

エコカーの現状と稚内のための 「地産地消型」電気自動車ビジネス

小泉真也

●要約

敗者は「スモール・ハンドレッド」の方だった。

21世紀の新たな電気自動車の興起は、自動車産業の、少数の大規模な既存メーカー（ビッグ・スリー）による独占の終焉と、多数の中小の新興企業（スモール・ハンドレッド）の台頭を展望した。しかしながら、その見通しは杞憂に終わろうとしている。スモール・ハンドレッドがビッグ・スリーに並び立つべく、自動車産業にアプローチするには、どんな自動車をつくり、どのように広めていくか、これらを再考する必要がある。

著者が開発を進める超小型キャビンスクーターは、地方の中小都市において、「つくりやすく、販売しやすく、買いやすく、維持しやすく、そして廃棄しやすい」電気自動車を志向している。このコンセプトは、地域の産業力を結集し、その成果を地域で活用する、いわゆる「地産地消型」の自動車産業を実現し、地域の活性化を展望するものである。

本稿では、スモール・ハンドレッド再興の考察として、近年の自動車技術の動向を示し、本学での取り組みの現状を述べる。

●キーワード

エコカー

地産地消型ビジネス

1. はじめに

20世紀の自動車は効率追求の時代で、自動車の進化は従来の性能改良の延長線上にあった。しかしながら、1990年代以降の新型車の多くは、最新の電子制御技術を前提として、新しい「自動車」を構築してきたといえる。そして20世紀最後、自動車は、安全と環境の2つのテーマが主役となり、21世紀はじめの「宿題」として現在に至り、新しい「自動車の概念」までをも構築しようとしている。

著者は、電気自動車の量産・民生販売が始まった2008年から2010年を電気自動車が根付くための「5度目の興起」と位置付けた⁽¹⁾。この時期を代表するキーワードに「ビッグ・スリーからスモール・ハンドレッドへ」があり、熱機関の自動車の時代を牽引してきた少数の大企業から、新興の小さな企業群へと、自動車産業の推進役が推移するという見方があった⁽²⁾。これに対して著者は、「餅は餅屋」であり、新興企業が「スモール」のままでは、従来の体制にとって脅威とはなりえないという考えを示した⁽⁴⁾。事実、電気自動車という産業は未だ大企業の手にある。2014年に最も売れた電気自動車は日産自動車の Leaf であり、その販売数は3万200台を数えている。

果たして現在、「5度目の興起」以降の新興企業で、電気自動車を世界規模で量販するメーカーは Tesla Motors ただ1社である。新興国が生産する、航続距離100km程度、最高速度は50km/h程度の「低速EV」は年間10万台の生産規模を持つというが、産業規模としては農村や郊外で活用される程度であり、従来の自動車市場を驚かすには至っていない。世界初の量産型プラグインハイブリッドカーを販売した中国 BYD は、2010年以降、海外の競合社にシェアを奪われ業績不振となっている。特徴的な外観を持つ Aptera Motors は2011年に、Ford の電気自動車を生産していた Azure Dynamics は2012年に、アメリカエネルギー省の低利融資を受けて開発され高級車市場を志向したベンチャー企業 Fisker Automotive、中国 Hafei の車両をベースとした量販型電気自動車を志向した Coda Automotive および Coda と同じ Miles L. Rubin が経営していた Miles Electric Vehicles が2013年、それぞれ相次いで経営破綻した。

自動車は生活必需品であると同時に、趣向性の高い道具である。それゆえ、構造が簡単な電気自動車は、有望な事業として多くの中小企業の関心を集めた。動力源の多様化は自動車に関連する産業領域を広げるに至り、自動車は単なる輸送機器としてだけでなく、立ち位置を広げている。

本稿では、この数年の自動車の動向をふまえて、「スモール・ハンドレッド」が如何に自動車産業にアプローチしていくかという観点から、本学の取り組みを紹介する。

2. 多様化する「エコカー」技術

2.1. 動力源の多様化

2.1.1. 電気自動車・ハイブリッドカーの進化

電気自動車の不変的な問題は航続距離の短さにあった。電気を動力とする以上、電気自動車の航続距離は搭載バッテリーの蓄電容量にほぼ比例するため、航続距離を伸ばすにはより多くの電池を搭載できるに越したことはない。しかしながら、2013年の時点で電気自動車に主に使われているリチウムイオン電池の価格は、容量1キロワット時(kWh)当たり約10万円と非常に高価である。新車価格328万~413万円の Leaf の場合、搭載容量は24kWh であり、単純計算で約240万円が電池のためのコストとなる。また、バッテリーの搭載数が増えることはそのまま重量増にもつながる。

