

MCFC を用いた石炭火力排出 CO₂ 回収型

発電システム開発における PLC 計装の活用

中国電力（株） 大楽 正則
石川島播磨重工業（株） 湯浅 晃一
オムロン（株） 杉山 稔

1. はじめに

1997 年、「気候変動枠組み条約 第 3 回締約国際会議」で採択された「京都議定書」が、昨年 2 月 16 日に発効し、日本は温室効果ガスの排出量を 1990 年より 6%削減しなければならなくなった。このような状況において、燃料電池は炭酸ガスなどの温室効果ガスの排出を伴わずに発電できるため、21 世紀のエネルギー供給の有力候補として期待されている。

燃料電池は、固体高分子形（PEFC）、固体電解質形（SOFC）、リン酸形（PAFC）、熔融炭酸塩形（MCFC）があり、それぞれ異なった特長を持っており、実用化に向けて研究が進められている。すでに技術的には実用化段階まで達しているものもあるが、コスト面など、まだまだ改良すべき点が多い。

今回、熔融炭酸塩形燃料電池（以下 MCFC と略）の特長を生かした、石炭火力排出 CO₂ 回収型発電システム試験装置に PLC 計装を採用したので、ここでその概要を紹介する。

2. CO₂ 回収に適した MCFC

MCFC は作動温度が約 650 と高温で、燃料として天然ガスだけでなく、石炭ガス化ガス、消化ガスなどが利用できるため、適用範囲が広い。また、発電効率が 45～60%と高い。それに加えて、他の燃料電池と異なって電解質中を炭酸イオンが移動して発電することから、燃料極（アノード極）側に炭酸ガス（CO₂）が濃縮されるという特長がある。

この特長を利用して、石炭火力発電所から排出される CO₂ 回収型発電システムの開発を目的に、小型 MCFC 試験装置を用いた試験を、経済産業省の補助を受けて、中部電力（株）と共同で、中国電力の三隅発電所（島根県浜田市、出力 100 万 kW、石炭火力）（写真 1）内で行った（写真 2）。この技術が実用化され

ると、石油や石炭といった化石燃料を燃焼している火力発電所の排ガスから、効率良く CO₂ を回収できるようになるうえ、熔融炭酸塩形燃料電池による効率の良い発電ができ、環境負荷の低減に大きく貢献することができる。



写真 1 中国電力 三隅発電所

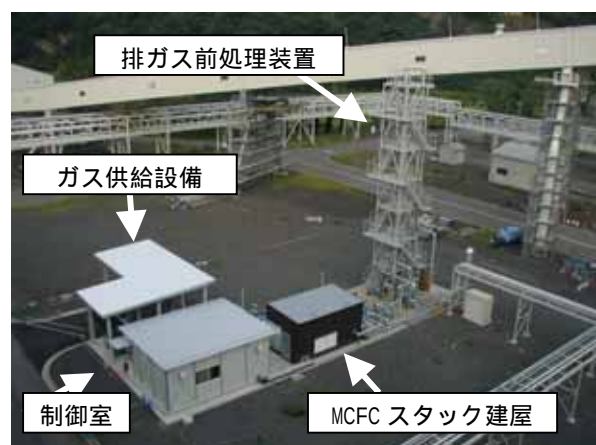


写真 2 三隅発電所内の MCFC 試験設備

3. 組合せによる評価

日本における MCFC の本格的な開発は 1981 年から始まった。石川島播磨重工業は、早くから MCFC の技術開発に取り組み、多くの成果を上げてきた。今回の石炭火力排出 CO₂ 回収型 MCFC 発電システムの技術開発において

も石川島播磨重工業が参加している。

すでに、MCFCのコアとなる技術は確立されており、昨年、名古屋で開催された「愛・地球博」でも、MCFC発電プラントが活躍した。

今回の試験では、石炭火力発電所からの排ガスを取り込んで連続運転試験を行った。稼働中の発電所の排ガスを用いて行う試験としては、日本で初めての試みである。これによって、排ガス前処理装置の機能評価、実際の排ガスを使った連続運転におけるMCFCスタックの機能評価に加え、実用化に向けての装置の組合せ、すなわち火力発電所の排出CO₂回収型発電システム全体を評価することも目的の一つになっている。

