

*MMRC*  
*DISCUSSION PAPER SERIES*

No. 243

製品アーキテクチャの組織内選択プロセス  
—デジタル複合機の事例—

東京大学大学院経済学研究科 博士課程  
福澤光啓

2008年12月



東京大学ものづくり経営研究センター

Manufacturing Management Research Center (MMRC)

ディスカッション・ペーパー・シリーズは未定稿を議論を目的として公開しているものである。引用・複写の際には著者の了解を得られたい。

<http://merc.e.u-tokyo.ac.jp/mmrc/dp/index.html>

An internal selection process of product architecture:  
a case study of digital MFP

Mitsuhiro FUKUZAWA

Graduate School of Economics, the University of Tokyo

Abstract:

In this article, a series of changes of product architecture are recognized for an “internal selection process of product architecture”, and factors influencing to this process are investigated. The fundamental factors are the difference of system concepts that the development teams hold and the rigidity of these concept. One of the feasible methods of organizing to overcome this rigidity is shown.

Keywords : product architecture, rigidity of system concept, digital MFP

# 製品アーキテクチャの組織内選択プロセス —デジタル複合機の事例—

福澤光啓

東京大学大学院経済学研究科 博士課程

2008年11月

## 要約

本稿では、製品アーキテクチャの一連の変化を「製品アーキテクチャの組織内選択プロセス」として捉えたうえで、そのプロセスに影響を与える要因として、製品アーキテクチャの開発主体が抱えている志向性の違いに注目し、それを克服していくための一つの組織のあり方が示されている。

キーワード：製品アーキテクチャ、システム観の硬直性、デジタル複合機

## I. はじめに

近年、情報家電や携帯機器、自動車、産業機器などをはじめとした多くの製品分野において、多機能化の進展や統合的な機能の提供、および、製品に用いられるファームウェア<sup>1</sup>の増大によって、製品の複雑化が進んでいる。製品で提供される機能や製品機能を実現する手段が多様化している（機構部品、電子部品、ファームウェア）ため、どのような機能を織り込むのかということや、機能間での調整・統合をいかにして行うか、それらの機能をどのような手段で実現するのかということについて考慮すべき要因が増大し、それを行うことが重要かつ困難になっている<sup>2</sup>。

---

<sup>1</sup> ファームウェアと呼ばれることもあるが、本稿ではファームウェアと称する。ファームウェアの果たす役割として、製品の高性能化や耐久性の向上、多機能化、低コスト化などがある。

<sup>2</sup> メカ（機構部品）、エレキ（電子部品）、ファームウェアのすべてを構成要素とする製品を開発するためには、システム全体を見渡して、アーキテクチャを決める人達（アーキテクト）の重要性が高まる。さらに、製品機能を実現するために、ハードウェアを用いるのか、ファームウェアを用いるのかという意味決定、および、ファームウェアを用いることにした場合、その構造をど

従来の経営学では、どのようにして製品を構成部品（コンポーネント）に分割し、そこに製品機能を配分して、必要となる部品間のインタフェースをいかに設計・調整するのかに関する基本的な設計構想を製品アーキテクチャと呼び（藤本、2001）研究が進められてきたが、そこで注目されているコンポーネントのほとんどは、ハードウェアであった（Henderson and Clark、1990; Ulrich、1995; Baldwin and Clark、2000; 青島・武石、2001; 藤本、2001）。製品に用いられるファームウェアの増大によって、それが製品アーキテクチャに与える影響が大きくなつて重要になっている（加藤、2002; 柴田・玄場・児玉、2002; 新宅・小川・善本、2006; 藤本、2007; 福澤、2008; 近藤、2007）が、ハードウェアとファームウェアの両方から構成される製品のアーキテクチャや、そのような製品アーキテクチャを開発する際に生じる問題については十分に議論されてこなかった。

製品アーキテクチャに関する既存の議論において分析対象とされている製品アーキテクチャは、個々の企業行動の結果の集合として市場レベルで観察されるものである。しかしながら、本来、製品アーキテクチャの変化の起点となっているのは、技術変化や顧客のニーズの変化、競争相手の行動などを解釈し、それに対する何らかの解決策を製品という形で提供している企業である。そうであるならば、市場レベルで観察される製品アーキテクチャおよびその変化と、企業レベルで観察される製品アーキテクチャおよびその変化というように、分析レベルを一度分けて議論することが必要であると考えられる。前者に関しては、これまで多くの優れた研究が存在しているが、後者に関しては十分に行われていない。本稿では、特に、企業レベルで観察される製品アーキテクチャの変化に焦点を当て、製品アーキテクチャを変えようとする際に生じる組織的な問題について、事例分析を通じて明らかにしていく。これによって、「なぜ、製品アーキテクチャが変化するのか」ということや「なぜ、製品アーキテクチャを変えるのは難しいのか」という問いについて、より深い議論を行うことができるようになると思われる。また、製品アーキテクチャを変えるという取り組みを行っている企業にとって参考となる知見を提供できると期待される。

## II. 既存研究

### 1. 製品アーキテクチャに関する議論における分析レベルとその前提

そもそも、製品の「機能」がどのような「構造」によって実現されているのかということについては、製品アーキテクチャに関する議論が行われてきた（Ulrich、1995; Baldwin and Clark、2000; 青島・武石、2001; 藤本、2001）。また、製品アーキテクチャのタイプ（統合型かモジュラー型）とそれに適した組織のあり方（部門間調整や企業間での分業形態）との間には、ある一定の適合関係が存在していることが示されてきた（Langlois and Robertson、1992; Baldwin and Clark、2000; von Hippel、1990; Sanchez and Mahoney、1996; Fine、1998; 青島・武石、2001; 藤本、2001、2003; 楠木・チェスブロウ、2001; Schilling、2000; Worren, Moore and Cardona、2002; Mikkola、2006; Schilling and Steensma、2001; Sosa, Eppinger and Rowles、2004; Pil and Cohen、2006）。このような製品アーキテクチャのタイプと企業間での分業形態との間には、統計的に有意となる適合関係は存在しないという研究もある（Hoetker、2006）。さらに、製品アーキテクチャのタイプと適合関係に

---

のようにするのかといった問題が生じる。

あるのは、担当している業務の範囲（例えば、組立メーカーと部品サプライヤといった違い）よりも、むしろ保有している知識の範囲であるということも議論されてきた（Brusoni and Prencipe, 2001; 武石, 2003; 中川, 2008）。

製品アーキテクチャは、一般的には統合型からモジュラー型へとシフトする（Baldwin and Clark, 2000）が、逆にモジュラー型から統合型へとシフトするというように、時間の経過とともにダイナミックに変化していく（Schilling, 2000; Fine, 1998; 楠木・チェスブロウ, 2001）と考えられている。製品アーキテクチャの変化を引き起こす主な要因として、①実現しようとする製品機能の変化（Henderson and Clark, 1990; Christensen, 2000）と、②製品に用いられている技術の変化（Abernathy, Clark and Kantrow, 1983; 楠木・チェスブロウ, 2001）の二つに焦点が当てられてきた。しかしながら、どちらの議論においても、企業が新たなアーキテクチャを生み出していくプロセスや、その際に直面する問題については十分に議論されていない<sup>3</sup>。

