

*MMRC*  
*DISCUSSION PAPER SERIES*

MMRC-J-161

製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

—製品開発プロセスにおける統合的ITシステム構築の事例—

東京大学ものづくり経営研究センター

朴 英元  
藤本 隆宏  
吉川 良三

University of Toledo  
Paul Hong

PTC ジャパン  
阿部 武志

2007年4月



東京大学21世紀COE [整備型]  
ものづくり経営研究センター



# 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

—製品開発プロセスにおける統合的ITシステム構築の事例—

東京大学ものづくり経営研究センター

朴 英元  
藤本 隆宏  
吉川 良三

University of Toledo

**Paul Hong**

PTC ジャパン

阿部 武志

2007年4月

**要旨：**製品にはそれぞれ異なるアーキテクチャを持っており、そのような製品のアーキテクチャを活かすためのIT利用が出来なければ、ITの価値は失われてしまう。組織においてITを効率的に導入・利用するためには、そのような製品のアーキテクチャを把握した上で、製品のアーキテクチャに適合したITシステムの構築を行わなければならない。

本稿では製品のアーキテクチャと製品開発に利用されるCADを利用する組織能力との間の適合性を分析するためのモデルを提示する。その後、組立メーカーと部品のサプライヤーがわりと共通的にCADを利用している自動車産業の事例ではなく、CAD利用の統合性が取れていないエレクトロニクス産業の事例を紹介し、製品開発における統合的ITシステムを可能にする組織能力の重要性について検討した。

**キーワード：**製品アーキテクチャ、3DCAD、組織能力、エレクトロニクス産業、統合的ITシステム

## 1. はじめに

近年の情報技術の発展は、企業の組織形態やビジネスに対して様々なインパクトを与えている。例えば、近年企業に導入されている ERP、CRM(カスタマー・リレーションシップ・マネジメント)や SCM(サプライ・チェーン・マネジメント)などの情報システムは、顧客管理や販売製品の物流・在庫の的確な把握を可能にし、従来のビジネス携帯を変化させている(朴、2004a ; Davenport, 2000 ; Williams, 1998)。とりわけ、1990年代以降、製品開発のスピードを大幅に縮めている 3DCAD の利用は、企業の製品開発だけではなく、近年の競争優位の決定的な要因の一つとして位置づけられている(藤本、2005; 具、2003; 竹田、2000)。Aberdeen Group の調査によると、「製品原価は製品原価の約 80%は設計段階から生産段階に移るとき、決まる」という(Bae, 2003)。この事実は、個別企業がいくら効率的に IT システムを利用しても、ERP(Enterprise Resource Planning)と SCM(Supply Chain Management)のようなシステムは製品原価の 20%だけを下げることには寄与することを示唆する。

ところが、日本の自動車産業と電子産業における CAD システムの利用の実態をみると、自動車産業と電子産業の間で CAD システムの利用の仕方が異なることが明らかになっている。例えば、日本の自動車メーカーは統合的のものづくりを行っており、組立メーカーに部品を提供しているサプライヤーは組立メーカーの採用した CAD の利用が強い傾向がある。一方、家電・エレクトロニクス製品の場合、7割以上が汎用部品であるといわれており、組立メーカーと部品供給のサプライヤーとの CAD 利用は必ずしも一致しない傾向がある。製品開発プロセスは、製品のアーキテクチャ特性と製品開発をサポートする IT ツールを利用する組織能力との相互作用の中で形成されると考えれば、以上の結果は製品アーキテクチャと IT システムを利用する組織能力との間に何らかの適合性があることを示唆している。

これまでの IT に関する研究は主に IT 導入により組織の成果が上がり、あるいは新しい事業機会が提供されたりすることを強調してきた。ところが、90年代後半に入り、本当に IT を導入すれば成果が上がるのかという疑問が起こってきた。実際、日本企業は 1980 年代に IT 先進国に追いつくために無理をして大規模なシステムを導入し、あるいは横並び的に IT 投資を行ってきたが、必ずしも十分な成果があったとは言えない(朴、2004b)。

著者らの研究も含めた近年の研究が明らかにしてきたのは、IT を導入して高い成果を収めるためには、製品のアーキテクチャと IT システムを活用する組織能力との間に何らかの適合性が必要であることである(藤本、2006 ; 朴、2004b)。たしかに 3DCAD などコンピュータ支援技術の発展は目覚しく、その導入を怠れば勝てないが、さりとて新技術のみで競争優位の大逆転が起こることはない(藤本、2001)。

言い換えれば、製品にはそれぞれ異なるアーキテクチャを持っており、そのような製品のアーキテクチャを活かすためのIT利用が出来なければ、ITの価値は失われてしまう。組織においてITを効率的に導入・利用するためには、そのような製品のアーキテクチャを把握した上で、製品のアーキテクチャに適合したITシステムの構築を行わなければならない。

以上のことから、本稿では製品のアーキテクチャと製品開発に利用されるCADを利用する組織能力との間の適合性を分析するためのモデルを提示する。その後、組立メーカーと部品のサプライヤーがわりと共通的にCADを利用している自動車産業の事例ではなく、CAD利用の統合性が取れていないエレクトロニクス産業の事例を紹介し、製品開発における統合的ITシステムを可能にする組織能力の重要性について検討する。

## 2. 製品アーキテクチャと3DCADシステム

### 2.1 製品アーキテクチャの構造

一般に、製品・工程の「アーキテクチャ」とは、「どのようにして製品を構成部品や工程に分割し、そこに製品機能を配分し、それによって必要となる部品・工程間のインターフェース(情報やエネルギーを交換する「継ぎ手」の部分)をいかに設計・調整するか」に関する基本的な設計思想のことである(藤本、2001)。つまり、製品を構成するコア部品をどのように連結するか、ということに関する基本コンセプトを製品アーキテクチャと呼ぶ。製品の要求機能をどのように展開し、製品をどのような部品に切り分け、機能をどのように分配し、部品間の接合部分(Interface)をどのように設計するかなどに関する基本ルールが、アーキテクチャの選択によって決まってくる(藤本、2004)。代表的な分け方としては、「モジュラー型」と「インテグラル型」の区別、また「オープン型」と「クローズ型」の区別があるといわれる(Ulrich, 1995; Fine, 1998; Baldwin and Clark, 2000; 藤本、2001)。

藤本(2001, 2004)は、二つの対立的分類軸を用いてアーキテクチャ製品を分類している。第一に、「モジュラー・インテグラル」の分類軸である。まず、モジュラー・アーキテクチャの製品とは、機能と部品(Module)との関係が1対1に近く、すっきりした形になっているものを指す。各部品をみると、それぞれ自己完結的な機能があり、一つ一つの部品に非常に独立性の高い機能が与えられている。それぞれの部品の機能がかなり完結的で、そのため、部品相互間の信号やエネルギーのやり取りもそんなに必要ではない。したがって、インターフェース(Interface)が比較的シンプルですむ。一方、インテグラル・アーキテクチャの製品とは、機能群と部品群との関係が錯綜しているものを指す。例えば、自動車が典型的である。自動車の持つ大きな機能として、ノイズやバイブレーションなど乗り心地系のものがあるが、これに対応する特定の製品はないわけである。ひとつの機能に対して、多くの部品

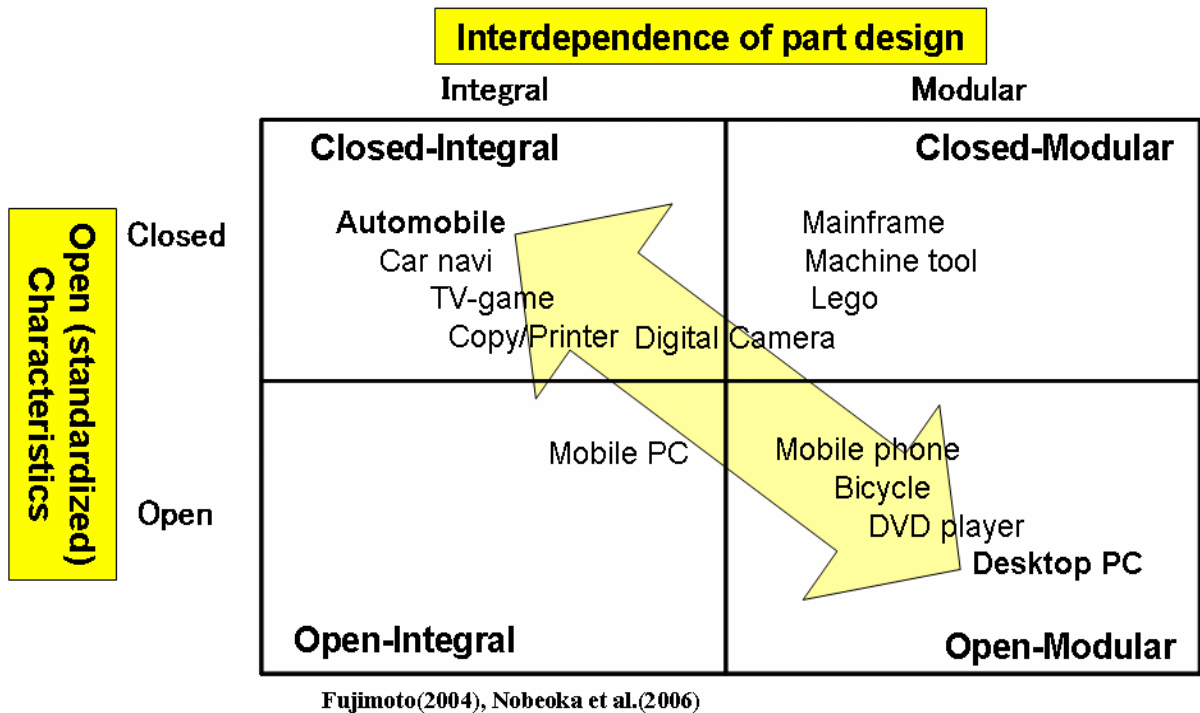
が相互に微妙に調整しあってトータル・システムとしての力を出している。つまり、機能と部品が1対1ではなく多対多の関係にある。したがって、各モジュール(部品)の設計者は、たがいに設計の微調整を行い、相互に緊密な連携を取る必要がある。

第二に、「モジュラー・インテグラル」分類に、「複数企業間の連携関係」という軸を加味して、「オープン・クローズ」というアーキテクチャ分類軸を設けている。オープン・アーキテクチャ製品とは、基本的にモジュラー製品であった、なおかつインターフェースが企業を超えて業界レベルで標準化した製品のことを指す。したがって、企業を超えた「客集め設計」が可能であり、異なる企業から素性の良い製品を集めて連結すれば、複雑な「擦り合わせ」なしに、ただちに機能性の高い製品が生み出される(Fine, 1998; 藤本, 2001)。他方、「クローズ・アーキテクチャ」製品とは、モジュール間のインターフェース設計ルールが基本的に1社内に閉じているものを指す。例えば、自動車の場合、各部品の詳細設計は外部のサプライヤーに任せることもあるが、インターフェース設計や機能設計などの「基本設計」部分は1社で完結している。以上のアーキテクチャ製品の分類をまとめると、2×2マトリックスから3つのアーキテクチャタイプが導き出され、図1のようになる。

ただし、これらの分類は、あくまでも完成製品のアーキテクチャ特性から分類しており、製品の中の部品によってはこの枠組みに当てはまらない場合もある。つまり、製品全体は、アーキテクチャタイプの異なる部品の混成体であることが多い。したがって、藤本(2001, 2004)は、ある製品が全体として「モジュラー・インテグラル」あるいは「オープン・クローズ」としてはっきり言えないところがあると指摘している。そのため、一般的に製品機能や製品構造・工程構造は、階層的形(ヒエラルキー)で表現されていることを前提にすると、「モジュラー・インテグラル」の区分は、製品機能・製品構造ヒエラルキーの両極端を説明していることに過ぎないことになる。

