

川先生に発起人代表をお願いし、芝浦工大の堀内先生が諸々の学会規約類の整備を図られ、その他大勢の先生方が準備に奔走され、遂に本日 MOT 関係者が合同して MOT 学会の設立を祝うことになったことは本当に嬉しい思いであります。ご苦勞されました大勢の方々に厚く御礼申し上げる次第です。

さて、発足はしたものの本格的活動はこれからであります。まず発足した中で、不肖私が初代会長を仰せ付かったわけでありませう。私としては、技術経営を学として探求される先生方の中から選ばれるべきと考えておりましたが、当面「科学技術と経済の会」とのスムーズな連携を考慮し、敢えて初代会長をお引き受け

することとしました。次回からは当然しかるべき学の方々から選出されることと思います。ただ、経営者も MOT の関係者の一人であり、また真剣に経営問題に対処してきた貴重な経験者集団でもありますので、彼らも MOT 学会の世界に参加することは絶対に必要であり、学と経営者の切磋琢磨の中で MOT の質の向上も齎されるし、進歩も在ると思います。今後は、バランスの取れた運営に携わる中で、MOT の進歩発展に寄与してくれるものと期待しております。MOT 学会の益々の発展を願って私の挨拶とします。

(かねこ ひさし)

日本 MOT 学会による査読論文 (2006-1)

設計開発のデジタル化が自動車設計品質に与える影響 — デジタル化進展期の開発プロセス、開発組織の変化 —

The influence of digitization of design and development on automobile design quality
— Changes in development process and organization at a digitization progress term —

櫻井 章喜 / 辻本 将晴

Akiyoshi SAKURAI and Masaharu TSUJIMOTO

ABSTRACT

In the Japanese automobile industry, new digital development tools such as the three dimensional CAD (Computer Aided Design) and CAE (Computer Aided Engineering) can facilitate an efficient design. However, it will change the development process dramatically at the same time and various negative influences are expected. In recent years the number of vehicle recall are increasing. It is said that there are various views on this issue, though the reason is not clear. In this research, we set up the hypothesis that digitization of design might increase the risk of design quality. We had interviews, questionnaire surveys with automotive engineer, and carried out statistics analysis to verify the hypothesis. As a result, the negative correlation between man-hours for evaluation test and the number of design changes in hardware development was found out. (If man-hours for evaluation test decrease, design changes will increase.) Thus the risk of the quality caused by digitization in design development was proved. And also the subject of the digitization in automobile design and development were clarified.

キーワード：3次元 CAD, デジタルエンジニアリング, 開発プロセス, 開発組織, 設計品質

櫻井 章喜 芝浦工業大学 大学院 工学研究科博士(後期)課程
辻本 将晴 芝浦工業大学 専門職大学院 工学マネジメント研究科 専任講師

(受稿：2006年5月26日, 修正稿受稿：2006年6月16日, 受理：2006年6月20日)

1. はじめに

1-1 背景と目的

日本の自動車産業における3次元CAD (Computer Aided Design) 及びCAE (Computer Aided Engineering) などのデジタル開発ツールの導入は、開発リードタイム短縮などの効果をもたらし、開発競争力向上に寄与しているといわれている。一方、これらデジタル開発ツールの導入は、従来の自動車開発プロセスに少なからぬ変化をもたらしており、効率化の反面で様々な負の影響が出ることも懸念される。

本研究は、ハードウェア設計開発における3次元CAD、CAEなどの導入を「設計開発のデジタル化」と位置づけ、自動車設計開発におけるデジタル化の影響を統計分析により検証し、課題を明らかにするものである。

1-2 主な先行研究

3次元CADなどのデジタル開発ツール導入が開発組織や開発プロセスに与える影響に関する先行研究は多い。これらの先行研究は、デジタル開発ツールの効果の実証に関するものが中心である。デジタル化の負の側面あるいは課題に関する実証研究は少ないと思われる¹⁾。

