

## 研 究

イノベーション研究における製品アーキテクチャ論の  
系譜と課題

佐 伯 靖 雄

## 目 次

はじめに

## 1. イノベーション研究と製品アーキテクチャ論

(1) 製品アーキテクチャ論の台頭

(2) 製品アーキテクチャの定義

## 2. 欧米におけるモジュラー化の諸研究

(1) モジュラー化の利点

(2) モジュラー化とプラットフォーム・ビジネス研究の体系化

## 3. 日本における製品アーキテクチャの産業分析

(1) 製品アーキテクチャ視点からの産業分析

(2) 複合ヒエラルキーの概念と組織能力

(3) 複合要素技術型製品の分析

## 4. 先行研究の検討と今日的課題

(1) 先行研究の検討

(2) 製品アーキテクチャ論の課題

おわりに

## は じ め に

本研究では、イノベーション研究の中でも近年議論が盛んな製品アーキテクチャ論に着目し、現在までの理論・実証双方における先行研究の系譜を検討する。それと同時に、現時点での製品アーキテクチャ論の理論的枠組みに内包されるいくつかの今日的課題について明らかにする。

本研究の意義はこうである。第1は、製品アーキテクチャ論が基本的に何を明らかにし、何が今後の課題であるのかを明らかにすることである。それは、製品アーキテクチャ論が現在の企業経営における戦略課題にどのような貢献を行っているのかを明らかにすることでもある。第2は、製品アーキテクチャ論の概念理解上の若干の混乱や齟齬を解消する一助とすることである。製品アーキテクチャの議論は、まだ歴史が浅いにも関わらず、企業の技術・製品戦略、組織設計、企業間関係の見直しを含む産業へのインパクトの大きさ等から、研究の質・量ともに急速に充実し、実業界ではモジュラー化を中心とした製品アーキテクチャ概念が普及しつつある。しかし、こうした中で、議論の混乱や産業界における概念理解の誤りが散見されるように思われる。ゆえに、先行研究を検討し、その上で明確になった課題を提起するという作業が必要なのである。

構成は以下の通りである。まず第 1 節では、連綿と紡がれてきたイノベーション研究の中で、いかにして製品アーキテクチャの議論が台頭し、現在どのような枠組みが共有されているかを整理する。第 2 節では、とりわけモジュラー化とそれを応用したプラットフォーム・ビジネスの優位性を強調する欧米の諸研究を取り上げ、その利点と産業へのインパクトについて整理する。第 3 節では、過熱する欧米のモジュラー志向だけではなく、今なお続くインテグラル型アーキテクチャの有効性を展開する日本の諸研究を整理する。そして続く第 4 節では、これら先行研究の系譜について検討を加え、併せて製品アーキテクチャ論の今日的課題についても言及する。

## 1. イノベーション研究と製品アーキテクチャ論

### (1) 製品アーキテクチャ論の台頭

これまでのイノベーション研究では、技術進歩のありようが製品ライフサイクルによって変化するとされてきた (Abernathy and Utterback[1978], Utterback[1994])。すなわち、製品が市場に投入された当初は、様々な製品上の改良が試みられて製品イノベーションが加速するが、いったん支配的デザイン (dominant design) が確立すると、徐々に製品のイノベーション余地が少なくなり、それに替わって生産コスト上のメリットを追求するため工程イノベーションが主となるというものである。Abernathy [1978] は、アメリカ自動車産業を分析対象に取り上げ、支配的地位にある企業が、継続的に生産性改善の投資を行うことでその地位をより堅固なものにすればするほど、新しい製品に対してのイノベーションに着手することが益々困難になってしまう事象を見出し、これを「生産性のジレンマ (productivity dilemma)」と呼んだ。

また Utterback [1994] は、支配的デザインの発生前後において、企業組織に求められる能力が変質することを指摘している。すなわち、支配的デザインの発生以前は非公式のコントロールが主体であり、天才的発明家のような傑出した個人の存在や曖昧な組織構造、柔軟な調整や高度なコミュニケーションが特徴である。しかし、支配的デザインの発生後はこれらが極端に言えば正反対となるのである。企業は標準化された製品を大量生産するために大規模化するため、傑出した個人ではなく専門経営者が求められ、組織構造は層化されたヒエラルキーとなり、通常オペレーションのためのルールが重んじられるようになるのである。

組織の変質を伴いつつ、製品そして工程双方のイノベーションの余地が限界に近づくということは、製品がコモディティ化することを意味する。そのため、製品がコモディティ化した後に新たなイノベーションを起こすことの必要性が主張されてきた。企業や産業を活性化させるイノベーションは、時として破壊的な影響力を持つ。そのため、もっぱら技術の進歩とは、「漸進的 (incremental)」か「急進的 (radical)」か、「持続的 (sustaining)」か「破壊的 (disruptive)」か (Christensen[1997])、という二分法によって議論されてきた。その過程で、イノベーションとそれを創出する主体である企業組織 (及び個人) とをいかに効果的に結びつけるかという知

識のマネジメントに関する研究（Nonaka and Takeuchi [1995]）<sup>1)</sup> や、よりテクニカルな視点として基礎研究と製品開発との相互作用のありようを論じた研究（榊原 [1995], Iansiti [1998]），そしてイノベーションを具象化する段階，すなわち事業化における最大の関門たる製品開発の実証的研究（河野 [1987], Clark and Fujimoto [1991], Morgan and Liker [2006]）など<sup>2)</sup>，様々な分析視角からイノベーション研究は行われてきたのである。

しかし、これらイノベーション研究が取り上げる技術の変化とは、あくまで製品全体の付加価値の総和をもつばら論じており、20 世紀に著しく複雑化した人工物の準分解可能性（Simon[1969]）を十分には反映していなかった。一般的に、人工物はその複雑性を解消するために階層化される（Suh[1990]）。そして設計タスクは、より小さい単位へと分割される（Hippel[1990]）。これによって生じる個々の構成要素ごとにイノベーションのありようは異なる。そしてまた、構成要素同士の関係性の相違によっても、総体としての製品の差別化が可能であることが示唆されるようになった。それが 1990 年頃から本格的に提起されるようになった製品アーキテクチャの概念である。

図 1 イノベーション類型の分析枠組み

		コア・コンセプト(構成部品)の変化	
		強化される	転換される
構成部品間のつながりの変化	変化しない	インクリメンタルイノベーション	モジュラーイノベーション
	変化する	アーキテクチャルイノベーション	ラディカルイノベーション

出所) Henderson and Clark [1990].p.12, 図 1

Henderson and Clark[1990] は、イノベーションが構成要素そのものの技術イノベーションのみならず、既存の構成要素間のつながり方の変化（アーキテクチャル・イノベーション）によっても起こりうることを指摘し、イノベーション研究にアーキテクチャ視点からの議論の必要性を提起した（図 1 参照）。アーキテクチャル・イノベーション（architectural innovation）が有する強みとは、市場で支配的な立場にある企業に対し、挑戦者がアーキテクチャを変化させる

- 
- 1) イノベーションを具現化する組織内の暗黙知と形式知とをいかにマネジメントするかが問題意識であった。  
 2) R&D の成果を効果的に事業化することは企業にとって喫緊の課題である。基礎研究から事業化までのプロセスについては、MOT (Management Of Technology) として研究・教育が進められている。MOT については、例えば延岡 [2006] が詳しい。

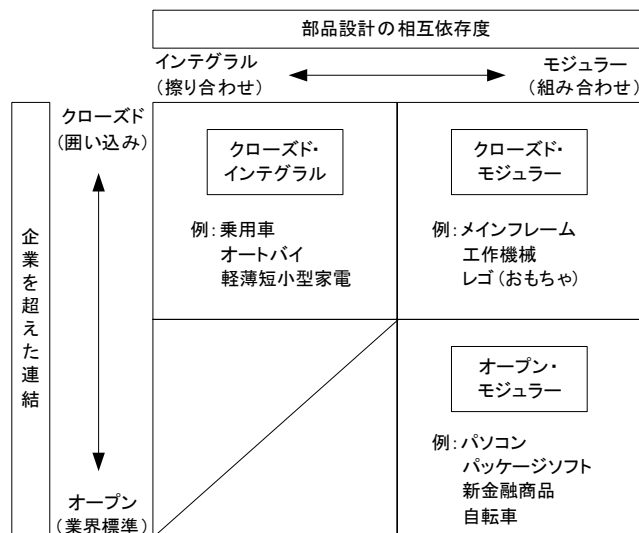
ことで対抗しようということである。すなわち、支配的な企業が持つ構成部品に対する強力な開発能力に正面から挑むことなく、挑戦者が同等以上に競争していくことが可能であることを示唆している。ここでの Henderson らの貢献は、イノベーションのありようを構成要素のイノベーション、そして構成要素間の関係性という 2 つの概念を導入することで、従来の急進的・漸進的の二分法以外のイノベーションのありようを提示したことである。

しかしながらこのアーキテクチャという概念自体は、決して新しいものではない。Clark [1985] の研究や、製造工程上の概念ではあるものの Hayes and Clark [1988] の研究においても、アーキテクチャという表現は見られる。また、Alexander [1964] のように、早くから構成要素を機能単位で分化することの利点を示した研究も存在していた。これら Henderson らの研究以前のアーキテクチャは、製品や工程の構造に関する記述に留まり、明示的に企業組織や産業構造へのインパクトまでは言及されていない。製品アーキテクチャが経済学・経営学の分野で本格的に議論されるようになった背景には、製品の構造のみならず、より拡張的概念として経済活動を説明しようという応用可能性が Henderson らによって提起されたからである。

## (2) 製品アーキテクチャの定義

その後、製品アーキテクチャの概念は Ulrich らによって精緻化され、製品の内部構造における構造と機能の対応関係、及びインターフェース一般化の程度として認識されるようになる。図 2 に示すように、類型化の方法としては構造要素と機能要素との対応関係の疎密さに応じて

図 2 製品アーキテクチャの分類と製品類型例



出所) 藤本 [2003], p.13, 図 1

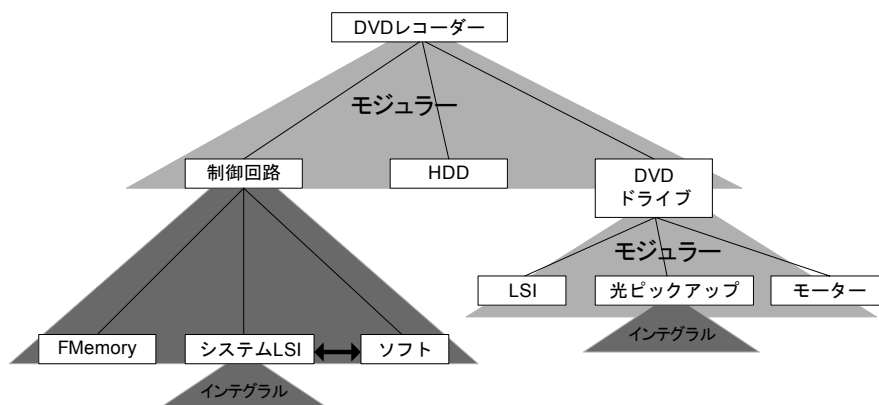
インテグラル型かモジュラー型か、インターフェースの一般化の開放度に応じてクローズド型かオープン型かといった評価軸が用いられるようになった（Morris and Ferguson [1993], Ulrich [1995], Ulrich and Eppinger[1998], Fine [1998], 青島 [1998], 藤本 [1998, 2001], 国領 [1999]）。