延岡他(2006)も、電子・デジタル商品のモジュラー特性について分類しながら、部品の特徴によって、クローズ・インテグラルからオープン・モジュラーまでを図1のように連続線上で分類している。彼らによると、インテグラル製品とは、部品間特性がインテグラル(Analogue)で、オープン特性がクローズ(専用部品)なものと定義し、代表的な製品として自動車を挙げている。それに対して、モジュラー型の代表はDesktop PCであり、多くのデジタル家電はそれに近い特性を持っているとされる。そのため、本稿では藤本(2001, 2004)と延岡他(2006)の分類を利用して、「モジュラー・インテグラル」と「オープン・クローズ」アーキテクチャ分類軸をヒエラルキーの連続線上で位置づけて分類する。

[図1] 設計情報のアーキテクチャによる製品分類



## 2.2 CADと製品アーキテクチャとの関係

### 2.2.1 製品開発におけるCADの利用と組織への影響

ここでは、製品アーキテクチャとCADとの関係を検討するが、まず製品開発における3DCADの利用と組織への影響について考察する。2DCADは主として設計活動内部の効率化を目指したものであり、既存の開発組織や開発プロセスを前提に導入され、製品情報のデジタル化自体は、2DCADでも部分的に実現されたのである。それに対して、「ソリッド・モデリング」という機能を備えた最近の3DCADは、物理的製品の形状から大きさ、質量に至るあらゆる属性をデジタルデータとして定義して3次元立体として映像化することができる能力をもっている。その結果、従来の製品開発プロセスや開発タスクの定義、設計者のスキルに対して根本的な変革を促しつつある(Adler, 1989; Baba and Nobeoka, 1998; 青島他, 2001)。例えば、従来日本企業では、製品を組み立てるとき、部品間の公差に対するノウハウの蓄積があり、公差は2次元図面自体に書き込まれていた。しかし、複雑な図面を読む製造分野での技術者が減っていくにつれて、それに対応するために3DCADを導入したが、その3DCADが組織間の仕事を変容させる場合もある。

次に、3DCADの影響は設計活動の内部にとどまらず、生産技術やテスト・解析といった他の開発タスクとの関係性にも影響を与える(青島他, 2001)。Tan and Vonderembse (2006)

も、3DCADの共通データベースにより、マーケティング、設計、製造を統合させる効果を指摘している。また、3DCADは製品開発における情報転写プロセスを極端に簡略化する潜在力をもっている(青島他、2001)。3DCADの登場によって、設計情報の曖昧性はほとんど存在しなくなり、設計情報の解釈のための組織的やりとりが格段に減るようになった。さらに、3次元形状の厳密な定義が可能になるとすべての設計情報を3次元データとして一元化することが可能になるので、理論的には、各開発グループは、自らの目的に合わせて自律的に、共有されたデータベースにそれぞれアクセスしてデータの修正を行うことが可能になる(青島他、2001)。3DCADの利用によってサプライヤーとカスタマーだけではなく、エンジニアリング、マーケティング、製造部門の間でクロスファンクショナル(cross-functional)情報共有が可能になるのである(Koufteros et al., 2001)。

また、設計情報がデジタル情報として一元化されると、開発に参加している各グループのローカルな独自性が低下することになり、既存タスクの境界が曖昧になるタスクのオーバーラップが進む可能性がある。さらには、それが従来に分化していたタスクの統合に至ると境界は完全に変化することにもなる(青島他、2001)。

本来の製品開発において、コンカレントエンジニアリングは製品開発のリードタイムを減らし(Clark and Fujimoto, 1991)、クロスファンクショナル(cross-functional)チームは製品開発を加速化するといわれている(Crawford, 1992)。3DCADはこうした同時並行的な(concurrent)開発活動を促進するといわれている(青島他、2001, Koufteros et al., 2001)。つまり、製品設計とプロセスデザインを電子的にリンクさせることによって、3D-CADのコンカレントな利用は設計プロセスを向上させる可能性がある。

3DCAD利用による製品情報の柔軟性は、機構設計と電気設計(回路設計)、解析の間の同期化を可能にするし、設計段階での同時並行的な解析を容易にする。2D図面の時代では、開発プロセスが商品企画、デザインの段階を経て、メカ設計(Mechanical Design)、電気設計(Electronic Design)、金型、生産へと段階的に流れていたが、メカ設計と電気設計が同時並行的に進むプロセスへと転換される。その結果、2D図面時代より設計部門内の組織の分業構造や専門性に対して影響を与える可能性がある。

また、3DCADは組織間のコミュニケーションにも影響を与える(具、2003)。3DCADを利用することによって、より正確な製品情報の認識と共有が可能になるため、異なる部門や専門分野の人々の間におけるコミュニケーションが促進されるといわれている(Robertson and Allen, 1993; Baba and Nobeoka, 1998; 竹田、2000)。実際に、自動車産業に対する実証分析の結果、新しい3DCADの導入は、組織間のコミュニケーションを増やす可能性が提示されている(具、2003)。この結果は、多くのメリットを持っている3DC



ADを有効に使うために、従来の設計エンジニアにはツールの理解のためのコミュニケーションの増加を強いるし、効率的な利用のために組織内部でも多くの調整が必要であることを意味している。つまり、効率的な3DCADの利用には、組織のプロセス革新とITを活用する組織能力が必要であると考えられる。

### 2.2.2 CADシステムを活用するための組織能力

先述したように3DCADの機能の増加によって、CADは多くの可能性を提示しているだけでなく、実際に数多くの研究でCAD利用の一般的効果を報告している(Fitzgerald, 1987; Velocci and Childs; Robertson and Allen, 1992; Baba and Nobeoka, 1998; Kappel and Rubenstein, 1999; 青島他、2001; 具、2003; Tan and Vonderembse, 2006)。3DCADを導入すると、理論的にはさまざまな効果があるといわれている(青島他、2001)。情報転写プロセスが簡略化され同時並行的な開発が進めば、開発工数や開発期間の削減につながる。同時に転写ロスの削減による製品品質の向上も見込める。3次元映像を共有して様々な視点を取り込まれれば製品革新に結びつく可能性もある。開発の初期段階で下流行程の要件を十分に取り込むことができれば、後工程で発生する設計変更を大幅に削減できる。しかし、こうした効果を達成するためには、従来の組織構造・分業構造、スキル・専門性の範囲を大幅に変更する必要があるとされる(青島他、2001)。つまり、組織自体のプロセスが変わらない状態で、ただ3DCADシステムを利用しても、効果は未知数であるという調査結果が多い。いわゆる3DCADの目標に対する期待値と現実のギャップが存在しているのである(Beatty, 1992; Symon and Clegg, 1991)。日経の調査でも、CADは2D・3Dに関わらず単目的・単部門で使われているが、あまり効果は見られない(日経、2006.8)。それには、いろいろな理由が重なっていると思われるが、CADの未活用および非効果的な利用がそういった成果のギャップをもたらす可能性が高い(Buxey, 1990; Liker et al., 1995)。とりわけ、設計者の設計意図の伝達の問題も極めて重要な問題として取り上げられる(ECPC, 2006)。すなわち、現存のCADシステムには設計者の設計意図を盛り込ませるような機能がなく、それによって設計データをもらって製造する現場、金型では、設計意図が伝わらず、再び3DCADの設計データを2次元の図面に変換するような途方もないことが起こっているのである。

こうした状況は、同様な情報システムであっても、その技術を利用する企業の能力、つまり組織能力によってEnablerとして機能するか、それともDisablerとして機能することを意味している。藤本(1997)、Thomke and Fujimoto(2000)は、3次元CAD-CAEはフロントローディング(問題解決の前倒し)による開発後半の設計変更削減を通じて開発期間短縮に寄与すると論じたが、CADシステムを利用する組織能力によってその成果は異なると指摘し

ている。例えば、まったく同じ、3DCADの標準的パッケージを導入している企業でも、そうした組織的問題解決能力を蓄積してきたある日本企業の開発期間（外観デザイン決定から発売まで）は18ヶ月以下、そうした能力が弱いある米国企業では30ヶ月前後となっている（藤本、2006）。また、藤本・延岡（2006）の研究でも、欧米企業は、クライスラーを筆頭に、日本企業よりも3年以上早く、3DCADの導入を進めたが、3DCADを活用した仮想的な試作において日本企業のほうが上回ったことを提示している。すなわち、90年代後半では、正式の図面として、米国企業は100%の部品を3次元化していたが、日本企業は49%にしか過ぎなかったのである。ところが、このようにIT技術の導入が遅れていた日本企業の方が、フロントローディングをかえって欧米企業以上にうまく推進できたのには、ツールである3DCADを導入しているかどうかよりも、開発の早い段階から、すべての関連技術者が共同で問題解決に取り組む組織ルーチンができてきているかどうか、つまり組織能力こそが重要であると指摘している。一方、分業志向が強く、3DCADを下流における設計情報の完璧な受け渡しに使用しようとする欧米企業は、こうした先端的ITを導入しても、そのメリットを開発期間短縮に活かすことができなかつたとされる（藤本・延岡、2006）。このように、3DCADを単純に設計効率化の手段と考えるIT導入は失敗する傾向が強く、ITを使いこなす組織能力の構築が必須である（藤本他、2002）。つまり、経営者のCAD潜在力に対する十分な理解が伴わないとき、CADシステムの適切な組織的・技術的利用は不可能である（Adler, 1989; Twigg et al., 1992）。こうした状況を考えてみると、3次元CAD-CAE導入のポイントは、これを使いこなす「統合型の組織的問題解決能力」の構築であることがわかる。こうした3DCADシステムを導入したなら、次に企画・デザイン・設計・試作・実験・生産技術・購買・製造など、製品開発の異なるステージ、異なる組織ユニットの間で、早期に問題を共有するためのコミュニケーション・ツールと考えることが、そうした開発ITの使いこなし能力を構築する第一歩になると考えられる（藤本、2006）。その上でCADデータを媒介にして上流と下流のITシステムとの統合を図ることで一気通貫のものづくりが可能になる。近年こうした考え方の上でPDM(Product Data Management)とPLM(Product Lifecycle Management)という用語が持てはやされている。PDMとは、製品の企画、開発・設計から製造、販売、保守の過程でやりとりされる設計図や技術情報など多岐にわたる製品に関わるデータをマネジメントし、それぞれの担当部署を越え企業内で統合的に一元管理し、効率化と情報の活用を図ろうというものである。PDMよりもさらに広範な概念として提案されているPLMは、製品に関するマーケティング、企画、製造から販売、保守、廃棄までのライフサイクル全般にわたる情報、製造・販売コストや部品供給会社など外部の関連情報までを包括的に管理することである（新語辞典、2007）。サプライヤーからの多様な部品を結合して製品開発を担うセ

## 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

ットメーカー企業において、「製品構成情報」、図面・仕様書・マニュアル・検査方法などの「ドキュメント」、プロダクトデータの作成・承認・変更・配付・廃棄といった一連の「プロセス情報」を、コンピュータシステムによって整理・整頓しておき、必要な情報を必要な時に、適切な部門のユーザが容易に閲覧・加工・活用できる環境を提供するためにPDMが構築される。例えば、自動車開発サイクル全般を通した「3Dモデルの流通と活用」を考えてみよう。一般的に自動車開発工程は、大きく2つに分類される。1つ目が、前工程での企画検討や設計工程を中心とした「3Dモデルを作成する領域」であり、2つ目は、後工程でのサプライヤーも含めた生産工程を中心とした「3Dモデルを観て活用する領域」である。2つ目の「観て活用する領域」は、今後、3Dモデルの流通と活用が進むにつれ、調達、サービス、宣伝、営業といった、後工程全般に広がって行くことが予想されている。先述したように、日本の自動車業界は、従来の紙ベースの2D図面から、3Dモデルを主体とした業務形態にシフトしつつあるが、まだ、「作成する領域」「観て活用する領域」では3Dモデルの流通と活用が充分できていないという現状がある(ECPC, 2006)。

