

# リン酸型電-熱併給燃料電池システムの開発動向

三好 英明・大谷 徹・田熊 良行  
三菱電機株式会社 電力・産業システム事業所  
652-8555 神戸市兵庫区和田崎町 1-1-2

## Recent Progress of PAFC Power Generation Systems

Hideaki MIYOSHI, Toru OTANI and Yoshiyuki TAKUMA  
Mitsubishi Electric Corporation  
1-1-2 Wadasaki-cho, Hyogo-ku, Kobe, Hyogo, 652-8555, Japan

Fuel cells are a form of co-generation system that generate electricity directly through the electrochemical reaction of hydrogen and oxygen. High operating efficiency reduces the emission of CO<sub>2</sub> which causes the greenhouse effect. The Phosphoric acid fuel cell (PAFC) is the fuel cell technology that is closest to commercialization. This paper summarizes the latest progress of PAFC technologies at Mitsubishi Electric and introduce new system applications for 200kW PAFC power generation system. Systems include such as anaerobic digester gas fueled power generation system applied to sewage water sludge treatment center, bio-gas fueled power generation system applied to food industry ( installed at the Tochigi Factory of Kirin Brewing Company) and a fuel cell power generation system combined with a gas turbine inlet air cooling system that utilizes steam which derived from PAFC ( installed at the Yokohama Isogo Factory of Nisshin Oil Mills, Ltd.).

**Key words:** phosphoric acid fuel cell, power generation system, anaerobic digester gas

### 1. はじめに

燃料電池は天然ガス等の炭化水素燃料を改質して得られる水素と空気中の酸素とを電気化学的に反応させることにより、燃料のもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換する新しいタイプの発電システムである。従来の発電システムと比較して、発電効率がよくかつ部分負荷でも高い効率を維持できる特徴を持っている。さらに、燃料電池は発電と同時に得られる排熱を利用することにより、投入エネルギーの約 80%以上のエネルギー効率が得られるため、省エネルギー性に優れたかつ大気汚染の元になる窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>)、硫黄酸化物 (SO<sub>x</sub>) をほとんど発生しない環境調和性の高い発電システムとなっている。

燃料電池は用いる電解質によって、リン酸型燃料電池 (PAFC)、熔融炭酸塩型燃料電池 (MCFC)、固体電解質型燃料電池 (SOFC)、固体高分子型燃料電池

(PEFC) に分類され、それぞれの燃料電池の特性に合った出力規模と運用形態が想定されている<sup>(1)</sup>。

燃料電池の排熱は温水および蒸気として利用できるため、都市部に設置可能な環境調和性に優れたコージェネレーションシステム用発電装置に最適である。なかでもリン酸型燃料電池は、技術的には最も進んでおり、オンサイト型コージェネレーションシステムとして多くのシステムが導入されつつあり、実証試験の段階から商用化段階に移行しつつある。

本稿では、当社の 200kW リン酸型燃料電池発電システムの開発実績について述べるとともに今後導入の拡大が期待されるリン酸型燃料電池のアプリケーション例として、今回新たに開発した消化ガス利用燃料電池 (下水処理場向けおよび食品工場向け) およびガスタービン吸気冷却システムについて紹介する。

2. リン酸型燃料電池の開発実績

(1) 発電システムの構成

図1に三菱 200kW 燃料電池発電システムのシステム構成を示す。発電システムは、都市ガス等の炭化水素燃料を水素リッチなガスに変換する改質器、水素と空気中の酸素より直流電力を発生する電池スタック、直流電力を交流電力に変換するインバータ、排熱回収装置およびそれらを制御する制御装置等から構成されている。

燃料電池からは、電池スタックの反応熱による高位排

熱 (167°Cスチーム) とプラント排ガスから回収される低位排熱 (55~60°C温水) の2系統の排熱が得られる。高位排熱については、二重効用吸収式冷凍機に適合しており、空調への利用が可能である。また、温水については、ボイラー等の給水予熱への利用が考えられる。エネルギー効率が高いという燃料電池の特長を活かすためには、得られた排熱をいかに効率よく利用するかに依存しており、熱利用を含めた最適システムの構築が重要な課題である。

