

# 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

横浜国立大学大学院環境情報研究院

教授 竹田 陽子

一橋大学イノベーション研究センター

准教授 青島 矢一

一橋大学イノベーション研究センター

教授 延岡健太郎

建国大学経営学部

准教授 林 采 成

ソウル産業大学工学部

教授 元 時 太

## Comparative Study of Impact of 3D-Based Design on Product Development Process and Performance in Japan, China and Korea

Yoko TAKEDA

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 of Innovation Research, Hitotsubashi University

Chaisung LIM

Associate Professor, School of Business, Konkuk University

Sitae WON

Professor, College of Engineering, Seoul University of Technology

## 要旨

製品開発の革新において3次元で製品設計をおこなうことは、上流から下流までの製品開発プロセスを3次元データで一気通貫させる際の要となるが、3次元設計ツールが導入されていてもその使い方の実態と効果には企業によってまた国によって差異が見られる。本稿では、日本で2004年3月～4月、中国で2004年7～9月、韓国で2007年9月～2008年2月に実施した「製品開発におけるCAD利用の現状に関する調査」のデータに基づき、設計の3次元化が開発プロセスと成果に与えている影響を共分散構造分析により比較した。その結果、日本では設計3次元化がプロセス改革を通じて総合的な製品開発成果につながっているが、中国では設計3次元化の有無に関わらず総合的な成果を向上させるプロセス改革がおこなわれておらず、韓国ではプロセス改革の効果は見られるが、設計3次元化との相関関係は見られなかった。

## SUMMARY

3D design plays the central role of 3D based product development process reformation. There is, however, diversity of usage methods and impacts of 3D design tool among enterprises and countries. This paper aims to compare the impact of 3D design on process change and product development performance among Asian countries by structural equation modeling with the data of the quantitative surveys conducted in Japan and China, 2004 and in Korea, 2008. As the result, Japanese companies improved the total performance by process reformation using 3D design tools; however, Chinese companies did not improve the total performance with process reformation even if the product design was 3D-based or not; among Korean companies, no significant relationship was observed between 3D design tool usage and process reformation although the total performance improvement was affected by their process reformation.

## 1. 本稿の目的

画像処理技術、ネットワーク、データベース等のハードウェアとソフトウェア両面での情報技術の発達は、製造業の開発・生産プロセスに広範な影響をもたらしているが、1990年代後半から2000年代に渡って、多品種小ロット化する製品を高い品質を維持したまま短いリードタイム、低コストで開発することがますます強く要請されるようになってきたことを背景に、開発プロセスにおいて生み出され上流から下流へ転写される製品と工程に関する情報（藤本1997）を3次元デジタルデータで統合することが製品開発プロセス改革の一つの焦点になってきた。3次元のCAD

（Computer Aided Design: 設計）、CAID（Computer Aided Industrial Design: 意匠デザイン）、CAE（Computer Aided Engineering: 解析）、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）、CAT（Computer Aided Testing: 検査）などの3次元情報技術群は、データを連携させて使用することで概念設計から、意匠デザイン、詳細設計、解析、試作、金型、工程設計、検査に至るまでの情報の進化を一括して扱い、情報転写の精度を高める可能性を持っている。

3次元データによるプロセス統合の要となるのは、ソリッド・モデラーと呼ばれる最新3次元CADによる製品設計である。3次元CADの歴史は古く1960年

代には商用利用されているが、形状の輪郭線（ワイヤフレーム）や面形状（サーフェス）をのみを定義する旧世代の3次元CADは、解析や工作機械へのNCデータ出力といった部分的なプロセスのデジタル化を支援する役割に留まっていた。それに対して、1990年代から普及し始めたソリッド・モデラーは、立体形状そのものをデジタル情報として定義する。ソリッド・モデラーによって製品設計がおこなわれることによって初めて上流から下流までのデータを一貫通貫させることが現実的になったのである。

アジアの工業発展国は、近年積極的に3次元情報技術を導入しつつある。我々が2004年に行った中国との比較調査においても、3次元CADの普及率は急激に日本の水準にキャッチアップしつつあり、設計者における3次元CAD使用者の割合等の指標では中国の調査対象企業は日本の調査対象企業以上の水準にあった。しかし、中国では、情報技術の利用と製品開発プロセスの変化が同時進行して成果を出している日本の状況と異なり、3次元情報技術の利用の有無に関わりなく生産性が急速に向上しており、3次元情報技術導入は開発期間短縮や開発工数削減等の全体的な製品開発成果にはつながっておらず、3次元情報技術の利用とプロセスの変化の関連性はほとんど見いだせなかった（Aoshima, Takeda, Nobeoka and Li 2006）。