2. 自動車における設計開発デジタル化の現況

2-1 ハードウェア設計における3次元CAD、CAE解析

日本の自動車業界においては、90年代後半以降、3次元ソリッドモデルが画面上で容易に扱えるようになり、設計業務における3次元CADの有効性が高まった。更に部品を仮想的に組み立てるデジタルモックアップが進展し、部品同士の干渉やすきま検討が容易になり、開発早期段階での問題検出が可能になった。並行して設計結果の評価を行うCAE解析システムが進展し、強度・剛性、振動、熱、流れなどの製品評価やプレス成型性、樹脂の流れや鋳物の凝固解析などの仮想シミュレーションにより、従来の試作回数、実験の評価サイクルが大幅に短縮された。

2-2 設計開発のデジタル化と開発プロセスの変化

デジタル開発ツールを導入することにより、自動車の開発リードタイム (外観デザイン決定から発売まで) は、1990年代前半には約30ヶ月であったものが1990年代後半には20数ヶ月となり、現在では20ヶ月を切るほどに短縮された (藤本、2003)。

これまでの開発後期における実物試作品による問題解決は、精度よく問題が発見できる反面、対策には費用と工数がかかっていた。開発初期段階において問題を先潰しすること (問題解決の前倒し: フロントローディング) ができれば、設計変更あるいは手戻りを減らすことができ、費用・工数面の効率を上げることができる。

日本の自動車メーカーは、欧米メーカーと比べもともと開発の初期段階から部品間の統合性と製造性を考慮したいいわゆる「擦り合わせ」による開発・設計を実施しており、製品開発における統合型組織能力に秀でていた (藤本、2003)。設計開発のデジタル化は、さらなるフロントローディングに寄与し、設計、生産技術、製造検討を並行して検討するコンカレントエンジニアリングを進展させ、試作レス、試作・実験回数減により、開発リードタイムの大幅短縮・開発コスト削減に貢献している。

3. 問題意識と課題の整理

本研究テーマの根底にある問題意識として、近年の自動車リコール急増問題がある。そこで、国土交通省への届出資料から近年のリコール内容の傾向分析を行った。

3-1 リコール増加と傾向分析

自動車リコールの届出件数、対象台数ともに、1990年代後半から設計開発のデジタル化進展と歩調を合せるかのように増加傾向が続いており、2004年度にはそれぞれ過去最高を記録している。コスト的なメリットから部品の共通化が進んでいるため、1件あたりの対象台数が増える傾向にある。届出1件あたりの台数は2000年の19,000台から2003年は34,000台に増加している。(図1)

3-2 インタビューの実施

設計開発のデジタル化の現状と課題について自動車業界を対象にインタビューを実施し、多くの知見を得た。インタビューの実施概要は次の通りである。対象は自動車業界A社であり、実施時期は2005年6月から11月である。対象者の所属と役職は次の通りである (聴取順、各1名)。信頼性技術部門 (部長級)、解析技術部門 (課長級)、技術管理部門 (課長級)、業務改善部門 (次長級)、事業部技術部門 (課長級)。主な聴取内容について下記に抜粋し、要約する。

第一に、3次元CAD導入の影響について。「3次元

CAD 導入により個人の設計ノウハウなどのナレッジが以前ほど活用されなくなっている。3次元CADに慣れていない上司にとっては、3次元CADが壁となってノウハウに係る指導の機会が減っている。」「類似製品の設計は、CAD データをそのまま利用するため誰にでも設計ができる反面、設計者は自分の設計に潜む危険性がわからなくなっている。」「デジタルツールの進化スピードが速く、設計者自身も追従できていない。人材育成、CAD ツールへの習熟が課題である。」

第二に、開発プロセスの変化について。「3次元CAD、CAE 進展によりフロントローディングが進み、今まで川下の製造段階で潰していた不具合を上流で潰すようになってきている。そのため設計段階の業務量が増え、設計部門に皺寄せがきている。」「自動車業界全体が活況を呈しており、新しい開発人員の確保が難しい状況にある。」

