

電気自動車の今後の動向に関する一考察

A Study on the Future Trend of EV

趙 偉

Wei ZHAO

寺 澤 朝 子

Asako TERAZAWA

はじめに

昨年度は「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 —」(拙稿, 2014) と題して, 電気自動車市場にイノベティブな変化が生じていることを明らかにした。その際, 電気自動車とガソリン車の異同を明らかにし, 製造上の特徴を明らかにした。特に, テスラ・モーターズ社に焦点を当てて, そのビジネスモデルの新奇性について紹介し, テスラの組織的な強みや生産現場の特徴を明らかにすることを今後の課題として, その後も研究を続けた。2014年8月には, 米国において現地調査も行ったが, 予想以上にテスラの組織内部に関する資料を入手することが難しく, テスラの生産現場の組織に関する詳細な分析は困難となった。他方, 日本では燃料電池自動車の普及に向けた大きな動きも生まれつつあり, 電気自動車市場を取り巻く状況が今現在も目まぐるしく変化している。

そこで, 本年度の研究成果として, その後の日米の電気自動車製造をとりまく状況と, 電気自動車普及に向けた課題をあらためて考察し, 次世代自動車の一つの選択肢として, 電気自動車がどのような展開をたどることになるのかを考えてみたい。また, 電気自動車市場の中で, 一部の富裕者層でしかまだ普及していないテスラ・モーターズ社のロードスター (現在は生産を終了) やモデル S であるが, 他の野心的な電気自動車企業が淘汰されていく中で, いまだに大胆な展開を行う同社の競争優位性をあらためて検証することで, 同社の起こした革新をまとめることとした。

1. 電気自動車市場をとりまく概況の再考察

1-1. 電気自動車の普及を阻む要素

ロジャースによると、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%を「後期多数採用者」と呼び、最後ようやく採用する16%が「採用遅滞者」となる(Rogers, 1982)。現在、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ることを阻むいくつかの壁について、ここでは考えてみたい。

まず、電気自動車の普及を阻む要素は以下の5つにまとめられる(井熊, 2013)。

① コスト問題

ガソリン車と比べて価格が高い。

② エネルギー供給源の性能問題

ガソリン車の代替となるためには、既存の電池の性能が不十分。

③ エネルギー供給インフラの整備問題

充電のためのインフラ整備に多額の費用と時間がかかる。

④ エネルギーの充填時間の問題

ガソリン車に比べてエネルギーの充填時間が長い。

⑤ エネルギー供給事業の成立性の問題

ガソリンスタンドのような事業モデルが成立しない。

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、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がないので、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、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（石川，2011；デトロイトトーマツ，2010）。

電気自動車の中核部品である電池にまつわる「価格が高い」「給電時間が短い」「充電時間が長い」という電池にまつわる3つの問題について井熊（2013）は、価格については、自動車向け電池が大量生産されるようになれば、ある程度解決される可能性があるという。

しかし、給電時間の短さを解決するのは容易ではない。エネルギー源としての電池の本質的な性能に起因しているからである。ガソリンのエネルギー密度が、12,000wh/kgであるのに対し、リチウムイオン電池は、200wh/kgであり、単純に比較しても、エネルギー供給源としての性能には60倍の差があることになる。電池の性能を上げる一方で、多量の電池を積めるような車体設計を行うなど対処の方法はあるものの、エネルギー密度という基本性能に関わる問題のため、解決は容易ではない。

また、充電時間をガソリン車の給油時間並みにするのも容易ではない。最新の急速充電器を使うと30分で充電が可能だが、ガソリン車の給油が2、3分で終わるのと比べるとはるかに長い。充電側の事業性の問題もある。電気自動車は1台の自動車に充電される電気の価格がガソリンの価格の10分の1程度と大幅に小さいうえ、充電時間が長いために1日にさばける自動車の台数が少なくなるので、ガソリンスタンドと同じような投資回収ができなくなる。しかも、急速充電器の値段は1台で1,000万円する。充電の事業性を上げないと、いくら公的資金を投じてでもガソリンスタンドのような普及は期待できない。

