

東アジアにおける自動車産業の 破壊的イノベーションの新しい形

The New Model of Disruptive Innovation for Automobile Industry in The East Asia

柴 田 高

1. はじめに

世界最初の自動車は、フランス陸軍の軍事技術者であるニコラ・ジョゼフ・キュニョー (Nicolas-Joseph Cugnot) が1769年に製作した大砲牽引用の蒸気自動車とされ、1770年に製作した2号車が現存している。これは、ジェームス・ワット (James Watt) が1765年に実用的な蒸気機関を発明して、わずか4、5年後のことであり、キュニョーの蒸気自動車が蒸気機関のピストンの往復直線運動を連続的な回転運動に変換する最初の試みであったと言われる。しかし、これが事業として広がりを見せることはなく、蒸気自動車の製造販売が事業として成立するのは、19世紀に入ってからである。その一方、19世紀末には二次電池 (バッテリー) と電動機 (モーター) の組み合わせによる電気自動車 (EV) が登場したが、1908年に、アメリカ合衆国でヘンリー・フォード (Henry Ford) がガソリンエンジンを用いた「フォードT型車 (Ford Model T)」を大量生産・大量販売し、その成功によりバリュー・ネットワーク (Value Network) を刷新して、今日に至った。しかし、1960年代末から、自動車の排気ガスによる大気汚染が問題視されるようになり、環境への負荷の小さい自動車の開発が進められるようになった。その嚆矢となったのが、1973年12月に発売され、世界で最初にアメリカ合衆国の「1970年大気浄化法改正法」、通称マスキー法 (Muskie Act) の規制値を満たした低公害エンジン搭載車のホンダ・シビック CVCCである。その後、欧米や日本を中心に自動車の排気ガスへの規制が強化されるのに伴って、さまざまな技術が開発されてきたが、大きな転機となったのは、トヨタの開発したハイブリッド・システム (Hybrid System, HV) を搭載した、1997年12月発売のプリウスの登場であった。ハイブリッド・システムの字義は、複数の異なる動力系を組み合わせたものとなるが、具体的にはガソリンエンジン、ないしディーゼルエンジンなどの内燃機関と、二次電池と電動機という電気自動車の動力系を組み合わせたものを指し、加速時のエンジン負荷を低減させることにより、排気ガス中の有害物質を低減させるとともに、燃費の改善を実現する技術である。

20世紀の末期の自動車産業のグローバル化にともない、排気ガスによる環境破壊は、欧米や日本などばかりでなく、アジアの発展途上国など世界的規模で認識されるようになった。

東アジアにおける自動車産業の破壊的イノベーションの新しい形

その結果、環境負荷の小さい自動車として、プラグイン・ハイブリッド・システム（PHV）、電気自動車、燃料電池自動車（FCV）など、かつては、ガソリンエンジン車に駆逐された形となった電気自動車の要素を持つ自動車に注目が集まり、大手自動車メーカーはこれらの技術開発に積極的に取り組んでいる。今日では、さまざまな国で、電気自動車の普及を促進する政策が取られ、さらに近い将来、単純なガソリンエンジン車やディーゼルエンジン車の販売が禁止され、ハイブリッド・システムや電気自動車しか販売できなくなるという政策が発表されている。特に、東アジアではこの動きが顕著に観察される。中国では2017年から電気自動車優遇政策を採り、新車購入に際して電気自動車の方がナンバープレート登録が早く行われることに加えて、登録を必要としない簡易的な車両の普及が進んでいる。また、インドやタイ、フィリピンなど、大都市部で朝夕の交通渋滞の激しい国では、大気汚染対策のために電気自動車導入を促進する政策が取られている。たとえば、タイでは、首都バンコクにある約22,000台の三輪タクシーの「トゥクトゥク」を2025年までに全て電気自動車に置き換える、と発表している。

このように、電気自動車の普及本格化が近づくにつれて、電気自動車の事業化に合わせた新しい形の破壊的イノベーションが観察されている。本稿では、電気自動車の事業化における新しい形の破壊的イノベーションを、東アジアの事例をもとに分析し、その特徴を抽出しようとするものである。

本稿は、以下のような構成を取っている。1. はじめには、本稿の問題意識と背景や概要を説明する。2. 先行研究では、本稿の主眼であるイノベーションの新規事業化に際するバリュー・ネットワークの概念について、アバナシーとクリステンセンの議論を中心にまとめる。3. 自動車産業における電気自動車の事業化の歴史では、電気自動車の登場、ガソリンエンジン車のドミナント・デザイン化、ハイブリッド・システムと電気自動車の再評価、東アジアにおける低価格電気自動車の事業化などについて、歴史的経緯をまとめ、その中で新しい形の破壊的イノベーションについて整理する。4. 観察からの知見では、中国での調査から得られた観察事実を整理・分析する。5. おわりにでは、本稿の結論をまとめる。

なお、本稿は2017年度の東京経済大学個人研究助成費（A）17-12「東アジアにおける日本企業のグローバリゼーションおよびローカライゼーションの研究」の支援を受けた研究成果をまとめたものであり、記して謝意を表したい。

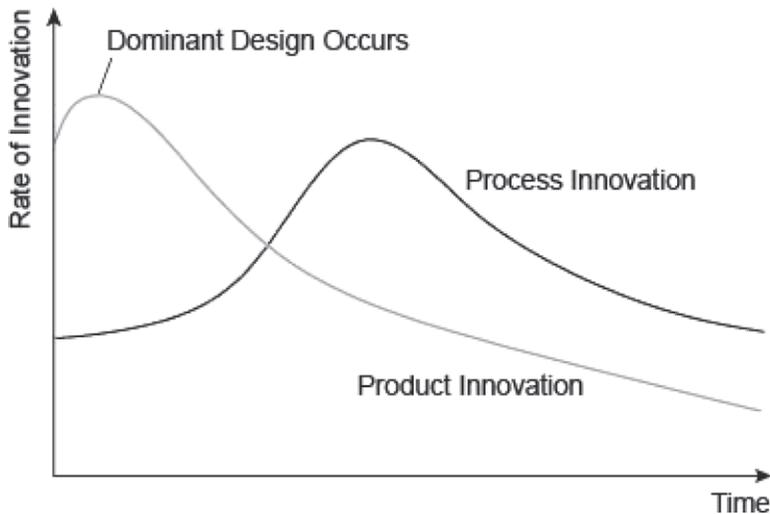
2. 先行研究

2-1. アバナシーのドミナント・デザイン論

本稿では電気自動車の事業化に関して、自動車技術史としての側面ではなく、あくまでイノベーションに基づく新規事業化のプロセスについて考察するものである。イノベーション

