

## 技術研究開発長期計画の概要と燃料電池<平成13年度>

研究企画部 企画グループ  
電力技術研究所 エネルギーグループ 燃料電池チーム

### 1. 技術研究開発長期計画の概要

#### (1) 経営環境の変化と長期計画作成の必要性

電気事業を取り巻く経営環境は、電力小売分野の部分自由化やCOPに代表される地球温暖化防止策の具体的推進など大きく変化してきています。

一方、技術開発面では需要低迷に伴う電源開発の先送りや大規模工事の完工に伴い設備投資が低減し、主要な研究開発対象が減少傾向にあるなど、研究目標の立案が難しくなっています。

このような状況の中、従来の年度ごとに実施している個別件名主体の研究計画審議だけでは、的確な対応をしていくことが困難となってきたため、新しい事態に柔軟かつ戦略的に対応する方策が必要となっていました。

このため、最近の経営環境変化に対応した今後取り組むべき技術開発分野を新たに設定し、これに基づく具体的研究開発課題、開発目標、スケジュール等を体系的に織り込んだ長期計画を平成12年度から新たに作成し、個別件名の予算策定に先立ち審議することとしました。

#### (2) 基本方針

長期計画は20年先を見据えたうえで、今後の10年間を対象に策定し、大幅な見直しは数年毎に行うとともに、その他の年も適宜見直しを行うこととしています。

長期計画で取り組むべき技術開発分野は次の3つであり、これを基本方針としています。

#### ア 総合的なエネルギー供給に関する技術開発

電力の安定供給は、電気事業者としての第一使命であり、競争時代を迎えてお客様の信頼を獲得するための基盤であります。

このため、長期的な電力安定供給確保のための技術や電力品質の維持に関する技術などを、従来にも増してより一層積極的に開発します。また、電気、ガスなどの各種エネルギーを利用した新しいエネルギー供給システムの構築に向けた技術開発や評価研究を推進します。

#### イ 経営基盤強化のための研究

競争時代を迎えて経営基盤の一層の強化を図る

ため、従来取り組んできた設備に係わる技術開発に加えて、経営に直結した社会経済分野の調査研究ならびに新規事業の展開に資する研究に取り組みます。

電力市場において、当社がお客さまから信頼され選択していただくため、お客さまへのサービス向上に役立つ機器・システムや、お客さまの費用負担の軽減に寄与する機器・システムの技術開発に取り組みます。

電力市場での価格競争に打ち勝つ低コスト体質の確立を目指して、計画・工事・運用・保守のすべての分野において、長期的・総合的な観点から徹底的なコストダウンに取り組みます。

#### ウ 環境保全に関する技術開発

社会的使命達成に向け、環境保全への取り組みを推進するための技術や、環境との調和を図るための技術の他、リサイクル技術などに関わる技術開発に積極的に取り組みます。

#### (3) 計画の概要

#### ア 総合的なエネルギー供給に関する技術開発

長期的な電力安定供給確保関連では、平成13～22年度に国プロで実証試験に取り組む予定の石炭ガス化複合発電(IGCC)<sup>1</sup>に当社も参画します。

新しいエネルギー供給システムの構築関連では、太陽光・風力発電等の自然エネルギーや小型分散型電源を使ったコージェネシステムの評価研究、高効率発電が可能な燃料電池の研究などについて着実に取り組みます。

<代表例>

- ・石炭ガス化複合発電(IGCC)に関する研究
- ・太陽光・風力発電等の自然エネルギーに関する研究
- ・小型分散型電源使用コージェネシステムの評価研究
- ・燃料電池の高性能化に関する研究

#### イ 経営基盤強化のための研究

##### 1) 新規事業化を目指す研究

これまで電気事業用に取り組んできた技術開発成果を生かし、競争力に優れた新たな収入源の確保や中電グループ全体の経営強化を目指した新規

<sup>1</sup> IGCC : Integrated coal Gasification Combined Cycle

事業に資する研究に積極的に取り組みます。

< 代表例 >

- ・ 超電導応用技術の事業化検討
- ・ 医療用廃棄物溶融処理装置の事業化検討



医療用廃棄物  
溶融処理装置

- ・ 情報通信技術 (e-ビジネス) の多角的活用による事業化検討
- ・ バイオ技術を活用した農水産品の事業化検討

## 2) お客さまから選択していただくための技術開発

お客さまへの優れたサービスの提供やお客さまの費用負担軽減に役立つ、空調や厨房等の電化機器開発の充実強化を図っていきます。また、お客さま設備の省エネルギー化や合理化方策についての、サービス技術確立に向けた技術開発を推進していきます。

