

CO₂回収型火力システム

背景・目的

地球温暖化の防止に向け石炭火力発電のCO₂排出抑制は電気事業における喫緊の課題となっており、高効率化やバイオマスの導入などが進められている。一方、近年CCS (CO₂ Capture and Storage) が有力な温暖化対策のひとつとして注目され、欧米を中心に多くの導入計画が発表されている。しかしながら、現状のCO₂回収技術では発電効率の大幅な低下やコスト上昇など、解決すべき問題も多い。

本課題では、これらの問題を解決する革新的将来オプションを提供するため、当研究所が提案するCO₂回収型高効率IGCCシステム(図1)について、実現可能性の評価および実用化に向けた課題の抽出を行うと共に、要素技術の開発を進める。

主な成果

1. 酸素-CO₂ガス化反応モデルの構築

本システムの酸素-CO₂吹きガス化炉では、CO₂およびH₂Oの分圧が共に高いため、ガス化性能の向上が期待できるが、その解析的評価にはCO₂とH₂Oが共存する条件で適用可能なチャー^{*1}のガス化反応モデルを構築する必要がある。そこで、CO₂とH₂Oのチャー表面での活性点量^{*2}に着目した新たなモデルを提案し、これによりガス化反応速度を高精度で表現することを可能にした(図2)。また、この反応モデルを用いて、ガス化炉リダクタを模擬した解析を実施した結果、酸素-CO₂吹き条件では空気吹き条件に比べて炭素転換率が10%程度(絶対値)向上し、CO₂によるガス化促進効果が示された(図3) [M09014]。

2. 乾式脱硫プロセスの最適化

本システムの石炭ガス化ガス中のCO濃度は非常に高く(60vol%程度)、脱硫設備で炭素析出による性能低下が懸念されるため、その析出抑制対策を確立しておくことが重要である。対策の一つとして水蒸気の添加が考えられるため、水蒸気濃度および温度が脱硫の反応速度に及ぼす影響を調べた(図4)。その結果、10vol%以上の水蒸気濃度で温度を500℃以上とすれば、炭素析出がなく脱硫性能を維持できることが分かった。これにより、脱硫プロセス運転条件を考慮したプラントの最適化検討が可能となる [M09015]。

3. ガスタービン燃焼器の設計に関する課題抽出と基本指針

本システムのガスタービン(GT)は従来と異なり、燃焼排ガス(CO₂と水蒸気)の一部を燃焼の希釈剤として循環させる酸素燃焼クローズドサイクルである。そのため、排ガス中に未反応の燃料成分と酸素をできるだけ残さずに燃焼させる技術が求められることから、燃焼器設計に向けた課題(表1)を抽出・整理した。さらに、基礎的燃焼解析を実施し、バーナ近傍の酸素濃度を指標として燃焼を制御するならば、従来型GT燃焼器の設計手法を適用可能であることなど、燃焼器設計のための基本事項を明らかにした [M09009]。

* 1: ガス化炉では石炭から瞬時に揮発分が放出され、可燃分と灰分から成るチャーが生成する。

* 2: CO₂とH₂Oが吸着して反応するポイント。

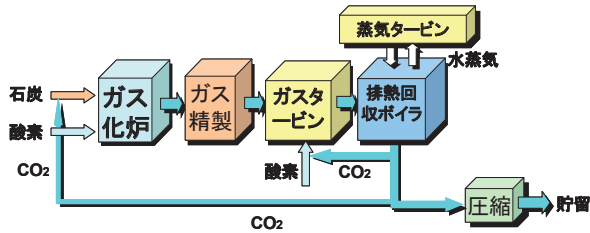


図1 CO₂回収型高効率IGCC システムの概念

酸素-CO₂吹きガス化炉と酸素燃焼クローズド・ガスタービンの組み合わせせからなり、排ガスのCO₂を循環させた新たなシステム。従来に比べ、システムの簡素化やCO₂回収後でも高い送電端効率（1300℃級GTで40%以上）が期待できる。

