

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-1

「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論
—そのアーキテクチャと競争力—

東京大学大学院 経済学研究科
ものづくり経営研究センター
藤本 隆宏

2003 年 12 月



東京大学21世紀COE [整備済]
ものづくり経営研究センター

「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論

ーそのアーキテクチャと競争力ー

東京大学大学院 経済学研究科

ものづくり経営研究センター

藤本 隆宏

2003 年 12 月

「日本型プロセス産業モデル」とは

「日本型プロセス産業モデル」とは何か。それはどんな特徴をもった製品であり、どんな作られ方をし、どんなお客がそれを買うのか。そして、どのようにして競争力を発揮するのか。それは日本の経済や産業の将来にとってどんな意味を持つのか。これを本稿で考察したい。いわゆる加工組立産業に比べると、日本のプロセス産業、とりわけ化学産業などは国際競争力があまり強くないといわれることが多いが（例えば伊丹[1991]、松井・小林 [1994]）、それは一般論として妥当だろうか。これが、我々の基本的な問題意識である。日本企業が得意技とするような、ある特徴を持ったプロセス産業モデルというものも存在するはずだ。これが、我々の見通しである。

化学技術者でもプロセス産業のアナリストでもない筆者が、あえてこの問題に挑戦しようというのは、「日本のプロセス産業の社会科学的考察」という分野が、意外に研究されていない分野だと考えるからである。また、いまこのタイミングで実証的かつ概念的な考察を加えておくことが、企業戦略や産業政策の策定といった実践的な面でも意味を持つと考えるからである。本稿では、経営管理・経営戦略・技術管理・生産管理など、主に機械など他産業の研究で発達した分析枠組も活用しつつ、日本型プロセス産業の本質を探ることにする。

その際、一般的な枠組として本章で特に焦点を当てるのは、近年、経済学や経営学で注目されるようになった**アーキテクチャ論**である。それは、社会科学が従来やや軽視してきた「**設計**」という概念に着目する。

すなわち、第一に、その製品や工程が担っている設計情報の背後にある基本思想、すなわち「アーキテクチャ」の異同に着目することによって、従来の産業分類では良く見えなかった、戦略的な攻め所や政策の勘所が見えてくるのではないかと考える。アーキテクチャ論の詳細については他書に譲るが（Langlois and Robertson [1992]; Ulrich [1995]; Baldwin and Clark [2000]; 藤本・武石・青島 [2001]; 青木・安藤 [2002]、藤本 [2003a] [2003b]）、要するに、その製品の設計上の成り立ちを虚心坦懐に見直すことが、アーキテクチャ論の要諦である。一般に製品の設計には、機能設計、構造設計、工程設計があり、それぞれ、複数の構成要素が連結したシステムとなっている。それらの諸要素をどのように対応あるいは連結させるかに関する基本思想のことを、アーキテクチャと言うのである。その際、諸要素が複雑に絡み合っており、各要素のきめ細かい相互調整や最適設計を要する製品を「**擦り合わせ（インテグラル）アーキテクチャ**」、各要素が完結的であるため既存の要素の寄せ集めでも全体の機能を発揮するタイプの製品を「**組み合わせ（モジュラー）アーキテクチャ**」とするのが、アーキテクチャ発想の基本であり、本稿の論点でもある（Ulrich [1995]）。

第2に、本稿では詳しくは論じないが、要求機能をピンポイントで特定し、それに対応する構造やその製法を「設計」という、加工組立系の製品では一般的な「製品開発プロセス・マネジメント」の概念が、ある種のプロセス産業系の製品の場合にも、かなり当てはまるのではないか、という問題

「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論

意識を持っている。一般に自動車など加工組立製品の製品開発は、機能設計→構造設計→工程設計の順に（期間重複を伴いつつ）進行するが、伝統的なプロセス産業の製品、例えば汎用ケミカル製品は、こうしたステップが当てはまらないと言われてきた。しかし、日本企業が得意とするプロセス製品、すなわち、顧客が細かく要求する機能をピンポイントでねらう「機能性プロセス製品」の場合は、加工組立製品と類似した製品開発プロセスが想定される場合も多く、したがって、加工組立分野で発達してきた製品開発管理論の知見がかなり応用できるのではないかと考える（詳しくは桑嶋・藤本 [2001]、藤本・桑嶋 [2002]など参照）。

まず手始めに、こうした文脈において我々が「日本型プロセス産業モデル」と名付けるものを、以下に素描しておこう。要するに、「プロセス産業」とは何か、「日本型」とは何を意味するか、ということに関する筆者の考え方である。

「プロセス産業」とは何か：設計論アプローチ

まず、「プロセス産業」とは何か。例えば化学産業、医薬品産業、醸造業、鉄鋼業、非鉄金属産業、窯業、ガラス産業、紙・パルプ産業などは、典型的なプロセス産業だと言われる、あるいは漠然と、「プロセス産業とは製造業のうちで加工組立産業以外のもの」というようなとらえ方もあろう。しかし、それは具体的にどんな特徴を持った産業かという、明確な定義は、実はあまり見かけない。イメージ的に言うならば、「製造プロセス（生産工程）がものをいう産業」ということになるが、それなら自動車産業だって「製造プロセスがものをいう」と言えなくはない。プロセス産業とはどう定義すべきなのだろうか。

筆者は、生産管理や技術管理など、もの造りの現場を重視する経営学を専門としているので、現場の視点から「プロセス産業」を改めて定義してみたい。その場合、ものづくり現場を統御する情報として最も重要なのは「設計」という情報である。設計には、(i)顧客が製品に求める機能や性能を決める「機能設計」、(ii) その製品の具体的な寸法・形状や材質、あるいは構成部品やその結合部分の具体的な形などを決める「構造設計」、(iii) そうした製品をつくり出す生産工程、たとえば生産設備やその操作方法、それら設備の順序や配置、制御ソフト、あるいは人的作業の内容や手順などを決める「工程設計（プロセス設計）」など、様々なタイプのものがある。例えば典型的な機械製品の場合、まず機能設計、ついで構造設計、そして最後に工程設計、という順序で現場の製品開発が進むことが多い。

「製品機能→製品構造→生産工程」という連鎖は、いわば目的手段の連鎖であるから、この順序は自然である。そして、中でも特に重要なのが「構造設計」である。これを詳細に決めないとねらった機能の製品は出来ない。機械製品の場合、単に「設計図」と言えば、それは詳細な製品構造設計を意味するのがふつうである。

