

3次元CADの普及と製品開発プロセスに及ぼす影響

横浜国立大学大学院 環境情報研究院
助教授 竹田 陽子
一橋大学イノベーション研究センター
助教授 青島 矢一
神戸大学経済経営研究所
教授 延岡健太郎

Diffusion of 3-D CAD and its
Impact on Product Development
Processes

Yoko TAKEDA
Associate Professor, Graduate School of
Environment and Information Sciences,
Yokohama National University
Yaichi AOSHIMA
Associate Professor, Research Institute
of Innovation Research, Hitotsubashi
University
Kentaro NOBEOKA
Professor, Research Institute for
Economics and Business
Administration, Kobe University

要旨

新世代の3次元CADとその関連技術は、開発プロセス、開発分業構造、開発者のスキルなどに広範囲に渡って根本的な変化を要請する潜在力を持ち、製品開発マネジメントの新しい方向性を示す中核技術として位置付けられる。本稿では、1998年11～12月と2001年3～4月、2004年3月～4月の3回に渡っておこなった「製品開発におけるCAD利用の現状に関する調査」の結果を記述的に報告し、日本の製造業における3次元CADの普及状況と、3次元情報技術導入の開発プロセスと成果に与える影響を概観する。

Summary

3-D information technologies have large potential to change product development processes, task partitioning and skill of engineers dramatically. This paper illustrates the present status of 3-D CAD diffusion in the Japanese manufacturing industry and impacts of 3-D technologies on product development processes and performance based on quantitative surveys conducted in 1998, 2001 and 2004.

1．本稿の目的

情報技術の急速な進展は、製造業における新製品開発プロセスに対して極めて大きな影響をもたらしつつある。様々な情報技術の中で、本稿が注目するのはソリッドモデラーと呼ばれる新世代の3次元CAD（Computer Aided Design: コンピュータ支援設計）を中心とした3次元情報技術群である。新世代の3次元CADは立体の内部構造までも含めた製品情報全体をデジタル情報として定義することができ、CAE（Computer Aided Engineering: 解析）やCAM（Computer Aided Manufacturing: 工作機械へのNCデータ出力）、ラピッド・プロトタイピング（高速試作製作技術）などの関連技術と組み合わせることによって、製品開発のプロセス全体を強力に支援する。2次元を中心とした旧来のCAD技術が既存の開発プロセスや開発組織を前提として各開発作業の効率化を目的としていたのに対して、新世代の3次元情報技術は、開発プロセス、開発分業構造、開発者のスキルなどに広範囲に渡って根本的な変化を要請する潜在力を持ち、製品開発マネジメントの新しい方向性を示す中核技術として位置付けられる。

本稿の目的は、1998年11～12月、2001年3～4月、2004年3～4月の3回にわたっておこなった「製品開

発におけるCAD利用の現状に関する調査」（注1）の結果を記述的に報告し、日本の製造企業における3次元CADの利用実態と、3次元情報技術導入の開発プロセスと成果に与える影響を概観することにある。

2．調査方法

1998年11～12月、2001年3～4月、2004年3～4月の3回にわたって、日本企業における3次元CADの普及状況、3次元CAD導入に影響を与える要因、3次元CADの開発成果への影響を把握するために質問紙郵送調査をおこなった。サンプルは、上場機械系企業全社および店頭公開企業・未上場企業から無作為抽出した。事業部制を採用している企業に関しては事業部、特に売上高が1兆円を超える上場企業については複数の主要事業部門を抽出した。質問票は、製品開発関連部署の責任者宛に各調査700票が発送され、1998年調査では169社・部門（回収率24.1%）、2001年調査では200社・部門（回収率28.6%）、2004年調査では153社・部門（回収率21.9%）から回答があった。産業分野別の回答数と構成比は、表1の通りである。1998年調査では一般電気の構成比が高く、輸送機械の構成比がやや低い傾向がある。自動車を始めとする輸送機械分野はCADの活用が進む傾向があるので、1998

表 1 産業分野別の回答数

	1998 年調査		2001 年調査		2004 年調査	
	回答数	構成比	回答数	構成比	回答数	構成比
一般電気	74	44%	55	28%	46	30%
電気機械	51	30	50	25	41	27
輸送機械	25	15	44	22	30	20
精密機械	11	7	13	7	8	5
その他/不明	8	5	38	19	28	18
合 計	169		200		153	

年のCADの普及率が他の年度に比べてやや低めに見積もられている可能性はあるが、その影響は全体の傾向を左右する規模ではないと考えられる。

3. 3次元CADの利用の現状

CADの普及状況

最初に、CADの導入状況を把握するために、普及率の時系列変化を示す。図1は2次元CADと3次元CADをそれぞれ何年に導入したかという質問の回答から作成した普及曲線である（3回の調査の結果を合算している）。この数値は、特定のプロジェクトのみに導入した場合や、工程のごく一部に導入した場合も含まれることに注意を要する。

2次元CADの普及率は、80年代初頭にはまだ数%であったが1990年には70%、1992年には80%まで上昇し、90年代中頃までに急速な普及段階が終わり、以降は90数%で飽和状態になっている。残りの10%弱の中には、2次元CADを導入することなく、3次元CADのみを導入したと回答した企業も含まれているため、ほとんどすべてのサンプル企業で何らかのCADが導入されて

いると言える。

3次元CADは2004年現在76%の企業に導入されている。92年までは普及はなだらかで、80年代初盤から10年以上をかけて普及率は20%にしか上昇していなかった。その後、93年以降98年にかけて急速に普及速度が加速された。99年以降は、普及の加速度は鈍り、現在はほぼ安定期に入りつつあることが読み取れる。

3次元CADの普及曲線は、2次元CADの普及曲線に比べて傾きが緩い。普及率10%に達した両者の時間差は5年であったが、普及率70%では9年に差が開いている。また、2次元CADの普及率の成長が70%台になるまで鈍化しなかったのに対し、3次元CADでは普及率60%を超えたところで鈍化している。このことから、2次元CADの普及率は90%強で飽和しているが、3次元CADの普及率は2次元CADよりも低い80%程度水準で飽和すると予測できる。残り約20%の企業は、2次元の図面で十分な業界であると考えられる。

