

日本自動車産業の電動化とハイブリッド車普及

李 泰 王

Hybrid Vehicle Trend and Eco-friendly Technological Progress in Japan

Lee, Tae-Wang

Abstract

This report examines whether the escalating trend of eco-friendly vehicle development could help make car consumers more satisfied or not, viewed through scale positions between price and fuel or battery efficiency. By sampling 6 types of 100 cars—(1) gasoline car, (2) light car, (3) hybrid vehicle, (4) electric vehicle (5) fuel-cell vehicle and (6) diesel car, hybrid vehicles and light cars are preferred in Japan. We can conclude that the V-shaped car development curve appears with the presence of two traps beyond the boundary of fuel combustion engine cars.

はじめに

環境にやさしいエコカーが注目を集めているなか、ゼロエミッションに向けた各国の動きや企業の技術開発が活発化している。電気自動車 (EV 車) や燃料電池車 (FCV 車) の普及には、バッテリーの改良と水素の製造など解決しなければならない技術的ハードルも多い。また二次エネルギーの製造やステーション設備の構築に膨大なコストがかかる。ということは、経済利益と公共の利益とのジレンマがエコカーの技術開発の過程に潜んでいること

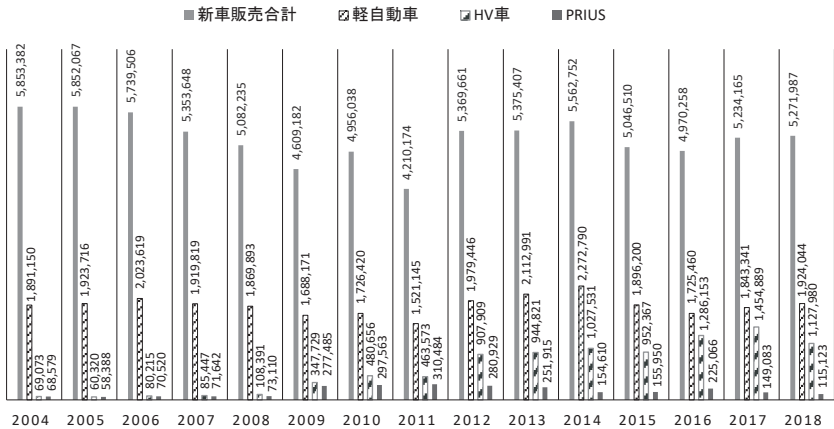


図1 国内新車販売の推移

(出所) 日本自動車販売協会連合会ホームページや『自動車年鑑』各年号などより作成
 (注) 2008年までは歴年基準である。単位：台数

を意味する。

そこで本稿はガソリン登録車と軽自動車を始めハイブリッド車 (HV 車), EV 車, FCV 車の市場調査を通じて、電動化の理念と目標が市場縮小や技術的ハードルとどのように関わっているかを検証する。分析の対象は、ディーラー店で入手したパンフレット仕様と公式ホームページのデータをランダムに選んだ100車種のサンプルである⁽¹⁾。選定には社別ウェートを顧慮せずに市場シェアの高い車種が優先されている。分析のポイントは以下3点である。

第一に、ディーラー店でのインタビューおよび公式仕様を利用し、動力種別における価格と燃費性能の関係を分析し動力種別の市場競争力の程度を推定する。所得の条件と燃費性能との相関にどのような特性があるのかを考察

⁽¹⁾ ガソリン車38種、軽自動車20種、HV車30種、EV車7種、FCV車2種、ディーゼル車3種の100車種である。FCV車とディーゼル車は分析の対象から外している。

する。

第二に、EV車がHV車や軽自動車に比べて普及が進まない理由をバッテリー開発の実態から探り、その光と影の側面を明らかにする。

第三に、エコカーに対して市場の理解が不十分な場合において技術進歩をもたらす厚生効果の問題を取り上げる。分析のフレームワークは筆者の「エコカー技術革新V字罫」仮説であり、このモデルがここに検証される。

1. 内燃機関自動車の価格と燃費性能

(1) ガソリン登録車

ガソリンエンジンを搭載した車は様々な顧客層と用途に対応している。メーカーにとっては、同じ技術体系を生かして低価格車から上級車まで多様なライナップの演出ができる。消費者には所得に合わせて選べる幅が広いメリットがある（図1と図2を参照）。これは、長年の技術的蓄積のおかげであり、需給両サイドの利害が折り合っていることを表している。

まず末尾の〈付表〉の車種リストを参照されたい。

サンプルのうち、ガソリン登録車38種は、低価格車のMarch（115万円・21.4km/L）から上級車レクサスLS500（994万円・10.2km/L）まで広い範囲に分布している（いずれも、2019年4月基準で8%税込み価格。以下同じ）。スズキSOLIOは、最も良い燃費を誇り、24.8km/L（145万円）の性能まで達している。

サンプルにおいて、ガソリン登録車の燃費性能の上限は25km/Lとなっている。マツダが直列6気筒エンジンの開発を再開すると発表するなど（2019年5月10日ニュース）、摩耗・熱効率・動力伝達システムに関する技術開発は現在も進行している。ガソリン車種の技術開発は、追い詰められる立場にあるディーゼル車種の見通しを明るくしているように思える。

