

燃料電池の開発研究

第4の発電方式を目指して

Research & Development of Fuel Cells In a Quest for the Fourth Mode of Generating Electricity

(電力技術研究所 燃料電池G)

環境にやさしい発電方式として、太陽光発電、風力発電や燃料電池が話題となっているが、特に燃料電池は、水力・火力・原子力発電に次ぐ第4の発電方式として期待されている。今までの発電方式は熱エネルギーなどを回転する運動エネルギーに変換して発電するのに対し、燃料電池は、化学反応によって燃料から直接電気エネルギーを取り出す。小容量でも発電効率が高く騒音などが少ないこと、排出ガスがクリーンであることなどの環境性に優れている。現在、実用化に向けて研究開発を実施中である。

(Electric Power Research & Development Center, Fuel Cells Group)

Solar power, wind power and fuel cells have recently been highlighted as environmentally-friendly sources of energy to generate electricity. Among these, fuel cells are being eyed as the most promising candidate as the fourth source of electricity, following hydroelectric power, thermal power and nuclear power. In contrast to the conventional methods of generating electricity which convert kinetic energy of rotating bodies driven by thermal or other forms of energy, the fuel cell generates electricity directly from the fuel through chemical reactions. As such, fuel cells have various merits such as higher power generation efficiency even with low capability units, less noise generation, and the emission of a clean gas which is compatible to the environment. We are engaged in research to use fuel cells in various practical applications.

1 開発の背景

燃料電池が発明されたのは、今から約150年も前のことで、本格的な研究開発はアメリカの有人宇宙船の電源として注目されてからである。

アメリカで進んだ燃料電池技術は、宇宙開発用から民生用へと発展し、日本では昭和56年に始まったムーンライト計画に取上げられて急速に進展した。

昭和60年～63年にはリン酸型燃料電池の1000kwプラントが設置され、純国産技術で1000～2000hrの発電時間を達成したことは、画期的であった。現在、リン酸型の累積発電設備は全国で約3万kwに達しており、熔融炭酸塩型、固体電解質型についても急速に開発が進んでいる。

2 燃料電池の原理

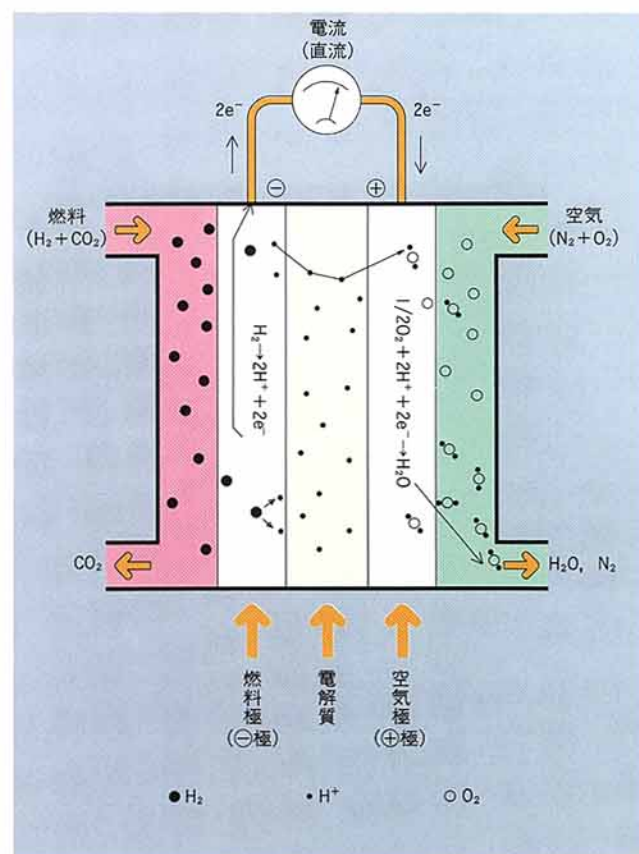
(1) 電気分解の逆転発想から電気を取り出す

水を電気分解すると水素 (H_2) と酸素 (O_2) が発生する。これは、水の中の2枚の電極に直流の電気を流して水を H_2 と O_2 に分解したわけで、逆に電極で H_2 と O_2 を電気化学的に反応させると、電気と水が発生するはずであるとの逆転発想から燃料電池が生まれたわけである。

(2) 電池というのが発電装置である

燃料電池は“電池”と名前がついているが、乾電池や鉛蓄電池のように電気を蓄えるのではなく、 H_2 と O_2 を外から供給して電気をつくるので、一種の発電装置である。