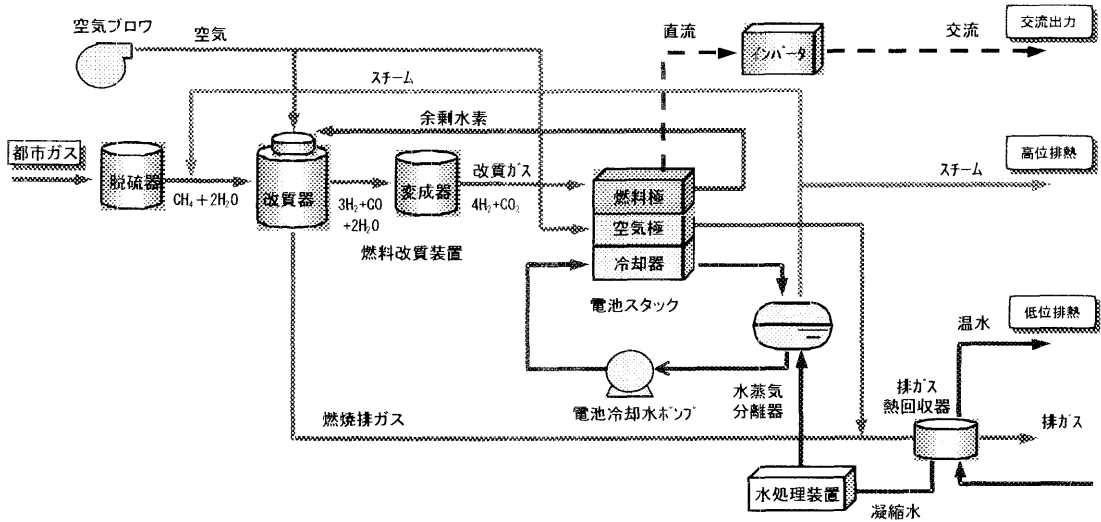


図1 リン酸型燃料電池発電システムの構成

表1 三菱200kW 燃料電池の基本仕様

項目	仕様
1. 設置条件	屋内 (ビルの地下機械室) または屋外
2. 燃料条件	・種類 都市ガス 13A ・供給圧力 低圧または中圧
3. 定格出力 (送電端)	AC 200 kW
4. 出力範囲	0~100% (送電端)
5. 出力電圧	440V、60Hz または 50Hz
6. 発電効率 (LHV送電端)	40%
7. 起動時間	冷起動: 3~4時間、暖起動: 1時間
8. 排熱回収	高位 167°C (0.65MPa) 飽和スチーム 低位 55~60°C 温水
9. 運転方式	全自動, 系統連系
10. 環境条件	NOx 10ppm以下 (O <sub>2</sub> 7%換算) 騒音 60dB(A)以下 (機側1m)
11. 市水消費量	運転時 0
12. 窒素ガス消費量	ポンベ4本以下 (1回の起動停止当たり)

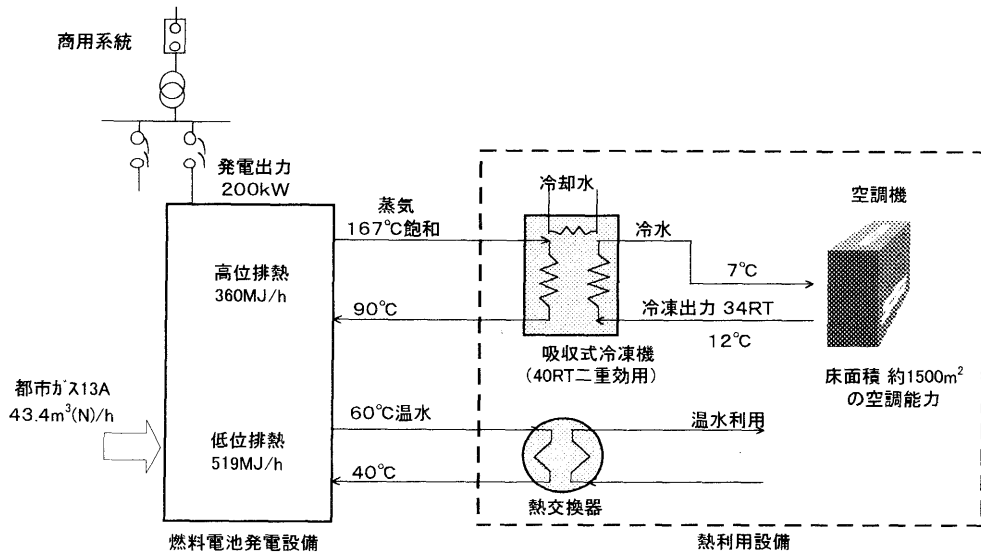


図 2 燃料電池の排熱利用システム例 (蒸気利用型)

