

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／
ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／
次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究」

事業評価（事後評価）報告書

平成27年10月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究に関する事後評価委員会

目次

はじめに	2
次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究に関する 事後評価委員会 委員名簿	3
審議経過	4
評価	5
事業原簿	11

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）においては、ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究に係る事後評価について審議を行うために、当該研究の外部の専門家、有識者によって構成される次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究に関する事後評価委員会を設置した。

本報告書は、「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究」の事業評価（事後評価）報告書であり、同事後評価委員会に諮り、確定されたものである。

平成27年10月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究に関する事後評価委員会

次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究に関する事後評価委員会
委員名簿

(五十音順)

(平成27年10月現在)

[委員長]

清水 忠明 新潟大学 工学部 化学システム工学科 教授

[委員]

阿部 高之 新エネルギー開発株式会社 技術顧問

笹津 浩司 電源開発株式会社 技術開発部長

巽 孝夫 国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部 事業企画ユニット
シニアコーディネーター

藤岡 祐一 福岡女子大学 国際文理学部 環境科学科 教授

審議経過

平成27年9月に「次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究に関する事後評価委員会」を開催し、審議を行った。

評 価

事業評価書

平成27年10月29日作成

制度・施策名称	エネルギーイノベーションプログラム	
事業名称	ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究	PJコード： P07021
推進部	環境部	
総合評価	<p>下記の2つの検討を実施し、高効率石炭ガス化システム及びゼロエミッション型の石炭高効率利用プロセスを構築できる可能性及び課題を明らかにできた。このため、基盤研究へのステージアップに繋げることができたとともに研究項目も明確化でき、本事業の実施は妥当であると考えられる。</p> <p>① 次世代高効率石炭ガス化技術に関する検討</p> <p>現在実用化が始まったIGCCについては、ガスタービンの高温化により送電端効率の向上を目指しているが、それ以外に高効率化する手法が提示されていない状態である。これに対して、本検討では、実績のある噴流床ガス化装置で水蒸気ガス化反応を行うことで、熱再生とともに酸素所要量低減による送電端効率向上の可能性を示した。また、酸素製造原単位を下げる技術として、高温酸素透過膜とガスタービンを組み合わせたシステムを用いることで、送電端効率を更に向上できる可能性を示した。</p> <p>本技術は、IGFCにも適用可能であり、クリーンコール技術（CCT）のロードマップに加えるべき研究テーマである。基盤研究を進めるに当たり、本検討で得られた成果や課題が活用されることとなるため、本検討は有意義であったと評価できる。</p> <p>② CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術（ケミカルルーピング）に関する検討</p> <p>ケミカルルーピングは、CO₂分離回収エネルギーを不要とする、効率的な石炭火力発電システムを構築できるため、CCSに適した技術である。技術シーズを研究するに資するかどうかを評価するため、出口を見据えて、実用化の課題として酸素キャリア（以下「キャリア」という）の反応性や耐久性並びにプラント規模を明らかにしたうえで、実用化に繋がるコスト目標を設定し、それを達成するため要素目標を明らかにしたことは評価できる。</p> <p>本技術は、CCTのロードマップに加えるべき研究テーマである。基盤研究を進めるに当たり、本検討で得られた成果や課題が活用されることとなるため、本検討は有意義であったと評価できる。</p>	

<p>評 価 詳 細</p>	<p>1. 必要性（社会・経済的意義、目的の妥当性）</p> <p>エネルギーイノベーションプログラムにおいて、化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用の施策として、石炭クリーン利用技術の開発を行うこととしている。第3次エネルギー基本計画（2010年6月）においては、CCSやIGCC等地球環境と調和した石炭利用技術を確立することとし、その後エネルギーを巡る環境変化を受けて、第4次エネルギー基本計画（2014年4月）においては、IGCC等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発・実用化を推進するとともに、2020年頃のCCS技術の実用化を目指した研究開発を行うこととしている。</p> <p>本事業は、石炭ガス化及び石炭燃焼技術分野において、革新的な効率向上が期待される技術及び環境問題への対応について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施しており、前述の政策にも合致することから、意義のある事業である。</p>
	<p>2. 効率性（事業計画、実施体制、費用対効果）</p> <p>それぞれ具体的な目標となる送電端効率やCO₂分離回収コストを達成するため、現状と目標のギャップを認識のうえ、解決手段を選定し、研究計画を策定した。実施体制は当該技術に知見・実績のある実施者が行い、複数社で実施する場合には役割分担により効率的に実施した。それぞれの成果が実用化された場合、燃料購入費の削減やCO₂排出量削減に効果的であることから、費用対効果が高い。以上のことから、本事業の効率性は高いと評価できる。</p> <p>① 次世代高効率石炭ガス化技術に関する検討</p> <p>送電端効率57%を目指した次世代IGCCシステムとして、水蒸気添加によるガス化反応シミュレーションにより冷ガス効率が向上することを先ず確認のうえ、冷ガス効率が最大となる条件で送電端効率の試算を行い、1,700℃級GTで52.7%まで得られることを明らかにした。更に、高温酸素透過膜については、メーカーである米国Air Products and Chemicals社を訪問し、開発の進捗を確認のうえ、運転温度、圧力、熱交換器等について調査を行った。その情報を踏まえてIGCCにインテグレートしたシステムを構築のうえ、送電端効率を試算した結果、54.0%を得た。更に、実用化に向けた課題を洗い出すために、ガス化炉の三次元炉内数値解析を予備的に行い、水蒸気投入方法について詳細な検討が必要であることを明らかにした。</p> <p>実施者である電力中央研究所は、勿来IGCCプロジェクトへの参画を始めと</p>