第1図に酸性電解質（リン酸）を用いる燃料電池の原理図を示す。



第1図 燃料電池の原理

電極は、多孔質であり容易に水素ガスや酸素ガスが通過できる。
燃料極では●で示した H_2 が、電極の中でイオン化して○で示した2つの水素イオン (H^+) になり、電解液へ飛び出す。イオン化するとき2つの電子 (e^-) が発生し、この電子は、外部回路を通して空気極へ送りこまれる。このときの電子の流れが、電流である。
○で示した O_2 は、空気極内で電子を受取り H^+ と反応して H_2O になる。生成した H_2O は、ガス室から電池の外へ取り出す。

3 燃料電池発電の特徴

燃料電池は電気化学的反応を用いているため次のような利点がある。

(1) 発電効率が低い

火力や原子力発電は、石油やウラン等の燃料を熱エネルギーに換え、蒸気を作り、タービン発電機を回して、電気エネルギーに変換するので、発電効率は40%程度であるが、燃料電池は、燃料（H₂）から直接電気エネルギーを取り出すので変換過程が少なく、発電効率は40～60%と高い（第2図）。

(2) 排熱の利用が可能である

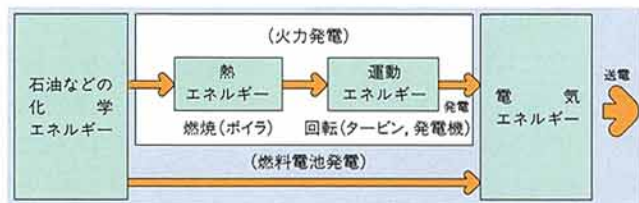
発電に伴って発生する熱は、給湯や冷暖房または、蒸気タービン発電に利用することができる。

(3) 負荷追従性がよい

出力変化が最低出力から定格出力まで、1分程度で行うことができ、負荷追従性がよく、電力需要の急変などに即応できる。

(4) 環境性がよい

大気汚染物質（NO_x、SO_xなど）や騒音などの発生が少ない。



第2図 エネルギーの変換

(5) 建設工期が短い

燃料電池発電は、設備全体をモジュール構造とすることができ、製造・組立のほとんどが工場で行われるため、現地での建設工期が短く、増設も容易である。

4 燃料電池の種類

燃料電池には、化学反応にあずかる電解質の種類によって、第1世代と呼ばれるリン酸型、次世代の溶融炭酸塩型と固体電解質型の3種類に分類することができる（第1表）。

(1) リン酸型

現在、最も実用化が早いとされているのがリン酸型である。電解質は豊富で安価なリン酸を使用する。燃料としては、天然ガスやメタノールなどに水蒸気を混ぜ、約800℃の触媒上で反応させ、水素に改質して利用している。

運転温度は200℃前後、発電効率は約40%程度が見込まれているが、排熱を給湯や冷暖房に利用することにより、総合効率を80%にも高めることができる。

今までの発電方式は、規模を大きくすることで効率アップを図ってきたが、燃料電池では規模の大小による効率の差はほとんどない。このため、都市のオフィスビルやホテルなどに、必要に応じた規模で設置できるオンサイト型のコ・ジェネレーションシステム（熱と電気の両方を一つの装置から供給する方式）としての利用が適している。

第1表 燃料電池の種類と特徴

種 類	リン酸型 (PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell)	溶融炭酸塩型 (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell)	固体電解質型 (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)
電 解 質	リン酸(H ₃ PO ₄)	炭酸リチウム+炭酸カリウム	ジルコニア
移動イオン	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
作 動 温 度	190～210℃	約650℃	約1000℃
使用可能燃料	天然ガス、LPG、メタノール	天然ガス、LPG、メタノール、石炭ガス化ガス	天然ガス、LPG、メタノール、石炭ガス化ガス
動作原理			
水素極反応	$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	$H_2 + CO_3^{2-} \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$	$H_2 + O^{2-} \rightarrow H_2O + 2e^-$
酸素極反応	$1/2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$	$1/2O_2 + CO_2 + 2e^- \rightarrow CO_3^{2-}$	$1/2O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$
主な電池材料	カーボン系	ニッケル、ステンレス	セラミックス
特 徴	- 低温のため材料の選択の幅が広い - 排熱の利用が可能 - 最も実用化に近い	- COを含む燃料ガスが使用できる - 高価な白金触媒が不要 - 排熱による蒸気タービン発電が可能	- COを含む燃料ガスが使用できる - 高温のため触媒が不要 - 排熱による蒸気タービン発電が可能
発 電 効 率	35～43%	45～60%	50～60%

