

付 録

もうひとつの高温型 燃料電池 SOFC

固体酸化物形燃料電池（SOFC）はMCFCより高温の700～1,000℃で動作する燃料電池で、国のプロジェクトでも開発が進められている。電池構造、材料、運転温度などについて様々なバリエーションが提案されており、MCFCより高効率となる可能性がある。当研究所では、1,000℃動作、オールセラミックス製で、低コスト化が期待できる、独自の電極支持型SOFCを開発中である。これはこれまで蓄積してきた材料技術に基づくものであり、先頃のセラミックスインターコネクタの開発によって大きく進展し、小型のスタック試験にまで至っている。今後、大型化を進めていく予定である。

横須賀研究所 エネルギー材料部 主任研究員 山本 融
 エネルギー機械部 主任研究員 森 則之
 エネルギー材料部 主任研究員 伊藤 響

付 - 1 SOFC の特徴と位置づけ 99
 付 - 2 基盤技術への取り組み 104



山本 融（1993年入所）
 これまで、SOFCに関する研究に携わり、電池を構成する材料の開発と材料の劣化メカニズムの解明に取り組んできた。今後は、SOFC発電技術の実用化に向け、電池の運転評価技術ならびに性能評価手法の開発に取り組んでいきたい。
 （付-1-1、付-1-2執筆）



森 則之（1987年入所）
 高温ガスタービン用セラミック燃焼器、セラミック静翼、SOFCセル・スタックなどの開発、SOFC発電システムの性能解析に関する研究を行ってきた。現在、ガスタービンのモニタリング技術に関する研究を行っており、その成果の実用化を目指す。
 （付-1-3執筆）



伊藤 響（1990年入所）
 これまでSOFC関連研究では、製造コスト試算、燃料極材料の長期安定性向上を中心とする構成材料の研究、ならびに材料面からのスタック化技術開発に取り組んできた。今後は、当研究所が提案する燃料極支持形SOFCの実現を目指し、引き続きスタック化技術の開発に取り組んでいきたい。
 （付-2執筆）

付録 - 1 SOFC の特徴と位置づけ

付-1-1 SOFC の特徴

SOFCは、セラミックスの電解質を使用し、燃料電池の中では最も高い温度領域（700～1000℃）で作動することから、高効率な発電システムの構築が期待されている。SOFCは、セルスタック構造の違いから、平板構造と円筒構造に大別されるが、基本的にはアノード（以降、燃料極）、カソード（以降、空気極）、および電解質からなるセラミックス製の単電池（単セル）が、インタコネクタ（MCFCのセパレータに対応する。SOFCでは、このように呼ばれることが多い）を介した連結構造を有する。（付図1-1）

SOFCの作動温度は、一般に電解質の種類と形状によって決まる。現在、技術的な成熟度が高く一般的に用いられているイットリア安定化ジルコニア（YSZ）の場合、作動温度は1000℃である。その特徴を以下にまとめる。

1 セラミックスを用いた全固体での電池構成が可能な

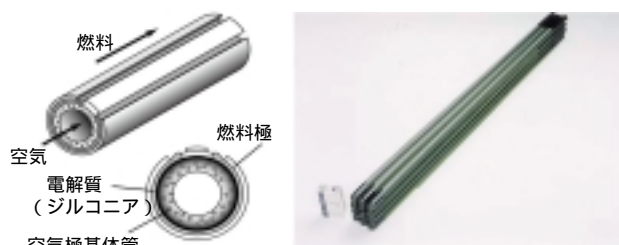
ことから、高温動作が可能な多様な電池形状をとることができる。

2 高温動作が可能なことから、高出力密度と高い発電効率が期待できる。

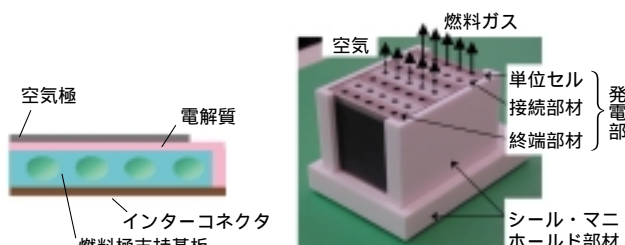
3 電池反応が容易に進行することから、貴金属を使った触媒電極が不要になるとともに、内部改質が可能なことから、水素以外にも、天然ガス、石炭ガスなども直接燃料にできる。

4 電解質をはじめとする材料が固体であるため、腐食や電解質の散逸が無く、長期間安定した運転が可能となる。

5 高温排熱を改質反応やガスタービンの駆動にも有効に使えるため、高い発電効率のコージェネレーションシステムやコンバインドシステムの構築が可能となる。これらのうち、固体であることに起因する1、4の特徴はMCFCには無いものであり、MCFCでは構成材料やスタック構造などのコンセプトが確立されているのに対し、SOFCでは、その構成材料、電池構造などについて



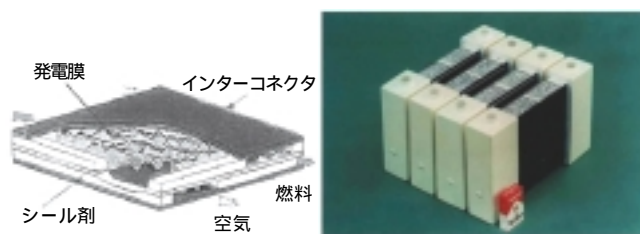
1 縦編円筒型SOFC（東陶機器）
多孔質の円筒管上に単電池が
一個形成されている