ガソリン車

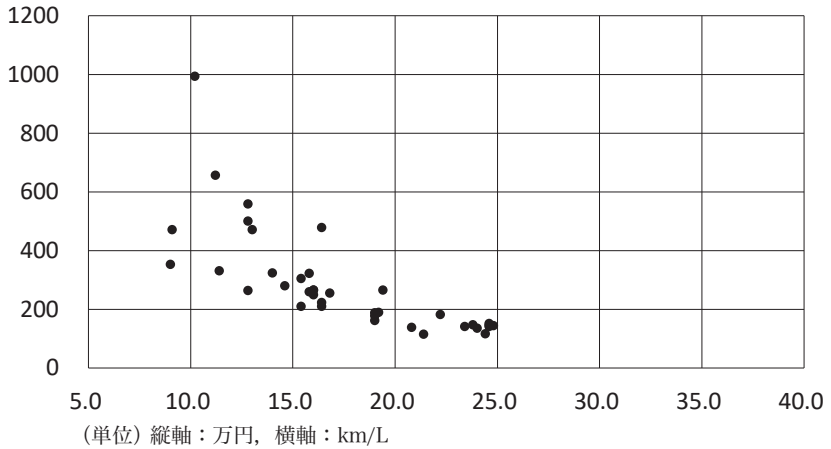


図2 ガソリン登録車の価格と燃費性能

軽自動車

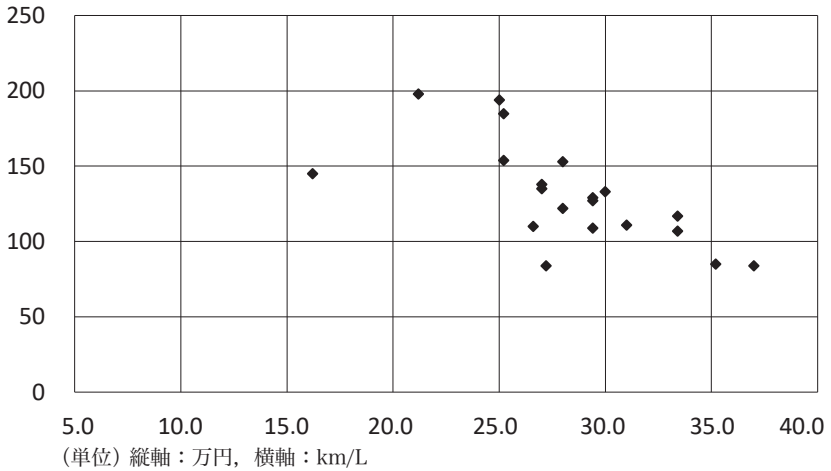


図3 軽自動車の価格と燃費性能

ハイブリッド車

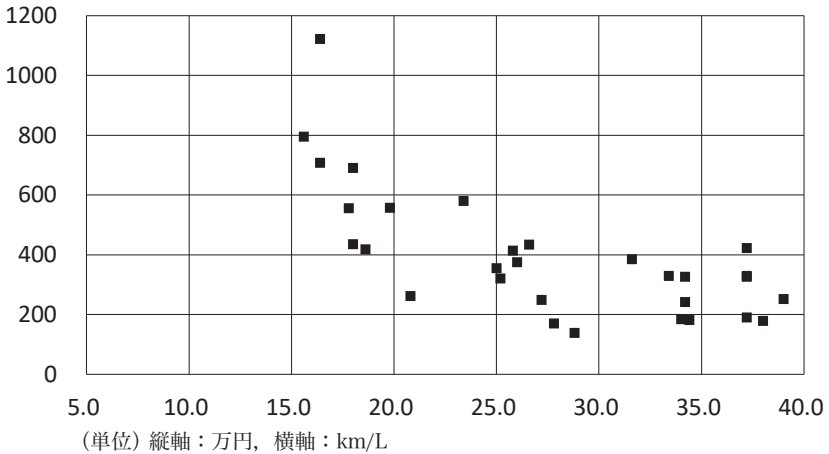


図4 ハイブリッド車の価格と燃費性能

(2) 軽自動車

軽自動車20種については、スズキ Alto (84万円・37.0km/L) が最低価格と最高燃費を記録している。上級仕様にはホンダ S660ターボがある (198万円・21.2km/L)。軽自動車の領域における価格と燃費性能の関係は (図3)、図2と同様に反比例の形状をしている。化石燃料の熱効率の特性を反映しているのである。排気量が小さい割には燃費性能の良さが満喫できるということが軽自動車ならではの特徴と言える。

軽自動車の価格帯は、660cc 排気量規制や車両サイズ規制を受け200万円を切ることになる。しかし価格帯で登録車と重複する部分があるため、軽自動車メーカーはHV化を進めるなど製品差別化やライナップの充実化に向け格闘を続けている。

(3) ハイブリッド車

HV 車種30種においては、低価格車 IGNIS (138万円・28.8km/L) から上

級車レクサス LS500h (1121万円・16.4km/L) までの分布となる。1997年に発売されたプリウスは不断の革新により最高の性能を実現した。HV車はガソリン登録車の燃費性能 (9.0~24.8km/L) に比べて6.6~14.2km/L位の差で優位を保っている。分布の形状をみると、ガソリン車のそれとほぼ同じであることが分かる (図4)。

(4) ガソリン車種3系統の市場構造

図5は前出の図2, 3, 4を結合したものである。ガソリン車種3系統 (ガソリン車, 軽自動車, HV車) 88車種における価格と燃費性能との関係を同じ象限にプロットしている。3つの近似曲線を描くことができる。ガソリン車領域の右下の部分と軽自動車の左上の部分は交差しており、ガソリンエンジンを採用する共通点を考慮すると、ガソリン車の曲線と軽自動車の曲線を一つに結び付けることも可能である。

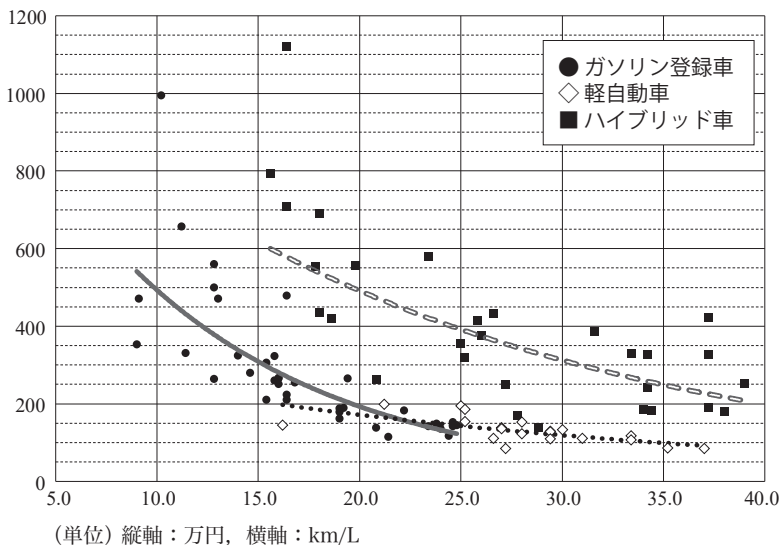


図5 ガソリン車種3系統の価格・燃費性能の散布図

技術革新の進行次第で3つの曲線は共に右へ水平シフトすることも十分に考えられるが、現実にはそれほど容易なものではない。CO₂排出など宿命的な課題を背負っている。技術革新の見通しが依然として不透明であり、環境規制の外圧は強まるばかりである。

こうした懸念はHV車の誕生により和らげられることになった。トヨタは、環境負荷の低減を追い求め、第三の技術体系を模索していた。機械的メカニズムの改良と同時にモータや最新の駆動用バッテリーの採用で、小型車を中心に燃費性能を画期的に向上させている。図5の分布で見ると、従前のガソリン車の近似曲線を見事に右上にシフトさせることに成功したのである。ただ環境負荷低減の理念とは裏腹に車両価格の上昇を招き、製造コスト増は顧客の負担に転嫁される格好となった。

HV車の開発における環境負荷の改善と消費者の負担とは明らかにトレードオフの関係である。こうした事実にも関わらず、日本ではHV化が進められている。下手に技術的選択をすると、産業構造が崩れ落ちる恐れがあるという考え方が社会全体に広がっているからである。

HV関連の技術は車両軽量化と一体化して進められる⁽²⁾。軽自動車と同等の燃費性能と重量を有する車両の開発を目指すことになるが、問題はEV車の軽量化の進展にめどが立たないことにある。したかつて後方に位置するガソリン車領域の中間サイズまでHVシステムを転用しながら上級車にまで広げている。この結果、高価なHV車を発売することになっている。トヨタでは、ガソリン車種系統とHV車種系統の二重ラインナップ、つまりダブルスタンダードの製品戦略を採らざるをえなくなった。