第三に、試験・評価の変化について。「CAE シミュレーション解析の進展により、以前のような実物の試作品による評価試験が減っており、評価にかかる工数も減少している。」「試験評価そのものが質的に変化しており、評価基準、評価項目をデジタル化に対応したのを見直す時期に来ているのかもしれない。」「ただし、シミュレーションはあくまでシミュレーションであり、全ての問題を解決できるほど再現性は高くない。シミュレーション上は問題なくても、実機では脆さを露呈するケースはたくさんある。過度の依存には注意が必要である。」

4. 仮説と検証方法

4-1 仮説の設定

ここまでの調査、インタビューから得られた知見から本研究では下記の仮説を設定した。

仮説：設計開発のデジタル化進展と同時に設計品質面でのリスクが高まっている

本研究では、設計開発のデジタル化がもたらすと思われる各種の事象が設計品質面のリスク要因となりうるかどうかを多変量解析により仮説検証する。仮説検証にあたり想定したリスク要因は、次の3点である。第一に、デジタル化によるフロントローディングの進展は、一方で設計部門への工数負担を増大させている。第二に、デジタル化によるシミュレーションの進展は、一方で試験評価不足・精度の低下をもたらしている。第三に、デジタル化に伴うコミュニケーション機会の減少は、設計において形式知化されていないノウハウ、暗黙知の不活用をもたらしている。

4-2 質問票調査の実施

仮説検証のためのデータを収集するために質問票調査を実施した。調査においては、設計者が自分の関った設計業務において認識している設計開発のデジタル化以前と以後の変化について質問した。質問内容は、自動車の機能設計の基本単位である部品設計に関するものとした。調査実施先は自動車業界A社である。実施時期は2005年11月28日から12月2日であり、質問票配布数は110部、回収数は99部(回収率90.0%)、うち有効回答数は96部(有効回答率87.3%)であった。

4-3 記述統計結果

質問票調査の記述統計(平均値)から明らかになった主な事柄、全体的な傾向を整理する。

第一に、3次元CAD導入により総設計工数は増加し、CAD 端末の利用時間は2次元CADの時より増加していることが明らかになった。このことから、フロントローディングが進み、生産準備段階で潰していた課題を上流の設計段

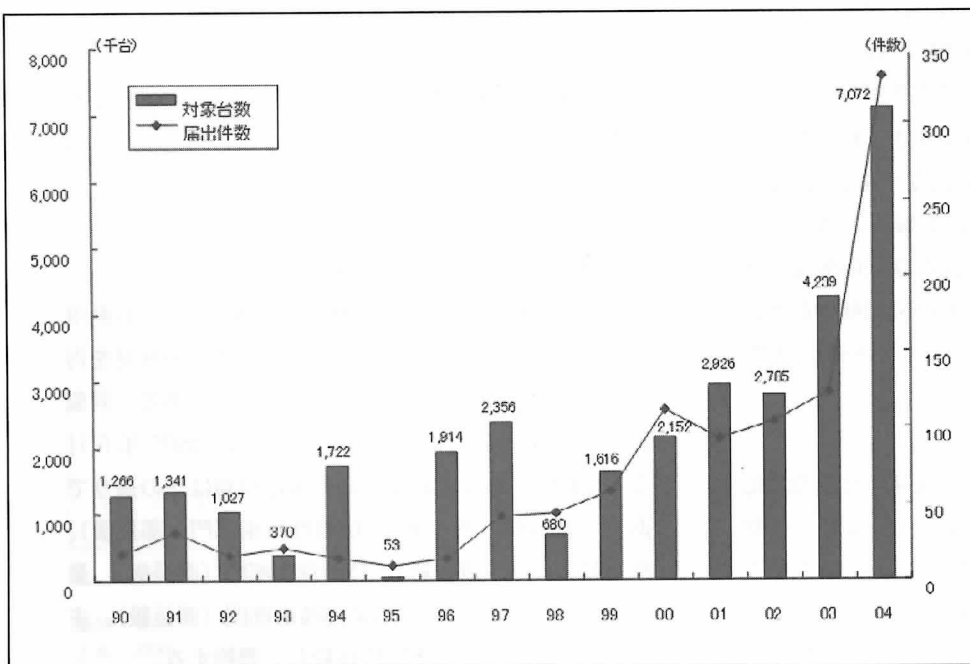


図1 リコール数(国産車)の推移

階で潰すようになっていいると考えられる。質問票調査からも「設計部門に皺寄せが来ている」というインタビュー内容を裏付ける結果が得られたといえるだろう。

第二に、開発試作工数、試験評価工数とともに、10%から30%程度減少していた。開発プロセスの変化により試作・試験評価工数が着実に減少していることが裏付けられているといえるだろう。

