

次世代燃料電池の開発

Development of MCFC and PEFC Technologies

堀 美知郎
M. Hori

大岡 秀行
H. Ohzu

宗内 篤夫
A. Sounai

当社は、次世代燃料電池として熔融炭酸塩型燃料電池 (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cells) および固体高分子型燃料電池 (PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cells) に着目し、開発に取り組んでいる。

MCFCに関しては、セル技術を自主開発で、またセパレータ技術は通商産業省工業技術院ニューサンシャイン計画のなかで MCFC 研究組合から委託を受けて開発を進めている。構成部品については、1995 年までに 1 m²級の製造技術をほぼ確立した。これらの技術を結集して、1998 年には 1 m²級の 10 kW スタックを製作し、発電試験に供する計画である。

PEFC については、1992 年からニューサンシャイン計画に参画して開発を推進しており、1994 年には 1 kW 級スタックの発電に成功した。1996 年からは 30 kW 級のスタック検証を旨とした開発を進めている。

Toshiba has been developing cell technologies for molten carbonate fuel cells (MCFCs) using its own funds and separator technologies under the New Sunshine Program of the Agency of Industrial Science and Technology of the Ministry of International Trade and Industry. We have already developed the manufacturing technologies for such parts of 1 m² class. In order to comprehensively verify these technologies, we plan to fabricate a 1 m²-class substack and to generate electricity of 10 kW in 1998.

Under the New Sunshine Program, our company has also been developing polymer electrolyte fuel cells (PEFCs) since 1992. In 1994, we fabricated a substack and succeeded in generating electricity of 1 kW class. From 1996, we are beginning the development of a 30 kW-class PEFC power system.

1 まえがき

次世代型と称される燃料電池のうち、MCFC は作動温度が 650°C という高温レベルにあるため、排熱を利用した複合発電が可能であり、高効率の発電プラントへの期待がもたれている。当社は、1987 年から MCFC の自主開発を推進してきた。現在は、ニューサンシャイン計画の“熔融炭酸塩型燃料電池発電システムの研究開発”の中で、“セパレータ機能部材技術”を受託し、また、1,000 kW パイロットプラントの“排熱回収設備”について MCFC 研究組合からの研究委託を受けている。

一方、PEFC は 100°C 前後の低温で作動するため排熱の利用には難点があるものの、出力密度が高くコンパクト化が期待できることから、移動用と小型定置用への適用が検討されている。当社は、1991 年に PEFC の開発に着手し、1992 年からはニューサンシャイン計画に参加して、定置用電源を旨としたスタックの開発を進めている。1994 年には 1 kW 級スタックの発電に成功しており、1996~2000 年にかけては、30 kW 級オンサイト用のプラントおよびシステムの開発を進める計画である。

ここでは、当社における次世代型燃料電池の開発状況と開発成果の一端を紹介する。

2 MCFC の開発

2.1 セル長寿命化に関する開発

図 1 は、当社のセル技術の変遷を常圧小型単セル試験の結果として示したものである。1990 年までに開発した仕様のセルでは、電圧低下速度は 10 mV/1,000 h であったのに対し、1994 年に策定した仕様のセルでは、8,000 時間運転の途上ではあるが、性能にほとんど劣化は見られない。

