

(エネルギーイノベーションプログラム)
「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
革新的ガス化技術に関する基盤研究事業
CO2 回収型次世代 IGCC 技術開発」

事業原簿【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------

—目次—

概要	i
プロジェクト用語集	v
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	1
1.1 NEDO が関与することの意義	1
1.2 実施の効果(費用対効果)	1
2. 事業の背景・目的・位置付け	3
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	4
2. 事業の計画内容	4
2.1 研究開発の内容	4
2.2 研究開発の実施体制	7
2.3 研究の運営管理	8
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	8
3. 情勢変化への対応	10
4. 中間評価結果への対応	10
5. 評価に関する事項	18
III. 研究開発成果について	
1. 事業全体の成果	19
2. 各研究開発項目の成果	23
IV. 実用化の見通しについて	
1. 商用化までのマイルストーンと各段階での波及効果	53
【添付資料】	
添付資料 1: イノベーションプログラム基本計画(抜粋)	添付 1-1
添付資料 2: 「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」基本計画(抜粋)	添付 2-1
添付資料 3: 技術戦略ロードマップ 2010 エネルギー分野(抜粋)	添付 3-1
添付資料 4: 事前評価関連資料(NEDOPOST2、事前評価書案(平成 19 年 12 月 12 日作成)、NEDOPOST2 投稿ログ、NEDOPOST3、事前評価書案(平成 20 年 2 月 13 日作成)、基本計画(案))	添付 4-1
添付資料 5: 特許・論文リスト	添付 5-1

概要

		最終更新日		平成 26 年 11 月 17 日					
プログラム (又は施策) 名	エネルギーイノベーションプログラム								
プロジェクト 名	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 革新的ガス化技術に関する基盤研究事業 CO2回収型次世代 IGCC 技術開発	プロジェクト番号			P08020				
担当推進部/ 担当者	環境部/在間信之、正木良輔、岡島重伸、春田智明、細田兼次(23年4月~) 環境部/矢内俊一、横塚正俊、平田学、河田和久(~23年3月)								
0. 事業の 概要	<p>エネルギーイノベーションプログラムにおいて、エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを 2050 年までに半減する長期目標を達成するための政策の柱の 1 つとして、化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用を図るとしてあり、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指すことを達成目標としている。また、国が策定したエネルギー分野の技術戦略マップ 2009 の化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に関する技術ロードマップや Cool Earth エネルギー革新技術開発ロードマップに沿った技術開発の推進と、総合資源エネルギー調査会鉱業分科会クリーンコール部会で示された CoolGen 計画（世界的に需要が拡大する石炭のクリーン利用に関する技術開発を強力に推進）の着実な進展を図ることが必要となっており、「新成長戦略」（平成 21 年 12 月閣議決定）においても、火力発電の効率化等の開発の前倒しが指摘されている。</p> <p>石炭は、石炭火力発電を中心に、今後とも世界的需要が拡大し、3E+S（供給安定性、経済性、環境適合性、安全確保）の同時達成が可能となる革新的な技術開発が求められており、その中でも、CO₂回収・貯留（CCS）技術を組み込んだゼロエミッション石炭火力を実現できる、高効率な石炭火力発電技術の開発及び CCS との最適化が有効である。</p> <p>本事業は、「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」として、CO₂分離回収型の早期商用化に向けた酸素吹石炭ガス化複合発電実証の最適化検討等を行う各種プロジェクトの中で、「ゼロエミッション石炭火力基盤技術」とした基盤研究事業の位置付けで、CCS を組み込んだ後でも、現行の最高効率を維持できる革新的な石炭ガス化基礎技術開発を行うものである。</p>								
I. 事業の 位置付け・ 必要性について	<p>石炭火力から発生する CO₂を分離・回収・貯留する CCS を含めたゼロエミッション型のガス化発電技術を火力発電に適用する場合、付加的なエネルギーが多量に必要となり効率が低下することから、貴重な炭化水素資源の有効活用の観点で石炭ガス化システムや CO₂分離・回収技術の更なる高効率化が求められる。そこで、ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上させるための基盤研究を実施する必要がある。</p> <p>本事業では、発電技術と組み合わせると発電効率を大きく低下させる性質をもつ CCS 技術について可能な限り発電効率を高く維持するため、ガス化の効率向上に資する基盤的な技術開発として、「CO₂回収型次世代 IGCC 技術開発」を実施する。</p>								
II. 研究開発マネジメントについて									
事業の目標	<p>研究開発項目「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」 「CO₂回収型次世代 IGCC 技術開発」（課題設定：委託事業）</p> <p>[中間目標（平成 22 年度）] ・目標値：送電端効率（42%：HHV 基準、CO₂回収後）のための主要構成技術の目処を得る。</p> <p>[最終目標（平成 26 年度）] ・目標値：性状の異なる環太平洋地域の 3 種類以上の石炭を用い、CO₂回収後において送電端効率 42%（HHV 基準）を実現させる基盤技術の確立。 ・設定根拠：CO₂回収を行っても既存の火力発電所の送電端効率（42%）と同等の効率を達成するため。</p>								
事業の計画 内容	実施事項	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	総額
	CO2回収型次世代 IGCC 技術開発	980	287	230	337	442	222	214	2712
開発予算 (会計・勘定 別に事業費 の実績額を 記載) (単位：百万 円)	会計・勘定	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	総額
	一般会計	—	—	—	—	—	—	—	0
	特別会計 (需給)	140	287	230	337	442	222	214	1872
	補正予算	840	—	—	—	—	—	—	840

契約種類： ・委託 (○) ・助成 (一) ・共同研究 (○負担率 (2/3))	総予算額	980	287	230	337	442	222	214	2712
	(委託)	980	287	230	337	442	222	214	2712
	(助成) : 助成率	—	—	—	—	—	—	—	—
	(共同研究) : 負担率	—	—	—	—	—	—	—	—
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課							
	プロジェクトリーダー	[プロジェクトリーダー] 平成 23 年 1 月まで 九州大学 炭素資源国際教育研究センター 特任教授 持田 勲 平成 23 年 2 月から エネルギー総合工学研究所 理事 小野崎 正樹 [サブプロジェクトリーダー] (独) 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 主幹研究員 赤井 誠							
	委託先 (* 委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	研究開発項目「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」 「CO2 回収型次世代 IGCC 技術開発」(課題設定: 委託事業) 委託先: (財) 電力中央研究所、九州大学 再委託先: 三菱重工業、三菱日立パワーシステムズ、群馬大学、京都大学 (H20 年度のみ北海道大学を含む)							
情勢変化への対応	① 本計画の変更 ゼロエミッション石炭火力に関する技術開発テーマを効率的かつ効果的に推進することを目的として、平成 21 年度まで基本計画及び実施計画を定めていた以下のテーマを統合し、平成 22 年度から「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」のテーマとして実施した。 ・革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト (発電から CO ₂ 貯留までのトータルシステムのフィージビリティ・スタディ、革新的ガス化技術に関する基盤研究事業) ・戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT) ・クリーン・コール・テクノロジー推進事業								
評価に関する事項	事前評価	平成 19 年度実施 担当部 環境技術開発部							
	中間評価	平成 22 年度 中間評価実施							
	事後評価	平成 26 年度 事後評価実施							

地球温暖化対策の観点から火力発電分野における CO₂ 削減が求められており、電気事業では発電効率の向上やバイオマス燃料の導入など様々な対策を進めている。一方、近年欧米を中心に CO₂ の分離回収・貯留（CCS）技術が注目され、導入に向けた動きが活発化している。しかし、既存の CO₂ 回収技術では、大幅な発電効率の低下とそれに伴う発電コストの上昇が課題となっている。そこで、CO₂ 回収後も高い発電効率を維持できる CO₂ 回収技術を開発することにより、CO₂ 回収に必要なエネルギー、CO₂ 回収コストを大幅削減することができれば極めて有意義である。

本事業では、石炭ガス化複合発電システムから回収した CO₂ に必要な O₂ を加えてガス化剤や GT 燃焼用空気の代替として用いることにより、送電端効率を大幅に向上可能な CO₂ 回収型次世代 IGCC システムの実用基盤技術を開発することを目的として、CO₂ 回収後においても最新鋭微粉炭火力並みの送電端効率 42%を目指す。

本事業の最終目標は、「性状の異なる環太平洋地域の 3 種類以上の石炭を供試した際に CO₂ 回収後において送電端効率 42%（HHV 基準）を実現させる基盤技術」を確立することであった。これに対し、瀝青炭から亜瀝青炭に至る幅広い性状範囲の 7 炭種を小型ガス化炉で試験し、CO₂ 富化条件への適合性を確認するとともに、炭素析出対策など本システムにおいても重要な種々の基盤技術を開発した。また、プラントメーカーによるシステム全体の成立性検討結果を受けて実現性の高いシステムに改良した上で、性状の異なる 3 炭種を対象に送電端効率を解析し、いずれの炭種でも目標の 42%を上回ることを示した。以下に主な成果の概要を記す。

1 基本コンセプトの確認

- ・本システムの導入により CO₂ 回収後の送電端効率が高く維持できる要因を整理するとともに、CO₂ 回収エネルギーを大幅に低減できることを明らかとした。
- ・小型ガス化炉（石炭処理量 3 トン/日）を用いた CO₂ 富化試験により、CO₂ 濃度の上昇に伴い石炭ガス化反応が促進される（チャー生成率が低減される）ことなどを明らかとした。
- ・熱天秤を用いた試験により、10%-O₂/CO₂ 雰囲気におけるガス化反応速度定数が 10%-O₂/N₂ 雰囲気のものより 1.4～2.6 倍程度まで向上することを明らかとした。

2 基盤技術の開発

① 実機規模ガス化炉の数値解析ツールの構築とガス化炉特性の評価

- ・O₂/CO₂ ガス化条件におけるガス化炉の特性を既存の実験設備で把握することは難しいため、既存数値解析ツールに O₂/CO₂ ガス化条件を想定して開発した反応モデルを組み込んだ実機規模 O₂/CO₂ ガス化炉の数値解析ツールを構築し、当該ツールによりガス化炉の特性を評価し、空気吹き相当の O₂ 濃度条件による解析により、CO₂ 投入時の適正運転条件を見出した。
- ・酸素吹き相当の O₂ 濃度条件で 2 室 2 段炉の解析を行い、運転条件（酸素比、燃料投入比 R/T）の影響を明らかとした。
- ・中間評価での指摘を踏まえ、O₂/CO₂ ガス化技術を形状の異なるガス化炉へ適用した際の特性評価に備え、1 室 2 段炉解析ツールを開発した。

② 高 CO 条件における炭素析出対策の構築

- ・本システムでは、生成ガス中の CO 濃度が高く、脱硫剤等への炭素析出が懸念されるため、その対策を構築した。GT 循環排ガスの一部を乾式ガス精製設備の上流に添加すれば炭素析出が抑制できること、送電端効率の低下も 0.2%未満と小さいことなどを明らかとした。

③ 小型炉ガス化炉による CO₂ 富化試験法の開発と炭種によるガス化特性評価

- ・既設空気吹き小型ガス化炉に CO₂ 供給設備や CO₂ 予熱装置などを追設し、幅広い性状の 7 炭種について CO₂ 富化ガス化試験を行い全ての供試炭が CO₂ 富化条件で運転可能であることを確認した。特に、灰溶流点が 1,400℃未満の 5 炭種については、CO₂ 富化により反応が促進される（チャー生成率が低減される）ことを確認した。灰溶流点 1,400℃以上の炭種では、小型ガス化炉の制約（O₂ 濃度に上限があり、モル比熱の大きい CO₂ の富化により炉内温度が低下するため、運転条件が制約される）から、適切な運転条件が設定されず、その効果を確認できなかったが、ベンチ炉および実機は酸素吹き相当の高 O₂ 濃度運転となるため、反応促進効果の確認が可能と推察される。
- ・コンバスタ温度を一定として CO₂ 富化時のガス化特性を評価する手法を開発し、当該手法により、基本的にはいずれの石炭でも CO₂ 富化によるガス化反応促進効果があることを確認した。

④ ガス化ガスを用いた脱硫剤評価技術の開発と設計データの取得

- ・既設の小型ガス化炉で製造したガス化ガスを、実機に用いるハニカム形状の垂鉛フェライト脱硫剤反応器に抽気して、実機で用いられるガス流速相当の条件において、性能を評価する装置を設計・設置した。本装置を活用して、脱硫剤の硫黄化合物除去特性を測定して、実機相当条件での性能を評価する手法を開発した。これにより、次フェイズで製作を計画している乾式ガス精製システムの脱硫装置の基本設計データを効率的に取得できるようになった。

Ⅲ. 研究開発成果について

3 全体システム成立性の検討

- ・本システムは、いずれもこれまでにない技術である O₂/CO₂ 吹きガス化炉とセミクローズド GT とを組み合わせた、新しくかつ複雑なシステムとなるため、プラントメーカーの協力を得て、商用化をにらんだ開発システムの課題を抽出し、機器構成の見直しなどにより、実現性の高いシステムを構築した。
- ・前項の課題抽出を受けて、本システムの条件にあわせた空気分離装置および再生熱交換器を試設計し、本システムの成立性を確認するとともに、システム効率、プラントレイアウトなどを検討するための基礎データをそろえた。
- ・各メーカーによる検討結果をベースに、本システムの送電端効率を性状の異なる 3 炭種について検討し、42%以上の目標を達成することを示した。
- ・またプラントレイアウトや発電コストを検討し、既検討 Pre-Combustion Capture ユニットと同等以下の敷地面積におさまることを確認するとともに、発電コストで優位性を保てる本システムの建設費ターゲットを明確化した。

