

アーキテクチャのパラダイム変革

—— モジュール化の理論と実践の発展を中心に ——

李 東 浩

1. はじめに

90年代までに、日本の自動車産業を代表とした垂直統合的な内部インテグラル・すり合わせ型製品アーキテクチャは日本企業の高い競争優位性の根本的な要因として繰り返し説明されてきた。

しかし、ICT（情報通信技術）やデジタル技術及びグローバル化の飛躍的な発展により、不確実性・複雑性・多様性が増す現代的な環境制約の中で、顧客のニーズの多様化とコストの削減という二律相反現象（生産性のジレンマ）を乗り越えるため、部品の共通化などの戦略転換を迫られ、様々な分野において製品のモジュール化が見られるようになった。

かつて1980年代のトヨタ生産システムは賞賛され、カンバン、JIT、OJTが世界を席卷した。日本の自動車メーカーは高技術力・低コストを武器に米国に進出して大成功を収めたが、現在の主戦場はすでに新興国に変わり、さらなる「安くて速い」というビジネスの展開が求められる。この新しい動向を掴み、後述するように2012年、ドイツのVolkswagen社（以下、VW）はモジュール化を中心とした「MQB」アーキテクチャを公表した。ブランドや車格の境を超え、かつてないほど幅広い部品の共通化を特徴するような新アーキテクチャは、自動車業界に大きな衝撃を与えるだけでなく、新しい業界標準にもなりうる。日本国内でもトヨタ、日産、マツダなどの有力自動車メーカーが次々と改革案を発表しフォローしていることから、VWが世界のクルマ作りの新しいベンチマークになりつつあるといっても過言ではない。世界の自動車業界で、今まさに革命的ともいえるほど大きな転換期を迎えていると感じるのは筆者だけではないだろう。

さらに、従来のグループ内系列部品企業のみからの調達（クローズド型）にも異変が起きつつある。企業内部市場だけではなく、世界中の外部市場から、最適な部品を調達することの重要性と必要性が高まっている。新興国企業だけではなく、先進国企業も積極的に導入し始めている。筆者が2012年6月24日、中国経営管理学会年次大会で報告したまさにその当日の朝日新聞朝刊第一面では、「車ピラミッド 揺らぐ」という記事があった（朝日新聞 2012/6/24）。同記事によると、昔はほとんど不可能なことだったが、トヨタ自動車は今後、日産自動車や韓国の現代自動車の部品メーカーなど外部からもオープンに調達するという新しい方針を明らかにした。部品が高品質なら、社内外はもとより、国籍さえも問わない姿勢が明らかになった。

企業外部へオープン化することにより開発費と時間の節約、部品の共通化による全般的なコスト削減などを狙っているように思われる。

本来、一企業（たとえガリバー企業であったとしても）が合理的な選択によりやるべきことであり、何の特別な驚きはないはずなのに、長年内部閉鎖的な企業風土を有する日本企業の経営慣習を考えると、何となく「時代が変わった」といったことがすぐに浮き彫りになった。

時代が本当に変わった（変わっている）とすれば、製品アーキテクチャの転換も必要になる。本論文ではこれを「ダイナミックなアーキテクチャの進化理論」あるいは「アーキテクチャのパラダイム変革」と呼ぶものとする。人類文明は長い歴史の潮流の中で、制限された合理性の下、常に試行錯誤の繰り返しの中で行動を選択しつつ進化してきたのである。

以上のような問題意識に基づき、本論文は最近勃興しつつあるモジュール化の議論に焦点を当てて、アーキテクチャそのもののパラダイム転換という課題を提起する。具体的に、本論文は以下の構成で問題を解明したい。まず、モジュール化、アーキテクチャに関する理論と実践の歴史を振り返って整理する。第二に、2012年に国内外自動車メーカー各社が発表したモジュール化・アーキテクチャに関する改革案をレビューする。第三に、アーキテクチャのパラダイム転換を提起し、その理由を述べる。最後に、理論的なインプリケーションを示す。

2. モジュール化の理論と実践に関するレビュー

『広辞苑』を引くと、「アーキテクチャ」とは、そもそも建築物・建築学、構造・構成を指すことが分かる。

しかし、経済学・経営学の分野では、比較的早めに「製品アーキテクチャ」の概念を導入したのは Henderson and Clark (1990) である。彼らはイノベーションの1つの分類として、アーキテクチャル・イノベーションという、以上の概念とは別次元の新しい概念を提起した。

以来、Ulrich (1995) はアーキテクチャをモジュール型とインテグラル型に二分した。インテグラル型アーキテクチャは製品の機能が異なる部品に分散され、1つの部品機能の変化が数多くの別の部品へ影響を与え、互いに相互作用が起こり、全体のパフォーマンスをうまく達成するために、内部の相関調整 (inter-adjust) が不可欠になる（「一対多」「多対多」の複雑な結合関係）。一方、モジュール型アーキテクチャは1つの部品が1つの機能に対応し、事前の標準仕様に基づく標準化インターフェースさえあれば、広い範囲で汎用品の混合と整合 (mixing-and-matching) が可能になる（「一対一」のより単純な結合関係）。

2000年代以降、モジュールやアーキテクチャなどの概念や理論と実践に関する研究は日本の経営学でも流行となった。このきっかけは2001年の経済産業研究所設立記念コンファレンスである。

2001年7月13日に、モジュール化に関する国際コンファレンスが開催された。スタンフォー

ド大学から日本に帰ったばかりの青木昌彦教授が初代所長として、ハーバード大学のバールドウイン女史をはじめ内外の一流研究者たちを招へいして、当時勃興しつつあったモジュール化の理論の流れと実践をクロズアップした。翌年、9本の論文と1つのパネルディスカッションを収録した『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』（青木・安藤 2002）が東洋経済新報社より出版され、学术界及び実業界に大きな反響をもたらした。

ものづくりに関する記事では、「モジュール」という用語も多く見られる。どれだけの情報量があるのかを把握するため、筆者は2012年12月22日時点で、「日経テレコン21」などの情報源で検索期間を直近一年間と全期間と指定して、「モジュール」「モジュール化」「モジュラー」というキーワードでそれぞれ検索を行った。その結果、「モジュール」に関して、「日経テレコン21」では直近一年間では460件、全期間では1万件を超える結果が出た¹⁾（表1を参照されたい）。また、関連キーワードの「モジュール化」や「モジュラー」も数多くの検索結果があった。

表1 モジュールなどに関する記事数の状況

キーワード	対象媒体・期間	日経テレコン21	日経BP記事 大学版	日経 ONLINE	日経 Tech-On!	CiNii
モジュール	1年間	460	578	33	867	298
	全期間	11415	13574	194	8890	11685
モジュール化	1年間	29	61	10	75	31
	全期間	838	1043	47	543	1075
モジュラー	1年間	13	20	2	33	40
	全期間	578	448	14	199	929

