

# 【研究論文(査読付)】新しい視点による製品アーキテクチャの 解明

—「基盤知」の優位性—

村越 稔

日本大学大学院総合社会情報研究科

## Analysis of product architecture from a new perspective

—Advanced Basic Knowledge—

MURAKOSHI Minoru

Graduate Student at the Graduate School of Social and Cultural Studies, Nihon University

Japan expanded trade by transferring production to Asia through the fragmentation of production processes. This is largely due to the change in product architecture to a modular type in which products are assembled by combining individual units. However, even Japan, which once transferred production to Southeast Asia, finds it difficult to compete in the manufacturing industry with emerging countries that have acquired production technology.

In order for Japan to recover from its slump, it is necessary to re-analyze conventional product architecture theory from a new perspective. Among technologies that form the basis of the architecture, I focused on the integration technology that was essential part of traditional Japanese analog technology and examined its superiority.

**Key words:** integration technology, analog technology, product architecture, modular type architecture

### 1. はじめに

かつて世界の経済発展の先頭を走っていた日本も、バブル崩壊以後停滞し、代わりに韓国・台湾や中国が活躍するようになった。日本はリニア新幹線が代表するように技術的には先端を行くが、生産を移転した中国や東南アジア諸国が今は力をつけて、雁行型の経済発展は無くなっている<sup>1</sup>。

アジア諸国は先進国との工程間細分化分業（フラグメンテーション）によって生産移転を行い、産業が発展した。それは製品アーキテクチャが、各ユニットの組み合わせで製品をまとめるモジュラー型へ変革したことが大きく影響していると考えられる。そして分業化により、大きく生産を伸ばした中国は「世界の工場」として急激に発展し、さらに世界へ経済

発展を広げる政策を推進している。かつて東南アジアに生産移転した日本も、これから産業一特に製造業が発展する国において、中国に競合して行くのは難しいと考える。

筆者は本稿において、日本は今まで培った技術のうち、既に展開して後続国に伝えた生産技術から、更に高度な技術や深い分析能力を生かした技術格差によって、その得意技術で存在価値を発揮し、産業発展して行くよう目指すべきであると考え、そのための重要な基盤となる技術は何か、を新たな視点から分析し直したい。

近年デジタル化によって高性能低価格になったIT機器や家電製品も、表には目立たない基盤となる部位にはアナログ技術の貢献があり、品質や性能を発

揮できている。アナログ技術は長年の経験を必要とし、すり合わせ技術同様日本の伝統的得意技術で、習得することが難しい。そのような基盤となる日本の得意技術について、製品アーキテクチャに注目して究明し、理論付けを行うことが本研究の目的である。

## 2. 製品アーキテクチャについての先行研究

日本の役割として、筆者は「ものづくり」の技術を重要な要素として研究している。そのような狙いを背景に、製品アーキテクチャの先行研究の中から、主な研究を取り上げる。

### 2.1 製品アーキテクチャ

国際分業化を進めることが出来た背景には、製品化のアーキテクチャ（設計方式）の变革がある。村越（2022）で既述したように、Ulrich（1999）は、一つの部品が一つの機能のみと結合している製品を

モジュラー型、一つの部品が複数の機能と相互に連携している製品をインテグラル型と分類した<sup>2</sup>。モジュラー型は部品間の組合せが自由になり、大量生産が容易になる。一方部品相互の組み合わせに調整が必要な製品がインテグラル型（すり合わせ型）で、これは調整できる高度技術が必要であり、従来日本が得意としてきたアーキテクチャである。藤本（2003）は、それに製造工程を加えて体系化し、アーキテクチャの特性による製品を類型化し、図1で表した。

図1では、横軸に産業の特性としてモジュラー型とインテグラル型の二つをとり、縦軸には業界規格の標準化の進展度合いを基準に、オープンタイプ（インターフェースが公開され自由に利用可能）とクローズタイプ（一つの企業の中での固有技術）の二つをとる。この製品アーキテクチャが、左上のクローズ・インテグラルから右下のオープン・モジュラーと変化したことで、後続国のキャッチアップが容易になり、国際分業化が大きく進展した。

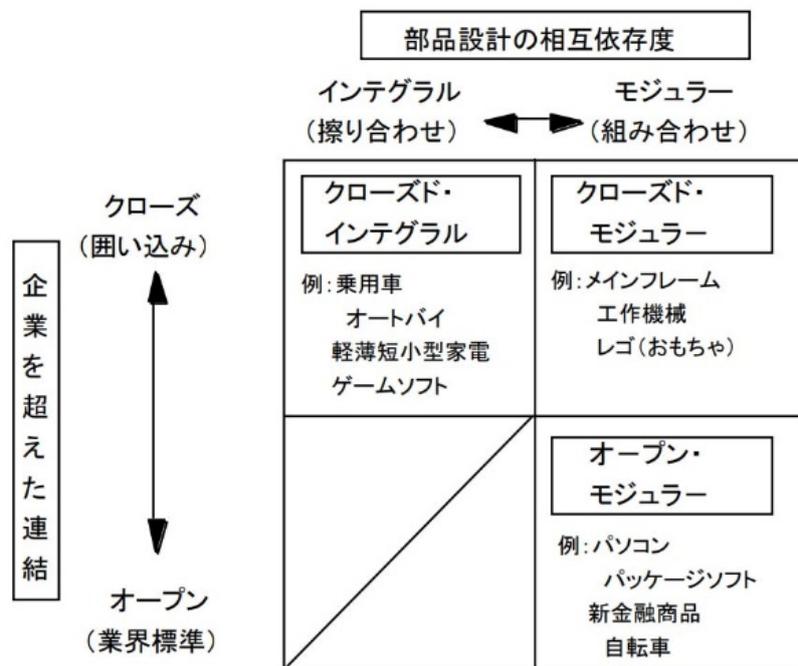


図1 アーキテクチャによる製品類型  
(出所) 藤本（2003）p.9

図1におけるアーキテクチャの各類型特徴について述べると以下となる。

横軸：モジュラー型／インテグラル型

- ① モジュラー型（組み合わせ型）：機能と部品（モジュール）との対応が1対1に近い形になっている設計形式である。各部品が機能完結的であるため、インターフェースの設計ルールの知識があれば他の部位を気にせずに設計ができる。
- ② インテグラル型（すり合わせ型）：機能群と部品群が複数で対応している設計形式であり、自動車はその典型的な例である。機能と部品が「複数対複数」の関係にあり、各設計者は連携をとりながら調整する必要がある。

縦軸：オープン型／クローズ型

- ① オープン型：モジュラー型製品の種類であり、モジュール間のインターフェースが業界で標準化した製品のことであり、異なる企業から良いモジュール（部品）を選んで組み合わせれば、機能性の高い製品ができる。
- ② クローズ型：モジュール間のインターフェース設計ルールが1社内で閉じている。各部品の設計は外部委託もあるが、基本設計は社内で完結している。