3 電極支持型SOFC（当研究所）
多孔質電極基板上に単電池とイン
ターコネクタが形成されている



2 横編円筒型SOFC（三菱重工／電源開発）
多孔質の円筒管上に単電池が複数個形成
されている



4 一体焼結型SOFC（三菱重工／中部電力）
立体形状の単電池とインタコネクタに
より形成されている

(a) 円筒型

(b) 平板型

付図1-1 SOFCの種類と特徴
（産業技術総合研究所のホームページなどより）

て様々な方式が試みられている。SOFCはこれまでの国内外の研究開発により、電池本体の技術完成度は着実に高まっており、高発電効率システムとしての早期の実用化が期待されている。

付-1-2 外部機関の動向

SOFCの開発では、米国のWestinghouse Electric社（現Siemens Westinghouse Power社、SWP社）が20年以上にわたり、定置用としての開発を中心に世界をリードしてきた。SWP社は、円筒軸方向にインタコネクタを配置した縦縞型と称される円筒型SOFCの開発を進めている。SWP社は、1997年に日本で東京ガスと大阪ガスと共同で実施した25kW級常圧型モジュールの発電試験の後、1997～2000年には、オランダにおいて、100kW級常圧型のコージェネレーションシステムの実証試験を実施している。その後、このシステムは、ドイツに移設され、2万時間以上の累積運転時間を達成した。また、2000年には、米国内において、世界で初めてとなる200kW級加圧型SOFCとマイクロガスタービンのハイブリッドシステムの実証運転に成功している。現在は、加圧型SOFCマイクロガスタービンハイブリッドシステムの商用化に向けた開発研究を進めている。

当初、SOFCの開発は、定置用の電力会社向けを想定して始まったが、現在では様々な用途への適用拡大も指向されている（付表1-1）。ここ数年、世界的には、数

kW～数10kWクラスの小型定置用SOFCの研究開発を中心とした流れがある。カナダのGlobal Thermoelectric社や、ドイツのSulzer Hexis社などは、急速に家庭用や小型定置用の平板型SOFCの研究開発を進めている。これらの電池は、電解質の基板の上に空気極と燃料極を形成した自立膜（電解質支持）平板型電池と、ガス流路を加工した金属製のインターコネクタから構成されている。

米国では、SECA（Solid State Energy Conversion Alliance）プログラムと称して、様々な用途に適用可能な小型スタックを開発し、大量生産による低コスト化を図ることを目的に、国家的規模で研究開発を進めている。SWP社は、商用化を目的に小型定置用ではFuel Cell Technology社と、運輸分野ではFord社とともにSOFCの高出力・低コスト化を目指している。

我が国においては、1981年度からムーンライト計画にとりあげられて、研究開発が進められている。1989年度からは、NEDOの研究開発計画として数100W級の電池本体の研究開発が行われ（Ⅰ期）、その後1992年度から2000年度まで、燃料電池本体のコスト低減と信頼性確立に重点を置いた開発が行われてきた（第Ⅱ期）。この中で、東陶機器（株）、新日本製鐵（株）、九州電力（株）は、共同で、SWP社と同様の円筒型SOFCの開発を実施してきた。また、三菱重工業（株）と中部電力（株）は、共同で開発を進めている平板型（MOLB Mono Block Layer Built型）SOFCスタックによる熱サイクル試験や負荷追従性の検討を進めた。当研究所も低コスト化の

付表1-1 各開発機関のSOFC開発状況

機 関 名	目標時期	開 発 状 況
中部電力+三菱重工業	2005	2004年まで50kW級システムの評価
関西電力+三菱マテリアル	2007	2006年まで数kW低温作動型システムの開発
電源開発+三菱重工業	2006	円筒縦縞型100kW天然ガス利用システム
JFEエンジニアリング	2004～2005 (試験用販売)	Fuel Cell Technology社製Flat-plateセルまたはSWP社製縦縞円筒形利用、数kW～MW級までをラインアップ、5kW級で300kg、170×70×60cm程度
東陶機器	2004	NEDOプロでの10kW級システム、NEDO以外でマイクロチューブ型を開発
京セラ	2003	電極支持型による家庭用システム
東邦ガス	2005	スカンジウム安定化ジルコニア電解質の単セルを用いた商品化を大手電機と共同開発
Sulzer Hexis社	2001以降	電極支持型単セル+金属セパレータ使用950 作動、電気1kW+温水3kW家庭用システム
Siemens Westinghouse Power社(独、米)	2004	縦縞円筒型構造、250kW～1MW級SOFC+MGT加圧ハイブリッドシステム実用化、2010年までに低コスト化
Delphi社(米)(+BMW)	2006～2010	商用・軍用車載用補助電源、固定用電源5kW級で70kg/44L
Global Thermoelectric社	2007	低温作動電極支持型、Delphi社にスタック供給
Acumentrics社(+住友商事)	2004	円筒マイクロチューブ形、家庭・飲食店、通信事業用1～250kW級システム
Rolls & Royce	2007	電極支持型で1MWSOFC+MGT

観点から、安価な粗製ランタンを用いた電池構成の可能性の検討を実施した。

この成果を基に2001年度から4年間の計画で、東陶機器が円筒型を、三菱重工業(株)と中部電力(株)が平板型スタックを用いて、実用システムに適用できる高信頼性、拡張性および経済性を有する熱自立モジュール(10数kW級)の開発が進められている(第III期)。また本計画では、SOFCの使用範囲の拡張を目指した適用性拡大に関する要素研究も、三菱重工業(株)ならびに東京ガス(株)によって行われている。さらにNEDOは2004年度から、新たに市場導入を念頭においた各種SOFCシステム開発と、フィールド試験を含めたSOFC性能評価技術の開発を実施する予定である。