本稿では、2004年に日本と中国で実施した「製品開発におけるCAD利用の現状に関する調査」と同内容の調査を2008年に韓国で実施したことを受け、3カ国におけるソリッド・モデラーによる3次元設計の進展度合いを見た後、3次元設計の進展が開発プロセスと成果にどのように影響を与えているのかを3カ国において比較することを目的とする。

## 2. 調査方法

3カ国で実施した質問紙調査は、一部の追加的な質問項目を除いて、同じ内容の調査票を使用しているが、調査方法は国情を反映して異なっている。日本での調査は2004年3～4月に機械関連製造業の東証1部上場企業と主要公開企業からランダムに700社を抽出して調査票郵送し、153社・部門（回収率21.9%）から回答があった。中国での調査は2004年7～9月に調査員が中国各地の機械系企業に向いて調査票を手渡し、114社から回収した。韓国では、2007年9月～2008年2月に機械関連製造業の上場企業リストと専門誌CAD & Graphics誌の購読者リストを補完的に利用しながら調査員と大学、産業界の調査協力者が電話で対象企業に調査を依頼し、電子メール、FAXま

たは郵送で72社から回答を得た。産業分野別の回答数と構成比は、表1の通りである。

表1 産業分野別の回答数

	日本 2004		中国 2004		韓国 2008	
	回答数	構成比	回答数	構成比	回答数	構成比
一般機械	46	30%	38	33%	28	39%
電気機械	41	27	11	10	2	3
輸送機械	30	20	13	11	5	7
精密機械	8	5	7	6	4	6
その他	16	11	37	33	30	42
不明	12	8	8	7	3	4
合計	153		114		72	

## 3. 3次元設計の現状

まず、3次元CADの普及率、2次元や旧世代3次元CADを含めた利用実態、設計者における3次元CAD使用者の割合、設計データにおける3次元データのシェアを比較し、日中韓における3次元設計の進展度合いを見る。

### 3次元CADの普及状況

図1は、3次元CADを何年に導入したかという質問の回答から作成した3カ国の3次元CADの普及曲線である。日本での3次元CADの普及は1980年代には始まっていたがそのスピードは遅く、1990年代に入ってから普及曲線が立ち上がり、現在では80%程度でほぼ飽和状態であると見られる。それに対し、中国と韓国では、1990年代後半になって普及が急速に進み、2004年時点ではまだ伸びが鈍化していない。図1では日本と中国での調査時点である2004年までのデータを示しているが、4年後に調査を実施した韓国の2008年の普及率は88%であり、2008年現在、成熟段階にある日本の普及率を追い越している可能性が高い。また、中国は、韓国の普及曲線と非常に類似した推移を示していることから、現在は韓国並の普及率を示している可能性がある。

### CADの利用実態

図1の普及曲線は、企業が業務のごく一部に3次元CADを使っただけでもカウントされるので、各企業の3次元化がどれだけ進んでいるかを尋ねたものが図2

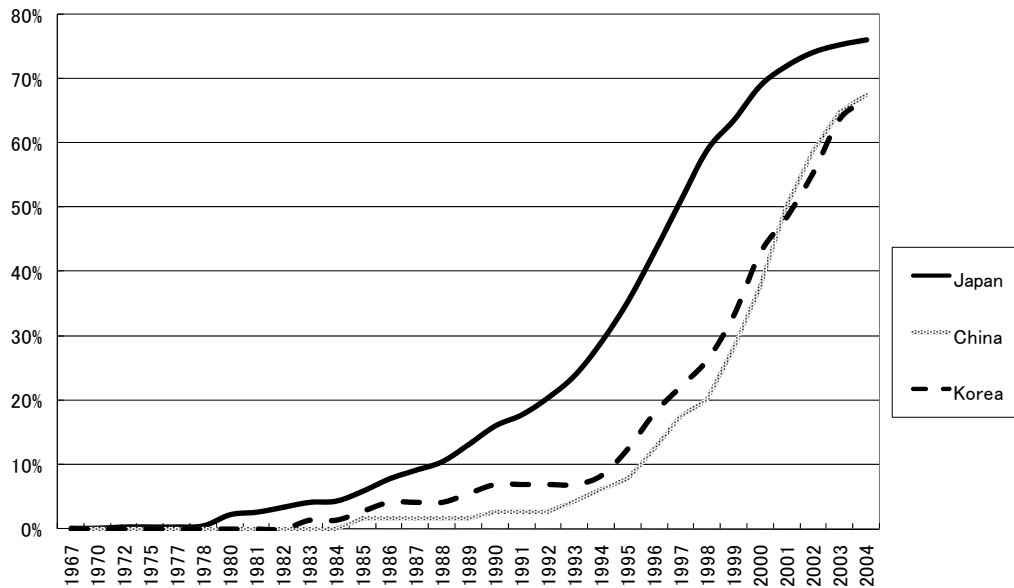
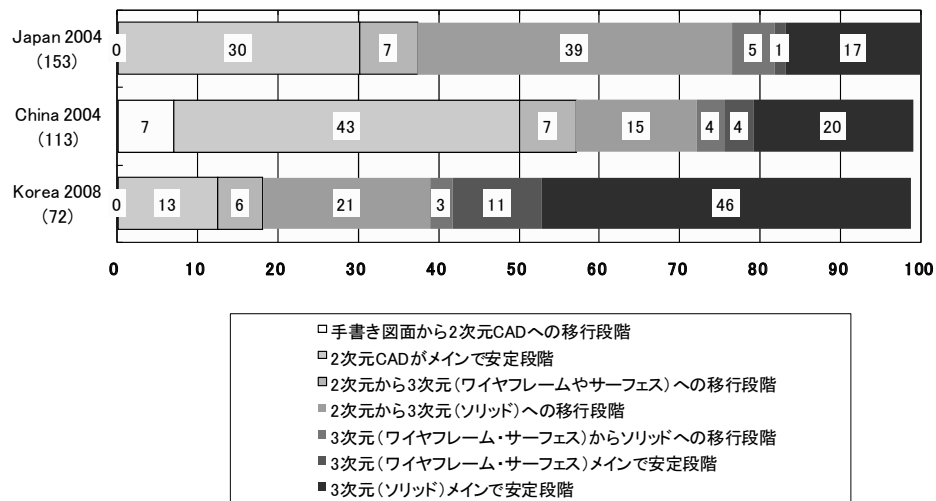


