

オープン・イノベーションによる技術戦略とインフラ構築の実現
— セットメーカーとインフラ産業の協働による次世代自動車普及の可能性 —

市川 英孝

Implementation of technology strategy and infrastructure construction by Open Innovation: Possibility of next-generation spread due to the cooperation of manufacturers and infrastructure industry

ICHIKAWA, Hidetaka

Abstract

Since the start of production of the Ford Model T in 1908, which featured the internal combustion engine as a power source, there has been no significant change in the automobile specifications. Automobile manufacturers currently face the need to make major changes due to the global oil shortage and environmental considerations of carbon dioxide emissions, the pollution problem caused by nitrogen compound emissions, etc. As a result, hybrid vehicles and electric vehicles (EV), plug-in hybrid vehicle (PHV) are emerging. The transition from the internal combustion engine vehicles to next-generation car has been slow, mainly because of the expensive sales price.

Automobile manufacturers have been striving to achieve a sales price reduction of next-generation vehicles. However their spread is still slow, possibly because companies are only dropping the base, pre-tax price of the next-generation vehicles. Mitsubishi Motors and Nissan already have been launched the electric cars, the i-MiEV in 2009, and the LEAF in 2010 respectively. However their actual sales are far below original predictions. One of the most recent releases is the MIRAI, a fuel cell vehicle (FCV) produced by the Toyota Motor Corporation in 2015. Will this FCV from Toyota face the same fate as the i-MiEV and Leaf? No doubt its sales future will depend heavily on product innovation by its makers.

This leads into the question of what overall role does the automobile play within today's global infrastructure.

In this paper, based on the current state of electric vehicle, we will consider the problems facing fuel cell vehicles and the necessary factors for their spread within today's world.

Keywords : Open Innovation, next-generation vehicles, technology and infrastructure strategy, hydrogen society

要旨

1908年T型フォードの生産開始により、内燃機関を動力源とする乗用車が大量生産され、大衆化されて以来、自動車の仕様に大きな変化はなかった。しかし、それらの動力源となる石油の世界的な供給問題や、二酸化炭素排出における環境への配慮、ならびに窒素化合物排出による公害問題等により、自動車メーカーは大きな対策の変化が要求されてきた。その結果として、ハイブリッド車や電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド車 (PHV)、さらには2015年トヨタ自動車から発売さ

れたMIRAIが燃料電池車（FCV）として出現している。ただ現行の内燃機関車から次世代車への移行は遅々として進行していない。そのもっとも大きな理由は販売価格が高価になっているからだろう。

自動車メーカーも次世代自動車の価格低減は、イノベーションの実現により達成しようと努力はおこなっている。それでも普及しないのは、次世代自動車の本体価格を低下させるだけではないからだろう。例えば、電気自動車はすでに三菱自動車や日産自動車が、それぞれi-MiEVを2009年に、リーフを2010年に発売開始されているが、販売数は当初の予定とはかけ離れている。トヨタ自動車による燃料電池車の発売はどのようになるだろうか。その過程を自動車メーカーのプロダクト・イノベーションに依存していると普及は難しいだろう。インフラの一部としての自動車がどのような役割を果たすか考えていくべきだろう。

本論文では、すでに量産が始まっている電気自動車の現状を踏まえたうえで、その問題点を明確にし、たとえば燃料電池車が普及するのであればどのような要因が必要であるか、問題点を解消していくべきか、を考察していく。

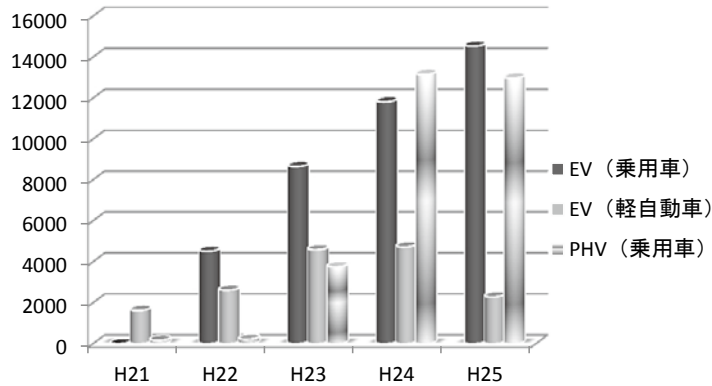
キーワード：オープン・イノベーション、次世代自動車、技術・インフラ戦略、水素社会

1. はじめに

自動車産業は自動車を製造するセットメーカーを頂点とし、部品供給を行う複数次のサプライヤーまですそ野が広い産業構造を構成している。その開発から生産までは擦り合わせ型（インテグラル型）のものづくりとされ、競争優位の源泉であるといわれている。この産業構造が100年以上も続いているが、それを支えているのはガソリンスタンドや地域の自動車販売店や整備工場などのエネルギーインフラや流通インフラでもある。消費者にとって、普段の自動車の使用のため、もしくは故障による修理のためのインフラが充実しているので、安心して自動車利用が促進されてきた。このように自動車産業は、製造面だけでなく、その利用環境も消費者の不安をできる限り抑えた産業育成を実現できた。

自動車はガソリンを動力源としているが、石油依存は社会的リスクであり、環境面からもその低減を実現していかなければならない。そのようななか、環境に配慮する自動車づくりが進められている。それらはハイブリッド車や電気自動車（EV）、プラグインハイブリッド車（PHV）、さらには燃料電池車（FCV）などの次世代自動車である。これら次世代自動車の普及は容易には進まないだろう。ガソリン自動車は先にも述べたとおり、利用する環境がしっかり整備されている。それに対し、例えば電気自動車は、充電スタンドも十分になく、航続距離がガソリン自動車に比べてかなり短い。燃料電池車は水素を動力源とするが、水素ステーションを建設するためには、ガソリンスタンドの約5倍の費用がかかるといわれている。

次世代自動車の普及は社会的使命として捉えられるだろう。しかしその実現のためにはセットメーカーや自動車産業だけで解決できる問題ばかりではない。次章以降では次世代自動車普及要因をインフラなどの環境要因も含め追究する。そして従来の自動車産業では採用されなかったオープン・イノベーションなども活用した方策を明示する。



