

2013年度 EV キャビンスクーター開発記

小泉真也

●要約

近年、環境問題への関心が高まる中で、自動車メーカーや研究機関のみならず、地域の中小企業などでも電気自動車を開発する事例が増えており、それぞれの計画が注目を集めている。本稿は、稚内北星学園大学において、個人プロジェクトとして進行しているEV（電気自動車）キャビンスクーターの開発について、2013年度の進捗を報告するものである。

筆者のプロジェクトは、電気自動車の用途を、稚内市のような地方の中小自治体において最適化することを重点目標と定めた。具体的には、低価格で、環境性能を追求し、そして十分な航続距離を満たす仕様としている。このコンセプトは、「まち」のインフラに新規の投資を必要とせず、地元で造り、販売し、そして維持することを実現する活用モデルを喚起することが期待される。

●キーワード

電気自動車

環境性能

スモール・ハンドレッド

1. はじめに

筆者は、2013年度の主な研究活動として、超小型電気自動車（キャブスクーター）の開発を開始した。筆者が本計画を手掛けるに至ったきっかけのひとつとして、本学における情報科学分野の研究および教育環境を拡張することにある。具体的には「組み込みソフトウェア」と呼ばれる分野であり、エレクトロニクスと情報通信技術によるものづくり、およびサービス提供の分野を対象としている。組み込みソフトウェアの関連産業（輸送用機器・電気機器・一般機械等）はGDPの12.4%を占め、その輸出規模は36.1兆円（輸出構成比率53.6%）となっており、我が国における成長産業のひとつとなっており、更なる発展のための人材育成が急務とされている。

本学は2012年度より「再生可能エネルギーと情報技術」という講義を新設し、2011年3月に環境都市宣言を制定した稚内市において、スマートグリッドに係る送電および制御情報技術の人材育成に努めている。かねてより筆者は、自身の職務経験と、稚内市の環境政策への貢献として電気自動車の研究を構想してきた。電気自動車はスマートグリッドの構成要素でもあり、また、電気自動車が必要とする電力配分の制御は、スマートグリッドの原始的な技術として応用でき、実践的な教材として有効な対象となるであろう。

化石燃料を動力源とする自動車に対して、電気自動車は環境およびエネルギー効率の点で大きなメリットを持つ。電気モータは低速トルクが高いため複雑な減速機構を必要としない。また、内燃機関に対してエネルギー効率が数倍高く、深夜電力の充電によって極めて安価なエネルギーコストを実現する。しかしながら、技術の進展によって電気自動車が新たな興起を迎えたにもかかわらず、その普及は進んでいない。日産自動車は2016年までに電気自動車の販売目標を150万台と定めていたが、2013年7月時点での販売台数は10万台にとどまっている。

筆者は本稿において、第2章で電気自動車のデメリットが顕在化する状況を考察し、その考察を元にコンセプトを定めた超小型電気自動車について、第3章に本年度の進捗を記す。

2. 電気自動車の問題点とその解釈

2-1. 航続距離の短さとエネルギー充填時間の長さ

自動車の航続距離とは、走行源たるエネルギーを100%充填した状態から0%となるまでに走ることができる距離を指す。この「エネルギー100%」の状態を、燃料自動車の場合はいわゆる「満タン」と呼び、電気自動車の場合は「満充電」と呼ぶ。

現在の二次電池は、体積や重量あたりのエネルギーが化石燃料に比べて小さいため、充電容量も限られる。したがって同一体積、同一重量あたりで化石燃料と電気自動車を比較すると、電気自動車の走行距離は内燃機関車より短くなり、特に積載量に影響する貨物自動車や、タイヤへの負荷と路面に対する活荷重が重要となる大型自動車においては、純粋に電気のみを動力源とした自動車の例はほぼ皆無である。

燃料自動車の航続距離が400~500kmであるのに対して、電気自動車の航続距離は、三菱自動車のi-MiEVがJC08モードで180km、日産自動車のLeafがJC08モードで228kmと決して長いとは言えない。そして、カーオーディオやエアコンといった電装品の利用や、低気温の環境における化学変化の遅さによる電圧降下を考慮すると、実際の航続距離はさらに短くなる。ただし、国土交通省が取りまとめ

た最新の自動車輸送統計からは、大型自動車を除く自家用旅客車の1日1車当たりの走行キロ数は22.17~36.79km/日であることが確認でき⁽¹⁾、日常での利用は支障が無いとも言える。

