

三菱重工業におけるMOLB形固体酸化物形燃料電池の開発



企業レポート

宮本 均*

Development of SOFC in Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

Key Words : SOFC, Fuel cells, Energy efficiency

1. 会社概要

社 名：三菱重工業株式会社
 英 文 名 称：MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.
 創 立：明治17年7月7日
 本社所在地：東京都千代田区丸の内二丁目5番1号
 代 表 者：取締役社長 西岡 喬
 資 本 金：2,654億円(平成13年3月31日現在)
 売 上 高：28,639億円(平成13年度、連結)
 従 業 員 数：37,754人 (平成13年4月1日現在)
 海外事務所・駐在員事務所：11
 支社・営業所：10
 研 究 所：6
 事業所・工場：9
 主な事業内容：船舶・海洋関連、機械・鉄構、原動機、原子力、航空・宇宙、汎用機・特車、産業機械、紙・印刷機械、工作機械

2. はじめに

当社はボイラ、ガスタービン、原子力など、定置型大容量発電設備の改良開発を重ね、国内外の顧客に数多く納入してきているが、風力、燃料電池、太陽電池などの新エネルギー、分散電源の開発・実用化にも積極的に取り組んでいる。燃料電池は表1に示すように、自動車用として最近特に注目されてい

る固体高分子形(PEFC)の他に、リン酸形(PAFC)、熔融炭酸塩形(MCFC)など多くのタイプがあり、それぞれ特長を有している。図1に燃料電池の理論最大効率を示すが、燃料電池の原理上、低温で作動させるほど高い効率が期待できる⁽¹⁾。しかし、低温で作動させるためには燃料として水素しか使えず、また現実には50%程度の排熱(=エネルギー損失)が発生する。これに対して、固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、天然ガス、LPG、メタノールおよび石炭ガスなど多くの種類の燃料が使用でき、1000℃という高温で作動することから、その排熱を利用してガスタービンなどとの複合サイクルが組め、60%以上の高い発電効率の達成が可能である。また、SOFCはガスと固体だけで構成・作動するため、液体の電解質を使用することによる熔融塩腐食や電解質蒸発など他形式の電池が抱える課題がなく、耐久性に優れている。一方、SOFCの構成部材はセラミックスであるため、脆性に乏しく、部材の熱膨張率を一致させるとともに急激な温度変化を避ける設計が必要であるなどの課題があり、その実用化には優れたセラミックスの開発及び取り扱い技術が必要である。

SOFCには、その形状によって円筒形と平板形がある。当社は両形式を開発しているが、本レポートでは筆者らが取り組んでいる平板形固体酸化物形燃料電池について紹介したい。

3. SOFCの概要

当社は1990年から中部電力株式会社と共同で、平板形を発展させた構造を持つ一体積層(MOLB)形SOFCを開発してきた。MOLB形SOFCの電池構造を図2に示す。発電反応に関与する発電膜(燃料極/電解質/空気極)と、発電膜を電氣的に直列に接続するためのインターコネクタとの積層体がMOLB形SOFCの基本構成であり、その他、電池端部におい



* Hitoshi MIYAMOTO
 1949年10月生
 1974年大阪大学・工学研究科・環境工学専攻修了
 現在、三菱重工業株式会社・高砂研究所・神戸技術開発・研究推進グループ、主席研究員、工学博士、燃料電池などエネルギー関連
 TEL 078-672-2059
 FAX 078-672-5945
 E-Mail hitoshi_miyamoto@n.trdc.mhi.co.jp

表1 種々の燃料電池の比較

燃料電池形式(略称)		固体高分子形 PEFC	リン酸形 PAFC	溶融炭酸塩形 MCFC	固体酸化物形 SOFC
電解質		高分子(PTFE系)	リン酸	溶融炭酸リチウム	安定化ジルコニア
移動イオン		H ⁺	H ⁺	CO ₃ ²⁻	O ²⁻
代表的な運転温度	K	323-363	約 473	873-923	1173-1273
エネルギー効率	%	40-50	40-45	45-60	50-60
排熱回収	ガスタービン	×	×	○	○
	蒸気タービン	×	×	○	○
	冷水	×	×	○	○
	蒸気	×	○	○	○
	温水	○	○	○	○
使用可能な燃料		H ₂	H ₂	CH ₄ , H ₂ , CO	CH ₄ , H ₂ , CO など
システム	複合サイクル	×	×	○	○
	コージェネ	○	○	○	○
	移動用	○	×	×	△

