

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-74

自動車の設計思想と製品開発能力

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・センター長
藤本 隆宏

2006年3月



東京大学21世紀COE [整備] **ものづくり経営研究センター**

自動車の設計思想と製品開発能力

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・センター長
藤本 隆宏

2006年3月

1. はじめに

本稿では、自動車の設計思想（アーキテクチャ）および製品開発の組織能力の過去、現在、未来について私見を述べる。筆者自身は技術者ではないが、「設計」をキー・コンセプトとする「もの造りプロセス」の研究を行う生産管理・技術管理論の研究者である。自動車の製品や工程の諸要素に関する「固有技術」はむろん工学領域に属するが、そうした個々の固有技術を連結し、顧客にとっての価値を生み出し、それを顧客に伝える流れを創造する「もの造り技術」は、工学研究者と経営学者・経済学者などが文理融合で取り組むべき分野であると心得ている。例えばトヨタ生産方式（TPS）、全社的品質管理（TQM）、全社的生産保全（TPM）などは、そうした「もの造り技術」の系統に属する。

おりしも、2006年度から始まる「第3期科学技術基本計画」では、「もの造り技術」が8つの柱の一つとして始めて日本政府に認知された¹。本稿では、この観点から、自動車のもの造り体系を素描することにしよう。

2. 「開かれたもの造り」の概念

筆者の考えるもの造りのポイントは、「もの」ではなく「設計」である。もの造りの本質は、「ものを造る」ことではなく、設計情報を「ものに造り込む」ことである。こう考えることにより、もの造りは工場の生産現場だけで閉じたプロセスではなくなり、むしろ開発・購買・生産・販売の現場が連携し、本社部門も経営トップも、サプライヤーも販売店も顧客

¹ 総合科学技術会議（2005）『諮問第5号「科学技術に関する基本政策について」に対する答申』

も巻き込む、一つの開かれたプロセスとなる。

製品、例えば自動車は、設計情報が媒体（もの）に転写された人工物である。その設計情報を創造するのが開発の仕事、創造された設計情報を媒体（もの）に転写するのが生産の仕事、転写する媒体を確保するのが購買の仕事、転写された設計情報を顧客に向けて発信するのが販売の仕事である。そして、顧客はそうした設計情報を企業から受け取り、いわば設計情報を消費するのである。

例えば、ある人があるクルマを買って、そのデザイン、燃費、乗り心地に満足したとしよう。顧客を満足させたこれらの要素は、基本的にはあらかじめ設計された製品機能あるいは製品構造である。顧客を楽しませるボディ形状は、将来の消費者の消費体験を常にシミュレーションしつつ、デザイナーが発想し、モデラーが粘土模型に転写し、車体設計者が詳細に展開し、オペレータが3次元CADで表現し、金型設計者が金型形状に翻訳し、金型工場が鋼塊に転写し、プレス工程が厚さ0.8ミリの鋼板に転写する。完成したクルマは、車体設計情報が鋼板に転写された人工物であるから、それを顧客に届ける販売の仕事は設計情報の発信に他ならない。これを受信するのは、言うまでもなく顧客その人である。顧客は買ったクルマを使用することで製品の機能・性能情報を引き出し、それを解釈することで満足を得る。そして、こうした消費プロセスを観察している商品企画部門は、観察結果をもとに次の設計情報創造のサイクルに入る。

このように、顧客に始まり顧客に終わる「設計情報の流れ」を管理・改善・進化させる企業活動全体が「もの造り」に他ならない。従って、開発・生産・購買・販売は全て、顧客へと向かう「設計情報の流れ」に関与しているわけであり、その限りにおいて、一丸となって「開かれたもの造り」を支えているのである。

3. アーキテクチャと組織能力

このように、設計情報の流れという観点から再整理された「開かれたもの造り」の体系を構成する二つの柱は、①もの造りの組織能力と、②製品・工程のアーキテクチャ（設計思想）である。

