

査読論文

製品アーキテクチャ論から見たEV（電気自動車）市場の
技術的特性と部品取引関係

佐伯靖雄*

要旨

本研究は、製品アーキテクチャ論の視点からEVの技術的特性と産業内での部品取引関係を分析し、「完成車メーカー凋落論」を批判的に検証することを目的としている。結論を先に述べると、「完成車メーカーはEV市場においても頂点に君臨し続ける、ただしその支配力はこれまでとは異質なものとなる」である。

分析の結果明らかになったのは、そもそも、EVは巷間言われているほどモジュラー化した製品とは言い難いということである。したがって、技術的特性、部品取引関係のいずれの側面から見ても、既存の完成車メーカーの優位性は明らかである。ただし、その支配力を裏づけるのは、絶対的な技術力格差と企業規模格差というパワーによるものではなく、自社にはない技術を保有しているサプライヤーといかに協力し、その関係性をどうマネジメントしていくかという企業間調整能力によるものでなければならない。

キーワード：

製品アーキテクチャ、EV、二次電池、取引関係、モジュール・クラスター

はじめに

1. 世界同時不況とエコカー市場の興隆
 2. EVの潜在成長性と産業への影響
 3. 製品アーキテクチャ論から見たEV市場の分析
 4. 論点の整理とディスカッション
- おわりにかえて

はじめに

2008年下半期に露わになった米国発金融危機の影響が実体経済へ波及したことにより、同年から翌2009年にかけての世界の自動車市場は一時的な調整局面に突入することを余儀なくされた。しかしながら、これに対処すべく各国が景気刺激策としてエコカーの購入助成を推進したことで、自動車産業における競争局面は大きな転換を迎えた。すなわち、エコカー競争の本格化である。

* 連絡先：佐伯 靖雄

機関／役職：立命館大学経営学部／助教

機関住所：525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail：yst07993@ba.ritsumei.ac.jp

これにより、それまでのアプリケーション主導の競争次元が、再びHV（以下、HV=Hybrid Vehicle）やプラグインHV、あるいは電気自動車（以下、EV=Electric Vehicle）等のエコカーに代表されるテクノロジー主導型に戻ったと捉えることができる。かつてAbernathy[1978]が自動車産業の成熟化を指摘し、技術面での競争が生産技術主体になったと述べて久しいが、事実、フォード・システム普及以降の自動車産業では、技術革新は概ね漸進的だった。そのため、競争次元は次第にアプリケーション主導になり、割賦販売やリース販売といった金融商品との組み合わせによる販売法の確立、あるいはブランド管理といったマーケティングに重心が移っていた。もはや自動車は、成熟商品であるとの見方が大勢のなか、1980年代頃から本格的に始まったとされる自動車の電子化、すなわちカーエレクトロニクス部品の普及がついには動力源にまで達し、1997年には量産車世界初のHVとなる、トヨタ・プリウスの上市へと結実した。

しかしながら、まだこの当時のHV並びに水素自動車、エタノール車等のエコカーは、相対的に低位安定していた原油価格のために本質的な競争力を持ち得ず、また燃料供給のためのインフラ整備問題もあり、環境意識をアピールする一部の有名人や新製品に敏感なリードユーザーを除いては、まだ一般的な購入対象とはならなかった。その後、2000年代中盤以降に進んだ記録的な原油高を経て、徐々に環境意識が一般のユーザーにも浸透していくようになった。その後2008年の米国発金融危機に伴うリセッションの打開策として展開された各国のエコカー購入助成をトリガーにして、ついに次世代燃料車が現実的な選択肢としてユーザーの前に提示され、エコカーは市民権を獲得したのである。

エコカーの台頭により、過去の自動車産業では見られなかった興味深い現象を確認することができる。それは、エコカー市場には、いわゆるトヨタやGM、VW（Volkswagen）といったグローバル・プレイヤーのみならず、それまで中下位の位置づけに過ぎなかった完成車メーカーや、新参のベンチャー企業が参入していることである。とりわけ注目されるようになったのは、プリウスでエコカー市場を牽引するトヨタ自動車、そして同じくトヨタに価格競争を仕掛けたインサイト擁するホンダといったHVのメーカーではなく、2009年に世界で初めて量産向けEVを上市した三菱自動車や富士重工業であり、EVベンチャー企業の代表格はアメリカのテスラ・モーターズ（Tesla Motors）¹⁾や中国のBYD Auto（比亞迪汽車）である。

大規模設備投資と高度な技術開発能力、更には数多くのサプライヤーを管理する企業間調整能力等、高度な組織能力と資本力が求められる完成車事業にあって、前述の中下位メーカーや新興メーカーが新しい技術領域の主役として表舞台に登場したことは、様々な憶測や期待を煽ることになった。メディア等で指摘されているのは、エレクトロニクス関連の技術力に優れるサプライヤーと、そこで必要とされる技術（が組み込まれた基幹部品）の流通ルートの存在である。例えば、三菱自動車の場合には三菱電機や資本・業務提携する電池メーカーの強力なサポートがあり、また米テスラの場合、車体設計と供給はマレーシアのプロトン（Proton）傘

1) テスラは2010年6月29日に米ナスダック市場に上場した。アメリカの完成車メーカーの新規上場は、1956年のフォード（Ford）以来、半世紀ぶりである。

下にある英ロータス（Lotus Cars）が、二次電池の供給は日本の企業がそれぞれ担当しており、同社は二次電池関連の制御技術だけを担っている。更にテスラは、自社で付加価値をつけたバッテリー・モジュールの外販も行っている。その一方でBYDのように、新興企業でありながら、公表値上は驚くほどの連続航続距離を謳った二次電池を開発する企業も現れている。EVの構成部品はモジュラー化されているため、要素技術単位で専門企業が複数存在し、それらクラスターでは個別に技術革新が進められているとされる。各クラスターの専門企業は、産業内で共有されたインターフェースのルールに従っているため、必ずしも顧客との密接な相互作用を必要とはしていない。このような現状から、一部からは「家電メーカーが自動車メーカーになる」や「エンジンを失った自動車メーカーは影響力を失う」といった主張が声高に叫ばれるようになった。本研究の問題意識は、まさにここにある。

前述のようなEVの技術的特性が、自動車産業内での部品取引関係に大きな影響を与えていることは確かである。しかしながら、EV自体はまだ揺籃期の製品に過ぎず、グローバル規模で活躍する企業としては、2010年に日産自動車がリーフで参入するに留まる。また、トヨタがテスラに資本参加したことで、将来的な動向は注目に値するものの、EVはまだ数多くの課題を残している。本研究は、製品アーキテクチャ論の視点からEVの技術的特性と産業内での部品取引関係を分析し、「完成車メーカー凋落論」を批判的に検証することを目的としている。本研究の結論を先に述べると、「完成車メーカーはEV市場においても頂点に君臨し続ける、ただしその支配力はこれまでとは異質なものとなる」である。

1. 世界同時不況とエコカー市場の興隆

(1) 世界同時不況と各国の自動車購入支援政策

アメリカを震源とする金融危機は、欧州に飛び火し、更にはアジアを含む新興国にも甚大な被害をもたらした。グローバル規模で展開されている自動車産業もまた、その例外ではない。OICA（Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles）調べによると、2007年の世界自動車生産台数は約7,326万台（乗用車・商用車計）であったが、金融危機が起こった2008年には約7,052万台にまで減少し、通年で影響を受けた2009年には、約6,099万台にまで激減した。これは、2003年の水準と同等の生産台数である。2000年代中盤以降、BRICs等の新興国市場の経済発展を背景に、グローバル規模で自動車の生産台数は増加してきたが、それに大きく水を差す結果となった。2007年比で約1,000万台の生産減は、トヨタとマツダの年間生産台数を合わせた規模に匹敵する。生産台数減は、需要の落ち込み、すなわち同等規模での販売台数減と裏表の関係にある。

このようなグローバル規模での景気後退に対応するため、各国政府は自動車の購入支援政策を展開した。主要国の例を見ると、アメリカは新車1台につき最大4,500ドル、ドイツは同2,500ユーロ、日本は同25万円をそれぞれ拠出するというものである。他にも、新興国では中

国が同様の購入支援政策を採用しており、その成果もあって2009年には生産台数で1,379万台、販売台数で1,364万台を記録し、双方で世界一となった。これら各国政府の経済政策に共通するのは、購入支援の主たる対象をエコカーに限定した点である。これにより、世界のユーザーはエコカーに目を向けるようになったのである。とりわけ日本の場合、エコカーを代表するHVで先行するメーカーが複数存在し、トヨタとホンダがHVの基幹車種で戦略的価格設定を行ったこともあり、数多くのユーザーがHVへの買い換えを真剣に考えるようになったのである。また、エコカーへの買い換え・購入に対する補助金と、国土交通省の定める環境性能を満たした自動車の重量税と取得税とを減税する制度が2009年4月1日から始まったため、2009年5月以降、トヨタのプリウスの国内販売台数が激増し、6月には長らく国内販売台数1位の座を保持し続けてきたスズキのワゴンR（軽自動車）を抜き、年間の販売台数は合計20万8,876台に達した。