したがって、電気自動車が実用的な航続距離を得るには、バッテリーのエネルギー密度を高める以外の道はない。この課題に対して、2014年はリチウムイオン電池のエネルギーの高密度化の成果が報告された注目に値する年であり、11月には日立製作所が従来の2倍、GSユアサが3倍の密度を持つリチウムイオンバッテリーの放電に成功したことを発表した。また、リヒテンシュタインに拠点を置く Nano flowcell は、溶解塩溶液（塩水）を動力源として、酸化還元反応によるイオン交換による軽量の発電機を搭載した、QUANT e-Sportlimousine を発表した。この発電機の発電する電力量は、塩水の満充填でリチウムイオン電池の蓄電容量の5倍に相当するという。

エネルギーソリューションの観点からも、電気自動車の位置づけは重要である。これまで、プラグイン・ハイブリッド車はエンジンの誤作動によるトラブル防止のために、V2H（Vehicle to Home）における電力供給源になることはできなかったが、2015年になって三菱自動車のアウトランダー PHEV が、電力供給源としての利用を認められた。アウトランダー PHEV は、満充電で一般家庭の日常使用電力の約1日分、ガソリン満タン状態では約10日分に相当する電力をメーカーオプションの100V AC 電源（1500W）から供給することができるという。

ハイブリッドカーの補助動力源の多様化も進んでおり、PSA プジョー・シトロエンは、2014年に空気圧力モーターを用いて、圧縮空気を補助動力とする「Hybrid Air」の技術を公開した。

2.1.2. 化石燃料エンジン自動車の進化

過去20年間、日本の自動車会社は「環境性能の向上」と「燃焼効率のアップ」のサイクルを繰り返す中で、革新的な燃焼技術や過給機構を採用し、化石燃料エンジンの性能を大幅に向上させてきた。この期間は、バブル経済の崩壊を経て、日本市場が経済性の高い自動車を求めるようになり、さらに、環境汚染や地球環境問題に対する関心が急速に高まる、といった時代背景も重なって、環境性能の追及と、燃費性能を競い合うトレンドが根付いたといえる。技術革新のサイクルによって、日本車の燃費性能は1990年中盤から現在までに2倍近くに改善した。

ガソリンエンジンを例にとれば、現在の燃料を使った場合のガソリンエンジンの理想的な熱効率は50%程度とされ、その熱効率は現在40%程度にまで達している。損失の内訳は、排気が約30%、冷却で27%、摩擦やポンプなどの動力損失で3%程度である。このうち、摩擦と動力損失は技術的に改善できる余地が少なく、内燃機関であることから冷却による損失を改善することも難しい。今後期待されるのは、燃料の抜本的な改善と、高圧縮、そして膨張比の改善を積み重ねることで排気損失を低下させることであり、ガソリンエンジンは究極の効率へチャレンジする段階に達しつつある。

J. Bristol Foster は、1964年に「資源の限られた島に住む大型動物は、小型化することで種の保存を図る」と唱えた。いわゆる「フォスターの法則」である。2014年12月発表の軽自動車スズキ・アルトは、エンジンの改良と、車体の軽量化、そして変速機のギア比の最適化によって、乗用モデルの2WD CVT 仕様の燃費はJC08モード37.0km/L を達成しており、燃費競争はいよいよ40.0km/L 超が現実となっている。また、過給器によって充填効率を高め、小排気量で大排気量車並みの出力を得る「ダウンサイジング」は、欧州車をはじめとした近年のガソリンエンジン車のトレンドである。

ディーゼルエンジンの復権もここ数年の話題である。ディーゼルエンジンの利点はトルクが大きく低回転時の過渡的な出力特性に優れていることと、燃焼効率が良く低燃費に貢献することである。一

方で、高圧縮による騒音の大きさと、燃料の質や燃焼性能の低下によって有害物質を排出することが問題であった。

ガソリンは引火性が強いことから燃焼の自由なコントロールは困難であるが、ディーゼルは燃料噴射を調整することで自由に燃焼をコントロールすることができる。最新の噴射システムではコンピュータ制御による電磁バルブの噴射口の開閉を微妙にコントロールできるようになり、高出力と低排出そして低騒音を実現しており、1997年にドイツの Bosch が乗用車用コモンレールディーゼルシステムを実用化したことで、欧州においてディーゼル車がエコカーとして普及する道を築いた。いわゆる「クリーン・ディーゼル」である。