CADの利用実態

図1では既に76%の企業が3次元CADを導入しているが、実際の製品開発や設計業務にどの程度使用さ

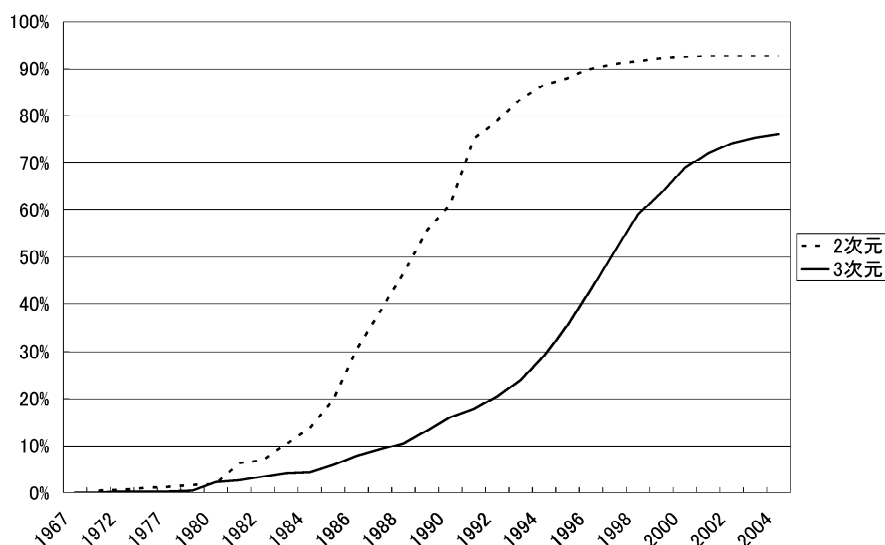


図1 CADの普及曲線 (N=522)

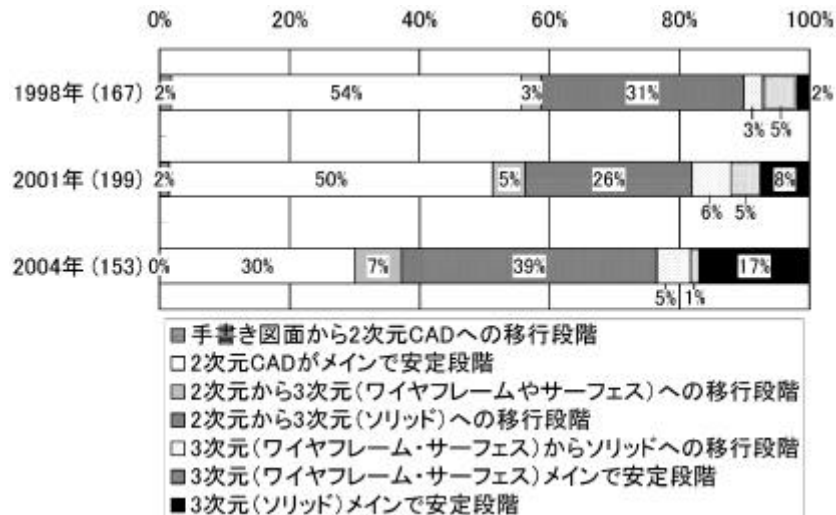


図2 CADの利用段階

れているのかは別の問題である。図2は、CADの現在の使用段階に関する質問への回答である。(重複回答はない。)

2004年調査では、2次元CADがメインで安定している企業が3年前の50%から30%にまで減り、2次元CADから3次元ソリッドへの移行段階にある企業が39%、3次元ソリッドがメインで安定状態にある企業(17%)の数が顕著に増加した。

CADを使用する設計者

設計工程にCADが導入されても、すべての設計者がCADを使っているとは限らない。図3は、各企業の設計者の中でCADを使用する設計者の割合を示している。3次元CADを使用する設計者の割合は、1998年の調査では平均20%であったが、2001年には27%、2004年には40%と着実に増加している。現在3次元CADを

開発に利用している企業だけをベースにして平均をとった場合でも、3次元CADを使用する設計者の割合は1998年34%、2001年44%、2004年48%と増加している。

図4は、CADターミナル一台あたりの設計者数(未使用企業を除く平均値)の現状と3年後の予測をプロットしたものである。2次元CADについては、1998年調査の時点で普及が十分に終わった段階であり、その後もターミナルあたりの設計者数はあまり減少していない。一方、3次元CADについては、1998年から現在に急速に増加していることが読み取れる。2004年現在は3次元CAD一台あたり5.2人で、2007年の予測は3.3人まで普及し、2次元CADの水準に近づきつつある。