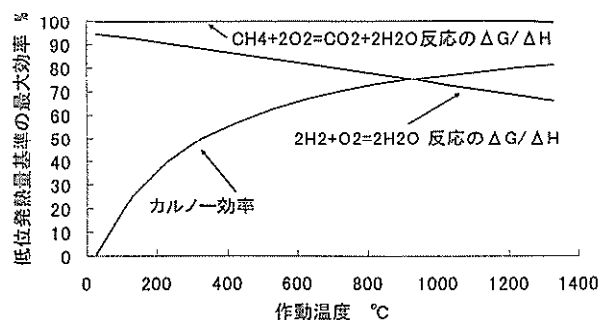


図1 燃料電池の理論効率

てガスを封止するシール材、およびガスを電池に供給するマニホールドなどにより構成される。これら異なる機能を持つ部材は全てセラミックスで作られており、熱膨張率が一致している。発電膜は三次元凹凸構造（ディンプル構造）を採用しており、投影面積あたりの出力を大きくすることができる。また、発電膜をこのような構造とすることでカソードガス、アノードガスそれぞれのガス流路の機能も合わせ持たせている。SOFCの作動原理と主要構成材料を図3に示す。本図には発電膜の上下にあるインターコネクタは示していないが、インターコネクタはアノードガスとカソードガスの隔壁であると共に、電流を導くために電子伝導体である必要があり、LaCrO₃系の酸化物で作られている。

4. 開発経緯と実績

MOLB形SOFCの開発は1990年より着手し、1992年に初のkW級発電に成功している⁽²⁾。その後、電

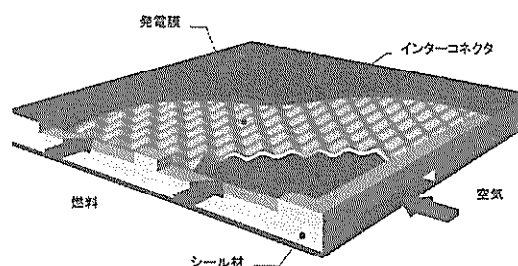


図2 一体積層(MOLB)形エネルギーの単電池外観

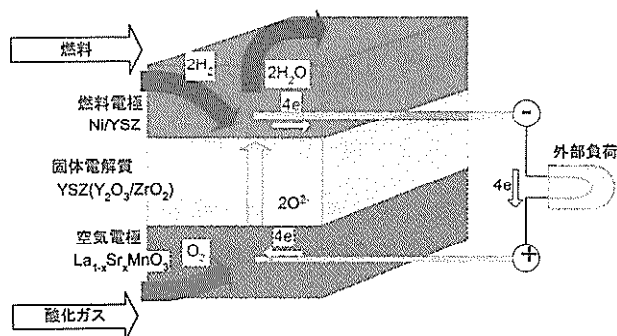


図3 SOFCの発電原理と構成材料

池の大型化、電池構造の改良に着手し、1996年に5.1kW(0.21W/cm²)の発電出力を達成した⁽³⁾。1997年からは、電池の信頼性向上、耐久性向上を目的に、材料の改良、構造の改良を行い、1998年には、□200mm電池×10段積層×2連結の電池を使用して、0.35W/cm²のkW級電池での高出力密度発電に成功した⁽⁴⁾。

4.1 数10kW級モジュールの開発

SOFCの実用化には、電池反応による発熱により

電池の作動温度1,000℃を維持するシステムの開発が不可欠である。燃料電池の試験装置では、電池の作動温度を外部からの電気ヒーターにより維持することが一般的であるが、熱自立に対する課題を抽出し解決するために数10kW級の熱自立モジュールの開発を行い、