SOFCの実用化に向けた課題としては、材料開発も含めての電池性能の向上、分散電源用途に適用可能なセルスタックの大出力化、それらを低コスト・高信頼性をもって実現可能な基本システム構成の検討などが挙げられる。

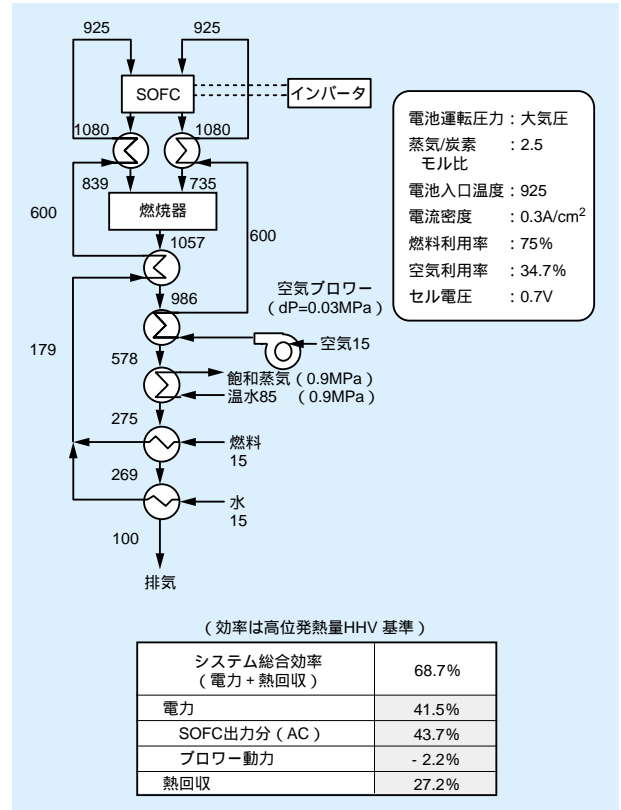
付-1-3 SOFC 発電システム

SOFC 発電システムは、MCFCと同様に多様な燃料を利用でき、また電池からの高温排ガスを用いての複合発電や熱供給が行えるので、様々なシステム構成が提案されている。ここでは、天然ガスを利用して、高温排ガスで複合発電を行う場合と、熱供給を行う場合の各システム、ならびに石炭ガスを利用する場合のシステムを例示しながら、SOFC 発電システムの特徴を紹介する。

(1) 常圧熱供給システム

まず、当面の導入形態と考えられる常圧システムとして、熱を供給するシステムを、付図1-2に例示する⁽¹⁾。付図1-2は、天然ガスを電池内部で改質する常圧作動のSOFCを用いて、0.9MPaの飽和蒸気を発生するシステムである。熱回収量は回収を行う媒体温度により変化し、媒体を蒸気とするよりも温水とした方が熱回収量を多くできる。しかしながら、高温の媒体ほど熱としての利用価値は高くなるので、ここでは二重効用吸収式冷凍機が駆動できる条件、すなわち冷房需要にも対応できる熱回収条件で性能解析を行っている。

このシステムでは、電池の電気出力が加圧時よりも低下し、空気供給にブロウ - 動力が必要であるため、発電



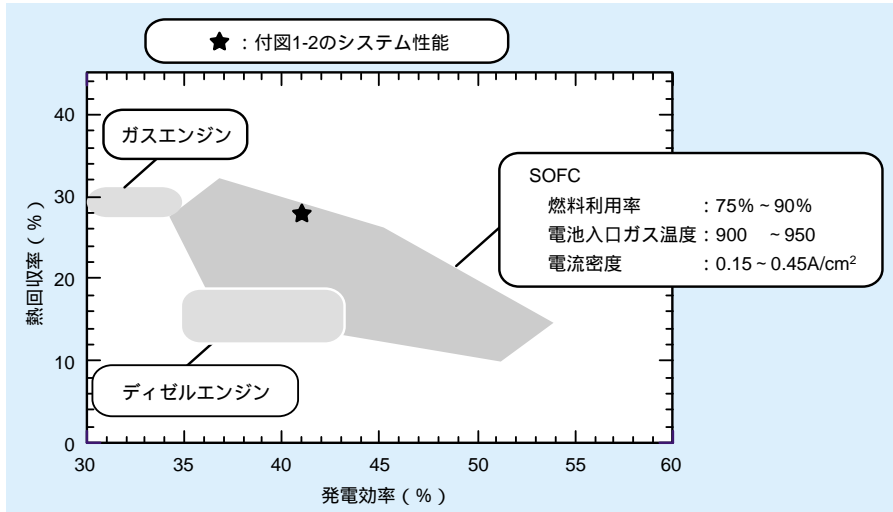
付図1-2 熱供給を行う内部改質型常圧作動SOFC発電システムの例(天然ガス燃料)