より簡単に言うならば、製品アーキテクチャとは、ある製品の構成要素をどのように分解し、どのようなルールで結合するかについての基本設計思想である。本研究においても、これらの基本的な定義・類型基準を踏襲しつつ、以下の議論を進める。

ここで、図2に示すそれぞれのセルについて簡単に説明しておこう。まず、構造と機能の対応関係である。インテグラル・アーキテクチャでは、構造と機能の対応関係が多対多に近く、構成要素間に緊密な相互作用が生じる。それゆえ、ある任意の要素に変更を加える場合、関連する他の要素群も併せて変更する必要がある。インテグラル型の製品を開発するには、これらの特徴を理解した上で、逐次的な設計開発の進め方を基本とした「擦り合わせの妙（藤本 [2001]）」が必要とされる。

次にモジュラー・アーキテクチャでは、構造と機能の対応関係が一对一に近く、構成要素間の相互作用は相対的に低い。モジュラー度が高くなればなるほど、ある任意の要素の変更が及ぼす他の要素群への影響は軽微になる。他の要素への影響を考慮しないで済むことから、個別の構成要素の中では緊密な相互依存関係が見られる。モジュラー型製品の場合、市場で調達可能な部品（汎用品）だけを集めてきて組み立てるだけでもある程度の製品ができることになる（Fine [1998], 国領 [1999]）。しかしながら、組み合わせによる製品であっても高い商品性を確保するためには、洗練された事前の設計が不可欠であり、「組み合わせの妙（藤本 [2001]）」が求められる。

図3 製品アーキテクチャの階層構造



出所）新宅 [2006], p.42, 図 1-2-3

現代の複雑な人工物では、これらの構造と機能の対応関係は階層化されていることが一般的である。例えば、ある製品の第一階層はモジュラー化されていたとしても、個々の構成要素内、つまり第二階層では前述のように緊密な相互依存性が見られるインテグラル型のこともあるし、更にモジュラー化されて相互依存性が低いこともある。したがって、「細かく言えば、階層により部位により、モジュラー化やインテグラル化の度合いは異なる…あくまでも全体の傾向を示しているに過ぎない<sup>3)</sup>」のである (図 3 参照)。

また、インテグラルとモジュラーとの分類は、前述の理念型を両極としたスペクトルとみなすことができ、「個々の製品は、このスペクトルのいずれかのポイントに位置づけられる<sup>4)</sup>」ものである。極端なインテグラルや極端なモジュラーが存在しないことは、製品の階層性によってインテグラルとモジュラーが同居していることから明らかである<sup>5)</sup>。

続いてインターフェースの一般化についてである。モジュラー化の場合、構成要素間をつなぐインターフェースがなんらかの形でルール化 (事前の設計) される必要がある。このルールの適用が、特定の企業内や極めて緊密な企業間に留まる場合、それはクローズド型である。逆に、特定の企業を越えて広く産業一般、ないし産業を跨いで普及している場合、それはオープン型である。簡単に言うならば、ある構成要素がどの範囲まで代替性を持ちうるか、という見方である。クローズド型の典型は企業内規格である。対してオープン型は、産業内外のみならず地理的範囲まで拡大され得るため、非常に幅広い概念である。オープン型のインターフェースが産業を越え、地域を越えることで、グローバル・スタンダードとして認知される。ゆえに、オープン型インターフェースの概念は、標準化の議論と親和性が高い<sup>6)</sup>。

末松 [2005] は、インターフェースの一般化に焦点を当て、取引コストの視点からモジュールの構造分析を行った。末松はモジュール間を結ぶインターフェースを「主体間でトランザクションを効率的に行うための規定」と定義している<sup>7)</sup>。その中で、インターフェースが唯一無二の製品を対象とするときのようなその場限りのインターフェースを「アドホック・インターフェース」としており、通常のインターフェースとは区別している。これは、極めてインテグ

---

3) 藤本 [2002], pp.20-21 参照。

4) 前掲, p.17 参照。

5) このことから注意すべき点は、ある製品同士のアーキテクチャを比較する場合、両者のスペクトル上の位置関係によってインテグラルかモジュラーかは変わってくるということである。例えば、自動車とパソコンとレゴ・ブロックを比較した場合、自動車がよりインテグラル型でパソコンがよりモジュラー型とされるが、レゴは更に極端なモジュラー寄りとなる。ゆえに、自動車とパソコン、レゴとパソコンを比較すると、どちらが「よりインテグラル/モジュラーか」は異なる。このように、アーキテクチャの概念はあくまで相対評価に基づくものである。

6) 標準化の場合、事実上の標準であるデファクト標準、標準化団体が取り決めるデジュール標準、両者の中間として業界主導型のコンソーシアム型標準などがある。標準化の議論については、例えば浅羽 [1995]、新宅・許斐・柴田編 [2000] が詳しい。

7) 同じくインターフェースに関する議論として青木は、「連結ルールの標準化には、局所的コーディネーションの容易化と全体的最適化の特性というトレードオフが存在する。」と述べている。青木 [2002], p.24 参照。

ラルな製品アーキテクチャを持つ構成部品間におけるインターフェースに該当する。この場合、他の部品との互換性は極めて低く、インターフェースの構築そのものに細かい仕様の擦り合わせを必要とする例である。また、インターフェースのコストとしては、ロックイン（依存性の確保）と硬直化による変更コストの増大（埋没コスト）が指摘される。インターフェースの効用は、その効用がコストを上回る領域間のみに限られる。「モジュール化理論が有効に適用されるのは、その中間領域で、トランザクションの種類が多い、時間でトランザクションが変化する、あるいはその両方が当てはまる環境である」。また、インターフェースのオープン性は使用者にとって価値が大きい、「提供者にとってはインターフェースをオープンにすることは、競合の参入を容易とし、インターフェースの価格を限りなく下げる（限界費用に近づける）<sup>8)</sup>」としている。

以上、製品アーキテクチャの基礎的な概念について図2の各セルを整理した<sup>9)</sup>。実際に製品のアーキテクチャを見ていく場合、これら2x2のマトリックスのどこに位置づけられるかを分析することになる。しかしながら、ここまでの議論からも明白な通り、2x2マトリックスのうち、オープン・インテグラルは存在しない。なぜならインターフェースが広く一般化するということは、インテグラルの特性に反するからである。ゆえに、柴田・玄場・児玉[2002]が示す次の3類型とみなすこともできる。すなわち、「インテグラル、モジュール、オープン」である<sup>10)</sup>。次章で論じる欧米の諸研究が取り上げるモジュラーとは、この類型化ではオープン（モジュラー）のことである。

近年、製品の高度化・複雑化と同時に、製品ライフサイクルの著しい短期化が指摘されている。そのため、企業は顧客の要望に応えるため、そして競合他社に遅れを取らないために迅速な製品開発と製品の市場投入を実現しなければならない。製品アーキテクチャの概念は、そのための製品戦略を考える上で欠かせない議論となりつつある。しかしアーキテクチャの概念は、特にモジュール化の考え方において、産業界による慣習的な意味合いと研究者の分析概念とが混同されがちである。それは、「近年特に、モジュラー化とオープン化の双方が同時に観察されるような現象が注目されていること<sup>11)</sup>」にも起因する。論者によって製品アーキテクチャにおけるモジュラー化のことを「モジュール化」あるいは「モジュラー化」と異なる呼称で使用されているが、本研究では、主に製造業界で認知されている集成度の高い複合部品（モジュール）と区別するため、製品アーキテクチャの概念でインテグラルの対極に位置付けられる概念を「モジュラー」と呼び、複合部品のことを「モジュール」と呼ぶことで統一する。こういった邦訳

8) 末松[2005], pp.65-66 参照。

9) 製品の内部システムとアーキテクチャの関係性をより視覚的に説明したものとして、藤本[2002], pp.11-12 参照。

10) ここでのモジュラーとはモジュラーの意である。柴田・玄場・児玉編[2002], p.29 参照。

11) 青島・武石[2001], pp.33-34 参照。

上の微妙なズレもまた、議論を混乱させている要因の 1 つのようである<sup>12)</sup>。なお、以下の議論における先行研究の引用部においてはこの限りではないが、両者を予め峻別することで言葉の上での混乱を回避したい。

## 2. 欧米におけるモジュラー化の諸研究

### (1) モジュラー化の利点

主として欧米の諸研究では、インテグラル型のアーキテクチャよりもモジュラー型のアーキテクチャをより高次に捉えており、多くの研究ではモジュラー化の必要性やインパクトについて主張することが多い。更に、オープン・モジュラーを標準化と結び付け、産業内のプラットフォーム・リーダーになることの重要性が説かれている。主要な論者の主張は以下の通りである。

例えば Langlois and Robertson [1992] は、組織の経済学の視点からモジュラー化と産業のネットワーク化の利点を説いた。Langlois らの主張はこうである。それは、製品を構成する要素が内製されるか外部調達されるかは、製品コストと取引コストとの間の関係性次第であるということである。製品が統合的であれば、市場からの調達コスト（取引コスト）が組織化のコストを上回るため、企業内調整に優る垂直統合型企業が有利である。しかし製品がモジュラー化されると、モジュール（構成要素）間の互換性を損なわずに単一企業内だけでイノベーションを達成していくことが困難になる。つまり、組織化のコストが取引コストを上回る。したがって、このような状況下では構成要素を外部から調達することが望ましい。そして、「モジュラー型システムの促進する垂直方向の分化（vertical specialization）は、製造者のネットワーク構築をも導く<sup>13)</sup>」のである。このような非集権的ネットワーク下では、「標準（standard）は、市場のプロセスもしくは交渉を通じて、構成要素の製造者とユーザー、そしてアセンブラとが一緒になって決定される<sup>14)</sup>」。実際、このようなネットワークは有効である。「特許やその他防護策が例え存在しなくとも、企業の水平方向のネットワークは、イノベーターが特許等で保護される範囲内で享受しうる全利益よりも高い利益をもたらす<sup>15)</sup>」のである。すなわち、モジュラー化によって実現されるネットワークは市場全体を拡大するため、垂直統合型企業による排他的ビジネスが象徴する「一部の全部」よりも、拡大された市場の中で構成要素ごとに特化するビ

---

12) 同様に概念理解上混同されやすいのが、オープン・アーキテクチャとオープン取引である。オープン取引とは、「所与の設計の部品に関する潜在的な供給者のリストをあらかじめ限定せず、オープンな競争の結果として供給業者を決める方式のこと」であって、製品アーキテクチャのクローズド、オープンとは直接的に関係しない。クローズド・アーキテクチャの部品がオープン取引されることもある。藤本 [2002], p.6 参照。

