

MMRC-J-223

エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャ  
と CAD 利用

東京大学ものづくり経営研究センター

朴 英元  
藤本 隆宏

PTC ジャパン  
阿部 武志

2008 年 6 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



# エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

東京大学ものづくり経営研究センター

朴 英元  
藤本 隆宏

PTC ジャパン  
阿部 武志

2008 年 6 月

**要旨** : 本稿では、日本のエレクトロニクス企業に対するアンケート調査に基づき、エレクトロニクス製品の中の製品アーキテクチャを測定した。さらに、日本のエレクトロニクス企業の CAD・CAM・CAE の活用について分析した。一般的に、自動車のようなインテグラル製品に対して、エレクトロニクス製品はモジュラー製品に近いといわれるが、携帯電話やデジカメ、モバイル PC などのモバイル製品におけるデザインは製品の売れ行きを大きく左右しており、小型化、薄型化の傾向が強くなっているため、殆ど新規設計に近く、インテグラル度合いが高いと考えられる。本稿ではインテグラルの度合いを測定した結果によって、エレクトロニクス製品のうち、高機能新規開発製品と派生モデルとの違いを明らかにした。次に、日本のエレクトロニクス産業の製品開発に用いられる CAD・CAM・CAE の活用と成果を検討した際に、3次元 CAD のすぐれた効果をうまく活用している企業とそうでない企業との違いを確認した。

**キーワード** : エレクトロニクス製品、製品アーキテクチャ、CAD 利用、組織能力

## 1. はじめに

昨今、製品開発において情報システムの利用は必須不可欠である。消費者に伝達される製品は、「設計情報がメディア（情報を担う媒体）の上に乗ったもの」とみなされており（藤本、2005）、こうした製品開発活動において設計情報をメディアに転写する設計道具として利用されるCADのようなITシステムは極めて重要な役割を果たすと考えられる（上野・藤本・朴、2007）。設計道具は、かつての手書き図面から、2DCADを経て、1990年代半ば以降3DCADへの移行が進んでいる。日本の場合、2DCADは、1980年代に急速に普及して、1990年代初頭までには大手機械系製造業のほとんどで導入されたが、3DCADの導入は、約10年遅れて1990年代中盤から加速されたといわれる（延岡、2006）。3DCADの導入時期および普及速度は、2DCADに比べてはるかに遅いが、その波及効果は非常に大きい。1990年代以降、3DCADの機能の増加によって、数多くの研究でその効果が報告されている（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）。例えば、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（青島他、2001）。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。とりわけ、3DCADは同時並行的な（concurrent）開発活動を促進し、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といわれている（Koufteros et al., 2001）。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。また、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）。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（Robertson and Allen, 1993; Baba and Nobeoka, 1998; 竹田、2000）。日本の製品開発は伝統的に大部屋式の製品開発と設計開発者同士の密接な調整を得意としており、このようにコミュニケーションを促進させ

## エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

---

る CAD は日本企業の製品開発と適合性があるといえるだろう。

しかし、こうしたすぐれた機能を持っている 3D CAD を導入しても、それをうまく活用する企業とそうでない企業もありうる。つまり、CAD などの IT システムを利用する企業の組織能力の違いも認めないといけない(藤本、2006)。また、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。組織能力は、長期的に組織内部に形成された組織独特な能力であり、こうした部門横断的なデータベースの構築も一つの組織能力ともいえるだろう。

本稿では、日本のエレクトロニクス企業に対するアンケート調査に基づき、同様なエレクトロニクス製品の中の製品アーキテクチャを測定し、CAD・CAM・CAE の活用の現状を報告することに焦点を合わせる。このために、大鹿・藤本(2006)の質問項目に基づき、エレクトロニクス産業に限定して、アンケート調査を行なった。製品アーキテクチャでは、乗用車のように製品機能と製品構造の関係が複雑に錯綜した「擦り合わせ (インテグラル) 型」と、パソコンなど機能と構造の関係が一對一にすっきり対応した「組み合わせ (モジュラー) 型」を両極の理念型と分類できる。大鹿・藤本(2006)は「アーキテクチャの比較優位」の仮説に基づき、「統合力」が偏在する日本は、「擦り合わせ」寄りの製品で競争優位を持つ傾向があることを実証したが、比較的モジュラー型に近いエレクトロニクス製品の競争力低下については十分説明していない。とりわけ、自動車産業に比べて競争力のないといわれる日本のエレクトロニクス産業の製品開発の現状については触れていない。そのため、本稿では、これまで試みられていないエレクトロニクス産業に対する探索的調査を行い、製品アーキテクチャと CAD・CAM・CAE の活用の関係を考察することに目的を置いた。さらに、エレクトロニクス製品を開発している各企業の製品開発担当者に産業の CAD・CAM・CAE の活用の現状を伝えることによって、他社とのベンチマーキングを可能にする基準を提供することも本稿の重要な目的の一つである。とりわけ、自社の製品アーキテクチャの特性を理解したうえで、自社の組織能力を活かす CAD・CAM・CAE の活用はいかなるものかを判断する基礎資料を提供したい。

## 2. 製品アーキテクチャの測定とCAD利用との関係

### 2.1 設計思想と製品アーキテクチャの測定

製品アーキテクチャはさまざまな形で分類できるが、最も重要な分類としては、「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)。しかし、実際の製品は、単純な分類では把握しきれない。同じ製品でも、部位やレイヤー(階層)によって異なるアーキテクチャ特性を持ちうる(藤本, 2003)。したがって、実際の製品は、インテグラルからモジュラーまでのスペクトル上に連続的に分布すると考えるべきだろう。大鹿・藤本(2006)は、いくつかのアーキテクチャ特性をリカート尺度で主観的に評価し、多変量解析を用いて集計した[インテグラル度指数]によってこのスペクトルを推定した。その結果を見ると、大鹿・藤本(2006)では、最もインテグラル度の高い領域に自動車・同部品、最も低い(逆に言えばモジュラー度の高い)領域に電気機器類が分布する傾向を見出した。また多くのデジタル家電はモジュラー寄りのアーキテクチャ特性を持つと、これらの研究は指摘する(上野・藤本・朴, 2007)。

