

CO₂分離回収技術の火力発電プラントへの適用

Application of Carbon Dioxide Capture Technologies to Thermal Power Plants

江上 法秀

鈴木 健介

岩浅 清彦

■EGAMI Norihide

■SUZUKI Kensuke

■IWASA Kiyohiko

火力発電の需要拡大が今後も見込まれるなか、火力発電プラントからの二酸化炭素 (CO₂) 排出量を削減する技術として CO₂分離回収・貯留 (CCS: Carbon Dioxide Capture and Storage) が注目されている。

東芝は、CO₂分離回収技術に焦点を当て大規模 CCS の実現に向けた技術開発に取り組んでおり、これをベースに、ブルガリアの新設超臨界石炭火力発電所への CCS 付設や、台湾の既設石炭火力発電所への CCS 付設など、具体的な CCS の適用を検討している。これらの結果は対象となる発電所とも共有して、CCS 導入を検討するうえで有効なものとなった。今後も大規模 CCS の実現に必要な技術開発を進め、これをベースに国内外に向けた CCS 導入提案を行っていく。

Accompanying the ongoing expansion of thermal power plants, attention is being focused on the reduction of their carbon dioxide (CO₂) emissions by CO₂ capture and storage (CCS).

Toshiba is focusing on the development of CO₂ capture technologies toward the realization of large-scale CCS. Based on our accumulation of development experience in this field, we are committed to delivering solutions that can apply CCS to both existing and newly constructed thermal power plants. We have conducted studies on the application of CCS to a newly constructed ultra-supercritical (USC) coal-fired thermal power plant in Bulgaria and an existing coal-fired thermal power plant in Taiwan. These results have been shared with electric utilities for their review and are making a useful contribution to their consideration of CCS application options for their power plants. We are putting forward concrete proposals to power utilities around the world for the realization of large-scale CCS applying our proprietary CO₂ capture technologies.

1 まえがき

世界では、新興国を中心に将来にわたり電力需要が拡大し、それを支える電源として火力発電がますます重要になると予想されている。火力発電では、シェールガス革命を契機とした天然ガスの利用や、埋蔵量が豊富な低品位石炭の有効利用も注目されている。また国内でも、石炭火力発電所の新規建設が検討されている。

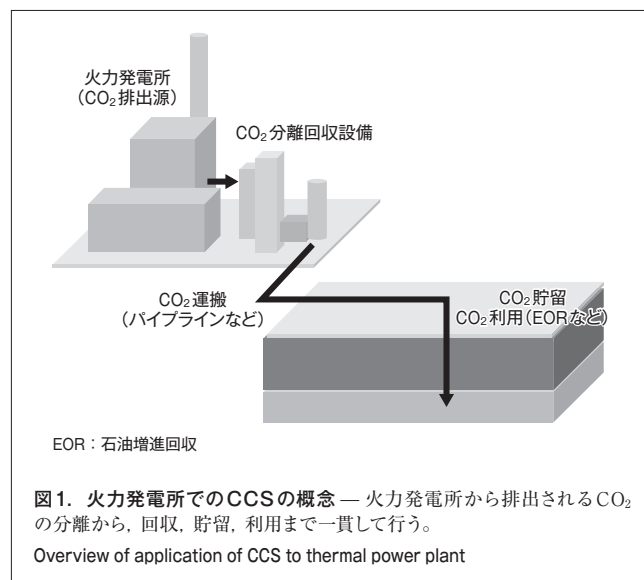
しかし火力発電は他の方式と比べて CO₂ 排出量が多く、火力発電所の増加は CO₂ 排出量の増加につながる。CO₂ は温室効果ガスであるため排出量を削減する必要があり、火力発電の需要拡大はこれと二律背反の関係にある。

このような状況を解決するため、火力発電所から排出される CO₂ を回収して大気への排出を抑制する CCS 技術 (図1) が世界的に注目されている。ここでは、特に CO₂ 分離回収技術に焦点を当て、東芝の取組みについて述べる。

2 CO₂分離回収技術の火力発電所への適用

2.1 CO₂分離回収技術の必要性

CO₂ 排出に関して、現在の状況のままよりゆきで増加すると、2050年の CO₂ 排出量は2009年の約2倍になり、地球の平



均気温が6℃上昇すると予想されている。これを回避するために多方面の技術革新により2050年のCO₂排出量を2009年の約50%に削減し、気温上昇を2℃程度に抑えるというシナリオがある。このシナリオでは、2050年までにCCSがCO₂排出削減量の14%を担い、CO₂排出量削減に不可欠な技術とされている。また、CCSが削減するCO₂排出量のうち、50%弱