一方、ポリエチレンのような石油化学製品の場合も、要求機能があり、分子構造があり、生産工程

がある、という目的手段の連鎖は同じであるが、ポリエチレンの分子構造はすでに科学的に判明しているわけでありから、これを改めて詳細に「設計」することには意味がない。逆に、ねらった機能（コクやキレなど）を発揮するビールの分子構造や組成はよく分かっておらず、したがって無理にビールの「構造設計」をすることは事業的にはあまり意味がない。ねらった加工性や防錆性を発揮する鋼板（例えば板厚 0.8 ミリの亜鉛溶融メッキの表面処理鋼板）の場合も同様で、鋼板全体の内部構造を完全に設計することは無理だし意味がない。だいたいの構造が概念的に分かっていれば良い。つまり、設計重視の立場から見ると、我々が「プロセス産業」と呼んでいるものは、「構造設計」という作業が不可能あるいは無意味なため省略あるいは簡略化される、という共通の特徴を持つようにみえるのである。つまり、作業的には、機能設計から工程設計にいきなり飛ぶ傾向がある。また、機能設計も簡略的であることも少なくなく、したがって、いわゆる設計作業のうち、大部分は工程設計に費やされるとみてよい¹。

以上をまとめるならば、「プロセス産業」とは、現場の設計論の観点から言えば、「**設計活動の大部分が工程設計（プロセス設計）であるような製品を製造する産業**」ということになりそうである。これを普遍的な定義として主張するつもりはないが、設計という側面に焦点を当てる本稿においては、以上が「プロセス産業」の定義である。

「日本型」とはどういうことか：競争力の視点

それでは、「日本型」とは何か。一般には「他国よりも日本で多く見られる」という程度の意味だが、ここで「日本」と言っているのは「日本企業」正確には「日本にある日本企業に多く見られる」ということである。さらに、ここでは「**日本企業の競争優位に繋がっている**」という含意が付け加わる。言うまでもなく、我々の当面の関心は現代であるから、「古来日本では」という話ではなく、「現代の日本では」という話であり、具体的には、20世紀後半から21世紀初頭あたりの話である。

さて、「20世紀後半以降の日本企業の国際競争力に貢献した得意技」という意味での「日本型」産業モデルは、たいていの場合、機械工業を代表とする加工組立産業に関して語られてきた。例えば、かのトヨタ生産方式を中心とする自動車産業のモデルがその一つである。その中核にあった組織能力は、「**もの造り現場における統合力**」だといえる。多様化し変化する市場ニーズに対応しつつ、高い生産性・品質・スピードを追求しようとするれば、「現場をインテグレーションする組織能力」は必須だったのである。そうした現場に展開していたのは、チームワーク、情報共有、あうんの呼吸、微妙

¹それを反映してか、多くのプロセス製品は、その製品の機能的・構造的な特徴（例えば自動車、コンピュータなど）ではなく、工程設計上の特徴で呼ばれることが少なくない。例えば、一般に「化学製品」とは、化学的な反応（化学技術）によって得られた製品のことを指す（伊丹,1991; 徳久,1995）。つまり、化学産業では、「化学」は工程設計において指定された反応プロセスを指しているのであり、製品の機能を指す言葉ではない。こうした特殊性も影響して、化学産業の製品は医薬品に代表されるファインケミカル品から食塩電解システムのようなシステム製品まで、機能的にいえばきわめて多岐にわたるのである（石油化学工業協会,2000）。

「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論

な連携調整、そして「うるさがたのお客」に対するピンポイントの対応である。

こうした、「現場をまとめる組織能力」に立脚したもの造りシステムは、20世紀後半の日本が世界に発信し得た数少ない知的資産の一つだとさえ言える。それは、ヒト・モノ・カネが不足する中で高度成長してきた戦後日本のもの造り企業が経済合理的に選択してきた「長期雇用・長期取引のシステム」が、ごく自然に醸成してきた組織能力だと筆者は考える。

「もの造り現場における統合力」と相性の良い製品は、基本的には、「**擦り合わせ型アーキテクチャ**」（設計思想）を持つ製品である（藤本・武石・青島編 [2001]；藤本[2003a]）。自動車、オートバイ、小型家電、精密機械、精密部品などはその典型である。しかし、前述の「プロセス産業」の製品にも、「日本型」と言えそうな、現場の統合力と相性の良い「擦り合わせ型」の製品が存在する。半導体材料に代表される「機能性化学品」や、自動車の外板に使う表面処理鋼板などはその典型である。それらは多くの場合、スペックに極端にうるさい顧客に育てられる形で、ピンポイントでねらった機能を達成する能力を付けてきた（儲かっていたかどうかは別の話だが）。

そうした比較優位性を持つプロセス産業は、日本に存在してきた。「日本は加工組立産業は強いがプロセス産業は弱い」というのは、既成の産業分類にひきずられた固定観念であり、日本企業の比較優位（得意技）を考える上ではあまり役に立たない発想だと筆者は考える。

既成の産業分類を超えて

そもそも産業分類とは、一種の制度である。もともとは、類似した技術で直接競争する企業群を産業を個別産業（業界）と合理的に定義した訳だが、一旦「業界」と認定されれば、そこに業界団体ができ、監督官庁の原局が設置され、我々の思考は業界を中心に回りはじめ、事業部も多くの場合この括りで設置される。

しかし、もしも、日本企業の強み弱みの区別が、既存の産業分類とずれていたらどうだろうか。同じ産業、同じ事業部の中に、強い製品と弱い製品が混在することになり、この括りで戦略や産業政策を立てれば、メリハリがきかず、失敗しやすい。例えば、後述のように、「日本の化学産業は弱い」というレッテルが貼られがちだが、設備過剰に悩む汎用ケミカルがある一方で、世界の70%以上のシェアを占める「強いケミカル」も日本には多く、広義の化学品は2兆円の貿易黒字を誇る。「化学」とか「プロセス産業」といった括りだけでは、もはや産業競争力も戦略も論じられない、と筆者は考える。

それでは、「強い部分」をどうやって見極めるか。既に述べたように、本稿では、これまで経済学が軽視してきた設計思想（アーキテクチャ）という、もの造り現場発の概念に注目すべきと考える。具体的には、前述した「擦り合わせ型」の設計思想を持つ製品で、戦後日本企業が強い競争力を発揮する傾向があったことに注目する。この考え方をプロセス産業に適用したのが、「日本型プロセス産