①もの造りの組織能力とは、顧客へ向かう設計情報の創造・転写・発信のプロセスを、競合他社よりも常に正確に（高品質で）、効率良く（低コストで）、迅速に（短いリードタイムで）遂行する組織全体の實力を指す。つまり、いわゆるQCDの同時達成・同時改善を行う能力である。そこでは、開発・購買・生産・販売それぞれの現場の組織能力が一体となって、緊密に絡み合っている²。

² 藤本隆宏（2001）『生産マネジメント入門（Ⅰ）（Ⅱ）』

自動車の設計思想と製品開発能力

いわゆるトヨタ生産方式は、こうした「もの造りの組織能力」の典型である。ムダすなわち「設計情報の創造・転写が行われない時間」を最小化し、顧客へと向かう設計情報の淀みない「流れ」をつくることがその要諦である。

これに対して、②アーキテクチャ（基本設計思想）は、顧客へ向かって流れていく設計情報そのものの構造に関わる。一般に、設計活動の対象となる要素は製品機能（要求仕様など）、製品構造（部品など）、生産工程（設備・治工具など）であるが、個々の要素の中身については個々の要素技術・固有技術の領域で扱うのに対し、そうした要素の「つなぎ方」を論じるのがアーキテクチャ論である。具体的には、製品機能要素と製品構造要素のつなぎ方を論じるのが「製品アーキテクチャ」、製品機能要素と生産工程要素のつなぎ方を論じるのが「工程アーキテクチャ」である。一般には、自動車のような組立製品では製品アーキテクチャ、化学品のようなプロセス製品では工程アーキテクチャが重要だと言われる。

以上のように、企業が顧客へ向けて「設計情報を流すプロセス」に関わるのが組織能力、顧客へ向かって流れる「設計情報自体の構造」に関わるのがアーキテクチャであり、これらが「もの造り分析」の二つの柱である。

そこで本稿では、こうしたもの造り技術の枠組に沿って、自動車のアーキテクチャと組織能力の現状と展望について考えてみることにする。組織能力については、その全体を論じる紙数はないので、主に設計情報の創造段階を担う、製品開発の組織能力に焦点を絞る。

4. 自動車のアーキテクチャの変遷

まず、自動車という製品のアーキテクチャについて、その歴史と現状を考えてみよう。

19世紀後半に発明されたガソリン内燃機関による自動車は、当初は「馬無し馬車」と呼ばれ、実際、馬車の構造部品などを多用し、これにガソリン内燃機関、自転車の伝達系部品を加えて、「粗野なオープン・アーキテクチャ」となっていたのが、初期の自動車である。

一般にオープン・アーキテクチャとは、別々の企業が独自設計した部品を事後的に寄せ集めても製品全体が機能するタイプの製品であり、パソコンや自転車がその典型であるが、これらは、インターフェース（部品間の連結部分）の設計を業界標準化して、寄せ集めても機能を発揮するように周到に考えた「洗練されたオープン・アーキテクチャ」である。これに対して、初期の自動車は、そうした標準化を伴わずに既設計部品を強引に寄せ集める「粗野なオープン」だったのであり、その性能にはおのずと限界があった³。

エンジンが座席下から車体前方に進出するアーキテクチャの改変によって、空間的に解放

³ Abernathy, William J. (1978) *Productivity Dilemma*, Johns Hopkins University Press が「流動的 (fluid) な段階」と呼んだものが「粗野なオープン・アーキテクチャの時代」だったとも言える。

されたエンジンは高馬力路線へと向かうが、そうした中で 19 世紀末の自動車要素技術の集大成として登場したのが、周知の T 型フォード（1908～27 年）である。自動車のドミナント・デザイン（産業構造をきめる決定版的な製品）と言われる T 型は、徹底して T 型専用設計の部品や設備を使う「クローズド・インテグラル型」すなわち「擦り合わせ型アーキテクチャ」の製品であった。ここに至って、自動車のアーキテクチャは大きく動いた。20 年間で 1500 万台という圧倒的な大量生産が、量産効果と習熟効果を通じて、専用部品・専用設備の原価低減を可能にした。

