

Title	自動車の電子化のその先に何が見えるか（その1）：電子化が加速するグローバル経営環境のパラダイムシフト
Author(s)	小川， 紘一； 高梨， 千賀子； 立本， 博之
Citation	年次学術大会講演要旨集， 26： 594-598
Issue Date	2011-10-15
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/10191
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

自動車の電子化のその先に何が見えるか(その1) —電子化が加速するグローバル経営環境のパラダイムシフト—

○小川紘一(東京大学知的資産経営総括寄付講座)、
高梨千賀子(立命館大学 MOT 大学院)、立本博之(兵庫県立大学 経営学部)

1. 本稿の問題意識とその背景

21 世紀の我々が着目する電子化とは、デジタル化・ソフトウェア化のことである。これをモノづくり現場の視点で言えば、組み込みシステムが自動車設計の深部で広範囲に介在し、基本機能や性能はもとより自動車の品質までも左右することを意味する。組み込みシステムとは、ハードウェアブロックをリアルタイム制御するデジタル型の技術モジュールであり、マイクロプロセッサと組み込みソフトウェアで構成される。日本企業は、これまでハードウェア側の擦り合わせ調整によって製品性能や品質の向上を図ってきた。しかしながら 21 世紀の現在では、組み込みシステムがこれを担うようになったのである。¹

その背後に、マイクロプロセッサの飛躍的な性能向上(1970 年代から 2000 年までに 5000 倍以上)と低コスト化という半導体プロセス技術のイノベーションがあり、更にはプラットフォームに依存しないオブジェクト指向(例えば Java)の登場など、プログラミング側のイノベーションがあった。ここからモノづくりの現場が一変する。このような変化がまず 1990 年代のエレクトロニクス産業で顕在化したが、2000 年頃から他の多くの産業領域に拡大した。擦り合わせモノづくりの象徴と言われた自動車産業でも決して例外ではない。現在のデジタル家電で設計工数の 70% が組み込みシステムのソフトウェア開発になってしまったが、最先端の自動車でもこれが 50% を越えて更に急増しつつある。

21 世紀の経営環境を特徴付けるもう一つの事象は、途上国市場の急拡大と途上国企業の躍進である。一般に途上国企業では独自に蓄積した技術が非常に少ないという意味で、必ずモジュール化された基幹部品を調達しながら市場参入せざるを得ない。モジュール化されていれば、その単純組合せで完成品を作れるからである。このような経営環境の到来を先取りしてか、基幹部品のモジュール化を追求するボッシュなどの欧米サプライヤーは、Full Turn Key Solution 化された技術モジュールを途上国企業に提供することで、² 途上国の自動車メーカーの大躍進に大きく貢献してきた。

一方、先進国の完成品メーカーを代表するフォルクスワーゲン社は、現在のガソリンエンジン自動車でもすでにモジュール化を Modular Tool Kits Strategy として前面に出しながら、中国市場で大躍進しはじめた。モジュール化の徹底によってブランドを跨ぐ部品共有化・汎用化(低コスト化、サプライチェーンの簡素化)を可能にし、ブランドに対するユーザの期待には個別モジュールの技術イノベーションを主導・追求することによって応えている。『モジュール化では車らしい車が作れない』という俗論を排し、ブランドが持つ差異化と価格維持を可能にしているのである。世界で最初に年間 1,000 万台を超えるのがフォルクスワーゲン社である、と言われる背景がここにあるのではないか。韓国のヒュンダイグループもモジュール化を積極的に取り込んで躍進し、日本のホンダを一瞬にして抜き去った。

例え最先端の自動車技術であってもジュール型へ転換できるようになるのは、基幹部品の設計深部で広範囲に組み込みシステムが介在しているからであり、その組み込みシステムが飛躍的に進化したからである。この延長に電気自動車の経営環境が到来する。電気自動車であればモジュールの組合せ型へ簡単に転換され易いと意味で技術的な市場参入障壁が更に取り除かれ、例え技術蓄積の少ない途上国企業であっても途上国と同じ先端に立ってビジネスチャンスを掴むことができる。この意味で電気自動車が大量普及する時期には、自動車産業の構造が間違いなくオープン国際分業型へ転換するであろう。自動車だけは擦り合わせ型だから例外である、といつまで言い続けられるだろうか。