の類型化と、製品ライフサイクルの関係を、自動車産業をもとに分析したのがハーバード大学教授のウィリアム・アバナシー (William J. Abernathy) である。アバナシーは、著書『Productivity Dilemma』(1978)において、イノベーションを「どのような製品が好まれるか」というプロダクト・イノベーション (製品革新) と「決まった仕様の製品をどのようにして効率よく製造するか」というプロセス・イノベーション (工程革新) に類型化し、製品ライフサイクルの進行とともに両者の出現頻度が変化することを理論化した。導入期においては、市場はまだ競争以前の段階にあり、さまざまなプロダクト・イノベーションが創出され、多様な製品コンセプトのものが登場する。その中から、多くの顧客に支持され、高い売れ行きを示す製品が現れると、市場は成長期に入り、市場で支配的となる事実上の標準製品が形成される。このような市場の常識となる製品特性の範囲を「ドミナント・デザイン (Dominant Design)」と呼び、市場への参入企業はいずれもドミナント・デザインに沿った、似たような外観と仕様の製品を製造販売して、激しい競争を繰り広げるようになる。その場合、プロダクト・イノベーションの出現頻度は低下して、それに代わってプロセス・イノベーションの出現頻度が高まる。市場が成熟期に入ると、どちらのイノベーションの出現頻度も低下するようになる。このように市場の成熟化に伴い生産性は向上するがイノベーションは少なくなり、そのイノベーションも競合企業に模倣されやすくなるという、イノベーションと生産性のトレードオフの関係を、アバナシーは「生産性のジレンマ (Productivity Dilemma)」と呼んだ。さらに、「ドミナント・デザイン」の典型例として、「フォードT型車」を取り上げている。アバナシーの論議は、イノベーションを類型化して、その交代を論

図1 ドミナント・デザインと2種のイノベーションの関係



(出典：Abernathy, W.J., and J. Utterback (1978), 'Patterns of industrial innovation')

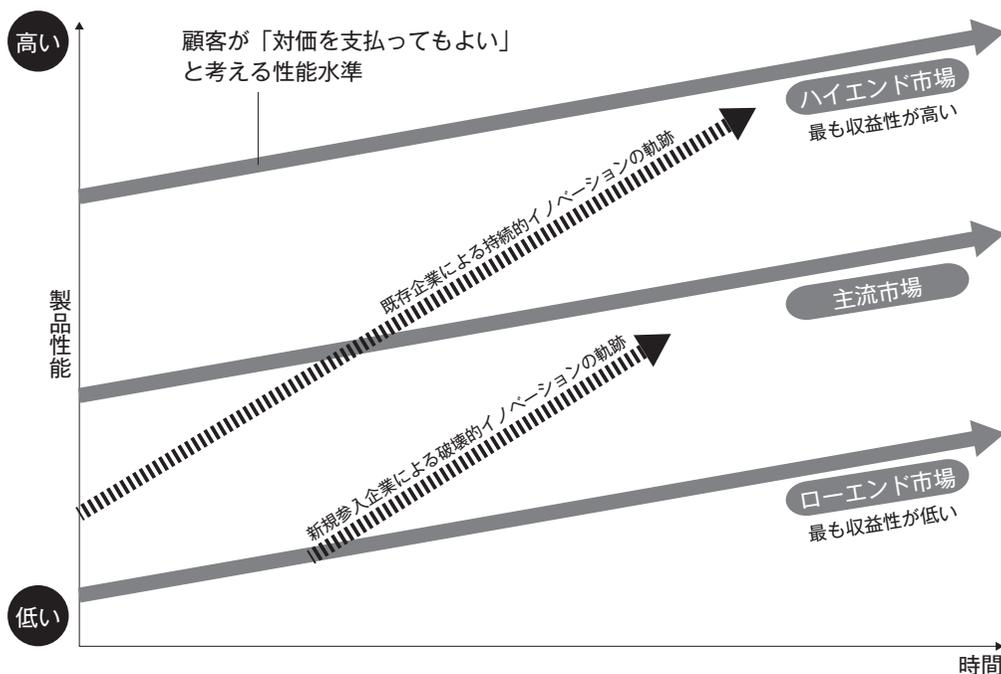
東アジアにおける自動車産業の破壊的イノベーションの新しい形

じた点で、きわめて斬新であった。ただし、三藤（2016）が指摘する通り、アバナシーの議論においては、「ドミナント・デザイン」の定義があいまいであり、どこまでの範囲を「ドミナント・デザイン」と呼ぶべきかが不明確なきらいがある。

2-2. クリステンセンのバリュー・ネットワーク論

アバナシーの弟子にあたるハーバード大学教授のクレイトン・クリステンセン（Clayton M. Christensen）は、著書『「イノベーションのジレンマ（Innovator's Dilemma）」』の中で、イノベーションに基づく製品ライフサイクルの世代交代に注目し、顧客の次世代のニーズを満たすために、顧客の声に熱心に耳を傾け、技術や製品や製造設備に積極的に投資を行うような、業界内の優良企業がしばしば致命的な失敗を犯し、市場内での地位を失うことが観察され、これを「イノベーションのジレンマ（Innovator's Dilemma）」と呼んだ。このような「イノベーションのジレンマ」の生起するような、従来製品の価値を破壊して、全く新しい価値を生み出すようなイノベーションを「破壊的イノベーション（Disruptive Innovation）」と呼んだ。さらに、クリステンセンら（2015）は「破壊的イノベーション」と呼ばれる変化

図2 破壊的イノベーションと市場のセグメント



（出典：クレイトン・クリステンセン，マイケル・レイナー，ロリー・マクドナルド著有賀裕子訳「正しく理論を適用し、いまに活かす 破壊的イノベーション理論：発展の軌跡」、『DIAMOND ハーバード・ビジネス・レビュー』，2016年9月号）

