

CIRJE-J-27

**自動車部品産業における
デジタル技術の利用と製品開発
3次元CADを中心に**

東京大学大学院経済学研究科

具 承桓

藤本隆宏

2000年6月

このディスカッション・ペーパーは、内部での討論に資するための未定稿の段階にある論文草稿である。著者の承諾なしに引用・複写することは差し控えられたい。

自動車部品産業におけるデジタル技術の利用と製品開発

- 3次元CADを中心に -

2000年6月

具 承桓（東京大学大学院経済学研究科）

藤本隆宏（東京大学大学院経済学研究科）

The Use of Digital Technology and its Effect on Product Development in the Automobile Parts Industry

**Seunghwan Ku (The University of Tokyo)
Takahiro Fujimoto (The University of Tokyo)**

Abstract

The subject of this paper is an empirical study about the impact and introduced period of 3D-CAD(three dimensional computer-aided design) on the product development process in the automobile parts industry in Japan. In particular, this study examines how 3D-CAD impacts product design review and production review, communication between assembler and supplier, and product development lead times.

Our data is from 153 companies and was collected through a questionnaire survey of first-tier part suppliers in the first half of 1999. Interview were also conducted four of the part supplier.

The historical trend of automobile supplier has been to introduce 3D-CAD about 5 years slower than the assemblers. That is to say, after assemblers had introduced 3D-CAD to product development, suppliers introduced 3D-CAD for parts at which connect to the body parts in 1990s. These parts are complex in structure and in the interface between parts. From 1985-1990, 36.91% of the companies had introduced 3D-CAD in their product development. From 1991-1995, the figure was 58.37%, and from 1996-1999, the figure jumped to 85.91%.

We measured the use, on-line, and compatibility of suppliers and assemblers in 3D-CAD systems, and their relationship with the frequency of communication, design review, production review, and lead times of product development. The following conclusions were drawn.

First, the usage rate of 3D-CAD to product development is linked with the increase in connection and compatibility of supplier and assembler systems. Second, increased use of 3D-CAD was not accompanied by a decreased the frequency of communication. Third, the effect of the use of 3D-CAD in the product development process decreases the occurrence of design reviews and production reviews and lead times. However, this effect differs depending on the parts.

Suppliers have some problems. For example, the use of different 3D-CAD system by the assemblers creates an entry barrier in the expansion of supplier's customers. Also, suppliers suffer from a lack of institutional educational program for engineering in 3D-CAD. In addition, managers at suppliers have to avoid engineers from practicing unnecessary design activities.

In conclusion, the use of 3D-CAD can decrease the number of design and production reviews, and shorten lead times. But, at present, suppliers may be faced with improper technologies as the transition is being made from 2D-CAD to 3D -CAD system.

要約

本研究の目的は、自動車部品産業を中心に情報技術の導入、特に3次元CADなどのデジタル技術の導入が製品開発プロセス、特に設計、試作、コミュニケーションなどにどのような影響を与えるのか、部品(製品)のタイプによってどのような違いがあるのか、等々を分析し、サプライヤーにとって、より効率的な製品開発を進めるために要求されるマネジメント能力は何かについて考察することにある。

本研究で扱うデータは、1999年3月に、日本自動車部品工業会に登録されている1次自動車部品メーカーに対してアンケート調査を行い、回答を得た153社からのものである。それと並行してインタビュー調査も行った。

まず、日本の自動車部品産業への3次元CADシステムの導入傾向を見ると、85-90年に36.91%、91-95年に58.37%、そして96-99年に85.91%と導入率が増加していた。このような傾向は、カー・メーカーの導入時期より5年くらいのタイムラグをおいて導入された。つまり、カー・メーカーの導入以降、90年代に入ってからサプライヤーの本格的な導入があったと言える。また、部品別に見ると構造的に部品間の干渉問題が多い車体部品などを中心に先に導入された。

3次元CADの導入が製品開発にどのようなインパクトを与えるのかについては、3次元CADの利用、システム間の互換性、オンライン率と開発活動(コミュニケーションの頻度、試作レビューの回数)、リードタイムとの間を分析してみた。その結果は以下の通りである。

- (1) サプライヤーの製品開発への3次元CADの利用は、カー・メーカーのシステムの互換性とオンライン化の増加と連動している。
- (2) 3次元CADの利用の増加は必ずしもコミュニケーションの頻度の減少をもたらさない、むしろ増加させる傾向が見られる。
- (3) 製品開発における3次元CADは設計試作や量産試作の減少、リードタイムの短縮に影響を与える。

しかし、その効果は製品(部品)によって異なる。例えば、最近の変化を見ると、電装部品は開発への3次元CADの利用、オンライン率と互換性の増加によって、試作レビューがより確実になり、開発期間の短縮につながる、という効果が車体部品の場合よりも顕著だと考えられる。それは車体部品より、相対的に機能的・構造的な調整が容易であるという電装品の製品特性ゆえに、CADの利用は試作の回数の削減、ひいては開発期間の短縮に繋がっていると考えられる。

一方、3次元CADの使用と関連して自動車部品メーカーが直面している問題は、3次元CAD自体の技術的な問題とマネジメント上の問題がある。まず技術的な問題としては、ハードウェアや通信回線の負荷が大きすぎること、ユーザーインターフェースや細かな機能に改善の余地が多くあること、2次元図面に慣れた技術者がソリッドモデラーを扱うには障壁があることなどが挙げられる。マネジメント上の問題は取引先(カー・メーカー)によって異なるシステムの採用による参入障壁、エンジニアに対する体系的な教育の不足による技術的な不具合、エンジニアの無駄な作業の増加に対する管理が挙げられる。

要するに、製品開発への3次元CADの利用はデザイン試作や量産試作の回数を減らし、

開発リードタイムを短縮などの様々なインパクトを与えるが、部品の特性によってその効果は異なり、異なるマネジメントが必要とされるだろう。また、自動車部品産業では 3 次元 CAD の導入によって組織間のコミュニケーションの頻度を必ずしも減少させるとは限らない。むしろ、日本の開発パターンの特徴である、対面的なコミュニケーションは依然として重要である。部品と車全体とをマッチさせるという問題を本当に解決するには、製品開発プロセスと技術の統合的な管理が必要なのである。

．はじめに

本稿の目的は自動車部品産業を中心に情報技術の導入、特に3次元CADなどのデジタル技術の導入が製品開発プロセス、特に設計、試作、コミュニケーションなどにどのような影響を与えるのか、部品(製品)のタイプによってどのような違いがあるのか、等々を分析し、サプライヤーにとって、より効率的な製品開発を進めるために要求されるマネジメント能力は何かについて考察することにある。

近年、企業を取り巻く環境はますます流動化しつつあり、それに対する企業の対応も変化しつつある。特に、先進情報技術(IT、Information Technology)の普及は製品開発プロセスや販売のあり方も変えている。その中で電子メディアの製品開発への影響は大きい。その一例が3次元CADである。例えば、3次元CAD(Computer - Aided Design)を用い、製品開発プロセスを大きく変えたボーイング777の開発は、その典型的な事例としていわれている(青島、1997,1998；金丸、1996；Baba and Nobeoka, 1998など)。

航空機とやや類似した複雑な機械製品である自動車産業でも、CADシステムを利用した製品開発は、昨今始まったことではない。自動車産業へのCADシステムが導入は、1959年のGM社の例まで遡る。欧米の自動車メーカーはデジタル技術を先行して導入し、製品開発への利用を積極的におこなっている、とする報告も少なくない。また、1990年半ばになって我が国自動車メーカーの製品開発期間が大幅に短縮された背景には、3次元統合型CAD-CAM(Computer Aided Production)やCAE(Computer Aided Engineering)システムの導入があったといわれる(藤本、1997)。

