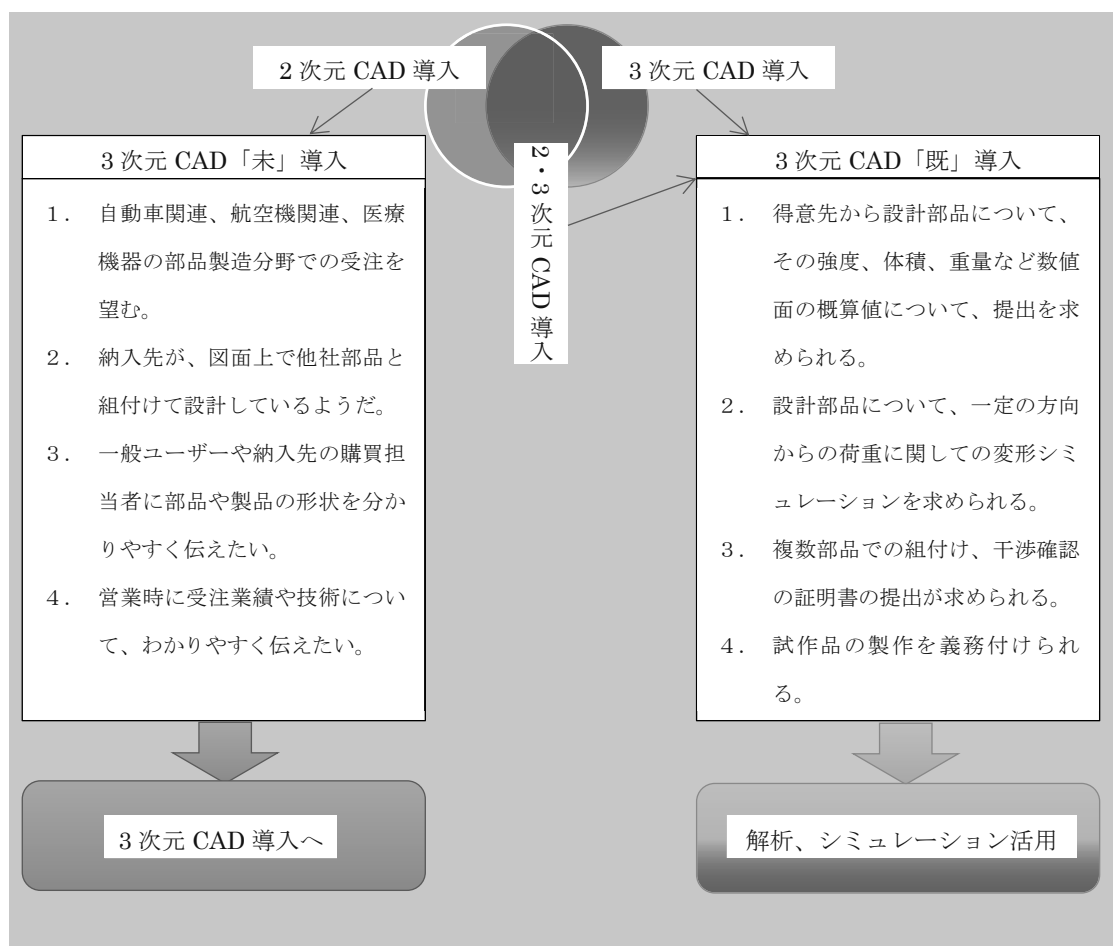
関西、大阪におけるデジタル・ツール普及が重要

関西、大阪の中小製造業における3次元データの活用については、前述のとおり、関東や中部に対して、やや遅れをとっているといえよう。いうなれば、3次元データを活用せず、企業の競争優位を打ち出せていない関西、大阪企業が多いのではないだろうか。

競争優位に立つための企業の条件

次に掲げる状況下に置かれた企業では、設計の 3 次元化、または解析・シミュレーションの実施により、付加価値の高い受注獲得、それによる付加価値向上イノベーションが期待できる（図表 4-1）。