(2) 熔融炭酸塩型

電解質に炭酸リチウムと炭酸カリウムを混合したものを、約650℃の温度で発電させるものである。燃料としては水素のほか一酸化炭素も利用できるため、天然ガス、メタノールのほかガス化した石炭など幅広い燃料が使える。

さらに、排熱が高温であることから、これを使って蒸気タービンを運転する複合発電とすることも可能であり、発電効率は45～60%で、リン酸型よりも高いのが特徴である。

(3) 固体電解質型

最近、急速に研究開発が進んでいるもので、他のタイプに比べて発電効率が最も高く、21世紀には燃料電池の主役になるとの期待が大きい。

電解質に安定化ジルコニアなどセラミック系を使い、約1000℃前後で発電させる燃料電池であり、60%近い発電効率が見込まれている。

これに加えて大きな特徴は、電池構成物質がすべて固体であり、熔融炭酸塩型のような電解質の蒸発や腐食による性能劣化が少なく長寿命が期待できること、システム構成が簡単で、コンパクト化が容易であることなどである。

利用できる燃料としては、熔融炭酸塩型と同様に、天然ガス、メタノールのほかガス化した石炭など多様な燃料が使える上に、燃料の改質を電池内部で行うことも可能である。

第2表 燃料電池の研究経緯

年度	当社の主な研究経緯	国の主な研究経緯
S48	◀燃料電池の研究開始	
49	アルカリ型基礎実験 (100W電池)	
50	模擬送電線連系試験	
51	(1kWアルカリ型電池試験)	
52		
53	◀リン酸型システムの基礎研究	
54	(100W)	
55		
56		◀ムーンライト計画の燃料電池開発プロジェクト開始
57	◀排熱利用、概念設計研究	
58		
59		◀1000kWリン酸型運転研究開始
60	◀国の1000kWリン酸型運転研究受託	
61	単体試運転・運転研究	
62	解体研究	◀熔融炭酸塩型II期計画開始
63	排熱および電池冷却水質実態調査研究	
H1	◀高温型燃料電池の研究開始	◀固体電解質型基盤技術研究開始
2	高性能固体電解質型の開発評価研究	
3	熔融炭酸塩型燃料電池の評価研究	
4		
5		◀熔融炭酸塩型中間評価
6		1000kW級熔融炭酸塩型運転研究
7		(予定)
8		
9		

5 当社の研究開発の現状と今後の課題

燃料電池は、昭和56年から国の大型プロジェクトで省エネルギー技術開発を目指すムーンライト計画に取り上げられ、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）を中心にメーカー、ユーザーが一体となり、鋭意、研究開発が進められてきた。

当社は、他電力にさきがけて昭和48年にアルカリ型燃料電池の基礎実験に着手し、昭和53年からリン酸型燃料電池のシステム研究を行った。

昭和60年には国のムーンライト計画の1000kWリン酸型発電プラント運転研究を受託して国産技術の発展に寄与してきた。

平成元年からは、リン酸型よりも高効率が期待できる高温型燃料電池の研究に着手した。

これまでの研究開発状況および国の計画を第2表に示す。

(1) リン酸型燃料電池

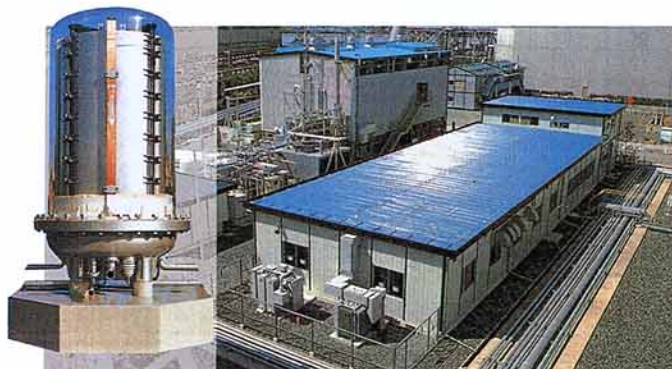
国のムーンライト計画の一環として開発された1000kW級燃料電池発電プラントは、知多第二火力発電所構内に第3図の発電プラントを設置した。

プラントは、昭和60年に建設工事を開始して62年12月に1000kWの定格発電試験に成功した。

その後、各種発電特性試験を実施して累積発電時間1018時間、累積発電電力量368,000kwh、発電回数46回、連続発電時間440 時間などを記録し、平成元年3月に研究を終了した。

