

わが国における電気自動車ブーム初期における 環境と通底する課題

石川 和男

はじめに

わが国では、電気自動車（Electric Vehicle：EV）¹⁾については、これまで第二次世界大戦直後、1970年代、そして1990年代後半の3度にわたり「EVブーム」といえる時期があった。それぞれの時期においては、その製造・市場拡大に対して期待が高まった。しかし、それぞれの時期のEVブームは、ブームのまま終わってしまい、定着することはなかった。EVについては、わが国における最初のブームから航続距離（充電1回あたりの走行距離）の短さや車両価格の高さ、充電設備の拡充・整備などのインフラが、その市場拡大における課題として指摘されてきた。

現在、わが国だけでなく、世界的にEVブームである。わが国では、先にあげたようにこれまで3回のブームを経験し、4回目のEVブームを迎えている。本稿では、第二次世界大戦直後の第一次EVブームから第二次EVブームの時期に焦点を当てる。そこにおいては、第一次EVブームと第二次EVブームへと向かう社会状況や国際状況との相違、これらのブームを仕掛けた主体やプレーヤーの違いなどを中心に取り上げる。そして、第四次EVブームを迎えている現在、第一次EVブームから第二次EVブームの時期におけるEVの環境について、若干の比較を試みながら考察したい。

1 電気自動車製造の黎明とその優位性

(1) 電気自動車の出現

EVの出現にはいくつかの説がある。最古のものは、スコットランドの発明家ロバート・アンダーソン（Robert Anderson）が、電池とモーターによる「自動車らしきもの」を1832~1839年の間に製作したという記録がある（趙・寺澤 [2014] 196）。またオランダでは、1834年にEVが発明されたという記録が残っている。元来、自動車における最初の動力については「蒸気」が活用された。1873年になると、イギリスではじめての実用的なEVが製作された。これは先のロバート・デビッドソンが、1873年に初の実用車を完成させたものである。さらにフランスやアメリカ、ドイツにおいても製造が開始され、1900年頃にはヨーロッパやアメリカでEVブームが起き、一時期はEVがガソリン車よりも多く走行していた時期もあったとされる（堺 [2013] 39、天野 [2019] 257）。

ヨーロッパやアメリカでEVブームが起きた19世紀後半には、内燃機関が未熟であり、ガソリン車はEVと比較しても速度で劣ったといわれている。その後、内燃機関が発達し、次第にガソリン車が隆盛した（福岡 [1993] 26-27）。1880年代半ば過ぎになると、ようやくドイツの機械技師であったゴットリーブ・ダイムラー（Gottlieb Daimler）とエンジン設計・自動車技術者であったカール・ベンツ（Karl Friedrich

Benz) が、ほぼ同時にガソリン車を発明した(村山 [2015] 96)。ガソリン車の発達は、彼らによるところが大きい。そして、ガソリン車よりも約半世紀も前に発明されていたEVは、長らくガソリン車に比べて劣勢のままであった。さらにEVは、わが国だけでなく、何回かのブームを世界的に経験しながらも本格的な製造や市場拡大には至らないままであった。

これまでもしばしば指摘されてきたように、19世紀に開発・実用化された自動車は、当初は「お金持ちの玩具」であった。また20世紀になるまで、アメリカで販売された自動車の大部分は、電気と蒸気の2方式によるものであった。20世紀初頭の代表的EVメーカーの1社であったベイカー社(Baker Motor Vehicle Co.)は、1904年に発売したスタンホープ・タイプ(Stanhope type)によって市場の一角を占めていた。のちにフォード(Henry Ford)が、製造・販売したガソリン車であるT型(Model-T)がアメリカ市場を席巻したが、ガソリン車がEVや蒸気自動車(蒸気車)との開発競争において優位に立つまで、動力の異なる3つの自動車による市場競争が継続した。

他方、20世紀初頭には、アメリカでは自動車メーカーが多数存在した。T型が発売された1908年には、確認できるだけで69の自動車メーカーが存在した。その後、わずか7年間で自動車メーカーの数は半分までに減少した(近能・高井 [2010]、趙・寺澤 [2014] 196)。現在、わが国では、ガソリン車を中心に製造してきた自動車メーカーだけでなく、これまで自動車製造を手がけていなかった企業もEV製造に取り組み、自動車産業といわれる枠組み外からEV関連事業に参入・拡大する動きがある。これはわが国だけでなく、中国のEVメーカーを代表として、ゲームチェンジを意図した国や企業などの動きが顕著であることからわかる。そのため、20世紀初頭にアメリカで起こったガソ

リン車メーカーの競争の激しさが理解できよう。

(2) 蓄電池開発と性能向上

EVの生命線である蓄電池(バッテリー)は、1800年にイタリア人の物理学者アレッシンドロ・ボルタ(Alessandro Volta)が発明した「ボルタ電池」に遡ることができる。1859年には、ガストン・プランテ(Gaston Planté)が充放電の繰り返し可能な最初の二次電池である鉛蓄電池を発明した。そして1880年代になると、実用的な鉛蓄電池が量産された。一方、機械の動力源として使用可能な整流子式直流電動機は、1832年に世界で初めてイギリスの科学者ウィリアム・スタージャン(William Sturgeon)が発明した。さらに1837年にはトーマス・ダヴェンポート(Thomas Davenport)とエミリー・ダヴェンポート(Emily Davenport)夫妻が、商業利用可能な整流子式直流電動機を発明した。その結果、1830年代には、多くの発明家が、EV、電車、電気機関車などのルーツとなった「一次電池と電動機によって車輪を回して進む乗り物」の多様な模型を製作するようになった。これらについては実用化に程遠かったとされるが、鉛蓄電池の登場以降、二次電池を電動機と組み合わせることによって、EVを実用化しようとする試みが盛んになった(柴田 [2019] 7-8)。こうして19世紀には、EVの心臓部分となる蓄電池の開発・開発などが進んでいた。

EVをあらためて「充放電を繰り返す二次電池(蓄電池)と電動機によって車輪を回し、人間を乗せて道路上を進む乗り物」と位置づける。1881年11月に開催されたパリ電気博覧会では、フランスの技術者ギユスターヴ・トルーヴェ(Gustave Trouvé)による三輪車であるEVが公開された。これは、既存の三輪自転車を改造し、0.1馬力の電動機と二次電池を搭載し、自走能力を付加したものであった。同博覧会には、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、現在もその技術的な系譜にあるものも展示されていた。そして、当時の最先端技術を応用した製品の1つとしてEVが認識された。その後も、多様なEVが試作され、性能の向上が図られた。ただ1880~1890年代は、蓄電池の改良により、最高速度や航続距離を高めることに関心が集中していた。そのため、国際自動車連盟 (Fédération Internationale de l'Automobile : FIA) が公認した最高速度の記録では、19世紀に最高速度を更新したのはすべてEVであったとされる。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では、史上初めて時速100kmを上回る最高速度が記録された。それはベルギー人技術者であり、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) が運転したEV「La Jamais Contente」であった。ただ同車は、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馬力の出力があった。またタイヤはミシュラン製であり、電池電圧は200V、最大電流は124Aという特性を有した特別なEVであった。当時の一般的なEV性能は、時速約40km弱であったことから、この車両が記録達成に絞った特別仕様であったことは明らかである。一方、当時の蒸気車やガソリン車は、その機構が複雑で車重があり、歯車などによる変速装置の操作が必要とされ、加速には制約があった。その点においてEVは、相対的に車重を軽くすることができ、変速装置の操作も不要であったため、当時の技術でも高速性能に優れた自動車製造が可能であったとされる (森本 [2013]、柴田 [2019] 8)。したがって、19世紀末のEVは、技術的にも圧倒的に他の動力を用いる自動車よ

りも性能上は、上回っていたといえる。

(3) 実用面での電気自動車の優位性

これまで取り上げてきた状況から、19世紀、特に1890年代においては、世界的にEVに注目が集まっていたことがわかる。当時のEVは、既に普及していた蒸気車と比較しても静かであった。また、蒸気車の始動には蒸気圧を高めるため、最短でも約20分を要した。他方EVは、予め蓄電池への充電が完了していれば、スイッチを入れることにより、すぐに発進することができた。ただEVは、蓄電池の充電に時間を要し、フル充電をした際でも走行距離は短く、出先では充電可能な場所も限られた。こうした欠点があったEVと比べても、蒸気車は1回の給水による走行距離はEVよりも短く、EVの走行距離の短さも致命的な欠点と認識されなかった。その背景には、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、市場規模も極めて限定的であったことが影響している。さらにEVは、始動に手間がかからず、静かでもあったため、女性向けの自動車としての認識が広がっていた。1899年にアメリカでは製造販売の実績はEVが1,575台、蒸気車1,681台、ガソリン車936台であった (森田 [2013]、柴田 [2019] 8-9)。こうした19世紀末の自動車市場の状況からも、蒸気車の販売台数は多かったものの、顧客の蒸気車に対する支持よりもEVへのそれが大きかったことがわかる。