が火力発電所から排出されるCO₂とされている。このシナリオを実現するためには、複数の大規模なCCS実証試験を早期に行う必要がある⁽¹⁾。

2.2 海外の動向

火力発電所へ適用するCCS技術の大規模な実証試験は海外が先行している。カナダ バウンダリ ダムでのCCS 実証プロジェクトは石炭火力発電所に燃焼後回収方式を適用し、CO₂を年間100万t回収する計画である。また、米国 ケンパ郡での石炭ガス化コンバインドサイクル発電 (IGCC: Integrated Gasification Combined Cycle) プロジェクトは、IGCC発電所に燃焼前回収方式を適用し、CO₂を年間350万t回収する計画である。いずれのプロジェクトでも、回収したCO₂は石油増進回収 (EOR: Enhanced Oil Recovery) に利用される予定であり、2014年の運転開始を目指して2013年10月現在建設中である。

これらプロジェクトのようにCO₂の有効な利用先があり、ある程度の投資回収が見込まれることが、実証プロジェクトが実現するポイントとなっている。当面は、これらCO₂利活用 (CCU: Carbon Dioxide Capture and Utilization) のプロジェクトが先行すると思われる。

2.3 国内の動向

重電各社が燃焼前回収方式、酸素燃焼方式、及び燃焼後回収方式の技術開発を行っている。また石炭火力発電所新設の動きもあり、経済産業省と環境省の合意の下、石炭火力発電所新規建設に向けた方針が示された。その中で、発電設備として利用可能な最良技術 (BAT: Best Available Technology) の採用とともに、CCSの商用化を前提に、石炭火力発電所にCCSを2030年までに導入することを検討するという方針が示された⁽²⁾。

CO₂貯留に関しては、CO₂排出源が火力発電所ではないが、日本CCS調査(株)が水素製造設備から回収したCO₂を苫小牧沖に年間10万t貯留する実証試験を計画している⁽³⁾。

3 CO₂分離回収技術開発の取組み

3.1 燃焼後回収方式CO₂分離回収パイロットプラント

火力発電所へのCCS技術適用の必要性が取り上げられるなか、当社は(株)シグマパワー有明 三川発電所にCO₂を10 t/日回収するCO₂分離回収パイロットプラントを2009年に建設した。石炭火力発電所である三川発電所の実排ガスからCO₂回収を行い、大規模なCO₂回収に適用可能な技術の開発を行っている⁽⁴⁾(表1)。当社が開発しているのは化学吸収法を用いた燃焼後回収方式である(図2)。

燃焼前回収方式や酸素燃焼方式と比べて、既設設備への影響が少なく容易に追設することが可能である。この方式は、新設及び既設のどちらの発電所にも対応可能であり、CO₂回

表1. CO₂分離回収パイロットプラントの概要

Outline of CO₂ capture pilot plant at Mikawa Power Plant of Sigma Power Ariake Co., Ltd.

項目	内容・仕様
所在地	福岡県大牟田市(株)シグマパワー有明 三川発電所内
運転開始年月	2009年9月
CO ₂ 回収方式	化学吸収法による燃焼後回収方式
CO ₂ 回収量	10 t/日
排ガス流量	2,100 Nm ³ /h (ボイラ排ガス)
総運転時間	7,721 h (2013年9月30日現在)