(一般社団法人次世代自動車振興センターHPより筆者作成)

図1 電気自動車国内販売台数

2. 電気自動車の普及と現状

2.1 電気自動車の普及状況

電気自動車が市場で販売され始めたのは i-MiEV やリーフであるが、その開発はすでに1980年代にはトヨタやホンダなどで行われていた。トヨタはRAV4EVを開発していたがその高価格のため、市販向けというより政府などの公的機関向けとしてのみであり、普及する状況ではなかった。しかし、プロダクト・イノベーションが進み、ガソリン車と比較するとまだまだ価格は高いが、市場で普及していくレベルに至った。平成21年から25年までの電気自動車（乗用車と軽自動車）の販売台数を、一般社団法人次世代自動車振興センター HP のデータより図1に示す。平成25年度、電気自動車（乗用車）、電気自動車（軽自動車）、プラグイン・ハイブリッド（乗用車）の販売台数はそれぞれ、14,532台、2,286台、12,972台と、前年増減比はそれぞれ、123%、48.4%、98.7%となっている。ちなみに一般社団法人日本自動車販売協会連合会によると平成25年の自動車販売数は5,369,407台である。平成25年の自動車販売数に占める電気自動車販売数の割合は0.6%である。この状況を鑑みると、電気自動車は普及しているが、社会的に認知されるような状況にはなっていない、一部の環境志向の高い消費者が購入する状況を脱していないのではないかと推測する。

2.2 電気自動車の販売価格と補助金額

電気自動車の販売価格は、ガソリン車と比較して価格が2倍もしくは、約1.5倍高くなる。それはリチウムイオン電池の価格による、といわれている。上記で販売数が伸びない理由の大

表1 平成27年度電気自動車価格，屋久島島民への補助金額

		i-MiEV X (三菱自動車)	ミニキャブ・ミーブ (三菱自動車)	リーフ X (日産自動車)	コムス (トヨタ車体)
車体本体価格 (税込)		2,839	2,451	3,159	821
補助金額	国	710	530	270	70
	鹿児島県	500	770	630	70
島民購入金額 (税込)		1,629	1,151	2,259	681

(鹿児島県庁 HP より筆者作成)

きな一つはその販売価格にあるだろう。そのため、国や地方自治体は電気自動車の購入に対して補助金を提供している。例として表1に電気自動車と鹿児島県の屋久島島民に対する補助金額について示す。

この金額には諸費用を含まないため、実際の購入では多少金額は高くなるが、屋久島の例では補助金を考慮すれば各電気自動車と同じレベルのガソリン車が購入できる。どちらを購入するかであるが、電気自動車のメリットであるCO₂フリーを実現したい、という気持ちがあれば、電気自動車を購入する可能性が高くなるのではないだろうか。市川、白城（2012）では、屋久島島民の生活スタイルから電気自動車普及の可能性を調査している。多くの屋久島島民は、遠くても往復30分以内で用件を済ますことができる。距離も20キロ以内圏内が活動範囲となる。そのため、ガソリン車と比較し電気自動車は一回のフル充電での走行距離は短い、それでも屋久島においては充分と考える。都市と比較して高額なガソリン代との対比で電気代を考えても、非常に経済的な乗り物であると理解する。また、屋久島の主な電力は豊富な水力からもたらされており、島内のほとんどの電力をまかなうことが可能である。ガソリンの供給に関しては、離島という地理的デメリットにより、本島のガソリン価格よりも約2割高い。われわれが試算した金額によると、ガソリン車の軽自動車の燃費が1kmあたり5～7円であるのに対し、電気自動車の燃費は1kmあたり3.25～4.06円前後となる¹。ガソリンを電気で代替することが可能になれば、島民の経済的負担も減少でき、さらにCO₂フリーならびにゼロエミッションの実現に大きく前進すると考える。

しかし、電気自動車が普及しない理由としては、上記で挙げた購入金額も含め以下に要因を示す。

- ・ガソリン車と比較して高額となる販売価格
- ・長い充電時間（急速充電で30分、通常のフル充電は約8時間）
- ・一回の充電に対する航続距離の短さ（100から150キロ）
- ・充電設備の不足
- ・電気自動車利用への理解不足

特に、電気自動車への理解不足は充電時間の長さ、航続距離の短さに起因するのではないだろうか。日経ものづくり（2011）「数字で見る現場 電気自動車（EV）市場の可能性」において2011年の時点でも、EV市場の拡大は76.4%が“期待できる”と評価している。それに対して問題点は、“充電インフラの不足”、“価格の高さ”、“航続距離の短さ”、“充電時間の長さ”が挙げられ、依然その問題点の解消は現時点でも明確となっていない。屋久島島内では車の利用は限られた距離であるので、まだその利用への理解は進むと考えていたが、遅々として普及していかないのが現状である。それに対し、都会などであれば1回あたりの走行距離は100キロを超えることも珍しくないもので、近距離の買い物等、使用環境が制限された状況でのみしか、電気自動車を購入、利用しようとするインセンティブは発生しないだろう。

鹿児島県内での電気自動車導入補助金交付実績（H21～H25年）を表2で示す。増えてはいるが、屋久島の環境などを考慮しても電気自動車への理解を深める必要があるだろう。

1 三菱自動車のHPより、1回の充電は16kWh、冷暖房使用時の走行距離が約100km。1kWhあたりの電気代を20.34円で計算する。深夜電力（1kWhあたりの電気代を6.74円）だと1kWhあたりの電気代は1.07～1.34円となる。

表2 鹿児島県内の電気自動車販売実績台数

年度	H21	H22	H23	H24	H25	合計
台数	23	76	142	384	342	967

(一般社団法人次世代自動車振興センター HP より筆者作成)

3. 各地における電気自動車普及サイト

上記の屋久島では、世界自然遺産として登録されていることからゼロエミッション、CO₂フリーをめざす一環として電気自動車の導入、促進を目指している。これに関しては日本国内外の複数の自治体が同様の施策を実施し、電気自動車の普及を目指している。ここでいくつかの例を挙げる。