このように、電気自動車の持つ特徴自体が抱える諸問題に加え、社会的インフラ整備の道筋が見えてこないことが、「前期多数採用者」のレベルに達することを妨げているといえるであろう。

1－2．次世代自動車の様相と電気自動車のカテゴリー分け

現在、次世代自動車としては、すでに事業としての採算性も高く、普及も著しいハイブリッド車が快調である。最近の動向として注目すべきは、燃料電池車である。燃料電池車については、2014年～2015年にかけて、第二次燃料電池車ブームが到来する。2015年にトヨタとホンダが燃料電池量産車を販売することを公表したからである¹⁾。ただし、課題も多い。国の施策である「次世代自動車戦略2010」のロードマップでは、

プラグイン・ハイブリッド車と電気自動車の普及の後に燃料電池車の普及促進となる予定であった。しかし、燃料電池車の普及に舵が切られた今、政府は充電のインフラと水素ステーションのインフラの両方に予算を組む羽目になっている。また、水素価格も決まっていない。その中で、自動車メーカーは、1立方メートルあたりの価格を仮定して車両開発を進めている。水素ステーションに関しては、国土交通省、経済産業省、消防庁が規制緩和を進めており、1ステーションあたりの建設コストは1億円前後に下がる見込みであるが、参入を予定する企業も収支予測が難しく二の足を踏んでいるところが多い。

バイオ燃料車も代表的な次世代自動車である。バイオ燃料車では、ガソリンや軽油にバイオ燃料を混ぜる方法が一般的であるから、自動車側のコストアップはほとんどない。燃料についても、ガソリンの値段が高騰した場合にはむしろバイオ燃料の方が割安になることもある。燃料の供給についてもガソリン車のインフラを使えるので問題ない。普及に向けた最大のハードルは、燃料の供給力問題である。世界有数の生産能力を持ったアメリカでさえ、穀物価格の高騰という供給問題が生じている。世界最大の砂糖生産国のブラジルでも、食料とバイオ資源の奪い合い問題が生じている。日本とはケタ違いの農産物生産力を持つ農業大国ですら難しいのに、農業小国であり世界有数の自動車大国である日本では農産物から安定したバイオ燃料を供給することは明らかに難しい。廃油から生成されるバイオディーゼルのように、リサイクル資源からバイオ燃料を作る可能性はあるが、効率的には、発電用に使った方が望ましいという。バイオ燃料の供給問題を解消する画期的なバイオ燃料生成技術の開発が可能になれば、井熊は、バイオ燃料車がもっともエコな自動車としての条件が整っていると考えている（井熊、2013）。

次世代自動車の動向については、今後の展開を見据える必要があるが、電気自動車の普及において忘れてはならないのは、幅広いバリエーションである。電動で動く移動手段というだけであるなら、世の中に普及しているものはすでに数多くある。世界では、何千万台もの電動バイクが走り、国内では電動アシスト自転車の生産台数が50ccの原付バイクの市場を抜き去ったという。一時期話題になった立ち乗り電動自動車「セグウェイ」も順調に普及している。

しかしながら現在、社会で認知されている電気自動車の中で、公道を走ることのできる車は、大きく4つのタイプに分けられると言えよう。

ひとつは、テスラ・モーターズ社のロードスターやモデルS、すでに経営破たんしたがフィスカー・オートモティブ社のフィスカー・カルマといった本体価格が700万円以上するような高級車である。もうひとつは、乗用車、セダンとして利用できる電気自動車であり、日産のリーフや、すでに経営破たんしたCODAの自動車がそれに当たる。また、電気自動車の軽として、日本の自動車会社で世界に先駆けて発売された三菱のi-MiEVがある。