13) Langlois and Robertson [1992], p.300 参照。

14) *Ibid.*, p.301 参照。

15) *Ibid.*, p.301 参照。



ジネス、つまり「全部の一部」の方がより収益性に優れるということである。

また、Garud and Kumaraswamy [1993] は、サン・マイクロシステムズがオープン・モジュラー型アーキテクチャの下、いかにして利益を確保しているかを明らかにした。一般に、オープン・モジュラー型アーキテクチャが採用されると、Langlois らが論じたように産業はネットワーク的な構造へと移行する傾向が強い。特許等の排他的占有権を持たないネットワーク構造下では、各構成要素に参入する企業が増加し、競争は激化する。Garud らは、そのような環境的制約のもとでも企業は利益を得ることができることを主張する。ここでの結論は、サンは、モジュラー化が内包する製品世代間を跨ぐ知識の継承・移転の可能性を見出し、それを活かした素早い新製品のリリースを継続することで、他社よりも高いパフォーマンスを発揮しているということである。モジュラー化によって、「システム設計者は、他の要素を変更することなく、特定のシステムにおける構成要素の置換・代替ができるという柔軟性を得ることができる<sup>16)</sup>。このようなアップグレードの余地 (Upgradability) により、設計者は既に確立された技術的プラットフォームに従って設計することが可能となり、それゆえ彼らの中核となる知識ベースは維持され<sup>17)</sup>」、その知識ベースを次世代製品に移転・流用することが可能となる。そしてそれは、サンがオープン化された標準を構築する立場（技術スポンサー）であるため、自らの標準がネットワークに普及するまでの暫定的な独占地位にある期間に達成される。競争が激化するオープン・モジュラー型アーキテクチャであっても高いパフォーマンスを得るためには、この技術スポンサーの立場にあることが条件となる。ここでの技術スポンサーという言葉は、後に説明するプラットフォーム・ビジネスにおけるリーダー企業とほぼ同義である。

次に Sanchez and Mahoney [1996] は、モジュラー化を製品と組織の両面から論じた。Sanchez らは、Daft and Lewin [1993] が示した「相互依存性が軽減され、調整された自己組織化プロセスを通じ、継続的に変化や問題を解決する<sup>18)</sup>」という新しい組織形態にモジュラー型組織が極めて近いと認識している。ここでの含意は、製品アーキテクチャと組織との間には適合性があるということである。このことを Sanchez らは次のように述べる。「組織は、表面上は製品を設計するが、それは同時に製品設計組織をも論じうることである。なぜなら、特定の製品設計に暗に含まれる調整業務は、製品の設計・生産を可能とするための組織設計をかなりの程度規定するからである<sup>19)</sup>」。モジュラー化によって分割されたタスクは、「開発組織のゆるやかに結合された (loosely coupling) 構造によって、自律的かつ同時並行的に行われる<sup>20)</sup>」のである。このような製品と組織のアーキテクチャの適合性を背景に、「多岐に渡るモジュ

16) このような特性を Garud らは「代替の経済 (economies of substitution)」と呼んだ。

17) Garud and Kumaraswamy [1993], p.362 参照。

18) Daft and Lewin [1993], p.i 参照。

19) Sanchez and Mahoney [1996], p.64 参照。

20) *Ibid.*, p.66 参照。

ラー型システムのインターフェースを標準化することは、高い柔軟性と、幅広い非統合組織が相互組織化していく連結性とを高めるための新しい支配的デザイン (dominant design) なのかもしれない<sup>21)</sup>」と Sanchez らは指摘している。

モジュラー化の経済性は、統計分析によっても実証されてきた。Worren et al. [2002] は、米英家電メーカーを対象に、モジュラー化と戦略的柔軟性がいかに企業のパフォーマンスに影響を与えるかについて分析を行った。その結果明らかになったのは、モジュラー型製品アーキテクチャとモジュラー型組織アーキテクチャとは、企業パフォーマンスに対して正の関係性があるということである。統計分析の結果によれば、モジュラー型製品アーキテクチャは製品多様性に正の影響を与え、その多様性がパフォーマンスに作用するというルートと、組織アーキテクチャ (モジュラー型組織とそれによって同時並行的に進められるプロセス) が直接パフォーマンスに作用するというルートとの 2 系統の作用が見られる。しかし特筆すべきは、「これらの結果は企業パフォーマンスにおいてモジュラー組織の正の貢献を示しているが、それらが示唆するのは、この効果はモデルの多様性を通じた製品モジュラリティのパフォーマンスの効果とは関係がない<sup>22)</sup>」ということである。つまり、製品と組織のアーキテクチャは、それぞれ企業パフォーマンスに正の作用があるが、製品と組織のアーキテクチャが相互に作用する要素は見られなかったということである。前述の Sanchez らをはじめとする先行研究の多くが製品と組織の適合関係を指摘しているが、Worren らの統計分析では明示的な関係性は見出されなかった<sup>23)</sup>。このことは、製品と組織との関係性には異なる解釈の余地があるということを暗示していると考えられる。

オープン・モジュラー型アーキテクチャの利点はこのように多岐に渡るが<sup>24)</sup>、これだけの可能性を秘めつつも過去にモジュラー化が実現しなかった理由を歴史的に記述した研究は少ない。Chesbrough[2003] は、19 世紀から 20 世紀にかけてのイノベーションの主体について次のように論じた。オープン・モジュラー型イノベーションが現在のように普及するまでは、垂直統合型の大企業が技術進歩の大半を担っていた。その背景にあったのは政府や大学の限界である。当時の科学者 (scientists) はもっぱら科学的発見にのみ関心があり、それを積極的に現実問題の解決に活用しようとする意思が希薄であった。それらの研究者を擁する大学もまた、財政的な限界もあって、さして大きな実験ができなかった。政府は現在よりも遙かに小さい存在であり、特許・度量衡の整備・軍事技術以外に大きな役割を果たしていなかった。そのような状況で唯一と言ってもよい技術進歩の担い手は、垂直統合型の大企業であった。強固な資金

---

21) *Ibid.*, p.74 参照。

22) Worren et al. [2002], p.1135 参照。

23) Worren らは、このことについて特段の説明はしていない。

24) 日本の研究者においても、特に IT 産業の分析によってオープン・モジュラー型のアーキテクチャの利点、可能性について言及した研究が見られる。例えば、国領 [1995]、池田 [1997] 等を参照。

力によって大企業には中央研究所が設立され、基礎研究から商業化までを内部化してきたのである。大企業がそこまでを担う論理は、大企業以外の他社は技術的に遅れているという必要性和、価値連鎖全体をコントロールすることによる収益機会の最大化という必然性とが並立していたことにある。つまり、モジュラー化が実現するには、政府や大学等の能力向上、そして統合化されたシステムを補完しうる企業が一定数以上存在するという土壌が必要だったということである。このような条件は、IBM によるシステム /360 の開発時期（1960 年代）になってようやく整備されてきたのである。

## （2）モジュラー化とプラットフォーム・ビジネス研究の体系化

ここまで、モジュラー化の経済性や、オープン・モジュラーを応用し、中核デバイスの標準を握るプラットフォーム・ビジネスの有効性について議論してきた。一連の論者による主張には共通する項目も多いが、ここではモジュラー化の経済性とプラットフォーム・ビジネスの有効性を体系化した 2 つの主要な研究を見ていくこととする。

初めに、IBM のシステム /360 開発を分析対象とし、それらモジュラー化の諸研究を体系化した Baldwin and Clark [1997, 2000] の研究である。Baldwin らによる研究には、モジュラー化について大きく 3 点の理論的貢献が見られた。

1 点目は、モジュラー化のメカニズムを「分離」「交換」「追加」「削除」「抽出」「転用」という 6 つのモジュラー・オペレーション（modular operation）という概念によって論理的に説明したことである。「分離」と「交換」は、モジュラー型とは対極にある相互関連型アプローチ（インテグラル型のこと）にも存在するが、それ以外の 4 つのオペレーション方法はモジュラー型特有のものである。すなわち、インテグラル型の製品においては、製品全体を単一のモジュールとみなすことで、システム全体の分離と交換があり得る。それに加えてモジュラー型の製品は、構成要素の分割が明示的であるため、構成要素ごとに容易に「追加」と「削除」が可能となり、「抽出」はシステム内の階層化を、「転用」は他システムとの接続性を担保することになる。これらのモジュラー・オペレーションを駆使することで、モジュラー型のシステムは成立する。ここでのインターフェースは「可視情報」であり、システムの構成要素内の設計パラメータは「隠された情報」である。そのため、「隠された情報」はインターフェースに従う限りにおいて自由な設計が担保され、理論上はシームレスに動作することが保証されている<sup>25)</sup>。

---

25) Baldwin らは、各モジュールを統合し最終製品へと仕立てる時には、少なからず統合・検証が必要となることを指摘している。インターフェースの確立という事前設計がより完全なほど、これら事後的な検証の相対比率は低下する。しかし、敢えてこの事後検証を一定水準以上残すことで、システムのアーキテクトはモジュールへの事実上の支配権を維持することが可能になる。これは、次に論じるプラットフォーム・ビジネスと並び、競争が激化するモジュラー環境下でも安定した収益力を維持するための有効な手法の 1 つと言えるだろう。日本の自動車産業のように、部品の多くを外部調達しつつも完成車メーカーの交渉力が低下しない要因として、最終的な実車での統合・検証工程を完成車メーカーが依然として握っていることが挙げられ

2 点目は、モジュラー化が産業構造に影響を及ぼすことを明らかにした点である。端的に言えば、モジュラー化の進展により、巨大な垂直統合型企業の優位性は喪失し、産業構造が水平分業型へと移行することである。水平分業とは言っても、実質的には各サプライチェーンの段階全てが水平分業化される。半導体産業で言えば、生産手段を持たず開発・販売に特化したファブレスが登場したり、その逆に台湾で多く見られる製造に特化したファウンダリが活躍するようになったりしたのはこのためである。

3 点目は、2 点目とも密接に関連するものの、モジュラー化の経済的合理性を金融理論のオプション理論によって説明したことである。すなわち、モジュラー化が進行すると、明示化されたルールを遵守する限りにおいて構成要素の「交換」が極めて容易となり、ある特定の構成要素に特化した企業群が誕生することで産業内の水平分業化が促進される。これによって個々の構成要素の迅速かつ多様なイノベーションが期待され、製品の付加価値向上に貢献するのである。また、「モジュラー化は、強力な組織再編ツールである。それはシステムが機能する上で必要不可欠なコーディネーションの形態を維持しながら、同時に分権的な意思決定を可能にする<sup>26)</sup>。」と述べており、モジュラー化が特定の構成要素ごとに産業クラスターの現出を招くことを指摘している。

続いて、主としてインテルを分析対象としたプラットフォーム・ビジネスについての研究である。Gawer and Cusumano [2002] は、オープン・モジュラー環境下でも高い収益性を誇るプラットフォーム・リーダーの意義について論じた。プラットフォームは、下位システムが相互にイノベーションを創発しあう進化的システムという特性を持つ。この特徴は、プラットフォームがオープン・モジュラー型アーキテクチャの応用によって成立することからも適合的である<sup>27)</sup>。