業モデル」という概念に他ならない。その本質は、「**擦り合わせによるピンポイントの機能実現**」である。

鉄鋼製品の場合

鉄鋼製品の例を考えてみよう。同じ鉄であっても、自動車のボディ外板用の防錆鋼板（例えば亜鉛溶融メッキの表面処理鋼板）は、加工性や防錆性といった機能をピンポイントでの同時達成するために複数の工程間で実にきめ細かい相互調整を要する、典型的な「擦り合わせ型」の鉄である。ばらばらに製鉄設備を寄せ集めても十分な要求性能の製品が出来る建設資材用の棒鋼の場合とでは、アーキテクチャが全く異なる。そして、日本の鉄鋼メーカーが競争力を発揮するのは、当然ながら表面処理鋼板の方である。この分野では、韓国のトップ自動車メーカーでさえ、日本製の鋼板を使っていたのである（2001年12月、筆者の現代自動車牙山工場見学時の観察による）。

一方、2001年現在で約1億5000万トンと、世界の鉄鋼生産量を誇る中国は、その大半が建設資材用などの条鋼類であり、擦り合わせ型の鋼板や鋼管は日本からの輸入や技術支援に依存している（森谷 [2003]）。彼等が競争力を持つのは、概して「設備寄せ集め型」（モジュラー型）の鉄なのである。この点については後述する。

機能性化学品の場合

既存分類に従って「日本の化学産業は強いかわるか」と問うことも、競争戦略を論じる上では、もはや有益とは思えない。過剰設備に悩む汎用ケミカルと、世界の7割以上のシェアを誇る半導体材料など機能性化学品を同じ「化学産業」という括りで論じること自体に無理があるからである。

我が国の機能性化学産業に関して、筆者らが提示した現状認識および仮説は、具体的には以下のようであった（藤本・桑嶋 [2002]）。

- ・機能性化学製品とは、特定の製品機能をピンポイント（高精度）で実現する化学品である。
- ・機能性化学製品がめざす製品機能とは、川下製品の機能（製品設計情報）を素材段階で取り込んだ「主機能」、あるいは、川下製品の設計情報の受け皿（媒体）として正確・迅速・効率的な情報転写を可能とする「媒体機能」である。
- ・製品機能を極限レベルで追求するため、その工程アーキテクチャは「擦り合わせ型」になりやすい。
- ・擦り合わせ型アーキテクチャは、戦後日本企業が構築してきた「統合の組織能力」と相性がよい。
- ・したがって、化学産業の中でも、「擦り合わせ型の機能性化学製品」では、日本企業が競争優位を得やすい。
- ・しかし、同じく「擦り合わせて作る機能性化学製品」であっても、それを「モジュラー型製品」

「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論

の素材・部材として売る場合（中インテグラル・外モジュラー）と、「擦り合わせ型製品」の素材・部材として売る場合（中インテグラル・外インテグラル）とでは、戦略や収益性が異なりうる。「アーキテクチャの位置取り戦略」を意識する必要がある（藤本 2003）。

- ・ひとくちに化学品の製品開発といっても、そのプロセスは、当該製品の顧客特性や製品特性によって異なりうる。特に、その製品や工程が持つ不確実性・複雑性・多義性などの基本特性が違えば、製品開発の勘所は異なりうる。
- ・特に産業財ケミカルの場合、顧客のニーズに追随するだけでなく、「顧客の顧客」（多くの場合は最終消費者）のニーズを自ら解読し、コンセプトを顧客に提案するような市場評価能力を持つことが、新製品の成功につながりやすい。
- ・機能性化学品の場合、「顧客ニーズ特定→機能設計→構造設計→工程设计」という、化学品以外の一般的な製品開発プロセスを応用しやすく、それだけ、他産業発の製品開発論が参考になる機会が多い。

このように、製品設計思想、すなわちアーキテクチャという視点を導入することによって、同じ化学産業といっても、アーキテクチャの違う製品は一概に論じられないこと、またその一方で、化学産業の枠を超えて、他産業で類似アーキテクチャを持つ製品の経験からはいろいろと学習できることが分かってきた。要するに、「化学産業」という旧来からの産業分類から一旦離れ、発想を自由にして、虚心坦懐にそれぞれの製品の市場特性・製品特性・工程特性を分析することによって、従来とはやや見方の異なる、より戦略的な産業論、つまり、攻めと守りのメリハリのきいた産業論を展開することが可能になるのではないかと、という期待を筆者は持っている。「機能性化学製品」という括り自体が、そうした「アーキテクチャの産業論」としっくり来る、より戦略的な産業分類だと言えないだろうか。

工程アーキテクチャとは

さて、「日本型プロセス産業」を分析するひとつのツールとして、アーキテクチャ（設計思想）論を用いることを提案したので、これについて、もう少し詳しく述べたい。

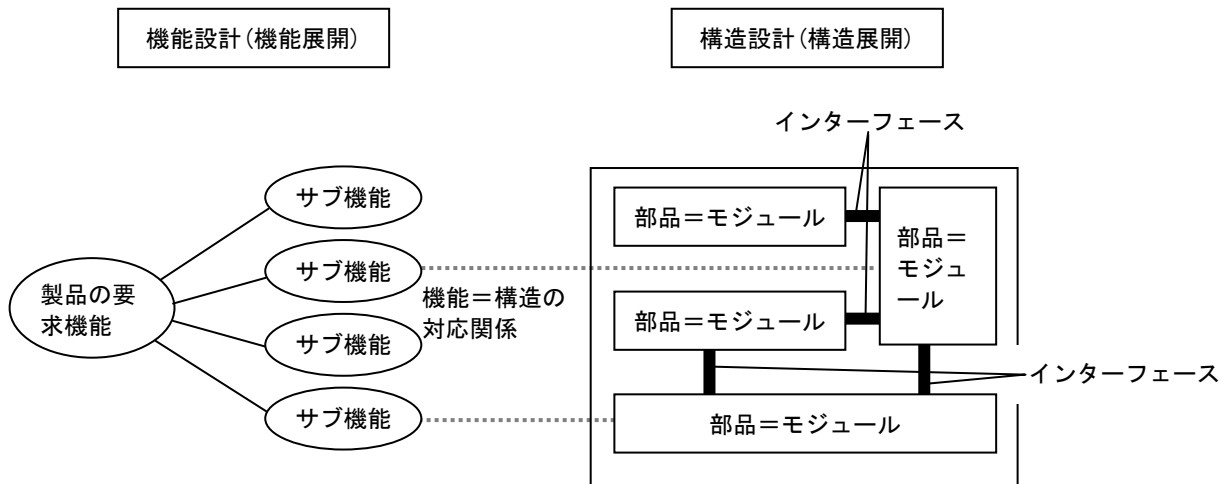
一般に「**アーキテクチャ** (architecture)」とは、「システム設計の基本思想」のことである。一般に製品、サービス、工程、組織、物流プロセス、情報ネットワーク、事業など人間が構想し設計する人工システムは、目標とされる望ましいシステムの挙動、すなわち「機能」を達成するために複数の構成要素を連結したシステムの「構造」を対応させる、という手順で設計されるのが基本である。つまり人工システムの設計・開発は、通常は、機能設計から構造設計へと進む。