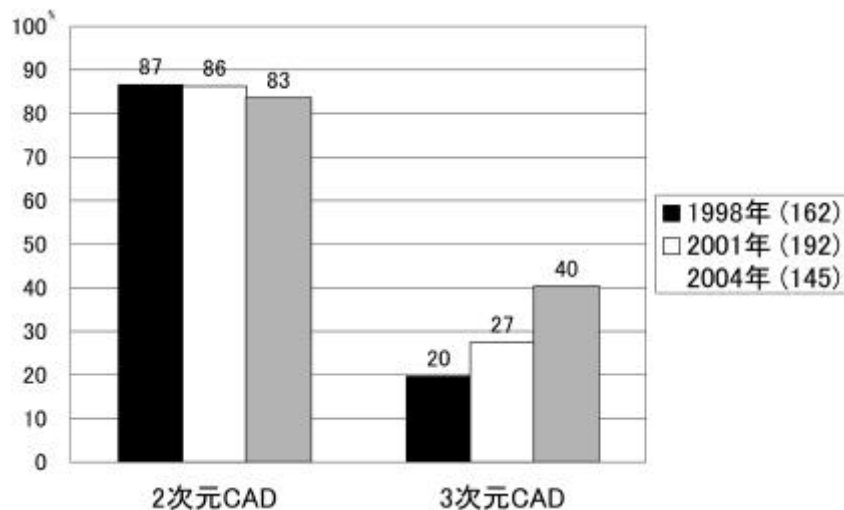


図3 CADを使用する設計者の割合

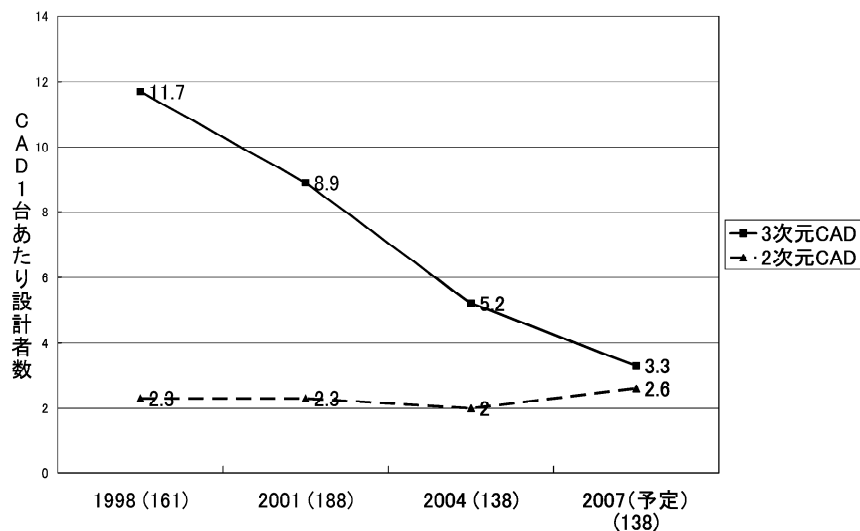


図4 CADターミナル一台あたりの設計者数

4. 製品開発プロジェクトにおける 3次元情報技術のインパクト

質問紙調査の後半では、回答者が所属する事業部（あるいは全社）の中でCADの利用という点で最も進んだ開発プロジェクトを特定し（以下、調査対象プロジェクトと呼ぶ）、同種製品の過去のプロジェクト（以下、比較プロジェクト）と比較しながら質問した。

調査対象プロジェクトの量産開始時期は、いずれの年度の調査においても、調査年とその前年に量産開始したプロジェクトが84%～90%を占めており、ほぼ調査時点における最新プロジェクトについて答えていると見ることができる。この傾向は、3次元CADの利用の程度によって差は見られなかった。

4.1 調査対象プロジェクトにおける3次元CADの利用

前章で見たとおり、3次元CADの一通りの普及の伸びは2000年頃には鈍化した。使用技術やデータの量、利用法の多様性では、むしろ2000年代の方が大きな変化がみられる。

データ比率

調査対象プロジェクトの設計工程における各種データの比率（回答者が構成比で回答したものを平均したもの）を図5に示す。1998年には76%あった2次元CADデータが今回の調査では53%までに減り、3次元データの割合は1998年の19%から2001年31%、2004年45%と有意に増加している。特に、2004年度調査では、最新世代の技術である3次元ソリッドデータの割合が39%と大きく伸び、3次元データ全体の9割弱に達し、旧世代技術の3次元データは少数になりつつある。

なお、質問紙では設計工程だけでなく、製造部門に渡すデータと外部企業（サプライヤー・加工業者など）

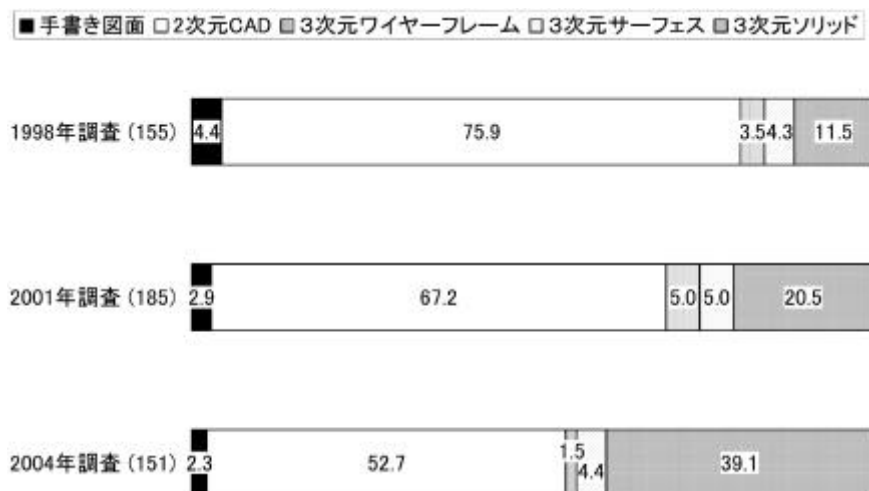


図5 調査対象プロジェクトの設計工程におけるデータ比率（N=155：185：151）

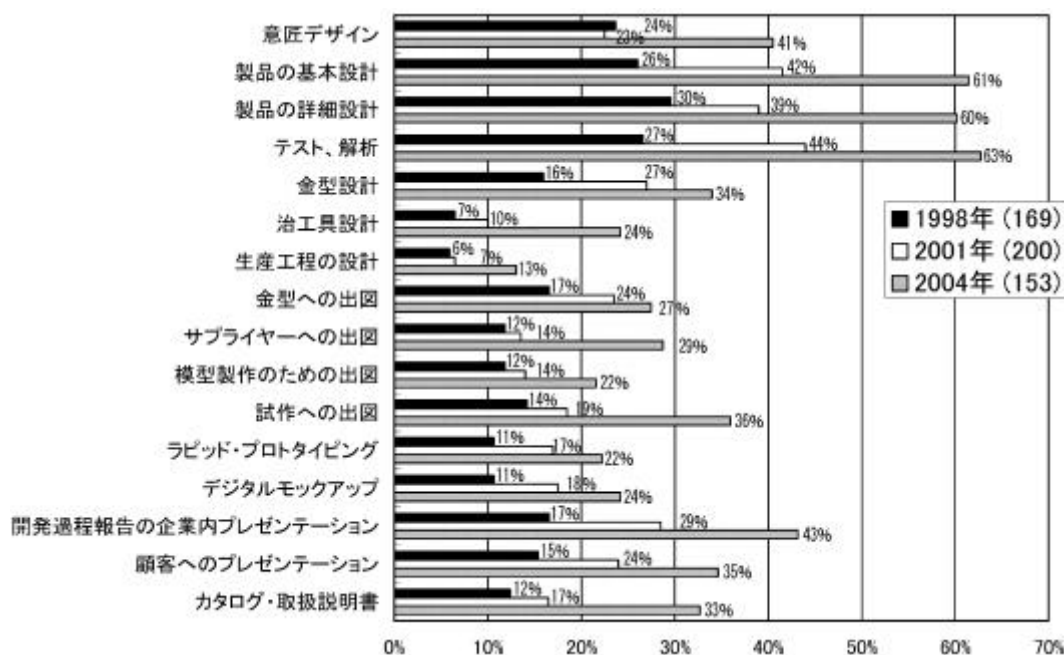


図6 3次元情報技術利用工程

に渡すデータの比率についても同様に尋ねている。製造部門に渡すデータの3次元比率は、2004年度調査では20%で、設計工程より低いレベルにあるものの3年前の調査の14%に比べ確実に増加している。また、3次元データの中でのソリッドデータのシェアも、3年前の7割弱から2004年度調査では8割強と増加している。