ところが、1920 年代に登場した、社内共通部品を活用して製品多様化に対応する「クローズド・モジュラー型アーキテクチャ」、GM のいわゆる「スローン・システム」が、T 型を乗り越えた。それは、部品の標準化を前提に、複数のモデルが同一設計の部品を共有することで、部品レベルの量産効果を確保する試みだったのである。いわば、共通部品と専用設備の組み合わせである。

しかしながら、T 型であれ GM のキャディラックであれ、1970 年代までのアメリカ大型乗用車は、基本的にフレーム（はしご状の車台）にボディを組み合わせる「トラック型アーキテクチャ」であった。これは、分業を重視し、擦り合わせをなくす方向に動くアメリカの分業型組織能力と相性の良い、ややモジュラーよりの製品だった。畢竟、70 年代までの米国ビッグ 3 は本質的にトラック・メーカーだったのである。

これに対して、20 世紀後半、飛行機産業からの技術移転によって小型車に普及したといわれるのが、より擦り合わせ寄りといわれる「モノコック式」のボディ設計である。戦後、一時消滅した航空機産業から大規模な技術移転を受けた日本の自動車産業は、小型車中心でもあり、早くから、アメリカよりモノコック技術に対応出来ていたといえよう。

そして、モデルごとの専用部品の多いモノコック・ボディ（クローズド・インテグラル製品）でありながら製品が多様化していく中で、これに対応する工程汎用化の技で台頭していったのが、言うまでもなく 20 世紀終盤のトヨタである。おそらく、日本車が最も「擦り合わせ型アーキテクチャ」の純粹型に近かったのは 1980 年代で、社内共通部品の比率は平均 20%程度しかなかったのである。

しかし、不況下での原価低減をしいられた 1990 年代の日本車は、ややクローズド・モジュラー（社内共通部品をより多く使うタイプ）寄りへシフトし、90 年代末には、日本車の社内共通部品比率は平均 40%程度にまで上がっていたと推測される。

以上のように、自動車の製品アーキテクチャは、「粗野なオープン・アーキテクチャ→クローズド・インテグラル・単品種（T 型）→クローズド・モジュラー多品種（GM 式）→クローズド・インテグラル多品種（トヨタ式）→再びクローズド・モジュラー寄り・多品種」

というように軸足を動かしてきたが、底流にはクローズド・インテグラルという流れを保ちながら、この100年ほどを推移してきた。

自転車やマシンやパソコンとは異なり、自動車、とりわけ乗用車の主流が「洗練されたオープン型アーキテクチャ」になったことは一度もなかった。基本的には、クローズド・インテグラル型を軸に、100年推移してきたといえよう⁴。問題は、今後はどうか、ということであるが、これについては後述する。

5. 自動車製品開発の組織能力：統合型と分業型

過去100年、自動車（とりわけ乗用車）のアーキテクチャがインテグラル寄りであったことを前提にするならば、その製品開発には、どのような組織能力が要求されてきたのだろうか。

一般に予想されているのは、インテグラル（擦り合わせ）型アーキテクチャの製品の開発は、モジュラー型アーキテクチャの製品に比べ、機能要素・構造要素・工程要素の間の相互依存関係が複雑であるため、製品機能達成・顧客満足実現のためには、それら個々の設計要素を開発する企画・設計・試作・実験部署の間で、より緊密な連携調整が必要になるということである。つまり、より強力な組織ユニット間の統合が必要になる。開発に関して個人間・部署間・部門間の連携・調整・チームワーク・コミュニケーション・情報共有などを高いレベルで実現する組織能力を「統合型の製品開発能力」と呼ぶならば、一般には「擦り合わせ型アーキテクチャの製品の開発は統合型の製品開発能力を要する」という仮説が導かれる。言うまでもなく、「統合型の製品開発能力」とは前述の「統合型もの造りの組織能力」の重要な構成要素である⁵。