このように新たなデジタル技術は製品開発のあり方に少なからず影響を与えている。企業は3次元CADを効率的に利用することによって、製品開発期間の短縮や開発コストの削減をもたらす(Robertson and Allen, 1993；Baba and Nobeoka, 1998；藤本 1997；竹田、1997など)、また、生産性も上昇させている(Smith、1982)。さらに、こうした新たな技術の採用によって、人的資源の使い方や、顧客との関係、組織間のコミュニケーションなど多様な側面において変化が引き起こされている。つまり、3次元CADやCAEなどの電子メディアの導入は製品開発プロセス、組織のあり方、エンジニアのタスク、それに従う組織間・開発チーム間・エンジニア間の相互調整のパターンなどを変化させているのである。

そこで、本稿では、自動車部品産業を中心に、3次元CADの導入及び利用の状況、製品開発プロセスに与える影響について事証データに基づいて考察することにする。

研究対象としては、自動車産業、特に部品サプライヤーに焦点を当てる。この産業を取り上げたのは、第1に、日本の主要製造業の15%を占め、前方・後方効果が高い巨大産業だからである。このような広がり大きい産業が情報技術をどのように利用しているのかを調べることは、他の産業における今後の展開を見通す上でも、意味のあることであろう。

第2に、日本の自動車産業は製品開発能力や製造能力をサプライヤーに大きく依存し、しかもサプライヤーの積極的な開発参加が高い競争パフォーマンスを生み出している産業である(Clark and Fujimoto、1991；Nishiguchi、1994；Womack et al、1990など)。日本の自動車メーカーは、開発工数の大きな割合をサプライヤーに依存しており、その協力によって製品開発が行われている。特に、製品の詳細設計をサプライヤーに任せる「承認図方式」

の採用比率が高い(Clark and Fujimoto,1991 ; 藤本 = 武石, 1994、藤本 1997、1998a)¹。さらに、2 万点以上の部品から構成される複雑な製品であり、また製品の統合性(インテグリティ)が高く要求される製品であるため、組立メーカーとサプライヤー間のコーディネーションが非常に重要である(Clark and Fujimoto : 1991)。このような点で、開発工数の大きな割合を占めているサプライヤー側によるデジタル製品開発技術の採用及び利用は自動車の製品開発にとって不可欠であり、自動車産業全体の意に与える影響も非常に大きいのである。

第 3 に、自動車という製品は、レイアウト上の制約が大きい製品であるため、部品設計間の相互調整が容易でない。例えば、自動車の開発における大きな問題は部品干渉で、製品開発において発生する設計変更問題の約 70%程度を占めている。また、自動車という製品は基本的にメカニカルな製品であるが、近年、軽量化、電子化によって先端技術の取り込みが増えており、とりわけ電気・電子部品の割合が増えている。このように部品によって技術や材料が異なっているので、部品のタイプにより 3 次元 CAD の使い方や効果が異なることが予想される。したがって、部品レベルでの実証分析が必要とされる。

上記で述べたように、取引パターンや製品特性の特徴ゆえに、自動車・同部品産業へのデジタル技術の導入は製品開発プロセスに複雑な変化をもたらすと予想される。つまり、複数企業によって行われる複雑な製品開発プロセスが 3 次元 CAD などの電子化技術の導入によってどのように変わるのかをデータに基づいて考察することが本稿の目的である。

以上の問題意識を踏まえて、本研究では自動車産業を支える部品産業におけるデジタル技術の導入や利用パターン、あるいはその製品開発への影響について実証分析を行う。例えば、製品のタイプによって、製品(自動車部品)の開発に与える影響が異なるのか、特に 3 次元 CAD の利用の増加によって、試作、試験、カー・メーカーとのコミュニケーションなどに変化が生じているかという点に注目する。さらに、部品メーカーが現在直面している問題を明らかにしようと試みる。

．自動車産業における CAD の発展とそのインパクト

本節ではまず、自動車メーカーにおける CAD システムの展開とその発展の経緯について、既存研究を中心に検討する。そして 3 次元 CAD システムがもたらす様々な影響を製品開発プロセス、作業組織、開発組織などの諸側面から論じる。

(1)自動車産業における CAD/CAM システムの展開とその変化

民間企業の中ではじめて CAD システムを導入したのは、1959 年の米国のゼネラル・モーターズ(GM)である(Kaplinsky,1982)。日本の自動車産業で CAD/CAM システムが導入され

¹ 全部品調達コストの中で承認図方式が占める割合は、1980 年代に日本が 62%、アメリカが 16%、ヨーロッパ 39%であって、今回の調査も、承認図方式が 75%、委託図が 13%で、依然として、従来からいわれてきた日本的サプライヤーシステムの特徴が 90 年代後半でも顕著に表れている。

たのは 1970 年頃からである。最初は製品設計・デザインをより速く、より効率的に行うことを目的として導入された。例えば、スズキ自動車の CAD システムの導入を見ると、CAD を使い始めたのは 1970 年頃からである。1970 年以降、NC に CAD データを利用したり、部品設計にも利用するなど、CAD はより広範囲で使用されるようになり、その機能も発達してきた。その後、85 年にフランス・ダッソー社の CATIA が導入された。80 年代後半には CAD データを用い、設計部門と生産部門が緊密な関係を結ぶようになった。

<表 1> スズキ自動車における CAD/CAM 開発経緯

1970 年	CAD の開発に着手(自動車のスタイリング及び設計用) .
1972 年	自動車のスタイリング及び構造検討、部品設計用の CAD 利用開始
1978 年	会話形化への変更、データベースの強化 車体外板用マスタモデルの NC 加工化
1981 年	NC データ作成機能の強化、図面作成編集機能の追加
1982 年	CAD に部品設計用機能を強化
1983 年	二輪車への CAD の提供開始
1985 年	CATIA の導入(四輪エンジン設計)
1986 年	CAD の機能強化と EWS 化着手
1987 年	生産準備部門の CAD/CAM 化強化
1989 年	CAD の販売開始(協力会社の CAD 化)
1994 年	CAD のスタイリング機能を強化

* 磯部慎治(1998)より。

このように日本の自動車産業では、70 年代に CAD 技術の導入が始まった。その後、85 年から 95 年の間には 2 次元 CAD と 3 次元 CAD が共存する時期があり、1995 年以降は画面上でソリッドモデルの構築が可能となる 3 次元 CAD システムの導入が始まった(延岡、1997)。

<表 2> 自動車産業における CAD 技術の発展パターン

	第 1 段階	第 2 段階	第 3 段階
CAD 技術	2D 主体/一部 3D	2D / 3D 混合	3D(ソリッドモデル)
主目的/ 開発プロセス との関係	・製図効率の向上 ・NC での使用	・普及と習熟 ・製図効率とデータ変換効 率のさらなる向上	・開発プロセス革新 ・さらなる CE ・フロント・ローディン グ
期間	1970 - 1985	1985 - 1995	1995 -

* 出所：延岡(1997)『国民経済雑誌』p64 より。

このような日本自動車メーカーの 3 次元 CAD/CAM システムの導入タイミングは、欧米企業と比べると概して遅かった。何故、日本では 3 次元システム化が遅れたのか。その理由は、自動車・家電の大手メーカーが 2 次元を主体とした自社 CAD システムや市販のシステムをカスタマイズしたものを多用してきたことである。2 次元 CAD の不完全な部分を人的能力によってうまく補うことができたので、3 次元 CAD の導入による設計システムの変更