効率は40%程度となった。また回収できる熱量は約30%であり、総合効率は約70%との結果が得られた。

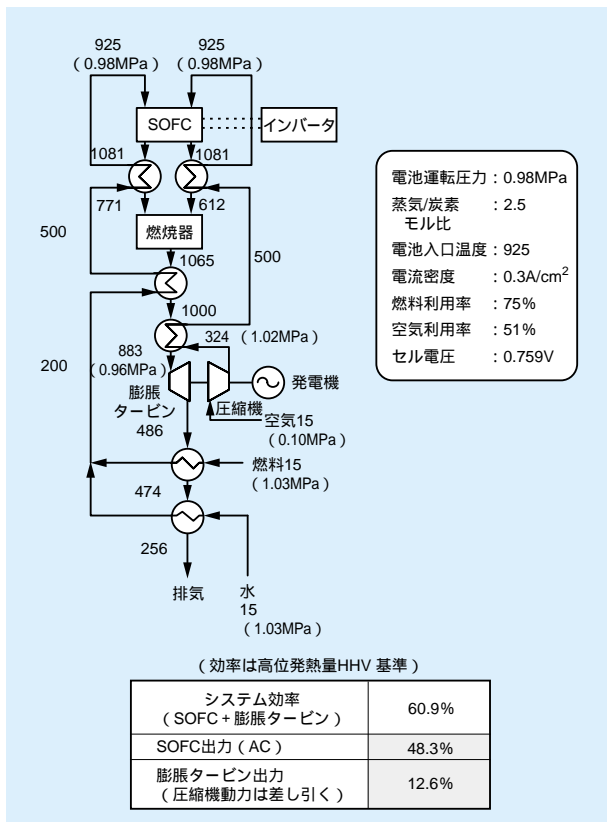
付図1-2のシステムでは、SOFCの運転条件である電池入口温度、燃料利用率、電流密度を変化させることで、電気出力および熱回収にかかわる効率に変化する。その検討結果を、付図1-3に示す⁽²⁾。熱供給を行うSOFCシステムの発電効率は最大50%程度まで見込めることがわかる。このようにSOFCでは、既存の発電装置よりも、高い発電効率を維持しつつ、さまざまな熱回収率でシステムを構築できる可能性がある。

(2) 内部改質型加圧発電システム

次に、より高効率発電を目指した将来型のシステムとして、天然ガスを燃料とし、SOFCと膨張タービンで発電を行うシステムの構成例、ならびにシステム性能の解析結果を付図1-4に示す⁽¹⁾。このシステムでは、電池内部で天然ガスを改質し、加圧で運転できるSOFCを想定している。性能解析では構成、運転条件などの最適化が図られていないが、約60%のシステム効率を期待できるとの結果が得られている。



付図1-3 熱併給を行うSOFC発電システムの性能⁽²⁾⁽³⁾



付図1-4 内部改質型加圧作動SOFC発電システムの例 (天然ガス燃料)

また、図から分かるように、MCFC 発電システムと異なり、SOFC では電池からの排気ガスをリサイクルする必要がない。それは、電解質中の電荷移動体となる酸素を大気から供給でき電池排ガスを再利用する必要がないこと、SOFC の作動温度 (900 ~ 1,000) は、燃料改質に適した温度であり電池内部で直接燃料を改質するこ

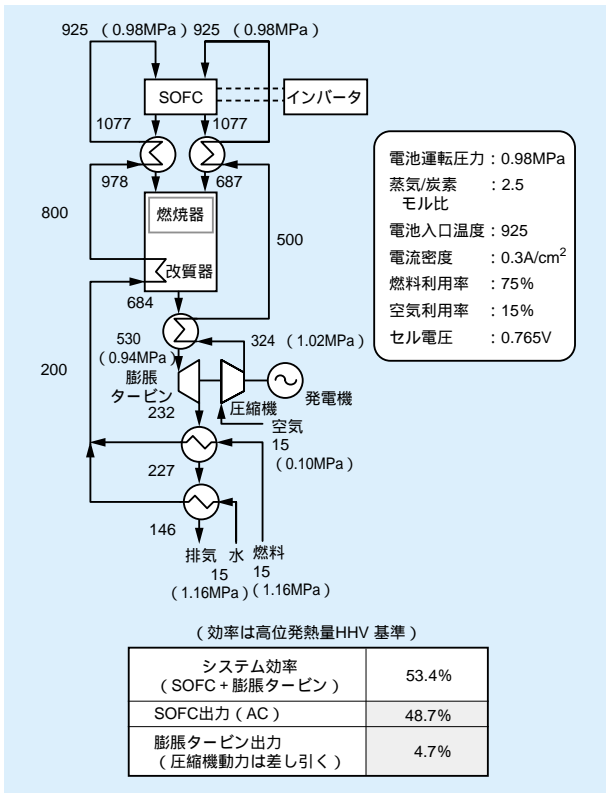
とで電池冷却の効果が期待できること、が理由である。

(3) 外部改質型加圧発電システム

システムにおよぼす内部改質の効果を例示するため、外部改質を行った場合のシステムを付図 1-5 に示す⁽³⁾。付図 1-5 には、燃料供給、SOFC の出入口ガス温度などの条件を付図 1-4 と同一とし、解析を行った結果も示す。外部改質を行うシステムでは、内部改質の場合よりも電池冷却に大量の空気が必要となるため、空気供給にかかわる圧縮機での消費動力が増え、かつ膨張タービン入口でのガス温度が著しく低下する。このため圧縮機動力を差し引いた膨張タービンからの電気出力は著しく低下し、ひいてはシステム全体の効率を引き下げることになる。もし、付図 1-5 でカソードガスのリサイクルを行えば、外部から供給する空気流量を大幅に減らすことができ、内部改質の場合とほぼ同じシステム効率を得られる。しかし、システム構成機器は増えることとなる。以上から、SOFC では、膨張タービンと組合せ、かつ電池内部で燃料改質を行うことにより、高効率のシステムを比較的単純な構成で構築できることがわかる。