図1 3次元CADの普及曲線 (日本 N=136; 中国 N=114; 韓国 N=72)



※調査年度が日本と中国は2004年、韓国は2008年と異なるため、絶対値の直接比較には留意を必要とする。

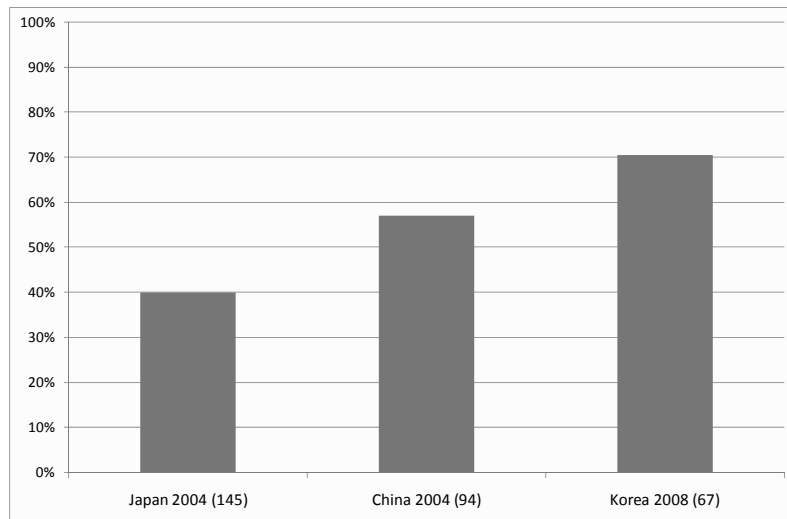
図2 CADの利用段階

である。中国は、日本に比べ3次元ソリッドがメインで安定状態の企業の比率が高い一方で、2次元で安定している企業も多く、両極化が見られる。韓国は、日本と中国の調査時点の2004年より普及率が21%進んだ状態であるので単純に比較できないが、3次元ソリッドがメインで安定している企業が半数を占め、2次元で安定している企業の割合は3カ国の中で際立って少なく、3次元化がかなり浸透していることがわかる。

