

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-72

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 COE ものづくり経営研究センター
大鹿 隆

東京大学大学院経済学研究科
藤本 隆宏

2006年3月



東京大学21世紀COE [モノづくり]
ものづくり経営研究センター

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 COE ものづくり経営研究センター

大鹿 隆

東京大学大学院経済学研究科

藤本 隆宏

2006年3月

要約：本稿では、藤本隆宏「アーキテクチャの比較優位に関する一考察」で展開された「アーキテクチャの産業論」が提起した命題、すなわち「統合型ものづくり」(Integration-based Manufacturing)の組織能力を戦後に構築してきた日本企業は「擦り合わせ型」(Integral Architecture)の製品と相性が良く、したがって日本の純輸出財の多くは相対的に「擦り合わせ型」である、という命題の実証分析を試みる。具体的には、経済産業省と共同で実施した企業アンケート(33社、254製品)の回答について、擦り合わせの強度を主成分分析でアーキテクチャ・スペクトル指標(連続量)として作成し、それぞれの製品のインテグラル度(擦り合わせ度)、モジュラード(組み合わせ度)の相対的ポジションを示した。次にアンケート調査の対象製品を組立製品とプロセス製品に分けて、アンケート回答結果の輸出比率とアーキテクチャ・スペクトル指標との回帰分析を実施した結果、上記命題と整合性のある実証分析結果を得た。また、説明変数として、アーキテクチャ・スペクトル指標のほかに労働集約度を説明変数として追加した回帰分析でも組立製品では統計的に有意な結果が得られており、その結果は、「組立製品ではインテグラル度、労働集約度ともに高いほど、輸出比率が高くなる傾向があり、また国際競争力が強い」というものであった。これらの結果は国際貿易論に対する新たな展開を示唆する可能性もある。

キーワード：アーキテクチャ、比較優位、インテグラル・アーキテクチャ度、輸出競争力、海外販売比率、労働集約度、レオンチェフ・パラドックス

はじめに

21世紀の日本が国内に残す産業とは何か、何を輸出し何を輸入するのか。我々にとって古くて新しい課題である。日本は明治から昭和にかけて、農業→製造業→サービス業、軽→重工業、素材→加工組立、低→高付加価値産業、労働集約→資本集約→知識・技術集約産業、と、産業構造の重心をシフトさせてきたと言われる。

それでは、東アジアという産業競争の激戦地において、人口減少局面に入る平成日本は、今後いかなる財・サービスを「得意技」として、限られた人的資源を投入すべきか。意外にも、明確な方向性は見えていない。技術集約産業や情報産業、高度サービス業へ、という漠然たる示唆はあるものの、現状を見れば、デジタル財やソフトウェアではアメリカに押され、メモリー半導体やDVDプレーヤーなど得意なはずの技術集約製品でも韓国・台湾・中国等にシェアを奪われ、何が得意分野として日本に残るのか、確信が持てず、中国脅威論・産業空洞化論など、過剰反応とも言える悲観論にまでつながっている。

こうした手詰まり感から脱するには、既成の産業分類に拘泥せず、開発・生産の現場に立ち返り、その強み弱みを再認識するところから虚心坦懐に競争戦略を組み直す「現場発の産業論」が必要ではないか。この観点から、筆者ら「東京大学ものづくり経営研究センター」は、製造業のみならずサービス業も含めた企業の開発・生産等の活動を、「設計情報の創造と転写」の流れと読み替える、「広義のものづくり分析」を試みてきた。また、企業が歴史を踏まえて構築してきた「ものづくり組織能力」と、製品・工程の設計思想、すなわち「アーキテクチャ」の「相性」が良い場合に、国際競争力が発揮されるとする「アーキテクチャの産業論」を提起した。

一般に、国の特性と産業の特性の相性が良い場合に、その産業はその国で競争優位を持ちやすい。リカードの比較優位説では、「相性の良さ」は暗にその結果としての労働生産性で示された。ヘクシャー＝オリーソンら新古典派は、生産性が一定なら、ある生産資源（例えば労働力）をより多く有する国はその資源を多く使う産業（例えば労働集約産業）と相性がよいと主張した。しかし前述のように、一部の技術集約型製品で日本が東アジア諸国に逆転されるなど、近年は既存の理論枠組みでは説明しにくい現象が多発している。

そこで我々は、現場発の立場から「ものづくり組織能力とアーキテクチャの相性」に着目する。具体的には、ヒト・モノ・カネが不足した戦後に市場の急成長に直面した日本のものづくり企業は、経済合理的に長期取引・長期雇用を選択し、その帰結として、「統合力」（チームワーク型の組織能力）を構築する傾向があったと考える。すなわち、現場で複数の作業をこなす多能工が連携して生産性や品質を高めるチームワーク型の組織能力を構築する傾向があったと考えるのである。

製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

一方アーキテクチャでは、乗用車のように製品機能と製品構造の関係が複雑に錯綜した「擦り合わせ（インテグラル）型」と、パソコンなど機能と構造の関係が一对一にすっきり対応した「組み合わせ（モジュラー）型」を両極の理念型と考え、「統合力」が偏在する日本は、「擦り合わせ」寄りの製品で競争優位を持つ傾向があると考えた。これが「アーキテクチャの比較優位」仮説である。

この仮説は、日本の産業競争力の実態に対して、追加的な説明力を持ちうるだろうか。まだ探索的研究の段階だが、東京大学 21 世紀 COE「ものづくり経営研究センター」は、経済産業省と共同で、自動車、家電・電子製品、部品、産業機械、化学、鉄鋼、繊維、食品・飲料等、組立製品系とプロセス製品系の双方を含む企業を対象に、サーベイ調査を行った。分析の一部は 2005 年版「ものづくり白書」に掲載されたが、本稿ではその後の成果をまとめている。

アーキテクチャの測定指標としては、各製品について、部品設計は製品特殊的か、接続部分は社内専用規格か、設計パラメータの相互調整を要するか、等々、12 項目を設け、企業の製品担当者による主観的な 5 段階評価を尋ねた。次に、主成分分析によって、各スコアの整合性をチェックし、その合成変数として、各製品におけるアーキテクチャのインテグラル度（あるいはモジュラー度）を推定した。さらに、国際競争力の指標として輸出比率を問い、インテグラル度と、従来の分析で多用される労働集約度（労働分配率）で説明する回帰分析を試みた。

こうした問題意識を踏まえて、本稿では以下のような構成で分析を進めることにする。第 1 章では、アーキテクチャ・スペクトルの指標を定義し、組立製品、プロセス製品に分けて、インテグラル・アーキテクチャ度を測定する指標を提案する。第 2 章では、以上の定義に基づく具体的な「アーキテクチャ・スペクトル」の測定結果を示す。第 3 章では、調査対象製品のインテグラル・アーキテクチャ度と、輸出比率および海外販売比率（輸出に海外生産を加えた量の比率）との間の相関関係を、回帰分析によって示す。

第 4 章と第 5 章では、説明変数としてインテグラル・アーキテクチャ度に加えて労働分配率（労働集約度の指標）も考慮した回帰モデルを検討した。つまり、労働集約度を基本とする従来型の貿易モデルに対する、アーキテクチャ指標の追加的な説明力を検討したわけである。第 4 章では組立製品、第 5 章ではプロセス製品を検討した。以上に基づき、第 6 章ではこれらの回帰分析の結果を総括し、第 7 章では結論と実践的な含意を示している。

1. インテグラル（モジュラー）アーキテクチャ度の定義と測定

まずはじめに、アーキテクチャ・スペクトルを定義し、インテグラル・アーキテクチャ度

を測定する方法を提案することにしよう。

アーキテクチャの測定の方法としては、少なくとも以下の3つのアプローチがある。第1に、各製品ごとに機能要素と構造要素の間の技術的な相互依存関係を問い、その相互依存性の強さで「インテグラル・アーキテクチャ度」（あるいはその逆の「モジュラー・アーキテクチャ度」）を測定する「機能・構造関係アプローチ」がある。第2に、構造要素（部品）およびその間の結合部分（インターフェース）に着目し、部品本体やインターフェースの設計の「製品特殊性」あるいはその逆の「標準化・共通化度」を測定する「インターフェース・アプローチ」がある（藤本、2002）。この2つのアプローチは、アーキテクチャの定義に直結した形で、設計そのものの客観的な特性からインテグラル（モジュラー）アーキテクチャ度を測定しようというもので、いわば「正攻法」である。

しかしながら、この方法は、個々の製品ごとに担当の技術者と面談し、多数の機能要素・部品・工程に関して、機能・構造関係やインターフェースの特性を聞きだす必要があり、測定に要する時間があまりに膨大である。したがってこの方法は、詳細なケーススタディには向くが、大量のサンプル・データを収集するタイプの統計的実証研究にはあまり向かない。そこで、簡便法として第3の「主観評価アプローチ」が登場する。これは、当該製品・工程のアーキテクチャがインテグラル（あるいは逆にモジュラー）的であるときに同時に観察されやすい事象を複数示し、その製品の関係者に、そのような事象が実際に観察されたかどうかを、主観的な評価に基づいて把握しようというアプローチである。評価の結果は、例えばリカート・スケールのような尺度で定量化される。

本稿で採用するのは、この第3の「主観評価アプローチ」である。アーキテクチャ特性を直接的に聞く前2者に比べれば、妥当性や信頼性はやや落ちる可能性があるが、測定に要する回答者側の手間を考えるならば、大サンプルの統計的調査においては、当面、これが最も現実的なアプローチといわざるを得ない。

このような考察を踏まえて、東京大学21世紀COE「ものづくり経営研究センター」は、経済産業省の共同調査による企業アンケートを実施した。この調査においては、製品アーキテクチャおよび工程アーキテクチャがインテグラル寄り（あるいは逆にモジュラー寄り）である場合に同時に観察されやすいと論理的に推測される12の事象について項目を立て、それぞれについて、5段階リカート尺度による主観的な評価を企業の製品担当者に依頼した。また、13番目の項目として、それらの総合評価について聞いた。以下にその12の質問項目を列挙する¹。

1 具体的な設問の仕方は以下の通りである。「当該製品の内部アーキテクチャについてお伺いします。当該製品が複数部品からなる組立製品の場合(1)～(13)、当該製品が一塊のもの(固体、液体など)

<調査票 2 設問 1 について>

製品別アンケート調査票 2 の設問 1 は「当該製品の内部アーキテクチャについて」(1) ～ (12) の個別質問と (13) の総合評価の質問で構成されている。

個別質問の内容は以下の通りである。

- (1) この製品を構成する要素中には、カスタム設計（この品種専用・機種専用）の部品・素材・要素が多い。
- (2) この製品を構成する要素をつなぐインターフェース（接続部分）は、この品種専用・機種専用の規格である。
- (3) この製品を構成する要素をつなぐインターフェース（接続部分）は、貴社の社内ではしか通用しない社内規格である。
- (4) この製品の要求機能を実現するためには、構成部品の設計パラメータを互いにきめ細かく相互調整する必要がある。
- (5) 既に設計済みの業界標準部品や社内流用部品の寄せ集めでは、商品力のあるまともな製品は出来ない。
- (6) 小型化・軽量化の制約が厳しく、部品干渉や重量バランスなど、部品の構造設計上のパラメータ間の相互依存性が高い。
- (7) その製品を構成する原材料、部品のサプライヤーと密接な共同設計開発活動を要する。
- (8) この製品では、複数の要求性能を同時にピンポイントで満たさないと、顧客を満足させることは出来ない。
- (9) この製品の生産のためには、素材や前工程の変動やばらつきに応じて、後工程の制御パラメータも連動させて調整する必要がある。
- (10) 市販の標準型の製造設備を寄せ集めた生産工程では、商品力のあるまともな製品は出来ない。設備のカスタム化が必要。
- (11) この製品の商品力を決める主要な生産工程の設備は内製（社内製作）あるいはそれに準ずる設備である。
- (12) この製品の要求機能を実現するためには、生産工程の制御パラメータを互いにきめ細かく相互調整する必要がある。

として生産される単体製品の場合 (7) ～ (13) の項目について、該当する番号を○で囲んでお答えください。総合評価において「全くその通り」との判断が支配的であれば「インテグラル＝擦り合わせ」、逆ならば「モジュラー＝組み合わせ」に近いということです。」

(13) **総合評価**（「どちらともいえない」を避けて評価してください。）

なお回答は(1)～(13)の質問それぞれに対して、全くその通り：5、やや近い：4、どちらともいえない：3、やや違う：2、全く違う：1、の評価点に丸印を記入してもらう。したがって(1)～(12)の評価で「5」が多ければ(13)総合評価の評価点は「5」となることが多い。

その際、製品特性の違いを考慮し、組立製品とプロセス製品とでは、異なる方法でインテグラル（モジュラー）アーキテクチャ度を定義した。すなわち、組立製品には質問票の12項目すべての質問に関して回答をもとめたが、プロセス製品の場合は、構成部品概念が存在しないため、(1)～(6)は意味を持たない。そこで、プロセス製品については、(7)から(12)までの6つの質問のみ回答を求めた。なお両製品とも、質問の最後(13)で総合評価を聞いている。

次に、製品のインテグラル度明確化を目的とした質問票問1の(1)～(12)について、質問整理の妥当性とを検証し、インテグラル・アーキテクチャ・スペクトル度の指標の作成を検証するための目的で、主成分分析を行った。分析対象は、アンケートの回答を得た33社254製品であり、その内訳は組立製品173、プロセス製品81である。具体的には、質問に対するアンケートの回答データを組立製品とプロセス製品グループに分け、それぞれに主成分分析を行って得られた主成分ファクターをもって「インテグラル・アーキテクチャ度」（その逆は「モジュラー・アーキテクチャ度」と定義した。そして、この指標に関して調査対象製品群をプロットすることによって、組立製品・プロセス製品それぞれについて、「モジュラー～インテグラル」という軸に沿った「アーキテクチャ・スペクトル」を作成した。以下に、その手順を具体的に示すが、その前にわれわれの製品アーキテクチャに関する仮説を述べておきたい。

われわれの製品アーキテクチャに関する仮説は、「およそあらゆる製品は、なんらかの設計情報がなんらかの媒体の上のついたものである」という発想である。企業の製品設計者はその製品の全体機能を決め（製品コンセプト）、全体機能をいくつものサブ機能に展開する「製品の機能設計」を行う。その一方で設計者は製品の各部品の結合部分の設計や外観の形状をきめる「部品の構造設計」を行う。

組立製品についてはこの機能と構造の関係が1対1にすっきりと対応するのがモジュラー型アーキテクチャ、機能と構造の関係が複雑に錯綜しているのがインテグラル型アーキテクチャと考える。プロセス製品については部品の考え方はないが、生産工程の製造設備が内製か寄せ集めか、制御パラメータの相互調整が必要か必要でないかなどの関係で、製造設備が寄せ集めで制御パラメータの相互調整が必要でない場合モジュラー型アーキテクチャ、製造