外部企業に渡すデータも3次元比率（28%）と3次元データ全体におけるソリッドのシェア（約7割）が共に増加している。外部企業に渡すデータの3次元比率が自社の製造部門に渡すデータより高いレベルにあるのは、金属加工、金型等の3次元形状データが重要になる工程を外部の専門業者に委託する企業が多いためであると考えられる。しかし、専門業者は企業規模が小さい場合が少ないため、ソリッドデータをそのまま受けられる比率は内部の製造部門よりもやや低くなる。

3次元情報技術利用工程

3次元CADを始めとする3次元情報技術は、意匠デザインから設計、試作、解析、生産技術、営業のサポートまで、多様な利用方法がある。今回調査では、データ量だけでなく、利用方法の多様性が進んでいることが裏付けられた。

図6は、各工程における3次元情報技術の利用率である。（構成比のベースの企業数には、3次元未導入プロジェクトを含んでいる。）2004年度調査では、設計への利用率は、基本設計61%、詳細設計60%である。テスト・解析はこれをより多く63%、次いで企業内プレ

ゼンテーション43%、意匠デザイン41%、試作への出図36%、顧客へのプレゼンテーション35%、金型設計34%、カタログ・取り扱い説明書33%、サプライヤーへの出図29%、金型への出図27%、デジタル・モックアップ24%、治工具設計24%、ラピッド・プロトタイピング22%、模型用出図22%と続く。すべての工程で大幅に利用率が増加しており、平均利用工程数も、1998年の2.5から、2001年3.6、2004年が5.7（未導入プロジェクトも含んだ平均）と伸びている。3次元CADと関連技術をより高度に連携した利用が進んでいることがわかる。

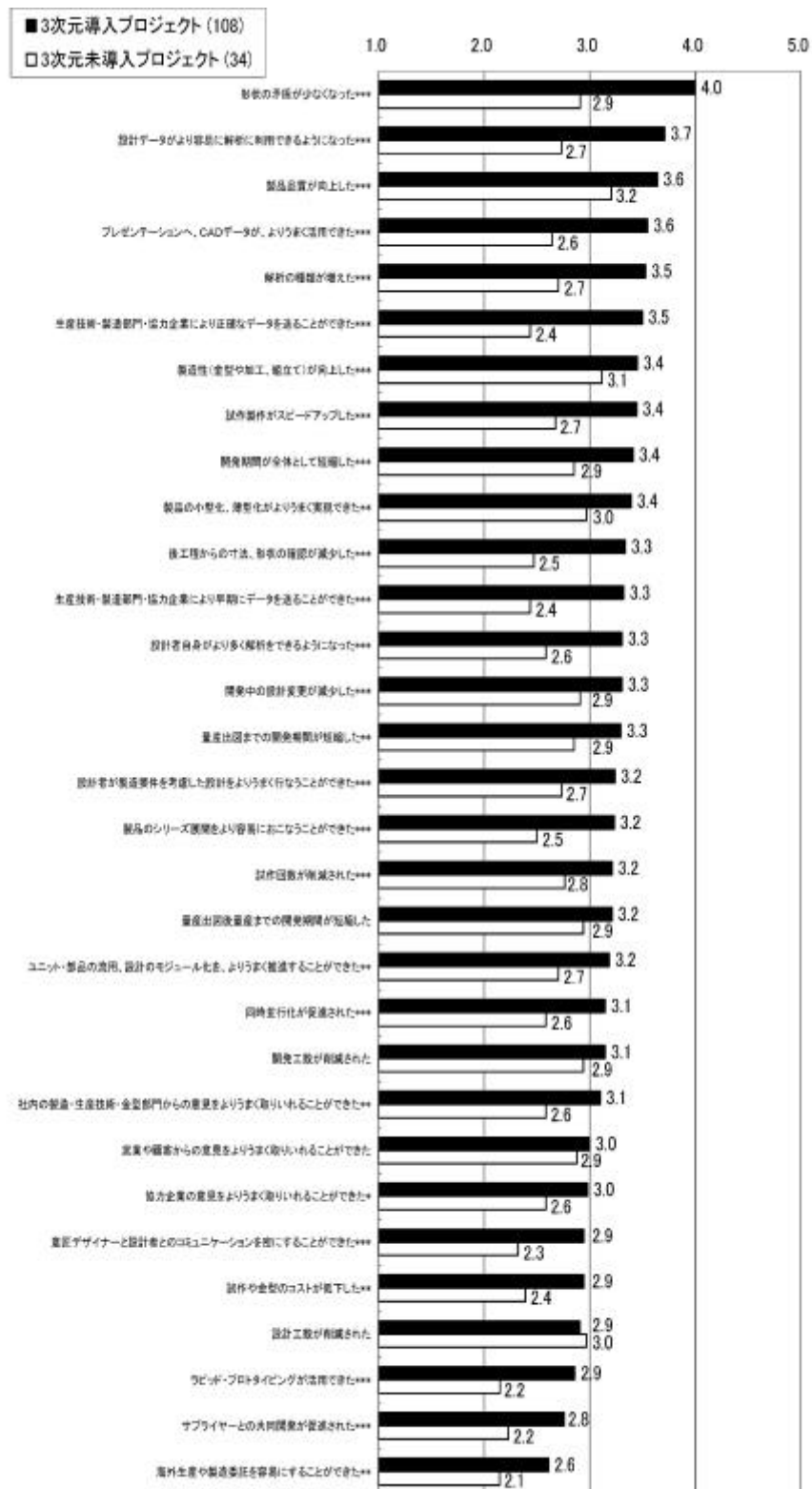
4.2 3次元情報技術導入の効果

この節では、3次元情報技術導入の効果を見るために、調査対象プロジェクトにおいて設計工程で3次元CADを少しでも（1%以上）使用しているプロジェクト（以下、3次元導入プロジェクト）と3次元CADを設計工程で利用していないプロジェクト（以下、3次元未導入プロジェクト）の比較をおこなう。

