

特集

分散型都市エネルギーシステム

リン酸型燃料電池

Phosphoric Acid Fuel Cell

山川嘉之*

Yoshiyuki Yamakawa

1. 燃料電池に対する期待

近年、エネルギー消費の増大に伴う地球温暖化や大気汚染や酸性雨による被害等の環境問題が緊急の課題となっている。

また、近年特に夏期における冷房を中心とした電力需要の伸びに対する供給能力の逼迫も、毎年話題になってきている。

これらの問題は、エネルギーの供給の安定化と効率化の必要性をのみならず、クリーンなエネルギー利用技術の開発の必要性を示唆しているものと言える。

燃料電池はそのユニークな数々の特徴から、これらの問題を解決するために有効な一つの手段としての分散電源の道を開くものとして、その早期の実用化が望まれており、中でも技術開発が進んでいるリン酸型燃料電池にたいする期待が非常に大きい。

以下に主として富士電機㈱におけるリン酸型燃料電池発電装置の開発の現状を紹介し、今後の期待や展望、課題などを述べる。

2. リン酸型燃料電池の原理と発電システム

2.1 リン酸型燃料電池の原理

図-1に原理を示す。負極に送られた水素は触媒の働きで水素イオンと電子に分かれ、水素イオンは電解質内を通過して正極に達する。

一方、電子は外部回路を通り正極に移動する。正極では電子を受取り酸素と水素イオンが触媒の助けで反応して水をつくるが、その電子の流れを電気エネルギーとして利用できる。

2.2 リン酸型燃料電池発電システム

発電システムは燃料改質装置・燃料電池・直交流変換装置・冷却装置や空気供給装置等の補機・制御装置

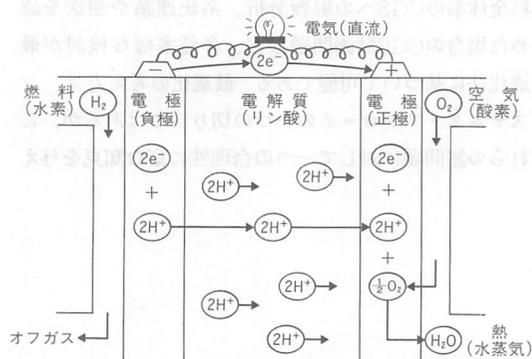


図-1 リン酸型燃料電池の原理

から成り立っている。

その基本プロセスを図-2に示す

- 1) 燃料ガスは脱硫器で硫黄分を除去し、水蒸気と混合して改質器内で水素に変換され、CO変成器でCOを0.5%以下にして電池に供給される。
- 2) 電池では、水素と空気中の酸素が反応して水を作る過程で直流電力を取り出す。
- 3) 電池の未反応水素は改質器のバーナで燃焼し、燃料改質用の熱源とする。
- 4) 電池内部で発生する熱は、冷却水で取り除き熱交換して冷暖房や給湯に利用する。
- 5) 直流電力は直交流変換装置で交流電力に変換し、外部に出力される。