(2) エコカーの類型化と世界での販売状況

次に、エコカーとは具体的に何を指すのかという点についてである。近年、HVの認知度が高まったことや、EVの存在が認識されるようになったことで、エコカーという呼び名が一般化した。実は環境対応車という意味でのエコカーは、ガソリン車の時代から存在していた。それらを類型化したものが、図1である。

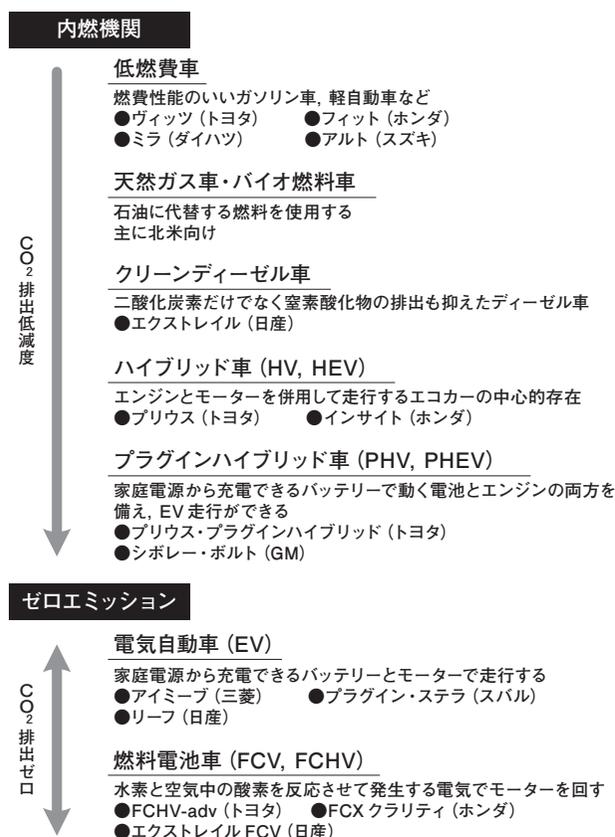
1970年代の石油危機を契機に、アメリカ市場では日本車が人気を博すようになった。それは日本車のラインアップが小型車中心であり、燃費性能に優れていたからである。つまり、日本の自動車はプリウスのようなHVの登場を待つまでもなく、初めからエコカーとして認知されていたのである。現在でも、排気量1.0Lから1.5Lクラスのいわゆるコンパクト・カーと呼ばれる車種、そして日本独自の規格に則った軽自動車などが、旧来からのエコカーである。

次に、石油代替燃料を使用した天然ガス車（LNG車）やバイオ燃料車がある。天然ガス車は、日本でもタクシーや一部のバスに使用されてきたが、供給インフラが十分に整備されなかったこともあり、一般のユーザーが購入対象とするようなものではなかった。他方のバイオ燃料車は、南米を中心に一定の市場規模を確保している。2000年代の半ばには、原油高騰を背景に注目を浴びたものの、世界には貧困にあえぐ人々が多数いるにも拘わらず、食糧生産物を燃料として使用するのはいかなるものかという倫理上の問題点が提起され、これもまた広範な普及には至っていない。

石油を燃料としつつも、よりCO₂排出量の面で有利なのが、クリーンディーゼル車である。欧州ではディーゼル車の人気が強いが、その環境性能を更に伸ばしたものである。とりわけ欧州の完成車メーカーは、このクリーンディーゼル技術をエコカーの本命と定め、多額の投資をしてきたものの、近年はHVへ経営資源を投入する方向に移行しつつある。

続いて、HVである。動力源に従来のエンジンとモーター及び二次電池を使用する。この領域は、日本の完成車メーカーの独壇場である。トヨタは看板車種であるプリウスを筆頭に、既

図1. エコカーの類型化



出所) 塚本 [2010], p.19.

存車種の多くにハイブリッド仕様を展開しつつある。更には、高級車チャネルであるレクサス・ブランドにもHVを投入し、プレミアム・クラスにおけるエコカーという新しい商品分野を開拓した。これらHVを家庭用電源で充電可能にし、僅かの距離ながらEVとしても作動するのが、プラグインHVである。

ここまでのエコカーが、基本的には内燃機関（エンジン）を主たる動力源にした製品であるのに対し、以降は動力源を電気に頼る製品である。すなわち、動力源のパラダイム・シフトを具現化したものである。数年前までは、水素と酸素の化学反応を利用する「究極のエコカー」として期待された燃料電池車が注目されていたが、技術面や材料面での制約が大きく、量産にはまだ時期尚早ということもあって、トヨタやホンダが官公庁向けに僅かな台数をリース販売したに留まる。しかしながら、世界的な環境意識の高まりもあり、燃料電池車が標榜したゼロエミッション特性は市場からの期待を集め続けてきた。そして、完全なゼロエミッションではないものの、走行時のゼロエミッションを実現した製品として、2009年にEVが登場したのである。

このようにエコカーは多種多様であるが、現在注目されているのはHVとEVである。しか

し、その実態はまだまだマイナーな存在に過ぎない。例えば、既に市販化されて10年以上が経過しているHVを取り上げてみると、世界同時不況によって注目されるようになり海外でも販売が増加しているとはいえ、2008年の世界販売台数は約90万台に過ぎない。これは、世界の自動車販売台数全体の1%未満である。他方のEVに至っては、市販されている三菱自動車のi-Miev（アイ・ミーブ）並びにスバルのプラグイン・ステラとともに、各種助成金を利用しても300万円を超える価格ということもあり、市場は更に小さい。したがって、年間の目標販売台数を3,000台に設定した日産リーフの上市以後でなければ、市場としての評価は難しい。

ただし、近年の傾向から鑑みるに、これらエコカーは今後確実に普及していくだろう。例えば、野村総合研究所（NRI）試算によれば、2020年にはHV1,200万台、電気自動車150万台の市場規模に達するとされる。これは世界の自動車販売台数（2020年予測7,200万台）の約2割を占める。また、川原・A.T.カーニー他[2009]による別の予測によれば、2020年にはガソリン車の比率は約半分になるとされる。これら予想の確度はともかく、これからの10年ほどで、これらエコカーが一定のプレゼンスを示すようになることは間違いない。

(3) EV市場の現状

HVとEVとでは、技術面での制約に大きな違いがある。表1に、HV並びにEVのエコカーと、従来のガソリン車の性能比較を示す。EVは、走行時のゼロエミッションという環境面での特性に加えて、走行するための経費（電気代）の点でガソリン車はもちろんのこと、HVに対しても大きな競争優位性を持つ。その一方で、基幹部品である二次電池の絶対性能がボトルネックとなっており、航続可能距離は著しく短い。また二次電池が高コストであるため、車両価格自体も極めて高い。

表1. エコカーとガソリン車の性能比較

	電気自動車	ハイブリッド車		ガソリン車
	アイ・ミーブ (三菱自)	インサイト (ホンダ)	プリウス (トヨタ)	ワゴンR (スズキ)
車両価格	459万9,000円 (補助金利用なら実質 320万9,000円)	189万円	205万円	90万8,250円
電気・燃料費	1円	4.2円	3.3円	5.4円
CO ₂ 排出量	0	77g	61g	99g
連続走行 可能距離	160km	1,200km	1,710km	705km
特徴	電気のみで走行、家庭用電源で充電可能	低価格ハイブリッド車の先駆け、エコ運転支援機能付き	世界最高水準の燃費性能を実現、電気のみでの走行モードも	国内最量販車種、エコカー減税にも対応

出所) 日本経済新聞社編 [2009], p.18, 図表1-1.

注) 車両価格は再安モデル。電気・燃料費とCO₂排出量は1km走行あたり。アイ・ミーブの電気代は夜間電力使用時。燃料価格は2009年8月31日時点全国平均。

すなわち、現時点のEVとは、未だ開発途上の製品だということである。エコカーとして大きく期待されながらも、基幹部品が不確実性の高いイノベーションの途上にあるということは、今後のEVの可能性をうらなう上で重要な論点である。この点は、第3節で詳しく議論する。

二次電池の技術にまつわる不確実性により、EVは絶対性能と価格面でHVには遠く及ばない。日産のリーフが大量生産によって価格をどれだけ下げられるかにもよるが、1社では自ずと限界がある。また、大前提としての航続可能距離の改善という面では、リーフに搭載する二次電池も発展途上の部品である。このような点で、EVはまだ本格的な市場形成には至っていないのが現状なのである。

2. EVの潜在成長性と産業への影響

(1) EVの普及が引き起こす産業構造の転換

HVやEVの市場が形成される以前から、自動車には、部品単位での電子化が進展してきた²⁾。土屋[2009]は、これら電子化の技術領域を3つに区分し、それぞれの特徴を整理した（表2参照）。この表の中で、エコカーにまつわる技術体系は環境領域に属する。

表2. 自動車技術の3つの領域と戦略的提携の方向

	安全領域	環境領域	ITS領域
環境上の脅威	・グローバル化 (新興国の成長)	・地球温暖化対応	・安全・快適走行への対応
競争、協調の関係	・自動車メーカーが主導 (系列との提携)	・自動車・他業界の攻め合い (新組織の模索)	・総合電機・家電メーカーの 先行
主導メーカー	・自動車メーカー(主導) ・系列部品メーカー (一体協力)	・自動車メーカーと総合電 機・家電メーカー、材料 メーカー等の連携	・総合電機・家電メーカー主 導 ・自動車系メーカーの協力
戦略課題	・技術開発力の強化 ・グループ経営の活用	・HV, CD等次世代エコカー の開発 ・軽量化の追求	・カーナビ, ETS等 ・無人走行システムの追求
戦略的提携の方向	・業務・資本提携 ・グループ体制の整備	・共同開発: 異業種間の合 弁, 業務提携	・新事業の開発 (総合技術力の活用)

出所) 土屋[2009], p.49, 表3.