エネルギー充填時間の長さの問題は、燃料自動車の充填が液体燃料の吐出圧力や落下によることに對して、電気自動車の充電は二次電池に用いられる物質の化学変化によるものであり、根本的な性質は異なる。液体燃料の充填時間と電気自動車の充電との比較において、液体燃料の充填が「すぐに終わる」ものであることが経験的に理解できるであろう。日産自動車のLeafを例とすると、家庭用電源を利用する普通充電の場合、200V 15Aであれば満充電までに約8時間、100V電源であれば単純計算で200V電源からの充電の2倍の時間がかかることになり、約16時間を必要とする。急速充電器を利用する場合はバッテリー残量警告灯が点灯した時点から80%充電までに要する時間は約30分と大幅に短縮される⁽²⁾。しかしながら、2014年1月9日現在、充電規格の一つであるCHAdeMO急速充電器プロトコルに対応した急速充電施設は、全国で1888件であり、その多くは政令指定都市や中核市そして特例市に指定された、いわゆる大都市に集中している。また、この1888件の殆どは日産や三菱の販売店に集中しており、例えば道の駅における急速充電器の設置は全国987駅中63駅にとどまっている⁽³⁾。ただし、安全運転の心得として推奨される「2時間ごとの休憩」を考慮するならば、先に挙げた電気自動車の航続距離は2時間の走行におおよそ堪えうるものであり、充電に要する30分は十分な休憩時間と解釈できる。

2-2. 高額な車両価格および維持環境の確保

電気自動車は高価格である。これは電気自動車の一般的な電源であるリチウムイオン電池において、正極材料にコバルトを採用していることが影響している。100%電気を動力とする電気自動車に限らず、ハイブリッドカーも含めて、電気を動力に活用する自動車の価格は、一般的なプラットフォームの価格に、電源および電気動力系の価格が加わったものと考えてよい。

具体例として、日産Leafの最廉価モデルのメーカー希望小売価格は2,989,350円である。このモデルは、運転席・助手席SRSサイドエアバッグシステムおよびSRSカーテンエアバッグシステム非装着車である。三菱i-MiEVの最廉価モデルのメーカー希望小売価格は2,459,100円である。このモデルは二次電池の総電力量を減らしたことで価格を抑えており、航続距離は120kmに止まる。なお、両モデル共に、優遇措置とされる「(2013年)クリーンエネルギー自動車等導入促進対策費補助金」、「自動車取得税と自動車重量税の100%減税」、「登録翌年度の自動車税の約51%減税」を差し引きしていない価格であり、燃料自動車との比較においては1800~2500ccクラスの価格帯に符合する。

維持環境の確保とは、いわゆるメンテナンス費用に加えて、家庭での普通充電を企図した200V電源の導入も含まれる。一般に、電気自動車の維持費は燃料自動車と比べて安価であるといわれる。これは、電気自動車がエンジンや変速機を必要としないためこれらに係るオイル類のメンテナンスが不要であること、そして電気自動車のエネルギー効率の良さと電気代の安さによるところが大きい。また、自動車税はエンジンの排気量に基づいて定められているため、排気量がゼロである電気自動車は、車両規格で最も安価な税額(登録車の小型自動車であれば、1000cc未満の29,500円)が設定されることになる。

このように短期的に見れば、電気自動車の維持費は安価であるが、筆者は長期的な維持を意図した場合の、二次電池の寿命に着目している。旧型のハイブリッドカーが採用するニッケル・カドミウム

電池やニッケル水素電池は、容量をある程度残した状態で放電を中止し、再度充放電を行うと、初回に放電を中止した付近で電圧が低めに推移するようになる「メモリー効果」が発生する。現在、電気自動車の電源として多く採用されているリチウムイオン電池は、過電圧充電、大電流充電、大電流放電、深放電、そして高温下や満充電での保存によって劣化する。具体的には、1回の充放電を1サイクルとし、新品の蓄電池の蓄電量を100%とすると、300サイクルでおおむね70~80%、500サイクルでおおむね50~70%にまで減少するといわれる。さらに、複数の電源を直列に接続した場合は、それぞれの電源の自己放電量の違い(セルバランス)によって、早期のバック容量低下を招くことがある。

