

1. はじめに

3次元CADで部品間の機能干渉チェックができると開発期間短縮が可能になるため、3次元CADが近年企業の競争力を向上できるデジタル技術として注目を集めている(Adler, 1989; Robertson & Allen, 1993; 青島, 1998; Baba & Nobeoka, 1998; 竹田・青島・延岡, 2002)。一方、3次元CADで機能干渉チェックができたとしても、それだけでは依然として試作を作ってみて試すことには変わりがなく、3次元CADと連携しCAE解析を行うことで初めて試作がコンピュータ上で行われることとなる。そのため、多くの先行研究は3次元CADと結び付けてCAEを効果的に活用すると、開発期間短縮ができると指摘している(延岡, 1997; 藤本, 1998; 竹田, 2000a, 2000b)。

しかしながら、先行研究では設計技術者と解析技術者は経験と勘のような暗黙知の世界が異なるため、設計技術者が最適化したCADデータと解析技術者が最適化したCAEデータを連携する際にミスマッチが生じる点については軽視されがちであった。その結果、このようなミスマッチを修正するため、設計技術者と解析技術者が3次元データでは表現できないお互いの暗黙知の共有化を図っていることが開発期間短縮に及ぼす影響について十分な議論が行われてこなかった。また、ますます厳しくなっている車の安全性と耐久性への要求がCAE解析の増加をもたらし、開発期間短縮のボトルネックになっているにもかかわらず、先行研究ではCAEが3次元CADの補助技術として扱われてきた。3次元CADと連携したCAE解析に焦点を当てた場合、CAEの活用は開発期間短縮にどのような影響を与えるのだろうか。

また、先行研究では3次元情報技術と関連する開発パフォーマンスとして開発期間短縮に焦点を当ててきたため、近年競争の激化で自動車部品メーカーに要求されている新技術開発と製品の総合品質の向上については十分な検討が行われなかった。3次元CADと連携しCAEを活用することが技術開発力と製品の総合品質のような開発パフォーマンスにどのような影響を及ぼすだろうか。この2つが本稿の基本的な問題意識である。この問いに答えるため、以下では日本の自動車部品メーカーの開発パフォーマンスとして開発期間短縮、新技術開発、製品の総合品質向上を取り上げ、質問票調査によるデータ分析を行うこととする。

2. 先行研究レビューと問題意識

3次元CADの導入効果について、藤本(1998)は日本の自動車メーカーが製品開発の後半部に起きやすい問題を3次元CADの効果的な活用で前倒しし、開発期間短縮に成功したと指摘している。また、竹田(2000a, 2000b)は3次元CADの導入が技術者の経験に頼った設計知識を共有できる形に変換させ機能干渉のチェックを容易にするため、開発期間短縮につながると主張している。

他方、製品開発には3次元CADによる機能干渉チェック以外に性能チェックのため実物試作を行うことが求められる。このような実物試作を仮想試作で代替できると、3次元CAD

で短縮できる開発期間に加えて更なる開発期間の短縮が可能となる。このことから、近年開発期間短縮ができるデジタル技術として CAE が脚光を浴びている。CAE (Computer Aided Engineering) とは、試作品を作らずにコンピュータ上で製品の構造解析などを行ったり、再現が困難な条件下での製品の挙動を推定したりすることを指す。開発パフォーマンスを一層向上させるためには CAE の構造解析機能と 3 次元 CAD の機能干渉のチェック機能が相互補完的に活用されることが求められる。そのため、近年 3 次元 CAD と CAE を連携し活用する企業が増え、CAE が急速に普及している。日本における CAE の普及傾向をみるために、3 次元 CAD と CAE の国内販売実績を表 1 に示した。CAE の販売額は緩やかに増加しているが、CAE のシート数は急速に増えていることが表 1 で分かる。その理由は高額であった CAE の価格低下が進み、シートの販売数が販売額の増加分を上回っているからである。つまり、表 1 から一次自動車部品メーカーを中心に CAE が急速に普及しつつあることが推察できる。

しかしながら、近年普及が進んでいる CAE を従来の研究は 3 次元 CAD の補助技術として扱ってきたため、設計技術者が自分の暗黙知を形式知化した CAD データと解析技術者が自分の暗黙知を形式知化した CAE データを連携する際に発生するミスマッチについてはあまり注目しなかった。そこで、本稿では 3 次元 CAD と結び付いた CAE 解析に焦点を当てて、それが開発期間短縮にどのような影響を与えるのかについて調べる。また、自動車部品産業の競争の激化で新技術を開発し、VA・VE に積極的に取り組んだり、より厳しい品質管理を行ったりする部品メーカーが増えている¹⁾。そのため、本稿では CAE の活用が新技術開発と製品の総合品質に及ぼす影響について検証する。