製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

設備が内製で制御パラメータの相互調整が必要な場合インテグラル型アーキテクチャと考える。以上、組立製品とプロセス製品を総合して大きなくくりで見ると、製品アーキテクチャは「製品設計アーキテクチャ」因子と「生産工程アーキテクチャ」因子に2分類されると考えるのがわれわれの仮説である。

調査票の設問1の12の質問は(1)～(8)までの質問は部品の機能と構造とインターフェースの関係を問うた質問(ただし、質問(7)(8)については生産工程アーキテクチャの議論として解釈することもできる)であり「製品設計アーキテクチャ」に関わる質問である。(9)～(12)までの質問は生産設備と制御パラメータの関係を問うた質問で「生産工程アーキテクチャ」に関わる質問である。これら12の質問がわれわれの仮説の「製品設計アーキテクチャ」因子と「生産工程アーキテクチャ」因子のどちらに、どの程度のウエイトで分類されるかを主成分分析で抽出し、更に主成分ファクターによってアーキテクチャ・スペクトルを作成してみようというのがアンケート分析の狙いである。

表1に示すのは、組立製品173製品に対する主成分分析の結果である。累積寄与率0.51の段階で2つの主成分が抽出された。

表1 主成分分析(1)

	第一主成分	第二主成分
累積寄与率	0.39	0.51
1(1)	0.786	0.113
1(2)	0.630	0.210
1(3)	0.576	0.056
1(4)	0.698	0.244
1(5)	0.675	0.203
1(6)	0.503	0.293
1(7)	0.540	0.238
1(8)	0.663	0.201
1(9)	0.252	0.672
1(10)	0.238	0.776
1(11)	0.266	0.664
1(12)	0.071	0.869

出所)東京大学21世紀COEものづくり経営研究センター

第一主成分は(1)～(8)、第二主成分は(9)～(12)によって構成されている。累積寄

与率の下段 1 (1) ~1 (12) は、質問票問 1 の (1) ~ (12) の質問の成分行列 (バリマックス回転後) を示す。

質問 (1) ~ (8) では、第一主成分が最も大きな値を示しており、第一主成分に依存した質問項目とみることができる。第一主成分は、質問を総合すると「製品設計のアーキテクチャ」の因子と考えられる。質問 (9) ~ (12) は、第二主成分が最も大きな値を示し、第二主成分に依存した質問項目とみられる。質問内容から「生産工程のアーキテクチャ」因子と考えられる。

次に主成分分析では、抽出されたそれぞれの主成分について主成分ファクターが算出される。これらの製品別の第一、第二主成分ファクターと製品別の (13) 総合評価の相関関係を見ることによってそれぞれの主成分の特性が確認できる。(13) の総合評価は、その回答は 1~5 の 5 段階数値回答だが、それぞれの数値に以下の意味を付して回答を求めた。但し、(13) 総合評価では、「どちらともいえない」という態度保留的な回答が集中する事態を避けるため回答 3 を避けるよう回答者にもとめた。

- 5: 「インテグラル=擦り合わせ」 全くその通り、
- 4: 「インテグラル=擦り合わせ」 やや近い
- 3: 「インテグラル=擦り合わせ」「モジュラー=組み合わせ」 どちらともいえない
- 2: 「インテグラル=擦り合わせ」 やや違う
- 1: 「インテグラル=擦り合わせ」 全く違う

総合評価と主成分ファクターの相関分析結果は、以下に示す通りである。

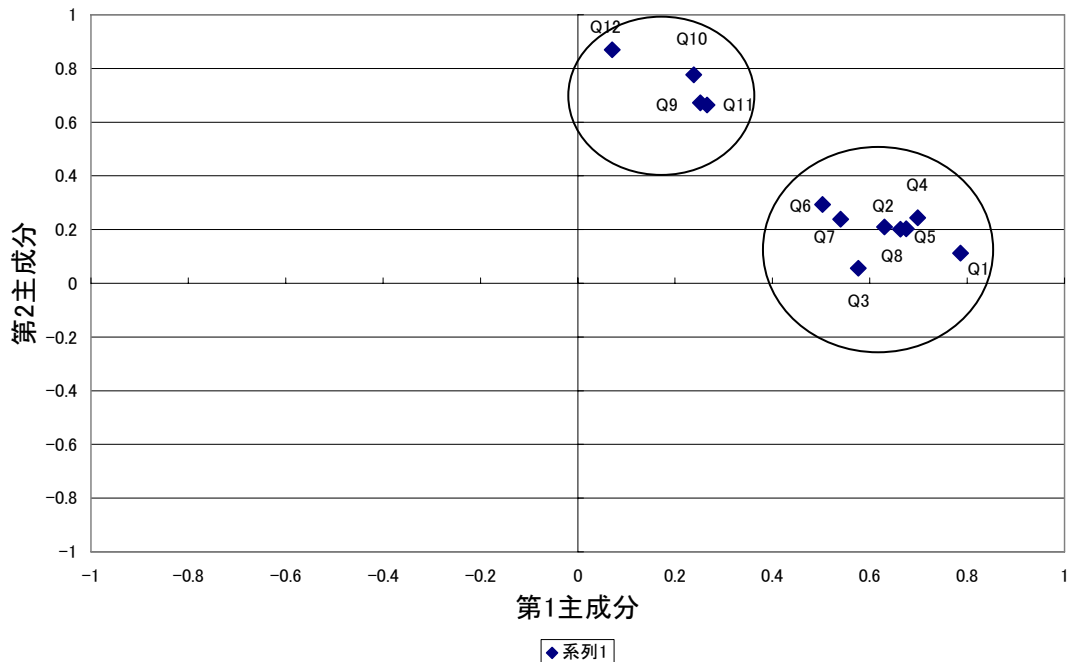
第一主成分ファクターと総合評価の相関係数 : 0.721

第二主成分ファクターと総合評価の相関係数 : 0.452

第一、第二主成分ファクターとも相関係数は正の値であるので、主成分ファクターが大きい値のときには、総合評価は 5,4 の回答が多く、その製品は「インテグラル=擦り合わせ」の製品タイプであるとの回答と相関関係があり、主成分ファクターが小さい値のときは、総合評価は 1,2 の回答が多く、その製品は「モジュラー=組み合わせ」タイプの製品であるとの回答と相関関係があると理解できる。また、相関係数は第一主成分ファクターとの相関が最も高い。

表 1 に示した第一主成分と第二主成分の成分行列 (バリマックス回転後) の第一主成分を X 軸、第二主成分を Y 軸としてマップすると **図 1** に示したようになる。この図で Q1 は設問 1. の質問 (1) であり、以下 Q12. は質問 (12) に相当する。図から第一主成分と第二主成分

図1 主成分マップ（組立製品）



のマップは質問（1）から質問（8）のグループと質問（9）から質問（12）のグループに分かれる。

以上より、第一主成分は「製品設計のアーキテクチャ」の因子と考えられ、組立製品のインテグラル・モジュラー度の特性を表すのにふさわしい因子であること、また主成分ファクターと総合評価との相関が最も高いことなどから、第一主成分ファクターを（数値が高まるとインテグラル度が高まるという意味で）「インテグラル・アーキテクチャ度」と定義して、これらの第一主成分ファクターの集合（173 製品）を組立製品のアーキテクチャ・スペクトルと定義する。

表2はプロセス製品 81 サンプルの質問（7）～（12）に関する分析結果である。プロセス製品は、（1）～（6）の質問には回答を求めなかったサンプルなので、質問（7）～（12）の回答で主成分分析を行った。

プロセス製品では、累積寄与率 0.71 の段階で、二つの主成分が抽出された。第一主成分は寄与率 0.43 で質問（10）（11）（12）によって構成されており、第二主成分は寄与率 0.27 で質問（7）（8）（9）から構成されている。累積寄与率の下段 1（7）～1（12）は質問票問 1 の（7）～（12）の質問の成分行列（バリマックス回転後）を示している。

表 2 主成分分析 (2)

	第一主成分	第二主成分
累積寄与率	0.43	0.71
1(7)	-0.037	0.711
1(8)	0.033	0.850
1(9)	0.497	0.629
1(10)	0.887	0.117
1(11)	0.818	-0.331
1(12)	0.833	0.307

出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センタ

プロセス製品の「生産工程アーキテクチャ」の質問として最も「機能・構造定義」に近いのは質問 (12) であり、機能発揮のためには設備間でパラメータを相互調整して最適設計をしなければいけないという「機能達成のための社内工程間の相互調整」の質問項目が第一主成分となっている。またそのためには製造設備が寄せ集めでなく (質問 (10))、内製 (社内製作) かそれに準ずる設備である (質問 (11)) という質問も第一主成分となっているのは妥当なところだろう。

第二主成分は質問 (7) (8) (9) から構成されている。質問 (7) はサプライヤーとの共同開発、質問 (8) は要求性能の複雑さ、質問(9)は素材・工程連動であり、共通点をいうなら「素材・工程間の相互調整というファクターが混入する可能性がある」ということである。プロセス製品の第二主成分とは、強いて言うならば「機能達成のための素材・工程間の相互調整」因子と名づけられよう。ただし、質問 (9) の成分行列は第一主成分でも 0.497 という高い数値となっており第一主成分ともかなり連動していることが指摘できる。

プロセス製品の場合の質問 (13) の総合評価と主成分ファクターの相関分析の結果は以下に示すとおりである。

プロセス製品第一主成分ファクターと総合評価の相関係数 : 0.678

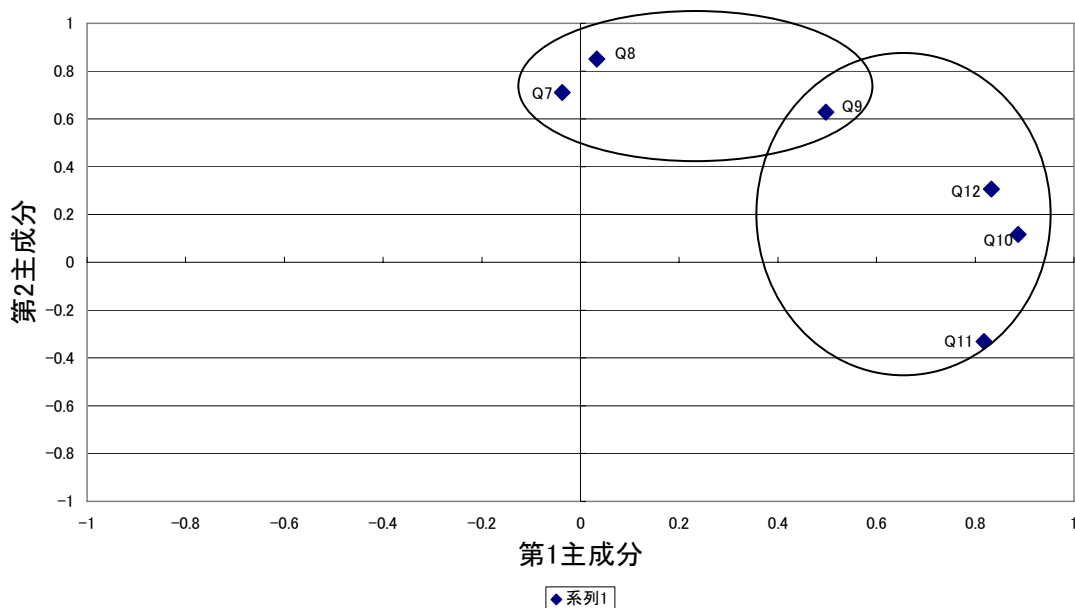
プロセス製品第二主成分ファクターと総合評価の相関係数 : 0.521

第一、第二主成分ファクターとも相関係数は正の値であるので、主成分ファクターが大きい値のときには、総合評価は 5,4 の回答が多く、その製品は「インテグラル=擦り合わせ」の製品タイプであるとの回答と相関関係があり、主成分ファクターが小さい値のときは、総合評価は 1,2 の回答が多く、その製品は「モジュラー=組み合わせ」タイプの製品であると

の回答と相関関係があり、この結果は組立製品の場合と同様である。また、相関係数は第一主成分ファクターとの相関が最も高い。

組立製品と同様に、表 1 に示した第一主成分と第二主成分の成分行列（バリマックス回転後）の第一主成分を X 軸、第二主成分を Y 軸としてマップすると図 2 に示したようになる。

図 2 主成分マップ（プロセス製品）



この図で Q7 は設問 1.の質問 (7) であり、以下 Q12.は質問 (12) に相当する。図から第一主成分と第二主成分のマップは質問 (7) から質問 (9) のグループと質問 (10) から質問 (12) のグループに分かれる。質問の内容から質問 (7) ~ (9) は機能達成のための素材・工程間の相互調整を捉えようとする質問、質問 (10) ~ (12) は生産工程アーキテクチャの特性を捉えようとする質問グループと考えられ、マップ上二つのグループ分けができています。ただし、プロセス製品の場合質問 (9) がどちらに入るかは微妙である。