注) CD: クリーン・ディーゼル・カーを意味する。

土屋の整理によれば、環境領域の主導メーカーは自動車メーカーと総合電機、家電、材料メーカー等との連携になるとされており、必然的に戦略的提携の方向は共同開発や異業種間合弁あるいは業務提携ということになっている。このことは、従来の自動車産業に象徴的だった、完成車メーカーを頂点とする垂直統合的な技術開発や取引関係からの変化を示唆している。エンジンに替わる動力源としての二次電池やモーターは、本来、競争優位の源泉として、完成車メーカーが絶対的なイニシアティブを保持しなければならない分野であるが、(ごく一部の完成車メーカーを除き)ここでの技術の蓄積は十分ではないため、総合電機メーカーや材料メーカーの協力なくして量産化することは極めて難しい。すなわち、自動車産業の垂直統合的特徴は、緩やかに水平型へと移行しつつあるということである³⁾。

2) 自動車の電子化については、例えば徳田編[2008]や佐伯[2010]が詳しい。

3) この傾向は、カーエレクトロニクス部品の取引で既に見られ始めていたことでもある。ただしこれは、全体

取引関係の構造的変化は、完成車事業にも表れている。表3は、近年急激に増加したEV関連のベンチャー企業の一覧である。日米欧の先進国のみならず、中国でも参入企業が見られる。また、先進国のベンチャー企業を見ると、これまで自動車事業に関わった経験のない所が殆どであることに気づかされる。例えば米国のテスラなどは、創業者はICT産業出身であり、本社・工場もシリコン・バレーにある。テスラの車づくりは徹底した外部調達を基礎としており、冒頭で述べたように、車両そのものは英国のロータスから購入し、動力源にはノートPCでも使われている「18650」という規格の日本製汎用リチウムイオン二次電池6,831本を「組み合わせ」たバッテリー・モジュールを使用している。テスラの工場では、外部調達した車両にバッテリー・モジュールを搭載するだけである。テスラの競争優位の源泉とは、ICT産業で培われた二次電池の制御技術であり、ハードウェアとしての車両や二次電池といったデバイスではない。このような「組み合わせ」によって生産された製品は、98,000ドル(約1,000万円)で販売され、プレミアム・スポーティ・カーとして人気を博している。

表3. 世界のEV関連ベンチャー

米国	テスラ・モーターズ(カリフォルニア州)	スポーツカータイプの高級EVを開発
	フィスカー・オートモーティブ(カリフォルニア州)	プラグインハイブリッド式のスポーツ車を開発
	アップテラ・モーターズ(カリフォルニア州)	3輪タイプのEVを開発
	マイルズ・エレクトリック・ビークルズ(カリフォルニア州)	小型乗用車や小型トラックで販売実績
欧州	シンク・グローバル(ノルウェー)	小型乗用車で販売実績
	ゴードン・マレー・デザイン(英国)	超小型EVを開発中
中国	比亞迪(BYD, 広東省)	EVやPHEVを開発
	奇瑞汽車(チェリー, 安徽省)	独自仕様のEVを開発
日本	シムドライブ	インホイールモーター技術を使ったEVの開発
	オートイービジャパン	2人乗り小型EVを開発

出所) 日本経済新聞社編 [2009], p.84, 図表 3-2.

このような動力源のみならず完成品も含めた自動車産業の一部水平分業化の潮流は、産業構造を一変させる期待を煽っている。村沢 [2010] は、EVの市場興隆に伴い、自動車産業はこれまでのビッグ・スリーから「スモール・ハンドレッド」の時代へと移ると主張する。この議論の要諦は、21世紀のEV産業の推進役は、20世紀のガソリン自動車産業におけるビッグスリー等の比較的少数の超大企業ではなく、新興の小さな企業群であるという点にある。この「新興の小さな企業群」のことを「スモール・ハンドレッド」と呼んでいるのである。ほぼ一世紀に及ぶ大企業中心の産業支配からの転換という意味で、このような議論はメディアでも大きく取り上げられた。

しかしながら、その主張が根拠にしているのは、基幹部品のモジュラー化と最終製品の「組み合わせ」的特徴だけに過ぎない。それは確かに、エレクトロニクス産業でも見られたモジュラー化の効用ではあるものの、少なくともEVに関しては、基幹部品の成熟度や最終製品の価

的な取引構造が水平型に移行したというわけではない。あくまで、完成車メーカーが技術面での絶対的優位性を持たない電子化の領域に限られる特徴であり、機械工学分野、熱力学分野を中心に、堅固な垂直統合形態がなお残っているのである。詳しくは佐伯 [2010] 参照。

値を規定する諸要因を明らかに軽視した議論の飛躍と言わざるを得ないのである。次項では、「スモール・ハンドレッド」論の根拠となる製品アーキテクチャの議論を整理し、それを踏まえ、次節でEV市場の実態を分析することで、「スモール・ハンドレッド」論を批判的に検証する。

(2) 製品アーキテクチャとモジュール・クラスター概念

製品アーキテクチャとは、製品の構成諸要素における構造と機能の対応関係、及びインターフェース（以下 I/F）一般化の程度を考慮した基本的な設計思想を意味する。その類型化の方法としては、構成要素と機能要素との対応関係が多対多に近いか、あるいは一対一に近いかに応じてインテグラル型かモジュラー型か、I/Fの一般化の開放度に応じてクローズド型かオープン型かといった評価軸が用いられる（Morris and Ferguson[1993], Ulrich[1995], Fine[1998], 青島[1998], 藤本[1998, 2001], 国領[1999]）。

インテグラル型のアーキテクチャでは、構造と機能の対応関係が多対多に近く、構成要素間の相互依存度は高い。そのため、ある要素が変更されると、関連する他の要素群も併せて変更する必要がある。他方のモジュラー型のアーキテクチャでは、構造と機能の対応関係が一対一に近く、構成要素間の相互依存度は低い。モジュラー化の度合いが高くなればなるほど、ある要素の変更が及ぼす他の要素群への影響は軽微になる。近年では人工物の複雑性を軽減するため、多くの製品が大なり小なりモジュラー化される傾向にある。

モジュラー型は、I/Fの一般化の程度によって、更に細分化される。通常、製品がモジュラー化される場合、構成要素間を接続するI/Fは何らかのルールによって規定される。このデザイン・ルール（Baldwin and Clark[2000]）の適用が、特定の企業内や、（資本関係を有する系列企業のような）極めて緊密な企業間に留まる場合、それはクローズド型とされる。逆に、特定の企業を越えて広く産業一般や社会全般に普及している場合、それはオープン型と呼ばれる。この違いは、ある構成要素がどの範囲まで互換性を持ちうるかと言い換えることができる。そしてこの互換性は、既存の知識の維持と再利用を可能とし、代替の経済（economies of substitution）を導くのである（Garud and Kumaraswamy[1993]）。

また、前述のBaldwin and Clark[2000]は、モジュラー化が産業構造に影響を及ぼすことを明らかにした。端的に言えば、モジュラー化の進展は、巨大な垂直統合型企業の優位性は喪失させ、産業構造を水平分業型へと変化させるということである。更にBaldwinらは、モジュラー化の経済合理性を金融理論のオプション理論によって説明した。すなわち、モジュラー化が進行すると、デザイン・ルールを遵守している限り、構成要素の「交換」が極めて容易となり、ある特定の構成要素に特化した事業を行う企業群が誕生することで、産業内の水平分業化が促進されるのである。そのため、個々の構成要素ごとに専門企業群が集積し、その分野ごとに迅速かつ多様なイノベーションが期待され、結果として製品の付加価値向上に貢献するのである。また、Baldwinらは、「モジュラー化は、強力な組織再編ツールである。それはシステムが機能する上で必要不可欠なコーディネーションの形態を維持しながら、同時に分権的な意思決定を

可能にする⁴⁾」と述べており、モジュラー化が特定の構成要素ごとにクラスターの現出を招くことを指摘した。

同様の議論として、例えば Langlois and Robertson[1992] は、取引コストの視点からモジュラー化と産業のネットワーク化について説明している。Langlois らは、製品を構成する要素が内製されるか外部調達されるかは、製品コストと取引コストとの間の関係性次第であると述べる。製品がインテグラル型であれば、市場からの調達コスト（取引コスト）が組織化のコストを上回るため、企業内調整に優る垂直統合型企業に有利である。しかし製品がモジュラー化されていくと、構成要素間の互換性を損なわずに単一企業内だけでイノベーションを継続することは次第に困難になっていく。つまり、組織化のコストが取引コストを上回るのである。したがって、このような状況下では構成要素を外部から調達することが望ましい。そして、「モジュラー型システムの促進する垂直専門化（vertical specialization）は、製造者のネットワーク構築をも導く⁵⁾」のである。このような非集権的ネットワーク下では、「標準（standard）は、市場のプロセスもしくは交渉を通じて、構成要素の製造者とユーザー、そしてアセンブラとが一緒になって決定される⁶⁾」。実際、このようなネットワークは有効である。なぜなら、「特許やその他防護策が例え存在しなくとも、企業の水平方向のネットワークは、イノベーターが特許等で保護される範囲内で享受しうる全利益よりも高い利益をもたらす⁷⁾」からである。