表 1 の挿入箇所

3. 分析の概念的枠組み

3.1 CAE のシステムティック活用

ここでは、CAE のシステムティック活用について概念の整理を行う。CAE 解析は精度の高い複雑な仮想数値実験であるため、その結果は使用者が与える材料物性や構造的条件で大きく変わる²⁾。そのため、CAE 解析には長年の経験と勘が必要となり、高度な熟練技術を持つ解析技術者が CAE 解析を行う場合が多い。そして、CAE 解析結果は元の CAD 図面を修正するために部門横断的に 3 次元 CAD と結び付いて活用されている。このように部門横断的に CAE を活用することを本稿では「CAE のシステムティック活用」と呼ぶことにする。つまり、CAE のシステムティック活用とは、詳細設計図、試作図、量産試作図の 3 次元 CAD 図面を設計する際に CAE 解析に費やした時間を増加させたり、CAD 図面から過去の不具合データを活用し CAE 解析を行ったり、CAD データと連携した CAE 解析の精度を向上させたりすることを指す。

3.2 深層の競争力を支える開発パフォーマンス

CAE 技術は開発パフォーマンスを改善させ、日本自動車部品メーカーの競争力の向上に貢献している可能性がある。以下では、開発期間短縮、新技術開発、総合品質向上のような開発パフォーマンスともの造りの組織能力との関係について概念の整理を行うこととする。

藤本（2003）によれば企業の競争力は消費者との接点で把握される表層の競争力と、表層の競争力を背後で支え、かつ企業の組織能力と直接結び付いている深層の競争力とに分けられる。表層の競争力の尺度には特定の製品に関して顧客が直接評価できる価格や製品内容などがある。他方、深層の競争力の尺度としては開発期間短縮、新技術開発、総合品質向上が挙げられる。そして、深層の競争力を規定しうるものとしてももの造りの組織能力がある。本稿ではもの造りの組織能力を階層レベルで捉え、図1のように全社レベルでのもの造りの組織能力と部門レベルでのもの造りの組織能力とに分類することとする。そして、深層の競争力を支える開発パフォーマンスを全社レベルの組織能力が必要な開発期間短縮と、部門レベルの組織能力が重要な新技術開発と製品の総合品質向上に分けることにする。その理由は次のとおりである。

一般的に、開発活動には設計部門、解析部門、製造部門など組織内の様々な部門がかかわっている。そのため、開発期間短縮のためには様々な部門が協力しながら全社レベルで開発プロセスの改善に取り組む組織能力が要求される。一方、技術開発と品質向上は各部門の現場の担当者が毎日地道な努力を重ねていくことで成し遂げられるため、部門レベルで開発目標に積極的に取り組む組織能力が重要である。

図1の挿入箇所

3.3 仮説構築

本節では、CAEのシステムティック活用について3つの仮説を提示することとする。

まず、CAEのシステムティック活用が開発期間短縮に及ぼす影響について論じる。設計技術者と解析技術者は異なる暗黙知を有するため、設計技術者が最適化した3次元CADデータと解析技術者が最適化したCAEデータとの連携時にミスマッチが起こる。このようなミスマッチを修正するため、設計技術者と解析技術者が3次元データでは表現できない暗黙知の共有化を図り、部門間のコミュニケーションを増やしている。そして、コミュニケーションの増加は試作回数が減少した分を上回るほど、開発期間を延ばす傾向がある。その理由は以下のとおりである。

第1に、3次元CADデータとCAEデータはソフトに用意されている様々な形状処理手順を実行することで形成される。これらの処理手順を実行する際に技術者は自分の経験と勘のような暗黙知に基づいて許容誤差を設定するようになっている。そのため、許容誤差の設定方法や取り扱いが技術者によって異なる。このようなデータの許容誤差と開発の作

業効率との間にはトレードオフの関係にある。解析部門は設計部門よりデータの精度に対する要求が厳しいため、作業効率よりデータの精度を優先し CAE データを作成することが多い。一方、設計部門はデータの精度より作業効率を優先し CAD データを作成する傾向がある。その結果、解析部門と設計部門が作成したデータの許容誤差が異なることとなり、データの変換時にミスマッチが発生する。このようなミスマッチを事前に防ぐためには、部門間で暗黙知を共有し許容誤差に関する設計要件と解析要件を両立させる必要がある。そのため、組織内のコミュニケーションが増加する。

