

燃料電池自動車

岡野 一清

(財) エンジニアリング振興協会 東京都港区西新橋 1-4-6

Fuel Cell Vehicles

PEFC(Polymer Electrolyte Fuel Cell) seems preferable fuel cells for vehicles because of high-current density and low operating temperature. For vehicular power systems, fuel cell and battery hybrid system is applied. Light weight fuel cells are required for commercialization of fuel cell vehicles, and also light weight on-board hydrogen fuel storage systems are to be developed.

1. はじめに

窒素酸化物などによる大気汚染や二酸化炭素による地球温暖化など、地球環境問題が世界共通の大きい問題となっているが、それらの発生源の一つである自動車に対して、排気ガスによる大気汚染を低減するための技術開発が世界各国で行われている。バッテリーによる電気自動車のほか、メタノールエンジン車や天然ガスエンジン車などの低公害車が実用に供されている。しかしながらこれらの車両は走行距離の制限や完全なZEV (Zero Emission Vehicle) でないことなど、さらに改良すべき課題が残されている。

燃料電池自動車はそれらの課題を解決できる車両として期待されており、自動車に最適と思われる固体高分子型燃料電池の開発の進展に伴って世界各国で開発が行われている。

燃料電池自動車の電源システムは燃料電池とバッテリーのハイブリッドシステムを使用するのが一般的であるが、燃料電池発電システムとしてはメタノール燃料によるものと、水素燃料によるものがそれぞれ開発されている。

2. 燃料電池自動車の特長

燃料電池自動車は燃料電池を駆動電源とする電気自動車で下記の特長を有している。

(1) 排気ガスがクリーンである。

水素燃料の場合：完全にクリーン。二酸化炭素の排出がない。

メタノール燃料の場合：NO_xは検出限界以下。二酸化炭素は排出する。

(2) 低騒音で振動がない。

(3) エンジン車と比較して高効率である。(メタノール燃料の場合 38%以上、水素燃料の場合 45%以上、いずれもLHV ベース。そのほか負荷が定格から 50% 程度までの部分負荷の範囲では効率は低下せず、むしろ向上する)

(4) エンジン車と同様に燃料補給をすれば走行距離の制限を受けない。

(5) 大出力を要する大型車両が容易に作れる。

このような優れた特長があるが、燃料電池のエネルギーの体積密度がエンジンよりも小さいため、燃料電池発電装置の寸法、重量が大きく、小型軽量化が望まれている。

3. 自動車用燃料電池電源に必要とされる特性

自動車用燃料電池電源には定置用と異なった下記のような特性が要求される。

- (1) 瞬時負荷変化(発進時、急加速時、登坂時など)に追従できる。
- (2) 起動時間が短いほか、頻繁な起動停止を行っても性能が低下しない。
- (3) 効率が低い(特に部分負荷での効率が低い)。
- (4) 低騒音で、排気ガスがクリーンである。
- (5) 走行時の振動や加速度に耐えられる。
- (6) 保守が容易で信頼性が高い。
- (7) 小型軽量、低コストである。
- (8) 安全な運転ができ、衝突事故時にも安全が保てる。

4. 各種燃料電池の自動車用への適性

我が国の燃料電池開発は昭和36年頃から開始され、アルカリ型(AFC)、リン酸型(PAFC)、熔融炭酸塩型(MCFC)、固体電解質型(SOFC)、固体高分子型(PEFC)の各種燃料電池の開発が行われ、アルカリ型以外は現在も開発が続けられている。これらの燃料電池はそれぞれ特長があり、自動車用としては前記の要求特性を満足できるものに限られる。

各燃料電池の適性を評価すると下記の通りとなる。

4. 1 アルカリ型燃料電池

電流密度は $150\text{mA}/\text{cm}^2$ 程度と比較的小さい。常温で運転でき瞬時起動ができる。しかし燃料や酸化剤中の CO_2 が電解液を汚染するので、燃料としてメタノール、酸化剤として空気の使用は適さない。自動車用として使用する場合は水素/酸素の利用が適している。

4. 2 リン酸型燃料電池

数100Wから11MWまでの各種発電装置が多数試作され、実用化が最も早い燃料電池と目されている。電流密度は $200\sim 300\text{mA}/\text{cm}^2$ である。運転温度は約 200°C なので、起動時間は小型バス用の50kW級で起動時間が30分程度必要であるが、メタノール改質の場合でも CO による電池触媒の被毒が少なく改質ガスがそのまま使用できるメリットがある。