第三に、設計変更、市場クレームについては、部門によってばらつきが見られた。3次元CADの導入が早く、既に多くの製品を市場に送りだしている部門では、設計変更、市場クレームが増加していると回答する設計者の割合が高いという傾向が見られた。このことから、製品特性や部門における類似設計・新規設計の多寡により状況が異なることが想定される。

5. 多変量解析結果

3次元CAD、CAE導入による開発プロセスの変化、開発組織における変化が設計品質に与える影響について仮説検証を行うため、質問票調査から得られたデータ（デジタル化以前と以後の増減率）を用いて次の2つのモデルの多変量解析を実施した。モデル1は設計変更数を目的変数とするものであり、モデル2は市場クレーム数を目的変数とするものである。

分析方法は重回帰分析である。本研究では3次元CAD、CAE導入前後の変化を測定することが主眼であるため、質問票調査から得られたデータのうち「3次元CADの経験年数が7年以上」のサンプルのみを抽出し分析対象とした。その結果サンプル数は16となった。なお、データは全て増加・減少率であり、変数化にあたっては各値の中央値を利用した。

5-1 モデル1：設計変更数に関する分析

仮説に基づきモデル1の目的変数は「設計変更数」(Y)とし、説明変数は「CAD利用時間(X1)」「開発試作工数(X2)」「試験評価工数(X3)」「設計ノウハウ活用(X4)」とした。変数間の相関係数行列は表1のとおり。

目的変数と説明変数の間では、「設計変更数」と「試験評価工数」においてやや強い負の相関が、「設計変更数」と「設計ノウハウの活用」において、やや強い正の相関が高い有意水準で見られた。

重回帰分析の結果は表2のとおり。なお、多重

表1 変数間の相関係数行列（モデル1）

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1) CAD利用時間	1				
(2) 開発試作工数	-0.181	1			
(3) 試験評価工数	-0.088	-0.248	1		
(4) 設計ノウハウ	-0.452	.185	-0.335	1	
(5) 設計変更数	-0.484	.454	-0.551*	.675**	1

* 相関係数は5%水準で有意（両側）

** 相関係数は1%水準で有意（両側）

表2 重回帰分析結果（モデル1）

目的変数 (Y)	設計変更数
CAD利用時間 (X ₁)	-.149
開発試作工数 (X ₂)	.115
試験評価工数 (X ₃)	-.395*
設計ノウハウ活用度 (X ₄)	.489

* 5%有意水準

共線性については別途VIF（分散拡大要因：Variance Inflation Factor）を測定し問題がないことを確認している。

重回帰分析の結果、「試験評価工数」の重回帰係数が-0.395（t値：-2.214）であり5%水準で有意であった。このことから、「試験評価工数」と「設計変更数」との間には、有意な負の関係性があるといえる。なお、修正済み決定係数（補正值R²）は0.617であり、回帰式には一定の説明力があるといえる。

5-2 モデル2：市場クレーム数に関する分析

同様に、仮説に基づきモデル2の目的変数は「市場クレーム数」(Y)とし、説明変数は「上司相談時間(X1)」

表3 変数間の相関係数行列（モデル2）

	(1)	(2)	(3)	(4)
(1) 上司相談	1			
(2) 試験評価工数	-0.025	1		
(3) 設計ノウハウ	-0.035	-0.335	1	
(4) 市場クレーム数	-0.513*	-0.364	.478	1