二次電池の寿命の対策として、日産自動車は2013年6月から、購入後5年以内、または走行距離10万km以内のLeafのみ(従前に発売したハイブリッドカーは対象とはなっていない)について、満充電時の蓄電量が75%以下に劣化した場合に、リチウムイオン蓄電池を無償で修理・交換するサービスを提供している。ただし、この条件を満たさなければ、バッテリー交換のために大きな負担を強いられることになる。蓄電池交換の事例として、Tesla Roadsterに6週間乗らずに放置したところ、Teslaの車載システムは常にスイッチの入った状態になっているという仕様によって深放電状態となり、故障したバッテリー交換ために32,000ドル(約280万円)、さらに作業代、税金を請求されたという事例がある(4)。

2-3.「スモール・ハンドレッド」の楽観視

近年の電気自動車の興起においては「ビッグ・スリー」に対して「スモール・ハンドレッド」という言葉が注目を集めた。これは電気自動車の構造が簡単であることから異業種の参入が進み、自動車産業の推進役が、これまでの自動車専業の大企業から、新興の中小企業に推移するという期待を表すものであった(5)。

筆者は、当初より「スモール・ハンドレッド」に対する期待を懐疑的に見ていた。長きに渡って確立した「自動車という『製品』のノウハウ」は、原動機が変わることだけで凌駕できるものではなく、生産から販売・維持までのインフラを整備するには、相応の投資を必要とするはずである。元より開発や投機的能力に優れる大企業に伍して、新規参入企業が発展するには、相応の後ろ盾が無くてはならない。

実際に、こうした興起においても今以て「スモール・ハンドレッド」の萌芽は停滞しているばかりか、多くの新興企業が事業に失敗している。成功例といえるのは、いち早く事業を手掛け、大企業からの投資を確保し、販売網を整備したという観点ではTesla Motors以外に見当たらない。一方でアメリカでは2013年だけでもCODA Automotive、Miles Electric Vehicles、Fisker Automotiveといった企業が経営破綻に追い込まれた。日本における動向は2013年にGreen Load MotorsがTommy KairaZZの限定販売を行った以外は、研究開発のレベル、あるいは中小企業の少量生産に留まっている。国土交通省は2012年から2013年にかけて、軽自動車と自動二輪車の中間の車両規格として、環境対応車の活用を見込んだ「超小型車(超小型モビリティ)」を道路運送車両法に加えるための取り組みを進めている。この動きと前後して、当該規格に符合した試作車の開発が進んでいるが、これまで試作車を発表したのは、大手自動車メーカーのみである。

2-4. 電気自動車の「位置づけ」

本章で指摘した電気自動車の問題点は、自動車の通常的な用途を超えて、長距離輸送や長期保有を図ることで顕在化する。また、導入のきっかけとして所得の影響も小さくはない。さらにはインフラ整備の観点から、都市の規模が小さいほど、電気自動車の問題点は顕在化する。筆者が居住する稚内市の場合、冬季に電気自動車で長距離運転を試みれば、100km程度の走行で電源を使い切る可能性が大きい。これらの地域で充電環境を確保し、充電が完了するまでの時間を考慮すると、本節で挙げた一連の問題は、急速充電施設のインフラ不足と相まって、複合的に深刻さを増すと見える。

以上の問題点が顕在化しない自動車は、ショーファー・ドリヴンのような超高価格車か、俗に「下駄代わり」と称される超低価格車のカテゴリーに見出すことができる。ショーファー・ドリヴンについては、比較的走行距離が少なく、超低速走行に耐え、静粛性を確保できる。そして車両価格に反映する形で技術を惜しみなく投入することができる。超低価格車については、航続距離の要件や快適性を切り詰めて、通勤やショッピング、観光ツールなど限定された用途において、集中的に投入することで、電気自動車もたらず環境性能を現実的に活用することができる。

現実的な問題として、電気自動車に導入される技術は、開発コストと車両価格とのトレードオフで定まってしまうものと考えられる。航続距離や充電時間の問題は、バッテリーが化学変化に依存するものである以上、大きな進歩を期待することは難しい。高速充電は「ウルトラキャパシタ（電気二重層コンデンサ）」の採用で大きく改善することが分かっているが、現時点ではエネルギー密度が小さいことと、電極加工にかかるコストが高く⁽⁶⁾、⁽⁷⁾実用水準には至っていない。これらのことは、電気自動車が新たな技術を取り入れるまでに、想像以上に多くの時間を要することを示唆している。