これは、企業が商業生産し販売する「製品」(product) の場合も同様である。つまり、企業が商業生産を企図する各々の製品について、まず要求される基本機能を構想し、それを複数の下位機能の束

へと展開し、そうした機能群を製品の各部分（部品・コンポーネント・モジュール）に対応させていく、というのが製品設計という作業である。このとき、製品全体としての機能を統合的に達成するために、通常は部品間の連結部分（インターフェース）を通じて構造的・機能的な情報やエネルギーのやりとりが必要となる。つまり、製品機能と製品構造をどのように対応させ、部品間のインターフェースをどのようにデザインするかが、製品設計技術者にとって最も基本的な意思決定になる。こうした製品に関する基本的な設計構想が、「**製品アーキテクチャ** (product architecture)」に他ならない。

要するに、製品の「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ーフェース（情報やエネルギーを交換する「継ぎ手」の部分）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（図1）。

図1 基本設計思想としてのアーキテクチャ



さて、製品アーキテクチャを議論するに際し、要求機能を製品構造の各部に対応させるという基本設計の手順は、機械製品やソフトウェアの場合は分かりやすい。ところが化学反応（原子結合の変化）を基礎とする化学産業や鉄鋼業の場合、その製品は主として一定の組成（場合によっては組成のみならず形状も）の固体・液体・気体であり、機能と構造の関係は機械製品程には明瞭ではないし、インターフェース（結合部分）の概念は機械製品と同じようには解釈しにくい²。

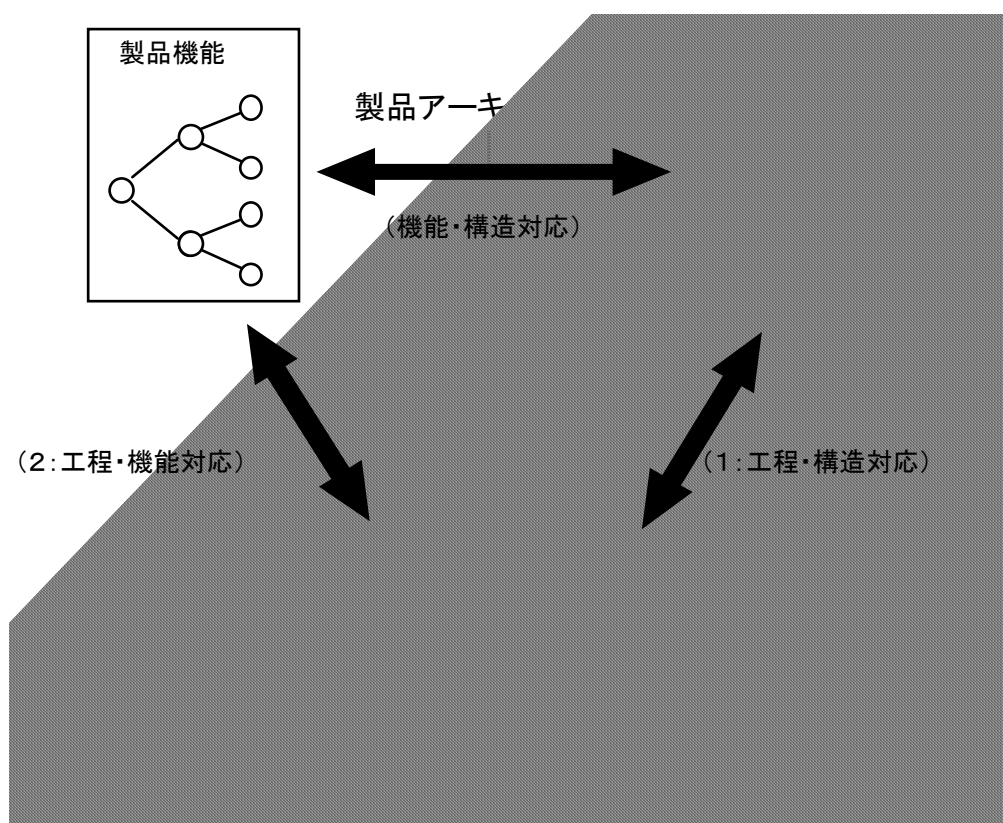
このような場合、アーキテクチャ概念を生産工程に適用することによって、「**工程アーキテクチャ** (process architecture)」を規定することができる。工程 (process) とはいうまでもなく、ある製品の商業生産を行うために必要な一連の生産設備・治工具・作業員・作業方法・操作方法などのシステムを

²もっとも、化学製品や鉄鋼製品を「相互作用を持つ諸分子（それ自体は原子の結合体）の複合体」とみなすならば、機械に準じた形で機能・構造対応を論じることは、少なくとも理屈の上では可能だ。例えば、要求機能をピンポイントで追究する「機能性化学品」の場合は、文字どおり、「機能・構造対応」すなわち製品アーキテクチャの概念は、比較的分かりやすいと言えよう。

「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論

指す。生産工程というシステムに要求される機能とは、原材料・仕掛品を変形させて所定の構造を持つ製品を生み出すことである。そうした工程機能を達成するための一連の工程群の編成を構想し、それらの「つなぎ方」(プロセス・フローおよびレイアウト)を考えるのが、「工程設計 (process design)」である。こうして、工程に関しても、製品と同様にアーキテクチャを定義することができる (図 2)。

図 製品アーキテクチャと工程アーキテクチャ



すなわち「製品アーキテクチャ」が「製品機能システム」と「製品構造システム」の対応関係に関して定義されるのに対し、「工程アーキテクチャ」は、直接的には「生産工程システム」と「製品構造システム」の対応関係に関して定義される。ただし、後述のように、ある種の化学製品などのように製品構造 (例えば当該製品の正確な分子構造や組成) が不明である場合、その製品構造を飛ばして、直接、「生産工程システム」と「製品機能システム」の対応関係をアーキテクチャとして考えることもできる。こうしたケースも含めて、ここでは広義の「工程アーキテクチャ」と考えることにしよう。