< 代表例 >

- ・ オゾン層を破壊しない新冷媒を採用した高効率エコアイスの開発研究
- ・ 高温給湯が可能な自然冷媒 CO<sub>2</sub> を使った高効率ヒートポンプの開発研究
- ・ お客さま設置用電池電力貯蔵システムの開発研究
- ・ お客さま設備の省エネルギー化・合理化方策に関する研究

## 3) 価格競争力強化のための技術開発

設備投資計画の先送りに伴い、「設備形成面からのコストダウン」に係る研究を減少させるなか、既設設備の劣化・余寿命評価や延命化技術等の「運用・保守面からのコストダウン」を着実に推進していきます。

< 代表例 >

- ・ コンバインドサイクル発電の高効率化に関する研究
- ・ 電気劣化診断・余寿命評価技術の開発に関する研究
- ・ 鉄塔・基礎設計の合理化に関する研究
- ・ 新しいIT(情報技術)による業務支援機能の開発に関する研究

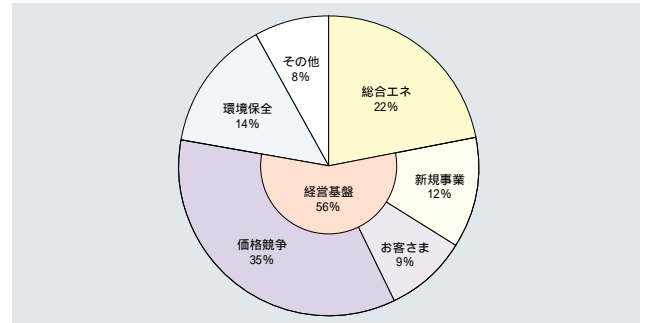
## ウ 環境保全に関する技術開発

環境保全関連では、豪州の石炭炭坑跡地の自然景観修復とCO<sub>2</sub>吸収源としての環境植林の可能性や近海に大型藻類群落を造成しCO<sub>2</sub>固定効果を調査します。

また、リサイクル・資源循環型システム構築関連では発電所の建設工事や保守等で発生する伐採木やダムの取水口に漂着する流木のリサイクル、石炭火力発電所から出る石炭灰を有効利用する方法の研究に取り組みます。

< 代表例 >

- ・ 大規模植林に関する研究
- ・ 大型藻類によるCO<sub>2</sub>固定に関する研究
- ・ 伐採木・流木や電線被覆材等のリサイクルに関する研究
- ・ 石炭灰の有効利用に関する研究



第1図 研究投資額構成比 (今後5カ年)

## 2. 燃料電池の研究開発状況

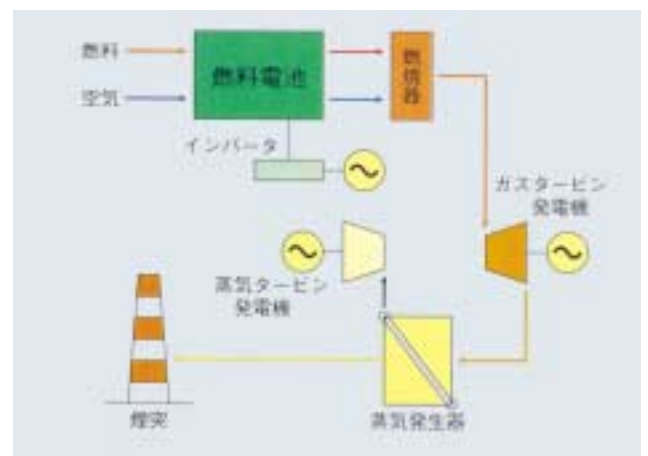
今号では、上記長期計画の中の総合的なエネルギー供給に関する技術開発の中から、最近特に注目を浴びてきている燃料電池について特集致します。

近年、燃料電池は環境にやさしいエネルギー源として、また自動車用の動力源や家庭用電源として注目を集めています。ここでは当社の燃料電池の研究開発状況を中心に国内外の開発状況を紹介致します。