結果的に、電気自動車が一連の問題を迅速に解決するには、モータの効率の向上や車体の軽量化、電装品のための電源を動力用と併用しない工夫、そして、何らかの発電システムを備えることが近道となる。ここで、「発電システム」とは、ブレーキ時にタイヤの回転で発電しその電気を回収してバッテリーに充電する回生制御の向上も含まれるが、ハイブリッドカーやレンジエクステンダEVのような原動機による発電を伴うタイプとの比較において、回生制御の効果は小さい。したがって、稚内市のように隣接する「市」まで軒並み約200kmの距離がある条件下で、実用的に電気自動車を活用するには、何らかの発電機構を持つことは避けられないと判断している。

3. 本年度の進捗

前章で挙げた問題点に対して、筆者は、電気自動車の普及率を高めることを目的に、超低価格車の開発を考えた。2013年度、筆者は当プロジェクトにおいて、車両コンセプトを定め、シャシーの製作を行った。本章では、その進捗を報告する。

3-1. 車両コンセプト

電気自動車の普及率を高めるにあたり、筆者はその訴求力を車両価格と判断した。そこで、初めに販売価格を20万円と想定して車両規格を構想した。販売ルートは、多くの地方都市に拠点を持つであろうホームセンターや自動車用品店に依存することとして、主な部品はこれらの店舗で入手できるものに制約した。そして、多くの業種が製造に関われるように、難しい加工技術を極力廃した構造を志

向した。

価格に対する要件を満たすために、車両は第一種原動機付自転車（ミニカー）の規格に合わせることにした。この規格は乗車定員1名および最大積載量30kgであり、これに耐える構成として、筆者は木材（住宅用建材）の梁で応力を吸収し、構造が単純な「バックボーン・フレーム」を採用し、フレームのねじれを吸収する構造として、前後にロールバーを備え、フレームの空乏には発泡ウレタンを充填している。木材は比強度を高めるために、繊維強化プラスチック（FRP）で強化する。FRPの強化材には麻を採用することで、FRPの廃棄処分において問題となる環境負荷に配慮した。ここで、麻を強化材とするFRPは一般にヘンプが用いられるが、当プロジェクトではジュートを用いている。これはホームセンターにおいてジュートが「緑化テープ」として安価に入手できるためである。構造部材の接合にはリベット（ホネジ）とエポキシ樹脂系の構造用接着剤を使用する。リベットと構造用接着剤による接合は、航空機製造を範とした手法である。構造部材に金属を使用しないため、溶接などの技術習得や生産設備の投資を行うことなく、製造のアプローチが容易である。

タイヤは、手押し式の運搬台車用を採用した。当初は後一輪を駆動する三輪車とし、規格上限となる出力600Wのモータを搭載する予定であったが、モータが高額であったため、70Wの汎用モータによる全輪駆動とし、出力規格下限の250Wを満たすために四輪車に計画を変更した。この駆動システムによってデファレンシャル・ギアが不要となり、低摩擦路面のような駆動輪の低負荷時における駆動力配分の問題を解消することができる。なお、この汎用モータは1基6000円と安価に入手できたため、さらに1基を追加して、これを外部発電用に用いることとした。

図1に、2013年度の作業で組み立てたシャシーを示す。このフレームは5層のFRPで強化しており、材料コストは2万円程度で製作することができた。

本年度の成果として、北海道新聞2013年3月29日付朝刊29面（宗谷・留萌版）の記事として取材を受けた。また、同年8月10～11日開催の、稚内市環境・エネルギー展にレイアウト検討モデルを出展し、10月12～13日開催の本学の大学祭では図1に示したバックボーン・フレームに部品レイアウトを施したモデルを出展した。

3-2. 今後の計画

2014年1月の時点で、本計画は、駆動系の部品を自転車および50ccのビジネスバイクから流用し、発電機構としてラジコン・ヘリコプタ用のバイオ・エタノールエンジンを採用することを決定し、部品の調達を終了している。電源は自動車の電装用の鉛バッテリーを採用することとし、必要な容量を検討している。今後、調達を必要とする主な部品は、モータに電力配分を行うためのコントローラがあるが、最も安価なものでも8万円程度を要するため、部品ベースの価格は当初目標としていた20万円を超過する見込みである。