Gawer らは、インテル、マイクロソフト、シスコといったプラットフォーム・リーダーとなる企業が採る 4 つの戦略的行動を抽出した<sup>28)</sup>。第 1 の「企業の範囲」とは、何を企業内で行い、何を外部企業に任せるかの意思決定である。第 2 の「製品技術」とは、システムのアーキテクチャ（モジュラー化の程度）、インターフェース（オープン化の程度）、知的財産（プラットフォームやインターフェースの情報をどこまで他社に開示するか）に関する意思決定である。第 3 の「外部補完業者との関係性」とは、外部補完業者との協調と競争の関係、合意形成、利害対立に関する意思決定である。そして第 4 の「内部組織」とは、上記 3 つの戦略的行動を支持

---

る。

26) Baldwin and Clark [2000], p.268 参照。

27) ただしプラットフォーム・ビジネスには注意すべき点もある。とりわけ危険なのは、過度の共通化は製品を似通ったものになってしまう点である。Robertson らはこれらを踏まえ、「大事なのは共通性 (commonality) と差異性 (Distinctiveness) とのバランスである」と述べている。Robertson and Ulrich[1998], p.21 参照。

28) Gawer and Cusumano[2002], p.40 参照。

するため、いかに組織を設計すべきかの意思決定である。プラットフォーム・リーダーは、これらを駆使することで産業のアーキテクトとなり得るのである。

その上で注意すべき点は、プラットフォーム戦略とは製品戦略の代替案ではないということである。インテルが標準化した PCI バスというデータ経路に関する規格のように、それ自体は収益を生むものではなく、触媒となる技術に過ぎない。プラットフォーム・リーダーは、これら触媒となる技術を梃子に、産業内で補完製品のイノベーションを誘発するよう仕向けるのである。そのため、むやみにこういった技術を知的財産権で武装することは、標準形成のためには負の影響しかもたらさない。また、他の補完製品業者が標準形成に合意してくれるよう、時には補完製品の開発ツールを無償（ないし限りなく安価なコスト）で配布することも必要である。

それゆえ Gawer らは、プラットフォーム・リーダーが確立される産業には一定の条件が必要であると述べている。その基本要件とは、「ある企業の製品が、単独で使用されると限られた価値しか生まないが、他の補完製品と共に使用されることで価値が増大する<sup>29)</sup>」という特徴が見られる場合である。

以上、本節では欧米の諸研究が取り上げるモジュラー化の経済性とプラットフォーム・ビジネスの有効性について先行研究を整理した。共通することは、モジュラー化の利点を最大限に享受するためにはどうすべきか、という論点であった。また、製品アーキテクチャと組織のアーキテクチャが概ね適合的である点も明らかになった。それでは次に、日本における製品アーキテクチャの先行研究を見ていくこととする。

### 3. 日本における製品アーキテクチャの産業分析

#### (1) 製品アーキテクチャ視点からの産業分析

欧米の諸研究がモジュラー化を相対的に高次に捉え、その効用を評価するのとは対照的に、日本では一方的なモジュラー志向ではなく、個別産業に最適な製品アーキテクチャを選択する必要性が主張されている。背景にあるのは、製品アーキテクチャの分析対象とした産業の競争力である。米国は情報技術や PC 等のハイテク機器を、日本は自動車や高付加価値型ハイテク機器（高密度記録型 DVD、デジタルスチルカメラ等）を分析対象としており、必然的に日本ではインテグラル型アーキテクチャに優位性を求めるようになった。

翻って藤本隆宏を中心とする日本の研究者達によって、製品アーキテクチャの 2x2 マトリクス（前掲：図 2）をもとに産業分析が進められてきた。これらの諸研究では、我が国を代表する自動車や電機といった加工組立産業のみならず、ゲームソフトやパッケージソフトウェアなどの無形財、ビールや医薬品などのプロセス産業、更には金融業にまでその応用範囲が広が

---

29) *Ibid.*, p.245 参照。

られてきた (藤本・安本編 [2000], 藤本・武石・青島編 [2001], 藤本・東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター編 [2007])。これらの研究成果は、モジュラー化の効用を強調する欧米の研究とは趣が異なる。冷静に産業ごとの最適アーキテクチャを検討することによって、自動車産業のように構成要素間の相互依存性が高い産業においても、その擦り合わせを巧みに実現していくだけの組織能力を獲得していれば、インテグラル型製品の産業においても十分国際競争力を持ちうることを明らかにした。

このことから逆に、日本の製造業ではモジュラー型アーキテクチャでグローバル競争を戦い抜くことができるだけの要件が揃っていないことも明らかになってきた。そのため日本では、目下のところモジュラー化がもたらす急速な製品のコモディティ化に対する問題意識の方が主要な議論となっている。延岡 [2006] は、コモディティ化の推進要因として、「モジュール化・中間財の市場化・顧客価値の頭打ち<sup>30)</sup>」の 3 点を挙げている。以下論じていくように、これらの諸要素はいずれも大なり小なり製品アーキテクチャと関連する。

また、潤沢かつ安価な労働力に支えられた中国製モジュラー型製品の脅威論も産業界を中心に衰えを知らない。とりわけ日本企業が先行して技術開発してきたハイテク機器 (薄型テレビ、DVD プレイヤー、携帯電話等) のコモディティ化は著しい。その背景には、セットメーカーの事業部門である中核デバイス部門による、内製部品と製品化のための統合知識との積極的な外販が見られる。中核デバイスの多くは資本集約型製品であるためその巨額の投資を回収する必要性、また自社がやらなくてもいずれ他社がやってしまうという推測によって、中核デバイスの外販は進むとされる (善本 [2003])。このことの帰結は、「カプセル化された擦り合わせ要素 (新宅・小川・善本 [2006])」の流通である。高度な相互依存性が熟練技術・技能によって調整されるプロセスが、中核デバイスに内包されてしまうことで、あまり技術水準の高くない企業でも、市場で調達可能な「カプセル」を購入してくることで、文字通り「組み合わせ」だけで最終製品が出来上がってしまうのである。しかし、これもまた投資の論理から言うと不可避である。

モジュラー化の進展がある程度避けられないことを前提にするならば、企業はその利点と欠点とを十分に理解した上で製品戦略を構築し、そしてそれに対応した組織を設計する必要がある<sup>31)</sup>。青島・武石 [2001] は、このモジュラー化の利点と欠点とを以下のように述べる。まず、モジュラー化の利点としては 6 点あるが、多くは欧米のモジュラー化研究の示唆するものと適合的である。第 1 に、構成要素間の調整や擦り合わせにかかるコストを大幅に削減できることである。第 2 に、モジュラー化によって各モジュールの独立性が確保されると、システム

30) 延岡 [2006], pp.91-95 参照。ここでのモジュール化はアーキテクチャ上の概念である。

31) アーキテクチャの転換はインテグラルからモジュラーへの一方向性のものではない。青島らは、「モジュラー化と統合化にはそれぞれ利点と欠点とがあるため、そのどちらが強くなるかによって、システムは統合化に向かったりモジュラー化に向かったりする」とも述べている。青島・武石 [2001], p.45 参照。

に対する変化をモジュール・レベルに局部化することが可能になる。第3に、モジュラー化されているとモジュール・レベルでの再利用が可能になる。第4に、各モジュールが独立に動作可能になり、イノベーションを促進する。第5に、モジュラー化は分業を促進する。そして第6に、モジュラー化によって、システムを空間的・時間的に拡大することが可能になる。

これに対して、より重要な論点である欠点については大きく2つを挙げている。第1に、インターフェースを集約化することによって、構成要素間の中で無視してもよいと考える部分を特定化することである。これは、インターフェースがその最たるものであるが、ある意味で無関心圏を作ることに繋がる。よって、その部分に実は重要な相互作用が含まれているとモジュラー化は問題を起こしてしまうのである。第2に、モジュラー化が集約化・ルール化されたインターフェースを持つことに起因する問題である。モジュラー化におけるインターフェースは汎用的であり、個々の構成要素に対して必ずしも最適化されているとは限らない。そのため、モジュラー化されたシステムにおける各構成要素は、原理的に冗長性を持つことになる。更に、インターフェースを固定化していることによって、達成可能な最大パフォーマンス水準がインターフェースによって制約される。そのため、モジュール単位でのイノベーションがどれだけ進んだとしても、これ以上実現できないというシステム・パフォーマンスの限界を持つことになる。これらの欠点は、欧米の諸研究では殆ど言及されていない。モジュラー化の将来を占う上で、欠点の棚卸しは慎重に議論すべき点である。

前節のBaldwinらや上記の青島らの議論がもっぱら供給側・生産者におけるR&Dの不確実性に焦点を当てているのに対し、奥野・瀧澤・渡邊[2007]は、消費者選好の不確実性という視点からインテグラルとモジュラーの違いを次のように論じている。「両者における意思決定のタイミングの違いは、リアル・オプションという言葉を用いて表現すれば、次のようなものとなる。インテグラル型生産では、中間時点での情報を待って、生産のための投資意思決定を行う分、より細かく状況に対応したオプションを持つことが出来るのに対して、開発標準型の生産における企業Xは事前の時点で部品業者のレントを吸い上げるために、事前の期待値だけに基づいて生産活動にコミットするようなより粗いオプションしか持つことができないのである<sup>32)</sup>」。すなわち、R&D不確実性に対してはモジュラー型アーキテクチャにオプションの優位性があり、消費者選好の不確実性に対してはインテグラル型アーキテクチャにオプションの優位性があるということである。双方の議論を対比することで見えてくるのは、製品アーキテクチャの選択は、どの不確実性への対応を選択するかによっても異なってくるということである。

続いて、日本の諸研究における製品と組織のアーキテクチャの関係性について見てみよう。

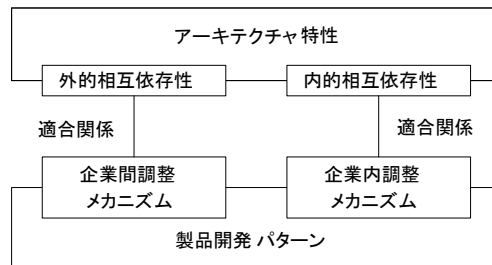
---

32) 奥野他[2007], p.22 参照。ここでの開発標準型とはモジュラー型と同義である。

製品アーキテクチャと組織アーキテクチャが適合的だという論点は、欧米の研究同様に日本でも広く認知されている（青島・武石 [2001]，柴田他 [2002]，池田 [2005]，奥野他 [2007]）。

例えば韓 [2002] は、製品アーキテクチャと自動車部品サプライヤーの製品開発プロセスとの関係性を論じた。韓は大手サプライヤー 2 社のエアコン及びラジエーター開発において、その一部を長期的に参与観察しており、部品固有の特性と企業固有の特性に着目した。韓の研究では、エアコンは相対的に相互依存性の高い部品、ラジエーターは相対的に相互依存性の低い部品として位置付けられている。韓の結論は、効果的な製品開発パターンは製品アーキテクチャ特性の違いによって異なるということである（図 4 参照）。