これらの背景には、3DCADなどのソフトウェアの機能が充分でなく3Dモデルで全ての設計情報を表現伝達できない可能性、3DCADで表現できても、3D形状に付加する設計情報の作成に多大な手間と時間を要する可能性、3Dモデル上の注記などの表現方法が、主要な3DCADや、会社、部署、人毎に統一されていない可能性、生産工程などの後工程では、3Dモデルを活用できる高度な操作技術を要しない安価なツールが整っていない可能性、生産工程などの後工程では、これまで2D図面を利用した業務形態であり、前工程より3Dモデルを受取り利用する実行的な業務形態が確立していない可能性などの、3Dモデル主体の業務形態への移行やそれによる効率化の阻害要因が指摘されている(ECPC, 2006)。これらの問題を解決するためには、すべての3D情報を統合的なデータベースに取り込む必要がある。アメリカの240企業を対象に、CADと製品開発成果との関係性を実証分析したTan and Vonderembse(2006)の調査では、CAD利用は製品開発成果に直接的な影響を与えることより、CAD利用によって部門横断的な(Cross-functional)情報共有に影響を与える媒介過程を通して、製品開発成果に影響を与えることを明らかにしている。つまり、CAD利用を通して全社組織間の共通の情報共有が伴われないと、製品開発成果に結びつかないことを示唆している。この結果からもCAD情報を全社で共通的に利用できるようにする、CADに関わるデータベースの統合化は非常に重要であろう。本稿では、部門横断的なデータベースの構築も一つの組織能力として考える。

### 2.2.3 3DCADと製品アーキテクチャ

一方、製品開発と組織変化にも大きな影響を与えている3DCADは、製品のアーキテクチャとはどのような関係が成立するのだろうか。ここでは、図1の製品アーキテクチャの極端に位置している、自動車製品と家電製品とCADとの関係を分析する。

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)。また、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はない。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(具・藤本, 2000)。こうした問題を解決するために、自動車産業では3DCADを中心としたITとともに開発の現場に実装することで、QCDのフロントローディングやコンカレントエンジニアリングを実現している。その結果、日本の自動車メーカーは新車開発リードタイムを30ヶ月から20ヶ月に短縮することに成功した(上野, 2005)。一方、自動車は2万点以上の部品から構成される煩雑な製品であり、また製品の統合性(インテグラルティ)が高く求められる製品であるため、組み立て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)。とりわけ、近年のデジタル化の影響によって電気・電子部品の割合も増加しており、組み立てメーカーとサプライヤーとの間に効果的な製品開発のための3DCADの必要性が増加している。そのため、組み立てメーカーとサプライヤーとの3DCADの統合度合いは非常に高い。主要3社のCAD仕様をみると、トヨタは、内製TOGO-CADから、CATIA-V5を導入しており、エンジン部門は、継続してPRO-Eを使用している。日産は1995年SDRC社のI-deasを採用したが、2005年から次期CADとして、UGS社の「NX」を選定している。ホンダの場合、他の自動車会社と異なり、自社開発を行わず最初からCATIAを使用している。しかし、こうした組み立てメーカーは、自社の導入に留まらず、サプライヤーへの統合を強いている。例えば、近年、自動車メーカーの設計情報や図面変更情報の大部分が3DCADのデータでやり取りされる状況のもとで、サプライヤーが自動車メーカーとの互換性のある3DCADを所有していなければ、開発コンペに参加さえできないケースも多く、部品メーカーは取引関係を維持するために自動車メーカーと互換性のある3DCADを導入せざるを得ない状況である(具, 2003)。このため、部品メーカーの3DCADシステムの導入は戦略的な活用よりは、取引の基本要素を満たすための導入、すなわち受身的な導入傾向が強く、3DCADシステムの機能を十分戦略的に活用していない指摘もある(具, 2003)。しかし、この問題は、本稿で取り上げているように、サプライヤーだけの問題ではなく、組み立てメーカーでも共通的に適用される問題であろう。

## 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

[表 1] 自動車産業と家電産業の比較

| 区分                      | 自動車産業        | 家電産業         |
|-------------------------|--------------|--------------|
| 相対的国内競争力                | 高い           | 低い           |
| 付加価値生成                  | 高い           | 低い           |
| 部品点数                    | 2万点以上        | 1000点くらい     |
| 専用・共通部品の割合              | 専用部品(特殊部品)中心 | 汎用部品(共通部品)中心 |
| 開発期間                    | 長期(24ヶ月)     | 短期(12ヶ月)     |
| 生産期間                    | 約2年          | 1年以内         |
| 生産台数(1機種当り)             | 相対的多い        | 相対的少ない       |
| PLC(Product Life Cycle) | 長い           | 短い           |
| サプライヤーとの関係              | 高い統合         | 低い統合         |
| サプライヤーのCADとの統合性         | 相対的高い        | 相対的低い        |

他方、エレクトロニクス産業では、製品ライフサイクルが極端に短く、それに応じて厳しい納期短縮が要求されている。例えば、2006年5月現在カシオ計算機の携帯電話とデジタルカメラの商品寿命は、4ヶ月と、6ヶ月である(鳥谷、2006)。また、エレクトロニクス産業は、部品や実装の技術革新が著しく、また個々のプロジェクトが小規模であるため、過去においてはこのようなプロセス中心のものづくりへの取り組みは消極であった。つまり、典型的なモジュラー製品であり、PLC(Product Life Cycle)の短い製品の特徴のため、エレクトロニクス製品でのCAD利用はあまり進まなかったといえるだろう。しかしながら、一層高度化する製品開発を革新していくためには、今までのように現物のコントロールではなく、いかに情報をコントロールできるかということに焦点が移り、3DCADの導入が増えている(上野、2005)。一方、エレクトロニクス製品の場合、殆どが汎用部品であり、製品設計の過程で電子機器メーカーと部品供給企業が必ずしも同様なCADシステムを利用しない傾向が強い。電子部品では、自動車産業のようにセットメーカーとサプライヤーとの間にピラミッド構造が成立しない。サプライヤーが強い場合も多くあるようだ(C社とのインタビューにより)。例えば、携帯製品の場合、従来の2Gのクローズ・インテグラル型から、3Gのオープン・モジュラー型への変更にともない、中国の部品供給者から部品を供給してもらうために、部品メーカーのCADシステムに日本の携帯メーカーが合わせている場合もある。半導体や電子部品はカスタム品ではない限りだれでも手に入れることができるし、同様にプリント基板設計や製造などを受託するアウトソース先も無数にある。これは、エレクトロニクス製品を開発するためには必ずしも特定のサプライヤーや、巨大な生産設備が要らないこ

とを意味する。それゆえ参入障壁が低く結果として企業数が多いことも、自動車産業とは異なる点である。こうした産業の特性のため、自動車産業のようにピラミッドのような系列関係を持たないエレクトロニクス産業は、他社との差別化を図るためにサプライヤーやパートナーといかにうまく情報やプロセスを連携しものづくりを進めていくかが取り組み課題となっている(上野、2005)。以上のように自動車とエレクトロニクス製品のアーキテクチャ特徴が異なり、それによるCAD利用も異なると考えられる。藤本(2006)も、製品アーキテクチャとCADとの関係について述べて、家電・エレクトロニクス製品のようにモジュラー型のアーキテクチャの分権型製品開発に比べて、自動車のようにインテグラル型のアーキテクチャには統合型製品開発を可能にするCAD・CAEが必要であると主張している。

先述した図1の製品アーキテクチャ分類軸に、セットメーカーとサプライヤー間の設計情報の統合度合いの軸を加えて、本稿のフレームワークを提示すると図2のようになる。

[図2] 製品アーキテクチャとアセンブラーとサプライヤのCAD統合

|                      |                 | CAD integration between Assembler and Supplier   |  |
|----------------------|-----------------|--|--|
|                      |                 | High integration   | Low integration  |
| Product Architecture | Closed-Integral | <p><b>-High interdependence of component parts</b><br/> <b>-Easy Integration of design information</b></p> <p>Ex) Auto Industry<br/>(Japanese strong area)</p> |  |
|                      | Open-Modular    |  | <p><b>-Low interdependence of component parts</b><br/> <b>-Difficult Integration of design information</b><br/>                     -&gt;Mechanism for CAD integration</p> <p>Ex) Electronic industry<br/>(Japanese weak area)</p> |

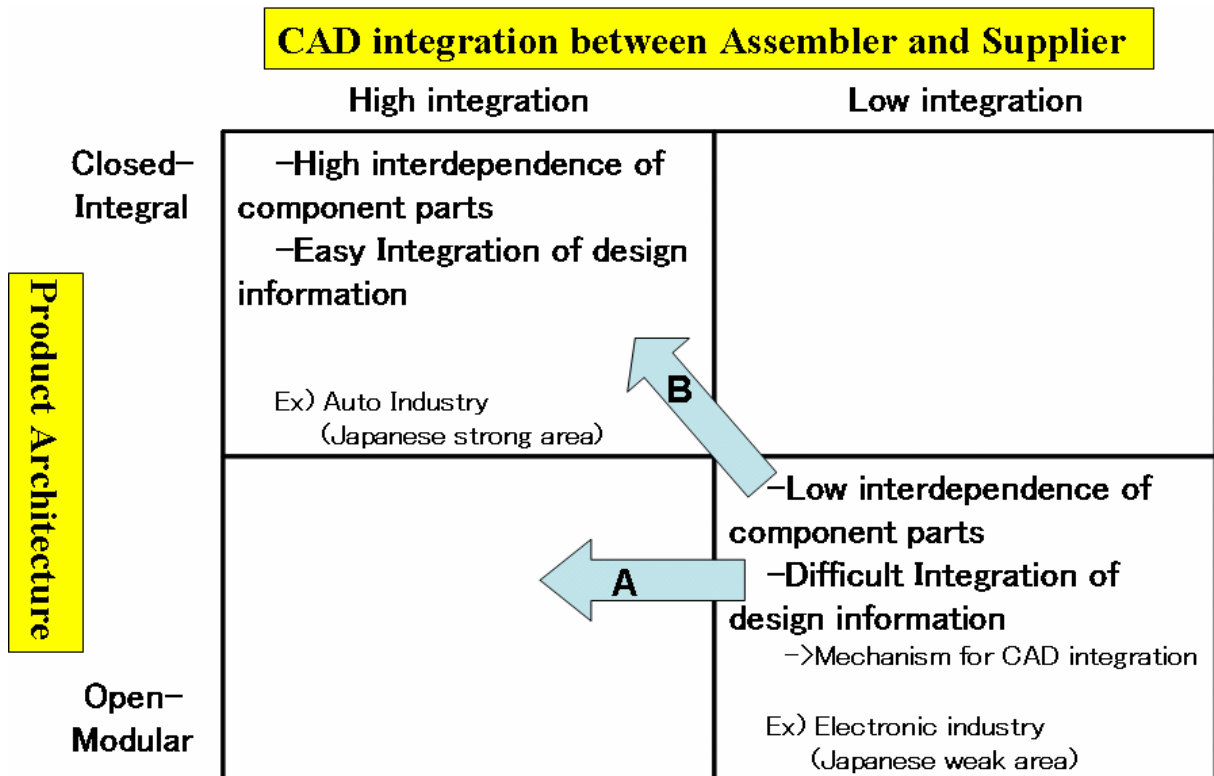
延岡他(2006)では、クローズ・インテグラルの代表製品として自動車産業を取り上げており、その反対側のオープン・モジュラーの代表製品としてデスクトップ製品を提示している。もちろん、製品アーキテクチャの分類は上記のように両極端で分類することは難しいが、本