### (1) 燃料電池の種類と特徴

燃料電池は、第1表に示すように作動温度と構成材料によっていくつかの種類に分けることができます。当社では、高い発電効率が期待でき、将来電気事業用電源として有望な高温形と呼ばれる2種類の燃料電池(溶融炭酸塩形と固体酸化物形)について研究開発を進めています。

高温形の燃料電池は、高温の排熱を利用してガスタービン発電機や蒸気タービン発電機と組み合わせることにより、従来の発電方式では得られなかった高い発電効率が期待できます。



第2図 燃料電池複合発電システム図

第1表 燃料電池の種類と特徴

項目	固体酸化物形 (SOFC)	熔融炭酸塩形 (MCFC)	りん酸形 (PAFC)	固体高分子形 (PEFC)
電解質	セラミックス	炭酸塩	りん酸	高分子膜
作動温度	約1000	約650	約200	約80
発電効率	55～65%	50～60%	35～40%	30～40%
燃料	・天然ガス・LPG ・メタノール ・石炭ガス	・天然ガス・LPG ・メタノール ・石炭ガス	・天然ガス ・LPG ・メタノール	・天然ガス ・LPG ・メタノール
用途	・分散電源用 ・火力代替電源 (中規模)	・分散電源用 ・火力代替電源 (大規模)	・小型分散電源	・自動車用 ・家庭用
開発レベル	・システム開発中 1～数10kW	・プラント開発中 1000kW	・実用化段階中 50～200kW	・システム開発中 1～数10kW

(2) 熔融炭酸塩形燃料電池 (MCFC) の開発

ア MCFCの特徴

MCFCは電解質に炭酸塩（炭酸リチウムと炭酸ナトリウムを混合したもの）を使用し、炭酸塩が熔融状態となる約650℃で作動します。温度条件から構成材料に金属を用いることができるので装置の大型化が比較的容易であるとともに、高い発電効率を得られるので中規模以上の火力代替発電システムとして期待されています。また、MCFCなどの高温形燃料電池は、白金触媒を使用していないので一酸化炭素（CO）による触媒被毒の問題がなく、天然ガスやメタノール以外に石炭ガス化ガスや廃棄物ガス化ガスを燃料として利用できる利点があります。

イ MCFCの開発経緯

MCFCの開発については、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）がイニシアチブを取って進めてまいりました。NEDOの研究開発は、1981年から基礎研究を開始し、100kW級の開発を経て1994年から1999年にかけて実施された第Ⅱ期計画において1,000kW級発電プラントの開発および運転試験が実施されました。

研究開発の実施に当たっては、多くの企業・団体が携わるプロジェクトを効率的に進めるため、

重電メーカー、電力会社等が研究組合を結成して進めてきました。中でも当社は川越火力発電所構内に試験サイトを提供するなどして、研究組合の中でも中心的役割を果たして研究開発を推進してきました。

ウ 1,000kW級発電プラントの運転研究結果

1,000kW級発電プラントの外観を第3図に示します。

運転研究結果は第2表に示すとおりで、開発目標を概ね達成することができました。これにより、MCFCのシステムとしての実現性が確認できました。

< 運転時間 >

電池スタックの電気絶縁不具合対応等による運転中断があり、目標の5,000時間を若干下回りましたが、ほぼ目標に近い運転時間を確保できました。

< 発電効率 >

発電端効率は45.2%で目標値をクリアしましたが、送電端効率は33.3%で発電端効率との差が大きでした。この主な原因は、外置きの改質器から電池スタックまでの高温配管や弁類からの放熱損失や機械損失が大きかったためです。



第3図 1,000kW級プラント

第2表 運転研究結果

目 標	結 果
出力	1,000kWAC / 1,000kW 平成11年11月5日到達
運転時間	5,000時間 / 4,916時間
発電時間	— / 2,669時間 (1,000kW累積発電時間: 1,264時間)
発電効率	発電端45%以上 / 45.2%
	送電端 — / 33.3%
電圧低下率 (劣化率)	1% / 1,000時間 / 0.65% / 1,000時間
環 境	法規制値以下 / NO <sub>x</sub> ; 10ppm, 排水; 水質基準以下, 騒音・振動; 周辺の騒音・振動レベル以下