図 4 製品アーキテクチャ特性と製品開発パターン間の適合関係



出所) 韓 [2002], p.28, 図 2-2

また、以下の 3 つのインプリケーションを提示している。1 つ目には、外的相互依存性が高い部品に関しては強い企業間連携を構築する必要があり、外的相互依存性の低い部品に関しては強い企業間連携を行う必要があまりないことである。2 つ目には、今日の自動車産業では、完成車と部品とのインターフェースを事前にコントロールすることで、相互依存性の問題を排除して製品開発管理の効率性を高めようとしているが、部品によってこのコントロールの難易度が異なることである。そして 3 つ目には、内的相互依存性の高い部品に関しては部門間の調整を強めて問題解決のスピードを高める必要性があり、内的相互依存性の低い部品に関しては部門間の調整を極力排除していく必要があるということである。

以上のような製品と組織のアーキテクチャの適合関係は、必ずしも静態的にだけ捉えればよいというものではない。先行研究の中には、製品アーキテクチャの動態性に注目したものも見られる。一般的に製品のアーキテクチャは黎明期のインテグラル型を経て、支配的デザインの出現を機に徐々にモジュラー型へと向かっていくが、それは一方通行的な動勢ではない。製品の基幹技術が変化することで構成要素間の相互依存性が高くなったり、市場のプレイヤーである企業が戦略的にアーキテクチャを変化させたりすることによって、モジュラーからインテグラルへの逆移行もありうるというものである（楠木=チェスブロウ [2001]，青島・武石 [2001]，藤本 [2002]，奥野・瀧澤・渡邊 [2007]，武石・青島 [2007]）。これらの研究が示唆することは、製品アー



キテクチャがダイナミックに移行することを所与とし、それに迅速に対応する組織の能力を高める必要性である。このようなアーキテクチャの動態性は、製品アーキテクチャが技術変化と消費者嗜好双方からの影響を受けることによってもたらされるのである<sup>33)</sup>。

## （2）複合ヒエラルキーの概念と組織能力

ここまで、製品アーキテクチャとそれに対応する組織アーキテクチャを中心に先行研究を整理してきた。しかしながら、アーキテクチャの概念は製品や組織だけに留まらない。製品アーキテクチャが純然たる製品設計の概念だとすれば、それを製造する工程のアーキテクチャ、複雑な人工物を構成する多数の構成部品を調達する流通のアーキテクチャもまた、議論の対象としなければならない。

武石・藤本・具 [2001] は、製品・工程・調達のアーキテクチャが相互に対応しあうことを明らかにした。武石らは自動車産業に焦点を当て、その開発・生産システムを複合的なヒエラルキーとして捉えた。それは、「生産・開発の各段階の階層構造と企業間システムの階層構造がそれぞれたがいに対応し合う、複合化した体系を形成している<sup>34)</sup>」という見方である。このことは、アーキテクチャの決定がすなわち企業の戦略的意思決定となり、ビジネス・システムの構造全般にわたって大きな影響力を持つことを示唆している。

工程のアーキテクチャは生産システムに関するアーキテクチャである。例えば自動車産業であれば、完成車メーカーの組立ラインをメイン組立ラインと複数のサブ組立ラインに分割、階層化する（モジュラー化）ことで、組立工数の平準化が可能となる。また、自動車のような加工組立型製品ではなく、構成部品の概念が無い化学産業のようなプロセス型製品では、工程アーキテクチャの分析が必須である（藤本 [2002]）。調達のアーキテクチャは、企業間システムに関するアーキテクチャである。同様に自動車産業であれば、特定部品の生産（または開発と生産）を外部のサプライヤーに任せることで、工程の企業間分業が可能となる。この場合、どこからどこまでの構成要素を一括化するのが、工程モジュラー化の要件となる。このようにして特定部品の開発・生産がモジュール単位で分割され、自動車メーカーを頂点とするヒエラルキーを構成したものが、日本型サプライヤー・システムである。製品・工程・調達のアーキテクチャの諸特徴からも明らかのように、「生産と企業間システムの見直しが、製品アーキテクチャのモジュール化につながる動きが見られる<sup>35)</sup>」ようになる。これは、Baldwin らが述べたように、製品アーキテクチャのモジュラー化が産業構造を垂直統合から水平分業に変えるメカニズムと

33) 藤本 [2002] は、アーキテクチャがダイナミックに移行することの背景に、「アーキテクチャを決めるのは究極的には顧客である」という考え方があることを指摘している。「変化や多様性を好む顧客はモジュラー型製品を、統合性や洗練性を好む顧客はインテグラル型製品を好む傾向がある」。藤本 [2002], p.31 参照。

34) 武石・藤本・具 [2001], p.102 参照。

35) 前掲, p.114 参照。

は逆の作用である。つまり、製品・工程・調達のアーキテクチャは任意の始点から変化を生み出し、他のアーキテクチャの変更をも促すということである。これこそが、3つのアーキテクチャが相互作用する複合ヒエラルキーと言われる所以である。

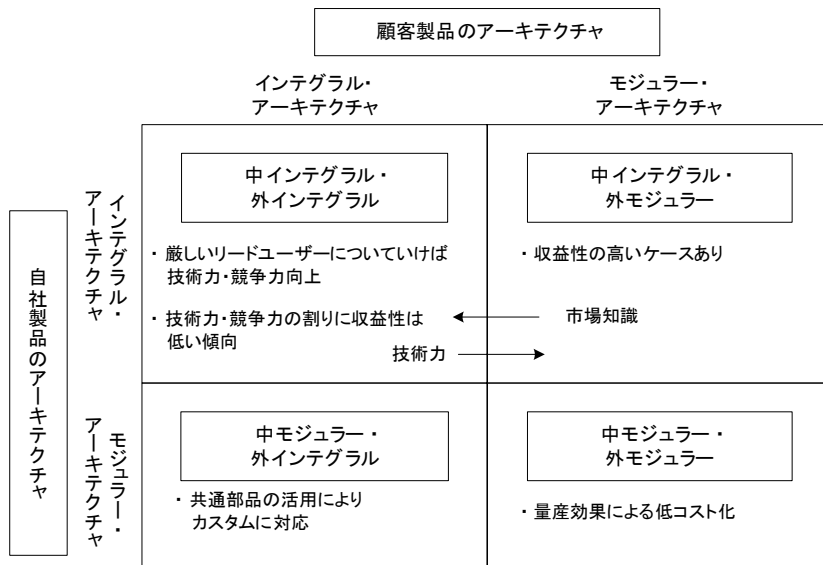
これらの諸研究が示唆することは、多様なアーキテクチャの相互作用が生み出す動態性は、企業組織に高い柔軟性を要求するということである。同時に、静態的な視点でも企業の組織能力は重要である。欧米の諸研究ではモジュラー化の優位性が強調されるが、それとは逆に日本の諸研究では、産業によって製品アーキテクチャの優位性が異なることを主に実証面から論じてきた(藤本・安本編[2000], 藤本・武石・青島編[2001], 藤本・東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター編[2007])。藤本らの議論によれば、欧米の研究者が相対劣位に位置づけるインテグラル型製品であっても、競争力を維持することは可能である。そこでの要件とは、インテグラル型アーキテクチャの性質である複雑な相互依存関係を処理できるような組織能力の向上である。

藤本[2003b]は、企業の競争力には表層と深層があると述べる。そこでの要諦は次のようなものである。「表層の競争力」とは外部からの観察・評価が可能な指標であり、それを支えるのが「深層の競争力」である。「深層の競争力」は模倣することが難しく、長期間に渡る組織学習がそれを構築する。「深層の競争力」とは具体的に、開発や生産における「生産性・リードタイム・適合品質(Clark and Fujimoto[1991])」である。そして「深層の競争力」の背後に控えているものこそが、組織能力である。藤本は日本の自動車産業を例に挙げ、その組織能力の高さを評価している。根底にある組織能力によって、模倣困難な「深層の競争力」は強化されてきた。例えば、開発や生産の生産性向上、リードタイム短縮は、複雑な人工物である自動車を極めて擦り合わせ的に作り上げることを可能にする。そして、そこでの品質は世界でもトップクラスを維持してきたのである。日本の製造業が、少なくともいくつかの加工組立型製品で今なお競争優位を保持できている要因は、このような高い組織能力の継続的構築にあったということである。ゆえに、インテグラル型製品においても、組織能力次第で今後も十分な競争力を持ち得るということである。

それでは逆に、日本の製造業がインテグラル型製品だけでしか優位性を持ち得ないのか。藤本は、モジュラー型製品においても競争の可能性を示している。藤本[2003a]の研究では、製品アーキテクチャを構成要素の内と外の双方から論じており、部品レベルの分析に既存の理論枠組みの応用が図られている。ここではアーキテクチャの位置取り戦略として、ポジショニング戦略と経営資源戦略にアーキテクチャの視点を加えることで、収益性の高い組み合わせが検討されている。

図 5 にもあるように、日本の製造業は必ずしもモジュラー型製品に弱いというわけではない。例えば外モジュラー・中インテグラルに該当する自動車部品のシマノ、電子部品の村田製作所

図5 アーキテクチャのポジショニング・ポートフォリオ戦略



出所) 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編 [2007], p.29, 図 1-1-4

等は高い営業利益率を誇ることで有名である。同時に、ここでの議論で藤本は、中インテグラル・外インテグラルの自動車部品の営業利益率の低さを指摘している。日本の製造業が組織能力によってインテグラル型製品に強いと言っても、収益性の点では課題も見られるということである。ゆえにここでの含意は、内的・外的双方における製品アーキテクチャの戦略的意思決定が収益力確保のためには重要であるということである<sup>36)</sup>。

また前節で議論したように、モジュラー型製品であっても、インターフェースの事前設計が不十分であれば、最終的にモジュールを組み合わせて製品化する時点で、一定の統合作業が必要である (Baldwin and Clark[1990])。よって日本の製造業は、モジュラー型製品であっても最後の統合・検証工程に活路を見出すことも可能である。事実、例えば中国のモジュラー型製品における統合・検証機能の不足が競争上不利になることを指摘する研究も見られる (延岡・上野 [2005])。日本の製造業は、欧米（特に米国）企業が得意とするオープン・モジュラー型アーキテクチャを応用したプラットフォーム・ビジネスは苦手だが、藤本 [2002, 2005] が中国製造業の分析によって指摘したような、インテグラル型アーキテクチャの製品を無理矢理コピーとイミテーションによって「換骨奪胎」した「疑似オープン・モジュラー」は、必ずしも喧伝されているような巨大な脅威とはなり得ないかもしれない<sup>37)</sup>。戦略性の不十分なモジュラー化

36) ただし、自動車産業におけるサプライヤーのような中間材メーカーでは、必ずしも自身の意思決定だけで製品アーキテクチャを変えられるわけではないことも、藤本は指摘している。

37) 少なくとも中国企業がグローバルレベルに比肩するような自主開発能力を身につけるまでは、という条件

は、最後の統合の過程で躓くからである。劣勢にある日本のハイテク機器メーカーには、注意深く製品アーキテクチャを分析すること、そして競争の舞台を自社の得意分野に持ち込んでいくような戦略性が求められる。

### (3) 複合要素技術型製品の分析

続いて、最近年とりわけ製品アーキテクチャによる産業分析で注目を集めている複合要素技術型製品を分析した先行研究についてである。近年最も注目すべき複合要素技術型製品とは、組み込みシステム (embedded systems) である。1990 年代以降、半導体の性能向上と価格低下により、幅広い製品群がソフトウェア (が組み込まれた制御機構) によって制御されるようになってきた。家電の多くは、このようなソフトウェア制御とネットワーク化によってデジタル家電と呼ばれるようになった。更には、機械製品の代表格であった自動車でさえ、個々のシステム単位でソフトウェア制御が一般化してきている (徳田・佐伯 [2007])。問題は、これら組み込みシステム、そしてソフトウェアを製品アーキテクチャの枠組みでどのように理論的に位置づけられるかである。