稿ではモデル構築のために自動車製品に対するデジタル家電製品の事例を取り上げるために、制限されたモデルを構築した。

### 3. リサーチモデル

本稿では、以上の問題意識に基づき、クローズ・インテグラル製品である自動車に対して、オープン・モジュラー製品に近い家電製品のケースを取り上げ、(1) CAD データと PLM 上の共通データベースの構築の課題、(2) 組み立てメーカーとサプライヤーとの CAD データの統合を可能にする方法を分析する。A社はサプライヤーとの高いレベルの統合的なデータベースを構築し、非常に効率的なデータ共有を実現していた。インタビューの結果、こうした3DCADの効率的利用には、それを可能にする経営グループの組織能力が重要であることがわかった。そのため、本稿では図3のようにA社が経路Aと経路Bを通して、全社的に3DCADの効果的活用を実現した組織的取り組みを分析する。また、本稿では、A社と比較するためにC社とD社のケースを取り上げる。

[図3] ケース分析のためのリサーチモデル



本稿のリサーチモデルは、自動車産業とエレクトロニクス産業を比較分析するのに有用な

枠組みを提供する。例えば、図3は、日本のエレクトロニクス産業がどんな課題を抱えているかを説明しており、その課題を解決するための具体的経路を提示している。また、図3は、日本の自動車メーカー(例えば、トヨタとホンダ)がどのようにして世界市場で競争優位を達成できたかについての2つの重要な理由を示している。すなわち、(1)組み立てメーカーとコンポーネント部品メーカーの間の高い統合度と、(2)設計情報の密接な結合能力を通して、日本の自動車メーカーの競争優位性は達成されていることを示唆している。他のグローバルな自動車メーカーはそのような高いレベルの統合と組織能力に達していない。さらに、図3は日本のエレクトロニクス産業が現状の課題を乗り越えるために取り組むべき解決策が明らかになっている。経路Aは組み立てメーカーとサプライヤーの間の設計情報の垂直統合経路である。一方、経路Bは地理的な近接性によってメーカーとコンポーネント部品メーカーの間の水平的統合を示している。具体的なケース分析では、経路Aと経路Bを可能にする組織能力の具体的実現方法を提示する。

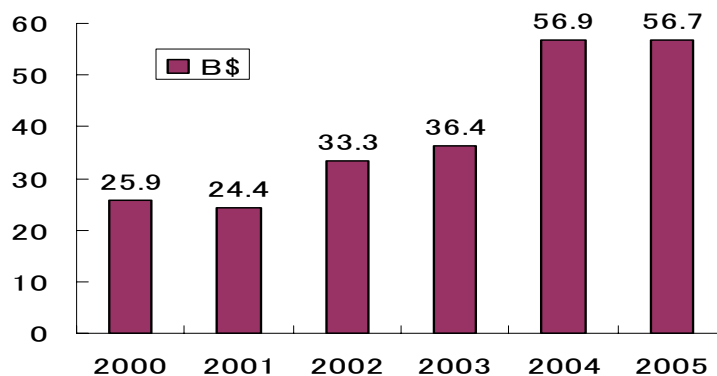
## 4. ケース分析

### 4.1 グローバル家電メーカーのA社のケース

#### 4.1.1 ケース企業の概要

A社は、1969年設立され、半導体事業、LCD事業、情報通信事業、デジタルメディア事業、生活家電事業などの事業を行っているグローバル企業である。2000年からの売上高は、急成長しており、2005年には56.7 Billion Dollarsを達成している。また、各事業部の収入源もバランスよく構成されており、グローバル競争優位を実現している企業である。具体的な投資家向けの資料によると、各製品の構成は半導体(32%)、LCD(17%)、情報通信(33%)、デジタルメディア(11%)、生活家電(7%)となっている。

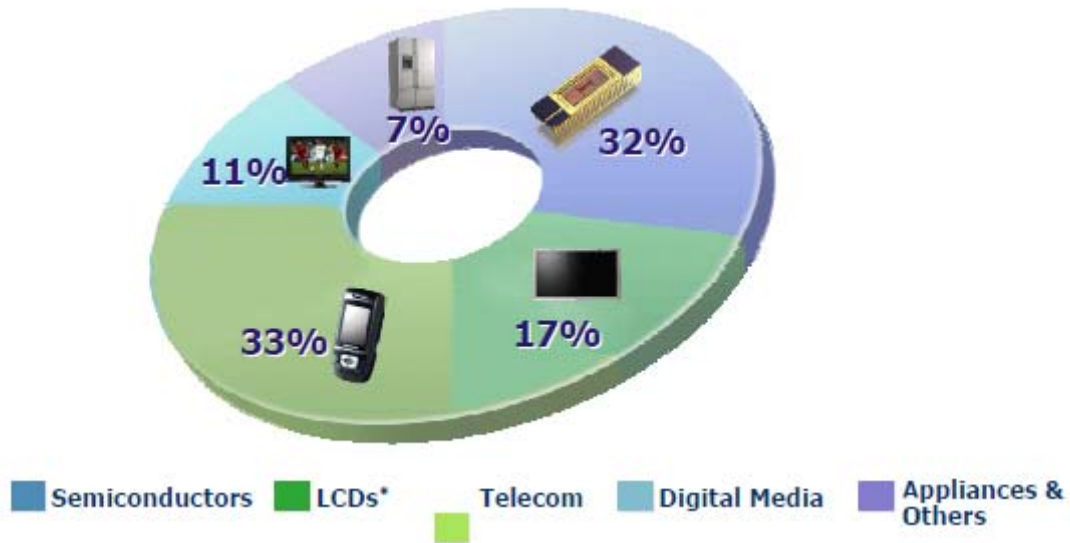
[図4] 2000-2005 売上高(Billion Dollars) (From investor relations information)





製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

[図 5] 2005 年度の各製品の構成 (From investor relations information)



4.1.2 製品開発のCADシステムの導入背景

A社は、1980年代まで先進企業が新製品を開発すると、リバース・エンジニアリング (Reverse Engineering)を通してその製品の性能・構造・組立性・コストなどを明らかにし、商品企画、デザインを経て、機構設計などを短期間で行う戦略を推進してきたといわれている (日経、2006)。

[表 2] A社の製品開発の歴史

| 区分          | Before 1987                                     | 1988-1995                                       | 1996-1999                              | After 2000                           |
|-------------|---|---|--|--------------------------------------|
| 設計の変化       | Draft による設計                                     | CAD 活用設計  | コンカレント設計                               | Simulation 中心の設計                     |
| CAD システムの変化 | 手作業による図面伝達                                      | Computer を利用した Draft 作業、Offline による CAD DATA 伝達 | Network による設計情報の円滑な流れ、PDM と CAD データの統合 | 設計ベースの再利用 (Design Reuse)、科学的基盤を通じた開発 |
| IT 環境       | 図面/PC 環境  | Host/EWS 環境                                     | Server/Client 環境                       | Web Based 環境                         |
| 推進名称        | ←CAD Center→(1994)<br>(1994)← E-CIM Center →Now |   |  |                                      |

その結果、検討不十分な状態で出図し、基本的に短期間でサンプルを製作し、実機でテストを行なった。しかし、トラブルが発生すると、繰り返して実機を直すことによって、図面と実物が不一致になってしまう状況が続いていた。例えば、回路設計をしてから、PCB(Printed Circuit Board)を作り、実機でテストをするので、回路図とPCB図面は合わないトラブルが頻繁に発生したのである。このトラブルに対応するために、CAD・CAMを入れるようになったのである。

10年間CADの導入と利用に携わってきたA社のIT部門長とのインタビューの結果に基づき、80年代から90年代までA社はいかにCAD導入の成果を達成してきたかを考察する。まず、製品開発のためにCADシステムがどう構築されたかの歴史を整理する。

次に、先述したように、家電製品の場合、CAD活用を成功させるためには、内部組織間の統合的データベースの構築、さらにサプライヤーとのデータ統合の仕組みの構築が非常に重要であると思われる。そのため、A社のCAD利用の際に、商品企画から設計、生産までの間でどのようにデータベースを統合したか、さらに数多くのサプライヤーとの関係をどのように調整してきたかを紹介する。

#### 4.1.3 統合データベースの構築

A社は1993年経営者の新経営宣言を契機に、1993年6月60余名の人力がTask Forceチームを構成し、開発過程に対する具体的な現状分析、他社とのベンチマーキングと情報技術の変化予測などに基づき、E-CIM Master Planを樹立した。1994年からA社の製品開発の革新を推進するためにE-CIM Centerを設立した。E-CIMは製品開発力を3倍以上向上させるという目標のもとで、A社をはじめ、グループの4社が部品・製品・資料を単一技術の標準体系に作り、Concurrent Engineering(CE)に基づいた新開発プロセスを定立し、CADインフラを効率的に構築した。その上で、開発情報を体系的に管理し、関連部門がすべてのデータベースを共有するためにPDM(統合設計情報管理システム)を開発・適用する順序で展開された。「E-CIM」(Engineering Computer Integrated Manufacturing)と呼ばれる一連の改革により、製品開発リードタイムは2年から4ヶ月へと短くなった。つまり、デザイン決定以降そのような効果を達成したとされる。

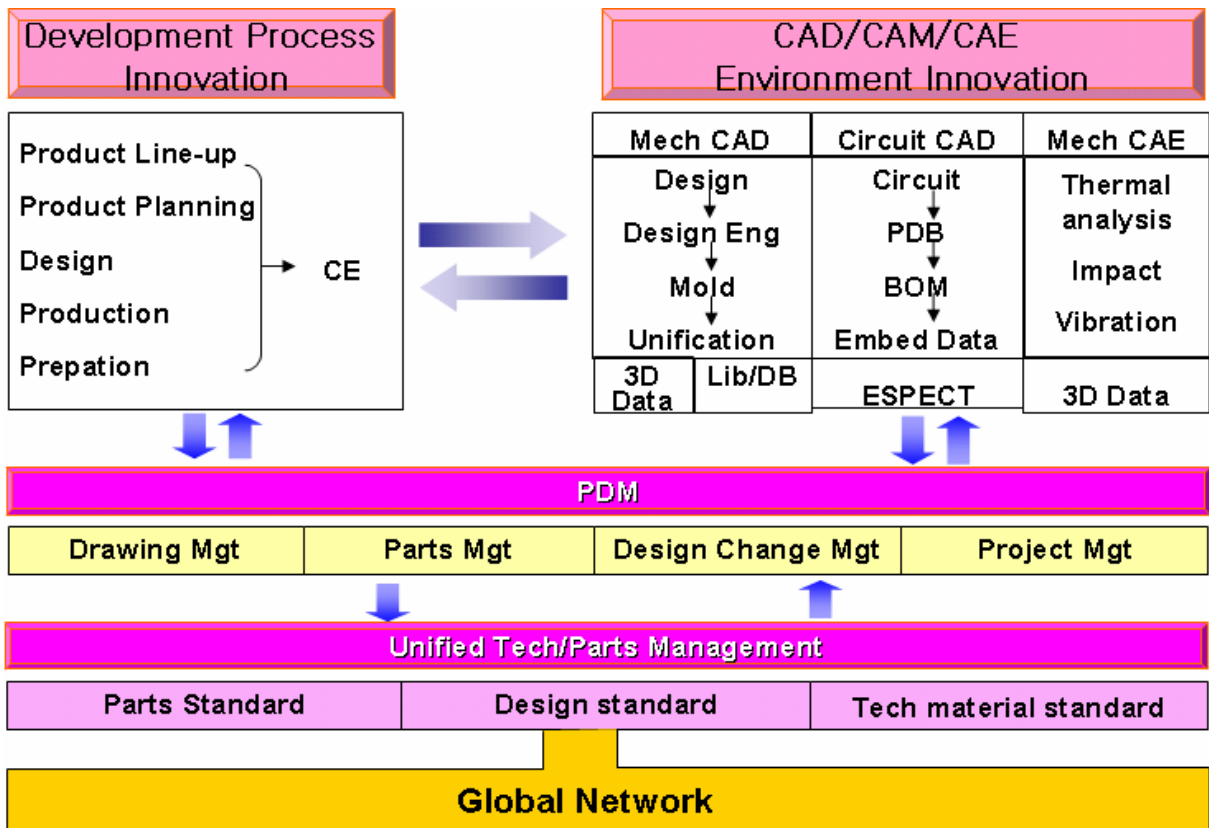
##### 4.1.3.1 E-CIM Center

E-CIM Centerでは、従来の「実物中心の開発」、「情報インフラの未整備」、「設計者の付帯業務の過多」、「設計データの未蓄積」から、あるべき「新開発のプロセス」、「部品・設計の標準化」、「CAD/CAM/CAEの3D化」を実現するため、設計情報管理(PDM)の構築を行い競争