出所：2012年12月22日時点、キーワードで検索エンジンの結果より作成。

上述の記事検索の結果から分かるように、学术界に先立って、実業界は早いうちに、モジュール型生産方法を導入した。以下では代表的な検索結果を説明する。

ソフトウェアやカメラ、太陽電池など電機業界は別として、自動車業界では、早くも1979年から日産自動車は初めてグループでマイクロコンピュータのモジュールを内製したことが分かった（日経産業新聞 1979/3/23）。1989年、トヨタ自動車も部品生産のモジュール化を試み

1) モジュール化については、製品開発のモジュール化や生産のモジュール化、企業間システムのモジュール化など、様々な意味合いがあるが（武石・藤本・具 2001）、本論文では、この区別を行わず、より広義に使うことにする。また「モジュール化」は「モジュール」を実現することを指し、「モジュラー」「モジュール化」をも区別しない。なお厳密に言えば、「製品のアーキテクチャ」は製品の開発、設計理念・設計思想に関する一般的な概念だが、理論と実践上様々な理解がある（例えばマツダはこれを「部品の基本骨格」と理解している）。本論文ではより広義に使う。つまり、設計思想、設計理念、開発手法、部品の調達方法、組み立ての方法や経営体制など幅広い意味合いを持つこととする。

た(日経産業新聞 1989/12/21)。にもかかわらず、90年代まで、日本の自動車産業におけるモジュール化は主に汎用機械・設備の導入による生産方式の試行錯誤であったが、本格的な対応ではなかった。

90年代末になって、欧米の動向を睨み、日本の自動車業界も積極的に対応してきた。

『日経ものづくり』の前身である『日経メカニカル』誌は、1998年欧州現地での取材をもとに、1999年1月号において、欧米型による最終組立志向が高い一方、日本型は部品の組立を一次部品メーカーに繰り返すような統合型のモジュール志向が高いなどと指摘した(藤堂2005)。

続いて、1999年8月号では、モジュールとインテグラル、一見矛盾する開発手法が、「スーパーインテグレーション」など高度な部品統合によるモジュール化を実現するという提案が挙げられた。さらに、極めて興味深いのは、当時「車両の部品ごとに大きくモジュール化」という概念も提起されたことである。この点、十数年後の2012年、VWや日産などが相次いで、車両を4つの大きな部分に分割するような次世代のモジュール化アーキテクチャを提唱したことは類似性があるものと感じられる²⁾。

また、同誌は、2000年7月号で「クルマのモジュール化—欧米現地報道」、2001年11月号で「ついに始まった日本車のモジュール化」、などの特集が設けられ、モジュール化の進展状況について、日産、マツダ、三菱自動車の実例が取上げられ、またトヨタ、ホンダ、富士重工業など各社の対応も紹介された。例えば、日産は2001年6月に、スカイライン車種で初めて欧州型モジュール生産を採用し、新型スカイラインで4つのモジュール、つまりフロントエンド、コックピット、ルーフ、ドアに分割して製品アーキテクチャを初めて変革した(日経メカニカル 2001/11 No.566 p.37)。

2000年代早期に、学術界でも、欧州における自動車産業のモジュール化に関する現地工場調査が多数行われた³⁾。

にもかかわらず、理論上では2010年代において、製品アーキテクチャに関して日本の主流論説はクロズド・インテグラル型アーキテクチャの優位性を繰り返し説明してきた((藤本2001, 2003, 2004), (藤本・新宅2005))。この一連の研究によると、中国など新興国では、組み合わせ型の産業では労働力や原材料などコスト優位があるため、パソコンや家電などオープン・モジュール型アーキテクチャで優位に立つが、自動車産業では劣位になると、産業の国際分業理論に解説されていた⁴⁾。

2) VWはMQB(横置きエンジンモジュラーマトリックス)、日産はCMF(共通モジュラー家族)。マツダはCA(共通化アーキテクチャ)の新設計思想をそれぞれ公表した。2012年各社のアーキテクチャ変革は、単なるコンセプトではない。VWはAudi A3、マツダはCX-5、それぞれ実際の量産車も開発・発売した。うち、CX-5の発売から4カ月半の販売台数は当初予想した年間販売台数の2倍にも相当する好業績を達成したと紹介する新聞記事もある(日経ものづくり 2012/9 pp.32)。

3) 下川・武石(2001)、下川・藤本・近能・折橋・具(2003 a b) など多数ある。

第二次世界大戦後、日本の自動車部品サプライヤー・システムは50年代から80年代までに、事実上の「グローバル・スタンダード」として日本経済・自動車産業の高度成長を支えた重要な要因だと説明される（藤本 2001）。具体的に主に以下3点の特徴がある。つまり、

①長期継続的な取引関係。比較的長い部品の生産期間（4～5年間）では原則的には同じサプライヤーに任せる。これにより長期安定・協調的な能力構築システムができた。

②少数サプライヤー。日本人の集団意識と多面的・長期持続的な評価システムに基づき、部品メーカーの少数寡占的な状態が結託よりもむしろ能力構築を巡る切磋琢磨を通じて、持続的な部品・製品の品質改善活動が観察された。これこそ日本型システムの強さを支える重要な要因である。

③一括外注。部品加工・サブ組立・検査・開発などを一括してサプライヤーに外注すること（承認図方式＝デザイン・イン）及び無検査納入、などである。

さらにモジュール化は三つの意味合いがあるとも指摘される。つまり、

①製品開発（アーキテクチャ）レベルのモジュール化、

②生産のモジュール化（日本型）、

③企業間システムのモジュール化（欧米型。部品調達の実体化＝アウトソーシング）、である。

うち欧米型の③では、「設計合理化は後で考えるがとりあえず大きいモジュールを外部にアウトソーシングすること」、日本型の②では、「まず設計合理化を徹底したうへ最適モジュール化すること」と、大別できる（藤本 2001）。

このように、戦後の日本では、「多品種少量生産」の柔軟な小ロット同期生産方式と高機能・高品質を同時に応えるため、社内でのクローズド・インテグラル型のアーキテクチャを採用してきた。社内共通部品は50%以下、企業間共通の汎用部品はさらに10%以下になり、基本的に、トヨタ生産システムは、クローズド・インテグラル型のアーキテクチャである（藤本 2001）。

しかし、現代産業においては、オープン・モジュール化の傾向は加速しつつある（Baldwin and Clark 1997）。たとえ従来の擦り合わせ型産業（自動車産業）においてであってもモジュール化アーキテクチャの動きが現れている（日野 2010）。従来の日本型アーキテクチャは高い生産性と高品質を達成できる一方、能力の過剰蓄積の恐れもあると藤本が自認している（藤本 2003 p.332）。この過剰蓄積は単なる企業価値を作り出し、顧客価値の創造に貢献できないため、近年日本企業の凋落の一因にもなる（延岡 2011）。