最後のカテゴリー、また新たなカテゴリーとして最近注目されているのが、超小型モビリティという電気自動車である。超小型モビリティは、自動二輪車と軽自動車の中間のような存在である。これらの車両は、国土交通省の特別措置の認定制度により、軽自動車の規格を基準とし、公道走行が可能になっている。具体的には、車両の長さ、幅、高さは軽自動車の規格以下の三輪車または四輪車であり、乗車定員は2名以下、2名の年少者用補助乗車装置を取り付けた場合は3人以下である。動力の出力は定格出力8キロワット以下、または排気量が125cc以下になっている。2014年時点で、社会的に認知されているこのカテゴリーの車は、4モデルある。日産の「ニューモビリティコンセプト」とホンダの「MC-β」、コボット社の「コボットθ」、とトヨタ車体の「コムスT・COM」²⁾である(桃田, 2014)。

1-3. 電気自動車製造企業の動向

2010年末に発売された日産リーフは、ルノー社との合計で、2016年度までに累計150万台の販売目標を立てたが、2014年9月の段階で、販売台数は17万6,000台にとどまっている。2015年には、新たな新型EVを商用車として位置付けて発売するが、電気自動車の課題である航続距離の短さと価格の高さ、充電設備の未整備の三重苦に対しての打開策として、日産は軽EVの開発に力を入れている。また、三菱自動車工業は2009年、i-MiEVで電気自動車の先陣を切ったが、2013年9月までの販売数は、国内約9,000台、世界累計約16,800台に過ぎない。

現在、日産と三菱自動車は、i-MiEVの後継となる軽EVを日産「デイズ」車をベースに開発中である。価格は、補助金があれば100万円台で購入でき、航続距離をリーフに近づけていけばユーザーの使い勝手が大幅に向上すると踏んでいる。まずは価格を下げて買いやすい軽EVを投入し、その次に電池の性能向上を取り込んで航続距離を伸ばすことで電気自動車の普及を加速していくというシナリオを描いているようだ³⁾。

他方、アメリカでは日本に比べて電気自動車の普及のスピードが速まっている。ルノー・日産アライアンスの2013年7月までの累計販売台数は、10万台を突破し、2013年に販売数が急増している。しかし、それでも投資家が期待したほどの市場ではない。

さらに、投資家の懸念材料として、ここ数年、電気自動車関連のベンチャーの破たんや経営危機が相次いでいる。2012年10月には、オバマ政権が支援したリチウム電池メーカー、A123 システムズが破産を申請している。同社は2001年にベンチャー企業として、電気自動車搭載用電池の商品化を進めた。電気自動車用のリチウムイオン電池の開発と普及は、オバマ大統領が推進するグリーン・ニューディール政策に沿うものであり、アメリカ・エネルギー省から2億4,900万ドルの助成金を獲得している。しかし、2011年、同社の電池を搭載した高級ハイブリッド車、後述するフィスカー・

カルマが炎上事故を起こし、リコールをかけている。その後、製品の評価が下落し、倒産した。同社は、現在、万向集団に買収されている。

2013年11月には、プラグイン・ハイブリッド車を販売していたフィスカーが全社員の75%を解雇した後、経営破たんしている。フィスカー・モータース社は、アメリカ・エネルギー省の低利融資、1億9,000万ドルを受け、高級プラグイン・ハイブリッド車を発売している。このハイブリッドシステムは、シリーズ方式を採用し、リチウムイオン電池に蓄電した電気を利用して走行できる距離は約80kmであり、電池の残量がなくなると、発電専用エンジンを稼働させて電気を得る。ところが、発売早々、2台のカルマが炎上する事件があり、1,400台がリコールされている。同社も破たん後は、万向集団に落札されている。

さらに、2013年5月には、電気自動車ベンチャーのC O D Aが実用的なE Vセダンを発売したが、わずか100台しか販売できず、破産を申請した。同年6月には、電気自動車の製造・販売事業から撤退し、エネルギー貯蔵関連事業を手掛ける企業へと転身している。