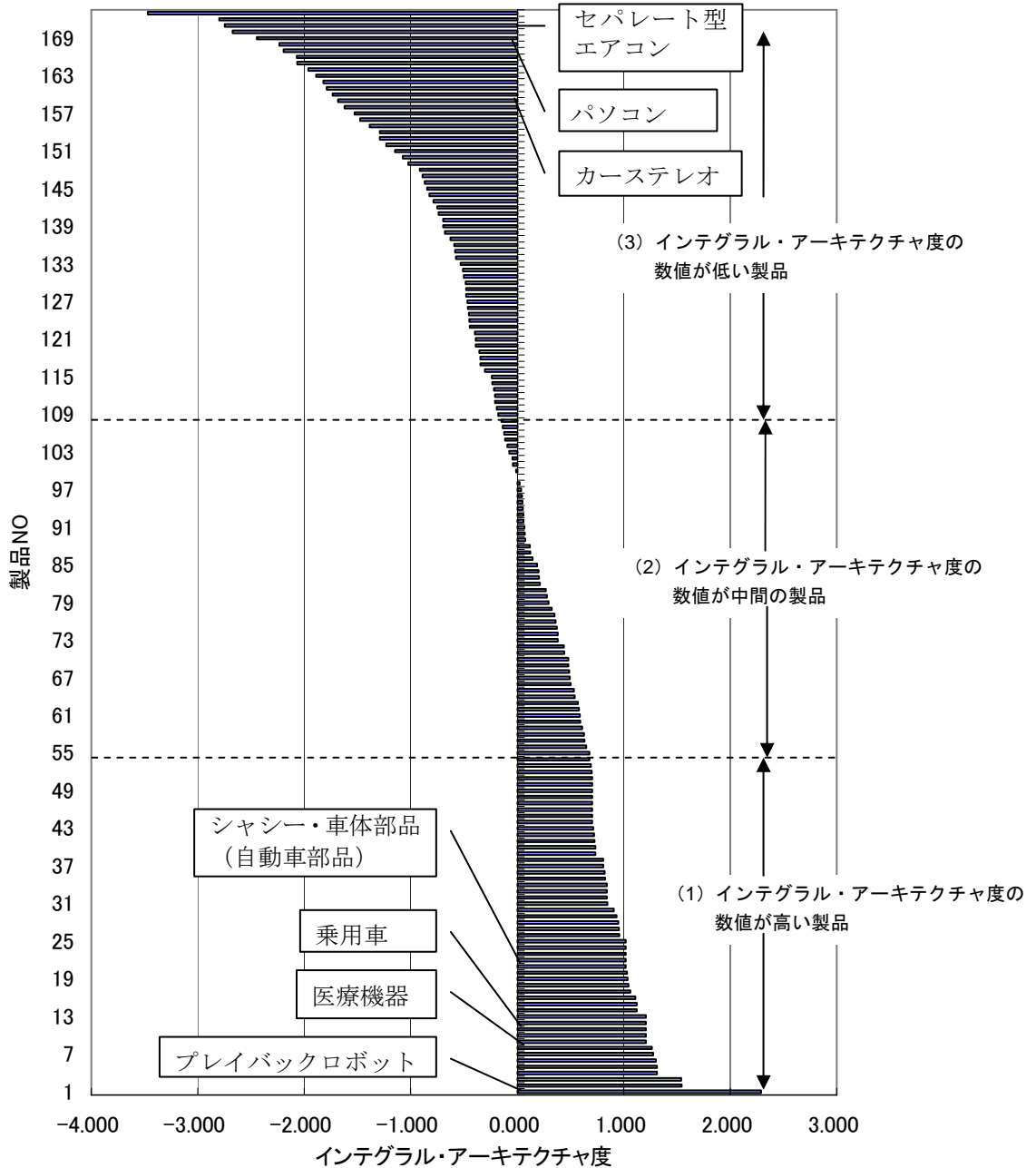
以上より、プロセス製品については、第一主成分は、「生産工程のアーキテクチャ」因子であり、一塊のもの（固体、液体など）として生産される単体製品という性格からしてインテグラル・モジュラー度の特性を表すのにふさわしい因子であること、また主成分ファクターと総合評価との相関が最も高いことなどから、第一主成分ファクターをプロセス製品の（数値が高まるとインテグラル度が高まるという意味で）「インテグラル・アーキテクチャ度」と定義して、これらの第一主成分ファクターの集合（81 製品）をプロセス製品のアーキテクチャ・スペクトルと定義する。

2. アーキテクチャ・スペクトルと製品特性

(1) 組立製品のアーキテクチャ・スペクトル

組立製品（173 製品）のアーキテクチャ・スペクトルは図 3 に示すとおりである。

図 3 アーキテクチャ・スペクトル(1)（組立製品）



出所) 東京大学 COE ものづくり経営研究センター

製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

インテグラル・アーキテクチャ度の最大値（最もインテグラル度の高い値）は製品No.1の2.290であり最も小さい値は製品No.173で-3.469である。インテグラル・アーキテクチャ度の高い製品から順番に5製品ずつ品目名称を整理したものを表3に示した²。表3で組立製品のアーキテクチャ・スペクトルの製品特性を見てみよう。

表3で(1)インテグラル・アーキテクチャ度の数値の高いグループの製品No.1-5の品目名称は、プレイバックロボット、携帯電話、カラーロールフィルム、乗用車用エアコン、電子交換機となっている。カラーロールフィルムは特定写真機用途のフィルム、また電子交換機はルーターである。プレイバックロボットも含めてインテグラルタイプの製品と考えてよいであろう。製品No.6-10の品目名称のうち、その他の集積回路は写真用プリンタープロセッサ、液晶テレビ、自動車部品、乗用車であり従来からインテグラル製品の代表選手と呼ばれている製品が並んだ。製品No.11-15の外部記憶装置、入出力装置とは電子計算機関連ではなく医療機器関連の外部記憶装置・入出力装置である。二輪自動車（125ml超）、乗用車なども含めて顧客との擦り合わせ、社内組織の擦り合わせが必要なインテグラルタイプの製品と考えられる。製品No.16-25のその他の回転電気機械は原子力関連電気機械、その他の半導体部品はフォトマスクでありインテグラル製品と考えられる。製品No.31-40のその他の電子部品は液晶用カラーフィルターである。

(1)インテグラル・アーキテクチャ度の数値の高いグループは、特定用途向けの機械、精密機械、従来の産業分類名称に入らない「その他の」機械・部品の製品が多く含まれている。それらの製品は、「製品設計の機能・構成部品・インターフェース相互依存度」で擦り合わせが必要と考えられ、インテグラル・アーキテクチャ度の定義とも合致している。また、インテグラルタイプの代表的製品といわれる乗用車、二輪車（125ml以上）は製品No.5-15と製品No.41-50のグループに登場している。

また、同一の品目名称が(1)インテグラル・アーキテクチャ度の数値の高い製品グループと(2)インテグラル・アーキテクチャ度の数値の中間の製品グループに分かれるケースがある（例えばフォークリフトトラック）。これは回答企業の製品製造のスタンスの違いが回答結果の違いになって表れたと考えられる。つまり、フォークリフトを擦り合わせてインテグラルに作っていると考える企業と、できるだけ共通部品を使用してモジュラーに作る企業のスタンスの違いである。また、同様のことが自動車にも言えて、同じ乗用車でもインテグラル・アーキテクチャ度の相対ポジションが異なるケースもある。

² 品目名称とは経済産業省が、「生産動態統計」や「鉱工業生産指数」の産業分類・品目分類で使用している最も細かい産業・品目分類名称である。

表3 インテグラル・アーキテクチャ度と品目名称（組立製品）

(1) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の高い製品の品目名称

製品NO	品目名称	インテグラル・アーキテクチャ度
1-5	プレイバックロボット, 携帯電話, カラーロールフィルム, 乗用車用エアコン, 電子交換機(ルータ)	2.290 - 1.309
5-10	液晶テレビ, その他の集積回路(写真プリンタープロセッサ), シャシー・車体部品(自動車部品), 普通乗用車, 小型乗用車	1.303 - 1.207
11-15	二輪自動車(125ml超), 外部記憶装置(医療機器CR), 入出力装置(医療機器イメージャー), 小型乗用車, 普通乗用車	1.207 - 1.124
16-20	精密測定機, 磁気テープ, その他の半導体部品(フォトマスク), スイッチ, 外部記憶装置	1.110 - 1.032
21-25	乗用車用エアコン, 機関部品(自動車部品), 軸受, その他の回転電気機械(原子カプラント), 製版機械	1.016 - 1.016
26-30	一般用エンジン発電機, 機関部品(自動車部品), 端末装置, 一般用蒸気タービン, 小形電動機	0.959 - 0.908
31-35	射出成形機, その他の電子部品(液晶用カラーフィルター), 船用ディーゼル機関, はん用内燃機関, シャシー・車体部品(自動車部品)	0.845 - 0.825
36-40	機関部品(自動車部品), カラーテレビ(プラズマテレビ), その他の電子部品(カラーフィルター), 機関部品(自動車部品), カーナビゲーション	0.820 - 0.733
41-45	半導体・IC測定器, はん用内燃機関, コネクタ, 小型乗用車, 普通乗用車	0.728 - 0.703
46-50	普通トラック, 小型トラック, 機関部品, 小型乗用車, 普通乗用車	0.703 - 0.703
51-55	軸受, 織機, 航空機, その他の電池(太陽電池), その他の写真感光材料	0.703 - 0.677

(2) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の中間の製品の品目名称

56-60	クレーン, 機関部品(自動車部品), フォークリフトトラック, その他の無機化学工業製品(浄水器), その他の航空機部分品(エンジン)	0.648 - 0.592
61-65	電気冷蔵庫, 水晶振動子, 機関部品, 工業用ゴム製品, 駆動伝導・操縦装置部品(自動車部品)	0.587 - 0.530
66-70	印刷機械, 電磁リレー, 一般用蒸気タービン, その他のファインセラミックス, その他の写真感光材料	0.502 - 0.479
71-75	受託開発ソフトウェア, ウレタンフォーム, 機関部品, 油圧機器, 懸架制動装置部品(自動車部品)	0.440 - 0.371
76-80	懸架制動装置部品(自動車部品), 車両交通システム, その他の電子部品, 携帯電話, 電気測定器	0.359 - 0.277
81-85	工業用ゴム製品, 入出力装置, 水管ボイラ, 橋りょう, 乗用車用エアコン	0.271 - 0.187
86-90	懸架制動装置部品(自動車部品), プラスチック製フィルム・シート, 電子回路基板, 電子レンジ, その他の紙	0.143 - 0.069
91-95	カラーテレビ, プラスチック製パイプ, 合成繊維織物(長繊維), その他の電池, 電気洗濯機	0.065 - 0.048
96-100	圧縮機, エレベータ, 反作用機器, その他の化学機械, その他の航空機部分品	0.046 - -0.013
101-105	プラスチック製板, 駆動伝導・操縦装置部品(自動車部品), ショベル系掘削機械, カラー印画紙	-0.040 - -0.114
106-110	機械プレス, 専用機, 印刷機械, その他の化学機械, 受託開発ソフトウェア	-0.122 - -0.192

表3 インテグラル・アーキテクチャ度と品目名称（組立製品、続き）

(3) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の低い製品の品目名称

製品NO	品目名称	インテグラル・アーキテクチャ度
111-115	DVD-ビデオ, シャシー・車体部品, デジタルカメラ, 二輪自動車(125ml以下), ファクシミリ	-0.208 - -0.241
116-120	パッケージ形エアコン, 鋼船, 鋼船, モジュラー装着機, セパレート形エアコン	-0.304 - -0.389
121-125	フラットパネル・ディスプレイ製造装置, 研削盤, 機関部品(自動車部品), その他の民生用電気機械, カラーロールフィルム	-0.390 - -0.455
126-130	プレス用金型, 機関部品, シャシー・車体部品(自動車部品), シャシー・車体部品(自動車部品), その他の写真感光材料(写真用薬)	-0.462 - -0.485
131-135	自動立体倉庫装置, フォークリフトトラック, 分離機器, ゴムホース, 水管ボイラ	-0.504 - -0.586
136-140	ビデオカメラ, 工業用ゴム製品, プログラマブルコントローラ, 自動車用タイヤ, 自動車用タイヤ	-0.593 - -0.698
141-145	PHS, シャシー・車体部品(自動車部品), はん用コンピュータ, その他の食料品, その他の電子部品	-0.739 - -0.849
146-150	水晶振動子(デバイス), その他の食料品, マシニングセンタ, 強化プラスチック製品, 受託開発ソフトウェア	-0.868 - -1.077
151-155	カーナビゲーション, ポンプ, その他の調味料, 冷凍調理食品, 機械式駐車装置	-1.148 - -1.386
156-160	電子回路基板, 安全ガラス, カーステレオ, 一般用蒸気タービン, 電気測定器	-1.475 - -1.735
161-165	パーソナルコンピュータ, 橋りょう, パーソナルコンピュータ, 固定コンデンサ, 受託開発ソフトウェア	-1.790 - -2.064
166-170	電力変換装置, 週刊誌, コンデンシングユニット, セパレート形エアコン, ゴムベルト	-2.071 - -2.673
171-173	板ガラス, 鋼船, その他の機械工具	-2.747 - -3.469

このように、同一カテゴリーの製品でも回答によってインテグラル・アーキテクチャ度が異なる理由は、第1には、実際に設計の仕方が企業によって異なるという客観的なものであるが、第2には、仮に客観的な設計のあり方が変わらないとしても、製品担当者がそれをどう解釈するかが企業によって違って来る、という主観的な要素がありうる。そもそもアーキテクチャとは「設計思想」のことであるから、主観的な要素がからむことはある程度避けられないと考えるべきだろう。

次に、表3において(3) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の低い「モジュラー寄り」のグループについて見てみよう。製品No.116-120の品目名称でパッケージ・セパレート型エアコン、No.111-115でDVD-ビデオ、No.136-140でビデオカメラの品目名称で民生用電気機械が登場している。また、No.141-155でその他の食料品、その他の調味料、冷凍調理食品など食品関連の品目名称が登場しており、これらもモジュラータイプの製品との判別である。

さらに、従来からモジュラータイプの代表的製品といわれてきたパソコンも製品No.161-165にリストされている。このことは、モジュラー型製品に関するわれわれの予想と概ね整合的である。

(2) プロセス製品のアーキテクチャ・スペクトル

次に、プロセス製品（81 製品）のアーキテクチャ・スペクトルを図 4 に示す。プロセス製品の中で、最もインテグラル・アーキテクチャ度の大きい値（インテグラル度の高い値）は 1.503 であり、インテグラル・アーキテクチャ度の最小値は-2.218 である。なお、プロセス製品のインテグラル・アーキテクチャ度の値は、組立製品に比べて分散幅が小さい傾向にあることが読み取れる。

プロセス製品のインテグラル・アーキテクチャ度の高い製品から順番に 5 製品ずつ品目名称を整理したものを表 4 に示した。表 4 でプロセス製品のアーキテクチャ・スペクトルの製品特性を見てみよう。

表 4 で (1) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の高いグループの製品No.1-5 の品目名称は、銅電線、炭素繊維、合成繊維、ガラス基礎製品、合成ゴムとなっている。銅電線は一般用の電線ではなく特殊電線であり（一般用の銅電線は製品No.56-60 で登場しインテグラル・アーキテクチャ度の数値は低い）、合成繊維も特殊用途の合成繊維である。ガラス基礎製品はデスクトップコンピューター用の CRT ガラスであり、合成ゴムは樹脂強化用の特殊用途のゴムである。炭素繊維も含めて、インテグラル・アーキテクチャ度の高いプロセス製品と思われる。製品No.6-10 の普通鋼鋼板は自動車専用鋼板であり、特殊鋼切削工具も含めてインテグラル・アーキテクチャ度の高いプロセス製品であろう。製品No.11-15 のポリスチレンは耐熱フィルムであり樹脂原料ではない。また、製品No.16-20 のシャシー・車体部品、懸架制動装置部品はプロセス製品タイプの自動車部品であり、インテグラル・アーキテクチャ度の数値の高いグループに入っている。