¹ ソフトウェアの急増に伴う複雑性の問題とその対応については、徳田・立本・小川(2010)を参照。

² 例えば、高梨、立本、小川(2012)。

2. 組み込みシステムの進展と途上国の興隆がもたらす経営環境のパラダイムシフト

本発表が組み込みシステムに焦点を当てる理由は、これが製品設計の深部で広範囲に介在する、すなわちアナログ型からデジタル型へ移行するその先に、経営環境のパラダイムシフトが待っているからである。例えば 1980 年のパソコン産業や 1990 年代中期の光ディスク産業、1990 年代末の携帯電話や液晶テレビがその代表的な事例である。現在では擦り合わせ型と言われ続けたプリンタ複合機や建設機械産業にすら顕在化しており、非常に多くの製品領域で類似の経営環境が観察されるのである。その背後で、いずれも組み込みシステムが製品設計の深部に介在していた。しかしながらいずれのケースでも、日本企業だけが市場撤退を繰り返したのである。³ 自動車だけは擦り合わせ型だから例外である、といつまで言い続けられるだろうか。

このような経営環境のパラダイムシフトをもたらす組み込みシステムのエンジンがマイクロプロセッサであり、現在の日本の一家族に 100~150 個も使われている。2020 年には全世界で 500 億から 1,000 億個という想像を絶する数が使われるという。大部分の人工物設計にデジタル技術が介在して製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換するという意味で、モノづくりの現場だけでなく、グローバル市場の産業構造や企業制度そのものさえも一変してしまう。

この意味で世界の産業構造は、1970 年代に興隆したマイクロプロセッサとその延長で発展する組み込みシステムによって、まずデジタル化・ソフトウェア化が最初に取り込まれたエレクトロニクス産業から、歴史的な転換期に立った。組み込みシステムは企業制度やグローバル産業構造を一変させる基本的な作用を持っていたのである。

一方、我が国が誇った日本型の生産方式も既に世界中の企業が学んでおり、日本の専門家を雇用して現地に定着させている。したがって技術や知財に勝り、モノづくりで圧倒的な優位性を誇っても、組み込みシステムが介在してオープンな国際分業型の産業に転換すれば技術が瞬時に伝播し、日本企業が市場撤退を繰り返すのである。自動車産業であっても決して例外ではない。

3. 究極の電子化としての電気自動車がもたらす経営環境

途上国の企業群は、Full Turn Key Solution の基幹部品（モジュール化したシステム・サプライ）を調達する以外に自動車市場へ参入できないという意味で、エレクトロニクス産業と類似の経営環境が、まず途上国の自動車産業で生まれた。そしてこれが電気自動車の時代になれば、我々がエレクトロニクス産業で経験した経営環境は、グローバル市場の全領域に生まれであろう。欧州諸国は、2003 年に AUTOSAR というオープンで大規模な国際標準化団体を発足させ、また 2004 年に ARTEMIS という組み込みシステムに関する国家を超えたオープンなイノベーションシステムをスタートさせた。彼らは、ソフトウェアの爆発がもたらす複雑性の問題をこれによって解決しようとしているが、この一連の動きも、自動車産業をエレクトロニクス産業と同じ経営環境へ誘導する。

一般に乗用車は、産業機械、精密機械、重電、デジタル家電、白物家電、情報・通信、繊維、化学、材料、家具などが複合化した技術体系で構成される。その中でも特にガソリンエンジン（内燃機関）やパワートレイン系/シャシー系とその連動制御技術は、要素技術の機構形状や材質・剛性および制御アクチュエータの伝達特性が車種ごとに異なり、その上で更に技術モジュール単体も互いの相互依存性が非常に強いという意味で、統合制御に高度の擦り合わせを必要とする。

例えばアップボデーであっても、ユーザが魅力を感じる概観デザインや金型技術・成型技術だけでなく、ガソリンエンジンが発する高温を効率的に放熱するためのシャシー側のレイアウト、あるいはエンジンが発する振動の低減や騒音防止のためのシャシー側のレイアウトまでも考慮しながら最終デザインが決定される。特に 2000 年代になって環境規制が厳しくなると、組み込みソフトを駆使したエンジン制御だけでは規制対応に限界があり、アップボデー側のデザインも高速走行時の風圧を低減する形状を優先させねばならない。乗用車の外観デザインさえも、製品設計のプロセスでは、エンジン制御やシャシー・レイアウトと独立に考えられなくなっていたのである。21 世紀に強化された環境・エネルギー規制が、自動車を更に丸ごと擦り合わせ技術体系へ向かわ

³ 小川(2009)の1章および小川(2011)。

しかしながら途上国企業は自動車に関する技術蓄積を持っていないので、技術を丸ごと導入する以外に自動車産業へ参入することができない。したがって、すでにモジュールの単純組合せへ転換した技術体系、すなわち既に確立した一世代か二世代前の技術体系を丸ごと導入し、若干のカスタマイズをしながら市場参入を繰り返す。作り込みが究極まで進んで擦り合わせが少なくなるのであれば、生産管理の専門家を日本から工場へ招いて指導を受けるだけで歩留まり良く低コスト生産ができるようになるからである。