図表 4-1 CAD 導入状況別の今後の方向性



出典：大阪産業経済リサーチセンター作成

2次元 CAD は導入済みだが、3次元 CAD は未導入である企業で、1. 自動車関連、航空機関連、医療機器の部品製造分野での受注を望む、2. 納入先が図面上で他社部品と組付けて設計しているようだ、3. 一般ユーザーや納入先の購買担当者に部品や製品の形状を分かりやすく伝えたい、4. 営業時に受注業績や技術について、わかりやすく伝えたい場合には、3次元 CAD の導入により発注者の要望を汲み取りやすくなる。

一方、既に3次元 CAD を導入している企業で、1. 得意先から設計部品について、その強度、体積、重量など数値面の概算値について、提出を求められる、2. 設計部品について、一定の方向からの荷重に関しての変形シミュレーションを求められる、3. 複数部品

での組付け、干渉確認の証明書の提出が求められる、4. 試作品の製作を義務付けられる場合には解析やシミュレーション機能を有効に活用することで発注者からの要望に応えやすくなる。

普及を促す施策の検討

以上のことから、行政サイドでは、中小製造業におけるデジタル・ツールの活用、普及を促すための施策を講じる必要性が高い。以下では、想定される施策を検討する。

現在、3次元CAD等を導入するにも、中小製造業にとっては導入コストが高いという意見をよく耳にする²⁶。最も販売ライセンス数が多いSolidWorksの導入コストは、1ライセンス100万円を超える。加えて、維持更新にも多額のコストが必要である。こうしたコストが普及に関する阻害要因であるならば、その解消を考えなくてはならない。

導入資金支援やリース制度の創設など資金面での支援を検討することができれば、デジタル・ツールの普及、3次元データの積極的な活用が現実のものとなろう。

²⁶ 非常に高価なソフトウェアという認識が強いが、「機械加工業に加工装置が必要であるように、現代では3次元CADは必要設備、必要経費であるとみて、経営するほかない」といった経営者の意見も一方でよく聞かれる。

4-2 人材育成支援

人材育成の施策検討

前章3-3の「デジタルものづくり人材の現状と課題」で明らかにしたように、大阪地域においては3次元データを扱う技術者の育成のため、ポリテク関西での短期研修制度や東大阪高等職業技術専門学校での1年間での密度の濃い訓練、加えて解析等の高度な研修を担う民間企業研修といった目的、役割を異にする3つの機関による重層的な事業が実施されている。

この状況から、育成事業におけるカリキュラムは、必要な範囲を十分カバーしていると判断できる。改善し得るのであれば、これら機関における育成事業のカリキュラムの範囲の重複や整合性の調整や技術者育成のレベル合わせ（解析など高度な教育訓練の要望の強い大手企業、3次元データの作成など基礎的な教育訓練の要望の強い中小企業など）が重要であろう。また、育成事業において、どのような種類の3次元CADや解析ソフトウェアを採用するのかなど、細かな部分で連携する必要がある。

