

CO₂回収装置を有する
高効率石炭火力発電所

—欧米における取り組み—

Highly Efficient Coal-fired Power Stations with Carbon Capture

Christian Bergins Song Wu

主要な一次エネルギー供給量に占める割合が高い石炭火力発電の分野では、地球温暖化対策として、クリーンで高効率な利用技術の開発が急務となっている。特にCCS（CO₂の回収・貯留）技術は、この分野におけるCO₂排出削減の重要技術として期待されている。日立グループは、グローバルな研究開発体制の下、欧米におけるCCS関連システム・機器の開発、実証プラントでの評価などに参画し、CCSの将来設置を前提とした石炭火力発電所の設計にも取り組んでいる。

1. はじめに

石炭火力発電は世界の発電電力量の40%以上に貢献しており、今後10年、その割合は徐々に増加することが予測されている。世界のエネルギー供給に占める石炭の役割は大きいですが、地球温暖化に対する危惧(ぐ)は増大しており、クリーンで効率的な石炭の利用に関する新しい技術の開発と適用の加速が求められている。石炭火力発電所では、CCS（Carbon Capture and Storage：CO₂の回収・貯留）技術が、世界規模でのCO₂削減を達成するための重要技術として期待されている。

日立グループは、火力発電プラント全体にかかわる技術と製品の世界的な供給者として、石炭火力発電プラント向けCCSについて以下の取り組みを進めている。

- (1) 改良アミン液を用いたPCC（Post Combustion Capture：燃焼後の回収法）と酸素燃焼法の両方式に対する適用範囲の広いCO₂回収プロセスの開発
- (2) 全体プロセスの熱バランスの最適設計
- (3) ボイラ、タービン、AQCS（Air Quality Control System：排煙処理システム）とCCSシステムを含むプラント全体の再最適化
- (4) 開発技術のパイロット試験による評価
- (5) 将来のCO₂削減ニーズに対応する第一段階として、

CCSの将来設置を前提とした石炭火力発電所の設計

ここでは、日立グループの欧米における事例を中心に、石炭火力発電所の発電効率向上技術、および化学吸収法と酸素燃焼法に代表されるCO₂回収技術の開発状況について述べる。

2. 発電効率向上への取り組み

CO₂の回収によって発生する効率低下を抑制するため、発電プラントのさらなる最適化が求められている。発電効率を上げる最も確実な方法は、蒸気温度の上昇である。蒸気温度の上昇に伴い、現段階における最高水準のボイラ材料の変更が求められている。すなわち、過熱器、タービン、および水壁の一部に関しては、将来の700℃級ボイラ用としてNi基合金が必要となる。

日立グループは1990年代から欧州における700℃級ボイラの研究開発と製造試験プロジェクトに参画してきた。日本においても、経済産業省の補助事業で開発が進められており、他のプラントメーカー、電気事業者とともに開発に取り組んでいる。

1990年代半ばからの欧州における主要な研究開発プログラムを図1に示す¹⁾。欧州においては、公的資金および民間資金の導入による多くのプログラムによって、蒸気発生部のすべての重要構成要素が評価された。例えば、異なる蒸気発生部の型式とさまざまな圧力範囲（THERMIE 1+2, NRW PP 700）に基づく700℃級発電プラントの事前調査と基本設計といった研究が数多く実施された。また配管などが試作され、溶接手順や機械的な特性に関するラボ試験が行われ、実際の燃焼ガス雰囲気における過熱器の腐食と酸化の作用についても明らかにされた。