既存の議論において分析対象とされている製品アーキテクチャは、個々の企業行動の結果の集合として市場レベルで観察されるものである。しかしながら、本来、製品アーキテクチャの変化の起点となっているのは、技術変化や顧客のニーズの変化、競争相手の行動などを解釈し、それに対する何らかの解決策を製品という形で提供している企業である。そうであるならば、市場レベルで観察される製品アーキテクチャおよびその変化と、企業レベルで観察される製品アーキテクチャおよびその変化というように、分析レベルを一度分けて議論することが必要であると考えられる。前者に関しては、これまで多くの優れた研究が存在している（Henderson and Clark, 1990; Baldwin and Clark, 2000; Christensen, 2000; Langlois and Robertson, 1992; von Hippel, 1990; 新宅, 1994; Sanchez and Mahoney, 1996; Fine, 1998; 青島・武石, 2001; 藤本, 2001, 2003; 楠木・チェスブロウ, 2001; Schilling, 2000; Worren, Moore and Cardona, 2002; Mikkola, 2006; Schilling and Steensma, 2001; Sosa, Eppinger and Rowles, 2004; Hoetker, 2006; 中川, 2008; Pil and Cohen, 2006; Brusoni and Prencipe, 2001; 武石, 2003; 魏, 2001）が、後者に関しては十分に行われていない。このように問題を分けることによって、製品アーキテクチャの変化という現象を分析する際には、組織内で製品アーキテクチャが選択されるプロセスと、そのようにして生み出された製品アーキテクチャが、市場レベルでドミナントなものになっていくプロセスについて考察することが可能になる<sup>4</sup>。製品アーキテクチャを開発する企業内の選択プロセスと企業間での競争を経て、市場におけるドミナントな製品アーキテクチャが決まるのだが、既存の議論では、ある時点で観察されるドミナントな製品アーキテクチャを、そ

---

<sup>3</sup> Henderson and Clark(1990)では、製品アーキテクチャの変化は新規参入企業によって引き起こされるのだが、このような変化には既存企業が適応できないことの理由として、既存企業は製品アーキテクチャの変化を既存のアーキテクチャ知識に基づいて解釈するのに対して、新規企業は、従来のアーキテクチャ知識にとらわれることなくアーキテクチャの変化を新たな視点で解釈できるという違いを挙げている。また、楠木・チェスブロウ（2001）では、製品アーキテクチャにおいてどのようなタイプの変化が生じたときに、どのようなタイプの組織が適応できるのかについて議論されている。

<sup>4</sup> 特定のアーキテクチャが産業レベルでドミナントになっていくプロセスに関しては、例えば、インテルのアーキテクチャがPC産業における業界標準となるプロセスを明らかにした研究がある（Gawer and Cusumano, 2002; 立本, 2007）。

れ以前のもものと比較して「製品アーキテクチャがモジュラー化した」とか、「製品アーキテクチャがインテグラル型になった」と述べられているのである。特定の製品アーキテクチャがドミナントになった後には、個々の要素技術の向上・改善や、生産コストの低減といった漸進的なイノベーションが起こる (Abernathy, 1978; Utterback, 1994)。このように、複数のアーキテクチャが市場に乱立する状況からアーキテクチャが安定化していくプロセスは成熟化過程として、市場レベルで観察されるアーキテクチャの変化が起こるプロセスは脱成熟過程として解釈できる (Abernathy, et. al, 1983; 新宅, 1994)。

これまで、製品アーキテクチャが組織内で選択されるプロセスに関する研究が十分に行われてこなかった要因として、製品開発における機密性の高い事柄を扱うので、情報収集および開示の点で制約がかかってしまうことが挙げられる。これに加えて、既存の製品アーキテクチャに関する議論では、確かに、製品アーキテクチャは企業の主体的な設計活動を通じて生み出されてくるという前提が置かれているけれども、実際に研究する際には、「製品アーキテクチャの変化」を組織が適応するべき一種の「環境の変化」と見なして研究が進められてきたことも挙げられる (福澤, 2008)。これらの議論では、従来とは異なる製品アーキテクチャを組織が選択した結果として製品アーキテクチャの変化が観察されるという観点に立っていないため、組織が製品アーキテクチャを変化させていく行為そのものについては考察されてこなかった。そのため、既存の議論では、従来とは異なる機能を多様な手段を用いてまとめよく一つの製品で提供するために製品アーキテクチャを変えようとしている企業が、一体どのように行動すればよいのかということについて参考となる示唆を与えることが難しい。

本稿では、企業に分析レベルを合わせて、製品アーキテクチャの一連の変化を「製品アーキテクチャの組織内選択プロセス」として捉えた上で、事例分析を通じてそのような行為を行っている企業が直面する問題について考察する。そのプロセスに影響を与える要因として、製品アーキテクチャを開発しているエンジニアやチームの志向性の違いに注目し、それを克服していくための組織のあり方を明らかにする。

## 2. 製品アーキテクチャの組織内選択プロセスモデル

製品開発活動は、一連の問題解決活動であり、製品システムに関する学習のプロセスである<sup>5</sup> (Simon, 1996; Clark and Fujimoto, 1991; 青島, 1997)。このような製品システムに関する学習プロセスは、新たな製品アーキテクチャが生み出されてくるプロセスであると考えられる。沼上・浅羽・新宅・網倉(1992)では、同じ製品でも、企業間で製品システムの捉え方 (戦略スキーマ) に違いがあり、市場では戦略スキーマレベルでの競争が行われているとしている。このような製品システムの捉え方の違いが、各社が構想する製品アーキテクチャの違いとして表れていると考えられる。製品システムに対する企業間での認識の違いは、類似した製品アーキテクチャが開発されるタイミングの違いや、企業間で異なるアーキテクチャが同時期に観察されるという形で表れると考えられる。さらに、社内のどの部門 (あるいは開発チーム) が製品アーキテクチャを構想するのかによっても、実

<sup>5</sup> Simon (1996)では、システムを分解する方法には、いくつかの実行可能な分解方法が存在するとされている。このことは、一口にモジュラー型の製品アーキテクチャといっても、様々な形態が実現されうるということの意味している。

現される製品アーキテクチャに違いが生じると考えられる<sup>6</sup>。本稿では、製品アーキテクチャを開発している部門間やチーム間での志向性の違いに注目する<sup>7</sup>。

