

なにがビジネス・アーキテクチャの方向を決めるのか

—— 液晶、半導体、太陽電池の比較研究から ——

立命館アジア太平洋大学
アジア太平洋イノベーション・マネジメント・センター センター長
大学院経営管理研究科、アジア太平洋マネジメント学部 教授

中田 行彦

キーワード ● アーキテクチャ / モジュール / 擦り合せ / 液晶 / 太陽電池

1 はじめに

「世界はフラットだ」と、Friedman (2005) は言った。グローバル化の中で、知識、技術も移動しやすくなってきた。インターネットの普及、仕事のアウトソーシング、そして海外へ仕事を移すオフショアリング等により、企業は世界から材料、部品、製品、技術を手に入れるようになり、また最もコストの安い場所で生産することが出来るようになった。このように情報技術 (IT) の革新とグローバル化の進展は、企業組織間の関係、企業のグローバルネットワーク等と共に、産業アーキテクチャの複雑性を増大し、大きな影響を及ぼしている。

この複雑性を解きほぐす概念として、モジュール化が提案され研究されている。Baldwin と Clark (2000) は、コンピュータ産業の分析から複雑なシステムを単純化するための概念として、他のユニットとの相互依存性を減少させた「モジュール」の概念の重要性を述べた。モジュール化は、現在の複雑性を単純化する方法として、多くの長所を持っている。しかし、藤本隆宏 (2004) は、逆に他のユニットとの相互依存性を維持した「擦り合せ型」の概念を用いて、日本に適するアー

キテクチャとして、サブシステム中の調整を必要とする「擦り合せ型」を指摘した。このため、なにが「モジュール型」か、「擦り合せ型」かの産業のビジネス・アーキテクチャの方向を決めるのかという問題意識をもった。

青島弥一と武石彰 (藤本隆宏・武石彰・青島弥一 2001) は、「モジュール型」と「擦り合せ型」のどちらが優位になるかは、投入することができる時間・投入資源、市場の要求パフォーマンス水準およびシステムの複雑性で決まってくるとの概念を図表で示した。また、柴田友厚 (2008) は、「モジュール型」と「擦り合せ型」を往還しながら、技術体系をスパイラルアップしていくと述べている。しかし、ビジネス・アーキテクチャの牽引要因を、実際の事例について定量的な視点からアプローチした研究はなかった。

このため、本論文の目的は、産業のビジネス・アーキテクチャの牽引要因について、事例を用いて、定量的な視点からアプローチすることである。具体的には、現在の先端技術を活用し、かつ技術の類似性があり、ビジネスとしてもシナジー効果がある、液晶、半導体、太陽電池の3つの産業を事例とし、ビジネス・アーキテクチャの視点から、産業アーキテクチャの牽引要因を比較研究した。

2 先行研究レビュー

2.1 アーキテクチャに関する先行研究

(1) モジュール化に関する先行研究

複雑性を解きほぐすモジュール化に関する先行研究から述べる。

Ulrich (1995) は、製品アーキテクチャの分類として、モジュール・アーキテクチャ（モジュール型）とインテグラル・アーキテクチャ（擦り合せ型）に分類した。モジュール型は、「機能体系のなかで機能要素と一対一対応しているもの」、擦り合せ型は、「機能要素が一対一対応でなく複雑な対応をもっているもの」と定義した。つまり機能により定義している。

Baldwin と Clark (2000) は、コンピュータ産業の分析から複雑なシステムを単純化するための概念として「モジュール」の概念の重要性を述べた。彼らは次のように定義している。「モジュールとは、その内部では構造的要素が強く結びつき、他のユニットの要素と比較的弱く結びついている、ひとつの単位である。その結びつきには明らかに程度の差があり、したがって、モジュール化には濃淡がある。」これを言い換えると、モジュールとは構造的に互いに独立しているが一緒になって働く大きなシステム中の単位である、という。この定義は、Ulrich (1995) の機能による定義ではなく、構造の関係性に基づいている。また、「他のユニットの要素との相互依存性を減少させ、分離するための可視化された特権的パラメータを、デザイン・ルール（可視化設計パラメータ）」と呼んでいる。逆にモジュール内の設計情報は「隠された情報」となり可視化されないと述べている。そして、モジュール化の特長は、次の3つの基礎的なことを行っていると挙げている。1) モジュール化は「管理可能な」複雑性の範囲を増大する。それは、要素またはタスク間の相互作用の範囲を限定し、設計または製造プロセスで生じる循環の量と範囲を減らすことで行われる。2) モジュール化は、大規模設計において異なる部分が同時に作業することを可能にする。3) モジュール化は不確実性に適応する。これらのうちひとつでも望ましいとなれば、設計者はモジュール化の程度を拡大

する方向に踏み出そうとすると述べている。つまり、上記の3つの特長は、モジュール化へ牽引する要因となりうる。

先に述べたように、モジュール化は大きなメリットを持っている。しかし、モジュール化へ牽引するのが望ましい条件がある。柳川範之（青木昌彦・安藤晴彦 2002）は、モジュール化が望ましい条件として、事後調整コストが大きく技術の標準化によるロスが小さい場合を挙げている。また、大久保宣夫（青木昌彦・安藤晴彦 2002）は、モジュール化の留意点として、技術がブラックボックス化することで、品質や原価をうまく維持・管理できなくなる懸念を指摘している。

(2) 擦り合せ型ビジネス・アーキテクチャに関する先行研究

藤本隆宏、武石彰、青島弥一（2001）は、アーキテクチャの定義として「分け方とつなぎ方」に着目し、「ある人工物システムをうまく機能させるために、それをどんな構成要素に切り分け、それぞれの構成要素にどんな機能を振り分け、構成要素間の相互依存関係が生じるインターフェース部分（つなぎの部分）をどう設計するか、ということに関する基本的な構想」とし、ビジネスにも適用範囲を広げたビジネス・アーキテクチャという定義を用いている。このビジネス・アーキテクチャは、製品アーキテクチャ、工程（生産）アーキテクチャ、流通・サービス・アーキテクチャとそれらの相互関係によって規定される。