過熱器の壁パネル、過熱器の表面、配管の母管、配管およびさまざまな種類の溶接部については、700℃発電所用

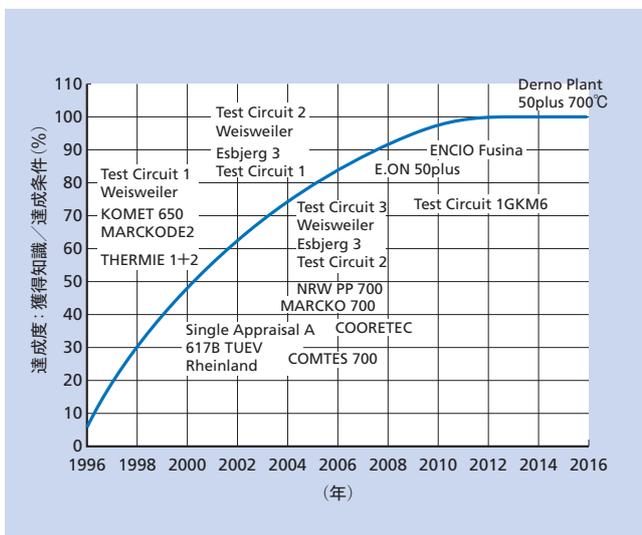


図1 | 欧州における700°C級技術の研究開発プログラム
近い将来に実証プラントを製造することが可能な知見が得られている。

要素試験設備COMTES 700によって試験された。500 MW実証プラントの実物大の要素である管壁、厚みのある過熱器の管、各種配管、さまざまな溶接部が設計され、異なった生産技術を用いて製造された。現在、COMTES 700要素試験では解決できていない項目が幾つか残っているが、生産プロセスに対応する知識と材料特性の十分な研究結果が得られており、近い将来に実証プラントを製造することが可能である。

Hitachi Power Europe GmbH (以下、HPEと記す。)は、これらプロジェクトの大部分に参画しており、特に炉壁の上部、過熱器・再熱器の過熱面で必要とされる材料およびNi基合金の製造技術に関して主要な役割を果たしている。

HPEにおいて溶接および曲げによって製造された617合金の管壁を図2(a)に示す。この結果、HPEは700°C級ボイラの管壁製造技術を習得した。

実寸大の700°C級向け過熱器管群を図2(b)に示す。管群は617B合金、740合金、Sanicro 25およびHR3C管から構成され、COMTES 700試験プラントにおいて3万時間の試験に成功している。これらの技術は今後の700°Cボイラに対応した耐圧部の製造に反映していく。

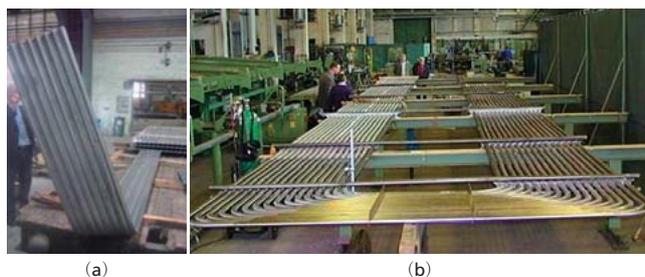


図2 | Ni基合金を用いた管壁および過熱器の管群
Hitachi Power Europe GmbHは700°C級ボイラの製造に必要な技術開発を積み重ねている。

3. 燃焼後のCO₂回収(化学吸収法)

アミン液を用いたCO₂の分離技術は、化石燃料を用いた大規模火力発電所向けに10年以内に商用化が可能な技術として期待されている。しかし、従来のアミン液を用いたCO₂回収プロセスはエネルギー消費量が多く、さらに石炭燃焼ガスに含まれる酸素、NO_x(窒素酸化物)、SO_x(硫黄酸化物)によって液特性が劣化しやすいため、結果として大きな運転費がかかる。したがって、CCSシステムを含む排煙処理システム(AQCS)の開発・実証が急務となる。

効率低下を防ぐ最も重要な手段は、エネルギー消費量の少ないアミン液の開発と排熱の有効利用である。すでに欧州では、すべての新設火力発電所はCCSシステムを追設できるように設計することが求められており、CCSシステムをあらかじめ計画し、熱バランスの変更と改造のために必要な装置を事前に設計しておかなければならない。さらに、2020年までに新設および改造案件でCCS技術の商用化を図るために、これらの技術は現段階においてパイロットおよび実証スケールでの試験が必須となる。