なぜ、日本の自動車産業ではオープン型モジュール化に対する認識がまだ薄いのか。筆者は、

- 4) 近年の理論を一部修正したことがあるが、基本的に藤本・新宅（2005）の各国産業の棲み分けに関して、以下のように大別することができる。つまり、日本：擦り合わせ型のものづくり優位→技術・現場優位（クローズド・インテグラル型）。中国：労働集約型モジュラー、米国：知識集約型モジュラー。韓国：中国に近い。台湾：バランス型。アセアン・インド：労働集約型擦り合わせ・インテグラル。また、米国などでは事前的な産業・部品標準に基づくオープン・モジュラー型アーキテクチャを有する一方、中国などでは事前標準がないまま寄せ集めの性質を有するため、擬似的なオープン・モジュラー型と呼ばれている。

この問いに対して考えられうる理由として以下の四点を指摘しておきたい。

第一に、アーキテクチャ（設計・開発理念）に関するダイナミックな理論認識を欠くこと。「一般的に日本型経営システムはインテグラルに強い」という固有観念に封じ込まれたからである。そもそも企業自身の状況、取り巻く外部環境、産業の発展段階に従い、様々な戦略（垂直統合か水平分業か、内部開発か外部調達か、単独か提携か、国内か海外か）を選択しなければならない。いわゆる経営戦略論の大家のチャンドラーが教示したように、「組織は戦略に従う」、組織と環境、戦略の適合関係を常に見直す必要がある。従来成功体験は未来の成功に必ずしも結び付かない。それどころか、時には負の財産にもなり、挫折と失敗の原因にもなる。また、この先入観や固有観念に固執した結果、必要な変革も起こらない、思想上の慣性があまりにも強く改革の障害にもなりうる。

第二に、自分だけが優越するという誤認。いわゆる NIH（Not Invented Here；自前主義）症候群である。「すりあわせ型アーキテクチャ」は長年の技術・経験・管理の蓄積の結晶であり、それぞれの製品や部品を個別最適に設計し、調整の「妙」（暗黙知やノウハウ）を要するものである。これは既存企業＝先発先進国企業しか持てないプライド・誇り・自慢・自負をも意味する。一方、理論上組み合わせ型アーキテクチャは誰でも簡単に開発・生産できると思われるので、「簡単に伝えやすいものはよいものではない」という単純短絡的な考えはないだろうか。実際、アップル、サムスンのような会社は、新技術もあれば、既存技術や加工方法をも結合させることにより、組み合わせの「妙」（事業を成功させるビジネスモデル）をもうまく実践している。

第三に、実践上と理論上の認識乖離。以上のレビューからも分かるように、企業の開発生産現場では、実際にインテグラルとモジュールの簡単な二分法ではなく、各社の実際状況に適応した様々な形で行われている。しかし理論上、あまりにもインテグラルの重要性を強調しすぎ、モジュールの重要性を軽視してしまった。実践と理論の乖離が起こり、最悪の場合、程度の違いはあるが、理論が実践を誤解釈してしまう場合もありうるのではないだろうか。

第四に、「欧米のモジュール化は部品メーカーの労働者賃金が完成品メーカーより低いので、モジュール化のコスト削減効果は実現しやすいが、日本では両者の賃金水準はほぼ同じなので、モジュール化への関心も低く、実施効果も高くない。」という言い訳。確かに日本国内では賃金の格差は大きくない。しかし、海外へ一歩踏み出せば、状況はまったく違う。グローバル時代において、この言い訳は自らの殻に閉じこもることに等しい。

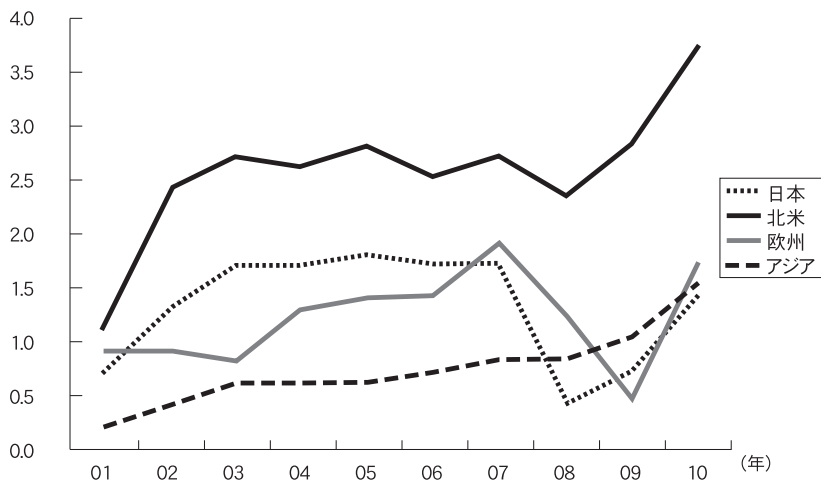
以上、モジュール化やアーキテクチャに関する理論と実践の発展を簡単にレビューした。以下3.節では日欧4社が公表した改革案を説明する。

3. 各社が発表したアーキテクチャに関する改革案

現実的には残念ながら、日本の学术界が強調してきた日本企業の現場力、能力優位と競争力は日本企業の世界市場におけるプレゼンスと対照的になっている。ここ10年間特に2007年以降、ほとんどの分野において、日本企業・産業が総じて衰退する現象が観察された。

表2は2011年に機械輸出組合が作成した世界各国の製造業の国際競争力を表したものである。ここからも分かるように2007年半ばを境に日本はアジアにも追い抜かれ、2010年現在、米、欧、アジアに次ぎ、最低に甘んじている。

表2 世界主な地域の製造業企業の国際競争力



備考：1. 国際競争力指数＝売上高営業利益率×売上高シェアとして計算。
 2. 製造業の各分野（家電・空調、情報通信機器、コンピュータ、電子部品、重電・産業機械、建設・農業機械、自動車、自動車部品、航空・宇宙、造船など機械産業）の売上上位5社を抽出し、公表財務諸表を元に作成。
 資料：(社)日本機械輸出組合「日米欧機械産業の国際競争力分析」(11年12月)
 出所：経済産業省『2012年版ものづくり白書』p.54 図214-5より引用。

組織能力の高さと国際競争力の低さという矛盾をどう理解すればいいのか。これについて最近、小川（2009）や妹尾（2009）をはじめ、ようやく従来の日本型クローズド・アーキテクチャに対して異議を唱えはじめた。彼らは、ここ数十年に世界市場で様々な産業における日本企業の敗退要因を分析した上で、強いハード面の技術開発力だけではなく、ビジネスモデルというソフト面の重視も不可欠であること、モジュールに基づく標準化及び知財マネジメントをベースとした管理手法を必要とすること、その両輪でバランスを取りながら日本企業の再建策を提唱している。

『日経ものづくり』誌も、2009年4月号から2010年3月号まで合計12回連載の形で、「実践モジュラーデザイン」の理論、手法及び具体例を紹介した。この内容をまとめた形でさらに日経BP社は2009年と2011年に相次いで、『実践モジュラーデザイン』（日野 2009）と『実

『実践モジュラーデザイン 改訂版』(日野 2011)を出版した。

NTT出版も2012年、『日本企業のすり合わせ能力—モジュール化を超えて』(柴田 2012b)を出版した。そして大滝(2012)は工学の視点から、『機械設計』誌に10回連載の形で、製造業におけるアーキテクチャの変革について紹介した。

