

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 393

デジタル化した製品における
アーキテクチャ選択に関する分析視点

成蹊大学経済学部
東京大学ものづくり経営研究センター 特任研究員
福澤 光啓

2012年3月

 **MONOZUKURI** 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>

A framework for the investigation on the architecture selection process in the
digitalized products

Mitsuhiro FUKUZAWA

Abstract (100 words)

In this paper, we propose a framework for the investigation on the architecture selection process in the digitalized products. This digitalization has increased the diversification of product technology and product function.

Keywords

digitalization, product architecture, diversity of technology, multi-functionalization

デジタル化した製品における アーキテクチャ選択に関する分析視点

福澤光啓

成蹊大学経済学部 専任講師

要約

本稿では、近年のデジタル化の進展により、技術の多様性の増大と機能の多様性の増大がともに生じている状況において、製品アーキテクチャの選択行動を分析するための枠組み・視点が提示される。

キーワード

デジタル化、製品アーキテクチャ、技術の多様性、機能の多様性

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、製品に用いられる組込みソフトウェア¹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技術²が多様化している（機械部品、半導体部品、組込みソフ

¹ ファームウェアと呼ばれることもあるが、本章では組込みソフトウェア（または単純にソフトウェア）と称する。組込みソフト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。

² 本稿では、製品に用いられる技術として、メカ（機械）技術、エレクトロニクス

トウェア) 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³。

例えば、機械製品の代表であった自動車においても、今やマイクロコンピュータと組込みソフトウェアからなる電子制御ユニット (ECU) が上級車では 100 個程度搭載されて、多数の機能が実現されている。これらの機能を高い品質で提供するためには、複数の ECU をいかに上手く統合的に制御していくかが重要であり、自動車メーカーや部品サプライヤ各社にとって喫緊の課題となっている。

経営学では、これまで、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機械部品であった (Henderson and Clark、1990; Ulrich、1995; Baldwin and Clark、2000; 青島・武石、2001; 藤本、2001)。製品に用いられる組込みソフト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かつ重要になっている (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; 徳田、2008; 徳田・立本・小川、2011; 上野・藤本・朴、2007) が、ハードウェア (メカ部品とエレクトロニクス部品) と組込みソフト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。

本稿では、技術の多様性の増大と機能の多様性の増大が、ともに起こる場合に生じる、部品間や機能間の相互依存性の増大を、企業はどのようにして克服していくのか、

(半導体) 技術、ソフトウェア技術の三つに注目する。たとえば、本論文中で「メカ」と呼ぶ場合に、技術に関連する文脈で用いられている時には、機械技術のことを意味し、構成部品 (コンポーネント) に関連する文脈で用いられている時には、機械 (機構) 部品のことを意味し、組織に関連する文脈で用いられているときには、機械技術や部品に関連する部門のことを意味している。具体的には、エンジンを「メカ」と呼ぶ場合には、文脈により、エンジン技術、自動車の部品としてのエンジン、エンジン開発部門という 3 つのどれかに該当することになる。本文中では、それらの違いが判別できるように記述する。エレクトロニクスやソフトウェアに関しても同様である。

³ メカ (機械部品)、エレクトロニクス (半導体)、組込みソフト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、ある製品機能を実現するために、ハードウェア (メカやエレクトロニクス) を用いるのか、組込みソフトウェアを用いるのかという意味決定、および、組込みソフトウェアを用いることにした場合、その構造をどのようにするのかといった問題が生じる。

について、製品アーキテクチャを変化させる取り組みとそれを行う組織のあり方（編成原理）の両方に焦点を当てて考察するという分析視点・枠組みを提示する。

近年におけるデジタル化の進展によって製品開発を行う際に企業が直面する問題をまとめると、(1) メカ（機械）技術、エレクトロニクス（半導体）技術、ソフトウェア技術という「技術の多様性の増大」と、(2) 「機能の多様性の増大」という現象が、ともに起きる場合に、それにより増大する相互依存関係を、どのようにして解決していくのか、ということであると捉えることができる。つまり、製品開発を進めるにあたって、メカとエレクトロニクスとソフトウェアといった多様な技術を利用可能になったことにより、次のような調整問題が発生したのである。すなわち、(1) あるひとつの機能を実現するために、メカ部品とエレクトロニクス部品とソフトウェア部品を連動して動作するようにするための調整活動や、(2) 当該製品において提供される（複数）の機能のなかで、どの機能をメカ部品に、どの機能をエレクトロニクス部品に、どの機能をソフトウェア部品に行わせるのかという配分を考える問題が生じることとなる。いずれも、技術の多様性と機能の多様性の増大が生じたことによつて引き起こされた相互依存性の増大とそれにもなう調整問題であり、それを、どのような視点でまとめ上げていくのか、そしてそれはどのような組織のあり方によって実現できるのか、ということを考える必要が生じている。

このような問題に対する企業の解決策が、ある時点で観察される製品アーキテクチャとして表れていると考えられる。多様な技術や機能をまとめ上げていく際に企業が直面する課題・障壁、および、それがどのように克服されているのかということをも明らかにするための分析視点を提示することが、本稿の目的である。

本稿の残りのパートでは、技術の変化と企業の適応行動に関する既存研究および、製品アーキテクチャに関する一連の既存研究のサーベイを通じて、そこで明らかにされてきたことと、残された課題について議論した上で、技術の多様性と機能の多様性の増大下における製品アーキテクチャの選択行動を分析するための視点・枠組みを提示する。

1. 技術の変化と企業の適応行動に関する既存研究

(1)産業レベルでの技術変化のパターンに関する議論

産業の発展段階と、製品技術あるいは生産技術においてイノベーションが起きる頻度との関係について研究されたものとして、Abernathy (1978)や Utterback(1994)がある。

Abernathy (1978)や Utterback (1994)では、製品技術のイノベーション(製品イノベーション)と生産工程のイノベーション(工程イノベーション)の発生率は、産業の発展段階(流動期、移行期、固定期)とともにある一定のパターンを示すということが明らかにされている。まず、最初の段階である「流動期」では、製品がそもそもどのようなものであるのかということが決まっておらず、競合企業間で様々な製品デザインと操作上の特徴についての実験が行われる。同時に、当該製品を使用するユーザー側も、明確な評価基準を持っていないため、様々な基準を用いて製品の評価を行う。そのため、この段階では、製品イノベーションの発生率が最も高くなるが、製品の生産技術に対しては、それほど注意が払われないので、工程イノベーションの発生率は製品イノベーションの発生率に比べるとかなり低い。

製品のコンセプトが企業と顧客の両方にとって明確になってくると、ドミナント・デザイン(たいていのユーザーの要求を満足させるのに最も適した形態であることを市場で証明された、あるいは、法的規制または調整によって認められた標準規格に合わせられた、標準的なデザイン)が形成され、製品イノベーションの発生率が低下し、代わって、工程イノベーションの発生率が上昇する「移行期」に突入する。この段階では、ある一定の決められた製品の機能をいかに効率よく実現するかということが重要となるため、製品の製造方法に関するイノベーションが盛んに行われるようになる。

さらに進んでいくと、製品と工程の両方のイノベーションの発生率が低下していく、「固定期」に移行する。この段階に至った産業では、コストや品質、生産量、生産性が非常に重要視されるようになるため、製品イノベーションと工程イノベーションは漸進的なものになってくる。

このような産業レベルでの技術の変化に関する研究を受けて、Tushman and Anderson (1986)では、技術の変化が企業環境に与える影響に関しては十分な関心が当てられてこなかったとして、ミニコンピュータ、セメント、ガラスの三つの産業を取り上げて、その誕生から 1980 年までにかけての事例研究を行い、その期間に生じた技術的不連続性の特徴を明らかにして、技術が企業の競争環境の状態を規定するということが主張されている。

Tushman and Anderson (1986)では、Abernathy (1978)によって述べられているドミナント・デザインの概念が用いられている。ある技術的不連続が生じると、技術的に不確実な状況が発生し、そのような状況はドミナント・デザインが形成されるまで続くが、それが形成された後は一定の技術について漸進的な改善が行われると述べられている。この技術的不連続性は、価格とパフォーマンスの大幅な改善をもたらすもので

あり、製品技術における不連続性は、新製品群の出現や根本的な製品の改善を反映している。また、生産技術における不連続性は、生産工程の代替あるいは、各産業において重要とされる生産工程におけるイノベーションを反映している。このような技術の不連続性は、能力増強的（competence-enhancing）なものとは能力破壊的（competence-destroying）なものに分けられている。前者は、当該産業における既存企業が既に保有している能力を増強するような技術的不連続性であり、後者は、新たな製品や工程を実現するために新たなスキルや能力、知識を要求するものであり、既存企業にとっては、新たな技術を習得することによって、既存の製品群において蓄積されてきた一連の能力を根本的に変化させることになるので、初めからこの新たな技術を持って参入してきた企業に対して、既存企業は不利な立場におかれることになる。Tushman and Anderson (1986)では、これらの産業における技術的不連続性について長期的なスパンで調査した結果、八回しか技術的不連続性が発生しておらず、そのうちでも能力破壊的不連続性は二回しか生じていないが、これらの変化は、企業の競争環境の状態を大きく変化させたと述べられている。

一方、Anderson and Tushman (1990)では、ミニコンピュータ、セメント、ガラスの三つの産業を取り上げて、技術的不連続性が発生した後に、いつ、どのようにしてドミナント・デザインが出現するのかということと、ドミナント・デザインの形成が誰によって担われるのかということが明らかにされている。

しかし、これら二つの研究においても、各企業の戦略と技術の変化という観点からの分析が行われておらず、また、分析対象を産業レベルで行っていることから、当該産業に属している各企業の技術開発がどのようにして行われてきたのかということに関する分析が十分には行われていないという限界がある。

また、Dosi (1982)では、なぜ、ある産業において、特定の技術的發展が他の技術の変わりに生じたのかということとを分析する枠組みとして、技術パラダイム（technological paradigm）と技術軌道（technological trajectory）という概念が提示されている。それによって、新技術の発生プロセスやその後の技術的發展における規則性について分析することが可能になるとされている。Dosi (1982)では、技術パラダイムとは、「技術の変化の方向性の中で、どれを推し進めてどれを無視するのかに関する強い前提を表すもの⁴」であり、選択された技術問題を解決する「モデル」や「パターン」のことであると定義されている。これによって、自然科学から生み出された原理のうちどれが選択されるのかということや、どのような材料技術が選択されるのか

⁴ Dosi (1982, p.152, 筆者訳)

ということなどが決まるとされている。また、技術軌道とは、「ある技術パラダイムのもとでの、『通常の』問題解決活動（すなわち、発展の）のパターンである⁵」と定義されている。したがって、Dosi (1982)では、技術変化が生じる際には、そのプロセスはランダムなものではなくて、むしろ、技術パラダイムが、技術者や科学者たちがどの領域に対して目を向け、努力を投入するのかという方向性を決定する装置として機能すると述べられている。