ガソリンエンジンはガソリン以外の燃料は使い難いが、ディーゼルエンジンは、昔から「豚の胃袋」と渾名されるように、殆どどんな燃料でも使用でき、天ぷら油の廃油を燃料とする例は比較的有名である。生物系の燃料であるバイオフィューエルは、カーボンニュートラルという循環型社会を目指す概念から、ディーゼルエンジンのさらなる可能性を示している。世界全体で成長する植物をバイオマス・エネルギーに換算すると、世界全体で人類が使っているエネルギーの10倍にもなると言われている。植物は太陽の光を受けて炭酸ガスを取り込んで植物体を作る。植物（バイオマス）を燃やすと、エネルギーを取り出した後、炭酸ガスと窒素、リン酸、カリなどが残る。植物はこの残った炭酸ガス、窒素、リン酸、カリを太陽のエネルギーを取り込んで（光合成）バイオマスを作る。このバイオマスを燃やす…といったサイクルは循環型エネルギー社会の実現につながる。

新しい動向として、ミドリムシによるバイオフィューエルが注目されている。ミドリムシは光合成を行うことからカーボンニュートラルに貢献する。抽出・精製されるオイルは軽質であるため、他の植物微細藻類に比べても輸送機器の燃料に適しているという。また、ミドリムシの培養のための農地を確保する必要がなく、食料生産の土地と競合しないため適正価格化に貢献する。さらに敷地面積当たりの油脂生産性が高いことも特徴であり、油ヤシの実に比べ15倍以上の生産が可能であるという。2014年7月1日から、いすゞ自動車とユーグレナは、ミドリムシを活用したバイオディーゼルの実用化を目指して、ミドリムシからつくった燃料で走行するシャトルバスを運行する共同プロジェクトを進めている。

2.1.3. 燃料電池車の登場

将来的に化石燃料が枯渇する危険性や、近年の地球温暖化等、エネルギーを巡る問題が深刻化する中で、水素が新たなエネルギーとして注目されている。2014年11月18日、トヨタ自動車は量販車としては世界初の燃料電池自動車「MIRAI（ミライ）」を発表した。燃料電池の負極活物質となる水素は自然には単独では存在しないが、水素源の一つである水は地球上に無尽蔵に存在する。水素社会の実現は、特に、資源が乏しくエネルギーの大部分を海外の化石燃料に依存している日本にとって、エネルギー供給源の多様化や環境負荷の低減に資する。日本の燃料電池分野の特許出願件数は諸外国と比べて5倍以上と諸外国を大きく引き離しており、日本が競争力を持つ分野として、産業政策の観点からも水素エネルギー利活用の意義は大きい。

水だけを排出する燃料電池車は「究極のエコカー」と称されるが、その利活用については、多くの課題を解決しなければならない。水素の生成は、水の電気分解が良く知られているが、産業利用にお

いては化石燃料の改質が一般的であり、この工程で大量の残渣が発生する。そもそも、燃料電池は自然エネルギーではあるものの、自然界によって利用する以上の速度で補充される「再生可能エネルギー」ではない。化学反応時に熱を伴うだけでなく、発電効率の高いものほど反応に高温を必要とする傾向があり、高熱環境下で生成された水蒸気は回収が困難であることが理由の一つである。

燃料電池自動車への利用が考えられている固体高分子形燃料電池の発電効率は30~40%である。コンバインドサイクルを用いない一般的な火力発電所の効率が40%前後であることを考えると、この数字そのものは小さいとは言えないが、燃料となる水素の調達と取り回しで大きなエネルギーが消費されるため、燃料電池自動車をとりまくエコシステム全体としてみれば必ずしもエネルギー効率は高くない。MIRAIは水素を350~700気圧に圧縮して格納するが、これを標準状態の理想気体とみなし、かつ圧縮に伴う熱エネルギーはすべて回収でき温度変化はないものとして考えると、1気圧から700気圧(70MPa)に圧縮するには1モルあたり約15kJのエネルギーが必要となる。したがってMIRAIが搭載する170リットルの水素タンク一本につき、22kWhものエネルギーが燃料を格納するためだけに消費されることになる。たとえば風力発電による電力を水素に変換し、燃料電池自動車に充填して使うよりも、そのまま電気自動車へと充電すれば3倍程度効率が良いとされる。

水素供給のための「水素ステーション」の整備も、燃料電池車の普及には大きな壁となる。ガソリンスタンド1件の設立費用が5000万円~1億円であるのに対して、水素ステーションの設立費用は5億円ともいわれており、特に地方都市における普及の道のりは遠いといえる。