### 3次元CADを使用する設計者

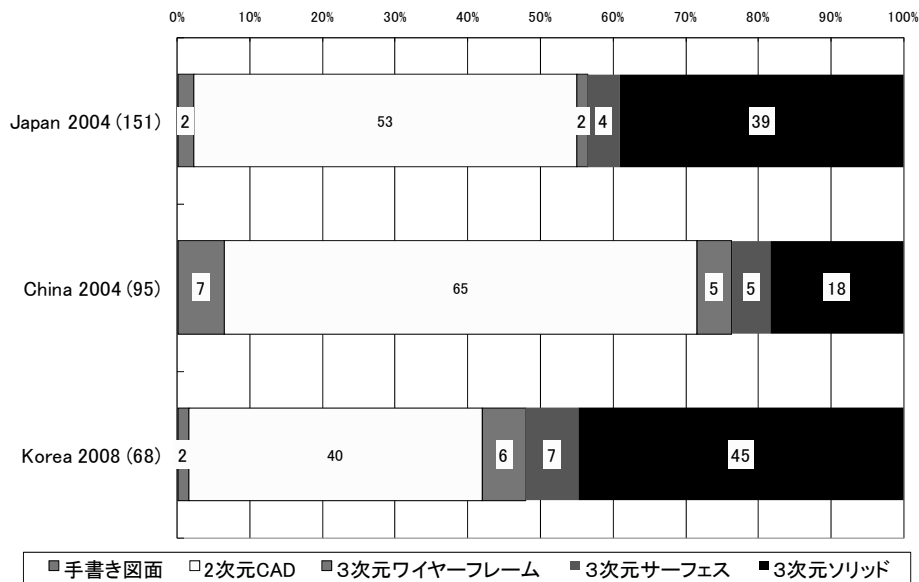
設計者の中で3次元CADを使用する者の割合(平

均値)は、2004年の日本で40%、2004年の中国で57%、2008年の韓国で70%である。中国は過去4年間にさらに急激に普及が進んでいると考えられるので現在は韓国に匹敵する水準である可能性が高いが、日本は過去の調査結果の推移(1998年20%、2001年27%、2004年40%;竹田・青島・延岡2004)を考慮すると設計者における3次元CAD使用率は現在でも韓国よりも低い可能性が高い。日本では、2次元ベースの製品開発の経験やノウハウが豊富であることがかえってベテラン設計者の技術転換を難しくしている側面があると考えられる。