4 次フェイズの検討

① 試験計画や設備の検討などによる次フェイズの準備

- ・プラントメーカーとの意見交換を通じて商用化までのロードマップと各フェイズのマイルストーンを整理し、次フェイズの開発課題を明確化した。
- ・前項で明確化した次フェイズの開発課題を念頭において、次フェイズで必要となる設備を試設計し、既設 50TPD ガス化炉の改造により、効率的かつ低コストで所期の計画が達成可能であることなどを示した。
- ・実機 FS の抽出課題として次フェイズで実施予定のセミクローズド GT 燃焼器試験に備え、次フェイズの基礎試験装置を試設計するとともに、単一バーナ基礎燃焼試験により、今後の検討のベースデータを取得した。

5 本技術の普及に向けた検討

① 炭種適合性評価のための基盤技術開発

- ・O₂/CO₂ 吹きガス化反応挙動を表現する反応モデルを構築して数値解析ツールに導入した。また、O₂/CO₂ ガス化時のスート生成挙動の実験的検討や芳香族混合物の分解・改質試験を通じて開発した初期熱分解モデルと詳細反応モデルを用いてスート生成挙動を解明した。
- ・石炭ガス化炉への炭種適合性を評価する上で重要な指標とされるスラグ排出性を評価する技術を開発するため、様々な角度から基礎データを収集し、炭種による違い、スラグ排出現象そのものの類型化を通じ、高温熔融スラグ粘度をモデル化する見通しを得た。

② 適合炭種拡大のための基盤技術開発

- ・適合炭種の拡大に向け、触媒を使用することなく、褐炭のガス化速度を促進する改質方法として、溶剤改質法を提案するとともに、反応速度の比較によりその有効性を確認した。

投稿論文

「査読付き」62 件、「その他」14 件

特 許

「出願済」4 件

その他外部発表

「学会発表等」204 件、「その他*」10 件 (*:本研究開発の中間年報など)

IV. 実用化の見通しについて

本プロジェクトは、「基礎的・基盤的研究開発」であることから、本研究における「実用化」の定義を「当該研究開発の成果が、ガス化炉をスケールアップした後継プロジェクトに活用されること」と定めた。

本フェイズでは、①プラントメーカーや重要構成機器の専門メーカーのアドバイスを反映した実現性の高いシステムを構築し、その性能を確認するとともに、②次フェイズに求められる基盤技術を開発し、③商用化までを見据えて次フェイズで重点的に検討すべき事項を整理した上で、④次フェイズで必要となる設備の検討を行うとともに、当該設備の設計や検討に必要な基礎データを得ることで、「実用化」につなげる成果を挙げる事ができた。

また、その後の「商用化」についても、本ガス化技術は、我が国で開発された IGCC 実証機（勿来の空気吹きガス化技術）で培った技術をベースとしており、効率的かつ着実な研究開発推進が期待できる。特にガス化技術については、次フェイズで、50TPD ガス化炉でその性能を確認できれば、直ちに SNG 合成等の産業用ガス化炉として実用展開できるレベルに達すると期待される。

セミクローズドサイクル GT については、これまでに実施された水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術 (WE-NET) やアドバンスト高湿分空気利用ガスタービン (AHAT) の知見を活用できるものの、プラントメーカーによる検討の結果、CO₂ 循環時の燃焼特性などの開発課題が抽出された。そこで、次フェイズで燃焼器基礎試験と CFD による検討を実施し、次に続くフェイズ 3 でセミクローズドサイクル GT に特化した検討を計画することとした。

検討したロードマップでは、本システムは 2020 年代後半～2030 年代半ばに計画される実証試験を

	<p>経て、実証機の商用化を契機に国内外のCCSプロジェクトへ展開可能と見込んでいるが、これは国内外におけるCCSの本格商用化に間に合うだけでなく、2030年代において最新鋭と想定される1,700°C級GTをベースとしたPre-Combustion型IGCCプラント以上の高い効率が期待されるため、十分な競争力があるものと考えられる。</p> <p>本開発においては、各フェイズのマイルストーンをクリアすることで、前述のSNG合成用ガス化炉など、様々な技術の商用化が期待される。フェイズ3終了時点では、酸素燃焼NGCC技術が実用段階に進むことに加え、乾式ガス精製システムが大型化され実用段階に至るため従来型IGCCの効率向上にも寄与できるものと期待される。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成19年3月 作成
	変更履歴	平成22年3月 改訂 (ゼロエミッション石炭火力に関する技術開発テーマを効率的かつ効果的に推進することを目的として、関連テーマを「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」として統合)

プロジェクト用語集

名称	略号	意味
石炭ガス化複合発電 Integrated coal Gasification Combined Cycle	IGCC	石炭をガス化し得られた石炭ガス化ガスを燃料として、高効率のガスタービン複合発電システムで発電する高効率発電システム。
石炭ガス化 Coal gasification		固体である石炭を熱分解反応やガス化剤との反応により、気体に転換すること。高温による熱分解反応やガス化剤との化学反応の複合反応として進行する。
ガス化剤 Gasification reagent		石炭などをガス化する際に石炭の炭素分と反応させてガス化するために用いるものをさす。 通常用いられるガス化剤には、空気、酸素、水蒸気、水素およびこれらの混合物がある。
スラグ Slag		金属酸化物や金属塩の熔融混合物をいう。IGCCにおいては、熔融状態の石炭灰を指し、炉底で水冷固化したガラス状粒子（水砕スラグ）を含めた呼称として使われている。IGCCで得られる水砕スラグは、フライアッシュと異なり、金属成分の溶出がないため、土木工事事用資材など砂代替として有効利用できるものと期待されている。
スラッキング Slagging		一般に、炉内で熔融した石炭灰（スラグ）が炉内の輻射伝熱面などに付着し、冷却されて固化堆積する現象のこと。
チャー Char		石炭粒子が熱分解した際に生成される未燃固形粒子。石炭中の揮発分が熱分解などで放出されたもので、石炭粒子と比べると、一般に粒径がやや小さく、固定炭素分および灰分の含有量が相対的に増加している。
シフト反応 Water gas shift reaction		一酸化炭素と水蒸気から水素と二酸化炭素を生成する反応。 $CO + H_2O \rightleftharpoons H_2 + CO_2$
炭素転換率 Carbon conversion efficiency		投入石炭中の炭素量に対する生成ガス中炭素分の割合。
冷ガス効率 Cold gas efficiency		ガス化炉に投入した石炭の総熱量に対する生成ガスの総熱量の割合。
発電効率 Thermal efficiency		投入した燃料の総熱量に対する発電電力量の比。分子の発電電力量に対し、発電機で発生した発電電力量を基準とする発電端効率と、発電所内で消費される所内動力を差し引いた送電端効率の2つがある。

名称	略号	意味
石炭 Coal		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間高い地圧と地熱などによる加圧、乾留などの作用を受けて変質した可燃性固体。 火力発電などに用いられる石炭は、製鉄業でコークス用に用いられる原料炭と区別して一般炭と呼ばれる。 一般に、発熱量4,000kcal/kg以下、湿分と水分の合計が30%以上、灰分40%以上の、揮発分10%以下のものは低品位炭と呼ばれる（火力原子力発電技術協会 纂：火力発電用語辞典より）。
二酸化炭素分離・貯留 Carbon Dioxide Capture and Storage (Sequestration)	CCS	発電所や天然ガス鉱山など大規模な排出源で発生するCO ₂ を、他のガスから分離・回収し、安定した地層に貯留したり、海洋に隔離することにより、CO ₂ を大気から長期間隔離する技術
褐炭 Lignite		石炭化度が低く、水分などの多い低品位な石炭。官能基が多く、自然発火しやすいため、保管・輸送に注意が必要であることから、採掘地付近の火力発電所で使われることが多い。世界の石炭埋蔵量の半分を褐炭が占めることから、褐炭から水分を取り除くなど、輸送・燃焼の効率を上げる改良技術も研究がなされている
石炭前処理 Coal pre-treatment		石炭に含まれる灰分や水分を除去すること。灰分の多い石炭では石炭中の鉱物質を比重分離などにより取り除くことが多く、水分の多い褐炭では、事前に乾燥する技術が豪州などで開発されている。
空気分離装置 Air Separation Unit	ASU	プラントで使用する酸素を製造する設備。製鉄所や発電所などの大型設備においては、深冷分離法を用いて空気から酸素を分離製造することが多いが、プラント規模、必要とされる酸素純度によって他の方式が用いられることもある。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

エネルギーイノベーションプログラムにおいて、エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを 2050 年までに半減する長期目標を達成するための政策の柱の 1 つとして、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指すことを達成目標としている。国が策定したエネルギー分野別の技術戦略マップでの「化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用」に関する技術ロードマップや Cool Earth エネルギー革新技術開発ロードマップに沿った技術開発の推進と、総合資源エネルギー調査会鉱業分科会クリーンコール部会で示された CoolGen 計画(世界的に需要が拡大する石炭のクリーン利用に関する技術開発を強力に推進)の着実な進展を図ることが必要となっており、「新成長戦略」(平成 21 年 12 月閣議決定)においても、火力発電の効率化等の開発の前倒しが指摘されている。

石炭は、石炭火力発電を中心に、今後とも世界的需要が拡大し、3E+S(供給安定性、経済性、環境適合性、安全確保)の同時達成が可能となる革新的な技術開発が求められており、その中でも、CO₂ 回収・貯留(CCS)技術を組み込んだゼロエミッション石炭火力を実現できる高効率な石炭火力発電技術の開発及び CCS との最適化が有効である。

本事業は、「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」として、CO₂ 分離回収型の早期商用化に向けた酸素吹石炭ガス化複合発電実証の最適化検討等を行う各種プロジェクトの中で、「ゼロエミッション石炭火力基盤技術」とした基盤研究事業の位置付けで、CCS を組み込んだ後でも、現行の最高効率を維持できる革新的な石炭ガス化基礎技術開発を行うものである。

1.2 実施の効果(費用対効果)

本事業では、石炭ガス化システムから回収した CO₂ に必要な O₂ を加えてガス化剤や GT 燃焼用空気の代替として用いることにより、CO₂ 回収後も送電端効率を最新鋭微粉炭火力並みの 42%に維持できる CO₂ 回収型次世代 IGCC システムの実用基盤技術を開発した。

CO₂ 回収後の送電端効率は、現状技術では 30%台前半とされており、CO₂ 回収後も 42%に維持できる本技術のインパクトは大きい。この効率は、CO₂ を回収しない最新鋭火力(微粉炭火力で 42%、1,300℃級 GT の IGCC で 43%)と同等で、CO₂ 回収による効率低減を回避できることになる。

また、本技術が商用化される予定の 2030 年台においても、現状で想定される最新鋭 IGCC である 1700℃級 GT を用いた Pre-combustion 回収型 IGCC の送電端効率はペナルティが若干改善されたとしても 40%台と推定されるため、本技術は効率面で優位性を保つことができる。従って、国内で CCS を行うこととなった場合にも、高い効率を維持することで燃料費を大幅に削減できるため、本技術開発の意義は大きい。

さらに、本技術は世界でも例のない独自のシステムであり、地球環境問題の解決に向けた画期的な将来オプションの一つとして、国内企業のアジア地域などへの展開を含め、大きな技術的・経済的インパクトを与えるものである。

(1) 効率向上による燃料費削減効果

・400MW 級 1 基当たりで 5.4 億円/年(14 基、ライフタイム 60 年で 4,500 億円)

<算出根拠>

本システム(High Efficiency Oxy-fuel IGCC、Oxy-fuel IGCC)が開発された際の最大の波及効果は、送電端効率向上による燃料比削減効果である。本システムの目標送電端効率は、CO₂ 回収後に 42%(HHV)であるが、現在の CO₂ 回収型火力発電技術では、微粉炭ボイラをベースとする Post-Combustion、Oxy-fuel Combustion はもとより、高効率の IGCC をベースとする Pre-Combustion であっても、CO₂ 回収に伴う効率低下が大きく、1,300℃級 GT で 30%前後に留まっている。2030 年代半ばに 1,700℃級 GT を採用した IGCC をベースとする Pre-Combustion プラントが商用化されたとしても、送電端効率は 40%程度にとどまると推察され、本システムの方が 2%、効率が高い。これは、400MW 級の発電所 1 基あたり年間 5.4 億円の燃料費節減となる。(稼働率 70%、石炭価格 11,167 円/t・Coal*の場合)

*「石炭・コークス・バイオ年鑑(2012~2013)」国内一般炭の通関 CIF 価格(p I -3-20)

後述するロードマップ検討により、本システムは 2030 年代半ばの商用化を目指すこととしたため、2040 年代以降に本システムの将来市場がどの程度あるかを検討した。現時点の石炭火力設備容量は 48GW(建設中、計画中的のもの含む)であるが、耐用年数を 60 年(2014 年 5 月時点で 50 年以上運転しているものがあるため)としても、2025 年頃には設備容量がピークになると考えられる。そこで 2025 年を基準に老朽石炭火力のリプレースが始まると仮定した。発電出力 40 万 kW(CCS 無しの場合は 50 万 kW)の発電所にリプレースされ、年度別リプレース容量に対し、累積リプレース量の 10% (2040 年)~50%(2060 年)の CCS 対応火力が導入され、かつそれが①本システムと②Pre-combustion 型の IGCC として半数ずつ導入されると仮定した。(本検討では、原子力発電所の新設が進まないと仮定)

その結果、2040~2060 年の本システム導入による効率向上を通じた燃料費節減効果は、累積で約 14 基が導入されるとの推算(図 I-1-1)から、400MW 級 1 基当たりで 5.4 億円/年・1 基(1700℃級 GT を採用した Pre-Combustion 型 IGCC との比較、1500℃級 GT の Pre-Combustion 型 IGCC と比べると 10.8 億円/年)、発電所のライフサイクルとしては運用 60 年間として 320 億円/1 基(1500℃級 GT の Pre-Combustion 型 IGCC と比べると 640 億円)、全体で約 4,500 億円と推算された。