しかし、1908年にフォードがガソリン・エンジンをういたT型を大量生産・販売し、バリュー・ネットワークを刷新させることになった (柴田 [2019] 3)。これを契機として、ガソリン車は急速に改良が進み、EVの優位性は次第に消滅していた。そのためEVが再びブームとなった時期までは、その技術を高め続けることに専念しなければならなかった。わが国では、

19世紀には一部において輸入した蒸気車やEV、ガソリン車などが走行していたとされる。ただわが国ではEVだけでなく、蒸気車、ガソリン車の試作は確認されず、自動車が人や物の輸送機器としての地位を得るに至っていなかった。

2 わが国における第一次電気自動車ブーム概観

(1) 第二次世界大戦後の電気自動車の製造状況

20世紀の前半は、アメリカの自動車メーカーは、ガソリン車により世界を席卷した。19世紀には、蒸気車やEVと比較した上で劣っていたガソリン車は、急速に改良され、フォードのT型、そしてマーケティングにより顧客ニーズをつかんだとされるゼネラル・モーターズ（General Motors：GM）が、世界市場において存在感を放つようになった。これら2社は、1920年代にはわが国にも進出し、ノックダウン生産を手がけていた。しかし、第二次世界大戦へと向かう中、わが国からの撤退を余儀なくされた。そして、その間隙を縫うように豊田自動織機自動車部、日産自動車、いすゞ自動車が自動車製造を開始した。しかし、こうした状況も第二次世界大戦が大きく状況を変化させた²⁾。

わが国では、第二次世界大戦の敗戦による混乱がまだ続いていた1947年6月、EV製造を本格化させるため、東京電気自動車（株）が設立された。同社は、高速機関（株）府中工場が衣替えをした企業であった。1949年3月、同社はたま電気自動車（株）に社名を変更した。同社の技術的継承・継続は、戦前に飛行機製造を手がけていた技術者が、その活躍の舞台をEVへと変えたことにより遂行された（神谷 [2011] 209）。同社の当時のEVは、7~8時間充電をすれば、約60kmの航続距離が得られた。その次に製造したEVでは、航続距離が2倍に伸張した。た

だ蓄電池の容量は不安定であり、約180回の充放電を繰り返すと、電池容量は新品時の半分にまで減少した（神谷 [2011] 210）。このように当時のEVには、多くの課題があったが、東京電気自動車、それに続いた電気自動車の技術者らは、これらの課題を1つずつ乗り越えていくことにより、その性能を改善していかうとした。とくに性能改善には性能試験が大きく影響した（石川 [2020] 205）。それは性能試験が、他社との技術的な優劣を決する場となったためである。

その後、第二次世界大戦中から戦後にかけて、ガソリン供給が逼迫した時期には、工場での物資運搬車や定期交通バス、乗用車などの一部では電気で駆動する自動車を使用された。運輸省自動車局の調査資料では、1949年には市中のEV台数が約3,300台に達し、全自動車数の約3%を占めたという記録が残っている。名古屋市では、市電気局、東邦電力、湯浅電池、中島製作所などの協力により、電気バスが開発され、活躍した（福西 [1968] 41-42）。

しかし、たま電気自動車では、最初のEV製造から3年余が経過した1949年に製造を停止した。このときに生産された1949年モデルのEVは、航続距離が中型車では約200km、小型車では約130kmであり、速さは中型車55km/h、小型車45km/hであった。生産台数は、1947年が28台、1949年には397台に増加していたが、GHQからは年間生産については実際の生産台数を上回る500台の許可が下りていた（田中 [1996] 305-306）。

第二次世界大戦後、わが国ではガソリン不足からEV生産が一時的に伸び、1949年には全自動車登録台数の3%相当の3,299台が普及した。しかし、それも石油産業の発展、ガソリン車普及とともにEV普及は後退することとなった（福岡 [1993] 26-27）。したがって、GHQから

500台の製造許可が下りていたものの、その許可台数を大きく下回っていた背景には、EV製造に必要な部品や原材料などの不足に加え、生産能力が不足していたと思量される。

(2) わが国における電気自動車の利用状況

自動車開発の初期において、蓄電池を用いたEVは、一時期にはガソリン車と覇を競いあう状況にあった。わが国のEV輸入は、1900年の後の大正天皇のご結婚奉祝記念に、サンフランシスコの在留日本人から贈られたという記録が残っている。そして、1900年2月に初めてわが国で走行したとされる(福西 [1968] 41-42)。またEV製造(組み立て)は、1911年に大倉財閥が経営していた日本自動車(株)で試作したのが最初とされる(森本 [2012] 3-4)。さらに第一次世界大戦後から第二次世界大戦前の都市輸送機関としては、EVが木炭車などの代替燃料車だけでなく、ガソリン車をも凌駕していた。乗合自動車として使用されたEVは、輸送能力においても他の燃料車を上回っており、故障が少なく、保守にも手間がかからなかったとされる(日本自動車会議所 [1947] 145-146)。したがって、この時期にはわが国で製造されたEVも実用性の高い自動車であったと認識することができよう。

また、EVの試作を手がけた事業者が増加することにより、大阪・東京・名古屋の3大都市におけるタクシーの多くはEVとなった。1950年には、全国で約1,500台のEVが使用され、中でもたま電気自動車が製造したEVが圧倒的なシェアを有していた(朝日新聞2011.7.11)。EVは、木炭車に比べてオンデマンド性に優れていたため、顧客が利用したいときにはすぐに迎えに来られた。そこで営業時間を延長していたタクシー会社もあったという。当時のEV価格は、約24~25万円であり、大卒者初任給が平

均6,300円の時代であったため、高価な商品であった(給料約40月分)(田中 [1996] 305-306)。

EVについては、現在でも最大の課題といえるのは、蓄電池の電気を動力としているため、当時は蓄電池に使用されていた鉛使用の課題があった(菊池 [1973] 1265)。寿命が尽きた蓄電池の鉛は、回収再生され、再度蓄電池に使用された。そのため、元の蓄電池の約6割弱は回収され、交換補修用の蓄電池によって鉛を節約することができた。当時の鉛とガソリンの消費を比べると、EV乗合車は1台につき、蓄電池を2組装備し、これを交互に使用することによって約6万kmの走行が可能とされた。この寿命は、1年に相当する走行距離であり、電池の消費量が約800kgであった。ガソリン車が6万km走行した場合、ガソリン消費量は約3,300ガロンであった。ガソリンは、走行によりすべてが消費されたが、EVは鉛を回収し、再利用できたため、その点でも経済的であった(日本自動車商工会議所 [1947] 146-147)。こうした側面をみると、蓄電池に使用した鉛のリサイクル割合が際立っていることがわかる。またエネルギー・コストとして全体を概観した場合の優位性もEVに見出すこともできよう。

(3) 充電施設の拡充

EVの充電には充電設備が必要である。これは現在のEVも同様である。そこで第二次世界大戦直後、政府は1949年2月に通産省機械局長通牒「電気自動車充電所取扱要領」を作成し、同年11月に電気事業法に基づいて省令「電気自動車充電施設規則及び電気自動車技術者検定規則」を公布した。これは充電施設のJIS統一を図り、充電事業における不正防止の意味合いが強かったとされる。そこで同規則の実施により、充電能力10kw以上の充電所事業及び施設

設置は、通産大臣の許可を得なければならないこととし、各事業所には検定試験に合格した技術者の常駐を義務づけた。そして、同規則による1回目の設置許可充電所は、1950年6月に新設された。また電気技術者の検定試験も同年7月に実施された。ただ全国に設置されていた充電所の充電能力には大きな差があった（日本自動車会議所・日刊自動車新聞社共編 [1950] 56-57）。

充電所における充電能力の格差は、EVの需要の偏在も影響したのであろうが、国全体としてみた場合、充電所へのアクセスのしやすかった地域と、アクセスしにくかった地域が存在したことは想像に難くない。こうしてわが国では、第二次世界大戦の敗戦からそれほど長い時間をおかずして、バスやタクシーなどの利用においては、EVの使用が次第に拡大していたことがわかる。またそうした市場の拡大については、当時の政府にはできる支援は限られていたが、その普及に向けて充電所設置やそこにおける技術者養成などを進めていったことがわかる。それだけEVの製造や市場拡大が期待されていた証左ともいえよう。しかし、1950年代に入ると、すぐにわが国でのEVブームは沈静化することになった。

(4) わが国での第一次電気自動車ブームの終わり

わが国では、第二次世界大戦後の1940年代後半には、EVの生産台数は毎年増加していた。しかし、1951年半ばになると、一部事業者を除いて製造を停止せざるをえなくなった。最大の契機は、1950年6月に朝鮮戦争が勃発したことによる。朝鮮戦争のため、アメリカ軍が軍需資材を買い占めたことにより、鉛、ニッケル、銅などの軍需用金属価格が暴騰した。EVの蓄電池材料としていた鉛が銃弾に使用されたため、