これらの観点に立って、製品アーキテクチャの組織内選択プロセスモデルを提示する。モデルの仮定として、①観察される製品アーキテクチャの背後では、当該製品において目的とする機能を実現するためにどのような構成要素の組み合わせで対応するのかに関する意思決定が行われていること、②当該企業における異なる部門や開発チームにおいて、製品アーキテクチャの選択肢がそれぞれ創出され、それらの中から特定のアーキテクチャが選択されること、③製品アーキテクチャの変化は市場において事後的に観察可能なものであり、そのような変化は、選択される製品アーキテクチャが変わることによって生じることが挙げられる。これらの仮定にもとづいて製品アーキテクチャの組織内選択プロセスモデルを示すと、図1のようになる。

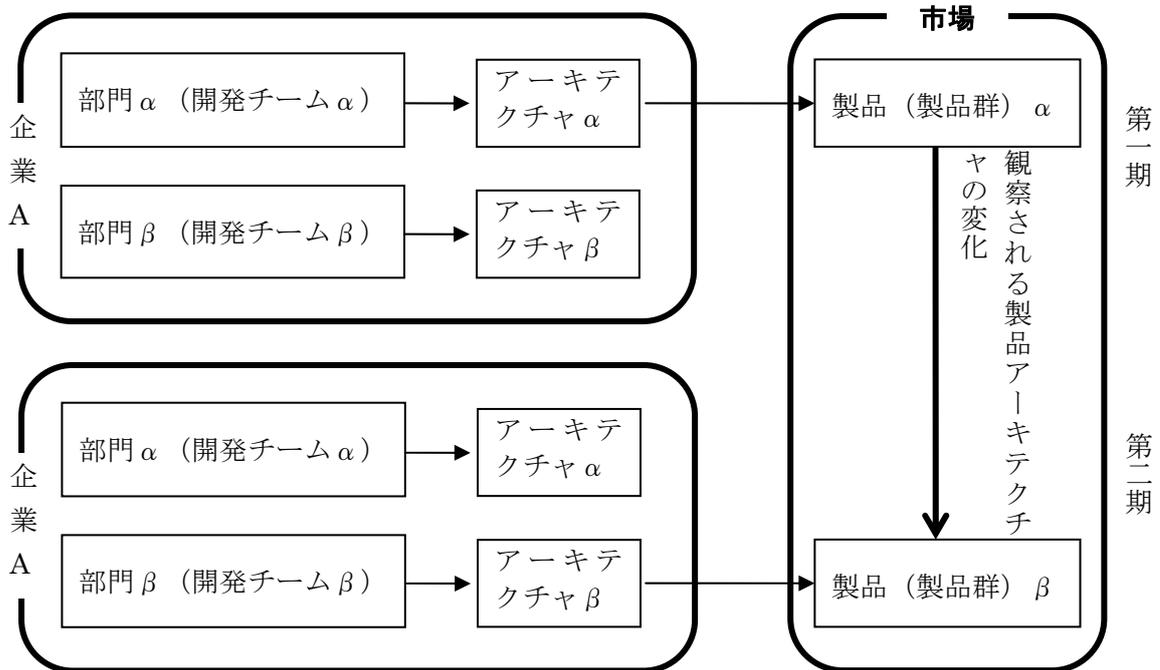
図1では、一企業二期間モデルを想定している。企業Aには、ある製品のアーキテクチャを考える主体が二つ存在している（部門 $\alpha$ と部門 $\beta$ ）。これらは、それぞれ異なるアーキテクチャを志向し開発する。このようなアーキテクチャの違いは、もともとどのような機能（または製品）を開発してきたのかということや、当該部門・開発チームの社内での位置付け（力関係）、保有している製品知識（メカ、エレキ、ソフト）によって生じると想定される。第一期では、部門 $\alpha$ の開発した「アーキテクチャ $\alpha$ 」に基づいた「製品（製品群） $\alpha$ 」が、第二期では、部門 $\beta$ の開発した「アーキテクチャ $\beta$ 」に基づいた「製品（製品群） $\beta$ 」が市場に導入される。当該市場に存在している企業が一社であるので、市場で観察される製品アーキテクチャの変化は、この第一期と第二期におけるアーキテクチャの違いとして観察される。このアーキテクチャの変化の背後には、当該製品においては、どのようなアーキテクチャが適しているのかということを決める、製品アーキテクチャの選択基準における変化が生じていると考えられる。ここでは、アーキテクチャの開発主体の変更によって、製品アーキテクチャの選択基準が変わることが想定されている。本稿では、このような組織内選択プロセスモデルにもとづいて、株式会社リコーにおけるデジタル複合機のファームウェア・アーキテクチャの開発事例を取り上げて考察する。

---

<sup>6</sup> このような発想は、製品に用いられる技術やその技術変化を、企業がどのように解釈・認識しているのかということまで遡って分析し、そのような解釈・認識のあり方の企業間における差異や、そのような解釈・認識の変化が新たな技術変化を引き起こすということを明らかにしている研究（加藤、1999；高、2006；Tripsas and Gavetti、2000）と類似している。

<sup>7</sup> 本稿における同一企業内で複数の製品アーキテクチャが構想されるという主張は、楠木（2001）の「製品システムの多面性」（特定の製品について、その製品が何であるのかという、システムについての見方が複数存在する）の概念に類似している。

図1 製品アーキテクチャの組織内選択プロセスモデル（一企業二期間）



出所) 筆者作成

### Ⅲ. 事例研究：リコーにおける製品アーキテクチャの組織内選択プロセス<sup>8</sup>

#### 1. 調査の対象と方法

本稿における事例研究の目的は、前節で示した製品アーキテクチャの組織内選択プロセスモデルに基づいて実際の企業の事例を分析することによって、製品アーキテクチャの変化という現象をより深く考察できるという可能性を示すことにある。本事例研究は、2005年に複数回にわたって行われたリコーのデジタル複合機のソフトウェア技術者に対するインタビューやリコー社内資料、『Ricoh Technical Report』、リコー社史編集委員会編（1996）に基づいている。リコーは、1991年に営業赤字に転落したが、1992年以降は大幅に業績を伸ばしている。この業績改善の要因として、それまでの多角化路線から複写機事業への本業回帰が功を奏したということがいわれているが、そこでの主力製品として位置づけられていたのがデジタル複写機・複合機であった（藤原、2005；石倉、2005）。当時、競合他社が既存製品の好調な売り上げによってデジタル分野への参入が遅れたことを利用して、リコーは他社に先駆けてデジタル複写機・複合機事業へと参入し、有利なポジションを確立することに成功したとされている（藤原、2005；石倉、2005）。このように、リコーはデジタル化に先行して成功を収めることが出来たのだが、その背後では、デジタル化を進めるにあたって、どのようなアーキテクチャを構想していくのかという一連の取り組みがなされていた。