頻繁な起動停止は電池にとって好ましくないが、実用上は問題ないと思われる。大出力の電池が作りやすいので自動車用の場合は大型車両用電源が容易に作れる。

4. 3 熔融炭酸塩型及び固体電解質型燃料電池

いずれも高効率の高温型燃料電池である。運転温度は熔融炭酸塩型が 650°C 、固体電解質型が 1000°C なので起動時の昇温に長時間を要し、起動停止が頻繁に行われる自動車用には適さない。また、自動車用では高温排熱が利用できないのでその特長が生かせない。

4. 4 固体高分子型燃料電池

電解質に高分子膜を使用するので他の燃料電池と異なった下記のような特長があり、自動車用として最適との評価を得ている。

- 1) 電解質がフッ素樹脂系イオン交換膜であることによる特徴
 - ・電解質が移動しないので性能が安定し起動停止を繰り返しても問題ない。
 - ・電解質が散逸しないので長寿命、かつ周辺機器を腐食させる心配がない。
 - ・両電極間のガスの許容差圧が大きく、差圧制御が容易である。
 - ・イオン交換膜を適度に加湿する必要がある。
 - ・電解質の抵抗が小さいので、400 ~ 500mA/cm²以上の高電流密度セルが製作可能で電池スタックを小型軽量化することができる。
 - ・電解質が温度により変化しないので、運転停止中にセルの保温をしなくてよい。
 - ・現状ではイオン交換膜のコストが高いが、将来需要量の増大に伴ってコストが低減できる可能性がある。
- 2) 運転温度が約80℃と比較的低温であることによる特徴
 - ・室温からの起動が可能であるので、起動時間が短い。
 - ・触媒の劣化が少なくセルの寿命が長い。
 - ・耐熱材料などが不要なく、各種材料が幅広く使用できる。
 - ・メタノール改質ガスを燃料として使用する場合は、セルの触媒の被毒を避けるためガス中の一酸化炭素濃度を10ppm レベルに下げる必要がある。
 - ・排熱温度が低いため熱利用が難しい。

以上のような特徴を総合的に評価すると水素燃料に最適で、熱利用を必要としない移動用電源や自動車用電源として適している。メタノール燃料の場合には一酸化炭素を低減する反応器を使用すれば実用可能であり、その実用化開発が世界の各所で行われている。

5. 燃料電池による自動車用電源システム

燃料電池による車両用電源システムは燃料電池の型式、燃料の種類、車種などにより変わるが、本文では固体高分子型燃料電池によるシステムと、リン酸型燃料電池によるシステムの事例を紹介する。

5. 1 基本電源システム

自動車用の電源システムは車の急激な負荷変化に瞬時に追従できることが望ましい。メタノール燃料を使用する場合は燃料電池が瞬時に追従できないので、バッテリーとのハイブリッドシステムとするのが一般的である。しかしながら燃料の水素と酸素をガスボンベから供給する場合は、バッテリーを使用しないシステムとすることもできるが、燃料電池の負荷変化に対して燃料供給が瞬時に追従しない場合は、セルがガス欠状態となるのでそれが繰り返されれば電池性能の低下を招く懸念がある。

1) バッテリーとのハイブリッドシステムの構成

ハイブリッドシステムはベースになる負荷を燃料電池で、ピーク負荷への瞬時対応をバッテリーが受け持つシステムである。バッテリーへの充電は負荷が軽い時に燃料電池によって自動的に行う。それぞれの容量は走行ルートが一定の路線バスなどでは負荷パターンが決められるので、システム全体の重量或いはコストが最低になるように選定する。