が、当初は既存製品よりも低性能、低価格で、業界内の優良企業が見過ごす、ないし対象としていない底辺層の顧客のニーズを満たすところから始まり、ひとたびこの顧客層で成功すると、それから一気に性能を向上させ、より上位の顧客のニーズを満たし、業界構造を変革していくことが観察される、と論じている。

また、クリステンセンとローゼンブルームはある共通するニーズを持つ顧客層と、それに価値を提供する企業群によって構成される機能的な集合体を「バリュー・ネットワーク (Value Network)」と呼んだ。これは既存顧客と自社、サプライヤー、流通事業者などからなるネットワークであり、企業にとっての生存環境、あるいは持続可能な生態系を示す。製品やサービスに求められる性能や品質の水準は、各「バリュー・ネットワーク」の価値基準に準じるため、企業が技術の経済価値をどのように認識するか、技術革新にどのような資源配分するかは、その企業がどの「バリュー・ネットワーク」に属しているかによって決まる。そのため、「破壊的イノベーション」が生起すると、主流となる「バリュー・ネットワーク」の交代も起きることになる。すなわち、低価格でほどほどの性能ないし品質の新興製品が市場で受け入れられると、その製品を持続的に生産する新興企業に素材、部品を低コストで提供するサプライヤーなどとの取引構造と、従来製品のそれとが全く異なるため、従来の優良企業が新興企業にその地位を脅かされることになる。クリステンセンの論議は、アバナシーのいう「ドミナント・デザイン」の定義の不明確な部分を補足し、明確化したと考えられる。本稿では、「バリュー・ネットワーク」について、(1) 製品仕様や製品コンセプトの特徴、(2) 標的顧客、(3) サプライヤーとの関係性、(4) 流通事業者との関係性について整理し、「破壊的イノベーション」によりどのような「バリュー・ネットワーク」が登場したかを論じる。

3. 自動車産業における電気自動車の事業化の歴史

3-1. 電気自動車の黎明期

現在では一般に知られることが少ないが、前述の通り、電気自動車の歴史は、ガソリンエンジンを用いた自動車の歴史より長い。電気自動車を構成する基幹部品は電池と電動機であり、ガソリンエンジンより古くから実用化され、それらを組み合わせれば「動く乗り物」を実現できることが容易にイメージできたからである。電気自動車の実用化に至る歴史的経緯は、森本(2013)に詳しい。以下は森本のフレームワークを中心に、他の資料からの記述を加えて整理したものである。

電池は、1800年にイタリア人物理学者アレッサンドロ・ボルタ (Alessandro Volta) が発明したボルタ電池までさかのぼることができ、1859年には充放電を繰り返すことのできる最初の二次電池である鉛蓄電池がガストン・プランテ (Gaston Planté) によって発明さ

れ、1880年代には実用的な鉛蓄電池が量産されるようになった。一方、機械の動力源として使える世界初の整流子式直流電動機は、イギリスの科学者ウィリアム・スタージャン(William Sturgeon)が1832年に発明した。さらに商業利用可能な整流子式直流電動機はトーマス・ダヴェンポート(Thomas Davenport)とエミリー・ダヴェンポート(Emily Davenport)夫妻によって1837年に発明された。その結果、1830年代から、多くの発明家の手により、電気自動車、電車、電気機関車などのルーツとなるような「一次電池と電動機によって車輪を回して進む乗り物」のさまざまな模型が作られるようになった。これらは実用化には程遠かったが、鉛蓄電池の登場以降は、二次電池を電動機と組み合わせて電気自動車を実用化しようとする試みが盛んになった。

「充放電を繰り返す二次電池と電動機によって車輪を回して、人間を乗せて道路上を進む乗り物」を電気自動車と定義するならば、1881年11月のパリ電気博覧会(Exposition Internationale d'Électricité)で公開された、フランスの技術者ギュスターヴ・トルーヴェ(Gustave Trouvé)の3輪車が最初の電気自動車と考えられる。これは既存の3輪自転車を改造し、0.1馬力の電動機と二次電池を搭載して自走能力を付加したものである。この電気博覧会では、ヴェルナー・フォン・ジーメンス(Werner von Siemens)の路面電車、トーマス・エジソン(Thomas Edison)の電球、グラハム・ベル(Graham Bell)の電話などの発明が展示されており、当時の最先端の技術を応用した製品の一つとして電気自動車が認識されていたことを示すものである。その後も、相次いでさまざまな電気自動車が試作され、性能の向上が図られてきたが、1880~1890年代の関心は、電池の改良により、最高速度や航続距離を高めることにあった。たとえば、1898年から残る国際自動車連盟(FIA)公認の最高速度の記録を見ると、19世紀の段階で最高速度を更新したのはいずれも電気自動車である。特に、1899年にフランスのパリ郊外のアシュレ(Achères)で開催された自動車レースにおいて、史上初めて時速100キロメートルを上回る最高速度を記録したのは、ベルギー人技術者でレーサーでもあった、「赤い悪魔」の異名を持つカミーユ・ジェナツィ(Camille Jenatzy)の乗る電気自動車「La Jamais Contente」であった。ただし、「La Jamais Contente」は、軽合金による流線形の車体に、2台のPostel-Vinay製25kWの電動機を搭載し、合計68馬力の出力を有し、タイヤはミシュラン製で、電池電圧は200V、最大電流は124Aという特性を持っている。森本(2013)によれば、当時の一般的な電気自動車の性能は時速20マイル(約36キロメートル)程度であったとされるため、この車両は記録達成に絞った特別仕様ではあるが、当時の蒸気自動車やガソリンエンジン車は機構が複雑で車重が大きく、歯車等による変速装置の操作が必要であり、加速に制約があったのに対して、電気自動車は相対的に車重を軽く作ることが可能で、変速装置の操作も不要のため、当時の技術でも高速性能に優れた自動車の製造が可能だったことを示している。