※調査年度が日本と中国は 2004 年、韓国は 2008 年と異なるため、絶対値の直接比較には留意を必要とする。

図 3 3次元CADを使用する設計者の割合



※調査年度が日本と中国は 2004 年、韓国は 2008 年と異なるため、絶対値の直接比較には留意を必要とする。

図 4 設計における各種データ比率

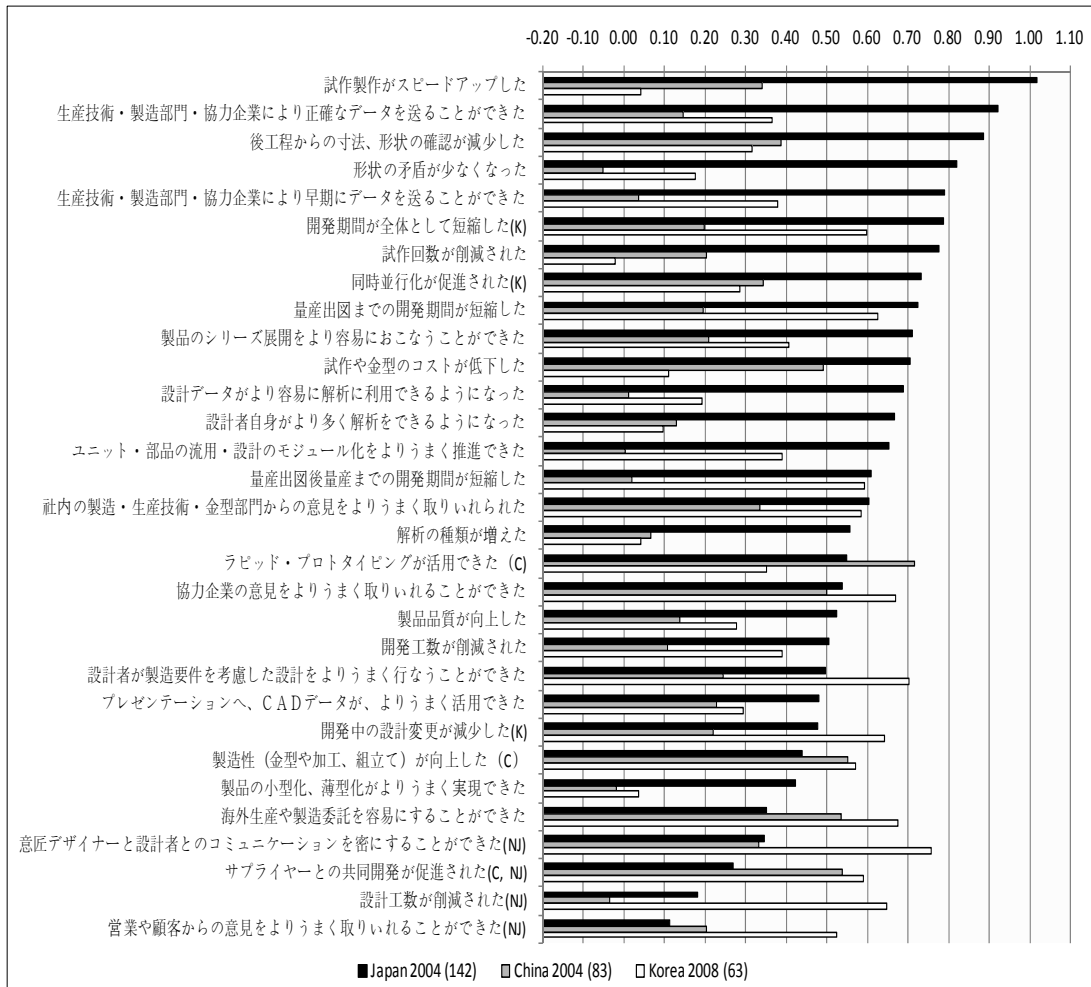
#### 設計における 3次元データの比率

図 4 は、CAD の利用という点で最も進んだプロジェクトにおける製品設計データに各種データの占める比率の平均値で、3次元ソリッドのデータシェアは、2004年の日本 39%、中国 18%、2008年の韓国 45%であった。図 2 で 3次元ソリッドがメインで安定していると答えた企業の比率は 2004年の日本は 17%で、2004年の中国 20%、2008年の韓国 46%に比べ低いことを見たが、設計における 3次元ソリッドのシェアでは日本は中国よりかなり比率が大きく、2008年

の韓国に迫っている。3次元ソリッドで安定していると答えている企業の中で設計工程における 3次元ソリッド・データの比率を見ると、日本は 81%、中国 59%、韓国 73%となり、中国では 3次元ソリッドがメインであるといっても、工程 3次元化の要である製品設計にかなり 2次元が残っていることが伺える。

#### 4. 設計 3次元化の効果

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



(C)は中国、(K)は韓国で平均の差が5%未満の有意水準にある項目、(NJ)の表示のない項目は日本で平均の差が5%未満の有意水準にある項目。

図5 設計3次元化の効果の国際比較(設計3次元化50%以上の企業と50%未満の企業の差)

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)と比較した場合の各種プロセスや成果の変化を『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・スケールで評価することを求めている。本章では、設計データにおける3次元ソリッド・データの比率が50%以上の企業と50%未満の企業の間でプロジェクトのプロセスと成果の変化の違いを単純比較して設計3次元化の影響を概観した後、調査対象プロジェクトと比較プロジェクトの間の設計データにおける3次元データのシェアの変化とプロセス変化、成果の変化で構成されるモデルを共分散構造分析により検証し、3カ国のデータでどのような違いが出るかを比較した。

### 設計3次元化進展の効果の単純比較

図5は、各国の設計データにおける3次元データの

シェアが50%以上の企業と50%未満の企業の平均値の差を表している。設計3次元化の進んだ企業と進んでいない企業の差の出方は、国によって大きな違いがある。日本は、全31項目中27項目でt値5%未満の有意な差があり(図5のNJの表示がない全項目)、期間短縮や開発工数削減といった総合パフォーマンスから試作、解析、下流工程とのデータ連結といった個別のプロセス変化まで幅広く設計3次元化の効果が見られる。一方、中国で両者に有意差のある項目は「ラピッド・プロトタイピングが活用できた」「製造性が向上した」「サプライヤーとの共同開発が促進された」の3項目、韓国でも「開発期間が全体として短縮された」、「同時並行化が促進された」、「開発中の設計変更が減少した」の3項目にすぎない。有意差のある項目の数にはサンプル数が影響することを考慮しても日本では中国、韓国に比べて設計3次元化が進んでいる企業と進んでいない企業の差が顕著にあり、多彩なプロセス変化につながっていることが推定される。中国と



表2 分析に用いた各指標の記述統計 (日本 N=153; 中国 N=114; 韓国 N=72)

概念	指標	日本 平均値 (標準偏差)	中国 平均値 (標準偏差)	韓国 平均値 (標準偏差)
製品開発成果	「開発期間が全体として短縮した」	3.30 ( 1.01)	4.06 ( 1.06)	3.88 ( 0.94)
	「開発工数が削減された」	3.12 ( 0.88)	4.00 ( 1.07)	3.54 ( 0.92)
	「製品品質が向上した」	3.55 ( 0.74)	3.71 ( 0.95)	3.95 ( 0.78)
	(いずれも 5 点尺度のリカート・スケール)			
設計 3 次元化	設計における 3 次元データ比率の増加 (%)	25.45 (35.75)	14.95 (26.63)	16.69 (29.18)
プロセス変化 1) フロント・ローディング	5 ポイントのリカート・スケールによる部門別仕事量増減の上流 3 部門 (製品設計、解析、意匠デザイン) の平均値と下流 4 部門 (試作・テスト、治工具、金型、工程) の平均値の差	1.18 ( 0.26)	1.02 ( 0.43)	1.21 ( 0.41)
2) 後工程の考慮	「製品設計者が金型要件まで考慮して設計するようになった」	3.07 ( 1.16)	3.64 ( 0.92)	3.80 ( 0.85)
	「製品設計者が生産要件まで考慮して設計するようになった」 (いずれも 5 点尺度のリカート・スケール)	3.45 ( 0.94)	3.68 ( 1.00)	3.91 ( 0.81)
企業規模	従業員数の常用対数	8.01 ( 6.16)	4.81 ( 3.70)	7.80 ( 5.45)
3 次元 CAD 導入年数	調査年度 - 3 次元 CAD 導入年	3.08 ( 0.55)	2.86 ( 0.80)	2.10 ( 1.00)