(4) 石炭ガス化複合発電システム

最後に、石炭ガスを燃料とする SOFC 発電システムの性能解析結果を紹介する。石炭ガスを燃料とする場合には天然ガスと異なり、燃料改質が不要となるので、内部改質による電池冷却ができない。したがって、外部からの流入空気量を減らしてシステム効率を高めるために、



付図1-5 外部改質型加圧作動SOFC発電システムの例 (天然ガス燃料)

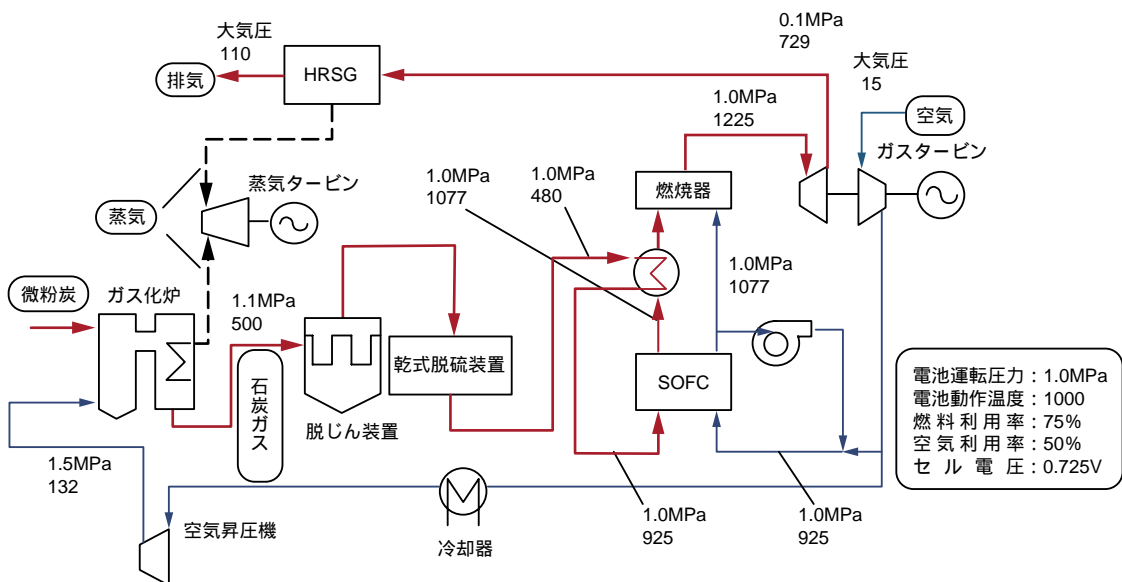
カソードガスのリサイクルによる電池冷却が必要となる。石炭ガス利用のシステム構成例を付図1-6に、性能解析の結果を付表1-2に示す⁽⁴⁾。図は微粉炭を空気でガス化し、生成したガスを、高温ガス精製(乾式)システムで脱じん、脱硫するシステムである。また、発電出力は、

付表1-2 石炭ガスを燃料とするSOFC発電システムの性能

石炭供給方法	微粉炭 空気搬送	微粉炭 窒素搬送
ガス化剤	空気	酸素
ガス精製方式	乾式	湿式
発電端効率(HHV基準)(%)	58.6	60.3
送電端効率(HHV基準)(%)	53.4	53.2
出力 (%)	SOFC	28.1
	ガスタービン	13.9
	蒸気タービン	16.6
	所内動力	- 5.2

SOFC、ガスタービン、蒸気タービンから得られる。表では微粉炭を酸素でガス化し、湿式でガス生成した場合の性能もあげているが、いずれのシステムでも50%を超える送電端効率が期待できる。

以上、SOFC発電システムの可能性について紹介した。SOFC発電システムを実現するためには、電池以外に燃料、空気を電池入口温度まで予熱する高温熱交換器が不可欠となる。数百kW級のSOFC発電システムを実証したSWP社では、セルが円筒形状であることを活かし、高温熱交換器を電池と一体構造とすることで、この問題に対処している。一方、セルが平板形状のSOFCでは、別途高温熱交換器を設備する必要があるため、SOFC本体とともに高温熱交換器の開発が必須と考えられる。



付図1-6 石炭ガスを燃料とするSOFC発電システムの例

付録 - 2 基盤技術への取り組み

本節では、当研究所が開発を進めている燃料極支持型 SOFC に関連するこれまでの研究成果ならびに試作スタックの発電試験結果について紹介する。

付-2-1 SOFC 研究開発の目標

当研究所では、1988年にSOFC発電に関する調査を実施し、高効率発電システムへのSOFCの適用とその実現には、1 高温（1,000℃）作動、2 全セラミックス製、3 低コスト製造技術の確立、を満足する必要があると結論づけ、当研究所におけるSOFCの開発目標とした。

第一の目標である高温作動は、電解質が良好な導電性を示す温度であることと、より高効率な発電システムの構築には有効利用できる排熱が高温の方が有利であるとの考えに基づいている。そして、この作動条件を満足するには、金属よりも耐熱性に優れたセラミックス系材料を適用していくという使用材料上の制約が加わって、第二の目標となった。また、当研究所がSOFCの研究開発に着手した当時、SOFC発電の実現性を示した米国 Westinghouse Electric 社（当時）製 3 kW 級スタックや旧電子技術総合研究所製 0.5 kW 級スタック等は、製造コストが極めて高く、SOFCの実用化には少なくとも製造コストを大幅に低減することが課題になっていた。そこで、SOFC発電の実用化に必要と考えられた低コスト化を第三の開発目標に加えることとした。当研究所では、SOFCの製造コストに関しては、2種類の構造のSOFCを三つの製造方法で量産した場合の各種費用（原・材料費、設備費、光熱費、労務費等）を試算して、低コスト製法を明らかにするとともに、原材料費の削減