第 2 に、事前に 3 次元 CAD や CAE ソフトの許容誤差の設定に関する調整を行ったとしても、設計部門と解析部門の暗黙知が異なるため、調整の困難な実際の設計と解析における許容誤差とパラメータの設定やモデリング方法などが部門間で違ってくる。そのため、CAD データと CAE データの間にミスマッチが起こる。そのうえ、3 次元データの完全性への追求には限界がある（松木ほか，2004）ため、技術者の暗黙知を CAE や CAD データのような形式知に完全に变えるのは困難である。その結果、技術者が表現しようとしたデータと実際のデータとの間にミスマッチが生じる。これらのミスマッチは CAD データを CAE データへ変換する際にトラブルを起こす。日本自動車部品工業会は日本自動車部品産業において 3 次元データの変換時におけるトラブルの損失が最低でも年間約 25 万件、損失金額は年間約 71 億円、損失リードタイムは 1 件あたり約 1.5 日であると発表している。そのため、データの変換時におけるトラブルを自動的に見つける PDQ ソフト³⁾が登場している。しかし、複雑な自由曲面、肉厚、フィレット R のような細部チェックについては PDQ ソフトによる自動化に限界がある（森川，2004）。特に、現在の 3 次元ソフトは複雑な自由曲面の多い立体形状データの表現が苦手である。そのうえ、設計技術者と解析技術者は許容誤差の設定やモデリング方法がそれぞれ違うため、複雑な自由曲面データの変換時に細かな面の欠落や面と面の隙間が生じることが多い。このような隙間と欠落部を見逃すと、最終確認用の実物試作品を製作する際に表面の段差と波打ちの原因となり、最終確認用の試作品の仕上げに現場の生産技術者の地道な磨き作業が要求される。そのため、このような部分が正しく変換されたのかを解析技術者は直接チェックし、見つかったトラブル箇所を手作業で修正しながら新しいモデリングをすることが求められる（磯部，2004）。その際、解析技術者は設計技術者と暗黙知を共有しながら 3 次元データの最適化を進めることが必要である。また、CAE 解析の結果、見つかった問題点などを元の CAD データにフィードバックし、CAE と CAD の相互補完的なループを形成するためには、今度逆に CAE データから CAD データへの変換が要求される。このようなプロセスは 3 次元 CAD の設計変更がある度に実施することが求められるため、組織内のコミュニケーションが増え、開発期間が延びる。

第 3 に、3 次元データだけでは試作部門が最終確認用の実物試作品の角物と丸物を造ることが難しいため、現状では製造現場とのコミュニケーション用として 2 次元データの作成も求められる。そのため、3 次元データに加えて 2 次元データも作成する分、工数が増加し、

開発期間短縮に負の影響を及ぼす。以上を踏まえると、次の仮説が導出される。

【仮説 1】 CAE のシステマティック活用が増えるほど、開発期間短縮に負の影響を及ぼす。

技術は大きく製品技術と生産技術に分類できる。以下では、CAE のシステマティック活用が製品技術と生産技術の新規開発に及ぼす影響について論じる。新技術開発とは、VA・VE を実現するために試作品開発や量産ラインの立ち上げに他の企業にはない特殊な製品技術と生産技術を開発することを指す。

製品技術の開発は事前計画による意図した顕在的な技術開発と、開発を進める中で意図しなかった発見による潜在的技術開発に分けられる (Kodama, 1995)。3次元 CAD と連携し CAE 解析を重ねると、意図しなかった発見による製品技術が開発できる。実際、設計部門が開発した新製品技術の多くは実験してみないと、計画どおりの性能が実現できるかが分からないケースが多い。また、設計部門が初期案として提案した 3次元 CAD データには、構造的な性能保証や設計ミス防止が十分ではない傾向がある。そのため、設計部門が解析部門と暗黙知を共有しながら新製品技術を試すうちに失敗の経験の蓄積から意図しなかった新技術を発見できる⁴⁾。

一方、より良い製品をより低コストで生産するためには、製品を組み立てる生産工程すべてを事前に検討し、生産性の高い生産工程を開発する必要がある。そのため、CAE のシステマティック活用で、設計技術者と解析技術者が暗黙知を共有しながら仮想組み立てのシミュレーションを行うと、製品の製造性評価、製造コスト評価、組み立てやすさの評価、生産時の人の作業性チェックなどができる。したがって、生産ラインの立ち上げに予想されるさまざまな問題の洗い出しが容易になる。その結果、生産工程短縮や作業者の工数削減などにつながる新しい生産技術の開発が促進される。以上の議論は次の仮説としてまとめられる。

【仮説 2】 CAE のシステマティック活用が増えるほど、新技術の開発が促進される。

製品の総合品質とは、製造工程内で発見される内部不良率と出荷された後納入先で見つかる外部不良率で構成されるトータルの製品の品質のことを指す (藤本, 2001)。以下では、CAE のシステマティック活用が製品の総合品質向上に及ぼす影響について検討する。確認用の実物試作品を毎回作って実験する開発形態では、試作品の製作と実験に膨大なコストがかかるため、予算の範囲内で試作品が製作される。その結果、完成品の総合品質は最適値ではなく、企業が適正だと判断したレベルで決定される。そのため、完成品の出荷後、設計変更を招き、開発コストを増大させることが多い。