3. 燃料電池発電装置の特徴

燃料電池発電装置は次のような優れた特徴、固有の性質を持っている。

- (1) 発電効率が高い(40%前後)。排熱利用を合わせた総合効率は80%となる。

燃料電池で特徴的なことは、部分負荷での効率が、ほかの発電装置に比べて高いことである。

発電装置は常時100%で運転されることは少ないので、実用時の効率は他の発電装置に対して大きい

*富士電機㈱燃料電池事業部大型燃料電池部長
〒290 千葉県市原市八幡海岸通7

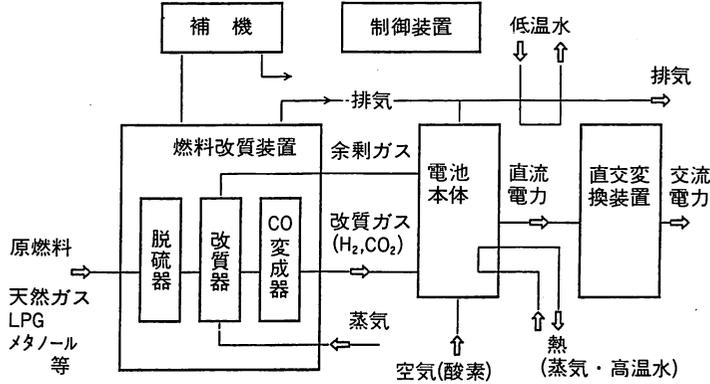


図-2 リン酸型燃料電池発電装置基本プロセス図

に有利である。また、小さい容量の装置でも高い発電効率が得られる。図-3 にオンサイト用50kW燃料電池発電装置の効率の実測例を示す。

- (2) 排気ガスがクリーンで、振動はなく低騒音である。
(第4章参照)
- (3) 排熱が有効に利用できる。
(蒸気及び温水による冷暖房・給湯)
- (4) 各種の燃料が使用できる。
(天然ガス・LPG・灯油・メタノール等)
- (5) ビル内や都市部など電力消費地近傍への設置が容易にできる。
- (6) 起動時間が天然ガスでは2～5時間、メタノールの小型電池では30分程度を要する。
この起動時間を短くすることが、今後の重要な開発テーマの一つである。
- (7) 運転停止時電池スタックの保温が必要である。
(リン酸の結晶化防止のため)

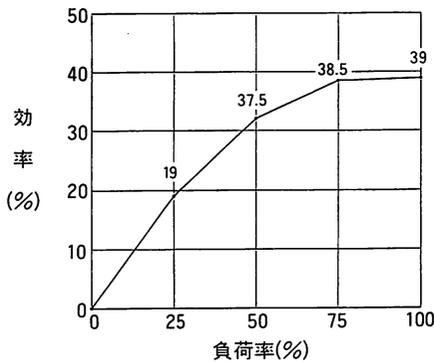


図-3 オンサイト用燃料電池発電装置の効率実測例 (50kW)

4. 燃料電池の環境性

燃料電池発電装置の際立った特徴として、排気ガスがクリーンであることが上げられる。

燃料電池の排気ガスは燃料改質器のバーナ燃焼ガスと電池の反応空気であるが、これらはボイラーやエンジンの排気ガスに比べて桁違いにクリーンである。

また、発電装置の振動はなく、騒音も低レベルである。

(1) SO_x (硫黄酸化物)

燃料に含まれている硫黄分は燃料改質用触媒を劣化させることもあり、装置に内蔵している脱硫器で除去されるので、排気ガス中のSO_xはゼロである。

(2) NO_x (窒素酸化物)

燃料電池に供給された改質ガス (H₂ と CO₂ の混合ガス) のうち、未反応の余剰ガスは改質器に戻されバ

表1 リン酸形燃料電池排出ガス中のNO_x濃度

プラント	燃料	NO _x ppm
電力用 1 MW	LNG	11
オンサイト用 50kW	都市ガス13A	2
電力用 200kW	メタノール	1以下
車輻用 25kW	メタノール	1以下
小型車輻用 5 kW	メタノール	1以下

(定格運転時の値)

その他の発電装置排出ガス中のNO_x濃度

プラント	容量	NO _x ppm
ガスエンジン	50-450kW	300以下 (三元触媒)
ガスタービン	500kW-10MW	100-200 (水蒸気噴射)
ディーゼルエンジン	25kW-10MW	900 (NH ₃ 脱硝)

ーナーで燃焼されるが、このガス中の水素は希薄で、燃焼温度が1200~1400℃と低温なのでNO_xは殆ど生成されない。また、燃料電池の反応では全くNO_xは生成されない。

(3) CO₂ (炭酸ガス)

燃料電池は炭酸ガスを排出するが、発電効率が高いので燃料消費量が少なくて済み、その分だけ炭酸ガスの排出量が少ない。

また、燃料中の炭素が多いほど炭酸ガスの排出量が多くなるので、重油や軽油を用いる発電装置はガスに

容量まで各種の用途に適した利用が考えられる。

リン酸型燃料電池の環境性の良いと言う特徴を活かして、需要地に近接して設置ができるため、廃熱も有効に利用することができ、エネルギーの飛躍的に有効な利用ができる様になると言う分散電源としての用途が特徴的であることがわかる。

6. リン酸型燃料電池セルの開発状況

セルの技術開発の焦点は、出力密度が大きく、かつ長時間運転しても電圧低下が少ない電極の開発であった。セルの出力電圧は運転に伴って経時的に低下するが、これは白金触媒が融合して大きい粒子となるシンタリングによる触媒劣化・リン酸の過剰浸透による触媒層のガス拡散阻害・触媒を担持しているカーボンの腐蝕などによる事が明らかになっている。