図7は、2004年度調査について、調査対象プロジェクトの成果を、以前の同種のプロジェクトと比較して、『全くあてはまらない』から『非常に当てはまる』まで5ポイントのリカート・スケールで評価したものである。（注2）

3次元CAD導入プロジェクトは、すべての項目で未導入プロジェクトに比べて高い点数をつけており、31項目中27項目で90%以上の信頼性で有意差があった。

別の質問で、同じ項目を3次元CAD導入の目的とし



*印は、3次元ユーザーとノンユーザーの平均差のt値の有意水準。*P<0.1, **P<0.05, ***P<0.01

図7 3次元CAD導入の効果：2004年調査 3次元導入対未導入プロジェクト

て「まったく重要でない」から「極めて重要な目的」の5ポイントのリカート・スケールで評価しているが、平均4ポイント「重要な目的」以上をつけたのは、最

も重要視されている開発期間短縮から、製品品質の向上、形状の矛盾の減少、試作回数の削減、開発工数の削減、試作製作のスピードアップ、設計データの解析

への利用までの7項目である。これらのうち、試作回数の削減と開発工数の削減を除く5項目はプロジェクト成果として上位に評価されており、一定の成果が上がっていると考えられる。試作回数の削減については、効果としては比較的下位にあるが今回初めて3次元CAD導入プロジェクトと未導入プロジェクトの間に有意差がついた。

開発工数の削減は、1998年調査では未導入プロジェクトの方がむしろ評点が高く、2001年、2004年調査では導入プロジェクトの方が高い数値ではあるものの有意差がなく、一番大きな課題となっている。しかし、今回調査で初めて、設計において3次元データを50%以上使っているプロジェクトは50%未満のプロジェクトに比べて有意に開発工数を削減している。(詳細は5章表4参照。)開発工数削減の効果は、規模の大きい導入プロジェクトで現れ始めていると考えられる。

時系列の変化をみると、2004年度調査では、前回調査に比べて大きく評点を上げたのは、

設計者自身がより多く解析をできるようになった***
生産技術・製造部門・協力企業により正確なデータを送ることができた***
プレゼンテーションへ、CADデータが、よりうまく活用できた***
製品のシリーズ展開をより容易におこなうことができた***
設計データがより容易に解析に利用できるようになった*
ユニット・部品の流用、設計のモジュール化をより上手く推進することができた*

であった(t値 *P<. 1、**P<. 05、***P<. 01)。今回、設計や解析への利用が大きく増加した(図6)ことが

反映していると考えられる。反対に、

サプライヤーとの共同開発が促進された***
海外生産や製造委託を容易にすることができた***
ラピッド・プロトタイピングが活用できた***
意匠デザイナーと設計者のとのコミュニケーションを密にすることができた。**
協力企業の意見をよりうまく取りいれることができた*

といった前回ポイントを上げた項目が元の低い水準に戻っている。図6に示したようにサプライヤーへの出荷や意匠デザインにおける3次元情報技術利用率は前回調査より増加しているが、プロジェクト成果への反映には課題が残っている。

5. 3次元情報技術導入の製品開発プロセスへの影響

この章では、3次元情報技術導入の製品開発プロセスへの影響を、タスクと部門間・企業間コミュニケーションの変化に注目して分析する。2004年度の調査データについて、3次元設計率の高低によって3つのグループに分けて比較をおこなった。(注3)ここでは、調査対象製品プロジェクトで設計工数に3次元CAD(ワイヤフレーム、サーフェス、ソリッドの合計)を利用する率が50%以上であったグループをヘビー・ユーザー(N=72)、1~49%であったグループをライト・ユーザー(同N=38)、利用していないグループをノンユーザー(同N=36)と呼ぶ。

5.1 3次元情報技術導入に伴う開発工数の変化

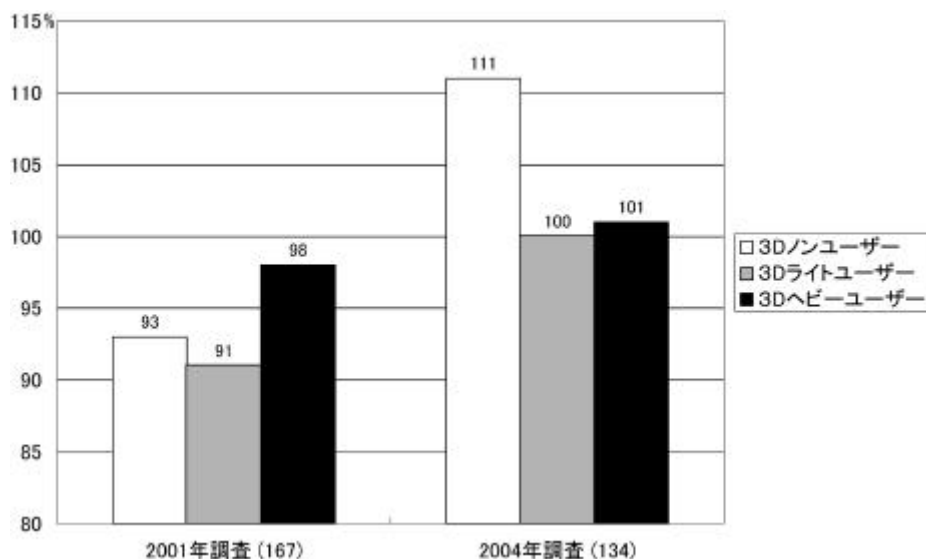


図8 総工数の変化(比較プロジェクトを100とした時)

表4 3次元使用量による開発工数の削減の程度

(「開発工数が削減された」について『全くあてはまらない』1点～『非常に当てはまる』5点で評価した値の平均値)

	3D ヘビー・ユーザー	3D ライト・ユーザー	3D ノンユーザー
回答数	(28)	(31)	(79)
1998年調査	3.1	3.0	3.0
回答数	(50)	(55)	(71)
2001年調査	3.1	3.3	3.0
回答数	(72)	(38)	(34)
2004年調査***	3.4	2.8	2.9

*印は、3次元利用水準の分散分析のF値有意水準。*P<0.1, **P<0.05, ***P<0.01

図8は、3次元CAD導入の最も大きい課題である総工数削減について、調査対象プロジェクトの総工数が比較プロジェクトを100としたときどのように変化したかを尋ねた結果である。2004年度は、全体の平均値では、2001年度調査に比べて最新のプロジェクトの工数が増加する傾向にあるが、3次元ユーザーの方がノンユーザーに比べて有意差はないものの工数増加が抑えられている。これに対し、2001年度では、ヘビー・ユーザーがノンユーザーやライト・ユーザーに比べて有意差はないもののむしろ工数が増加している。