* 相関係数は5%水準で有意（両側）

「試験評価工数(X2)」「設計ノウハウ活用(X3)」とした。変数間の相関係数行列は表3の通り。

目的変数と説明変数の間では、「上司との相談時間」と「市場クレーム数」においてやや強い負の相関が5%有意水準で見られた。

重回帰分析の結果は表4の通り。同様に多重共線性については、別途 VIF を測定し問題がないことを確認している。

重回帰分析の結果、「上司との相談時間」の重回帰係数が-0.241 (t 値: -2.552) であり5%水準で有意であった。このことから「上司との相談時間」と「市場クレーム数」との間には、有意な負の関係性があるといえる。修正済み決定係数(補正值 R²)は、0.412 であり、回帰式には一定の説明力があるといえる。

5-3 分析結果に関する考察

回帰分析により得られた結果を整理する。第一に、「試験評価工数」と「設計変更数」との間には、負の関係性がある。第二に、「上司との相談時間」と「市場クレーム数」との間には、負の関係性がある。この分析結果と事前に聴取したインタビュー内容をふまえ、仮説で想定したリスク要因に対して次のような考察を加えた。

第一のリスク要因として、「デジタル化によるフロントローディングの進展は、一方で設計部門への工数負担を増大させている」ことがあげられる。質問票調査の結果(記述統計)やインタビュー内容から3次元CAD、CAEの導入は、製造検討段階から設計段階へと課題解決のフロントローディングを進展させる反面、設計部門の総工数増加を招いていることが明らかになった。しかし、重回帰分析では、総設計工数の増加が品質面のリスク要因となることを示す結果(設計変更や市場クレームの増加)は得られなかった。

第二のリスク要因として、「デジタル化によるシミュレーションの進展は、一方で試験評価不足・精度の低下をもたらしている」ことがあげられる。3次元CAD、CAE導入によるシミュレーションの進展は、時間とコストがかかる開発試作への依存を減らし開発期間短縮に寄与しているが、評価精度の面では実物試作による試験と同レベルの再現性は達成されていない。重回帰分析により、「試験評価工数の減少」と「設計変更の増加」との間に負の関係性がみられたことから、試験評価におけるシミュレーションの進展は、品質面のリスク要因となり得るといふ仮説が支持されたものと考えられる。

表4 重回帰分析結果(モデル2)

目的変数 (Y)	市場クレーム数
上司相談時間 (X ₁)	-.241*
試験評価工数 (X ₂)	-.127
設計ノウハウ活用度 (X ₃)	.269

* 5%有意水準

第三のリスク要因として、「デジタル化に伴うコミュニケーション機会の減少は、設計開発において形式知化されていないノウハウ、暗黙知の不活用をもたらしている」ことがあげられる。重回帰分析の結果、「上司との相談時間」と「市場クレーム数」との間に負の関係性がみられた。「上司との相談時間」が減少することで、「市場クレーム数」が増えるという関係性が明らかになったといえるだろう。

さらにインタビューを通じて明らかになった事例として、3次元CADを使いこなす設計者と3次元CADを利用したことのない上司との間に3次元データに関する知識・認識のギャップ(デジタルデバインド)が生じており、3次元CADが上司にとって設計のブラックボックス化を招いているとの指摘があった。

上司・先輩とのコミュニケーションが希薄になることは、経験に基づく属人的な設計ノウハウや失敗事例、設計のカン・コツといった暗黙知が活用されない可能性が高くなる。上司との相談時間の減少は、品質面のリスク要因になり得るといふ仮説は、支持されたものと考えられる。

6. まとめと課題

聴取したインタビュー内容および統計分析の結果から仮説において想定したリスク要因の内、「デジタル化によるシミュレーションの進展は、一方で試験評価不足・精度の低下をもたらしている」、「デジタル化に伴うコミュニケーション機会の減少は、設計開発において形式知化されていないノウハウ、暗黙知の不活用をもたらしている」は、設計品質面のリスク要因となり得ることが示された。このことから、「自動車設計開発におけるデジタル化の進展と同時に設計品質面でのリスクが高まる」といふ仮説は支持されたといえるだろう。