デジタル複合機は、ハードウェア（機械部品および電子回路）とファームウェアの両方

<sup>8</sup> 開発された個々のアーキテクチャの詳細等については、福澤（2008）を参照のこと。

によって構成されていて、両者が一体となってさまざまな機能が提供されている<sup>9</sup>。デジタル複合機の製品アーキテクチャをハードウェアに注目して記述すると、複写機能についてはプリンタとスキャナの連動、FAX機能についてはプリンタやスキャナ、電話回線などの連動、読み取り機能についてはスキャナ、印刷機能についてはプリンタというように、各々の製品機能とハードウェア・コンポーネントとが一対多対応している。しかし、これらのハードウェアのみでは複写機やプリンタ、スキャナとして機能せず、各機能を実現するためには、それらを制御するためのファームウェアが必要である。

一方、デジタル複合機のファームウェア・コンポーネントは、複写機能に対してはコピーアプリケーション、FAX機能に対してはFAXアプリケーション、印刷機能に対してはプリンタアプリケーション、読み取り機能に対してはスキャナアプリケーションが一対一対応している。これらのアプリケーション間に共通している機能をまとめたものとしてミドルウェア（サービス）があり、それぞれのタスク間での調整を担うファームウェア・コンポーネントとしてOSが利用されている。このように、ファームウェアにも注目して製品アーキテクチャを記述すると、ファームウェアの利用によって、製品全体としてモジュラー化が進んでいるように見える。しかし、今度は、これらのファームウェアの構造をどのようなものにするのが重要な製品設計上の課題となる。つまり、デジタル化による多機能化や機能の統合化にともない、ファームウェアの大規模化や複雑化が進んだことにより、製品開発活動において解決すべき機能間連携や部品間連携といった相互依存問題の大部分がファームウェアの開発に集中して、「ファームウェア・アーキテクチャ<sup>10</sup>の選択≒製品アーキテクチャの選択」という関係が強く成立するようになった。

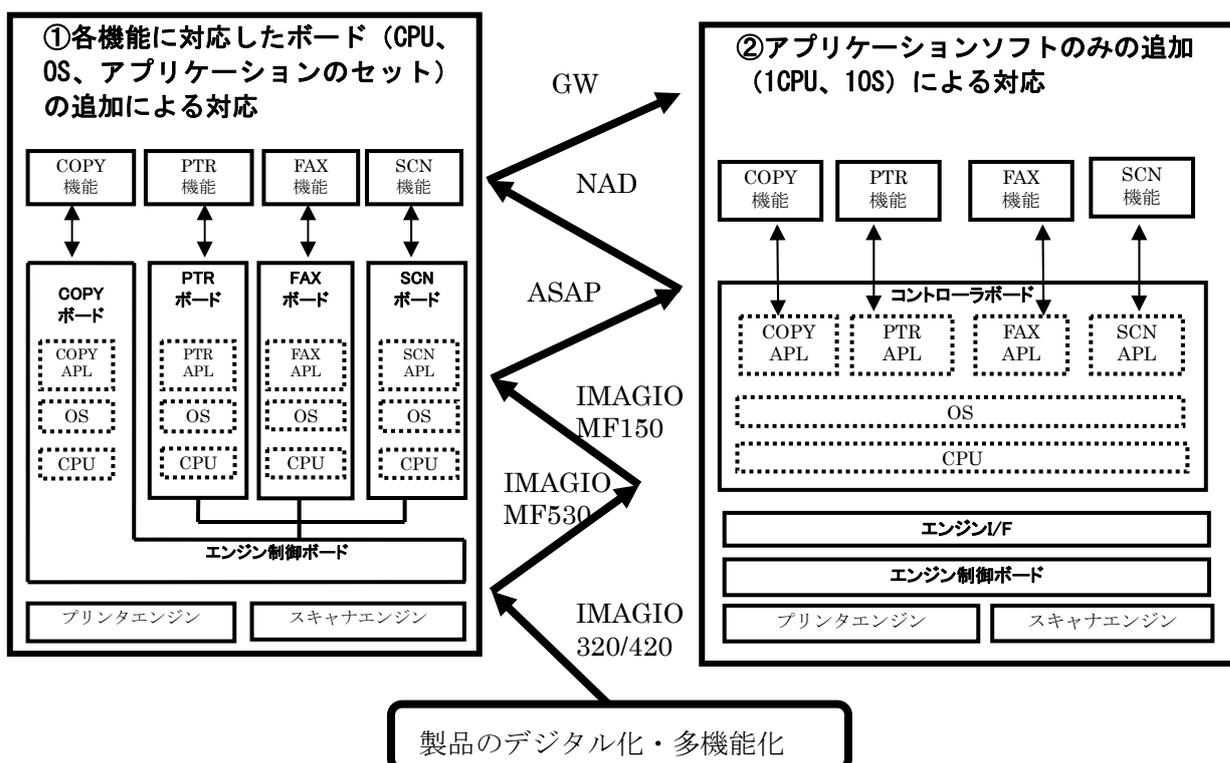
考察期間は、リコー初の普及型デジタル複合機である「IMAGIO 320/420」が発売された1987年から、「IMAGIO Neo 350/450」が発売された2001年までである。その間に開発されたアーキテクチャは、①アプリケーションソフトやOS、CPUをひとつのセットとして、そのボードの追加によって多機能化に対応するもの（「IMAGIO 320/420」や「IMAGIO MF530」、「IMAGIO MF150」、「NAD アーキテクチャ」）と、②ひとつのOS上で複数のアプリケーションソフトを動作させることによって、機能の追加や削除の要求にアプリケーション・レイヤにおいて対応するもの（「ASAP アーキテクチャ」と「GW アーキテクチャ」）の二つに大別できる（図2）。前者は、各機能の「部分最適」を志向するものであり、CPUの処理速度への要求が小さく、各機能のパフォーマンスは最適化されるのだが、冗長性が高いため部材費用が高くなったり、デジタル複合機としての「統合機能」を実現する上では不向きである（図2①）。一方、後者は、各機能の「全体最適」を志向するものであり、デジタル複合機に求められる統合機能を実現するには向いており、部材費用を削減することもできるが、高速処理が可能なCPUが必要となったり、各ファームウェア・コンポー

<sup>9</sup>今やデジタル複合機といった場合、複写機能やFAX機能、印刷機能、読み取り機能、ネットワーク機能など多くの機能が一台で提供されている。しかし、当初からそうであったのではなくて、差別化競争の中で多機能化への試行錯誤を通じて、実現可能な機能の増大が図られてきた。その際には、多くの機能を一台でまとまりよく提供するために、各機能を担っている一群のファームウェア・コンポーネントをどのように配置し連携させるのが重要な課題となった。

<sup>10</sup>本稿では、①製品機能とファームウェア・コンポーネントとの対応関係や②ファームウェア・コンポーネント間の対応関係、③ファームウェア・コンポーネントとCPUとの対応関係から記述される製品システムの特徴を「ファームウェア・アーキテクチャ」と定義する。