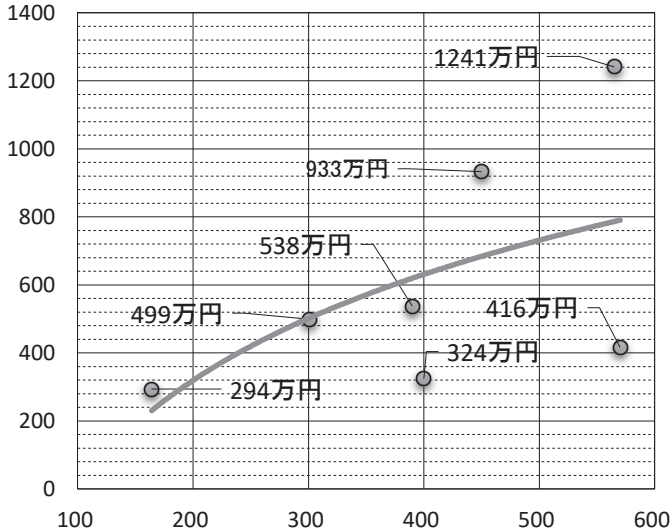
⁽²⁾ スズキは、HV仕様の軽自動車Spaciaを発売しHV市場への浸透を図っている（図12を参照）。

2. 電気自動車の価格と航続距離

(1) 電気自動車の市場動向

量産型のEV車の開発には三菱自動車先鞭をつけていた。ベンチャー企業テスラモーターズは、ゼロエミッションをスローガンに掲げて上級仕様EV車の開発競争に火をつけた。比較的シンプルなものづくりの利点から現在は異業種からの参入で、競争と協業が混じり込んだ様相となる。異なる動力源の間の二者択一を迫られている各メーカーはバッテリーの採用とその代替製品の開発に目を向け始めている。

EV車種7種の価格と航続距離を見てみよう。環境負荷がゼロであるイメージのもとで、EV車の価格と航続性能が比例しており、顧客層に偏りが



(単位) 縦軸：万円，横軸：km

図6 電気自動車の価格と航続距離

生じてしまう（図6）。EV車は貧富の格差を助長している、といった声があがるほど高所得層向けの車になりかねない。供給と需要のアンバランスが極めて大きい領域である。こうした不条理な乖離に対して減税や補助金などが当てられているため、ユーザー以外の一般納税者に負担増となることは言うまでもない。いずれにしても、EV車は先行き不安な点が多く急造した感がある。

(2) エジソンの予言

トーマス・エジソンは、1879年にエジソン社を設立した後、1896年ある会合でバッテリーを動力とする自動車の製作についてヘンリー・フォードと意見を交わした。これを契機にして、EV車の開発は世の中から姿を消してしまったのである。フォードは、駆動用バッテリーの重さと大きさを指摘し、ガソリンエンジンの有用性を確認させていたのである。

バッテリー開発の歴史は鉛電池から始まり、ニッケル・カドニウム電池、ニッケル水素電池、現在のEV用リチウムイオン電池、モバイル用リチウムイオン電池へ進化を遂げている。バッテリー開発に関する懸案を的確に捉えた金村論文の要点を紹介したい。

①エネルギー密度を重視するか、それとも出力密度を重視するか、という両面的な技術的限界が存在すること、②航続距離を確保するために電流値を小さくすると、より多くの集積（モジュール）が必要となり、電気容量に比例して、搭載する電池の体積が増えること、③EV車用電池の高性能化に向けて「エネルギー密度の向上のためには新しい材料が必要である。電池研究と材料研究を両輪にして」いくこと、などを述べている（金村2018、29ページ）。

バッテリーの技術水準が一定の場合、実用性と車両軽量化を同時に追求するのは極めて困難である。バッテリーモジュールの重層化に伴い車両価格が高くなることが問題なのである。このようなハードルを乗り越えるためには

新しい業界標準の形成が必要となるが、社会的な合意に達するにはまだ時間がかかるであろう⁽³⁾。

(3) EV 車関連特許の動向を読む (JETI レポート抄録)

以下では JETI レポートを抜粋し要約しておきたい。このレポートでは過去20年間の EV 車関連特許について詳細な分析がなされている (JETI, 134~141 ページ)⁽⁴⁾。

1997~2016年間のグローバル特許は29,805件である。2005年までは年間400件前後で推移していたが、それ以降急増し2011年には3000件を超え、2016年は3566件を記録した (図7)。

特許出願人の区別では、上位30社のうち日本勢が約半数の14社を占め、次いで韓国と中国が各5社、ドイツ3社、米国2社、フランス1社となっている⁽⁵⁾。企業別の件数では、トヨタが1600件以上と突出し、次に現代自動車、LG化学、日産、フォードが500件以上で、他に中国勢も存在感を増している。

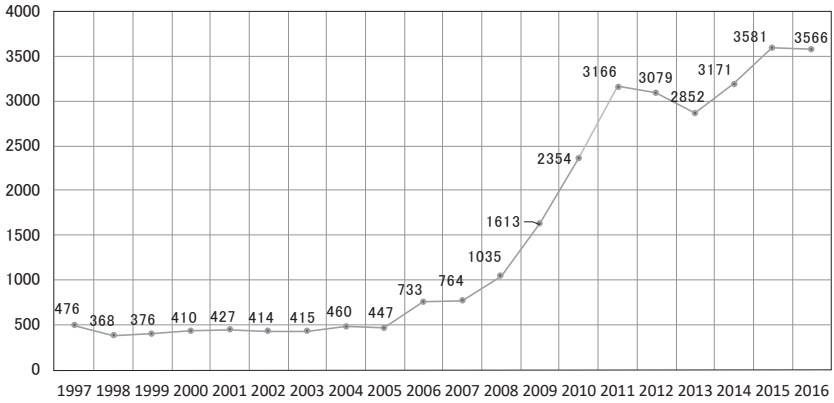
それでは国籍別および発行国別の特許動向を見てみよう (JETI, 138 ページ)。

⁽³⁾ ニコラ・テスラ (N. TESLA) は、発送電システムにおける「交直論争」を誘発した人物として知られている。「直流システムを発展させたエジソン社会に対して、有能な技術者ニコラ・テスラを擁して交流システムを開発してきたウェスチングハウス社が、直流と交流との優越性に関して大論争を展開した」(橋本239ページ)。「直流の電動機は立ち上がりにも強い力を発揮する。だから電車などの電動機を使う電力の消費者には、直流が有利だった」(同240ページ)。交流は変圧が容易で長距離送電に適しているため、「交流が直流に取って代わる過程」であったという歴史的出来事を今の EV 論争の視点で吟味されたい。

⁽⁴⁾ JETI 企画部・社団 SEIDA 「グローバル特許動向：電気自動車 (EV 車) の特許動向分析」*Japan Energy & Technology Intelligence*, 第66巻第3号, 2018年。