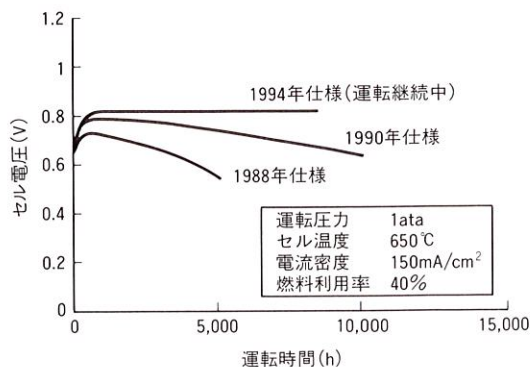


図 1. セル技術向上の実績 小型単セルを用いて電圧の経時変化の要因を把握しながら改良を重ねた。1994 年仕様ではマトリックスの改善の効果が大きくみられる。

Progress of single-cell performance

1990年から1994年にかけてセル性能が安定した大きな理由に、電解質板マトリックスの改善があげられる。図2に、1990年仕様と1994年仕様の両マトリックスを実機模擬雰囲気下にて約6,000時間保持した後の電子顕微鏡写真を示す。1990年仕様のマトリックスでは基材に γ -LiAlO₂を用いており、前述の保持時間後に基材の粒径が粗大化しているのに対し、1994年仕様のマトリックスでは基材に α -LiAlO₂を用いており、こうした粗大化はみられない。また、セル長寿命化にとってマトリックスの安定化とともに重要な課題である電解質中へのカソード材の溶け出しについても、当社はすでに加圧下で20,000時間以上の寿命の見通しを得ている。

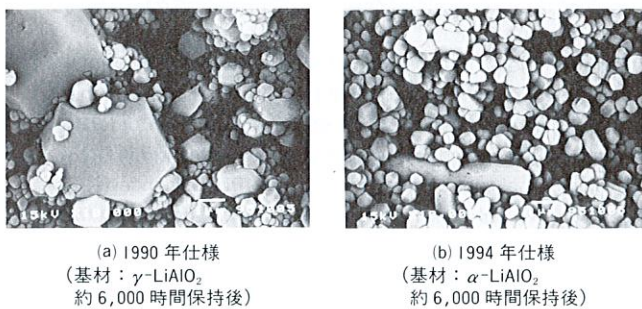


図2. マトリックスの安定化 マトリックス基材であるLiAlO₂の粗大化が抑制できるようになり、セル性能が安定化できるようになった。
Stabilization of matrix

2.2 スタック構造要素の開発

スタックは、セル（電極および電解質板）とセパレータとを積層したものである。その高性能・長寿命化にとっては、①個々の部品の健全性、②セルエッジ部でのシール機能、③反応部での電気的接触機能、④スタック全体にわたる反応場と温度場の均一化、が重要な課題である。①を除く課題はすべてセパレータ構造にかかわる課題であり、スタックの成否は、セパレータの開発にかかっていると云える。

図3に、当社が開発を進めているセパレータを組み込んだスタックの構造概念を示す。このセパレータは、すべて板厚0.3~0.4mmの薄板で柔軟に構成されており、“柔構造セパレータ”と呼ぶ。柔構造セパレータの採用により、エッジ部のガスシールと部材間の電気的接触の向上、およびスタックのコスト低減が図られるものと期待される。

このセパレータのエッジ部は、図4に示すように、スプリングが挿入され、あらかじめ起電部より高く設定されている。スタックを締め付けるとスプリングがたわんで、エッジ部と起電部の高さがそろい、全面にわたって所定の面圧が付与される。その結果、エッジ部では溶融した炭酸塩が電解質板とエッジ板との間を一様に濡らし、良好なウェ

