

電気自動車市場の特徴と将来展望

— テスラ・モーターズ社を中心として —

Exploring the features and the future view of EV market

— Tracing Tesla Motors —

趙 偉

Wei ZHAO

寺 澤 朝 子

Asako TERAZAWA

1. はじめに

1.1 本研究ノートの構成

本研究は、電気自動車市場で顕著な活躍をしているテスラ・モーターズ社を事例として、同社のイノベーションについて分析することを目的としている。

電気自動車市場は、ここ数十年間、支配的であった自動車業界の地図を大きく塗り替える可能性を持っている。たとえば、電気自動車を構成する部品の種類や必要な部品点数、部品間の構成すなわちアーキテクチャはこれまでのガソリンで駆動する自動車とは大きく異なる。当然、それにとまって必要な技術革新や製品革新も異なってくるため、必要とされる専門分野や技術者も異なってくる。また、製造工程についても抜本的に簡素化できる可能性もあり、販売についても、その後必要なメンテナンス等が大きく変われば、当然販売の仕方やアフターサービスのあり方も変化する。

いわゆるイノベティブな変化が、これまでも生じ、また今後も起こる可能性の高い電気自動車市場であるが、そのイノベーションの中味については、市場自体が発展途上のため、まだまだ研究対象として詳細に吟味されているとはいえない。そ

ここで、本研究では、テスラ・モーターズ社に焦点を当て、電気自動車の何がどのようにイノベティブであるのかを、これまでのイノベーションの議論から明らかにし、実態調査を試みることによって、電気自動車市場に関する新たな視角を提示したいと考えている。

本研究ノートでは、まずイノベーションとは何かを概説し、電気自動車がどのようなイノベーションを実現する可能性があるのかについて、考察してみたい。また、電気自動車の歴史をあらためて振り返り、現在の電気自動車がどのような特徴を持っているのか、ガソリン車との性能比較を通じて、その概要をつかんでおきたいと考えている。さらに、電気自動車市場の概況を説明したうえで、テスラ・モーターズという企業がなぜ時代の寵児として注目されているのかを考えてみたい。

本研究ノートにおける研究成果は、2年間にわたる研究プロジェクトの1年目の成果をまとめたものである。

1.2 本研究におけるイノベーションの定義とイノベーション・プロセス

イノベーションを最初に体系づけて理論化したのは、シュンペーターである (Schumpeter, 1934)。彼はイノベーションの定義を「新しいものを生産する、あるいは既存のものを新しい方法で生産することである」としている。また、この定義をよりイメージしやすいように、以下の5項目に分けて説明している。第一に、新しい財や財の新しい品質の開発である (プロダクト・イノベーション)。第二に、新しい生産方法と、財の商業的取扱いに関する新しい方法の開発である (プロセス・イノベーション)。第三に、新しい販路の開拓である (マーケット・イノベーション)。第四に、原材料ないし半製品の新しい供給源の獲得である (マテリアル・イノベーション)。最後が、新しい組織の実現である (システム・イノベーション)。シュンペーターは、この5つのあらたな組み合わせもイノベーションであるとしている。彼のイノベーションの定義は、このようになりかなり広がりを持つ現象であるが、さらに重要な点は、組み合わせが新しければすべてが新しい必要はなく、「新結合」の概念を強調し、イノベーションは、長期的な経済発展の原動力になると主張した。

本研究では、このシュンペーターによる広義のイノベーションを企業マネジメントの対象として捉えていくため、近能と高井 (2010) の定義に基づいて考察していきたいと考えている。彼らの定義は、次のようになる。

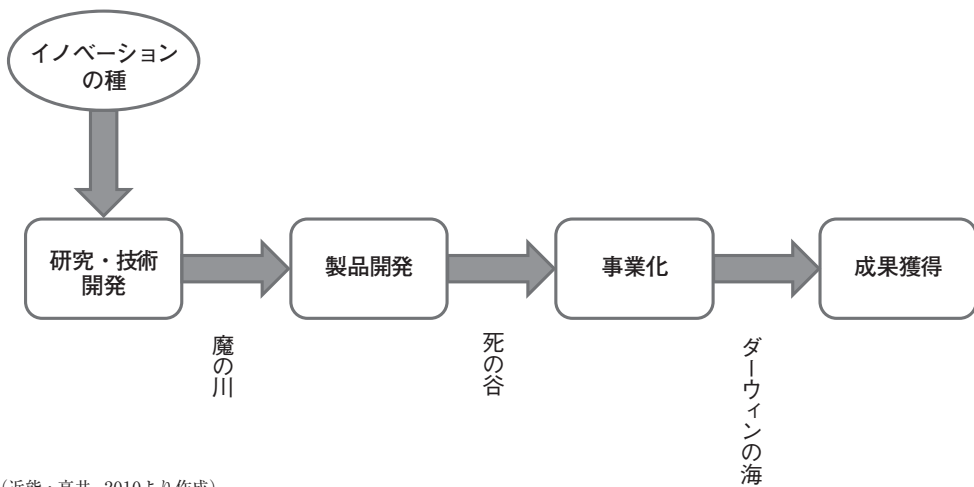
「新しい製品やサービス、新しい生産や流通の手段・方法、およびそれらを実現可能にする新しい技術のうちで、顧客にこれまでにない新しい価値をもたらして新規需要を創出するもの」

この定義の特徴は、イノベーションをあくまでアウトプットとして捉えるため、アウトプットを生み出すプロセスについては、「イノベーション・プロセス」と呼ぶ。また、新しいビジネスの仕組みの創出や、新しい組織・企業間システムの創出についても定義から除外し、こうしたシステム・イノベーションは、「ビジネスモデルのマネジメント」と呼ぶこととする。さらに、イノベーションの成果としての経済的成果の獲得はイノベーションの要件とせず、マネジメントにからめて検討していきたい。

企業におけるイノベーションのプロセスは、大企業にしろ立ち上がったばかりのベンチャー企業にしろ、単純化していえば次のような三つのプロセスを経て進んでいく。まず、市場のニーズや技術進歩によって生じたイノベティブなアイデアに関する「研究・技術開発活動」がある。さらに、実際に市場で販売するための、具体的な新しい製品を生み出していく「製品開発活動」がある。最後に、開発された新しい製品を市場に投入し、その市場を開拓・拡大し、収益を安定的に確保するための仕組みづくりを行っていく「事業化活動」がある。このプロセスを経てはじめて、企業はイノベーションの成果を獲得し、利益や成長率などの高いパフォーマンスを発揮することができる。こうしたイノベーション・プロセスをどのようにマネジメントするかは、どの企業にとっても重要な課題であろう。

また、イノベーション・プロセスには、三つの関門、すなわち「魔の川」、「死の谷」、「ダーウィンの海」があると言われている。ここでは、近能と高井(2010)にしたがひ、イノベーション・プロセスと三つの関門の関係をとりあげよう。