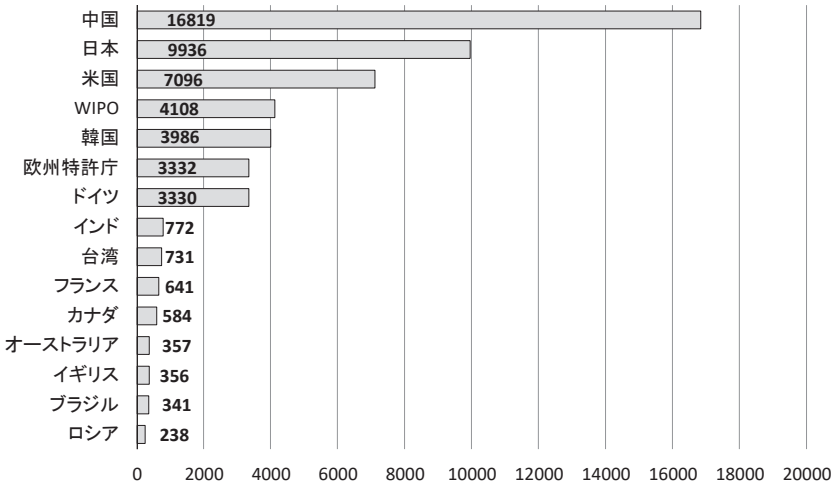
⁽⁵⁾ 日本企業はデンソー、日立、ホンダ、三菱電機、三菱自動車、日産、NTN、パナソニック、三洋電機、ソニー、スバル、東芝、トヨタ、ヤマハ、韓国企業は現代自動車、起亜自動車、LG化学、LSIS、サムスンSDI、中国企業是北京新能源汽车、北汽福田汽車、BYD、吉利汽車、奇瑞汽車、国家电网である (順不同)。

日本自動車産業の電動化とハイブリッド車普及



(出所) JETI (2018)「電気自動車 (EV 車) の特許動向分析」第66巻第3号136ページ第1図を転写。

図7 特許件数推移 (最先の出願日ベース)



(出所) JETI (2018)「電気自動車 (EV 車) の特許動向分析」第66巻第3号136ページ第5図を転写。

図8 発行国別特許動向

国籍別特許推移では、上位7か国（機関）とそれ以外に二極化している（図8）。中国・日本・米国・欧州（欧州特許庁）、韓国、WO（WIPO；国連世界知的所有権機関）、ドイツで総件数のほとんどを占める。発行国別では、国籍別とほぼ同じ傾向で上位15か国合計のうち、中国が最も多く（32%）、次いで日本（19%）、米国（14%）、WO、韓国、欧州、ドイツの順となっている。上位7か国（機関）が92%以上を占めている状況にある。

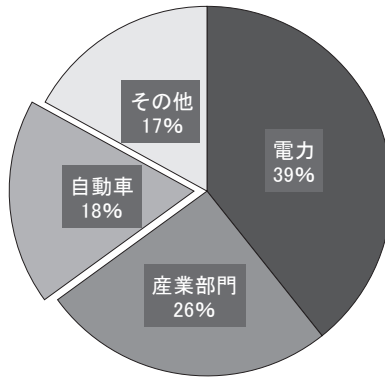
特許の出願発行国と出願優先国を共にするケース、つまり発行国として優先的に選ばれている国のケースでは中国が圧倒的に高くなっている。「なんと、中国国内同士で全体の23%以上に達する。ただし、傾向としては日本も同様であり、日本国内同士でもすべての組み合わせの15%以上になっている。しかしながら、日本は他国から最先の優先国とされている件数が、日本国内からの数分の一は存在するのに対し、中国にはその傾向はまったく見られない」（JETI, 139ページ）と指摘されている。米国、韓国、ドイツ、フランスのようにグローバル・メーカーの本拠地となっている国々では、日本と同様な傾向を有していることが分かる。

(4) 電気自動車の有用性をめぐって

前述したとおり、ガソリン車種系統の自動車では、ガソリン車は豊富なラインナップにより「所得弾力性」が高いこと、軽自動車は使い勝手の良い「利便性」を持っていること、HV車には「進化形ガソリン車」のイメージが認知されていることが特徴である。同じ技術的土台に市場メカニズムが合致しており、こうした点が、EV車の「所得非弾力性・インフラの欠如・技術体系の異質性」の問題と対照をなしており、EV車の普及を遅らせる要因となる。ところがEV車はテスラEVの出現で知られているようにオープン・アーキテクチャ⁽⁶⁾の設計思想に適合している。分りやすい「モジュール

⁽⁶⁾ 藤本隆宏はオープン・アーキテクチャを「モジュラー型の一種で、インターフェースが

化」仕組みが最大のポイントである。このような設計思想は、内燃機関を開発した経験のないベンチャー企業に新規参入のチャンスを与えている。中国では2人乗り超小型EV車が人気を集めている。日本ではトヨタ車体は近距離用の「コムス (coms)」を開発し「EV車版軽自動車」の普及に向けて生産・販売・ネットワークの形成に取り組んでいる。超小型EV車の登場で市場は二極化していくと予想される。



(出所) 経済産業省『エネルギー白書2018』より作成。

図9 世界 CO₂排出量 (2015年, 単位: 億トン, %)

ここでEV論争について少し触れておきたい。内燃機関自動車とその存在は温室効果ガス排出の主犯のレッテルを貼られて久しい。果たして内燃機関自動車のみが主犯なのか、その真相について触れてみよう。『エネルギー白書2018年版』によると(図9)、世界のCO₂排出元の部門別構成は電力、産業部門、自動車産業、その他(運輸・業務・家庭など)の順でそれぞれ

業界全体で標準化しており、企業を超えた〈寄せ集め〉が可能なタイプのもの」と定義している(藤本隆宏他編『ものづくり経営学: 製造業を超える生産思想』光文社新書, 2007年, 23ページ)。

39.3%, 25.7%, 18.0%, 17.0%の比率である（世界2015年基準⁽⁷⁾）。環境汚染を引き起こす責任の程度においては、発電や産業の部門の方が厳しく規制されるべきであろう。結局、EV車は、発電システムと切り離せない存在であるため内燃機関自動車に優るとは言い切れないのである。

3. ハイブリッド車と軽自動車の市場構造

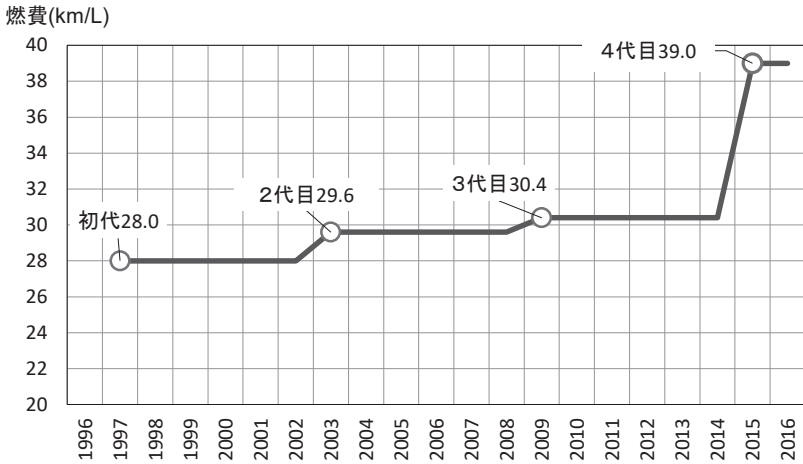
(1) プリウス革命は今後も続くか

現在世界各国政府は、近未来に内燃機関自動車の使用を禁止すると相次いで発表し、自動車産業界に衝撃を与えている。こうしたなか、トヨタを筆頭に日本の自動車メーカーはHV車の普及に力を注ぎ、次世代エコカーへの移行に備えている。ここでは初代プリウスから2015年の4代目の発売に至るまでの技術進歩を振り返り、今後の課題を浮き彫りにしたい。製品開発の目標が6年スパンで規則正しく実行に移されている点に注目されたい（図10）。