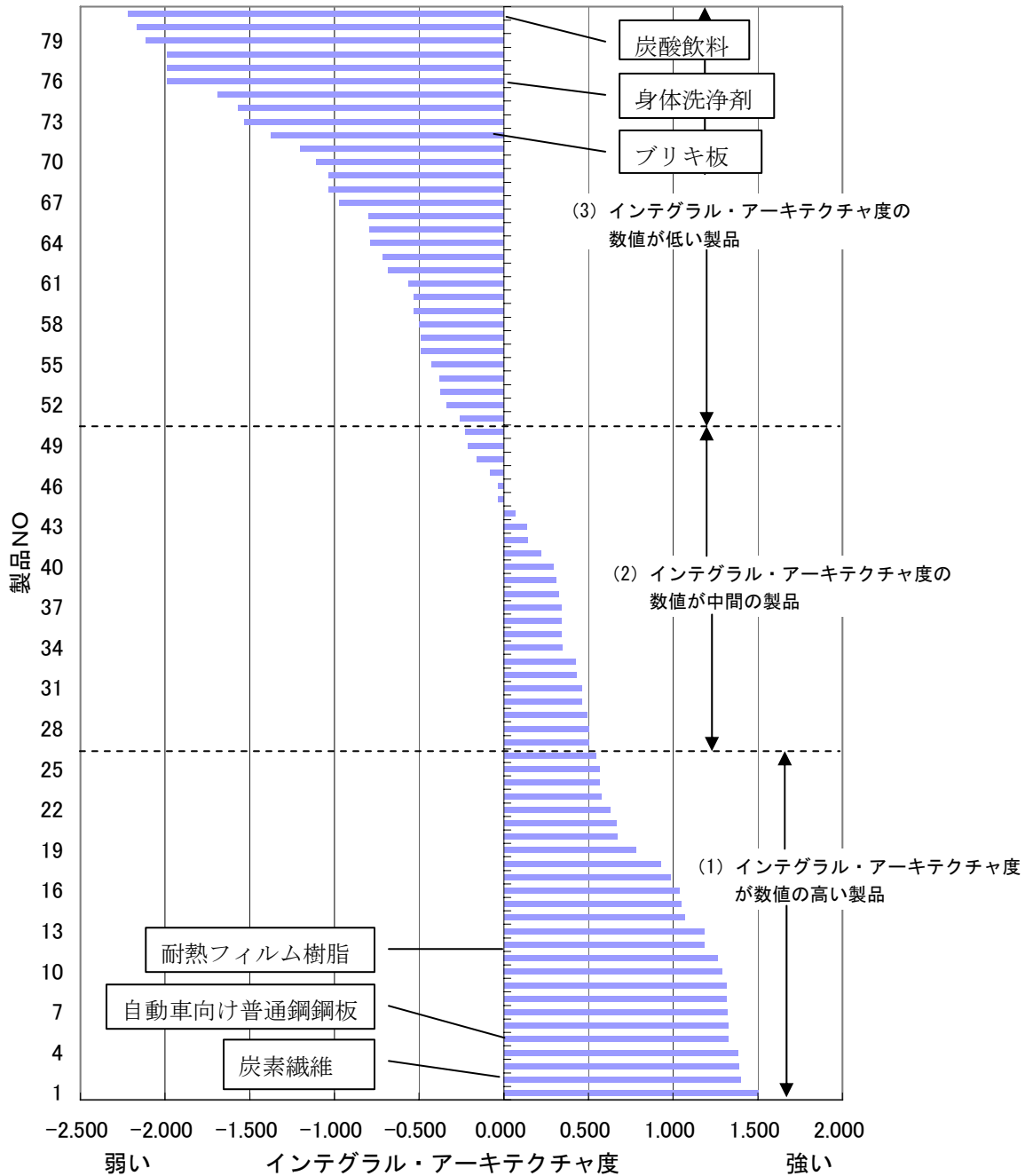
(3) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の低い「モジュラー寄り」のグループの製品とされる、No.51-81 の品目名称は、鉄鋼では普通鋼鋼板は熱延鋼板、ティンフリースチルとは一般ブリキであり、概して量産タイプの製品がリストされている。また、コーヒー・茶系飲料、焼酎、その他酒類（果実酒）、炭酸飲料など飲料製品はインテグラル・アーキテクチャ度の数値の低いグループとなっている。化学製品のフェノール樹脂が 3 製品あるが、成形材料、合成樹脂積層板など量産タイプである。

プロセス製品の場合、品目名称だけではアーキテクチャ・スペクトルの製品特性を把握しにくいところがあるが、インテグラル・アーキテクチャ度の数値の高いグループは特殊用途

製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

向け、インテグラル・アーキテクチャ度の数値の低いグループは一般用途向け、または量産品である傾向があるといえる。

図4 アーキテクチャ・スペクトル (2) (プロセス製品)



出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

表4 インテグラル・アーキテクチャ度と品目名称（プロセス製品）

製品NO	品目名称	インテグラル・アーキテクチャ度
(1) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の高い製品の品目名称		
1-5	銅電線, 炭素繊維, 合成繊維(長繊維), ガラス基礎製品, 合成ゴム	1.503 - 1.325
6-10	普通鋼鋼板, その他の食料品, 特殊鋼切削工具, 特殊鋼切削工具, 板ガラス	1.323 - 1.291
11-15	プラスチック製建材, ガラス基礎製品, ポリスチレン, 特殊鋼熱間圧延鋼材, その他の半導体部品	1.263 - 1.049
16-20	シャシー・車体部品, 超硬チップ, 発泡プラスチック製品, その他のファインセラミックス, 懸架制動装置部品	1.038 - 0.671
21-25	エポキシ樹脂, 耐火れんが, その他のプラスチック, アルミニウム圧延製品, 電気銅	0.665 - 0.565
(2) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の中間の製品の品目名称		
26-30	ブリキ, 不織布, ガラス短繊維製品, 特殊鋼熱間圧延鋼材, 医薬品	0.543 - 0.459
31-35	医薬品, 合成繊維(長繊維), その他の非鉄金属地金, 普通鋼線材, 懸架制動装置部品	0.459 - 0.343
36-40	機関部品, 駆動伝導・操縦装置部品, ポリアミド系樹脂成形材料, ふっ素樹脂, プラスチック製フィルム・シート	0.343 - 0.293
41-45	セメント, 合成繊維(長繊維), その他の半導体部品, ガラス基礎製品, か性ソーダ	0.221 - -0.035
46-50	塩化ビニル樹脂, その他の半導体部品, ポリスチレン, ウイスキー, 医薬品	-0.035 - -0.228
(3) インテグラル・アーキテクチャ度の数値の低い製品の品目名称		
51-55	特殊鋼切削工具, ウイスキー, 電子回路基板, 粉末や金製機械材料, か性ソーダ	-0.258 - -0.423
56-60	皮膚用化粧品, 粉末や金製機械材料, ビール, 銅電線, フェノール樹脂	-0.491 - -0.533
61-65	発泡酒, 小形電動機, フェノール樹脂, その他酒類(果実酒), 医薬品	-0.561 - -0.795
66-70	普通鋼鋼板, コーヒー・茶系飲料, 身体洗剤, コーヒー・茶系飲料, 食用油	-0.798 - -1.109
71-75	その他酒類(果実酒), 身体洗剤, 身体洗剤, ティンフリースチール, 飲料用アルミニウム缶	-1.199 - -1.690
76-81	リキュール, 焼酎, 焼酎, リキュール, フェノール樹脂, 炭酸飲料	-1.988 - -2.218

3. インテグラル・アーキテクチャ度と輸出比率・海外販売比率

(1) インテグラル・アーキテクチャ度による輸出比率の説明

次に、以上のように測定・構成された「インテグラル・アーキテクチャ度」指標を用いて、藤本（2003, 2004, 2005）で指摘した、「統合型ものづくりの組織能力を構築してきた日本企業は「擦り合わせ型」の製品と相性が良く、したがって日本の純輸出財の多くは相対的に擦り合わせ型の傾向がある」、という仮説を検討してみよう。具体的には、アンケート対象製品のインテグラル・アーキテクチャ度と輸出比率の相関関係を分析し、インテグラル・アーキテクチャ度が輸出比率の説明要因となる可能性を検討することにしよう。分析対象となるデータは、前章でインテグラル・アーキテクチャ度をアーキテクチャ・スペクトルとして描

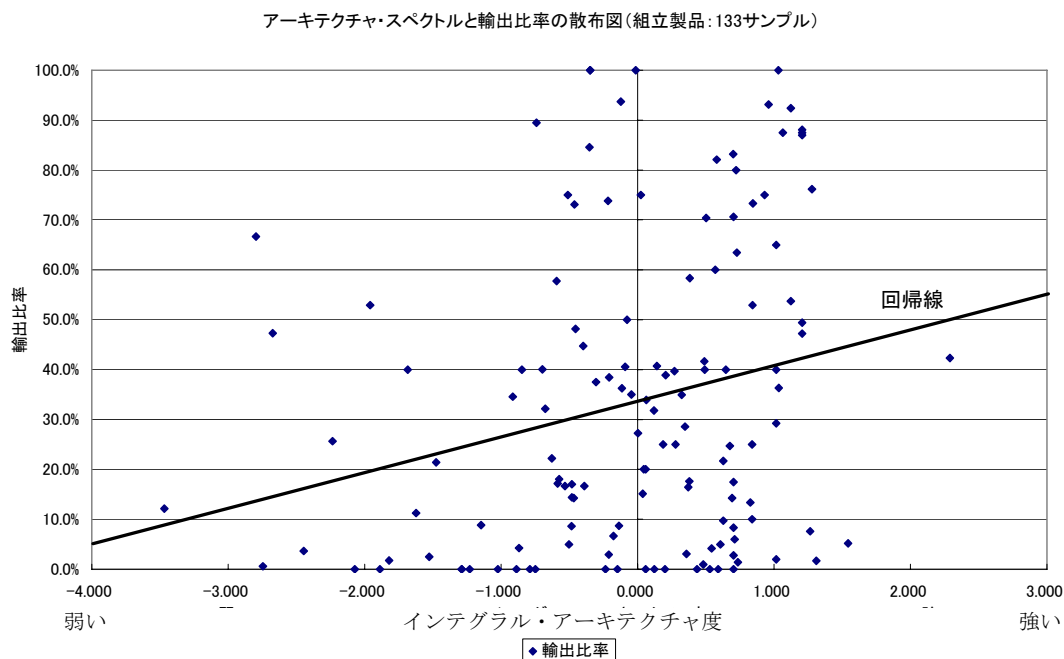
製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

いた組立製品 173 製品と、プロセス製品 81 製品である。

図 5、図 6 は輸出比率とインテグラル・アーキテクチャ度の散布図である。縦軸に輸出比率、横軸にインテグラル・アーキテクチャ度をとって散布図を描いた。インテグラル・アーキテクチャ度は、値が大きいかほどインテグラル度が高く、値が小さいほどモジュラー度が高くなる指標だから、それぞれの図で右肩上がりの回帰線が確認できれば、「インテグラル度が高くなるほど、輸出比率が高くなる」という関係が確認できたといえる。回帰線を確認するため、輸出比率を被説明変数 (Y)、インテグラル・アーキテクチャ度を説明変数 (X) として回帰分析を実施した。ただし、インテグラル・アーキテクチャ度を算出する設問 1 に回答があった製品のうち、その製品の生産額、輸出額に回答のない製品が、組立製品では 173 製品のうち 31 製品、プロセス製品では 81 製品中 14 製品あり、これらは回帰分析のサンプルから外した。また、残りのサンプルのうち、明らかに輸出を考慮していない製品が 9 サンプルあり (例えば、ソフトウェア製品を含む国内向け製品)、これも回帰分析の対象から外した。以上の結果、組立製品 133 サンプル、プロセス製品 67 サンプルとなった。このデータセットで回帰分析を行った結果を以下で示す。

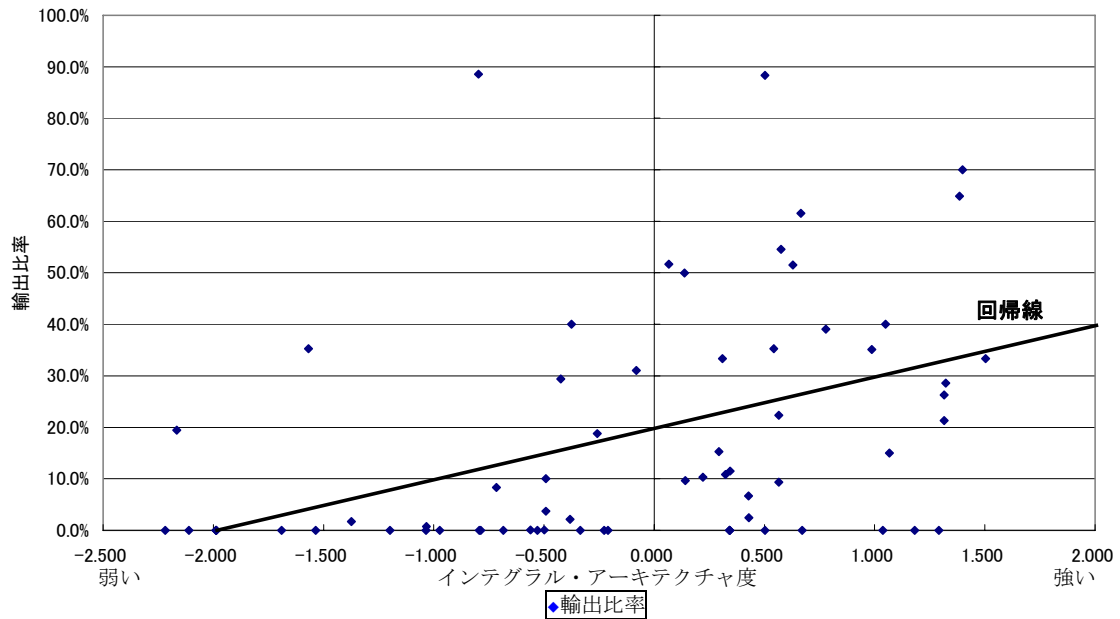
組立製品、プロセス製品とも説明変数 X (インテグラル・アーキテクチャ度) の回帰係数の符号はプラスであり、t-値も 1%水準で有意であることから、右肩上がりの回帰線が確認できた。

図 5 アーキテクチャ・スペクトルと輸出比率の散布図 (組立製品 : 133 サンプル)



出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

図6 アーキテクチャ・スペクトルと輸出比率の散布図（プロセス製品：67 サンプル）



出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

(組立製品の場合)

(Y : 輸出比率、X : インテグラル・アーキテクチャ度)
 $Y = 0.0739 * X + 0.336$ (N=133、決定係数 : 0.052)
 (2.89) (13.1)

(プロセス製品の場合)

(Y : 輸出比率、X : インテグラル・アーキテクチャ度)
 $Y = 0.0871 * X + 0.186$ (N=67、決定係数 : 0.133)
 (3.33) (7.05)