や出力密度の向上が低コスト化に必要であるとの指針を得ている⁽¹⁾。

以上より、当研究所では、SOFC用セル材料の研究に重点を置きながら、セラミックス湿式法等の低コスト製造法の適用が容易で、比較的高い出力密度が得られると考えられた電解質支持型平板SOFCのスタック化技術の開発に着手した。

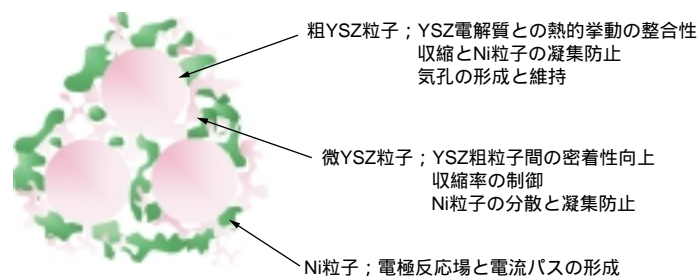
付-2-2 セルの高性能化技術

SOFC単セルの高性能化は、セル材料、セル構造、作製方法に関する最適化を進め、これらのベストミックスによってはじめて達成できる。

(1) 燃料極マイクロ構造の改良⁽²⁾⁽³⁾

研究開発の初期段階における解決すべき最大の課題は、十数時間で発電が不可能な状態にまでなる性能低下現象であった。特に、単セルに流れる電流を大きくすると、この性能低下は顕著に現れた。そこで、各電極について、カレント・インターラプション法を用いた発電時における電極特性の解析と発電前後における各電極のマイクロ構造変化の顕微鏡観察を実施した。その結果、空気極には問題がなく、燃料極の劣化が原因であることが分かった。

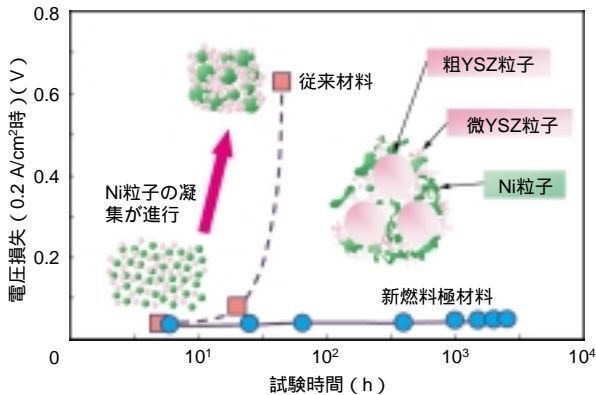
この劣化は、燃料極材料に用いるニッケル（Ni）粒子の熱凝集による材料全体の緻密化と電流パス切断の進行が原因である。そこで、これらの現象を抑制するために、燃料極に用いるYSZ粒子を従来の微細な粉末粒子から粗・微二種類のYSZ粉末粒子に変更し、付図2-1に示すような概念のマイクロ構造を提案した。このマイクロ構造



付図2-1 当研究所が開発した燃料極のマイクロ構造概念

では、粗・微 YSZ 粒子によって燃料極の骨格を形成し、特に粗 YSZ 粒子間に出来る粒間細隙に Ni 粒子と気孔を分散させて、連続的なつながりを維持している。また、微 YSZ 粒子は、粗 YSZ 粒子同士の接着性や燃料極と電解質との密着性の向上を果たす粉末である。

試作した燃料極材料を電解質板に塗布し、焼き付けて電解質支持型 SOFC 単セルの燃料極とし、燃料極における電圧損失の変化を測定した。付図 2-2 には、同一条件下で測定した新材料と従来材料の電圧損失の経時変化を併せて記した。新材料は従来材料と同等の性能を有しており、また長期安定性については大幅な改善がみられている。ただし、流れる電流を大きくする（電流密度でおおむね $1.2\text{A}/\text{cm}^2$ 以上）と、劣化が進行することもわかった。

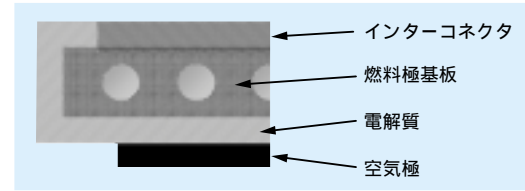


付図2-2 当研究所が開発した燃料極の電圧損失の経時変化

(2) 燃料極支持型 SOFC の提案

当研究所では、直径 40 mm の YSZ 電解質板を用いた電解質支持型構造の単セルにより、開発した電極材料の性能評価を行うとともに、単セルの大面積化を進め⁽⁴⁾、最終的にはスタックの基本構造となる単位セルを開発した（ここでは電解質と両電極から成るセルを単セルと呼び、これにインターコネクタを付けたセルを単位セルと呼んで区別する）。本単位セルでは、利用率・熱サイクル特性等を評価するとともに、材料やスタック構造に関する課題の抽出を行った⁽⁵⁾⁽⁶⁾。その結果、取り出せる出力に限界があり、高い加工精度が必要な部品点数が多い等の課題が見出された。