一般に、インテグラル型製品は、要求性能や構造・機能のトレードオフなど、制約条件が厳しい中でぎりぎりの構造設計を行う製品である。例えば、市場ニーズを所与とすれば、重量・強度・容積などの制約の厳しい小型のメカ製品、構造設計・機能設計を連続量で表現する必要のあるアナログ型製品が、インテグラル(擦り合わせ)寄りである傾向がある(西村, 2004)。なお、こうしたインテグラル型製品というのは、最初から決まっているのではなく、モジュラー型製品が製品特性や市場・技術・競合環境の変化によってインテグラル型製品となる可能性もありうる。例えば、インテグラル(すりあわせ)型プロセスに対する分析によると、インテグラル型は設計要素(部品、ユニット、部分など)の間の相互依存性により決まるので、製品特性からの要因と市場・技術・競合環境からの要因によって生まれ得ると考えられている(富士通・日本発ものづくり研究会, 2007)。製品特性からの要因には、(1)上記で述べたように、機能と部品の関係が1:1ではない製品、(2)コンパクトかつ高機能の製品、(3)設計途中で新規部品が多数発生する製品、(4)製品の重要特性が全体依存である場合、(5)電気系と機構系の相互依存性のある場合、(6)設計マージンの減少、(7)デザイン性が重視される製品などがあげられる<sup>1</sup>。次に、相互依存性を促進させる市場・技術・競合環境か

<sup>1</sup> 設計マージンの減少と相互依存性をみると、デジタル機器の最先端の電気設計においては、動作クロック数がギガヘルツのオーダーになっており、素子の動作電圧も以前の3V程度から1Vへと低下している。このため伝送路を流れる電流波形の設計マージン(理想値からのズレの許容限度)は極端に少なくなり、LSIやメモリなどの部品単体だけの検証では機器の動作保証が不可能になってしま

## エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

---

らの要因には、(1)開発期間が短縮される傾向、(2)流用設計で新モデルを設計する場合、(3)利用者のための設計 (Design for User) の追求、(4)技術の進歩、変化が激しい状況、(5)アナログVTRからDVD/HDDレコーダへと進化することによって直面する、新コンセプトの製品開発、(6)ハイブリッド車、複写機を進化させたデジタル複合機、デジタルTVとカーナビやパソコン、HDDレコーダ、携帯電話を融合させる製品のよ  
うな、技術融合型の新製品開発などがある。

したがって、上野・藤本・朴(2007)は、インテグラルな組み立て製品は、製品特殊なカスタム設計部品の比率、社内設計基準による部品の比率、アナログ系の部品、そしてメカ系の部品が多い傾向があると考えた。モジュラー型製品はその逆で、業界標準的な汎用部品、社内共通部品、デジタル系の部品、そしてエレキ・電子系の部品の比率が高い傾向があると考えたのである。例えば、製品原価に占めるエレキ・電子系部品の比率は、PCやデジタル家電では50%以上、高級自動車で30%、低価格自動車で10%とみられる。また同様に、製品原価に占める汎用部品の比率は、PCでは50%以上、白物家電で30%、高級自動車で10%以下と考えられた。ただ、こうしたインテグラル・モジュラー型の区分は深層的なインタビューと社内の製品構造を分析する必要があるものの、それは現実的に公開しにくい企業データと関わっており、データへのアクセスがやさしくない。そのため、本稿の目的のように、製品アーキテクチャを正確に測定し、製品間の比較を行なうためには、アンケート項目による数値化を行なう必要がある。

一般的にアーキテクチャの測定の方法としては、少なくとも3つのアプローチがあるとされる。第1に、各製品ごとに機能要素と構造要素の間の技術的な相互依存関係を問い、その相互依存性の強さで「インテグラル・アーキテクチャ度」を測定する「機能・構造関係アプローチ」がある。第2に、構造要素(部品)およびその間の結合部分(インターフェース)に着目し、部品本体やインターフェースの設計の「製品特殊性」あるいはその逆の「標準化・共通化度」を測定する「インターフェース・アプローチ」がある(藤本、2002)。この2つのアプローチは、アーキテクチャの定義に直結した形で、設計そのものの客観的な特性からインテグラル(モジュラー)アーキテクチャ度を測定しようというものであるが、この方法は、個々の製品ごとに担当の技術者と面談し、多数の機能要素・部品・工程に関して、機能・構造関係やインターフェースの特性を聞き出す必要があり、測定に要する時間があまりに膨大である。したがってこの方法は、詳細なケーススタディには向くが、大量のサンプル・データを収集するタイプの統計的実証研究にはあまり向かない(大鹿・藤本、2006)。そこで、大鹿・藤本(2006)は簡便法として「主観評価アプローチ」を使用している。これは、当該

---

い、部品や設計要素間での従来なかった相互依存性を引き起こしている。

製品・工程のアーキテクチャがインテグラル（あるいは逆にモジュラー）的であるときに同時に観察されやすい事象を複数示し、その製品の関係者に、そのような事象が実際に観察されたかどうかを、主観的な評価に基づいて把握しようというアプローチである。

本稿では、回答者の主観的な評価になっているものの、大鹿・藤本（2006）のリカート尺度で測定し、多変量解析を用いて集計した〔インテグラル度合いの測定〕の方法を利用することにした。具体的な調査方法については、後述する。

## 2.2 製品アーキテクチャとCAD利用

次に、こうした製品アーキテクチャとCADの間にはどんな関係があるのだろうか。これまでの調査によると、日本の自動車産業と電子産業におけるCADシステムの利用を比較した際に、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（朴他、2007）。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の利用が強いられる傾向が強い。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った。ここでは、製品アーキテクチャの違いをより明らかにするために、CADが使われる両製品の製品設計を比較してみる（上野・藤本・朴、2007）。