(注) 回帰係数の下段 () 内は t-値、N はサンプル数、以下の回帰式は同様

なお、上記回帰分析での説明変数 X は、組立製品は成分行列で質問 (1) ~ (8) が大きな値を示した製品設計アーキテクチャ特性を示す第一主成分ファクターであった。プロセス製品の場合、説明変数 X は成分行列で質問 (10) ~ (12) が大きな値となった生産工程アーキテクチャ特性を示す第一主成分ファクターであった。そこで上記の回帰分析に第二主成分ファクターの変数を追加して説明力が上がるかどうかのテストを実施した。結果は以下に示すとおりである。

(組立製品)

(Y : 輸出比率、X2 : 第二主成分ファクター、X1 : インテグラル・アーキテクチャ度)
 $Y = 0.0057 * X2 + 0.333$ (N=133、決定係数 : 0.0003)
 (0.217) (12.5)
 $Y = 0.0739 * X1 + 0.0256 * X2 + 0.336$ (N=133、決定係数 : 0.046)
 (2.88) (0.238) (13.0)

製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

(プロセス製品)

(Y: 輸出比率、Z2: 第二主成分ファクター、Z1: インテグラル・アーキテクチャ度)

$$Y = 0.0094 * Z2 + 0.177 \quad (N=67, \text{決定係数}: 0.0004)$$

(0.179) (6.23)

$$Y = 0.1135 * Z1 + (-0.0973) * Z2 + 0.187 \quad (N=67, \text{決定係数}: 0.159)$$

(3.81) (-1.75) (7.20)

これらの回帰分析の結果で、回帰係数のうち、1%水準で統計的有意性を示しているのは組立製品、プロセス製品ともインテグラル・アーキテクチャ度の変数のみである。以上より組立製品、プロセス製品とも第二主成分ファクターを説明変数に追加しても説明力は上がらないし、回帰係数の統計的有意性を示すt値も小さい値であった。

(2) インテグラル・アーキテクチャ度による海外販売比率の説明

海外生産が活発化している製品の場合、国際競争力の指標としては輸出比率だけでなく、輸出比率に海外生産比率を加えた「海外販売比率」を検討する必要がある。既存の多国籍企業論でも指摘されるように(ダニング)国内において何らかの企業特殊的優位性を持つゆえに輸出競争力のある製品は、他の条件を一定とすれば海外拠点が現地で競争優位を獲得しやすいからである。もっとも海外生産の相対的な大きさは企業によって異なるかもしれない。例えば、自動車関連産業の場合、海外投資規模が大きいにも関わらず、市場のあるところで生産する必要性が高いため、日本メーカーのほとんどがグローバル展開を志向している。また、エレクトロニクス関連業界は、自動車業界より早く海外展開を開始して、投資負担も自動車産業に比べて小さいこともあり、輸出比率よりも海外生産比率の方が大きい可能性もある。これに対してプロセス製品の場合、海外生産は投資負担が重く、組立製品より海外展開が遅れている。このためプロセス製品の場合は、海外生産比率はあまり大きくない傾向がある。

そこで海外販売比率を被説明変数(Y)、インテグラル・アーキテクチャ度を説明変数(X)として回帰分析を行った。データの欠損については、輸出比率と同様であった。つまり、国内生産額と輸出額について回答のないサンプルは、海外生産額、輸入額についても回答がなく、回答のある企業は、海外生産額についても回答があった。したがって回帰分析のサンプル数は、輸出比率のケースと同じである。

海外販売比率の定義は、以下の通りとした。

$$\text{海外販売比率} = (\text{輸出額} + \text{海外生産額}) / (\text{国内生産額} + \text{海外生産額})$$

以上から推定される回帰線は、以下の回帰式となる。

(海外販売比率、組立製品の場合)

(Y：海外販売比率、X：インテグラル・アーキテクチャ度)

$$Y = 0.0897 * X + 0.389 \quad (N=133, \text{決定係数} : 0.075)$$

(3.42) (14.7)

(海外販売比率、プロセス製品の場合)

(Y：海外販売比率、X：インテグラル・アーキテクチャ度)

$$Y = 0.1169 * X + 0.324 \quad (N=67, \text{決定係数} : 0.139)$$

(3.41) (9.37)

組立製品、プロセス製品ともインテグラル・アーキテクチャ度の回帰係数はプラスになり、統計的有意性を保証する t-値から、回帰係数が 1%水準で有意であることが確認できる。また組立製品の決定係数が、輸出比率の回帰分析結果より 0.02 ポイント上がっている。

4. 説明変数への労働分配率の追加（組立製品について）

本論ではここまで、藤本（2003, 2004, 2005）で指摘した、「統合型ものづくり」の組織能力を戦後に構築してきた多くの日本企業は「擦り合わせ型」の製品と相性が良く、したがって日本の純輸出財の多くは相対的に「擦り合わせ型」である、という仮説の検討をするため、インテグラル・アーキテクチャ度と輸出比率・海外販売比率の関係を見てきた。

ところで、国際貿易の標準的な理論は、国際貿易論におけるリカードの比較優位の原理から見た視点である。リカード・モデルによれば、各国の労働生産性の相違が国際分業のパターンを決定すると予想される。またその後の国際貿易論では、労働力のみでなく複数の生産要素を考慮したヘクシャー・オリーン・モデルが提示された。このモデルの定理は、「各国は自国に相対的に豊富に賦存する生産要素を、集約的に生産に使用した財を輸出する」（竹森俊平「国際経済学」（東洋経済新報社））と要約される。

そこで本章では、3章までに見てきた「インテグラル・アーキテクチャ度と輸出比率・海外販売比率」の分析に、追加的に生産要素の概念を取り込み、輸出比率、海外生産比率とインテグラル・アーキテクチャ度、生産要素集約度の相関関係のパフォーマンスを検討する。

生産要素のデータは、前述の企業アンケートで用意した質問群のうち、以下の4つの質問項目から定義した。

- (1) 製品売上高
- (2) 製品の購入原材料費
- (3) 製品の外注費
- (4) 製品の総雇用者支払い賃金

付加価値額、労働分配率、資本分配率は以下の計算式から定義した。

製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

製品付加価値額＝製品売上高－製品の購入原材料費－製品の外注費

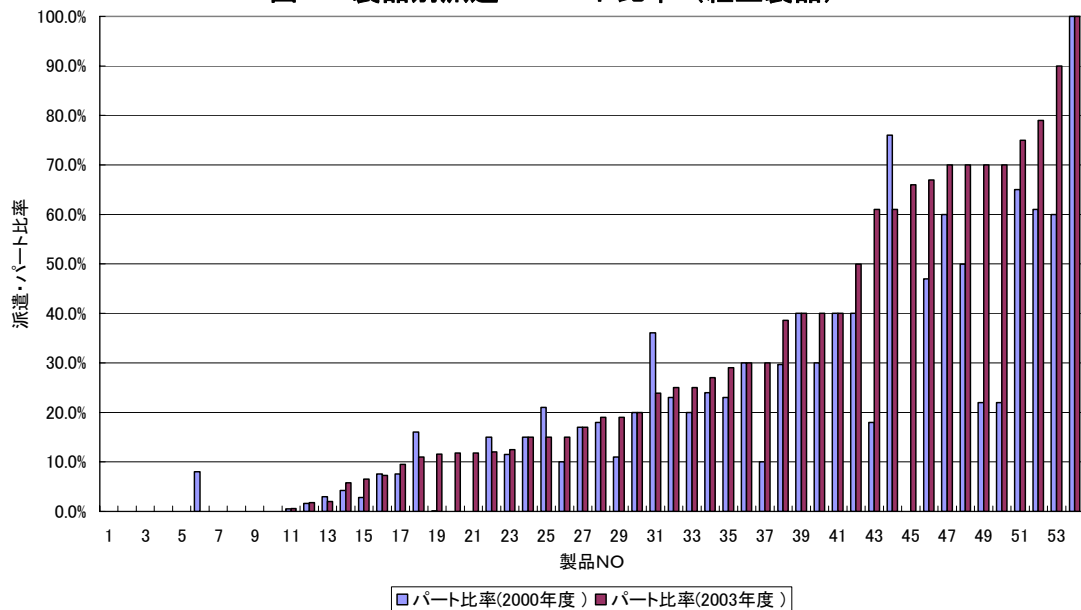
製品労働分配率＝製品の総雇用者支払い賃金／製品付加価値額

製品資本分配率＝1－製品労働分配率

製品の労働分配率と資本分配率の合計は 1.0 になると定義（生産関数として一次同次の生産関数（コブ・ダグラス型生産関数）を想定）、製品の生産要素は労働投入要素と資本投入要素のみであるとの前提である。したがって被説明変数（Y）が輸出比率となるとき、労働分配率の説明変数（R1（組立製品）、R2（プロセス製品））の回帰係数の符号がプラスならば、労働分配率が高いほど輸出比率が高く、回帰係数の符号がマイナスの場合には、労働分配率が低いほど輸出比率が高い（資本分配率が高いほど輸出比率が高い）ことを意味する。

輸出比率の回帰分析においてサンプル数の欠損があったが、生産要素のデータ作成では、さらにサンプル数の欠損が増えた。製品別の付加価値額、総雇用者支払い賃金のデータはないとの回答が多かったためである。組立製品では輸出比率分析の 133 サンプルから 77 サンプル減って、56 サンプルによる回帰分析となった。プロセス製品では 67 サンプルから 24 サンプル減り、43 サンプルの回帰分析である。

図 7 製品別派遣・パート比率（組立製品）



(出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

つぎに、(4) 製品の総雇用者支払い賃金は、「正社員」に対する支払い賃金を想定して回答をお願いしたが、アンケート回答の中には「派遣社員・パート」などを含んだ総人件費が記入されている可能性も否定できない。特に図 7 に示したように、組立製品については近年

「派遣社員・パート」比率（(派遣・パート) / (正社員+派遣・パート)）は高まっているので、注意が必要である。

図7は輸出比率の回帰分析に採用している組立製品の「派遣社員・パート」比率の図である。1/2に近い製品の派遣・パート比率が30%以上になっている。特に組立製品は、「派遣社員・パート」比率が50%をこえる製品がかなり多い。

以上を踏まえ、全サンプルにおける製品の総雇用者支払い賃金の想定を確認するために、以下の手順でチェックを行った。

アンケート票では、上記の(1)から(4)のほかに、(5)当該製品の雇用者数、(6)当該製品の正社員と派遣社員・パートの比率（派遣・パート / (正社員+派遣・パート) * 100 (%)）を問うている。この質問に対する回答を用い、以下の手順でデータセットを調整して、労働分配率データとした。

手順1: 派遣・パート比率が30%以下の製品は、アンケート回答どおりのデータを使う。

手順2: 派遣・パート比率が30%以上の製品は、次の計算で求める賃金率を定義する。

$$\text{賃金率} = \text{製品の総雇用者支払い賃金} / \text{当該製品の雇用者数}$$

賃金率が300万円以下のデータは、製品の総雇用者支払い賃金にパート・派遣の支払い賃金が含まれるものとして、推計データから除外する。賃金率のサンプル平均値は800万円/人であり、300万円以下となる製品は、正社員より賃金率の低い派遣・パートへの支払い賃金と、従業員数にも派遣・パート人数が含まれている可能性が高いと考えるためである。手順2により欠損となるデータは、組立製品4サンプル、プロセス製品では0サンプルであった。

手順3: 上記手順により4サンプルを除いた、組立製品52サンプルで、インテグラル・アーキテクチャ度と労働分配率を説明変数として回帰分析を行なった。

(組立製品の場合：輸出比率)

(Y: 輸出比率、X: インテグラル・アーキテクチャ度)

$$Y = 0.1221 * X + 0.358 \quad (N=52, \text{決定係数}: 0.091)$$

(2.48) (8.94)

(組立製品の場合：輸出比率)

(Y: 輸出比率、X: 労働分配率 R1)

$$Y = 0.7020 * R1 + 0.267 \quad (N=52, \text{決定係数}: 0.062)$$

(2.01) (4.04)

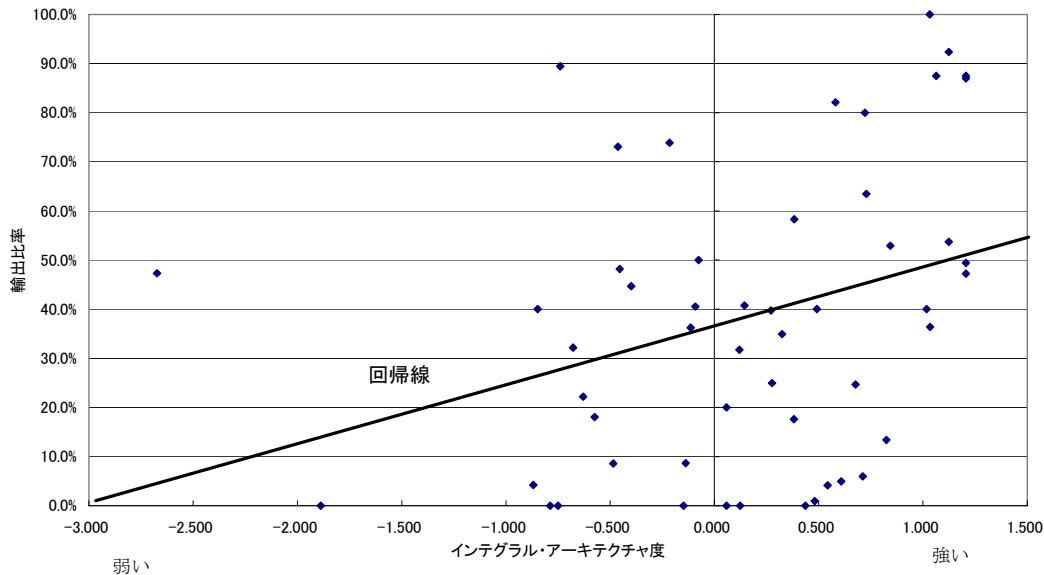
(組立製品の場合：輸出比率)

(Y: 輸出比率、X: インテグラル・アーキテクチャ度、R1: 労働分配率)

$$Y = 0.1310 * X + 0.236 + 0.770 * R1 \quad (N=52, \text{決定係数} : 0.178)$$

(2.78) (3.75) (2.43)

図 8 輸出比率とインテグラル・アーキテクチャ度の散布図（組立製品：52 サンプル）



出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

以上の結果で注目される点は、まず、組立製品は労働分配率の変数を追加してもインテグラル・アーキテクチャ度の変数 (X) の符号条件が変わらないこと (つまり X の値が大きいほど (インテグラル度が高いほど) 輸出比率が高い) であり、さらに労働分配率変数追加前より、追加後のほうがインテグラル・アーキテクチャ度の t-値が上がっていることである。また、インテグラル・アーキテクチャ度の変数の回帰係数の t-値は 2.78 と高く、1%水準で統計的に有意である。これは、インテグラル・アーキテクチャ度の変数が生産要素の変数とは独立しており、国際競争力の指標として有意であることを示している。