Dosi (1982)では、既存の技術パラダイムの下で、技術が洗練化されていく過程を技術軌道と対応させ、これに対して、既存の技術パラダイムによらない新たな技術体系の出現を、新たな技術パラダイムの出現であるととらえられている。Dosi (1982)では、産業レベルで観察される技術の発展経路を規定する要因に関しては分析されているが、なぜそのような技術が各企業によって選択されるにいたったのかということや、当該技術についての意思決定がなぜうまく機能するのかということに関しては十分な分析が行われていない。

以上、本項で考察してきた既存の研究では、技術の変化が生じるということを所与としており、なぜ、どのようにして各企業レベルで技術の変化が生じたのかということや、産業全体として見られる技術の傾向・変動が、各企業におけるどのような意図および行動を反映したものであるのか、という観点からは分析が行われていないのである。そこで、以下では技術の変化に直面して企業がとる行動に焦点を当てた研究について考察していく。

(2)技術変化の下での企業行動に関する議論

いったん技術体系が確立された産業において、企業のいかなる競争戦略に導かれて技術基盤の転換が起こり、その結果として産業がどのように変容していくのかということに関する研究として、新宅 (1994)が挙げられる。新宅 (1994)では、既存の成熟産業が新しい技術の導入によって再活性化する現象を脱成熟としてとらえて、脱成熟が産業の競争に対して、どのような影響を及ぼしたのか、脱成熟及び再成熟化過程において既存企業や新規参入企業はどのような行動をとったのか、また、その行動に対して影響を及ぼす要因は何であったのかという問題について、三つの産業（カラーテレビ産業、ウォッチ産業、電卓産業）の事例を取り上げて詳細に分析が行われている。新宅 (1994)では、脱成熟によってもたらされた新しい成熟化過程は、従来の成熟化過程と区別して、「再成熟化過程」と呼ばれている。その過程において、新たな技術は、

⁵ Dosi (1982, p.152, 筆者訳)

完成度の高い旧来の技術体系と市場で競争しなければならないという点で、最初の成熟化過程とは決定的に異なるということが指摘されている。

新宅 (1994)では、三つの産業における事例分析を通じて、技術転換に伴う変化の特徴として三つ述べられている。そのひとつめとして、ラディカル・イノベーションによって既存企業の知識や資源が陳腐化し、その破壊力が大きいほど既存企業の対応は困難になるので、新規参入の機会が多くなるということが挙げられている。しかし、同一の技術変化に直面した既存企業においても、各社間で変化への対応は異なっているということが述べられている。そのような差を生み出す要因のひとつは、そのときの競争上のポジションに応じて、既存企業間で変化に対する誘因が異なるということが指摘されている。優位なポジションにある企業ほど保守的な行動をとり、劣位にある企業は破壊的な変化をチャンスとしてとらえて、積極的に変化に取り組む誘因を持っていると述べられている。技術変化への対応における既存企業間の違いを生み出すもうひとつの要因として、ラディカル・イノベーションによる破壊の程度やそれが生じるタイミングが、既存企業間で異なっているということが挙げられている。このような違いが生じるのは、過去の成熟化の過程で採用した戦略に応じて、蓄積される資源が既存企業間で異なりうるからであると述べられている。

技術転換の特徴の二つめとして、脱成熟における技術転換は、ある産業の技術体系全体、市場全体に関わる変化であるということが挙げられている。このような技術転換を進めていくためには、技術体系全体や市場全般に関する知識を持っていることが必要になるので、垂直統合した企業やフルライン戦略をとっている企業のほうが、技術体系の全体的な変化をよりよく理解できると述べられている。

三つめの特徴として、「技術転換に際しては、旧来の技術体系と新たな技術体系との間に対抗的な関係が生じ、その優劣は新しい技術の発展可能性と技術進歩のスピードによって決定される⁶」ということが挙げられている。このことは、「既存企業にとって、複数ありうる新技術の中からどの技術を選択し、それに対するコミットメントを高めていくかという基本問題に関わっている⁷」と述べられている。

沼上 (1999)では、1970年代から1980年代初頭における日米の液晶ディスプレイ産業を事例として、取引システムの柔軟性が、技術転換のタイミングに対して与える影響について分析されている。それによって、米国における自由な市場取引によって特徴付けられる取引システムの下では、日本における固定的・継続的な長期取引によっ

⁶ 新宅 (1994, p.229)

⁷ 同上, p.229

て特徴付けられる取引システムよりも技術転換のタイミングが遅れるということが示されている。

Christensen (1997)では、イノベーションを顧客の価値基準（顧客が当該製品をどのように捉えているのかということや当該製品をどのように評価するのかということ）の変化と結び付けて、顧客の評価基準が変化しない限りにおいて、既存の市場で競争優位にある企業にとっては、イノベーションの程度（ラディカルなものかインクリメンタルなもの）を問わず、技術的变化に対応したり、自らそれを引き起こして更に競争優位性を高めていくということが可能であると述べられている。このような場合には、新規参入企業が、既存企業に勝つ見込みはほとんどない。このようなイノベーションは、持続的イノベーションと呼ばれている。

一方、従来の顧客の評価基準では適切に評価されないような、新たな特徴で優位性のある技術が開発された場合においても、既存の顧客の評価基準の下で成功を収めている企業は、このような技術を取るに足らないものであると認識し、既存の顧客を満足させることのできるような技術開発にますます専念するようになっていく。それに対して、この新たな技術を生み出した企業の製品は、当初は、新たな特徴を高く評価してくれるような限られた顧客にしか受け入れられないが、新たな技術について開発努力を行うことによって、次第に、従来の顧客の評価基準についても、十分な水準を満たすことができるようになる。その時点において、既存企業の優位性が完全に失われることになり、そのことに気づいて既存企業が対応しようとしても、もはや手遅れであるということが示されている。

つまり、顧客の価値ネットワークにおける非連続性に対しては、既存の価値ネットワークにおいて成功を収めている企業は、対応できないということが主張されている。このような失敗に陥らないために既存の企業が採るべき方策として、そのような新たな技術に基づいた事業を展開していくための企業を新たに設立して、既存の組織のしがらみから逃れる必要があると主張されている。

2. 製品アーキテクチャに関する既存研究

(1)製品アーキテクチャの概念

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(青島・武石、2001; Baldwin and Clark、2000;藤本、2001; Ulrich、1995; 藤本・桑嶋、2009)。

Simon(1996)では、複雑なシステムを効率的に設計するためには、当該システムを多数の機能的部分に対応した半独立の構成要素に分解するための適当な方法を見出すことが必要であり、このようなシステムは準分解可能（nearly decomposable）なシステムと呼ばれている。Ulrich(1995)では、製品アーキテクチャとは、①一連の機能要素と、②それらの機能要素と物理的コンポーネントとの対応関係、③相互関係にある物理的コンポーネント間のインタフェースの特徴によって定義されるとしている。あるシステムのアーキテクチャとは、「構成要素間の相互依存関係のパターンで記述されるシステムの性質である⁸」と定義される。藤本（2001）では、製品アーキテクチャとは、どのようにして製品を構成部品に分割し、そこに製品機能を配分し、それによって必要となる部品間のインタフェースをいかに設計・調整するかに関する基本的な設計構想のことであると述べられている。アーキテクチャを把握する視点としては、①モジュール化/統合化という視点と、②オープン化/クローズ化という視点の二つがある(青島、武石、2001)。

まず、モジュール化とは、「システムを構成する要素間の相互関係に見られる濃淡を認識して、相対的に相互関係を無視できる部分をルール化されたインターフェースで連結しようとする戦略⁹」である。一方、統合化とは、「要素間の複雑な相互関係を積極的に許容して、相互関係を自由に解放して継続的な相互調整にゆだねる戦略¹⁰」である。

Baldwin and Clark（2000）では、モジュラー型の製品アーキテクチャのメリットとして、①複雑なシステムを、複数のモジュールに「分離」することによって、それらのモジュール間での組み合わせが増えるため、製品のバリエーションを増やすことができる、②複数のモジュールに分離されることによって、あるモジュールにおける改良を他のモジュールとは独立して行うことができ、その改良の成果を既存のモジュールと「交換」することによって、製品の全体としての性能を向上させることができる、③既存のシステムに対して新たなモジュールを「追加」したり「削除」することによって、顧客のニーズの変化に事後的に対応可能となる、④複数のモジュール間で共通している部分を「抽出」することによって冗長部分のコストを削減できる、⑤あるシステムにおけるモジュールを他のシステムに「転用」することによって、全てのシステムごとにスクラッチから設計しなくても良いので設計コストを削減することが可能になる、ということが挙げられている。Baldwin and Clark(2000)では、複雑なシステ

⁸青島・武石（2001, p.33）

⁹青島・武石(2001), 前掲, p.33

¹⁰青島・武石(2001), 前掲, p.33

ムに対して、上記の「分離」、「交換」、「追加」、「削除」、「抽出」、「転用」という六つの「モジュール化オペレータ」が用いられることによって、当該システムのモジュール化が進められていくプロセスについて考察されている。このようなモジュラー型アーキテクチャの下では、「ミックス・アンド・マッチ」で製品を作ることができるので、市場や技術の変化に素早く対応できるという意味で、「戦略的柔軟性 (strategic flexibility)」が高まるとされている (Sanchez and Mahoney, 1996; 梶山, 2000)。

モジュラー型アーキテクチャでは、機能と構造との対応関係が一对一に近く、各部品 (モジュール) に自己完結的な機能が付与され、たとえば、パソコンにおいては、部品の寄せ集めでも十分に製品機能が実現される。モジュラー化によって、各モジュール内部での進化のスピードは速くなるが、実現可能な最大のパフォーマンスには一定の制約がかかる (青島、武石、2001)。このようなモジュラー型アーキテクチャの製品を開発するうえでは、組織内での相互調整が究極的には不要である。部品間の設計の独立性が高いので、部品間の事後的な擦り合わせなしに、簡単に組み合わせができるからである。製品システムの中で、各部品がどのような機能を担い、どのようなインタフェースを介してどのように相互作用しあうのかに関する設計ルール (デザイン・ルール) (Baldwin and Clark, 2000) が事前に決められることによって、はじめて、モジュラー型製品が実現されることになる。ただし、製品アーキテクチャをモジュラー化するためには、デザイン・ルールを設定できる知識を保有している必要がある。

一方、インテグラル型アーキテクチャでは、機能と構造との対応関係が錯綜しており、ある機能の実現のためには複数の部品が必要であり、部品間の擦り合わせの優秀さで製品の完成度を競う。このタイプの製品では、全ての構成要素に自由な相互作用が許されているので、実現可能な最大のパフォーマンスは限りなく高くなるが、構成要素間の調整が複雑であるため、これをうまく開発・生産するためには組織内での高い相互調整能力が必要である。当該製品の各機能が、複数の部品が複雑に組み合わせることによって実現される。したがって、部品間の事後的な調整が、膨大かつ微妙な作業となる。

また、このようなモジュラー化／インテグラル化の違いは、部品間・部門間で行われる調整タイミングの代理変数でもある。インテグラル型製品の場合は、実際に製品開発を行いながら、部品間の調整を行う必要がある。一方、モジュラー型製品の場合には、各企業が製品開発に取り組む時点では、すでに部品間の調整がほとんど終わっている。デザイン・ルールにしたがって、開発を進めている限り、調整の必要は基本的に生じない。事前の調整を担当し、部品間の調整を一手に引き受けたシステム統合