フィスカー・オートモティブ社と同じ2007年にアメリカで生まれ、電気自動車の弱点である充電問題を「電池の積み替え」で解決したベタープレイスは、フィスカー・オートモティブ社と同様、2013年に会社の解散と清算を表明している。ベタープレイスは、シャイ・アガシによって創業された電池交換型のE Vステーションのインフラを提案するベンチャー企業である。同社はまず、世界各国の再生可能エネルギー、次世代蓄電池、E Vや燃料電池車などの次世代車に関わるカンファレンスで、自社の企業哲学のプレゼンテーションを行い、各国政府から補助金を受けて、実証試験を展開している。第一号は、環境省の補助金で、日本に電池交換式ステーションを設置した。その後、イスラエル、ノルウェー、デンマーク、オーストラリアなどの政府やファンドから資金を得て、実証実験を進めていくが、事業の具体的な収益見通しが甘く、結局投資マネーを集めただけで、事業を解散している。中国政府も電気自動車を戦略産業にしようとしているが、今のところ離陸する様子がない(井熊, 2013; 桃田, 2014)。

こうした逆風のなかで、同じくオバマ政権のグリーン・ニューディール政策の融資を受けていて、いまだに生き残っているのが、日産と本稿が研究対象としているテスラ・モータース社である。同社が2012年に販売した電気自動車モデルSは、技術的にかなり完成度が高いと言われている。その理由として、同社の設計開発には、ジャガーやレンジローバー出身の技術者が数多くかかわっていることがあげられる。彼らは、フォードが2008年にこれらの2社をインドのタタに売却した際に退社した後、アメリカ国内で再就職先を探していたのである。

アメリカにおける競合他社が次々と暗礁に乗り上げていく中で、テスラ・モータース社はどのような競争優位を持っているのであろうか。同社の歴史を振り返った上で、同社の起こした革新について、再び検討したい。

2. テスラ・モーターズ社の再考察

2-1. テスラ・モーターズ社の歴史と最近の動向

テスラ・モーターズ社（以下、テスラと略す）は2003年に電気自動車の製造・販売の目的で、米国カリフォルニア州パロアルトにて設立され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。その後テスラは2012年に、世界初のプレミアムEVセダン、モデルSを発売し、世界で5万台以上販売している。2014年9月現在の時価総額は350億ドルであり、創業から10年間で大手自動車メーカー、アウディやルノーを超えた。2015年には、量産開始を予定しているモデルXを発売する予定があり、現在開発中のモデル⁴⁾は2017年に発売を目指している。

表1. テスラ・モーターズ社の主な出来事

2003年	カリフォルニア州で設立
2008年	テスラ・ロードスターを販売開始
2009年	ダイムラーと提携（ダイムラーから5,000万ドルの出資を受ける）
2010年	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 トヨタ自動車と資本提携（トヨタから5,000万ドルの資金提供を受ける） 米政府エネルギー省から4億6,500万米ドルの融資を受ける モデルSの研究開発 米国で株式を上場 青山にアジアで初めての直営店をオープン テスラ・モデルXを発表
2012年	テスラ・モデルSを販売開始
2012年	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
2013年	米政府から受けた融資を返済期限より9年前倒しして完済
2014年	独ダイムラーとの提携は解消へ トヨタはテスラの保有株を一部売却し、提携関係は維持する方針

また、最近のテスラはダイムラーやトヨタとの連携を相次いで解消している。2014年10月21日にドイツのダイムラーはテスラとの資本提携を解消したと発表した。ダイムラーは保有するテスラ株約4%を約7.8億ドルで売却したが、テスラ製のリチウムイオン電池の採用など現行の業務提携は続けるとしている⁵⁾。

また、2014年10月24日にトヨタはテスラの保有株式の一部を売却したことを明らかにし、「今後も友好な関係は維持し、協業の可能性を検討していく」と発表した⁶⁾。ただし、テスラはトヨタへのEV用リチウムイオン電池の供給を打ち切る予定であり、協業関係は薄まりつつある⁷⁾。