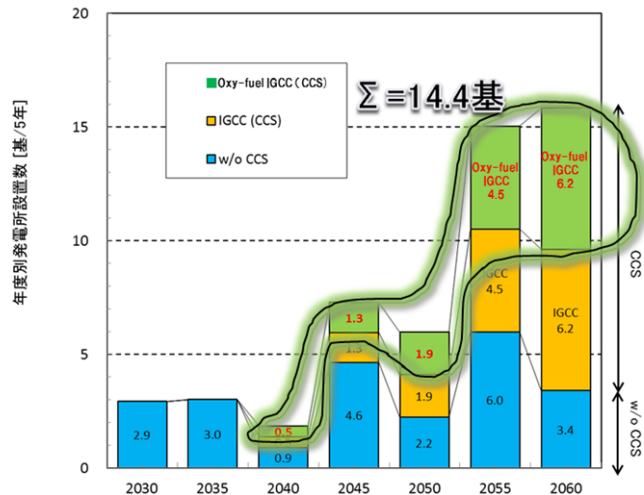


図 I-1-1 本システム(Oxy-fuel IGCC)の市場規模予測

(2) ゼロエミッション化によるいつその CO₂ 排出量削減効果

- ・400MW 級 1 基当たりで 19 万 t/年
- (14 基、ライフタイム 60 年で 1.6 億 t)

<算出根拠>

本システムは、CO₂ をほぼ 100%回収できる文字通りのゼロエミッション火力である。既存の Pre-Combustion プラントは回収率 90%に留まっているため、回収率 10%の違いだけでも CO₂ 排出削減量が拡大される。すなわち、前項に示すように 2040~2060 年に 14 基の 400MW 発電所が導入されれば、当該発電所が既存の Pre-Combustion プラントとして導入される場合で、回収率 10%の違いだけでも、各プラントライフタイムの積算で 16 億 t の CO₂ が削減できる。

(3)プラント輸出の促進効果

本システムは、国内だけでなく、CO₂ を大幅に低減する画期的オプションとして海外への展開も期待され、きわめて大きい技術的・経済的インパクトが期待される。更に本システムのみでなく、後述する波及効果もあわせるとそのインパクトは極めて大きい。

(4)本開発に伴い副次的に関連される技術の商用化

本システムの開発は複数のステップを経て商用化する必要があるが、本システムが商用化する迄の過程で、以下の様にさまざまな副次的効果も期待できる(詳細は 2.4.1 で詳述する)。

- ・SNG 合成等の産業用ガス化炉(2020 年頃)
- ・酸素燃焼クローズド NGCC による CO₂ 回収プラント(2023 年頃)
- ・IGCC 用の乾式ガス精製システム(2028 年頃)

さらに、別プロジェクトで進んでいる IGFC 技術が開発された際には、本システムのコンセプトを IGFC に組み合わせたさらに効率の高い CO₂ 回収型システムが期待される(2035 年以降)。

このように、本システムの開発は、効率向上による燃料費節減効果にとどまらず、幅広い波及効果を期待できる点で開発の意義が大きいといえる。

2. 事業の背景・目的・位置付け

我が国は、世界全体で 2050 年までに CO₂ の大幅削減に積極的に貢献していくとの認識の下、エネルギー分野の技術戦略マップ等に沿った技術開発の推進と、総合資源エネルギー調査会鉱業分科会クリーンユール部会で示された Cool Gen 計画(世界的に需要が拡大する石炭のクリーン利用に関する技術開発を強力に推進)の着実な進展を図ることとしている。また、「平成 22 年度の科学技術に関する予算等の資源配分の方針」において、「温室効果ガス 25%削減に向けた革新的技術、新産業の創出」として、CO₂ 回収・貯留(CCS)等の革新的技術の更なる加速が必要と位置付け、「新成長戦略」(平成 21 年 12 月閣議決定)においても、火力発電所の効率化等の開発の前倒しが指摘されている。

石炭は、石炭火力発電を中心に、今後とも世界的に需要が拡大し、世界の一次エネルギーに占める割合が高くなると見込まれているが、一方、その単位エネルギー当たりの二酸化炭素(CO₂)排出量が他の化石燃料よりも高いことから、我が国が経済成長を図りつつ2050年に向けたCO₂の大幅削減目標を実現するためには、3E+S(供給安定性、経済性、環境適合性、安全確保)の同時達成が可能となる革新的な技術開発が求められている。その中でも、CO₂回収・貯留(CCS)技術を組み込んだゼロエミッション石炭火力を実現できる、高効率な石炭火力発電技術の開発及びCCSとの最適化検討が有効である。CCSについては、そのエネルギー消費とコストの大半を占める分離回収技術の高効率化・コスト低減が重要となっている。

地球温暖化問題との関連で CO₂ 排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで基礎研究から技術開発、実証研究の取り組みが行われている。例えば、米国エネルギー省の炭素隔離プログラムにおける FutureGen2.0 プロジェクトでは、ゼロエミッション型石炭火力発電所の実現を目指し、CO₂ 分離システム及び CO₂ 地中貯留の実証を中核とする多国間協力事業として行っている。また、欧州では 2020 年までのゼロエミッション発電所実現を目指し、エネルギー業界、研究機関、非政府組織、加盟各国及び欧州委員会から構成される欧州技術プラットフォームが発足している。

海外での石炭火力のガス化技術は、塊炭を空気や酸素でガス化する固定床方式や粉炭・粒炭をガス化する流動床方式から、ガス化効率の高い微粉炭をガス化する噴流床方式へ移行しており、米国やオランダ、スペインで実証試験を行っている。一方、日本では、石炭ガス化複合発電(IGCC)の開発が、勿来実証試験および大崎クールジェンプロジェクトとして実施されており、NEDO も CO₂ 大幅削減のターゲットである 2050 年に向けた次世代 IGCC プロジェクトを推進している。

大規模な CO₂ 発生源である石炭火力発電所においては、革新的なゼロエミッション石炭火力発電への対応として、高効率化発電の実現、CCS によるゼロエミッション化が期待されている。IGCC と CCS の組み合わせた技術の開発が、米国の Southern Company 社や中国の Green Gen 社等により世界各地で進められており、発電効率のいっそうの高効率化や中長期的には CCS の活用も視野に入れた対応が必要となっている。こうしたことから、NEDO はゼロエミッション石炭火力実現に向けて、革新的な研究開発事業を推進すべきである。

CCS を組み込んだゼロエミッション型石炭ガス化発電には、多量の付加的なエネルギーが必要となる問題があり、本事業では CCS を組み込んだ後でも、現行の最高効率を維持できる次世代向けの石炭ガス化基礎技術開発を行うこととしている。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

「CO₂回収型次世代 IGCC 技術開発」(課題設定)

< 中間目標(平成 22 年度)>

・目標値 :送電端効率向上(42%:HHV 基準、CO₂回収後)のための主要構成技術の目途を得る。

< 最終目標(平成 26 年度)>

・目標値 :性状の異なる環太平洋地域の 3 種類以上の石炭を用い、CO₂回収後において送電端効率 42%(HHV 基準)を実現させる基盤技術の確立。

・設定根拠:CO₂を回収しても既存の火力発電所の送電端効率(42%)と同等の効率を達成するため。

2. 事業の計画内容

2. 1 研究開発の内容

2. 1. 1 研究の内容

石炭火力から発生する CO₂を分離・回収・貯留する CCS を含めたゼロエミッション型の石炭ガス化発電技術を火力発電に適用する場合、多量の付加的なエネルギーが必要となるため、貴重な化石燃料資源を有効活用する観点から、石炭ガス化システムや CO₂分離・回収技術の更なる高効率化が求められる。そこで、ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上させるための基盤研究を行う必要がある。

本事業では、発電技術と組み合わせると発電効率を大きく低下させる性質をもつ CCS 技術について、可能な限り発電効率を高く維持するため、効率向上に資する基盤研究事業「CO₂回収型次世代 IGCC 技術開発」を実施する。

既存の発電システムは CO₂回収により発電効率が 2 割以上低下し、世界最高効率を目指す我が国の IGCC(1500℃級 GT)でも約 48%→約 37% (送電端 HHV)となり、CCS は我が国が高効率化技術開発を進める上で大きな課題となっている。「CCS を行っても高効率を維持できる革新的システム」を開発することは、当該分野で世界をリードできる将来技術の獲得であり、意義は大きい。

本システムは、CO₂を酸化剤の一部として用いることにより、CO₂回収型石炭ガス化システムの効率を大幅に向上することのできる次世代 IGCC システムであり、「O₂/CO₂吹きガス化」と「O₂/CO₂ガス燃焼クローズド GT」を採用した世界でも例のない独自の CCS システムであり、CO₂回収後も 42%(送電端 HHV)の高い効率を達成できる可能性がある。これは、最新鋭微粉炭ボイラ、1300℃級 GT を採用した IGCC など、CO₂を回収しない現状の高効率石炭火力と同等のものであり、今後 CO₂回収を行う場合にそれに伴う効率低下が回避できることとなる。

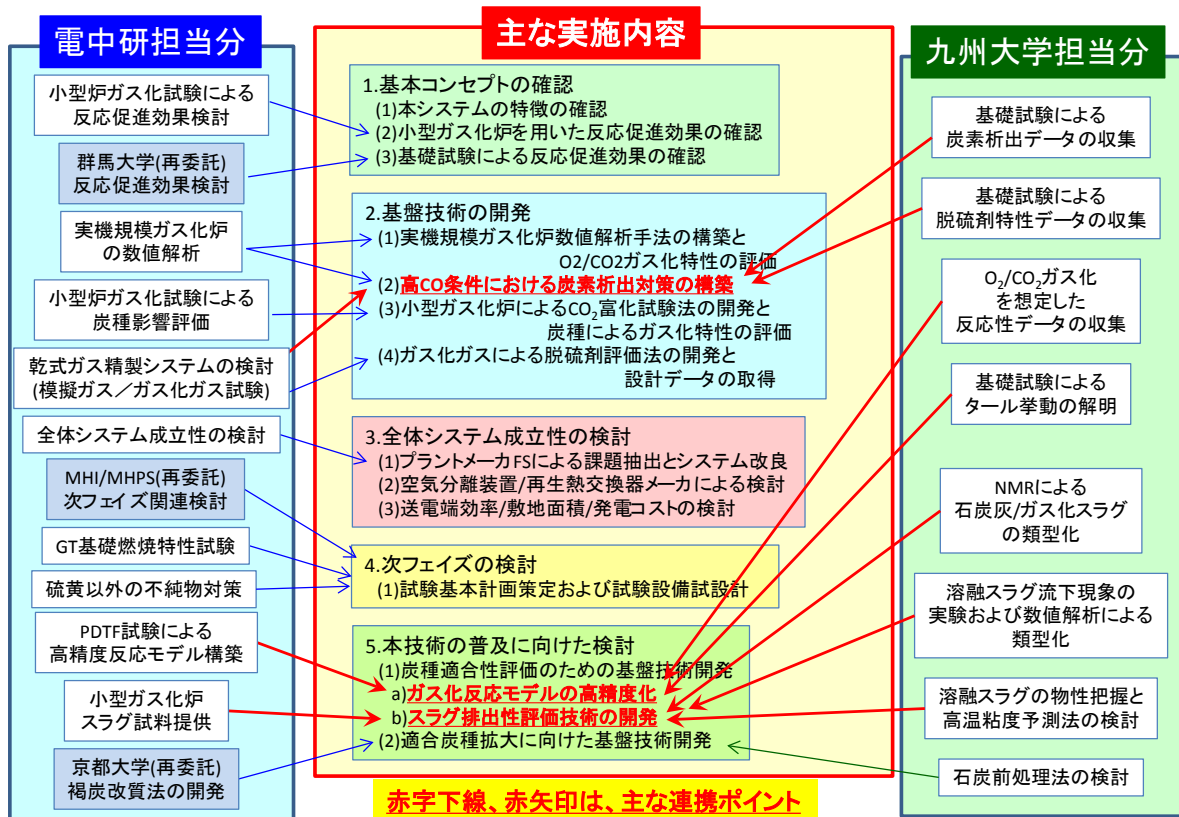
本事業では、CO₂回収型石炭ガス化システムに関する基盤技術の開発を行う。また、環太平洋地域に賦存する多様な石炭に対する適応性の検討も実施する。

2. 1. 2 スケジュール及び役割分担

本研究の項目別スケジュールを表Ⅱ-2-1、電力中央研究所と九州大学の役割分担を図Ⅱ-2-1に示す。

表Ⅱ-2-1 スケジュール

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
1.基本コンセプトの確認							
(1)本システムの特徴の確認							
(2)小型ガス化炉を用いた反応促進効果の確認							
(3)基礎試験による反応促進効果の確認							
2.基盤技術の開発							
(1)実機規模ガス化炉数値解析手法の構築と O ₂ /CO ₂ ガス化特性の評価							
(2)高CO条件における炭素析出対策の構築							
(3)小型ガス化炉によるCO ₂ 富化試験法の開発と 炭種によるガス化特性の評価							
(4)ガス化実ガスによる脱硫剤評価法の開発と 設計データの取得							
3.全体システム成立性の検討							
(1)メーカーFSIによる課題抽出とシステム改良							
(2)空気分離装置/再生熱交換器メーカーによる検討							
(3)送電端効率/敷地面積/発電コストの検討							
4.次フェーズの検討							
(1)試験基本計画策定および試験設備試設計							
5.本技術の普及に向けた検討							
(1)炭種適合性評価のための基盤技術開発							
(2)適合炭種拡大に向けた基盤技術開発							



図Ⅱ-2-1 役割分担

2. 1. 3 予算の推移

「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」の予算の推移を表Ⅱ-2-2に示す。

表Ⅱ-2-2 予算の推移 (単位:百万円)

	2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)	2013 (H25)	2014 (H26)	総額
電力中央 研究所	451	200	153	247	371	194	186	1802
九州大学	529	87	77	90	71	28	28	910
合計	980	287	230	337	442	222	214	2712

上記表のうち、特に予算の多い年度について、以下にその用途を補足する。

平成 20 年度は「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」の委託先である電力中央研究所に 350 百万円、九州大学に 490 百万円の補正予算となっている。