## 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

優位を達成しようとした。具体的には、実物中心の開発を革新するために従来のProto、EVT、DVT、MVT というシリアルなプロセスから協調設計を重視した Concurrent Engineering が可能なプロセスに革新する RPI (Rapid Prototype Interface) プロセスを定立した。次に、情報インフラの未整備に対してはデザインから金型まで製品モデルの有効活用のため、機構設計については I-DEAS、回路設計においては Mentor、 図研システムを整備し標準システムとした。また、製品の Library Database の構築、共通部品の標準化、設計情報管理システム (Product Data Management) を整備した。また、設計者の付帯業務の過多および設計データの蓄積に関しては、CAD/CAM/CAE および PDM を有効に活用することによって解決することにしたのである。

[図 6] E-CIM の構造

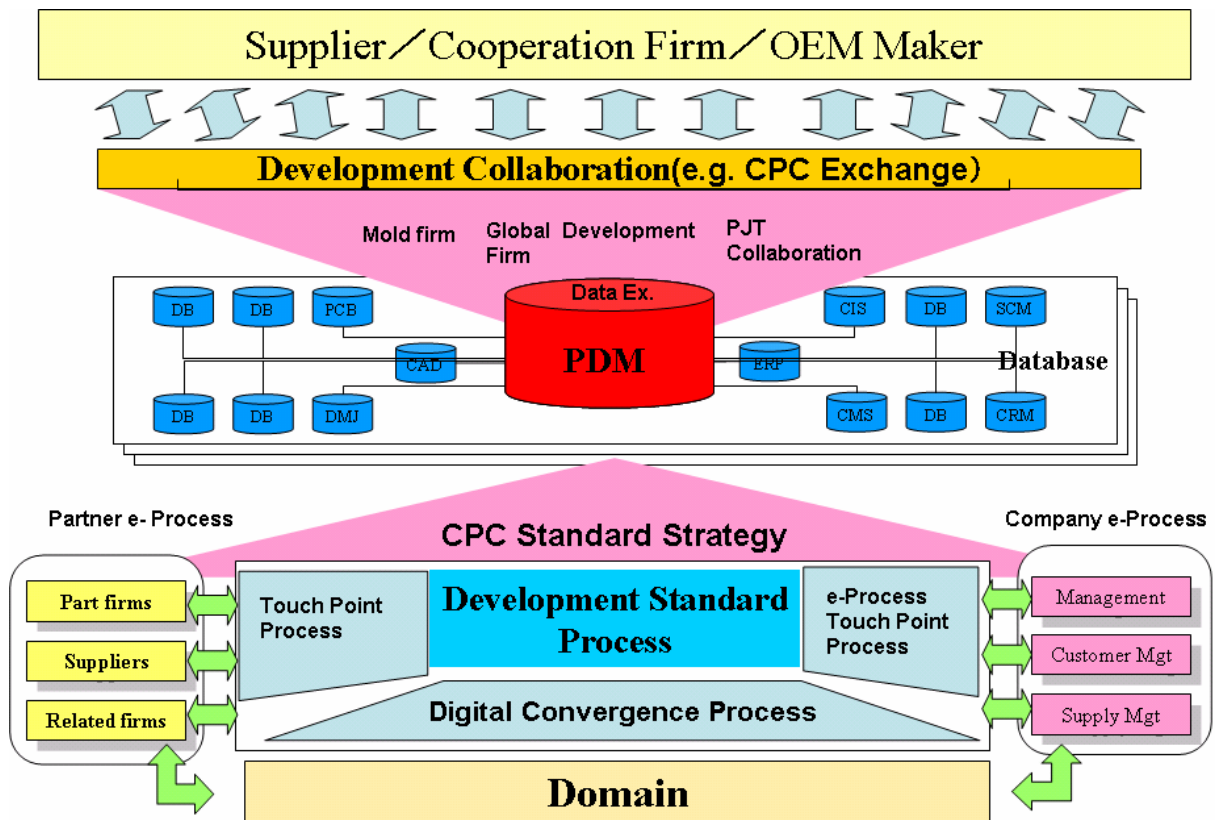


### 4.1.3.2 PDM (Product Database Management)

こうした E-CIM Center による製品開発の結果、全社的に技術と部品を標準化させ、すべてのデータベースを統合させる PDM (Product Data Management) が構築された。最近の PDM は Vendor から直接導入する場合もあるが、A社では Vendor のツールを利用して独自の PDM

を構築したとされる。全社共通のPDMの構築によって、すべての事業部における統合的標準プロセスが構築され、組織間のオーバーラップ(Overlap)の問題を解決した。先述したように、エレクトロニクス製品の場合、自動車と異なり、多様な製品が存在するだけではなく、製品間の独自性が強いといわれている。それゆえ、事業部ごとの独自の部品表(BOM)を形成しており、部品の購買などは事業ごとに異なる場合が存在しえる。

[図7] A社のPDM(Product Data Management)の仕組み



すでに同社でも多様なITシステムが導入されていたが、活用できる範囲が全社ではなく、各事業部に限定されていたとされる。その結果、グローバル化によって変化する市場ニーズへの柔軟な対応と事業のスピードアップが求められているにもかかわらず、結局は開発技術者をはじめ個々のスタッフが、必要な情報を入手するために他の事業部門に問い合わせたりする問題があったとされる。この問題を解決するために、A社では、全社横断的にあらゆる製品情報を一元管理するシステムを独自に構築し、PDMのBOM情報などをグローバル展開することに成功したのである。具体的に、A社のPDMは、標準プロセス(Super Set)を中心に統一しており、CPC(Collaborative Product Commerce) Exchangeというインフラを通じ

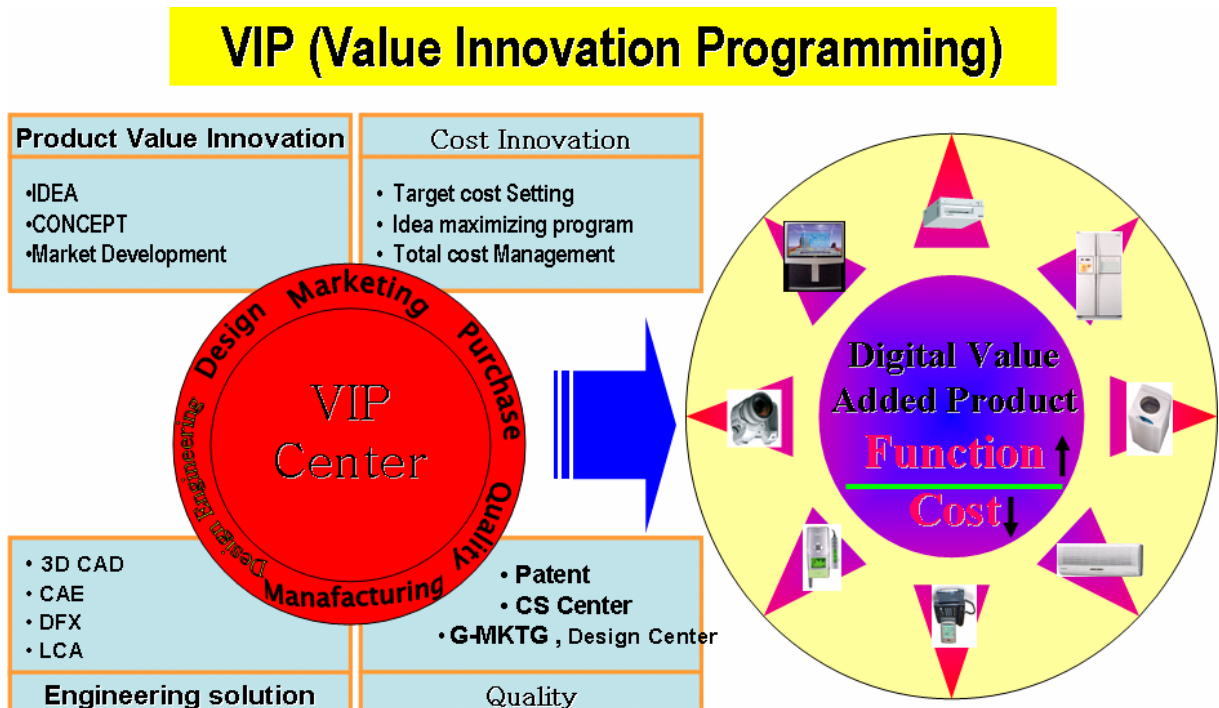
## 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

て、各プレーヤーのポータルシステムとして機能している。つまり、図7に示すように、A社独自で構築した統合的データベースのPDMに基づき、A社内部の各ドメインと外部の関連企業やサプライヤーとの連携を図るようにした。こうしたPDMによる技術標準化作業を通して、すでに1990年代半ばA社とグループ3社に存在した9つの部品コード体系を単一標準に設定し、データ整備作業を通して52%の不用コードを整備し(75万件のうち39万件の削除)、30個にいたる海外現地工場のコードと一致させ、1996年から新標準体系を適用した。その結果海外事業所をはじめ、すべてのところで同じ部品に対して、同じコード(Code)を使用することができた。さらに、一回の承認でグループのすべての事業部門が利用可能になり、部品の特性と部品企業に対する情報の共有によって業務の効率が上がり、統合購買も円滑に行なわれるようになったのである(A社の30年歴史資料)。さらに、1995年導入されたSAPとPDMを統合することによって、カラーTVの場合、製品設計から量産までのリードタイムを導入以前の12.1ヶ月から1997年には6.2ヶ月まで短縮することができた。

### 4.1.3.3 VIP(Value Innovation Programming) Center

このようにエンジニアリングに関するすべてのイノベーションのためにE-CIM Centerを設立し、PDM全体の統合を試みたが、PDMの横の連携のためにVIPセンターという改革が行なわれた。