歴史的に見ると、自動車産業における最初のモジュール化は1980年代のヨーロッパを起源とする(池田 2004)。当初は、作業者の作業負担を軽減するための工夫として導入されたが、その後、1990年代にコスト削減の方法として重視され、部品メーカーへのモジュール部品の発注行動が高まった。欧州では1995年11月Audi Ingolstadt工場がモジュール生産を導入した。例えば、1998年、MCC社(現SMART社)のフランス新工場では、Hambach組立工場敷地内に部品メーカーのサブ組立工場⁵⁾(モジュール生産工場)を持ち、7つのモジュールで車が組立製造された(池田 2004 p.21 and p.24)。

自動車業界では特に2012年に入ってから、世界の自動車メーカー各社が相次いでモジュール化アーキテクチャの改革構想を発表している。自動車産業においては、かつてのプラットフォーム化⁶⁾アーキテクチャから一歩進み、モジュール化アーキテクチャへの傾向が読み取れる。表3はVW、日産、トヨタ、マツダのモジュール化の実践改革案をまとめたものである。

表3 日欧4社のアーキテクチャ改革案概要

企業	名称	概要	主な内容・共通化比率・コスト削減目標・開発車種
VW	MQB	Modular Toolkit Strategy	既存のプラットフォーム戦略を見直し、もっと柔軟にブランド別・車種別を跨る戦略で、幅広いモジュールの組み合わせにより、少部品・多品種大量生産体制の構築を目指す。部品コストが2割減、投資コストが2割減、開発コストが3割減。2007年から発足。目標は7割部品の共通化。2012年Audi「A3」や「Golf」を発売
日産	CMF	「4+1」 4機械と 1電子の モジュール	車両の構成をエンジン、フロント・アンダーボディ、コックピット、リア・アンダーボディという4つの機械モジュールに分割。目標は2013年に12%、2015年に58%部品の共通化。ルノーとの部品共通化も50%にする予定で飛躍的に上がる。2013年に新車投入予定。部品コストが27%削減、生産投資が28%削減、R&D投資は29%削減。以前のモジュール化は主に混流生産を狙ったが、2012年のCMFは主に全般的なコストの削減が目的。
トヨタ	TNGA	基幹部品 共通化	エンジン、トランスミッション、足回り部品等を中心に共通化とモジュラー・アーキテクチャを推進。目標は5割の共通化。
マツダ	CA	部品共通化	2006年から「もの造り革新」改革を実施。「一括企画」の計画により、異なる車格や排気量の車種を同じプロセスで開発生産する。初の車種CX-5は2012年2月発売。2015年までに8車種をまとめて企画。

出所：高野(2012)、鶴原(2012)及び各社ホームページ、各種新聞記事などより作成⁷⁾。

5) 組立工場(完成車工場)と部品メーカーの立地関係は3種類ある。つまり、同居方式、周辺分散方式、隣接パーク方式である(池田 2004, p.20)。

以下、VW が 2012 年に発表した MQB の骨子を少し確認しよう。

まず表 4 は VW の現行の主要プラットフォームと今回の新構想に関する情報である。表から分かるように、MQB は、すべてのエンジンを同じ位置に搭載するので、低コストで異なるブランドや車格を越えて、A0 級小型車から B 級中型車まで幅広く採用可能になる。フォルクスワーゲン・ブランドだけでも、ポロ (POLO)、ザ・ビートル、ゴルフ、シロッコ、ジェッタ、ティグアン、トゥーラン、シャラン、パサート、フォルクスワーゲン CC などの車種をカバーできる⁸⁾。

また、中型車の MMB や大型車の MLB、スポーツカー・超高級車の MSB など様々なモジュール化マトリックスの構想がある。

表 4 VW の現行 PF と新構想

現行主要プラットフォーム			新モジュール化マトリックス構想		
セグメント	現行 PF	代表車種	構想名	特徴	適用車種例
A0	PQ25	POLO 5th, Audi A1	MQB	通用横置きマトリックス	POLO, Passat, A3 3rd, Golf 7th
A	PQ35	Golf 5th, Audi A3 2nd	MMB	中置スポーツカーマトリックス	R4, VW Blue Sport
B	PQ46	VW Tiguan, Passat 3rd	MLB	アウディ縦置きマトリックス	Q5, A4, A5
D	PL62	Audi A8, Bentley Continental	MSB	ポルシェ前置き FR マトリックス	ポルシェ, 新 R8, Rambokini

出所：VW Platform Over View より作成。

VW の MQB をはじめモジュール化の枠組みを示す表 5 から分かるように、90 年代では、

- ✓ 6) 2012 年 2 月、独 VW 社「MQB」構想による次世代モジュール化・アーキテクチャに基づく開発・研究・生産システムの公表により、自動車産業においては革命的な変革までとも言われるが、このシステム自体に関する認識は必ずしも統一したというわけではない。例えば、同じ『日経ものづくり』誌や『日経 BP Tech-On!』であっても、「次世代メガプラットフォーム」(鶴原 2012) という認識もあれば、「脱プラットフォーム」という認識もある(高野 2012)。
- ✓ 7) 3 社の主な導入状況について、トヨタ(井上 2012 c)、日産(井上 2012 b、マツダ(井上 2012 a)についてそれぞれ紹介がある。また、トヨタの「TNGA」構想と日産の「CMF」構想、マツダの「CA」構想はそれぞれ「日本経済新聞」2012 年 7 月 16 日 p.9、2012 年 8 月 9 日 p.6 とマツダ社の公式ホームページ <http://www.mazda.co.jp/corporate/recruit/tec2.html> を参考にした。

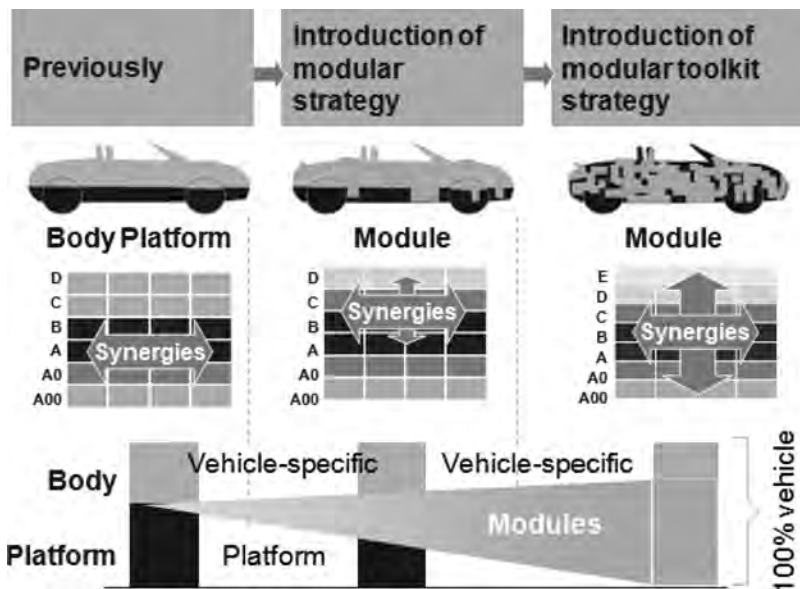
一方、学術界では、MMRC(東京大学ものづくり経営研究センター)などを含み、これに関する発信はまだ少ない。藤本(2012)はあいかわらずインテグラル・すりあわせ型日本流のものづくりの必要性や強さを強調している。製品のライフサイクルや産業の栄枯盛衰期間が著しく短くしてきた現代では、何らかの変革の要不要に関する説明が少ない。