このうち電力中央研究所は、小型炉を用いた CO₂ガス化試験を実施する役割を分担するため、既設ガス化炉に CO₂液化ガスタンクと加圧ガス供給設備の追設などの改造を行うことで CO₂富化ガス化試験を可能とした(約 109 百万円)。また、本システムの重要な開発課題の一つである高 CO 条件下での炭素析出対策を検討するため、「高 CO 濃度条件脱硫剤評価装置」および脱硫剤等の除去特性・炭素析出及び共存物質の影響評価装置を導入した(約 201 百万円)。また、ガス化ガスを抽気して脱硫性能を評価するためダスト除去や圧力調整を行うガス化炉抽気ラインを導入した(約 28 百万円)。

一方九州大学は、前記補正予算により、本技術のいっそうの普及に向けた検討の一貫として、環太平洋地域の幅広い石炭に適用可能な炭種適合性評価法開発に向けた基盤技術開発を分担するため、O₂/CO₂ガス化反応機構を解明すべく高圧熱天秤や各種分析装置(約 40 百万円)を導入した。

この他、九州大学は、石炭ガス化炉の安定運転を確保する上できわめて重要なスラグ排出性を予測することで炭種適合性を評価するため、石炭中鉍物質(灰成分)を微細な構造から分析し、新しい予測/評価手法を開発するための NMR 装置や高温化で条件調整して分析試料を作成する関連設備などを導入した(約 370 百万円)。

電力中央研究所は、小型ガス化炉のデータを迅速かつ広範囲に分析することで、より幅広く CO₂富化の影響を明確にすべく、H23 年度にコンバスタに供給する二次 CO₂の加熱器を追設する(約 45 百万円)とともに、H24 年度に二次ガス供給系や生成ガスサンプリング系などの改造(約 80 百万円)を行った。

2.2 研究開発の実施体制

本事業は、NEDO が単独ないし複数の企業、大学等の研究機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない)から、公募によって事業実施者を選定し実施した。事業実施にあたり、「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」のテーマは商用化まで長時間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いにノウハウを持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施した。

本事業では、事業に参加する各事業グループの有する研究開発ポテンシャルを検討し、これを最大限活用することにより効率的かつ効果的な研究開発の推進を図る観点から、研究開発責任者(プロジェクトリーダー)として九州大学持田教授を指名し、サブプロジェクトリーダーとして(独)産業技術総合研究所赤井主幹研究員を指名して、その下でプロジェクト開始から平成23年1月までの間は運営管理を実施した。その後平成23年2月以降は、プロジェクトリーダーをエネルギー総合工学研究所小野崎正樹理事に代え、運営管理を行った。

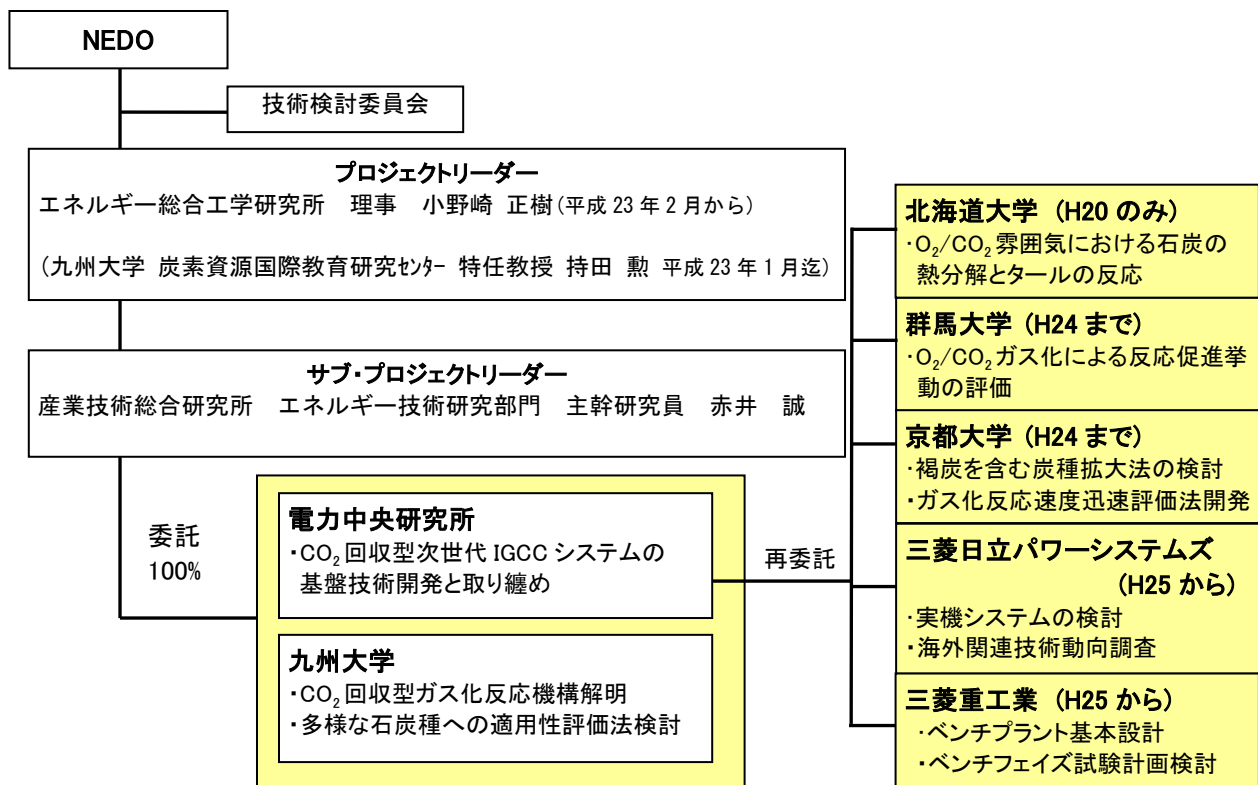


図 II-2-2 実施体制図

2.3 研究開発の運営管理

事業全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び事業実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。また、本事業では、外部有識者からなる技術検討委員会(表Ⅱ-2-3)を NEDO で設置し、委員会を年 2 回開催することで運営管理を行ってきた。

表Ⅱ-2-3 技術検討委員会の委員リスト

	氏名	役職	所属	
委員長	堤 敦司	教授	東京大学	生産技術研究所 機械・生産系部門
委員	佐藤 光三	教授	東京大学	大学院工学系研究科 システム創成学専攻
委員	平井 秀一郎	教授	東京工業大学	大学院理工学研究科 機械制御システム専攻
委員	田中 雅	研究主幹	中部電力	電力技術研究所
委員	堤 直人	主幹	新日本製鐵	技術開発本部 技術開発企画部
委員	松岡 秀一	准主任部員	出光興産	販売部 石炭事業室
委員	佐川篤男	研究理事	日本エネルギー経済研究所	化石エネルギー・電力ユニット

さらに、CO₂回収型次世代 IGCC 技術開発情報連絡会を定期的で開催し、電力中央研究所と九州大学に加え、再委託先の京都大学、群馬大学と NEDO も出席することで、研究進捗状況の確認と今後の進め方の協議を行い、電力中央研究所と九州大学の密接な連携を推進させた。本情報連絡会は全体討議の場であり、各個別テーマについてはこれに拘らず、個々の担当者が適宜出張し、研究成果の相互活用、反映方針や商用化に向けた検討など活発に議論した。

2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

2.4.1 実用化につなげる戦略

本プロジェクトは、「基礎的・基盤的研究開発」であることから、本研究における「実用化」の定義を「当該研究開発の成果が、ガス化炉をスケールアップした後継プロジェクトに活用されること」と定めた。

従って、後述するように、①プラントメーカーや重要構成機器の専門メーカーのアドバイスを反映した実現性の高いシステムを構築し、その性能を確認するとともに、②次フェイズに求められる基盤技術を開発し、③商用化までを見据えて次フェイズで重点的に検討すべき事項を整理した上で、③次フェイズで必要となる設備の検討を行うとともに、当該設備の設計や検討に必要な基礎データを得ることで、「実用化」につなげる成果を挙げることができた。

2.4.2 商用化に向けた検討

本プロジェクトでは、次フェイズのプレーヤー候補となりうる実力と実績を十分に備えたプラントメーカーを再委託先として組み込み、次フェイズ以降のロードマップやマイルストーンを検討するとともに、次フェイズで用いる試験設備を試設計するなど、早期商用化に向けた確実な歩みを目指した。実施者間の議論の段階ではあるが、「CO₂回収型次世代 IGCC 技術開発」の商用化に向けた開発スケジュールを図Ⅱ-2-3 に、各フェイズのマイルストーンを表Ⅱ-2-4 に示す。

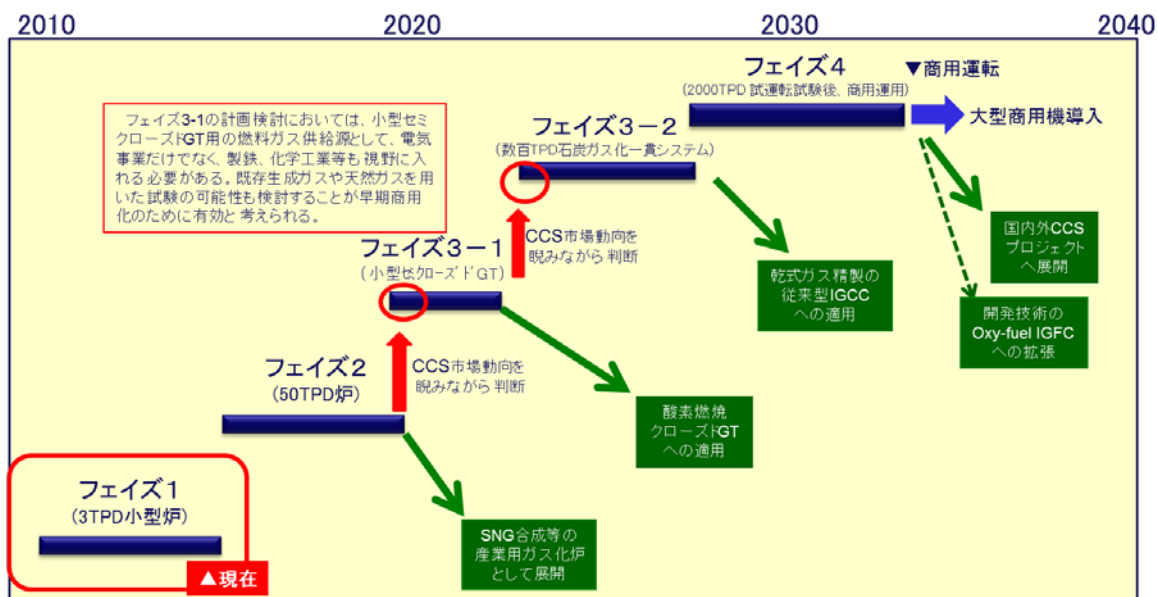


図 II-2-3 「CO2 回収型次世代 IGCC 技術」の商用化までのロードマップ

表 II-2-4 各フェイズのマイルストーン

フェイズ	目標	次フェイズに向けクリアすべき課題	開始時期	終了目途	波及効果	備考
フェイズ2	ベンチ炉試験 (50TPD) パイロット設備に向けた技術構築	①ベンチ炉試験による ガス化／乾式脱硫性能検証 ②セミクローズドGT燃焼器の開発 (模擬ガス燃焼器試験とCFD解析) ③硫黄以外の不純物対策の構築 (対象毎にPre/Post除去の適合性を評価)	2015	2019	SNG合成等の産業用石炭ガス化炉として適用可能	
フェイズ3-1	パイロット試験 (数百TPD) 天然ガス等を用いたセミクローズドGT一貫システムの構築	天然ガス、プロセスガス等を利用した循環系を含む小型セミクローズドGTによるシステム構築、検証	2020	2023	酸素燃焼セミクローズドGTへの適用可能	開始時期はCCS市場動向を視みながら判断
フェイズ3-2	実証試験設備構築のためのシステム成立性検証	①ガス精製スケールアップ ②石炭ガスを用いた循環系を含む小型セミクローズドGTによるシステム構築、検証	2024	2028	乾式ガス精製技術を国内外IGCCに適用可能	開始時期はCCS市場動向を視みながら判断
フェイズ4	大型実証試験 (2000TPD) 実機フルシステムでの性能実証	発電設備としての信頼性検証	2029 (FEED)	2034	国内外のCCSプロジェクトで商用化可能	

本ガス化技術は、現在我が国で実証後、商用運転されている勿来 IGCC(空気吹きガス化技術)で培った技術をベースとしており、効率的かつ着実な研究開発推進が期待できる。特にガス化技術については、次フェイズ(フェイズ 2)で、実績の豊富なメーカーの 50TPD ガス化炉で性能確認試験を終えれば、SNG 合成等の産業用ガス化炉として実用展開できるレベルに達すると期待される。セミクローズド GT については、これまでに実施された水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)やアドバンスト高湿分空気利用ガスタービン(AHAT)の知見が活用できるものの、CO₂ 循環時の燃焼特性などが開発課題となるため、次フェイズ終了後に、セミクローズド GT の検討を軸としたフェイズ 3 が必要である。しかしフェイズ 3 の中間段階で酸素燃焼 NGCC を想定した技術が開発されるだけでなく、数百 TPD 級の石炭ガス化一貫システムにおける検証試験により乾式ガス精製システムの大型化が可能となり、従来型 IGCC の効率向上という副次的効果も期待される。最終的には 2000TPD 級の実証機試験を経て、実証機の商用化を契機に国内外の CCS プロジェクトへ展開可能になると期待される。実証試験を 2020 年代後半から 2030 年代半ばにかけて実施し、実証機を商用転用することで商用化に進むものと考えられ、国内外における CCS の本格商用化には十分な目標時期といえる。

2. 4. 2 知財マネジメント

本プロジェクトにおける特許出願・論文投稿件数を、それぞれ表Ⅱ-2-5に示す。

表Ⅱ-2-5 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」の特許出願、論文投稿件数

	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	合計
研究発表	8件	33件	29件	46件	49件	29件	10件	204件
論文投稿	3件	15件	11件	15件	12件	16件	9件	76件
研究報告書*等	1件	1件	1件	2件	2件	2件	1件	10件
特許	0件	1件	1件	1件	1件	0件	0件	4件

