

---

## 研究ノート

---

# 電気自動車 (EV) 開発における標準化戦略とその課題 —— テスラ・モーターズを事例として ——

大木 裕子

Keyword : ビジネスモデル, オープン・アーキテクチャ, モジュール型, 擦り合わせ型, プロデューサー

## はじめに

経済産業省ではハイブリッド車 (HV), プラグインハイブリッド車 (PHEV), 電気自動車 (EV) などの次世代車の割合は, 2020 年に新車販売の 20 ~ 50%, 2030 年には 50 ~ 70% にするとの目標が立てられている<sup>1)</sup>. そのうち EV が占める割合は 25% になる見込みである<sup>2)</sup>. もっともこの予測も, 基本となる HV と EV のデファクト決定の過程で, 更に急激な変化を見る可能性を含んでいる. 日本でも 2010 年になって三菱自動車「アイ・ミーブ」, 日産自動車「リーフ」などが発売されてきたが, リチウム電池のエネルギー密度の向上もあり, 今後は EV への置き換えが急速に進むという見方も出てきている. 電気自動車のバッテリーは充電時間が長いというデメリットがあり, 充電器のインフラ設置には社会的コストが必要とされる.

日本のものづくりにおいて, これまで自動車製造業界は基幹産業として君臨してきた. 2007 年工業統計によれば, 自動車産業には 515 万人が携わり, 製造出荷額では全製造業の 17% にあたる 57 兆円を占める<sup>3)</sup>. 1 万点の部品を, 良質な労働者を使った摺り合わせ技術により精度の高い製造へと改善してきた自動車産業だが, 今後のバッテリー技術の急速な革新により, 自動車のキーデバイスがエンジンから電池とモーターにシフトすることになれば, 自動車の生産工程は大幅に変化することになる. すなわち自動車製造の工程は, 電池メーカーから持ち込まれる電池ユニットと, モーター及びインバーターユニットを取り付け電気のコードを配線するという組み立てに代わることとなり, 自動車に必要な部品も 1 万点から 1000 点以下に減少する. そうなると, これまで日本の自動車企業が培ってきた製造現場での摺り合わせ技術を使った高度な組み立て工程は必要なくなり, 参入障壁が低くなることでベンチャー企業の参入を容易とし, 量産化による低価格競争が繰り広げられるこ

---

1) 2010.4.20 経済産業省「次世代自動車戦略 2010」

2) 松田久一・合田英了「生き残りは, ものづくり型自動車産業から移動システム産業へのイノベーション」JMR 生活総合研究所, 2010.5.

3) 経済産業省「次世代自動車戦略研究会 (第 1 回) 資料 5 2009.11.5.

とになることも予想される。

本稿では、ものづくり産業の行方を探るために、EV製造に参入したシリコンバレーのベンチャー企業であるテスラ・モーターズ (Tesla Motors Inc.) の事例から、そのビジネスモデルを分析し、電気自動車開発における標準化戦略の課題について考察していくことにする。

## 1. シリコンバレーモデル

ものづくりにおいては、どのようにその製品を設計するかというシステム設計の基本思想、即ちアーキテクチャが、設計技術者の最も重要な意思決定となる。Hippel (1990) は、製品を設計するタスクはより小さい単位へと分割され、これによって生じる個々の構成要素によりイノベーションのありようが異なり、構成要素同士の関係性の相違により、総体としての製品の差別化が可能となるという製品アーキテクチャの概念を示唆した。それ以前にも Clark (1985) の研究などでアーキテクチャという表現は使われているが、Henderson and Clark (1990) がイノベーションの構成要素として、技術イノベーションだけでなく、既存の構成要素間のつなぎ方の変化によってもイノベーションが起こることを指摘するなど、イノベーションをもたらず製品アーキテクチャの議論は1990年頃から活発になった。