してガス化研究の実績が豊富であることから、基礎的な調査研究体制としては妥当である。

② ケミカルルーピングに関する検討

ケミカルルーピングによる石炭火力発電システムのコスト因子の評価を行い、CO₂分離回収コスト2,500円/t-CO₂(圧縮コストを除くと2,000円/t-CO₂未満)を達成するためには、先ず、キャリアのライフサイクルコスト抑制と反応塔の小型化が必要であることを明らかにしたことは妥当である。これに基づき、キャリアの反応性や耐久性について、文献調査及び要素試験を行い、キャリア充填量を設定し、キャリア補充コスト要件を明らかにした。文献調査結果ではあるものの、この要件達成の見込みも得ていることは評価できる。また、先行する海外の研究機関を訪問し、精度高くキャリアの種類や進捗を把握し、自らのプロジェクトに反映することは妥当である。

実施体制としては、バブコック日立(現三菱日立パワーシステムズ)がプラント成立性検討、石炭エネルギーセンターがキャリア評価、エネルギー総合工学研究所が市場・経済性評価を分担しており、それぞれの得意分野であることから、実効性のある体制と評価できる。

3. 有効性(目標達成度、社会・経済への貢献度)

高効率石炭ガス化システム及びゼロエミッション型の石炭高効率利用プロセスの構築に向けて、その実現可能性があることを明らかにするとともに、課題を明らかにできたことから、有効であったと評価できる。

① 次世代高効率石炭ガス化技術に関する検討

冷ガス効率の向上と酸素製造動力低減により、送電端効率の向上が期待できることを明らかにするとともに、課題も明確化した。本技術の実用化に向けて、基盤技術開発として、冷ガス効率向上の検証及びガス化炉への水蒸気投入方法の適正化を行うべきものと判断できた。高効率化により、海外から輸入する石炭の購入費の低減に貢献するとともに、温室効果ガス排出量を低減することができる。

② ケミカルルーピングに関する検討

CO₂分離回収設備を必要としないことから、CO₂分離回収コストを低減できるゼロエミッション型の石炭火力発電として有望であることを明らかにするとともに、課題も明確化した。本発電システム実現には、CO₂分離回収

	<p>コストの低減が必要であることから、目標を2,500円/t-CO₂と設定し、これを満足するキャリア補充コスト要件を明らかにできたため、基盤研究におけるキャリア開発・選定の目標として活用することができる。石炭火力発電のゼロエミッション化への方向性を示せた。</p>
	<p>4. その他の観点 特になし。</p>

事業原簿

事業原簿（ファクトシート）

作成日：平成27年4月1日 作成

制度・施策名称	エネルギーイノベーションプログラム	
事業名称	ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／次世代高効率石炭ガス化技術最適化調査研究	PJコード： P07021
推進部	環境部	
事業概要	<p>エネルギーイノベーションプログラム（METI/NEDOの制度）に位置づけられる石炭ガス化及び石炭燃焼技術分野において、環境問題への対応、革新的な効率向上が期待される技術、あるいはエネルギー・セキュリティに寄与する技術について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施する。</p>	
	<p>① 次世代高効率石炭ガス化技術に関する検討（平成25～26年度、単年度契約） 「Cool Earth－エネルギー革新技术/技術開発ロードマップ」において、石炭ガス化複合発電（IGCC）は2030年以降に送電端効率57%までの向上が期待されているが、1,700℃級GTの採用で達成される50%から先の具体策がない状況である。そこで、実績のある噴流床ガス化に水蒸気ガス化を適用して、ガス化効率の向上を図るとともに、酸素製造動力を大幅に削減できる可能性を有する酸素分離膜を組み合わせた、送電端発電効率の高いIGCCに関する検討を行う。</p>	
	<p>② CO2分離型化学燃焼石炭利用技術（ケミカルルーピング）に関する検討（平成24～26年度、単年度契約） CO2回収・貯留（CCS）技術の実用化を目指した研究開発に向けて、CO2分離回収によるエネルギーロスが少ない石炭火力発電システムとして、ケミカルルーピングに関する検討を行う。目標CO2分離回収コスト2,500円/t-CO2*を達成するための条件を検討する。 ※圧縮コストが含まれ、これを除くと1,000円台（2,000円未満）/t-CO2であり、新技術として化学吸収法と同等以下を狙う。</p>	
事業の位置づけ・必要性について	<p>エネルギーイノベーションプログラムにおいて、化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用の施策として、石炭クリーン利用技術の開発を行うこととしている。第3次エネルギー基本計画（2010年6月）においては、CCSやIGCC等地球環境と調和した石炭利用技術を確立することとし、その後エネルギーを巡る環境変化を受けて、第4次エネルギー基本計画（2014年4月）においては、IGCC等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発・実用化を推進するとともに、2020年頃のCCS技術の実用化を目指した研究開発を</p>	