しかし、3次元 CAD と連携し CAE を活用すると、設計技術者と解析技術者がお互いの暗黙知を共有化しながら製品の総合品質を最適化できるまで仮想組み立てと仮想実験を何

回も繰り返すことが可能となるため、製品の総合品質が向上する⁵⁾。以上を踏まえると、次の仮説が導出される。

【仮説 3】 CAE のシステムティック活用が増えるほど、製品の総合品質は向上する。

4. 研究方法と変数の測定

本節では、仮説検証のため重回帰分析（OLS：最小自乗法）を行う。日本自動車部品工業会会員の1次部品メーカー402社の技術部長宛てに2003年9月12日に質問票を郵送した。質問票は2003年10月8日締め切りとして回収を行った。回収されたデータは88通であり、有効な回答が得られた84通を用いてデータ分析を行った。質問票では、当該部品メーカーに過去4年間において最も重要な製品のメジャーモデルチェンジについて回答するようにした。質問票は直接記入による回答とリカートのスケールによる主観的な回答で構成されている。一般に、主観評価による回答は回答者の主観により評点にバイアスがかかる傾向がある。今回の質問票では、今回の開発と2世代前の先代開発の相对比较として回答を得ることでバイアスを多少とも減少できるようにした。

4.1 調査変数

仮説検証のために、3つの回帰モデルを構築する。各モデルに投入した変数に関する説明を表2に示す。すべてのモデルの独立変数は「CAEのシステムティック活用」である。「CAEのシステムティック活用」はCAEのシステムティック活用度合を調べるために、本稿の定義に従い表2に示した3つの質問項目で構成した。そして、各項目について「減少=1」から「上昇=6」のリカートのスケールにより回答を得て、これらを平均した⁶⁾。モデル1の従属変数「開発期間短縮率」⁷⁾は表2に示した計算方法で測定した。この数値が高いほど、短縮された開発期間は長いことになる。モデル2の従属変数「新技術開発」は前節の本稿の定義に従い、表2に示した2つの質問項目で構成された。さらに、モデル3の従属変数「総合品質」は2世代前のモデルの開発と今回の開発を比較し、表2に示した方法で計算した。

制御変数を投入しても「CAEのシステムティック活用」が開発パフォーマンスに有意な影響を与えるのかについて調べるため、各回帰モデルに以下の制御変数を共通に導入した。部品メーカーの属性を表す「専業度」と「資本金」は開発パフォーマンスに影響を及ぼす可能性があるため投入された。「DR回数」は部品メーカーの製品開発戦略を表す変数である。デザインレビューを重ねていくと、技術と品質上の問題を見つけるのが容易になる。製品の特性を示す「構造調整企業数」、「取付部共通化」、「部品点数」、「部品範疇ダミー」を投入した理由は次のとおりである。まず、製品のシステム性の高低を判断できる尺度として「構造調整企業数」と「取付部共通化」を投入した。製品のシステム性が高い自動車部品の場合は、他の企業と頻繁に構造調整を行う必要がある。そのうえ、このような製品は他の部品との取り付け部の共通化があまり進展していない可能性がある。また、「部品点

数」は製品が複数の小物部品で構成されるユニット部品であるのか小物部品であるのかで、CAE のシステムティック活用が影響されるために入れた。さらに、部品が内装部品のように樹脂製部品なのか車体部品のように機械系部品なのかで、CAE のシステムティック活用に影響を与えると予想される。そのため、自動車のどの部分の部品であるのかを考慮するために「部品範疇ダミー」を投入した。部品範疇については、アイアールシー社の分類法に従って8つに分類した。そして、8つの部品範疇のうち、7つを(0, 1)のダミー変数化した。ベースは「その他」である。

上述の制御変数に加えて、「経過時間」、「バリエーション」、「情報技術活用」は各モデルの従属変数と独立変数の特性に合わせて投入された制御変数である。まず、従属変数「開発期間短縮率」は時間とともに変化するものであることから、モデル1に「経過時間」を導入した。また、各部署のレベルで技術開発と品質向上のため情報技術が日々よく使われることから「情報技術活用」をモデル2と3に投入した。さらに、「バリエーション」は製品ラインが多いほど、多様な新技術を開発する必要性が高いことからモデル3のみに入れた。