なお、バッテリーは起動用電源としても必要である。ハイブリッドシステムの基本的システム構成は図1のようになる。

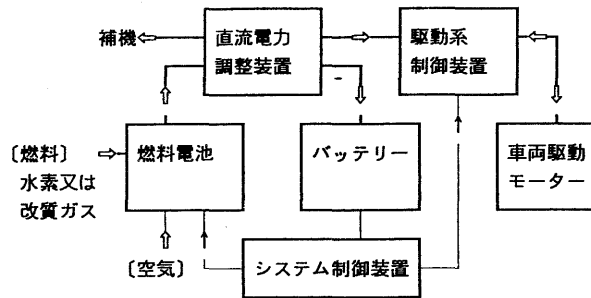


図1. 燃料電池とバッテリーハイブリッド電源システムの構成

2) ハイブリッドシステムの運転例⁽¹⁾

試験に使用したメタノール改質出力25kW(DC52.8V×480A)のリン酸型燃料電池システムフローを図2に、ハイブリッドシステムの運転例を図3に示す。

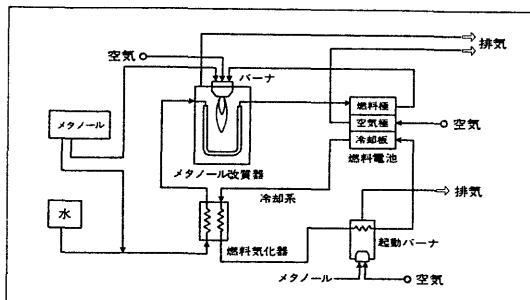


図2. 燃料電池システムフロー

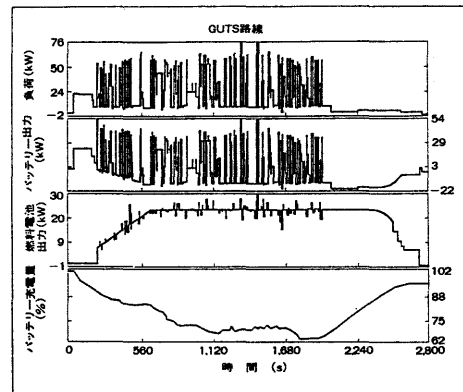


図3. ハイブリッドシステムの運転例

実験に使用した燃料電池は米国エネルギー省(DOE)のリン酸型燃料電池バス開発プロジェクトの中で、富士電機㈱により製作されたもので、運転試験は米国で行われた。ハイブリッド電源の動作は燃料電池が固体高分子型であっても同じであり、図3に示すように25kWの一定負荷で運転されている燃料電池に対してピーク負荷がかかった場合、バッテリーが瞬時に追従し燃料電池はそのまま一定負荷で運転を継続している。そしてピーク負荷が無くなった時は燃料電池からバッテリーに充電が行われ予期した結果が得られた。

5. 2 燃料電池発電装置のシステム

自動車用として考えられるメタノール燃料と水素燃料の場合の固体高分子型燃料電池のシステムを図4と図5に示す。水素燃料の場合は燃料改質器とCO除去器が不要なのでシステムが著しく簡単になる。また、燃料電池発電装置が占める床面積は約60%に縮小される

ほか、全体重量も同様に軽減される。

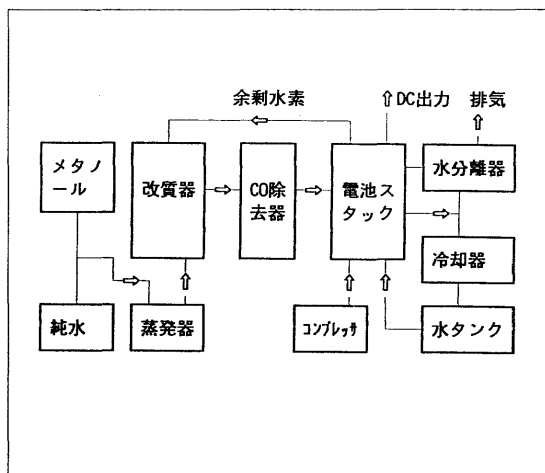


図3. メタノール燃料の場合のシステム

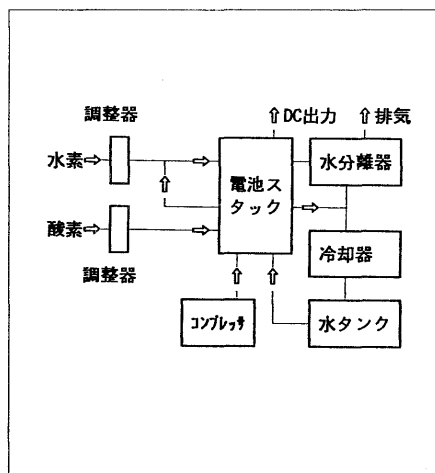


図4. 水素燃料の場合のシステム

6. 燃料電池自動車の開発状況

燃料電池自動車は10年以上前から世界各国で開発が始められ試作車が作られているが、まだ実用化されていない。しかしながらここ数年の間に固体高分子型燃料電池の開発が急速に進んだことから世界各国で燃料電池自動車の開発が競って行われるようになった。

6. 1 米国における開発状況

エネルギー省(DOE)やカリフォルニア州の大気保全局(SCAQMD)が積極的に支援して下記の開発プロジェクトを進めている。また、リン酸型燃料電池を搭載した小型バス3台が昨年より試験運転されている。DOEの水素利用計画では2010年までに米国で販売される新車の25%を水素燃料のハイブリッド車か燃料電池車にするとしている。