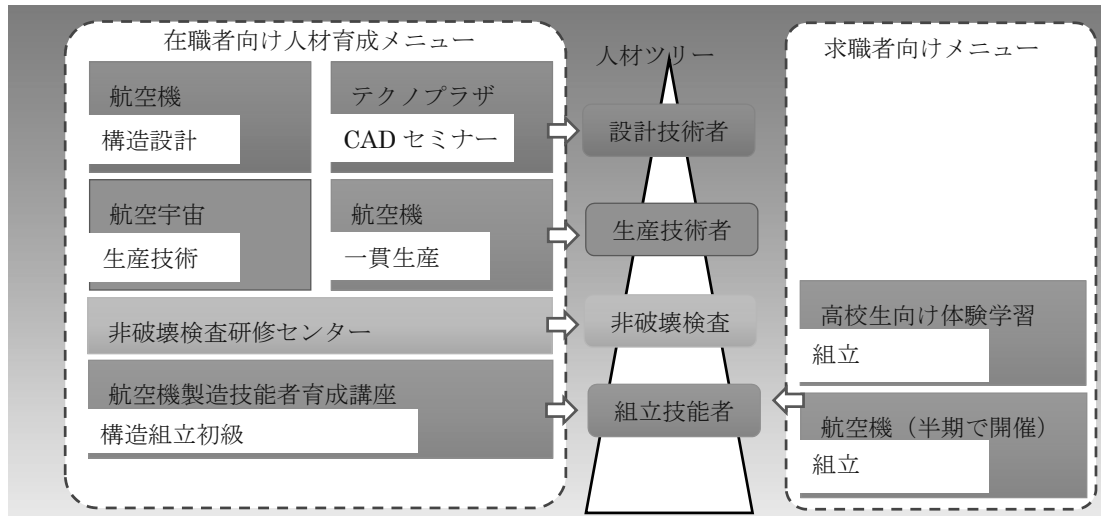
また、求職者の中には、就職決定に伴い予定していた訓練を途上で終える者も多い。彼らに対して、基礎の工学知識や、物理・化学、現在担当している仕事の内容の3点を絡めて「学びなおし」ができる研修メニューを用意するなど、訓練の仕上がりを高めるためのフォローの実施も必要であろう。

業種を絞った専門人材の育成

ここでは、業種を絞ったうえで専門人材を育成する仕組みを有する岐阜県での設計技術者育成事業を参考事例として取り上げる。

岐阜県商工労働部では岐阜県内に、公設試験研究機関と人材育成センター、振興財団などを集約させるべく立地を進めた。その拠点整備の目玉は、岐阜県、各務原市の両自治体と独立行政法人中小企業基盤整備機構、および地元企業の出資で設立した株式会社グイ・アール・テクノセンターである。当社では、地元産業に必要な技術レベルの人材を、幅広く育成している（図表4-2）。

図表 4-2 人材育成メニューの外観図



出典：株式会社ブイ・アール・テクノセンターの資料を元に大阪産業経済リサーチセンター作成

当社の事業の特徴は対象産業と人材育成像とを明確にし、それに適合させた育成メニューを在職者向けと求職者向けに提供している点にある。特に、全メニューが航空機産業や高度な設計を行う産業向けに明確にターゲティングしている点が興味深い。

在職者訓練としては、地域産業である航空機産業を支援するため、設計技術者向けに航空機の「構造設計」コースを実施し、「CAD セミナー」を開催している。また、生産技術者向けには、航空機産業の「生産技術」、「一貫生産」コースを実施している。CAD ソフトには、自動車産業・航空機産業ではスタンダードなハイエンド CAD である「CATIA」や「NX」が採用されている。また、機械設計ではミドルエンド CAD で最もシェアが高い「SolidWorks」などを採用するなどして、ハイエンドからミドルエンドまで幅の広い CAD 講座を設けている。これは、中部地域の企業が活用する CAD の種類が多く、それに適合した人材育成像を想定している結果である。実際に公的セクターが出資する団体等で多数の CAD ソフトを研修対象としているケースは、日本国内でもそれほど多くない。また、特殊形状で内側に空洞を有する軽量部品の内部検査をするための非破壊検査に関するコースが用意されている。

在職者向けの「構造組立初級」コース、高校生向けの航空機「組立」体験学習をはじめ、求職者向けの航空機「組立」コースを実施していることも特徴的である。

大阪地域は、多様な業種を内包する産業集積であることから、当社のような特定産業の人材育成に特化することは大変難しい。しかし、人材育成の方向性を柔軟に打ち出し、特色をもたせた人材育成事業を行う本事例から学ぶ点は多いと考える。

