

幅広い石炭性状及び規制に対応可能な 火力発電所用総合排煙処理システム(AQCS)

AQCS (Air Quality Control System) for Thermal Power Plant
Capable of Responding to Wide Ranges of Coal Properties and Regulations



大峰 成人*1
Naruhito Omine

長安 立人*2
Tatsuto Nagayasu

石坂 浩*3
Hiroshi Ishizaka

三宅 一明*4
Kazuaki Miyake

織田 啓吾*5
Keigo Orita

香川 晴治*6
Seiji Kagawa

インドや中国の石炭火力発電所で用いられる石炭は灰分が高く、煤塵規制強化も伴い、高い除塵性能が必要となる。三菱日立パワーシステムズ(株)(MHPS)グループのオリジナル技術である高性能煤塵除去システムの高煤塵濃度条件下での除去性能を 1.5MW パイロット設備で実証し、中国のゾウシェン発電所(1000MW)の改造案件に適用して煙突出口煤塵濃度 $5\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ 以下を達成した。また、インドの Rihand 発電所(500MW×2)の乾式電気集塵装置(EP: Electrostatic Precipitator)改造案件では、高性能な移動電極型電気集塵装置(MEEP®: Moving Electrode type Electrostatic Precipitator)を備えた独自の EP を適用し、既設スペースでの改造のみで EP 出口煤塵濃度を $500\sim 600\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ から $50\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ 以下に低減した。

1. はじめに

近年、電力需要が旺盛な新興国、特にインドや中国では大気中の微粒子(PM: Particulate Matter)濃度増加が問題になっており、火力発電所から排出される煤塵の規制も強化され始めた。インドや中国の火力発電所で使用される石炭の多くは、灰分が 30~45%程度と、日本や欧米で使用される一般的な石炭(灰分 10%前後)に比べて著しく高灰分であり、高い除塵性能が必要となる。また、インドや中国の火力発電所では、既に煤塵除去のための一般的な集塵装置は設置されており、規制強化に対応するために、限られた敷地で対応可能な改造を望まれるお客様も多い。

これに対する有望な対策技術として、MHPSグループのオリジナル技術である①熱交換器とEPを組み合わせて排ガス温度を調整することで高い集塵効率を達成することができる高性能煤塵除去システム、②MEEP®を備えたEPが挙げられる。これらの技術は、国内外で多くの実績があったが、インド炭や中国炭のような高灰分炭での実績は、これまでなかった。本報では、上記二つの高性能煤塵除去技術の概要と、それらの高灰分炭種への適用結果について紹介する。

2. 高性能煤塵除去技術

2.1 高性能煤塵除去システム

図1に高性能煤塵除去システムと従来システムのフローを示す。従来システムでは、ガスクーラをEPと脱硫装置の間に設置することから、EPにおける排ガス温度は $130\sim 160^\circ\text{C}$ である。これに対し、高性能煤塵除去システムでは、ノンリーク型・フィンチューブ式のガスクーラをEPの前に設

*1 三菱日立パワーシステムズ(株)環境プラント総括部環境開発部

*2 三菱日立パワーシステムズ(株)環境プラント総括部 副総括部長 技術士(機械部門) 米国 Professional Engineer

*3 三菱日立パワーシステムズ(株)環境プラント総括部脱硫技術部 主席技師

*4 三菱日立パワーシステムズ環境ソリューション(株)技術本部計画開発部 部長 技術士(建設部門)

*5 三菱日立パワーシステムズ環境ソリューション(株)技術本部計画開発部

*6 総合研究所 主席プロジェクト統括 技術士(化学部門)

置ることにより、EP における排ガス温度を 90～100℃にまで低下させる。EP は静電気の力を利用しており、放電極から発するマイナスイオンにより帯電した煤塵をプラス側の集塵極に移動させて捕集し、槌打で衝撃を与えて剥離・回収する。