そのほか、シカゴ市では96年からBallard社製の水素燃料の燃料電池バスを試験導入する計画であるほか、Georgetown大学も燃料電池バスの導入計画を持っている。

- ・ Energy Partner社 : 圧縮水素燃料のPEFCによるスポーツカー(1993)
- ・ DOE/H-POWER, 富士電機 Gr. : メタノール燃料のPAFCによる小型バス(1994)
- ・ DOE/GM Gr. : メタノール燃料のPEFCによる自動車(1997)

6. 2 カナダにおける開発状況

カナダ政府、B. C. 州、Ballard社が1993年に圧縮水素燃料のPEFCによるバスを開発してから、Ballard社は更に改良を進め大型バスの実用化を計画している。

6. 3 ヨーロッパにおける開発状況

- ・ Elenco社 : 圧縮水素燃料のAFCによるバン(1982)
- ・ EUREKA/Elenco Gr. : 液体水素燃料のAFCによるバス(1994)
- ・ Daimler Benz社 : 圧縮水素燃料のPEFCによるバン(1994)

- ・EQHHP : 液体水素燃料のPEFCによるバス(1995)
- ・Karlsruhe R. C. : 液体水素燃料のAFC によるトラック(1995)
- ・Renault 社 : 液体水素燃料のPEFCによる乗用車(1996)

その他ミュンヘン空港内で水素燃料の燃料電池車を使用するプロジェクトが発足するなど、ヨーロッパでも燃料電池車への関心が高く研究開発が活発に行われている。

6. 4 日本における開発状況

- ・富士電機 : メタノール燃料のPAFCによるフォークリフト(1988)
- ・マツダ : 水素吸蔵合金/圧縮空気PEFCによるゴルフカート(1992)
- ・その他 : WE-NETプロジェクトにおける燃料電池バスの検討(1995-)

我が国は今まで燃料電池の分野では世界をリードしてきたが、海外の各国と比較して固体高分子型燃料電池や燃料電池自動車の開発では出遅れている。

7. 燃料電池自動車の事例

米国では燃料電池車の実用化を早めるために、燃料供給が容易なメタノールの燃料の燃料電池車に着目し、DOE がリン酸型燃料電池バスプロジェクトを1988年に発足させた。そして前述のハイブリッド電源のテストを経て、H-POWER グループが1994年に1台、95年に2台の小型バスを完成させて運転試験を行っている。その結果の一部を以下に紹介する。

7. 1 バス及び燃料電池の仕様

バスの概略仕様を表1に、燃料電池の概略仕様を表2に示す。搭載された燃料電池は車両用に開発した液冷式リン酸型で、メタノール改質装置と一体にし、発電装置全体が容易に車体から着脱できかつ全体が免振構造となっている。燃料電池はリン酸型なので冷起動時間は約30分を要する。これらの発電装置は富士電機(株)が設計、製作を行った。

表1. バスの概略仕様⁽²⁾

車種 : 25人乗りバス 車体寸法: 全長 9.1m、幅 2.9m 車両重量: 11.5トン 電源出力: 連続 74kW、ピーク時 120kW 燃料電池/バッテリー ハイブリッドシステム	サージバッテリー : Ni-Cd電池 216V, 200A-hr 駆動モータ: Single Heavy-Duty 120 kW DC Shunt Motor 燃料消費量 : メタノール 21.9 kg/hr
---	--

表2. バス用リン酸型燃料電池概略仕様

型式 : 液冷式リン酸型燃料電池 定格出力: 55.2 kW 発電効率: 42 % LHV (除くD/D コンバタ) 燃料 : メタノール/純水混合	セル電流密度: 240mA/cm ² サイズ: 2000m ² NOx 排出濃度: 検出限界以下 発電装置寸法: 1.3mD x 2mW x 1.4mH 発電装置重量: 1,575 kg
---	--

7. 2 運転結果⁽²⁾

1号車はすでに米国で3,540km 走行したが、運転結果は以下の通りで実用的には問題がなかった。図4は部分負荷運転時の燃料電池の発電効率で負荷60%の時、最高効率45%を示している。図5は加速試験の結果で要求性能を上回る良好な結果が得られた。図6は走行速度とバッテリーと充電量の関係を示す。また写真1に搭載した燃料電池を示す。