例えば、化学産業の場合、基本的に装置系・プロセス系の産業であり、容器・反応器・塔・熱交換器・加熱炉ポンプ・コンプレッサーなどの装置を配管・継ぎ手・バルブで連結し、計装により圧力・温度・流量・液面などを制御することで製品を作る。そのための「プラント設計」「プロセス設計」

が製品の成否の鍵を握る（相良、1998）。これらは複数の化学機械を連結した工程システムであり、アーキテクチャの概念がストレートに適用できる。つまり化学産業の場合、前述のように、「製品アーキテクチャ」の概念は適用しにくいケースがあり得るが、「工程アーキテクチャ」の概念は明瞭である。その意味では化学産業のアーキテクチャ分析における焦点は、概して「工程アーキテクチャ」ということになる。

製鉄業も同様であり、例えば自動車外板用の溶融亜鉛メッキ鋼板（表面処理鋼板）であれば、製鉄（高炉）、製鋼（転炉）、二次精錬、連続鋳造、熱間圧延、冷間圧延、連続焼鈍、溶融亜鉛メッキなどの工程を経る。この場合も、その鉄鋼製品の要求機能（板厚精度、形状の良さ、表面疵、成形性、焼付硬化性、プレス割れ、化成処理性、接着性など）と、上記の製造工程との対応関係をもって、当該鉄鋼製品の工程アーキテクチャとみなすことは可能である。

工程アーキテクチャの諸タイプ

以上の「製品アーキテクチャ」、すなわち製品機能と製品構造の対応関係として定義されるシステム設計思想の基本類型は、「工程アーキテクチャ」についても同様に議論できる。

仮に、**図3**のように、工程システムをある基本的な要素にまで分解し、それぞれを工程パラメータ（ P_i ）で代表させたとしよう。一方、「生産工程」が担っている目標あるいは機能は、特定の「製品構造」の実現に他ならない。製品構造の方も、あるレベルの部品に分解し、それぞれを構造パラメータ（ S_j ）で代表させたとしよう。さらに、その製品構造が使用環境の中で実現する「製品機能」もあるレベルのサブ機能に分解し、それぞれを機能パラメータ（ F_k ）で代表させたとしよう。すでに**図2**でも示したように、「製品アーキテクチャ」の諸タイプは、構造パラメータ（ S_j ）と機能パラメータ（ F_k ）の間の対応関係に関して定義される（**図3の1**）。 S_j と F_k の関係が1対1対応に近いのが「モジュラー型」、対応関係が錯綜しているのが「インテグラル型」である。

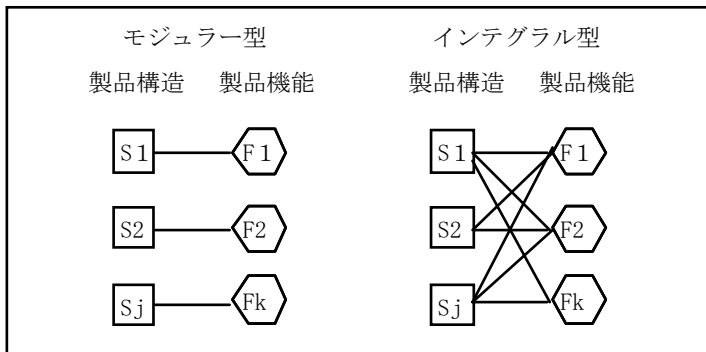
工程アーキテクチャの諸タイプも、同様に定義できる。ただしここでは、工程と製品構造の間で定義される「~~工程-構造~~アーキテクチャ」と、工程と製品機能の間で定義される「~~工程-機能~~アーキテクチャ」とを区別する必要がある。「~~工程-構造~~アーキテクチャ」は、狭義の「工程アーキテクチャ」であり、製品アーキテクチャと同様に、 P_i と S_j の関係が1対1対応に近いのが「モジュラー型」、対応関係が錯綜しているのが「インテグラル型」と定義できる（**図3の2**）。

しかし、一部の化学製品（典型的にはある種の医薬品）では、製品構造（完成物質の組成）が完全に分かってはいない場合がある。また、狙った製品の組成は分かっている、それを生産工程で直接制御することは出来ないことが多い。そうした場合、製品構造はブラックボックスとみなし、一つとばして生産工程（ P_i ）と製品機能（ F_k ）との対応関係を直接みよう、という考え方が出てくる。それが、「~~工程-機能~~アーキテクチャ」である（**図3の3**）。

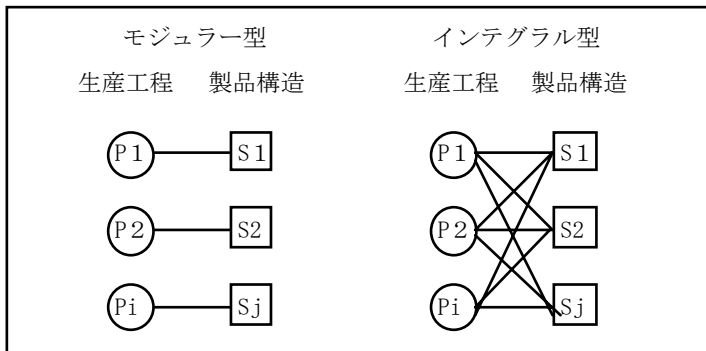
「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論

図 製品アーキテクチャと工程アーキテクチャの基本タイプ

1 製品アーキテクチャの基本タイプ



2 工程-構造アーキテクチャの基本タイプ



3 インテグラルな工程-機能アーキテクチャ

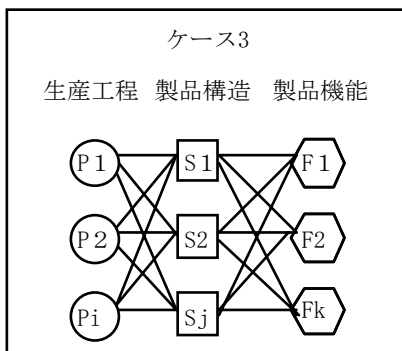
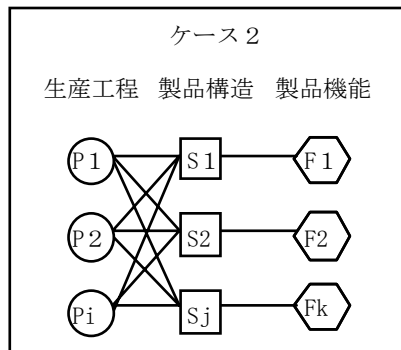
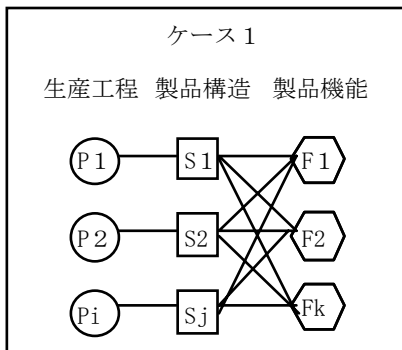