ここまでの先行研究の内容に即してEVに取り組む自動車産業の現状を見るならば、基幹部品である二次電池やモーターはモジュラー化されており、総合電機メーカーや材料メーカーが得意分野ごとにモジュール・クラスターを形成していることは事実である。個別の構成要素のイノベーションは、垂直統合型企業である完成車メーカーではなく、各モジュール・クラスターの専門企業群によって担われる。完成車メーカーも資本提携を含む共同開発という形で関与を強めてはいるものの、エンジンのように絶対的な技術面での優位性を誇っているわけではない。むしろ、共同開発のパートナーを通じて、学習する機会を得ることに必死であるというのが現実の姿であろう。したがって、ここまでの議論に限定するならば、「スモール・ハンドレッド」論の主張には一定の妥当性が見られるものの、問題はモジュラー化の中身を詳細に検討していない点にある。

このことを検証するため、製品アーキテクチャの概念をより緻密に展開した研究と、モジュラー化の欠点について見ておこう。藤本 [2003] は、日本の企業が、インテグラル型アーキテクチャの製品分野で高い競争力を持ちながらも、収益面で欧米企業の後塵を拝してきたことに着目し、「得意なアーキテクチャでは従来の組織能力をさらに蓄積・活用し、苦手なアーキテクチャでは提携や自主的学習によって組織能力を転換する⁸⁾」という「アーキテクチャの両面戦

4) Baldwin and Clark[2000], p.268 参照。

5) Langlois and Robertson[1992], p.300 参照。

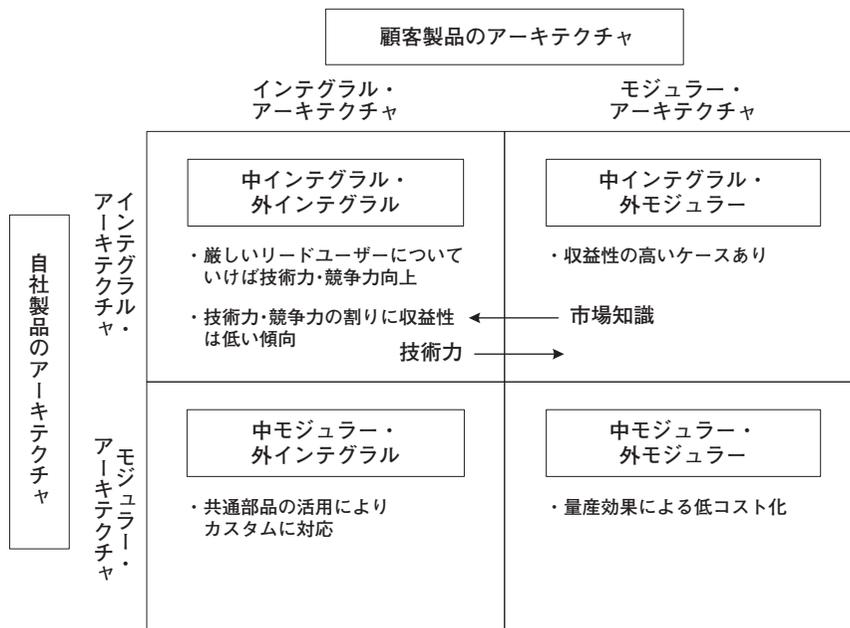
6) *Ibid.*, p.301 参照。

7) *Ibid.*, p.301 参照。

8) 藤本 [2003], p.17 参照。

略」の重要性を指摘している。そしてこの両面戦略を逆転させ、「自社の組織能力と市場環境を前提として、最適のアーキテクチャ的な位置取り（ポジショニング）を工夫する⁹⁾」という「アーキテクチャの位置取り戦略」を提起した。

図2. アーキテクチャの位置取り（4つの基本ポジション）



出所) 藤本・東京大学 MMRC 編 [2007], p.29, 図1-1-4.

この戦略の特徴は、アーキテクチャの階層性、すなわち製品の内部構造にまで言及し、その構成や関係性を変えることによって利益獲得の機会を追求するという点にある。したがって、ある企業にとっての製品自体がインテグラル型かモジュラー型か、またその製品を顧客が使うときに顧客側の製品あるいはシステムがインテグラル型かモジュラー型かという視点から製品を分析することになる。これは、最終製品を構成する一歩手前の基幹部品群（機能部品やモジュール部品）を主たる対象とした考え方である。そしてこの概念を行列で示したのが、図2である。

はじめに、「中インテグラル・外インテグラル」は、「当該製品自体は、インテグラル（擦り合わせ）型として設計・開発されているが、販売先の顧客製品・顧客システムもまたインテグラル型であり、そうした川下の顧客製品専用に特殊設計されたカスタム部品として売られる。自動車部品やオートバイ部品はその典型例である¹⁰⁾」という特徴がある。このポジションは戦後日本企業の典型例であり、ものづくりには優れるものの儲かっているケースが多いと藤本は指摘する。

9) 同上。

10) 前掲, p.18 参照。

次に、「中インテグラル・外モジュラー」は、「その製品自体はインテグラル（擦り合わせ）型として設計・開発されているが、その製品を取り込む販売先の顧客製品・顧客システムはモジュラー型である。つまり、当該製品は、川下にある複数の顧客企業に、汎用部品・標準部品として販売することができる¹¹⁾」という特徴がある。このポジションは、インテルのCPUやシマノの自転車部品など、高収益企業が採用する戦略として説明されている。

続いて、「中モジュラー・外インテグラル」は、「当該製品そのものは既存部品を上手く組み合わせたモジュラー・アーキテクチャで設計・開発されているが、その製品を取り込む販売先の製品やシステムはインテグラル型である。つまり、社内共通部品や業界標準部品を子部品として活用することでライバルに勝つコスト構造を実現しつつ、それらをうまく組み合わせてカスタム設計製品を作ることで、顧客の特殊なニーズに最適設計で応えようとする¹²⁾」という特徴がある。

最後に、「中モジュラー・外モジュラー」は、「その製品自体も売り先のシステムも、ともに『モジュラー・アーキテクチャ』である。この場合、一方で設計合理化により共通部品・標準部品を活用し、他方で完成品を川下のモジュラー・システム向けの標準品として販売するので、二重の意味で量産効果を得やすい。量産効果や学習効果によるコスト競争力の追求が、このポジションで勝つためのポイントである。つまり、先手必勝、規模の経済といった力勝負を要求される¹³⁾」という特徴がある。

このように、製品アーキテクチャの階層性に着目し、部品レベルにまで議論を展開することで、分析はより精緻化される。EVという製品を分析する場合、一般的なアーキテクチャだけではなく、基幹部品である二次電池やモーターがどのような位置取りになっているのかを把握しておく必要がある。そしてまた、欧米を中心に手放してその経済合理性が称賛されるモジュラー化についても、その諸特徴を再度整理し、欠点の部分についても言及しておかねばならない。

青島・武石 [2001] は、モジュラー化の欠点を端的に指摘している。それは、モジュラー化における I/F とは汎用的であり、個々の構成要素に対して必ずしも最適化されているとは限らないということである。そのため、モジュラー化されたシステムにおける各構成要素は、原理的に冗長性を持つことになる。更に、I/F を固定化していることによって、各構成要素のイノベーションが達成し得るパフォーマンスの水準が制約される。構成要素単位でどれだけイノベーションが進んだとしても、I/F というデザイン・ルールが存在するため、システム・パフォーマンスの限界を持つということである。

EV の量産が始まったことで、そのアーキテクチャがモジュラー型であることを背景に「スモール・ハンドレッド」論は展開されているが、そこでは、ここに挙げた部品レベルでの位置

11) 前掲, pp.18-19 参照。

12) 前掲, p.19 参照。

13) 同上。

取り戦略や、モジュラー化の欠点については言及されていない。次節では、これらの視点を踏まえ、EV市場の分析を行う。

3. 製品アーキテクチャ論から見たEV市場の分析

(1) 技術的特性についての分析

ここでは、前節で議論した製品アーキテクチャの視点から、EVの技術的特性を分析する。「スモール・ハンドレッド」論の背景には、EVの基幹部品がモジュラー化された汎用品であること、そしてEVが他のガソリン車やHVと比較して、相対的に構成部品点数が少ないことといった事実がある。以下、最終製品であるEVの部品点数と、基幹部品であるリチウムイオン二次電池（以下、二次電池）の位置取り戦略の順に分析を進める。