藤本（2009）は、アーキテクチャとは「設計構想」あるいは「設計形式」のことである、と述べている。そして「ものづくり」について以下のように定義している<sup>3</sup>。

- ・人工物は自然物と違い、人間がその機能・効用や構造・形状を事前に構想したものである。人工物の機能や構造に関する事前の構想が「設計」である。
- ・アーキテクチャとは、設計の形式的側面のことであり、人工物の設計情報を設計要素間の結合関係として、形式的に示すのがアーキテクチャである。

## 2.2 階層構造化した製品アーキテクチャ

新宅（2004）は、図2のように、製品種別による日本と中国のインテグラル型／モジュラー型アーキテクチャの得意性配分を示している。図2を見ると、すり合わせ技術が得意な日本は、自動車やオートバイ等のインテグラル型の製品の方に重点があり、一方中国は携帯電話やDVD等のモジュラー型の製品が得意であることが分かる。

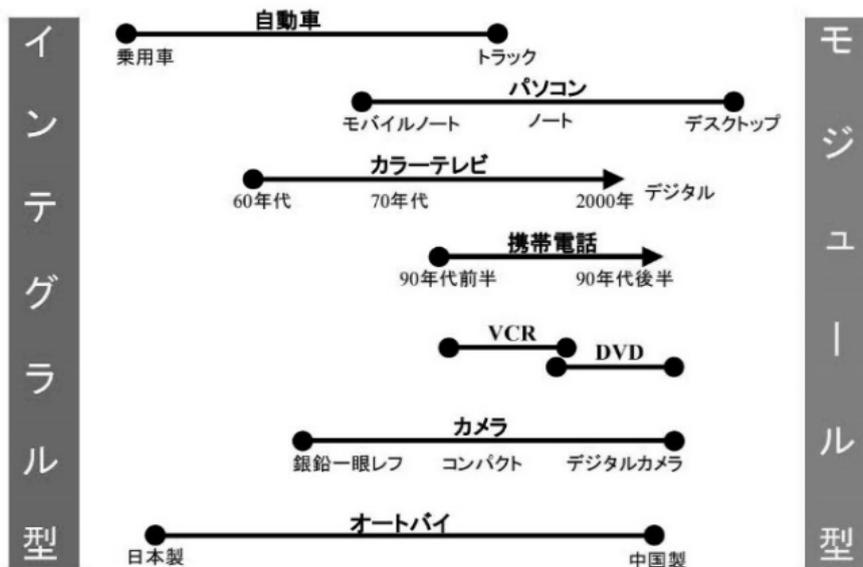


図2 製品アーキテクチャの分布  
(出所) 新宅（2004）p.99

更に新宅（2006）は、製品の構造を部品レベルまで着目してアーキテクチャを分析し、製品としては

モジュラー型でも、使用されている部品の中には、すり合わせ型の性質をもっている DVD プレーヤーを例に取り上げて、部品のモジュラー化が進み、中国の新規参入企業が部品を購買して生産ができるようになったことで、2004 年には全世界の半数近くの DVD プレーヤーが中国企業によって生産された、と述べている。

一方で新宅 (2006) は、光学ピックアップや制御用 LSI などの主要ユニットの生産には高度技術が必要で、このような主要部材は後発国のキャッチアッ

プが難しくなっていると述べ、実際に DVD ドライブでは日本はシェアを落としているが、商品化後 20 年も経った CD-ROM 用のピックアップも含めて、光ピックアップでは圧倒的なシェアを維持しており、日本企業がモジュラー型製品では弱くても、すり合わせ型部品では強いことを示している、と述べている。

以上を整理して新宅 (2006) は、製品の階層性を分析し、製品のどのレイヤーにモジュラー/インテグラルの性質が残っているかを図 3 で示している。

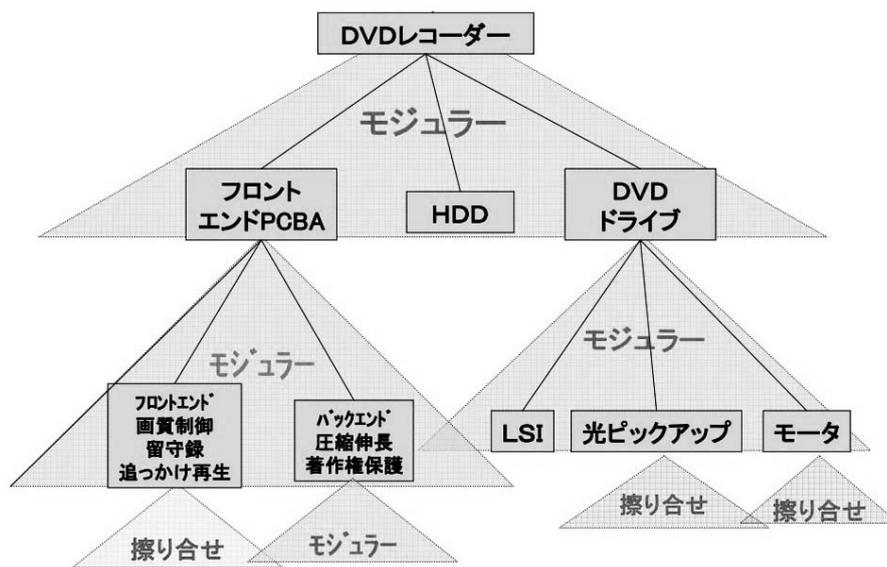


図 3 アーキテクチャの階層構造分析

(出所) 新宅 (2006) p.13

上記の結果として新宅 (2006) は、モジュラー型製品は後発国への移転が起こり、主要となるモジュールは先進国に残る協業関係が成立すると述べている<sup>4</sup>。

これは本稿 1. で述べたように、生産移転されても技術格差によって協業関係が継続し、高度あるいは得意技術の「ものづくり」で存在価値を発揮できる、ということの良い例である。

### 2.3 新しい産業階層構造

近年になると藤本 (2020a) は、アーキテクチャ論から更に発展させて、図 4 のように世界の産業の階層構造を 3 つに分類し、分析している。

3 層の特徴は以下である。

- ① モノではなく、ソーシャルネットワークのようなオープン設計思想と米国プラットフォーム企業が支配する「上空」
- ② 物理法則が支配し、自動車メーカーのような伝統的な製造企業がモノで競争を行う「地上」
- ③ 日本の FA 企業のような上記①と②を常時接続するインターフェースとしての「低空」