4-3 地域イメージの構築、発信

3次元データを活用して付加価値の高い業務をこなすためには、3次元データをデジタル・ツールとして積極的に活用できる高度なスキルを有する人材が必要である。

こうした人材の育成とデジタル・ツールの普及を目指すには、優秀な人材の呼び込みや成長企業群の誘致も必要であり、そのためにも地域でプロモーションを行うことが非常に重要である。例えば、「3次元データはおまかせ大阪のものづくりデジタル匠集団」、「3次元データを匠に活用しまッセ」といったキャッチフレーズなど大阪地域のものづくり集積が3次元データ活用に積極的で、かつ、活用実績も有するといった戦略的な打ち出し（プロモーション）を考える必要がある。

他地域での地域プロモーションの例として、組込みシステム産業の地域プロモートのために東北地域が打ち出した「TOHOKUものづくりコリドー（コリドーは回廊の意味）」と、「顧客の思いを素早く形に変える」をコンセプトに打ち出す「京都試作ネット」を挙げることができる。

「TOHOKUものづくりコリドー」は、7つの産業・技術分野の融合を促進するため、分野を包括した活動基盤の形成と、3つの出口産業分野と技術等分野相互の融合・シナジーを意識した活動を展開している。地域が行政エリアの枠を超え一緒になってクラスター計画を打ち出す方策としてうまく形成されている。

（出典：「TOHOKUものづくりコリドー」<http://san-cluster.icr-eq.co.jp/index.html>）

次に紹介するのは民間企業同士が地域の特色を打ち出した例である。ものづくりの前工程で活躍するのが試作業であり、大阪東大阪地域にも試作業は多く所在するが、プロモートの仕方に優れるのが「京都試作ネット」である。2001年7月に京都府南部に所在する機械金属関連の中小企業10社が共同で立ち上げた団体であり、各種展示会への出展機会を増やし、問合せ件数の増加（毎月100件を目標にしており、1月は18日時点で30件）など活動内容が充実している。

（出典：「京都試作ネット」<https://www.kyoto-shisaku.com/>）

このように地域の自治体や民間企業の連携事業など、異なる団体同士が地域を主軸に置いてプロモートを展開する方法は、多様な産業集積を抱える大阪地域においても学ぶべきところは多いはずである。継続的に、実利を伴う地域連携の打ち出しをもっと加速させ、優れた企業や技術、歴史のプロモートのための施策をさらに展開する必要がある。

まとめ

最後に、本報告書のまとめを行いたい。本報告書では、公開資料や企業へのヒアリングを通じて中小製造業が置かれたデジタルものづくりの現状について、多角的に分析し、考察してきた。特に、ものづくりで最も肝となる設計フェーズにおけるデジタルものづくりの中小製造業での現状と課題、将来への方向性について付加価値向上を目指した変革、イノベーションの視点から実態分析を行った。

まず、デジタルものづくりについて現状分析するうえで必要となる言葉の定義を行った。デジタルものづくりとは、ものづくりの前半工程で3次元CADなどによって作成された3次元データを活用し、解析やシミュレーション機能などを駆使して後工程の負荷を減らし、3次元データを販売や営業、サービス面など後半工程においても活用することで、付加価値をもたらす手法である。特に、3次元CADはデータ作成の出発点であり、デジタルものづくりを行い付加価値を享受するには必要不可欠なツールである。

しかし、「大阪の企業では3次元CADの普及が関東、中部地域よりも遅れている」といったコメントを多数の企業から、また大手設計ソフトメーカー担当者から聞いた。こうしたコメントのエビデンスとなる実態調査は、非常に少ない。唯一、近年全国の設計担当者向けにCAD活用に関する調査を実施した(株)メイテックの「fabcross」調査において、都道府県単位での活用についての調査結果が発表されており、この調査データを元に独自に分析を試みた。その結果、3次元CADの普及については「東西高、西低」であることが確認できた。関西地域における3次元CADの普及が低い理由として、関東、関西地域に比べて自動車産業集積が小さいことが挙げられる。自動車産業での3次元CAD活用、データの活用は他の業界以上に進展し、スタンダードな工法となっている。関西地域の産業集積は家電産業が主として発展したことがこの実態の裏付け要因となっているとも考えられる。