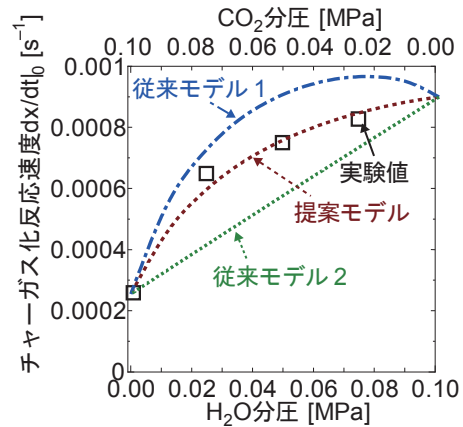


図2 CO₂ / H₂O 共存下でのチャーガス化反応速度 (熱天秤による測定、米国炭、900℃)

従来合わなかった炭種に対しても、提案モデルはガス化反応速度を精度よく表現できる。

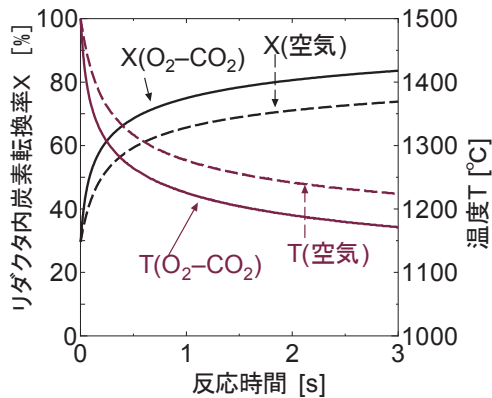


図3 2段噴流床ガス化炉のリダクタ（ガス化炉上段の主にガス化反応が起こる部分）を対象とした解析結果

空気吹きに比べO₂-CO₂吹きでは、高分圧のCO₂によりガス化反応が促進され、炭素転換率の大幅な向上が期待できる。

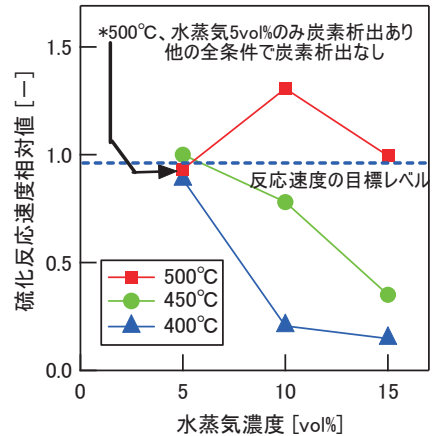


図4 水蒸気添加による脱硫反応速度の変化 (0.98MPa abs.、450℃、水蒸気5vol%を基準とする相対値)

炭素析出抑制のため水蒸気を添加すると、脱硫剤の反応速度が低下する傾向にあることから、運転温度を上昇させる必要がある。

表1 CO₂回収型高効率IGCC のGT燃焼器と天然ガス焼きGT燃焼器の比較

従来の天然ガス焼きGT燃焼器との比較検討により、設計のための基本事項（表中赤字）を明らかにした。

		CO ₂ 回収型高効率IGCCのGT燃焼器 (クローズドサイクルGT)		天然ガス焼きGT燃焼器 (オープンサイクルGT)	
		希釈剤*	燃焼排ガス(CO ₂ +H ₂ O)	酸化剤	空気
供給流体		酸化剤	O ₂	燃料	天然ガス(主成分CH ₄)
		燃料	石炭ガス化ガス		
燃焼領域酸素濃度		0~100vol.% (制御可)		21vol.% (制御不可)	
局所最高温度		3080℃以下 (O ₂ 濃度により制御可)		2219℃ (制御不可)	
燃焼器全体の当量比 (燃焼器出口)		φ≒1 (量論燃焼) : CO ₂ 分離等のため排ガス中O ₂ 低減の必要あり		φ≒0.5 (酸素過剰燃焼)	
NOx	サーマルNOx	火炎温度が高くても、N ₂ 分圧が低いいため発生量は少ない →対策必要なし (非予混合燃焼)		火炎温度が高いと、O ₂ 分圧、N ₂ 分圧が高いたため多量に発生 →対策必要(予混合燃焼/二段燃焼など)	
	フュエルNOx	燃料中に窒素分があるとNOx転換率を下げる工夫が必要		燃料中に窒素分がないため、NOx転換率の考慮は不要	

* 本システムは酸素燃焼GTであり、火炎温度制御などのために希釈剤が必要となる