[図8] VIP Center



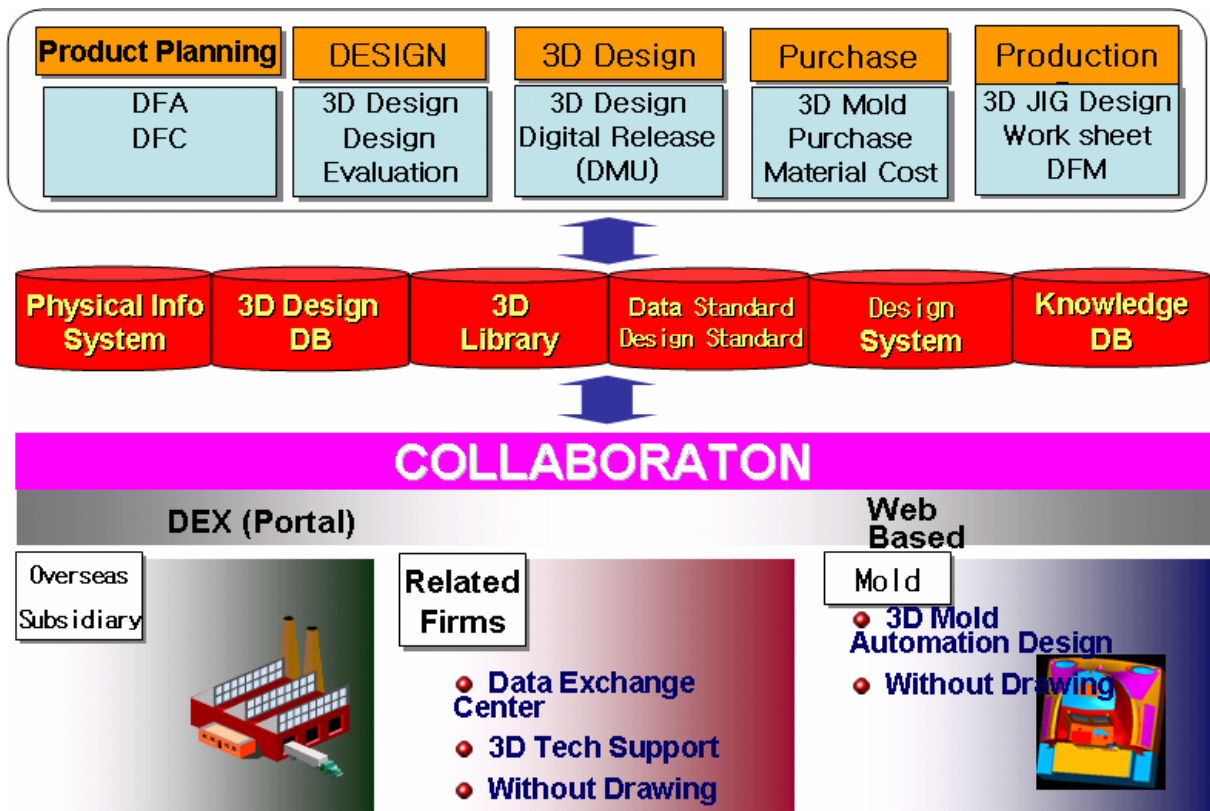
A社は、会計方式を Throughput Accounting に変えてから、利益を早く実現するために、早く製品を出さないといけない状況になった。その結果、Dell のバリューチェーンの仕組みのように事前マーケティングに力を入れざるを得ない状況になった。しかし、これを実現するためには横の部署との連携が必要であるが、A社ではタテ、ヨコの問題を解決するために、VIPセンターという開発部隊が数ヶ月間寝泊りする施設を作り、いわゆる大部屋方式で開発を行った。その多くは戦略的製品に位置づけられており、携帯電話などのように PLC(Product Life Cycle)の短い製品などの開発が行なわれ、原価革新を実現したと知られている。つまり、VIP Center で新製品を開発する場合、金型メンバーまでを呼び集めて開発を行い、製品開発における Concurrent Engineering を実現したのである。例えば、1997年以降A社の金型部門をなくし、外に出したが、それ以降の開発においては、金型企業のうち信頼できる数社に限定し、A社の中に金型メーカーを呼び集めて、製品開発を実施した。つまり、金型とのコラボレーションを通して、本稿で提示した経路 B を実現したのである。その結果、格段に製品開発期間とコストを削減することができたのである。こうした取り組みはトヨタ自動車の大部屋方式の製品開発と似ている。

#### 4.1.4 DEC (Data Exchange Center)

1998年、A社は3Dデータ統合のためにE-CIMセンターの下に、Data Exchange Centerを作った。もともと、1994年Exchange Centerを作ろうとした動きはあったが、最初はだれもそのような動きに対する認識はなかったとされる。しかし、1998年から金型メーカーを外に出すことによって、初めてデータ統一性の重要性が浮き彫りになり、Data Exchange Centerの必要性を共感するようになったのである。A社の内部では、1994年以前の多くのCADをI-DEASに統合したが、一部ではPro/ENGINEERというCADも使われていた。とくに、A社の殆どの製品はエレクトロニクス製品であり、外部の部品サプライヤーとの連携、金型メーカーとのCADデータの統合性の問題があった。もちろん、異なる3DCADシステムを変換させるIGESなどのツールはあったが、シンプルなモデルではない場合、完全な変換はできなかったのである。当初20人規模のExchange Centerを稼動したが、A社はExchange Centerを設置することによって、外部とのCADデータの連携を確保することができた。さらに、それによって、製品開発のスピードを格段に向上させたとされる。つまり、本稿のモデルにおける経路Aを達成したのである。



[図8] Data Exchange Center



#### 4.1.5 A社の携帯とノートPCの開発

##### 4.1.5.1 携帯製品の開発

1986年 Car Phone の生産を始めたA社は、1996年から CDMA 規格のデジタル携帯製品を生産することによって、現在はグローバル携帯機器メーカーになっている。その大きな要因は、リスクをかけて新しい移動通信規格を取り入れたこともあるが、何よりもデザイン改革に起因するといわれている。

ここで製品開発の視点からデザインイノベーションを中心に検討する。1993年6月A社の経営者が新経営を打ち出して、デザインイノベーションの重要性を認識したといわれる。例えば、経営者は世界の最新製品を置いて、全事業部長に最もすぐれている製品を選択するようにしたが、その基準はやはりデザインであることが分かったとされる。これを契機に、A社はデザイン重視の経営に踏み切るようになった。それを受けて、デザインセンターを設立したが、設計者の評価権限を各事業部門長ではなく、デザインセンター長に与えたことによって、設計における3D化は推進されなかったとされる。何故なら、デザイナーの評価基準が何モデルを出したかが基準になったので、真面目に3次元デザインをすることより、従

来の図面でデザインする場合は効率がよいと判断したデザイナーが多かったからである。例えば、3Dでデザインすると、1ヶ月1モデルしか書けないので、評価が悪くならざるを得なかったのである。ところが、1996年ごろ事業部長にデザイナーの評価権限を戻すことによって、デザインセンター長はマネジメントだけ任せられた。その結果、各製品事業部長の意見が反映された製品デザインが可能になったのである。

一方、A社は携帯開発では、デザインだけに3DCADを利用したとされる。その背景には、A社の携帯事業は、最初の何年間赤字であったが、やはり携帯は機能よりデザインが重要であると判断し、デザインだけに3DCADを導入した。その結果、開発スピードが速くなったのである。携帯の場合は、機能設計が要らない。何故なら、機能設計は、新規開発のときのみ使われるからである。すでにある製品の場合は、構造設計から始まる。携帯の場合は、デザインですでに機能が含まれている。あるいは、回路設計にすべての機能が全部盛り込まれるようになる。メカ設計で動いているのは、携帯の場合、振動だけであり、殆ど回路設計の電気設計に関わるのである。

具体的に、デザインで利用したITツールは、ALIASを利用してSoft Mockupを行なった。言い換えれば、デザインにおいてラフスケッチ、ALIASツールを利用して3D-CGによるSoft Mock Upを造って、品評会(exhibition)を通して合意が得られると、次に3DのHard Mockupを造った。そして、Designの最終的段階の品評会で合意が得られると、2D図面を設計部門に渡し、短期間で設計が行なわれるようにしたのである。そのため、開発期間が非常に早くすむようになったのである。

何よりも金型に対する工夫が伴われた。1996年まではA社の内部組織で金型を行っていたが、1997年に金型を外に出しながら、金型設計の自動化(Automold)ツールを導入したのである。これは、金型により製品開発が支配されないための工夫であった。何よりも、金型にかかる期間を短くするために、先述したように金型メーカーをA社に呼び集めて、コラボレーションした結果、1990年半ばの2ヶ月から、2000年代に入ってから10日くらいまで金型期間を減らしたとされる。つまり、本稿のモデルの経路Bによる製品開発の統合化を達成したといわれる。

#### 4.1.5.2 ノートPCの開発

A社は1978年CRT Terminalとプリンターを開発したことを皮切りに、1983年にPCを開発・販売することに成功し、R&D投資を拡大して、1年ぶりに約3倍の成長を遂げたとされる(A社の30年歴史資料)。1990年代にノートPCの生産に力を入れて、現在は90%以上をD社にOEM供給しているといわれている。

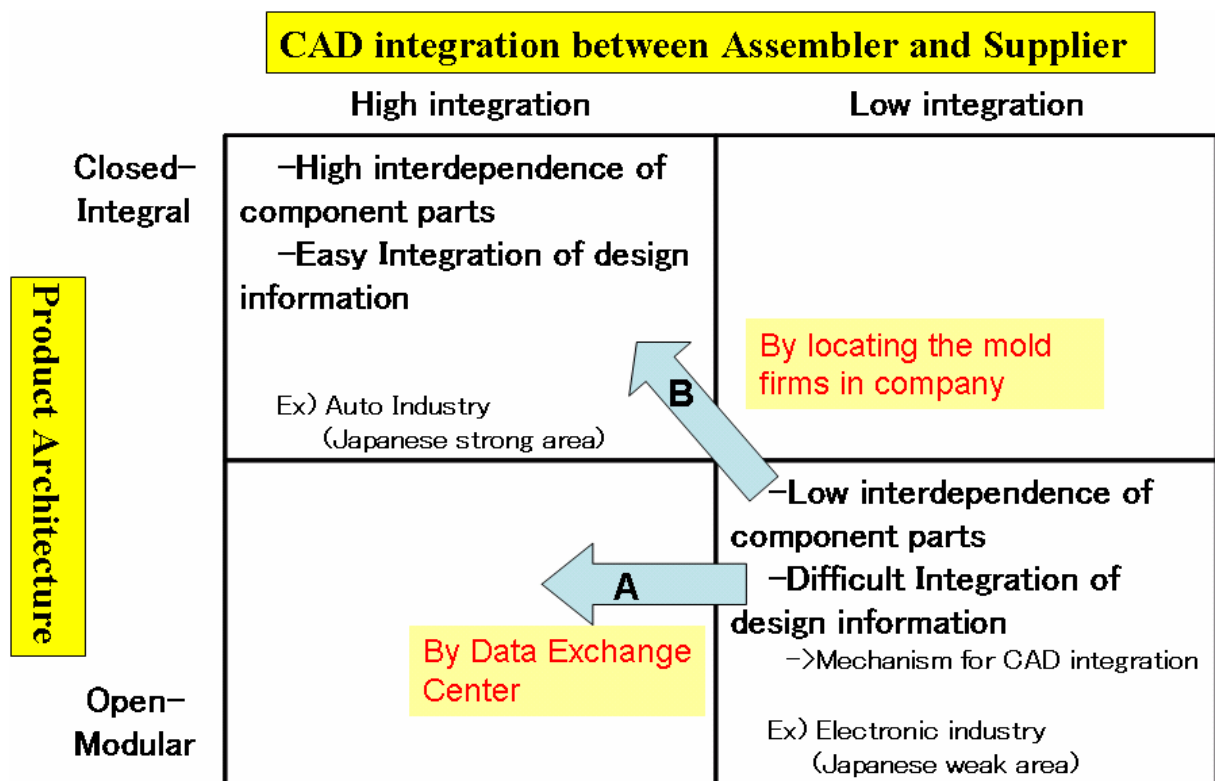


## 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

ノートPCの場合も、携帯と同じく、デザインから3Dデータを活用し、3Dデータを設計部門で活用するように統合化した。設計は2Dで行なわれ、外部の関連企業とのデータのやり取りは、同様なCADを使用している外部の部品企業と金型企業にはData Exchange Centerを通さず、直接CADデータを送り、ノートPC事業部門と異なる3DCADを使用している外部企業に対しては、Data Exchange Centerを通して、データを渡す仕組みを構築した。つまり、本稿のモデルの経路Aを構築したのである。

また、金型設計に対しては、携帯事業部門と同じく、1997年に金型を外に出してから、金型メーカーをA社に呼び集めて、コラボレーションを行なった結果、1990年代半ばの2ヶ月から、最近では10日くらいに金型期間を減らすことができた。つまり、本稿のモデルの経路Bによる製品開発の統合化も達成したのである。

[図9] A社のCADデータの統合メカニズム



### 4.2 C社の携帯開発

C社は日本の代表的家電メーカーであり、国内の携帯電話端末（携帯）開発では代表的な企業である。C社の携帯開発部門は1984年に設立された。設立当初、Car Phone、Personal Mobile等の開発・設計からスタートし、その後、携帯電話及び基地局装置の開発・設計～