	<p>行うなど、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとしている。</p> <p>本事業は、石炭ガス化及び石炭燃焼技術分野において、革新的な効率向上が期待される技術及び環境問題への対応について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的に実施しており、前述の政策にも合致することから、意義のある事業である。</p>				
事業の目標	<p>次世代における石炭ガス化技術を導入し、開発中のIGCC、石炭ガス化燃料電池複合発電システム（IGFC）の効率を凌駕するシステム及びゼロエミッション型の発電所においても高効率を維持させるシステムの構築を目指す。本調査研究では、これらシステム構築の可能性や課題を検討し、基盤研究へのステージアップの可否について判断することを目標とする。</p>				
事業規模	<p>事業期間：平成24年度～平成26年度 契約等種別：委託 勘定区分：エネルギー需給勘定 [単位：百万円]</p>				
		～H24年度 (実績)	H25年度 (実績)	H26年度 (実績)	合計
	予算額	88	70	100	258
	執行額	30	48	60	138
情勢変化への対応	特になし。				
評価に関する事項	<p>評価時期及び方法（外部評価又は内部評価、レビュー方法、評価類型）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 毎年度評価：内部評価 ・ 事後評価：平成27年度、外部評価 				
事業成果について	<p>① 次世代高効率石炭ガス化技術に関する検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 噴流床ガス化において、ガス化剤として酸素だけでなく蒸気タービン抽気の水蒸気を用いることで、冷ガス効率が酸素のみの83.0%から理論上は91.8%に向上することが分かり、IGCCの高効率化の可能性が分かった。 ・ IGCCの送電端効率試算では、水蒸気を抽気するため蒸気タービン出力は低下するものの、冷ガス効率の向上によりガスタービン出力が増加することで発電出力が増加し、以下の表の通り、水蒸気ガス化の効果が認められた。 ・ IGCCの所内動力の大半を占める酸素製造について、従来の深冷分離法よりも低い酸素製造動力原単位が期待される高温酸素透過膜を用いた米国の酸素製造技術を調査したところ、100t/dプラントの実証が行われていることから有望と考えられた。 				

- ・水蒸気ガス化IGCCシステムに高温酸素透過膜をインテグレートするシステムを構成し、熱効率解析を行った結果、以下の表の通り、送電端効率は深冷分離法を用いるシステムからさらに1%程度向上する可能性があることが試算された。

表. IGCC送電端効率試算結果

	1,500°C級GT	1,700°C級GT
ベース	48.3%	50.5%
水蒸気ガス化	50.7% (+2.4% ント)	52.7% (+2.2% ント)
水蒸気ガス化 +酸素分離膜	51.5% (+3.2% ント)	54.0% (+3.5% ント)

- ・実機規模噴流床ガス化炉の三次元ガス化炉内数値解析を行ったところ、ガス化炉への水蒸気投入方法によってガス化炉内の流動状態が変わり、ガス化性能に影響を及ぼす可能性があることが分かり、水蒸気投入方法については、詳細な検討が必要であることが分かった。

② ケミカルルーピングに関する検討

- ・ケミカルルーピングによる石炭火力発電システムは、CO₂分離回収装置及び空気分離装置が不要となることから、CO₂分離回収による効率低下が抑制できるため、CO₂分離回収を行わない微粉炭火力発電と同等の送電端発電効率が期待できることが分かった。
- ・しかし、微粉炭火力に比べて複雑なシステムであることから、CO₂分離回収コストを安くするためには、酸素キャリア（金属酸化物等、以下「キャリア」という）のライフサイクルコスト抑制と建設費抑制のため反応塔の小型化が必要であり、そのためにはキャリアの反応性（石炭・石炭ガスとキャリア）と耐久性の向上が必要であることを明らかにした。
- ・キャリア候補の反応速度の反映、水蒸気ガス化による反応の促進、キャリアの反応塔への供給量の適正化等により、キャリアの充填量を抑制することができた（500MWで2,900t）。
- ・CO₂分離回収コスト2,500円/t-CO₂を達成するためには、2,900tベースで、400円/MWh（0.4円/kWh）のキャリア補充コスト要件を明らかにした。例えば天然のキャリア50円/kgであれば、補充率3.3%/dで達成可能。文献調査では0.1%/dと報告されていることから、目標達成の可能性を有する。
- ・海外の先行事例調査を行い、研究対象となっているキャリアの把握を行った。