藤本 [2002] が述べるように、「ある製品、あるいは製品を含むユーザー・システムを考えた場合、ある階層でモジュラー性、他の階層でインテグラル性が現れることは少なくない<sup>38)</sup>」。ゆえに、製品の階層を掘り下げていくと、最終製品において規定されたアーキテクチャとは異なる姿が見られるのである。とりわけ、同一製品内に異質な要素技術が混在するような状況では、この傾向はとりわけ強くなることが予想される<sup>39)</sup>。

このような背景から、例えば伊藤 [2003] 及び朴 [2005] のように、異質な要素技術として組み込みソフトウェアを事例に取り上げ、既存の製品アーキテクチャの分析枠組みの限界を指摘した研究も散見されるようになってきた<sup>40)</sup>。伊藤 [2003] は、カーナビに記憶される地図コンテンツデータとしてのソフトウェアを無形のモジュールの 1 つと捉え、有形のモジュール部品との関係性を論じ、ソフトウェアとハードウェアという異質な要素を統合したシステム・アーキテクチャの概念を提起した。

---

が必要である。

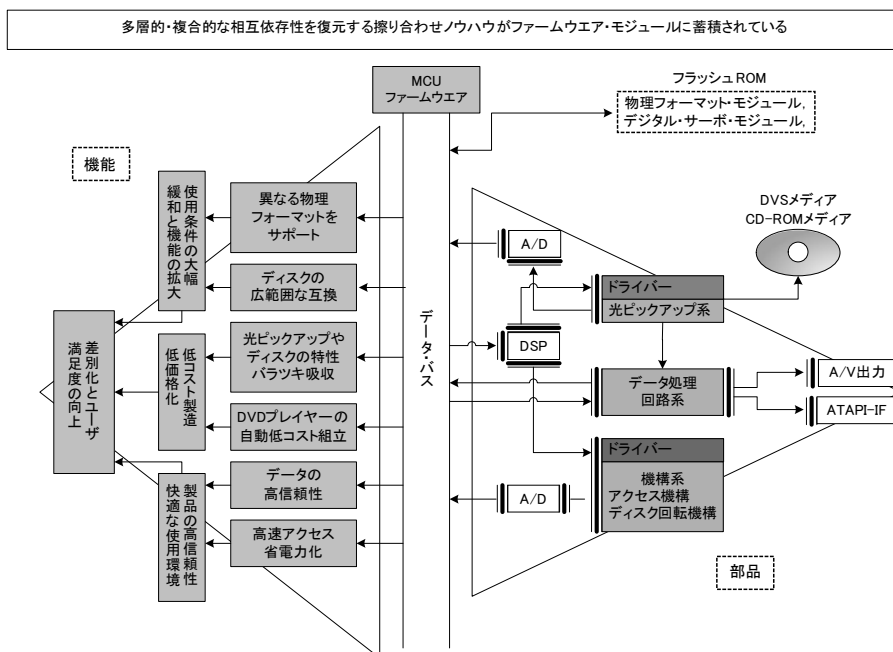
38) 藤本 [2002], p.47 参照。

39) 藤本 [2006] は、統合型組織能力が十分ではない分野として組み込みソフトウェアの世界を指摘している。更に藤本 [2007] では要素技術の違いを詳細に論じ、メカ・エレキ・ソフトの技術上の発祥の違いや、設計思想の違いについて言及し、このことが組み込みシステム開発における調整が困難になっている要因であると指摘している。

40) 藤本もまた組み込みソフトウェアとハードウェアとの間の相違を認めている。「一般に製品設計とは製品機能と製品構造を連結する作業であるが、ハードウェアにおいては構造と機能が物理的因果関係で繋がるのに対し、ソフトウェアの場合は構造 (プログラム) と機能 (ハードの挙動) の関係は記号的な関係 (社会的な約束事) で繋がっており、それだけ、組み込みソフトの機能・構造関係は恣意性・不確実性が高い」。藤本 [2006], p.11 参照。

伊藤の提起したシステム・アーキテクチャの概念を精緻化し、よりハードウェアとソフトウェアの統合性が高いシステム LSI の製品アーキテクチャ研究を行ったのが朴 [2005] である。朴はシステム LSI の事例分析から以下の見解を導き出した。それは、ソフトウェアとハードウェアを最適システムとして統合することで、製品差別化ができるという統合型製品の長所と、多様な構成要素の組み合わせで開発期間が短縮できるというモジュラー型製品の長所を同時に達成することが可能であるということである。そして、双方の長所を融合するモデルとして、プラットフォーム型アーキテクチャを提起した。このように、ハイテク機器をはじめ、ソフトウェアとハードウェアの統合が求められる製品は急増している。

図 6 MCU（マイコン）とファームウェアが介在する DVD プレイヤー



出所）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編 [2007], p.228, 図 2-5-4

また、ハイテク機器におけるハードウェアとソフトウェアの統合、すなわち組み込みシステムに関する研究では、図 6 に示すように、物理的な構成要素に必要なとされる擦り合わせ的要素、すなわちインテグラル型特性が、マイコンとファームウェア（組み込みソフトウェア）によって擬似的にモジュラー化されているという検討もなされている（新宅・小川・善本 [2006], 福澤・立本・新宅 [2006], 小川 [2007]）<sup>41)</sup>。そして組み込みシステム開発における製品と組織の関係については、例えば佐伯 [2007] が、自動車電装部品の ECU 開発について分析しており、開発組織にお

41) ただし、小川はこの図の提示にあたって、あくまで学問的統一性には欠くと断っており、まだ試論の段階であることを述べている。

る部門間の相互依存関係には、要素技術の違いによって濃淡が見られることを指摘している。

このように、年々プレゼンスを高め続けるソフトウェアの存在を考慮すると、従来のハードウェア志向の製品アーキテクチャの枠組みをそのまま適用するだけでは十分な説明ができない事例が見られる。ゆえに、物理的構築物としてのハードウェアのみならず、ソフトウェアのような論理的構築物(野口[1990])を含めた製品アーキテクチャの分析枠組みの修正が必要となっている。朴[2005]の言葉を借りると、「機能要素と物理的な構成要素の対応関係とインターフェースの標準化の程度」の軸だけでは、もはやすべての製品アーキテクチャのパターンを説明するのは困難(朴[2005])<sup>42)</sup>な状況になりつつあるということである。

以上、本節では日本におけるアーキテクチャ視点からの産業分析について先行研究を整理した。日本の諸研究の特徴は、欧米のそれとは違って必ずしもモジュラー化だけを注視しているわけではないことである。また、分析の枠組みは製品および関連するアーキテクチャにまで及び、その理論的拡張は多様な産業分析を可能とした。そして、製品アーキテクチャと組織能力とを結び付け、インテグラル、モジュラーを問わず、収益性を高めるための方策についても広く議論されていた。しかしながら、組み込みシステムのような複合要素技術型製品には、必ずしもこれまでの理論枠組みが適用できるとは限らないということも指摘され始めている。次節では、ここまで議論してきた国内外の製品アーキテクチャ研究を包括的に検討し、今後の課題を明らかにする。

#### 4. 先行研究の検討と今日的課題

##### (1) 先行研究の検討

ここまで、製品アーキテクチャの先行研究を可能な限り体系的に検討してきた。製品アーキテクチャという概念は、単に製品の構造と機能の関係性を論じるだけに留まらず、組織設計、事業領域、産業構造といった幅広い分野に応用されてきた。その理論的貢献は、従来のイノベーション研究が技術、企業、市場がそれぞれ単純化された概念(中身はいわばブラックボックス)として扱われ、要素間の相互作用を単線的に捉える傾向が強かったものを、それらの内部構造と関係性とを明らかにしていくことで、要素間の関係性を複線的に捉える分析視角を提供したことにある。またそれにより、技術、企業、市場の諸関係における動態性が明らかにされた。

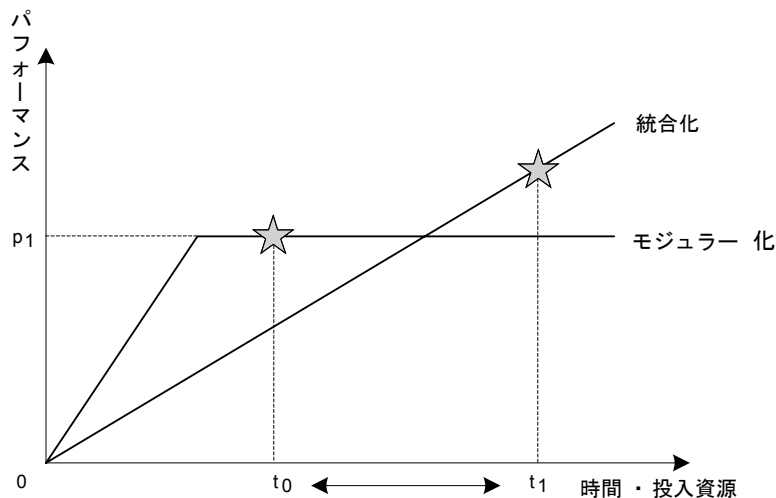
それら動態性の最も顕著な傾向は、あらゆる産業で見られるモジュラー化である。冷戦終結後、1990年代から経済のグローバル化が本格化し、企業の置かれた競争環境の激化、またそれによる製品ライフサイクルの著しい短縮が指摘されるようになって久しい。このような諸要因を背景に、企業及び製品の競争優位性には、差別化とコスト(Porter[1980])だけでなく、市

---

42) 朴[2005],p.15 参照。

市場投入スピードの軸が追加された。製品アーキテクチャの概念は、市場投入スピードと製品戦略の関係性を説明するのに適格的である。図7に示すように、製品に対する要求水準と市場投入までの所用時間との関係から、製品アーキテクチャはインテグラルかモジュラーかの選択がなされる。欧米の諸研究がモジュラー化を中心に論じたのは、その分析対象の多くがITや情報機器であるため、何より市場投入スピードを最優先させる圧力が高かったためであろう。この図からも明らかなように、モジュラー化は事前の設計によって短期間で一定水準のパフォーマンスを達成できるという利点がある。一定水準獲得後は、インターフェースの許容水準が制約となるため、インターフェース自身の設計を見直さない限り劇的なパフォーマンス向上は見込めない。対照的にインテグラル化（統合化）は、時間・資源をかければかけるほどパフォーマンスが向上していく。しかしながら、多くが構成要素間の最適設計であるため、市場投入スピードは相対的に遅くなる。

図7 投入資源・時間と絶対的パフォーマンス水準の影響



出所) 青島・武石 [2001], p.47, 図 2-4

市場投入スピードに直結する開発・生産のリードタイム短縮という概念は、過去にも議論されてきた (Womack *et al.*[1990], Clark and Fujimoto[1991])。しかしこれらの研究では、市場投入スピードが何故重視されるべきかは説明されていても、具体的にどうすればそれが達成可能なのかという点まではあまり言及されていなかった。これに対して製品アーキテクチャの議論は、製品のアーキテクチャと他のアーキテクチャとが連動することで市場投入スピードが短縮化されるメカニズムを理論的に説明したのである。