表 2、3、4 の挿入箇所

5. 分析結果

まず、基本統計値と相関係数を表3に示す。本稿のモデルの従属変数と独立変数の間では「開発期間短縮率」と「CAE のシステムティック活用」以外は比較的強い相関がみられる。「開発期間短縮率」と「CAE のシステムティック活用」は統計的に有意ではないが、マイナス相関関係にある。他方、「総合品質」と「CAE のシステムティック活用」はプラス相関がある。「新技術開発」と「CAE のシステムティック活用」は比較的強い相関関係が存在する。次に、表4で重回帰分析の結果を示す⁸⁾。モデル1の分析結果を用いて仮説1の検証を行う。モデル1の独立変数「CAE のシステムティック活用」は符号がマイナスで1%水準で有意であったため、仮説1は支持された。次に、モデル2の独立変数「CAE のシステムティック活用」は符号がプラスで1%水準で有意であったため、仮説2は支持された。最後に、モデル3の結果を検討する。モデル3の独立変数「CAE のシステムティック活用」は符号がプラスで1%水準で有意であったため、仮説3は支持された。

6. まとめと今後の課題

本稿ではもの造りの組織能力を階層レベルで捉え、開発パフォーマンスを全社レベルでの組織能力が必要な開発期間短縮と、部門レベルでの組織能力が重要な新技術開発と製品の総合品質向上に分けた。そして、CAE のシステムティック活用が開発パフォーマンスに及ぼす影響について分析を行った結果、以下の諸点が明らかとなった。

第1に、設計技術者と解析技術者は異なる暗黙知を有するため、設計技術者が最適化し

た 3 次元 CAD データと解析技術者が最適化した CAE データとの連携時にミスマッチが生じる。そして、このようなミスマッチの修正のため、部門間の暗黙知の共有化をもたらし、組織内のコミュニケーションが増加する。コミュニケーションの増加は試作と実験回数が減少した分を上回るほど、開発期間を延ばす。その理由は次のとおりである。

まず、3 次元データの作成に必要な許容誤差の設定が設計部門と解析部門で異なるため、CAD と CAE との連携時にミスマッチが生じる。これを事前に防止するためには、許容誤差の設定に関する設計要件と解析要件の両立化が求められる。そのため、部門間の暗黙知の共有化が必要となり、組織内のコミュニケーションが増える。

また、事前に CAD と CAE ソフトの許容誤差を調整したとしても、設計部門と解析部門の暗黙知が異なるため、調整の困難な実際の設計と解析における許容誤差やパラメータの設定などが部門間で違ってくる。そのため、CAD データと CAE データとの間にミスマッチが生じる。そのうえ、3 次元データの完全性への追求には限界があるため、技術者が暗黙知に基づいて表現しようとしたデータと実際のデータとの間にミスマッチが生じる。これらのミスマッチはデータの変換時にトラブルを起こす。そのため、データが正しく変換されたのかをチェックする必要がある。しかし、チェック機能を備えた PDQ ソフトを活用しても正しくチェックできない自由曲面のような部分もある。このような部分のチェックのためには、設計技術者と解析技術者が暗黙知を共有する必要があり、部門間のコミュニケーションが増加する。

さらに、現状では試作品を造る製造現場とのコミュニケーション用として 2 次元データも 3 次元データと並行して作成する必要がある。そのため、3 次元データに加えて 2 次元データも作成する分、工数が増加し開発期間が延びる。

以上の調査結果は次のように解釈できる。竹田（2000a）は 3 次元 CAD の立体画像が有するメディア機能が組織内のコミュニケーションを増加させると主張した。また、青島・延岡（2001）は 3 次元情報技術に関する組織的な対応能力が形成されないと、3 次元 CAD が導入されてもかえって組織内のコミュニケーションが増え開発期間の長期化を招くと論じている。本稿の調査結果によれば、3 次元情報技術が組織内のコミュニケーションを増加させる要因として、異なる暗黙知を有する技術者がそれぞれ最適化した CAD データと CAE データの連携時に生じるミスマッチを修正するために部門間の暗黙知の共有が活発化している点に加えられる。

第 2 に、CAE のシステムティック活用は新技術開発と製品の総合品質の向上を可能にする。藤本（2003）は製造業における情報技術への投資がそれ単独で競争力の向上をもたらすことは困難であると指摘した。本稿の調査結果では、日本自動車部品産業の競争力向上と関連し CAE 技術はそれ単独で全社レベルの組織能力が必要な開発期間短縮には貢献していないものの、部門レベルの組織能力が重要な技術開発と品質向上には一定レベルの貢献をしていることが確認できた。