4．小型 MCFC 試験装置の概要

MCFCも、他の燃料電池と同様、水素と酸素の電気化学的反応により発電するが、酸素とともにCO₂を必要とするのが特長である(図1参照)。今回の試験では、燃料(アノード)側にはメタンガスを水蒸気で改質して生成した水素を使っている。また、空気(カソード)側には、発電所の排ガスを、いったん排ガス前処理装置で処理したあと、空気と混合して供給している(図2)。火力発電所の排ガスは、すでに排煙脱硝装置や脱硫装置によっ

て、硫黄酸化物の濃度を環境基準以下にしている。しかし、それでも高温で作動しているMCFCの電極材料の腐食を引き起こすため、さらにこの排ガス前処理装置で硫黄酸化物などの不純物の濃度を1ppm以下まで下げている。

火力発電所の排ガス中のCO₂濃度は15%程度であるが、MCFCスタック内での発電反応に伴い、燃料電池アノード側出口では80%程度まで濃縮される。これによって、火力発電所の排ガス中のCO₂を、より効率よく回収することができる。

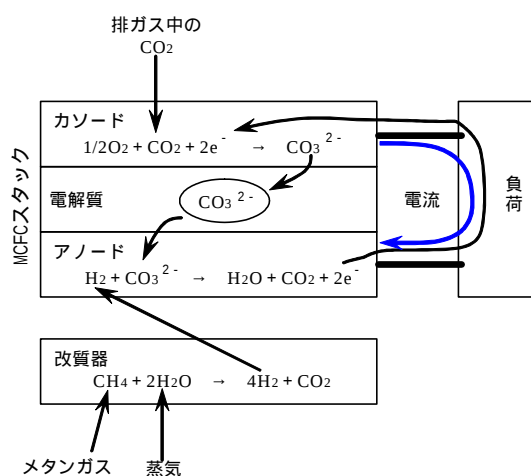


図1 MCFCの発電原理

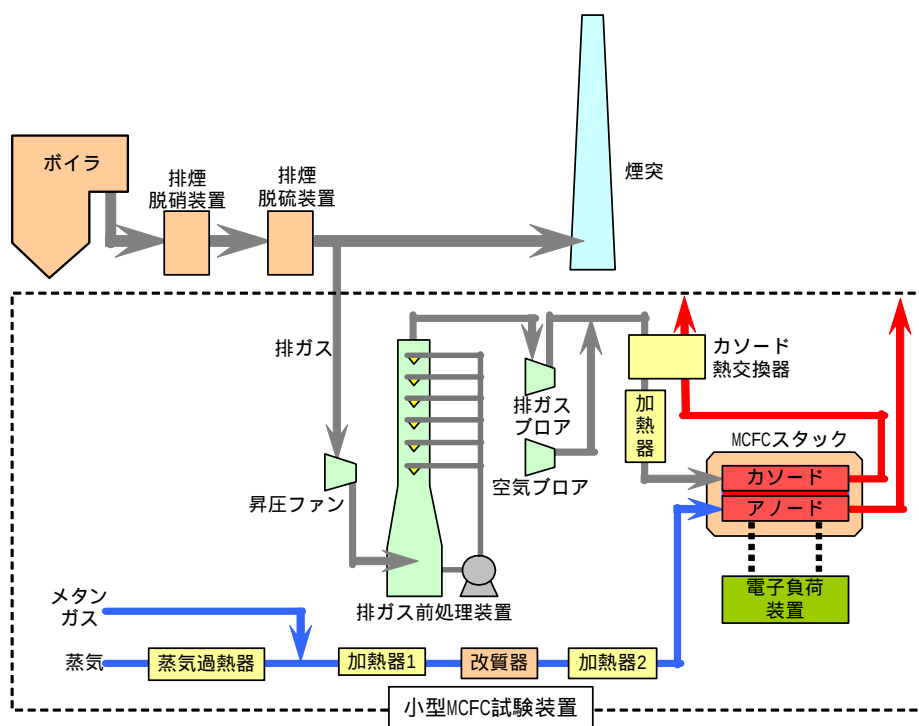


図2 小型MCFC試験装置の概要

5．制御機器に PLC 計装を採用

小規模な MCFC の試験装置では、制御を必要とする箇所や計測する温度などのアナログの点数も少ないため、ワンループの調節計を複数台使うことが多かった。

しかし、今回の試験装置は、本格装置では必要とされない燃料ガスの加熱を行っており、そのための温度制御数も多くなった。さらに、MCFC スタックの内部温度データを収集する必要があり、温度信号の取り込みは 70 点にもなった。さらに、制御ループ数も 29 ループと、小型試験装置にくらべはるかに多くなった（表 1）。

