



ユビキタス領域周辺の技術 特集

小型電動二輪車のための燃料電池システム

A Fuel Cell System for Small Electric Motorcycles

安達 修平 Shuhei Adachi

●研究開発センター コア技術研究室

Abstract

Following the recent decision by Russia to ratify the Kyoto Protocol, it is now all but certain that a final protocol will be issued and we will be entering an era of mandatory reductions of greenhouse gas emissions. It is said that approximately 20% of all emissions of CO₂ come from automotive vehicles. This is adding momentum to the development of technologies by corporations in the transport vehicle industry to improve the environmental performance of their products. Within this movement, the fuel cell is looked to as one of the ultimate power sources, due to the fact that it releases no toxic gases and achieves highly efficient energy conversion. With regard to the attempt to utilize fuel cells as a power source for small electric motorcycles, we have now reached the point where the technological problems and the directions for their solutions have been clarified and we can now visualize a road map for bringing fuel cell motorcycles into practical use. In this report we describe Yamaha Motor Company's development of a fuel cell system for small electric motorcycles.

1 はじめに

ロシアの批准によって京都議定書の発効が確実となり、地球温暖化ガスの削減義務が現実のものとなってきた。二酸化炭素排出における自動車の寄与は、およそ20%といわれている。輸送機器を事業とする企業では、環境性能に優れた製品ののための技術開発に拍車がかかっている。中でも燃料電池は、有害な排気ガスを出さず、高効率なエネルギー変換ができることから、究極の動力源として期待されている。この燃料電池システムを小型電動二輪車に適用する試みにおいては、技術的な課題と対策の方向性が明らかになり、実用化へのロードマップが描けるところまできている。

2 燃料電池の種類と歴史

一般に電池というと電気エネルギーを貯蔵するものという意味合いが強いが、燃料電池は外部から反応物質(水素と酸素)を供給することにより発電する、いわばエネルギー変換装置である。その歴史は古く、約200年前に英国のSir Davyによって原理が提唱され、1839年にSir Groveが実証実験を行ったとされている。最初に実用化されたのは、アルカリ型(Alkaline Fuel Cells:AFC)と呼ばれるタイプで、電解質に水酸化カリウム水溶液を使用し、作動温度は室温から230℃くらいまでで用いられた。燃料の水素に二酸化炭素が混入すると性能が低下する問題があり、主としてスペースシャトルなどの宇宙航空向けに用途が限定されている。実際に商用運転されているのは、リン酸型(Phosphoric Acid Fuel Cells:PAFC)というタイプで、作動温度は180～220℃である。廃熱を有効に利用できる公共施設や工場などに導入

されている。溶融炭酸塩型(Molten Carbonate Fuel Cells:MCFC)、固体酸化物型(Solid Oxide Fuel Cells:SOFC)は、いずれも通常は700℃以上の作動温度域で使用され、高効率が期待されるが、電極材料の信頼性など課題も多い。

1990年代以降、急速な進化を遂げ、実用化が期待されているのは、固体高分子型(Proton Exchange Membrane Fuel Cells:PEMFC)で、電解質にフッ素樹脂系または炭化水素系の陽イオン交換膜が使われている。作動温度が100℃以下と低く、頻繁な起動・停止のくり返しを含む運転条件でも比較的高い効率を維持できる上、電解質の信頼性も高い。この技術ブレークスルーによって、主として、定置用、移動体用、可搬電源用の3つの分野で燃料電池システム応用開発が進んでいる。

定置用は、家庭用分散電源として1～5kWのシステムで、都市ガスなどをオンサイトで改質して得た水素を使うものである。耐久時間40,000時間という目標をクリアできる見通しが立ち、2005年には商用化が計画されている。移動体用は、主に自動車用で、車格に応じて10～100kWのものが用いられる。2002年からリース販売という形で、官庁など、ごく限られた用途での実用化がはじまっている。燃料としては圧縮ガス水素が主流となっており、液体水素や車上ガソリン改質などの方式は姿を消しつつある。ガス容器には、現在は35MPaの高圧に耐える複合材料製のものが用いられることが多いが、車載できる容積の制約から、航続距離が、現行ガソリンエンジン車の約2分の1に限られるため、70MPa仕様への移行が検討されている。可搬電源用では、モバイルパソコンや携帯電話の電源としての用途が注目されている。出力はおおよそ1～50Wの範囲で、液体のメタノールを燃料とし、改質器を必要としない、直接メタノール燃料電池(Direct Methanol Fuel Cells:DMFC)が主流である。