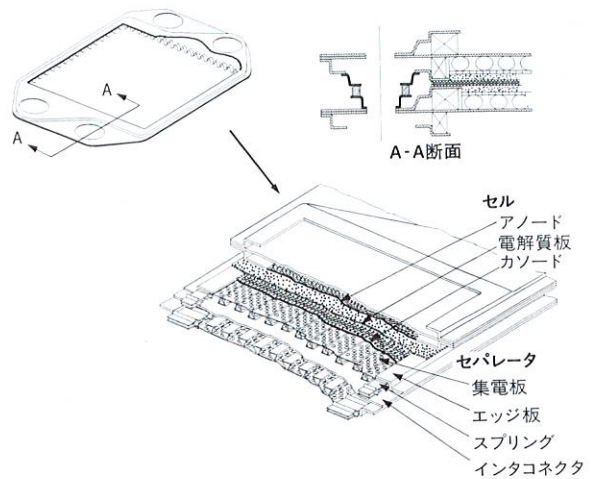


図3. 柔構造セパレータを組み込んだスタックの構造概念 セパレータは板厚0.3~0.4mmの部品だけで構成し、軽量化と低コスト化に注力。

Schematic illustration of stack composed of flexible separators

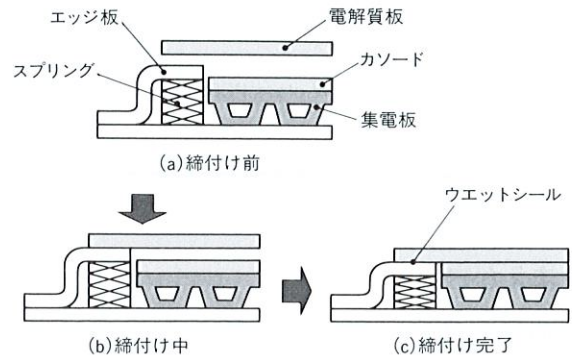


図4. 柔構造エッジのシールの構成 エッジ部にはスプリングを挿入し、プラントの起動・停止時に発生する熱変形や運転時のクリープ量を吸収する役目を担わせている。集電板はセルを支持するとともにガス流路を兼ねる。

Wet seal behavior of flexible edge

ットシールが形成される。

このセパレータに関して、当社は、ニューサンシャイン計画の下で開発を進めており、部品レベルでの開発は1995年までに終了し、発電検証に入っている。

図5に、柔構造セパレータを組み込んだ反応面積1,200cm²の3セル・スタックの発電試験の途中経過を示す。マトリックスとしては、従来の γ -LiAlO₂基材のものを組込んでいます。現在、8,000時間の発電を超えて運転中である。この間、4回の熱サイクルをかけているが、エッジシールなどのセパレータの機能は健全に維持されている。発電開始当初に電圧低下の傾向が見えているが、これはスタックの加湿に用いていた水の影響であり、加湿水の純度を上げてからは電圧が回復している。熱サイクルによる電圧低下ではないことが確認されている。

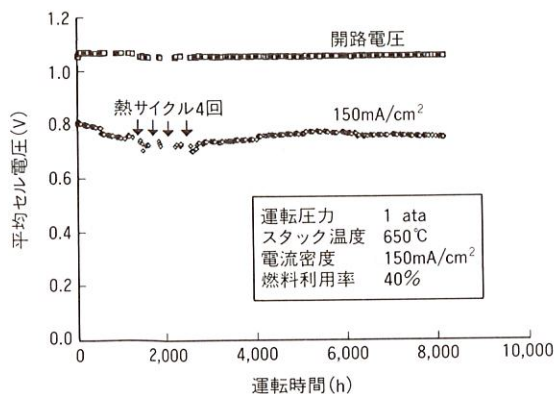


図5. 柔構造セパレータの機能検証 熱サイクル4回を含む8,000時間の経過後もセパレータの機能は健全に維持されている。

Functional verification of flexible separator

2.3 製造プロセス技術の開発

セルおよびセパレータの要素開発の成果を実用に供するためには、製造プロセス技術の開発が重要である。現在、当社は、アノード、カソード、マトリックスおよびセパレータのすべての部品について1m²級の製造が可能な設備を設置している。試作を目的とした装置ではあるが、年間200kW程度のスタック部品の製造にも対応できる。図6は、当社が保有するドクタブレード装置であり、この装置を用いて1.2m幅の1994年仕様マトリックス(基材: α-LiAlO₂)を製造する技術をすでに確立している。

製造プロセス技術とともに、当社では、1m²級の部品の品質管理法の確立にも注力している。この一環として、1995年には、スタックに組み込む電極の品質を管理するために、渦流探傷技術を用いた非破壊の気孔率分布測定器を開発した。また、同年に、図7に示す三次元寸法測定装置を導入し、1m²級のセパレータの高さの分布を精度よく測定できる

