

次世代自動車をめぐる動向

渡辺正五

日本自動車研究所FC・EVセンター
105-0012 東京都港区芝大門1-1-30

The State of the Art of Next Generation Vehicles

Shogo WATANABE

Japan Automonile Research Institute

1-1-30 Shibadaimon, Minato-ku, Tokyo 105-0012

1. はじめに

21世紀の自動車を取巻く情勢はエネルギーと環境の問題に集約されると言える。自動車の燃料は、その殆どを石油資源に依存しており石油資源の枯渇、産油国の政情不安、BRICsと呼ばれる新興大国の石油需要の高まりなど石油依存からの脱却は重要な課題となっている。また地球温暖化問題に影響する二酸化炭素排出の約4分の1が輸送用燃料の消費によるものでありエネルギー効率の大幅な向上が求められている。

このような中2006年、経済産業省から発表された「新・国家エネルギー戦略」では「世界最先端のエネルギー需給構造の確立」に向け、2030年までに「エネルギー効率を30%改善」「運輸部門の石油依存度を80%程度に低減」等の目標が示された。これを受けた「次世代自動車・燃料イニシアティブ(2007年)」では自動車燃料は①水素シフト②電力シフト③バイオシフトが提示されさらに④クリーン・ディーゼル⑤ITを利用した交通流改善という5つの柱で将来の自動車技術戦略を立てる方向性が示された。

2. 自動車用燃料としての水素、電力の位置づけ

次世代自動車・燃料イニシアティブで示されるバイオシフト、クリーンディーゼルは技術的には既に実用化の領域に達しており、石油依存度低減、二酸化炭素排出抑制に対して早期の効果が期待できる。しかしながらバイオ燃料に関しては自動車用燃料として供給可能な量は全体の10%程度が資源確保として可能なレベルと見積もられ、また植

物から燃料を生成する工程での二酸化炭素排出についても植物起源の選択として検討が必要であろう。クリーンディーゼルは二酸化炭素排出削減が30%程度と期待されるが脱石油の観点からは除外される。このような観点から長期的には脱石油、二酸化炭素排出ゼロを目指せる水素、電力を自動車用燃料として利用することが望まれる。

自動車用の燃料として水素、電力を使用する燃料電池自動車、電気自動車(プラグイン・ハイブリッド車を含む)は走行時の二酸化炭素の排出はゼロであり、また水素・電力生成過程で二酸化炭素固定化システムを組入れれば一次エネルギーから車両走行の全工程での二酸化炭素排出をゼロにすることが可能となる。また燃料電池、バッテリー、モータなどの電動駆動システムは自動車用内燃機関に比べて極めてエネルギー効率が高く同じ一次エネルギー(石油、天然ガスなど)を使用しても総合エネルギー効率を向上させられる。さらに水素・電力は多様な一次エネルギー(化石燃料、バイオ、自然エネルギー、水力、原子力など)から世界共通仕様として自動車への「燃料」として供給が可能であり燃料源の多様化、エネルギー・セキュリティの向上にも貢献する。