- 8) VW 公式 HP Press Release。 <http://www.volkswagen.co.jp/information/news/2012/20120206/>

VW は主にプラットフォーム（車台）の共通化戦略を導入し、同一セグメント内でのシナジー効果を追求した。2000年代では、主要部品のモジュール化により、いくつかのセグメントを越えたより大きなシナジー効果を実施したモジュール戦略を導入した。そして2012年、今後すべてのセグメントで最大限のシナジー効果を発揮できるようにするモジュール・ツールキットの大変革を実施している。この「積み木」式生産革命により、今後、部品の7割は共通化することが可能となり、まさに積み木のように極めて速くて品質の高い自動車を低コストで多様に開発、製造できるとも期待される。

顧客ニーズの多様化とコストの削減という、一見矛盾するようなことを両立させるのが「モジュール化アーキテクチャ」の強みである。各社は個性や差別化を保つために、「見えない部分はすべて同じ、見える部分はすべて違う」という製品開発政策を取る動きがある。つまり、不変の部分と変動の部分（味付け）を区別する。

表5 VWのモジュラー・ツールキット概念図



出所：「VW Factbook+2011」 p.50。

4. アーキテクチャのパラダイム転換

1978年、産業イノベーションの先駆的な研究を行った Abernathy and Utterback (1978) は産業を3つの発展段階に分類し、企業の生産性と革新能力の相関関係を研究した。つまり、産業においては、誕生したばかりの流動的な段階 (Fluid Pattern)、急成長の移行的な段階 (Transitional Pattern)、安定成熟の固定的な段階 (Specific Pattern) という3つの段階が存在することを指摘した。各発展の段階別にそれぞれ固有の特性もあるので、生産方式や設計思想（アーキテク

チャ), イノベーションもそれらに従わなければいけない。また, 企業が生産性を上げようとすると同時に (コスト削減), 革新能力は低くなってしまふ (顧客ニーズを満たす製品の多様性工夫)。このような生産性と革新能力のトレードオフ関係, 或いは同時達成しにくいことは「生産性のジレンマ」として非常に有名である。

産業が固定的な段階に発展していくと, 製品そのもののイノベーションではなく, プロセスのイノベーションが重要になる。このとき, 従来の垂直統合したクローズド・インテグラル型アーキテクチャは徐々に水平分業したオープン・モジュール型アーキテクチャに変わって行くことが要請される。産業の発展段階と生産方式の対応関係については表6を参照されたい。

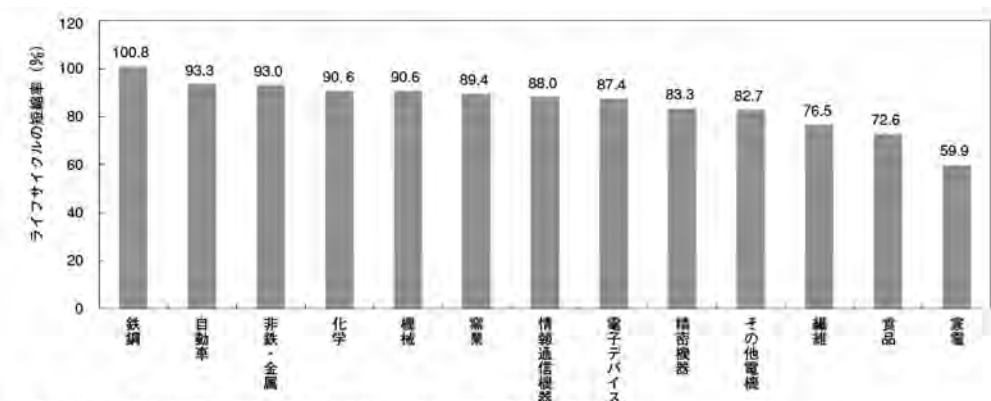
近年, 産業発展のライフサイクルの著しい短縮化の傾向が観察される。これは, あらゆる産業が過去よりはるかに速いペースで老化してきたことを意味する (表7を参照)。

表6 産業の発展段階と生産方式

発展過程	流動的段階	移行的段階	固定的段階
競争の焦点	製品機能	製品の多様性	コスト削減
革新への要請	顧客ニーズに関する情報と技術情報	内部技術能力による機会の創出	コスト削減 品質改善
製品ライン	不安定な多品種少量生産, 多いライン	次第に安定的な大量生産, 少ないライン	規格化された標準化生産
製法プロセス	弾力的・非効率的	硬直的・安定的	効率的・資本集約的
組織統制方法	非公式的・企業家的	リエゾン, プロジェクト, タスク志向	構造, 目標, 規則の強調に力点を置く

出所: 上田 (2006) より一部抜粋修正作成。

表7 産業ライフサイクルの短縮率



備考: 1. 上場している製造業企業を対象にしたアンケート調査結果, 有効回答数は227社
 2. 主力製品の現在のライフサイクル年数 (産業別平均値) / 主力製品の5年前のライフサイクル年数 (産業別平均値)
 資料: 経済産業省調べ (07年2月)

出所: 経済産業省『2007年版ものづくり白書』p.55。

経済産業省は2007年、主要産業での商品ライフサイクルの短縮率（＝主力製品の現在のライフサイクル年数（産業別平均値）／主力製品の5年前のライフサイクル年数（産業別平均値））について考察を加えている。

表7からも分かるように、ライフサイクルの短縮化は12の産業で観察された。うち家電業は短縮化のスピードが一番速く、主力製品のライフサイクル年数は5年前の6割しかない。自動車や非鉄・金属は相対的に安定しているが、それでも5年前と比べると1割弱短縮されたことが分かる。

また、ライフサイクル短縮の要因として、①市場ニーズの多様化・複雑化、②市場ニーズの変化のスピードの急速化、③技術の世帯交代のスピードの急速化、④新規参入者の増加による競争激化、⑤ITの進化による製品・技術情報の外部伝達スピードの急速化、⑥既存の同業者間での設備投資競争の激化という6つの要因が挙げられた（経済産業省『ものづくり白書2007年版』p.55）。6つの要因のなかに、3つはスピード要因、2つは市場競争の激化、1つは顧客ニーズの多様化や複雑化、が読み取れる。

現実に存在する産業ライフサイクルの短縮化や不確実性と複雑性の挑戦への対応として、組織階層、経営戦略が形成される。産業誕生初期、試行錯誤しながら階層構造と結合関係を模索する。流動的な相関関係なので相互的な調整、内部統合型の組織構造が有利なためよく観察される。この段階はインテグラル・すりあわせ型能力や文章・言葉・マニュアルなどに言いがたい暗黙知が重要である。これはいわゆる日本企業のお家芸であろう。

