特集論文

SOFC 実用化へ向けての取組み



Development of SOFC for Products

吉田行男 久留長生 武信弘一

当社は円筒型 SOFC で 1990 年に国産 SOFC としては初めて 1 kW 級モジュールの発電に成功し,1998 年には加圧 10 kW モジュールで連続7 000 時間発電を達成した.MOLB型では2000 年に 200 mm 電池100 段積層スタック 3 個で発 電出力 15 kW,累積発電時間7 500 時間を達成した.このように当社の SOFC は,発電システムとしての技術検証と商 品化に取り組む段階にある.最も商品化に近いMOLB型は常圧 50 kW 機の開発に取り組んでおり,円筒型は現在加圧 100 kW 機を開発中であるが,引き続き複合発電システムを目指してマイクロガスタービン(MGT)とのハイブリッド システムを計画中である.

1.はじめに

燃料電池は燃焼反応を伴わずに燃料から直接に電気エネル ギーを取り出すことができ,化石燃料を燃焼させる従来の発 電システムに比べて高効率で環境に優しいため国内外で開発 が進められている.その中でも,固体酸化物形燃料電池 (SOFC)は高い発電効率が得られ,作動温度が高く排熱を 有効に利用できることから,小規模から大規模容量まで幅広 い用途への適用が期待されている.

当社は電源開発(株)と円筒型SOFCを1989年より共同研 究するとともに,中部電力(株)とは1990年から平板型 SOFC(MOLB型: MOno-Block Layer Built [MOLB])の 共同研究を行っている.また,1992年からは新エネルギ ー・産業技術総合開発機構(NEDO)から国家プロジェクト であるSOFC開発研究を受託し取り組んでいる. 本報ではこれまでの開発経緯と今後の実用化への取組みに ついて報告する.

2.SOFC 開発のねらい

現在,表1に示すとおり各種の燃料電池が開発されている が,SOFCは運転温度が約1000 と高いことから排熱の有 効利用により高効率の発電システムが可能となる.まず,図 1に示すSOFC+排熱回収システムでは熱利用度が高い蒸気 が回収でき,都市ガス焚き50kW級システムで送電端発電 効率45%(LHV以下同様),総合効率80%が期待できる. 図2に示すSOFC+ガスタービンシステムでは天然ガス焚き 20MW級で送電端発電効率60%となり,ボイラ水や冷却水 が得にくい内陸部の発電設備として期待できる.さらに,図 3に示すSOFC+ガスタービン+蒸気タービンの複合発電シ ステムでは天然ガス焚き700MW級で送電端発電効率70%

	液体電解質形燃料電池		固体電解質形燃料電池	
燃料電池種類	りん酸形燃料電池 (PAFC)	溶融炭酸塩形燃料電池 (MCFC)	固体酸化物形燃料電池 (SOFC)	固体高分子形燃料電池 (PEFC)
電解質	りん酸(液体)	溶融炭酸塩(液体)	安定化ジルコニア(固体)	高分子膜(固体)
電解質内電荷坦体	H+	CO3 ^{2 -}	0 ^{2 -}	Н+
作動温度()	150 ~ 200	600 ~ 650	900 ~ 1 000	20~100
反応物質	水素	水素 , CO	水素 , CO	水素
燃料	天然ガス,メタノール,LPG, ナフサ,灯油	天然ガス,メタノール,LPG, ナフサ,灯油,石炭	天然ガス,メタノール,LPG, ナフサ,灯油,石炭	天然ガス,メタノール,LPG, ナフサ,灯油
電極	多孔質カーボン (白金触媒)	多孔質ニッケル等 (白金触媒不要)	酸化ニッケル等 (触媒不要)	多孔質カーボン (白金触媒)
特徵	CO 含有量に制限 白金触媒を使用	CO 含有可 燃料内部改質が可能	CO 含有可 燃料内部改質が可能	CO 含有制限が厳しい 作動温度が低い
主な用途	コージェネレーション 分散電源	コージェネレーション 分散電源 大容量電源(火力代替)	コージェネレーション (高電 / 熱比型) 分散電源(中~大容量) 大容量電源(火力代替)	コージェネレーション 分散電源(小~中容量) 可搬用電源

表1 各種燃料電池の基本的特徴比較

が期待できる.

また,石炭ガス化炉+SOFC+ガスタービン+蒸気タービンの複合発電システムでは送電端発電効率60%が期待できる(図4).