本稿の調査結果の実務的なインプリケーションとして次の 2 点が挙げられる。まず、3 次

元情報技術の活用は許容誤差との終わりのない戦いを意味する。そのため、CAE のシステムティック活用によるコミュニケーションの増加が開発期間短縮へ与える負荷を少しでも軽減するためには、データを変換する前に 3 次元データでは表現できない技術者の熟練技術のような暗黙知を組織内でより幅広く共有する必要がある。また、効果的な CAE 活用のためには全社レベルの開発目標と部門レベルの開発目標にそれぞれ合わせて CAE 技術を使い分けることが求められる。つまり、部門レベルでのもの造りの組織能力が必要な技術開発と品質向上には、CAE のシステムティック活用だけでもある程度成果を上げることができる。一方、CAE のシステムティック活用だけでは全社レベルでのもの造りの組織能力が重要な開発期間短縮にあまり成果が上がらないため、全社レベルの他のプロセス改善活動と組み合わせることが要求される。

本稿の議論の延長線上で今後明確にする必要がある課題として、以下の項目が挙げられる。

まず、技術者の経験と勘のような暗黙知を CAE データのような形式知に完全に变えるのは困難である。そのため、CAE の活用に過度に頼ってしまうと、実物の試作作りから学ぶ熟練技術のような暗黙知の健全な継承が阻害される可能性がある。したがって、3 次元情報技術を活用しながらも熟練技術をいかに継承させていくのかが、今後競争力優位の確保のために重要な課題になっていく可能性が高い。

また、異なる部門間で作成された 3 次元データの許容誤差やパラメータのミスマッチから発生する修正作業の負担を少しでも軽減するためには、設計から解析まで 3 次元化に対応できる一貫した開発組織を作る必要がある。一貫した開発組織づくりのためには組織内で 3 次元情報技術の運用に関する明確なルールを設定することが求められる。このような明確なルールが設定できると、熟練技術のような暗黙知を将来に活かせる信頼性の高い形式知として組織内に蓄積していくことが容易になる。

さらに、CAE のシステムティック活用により設計技術者と解析技術者がチームを組んで開発を進めるようになり、組織内の協業化が更に強化されてきたと推察できる。そのため、CAE が組織内の業務の境界をどのように変化させつつあるのかをより具体的に調べると、3 次元情報技術の急速な進化に対応するためにはどのような組織能力が必要であるのかが明確となる。

最後に、近年自動車部品メーカーの開発期間短縮は着実に短縮されつつあることを踏まえ、CAE の活用で長引いた分を上回るほどの開発期間短縮をもたらしたいくつかの全社的なプロセス改善の取り組みがあると推察される。これらの取り組みと 3 次元情報技術を効果的に融合させ、更なる開発期間短縮を図るためには、これらの取り組みについて詳しい分析が必要である。

謝辞

本稿の作成にあたり、シニアエディターの楠木建先生と匿名のレフェリー2名から大変貴重なコメントをいただいた。心より感謝を申し上げる。

参考文献

- アイアールシー社『日本自動車部品産業の実態'98年版』, 1998.
- Adler, P., "Cad/Cam: Managerial Challenges and Research Issues", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 36, No. 3, 1989, pp. 202-210.
- 青島矢一「'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』120 巻 5 号, 1998, pp. 111-135.
- 青島矢一・延岡健太郎「3次元 CAD 技術による製品開発プロセスの変革」『日本労働研究雑誌』43 巻, 2001, pp. 29-40.
- 有泉徹『CAE による設計の改革術』日刊工業新聞社, 2000.
- Baba, Y. and K. Nobeoka, "Towards Knowledge-based Product Development: the 3-D CAD Model of Knowledge Creation", *Research Policy*, Vol. 26, 1998, pp. 643-659.
- 藤本隆宏「自動車製品開発の新展開—フロント・ローディングによる能力構築競争」『ビジネス・レビュー』46 巻 1 号, 1998, pp. 22-41.
- 藤本隆宏『生産マネジメント入門』日本経済新聞社, 2001.
- 藤本隆宏『能力構築競争』中公新書, 2003.
- 磯部慎治「自動車メーカーにおける3D-CADデータの取り組み」『第65回型技術協会セミナーCADデータの品質と金型設計』2004, pp. 13-16.
- Kodama, F., "*Emerging Patterns of Innovation*", Harvard Business School Press, 1995.
- 小島芳生「車両開発における構造・機構のCAE」『トヨタ中央研究所R&Dレビュー』Vol. 35, No. 4, 2000, pp. 1-8.
- 松木則夫・徳永仁史・小島俊雄・木村文彦「形状処理のコンポーネント化によるパラメトリックデータの共有化」『精密工学会誌』Vol. 69, No. 9, 2003, pp. 1253-1258.
- 森川滋己「PDQソフトウェアでは何ができるのか?」『第65回型技術協会セミナーCADデータの品質と金型設計』2004, pp. 5-12.
- 延岡健太郎「新世代 CAD による製品開発の革新」『国民経済雑誌』Vol. 176, 1997, pp. 63-76.
- 延岡健太郎・竹田陽子・青島矢一「3次元 CAD の導入と経営革新」『Computer Today』秋号, Vol. 112, 2002, pp. 53-57.
- 朴泰勲「企業間取引の持続に関する部品メーカーの経営戦略—日本自動車産業における長期部品取引の分析」『日本経営学会誌』第 6 号, 2000, pp.55-67
- 朴泰勲「製品システム階層の戦略的マネジメント—工作機械メーカーのコスト削減と製品差別化の同時追求戦略」『一橋ビジネス・レビュー』第 48 巻第 3 号, 2000, pp.168-180
- 朴泰勲「日本自動車産業の階層的分業構造と組織間関係—トヨタ系部品メーカー間の開発期間短縮をめぐ