韓国では、韓国の方が全般に両者の差が大きく、期間短縮といった総合的な成果にもつながっている。

### 設計 3 次元化の製品開発プロセスと成果に与える影響

次に、設計 3 次元化の程度が製品開発プロセスと成果にどのような経路で影響を与えているかを共分散構造分析によって検証した。

分析に用いた各指標の記述統計を表 2 に示す。製品開発成果は開発期間短縮、開発工数削減、製品品質向上というプロジェクト成果の主要な 3 概念を 5 点尺度のリカート・スケール指標によって測定した。設計 3 次元化の程度は、調査対象プロジェクトと比較プロジェクトの間の 3 次元データ比率の変化を指標とした。プロセス変化は、先行研究により成果との相関が高いことが知られる 2 つの概念に注目した。第 1 は、「(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)」であるフロント・ローディングである。日本においては、1990 年代後半から 2000 年代にかけて 3 次元情報技術の導入とフロント・ローディングは相互に密接に関連しながら同時進行していることが知られている (竹田 2000; 竹田・青島・延岡 2004)。本調査では、上流から下流までの各部門の仕事量の増減を 5 ポイントのリカート・スケールで聞いており、上流 3 部門 (製品

設計、解析、意匠デザイン) の平均値から下流 4 部門 (試作・テスト、治工具、金型、工程) の平均値を引いたものをフロント・ローディングの程度とした。第 2 は、設計において生産などの後工程をどれだけ考慮しているかである (Aoshima, Takeda, Nobeoka and Li 2006)。後工程の考慮は、設計者が金型要件を考慮している程度、および設計者が生産要件を考慮している程度を 5 ポイントのリカート・スケールで測定したもので構成している。また、その他に、企業規模および企業の 3 次元 CAD の導入年数が成果に影響する可能性が考えられるので、これらを統制変数としてモデルに投入した。

表 2 の観測変数を使用して、図 6 のように設計 3 次元化が製品開発成果に直接、またプロセス変化を介して間接に効果を与えている共分散構造分析モデルを構築した。その概要は次の通りである。「製品開発成果」は、開発期間短縮、開発工数削減、製品品質向上の 3 つの観測変数から構成される潜在変数である。「プロセス変化」は、表 2 の方法で観測した「フロント・ローディング」の程度と、設計者が金型要件を考慮した程度、同じく生産要件を考慮した程度という 2 つの観測変数からなる「後工程の考慮」を示す潜在変数から構成され、これが「製品開発成果」に影響を与えている。3 次元設計データ比率の増加割合で測定した「設計 3 次元化」の程度は、「製品開発成果」に対する直接効果と「プロセス変化」を介して「製品開発成果」