しかしその後、産業の設計思想、組立方法、知識ノウハウなどの蓄積が飛躍的に高まってきた。しかもグローバル化と情報化によって、世界規模で普及し、共有してきた。標準的な知識がまず形成され、その後変化をたどり、低コスト・高品質・高スピードで一気に部品や製品を開発生産できる。企業ごとの仕様に応じた特注品ではなく、より広い範囲で汎用品になる部品数も格段に増えた。特定の部品メーカーに集中しなくても、より広い範囲から部品を調達することも可能になる。また、すべての技術・製品を自社開発する必要はなく、他社・市場から調達しても済む。結果として、この段階ではすりあわせ作業の必要性が格段に減ってしまい、モジュール・組み合わせ型設計思想（アーキテクチャ）に切り替える必要性が高まる。標準的な設計ルールや部品間の結合関係を予め公表する場合、産業において、新しいオープン・モジュール・組み合わせ型アーキテクチャを形成する。この段階では、曖昧で表現しがたいノウハウなどの暗黙知よりも、むしろ明らかにルーチン化・文字化・論理化する形式知がより重要になるだろう。

一方、産業の発展につれ、新しい不確実性や複雑性が次々と現れる。その際、すでに組み合わせられたアーキテクチャは再度一企業（または企業グループ）に内部化され、クローズド・インテグラル・垂直統合的・すりあわせ型アーキテクチャはまた効率性・合理性が高まり、産業の主導権を再び握る。そして次から次へとより高次元で循環することが観察できる。

歴史が証明するように、人類が未知の世界へとチャレンジする過程で、上記のようなプロセスを繰り返してきた。しかし、基本的には、これからの世界はオープン・モジュール型に進むのではないかと筆者は考える⁹⁾。音楽プレーヤーや携帯電話を一台も生産した経験がない米アップル社は、既存の技術と自社特有な能力をうまく組み合わせたうえ、驚異的かつ画期的な製品を生み出した。また、グーグルのOSであるアンドロイド・プラットフォームは公開され、誰でも無償で利用できる。ネット自由無料辞書のウィキペディアもある。

コンピュータのオペレーションシステムであるLinuxもオープンソースの代表であることは有名である。

世界最速コンピュータ上位500機の92.4%はLinuxシステムを採用している¹⁰⁾。2011年11月までに世界一速い(2012年11月現在世界第3位)スーパーコンピュータであった日本の「京」もこのシステムを採用している(宇野・星屋 2011)

ここでのオープン・モジュール型イノベーションの事例はまさに経済発展論の大家であるシュンペーターが指摘した「全く新しい組み合わせによる新結合 (neue Kombination)」によるものではないだろうか。

すりあわせ型インテグラル・アーキテクチャの相対的な高コスト・低スピードの体質と比べて、デジタル化とモジュール化の急速的な進展により、複雑化への解はより簡単になった。生産方式のCAD/CAM化、NC(数値制御)設備の普及により、エレクトロニクス産業でEMS=電子機器の受託生産サービスが急速に拡大してきた。複雑化の代表格である自動車産業は現在500万~1000万行のソフトウェア規模を要するが、もっと複雑なシステムのWindowsソフトや金融機関システムはそれぞれ5000万、6400万行に膨らんできた(経済産業省『2012年版ものづくり白書』p.51 図213-2)。これらの産業においては、今後オープン・モジュール型アーキテクチャの重要性がますます高まる。

このように、モジュールとインテグラルのスパイラル的な上昇進化論というパラダイムを持つ必要があると思われる。歴史が繰り返すように、産業の発展もパラダイム転換も繰り返す必要がある。常にダイナミックに思考しなければいけない。過去の成功体験に過度に依存することは危険であることを指摘しておきたい。

実際、2009年8月16日付『日経ヴェリタス』紙では、同年7月31日時点の世界時価総額トップ50企業のアーキテクチャをまとめている。確認しやすい19社のうち、日本のトヨタ自動車一社だけがすりあわせ型アーキテクチャであることが分かった¹¹⁾(日経ヴェリタス2009/8/16)。

9) オープン・イノベーションについて、国領(1995, 1999), Chesbrough(2006, 2007), Gassmann etc.(2010)を参照されたい。

10) 世界最速トップ500コンピュータオフィシャルホームページ: <http://www.top500.org>, 及びウィキペディア: Top500 <http://ja.wikipedia.org/wiki/TOP500> より。

これについて、藤本ほか (Fujimoto and Oh 2004) の研究グループによると、自動車産業は複雑性があるため、簡単に外部から汎用品を調整できるのはわずかに10%に過ぎない。そのため、自動車産業ではクローズド・インテグラル型のアーキテクチャが相応しい。一方, Pil and Cohen (2006), Jacobides (2005), Jacobides and Billinger (2006) は最適なモジュールを説明するために、アウトソーシングと垂直非統合 (vertical disintegration), 自主開発生産・購買・戦略提携のいずれかの選択を分析した。また, Gawer and Cusumano (2002) はインテル社, マイクロソフト社, シスコ社のプラットフォーム戦略を分析し, インテルはオープン・インターフェース, マイクロソフトはクローズド・アプローチ, シスコは買収の方法で内包化することを指摘している。

世界の自動車産業の発展史から分かるように、1908年のT型フォード車の登場以来、米国自動車産業は一気にクローズド・インテグラル、つまり部品設計の企業別・製品別カスタム化の方向へ向かった。フォード生産システム(FPS = APS)は1910年代に確立された。T型フォード車は20年間同一基本シャシーでモデルチェンジもなく累計1500万台生産された(李・陳・藤本 2005)。

垂直統合、専用機械化が徹底して追求され、生産システムの柔軟性は失われた。一方、1920年代に、ゼネラル・モーターズ(GM)が登場した。社内の複数の車種・ブランドの間で部品を共通化したモデルと部品の量産を両立させた。基本的にクローズだが、GMは社内でのモジュラー型アーキテクチャを指向してきた(つまり、クローズド・モジュール型)。さらに1990年代以降、世界の自動車産業における激しい競争がこの傾向を強化した(Stuckey and White 1993)ため、プラットフォームやエンジンなど基幹部品の共同開発・戦略連盟・垂直非統合が徐々に出現し、オープン・モジュラー型アーキテクチャがついに登場してきた。しかしオープン・アウトソーシングの傾向が強くなったにもかかわらず、一次サプライヤーとコア・コンポーネントはかえって緊密な協力関係を結ぶようになった(Jacobides and Billinger 2006)。