藤本 (2020a) は、米国プラットフォームの GAFA (Google, Amazon, Facebook, Apple) のような盟主企業は、米国企業の中でも僅か数社であり、日本でも確実に成長し、収益を出している企業はある。日本に必要なのは「どうすれば勝てるか」であり、日本

企業は②地上で、①米国企業に上空の制空権を握られ、③低空では一部ドイツ企業に先行されている事が課題である、と述べている。

しかし藤本（2020a）は、すり合わせ型設計の製品と調整型の現場力に優位性を持つ日本企業は模倣されない製品で「上空」と連結する必要がある、ドイツを中心とした EU の産業競争力への過度な注目は危険である、とも述べている<sup>5</sup>。それは③について、プロパガンダが先行して実態はまだそこまで至っていないとしており、米国盟主企業の活躍やドイツを代表とした新たな産業方針に対して過度に反応する

のではなく、日本としての特長を見極めた上で他の階層と連携しながら、着実に得意技術の確保を目指すことが重要であると述べている。

そして藤本（2020b）では、米国はハイテク・モジュラー国として新製品を開発し、モジュラー型製品が得意な中国が生産を行っていた。米国・中国とは補完的な製品を得意とする日本にとっては、両国から高度なすり合わせ型製品の発注の来る商機である。この機を逃さず、他の階層に比較優位な技術でついていくことが肝要である、と述べている<sup>6</sup>。

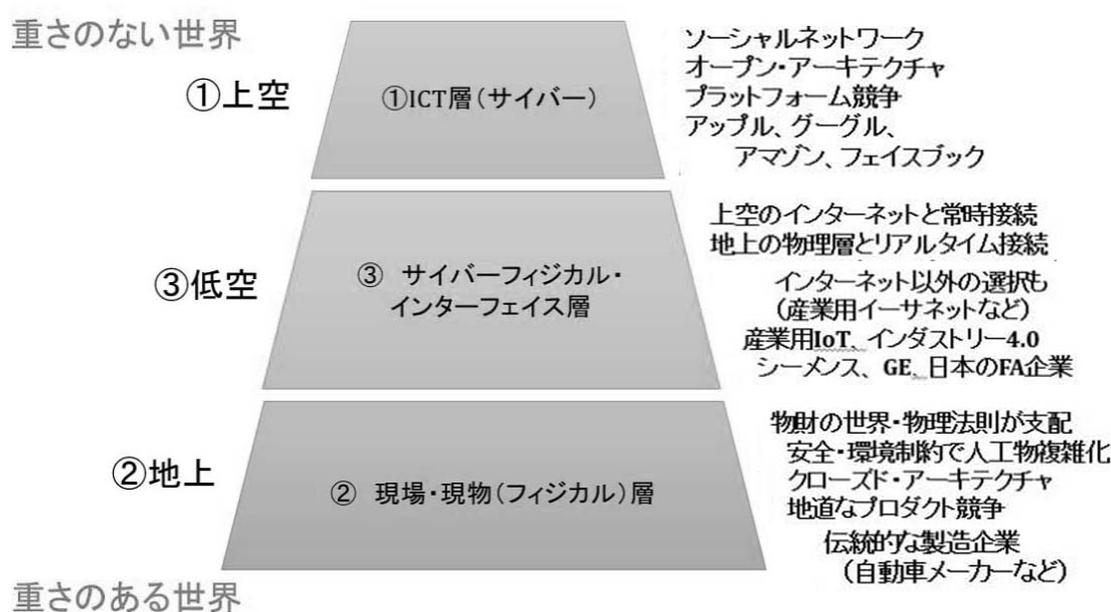


図4 3層モデル

(出所) 藤本（2020a）p.134 を基に筆者作成

## 2.4 生産現場のものづくり論とアーキテクチャ論

鈴木他（2009）は、生産現場のものづくり論に対して、アーキテクチャ論が語れる範囲は狭い、と結論づけて以下を述べている。アーキテクチャ論は設計・開発における論であり、生産現場ではない。アーキテクチャだけではものづくりの競争力は決まらない。日本的な生産現場から、その産業のアーキテクチャの型を判断することはできない。また「日本の生産現場の組織能力が効力を発揮している産業だからインテグラル型だ」とするのも間違いである、と述べている。

つまり「ものづくり論議」に対して過度に依存するのではなく、冷静さが必要であるとしている<sup>7</sup>。

以上の先行研究を踏まえて、本稿ではアーキテクチャに対して、伝統的すり合わせ技術・アナログ技術などが、どのような役割を果たしたのかに注目する。リサーチクエスション（研究課題）は、

アーキテクチャの基本にあって、それを支えるものは何であるか

であり、以下それについて探求して行くことが本稿の課題である。

### 3. 新しい視点によるアーキテクチャの解明 — 基盤知識

#### 3.1 先行研究におけるアーキテクチャ論の再検討

##### (1) 先行研究の分析—アーキテクチャの基盤技術

2. で述べたように、製品アーキテクチャについて

優れた先行研究が数多くあるが、それを佐伯 (2008) は、製品アーキテクチャ論の系譜としてまとめている。その系譜の中から本稿に関係する主な先行研究を抽出して整理し、表 1 に示す<sup>8</sup>。

表 1 製品アーキテクチャ論の系譜

研究テーマ	研究者 (発表年)	内容
製品アーキテクチャ論の台頭	Abernathy and Utterback[1978], Utterback[1994]	当初は、製品イノベーションが加速するが、支配的デザインが確立すると、生産コスト上のメリットを追求する工程イノベーションが主となる。
製品アーキテクチャの視点	Henderson and Clark[1990]	イノベーションが構成要素間のつなぎ方の変化によっても起こる。
製品アーキテクチャの定義と精緻化	Ulrich and Eppinger [1998], Fine [1998], 青島 [1998], 藤本 [1998, 2001], 国領 [1999]	構造要素と機能要素との疎密さに応じた類型化としてインテグラル型かモジュラー型か、インターフェースの開放度に応じてクローズド型かオープン型かという評価軸を使う。現代の複雑な人工物では、構造と機能の対応関係は階層化されている。
欧米でのモジュラー化の研究	Sanchez and Mahoney [1996]	モジュラー型のインターフェースを標準化することは、非統合組織が組織化していく連結性を高める新しいデザインである。
プラットフォーム・ビジネス研究	Baldwin and Clark [1997, 2000]	①モジュラー化のメカニズムを説明した。②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、水平分業型へと移行する。
日本における製品アーキテクチャの産業分析	藤本・安本編 [2000], 藤本・武石・青島編 [2001]	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でも、すり合わせを実現する組織能力があれば、インテグラル型製品でも国際競争力を持つ。
複合ヒエラルキーの概念と組織能力	藤本 [2003b], Clark and Fujimoto[1991]	「表層の競争力」は外部からの評価が可能であり、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、長期間の組織学習が構築する。生産性向上、リードタイム短縮は、自動車のすり合わせ的生産を可能にし、世界トップクラスの品質を維持してきた。
複合要素技術型製品の分析	朴(2005)	ソフトとハードを最適に統合することで製品差別化ができる統合型製品の長所と、構成要素の組み合わせで開発期間が短縮できるモジュラー型製品の長所を融合するプラットフォーム型アーキテクチャを提起した。