図1 イノベーション・プロセスと三つの関門



(近能・高井, 2010より作成)

魔の川とは、研究・技術開発段階から製品開発段階へ移行する際に生じる大きな困難のことである。優れた新技術を開発することができても、それを有効活用して新しい製品の開発に結び付けられなければ、次の製品開発活動へ進むことはできない。次に死の谷とは、製品開発段階から事業化段階へ移行する際に生じる大きな困難である。たとえば、せっかく開発した新しい製品が顧客に受け入れられなかったとすれば、次の事業化活動に進むことはできない。さらに、ダーウィンの海とは、事業化段階を無事に突破して成果獲得にいたるまでの間に生じる大きな困難のことを指す。すなわち、魔の川と死の谷の障壁を突破し、無事に市場を立ち上げて、市場を拡大することに成功したとしても、その後に続々と参入してくる競合他社との厳しい競争に勝ち残り、収益を安定的に確保するための仕組みを作り上げることができなければ、成果を獲得することはできないのである。

本研究では、電気自動車市場の成長・拡大がどの程度進んでいるのか、また、分析対象であるテスラ・モーターズ社が、魔の川や死の谷を越えているのか、さらに、ダーウィンの海を勝ち残っているのかについても考えてみたい。

1.3 イノベーション研究の概要とテスラ・モーターズ社の位置づけ

ここでは、代表的なイノベーション研究の概略をいくつか記述した上で、テスラ・モーターズ社の位置づけをとらえてみたい。アバナシーとアターバックは、イノベーションを「製品イノベーション」と「工程イノベーション」に分けて捉えている。製品イノベーションとは、製品そのものの技術進歩をもたらすイノベーションであり、工程イノベーションとは、製品を生産するための工程そのものの技術進歩をもたらすイノベーションである。製品イノベーションと工程イノベーションの発生頻度には、共通したパターンがあり、それは、アバナシー・アターバックモデルとしてよく知られている。彼らの主張において、重要なポイントは、ドミナント・デザイン、すなわち当該産業において確立される、その後の技術的基準となる製品デザインの登場である。ドミナント・デザインの登場によって、工程イノベーションが急速化することが分かっている。たとえば、自動車における「T型フォード」や携帯用デジタル音楽プレーヤーの「iPod」などが代表的なドミナント・デザインである。

いったん誕生したイノベーションが、その後相対的に小さい、連続的・累積的なイノベーションの積み重ねによって進化を遂げていく様相を示すアバナシー・アターバックモデルに対して、イノベーションには、より画期的、非連続的なイノベーションもある。こうした革新性の程度が相対的に大きく、既存の製品には類を見ないようなタイプの画期的・非連続的・急進的なイノベーションは、ラディカル・イノベーションと呼ばれる。対して、先述した連続的・累積的なイノベーションは、インクリメンタル・イノベーションと呼ばれて区別されている。

旧技術から新技術への移行は、アバナシー・アターバックモデルに基づき、古いドミナント・デザインが「脱成熟」し、新しいドミナント・デザインに切り替わると表現することもできる。一般的にこうしたラディカル・イノベーションを生み出す主体に、大企業はなりにくいと言われている。その理由として、挑戦的な気風が大企業から失われがちであること、組織が硬直化しがちであること、これまで投資してきた既存の設備等を負債化しづらいといったことがあげられる（近能・高井, 2010）。

タッシュマンとアンダーソン（Tushman and Anderson, 1986）は、イノベーションには過去に蓄積した資源や能力がそのまま有効に活用できるタイプの「能力増強型イノベーション」と「能力破壊型イノベーション」があるという。「能力増強型」のイノベーションの場合は、製品や生産に関してそれまでに蓄積した知識やノウハウが役に立つので、先行している既存企業が優位に立ちやすいが、「能力破壊型」のイノベーションは、技術体系の根本的転換が生じてしまうので、過去の知識やノウハウが役に立たなくなる。それだけではなく、過去の強みの蓄積が「過去のしがらみ」としてマイナス要素に転じてしまうので、新興企業の方が有利になるのである。

近能・高井（2010）によると、ハイブリッド自動車のトヨタ「プリウス」やホンダ「インサイト」などは、能力増強型イノベーションであり、本研究の対象であるテスラ・モーターズ社をはじめ、シリコンバレーや中国のベンチャー企業が手掛ける電気自動車は能力破壊型イノベーションになる。たとえば、トヨタの「プリウス」に積まれているシリーズ・パラレル型のハイブリッドシステムは、制御がきわめて高度で複雑である。既存のガソリン車で培った技術の蓄積がなければ製造することは難しい。しかし、電気自動車の構造は、後に詳述するが、かなりシンプルで、モーター、インバーター、電池が主要な構成要素である。モーターの動作原理や機構はガソリンエンジンよりもはるかにシンプルで、部品点数は大幅に減少し、開発コストも削減される。このため、電気自動車の市場には、無数の新興企業が参入しており、今後も増え続ける可能性があるだろう。

ただし、電気自動車の普及については、もうしばらく様子を見る必要がある。イノベーションの普及曲線は、吊り鐘型のグラフであらわされる。もっとも採用時期が早い2.5%の採用者を「革新的採用者」と呼び、次に採用する13.5%を「初期少数採用者」という。その後に採用する34%が「前期多数採用者」、次の34%が「後期多数採用者」、最後によりやうく採用する16%を「採用遅滞者」と呼ぶ（Rogers, 1982）。電気自動車の普及は、ようやく「革新的採用者」の範疇を超えたかどうかというところであろう。自動車利用者のうち、前期多数採用者にあたる割合まで、電気自動車が普及すれば、現在の自動車業界の地図は大きく塗り替わる可能性を秘めているといえる。

2. 電気自動車の特徴

2.1 電気自動車の歴史

電気自動車がここ数十年で出てきた新技術の自動車であるという認識には、誤解がある。実は、ガソリン車に比べると電気自動車の歴史の方が古い。ここでは、電気自動車の開発の歴史を振り返り、現在の電気自動車の主要部品や必要とされるインフラ、アーキテクチャ上の特徴を記述する。

電気自動車が最初に出現した記録は、スコットランドのロバート・アンダーソンが電池とモーターによる「自動車らしきもの」を1832年から1839年の間に作ったというものである。19世紀後半になって、開発・実用化されるようになった自動車は、最初は「お金持ちの遊び道具」であった。もともと自動車の最初の動力として活用されたのは、蒸気であり、ガソリンエンジン自動車の発明は、1886年ごろ、ドイツのG. ダイムラーとK. ベンツがほぼ同時に成し遂げたとされる。

1900年までの米国の自動車売り上げの大部分は、電気と蒸気の二つの方式が占めていた。特に、20世紀初頭の代表的な電気自動車メーカーの一つであるベーカー社は、1904年に発売されたスタンホープ・タイプで市場の一角を占めており、後にフォードのT型車が市場を席卷し、電気自動車・蒸気自動車との開発競争で、ガソリン車が勝利を収めるまで、市場における競争は続いたのである。