- (1)都市ガスによる起動昇温
- (2)都市ガス改質ガスによる発電試験
- (3)電池反応による熱自立運転

の評価を実施した。

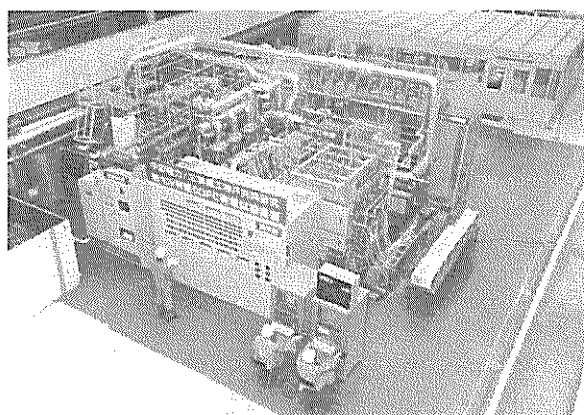


図4 数10kW級SOFCモジュール

数10kW級の熱自立モジュール試験装置の外観を図4に示す。試験装置は、都市ガス改質装置、制御盤、発電炉、電子負荷装置、ガス配管ブロックなどから構成される。

また、この数10kW級モジュール装置では燃料再循環システムを設け、電池内部でのガス流速を保ちつつ、燃料利用率の向上と電池内温度分布の改善を図っている。

図5に使用した電池の外観写真を示す。

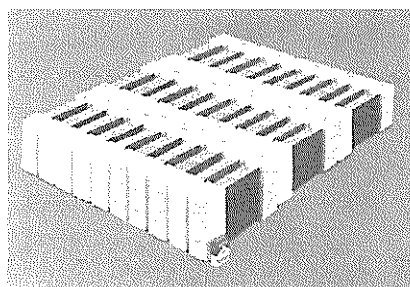


図5 数10kW級MOLB型SOFC電池外観

4.2 数10kW級熱自立モジュールの試験結果

2000年から2001年にかけて、 $\square 200\text{mm}$ 電池 $\times 10$

段積層 $\times 10$ 連結 $\times 3$ 系列の合計300段の電池を使用して、出力15kWの発電に成功した。都市ガスを電池に直接供給する100%直接内部改質発電を積算2,400時間実施し、さらに最大出力密度 $0.24\text{W}/\text{cm}^2$ を達成した。モジュールは平成13年10月の計画停止まで、累計7,500時間の発電を行なった。

5. おわりに

当社が中部電力と共同で開発に取り組んでいるSOFCについて紹介した。本技術を実用化するためには、大型化、信頼性やメンテナンス性のさらなる向上、低コスト化などの課題があり、鋭意開発に取り組んでいるところである。なお、両社は2001年度より新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)殿から、10kW級新型モジュールの開発研究を共同受託しており、将来のSOFC発電システムの基礎となる熱自立型SOFCモジュールの開発を目指している。本稿が固体酸化物形燃料電池に対するご理解の一助となればまことに幸いであり、ご関心のある方は文献(5)～(8)も参照願いたい。

6. 文 献

- (1) 石田政義“燃料電池の基礎化学”，日本エネルギー学会誌，第80巻第2号，p.48(2001)
- (2) Kato *et al.* “1kW Generation Test of MOLB type SOFC”，Proc. of 3rd Int. Symp. on SOFC, p.809, Hawaii(1993)
- (3) Sakaki *et al.* “Development of 5kW class MOLB type SOFC”，Proc. of 5th Int. Symp. on SOFC, p.61, Aachen(1997)
- (4) Sakaki *et al.* “Development of MOLB type SOFC”，Proc. of 3rd IFCC, p.345, Nagoya (1999)
- (5) 久留他“21世紀の高効率発電技術－燃料電池複合発電技術の開発－”，三菱重工技報，第35巻第1号(1998)
- (6) 杉谷他“固体酸化物形燃料電池(SOFC)発電システムの開発”，三菱重工技報，第39巻第3号(2002)
- (7) 宮本他“平板形SOFC内部の局所的な物質移動・発電現象の数値計算とカソード粒径の最適化”，化学工学論文集，第28巻第4号(2002)
- (8) 宮本他“二次元近似による平板形SOFCの性能計算”，化学工学論文集，第28巻第4号(2002)