実はすでに1997年時点で、たとえインテグラル型の製品であっても、モジュラリティーは最も重要なアーキテクチャ転換の傾向であると指摘されている(Baldwin and Clark 1997)。なぜなら、現代では設計、生産過程、サプライチェーンのあらゆる面で増加する複雑性と不確実性を直面しているからである(Baldwin and Clark 2000)。Baldwin and Hippel (2010)は製品イノベーションを顧客やオープン・協働的なイノベーションへのパラダイム転換を指摘している。さらにBaldwin (2010)はRBV理論に基づき、他の資源を整合する能力や知識を有する企業はオープン・アーキテクチャのイノベーション戦略を生かし、自分が有するボトルネックを判明し開発したうえ、他の部品や製品をアウトソーシングすることを指摘している。Baldwin氏

✓ 11) トヨタ自動車以外の18社のリストは以下である。つまり、マイクロソフト、P&G、IBM、AT&T、アップル、VW、GE、グーグル、ロシュ、シスコシステムズ、オラクル、インテル、ファイザー、ボーダフォン、ヒューレット・パッカード、サムスン電子、クアルコム、アポット・ラボラトリーズである。

は、このようなオープン・アーキテクチャ戦略を駆使し、クローズド・アーキテクチャの企業に勝つことが可能であることを1980年代のSun Mirco systemsと1990年代のデルで説明している。吉利など中国の地元自動車メーカーはまさにこの方法を如実に実践している。吉利は、コア部品のエンジンを自主開発か共同開発したうえで、オープンで標準化した部品規格を公表し外部から調達する。

オープン・モジュール型アーキテクチャは組立企業とサプライヤーに以下のようなメリットがある。つまり、①汎用性と質の高いモジュール製品・部品をうまく開発するため常に企業間の協力を促進する。②製品のモデルチェンジがより頻繁で早い。③低コストで別の部品に転換し新製品の開発ができる。④規模の経済効果で大量生産ができる。もちろん、オープン・アーキテクチャは、デメリットも指摘できる。例えば、①過度の（価格）競争を避けにくい、②断片的な産業構造を与える、③長期的には産業のリーダーが欠如するため、根本的なイノベーションを引き起こしにくい、などである。モジュール化により、開発・生産・調達などのコストは格段に下がるメリットがある一方、「個性のない車」や「欠陥・品質不良の広がり」などの懸念もある。

実践の面では、欧米の事前標準化した部品の設計を公表するオープン・モジュラー型設計開発、生産調達の欧米型アーキテクチャ・システムとともに、日本では、擦り合わせ重視のクローズド・インテグラル型で発展してきた。自動車産業には、グローバル化、アウトソーシング、モジュール化はますます重要な設計・生産の意義がある（Sako 2003）。グローバル化は自動車産業に激しい競争を与え、新しい国際産業の分業を引き起こした。部品の設計、生産をサプライヤーへ委託する需要は過去、現在そして将来にわたって不可欠な一環になる。OEMの視点からみると、より多くのアウトソーシング、部品メーカーへの権利移転・共同開発がより重要である。デジタル技術とインターネットの発展により、B2B・B2Cなど電子ビジネスもますます広がって行く。オープン・モジュール化のアーキテクチャはこういう傾向に応え複雑化を解決するための有効な方法である。この点で、標準化に基づくインターフェースを外部連結要件でモジュール化した設計・製造は、自動車工業のこれからの発展方向だと思われる。

5. インプリケーション

産業の栄枯盛衰（誕生期・成長期・成熟期・衰退期）というライフサイクル的な発展段階や成熟度の段階（流動期・移行期・固定期）に応じて、設計思想（アーキテクチャ）のパラダイム転換も必要になる。いったん形成されたアーキテクチャはもはや永久に変更がないという考えは時代遅れで、その考え方を早く捨てないと、失われた20年ではなく、失われた30年になってしまう恐れがある。

情報化時代とグローバル化時代においては、ものづくりのデジタル化が進み、新興国におい

でも高性能な生産設備を導入することにより、効率的な生産が可能となり、新たな国際的な分業と協業が不可欠になる。昔のアジアにおいて、日本以外の地域では、工業基盤や加工技術、交通インフラなどすべて未整備だったので、日本の一人勝ちが許されたが、今の状況は以前とまったく違う。高速鉄道であれば台湾、韓国、中国でも整備された。電機やエレクトロニクス産業、加工技術、生産ラインの整備など、世界各国の最新鋭の設備が一斉に導入された。今やアジアだけでももはや日本の独壇場ではない。産業は10年程度で急速に成熟するため、動的（ダイナミック）な視点が必要になり、自前主義からの脱却や垂直統合型開発思想の見直しなどの変革が必至である。

柴田（2012 b）が指摘しているように、シャープ堺工場の垂直統合型は2008年までは賞賛的になったが、2012年に、「時代遅れ」の最大の失敗要因とも批判された。10年も経たないうちに、産業の変遷が企業の淘汰を余儀なくさせる。

自動車産業は日本企業のお家芸であり、これまで強かったすりあわせ型・インテグラル産業の代表であるが、この産業も大きな転換期に立つようになっている。本論文で紹介したように、VWが発表した「MQB」や日産などのアーキテクチャ改革構想案などを代表として、新時代の黒船が来た。アーキテクチャのパラダイム転換が不可避となる今こそ、日本企業は適切な準備の心構えができているといえるだろうか。

参考文献

- Abernathy and Utterback (1978) "Patterns of Industrial Innovation", *Technology Review*, Vol. 80:41-47.
- Baldwin Caliss and Kim Clark (1997) "Managing in an age of modularity", *Harvard Business Review*, September-October, Vol.75, No. 5, pp.84-93.
- Baldwin Caliss and Kim Clark (2000) *Design Rules Volume 1*, MIT Press.
- Baldwin, Carliss and Eric von Hippel (2010) "Modeling a Paradigm Shift: From Producer Innovation to User and Open Collaborative Innovation", MIT Sloan School of Management Working Paper No.4764-09 and Harvard Business School Finance Working Paper No.10-038.
- Baldwin, Carliss (2010) "When Open Architecture Beats Closed: The Entrepreneurial Use of Architectural Knowledge", Harvard Business School Working Paper No.10-063.
- Baldwin, Carliss and Kim Clark (2001) "Modularity after the Crash", in *Managing the Modular Age: Architectures, Networks and Organizations*.
- Chesbrough, Henry (2006) *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*, Harvard Business School Press.
- Chesbrough, Henry (2007) Why companies should have open business models, *MIT Sloan Management Review*, Vol.48, Issue2, pp.22-28.
- Fujimoto, Takahiro and Oh Jewheon (2004) "Electronic technology and Parts Procurement: A Case of the Automobile Industry", MMRC Discussion Paper Series.
- Gawer, Annabelle and Michael Cusumano (2002) *Platform Leadership: How Intel, Microsoft and Cisco drive industry innovation*, Harvard Business School Press.
- Gassmann, Oliver, Ellen Enkei, Henry Chesbrough (2010) The Future of Open Innovation, *R&D Management*, Vol.40, Issue 3, pp.213-221.