ネットを開発する際に、機能間で多くの相互調整が必要である（図 2②）。ASAP アーキテクチャや GW アーキテクチャでは、特定のコンポーネントにコンポーネント間の相互依存性を集約する（OS やミドルウェア、アプリケーション・インタフェースの構築と整理、およびプラットフォームの構築）ことによって、ファームウェア・アーキテクチャのモジュラー化が進められている。

図 2 ファームウェア・アーキテクチャの揺れ動き



出所) 福澤 (2008)の図 4 より

## 2. リコーにおける製品アーキテクチャの組織内選択プロセス

ここでは、リコーにおけるファームウェア・アーキテクチャの開発の取り組みを四つの段階に分けて考察する。

### (1) ASAP アーキテクチャ開発以前

ASAP アーキテクチャを開発する以前（「IMAGIO 320/420」や「IMAGIO MF530」、「IMAGIO MF150」）は、複写機（複合機）や FAX、プリンタを開発する事業部があり、ファームウェアの開発は別々に進められていた。ファームウェアを開発する際には、これらの部門間での相互調整がほとんど行われておらず、部門ごとに使われている言葉が違うというほどまで、部門特有の文化が形成されていた。また、これらの機種種のファームウェア・アーキテクチャは、複写機部門出身のエンジニアがリーダーとなって開発されていた。そのため、これらの製品のファームウェア・アーキテクチャは複写機能をベースとしたも

のになった。

## (2) ASAP アーキテクチャの開発

デジタル複合機の高性能化や多機能化が推進されたことから、製品に用いられるファームウェアの規模や複雑性が増大し、ファームウェア開発の難しさが露呈したことを受けて、1992年からASAPアーキテクチャの開発が進められた。ASAPアーキテクチャは、プリンタのエンジニアをリーダーとして、複写機能を必ずしも中心とせずに各機能を並列に据えるという、従来とは異なる志向性に基づいて開発された。さらに、従来の機種では考慮されてこなかった、①ファームウェア・コンポーネント間での共通化と②複数機種間でのファームウェアの共通化が目指されており、ファームウェアの開発リードタイムや開発コストおよび品質が向上すると期待された。

## (3) NAD アーキテクチャの開発

NADアーキテクチャの開発を行う際には、複写機部門がリーダーとなって開発が進められた。そこでは、ファームウェア・コンポーネント間の共通化を行うよりも、むしろ、既に用いられたことのある複写機能をベースとしたアーキテクチャに回帰して、各機能を最適に実現できるように、それぞれOSからアプリケーションまで開発された。ASAPアーキテクチャからNADアーキテクチャへの変化は、旧来のアーキテクチャに回帰することによって、新たにアーキテクチャを開発するために生じる相互調整タスクを低減するための対応であった。しかし、このアーキテクチャには、①ネットワーク化への対応が不十分であることや、②利用される部品が多くなるためコストが増大すること、③複数機種を開発する際には、必要となるファームウェアをその都度開発しなければならない、過去に開発されたファームウェアの流用や機種間での共通化が困難であるという問題があった。

## (4) GW アーキテクチャの開発

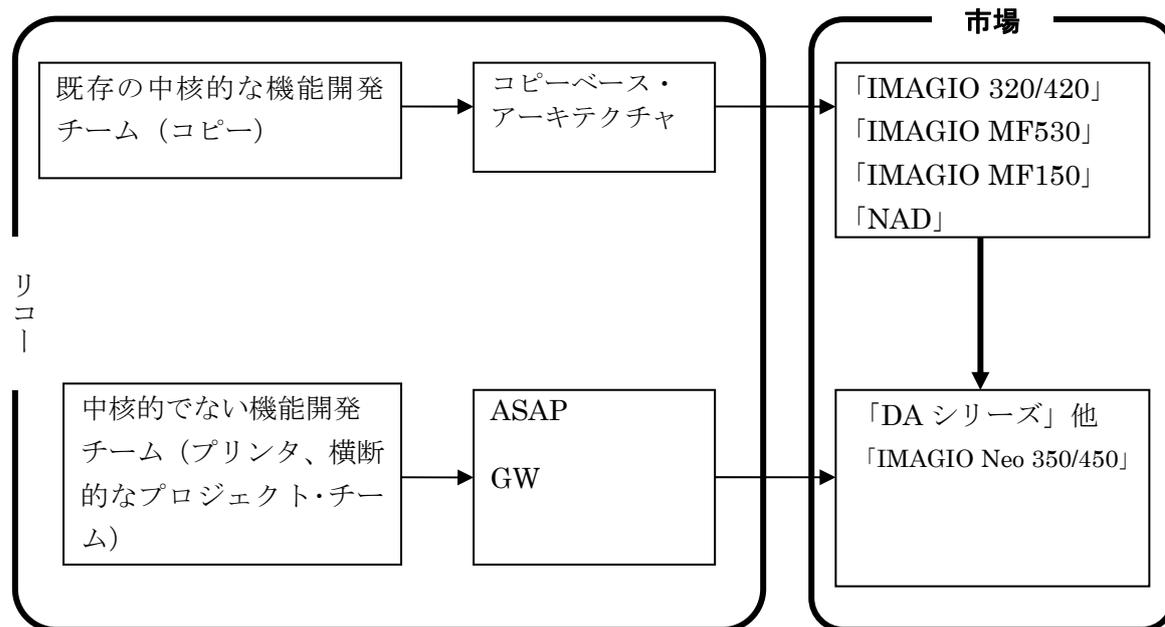
GWアーキテクチャは、1998年にGW-PT（プロジェクトチーム）の発足とともに開発開始されたが、このような、ファームウェア・アーキテクチャを開発するためのプロジェクトチームがリコー社内で設置されたのは初めてである。GWアーキテクチャの開発を行う際には、社内から広くエンジニアを連れてきて、以前よりも多くの開発資源が投入された。NADアーキテクチャの下では、各機能を実現するためのファームウェアを別々に開発していたので、各機能で必要となるアプリケーションやOSについて、各部門が独自に開発を進めてしまい多くの重複部分が出ていた。これに対して、GWアーキテクチャの開発を行う際には、GW-PTを設けて緊密な調整が行われて、OSの開発や各ファームウェア・コンポーネント間の共通部分を「プラットフォーム」として洗い出すことに成功して、複数機種間での共通利用が可能となった。

## (5) リコーにおける製品アーキテクチャの組織内選択プロセス

以上から、リコーにおける製品アーキテクチャの組織内選択プロセスをまとめて示すと図3のようになる。まず、ASAPアーキテクチャ以前では、既存の中核的な機能であるコピー機能を開発するエンジニアやチームによって、複写機を中心としたアーキテクチャが