3.1 神奈川県における普及政策

神奈川県では“かながわ次世代自動車普及推進協議会”を設置し、次世代自動車の県内普及を目指している。その中では理想的な社会形成を目指す取り組みなども行われており、その先進的な目標を設定している。そのHP上では、同協議会の設置の目的を以下のように述べている。

「低炭素・省エネ型社会の実現に向けたグローバルな関心の高まりから、燃料電池自動車（FCV）や、電気自動車（EV）等の次世代自動車の早期普及が求められており、国際的な競争も激化しています。

自動車産業及び関連産業は、これまで高い技術力を背景に、地域の経済や雇用を牽引する産業としての役割を果たしてきましたが、今後ともその役割を果たし続けるために、次世代自動車の市場を急速に拡大していく必要があります。

そこで、技術開発、インフラ整備、普及の加速化等の課題について、産業界と行政が認識を共有し、連携した取組を効果的に推進していくために、かながわ次世代自動車普及推進協議会を設置します。」

このことは次世代自動車の普及は、セットメーカーのみでは実現が困難であることを示している。ただ、次世代自動車が普及することで、自動車産業やその関連産業への経済波及効果を期待し、結果自治体への経済効果を目的とするのだろう。自動車産業は雇用など裾野が広い代表的な産業であり、かつ次世代自動車によってCO₂削減、NOx削減が実現できれば環境への負荷も削減でき、この取組みは非常に効果があるだろう。

3.2 長崎県における普及政策

長崎県は平成21年度から市販化される電気自動車やプラグインハイブリッド自動車の本格普及に向けた実証実験のためのモデル事業である「EV・PHVタウン」の実施地域として選ばれた。地域資源を活用した電気自動車の導入事例を創出することで、観光振興など地域活性化に貢献できるようにする。この例では屋久島同様、島嶼地域、長崎では五島列島などでのレンタ

カーなどの普及を含めて導入数を増加させようとしている。当時の目標値は2013年前後に、県内500台の普及を目指すということだった。一般社団法人次世代自動車振興センターによる長崎県内の平成22年度から25年度の電気自動車導入補助金交付実績は716台ということなので、目標の2倍の台数が長崎県内では走行している。また、観光策と密接に電気自動車の利用を結びつけることで、利用者への理解促進も目的の一つとしている。

3.3 豊田市における普及政策

豊田市はトヨタ自動車のおひざ元であり、次世代自動車普及に関しては様々な取り組みを実施している。それを主に担うのは、豊田市低炭素社会システム実証推進協議会である。その目的は、国内外に普及する地方都市型低炭素社会システムの構築である。トヨタ自動車のみならず、インフラ企業、小売業、住宅メーカー、重電関連企業、流通業など産学官の多岐にわたる組織が参画している。このことは幅広い実証を試みていることがうかがえる。実際、本協議会によって、「とよた ecoful town」を実証サイトとして運営し、水素ステーションやスマートモビリティパーク、スマートハウスの展示、さらには再生可能エネルギーを用いた植物工場への展開、なども行っている。また豊田市内の一部の地域では、再生可能エネルギー導入や各種省エネ/蓄エネ機器普及が進んだ10年後の家庭環境を想定するプロジェクトを実施している。次世代自動車を含む各種機器の電力授受パターンを HEMS (Home Energy Management System) により統合・制御し、生活者が無理なく、無駄なく、便利で楽しい高いエコライフを送れることを目標としている。

豊田市の事例では、生活インフラとしての次世代自動車の活用から、電力利用の最適化を目指すうえで家庭と企業、社会を循環する形でエネルギーの見える化を目指している。この取り組みを広範囲に展開することは今後の日本のみならず世界での課題になるだろう。次では海外の事例を示す。豊田市の事例を広げる観点から非常に参考になると考えられる。

3.4 スペイン・マラガ市実証実験

マラガ市役所内に充電施設(図2)と実験の説明を行うショールーム(図3)が展示されている。このショールームの一角の部屋にデータセンターがあり、そこでこの実験が行われることによるデータを集約しているとのことだった。その部屋は部外者の入室ができなかったが、その隣の部屋には、三菱重工などの実施機関がプロジェクトを実施するための部屋が設けられていた。

このプロジェクトの特徴は、①ICT(情報通信技術)を駆使し、②電気自動車と充電設備を管理する充電マネジメントを実現させ、③持続可能なスマートコミュニティの実現、を達成することにある。①と②については、図4にあるように、ショールーム内で各充電施設の電力状況、利用状況など(図5)を確認することがで



図2 電気自動車用充電設備



図3 実証実験ショールーム



図4 ショールーム内部

き、このデータは電気自動車のモニターでも確認できる。

このようにマラガ市の事例では、スペインの電力会社により発送電マネジメントを実施している。電気自動車に設置されたデータ管理用デバイスに蓄積される走行情報を通信会社が一元管理することで、各電気自動車ユーザーへ各充電スポットの空き状況などをリアルタイムで提供するシステムを構築している。このことは、③の持続的なスマートコミュニティの実現を意味し、電気自動車普及のデメリットである、充電に関する不安を取り除くことを期待する。このように既存の充電インフラと情報インフラを組み合わせることで、電気自動車普及のイノベーションを実行している。

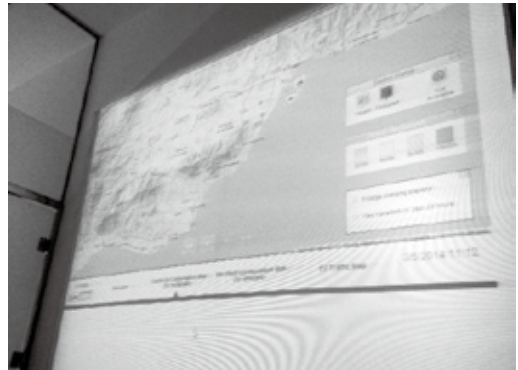


図5 各充電スポットの状況等

日本各地の実験サイトでは、これほどの大規模なシステムを実現するに至っていない。電気自動車普及には、単に購入させれば実現するものではない。先に述べたデメリットを解消する必要がある。その手段としてマラガ市の事例は明確な解となりうると理解される。このプロジェクトのスペイン側責任者である Director の Jaime Guerrero 氏の統率、管理能力はもちろんだが、Francisco de la Torre Prados マラガ市長の絶対的なイニシアティブによるところが大きいという。今回の NEDO とのプロジェクトの前年まで約5年間、ヨーロッパとの企業間の同様のプロジェクトを実施していたとのことである。マラガ市長は環境負荷を低下させるために、積極的な電気自動車の普及を目指し、積極的なトップ外交を行っていたそうである。そして今回の NEDO や日本企業が参加し、チャデモ方式による充電の採用に至っている。前回のプロジェクトはヨーロッパ主体であったためコンボ方式の充電であったが、充電性能を考慮すると技術的な格差でチャデモ方式が優位に立っているとのことであった。