また、藤本隆宏（2004）は、モジュール化と反対の概念として、構成要素間の相互依存を維持する「擦り合せ型」のビジネス・アーキテクチャを提案した。そして、「モジュール型」と「擦り合せ型」の基本区分に加えて、「オープン」と「クローズド」の区分を設け、マトリックスで分類している。「モジュール型」でも、インターフェース部分（つなぎの部分）を外部にもオープンにしているものと、社内または関係組織内だけにしか通用しないクローズにしているものがある。そして「擦り合せ型」には、相互依存が社内または関係組織内で閉じてオープンになっていないため、「クローズド・擦り合せ型」しかないとしている。そして、日本

に適するアーキテクチャとして、サブシステム中に相互依存を維持し調整を必要とする「擦り合せ型」を挙げている。

(3) モジュール型と擦り合せ型への牽引要因と推移に関する先行研究

青島弥一と武石彰（藤本隆宏・武石彰・青島弥一 2001）は、「モジュール型」と「擦り合せ型」は、各々メリットとデメリットがあると指摘している。このためアーキテクチャは時代と共にダイナミックに変化している。これは「モジュール型」と「擦り合せ型」とが相対的にどちらが優位であるかは、時代とともに変化するからである。このアーキテクチャの変化を即す要因の概念を、図表を用いて理論的に説明した。投入することができる時間・投入資源に依存し、これが限られている場合は、モジュール型が優位な戦略となる。一方、与えられた時間・投入資源が大きいと、「擦り合せ型」が優位な戦略になる。市場で要求される絶対的パフォーマンスが非常に高いと、インターフェースの固定化のため「モジュール型」では達成できず、「擦り合せ型」に向かわざるを得なくなる。一方、システムが複雑になると、処理すべき相互作用の数が増えるため、システムのパフォーマンスを向上させるために要する時間と資源が従来以上に必要になり、「モジュール型」の優位性が高くなる。また、システムの範囲、レベルによって、「モジュール型」と「擦り合せ型」が同時進行することがある。そして「擦り合せ型の戦略とは、要素間の複雑な相互依存関係を積極的に許容して、相互依存関係を自由に解放して継続的な相互依存関係にゆだねようとする動きである。」と定義している。

また、柴田友厚（2008）は、製品アーキテクチャは次第にモジュール化する、だがモジュール化とは終着点ではなく、モジュール製品固有の論理を持っており、その論理に従って更なる革新をダイナミックに遂げていくと述べている。つまり「モジュール型」と「擦り合せ型」を往還しながら、技術体系をスパイラルアップしていく産業進化過程があり、モジュール・ダイナミクスと名付けている。

3 本論文の分析視角

3.1 仮説の設定

先行研究のレビューで述べた様に、複雑性を解きほぐす概念として「モジュール化」が提案され、多くの分析に応用されている。しかし、逆に他のユニットとの相互依存性を維持した「擦り合せ型」が、日本に適しているとの論議がある。このため、産業のビジネス・アーキテクチャの方向が、「モジュール型」か、「擦り合せ型」かを定める牽引要因を、実際の事例について定量的な視点から分析した。

本報告において、「モジュール型」の定義はBaldwinとClark（2000）の基本概念を、「擦り合せ型」の定義は青島弥一と武石彰（藤本隆宏・武石彰・青島弥一 2001）のビジネス・アーキテクチャの広い概念を採用する。分析する産業としては、現在の先端技術を活用しかつ技術の類似性があり、ビジネスとしてもシナジー効果がある液晶、半導体、太陽電池の3つの産業を選定し、比較研究した。事例仮説検証型のアプローチを取り、以下の2つの仮説を設定する。

複雑性：

仮説 1a 「複雑性を表すプロセス日数が長い産業ほど、モジュール型の程度を拡大する方向に動く。」

仮説 1b 「プロセス日数が短い産業ほど、擦り合せ型の程度を拡大する方向に動く。」

液晶、半導体、太陽電池等の精密加工を要する製品の複雑性は、部品点数では表すことができず、プロセス数またはプロセス日数で表わせる。この仮説は、プロセス日数を精密加工製品の複雑性の代理指標と捉えると、プロセス日数が製品を生産する産業のビジネス・アーキテクチャの方向を決めると考えられるからである。

競争戦略：

仮説 2a 「設計パラメータが差異化要因と関連せずモジュール内に保持されれば、デザイン・ルールとして可視化され、モジュー

ル型の程度を拡大する方向に動く。」

仮説 2b 「設計パラメータが差異化要因と関連していれば、デザイン・ルールとして可視化されずに「隠された情報」となり、擦り合せ型の程度を拡大する方向に動く。」

この仮説は、企業の競争戦略の差異化要因が、可視化されるデザイン・ルールと関連した場合、可視化してオープンにすべきか、「隠された情報」として保持すべきか、ビジネス・アーキテクチャの方向が決まると考えられるからである。

3. 2 分析方法

本研究における分析方法を、先に述べた2つ仮説との関係と共に図1に示す。産業のビジネス・アーキテクチャを「モジュール型」か、「擦り合せ型」かの方向に導く牽引要因を、事例仮説検証型のアプローチで検討した。液晶、半導体、太陽電池の産業の事例を、プロセス日数を代理指標とする複雑性の視点からの仮説1と、競争戦略の視点からの仮説2を検証することにより、ビジネス・アーキテクチャの変化を即す牽引要因を明らかにすることを目的に分析した。

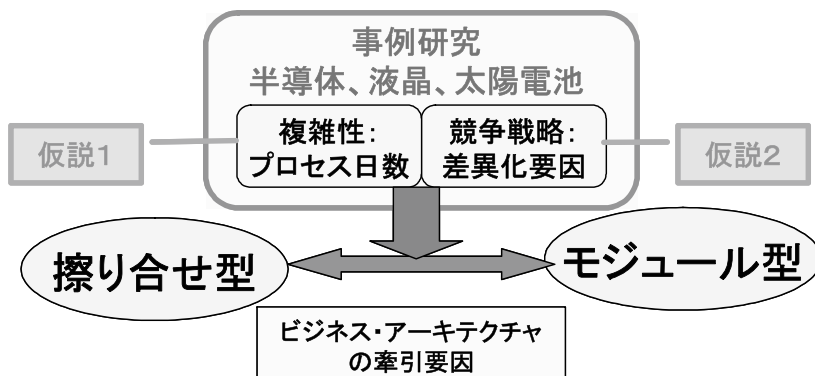
4 要求仕様とビジネス・アーキテクチャ

4. 1 半導体、液晶、太陽電池の要求仕様

半導体、液晶、太陽電池は、プロセス、装置等の共通要素技術に多くの類似性がある。しかし、これらの間には多くの違いが存在する。これらの半導体、液晶、太陽電池の要求仕様の比較を表1に示す（中田行彦 2007 から太陽電池を追加、改訂）。