表4. ガソリン車, HV, EVの構成部品比較

	エンジン車	HEV	EV
車両例	トヨタ自動車「プレミオ」	トヨタ自動車「プリウス」	三菱自動車「i-Miev」
パワートレイン	エンジン（4気筒）+CVT	エンジン（4気筒）+ハイブリッドシステム	モータ+減速機構（1段）
エンジン（モータ）用機構部品	ローラ・ロッカ・アーム（16）、バルブ（16）、バルブばね（16）、ピストンリング（12）、ピストン・コンロッド（4）、インジェクタ（4）、ベルト（2）、クランク軸、吸排気マニホールド、ラジエータ、エアコンコンプレッサ、ラジエータ、エアクリーナ、排気管	ローラ・ロッカ・アーム（16）、バルブ（16）、バルブばね（16）、ピストンリング（12）、ピストン・コンロッド（4）、インジェクタ（4）、クランク軸、吸排気マニホールド、ラジエータ、エアクリーナ、排気管	転がり軸受（2）
変速機用機構部品	転がり軸受（18）、スプールバルブ（8）、電磁ソレノイド（5）、ブレーキクラッチ（2）、プーリ（2）、遊星歯車、CVTベルト、油圧ポンプ、トルコン、ロックアップクラッチ、デファレンシャル	転がり軸受（14）、遊星歯車（2）、油圧ポンプ、ダンパ、デファレンシャル	転がり軸受（6）、デファレンシャル
補機駆動用および走行・発電用モータ	オルタネータ、スタータ、EPS	走行用、発電用、EPS、エアコンコンプレッサ、エンジン冷却、モータ・インバータ冷却、電動ブレーキ	走行用、EPS、エアコンコンプレッサ、モータ・インバータ冷却、ブレーキ負圧
電池・インバータ	12V電池	12V電池、高圧用電池（Ni-MH）、インバータ、DC-DCコンバータ、電池監視システム、高圧ハーネス	12V電池、高圧用電池（Liイオン）、インバータ、DC-DCコンバータ、電池監視システム、高圧ハーネス

出所) 日経 Automotive Technology・日経エレクトロニクス編[2010], p.31, 表

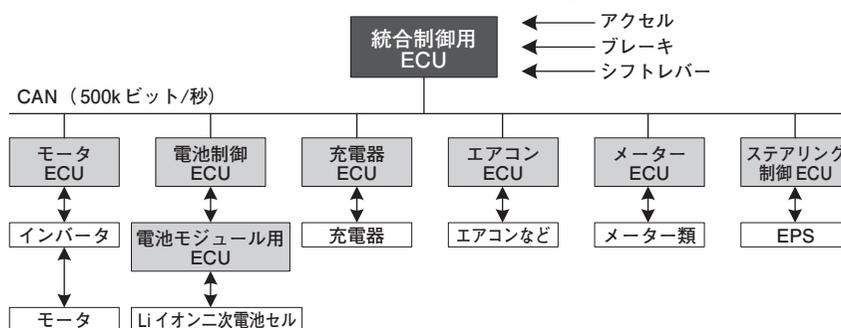
注) () 内に示したエンジン、変速機などの部品数は一般的な推定値で車両例の正確な値ではない。

第1に、構成部品点数についてである。表4は、これら3者の構成部品の違いを比較したものである。ガソリンエンジン車を基準としたとき、HVは変速機用機構部品が若干少なくなり、代わりにもうひとつの動力源である二次電池とモータ制御関連の部品点数が増加し、複雑性という点ではガソリン車以上である。その一方で、EVはエンジンと変速機関連の機構部品が圧

例的に少なく、二次電池とモータ関連の部品点数増もHVよりは抑制されている。このことから、確かにEVはハードウェアとしての部品点数が大幅に削減され、ガソリン車やHVよりも優れている。したがって、比較的構造の簡単なEV市場には、ベンチャー企業でも容易に参入できるという論理が導かれているのであるが、そこには重大な事実が見落とされている。

それは、ハードウェアが負担していた諸機能の減少分が、ソフトウェアに転嫁されているということである。自動車の電子化の進展に伴い、車載用ソフトウェアの開発規模は10年で10倍以上のペースで拡大している。これまでは燃料噴射装置等のアプリケーション単位でのソフトウェアの問題であったが、動力源の電子化、すなわち1997年のプリウス上市以降のHV種の展開、そして現在のEVの上市により、自動車の諸機能に占めるソフトウェア依存度は指数関数的に増加している。更には、これら諸システムは相互に連携し、協調制御が必要であり、その複雑性は想像を絶する¹⁴⁾。図3は、世界初の量産用EVである三菱自動車のi-Mievのシステム制御の概念図である。アプリケーションごとにECU (Electronic Control Unit) があり、それらが個別にハードウェアを制御するという構図はこれまで同様であるが、それに加えて、全ECUを統合制御するECUが別に設置されており、このECUを介して全アプリケーションが協調・連携している。

図3. i-Mievの統合制御ECUと関連ECU



出所) 日経 Automotive Technology・日経エレクトロニクス編 [2010], p.156, 図13.

徳田編 [2008] が述べるように、自動車産業で開発されるソフトウェアは、まだ十分な標準化の段階に至っていない。これら膨大なソフトウェアの設計資産は、せいぜい社内標準化によって一部が再利用される範囲に留まっており、インテグラル型に近いモジュラー型なのである。すなわち、ハードウェアの部品点数減は見かけ上の減少に過ぎず、実質的な複雑性は解消されていないのである。むしろソフトウェアの側で複雑化はより一層進展しており、開發生産性や品質保証の面で深刻な状況になりつつある。これら複雑な開発業務において、100社を超えるサプライヤーを管理しながら、1社の脱落も許すことなくひとつの製品として統合化していく作業は、到底群小のベンチャー企業が一朝一夕に真似できることではない。

14) 高機能の装備が満載された高級車や制御機構の複雑なHVなどは、既に民間航空機並みのソフトウェア開発規模に達している。また、このようなソフトウェアの高機能化・複雑化により、開発段階でのユーザー使用環境の全モード検証が事実上不可能となり、その帰結が、2009年に発覚したプリウスの回生ブレーキにまつわるリコール問題であった。

第2に、EVの基幹部品である二次電池のアーキテクチャの位置取り戦略についてである。前節で紹介した、藤本[2003]が示した枠組みから分析すると、同部品は単純に構成要素だけを見ると「中モジュラー・外インテグラル」に分類される。二次電池自体は、大きく分けて正極材、負極材、電解液、セパレータといった汎用品の組み合わせで構成されており、したがって内的にはモジュラー型である。また、顧客側では二次電池の仕様が各社各様であるため、外的にはインテグラル型である。

しかしながら、これはもう少し詳しく見ていく必要がある。なぜなら、二次電池の構成要素間の関係性は、単純な組み合わせとは言い難い側面があるからである。これらの構成要素は、電気製品でありながら化学分野の性質に規定されているため、単に材料同士を組み合わせただけでは、要求される性能を満たすことはできない。これら化学分野の材料・素材の微妙な配合やその条件の調整といった作業には、膨大なコストが必要になる。つまり、これは組立型のものづくりの論理で言うところの「組み合わせ」とはほど遠い、むしろインテグラル型に近い特徴ということになる。そうすると、二次電池の位置取りは、実質的には「中（準）インテグラル・外インテグラル」ということになり、これは最も収益性の面で劣るポジションである。しかも、これら化学分野の材料市場は、大手メーカーによって寡占化されているため、汎用品でありながら買い手は調達コストを下げるのが難しい。この点は次項で改めて議論する。

このように、EVに大きな期待が寄せられながらも、実態として基幹部品たる二次電池がモジュラー型の利点を活かしてきれていない理由は単純である。それは、このデバイスがまだドミナント・デザイン（Abernathy[1978]）を確立していないからである。構成要素である諸材料の配合（組み合わせ）はまだ発展途上であり、そのためEVの航続可能距離や充電時間といった点ではガソリン車に対して全く競争力がない。更には、そのような二次電池の絶対性能の低さから、完成車メーカー各社は少しでも優れた製品を開発しようと独自の仕様にこだわり続けている。現在は、製品イノベーションが百花繚乱の段階にあり、工程イノベーションの進展によって生産コストを下げる段階には至っていない。このような段階の二次電池が、そもそも外販の対象として広く普及するとは考えにくい。

それでは、米国のベンチャー企業としてEV事業で一定の成功を収めるテスラの場合はどうだったのであろうか。テスラは、二次電池がドミナント・デザインを確立していないことは承知しており、それを前提に製品の構造を決めてきた。前述のように、同社は汎用の二次電池を組み合わせたバッテリー・モジュールを開発した。つまり、テスラのバッテリー・モジュールは「中モジュラー・外モジュラー」なのである。構成要素は、化学分野の検証を終え、民生用として量産実績のある二次電池であり、それらを単純に「組み合わせ」ただけのモジュラー型である。また、このバッテリー・モジュールはそのまま提携先の独ダイムラー（Daimler）に供給されることが決定しており、この点で外的にもモジュラー型とみなすことができる。

一見すると、テスラのビジネス・モデルは、現状の二次電池の要素技術の限界を認識した現実的かつ秀逸なものとして評価できる。しかしながら、そこには前節で議論した、モジュラー化の