HPEは、燃焼後のCO₂回収に関するパイロット試験装置を設計、製作した(図3参照)。この装置は2010年半ばまでにE.ON社およびGDF Suez社との共同研究としてオランダの発電所に設置され、2015年までさまざまな洗浄薬剤を用いた試験を実施する計画である。パイロット試験装置の特徴の一つは可搬性であり、さまざまな条件での設置が可能である。また、特定のアミン液に制約されることなく、運営者が自由に薬剤を選定することができる。さらに、Duisburg(デュースブルク)の発電所における洗浄薬剤の試験用として、2台目の可搬型パイロット試験装置をドイツの運営者および大学と共同で製造している。

HPEは、日立グループが保有する発電ボイラ、蒸気タービン、排煙処理システム、CO₂圧縮機などに関する知見を活用し、CO₂回収プロセスによるエネルギー損失を低減したプラント概念を開発した。このうち熱フローの概念



図3 | CO₂回収特性のパイロット試験装置
欧州の発電所に設置し、実機排ガスをを用いた評価試験を実施していく。

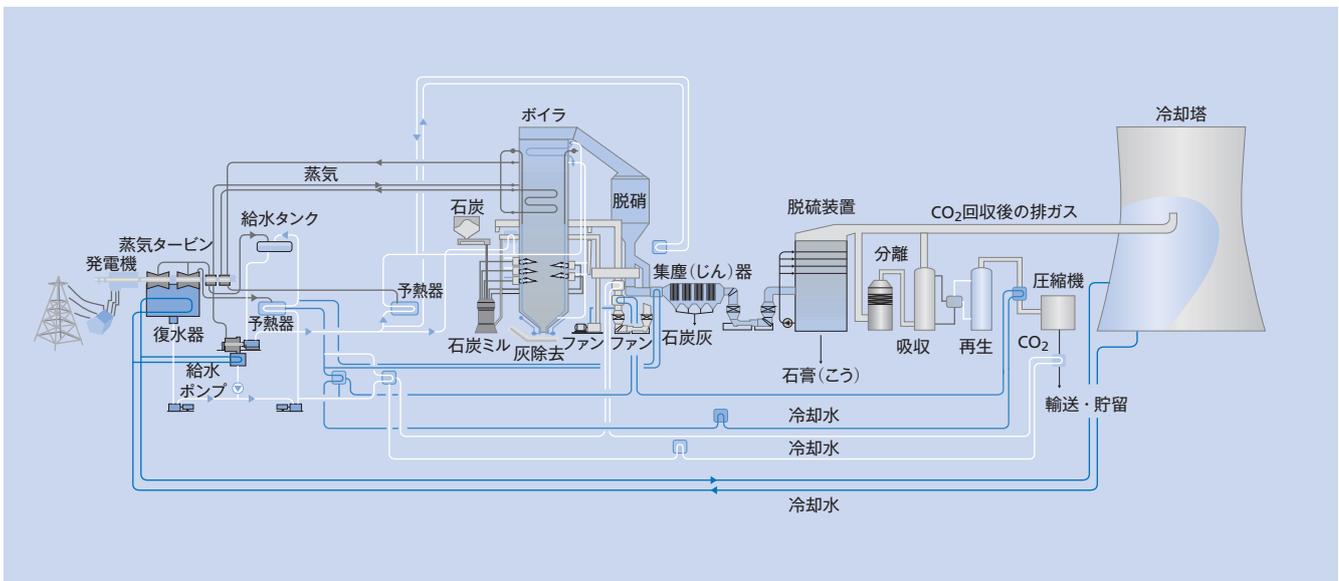


図4 | エネルギー損失を低減したプラント熱フロー概念
600℃級ボイラ用では熱損失を8%以下まで低減できる見通しである。

を図4に示す。600℃級ボイラ用の場合、従来のアミン液と熱フローでは11～14%存在した熱損失を、8%以下まで低減できる見通しである²⁾。

CO₂回収装置を有する高効率石炭火力発電所の商用化に向けては、設備のスケールアップが必要である。現在の技術は実証プラントレベルまで到達しており、日立グループは、カナダおよび米国のプロジェクトにも参画している。