の必要性を強く感じていなかったのである²。また、3次元CADはコンカレント・エンジニアリングの大きな効果をもたらすシステムであるが、日本企業の場合、日常業務の中で対面的コミュニケーションという形でコンカレント・エンジニアリングを実施しており、大きな投資をして3次元CADシステムを導入する必要性を認めなかった。

しかし、これまでのパターン、すなわち、人的なコミュニケーションを早期に、かつ頻繁に行うことだけではコストやリードタイムの削減に限界があった。また、技術革新により3次元CADシステムが比較的簡単に利用できるようになったこともある。CADにより、現物試作なしでも視認性や部品干渉といった問題を確実に確認することができるようになり、さらに形状データの入力後、寸法値を変更して自動的に類似形状を生成する機能(パラメトリック機能)も追加された。こうして、90年代に入り、CADの3次元化が飛躍的に進んだのである。

<表3> 従来2次元CADと3次元デジタルCADの比較

	2次元CAD		3次元デジタルCAD
	足りない機能	問題点	
グラフィック機能	・陰線消去機能が無い ・視認性が不十分	3次元の計画のデータを2次元の3面図に落とし紙面上で検証	・複数の部品、アSEMBリーの同時描画が可能 ・サーフェース、ワイヤデータの同時描画も可能
チームデータの共有化機能	・データファイルの個別化 ・同時アクセスができません	設計担当者間によるデータ1授受を行い、部品間での干渉などを検討	・部品ごとに設計計画段階から図面作成まで3次元データが一元管理 ・常に最終形状が3次元に反映 ・設計途上のデータに対し参考が可能で形状変更時に情報伝達が自動で行われる
2・3次元データの連想性	完成した3次元データをもとに詳細形状を2次元データの作成	2次元の図面上で3次元のデータが反映されないケースがしばしばある	・3次元形状データと図面との連想性が維持され、その整合性が管理できる
CAE/CAMへの活用	・線画であるためダイレクトなデータ活用できず ・製品図との整合性が確実ではない	多くの場合、再入力	・CAEの機能は同じ新3次元ソリッドCADアプリケーション内にありCADユーザが容易に操作可能 ・CAMソフトなど他のソフトへのデータ授受として標準の変換フォーマットのSTEP、IGESに準拠



* 北川明夫・大塚定弘(1998)にもとに筆者作成。

より詳しく見ると、3次元CADは従来のCADと比べ、グラフィック機能、チームでのデータ管理機能、2・3次元データの連動性、CAE/CAMへのデータ活用など、少なくとも4項

² 機械工業振興協会経済研究所(1997)

目で改善されている。

第一に、グラフィックの点では、従来の2次元CADは、3次元の機能を有しているものの、それは線画により、3次元立体の形状を描画させるものであった。しかし、陰線消去機能が無かったので、視認性が不十分であり、したがって、計画図のデータを2次元の3面図に落とし、紙面上で検証する必要があった。3次元CADでは、複数の部品・アセンブリーが画面上で同時に表すのが可能になり、ソリッドデータにより部品間の干渉チェックにおいてより高い視認性を持つようになった。第2に、部品ごとに設計計画段階から図面作成まで3次元データで一元化することにより、開発部門やデザイナー間で正確な情報交換や変更ができるようになった。第3に、3次元形状データと図面との連動性が維持されるため、不要な作業が減少し、整合的な管理ができるようになった。第4に、設計以外の開発作業(評価や工程設計)でCAE(コンピュータ支援エンジニアリング)やCAMへのCADデータの活用ができるようになった。

このように3次元CADシステムのメリットと、従来の開発方法による効率改善の限界によって、3次元CADは自動車企業によって積極的に取り入れられるようになった。後述するが、このような自動車組立産業における傾向は自動車部品産業においても一定のタイムラグを持ってあらわれたのである。

(2) 3次元CADシステムがもたらすインパクト

新たな技術の導入は、製品設計や製造プロセスに影響を与える。また、組織構造、エンジニアのスキルや知識にも変化をもたらし、技術に対するマネジメントの仕方も変える。CADシステムも例外ではない。

CADシステムに関する多くの先行研究は、製品開発プロセスに与える影響³、設計者やエンジニアのスキル・作業組織の変化⁴などを分析してきた。以下では、3CADシステムがもたらすインパクトについて製品開発プロセスと開発組織の側面に分けてみていくことにしよう。

A.製品開発プロセスへのインパクト

3次元CADシステムの導入により、従来の開発プロセスは大きく変わった。自動車メーカーで見ると、従来はデザイナーがスケッチを書き、それを3次的に確認するためにクレイモデル(粘土模型)として立体化し、修正したモデルを3次元測定機で計測することで、デザインデータの3次元化を行っていた。そのため、コンピュータ・データの利用は部分的なものにすぎなかった。

しかし、デジタルデザインでは最初から3次元データを作成するので、すぐにラピッドプロトタイプング(CADと直結した事物形状モデルの速い試作)でモノの試作ができ、その試作品

³ 例えば、竹田(1997)は3D-CADが製品開発プロセスに与えるインパクトは製品全体、全プロセス、製品ファミリー全体、プロトタイプング・サイクルの効率化・高速化、コミュニケーションの媒介、知識資産の明示化・構造化であるとしている。

⁴ Salzman(1989)はCADの導入によって、タスクの変化がおこり、それに従って労働市場での変化に注目している。

を作り直すことでデザインの熟性を早くすることができる。さらに、デザイン段階から開発担当者間でデータの共有できるようになり、モデル製作のコストや時間を削減できるようになる。

このように、3次元システムは製品設計、解析、コミュニケーションのレベルで大きなインパクトを与える(Robertson and Allen, 1993)。まず、製品設計における影響を見てみよう。

製品設計

3次元CADシステムを用いることによって、設計者は設計の早期段階でより多く問題の所在を把握することができる。例えば、部品干渉問題を早い段階で発見し、修正できるようになる。それによって設計品質が改善され、早期に製品品質を安定させることができる(Robertson and Allen, 1993など)。その結果、リードタイムを短縮させることができるようになり(Thomke and Fujimoto, 1999; 藤本, 1998bなど)、新製品をより迅速に市場に投入することが可能になる。

設計品質が早い時期に安定することによって、コンカレント・エンジニアリングが円満にできる条件となる。つまり、3CADシステムの効率的な利用はコンカレントエンジニアリングの迅速で効率的な機能につながる(延岡, 1997)。

一方、デザインプロセスの自動化は既存のデザイナーやエンジニアの熟練を変化させる。熟練設計者が想像してできたものが、デジタル技術によって代替され、システムを動かす能力に左右されるようになる。そして、データを有効に利用することで、あるプロジェクトの設計を生かし、追加設計が簡単な操作によって、低コストや短い時間でできるようになる。さらに、製品の設計の変更がより簡単になる。

しかし、3次元CADの利用と製品デザインのイノベーションとの間には trade-off の関係がある(Salzman, 1989)。例えば、3次元CADが設計・試作・サイクルのアウトプットをモジュール化するため、設計概念を固定化させ、製品の進化を阻害する恐れもある(楠, 1997)。また、Salzman(1989)によると、3次元CADシステムを利用したデザインプロセスの自動化は、バグ、デザインロジックの熟練。知識の要求などの問題があり制約がある。