そこで、新たに燃料極支持型構造を提案⁽⁷⁾し、その開発に着手した。本構造では、付図 2-3 に示すように空気極よりも電気抵抗が低い燃料極で基板を作製し、これ



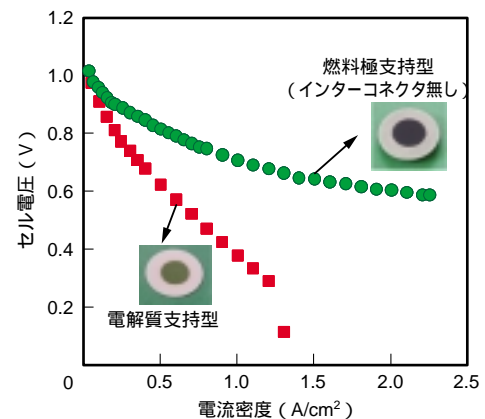
付図2-3 当研究所が提案する燃料極支持型SOFC（単位セル基本構造）

を電解質とインターコネクタ（I.C.）で包み込むように直接成膜し、さらに電解質膜上に空気極を成膜している。

この構造により、各部材での抵抗損失や燃料極/I.C.間の接触抵抗を最小限とし、電解質の密着効果によって電極反応場を増大させて出力の向上を目指した。また、当所開発の燃料極材料⁽³⁾⁽⁸⁾で作製した基板は、良好な熱伝導性が期待でき、強度と安定性にも優れるため、単セルでの温度分布を小さく抑えられ、セル破損も起こりにくいといった特長がある。

(3) 燃料極支持型単セルの試作と初期特性

燃料極基板への電解質の成膜では、低コストな成膜技術として陶磁器等で用いられる釉薬（うわぐすり）技術を応用したスラリーコート法を用い、緻密な膜を成膜することに成功した⁽⁷⁾。付図 2-4 では、同一材料で作製した電解質支持型、および燃料極支持型単セルの発電性能を比較して示している。新たに提案した SOFC は従来の SOFC に対して 3 倍以上の出力取り出しが可能であり、長時間安定性についても、従来のセルでは性能低下が生じた高い電流密度（ $1.2\text{A}/\text{cm}^2$ 程度）で通電しても、安定した発電状態を維持した。

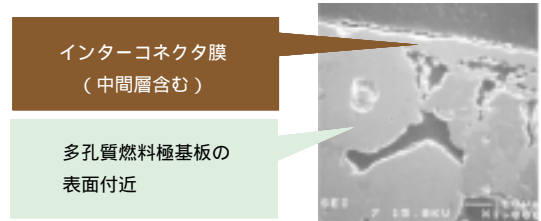


付図2-4 電解質支持型セルと燃料極支持型セル（インターコネクタなし）の発電特性

付-2-3 燃料極支持型 SOFC のスタック化技術

(1) インターコネクタ成膜方法の確立

当研究所が提案する燃料極支持形 SOFC において、多孔質燃料極基板表面上への緻密な I.C. の成膜は、単セル構造の成立性を左右するキーテクノロジーである。しかし、高温作動型 SOFC において I.C. 材料あるいはセパレータ材料として用いられるランタンクロマイトは、緻密に焼結させることが難しく、またスラリーコート法で成膜する際の熱処理工程で燃料極材料との間で進行する化学反応により、緻密膜を得ることが不可能であった。そこで、このような化学反応の進行を抑制し、かつ電気的に低抵抗で熱膨張挙動が整合する材料を中間層として見出し、付図 2-5 に示すような緻密な I.C. 膜を成膜することに成功した⁽⁹⁾。

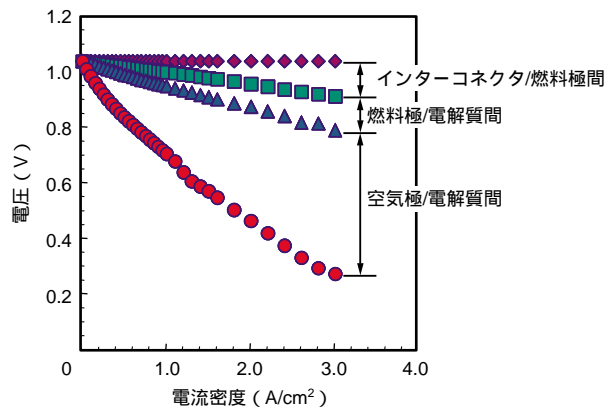


付図2-5 スラリーコート法で成膜した緻密インターコネクタ膜

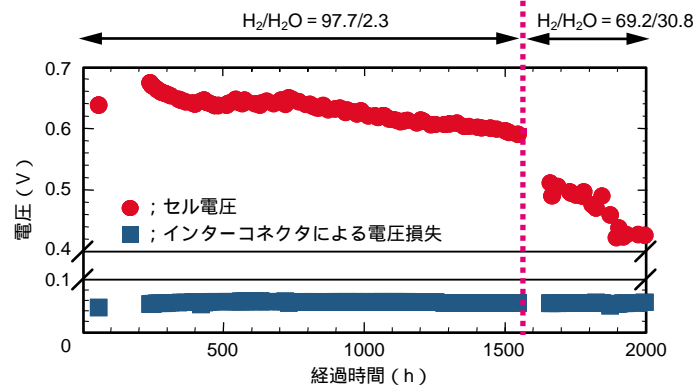
(2) 試作単位セルの発電性能評価⁽⁹⁾

I.C. 膜を成膜した単位セルの発電特性を測定した結果

(付図 2-6) 開回路電圧 (以下、OCV) が理論値 (約 1.07 V) と一致したことから、電解質や I.C. 膜でのガス漏れは生じていないことが確認された。また、電流密度が 2.0 A/cm² のときに最高出力密度 0.93 W/cm² が得られた。各部件での電圧降下を解析した結果、I.C. 膜/燃料極間および燃料極/電解質間での電圧降下はほぼ同じ値で全体に対する割合も小さいが、空気極/電解質間での電圧降下は、電圧降下全体のほぼ 2/3 を占めていた。また、電流密度 1.2 A/cm² 時での長時間安定性を確認した結果、測定開始初期に空気極の酸素不足比量の緩和現象および 700 時間経過以降に空気極の劣化によるセル電圧