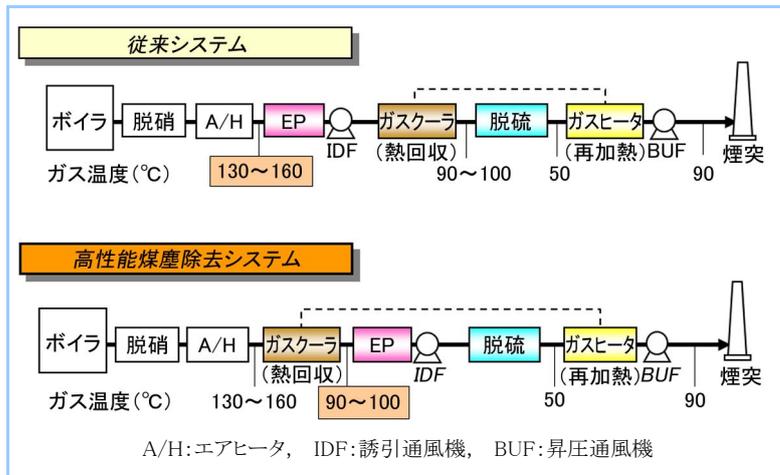


図1 従来システムと高性能煤塵除去システムの構成
 高性能煤塵除去システムではEPの前段にガススクーラを設置し、EPでの処理排ガス温度を90～100℃とする。

図2は石炭火力で排出される煤塵の電気抵抗率(ρ)と排ガス温度の関係を示したものである。 ρ はEPの集塵性能に最も影響を与える因子で、従来システムの運転温度130～160℃では ρ が高い領域であるのに対し、90～100℃で運転する高性能煤塵除去システムでは、 ρ が低下する。 ρ が高くなると、集塵極への煤塵の付着力が強くなり、槌打による煤塵の払い落としが困難となる。これにより集塵極に堆積した煤塵の層内から、逆極性のプラスイオンが集塵領域内へ放出される逆電離現象が生じ、EPの集塵性能が急激に低下する。従って、高い集塵性能を維持するためには、高抵抗の煤塵による逆電離現象への対策が必要不可欠である。EPの運転温度が90～100℃となる高性能煤塵除去システムでは煤塵が槌打で剥離し易い領域まで ρ が下がるため、従来システムよりも集塵性能が向上する。これにより、EP設備のコンパクト化が可能となるほか、脱硫装置への煤塵流入量が減少することで、脱硫装置からの副生石膏の品質(純度)が向上する。

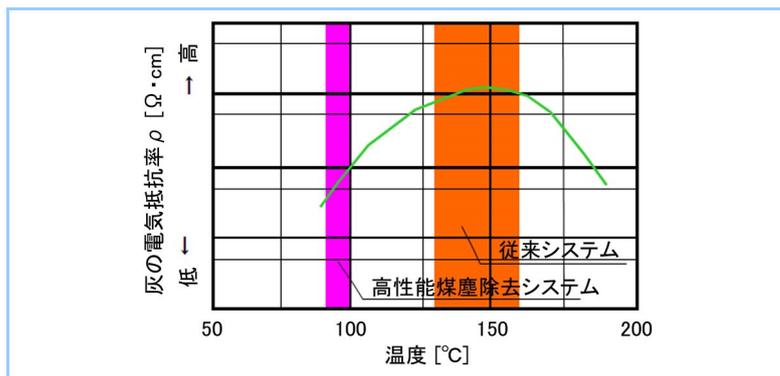


図2 排ガス温度と灰の電気抵抗の関係
 石炭灰は排ガス温度によって電気抵抗が変化し、高性能煤塵除去システムの温度域では従来システムよりも電気抵抗が下がる。

これまで、高性能煤塵除去システムでは、煤塵のみならず、水銀(Hg)やセレン(Se)といった有害微量成分や紫煙・酸性雨の原因となる三酸化硫黄(SO₃)の高度除去に対して、従来システムに比べて有利であることをパイロット設備や実機試験において実証してきた¹⁾。しかしながら、インドや中国の高灰分炭種に適用するためには、高煤塵濃度雰囲気となるガススクーラでの灰の堆積状況と伝熱特性の関係やフィンチューブの摩耗速度を評価し、高性能煤塵除去システムの要となるガススクーラが高煤塵濃度でも問題なく運用できることを実証しておくことが必要となる。

2.2 移動電極型電気集塵装置(MEEP®)

一般的な固定電極のみで構成される従来の EP では、集塵極に堆積した煤塵を剥離・回収するための槌打時に、微細な煤塵が排ガスに同伴されて再飛散し、結果として煙突から排出される煤塵濃度も高くなる。また、高抵抗の煤塵では、集塵極への付着力、粒子間の凝集力が強く、槌打の衝撃で剥離されにくく、電極の汚れによる経時的な性能の劣化が起こる。