米国の自動車メーカーは、同時に多産多死であり、T型フォードが発売された1908年の段階では、確実に確認できるだけで69もの自動車メーカーが存在していたが、その後わずか7年間で半分にまで減っている（近能・高井, 2010）。

その後、ガソリンエンジン自動車によるほぼ独占支配的な状況が実に1世紀近く続いたのち、再び電気自動車が実用的な存在として、姿を現すようになる。その理由として、二つの大きな要因がある。一つは、地球環境への配慮であり、エコカーへの期待が高まってきたこと、もう一つは、電池の歴史に革命的な進歩が生じたことである。

電気自動車がこれまで普及しなかった大きな理由の一つが、「走行距離の短さ」である。電気自動車は、バッテリーに蓄電した電力で走るが、表1にあるように、いわゆる旧世代の電気自動車で使われていた鉛蓄電池では、電気自動車の実用に耐える製品がついにできなかったのである。しかし、1990年代には、ニッケル水素電池とリチウムイオン電池の開発が進み、ついに実用に耐え得る水準に到達してきたのである（石川, 2011）。

表 1 新旧の電気自動車比較

	旧世代電気自動車	新世代電気自動車
電 池	主に鉛蓄電池	ニッケル・水素電池, リチウムイオン電池など
速度制御	抵抗制御	V V V F インバーター制御
モーター	直流整流器モーター	交流同期モニター=直流ブラシレスモーター, 交流誘導モーター
航続距離	短い	長い

(石川, 2011より作成)

2.2 電気自動車の構造上の特徴

電気自動車の基本構造として欠かせないのは、モーター、制御システム（インバーターやDC/DCコンバーター）、駆動用バッテリー、車載充電器の4つである。

電気自動車の駆動機関は、エンジンではなく、モーターである。エンジンを動かす燃料はガソリンであるが、モーターは、電気によって動く。エンジンとモーターの違いをここでは二つ紹介する。一つは、「トルク」の違いである。アクセルを踏み込んだときの発進時の加速度は、同出力のエンジンとモーターを比較した場合、モーターの方が性能が高いといえる。エンジンが一定の回転数に達した時点で、最大のトルクを発揮するのに対して、モーターでは回転数ゼロ、つまり停止状態から最大のトルクを発揮できる。後に紹介するテスラ・モーターズ社の「ロードスター」は、わずか3.7秒で時速100kmに到達する。もう一つの違いは、走り心地の変化である。エンジンの場合は、走行速度に合わせて、変速機（トランスミッション）が切り替わるため、振動が生じる。ところが、モーターは、回転数とトルクの関係からスムーズに加速できるため、基本的にトランスミッションが不要になる¹⁾。

インバーターの役割は、バッテリーとモーター間を流れる電流を制御することである。モーターが過熱しすぎるのを監視したり、負荷に応じて電流量や電圧をコントロールする役割を果たすが、エアコンなど家電製品では、かなり以前から活用されている装置である。自動車用インバーターは小型化、軽量化、効率化を目指した開発競争が続けられており、このパーツの性能いかんで電気自動車の商品価値が変わってくる可能性がある。

駆動用バッテリーと車載充電器については、先述したように100年前に電気自動車が普及しなかった理由の大きなものの一つであり、現在、技術革新により日進月歩で性能が上がっている部品である。1990年代から急速に性能を高めてきたリチウムイオン電池がかなりの航続距離を実現しており、実用化を後押ししている。し

かしながら、原料のリチウムなどのレアアースの入手は、日本のような資源のない国では容易ではないため、技術的なアドバンテージを確保するには、安定的な供給元が必要とされている（石川，2011；デロイトトーマツ，2010）。

2.3 電気自動車普及に向けてのインフラ

これまでの自動車は、いわば「スタンドアローン」の製品であり、ガソリンさえあれば、走り続けることができるという独立した商品であった。しかし、今後普及するであろう電気自動車は、電池の性能上、充電インフラの整備が不可欠となる。航続距離に制約がある状況の現在、電池切れの不安を解消するためには、一定規模の充電インフラが必要である。この充電インフラによって新しく生まれるビジネスについても、まだ課題が多い。まず、当初は慣れからガソリンスタンドが中心になって、急速充電器を併設していくであろうが、電気自動車はオイル交換などのメンテナンスはほとんど必要ないので、ガソリンスタンドで充電する理由は特にない。またガソリンスタンド側も急速充電とはいえ、30分も駐車スペースを塞がれる割には、数百円の売り上げしかなければ、メリットは少ないであろう。そこで、当面の充電インフラを整備する場所として有望視されているのが、ショッピングセンターやドライブイン、サービスエリアなどである。また、コンビニなども有力な候補となる。

電気自動車の利用にともなって、各家庭の自動車保管場所に必要な専用コンセントの設置も当然必要となるが、これも決して安価ではなく²⁾、たとえば電気自動車のシェアが10%になるには、約750万か所の配線工事が必要になるといわれている。

他方、電気自動車は、ガソリンで動く「スタンドアローン」の製品ではなく、エネルギー補給時に電力網を通じて、広く電力システムとつながる社会システムの端末としての可能性を秘めている。IT技術を活用して、電力網をうまく運用するスマートグリッドによって、電力の需給バランスを安定化させることができればよいが、その際に重要になるのは、電力の変動を吸収する調整弁の役割を果たす蓄電池である。電気自動車が搭載するバッテリー容量は大きく、電気自動車のバッテリーに余った電力を家庭で使うことも可能になる。さらに、情報端末としての電気自動車の利用に関する潜在的可能性は大きく、未来社会を大きく変化させるかもしれない（石川，2011；デロイトトーマツ，2010）。

2.4 電気自動車の製造上の特徴

電気自動車は、その構造上の特徴によって、従来のガソリン車と大きく異なる製造方法が可能になる。そのため、電気自動車が主流になると業界地図が大きく変わるのではないかとされている。このことに関しては、本研究ノートでは、三つの点

からとらえてみよう。

一つ目は、電気自動車はガソリン車と比較すると部品点数が激減することである。ガソリンエンジン自動車の総部品点数は、約2～3万点あるといわれているが、電気自動車では、それが3分の1から10分の1にまで減ると言われている。部品点数が減れば、それだけ車体を置く場所も自由度が広がり、自動車の車体にさまざまなバリエーションが生まれる。表2にあるように、制御系や駆動系などの重要な部品が変化し、吸気系や排気系、冷却系、潤滑系といったエンジン特有の機構の大半が不要になる。