約12倍に高騰した。EVは、現在もその蓄電池価格が車両価格のかかなりの部分を占めるといわれ、当時のEVも蓄電池価格が車体価格の約1/3を占めていた。そのため、その価格だけで40~50万円にも達し、少し以前の車両1台分の価格とほぼ同等となった（田中 [1996] 306）。つまり、朝鮮戦争による蓄電池価格の高騰が、EV製造に致命的な影響を与え、わが国のEVブームを急激に冷却させたといえる。

朝鮮戦争は、EVに使用する蓄電池価格に影響しただけでなく、わが国の物価水準も上昇させた。急騰した鉄鋼と原料の輸入価格は、輸入原料への依存度の高い産業の生産コストにすぐ影響し、鉄鋼原料、繊維原料などは、1950年6月から1951年3月にかけて約2倍に上昇した（日本自動車会議所・日刊自動車新聞社共編 [1952] 125）。ドッジ・ラインによる自動車生産計画では、大型車、普通車、小型四輪車、小型三輪車、小型二輪車とともにEVも含まれた。1949年時点における自動車生産のうち、EVの割合は3%、1953年には8%に成長することが見込まれていた（トヨタ自動車工業 [1967] 283）。そのため、わが国でも当時はEVの成長への期待が高かったことが読み取れる。しかし、その期待通りとはならなかった。

他方、ガソリン車で使用された石油製品の価格改定は、1950年12月に決定されたが、ガソリンの価格改定だけは1951年1月から実施されることになった。石油精製業者は、原油価格の上昇や、タンカーレートの高騰で採算がとれなくなり、石油製品の全面的価格改定が叫ばれた。また販売業者も販売手数料の値上げを要望し、価格改定の必要性を容認するようになった。したがって、ガソリン車の燃料であるガソリン価格も上昇したが、ガソリン税の引き下げが一方で実施された（深海 [1987] 42）。そして、ガソリン車の生産と比較してもEV生産はいよいよ

よ厳しくなり、1951年8月には各EV事業者は、在庫品や注文生産だけとなった（日本自動車会議所・日刊自動車新聞社共編 [1952] 248）。わが国においては、第二次世界大戦後、EV生産が開始されたのは、ガソリンの極端な供給不足を理由とし、ガソリン供給状況がEVの生産にも大きく影響してきた（中川 [1982] 93）。そのため、まだ産業として確立していなかったEVは、ガソリン価格や供給に再び影響されることになった。

1950年度におけるEVの生産台数は、全車種で703台となり、前年度比769台減少した。まさに半減の状況となった。EVに搭載される蓄電池価格の高騰により、EV事業者らは生産継続が困難になり、1950年度には事業を中止し、車種の整理を行ったり、他製品へと転換したりした（日本自動車会議所・日刊自動車新聞社共編 [1952] 55-56）。

他方ガソリンは、第二次世界大戦後では1950年になるまで報道関係と病院以外では、個人での使用はかなわなかった。しかし、供給が改善され、さらに自由化されると、EV生産には蓄電池価格の高騰だけでなく、ガソリン価格の急改善が影響するようになった。蓄電池価格の高騰は、EVの経済性を減殺し、需要を低下させることになった。鉛1トンの価格は、1950年8月初旬には約8万円であったが、1951年6月には約30万円にまで上昇した。そのため蓄電池価格も約3倍（約16万円から約40万円）となり、EV需要層の大半を占めていた運送業者は採算割れとなった。当時のEVに搭載された蓄電池価格は、24万円以下でなければガソリン価格と比べても採算がとれないとされていた。しかし、採算価格を6割以上も上回る状況においては、EV事業者らは打つ手がなくなってしまった。そして、当時のEV生産を取り巻いた悪条件では、①当時ようやく好転しつつ

あったガソリンの供給事情、②EV自体の改良できない性能上の欠陥、③中古外車への払い下げ期待、④量産によるコスト切り下げが不可能なこと、などが重なった（吉沢 [1967] 328）。こうしたEVを取り巻いた当時の環境がEVの生産・販売の希望の芽を摘み取ったといえる。

(5) 第一次電気自動車ブーム直後の状況

EVの充電所設置は、1951年6月には全国で180カ所、充電能力11,000kw、施設評価額2億9千万円の規模に達していた。ただEV生産の需要急減により、EV専門の充電所では経営が行き詰まり、合理化の推進、EVと一般充電の2本立てへの転換が行われるようになった。通産省は、充電所の企業合理化を促進するため、中小企業の見返り資金の融資斡旋、信用保険制度の運営による資金手当などに傾注した（日本自動車会議所・日刊自動車新聞社共編 [1952] 56）。このようにEVを普及させるためのインフラ整備は進められていたが、充電事業に参入した事業者は、あまりにも急激に変化した社会状況に対して、すぐに事業転換を迫られるほど、EVを取り巻いた環境変化が激しかったことを物語っている（石川 [2020] 213）。

わが国の第一次EVブームの牽引役であったたま電気自動車は、EVの生産停止後、一時的にナパーム弾製造を行い、同時に富士精密との連携により、ガソリンエンジンの開発を手がけることになった。1951年11月には社名から「電気」を取り、たま自動車（株）に変更した。さらに1952年11月にはプリンス自動車工業（株）へと社名を変更した。同社でもEVからガソリン車への急旋回が起こった。そして、平和産業としてのガソリン車育成が進められることになった（李 [1993] 45-46）。航空機から自動車、EVからガソリン車への移行は、技術者だけでなく、その集団である企業のかたち、企業間の

関係もわずかの間に変化させた（石川 [2020] 214）。同社にとってだけでなく、わが国で第二次世界大戦後のわずかな期間において生産されたEVは、まさに徒花のような存在であったのであろうか。それともその後すぐにわが国の自動車産業が花開く何らかのきっかけをつくった存在となったのであろうか。こうした疑問に対する回答は、その後のEVブームにおいて解明されることになる。

3 わが国における第二次電気自動車ブームの胎動

(1) 高度経済成長の歪みによる電気自動車の曙光

前節では、わが国において第二次世界大戦後の第一次EVブームにおけるEVへの期待の高まりとその急激な環境変化、急速なブームの収縮を取り上げた。先にあげたように、第一次EVブームにおいて、EVを手がけたメーカーの多くは、その後、ガソリン車製造へと転換し、継続的にEVの改良・量産に取り組む事業者はほぼいなくなった。しかし、EVの将来の可能性を期待し、その研究開発を開始、継続する事業者も一部存在した。

1960年代には、わが国は高度経済成長を経験した。一方、1960年代半ば前後からは、わが国では工場から排出される煤煙による大気汚染だけでなく、モータリゼーションの進展による排出ガス汚染にも悩まされることになった。こうした状況において、ガソリン車は排出ガスが多く、騒音も大きかったため、それらを防止するためにEVが見直され始めた。そこで通産省、工業技術院が、大型プロジェクトを組み、EVの技術改良やハイブリッド車（HV）³⁾ 開発に取り組むことになった。しかしEVは、ガソリン車に比べて性能的に劣ったままであり、普

及しない状態が継続していた。当時、わが国で登録されていたEVの台数は、小型特殊自動車すなわち産業用で工場や施設など構内での使用が中心であり、市街地を走行するEVは約1,000台、そのうち6割以上は軽自動車に占められていた。他方、イギリスやアメリカなど諸外国でもEV開発は継続しており、特にイギリスでは相当台数のEVが実用に供されていた。海外でのEV普及は、イギリスでは牛乳配達車を中心に約35,000台、アメリカでは約4,000台、フランスでは770台（ごみ収集車約300台を含む）、ドイツでは290台、イタリアでは119台が走行していた。ただ各国とも普及台数はそれほど多くなかった（福岡 [1993] 27）。また海外においても多くのEVは、人を乗せ、移動するために使用されたのではなく、特定のモノの運搬用が中心であり、短い距離を走行していたに過ぎなかった。

こうした中、EVの研究をあらたに開始したのは、ガソリン車メーカーなどいわゆる自動車産業の枠内にあった企業ではなく、枠外の企業においてであった。まず電力会社は、深夜電力を生かすため、電気で静かに走行する無煙車の開発・普及を手がけた。その背景には、石炭で走行していた蒸気車による道路沿いの住民生活への悪影響が大きいということがあった。そこで、社会的観点と新たな駆動用電力供給による需要開拓を目指し、積極的にEV開発に取り組み始めた。第一次EVブームから約15年後の1966年には、中部、東京、関西の3電力会社と湯浅電池（株）は、相次いでEV試作車を発表した。ただ相変わらずEVは、ガソリン車に比べてその積載能力、速度、走行可能距離などに制約があり、劣勢を強いられていた。またEVは、本格的な高速車として輸送条件を満たすには新型で強力な蓄電池が未開発のままであり、問題が残されていた（福西 [1968] 41）。つま