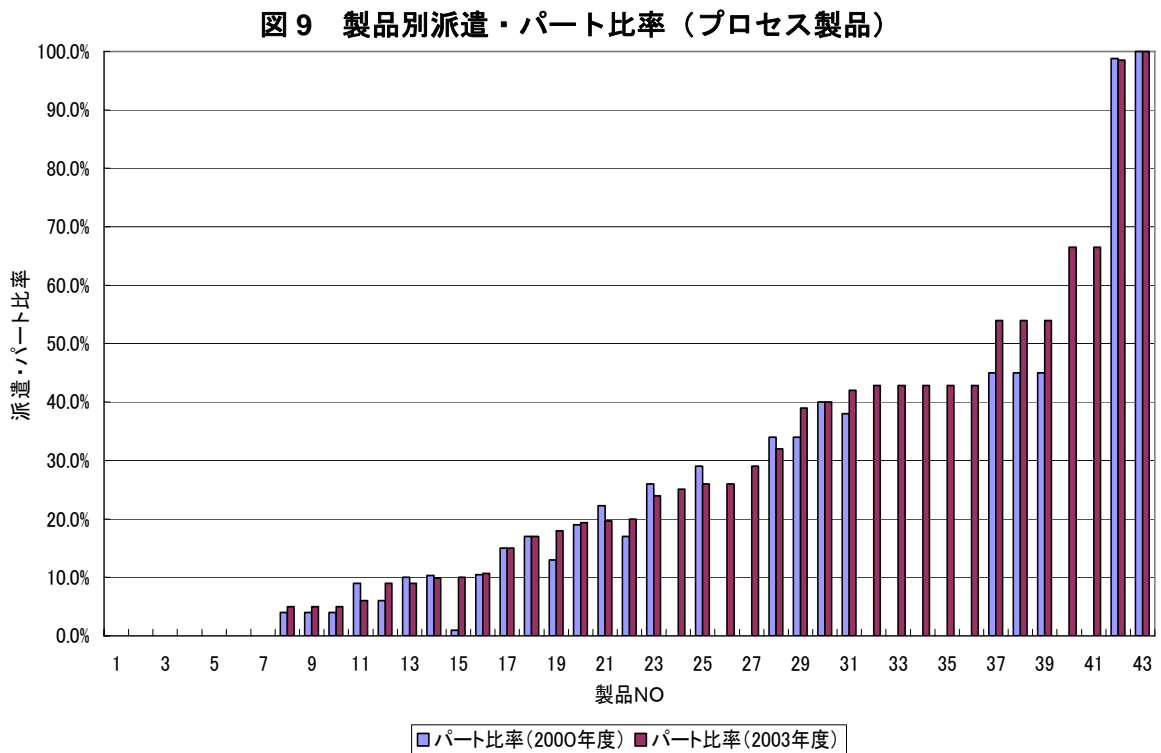
従来、労働生産性の国際比較、あるいは生産要素の賦存量や集約度の相対比較といった観点からなされてきた国際競争力の議論に対して、設計概念をベースとする製品アーキテクチャの比較優位論 (インテグラル・アーキテクチャ度の有効性) が追加的に検討される余地があることが示されたといえるだろう。

次に、労働分配率の回帰係数の符号が、組立製品でプラスとなったことが注目される。これは、組立製品では労働分配率が高いほど輸出比率が高くなる、つまり資本よりも労働投入が高いほど輸出比率が高まり輸出競争力が高い製品となることを意味している。また、労働分配率の変数の回帰係数の t-値は 2.43 であり 5%水準で統計的に有意である。

5. 説明変数への労働分配率の追加（プロセス製品について）

組立製品の労働分配率の追加回帰分析においてデータの欠損があったが、プロセス製品でも 67 サンプルから 24 サンプルが減り、43 サンプルによる回帰分析である。

つぎに、組立製品と同様に、総雇用者支払い賃金のチェックを実施した。図 9 は輸出比率の回帰分析に採用したプロセス製品の「派遣社員・パート比率」の図である。1/2 に近い製品の派遣・パート比率が 30%以上になっているのは組立製品と同様である。なお、組立製品と同様の手順で賃金率のチェックを行ったが、プロセス製品ではチェックによるデータの欠損はなかった。



出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

以上を踏まえ、プロセス製品について生産要素の変数を追加して、回帰分析を実施してみた結果をまとめた。プロセス製品では 67 サンプルから 24 サンプル減り、43 サンプルの回帰分析である。輸出比率 (Y) とインテグラル・アーキテクチャ度 (X) の回帰分析を見ると、以下の通りである。

(プロセス製品の場合：輸出比率)

(Y：輸出比率、X：インテグラル・アーキテクチャ度)

$$Y = 0.1184 * X + 0.1888 \quad (N=43, \text{決定係数} : 0.324)$$

(4.06) (6.84)

(プロセス製品の場合：輸出比率)

(Y：輸出比率、R2：労働分配率)

$$Y = 0.2056 * R2 + 0.1268 \quad (N=43, \text{決定係数} : 0.005)$$

(0.88) (6.84)

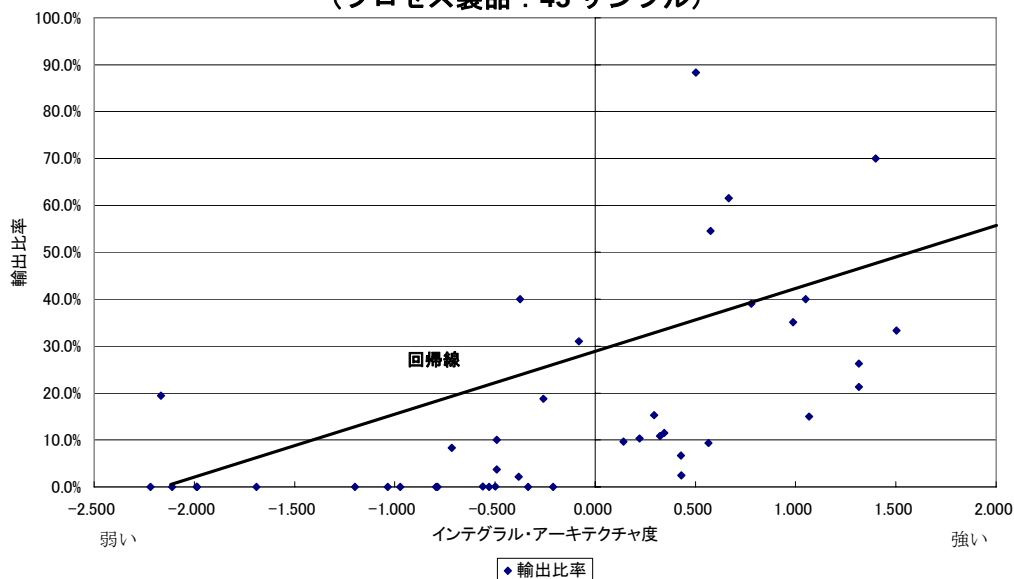
(プロセス製品の場合：輸出比率)

(Y：輸出比率、X：インテグラル・アーキテクチャ度、R2：労働分配率)

$$Y = 0.1195 * X + 0.194 + (-0.0314) * R2 \quad (N=43, \text{決定係数} : 0.307)$$

(4.42) (4.31) (-0.157)

図 10 輸出比率とインテグラル・アーキテクチャ度の散布図
(プロセス製品：43 サンプル)



出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

以上の結果で注目される点は、プロセス製品でも、労働分配率の変数を入れてもインテグラル・アーキテクチャ度の変数 (X) の符号条件が変わらない (つまり X の値が大きいほど (インテグラル度が高いほど) 輸出比率が高い) ことである。ただしプロセス製品の場合、労働分配率の回帰係数の符号と t-値は不安定である。すなわち、輸出比率と労働分配率の回帰式では、労働分配率の回帰係数はプラスだが、インテグラル・アーキテクチャ度と労働分配率の 2 変数を説明変数とした場合、労働分配率の回帰係数はマイナスに代わり、t-値も小さい。

6. 実証分析の小括

ここまでの輸出比率に関する実証分析 (3~5 章) についてまとめておこう。組立製品、プロセス製品ともに、輸出比率を被説明変数、インテグラル・アーキテクチャ度、労働集約度

を説明変数としたときの回帰分析結果をまとめたものが表 5 である。

表 5 輸出比率の回帰分析（インテグラル・アーキテクチャ度と労働集約度）の結果

式番号	製品タイプ	被説明変数 (Y)	説明変数 (X)		定数項	決定係数	サンプル数
			インテグラル・アーキテクチャ度	労働集約度			
1	組立製品	輸出比率	0.1221 (2.48)*		0.358 (8.94)	0.091	52
2		輸出比率		0.702 (2.01)*	0.267 (4.04)	0.062	52
3		輸出比率	0.1310 (2.78)**	0.770 (2.43)*	0.236 (3.75)	0.178	52
4	プロセス製品	輸出比率	0.1184 (4.06)**		0.1888 (6.84)	0.324	43
5		輸出比率		0.2056 (0.88)	0.1268 (6.84)	0.005	43
6		輸出比率	0.1195 (4.42)**	-0.0314 (0.16)	0.1944 (4.31)	0.307	43

注: 下段()内はt-値。*は5%水準で統計的に有意。**は1%水準で統計的に有意。

出所) 東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター

組立製品の場合、インテグラル・アーキテクチャ度、労働集約度のどちらを説明変数としても、回帰係数符号はプラスで、統計的検定でも、インテグラル・アーキテクチャ度の回帰係数は式番号 3 が 1%水準で有意、労働集約度の回帰係数は式番号 2,3 で 5%水準で有意である。決定係数は、式番号 3 では 0.178 まで高まっている。

プロセス製品では、インテグラル・アーキテクチャ度の回帰係数の符号はプラスで、統計的検定も有意の 1%水準であるが、労働集約度の回帰係数は推定結果が不安定であり、統計的検定でも有意水準に至らなかった。ただし決定係数については、式番号 4 で 0.324 であり、組立製品より高い値となった。

表 5 に示した回帰分析の結果から何が読み取れるか、考察を加えると、第一に、インテグラル・アーキテクチャ度の回帰係数は、組立製品・プロセス製品とも符号が正で、統計的にも 1%水準で有意であった。これは、日本は、製品が「擦り合わせ型」に近いほど輸出競争力が高いという我々の仮説と整合的であり、またこの結果は、組立製品では労働集約度を説明変数に加えても変わらない。

第二に、輸出比率に対する労働集約度の回帰係数の符号は、プロセス製品では明確な傾向を認められなかったが、組立製品では符号が正で、統計的にも有意であった。このことは、日本は労働集約的な組立製品ほど輸出競争力が高いことを意味する。

これについては、日本は、最大の貿易相手国中国と比べれば労働力が少ないのだから、日本は労働集約的な組立製品ほど輸出競争力が強いという結果は意外であると解釈する考え方がある。この考え方はレオンチェフ・パラドックスと呼ばれる（レオンチェフ・パラドッ

クスについては補論2を参照)。しかし、労働力には長期雇用が醸成する多能工的労働力と、短期で動く単能工的労働力があり、日本は前者の人的資源が豊富だ、と考えればレオンチェフ・パラドックスではなく、ヘクシャー・オリーンら新古典派の貿易理論に合っているといえる。企業アンケートデータではこれらの考え方の違いを実証分析できるデータセットが確保できなかったが、補論2の検討結果では後者の考え方を支持する資料が得られている。

以上のように、我々が収集したサンプルに関する限り、製品ごとのアーキテクチャ特性を測定する目的で導入した本稿の「インテグラル・アーキテクチャ度」指標は、日本からの輸出比率と統計的に有意な正の相関を持ち、しかもその結果は、指標の構成方法や、他の変数の追加によっても有意性を失うことはなかった。つまり、この指標は、産業の国際競争優位を説明する追加的な説明変数としては、かなり頑健（ロバスト）なものではないかと期待できるのである。

7 結論と含意

本稿では、産業の国際競争力（その指標としての輸出比率）を説明する追加的な要因として、国に偏在する組織能力と、製品ごとに異なる製品・工程アーキテクチャ（設計思想）の間のフィット、という枠組みを日本の諸産業に応用し、「統合型のものづくり組織能力が偏在する日本は、擦り合わせ（インテグラル）型アーキテクチャの製品で比較優位を持つ傾向がある」という仮説を立てた。この仮説を予備的に検証するため、調査対象となった製品群に関して製品・工程アーキテクチャを測定し、それが当該製品の日本からの輸出比率（国際競争力）を説明する追加的なファクターであるかどうかを統計的に検討した。その結果を要約するならば、以下の通りである。

第一に、インテグラル度の回帰係数は、組立製品・プロセス製品とも正の符号が得られ、統計的にも有意（1%水準）であり、日本は「擦り合わせ型」に近いほど輸出競争力が高いという我々の仮説と整合的であった。また、組立製品については、労働集約度を説明変数に加えても同様であった。

第二に、輸出比率に対する労働集約度の回帰係数の符号は、プロセス製品では明確な傾向を見い出せなかったが、組立製品では、符号が正で、統計的にも有意であった。これは、組立製品では、労働集約度が高いと輸出競争力が高くなることを意味する。なお、海外販売比率（ $= (\text{輸出} + \text{海外生産}) / (\text{国内生産} + \text{海外生産})$)を被説明変数としても、輸出比率の場合とほぼ同様の結果を得た。

日本は、最大の貿易相手国中国と比べれば労働力が少ないのだから、日本は労働集約的な組立製品ほど輸出競争力が強い、という結果は意外かも知れない。しかし、労働力には長期

雇用が醸成する多能工的労働力と、短期で動く単能工的労働力があり、日本は前者の人的資源が豊富だ、と考えれば辻褄が合う。実際、トヨタ方式が代表するように、日本の組立産業では、多能工を養成して資本設備をスリム化する現場が競争力を持ってきたのである。

以上はまだ暫定的な結論であり、過去の様々な研究との比較、サンプルを増やした追試が必要だが、少なくとも、「組織能力とアーキテクチャの相性」という従来見過ごされていたものづくり現場発の論理を、比較優位の説明論理に加えることには意味がありそうだ。

最後に、この結果の実践的含意を述べる。第一に、ある国の企業が、長期雇用の下での能力構築競争で鍛えられた「統合力」という組織能力を傾向として持つ場合、擦り合わせ型アーキテクチャの製品を国内に立地させた方が、その拠点は輸出競争力を持ち、国内に存続しやすい。「市場で作る」というもうひとつの原則から、擦り合わせ製品の海外生産も増えるが、海外生産を含む海外販売比率を見ても、擦り合わせ製品の方が高いのである。

第二に、日本企業は、国内における多能工的な労働力の養成を怠ってはならない。低成長下の数量変動対応で非正規従業員を増やさねばならないなら、そうした非正規従業員の多能工化をも極力進めるべきである。