解析(シミュレーション)

3次元CADに入り、解析あるいはシミュレーション部門の技術は飛躍的に改善された。設計、解析、生産などの機能が別々になっていた2次元CADの段階では、2次元データからシミュレーション用のデータを新たに作成する必要があった。しかし、3次元CADの導入によって、一元化されたデータを用い、多大な工数や時間をかけずに実際のプロトタイプを製造し、あるいは試作抜きで試験できるようになった(延岡, 1997; 北川・大塚, 1998)。

3次元CADの導入によって、試作がより少ないコストで速く行うことができれば、開発モデルの変化が起こりうるかもしれない。例えば、Eisenhardt and Tabrizi(1995)は技術的な安定性の違いによって異なる製品開発モデルが必要とされることを指摘した。すなわち、技術的に比較的安定した製品の場合、開発工程のオーバーラップ化を重視した Compress model が、技術的な不確実性が高い環境ではテスト及びデザインの反復を重視した experiential model が採用されているとしている。また、竹田(1997)は、3次元CADシス

テムの導入や利用によって、製品開発モデルに与える影響の両面性を指摘する。つまり、プロトタイプ・サイクルの効率化・高速化(合理的な事前のプランニング)を強化することによって、プロトタイプ・サイクルの数を減らすことができる。一方、経験的な試行錯誤と部門横断的な連携を強化する方向もあり、この場合プロトタイプサイクルは多頻度化する⁵。

コミュニケーション：タイミングと頻度

コミュニケーションは企業経営における本質的な要素である(Barnard、1938)。特に、唱頭で述べたように、自動車のような製品は、設計から製造までのプロセスが複雑であり、2万点以上の部品で出来上がる製品なので、製品の統合性を実現するため、組立メーカーやサプライヤー間での微調整が要求される(Clark and Fujimoto, 1991)。また、作りやすい製品を設計するためには、製造段階で起こりうる問題を設計段階で発見し、製造に関する情報を設計者に正確に伝達しなければならない。同様に、設計情報を製造段階のエンジニアに伝達しなければならないので、両部門間のコミュニケーションはコンカレントエンジニアリングの重要な要素になる。このような意味で製品開発とはコミュニケーションの集積活動である。

コミュニケーションは設計と生産部門間でのコミュニケーション、組立メーカーとサプライヤー間でのコミュニケーション、サプライヤーにおける設計と製造部門間でのコミュニケーションから成り立ち、この3つのコミュニケーションがリンクされた形で、情報伝達が緊密に行われなければならない。

日本の自動車産業における開発活動はコミュニケーションの濃密さを一つの特徴とする。Dyer(1994)によれば、日本自動車産業は英国企業よりも多くの時間を部品企業との日常的な対面コミュニケーションに割く傾向があるとしている。また、開発段階では部品メーカーの営業員と設計技術者が連携をとりながら、自動車メーカーの設計・購買担当者と頻繁に接触するのが通常のパターンであり、また生産開始後も両企業の生産・開発担当者が頻繁に往来するのが日本のサプライヤー・システムの特徴だということが、実態調査などを通じて明らかになっている。つまり、書類やデータの交換のみならず、対面的なコミュニケーションが重要だと考えられているのである(藤本、1998a)。このような特徴は「製造しやすい設計(Design for Manufacturing)」を通じて、高いパフォーマンスを生み出す要因となった。

しかし、電子メディア、特に3次元CADシステムによる製品開発はコミュニケーションの形態及び手段、質、スピードなどに変化をもたらした。コミュニケーションの手段が単なる対面的なコミュニケーションから、CADによって作成された図面を見ながらのコミュニケーションへと変わる。それによって、エンジニア間或いは部門間でのコミュニケーションの内容や質は、より正確な設計情報に基づいたものとなる。すなわち、CAD画像を通じたコミュニケーションは全体製品とそれを構成する部品間の相互関係、インターフェースなどの情報をエンジニア間でより簡単に、より正確に伝えることが可能になるからである

⁵ このような点で3次元CADの使用がCompression Strategyの操作定義にふくまれているが、3次元CADはExperiential Strategyも促進する可能性をもっている。また、開発段階のオーバーラップやマルチファンクショナル・チーム、サプライヤーの関与も合理的なプランニングを「圧縮」という意味でCompression Strategyに含まれているが、これもExperiential Strategyで採用される可能性があるとしている(竹田、1997)。

(Robertson and Allen, 1993)⁶。また、基本的な設計情報が CAD によって表現されるため、開発作業の一部削減が可能になる。つまり、CAD/CAM データの利用でより正確な情報の移転や共有が可能になり、部分的に伝統的なアプローチに要求されるステップの削除や開発プロセスの圧縮が可能となる(Clark and Wheelwright, 1993)。

しかし、CAD のような電子メディアの利用が活発になっても、データのみに頼ることはなく、むしろ対面的なコミュニケーションが補完的な機能を果たしながら強化される可能性も指摘されている。

B. 開発組織へのインパクト

新たな設計・製造技術による技術の変化は、作業組織に変化を起し、タスクにも変化をもたらす。3 CAD システムの導入も例外ではないだろう。

従来 2 次元 CAD システムをベースとする作業のやり方や組織は、3 次元 CAD の導入により変化する。設計者の経験や知識に依存した形から標準化されたデータによる自動化された設計へと変化する(Salzman, 1989)。言い換えると、既存の経験や知識を電子的な媒体に移しかえ、スキルを客観化させてしまう。マニュアル化された作業によって、高度な知識及びスキルに基づいた熟練者と比べ、相対的に短い時間でエンジニアが図面を描く事をマスターできるようになった。特に、知識の共有化が進み、データの効率的な流用化が可能となる。このような変化は、知識や人的資源におけるマネジメントのポイントの変化を意味する。マネージャは、新たな技術システムを上手に取り扱うような人事の採用や教育プログラム、人事管理体系を導入しなければならない。このような意味で 3 CAD システムは労働節約型の技術だと言える。しかし、それが脱熟練技術だといえるかどうかは、さらに実証的、理論的検討を要するだろう。

・ データ

本研究で扱うデータは、1999 年 3 月に、日本自動車部品工業会に登録されている 1 次自動車部品メーカーに対して行ったアンケート調査⁷に基づく。153 社から回答を得て、これを分析した。部品工業会の業務分類に沿って 7 つの部品カテゴリーに分類するならば、エンジン部品 38 社(24.8%)、伝動・駆動部品 20 社(13.1%)、懸架・制動部品 10 社(6.5%)、車体 45(31.4%)、電装部品 22 社(14.4%)、要素部品 11 社(7.8%)、その他部品 3 社(2.0%)である。納入先別にはトヨタ 36.2%、日産 14.5%、本田 12.5%、マツダと三菱が各 10.5%の順で、国内シェアを概ね反映した分布となっている。

分析で扱う主な変数には、3 次元 CAD、試作、そしてコミュニケーションに関わるものが含まれる。具体的には、製品設計における 3 次元 CAD の利用度、組立メーカーとのオンラ

⁶ CAD を利用したコミュニケーションとエンジニアリング・パフォーマンスと関係を 2 つのガス・タービンエンジン製造企業の 75 名のエンジニアを対象にして実証分析を行った。彼らの分析結果は CAD を利用したコミュニケーションとエンジニアリング・パフォーマンスの間での関係には正の相関関係があるとした。

⁷ アンケート調査は 1999 年 3 月に藤本隆宏、武石章、松尾隆らによって共同研究で行ったものである。詳しいことは藤本隆宏・松尾隆・武石章(1999)を参考すること。