このようにSOFCは中小容量から火力代替の大容量までの 広範囲で,さらに天然ガスから石炭までの多種燃料で高発 電効率が期待できることから,当社はSOFC実用化に向けて



図1 SOFC + 排熱回収システム SOFC と排熱回収のコー ジェネ用システムを示す.



図 2 SOFC + ガスタービンシステム SOFC とガス タービンだけのシステムで冷却水が不要な内陸用発電 システム. 開発に取り組んでいる.

3. 開発状況

3.1 円筒型 SOFC

円筒型SOFCは円筒状のセラミックス管(基体管)の表面 に電池の発電膜である燃料極,電解質及び空気極を積層した 構造となっており,この電池を基体管上に導電材のインター コネクタを介して複数個並べた形状となっている(図5,図 6).電池の製作は押出成型した基体管を乾燥後,電池原料 のセラミックスを溶媒に溶かしたスラリーを順次基体管表面 に印刷し,基体管とともに1400 程度で焼成する.基体管 を含めて,電池本体は焼成時に約30%収縮するため, SOFCの開発は材料の高性能化のみならず,膨張率を一致化 させるべく,材料,電池構造,製法を最適化する必要がある.

円筒型SOFCは1990年に国産SOFCとしては初めて1 kW 級モジュールの発電に成功し,1995年に常圧型10 kWモジ ュールで連続5000時間発電運転を達成した.さらにガスタ ービンとのハイブリッド化に不可欠である加圧化技術開発に 取り組み1998年加圧10 kWモジュールで連続7000時間発電 運転に世界で初めて成功した.

SOFCでは燃料極がメタンガスの改質触媒として機能する ニッケルで構成されている.したがって吸熱反応であるメタ



図3 SOFC + ガスタービン + 蒸気タービン複合発電システム ガスタービン複合発電プラントのトッピングに SOFCを設置 し,発電効率70% LHV が可能.





円筒焼結型SOFCセルチューブ構造 図 5 Р 筒焼結型 SOFC の断面構造を示す.

16





円筒焼結型 SOFC セルチューブ外観 円筒焼結型 SOFC の外観写真を示す、発電素子(黒色部)を直列に配置している、

表2 加圧内部改質型10kW級モジュ ール仕様

形 式		円筒形
運転温度	()	900
運転圧力	(MPa)	0.39
燃料		天然ガス
出力	(kW)	10
発電効率(LHV)	(%)	45





加圧内部改質型10kWモジュール運転結果 図 8

内部 発熱でメタンを改質しながら連続755時間運転.



図 6

図10 T-MOLB型SOFC構造 MOLB 型 SOFC 200 mm × 10 段を10 個, トレイン 連結方式に配列.



図11 "熱的自立モジュー ル " 外観 数 10 kW 級発電試験装置の外観 写真を示す.

ンの改質反応と発熱反応である電池の発電反応が電池部で同 時に起こり(内部改質)別置の改質設備が不要となって、シ ステムを大幅に簡素化できるとともに発電効率も向上する. 当社では内部改質技術の開発に取り組み2001年に加圧内部 改質10kW級モジュール試験を行った.

モジュール仕様、モジュール外観及びモジュール構造をそ れぞれ表2,図7に示す.モジュール容器は円筒竪型形状の 圧力容器で,内部構造は燃料供給・排出室,反応室,空気予 熱器で構成されている.

図8に電源開発(株) 若松総合事業所での加圧内部改質型 10 kW級モジュールの連続運転結果を示す.モジュール出力 10.2 kW,システム発電効率45.6%を達成し,連続内部改質 発電時間755時間で計画停止した.

3.2 MOLB型SOFC

MOLB型SOFCの電池構造を図9に示す.電池は発電膜 (燃料極/電解質/空気極),発電膜を直列に接続するインタ ーコネクタ,電池端部においてガスを封止するシール材によ り構成される.発電膜は凹凸状に成形した三次元ディンプル 形状を採用し有効発電面積が投影面積の2倍である.また発 電膜自体をディンプル構造とすることで,燃料・空気流路の 機能も合わせ持たせているためコンパクト性を有する.