半導体の場合には、300mm 直径の単結晶シリコンウェハが用いられる。素子サイズは、DRAM (Dynamic Random Access Memory) チップの例では約5mm × 5mmである。しかし、液晶の場合は、最新の生産工場では、2160mm × 2460mm の第8世代とよばれるガラス基板が使われている。これは300mm 直径のシリコンウェハの75倍である。また、ガラス基板から取れる液晶パネルの1つの素子サイズは、現在市場に投入されているテレビに用いられている42インチ液晶パネルである。これは、DRAM チップの約2万倍の面積を持っている。これら基板サイズと素子サイズの相違の原因について、以下に述べる。半導体の場合、情報を処理する機能が価値を持っており、素子サイズは直接的には価値を持っていない。設計ルールを「微細化」することにより、素子サイズを小さくでき、機能も向上でき、コストも下げられる。これに対して、液晶の場合には、ディ

図1 本研究の仮説と分析方法



(出所) 著者作成。

スプレイであるため大きな画像ほど価値を持っており、液晶パネルのサイズ自体が価値を持っている。このため、液晶の基板サイズと素子サイズは、半導体に比較し、各々75倍と約2万倍である。

太陽電池については、結晶型の代表として多結晶シリコン太陽電池と、薄膜型の代表としてアモルファス太陽電池を取り上げる。現在市場で主流である多結晶シリコン太陽電池は、多結晶シリコン材料を鋳造して、多結晶シリコンインゴットとし、これをワイヤー・ソーにより多結晶シリコンウェハに薄く切り出す。このため、太陽電池用多結晶シリコンウェハは約155mmの角型である。このウェハにp/n接合を形成してダイオードとし、電極印刷と反射防止膜を形成するだけで太陽電池セルが出来上がる。また、アモルファス太陽電池の場合は、ガラス基板上にアモルファスシリコンのpinの3層を積層してダイオードを形成し、これをレーザー等でセルに分離し、各セルをガラス基板上で直列接続して集積する方法で生産される。

4. 2 半導体、液晶の工程、製品アーキテクチャ

半導体と液晶の工程、製品アーキテクチャを、まとめて図2に示す。

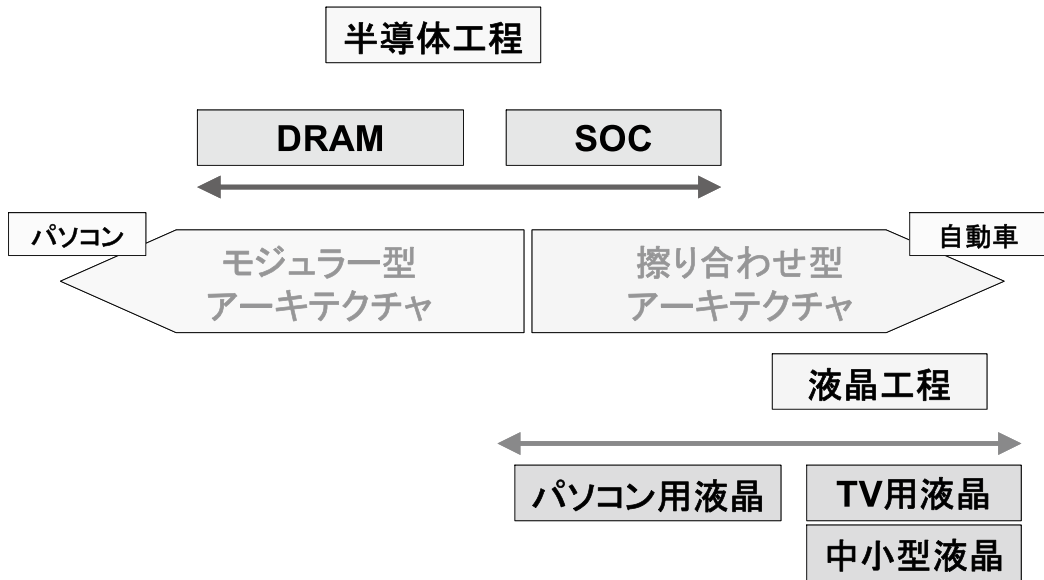
半導体は、最も重要な設計パラメータであるシリコンウェハのサイズを、標準化してデザイン・ルールとしている。このデザイン・ルールを持っているために、複雑性を減少でき、これに対応した種々のプロセスの「標準装置」が生産されている。このため、半導体工場は、モジュール化された各種の「標準装置」をレイアウトすることにより、プロセスを構築できる。各プロセス間の調整が大幅に軽減されている。Semiconductor Equipment and Materials Institute (SEMI) は、半導体等の他関連技術の製造装置・材料・関連サービスを提供している企業の国際的な工業会であり、半導体等の装置・材料に関する国際標準を開発・普及を行っている。この活動は、複雑性を減少させるため、グローバルなコンセンサスを得たデザイ

表1 半導体、液晶、太陽電池の特性比較

	半導体	液晶	太陽電池	
			多結晶	アモルファス
基板 材料 寸法 面積	Siウェハ 300mΦ 706cm ²	ガラス 2160mm x 2460mm 53136cm ² (第8世代)	Siウェハ 140mm x 140mm 190cm ²	ガラス 1400mm X 80mm 11200cm ² (集積型)
素子 応用製品 寸法 面積	DRAM 5mm x 5mm 0.25cm ²	液晶テレビ 930mm x 530mm (42インチ:対角線) 4864 cm ²	セル 155mm x 155mm 240cm ²	集積型セル 1400mm X 80mm 11200cm ²
モジュール 面積 最大出力 モジュール 変換効率	1cm ² --- ---	7117cm ² --- ---	11000cm ² 130~150W 13.5%	11200cm ² 85W 7.5%
素子耕造	多数トランジスタ & 積層配線	薄膜トランジスタ & 単層配線	ダイオード	PIN構造
プロセス日数	非常に長い 30日-60日	長い 4-7日	短い 約1日	短い 約1日
単位面積価値 (円/cm ²)	1400 (PC用DRAM)	27 (17インチ)	6 (モジュール)	5 (モジュール)
単位面積価格比	233	4.5	1	0.8