(2) 基本仕様と特長

三菱 200kW 燃料電池の基本仕様を表 1 に示す。燃料としては、都市ガス 13A を標準としているが、メタノール、消化ガスについても適用可能である。

(3) 燃料電池の排熱利用例

燃料電池では、電力と同時にスチームと温水を利用することができる。図 2 に当社製燃料電池の特長の一つであるスチームを利用した排熱利用システムの例を示す。

(4) 燃料電池プラントの製作・運転実績

現在までに当社は 200kW 燃料電池プラントを 13 台製作した。その中の 7 台が 2 万 5 千時間以上の累積発電時間を達成している。200kW 燃料電池プラントの運転実績を図 3 に示す。

(5) 商用化への取り組み

'95 年度までに出荷した 10 台の 200kW 機の燃料電池プラントを第一世代と位置づけ、'96 年度にそれまでのフィールドデータの評価と工場での開発成果を生かして信頼性を確立した第二世代機を開発した。第二世代機の初号機 (関西電力(株)納め県立奈良医大機) は、現在約 2 年半の運転を経て順調に運転中である。奈良医大機の外観を図 4 に示す。

商用化への最大の課題はコストダウンであり、現在コ

スト低減の設計を織り込んだ第三世代機の開発に注力している。

(6) 中大容量機の開発

分散電源向けのリン酸型燃料電池としては、これまで主として加圧型のシステムが開発・試験されているが、当社では、加圧型と比較してシステムがシンプルで信頼性が高い常圧型のシステムを関西電力(株)との共同研究にて開発・検証を行った。開発したシステムは 5MW 級常圧型プラントの 1/8 部分モデルで、電池スタックは 1m<sup>2</sup> 級の大面積セルであり、改質器は 5MW への拡張性を考慮した設計となっている。5MW 部分モデルプラントの外観を図 5 に示す。

'96 年度から自社工場内で運転を開始し、'99 年 3 月に検証試験を終了した。累積発電時間は 13,130 時間で、プラント故障停止はなく、大面積セルの特性も安定に動作することが確認できた。

この規模の容量の燃料電池は、分散電源や地域冷暖房などのほかにも、消化ガス利用で下水処理場や食品工場向けにも用途が広がると考え、今回の検証結果を基に開発を継続していく計画である。