電気事業者、政府機関と連携したCO₂回収技術の開発や実証への取り組みについて次に述べる。

2009年10月に米国エネルギー省はICCS (Industrial Carbon Capture and Storage) フェーズ1プロジェクトの一つとしてWolverine Power Supply Cooperative, Inc. (WPSCI) によるCCS実証プロジェクトを選定した。日立グループはこのプロジェクトに参画し、ミシガン州Rogers Cityに設置される60万kW発電プラントから年間30万t (1,000 t/日) のCO₂を回収する技術を実証する計画である。なお、回収されたCO₂は発電プラント近くの油田でEOR (Enhanced Oil Recovery: 石油増進回収) に用いられる予定である。

WolverineプロジェクトにはWPSCI (発電事業者)、Hitachi Power Systems America (CO₂回収技術)、Core Energy社 (EOR運用者)、Burns and Roe社 (技術支援)、ミシガン大学 (地質学評価) が参加する。日立グループは同プロジェクトにおいて、CO₂回収システム全体と改良アミン液「H3-1」を提供する。

一方、2010年2月には、日立グループはカナダの電力会社Saskatchewan Power社とCO₂回収を含む低炭素エネルギー技術の協力協定に合意した。日立グループは、Saskatchewan Power社のBoundary Dam CCS実証プロジェ

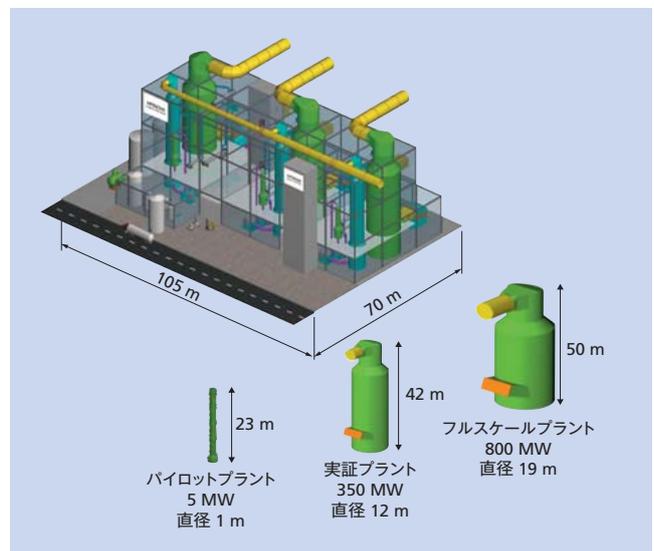


図5 | 商用サイズのCO₂回収装置および洗浄器のスケール比²⁾
現在の技術は実証プラントレベルまで到達しており、商用化に向けてさらなるスケールアップを検討している。

クト向けに蒸気タービンなどを供給する。このプロジェクトでは現在のプラントを改造し、11.5万kWの低炭素電力を供給するとともに、回収したCO₂をEORに活用する予定である。

なお、商用発電プラントに適用するためにはさらなるスケールアップを図ることが必須であり、現在のプロジェクトを通じて詳細な検討を進めている (図5参照)。

4. 酸素燃焼法

酸素燃焼法は、燃焼用空気の代わりに、空気から分離した酸素を再循環排ガスで希釈して用いる方法である。酸素燃焼法では、排ガス中のCO₂が高濃度となり、それを冷却することによって、新設および既設の石炭火力発電所か