る協業システム」『日本経営学会誌』第10号, 2003, pp.27-39

Robertson D. and T. Allen, "CAD System Use and Engineering Performance", *IEEE*

Transactions on Engineering Management, Vol. 40, No. 3, 1993, pp. 274-282.

竹田陽子「3次元情報技術の導入が製品開発パフォーマンスに与える影響」『組織科学』33巻4号,

2000a, pp. 45-58.

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, 2000b.

竹田陽子・青島圭一・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」ITME

Discussion Paper, No. 87, 2002.

矢野経済研究所『CAD/CAM/CAEシステム市場の中期展望2002年版』, 2002.

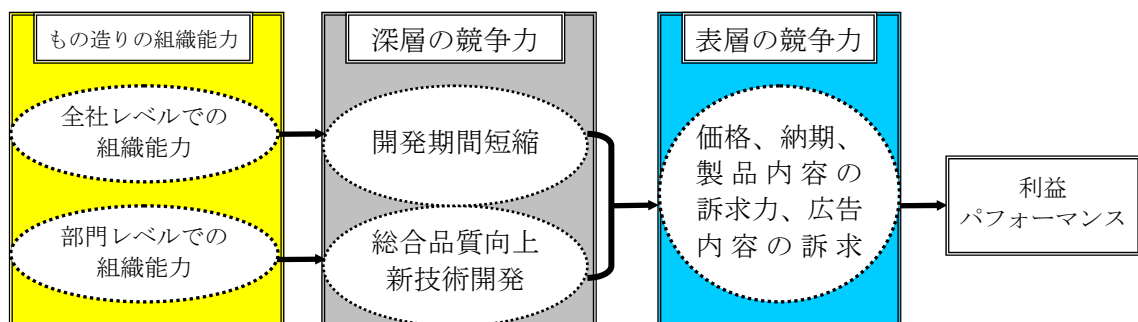
表1：機械系3次元CADとCAEの国内販売実績

	2000年度		2001年度		2002年度	
	金額	シート数	金額	シート数	金額	シート数
2次元CAD	31,785	95,030	26,068	102,448	22,732	103,670
3次元CAD	73,461	54,158	75,684	58,004	87,000	66,833
機械系CAE	12,445	1,385	12,735	1,850	14,420	2,970

[出所] 矢野経済研究所

金額単位：100万円

図1：深層の競争力と開発パフォーマンスとの関係



[出所]藤本 (2003) を変更し、筆者作成

表 2 変数の説明

開発期間短縮率	$= \frac{\text{2世代前のモデルの開発期間} - \text{今回の開発期間}}{\text{2世代前のモデルの開発期間}}$
新技術開発	以下の項目の平均 (全く違う：1～全くその通り：5) ①今回他社にはない特殊な開発技術と生産技術をもって主要取引先にVA・VEの提案をした。 ②試作品開発に新技術を用いた、そして量産ラインの立ち上げに新規性の高い生産技術を使用した。
総合品質	以下の項目の平均 ①工程内の製造品質の向上比率 ②取引先のクレームの削減比率
CAEのシステムティック活用	以下の項目の平均 (減少1～上昇6) ①詳細設計図、試作図、量産試作図のCAD設計においてCAE解析に費やした時間 ②設計変更や試作の回数を減らすため、CAD図面から過去の不具合データを活用しCAE解析を行った比率 ③CADデータと連携したCAEの構造解析の精度
構造調整企業数	構造調整(機能干渉や建て付けのチェック)が求められる他の部品メーカーの数(納入先を含む)
取付部共通化	製品の取り付け部分が共通化されている納入先の完成品モデル(モデルの異なる他の製品を含む)の数
部品点数	製品を構成する部品の点数
部品範疇ダミー	エンジン部品、パワートレイン部品、ステアリング部品、サスペンション部品、ブレーキ部品、内装部品、車体部品、その他
専業度	年間総売上高と自動車部品の売上高を対数変換し、自動車部品の売上高を年間総売上高で割って計算
資本金	部品メーカーの資本金の対数変換
バリエーション	製品バリエーションの数
DR回数	デザインレビュー回数
情報技術活用	技術開発と品質管理の際に情報技術を活用する比率が高まった (減少1～上昇6)
経過年数	2世代前の開発プロジェクトと今回の開発プロジェクト間の経過年数