3 燃料電池導入の意義

燃料電池が環境負荷を軽減する技術として期待されるのは、効率が低い、有害な排気を出さない、音や振動が少ない、といった特性があるためである。とりわけ効率に関しては、燃料の利用効率だけでなく、燃料の製造過程まで含めたトータルな意味での効率による比較をする必要がある。表1は、ガソリンエンジン車と燃料電池車について、使用する燃料の製造時の効率、いわゆるWell-To-Tank効率と、車両における燃料の利用効率(Tank-To-Wheel効率)の実績値を示し、両者を掛け合わせた総合効率での比較を行ったものである。これによると、総じて燃料電池車の方が、ガソリンエンジン車よりも高い総合効率を示すことが分かる。しかしながら、ハイブリッド車や高性能ディーゼルエンジン車で、その総合効率が、現行の燃料電池車の値と同等または上回るものも出現してきており¹⁾²⁾、今後、燃料電池効率のいっそうの改善が必要と考えられる。

表1 各種車両システムの効率比較

	燃料効率 (%)	車両効率 (%)	総合効率 (%)			
			10	20	30	40
ガソリン エンジン車	88 ^{※1}	16-30		14-26		
燃料電池車 水素	58 ^{※2}	37-52		21-30		
燃料電池車 直接メタノール	70 ^{※3}	25-40		18-28		

※1：原油からガソリンを製造する場合の効率
※2：天然ガスから水素を製造する場合の効率
※3：天然ガスからメタノールを製造する場合の効率

燃料電池システムを搭載した二輪パーソナルビークルの目指す姿は、従来のガソリンエンジン車がもつ、走り、航続距離、燃料補給の容易さといった総合的な高い利便性と、電動車両がもつ、優れた環境性の両立である(図1)。

これまでに燃料電池を搭載した二輪車として試作車がいくつか報告されており³⁾、車格によって、電動自転車、原付クラス(原動機排気量 50 cm^3 相当)、小・中型クラス(排気量 $125\sim 250\text{ cm}^3$ 相当)に大別される。搭載されている燃料電池のタイプには、水素ガスを燃料とするPEMFCと、メタノールを燃料とするDMFCがある。公表されている諸元から、車両重量と出力の関係をプロットすると、図2のようになる。この図から、小・中型クラスでは水素ガスを燃料とするPEMFCが一般的であるものの、電動自転車や原付クラスの二輪車にはDMFCが重量面で有利であることが推察される。燃料供給のためのインフラストラクチャーを考えると、水素燃料供給網の整備には長期にわたる多額の投資が必要であり、早期の実用化には、なお多くの障害が予想される⁴⁾。これに対し、メタノールを燃料として使用するための流通ネットワークは、比較的容易に実現させることが可能と考えられる。その意味でも、DMFCは、原付クラスの小さな乗り物の動力源として支持される要素を備えていると思われる。

ヤマハ発動機株式会社では、そうした思想を具現化したコンセプトモデルを、2003年10月に開催された第37回東京モーターショーに出展した⁵⁾。このコンセプトモデルと並行して、走行試験を目的とした専用車両を作製し、種々の条件での走行テストを行った。走行試験車両の諸元を表2に示す。