このように、1890年代には電気自動車に注目が集まってきた。先に普及してきた蒸気自

自動車と比較して静粛であり、蒸気自動車の始動には蒸気圧を高めるために最短でも20分程度の時間が必要であるのに対して、電気自動車は予め二次電池の充電が完了していれば、スイッチ一つですぐに発進できるという簡便さがあった。また、電気自動車は、二次電池の充電に時間がかかりながら、フル充電時の走行距離が短く、出先で充電可能な場所もきわめて限られていたが、蒸気自動車も1回の給水での走行距離がさらに短かったため、電気自動車の走行距離の短さも致命的な欠点とは認識されなかった。当時の自動車産業の主要顧客は、王侯貴族や富裕層に限られ、市場規模もきわめて限定的であったが、電気自動車は始動に手間がかからず、静粛であることから女性向けの自動車として認識されていた、と考えられる。森本（2013）によれば、1899年にはアメリカ合衆国の自動車製造会社は109社あり、製造販売の実績は1575台の電気自動車、1681台の蒸気自動車、936台のガソリンエンジン車であった、と言われる。

19世紀末の、電気自動車のバリュー・ネットワークを考えると、以下の通りとなると考えられる。

- (1) 製品仕様や製品コンセプトの特徴－蒸気自動車と比較して、騒音・振動が少なく、予め二次電池の充電が完了していれば、スイッチ一つですぐに発進できるという簡便さを有する。
- (2) 標的顧客－王侯貴族や富裕層の中でも、特に女性顧客。
- (3) サプライヤーとの関係性－ヨーロッパでは先行していた、馬車や自転車の部品技術を転用することができた。鉛電池の量産が可能になり、大容量化も進んだ。
- (4) 流通事業者との関係性－大量生産には至らず、受注生産の段階にとどまるため、流通事業者のネットワークは存在しない。

3-2. ガソリンエンジン車によるバリュー・システムの確立

ガソリンとは、石油から精製される揮発油のうち、炭素数4～10の炭化水素の混合物で、沸点が摂氏30度から220度の範囲にある、無色透明の液体の総称である。18世紀以前より、内燃機関の原理は知られていたが、自動車の動力源として使用可能な、霧吹き型のキャブレターによって形成された空気とガソリンの混合気をシリンダー内で圧縮燃焼させる4ストロークエンジンは、1883年にドイツの技術者ゴットリーブ・ダイムラー（Gottlieb Daimler）によって発明された。1885年には、カール・ベンツ（Karl Benz）がマンハイムで、世界最初のガソリンエンジンで駆動する3輪自動車「ベンツ・パテント・モートルヴァーゲン（Benz Patent-Motorwagen）」を発明し、この3輪車は1886年から1893年までの間に25台量産された。一方、同じ1885年にはゴットリーブ・ダイムラーもシュトゥットガルトで2輪車にガソリンエンジンを取り付けた「Reitwagen」を発明し、世界最初のオートバイとみなされている。さらに1886年にはガソリンエンジン搭載の4輪車「ダイムラー・モートル

キャリッジ (Daimler motorized carriage)」を発明した。カール・ベンツとゴットリーブ・ダイムラーはそれぞれ独自に自動車を開発しており、これらの車両が今日のガソリンエンジンの元祖と考えられている。

ただし、19世紀の段階で、ガソリンエンジンは必ずしも自動車の動力源の主流とはならなかった。たしかに、燃料タンクの容量を拡大したり、補助タンクを併用するなどにより、ガソリンエンジン車の航続距離は蒸気自動車や電気自動車よりも大幅に拡大できるのだが、19世紀末のガソリンの用途や流通は限定的で、価格も高かった。カール・ベンツの夫人のベルタ・ベンツ (Bertha Benz) が「ベンツ・パテント・モートルヴァーゲン」の3号車を運転して、自宅のマンハイムから実家のあるプフォルツハイムまで旅行した、世界最初の長距離ドライブに際して、途中のヴィースロホの市立薬局でシミ抜き用溶剤のベンジン (炭素数5~10の飽和炭化水素であり、ガソリンの一種でもある。) を購入し、燃料として補給した記録があり、その薬局は現存し「世界最初のガソリンスタンド」を示すプレートが取り付けられているという。さらに、エンジン始動に人力でクランク棒を回すという、危険で体力を要する作業が必要であり、走行時もギヤによる変速操作が必要で、煩わしさを伴い、エンジン内のシリンダーをピストンが往復する直線運動を回転運動に変換するため、等角速度運動とはならず、進み遅れから振動や騒音の発生を避けなかった。

しかし、1859年にアメリカ合衆国東部のペンシルベニア州で油田が発見され、1870年代にかけてこの地域で「ペンシルベニア・オイル・ラッシュ (Pennsylvania oil rush)」と呼ばれる採掘ブームが起き、さらに1901年には南部のテキサス州で大規模な油田が発見され、「テキサス石油ブーム (Texas Oil Boom)」あるいは「噴出時代 (Gusher Age)」と呼ばれる活況を見せた。テキサス州の石油総生産高は1900年には年間836,000バレル (13.3万kl)であったが、1902年には年間1,700万バレル (270万kl) になった、と言われる。これにより原油価格の暴落が起こり、テキサス州内には続々と石油精製施設が建設され、ガソリンは安価に入手可能な効率よいエネルギー源となり、ガソリンエンジンの優位性が高まった。

1908年に、フォードモーター (Ford Motor Company) より発売された「フォードT型車」は、ガソリンエンジンを搭載し、自動車に適した高張力鋼であるバナジウム鋼などを採用した先進的で堅牢な設計と、流れ作業による効率的な大量生産、全国ディーラー網の整備による大量販売により、大幅な原価削減と廉価販売を実現し、アメリカ合衆国での家用車の普及を促進して、1927年までに累積生産台数1,500万台以上となり、事業的にも大きな成功を収めた。Genat (2004) によれば、1914年には中流階級労働者でもフォードモーターの「フォードT型車」を購入できるようになった、と言われる。その結果、ガソリンエンジンが自動車のもっとも一般的な動力源として認識されるようになり、ガソリンの消費量も拡大した。済藤 (1983) によれば、「ガソリンは、初め工業用の溶剤等として使用されていたが、