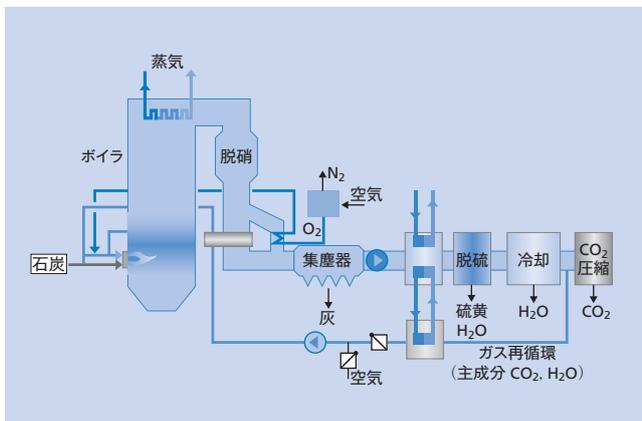


図6 | 酸素燃焼のシステム概念³⁾

酸素燃焼ボイラの基本性能を検証するため、欧州でパイロット試験を計画している。

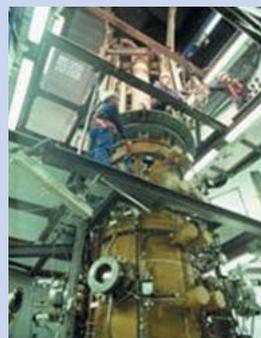
ら効率よくCO₂を回収できる(図6参照)。燃焼ガス成分が従来の石炭火力発電所とはまったく異なるため、日立グループをはじめとするプラントメーカーは酸素燃焼技術の商用化に向けて、概念設計、ラボ試験、数値解析技術、小規模および大規模パイロット試験などの技術開発に注力している。

CO₂回収の観点から直近となる課題は、数年以内あるいは近い将来に商用化される石炭火力発電所に対し、容易に酸素燃焼法を適用できるようにしておくことである。最新鋭の石炭火力発電所は、プラントの水-蒸気系および他の装置の部分的な変更で、酸素燃焼法あるいは化学吸収法を適用できることが最近の研究によって示されている。重要な点は、CO₂回収設備の追加設置が必要になった場合に備えて、発電所の内外に追加設備の設置空間を確保しておくことである。

研究開発に関しては、長年にわたって酸素燃焼の基礎研究とさまざまなパイロット試験による検討が進められており、日立グループは、大学および産業界のパートナーとともに、燃焼システムのモデルや設計基準を確認するための小規模および中規模試験を実施してきた(図7参照)^{4), 5)}。それらによって得られた貴重な知見は運転方法や設計ソフトウェアに反映され、多くの設備は修正された要求に適合するように変更された。例えば、新たな知見は乾燥燃料を燃焼させるDS-Tバーナの設計に反映されている。

このバーナは30 MWtの実験設備において2009年と2010年に空気燃焼条件で試験された。使われた燃料は褐炭、瀝(れき)青炭、粉碎されたバイオマスであり、適切な排ガス基準の下で安定な燃焼が得られたことは、日立グループの高い技術と柔軟性を示している(図8参照)。

次のステップとして、Vattenfall社との技術協力の下で、2010年4月からドイツのSchwarze Pumpe(シュワルツプンペ)石炭火力発電所(ブランデンブルク州)においてこ



RWTH Aachen University



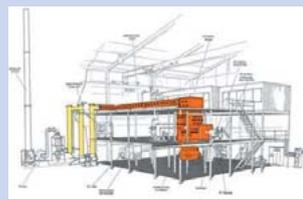
Dreschen University



IVD University of Stuttgart



IVD University of Stuttgart



E.ON UK



Hitachi

図7 | 酸素燃焼の基礎研究

欧州の大学および産業界のパートナーとともに基礎研究を進めている(Courtesy of P. Winandy, University of Aachen, University of Stuttgart, E.ON UK)。



バイオマス 瀝(れき)青炭 褐炭

図8 | 種々の燃料に対するDS-Tバーナの燃焼状況

適切な排ガス基準の下で安定な燃焼状態が得られている。

のバーナの酸素燃焼試験を計画している⁶⁾。この試験の結果を活用し、数値解析技術を用いて設計されたバーナなどの燃焼系設計を検証するとともに、全体プロセスの最適化によってさらなる環境負荷物質の排出抑制と発電効率の改善を図る(図9参照)。