(a) 発電初期における電流密度と各種電圧 (電圧ロス分) との関係



(b) 連続試験 (1.23 A/cm²) におけるセル電圧、インターコネクタでの電圧損失の変化

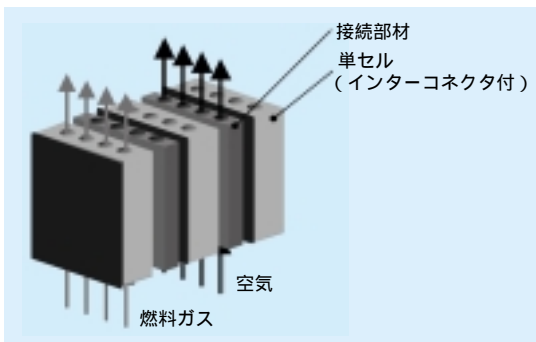
付図2-6 インターコネクタを成膜した燃料極支持型SOFCの発電特性

の低下が観察されたが、インターコネクタの経時劣化は確認されなかった。さらに、インターコネクタに用いられるランタンクロマイトは、一般に、高温で高加湿雰囲気下での分解が懸念されているが、開発したインターコネクタには性能低下がみられなかった。

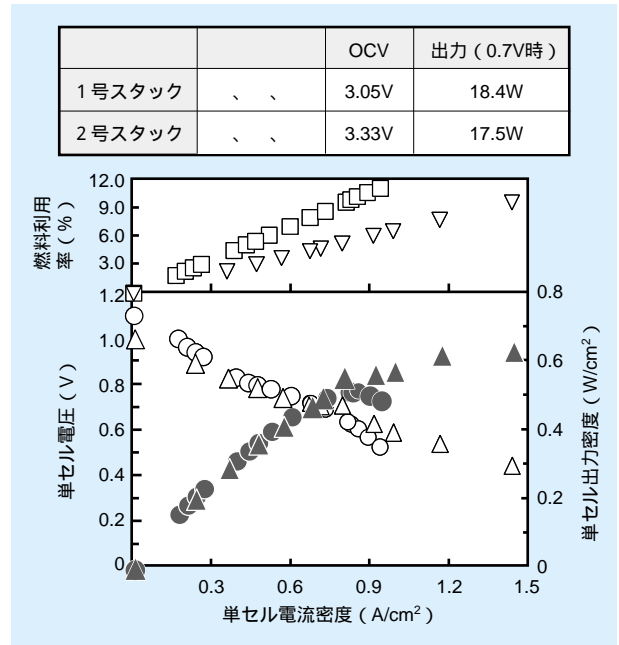
(3) スタックの試作と発電試験

現在、試作しているスタックは、セパレータ板を介して単セルを接続する平板形や金属フェルトを挿入して単セルを接続する円筒形と異なり、付図2-7のように空気極材料で作製した接続部材でI.C.付き単セルを連結して構成した。これは、空気流路の確保、同一部材⁽¹⁰⁾の接合による接触抵抗の低減、多孔性部品の挿入による柔構造化と熱応力等の緩和を目的としており、シールやマニホールド部材には雲母系ガラスセラミックス⁽¹¹⁾を適用して、スタックの全セラミックス化を図った。

これまでに、3セルスタックを試作して、発電試験を実施した⁽¹²⁾。使用部材を付表2-1に、発電特性を付図2-8にそれぞれ示す。1000において、燃料ガスとして加湿水素を、酸化剤ガスとして空気を、それぞれ供給し



付図2-7 3セルスタックの概念構造と試験前スタック
(付図2-1に試験前スタックの写真を図示した)



付図2-8 試作した3セルスタックの発電特性
(単セル換算値、本研究では2式のスタックを試作して、それぞれの発電性能を評価した。)

た場合、OCVが理論値と一致したことから、電解質・I.C.膜ならびにガスシール部分でのガス漏れはなく、構造の健全性が確保されていることが明らかになった。また、性能評価試験用小型スタックではあるが、約0.5 W/cm²(単セル電圧0.7V時)以上の出力密度が得られ、1,000作動のスタックでの発電性能としては、近年公表されている他機関のものよりも高い出力密度が得られた。

以上、当所独自のSOFC技術によって、高性能な小型スタックを再現性良く作製でき、1000作動・全セラミックス製SOFCの実現に対する目途が得られた。今後は、スタック構造の改良、ならびに単位セルの面積化を進めて、実用レベルでのスタック技術を確立して行く。

付表2-1 3セルスタックに使用した部材

部材名		構成する材料	備考
単セル	燃料極(多孔質基板)	Ni-YSZサーメット	当所開発
	電解質(緻密膜)	8YSZ	市販品
	空気極(多孔質膜)	ランタンマンガンナイト	当所開発
	インターコネクタ(緻密膜)	ランタンクロマイト+中間層	当所開発
接続部材(多孔質基板)		ランタンマンガンナイト	当所開発
終端部材(多孔質基板)		Ni-YSZサーメット+インターコネクタ膜	当所開発
シール・マニホールド部材		雲母系ガラス・セラミック	市販品