開発され、それに基づいた製品が市場に導入された。つぎに、ASAP アーキテクチャの開発においては、従来とは異なる志向性を持ったエンジニア（プリンタ機能）によって、各機能を並列して統合的な機能を重視するという、必ずしも複写機能をベースとしないアーキテクチャが開発された。しかし、ASAP アーキテクチャにおいては、アプリケーションと OS のインターフェースの設定が不十分であり、コピーや FAX などの各機能を開発しているエンジニアたちが、個別に自分が開発している機能を最適に動作させるために、OS までを含めてソフトウェアを追加・改善するということが起きた。結局、最初に製品化できたのは、複写機能のみを搭載した機種だけであり、機種間での OS 共通化やアプリケーションソフトの互換性も実現できなかった。このように、ASAP アーキテクチャにおいては、複数機種間で用いられるアーキテクチャが、当初のアーキテクチャから乖離してしまうという「アーキテクチャの劣化」が生じていた。これを受けて、NAD アーキテクチャの開発においては、ASAP アーキテクチャ以前に、既に市場化されて~~て~~いて確実に動作することが確認されている、複写機を中心としたアーキテクチャへと回帰することになった。その後、GW プロジェクトチームにおいて、デジタル複合機およびプリンタも含めた複数機種間で共通利用できるようにプラットフォームの構築を目指して、もう一度、ASAP アーキテクチャと類似したアーキテクチャ（GW アーキテクチャ）が開発された。

図3 リコーにおける製品アーキテクチャの組織内選択プロセス



#### IV. 議論

##### 1. なぜ、製品アーキテクチャを変えることは難しいのか？

本稿の事例で取り上げたデジタル複合機は、もともとアナログ単一機能製品であった「複写機」から、デジタル化を進めながら多様な機能を取り込んで行くことによって、複数の機能を単に寄せ集めたものを経て、各機能をまとまりよく提供できるデジタル「複合機」へと進化してきた製品である。現在、デジタル「複合機」として一つの製品で提供されて

いる機能は、もともと異なる製品において提供されていたものである。リコーは、アナログ複写機の時代から高い市場シェアを維持しており、複写機を本業としてきたので、デジタル複合機のファームウェア・アーキテクチャを設計する際には、本業である複写機能を中心としたアーキテクチャが志向されることになった。さらに、従来はハードウェアの開発を中心として組織が編成されており、それらの言わば「おまけ」としてファームウェアの開発が行われていた。このようなハードウェアの開発と複写機部門を中心とした組織のあり方によって、「IMAGIO 320/420」や「IMAGIO MF530」、「IMAGIO MF150」、NADアーキテクチャを開発する際には、「〇〇もできる複写機」という製品の捉え方がなされており、それに基づいて複写機能を中心としたアーキテクチャが構築されていた。一方、ASAPアーキテクチャとGWアーキテクチャを開発する際には、プリンタのエンジニア（ASAPアーキテクチャ）やプロジェクトチーム（GWアーキテクチャ）のように、複写機部門を中心としない組織によって、「多機能の事務機器」という製品の捉え方がなされており、それに基づいて複数の機能を並列に配置して統合的な機能を重視するアーキテクチャが構築されていた。このことは、アーキテクチャの開発主体が異なることで、その志向性が異なるということを表している。開発主体が保有している知識（コピー、FAX、プリンタ、スキャナなどの機能に関する知識や、メカ・エレキ・ソフトウェアに関する知識）の違いによって、そのような志向性の違いが生じると考えられる。

製品アーキテクチャを変えることが難しいのは、製品アーキテクチャを生み出している組織間の志向性の違いを上手く調整し克服することができないことにあると考えられる。この難しさは、製品アーキテクチャの選択基準、すなわち、どのようなアーキテクチャがよいのかということ判断し選択するための基準がなかなか変わらないことによって増幅すると考えられる<sup>11</sup>。これは、複数の機能を一つの製品でまとまりよく提供しようとする場合には特に強く生じるだろう。ASAPアーキテクチャにおいて生じたアーキテクチャの劣化とNADアーキテクチャという過去のアーキテクチャへの回帰は、このようなアーキテクチャの選択基準や志向性を変えることが難しいことを表していると考えられる。ASAPアーキテクチャを開発する以前に採られていた、複写機を中心としたハードウェアおよびファームウェアの開発を行うのに適した組織の分化と統合のあり方（Lawrence and Lorsch、1967）に引きずられてしまったため、アーキテクチャの劣化が生じたのだと考えられる。各機能を開発しているエンジニアやチームによって、開発現場において、ASAPアーキテクチャを守らずに、自分の機能を最適化するように独自でソフトを開発するということが起きた。このように、開発現場において自分の開発している機能を最適化するために改良を加えるということは、個々の機能の性能を高めるということに限ってみれば望ましい。しかし、これによって、全体最適を目指したアーキテクチャが劣化してしまい、機種間での共通利用といった、当初の目標を達成できないということも引き起こしてしまった。ソフ

---

<sup>11</sup> Burgelman (1983a, 1983b, 2002)では、企業の戦略策定プロセスに注目して、社内で新たに生み出されてくる戦略の萌芽を評価し選択する基準を変化させることは難しいということが述べられている。この議論を本稿に当てはめると、新たな製品アーキテクチャの萌芽を、組織内で選択する基準はなかなか変化しないということになる。本稿におけるリコーの事例では、既存の中核的な機能である複写機能を中心とする選択基準が形成されていたのだと解釈できるのではないかと考えられる。

トウェアのように、設計の自由度が高い場合には、システムを設計するエンジニアの志向性がメカやエレキの場合よりも強く表れてしまうことや、変更が行われても他者には分かりづらいということが、このようなアーキテクチャの劣化を促進するのではないかと考えられる。

特定の組織のあり方に基づいて中核的な製品機能や製品の捉え方が形成されていて、それに合うように特定の製品アーキテクチャが構築されることになるので、それとは異なる製品アーキテクチャに変えるためには、組織のあり方を変える必要がある。そのような組織のあり方として、各機能に関する知識を保有したエンジニアが集まって相互調整を緊密に行うための組織を設けて、エンジニア間での製品システムの捉え方、見え方の違いを統合するというものが考えられる。特に、近年におけるように、従来は別々の製品で提供されていた機能を一つの製品で統合して提供しようとする場合や、そのような製品においてプラットフォームを構築しようとする場合には、そのような緊密な相互調整を行うことのできる組織の重要性が高まると考えられる。