これに対して、開発に関わる企業・部門・部署の間の組織分割を截然と行い、各々の組織ユニットが割り当てられた設計要素の開発に集中することで、専門化の効果を最大化するようにデザインされた組織を「分業型の製品開発」と呼ぼう。この場合、組織ユニット間の調整努力を極力節約して、各々の設計要素のレベルアップに力を集中する。一般に、要素技術（部品技術・固有技術）の発展速度が速い製品、とりわけモジュラー型アーキテクチャの技術集約製品の場合、分業型組織能力との相性が良いと言われる⁶。

しかし、自動車のように、個々の要素技術の変化速度は緩やかだが、それらが緊密に相互依存した「擦り合わせ型アーキテクチャ」の製品の場合、統合型の組織能力が、高い開発生産性・開発速度・商品力を生み出しやすいと推測される。

⁴ 藤本隆宏（2003）『能力構築競争』中央公論新社。

⁵ 藤本隆宏（1997）『生産システムの進化論』有斐閣。

⁶ 藤本隆宏・安本雅典編著（2000）『成功する製品開発』有斐閣。

そして、近年の実証研究は、概ねこの仮説を支持している。例えば、クラークと藤本による 1980 年代の日米欧主要自動車メーカーの新車開発プロジェクト比較研究によれば、上記三つのパフォーマンス指標でトップレベルの企業の開発組織能力は、以下の特徴を持っていたことが統計的に示されている。

第 1 に、擦り合わせ型製品の場合、新製品開発のたびに多くの部品を新規に最適設計しなおす必要があるため、自動車メーカーと部品メーカーが連携調整してうまく部品開発を行なう必要がある。例えば、自動車メーカーが基本設計、部品メーカーが詳細設計を行ない、相互で開発早期から緊密に連携調整する「承認図方式」を多用する日本企業が、開發生産性や開発期間において競争優位を持つ傾向が顕著であった。

第 2 に、試作車製作や金型製作など「製品開発に埋め込まれた製造活動」において、緊密に活動を連携させる組織が開發生産性・開発速度で競争優位を持った。ここでも総じて日本企業が強かった。

第 3 に、製品設計・開発と工程設計・開発を緊密に連携させ、期間的に重複させる「オーバーラップ型開発」を混乱なく遂行する組織能力を持った企業（主に日本企業）が開發生産性・開発速度で競争優位を持つ傾向があった。

第 4 に、新製品の開発チームがより小規模で、個々の技術者の受け持ち範囲が広い日本企業の方が開發生産性・開発速度で優位である。つまり、分業を抑制し、多能化した技術者間のチームワークを強調する組織が高い競争パフォーマンスを示した。

そして第 5 に、新製品コンセプトを自ら提案し、これを軸に強力な部門間統合を、開発期間を通じて遂行する「重量級プロダクトマネージャー」が率いる開発チームは、開發生産性・期間・総合商品力のどれをみても競争優位を発揮する傾向があった。1980 年代において、これは少数の日本企業にのみ当てはまった。

このように、自動車のような複雑な擦り合わせ型製品の場合、個々の新製品開発プロジェクトは、総じて以上のような特徴を持つ「統合型製品開発の組織能力」が、高い製品開発パフォーマンスをもたらす傾向が示されたのである。

こうした「統合型組織能力」の優位性は、複数プロジェクト間の連携調整でも該当した。例えば延岡（1996）は、プラットフォーム（車台）を共有する複数のプロジェクトが期間を重複させつつ連携的に開発される場合に、パフォーマンスが高い傾向があることを示し、いわゆる「マルチプロジェクト戦略」を提唱した⁷。

以上は 1980～90 年代の実証結果であるが、その後の調査を見れば、「自動車産業では統合型の開発組織能力が、開發生産性・期間・商品力などに関する競争優位をもたらす」という