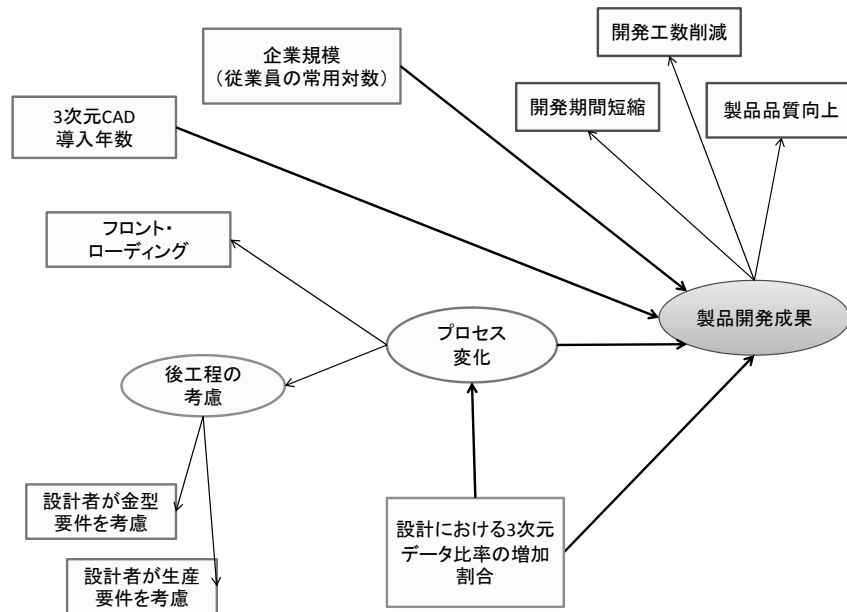


図6 設計3次元化が製品開発プロセスと成果に与える影響についての共分散構造分析モデル

表3 共分散構造分析の結果

	日本	中国	韓国
<b>&lt;各パスの標準化係数※&gt;</b>			
設計3次元化→プロセス変化	0.246 *	0.085	-0.117
プロセス変化→製品開発成果	0.568 ***	0.614	0.895 **
設計3次元化→製品開発成果	0.192 **	0.110	-0.053
3次元導入年数→製品開発成果	0.235 ***	-0.098	-0.028
企業規模→製品開発成果	0.071	0.244 **	-0.005
プロセス変化→後工程の考慮	0.812 ***	0.769	0.905 ***
プロセス変化→フロント・ローディング	0.453 ***	0.205	0.421 ***
後工程の考慮→生産要件の考慮	0.898 ***	0.727 ***	0.903 ***
後工程の考慮→金型要件の考慮	0.721 ***	0.767 ***	0.792 ***
製品開発成果→開発期間短縮	0.796 ***	0.860 ***	0.731 ***
製品開発成果→開発工数削減	0.752 ***	0.458 ***	0.469 ***
製品開発成果→製品品質向上	0.696 ***	0.904 ***	0.701 ***
<b>&lt;モデルの適合度&gt;</b>			
$\chi^2$ 乗	62.123	42.169	50.625
NFI	0.815	0.798	0.682
CFI	0.872	0.895	0.776
N	153	114	68

※有意水準 \*\*\*p<0.01, \*\*p<0.05, \*p<0.1

に作用する間接効果を想定し、両効果の比較をおこなう。その他、コントロール変数として「企業規模」および「3次元CAD導入年数」を想定し、「製品開発成果」に対してパスを引いている。

図6の共分散構造分析モデルに日本、中国、韓国のデータをそれぞれ投入して算出した各パスの標準係数とモデル適合度指標を表3に示す。

日本では、設計3次元化の程度は、フロント・ロー

ディング、後工程の考慮といったプロセス変化に影響を与え、プロセス変化は製品開発成果にプラスの効果がある。また、設計3次元化は製品開発成果にプラスの直接効果もある。設計3次元の製品開発成果への直接効果0.192、プロセス変化を介した間接効果は0.140で直接効果の方が若干大きい。また、3次元CAD導入年数は製品開発成果にプラスの効果があるが、企業規模の影響は有意ではない。