当社の EP は図3に示すように一般的な固定電極を前段に設置して、排ガス中に浮遊する数万 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ の煤塵をある程度まで粗取りし、後段に配置する独自技術の MEEP®で残りの微細な煤塵や高抵抗の煤塵を除去するため、EP 出口の煤塵濃度を数十 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ まで低減できる。図4に MEEP®の構造を示す。集塵極エレメントが電極駆動チェーンによって周回移動し、その間にエレメント表面に静電捕集された煤塵を排ガスが流れていないホップ内に設置したブラシで強制的に掻き落とす。そのため、一般的な固定電極における槌打方式で剥離されにくい高抵抗の煤塵や槌打でガス流に乗り再飛散するような微細な煤塵において優れた集塵性能を発揮する。従って、既設 EP の能力増強を目的とした改造案件に MEEP®を適用すると、EP 設置面積を増加させることなく性能向上が図れるため、MEEP®は近年の世界各国における排ガス規制強化への対策として非常に有効である。

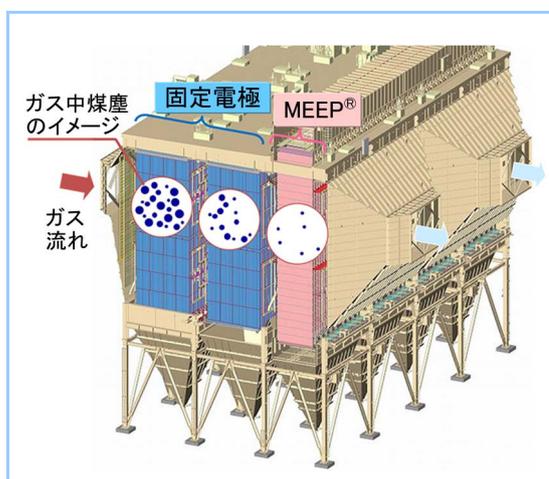


図3 当社 EP の構造(一例)
MEEP®を備えた当社 EP の構造の一例

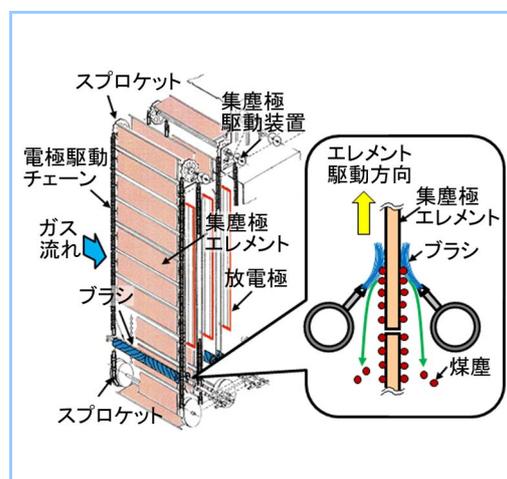


図4 MEEP®の構造
集塵極の駆動とともに付着灰をブラシで掻き落とすことで集塵性能が高いまま維持される。

3. 高性能煤塵除去システムの実証と中国実機への適用事例

3.1 自社パイロット設備における高灰分炭での高性能煤塵除去システムの実証

既報¹⁾で紹介した 1.5MW パイロット設備を用いて、高灰分のインド炭及び中国炭燃焼時の EP での集塵性能や、ガスクーラでの伝熱特性、フィンチューブの摩耗速度について評価した²⁾。本設備は、図5に示すように、実際の石炭火力発電所と同様、火炉、熱交換器、脱硝触媒、ガスクーラ、ガスヒータ、EP(バイパスによりバグフィルタも使用可能)、湿式脱硫装置を一通り具備しており、各装置の運転条件を自在に変化させることができるため、多様な試験が可能で、高性能煤塵除去システム開発の段階から使用してきた。

インド炭と中国炭での EP 出口煤塵濃度を従来システムと高性能煤塵除去システムで比較した結果を図6に示す。これまでの知見同様、高灰分炭においても EP 温度を低下させる高性能煤塵除去システムで集塵性能が向上した。インド炭灰と中国炭灰の電気抵抗(図7)を見てみると、高性能煤塵除去システムにおける EP での処理排ガス温度範囲で、灰の電気抵抗が低下していることを確認した。