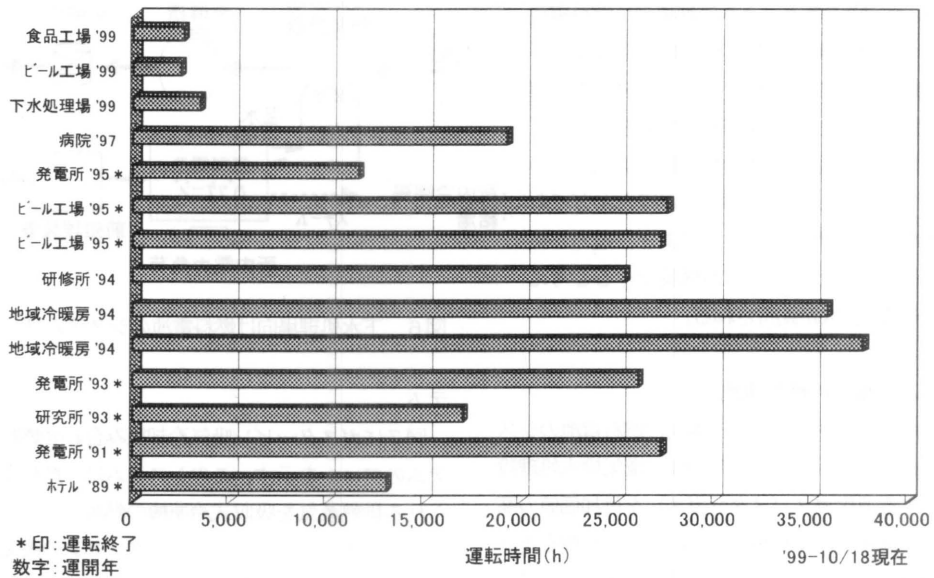


図3 200kWプラントの運転実績

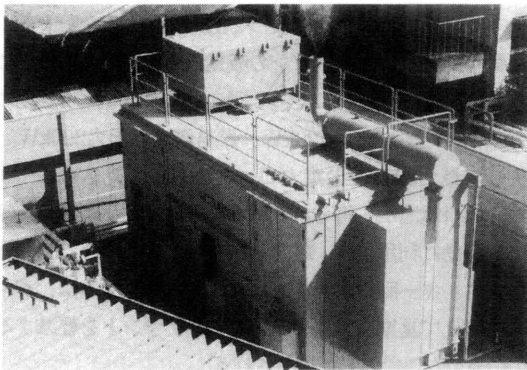


図4 奈良医大機の外観

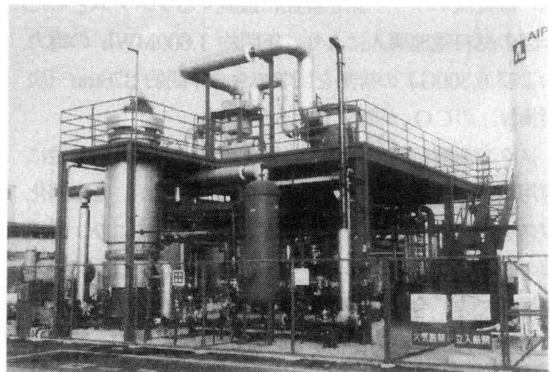


図5 5MW部分モデルの外観

### 3. アプリケーション開発

リン酸型燃料電池は実用化段階にあるが、今後さらに市場を拡大するためにはその用途開発も重要であり、標準仕様の都市ガス燃料に加えてメタノール・消化ガス（バイオガス）など多様な燃料に対応できるシステムの開発を行っている。特に消化ガスは、下水汚泥や食品工場排水を処理した時に発生するメタンガスで、都市ガス利用のシステムと比較し、燃料コストがかからないため経済的には有利となり、今後この分野への燃料電池の導

入が拡大すると予想される。

ここでは、最近納入した燃料電池発電システムの中から消化ガス利用燃料電池（下水処理場向け、ビール工場向け）およびガスタービン吸気冷却組合せ燃料電池システムについて紹介する。

#### (1) 下水処理場向け燃料電池

図6に消化ガス利用下水処理場向け燃料電池のシステムフローを示す。下水汚泥の嫌気処理で発生する消化ガスは、メタンが約60%、炭酸ガス約40%で不純物として

硫化水素等を含み、発熱量は都市ガス13Aの約半分の20~25MJ/m<sup>3</sup>(N)である。下水処理場向け燃料電池の場合、消化ガスの組成変動及び硫化水素などの不純物成分の影響があり、現地でのガス分析調査の結果を基に、制御方式と前処理装置の開発を行った。従来、下水処理場の嫌気処理で得られる消化ガスの利用法としては、ボイラーへの利用がほとんどであったが、燃料電池を導入することにより、電力と熱とを有効に活用できるシステムが構築できると考えられ、今後導入の拡大が期待される。

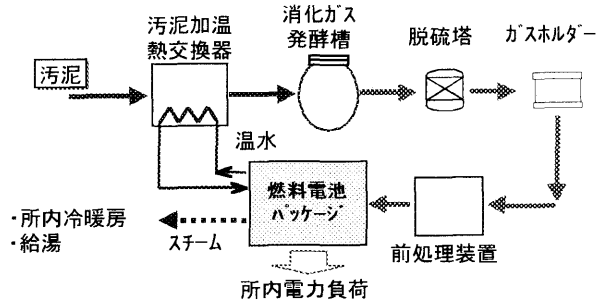


図6 下水処理場向け燃料電池のシステムフロー

(3) ビール工場向け燃料電池

図7に、消化ガス利用ビール工場向け燃料電池のシステムフローを示す<sup>2)</sup>。このシステムは、嫌気排水処理設備から発生する消化ガス(メタンガス)を付加価値の高い電力および排熱として利用するもので、初号機をキリンビール(株)栃木工場に出荷した。電力は系統連系により工場の一般負荷に、高温排熱(スチーム)は工場スチーム系統に合流させて工場内で利用し、低温排熱(温水)は貫流ボイラー給水経路に接続するシステムとした。今回の燃料電池導入により、年間約1,600MWhの電力および6,300GJの排熱を回収でき、年間約376ton(炭素換算)のCO<sub>2</sub>が削減できる。

メタン発酵処理で発生する消化ガスは、これまで主に専用ボイラーで燃料として利用されていたが、この消化ガスを燃料とする燃料電池を導入することにより、環境面のみならず、省エネルギー面からも理想的なシステムを構築でき、今後、嫌気処理設備を持つ食品工場への燃料電池導入機運が活発化すると期待される。