(出所) 佐伯 (2008) を基に筆者作成 pp.134-155

表 1 の先行研究を調べると、研究が進むにつれて、「表層の競争力」あるいは「深層の競争力」に進んでいるが、それはものづくりの現場から、それを

管理する組織の能力や更にソフトウェアとの統合に視点を移している研究もある。どの研究もアーキテクチャの底辺まで深く掘り下げるのではなく、他の

要素に視点を移していることで、本研究にとっては、ものづくりの基盤技術についての深い検討が不十分である。

## (2)アーキテクチャを支えるもの

先行研究に対し本稿では、ものづくりの本質について、さらにその底辺にあるものを深く見詰め直した。それは製造産業に共通しており、製造産業に重点を置いている他の国にもある。しかし日本固有ではないにせよ、日本は伝統的にその基盤知識を磨き、蓄積してきたことで、他の国に抜きん出て特長として生かしている。しかもそれが高度技術を必要とする材料・部品の製造には重要な技術であるため、本稿の3.2で例を示すような他国との技術格差になっている。

ものづくりの基盤技術の継承と強化には、現場で実践することが重要である。更に現地の支援のためには現地と同じ環境の再現実験設備が必要で、技術者も製品と一緒にその環境の中で身をもって体験することが必要である。その努力を通して原因と対策を考え、技術を磨くことができる。天野(2005)は、熟練技術の伝承と強化が重要であるが、熟練技術の伝承には現地と同じ環境の現場が不可欠であり、熟練技術の高度化と伝承には、相当期間にわたって現場を共有することが必要である、と述べている<sup>9</sup>。

図4において藤本(2020a)は現在のデジタル化論は、①上空重視のあまり②地上の物的世界の複雑さを軽視する傾向がある。しかし②の物財が複雑であるからこそ、③の「低空」が発達した。これに対し、複雑なすり合わせ型設計思想の製品と調整型の現場力に強みを持つ日本企業には、②「地上」においてさらに能力構築をして模倣されない製品を確保した上で、①「上空」と連結するアーキテクチャが必要である、と述べている<sup>10</sup>。

この考え方はこれから重要なアーキテクチャであるが、それを更に深く掘り下げた分析を行うと、②「地上」の下に、実は基盤となるベーシックなアーキテクチャが存在している。それは図4にあるような物理法則だけでは実際の環境の中で、製品は意図した動作をしない場合がある。温度や塵埃等の環境条件、時間的経過による経年(化学)変化等によっ

て、正常動作できなくなる。それを製品の開発過程で様々な評価試験を行い、対策を施して行くことで、市場に出た後の長期使用に耐えられる製品となるのである。「ものづくり」のその段階を見つめ直すことで、アーキテクチャの基盤を支えるものが見えて来る。

藤本(2007)はアーキテクチャにもとづく比較優位と国際分業について、中国の電子産業では、すり合わせ型の部品は日本企業など外国企業が提供し、中国企業がモジュラー型の完成品を組み立てるといふ分業構造が見られる。従って、国内現場に残すべき製品はすり合わせ型アーキテクチャの製品である、と述べている<sup>11</sup>。また藤本(2007)は、すり合わせ型アーキテクチャについて、今まで高性能低価格になったITや家電製品を改めて見ると、品質や性能を発揮できているのは、その基盤にはアナログ技術を中心とした、長年の経験を積み上げてきた日本の伝統的すり合わせ技術があると述べている。

この伝統的すり合わせ技術が製品アーキテクチャを支える基盤となる技術であれば、それを深く掘り下げていくことが重要であり、更にその技術格差によって新たな分業体制が可能となるのではないかと考える。そこで以下の仮説を立てる。

仮説:アーキテクチャの基本にあるものは「基盤知」であり、アーキテクチャは基盤知によって支えられ、それはまたフラグメンテーション(細分化分業)を可能にしている。

先行研究を新たな視点からさらに深く分析し直した結果、「ものづくり」の根幹には高度な技術や深い分析能力を生かした基盤技術があることが分った。そこであらためて、産業発展のための重要な基盤技術は、伝統的すり合わせ技術・アナログ技術であることを抽出してみる。

## 3.2 デジタル／アナログ技術の特徴

仮説を検証するに当たり、デジタル／アナログ技術の特徴を定義する。

### (1) デジタル／アナログ技術の定義

デジタル／アナログ技術とはどんな技術であるか、

簡単に定義を述べると以下である。

- ① デジタル技術は、コンピューターや IT 機器の中で数値を 10 進法ではなく、1 と 0 の 2 値として計算処理する技術が基本である。またその計算は英語をベースにしたソフトウェアで演算を行い、「誤差」の無い論理的・数値的な値を出して制御する。演算方法が同じであれば答えは同じであり、機器の製造や操作する人間のスキルに基本的には無関係である。処理能力やエラーを起こさない信頼度の高低差がコストに反映される。
- ② アナログ技術は、昔からのオーディオに代表さ

れるような連続する値を扱う技術であり、メカニズムのような機械運動もアナログ技術である。製造の結果には加工精度や耐久性・見栄えが出るので、その精度を上げるために、材料の選定・機構や加工方法に技術と工夫が必要となり、その高低差がコストに反映される。

人間の感性や動作はアナログであり、現代のデジタル技術を主体とした IT や家電製品、自動車は、人間の指示をデジタル変換して制御演算し、結果をアナログ変換して人間が分かるようにしている。

例を挙げて特性をまとめ、定義すると表 2 となる。

表 2 デジタル／アナログ技術の定義

種類	回路技術	メカ技術	特性
デジタル	論理演算回路 高速通信回路 波形が矩形 (1 か 0)	切り替え機構、 位置決め機構	論理的、数式的 数値化 1 か 0、白黒明確 マニュアル化容易、遠隔教育可能
アナログ	増幅回路、波形整形 低速通信回路 ノイズ対策・除去 波形が曲線 (連続値)	弾力性、振動、 音響、光学 寿命、摩耗 乗り心地、触感	すり合わせ 実地教育 (師弟・口頭伝授) 暗黙知、感性 グレー、中間値、ファジー