開発戦略の見える化により、顧客の信認度を高める効果を与えていることである。実にプリウスだけの改善サイクルにとどまらず、3代目から今の4代目の間の2012年にプラグインハイブリッド車（PHV）を、また2014年に量産型の燃料電池車ミライを発売するなど、派生車種の開発にも積極的であった。こうしたエコカー開発路線の多角化と並行して、2019年4月に電動化技術特許の無償開放⁽⁸⁾を発表した。これらの施策の変化は、次節で詳細に触れるが、HV車の技術開発が行き詰まっている可能性をにじませている。

⁽⁷⁾ 経済産業省編『エネルギー白書2018』110ページ表〔第132-2-4 世界と我が国のCO₂排出量〕(IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion および総合エネルギー統計に基づく)より作成。

⁽⁸⁾ 製品標準化のプロセスを研究した橋本は「標準化がなされる際の一つの問題点は、一定のプロセスを経て到達した標準が、技術的にも社会的にも最適な解になっているかどうかということ」（橋本255ページ）であると指摘している。



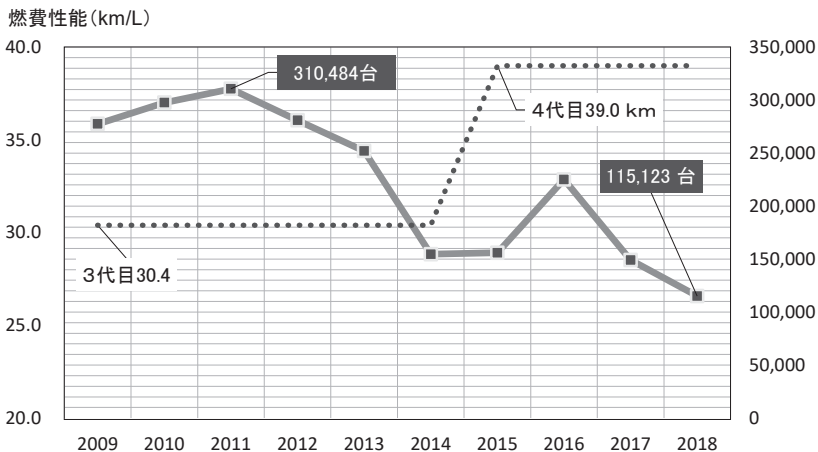
(出所) 愛知トヨタ販売店の配付資料より作成。

図10 プリウスの燃費性能

ここにプリウスの可能性を立証した実験結果を紹介しておきたい(鈴木・小鹿・山口, 1291ページ)⁽⁹⁾。耐久要件80,000Km以上走行した車両の燃費悪化が僅かであったことが報告されており, HV車に搭載するバッテリーの劣化がHV車の普及に制約条件になるとは限らないということ, したがってHV車の可能性は充分にあるということが証明されている。これを裏付ける別の研究によると(水谷良治2018)⁽¹⁰⁾, プリウスの20年にわたる技術革新は, バッテリー技術によるものだけではなく, トランスアクスルとモータ構

⁽⁹⁾ 鈴木央一・小鹿健一郎・山口恭平「使用過程ハイブリッド車における燃費及びバッテリー性能の変化に関する研究」『自動車技術会論文集』第49巻第6号, 2018年は, バッテリー単体性能と車両の燃費性能との関連性について実験(JC08モードおよび60km定常走行)を行い, バッテリーの性能がHV車の燃費性能に相当として影響を与えることは見られなかったと結論付けている。

⁽¹⁰⁾ トヨタ自動車の水谷氏は, トランスアクスルケース内に組み付けられるプリウスのモータは①トポロジー設計課題と発熱量の低減による小型高出力化, ②電力消費の定量的な低減による高効率化, ③工程品質の改善による生産性向上(低コスト化)により進化を遂げできたことを報告している(水谷 288~291ページ)。



(出所) 図10と同じ。

図11 プリウスの燃費と販売の動向

造の技術的改善による効果も大きかったことを報告している。

(2) 全車種 HV 化を進めるトヨタの内情

プリウスとホンダのインサイトは日本の自動車市場の地図を多く塗り替えた。プリウスの改良と並行して、姉妹車 AQUA (1.2L) も開発されるなど、少しずつ他の車級へ HV 化が波及していった。世間ではトヨタが2021年に5代目モデルを発売しフラグシップ HV の威信を維持できるだろうか、その帰趨を見守っている。6年スパンの開発サイクルに市場が注目している以上、これにトヨタの技術陣は答える必要があると考えている。

だが図11に示すように、プリウスの売れ行きは芳しくない。

新車販売台数でみると、AQUA が発売された2011年の31万台をピークに減少に転じ、2018年には11万台水準まで落ちている。この事態を食い止める対策は他のところで講じられていた。トヨタは2025年をめどに約60車種を半分に絞ることと販売店4チャンネルの垣根を撤廃することを打ち出して

いた（2018年9月）⁽¹¹⁾。また全車種の電動化（HV車、PHV車、FCV車など）を前倒しすることを明言している。いずれにしても、リットル当たり39Kmの燃費性能から大幅に前進させることは至難の業であり、途中で開発を止めるわけにはいけないトヨタの腐心が読み取れる。

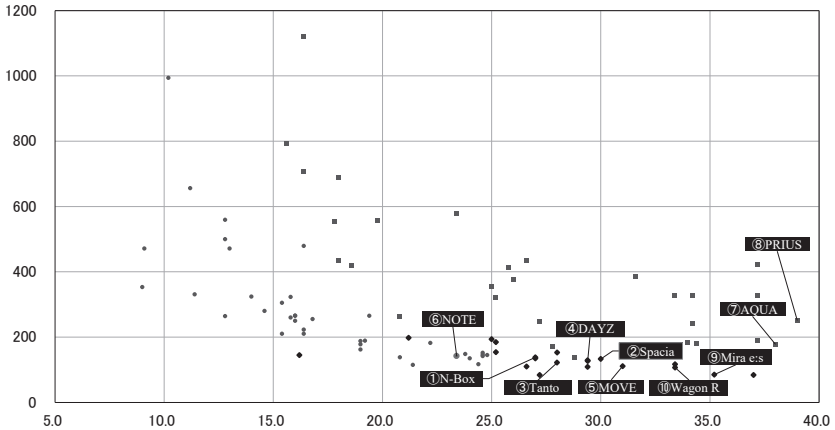
(3) 軽自動車の市場特性

過去にスズキ自動車の鈴木現社長は自社の軽自動車事業について思いを下記のように綴っていた（鈴木俊宏2007）。

軽自動車の使用実態を表すキーワードに、①地方、②女性、③高齢者を取り上げている。軽自動車の技術的貢献として、「自動車の技術的な進化、発展は上級車から徐々に大衆車、軽自動車へと普及していくことが一般的ですが、一方で軽自動車が先鞭をつけ、その後上級車へ普及した技術も多数」（鈴木 3ページ）あるとしている。「FFレイアウト」や「電動パワーステアリング」、軽量化技術、などが軽自動車から始まったと述べている。一層の燃費向上が求められるなか、新技術導入に伴う「コストアップ」に対して、「軽自動車の成り立ちの基本である、「低価格」という側面への影響も考慮しなければならない現実」（鈴木 3ページ）にあると見ている。軽自動車の可能性については、「小さなクルマが日本の大きな未来を担っている」ことをふまえ、技術開発に邁進していくと語っていた。