製品アーキテクチャについては、その後 Ulrich (1995)、青島・武石 (2001)、青木・安藤 (2002)、藤本 (2003) らが概念を整理してきた。藤本 (2003) によれば、製品アーキテクチャとは機能群を製品の各部分 (部品・コンポーネント・モジュール) に対応させていく「製品に関する基本的な設計思想」である。製品全体としての機能を整合的に達成するため、そこには部品間の連結部分 (インターフェース) を通じて、構造的・機能的な情報やエネルギーのやりとりが必要となり、そのインターフェースをどのようにデザインするかが製品を設計する技術者にとって最も重要な部分となる。同様に、生産設備、治具、作業員、作業方法などの生産工程においてもシステム設計が必要で、これは工程アーキテクチャと呼ぶことができる。アーキテクチャのタイプとしては部品設計の相互依存度により、モジュール型 (組み合わせ) とインテグラル型 (摺り合わせ) に区別される。モジュール型では、部品 (モジュール) が機能完結的で、部品間の信号やエネルギーのやり取りがそれ程必要でないために、モジュール間のインターフェースは比較的シンプルですむ。これに対し、インテグラル型では、機能と部品が「一対一」ではなく「多対多」の関係にあるために、各部品の設計には微調整が必要で、相互に連携を図る必要がある。インテグラル型は自動車に代表されると言われるが、自動車の乗り心地は、タイヤ、サスペンション、エンジン、トランスミッションといった部品の相互調整によりはじめて実現されるために、総体としての完成度が求められる。従って、モジュラー型企業は部品間の摺り合せを省略して組み合わせを活かした製品展開ができるのに対し、インテグラル型の企業では部品間の摺り合せにより製品の完成度を競うことになる。更に、企業を超えた連結という意味ではクローズ型 (囲い込み) とオープン型 (業界標準) に分類することができる。

クローズ型とはモジュール間のインターフェース設計が一社内で閉じているもの、オープン型とは基本モジュールの間のインターフェースが、企業を業界レベルで標準化した製品を指す。

モジュール化とは、相互に独立性の高い複数ユニットに分解することによってシステムの複雑性を減少させる設計上のおこないであり、ロボット工学をはじめとした複雑なシステムを扱う分野では有益な概念として認知されている。モジュール化の議論をみると、モジュール化できる部分というのはデジタル化が可能な部分であり、アナログな部分については摺り合わせが必要とすることができる。青島・武石（2001）によれば、モジュール化のメリットとしては①構成要素間の調整・摺り合わせコストの大幅削減、②各モジュールの独立性の確保によるシステムへの影響の局所化、③モジュール・レベルの再利用が可能、④各モジュールが独立に動作することでイノベーションを促進、⑤モジュール化は分業を促進、⑥モジュール化により、システムを空間的・時間的に拡大できる、といったことがあげられる。

終身雇用、長期契約に基づく日本企業では濃厚なコミュニケーションが形成されやすく、特にインテグラル・クローズ型ビジネスにおいて、摺り合わせの妙でその強みを発揮することができた。しかし、このような日本の特徴でもあった囲い込み型経営の終焉について、国領（1995）がオープン型経営への転換を提言し、その後オープン・アーキテクチャの議論に展開してきた。国領（1999）によれば、戦略としてのオープン・アーキテクチャとは「本来複雑な機能を持つ製品やビジネスプロセスを、ある設計思想（アーキテクチャ）に基づいて独立性の高い単位（モジュール）に分解し、モジュール間を社会的に共有されたオープンなインターフェースでつなぐことによって汎用性を持たせ、多様な主体が発信する情報を結合させて価値の増大を図る企業戦略」<sup>4)</sup>である。機械系システムと人間系システムの処理能力向上のアンバランスが顕在化している情報過多社会において、オープン・アーキテクチャ戦略がトレンドになるというのが国領の主張であった。妹尾（2009）も、日本の技術経営の閉塞感を指摘している。妹尾によれば、欧州主導による新興市場を含めた国際分業によるオープン・イノベーションの時代となった時に、日本企業は優れた技術を持ちながらも競争優位を確立できないというジレンマに陥っている。

オープン・モジュール型の代表的な企業としてあげられるシスコシステムズやインテルなどは、米国カリフォルニア州のシリコンバレーにある。シリコンバレーでは組み立ての妙を得意とし、オープン・アーキテクチャ型のビジネスモデルの構築により、画期的なイノベーションを継続してきた。シリコンバレーでは、情報化とコンピュータ・ネットワークの技術革新及び広範な浸透により、シリコンバレーモデルと呼ばれる特徴を持つ産業クラスターが形成されている。榊原（1997）によれば、シリコンバレーモデルは①アウトソーシング、②コアコンピタンス、③ネットワークング、④多産多死の4つの特徴がある。経営に必要な資源を外部から調達することで経営の俊敏さを最優先すると共に、コアコンピタンスの内部留保を徹底することで、自社の強みを強化し、競争優位を確立し

4) 国領（1999）p.21.