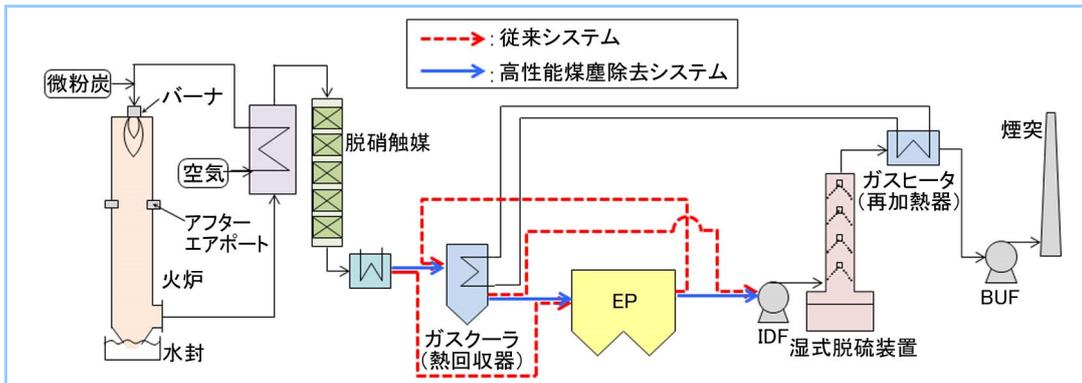


図5 1.5MW 自社パイロット設備のフロー
 自社設備は実機同様、火炉から煙突まで一通りの装置を備えている。

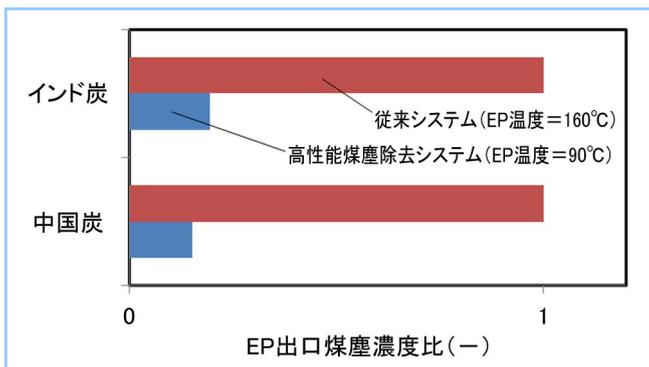


図6 高性能煤塵除去システムにおけるガスクーラの
 総括伝熱係数の推移
 高灰分炭であるインド炭, 中国炭ともに EP の処理排ガス温度
 を低下させることで集塵性能が向上

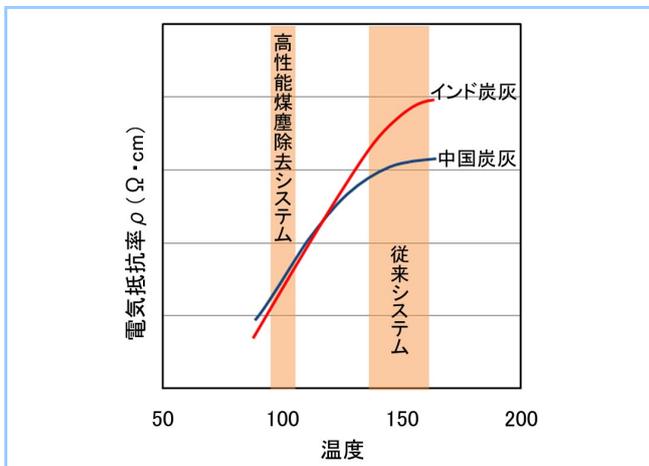


図7 高灰分炭灰の電気抵抗の温度特性
 高性能煤塵除去システムでの集塵性能向上は電気抵抗率の
 低下が要因である。

図8にパイロット設備のガスクーラの構造を示す。実機同様のノンリーク型・フィンチューブ式であり、フィンチューブに付着した灰はスートブローで除去可能である。図9に高性能煤塵除去システムにおけるインド炭燃焼時のガスクーラでの熱交換性能を表す総括伝熱係数 α の変化を示す。ガスクーラ入口の排ガス中煤塵濃度は $30\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ と高く、灰の堆積に伴って総括伝熱係数 α が経時的に低下する傾向であった。しかし、定期的なスートブローによって堆積灰は容易に除去でき、総括伝熱係数 α も初期値まで回復することが確認できた。また、フィンチューブと同じ材質の炭素鋼製テストピースをガスクーラ入口に設置し、煤塵による摩耗を減肉速度として評価した。その結果、従来システムと高性能煤塵除去システムでの減肉速度は同等であることを確認し、高性能煤塵除去システムの高灰分炭種への適用に問題はないことが確認できた。