次に「2015年度軽自動車の使用実態調査報告書」には（2016年3月、日本自動車工業会）、日本における軽自動車の意義が次のように紹介されている。①軽乗用車のユーザーは65%が女性である、②軽乗用系ユーザーの年

⁽¹¹⁾ 当初プリウスの専売をめぐって販売店チャンネル同士で混乱が生じていた。結局、全店での販売が容認されたが、これが販売チャンネル本来の機能を弱体化させ垣根の崩落を招く端緒となった。プリウスは日本の市場を変えトヨタを変えたクルマであると言って過言ではない。読売新聞によると（2020年1月23日）、2020年5月から全てのトヨタ販売店で全車種を扱えるようになると報じられている。同紙は、豊田章男社長は「変化することに不安もあるが、チャンスだと思う」と述べたと伝えている。



(出所) 日本自動車販売協会連合会と全国軽自動車協会連合会の資料より作成。

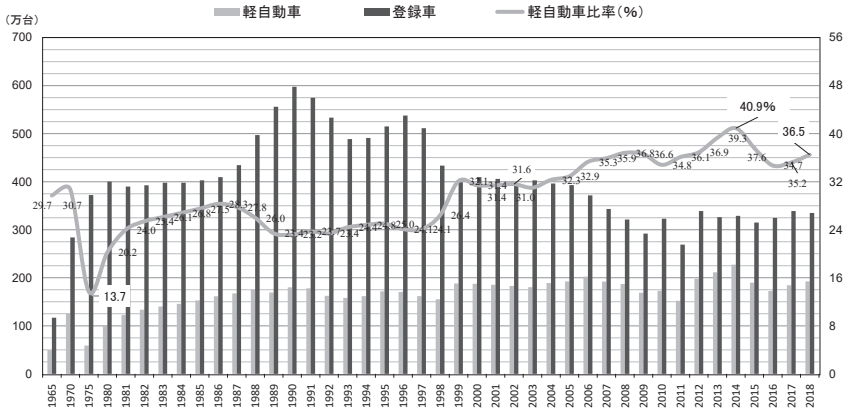
図12 新車販売ランキング上位10車種の分布 (2018年度)

年齢層のうち、60歳以上の割合は1993年に比べて約4.5倍増加している、③軽乗用系ユーザーの所得階級別では、約4割が世帯年収400万円未満である、などに続いている。

2018年度の国内新車販売台数の車名別ランキングをみると(図12)、上位10車種のうち、軽自動車が2年連続7車種を占めている(日本自動車販売協会連合会、全国軽自動車協会連合会の調べ)。1位～5位を軽自動車が席巻し、6位にガソリン登録車ノート、7位～8位にHV車のアクアとプリウスが入っている程度である。新車販売台数に占める軽自動車の比率は近年4割近くになっており、その人気は依然として高い(図13)。

日本の自動車メーカー8社で構成する全国軽自動車協会連合会は、広報用パンフレットを配布し、普通乗用車に比べてどれほど有利かを数値で示し軽自動車のメリットをアピールしている(2016年11月版)。価格で34%、燃費で59%、税金で79%、重量で約6割、といった比較優位が強調されている。また利用状況として72%のユーザーがほとんど毎日使用し、76%の世帯が他にクルマを保有している、などの内容が盛り込まれている。

日本自動車産業の電動化とハイブリッド車普及



(出所) 日本自動車販売協会連合会・全国軽自動車協会連合会の公式データより作成。

図13 国内新車販売に占める軽自動車の販売推移

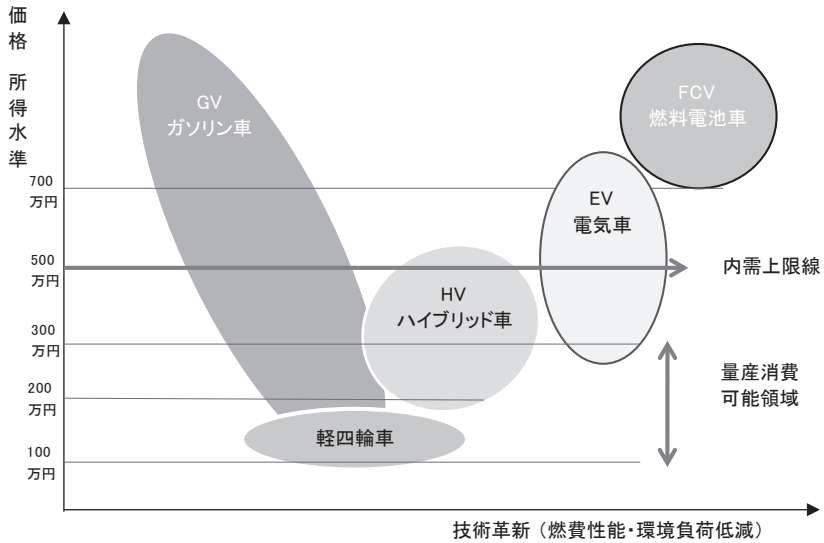
図表12, 13で分かることは、メーカー側の供給能力が市場の購買能力と噛み合わない点である。製造戦略をダウンサイジングの方に変えたメーカー、需給アンバランスを埋め合わせようと必死の政府当局、節約志向を強める消費者、国際的な環境規制の強化はデフレスパイラルを加速させている。当面は現状を重く受け止めながら、市場での妥協点を探ることが何よりも大切なのである。