まず、代表的なインテグラル製品である自動車の場合、最初の製品設計においては、構造設計は全体機能設計に従属するが、デザイン重視の傾向が強い製品の特性ゆえ、機能設計と構造設計が順次的プロセスを描くのみならず、構造設計に進行した段階で逆順に製品機能が確定される場合もありえる。自動車という製品は従来エレキ部品より、メカ部品が重視され、エレキ部品とエレキ部品に組み込まれるソフトはそれに従属していたが、近年、エレクトロニクス化が急速に進むにつれて、ECUなどの電子部品が急激に増加しており、エレキの重要性と組み込みソフトの影響も大きくなっている。例えば、自動車の電子部品の中で重要視されているカーナビのソースコードは500万行を増しており、単体のエレクトロニクス製品のソースコード以上である。自動車では、カーナビだけではなく、多様な電子部品を使わざるを得ないので、ソフトの重要性は今後増すと思われる。

一方、エレクトロニクス製品の場合、自動車に比べると、電子部品が製品設計を主導しており、意匠部品などのメカ部品よりエレキ部品の重要度が高かった。近年、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



## エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

ヶ月と、6ヶ月である(鳥谷、2006)。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。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ところに焦点が移り、3DCADの導入が増えている(上野、2005；朴他、2007)。

一方、アナログ時代と違って、エレキ部品の重要度が高まるデジタル化がされることで、DVDプレイヤーや低画素のデジカメなどは、アナログ時代では考えられなかったかなり低い技術レベルの企業が、低価格のみを売り物に、新規参入してきて、日本企業の競争優位が急速に失われたのも事実である。つまり、コモディティ化が進んだエレクトロニクス製品は、部品さえ手に入れば、だれでもそこそこの製品がつくられてしまう時代となった(新宅・善本・加藤、2004；延岡、2006；上野・藤本・朴、2007)。ところが、様々な機能を盛り込む小型製品の増加によって、メカ部品よりエレキ部品の重要性は増しており、したがってエレキ部品を制御する組み込みソフトの重要性がますます高まっている。ソフトの重要性の具体例を取り上げると、FOMAの携帯端末で、ソースコードにして1000万行、DVDプレイヤーで600万行、薄型テレビで400万行などである。また、設計費でみると、DVDレコーダーは、60%がソフトウェアであり、携帯電話では、80%を占める。その結果、エレクトロニクス製品においては、ソフト設計をどのように効率的にするかによって、製品の競争優位は決まってくる。

しかし、最近、エレクトロニクス製品の場合、市場成熟によって製品差別化の誘引が強くなればなるほど、エレキ部品のみならず、小型化、省エネ化、意匠デザインを重視するようになり、メカ設計の重要性も再び強調されている。何故なら、形状の小型化と、省エネのための低電圧化は、小さな空間に高密度に部品を配置しなければならないので、ノイズ問題や発熱問題を顕在化させ、メカ設計の難易度は上昇しているからである。また、デザイン上での高級感や見栄えを重視する戦略から、外装素材もプラスチックからマグネシウム合金へ、アルミニウムからチタン合金へ変化しており、従来のメカ設計ルールの変革が求められている(富士通・日本発ものづくり研究会、2007)。このような傾向は、小型化が差別化の要因となる製品では顕著である。とりわけ、こうしたエレクトロニクス製品の意匠(外観デザイン)設計を考察してみると、自動車では最大の競争源泉であることに対し、かつてエレクトロニクス製品では、意匠設計はあまり重要視されてこなかったが、コンシューマー・エレクトロニクス製品のコモディティ化が加速している今日、技術面での差異化は難しく、デザインは重要な差別化要素になりつつある。例えば、携帯電話やMP3プレイヤー、デジカメなど、モバイル製品におけるデザインは製品の売れ行きを大きく左右するため、最後までなかなか

決まらない。その上デザイン性が小型化、薄型化に直結する傾向が強く、意匠部品（主に外装）と機能部品（主に PCB アセンブリ、電子部品）の空間レイアウト設計が難しさを増しており、意匠設計用の CAD も重要視されている（上野・藤本・朴、2007）。

本稿では、製品アーキテクチャと CAD 利用の関係を比較するために、メカ・エレキ・ソフトウェア開発のうち、ソフトウェア開発を除き、製品アーキテクチャの測定とメカ・エレキ CAD 利用の関係を提示する。とりわけ、携帯電話、デジカメ、モバイル PC などのモバイル製品を中心に製品アーキテクチャを確認し、日本のエレクトロニクスメーカーの製品開発と CAD 利用を分析することにする。