もう1点検討すべき項目は、内的・外的双方の要因から変化しうるビジネスの複合ヒエラルキーをいかに管理するかという点である。これまで議論してきた先行研究を鑑みると、ビジ

ネス・システムの複合ヒエラルキーにおける柔軟性<sup>43)</sup>は、組織能力に左右されると言えよう。藤本[2006]は、アーキテクチャと組織能力とをもの造り分析における2つの柱とみなしている。企業内外での複雑な調整を可能とする組織能力を保有してさえいれば、必ずしもモジュラー化だけに依存する必要はない。日本の自動車産業では、組織能力を研ぎ澄ますことによって人工物の複雑化をインテグラル型のままで処理することを可能にしてきた。そして、それによって競争優位を確立し、現在まで継続してきたのである。それは例えば、コンカレント・エンジニアリング (concurrent engineering) による製品開発の効率化、トヨタ生産システムに代表されるリーン生産方式の採用、特定部品の開発・生産をサプライヤーに外注し取引構造を調整するシステムの確立等である。

欧米の諸研究が一樣にモジュラー化を推奨する背景には、少なくともこういった複雑性を処理する主体のケイパビリティ (組織能力) は一定であることが暗黙の前提となっているように見受けられる。他の条件が同じならば、より優れた組織能力を有する方が、より複雑なタスクを処理することができるのは当然のことである。Simon [1969] が例示する時計職人の話<sup>44)</sup>で言うならば、もしも時計職人に 1,000 個の部品を誰よりも速く組み立てることができる (注文の電話が鳴りやむまでに組み立てられる) 能力があるならば、必ずしも複雑化への対応の解はモジュラー化だけではないということである。

もっとも、趨勢としてより一層の人工物の高度化・複雑化は不可避のため、いつまでも組み立ての腕を磨いているだけで良いというわけではない。そこには組織能力だけでなく、戦略性も問われることになる。つまり、自身の組織能力の上限を見極めることで、どこまでインテグラル型を維持し続けられるのか、どこからモジュラー型へ移行すべきか、という戦略眼である。武石らの提示した複合ヒエラルキーに示されるように、製品アーキテクチャはビジネス・システム全体に影響を与える。またその逆も然りである。ゆえに我々は、製品アーキテクチャとは、企業内外の組織を含む産業構造をも転換しうる高度な戦略的スキームとして認識しなければならない。

## (2) 製品アーキテクチャ論の課題

最後に、製品アーキテクチャ論の課題についてである。ここでは、大きく 4 点の課題を列記しておく。まず第 1 に、欧米の一部の企業が得意とするプラットフォーム・ビジネスの応用可能性についての研究の深化である。あらゆる産業の傾向としてモジュラー化が進展しつつある現在では、Gawer and Cusumano [2002] が指摘するように、ある製品が他の補完製品と

---

43) 製品アーキテクチャや他のアーキテクチャの動態性を所与とし、それらの選択・変更・適応に対しての柔軟性という意味である。

44) Simon [1996] (1st [1969]), pp.188-190 参照。



同時に使われることで価値が最大化するという状況は随所に見られるようになるだろう。相対的にインテグラル型の製品に強みを持つ日本企業の中でも、あるいは第2のインテルのような強力なプラットフォームのアーキテクトに成長する事例が見られるかもしれない。例えば、システム LSI に活路を見出そうとしている半導体産業では、扱う製品がインテルと近い点からもプラットフォーム・ビジネスと親和性が高いと考えられる。実際に、自動車産業で現在進められている標準化の取り組みでは、コンソーシアムに参画する有力半導体ベンダーが自社に有利なプラットフォームを築こうとしていることが指摘されている（徳田 [2005]）。現在進行形で進められているこの取り組みは、どのような戦略によって実行されつつあるのか、そしてそれは先行研究が示唆するプラットフォーム・ビジネスの特徴とはどのような点で相違があるのか、こういった視点から既存理論を実証的に検証することが可能である。

第2に、製品アーキテクチャの定量的評価方法の確立である。前述のように、アーキテクチャは相対評価の概念である。これまでのところ、比較的合意を得られやすい産業分野が分析対象の中心となっていたため、ある製品をインテグラルと見るか、モジュラーと見るかについて議論が混乱することは少なかった。しかし、今後更に多様な分野へと概念の応用が図られるためには、何らかの評価基準があることが望ましい。既に、大鹿・藤本 [2006] によって定量化の取り組みが試行されているが、評価基準の選定や定量的評価結果の解釈（どのような変数を用意し、どのような結果で判断するか）は今後大きな論争を呼びそうである。そして、そのような製品アーキテクチャの評価基準形成によって、製品と組織のアーキテクチャの適合性をより詳細に検証することが可能となる。製品と組織のアーキテクチャについては、多くの産業でせいぜいインテグラル型からモジュラー型への初めての移行を経験している最中に過ぎず、楠木＝チェスブロウ [2001] が主張する反復的なアーキテクチャの動態的移行を実証的に分析した研究はまだ殆ど見られない。ゆえに、実際に製品や組織のアーキテクチャが変化し、それが繰り返し見られる場合に、果たして双方のアーキテクチャの適合が普遍性を持つのかどうかは慎重な観察が必要とされる。

第3に、製品アーキテクチャと産業構造についての更なる議論である。これまでの先行研究の多くが、製品アーキテクチャがモジュラー化することで、産業構造が垂直統合型から水平分業型に移行することについて概ね賛意を示している。しかしながら、この議論について再検討を促す研究も見られる。例えば中川 [2007] は、製品アーキテクチャと直接因果関係にあるのは、「企業の境界」ではなく「組織の境界」であるとした。すなわち、Baldwin and Clark [2000] が論じたモジュラー化による垂直統合から水平分業への産業構造の転換は直接的な関係ではなく、内部組織の変化を媒介変数としているということである。このような市場、企業、産業における相互作用のメカニズムは、より詳細な分析と検証によって明らかにされていかねばならない。

そして第 4 に、近年主流となりつつある複合要素技術型製品をどのように評価すべきかという点である。半導体の性能向上と価格低下、実装技術の進歩等が相まって、今や工業製品のありとあらゆる分野で MCU の搭載が見られる。このような製品は、ハードウェアとソフトウェアの双方から複雑に制御される。ゆえに、組み込みシステムを開発する企業においては、製品アーキテクチャと組織の関係性をどのように管理すべきかが現実的な課題となっている。ソフトウェアの存在自体は決して新しいものではないが、問題はその急速な普及がもたらした、開発効率性を上回る程の規模の拡大と複雑性の増大である。製品アーキテクチャ論の枠組みは、基本的にはハードウェアを想定したものであるため、要素技術としてのソフトウェアの捉え方については未だ明確な合意が得られていない。しかしながら、組み込みシステムはもはや特殊な制御機構ではないため、これを分析するための枠組みの整備を急ぐ必要がある。そのために、既存の理論枠組みの解釈を拡張するのか、或いは理論枠組み自体に何らかの修正を加えるのかは、今後の議論の焦点となるであろう。

## お わ り に

本研究では、比較的新しい研究領域である製品アーキテクチャ論の系譜を理論・実証双方から網羅的に検討し、現状の整理と課題の抽出を行った。今後の課題については、前節で議論した通りであるが、とりわけ第 4 の課題（ハードウェアとソフトウェアという要素技術の違いをいかに評価すべきか）に注目することが必要である。ソフトウェアがハードウェアに組み込まれる現象は、過去メカトロニクスの研究でも議論されてきたが、当時のソフトウェアは現在の組み込みシステムよりも遙かに規模が小さく、あくまで統合システム・パッケージの付属物といった程度の位置づけに過ぎなかった。しかし現在、ソフトウェアが開発される規模は年々増大の一途を辿っており<sup>45)</sup>、ソフトウェア開発者の需要は逼迫している。ソフトウェア自体もまた、不十分とは言えオブジェクト指向等の手法で構造化が試みられている。

現代における組み込みシステムでは、メカトロニクス世代よりもソフトウェアは遙かに複雑化・大規模化しており、そのプレゼンスは著しく高まっている。ソフトウェアに要求される付加価値がハードウェアのそれと比較しても同等の水準まで上昇してきたことで、もはやソフトウェアを単なる付属物として評価するだけでは不十分である。このような背景が、組み込みシステムを中心とした制御機構を改めて分析する枠組みの提供を渴望しているのである。ゆえに今後の製品アーキテクチャ論においては、分析枠組みの見直しや拡張を含めた一層の研究の前進が必要である。

---

45) 現在の組み込みシステム製品では、例えばフルスペック型の携帯電話で約 1,000 万行、国産高級車で約 700 万行のコードが実装されており、これは航空機並みのソフトウェア開発規模と言われている。

## &lt;参考文献&gt;

- Abernathy, W.J. [1978], *Productivity Dilemma: Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Abernathy, W.J., and Utterback, J.M. [1978], "Patterns of Industrial Innovation," *Technology Review* 80, No.7: 2-9.
- Abernathy, W.J., Clark, K.B., and Kantrow, A.M.[1983], *Industrial Renaissance*, New York: Basic Books. (望月嘉幸監訳 [1984], 『インダストリアル・ルネサンス』TBSブリタニカ)
- Alexander, C.[1964], *Notes on the Synthesis of Forum*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press. (稲葉武司訳 [1978], 『形の合成に関するノート』鹿島出版会)
- Baldwin, C.Y., and Clark, K.B. [1997], "Managing in an age of Modularity," *Harvard Business Review* September-October 84-93.
- Baldwin, C.Y., and Clark, K.B. [2000], *Design Rules : The Power of Modularity*, Cambridge, MA : MIT Press. (安藤晴彦訳 [2004], 『デザイン・ルール』東洋経済新報社)
- Chesbrough, H.W. [2003], *Open Innovation*, Boston,MA: Harvard Business School Press. (大前恵一朗訳 [2004], 『オープン・イノベーション』産業能率大学出版部)
- Chesbrough, H.W., and Teece, D.J.[1996], "When is Virtual Virtuous?: Organizing for Innovation," *Harvard Business Review* January-February 65-73.
- Clark, K.B.[1995], "The Interaction of Design Hierarchies and Market Concepts in Technological Evolution," *Research Policy* 14 235-251.
- Clark, K.B., and Fujimoto, T.[1991], *Product Development Performance : Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Boston, MA : Harvard Business School Press. (田村明比古訳 [1993], 『製品開発力』ダイヤモンド)
- Christensen, C.M.[1997], *The innovator's Dilemma: When New Technology cause Firms to Fail*, Boston, Mass.: Harvard Business School Press. (玉田俊平太監訳 [2001], 『イノベーションのジレンマ』増補改訂版, 翔泳社)
- Daft, R.L., and Lewin, A.Y.[1993], "Where are the theories of the "new" organizational forms? An editorial essay", *Organization Science* 4 (4) i-vi.
- Eric von Hippel [1990], "Task Partitioning: An Innovation Process Variable." *Research Policy* 19 407-418.
- Fine, C.H. [1998], *Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*, MA: Perseus Books. (小幡照雄訳 [1999], 『サプライチェーン・デザイン』日経BP)
- Garud, R., and Kumaraswamy, A.[1993], "Changing Competitive Dynamics in Network Industries: An Exploration of Sun Microsystems' Open Systems Strategy," *Strategic Management Journal* 14 351-369.
- Garud, R., Kumaraswamy, A., and Langlois, R.N.[2003], *Managing in the Modular Age: Architectures, Networks, and Organizations*, Malden,Mass: Blackwell Publishing.
- Gawer, A., and Cusumano, M.A. [2002], *Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation*, Boston, Mass.: Harvard Business School Press. (小林俊男監訳 [2005], 『プラットフォーム・リーダーシップ』有斐閣)
- Hayes, R.H., and Clark, K.B. [1988], *Dynamic Manufacturing: Creating the Learning Organization*, New York: Free Press.
- Henderson, R., and Clark, K.B.[1990], "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms," *Administrative Science Quarterly* 35 9-30.
- Iansiti, M.[1993], "Real-World R&D: Jumping the Product Generation Gap," *Harvard Business Review* May-June 138-147.