Nm³: 0℃, 1気圧の状態に換算した体積

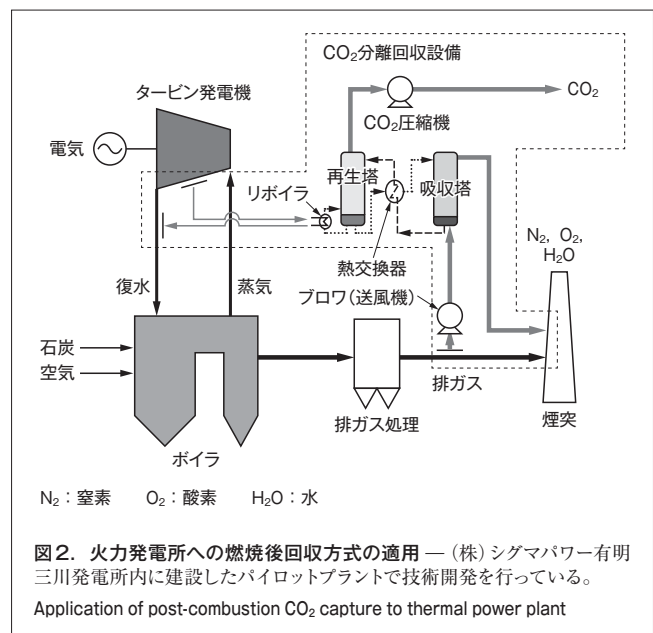


図2. 火力発電所への燃焼後回収方式の適用 — (株)シグマパワー有明 三川発電所内に建設したパイロットプラントで技術開発を行っている。

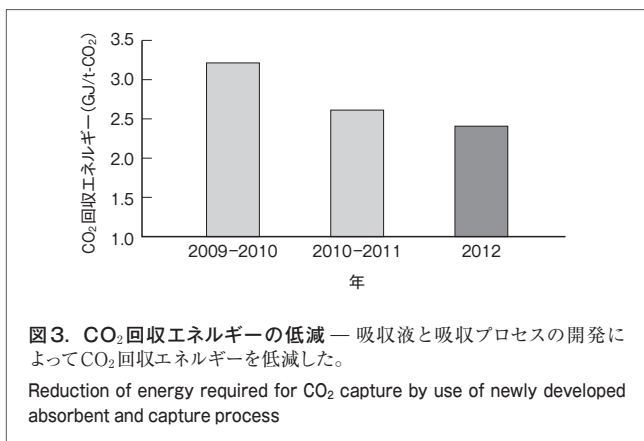
Application of post-combustion CO₂ capture to thermal power plant

収量を段階的に増やしていくこともできる。ただしこの方式は、CO₂回収に要するエネルギーが他の方式より大きく、これを供給するために発電出力が低下する。このエネルギーを低減する技術が燃焼後回収方式の開発課題である。

3.2 CO₂分離回収技術開発の成果

当社は、CO₂回収エネルギーを低減する吸収液及びシステムの開発を行っている。新アミンの合成、基礎物性値の測定、及び小規模なループ装置を使った試験を行い、プロセスシミュレータを併用して最適な吸収液及びシステムの評価とスクリーニングを行う。大きな効果が期待される技術については、三川発電所のパイロットプラントで総合評価を行う。

これまでに、優れた吸収液の投入と熱損失低減の施策により回収エネルギーの低減に成功し、世界最高レベルの性能を実証している(図3)。また、三川発電所のパイロットプラントにはCO₂濃度を調整する機能があり、排ガス中のCO₂濃度をユーザーに応じた値に調整して性能試験を実施し、結果をシステム設計に反映させている。



4 CO₂分離回収技術の適用事例

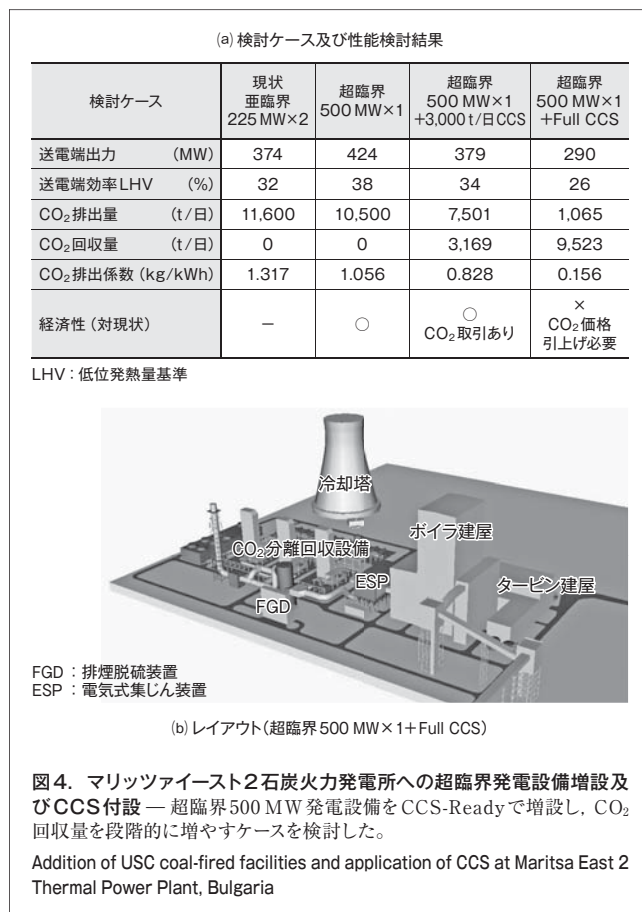
4.1 ブルガリア石炭火力発電所での超臨界発電設備増設とCCS付設

この事例は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「平成23年度石炭高効率利用システム案件等形成調査事業」の委託調査事業として検討した⁽⁵⁾。