2.2. 構造材の多様化

仕事量の低減は、運動性能のみならず、低燃費とエンジンの排出の低下につながる。輸送機器は、そのものを動かすために仕事量が充てられることから、軽量化はエコカーを語るにおいて不可分であり、産業廃棄物の処理におけるエコ・フレンドリーの観点からも構造材の進化は合わせて注目される。

品種改良により、麻葉成分のテトロヒドロカンナビノールをほとんど含まない「産業用大麻(ヘンプ)」は約25000種の工業製品の製造が可能だといわれ、石油からできる全ての製品が産業用大麻から作るができるという。また、生育が早く乾物収量が高いことから、土壌の浄化植物やバイオマス資源としても期待される。北海道では、一般社団法人北海道産業用大麻協会の設立を機に栽培の普及を進めており、将来的な動の基幹産業となることが期待されている。

自動車におけるヘンプの利用は比較的旧く、1930年代のフォードによる試作車まで遡る。1998年、メルセデスベンツは乗用車の内装材に、ガラス繊維の代替としてヘンプを主剤とした強化プラスチック(HFRP)を採用し、現在はBMW、AUDIもHFRPの活用を行っている。またイギリスのLotus Carsは同社のスポーツカーEliseをベースとして、車体外装のフロント部などにHFRPを採用して軽量化を図った試作車Eco-Eliseを発表した。

2014年9月、アメリカのLocal Motorsは、世界で初めて3Dプリンターで出力した実働可能な電気自動車Stratiの開発を公表し、2015年のデトロイト・モーターショーでこれを発表した。同年のデトロイト・モーターショーでは、Oak Ridge National Laboratoryも炭素繊維を主剤としたABS樹脂を用いて、3Dプリンターで出力した自動車を発表している。

3. 「地産地消型」電気自動車ビジネス—本学の取り組み

著者は「スモール・ハンドレッド」のあり方、その最適解は、制約条件のもと、「地元で地元が求めるものをつくる」ことに収束すると考える。自動車産業は、未だ大規模メーカーと大規模研究機関の手の内にある。自動車を事業とするには、販売およびサービスネットワークの整備を切り離して考えることはできず、複雑な構造と、製造した自動車が公道を走行するまでの複雑な手続きは、相応の人財と資金力が要求される。製品の製造コストに占める人件費の割合は約25%といわれ、コストのほとんどが部品の調達コストや減価償却費、研究開発費で占められ、これらのコストはどこに生産拠点があっても基本的には変わらない。現代の製造業で、需要のある地域で必要なモノを生産するという「地産地消」の流れが顕著になっているのは、為替によって影響を受けるのが、ただ人件費のみであることに他ならないためである。

稚内北星学園大学において、著者が研究・開発を行っている超小型キャビンスクーター「Blueam（ブルーム）」の着想は、アフォーダブル（手ごろな価格）な電気自動車を、現在の「まち」の力で製造するだけでなく、公道を走れるよう、従来の自動車を抽象的に再解釈する中で生まれたものである。第一種原動機付自転車の規格に合わせた車両規格は、ナンバープレート取得の簡便さを考慮したためであり、利用者には車検と保管場所が不要であるため維持費用の軽減というメリットを提供できる。1960年代のトレンドであったバックボーン・フレーム構造は「製造のしやすさ」を、木材やジュートを構造部材とすることは「材料調達のしやすさ」を念頭に置いたものである。

本学における今年度の開発では、フレーム構成のレイアウト、キャビンのレイアウト、そしてドライブトレインのレイアウトを完了している。現状までの成果は2014年の稚内市環境・エネルギー展の出席にて報告を行った（図1）。開発は終盤の段階に入っており、前輪の駆動装置に操舵機構を持たせるためのユニバーサルジョイントの開発を行っている。車輪を駆動するジョイントは、既製品を流用した場合に調達コストがかかるため、自力開発を試みているが、キャビンスクーターに最適なジョイントを志向した新たな方式を検討しており、その実現が最大の課題となっている。