*本研究開発の中間年報

「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」においては、九州大学と電中研が連携して研究発表204件(電中研66件、九大116件、京大19件、群大3件)、論文76件(電中研11件、九大65件)、と積極的に情報発信を行い、外部有識者の認知を得るべく活動した。この中で、中間評価における指摘を考慮して「若手研究者を登用し、その対外発表の機会を創出」するとともに、得られた成果を技術検討委員会や関連研究者間のミーティングなどの機会を通じて共有化し、プロジェクト全体の底上げに努めた。

O₂/CO₂吹き石炭ガス化の原理に関する基本特許は、本事業が始まる前に既に出願済(国内11件、国際1件)であったが、本事業の中で開発した乾式ガス精製の炭素析出抑制技術に関連し4件の特許を出願した。

3. 情勢変化への対応

ゼロエミッション石炭火力に関する技術開発テーマを効率的かつ効果的に推進することを目的として、平成21年度まで基本計画及び実施計画を定めていた以下のテーマを統合し、平成22年度から「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」のテーマとして実施した。

- ・革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト
(発電からCO₂貯留までのトータルシステムのフェージビリティ・スタディ、革新的ガス化技術に関する基盤研究事業)
- ・戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発(STEP CCT)
- ・クリーン・コール・テクノロジー推進事業

4. 中間評価結果への対応

<研究開発成果に関する評価>

O₂/CO₂ガス化シミュレーションについては、電中研と九州大で開発を進め、3t/日、200t/日、1700t/日ガス化炉のシミュレーションツールの開発が完成し、O₂とCO₂のガス化炉内の混合割合については、従来のN₂に比べCO₂の比重や比熱等の物性が異なり、CO₂供給割合がガス化炉温度や炭素転換率等の性能に大きく影響を与えることが明らかとなるなどIGCC関連の技術は着実に蓄積している。しかしながら目標達成の基準が明確ではない。何をやったかではなく明確な達成基準に対してどこまで達成できたかを示すべきである。例えば、数値シミュレーションモデルを開発したというだけでは不十分。実用に耐えるにはどの程度の精度が必要でそれを実現できたのかが重要である。また、ガスタービン本体の最適化およびガスタービンの性能比較に基づく目標設定が不足している。マネジメントを強化し、明確な目標設定と達成基準それを達成する最適なプロセスを設定して戦略的に進めてもらいたい。さらに、実用機とパイロット試験結果、シミュレーション結果などは離反しているのをどのような考え方で整理するかについての評価手法について検討を深化すべきではないか。

<肯定的意見>

- CO₂回収を含めた高効率石炭ガス化システム開発に挑戦し、成果を挙げている点は評価できる。
- (1)高濃度 CO₂ 条件における石炭・チャーの反応性が明らかになり、CO₂ 回収ガス化条件において、空気吹きガス化条件と比較して、石炭熱分解・ガス化・燃焼性がほとんど変わらないことを明らかにしたことは、本事業を進める上で、大きな前進と評価する。
- (2)高 CO 濃度条件での乾式ガス精製システムに関して、実用化への目処が明らかにしたことは、本事業を進める上で、大きな前進と評価する。
- シミュレーション技術による設計ポイントの効果的な進展は評価できる。今後、よりシミュレーションの精度を向上させ、パイロット開発などの現場での試験への展開、事業化への精度のあるシステム開発が期待できる。
- 二室二段炉の設計に関わる O₂/CO₂ ガス化の要素研究については、データが出始めた段階であり、目標値なるものは数値シミュレータへの適用と検証、あるいは装置設計パラメータの見直しはこれからと判断した。
- O₂-CO₂ ガス化の「操作改善の方向」は示されて結構なのだが、要素研究および数値シミュレータ、実証基で得られるデータとの整合性と達成度が見えず、最終評価には定量的な表現で記述してほしい。
- 要するにガス化炉を安全・安定に動かすための「最適ポイント」と「幅」を数値で示すことができればわかりやすい。
- 乾式ガス生成については「炭素析出(すす生成)」は貴重なデータであり、ハニカム脱硫剤試験の性能が確認されているなど着実な成果と判断している。最適化に向けて更なる成果を期待したい。
- 炭種の選定とガス化炉内の灰の熔融挙動についても、データは出始めているので、今後を期待したい。
- CO₂ 回収型 IGCC について成果発表は多数出されているが、このプロジェクト開始後の成果なのか、以前の蓄積なのかを区別してほしい。
- 大学サイドは基礎的な研究をしっかりと行っており、今後重要な知見が得られることを期待する。
- O₂/CO₂ ガス化シミュレーションについては、電中研と九州大で開発を進め、3t/日、200t/日、1700t/日ガス化炉のシミュレーションツールの開発が完成している。O₂ と CO₂ のガス化炉内の混合割合については、従来の N₂ に比べ CO₂ の比重や比熱等の物性が異なり、CO₂ 供給割合がガス化炉温度や炭素転換率等の性能に大きく影響を与えることが明らかとなるなど IGCC 関連の技術は着実に蓄積している。
- 世界最高水準の目標に対し、中間目標は、概ね達成されている。
- 環境やエネルギーに関する国際的な情勢は変化しているが、エネルギーの安定確保の必要性は高まりつつあり、本研究事業の意義は失われていない。

<問題点・改善すべき点>

- 多様な石炭に対応できる技術開発が必要であり、より普遍的なパラメータ(例えば、石炭の元素・揮発分・固定炭素の割合等)とガス化の関連を定量的に評価できる汎用性の高い実験方法や解析方法を確立する必要がある。
- (1)ガス化炉における灰の物性・挙動の解明に関して種々な装置を導入されているものの、それに見合う顕著な成果が記載されていない。この分野の研究は世界各国で既に多くの研究が報告されているので、これらの研究を凌ぐ成果を挙げるように最終目標に向かって邁進していただきたい。特に、高濃度 CO₂ による灰物性・付着・熔融挙動の変化が生じるか否かは、本ガス化炉のスケールアップにおいて重要な鍵となるので、卓越した成果をあげられるように期待する。
- (2)電中研炉の試験で採取されたサンプルの分析・解析が両方で緊密に行われ、灰・スラグ試験の基礎試験に反映されるようにしていただきたい。また、必要があれば、関係機関や外部機関にも依頼し、特に、高濃度 CO₂ による灰物性・付着・熔融挙動の変化が生じるか否かを明らかにするように努めていただきたい。
- (3)勿来の空気吹き IGCC をベースにした研究開発と理解していた。しかし、質問票に対する回答で、「二室二段炉は、もともと空気吹きガス化においてコンバスタ温度の維持、灰付着トラブルの低減、高いガス化性能の獲得などを達成するために考案されたものです。したがって、O₂/CO₂ ガス化

に関しては、必ずしも二室二段炉が一室二段式よりも適しているとは考えておらず、この点について今後両者の比較検討を進める中で、 O_2/CO_2 ガス化に最適なガス化炉方式を明らかにしていく予定です。なお、実験を実施する上で、二室二段式の方が上下段に投入した CO_2 の影響を独立に評価できるというメリットがあります。」との記述がある。発表会場において説明がなかったと思うが、「 O_2 ・ CO_2 ガス化に関しては、必ずしも二室二段炉が一室二段式よりも適しているとは考えていない。」ことの根拠を示していただきたい。また、今後の2年間でガス化炉の基本設計思想まで踏み込んで再検討する計画内容や、そのスケジュールを明示されたい。

(4) シミュレーションで実施するのであれば、「なお、実験を実施する上で、二室二段式の方が上下段に投入した CO_2 の影響を独立に評価できるというメリットがあります。」の意義は理解できる。しかし、電中研炉の試験結果から最適なガス化炉方式を明らかにしていくことができるのか疑問が残る。

- 過去の関連研究も含めた研究の全体像と目標達成のための戦略が見えにくい。個々のテーマの寄せ集めの印象がある。
- 目標達成の基準が明確ではない。何をやったかではなく明確な達成基準に対してどこまで達成できたかを示すべき。例えば、数値シミュレーションモデルを開発したというだけでは不十分。実用に耐えるにはどの程度の精度が必要でそれを実現できたのが重要。
- 世界最高水準の研究に対して、特許出願が 1 件というのはもの足りない。知財戦略や研究マネジメントの問題ではないか。
- ガスタービン本体の最適化およびガスタービンの性能比較に基づく目標設定が不足している。炭種毎に最適な操作条件というのがあるはずであり、この炭種なら冷ガス効率を最高にするには、どのようにしたら良いのかというのが欠けている。
- CO_2 回収型では、ガスタービンと微量酸素除去については当初の中間目標が不明確であり、「実証・検証した」とあるが、開発要素が何か不明確。
- ガスタービン性能で効率が決まるので、新たなタービンの開発が必要であれば、目標値を示すことが重要と思われる。「 $1500^\circ C$ 級がありき」の説明ではなく、設計と運転条件を示してほしい。
- シミュレータ開発で新たに導入したあるいは開発したポイント、これまでのシミュレータとの違い、特に O_2/CO_2 ガス化での適用条件とスラグ流についての改善点と課題を明確にする。微量成分関連の組み込みはどうするのかの記述がほしい。
- 最終目標に向けた課題抽出はある程度できているが、プロセス全体から見たとき、シミュレータで期待できる設計・運転パラメータとデモ機で検証すべきパラメータを明確にしてほしい。
- ガスタービンの効率向上目標と蒸気タービンの目標値およびそのためのガス組成のカロリー範囲や実証レベルでの不純物除去目標を示す。
- 実用機とパイロット試験結果、シミュレーション結果などは離反しているのをどのような考え方で整理するかについての評価手法について検討を深化すべきではないか。今後の課題でもあるが、シミュレーションを行いかつパイロット試験を行うことのない信頼性ある手法を提示してもらいたい。
- 電中研既設炉を利用して何をどこまで明らかにできるのかが不明。200 t および 1700 t FS に対して 3 t の成果が線形性があるとは思えない。従来の EAGLE・勿来などでのスケールアップに際するトラブル対応が参考にならないだろうか(特にバーナへのスラグ付着・先端熔融や上部へのファウリング)。

<その他の意見>

- 小型ガス化炉による基本性能実証で得られた成果は事前予測された範囲であり、ガス化炉試験が順調に進んでいることを示すデータである。小型ガス化炉レベルでチャンピオンデータを得る必要は何もなく、最終目標である実証ガス化炉 FS のためのスケールアップデータや高濃度 CO₂ 存在下でのシミュレーションモデル構築のための裏付けデータを取得する方向にベクトルを向け、実験を粛々と進めていただきたい。最終目標に向かって、空気吹きガス化炉開発で得られたノウハウが、O₂/CO₂ ガス化炉の開発において適用でき、加速的に本ガス化炉が開発できるのか否かを明らかにされることを強く希望する。
- プロジェクトマネジメントを強化する必要があるのではないか。
- 明確な目標設定と達成基準それを達成する最適なプロセスを設定して戦略的に進めてもらいたい。
- 要素研究結果やデモ機での実証結果が「確実」であれば、成果は市場の拡大および市場の創造に繋がるが、現時点では「送電端効率 42%の主要構成技術の目処を得る」であり、「世界一」か、否かの評価をする段階ではない。
- 大学での研究が趣味的な研究にとどまらず、実用的な観点で電中研をサポートしうるものとなることを期待する。気相反応とスラグ特性の研究にもっと力を入れてはどうか。
- EAGLE のと共通項目についての知見の共有を模索すべきで、議論の場を提唱したい。
- プラント全体の容量、形状、寸法については、計画中の商用機との相対比較を行い、CO₂ 循環式のガス化炉・ガスタービン・熱交換器などの複合システムを検討しているが、最適化のために如何なる因子が必要かが不明である。

<実用化の見通しについての評価及び今後の提言>

設備投資能力の不足から各電力企業や化学企業は、このまま推移すると部分的な技術要素の採用となる。首尾一貫した完成システムとしての低コスト・高効率システムとして全体をアピールすることが重要である。運転条件設定や計測の面で小回りの利く、既設電中研ガス化炉を活用するようであるが、実機化までのスケールアップ手法が不明である。二室炉での実験検討となっているが、実験は最低限で良く、シミュレーション結果の確認程度で良い、また実機化のためにも一室と二室の得失を検討すべきだ。世界最高水準の実機化を握る鍵は、時期とコストである。国内外の市場を見て、いつ、どこに、どの程度のコストで、どのようなプラントを供給するかを設定し、戦略的に進める必要がある。

<肯定的意見>

- 事業化に着実に進展している。時間は掛かるが不可欠な技術開発であり、国の政策としてプロジェクトが持続する計画が明確になっている。更に新たな研究開発課題などへの事業化に向けた提案に柔軟に対応する体制を期待したい。
- 商用プラントやレイアウトなど、実用化イメージ・出口イメージ作成の努力は評価できる。
- 「成果の実用化可能性」については、実用化イメージ・出口イメージは明確であるが、実用化可能性については探っている段階であり、この段階での評価は難しいのではないか。
- O₂/CO₂ ガス化の研究開発は世界をリードする研究であり、成果は期待したい。
- 本システム採用による CO₂ 削減効果は、従来検討されている IGCC(CCS なし)に比べ、484 万 t-CO₂/年の削減(出力 100 万 kW、利用率 70%)と試算している。また、他産業への波及効果については、本システム採用により石炭燃料が大幅に削減でき(約 35 億円/年の削減)発電単価の引き下げを通じて、日本の国内産業全般へ還元されるなど実用化イメージや出口イメージは明確である。
- 技術力の維持向上、人材の育成という面での貢献度は大きい。
- 本フェーズ残り半分の期間で、より実用につながる研究・開発へとつながることを期待する。

<問題点・改善すべき点>

- 「開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。」で言えば、実施者の中では議論されていると思われるが、中間評価用の資料からは具体的な「見通し」は必ずしも明確とは言えない。