ブルガリアでは石炭火力発電が約60%を占めるが、主力の発電設備は古い亜臨界発電設備であり、効率が悪くCO₂排出量が多い。また、石炭は低品位ながら埋蔵量が多く、将来にわたり発電への利用が期待されるが、EU (欧州連合) 加盟国であるため火力発電所の新設にはCCS-ReadyのEU指令が適用される。これにより、将来のCCS導入に備えた設備の計画と敷地の確保に加え、CO₂の運搬と貯留が可能であることも示す必要がある。

このような背景の下、石炭火力発電所の増設を計画しているブルガリア国営電力会社のマリツァイースト2発電所を検討の対象とした。計画されていた亜臨界225 MW発電設備2基の増設に代えて超臨界500 MW発電設備1基をCCS-Readyで計画した。追設するCO₂分離回収設備に当社の燃焼後回収方式を採用し、段階的にCO₂回収量を増やして、回収量が3,000 t/日のケース (超臨界500 MW×1+3,000 t/日CCS) と、全量を回収するケース (超臨界500 MW×1+Full CCS) を検討した。また、回収したCO₂の運搬及び貯留までCCSフルチェーンでの検討を行い、CO₂の回収から貯留までの実現可能性を示した。

検討結果を図4に示す。超臨界だけのケースと超臨界500 MW×1+3,000 t/日CCSのケースでは、送電端出力、効率ともに現状を上回り、CO₂排出量も削減できる。また、CO₂価格が想定どおりに上昇すれば、超臨界500 MW×1+3,000 t/日CCSのケースでも現状に対して経済性が成り立つ。超臨界500 MW×1+Full CCSでは、CO₂価格を想定以上に引き上げなければ経済性が成り立たない。これらの結果はユーザーと共有しており、従来の亜臨界発電設備に代えて、超臨界発



電設備をCCS-Readyで導入するオプションも検討している。

4.2 台湾石炭火力発電所でのタービン更新とCCS付設

この事例は、4.1節と同様にNEDOの「平成24年度石炭高効率利用システム案件等形成調査事業」の委託調査事業として検討した⁽⁶⁾。

台湾電力は、CCS実証ロードマップに従い、既設発電所や新設発電所にCCSを適用することを検討している。この事例が対象とするのは世界最大規模の石炭火力発電所である台湾電力台中火力発電所である。この既設設備へのCO₂分離回収設備追設とタービン更新による性能向上を組み合わせ検討して、当社が蒸気タービン及び発電機を納入している9号機に対して、タービン更新を行い、燃焼後回収方式によるCO₂分離回収設備を付設することにした。

検討結果を図5に示す。タービン更新と併せて300 t/日のCO₂分離回収設備を付設するケース (タービン更新+300 t/日CCS) では、CO₂回収によるエネルギー低下をタービン更新で補えることが確認できた。現状に対して経済性があるのはタービン更新だけを行った場合であり、これはCO₂回収を行う場合にはなんらかのインセンティブが必要であることを示している。これらの結果はユーザーと共有しており、計画されているCCS実証試験や既設設備の寿命延伸の検討に役立てることができる。

4.3 佐賀市清掃工場でのCCU実証

火力発電所以外への適用事例として、当社は佐賀市が2013年度から進める「清掃工場バイオマスエネルギー利活用促進事業」に参画し、同市の清掃工場ごみ発電所に、化学吸収法による国内では最初^(注1)のCCUの実証試験設備を2013年9月に納入した。清掃工場のごみ処理過程で発生する排ガスからCO₂を回収する能力は10～20 kg/日である。

佐賀市は回収したCO₂を農産物の栽培や藻類の培養などに有効活用するシステムの構築を目指しており、2014年度ま

でCO₂回収実験、及び回収したCO₂の利活用方法の調査を行う予定である。

5 あとがき

火力発電の将来的な利用とCO₂削減を両立させるためには、CCSの適用が不可欠と言われており、当社はCO₂分離回収技術の開発と火力発電へのCCS適用検討を進めている。ここで述べた検討事例では、具体的なプラント計画を設置者に提案した。今後、CCSの導入を検討する際に役だてることができる。