また、表4は、図7で示した調査対象プロジェクトの各種の成果のうち、「開発工数が削減した」という項目を3次元使用量別に見たものである。(図8は値が小さいほど工数が削減されているのに対し、表4では、値が大きいほど工数が削減されていることに注意。)これらの設問でも、2001年度においては有意差が見られ

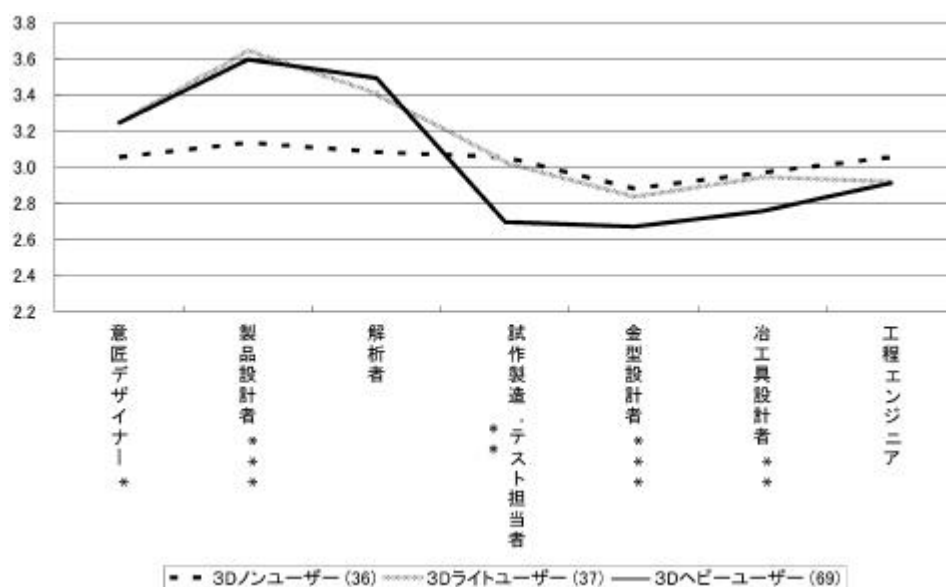
なかったのに対し、2004年度では3次元ヘビー・ユーザーは有意に開発工数が削減されている。

ヘビー・ユーザーにおいて、3年前に比べて3次元CADの工数削減効果が出始めていることが伺える。

5.2 作業負荷のフロント・ローディング

図8で見た通り、3次元導入プロジェクトでは若干工数増加が抑えられていたが、この工数増減の効果を部門別に見たものが図9で、各部門の仕事量の増減(『大幅に減少』から『大幅に増加』まで5ポイントのリカート・スケール)の平均で示したものである。

製品開発現場では、フロント・ローディングと呼ばれる「(設計上の)諸問題を製品開発のより早い時期に認識し解決することによって、開発成果を向上させようとする戦略(Thomke and Fujimoto 2000)」が1990年



*印は、3次元利用水準の分散分析のF値有意水準。*P<0.1, **P<0.05, ***P<0.01

図9 作業負荷のフロント・ローディング(2004年度調査)

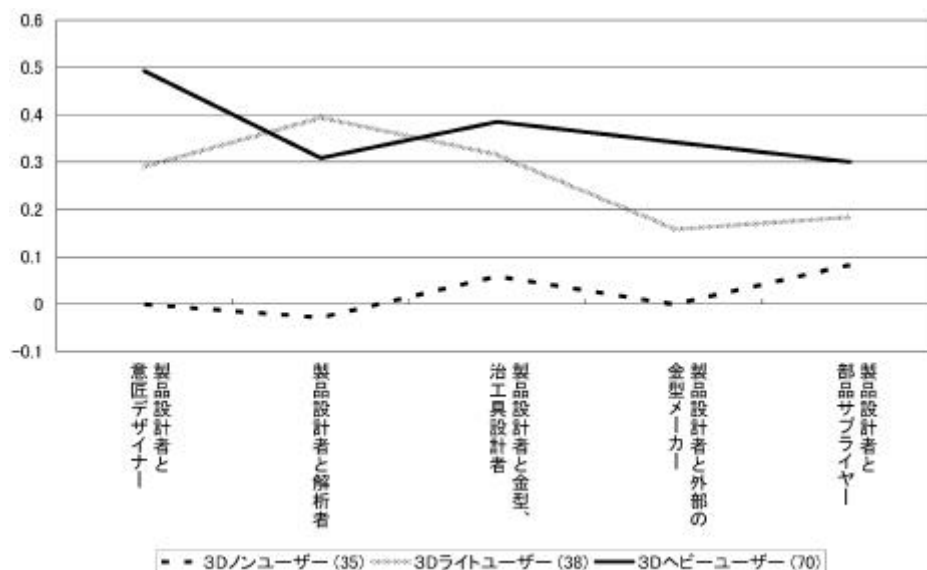


図10 部門間・企業間コミュニケーションのフロント・ローディング（2004年度調査）

代以降広まりつつあり、3次元CAD導入がフロント・ローディングの試みと深く関わっていることが指摘されている（竹田2000）が、図9はそれを裏付けている。3次元CADユーザーでは、上流にある製品設計者、解析者、意匠デザイナーの3部門が仕事を増加させ、下流の4部門（試作・テスト、治工具、金型、工程）が減少するというフロント・ローディングがおこっている一方、ノンユーザーではフロント・ローディングの傾向はほとんど見られない。

また、ヘビー・ユーザーとライト・ユーザーでは、上流工程での仕事量増加のレベルは変わらないのに対し、後工程の仕事量減少はヘビー・ユーザーで顕著である。CADを高度に利用している企業ほど、後工程の工数削減につながっていることが伺える。

5.3 コミュニケーションのフロント・ローディング

フロント・ローディングには、実作業のフロント・ローディングと部門間や企業間の打ち合わせや、議論、問い合わせなどをできるだけ早期におこない、問題解決のタイミングを早めるコミュニケーションのフロント・ローディングに分けることができる（竹田2000）。図10は、製品設計者和其他の各部門・協力企業において、量産出図前のコミュニケーションの増減値『大幅に減少』から『大幅に増加』まで5ポイントのリカート・スケール）から量算出図後のコミュニケーションの増減値（同じく5ポイント・スケール）を減じた部門間コミュニケーションのフロント・ローディングの程度を表したものである。