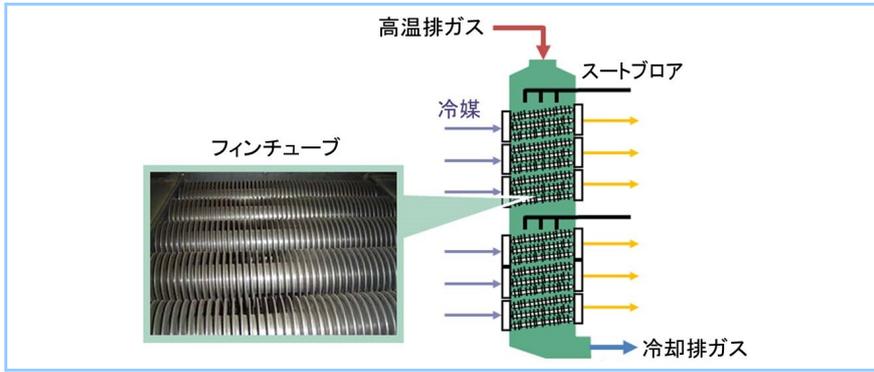


図8 ガスクーラの構造

ガスクーラは、内部に配列したフィンチューブに冷媒を通すことにより排ガスを冷却する。チューブに付着した灰はスートブロアで除去する。

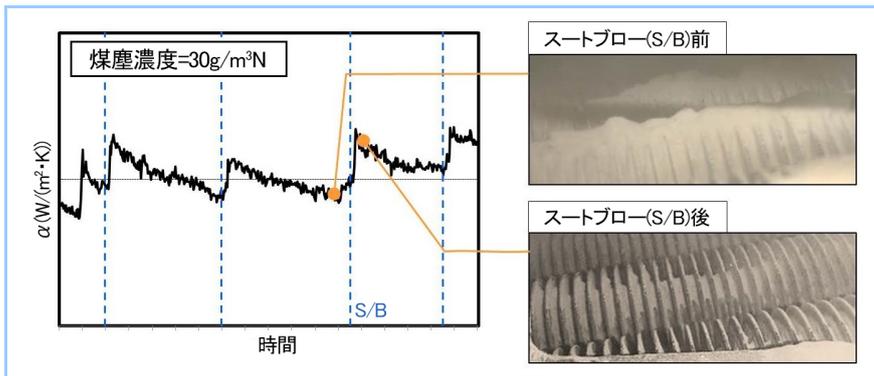


図9 高性能煤塵除去システムにおけるガスクーラの総括伝熱係数の推移

インド炭のような排ガス中煤塵濃度が高い条件においても、ガスクーラのフィンチューブへの堆積灰はスートブロアによって除去でき、総括伝熱係数も初期値へ回復する。

3.2 中国ゾウシェン発電所(1000MW)での煤塵除去性能向上案件への適用事例

中国では、火力発電所からの有害物質排出規制強化により、主に硫黄酸化物と煤塵の排出量低減が要求されるようになり、既設の排ガス処理装置の能力増強のための改造案件が増加している。本改造案件もその一つで、2014年に他メーカによってEPと脱硫装置の能力増強改造がなされたが、更なる規制強化のため、MHPSグループである浙江菲達菱立高性能烟気浄化系統工程有限公司(FMH)が2015年の設立後、初号機として受注した案件である。

図10は改造前後のEP入口からのシステムフローを示す。主な改善点は、回転式GGH(ガスガスヒータ)を撤去し、ノンリーク型のGGH熱回収器と再加熱器をそれぞれEP前段と脱硫後段に設置したことによる高性能煤塵除去システム化と、脱硫装置の循環ポンプやスプレッヘッド、ノズル、攪拌機などの補機や内部品を更新することで、脱硫性能と脱硫装置自体の除塵性能向上を図ったことである。