⁷ 延岡健太郎（1996）『マルチプロジェクト戦略』有斐閣。

基本的な構図は、現在でも変わっていない⁸。

6. 設計支援デジタル情報技術の導入

1990年代、新たな製品開発能力が加わった。3次元CAD（コンピュータ支援設計）、CAE（コンピュータ支援エンジニアリング）など、設計開発を支援するデジタルIT技術を使いこなす組織能力である。藤本（1997）、Thomke and Fujimoto（2000）は、3次元CAD-CAEはフロントローディング（問題解決の前倒し）による開発後半の設計変更削減を通じて開発期間短縮に寄与すると論じた⁹。竹田（2000）は、3次元CADの本質は設計の自動化ではなく技術者間・部門間のコミュニケーション活性化であると指摘した¹⁰。藤本・延岡・青島・竹田・呉（2002）は、3次元CADを単純に設計効率化の手段と考えるIT導入は失敗する傾向があることを示し、ITを使いこなす組織能力の構築が必須であることを指摘した¹¹。

いずれにしても、3次元CAD-CAE導入のポイントは、これを使いこなす「統合型の組織的問題解決能力」の構築である、という点で以上の研究の結論は一貫している。こうした3次元デジタルITを、まずもって企画・デザイン・設計・試作・実験・生産技術・購買・製造など、製品開発の異なるステージ、異なる組織ユニットの間で、早期に問題を共有するためのコミュニケーション・ツールと考えることが、そうした開発ITの使いこなし能力を構築する第一歩である。実際、まったく同じ3次元CADの標準的パッケージを導入している企業でも、そうした組織的問題解決能力を蓄積してきたある日本企業の開発期間（外観デザイン決定から発売まで）は18ヶ月以下、そうした能力が弱いある米国企業では30ヶ月前後となっているのである。

このように1990年代、開発支援デジタル情報技術の導入によって、新車開発プロセスの具体的な手順や結果としての開発期間は大きく変わったのであるが、「複雑な擦り合わせ製品の開発には統合型のもの造り組織能力が必要とされる」という、1980年代以前からの自動車開発の基本命題は、いささかも揺るがず、むしろますます強化されているのである。

しかしながら近年、まさにそうした、日本企業で形成されてきた「統合型の組織能力」と、欧米の開発組織のあり方を暗黙の前提に進化してきた「分業型情報技術」の整合性が問われ

⁸ 延岡健太郎・藤本隆宏（2004）「製品開発の組織能力ー日本自動車企業の定量分析からー」東京大学MMRC、ディスカッションペーパー2004-MMRC-9。

⁹ 藤本隆宏「自動車製品開発の新展開：フロントローディングによる能力構築競争」『ビジネスレビュー』一橋大学イノベーション研究センター、22-45；Thomke, Stefan and Takahiro Fujimoto（2000）“The Effect of Front-Loading Problem Solving on Product Development Performance” *The Journal of Product Innovation Management*, 17, 2, 128-142.

¹⁰ 竹田陽子（2000）『プロダクト・リアライゼーション戦略』白桃書房。

¹¹ 藤本隆宏・延岡健太郎・青島矢一・竹田陽子・呉在烜（2002）「情報化と企業組織：アーキテクチャと組織能力の視点から」奥野正寛・竹村彰通・新宅準二郎編著『電子社会と市場経済』新世社、97-134。

る状況が目立ち始めている。その背景には「欧米発 3 次元 CAD のネットワーク財化と業界標準化」という事態がある。すなわち、開発・購買業務がグローバル化する中、多少使い勝手が悪くても、海外のサプライヤー等の際に既に普及し業界標準（デファクト・スタンダード）化している欧米発の市販のパッケージ型 CAD（例えばフランス・ダッソー社の CATIA など）を導入しないと、提携先の欧米自動車企業やグローバル展開する部品メーカーとの共同製品開発に支障をきたす、という事態が現実化してきた。実際、ここ数十年のうちに、自前の社内開発 CAD を使用していた日本の自動車メーカーは、次々と欧米発市販 CAD の導入を決め、現在では社内開発 CAD に依拠する日本メーカーは皆無である（市販 CAD のカスタム化を指向する企業はあるが）。