(出所) 筆者作成

## (2)アナログ技術の貢献分野

表 2 でデジタル／アナログ技術の定義をし、特性の相違について示した。デジタル技術の応用のされ方については、製品の宣伝にも多用されて一般に分

かり易いが、日常あまり話題に出て来ないアナログ技術がどのような製品分野に貢献しているかを、ここで簡単にまとめると、表 3 となる (工学的な内容は本論には直接関係しないので、紙幅もあり、説明を省略する)。

表 3 アナログ技術の貢献分野と要素

貢献分野	要素
材料	高性能鉄板・合金 (磁石)・プラスチック等化学製品
IT、家電	LSI 回路、光電素子、小型高精度パーツ
自動車	エンジン性能、走行性能、排気ガス処理、EV 化、乗り心地
共通	精密・長寿命メカニズム、光学・電気化学反応

(出所) 筆者作成

表 3 のアナログ技術の貢献内容としては、材料成分の調合、レアメタルや特殊材料の配合、触媒の選定、温度や時間等の管理技術、ノイズ回避の配線・

素子配置、冷却の工夫他があり、その評価試験として、性能評価試験、振動試験、騒音試験、空洞試験、走行試験、寿命・環境試験等多数ある。

製品設計は物理現象の基本となる学問や法則、それに基づく公式や数値表に従って行うが、製品化して種々異なる環境の中で実運用に入ると、理想的な法則通りにはならない事がある。従って事前に実稼働のシミュレーションによる試作機の評価試験を行い、試験結果のデータを分析しながら条件や材料を色々変化させ、最良となる配合や条件を求めるという試験—分析—再設計の繰り返しとなる。

また現代の測定機はデジタル技術に拠る物が多いが、得られるデータはアナログ量であり、処理もアナログ技術が中心となる（この詳細内容は企業のノウハウであり、外部に公表されることはほとんどない）。

上記のように、アナログ技術は概ね全ての製造業のベースにあり、デジタル技術も実際の中身や生産工程はアナログ技術によって支配されていることが分かる。更にアナログ技術は時代が変わっても急には陳腐化しない。例えば、自動車の動力がEV化や他の方式に変わっても、上記のような開発技術手法が基盤技術であることは変わらない。物理現象は永遠不変であるからである。アナログ技術は急速に進歩しない反面、地道な努力と経験の積み重ねが重要となる。そして経験によって身に着くので、その技術者を育てるためには長期間の実践による訓練が必要であり、そのような実践経験を必要とする製品の「ものづくり」の体制や設備は国内に残しておく必要がある。

### (3) デジタル／アナログ技術の実応用例

デジタル／アナログ技術の相違点と関係を理解するために、メカ技術と回路技術の実例を挙げる。

青山 (2011) は、日本の金型の製作は、熟練者のノウハウや技能に支えられてきたことで世界的に高品質な金型となり、世界の金型の45%以上を生産した時期もあった。技能の蓄積と技能に基づく創意工夫をしたことで、他国が模倣のできない金型を生産することができた。しかし一方でCAD/CAM/CAE技術つまりデジタル技術は、技能依存度を低減し、工期を短縮してグローバルな金型生産を可能にしている。更に金型製作を効率化し、金型の完成精度を高めており、成形製品の品質向上に寄与したので、今後は

アナログ技術だけでなく両方をバランスよく連携させて使いこなす技術が必要である、と述べている<sup>12</sup>。

また野村 (2007) は、LSIの微細化の進展はデジタル回路とアナログ回路が混在する機能が求められてきており、アナログ回路の開発がLSI全体の開発期間や製品性に影響する様になっている、と述べている<sup>13</sup>。

このような作業は最初に公式やレシピがあるのでなく、改善する努力の積み重ねに拠る。特にメカニズム動作（機械設計）の根幹にあるのは材料の物性、運動法則であり、それに対応するアナログ技術の優秀さが製品設計の良さやコスト削減に影響する。

更にアナログ技術の重要性を示す実例を挙げると、野村 (2007) は、デジタル回路は誰でも同じものができると製品優位性を出すことが難しい。例えばデジタルでは配線パターンを模倣すれば同じ性能が出るが、アナログの場合にはそれ以外のノウハウが多いため工夫が必要であり、アナログ技術は差異化できる、と述べている<sup>14</sup>。

佐藤 (2021) は、半導体集積回路上で、絶縁されている部分から電流が漏れだす現象（リーク電流）が起きることがある。これは、回路の微細化が進んだことが原因で、この対策には設計と製造のすり合わせが要求される。回路パターンの配置の改善や、不純物の濃度の調整など、2つの部門が密接に連携して開発し、お互いのノウハウを活用しながら、不具合を抑えていく必要がある、と述べている<sup>15</sup>。

つまり表面的にはデジタル・モジュラー化がもてはやされても、基本となる技術で問題点を克服し、過酷な条件のなかでも正しく動作できるように製品化する技術が重要である。これは企業の中で行われており、文献に載ることも少ないが、「ものづくり」のベースであり、それを着実にやって行くことで基盤となる技術が蓄積される。

### 3.3 アーキテクチャの基盤にある伝統技術—「基盤知」

3.1、3.2で示したように、アナログ技術は時間をかけて磨き、口伝することで見「技能」としての性格が強いが、やはりアーキテクチャの「知識」でもある。藤本他 (2005) が指摘しているように、日本の

「ものづくり」の基盤として、すり合わせ技術がある。それはアーキテクチャとしては部品間や設計部門間の「すり合わせ」によるものであるが、その技術成果は、開発担当者の長年の努力・経験の蓄積に裏づけられて得られるものである。

そして更にその底辺となる技術を分析してみると、その基本には「試行錯誤の繰り返し」がある。それを藤本他(2005)は「すり合わせ技術」としているが、筆者は多くの製品化成功の裏には、目的とする性能や品質を適性コストで生産するために、アナログ的な技術・技能を中心とする工夫・努力とその蓄積があり、本稿3.2で示したように、そこに日本の基盤となる技術が存在していることに着目した。

アナログ技術が重要な基盤となることを示す先行研究は非常に少なかったが、本稿ではそこに新たなフォーカスを当て新しい視点から分析した結果、すり合わせ技術・アナログ技術がアーキテクチャを支える基盤技術であるとして、製品開発技術の流れを図5に示して説明する。



図5 製品開発の過程  
(出所) 筆者作成

製品の開発から市場に出す過程において、図5で示すように、まず底辺に基盤知識として、すり合わせ・アナログ技術を主体としたベーシックアーキテクチャがある。その上に設計アーキテクチャがあり、製品計画時にメカ/エレキ/ソフトの分担を決め、各専門技術者が分担する(開発の途中で電子回路素