この車両をベースとして、保安基準に適合した車両を作製し、2004年9月に公道走行のためのナンバーを取得している(図3)。

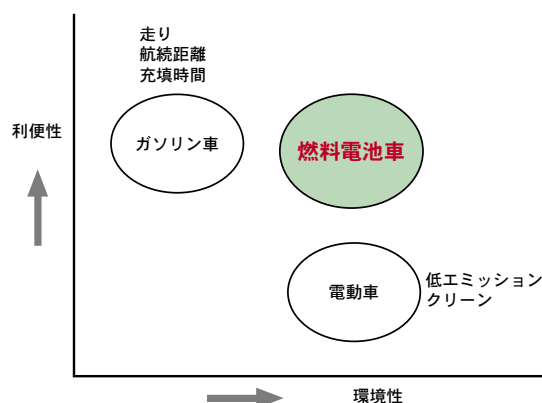


図1 燃料電池車のねらい

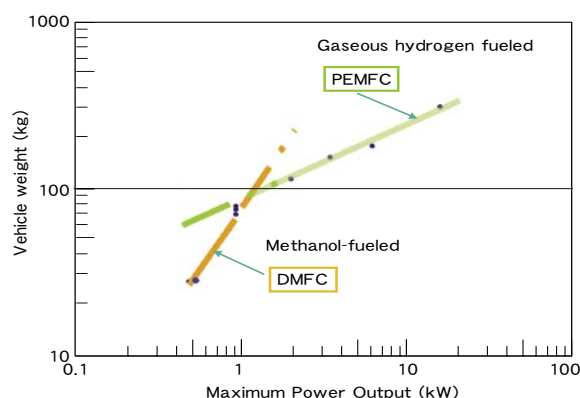


図2 燃料電池二輪車の車重と最高出力の関係

表2 走行試験車両の諸元

長さ / 幅 / 高さ	1,590 / 615 / 975 mm
乾燥重量	69 kg
定格出力	0.58 kW
航続距離	100 km以上
燃料	メタノール54質量%水溶液



図3 公道走行中の燃料電池二輪車

5

燃料電池システムの構成

上記の走行試験用車両に搭載した燃料電池システムの基本的構成は、図4に示したような燃料循環式の直接メタノール型である。燃料の54質量%のメタノール水溶液は、システム内では約1 mol/Lの濃度に希釈され、使用されている。セルスタックに入る燃料中のメタノール濃度は、独自に開発したメタノール濃度センサーにより常時モニターされており、必要に応じて高濃度燃料が補給される。セルスタックから出てくる循環燃料中には、アノード反応によって生じたCO₂ガスが含まれているため、図中のソリューションタンク内で気液分離を行い、気体のみ外部へ放出する構造となっている。燃料循環系の中にはラジエーターを設置し、系内の液体の温度調節を行っている。一方、空気はエアポンプによってセルスタックに送られ、そこでカソード反応により、水が生成される。その水を凝縮器で冷却分離し、いったん水タンクに蓄えた後、一部をソリューションタンクへ還流することで、系内の水バランスを維持する。なお、システムは、始動時の電源ならびに走行時の負荷変動を吸収する目的で、2次バッテリーを備えている。

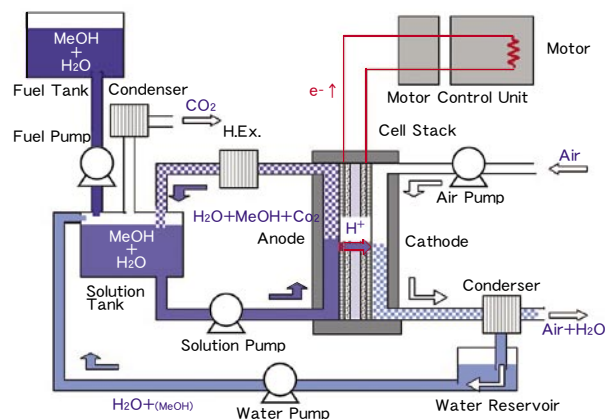


図4 直接メタノール燃料電池システムの構成

燃料循環系の中にはラジエーターを設置し、系内の液体の温度調節を行っている。一方、空気はエアポンプによってセルスタックに送られ、そこでカソード反応により、水が生成される。その水を凝縮器で冷却分離し、いったん水タンクに蓄えた後、一部をソリューションタンクへ還流することで、系内の水バランスを維持する。なお、システムは、始動時の電源ならびに走行時の負荷変動を吸収する目的で、2次バッテリーを備えている。

6

課題と将来展望

燃料電池二輪車の技術課題としては、効率と出力性能の両立を実現する構造と制御、長期保管後や冷寒時の始動性、さまざまな使用条件におけるシステムの信頼性と耐久性、製造コストなどが挙げられる。

特に効率については、直接メタノール燃料電池特有のクロスオーバー（メタノールが電解質膜を透過してしまう現象）を最小限に抑え込みながら必要な出力性能を確保するため、多様な工夫が必要である。図5に本システムにおける効率の内訳を模式的に示す。燃料電池システムの効率（ η_T ）は、主に3つの効率の積（ $\eta_F \cdot \eta_V \cdot \eta_A$ ）で決まる。 η_F は燃料効率または燃料利用率と呼ばれ、消費された燃料に対して有効に発電反応に使われた燃料の比率をいう。損失の大部分はクロスオーバーによるものであり、対策として厚めの膜・電極接合体（Membrane Electrode Assemblies: MEA）を使用し、低濃度の燃料を使い、比較的低温で、少ないエア流量で運転することが望ましい⁶⁾。しかしながら、こうした高効率運転の条件は出力性能を犠牲にする方向である。この問題の解決のためには、MEAの材料や表面構造の改良と最適な運転制御アルゴリズムの開発が必要である。