部品を開発・生産・販売している企業が、当該製品・産業のイノベーションの覇権を握ることになる。その代表例が、PC 業界におけるインテルやマイクロソフトといったプラットフォーム・リーダーである (Gawer and Cusumano、 2002)。

オープン化とは、「システムの構築、改善、維持に必要とされる情報が公開され、社会的に共有・受容される動き」のことをいう。逆に、クローズ化とは、「情報の社会的な共有・受容が制限される動き」のことをいう。オープン型アーキテクチャは、基本的にモジュラー型であり、インタフェースが企業を超えて業界レベルで標準化されているため、企業を超えた寄せ集め設計が可能となる。この場合、たとえば PC や携帯電話機などに見られるように、産業内でのインタフェースの標準化とオープン化が同時進行することにより、競争環境が大きく変化し、企業の競争力に大きな影響を与えるということが示されてきている (小川、2009)。一方、クローズ型アーキテクチャは、インタフェースの設計ルールが 1 社内で閉じており、製品を開発する際に、固有で特殊な仕様の部品が必要である。部品の標準化度が低く、その部品を入手するためには特別に発注を行わなければならないため、幅広い調達先を利用することが難しい。

(2)製品アーキテクチャと組織との適合に関する議論

Thompson(1967)や Galbraith (1973)、von Hippel(1990)では、部門間調整のあり方は、当該組織が処理すべきタスクの相互依存性によって決まるということが示されている。Thompson(1967)では、組織が対処しなければならない不確実性の源泉として、組織における諸活動間の相互依存性が挙げられているが、その諸活動間の相互依存関係のタイプとして三つ示されている。ひとつめは、個々の部分が全体に対して別々の貢献をなしている状態であり、集団共有的 (pooled) 相互依存関係と呼ばれる。二つめは、ある部分のアウトプットが他の部分のインプットとなるような状態であり、連続的 (sequential) 相互依存関係と呼ばれる。三つめは、各部分のアウトプットが他の部分に対してのインプットとなるような状態であり、互酬的 (reciprocal) 相互依存関係と呼ばれる。これらの相互依存関係は、集団共有的→連続的→互酬的の順で複雑になるが、より複雑な相互依存関係のタイプは、より単純な相互依存関係のタイプを含んでいるとされており、これらの相互依存関係のタイプに応じて、諸活動間の調整方法が選択されることになる。Thompson(1967)では、とりうる調整方法として、①標準化、②計画による調整、③相互調節による調整が挙げられているが、この順にしたがって、調整のコストが高くなるとされている。そして、諸活動間の相互依存関係のタイプと

調整のタイプとの間には、明確な対応関係があるとされており、集团的相互依存関係に対しては標準化による調整が、連続的相互依存関係に対しては計画による調整が、互酬的相互依存関係に対しては相互調節による調整が適していると述べられている。

このように Thompson(1967)では、組織における諸活動間の相互依存関係のタイプに応じて適した調整方法が異なるとされているが、このことを、ある製品システムにおける構成要素間の相互依存関係にも適用すると、製品システムにおける構成要素間の相互依存関係に応じて、必要となる調整方法が異なってくるということになる。例えば、von Hippel(1990)では、製品開発を行う際に、相互依存関係の強い問題解決活動を一緒にするようなタスクの分割(task partitioning)を行うことによって、効率的に製品開発を行うことができると述べられている。このようなタスクの分割を行う上で重要なことは、製品アーキテクチャとタスク分割とをうまく連携させることであると考えられる。効率的に製品開発を行うことのできる組織であればあるほど、既存の製品アーキテクチャに適合するようにタスク分割が行われており、それにしたがって、組織内部あるいは組織間での相互調整方法が規定されているはずである。したがって、既存の製品アーキテクチャで成功している企業ほど、新たな製品アーキテクチャに対応することが難しくなると考えられる。これは、Henderson and Clark(1990)で示唆されていることと類似している。しかし、von Hippel(1990)では、タスクの分割と製品アーキテクチャとが適合していることによって、効率的な製品開発を行うことができるとされているが、分割したタスク間での調整や統合を行う必要性が生じた場合に、組織がどのように対応していけばよいのかということについては十分に議論されていない。

ある職務を高い業績レベルで達成するためには、組織内の様々な集団で行われる活動がきちんと調整、統合されている必要があるが、Galbraith (1973)では、このような相互に依存している活動を調整するための方法として、①ルール、②階層構造、③目標設定が挙げられている。ルールとは、一定の事態が生じたときにいかなる活動を行うべきかということを特定化したものである。階層構造とは、ルールを補完するものであり、新たに発生してくる例外的事項を解決するために設けられる。しかし、組織がこれら二つの方法によって処理しきれないような不確実性に直面した場合には、ルールによって各成員の行動をコントロールする代わりに、達成すべき目標を設定することによって、各成員が自己の目標に合致するような行動を自ら選択していくことを可能にして、このような不確実性に対処していくのである。

さらに情報の不確実性が増大してくると、上記三つの方法では対応しきれなくなる

ので、組織は、①諸活動を調整するのに必要な情報量を削減するか、②組織の情報処理能力を増強するという方策をとるとされている。情報処理量を削減する方策としては、①期待業績水準を下げることによって、調整付加資源（スラック資源）を増やすか、②組織を複数の自己完結的な下位組織に分割にするというものがある。

また、組織の情報処理能力を増強するためには、①縦系列の情報処理システムを改善するか、②意思決定を組織の上層部にゆだねるのではなくて、横断的な協力関係を形成することによって情報が存在する現場で意思決定を行う（直接接触、連絡調整役、タスクフォース、チーム、マトリックス組織）という方策がある。組織は、環境の不確実性の増大に対処するために、これらの方策のうちのいずれかあるいは、複数の方策を組み合わせ用いるのだが、そのうちでどれが用いられるのかはそれぞれの調整方法の費用と便益によって決まるのである（Galbraith、1973）。

Lawrence and Lorsch (1967)では、組織が外部の環境に対処する際には、ひとつの管理者グループが管理することのできる範囲には限界があるため、それ自体をいくつかの部分に分割（分化：differentiation）すると同時に、組織の全体目的を達成するために、個々の部分機能を統合（integration）する必要があるということが述べられている。つまり、部門間での分業とそれらの活動を統一する必要があるので、あらゆる組織の内部には、分化と統合の状態が生じると述べられている。ここで「分化」という言葉が意味しているのは、単に部門の分割とか知識の専門化という意味ではなくて、当該部門における態度や思考の違いを表すために用いられている。直面している環境の違い（機能部門、産業）によって、それに適した分化の程度と統合の程度が決まる。そして、部門間での統合が難しいことの理由として、各部門のメンバーの関心やものの見方が異なっているということが述べられている。一方、「統合」とは、「環境の要求によって、活動の統一を求められる諸部門の間に存在する協業状態の質¹¹」であると定義されている。ここで、統合というときには、部門間関係の状態を表す言葉として用いられているが、さらに、このような状態を達成するプロセスと、それを達成するための組織の手段も含めて用いている。基本的に、高業績組織の方が、統合の程度が高い。しかし、統合担当者が、統合を上手に行うことの出来る根拠、パワーのよりどころは、組織上の役職よりもむしろ、その統合担当者の保有している知識や経験である。この統合担当者の影響力の発生基盤は、統合担当者の適正能力や知識や熟練である。コンフリクト解決¹²という職責を担う管理者達は、組織の部門間決定に必要な

¹¹ Lawrence and Lorsch (1967、邦訳、p.14)

¹² コンフリクト解決の行動様式として、対面解決アプローチ（つまり問題解決）、妥協、宥和、強制の4つが挙げられている。なお、部門間のコンフリクトに関する議論

知識と情報を持つ階層であり、かつ、社内の仲間から優れた適正能力の持ち主であると見なされている。このように、職位上の影響力、適正能力にもとづく影響力、決定に必要な実際の知識や情報の三つすべてが一致していたことが示されている。

Clark and Fujimoto(1991)では、製品開発組織の三つの要素として、分業化の程度、外的統合の程度および内的統合の程度が挙げられており、「製品の首尾一貫性」を実現するためには、内的統合（部品どうしがびったりとはまりうまく動作すること）と、外的統合（製品体験がユーザーの期待と一致していること）の両方がうまく実現される必要があると述べられている。Clark and Fujimoto(1991)では、製品開発組織の作り方の理念型として、内的統合と外的統合の程度の違いによって、四つのタイプ（機能別組織、軽量級プロダクト・マネジャー、重量級プロダクト・マネジャー、プロジェクト実行チーム）が示されており、自動車のように「製品の首尾一貫性」が重要視されるような製品において、効果的な製品開発を行う上では、内的統合と外的統合の両方をうまく行うために重量級プロダクト・マネジャーを設ける開発組織のタイプが適しているということが示されている。そして、そのような統合活動を担当するマネジャーの特性（リーダーシップ）について明らかにされている。このことは、統合型の製品アーキテクチャの場合には、組織における緊密な相互調整が必要となるということの意味していると考えられる。

以上の議論から、組織における部門間調整のあり方は、当該組織が処理すべき情報の複雑性によって決まると示されている。これは、当該組織が開発しようとする製品のアーキテクチャに応じて、組織のあり方が決まってくるということの意味している。製品の部品間の相互依存性が高い場合には、それを開発する組織における部門間調整は緊密に行われる必要があり、部品間の相互依存性が相対的に低い場合には、部門間調整はそれほど緊密に行われる必要はないのである。

Sanchez and Mahoney(1996)においても、構成部品間の相互依存性が高い場合には、それぞれのコンポーネントを開発している組織あるいは企業間での緊密な相互調整が

については、March and Simon (1958)でも言及されている。March and Simon (1958)によれば、(1) 積極的な共同意思決定の必要感が存在していることと、(2) 目的の差異または現実についての知覚の差異のどちらかあるいは両方が存在している、という2点が集団間コンフリクトの必要条件であるとされる。問題の設定そのものが個人間や集団間で異なるので、コンフリクトが生じる。

また、March and Simon (1958)によれば、組織内単位のあるメンバーの下位目的と組織全体の目的との矛盾は、三つの認知枠組みによって生じるとされる。その認知メカニズムとは、①個々の意思決定者の認知枠組み、②組織内単位の中にある認知枠組み（特定の組織内単位と共通の専門職）、③組織内単位の中にある認知枠組み（つまり分業による情報の差異。これにより、下位目的の差異が強化される）。

必要になると述べられている。一方、構成要素間の相互依存性が緩やかな場合には、それぞれのコンポーネントを開発している組織や企業間での相互調整の必要性が低いということが述べられている¹³。つまり、モジュラー型アーキテクチャの製品の開発においては、モジュラー型の開発組織が適しており、インテグラル型アーキテクチャの製品の開発においては、インテグラル型の開発組織が適しているということが主張されている。

同様に、楠木・チェスブロウ (2001)では、製品アーキテクチャが統合型であれば、「さまざまな要素の相互作用が不明確なので、市場メカニズムに基づく活動の調整は効率的ではなくなる¹⁴」ため、組織内部に活動を統合化するような「統合型の組織戦略」が適しているが、逆に、製品アーキテクチャがモジュラー型であれば、各構成要素間での相互作用については明確なので組織内部に活動を統合化するのではなくて、むしろ特定の活動分野に特化する「バーチャル型の組織戦略」が適していると述べられている。