(4) 「エコカー技術革新V字罫」仮説の検証

以下では前述した5つの車種系統が織りなす市場の全体像を描いてみよう(李2016)。

①ガソリン車の領域は上級車から低価格車に至るまで下降線を描く。(ガソリン登録車)。

②軽自動車の領域に達しては、ほぼ均一の価格帯で平らな分布となる。登録車の曲線と軽自動車のそれは、重複はあるものの、一つの曲線に結ぶことができる。



(出所) 李秦王2016, 146ページの図表を転写。

図14 「エコカー技術革新V字曲線」と断層構造

③ HV車の領域は、ガソリン車の下降曲線の底辺にくっつく。ここが変曲点となって、HV車曲線は右上に方向を変えると、第一象限にV字型曲線の様子が現れる⁽¹²⁾。

④ EV車へ移行すると、大きな溝を挟んで、V字曲線はここで途切れる。

⑤ FCV車の領域に移行すると、もう一つの溝が現れる。

筆者は、①～⑤の動きを結合することで2か所の断層を持つ不完全なV字型技術革新曲線を描き(図14)、これに依拠した「エコカー技術革新V字

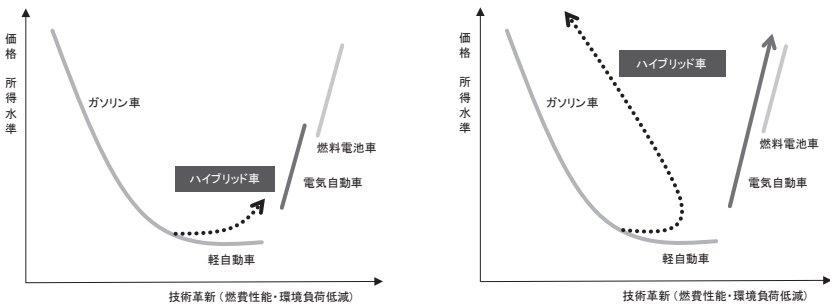
⁽¹²⁾ 「エコカー技術革新V字罫」仮説では(2016年)、HV車の分布はプリウスの存在をイメージして右上に向かっていくだろうと予測していた。これに先だって2013年に筆者は初めてこの仮説のひな形について報告した(「韓国自動車産業の将来展望：家電に続く世界トップ実現は可能か」自動車問題研究会東海支部第294回定例会報告, 2013年8月28日, 於フォーイン)。HV車の技術的進歩が一段落した自動車業界の事情を捉えて考案したモデルであった。

畧」仮説を提唱した（李2016，149ページ）。理想的と期待されていたV字型の技術革新は，谷から登り3合目で（HV車領域の次）大きな断層に差し掛かって進展が遮られ，また6合目のFCV車との間の断層に直面する，という構造的な現象の解明を試みた（李2016，145～149ページ）。V字型技術革新の限界は，幾度のブレークスルーを通さずにはクリアできない。EV車やFCV車の領域は，膨大な研究開発費はもとより，何よりも消費者の理解を得るのが難しい異次元の領域である。

技術的な要因による二重の単層構造に加えて，より根本的な問題点は，平均新車購入価格が300万円前後にとどまっている内需にある（李2016）。したがって軽自動車は事実上「エコカー技術革新V字畧」の間を繋ぎ止める役目を果たし，日本の自動車市場を下支えしている。

ところがV字畧仮説を立てて以来4年が経とうとしている。当時エコカー技術革新曲線はEV車に移行する時とFCV車へ移行する時の2か所において大きな畧を含んでいると強調しておいた。HV車の領域までが技術革新の成果と見做すのがより現実的であると結論付けた。

では現在はどうなっているのだろうか。前出の図5で見たように，HV車曲線はUターンに回り，既存のガソリン曲線と並行する形状を作り出して



(a) 図14と同じ形状の曲線(2013年, 2016年)

(b) 変形した曲線(2020年)

図15 「エコカー技術革新V字曲線」の変容

いる。図15(a)は図14の図形を曲線に変えた図であり、図15(b)は実際に検証可能な88車種のガソリン車系統と9車種の非ガソリン車系統を第一象限にプロットした図である⁽¹³⁾。

引き続き、変形した(b)曲線に注目すると、2つの特徴が見えてくる。

一つ目は、HV車の曲線は、ガソリン車の領域を左上の方向に包囲する格好でUターンしていることである。ダブルスタンダードのガソリン車種ラインナップを用意しなければならなくなり、エンジンを搭載する以上、今後U字型ガソリン車の分布は一本のHV車の形状に統合されることになる。

二つ目は、EV車曲線の両端が伸びているということである。これは中堅メーカーやベンチャー企業が需要見込みの低い市場をターゲットに生き残りを賭けているからである。EV車やFCV車の系統では暫くの間業界乱立の状態が続くと予想される。

以上の分析の結果をまとめると、持論である「エコカー技術革新V字罫」仮説は、変化の実態を把握するフレームワークとして、現在も有効であることが判明した。

むすびにかえて

トヨタのFCV車ミライの車両本体価格は、2019年4月12日現在727万円である。これほど高価なクルマはどれだけ売れるだろうか、ナンバーワン・メーカーは社運をかけて戦いを繰り広げている。渦中で政府は「水素社会」の実現を謳っている(2014年第4次エネルギー基本計画)。また政府は、CO₂排出量の低減のためのロードマップにおいて、EV車化推進で2030年までに2015年ガソリン車基準(132g/km)の44%の削減(41g/km)を掲げて

⁽¹³⁾ そもそも異なる技術体系の3系統を繋げるには変数の基準の統一が不可欠であるが、このモデルでは、横軸を走行距離に合わせることで比較対象のずれを補正している。

いる（エネルギー白書2018，116ページ）。ところが4代目プリウスは2015年に60.0g/kmを達成している。このようにエコカー開発と普及に対する見方が一様でない。

本稿では、技術・エネルギー・環境・消費者の視点から、エコカー技術革新の現況を捉えている。第1節では、内燃機関自動車の価格と燃費性能の関係を分析した。ラインナップ演出が自由なガソリン車，低廉な作りで支持されている軽自動車，そしてプリウス革命に端を発したハイブリッド車の市場特性が紹介されている。特にHV車の拡充がガソリン車系列の統合や販売店の統廃合を促している実態を明らかにした。第2節では、EV車の普及にまつわる問題点を多面的に捉えている。建前ではゼロミッション仕様ながら何らかの形で環境負荷の問題を抱えている点や、高所得層向けの製品特性の問題を浮き彫りにしている。第3節では、プリウスの燃費性能が限界値に達している可能性を予測しながら電動化の今後を展望した。また軽自動車の普及がガソリン車種の需要を圧迫する一方、市場そのものを支える役割をしていることも明らかにした。

末筆ながら筆者は、エコカー時代への移行で生じている市場の空白をHV車と軽自動車が埋めている現状に理解を示すと同時に、エコカー普及に対しは細心の注意が必要であることを指摘しておきたい。

〈付表〉 動力種別の価格と燃費性能・航続距離（2019年4月基準）

動力種別	メーカー ブランド	車名	本体価格 (8%税込)	排気量 (L)	燃費 (km/L)
ガソリン 登録車 (38種)	Lexus	LS500	994	3.5	10.2
	Lexus	RX300	656	2.0	11.2
	Toyota	CROWN RS Advance	559	2.0	12.8
	Toyota	CROWN RS B	500	2.0	12.8
	Lexus	UX200	479	2.0	16.4
	Nissan	SKYLINE Turbo	471	2.0	13.0
	Nissan	FAIRLADY Z	471	3.7	9.1
	Toyota	LAND CRUISER TX	353	2.7	9.0
	Toyota	ESTIMA	331	2.4	11.4
	Honda	ODYSSEY	324	2.4	14.0
	Honda	CR-V Turbo	323	1.5	15.8
	Honda	STEP WGN Turbo	305	1.5	15.4
	Subaru	FORESTER	280	2.5	14.6
	Mitsubishi	OUTLANDER	266	2.0	16.0
	Suzuki	ESCUDO	265	1.4	16.0
	Honda	CIVIC	265	1.5	19.4
	Toyota	TOYOTA 86	264	2.0	12.8
	Toyota	RAV4	260	2.0	15.8
	MADZA	ROADSTAR	255	1.5	16.8
	Toyota	VOXY	250	2.0	16.0
	Nissan	X-TRAIL	223	2.0	16.4
	Toyota	Corolla Turbo	210	1.2	16.4
	Mitsubishi	RVR	210	1.8	15.4
	Toyota	ALLION	189	1.5	19.2
	Honda	FREED	188	1.5	19.0
	Toyota	Porte	182	1.5	22.2
	MAZDA	DEMIO	178	1.5	19.0
	Nissan	cube	162	1.5	19.0
	Subaru	JUSTY	152	1.0	24.6
	Mitsubishi	MIRAGE	148	1.2	23.8
	Toyota	TANK	146	1.0	24.6
	Suzuki	SOLIO	145	1.2	24.8
	Honda	FIT	142	1.3	24.6
	Nissan	NOTE	142	1.2	23.4
	Toyota	Vitz	138	1.0	20.8
	Suzuki	SWIFT	135	1.2	24.0
	Toyota	PASSO	117	1.0	24.4
	Nissan	MARCH	115	1.2	21.4