表2 ガソリン車と電気自動車のパーツの比較

	ガソリン車	電気自動車
パワープラント (原動機)	エンジン、スターターモーター、 ディストリビューター、点火コイル、 点火プラグ	電気モーター
エネルギープラント	燃料タンク、燃料ポンプ、インジェ クターなど	リチウムイオン電池、送・配 電システムなど
制 御 系	エンジンコントロール、ユニット(車 載コンピュータ)	統合制御システム、インバー ター
吸 気 系	スロットルバルブ、エアクリーナー、 ターボチャージャーなど	不要
排 気 系	排ガス再循環装置、ブローバイガ ス還元装置、排ガス浄化装置、エキ ゾーストマニホールド、マフラー など	不要
冷 却 系	ラジエター、ウォーターポンプ、サー モスタットなど	空冷式の簡素なものか、不要
潤 滑 系	オイルポンプ、オイルフィルター、 オイルストレーナーなど	簡素なものでOK
駆 動 系	トランスミッション(変速機)、クラッ チ、トルクコンバーター、プロペラ シャフト、ドライブシャフトディファ レンシャルなど	簡単な変速機または不要、モー ター位置によって動力伝達装 置は必要(インホイールモーター なら不要)

(石川, 2011を参考に作成)

二つ目は、電気自動車は、「擦り合わせ型」ではなく、「モジュール型」になるため、垂直統合されたピラミッド型の系列企業群が不要になり、水平分業で、新規参入が容易になる可能性がある³⁾。先述したように、電気自動車が「能力破壊型イノベーション」となる最大の理由がこの製造方法における大きな変化である。ガソリン車を製造してきたメーカーは、多くの部品サプライヤーと完成車メーカーを頂点とす

るピラミッド型の産業構造を構成してきた。特に日本の自動車メーカーは、サプライヤーも含めた一つの会社を超えた「擦り合わせ」を行う能力に長けており、それによって作り出される高品質、高性能の自動車を武器にグローバル社会の激しい競争を勝ち抜いてきたといえる。しかし、電気自動車においては、先述したように部品構成が大きく変化するため、参入障壁が低くなり、新規参入が容易になる。村沢(2010)が、「スモール・ハンドレッド」の時代と呼んだのは、自動車産業のピラミッド構造が崩れ、完成車メーカーと部品サプライヤーは、上下関係ではなく、対等なパートナーシップのもと、国境を越えた水平分業を行うようになるからである。

三つ目は、キーパーツであるモーターと自動車用のバッテリーにおいて優れた性能を引き出せれば、自動車メーカー以外のたとえば電機メーカー、P Cメーカー、バッテリー専用メーカーが、容易に最終完成品の電気自動車を製造できることである。特にもともと電池を製造することが本業のメーカーにとっては、有利となる。たとえば、中国のBYDは、もともと携帯電話などに用いられる民生用リチウムイオン電池の大手メーカーで、2003年に自動車メーカーを買収し、自動車業界への参入を果たしている。2008年末には、世界初の量産型プラグインハイブリッド車「F3DM」の販売を開始、2009年に電気自動車「e6」を中国国内市場に投入している。また、後に詳述するテスラ・モーターズ社は、シリコンバレーに拠点を構えるITベンチャーであり、同社で2008年に発売された代表的なモデルである「ロードスター」の製造は、まるでパソコンメーカーのような水平分業型のものづくりを行っている(石川, 2011; 村沢, 2010)。

表3 主な電気自動車メーカーと電池メーカーとの提携関係

自動車メーカー	電池メーカー	合併で設立した電池製造会社
トヨタ自動車	パナソニック	プライムアースEVエナジー
日産自動車	日本電気 NECエナジーデバイス	オートモティブエナジーサプライ
ホンダ技研工業	ジーエス・ユアサパワーサプライ	ブルーエナジー
三菱自動車工業+三菱商事	ジーエス・ユアサコーポレーション	リチウムエナジージャパン

(石川, 2011を参考に作成)

電気自動車の重要な部品であるバッテリーや電池の技術開発については、日本の大手自動車メーカーは、電池メーカーとの緊密な関係を作ることによって、開発競争を繰り広げている。今後は、どこまで内製化し、どこからアウトソーシングするのかといった競争戦略上における方針の違いも生まれてくるであろう。表3は、国内大

手自動車メーカーと電池メーカーとの提携関係である。

3. 電気自動車市場の概況

3.1 電気自動車元年(2010年)

2010年は、電気自動車元年と言われる。それは、この年に三菱自動車が「i-MiEV」を一般向けに発売し、日産の「リーフ」も発売されたからである。ここでは、トヨタ、日産、ホンダ、三菱の次世代自動車への動きを簡単に紹介する。

トヨタ自動車は、ハイブリッド自動車の開発において、世界をリードしており、その優位性を生かした次の手として、プラグインハイブリッド車を発売している。他方で、テスラ・モーターズ社との共同開発も続け、他社の動向にもらみながら電気自動車を本格的に市場に投入する準備を行っている。

日産は、ハイブリッド自動車の開発を独自に進めていたとはいえ、全社的に積極的であったとはいえない状況であった。しかし、水面下でさまざまな可能性を検討した結果、2010年12月、軽自動車タイプを除けば、世界初量産型電気自動車「リーフ」の販売を始めている。充電には200ボルト電源を使用する点からみても、国内よりは海外市場を強く意識しているといえる。

本田技研工業は、トヨタと異なるハイブリッドシステムを利用したハイブリッド自動車を数種類発売している他、電気自動車の開発も進めてきた。しかし、電気自動車の市場拡大にはまだ時間がかかると考えているため、電気自動車とともに、プラグインハイブリッド車も2012年に日米で発売する予定になっている。(実際には、個人向けとして2013年6月より上級セダン「アコード・プラグイン・ハイブリッド」のリース販売を開始している。)

三菱自動車が、2010年4月から販売を開始した「i-MiEV」は、一般の人が購入し、運転できる初めての新世代電気自動車⁴⁾として登場した。軽自動車i(アイ)の車体に交流同期モーターとリチウムイオン電池を搭載したパッケージは、同クラスのガソリン自動車と同じ64馬力の出力を可能にし、走行コストもハイブリッド車の3分の1から4分の1に抑えられるという完成度の高さが話題を呼んだ。ここに至るまでの研究開発の道のりは平たんではなかったが、「i-MiEV」の技術的な特色の一つは、電気自動車向けの統合制御システムである「MiEV OS」の開発に成功したことである(デロイトトーマツ, 2010; 塚本, 2010)。

著者らは、2013年12月に日産追浜工場を見学した。現在、「リーフ」は、他のガソリン車の「ジューク」、「キューブ」、「マーチ」とともに、一つの製造ラインで混流生産されている。2010年から当該工場では「リーフ」は生産されているが、海外の生産拠点

としては、米国スコナ工場、英国サンダーランド工場がある。「リーフ」を輸出することはほとんどなく、海外で販売する「リーフ」はほぼすべて海外で生産している。工場の製造工程において、シャシー部分の組み付け作業を見学したが、ガソリン自動車の場合、ガソリントankを組み付けるところを、電気自動車の場合には、バッテリーパック⁵⁾を組み付ける。その作業手順は、ガソリントankよりも少なく、短時間で終了するため、作業員は別の作業を並行して実施できることが分かった。