り、1回の充電により走行する距離の長さである航続距離をいかに伸張させるかが課題のままであった。

(2) 電気自動車の優位性浮上

1960年代半ばになり、EVが再度脚光を浴びるようになったのは、各国においてその研究開発が評価され、重要研究課題の1つとして取り上げられるようになったことによる。一方、ガソリン車は、運行性能についてはほぼ完璧に進歩を遂げていたとされる。ただガソリン車から排出される有害ガスや騒音は、社会的に受容しがたい深刻な問題となっていた。そこでは蒸気車やディーゼル車が、順次EVに置きかえられた経緯と通じるものがあった。また本質的なエネルギーの有効活用面では、当時はガソリンに比べて効率のよい大容量火力で発電した電気が経済的であり、EVはガソリンに比べて有効エネルギー単価は約1/2であった。そしてイギリスでも、EVがガソリン車よりも経済的という認識が拡大していた。電気会議 (Electricity Council) の試算では、小型ファミリーカーの購入価格は、大量生産された場合の数値と推察されるが、イギリスで普及していたEV配達車は、ガソリン車価格の約2倍であった。しかし、EVはシンプルな構造で堅固であり、乗用車ほど高速が必要でなく (平均速度15~25km/h)、耐用年数はガソリン車の2倍以上もあり、年間固定費はガソリン車とほぼ同様とされていた。つまり燃料費が安くなる分、経済的であった (福西 [1968] 42)。さらにEVは、蓄電池方式であり、深夜電力を利用して充電でき、電力会社にとっても都合のよい面があった。

将来のEVは、従来のガソリン車のように一酸化炭素 (CO)、炭化水素 (HC) ガス、酸化窒素化合物 (NOx)、鉛 (Pb) などによる排気ガスや爆発燃焼による騒音の恐れがなく、エン

ジンの始動、運転制御面でも取り扱いが容易になることが期待された。何よりも従来絶望視されていたEVの再開発について、技術進歩がみられた。特にシリコン整流器やサイリスタによる充放電ならびに速度制御技術の進歩、電動機特性の向上、整流子レス直流電動機が開発されたことにより、以前の抵抗式EVに比べると、電装品関係は格段の性能向上が期待されるようになった。こうして1960年代半ばになると、EVは近代社会の要請と技術革新に支持され、将来の駆動エネルギーの合理的な発生方式の1つとして数えられるようになった。ただできるだけ多くの電気エネルギーを軽量で安全に積載できる強力な新型蓄電池の開発は進んでおらず、本格的なEVはこの解決にかかっていた (福西 [1968] 42)。つまり、第一次EVブームの際にも、それ以前のEV開発にはない技術的進歩がみられたが、蓄電池の問題は次世代への課題として先送りされたままであった。また蓄電池製造にかかるコストが一気に上昇したことが、わが国の第一次EVブームを一気に沈滞化させた原因であったことは、既に取り上げたとおりである。そのため将来的に蓄電池製造にかかるコストの問題もつきまとうことになった。現在、蓄電池に使用される材料は当時とは異なる材質のものが中心であるが、その供給可能性については課題のままであった。

わが国では、1966年末に先の3電力会社と湯浅電池 (株)、1967年には東京芝浦電気 (株) がEVの試作車を発表した。一方、新型蓄電池は発表されないままであった。しかし、蓄電池メーカーなどは研究を継続し、1969年度からは通産省の長期プロジェクト研究の1つとして強力な研究支援体制がとられることになった。発表されたEVの概略仕様については、その運行実績もその値に近いものとなった。当時、複数の企業が試作したEVは、電気制御品および

改良された既成蓄電池の性能向上に主眼がおかれ、車体は既存の改造品が使用されていた。したがって、本格的なEVへと発展させるにはそれに適した車体改良が必要であった（福西 [1968] 46）。ただ当時は、現在進められているEVに適合した車体試作にまでは手が回らず、電気関連部分の改良に止まっていた。またEVの試作を手がけていた主体が、電力会社や蓄電池メーカーであったため、自動車の構造や走行性能など、自動車メーカーとは異なる視点による技術改善が重ねられていたといえよう。

(3) 大気汚染問題への対応

わが国では、高度経済成長による悪影響が随所にあらわれ、光化学スモッグの発生はその代表であった。国会では、光化学スモッグ対策として、無公害自動車の開発促進が決議された。この時期において、わが国では最初の自動車排出ガス規制が行われた。1966年9月に施行されたCOに対する排出規制である。これは走行モードに4モード（アイドリング、加速、減速、定速を組み合わせたもの）を採用し、排出ガス許容限度はモード別に重みづけした加重平均濃度（4モード平均CO 3%）と定められた。これにより排出ガス中のCOは49%が削減された。また環境庁は、1972年10月に新しい自動車排出ガス量の許容限度を告示した。この告示では、汚染物質としてCOの他にNO_x、HCを加え、規制方法もガソリン車についてはそれまでの4モードから10モード（アイドリング、加速、減速、定速のパターンを10コ組み合わせたもの）とし、排出許容限度値も単位走行距離あたりの重量（g/km）に改めた。さらにディーゼル車には、規制モードを6モード（エンジン負荷と回転数を組み合わせた条件6通り選定）とし、排出許容限度値はモード毎に重みづけした加重平均濃度とした。そして「日本版マスキー

法」に位置づけられていた新自動車排出ガスの許容限度は、ガソリン車のNO_x排出量を未規制時の8%、COを5%に削減し、ガソリン車のNO_x排出規制にまで及んだ。同法施行は2年延期されたが、世界的にも画期的な排出ガス規制となった（福岡 [1993] 17-18）。こうした環境関連法は、世界で最初にアメリカの「1970年大気浄化法改正法（通称マスキー法：Muskie Act）」の規制値が示されたことによって世界に拡大した。ここで示された規制値を満たした低公害エンジンを搭載した本田技研工業の「シビックCVCC」が1973年12月に発売された。その後、ヨーロッパやアメリカ、わが国を中心として自動車の排気ガスへの規制が強化され、さまざまな技術が開発された（柴田 [2019] 3）。わが国では当時、シビックに代表されるように世界の関連法制の動きを注視しながら技術開発が盛んであった。

EVは、長期間研究・改善を重ねて発達したガソリン車に対抗できる車両として考えると、性能や製作費などコストの問題が常につきまっていた。ただEVの特徴を生かし、各用途に応じた使用方法では、イギリスのように当時の蓄電池でもその機能を果たし、経済的に適用できる分野があった。それは先にもふれたように、牛乳や郵便の配達車として短距離を移動するためのEVであった。しかし、多くのユーザーが自動車に期待したのは、短距離戸口配送のためではなかった。そのために当時もEVの研究課題では、①蓄電池の性能向上、特に新型強力蓄電池開発、②制御装置、電動機など効率向上、③電装品、車体の軽量化と配置、構造などが取り上げられていた（福西 [1968] 49）。EVが大量生産され、市場で広く受容されることを見通し、これだけ明確に課題が列挙されてきたが、なぜ現在まで課題のまま残存しているのだろうか。そこには技術革新の難しさが読み

取れよう。

他方、1968年10月、電気自動車総合調査委員会は、海外調査の結果に基づき調査報告書を提出した。そこでEV開発の問題点は、電池性能の飛躍的向上と軽量化であり、EV実用化は時期尚早とした(菊池 [1973] 44)。EVは、ガソリン車に代替させようとする分野と、産業用車両として構内運搬用途やゴルフ場などで使用される分野があり、各分野での進歩がみられた。EVC (Electric Vehicle Congress) 議長のラッキング (W. T. Lucking) は、米国では約78万台の産業用運搬車のうち、約23万台、すなわち30%が既にEVであり、一般道路走行車のうち約2,000万台の乗用車が、将来EVに置換可能性があるとした。そして、過去2~3年でのEV発展の効果は、一般が従来の強馬力の自動車からEVに一層適した小型車や特殊用途車に、開発の焦点を合わせていることを強調した。実際、ヨーロッパやアメリカでは、既に構内使用車やゴルフカーなどの分野にはEVが増加し、一般道路走行分野でも、幅広い層にわたり絶えざる研究開発が続けられていた(由本 [1972] 406、大久保 [2009] 82)。したがって、既にヨーロッパやアメリカでは、特殊用途のEVではなく、一般道路走行可能なEVの開発が目指されていた状況がわかる。

(4) 1971年の大型プロジェクト

自動車産業では、1971年の産構審答申『70年代の通商産業政策』において提案された知識集約型の産業構造に対応するため、EVの研究開発が取り上げられ、公害防止や安全確保の観点からの産業振興が期待された。また産構審機械産業部会自動車産業分科会は、1974年12月に『昭和60年の自動車産業』という報告書をまとめた。ここでは、公害問題に対して技術的解決策による対応を進める方向を示し、輸出お