また、本プロジェクトで利用されている電気自動車は訪問した時点では i-MiEV160 台である。その後、日産の LEAF40 台が追加され、計200台の電気自動車により実験が継続される。この電気自動車については、本プロジェクト5年間のリース契約になっているそうだ。その後は、

購入してもいいし、リース契約を終了してもいいとのことであった。電気自動車を利用するにあたって、各ユーザーにいくつかのメリットがある。一つめは、減税措置、二つめは駐車料金の無料と専用駐車場の利用、三つめは公共充電施設での電力利用の割引、である。電力の割引について、2013年6月は全面的に充電無料、10月までは10回/月電力まで充電無料、そして2014年2月からは6回/月まで充電無料となっている。徐々に受益者負担が明確になって来ているが、まずは利用してもらうことが優先であり、慣れてもらうためにも充電面でのメリットを設けているようだ。市内の急速充電スポットは7か所であり、近郊の町（MARBELLAとFUENGIROLA）2か所の計9か所となっている。マラガ市は島嶼ではなく、その経済的効果の計測が困難なところはあるかもしれないが、積極的な急速充電スポットの建設と利用者に対する啓もう活動や金銭的メリットを与えることで、電気自動車への理解を深め、普及を促進させる方針が非常に明確だと理解される。

4. オープン・イノベーションによる次世代自動車の普及

次世代自動車普及のカギは、単にプロダクト・イノベーションによる車単体の能力に依存するとはいえないと思われる。電気自動車がなかなか普及しないなか、トヨタ自動車が燃料電池車Miraiを販売開始したが、その普及にはセットメーカーのみで実現できないことは明白である。従来の内燃機関の自動車であれば、各自動車メーカーのイノベーションにより、デザインの嗜好、低燃費、低価格、などを実現し、消費者に訴求していけばよかった。ただ、電気自動車、燃料電池車、プラグインハイブリッド車など今後どれが自動車としてのメインストリームになるかどうかは消費者にとってその利用環境を受け入れられるかが重要だと理解する。これは電気自動車が普及しない要因、短い航続距離、長い充電時間などを解消しない限りは消費者が受け入れないことを意味するだろう。それでは燃料電池車が普及するかどうかは、電気自動車同様、燃料インフラが整備されることは必要不可欠だろう。そのうえで、価格が下がり、ガソリン車同様で購入できるかという点に到達するだろう。

ただ、その開発に関してはまだまだ不確実性が存在すると思われる。これまで自動車産業は擦り合わせ型（インテグラル型）といわれ、パソコンなどのモジュール型と異なり、部品などが業界で標準化されずに、各メーカー、各車種で異なるため、その都度セットメーカーとサプライヤーで細かく打ち合わせし、完成車へとできあがっていく（Clark and Fujimoto1990, 藤本2000, 藤本2001a, 藤本2001b, 延岡2006）。

電気自動車に関しては、これまでの自動車産業以外でも製造にかかわっている。例えばアメリカのTesla社が代表的である。Tesla社は、ゼネラルモーターとトヨタ自動車の合弁工場であったNUMMIを買取り、電気自動車のみ生産している専門電気自動車メーカーである。2012年にModel Sを発売し、世界で6万台近くを販売している（日経ものづくり2015b）。販売金額は約1000万円するなか、アメリカなどの富裕層でかつ環境意識の高い消費者の層をつかんだといえるだろう。しかしこのModel Sも航続距離は従来のガソリン車には劣る。そのため2017年にコンパクトセダンの「Model 3」を発売する。内蔵するリチウムの性能を高め、航続距離を約400kmへと伸ばすとみられている（日経ものづくり2015b）。

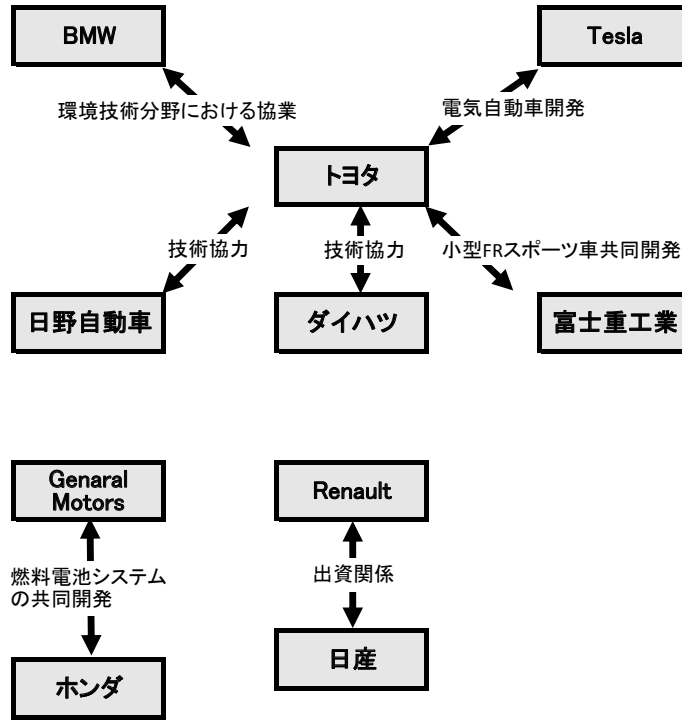
このように、これまで自動車産業に属していなかった企業でも、電気自動車の製造は可能に