注) リカートスケールで測定した質問項目以外はすべて実数で測定した。

表 3 : 変数間の相関マトリクス

	平均 (SD)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
(1) 資本金	4.4(1.2)	1												

(2) 部品点数	42.4(110.5)	0.09	1											
(3) 構造調整企業数	3.5(4.2)	0.23***	-0.04	1										
(4) 取付部共通化	5.3(9.2)	0.28**	0.17	0.46***	1									
(5) 新技術開発	3.6(1.0)	0.10	0.16	-0.12	0.11	1								
(6) 専業度	0.4(0.3)	-0.19	-0.08	0.23*	-0.02	0.13	1							
(7) CAE のシステマティック活用	3.2(1.3)	0.37***	0.16	0.22*	0.24*	0.59***	0.10	1						
(8) 開発期間短縮率	0.2(0.4)	0.05	-0.11	-0.10	-0.12	0.11	-0.08	-0.17	1					
(9) 経過年数	42.4(27.2)	0.16	0.13	0.06	0.20	0.15	0.07	0.43***	0.22*	1				
(10) 総合品質	15.6(16.7)	0.16	-0.01	0.38***	0.44***	0.16	-0.09	0.28**	-0.11	0.16	1			
(11) バリエーション	15.3(16.9)	0.05	0.16	0.23	0.05	-0.19	0.08	0.20	-0.02	0.13	0.01	1		
(12) DR 回数	2.8(2.9)	0.06	-0.03	-0.11	-0.04	0.21	0.01	0.16	-0.09	0.13	-0.10	-0.05	1	
(13) 情報技術活用	3.4(1.7)	0.11	0.14	0.24*	0.25*	0.26**	0.13	0.61***	-0.08	0.31***	0.24*	-0.10	0.01	1

注：* $p<0.1$, ** $p<0.05$, *** $p<0.01$

表 4 CAE の活用と開発パフォーマンスに関する回帰分析結果 (OLS)

	開発期間短縮率 (モデル 1)	新技術開発 (モデル 2)	総合品質 (モデル 3)
CAE のシステマティック活用	-0.76***	0.88***	0.89***
専業度	0.17	0.27	-0.41**
資本金	0.05	-0.18	-0.88**
構造調整企業数	0.20	-0.37	0.01
取付部共通化	-0.12	0.48*	0.39**
部品点数	-0.12	0.19	-0.03
DR 回数	-0.52	0.16	1.01*
新技術開発	0.34	—	-0.40
経過年数	0.53**	—	—
情報技術活用	—	-0.27	-0.31
バリエーション	—	-0.35	—
調整済み R ²	0.33	0.69	0.62
F 値	2.00	3.87	3.61

注：* $p<0.1$, ** $p<0.05$, *** $p<0.01$ 実際には全てのモデルにおいて製品範疇のダミー変数が含まれている。

-
- 1) 山清工業管理部購買課長牧野充明氏と品質保証部技術課係長今尾晃氏とのインタビューによる。
 - 2) CAE 解析は意匠設計段階で設計技術者が自分の思考を確認する程度で実施する簡易的で低精度のもの、試作段階で解析部門が実物試作を代替するため行う複雑で極めて高精度のものに分けられる(小島, 2000)。CAE ソフト会社日本 MSC が行った質問票調査結果によれば、試作段階における CAE 解析の回数が意匠段階における CAE 解析の回数より圧倒的に多いことが明らかになっている(有泉, 2000)。この結果は試作段階の CAE 解析が開発効率と直結する重要なものであることを示す。本稿での CAE 解析とは、主に試作段階で解析部門が行う精度の高いものを指す。
 - 3) (社) 日本自動車部品工業会「PDQ 分科会」によれば、PDQ (Product Data Quality) ソフトとは 3 次元 CAD データと CAE データの交換の際に不具合をチェックし、その不具合部分を修正するソフトのことを指す。
 - 4) 水菱プラスチック株式会社生産技術部部长田中均氏とのインタビューによる。
 - 5) 協成産業株式会社営業課課長北山功氏とのインタビューによる。
 - 6) 本稿で複数の指標から構成されている変数について信頼性係数クロンバック α を示そう。「CAE のシステムティック活用」: 0.88、「新技術開発」: 0.63、「総合品質」: 0.64。
 - 7) 新製品の企画構想を立てるために最初の会議を開いた日から量産ラインの初品が始めて発売された日までのトータルの期間を製品開発期間として質問票に定義した(藤本, 2001)。