その対策として、白金に第二元素を添加して合金触媒とする事によるシンタリングの緩和、触媒層に適度の撥水性を持たせてリン酸の過剰浸透を防止、カーボンの耐蝕性の向上などにより、電圧低下を少なくすることができる様になり、頻繁な緊急遮断や毎日の起動・停止などの過酷な運転を避ければ、電池の寿命は4万時間で電圧添加10%以下という目標を達成できるようになった。

電池の出力密度も白金粒子の微細化や触媒の活性向上の結果、この数年間に約3倍に向上した。これは発電装置の小型化やコストダウンに大きく貢献するものである。

7. 燃料電池発電装置開発の現状と今後のテーマ

国内における燃料電池の開発は、国のムーンライト計画や電力・ガス・石油各社のプロジェクトで、今までに3kW~11MWの実験プラントが50台余り製作運転された。長時間運転された発電装置としては、富士電機製の加圧型50kW機が東北電力で約9500時間、IFC

発電プラント別CO₂発生量

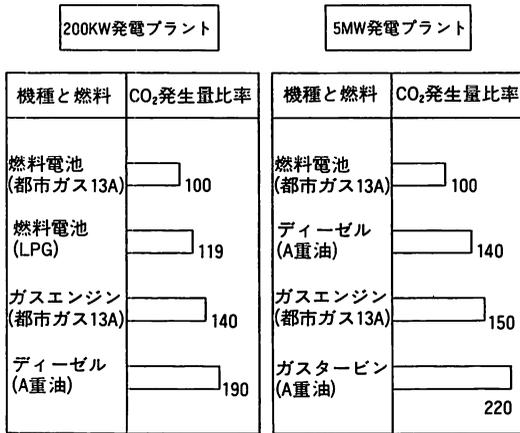


図-4 燃料電池発電装置の炭酸ガス発生量比率 (計算値)

よる発電装置より炭酸ガスの排出量がおおくなる。

図-4に各種の発電装置の炭酸ガス発生量比率を示したが、天然ガスを主たる燃料とし、且つ効率の良い燃料電池は炭酸ガスの発生量がかなり少なくなる事が予想できる。

5. リン酸型燃料電池の用途

リン酸型燃料電池は表2に示す様に、小容量から大

表2 リン酸型燃料電池の用途と使い方

用途	容量	燃料	設置場所	使い方
分散配置用 (電力用)	5~50MW	LNG 都市ガス	都市部 都市近郊	連続運転が望ましい
離島用	100~1000kW	メタノール LPG, 灯油	離島	熱利用
オンサイト用 (自家発電用)	50~1000kW	都市ガス LPG, 灯油	ホテル, 病院 ビル, 工場	
車両用 移動用	30~100kW	メタノール	バス, 車両 移動電源	連続運転



写1 オンサイト用燃料電池発電装置

製の常圧型40kW機が大阪ガスにより、15000時間の記録がある。

最近では、数多くの発電装置が運転されており、この中には10000時間以上の運転を行っているものがあり（関電・六甲実験場・ガス会社等）なお継続して運転されているので、上記の運転記録が塗り換えられる時期も近いものと思われる。

これらの発電装置は電力用、オンサイト用、離島用、車両用など多岐の用途で、燃料も天然ガス、LPG、メタノール、ナフサと多様で、これらの経験から各社は多く技術を蓄積でき、現在では実用化を目指した開発が行われるに至った。