藤本(2001)では、日本企業が得意とするのは、「擦合せ」重視、つまり「部品間の微妙な相互調整、一貫した工程管理、緊密な社内部門間調整、取引先との濃密なコミュニケーション、顧客との接点の質の確保など、社内外の擦合せが競争力を決めるタイプの製品・産業¹⁵」であり、米国企業が得意とするのは、「事前に『つなぎ』の部分(インターフェース)を標準化し、擦合せがそもそも不要となる工夫をした上で、自由自

¹³ さらに、Sanchez and Mahoney(1996)では、Henderson and Clark(1990)における分類に基づいて、製品開発活動のあり方によって、コンポーネント知識に関する学習とアーキテクチャ知識に関する学習の起こり方が異なるということが主張されている。ここで、構成要素間の相互依存性が高い製品の開発を行う場合には、アーキテクチャ知識に関する学習 (architectural learning) は、逐次的な製品開発プロセスを通じて引き起こされると述べられている。つまり、製品開発活動を通じて、アーキテクチャに関する知識、すなわちコンポーネントの結びつき方に関する知識が次第に明らかになってくるとのことである。

一方、モジュラー化された製品の開発プロセスでは、事前に完全にアーキテクチャが決まっているので、それぞれのコンポーネントに関する学習が促進され、それぞれのステージ間での相互依存性が低いので、情報のロスが少ないというメリットがある。さらに、多くの製品バリエーションを短期間で市場に投入できるので、当該市場についての学習も促進されるのである。さらに、Sanchez and Mahoney(1996)では、モジュラー型の製品アーキテクチャにおいて、完全に標準化されたインタフェースを作るためには、各コンポーネントがどのように機能して、それらがどのように相互依存しているのかということに関する、深いアーキテクチャ知識が必要とされるということが述べられている。

¹⁴楠木・チェスブロウ (2001, p.265)

¹⁵藤本(2001, p.11)

在に部品や製品設計や事業自体を連結し、ビジネスの急速展開に結びつけるというタイプの仕事¹⁶⁾」であると述べられている。

また、藤本（2003）では、組織能力と製品アーキテクチャとがうまく適合するように、自社の位置取りを考える必要性を述べて、「アーキテクチャの位置取り戦略」ということを主張している。この「アーキテクチャの位置取り戦略」について考察する際の軸として、①当該「製品の内部構造がインテグラルかモジュラーか¹⁷⁾」という軸と、②「主要顧客がこの製品を使って組む製品あるいはシステムはインテグラルかモジュラーか¹⁸⁾」という軸を用いて、四つの基本的なポジションを示している。以上のように、藤本（2001、2003）では、製品アーキテクチャと組織能力とが適合していることが重要であるということが主張されている。

以上の議論をまとめると、製品アーキテクチャのタイプ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ということが示されてきた。すなわち、製品の部品間の相互依存性が高い場合（統合型アーキテクチャ）には、それを開発する組織における部門間調整は緊密に行われる必要があり、部品間の相互依存性が相対的に低い場合（モジュラー型アーキテクチャ）には、部門間調整はそれほど緊密に行われる必要はないのである。

(3)製品アーキテクチャの変化に関する議論

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（Fine, 1998; 楠木・チェスブロウ, 2001）と考えられている¹⁹⁾。

¹⁶⁾ 藤本(2001, p.11)

¹⁷⁾ 藤本 (2003, p.18)

¹⁸⁾ 同上, p.18

¹⁹⁾ Fine(1998)では、環境の変化のスピードを「クロック・スピード」と呼び、そのような競争環境の変化を引き起こす主要因を製品アーキテクチャの変化であるにとらえて、その変化にいかにして企業が適応していくのかという観点から研究がなされている。つまり、環境変化の代理変数として、製品アーキテクチャがインテグラル型からモジュラー型へとシフトしたり、逆にモジュラー型からインテグラル型へとシフトするという、製品アーキテクチャの変化を取り上げているのである。Fine（1998）でも、製品アーキテクチャをモジュラー型とインテグラル型に類型化して、製品アーキテクチャと製品開発プロセスおよびサプライチェーンとの間の適合関係を作り出していくことが重要であると主張されている。強調されている点は、従来の議論では重視されてこなかった、「サプライチェーンをどのように設計するのか」ということを重視して、その際に考慮すべき点として製品アーキテクチャと製品開発プロセスが挙げ

製品機能の変化による製品アーキテクチャの変化

製品アーキテクチャの変化を引き起こす要因として、当該製品で実現しようとする機能の変化（小型化や軽量化、高性能化が主な目的）が挙げられる。Henderson and Clark(1990)では、構成部品に用いられている技術には変化はないのだが、相互依存関係にある構成要素構成要素の組み合わせ（つまり製品アーキテクチャ）に変化が生じるような製品イノベーションをアーキテクチャル・イノベーション²⁰（architectural innovation）と呼び、このようなイノベーションに既存企業が対応できない理由について議論されている。その理由として、Henderson and Clark(1990)では、既存の製品に関するアーキテクチャ知識²¹が、組織における①コミュニケーション・チャンネル（communication channel）や②情報フィルタ（information filter）、③問題解決のあり方（problem solving strategy）に内面化されてしまうので、それを変更することが困難であるということが挙げられている²²。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することができるという大きな違いがあり、この違いによって、アーキテクチャの変化への対応の違いが生じていると主張されているのである。しかし、Henderson and Clark(1990)では、新たな製品アーキテクチャが、企業内でどのようなプロセスを経て生み出され

られている。サプライチェーンのアーキテクチャは、当該サプライチェーンを構成している要素間の近接性によって定義されている。この近接性を測定するための次元は、地理、組織（所有形態、管理体制、個人間・チーム間の相互依存性）、文化、電子技術の利用度合いであるとされている。生産プロセスのアーキテクチャは、時間的広がり（緊迫しているか分散しているか）と空間的広がり（緊迫しているか緩やかか）によって定義されている。

²⁰ Henderson and Clark(1990)では、このイノベーションは、しばしば、特定の構成部品における変化（形状や大きさなどに関する変化であって、当該部品に用いられている技術自体は基本的には変化しない）によって引き起こされるとされている。

²¹ Henderson and Clark(1990)では、製品をいくつかの物理的な部品から構成されるシステムであると捉えて、製品開発活動を通じて生み出される知識が、①構成部品（コンポーネント）に関する知識（component knowledge）と②アーキテクチャ知識（architectural knowledge）の二つに分類されている。前者は、各構成部品に用いられている知識のことであり、後者は各構成部品をいかにしてひとつの製品へとまとめあげていくかに関する知識のことである。

²² Henderson and Clark(1990)では、組織における知識や情報処理のあり方が、構成要素間の結びつき方（つまり、製品アーキテクチャ）を反映するようになる一方で、企業がそれまで辿ってきた歴史や文化によって、アーキテクチャ知識やコンポーネント知識の形成が影響を受けるとされている。

てくるのかということについては十分に議論されていない。

Henderson and Clark(1990)では、新たな製品アーキテクチャによる旧来製品の代替によって、当該製品のアーキテクチャが変化したという現象が観察された場合に、その変化は既に企業が適応すべき一種の環境として扱われているのであり、その変化に対しては、どの既存企業も適応することができなかったということが示されているのである。これは、Tushman and Anderson (1986)において主張されている、能力破壊的な技術の不連続性であるといえる。

技術の変化による製品アーキテクチャの変化

楠木・チェスブロウ (2001) では、HDD におけるコア・コンポーネントであるヘッドの要素技術の変化に注目して、コンポーネントの相互作用に関するインテグラルな知識の蓄積（文脈依存的で試行錯誤によって漸進的に蓄積されるもの）が進むことによってモジュラー化が引き起こされ、一方、コンポーネントに用いられている技術が大きく変化することによって、製品アーキテクチャは統合型へとシフトするということが述べられている。

HDD 産業では、1960 年代から 1970 年代にかけてフェライト・ヘッドが用いられており、HDD のアーキテクチャはモジュラー化されて、各コンポーネントに対応したサプライヤが存在していた。しかし、当時すでにフェライト・ヘッドの物理的限界に達していた。これを受けて 1971 年に IBM が薄膜ヘッドの開発に成功して、HDD の性能が飛躍的に向上した。しかし、薄膜ヘッドの技術導入によってヘッドとメディアとの相互依存性が急増したため、HDD の製品アーキテクチャはインテグラル型にシフトした。つまり、コンポーネント技術の変化によって、製品アーキテクチャがインテグラル型へとシフトしたのである。

1990 年代には、薄膜ヘッドの成熟化によって HDD のアーキテクチャはモジュラー化していき、水平分業が進展することになったのだが、薄膜ヘッドの技術も物理的限界に達していたのである。その後、90 年代に IBM が MR ヘッド（磁気抵抗ヘッド）を開発したことによって、HDD の記録密度は一気に十倍になったのだが、その技術に関する知識が不足しており（特に、熱によってディスク表面がざらざらになる問題）、HDD の製品アーキテクチャは再びインテグラル型へとシフトしたのである。

楠木・チェスブロウ (2001) では、製品アーキテクチャが統合型からモジュラー型へとシフトするような場合には、組織は統合型であり続けようとするけれども、製品アーキテクチャはモジュール化していくため、組織戦略と製品アーキテクチャとの間

で不適合が生じてしまうとされており、これは統合型組織の陥りやすい罠であると述べられている。逆に、製品アーキテクチャがモジュラー型から統合型へとシフトする場合には、「バーチャル組織のままであり続ける結果、製品を構成する要素間の新しい相互依存を理解する知識や経験を欠いてしまい、重要なイノベーションの利益機会をみすみす逃してしまう²³」ことになるが、これは「モジュラリティの罠²⁴」(楠木・チェスブロウ、2001)と呼ばれている。

以上のように、楠木・チェスブロウ(2001)では、製品アーキテクチャの変化を引き起こす要因として、コンポーネントに用いられている技術の変化が取り上げられている。しかし、「企業が製品アーキテクチャを変化させる」プロセスそのものは分析されていない。

魏(2001)では、製品アーキテクチャが一度確立した製品において、再びアーキテクチャ上の変化が生じるときに、既存企業が抱えている資源が与える制約および、それを乗り越えて適応していくメカニズムとして、従来の議論で行われているように新事業部門を作って対応するというものではなくて、既存企業内の他部門が保有している資源を移動し、それらを再結合することによって企業全体として克服していくメカニズムが示されている。

(4)デジタル化の進展と製品アーキテクチャとの関係に関する議論

柴田(2000、2004)や柴田・玄場・児玉(2002)では、NCシステムの製品アーキテクチャがどのように変化してきたのかということが明らかにされている。柴田(2000)では、「製品システムを適当なサブシステムに分断しようとする試行錯誤的設計行為を通じて、製品システム全体に関する新しい知識を獲得し、システム全体に関する理解を深め、よりよい分断方法を発見して²⁵」いく「分断による学習」という概念が提示されている。柴田(2000)や柴田他(2002)では、製品アーキテクチャについて考慮する際に、ハードウェアとソフトウェアの両方に焦点を当てた議論が行われており、NCシステムの分断方法の変化を三世代にわたって分析されている。第一世代における分断方法は、ハードウェアとソフトウェアを分断して、できるだけ共通のハードウェアを用い