(4) ガスタービン吸気冷却組み合わせ燃料電池システム

テム

図7にガスタービン吸気冷却組み合わせ燃料電池システムのフローを示す。このシステムは、燃料電池から得られる排熱蒸気を吸収式冷凍機の熱源として用いることにより冷水を作り、これをガスタービンの吸気冷却に利用するもので、日清製油(株)と製品化し日清製油・横浜磯子工場の6,000kW級ガスタービン動力設備に適用した。ガスタービンは、コンプレッサ動力の占める割合が大きく、このため外気温によって出力が大きく変動する。吸気冷却は、ガスタービンの吸気温度を下げて、夏場に出力の回復を図るもので、今回のシステム導入で夏期にガスタービンで最大720kW、燃料電池の出力200kWと併せて最大920kWの電力ピークカットが見込める。また、燃料電池から得られる温水排熱はボイラ給水予熱等にも有効に利用され、電力と熱を合わせた総合で80%近いエネルギー回収が可能となる。このシステムは、省エネに加えて夏期に工場の電力ピークデマンドを軽減するのに有効な手段として期待される。

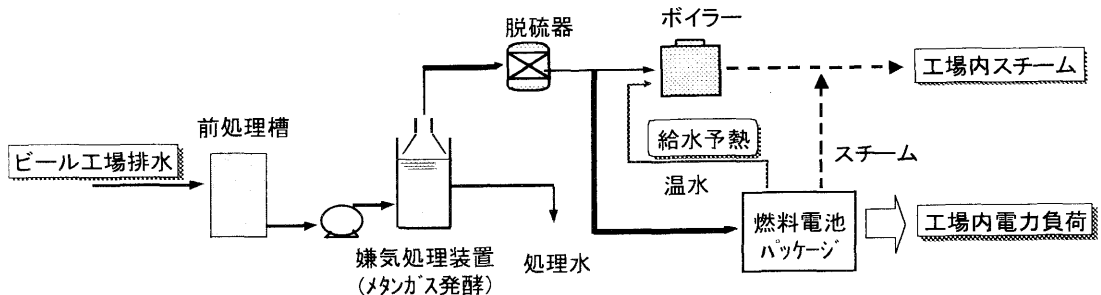


図7 ビール工場向け燃料電池のシステムフロー

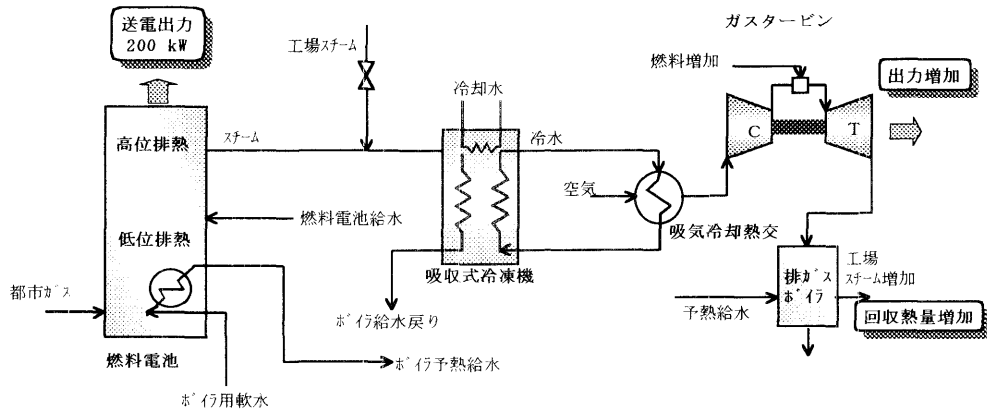


図7 ガスタービン吸気冷却組み合わせ燃料電池システム

4. おわりに

燃料電池の概要および燃料電池のアプリケーション例として消化ガス利用燃料電池及びガスタービン吸気冷却組み合わせ燃料電池システムについて述べた。燃料電池が環境性に優れ、高い総合効率が得られることについては、かなり一般のユーザへも理解されるようになってきた。今後、技術開発による価格の低下で市場を拡大し、

市場拡大に伴う量産効果で価格低下を実現していく計画である。

参考文献

- (1) 「燃料電池発電システムの分散配置技術」, 電気学会技術報告, 第711号, 14-17 (1999)
- (2) 石毛一男; クリーンエネルギー'99.3, 4-8 (1999)