むろん、3 次元 CAD システムの開発にはいまや膨大な開発費用がかかるのであるから、内製 CAD への投資に限界があることは分かる。しかし、そのことによって、日本型の統合型製品開発との齟齬が生じるとすれば問題である。エレクトロニクス製品の CAD では一部の日本企業（例えば図研）が標準的ソフトとして君臨していることを考えると、自動車開発の CAD が欧米発の市販ソフトに席卷されていることはある意味で不思議である。

分業型開発を背景に生まれた欧米発 CAD は、例えば設計技術者が構想し、オペレータが形状を作るという図面工以来の分業の原則にしたがって、後者しか使いこなせない複雑な操作の CAD を開発する傾向がある。しかしそれは、設計者とオペレータがチームとなって皆で設計図に触る、という日本企業の統合型製品開発には合わないと言われる（新木、2005）¹²。また、同じく分業型開発の思想から、完璧な設計情報を上流から下流に正確に流すことを重視する、つまり逐次処理型の製品開発プロセスを前提にした欧米発の CAD は、未確定の設計情報を部門間で頻繁にやりとりする日本企業の重複型問題解決（藤本・クラーク、1993）には向かない恐れがある。

むろん、すでにデファクト・スタンダード化した欧米発パッケージ CAD が存在する現状では、これに真っ向から対抗する「日本発のパッケージ CAD」を今から普及させることは困難かもしれない。しかし、たとえばこうした欧米発 CAD との連動性を保ちつつ、日本企業の得意とする協調環境でのチームワーク作業と相性の良い「インターフェース」的な統合型設計支援ソフトを日本発で開発し普及させ、それによって分業型の欧米発 CAD をいわばくるんでしまうことができれば、結果的には日本企業のチーム型開発環境と相性の良い協調重視の IT を確保することが可能であろう（間瀬、2000；新木、2005）¹³。

¹² 新木廣海（2005）『日本コトづくり経営』日経 BP 社。

¹³ 間瀬俊明「デジタルプロセスの巧と技」『日本機械学会誌』日本機械学会、2000.4、vol.103、No.977、12-14；新木廣海、前掲書。

このように、統合型の組織能力構築が製品開発の基本である自動車産業において、そうした能力構築で国際競争優位を持つ日本企業は、統合型組織能力と相性の良い統合型の開発支援ITを確保する努力を、おそらくは個別企業の枠を超えた形で行なっていく必要がある。

7. 先行開発の重要性

自動車の製品開発組織能力について、近年顕著になってきたもう一つの方向性として、「先行開発機能の重視」がある。例えば、トヨタ自動車は、いわゆる第4開発センター（地理的には東富士研究所など）を中心に先行開発機能の強化を行なってきたと言われるし、日産や本田も、最近では先行開発に特化した部門を組織化するなど、先行開発分野に力を入れている。

一般に企業の研究開発活動は、新たな科学的知識を生み出す基礎研究、それを利用可能な技術の原型にまで翻訳する応用研究、市場で販売される製品およびその工程を準備する開発などに分かれるが、先行開発の仕事は、研究部門から出てきた要素技術を、製品に搭載可能な形にまで精製して車両開発部門に受け渡す仕事だとも言える。その意味で、研究所と製品開発センターをつなぐ重要な役割であるが、従来はあまり目立つ存在ではなく、企業によっては軽視されてきたきらいもある。

しかしながら、現在の市場においては、単に小手先の「表層的な製品差別化」だけでは競合企業に対する優位性を維持することは難しい。現在多くの製品に求められているのは、ソフト・ハード両面、あるいはメカ・電子両面における革新的な要素技術の採用であり、そうした新技術による「深層からの製品差別化・ブランド化」である。