一九一〇年代に自動車が普及すると、ガソリンの総需要に占める自動車用ガソリンの需要は、二五%（〇九年）から八五%（一九年）にまで増大した」という。さらに、競合企業からも同様の特性と構造を持つ製品が多数製造されるようになり、「フォードT型車」がもっとも普遍的な自動車の形態として市場に広まった。これが、アバナシーが「フォードT型車」を「ドミナント・デザイン」の典型例として指摘する理由である。

ガソリンエンジン自動車の欠点の1つであった、エンジン始動時のクランク棒操作については、チャールズ・ケタリング（Charles Kettering）の発明した実用的なセルモーターによるセルフスターターが1911年に高級車の「キャデラック（Cadillac）」に採用されて、特に女性顧客に好評を博し、1917年からは「フォードT型車」にもオプション設定され、急速に普及した。その後も、前照灯に電球が用いられるなど、電気部品の種類が増えたため、ガソリンエンジン車であっても鉛蓄電池を搭載することが一般化した。また、1913年12月にはガルフ石油がピッツバーグにガソリンの小売販売を目的としたガソリンスタンドを開業し、このようなガソリンスタンドは1921年には全米で約12,000軒、1929年には約143,000軒に増加したと言われる。これにより大都市内や主要国道沿いにガソリンスタンドが点在し、旅行者も給油に困ることがなくなったとされている。

20世紀初頭の、ガソリンエンジン車のバリュー・ネットワークを考えると、以下の通りとなり、破壊的イノベーションが生起したと考えられる。

- (1) 製品仕様や製品コンセプトの特徴－ガソリンエンジンを搭載し、バナジウム鋼などを採用した先進的で堅牢な設計と、流れ作業による効率的な大量生産により、廉価で実用的な大衆向け自動車を実現する。
- (2) 標的顧客－都市部の中流階級労働者および農村部の自作農。
- (3) サプライヤーとの関係性－部品や素材の多くを内製し、一貫生産体制を構築した。また、補完製品であるガソリンも大油田の発見に従って廉価になった。
- (4) 流通事業者との関係性－全国的な販売網を整備して、大量販売を推進した。また、補完製品であるガソリンも大手石油会社が全国的にガソリンスタンド網を整備した。

1920年代になると、アメリカ合衆国での自家用車世帯普及率が80%を超えるようになり、市場が成熟化し、買い替え・買い増し需要が中心の時代となる。「フォードT型車」は市場で飽きられ、それに代わってゼネラル・モーターズ（General Motors Company）の導入したフルライン化戦略が市場で受け入れられた。価格帯によって市場を6つのセグメントに分け、それぞれに適した製品を製造販売し、廉価で実用的な自動車だけでなく、高価で高性能な自動車まで用意し、さまざまな顧客の要望に応えた。自動車の製造方法自体は、フォードモーターが確立した流れ作業による大量生産に基づくが、6つのセグメントごとにバリュー・ネットワークのうち(1)製品仕様や製品コンセプトの特徴と(2)標的顧客が少しずつ

東アジアにおける自動車産業の破壊的イノベーションの新しい形

異なることになる。フルラインのもっとも下位を占めるゼネラル・モーターズのシボレー (Chevrolet) について考えると、20世紀初頭のバリュー・ネットワークとの違いがきわめて小さい。1920年代に確立したゼネラル・モーターズのフルライン戦略が今日に至るまで世界の大手自動車メーカーのビジネス・モデルとして定着した。

3-3. ハイブリッド・システムと電気自動車の再評価

1997年12月に登場したトヨタ・プリウスは世界初の量産型ハイブリッド・システム車である。ハイブリッド・システムは、自動車の平均走行速度が低く、停止と発進を繰り返すことの多い運転状況で特に有利となる方式である。そのため、欧米よりも日本や東アジアなど、都市部での朝夕の渋滞が目立ち、高速道路網の整備も遅れている地域では、大気汚染を軽減するために従来型のガソリンエンジン車やディーゼルエンジン車より有効と思われる。また、内燃機関と、二次電池と電動機を組み合わせるハイブリッド・システムを構成する場合、シリーズ方式、パラレル方式、スプリット方式の3種に分かれ、トヨタ・プリウスはスプリット方式に該当する。

シリーズ方式とは、エンジンを発電のみに用いて、電動機を車輪の駆動と回生に用い、余剰ないし回収した電力を二次電池に蓄電して、その電力も電動機に用いるもので、いわば「電気自動車に発電機を回すエンジンを付加した車」という構成をとっている。日本では日産自動車がこの方式に熱心であり、2016年から「新しい電気自動車のカタチ」というコンセプトで「e-power」と称するシリーズ式ハイブリッド・システム搭載車を市場導入しており、日産・ノート e-power は日本市場でも好評である。

パラレル方式とは、発進時や急加速時などガソリンエンジンでは排出ガスに有害物質が多く含まれる領域で電動機からの出力を車輪に伝え、有害物質を減らし、燃費も改善する方式を指す。エンジンからの出力が常に車輪に伝わっていて、電動機からの出力があくまで補助的な場合でも他の方式と比較して低コストでハイブリッド・システムの効果が得られるという特徴を持つが、「電動アシスト付き自動車」などと揶揄される場合もある。スズキ自動車の「マイルド・ハイブリッド・システム」が補助的に電動機を用いる例である。

スプリット方式は、遊星歯車を用いた動力分割機構により、エンジンからの出力を駆動軸と発電機に分け、さらに駆動軸にはモーターが直結されているため、これにより場合に応じて駆動力を合成できる方式である。シリーズ方式とパラレル方式の利点を組み合わせたシステムで、駆動力を合成する部分を制御することで変速効果が得られるため、トヨタ・プリウスなどでは「電気式無段変速機」と呼んでいる。ただし、全体の制御が複雑で、高度の技術やノウハウが必要となる。

以上の3つの方式で二次電池の容量を増し、家庭の商用電源から充電可能にして、電動機のみで一定の距離を走行可能とし、さらに走行中にも必要に応じてエンジン出力から二次電