ている。自社の強みに特化するコアコンピタンス重視の経営は、アウトソーシングの積極的な活用に結びついているわけだが、これが幅広い企業の連携につながっている。コアコンピタンスを持ち寄る緩やかな連携（loosely coupling）を持つネットワーキングは、関係のパターンや範囲が常に変化しており、短いサイクルで組み替えられる。また、シリコンバレーは多くのアイデアがすぐに実現・検証・淘汰される「多産多死」の世界で、これを支えるのがベンチャーキャピタリストの存在である。

このようにシリコンバレーモデルは単独企業というよりは、緩やかなネットワーキングに基づき事業活動を効率的におこなっているわけで、それ故に企業の連携を容易にするプラットフォームとしてシリコンバレーという産業クラスターが形成されてきた。他の企業との積極的な連携はどの企業も模索するところであるが、シリコンバレーでは限定的・固定的・長期的な2社間の堅い連携を基本とする戦略提携ではなく、機動的な展開をするために、企業は常に新しい連携先を模索しているのが特徴である。世界を志向したグローバルな事業活動というよりは、シリコンバレーというコミュニティの中で、人間同士のフェース・トゥ・フェースのコミュニケーションによりイノベーションを実現しているという点では、情報技術の革新と浸透が進むシリコンバレーならではのパラドックス的技術革新の核心ともいえるだろう。

次項では、シリコンバレーのベンチャー企業テスラ・モーターズの事例をあげ、そのビジネスモデルについて分析したい。

## 2. テスラ・モーターズの現状分析

### (1) 概要

テスラ・モーターズは、米国カリフォルニア州パロアルトに本社を置く電気自動車の製造・販売会社として2004年4月に設立された。PayPalの共同設立者であるイーロン・マスクが取締役会長となり、シリコンバレーの大手企業の創業者らから出資を集めて実現したベンチャー企業で、経営上の問題から創業時からCEOを務めた数人の幹部らを解雇して、2008年にイーロン・マスクがCEOに就任した。2009年決算では約5500万ドルの純損失を抱えるが、2010年6月には米ナスダック市場に上場を果たした。自動車会社の株式公開は1956年のフォード以来となる。

フラグシップとなるEVのロードスターは、顧客のニーズを無視したプロダクトアウトの発想の車であるといってもよい。開発は極めてスピーディーで、形がまだないうちからマスコミに情報発信を続け、市場の期待感を煽ってきた。マスメディアを使った広告はせずに、ニュースリリースのみの宣伝方法を取り、詳細な情報は経営陣のブログを含めたウェブサイトに掲載し随時更新している。高級、少数、趣味性（第2の遊び車）のスポーツカーを嗜好する顧客セグメントに絞り込み、高価格戦略をとってきた。トヨタがプリウス、ホンダがインサイトと上位機種を狙っていったのは逆に、テスラではフラッグシップから普及品という販売戦略を取り、2012年までには開発中のモデルS（5740ドルで販売開始予定のセダン高級EV）の量産体制を整備する予定だが、サプライヤー

を変更したこともあり黒字化には時間がかかると見られている。2010年10月にはトヨタ自動車から開発費用として6000万ドルを受け取ることが明らかになった<sup>5)</sup>。この資金提供によりトヨタが2012年に米市場に投入しようとするSUVのRA4をベースにしたEV開発を加速させる狙いがあるとされる。

## (2) テスラEVの特徴

テスラ・モーターズは、フラッグシップとなる高級EVスポーツカー「ロードスター」の販売を2008年3月に開始した。アメリカでは98,000ドル、日本では1810万円の価格<sup>6)</sup>がつけられている。イギリスの名門スポーツカーメーカーLotus社の「エリーゼ」をベースとした車体を使用し、Lotus社がイギリスの工場で製造したものを購入している。自動車には18650型リチウムイオン電池を搭載しているが、これは市販されている通常のリチウムイオン電池（直径18ミリ、長さ65ミリ）<sup>7)</sup> 6831個（縦99個×横69行）により自動車用の電池パックとしてテスラモーター社が開発したものである。ロードスターに搭載された電池は450kgで車両全体（1125キロ）の40%の重量を占めている。時速100キロに到達するまでの時間は3.9秒で、1回の充電で350kmの走行が可能である。州知事のシュワルツェネッガーや俳優のデカプリオなど著名人による購入で知られているように、客層は富裕層に限られ、特にエコへの関心が高いカリフォルニアでは人気と注目を集めている。

ロードスターの開発にかかった期間は20カ月で、Lotusから連れてきたエンジニアを雇用している。部品の組み立てはショールームの裏手にある小さなガレージで数人の技術者によりおこなわれており、極めて透明性が高く、シンプルな作業が特徴的である。