3.2 世界の電気自動車市場の動向

既存の大手自動車メーカーは、次世代自動車の開発競争に勝つために、さまざまな手をうっている。開発競争に出遅れたメーカーは、先行しているメーカーと手を組んだり、場合によっては、M&Aを行ったりすることで、遅れを取り戻そうとしている。提携先は先進国の大手メーカーだけでなく、中国のBYDや米国のテスラ・モーターズ社など、新興メーカーとの提携など新旧入り乱れての合従連衡が始まっていると言ってもよい。

テスラ・モーターズ社については後に詳述するが、ここでは海外メーカーの動向を簡単に押さえておこう。米国メーカー大手のGMは1980年代後半から電気駆動式自動車の開発を進め、1990年「EV1」のコンセプトモデルを完成、1996年から1999年までに、650台をリース方式で市場に投入したが、ZEV規制に絡んだ問題もあり、2003年ごろに一度プロジェクトを中止している。現在は「シボレー・ボルト」を中心に電気自動車の販売戦略を展開し、徐々に市場拡大をはかっている。

ヨーロッパの電気自動車開発をリードしているのがBMWである。2008年にコンセプトカー「MINI E」を発表、2013年以降の量産を計画している。フォルクスワーゲンは「New Small Family」というプロジェクトで、コンパクトカーの製品化を考えている。2013年に、「E-UP!」（子供1人含めて4人乗り）の販売を開始する予定である。また、ダイムラーが「スマート」EV版、ルノーが「カンゲー・エクスプレスZ.E.」を市場投入すると発表している。

韓国の現代自動車や中国メーカーも電気自動車の開発を進めているが、今後日本の自動車メーカーにとって脅威になるのは、やはり中国メーカーであろう。中国は、国家戦略として電気自動車の開発を進めており、BYDのような電気・電子部門と自動車部門の両方を有する有力企業がこれからますます力をつけていく可能性がある。

さらに、インド発の電気自動車も台風の目になる可能性を秘めている。タタ・モーターズ社の「インディカ・ピスタEV」は、大きさは「i-MiEV」より二回りほど大きく、航続距離は160kmと「リーフ」や「i-MiEV」に引けをとらない性能を持っている。また、RECCにより生産されている「REVA i」にいたっては、世界のベ

ストセラーEVと言われ、2010年当時の生産能力は世界一と言われていた（石川、2011；村沢、2010；塚本、2010）。

4. テスラ・モーターズ社の新奇性

4.1 テスラ・モーターズのプロフィール

テスラ・モーターズ社（以下、テスラと略す）は電気自動車の製造・販売を目的として、2003年に米国カリフォルニア州パロアルトにて設立された。社名は物理学者であり、電気技師でもあったニコラ・テスラ（Nikola Tesla）⁶⁾の名前から取り、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ある。現CEOのイーロン・マスク氏はインターネット決済の米ベンチャー、ペイパルの創業者でもあり、宇宙ロケットベンチャー、米スペースXのCEOとしても知られている。2009年決算では約5,500万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歴史的な出来事であった。表4は、現在のテスラのプロフィールをまとめたものである。

2013年1月～3月期決算は最終損益が124万ドル（約11億円）の黒字（前年同期は8,987万ドル赤字）となり、会社設立以来初めて黒字となった（日経産業新聞、2013/5/10）。2008年に二人乗りのEVスポーツカー「ロードスター」を商品化し、2011年末まで2,100台販売した。2012年6月からは、7人乗りの「モデルS」を販売し始めた。

2014年2月20日現在の出荷台数は2万2,477台となり、2014年までに、3万5,000台以上を出荷するとの見通しを示した。テスラは、「モデルS」とクロスオーバー車「モデルX」の生産能力拡大や店舗・充電インフラへの投資を進め、「モデルX」の開発の完了まで、営業費用と設備投資は大幅に増加する。「モデルX」の量産車出荷は来年春を予定している（2014/02/20, Reuters online news）。

テスラは、2008年4月に第1号販売店をロサンゼルス市の西に開店し、6月にシリコンバレーにあるメンロー・パーク（Menlo Park）に第2号販売店をオープンした。その後、ニューヨーク、サンノゼ、ワシントンD.C., シカゴ、デイナビーチ、フロリダなど、東京にある青山店を含めて世界で31店舗を開設している。

生産においてはGMとトヨタの合弁企業であったNUMMIの跡地で、世界最先端の工場を建てた。2013年8月現在、年間2万台／1シフト、400台／週の生産を計画している。フリモント工場は月曜日から金曜日まで、5日間で1シフト稼働している。2013年6月に行ったヒアリングによると、「モデルS」は全世界で1万3,000台の予

約があるということである。テスラは「5,000人の直接雇用と部品メーカー 5,000人の間接雇用を産む可能性がある。雇用拡大を最重要課題とする米政府が、テスラを積極的に支援する理由はここにある」と「日経ビジネスオンライン」（2010年11月22日）で報じられている。2013年8月現在、フリモント工場の従業員数は2,000人以上である（2013/8/3, フリモント工場インタビューによる）。

表 4 テスラ・モーターズ社のプロフィール

事業タイプ	自動車産業
設立	2003年
創設者	Elon Musk Martin Eberhard Marc Tarpenning JB Staubel Ian Wright
CEO	Elon Musk
製品	テスラ・ロードスター（2008／3～2012／1生産＆販売） 2009年以降年間500～800台 テスラ・モデルS（2012／6から販売）
収益	US\$116.7 million（2010年当時）
営業利益	US\$146.8 million（2010年当時）
経常利益	US\$154.3 million（2010年当時）
総資産 （Total assets）	US\$386.1 million（2010年当時）
純資産額 （Total equity）	US\$207.0 million（2010年当時）
従業員数	2,000人以上 生産現場 550人（2012/9当時）
本社オフィス	カリフォルニア州パロアルト
工場	カリフォルニア州フリモント
販売拠点	全世界31店舗（東京・テスラ青山）

（Jesse Russell, Ronald Cohn, *NUMMI*, Bookvika Publishing, 2012を参考に作成）

テスラは独立系ディーラーを排除し、製造は外部委託するという戦略を取っている。経営組織はフラット化しており、経営トップは全員、小さく簡素なオフィスで一緒に働き、重大な意思決定が必要な場合でも、改まった会議や企画書は必要ないと考えているようである。テスラの社員は、IT関連と自動車業界出身者が中心の混成部隊である。コア技術（能力）を確立するため、自動車以外の新規部門としてテスラ・エネルギーを設立し、テスラのエネルギー貯蔵技術を高めることを目指している。従