イン率、CAD の互換性であり、設計試作と生産試作の回数の変化、サプライヤーと自動車メーカーとのコミュニケーションの頻度などの変数を取り、5年前に比べてどの方向にどれだけ変化したかを、5ポイント・リカースケールで聞いた。

・自動車部品産業における3次元CADの利用と製品開発

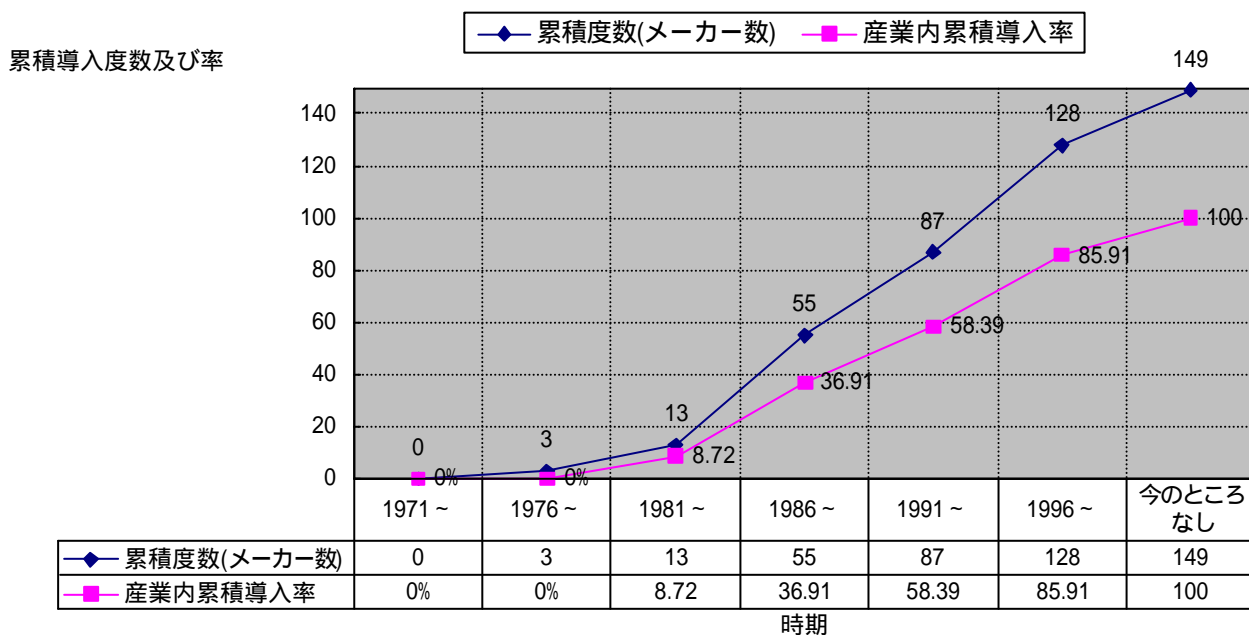
この節では、本研究の分析課題である自動車部品産業における3次元CADシステムの導入時期を調べ、日本自動車産業における3CADの導入経緯の全体像を把握する。また、4-5年前と比べ、自動車部品メーカーの開発活動に3次元CADがどのくらい利用されているか。また、3次元CADが試作レビュー、コミュニケーション、製品開発期間の変化とどのような関係にあるのかを分析する。

(1)自動車部品産業における3次元CADの導入傾向とその利用

まず、3次元CADの自動車部品メーカーへの導入時期と状況とをみてみよう。

自動車部品産業の3CADシステムの導入時期を見ると全体153社の欠損値4つを除き、149社に対する3次元CADの導入状況を表したのが<図1>である。

<図1> 自動車部品産業における3CADの導入状況



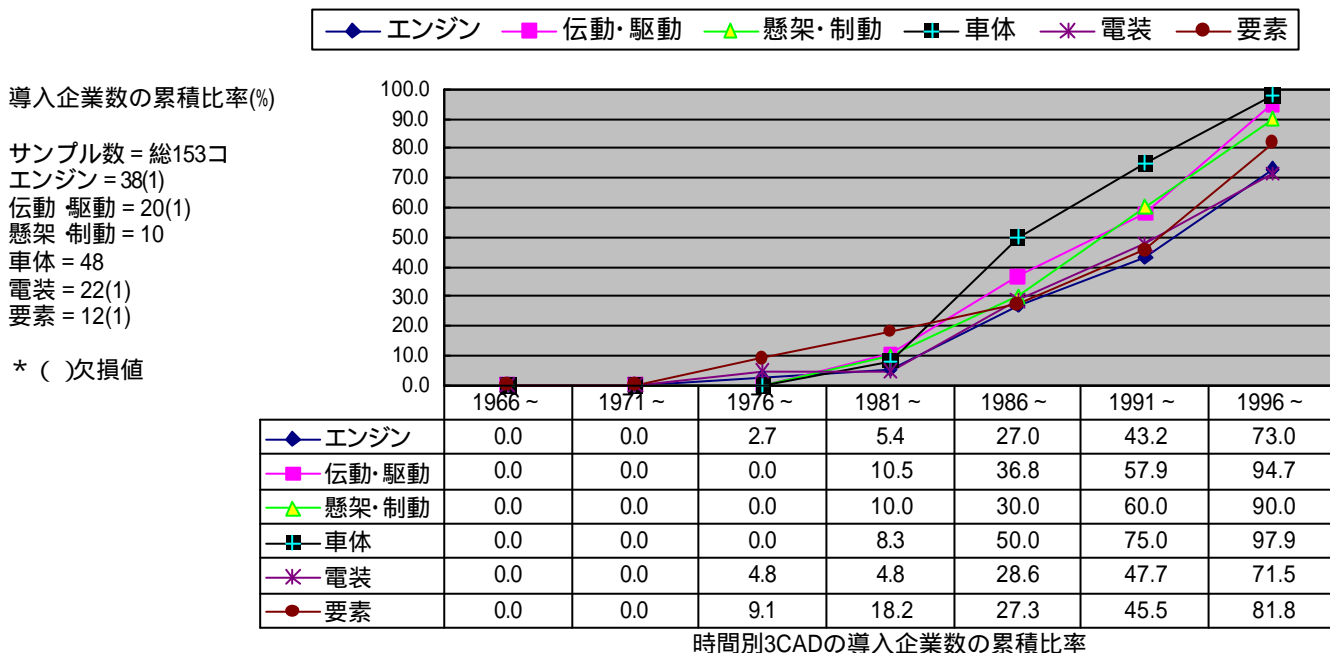
これをみると自動車部品メーカーに3次元CADシステムを導入し始めたのは1980年代前半である。86-90年には55社/149社(36.91%)、91-95年には87社/149社(58.39%)まで増えた。96年以降、さらに41社に導入され、全体153社の内128社(85.91%)が3次元CADシステムを導入していた。そして、調査対象企業の内、21社(14%)には現在も導入されていない状況である。90年代初頃自動車メーカーの3CADの導入が完了されたことと比べると、自動車部品メーカーの導入にはタイムラグがあった。その導入傾向を詳しく見ると80年代後半から急速に増加しているが、データを見る限り、91-95年に約21%、96