EVにとってもっとも重要な部分はバッテリーである。EVには大容量・高品質のバッテリーを採用することが生産効率を高めると考えられている中で、テスラでは既存のコモディティ工業製品（汎用品）の小型バッテリー電池セルを流用した電池パックを使用することでコストを抑えると共に、数千個のバッテリーを使用することで1セルあたりのエネルギー量を小さくし、ひとつのセルに欠陥が生じてても連鎖反応を制御することで、その影響を最小限にとどめることができるというリスク対応ができるよう設計されている。18650型のリチウムイオン電池は年間数十億個の大量生産品である。現在使用している電池のメーカーは明らかにされていないが、今後はパナソニックとの提携が決定している<sup>8)</sup>。車載用の電池は-40度～+85度Cでの動作を必要とするが、日用品電池では0度～70度Cの範囲で動作が確認できればよく、テスラではノートパソコンの熱制御の技術から生まれたという冷却水をバッテリー全体に回すバッテリーの制御技術により汎用品の利用に乗り出した。

5) 2010.10.13 ロイター（デトロイト）

6) 日本用の右ハンドルのものは、イギリスで生産されている。

7) 三菱自動車の電気自動車iMIEVに搭載されている電池は、113.5ミリ×43.8ミリ×171ミリのリチウム電池が88個使用されている。

8) GMの電気自動車はLG（韓国）の電池を使用している。

バッテリーの性能は温度により大きく変化し、充放電制御が重要となる。テスラはこれを自社の基盤技術として、EVの製造を開始した。

電気自動車には充電ステーションや電池交換ステーションなどのインフラ整備が不可欠だが、アメリカでは国内のRVキャンプ場などに、既にRV用の充電ステーションが設置されていたことも、EVの普及を促進した。

### (3) テスラ・モーターズのビジネスモデル

テスラ・モーターズは、車体、バッテリー、タイヤといった部品を外部から調達し、組み立ての妙を得意とするオープン・モジュール型の企業である。テスラ・モーターズのビジネスモデルは、下記のようにまとめられる。

#### ①アウトソーシング

EV分野では、これまで大手自動車会社が大容量バッテリーの安全性を高めるための研究開発に重点を置いてきた。しかし、現状ではバッテリー・コストが、キロワット当たり約1000ユーロ<sup>9)</sup>と高いことから、EVに本格的に参入した日産リーフやシボレーのボルト(Volt)の販売価格もガソリン車の2倍近く、一般消費者向けの主流商品として大衆市場に入り込むことは難しい。ガソリン車とのコストの比較でも、バッテリーのコストを数年以内に半減させられたとしても、ガソリンが1ガロンあたり10ドル以上にならないと、経済的メリットはないという<sup>10)</sup>。これに対しテスラ・モーターズでは、バッテリー開発にコストをかけず、廉価な汎用品を利用することで対応してきた<sup>11)</sup>。車体に関しても自社製造をせずにイギリスから高級スポーツカーの車体を購入するなど、部品は全てアウトソーシングしており、「自動車はインテグラル型の完成財」<sup>12)</sup>という既存の概念を覆したオープン・モジュール型のビジネスモデルを創出した。

#### ②コアコンピタンス

テスラ・モーターズが唯一自社で持つ技術は、冷却水をバッテリー全体に回すバッテリーの制御技術である。この技術があつてこそ、汎用品のバッテリーを利用することができた。テスラのEVに使用されているバッテリーは毎日の充電が不可欠で、1週間以上充電しないとバッテリーの残量がゼロとなってバッテリー自体が壊れてしまう。その場合には、バッテリー自体を交換しなければな

9) 2009.10.19 Christoph Hammersmidt「電気自動車向けリチウムイオン2次電池が5年以内に半額に」EE Times Japanによる。kWh当たりの価格は約1000ユーロ(1480ドル)。

10) テスラ・モーターズ共同創始者 Ian Wright氏 2010.9.19-22 サンノゼで開催されたCustom Integrated Circuits Conferenceでの基調講演

11) トヨタも2012年にはEVに参入することが発表しているが、エコカーの主力はあくまでHV、PHEVと捉えており、EVへの参入は戦略的なものである。これは、現状ではバッテリーの性能が信頼性を欠いており、リスクが高いためである。実際にテスラ・モーターズの工場には修理を待つ車が後を絶たないが、この多くがバッテリーの冷却に関連する問題であるという。

12) 立石(2006) p.11.