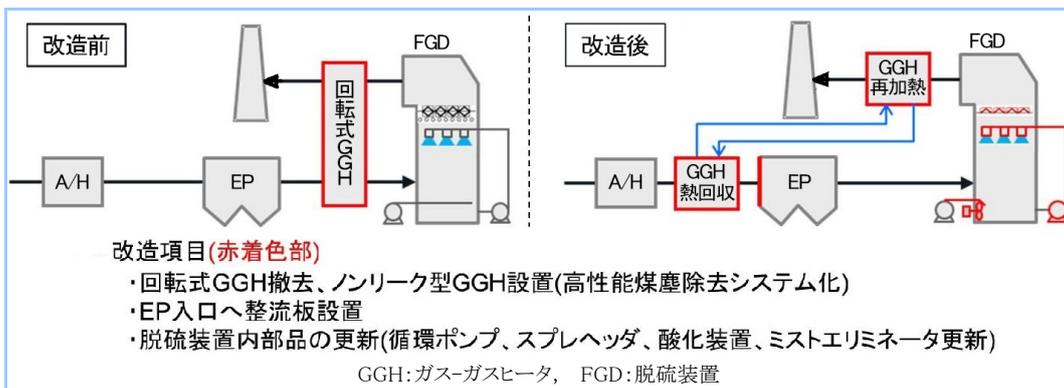


図10 中国における煤塵排出量低減化改造の概要

AQCS全体のサプライヤの強みを生かし、高性能煤塵除去システム化と脱硫装置での脱硫性能、除塵性能を向上させることでお客様の要求を満足させた。

表1はお客様の要求値に対する改造後の結果を示している。煤塵濃度の要求値は将来の煤塵規制を見越したもので、5mg/m³N 以下と、日本の火力発電プラントにおける近年の排出煤塵濃度要求値と遜色がない。さらに、改造の対象が他メーカーの既設装置ということで、事前の調査を緻密に行う必要があるなど、高度な対応を必要とする案件であったが、AQCS 全体のサプライヤとしての強みを生かし、総合的なシステムに組み上げたことで、お客様の要求値を集塵性能と脱硫性能、ともに達成することができた。

表1 中国実機(1000MW)の煤塵排出量低減化改造の結果

システム全体を適正化することによってお客様要求値を達成

	改造前	お客様要求値	改造後
EP 入口煤塵濃度 [mg/m ³ N]	25000	—	—
EP 出口煤塵濃度 [mg/m ³ N]	30	≤30	10
脱硫装置出口煤塵濃度 [mg/m ³ N]	14	≤5	2
脱硫装置出口 SO ₂ 濃度 [mg/m ³ N]	70-330	≤35	10-23

4. 高煤塵案件への MEEP[®]適用事例

4.1 インド既設 EP 改造案件の概要

MEEP[®]の適用事例として、インド国営火力発電公社(NTPC:National Thermal Power Corp.)が所有する Rihand 石炭火力発電所の既設 EP 改造案件を紹介する。本案件は図 11 に示す 500MW のボイラ2ユニットに対して各4基ずつある EP の内部更新で、納入後 25 年が経過した6区タイプの固定電極から図 12 に示すように前段4区を当社仕様の固定電極に、後段2区を MEEP[®]に改造したものである。

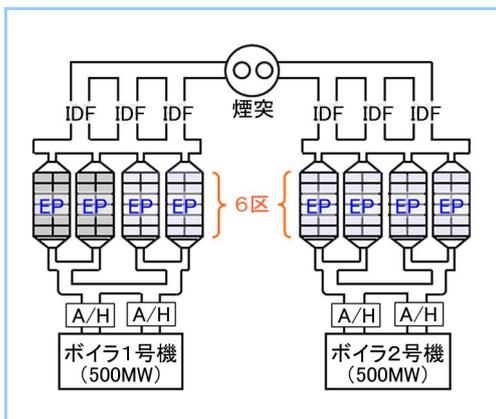


図 11 Rihand 発電所(Stage-I)設備フロー
当社が受注した EP(Stage-I)の設備フロー図

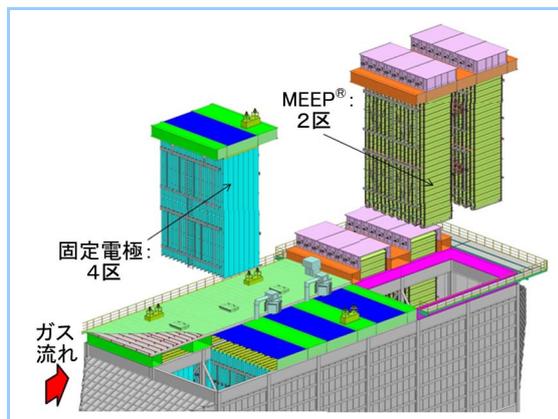


図 12 EP の内部更新
前段4区を当社仕様の固定電極に更新し、後段2区を MEEP[®]に改造

表2 EP 改造前後の排ガス条件

改造前(お客様提示値)と改造後(計画値)の EP 排ガス条件を示す

	改造前 (お客様提示値)	改造後 (計画値)
入口ガス量 [m ³ /s]	1050	1050
入口ガス温度 [°C]	160	160
入口煤塵濃度 [mg/m ³ N]	44000	56000
出口煤塵濃度 [mg/m ³ N]	500-600	≤50