MOLB型 SOFC は当初ディンプル構造を有せぬ平面の発 電膜で構成していた.1992年に 150 mm 電池を40段積層し たスタック3個で平板型SOFCとしては世界初の1kW級発 電に成功している.その後,電池の大型化,ディンプル構 造の開発に着手し,1996年には 200 mm 電池を40段積層し たスタック2個で平板型SOFCとしては当時世界最高の 5.1 kWの発電に成功した.引き続き,大容量化に不可欠な 多段積層化を容易にするため,図10に示す連結式電池(T-MOLB型)を開発した.2000年にはT-MOLB型SOFCを 100段積層スタック3個で発電出力15kW,累積発電時間 7500時間(常圧内部改質発電2473時間を含む)を平板型 SOFCとしては世界初で達成した.

2001年度より実用機開発に向けてSOFC国家プロジェクト でNEDOより"10kW級モジュールの開発"を中部電力(株) と共同で受託し "熱的自立モジュール"の開発を進めている.





図13 MOLB型常圧50 kW機 外観 MOLB型 SOFCの常圧50 kW機の 外観を示す。



図 14 400 kW 級 SOFC + MGT システム外 観 円筒型 SOFC を用いた 400 kW 級システムの外観を示す.



図 15 10 MW 級ガスタービン(MF-111) 当社の 10 MW 級ガスタービンMF-111の構造図を示す.

ビネットを配置する.

さらに,2001年度よりSOFC国家プロジェクト"アドバン ス円筒型セルの開発"にて電池本体の高出力化に取り組んで いる.電池本体の高出力化が進めば図14のSOFCモジュー ル1基で1 MW級の出力が可能となる.数十個の1 MWモ ジュールと当社の10 MW級ガスタービンであるMF-111(図 15)とのハイブリッド化で送電端発電効率65%の50 MW 発電プラントの実証が可能となる.イメージをタイトル図に 示す.SOFCモジュールが建屋内に積層されている.

5.ま と め

SOFCは発電温度が1000 と高いことから,電池本体の 材料,構造,製造方法の改良に時間を費やし,さらに電池の スケールアップ化,モジュール容器の開発と技術課題が積層 していたが,ようやく実用化へのめどが付いてきた.今後は システム化技術の早期確立により実用化に向けてまい進して 行く所存である.

終わりに,当社SOFC開発の技術はNEDOのSOFC国家プロジェクト,電源開発(株),中部電力(株)との共同研究の中で培われたものであり,この場を借りて関係者に謝意を表する.



図 12 " 熱的自立モジュール " 試験結果 5 kW級発電 試験での自動運転検証の結果を示す.

表 3 MOLB 型常圧 50 kW 機仕様

出	Ъ	(kW)	50
発電效	b率(LHV)	(%)	45
総合交	b率(LHV)	(%)	80
燃	料		都市ガス

燃料電池は発電反応時に発熱があり,電池の反応温度を維 持するためには冷却する必要があるが,冷却し過ぎると発電 反応温度を維持できないため,空気冷却システムの確立が不 可欠である."熱的自立モジュール"とは起動昇温・発電・ 停止降温の温度制御を含めたモジュール構造の開発である. 図11にモジュール外観を示す.モジュールには 200mm電 池100段を装備し,2002年度に起動昇温・発電・降温自動運 転検証を行った.試験結果を図12に示す.2003年度には引 き続き新製した10kW級モジュールにて発電試験を行う予 定である.

4. 実用化への取組み

前述のとおり,当社は昨年度までにSOFC 電池部の開発, 電池を内蔵して発電・集電を行うモジュール構造の開発を進 めてきた.今後は,いよいよ発電システムとしての技術検証 と商品化に取り組む段階である.最も商品化に近いMOLB 型は常圧50kW機の開発に取り組んでおり,コージェネ機 用として来年度には商用初号機を市場投入予定である.表3 に50kW機の仕様を,図13に外観を示す.将来は高効率型 として発電効率50%の開発にも取り組む予定である.

一方,円筒型は現在,加圧100kW機を開発中であるが, 引き続き複合発電システムを目指して,マイクロガスタービン(MGT)とのハイブリッドシステムを計画中である. SOFCとMGTをハイブリッド化するためには,図2に示す とおりMGTの空気圧縮機出口の空気をほぼ全量抽気し, SOFCを経由して燃焼器に戻すとともに,燃料としては SOFCで反応後の低カロリーガスを燃焼させることとなるの で既存のMGTはそのまま利用できない.また市販のMGT は構造的にSOFC用への改造が困難である.そこで当社で開 発中のMGTとのハイブリッドシステム化を検討中である が,この場合,400kW級システムで送電端発電効率57%が 期待できる.図14に外観イメージを示す.円筒容器に SOFCを内蔵し,側面にMGTと制御システムを納めたキャ