しかし同時に、企業に求められるブランド力とは、要するに個々の要素技術、マーケティング要素、車両コンセプト、顧客ニーズの間に首尾一貫性（インテグリティ）が確保されている状態を指すのであるから、当然ながら、顧客からみた車両のコンセプトと、要素技術のコンセプトが一致していなければならない。例えば、せっかく世界初のスポーティ指向の要素技術の開発に成功したとしても、それをファミリー指向の車両に搭載してしまえば、技術コンセプトと車両コンセプトが顧客の頭の中で矛盾を起こし、せっかくの画期的技術がブランド力を生まない。

先行開発部門の大きな役割の一つは、自社の研究所やサプライヤーの技術部門などから出てくる要素技術群のコンセプトと、開発される車両のコンセプトとの「ベクトル合わせ」を行なうことによって、要素技術という深みからのブランド作りを行い、新規の要素技術が確実に車両の商品力につながることを保証することである。言い換えれば、研究・技術開発部門と車両開発部門の「技術統合」を行なうことである¹⁴。

¹⁴ イアンシティ、M（2000）『技術統合—理論・経営・問題解決』NTT出版。

日本企業の統合型組織能力の強みは、技術開発、車両開発の速さである。しかし、近年は、車両開発があまりに速いため、要素技術開発の開発リードタイムとのギャップが拡大し、下手をすれば、開発した要素技術を、コンセプト的に合わないモデルに安易に搭載して、せっかくの画期的技術を市場で不発に終わらせてしまうケースも見られる。また、部品サプライヤー発の新規技術を十分に消化吸収できない恐れもある。

しかしながら、先行開発部門の技術統合機能が確実に発揮されるならば、技術開発スピードの速さという日本企業の強みが車両の商品力に確実に伝達され、「要素技術という深層からのブランド力」という、分業型開発の欧米企業が簡単には追随できない競争優位を確保できるかもしれない。その意味でも先行開発部門は、単なる研究と開発のつなぎ組織というだけではなく、要素技術のイノベーション (R&D) を深層からのブランド力 (マーケティング) に確実につなげる、戦略的な重要性を持つのである。

また、それとの関連でいうなら、研究部門は、自社の技術をすべて独力で開発しようとする閉鎖的なカルチャーを脱し、むしろ自由闊達にサプライヤー、材料メーカー、大学、外部研究機関など社外の科学者ネットワークと連携し、オープン型イノベーションの仕掛けを最大限に活用する、開かれた組織風土・組織能力を構築する必要がある¹⁵。つまり、基礎研究はむしろオープン指向で待ちを広くしておくが、先行開発段階では技術と製品の合わせこみを集中的に行い、車両開発は一気呵成に進める、という、メリハリのきいた開発体制を組めれば、日本企業の統合型開発能力を商品力に確実につなげるという意味で、有効な組織能力構築だと言えよう。

8. 組み込みソフト：自動車開発のボトルネック？

次に、自動車の製品開発工数に占める割合が近年急速に拡大しつつある「組み込みソフトウェア」の開発について素描しておこう。

多くの家電・エレクトロニクス製品とは異なり、自動車は基本的に鉄を中心とした機械製品である。この基本は変わらない。3万点といわれる部品点数は増えこそしても減る傾向はなく、回転体を支えるベアリングの数もむしろ増加傾向といわれる。自動車は依然として、最適設計されたメカ部品を微妙に相互調整することでようやく全体最適設計を実現する、典型的な「擦り合わせ型アーキテクチャ」の製品である。であるからこそ、日本企業の統合型組織能力が生きるのである。

しかしながら、現状において、そうした統合型組織能力の構築が十分でないと思われる分野が少なくとも一つある。それが、組み込みソフトの世界である。

¹⁵ チェスブロウ、H (2004) 『オープン・イノベーション』産業能率大学出版部。

自動車の設計思想と製品開発能力

現在、上級車では 100 を超えるマイコンが搭載されており、それらに組み込みソフトが付く。今後は、個々のハードを制御するソフトの上に、それらを連動させるトータル車両制御ソフトも生み出され、車両全体の挙動をソフトが統制する傾向が強まろう。しかしながらそれは、組み込みソフト開発が製品開発全体のボトルネックになる危険も示唆している。