池を充電することが可能としたものを、プラグイン・ハイブリッド・システム（PHV）と呼ぶ。トヨタ・プリウスでも 2011 年 11 月からプラグイン・ハイブリッド・システム搭載のモデルが発売されている。外出先でもガソリンスタンドで給油が容易であれば、充電不足となる心配もないため、日常的な使用に支障がない。電気自動車の航続距離が短く、外出先での充電場所に制約がある段階では、現実的な解決策と見ることもできる。さらにトヨタ・プリウスでは、車のルーフ部にソーラーパネルを貼り、充電機能を持たせた車種も存在するが、あくまで補助的なものであり、ソーラーパネルのみではフル充電に 3 日晴天の続くことが必要と言われる。ただし、ガソリンエンジン車としての駆動系と、電気自動車としての駆動系の両方を搭載する必要があるため、同クラスのカソリンエンジン車や電気自動車と比較して、部品点数が多くなり、15~20% ほど重量が増加すると言われる。21 世紀初頭の、ハイブリッド・システムのバリュー・ネットワークを考えると、以下の通りとなると考えられる。

- (1) 製品仕様や製品コンセプトの特徴－ガソリンエンジンによる駆動系と二次電池と電動機による駆動系を組み合わせ、排気ガスの低公害化と低燃料消費、長い航続距離の全てを実現する、現実的な解決策としての製品。
- (2) 標的顧客－低公害化と低燃料消費に強い関心を持つ、先進的顧客層。
- (3) サプライヤーとの関係性－従来製品より多い、3 万点以上の部品を必要とするため、産業の裾野が広がり、広範なサプライヤーとの協力や共同開発が必要。
- (4) 流通事業者との関係性－全国的な販売網を整備するとともに、プラグイン・ハイブリッド・システム用の充電設備の普及が必要。

一方、1920 年代以降も電気自動車の開発は細々と続けられ、第二次世界大戦中ないし戦争直後の石油不足の時代には代替手段として注目されることもあったが、二次電池として鉛電池を使用している限り、一回の充電での航続距離が短く、用途が限定的であった。電気自動車の性能向上には、エネルギー密度を高めた小型軽量で大容量の二次電池の開発、電動機の磁束密度を高めるための磁性体材料の開発、回転子とのギャップを狭くしても安定した回転を実現する電動機組立精度の向上、パワーエレクトロニクス技術の向上などが必要であることは、以前より広く知られていたが、リチウムイオン電池やネオジム磁石、静音・低摩擦玉軸受、インバータによる可変電圧可変周波数制御技術などが 20 世紀末から 21 世紀初頭に次々と実用化され、さらに改良が続いている。その結果、電気自動車が再評価され、世界の大手自動車メーカーはこぞって電気自動車の開発に注力するようになった。2010 年に日産自動車から発売された電気自動車リーフは、2010 年の時点でカタログデータとして電池容量 24 kWh で航続距離 200 キロメートルであったが、2015 年のマイナーチェンジで電池容量 30 kWh で航続距離 280 キロメートルに向上し、2017 年のモデルチェンジで電池容量 40 kWh で航続距離 400 キロメートルに向上している。これらはいずれもほとんど同じ大き

東アジアにおける自動車産業の破壊的イノベーションの新しい形

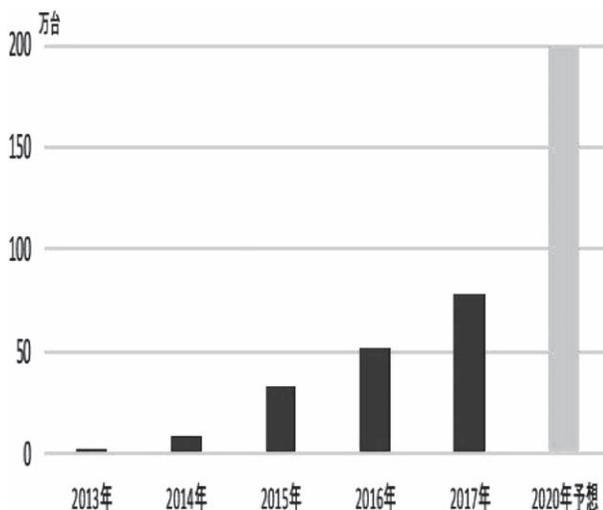
さの二次電池を用いており、電池の改良が進んでいることを示している。

また、電気自動車は電子制御系を必須とすることから、自動運転やさまざまな情報通信サービスと親和性が高く、IT系のベンチャー企業が電気自動車生産に進出するケースも増えている。たとえばアメリカ合衆国のシリコンバレーを拠点とするテスラ（Tesla）は電気自動車の製造を行うベンチャー企業であり、2008年に最初に発売したスポーツカー仕様の「ロードスター（Roadster）」は、98,000ドルという高額であったが、0-100 km/h（60マイル/時）加速が4秒未満という高性能を発揮する電気自動車となった。ただし、いずれの場合も現行ではガソリンエンジン車よりも高コストとなり、普及への足かせとなっている。

3-4. 東アジアでの電気自動車に関する新たな動き

中国では、2008年に開催された北京オリンピックで500台の電気バスを導入するなど、早くから電気自動車の有用性に注目してきた。中国政府は2012年に「省エネと新エネルギー自動車産業育成計画」を策定したが、ここでいう「新エネルギー自動車」とは、電気自動車、プラグイン・ハイブリッド・システム車、燃料電池自動車を指す。その背景には、自国内で優れた内燃機関の開発力を持っていないことと、大都市部で深刻な大気汚染の問題が挙げられる。さらに2014年に「新エネルギー自動車の普及実用の促進に関する通知」を発表し、充電スタンドの建設や送電網の整備を都市計画に組み込むこととし、2015年には「電気自動車向け充電インフラ整備に関する通知」を発表し、2020年までに電気自動車やプラグイン・ハイブリッド・システム車500万台以上に対応できるように充電スタンドを整備し

図3 中国の新エネルギー自動車の販売台数推移



（出典：中国自動車協会のデータから千葉銀行「中国レポート」に掲載のものを転記）

ていく方針を定めた。さらに、新エネルギー自動車購入時の補助金支給や、自動車購入時に必要なナンバープレート登録に際して、ガソリンエンジン車への発給規制や、ナンバー末尾による通行規制を行い、新エネルギー自動車を優遇している。千葉銀行発行の『中国レポート』2018年4月号によると、2017年の新エネルギー自動車の販売台数は77万台で、今後も成長が予想される、とのことである。