むろん現実の産業構造は、個別企業の能力構築努力、戦略選択、環境変化など、多様な要素の累積的な産物であり、以上の結果はあくまで傾向を示すものでしかない。しかし、「日本が得意としがちな製品は何か」という問いに対するこうした現場発の指針は、企業がぶれない工場立地の決定を行う上でも必要ではなかろうか。 (了)

補論1 実証分析のデータについて

本稿を執筆するにあたり、「日本企業のアーキテクチャ戦略に関する調査」として企業アンケート調査を実施した。本稿の数値の作成、定量的分析は、上記のアンケート調査の結果に基づいている。企業アンケート調査の概要は以下の通りである³。

企業アンケート調査概要

1) アンケートの種類

- ・会社向けアンケート調査票1
製品別アンケートの転記・まとめ・集計
- ・会社向け／製品別アンケート調査票2
製品別のアーキテクチャ特性、市場環境などの質問
質問1：当該製品の内部アーキテクチャについて
質問2：当該製品と顧客や顧客システムとの関係について
質問3：インテグラル・モジュラーマトリックスへのプロット（総合評価による）
質問4：ものづくり組織能力と現場の競争力について
質問5,6：当該製品の部品および設備の構成について
質問7,8,9：当該製品の市場環境（生産・輸出・海外生産・輸入、市場シェア、利益率）について
質問10：当該製品の設備・労働力投入状況について

2) アンケート配布企業と回収状況

アンケート配布企業は、日本製造業（ソフトウェア会社1社）の中でも業界でリーダークラスの33社であり、2005年1月末日にアンケート回収が終了した。製品向けアンケートの回答は、各社によって回答製品数が異なるが、合計256製品におよび、そのうち製造業ではないソフトウェア会社の2製品を除くと254製品である。したがって1社あたりの平均回答数は約7.8製品である。

アンケート対象256製品を、経済産業省の産業分類で見ると、以下の10産業に区分される。

³「日本企業のアーキテクチャ戦略に関する調査」の企業アンケート調査の実施については、質問表の作成は、藤本隆宏（東京大学大学院経済学研究科教授）が全体指導し作成した。アンケートの送付・回収は経済産業省製造産業局、東京大学21世紀COE「ものづくり経営研究センター」大鹿隆（東京大学大学院経済学研究科特任教授）、富田純一（東洋大学経営学部専任講師）が担当した。アンケート表の集計については大鹿隆（東京大学大学院経済学研究科特任教授）、貴志奈央子（東京大学大学院経済学研究科博士課程）が担当した。

- (1) 鉄鋼・金属製品工業 (18 製品)
- (2) 一般機械工業 (40 製品)
- (3) 電気・情報通信機械工業 (41 製品)
- (4) 電子部品・半導体部品 (19 製品)
- (5) 自動車・自動車部品工業 (39 製品、うち自動車は 10 製品)
- (6) その他の輸送機械工業 (12 製品)
- (7) 精密機械工業 (2 製品)
- (8) 窯業・土石・化学工業 (48 製品)
- (9) 紙・繊維・食品工業・その他工業 (32 製品)
- (10) ソフトウェア・その他産業 (5 製品)

なお本稿の記述では、企業は企業コードで表記し、製品については企業コード・製品ナンバーか、あるいは経済産業省生産動態調査の品目分類名称で表記した。これは企業アンケート調査の守秘義務規定で論文等の記述では「企業名」と「製品名」を記述しない、としたことに基づく。

補論 2 製品アーキテクチャの実証分析結果と「レオンチェフ・パラドックス」

国際貿易論に基づく輸出競争力と、製品アーキテクチャ、生産要素との関連を見る実証分析結果において、統計的検定で有意な結果が得られたのは表 3 の式番号 1、すなわち被説明変数が「組立製品の輸出比率」、説明変数が「インテグラル・アーキテクチャ度」、「労働集約度」のケースである。この実証分析結果は、「組立製品の輸出競争力は、製品アーキテクチャのインテグラル度が高いほど強く、また、労働集約度が高いほど強くなる傾向がある」という解釈にいたる。この実証分析結果は、「レオンチェフ・パラドックス」⁴ であろうか。

日本は最大貿易相手国である中国に比べて労働力が少ないにも拘わらず、労働集約度が高いほど輸出競争力が強くなる傾向があると、実証分析結果を解釈するならば、「レオンチェフ・パラドックス」である。一方、労働力には長期雇用が醸成する多能工的労働力と、短期

⁴ 「レオンチェフ・パラドックス」とは、米国の経済学者ワシリー・レオンチェフが 1954 年に自ら開発した「産業連関表」を用いて、アメリカの輸出と輸入に体化される資本と労働の量を比較した研究を発表した。その結果で、アメリカの輸出に体化されている資本・労働比率（同額の輸入または輸出に含まれる資本量（1000 ドル）／労働量（労働者の年あたり労働））が、アメリカの輸入に体化されている資本・労働比率よりも低いことがわかったのである（同額の輸出と輸入を比べると輸入には輸出の 1.3 倍の資本労働比率が含まれていた）。当時のアメリカ経済学界では、ヘクシャー＝オリーン定理による貿易パターンの予測が正しいことは疑いの余地のないものとされていたのでレオンチェフの実証研究は大きなショックを与えた。レオンチェフ自身は、自分の実証研究により、アメリカが労働豊富国であることが証明されたと考えたのだが、第二次大戦後間もない当時、世界で最も豊かな国であったアメリカは、同時に世界で最も資本が豊富な国であると一般には考えられていたから、レオンチェフの結果はパラドックス（逆説）として受け取られたのである（竹森俊平「国際経済学」から引用）。

製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

で動く単能工的労働力があり、日本は前者の人的資源が中国より豊富だ、と考えれば「レオンチェフ・パラドックス」ではないと解釈できる。⁵

以上を確認するため、日本の貿易パターンと「レオンチェフ・パラドックス」の検証を試みた論文を、いくつかの文献サーベイで探査し、該当文献として、①建元正弘、市村真一、厚見博（1959）、「レオンチェフ逆説と日本貿易の構造—第2次研究報告」金森久雄編、『貿易と国際収支（リーディングス日本経済論）』日本経済新聞社、1970年、②櫻井紀久「貿易パターンの変化と要素蓄積 —G5諸国に関するレオンチェフ・パラドックスの検証—」（電力中央研究所報告：平成9年）を見出した。

文献①建元正弘、市村真一、厚見博（1959）「レオンチェフ逆説と日本貿易の構造—第2次研究報告」が示唆するのは、以下である。

通商産業省の29部門の産業連関表（1951年）を使って、日本の輸出及び競争輸入置換100万円当りの資本・労働必要量を計算し、纏めたものが**補論表1**に示される。

補論表1 日本の輸出及び競争輸入置換100万円当りの資本・労働必要量

	資本(α)	労働(β)	(α)/(β)	(γ)
日本 1951年	(1951 円)	(年 人員)		
輸出	1,385,780	5.520	251,047	0.644
競争輸入	1,330,926	8.233	161,657	
アメリカ 1947年	(1947 ドル)	(年 人員)		
輸出	2,550,780	182.313	13,992	1.300
競争輸入	3,091,339	170.004	18,184	

出所) 建元正弘、市村真一、厚見博（1959）、「レオンチェフ逆説と日本貿易の構造—第2次研究報告」金森久雄編、『貿易と国際収支（リーディングス日本経済論）』日本経済新聞社、1970年。

表中の(γ)で示された係数が、レオンチェフの言う「比較資本・労働集約度指数」に相当し、日本は0.644、米国は1.300である。米国の指標1.300はレオンチェフによる1954年論文であり、レオンチェフ・パラドックスの問題提起“アメリカの輸出に体化されている資本・労働比率（同額の輸入または輸出に含まれる資本量（1000ドル）／労働量（労働者の年あたり労働））が、アメリカの輸入に体化されている資本・労働比率よりも低いことがわかった（同額の輸出と輸入を比べると、輸入には輸出の1.3倍の資本労働比率が含まれてい

⁵「レオンチェフ・パラドックス」の用語は、レオンチェフの実証研究発表以降米国で多く議論されたように「本来資本豊富国であると考えられていた国が、労働集約度の高い製品の輸出競争力が強い」という結果が出た際に使われるが、ヘクシャー＝オリーンら新古典派の貿易理論である「生産性が一定なら、ある生産資源（例えば労働力）をより多く有する国はその資源を多く使う財（例えば労働集約度の高い財）を輸出する」という考え方と異なる結果が出た際にも使われる。本稿では後者のヘクシャー＝オリーンの理論に沿った使い方で議論を進めている。また、日本における「レオンチェフ・パラドックス」に関する論文も同様である。

た)”ことを示している。日本については、日本の輸出 100 万円は、同額の競争輸入を国内生産に置換するに要するであろうよりも多量の資本、少量の労働を必要とする、という結果である。レオンチェフ流に解釈すると、1951 年時点での日本の国際分業への参加は、労働集約的商品よりもむしろ資本集約的商品に見出される。したがって 1950 年代の日本の状況が人口過剰・資本不足国であるとの前提に立てば、日本でもレオンチェフ・パラドックスを示している。ただし、建元正弘、市村真一、厚見博（1959）はさらに、日本の外国貿易を先進国向け、後進国向けに分けて、日本の輸出は後進国向け輸出の比率が高く、後進国向け輸出は資本集約型商品が多いことを論じて、外国貿易のパターンを詳細に検討し、レオンチェフ・パラドックスを示した評価には、さらに検討の余地があることに言及している。

②櫻井紀久「貿易パターンの変化と要素蓄積 —G5 諸国に関するレオンチェフ・パラドックスの検証—」（電力中央研究所報告：平成 9 年）では、OECD の産業連関表（主要 10 カ国）と貿易データを用いている。論文の内容は以下の 3 点に要約できる。

- (1) 生産要素を労働、物的資本、人的資本、知識資本の 4 要素で定義して、各国の生産資源の相対的賦存度を G5 諸国全体と比較すると、1990 年時点では、日本は労働が相対的に最も豊富で知識資本が最も希少であること。要素賦存ランキングとボーエンらを用いた「貿易不均衡調整済みの要素コンテンツ」のランキングを比較すると、フランスを除く 4 ヶ国でいわゆるレオンチェフ・パラドックスが観察された。例えば、日本は、相対的に労働豊富であるにも拘わらず貿易を通じて知識資本サービスを輸出している。
- (2) 各国の製造業貿易を地域別に分割し要素コンテンツを計測すると、近年日本は先進国・途上国を問わず、どの地域に対しても知識・人的資本集約的な財（半導体・自動車・コンピュータ等）を輸出する傾向がある。
- (3) 日本について 18 職種別に労働を細分化し、貿易に体化した要素コンテンツを計測した結果、1975 年時点では、金属加工・機械組立・修理工等のいわゆる「熟練工」が、人的資本・知識資本を抜き、最も豊富であった。また、1990 年時点では、その間に生じた貿易の高度化、R&D 投資の拡大を反映し、知識資本が最も豊富という結果になったが「熟練工」も第 2 位で依然として高い。こうして日本は労働、特に熟練労働豊富国という点で、ヘクシャー＝オリーン定理の予想と整合的であり、レオンチェフ・パラドックスは部分的に解消する。

櫻井の論文の要点は、労働データを労働投入量の一本で用いると、先進国の場合国際貿易についてレオンチェフ・パラドックスの結果が出やすい傾向があるが、労働データを細かく分解して実証分析を行なうと（日本の場合、熟練工）、レオンチェフ・パラドックスは部分

的に解消される傾向があることを示している。したがって本稿の実証分析結果について、労働力を多能工的労働力と単能工的労働力に分けて解釈した見方、つまり「労働力には長期雇用が醸成する多能工的労働力と、短期で動く単能工的労働力があり、日本は前者の人的資源が中国より豊富だ、と考えればレオンチェフ・パラドックスにはなっていない」との解釈は妥当である可能性が高い。ただし、更に確実な実証分析を進めるために、今後の企業アンケートでは、製品別に多能工的労働力、単能工的労働力の差異についての質問を導入し、確認する必要があるだろう。

補論 3 不均一分散と多重共線性について⁶

多重回帰モデルを推定する場合、誤差項 u_i は互いに独立な同一の分布を持つ攪乱項とする（攪乱項はそれぞれ独立に平均ゼロ、分散 δ^2 の分布に従う）前提である。多重回帰モデルの場合、時系列分析では誤差項が互いに相関関係をもつ系列相関（serial correlation）が起こる場合があり、クロスセクション分析では不均一分散が起こる場合がある。本稿のデータはクロスセクションデータなので、不均一分散の検定を実施した。

クロスセクション分析では誤差項の分散が i について異なることを不均一分散（heteroscedasticity）と呼ぶ。分散がデータ i に依存するとき、代表的な特定化としては、分散が他の変数（例えば、 Z_i ）に依存する場合がある。例えば、消費の場合、所得や資産に応じて分散は大きくなる可能性がある。

本稿の輸出比率と関連データのデータセットは、特定企業の特定製品のアンケートデータであるため、例えばA社のB製品は輸出比率が10%であるが、C社のB製品は輸出比率が50%であるということが起こりうる。このときアンケートデータがA社、C社のデータセットを含んでいれば良いが、悉皆調査ではないのでA社のデータしかない場合などがありうる。従って本稿のデータセットは誤差項の分散が不均一分散となっている可能性は排除できない。

補論 4 では、組立製品の輸出比率の多重回帰モデルのうち、

$$Y（輸出比率）=F（X1:インテグラル・アーキテクチャ度、X2:労働集約度）$$

の不均一分散について検定する。

6章実証分析のまとめ—表 5 の式番号 3 の回帰分析は以下の通りである。

（組立製品の場合：輸出比率）

（Y：輸出比率、X：インテグラル・アーキテクチャ度、R1：労働分配率）

⁶ 不均一分散と多重共線性については、豊田利久、太谷一博、小川一夫、長谷川光、谷崎久志「基本統計学（第2版）」（東洋経済新報社、2002年）を参照した。

$$Y = 0.1569 * X + 0.207 + 0.819 * R1 \quad (N=52, \text{決定係数} : 0.236)$$

(3.40) (3.44) (2.74)