一方、欧州地域ではIotの活用や3DプリンタによるAM(Additive Manufacturing:付加製造)技術の進展によって、3次元データを活用したデジタルものづくりが非常に盛んであり、国を挙げて強力な後押しをしている。また、中国、韓国においても、日本とは異なり2次元CADを導入せず、いきなり3次元CADでデジタルものづくりを行った若い企業が多い。こうした海外の実態をみても、3次元データを活用したデジタルものづくりの動きは本流であるといえる。

関西、大阪地域においてデジタルものづくりの普及が遅れていることは、将来どのような影響を及ぼすであろうか。世界のスタンダードが3次元データに移行した場合、3次元化の対応ができない企業であれば、受注図面を受けられず、取引の流れからはじき出される可能性が高い。また、同業他社がデジタルものづくりを進め、対応力に差がつけばつくほど、享受できる付加価値の差が広がることも懸念される。

したがって、関西、大阪地域のものづくり企業においては、3次元データを扱えるようにするため、3次元CADをはじめとするデジタル・ツールの導入が急務の課題である。設計

技術の 3 次元化によって、企業が有する設計力や提案力が高まることは間違いない。これらの動きを進めることでようやく世界標準のものづくりへ対応できるのである。

また、3 次元 CAD を既に導入し、活用する中小製造業においても、解析技術やシミュレーション技術については、十分活用できている企業はかなり少ない。先に述べたとおり、データの 3 次元化は世界標準になりつつあるため、もう一歩先にデジタルものづくりの方法を先行させておく必要がある。そのためにも、企画・設計段階において解析技術等を活用し、材料特性解析や応力計算などを実施することで設計データの実証性を高める手法の獲得が必要である。

こうしたことから、関西、大阪地域におけるデジタルものづくりの進展には、自治体をはじめ民間企業、団体が力を合わせて、1. デジタル・ツールの普及に向けた環境整備、診断、2. デジタル・ツール活用人材の育成支援、3. 地域のイメージの構築、発信を行うことが必要であろう。まず、ミッドレンジの 3 次元 CAD を中小製造業に導入促進する必要がある。100 万円単位のソフトウェア投資が必要であり、コスト負担が課題と認識されているが、営業に必要な経費として負担する経営体質づくりが求められる。こうしたソフトウェアを十分に活用できるソフトウェア人材育成が次に必要となる。特に、材料知識や情報処理技術、基礎的な工業技術を習得させる研修を行うことで、解析やシミュレーション結果を読み込み、設計に反映できる技能を備えることが不可欠である。最後に、こうしたデジタルものづくりに適応した競争優位性の高い企業や高度人材の集積について、自治体などが日本全国に売りこみをかけ、利益率の高い受注案件の獲得を支援することが必要である。このような企業と自治体とが一緒になって地域と技術を売り込む動きが今後益々重要となるだろう。

本調査研究にはいまだ課題や未消化の部分がある。特に、地域別の 3 次元 CAD 普及についてエビデンスの高い実態調査（アンケート調査方式等を吟味した）ができておらず、精度の高い実態把握には至っていない。加えて、解析やシミュレーションの活用実態と企業サイドの要望などを産業分野別、企業規模別に活用実態を把握分析する必要がある。的確な産業支援策立案を行っていくには、こうした実態把握のための調査分析研究の着実な積み重ねによって得られた基礎資料が不可欠である。今後の本分野における調査研究を続けることが、大阪産業のイノベーション力を測るものさし作りとなるはずである。