業員にストックオプション(株式購入権)を付与しているのも特徴的である。

テスラのマーケティング戦略も注目される。フラッグシップとなったテスラの「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言われている。最初の車の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ずらずに、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、趣味的のスポーツカーを嗜好する顧客セグメントに絞り込み、高価格戦略を取ってきた。「ロードスター」の日本での販売価格は1,280万円(補助金は324万円)、2014年2月12日のテスラ・モーターズジャパンによる公式発表では、「モデルS」は823万円である。

テスラの電気自動車開発には莫大な研究開発費用がかかるため、キャッシュフローに課題があるとされる。独ダイムラー、パナソニック、トヨタの出資を受けている以外にも、アメリカ・エネルギー省低利融資の承認を受けている。結果としてテスラは、開発資金だけではなく、世界一の自動車メーカーや有力な電池メーカーから技術のお墨付きを得たと言われる(図2参照)。

図2 米政府と日本メーカーが支援

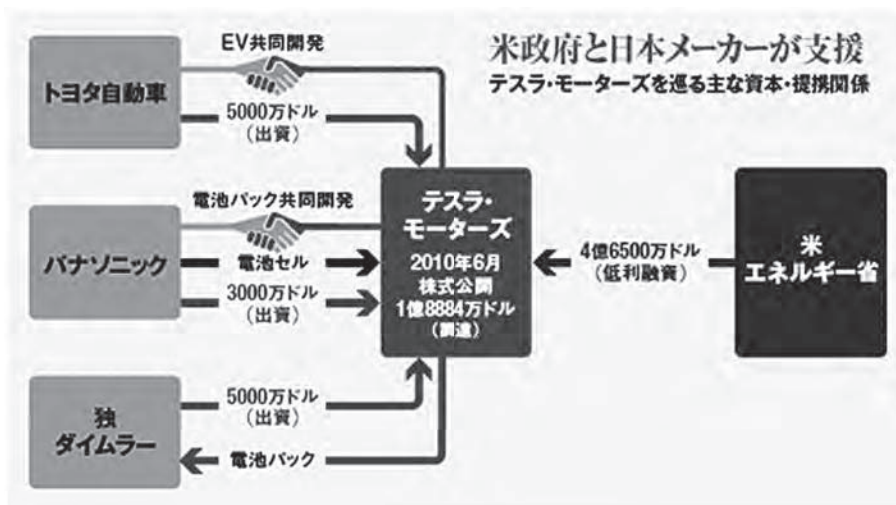


表6は、テスラのこれまでの簡単な歴史を示したものである。

表6 テスラ・モーターズ社の主な出来事

2008年 3月	テスラ・ロードスターを販売開始
2009年 5月	ダイムラーと提携
2010年 1月	パナソニックとEV向けリチウムイオン電池の開発で提携
2010年 5月	トヨタ自動車と資本提携 (5,000万ドル, 約45億円資金提供)
2010年 6月	米国で株式を上場
2010年 11月	青山にアジアで初めての直営店をオープン
2012年 3月	テスラ・モデルXを発表
2012年 6月	テスラ・モデルSを販売開始
2012年 11月	米自動車誌が選ぶ2013年カー・オブ・ザ・イヤーをモデルS が受賞

4.2 テスラの電気自動車の特徴

ベンチャー企業であるテスラ・モーターズ社は自動車基幹技術をゼロから手がけた。まず、イーロン・マスク氏とCTO（最高技術責任者）であるストローベルらが考えたEVのアイデアはユニークだった。多くの自動車メーカーがそれまで開発していたEVは、実用性重視の小型車で、通勤や買い物など近距離移動を想定したものであるが、これに対して、彼らは「究極のスポーツカー」を作ろうとした。テスラは、自動車、IT、電池の様々な専門家をスカウトして、社外の既存技術を使いつつ、部品メーカーの協力を得て、スーパーカーのような加速と操縦性能を持つ電気自動車を目指した。

先述したように、電気自動車の最も重要な部品の一つはバッテリーである。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セル当りのエネルギー量を小さくし、一つのセルに欠陥が生じ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。テスラは「18650」というノートパソコン用のリチウムイオン電池を使用し、レアアース（希土類）を使う永久磁石方式ではない誘導モーターを採用している。「ロードスター」はイギリスの名門スポーツカーメーカー・ロータス (Lotus) 社の「セリーゼ」をベースとした車体を使用し、同社がイギリスの工場で製造したものを購入した。「ロードスター」に搭載された電池は450kgで車両全体 (1,150kg) の40%の重量を占めている。加速性能が停止状態から3.9秒

で時速100kmに達し、1回の充電で約394km走行できると報告されている。テスラの電気自動車に搭載するリチウムイオンの2次電池だが、「ロードスター」ではパナソニックと三洋電機（現パナソニック）、ソニー、韓国のサムソンSDI社、LG Ghem社の5社から、モデルSではパナソニックから調達している。変速機は米国のボルグワーナーから供給を受けている。また、ブレーキやシートベルトなどのありふれた部品はすべて外注し、テスラの技術者は電池、コンピュータ・ソフトウェア、モーターなどの中核技術に専念するという仕組みである。

4.3 テスラ・モーターズのビジネスモデル

ビジネスモデルという言葉は、最近ではビジネス分野でごく普通に用いられるようになっているが、必ずしも共有されていない（近能・高井, 2010）。広範囲のビジネスモデルの定義には、「誰に対してどのような価値を提供するのか」、「競争相手に対してどのような優位性を築くのか」、「どの活動にどのような資源をどれだけ配分するのか」といった戦略的な側面が含まれる。一方、戦略を実現するにあたっての一連の事業活動をビジネスモデルとして捉えることができる。本研究ではビジネスモデルを、「策定された戦略に基づいて製品を顧客に提供し、事業として収益を上げるための一連の業務の仕組み」として捉える。つまり、戦略によって示された基本構想を実現し、なおかつ収益基盤を持った事業として成立させるために作り上げる仕組みである。

近能・高井（2010）によれば、ビジネスモデルは二つの要素から構成される。一つ目は、「研究・技術開発、製品開発、購買、生産、販売、アフターサービスなど、製品を生み出し、それを顧客にまで届け、使用を通じて価値を実現して貰うために必要とされる一連の業務の仕組み」を意味する「ビジネスシステム」である。二つ目は、「顧客価値提供からの対価を確保するための仕組み」を意味する「収益モデル」である。この二つの要素は、それぞれ単独でも競争優位の獲得や収益の確保に貢献しうるが、両者の相互作用によりその効果を高めることができる。

大木（2012）は、テスラを「オープン・モジュール型企业」に分類し、そのビジネスモデルの特徴として①アウトソーシング、②コアコンピタンス、③ネットワーキングという3点をあげている。

①アウトソーシング

電気自動車の分野では、これまで大手自動車会社は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1,000ユーロ（約14万円）と高いことから、電気自動車に本格的に参入した日産「リーフ」やシボレーの「ボルト」の販売価格もガソリン車の2倍近

くとなり、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ガロン当り10ドル以上にならないと、経済的メリットはないという。これに対しテスラは、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。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等、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」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。この技術があってこそ汎用品のバッテリーを利用することができた。テスラの電気自動車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らなくなる。それだけでなくと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、現在テスラ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。