欠点である「冗長性」と「絶対パフォーマンスの限界」という視点からの評価も必要である。テスラは、既に市場に広く普及しているノート PC 用の二次電池を数千個組み合わせることで、要求仕様を満足するバッテリー・モジュールを開発した。まず「冗長性」についてであるが、汎用品の二次電池を単純に組み合わせただけであるため、すぐに気づくのは重量面での冗長性である。個々に金属等でパッケージングされた汎用の二次電池 6,831 本分の重量と、同容量の最適化された二次電池¹⁵⁾ 1 個分の重量とでは、比較にならないほどの差がつくことであろう。同じようなことは、バッテリーの利用効率性にも言える。6,831 本の二次電池が直列・並列で接続されていることから、電極間での熱損失が発生する。これも統合化された二次電池ならば、かなり抑制されるであろう。これらの冗長性は、EV 用に最適化された二次電池のドミナント・デザインが確立していない時期だからこそ、市場に受容されているに過ぎない。

続いて、「絶対パフォーマンスの限界」についてである。同社の本質的な競争力はこの汎用品を組み合わせたバッテリーの制御技術にあることは既に述べたが、いかに優れた制御技術であっても、それはハードウェア（二次電池）の性能に規定される。そしてそのハードウェアは、前述のように相当の「冗長性」を内包したものである。すなわち、動力源のシステム全体から見た場合、テスラのバッテリー・モジュールとは、低性能のハードウェアを高効率のソフトウェアで補っているという構図が浮かび上がる。EV に最適化された二次電池が仮に存在するとして、その効率性の理論最大値を 10、テスラが採用している汎用品を組み合わせた現在のハードウェアの効率性を 2~3 と仮定し、また同社の競争優位の源泉である制御技術を用いたバッテリー性能の劣化率を 0.1 (= パフォーマンス維持率 0.9) としたとき、同社のバッテリー・モジュールが提供する価値は、1.8 (= 2×0.9) から 2.7 (= 3×0.9) 程度となる。その一方で、EV 用に最適化された二次電池を開発したメーカー X が存在するとして、そのハードウェア効率性を 6~7 と仮定し、制御技術はテスラよりも劣るため、劣化率を業界平均値同等の 0.5 (= パフォーマンス維持率 0.5) としたとき、X 社のバッテリー・モジュールが提供する価値は、3.0 から 3.5 程度となる。

以上の試算は、いずれも仮定の数値を並べた上での結果に過ぎない。しかし、上記の計算からも明らかなように、結局のところハードウェアである二次電池の絶対性能が向上すれば、多少制御技術の面で劣ったとしても、システムとしてのバッテリー・モジュールが提供する価値の総和は大きくなる。制御技術とは、あくまでハードウェアによって規定された所与の効率性を「いかに下げない」ようにするかという技術であって、絶対性能を向上させるものではない。ドミナント・デザインが確立した後であれば、バッテリーの効率性は業界平均値近辺に収斂するため、制御技術の優位性が製品価値を大きく左右するようになってくるが、現時点ではハードウェアの性能向上の効用の方が遙かに大きい。

15) ここでの最適化された二次電池とは、テスラのように汎用品を複数組み合わせた製品ではなく、多くの完成車メーカーが開発に取り組んでいるような二次電池のことである。しかしながら、現在開発中の二次電池も、いくつかのセルを連結する構造には変わりがないため、ここでは、将来に実現するかもしれない、ワンパッケージ型の理想的な製品を想定している。

ゆえに、テスラのビジネス・モデルは将来にわたって有効であるとは言い難いのである。テスラがこのような形で成功しているにも拘わらず、完成車メーカーや電池メーカーがEV用に最適化された二次電池の開発の手を弛めないのは、上記のような理由がはっきりしているからである。

(2) 部品取引関係についての分析

技術的特性からの分析に続いて、ここからは部品取引関係の視点から分析していく。図4は、二次電池の開発・生産をめぐる提携・取引関係をまとめたものである。特徴としては、第1に、日本の完成車メーカーはもっぱら日本のエレクトロニクス関連メーカーと提携し、いずれも合弁会社を設立している点である。

第2に、日本のエレクトロニクス関連メーカーの中には、日本の完成車メーカーではなく、欧米の完成車メーカーをパートナーに選択している企業がある。例えば、日立製作所の関連会社である日立ビークルエナジーがGMと、三洋電機と東芝がVWグループとそれぞれ提携している¹⁶⁾。

第3に、海外には、完成車メーカー兼電池メーカーという特殊な企業がいくつか存在する。それは、ここまで何度か言及してきた、米テスラや中BYDである。いずれも自動車産業への参入歴は浅いものの、基幹部品である二次電池と最終製品の双方を備えた、これまでの自動車産業には見られなかったユニークな存在である。その参入経緯やビジネス・モデルを見る限り、従来の完成車メーカーと同列に扱うことは難しいが、基幹部品が（表面的には）モジュラー化している点を利用した、身のこなしの軽い（大規模な設備投資を巧みに回避した）新しい種類の完成車メーカーと捉えることができよう。

これらの特徴を見ていくと、日本の完成車メーカーは提携相手を絞り込む傾向にあり、自身の構築してきたサプライヤー・システムにその取引関係を組み込もうとする意図を読み取ることができる¹⁷⁾。しかしながらその取引関係は多分に閉鎖的でもある。他方で、完成車メーカーのカウンターパートである電池メーカーの場合、日本企業であってもその一部は海外メーカーとの取引に積極的な点が対照的である。これには、日本の完成車メーカーとの取引関係構築に出遅れてしまい、その閉鎖性ゆえに国内市場から閉め出されてしまったという消極的要因も考えられるが、GMやVWといった欧米のトップメーカーを顧客にしている点は見逃すことができない。逆に、日本の完成車メーカーと提携している電池メーカーは顧客と双方独占の状態にあり、取引拡大の機会を逸しているかもしれないのである。その一方で、欧米の主要完成車メー

16) 2010年7月、東芝は国内完成車メーカーの三菱自動車へEV用二次電池を納入すると発表した。

17) パナソニックは、トヨタとの合弁会社であるパナソニックEVエナジーの取引関係は固定的であるが、他方で、ノートPC用二次電池最大手である同社電池事業部門のエナジー社は、「18650」規格のバッテリー・セルを140本（20並列×7直列）したバッテリー・モジュールを提案している。既存の量産品の組み合わせであるため、完成車メーカーが独自に開発している二次電池と比較して、1kWhあたりの価格が半分程度まで下がると言われている。テスラとは異なり、業界トップ企業であるパナソニックの試みは、今後の二次電池ビジネスのあり方を左右するかもしれない。詳しくは、日経BP編[2010], pp.57-59参照。

図4. リチウムイオン二次電池メーカーと世界主要完成車メーカーの提携・取引関係



□ 自動車関連メーカー ■ 合弁会社 ● 電池メーカー
 AESC: オートモーティブ エナジー サプライ JCS 社: JohnsonControls-SaftAdvancedPowerSolutions 社
 出所) 日経 Automotive Technology・日経エレクトロニクス編 [2009], p.13.
 注) 2009年7月時点。

カー (GM, Daimler, VW) は二次電池の複社調達を徹底しており、かつその供給元の国籍は多様である。

このような提携・取引関係のアプローチに違いはあるものの、テスラとBYDを除く完成車メーカー各社に共通しているのは、EV等のエコカーには、テスラが採用した汎用品の「組み

合わせ」戦略ではなく、統合化された「擦り合わせ」戦略を重視していることである。それはすなわち、現状の二次電池では、例えそれをEV等に搭載したとしても、長期的にガソリン車と同等の市場を形成することはできないと各社が認識しているからである。そして、このような要素技術開発を含む大規模の研究開発投資が可能なのは、テスラのような群小のベンチャー企業ではなく、グローバル企業である完成車メーカーやエレクトロニクス関連メーカー及びその傘下の電池メーカーに限られている。

続いて、二次電池の構成部品についてである。表5は、二次電池の主要な材料とそのコスト構成比率をまとめたものである。コスト構成上は、正極材料、アルミニウム製容器、セパレータの順になっているが、一般的には、二次電池の主要4材料とは、正極材料、負極材料、電解液、セパレータとされる。