らなくなる。そうでなくても遠距離を運転する場合には、バッテリー残量には不安が伴う。こういった問題を解決するために、現在テスタモーターズでは希望するユーザーには本社で、車の位置やバッテリーの状況をモニタリングし、トラブルが発生した場合にはリアルタイムで把握し、ケアするシステムを取っている。このように、エンドユーザーのケアを完璧にすることで安心感を与えるサービスも、テスラのコアコンピタンスの一部として捉えられる。

もっとも、テスラは自社の冷却技術をダイムラーに売り、スマートEVへの採用も決定されている<sup>13)</sup>ことから、今後テスラ・モーターズのビジネスモデルがB to CからB to B企業へと変身していく可能性もある。テスラ・モーターズが自動車のアセンブリー会社から、どのように脱却していくのかも注目される。

### ③ネットワークキング

シリコンバレーでは緩やかなネットワークを基本としているので、提携先を限定せず自由に迅速に提携先を変えていくことができる。バッテリーについては廉価な汎用品からパナソニックとの提携へ、開発においてはトヨタやダイムラーなど大手自動車メーカーとの資本提携へと、次々と提携先を変えながら、より信頼性の高い企業との提携で成長を図っている。テスラ・モーターズの成功は、シリコンバレーという情報・企業・人材が集積するクラスターならではのとも言えよう。多産多死が特徴のシリコンバレーだけにベンチャー・キャピタルの基盤も充実しており、幾度かの経営危機を乗り越えながら資金調達を成功させてきた。シリコンバレーの富裕層をターゲットとし、メディアを利用して政治家や芸能人などの有名人を広告塔に仕立てるなど、たくみなマーケティング戦略も成功要因となっている。フラグシップを確立してからマスマーケットに参入するという手法で、シェア拡大を狙っている<sup>14)</sup>。

## 3. 電気自動車開発における標準化戦略の課題

シリコンバレーのベンチャー企業テスラ・モーターズの事例からは、自動車製造に新たなビジネスモデルが示されたかのように見えるが、同時に電気自動車開発における標準化戦略の課題も浮かび上がってくる。

### (1) EV用バッテリーの開発

テスラ・モーターズでは汎用品のバッテリーを使用しているが、450キロもあるバッテリー部分は車体後部トランクを大きく占領している。汎用品のバッテリーは自動車用バッテリーに比べると熱に弱いこともあって、実際のところテスラ・モーターズの工場には修理を待つ車が後を絶たない。

13) 2009年1月19日

14) もっとも、安全性を完全にクリアするまでは、消費者も第二の「遊び車」としてしか購入することはない。

この多くがバッテリーの冷却に関連する問題である。冷却水はバッテリーだけでなく車体全体にまわしているが、どうしてもバッテリーの冷却を優先させなくてはならないためクーラーが効かなくなるといったトラブルも多いという<sup>15)</sup>。従って現在のようにEVに汎用品のバッテリーを使用することには限界がある。

自動車搭載用の実用的なバッテリーということを考えると、価格だけでなく、重量、耐用年数、充電速度といった課題をクリアするEV用バッテリーの開発が喫緊の課題となる。

## (2) 安全性の確保～ブレーキ

ガソリン車に比較すればEVの参入障壁は低くなっているとはいえ、自動車は単に汎用的な部品を組み立てれば良いわけではない。安全、燃費、騒音・振動といった、電機製品より遥かに厳しい規制をクリアしなければ製造できない。そのための開発チェック項目は数多くあり、資本力、経験、ノウハウが必要で、他業種や中小企業が気軽に参入できる産業ではない。

特に、安全の問題は最も深刻である。自動車は公共の道路を高速で移動することから、衝突による大事故のリスクを常に抱えている。EVにバグがあれば運転者の生死に関わることになる。このためアーキテクチャの再構成、制御システムの高度化などハイレベルの品質管理が要求される。大手のトヨタでさえ、近年、安全問題の対応で苦慮している。2010年にはプリウスのリコールを実施したが、不具合として指摘されたのは、滑りやすい路面を低速走行中にブレーキを踏むとブレーキの効きが遅くなるという内容だった。トヨタの発表によると、この現象は低速走行中に回生ブレーキを踏んでABS（アンチ・ロック・ブレーキ・システム）が作動した際に起こる。ブレーキの効が悪くて安全を損ねたというよりは、回生ブレーキと摩擦ブレーキの連携の問題で、ドライバーが違和感を持ったという技術的に複雑な現象であった<sup>16)</sup>。プリウスのリコールだけではない。カムリ、アパロン、レクサスなど、トヨタ車のリコールが米国を中心に続出し、2009年から1年間に全世界で1,100万台を超えるトヨタ車がリコールされた<sup>17)</sup>。トヨタは大規模リコールにも対処できるが、中小企業の場合であれば即座に倒産に追い込まれる水準である。EVには市場の期待も大きい。このため、ガソリン車では取るに足らない不具合でも、同じことがEVに起きれば、「EVだから」という理由で大きく報道される可能性が高い。期待と注目が集まっているからこそ、小さな不具合が大きな批判の対象となりやすい。品質・安全性管理の能力が低い中小企業が、自社EVで事故が多発すれば、EV産業自体の信用失墜につながりかねない。