(出所) 著者作成。

図2 半導体と液晶の工程、製品アーキテクチャ



(出所) 著者作成。

ン・ルールを作成する活動である。また、国際的な半導体技術ロードマップ専門委員会が、国際半導体技術ロードマップ (International Technology Roadmap for Semiconductor : ITRS) を毎年作成し公開しており、技術方向の世界的なコンセンサスを得る活動もなされている。また、半導体プロセスも標準化され、標準化された設計ルールがオープンになっている場合がある。半導体産業では、このデザイン・ルールによる「標準装置」等により、設計、半導体プロセス、検査、実装と分業が可能である。半導体設計会社が行った設計を基に、半導体プロセスのみを依頼されて半導体チップにするファウンドリというビジネスが成り立っている。また、Intellectual Property (IP) として、半導体設計の一部がモジュール化され、IP が繰り返し用いられると共に、外部販売もされる。

これらのことから半導体工程のアーキテクチャは、図2に示したように、「モジュール型」工程といえる。また、工程アーキテクチャが主として産業アーキテクチャを規定すると考えられるため、半導体の産業アーキテクチャは「モジュール型」といえる。半導体製品のアーキテクチャでは、デジタル回路を組み合わせる例えば SoC (System On

Chip) はモジュール型製品であるが、DRAM はアナログ部分があり擦り合わせ型製品である。

液晶の場合は、半導体と異なり、最も重要な設計パラメータであるガラス基板サイズが標準化されておらず「標準装置」は無い。つまり、複雑性が維持されたままである。また国際的なコンセンサスの得られた「技術ロードマップ」も無い。このため、もちろんファウンドリや、IP の概念は無い。これらのことより、液晶工程のアーキテクチャは、図2に示したように、「擦り合わせ型」工程といえる。また先にも述べた様に、工程アーキテクチャが主として産業アーキテクチャを規定すると考えられるため、液晶産業のアーキテクチャは、「擦り合わせ型」といえる。

液晶製品は、テレビ (TV) 用液晶パネル、パソコン用液晶パネル、中・小型液晶パネルに分けられる。液晶製品のアーキテクチャは、パソコン用液晶パネルは、まさにノートパソコン用に「モジュール化」されており、「コモディティ化」している。パソコンメーカーは、多数の会社から購買することにより、同じ品質のパネルを低価格で供給することを求める。これに対し TV 用液晶パネルは、青島弥一・武石彰 (藤本隆宏・武石彰・青

島弥一 2001) が指摘しているように、高画質という高パフォーマンスが要求され長期にわたる研究開発と多額の設備投資を必要とするため、「擦り合せ型」のビジネス・アーキテクチャが適している。また、中・小型液晶パネルは携帯用等に用いられ、携帯電話メーカー等と擦り合わせが必要な製品である。

太陽電池の場合、プロセス日数が非常に短かく、半導体のように分業する必要は無い。また、このため他と比較し、全体が1つのモジュールと考えると理解しやすい。つまり、Baldwin と Clark (2000) の定義による1つのモジュールは、その内部では構造的要素が強く結びついているが、他のユニットの要素と比較的弱く結びついていると考えられる。

5 ビジネス・アーキテクチャの牽引要因

半導体と液晶、太陽電池の工程、製品、産業アーキテクチャについて述べてきた。次に、なにが「モジュール型」か、「擦り合せ型」かの産業アーキテクチャの方向を決めるのかという問題意識に対して、複雑性と競争戦略の2つの視点から研究した。

5.1 複雑性とビジネス・アーキテクチャ

(1) プロセス日数とビジネス・アーキテクチャ

モジュール化の目的は、複雑なシステムをモジュールに分割して単純化し、複雑性を管理可能にすることにある。

Baldwin と Clark (2000) は、複雑性を分析するのに、設計パラメータ間の階層的な関係性と相互依存性を分析できる設計構造行列と呼ばれる手法を用いた。この手法は、Donald V. Steward (1981) が発明し、Steven D. Eppinger (1991)、ステイーブン D. エッピング (2003) が拡張し改良したものである。この設計構造行列は、設計パラメータの階層的な関係性と相互依存性を示す行列から、特定のパラメータを選択してデザイン・ルールとして相互依存性を減少させて、モジュール化する方向性と効果を明確にできるもの

で、モジュール化を推し進めるのに強力な手法である。しかしながら、設計パラメータの階層的な関係性と相互依存性という詳細な情報を持っていないと設計構造行列を作成できず、活用範囲が限定される問題がある。

また、複雑性の代理指標として、部品点数が論じられている。部品点数が増えると、それらの相互依存性が増大し、複雑になるとの考え方である。数万点以上の部品で構成される製品は、部品間の高度な設計上の擦り合せが必要な擦り合せ型製品であり、モジュール化が難しく日本が強いといわれている (藤本隆宏・新宅純二郎 2005)。1000～4000点ぐらいの部品でできた製品は、モジュール化の進展により部品点数が減少し、日本に適さないと論じられている (藤本隆宏・新宅純二郎 2005)。このように複雑性の代理指標として、部品点数で表現できる場合は良いが、精密加工製品の場合は、部品点数が複雑性の代理指標とはならない。

精密加工製品の場合、プロセス工程数またはプロセス日数が複雑性の代理指標と捉えられる。しかし、プロセス工程数は内部の工程を良く知らないとは判らないし、企業機密として隠されている。このため、精密加工製品の複雑性の代理指標として、外部からも情報が入手し易いプロセス日数を取り上げ、プロセス日数とその製品を生産する産業のビジネス・アーキテクチャの関係を分析した。

各産業のコアになる部分を生産するプロセス日数と単位面積価値の関係を、表1を基にして図3に示す。もちろんシステムに組む等の下流まで含めるとプロセス日数は長くなるが、産業アーキテクチャを分析するため、コアとなる素子部分のプロセス日数を評価に用いた。プロセス日数がかかるほど、単位面積価値がほぼ直線的に増加する関係が認められる。言い換えれば、単位日数当たりの付加価値がおおよそ同じであることを意味している。

