石炭火力発電所排ガスからの CO_2回収型MCFC発電システムの開発

エネルギア総合研究所　CO_2回収技術推進担当　豊田　充生

1 まえがき

地球温暖化の主な要因とされる温室効果ガスのなかでも，二酸化炭素（CO_2）の影響は最も大きいとされている。このため，CO_2排出原単位の高い石炭火力発電所からの排出量削減は，非常に重要な課題となっている。

一方，溶融炭酸塩形燃料電池（MCFC）は，これまで主に国のプロジェクトとして開発が進められ，実用化段階となってきている。MCFCは，発電反応後のガス中のCO_2が高濃度になるという特徴を有しており，これは「CO_2濃縮機能」と呼ばれている。このガスからCO_2を回収すれば，高濃度であるため効率的な回収が可能となる。当社では，H10年度からこのCO_2濃縮機能に着目し，石炭火力発電所排ガスからCO_2を回収する発電システムの開発を実施している。

今回，当社三隅発電所（石炭火力）において，実排ガスをMCFC試験装置に導入しての運転試験を実施したので概要を報告する。

なお，この試験は経済産業省補助事業である「電源利用対策発電システム技術開発」の一部として，中部電力株式会社と共同で実施したものである。

2 概　　要

（1）MCFCのCO_2濃縮機能

MCFCはアノード（燃料極）に水素（H_2），カソード（空気極）にCO_2と酸素（O_2）を供給することにより発電する。

カソードに供給されたCO_2はO_2と反応して炭酸イオン（CO_3^{2-}）となり，電解質中をアノードへと移動する。アノードではH_2が電子を放出し，CO_3^{2-}と反応してCO_2とH_2Oを生成するため，アノード出口ガスからH_2Oを取り除くと，高濃度のCO_2を得られる。（図１）

この機能により，カソードに石炭火力発電所排ガスを導入すると，発電と同時にアノード出口ガス中にCO_2を濃縮することが可能となる。

（2）試験目的

CO_2回収型発電システムを構築する上で課題となるのは，石炭火力排ガス中に含まれる硫黄酸化物（SOx）が，MCFCカソード部材の激しい腐食を引き起こし，性能および寿命に影響を及ぼすことである。その中で特に腐食が懸念される部材は，カソード集電板である。（図２）

集電板とは，ガス流路となるセパレータの凹凸加工表面と，電極である多孔質体との間の接触抵抗（電気抵抗）を低減するための部材である。

これまでの試験結果から，SO_2の許容濃度は１ppm程度と想定されるため，今回の試験では，排ガス前処理装置を設置してMCFCカソードに導入する発電所排ガスをさらに脱硫し，その脱硫性能を検証することとした。

また，排ガス導入によるMCFCへの影響を検証するとともに，カソード集電板として最適材料を選定するため，溶融炭酸塩との接触抵抗が小さく，高い電池電圧を確保できるSUS316Lと，接触抵抗は比較的大きいが，耐腐食性に優れるSUS310Sを使用し，両者を比較することとした。（表１）