巻末資料

株式会社シロクマ 沿革資料

1947（昭和 22）年	大阪市内にて熊代製作所を創業
	白熊印建築金物、家具金物の製造販売を開始する
1950（昭和 25）年	大阪市天王寺区味原町に移転
	社名を丸喜金属製作所とする
1951（昭和 26）年	白熊印をブランドとする
1952（昭和 27）年	白熊印カタログを発行する
1964（昭和 39）年	丸喜金属株式会社を設立 資本金 500 万円
1966（昭和 41）年	味原第一倉庫 3 階建建設
1970（昭和 45）年	真田山倉庫 4 階建建設
1972（昭和 47）年	資本金 1,200 万円に増資
	天王寺税務署より優良申告法人として表敬される
	現在の本社所在地に地下 1 階、地上 5 階建ビル建設
	管理会社として株式会社丸喜ビル設立
	資本金 500 万円、その後 1,000 万円に増資
1977（昭和 52）年	自社製品加工仕上部門として、大阪市生野区で大栄鍍金株式会社を経営する
	資本金 50 万円、その後 1,000 万円に増資
	第 2 回目 優良申告法人として再表敬
1979（昭和 54）年	WB 印をブランドに加える
1982（昭和 57）年	大栄鍍金株式会社 大阪市平野区加美北に 3 階建新築移転
	第 3 回目 優良申告法人として再表敬
1987（昭和 62）年	第 4 回目 優良申告法人として再表敬
1988（昭和 63）年	平野工場 3 階建新築
	機械設備を拡充し、自社生産体制を強化
	資本金 3,000 万円に増資
1991（平成 3）年	創業者 代表取締役社長 熊代 喜八郎死去
	長男 熊代 誠一が代表取締役社長を継承
1992（平成 4）年	第 5 回目 優良申告法人として再表敬
1994（平成 6）年	小橋倉庫 4 階建建設
	大栄鍍金株式会社を大栄テクノ株式会社に社名変更
1995（平成 7）年	平野西工場開設
1996（平成 8）年	味原第 2 作業所 4 階建建設
	平野西工場増床

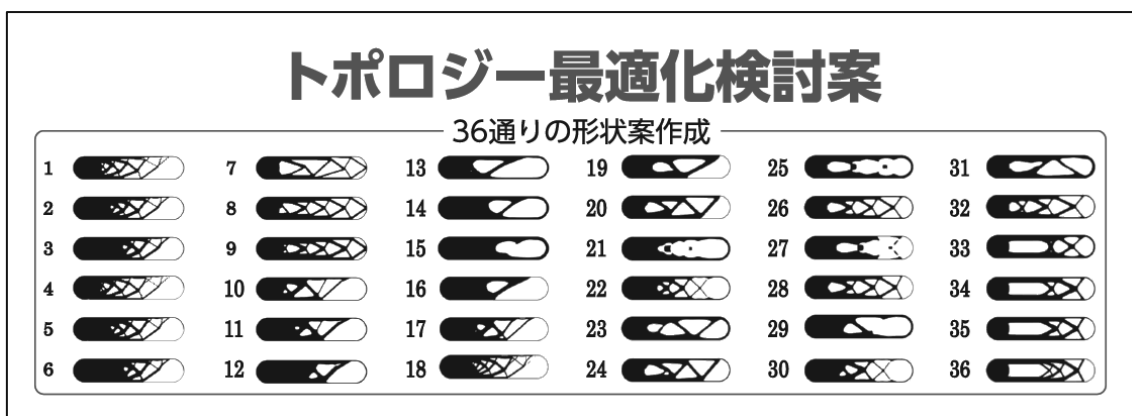
1997（平成9）年	第6回目 優良申告法人として再表敬
2000（平成12）年	味原第3ビル 4階建建設
	丸喜金属株式会社を株式会社シロクマに社名変更
2001（平成13）年	平野北倉庫開設
2002（平成14）年	大阪府知事表彰を受ける
	第7回目 優良申告法人として再表敬
2003（平成15）年	東大阪倉庫開設
2007（平成19）年	柏田倉庫開設
	平野西工場増床
	第8回目 優良申告法人として再表敬
2009（平成21）年	加美北倉庫開設
2010（平成22）年	大阪府中小企業団体中央会より会長表彰を受ける
	株式会社タイムドメイン（京都府）とライセンス契約を締結
2011（平成23）年	オリジナルスピーカー「midTower」（タイムドメインライセンス製品）発売
	大栄テクノ株式会社が大阪府鍍金工業組合より優秀工場の認定を受ける
	味原駐車場開設
2012（平成24）年	味原西倉庫及び駐車場開設
	平野南工場開設
	味原南倉庫開設
	オリジナルスピーカー「SuperPod」（タイムドメインライセンス製品）発売
	味原第5ビル開設
2013（平成25）年	オリジナルスピーカー「SuperPod」アクティブスピーカー（タイムドメインライセンス製品）発売
	大栄テクノ株式会社が大阪府鍍金工業組合より優秀工場の認定を受ける
2014（平成26）年	柏田第2倉庫開設
	第3ビルのエレベーター新規入替
	第9回目 優良申告法人として再表敬
2015（平成27）年	クローバ事業部開設（クローバ金属株式会社の営業権取得による）
	オリジナルスピーカー「myPod8」（タイムドメインライセンス製品）発売
2017（平成28）年	オリジナルスピーカー「SmartTower」（タイムドメインライセンス製品）発売
	第3ビルにリフト設置
	資本金を8,000万円に増資