7.1 オンサイト用燃料電池

富士電機は東京ガス、大阪ガス、東邦ガスの3社と50kW、100kW機を商品化するための共同開発を行っており、既に試作機が10数台運転されている。

また、NEDO委託の系統連係実証研究用として、関西電力六甲実験場で16台の50kW機（富士電機製）、200kW機（三菱電機製）が運転されている。

電力会社でも、50~200kW機の試験導入が始まりつつあり、既に数台が運転されている。これらの燃料は、天然ガスの他にLPGのものも含まれている。

このほかに現在運転中のオンサイト用プラントとし

ては日立製100kW（東京ガス）、PEC委託の石油各社のナフサ・灯油用50kW機、IFC製200kW機等がある。

電池発電装置の1例として50kW機の主な仕様を表3に示す。

7.2 電力用燃料電池の開発

わが国ではムーンライト計画でNEDO委託により1MW発電プラントが2基建設され、関西電力・中部電力により運転された。

東京電力は米国IFC製の4.5MWプラントを建設し運転したが、更に引き続いてIFCと東芝により11MWプラントを建設し運転を行っている。

国産プラントとしては、1MW発電プラントの経験を活かして、5MW発電プラントが計画され、NEDOとPAFC研究組合によって、関西電力・尼崎に平成6年4月の運転開始を目指して、建設が行われている。（富士電機製）。このプラントは、実用化を目指した実用規模の実証プラントとして建設されているものであり、これが成功すれば、電力用燃料電池の実用化は一挙に促進されることが期待できる。

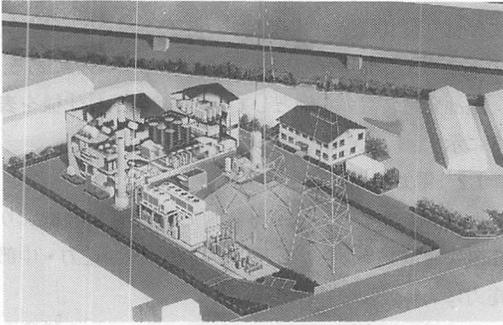
電力用燃料電池発電プラントの1例として、5MW発電プラントの計画仕様を表4に掲げた。このプラン

表4 5000kWオンサイト用燃料電池発電装置仕様

出力	5,000kW
燃料	都市ガス(13A)
運転形態	系統連系運転
運転方式	全自動、無人運転
発電効率	41% (HHV)
総合効率	71% (HHV)
起動時間	3時間以内
NOx濃度	10ppm以下
燃料電池本体 動作圧力	6 kg/cm ² G
動作温度	200°C
セル有効面積	8000cm ²
セル電流密度	300mA/cm ²
セル電圧	746mV/セル

表3 50kWオンサイト用燃料電池概略仕様

形式	常圧、水冷式	燃料	都市ガス13A, LPG
電気出力	50kW (送電端) 3相, 50, 60Hz 200V	冷起動時間	4時間以下
		運転形態	系統連系又は単独運転
発電効率	38-40% (LHV)	運転方式	全自動無人運転
総合効率	78-80% (LHV)	構造	パッケージ型(屋外可)
電圧波形歪率	総合5%以下(単独)	NOx濃度	10ppm以下



写2 5000kW燃料電池発電プラント

トの特徴は、最終需要地点である市街地に設置する分散電源を想定して、高効率で、低公害とし、燃料は都市ガス導管から供給されるプラントとなっており、排熱を利用して冷暖房の実用実験もおこなわれる様になっている。

7.3 車両用燃料電池

自動車の排気ガスによる大気汚染が大きな社会問題となっているが、この対策として、排気ガスがクリーンで低騒音、高効率の燃料電池を車両の駆動電源に利用した電気自動車の開発が期待されている。

富士電機は車両用に最適の液冷式燃料電池を用いて、米国エネルギー省の燃料電池バスの開発に参加し、25kWの試作用燃料電池を製作した。米国エネルギー省の計画では商品化までに4ステップまでの開発計画があり、今後6～7年を要すると思われる。

8. オンサイト用燃料電池の 商品化と市場導入への課題

燃料電池の商品化までに解決を要する課題は、燃料電池発電装置の信頼性向上・コストの低減・市場導入の条件整備などがある。

8.1 発電装置の信頼性向上とコストの低減

燃料電池発電装置は故障のない信頼性の高いものでなくてはならないが、現在は余り長時間運転した実績

もない。これは、今後商品機モデル等によって多くのフィールドテストを行い、その経験から信頼性を向上、確認して行くしかないと思われるが、現在既に50台以上のオンサイト用燃料電池が運転されはじめており、2～3年の内には信頼性は相当に向上してくるものと思われる。

設備コストは、一般にはkW当り30万円以下が期待されている。これは今後の技術開発と量産効果によって達成されるものと思われる。既に燃料電池メーカーでは燃料電池専用の量産工場が建設されたり、計画され、商品化に備え初めているが、市場導入から量産に至る間のコスト高の問題は依然残されている。年間数100台の需要がでてくるには数年はかかると思われるので、その間の対応策が検討されている。