(注) 回帰係数の下段 () 内は t-値、N はサンプル数

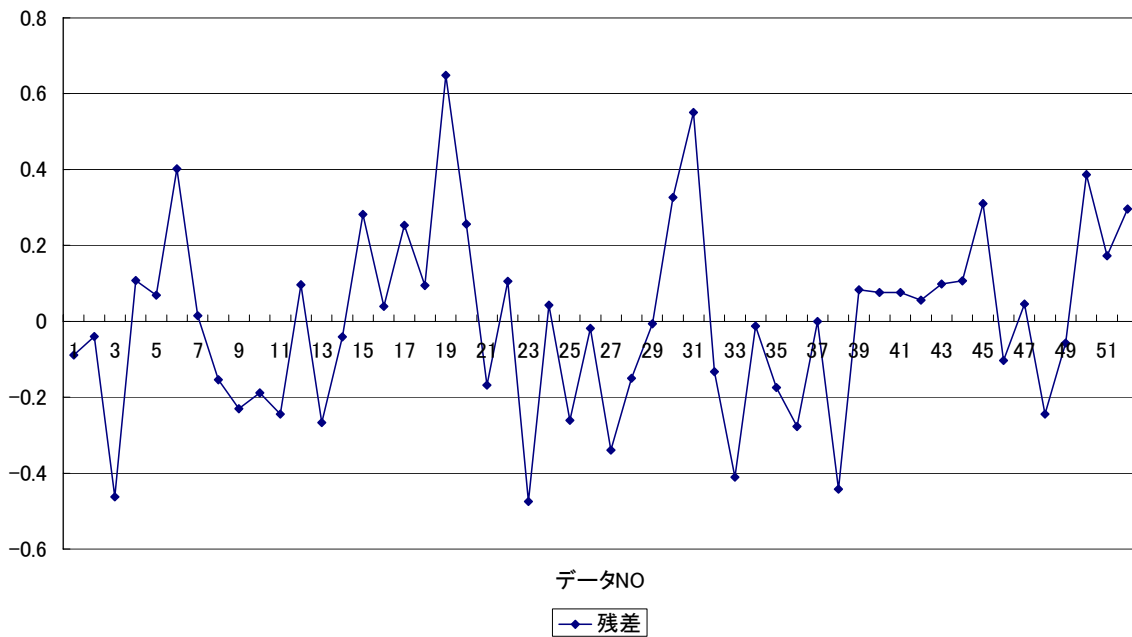
(自由度 50 の t-分布の 1%点 は t-値=2.70 であるから、回帰係数は 1%水準で有意)

(1) 推定結果の残差出力

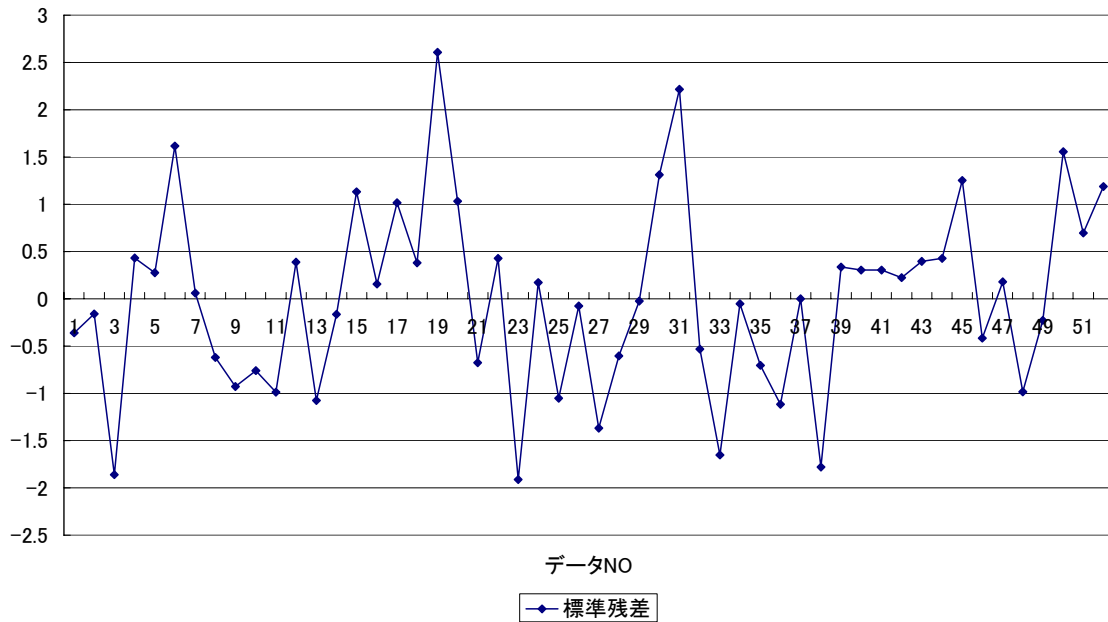
推定結果の残差、標準残差は補論図 1,2 の通りである。

標準残差については、 $-3 < \text{標準残差 } i < 3$ 、の範囲であり、特に異常値は見当たらない。

補論図 1 推定結果の残差マップ

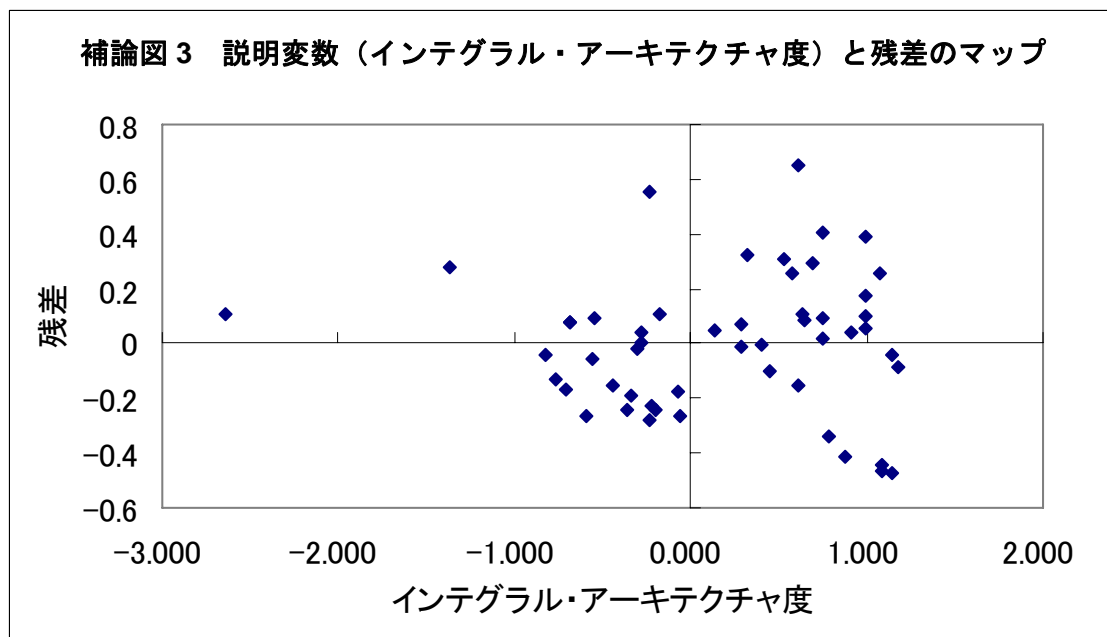


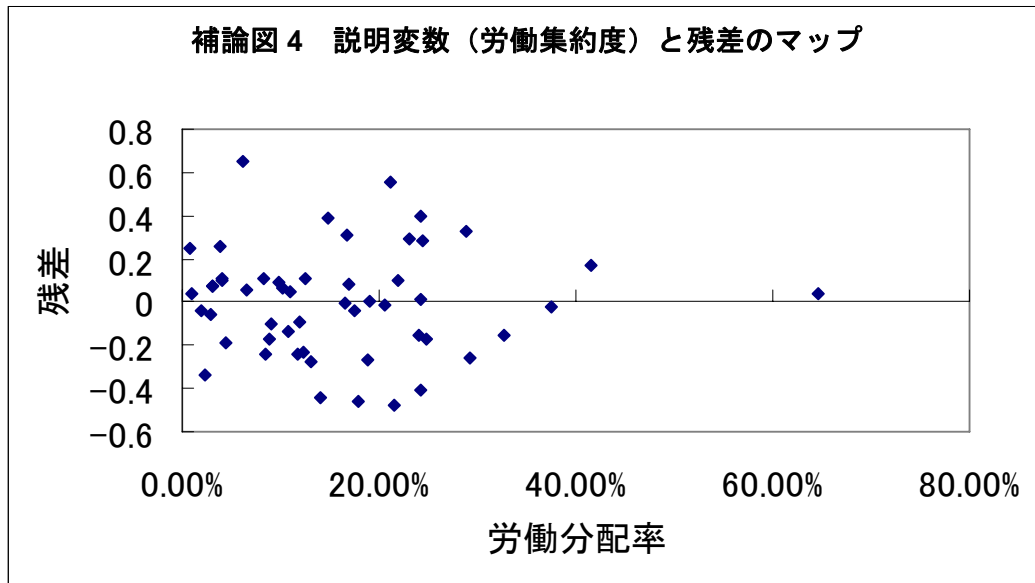
補論図2 推定結果の標準残差のマップ



(2) 説明変数（インテグラル・アーキテクチャ度、労働集約度）と残差のマップ

次に、説明変数（インテグラル・アーキテクチャ度、労働集約度）と残差のマップを見てみると、補論図3,4の通りである。





労働分配率については、数値の変化に対して残差が特定の方角に動く傾向は見られないが、インテグラル・アーキテクチャ度に関しては、数値が大きくなると残差が拡大する傾向が見られる。

(3) 不均一分散の検定について

誤差項 u_i の分散 δ_i^2 が、変数 Z_i に依存して、 $\delta_i^2 = \delta^{*2} * Z_i^2$ と書き表せるかを問う検定は、

$$\delta_i^2 = \gamma Z_i^2 + \varepsilon_i$$

をゼロ切片回帰分析で推定し、 γ の最小 2 乗推定量の有意性検定を行えばよい。

残差の 2 乗とインテグラル・アーキテクチャ度の 2 乗の推定結果は以下の通りである。

(Y : 残差の 2 乗、X1 : インテグラル・アーキテクチャ度の 2 乗)

$$Y = 0.0274 * X1 \quad (N=52, \text{決定係数} : 0.075)$$

(2.31)

(注) 回帰係数の下段 () 内は t-値、N はサンプル数

(自由度 50 の t-分布の 1% 点は t-値 = 2.70 であるから、帰無仮説 : 回帰係数 = 0 を 1% 水準で棄却することはできない)

残差の 2 乗と労働集約度の 2 乗の推定結果は以下の通りである。

(Y : 輸出比率、X2 : 労働集約度の 2 乗)

$$Y = 0.3610 * X2 \quad (N=52, \text{決定係数} : 0.047)$$

(1.91)

製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析

(注) 回帰係数の下段 () 内は t-値、Nはサンプル数
 (自由度 50 の t-分布の 1%点は t-値=2.70 であるから、帰無仮説: 回帰係数=0 を 1%水準で棄却することはできない)

以上より、組立製品の輸出比率の多重回帰モデル、

$$Y (\text{輸出比率}) = F (X1:\text{インテグラル・アーキテクチャ度}, X2:\text{労働集約度})$$

の回帰分析結果は「不均一分散になっているとはいえない」ということになる。

(4) 多重共線性について

多重共線性は、多重回帰モデルで説明変数間に強い相関関係があり回帰係数の符号が理論通りでない、推定値の有意性が低いといった問題を引き起こす。多重共線関係については説明変数間の相関・回帰分析でチェックできる。

(Y : インテグラル・アーキテクチャ度、X : 労働分配率)

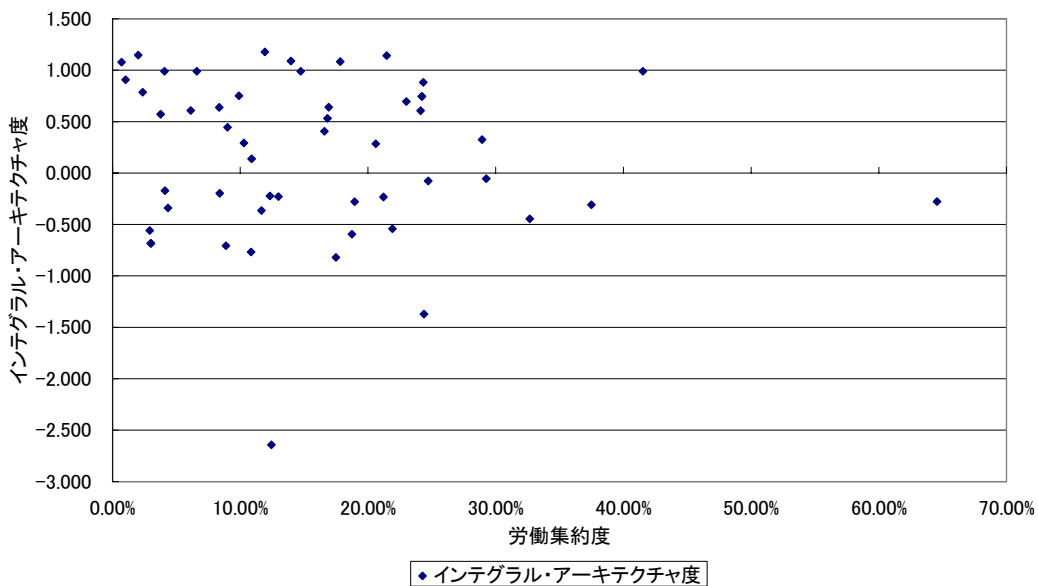
$$Y = -0.518 * X + 0.257 \quad (N=52, \text{決定係数} : -0.013)$$

(-0.565) (1.42)

(注) 回帰係数の下段 () 内は t-値、Nはサンプル数

推定結果の決定係数はゼロであり、回帰係数の t-値も低いのでインテグラル・アーキテクチャ度と労働分配率のデータには、多重共線性は認められない。

補論図 5 (Y:インテグラル・アーキテクチャ度、X:労働分配率)のマップ



参考文献

- 藤本隆宏（2001）『生産マネジメント入門』日本経済新聞社
- 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（2002）「製品アーキテクチャの概念・測定・戦略に関するノート」CIRJE-J-78 ディスカッションペーパー
- 藤本隆宏（2003）『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）「アーキテクチャの比較優位に関する一考察」MMRC-J-24 ディスカッションペーパー
- 藤本隆宏、大鹿隆、貴志奈央子（2005）「製品アーキテクチャの測定に関する実証分析」MMRC-J-26 ディスカッションペーパー
- Goepfert, J. and M. Stein brecher(1990) "Modular Product Development:Managing Technical and Organizational Indipendencies," mimeo.
- 竹森俊平（1995）『国際経済学』東洋経済新報社
- 建元正弘、市村真一、厚見博（1959）「レオンチェフ逆説と日本貿易の構造—第2次研究報告」金森久雄編、『貿易と国際収支（リーディングス日本経済論）』日本経済新聞社、1970年
- 櫻井紀久「貿易パターンの変化と要素蓄積 —G5 諸国に関するレオンチェフ・パラドックスの検証—」（電力中央研究所報告：平成9年）
- 豊田利久、太谷一博、小川一夫、長谷川光、谷崎久志「基本統計学（第2版）」（東洋経済新報社、2002年）