なっている。その理由は、電気自動車の構造にあるが、必要なのはモーターと電池である。内燃機関の自動車の部品点数が2万～3万点といわれるのに対し、電気自動車の部品点数はその1割、2千～3千といわれている。そのため、インテグラル型といわれていた自動車産業がモジュール型へと部品の組み合わせで実現できるようになり、パラダイムシフトにより多くの企業が参加できるようになった。青木、安藤（2006）によると、「優れたモジュールを創造するには、市場に迅速に対応する柔軟性を持ち、急速な技術革新を活用するだけでなく、そのモジュールがアーキテクチャに適合するようにしなければならない」という。そうすると電気自動車はパソコンのような単純なモジュール型製品とは断言できず、燃料電池車と同様、インフラの可否にその成否が関わることも明確となる。

燃料電池車は電気自動車よりも複雑であり、そのため開発にかかる費用が多額になるといわれている。そのため、すべてのセットメーカーが軸を複数おいて開発をする余裕はないだろう。そうすると、日産や三菱自動車は電気自動車を、ホンダは燃料電池車を、マツダはクリーンディーゼル、などと選択と集中を取らなくてはならない。日本の自動車メーカーで多方位戦略をとれるのはトヨタ自動車だけではないだろうか。ただ単一の技術戦略では、外れたときの保険がきかないため対策を取る必要がある。それがオープン・イノベーションにより、自社の技術を他のメーカーに提供したり、逆に提供されたりすることが必要不可欠になるだろう²。オープン・イノベーションはIT業界で広く利用され、自社で持たない技術は外部から得よう積極的拡大戦略として使われている。図6では自動車メーカー間での技術提携がどのように行われているか図示する。資本提携があれば、その関係性は比較的強固になるが、単なる技術提携だけでは今後の方針を決定するとは言い難い。ただ、各自動車メーカーがどのように提携を結んでいるかは、今後の主力技術がどうなるかを推測するのはわかりやすくなるといえる。

Chesbrough（2007）によると、イノベーションのプロセスのオープン化を効果的に行うためには、「自社のビジネスモデルを自社のイノベーション・プロセスと結び付けなければならない。通常、大規模企業には強力なビジネスモデルがある。しかし、大規模企業には小規模企業にはないリスクがある。成功したビジネスモデルを持つ大規模企業は、オープン・イノベーションの機会追及のために自らを変革することが難しいという点だ。一方、小規模企業は、オープン・イノベーションの機会追求のための強力なビジネスモデルと経営資源を欠いており、大規模な競合他社に模倣されるリスクもある」と述べている。ただ次世代自動車の分野では、これまでのガソリン車の販売戦略のように単純にセットメーカーの意向に左右されるとはいえない。従来の自動車であれば、主な競争優位は自動車の心臓部であるエンジンを作る企業＝“セットメーカー”がその源泉であったといえる。しかし、次世代自動車の場合は、すべてにおいて電池が技術的な核になるといえる。そのため、次世代自動車においてはセットメーカーがどのように電池メーカーと協業するか、さらには充電設備を含めて、インフラをどのように整備できるかが大きな競争要因になるだろう。Chesbrough（2007）が指摘するように、競

2 トヨタは2015年1月、燃料電池車普及に向けて、関連する約5680件の特許の実施権を無償で提供すると発表した。他社がこれらの特許を利用して燃料電池車を製造・販売する際には、市場導入初期の特許実施権を無償にする（日経ものづくり2015a）。



(日本自動車工業会HPより筆者作成)

図6 自動車メーカーの技術提携関係

争優位の源泉がどこにあるか次第で、大企業が小規模企業にとって代わられる可能性もありうるだろう (Christensen and Anthony2003, Christensen2005)。

5. 代替される技術と普及阻害要因

従来の自動車産業はセットメーカーとサプライヤーを系列として垂直統合で結びつけ、ピラミッド型のすそ野が広い産業構造である。そのメリットは系列ごとでの共通言語で仕事が終わりで、低い調整コストでいい点である。詳細な契約書を交わすことなく、暗黙知でコミュニケーションを取ることができる、つまり阿吽の呼吸が成立している。これはクローズド・イノベーションにより技術を囲いこみ、競争優位を形成することができた。それに対して、オープン・イノベーションでは自ら手の内を見せる必要があり、これまでの自動車産業では起こり得なかった形である。また水平分業により、従来の付き合いのなかった企業とも仕事をするようになる。新しい産業に属する企業と接することは、これまでの常識を覆されることを意味する。自動車産業においても情報活用は必要不可欠だが、その分野に長けている情報産業に属する企業の常識と自動車産業の常識はまったく違うだろう。Googleが自動運転を実現するイノベーションを模索している影響は、従来の自動車メーカーにとっては脅威となるだろう。ただGoogleにとってはオープン・イノベーションは得意分野であり、次々と要素技術を得て、結びつけるためには異業種の企業と提携していくだろう。オープン・イノベーションはクローズド・イノベーションと比較して、差別化を実現しづらい環境と考えるかもしれない。しかし真

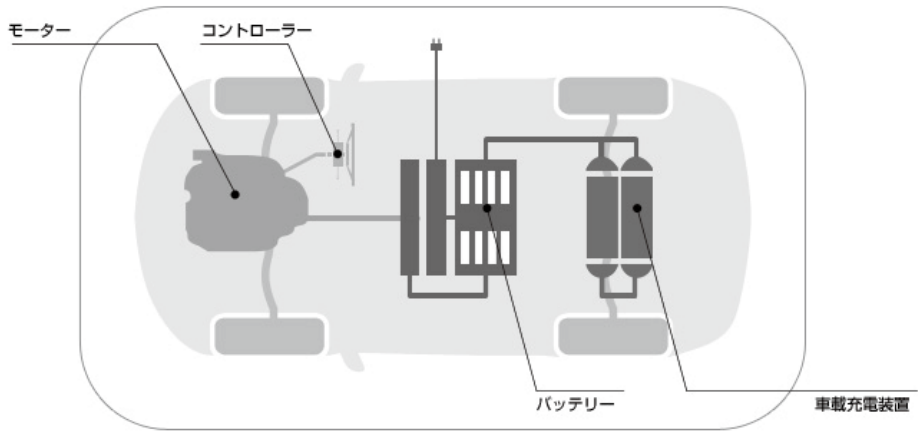
似されにくい技術を保有する最後の方法は、補完的な技術や他の資産と組み合わせることによって簡単には真似できないものにする、もしくはたとえ真似できたとしても他社によっては経済的に価値のないものにしてしまう方法である（一橋大学イノベーション研究センター編2005）。