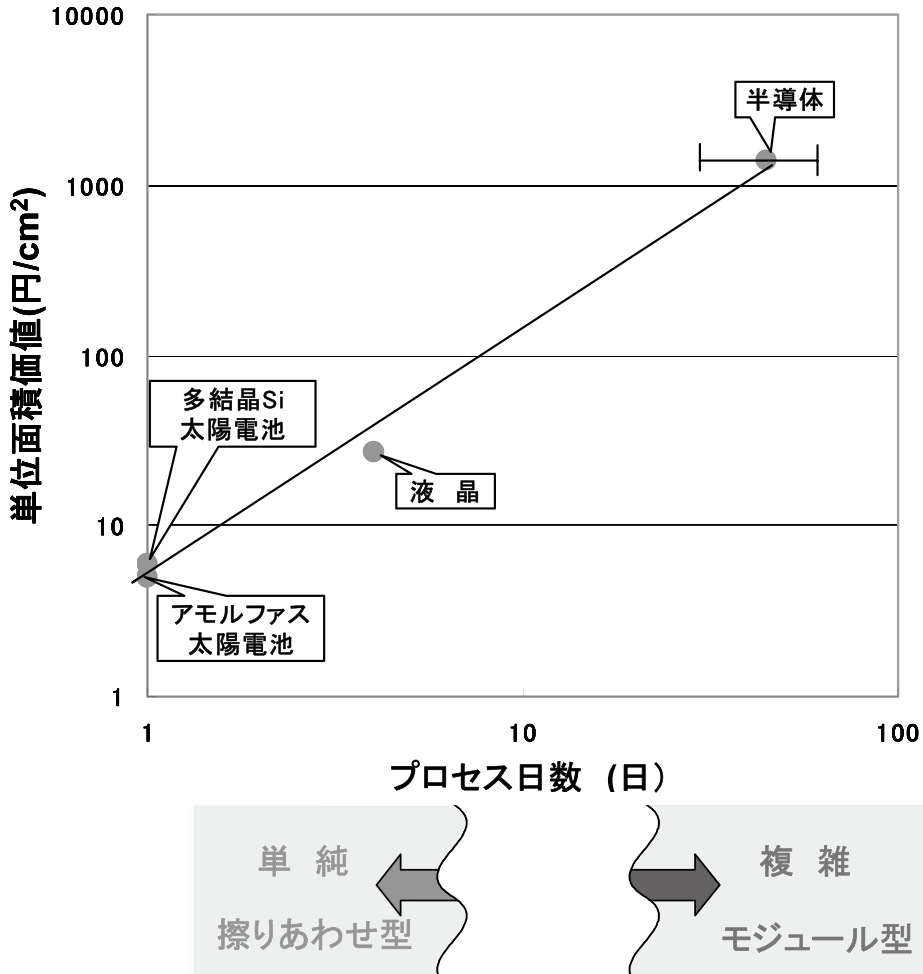
また、プロセス日数が30～60日と長い半導体産業は、この複雑性を単純化したいという企業のニーズが高い。プロセス日数が長く複雑な場合は、多数の相互依存関係とトラブルを、長い時間と多大の資源を用いて解消しなければならない。

モジュール化した場合は、長期に渡るプロセスをモジュールに分離し、アウトソーシング、つまり分業することが可能となる。重要なコアとなる部分に設備と人員を集中でき、投資効率の向上と人材育成を進めることができる。そして、モジュール化してデザイン・ルールが可視化されることにより、他の周辺部分はアウトソーシングでき、コストダウンに寄与することになる。また、一部の装置でトラブルが発生しても、同じ機能をもつモジュールに交換できる、つまり他の同じ装置でプロセスを実行でき、リスクを軽減できる。このほか、デザイン・ルールの可視化により、企業内外との

情報交換が容易になり、プロセスの維持・管理が容易である。

部品点数が多いとモジュール化が難しいと先へのべたが、この単純化への難しさとニーズはトレードオフの関係にある。しかし、半導体産業はシリコンウェハのサイズを標準化してデザイン・ルールとすることにより複雑性を解消して、モジュール型のビジネス・アーキテクチャを取っている。つまり、複雑性を表すプロセス日数が長い程、モジュール型を取ろうとする企業ニーズが強く、モジュール型の程度が拡大する方向に動くことを、事例で定量的に示すことができた。

図3 プロセス日数と単位付加価値およびビジネス・アーキテクチャの関係



(出所) 著者作成。

また、プロセス日数が4～7日の液晶は、このプロセスをモジュール化しなくても実施することが可能な範囲である。このため、工程をモジュール化するニーズが、半導体よりも低い。次節で述べるように、差異化戦略と技術流出防止を優先して、競争戦略により擦り合わせ型を取る方向に動くといえる。

太陽電池の場合、太陽電池を作成する中心部分のプロセス日数は、約1日と非常に短い。このため、液晶よりも更に工程をモジュール化するニーズが低い。先にも述べた様に、BaldwinとClark(2000)の定義による1つのモジュールできていると考えると理解し易い。

(2) まとめ：仮説1の検証と発見事項

以上の結果より、半導体産業を事例として、仮説1a「複雑性を表すプロセス日数が長い産業ほど、モジュール型の程度を拡大する方向に動く。」を検証できた。また、液晶産業を事例として、仮説1b「プロセス日数が短い産業ほど、擦り合わせ型の程度を拡大する方向に動く。」は検証することができたと考える。さらに、この半導体、液晶および太陽電池の事例から、産業アーキテクチャを「モジュール型」の方向か、「擦り合わせ型」の方向へ動くかのプロセス日数の境界が、1～3週間の間にあることを見出した。つまり、プロセス日数は、外部から情報が入手し易い簡便な複雑性の代理指標であるが、このプロセス日数で、産業アーキテクチャの牽引要因を理解できることを見出したといえる。

5.2 競争戦略とビジネス・アーキテクチャ

時間と資源を削減しようとする企業ニーズに基づき、プロセス日数がビジネス・アーキテクチャの1つの牽引要因になっていると述べた。しかし、デザイン・ルールは可視化された設計パラメータであるが、モジュール内の設計情報は「隠された情報」となり競争戦略の差異化要因になりえる。どの設計パラメータをデザイン・ルールにし、モジュール内に何を「隠された情報」として差異化要因を保持するかは、競争戦略にかかわることである。このため、競争戦略の視点から、ビジネス・