一般に製品設計とは製品機能と製品構造を連結する作業であるが、ハードウェアにおいては構造と機能が物理的因果関係で繋がるのに対し、ソフトウェアの場合は構造（プログラム）と機能（ハードの挙動）の関係は記号的な関係（社会的な約束事）で繋がっており、それだけ、組み込みソフトの機能・構造関係は恣意性・不確実性が高い。一方、自動車の制御において安全は絶対の条件であり、この点で妥協は許されない。

このため、ハード部品では自動車メーカーが機能設計（要求仕様）、部品メーカーが構造設計（詳細設計）という分業を効果的に行なうのに対し、ソフトではまだそうした仕組みが確立していない。むしろ、ハードに知悉した設計者が、結果として動くソフトを仮制作し、その設計合理化をソフト開発企業に委託するといった、やや錯綜した共同開発になっているケースも多いようだ。

その結果、自動車用組み込みソフトは、新旧のソフトウェア要素が積み重なり、いわば山間の古い旅館のように、新旧の家屋が渡り廊下で繋がったような錯綜したアーキテクチャになっているケースも多い。設計の合理化が難しいため、社外も含め人海戦術に頼り勝ちであり、その結果、設計合理化がさらに遅れる悪循環も懸念される。

そもそも自動車に搭載されるソフトは、エンターテイメント系のオープン・アーキテクチャとエンジン制御系のクローズド・アーキテクチャ、その中間的なボディ制御ソフトなどが同居する複雑な構造である。安全かつ合理的なソフトウェア・アーキテクチャの確立が当面の課題であろう。

9. 自動車アーキテクチャの将来

最後に、自動車のアーキテクチャの将来について私見を述べる。これについては藤本（2003）で既に議論を展開しているので詳細はそちらに譲るが、要するに、過去 100 年間クローズド・インテグラル寄りに推移してきた自動車のアーキテクチャが今後オープン化することがあるならば、大きく三つのルートが考えられるとした¹⁶。それは、(1) ホイール一体型のモーターで駆動する燃料電池自動車や二次電池自動車が支配的な自動車デザインとなるケース、(2) 中国などで見られる、コピー・改造部品を寄せ集めた「擬似オープン・アーキテクチャ」の自動車が、本格的なオープン型製品に進化し、それが先進国市場でも認知さ

¹⁶ 藤本（2003）前掲書。

れ、いわば破壊的技術として世界市場を席卷するケース、(3) 車両全体を統御するソフトが自動車の挙動面の個性（製品差別化）を支配するようになり、反動でハードウェアが汎用部品化するケースである。

しかしこのうち、(1) と (2) は簡単には実現しないと筆者は考える。純粋な燃料電池車や電気自動車は材料費の高さから、少なくとも今後四半世紀、支配的設計になることはなかろう。むしろハイブリッド車の普及が先行する可能性が高いが、ハイブリッド車は基本的に擦り合わせ製品であり、そこでの日本企業の競争優位は簡単には動かないだろう。当面の自動車設計の趨勢は、エンジン・ミックスの多様化と環境・安全・燃費問題に対する極限的な対応であり、こうした厳しい要求の中では、アーキテクチャの極端なモジュラー化は難しいだろう。中国に見られる擬似オープン・モデルが世界市場で高い商品力を発揮する可能性も、今のところは高くない。(3) については判断を留保したいが、ソフトウェアだけで製品の差別化が実現するほど、自動車は簡単な製品には見えない。

このように、少なくとも 21 世紀の最初の四半世紀、自動車は多かれ少なかれ「擦り合わせ型」アーキテクチャの色彩を色濃く残した製品であり続けよう。そして、このタイプの製品のもの造りにおいて国際競争力を発揮するのは、今後も「統合型の組織能力」を有する企業だと予想される。日本企業は、この面での従来からの強みを鍛え続ける「能力構築」を怠ってはいけないだろう。