そしてオープン・イノベーションを活用していく重要な要因のひとつは標準化の達成である。複数の企業がもつ技術要素を組み合わせることで、デファクト・スタンダードを作り出す。そして業界標準を実現することで、市場の占有がもたらされる。この代表的な例としては、家庭用VTRにおけるソニー陣営のベータ規格 vs パナソニック陣営のVHS規格、その後のDVD規格におけるブルーレイ vs HD DVDなどが有名である。これまでのデファクト・スタンダードを勝ち取った要因は単なる技術的要素ではない。前者であればその録画時間であり、後者であればDVDとして供給してくれる配給会社の数であった。土井（2001）は、現代の標準化プロセスについて、「今日の先端企業では、新技術が「累積的」で、しかも複数技術の融合という形をとり、また企業の技術力が拮抗し1社単独の開発が困難になり、複数企業がそれぞれの技術、製品の連結化、あるいは共同開発を行っているが、このことが規格調整の問題をいっそう浮上させた。その結果、規格・標準が技術開発において重要な課題として認識された。しかし他方で、技術進歩は規格競争・標準化を弱める方向にも働く可能性を持つ。なぜなら、異なる規格でも相互接続できる「相互運用性」（interoperability）技術の開発が進むからである」と述べている。このことを次世代自動車の分野に当てはめると、その技術要因だけでなく、そのまわりを成立させる要因、例としてインフラ設備が該当するだろう。また土井（2001）は、「経済のグローバル化に伴って、各国に技術規格（公的標準）の相違が大きな障害になり、また自国の規格を世界の規格に推進する産業政策が国際摩擦を誘引する」、と述べているが、この例としては電気自動車の充電方法の日本式のチャデモ方式か、欧米のコンボ方式による違いになるだろう。この問題を解決するためにはかなりの労力が必要となる。根本的な技術的違いはないようだが、アタッチメントの違いだけだったとしても、それによる経済的損失、さらにはデファクト・スタンダードを勝ち取れなかった損失は多大なものになるだろう。そのためにもオープン・イノベーションによる連携を形成し、互換性を実現するなど環境要因による問題が発生しないよう努めることも重要な標準化のひとつとなるだろう。

6. 次世代自動車の技術要因と普及モデル

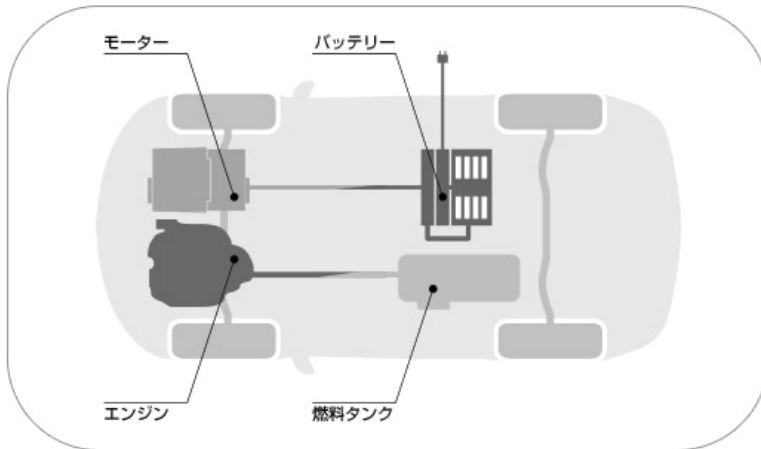
次世代自動車に関して、電気自動車やプラグインハイブリッド車（PHV）³、燃料電池車はどのように構造が異なるか。それぞれ図7～9で各自動車の構造を図示する。電気自動車はバッテリー（蓄電池）でためた電力によりモーターを使い、車を駆動させる。バッテリーの種類としては、鉛、ニッケル水素、リチウムイオンなどが実用化されているが、航続距離を伸ばすために、主に使用されているのはリチウムイオン電池である。電池自動車は構造上単純なため、垂直統合型の生産工程ではなくても、これまで自動車産業に携わっていない企業でも新規参入が可能である。これまでも電動カートや電動自転車など市場に普及している電気自動車は数多く、そのため擦り合わせ型であった自動車製造が電気自動車になるとモジュール型製品になる

3 PHVやPHEVはガソリンを利用するため、従来の内燃機関の自動車と同様の範疇とする。



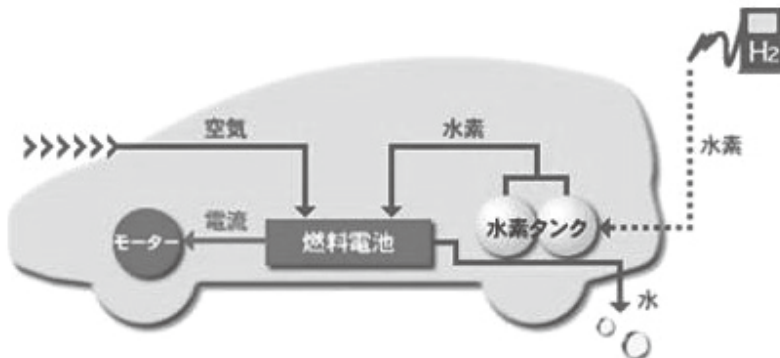
出典: 経済産業省HP「EV・PHV情報プラットフォーム」

図7 電気自動車 (EV) の構造



出典: 経済産業省HP「EV・PHV情報プラットフォーム」

図8 プラグインハイブリッド (PHV) の構造



出典: 一般財団法人日本自動車研究所HP「水素・燃料電池実証プロジェクト」

図9 燃料電池車 (FCV) の構造

といわれるのはそのためである。

プラグインハイブリッド車は、その名の通りこれまでの内燃機関と電気自動車を組み合わせた仕組みである。始動時はバッテリーを利用し、安定走行時にはガソリンを利用してエンジンで走行する電気自動車と内燃機関の長所を取り入れた自動車である。あくまでもプラグインハイブリッド車は、電気自動車の不安要素である航続距離不足を補うためにエンジンを利用している。電気自動車もプラグインハイブリッド車も充電は一般家庭用電源を使うことが可能であり、従来の電力インフラを利用する点ではそのメリットを享受できるだろう。しかし、一般道路で急速充電器を含め充電インフラが充実していないため、長距離での走行についてはまだ難しいだろう。さらに電池の性能が十分でないため、航続距離も内燃機関の自動車と比較すると不十分であり、充電インフラの不足を含めその不安要素は大きい。