アーキテクチャの牽引要因を検討した。

(1) 半導体産業の競争戦略とビジネス・アーキテクチャ

1) 半導体産業の競争戦略 - 微細化

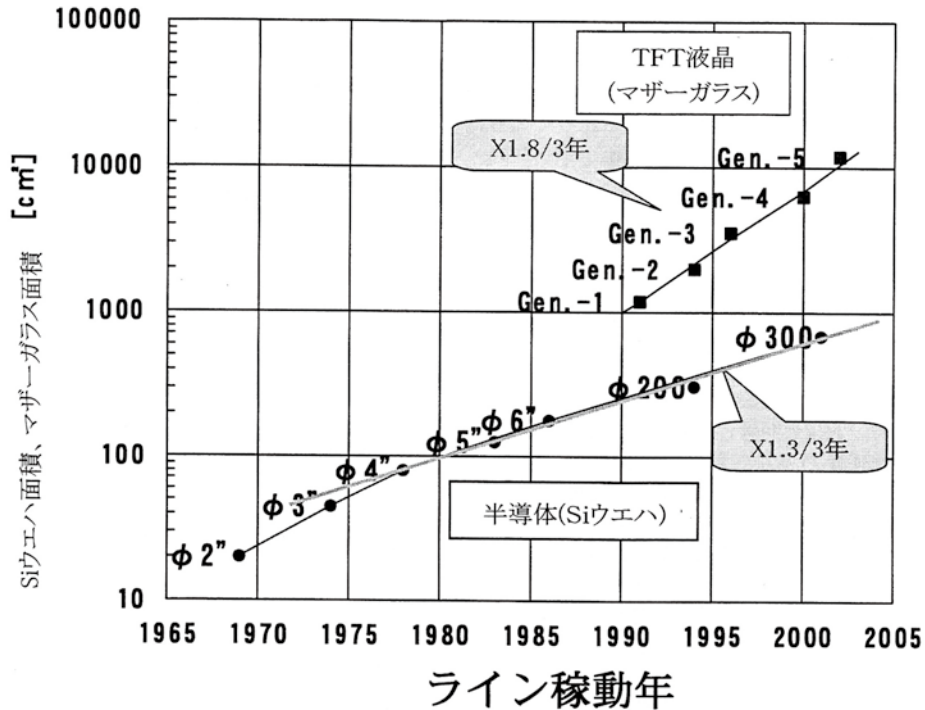
半導体の場合、先にも述べた様に、情報を処理する機能が価値を持っており、シリコンウェハから取り出す素子のサイズは直接的には価値を持っていない。つまり、素子サイズを「微細化」することにより、シリコンウェハから多数の素子を取り出せるので1つの素子のコストが下げられると共に、素子の処理速度も速くなり機能も向上できる。差異化の視点でみると、シリコンウェハのサイズをデザイン・ルールとし標準化して複雑性を減少しても、そのモジュールであるシリコンウェハ内に、差異化要因である「微細化」を「隠された情報」として保持しながら、素子を作製することが可能になる。このため、半導体産業は積極的にシリコンウェハのサイズをデザイン・ルールとして受け入れる。この「微細化」の速度は、「ムーアの法則」として、「1つの半導体チップにのるトランジスタの数は、18ヶ月で2倍になる。」という法則が広く知られている。これは、1960年代にインテルのムーア氏が提唱したもので、現在までの半導体の技術および産業のガイドラインとなっている。このように「微細化」が競争戦略の重要なポイントである。

2) シリコンウェハサイズの推移

先に述べた様に、半導体ではシリコンウェハ、液晶ではガラスの基板サイズは、最も重要な設計パラメータであり、その面積の推移を図4に示す(SEMI 2002)。

半導体のシリコンウェハは、1980年代初めの4インチから20年かけて現在の300mmまで大きくなり、面積比で7倍になった。その拡大速度は、「3年間で1.3倍」であった。これは、液晶のガラス基板サイズの拡大速度「3年で1.8倍」よりも遅い。また、新しい基板サイズと、これに対応した次の世代の生産装置が投入される期間をみると、半導体では、6インチφから200mmφの間が8年、200mmφから300mmφの間が7年である。この

図4 シリコンウェア面積、液晶用マザーガラス面積の推移



(出所) SEMI 2002。

期間も、液晶と比較して2倍以上長い。

3) まとめ：仮説 2a の検証

この半導体の基板サイズの拡大速度が液晶より遅い結果は、競争戦略として差異化要因である「微細化」をモジュール内に保持することができるため、シリコンウエハのサイズをデザイン・ルールとして受け入れ易く、差別化要因でないため拡大を急ぐ必要が少ないことを示している。

したがって、半導体産業を事例として、仮説 2a 「設計パラメータが差異化要因と関連せずモジュール内に保持されれば、デザイン・ルールとして可視化され、モジュール型の程度を拡大する方向に動く。」は検証することができたと考える。

(2) 液晶産業の競争戦略とビジネス・アーキテクチャ

1) 液晶産業の競争戦略 - ガラス基板の大型化

1枚のガラス基板から、数枚の液晶パネルを取る。膜厚の不均一があり、かつ基板のハンドリング時に触るガラス基板の周辺と、各液晶画面の周辺にあるドライバー等の取り付けに用いる額縁と呼ばれる部分が使用できない。それ以外が有効な液晶表示画面となるため、大きなガラス基板を用いて、他社よりも大きな液晶パネルを得て競争力を高めようとする。つまり、液晶の場合、映像を表示する機能が価値を持っており、ガラス基板のサイズは、取り出せる液晶パネルサイズと直接的関連しており、価値を持っている。また、逆に液晶パネルサイズを同じにしてガラス基板を大型化すると、1枚のガラス基板から取れる液晶パネルの枚数(面取り数)が増加し、生産性が向上する。つまり、1枚のガラス基板を同じプロセスを通して、大きなガラス基板からは多くの液晶パネルが取れるため、生産性が向上すると言える。一方、面取り数を増加させた場合、ガラス基板に1箇所不良要因が発生しても、その1枚の液晶パネルは

不良になるが、残りの液晶パネルは良品となり、歩留まり向上が期待できる。そして、例えば、ガラス基板面積を2倍にしても、生産工程に用いる材料（フォトレジスト、半導体ガス等）は2倍以下の量ですむ。つまり、単位面積当りの材料の使用量を減少でき、材料費のコストダウンが図れる。