15) テスラ・モーターズ本社 インタビュー

16) トヨタの佐々木副社長の「ブレーキの効き具合は、運転している人の感性の問題だと思う」という発言は、広報的には不適切だったが、技術的には正しい指摘である。

17) ロイター通信による

もっとも、2010年8月の米運輸省道路交通安全局の調査報告書によると、「トヨタ車事故のほとんどが運転者のミスによるもの」と判明した。トヨタの品質問題は言いがかりが多く含まれている。



### (3) コアコンピタンスとしての設計思想

前述のトヨタのリコール問題は、同社の品質管理能力の低下だけでなく、オープン・モジュール型に移行しつつある業界の構造的な問題とも関係している。リコールされた米国トヨタ車のアクセルペダルを製造した部品メーカーのCTSとトヨタとの間に、日本企業同士に存在する「あうんの呼吸」がないこともリコールの原因となったと言われている<sup>18)</sup>。設計図だけを基に製品を作ることに慣れた米国部品メーカーに摺り合わせを求めても、うまく機能しない。しかし、部品の性能を含めて評価し消費者に対して責任を負うのが完成車メーカーである。部品メーカーの瑕疵はトヨタにとって免責とならず、結果的に同社の部品メーカー評価能力が劣化したと見られてしまう。

安全対策として設計品質を向上すれば、逆に原価上昇を招きやすい。これに対し、必要な機能をより簡素な構造設計で実現する「バリューエンジニアリング」(VE)を用いれば、原価低減が可能になる。ボルトの数などを極限まで減らし共通部品の比率を高めるなどの方法がとられる。1990年代半ば以降、トヨタはVEによって1兆円以上の原価低減を実現したと見られる。

ところが国土交通省からは、部品の共通化がリコールを増やしているという調査結果が出されている<sup>19)</sup>。2003年度から2007年度の間が発生したリコール届出の不具合原因を見ると、総件数1,278件のうち「設計自体」が原因のものが全体の52%を占め、件数第二位の「作業工程」の25%を大幅に上回る。また、「設計自体」「耐久性」「性能」を合わせた「広義の設計」が全体の70%を占める。安全性を担保するには部品の共通化などモジュール化に依存し過ぎず、摺り合わせを残すべきだということになる。

伊丹(2009)は標準化推進で他に気をつけなければならないのは、「設計思想をアウトソースしないこと」だと指摘している。アウトソースを推進し続けると、自社内部に技術蓄積がなくなり、魅力的な製品を供給することが困難になるからである。

近年の自動車の複雑化は現場の対応能力を超えている。新車には100個を超える高性能センサーが搭載されている。この状態を、藤本は「組織能力と複雑化問題の相克」<sup>20)</sup>と表現している。ガソリン車とEVの製造工程を比較すると、変化しているとはいえ、革命的な変化があったとは言い難い。エンジンとトランスミッションの組み立て工程が、バッテリー、モーター、インバーターの組み立て工程に置き変わっているだけである。ガソリン車にも大量の電子部品が使われているが、EVにはさらに多くの電子部品、電動機が使われている。EVになればエンジン部品の取り付け作業はなくなるが、電子部品が多い分、逆に検査工程が増えている。EVはモジュール化されて製造工程は単純になっているが、設計、安全対策、摺り合わせ、品質管理は逆に複雑さを増しているのである。従ってEV製造においては、自動車会社のプロデューサーとしての役割が一層強まることになる。

18) 三河進「日本企業の市場問題管理とデザインレビューの水準」<http://monoist.atmarkit.co.jp/fpro/articles/qm/01/qm01a.html> (2010.12.30 参照)

19) 日本経済新聞 2010.3.15

20) 「日経ビジネス」2010年2月15日

その土台となるのが設計思想である。

#### (4) EV 独自の標準化戦略に向けて

将来的には、EVがガソリン車よりモジュール化されていることを根拠に、EVはPCや携帯電話と同様の標準化が進むという予測もある<sup>21)</sup>。PCのアーキテクチャを決定したのはインテル、マイクロソフトであり、ハードメーカーは両社に主導権を奪われ、多くの企業が淘汰された。また、携帯電話ビジネスでアーキテクチャを決めて安定的な収益を上げているのは、NTTドコモ、チャイナ・モバイル、ボーダフォンなどの通信キャリアや基本ソフトを押さえている企業である。日本の携帯電話市場では、初期から世界標準である欧州方式のGSMと異なった技術規格が使われ、パナソニックやNECなどの携帯メーカーは世界市場に進出する機会を逃した。日本市場でしか必要とされないような高機能品が多く作られて、世界標準規格を視野に置いていたノキアやサムソンとの競争に負けてしまったのである。