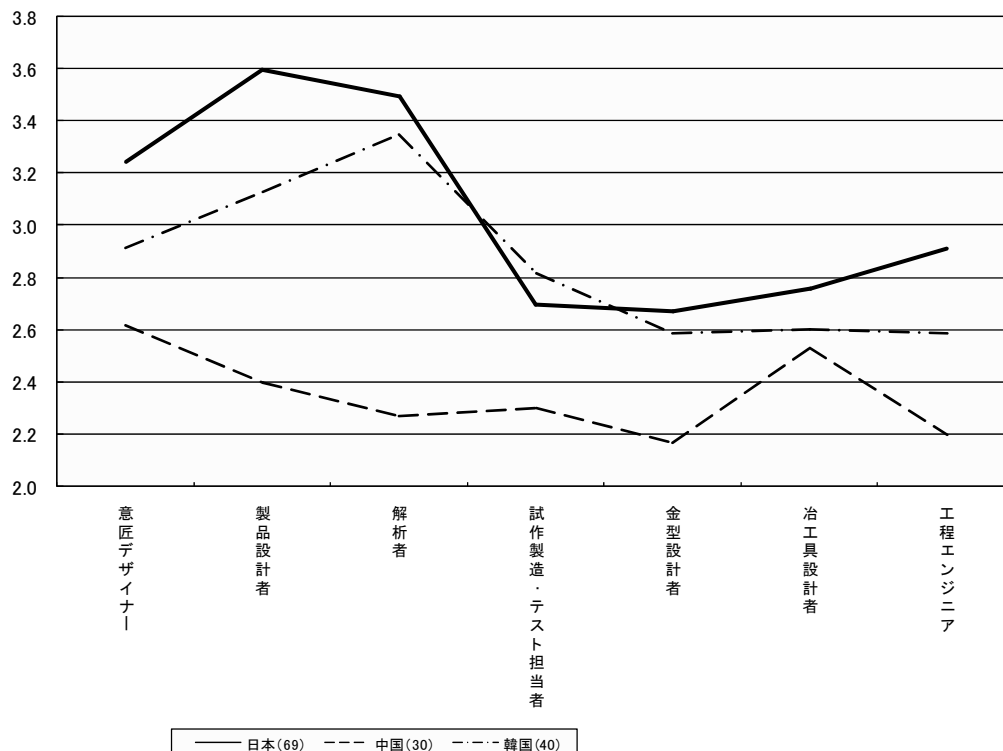


図7 設計3次元化50%以上の企業における各部門の仕事量の変化（変化なしは3.0）

これに対し、中国は、設計3次元化、プロセス変化はいずれも製品成果に有意な効果を及ぼさず、企業規模のみが成果にプラスの効果を持つ。また、韓国は、プロセス変化が製品開発成果にプラスの影響を与えるが、3次元設計の進展度はプロセス変化を介しても、また、直接にも製品開発成果に有意な影響を及ぼさない。また、3次元CAD導入の経験年数と企業規模も成果に影響を及ぼさない。

これらの結果は3次元化の進んだ企業と進んでいない企業の差の分析（図5）とも整合的である。中国では、設計3次元化は試作や製造性向上などごく一部分のプロセス改善に役立っているのに留まり、総合的なパフォーマンスにはほとんど無関係である。

図5の単純比較では韓国は全般に中国よりも設計3次元化の程度による成果の差が大きかったが、詳しく分析すると表2に示されたように、製品開発成果は設計3次元化の直接・間接の効果よりも、3次元化の程度に関わらず設計と製造の間の情報転写を徹底しておこない工程の前倒しをすることの効果に強く左右されていると考えられる。

なお、3次元設計の増加に伴った部門間、企業間のプロセス変化が日韓に比べ中国ではあまり見られないことは、図7に示した3次元設計データシェアが50%以上のユーザーにおける各部門の仕事量の関係を見ても確認できる。日本の設計3次元化が進んだ企業

の間では、意匠デザイン、設計、解析の上流工程の仕事量が増加し、後工程の仕事量が減少するフロント・ローディング現象が見られ（注1）、韓国は、日本ほど顕著ではないがその傾向が見られるが、中国ではまったく見られない。

## 5. まとめと展望

本調査では、中国と韓国は、3次元CADの普及率、設計者における3次元CAD使用者の割合等では1990年代後半から急伸し日本にキャッチアップしているが、3次元設計を中心とした上流から下流まで統合されたプロセスの構築という意味ではいまだ隔たりがあることがわかった。2004年の段階では中国は部門間、企業間の連携によって期間短縮や全体の工数削減など総合的な成果を向上させるプロセス改革の段階には至っておらず、2008年の韓国では、プロセス改革をおこなった企業とおこなっていない企業間に成果の差が現れているが、設計3次元化との相乗効果は現在のところ見られない。

3次元情報技術群は製品開発プロセス全般を大きく変える可能性を持っているが、製品開発プロセスそのものを変える必要性の認識がない場合、あるいは、他の要因により十分にプロセス改革できない場合は、その潜在能力が引き出されるとは限らない。中国は、技



術の発展段階上、局所的な作業効率向上だけでも新技術の利用価値は十分にあり、部門間、企業間にまたがったプロセス改善の必要性が特に認識されていないのかもしれない。一方、韓国では一部の企業でプロセス全体に渡った改革がおこなわれ成果を上げつつあるが、3次元情報技術の特性を生かしてさらに差別化する段階には来ていない。今後、中国と韓国の工業化がさらに進展すれば中国では韓国のようにプロセス改善が成果に結びつくようになり、韓国は日本のように情報技術の活用の仕方がプロセス改革を経由して、あるいは直接成果に結びつくようになるかもしれない。しかし、中国、韓国におけるプロセス改革の内容は、暗黙の理解を前提としたコミュニケーション、信頼関係を裏切ることの高いコストといった日本企業に顕著な特徴はそのまま踏襲されないと考えられるので、日本とは性質の異なったプロセス変化を通じて総合的な成果を上げていく可能性もある。

#### 注釈

- 1) 設計3次元化0%以上50%未満の企業では若干のフロント・ローディングが見られ、設計3次元化0%の企業はまったくフロント・ローディングが見られない(竹田・青島・延岡2004)。

#### 参考文献

- Aoshima, Yaichi, Yoko Takeda, Kentaro Nobeoka and Shiguo Li, "Diffusion of 3-D CAD and its Impact on Product Development Processes: A comparison Between Japanese and Chinese Companies", 技術マネジメント研究, Vol. 5, 2006, pp. 25-41.
- 藤本隆宏,『生産システムの進化論』,有斐閣,1997年.
- 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.
- 竹田陽子・青島矢一・延岡健太郎,「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 4,2004年,pp. 1-12.
- 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.

#### 謝辞

本研究の韓国での調査は Korea Foundation の Fellowship of Field Research によってなされ、韓国 CAD&Graphics 誌編集部にも協力をいただいた。また、調査に協力いただいた日中韓の企業と関係者各位に感謝する。