表5. 二次電池の主要材料別コスト構成比

正極材料	負極材料	電解液	セパレータ	容器 (Al)	銅箔	その他
34.7%	9.9%	9.3%	12.6%	21.9%	3.8%	7.8%

出所) 日経 Automotive Technology・日経エレクトロニクス編 [2010], p.236, 図7より筆者作成。

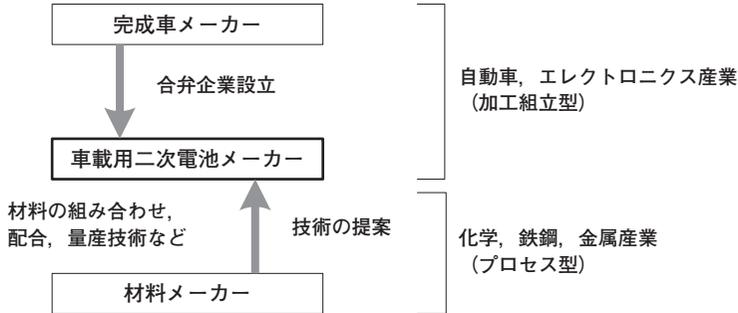
富士経済の予測によると、2014年のこれら二次電池材料の市場規模は6,521億円に達し、これは2008年比で62%増とされる。また、大久保[2009]の整理によれば、これら主要4材料市場では、日本企業が優勢である。例えば、正極材料には日亜化学、三菱化学などが参入している。負極材料には日本企業が10社程度参入しており、日立化成、日本カーボン、JFE等である。また、電解液には宇部興産、三菱化学、富山薬品工業などが参入しており、セパレータに至っては旭化成が圧倒的に高いシェアを誇っている。しかしながら、「材料メーカーは日本企業のみならず世界のメーカーに素材を供給しており、材料で差異化できない¹⁸⁾」と大久保は指摘しており、これは日本の電池メーカーにとって悩ましい点である。すなわち、「材料自体の進歩や材料間の組み合わせがイノベーションに大きく関わって¹⁹⁾」おり、そこでの開発の主導権は材料メーカー側にあるということである。そしてまた、主要4材料の市場のうち、多くが大企業である材料メーカーによって寡占化されていることも、電池メーカー側の取引上の自由度を奪う大きな要因となってしまっているのである。電池メーカーは、材料開発上の主導権を保持できず、加えて寡占市場のため代替調達手段も限られている。しかも、材料のイノベーションの成果は、簡単に世界の競争企業へと供給されてしまうのである。自動車産業の特徴でもある、垂直統合的な取引統御機構が及ばない分野ということである。

ここまでの部品取引関係についての分析を整理すると、図5のように構造化することができる。とりわけ日本において顕著に見られるのが、完成車メーカーとエレクトロニクス関連メーカーによる合弁企業の設立である。この合弁企業は、HVやEV等の「車載用途」に特化した二次電池を開発し、生産することを至上命題としている。これらのパートナーシップは、産業

18) 大久保[2009], p.88 参照。

19) 同上。

図5. リチウムイオン電池の取引構造



※ 4 材料ごとに技術のブラックボックス化が進む

出所) 大久保 [2009], pp.88-89 の議論をもとに筆者作成。

の違いこそあれ、同じ加工組立型産業であり、ものづくりの基本的なあり方には高い親和性が見られる。これまでも、自動車の電子化の過程では、様々なカーエレクトロニクス部品を取引を通じて、エレクトロニクス関連メーカーは自動車産業における有力な一次サプライヤーとして、自動車産業の取引論理を概ね受け入れてきた（佐伯 [2010]）。

他方で、電池メーカーの構成部品調達先に目を向けると、そこには化学、鉄鋼、金属産業の大手企業が名を連ねており、寡占化した市場で強い交渉力を発揮している。これらプロセス型産業では、基本的に規模の経済が重視されるため、仮に材料開発上の大きなイノベーションがあったとしても、それはすぐに市場に浸透し共有されてしまう。このような取引論理の違いを鑑みるに、あえて一次サプライヤーに合併企業という囲い込み型の供給主体を置くことに、一体どれくらいの意義があるのかという疑問が想起される。むしろ、一次サプライヤーである電池メーカーとの取引関係をオープンにしている欧米企業の方が、二次電池というデバイスの特性に合致した取引構造になっていると考えられる。

これらの構造を俯瞰すると、確かに二次電池自体は、ドミナント・デザインが確立された後、モジュラー化された部品として広く市場を流通する可能性が見えてくる。また、その構成部品である主要 4 材料も寡占大企業によって市場でオープンに取引される。しかしながら、その内容は大きく異なる。電池メーカーは汎用の材料の供給を受け、バッテリー・モジュールを組み立てるだけのアセンブラに過ぎず、他方の材料メーカーは、二次電池開発におけるイノベーションの主役として、極めてインテグラル型な材料開発を通じてその成果をブラックボックス化することができ、更に寡占市場の特徴を活かして強力な価格統制力を持つことになる。このシナリオ通りになるならば、二次電池はドミナント・デザイン確立後に急速にコモディティ化するであろう。したがって技術と取引関係を囲い込むために合併企業として設立された日本の電池メーカーの存在意義は失われることになる。また、自社の技術がドミナント・デザインに採用されなかった場合の埋没コスト (sunk cost) も歴大な規模に達するであろう。日本の電池メーカーは、そのようなリスク管理を行いつつ、技術のロードマップを慎重に見極めなくてはならないのである。

それと同時に、車載用に最適化された二次電池の開発は、スピードとの勝負になりつつある点も考慮しなければならない。前項で指摘したように、現在の二次電池は、ハードウェアとしての性能自体が不十分であり、そのため世界の完成車メーカーが車載用に最適化された二次電池の開発競争を繰り広げているわけであるが、そもそもそこでの開発が思うように進まなかった場合や、あるいはEVが想定以上に市場に受け入れられ急速に普及が進んだ場合には、絶対性能の低さやモジュラー化固有の冗長性を認識しつつも、量産性を最優先して、テスラやパナソニックが進めるような民生用の「18650」で構成されるバッテリー・モジュールがドミナント・デザインになるかもしれない。そうなると、埋没コストは特定企業だけのものではなく、車載用二次電池に取り組んだ全メーカーの総和ということになり、産業にとっても多大な損失となる。

したがって、部品取引関係について見たとき、車載用に最適化された二次電池の開発という点では、プロセス型産業の大企業をどのようにコントロールするかという課題はあるものの、完成車メーカーがこれまで長年のサプライヤー管理で培ってきた企業間調整能力を活かしてリーダーシップを執ろうとするであろう。しかし、その開発がうまくいかない、あるいは開発スピードが市場の要求に満たない場合は、民生用の「18650」を組み合わせた汎用のバッテリー・モジュールが一気に市場を席卷する可能性があり、その場合は、群小のベンチャー企業が完成車市場で存立するようになるかもしれないのである。ただし後者の場合は、モジュラー化の欠点である「冗長性」を許容するということである。とりわけ先進国で販売されるような中・高級車以上の市場では、製品としての統合性が高く評価されるため、これは現実問題としては考えにくい。あくまで、テスラのような趣味性の強い製品に特化したニッチ市場だからこそ許される仕様に過ぎないだろう。

4. 論点の整理とディスカッション

本研究は、製品アーキテクチャ論の視点からEVの技術的特性と産業内での部品取引関係を分析することで、群小の完成車ベンチャー企業がEV時代を牽引するという「スモール・ハンドレッド」論に代表される、大規模完成車メーカーの凋落を示唆する議論を批判的に検証することを目的としてきた。ここまでの論点を整理しておこう。

まず、EVの技術的特性についてである。これには2つの論点があった。第1に、EVはガソリン車よりも構成部品点数が少なくなるということについては、ハードウェアでの単純な部品点数を論じるのみならず、ソフトウェア制御が高度化・複雑化されることを含めた議論でなければならないと指摘した。第2に、EVの基幹部品である二次電池のアーキテクチャの位置取りについてである。製品アーキテクチャの視点から、現状の二次電池のサプライヤーの位置取りを分析すると、「内インテグラル・外インテグラル」であることが明らかになった。これは、同部品がまだ著しい技術開発段階にあり、ドミナント・デザインが出現していないことに

起因する。その一方で、米テスラが採用している、民生用の二次電池である「18650」を直列・並列に組み合わせたバッテリー・モジュールは、モジュラー化の欠点である「冗長性」を前提とした過渡期の製品に過ぎないことも指摘した。電池メーカーが当座取り組まなければならないのは、市場の要求を満足するハードウェアの絶対性能の確保である。以上の技術的特性にまつわる2つの分析から、このような要件を満たすことができるのは、群小のベンチャー企業ではなく、これまで自動車産業を支配してきた完成車メーカーとその有力サプライヤーであると結論づけることができる。

次に、部品取引関係についてである。現在、車載用二次電池開発の舞台では、世界規模で熾烈な競争が繰り広げられている。その背景には、先に指摘したように、同部品が市場要件を満たすだけのハードウェア性能を達成していない、すなわちドミナント・デザインが確立していないという事実がある。しかしここで問題になるのは、二次電池が電気を扱う製品でありながら、要素技術の多くを化学分野に負うという点である。更には、ハードウェアとしての絶対性能を左右する主要4材料を供給しているのは、化学・鉄鋼・金属産業の大手メーカーであり、その市場は寡占化していた。そのため電池メーカーは、材料開発上の主導権を保持できず、加えて寡占市場のため代替調達手段も限られていた。しかしながら、日本の完成車メーカーはエレクトロニクス関連メーカーと合併形態で電池メーカーを設立し、これまでの企業間調整能力を活かしてリーダーシップを執ろうとしている。このアプローチは、完成車メーカーだからこそ可能である。しかし他方で、この取り組みに失敗した場合は、民生用の「18650」を組み合わせた汎用のバッテリー・モジュールがドミナント・デザインとして認識され、群小のベンチャー企業が完成車市場を形成するという可能性も否めない。ただし、汎用のバッテリー・モジュールに内包される「冗長性」を考慮すると、これが標準になるとは考えづらいということも付け加えておく。