表1はテスラのこれまでの簡単な歴史を示したものである。

2-2. テスラ・モーターズ社の普及における優位性

先述したように、電気自動車の普及を阻む要素は以下の5つであった(井熊, 2013)。

- ① コスト問題
- ② エネルギー供給源の性能問題
- ③ エネルギー供給インフラの整備問題
- ④ エネルギーの充填時間の問題
- ⑤ エネルギー供給事業の成立性の問題

この5つの問題に対して、テスラの電気自動車は、社会インフラの追い風も受けつつ、次のように克服を図っている。

テスラの自動車の販売価格は、いまだに一般の消費者にとって高嶺の花である。たとえば、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)、モデルSは823万円であり⁸⁾、アメリカにおいても、主な購買者は富裕者層である。それでも、その特徴的なフォルムとスムーズな走りは、環境に優しい電気自動車のアイコンとしての役割を十分に果たしている。すでに、破たんしたフィスカー・カルマは、品質に大きな不安を抱えていたが、テスラはその点についても克服し、技術力や製造品質に関する信用を得ている。また、エネルギー供給源の諸問題のうち、電池の性能に関しては、ロードスターは3.9秒で時速100kmまで加速し、搭載されたりチウムイオンバッテリーは1回の充電で394kmの航続距離を実現し、EVの新基準を確立している。モデルSはさらにAWDデュアルモーターが標準装備され、高性能リアモーターと高効率フロントモーターが組み合わさることでスーパーカーの加速力を発揮でき、3.4秒で時速100kmに達すると言われる。スーパーチャージャーを利用すると、20分でバッテリーの半分まで充電でき、1回の充電で最大480kmの走行が可能である⁹⁾。

エネルギー供給インフラや供給事業については、アメリカ・カリフォルニア州を拠点に置いていることがテスラに有利に働いている。

カリフォルニア州は、2025年までに150万台の電気自動車を導入するという、全米でもっとも高い目標を掲げている。カリフォルニア州環境保護法の大気資源委員会によると州内における電気自動車の累計販売台数が、2014年8月に10万台を超えたという。また、カリフォルニア州では、電気自動車の普及を促進するために、電気自動車の購入者もしくはリース契約者に補助金を支給している。支給額は、テスラのモデルSや日産リーフに関しては、2,500米ドルである。補助金を受けた電気自動車の所有者のうち、51%が購入で、49%はリース契約である。興味深いことに、日産リーフのリース契約率が84%と最も高く、テスラ・モーターズ社が1%と最も低かった。

カリフォルニア州には、もう一つユニークな電気自動車普及促進制度がある。それは高速道路での「カープール（乗り合い）車線」の利用を優遇する制度である。「カープール車線」とは、高速道路で最も走行速度が速い左側の車線であり、通常二人以上が乗車している車またはバイクのみが走行できる。ところが、電気自動車の場合、一人で乗車している場合でもカープール車線を走ることができる。電気自動車購入の際の購入動機にこの制度が効果的であることが分かっている。

さらに、カリフォルニア州には、電気料金にもEV専用プランが存在する。主に電力需要のピークを避けて夜間にEVの充電を促す「夜間の電気料金がお得な料金メニュー」である。こうしたカリフォルニア州のインフラの充実や制度の普及が、テスラ・モーターズ社の追い風になっていることは間違いない¹⁰⁾。

次節では、テスラの持つ強みを製造、開発、販売等の視点からそれぞれ整理してみる。

3. テスラ・モーターズ社の競争優位

3-1. テスラの製造における特徴と強み

テスラは、カリフォルニア州フリモントにあるGMとトヨタの合併企業であった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／週の生産能力があると言われている¹¹⁾。

テスラ販売店の従業員によると、2013年8月現在、フリモント工場の従業員数は4,000人以上であり、元NUMMIの従業員も多い。製造においては、ロボットを操作できる能力が必要であり、テスラにとっては、そうした人材が多いことも有利に働いている¹²⁾。