子や制御技術等の進化により、分担変更したり、新たに追加することもある)。

設計が決まると次に少量のモデルを試作して評価する。この技術評価は、項目としてはあらかじめリストを作るが、実際の問題対策は、やりながら解決して行くことが多い。

製品設計の方向が定まると、小ロット(数量)による量産試作等を行う。技術的変更が大きい場合、何度か繰り返す場合もある。そして量産に必要な予算や人員が投入され、生産設備や型投資・作業者の教育をして量産に入る。

新製品の量産が整うと販売活動によって製品が市場で販売され、実際に稼働する。販売活動に併行して、修理やメンテナンス対応ができる組織・設備を作り、アフターサービスを行う。同時に、そのような顧客対応する部門には、故障状況やお客の不満・希望等の情報(マーケティング情報)も入ってくるので、それを生産・設計・企画する部門にフィードバックする。このマーケティング情報は、次の製品の企画・技術進歩に大きく影響を及ぼすので、非常に重要である。

製品の開発過程を段階に従って述べたが、ベーシックアーキテクチャの上に、開発過程やアフターサービスで得た新たな経験やノウハウを積み重ねて蓄積することで、次の製品設計の「基盤的技術・知識」としてベーシックアーキテクチャに磨きがかかり、それを「基盤知」と名付けて図6に示す。

製品開発過程を図5で示し、図6では、市場での稼働データのフィードバックとその品質改良の繰り返しによって、長い間に日本の企業が積み上げて磨いて来たベーシックアーキテクチャを「基盤知」としている。

「基盤知」は3.2表3で示したようなアナログ技術とそれを活用でき、伝統的な暗黙知や経験則を総合して駆使できる技術が主体となる。個人技もあれば、自動車のように複雑な多くの部品で成立つ製品の場合は、関係者の力や知恵を合わせる総合力も必要である。

また図5、図6では省略したが、試作時や量産試作時でも実際は、設計—製作—評価—結果(不具合)の対策—再設計—という過程を何回も繰り返してい

る。企業の開発競争の現場では、徹夜作業となる場合もある。その循環における経験を積み重ねて行くことにより、ベーシックアーキテクチャが「基盤知」

となる。それは多くの人間の長年にわたる努力・協力の結果で生成されるものであり、逆にその習得には時間がかかる。

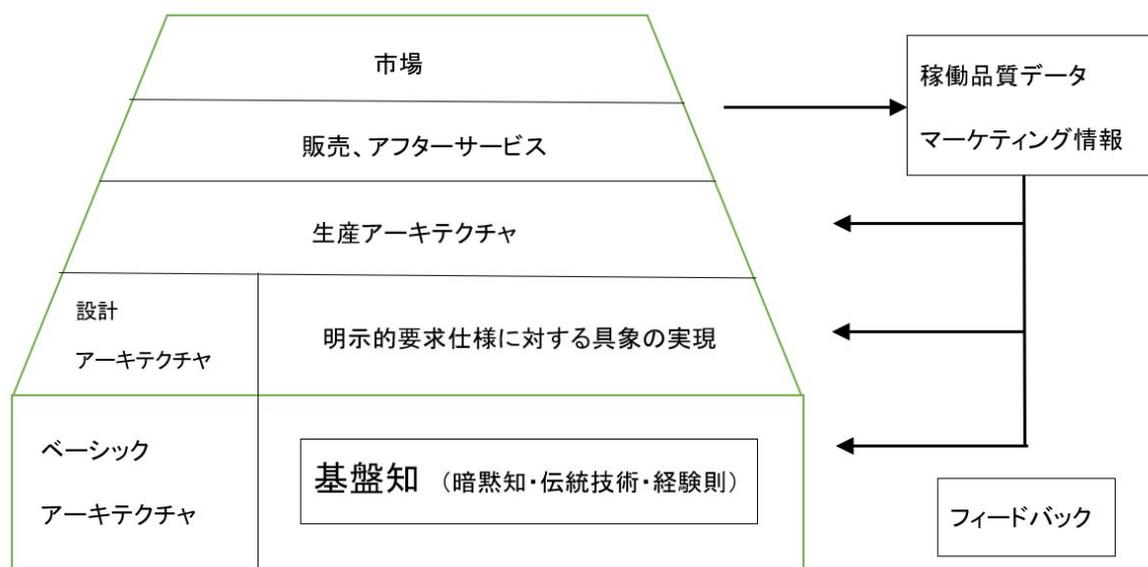


図6 製品開発技術の循環と蓄積  
(出所) 筆者作成

本稿 2.3 の図 4 では藤本 (2020a) が、IT やネットワークという技術レベルやそれに応じた業種に注目して階層構造に分けて相関を解析したのに対して、図 6 では、「基盤知」のベースがあり、その上に設計アーキテクチャ・生産・市場があって、市場の稼働情報がフィードバックされるという新製品が開発から市場に出て行く過程や技術に着目して階層及び循環構造を解析したものである。

近年のモジュラー・デジタル技術は、書かれた要求仕様や数値に従ってモノや機能を実現するのに対して、すり合わせ・アナログ技術は書かれることが少ない「基盤知」であるとともに、もう 1 つ重要な点がある。それは数値では表せない感性的あるいはマンマシン・インターフェースにおいて、「心地よい感覚」の良い動作実現を可能にする技術である。そして、それらの特長は商品の魅力としては重要であるが表に出て来ず、目立たない場合が多い。実際にはどの製造業でも行われているにも関わらず、そこ

まで言及した先行研究は見当たらなかった。それは新製品の完成間近になって市場へリークするために、状況を覗くことができる場合もあるが、一般には開発過程、特に試作機段階での現場や情報は極秘であり、外部の人間は見るのが困難であるため、文献に載ることは少ないものとする。

日本の産業がモジュラー化によって他のアジア諸国に抜かれてしまったかのような論調が増えているように見えるが、こうした「基盤知」を産業に生かして行けば、その特長を生かし、3.2 で示したような重要な存在価値のある製品を作ることができる。そしてその技術格差により、新たな分業体制も可能となると考える。

### 3.4 技術の習得と現地化

#### (1) 技術の習得

2.1 で述べたようにアーキテクチャは、製品分野に応じた売れる製品作りの根幹を形成する。その進歩

は主にモジュラー化によって細分業化し、適材適所で生産して急速な発展をとげた。時代に合った低価格・高性能・多品種製品を短時間で開発できるようになった。中でも近年大きく発展したモジュラー型アーキテクチャは、主にデジタル技術の発達により発展した。しかし近年デジタル化によって高性能低価格になったIT機器や家電製品も、後述するように、その基盤にはアナログ技術があり、品質や性能を発揮できている。しかもその技術は、長年の経験を必要とするため、経験のまだ浅い国は習得が難しいと考えられ、3.2で実例を示したように、非常に重要である。