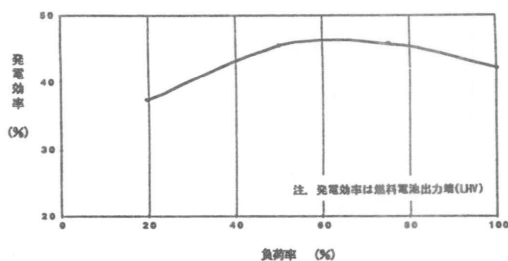


図4. 燃料電池の発電効率

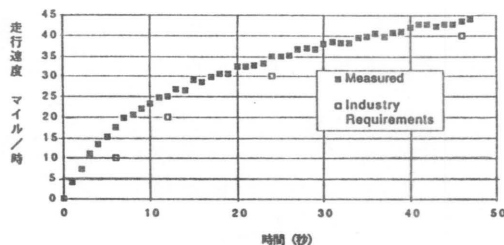


図5. バスの加速試験結果

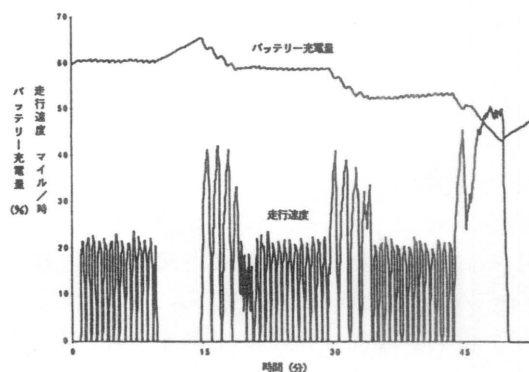


図6. 走行速度とバッテリー充電量



写真1. バスに搭載した燃料電池

8. 燃料電池自動車の技術課題

燃料電池自動車の技術課題は、燃料改質系を含めた燃料電池発電装置に関わる課題と、燃料搭載方法の課題がある。車両の駆動や制御技術は電気自動車の技術の延長であるため特に大きな問題はないと思われる。

8. 1 燃料電池発電装置の課題

エンジンと比較して燃料電池の出力密度は約1/10であるため電源の重量が重く容積が大きくなる。特にスペースの余裕がない小型車へ搭載するには出力密度の向上やセル構造を改良し、電池スタックの容積を現在の1/2 以下程度にする必要がある。メタノール燃料の

場合には改質装置とCO除去器の小型軽量化が必要となる。また、電源システム全体として長期間の走行テストなどによる信頼性の検証が必要である。また、現在試作されている燃料電池はコストが高いが、固体高分子型燃料電池は量産し易い構造であるので、高分子膜のコストも含めて量産によるコストの低減が期待できる。

8. 2 燃料搭載方法の課題

メタノール燃料の場合には燃料電池発電装置は複雑になるが、燃料はガソリンと同様のタンクに貯蔵できる。水素燃料の場合には燃料電池発電装置は単純になるが、燃料の貯蔵に三つの方法がありそれぞれに関して下記の課題がある。

1) 圧縮水素

水素を高圧ポンペに貯蔵する方法は簡単であるがエネルギーの体積密度が低い(374 Wh/l at 20Pa) ため貯蔵量が少ないのが難点である。ポンペは軽量化をはかるためグラスファイバーで補強したアルミ容器が使用される。

2) 水素吸蔵合金

高圧ポンペよりもエネルギーの体積密度が大きく(757 Wh/l)、安全に水素が貯蔵できる利点がある。マツダ(株)が試作したバンなどに搭載され運転試験が行われているが、合金の重量低減が今後の課題である。水素吸蔵量が大きく軽い合金の開発が待たれている。

3) 液体水素

エネルギーの体積密度は最も大きい(970 Wh/l)が、マイナス253℃の液体水素を貯蔵して蒸発を抑制するため断熱性能のよいコンパクトな貯蔵タンクが必要となる。

9. おわりに

燃料電池自動車の開発について述べてきたが、地球環境問題の観点から、究極のクリーンカーは水素燃料の燃料電池車であると目されている。しかしながら、水素燃料のインフラが整備されるまではメタノール燃料を使用する燃料電池車の導入により環境改善を図ることが各国で検討されている。現在、世界各国で燃料電池車の開発が盛んに行われている中で、我が国の燃料電池車の開発に対する取組が活発でないのは残念である。過去の我が国の電気自動車、水素エンジン自動車、燃料電池など関連技術の研究開発により、燃料電池自動車を開発する基礎技術は確立されているので、今後実用的なクリーンカーの開発を政策的に進め、世界各国と協調を取りながら地球環境の改善に貢献する必要があると思われる。

参考文献

- (1) 田島博之、山本 修、大賀俊輔、車両用燃料電池発電装置の開発
富士時報 Vol.63, No.11 1990
- (2) Jeffrey K. Fisher, Fuel Cells for Transportation, SAE Santa Fe, NM, 1995