3次元CADのノンユーザーは、コミュニケーション

にフロント・ローディングの傾向が見られない一方で、3次元CADユーザーは量算出図前後のコミュニケーション量に差が見られる。また、3次元ユーザーでは、設計・解析間を除き、ヘビー・ユーザーがライト・ユーザーに比べてフロント・ローディングの程度が大きい傾向が見られる。

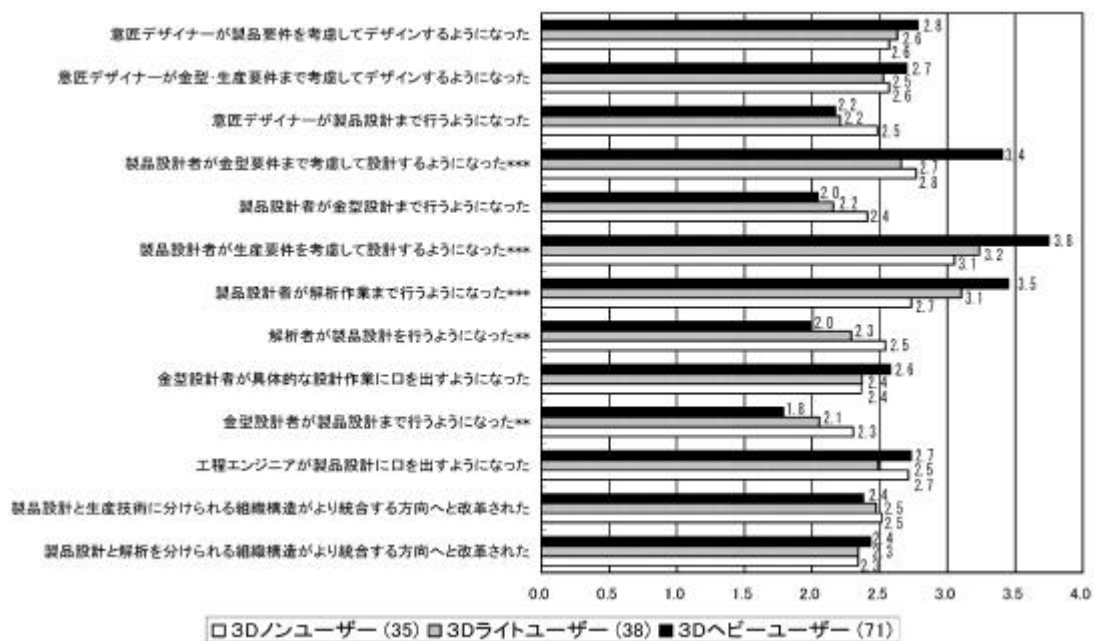
3次元CADの導入によって、単なる作業量の工程前倒しだけでなく、部門間・企業間のコミュニケーションの前倒しが起こっていること、また、工程によって若干異なるが、大規模な導入であるほどその傾向が強まることが示唆されている。

5.4 各部門のタスクの質的变化

各部門のタスクは質的に変わったどうかについても、『全くあてはまらない』から『全くあてはまる』までの5ポイントのリカート・スケールで尋ねた（図11）。『製品設計者が生産要件を考慮して設計するようになった』『製品設計者が金型要件を考慮して設計するようになった』『製品設計者が解析作業まで行うようになった』の3つの項目は、3次元ユーザー、特にヘビー・ユーザーがノンユーザーより有意に高い評点をつけている。反対に、『解析者が製品設計を行うようになった』と『金型設計者が製品設計まで行うようになった』は、ノンユーザーが3次元ユーザー、特にヘビー・ユーザーより有意に評点が高く、3次元CADを利用するほど設計者にタスクの集中する傾向がここでも伺える。

設計者による解析

3次元CAD導入によって広く見られる現象として、



*印は、3次元利用水準の分散分析のF値有意水準。*P<0.1, **P<0.05, ***P<0.01

図11 タスクの変化（2004年度調査）

従来専門の担当者や部署が行っていた解析を設計者自身が行うようになるという現象をもう少し詳しく見てみよう。設計業務（設計＋解析）に占める解析の割合と設計者自身がおこなう解析業務の割合を質問した。有効回答のうち、3次元CADを開発に使用中の企業と本格的には使用していない企業の平均値を表2に示す。3次元CADを開発に使用している企業は、設計業務に占める解析の割合はほとんど変わらないが、解析業務を設計者自身がおこなうケースは確実に増加してい

る。また、3次元CADを開発に使用していない企業では、解析業務そのものも、設計者が解析をおこなう割合も減少傾向にある。設計者による解析が必要とされる企業では、すでに3次元CADに転換済みの企業が増えていると考えられる。

CADオペレータ

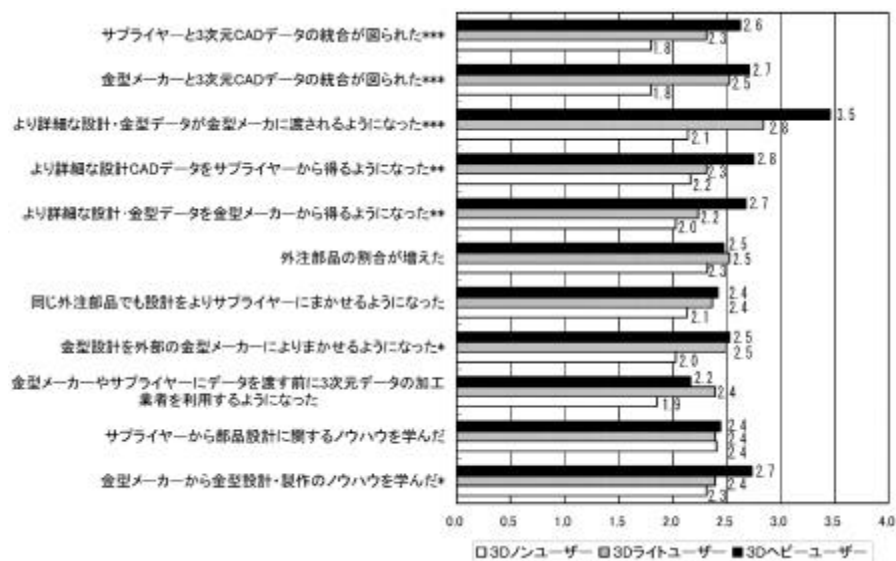
3次元CAD導入によって設計者の負荷が高まるという問題に対し、3次元CADの操作を専門のオペレー