²³楠木・チェスブロウ(2001), 前掲, p.270

²⁴これが統合型企業の罠よりも「悪質」である理由として、バーチャル組織にとっては、①イノベーションの機会が事前に明確であること、②モジュラーイノベーションを体現したコンポーネントや要素技術を市場を通じてすぐに入手できること、③統合型アーキテクチャへのシフトが、モジュラー型へのシフトに比べて一般的に急速に起きるといったことが挙げられている。

²⁵柴田(2000, p.83)

て、機能の相違をソフトウェアの変更のみで実現しようとするものである。第二世代では、従来のソフトウェアを、ファナック製のソフトウェア(ドライバソフト)と工作機械メーカーが自社用にカスタマイズしたソフトウェア(アプリケーションソフト)に分断された。さらに、第三世代では、ハードウェアが表示部や演算部、駆動部といった三つの部品ユニットに分割された。

柴田(2000)や柴田他(2002)では、これらの「分断プロセス」を通じて、①機能要素から構造要素への写像関係がより簡単になったということと、②構造要素間のインタフェースが、より明確になり、ルール化されてきたということが述べられている。つまり、これらの活動を通じて、NC システムの製品アーキテクチャにおけるモジュール化が進んだのである。

また、柴田(2004)では、同じくファナックの事例に基づいて、ドライバソフトとアプリケーションソフトを分断したことによって、ファナックは工作機械メーカーや最終ユーザーの多様な要求から開放されて、ハードウェアや基本ソフトなどのコア技術のイノベーションに注力できるようになり、他方、工作機械メーカーや最終ユーザーは、ファナックの行う製品イノベーションに左右されることなく、独自のアプリケーションソフトの実現に注力できるようになったとされている。

以上のように、柴田(2000、2004) や柴田他(2002)の研究では、ハードウェアとソフトウェアの分断および、ハードウェア・コンポーネント間の分断がいかに行われてきたのかという観点からの分析が行われているが、ソフトウェアのアーキテクチャがどのように変化してきたのかということについては十分に分析されていない。

加藤(2002)では、HDD の事例に基づいて、デジタル化されている製品においてファームウェアが果たしている役割について述べられている。その役割として、加藤(2002)では、ハードウェア・コンポーネント間の相互依存関係にまつわる問題を自らに集中させて問題解決を行うことによって、各ハードウェア・コンポーネントの独立性を維持・促進しているということが挙げられており、このことによって製品アーキテクチャが統合型へとシフトしてしまうことが防がれている(「モジュラリティ・ドライバ」と述べられている)。

加藤(2002)では、HDD において事後的問題解決が行われるのは、面密度をいかに短期間で向上させるかという競争が非常に激しいので、いちいち事前にすべての相互依存問題を解決していたのでは間に合わなくなってしまうからであると述べられており、このような問題解決をファームウェアに任せてしまうことによって、各ハードウェア・コンポーネントの開発が迅速に行われるとされている。その際には、優れた

ファームウェアを開発することのできるセットメーカーが、高性能の新製品を他社に先駆けて市場導入することができるかとされている。このようなファームウェアは、特定のコンポーネント専門メーカーでは作ることはできず、全てのコンポーネントを内製した経験のあるセットメーカーのみが、ファームウェアを競争優位の源泉にすることができるかと述べられている。

このように、加藤(2002)では、ファームウェアが製品のモジュール化を促進する役割を担っていると述べられているが、そのようなファームウェアがどのようにして作られてきたのかということについては分析されていない。また、個別のハードウェア・コンポーネントに一対一対応したファームウェアについて分析されているにとどまっており、製品に組み込まれているファームウェア・コンポーネント間のつながりがどうなっているのか、そしてファームウェア自体がどのような設計思想の下で設計されているのかという、「ファームウェア・アーキテクチャ」という観点からの分析は行われていない。さらに、ファームウェアを用いることによって、競合企業間での競争の様相がどのように変化するのかということに関する研究も行われていない。

近年の多くの製品分野では、デジタル化が進展しており、製品プラットフォームを形成する際に、メカ部品やエレクトロニクス部品、ソフトウェアをすべて視野に入れてプラットフォームを開発していくことが重要になっている。このようなデジタル化の進展により、製品機能を実現するための手段（技術）が増大し、多機能化や統合的な機能の提供による製品の複雑化の進展は、情報家電や携帯機器、自動車などといった多くの製品分野においてみられる。なかでも、組込みソフトウェアまでを技術を含めて製品アーキテクチャの開発を行うことになり、多くの製品分野において、それをいかにうまく行うかが、喫緊の課題となっている（藤本、2007；小川、2009；新宅・小川・善本、2006；加藤、2002；福澤、2008）。その際に、競争優位を獲得しうるようなプラットフォームの形成方法として、新宅・小川・善本（2006）の議論が参考になる。多くのエレクトロニクス製品において MPU とファームウェアが用いられ、そこに部品間の擦り合わせノウハウが閉じ込められる²⁶（「カプセル化」）ことによって、製品アーキテクチャのモジュラー化が進展し、それが企業間で共有されることによって、後発企業のキャッチアップが誘発・促進されることとなる。そのような状況下では、「基幹部品・部材販売に特化することや、擦り合わせ型製品や高付加価値品へと安易に逃げるのではなく、カプセル化した擦り合わせ要素を自らの完成品事業で活用し

²⁶ 新宅・小川・善本（2006）では、同じように、製造設備間の擦り合わせノウハウが、インライン設備という形で装置に体かされることによって、装置と材料さえ買えば誰でも製品を作れるようになるということが指摘されている。

ていく仕組みを構築できるかどうか²⁷」ということが、完成品事業を行っている企業にとって重要である。このようなモジュラー化によって経営環境が大きく変化した産業として「液晶テレビ・パネル産業」と「携帯電話産業」に関する研究（新宅・善本、2009; 許・今井、2009; 丸川・安本、2010）では、そこでは韓国企業や中国企業が、モジュラー化のメリットを多分に享受して 2000 年代に急成長を遂げた一方で、日本企業は自身の保有している技術力と比して、高い業績をあげることができていないことが示されている。このように、製品アーキテクチャは、製品開発活動を通じて生み出されるものであると同時に、企業の競争戦略と深く結びついた概念なのである。

3. 既存研究のまとめと残された課題

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²⁸（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; Fixson、2005; 貴志・藤本、2010; 楠木・チェスブロウ、2001; Schilling、2000; Schilling and Steensma、2001; Worren, Moore and Cardona、2002; Mikkola、2006; Sosa, Eppinger and Rowles、2004; Pil and Cohen、2006）。さらに、製品アーキテクチャのタイプと適合関係にあるのは、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; 具、2008; 中川、2008、2011）。

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、1997）と、②製品に用いられている技術の変化（Abernathy、

²⁷ 新宅他（2006, p.121）

²⁸ 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が成立しない産業も存在しているという研究もある（Hoetker、2006）。

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²⁹。

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、2010 ; 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るとは言えない。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³⁰。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、それ以前のものと比較して「製品アーキテクチャがモジュラー化した」と

²⁹ 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。

³⁰ 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)。

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）。Abernathy, et. al (1983) や 新宅 (1994) の言い方にならえば、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³¹。Henderson and Clark (1990) では、産業レベルで起こるアーキテクチャの変化に対して既存企業が対応することは困難であるとされているが、既存企業においてもアーキテクチャの変化を推進することができる場合があることが、新宅 (1994) によって示されている。時計産業では、機械式ウォッチ→アナログ表示クォーツ式ウォッチ→デジタル表示クォーツ式ウォッチへと技術転換が起きていた。その際に、機械式からクォーツ式への技術転換を引き起こすことができたのは、垂直統合しているセイコーであった。セイコーが既存企業でありながら、脱成熟に迅速かつ積極的な対応がとれたのは、自社のフルラインの製品のなかで高級品分野では差別化戦略をとり、しかも、垂直統合された生産システムを持っていたからであるとされ、技術体系全般に関わる変化である場合には、その変化を推進するためには、技術システム全体を理解し、統制する能力が求められるということが明らかにされている。

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。突き詰めて言えば、既存の製品アーキテクチャに関する議論では、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言及されるにとどまっている。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

³¹ Abernathy, et., al. (1983)において提示されている脱成熟という概念は、ある製品のデザイン・コンセプトの下層においてなんらかの技術変化が生じて、それが次第にコア・コンセプトの変更を余儀なくしたときに、一度確立したドミナント・デザインが崩れて、従来の製品アーキテクチャを壊すことになるということを示唆している。

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。

したがって、本稿では、「組織が主体的に製品アーキテクチャを決めていく」という観点に立って、製品アーキテクチャの変化について観察することによって、当該組織が「どのような意図に基づいてそのような変化を引き起こしたのか」ということと、「そのような変化を起こすのに適した組織のあり方とはどのようなものなのか」ということについて考察する。この観点に立って製品アーキテクチャの概念を再解釈すると、①観察される製品アーキテクチャの背後では、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一連の意思決定が行われている³²ことや、②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に過ぎず、そのような変化の背後には、製品アーキテクチャの選択肢が創出され、それらの中から特定のアーキテクチャが選択されるという一連のプロセスが時間の経過

³² 加藤(1999)や加藤(2000)では、技術変化に関する多くの研究が、決定論的視座（技術を「企業の外側にある客観的なもの」として捉える）を暗黙的に前提として技術研究の多くが行われてきており、企業が技術体系に対して抱いている意図や解釈という側面を無視してしまっているとしている。両者の見方を統合するために、加藤(1999)では「技術システムの構造化理論」が提示されている。それによれば、「客観的・絶対的な外部要因の存在自体は否定する一方で、客観的・絶対的な外部要因があたかも存在し、技術発展の方向性があたかも外部から規定されるように見えるメカニズムが、技術の発展過程のある段階でのみ機能するという立場（加藤（1999, p.71, 傍点ママ）」である。

そこでは、ある技術システムの発展段階は、①開放状態、②解釈の安定化、③常軌的發展からなり、常軌的發展段階で前提とされてきた解釈が問い直される(再解釈)ことがあり、これによって当該技術システムは、再び開放状態へと移行するとされている。

このような考え方を製品アーキテクチャの概念に適用すると、複数の技術を体現した複数の構成部品からなる「製品システム」についての、ある特定時点における「解釈」が、「製品アーキテクチャ」として実現しているのである、と考えられる。そして、製品アーキテクチャの変化とは、当該製品システムについての解釈が、技術的要因および(または)、市場的要因によって変化した結果として生じると考えられる。

このように、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としては、高（2006）や、Tripsas and Gavetti（2000）が挙げられる。