図1に水素、電力を自動車用「燃料」として使用する燃料電池自動車、電気自動車、プラグイン・ハイブリッド自動車の動力システムの比較を示す。

3. 燃料電池自動車

燃料電池自動車(FCV:Fuel Cell Vehicle)は水素を燃料とし、空気中の酸素との電気化学反応により電力を発生さ

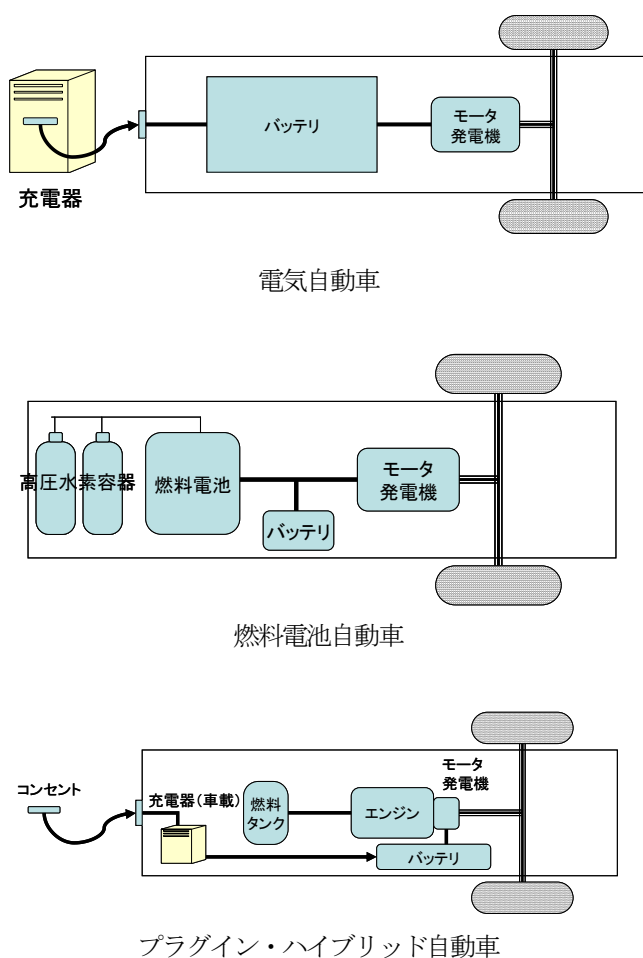


図1 電気自動車, 燃料電池自動車, プラグインハイブリッド自動車の動力システム比較

せモータを駆動させる。排出は水と廃空気(酸素濃度が低下)のみでゼロエミッション車の扱いとなる。発電効率は内燃機関の3倍程度が期待できる。燃料の水素は天然ガスからの改質が現状では最も経済的とされる。炭化水素系燃料の改質による水素製造は水素と二酸化炭素を分離する工程で二酸化炭素の固定化システムを組入れることが容易と考えられる。風力、太陽光、バイオマスなど再生可能エネルギーから転換することでも二酸化炭素の排出をゼロにすることが可能である。石油化学プラント、製鉄所、ソーダ工業からの副生水素も大量に存在し、これを活用することで新たな二酸化炭素排出を抑制することができる。

FCVは次世代自動車の究極の技術と位置づけられ早期の本格的市場導入が期待されているものの、まだ多くの課題を抱えている。FCV固有の課題としては①燃料電池スタックの信頼性、耐久性の向上②燃料電池スタック、システムの更なる高効率化③低コスト化④高密度水素車載

貯蔵技術の確立⑤補機類の低コスト化⑥水素製造・供給プロセスの効率向上、低コスト化⑦水素供給インフラの整備⑧水素社会受容性を含めた広報、啓発活動などが挙げられる。

燃料電池の性能、耐久性向上、低コスト化に向けては産学官の連携による革新的な研究、技術開発が必須である。経済産業省、新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)では2005年に「固体高分子形燃料電池先端基礎研究センター(FC-Cubic)」を立上げ、燃料電池内部の電極触媒、電解質膜などの基礎的・根本的な現象解明を行っている。また水素の安全利用に向けて2006年に「水素材料先端科学研究センター(HYDROGENIOUS)」を設立し水素雰囲気下での金属疲労や摩擦等水素材料の基礎的な研究をスタートした。NEDO「水素社会構築共通基盤整備事業」では(財)日本自動車研究所城里テストセンター内の「水素・燃料電池自動車安全性評価試験施設(Hy-SEF)」の活用により基準・標準化に資する水素、高圧容器の総合的な安全性評価試験研究を行っている。

一方、水素の製造、輸送、供給に係わるインフラ整備では2002年度より水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC: Japan Hydrogen and Fuel Cell Demonstration Project)をスタートし2008年時点で首都圏に9箇所、中部地区1箇所、関西地区2箇所の水素供給ステーションを建設しFCVの公道実証走行に燃料水素を供給している。これらの水素供給ステーションでは天然ガス改質、灯油・ガソリン・ナフサ改質、LPG改質、メタノール改質、アルカリ水電解、オフサイト水素など多様なエネルギー源からの水素製造を行い、水素製造・供給における総合エネルギー効率の検討を行っている。JHFCプロジェクトでは国内外の自動車メーカー9社(トヨタ、ホンダ、日産、スズキ、マツダ、日野、ダイムラー、GM、BMW)が参画し、燃料電池自動車だけでなく内燃機関水素自動車の実証走行も行っており、約60台が登録されている。

海外でも米国カリフォルニア州のカリフォルニア・フェエル・セル・パートナーシップや米国エネルギー省のラーニング・プログラム、欧州のライトハウス・プロジェクト、中国や韓国でも燃料電池自動車の実証試験が進められ世界規模で数100台のFCV、100箇所を超える水素ステーションの建設がなされている。

燃料電池自動車は氷点下での始動(マイナス20℃)や一回の水素充填での走行距離が500キロメートル以上のものが既に開発されガソリン自動車と同等レベルの実用

性を備えつつある。今後は、性能、耐久性を確保しつつ低コスト化の技術開発がなされると予想される。

4. 電気自動車

図2は日本の電力の電源構成（2000年）をまとめたものだが、電源構成に占める石油依存度は11%と低く、二酸化炭素排出負荷の小さい原子力、ガス発電（LNG）、水力発電で70%以上となっている。従って、電力をエネルギー源として走行する電気自動車（EV：Electric Vehicle）はエネルギー・環境改善に対する効果が大きい。JHFCプロジェクトの報告では1km走行当たりの一次エネルギー投入量、二酸化炭素排出量ともにEVが最も低いレベルにあると試算されている（図3）[1]。