藤本他(2005)は、移民を即戦力とし生産力にしてきた米国企業はルールを作り、事業構成を組み換える「事前構想能力」に優れる、と述べている。そして藤本他(2005)は、一方これまでの全生産構造を持つ中国国有企業では、社内の基盤技術部門は過保護にされており、市場競争とは遊離し技術向上に努力していなかった。従って現在でもメッキ・精密機械加工・塗装・熱処理等の基本的な技術が脆弱であるがこれらの産業は、技術水準を上げていくには時間がかかると見ている。従って日本企業に必要なの

は、何を日本に残し、何をアジアの生産拠点に出すかを見極めることである、と述べている<sup>16</sup>。

アナログ技術は従来あまり注目されてこなかったが、萩平(2011)は、日本の第一の強みはアナログ技術であるとして、デジタルは分析・コピーもしやすく、ソフトウェアはインドや中国の方が低コストで高品質なものができる。その反面、アナログ技術にはソフトでは対応できない部分がある。例としてセンサーを製品として使うには、「すり合わせ」と呼ばれる種々の設定、調整を行って、「案配のいい具合」を実現しなければならない。このアナログ技術は新興国の企業が簡単に習得できるものではなく、人間的な部分を担う技術は日本企業の得意とするところである、と述べている<sup>17</sup>。これまでの先行研究において、萩平(2011)は、アナログ技術をこのように日本の重要性として言及した唯一の文献である。

(2) 技術習得の容易性

デジタル技術とアナログ技術の習得の容易性の違いについて、QRコードと絵画を例として表4に示す。この表からアナログ技術は、習得が難しいことが分かる。

表4 デジタル／アナログ技術の習得の容易性

種類	例	技術の難易度	習得の容易性
デジタル技術		定規と筆記用具を使って方眼紙に誰でも描き写せる	扱う値が0と1(左図では白と黒)なので、値が少し変わっても復元・再生が容易。 従って高度技術は不要で、習得も早い。
アナログ技術		正確な再現技術を有する人(模写画家)でないと描けない	微妙な値をそのまま復元・再生する高度技術が必要である。 従って習得には長い訓練を必要とし、時間がかかる。

(出所) 筆者作成

(3) 現地化の難しい技術

3.2でデジタル／アナログ技術の特徴と例を述べたが、デジタル技術の回路設計もソフト設計も、そ

の開発時においては、すり合わせ技術がまず必要となる。製品の試作品を作っても、意図したように動かない、あるいは性能が出ないという問題が起き

た場合、原因究明を行う（実務での実態はその繰り返しである）。それはもちろん論理を追いかけて、設計通りに作られているかの検証を行うが、経験やそれに基づく勘が働かないと、原因を見逃したり、筋道が遠回りをして時間を浪費してしまう。正確に速く原因を究明するにはユニットの組み合わせやインターフェースを理解し、メカ・エレキ・ソフトの技術者が相互に理解し、情報をすり合わせながら追及して行く必要がある。メカ／エレキ／ソフトあるいはデジタル／アナログのどれが重要かではなく、協調しながらすり合わせて行くアプローチが重要である。

新宅（2008）は、そのような技術はノウハウとして、製造装置やレシピなどに埋め込まれて新興国の企業はそれらを利用することによって、容易にかつ急速に新しい製品事業を立ち上げることができる。しかし、新興国企業はブラックボックス化された技術の習得には時間がかかる。これによって、先進国企業と新興国企業の間で相互補完的なビジネス関係が維持される、と述べている。

そして新宅（2008）は、電子レンジの生産で中国が大きく伸び、その約三分の一を生産しているギャランツという会社の例をあげている。主にヨーロッパ向けの OEM 生産の会社であるが、部品の内製化を進め、基幹部品のマグネトロンも内製化し、2003 年以降マグネトロン生産も大きく増えている。

また新宅（2008）は、2005 年になると日本企業の工場からギャランツへのマグネトロン販売が増えているという。彼らはマグネトロンの製造設備と、それを動かすレシピとを韓国経由で手に入れ、操業を始めた。ところが、EU が電磁波規制を厳しくし、その対応のためには、マグネトロンの再設計が必要になった。日本企業では、EU 対応できるように設計と製造設備のレシピも変更した。しかし、ギャランツには再設計する技術が無く、欧州向け製品のためには、日本からマグネトロンを購入せざるを得なかったのである、と述べている。

さらに新宅（2008）は、技術は競合他社が徐々にキャッチアップし、やがて出す技術や売る技術になっていく。従って今の技術を殻に閉じこもって守るのではなく、次の世代となる技術を創っていくこと

が重要である、と述べている<sup>18</sup>。

本稿の 3.2 表 3 で挙げたように、材料や素材にも習得し難いアナログ・すり合わせ技術がある。先行研究者によるその実例をいくつか示すと、藤本他（2005）は、自動車用に使われる高張力鋼・表面処理鋼・エレクトロニクス用のハイニッケル鋼など、最高級レベルのものは中国では最新鋭の宝山製鉄所でも生産できない、と述べている<sup>19</sup>。近年になって藤本（2015）は、現地化が難しいとされたのは材料系が多く、金属・化学製品である、と述べている<sup>20</sup>。

また新宅（2012）は、現地化が難しいとされるものが多かったのは材料系であり、金属、化学製品である。例えばエンジンの振動を抑えるためのゴム部品は、日系タイ工場で作られている。タイは天然ゴムの最大の産地であるが、熱に強い等様々な機能性を出すための合成ゴムは日本からタイへ輸出する、と述べている<sup>21</sup>。さらに新宅（2016）では、設備集約的なもの、少量の特殊部品のため日本に集約したほうが合理的なもの、高度技術で海外に移転しづらいものが、2-3 割の日本製部材として残る。自動車例えば、ハイブリッド車の特殊部品、半導体などがその例である、と述べている<sup>22</sup>。

以上のように海外への生産移転の難しい技術や製品があり、また一旦移転が完了したように見えた場合でも、現地では対応できなくなり、日本での生産が必要となる場合があるので、「基盤知」を生かせる「ものづくり」の体制を日本に残しておく必要がある。

## 4. むすびに

### 4.1 研究の結果

本稿では、従来の製品アーキテクチャ論を再研究してそれらを更に深く掘り下げ、日本が得意とする「ものづくり」のアーキテクチャを支えるものは何か、重要性を示せる技術は何か、新たな視点から解明し直し、以下を提起した。

近年デジタル技術の進歩とともに製品アーキテクチャがすり合わせ型からモジュラー型に変化して行くことで、東南アジア諸国に生産が移転し、日本の工業生産は伸び悩んでいる。しかしデジタル技術が主流になり、多くの製品がモジュラー化しても、そ