もしこれが電気自動車であれば経営環境が更に大きく変わってしまう。図1に示すように、発熱や騒音対策を考慮せず、剛性や衝突安全に注目した基幹技術モジュールを車台に配置することが可能になるからであり、またアッパーボデーの設計も放熱・騒音防止を優先させることなく設計することも可能になるからである。さらには電気自動車なら、燃費や環境規制に対応する為の複雑なエンジン制御技術蓄積が一切不要になるという意味で、自動車としての基本機能が製品設計の中心となり、途上国企業に対する参入障壁が極めて低くなるのである。

過去100年の車の進化は
高性能化・複雑化への対
応だった



⁵ ただしタイヤの領域だけはまだシミュレーションができない。

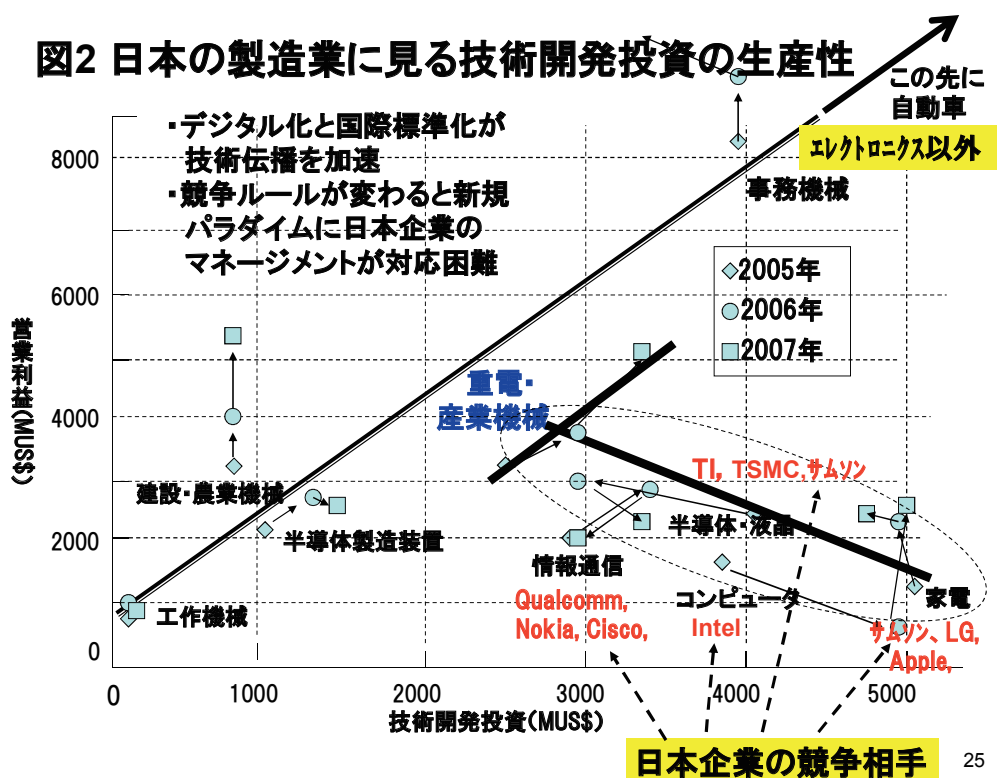
またモータ・インバータ・蓄電池など、基幹部品のハードウェアブロックと組み込みシステムが一体化すれば、それ自身がモジュラー型へ転換したと等価になる。したがって特定企業のハードウェアブロックとその外部仕様/外部インターフェースがデファクト・スタンダードになって流通すれば、これを駆動する複合ドライバーも共通化できる。例えばハードウェアブロックの制御アクチュエータで伝達関数が異なっても、組み込みシステムであればこの違いを吸収して完全なモジュール構造へ転換させることができる。

ここで組み込みシステム側のソフトウェアがオープンな AUTOSAR 標準に準拠するのであれば、ハードウェアブロックに依存しない自動車アプリケーションのソフトを作る IP ベンダーが世界中で輩出し、アプリケーションを世界中に流通するようになるであろう。電気自動車の登場と組み込みシステム側の国際標準化によって、自動車産業の経営環境も一変してしまうのである。