図3の3でも示したように、「工程-機能アーキテクチャ」がインテグラルであるというケースには、「工程-構造アーキテクチャ」がインテグラル、「製品アーキテクチャ」がインテグラル、あるいは両方インテグラル、という3つのケースが含まれる。仮に、製品構造が特定できていないとすると、以上のうちどれであるかを判別することは出来ない。いずれにしても、インテグラルな「工程-機能アーキテクチャ」を持つ製品では、生産工程の諸ステップ間・工程パラメータ間の緊密な連携調整が、プラント設計および生産の両段階において必要となるのである。

工程アーキテクチャの測定

アーキテクチャの基本概念を説明したので、次に、その測定の問題に移ろう。まず第一に、アーキテクチャの厳密な測定は極めて難しいということを指摘しておく。製品アーキテクチャの経営学的分析を行った文献は近年かなり多いが、それらは、概念の整理、主観的なアーキテクチャ類型の判別に基づくケーススタディあるいは時論の類であり、現在のところ、体系的なアーキテクチャの「インテグラル度/モジュラ度」等の測定に基づく実証分析はほとんど見当たらない。

そこで、将来の本格的な実証分析に備えて、ここでは、アーキテクチャ測定の基本的なフレームワークを試論的に示すことにする。

その出発点は、既に示したアーキテクチャの定義に他ならない。すなわち、本稿では、アーキテクチャの定義として、「システムの機能と構造の対応関係」という側面と、「システムを構成する要素間のインターフェースの簡素化・標準化の度合」を強調してきた。アーキテクチャの測定も、この二つの側面に応じて、二つのアプローチがあり得る。しかし、化学製品や鉄鋼製品のようなプロセス産業の場合は、後者（構成要素間のインターフェースの特定）のアプローチは事実上困難であるので、ここでは前者（機能・構造対応アプローチ）に焦点を絞ることにする³。

構造・機能対応関係による製品アーキテクチャ測定の可能性

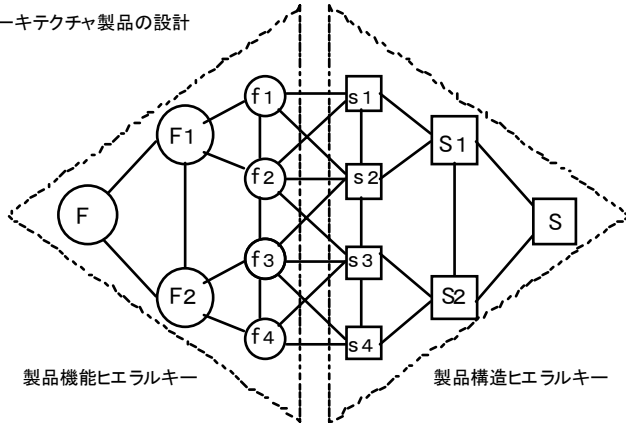
例えば、図4のヒエラルキー形式で、構造・機能対応を考えてみよう。ヒエラルキー、構造ヒエラルキーそれぞれ、あるシステム階層を前提とした時、その間の構造・機能対応関係は、2つのヒエラルキーを結ぶ線の数で示される。仮に機能要素の数も構造要素の数も共に n （図4であれば4つずつ）である場合、図の2のような純粋にモジュラー・アーキテクチャ型の製品では、構造と機能を連結する線の本数は n 本である。これに対して、図4の1のように完全にインテグラルな製品の場合、 n 個の機能要素すべてが n 個の構造要素すべてと結びついているので、連結線の本数は n の二乗である。

³ 自動車におけるインターフェース・アプローチの測定法については、例えば藤本隆宏『能力構築競争』（中央公論新社、2003）を参照されたい。

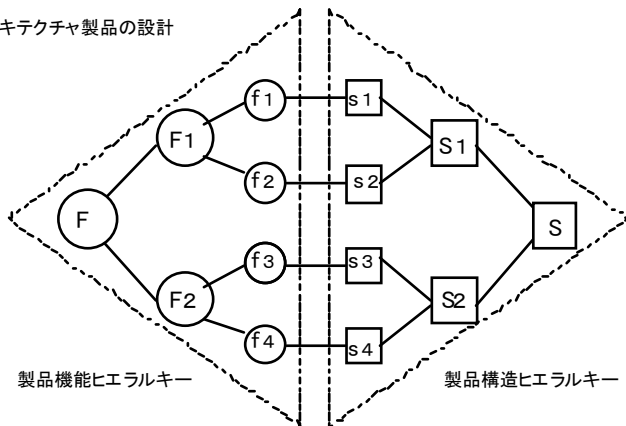
「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論

図 製品モジュラー化(製品構造・機能の複合ヒエラルキー)

インテグラル・アーキテクチャ製品の設計



モジュラー・アーキテクチャ製品の設計



凡例: F=製品全体の機能 S=製品全体の構造

F1、F2=製品のサブ機能 f1~f2=製品のサブサブ機能

S1、S2=大モジュール s1~s4=小モジュール

—— =連結

注:図の簡略化のため、FとS、およびF1、F2、S1、S2間の連結は省略した。

仮に、アーキテクチャのモジュラー度を、「機能と構造の対応関係が1対1に近い度合い」と定義するのであれば、これを測定するひとつの考え方は、「機能・構造連結線」の端点の数を、「機能要素数+構造要素数」(ノードの数)で割って指数化する、というものである。この数が大きいほどイン

テグラル・アーキテクチャ度が高く、低いほどモジュラー・アーキテクチャ度が高いと考えよう。具体的には、

$$\text{インテグラル・アーキテクチャ度} = \text{連結線数} \times 2 \div (\text{機能要素数} + \text{構造要素数})$$

と指数化するのである。そうすると、純粋にモジュラー・アーキテクチャの製品の場合は、 $n \times 2 \div (n + n) = 1$ 、純粋にインテグラルな製品の場合は、 $n \times n \times 2 \div (n + n) = n$ 、つまり、この指数は1とnの間の値をとる（機能要素数と構造要素数がnとmである場合も、指数の特性は同様である）。