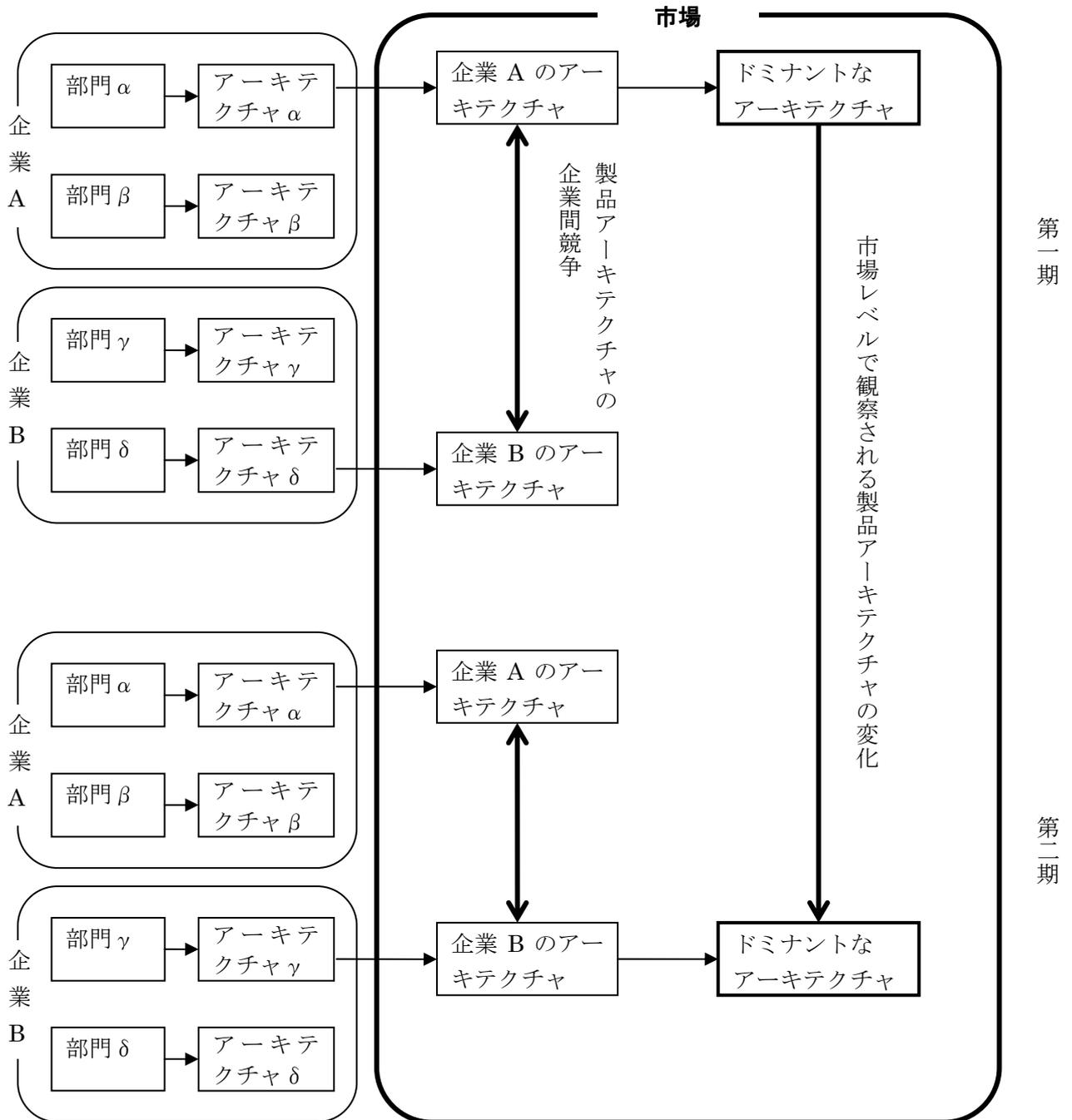
## 2. 製品アーキテクチャの企業間競争プロセスへの拡張

本稿では、製品アーキテクチャの変化を、市場レベルで観察されるものと企業レベルで観察されるものに分けて議論する必要があると主張し、製品アーキテクチャの組織内選択プロセスモデルとそれに基づいて事例研究が行われてきた。しかし、実際には、各社は市場において、このような組織内選択プロセスを経たアーキテクチャに基づいて競争を繰り広げている。このような現象を包括的に分析するためには、製品アーキテクチャの組織内選択プロセスと企業間での競争プロセスを統合する必要がある。それを、二企業、二期間としてモデルにした場合、図 4 のようになる（さらに企業数や期間を増やして拡張可能である）。このモデルでは、二企業間で構想される製品アーキテクチャの差異とその要因、それが競争を通じてどちらかに収斂するプロセス（二つ存在し続ける、または、両者間で模倣や学習が生じることで新たなアーキテクチャが生み出されることもありうる）とその要因、および、市場レベルで観察されるアーキテクチャが変化するプロセスを記述し分析できると考えられる。製品アーキテクチャの変化という現象の本質を捉えるためには、本稿で示されたような、企業レベルでの製品アーキテクチャの選択プロセスまで遡って考察を始めて、企業間の製品アーキテクチャの競争プロセスまでを明らかにしていく必要があると考えられる。このモデルに基づいた詳細な分析については、今後の研究で行ってきたい。

## 3. 今後の課題と展望

本稿における議論は、一社の事例研究に基づいたものであり、そこから得られた知見の他企業や他産業への応用可能性については明らかではない。今後は、製品アーキテクチャの組織内選択プロセスの企業間での違いを比較分析することにより、製品アーキテクチャを構想する能力の企業間での差異や、それと競争優位性との関係について明らかにしていきたい。また、製品アーキテクチャの企業間での競争プロセスについても分析したい。さらに、自動車など他の製品分野へと分析対象を広げることによって、産業間での比較分析も行っていきたい。

図4 製品アーキテクチャの企業間競争プロセスモデル（二企業、二期間モデル）



### 謝辞

本稿の執筆にあたって、東京大学大学院経済学研究科の新宅純二郎先生には、多大なご指導を賜りました。また、立命館大学イノベーション・マネジメント研究センターの立本博文先生からは大変貴重なコメントを頂戴しました。調査にあたって、株式会社リコーの技術者の方々には、貴重なお時間を割いてインタビュー調査にご協力いただき、加えて貴