4. オープン国際分業の中の日本企業

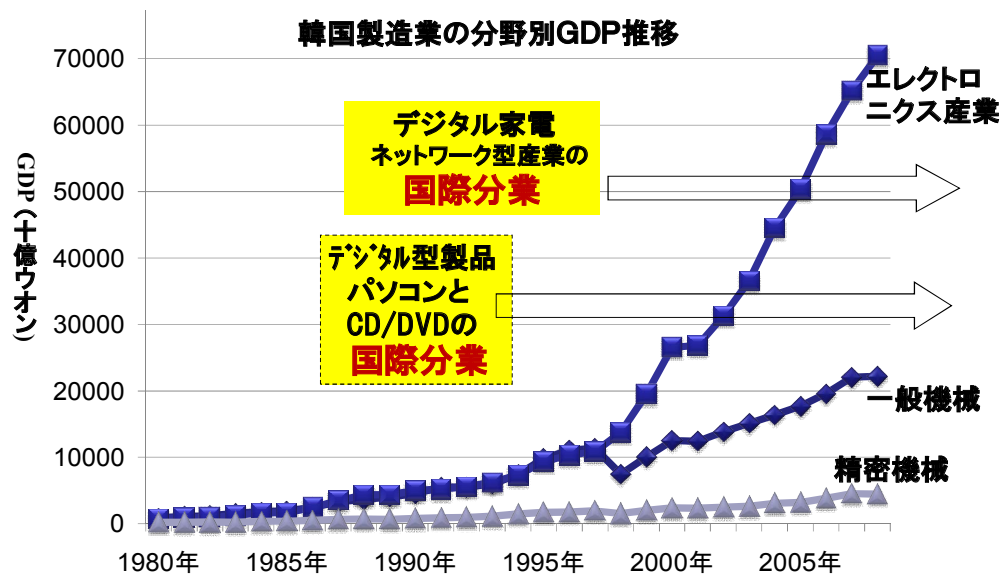
組み込みシステムが製品設計の深部に介在し、製品アーキテクチャ最も早くモジュラー型へ転換したのがエレクトロニクス産業だが、ここから我が国エレクトロニクス産業の姿が一変してしまった。その様子を図2に示す。また経営環境のパラダイムが変わったタイミングで韓国が躍進する様子を図3に示した。図3に見る韓国製造業の姿は、台湾でも、また中国でも同じように観察される。

明らかに日本企業は、モジュラー型であってオープン国際分業型へ転換する製品領域で技術イノベーションの投資が企業利益に結び付いていない。一方、1990年代にまだ途上国であった韓国は、日本企業が劣勢になった製品（産業）領域でGDPを躍進させて雇用や成長を支えた。この傾向は台湾でも中国でも同じであり、途上国に共通して見られる。



先に述べたように、例えばガソリンエンジンの自動車であっても途上国からモジュラー型へ転換しはじめたが、その上でさらに電気自動車が普及し、組み込みシステムがオープン環境で国際標準化されれば、エレクトロニクス産業と類似の経営環境が出現する。すなわち自動車産業であっても、製品アーキテクチャがモジュラー型へ転換してここに国際標準化が介在すればグローバル市場に比較優位の国際分業が瞬時に生まれ、競争ルールが一変し、これまでの日本企業が当たり前のように推進したビジネスモデルが通用しなくなるのである。

**図3 韓国の製造業はオープン国際分業型へ転換した
製品分野からGDPが急上昇**



我々は、本報告で取り上げた自動車の電子化のその先に、図2と同じ経営環境が待ち受けていることを我々は覚悟しなければならない。したがって比較優位の国際分業へ転換することを前提にアジア経済圏の中で自動車産業を位置付け、企業と市場の境界を事前に設計し、そしてアジアの成長と共に歩むためのビジネスモデルと知財マネジメントを再構築しなければならない。

本発表では、1990年代のエレクトロニクス産業と比較しながら論じ、その兆候が電気自動車ではなく、すでに従来型のガソリンエンジン車でさえ、途上国と欧州で顕在化したことを、具体的な事例で明らかにする。そしてエレクトロニクス産業で起きた事例を紹介しながら電気自動車が生み出すグローバル産業構造の姿を描き、我が国および我が国企業が進むべき方向性を、具体的な事例を交えて提案したい。

参考文献

小川絃一(2009)『国際標準化と事業戦略』、白桃書

小川絃一(2011)「知財立国のジレンマ」、『東京大学知的資産経営総括寄付講座シリーズ 第1巻、ビジネスモデルイノベーション』、白桃書房

高梨千賀子、立本博文、小川絃一(2011)「標準化を活用したプラットフォーム戦略」『国際ビジネス研究』第3巻 2号

徳田昭雄、立本博文、小川絃一(2011)『オープン・イノベーションシステムー欧州における自動車組み込みシステムの開発と標準化ー』、晃洋書房