表2 設計業務に占める解析の割合、解析業務における設計者自身がおこなう解析の割合

	3次元を開発に使用		導入中・未使用	
	2011年度	2004年度	2011年度	2004年度
回答者数	(86)	(93)	(77)	(34)
設計業務に占める解析の割合	11.8%	12.9%	15.5%	12.0%
解析業務における設計者自身がおこなう解析の割合	29.9%	38.1%	37.9%	28.4%

表3 設計者一人当たりの3次元CADオペレータ数、CAEモデリング専従者

		3次元を開発に利用		
		1998年	2001年	2004年
設計者1人あたりの設計3次元CADオペレータ数(人)	回答者数	17	87	95
	平均値	0.22	0.54	1.43
設計者1人あたりのCAEモデリング専従者の数(人)	回答者数	—	87	96
	平均値	—	0.21	0.61



*印は、3次元利用水準の分散分析のF値有意水準。*P<0.1, **P<0.05, ***P<0.01

図12 サプライヤーとの関係の変化（2004年度調査 N=35：38：72）

タがおこなう企業も少なくない。そこで、設計者一人あたりの3次元CADオペレータとCAE用のモデリング専従者の数について尋ねた。設計者一人あたりのCADオペレータの数は2001年の0.54から2004年の1.43、CAEモデリング専従者数は0.21から0.61と増加しており、全体としては、オペレータやモデリングの専従者を増やす傾向にあることがわかる。

5.5 サプライヤーとの関係の変化

本調査では、外部の部品メーカーや金型メーカーなどのサプライヤーとの関係の変化についても尋ねている（図12）。「より詳細な設計・金型データが金型メーカーに渡されるようになった」、「より詳細な設計CADデータをサプライヤーから得るようになった」、「より詳細な設計・金型データを金型メーカーから得るようになった」、「サプライヤーと3次元CADデータの統合が図られた」、「金型メーカーと3次元CADデータの統合が図られた」について3次元ユーザー、特にヘビー・ユーザーが有意に高い評点をつけており、サプライヤーや金型業者との3次元データの交換が進展していることが伺える。

また単に協力企業と3次元データをやりとりするだけでなく、企業間におけるタスクやノウハウの移動も見られる。今回調査で有意差がついたのは、「金型設計を外部の金型メーカーに任せるようになった」、「金型メーカーから金型設計・製作のノウハウを学んだ」の2項目である。3次元導入に伴ってアッセンブリー・メーカーなどの金型業者の顧客企業が金型について外

部企業に一括して任せる場合がある一方で、反対に外部企業からノウハウを得て金型に関する知識を内部に蓄積するという方向性も存在しており、3次元導入と企業間のタスクの分配は一樣ではないことを示している。これらは、3次元CAD導入に伴う組織改革や企業間関係の再構築には多様性が見られるという観察（竹田2000）を支持している。

6. まとめ

2000年代に入り、3次元CADの一通りの普及はほぼ安定期にあるが、実際のプロジェクトへの活用割合、3次元データの比率、利用法の多様性では大きな伸びが見られる。導入の効果についても、開発期間短縮、製品品質の向上といった従来から効果の見られる項目に加えて、試作回数の削減や開発工数の削減といった期待が高いのに関わらず成果の現れにくかった項目についても、プラスの効果が出始めている。開発工数の削減効果が現れにくい原因は、主に設計者の負荷増大にある。設計者の負担を少しでも軽減し、上流であらかじめ問題が解決されることによって上流の工数増加を上回る下流工程の工数削減を実現できる企業が高いパフォーマンスを達成していると見られる。

また、サプライヤーや加工業者などの外部企業との3次元データ交換も進展している。3次元導入に伴って、外部企業に業務を一括して任せるケースが増えた一方で、反対に外部企業からノウハウや知識を得ようとする流れも見られ、3次元導入と企業間分業の関係には多様性が存在する。

注釈

- 1) 1998年の調査は、機械振興協会経済研究所の「製品開発における3次元CAD利用の現状に関する調査」としておこなわれた。1998年調査の詳細は、同調査の報告書（機械振興協会経済研究所1999）と青島・延岡・竹田（2000）を参照のこと。2001年の調査は、未来開拓学術推進研究事業によっておこなわれた。詳細は、竹田・延岡・青島（2002）参照のこと。なお、2001年調査以降では新たな質問項目が追加されたが、それ以外の質問票の内容は、全調査の間で一貫している。全調査の質問票は、共に本稿の著者らが設計している。
- 2) 図7の各項目の数値は、調査対象プロジェクトと比較プロジェクトの差を示している。3次元導入プロジェクトの81%は比較プロジェクトに対して3次元設計データの使用割合を増やしているため、図7の3次元導入プロジェクトのパフォーマンスは、ほぼ3次元データの増加の効果を表しているといえる。調査対象プロジェクトの3次元設計データの使用量の高低と比較プロジェクトと比較した場合の3次元設計データ増減量の高低で各調査項目に差が出るか比較してみると、やや増減量の方が差が大きく出る傾向があるが、各項目の特徴はほぼ同じである。両者の相関係数は、0.62（ $P < .01$ ）である。
- 3) 調査対象プロジェクトの3次元設計データ使用量

は、比較プロジェクトに比べての3次元設計データの増減量と高い相関があり、調査結果に大きな違いがないため、ここでは両者をほぼ同じものとして扱っている。注2参照。

参考文献

- 竹田陽子・青島矢一・延岡健太郎, 「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」, ITEM ディスカッションペーパーNo. 99, 2002年5月.
- 竹田陽子, 『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, 2000年.
- 青島矢一, 延岡健太郎, 竹田陽子, 「新世代3次元CADの導入と製品開発プロセスへの影響」 ITEM ディスカッションペーパー, No. 33, 2000年1月.
- 機械振興協会経済研究所, 「製品開発における3次元CAD利用の現状に関する調査」, 1999年5月.
- Thomke, S. and T. Fujimoto, "Effect of 'Front-Loading' Problem Solving on Product Development Performance," Journal of Product Innovation Management, Vol. 17, No. 2, 2000, pp. 128-142.
- 本論文の執筆には、平成16年度文部科学省科学研究費特定領域研究(2)課題番号16016237の助成を受けている。