そのため、中国全土に数百社に及ぶと言われる「電気自動車メーカー」が乱立する状況となっている。それらの中には、広東省深圳市に本社を置くBYD（比亞迪汽車）のように、日本や欧米の企業と肩を並べるような、本格的な電気自動車を製造する企業も存在する。その一方で、数百社のうちの大半は、既存の部品を寄せ集めて低性能だが廉価な電気自動車ないしそれに類する乗り物を組み立てる企業である。2017年時点で、北京のような大都市では、さまざまな種類の電気自動車ないしそれに類する乗り物が走行していることが観察される。

写真1および2はBYD製プラグイン・ハイブリッド・システム車で、大きさは日本や欧米の自動車と同等な本格的な製品である。この種の自動車にはナンバープレート登録が必須であり、正規の駐車場に停められている。BYDは元々自動車用の二次電池を手掛けており、リチウムイオン電池の生産では世界第3位の実績を持つ。電池で培った自動車関連の知識に、もう一つの基幹事業であるITのノウハウを組み合わせる強みとして、電気自動車事業に進出したと考えられる。2008年には世界最初の量産型プラグイン・ハイブリッド・システム車の「BYD F3DM」を発売し、2016年には電気自動車の販売数で世界一となった。しかし、その一方で、北京市内ではより小型で簡便な構造の電気自動車が非常に多く見られる。

写真1 BYD製PHV車 F5セダン



写真2 充電中の同車



(写真1から6まで 2017年7月 北京市内で筆者撮影。なお、写真1, 2の車番は個人情報保護のため塗りつぶしている。)

写真3 老年代步車



写真4 同車後面



写真3, 4は「老年代步車」というプレートのついた3輪電気自動車で、全長3メートル未満、全幅1.4メートル未満と思われ、日本の軽自動車よりも小型である。車体はプレス加工と思われ、ある程度の量産性を考慮した設計だが、メーカーを示すようなロゴマークは付けられていない。さらにナンバープレートのない状態で堂々と通行している。日本の「シニアカー」は道路交通法上で「原動機を用いる身体障害者用の車いす」と定義され、高齢者向けに作られた、三輪または四輪の一人乗り電動車両を指し、福祉用具の一種とみなされ、ナンバープレートはなく、運転に免許も不要である。仮に字義通り日本の「シニアカー」と同様に、足腰の不自由な高齢者を対象とするのであれば、高速走行は要求されず、航続距離も少なくとも支障ないため、最高速度は40Km/h程度で、航続距離も30キロメートル程度であっても、顧客の要求を満たすことができる。ただし、この写真にあるような中国の「老年代步車」は後部ドアがあるように、座席は前後2列あり、2人ないし3人が乗車可能である。デザインも高齢者より若い層を意識したものと思われる。このような製品が存在価値を持つ背景には、中国において政策面からガソリンエンジン車への規制が厳しく、電気自動車であれば、規制の対象外となり、製造販売が容易という事情がある。

写真5, 6は写真3, 4の「老年代步車」よりもさらに小型・簡便な構造の3輪電気自動車で、前輪はスクーターの操縦装置をそのまま使用していると思われる。前列は運転者1名、後列には2名分の簡易シートが取り付けられ、後席の下に自動車用の鉛蓄電池を並列に2個搭載し、市販の小型電動機からチェーン駆動で後輪を回していると思われる。そのため、市販の電源アダプターから充電を行っている。この電気自動車にもナンバープレートがないが問題視はされていないようである。車体は板金加工で作られているようで、窓はプラスチック板で歪み、組立精度は高くない。このような車も最高速度は40Km/h程度で、航続距離

写真 5 歩道上に駐車する電気自動車



写真 6 充電中の同車



も 30 キロメートル程度と思われる。日本の道路運送車両法の保安基準を満たすとは到底思えず、この種の乗り物については日本では事業化できない。しかし、プラグイン・ハイブリッド・システム車や燃料電池自動車の製造には高度の技術や制御システムの開発が必要で、町工場のレベルでは製造できないが、この程度の電気自動車であれば、汎用の既存部品を集め、車体を板金加工で作れば十分であり、製造に高度の技術は必要なく、町工場のレベルで製造が可能である。その上、電気自動車の特徴である静粛性は保たれており、歩道上を音もなく近寄ってくる。

この他にも、ガソリンエンジンのスクーターからエンジンや燃料タンクを外し、自動車用の鉛蓄電池と小型電動機を搭載し、後輪をチェーン駆動する電動スクーターも、ナンバープレートのないまま、きわめて多数走行している。これらは静粛性を保ったまま歩道上にも侵入してくるため、不慣れた旅行者にはきわめて危険な存在であり、現実にはひたたくり事件が多発している。これらの電気自動車ならびにそれに類する乗り物は、ナンバープレートのないまま使用されており、おそらく電気自動車の公式統計には反映されていない。そのため、統計には登場しない部分で使用されていることになり、中国における電気自動車の裾野はきわめて広いと想像される。最高速度も低く、航続距離も短いため、長距離の移動は不可能だが、日常的な通勤通学、買い物や医者への通院、小荷物の配送などの用途を満たすため、使用範囲を割り切れれば、移動手段としての一定の需要は中国や ASEAN 圏の国々で存在する。既存の大手自動車メーカーがこれまで全く対象としてこなかった顧客セグメントであるため、町工場的な零細メーカーが、周辺の顧客のために廉価で販売し、生き残る可能性のある市場と見ることもできる。そのため、この種の小型・簡便な電気自動車のバリュー・ネットワークは以下のようにまとめられ、従来とは異なる形の破壊的イノベーションが生起したと考えられる。

(1) 製品仕様や製品コンセプトの特徴 - 電気自動車推進政策に合わせて、市販の鉛蓄電池

と電動機により駆動し、小型・簡便な車体を持ち、低速度で短航続距離な電気自動車。

- (2) 標的顧客－日常的な移動用途に限定して、廉価な移動手段を必要とする顧客。
- (3) サプライヤーとの関係性－既に量産効果の進んだ市販の鉛蓄電池と汎用の電動機、スケーター用のタイヤやサスペンションを安く調達し、車体のみ新規設計する。
- (4) 流通事業者との関係性－大手自動車メーカーとは異なり、大規模な販売ネットワークを持たず、販売地域は限定的。