このため、液晶産業において最も基本となる競争原理は「ガラス基板の大型化」であり、1) 液晶パネルの大型化、2) 生産性向上、3) 歩留まり向上、4) コストダウンと多方面に大きな効果をもたらす。

液晶パネルメーカーは、少しでも他社より大きい液晶パネルをとり、他社との差異化を図ろうとし、また面取り数を多くし生産性を向上しようと、「ガラス基板の大型化」を競争原理とする。

液晶のガラス基板面積の拡大速度は、図4に示したように、「3年で18倍」と早いと共に、次の世代のガラス基板サイズを投入する間隔は3年以下であり、半導体の半分以下である。このため、装置・部材メーカーは、短期間に、また液晶パネルメーカー毎にカスタマイズした生産装置または部材を研究開発する必要があった。このように製品のライフサイクルが短いため、研究開発費の回収も厳しい状況にある。このため、装置・部材メーカーから、液晶に用いるガラス基板サイズの標準化の要望が上げられてきた。しかし、装置・部材メーカー間の激しい競争から、液晶パネルメーカーの要求を受け入れてガラス基板サイズを決定してきた。また、液晶メーカーも、「標準装置」が無い場合、装置・部材メーカーの協力を得ないと、工場の設計、装置の導入・設置、部材供給ができない。つまり、関連企業全体の相互依存性があり「擦り合せ型」といえるため、この循環を関連企業全体が連携して解消していく形を取らざるを得ない。その1つ活動として、「ガラス基板の大型化」という競争原理の中で、液晶メーカーおよび装置・部材メーカーの関連企業全体が、量産に適用可能であるなるべく大きなガラス基板サイズを、デザイン・ルールとして決定していくのである。まさに、この関連企業全体を巻き込んだ相互依存性の解消のプロセスは、「擦り合せ型」のプロセスである。そして、このガラス基板サイズの決定により、相

互依存性が大幅に解消できる。

これらの結果から、ガラス基板サイズは差異化要因と非常に強く関連しているため、デザイン・ルールとしては受け入れられない。つまり、差異化要因は、関連企業全体の相互依存性の中に、可視化されずに「隠された情報」となる。そして産業アーキテクチャの擦り合せ型の程度が拡大する方向に動くと考えられる。

2) ガラス基板サイズの推移

この液晶産業のガラス基板サイズの面積の推移は、図4に示した（SEMI 2002）。薄膜トランジスタ（Thin Film Transistor: TFT）を用いた液晶の本格的な生産は、1991年前後に第1世代生産ラインから始まった。この時のガラス基板サイズは、300mm × 350mm ~ 320mm × 400mmであった。その後、1994年に370mm × 470mmの第2世代生産ライン、1996年には550mm × 650mmの第3世代生産ラインが稼働を始めた。そして、2000年に第4世代（680mm × 880mm ~ 730mm × 920mm）、2001年に第5世代（1000mm × 1200mm）の生産ラインが立ち上がった。また2004年1月には、第6世代の1470mm × 1770mmの生産ラインの稼働が報告された。

3) まとめ：仮説2bの検証

このように、液晶産業の基板サイズの拡大速度が半導体より速いという結果は、ガラス基板サイズが差異化要因と強く関連しているため、デザイン・ルールとして可視化されずに「隠された情報」となり、液晶パネルメーカーが競争戦略として「ガラス基板の拡大」を急速に進めるためである。

これらのことより、液晶産業を事例として、仮説2b「設計パラメータが差異化要因と関連していれば、デザイン・ルールとして可視化されずに「隠された情報」となり、擦り合せ型の程度が拡大する方向に動く。」は検証できたと考えられる。

7 ビジネス・アーキテクチャのまとめ

「モジュール型」か、「擦り合せ型」かの産業のビジネス・アーキテクチャの牽引要因を、複雑性

と競争戦略の2つの視点から研究し、2つの仮説を検証できた。これらの検証結果を踏まえて、産業のビジネス・アーキテクチャを、複雑性を横軸にし、競争戦略の差異化要因とデザイン・ルールの関係の大小を縦軸にして、図5に示す。

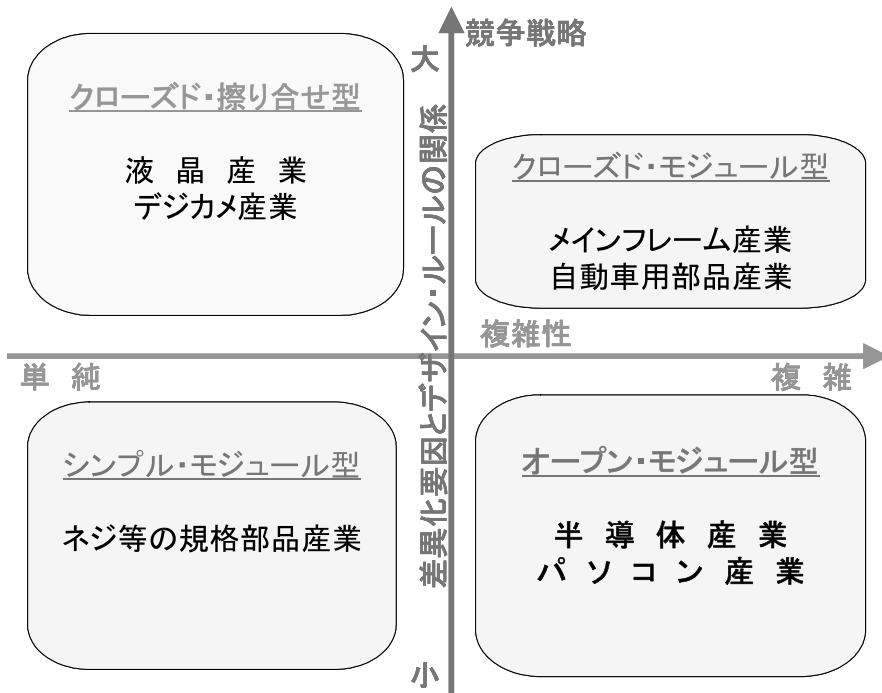
複雑でかつ差異化要因とデザイン・ルールの関係が小さい場合は、先に述べた半導体産業の事例である。藤本隆宏(2004)は、モジュール型と擦り合せ型の分類と共に、オープン型とクローズド型のマトリックスで分類している。この分類に従えば、半導体産業は、オープン・モジュール型となり、パソコン産業が同じ分類である。また、単純でかつ差異化要因とデザイン・ルール関係が大きい場合は、先に述べた様に液晶産業であり、クローズド・擦り合せ型となる。またデジカメ産業が同じ分類である。