- 大学サイドの基礎研究と、電中研の小規模実証試験との連携関係が不明。電中研小型炉で起きている問題を大学にフィードバックし、大学がそれに応える体制を構築してはどうか。年に 2 回以上の連携会議、とあるが、これくらいの予算規模の他の NEDO・PJ においては、毎月連携会議を行っているものもある。少なくとも九州大と電中研の 2 者間(および NEDO)では、相互に緊密な連携をとる必要を感じる。
- 2020 年ー2030 年頃のパイロットプラントへの展開と記されているが、あまりに漠然としている。これでは技術は一流でも、ビジネスでは成功しない危険性が高い。アジアの高度経済成長が予測されるのは 2020 年、2030 年では遅い。2020 年での実用化のマイルストーンを設定するべきではないか。
- ・勿来の空気吹き IGCC をベースにした研究開発であると理解していたが、「O₂/CO₂ ガス化に関しては、必ずしも二室二段炉が一室二段式よりも適しているとは考えておらず、この点について今後両者の比較検討を進める中で、O₂/CO₂ ガス化に最適なガス化炉方式を明らかにしていく予定です。」との回答があり、ガス化方式自体はまだ決まっていなかったとは驚きである。事業者間で研究開発の方向性について、早急に意思統一をはかっていただきたい。
- ガス化炉の設計思想が全く異なる二つのガス化炉方式について今後の2年間で検討・再評価し、O₂/CO₂ ガス化についての最適化方式を見いだすための試験を電中研ガス化炉で実施するのであれば、開発の各段階でマイルストーンが明確になっているとは評価できない。
- 石炭エネルギーに対する理解の深化が必要であり、IGCC、CCS だけでの議論ではなく、総合的な CO₂ 削減として、CO₂ の削減に石炭エネルギーと再生可能エネルギーとのバブルコンセプト(平均)を導入してその立地の促進のシナリオの検討をすべき。また欧米が CO₂ 削減を目標としているにも関わらず、ベース電源としての石炭エネルギーの推進が背景にあることを調査すべき。
- 設備投資能力の不足から各電力企業や化学企業は、このまま推移すると部分的な技術要素の採用となる。首尾一貫した完成システムとしての低コスト・高効率システムとして全体をアピールすることが重要である。運転条件設定や計測の面で小回りの利く、既設電中研ガス化炉を活用するようであるが、実機化までのスケールアップ手法が不明である。二室炉での実験検討となっているが、実験は最低限で良く、シミュレーション結果の確認程度で良い、また実機化のためにも一室と二室の得失を検討すべきだ。

<その他の意見>

- 世界最高水準の技術を目指すのは良いが、実用化の鍵を握るのは、時期とコストである。国内外の市場を見て、いつ、どこに、どの程度のコストで、どのようなプラントを供給するかを設定し、戦略的に進める必要がある。
- EAGLE も独自のプロジェクトを推進中で利用できないというのは残念であり、是非ともスケールアップの中の実証試験として検討すべきだと考えています。EAGLE は湿式ガス精製で、本システムは乾式ガス精製とのことだが、両者の得失をコストと効率的な面から比較して欲しい。
- 二次的な課題、灰有効利用、ガス化の規模についての考え方を、今後は立地点を考慮して検討すべき。
- 「波及効果」(技術的・経済的・社会的)は二室二段の O₂/CO₂ ガス化炉が動いた段階であり、開発段階での内部での波及効果はあるが、外部には及ばないのではないか。
- 石炭研究者人口は先細っており、プロジェクトでの人材育成は期待したいし、NEDO の支援が必要である、NEDO の役割ではないか。

問題点・改善すべき指摘点	対 応
<p>CO₂ 回収型は実用化に向けての課題抽出ではあるが、開発計画であげた項目だけでよいのか不安が残る。「課題の全体像」と「解決の道順」、その「優先順位」を示してほしい。</p>	<p>目標到達へのロードマップなどの作成 次フェイズ以降のプレーヤーとなる実力のあるプラントメーカーを再委託先に加え、商用化までの開発工程全体像をロードマップにとりまとめた。 また、開発課題について、それぞれの優先順位も考慮して、各フェイズにおけるマイルストーンを作成した。</p>
<p>EAGLE で不明だったことを基に技術ロードマップを作成することで開発目的・成果の重要性もレベル分けすることが必要である</p>	
<p>石炭ガス化に関わる研究は長期に及びその要素も多岐にわたるため、全体像や各要素の関係がわかり難い。研究の全体像をマップ化し、最終目標だけでなく、マイルストーンに対し、何が解決済で、何が未解決なのかを明確化されたい。</p>	
<p>肝心のガス化サイドが、基礎的知見の集合にとどまり、目標到達へのロードマップが明確ではない。</p>	
<p>発電効率の根拠となる CO₂ 酸化剤の役割(C バランス)や伝熱、リサイクル反応器としての特性などについても明確に言及すべきである。</p>	<p>発電効率の算定根拠の明示 最新のシステムを対象に発電効率を算出し、高効率を得られる要因を整理し、具体的に示した。CO₂ によるガス化反応促進についても、小型ガス化炉の実験データなどを元に、その因子を明らかとした。</p>
<p>ガス化技術の研究では、論文の発表は活発だが、特許は 1 件しか出願されていない。産業競争力の点から知財戦略を強化すべきである。</p>	<p>知財戦略の強化 O₂/CO₂ 吹き石炭ガス化の原理に関する基本特許は、本事業が始まる前に既に出願済(国内 11 件、国際 1 件)である。プロジェクトの中でも、炭素析出対策に関連する新規技術を開発し、4 件の特許を出願した。</p>
<p>海外の IGCC と連続稼働時間や性能・コストを比較し、目標とするガス化熱量・率および送電端効率を数値で提示し、CCS も含めた海外との性能比較を行い、世界に誇る性能と低コストでのシステムであることが重要である。また、それらの実現に対して問題点を示し、そのため開発体制期間を明瞭に提示すべきである。</p>	<p>IGCC に関する海外事例との比較。 送電端効率の目標値 42%(CO₂ 回収後)は、CO₂ を回収しない下記 IGCC と比べても、十分に高いといえる。 - Buggenum IGCC(オランダ、運開 1994 年) 送電端効率 41.4% - Edwardsport IGCC(米国、2013 年運開) 送電端効率 38.5%(目標)、</p>
<p>今後、コストの見通しや他の技術との優劣の評価は、社会・経済情勢の変動と共に大きく変化する可能性があるが、技術が実際に広く利用されるためには、低コスト・技術の優位性が必須である。国際市場で競合できるシステムの確立を目指してほしい。</p>	<p>CCS に関する海外事例との比較。 送電端効率の目標値 42%(CO₂ 回収後)は、海外既存プロジェクトターゲットや DOE 報告書(*)の試算値と比べて十分に高いといえる。 - GE 炉 IGCC*: 送電端効率 32.6% - Shell 炉 IGCC*: 送電端効率 31.2% - Post-Comb.SC*: 送電端効率 28.4% - Kemper IGCC: 送電端効率 28.1% *:DOE/NETL-2010/1397 コストに関しては開発要素が多く見積精度に課題があるためコストターゲットを見出した。</p>

問題点・改善すべき指摘点	対 応
<p>基礎研究とはいえ、メーカーやユーザーが参加せず、大学と研究機関だけで良いのか再考の余地がある。電力会社の意見を参考としながら進める必要がある。</p>	<p>メーカーとの連携とユーザーヒアリングの強化 次フェイズのプレーヤー候補となりうる実力と実績を十分に備えたプラントメーカーを再委託先に加え連携を強化した。また、電中研は各電力会社との情報交換会等の機会を活用し、ユーザーのニーズ汲み上げに努めた。</p>
<p>プロジェクトリーダーは設計チームの選任とその権力支援を整備すべきだ。本開発は IGCC と CCS であり、それら全てに知見のある人材が設計チームを率いて行く必要があり、少なくとも IGCC の設計に携わったことのある人材がリーダーとしてプロジェクトリーダーから権限を委譲されて行動すべきだ</p>	<p>PL による指導 マネジメントの強化として、民間企業においてエンジニアリング経験を有する専門家を新 PL に任命した。</p>
<p>本研究事業は、国の産業競争力だけでなく、エネルギーセキュリティに関わる研究であるため一刻も早い実用化が望まれる。それには、プロジェクトマネジメントの強化が必要である。</p>	
<p>達成水準が数値化されていないため達成度が不明瞭なものが一部あり、中間目標の成果と最終目標との関係、残された課題、達成方法が説明不足である。</p>	<p>商用化までのロードマップ検討 商用化までのロードマップを検討し、各フェイズの具体的目標を明確化した。その中で本プロジェクトの目標と次フェイズで解決すべき課題およびその達成方法を明らかとした。</p>
<p>目標達成の基準が明確ではない。何をやったかではなく明確な達成基準に対してどこまで達成できたかを示すべきである。</p>	
<p>コストについては、従来 IGCC+CCS に比べてシステムの簡素化が期待できることから、できる限り低コスト化が図れるよう、試算中であるというが、この FS を先行して行い、コスト面で不明確な点を明らかにする検討が必要である。</p>	<p>FS 対象範囲拡大と海外検討事例とのコスト比較 FS の対象範囲を拡大し、本システムの重要構成機器である再生熱交換器と空気分離装置について、それぞれの専門メーカーによる試設計を実施した。また、コスト評価の精度を向上させ、海外の検討事例と比較した。</p>
<p>国民に納得していただくためにも政財界を含めて、積極的な広報と産官学への働きかけ、石炭利用技術促進のための人材育成、サポーター育成を充実させ、プロジェクト全体の底上げできる仕組みを検討すべきである。</p>	<p>大学の人材育成能力の活用に加え、得られた成果の積極的な発信 本プロジェクトへの大学(再委託先含む)の若手研究者の登用や対外発表の機会を創出し、得られた成果を学会や論文投稿等を通じて積極的に発信した。また、得られた成果は、技術検討委員会や関連研究者間のミーティングなどの機会を通じて共有化し、プロジェクト全体の底上げに繋げるよう努めた。 また、電力各社に対しても様々な機会を活用して成果を発信した。</p>
<p>国際的視野で、市場調査を進め、石炭産出国を主なターゲットとして、事業展開の可能な地域と方式を早期に絞り込み、発電システムの運用も含めて、より具体的な事業展開を提案できる体制を確立することが望ましい。国外で最初に事業化することも考慮されるべきである。</p>	<p>海外市場調査と具体的な展開先の絞り込み 具体的な事業展開を提案するために、海外展開経験のあるメーカーと意見交換を行い、開発ロードマップを作成した。海外の市場調査も行ったが、現時点では海外 CCS 商用化の動向が不明確であり、具体的な展開先については、次フェイズ終了時点で、再度精査することとした。</p>

問題点・改善すべき指摘点	対応
<p>ガス化方式自体もまだ検討課題となっているので、事業者間で研究開発の方向性について、早急に意思統一をはかり、新しい計画案を提出すべきである。</p>	<p>実施者間は「O₂/CO₂ ガス化による反応促進は炉形式によらず有効」、「早期実用化を図るためには、特定のメーカーの炉形式にしばられず、むしろ異なる形式の炉における効果の違いを確認する方が望ましい」という統一見解の元、検討を進めている。</p>
<p>ガスタービン(GT)本体の最適化およびガスタービンの性能比較に基づく目標設定が不足している。</p>	<p>セミクローズド GT の最適設計に向けた新たな目標項目の設定 本プロセスでは、前例のない O₂/CO₂ 燃焼クローズド GT を採用するため、最適設計に向けた目標項目を設定した。メーカーによる検討の結果、次フェイズで燃焼器開発などが必要と明らかとなったため、関連の調査、検討を実施した。</p>
<p>実用機とパイロット試験結果、シミュレーション結果などは離反しているのをどのような考え方で整理するかについての評価手法について検討を深化すべきではないか。</p>	<p>シミュレーション精度の向上 基礎試験で構築した高精度反応モデルを組み込んだ数値解析ツールで小型炉を解析し、CO₂ 富化試験実測データとの一致を確認した。</p>
<p>世界最高水準の実用化を握る鍵は、時期とコストである。国内外の市場を見て、いつ、どこに、どの程度のコストで、どのようなプラントを供給するかを設定し、戦略的に進める必要がある。</p>	<p>国内外開発動向調査に基づきロードマップ作成 国内外の関連技術開発動向や今後の計画について調査し、2030 年半ば頃の商用化を目指すロードマップを作成した。この時期に商用化できれば、2030 年頃の実用最高効率プラントである 1700℃級 Pre-combustion プラントよりも高い効率が達成できる見込みである。</p>

5. 評価に関する事項

本事業を「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」として開始するにあたって、事前評価書、基本計画(案)を作成し、NEDO のホームページから、NEDOPOST2、NEDOPOST3 として、パブリックコメントを求めた。

①評価の実施時期

平成 19 年 12 月 26 日～平成 20 年 1 月 24 日 事前評価
 平成 20 年 2 月 13 日～ 2 月 25 日 事前評価
 平成 22 年 8 月 19 日 中間評価

②評価手法

パブリックコメント(事前評価)
 外部評価 (中間評価)

③評価事務局

推進部 (事前評価)
 研究評価部 (中間評価)

④評価項目・基準

知的基盤・標準整備等の評価項目・評価基準

⑤評価委員(中間評価)