テスラは、製造の面で、GMとトヨタの合弁工場NUMMIの手法を継承している。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、労働者からのアイデアで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、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。NUMMI当時のオートメーションは、カスタムメイドの自動操縦措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、一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。テスラ施設内の組立工場は、全て自動で作業が行われている。

工場の中では、数百という汎用のKUKAロボットが、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。

テスラの工場は、新世代の電気自動車を組み立てるため、従来のガソリン車の組立工場より、電機製品の工場に近いと言われている。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く、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できる。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、同じモデルであってもカスタマイズされた車を作ることもできる。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。最終的な組み立て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)。

テスラの製造現場の特徴として、次の点も挙げられる。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、生産にクルマの設計を合わせているに過ぎない。これに対してテスラは、素材ひと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る（拙稿、2014）。

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は最大限活用することで、投資を最小限にした。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。生産台数は比較的小規模だから柔軟性が求められる。工場の最大の利点は柔軟性である。クルマの生産量やデザインの変化に対応するため、この方式なら床に張り付けた磁石ラインを付け替えるだけで済む。売ればラインを延ばせばいいし、売れなければ短くすればいい。簡単だし安いという考え方である（拙稿、2014）。

3-2. テスラの開発における特徴と強み

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、常にキャッシュフローに課題があるとされている。ダイムラー、パナソニック、トヨタの出資を受けた以外にも、アメリカ・エネルギー省低利融資の承認を受けた。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。

テスラは自動車基幹技術をゼロから手がけたと考えられる。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であった。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ひと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ている。数千個のバッテリーを使用することで1セル辺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する以外、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。ただし、テスラ・モーターズ社の自動車の心臓部である2次電池に関しては、懸念材料もある。テスラ・モーターズ社を使用している円筒型の小型リチウム電池「18650」は、民生機器で広く使われているものであり、量産効果でコストをおさえられる。しかし、この「18650」は寿命が数年の民生機器に向けた電池に過ぎないと言われている。すなわち、構造上水分と熱に強くないので、今後電池の劣化による重大な欠陥や事故が起こる可能性は高まる。テスラ・モーターズ社は電気自動車業界を先頭で引っ張る存在なだけに、安全・安心に関わるリスクは大きく、電気自動車関連の部品市場全体に大きく影響を与える可能性が高いであろう¹³⁾。

テスラのEV車に搭載するリチウムイオンの2次電池について、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 Gchem社の5社から調達していたが、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、コンピューターソフトウェア、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。大木（2011）によると、「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であるという¹⁴⁾。

また、テスラは現在、中核部品であるバッテリーやリチウムイオン電池の開発、製造のために、複数の巨大電池工場建設をパナソニックなどの協力会社とともに始めている。工場が稼働することによる量産効果で電池コスト削減が成功すれば、より自動車本体の価格が下げられるだけでなく、2次電池を活用する市場を自動車以外にも広げていくことができる。

3-3. テスラの販売における特徴とその他の強み

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、趣味的な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。独立系ディーラーを排し、直営の店舗によって、独自性と高級感を打ち出している。

また、企業全体としてのネットワークを生かしたアウトソーシングに関しても、特筆すべき点がある。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、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。多産多死を特徴とする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。

周知のように、グーグルやアップルなどのIT関係のベンチャー企業も自動車関連の開発に積極的に関与している。グーグルは自動運転実験車「グーグルカー」を開発し、携帯端末向けのOS 안드로이드を車載器に搭載するためのコンソーシアムを立ち上げた¹⁵⁾。また、アップルは「iOS in the car」をメルセデス・ベンツなど大手自動車メーカー数社に提供している¹⁶⁾。

テスラの強みは、既存の自動車産業の枠に縛られない協業関係を容易に生み出すことができることである。アップルやグーグルが今後本格的に自動車産業に参入して行く可能性があるが、テスラはすでにその先を見据えた動きを考えている。

もともと電気自動車は、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; デトロイトトヨタ, 2010)。

現在、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らなくなる。それ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、IT技術を活用したテスラの強みとして捉えられる。