なお、藤本隆宏(2004)の提案する別の分類であるクローズド・モジュール型は、自社が基本設計した社内共通部品ばかりを集めて製品にする産

業であり、デザイン・ルールがグループ内で閉じて、グループ外へオープンにならない。この場合は、デザイン・ルールがグループ内に閉じ込められるため、差異化要因とデザイン・ルール関係が大きくても問題は無い。このクローズド・モジュール型には、コンピュータのメインフレーム産業や、自動車用のモジュール化された部品産業が挙げられる。また、単純でかつ差異化要因とデザイン・ルール関係が小さい場合を、シンプル・モジュール型と名づける。つまり、ネジ等の規格部品の産業がこの分類にあたる。

このように、産業のアーキテクチャを、複雑性および競争戦略の差異化要因とデザイン・ルール関係の大小により分類することにより、検証してきたオープン・モジュール型とクローズド・擦り合せ型を含め、産業のビジネス・アーキテクチャとその牽引要因の関係をより理解することができるようになった。

図5 産業のビジネス・アーキテクチャの複雑性と競争戦略による分類



(出所) 著者作成。

7 結 論

ITの革新とグローバル化の進展により、産業アーキテクチャは複雑性を増大して来ている。この複雑性を解きほぐす概念として、モジュール化が提案され研究されている。しかし、日本に適するアーキテクチャとして、サブシステム中の調整を必要とする「擦り合せ型」が指摘されている。このため、「モジュール型」か、「擦り合せ型」かの産業のビジネス・アーキテクチャの牽引要因を、複雑性と競争戦略の2つの視点から研究した。

その結果、複雑性に関し、半導体産業を事例として、「複雑性を表すプロセス日数が長い産業ほど、モジュール型の程度が拡大する方向に動く。」ことを検証できた。そして、液晶産業を事例として、「プロセス日数が短い産業ほど、擦り合せ型の程度が拡大する方向に動く。」ことを検証できた。また、「モジュール型」の方向か、「擦り合せ型」の方向へ動くかのプロセス日数の境界が、1～3週間の間にあることを見出した。つまり、プロセス日数は、外部から情報が入手し易い簡便な精密加工製品の複雑性の代理指標であるが、このプロセス日数で、産業アーキテクチャの牽引要因を理解できることを見出したといえる。

一方、競争戦略に関し、半導体産業を事例として、「設計パラメータが差異化要因と関連せずモジュール内に保持されれば、デザイン・ルールとして可視化され、モジュール型の程度を拡大する方向に動く。」は検証された。そして、液晶産業を事例として、「設計パラメータが差異化要因と関連していれば、デザイン・ルールとして可視化されずに「隠された情報」となり、擦り合せ型の程度を拡大する方向に動く。」は検証できた。

さらに、これらの検証結果を踏まえて、産業のアーキテクチャを、複雑性および競争戦略の差異化要因とデザイン・ルールの関係の大小により分類することにより、産業のビジネス・アーキテクチャとその牽引要因の関係をより理解することができるようになった。

本論文では、ビジネス・アーキテクチャの牽引要因について、複雑性と競争戦略の視点から分析した。しかし、技術の進化により複雑なものが簡

単になり、ITの革新によるe-Businessの進化等により競争戦略も変化する。このため、「モジュール型」か、「擦り合せ型」か、その方向について時代により優位性が変化するが、本研究がビジネス・アーキテクチャの方向の理解を深めることを期待している。

謝 辞

経済産業省安藤晴彦氏、東京大学新宅純二郎氏、慶応義塾大学の矢作恒雄教授、許斐義信教授、浅川和宏教授、北九州市立大学の王淑珍特任助教授、中小基盤整備機構の三本松進氏等から多くの示唆を受けた。また、本報告の基となる研究に、独立行政法人日本学術振興会から科学研究費補助金の交付を受けたことに感謝する。

参考文献

- 青木昌彦・安藤晴彦 [2002] 『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』 東洋経済社 (第5章 柳川範之、第7章 大久保宣夫)。
 エッピンガー、スティーブン D. [2003] 「デザイン・ストラクチャー・マトリックス法」 『Diamond Harvard Business Review』 February 2003, 62-75 頁。
 柴田友厚 [2008] 『モジュール・ダイナミックス インベーションに潜む法則性の探求』 白桃書房。
 中田行彦 [2007] 『経済産業研究所 ディスカッション・ペーパー』 07-J-017, 2007年4月。
 藤本隆宏・武石彰・青島矢一 [2001] 『ビジネス・アーキテクチャ』 有斐閣 (第1章藤本隆宏、第2章青島矢一、武石彰)。
 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・新宅純二郎 [2005] 『中国製造業のアーキテクチャ分析』 (第2章 中国産業のアーキテクチャ特性とわが国空洞化論の関係) 東洋経済新報社。
 Baldwin, Carliss Y., and Kim B. Clark [2000], *Design Rules: The Power of Modularity*, Cambridge, MIT Press. (安藤 晴彦訳『デザイン・ルールーモジュール化パワー』 東洋経済新報社, 2004年)。
 Eppinger, S. D. [1991], Model-Based Approaches to Managing Concurrent Engineering, *Journal of Engineering Design*, Vol. 2 No4, pp 283-290.
 Friedman, Thomas L. [2005], *The World is Flat*, Farrar, Straus and Giroux.
 SEMI: Semiconductor Equipment and Materials

International [2002] , *Production Cost Saving (PCS) Forum -FPD-Phase IV Roadmap (Japanese Version and English Version)* , September 16.
Steward, D. V. [1981] , The Design Structure System: A Method for Managing the Design

of Complex System , *IEEE Transaction in Engineering Management* , Vol. 28 No. 3, pp71-84.
Ulrich, Karl [1995] , The role of product architecture in the manufacturing firm , *Research Policy* Vol. 24, pp.419-440.