重な資料も提供していただきました。ここに記して心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- Abernathy, W. J. (1978). *The Productivity Dilemma*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press
- Abernathy, W.J., Clark, K.B. & Kantrow, A.M. (1983). *Industrial Renaissance*, New York: Basic Books. 邦訳, W・アバナシー, K・クラーク, A・カントロー (1984) 『インダストリアルルネサンス』 望月嘉幸監訳 TBS ブリタニカ.
- 青島矢一 (1997) 「新製品開発の視点」 『ビジネスレビュー』 45(1), 161-179.
- 青島矢一・武石彰 (2001) 「アーキテクチャという考え方」 藤本隆宏・武石彰・青島矢一編著 『ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣, 27-70.
- Baldwin, C.Y. & K.B. Clark (2000) *Design Rules*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Brusoni, S. & Prencipe, A. (2001). Unpacking the black box of modularity: technologies, products and organizations. *Industrial and Corporate Change*, 10(1), 179-205.
- Burgelman, R. A. (1983a). A model of the interaction of strategic behavior, corporate context, and the concept of strategy. *Academy of Management Review*, 8, 61-70.
- Burgelman, R. A. (1983b). A process model of internal corporate venturing in the diversified major firm. *Administrative Science Quarterly*, 28, 223-244.
- Burgelman, R. A. (2002). Strategy as vector and the inertia of coevolutionary lock-in. *Administrative Science Quarterly*, 47, 325-357.
- Clark, K.B. & Fujimoto, T. (1991). *Product development performance*. Boston: Harvard Business School Press. 邦訳, 藤本隆宏, キム・B・クラーク (1993) 『製品開発力』 田村明比古訳 ダイヤモンド社.
- Christensen, C.M. (2000). *The innovator's dilemma* (Rev. ed.). Boston: Harvard Business School Press.
- Fine, C.H. (1998) *Clock Speed*. Cambridge, MA: Basic Books.
- 藤本隆宏 (2001) 「アーキテクチャの産業論」 藤本隆宏・武石彰・青島矢一編著 『ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣, 3-26.
- 藤本隆宏 (2003) 「組織能力と製品アーキテクチャー下から見上げる戦略論—」 『組織科学』 36(4), 11-22.
- 藤本隆宏 (2007) 「人工物の複雑化とものづくり企業の対応—制御系の設計とメカ・エレキ・ソフト統合—」 (MMRC ディスカッションペーパー No. 187).
- 藤原雅俊 (2005) 「多角化企業の技術転換能力と経営体制—リコーの複写機事業における技術転換プロセス—」 『日本経営学会誌』 14, 67-81.
- 福澤光啓 (2008) 「製品アーキテクチャの選択プロセス—デジタル複合機におけるファームウェアの開発事例—」 『組織科学』 41(3), 55-67.
- Gawer, A and Cusumano, M. (2002). *Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation*. Boston, MA: Harvard Business School Press
- Henderson, R.M. & K.B. Clark (1990) Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative Science*

- Quarterly*, 35, 9-30.
- Hoetker, G. (2006). Do modular products lead to modular organizations? *Strategic Management Journal*, 27, 501-518.
- 石倉洋子 (2005) 「ビジネス・ケース リコー デジタル複写機への転換」 『一橋ビジネスレビュー』 53(3), 120-140.
- 加藤寛之 (2002) 「モジュラリティ・ドライバ」 『赤門マネジメント・レビュー』 1(8), pp.633-641
- 加藤俊彦 (1999) 「技術システムの構造化理論—技術研究の前提の再検討—」 『組織科学』 33(1), 69-79
- 近藤満 (2007) 「組込みソフトウェア開発の課題と対応」 『赤門マネジメント・レビュー』 6(10), 493-502.
- 高永才 (2006) 「技術知識蓄積のジレンマ—温度補償型水晶発振器市場の製品開発過程における分析—」 『組織科学』 40(2), 62-73.
- 楠木健 (2001) 「価値分化: 製品コンセプトのイノベーションを組織化する」 『組織科学』 35(2), 16-37.
- 楠木建・ヘンリーW.チェスブロウ (2001) 「製品アーキテクチャのダイナミック・シフト」 藤本隆宏・武石彰・青島矢一編著 『ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣, 263-285.
- Langlois, R.N. & Robertson, P.L. (1992). Networks and innovation in a modular system: lessons from the microcomputer and stereo component industries. *Research Policy*, 21, 297-313
- Lawrence, P.R. & J.W. Lorsch (1967) *Organization and Environment*. Boston, MA: Harvard University Press
- Mikkola, J.H. (2006). Capturing the degree of modularity embedded in product architectures. *Journal of Product Innovation Management*. 23, 128-146.
- 中川功一 (2008) 「製品アーキテクチャ変化の本質的影響—記録型 DVD のイノベーションの事例より—」 『組織科学』 41(4), 69-78.
- 沼上幹, 浅羽茂, 新宅純二郎, 網倉久永 (1992) 「対話としての競争—電卓産業における競争行動の再解釈—」 『組織科学』 26(2), 64-79.
- Pil, F.K. & Cohen, S.K. (2006). Modularity: implications for imitation, innovation, and sustained advantage. *Academy of Management Review*, 31(4), 995-1011
- リコー社史編集委員会編 (1996) 『IPS への道—リコー60年技術史』 株式会社リコー 『Ricoh Technical Report』 各年版 株式会社リコー  
株式会社リコー 『有価証券報告書』 各年版
- Sanchez, R. & J.T. Mahoney (1996) Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design,” *Strategic Management Journal*, 17, pp.63-76.
- Schilling, M.A. (2000). Toward a general modular systems theory and its application to interfirm product modularity. *Academy of Management Review*, 25(2), 312-334.
- Schilling, M.A. & Steensma, H.K. (2001). The use of modular organizational forms: an industry-level analysis. *Academy of Management Journal*, 44(6), 1149-1168.
- 柴田友厚・玄場公規・児玉文雄 (2002) 『製品アーキテクチャの進化論』 白桃書房.  
新宅純二郎 (1994) 『日本企業の競争戦略』 有斐閣.

- 新宅純二郎・小川紘一・善本哲夫 (2006) 「光ディスク産業の競争と国際的協業モデル」 榊原清則・香山晋編著 『イノベーションと競争優位』 NTT 出版, 82-121.
- Simon (1996). *The science of the artificial* (3rd ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- Sosa, M.E., Eppinger, S.D. & Rowles, C.M. (2004). The misalignment of product architecture and organizational structure in complex product development. *Management Science*, 50 (12), 1674-1689.
- 武石彰 (2003) 『分業と競争』 有斐閣.
- 立本博文 (2007) 「PC のバス・アーキテクチャの変遷と競争優位—なぜ Intel は、プラットフォーム・リーダーシップを獲得できたか」 (MMRC ディスカッションペーパー No. 171).
- Tripsas, M. & Gavetti, G. (2000). Capabilities, cognition, and inertia: evidence from digital imaging. *Strategic Management Journal*, 21, 1147-1161.
- Ulrich, K. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*, 24, 419-440.
- Utterback, J.M. (1994). *Mastering the Dynamics of Innovation*. Boston: Harvard Business School Press. 邦訳, 小川進監訳 (1998) 『イノベーション・ダイナミクス』 有斐閣.
- 魏晶玄 (2001) 「製品アーキテクチャの変化に対応する既存企業の組織マネジメント—組織内資源の移動と再結合による異質な資源の創造プロセス—」 『組織科学』 35 (1), 108-123.
- Worren, N, Moore, K. & Cardona, P. (2002). Modularity, strategic flexibility, and firm performance: a study of the home appliance industry. *Strategic Management Journal*, 23, 1123-1140.
- von Hippel, E. (1990). Task partitioning: an innovation process variable. *Research Policy*, 19, 407-418.