出典：株式会社シロクマ Web サイトから一部抜粋

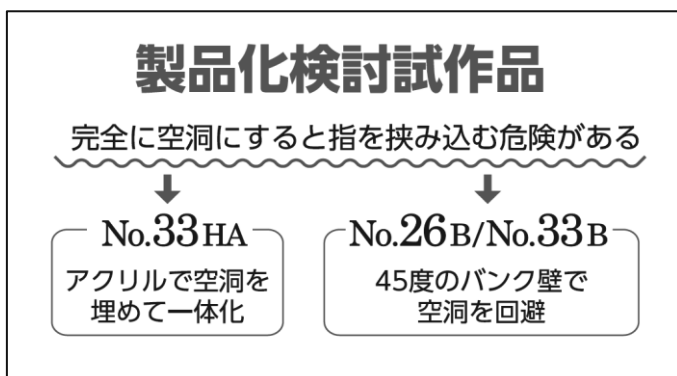
2017年10月 設計・ソリューション展展示物フリップ拡大
適用部品



大阪技術研和泉センターによるトポロジー最適化シミュレーション結果



選択製品



参考文献

○CAD、CAM、CAEに関するもの

浅井敬一郎 (2009)「技術革新とスキルの変容—金型産業における歴史的変遷からの検討—」
『広島大学大学院国際協力研究科博士論文』

青島矢一・延岡健太郎・竹田陽子 (2000)「新世代 3 次元 CAD の導入と製品開発プロセス
への影響」『電子社会と市場経済』ディスカッションペーパー, Vol.33, 日本学術振興会
未来開拓学術研究推進事業プロジェクト

池田義雄 (2007)「フロントローディングによる上流設計力強化」『東芝レビュー』, Vol.62,
No.9, pp.2-8

江頭寛昭 (2000)「設備高度化とスキルの変化—金型製造業のケース」『産開研論集』,
第 12 号, pp.13-20

大阪産業経済リサーチセンター (2015)『三次元積層造形技術 (3D プリンター) の活用に関
する調査研究』, 資料 No.138

大阪産業経済リサーチセンター (2016)『金型製造業、成形業におけるイノベーション』,
資料 No.154

大高敏男 (2009)『3 次元 CAD で学ぶ機械設計の基礎知識』, 日刊工業新聞社

大富浩一 (2005)「製品開発における上流設計の重要性とその方法」『東芝レビュー』, Vol.60,
No.1, pp.30-35

株式会社札幌立体データサービス「3D が普及しない理由」, Web サイト, 2018 年 1 月 25
日アクセス

株式会社メイテック (2016)「仕事で利用するツール/システムに関するアンケート調査」
『fabcross for エンジニア』

株式会社メイテック (2017)「社内で使う CAE ツールの利用状況に関するアンケート調査」
『fabcross for エンジニア』

コンピュータ教育振興協会 (2010)『CAD 利用技術者試験 3 次元公式ガイドブック』, 日経
BP 社

後藤卓三・田野俊昭・香川康 (2001)「府内中小製造業における 3 次元 CAD 利用の実態
調査」『京都府中小企業総合センター技報』, 30 号, pp.95-103