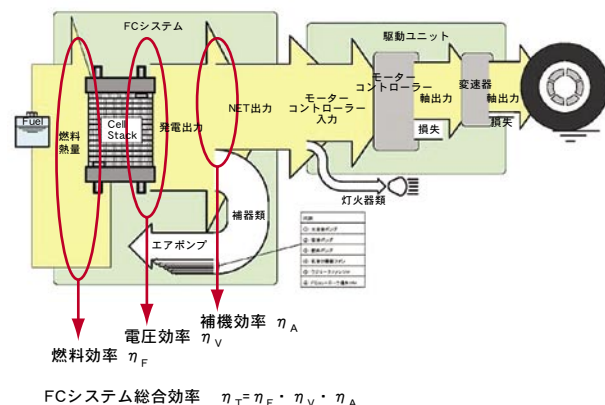


図5 直接メタノール燃料電池システムの効率内訳

7

燃料の選択

メタノールを燃料とする乗り物が環境に与える影響については、World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)で実施した試算例⁷⁾がある。これによると、メタノールを燃料とする燃料電池を搭載した乗り物の走行中のCO₂排出量は、2010年時点で予想されるガソリンを燃料とする内燃機関搭載車からの排出量の約60%と推定される。また、将来自動車用燃料として普及した場合のメタノールのコストは、図6に示すように、他の新燃料に比較して安価である、との試算がなされている⁸⁾。

長期的には、メタノールの製造原料を、現行の天然ガスから、植物性バイオマス由来のものに代替することによって、排出されるCO₂は地球温暖化に寄与しないものとする事ができる。このような、循環型の燃料サイクルが経済的に成り立つ日が、いずれ来るかもしれない。

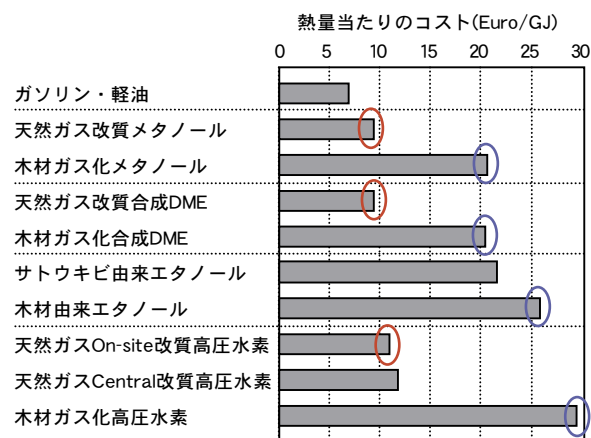


図6 自動車用各種新燃料のコスト予測

8

おわりに

直接メタノール燃料電池を搭載した小型電動二輪車を中心に、地球環境にやさしく快適性と利便性を損なわない乗り物のための技術の一端を紹介した。長期的には水素エネルギー社会が到来するかもしれないが、水素燃料のインフラストラクチャーがどのくらいの速さで整備されるかについて明言できる人はいない。一方で、石油生産量が近い将来、減退に向かうことが確実視されており、需給の逼迫から原油価格の高騰は定常化しつつある。原油価格の上昇は、高コストの非効率な採掘や輸送を可能にし、結果として二酸化炭素の発生が増大する可能性がある。今できることは、機器の効率化などを進め、石油や天然ガスなどの化石燃料の消費をできる限り抑制することである。即効性のある現実的なアプローチが必要なのである。

■参考文献

- 1) Nikkei Business Special Issue, Energy Shift 11, 38 (2003)
- 2) 西村輝一 自動車技術 Vol. 58, No. 11, pp. 11-16 (2004)
- 3) Fuel Cells 2000 , <http://www.fuelcells.org/info/charts/specialty.pdf>
- 4) Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use, National Research Council, The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs, <http://www.nap.edu/catalog/10922.html>
- 5) 安達, 燃料電池 Vol. 3, No. 3, 52 (2004)
- 6) 小竹, 渡邊, 高木, (社)自動車技術会 学術講演会前刷集No. 43-04, 13 (2004)
- 7) World Business Council for Sustainable Development, <http://www.wbcsd.org/web/publications/mobility/mobility-full.pdf>
- 8) Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, European Commission, Joint Research Center, <http://ies.jrc.cec.eu.int/Download/eh/より抜粋>

■著者



安達 修平