### 3. 本稿のフレームワーク

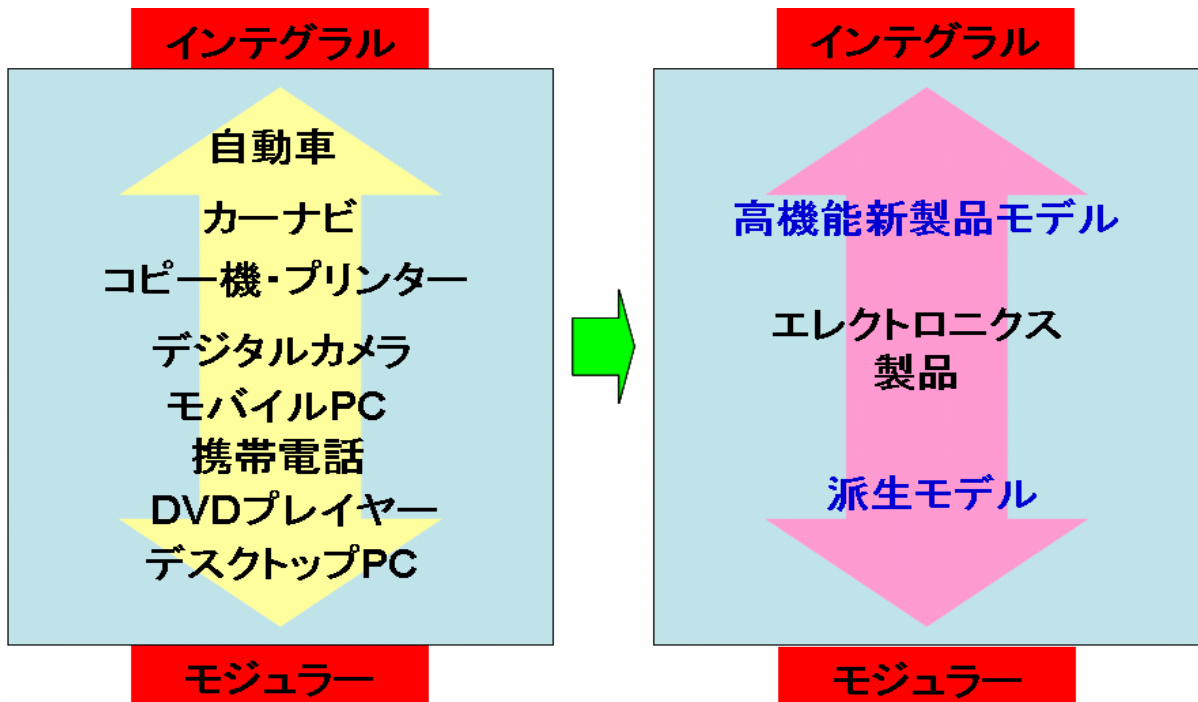
朴他(2007)の分析では、製品アーキテクチャの両極端にある自動車産業とエレクトロニクス産業を比較し、その中でもエレクトロニクス産業の中からいくつかのケースを取り上げて分析した。その結果、エレクトロニクス製品であっても、インテグラルに近い製品開発が行なわれていることを確認した。そのため、本稿では、エレクトロニクス製品のうち、自動車のようなインテグラル・アーキテクチャに近い製品開発が行なわれる現象について検討することに主眼を置く。この分析目的のために、朴他(2007)の分析で用いた、製品アーキテクチャの分類軸の中で、「オープンとクローズド」軸を省き、「インテグラルとモジュラー」軸だけに絞って分析を行なうことにする。こうした軸によって、延岡他(2006)の製品配列を並べると、自動車がインテグラルに最も近く、デスクトップパソコンが正反対のモジュラーアーキテクチャに位置するようになる。その間に、カーナビ、プリンター、デジタルカメラ、モバイル PC、携帯電話などが位置すると考えられる。

しかし、本稿では、自動車などの製品は対象外にして、エレクトロニクス産業だけに限定し、製品アーキテクチャを考察する。そのため、本稿のリサーチモデルは、エレクトロニクス産業の中でよりインテグラル的な製品とよりモジュラー的な製品を検討する。とりわけ、朴他(2007)の調査では、高機能を備える新規製品の開発の場合、非常にインテグラル要素を高く持つという回答が多かったので、エレクトロニクス製品の中でも、高機能を持つ新規開発製品の場合、よりインテグラルに近い製品アーキテクチャを持つと仮定する。一方、既存のモデルを流用する派生モデルの製品開発の場合、共通部品の利用が多くなり、部品間のインタフェースが標準化されると考えられるので、よりモジュラー型に近いと考えられる。こうしたモデルを図 2 に示した。

[図 1] 製品アーキテクチャによる製品の分類



[図 2] フレームワーク



## 4. 分析結果

### 4.1 調査方法

東京大学 21 世紀 COE「ものづくり経営研究センター」は、2006 年度からエレクトロニクス産業における製品開発と CAD 活用についてのインタビュー調査を行ってきた。その調査を受けて、2007 年下半期から大鹿・藤本(2006)の組立製品系に属するエレクトロニクス製品に限定して、エレクトロニクス製品の製品開発と CAD 活用に関するアンケート調査を行った。この調査は、探索的な調査であり、エレクトロニクス産業の CAD 調査としてはじめて行なったものである。今回の調査は、日本の大手電機メーカー 10 社の 6 製品(合計 19 製品)を対象にした。

本稿の主たる分析目的の製品アーキテクチャを測定する項目は、大鹿・藤本(2006)で用いられた項目を採用した。大鹿・藤本(2006)は、アーキテクチャの測定指標として、各製品について、部品設計は製品特種的か、接続部分は社内専用規格か、設計パラメータの相互調整を要するか、等々、12 項目と総合的な判断を尋ねる 1 項目を設け、企業の製品担当者による主観的な 5 段階評価を尋ねた。具体的な調査項目の設計は、大鹿・藤本(2006)を参考していただきたい。なお、具体的なアンケート項目は付録に添付する。ただ、大鹿・藤本(2006)は、主成分分析によって、各スコアの整合性をチェックし、その合成変数として、各製品におけるアーキテクチャのインテグラル度(あるいはモジュラ度)を推定したが、本稿では、製品数が少ない関係のため、13 項目目の総合得点をインテグラル度(あるいはモジュラ度)として用いる。

### 4.2 製品アーキテクチャの測定結果

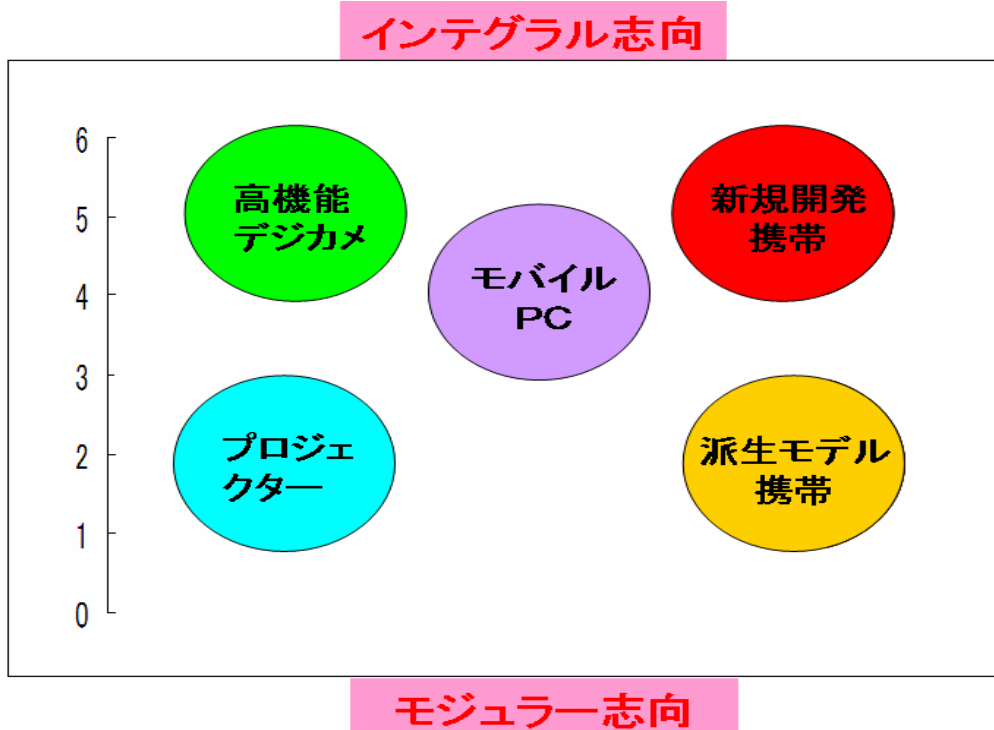
今回の調査では、エレクトロニクス製品のうち、モバイル PC、プロジェクター、デジタルカメラ、携帯電話、液晶 TV、ウォークマンのような音響機器製品を対象にしたが、製品アーキテクチャの比較分析には、6 つの製品のうち、モバイル PC、プロジェクター、デジタルカメラ、携帯電話の 4 製品だけを分析対象にしている。エレクトロニクス製品に対する詳細な調査結果は、東京大学 21 世紀 COE「ものづくり経営研究センター」の「エレクトロニクス産業の製品開発と IT システムの活用に関する報告書」として、2008 年度中に発刊する予定である。