製造まで一貫して担当するまでに至り、現在では日本国内シェア、生産規模ともにトップクラスの企業に成長している。C社が携帯開発にCADシステムを利用するようになったのは1987年からであり、最初2DCADを導入したのである。2000年に3DCADを導入し、その年から開発・設計に3DCADを本格的に利用するようになったとされる。最初の2DCADの導入は、本社のIT部門によって一貫して行なわれており、本社から3年ほどの2DCADの教育を受けた設計者が携帯開発の設計を担当した。また、3DCAD導入は事業部個別で行い、教育は3DCADベンダーから教育を含めた3D設計のコンサルを1年間受講されたとされる。

C社の携帯開発の特徴は、商品企画・デザイン部門は本社にあり、開発・設計部門や生産部門とは異なった場所（遠隔地）に位置していることである。そのため、商品企画の段階でデザイナーが図面などを使用して意匠デザインを行なうと、専属のオペレーターが3DCADを使用して3Dデータの意匠モデルを作成している。その3Dデータは開発・設計部門に渡り、設計担当者はその3Dデータを利用して開発・設計を行なっている。3DCADは機構設計（コア・キャビ設計、構造設計、金型モデル作成など）に限って使用されている。電気設計はECAD(2DCAD)を利用している。CAEは3DCADで作成した3Dモデルを使用し、一部の解析をおこなっている。一方、同社の携帯開発の特徴は、同じ敷地内に生産部門があるので、開発・設計部門が生産部門と完全にフィットしている組織構造を持っている。つまり、開発・設計部門は基本的に製品（機種／型式）モデルごとにグループ分けしており、開発・設計～試作／評価～生産準備及び金型手配など、その製品（機種／型式）モデルの量産が中止されるまで、一貫通貫型の開発・設計を行なっている。そのため、設計者2人当たりCADシステムは1台であったが、2DCAD運用時でも3DCAD運用時でも、開発・設計者のCAD端末不足などの問題が発生しなかった。さらに、こうした特徴のため、E-BOM(Engineering BOM)だけではなく、普段生産部門で構築するといわれるM-BOM(Manufacturing BOM)も開発・設計部門で構築していることが分かった。しかし、金型設計は外部の金型メーカーにアウトソーシングしている。

3DCADの導入効果としては、設計工数(Man-Hour)は縮まらなかったものの、製品開発期間が短縮されたと言われる。設計工数が短くならなかった理由は、3Dデータによる図面の簡略化は実現されたが、3Dデータとともに2D図面を作成しないといけないという状況のためである。組織（役割）や業務プロセスや設計ルールを変えなかった2000年初期の段階では、3DCAD導入によって設計者の仕事が2倍に近く増えたようだ。しかし、組織（役割）や業務プロセスや設計ルールなどを再構築し、それに伴う2D図面の簡略化などの工夫によって設計工数を減らしているものの、金型メーカーへの3Dデータ手配の際に、受入れ

## 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

検査のための交差や寸法をチェックする方法がないため、未だに3Dデータと2D図面を作成しているといった問題がある。もう一つの効果としては、金型手配の期間削減に成功した。その理由は、3Dデータを使用したDRによる設計品質の向上及び誤作の削減や、自由局面の収まりが良くなったことによる金型試作回数の削減によるとされる。

一方、3DCAD導入の主たる効果としては、Concurrent Engineeringの実現による分業設計が可能となり、製品開発期間を短くすることに成功した。つまり、2DCADの導入までは、1人の機構設計者が、2Dのデザインデータを受け取り、構想設計、機構設計、試作／評価、生産準備、金型メーカー手配、量産までを一気通貫の仕組みで行なったが、3DCADの導入によって、1人の機構設計者が全てを行わず、複数設計者による分業設計が可能になった。その結果、2DCAD時代では、設計者が2DCADを使用し機構設計を行なうために2-3年くらいの育成期間を必要としたが、3DCAD時代では、3DCADを利用したConcurrent Engineeringによる分業設計が行なわれ、新人設計者でも即戦力として部品の構造設計ができるような開発・設計が実現された。

### 4.2.1 PDMの構築

C社は独自の統合データベースを構築しているが、毎年、新製品を開発・設計している携帯開発の特徴により、実際の設計現場ではその実用性が殆どないとされる。統合データベースの効果は、設計図面の電子的保管の機能が主たる目的であり、A社のように全社的に部品コードの標準化などの仕組みは構築されていない。

### 4.2.2 金型メーカーなどの外部サプライヤーとのデータのやり取り

C社の携帯製品のアーキテクチャは、2Gまでクローズ戦略を志向した日本の内部事情もあるが、近年の3Gの開発は非常に先行しており、製品アーキテクチャは、本稿で提示したエレクトロニクス製品の多くが位置しているオープン・モジュラーよりオープン・インテグラルに近いことが分かった。製品アーキテクチャがオープン・インテグラルに近いが、あくまでもPLCが短いエレクトロニクス製品群であるため、セットメーカーと部品サプライヤーとの関係は統合性が低く、ピラミッド構造を成していない。

具体的に、機構設計を終えてから、金型メーカーなど外部のサプライヤーに設計情報を渡すとき、2000年以降3DCADを導入してからは3Dデータを渡しているが、必ず2次元図面も同時に渡しているのが現状である。なぜなら、すべての金型メーカーなど外部のサプライヤーが同社と同様なCADを利用しておらず、IGES変換ツールを利用しても、概観などの3Dデータには問題が起こる可能性があるから、2D図面を提供しているようである。ただ

し、同社と同じ CAD システムを利用していない金型メーカーなど外部のサプライヤーに対しては、意匠デザインに影響を与えない内部部品（パッキン、板金など）しか手配していないとされる。

一方、C 社は国内向けの携帯開発しか行っていないため、A 社のような Data Exchange Center を特別に設けておらず、データ変換は IGES や DXF などのツールに頼っているだけである。（それだけで十分となっている。）

### 4.3 D 社のラップトップ PC 開発

D 社は、日本のデジタル家電企業の中で代表的企業であり、同社の PC 事業部は最先端コア技術を搭載したラップトップ PC や PDA 等のコンピュータネットワーク機器を提供している。構想・設計の段階からカスタマーの声を十分に分析して取り入れ、実用的で、オリジナリティの高い商品やサービスを開発するとともに、ラップトップ PC をターゲットとしたネットワークの構築支援を行うなど、夢のある商品づくりと快適なコンピューティング環境の実現に取り組んでいる。

同社は 1970 年代から 2D CAD を導入したものの、設計部門からドラフター（手書き図面）がなくなったのは 1995 年ごろからだといわれている。そして、1997 年ごろから本格的に 3D CAD を導入したとされる。ラップトップ PC の開発は、まず本社統括のデザイン部門で意匠デザインの 3D データ作成を行い、その 3D データをもとに、開発・設計部門が 3D 設計を行なう仕組みとなっている。同社の PC 開発の特徴は、一部を除いてはデザイナー自身が 3D CAD を利用して 3D データの意匠モデルを作成しており、3D データ作成専用のオペレーターを使っていないことである。また、PC 事業部である特徴もあり、コンピュータに対するアレルギーもなく、開発・設計部門の設計者たちは導入当初からオペレーターを利用せず、抵抗なく自ら 3D CAD を利用しているとされる。また、オペレーターを利用しない理由として、開発・設計意図をオペレーターに説明する時間が無駄であり、その時間を無くすことで、製品開発期間の削減を目指したからである。

3D CAD の導入は解析のシミュレーションの利用から始まり、現在は機構設計（機能設計、構造設計）、試作/評価、生産準備、金型手配などに利用されている。また、電気設計では ECAD（2D CAD）を利用している。

3D CAD 導入による効果をみると、導入当初、設計工数やコストは削減されず逆に増加したが、その後、組織（役割）や業務プロセスや設計ルールを変えるなどの業務改革を行い以前の状態に戻ったとされる。というのも、同社では 1997 年頃から 3D CAD で作成した 3D データを金型メーカーに配布しているが、ISO などの関係上、2D データ（2D 図面）

## 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

を正の成果物とした業務をおこなっている。したがって、3Dデータが参照データとされていることから、C社のように3Dデータを利用した設計図面の簡易化により設計者の負担増加をもたらしたと考えられる。つまり、組織（役割）や業務プロセスや設計ルールを変えない状態では、3DCADの導入は製品開発の成果に直接結びつかないことを示している。ただし、図面の電子化により、ラップトップPCの開発・設計で作成される多くの図面の出図業務が軽減されたことが、CAD導入のメリットであると考えられる。

一方、A社と同じく、経営者による組織や業務プロセスのイノベーションによって、例えば、従来デザインセンター長に与えたデザイナーの評価権限を各事業部長に譲渡することなど、事業部の統合・整理及び事業部内のプロセス改革を行なっている。

### 4.3.1 PDMの構築

D社のPC事業部に導入されているPDMは、それほど効果を見出していないようである。D社はPC事業部だけではなく、従来、総合電機メーカーから始まった企業の履歴上、各事業部の権限が強く、A社のような統合的PDM構築のようなイノベーションは行なわれていなかった。つまり、組織全体を統合するためには、トップ経営者主導による全社的なプロセス統合の改革が必要であるが、PC事業部だけではなく、D社全体的に統合的なPDM構築が行なわれず、同様な部品に対して、事業部ごとに異なる価格で購買が行なわれる問題が浮上している。

### 4.3.2 金型メーカーなどの外部サプライヤーとのデータのやり取り

D社のラップトップPC製品のアーキテクチャは、常に他社との製品開発競争に直面しており、製品アーキテクチャは、オープン・インテグラルに近い。デスクトップPCが典型的なオープン・モジュラーに位置しているが、先進的なラップトップPCメーカーの場合、インテグラル・アーキテクチャを構築するために傾注している。

しかし、C社の携帯開発と同じく、製品アーキテクチャがオープン・インテグラルに近いが、あくまでも製品ライフサイクル（PLC）が短いエレクトロニクス製品群であるため、セットメーカーと部品サプライヤーとの関係は統合性が低く、ピラミッド構造を成していない。D社のPC事業部の場合、当初金型作成を外部メーカーに出したが、生産技術の核となる金型設計能力を失っているとの判断のため、1990年代後半の2-3年間、再び金型設計及び金型製作を内部で行なったとされる。しかし、投資（コスト）対効果の効率性が悪く、2000年代以降は金型を外部メーカーにアウトソーシングしている。また、PC生産も新規モデルに対しては、D社のPC事業部内で行なわれているが、旧モデルの生産に対しては外部にア

ウトソーシングしている。

そのため、外部企業との3Dデータのやり取りが必要であるが、A社と異なり、2D図面が正といった業務を行なっているため、2D図面と3Dデータを同時に渡している。その結果、A社のように外部企業との3Dデータを一致させるために、Data Exchange Centerの必要性を感じていないことが分かった。

#### 4.4 4 事業部の比較

[表 3] 4 事業部の比較

| 区分                      | A社の携帯製品                      | B社のノートPC             | C社の携帯製品        | D社のラップトップPC                  |
|-------------------------|------------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|
| 製品アーキテクチャ               | オープン・モジュラー,<br>オープン・インテグラル両方 | オープン・モジュラーに近い        | オープン・インテグラルに近い | オープン・モジュラー,<br>オープン・インテグラル両方 |
| 3DCADの利用                | デザイン                         | デザイン、機構              | デザイン、機構、解析の一部  | デザイン、機構、解析                   |
| 部品点数<br>(自動車との比較)       | 低い                           | 低い                   | 低い             | 低い                           |
| 専用・共通部品の割合              | 専用部品の中心                      | 共通部品中心               | 専用部品中心         | 専用部品中心                       |
| 開発期間と生産期間<br>(自動車との比較)  | 短い                           | 短い                   | 短い             | 短い                           |
| 生産台数(1機種当り)             | (グローバル化による)大量生産              | (OEM)大量生産            | 少量生産(50万台くらい)  | 少量生産(モデルごとに違う)               |
| PLC(Product Life Cycle) | 1年以内                         | 1年以内                 | 1年以内           | 1年以内                         |
| サプライヤーとの関係              | 高い統合                         | 高い統合                 | 低い統合           | 低い統合                         |
| 統合手段                    | 金型の物理的統合                     | 金型の物理的統合             | —              | —                            |
| サプライヤーのCADとの統合性         | —                            | 相対的に高い               | 相対的に高い         | 相対的に高い                       |
| 統合手段                    | —                            | Data Exchange Center | 2D図面           | 2D図面                         |
| PDMの統合度                 | 高い                           | 高い                   | 低い             | 低い                           |