4. 今後の研究に向けて

本稿では、電気自動車の普及を妨げている要因をあらためて明確にし、次世代自動車の候補として考えられる自動車の種類や、電気自動車のカテゴリーのバリエーションについてまとめた。我々が2014年8月にアメリカ・カリフォルニア州での現地調査を行った際、高速道路を走っている車に、電気自動車を何台も容易に見つけることができた。日本でも日産リーフを時々見かけるようになったとはいえ、その比ではない。また、グーグル本社 of 広大な敷地の中では、セグウェイを始め、数多くの電動小型モビリティが走っていた。やはり電気自動車の普及には、社会的インフラの整備や制度の充実が不可欠であることは間違いないであろう。

本稿で焦点にあてたテスラ・モーターズ社は、電気自動車製造に取り組んだ多くの会社の中でも、ガソリン車を製造した経験のない企業のひとつである。一世を風靡した同様の企業が、社会的インフラ整備の遅延や購買者の伸び悩み、資金繰りの悪化に抵抗できず淘汰されるなかで、積極的な設備投資を続け、高級電気自動車のカテゴリーにおいて、一定の成果をおさめている。

その要因として、テスラ・モーターズ社のCEOであるイーロン・マスク氏の卓越した経営能力とカリスマ性がまず挙げられる。マスク氏は、電気自動車だけでなく、宇宙ロケットや太陽光ベンチャーなど、21世紀の産業革命を起こす人物であると言われている。大言壮語を吐くだけでなく、電気自動車の普及に関しては、緻密な計算をもとに、着々と手を打っていることがうかがえる。

本稿では、テスラの強みを製造、開発、販売の視点から整理したが、製造においては、トヨタとGMの合併企業であるNUMMIの跡地と人材をうまく活用し、技術力の高い企業との綿密な連携関係を築き、オープンなネットワークの利点をうまく生かしている。中核部品であり、電気自動車普及の妨げともなっているリチウムイオン電池に関しては、ギガファクトリー建設によって、課題解決の道筋を世間に見せている。

昨年の研究ノートで、我々はイノベーションを近能と高井（2010）の定義に基づいて考察した。彼らの定義は、次のようであった。

「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」。

テスラ・モーターズ社は、電気自動車を普及させるために、着々とステップを踏みつつある。ロードスターという走りを追求した超高級スポーツカーという第一世代から、高級車のモデルSとモデルXの第二世代、第三世代が、2017年に発売を予定している「モデル3」である。他の電気自動車製造企業は、普及の次の段階に行くのに足踏みしたり、企業存続が難しくなっているが、テスラだけが、経験値を蓄積しつつ、次

のステップを目指している。その結果がどうなるかは、今後も動向を注視したい。しかしながら、同社の生み出したものは、間違いなく自動車産業のイノベーションであるといえるであろう。

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・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) トヨタの世界初の量産燃料電池車「MIRAI」は、tesla・モーターズ社のモデルSよりも安く、約520万円で発売される。
- 2) トヨタ車体の開発した「コムス」は、2012年11月から、トヨタ通商によって、マンション向けのカーシェアリングサービスに活用されている。当時、公道を走れる超小型EVは、原付の規格であるコムスのみであった（日経エコロジー、2013年1月号）。
- 3) 日本経済新聞、2014年10月22日。
- 4) 日経 Automotive Technology、2014年11月号。
- 5) ダイムラーは2009年5月にteslaに5000万ドルで約9%出資した。車載用電池の開発ノウハウなどを吸収する一方で、ベンチャー企業のteslaの事業の立ち上げを支援するとのスタンスを取っている。その後、出資比率は低下したが、小型車「スマート」のEVの初期モデルや、「ベンツBクラス」のEVにtesla製電池を使用してきた。今後は電池製造段階から自前で手がけ、開発の効率化とスピード向上を狙うという（日本経済新聞、2014年10月22日）。
- 6) トヨタは2010年5月にteslaと電気自動車分野における共同開発を行う業務提携を発表し、5,000万ドルを出資した。主な事業はカリフォルニア州で販売しているスポーツタイプ多目的車（SUV）「RAV4」の電気モデルを共同開発するなどの協業である（産経ニュース、2014年10月24日）。
- 7) Reuters、2014年10月24日。
- 8) tesla・モーターズ・ジャパンホームページ、2014年2月12日。
- 9) モデルSは2014年第3・四半期の販売台数は過去最高の7,785台で、大半が北米で販売された。イーロン・マスクはモデルSをさらに3万5,000台製造して3万3,000台を納入すると共に、2015年の販売台数は前年比50%増の5万台近くを見込んでいることを明らかにした（ロイター、2014年11月6日）。
- 10) 日経エレクトロニクス、2014年12月22日号。
- 11) tesla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」(日経ビジネスオンライン, 2010年11月22日)。