③ネットワーキング

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要因が大きいと言えよう。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⁷⁾。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。フラッ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。

4.4 自動車産業において革命的な生産現場

テスラはGMとトヨタが合併で設立したNUMMIがあったカリフォルニア州フリモントの巨大な跡地の5分の1を利用し、世界最先端の工場を建てた。工場の中では、数百という汎用のKUKAロボット⁸⁾が、金属の折り曲げから組み立てまで、全てをこなしている。箱型ロボット車がシャシーを運び、充電マットの上で自ら充電を繰り返す。ファナックの塗装ロボットは自分で車のドアを開けて塗装を施し、終わるとドアを閉める。

新世代の電気自動車を組み立てる製造工程は、従来のガソリン車の組立工場より、電気製品の工場に近い。エンジン、変速機、駆動系といった複雑な機械部品の代わりに、テスラの車はリチウムイオン電池、モーター、そして先端の電子部品とソフトウェアを搭載しているので、従来の自動車に比べると機械部品の数が格段に少ないし、よりシンプルで作りやすいと言われる。すなわち、組み立てロボットのプログラムを変えれば、どんな物でも作れる。工場全体がプログラミング可能であり、一台一台違う車を作ることもし、同じ設備で、全く違う部品を使って別々のモデルを同時に作ることができ、同じモデルの中で違う車を作ることもし。テスラは、内装の色からリチウムイオン電池のセル数に至るまでカスタム化を推し進めている。最終的な組立ラインから完成車が出てくると、緩みや軋みがないかを検査するため、すぐ横にある特別製のインドアのでこぼこ道で試乗が行われる。もし問題があれば、メカニックがその場で改善する(クリス・アンダーソン、2012)。

テスラの工場は、これまでの自動車より格別に少ない部品から構成されており、工場のプログラミングを変えれば、顧客の要求に応じて、部品の構成を自由に変えて対応できるので、これまでのどの自動車メーカーよりマス・カスタマイゼーションの理想に近いものである。テスラ車に必要なパーツの大部分は工場内で内製されるため、大量の部品の在庫は必要ない。長いサプライチェーンや、それに伴う不自由さもなくなる。ここでは、垂直統合によって全てをコントロールできるため、究極の「ジャスト・イン・タイム」プロセスと言える。必要な物を必要なときに作ることができる。

テスラが継承したのがGMとトヨタの合併工場NUMMIである。NUMMIはトヨタのリーン生産方式を利用してアメリカの自動車製造の効率に革命をもたらした。リーン生産方式は、労働者を製造工程に積極的に参加させ、労働者らが継続的に改善することにより、ムダを取り除き、欠陥を減らす方法である。アメリカの工場労働者も、良い環境が与えられ、その中で製品へのオーナーシップを感じ、工程の改善に彼らのアイデアが反映されるようになれば、日本の労働者と同様の生産性を上げられると期待されていた。結果的に、GMのすべての工場の中で、NUMMIは最も生産性が高いことが分かり、GMの模範工場となっていた。

テスラの最終目標は当時のNUMMIと同じである。テスラはコストの削減と柔軟性の向上のために、オートメーションによって品質とジャスト・イン・タイムの調達を改善し、柔軟で効率的で、高品質の自動車製造を目指している。当時のNUMMIのオートメーションは、カスタマイズの自動操縦装置がそれぞれ単一のタスクをこなしているに過ぎなかった。高性能の多目的ロボットがまだ開発されていなかったからである。

テスラの工場とNUMMIとの大きな違いはデジタル製造にある。テスラのロボットは軽量な多関節アームのついた多目的型の六軸KUKAロボットで、1トンの重さを持ち上げられる。プログラムを変えれば、数分とかからず異なる作業に移ることができる。

このような製造プロセスを踏まえて、テスラの製造現場の特徴は以下のようにまとめられる。

- 1) テスラは日本や欧州の(既存の自動車大手の)電気自動車と比較して、生産発想から製造まで根本的に異なっている。日本や欧州の大手の電気自動車はガソリン車の構造設計がベースにあり、それを電気に変えているだけである。テスラは素材一つとってもアルミニウムと鉄を組み合わせるなど、新しい技法を進めている。これには鋳物や押し出し材、プレスと手の掛かる工程が必要であり、ガソリン車とは異なる製造方法にもチャレンジしている。
- 2) テスラはNUMMIの跡地だけではなく、トヨタのリーン生産の思想、「現地現物」の考え方を継承している。テスラの生産担当副社長はもとNUMMIの生産指導者であったため、実際にNUMMIの「現地現物」という企業文化を継承している。どこか問題があると、すぐにその場所に行ってみて従業員と一緒に考える。
- 3) 製造現場は従来の自動車産業に見られたベルトコンベヤーを取り除き、組み立ては全てロボットで行う。テスラの最終組み立てなどはNUMMIの現場を活かし、メインラインとなる場所を白く塗装して、もともと置いてあった設備を最大限活用することで、投資を最小限にした⁹⁾。他の必要な設備もプレス機はミシガン州、鋳造機はテネシー州の自動車関連企業から格安の値段で中古を仕入れた。ベルトコンベヤーのような大型設備は要らないため、コストを抑えることができた。ベルトコンベヤーの代わりに、「スマートカー」と呼ぶ赤い台に乗せて車を作る方式を取っている。クルマの生産台数やデザインが変化した場合には、床に貼ってある磁石ラインをつけかえることによって対応している。生産台数が比較的小規模であるため、この方法によって柔軟な生産が低コストで可能になっている。

5. 今後の研究に向けて

本研究ノートでは、電気自動車が今後我々の社会にどのようなインパクトを与えるかを示しつつ、アメリカのベンチャー企業であるテスラ・モーターズ社に焦点を当て、その特徴を明らかにしてきた。既存文献から入手した情報に加え、著者自ら、工場や販売店でヒアリングした内容から、テスラ・モーターズ社の革新性が浮き彫りになったのではないだろうか。

本研究ノートで示したイノベーションの定義から、現在販売されているモデルSが、イノベーションのアウトプットとするなら、それを生み出す「イノベーションのプロセス」と「ビジネスモデルのマネジメント」に関して、テスラの経営は、従来の大手自動車メーカーとは明らかに一線を画しているといえるであろう。

テスラ・モーターズ社の能力破壊型イノベーションのプロセスに関しては、すでに「死の谷」を越えて、「ダーウィンの海」にいるといえるのであろうか。同社の電気自動車の販売状況や、すでに販売されている日本製やその他の電気自動車との競合状況をみれば、電気自動車市場は今後拡大する方向に向かうであろう。ただし、イノベーションの普及曲線から考えると、未だ「初期少数採用者」の域を出ていないようにも見える。今後、「前期多数採用者」の域に到達するには、同時に電気自動車のインフラ整備に関する進展も不可欠であろう。