4 つの製品の製品アーキテクチャの単純平均は、3.8 であり、エレクトロニクス製品であっても、インテグラル型の製品アーキテクチャにやや近い結果となった。しかし、本稿の仮

## エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

説通りに、高機能中心の新規開発製品と派生モデルに分けてみると、若干異なる結果となった。図3に示すように、全くインテグラルに近いと答えられたのが、高機能のデジカメと高機能を備えた新規携帯電話であった。また、モバイルPCの新規開発はインテグラルにややちかいと答えられた。一方、液晶プロジェクターと携帯電話の派生モデルの場合、製品アーキテクチャがモジュラーに近いと答えられた。こうした分類は回答者の主観的な判断に基づいているものの、エレクトロニクス製品であっても、高機能新規開発製品と派生モデルとの違いをある程度説明していると考えられる。先述したように、エレクトロニクス製品うち、モバイル製品は小型化が差別化の大きな要因となりつつある。従来、自動車では意匠(外観デザイン)設計が最大の競争源泉であったように、コンシューマー・エレクトロニクス製品の技術面での差異化は難しく、デザインは重要な差別化要素になりつつある。とりわけ、携帯電話やデジカメ、モバイルPCなど、モバイル製品におけるデザインは製品の売れ行きを大きく左右しており、すぐれたデザインを追及するため、小型化、薄型化の傾向が強くなっている。それゆえ、意匠部品と機能部品の空間レイアウト設計が難しくなっており、製品設計におけるインテグラル度合いは増加しているともいえるだろう。

[図3] 4製品の製品アーキテクチャ分類



もちろん、モバイルPCとデジカメ、携帯電話、液晶プロジェクターなどの製品間の差異

もあることも認めないといけないだろう。また、本稿の調査では、同一な評価者がそれぞれの製品を評価していないため、製品間の製品アーキテクチャの違いを絶対的に比較しにくい要素は存在する。しかし、製品間の違いのみならず、同一な製品の中でも高機能製品と派生モデルの製品アーキテクチャが異なることをある程度説明できたといえるだろう。こうした結果は、本稿の目的のように製品開発の現場のエンジニアたちに製品アーキテクチャを考慮した製品開発を考慮しないといけないこと、こうした製品アーキテクチャが全体の製品開発プロセスとCAD利用とはどのような関係があるのかを考慮しないといけないことを示唆してくれる結果である。また、こうした問題は日本のエレクトロニクス産業の製品開発の過剰品質の問題とも関わっており、どこまで製品機能の高級化を追及すべきかという課題も同時に残ると考えられる。

#### 4.3 エレクトロニクス製品開発におけるCAD・CAM・CAEの活用

次に、エレクトロニクス製品のCAD・CAM・CAEの活用の現状について検討する。部品設計で使用したCADタイプ（2D、3Dワイヤフレーム、3Dサーフェス、3Dソリッド）に分類した場合、部品設計は何を使用して設計されたかを尋ねた結果、メカ設計中心の筐体と、電気（回路）設計中心であるPCB基盤の間には、それぞれ異なる特徴がみられた。表1に示すように、筐体設計には、ほぼすべてが3Dソリッドを利用しているものの、PCB基盤設計には、2Dに限定されていることがあきらかになった。また、コア部品（例えば、デジカメのレンズなど）の殆どは、3Dソリッドで行なわれていることも明らかになった。つまり、PCB基盤を除いて、3DのCAD・CAM・CAEが殆どの部品設計に活用されているとあって過言ではないと考えられる。

[表1] 部品設計で使用したCADタイプ

部品の種類	部品設計で使用したCADタイプ(単位：%)				
	2D	3D ワイヤ フレーム	3D サーフェス	3Dソリ ッド	CAD未使用
筐体 <平均(標準偏差)>	11.7 (16.35)	0.0 (0.00)	0.2 (0.69)	88.2 (16.26)	1.1 (4.59)
PCB基板 <平均(標準偏差)>	86.7 (28.91)	0.0 (0.00)	0.0 (0.00)	16.3 (28.91)	0.0 (0.00)

## エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

次に、製品の設計技術者の補助をする CAD オペレーターは、設計技術者ひとりあたり平均何名くらいか聞いてみたが、CAD オペレーターを一部使っているケースもあったが、殆ど設計者自身が CAD インプットを行なっていることがわかった。また、CAE は CAE の専門家が実施するか、それとも製品の設計技術者自身が実施するのかを確認したところ、CAE に関する業務に費やした総工数に占めた割合は、CAE の専門家の実施割合が多いことが分かった。