(注) 運転時間とは、炭酸塩が熔融状態となる温度(560℃)以上で運転された時間をいう。

SOFC : Solid Oxide Electrolyte Fuel Cell  
MCFC : Molten Carbonate Fuel Cell





第4図 MCFC技術開発の流れ

## 工 今後の開発計画

1,000kW級発電プラントの成果を踏まえて、現在2000年度から2004年度までの5年計画で第Ⅲ期の開発プロジェクトに着手したところです。

研究開発体制は、第Ⅱ期計画と同様に重電メーカーと全電力が引き続き研究組合を結成して当社がイニシアチブを取って進めています。

第Ⅲ期計画では、将来の大規模発電システムに向けてMCFCの高効率化・コンパクト化および低コスト化を目指し、次のような研究開発を実施する計画です。

発電端効率のさらなる向上を図るため、高圧(12気圧)で運転可能な電池スタック技術の開発を行う。

併せて、放熱損失と機械損失の低減による送電端効率の改善を目指して、電池と改質器を一体化した加圧小型発電システム(300kW、4気圧)の開発を行う。これにより高効率化・コンパクト化を図るとともに数百kW級の規模での早期市場導入を目指す。

最終的にこれら二つの成果を統合して高効率でコンパクトな高性能モジュール(700kW級、12気圧)を開発する。

第Ⅲ期計画で開発した高性能モジュールは、将来複数個のモジュールとガスタービンを組み合わせた数MW級システムの基本単位となるもので、2005年以降には6~7MW級プラントの実証試験も計画されています。火力代替大型電源としての実用化は2010年以降になると予想されます。

また、早期市場導入を目指した数百kW級のシステムは、ゼロエミッションとCO<sub>2</sub>削減を目的とした廃棄物ガス化技術と組み合わせ2005年の愛知万博でデモを行うことも計画されています。

## (3) 固体酸化物形燃料電池(SOFC)の開発

### ア SOFCの特徴

SOFCは、主な構成材料にセラミックスを使用してMCFCより高い800~1,000℃で作動させる電池で、高温の排ガスを利用した複合発電により燃料電池の中でも最も高い発電効率が期待できます。また、電解質も固体であるので長寿命が期待できるとともに、形状に自由度があるので他の燃料電池が全て平板形であるのに対して円筒型をしたタイプもあるのが特徴です。

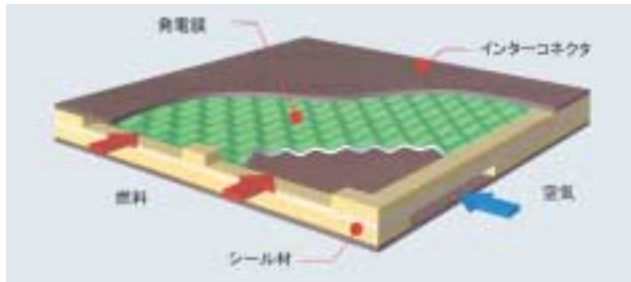
燃料として石炭ガス化ガスや廃棄物ガス化ガスを利用できる点はMCFCと同様です。

SOFCは構成材料がセラミックスであるので、電極面積をMCFCほど大きくできないため、単セル当たりの出力がMCFCより一桁小さくなる関係で中規模程度の高効率電源として期待されています。

### イ 当社におけるSOFCの開発経緯

当社は三菱重工業(株)と共同で将来低コスト化・コンパクト化が期待できる平板形のSOFCの開発を進めてきました。この平板形SOFCは、発電反応に関与する発電膜(電解質の両側に燃料極と空気極を

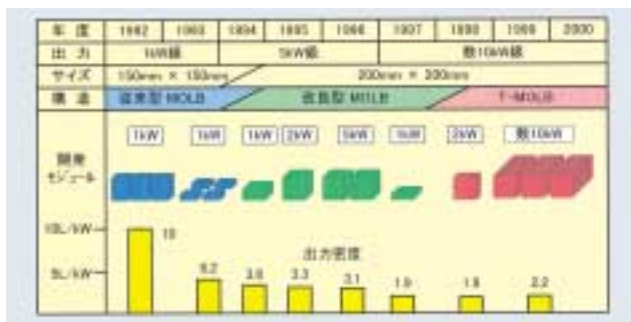
付けたもの)を三次元ディンプル構造とし、これとインターコネクタを組合せたセルを複数個積層したものを一体焼成して製造することから「一体積層形」(MOLB形)と名付けています。(第5図)