純国産技術で作動条件が世界最高レベルのプラント開発に挑み、貴重な知見を得、その成果は、平成3年に開始した全電力会社が主体となって開発する5000kW級発電プラントの実証研究に引き継がれている。

一方、小容量機が技術的に実用レベルに達してきたことから、当社では50～200kW 機を平成4年度に3台試行導入し、うち1台を電力技術研究所へ設置する予定である。



第3図 1000kW級リン酸型燃料電池発電プラント

(2) 熔融炭酸塩型燃料電池

構成材料には比較的安価な金属材料が使用できるが、電解質は材料に対して腐食性の強いものを用いるため電池寿命や信頼性が最大の技術課題となっている。

これらの課題を把握するために第4図のような小型電池による発電試験装置を設置して、連続発電試験や温度特性、燃料利用率特性、排ガス組成分析など電池の基礎特性試験を実施している。これまでに累積1万時間の発電試験を行い各種基礎データを取得した。今後、加圧下での長時間の発電試験を実施し、材料の劣化状況や課題の摘出を行い、より高性能な熔融炭酸塩型燃料電池の開発に資する研究に取り組んでいく。

(3) 固体電解質型燃料電池

主要構成材料にセラミックスを使用して約1000℃で作動させる燃料電池で、排熱を有効利用した複合発電により高効率期待できることから活発に研究されているが、材料開発や電極製造技術など基礎研究の段階である。電池材料がすべて固体（セラミックス）であり、円筒型、平板型、一体積層型など種々の電池構造が考えられているが、当社では、コンパクト性が期待できる一体積層（MOLB：Mono Block Layer Built）型に着目し、第5図のような電池による発電試験を通じ、ガスシール性の改善、性能劣化挙動の把握、電極性能の向上に関する基礎データを取得した。

電池特性の中でも重要な経時特性試験では、電力技術研究所に設置した発電試験装置（75mm角×2段集合電池出力約3wの小型電池）で、1000℃の高温下で第6図のように約2130時間の長時間発電を記録し、固体電解質型の非円筒型では、世界最長レベルに達した。

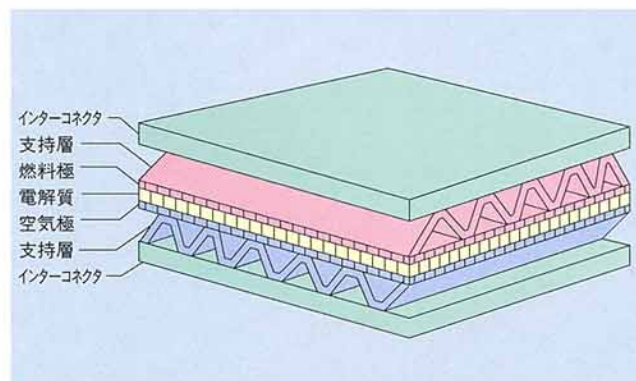
さらに、電池面積の大型化を図り、150mm角×40段集合電池で出力約400wの発電試験に成功し、引き続き

1kw級群電池の発電試験（第7図）に取り組んでいる。

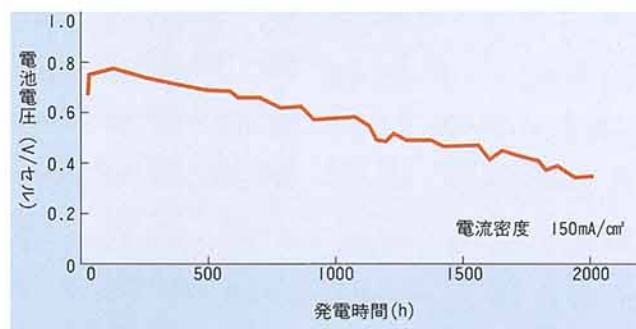
6 実用化に向けて

燃料電池は、多くの特徴を有しているため実用化が待たれてるが、コストの低減や信頼性の向上などの課題を乗り越えなければならない。

今しばらくの時間を要するが、水力、火力、原子力発電に次ぐ第4の発電方式を目指して積極的に研究開発を推進している。



第5図 MOLB型SOFCの構造
〔両極には波板状の支持層があり、ガスの通路となっている。またインターコネクタという導電性物質を電池間にはさんで電池を積層する。〕



第6図 連続発電試験結果



第4図 熔融炭酸塩型燃料電池



第7図 1kW級固体電解質型燃料電池