[表 2] CAD オペレーターの数と CAE の専門化の割合

区分	一人の設計者を補助する CAD オペレーターの人数(人)	CAE の総工数に占めた割合 (%)	
		CAE 専門家	設計技術者
平均	0.5	65.0	35.0
(標準偏差)	(1.22)	(34.88)	(34.88)

次に、製品開発における問題発見・問題解決に CAD・CAE がどれほど活用されたかを確認した。すなわち、製品開発のプロセスにおいては最終的に量産品を作り上げるまでに、数多くの設計上の問題を発見・解決する必要があるが、問題を発見するために用いられたツールは、(1)CAD・CAE、(2)実機・ハードモックアップ、(3)プロトタイプのうち、いかなるものが利用されたかを確認した。3つのツールによって、①安全、②騒音(ノイズ)、③性能、④電波障害、⑤耐久性、⑥部品干渉、⑦製造性の問題が発見された数の比率の平均を表 3 に示した。

表から分かるように、3つのツールのうち、CAD・CAE によって発見される問題の割合は、いまだそれほど高くないのが現状である。ただし、部品干渉のチェックには、CAD・CAE が圧倒的に利用されており、次に製造製、耐久性、騒音(ノイズ)のチェックにはある程度利用されていることがわかった。一方、性能、電波障害、安全性などの問題には、実機・ハードモックアップとプロトタイプによる問題発見が多く、CAD・CAE が製品ツールとして完全に利用されるためには、こうした問題発見に対する対応が必要であると考えられる。

[表 3] 発見された問題の数の比率

区分	発見された問題の数の比率(単位：%)		
	CAD・CAE	実機・ハードモックアップ	プロトタイプ
安全 <平均(標準偏差)>	17.0 (26.69)	34.5 (28.91)	48.5 (34.81)
騒音(ノイズ) <平均(標準偏差)>	23.8 (33.35)	55.0 (39.28)	21.3 (22.95)
性能 <平均(標準偏差)>	12.0 (14.76)	55.0 (28.38)	33.0 (29.83)
電波障害 <平均(標準偏差)>	15.6 (26.51)	26.7 (26.46)	57.8 (36.32)
耐久性 <平均(標準偏差)>	23.8 (25.27)	28.1 (25.36)	48.1 (34.87)
部品干渉 <平均(標準偏差)>	94.4 (16.53)	3.6 (11.86)	1.9 (5.18)
製造性 <平均(標準偏差)>	36.7 (21.42)	42.5 (28.81)	20.8 (34.22)

次に、先述したように、1990年代半ば以降2次元から3次元CADへと普及が進んでいるが、設計工程ごとに分けて考えてみると、どのような変化が見られるかを検討した。ここでは、設計工程を(1)商品企画、(2)Design、(3)機構設計、(4)電気設計、回路設計、P板設計、(5)実装設計、(6)解析設計、(7)生産準備、NCデータ作成に分類した場合、各工程では2DCADと3DCADがどの程度利用されているか、その比率を確認した。

まず、商品企画の場合、3DCADが一部利用されているが、未使用の場合が多いようである。デザインの場合は、3DCAD利用の割合が高くなっている。デザインから機構設計までが3DCADで繋がっていることを意味しており、デザインと機構設計の3次元化は製品開発におけるコンカレント化を可能にし、先述した本来の3DCADの効果を高めることができると考えられる。次に、機構設計と電気設計の2次元と3次元の比率をみると、先述した部品設計における筐体とPCB基板設計の結果と整合性があり、機構設計には3DCADが、電気設計には殆ど2DCADが利用されている。一部の電気設計ソフト企業は電気設計の3次元化を図っているものの、現状は2DCADの利用比率が高い。最後に、実装設計、解析設計、生産準備で利用されるCADの殆どは3次元化されていることも明らかである。つまり、商品企画と電気設計を除いては、3次元化への変化が明らかになっていることが分かる。



## エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

[表 4] 設計肯定ごとの 2DCAD と 3DCAD の利用比率

設計工程	2 DCAD	3 DCAD	CAD 未使用
(1) 商品企画 ＜平均(標準偏差)＞	0.3 (1.15)	15.3 (32.25)	84.5 (32.53)
(2) Design ＜平均(標準偏差)＞	8.4 (24.33)	82.6 (33.97)	8.9 (25.14)
(3) 機構設計 ＜平均(標準偏差)＞	13.2 (16.68)	86.8 (16.68)	0.0 (0.00)
(4) 電気設計(回路設計) ＜平均(標準偏差)＞	94.2 (22.93)	5.8 (22.93)	0.0 (0.00)
(5) 実装設計 ＜平均(標準偏差)＞	20.8 (26.68)	65.5 (31.49)	13.7 (28.52)
(6) 解析設計 ＜平均(標準偏差)＞	2.6 (11.47)	94.5 (15.71)	2.9 (11.46)
(7) 生産準備、NC データ作成 ＜平均(標準偏差)＞	7.6 (24.06)	81.8 (37.46)	10.5 (31.53)

最後に、CAD導入の効果について検討する。ここでは、CAD導入効果を確認するために、CAD導入以前を100%にした場合、CAD導入によって、(1)開発工数、(2)設計変更件数、(3)開発期間、(4)全体のコストがどれほど変化したか、その変化の比率を測定した。まず、開発工数の場合、CAD導入以前の100を基準にした場合、平均値が103となり、CAD導入によって開発工数が増えていることがわかる。とりわけ、企業ごとにその効果は異なり、一部の企業では開発工数も減ったと答えたものの、大部分の企業では開発工数が増えたと答えた。ここには、3DCADの導入によって、Front-Loadingの実現、Concurrent Engineeringの実現による効果もあるものの、開発プロセスの変化などの要因によって作業手間が増加したことに起因している。とりわけ、2000年代に入って本格的に3DCADが導入されているが、3DCADのすぐれた効果を自社の製品開発の組織能力に適合した形でよく活用し、増える手間を相殺する企業にとっては、効果が高まったものの、そうではない企業は、未だに開発工数の増加の問題を抱えていると考えられる。設計工数が短くならなかった理由については、朴他(2007)の調査でも指摘したように、3次元データによる図面の簡略化は実現されるものの、3次元データとともに2次元図面を作成しないといけないという状況による場合が多い。3DCADを導入した某社の場合、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量が2倍に近く増えてしまった。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 2 次元図面の簡略化などの工夫によって設計工数をある程度減らすことに成功した。ただ、金型メーカーへの 3 次元データ手配の際に、受入れ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 3 次元データと 2 次元図面を作成しているといった問題が現存していた。このように、3 DCAD を導入しても、従来の 2 次元図面を出図しているため、少なくとも 3 DCAD 導入以前より開発工数が増える場合が多い。