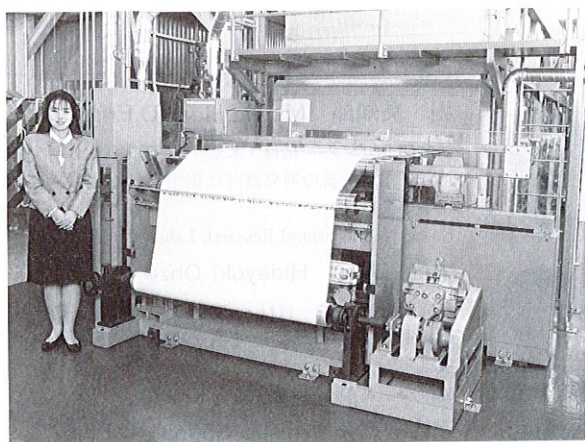


図6. ドクタブレード装置(マトリックス製造用) 1994年仕様(粒成長対策済み)の1.2m幅マトリックスの製造技術を確立。

Doctor blade machine for matrix-tape casting

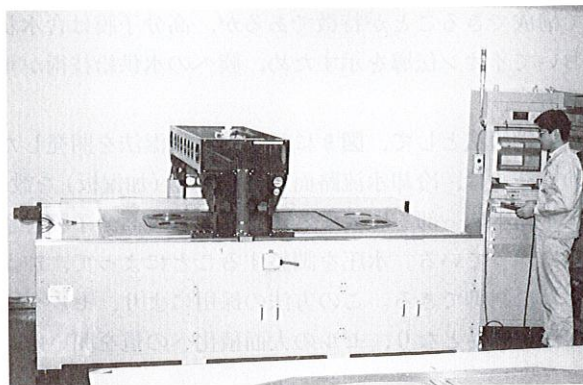


図7. 三次元寸法測定装置 フルサイズセパレータの高さの分布を精度よく測定できる。

Equipment for measuring parts in three dimensions

ようになった。

2.4 スタックの開発

当社が開発を進める柔構造セパレータは薄板だけで構成されているため、実運転時の耐変形性の確認を行った。具体的には、図8に示すように、1m²級の柔構造セパレータを組み込んだ2セル・スタックを製作し、それを用いた熱負荷試験によって構造の健全性を確認した。1998年には、柔構造セパレータと最新の起電部品を組み込んだ1m²級スタックを製作し、発電試験に供する計画である。

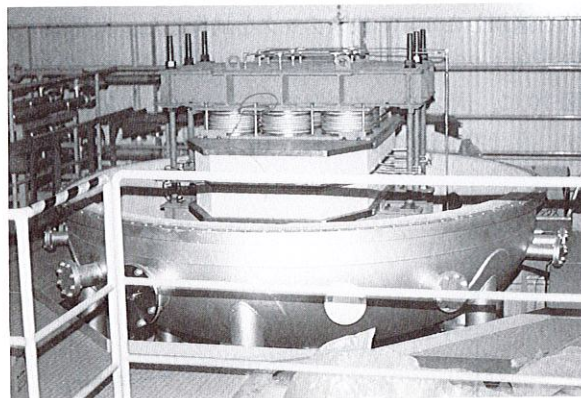


図8. 1m²級スタック試験装置 1998年の1m²級スタックの発電試験に向けて、セパレータの構造健全性を確認中。

Mounting of 1 m²-class stack on test stand

3 PEFCの開発

3.1 基本セル構成の開発

当社はPEFC技術を小型定置用電源に適用するための開発を進めている。一般にPEFCの電解質には、パーフルオロスルホン酸高分子膜が用いられており、セル全体が固

体で構成できることが特徴であるが、高分子膜は含水状態においてイオン伝導を示すため、膜への水供給技術が重要である。

水の供給法として、図9に示す内部加湿法を開発した。この方法では、冷却水流路面に多孔質体(加湿板)を設け、セル冷却水の一部を圧入することによって高分子膜を含水状態に保っている。水压を調整することによって、加湿量も容易に制御できる。この方法の採用により、セル全面への加湿が容易となり、セルの大面積化への道を開いた。

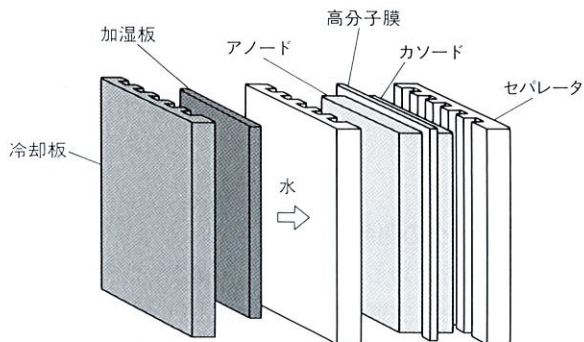


図9. 内部加湿機構を含む電池構成 この機構の採用により、大面積セルへの均一な加湿量の制御が可能となった。
Schematic illustration of internal humidification