よび海外投資を通じて世界的規模の需要拡大を図り、国際化を重視することが明示された。その際、海外市場では自動車に対して非価格競争力強化上においても、経済性や耐久性にとどまらず、安全性や公害対策の向上が望まれていた。そして、1975年8月には、新たな経済情勢や排気ガス規制の影響を再検討する必要が生じ、産構審の機械産業部会基本政策小委員会には自動車産業分科会が設置された。さらに1976年3月の報告書では、1974年12月の報告書の趣旨をデータ面で補強し、2つの報告書は公害、安全およびエネルギー問題への速やかな対応を求めることになった(河村・武田 [2014] 11-12)。

1971年4月になると、先にふれた工業技術院の大型プロジェクト研究としてEVが取り上げられた。そして通産省は、「大型工業技術開発制度(いわゆる大プロ)」を適用し、1971年から6年間で57億円を投じ、高性能EV開発を支援することとなった。これにより自動車の排出ガスによる公害悪化により社会の潮流が大きく変化した(菊池 [1973] 44)。わが国は、ヨーロッパやアメリカに比べて、EVの一般道路走行分野以外での実用範囲、先行技術開発について民間での関心は低調なままであった。それだけにわが国では、当時は画期的なEVの黎明期を迎えたとされた(由本 [1972] 406)。わが国でのEV開発は、1960年代半ばから自動車メーカーが電力会社や蓄電池メーカーと提携し、推進使用としたことは取り上げてきたとおりである。EVが公害とエネルギー問題の解決手段として注目を集めた。アメリカでは1976年にEV開発・普及に関する法律が制定され、最盛期は年間100億円以上も予算化された(清水ら [1984] 475)。

他方、1971年8月には、政府が後援し、流通合理化促進を目的とした牛乳配達用のEVが一堂に集められた。同イベントでの展示車参加は

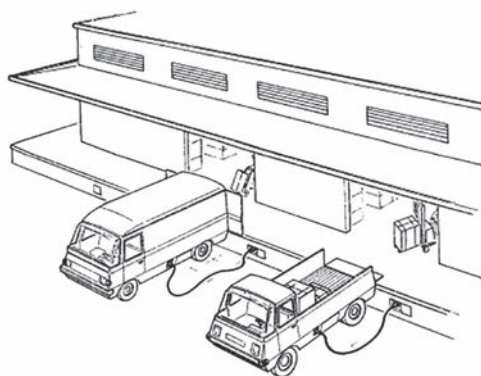
5社であったが、各社ともほぼ同技術水準にあり、都市内の小口集配用を目的とした仕様・性能を満足させるものであった（大久保 [2009] 82）。これらの既発表車は、すべて従来のガソリン車の形態に基づくシャシにEV用コンポーネントを搭載し、直流モーターにSCRチョッパ制御を使用しているところまでほぼ同様であった（由本 [1972] 406）。また1972年度には、公害パトカーとして、トヨタパブリカ（1,000cc）軽貨物バンがEVに改造され（1充電あたり30~40km）、試験走行が開始された。その後、1充電あたりの航続距離は約70kmに改良された。他方、路線バス2台により電池交換式で実験したが、1982年に冷房の困難性や電池の保管場所確保の困難性などで中止した（中村 [1994] 22）。わが国のEVは、第一次EVブームの際には、一般道路を走行することが念頭におかれていた。しかし、第二次EVブームを迎えようとしていた時期は、特殊用途での使用が前提とされ、入り口としていたことがわかる。

4 電気自動車における充電課題の解決

(1) 充電施設の拡充

わが国の第一次EVブームの際にも、大きな課題とされ、EV普及の大きな課題であったのが充電施設の拡充であった。EVが主に駐車する場所には充電施設を設ける必要があった。これは充電器車載型のみ有効であり、充電器がない場合には、クイック・チェンジ方式をとることが想定された。そのため、バッテリー基地には常に充電された交換用電池が準備され、カートリッジが収められた蓄電池が、短時間で確実に交換されるように準備されていた。RWE（Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG）は、こうした電力供給システムが完備されるとEV発展が可能と強調した（由本 [1972] 409-411）。

<図表1 充電器車類型に対する充電方式の例>



（出所）由本 [1972] 410

つまり、EVの普及と充電施設の増加は比例して把握されていたといえる。

従来のEV開発は、主に電力会社と自動車メーカー、蓄電池メーカー、電機メーカーが協同で研究し、電力会社のサービスカーとして試用されたに過ぎなかった。それは先にもあげたように、在来のガソリン車を改造して蓄電池を搭載し、エンジンを電動機で置換していたものであったためである。そして、1971年の大型プロジェクトによるEV開発の呼びかけに対して、当初自動車メーカーは、安全・公害対策に資源を集中させることを優先していたため、EV開発には関心が薄かった。そこで、EV開発を企業内の改良に任せていただけでは技術進歩が期待できないため、工業技術院の大型プロジェクトとし、改造でなくて根本的に設計し直したEVを製作することにした。車種決定については、流通変化の方向を見通し、近距離運搬用（軽および小形電気トラック）には積載量と航続距離の増大、業務サービス用（軽および小型EV）には、速度と航続距離の延長、路線用電気バスには都市内輸送に必要な性能確保に重点がおかれた（菊池 [1973] 44）。したがって、EVを用途に応じて区分し、それぞれ目標とするところを明確化した。

(2) 蓄電池問題の解決

地球温暖化の抑制、大気汚染防止など地球環境保全施策の1つとして、自動車の低排気化、燃料消費量の低減（低燃費化）が、以前から注目されていた。そこでは、HVを含むEV普及が有効とされ、開発が加速していた。しかもこれら心臓部の駆動源は電動機であり、電気工学を担当する技術者がその実力を発揮すべき分野とされた（正木 [1999] 519）。特に性能のよい蓄電池開発が必須とされていた。

これまで本格的にEVが普及しなかった理由の1つとして、航続距離の短さがあった。EVは、蓄電池に蓄電した電力で走行するが、旧世代EVにおいて使用されていた鉛蓄電池は、実用に耐える製品ではなかった。またその原材料である鉛の高騰が第一次EVブームの息の根を止めたことはこれまで取り上げてきた通りである。それが第三次EVブームの1990年代になると、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するようになった（石川 [2011]）。しかし、第二次EVブームでは、まだ画期的な蓄電池は開発はされていなかった。図表2にあるように、新世代EVでは、蓄電池としてはニッケル・水素電池、リチウムイオン電池などが期待されていた。

わが国では、鉛蓄電池は旧海軍が潜水艦の動力源として育成し、第二次世界大戦終了時には既に世界最高水準にあり、改良余地はほぼない

とされた。この時期に世界的に使用された蓄電池のエネルギー密度は30~40Wh/kgであり、工業技術院が1973年度第一次実験車の鉛電池のエネルギー密度として60Wh/kgを達成することを目標とした。しかし、改良し尽くされた蓄電池の性能をさらに向上させるのは難題であった。つまり、乾いた雑巾をさらに絞るようなことをしなければならない面があった。こうした技術的開発努力が必要な鉛蓄電池は、電気を化学的に取り出せる性能の上限について理解があった（菊池 [1973] 45）。

しかし、実際に出力がどの程度取り出せるかは、製作しなければわからなかった。それは蓄電池のエネルギー密度（Wh/kg）が航続距離を決定し、出力密度（W/kg）は加速性能を表すものであったからである。したがって、不確定な要素が多い中での開発を余儀なくされていた。また性能としてのエネルギー密度と、充電・放電が可能なサイクル数、つまり蓄電池の寿命とは相反した。そして、EVに搭載するには、入手しやすい材料により安価に生産する必要もあった。そこには蓄電池の実用化には経済性が重視され、性能と寿命とコストの妥協が必要であった（菊池 [1973] 45）。EV用の蓄電池について、それを製造するメーカーは、さまざまな制約が課せられた状況において、その性能向上に傾注した。現在でも同様の面があるが、自動車メーカーは、蓄電池を内製化せず、それを外

<図表2 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	VVVF インバーター制御
モーター	直流整流器モーター	交流同期モーター＝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

（出所）趙・寺澤 [2014] 197

部調達するのは、それだけ蓄電池の技術開発には高度な専門知識が必要なためであった。組み立てが中心である自動車メーカーが企業内部のものとはしない傾向が顕著であった。

蓄電池の研究開発については、国家的な取り組みや努力により、技術や性能の向上がみられた面もあったが、EVの普及は進まなかった。それは、①1充電あたりの走行距離の短かさ、②加速の悪さ、③最高速度の低さ、④コスト高、などの問題があったためであった。高性能EVの実現を期待すれば、画期的な性能の電池を開発する以外にないというのが専門家を含めた常識となっていた。そして、原理的には高性能電池がつかれる見込みがあるとされたが、その実用化には長時間を要し、技術予測では2000年頃までの実現は難しいとされた(清水ら [1984] 475)。実際に予測された時期までは、画期的な蓄電池の開発はみられなかった。それだけ蓄電池開発は、時間を重ねる必要のある分野であるともいえる。