一方、CAD 導入によって設計変更件数と開発期間は著しい効果を報告している。設計変更件数は、導入以前より 30% 近く減っており、開発期間も導入以前より 40% 以上短縮されたと報告されている。上記で引用した某社の取り組みの一部を紹介すると、期間短縮の大きな要因の一つが金型手配の期間短縮からくる。具体的に、3 次元データを使用した DR による設計品質の向上及び誤差の削減や、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期間短縮が大きい。

ところが、このような設計変更件数と開発期間の効果を開発工数の増加が相殺してしまい、全体のコストは、それほど大きな効果を示していないのが現状である。そのため、CAD 導入効果を最大化するためには、3 DCAD を効果的に活用するために、従来の組織プロセスを改善して、開発工数が増えないようにする組織内部の対応が必要であると考えられる。こうした対応ができる企業とそうでない企業との CAD 活用の成果は異なることは必然的である。製品開発におけるすぐれた効果をもたらす 3 DCAD のような新しい技術を外部から導入して利用する企業ごとの組織能力の違いが、同様な情報技術であっても組織にもたらす成果には異なる影響を与えるだろう。

[表 5] CAD 導入の効果

区分	開発工数	設計変更件数	開発期間	全体のコスト
平均 (標準偏差)	103.2 (22.86)	73.3 (12.83)	59.2 (11.66)	91.7 (9.83)

## 5. 日本のエレクトロニクス企業の製品開発の現状

本稿では、日本のエレクトロニクス企業に対するアンケート調査に基づき、同様なエレクトロニクス製品の中の製品アーキテクチャを測定し、CAD・CAM・CAE の活用について検討した。一般的に、自動車のようなインテグラル製品に対して、エレクトロニクス製品はモジュラー製品であるといわれるが、最近コンシューマー・エレクトロニクス製品の技術

## エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

面での差は難しく、エレクトロニクス製品においてデザインは重要な差別化要素になりつつある(朴・文・立本、2008)。とりわけ、携帯電話やデジカメ、モバイルPCなど、モバイル製品におけるデザインは製品の売れ行きを大きく左右しており、すぐれたデザインを追及するため、小型化、薄型化の傾向が強くなっている。こうした状況を考えると、自動車のようなインテグラル製品に対立した製品群として、一概にエレクトロニクス製品を取り上げることは難しいと思われる。エレクトロニクス製品であっても、高機能新規開発製品と派生モデルとの違いを考慮した区分が必要であろう。

ここで、日本のエレクトロニクス業界の製品開発について2つの点が示唆される。第一に、日本のエレクトロニクス業界の高度な製品開発能力である。現在、東京大学ものづくり経営研究センターでは、国際比較調査を通して製品アーキテクチャの比較優位を分析する研究を進めている。日本のエレクトロニクス業界の製品開発と他国の製品開発を統計的に比較した結果はまだ出版されていないものの、自動車産業の場合、アメリカに比べても製品開発能力が落ちないことは明らかである。本稿は、現在行なわれている日本のエレクトロニクス産業に対する中間報告的な性格を持っているが、高機能を備えたデジタルカメラと携帯電話の場合、インテグラルの度合いが非常に高く、常に新しい機能を取り入れた製品開発に力を入れていることを示唆している。

しかし、こうした高度な製品開発能力は、逆説的に日本のエレクトロニクス産業の世界競争力につながらないことも否めない事実である。つまり、日本のエレクトロニクス業界の過剰品質の追求問題である。朴・文・立本(2008)では、韓国の携帯電話メーカーと比べたとき、日本の携帯電話メーカーの技術は決して劣っていないことを指摘している。かえって、カメラモジュールなどの部品技術はすぐれている。にもかかわらず、ソニーエリクソンを除き、世界で競争できるグローバルプレーヤーがないのには、日本の移動通信産業の通信方式における標準規格の問題とともに、過剰品質を追求することもあると考えられる。「1モデル50万台」という狭い市場に甘え、より新しい機能に執着したものの、より素早く、より安く造るグローバル市場の傾向について行くことが出来なかったことも大きな要因の一つであると考えられる。世界の8割以上の市場をカバーしているGSM市場の本土であるヨーロッパでは、それほど高い機能を持つ携帯を要求しないし、ビジネス向けに適した機能だけを求める傾向があるとされる。実際に、ヨーロッパで活躍しているノキアや三星の場合、素早い製品開発とともに、高い機能よりはデザイン重視の戦略を取っている。しかし、日本国内市場のエンターテインメント機能を楽しむユーザーのみにターゲットにした日本の端末メーカーは過剰機能の開発期間とコストによってグローバル競争力を相殺してしまったことも否めない事実であろう。

最後に、CAD・CAM・CAEの活用の現状を分析した際に、企業ごとの導入成果が異なることも明らかである。つまり、CAD・CAM・CAEを導入して活用する企業の組織能力の違いによって、その成果が異なる可能性がある。冒頭で述べたように、3DCADは、フロントローディングとコンカレントエンジニアリングによって、従来の製品開発能力を格段にアップさせている。しかし、こうした能力を可能にするためには、組織全体のプロセスの革新が伴われるべきだろう(朴他、2007)。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可能性がある。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できるためには、組織能力との適合性の考慮とともに、そうしたITシステムを活用するための組織能力作りがますます重要になってくると考えられる。

本稿では、日本のエレクトロニクス産業における製品開発とCAD活用に関する調査の中間報告に過ぎず、後にエレクトロニクス産業全体に対する報告書を通して製品ごとの活用実態を明らかにしたい。