## 製品アーキテクチャとCAD利用の組織能力

A社の2事業部とC社の携帯事業部、D社のラップトップPC事業部の事例をみてきたが、本稿で提示した製品アーキテクチャからみると、基本的に4事業部ともに家電事業部であり、オープン・モジュラーの枠に属しているが、3世代以降のA社の携帯製品、C社の携帯製品、D社の新規ラップトップPCはオープン・インテグラルに近い特徴である。一方でA社のノートPCは9割以上OEM供給しており、3事業部に比べて、オープン・モジュラーに近いと考えられる。

3DCADの利用をみると、PLCが短い製品の特徴のため、デザイン部門だけの3D利用、あるいはデザインと機構設計部門のみ利用されていることが多い。一方、外部企業との関連性をみると、家電産業の特徴のため、サプライヤーとの統合度は低いが、A社の2事業部は、金型企業をA社内部に入れることによって、濃密なコミュニケーションを実現し、製品開発の統合性と開発期間を短縮していることが特徴である。また、CADデータの統合のために、A社の場合、事業部ごとではなく、全社的なプロセス革新を通して、統合的製品開発データベースであるPDMを構築し、すべてのBOMを統合し、グローバル展開を可能にした。しかし、C社とD社の場合、事業部ごとのPDMは存在するものの、全社のPDMとの連携は取れておらず、統合的製品開発のデータが行なわれていない。また、サプライヤーなどの外部企業とのデータ統合性を高めるために、A社はData Exchange Centerを構築しているものの、C社の携帯製品、D社のラップトップPC事業部にはそのような組織を構築していなかった。

## 5. ディスカッション

本稿では、製品アーキテクチャの種類と製品開発との関係を検討したうえで、クローズ・インテグラルアーキテクチャと対比するために、オープン・モジュラーアーキテクチャに近い家電企業の製品開発を取り上げて、CADを利用した製品開発を分析した。

企業ごとの特徴があるが、CADは独自に製品開発に用いられるツールではなく、組織全体のプロセスと密接に関わっていることが分かった。つまり、CADは商品企画、デザイン、設計、生産にいたるすべての組織プロセスと関わっており、製品開発プロセスを統合させる仕組みが設けられないと、同時的に使われるツールに過ぎず、膨大なIT投資によるCADシステムの導入にも関わらず、設計エンジニアには仕事の工数を増やす余計な存在に過ぎないことが明らかになった。

さらに、自動車製品と異なり、家電部門は製品ごとのPLCが異なり、イノベーションによる新規製品と旧モデルとの間の競争力は全く異なる。それにうまく対応するためには、製品ごとの戦略とともに、総じて短くなっているPLCにうまく対応するための製品開発期間を短くする工夫が必要であろう。そのためには、製品開発に関わるすべてのデータベースを統合

させる努力が必要であると考えられる。しかし、事業部ごとの独自性が強い日本の家電企業の組織構造の中で、事業部の横の連携を達成させるためには、トップ経営者による統合的データベースを構築するためのプロセス革新が必要であろう。そうした統合データベースを構築する企業と、組織間のプロセス統合に失敗し、すぐれた IT システムの潜在力をうまく活用できない企業の競争力は全く異なってくるだろう。

先述したように、ビジネスプロセスには、単なる製品の生産に留まらず、その製品の企画から消滅までもすべてのライフサイクルに沿った管理が重要になる。さらに、製品企画、製品設計と開発、調達、生産、物流、マーケティング、サービスなどのビジネスプロセスは、製品企画、生産、マーケティングからサービスのようにより3つのビジネスアーキテクチャに分けることができるが、こうしたビジネスアーキテクチャは技術の進歩、カスタマーのニーズの変化、組織の現状によって大きな影響を受ける。しかし、こうしたアーキテクチャの構成の中で、CAD などの新しい IT ツールの影響を組織の競争優位に活かす形で活用するためには、組織能力などの組織アーキテクチャによって決まってくると思われる。

IT ツールは一つ一つはツールかもしれないが、組織がそれぞれの IT ツールに合う物を利用するのが組織能力である。単なるツールとして利用するときの便利さのため、CAD などの新しい IT システムを使用しているが、多くの企業では IT システムをうまく活用していない。その結果、膨大な投資を行なったことに比べて、価値創造に結びつかない場合が多い。会社は利益を出さないといけないので、ツールを付加価値に合うために使わないといけない。それゆえ、組織がどのように 3DCAD などの 3次元 IT ツールを利用するかによって、組織の競争優位は決まってくるだろう。最後に、このような仕組みを組織と大工さんにたとえると、大工さんにとってのこぎりが電動のこぎりに変わったとき、大工さん(CAD を利用する設計者)の仕事は楽になったが、会社にはあまり役立たないなら、膨大な投資を行なった企業にとって電動のこぎりを購入した意味合いはなくなる。今日のように PLC が短くなっているエレクトロニクス製品であるこそ、こうした IT システムを利用する組織の戦略的意思決定は重要になってくると考えられる。



**参考文献**

- Adler, P.S.(1989) "CAD/CAM: managerial challenges and research issues," *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol.36, no.3, pp.202-215.
- 青島矢一・延岡健太郎・竹田陽子(2001)「新製品開発プロセスにおける3次元CADの導入と組織プロセス」尾高煌之助・都留康編『デジタル時代の組織革新』有斐閣。
- Baba, Y. and K. Nobeoka, (1998) "Towards knowledge-based product development: the 3D CAD mode of knowledge creation," *Research Policy*, vol.26, no.6, pp.643-659.
- Bae, S. Y. (2003) "A Case of PDM PLUS building in PDP department of Samsung SDI," *Society of CAD/CAM Engineers*, vol.9, no.3.
- Baldwin, C. Y. and K. B. Clark(2000), *Design Rules: The Power of Modularity*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Beatty, C. A. (1992) "Implementing advanced manufacturing technologies: Rules of the road," *Sloan Management Review*, vol.33, no.4, pp.49-60.
- Buxey, G. (1990) "Computer-assisted design/Computer-assisted manufacturing (CAD-CAM) and its competitive advantage," *Journal of Manufacturing Operations Management*, vol.3, pp.335-350.
- Clark, K. and T. Fujimoto(1991), *Product development performance: Strategy, organization and management in the world auto industry*, Harvard Business Review Press, Boston, MA.
- Crawford, M. (1992) "The hidden costs of accelerated product development," *Journal of Product Innovation Management*, vol.9, no.3, pp.188-199.
- Davenport, T. H. (2000) *Mission Critical*, Harvard Business School Press.
- Electronic Commerce Promotion Center(2006) *A study concerning 2005 Collaborative engineering: Expected thing from next generation digital engineering*, JIPDC(Japan Information Processing Development Corporation) ECPC(Electronic Commerce Promotion Center).
- Ettlie, J. E. and H. W. Stoll(1990), *Managing the design manufacturing process*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Fine, C. H. (1998) *Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*, Reading, MA: Peruseus Books.
- Fitzgerald, K. (1987) "Compressing the design cycle," *IEEE Spectrum*, vol.24, no.10, pp.39-42.

- 藤本隆宏(2001)「アーキテクチャ産業論」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ』有斐閣。
- 藤本隆宏(2004)『能力構築競争』中公新書。
- 藤本隆宏(2006)「自動車の設計思想と製品開発能力」、*MMRC Discussion Paper 74*, pp.1-12。
- 藤本隆宏・延岡健太郎(2006)「競争力分析における継続の力：製品開発と組織能力の進化」、*組織科学*、vol. 39, no. 4, pp.43-55。
- Fujimoto, T. (2006) “Architecture-based Comparative Advantage in Japan and Asia,” *MMRC Discussion Paper 94*, pp.1-8.
- Hong, Paul., M. A. Vonderembse, W. J. Doll, and A. Y. Nahm(2005), “Role change of design engineers in product development”, *Journal of Operations Management*, vol.24, pp. 63-79.
- Kappel, T. A. and A. H. Rubenstein(1999), “Creativity in design: The contribution of information technology,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol.46, no. 2, pp. 132-143.
- Koufteros, X. A., M. A. Vonderembse, and W. J. Doll(2001), “Concurrent engineering and its consequences,” *Journal of Operations Management*, vol.19, no.1, pp.97-115.
- 具承桓・藤本隆宏(2000)「自動車産業におけるデジタル技術の利用と製品開発に対する影響」、*CIRJE-J-27 of Discussion Paper Series in Tokyo University* (July)。
- 具承桓(2003)「自動車部品産業における3次元CAD技術の導入とその影響—3次元CAD技術、企業間コミュニケーション、開発効率、その因果モデルの探索」、*組織科学*、vol. 37, no. 1, pp. 68-81。
- Liker, J. K., M. Fleischer and D. Arnsdorf(1995), “Fulfilling the promises of CAD” . in *Productivity in the Office and the Factory*, (Eds.) P. Gray, and J. Jurison, Boyd & Fraser Publishing Co., New York, pp.176-191.
- 延岡健太郎・伊藤宗彦・森田弘一(2006)「コモディティ化による価値獲得の失敗—デジタル家電の事例」榊原清則・香山晋編『イノベーションと競争優位—コモディティ化するデジタル機器』NTT出版。
- 朴英元(2004a)「中小企業における情報システムのアウトソーシングとコア・コンピタンス」*日本社会情報学会誌*第16巻2号、pp. 31-44。
- 朴英元(2004b)「組織のコア・コンピタンスと情報技術の導入・利用 - 日韓企業の比較研究」*東京大学大学院博士学位論文*。
- Robertson, D. and T. J. Allen(1993) “CAD system use and engineering performance,” *IEEE*

- Transactions on Engineering Management*, vol.40, no.3, pp.274-282.
- Shintaku, J., K. Ogawa, and T. Yoshimoto(2006) “Architecture-based Approaches to international Standardization and Evolution of Business Models,” *MMRC Discussion Paper 96*, pp.1-21.
- Symon, G. and C. W. Clegg(1991), “Technology-led change: a study of implementation of CAD/CAM,” *Journal of Occupational Psychology*, vol.64, pp.273-290.
- 竹田陽子(2000)『プロダクト・リアライゼーション戦略:三次元技術が製品開発組織に与える影響』白桃書房。
- Tan, C. L. and M. A. Vonderembse(2006), “Mediating effects of computer-aided design usage: From concurrent engineering to product development performance,” *Journal of Operations Management*, vol.24, no.2, pp.494-510.
- Thomke, S. and T. Fujimoto(2000), “The Effect of Front-Loading Problem Solving on Product Development Performance,” *The Journal of Product Innovation Management*, vol.17, no.2, pp.128-142.
- 鳥谷浩志(2006)『3次元ものづくり革新』日経BP。
- Twigg, D., C. A. Voss, and G. M. Winch(1992), “Implementing integrating technologies: Developing managerial integration for CAD/CAM,” *International Journal of Production Management*, vol.12, no.7-8, pp.76-91.
- 上野泰生(2005)『実践デジタルものづくりーエレクトロニクス産業におけるPLM』、白日社。
- Ulrich, K. T.(1995) “The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm,” *Research Policy*, vol. 24, pp.419-440.
- Velocci, T. and J. Childs(1990), “French aerospace: global leadership,” *Aviation Week Space Technology*, vol.133, no.9, pp.5-24.