日本自動車産業の電動化とハイブリッド車普及

〈付表〉 動力種別の価格と燃費性能・航続距離（2019年4月基準）（つづき）

動力種別	メーカー ブランド	車名	本体価格 (8%税込)	排気量 (L)	燃費 (km/L)
ハイブリッド 車 (30種)	Lexus	LS500h	1121	3.5	16.4
	Nissan	CIMA	794	3.5	15.6
	Honda	LEGEND	707	3.5	16.4
	Toyota	CROWN RS Advance	690	3.5	18.0
	Toyota	CROWN RS Advance	579	2.5	23.4
	Lexus	NX300h	557	2.5	19.8
	Nissan	SKYLINE 350GT	555	3.5	17.8
	Toyota	ESTIMA	435	2.4	18.0
	Lexus	CT200h	433	1.8	26.6
	Toyota	PRIUS PHV +A	422	1.8	37.2
	Mitsubishi	OUTLANDER PHV	418	2.4	18.6
	Honda	CR-V	414	2.0	25.8
	Honda	ACCORD	385	2.0	31.6
	Honda	ODYSSEY	375	2.0	26.0
	Honda	STEP WGN	355	2.0	25.0
	Toyota	CAMRY	329	2.5	33.4
	Toyota	PRIUS	328	1.8	37.2
	Honda	INSIGHT	326	1.5	34.2
	Toyota	PRIUS PHV +S	326	1.8	37.2
	Toyota	RAV4	320	2.5	25.2
	Nissan	X-TRAIL	262	2.0	20.8
	Toyota	PRIUS	251	1.8	39.0
	Honda	FREED	249	1.5	27.2
	Toyota	Corolla	241	1.8	34.2
	Nissan	NOTE e-Power S	190	1.2	37.2
	Honda	FIT	184	1.5	34.0
	Toyota	Vitz	181	1.5	34.4
	Toyota	AQUA	178	1.5	38.0
	Suzuki	SOLIO	170	1.2	27.8
	Suzuki	IGNIS	138	1.2	28.8

〈付表〉 動力種別の価格と燃費性能・航続距離（2019年4月基準）（つづき）

動力種別	メーカー ブランド	車名	本体価格 (8%税込)	排気量 (L)	燃費 (km/L)
軽自動車 (20種)	Honda	S660 Turbo	198	660cc	21.2
	Honda	N-BOX Turbo	194		25.0
	Daihatsu	COPEN	185		25.2
	Nissan	DAYZ Turbo	154		25.2
	Daihatsu	Tanto Custom	153		28.0
	Suzuki	Jimny	145		16.2
	Honda	N-BOX	138		27.0
	Daihatsu	MOVE Turbo	135		27.0
	Suzuki	Spacia	133	HV 仕様	30.0
	Mitsubishi	ekWagon	129	660cc	29.4
	Nissan	DAYZ	127		29.4
	Daihatsu	Tanto	122		28.0
	MAZDA	FLAIR	117		33.4
	Daihatsu	MOVE	111		31.0
	Suzuki	HUSTLER	110		26.6
	Honda	N-WGN	109		29.4
	Suzuki	Wagon R	107		33.4
	Daihatsu	Mira e:s	85		35.2
	MAZDA	CAROL	84		27.2
	Suzuki	ALTO	84		37.0
ディーゼル 車 (3種)	Mitsubishi	DELICA	420		2.2
	Toyota	LAND CRUISER Prado	536	2.8	11.2
	Volkswagen	Tiguan TDI	363	2.0	17.2
電気自動車 (7種)	TESLA	100D	1241	100kWh	565km
	TESLA	Model S	933	100kWh	450km
	BMW	i3	538	33kWh	390km
	Volkswagen	e-Golf	499	35.8kWh	301km
	Nissan	LEAF e+	416	62kWh	570km
	Nissan	LEAF	324	40kWh	400km
	Mitsubishi	i-MiEV	294	16kWh	164km
燃料電池車 (2種)	Honda	CLARITY	762		750km
	Toyota	MIRAI	727		650km

参考文献

- 李泰王 (2013) 「韓国自動車産業の将来展望：家電に続く世界トップ実現は可能か」自動車問題研究会東海支部第294回定例会報告（於フォーイン），2013年8月28日
- 李泰王 (2016) 『「ものづくり」自動車産業論：ヒュンダイとトヨタ』中央経済社
- 李泰王 (2019) 「ものづくり設計思想の相乗効果の問題と MIF 業際分業仮説」『愛知大学経済論集』第209号
- 金村聖志 (2018) 「電気自動車用蓄電池の現状」『工業材料』第66巻第10号
- 近能善範 (2007) 「カー・エレクトロニクス分野の先端技術開発協業に関するパテントマップ分析」『産業学会研究年報』第23号
- 佐伯靖雄 (2012) 『自動車の電動化・電子化とサプライヤー・システム：製品開発視点からの企業間関係分析』晃洋書房
- 鈴木央一・小鹿健一郎・山口恭平 (2018) 「使用過程ハイブリッド車における燃費及びバッテリー性能の変化に関する研究」『自動車技術会論文集』第49巻第6号
- 鈴木俊宏 (2007) 「軽自動車の役割」『自動車技術』第61巻第1号
- JETI 企画部・社団 SEIDA (2018) 「グローバル特許動向：電気自動車 (EV 車) の特許動向分析」『JETI』第66巻第3号
- 中村隆 (2016) 「トライボロジー技術の進展による自動車の省エネ」『トライボロジスト』第61巻第2号，日本トライボロジー学会
- 橋本毅彦 (2013) 『「ものづくり」の科学史：世界を変えた《標準革命》』講談社学術文庫
- 藤本隆宏他編 (2007) 『ものづくり経営学：製造業を超える生産思想』光文社新書
- 水谷良治 (2018) 「ハイブリッド自動車用モータの技術変遷」『電学誌』(The Institute of Electrical Engineers of Japan, 第138巻第5号
- ローマン・バートニック，佐伯靖雄 (2016) 「HV/EV 車用モータの調達戦略に関する日独企業の比較」『産業学会研究年報』第31号
- 経済産業省編 (2010, 2018) 『エネルギー白書2010』，『エネルギー白書2018』日刊自動車新聞社・日本自動車会議所共編『自動車年鑑2018/2019年版』
- フォーイン (2018) 『FOURIN 世界自動車技術年鑑2019』株式会社フォーイン
他に，取材先の自動車ディーラー店などは省略する。