## 付録

＜製品アーキテクチャの調査項目＞

製品別アンケート調査票は「当該製品の内部アーキテクチャについて」(1)～(12)の個別質問と(13)の総合評価の質問で構成されている。

- (1) この製品を構成する要素中には、カスタム設計（この品種専用・機種専用）の部品・素材・要素が多い。
- (2) この製品を構成する要素をつなぐインターフェース（接続部分）は、この品種専用・機種専用の規格である。
- (3) この製品を構成する要素をつなぐインターフェース（接続部分）は、貴社の社内ですら通用しない社内規格である。
- (4) この製品の要求機能を実現するためには、構成部品の設計パラメータを互いにきめ細かく相互調整する必要がある。
- (5) 既に設計済みの業界標準部品や社内流用部品の寄せ集めでは、商品力のあるまともな製品は出来ない。
- (6) 小型化・軽量化の制約が厳しく、部品干渉や重量バランスなど、部品の構造設計上のパラメータ間の相互依存性が高い。
- (7) その製品を構成する原材料、部品のサプライヤーと密接な共同設計開発活動を要する。
- (8) この製品では、複数の要求性能を同時にピンポイントで満たさないと、顧客を満足させることは出来ない。
- (9) この製品の生産のためには、素材や前工程の変動やばらつきに応じて、後工程の制御パラメータも連動させて調整する必要がある。
- (10) 市販の標準型の製造設備を寄せ集めた生産工程では、商品力のあるまともな製品は出来ない。設備のカスタム化が必要。
- (11) この製品の商品力を決める主要な生産工程の設備は内製（社内製作）あるいはそれに準ずる設備である。
- (12) この製品の要求機能を実現するためには、生産工程の制御パラメータを互いにきめ細かく相互調整する必要がある。
- (13) 総合評価（「どちらともいえない」を避けて評価してください。）

なお回答は(1)～(13)の質問それぞれに対して、全くその通り：5、やや近い：4、どちらともいえない：3、やや違う：2、全く違う：1、の評価点に丸印を記入してもらおう。したがって(1)～(12)の評価で「5」が多ければ(13)総合評価の評価点は「5」となることが多い。

## 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.
- 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*, MIT Press, Cambridge, MA. (安藤晴彦訳『デザイン・ルール』東洋経済新報社、2004)
- 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. (田村明比古訳『製品開発力』ダイヤモンド社、2003)
- Crawford, M. (1992) "The hidden costs of accelerated product development," *Journal of Product Innovation Management*, vol.9, no.3, pp.188-199.
- Fine, Charles. H. (1998) *Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*, Perseus Books, MA. (小幡照雄訳『サプライチェーン・デザイン』日経BP社、1999)
- Fitzgerald, K. (1987) "Compressing the design cycle," *IEEE Spectrum*, vol.24, no.10, pp.39-42.
- 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.
- 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.
- 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.
- Suh, N.P. (1990) *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York (畑村洋太郎監訳『設計の原理』朝倉書店、1992)
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 延岡健太郎(2006)『MOT [技術経営] 入門』日本経済新聞社

- 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ー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ーコモディティ化するデジタル機器』NTT出版。
- 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ー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。
- 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)。
- 山本悦史(2007)「自動車EMC設計におけるEDAツール活用の実際」『電磁環境工学情報EMC』ミマツコーポレーション、No.229(5月号)、13-21。
- 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。
- 上野泰生・藤本隆宏・朴英元(2007)「人工物の複雑化とメカ設計・エレキ設計ー自動車産業と電機産業のCAD利用を中心にー」MMRC ディスカッションペーパー179。
- 新宅純二郎(2003)「アーキテクチャ論から見た中国との分業」『日本機械輸出組合 JMC ジャーナル』11月、2-7。
- 新宅純二郎・善本哲夫・加藤寛之(2004)「中国モジュール型産業における日本企業の戦略」『赤門マネジメントレビュー』3巻3号、95-114。
- 新木廣海(2005)『日本コトづくり経営』日経BP社
- 西村清彦(2004)『日本経済見えざる構造転換』日本経済新聞社
- 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。
- 青島矢一・武石彰(2001)「アーキテクチャという考え方」『ビジネス・アーキテクチャ』藤本隆宏・武石彰・青島矢一編、有斐閣
- 大鹿隆・藤本隆宏(2006)「製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析」、MMRC Discussion Paper 72。
- 大鹿隆・藤本隆宏(2006)「製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析」『赤門マネジメントレビュー』5巻4号、233-271。
- 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。
- 鳥谷浩志(2006)『3次元ものづくり革新』日経BP。
- 藤本隆宏(1997)『生産システムの進化論』有斐閣



## エレクトロニクス製品の製品アーキテクチャと CAD 利用

---

- 藤本隆宏(2001)「アーキテクチャ産業論」『ビジネス・アーキテクチャ』藤本隆宏・武石彰・青島矢一編、有斐閣。
- 藤本隆宏(2003)『能力構築競争』中公新書。
- 藤本隆宏(2004)『日本のもの造り哲学』日本経済新聞社
- 藤本隆宏(2005)「アーキテクチャの比較優位に関する一考察」、MMRC ディスカッションペーパー24。
- 藤本隆宏(2006)「自動車の設計思想と製品開発能力」、MMRC ディスカッションペーパー74。
- 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。
- 藤本隆宏・延岡健太郎・青島矢一・竹田陽子・呉在恒(2002)「情報化と企業組織：アーキテクチャと組織能力の視点から」『電子社会と市場経済』奥野正寛・竹村彰通・新宅純二郎編著、新世社
- 藤本隆宏・東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター (2007)『ものづくり経営学』光文社
- 富士通・日本発ものづくり研究会 (2007)『モノを作らないものづくり』日科技連出版社
- 朴英元・藤本隆宏・吉川良三・Paul Hong・阿部武志 (2007)「製品アーキテクチャと CAD 利用の組織能力ー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ー」MMRC ディスカッションペーパー161。
- 朴英元・文桂完・立本博文 (2008)「製品アーキテクチャ視点からの韓国移動通信産業の成功要因と企業戦略」MMRC ディスカッションペーパー195。