第5図 一体積層形 (MOLB形) SOFCの電池構造

MOLB形SOFCは、スラリー湿式法による連続生産が可能である。部材の切削加工が不要である。主要部材は発電膜、インターコネクタ、マニホールドであり、部品点数が少ない。発電出力密度が高い。などの構造的な特徴があり、将来の低コスト化・コンパクト化に有利です。

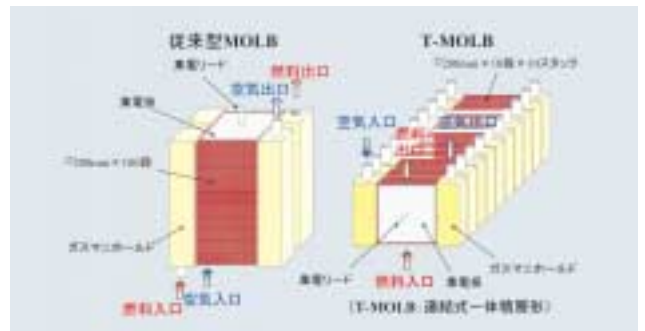
MOLB形SOFCの共同開発は1990年より着手し、1992年に150mm角電池を40段積層したスタック3個を使用して平板形SOFCとしては当時世界最高レベルのkW級発電に成功しています。1994年から電池の大型化、構造改良に着手し、1996年には200mm角電池を40段積層したスタック2個を使用して平板形SOFCとしては当時世界最高の5.1kWの発電出力を達成しました。(第6図)



第6図 MOLB形SOFCの開発経緯

その後スタックの高積層化に伴う最下段電池への応力増大とマニホールドの大型化に伴う課題を解決するため、第7図に示すような水平方向への接続による連結結合方式(T-MOLB形構造)を開発しました。

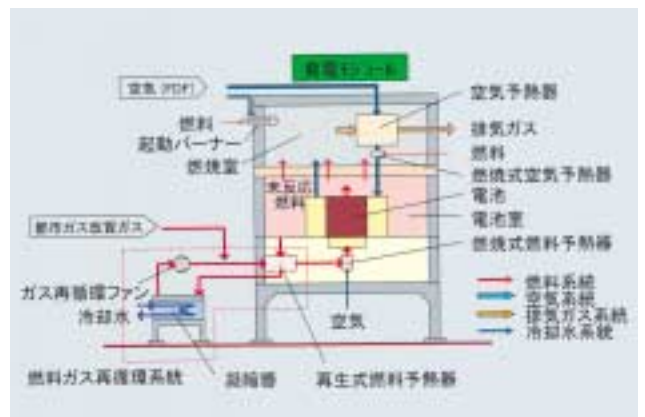
T-MOLB形構造では、電池を水平方向に接続するため、高積層化による応力増大がなく、理論上無制限に積層数を増やすことができます。また、単位スタックの連結を基本構造とするため、単位スタック容量を確定することによりシステム容量にかかわらず量産が容易となり、低コスト化が期待できます。



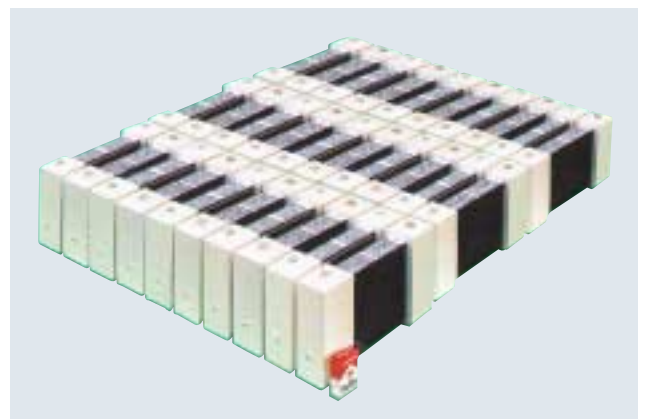
第7図 T-MOLB形SOFCのスタック構造

ウ 数10kW級モジュールの開発

従来の試験装置では、電気ヒータで電池の作動温度を維持していましたが、数10kW級モジュールの開発では将来的なシステムを考慮し、都市ガスによる起動・昇温、都市ガス改質ガスによる発電、電池反応による発熱により作動温度の維持(熱自立)が可能なモジュール構造を採用した設計としました。数10kW級モジュールの装置システムを第8図に、試験装置に収納される電池モジュールの外観を第9図に示します。