とともに進行していること、③特定のアーキテクチャの選択と製品化の結果を受けて、さらに異なる製品アーキテクチャが創出・選択されうるということが考えられる。

当然のことながら、製品アーキテクチャは、企業において（主として製品開発の現場³³）で決められているものである。製品アーキテクチャと、それへの分業関係や組織構造および知識の適合関係という既存の議論で明らかにされている論理は基本的に正しい。つまり、システムの状態記述である製品アーキテクチャは、当該組織が解くべき（解決すべき）相互調整の複雑さをあらわしており、情報処理の観点から見れば、処理すべき情報量に対して、それを処理できる能力をもつ組織で対応すべきであるということになる。それにより、製品アーキテクチャと組織のあり方との適合関係に関する、一連の仮説群が形成されてきた。そこで議論されているのは、組織とアーキテクチャとのフィットネスの問題であった。そして、この両者の間にズレが生じている場合には、企業（組織）のパフォーマンスが低下する、あるいは、製品の性能が低下するということが主張されてきた。解くべき問題に対して、組織の情報処理能力が不足している場合には、製品の性能が低下したり、製品を作れなかったり、コストが高くなるということが起こる。逆に、解くべき問題に対して、組織の情報処理能力が過剰である場合には、適合している場合と比べて、無駄が多くなってしまうので、適合している（特化している）企業と比べて、その場合には、相対的に競争力が低い（パフォーマンスが低い）ということが議論されている。

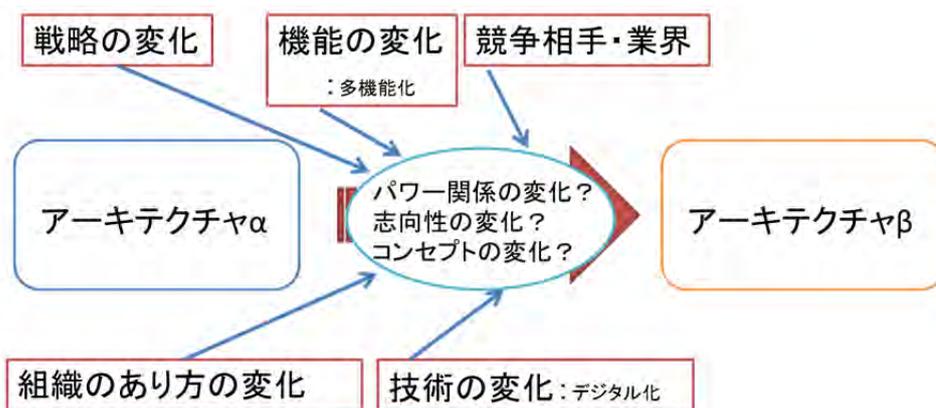
このように組織とアーキテクチャとの適合関係に関する一連の議論は確かに正しい。しかし、実はそのような適合状態を、いかにして作っていけばよいのか、ということが開発現場で直面している、最大の課題であるのではないだろうか？そうであるならば、まさに、その状態を作ろうと日々努力している開発現場が直面している問題は何であるのかということ明らかにし、それを、企業がどのように解決しているのかということ示す必要があるのではないだろうか。そのためには、どのような問題が、どのように解決されたのか、そしてそれは、なぜ可能だったのか、ということ明らかにしていく必要があると考えられる。このように、本稿では、アーキテクチャを作っていくという活動を行っている、まさに、アーキテクチャ開発の現場にフォーカスを

³³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（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。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しうるとされている。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。

当てて、そこで起こるさまざまな問題を解決意していく際に生じる、障壁や問題は何であり、それをどのように克服していくのか、ということをも明らかにするという分析視点を提示したい。

本稿における分析視点においては、製品アーキテクチャを変えるという行為を行っている企業に分析レベルを合わせて、企業内でどのようにしてアーキテクチャが変えられてきたのかということについて分析する。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、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ことになる（図 1）。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部門間やチーム間での製品システムのとらえ方³⁴（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について分析することになる。基本的に、組織のメンバーは、それぞれ、自分の直面している環境（たとえば、自分が所属している下位組織）にしたがって、異なるものの見方、考え方をとるようになる（March and Simon, 1958; Lawrence and Lorch, 1967; Arrow, 1974; Schein, 2010）。そのため、製品アーキテクチャを変えていく活動が、複数の技術や部門にまたがって行われる場合には、そのように、いわば「分化」の進んだ主体間での統合活動³⁵を行う必要が生じると想定されるが、これをうまく行えるかどうか重要な課題となる。

図 1 製品アーキテクチャの組織内選択プロセス



出所) 筆者作成

³⁴ 本章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。

³⁵ 製品開発において、統合活動をうまく行えるかどうかということが、開発パフォーマンスに重要な影響を与えることになる（Clark and Fujimoto, 1991）。重要なのは、必要な分化を犠牲にしないで、統合を促進する方法は何か、ということである。

さらに、デジタル化の進んだ製品分野においては、多くの企業が製品アーキテクチャの開発を行う際に多くの企業が困難に直面している。しかし、製品アーキテクチャに関する既存の議論では、メカ・エレクトロニクス・ソフトウェア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いない。それに対して、本稿では、メカ・エレクトロニクス・ソフトウェアのすべての要素技術が用いられている製品におけるアーキテクチャの選択プロセスについて分析を行う視点を提示するため、デジタル化の進んだ製品において、実際の企業が、アーキテクチャを選択する際に直面する問題を解決していくためのひとつの方策が明らかになるのではないかと期待される。

4. デジタル化の進展した製品におけるアーキテクチャ選択行動の分析視点

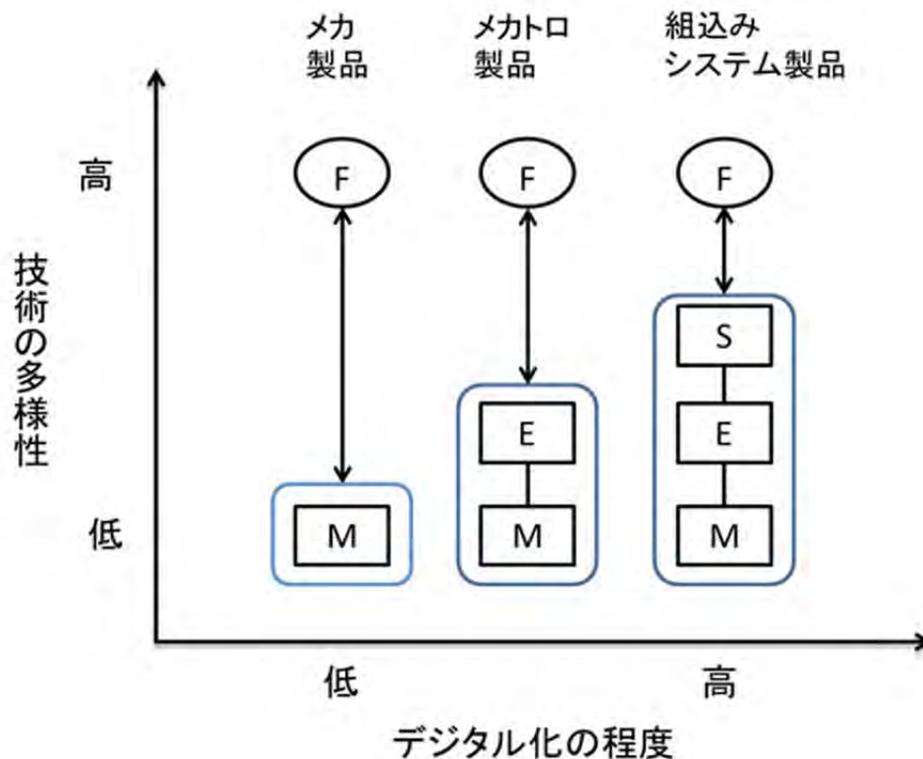
(1)技術の多様性と機能の多様性の増大により生じる問題

第1節で述べられたように、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、製品に用いられる組込みソフトウェアの増大によって、製品開発の困難性が増大している。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、組込みソフトウェア）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。このような問題を引き起こしているのは、製品に用いられるデジタル技術の進展である。本稿で焦点を当てる「デジタル化」という技術変化は、メカ（機械）技術、エレクトロニクス（半導体）技術、ソフトウェア技術といった複数の技術を製品に用いることになるという点で、技術の多様性を増大させる。このデジタル化は、基本的には、メカ（機械）技術に対して、エレクトロニクス（半導体）技術とソフトウェア技術が発展・追加されていくという経路をたどってきた（図2）。デジタル化の進展度合いに応じて、メカ製品→メカトロニクス（メカトロ）製品→組込システム製品というように呼称も変化していく。

デジタル化の進展により、企業の開発現場が直面している問題について、順を追って見ていくことにする。まずは、企業が利用可能な技術として、もともと機械技術によって製品が開発されてきたが、それに加えて、エレクトロニクス技術と、ソフトウェア技術を利用できるようになった。これにより、技術の多様性が増大した（図3）。

それによって、もともと、メカ技術によって実現されてきた機能について、エレクトロニクス技術やソフトウェア技術を追加・統合して用いることにより、その性能を向上させることが可能となった。たとえば、複写機において、拡大機能を実現しようとする場合、メカ技術を用いた場合、複数枚のレンズを組み合わせることにより、読み取った画像を光学的に拡大して、そのまま、感光体に焼き付けて複写物を作成するということが行われる。それに対して、エレクトロニクスとソフトウェアを用いれば、CCD で読み取った原稿の画像情報を、マイコンとソフトウェアを利用して、細やかな割合で（数%単位での拡大や縮小も可能）拡大することが可能になる。

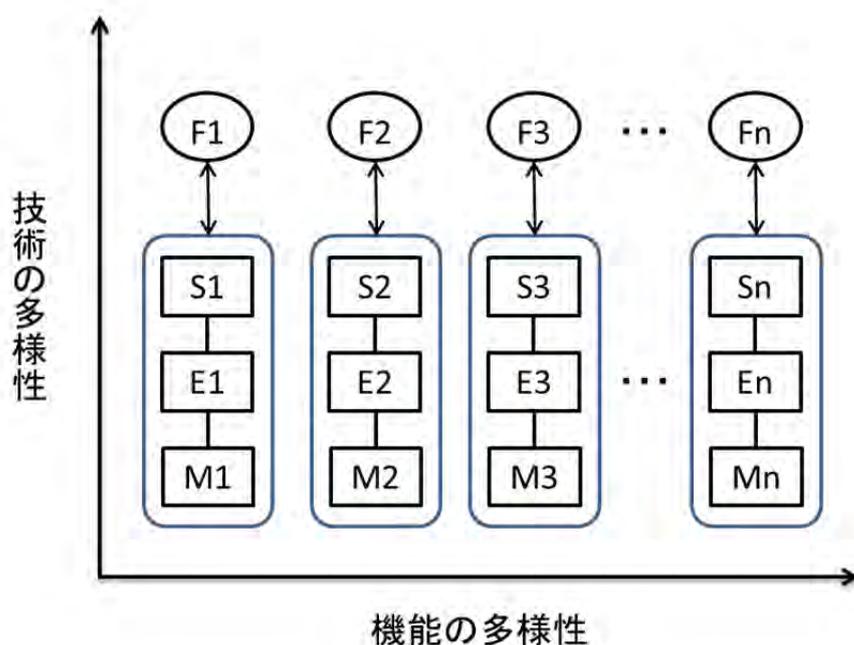
図2 技術の多様性の増大（デジタル化の進展）の概略図



注) 図中の M はメカ・コンポーネント、E はエレクトロニクス・コンポーネント、S はソフトウェア・コンポーネント、F は当該製品で提供される機能を意味している。以下、同様である。