日立グループはボイラ本体に加え、酸素燃焼ガスに対応した脱硫・脱硝装置やCO₂圧縮機など主要構成要素の基本設計、材料検討、触媒開発などを進めている。これらの

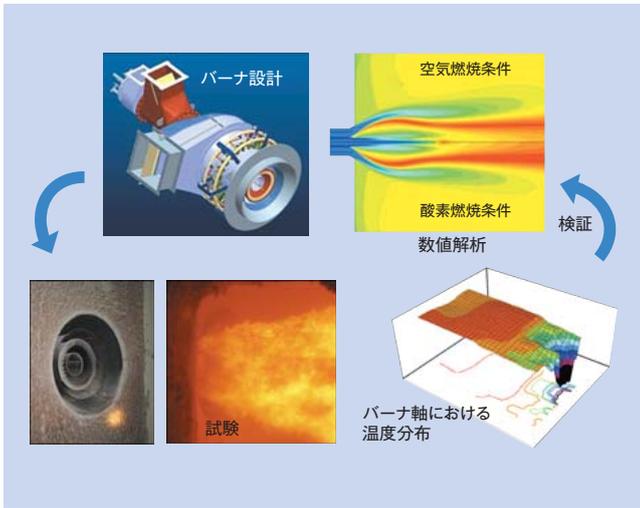


図9 | バーナなどの燃焼系の設計と検証

数値解析をベースにした設計と実験による検証を積み重ね、全体プロセスの最適化を図っていく。

知見は、現在計画中の酸素燃焼実証プラントの設計に反映していく。

5. おわりに

ここでは、日立グループの欧米における事例を中心に、石炭火力発電所の発電効率向上技術、および化学吸収法と酸素燃焼法に代表されるCO₂回収技術の開発状況について述べた。

石炭火力発電所のトータルシステムを世界各国へ納入している日立グループは、CO₂回収装置の追設が可能な高効率石炭火力発電所の最適ソリューションの提供をめざしている。今後も技術開発を積み重ね、早期の実用化によって環境・エネルギー問題の解決に貢献していく。

参考文献

- 1) Y. Shimogori, et al.: Design and Operation Experience of the First 600°C Boiler in Europe Torrealvaldliga Nord 660MW - a Step to 700°C Advanced USC Boiler, to be presented at Power Gen Europe 2010 (2010.6)
- 2) W. Schreier, et al.: Post Combustion Capture Plants - Concept and Plant Integration, VGB PowerTech Volume 89 Issue 12 47-51 (2009.12)
- 3) K. D. Tigges, et al.: Oxyfuel Combustion Retrofits for Existing Power Stations - Bringing "Capture Ready" to Reality, Proceedings of the the 33rd International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems (2008.6)
- 4) S. Rehfeldt, et al.: Basic Experiments and CFD Calculations of Air and Oxyfuel Firing of Lignite and Bituminous Coals in 0.5 and 1 MW Scale Combustion Test Facilities, Proceedings of the 34th International Technical Conference on Clean Coal and Fuel Systems (2009.5)
- 5) C. Kuhr, et al.: Experimentelle Untersuchungen und CFD-Simulationen zur Kohlenstaubverbrennung unter Oxyfuelbedingungen, Proceedings 24. Deutscher Flammentag (2009.9)
- 6) C. Bergins, et al.: Overall System Development for Oxyfuel Combustion, 1st IEA GHG Oxyfuel Conference (2009.9)

執筆者紹介



Christian Bergins

2006年Hitachi Power Europe GmbH入社. Research & Development 所属
現在、酸素燃焼、CO₂回収、700°C級A-USC、および褐炭ボイラの研究開発に従事
工学博士



Song Wu

2006年Hitachi Power Systems America, Ltd.入社. Advanced Tech., Commercial Operations Gr. 所属
現在、CO₂回収を含むクリーンコール技術の研究開発に従事
Ph.D.
The Air & Waste Management Association会員