燃料電池車は、燃料電池で水素と酸素の化学反応によって発電した電気エネルギーを使って、モーターを回して走行する。一般財団法人日本自動車研究所 HP「水素・燃料電池実証プロジェクト」によると、燃料電池車のメリットとして5つ挙げている。

1. 有害な排出ガスがゼロ、または少ない

走行時に発生するのは水蒸気のみである⁴。大気汚染の原因となる二酸化炭素 (CO₂) や窒素酸化物 (NO_x)、炭化水素 (HC)、一酸化炭素 (CO)、浮遊粒子状物質 (PM) はまったく排出されない。また、ベンゼンやアルデヒドなどの有害大気汚染物質の排出もない。

2. エネルギー効率が低い

現時点で、ガソリン内燃機関自動車のエネルギー効率 (15~20%) と比較して、2倍程度 (30%以上) と非常に高いエネルギー効率を実現している。燃料電池自動車は、低出力域でも高効率を維持できるのが特長である。

3. 多様な燃料・エネルギーが利用可能

天然ガスやエタノールなど、石油以外の多様な燃料が利用可能なため、将来の石油枯渇問題にも十分に対応できる。また、太陽光やバイオマスなど、クリーンで再生可能なエネルギーを利用して水素を製造することにより、環境への負荷を軽減できる。

4. 騒音が少ない

燃料電池は電気化学反応によって発電するため、内燃機関自動車と比べて騒音が低減できる。車内の快適さはもちろん、都市全体の騒音対策にも効果が期待できる。

5. 充電が不要

長時間の充電が必要な電気自動車と違い、ガソリン内燃機関自動車と同様に短時間の燃料充填が可能である。また、1回の充填による走行距離も電気自動車よりも長く、内燃機関自動車と同程度になると考えられる。

しかしデメリットとしては、1. 充填設備としての水素ステーションの不足、2. 水素タンクや電池などの部品が高価格なため、本体価格が同程度のガソリン車の約3倍となる点である。これらのデメリットは、電気自動車と同様であり、本体価格の低減はこれからのセット

4 水素を直接燃料として使用する直接水素方式のFCVの場合

メーカーによるプロダクト・イノベーションによるであろう。しかし充填インフラについては、たとえば水素ステーションなどは新しく設備を必要とし、ガソリンスタンドが新設で約1億円の初期費用がかかるといわれているのに対し、水素ステーションは約5億円の設置費用がかかるといわれている。そのため、1回あたりの充填費用がどの程度となるのかは影響するだろうが、まずは初期費用を投資できるインフラ産業の育成が必要不可欠となるだろう。電力はすでに社会インフラとして利用できる環境にあるので、電気自動車の充電ステーションは導入しやすいだろう。水素ステーションに関しては、水素をどのように管理するかを含め、その課題は非常に大きいと感じる。そのため、燃料電池車の普及については、水素を社会インフラとしてどのように位置付けていくかが重要な要素であると考えられる。

7. インフラ産業が果たす役割

次世代自動車普及のためには1. セットメーカーが果たすプロダクト・イノベーションによる性能向上と原価低減、2. 充電(填)インフラの充実が最低限必要であると理解する。それにより、消費者はこれまでの内燃機関の自動車と遜色なく利用できる環境を形成し、次世代自動車の購入、普及へとつながっていくだろう。イノベーションが実現するためには製品を取り巻く環境要因の充実は必要不可欠であるが、次世代自動車に関しては、電池の性能向上と水素社会の実現となると考えられる。内燃機関ではエンジンがその競争優位を形成する要因になると述べたが、電気自動車では電池がそれに代わるであろう。ただ、セットメーカーは電池メーカーと協業、提携する形を取り、ガソリン車が電気自動車に取って代われようと、その技術優位を維持しようとしている。その例として、セットメーカーは電池メーカーと合弁企業を作るなど対策を取っている。また各セットメーカーはその主要構成部品である電池の性能向上をすることで、また技術優位を築くことも可能となる。トヨタ自動車やホンダ自動車であればパナソニックと協業し、日産やGM、DaimlerであればLG Chem社と、他のセットメーカーは複数の電池メーカーとの協力により次世代自動車の開発を進めている(日経ものづくり2015b)。

水素社会の形成については、岩谷産業やJX日鉱日石エネルギー、東京ガス、東邦ガスなどのインフラ企業が構築の役割を担っていくだろう(日本経済産業新聞「マンスリー編集特集記事 水素社会、五輪で弾み」)。また九州大学の佐々木教授は日本経済新聞経済教室(2015年4月20日)において、水素社会への移行イメージとして、{炭素循環社会(内燃機関+化石燃料)}

⇒ {水素利用社会(燃料電池+化石燃料)} ⇒ {純水素社会(燃料電池+CO₂フリー水素)} と予想している。水素は特定資源に依存せず、安定調達可能な物質であり、純水素社会実現のためには再生可能エネルギーを利用し水素を作りだすなど、今後の日本でのエネルギー政策への転換も視野に入れて実施できるであろう。

8. おわりに

トヨタ自動車は次世代自動車としての最右翼は燃料電池車であると発表している。しかし同社でITを統括する友山茂樹専務役員は『クルマの最終的な進化形は、プラグインハイブリッドと電気自動車になる』(日本経済産業新聞2015年9月18日)と述べている。本論文で電気自動車やプラグインハイブリッド車、燃料電池車の構造を比較したが、共通要素は電池とモー