8.2 市場導入の条件整備

(1) 法規制の緩和

燃料電池の市場導入を容易にするための政策が検討され、一部が実施に移されている。90年6月から電気事業法の施行規則・技術基準に関する省令が改正され、常圧小容量機に対する規制の緩和、手続きの簡素化が行われた。また、工程間検査の手続きや実施面の簡素化についても、その実施が検討されており標準化された装置による仕込生産も、認可等の手続きに関係無く行なえる様な道が開かれようとしている。

系統関係については、高圧系統関係のガイドライン化が90年に行われたが、低圧系統関係についても行われようとしている。更に将来、系統への逆潮流関係の認可も期待されている。

(2) 燃料電池の普及促進策

優遇税制措置として、エネルギー環境変化対応投資促進税制が90年から実施されているが、今後、融資制度・リース制度・補助金制度などが検討されている。

最も重要と思われるのは、導入初期のコスト高に対する対応措置である。コストの低減が可能となる年間数100台の需要が生まれるには数年はかかると思われ

表5 燃料電池の市場導入目標
電気事業審議会及び総合エネルギー調査会、90年6月発表資料

	2,000年		2,010年	
	電力事業用	オンサイト用	電力事業用	オンサイト用
リン酸形 燃料電池	105万kW 5 MW×200台	85万kW 100kW×8500台	310万kW 5 MW×620台	270万kW 100kW×27,000台
溶隔炭酸塩形 及び 固体電解質形 燃料電池	—	—	240万kW 5 MW×480台	—

るので、その間の対応措置が燃料電池の普及の鍵となる。

また、一般PRのためにモデル事業も必要と思われるが、これらの施策は今後関係者間で論議が進められて行くことが期待される。

その他、排熱の利用が容易にできる様、地域冷暖房を普及・促進する体制づくりも必要である。

9. 今後の展望

(1) 地球環境問題

大気汚染は年々悪化の一途を辿っており、コージェネ機器や車両に対するNOx規制が強化される方向に進むことが予想される。

既に米国ではカリフォルニア州で2010年までに自動車のNOxをゼロにする方針が打ち出されている。また、炭酸ガスの排出に対しても低減対策の実行が世界的に求められており、このような状況から燃料電池は地球環境問題の有力な解決手段として、各分野での普及が大々的に検討促進されてゆくであろう。

(2) エネルギー需給問題

エネルギーの需要は年々増加しているが、一方発電所の立地が難しくなっており、期待の原子力発電所の増設は容易ではない。燃料電池発電装置は、火力や原子力に比べると容量が小さく、数多く設置しなくてはならないが、都市のビル内に設置できるMW級のコンパクトな装置が開発できれば、需給問題の解決に大いに貢献できるであろう。

総合エネルギー調査会の燃料電池の導入目標は、2000年迄に電力用105万kW、民間用85万kWとなっている。これは全国の発電設備の能力の1%に過ぎない

が、将来その比率は飛躍的に増加すると思われる。表5に燃料電池の導入目標を示す。

(3) 燃料の多様化

中東の不安定な状況は今後も続くと思われ、石油依存度の低減対策が一層加速されよう。以前から天然ガス、LPG、などの利用が増大する傾向にあり、メタノールの燃料としての本格的な利用研究も進んできているが、これらは何れも燃料電池に非常に適したものであり、その面からも燃料電池が脚光を浴びるであろう。

LPG用の燃料電池は、全国規模で燃料電池を普及させるには不可欠で、その開発が急がれている。

石油を中心とした化石燃料は50年後頃には枯渇するとも言われ、その後は水素エネルギー時代となると予想されてもいるが、燃料電池にとっては水素は最適燃料であり、そのような時代になれば、燃料電池は益々増大することになるであろう。

ドイツでは太陽電池の電力で水素を作り、その水素で燃料電池を運転する実験プラントが建設され、運転研究が行われている。

10. あとがき

燃料電池への期待が高まる中で、りん酸型燃料電池の技術開発は急速に進展し実用化に近づきつつある。

その間絶大なご支援とご指導を頂いた政府関係官庁、NEDO、電力各社、ガス各社、石油各社ほかの関係者の方々に厚くお礼申しあげるとともに、今後一層のご支援とご指導を給わることをご合わせてお願い申し上げる次第である。