- Henderson, Rebecca and Kim Clark (1990) Architectural Innovation: The Reconfiguration Of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms, Administrative Science Quarterly, Mar. 1990, Vol.35, Issue 1, pp.9-30.
- Jacobides, Michael (2005) "Industry change through vertical disintegration: how and why markets emerged in mortgage banking", Academy of Management Journal, Vol.48, No.3, pp.456-498.
- Jacobides, Michael and Stephan Billinger (2006) "Designing the Boundaries of the Firm: From "Make, Buy, or Ally" to the Dynamic Benefits of Vertical Architecture", Organization Science, Mar./Apr., Vol.17, Issue2, pp.249-261.
- Pil F. K. and Cohen S. K. (2006) "Modularity: Implication for imitation, innovation and sustained advantage", Academy of Management Review, Vol.31, No.4, pp.995-1011.
- Sako, Mari (2003) "Modularity and Outsourcing: The Nature of Co-evolution of Product Architecture and Organization Architecture in the Global Automotive Industry", Conference Paper.
- Stuckey, John and David White (1993) "When and when not Vertically Integrate", Sloan Management Review, No.23, pp.71-83.
- Ulrich, Karl (1995) "The role of product architecture in the manufacturing firm", Research Policy, Vol.24, pp.419-440.
- 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』 東洋経済新報社。
- 藤本隆宏 (2001) 「アーキテクチャの産業論」『ビジネス・アーキテクチャ』藤本隆宏・武石彰・青島矢一編 有斐閣。
- 藤本隆宏 (2003) 『能力構築競争』中公新書。
- 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』東洋経済新報社。
- 藤本隆宏 (2012) 『ものづくりからの復活—円高・震災に現場は負けない』日本経済新聞出版社。
- 日野三十四 (2009) 『実践モジュラーデザイン』日経 BP 社。
- 日野三十四 (2010) 「擦り合わせ型製品のモジュラー化戦略 最終回」『日経ものづくり』2010年3月号。
- 日野三十四 (2011) 『実践モジュラーデザイン 改訂版』日経 BP 社。
- 池田正孝 (2004) 「欧州におけるモジュール化の新しい動向」『豊橋創造大学紀要』2004年2月号 (8) pp.19-41。
- 井上久男 (2012 a) 「『1米ドル = 77円でも利益』、マツダが推進するモノづくりの真髄」『日経 BP Tech-on!』2012年12月3日。
- 井上久男 (2012 b) 「日産の設計革命, 脱プラットフォーム共有化戦略」『日経 BP Tech-on!』2012年6月25日。
- 井上久男 (2012 c) 「トヨタの革新は本物か」『日経 BP Tech-on!』2012年5月7日。
- 国領二郎 (1995) 『オープン・ネットワーク経営 企業戦略の新潮流』日本経済新聞社。
- 国領二郎 (1999) 『オープン・アーキテクチャ戦略—ネットワーク時代の協働モデル』ダイヤモンド社。
- 李春利・陳晋・藤本隆宏 (2005) 「中国自動車産業と製品アーキテクチャ」『中国製造業のアーキテクチャ分析』(藤本隆宏・新宅純二郎編著) 第8章 東洋経済新報社。
- 延岡健太郎 (2011) 『価値づくり経営の論理』日本経済新聞出版社。
- 小川絃一 (2009) 『国際標準化と事業戦略 日本型イノベーションとしての標準化ビジネスモデル』白桃書房。
- 大滝英征 (2012) 「新アーキテクチャ論 次世代設計者のための設計構想の構築と展開」『機械設計』2011年10月号～2012年6月号。
- 妹尾堅一郎 (2009) 『技術力で勝る日本が、なぜ事業で負けるのか—画期的な新製品が惨敗する理由』ダイヤモンド社。
- 柴田友厚 (2012 a) 「家電不況の教訓 (下) 産業の発展過程 重視を」『日本経済新聞』2012年11月30日。
- 柴田友厚 (2012 b) 『日本企業のすりあわせ能力—モジュール化を超えて』エヌティティ出版。
- 下川浩一・武石彰 (2001) 「21世紀を迎えた欧州自動車産業の新動向調査—VW, ルノー, コンチネンタル, PSAを中心に」『経営志林』第38巻3号 pp.55-71。

- 下川浩一・藤本隆宏・近能善範・折橋伸哉・具承桓 (2003 a) 「グローバル戦略と環境戦略の強化を図る 欧州自動車産業の戦略動向と日系自動車メーカー・部品メーカーの欧州戦略と工場の実態調査 (1)」『経営志林』第39巻4号 pp.129-174。
- 下川浩一・藤本隆宏・近能善範・折橋伸哉・具承桓 (2003 b) 「グローバル戦略と環境戦略の強化を図る 欧州自動車産業の戦略動向と日系自動車メーカー・部品メーカーの欧州戦略と工場の実態調査 (2)」『経営志林』第40巻1号 pp.91-126。
- 高野敦 (2012) 「自動車は『脱プラットフォーム』へモジュールによる設計標準化が進む」『日経ものづくり』2012年4月号 pp.23-25。
- 武石彰・藤本隆宏・具承桓 (2001) 「自動車産業におけるモジュール化：製品アーキテクチャー生産システム—企業間システムの複合ヒエラルー」『ビジネス・アーキテクチャの経営学』藤本隆宏・武石彰・青島矢一編 有斐閣。
- 藤堂安人 (2005) 「クルマのアーキテクチャは変化するか—『モジュール化』がもたらしたもの」『日経 Tech-On!』2005/9/28。
- 鶴原吉郎 (2012) 「多様化とコスト削減の矛盾を解く—メガプラットフォーム」『Automotive Technology』No.7。
- 上田智久 (2006) 「アバナシー・アターバックモデルの一考察—半導体産業研究へのインプリケーション—」『立命館経営学』第45巻第2号 pp.125-160。
- 宇野篤也・星屋隆之 (2011) 「『世界最速』を実現したアーキテクチャ」『日経 Linux』2011年10月号 pp.90-92。
- 「モジュールがクルマを変える—生き残り賭ける部品メーカー Part1 日本流のモジュール化を模索」『日経メカニカル』1999年1月号 No.532 pp.30-36。
- 「日本でもモジュール化は進むのか?」『日経メカニカル』1999年8月号 No.539 pp.18-24。
- 「クルマのモジュール化—欧米現地報道」『日経メカニカル』2000年7月号 No.550 pp.32-48。
- 「ついに始まった日本車のモジュール化」『日経メカニカル』2001年11月号 No.566 pp.36-59。
- 「特集1 あらゆる製品がモジュール化する」『日経ものづくり』2012年9月号 pp.30-55。

The Paradigm Shift in Product Architecture: Theory and Developments in Modularization

Donghao LI

Abstract

By reviewing the research and practice history of architecture and modularization in the automobile industry, I found that the Japanese academy puts too much attention and emphasis on closed, integrated architecture. In fact, the reality is that modular architecture is also widely used by many Japanese automobile companies. In February 2012, the Volkswagen Group announced a new-generation architecture named MQB, which will allow them to design automobiles at lower cost with faster speed. This has been called a revolution in the automobile industry. A little later, Nissan, Toyota and Mazda also announced programs called CMF, TNGA, and CA, which will represent a shift in their architecture paradigms.