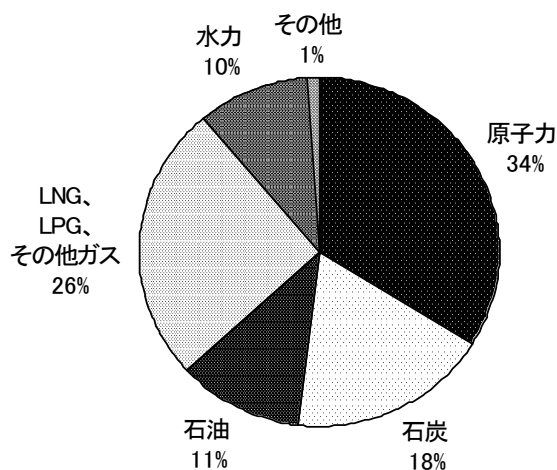


図2 日本の電力の電源構成 (2000年)

車両種類	1km走行当たりCO2総排出量(10・15モード)				
	0	50	100	150	200
FCV現状	[Bar extending to ~80]				
FCV将来	[Bar extending to ~40]				
ガソリン	[Bar extending to ~180]				
ガソリンHV	[Bar extending to ~120]				
ディーゼル	[Bar extending to ~150]				
ディーゼルHV	[Bar extending to ~90]				
CNG	[Bar extending to ~140]				
BEV	[Bar extending to ~20]				

図3 各種自動車の1km走行あたりの総二酸化炭素排出量

現在、国内におけるEVの保有台数は2007年3月末現在で約9400台となっているが、その内原付四輪・二輪が約8900台を占めており、軽自動車タイプ以上のEVについて言え

ば約500台と、ピーク時である1996年の約1900台から減少の一途をたどっている。しかしこの間も、次世代自動車用電池として期待されていたリチウムイオン電池の高性能化は着実に進み、リチウムイオン電池を搭載したEVに対する普及への期待が最近高まりつつある。

例えば東京電力は、保有する業務用車両の内の約3000台をリチウムイオン電池搭載のEVに順次更新していくとしており、その目標に向け、富士重工業とのR1eを利用した業務用EVの共同開発、三菱自動車工業とのi MiEVによる共同研究を進めている。三菱自動車工業はさらに九州電力・中国電力他とも共同研究を進めると発表している。また神奈川県も県内3000台のEV普及に向け公用車のEVへの切換え、駐車場利用、税制面での優遇措置などの施策を積極的に導入する計画を発表している。

EVの主要な課題としては、低コスト化、一充電当りの走行距離の延伸、充電時間の短縮が挙げられる。これらは、ほぼ二次電池の課題に帰着する問題と考えられる。

二次電池に関する主要な共通課題としては、①用途にあったエネルギー密度・出力密度の向上、②低コスト化、③信頼性の向上、④耐久性の向上などが挙げられる。

とくに低コスト化がEVの普及における重要課題であり、「新世代自動車の基礎となる次世代電池技術に関する研究会」による提言においても、2010年までに現状のリチウムイオン電池と同程度の性能でコストを1/2にすることが目標として掲げられている。これらの目標を達成するためにも、二次電池の量産化や電池材料の低コスト化が必要となる。また、革新フェーズとされる2030年ごろのEV用二次電池に対しては、現状のリチウムイオン電池の質量エネルギー密度の約7倍、コストも現状の1/40にすることが必要とされている。そのためには電池の基本原理に立ち返った基礎研究上のブレークスルーが不可欠であり、構造がまったく異なる新しい原理の電池を開発する必要があるとしている。

しかしながら将来、技術開発によって、十分に低コストで高エネルギー密度の二次電池が開発されたとしても、一充電当りで従来車並みに走行可能な量の電気エネルギーを短時間でEVに充電するには相当大きな電力が必要とされる。そのため、EVの充電は事業所や家庭での夜間普通充電が基本となると考えられる。また、EVにおいては、熱源となる燃料電池やエンジンがないため、暖房やデフロスタにはヒートポンプなどを利用する必要がある。一充電当りの走行距離が不十分である現状においては、こうした

空調システムや補機のさらなる高効率化が必要となる。

EVは石油代替、二酸化炭素排出抑制に大きな効果が期待されるが、現行の内燃機関自動車と同等の価格、利便性を実現するには多くの課題があり、エリア限定の業務用車両、通勤、最寄駅までの送迎、買物などのセカンドカーとしての用途を念頭に普及促進策を検討していく必要があると思われる。