蓄電池は、正・負の電極、電解質(電解液)、セパレーター、外装体などから構成されている。このうち、電極および電解質の材料選択は、電圧、負荷特性、温度特性、エネルギー密度、保存特性、充放電サイクル特性など電池の諸特性への影響が大きいとされた。そのためそれまでの電池材料は、さまざまに改良され、新材料を用いた新型電池の開発も進められてきた。実用の蓄電池に要求された性能には、①エネルギー密度(Wh/kg, Wh/l)が大きいこと、②出力密度が大きいこと、③充放電の繰り返し可能回数(サイクル数)が多いこと、④取扱いが容易かつ安全であること、⑤自己放電率が小さいこと、⑥安価であること、などが要求されていた(西尾 [1997] 978)。

また蓄電池の正・負極の活物質には、①起電力が大きいこと(正極は酸化力が強く、負極は

還元力が強いこと)、②単位重量および体積あたりの電気量が大きいこと、③充放電の反応が十分速いこと、④充放電反応の可逆性が良好であること、⑤電解液中で安定であること、などが要求された。さらに電解液には、①広い温度範囲で高いイオン導電性を示すこと、②正・負極の電極反応を阻害しないこと、③化学的、電気化学的に安定性があること、などが要求された。現実には、正・負極材料にも電解液にも全項目を同時に満たせる材料はなく、性能、取扱いの容易性や経済性を考慮しながら種々の蓄電池が構成され、使い分けられるとされた(西尾 [1997] 978)。このように蓄電池に要求される性能、蓄電池の正・負極の活物質、そして電解液にも各々要求される性能が複数あり、これらを満たすための研究開発が継続した。

他方、地球環境問題やエネルギー資源の有効利用を意識した大容量蓄電池や、燃料電池への期待もあった。民生用電池として高性能化技術が培われたニッケル水素とリチウムイオン電池は、エネルギー密度が高く、常温作動ができ、完全密閉であり、取り扱いが容易とされた。そのため、比較的小規模の電力貯蔵システム用電池として期待された。電力事業では、昼夜間の負荷平準化が課題の1つであることは取り上げてきたとおりである。この場合、電力貯蔵手段は蓄電池の他に超伝導電力貯蔵(SMES)、圧縮空気貯蔵(CAES)、フライホイール、揚水発電などがある。揚水発電は既に実用化されていた。蓄電池はこれらの電力の貯蔵手段であり、比較的小規模でも高い効率を得られ、小容量・分散型に適しているとされた。他方、地球環境保護の観点から太陽光発電等の自然エネルギーの利用にも関心が集まった。太陽光発電では、特にスタンドアローンで用いる場合は、変動の大きい自然エネルギーによる電力を貯蔵する手段が必要とされた。一方、エネルギーの有効利

用を図り、都市の環境問題解決の手段としてEV普及が期待された。この用途は、蓄電池の小型・軽量化、高出力化（重量、体積における高エネルギー密度化）が課題であり、蓄電池の高性能化が実用化の鍵を握るとされた（西尾 [1997] 983-984）。したがって、どの局面においても蓄電池の性能向上が前提とされていたことがわかる。

(3) 航続距離の延長

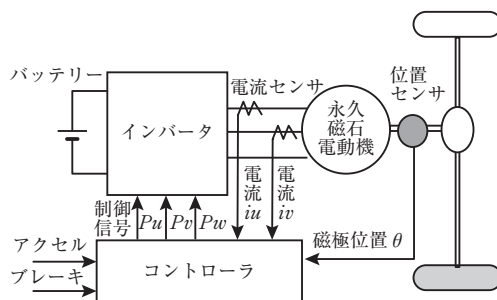
EVの普及上、最大の問題は1回の充電で走行できる航続距離の短さにあった。そのため高性能電池の開発が期待された。特にニッケル水素電池やリチウムイオン電池の性能の発展が見込まれた。しかし、蓄電池のエネルギーだけで走行する純粋なEVは、使い勝手などから普及に限界があることも指摘されてきた。この解決のため、エンジンのエネルギーで電気を発生するHV、水素と酸素から水を合成する際のエネルギーを電気に変換するFCV⁴⁾なども考案され、20世紀の終わりからは市販されるようになった。今後、HVを含むEVを普及させるには、蓄電池以外の課題も解決することが必要となった（正木 [1999] 519）。

長年使われてきた鉛蓄電池からの技術的飛躍としては、1990年には高容量・小型のリチウムイオン蓄電池が実用化された（大久保 [2009] 82）。そのため現実的な走行距離を維持しながら、小型化、軽量化が可能になり、地球環境問題、公害問題、省エネルギーに関心が高まる中、本格的な一般向け乗用車として、2009年に三菱自動車が軽自動車規格の4人乗り「iMiEV（アイミーブ）（16kwh）」、2010年に日産が5人乗り普通乗用車の「リーフ（24kwh）」が発売された（福田 [201440]）。両車種とも、公称値での航続距離は120km以上あり、最高時速は130km以上となったことで、日常使用には不便

がほとんどなくなった。これをきっかけとして、GM、フォルクスワーゲン（VW）、BMWなど世界の自動車メーカーが本格的に市場導入し、EV専門のスタートアップ企業であるテスラ（TESLA）などが米国で設立された（天野 [2019] 258）。特にTESLAは、その後目覚ましい発展を遂げるようになった。

純粋なEVは、図表3のように永久磁石電動機を用いた駆動システムを採用している。そして、蓄電池の直流電力をインバーターで交流電力に変換し、電動機から駆動トルクを発生させる。従来は、電動機の回転数を変速機で変速し、タイヤを駆動するシステムも提案された。ただEVでは、電動機の世界速度制御範囲が拡大し、変速機を用いない駆動方法が一般的であった。コントローラは、アクセル、ブレーキなどの信号から運転者が意図する駆動トルク指令を算出し、位置センサの磁極位置 θ に基づいて電動機の駆動トルクを制御する。HVを含むEVの駆動システムには、高効率化、小型軽量化、低コスト化の課題がつきまとった。こうした駆動システムの高効率化は、一充電あたりの走行距離増加だけでなく、自動車走行に必要なとされる燃料消費量の低減、排出ガスの低減も課題とされてきた。特に蓄電池の小型軽量化では、自動車に搭載する前提から厳しい仕様を満足しなければならない。そしてEV普及には、厳しい使用環境

<図表3 電気自動車の駆動システム>



（出所）正木 [1999] 519

に配慮し、低コスト化をすることが課題のままであった（正木 [1999] 519）。これは課題のまま持ち越され、現在のEVブームにおいても課題として取り上げられている。

5 エンジン車と電気自動車との優位性議論

(1) 電気自動車と比較したガソリン車の優位性

エンジン車でのエネルギー消費過程は、EVとはほぼ同様である。ただ蓄電池内部の損失の代わりにアイドリングによる損失があり、電動機及びコントローラの部分がエンジンに替わる。エンジン車での省エネ実現には、①タイヤの転がり摩擦の減少、②空気抵抗の減少、③車重の軽減化、他にエンジン自体の効率上昇、などが範疇に入れられた。省エネを目指したコンセプトカーでは、タイヤの転がり摩擦の大きさは、当時のバイヤスタイヤに比べると約1/3になり、空気抵抗も半分以下のものが試作され、材料の軽量化も進んでいった。これら①~③をエンジン車に適用したところ、当時のガソリン車に比べて約4割の燃費向上がみられた。この約4割の燃費向上をどのように捉えるかは難しいが、これらの対応はブレーキ、伝達およびアイドリングの損失にほとんど影響を与えなかったとされる（清水ら [1984] 478）。

EVは、特有の省エネ手段として、回生ブレーキの使用とホイールモーター方式を採用している。回生ブレーキは、減速時に電動機を発電機として使用し、運動エネルギーを電気エネルギーに変換して蓄電池に戻すことができる。ホイールモーターは、2個の電動機を左右の駆動輪に直接接続し、蓄電池をこれらの電動機に直列に繋ぐものである。これを採用することで、差動ギヤは不要となった。これらの採用により、EVではブレーキによる損失と伝達損失も小さ

くなった（清水ら [1984] 478）。つまり、EVはガソリン車では実現できなかった省エネが一部達成できたことになる。しかし、こうしたことが指摘されていながらも、実際にはEVの研究開発ではそれらはすぐに実現されなかった。

これまでEVの目覚ましい普及がなかったのは、性能面でガソリン車に劣っていたためとされてきた。第1は、1充電走行距離が当時市販されていた軽貨物EVの40km/h定速走行時の1充電走行距離は公称（カタログ値）100kmであった。同型ガソリン車の同じ速度での1充填走行距離が約870kmであり、EVの航続距離ははるかに短かった。ただ同型のEVの1980年時点での1充電走行距離は、公称75kmとなったため、かなり改良されていた。ただ軽貨物を輸送する自動車の場合、1充電あたり75kmというと、かなり厳しい数字であった。また40km/h定速走行における1充電走行距離は、加減速を含まない定速状態であり、実際の都市を走行する状態ではなかった。一般に都市走行時に消費するエネルギーは、加速比率が高い程、車両重量が重くなった。したがって、都市走行状態における1充電走行距離は、定速走行状態の約50~70%である。さらにクーラー、前照灯など補機類を使用した時には、1充電走行距離は15~25%程度短くなった（東京電力（株）広報資料、福岡 [1993] 27）。