12) 2013/8/3 San Jose テスラ販売店インタビュー, 日経ビジネス, 2014年9月29日号。

13) 日経エレクトロニクス, 2014年8月4日号。

14) テスラ・モーターズ社のビジネスモデルについては, 大木(2012)は「オープン・モジュール型企業」とし, 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。

15) 2014年1月6日にグーグルはアンドロイドで自動車業界を参入することを発表した。コンソーシアムの名称はOAA(オープン・オートモティブ・アライアンス)で, 参加を表明したのはグーグルの他に, 自動車メーカーではGM, アウディ, ホンダ, ヒュンダイ, 半導体メーカーの米エヌビディアである(桃田, 2014)。

16) 「iOS in the car」はiPhoneにアップルの音声認識システム「Siri」で音声入力すると, 車載器のモニターにiOS専用画面が対応するものである。これにより, ドライバーはハンドルを握ったまま電話, カーナビ, 音楽, メッセージが使える。「iOS in the car」の採用を決めたのは, メルセデスベンツ, フェラーリ, ホンダのアキュラ, 日産のインフィニティ, GMのシボレーのほか, ドイツのオペル, 韓国のヒュンダイとキア, 中国資本のスウェーデン企業ボルボ, インド資本のイギリス企業ジャガーの12社(桃田, 2014)。

参考文献

デト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『図解次世代自動車ビジネス早わかり』中経出版, 2010.

井熊均編著『「自動運転」が拓く巨大市場』日刊工業新聞社, 2013.

石川憲二著『電気自動車が一番わかる』技術評論社, 2011.

川島英司ほか著, 日経AUTOMOTIVE TECHNOLOGY編集『電気自動車が革新する企業戦略』日経BP社, 2009.

近能善範・高井文子著『コア・テキスト イノベーション・マネジメント』新世社, 2010.

クリス・アンダーソン著『MAKERS 21世紀の産業革命が始まる』NHK出版, 2012.

御堀直嗣著『電気自動車は新たな市場をつくれるか』日刊工業新聞社, 2010.

桃田健史著『アップル, グーグルが自動車産業を乗っ取る日』洋泉社, 2014.

村沢義久著『電気自動車 市場を制する小企業群』毎日新聞社, 2010.

中川功一著『技術革新のマネジメント』有斐閣, 2011.

野中郁次郎・遠山亮子・平田透著『流れを経営する』東洋経済新報社, 2010.

大木裕子「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, 2011.

Rogers, E.M., *Diffusion of Innovation*, 3rd edition, Macmillan Publishing, 1982. (青池慎一・宇野

善康著『イノベーション普及学』産能大学出版社, 1983)

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『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, 1977.)

武石彰著『分業と競争』有斐閣, 2003.

竹内一正著『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, 2013.

土屋勉男・大鹿隆・井上隆一郎著『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, 2010.

塚本潔著『電気自動車ウォーズ』朝日新聞出版, 2010.

Tushman, M.L. and P. Anderson, “Technological discontinuities and Organizational environments”, *ASQ*, Vol.31, 1986.

拙稿「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—」『産業経済研究所紀要 第24号』中部大学, 2014.