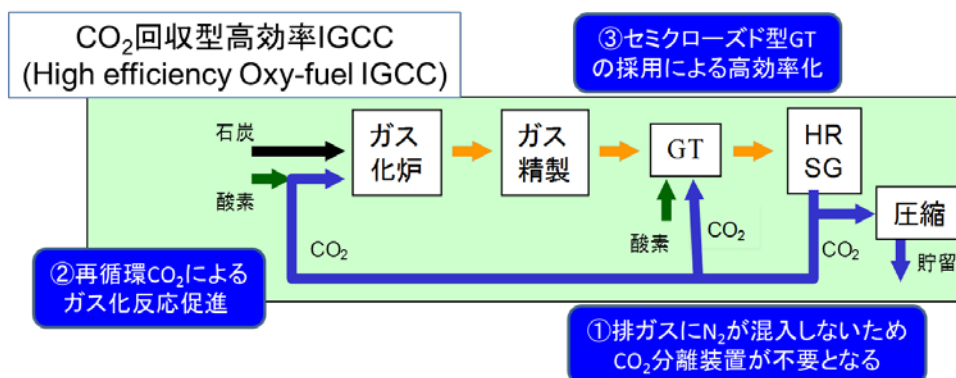
評価委員

	氏名	所属	役職
分科会長	ミウラ タカトシ 三浦 隆利	東北大学 大学院工学研究科 化学工学専攻	教授
分科会長代理	モリトミ ヒロシ 守富 寛	岐阜大学 大学院工学系研究科 環境エネルギーシステム専攻	教授
委員	セキネ ヤスシ 関根 泰	早稲田大学 先進理工学部 応用化学科	准教授
委員	ニノミヤ ヨシヒコ 二宮 善彦	中部大学工学部 応用化学科	教授
委員	ムラカミ キョアキ 村上 清明	株式会社三菱総合研究所 科学技術部門総括室	参与
委員	モウリ クニヒコ 毛利 邦彦	株式会社エルパワーテクノロジー	取締役 技術部長
委員	ヨシカワ ノリヒコ 吉川 紀彦	名古屋大学 大学院工学研究科	教授

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

電力中央研究所および九州大学は、石炭ガス化複合発電システムから回収した CO₂ の一部に所要量の酸素を混合してガス化剤や燃焼用空気の代替として用いる CO₂ 回収型高効率 IGCC システム(図Ⅲ1-1-1)に関し、事業目標「CO₂ 回収後に送電端効率 42%(HHV 基準)を実現させる基盤技術の確立」を達成すべく、アジア炭に対する O₂/CO₂ ガス化反応機構の解明と反応モデルの開発、実機ガス化炉シミュレータの開発、実用規模プラントの FS などを実施した。表Ⅲ1-1-1 に示すように、Phase1 の開発目標は達成された。なお、基盤技術を効率的かつ加速的に開発するため、電力中央研究所と九州大学は密接な相互協力の下、研究推進を図った。



図Ⅲ1-1 CO₂回収型高効率 IGCC システムの概念

表Ⅲ1-1 本事業の開発項目・目標および達成状況

目 標	研究開発成果	達成度
性状の異なる環太平洋地域の3種類以上の石炭を用い、CO ₂ 回収後において送電端効率42%(HHV 基準)を実現させる基盤技術の確立。	<ul style="list-style-type: none"> ・3炭種の送電端効率が42%HHV以上であることを確認。 ・小型ガス化炉試験により、5炭種でCO₂富化による反応促進効果を確認。 	達成
1.基本コンセプトの確認 本システムがCO ₂ 回収後も高い送電端効率を維持できる要因を整理するとともに、CO ₂ 濃度の上昇によりガス化反応が促進されるという基本コンセプトを確認する。	1.基本コンセプトの確認 (1)本システムの特徴の確認 <ul style="list-style-type: none"> ・本システムがCO₂回収後も高い送電端効率を維持できる要因を整理し、CO₂回収エネルギーを大幅に低減できることを明らかとした。 (2)小型ガス化炉による反応促進効果の確認 <ul style="list-style-type: none"> ・3TPD小型ガス化炉を用いたCO₂富化試験により、CO₂濃度の上昇により反応が促進される(チャー生成率が低減される)こと、その要因として、ガス化炉内の反応領域拡大が挙げられること等を明らかとした。 (3)基礎試験による反応促進効果の確認 <ul style="list-style-type: none"> ・熱天秤を用いた試験により、10%-O₂/CO₂雰囲気におけるガス化反応速度定数が10%-O₂/N₂雰囲気のものより1.4~2.6倍ほど大きいことを明らかとした。 	1.(1): 達成 1.(2): 達成 1.(3): 達成

目 標	研究開発成果	達成度
<p>2.基盤技術の開発</p> <p>本システムを実現するために必要な基盤技術を開発する。</p> <p>(1) 実機規模ガス化炉数値解析手法の構築と O₂/CO₂ ガス化特性の評価</p> <p>(2) 炭素析出対策の構築</p> <p>(3) 小型炉ガス化試験により 3 炭種以上で反応促進効果を確認</p> <p>(4) 乾式ガス精製システムの性能検証</p>	<p>2.基盤技術の開発</p> <p>(1)実機規模ガス化炉数値解析手法の構築と O₂/CO₂ ガス化特性の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ O₂/CO₂ ガス化反応モデルを組み込んだ実機規模ガス化炉数値解析ツールを開発した。 ・空気吹き相当の O₂ 濃度条件で 2 室 2 段炉を解析し、CO₂ 投入時の適正運転条件を明らかとした。 ・酸素吹き相当の O₂ 濃度条件で 2 室 2 段炉の解析を行い、運転条件(酸素比、燃料投入比 R/T)の影響を明らかとした。 ・炉形状の影響評価に向け、1 室 2 段炉の解析ツールを開発した。 <p>(2)高 CO 条件における炭素析出対策の構築</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本システムでは、生成ガス中の CO 濃度が高く、脱硫剤等への炭素析出が懸念されるため、その対策を開発した。GT 循環排ガスの一部を乾式ガス精製設備の上流に添加すれば炭素析出が抑制できること、送電端効率の低下も 0.2%未満と小さいことなどを明らかとした。 <p>(3)小型ガス化炉による CO₂ 富化試験法の開発と炭種によるガス化特性の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・小型炉で燃料比 0.93～2.26 と幅広い性状の瀝青炭および亜瀝青炭 7 炭種について CO₂ 富化ガス化試験を行い、CO₂ 富化ガス化運転が可能であることを示すとともに、石炭灰の溶流点が 1400℃未満の 5 炭種全てが、CO₂ 富化によりガス化が促進されチャー生成率が低減できることを明らかとし、3 炭種以上で高効率運転が可能となる目処を得た(溶流点 1400℃以上の石炭については、小型炉に固有の制約から十分な実験条件を設定できなかったが、当該制約に縛られないベンチ炉や実機ではガス化促進効果が期待できるものと推察される)。 <p>(4)ガス化ガスによる脱硫剤評価法の開発と設計データの取得</p> <ul style="list-style-type: none"> ・既設の小型ガス化炉で製造したガス化ガスを、実機に用いるハニカム形状の亜鉛フェライト脱硫剤反応器に抽気して、実機で用いられるガス流速相当の条件において、性能を評価する装置を設計・設置した。本装置を活用して、脱硫剤の硫黄化合物除去特性を測定して、実機相当条件での性能を評価する手法を開発した。これにより、次フェイズで製作を計画している乾式ガス精製システムの脱硫装置の基本設計データを効率的に取得できるようになった。 	<p>2.(1):達成:</p> <p>2.(2):達成</p> <p>2.(3):達成</p> <p>2.(4):達成</p>

目 標	研究開発成果	達成度
<p>3.全体システム成立性の検討</p> <p>本システム全体としての成立性を示す。</p>	<p>3.全体システム成立性の検討</p> <p>(1)プラントメーカ FS による課題抽出とシステム改良 ・プラントメーカの協力を得て、商用化をにらんだ開発システムの課題を抽出し、機器構成の見直しなどにより実現性の高いシステムを構築した。</p> <p>(2)空気分離装置メーカ FS による ASU のカスタマイズ ・空気分離装置メーカの協力を得て、本システムにカスタマイズした空気分離装置を試設計し、酸素製造原単位を低減するとともに、効率試算やレイアウト検討のためのデータを得た。</p> <p>(3)再生熱交換器メーカ FS による本システム用の再生熱交換器試設計 ・再生熱交換器メーカの協力を得て、本システムの設備条件にあわせた再生熱交換器を試設計し、実現性を確認するとともに、効率試算やレイアウト検討のためのデータを得た。</p> <p>(4) プラントレイアウトの検討 ・各メーカによる試設計データから、既計画 Pre-Combustion Capture ユニットと同等以下の規模におさまることを確認した。</p> <p>(5) 送電端効率の確認 ・上述した実現性向上策を適用したシステムを対象に発電効率を算出し、性状の異なる 3 炭種で目標の送電端効率 42%(HHV)を達成することを確認した。</p> <p>(6)発電コストの検討 ・コスト等検証委員会の試算法を用いて本システムの発電コストを評価し、既検討の Pre-Combustion Capture ユニットに対して優位性が保てる建設費ターゲットを明らかとした。</p>	<p>3.(1):達成</p> <p>3.(2):達成</p> <p>3.(3):達成</p> <p>3.(4):達成</p> <p>3.(5):達成</p> <p>3.(6):達成</p>

目 標	研究開発成果	達成度
<p>4.次フェイズの検討</p> <p>試験基本計画の策定、試験設備の試設計など、次フェイズに関連する事前検討を行う。</p>	<p>4.次フェイズの検討</p> <p>(1)試験基本計画策定および試験設備試設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラントメーカーとの意見交換を通じて商用化までのロードマップと各フェイズのマイルストーンを明確化した。 ・次フェイズで必要となる設備を試設計し、既設 50TPD ガス化炉の改造により、効率的かつ低コストで所期の計画が達成可能であることを示すとともに、試験計画を策定した。 ・実機 FS の抽出課題として次フェイズで実施予定のセミクローズド GT 燃焼器試験に備え、次フェイズの基礎試験装置を試設計するとともに、単一バーナ基礎燃焼試験により、今後の検討のベースデータを取得した。 ・商用化のために必要となる硫黄以外の不純物対策について、GT 前で除去すべき不純物、燃焼前に除去する方が容易なもの、燃焼後に除去する方が容易なものなどに分類できると考え、情報を収集した。これまでの検討の結果、種々の不純物の中でハロゲン類は脱硫剤を劣化させる可能性があると考えられるため、少なくともハロゲン類は、乾式脱硫の上流で除去する必要があることなどを明らかとした。 	<p>4.(1):達成</p>
<p>5.本技術の普及に向けた検討</p> <p>本システムの商用化を促進するための基盤技術を開発する。</p>	<p>5.本技術の普及に向けた検討</p> <p>(1)炭種適合性評価のための基盤技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・O₂/CO₂ 吹きガス化反応挙動を表現する反応モデルを構築して数値解析ツールに導入した。 ・O₂/CO₂ ガス化時のスート生成挙動の実験的検討や芳香族混合物の分解・改質試験を通じて、開発した初期熱分解モデルと詳細反応モデルを用いてスート生成挙動を解明した。 ・石炭ガス化炉への炭種適合性を評価する上で重要な指標とされるスラグ排出性を評価する技術の構築に向け、様々な角度から基礎データを収集し、炭種による違い、スラグ排出現象そのものの類型化などをを通じ、高温熔融スラグ粘度をモデル化する為の基盤技術を開発した。 <p>(2)適合炭種拡大のための基盤技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適合炭種の拡大に向け、触媒を使用することなく、褐炭のガス化速度を促進する改質方法として、溶剤改質法を提案し、反応速度の比較によりその有効性を確認した。 	<p>5.(1):達成</p> <p>5.(2):達成</p>

2. 各研究開発項目の成果

2.1 基本コンセプトの確認

2.1.1 本システムの特徴の確認

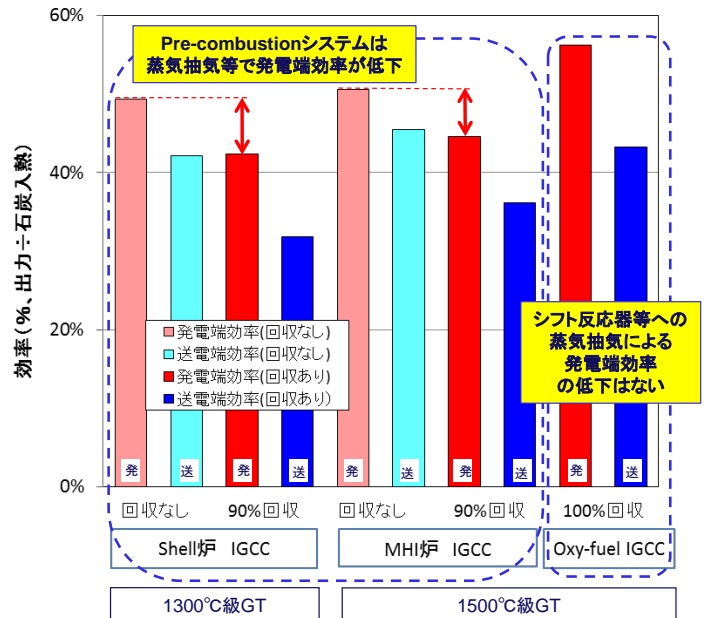
IGCC は微粉炭がイラに比べ高効率である、DOE/NETL の文献などは、Pre-Combustion プラントの送電端効率は、Post-Combustion プラントよりは高いとしているが、CO₂ 回収後の効率は 30%前後に留まっており、IGCC の特徴である高い効率が十分維持できているとはいえない。それに対し、本システムでは、送電端効率 42%(HHV)が達成できる見込みである(図Ⅲ-2-1)。まずは、本システム(Oxy-fuel IGCC)の高効率の理由について整理した。

図Ⅲ-2-2 は、Shell ガス化炉と 1300℃ 級 GT を組み合わせた DOE/NETL 文献の検討結果と、本委託で実施した MHI 炉 1500℃ 級 GT の Pre-combustion プラントを本システムとを比較したものである。