第2は、加速性能1充電走行距離が、エネルギー密度に影響され、加速性能は蓄電池の出力密度に依存していた。EVとガソリン車（軽乗用車、軽貨物車の加速性能（40km/hに達する所要時間）との比較では、EVは瞬間的に必要なパワー（出力）密度が少なく、電池搭載による車両重量の増加が、加速性能を損わせる面があった。EVと軽乗用車との加速所要時間の差は約2秒であった。貨物を満積状態とした軽貨物車と同程度の加速性能では、市街地の交通の

流れを妨げる程の加速性能の差はなかった。第3には、最高速度、登坂能力において開発車種を含めたEVの最高速度と登坂能力をガソリン軽貨物車と比較すると、開発されたEVの中には走行性能がよく、最高速度130km/hを公称としていた車種もあった。しかし、一般的に最高速度は軽貨物車よりも若干下回った。そして、登坂能力は、軽貨物車に比べて性能的にやや劣っていたとされる（東京電力（株）広報資料、福岡 [1993] 27-28）。

第4は、ホイールインモーター方式のEV電池のエネルギー密度向上には限界があり、1充電走行距離を延ばし、加速性を向上させるためには、車両の軽量化や動力伝達ロスを少なくする必要があった。そこで開発されたホイールインモーター方式のEVは、制御装置により蓄電池からエネルギーを取り出し、そのエネルギーでモーターを駆動させ、変速機を経由して駆動輪を動作させていた。この方式では、動力伝達系のエネルギーロスは回避できなかった。この動力伝達系のロスをなくしたのが、ホイールインモーター方式のEVであった。これは駆動用モーターを4輪各々のホイール内に内装し、直接車輪を駆動させるものであった。モーターを制御するインバーターは、小型化し、最高速度を上げる特殊制御を行なったものであった。これにより、最高速度を2倍（176km/h）、1充電走行距離を5倍（548km）にできるとされた（東京電力（株）広報資料）（福岡 [1993] 27-28）。こうして試作されたEVとガソリン車を比較すると、EVが性能面でガソリン車を上回っている面や、ほぼ同等の面も見出すことができる。ただ提示された数値が公称であり、実際の使用場面ではどのように変化するのが不明確な面もあったことは明らかである。また、自動車の使用では、ユーザーが我慢できる点と我慢できない点がある。特に1充電あたりの航

続距離は、ユーザーが他の面は我慢することができても、受容することが難しいだろう。

(2) ガソリン車と比較した電気自動車の優位性

EVは、構造上の特徴から、ガソリン車とは大きく異なる製造方法が可能とされる。そのためEVが主流になると、業界地図が大きく変わる可能性が指摘されてきた。そのためEV社会になるとガソリン車が減少し、化石燃料のインフラで潤っていた企業やそこで働く人々は、既得権を死守するためにEV製造への反対が起こった。かつてイギリスでは、蒸気車が実用化された時期において、安全のために蒸気車の前で赤旗を持った人の先導を義務付ける馬車団体の蒸気車反対運動が起こったこともあった（村山 [2015] 96-97）。これらは、技術革新が起こりそうになると既存産業からは起こりえる反応である。ただ自動車産業の場合、その産業の裾野が広いためにその反応の大きさがうかがえる。ガソリン車に代わりEVが主流となる社会の変化は次のような状況が指摘されてきた。

第1に、EV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。ガソリン車の総部品点数は、約2~3万点といわれるが、EVはそれを1/3から1/10にまで減少するとされる。部品点数が減ると、それだけ車体を置く場所も自由度が広がり、車体に多様なバリエーションが生まれる。制御系や駆動系など重要な部品が変化し、吸気系や排気系、冷却系、滑系といったエンジン特有の機構の大半が不必要となる（趙・寺澤 [2014] 198-199）。

第2に、EVは「擦り合わせ型」製品ではなく、「モジュール型」製品であるため、垂直統合されたピラミッド型の系列企業群が不要となり、水平分業による新規参入が容易になる可能性がある。EVが「能力破壊型イノベーション」となる可能性が指摘されるのは、製造方法に変化

＜図表4 ガソリン車と電気自動車のパーツ比較＞

	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、フ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	ラジエーター、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	簡素なもので対応可能
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）

（出所）趙・寺澤 [2014] 199（一部改）

が起こるためである。ガソリン車では、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が構成されてきた。特にわが国の自動車メーカーは、サプライヤーも含めた1つの企業を超えた「擦り合わせ」能力に長けており、それにより製造した高品質、高性能の自動車が激しい競争を勝ち抜いてきた面が強い。しかし、EVでは、部品構成が変化し、参入障壁が低くなり、新規参入が容易になる（趙・寺澤 [2014] 199-200）。したがって、現在、アメリカや中国で起こっているように、これまでガソリン車を手がけていなかったメーカーがEVへ参入していることからわかる。

第3に、EVの中心部品であるモーターと、自動車用の蓄電池で優れた性能を引き出せると、自動車メーカー以外に電機、PC、蓄電池専用メーカーが、最終完成品のEVを製造できるようになる。したがって、蓄電池製造が本業の

メーカーには有利となる。中国のBYDは、携帯電話などで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あった。同社は、2003年に自動車メーカーを買収し、自動車業界に参入した。2008年末には、世界初の量産型PHV「F3DM」の販売をはじめ、2009年にはEV「e6」を中国国内市場に投入した。またテスラは、シリコンバレーに拠点を構えるITベンチャーであった。同社が2008年に発売した代表的モデル「ロードスター」は、パソコンメーカーのような水平分業型のものづくりと同様であった（趙・寺澤 [2014] 200）。BYDは、歴史の浅い企業ではあるが、蓄電池という非常に強い武器を持つての参入である。そして実際に水平分業的に事業を拡大させている。

ガソリンエンジンの最大トルクは、数千回転が必要であり、最大トルクを発揮するためには6段変速などのトランスミッション（動力伝達

装置)が必要になる。一方EVは、モーター回転が始まれば大きなトルクが得られるため出足性能に優れ、トランスミッションが不要となる。またガソリン車は、後退させるためにはリバースギアが必要であるが、電気モーターでは電流を逆に流せば逆回転し、リバースギアは不要となる。ガソリン車でエンジブレーキを使う時は、EVでは回生ブレーキが働くために充電でき、燃費効率がよくなる。EVは、エンジンもプラグもラジエーターもエキゾーストパイプも必要がなくなる(村山[2015] 96)。このようにEVは、ガソリン車に比べて部品も節約できることがわかる。ただガソリン車からEVへの産業構造の変化に伴って、他産業だけでなく、社会や生活への影響も多くの論者の言動に表れるようになった。

(3) 電気自動車の充電体制を取り巻く課題

EVは、他の低公害車同様、エネルギー供給体制の整備が課題とされてきた。そして、EV特有の問題として充電時間の長さがあった。通常、充電時間は8-9時間であり、急速充電の場合も0.5-1時間必要であり、ガソリンや軽油の補給時間と比べると大きな差があった(福岡[1993] 29)。充電時間の長さは、ユーザーの使用面では大きな不便となる。ガソリン車であれば、ガソリンスタンドに行けば、2、3分で燃料を補給可能である。しかしEVの場合、通常充電を行うと10時間弱時間を要するのは、日常の使用上では致命的な問題のままである。

EVの走行時には、二酸化炭素は排出されない。しかし、EVに充電する電気の発電する際には、当然ながら発電所では化石燃料が使用され、CO₂をはじめNO_x、SO_xなどの排気が発電所で排出される。発電所で発生するCO₂は、従来のガソリン車のCO₂に比べると少なく、EVのCO₂の排出量は、ガソリン車に比べ約75%も

削減されるといわれている。これはEVに使用されるリチウムイオン電池の技術進歩が寄与することになる。またリチウムイオン電池は、出力密度が大きく、充電効率がよく、自己放電が極めて小さい。現在のリチウムイオン電池の技術進歩は、パソコンや携帯電話や家電に頻繁に使用され、その量産効果が技術の向上と製造コストの低下をもたらした(村山[2015] 97)。EVは走行中に排気ガスを放出しないため、局所的な大気汚染改善には効果的である。ただ発電の際における電源構成は、EV導入で環境が逆に悪化する可能性のある国や地域もある(丹下・小林[1995] 576)。