後藤卓三・田野俊昭 (2002)「府内中小製造業における 3 次元 CAD 利用の実態調査 (II)」
『京都府中小企業総合センター技報』, 31 号, pp.39-46

素形材センター (2007)『素形材産業の 3 次元 CAD を中心とする IT 化の現状と課題
- ものづくりの国際競争における 3 次元 CAD の戦略的活用報告書』, No. H18-3-2A

竹田陽子 (2000)『プロダクト・リアライゼーション戦略—3 次元情報技術が製品開発組織
に与える影響』, 白桃書房

竹田陽子・青島矢一・延岡健太郎 (2002)「新世代 3 次元 CAD の導入と製品開発プロセス

への影響 2001 年度版』『電子社会と市場経済』ディスカッションペーパー, Vol.99, 日本学術振興会 未来開拓学術研究推進事業プロジェクト

竹田陽子・青島矢一・延岡健太郎 (2004) 「3 次元 CAD の普及と製品開発プロセスに及ぼす影響」『技術マネジメント研究』, Vol.4, 横浜国立大学技術マネジメント研究学会, pp. 1-12

竹田陽子・青島矢一・延岡健太郎・林采成・元時太 (2009) 「設計 3 次元化が製品開発プロセスと成果に及ぼす影響に関する日本・中国・韓国の比較調査」『技術マネジメント研究』 (8), 横浜国立大学技術マネジメント研究学会, pp.53-61

竹田陽子 (2012) 「4-8 新生代 3 次元 CAx 技術の普及と製品開発プロセス改革」『新通史 日本の科学技術 世紀転換期の社会史 1995 年～2011 年』第 2 巻, pp.478-484

竹田陽子 (2015) 「北九州地域における 3 次元ものづくりの実態と政策含意」『年次学術大会講演要旨集』, 研究・イノベーション学会, 第 30 号, pp. 447-452

中小企業庁 (2000) 『中小企業白書 2000 年版』

延岡健太郎・藤本隆宏 (2004) 「製品開発の組織能力: 日本自動車企業の国際競争力」『RIETI Discussion Paper』 Series 04-J-039

松下隆 (2015) 「大阪のものづくり企業において 3D プリンタはどの程度活用されているのか?」『商工振興』, 大阪府工業協会, 4 月号, pp.15-16

水野操「俺たちの CAD/PLM50 年史」, Web サイト, 2018 年 1 月 25 日アクセス

矢野経済研究所 (2016) 『2016 年版 CAD/CAM/CAE システム市場の将来展望』, プレスリリース資料

「ものづくりウェブ」Web サイト 運営: 株式会社 RE <http://d-engineer.com/>

○歯科技工に関するもの

木村健二(2014)「将来の歯科技工のあり方～歯科技工士の現場から～」『日本補綴歯科学会誌』, Vol. 6, No. 4

清川雪彦 (1995) 『日本の経済発展と技術普及』, 東洋経済新報社

新谷明一・三浦賞子・小泉寛恭・疋田一洋・峯篤史 (2017) 「CAD/CAM 冠の現状と将来展望」『日本補綴歯科学会誌』, Vol. 9, No. 1

田中晋平・馬場一美(2017)「補綴歯科治療のデジタル化の現状と未来」『日本補綴歯科学会誌』, Vol. 9, No. 1

間瀬俊明・藤原稔久(2015)「歯科用 3D-CAD/CAM システムの現状と今後について」『精密工学会誌』, Vol. 81, No. 3

○その他

Everett M.Rogers((2003). Diffusion of innovations (5th ed.)), 三藤利雄 (翻訳) (2007) 『イノベーションの普及』, 翔泳社



大阪産業経済リサーチセンター 平成 30 年 3 月発行

〒559-8555 大阪市住之江区南港北 1-14-16

咲洲庁舎（さきしまコスモタワー）24 階／電話 06(6210)9938