また、駆動輪となる前輪を転舵するためのジョイント構造が必要となるが、本計画では一般的なユニバーサル・ジョイントではなく、容易に自製できるユニークな構造を計画している。

プロジェクトは2014年度末で完了することとし、次年度の8月には試験走行を計画している。



図1：2013年度の超小型電気自動車開発の進捗状況ーバックボーン・フレームの前方に風防のオス型を組み付け、モータとタイヤ、そしてラゲッジスペースを兼ねる電源部をレイアウトしたもの。

4．おわりに

筆者は本稿において、電気自動車の一般的に指摘される問題が、地方の中小都市において顕在化することに着目し、電気自動車の普及率を高めることを目的として、超小型電気自動車のコンセプトを定めて、製作を開始していることを報告した。

本計画のコンセプトは、低価格を訴求力とし、製造・利活用・廃棄までのサイクルにおいて環境性能を追求し、そして新たな投資なく都市のインフラを活用して「誰もが造れ、販売でき、維持修理できる」自動車を目指している。

環境性能の追求は、構造部材に木材および麻を採用することによって「土に還る電気自動車」の可能性を示し、FRPの母材や強化材として有機材の開発を喚起するものである。木材を含めた一連の材料となりうる素材は、自然環境の豊かな北海道において潤沢であり、将来的に、北海道が「環境にやさしい構造部材の『材料基地』」となる可能性に期待するものである。

製造における技術的なアプローチの敷居が低いことは、技術教育の観点においても有益である。たとえば、高等学校や大学などで、生徒・学生が製作し、電気自動車の頭脳たる情報通信技術を試行するためのテストベッドを自前で調達したり、展望としては学生間の技術コンペを開催したりといった広がり期待したい。

稚内商工高校において、2005年3月に電気科が閉科され、2013年3月の閉校によって機械科がなくなったことで、稚内市における「ものづくり」人材を開発する機会が失われつつある。工学の結集たる自動車を開発する本学の取組みによって、今後とも「ものづくり」や稚内市が推進する環境への関心を高めていきたいと考える。

●参考文献

- (1) 国土交通省総合政策局情報政策課交通統計室, 「自動車燃料消費量調査月報 平成25年6月分」, p.3, 2013.
(<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/22/22b0pdf.html>)
- (2) 日産自動車, 「リーフ取扱説明書(2013年06月現在)」, pp.22-23, 2013.
(http://www.nissan.co.jp/SP/OM/LEAF/1012/manual_t00um3nc5a-03.pdf)
- (3) EV スポット (<http://evspot.jp/michinoeki/>), 2013年1月9日閲覧 .
- (4) Michel DEGUSTA, "It's A Brick" - Tesla Motors' Devastating Design Problem, theunderstatement, February 21, 2012,
<http://theunderstatement.com/post/18030062041/its-a-brick-tesla-motors-devastating-design> , 2013年1月9日閲覧 .
- (5) たとえば村沢義久, 電気自動車「燃やさない文明」への大転換, ちくまプリマー新書130, 筑摩書房, pp.71-93, 2010.
- (6) 小池卓志, 河島清貴, 内田利之, 堀洋一, 「電気二重層キャパシタで駆動される電気自動車の可能性とその展望」, 精密工学会生体機構制御・応用技術専門委員会 第10回例会, 2007.
(http://www.hori.k.u-tokyo.ac.jp/paper_2011/old-papers/koike/koike_seitaikikoh.pdf)
- (7) 堀洋一, 「キャパシタ電気自動車 C-COMS のめざすもの」, 精密工学会第335回講習会「自動車の環境対応・ものづくり技術」(講習会テキスト), 2009 (http://hflab.k.u-tokyo.ac.jp/paper_2011/old-papers/hori/Seimitsu200902.pdf)

●英文要約

In ecological issue important, auto manufacturers, research Institutes and small companies deal with developing electric vehicles. World's attention to each project is strong. The Wakkanai Hokusei Gakuenn University has EV project, too. It is building a small cabin-scooter as the author's personal project.

The project optimizes EV-use for small provincial city like Wakkanai, Hokkaido. The cabin-scooter will give affordable, eco-friendly and long-distance cruise for users. The concept is able to realise a business-model that gives manufacturing, sales and maintenance in a closed "raw" regional structure.

● Key words

Electoric vehicle

Green engineering

Small hundred