年以降約 27.5%に導入され、大部分の自動車部品メーカーに 3CAD が備わったのは 1996 年以降で、最近のことである。

部品をタイプ別に分けてその導入時期を調べてみよう。

部品のタイプごとのサンプル数は同一ではないが、3次元CADシステムの導入を部品ごとにみても、86年から徐々に増えてきたことがわかる。その中で、車体部品や伝動・駆動部品は86-90年に急速に上昇し、調査時点(1999年)では車体部品メーカーが97.9%、伝動・駆動部品メーカーが94.7%と、ほとんどの車体部品メーカーと伝動・駆動部品メーカーが3次元CADシステムを導入している。このような背景には車体レイアウトに大きく関わる部品や部品干渉問題が多い部品などを中心に導入されたものと考えられる。その際、カーメーカーの勧めなどによって導入された。

<図2> 部品のタイプ別3次元CADシステムの導入傾向



導入企業数の累積比率(%)

サンプル数 = 総153コ
 エンジン = 38(1)
 伝動・駆動 = 20(1)
 懸架・制動 = 10
 車体 = 48
 電装 = 22(1)
 要素 = 12(1)

* () 次損値

(2) 3次元CADシステムの製品開発への影響

次に、3次元CADシステムの導入が製品開発にどのようなインパクトを与えているのかをみてみよう。ここでは、開発作業における「3次元CADの使用率(PDCAD)」、「オンライン率(ONCAD)」、「互換性(ICAD)」と「開発における組立メーカーとのコミュニケーション頻度の変化(COMM)」、「設計・量産試作レビュー回数(D-Trial、P-Trial)」、パフォーマンス変数として「開発期間(PD)の変化」程度を用いて分析した。

これに基づき、最近4年間(1995-1999年)自動車部品メーカーで起こった3次元CADシステムに関する変化をみてみよう。「変化した」を1、「変わらず」を3、「逆に変化した」を5として、各変数の平均値をとってみると、3次元CADの開発への利用が2.10、オンライン率の変化が2.35、CADの互換性が2.32で、4年前と比べ、平均すればやや増加してきたことがわかる。開発における設計及び量産試作レビューの回数はあまり変動していない。

カーメーカーとサプライヤー間でのコミュニケーションの回数は 2.32 で以前より頻繁になってきている。また、この間のサプライヤーの開発期間短縮は、10% - 20%であった。

<表 4> 平均値

	PDCAD	ONCAD	ICAD	COMM	D-trial	P-Trial	PD
平均	2.10	2.35	2.37	2.32	2.82	2.76	4.47(10%-20%上)

* 他変数は 5 点尺度(1 に近いと変化が大きい、3 = 変わらず、5=逆に変化したことを示す)。

* PD:8 尺度(1 = 50%以上上昇, 2 = 40%, 3=30%, 4=20%, 5=10%, 6=不変, 7=10%未満減少, 8=10%以上減少)。

次に、自動車部品メーカーの 3 次元 CAD の使用がコミュニケーションと試作、開発期間とどのような関係であるのかを調べるため、相関分析を行った(表 5)。

<表 5> 相関分析 (N=153)

	PDCAD	ONCAD	ICAD	COMM	D-trial	P-trial
PDCAD	1.000					
ONCAD	0.568**	1.000				
ICAD	0.560**	0.682**	1.000			
COMM	0.244**	0.246**	0.180*	1.000		
D-trial	0.152	0.206*	0.217**	0.197*	1.000	
P-trial	0.101	0.297**	0.287**	0.049	0.637**	1.000
PD	0.166*	0.230*	0.187*	0.064	0.180*	0.163*

* $P < 0.01$; ** $P < 0.05$; *

*PDCAD : 開発作業に 3CAD 使用比率 ONCAD : 組立メーカーとのオンライン率 ICAD : 3CAD の互換性

COMM : 組立メーカーとのコミュニケーションの頻度

D-trial : 設計試作レビューの回数

P-trial : 量産試作回数レビュー

PD : 開発期間(詳細設計開始 量産開始)

その結果を見ると、第 1 に、3 次元 CAD の使用率、オンライン率、互換性の程度との間には高い相関である。3 次元 CAD システムの導入の際に自動車部品メーカーは主な取引先(自動車メーカー)とオンライン化、かつシステム間の互換性を持つようにしている。即ち、部品メーカーはオンライン化やシステム間の互換性を高めることによって、ネットワークの外部性を共有する方向へシステムを改善してきたと考えられる。

第 2 に、「開発作業における 3 次元 CAD の使用率」、「オンライン率」、「互換性の増加」は「組立メーカーとのコミュニケーション頻度」の増加と正の相関である。データを見る限り、最近の 3 次元 CAD の開発への利用が必ずしもコミュニケーションの頻度を減らせない、という結果が目立つ。平均からも分かるように、むしろ増えている。

このような結果は「カー・メーカーと部品メーカー間のコミュニケーションの頻度を減らすことに繋がらない」という可能を指摘していた既存研究(竹田 1997,楠 1997)での指摘と整合的である。

第 3 に、3 次元 CAD の開発への利用、オンライン率及び互換性の増加は開発期間の短縮

と「正の相関」であった。CADシステムの利用は、「フロント・ローディング」などを通じて開発リードタイムを短縮させるという多くの先行研究⁸で言われたことと整合的な結果である。自動車部品メーカーにおいても同一な結果が得られたわけである。

第4に、3次元CADの導入そのものよりも、カー・メーカーとのオンライン化によって、或いはCAD互換性を確保することによって、設計レビューや量産レビューの減少が実現する。CADのオンライン化や互換性の確保は他の部品との干渉問題を統合的な形で、企業間で統合的な部品間の干渉問題の前倒し解決(Thomke and Fujimoto, 1999)することができるようになり、レビュー回数の現象につながったものと推定される。

(3) 部品レベルでの3CADの影響の違い：車体部品及び電装部品

自動車を構成する部品は異なる材料・機能・構造特性をもっている。ここでは、典型的に異なる技術の持つ部品である車体部品と電装部品を取り上げ、比べてみる。

95-99年の変化を車体部品と電装部品をとって平均を比較してみると、車体部品の方で利用率、オンライン率、互換性の変化が大きくなってきた。一方、コミュニケーション、試作レビュー回数の変化にはあまり差がない(表6)。

<表6> 車体部品と電装部品の平均

	PDCAD	ONCAD	ICAD	COMM	D-trial	P-Trial
平均	2.10	2.35	2.37	2.32	2.82	2.76
車体(N=48)	1.95	2.19	2.25	2.29	2.77	2.64
電装(N=22)	2.27	2.67	2.60	2.27	2.77	2.77

* 他変数は5点尺度(1に近いと変化が大きい、3=変わらず、5=逆に変化したことを示す)。

* PD: 8 尺度(1=50%以上上昇, 2=40%, 3=30%, 4=20%, 5=10%, 6=不変, 7=10%未満減少, 8=10%以上減少)。

<表7> 相関マトリックス: 車体部品(N=48)

	PDCAD	ONCAD	ICAD	COMM	D-Trial	P-Trial
PDCAD	1.000					
ONCAD	0.581***	1.000				
ICAD	0.492***	0.666***	1.000			
COMM	0.066	-0.024	0.020	1.000		
D-Trial	0.260*	0.272*	0.275*	-0.375**	1.000	
P-Trial	-0.137	0.207	0.343**	-0.261*	0.492***	1.000
PD	0.232	0.142	0.163	-0.004	0.233	0.148

* *** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$ * $p < 0.1$.