出所) 筆者作成

図3 技術の多様性と機能の多様性の増大（模式図）



出所) 筆者作成

つづいて、ある製品を開発する際に、メカ技術に加えてエレクトロニクス技術とソフトウェア技術を利用することによって、従来メカ部品により実現されていた機能の性能を高められるだけでなく、それまで実現できなかったような新たな機能をつくり出すことも可能になった。しかし、エレクトロニクスやソフトウェアを用いて新機能をつくり出そうとした場合に、単純にエレクトロニクスやソフトウェアの追加によって実現できるわけではなくて、メカ部品との調整も必要になることがあり、メカ部品・エレクトロニクス部品・ソフトウェア部品間での相互調整が、従来に加えて必要となった。しかも、エレクトロニクスとソフトウェアを用いることで新機能を作ろうとする場合には、その新機能を、どのコンポーネントにおいてどの程度実現させるのか、という、新たな相互依存問題を解く必要が生じる。つまり、ひとつの新機能を実現するために、どこまでをメカで、どこまでをエレクトロニクスで、どこまでをソフトウェアで実現するのかという、機能の実現手段の配分と調整が必要になる。

さらに、エレクトロニクスとソフトウェアを利用することにより、従来よりも、短期間で、多くの新たな機能を実現できるようになる。このようにして、エレクトロニクスおよびソフトウェアを用いた新機能が、次々と生み出されていくことにより、製品の多機能化が進むことになる。しかし、そうすると、今度は、これらの新たに生み

出された複数機能の間で調整を行わなければならないという問題が発生する。あるいは、生み出された複数の機能をさらに合わせることで、新たな統合的な機能を生み出すということも行われる。そのため、関連するコンポーネント間で行うべき相互調整がさらに増大することになる。たとえば、自動車の車両走行安定制御という機能を実現するためには、ブレーキやエンジン、サスペンションなどのさまざまなメカ部品間での連動と、それら個別のメカ部品を制御するためのエレクトロニクスやソフトウェアとの緊密な相互調整が必要になる。さらに、個々のメカ部品を制御しているエレクトロニクス部品やソフトウェア間での調整・連携も必要になる。

以上見てきたように、デジタル化の進展によって製品開発を行う際に企業が直面する問題をまとめると、(1) メカ技術、エレクトロニクス技術、ソフトウェア技術という「技術の多様性の増大」と、(2) 「機能の多様性の増大」という現象が、ともに起きる場合に、それにより増大する相互依存関係を、どのようにして解決していくのか、ということであると考えられる。つまり、製品開発を進めるにあたって、メカとエレクトロニクスとソフトウェアといった多様な技術を利用可能になったことにより、次のような調整問題が発生したのである。それは、(1) あるひとつの機能を実現するために、メカとエレクトロニクスとソフトウェアを連動して動作するようにするための調整活動や、(2) 当該製品において提供される(複数)の機能のなかで、どの機能をメカに担当させ、どれをエレキに、どれをソフトに行わせるのかという配分を考える問題が生じた。いずれも、技術の多様性と機能の多様性の増大が生じたことによって引き起こされた相互依存性の増大とそれにともなう調整問題であり、それを、どのような視点でまとめ上げていくのか、そしてそれはどのような組織のあり方によって実現できるのか、ということを考える必要が生じている。

このような問題に対する企業の解決策が、ある時点で観察される製品アーキテクチャとして表れていると考えられる。多様な技術や機能をまとめ上げていく際に企業が直面する課題・障壁、および、それがどのように克服されているのかということをも明らかにするための分析視点・枠組みが本稿では提示されている。

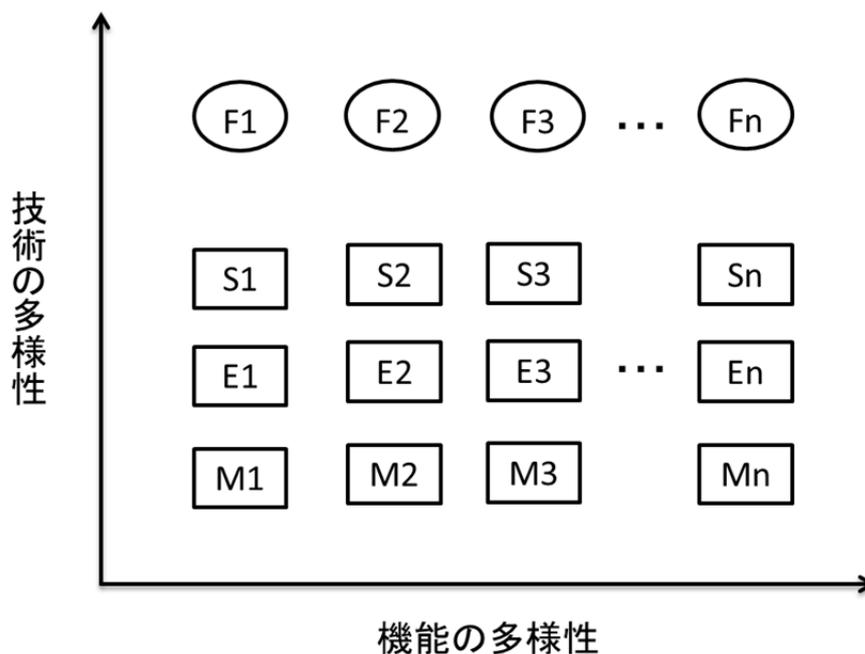
(2)技術の多様性と機能の多様性の増大下におけるアーキテクチャ選択の対象

経営学における既存研究では、主として、「技術の非連続性が高まる場合に、企業はどのように対応していくのか」に焦点が当てられてきた。そこでの非連続性のタイプとして、(1) 要素技術(コアコンセプト)の非連続性(Tushman and Anderson、1986)、(2) コンポーネント(要素技術)のつなぎ方(アーキテクチャ)の非連続性

(Henderson and Clark、1990)、(3) 価値ネットワークの非連続性 (Christensen、1997)、が挙げられる。これらの研究における基本的な論理は、既存企業は、技術変化以前の環境に適した能力を構築し、それにより成功しているがゆえに、新たな技術や顧客に対して上手く適応することができないというものである。一方、新宅 (1994) では、それに対して、既存企業であっても、競争戦略や生産技術、保有資源を工夫することにより、技術転換を乗り越えて成功を収められることを示している。

確かに本稿で提示されている分析視点も、技術の変化に対する企業の適応のあり方について考察するものであると位置づけられる。しかし、本稿の分析視点が捉えようとしている現象は、既存研究においてなされてきたように、そこで起きている技術変化は、技術の非連続性や転換というものというよりも、むしろ、技術の多様性が増大し (技術が積み重なっていく場合)、しかも、機能の多様性も増大していく (機能の種類が増えたり、複数の機能が統合されて新たな機能となる) 場合に、どのようにしてアーキテクチャを作っていけば良いのかという問題を企業が解決していくプロセスである。

図 4 技術の多様性と機能の多様性の増大下におけるアーキテクチャ選択の対象



出所) 筆者作成

本稿において分析対象とする製品アーキテクチャを決めていく活動とは、図 4 に挙

げられている、(1) 各コンポーネント（メカ、エレクトロニクス、ソフトウェア）間に、どのようなつながりを持たせるのかを決めること（コンポーネント間のインタフェースの決定や、コンポーネントの統合や追加、削除）、(2) 製品で実現しようとする機能と、各コンポーネントとのつながりをどうするのかを決めること、(3) 機能間のつながりをどのようにするのかを決めること、という3つの関係性に関する意思決定を行い、それを実現していくことである。ある時点で実現されている、上記3つの関係性の状態が、我々が当該時点で観察可能な製品アーキテクチャである。そして、その関係性が変化したことによって、製品アーキテクチャが変化するという現象として捉えることになる。このような考え方は、第3節でサーベイしたような既存の製品アーキテクチャに関する議論の延長上にある。

本稿においてアーキテクチャを記述する際の分析レベルは、コンポーネントに用いられている技術として、メカ技術、エレクトロニクス技術、ソフトウェア技術という3つに注目して、製品を構成するコンポーネントを3つのカテゴリ（メカ・コンポーネント、エレクトロニクス・コンポーネント、ソフトウェア・コンポーネント）から捉える。このように、コンポーネント間、機能とコンポーネント間、機能間における、それぞれの相互依存性を、どのように解決しようとしているのか（グルーピングしていくのか）という組織の意図と、その問題解決の結果として得られた解決策が、製品アーキテクチャとして、我々が観察可能なものとなるし、企業内でもそれをベースに、開発を進めたり、事業活動を進めることにもなる。その意味で、アーキテクチャを決めることは、企業の戦略や組織に対して大きな影響を与えるものであり、これが、企業の競争力に大きな影響を与えることになる³⁶。

本稿で提示している分析視点では、この製品アーキテクチャを選択・決定している組織のあり方と、実際に作られる製品アーキテクチャの両方に注目していく。どのようなアーキテクチャが選択されるのかは、それを作り出している組織のあり方によって影響を受ける。その組織のあり方として、(1) 当該アーキテクチャを決定している主体や、(2) 組織の構造（編成原理）、(3) 組織内のパワー関係に焦点を当てる。これら組織に関わる3つの事柄が、どのようなアーキテクチャが選択・実現されるのかということに影響を与えると想定して、分析を進めていくことになる。観察されるアーキテクチャを、(1) 当該アーキテクチャが適用される製品・事業の幅と、(2) 当該アーキテクチャを利用する主体の範囲という二つの軸で捉える。一つめの軸により、

³⁶ 第2節の既存研究のサーベイで取り上げられていた製品アーキテクチャに関する研究は、アーキテクチャが戦略や組織、企業の競争力に対して影響を与えることを明らかにしてきた。

異なる製品で提供されてきた機能を一つの製品に統合する際に生じる問題と、複数の製品・事業で利用可能なアーキテクチャを作る際に生じる問題が示される。もう一つの軸により、アーキテクチャを開発・利用する企業が複数の場合（特に、完成品企業と部品企業）に生じる問題が示される。それにより4つのセルが想定される。各セルでは、アーキテクチャを変えようとするときに必要となる調整や乗り越えるべき障壁（カベ）が異なると想定されるが、そのカベの種類としては、（1）当該製品において重視（中核的な位置を占めている）されている機能や、（2）機能の実現手段としての技術の違い（メカ・エレキ・ソフト間のカベ）、（3）調整が必要となる範囲の違い（企業内での部門間差違および、企業間の差違）から捉えることができる。これらをどのように克服していったのかによって、観察されるアーキテクチャの変化の経路が異なると考えられる。

このような視点に立つことにより、新たなアーキテクチャを構築するにあたり、「誰がアーキテクチャを決める主体であったのか」や、「アーキテクチャ開発を推進している主体が誰であり、それをどのように進めていったのか」に焦点を当てて、さまざまな事例の分析を行うことが可能になると考えられる。このように、本稿で提示されている分析視点を用いることにより、アーキテクチャを作っていくという活動を行っている、まさに、アーキテクチャ開発の現場にフォーカスを当てて、そこで起こるさまざまな問題を解決していく際に生じる障壁や問題は何であるのかということや、それがどのように克服されていくのかということをも明らかにすることが可能になるのである。