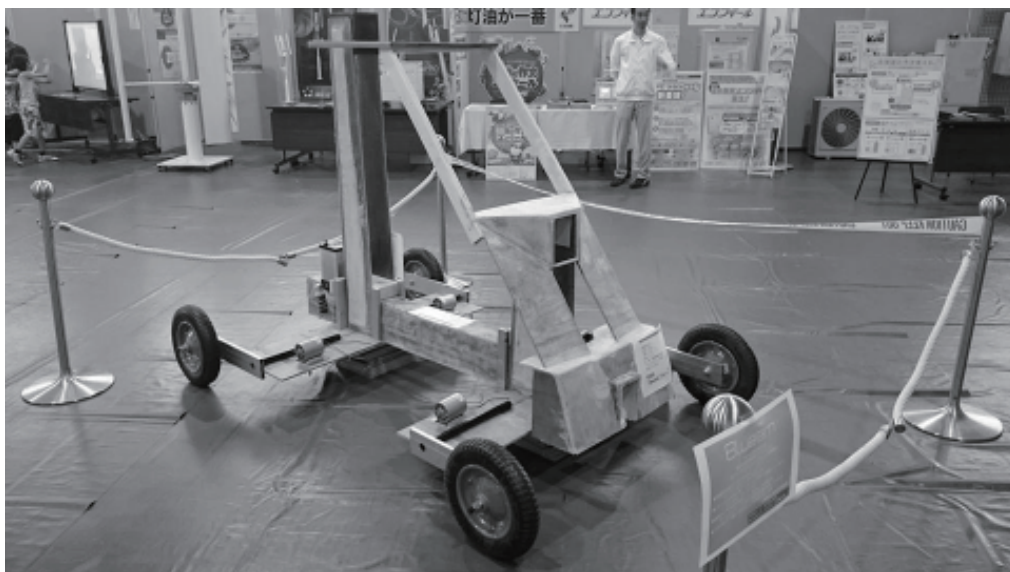


図1. 稚内北星学園大学で開発中の小型電気自動車 Blueam（2014年稚内市環境エネルギー展出席）

4. おわりに

一見無秩序なプロセスに見える技術の進化は、実は規則性を持っており、生物学的システムと同様に、技術はあらゆる分野でS字曲線を呈する特定のパターンに従って進化する理想性が増す方向に向かって進化する。この規則性は発明家如何で変わるものではない。「技術的進化のパターン」は、TRIZ（トゥリーズ：ソビエト連邦で生まれた発明的問題解決理論）の研究で知られる Genrich Altshuller がまとめた1970年代半ばの成果を基礎としており、世界中の特許文献や、その他の技術情報を広範囲に研究した結果から分かったものである。Altshuller の先駆的な業績は、旧ソ連の TRIZ 学校であるキシネフ・スクールに引き継がれ、さらに Ideation 社の研究グループに継承された。一連の研究の成果を見直し、再構築し、拡張した結果、以下の「技術進化のパターン群」が存在するという結論にたどり着いた⁽³⁾。

- 進化の段階は、幼児期→成長期→成熟期→衰退期と推移する
- 理想性が増す方向に向かって進化する
- システムを構成する要素それぞれがバラバラのスピードで開発される
- ダイナミック性、制御性が増す方向に向かって進化する
- 単純から複雑に向かう方向に進化する
- マッチングとミスマッチングを繰り返しながら進化する（発生した矛盾の除去こそが「発明」）
- ミクロのレベルに向かって進化するとともに、場をたくさん使う方向に向かって進化する
- 人間の関与が減る方向に進化する

この進化のパターンは自動車においても例外ではなく、内燃機関はいずれ衰退期を迎え、電気等化石燃料以後の動力源による動力機構は成長期に入りつつある。また、人間の関与はIT技術の積極的な導入によって、今やほぼ完全な自動運転を実現するまでになっている。

本稿では、「エコカー」を軸にここ数年の自動車技術の多様化を示し、たかだか5年前の予見から大きく外れることとなった「スモール・ハンドレッド」の位置づけを認識した。そして、これらの事情を踏まえて、生活必需品である自動車の産業にかかわっていくための地域産業のあり方を提案し、本学の取り組みを示した。

著者の、電気自動車の開発におけるゴールは、自動車を「オープンソース化」することであり、さらには安価なシングルボードコンピュータによる機械制御などを取り込んで、「スモール・ハンドレッド」が、急速な進化を続ける自動車技術にアプローチするための障壁を解いていくよう、研究の体系を構想していく。

●参考文献

- (1) 小泉真也, 「地方中小都市のインフラを活かした電気自動車の開発構想」, 稚内北星学園大学紀要, No.13, pp.75—81, 2013.
- (2) 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.
- (3) Boris Zlotin, Alla Zusman, 「『技術進化の法則』技術が進化する方向は決まっている」, 日経メカニカル, No.546, 株式会社日経BP, 2000.