次に、車体部品と電装部品におけるコミュニケーション、設計や量産試作、開発期間との

⁸ Robertson and Allen(1992, 1993)、Clark and Wheelwright (1993)、藤本(1997)、Baba and Nobeoka (1998)、青島(1997, 1998)、竹田(1997)など

関係を比べるために、双方の相関マトリックスを比較してみる。

まず、車体部品の場合、CAD に関する変数とコミュニケーションの頻度と間には有意な関係が出なかった。「設計レビュー回数」は「正の相関」で、設計レビューの回数が減った。しかし、「量産レビューの回数の減少」と関係があるのは CAD の互換性が有意な関係を示している。そして、3次元 CAD の利用と開発期間の短縮には相関が見られなかった。

以上の分析結果から推測するならば、メーカーとの関係において車体部品メーカーにおける組立 CAD の利用は図面のやり取りに止まっているケースが多い可能性がある。反面、何らかの問題のために、データの入力などに大きな工数が掛かり、結果として開発期間短縮には繋がっていない可能性がある。

また、車体部品は年々カー・メーカーからの要求機能が高まっており、機能的な調整がより複雑になっている。このため、部品干渉が他部品より相対的に高く、頻繁に設計レビューを行う必要があるようだ⁹。

一方、電装部品の場合は、CAD のオンライン率と互換性の増加によりコミュニケーションと設計・量産試作、開発期間の短縮など、全ての変数の間で正の相関がある。すなわち、最近の変化を見ると、電装部品の場合は、オンライン率の増加、互換性の増加がコミュニケーションの頻度の増加と強い相関関係を持つ。そして、試作及び量産試作レビューの回数の減少とも強い相関を示している。CAD によるカーメーカーとのネットワークを作ることによって、試作レビューがより確実になり、開発期間の短縮につながる、という効果が車体部品の場合よりも顕著だと考えられる。それは車体部品より、相対的に機能的・構造的な調整が容易であるという電装品の製品特性ゆえに、CAD の利用は試作の回数の削減、ひいては開発期間の短縮に繋がっていると考えられる。オンライン化・互換性の増加によってコミュニケーションも増えている。

<表 8> 相関マトリックス: 電装部品(N=22)

	PDCAD	ONCAD	ICAD	COMM	D-Trial	P-Trial
PDCAD	1.000					
ONCAD	0.394*	1.000				
ICAD	0.465**	0.816***	1.000			
COMM	0.045	0.554**	0.594**	1.000		
D-Trial	0.303	0.584**	0.498**	0.272	1.000	
P-Trial	0.234	0.640**	0.408*	0.298	0.912***	1.000
PD	0.314	0.428*	0.502**	0.233	0.518**	0.433**

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.05$ * $p < 0.1$

例えば、パワー・ウィンドウ・スイッチやメーターを生産しているあるサプライヤーの場合、日常的なプロジェクトに関する部品干渉や設計変更などのコミュニケーションはあまり多くない。むしろ、次世代の技術開発に関してカーメーカーと共同で行うことが多い。ゲスト・エンジニアの派遣もそこに集中し、その役割も変わってきているケースが多いようだ。

⁹ シート・メーカーとのインタビューによる。

以上で述べたように、自動車部品メーカーの 3CAD システムの導入は 1990 年代にはいって活発になったことが分かった。その効果は設計及び量産試作レビューの回数の減少をもたらし、開発期間に短縮に影響を与えている。しかし、部品のタイプによって、その効果は異なっている。そして、3次元 CAD の導入によっても、部品メーカーと組立メーカーとの間でのコミュニケーションは減少することなく、むしろ増加していることが分かった。それは部品の干渉チェックが容易になった段階においても、対面コミュニケーションがまだ重要な役割を果たしているということである。また、製品の機能的・構造的な変化や要求機能増加による調整負荷の増加が 3次元 CAD の効果を相殺にしている可能性もある。

・現在の自動車部品メーカーにおける問題点

現在、日本の自動車部品メーカーは 3次元 CAD システムを積極的に導入しているが、どのような問題に直面しているのだろうか。この問題は、概して 3次元 CAD 自体の技術的な問題点と、経営的な問題点とに分けられる。

3次元 CAD ベースの開発には技術的な問題点は、自動車や航空機のような大規模システムでは、ハードウェアや通信回線の負荷が大きすぎることに、ユーザーインターフェースや細かな機能に改善の余地が多くあること、2次元図面に慣れた技術者がソリッドモデラーを扱うには障壁があることなどである。

このような技術的な問題と共に部品メーカーが当面したマネジメントとの問題も少なくない。インタビュー調査を通じて明らかになった問題点は以下の通りである。

第一に、カー・メーカー間で違う CAD システムを採用することによって生じる、システム間の非互換性の問題である。例えば、ホンダ、クライスラー、BMW などはダッソー社の CATIA に、日産やフォード、マツダは SDRC 社の I-DEAS へ統合しつつあるが、全体としては統一化の動きはなかった。このように、カーメーカー間で違うシステムの採用は、サプライヤーにとって投資負担になり、大きな参入障壁になる。つまり、取引先にあわせて全種類のシステムを揃えるのはコスト的に、組織的な管理において大きな負担になる。さらに、ソフトのバージョンがアップすると、アップグレードができないケースもあり、新しい投資が要求される。このような意味で、サプライヤーにとってカー・メーカー別に異なる CAD システムは、取引先の拡大に制限になってきた。特に独立系が多い電装部品メーカーはそれを強く感じている。このような点で、従来の対面的でのクローズドな人的コミュニケーションネットワークから、情報伝達の標準化を織り込んだ新しいデジタル・ネットワーク構築への切換えには、フィードバックのインフラ構築が要求される、という声も高い¹⁰。

第二に、設計者やエンジニアに対する教育の不足が効率的な CAD の利用を妨げている点である。日常業務の忙しさの中で、デザイナーやエンジニアのために 3次元 CAD の利用に関する体系的な教育を行っていないところが多い。そのため、効率的な CAD 利用ができず、断片的な利用にとどまっているケースが多い。部品メーカーにおいて CAD 教育は、大きく 3つのパターンで行われている。それは(1)自社のプログラムやOJTによるもの、(2)CAD 販売メーカーによって実施されているサービス型の教育や委託教育、(3)カー・メーカーで業

¹⁰ 機械工業振興協会経済研究所(1997)

務をしながら、個人レベルで頑張る型、という3つである。インタビューによると、一部であると考えるが、基本的なものについてはOJTで教え、後は実際の仕事をしながら、あるいはカーメーカーのところでゲスト・エンジニアなどの形で派遣されたとき、個人レベルで学習するようになっているケースが多い。即ち、組織的な次元での知識や経験などの管理や社内への拡散ができない場合が多い。これはCADシステムを効率的に利用し、組織的な対応が行っていないことで、技術者のスキル形成に組織的なマネジメントの不在を意味することである¹¹。

第三に、効率的にCADシステムの利用するためには、企業の状況や生産製品の特徴を反映した形で、3次元と2次元の効率的な利用方法の模索が必要である。つまり、Baba and Nobeoka(1998)が指摘したように、従来の図面や2次元CADに基づいた製品開発プロセスから3次元データをベースにする開発プロセスに移行するとき、不連続な変化が起こっている可能性が高いので、製品や関連技術の特徴に応じた適切な処置を要する。インタビューによると、製品によって3次元の形でデータを受け取り、社内では2次元に落とし、再び図面を書くメーカーもあった。このように、サプライヤーにおいてCADの使用や役割がまだ、安定的に行われていないところもあり、工数が逆に増え、開発期間の短縮には繋がらないケースも少なくなかった¹²。