3.2 小型1kW級スタックの開発

当社は、ニューサンシャイン計画の下で、前述の内部加湿法を適用した1kW級スタックを試作した。世界最大級の電極面積1,200 cm²をもつ電池を5枚積層したものである。

図10に、同スタックの発電結果を電圧-電流特性として示す。設計電流値である480 A (0.4 A/cm²)での平均セル電

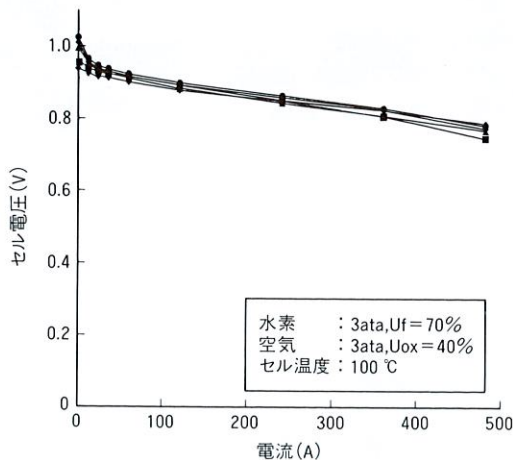


図10. 1kW級スタックの電圧-電流特性 1,200 cm²の電極面積をもつ電池を積層して1.8 kWの出力を達成した。
Performance of 1 kW-class stack

圧は0.77 V、平均出力密度は0.31 W/cm²である。この出力密度は他の燃料電池に比べてかなり高い。出力は1.8 kWであり、ニューサンシャイン計画の目標値を達成できた。

こうした初期特性を長時間維持するためには、なおいっそうの研究が必要である。今後は、スタックの高積層化と併せ、セルの長寿命化にも注力していく。

3.3 システムの検討

改質器、CO変成器などからなる燃料処理系を含むシステムについて、基本特性である発電効率の検討を行った。電池の条件としてセル電圧を0.75 V、冷却水入口温度を100°C、酸素利用率を50%とした検討では、水素の利用率が72%で物質・熱は収支し、オンサイト用リン酸型燃料電池システムの発電効率とほぼ等しい、直流発電端効率42.5%、交流送電端効率37.5%という結果を得た。

4 あとがき

当社では、MCFC、PEFCの電池開発に際して、要素研究の段階から研究部門と設計・製造部門の合同体制を組み、実用技術の探求と充実に努めており、独自性のある高度な技術を蓄積しつつある。

両方式の電池とも、その本格的な商用化の期待は21世紀であるが、当社はリン酸型電池の開発経験をこれら次世代型電池の開発にも生かすとともに、つねに技術の本質に目を向け、着実な歩みを続けたいと念じている。

謝辞

紹介した研究の多くは通商産業省工業技術院ニューサンシャイン計画の一環として、MCFCはNEDOの委託研究に基づくMCFC研究組合からの分担研究として実施し、PEFCはNEDOの委託研究として実施したものである。ここで関係各位に深く感謝するしだいである。



堀 美知郎 Michio Hori, D.Eng.

研究開発センター 機械・エネルギー研究所主任研究員、工博。発電用機器の開発設計に従事。日本機械学会、電気化学協会会員。

Energy & Mechanical Research Labs.



大図 秀行 Hideyuki Ohzu

研究開発センター 材料・デバイス研究所主任研究員。燃料電池の研究に従事。応用物理学会、日本金属学会会員。

Materials & Devices Research Labs.



宗内 篤夫 Atsuo Sounai, D.Eng.

研究開発センター 機械・エネルギー研究所主任研究員、工博。燃料電池の研究に従事。電気化学協会会員。

Energy & Mechanical Research Labs.