なお、新たに増大した相互依存性を解決するために、組織構造や組織の編成原理を変えていく必要があるという論点は、Chandler（1962）においても示されていると考えられる。Chandler（1962）では、1850年代から1930年代にかけて米国で生じた大規模企業の分析を通じて、特に、1920年代から1930年代にかけて生まれてきた事業部制組織が生じた理由として、活動地域の地理的拡大や製品の多角化によって、経営上層部に意思決定が集中して、下すべき判断が多様になり、複雑性が増大したことが挙げられている。このような意思決定の多様化と複雑化に対応するために、事業部制組織をとることによって、経営陣は日々の多大なる業務活動から開放されて、あらたな地理的市場や製品市場への参入を通じた長期的な成長戦略を追及することができるようになったとされている。このことをシンプルに表現すれば、Chandler(1962)が示したのは、企業成長とそれに伴う事業の多様性の増大により、経営者が解くべき問題が複雑化した場合に、従前の組織構造では適切に処理することが出来ないので、組織

の編成原理を変える必要があったということであり、それによって生み出された新たな組織の編成原理には共通性（事業部制）があったということであると考えられる。

(3)本稿における分析視点を用いることから期待されるインプリケーション

デジタル化の進展によって、何が問題となるのだろうか。従来は、考慮すべき技術的要素の大部分がメカであった。しかし、エレキやソフトの領域が増えてくると、それまでの組織のあり方や保有している知識の範囲では、製品全体を見越したアーキテクチャを開発することが難しくなってしまう。このようにして増大してきた相互依存性を、どのような視点から解決していけばよいのかということに、開発現場は直面していると考えられる。とくに、従来は主流ではなかった部門（周辺機能やソフトウェア部門など）と、主流部門との間の対立が生じたり、それをうまく調整していくことが必要になると想定される。他の構成要素や組織から見えないようにする（hidden）ことがモジュール化の特徴であるが、それゆえ、いざというときに、問題の所在やその解決方法がわからなくなる。これが、相互依存性の集約方法を変えてモジュール化を進める際に、既存企業が直面する問題であると考えられる。そのため、デジタル化および多機能化の進展による相互依存性や問題の発生源と、それを解くべき組織構造およびパワー関係と間にズレが生じることが予想される。そのズレを生じさせる要因として、（1）事業部（チーム）間のパワー関係（たとえば、既存の中核事業であるかどうか）や、（2）メカ・エレキ・ソフトという技術体系に基づくパワー関係が影響を与えると考えられる。

本稿における分析視点に基づけば、アーキテクチャを変える際に行われる調整方法には、いくつかのパターンがあることが予想される。たとえば、「トップダウンの強力なリーダーシップが発揮された」とか、「ボトムアップでじわじわと作られた」、「天才的なアーキテクトがいた（のでうまくできた）」、「部門間（製品間）のヨコ串を通す組織を作った」、「より声が大きく、力の強い事業部（グループ）に引っ張られてしまって、思うようなアーキテクチャが作れない」、「〇〇事業部（〇〇さん）が作ったアーキテクチャだから大丈夫」、「あの部門がつくったアーキテクチャなので、逆らえなくて渋々使っている」、「過去の遺産（レガシー）を使い回している」といったものが挙げられる。

さらに、本稿の分析視点を用いることにより、いわば、Power of “Modularization”（モジュール化のパワー、アーキテクチャ決定のパワー）を握っているのは誰なのか、そして、それを握る主体の違いによって、どのようなアーキテクチャが実現されるか

が異なるということを明らかにすることが可能になる。既存研究では、Power of Integrity (Clark and Fujimoto、1991; 藤本・延岡、2006) や、Power of Modularity (Baldwin and Clark、2000; 藤本・新宅、2005; 新宅・天野、2009; 丸川・安本、2010; 小川、2009; 立本、2007) については明らかにされてきている。また、Power of “Modularization”を保有している企業は、当該業界での競争優位性を獲得している。たとえば、プラットフォーム・リーダーの議論 (Gawer and Cusumano、2002; 立本、2007) が挙げられる。それに対して、本稿における分析視点においては、よりミクロな企業活動に焦点を当てることで、組織内でのモジュール化パワーの偏在と、それがアーキテクチャの選択過程に与える影響について分析・考察することが可能になるのである。

上記と関連することとして、イノベーションに関する既存の議論では、どこでイノベーションが起こるのかということ (イノベーションの発生場所) と、それが、イノベーションのパターンや成果にどのような影響を与えるのか、という視点から議論が展開されてきたと考えられる。たとえば、イノベーションを起こすのは、大企業なのかユーザーなのか (von Hippel、1988)、既存企業なのか新規参入企業なのか (Tushman and Anderson、1986; Christensen、1997)、イノベーションが社内で閉じているのかオープンに行われるのか (Chesbrough、2003; 武石、2003)、イノベーションが起こるのが、要素技術レベルで起こるのか、それらのつなぎ方のレベルで起こるのか (Tushman and Anderson、1986; Henderson and Clark、1990) などが挙げられる。それに対して、本稿における分析視点を用いることにより、製品システムを構成する要素のなかで、どこでイノベーションが起こり (locus)、そして、それによって引き起こされる相互依存性を、どのような視点から解決していく (focus) のがよいのかということ組織が見つけていくプロセスを、同定して分析を行うことができるようになると考えられる。その際に採られる視点に対して、組織のあり方がどのような影響を与えるのかということが明らかになるだろう。

謝辞

本稿は、文部科学省の科学研究費補助金 (若手研究 (B) 22730288) による研究成果を含んでいる。ここに記して謝意を表したい。

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.
- Anderson, P. & Tushman, M.L. (1990). Technological discontinuities and dominant designs: a cyclical model of technological change. *Administrative Science Quarterly*, 35, 604-633
- 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.
- Arrow, K. (1974) *The limits of organization*. New York : Norton
- 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.
- Chandler, A.D. (1962) *Strategy and Structure: Chapters in the History of the American Industrial Enterprise*. MIT Press, Cambridge, MA. (有賀裕子訳 (2004) 『組織は戦略に従う』 ダイヤモンド社)
- Chesbrough, H, W. (2003) *Open Innovation: the new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business School Press: Bostn, MA. (ヘンリー・チェスブロウ著、大前恵一朗訳 (2004) 『OPEN INNOVATION』 産業能率大学出版部).
- 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. (1997), *The Innovator's Dilemma*, Boston, MA: Harvard Business School Press. (C.M. クリステンセン著、伊豆原弓訳 (2000) 『イノベーションのジレンマ』 翔泳社)
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, 11, 147-162
- Fine, C.H. (1998) *Clock Speed*. Cambridge, MA: Basic Books.
- Fixson, S. K. (2005). Product architecture assessment: a tool to link product,

- process, and supply chain design decisions. *Journal of Operations Management*, 23, 345-369.
- 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・新宅純二郎 (2005) 『中国製造業のアーキテクチャ分析』 東洋経済新報社.
- 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』 第 39 巻第 4 号, 43-55.
- 藤本隆宏・桑嶋健一編 (2009) 『日本型プロセス産業』 有斐閣
- 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.
- Galbraith, J. R. (1973). *Designing Complex Organization*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- 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.
- 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
- 加藤俊彦 (2000) 「技術の多義性と企業行動—経営戦略における利用可能性と制約—」 『ビジネスレビュー』 47(3), 61-76
- 貴志奈央子・藤本隆宏 (2010) 「組織の調整力と製品アーキテクチャの適合性—輸出比率への影響」 『経済研究』 61(4), 311-324.

- 許経明・今井健一（2009）「携帯電話産業—中国市場にみるアーキテクチャと競争構造の変容」新宅純二郎・天野倫文編『ものづくりの国際経営戦略—アジアの産業地理学』有斐閣,111-135.
- 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.
- 具承桓（2008）『製品アーキテクチャのダイナミズム』ミネルヴァ書房.
- 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
- 丸川知雄・安本雅典（2010）『携帯電話産業の進化プロセス』有斐閣
- March, J.G. & Simon, H.A. (1958). *Organizations*. New York : Wiley. 土屋守章訳（1977）『オーガニゼーションズ』ダイヤモンド社
- 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.
- 中川功一(2011)『技術革新のマネジメント』有斐閣
- 沼上幹（1999）『液晶ディスプレイの技術革新史』白桃書房
- 小川紘一（2009）『国際標準化と事業戦略』白桃書房
- Pil, F.K. & Cohen, S.K. (2006). Modularity: implications for imitation, innovation, and sustained advantage. *Academy of Management Review*, 31(4), 995-1011
- Sanchez, R. & J.T. Mahoney (1996) Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design,” *Strategic Management*

- Journal*, 17, pp.63-76.
- Schein, E.H. (2010). *Organizational culture and leadership*, 4th ed. San Francisco : Jossey-Bass.
- 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 (2000) 「分断による学習の概念化へ向けて—NC (Numerical Control)アーキテクチャの進化的事例—」 『組織科学』 34(1), 76-94
- 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.
- 柴田友厚 (2004) 「並行イノベーションを誘発するアーキテクチャ」 『組織科学』 38(2), 69-79
- 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.
- 新宅純二郎・天野倫文 (2009) 『ものづくりの国際経営戦略』 有斐閣
- 新宅純二郎・善本哲夫 (2009) 「液晶テレビ・パネル産業—アジアにおける国際分業」 新宅純二郎・天野倫文編 『ものづくりの国際経営戦略—アジアの産業地理学』 有斐閣, 83-110.
- 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.
- 梶山泰生 (2000) 「カラーテレビ産業の製品開発」、藤本隆宏・安本雅典編著 (2000) 『成功する製品開発—産業間比較の視点』 有斐閣、63-86.
- 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).
- 徳田昭雄編著 (2008) 『自動車のエレクトロニクス化と標準化』 晃洋書房

- 徳田昭雄・立本博文・小川絃一編著 (2011) 『オープン・イノベーション・システム』
晃洋書房
- Thompson, J.D. (1967). *Organization in Action*. New York: McGraw-Hill. 邦訳, J・
D・トンプソン (1987) 『オーガニゼーション・イン・アクション』 高宮晋監訳
同文館
- Tripsas, M. & Gavetti, G. (2000). Capabilities, cognition, and inertia: evidence
from digital imaging. *Strategic Management Journal*, 21, 1147-1161.
- Tushman, M.L., & Anderson, P. (1986). Technological discontinuities and
organizational environments. *Administrative Science Quarterly*, 31, 439-465
- 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－自
動車産業と電機産業の CAD 利用を中心に－」 (MMRC ディスカッションペーパー
No.179) .
- 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. (1988) *The sources of Innovation*. Oxford University Press: New
York.(エリック・フォン・ヒッペル著 (1991)、榊原清則訳 『イノベーションの源
泉』 ダイヤモンド社).
- von Hippel, E. (1990). Task partitioning: an innovation process variable. *Research
Policy*, 19, 407-418.