これまでの議論でわかるように、電気自動車の製造は、「オープン・モジュール化」の典型になる可能性がある。近能・高井(2010)は、「オープン・モジュール化」した産業で収益を確保する方法として、次の二つをあげている。

一つは、システム統合部品の生産・販売に特化することであり、コア部品のプラットフォーム・リーダーになることで、競争優位を保つことが可能になる。もう一つは、最終製品を手掛けつつ、システム統合部品の販売も行う両面戦略をとることである。現在のところ、テスラは後者の両面戦略において、確固たる地位を築こうとしているため、同社の今後の課題を次の2点からさらに詳細に検討する予定である。

1点目は、製品開発のパフォーマンスを上げるためのQCD（統合製品品質・開発生産性・開発リードタイム）に関する課題である。現在、テスラはNUMMIの生産指導者を副社長に据えるなど、トヨタ生産方式を知り尽くした人材を重用することによって、自動車としての品質を上げる努力をしている。それに加え、電池、コンピュータ・ソフトウェア、モーターなどの中核技術に専念しているテスラの技術者が、開発生産性を上げることが、自動車業界をリードするポジションをとるための鍵となる。テスラが製品開発のパフォーマンスを上げるために、どのような組織デザインを選択しているのかを調査していきたい。

2点目は、企業間関係のマネジメントのあり方である。テスラは最終製品の組み立てとコア部品を自社で手掛け、それ以外の部品は、ほぼアウトソーシングで調達

している。また、製造工場の生産設備については、これまでの自動車会社とは異なり、電気製品の組立工場のようになっており、独自で製造方法を工夫しているようにも見受けられる。可能な限り、製造上の特徴や取引会社との関係性を明らかにし、既存の大手自動車メーカーとの異同を明らかにしたいと考えている。

謝 辞

本研究のインタビュー調査にあたっては、tesla・サンノゼショールーム、tesla・パロアルト販売店、tesla青山直営店、tesla・フリモント工場の関係者にご協力していただいたことを、心より感謝致します。

注

- 1) インホイールモーターが実用化されれば、さらにモーターの優位性は高くなる。インホイールモーターとは、タイヤの内側にモーターが設置され、バッテリーやハンドルとは、ワイヤーで接続されているものである。タイヤの向きも置く位置も自由になるので、横滑りのような動きも可能になる。
- 2) たとえば、日産「リーフ」を購入した場合には、各家庭に専用200Vコンセントの設置が必要になる。工事期間は2日間、工事費用は税込99,750円。(2014年時点)
- 3) 「擦り合わせ」とは、膨大な部品の配置を調整し、1台の車としてバランスよく仕上げることで、これまでのメーカーの腕の見せ所であった。部品同士がきわめて複雑に影響し合う車づくりは、まるで答えのない連立方程式を解くようなものであるという。THS(トヨタハイブリッドシステム)は、シリーズ・パラレル型と呼ばれる複雑で精密なシステムを採用しているが、ECUによる複雑な制御プログラムによって可能になっており、どのような条件の下でも正常に動作し、最適な切り替え制御を行うためには、過去の膨大なデータの蓄積が必要になる。
- 4) 新世代電気自動車は、「モーターとバッテリーさえあればできる」電気自動車と違い、インバーター、蓄電池、充電器、メーターパネル、エアコンなどに加え、操作情報の制御まで行ったうえで、すべてをコントロールし、走行性、安全性、省エネ性のすべてで最高の性能を発揮する統合制御システムを搭載している必要がある。その意味でのソフトウェアの完成度の高さが、「i-MiEV」の特色であり、「電気自動車の時代」を予感させる製品となった。
- 5) リーフはバッテリー48個を組み合わせたバッテリーパックを積んでいる。電池の寿命は5年間、バッテリーは10年間持つように設計されている。
- 6) 19世紀後半から20世紀初頭にかけて活躍した物理学者。モーターには、大別して直流方式と交流方式があるが、teslaは「交流の父」と呼ばれる。電気工学では、「tesla」という単

位があり、磁束密度を表す(村沢, 2010)。

- 7) テスラと同様に電気自動車業界の革命を起こすと言われていたシャイ・アガシの「ベターブレイス社」は、必要な資金調達をできず、2013年5月に経営破たんしている。
- 8) テスラのロボットは、軽量な多関節アームのついた多目的型の六軸KUKAロボットで、1トンの重さを持ち上げられる。プログラムを変えれば、数分とかからず異なる作業に移ることができるし、通常の仕事の一部として数十の異なる作業を担っている。
- 9) 生産設備に投資したのは5,900万ドル、と言われている。

参考文献

- デロイトトーマツコンサルティング株式会社自動車セクター著(2010)『図解次世代自動車ビジネス早わかり』中経出版.
- 石川憲二著(2011)『電気自動車が一番わかる』技術評論社.
- Jesse, R., C. Ronald, *NUMMI*, Bookvika Publishing, 2012.
- 川島英司ほか著(2009)日経 AUTOMOTIVE TECHNOLOGY 編集『電気自動車が革新する企業戦略』日経BP社.
- 近能善範・高井文子著(2010)『コア・テキスト イノベーション・マネジメント』新世社.
- クリス・アンダーソン著(2012)『MAKERS 21世紀の産業革命が始まる』NHK出版.
- 御堀直嗣著(2010)『電気自動車は新たな市場をつくれるか』日刊工業新聞社.
- 村沢義久著(2010)『電気自動車 市場を制する小企業群』毎日新聞社.
- 中川功一著(2011)『技術革新のマネジメント』有斐閣.
- 野中郁次郎・遠山亮子・平田透著(2010)『流れを経営する』東洋経済新報社.
- 大木裕子(2011)「電気自動車EV開発における標準化戦略とその課題」『京都マネジメント・レビュー』第18号, 京都大学.
- Rogers, E.M., (1982) *Diffusion of Innovation, 3rd edition*, Macmillan Publishing. [青池慎一・宇野善康著(1983)『イノベーション普及学』産能大学出版社.]
- Schumpeter, J.A., *The Theory of Economic Development: An inquiry into profits, Capital, credit, interest, and the business cycle*, Harvard University Press, 1934. [塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑清一訳(1977)『経済発展の理論：企業者利潤・資本・信用・利子および景気の回転に関する一研究』岩波書店.]
- 武石彰著(2003)『分業と競争』有斐閣.
- 竹内一正著(2013)『未来を変える天才経営者—イーロン・マスクの野望』朝日新聞出版.
- 土屋勉男・大鹿隆・井上隆一郎著(2010)『世界自動車メーカーどこが生き残るのか』ダイヤモンド社.
- 塚本潔著(2010)『電気自動車ウォーズ』朝日新聞出版.

Tushman, M.L. and Anderson, P. “Technological Discontinuities and Organizational Environments”, *Administrative Science Quarterly*, Vol.31, No.3, pp.439-465, 1986.