当社は、大規模CCS実現のため、CO₂回収エネルギー低減などCO₂回収コストを削減する技術開発をパイロットプラントを活用して進めており、今後もこれをベースに具体的なプラントへの適用検討を行い、国内外にCCS導入の提案を行っていく。

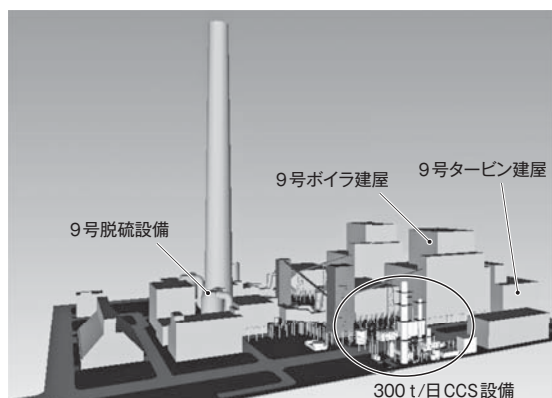
文 献

- (1) International Energy Agency (IEA). "Technology Roadmap Carbon capture and storage 2013 edition". IEA Homepage. <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapCarbonCaptureandStorage.pdf>>, (accessed 2013-10-19).
- (2) 経済産業省：環境省。"東京電力の火力電源入札に関する関係局長級会議取りまとめ". 経済産業省ホームページ. <<http://www.meti.go.jp/press/2013/04/20130426003/20130426003-3.pdf>>, (参照 2013-10-19).
- (3) 日本CCS調査。"苫小牧地点におけるCCS大規模実証試験". 日本CCS調査ホームページ. <<http://www.japanccs.com/business/demonstration/>>, (参照 2013-10-19).
- (4) 北村英夫 他, 石炭火力発電所排ガスからのCO₂分離回収パイロットプラント試験. 東芝レビュー. 65, 8, 2010, p.31-34.
- (5) NEDO. "平成23年度成果報告書「ブルガリアにおける超臨界石炭火力発電及びCCSプロジェクトの案件形成調査」". NEDO 成果報告書詳細. <http://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201209/20120000000942.html>, (参照 2013-10-19).
- (6) NEDO. "平成24年度成果報告書「台湾における既設石炭火力発電所へのCCS付設・更新プロジェクトの案件形成調査」". NEDO 成果報告書詳細. <http://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201308/20130000000675.html>, (参照 2013-10-19).

(a) 検討ケース及び性能検討結果

検討ケース	現状 亜臨界 550 MW	タービン 更新だけ	タービン更新 +300 t/日 CCS	タービン更新 +3,000 t/日 CCS
送電端出力 (MW)	515	520	515	477
送電端効率LHV (%)	37.6	38.0	37.6	34.8
CO ₂ 排出量 (t/日)	11,200	11,200	10,900	8,200
CO ₂ 回収量 (t/日)	0	0	300	3,000
CO ₂ 排出係数 (kg/kWh)	0.908	0.900	0.884	0.717
経済性(対現状)	-	○	× CO ₂ 取引, 又は +9% FIT要	× CO ₂ 取引, 又は +20% FIT要

FIT: エネルギー固定価格買取制度



(b) レイアウト(タービン更新+300 t/日 CCS)



(c) レイアウト(タービン更新+3,000 t/日 CCS)

図5. 台中火力発電所9号機でのタービン更新とCCS付設 — タービン更新とCCS付設による性能向上を組み合わせることを検討した。

Turbine renewal and application of CCS at Taichung Power Plant Unit 9, Taiwan

(注1) 2013年9月時点、清掃工場での化学吸収法によるCCUの実証試験として、当社調べ。



江上 法秀 EGAMI Norihide

電力システム社 火力・水力事業部 火力プラント技術部主務。
CO₂分離回収システムの開発に従事。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



鈴木 健介 SUZUKI Kensuke

電力システム社 火力・水力事業部 火力プラント技術部参事。
CO₂分離回収システムの開発に従事。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.



岩浅 清彦 IWASA Kiyohiko

電力システム社 火力・水力事業部 火力プラント技術部主務。
CO₂分離回収システムの開発に従事。
Thermal & Hydro Power Systems & Services Div.