以上の分析結果から、冒頭に提示した結論が導出される。すなわち、「完成車メーカーはEV市場においても頂点に君臨し続ける、ただしその支配力はこれまでとは異質なものとなる」ということである。そもそも、EVは巷間言われているほどモジュラー化した製品とは言い難いのである。したがって、技術的特性、部品取引関係のいずれの側面から見ても、既存の完成車メーカーの優位性は明らかである。ただし、その支配力を裏づけるのは、これまでのガソリン車事業がそうであったように、絶対的な技術力格差と企業規模格差というパワーによるものではなく、自社にはない技術を保有しているサプライヤーといかに協力し、その関係性をどうマネジメントしていくかという企業間調整能力によるものでなければならない。群小のベンチャー企業が自動車産業に参入し、既存の完成車メーカーと競争するという「スモール・ハンドレッド」論が示す構図は、確かに産業の活性化や競争の促進によりユーザーにとってのベネフィットが向上するという点で興味深く、魅力的な議論ではあるものの、自動車という製品の基本的な価値を考えれば、電化製品のように昨日今日参入したようなベンチャー企業が既存企業と伍していけるような競争環境ではないことは一目瞭然である。

自動車は、一般的には耐久消費財の中で最も高額の商品である。そこに求められる基本性能は、当然ながら移動手段としての「走る・曲る・止る」にあるが、実はそれ以上に高次の顧客要求を同時に満足しなければならない。分かりやすいところでは、自動車はユーザーの自己顕示のための演出道具であり、自分を投影するステータス・シンボルであり、そして時にはセカンド・ハウスとしての快適性を求める場でもある。自動車という商品は、このような多様かつ多元的な価値を消費者に提供しなければならない。決してコモディティではないのである。「スモール・ハンドレッド」論には、同商品の多元的価値という視点が欠落している。確かに、新興国市場では、高次の価値の追求は一部の富裕層に限られ、大多数の大衆は「安かろう悪かろう」でも構わないという指摘もある。しかし、そういった新興国における新規需要の顧客は、高い経済成長を背景に、代替需要が発生するまでには所得が大幅に上昇するであろうし、商品を見る目も養われる。そうなった時には、より高付加価値の商品を求めるようになる。したがって新興国市場といえども、自動車への要求は漸次高まり、早晩先進国と同等水準に収斂していくのである。したがって、単にモジュラー化の恩恵に与っているだけのベンチャー企業の商品が受け入れられるのは、この新規需要が一巡するまでの期間だけである。このような動的な市場分析の視点なくして、EVの普及を語ることは難しい。

おわりにかえて

本研究では、自動車産業におけるEV市場の興隆に焦点を当て、主に技術的特性と部品取引関係の分析から、その特徴を明らかにした。最後に、残された課題を列記する。

第1に、EV市場における基幹部品のドミナント・デザイン確立に至るプロセスとそのメカニズムの分析である。前述のように、二次電池の技術開発では、化学・鉄鋼・金属産業に属する大手材料メーカーの存在感が極めて大きい。これまで自動車産業は、加工組立型産業の取引論理から垂直的な産業支配を実現してきたが、こと二次電池に関しては、当該分野の技術の蓄積は少なく、かつ取引論理も異なる。これをいかにして調整し、その帰結としてのドミナント・デザインがどのような姿になるのかについての分析には、継続的な調査を要する。

第2に、EV市場の興隆をより広い視点で捉えた研究である。本研究では、あくまで分析範囲を自動車産業における技術開発と部品取引関係に限定してきたが、巷間言われているように、EVの普及により、産業や社会のインフラが大きく転換する可能性がある。例えば、EVはスマート・グリッド（smart grid）を構成するひとつの中核的コンポーネントとして位置づけられている。これなどは、自動車産業だけの議論に留まるものではなく、移動手段としての自動車が社会インフラとして機能するあり方を問う論点である。EVの普及とインフラとの相互作用の影響は、環境問題と関連させながら分析していく必要がある。

<参考文献>

- Abernathy, W.J.[1978], *Productivity Dilemma: Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- 青島矢一 [1998], 「製品アーキテクチャーと製品開発知識の伝承」『ビジネス・レビュー』第46巻第1号, pp.46-60.
- 浅沼万里 [1997], 『日本の企業組織 - 革新的適応のメカニズム -』東洋経済新報社
- A.T. カーニー・川原英司他著・日経 Automotive Technology 編 [2009], 『電気自動車が革新する企業戦略』日経 BP
- Baldwin, C.Y., and Clark, K.B.[2000], *Design Rules : The Power of Modularity*, Cambridge, MA : MIT Press. (安藤晴彦訳 [2004], 『デザイン・ルール』東洋経済新報社)
- C.C. Chan・南繁行 [2009], 『電気自動車の実像 - EV・HEV・FCVの最新技術とその将来展望』ユニオンプレス
- Clark, K. B. and Fujimoto, T.[1991], *Product Development Performance : Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*, Boston, MA : Harvard Business School Press. (田村明比古訳 [1993], 『製品開発力』ダイヤモンド)
- Fine, C.H.[1998], *Clockspeed: Winning Industry Control in the Age of Temporary Advantage*, MA: Perseus Books. (小幡照雄訳 [1999], 『サプライチェーン・デザイン』日経 BP)
- 藤本隆宏 [1998], 「サプライヤー・システムの構造・機能・発生」藤本隆宏・西口敏宏・伊藤秀史編『リエンジニアリング サプライヤー・システム - 新しい企業間関係を創る -』有斐閣, 所収, pp.41-70.
- 藤本隆宏 [2001], 「アーキテクチャーの産業論」藤本隆宏・武石彰・青島矢一編『ビジネス・アーキテクチャー - 製品・組織・プロセスの戦略的設計 -』有斐閣, 所収, pp.3-26.
- 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, p.11-22.
- 藤本隆宏・東京大学 21 世紀 COE ものづくり経営研究センター編 [2007], 『ものづくり経営学 - 製造業を超える生産思想 -』光文社
- Garud, R., and Kumaraswamy, A.[1993], "Changing Competitive Dynamics in Network Industries: An Exploration of Sun Microsystems' Open Systems Strategy," *Strategic Management Journal* 14 351-369.
- 国領二郎 [1999], 『オープン・アーキテクチャー戦略 - ネットワーク時代の協働モデル -』ダイヤモンド
- Langlois, R.N., and Robertson, P.L.[1992], "Networks and Innovation in a Modular System: Lessons from the Microcomputer and Stereo Component Industries," *Research Policy* 21 297-313.
- Morris, C.R., and Ferguson, C.H.[1993], "How Architecture Wins Technology Wars," *Harvard Business Review* March-April 86-96.
- 村沢義久 [2010], 『電気自動車 - 「燃やさない文明」への大転換』筑摩書房
- 日本経済新聞社編 [2009], 『自動車新世紀・勝者の条件』同所
- 日経 Automotive Technology・日経エレクトロニクス共同編 [2009], 『カーエレクトロニクスのすべて 2009 HV / 電気自動車総覧 2009』日経 BP
- 日経 Automotive Technology・日経エレクトロニクス編 [2010], 『HV / 電気自動車総覧 2010-2011』日経 BP
- 日経 BP 編 [2010], 『日経 Automotive Technology』2010.7, 同所
- 大久保隆弘 [2009], 『「エンジンのないクルマ」が変える世界 - EV (電気自動車) の経営戦略を探る』日本経済新聞社
- 佐伯靖雄 [2010], 「複合要素技術型製品の開発と企業間関係 - カーエレクトロニクス・サプライヤーの技術と取引 -」立命館大学大学院経営学研究科博士学位論文
- 新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会 [2006], 『次世代自動車用電池の将来に向けた提言』経済産業省
- 徳田昭雄編 [2008], 『自動車のエレクトロニクス化と標準化 - 転換期に立つ電子制御システム市場 -』晃洋書房
- 土屋勉男 [2009], 「次世代自動車を巡る企業間関係の動向と展望」『産業学会研究年報』第24号, pp.41-52.

- 塚本潔 [2010], 『電気自動車ウォーズ -日産・三菱・トヨタ・ホンダのエコカー戦略』朝日新聞出版社
- Ulrich, K.T.[1995], "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm," *Research Policy* 24 419-440.
- 次世代自動車普及戦略検討会 [2009], 『次世代自動車普及戦略』環境省

“ Technical characteristics and Auto-parts Transactional Relationship of Electric Vehicle Market from the Perspective of Architecture-based Analysis ”

Yasuo Saeki*

Abstract

The purpose of this paper is to verify the validity of the argument that automakers will lose the power of industry dominance because of emerging EV(Electric Vehicle) market from architecture-based analysis. The conclusion is simple. Automakers will dominate their industry continuously. However the power of domination might be something different compared to traditional one.

We clarified that EV has less precise characteristics of modularity than many people expect. Therefore automakers still maintain their competitiveness from the aspect of technical characteristic and business relationship of auto parts. However, to support the dominance of power due to differences in company size and the technology gap is not absolute. The most important factor is co-ordination capability of inter-company relationship.

Keywords:

Product Architecture, Electric Vehicle, Secondary Cell, Business Relationship, Module Cluster

* Correspondence to : Yasuo Saeki
Assistant Professor / Faculty of Business Administration, Ritsumeikan University
1-1-1 Noji-Higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577 Japan
E-mail : yst07993@ba.ritsume.ac.jp