5. プラグイン・ハイブリッド自動車

プラグイン・ハイブリッド自動車(PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle) は外部充電可能なハイブリッド自動車と定義されるが、バッテリーの搭載容量を増やし、駐車中に系統電源から充電し走行エネルギーの一部を電力によって供給するシステムである。電力を積極的に利用することで石油消費量の低減、二酸化炭素排出削減を図るもので、充電電力を消費した後はハイブリッド自動車として走行できることから早期の実用化が期待される技術として注目されている。

PHEVが注目され始めた背景には燃料電池自動車の大量の市場導入にはインフラ整備やコスト低減に10年以上の長期間が必要と認識されたこと、電気自動車はコストや走行距離の課題により現行内燃機関自動車並みの普及を実現するのは容易でないこと、既に10年以上、100万台以上の生産、実用化の実績を挙げているハイブリッド自動車の技術がそのまま応用可能なことが挙げられる。また始動直後の低速走行領域ではバッテリー単独のゼロエミッション走行が可能であることからZEV (Zero Emission Vehicle) 規制を進める米国において大きな期待が寄せられていることも挙げられる。

PHEVの制御概念は種々検討されているが、一般に図4のようにバッテリーの充電状態 (SOC : State of Charge) が高い状態で、なおかつ出力要求が小さい中低速走行の場合にバッテリー単独のEV走行をし、SOCの低下あるいは出力要求が大きい急加速、高速走行の場合にエンジン駆動とのHEV走行を行う方式が考えられている (Blendedタイプと

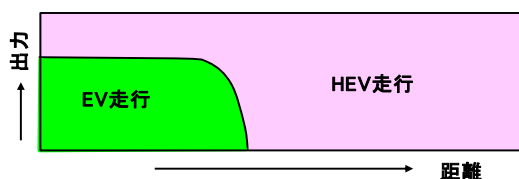


図4 PHEVの制御概念 (Blendedタイプ)

呼ばれる)。これに対し、バッテリー搭載量を増やしSOCの高い状態では全ての要求出力を電池で対応するAll Electric Rangeタイプも提案されている。

走行開始時のバッテリーのSOCは駐車時の充電によりほぼフル充電に近い状態からスタートする。始動直後はEV走行を行い(始動直後からハイブリッド走行を行う場合もあり得る) SOCが設定値以下になるとハイブリッド走行に切り替わる。この切替SOCの設定値はPHEVの意義 (系統電力の積極的利用) を考慮すると極力小さい値であることが望ましいが、バッテリー電圧の低下による出力低下や充放電サイクルによるバッテリー性能劣化に配慮すると高めのSOC設定にせざるを得ないということも考えられる。走行終了時は再び系統電力によって充電され、フル充電に近い状態に戻る。

PHEVにおける初期EV走行の距離を日本では10~30km、米国では100km程度を想定しているのが一般的であるが、必要となるバッテリーの搭載量とバッテリーコストの問題も考慮する必要がある。初期コストや走行に必要な燃料コスト (ガソリン、電力) を考慮し、毎日の初期EV走行距離を30kmとし、バッテリーコストをパラメータにトータルコストを比較した試算ではバッテリーコスト6万円/kWhでは3年余りでハイブリッド自動車のトータルコストを下回り、初期コストの回収が成立する。初期コストの回収時期はバッテリーコストに大きく依存し、12万円/kWhでは約9年、現状のリチウムイオン電池の推定コスト20万円/kWhでは10年以内での初期コスト回収はできなくなる。バッテリーコストのほかガソリンコスト、初期EV走行距離 (搭載バッテリー容量) によっても回収時期は影響を受ける。しかしながら、いずれの場合においても、PHEVによって石油依存度低減、エネルギー消費低減、二酸化炭素排出低減がなされ、環境意識の強いユーザには商品価値を認められる可能性が高い。

現在、PHEVは実証段階にあり国内ではトヨタがハイブリッド自動車「プリウス」のバッテリー搭載量を倍増したPHEVの国土交通省大臣認定を取得し公道走行試験を開始しており、米国でもプリウスを改造ベース車とした車両が開発され、GM、フォードもPHEVのコンセプトカーを発表している。

6. むすび

自動車の経済性、利便性を維持しつつ、エネルギー・環

境問題を根本から解決する技術として燃料電池自動車、電気自動車、プラグイン・ハイブリッド自動車の概要について述べてきた。それぞれの技術の大量普及には多くの課題があるものの、社会ニーズや環境意識の強い消費者ニーズに対応するために自動車メーカーの技術開発の努力だけでなく、自治体、政府の普及促進支援策も重要と考える。エネルギー・環境性能の優れた自動車によるサステイナブルモビリティ（持続可能な移動手段）の実現に向けて産学官の長期的視点に立った、継続した粘り強い取組みが必要と考える。

参考文献

1. 財団法人日本自動車研究所「JHFC総合効率検討結果」報告書(2008)