第8図 数10kW級T-MOLB形SOFC試験装置システム構成



第9図 200mm角×10段×10連結×3トレイン(数10kW級電池)

2000年7月に発電試験を開始し、同年8月に平板形SOFCとしては世界最高の15kWを達成し、2001年1月末現在4,000時間を超えて試験を継続中です。



## エ 国内外他社の開発状況

SOFCの開発では、円筒形のセルを採用しているシーメンス・ウェスチングハウス社が最も先行しており、マイクロガスタービンと組合せた220kWのシステム(第10図)を開発し、2000年からカルフォルニア大学構内で試験運転を開始しています。さらに2002年には1MWのシステムを開発し、米国とヨーロッパで試験を実施する計画があります。

国内では、現在は三菱重工業(株)が電源開発(株)と共同で、東陶機器(株)が九州電力(株)および新日本製鐵(株)と共同で同じく円筒形のSOFCを開発しており、前者が最大21kW、後者が3kW程度の出力を達成しています。



第10図 220kWシステム(シーメンス・ウエスチングハウス社)

## オ 今後の開発計画

今後とも、将来の電気事業用電源に向けてさらに大型化していくための研究開発を進めていく予定です。

また、直接内部改質が可能であるのも作動温度が高いSOFCの特徴ですので、内部改質化や加圧化の研究を実施し、より高効率でコンパクトな燃料電池発電システムの開発を進めていきたいと考えています。

### (4) 固体高分子形燃料電池(PEFC)について

将来の自動車用動力源などとして最近注目されているPEFCについて若干紹介します。

## ア PEFCの特徴

PEFCは電解質に高分子膜を使用し、室温から80程度度の低温で作動する燃料電池で、発電効率はさほど高くありませんが、作動温度が低いため起動停止が容易で負荷追従性がよい、出力密度が高いなどの特徴があります。

## イ PEFCの開発状況と今後の課題

PEFCは前述のような特徴から主に自動車用動力と家庭用コジェネ機として開発が進められています。

### < 家庭用コジェネ機の開発 >

日本では1kW程度、米国等では3~7kW程度の出力の家庭用コジェネ機が開発されつつあり、フィールドテストが実施されています。米国の方が出力が大きいのは、配電網からはずれた地域での使用をも想定しているためです。

各社とも2003~2004年頃の実用化を目指していますが、実用化のためには耐久性の向上(最低5年以上)とコスト低減(現状の1/10以下)が課題です。

### < 自動車用の開発 >

国内外自動車メーカー、燃料電池を開発しているメーカー等がグループを組んで開発にしのぎを削っており、開発状況は秘密のベールに包まれています。

各社とも2005年頃の実用化を目指して開発を進めていますが、燃料選択の問題でガソリンを指向するグループとメタノールを指向するグループに分かれつつあり、最終的には水素が望ましいという意見もあってインフラ整備問題と絡めて最大の課題となっています。

また、1台当たり数10kW程度の出力が必要な自動車の場合、コスト低減の要求が家庭用コジェネ機より厳しく、現状の1/100以下にする必要があり、これも大きな課題です。

### (5) まとめ

燃料電池は新エネルギーに分類され、環境にやさしいエネルギー源と言われていますが、化石燃料資源と別に水素資源があるわけではないので、自動車の場合を除いて本当に省エネルギーに貢献するかどうか、環境にやさしいかどうかは、既存技術とのエネルギー利用効率の比較の問題であるということが意外に知られていません。

PEFCなどの低温形燃料電池においても、排熱を余さず利用すれば現状より高いエネルギー利用効率を得られますが、常に「たら・れば」の要素がつきまとうこととなります。その点発電効率が低い高温形燃料電池は確定的にエネルギー利用効率が高いことが利点で、現在はPEFCが脚光を浴びていますが、高温形燃料電池の良さが見直される時が来ることを信じて研究開発を進めていきたいと考えています。