設計開発のデジタル化は、自動車業界において開発期間短縮という効果を中心に報告されているが、一方でリコール増加に見られるような品質リスクが高まっていることにも留意が必要であるといえる。

今後は、質問票調査により得られたデータの切り口を変えた詳細分析、自動車の電子化により比率が高まる組み込みソフトウェア開発におけるデジタル化の影響について研究を進めていきたい。

(さくらい あきよし/つじもと まさはる)

注

1. 代表的な先行研究として、青島(1998)、青島・延岡・竹田(2000)などがある。これらによれば、「3次元CADの導入は、開発効率と製品品質の向上をもたらす」「ただしリードタイム短縮などの導入効果を楽しむためには、変化に対する組織的対応力、組織的しゅみが必要である」と結論付けられている。

参考文献

- 1) 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の概観」『一橋論叢』第120巻第5号、pp.111-135

- 2) 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」『ITME ディスカッションペーパー』No.33
- 3) 藤本隆宏(2003)『能力構築競争～日本の自動車産業はなぜ強いのか』中公新書
- 4) 延岡健太郎(2002)『製品開発の知識』日経文庫
- 5) 五代領(2005)『製造現場から見たリコールの内側～日本のクルマは安全か』日本実業出版社

本誌掲載の、日本MOT学会の論文、及び日本MOT学会への論文投稿などについてのお問い合わせ先：
〒108-0014 東京都港区芝5-37-8

住友三田ビル11階

芝浦工業大学専門職大学院 工学マネジメント研究科
技術経営研究センター内

日本MOT学会機関誌編集委員会事務局

Fax: (03) 5730-6029

Email: horiuchi@sic.shibaura-it.ac.jp

日本MOT学会 投稿論文についての細則(抜粋)

1. 2006年度編集委員(敬称略)

産業界：有信睦弘(㈱東芝/執行役常務) 太田健一郎(日本情報通信コンサルティング㈱/執行役員技術企画部長) 杉本晴重(沖電気工業㈱/常務執行役員常務取締役CTO) 松井好(社)科学技術と経済の会/常務理事)

大 学：児玉文雄(編集委員長、芝浦工業大学) 永田晃也(九州大学) 長田洋(東京工業大学) 古川勇二(東京農工大学) 板生清(東京理科大学) 近江正幸(日本工業大学) 上西研(山口大学) 松田修一(早稲田大学) 堀内義秀(主に編集事務、芝浦工業大学)

2. 編集委員会は査読者を指定するが、編集委員は査読には参加しないこととする。
3. 一論文をレフェリー2名が査読する。査読の意見が分かれた時には編集委員会で第3査読者を要請し、その意見も聞いて編集委員会で判断することとする。
4. 査読者の制限：投稿者の直接の利害関係者(投稿者と同一組織の構成員、及び投稿者に直接指導する立場にあつたか現在ある大学教員など)は、その論文の査読にはかかわらないものとする。
5. 投稿資格：少なくとも第1著者はMOT学会員であることとする。
6. 使用言語：論文は日本語または英語で執筆することとする。

日本MOT(技術経営)学会入会のご案内

日本MOT(技術経営)学会(通称：日本MOT学会)は、日本におけるMOT教育・MOT研究の集積と日本型MOTの普及・啓蒙を目指し、MOTに関する学術的な真理の探究にとどまらず、MOTが抱えるさまざまな課題の解決に向けて会員各位が広く有機的に交流を深め、相互に連携・啓発と情報交換を図る場として2006年6月20日に発足いたしました。

つきましては、学会の資料などをご高覧のうえ、ご入会くださいますようお願い申し上げます。皆さまのご入会を心よりお待ちしております。

◎学会入会手続きの資料、入会申込書は、下記の日本MOT学会事務局までお申し付け下さい。

〒108-0014 東京都港区芝5-37-8 住友三田ビル11階

芝浦工業大学専門職大学院 工学マネジメント研究科 技術経営研究センター内

日本MOT(技術経営)学会事務局 堀内義秀

FAX:(03)5730-6029 Email: horiuchi@sic.shibaura-it.ac.jp