以上のような分析は、構造・機能要素を縦軸、横軸に配したマトリックス、例えばボールドウィン＝クラークが提案する設計構造マトリックス（DSM）によっても分析できる（Baldwin and Clark [2000]; ボールドウィン [2002]）。この指数は、いわばマトリックスの「混み具合」を反映していると言える。

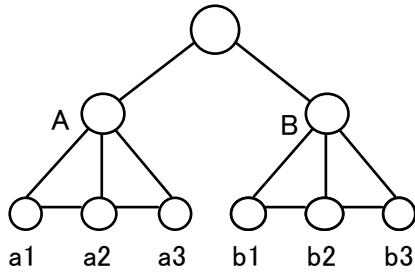
以上示したアーキテクチャ指数は、論理的には定義と整合性が高く、妥当であるが、実際に連結線の数を勘定することは容易でない。その点に留意する必要がある。

機能・構造・工程対応に関するマトリックス表現

一般に、人工物システム（あるいはシステム一般）は、ヒエラルキー、ネットワーク、マトリックスというように、少なくとも3つの形式で表現することができる。例えば、**図5**は4つの構成要素（2つのサブアセンブリー）からなるシステムを、ヒエラルキー、ネットワーク、マトリックスで表現したものである。この3つは、同じシステムを表している。

図 システムとアーキテクチャの表現形式

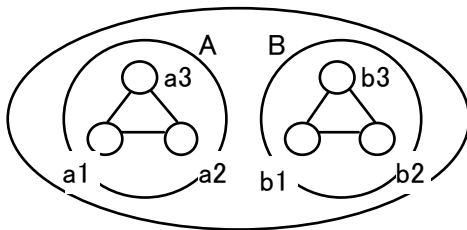
1 ヒエラルキー(階層)表現



3 マトリックス表現

		A			B		
		a1	a2	a3	b1	b2	b3
A	a1	x	x				
	a2	x		x			
	a3	x	x				
B	b1					x	x
	b2				x		x
	b3				x	x	

2 ネットワーク表現



本稿では、ここまで主にヒエラルキーあるいはネットワーク表現を用い説明してきたが、アーキテクチャ測定においては、マトリックス表現が便利である。つまり、個々の製品（品種）ごとに、その製品の(i) 機能属性、(ii) 構造要素（部品）、(iii) 工程段階をそれぞれリストアップし、それらを縦横に展開すれば、「機能・構造・工程マトリックス」が出来る。例えば図 6 は、ある機能属性が 2 つ、構造要素が 2 つ、工程段階が 2 つで、全ての要素が関連している（セルの値が 1）の場合のマトリックスを概念図で示したものである。

図 6 でも示したように、これは幾つかのサブ・マトリックスに分かれる。すなわち、対角線状に展開する、(1) 機能・機能マトリックス、(2) 構造・構造マトリックス、(3) 工程・工程マトリックス、およびその外側に展開する、(4) 機能・構造マトリックス、(5)機能・工程マトリックス、(6) 構造・工程マトリックス、である。

図6 機能・構造・工程マトリックス

		機能	機能	構造	構造	工程	工程
		機能 1	機能 2	構造 1	構造 2	工程 1	工程 2
機能	機能 1		1	1	1	1	1
機能	機能 2	1		1	1	1	1
構造	構造 1	1	1		1	1	1
構造	構造 2	1	1	1		1	1
工程	工程 1	1	1	1	1		1
工程	工程 2	1	1	1	1	1	

なお、このマトリックスは、影響関係を行→列の方向で表現する場合（有向グラフ）と、影響の有無のみを問う方向は問わない場合（無向グラフ）の場合とでは、書き方が変わってくるので注意を要する。後者の場合、当然、マトリックスは対角線に関して対称となる。

このうち、「製品アーキテクチャ」を直接的に表現するのは、「機能・構造マトリックス」である。「製品アーキテクチャとは製品属性と構造要素の対応関係のことである」という定義から考えれば、それが妥当であろう。この機能・構造マトリックスを介して、構造・構造マトリックスや機能・機能マトリックスが派生する。

これに対して、「工程アーキテクチャ」を表すのは、「機能・工程マトリックス」あるいは「構造・工程マトリックス」である。それらを介して、工程・工程マトリックスが派生する。組立製品とは異なり、製品構造の要素を明確に分離しにくい一塊性のプロセス産業の製品（化成品、鉄鋼製品、陶磁器など）の場合は、構造面をとばして「機能・工程マトリックス」で工程アーキテクチャを表現するのが一般的と言えよう。

マトリックス・データの収集

こうした一連のマトリックスは、個々の製品（品種）ごとに作られる。要素の下図が多ければ、技術者を巻き込んだ膨大な作業になり、千品種似ついでこれを行なえば作業工数は非常に大きくなる可能性がある。品種や要素を絞った簡易的なマトリックス作成が、おそらく現実的である。

また、いわゆる「品質機能展開」（Quality Function Deployment; QFD）に取り組んでいる企業であれば、そこで作成した品質表などを流用することが可能で、作業工数の節約になるだろう。

鉄鋼製品への応用

さて、以上の考え方を、鉄鋼製品に応用した場合、どうなるだろうか。前述のように、鉄鋼製品は、

「日本型プロセス産業」の可能性に関する試論

化学製品と並んで、代表的なプロセス産業である。機械製品は異なり、製品構造（内部組成）に関してディスクリートの測定を行うことはやや難しいだろう。したがって、アーキテクチャの測定は、工程アーキテクチャ（工程—機能対応）について、「機能・工程マトリックス」の記述・分析を通して行うのが適当であろう。

マトリックスの作成：例えば溶融亜鉛メッキ鋼板であれば、行に機能属性、たとえば板圧精度、形状の良さ、成形性、焼付け硬化性、表面疵、プレス割れ、化成処理性、接着材との相性など、列に製銑（高炉）、製鋼（転炉）、二次精錬、連続鋳造、熱間鍛造、冷間鍛造、焼鈍、溶融亜鉛メッキなどを列挙し、その間の相互依存性を各セルに書き込む。

相互依存性の評価：相互依存性は、「有り＝1、無し＝0」でも良いし、もっと細かく、例えば10点評価（決定的に影響する、副次的に影響する、など）で示すこともできる。こうしたマトリックスを、代表的な製品に関して（例えば溶融亜鉛メッキ鋼板、建設用棒鋼、他）作成する。