4. 観察からの知見

2017年7月に中国・北京市で行った調査で得られた観察結果を整理すると、以下の通りとなる。地球温暖化、大気汚染の深刻化などの環境破壊への対策として、東アジアの諸国では、電気自動車、プラグイン・ハイブリッド・システム車、燃料電池自動車などの普及促進政策を採っている。従来型のガソリンエンジン車、ディーゼルエンジン車を販売し続けることが不可能と言う環境条件下では、大手自動車メーカーを中心に電気自動車に加えてプラグイン・ハイブリッド・システム車、燃料電池自動車など、電気自動車の構造を持つ自動車の開発に積極的に取り組んでいることが分かる。大手自動車メーカーが目標としている製品は、従来のガソリンエンジン車と同等の速度や航続距離を持つ製品であり、それに必要な要素技術として、リチウムイオン電池やネオジム磁石、静音・低摩擦玉軸受、インバータによる可変電圧可変周波数制御技術などの開発が進み、成果を挙げつつある。しかし、従来のガソリンエンジン車よりも高コストとなり、普及の足かせとなっている。購入者への補助金支給などの政策が必要とされる所以である。

一方、大手自動車メーカーの製品の対局として、従来からある鉛蓄電池と汎用電動機を動力源とした、小型・簡便な構造の廉価な電気自動車が台頭している。低速度で、短航続距離で、電気自動車の性能としてはきわめて低いレベルのものではあるものの、用途を日常的な短距離移動に絞れば十分実用性を有する。小型・簡便な電気自動車の作り手は町工場など地元密着型の小企業であり、大手自動車メーカーが対象としてこなかったセグメントのニーズを満たしていると見ることができる。ガソリンエンジン車の購入が困難と言う環境条件下では、現実的な解決策ということができる。中国に限らず、東アジアではタイのトゥクトゥクを電気自動車に置き換える計画や、フィリピンでもジープニーを電気自動車に置き換える計画などがあり、同様の事象は各地で生起すると考えられる。そのため、小型・簡便な構造の廉価な電気自動車は、クリステンセンのいう「破壊的イノベーション」として機能していると見ることができる。

5. おわりに

本稿では、クリステンセンのいう「破壊的イノベーション」が、従来見られなかった全く新しい技術によって、既存の技術に基づく製品が駆逐されていくという前提で論議されていることに対して、中国・北京市で調査した結果から、環境条件次第では、古くからある陳腐化された技術によって「破壊的イノベーション」が実現されることもあり得る、という結論を得た。ただし、今回の結論はあくまで、政策的な特殊な環境条件下で、さらに要求される用途や性能が限定的であるという場合についてのみのものであり、これをどこまで一般化できるかは今後の更なる研究を必要とする。

附記 本稿は東京経済大学2017年度個人研究助成費（研究番号：17-12）による研究成果の一部である。

参考文献

- Abernathy, W.J. (1978), *The Productivity Dilemma: Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*. Johns Hopkins Press.
- Abernathy, W.J., and J. Utterback (1978), 'Patterns of industrial innovation', *Technology Review*, 50, pp. 41-47.
- Christensen, Clayton M. (1997), *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press, (玉田俊平太監修, 伊豆原弓訳 (2001) 『イノベーションのジレンマ』, 翔泳社)
- Christensen C, F.F. Suarez, and J. Utterback (1998), 'Strategies for survival in fast-changing industries', *Management Science*, 44 (12), pp. 207-220
- Christensen, Clayton M.; Raynor, Michael E. & McDonald, Rory (2015), 'What Is Disruptive Innovation?', *Harvard Business Review*, December, pp. 44-53. (有賀裕子訳「正しく理論を適用し、いまに活かす 破壊的イノベーション理論：発展の軌跡」, 『DIAMOND ハーバード・ビジネス・レビュー』, 2016年9月号, pp. 26~38)
- Genat, Robert (2004). *American Car Dealership*. Motorbooks International.
- Utterback J.M. (1994), *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business School Press. (大津正和, 小川進監訳 (1998), 『イノベーション・ダイナミクス』, 有斐閣)
- 秋池篤 (2012) 「A-U モデルの誕生と変遷—経営学輪講 Abernathy and Utterback (1978) —」 赤門マネジメント・レビュー, 11 (10), pp. 665-680
- 川島佑介, 呉暁岡 (2017), 『自動車産業20の新ビジネスチャンス』, クルーサーズ・メディア
- 済藤友明 (1983), 「テキサコにおける垂直的統合の経営戦略」, 『経営史学』 Vol. 15, No. 3 pp. 24-47
- 清水賢一 (2017), 「中国の電気自動車について」, 『Warm topic』 (136), pp. 38-40
- 千葉銀行上海駐在員事務所 (2018), 『中国レポート 中国のエコカー普及促進政策について』, 2018年4月号
- デロイトトーマツコンサルティング (2016), 『モビリティ革命2030』, 日経BP社
- 唐祺 (2018), 「中国電気自動車会社における経営戦略：比亞迪株式会社を中心に」, 『帝京大学大学院経済学年誌』 (26), pp. 155-192

東アジアにおける自動車産業の破壊的イノベーションの新しい形

- 三藤利雄 (2016), 「『支配的デザイン』の出現, 発展, そして普及」, 『立命館経営学』, 第55巻
第1号 pp. 47-82
- 村沢義久 (2017), 『図解 EV 革命』, 毎日新聞出版
- 森本雅之 (2013), 「最初の電気自動車についての考察」, 『電気学会論文誌. D, 産業応用部門誌』
133 (1), pp. 105-110
- 森本雅之 (2009), 『電気自動車 これからの「クルマ」を支えるしくみと技術 (第2版)』, 森北出版
- 森山博之 (2018), 「中国の新エネルギー自動車の政策動向」, 『ARC レポート 2018年2月号』旭
リサーチセンター