第四に、簡単に設計の変更ができるようになるため、かえって無駄な設計による時間やコストの増加が生じることがある。3次元CADシステムの導入で自動的に設計ができるようになる結果、エンジニアが過度な設計変更やレビューを行い、かえって時間コストの増加、不要な工数の増加などが問題になっていることがあるという。このようなエンジニアの行動に対して、マネージャーによる歯止めが必要とされる。しかし、コントロールしすぎれば、エンジニアのやる気や健全な創造力を壊す恐れもあるので、このバランスを考え、慎重な管理をしなければならない。

．まとめ

以上のように、CAD・CAMなどの電子メディアは、製品開発におけるエンジニアリング・プロセス、コミュニケーションのパターン、開発期間、作業組織、製品イノベーションなどに影響をあたえる。本研究の分析結果では、3次元CADを利用した製品開発は設計試作レビュー及び量産試作レビューの減少をもたらし、そして、開発リードタイムを短縮に影響を与えていることが分かった。

一方、電子メディアを利用した開発は、組織間のコミュニケーションの頻度を必ず減少させるとは限らない。むしろ、日本の開発パターンの特徴である、対面的なコミュニケーションは依然として重要である。今回の調査ではコミュニケーションの頻度に限って分析したが、今後は、コミュニケーションの質や内容、時間、方法などについて、より深く分析する必要

¹¹ このような状況はCADシステムに対する位置付けや役割について、マネージャの認識が「物理的な資産」として価値だけを感じている(Robertson and Allen, 1992)ことにととまっていることであるだろう。

¹² 例えば、排気系の部品であるトルココンバータを生産しているU社は車体の下回りにつけられる製品であり、3次元よりも2次元で設計が済む、といっている。

がある。

また、今回の調査は組織面での分析はあまり触れていないが、CAD/CAMなどの電子メディアを導入し、効率的な開発活動を行うのに必要なのは、技術だけではない。企業が効率的にCADシステムを使うことは容易でない。また、CAD自体の技術的な問題もあるが、組織的にそれに合う仕組みやマネジメントを構築することが必要である。自動車のように製品統合性（プロダクト・インテグレティ）が要求される製品は、設計エンジニアリングと工程エンジニアリングとのコミュニケーションや調整、カー・メーカーとサプライヤー間でのコミュニケーションなどが必要とされる。コンピュータ技術で全てが解決するわけではない。部品の開発リードタイムを短縮するには、部品エンジニアリング・チームの統合、部品エンジニアの業務分担の拡大、部品試作サイクルの短縮など、組織能力の改善が不可欠である。すなわち、実際の問題として、部品と車全体とをマッチさせるという問題を本当に解決するには、製品開発プロセスと技術の統合的な管理が必要なのである(Clark and Fujimoto,1991)。

参考文献

- Adler, Paul S. (1989). "Cad/Cam: Managerial Challenges and Research Issues", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.36, No.3 August, pp.202-210.
- 青島矢一 (1997)「3次元 CAD による製品開発プロセスの革新」一橋大学イノベーションセンター、WP #97 - 01.
- 青島矢一 (1998)「'日本型'製品開発プロセスとコンカレント・エンジニアリング：ボーイング 777 開発プロセスとの比較」『一橋論叢』第 120 巻 第 5 号、pp.111 - 135 .
- Baba, Yasunori and Kentaro Nobeoka (1998). "Towards knowledge-based product development: the 3-D CAD model of knowledge creation", *Research Policy*, Vol.26, pp.643-659.
- Barnard, Chester (1938). *The Functions of the Executives*, Harvard University Press.
- Clark, Kim B. and Steven C. Wheelwright (1993). *Managing New Product and Process Development: Text and Cases*, The Free Press, New York.
- Clark, Kim B. and Takahiro Fujimoto (1991). *Product Development Performance*, Harvard Business School Press, Boston, MA. (田村明比古訳『製品開発力』ダイヤモンド社, 1993)
- Dyer, J.H. (1994). "Dedicated Asserts: Japan's Manufacturing Edge", *Harvard Business Review*, November-December, pp.174-178.
- Eisenhardt, Kathleen M. and Behnam N. Tabrizi (1995)."Accelerating Adaptive Processes: Product Innovation in the Global Computer Industry", *Administrative Science Quarterly*, 40, pp.84-110.
- Forslin, Jan, Britt-Matie Thulestedt, and Sven Adersson (1989). "Computer-Aided Design: A Case of Strategy in Implementing a New Technology", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.36, No.3, August, pp.191-226.
- 藤本隆宏 (1997)『生産システムの進化論』有斐閣。
- 藤本隆宏 (1998a)「サプライヤー・システムの構造・機能・発生」『サプライヤー・システム』有斐閣。
- 藤本隆宏 (1998b)「自動車製品開発の新展開」『ビジネスレビュー』 Vol.46, No.1, pp.22 - 45。
- 藤本隆宏・武石章 (1994)『21世紀自動車産業のシナリオ』生産性本部。
- 藤本隆宏・松尾隆・武石章 (1999)「自動車部品取引パターンの発展と変容：わが国 1 時部品メーカーへのアンケート調査結果を中心に」東京大学ディスカッションペーパー、CIRJE - 17。
- 磯部慎治 (1998)「CAD データ基準による車づくりの実用化」『自動車技術』 Vol.52, No.11, pp.76 - 81 .
- 金丸允昭 (1996)「ボーイング 777 の国際共同研究」『日本機会学会誌』第 99 巻、第 932 号、pp.36 - 39 .
- Kaplinsky, R. (1982). *Computer-Aided Design*, Frances Printer(Publisher) Limited, London.

- 機械工業振興協会経済研究所 (1997) 『3次元・デジタル技術が開発・生産プロセスに与える影響』機械工業経済研究報告書 H-8-4.
- 北川明夫・大塚定弘 (1998) 「三次元 CAD 導入と新 CAD データ管理システムの構築」『自動車技術』Vol.52、No.12, pp.29 - 33 .
- 楠木健 (1997) 「システム文化の組織論」『ビジネスレビュー』Vol.45, No.1, pp.129 - 150 .
- 国領二郎 (1999) 『オープン・アーキテクチャ』ダイヤモンド社。
- Nishiguchi, Toshihiro (1994). *Strategic Industrial Sourcing: The Japanese Advantage*, Oxford University Press.
- 延岡健太郎 (1997) 「新世代 CAD による製品開発の革新」『国民経済雑誌』第 176 巻、第 6 号、pp.63 - 76.
- Robertson, David and Thomas J. Allen (1993). “CAD System Use and Engineering Performance”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.40, No.3, August, pp.274-282.
- Salzam, Harold (1989). “Computer-Aided Design: Limitations in Automating Design and Drafting”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.36, No.4, Nov., pp.252-261.
- Smith, D. (1982). “CAD/CAM Productivity time ratios for various drawing types,” Soc. Manu. Eng., Dearborn, MI, Mar.
- 竹田陽子 (1997) 「3次元デジタル技術が開発プロセスに与えるインパクト」経営情報学会秋季全国研究発表大会。
- Takeishi, Akira (1998). “*Strategic Management of Supplier Involvement in Automobile Product Development.*” Unpublished, Ph.D. Dissertation, MIT.
- Thomke, Stefan and Takahiro Fujimoto (1999). “The effect of ‘Front-Loading’ Problem-Solving on Product Development Performance” *Journal of Product Innovation Management* , Forthcoming.
- Womack, James P., Jones, Daniel T., and Roos, Daniel (1990). *The Machine That Changed the world*. New York: Rawson Associates.