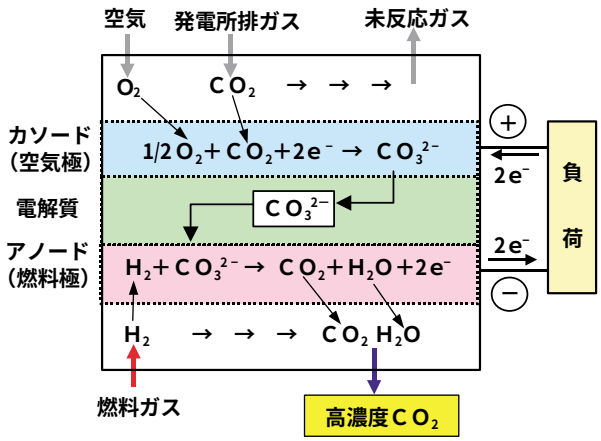

図１　MCFCのCO_2濃縮機能

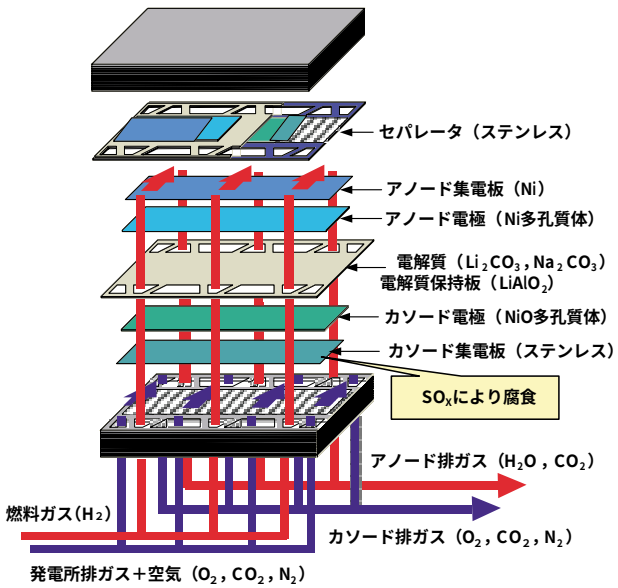

図２　MCFCスタック構成

表１　試験目的

排ガス前処理装置	・脱硫性能の検証 《目標SO_2濃度：１ppm以下》
MCFC	・排ガス導入による影響評価 ・カソード集電板材料の選定

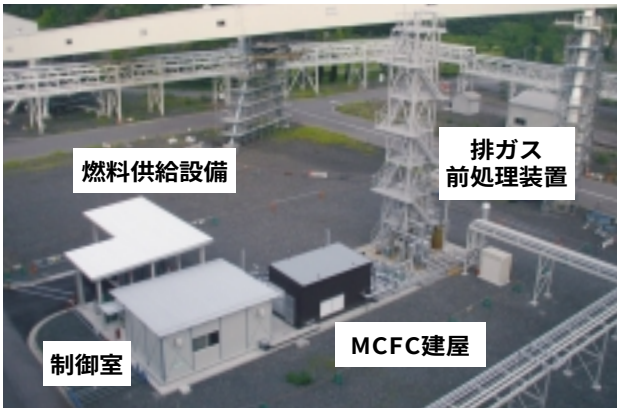

写真１　試験設備全景

（３）試験設備

三隅発電所構内に，排ガス前処理装置，MCFC，燃料供給設備および制御装置を設置した。（写真１）

燃料はメタンガスを水蒸気改質後，MCFCアノードに供給し，カソードへは発電所排ガスを脱硫後，空気と混合して供給した。MCFCの発電出力は電子負荷装置により調整した。（図３）

ａ．排ガス前処理装置

排ガス前処理装置は，実績が豊富な湿式－石灰石石膏法を採用し，スプレー段数を増やす等，反応性を向上させた仕様とした。（表２）

ｂ．MCFC（写真２）

MCFCは，実用規模の面積（１㎡級）のセルでスタックとしての性能評価が可能となる10kW級とした。（表３）カソード集電板材料には，上部５セルにSUS316Lを，下部５セルにSUS310Sを使用した。