- Iansiti, M.[1998], *Technology Integration*, Boston,MA: Harvard Business School Press.
- Langlois, R.N., and Robertson, P.L.[1992], " Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Component Industries," *Research Policy* 21 297-313.
- Ludwig von Bertalanffy [1968], *General System Theory : Foundations, Development, Applications*, New York. (長野敬・太田邦昌訳 [1973], 『一般システム理論』 みすず書房)
- Morgan, J.M., and Liker, J.K.[2006], *The Toyota Product Development System*, New York: Productivity Press. (稲垣公夫訳 [2007], 『トヨタ製品開発システム』 日経 BP)
- Morris, C.R., and Ferguson, C.H.[1993], " How Architecture Wins Technology Wars," *Harvard Business Review* March-April 86-96.
- Nonaka, I., and Takeuchi, H.[1995], *The Knowledge-creating Company: How Japanese Companies create the Dynamics of Innovation*, New York: Oxford University Press. (梅本勝博訳 [1996], 『知識創造企業』 東洋経済新報社)
- Porter, M.E. [1980], *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*, New York: Free Press. (土岐坤監訳 [1995], 『競争の戦略 新訂版』 ダイアモンド)
- Robertson, D., and Ulrich, K.T.[1998], " Planning for Product Platforms," *Sloan Management Review* Summer 19-31.
- Simon, H.A. [1996] (1st [1969]), " The Architecture of Complexity : Hierarchic Systems," *The Science of the Artificial*, 3rd ed., Cambridge, MA : MIT Press. (稲葉元吉・吉原英樹訳 [1990], 『システムの科学』 第 3 版, パーソナル・メディア)
- Sanchez, R. and Mahoney, J.T.[1996], "Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design," *Strategic Management Journal* 17 63-76.
- Suh, N.P. [1990], *The Principles of Design*, Oxford University Press. (畑村洋太郎訳 [1992], 『設計の原理』 朝倉書店)
- Ulrich, K.T. [1995], "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm," *Research Policy* 24 419-440.
- Ulrich, K.T., and Eppinger, S.D. [2003] (1st [1994]), *Product Design and Development*, New York : McGraw-Hill.
- Utterback, J.M. [1994], *Mastering the Dynamics of Innovation: How Companies can seize Opportunities in the face of Technology Change*, Boston, Mass.: Harvard Business School Press. (大津正和・小川進監訳 [1998], 『イノベーションダイナミクス』 有斐閣)
- Womack, J., D. Jones and D. Roos [1990], *The Machine that Changed the World*, Rawson Associates, New York. (沢田博訳 [1990], 『リーン生産方式が、世界の自動車産業をこう変える』 経済界)
- Worren, N., Moore, K., and Cardona, P.[2002], " Modularity, Strategic Flexibility, and Firm Performance: A Study of the Home Appliance Industry," *Strategic Management Journal* 23 1123-1140.
- 青木昌彦 [2002], 「産業アーキテクチャのモジュール化 ―理論的イントロダクション―」 青木昌彦・安藤晴彦編『モジュール化 ―新しい産業アーキテクチャの本質―』 東洋経済新報社
- 青島矢一 [1998], 「製品アーキテクチャーと製品開発知識の伝承」『ビジネス・レビュー』 第 46 巻第 1 号
- 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『ビジネス・アーキテクチャ ―製品・組織・プロセスの戦略的設計―』 有斐閣, 所収, pp.27-70.
- 浅羽茂 [1995], 『競争と協力の戦略 ―業界標準をめぐる企業行動―』 有斐閣
- 池田伸夫 [1997], 『情報通信革命と日本企業』 NTT 出版
- 池田伸夫 [2005], 『情報技術と組織のアーキテクチャ ―モジュール化の経済学―』 NTT 出版
- 伊藤宗彦 [2003], 「システム・アーキテクチャとイノベーション ―カーナビにおけるソフトとハードの統合―」『一橋ビジネスレビュー』 第 50 巻第 4 号

- 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 (2006 年改訂版)」『東京大学ものづくり経営研究センターディスカッションペーパー』MMRC-J-72
- 小川絃一 [2007], 「我が国エレクトロニクス産業にみるモジュラー化の進化メカニズム」『東京大学ものづくり経営研究センターディスカッションペーパー』MMRC-J-145
- 奥野正寛・瀧澤弘和・渡邊泰典 [2006], 「人工物の複雑化と製品アーキテクチャ」『東京大学ものづくり経営研究センターディスカッションペーパー』MMRC-J-81.
- 韓美京 [2002], 『製品アーキテクチャと製品開発』信山社
- 楠木建 [1997], 「システム分化の組織論—イノベーションの組織論のイノベーションに向けて—」『ビジネス・レビュー』第 45 巻第 1 号
- 楠木建 = H.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—バーチャル組織の落とし穴—」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ—製品・組織・プロセスの戦略的設計—』有斐閣, 所収, pp.263-285.
- 河野豊弘 [1987], 『新製品開発戦略』ダイヤモンド
- 国領二郎 [1995], 『オープン・ネットワーク経営—企業戦略の新潮流—』日本経済新聞社
- 国領二郎 [1999], 『オープン・アーキテクチャ戦略—ネットワーク時代の協働モデル—』ダイヤモンド
- 佐伯靖雄 [2007], 「自動車部品産業におけるハイブリッド型アーキテクチャの研究—電装部品と機械部品との製品開発比較—」『Institute of Social Systems Discussion Paper Series』07001
- 佐伯靖雄 [2008], 「製品開発組織と開発プロセス—車載用組み込みシステム開発の設計と調整—」『立命館経営学』第 46 巻第 5 号
- 榊原清則 [1995], 『日本企業の研究開発マネジメント』千倉書房
- 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—システム複雑性と分断による学習—』白桃書房
- 新宅純二郎 [2007], 「アーキテクチャのポジショニング戦略」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編『ものづくり経営学—製造業を超える生産思想—』光文社
- 新宅純二郎・小川絃一・善本哲夫 [2006], 「光ディスク産業の競争と国際的協業モデル—擦り合わせ要素のカプセル化によるモジュラー化の進展—」榊原清則・香山晋編『イノベーションと競争優位』NTT 出版, 所収, pp.82-121.
- 新宅純二郎・許斐義信・柴田高編 [2000], 『デファクト・スタンダードの本質—技術覇権競争の新展開—』有斐閣
- 末松千尋 [2005], 「モジュールとインターフェース, あるいはネットワークの効用—取引コストの視点からのモジュールの構造分析—」『経済論叢』第 175 巻第 3 号
- 徳田昭雄 [2005], 「JasPar における標準化活動—ルネサステクノロジーの取り組み—」『立命館経営学』第 44 巻第 3 号
- 延岡健太郎 [2006], 『MOT 入門』日本経済新聞社
- 延岡健太郎・上野正樹 [2005], 「中国企業の情報家電における競争力—モジュラー型製品開発における組み合わせ能力の限界—」『国民経済雑誌』第 191 巻第 4 号
- 武石彰・青島矢一 [2007], 「部品としての製品—製造業におけるアーキテクチャの革新—」『組織科学』Vol.40, No.4.
- 武石彰・藤本隆宏・具承桓 [2001], 「自動車産業におけるモジュール化—製品・生産・調達システムの複合ヒエラルキー—」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ—製品・組織・プロセスの戦略的設計—』有斐閣, 所収, pp.101-120.
- 徳田昭雄・佐伯靖雄 [2007], 「自動車のエレクトロニクス化 (1) (2) (3)—車載電子制御システム市場の分析—」『立命館経営学』第 46 巻第 2 号, 第 3 号, 第 4 号
- 中川功一 [2007], 「事業範囲とコーディネーション範囲—製品アーキテクチャと組織の適合関係仮説の再検討—」『東京大学ものづくり経営研究センターディスカッションペーパー』MMRC-J-150
- 野口祐 [1990], 『ソフトウェアの経営学』森山書店

- 朴泰勲 [2005], 「製品アーキテクチャの戦略的マネジメント ―システム LSI の開発におけるプラットフォーム戦略―」『経営経済』第 41 号
- 福澤光啓・立本博文・新宅純二郎 [2006], 「ファームウェア・アーキテクチャの揺れ動きとその要因 ―デジタル複合機の事例―」『東京大学ものづくり経営研究センターディスカッションペーパー』MMRC-J-89
- 藤本隆宏 [1998], 「アーキテクチャー：競争力確保の重要要素に」『日本経済新聞』[経済教室]1998 年 3 月 23 日.
- 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『ビジネス・アーキテクチャー―製品・組織・プロセスの戦略的設計―』有斐閣, 所収, pp.3-26.
- 藤本隆宏 [2002], 「製品アーキテクチャの概念・測定・戦略に関するノート」『RIETI Discussion Paper Series』02-J-008
- 藤本隆宏 [2003a], 「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』Vol.36, No.4
- 藤本隆宏 [2003b], 『能力構築競争』中央公論新社
- 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], 「アーキテクチャ思想で中国製造業を考える」藤本隆宏・新宅純二郎編『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 [2006], 「自動車の設計思想と製品開発能力」『東京大学ものづくり経営研究センターディスカッションペーパー』MMRC-J-74
- 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―」『RIETI Discussion Paper Series』07-J-047
- 藤本隆宏・武石彰・青島矢一編 [2001], 『ビジネス・アーキテクチャー―製品・組織・プロセスの戦略的設計―』有斐閣
- 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編 [2007], 『ものづくり経営学 ―製造業を超える生産思想―』光文社
- 藤本隆宏・安本雅典編 [2000], 『成功する製品開発 ―産業間比較の視点―』有斐閣
- マイケル・A. クスマノ著, サイコムインターナショナル訳 [2004], 『ソフトウェア企業の競争戦略』ダイヤモンド
- 善本哲夫 [2003], 「基幹部品のアーキテクチャ特性と取引の実態 ―ルームエアコン事業とコンプレッサ事業の事例―」『同志社大学ワールドワイドビジネスレビュー』第 4 巻第 2 号