信号の種類	点数
アナログ入力 （温度信号を含む）	98点
アナログ出力 （制御出力を含む）	6点
接点入力	91点
接点出力 （制御出力を含む）	47点
制御ループ	29ループ

表 1 MCFC 試験装置における信号数

また、実用化に向けての試験であるため、2,000 時間以上の連続運転を行う必要があった。連続運転中にトラブルが発生すると、再び初めから試験をやり直さなければならず、時間のロスが多くなってし

まう。試験をスムーズに行うためには、連続運転の途中で制御が止まることは避けなければならない。このため、制御装置の冗長化を行うことにした。

従来、冗長化を必要とされるシステムには、DCS が採用されることが多かった。しかし、近年の PLC の機能向上には目をみはるものがあり、DCS とほとんど同じような機能を備えている。とくに、オムロンの PLC は、早くか

ら DCS とほぼ同じようなアナログ処理機能を持ち、さらに CPU の二重化、電源の二重化といった冗長化にも対応していて、多くの実績を残している。

今回は、試験装置ということもあり、よりコストパフォーマンスの良い制御システムが要求されていた。そこで、従来のワンループコントローラや DCS を含めて検討した結果、オムロンの二重化 PLC システム（CS1D シリーズ）を採用した（写真 3）。



写真 3 制御盤内部とオムロン製の二重化 PLC

HMI には、機能の充実した海外製の HMI ソフトという選択肢もあったが、コストを重視し、オムロン製の CX-Process モニタ Plus を採用した。この HMI は、ソフト単体の定価が 10 万円と安価でありながら、制御ループ画面、トレンド画面、イベントサマリー画面など、HMI として最低限必要な機能を持っている（写真 4）。

今回、制御装置の二重化（CPU と電源）は行ったが、PLC と HMI との間の通信は、あえて二重化は行っていない。しかし、2 台の監視・操作用のパソコンを用いて、まったく同じ操作や監視ができるようにした（写真 5）。





写真4 HMI の各種画面

左上：全体監視画面

中央上：制御系操作画面

右上：温度設定一覧画面

左下：電池本体温度・電圧監視画面

中央下：トレンド画面



写真5 監視・作業用のパソコン

6. おわりに

昨年12月に、2,000時間の連続運転も無事終了することができた。この連続運転試験の後、MCFCスタックの評価やシステム全体の評価を行い、その結果をもとに、引き続き実証システムによる試験を2007年度まで行われる予定である。

このような、試験装置では、システムの変更や改造が多いうえ、高信頼性、低コストが要求される。数ループ程度の小規模なシステムでは、ワンループ型の調節計でも対応可能だが、今回のように、中規模以上のシステムになると、ディスプレイ画面を使った監視システムが有効である。

演算機能を充実させたPLC計装は、二重化システムもラインアップされ、より高機能でコストパフォーマンスの良い制御機器となっている。今回、実際に採用した結果、初期の目的を達成することができた。

オムロンのPLCは、制御機器としての機能面ではDCSとほとんど変わらなかったが、HMIとして採用したCX-Process モニタ Plus は、グラフィック画面などに改善の余地があった。今後、機能アップされたCX-Process モニタ Plus がリリースされる予定と聞いている。

る。より、コストパフォーマンスの良いHMIのラインアップが期待される。

大楽 正則

ダイラク・マサノリ

中国電力株式会社

エネルギー総合研究所 CO2回収技術推進担当

湯浅 晃一

ユアサ・コウイチ

石川島播磨重工業株式会社

電力事業部 開発部 燃料電池グループ

杉山 稔

スギヤマ・ミノル

オムロン株式会社

営業統轄事業部 広域営業部

プロセスコントロールグループ

ハイブリッド・プロセス・システムチーム