表２　排ガス前処理装置仕様

方　　式	湿式－石灰石石膏法
処理ガス量	580N㎥/h
入口SO_2濃度	60ppm
出口SO_2濃度	1ppm以下
スプレー方式・段数	渦巻ノズル×６段

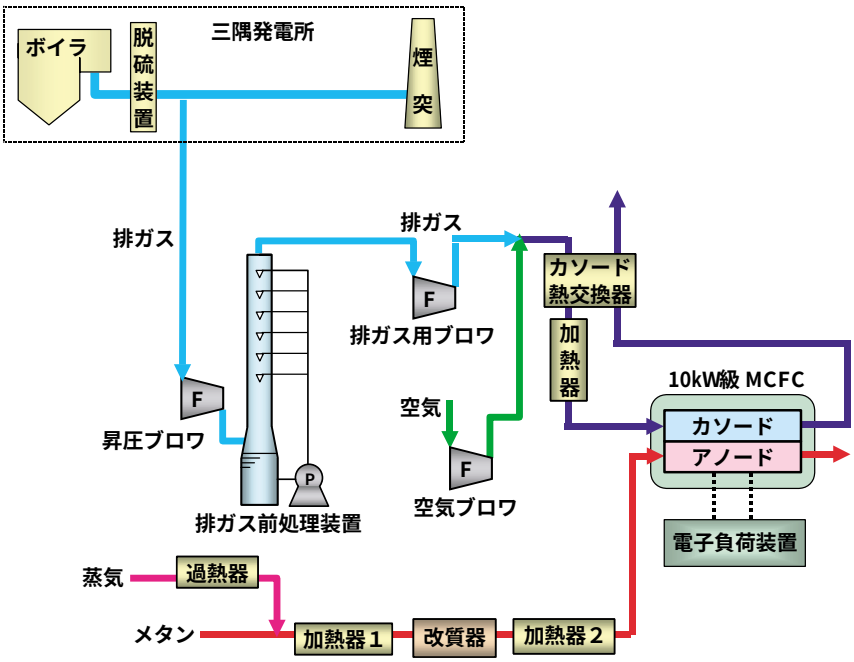

図３　小型MCFC試験装置構成

写真２　10kW級MCFCスタック

表３　MCFC仕様

出　　力	10kW級
セル数	10セル
セル反応面積	1.0305㎡
スタック作動温度	650℃

（4）運転試験

発電所排ガスを導入して運転し，運転状態の監視制御，データ収集を実施した。（図４）

a．排ガス前処理装置

運転期間中，排ガス前処理装置出口のSO_2濃度を測定した結果，発電所排ガス中に含まれる20～70ppmのSO_2を，全運転期間を通じて目標性能である１ppm以下にまで低減できた。（図５）

その他の不純物についても，濃度を測定したが，いずれの不純物も極微量であり，MCFCの性能および寿命には影響しない水準であった。（表４）

なお，NOxについては，50ppm程度であれば電池性能の低下はほとんど発生しないことがこれまでに確認できているため，除去対策は不要であると考えられる。

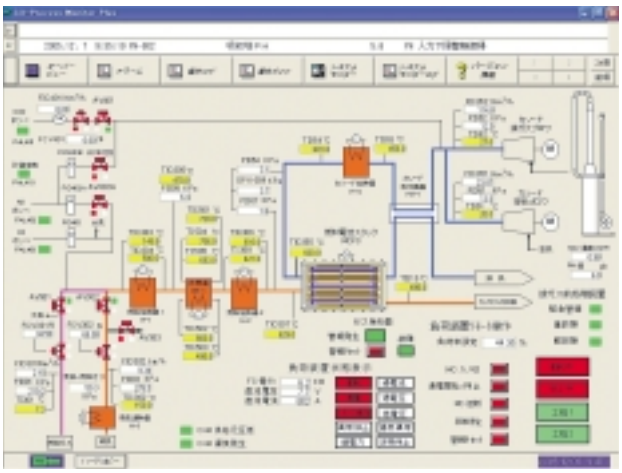

図４　小型MCFC試験装置監視制御画面

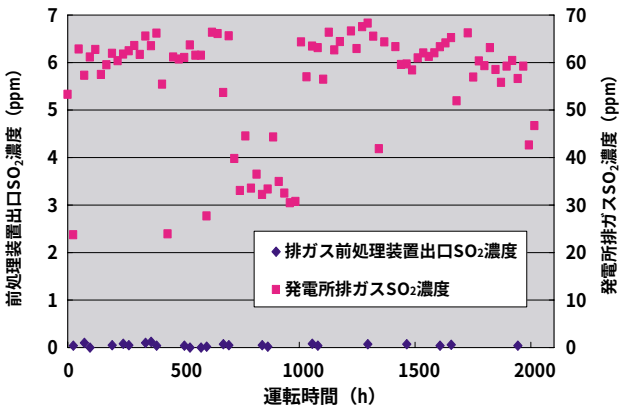

図５　SO_2濃度経時変化

b．MCFC

MCFCは，腐食による発電停止等，大きなトラブルも発生することなく，発電所排ガス導入による約2,000時間の連続運転を達成できた。（図６）

運転期間中，各セルの電圧を測定した結果（図７），排ガスを導入したことによる顕著なセル電圧の低下は認められなかった。（図８）

表４　排ガス前処理装置出口不純物濃度

物質	単位	濃　　度
SO_2	ppm	0.03～0.07
F	mg/N㎥	＜0.2（検出下限以下）
Cl	mg/N㎥	＜0.2（検出下限以下）
NOx	ppm	45～48