このように、PCや携帯では、アーキテクチャを押さえた企業が競争優位を確立し、標準化に適応したオープン・アーキテクチャが世界市場の方向性を決めてきた。従って、EVでも同じことが起きるだろうというのだ。ところが、EVにとって基幹部品となる電池、モーター、充電器に関する自社技術を標準化させるといっても、これは容易ではない。むやみに自社技術をオープンにすれば模倣品が横行して競争力が落ちるか、あるいは類似の安価な粗悪品が増えて、消費者の離反を招き、市場自体が消滅することもある。一方、この事態を避けるために自社技術をクローズにすると、今度は市場自体が成長しないというジレンマがある。

この点、妹尾(2009)は、開発した商品の内側は独自技術で固めてブラックボックス化し、外側はインターオペラビリティ(相互接続性)を担保して公開し、それを標準化するよう参加企業を増やす努力が必要だと指摘している。この考え方に基づくると、経済産業省が中心となった「オールジャパン」で世界標準を押さえようという戦略<sup>22)</sup>の実行には注意を要する。もし、日本が得意な摺り合わせ技術をモジュール化して世界にオープンすれば、それは自殺行為に過ぎない。どの部分をオープン化するかの見極めと、それを使って「味方」を増やす努力が必要である。

携帯電話の通信方式として欧州、新興国市場で広く使われているGSM方式は、この戦略がうまく機能した例である。携帯電話には、端末、交換機、基地局といった三つの市場に分けることができるが、基地局をアルカテル、ノキア、エリクソン、シーメンスといった企業が囲い込んでブラックボックス化し、利幅が薄い端末市場は規格を公開して、できるだけ多くの企業が参加するような環境を作ったのである。端末市場が成長すれば、ブラックボックスを抑えている基地局で儲かるという仕組みで、

21) デトロイトトーマツ「自動車産業構造変化の方向性と次世代環境対応車普及のシナリオ：自動車業界 新時代の幕開け」Automotive Newsletter Vol.1 (2009.12.)

22) 朝日新聞 2010.12.29 パナソニックや日立製作所、東芝、産業技術総合研究所などは、2011年1月に技術研究組合「基準認証イノベーション技術研究組合(仮称)」を設立する。日本企業が共同で技術の国際標準化を進める体制をつくる。

中国市場で特にうまく機能した。これはインテルの戦略とも共通している。

これまでの考察からみれば、EV 開発の標準化戦略においてブラックボックス化すべき「中核的技術」となるのは、EV 用バッテリー、ブレーキ、設計思想といった部分であることが指摘できる。これらの中核的技術を押さえブラックボックス化した上で、インターオペラビリティを担保して標準化できれば、EV 開発における競争優位を確立することが可能となる。

## (5) まとめ

ものづくりにおいて、市場で調達可能な部品（汎用品）だけを集めてきて組み合わせることでもある程度の製品ができるが、より高度な商品性を持たせた製品をつくるためには、システム設計とその思想が重要である。欧米においてインテグラ型アーキテクチャに比較して製品アーキテクチャのモジュール化が奨励されてきた背景には、システム設計において、他の要素を変更することなく特定のシステムにおける構成要素の置き換え・代替ができる柔軟性を持たせることで、常に変化する緩やかな結合組織を自律的に作りあげることができるというメリットがあった。即ち高い柔軟性と幅広い非統合的組織が相互に組織化していく新しい組織デザインとして、オープン・アーキテクチャが捉えられてきた。

もっとも日本におけるものづくりが全てオープン・モジュール化の方向に向かうということには異論がある。確かに電気自動車においては、オープン・モジュール型のベンチャー企業が今後も参入してくると思われる。しかし PC や携帯に比べ、自動車は運転するときの安全性を担保しなければならず、最終製品を作り上げるメーカーのプロデューサーとしての責任は深刻である。それ故に、EV 開発ではインテグラなシステム設計が重要な役割を果たすことになる。日本において蓄積されてきたインテリジェンスとしての「摺り合わせの妙」は、電気自動車においてもその安全性を獲得するための中核となることに変わりない。そのためにも日本企業は、擦り合わせ技術をモジュール化して世界にオープンにするといった、誤ったコアコンピタンスの選択をしてはならない。中核的技術を押さえるという電気自動車独自の標準化モデルを確立することが重要である。

EV 独自の標準化モデルを構築していくことは、日本の自動車製造にとって喫緊の課題である。この EV 開発における標準化戦略の成功は、同時に、今後の日本のものづくりの新しい方向性をもたらすための大きな鍵となるだろう。