改造前後の EP 計画条件を表2に示す。使用するインド炭の灰分が 40%程度であるため、EP 入口の煤塵濃度は高かった。また、事前検討の結果、この石炭から排出される煤塵は非常に高抵抗で、これが集塵極に堆積し続けることで性能は大きく低下することが推定された。お客様の厳しい要求性能(出口煤塵濃度 50mg/m³N 以下)に対して、全て固定電極で計画した場合、約2倍の集塵面積が必要となり、ダクトを含む大幅な改造を実施しなければならない見込みであつ

た。これに対して、MEEP®は集塵極を常に清浄に保つことができるので、高抵抗の煤塵を排出するインド炭に対しても高い集塵性能を発揮し、EP のコンパクト化が可能である。従って今回、後段2区に MEEP®を適用することとし、既設スペースでの改造のみでお客様の要求値を満足する計画が可能となった。

4.2 MEEP®適用結果

2017年3月に性能試験まで完了し、営業運転に入っている。試運転中に MEEP®で捕集された煤塵が計画よりも細かく、且つ高抵抗となっていることが判明したため、MEEP®運転条件の見直しを実施した。その結果、性能試験で両ユニットともお客様が要求する EP 出口煤塵濃度 $50\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ 以下を達成し、改造前(出口煤塵濃度: $500\text{--}600\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$)よりも煤塵排出量を大きく低減することができた。図 13 に改造前後の煙突からの排煙の様子を示す。MEEP®改造による性能向上は明らかで、高煤塵、高抵抗且つ微細な煤塵を処理するインド国内の石炭火力発電所においても MEEP®の優位性を十分に発揮できることを実証した。

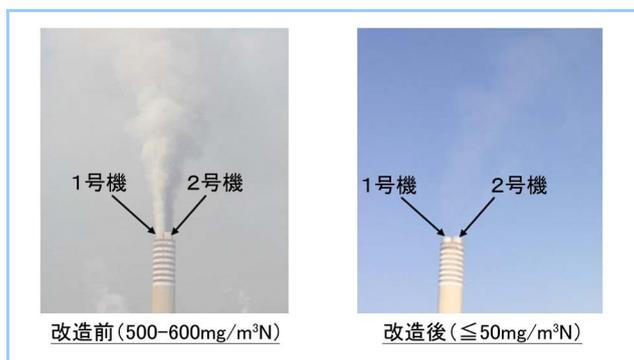


図 13 煙突からの排煙の様子

EP 改造前後での煙突からの排煙写真。煙突から排出される煤塵濃度が明らかに低減されたことが確認できる。

5. まとめ

近年、世界的な環境対策推進の流れを背景に、環境技術の重要性は高まっている。これまで、基礎段階から開発し、パイロット試験や実機試験において実証してきた排ガス中の煤塵及び有害微量成分を高度に除去できる AQCS を高灰分炭にも適用できることを実証し、実機改造案件に適用した。今後も AQCS 全体のサプライヤとして、導入する国の石炭性状や規制、プラントの状況に応じて最適なシステムを提案し続け、排ガスだけでなく、固形排出物(回収煤塵、脱硫石膏)及び排水中の有害物質の低減技術、固定化技術等についても開発を行い、火力発電所全体での環境負荷の低減に貢献していく。

最後に、今回の 1.5MW パイロット設備でのインド炭実証試験でご協力いただいた(一財)石炭エネルギーセンター(JCOAL)の関係各位に深く感謝いたします。

注. MHPS 環境ソリューション(株)は MEEP®を含む全ての集塵装置事業を 2015 年 10 月に(株)日立プラントコンストラクションから承継しています。

参考文献

- (1) 吉川ほか, AQCS (Air Quality Control System) による石炭火力発電所排ガス中の有害微量成分及び煤塵の高度除去, 三菱重工技報 Vol.52 No.2 (2015) p.94~100
- (2) Nagarajan, S. et al., Experimental results of AQCS for Indian coal, Power-Gen India & Central Asia 2017