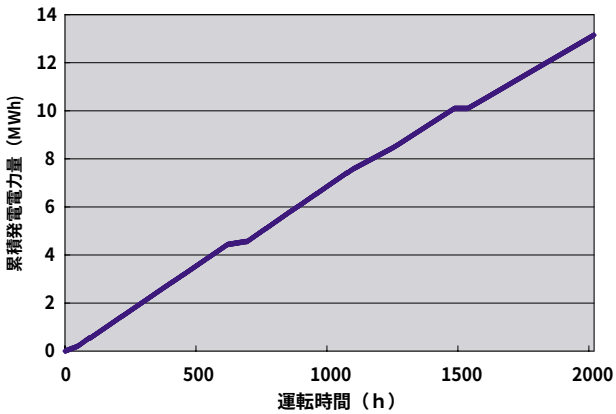

図６　MCFC累積発電電力量

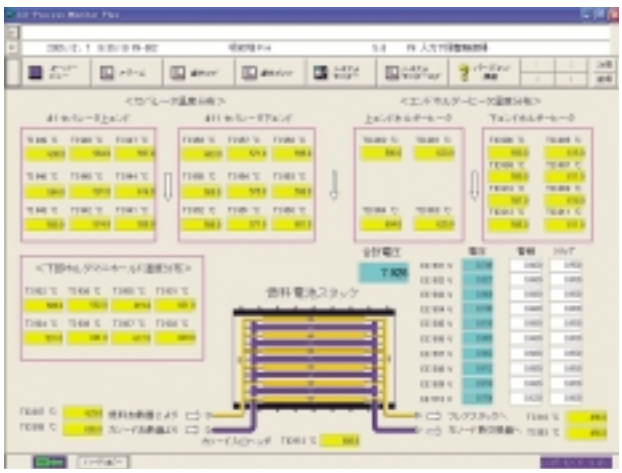

図７　MCFCセル電圧測定画面

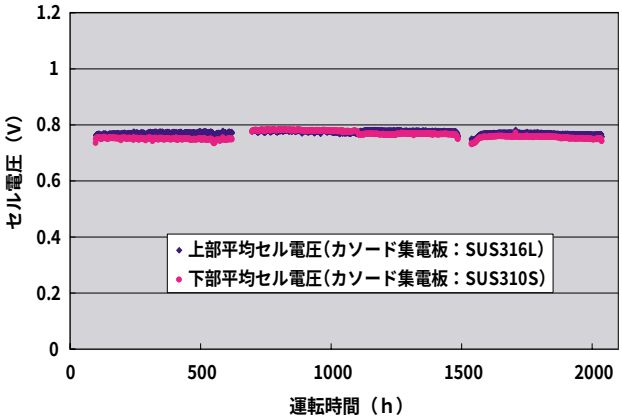

図８　セル電圧経時変化

写真３　セル解体断面

また，カソード集電板に異なる材料を使用した上部５セルと，下部５セルを比較したが，セル電圧値およびその経時変化に顕著な差は認められなかった。（図８）

（５）解体分析

連続運転終了後，MCFCスタックを解体し，排ガス導入による影響を解析した。

セルの外観を観察したが，異常な腐食の痕跡等は確認されず，健全な状態であった。（写真３）

腐食性評価のため，カソード集電板の最大侵食深さを測定し両材料を比較したが，腐食量は同等であった。（表５）

表５　カソード集電板最大侵食深さ

材　料	最大侵食深さ
SUS316L	13μm
SUS310S	11μm

MCFCの電解質である溶融炭酸塩（Na_2CO_3＋Li_2CO_3）は，ステンレスへの腐食性を有するが，今回の試験結果は通常の（発電所排ガスを導入しない）MCFCの運転で発生する腐食量と同程度であり，セル電圧の顕著な低下が発生しないという結果（図８）を裏付けることができた。

以上の結果から，発電所排ガスを導入したことが要因となる腐食は発生しておらず，材料の違いによる顕著な腐食の差も生じていないことが検証できた。

（６）研究成果

・湿式―石灰石石膏法により，発電所排ガス中のSO_2を１ppm以下にまで低減することが可能である。
・排ガス前処理装置の性能を維持できた場合，MCFCに石炭火力排ガスを導入しての運転が可能である。
・CO_2回収型MCFC発電システムのカソード集電板材料としてSUS316Lを使用することが可能である。

❸ あとがき

今後，今回の試験成果を反映し，CO_2回収装置まで含めたシステムを設置し，CO_2回収効率および発電効率の向上を目的とした運転試験を通して，システムとしての総合評価を行う計画である。