例えば、「表面疵」という機能属性に関して、製鋼、連続鋳造、溶融亜鉛メッキという3つの工程が影響するならば、該当する各セルに1と記入する。ここで一つの問題は、3つの工程が1つの機能属性に、独立に影響している場合（各工程における部分最適のパラメーター設定で十分）と、工程間で相互調整が必要な場合（全体最適のために各工程の設定パラメータを相互調整）とをどう区別するかである。基本的には、各工程が「表面疵」のサブ属性に独立に効いている場合は、そのサブ属性まで分解してマトリックスを作ることで問題は解決する。いずれにしても、相互依存している工程の数を数えるのが本来の趣旨であるから、複数工程が独立に影響している場合は、主たる工程のみをカウントするなど、何等かの測定上の工夫が必要である。

機能属性の重み付け：次に、製品機能属性に関して、重み付けを行なう。例えば、板圧精度、形状の良さ、成形性、焼付け硬化性、表面疵、プレス割れ、化成処理性、接着材との相性などについて、あくまで「代表的な顧客」の立場にたって、評価の重み付けを行なう。ウェイトの総和が1になるような重み付けとして標準化する。

工程アーキテクチャの測定：これらのデータによって、各製品の「モジュラー度」「インテグラル度」を測定することが出来る。すなわち、行方向に各セルの影響度の値を加算し、機能属性ごとの重み付けで加重平均すれば、工程アーキテクチャの「インテグラル度」の一つの指標が出来る。その逆が「モジュラー度」となる。

より簡略的な方法としては、機能属性を縮約化し、工程・工程マトリックスのセルの値の総和で「インテグラル度」を表す、という方法がある。この場合は、機能の重み付けのデータは使わない。

以上のようにして鉄鋼製品の工程アーキテクチャを測定し、各製品の値と、輸出比率、市場シェア、利益率などの成果指標との相関をみることによって、アーキテクチャ的に見た自社製品の強み弱みの戦略的分析が、ある程度可能になるだろう。

小活

まとめよう。21世紀初頭という現段階における我が国製造業の在り方、という視点から、日本企業がこれまで蓄積してきた組織能力や市場ニーズの特性と相性の良い「日本型プロセス産業モデル」の可能性を、産業論的・戦略論的・技術管理論的な分析を行なうことことに意味が有るのではないかと、というのが、本稿の提言である。従来、化学産業をはじめとするプロセス産業の分析は、化学その他の工学的な専門知識を有する本格的エキスパートの仕事である、という考え方が一般的であり、その結果、化学産業論、あるいはプロセス産業論は、他の産業分析一般からやや隔絶した独自の領域と見なされがちであった。しかし、「機能性化学品は、実は多くの面で機械系産業など他の製造業との類似点がみられるのではないかと」という問題意識に基づき、プロセス産業の経営学を、あえて製造業一般の動向の中で相対的にとらえていく必要があるのではなかろうか。

最後に、産業政策論的な含意を考察する。例えば化学品の場合をみると、経済産業省の機能性化学品室が同省化学課から半ば独立し、独自の産業ビジョンを出したこと（機能性化学産業研究会[2002]）の背景には、新しいタイプの産業政策手法の台頭があると筆者は推測する。すなわち、従来多く見られた「護送船団方式」すなわち最も弱い部分を集中支援する政策、あるいは設備廃棄促進などマイナス部分の解消を優先させるタイプの産業政策ではなく、むしろ各産業で先頭を走る強い民間企業の戦略をまず深く理解し、そうした企業の戦略遂行を側面から促進することを優先させる、プラス指向の、攻めの産業政策である。この場合、弱者対策は必要に応じて別途考える。あとは、疾走する先頭集団の企業が発する競争圧力に応じて、二番手企業も自発的に戦略を先鋭化し、その結果として企業間の能力構築競争が激化し、業界全体の組織能力レベルが自生的に向上することを期待するのである。

ワンセット主義の総花的な産業政策が限界となり、得手不得手の見切りに基づく、「強いところをもっと伸ばす」タイプの産業政策が台頭してくるのだとすれば、機能性化学品などを含む「日本型プロセス産業」という別の括りで産業ビジョンを提示することは、ある意味で自然な展開と言えるかも知れない。また、そうした戦略論と整合的な産業政策は、本章で展開した「アーキテクチャの産業論」の立場からみても、理にかなった方向だと、筆者は考えるのである。

【参考文献】

- 青木昌彦・安藤晴彦編（2002）『モジュール化』東洋経済新報社。
- Baldwin, Carliss Y. & Kim B. Clark（2000）*Design Rules: The Power of Modularity*, MIT Press, Cambridge MA.
- ボールドウィン, C.Y.（2002）「モジュール化のコストと価値」、青木昌彦・安藤晴彦編『モジュール化』東洋経済新報社。
- 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」東京大学大学院経済学研究科 Discussion Paper Series, CIRJE-J-78.
- 藤本隆宏(2003)「組織能力と製品アーキテクチャ」『組織科学』Vol.36, No.4, pp.11-22.
- 藤本隆宏(2003)『能力構築競争』中央公論新社
- 藤本隆宏・桑嶋健一(2002)「機能性化学と21世紀のわが国製造業」、機能性化学産業研究会『機能性化学』化学工業日報社。
- 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。
- 伊丹敬之（1991）『日本の化学産業-なぜ世界に立ち遅れたのか-』NTT出版。
- 機能性化学産業研究会（2002）「機能性化学産業研究会報告書-新たな企業・産業文化の形成による価値提案型産業への挑戦-」経済産業省化学課。
- 桑嶋健一・藤本隆宏（2001）「化学産業における効果的な製品開発プロセスの研究-分析枠組と若干の実証分析-」『経済学論集（東京大学）』Vol.67, No.1, pp.91-127.
- Langlois, R. N. & P. L. Robertson（1992）“Network and innovation in a modular system: Lessons from the microcomputer and stereo component industries,” *Research Policy*, 21, pp.297-313.
- 松井好・小林信一（1994）「化学産業」吉川弘之監修『メイド・イン・ジャパン』ダイヤモンド社。
- 森谷正規（2003）『現場の力』毎日新聞社。
- 相良紘（1998）『入門：化学プラント設計』培風館。
- 徳久芳郎編（1995）『化学産業に未来はあるか』日本経済新聞社。
- Ulrich, Karl T.（1995）“The role of product architecture in the manufacturing firm,” *Research Policy*, 24, pp.419-440.