ターである。水素社会の実現にはかなりの時間が必要となるため、現実的にはそのようは発言になったかもしれないが、自動車産業というくくりではなく、日本もしくは世界を見渡した戦略として考える際には、燃料電池車の普及、そして水素社会の実現がもっとも望ましいかもしれない。環境問題は今後も避けて通ることができず、原油の埋蔵量の限界も考慮すると、より困難ではあるが、ゼロエミッションの達成が可能となる純水素社会が望ましい形になると考えられる。経済産業省が2015年6月に発表した「水素・燃料電池戦略ロードマップ」では、日本における水素・燃料電池関連の機器・インフラ産業の市場規模は2030年には約1兆円であるものが、2050年には約8兆円になると試算している。水素社会実現の意義として1. 省エネルギー 2. エネルギーセキュリティ 3. 環境負荷低減 4. 産業振興・地域活性化 を挙げている。この実現に向けた方向性を段階的に、

フェーズ1：水素利用の飛躍的拡大として、燃料電池自動車の大きな普及から世界に先行する水素・燃料電池分野の世界市場獲得

フェーズ2：水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立として、自然エネルギーなども含め水素を作り出すシステムを構築し、新たな2次エネルギー構造の確立

フェーズ3：トータルでのCO₂フリー水素供給システムとして、水素製造に二酸化炭素回収・貯蔵技術を組み合わせ、再生エネルギー由来水素をフル活用し、トータルでのゼロエミッション水素供給システムの確立

として挙げている。

以上のことは、これから30年、50年先の社会をあらゆる側面を考慮したうえでどのようにすべきか、という観点から作成されている。日本は資源が乏しい国として、これまで不安定なエネルギー政策に依存しなければならなかったが、このような不利な局面を転換できるのもこれまでの日本が築いてきた基礎にもとづくであろう。容易ではないが、産官学が協力し、問題をクリアし、困難を打開していくよう、近視眼ではなく俯瞰しよりよい純水素社会を目指していく必要がある。

参考文献

- 青木昌彦 安藤晴彦 (2006) 『モジュール化 新しい産業アーキテクチャの本質』 東洋経済新報社刊
- 市川英孝 白城伸彦 (2012) 屋久島での電気自動車普及の可能性—電気自動車もたらす新ライフスタイル—, 『経済学論集』, 鹿児島大学法文学部, 第78号, 2012年3月, pp.101-116
- 市川英孝 (2014) 「島嶼地域におけるEV(電気自動車)普及に関する一考察—スペイン・マラガ市の事例を参考に—」, 奄美ニューズレター 第38号 2014年3月 pp.15-23
- 鹿児島県庁 HP 「屋久島電気自動車普及促進支援事業」 (<https://www.pref.kagoshima.jp>)
- かながわ次世代自動車普及推進協議会 HP (<http://www.pref.kanagawa.jp/>)
- Kim B. Clark and Takahiro Fujimoto (1990) “The Power of Product Integrity”, *Harvard Business Review*, November-December
- 九州電力株式会社鹿児島支店 (1998) 『かごしまの電力史』 平成10年6月
- Clayton M. Christensen (2005) 『イノベーションのジレンマ』 玉田俊平太監修 伊豆原弓訳

- Harvard Business Press 刊（原著名：『The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail』, Harvard Business School Press）
- Clayton M. Christensen and Scott D. Anthony (2003) “Performance, Convenience, Price: What's Your Brand About?”, *Strategy & Innovation*, September-October pp.1-5
- 経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」2015年6月23日
- 経済産業省 HP「EV・PHV 情報プラットフォーム」(<http://www.meti.go.jp/policy/automobile/evphv/what/ev.html>)
- 一般社団法人次世代自動車振興センター HP (<http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai3.html>)
- 土井教之編著 (2001)『技術標準と競争』日本経済評論社刊
- 平成25年度版「統計やくしま」(<http://www.town.yakushima.kagoshima.jp/info-public/3546/>)
- 豊田市低炭素社会システム実証推進協議会 HP (<http://www.teitanso-toyota-city.com/>)
- 長崎県 EV・PHV タウン推進事業 HP (<http://www.pref.nagasaki.jp/>)
- 日経ものづくり (2011)「数字で見る現場 電気自動車 (EV) 市場の可能性」2011年1月 pp.77-80
- 日経ものづくり (2015a)「ニュースの深層 トヨタがFCV 特許を無償提供する理由 環境ブランド No.1転落が背中押す」2015年2月 pp.28-30
- 日経ものづくり (2015b)「気がつけば世界はEV」2015年5月 pp.42-71
- 日本経済産業新聞「サーチライト IoT でつながるクルマ」2015年9月18日
- 日本経済産業新聞「マンスリー編集特集記事 水素社会, 五輪で弾み」2015年4月28日
- 日本経済新聞「経済教室 水素社会への展望と課題 (上) 官民でインフラ構築必要 九州大学主幹教授 佐々木一成」2015年4月20日
- 日本自動車工業会 HP (<http://jama.or.jp>)
- 一般財団法人日本自動車研究所 HP「水素・燃料電池実証プロジェクト」(http://www.jari.or.jp/Portals/0/jhfc/beginner/about_fcv/)
- 一般社団法人日本自動車販売協会連合会 HP (<http://www.jada.or.jp/contents/data/type/>)
- 延岡健太郎 (2006)『MOT[技術経営]入門』日本経済新聞社
- 一橋大学イノベーション研究センター編 (2005)『イノベーション・マネジメント入門』日本経済新聞出版社刊
- 藤本隆宏 (2001a)『生産マネジメント入門 I』日本経済新聞社
- 藤本隆宏 (2001b)『生産マネジメント入門 II』日本経済新聞社
- 藤本隆宏 (2000)“20世紀の日本型生産システム” 一橋ビジネスレビュー 2000 WIN
- Henry Chesbrough (2007)『オープンビジネスモデル』栗林潔訳 翔泳社刊 (原題『Open Business Models : How to Thrive in the New Innovation Landscape』, Harvard Business School Press)

原稿受領日：平成27年10月2日；Received 2 October 2015

掲載受理日：平成27年11月9日；Accepted 9 November 2015