## おわりに

本稿では、オープン・モジュール型の企業を事例として取り上げ、そこから抽出される EV 開発における標準化戦略の課題と方向性について考察した。

EV を全てモジュール化して自動車会社は組み立てるだけに徹することになれば、確かに効率的是はある。既に、技術的には大半の部分をデジタル化することが可能となっており、大手自動車メーカー

ではロボット工学の技術を応用して自由自在な角度で進める乗り物<sup>23)</sup>や、自動ブレーキ技術の開発を進め、実用化している。ハンドルについても、運転する方向を全て制御し、ステアリングの遊びをなくすといったことも可能となる。移動手段として考えれば、安全性を確保した乗り物としてのEVの開発は全てモジュール化していけばよいということになる。もっとも、そうなれば運転の楽しみは半減してしまう。実際のところ、自動車には移動手段と娯楽という2つのニーズが存在していると思われる。ハンドルの遊びや、ギアチェンジのタイミング、アクセルのゆるみなど、アナログな部分を残すことで、人間は運転（コントロール）することの喜びを覚えることができる。従って、アナログな部分をどこに残していくかといった各社の全体設計の思想の違いが、EVの個性となって現れ、製品の魅力にもつながっていく。複雑なシステムを減少させ効率化するためのモジュール化が技術的に可能となる中で、逆にアナログな部分をどこに残すかという選択が最終製品の差別化につながるようになる。本稿では十分に取り上げるのでできなかった自動車という製品の機能についての議論は、今後の研究課題として取り組んでいきたい。

本稿は、科学研究費補助金基盤研究（C）22530435「環境ベンチャー企業における効率的なマネジメント手法に関する研究」（研究代表者：尾崎弘之）の研究成果の一部である。

#### 参考文献

- 青木昌彦・安藤晴彦編（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。
- 青島矢一・武石彰（2001）「アーキテクチャという考え方」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ—製品・組織・プロセスの戦略的設計—』有斐閣，pp.27-70。
- 伊丹敬之（2009）『日本の技術経営に異議あり』日本経済新聞社。
- 國領二郎（1995）『オープン・ネットワーク戦略—企業戦略の新潮流—』日本経済新聞社。
- 國領二郎（1999）『オープン・アーキテクチャ戦略』ダイヤモンド社。
- 榊原清則「国家超越型企業とシリコンバレーモデルと：新しい企業モデルと日本企業の課題」『オペレーションズリサーチ』1997.10，pp.646-649。
- 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。
- 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。
- 立石佳代（2006）「自動車生産でのモジュール化の検討」『日本国際情報学会紀要』No3，pp.11-22。
- 藤本隆弘・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャ—製品・組織・プロセスの戦略的設計—』有斐閣。
- 藤本隆宏（2003）「組織能力と製品アーキテクチャー—下から見上げる戦略論—」『組織科学』vol.36，No.4，pp.11-22。
- 藤本隆宏（2004）『日本のもの造り哲学』日本経済新聞社。

23) トヨタ ウィングレット，日産自動車 エポロ，ホンダ U3-X など

Henderson, R. and K.B. Clark (1990) "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms," *Administrative Science Quarterly* 35, pp.9-30.

Porter M.E. (1980) "Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors," The Free Press. (土岐 坤・中辻萬治・服部照夫訳 (1982) 『競争の戦略』ダイヤモンド社.)

Slywotzky J.A. and D.J. Morrison (1997) "The Profit Zone: How Strategic Business Design Will Lead You to Tomorrow's Profits" Time Books. (恩蔵直人・石塚浩訳 (1999) 『プロフィット・ゾーン経営戦略』ダイヤモンド社.)

Slywotzky J.A. (2002) "The Art of Profitability" Warner Business.

Ulrich, K.T. (1995) "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm," *Research Policy* 24, pp.419-440.

## Modular Design in Developing Electric Vehicle (EV) : Standardization Strategy of Tesla Motors, and its Issues

Yuko OKI

### ABSTRACT

Because of high oil prices and regulation to reduce green house gas emission, there has been strong demand for developing an electric vehicle (EV) as a substitute of gasoline car. Tesla Motors (Tesla) is Silicon Valley startup which has developed innovative EV, and sold more than one thousand units to wealth customers so far. Tesla has manufactured EVs by using modular design, which is considered different feature from in manufacturing gasoline car by using integral design.

Based on modular manufacturing structure, and analogy of industrial history of personal computer (PC) and cell phone, EV industry is expected to become open architecture, and strongly controlled by few companies which have key technologies. However, since car manufacturer is highly regulated for realizing security in driving a car, role of a manufacturer of finished products is more important than ones of PC and cell phone. Therefore, integral design is expected to play a significant role in developing EVs.