またEVは、ガソリンで動く「スタンドアロン」製品はでなく、エネルギー補給時に電力網を通じ、広く電力システムと繋がる社会システムの端末ともとらえられる。IT技術を活用し、電力網を運用するスマートグリッドにより、電力の需給バランスを安定化させるには、電力の変動を吸収する調整弁の役割を果たす蓄電池が重要である。EVに搭載するバッテリー容量は大きく、EVのバッテリーに余った電力を家庭で使用することも可能になる(趙・寺澤[2014] 198)。特に災害時に電力が供給されなくなった場合、EVから電気を供給するテレビCMも一時流されていたことから、認知している消費者(ユーザー)も存在するだろう。しかし、それはあくまで特別の場合であり、日常的にEVから電気を供給するような場面はほとんどないであろう。

自動車の省エネ化は、代替エネルギーとしてアルコールや水素の使用、エンジンの構造を変え、高効率化を図るセラミックエンジン、ランキンエンジン、スターリングエンジンなどを開発する動きが活発化した。ただこれらは各々問題があり、実用化には至らなかった。1970年代において、エネルギー問題からEVが目ざ

れるようになったのは、①代替エネルギーの使用可能性、②深夜電力の有効活用、③EVが本質的に省エネルギー性を備えていること、からであった（清水ら [1984] 477）。そのためEVのエネルギーの効率性に注目が集まるようになってきた。

おわりに

本稿では、第一次EVブームからその沈静化した期間が経過し、第二次EVブームといわれる時期を主な対象とし、特にその社会状況や国際状況の変化の中で、新たなEVブームを把握することを試みた。わが国の第一次EVブームでは、第二次世界大戦による敗戦から復興のため、ヒトや物を輸送する必要からさまざまな輸送機関の利用が構想された。他方で、ガソリン供給状況が悪く、ガソリン車の利用を想定することができず、「電気」の利用ということになった。しかし、それもわずか5年のうちに社会状況や国際状況が変化し、EVの生産を手がけてメーカーが、突如としてEV製造を停止した。その後、わが国は高度経済成長期を迎えた。

高度経済成長では、それまでのわが国の産業構造が大きく変化し、重厚長大産業型の産業振興が図られた。経済的成果はみられたが、その歪みは大きく、大気汚染や騒音など、負の面が大きくあらわれることになった。そこで政府も環境対策に注力することになり、他方で電力会社をはじめ、これまでEV生産を手がけていなかった事業者がEV業界に参入した。この時期、海外においてもEVはヒトを輸送する主力ではなく、モノを近距離輸送することを想定されていたが、ヒトを輸送することも考慮されはじめ、新たな移動手段として数えられるようになった。そして、第一次EVブーム以前からのEV普及の課題とされてきた蓄電池の改良や充電施設な

どインフラ整備も、次第に注目され、これら課題解決への取り組みもみられるようになった。しかし、ユーザー視点でみると、蓄電池の改良は、ガソリン車と同じ燃料補給時間にまで高められなければ、意味をなさない。こうしたことが課題として残り、技術的な進歩が見られないまま第二次EVブームは沈静化した。ただわが国の第二次EVブームでは、環境課題の解決手段としてのEV、さらに産業の裾野を拡大する可能性のある事業として際立たせ、その後のブームにつながる面を残したといえる。

<参考文献>

- 朝日新聞 [2011.7.11]「焼け野原電気で走る」夕刊2面
- 天野了一 [2019]「電気自動車と次世代自動車・将来の「ランドマーク商品」としての展望」『四天王寺大学紀要』第67号、255-281
- 石川和男 [2020]「わが国における第二次世界大戦直後の電気自動車ブーム」『三田商学研究』Vol.63, No.4., 203-216
- 神谷正彦 [2011]「たま電気自動車の思い出（後篇）」『CAR GRAPHIC』カー GRAPHIC、CG-02、208-211
- 河村徳士・武田晴人 [2014]「通商産業政策（1980~2000年）の概要（7）機械情報産業政策—長谷川 信 編著『通商産業政策史7 機械情報産業政策』の要約—」『RIETI Policy Discussion Paper Series』14-P-014、1-39
- 菊池英一 [1973]「電気自動車の問題点」『日本機械学会誌』日本機械学会、Vol.76, No.659., 1264-1269
- 菊池英一 [1973]「電気自動車の問題点」『日本機械学会誌』Vol.76、No.659、44-49
- 田中次郎「キ74から「たま」電気自動車、歴代プリンス車の開発」『自動車技術を築いたリーディングエンジニア』（公）日本自動車技術会、301-320
- 柴田高 [2019]「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」『東京経大会誌』第304号、3-20
- 清水浩・飯倉善和・溝口次夫 [1984]「電気自動

- 車の新しい技術の提案 (1) 一都市型公害の軽減と省エネルギーのために一『環境技術』Vol.13, No.7, 475-479
- 丹下昭二・小林紀 [1995] 「豊かな車社会に向けて」『電学誌』115巻第9号、572-577
- 趙偉・寺澤朝子 [2014] 「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』中部大学、第24号、191-214
- 土屋依子・伊藤史子・田頭直人・馬場健司・池谷知彦 [2014] 「電気自動車に対する消費嗜好と規定要因に関する基礎的分析」『CSIS Discussion Paper』No.129、1-19
- トヨタ自動車工業株式会社社史編集委員会編 [1967] 『トヨタ自動車30年史』トヨタ自動車工業
- 中村正治 [1994] 「大阪における電気自動車普及促進のためのインフラ整備について」『大気汚染学会誌』第29巻第1号、22-24
- 西尾晃治 [1997] 「化学電池の最近の進歩」『人口臓器』26巻6号、978-984
- 日本自動車会議所 [1947] 『昭和22年度自動車年鑑』(社) 日本自動車会議所
- 日本自動車会議所・日刊自動車新聞社共編 [1950] 『自動車年鑑昭和26年版』日刊自動車新聞社
- 福岡三郎 [1993] 「低公害車について」『大気汚染学会誌』第28巻第1号、17-32
- 福西道雄 [1968] 「最近における電気自動車の開発について」『電気学会雑誌』第88巻第955号、41-49
- 深見博明 [1987] 「日本経済の長期的発展とエネルギー供給：石油輸入に重点をおいて」『三田商学研究』慶應義塾大学商学会、Vol.30, No.1., 34-51
- 正木良三 [1999] 「電気自動車用永久磁石電動機とその制御技術」『電学誌』119巻第8/9号、519-522
- 村山博 [2015] 「自動運転車、燃料電池車、電気自動車に関するイノベーションの研究—自動車会社、部品会社、IT企業による次世代自動車の社会的価値の創造」『環太平洋圏経営研究』桃山学院大学、第16号、79-132
- 由本一郎 [1972] 「電気自動車・開発の現況」『電気化学および工業物理化学』電気化学会、第40巻第6号、406-411
- 吉沢四郎 [1967] 「最近の電池の動向」『テレビジョン』テレビジョン学界、Vol.21., No.5., 322-330
- 李真薫 [1993] 「日本の自動車産業における企業成長と産業政策」『三田商学研究』慶應義塾大学商学会、Vol.36, No.3., 39-67
-
- 1) EVは、純粋に電気だけを動力とし、家庭や公共用電源から充電し、電気を蓄電池（バッテリー）に蓄え、インバータを経てモーターを駆動し走行する自動車である。排気ガスを出さず、構造は単純であるが、走行距離は重量物である電池容量に依存し、長距離走行には不向きで充電には時間を要する（大久保 [2009] 82）。
 - 2) 第二次世界大戦前後、また戦時中における自動車製造や流通については、石川和男 [2011] 『わが国自動車流通の指摘展開』専修大学出版局に詳しい。
 - 3) HVは、車輪を直接駆動するエンジンの力の一部や、ブレーキ踏動時に回生を行い、内蔵電池に充電し、その電池で電気モーターを使い走行を補助する仕組みによる自動車である。1889年にオーストリア人のフェルディナント・ポルシェが車輪にモーターを組み込んだHVを試作したのが最初とされる（堺 [2013] 41）。量販車初となったのは、1997年にトヨタが発売開始したプリウスであり、ホンダのインサイトが続いた（堺 [2013] 211）。現在は、世界の多くのメーカーがさまざまな車種を製造している。搭載エンジンは、発電と充電のみに使い、エンジンが車軸を直接駆動しない、「シリーズハイブリッド」といわれる仕組みも2017年に発売された日産「ノート」などで採用された。HVはエンジンがつくる電気を使用し、ガソリン消費量を減らす仕組みであるため、外部充電は必要ない。そのため、従来よりも燃費のよい自動車という以外、ユーザーの使い勝手は同様である（天野 [2019] 257-258）。
 - 4) PHVは、家庭用電源などに充電器を接続し、外部から大容量電池に充電し、日常の短距離では電池のみの走行を可能とし、それを越えた分は普通のHVとなるため、電池切れを起こさな

いメカニズムの自動車である。2013年に発売された多目的車（SUV）である三菱「アウトランダー PHV（12kwh）」がその草分けである。2017年にはトヨタが発売した「プリウス PHV」は電池容量を8.8kwhとし、68kmの電気走行が可能となった。海外ではBMWやボルシェも製造を手がけている（天野 [2019] 258）。