のベースとなるアーキテクチャにはすり合わせ技術・アナログ技術があり、技術開発において重要な役割を果たしている。

製品設計は、設計図ができてから、実際に試作機を評価して問題点を洗い出し、改良を加える。改良機を再評価して必要あれば再度改良を加える、という作業の繰り返しを行う。その過程でアナログ技術を中心とするすり合わせ技術が必要となり、新たな技術が蓄積される。その実地作業による長い経験と知識の積み重ねが「基盤知」となる。

これが日本の製造業の存在意義、即ち優位性ある製品の提供ができることになる。またそれにより、新たな分業化へと発展する可能性が期待できることになる。今は得意技術であることを発揮でなくても、「基盤知」にさらに磨きをかけながらより良い「ものづくり」の努力を継続して行けば、世界が必要とする場合がある。日本の製造業が従来から得意とし、蓄積してきた「基盤知」を再認識し、生かしながら世界に対して存在感を示すと同時に、低迷から脱して発展して行くことを期待したい。

#### 4.2 今後の課題

本稿の仮説で「基盤知はフラグメンテーション(細分化分業)を可能にしている」とした。しかし、紙幅の都合もあり、本稿ではアーキテクチャ論への基盤知の導入研究が中心となって、フラグメンテーションとの関係まで詳細に言及できなかったが、可能性を示唆することができた。次は、基盤知からみる工程間分業、特にアジアやユーラシアを中心とした国際間の分業展開を課題として更に研究し、まとめた。

また本稿で述べた伝統技術に関する課題の1つとして「基盤知」の伝承と強化が必要であるが、日本におけるアナログ技術の専門技術者教育の現況として、3.2で述べたような課題も見えてきており、今後調査・検討して行く必要がある。特に課題の本質はアナログ技術とデジタル技術のどちらか、ではなく、両方の特質を上手く融合させて利点を生かしていく人材が重要である。シルバー人口の活用も含めて調査し、検証を行う予定である。

#### 注

1. 経済産業省 (2001) 『通商白書 (平成 13 年版)』、[https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo\\_3487778\\_po\\_04\\_1-1.pdf?contentNo=4&alternativeNo](https://dl.ndl.go.jp/view/download/digidepo_3487778_po_04_1-1.pdf?contentNo=4&alternativeNo) (最終アクセス日 2022.06.17)
2. Ulrich (1999) p.646
3. 藤本 (2009) p.22、p.26
4. 新宅 (2006) pp.12-14
5. 藤本 (2020a) p.133
6. 藤本 (2020b) p.5
7. 鈴木他 (2009) p.25
8. 佐伯 (2008) は用語の使い分けとして、インテグラルの対極概念を「モジュラー」と呼び、複合部品を「モジュール」と呼ぶ、としている。本稿もそれに従っている。
9. 天野 (2005) pp.72-74
10. 藤本 (2020a) p.134
11. 藤本 (2007) pp.62-63
12. 青山 (2011) p.636
13. 野村 (2007) p.2
14. 野村 (2007) p.19
15. 佐藤 (2021) pp.11-12、p.15
16. 藤本他 (2005) p.8、p.311
17. 萩平 (2011) pp.128-129
18. 新宅 (2008) pp.166-170
19. 藤本他 (2005) p.51
20. 藤本 (2015) pp.118-121
21. 新宅 (2012) p.10、pp.15-16
22. 新宅 (2016) pp.535-536

#### 引用文献

- 青山英樹 (2011) 「金型製作を支える CAD/CAM/CAE 連係(携)技術」『精密工学学会誌』 Vol.77, No.7、pp.636-639
- 天野論文 (2005) 『東アジアの国際分業と日本企業: 新たな企業成長への展望』 有斐閣
- 佐伯靖雄 (2008) 「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」『立命館経営学』 第 47 巻第 1 号、pp.133-162
- 佐藤千洋 (2021) 「半導体産業における企業間の取引関係—自動車部品産業との比較の視点から

- 一」『人文社会科学論叢』No.30、pp.1-18
- 新宅純二郎 (2004) 「中国モジュール型産業における日本企業の戦略」『赤門マネジメント・レビュー』3巻3号、pp.95-115
- 新宅純二郎 (2006) 「東アジアにおける製造業ネットワークの形成と日本企業のポジショニング」『東京大学 COE ものづくり経営研究センター MMRC Discussion Paper』No.92、pp.1-18
- 新宅純二郎 (2008) 「ものづくりをブランド価値に」飯塚悦功編『日本のものづくり 2.0 : 進化する現場力』第4章所収、日本経済新聞出版社
- 新宅純二郎他 (2012) 「日本企業の海外生産を支える産業財輸出と深層の現地化」『東京大学ものづくり経営研究センター MMRC Discussion Paper Series』No.419、pp.1-18
- 新宅純二郎 (2016) 「海外現地生産の進展と国内製造業への影響」『赤門マネジメント・レビュー』15巻5号、pp.267-284
- 鈴木良始、那須野公人 (2009) 『日本のものづくりと経営学』ミネルヴァ書房
- 野村稔 (2007) 「アナログ技術の動向と人材育成の重要性」『科学技術動向』2007年1月号、pp.1118-1121
- 萩平和巳 (2011) 『日本製造業の戦略：テクノロジー・サービスがもたらすポスト・グーグル時代の新たな競争力』ダイヤモンド社
- 藤本隆宏、延岡健太郎 (2003) 「日本の得意産業とは何か：アーキテクチャと組織能力の相性」『RIETI Discussion Paper Series』04-J-040、pp.1-27
- 藤本隆宏、新宅純二郎 (2005) 『中国製造業のアーキテクチャ分析』東洋経済新報社
- 藤本隆宏他 (2007) 「アーキテクチャにもとづく比較優位と国際分業：ものづくりの観点からの多国籍企業論の再検討」『組織科学』Vol.40、No.4、pp.51-64
- 藤本隆宏 (2009) 『日本型プロセス産業』有斐閣
- 藤本隆宏 (2015) 『日本のものづくりの底力』東洋経済新報社
- 藤本隆宏 (2020a) 「根拠の怪しいものづくり論議 (2)」『赤門マネジメント・レビュー』19巻4号、pp.133-138
- 藤本隆宏 (2020b) 「根拠の怪しいものづくり論議 (3)」『赤門マネジメント・レビュー』19巻5号、pp.158-164
- 村越稔 (2022) 「新シルクロード沿線地域の産業・貿易振興への日本の支援—グローバル化における製品アーキテクチャの視点から—」『日本大学大学院総合社会情報研究科紀要』第23巻第2号、pp.83-94
- Ulrich, Karl T. and David J. Ellison (1999) “Holistic Customer Requirements and the Design-Select Decision”, *Management Science*, Vol.45, No.5, pp.641-638

(Received: August 20, 2024)

(Issued in internet Edition: September 2, 2024)