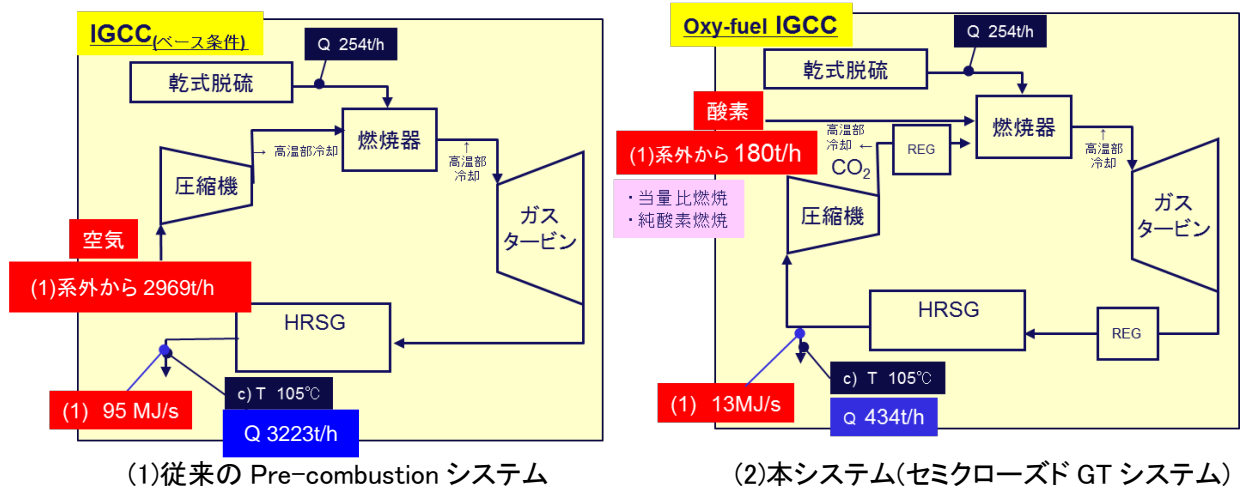
従来の Pre-combustion プラントでは、CO₂ 回収のために発電用の蒸気を抽気してシフト反応器などに使うため、発電端出力が低下する。これに対し、本システムでは、逆に発電端出力が増加している。所内率は GT 用 ASU 動力の増加などによりやや増えているものの、発電端出力の増加が仕上がりの高い送電端出力につながっているといえる。厳密にはさまざまな理由が複雑に絡み合っているが、本システムの大きな特徴の一つとしては、この高い発電端出力をあげることができる。

本システムの発電端効率が低い理由も複数あるが、その一つにセミクロズド GT システムの採用があるものと考えられる。

図Ⅲ-2-2 に排熱に関する試算結果を示す。



図Ⅲ-2-1 発電効率の比較



図Ⅲ-2-2 排熱に関する簡易試算

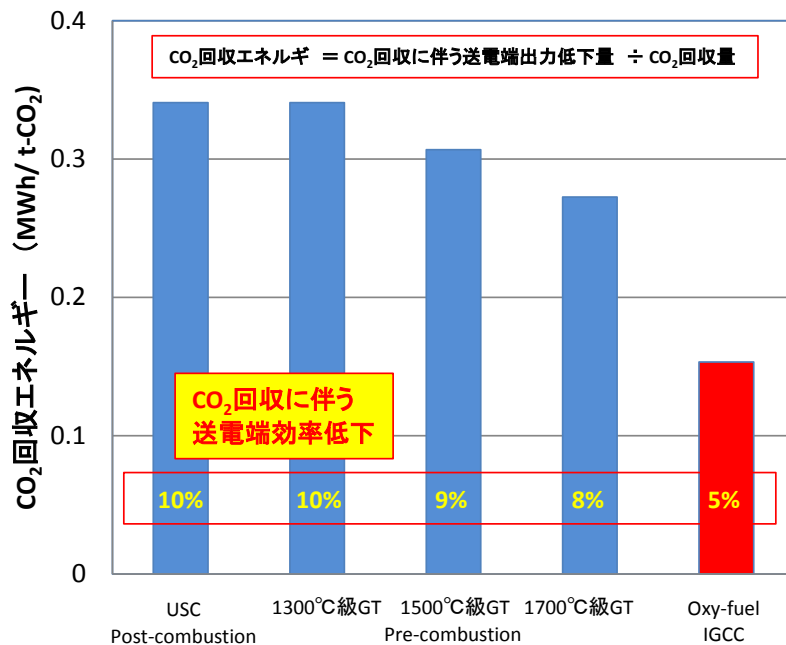
これは精製出口の燃料ガス条件(温度、流量、ガス組成)を一定とし、燃焼器出口条件(出口温度 1300℃など)、HRSG の入出口温度も一定とした簡易的な試算である。燃料ガス流量は一定でも、両プラントが系外から取り込むガス量には大きな差がある。従来プラントは燃焼用空気約 3000t/h を取り込むが、セミクロズド GT システムを採用した本プラントは、CO₂ を主成分とする大量の GT 排ガスを循環して GT の希釈剤、冷却剤に用いるほか、空気分離装置からの純酸素で GT 燃焼用空気を代替するため、余分な窒素も取り込まない。

従って、本プラントが系外から取り込むガスは純酸素 180t/h と従来プラントの 1 割未満であり、HRSG 出口

温度が一定であれば、排ガスが系外に持ち出す排熱は 1/6 となる。この他に、HRSG を通過するガス流量が増えるため収熱量が上がること、再生熱交換器の採用により、モル比熱の高い CO₂ 主体の排ガスのデメリット*が解消されること等も考えられる(*:プロセスガス中の CO₂ 濃度が高いため、排ガス温度が下がらず燃焼器出口ガス温度が高いこと、および燃焼用ガスの温度が上がらずコンプレッサ出口(燃焼器入口)ガス温度が低いことが課題と考えられたが、再生熱交の導入で高性能ガスーガス熱交換が可能となり、GT 出口排ガスの熱でコンプレッサ出口ガス温度を引き上げることができる)。

本システムの高い発電効率は、後述するように、燃料費の節減という形で発電コスト低減に寄与できるが、CO₂ 回収動力という点でもメリットがある(図Ⅲ-2-3)。

図Ⅲ-2-2 で比較した 3 システムについて、投入熱量を一定として、CO₂ 回収のない IGCC の送電端出力と CO₂ 回収後の送電端出力の差を CO₂ 回収によって失われたエネルギーと考えて試算したところ、2030 年度半ばに導入が想定される 1700℃級 GT を利用した Pre-combustion の IGCC システムと比べても、本システムの優位性が際立っていることが確認された。これは、CO₂ 回収に伴う送電端効率の低下が小さいことに加え、Pre-combustion システムの CO₂ 回収率が 90%程度であるのに対し、本システムではほぼ全量の CO₂ が回収できることも一因となっている。

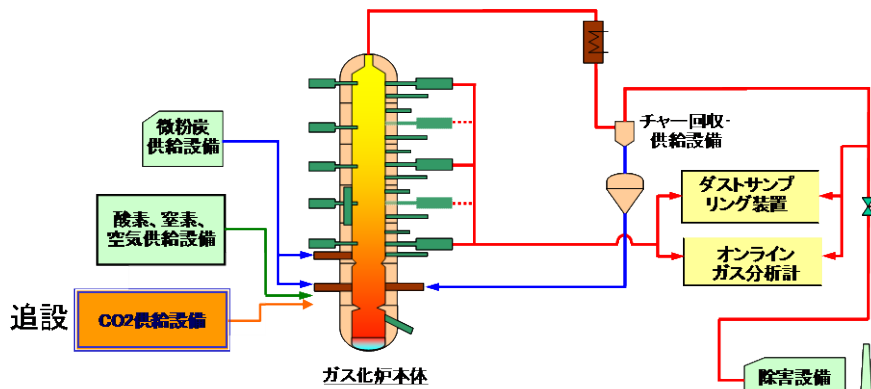


図Ⅲ-2-3 CO₂ 回収エネルギーの比較

2. 1. 2 小型ガス化炉を用いた反応促進効果の確認

電中研の既設 3 トン/日石炭ガス化研究炉(小型ガス化炉)に CO₂ 供給設備を追設し、CO₂ 富化の影響を確認する試験を行った(図Ⅲ-2-4)。

この小型ガス化炉は、酸素富化空気吹き設計だが、石炭搬送ガス(空気または N₂)の一部を CO₂ に置き換えることなどにより CO₂ を富化し、炉内サンプリングなどによりガス化性能への影響を評価する手法を開発した(CO₂ 富化試験、表Ⅲ-2-1、図Ⅲ-2-5)。



(1) 石炭ガス化研究炉の概要
(加圧噴流床、2室2段ガス化炉、運転圧力 2MPa)

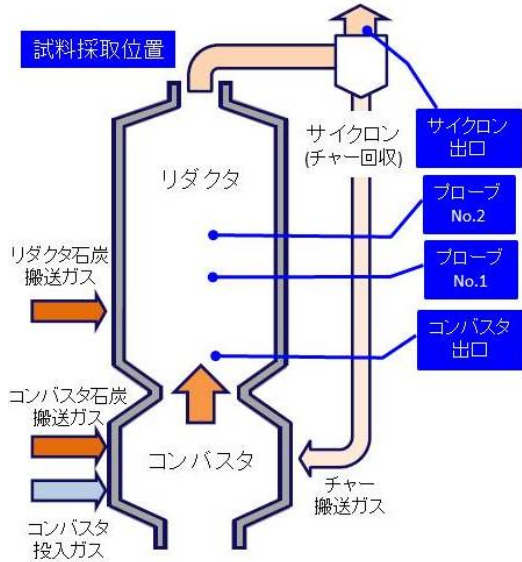


(2) 追設した CO₂ 供給設備(CE)

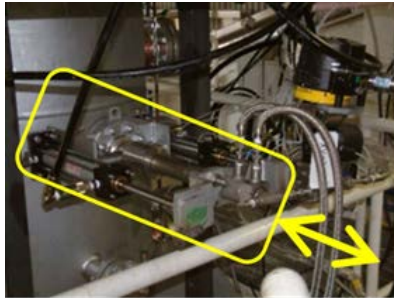
図Ⅲ-2-4 小型ガス化炉の概要

まず、CO₂ 富化により、同一酸素比においてチャー生成率が 3~5%減少することを示し、ガス反応が促進されることを確認した(図Ⅲ-2-6)。

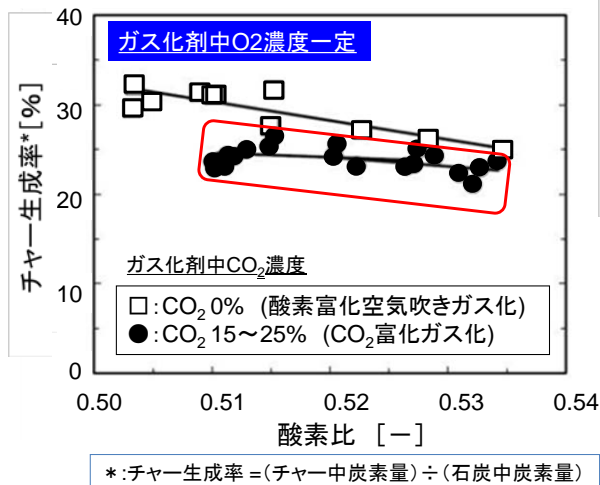
また、小型ガス化炉独自の炉内サンプリング機能を活用して、ガス化炉内の CO 濃度分布を評価した。その結果、CO₂ 富化時には、リダクタバーナから 1m の後流でも CO 濃度が上昇を続けていることがわかった。これは、CO₂ 富化により炉内の反応領域が拡大したものと考えられ、CO₂ がガス化剤として有効に作用することがガス化試験で実証されたといえる(図Ⅲ-2-7)。



(1) 小型ガス化炉の構造とサンプリング位置



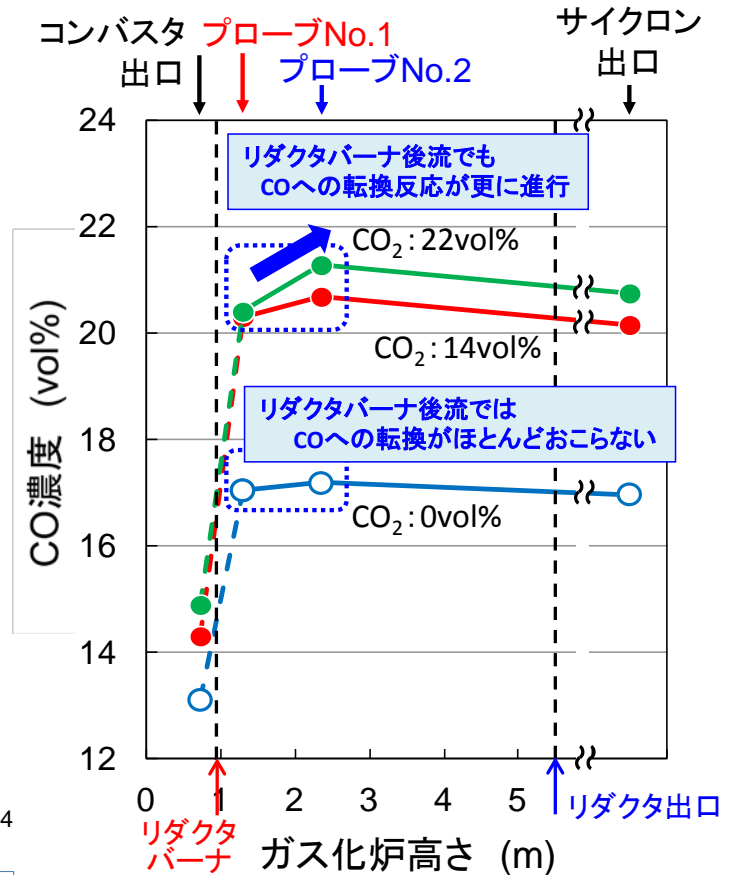
(2) 炉内サンプリングプローブ外観
図Ⅲ-2-5 小型ガス化炉の機能



図Ⅲ-2-6 CO₂ 富化によるガス化反応促進効果

表Ⅲ-2-1 CO₂ 富化試験の試験条件(例)

試験条件 (vol%)	O ₂ 濃度	25	25	25
	CO ₂ 濃度	0	15	25
	N ₂ 濃度	75	60	50
ガス化剤の内訳	コンバスタ石炭搬送ガス	空気	空気	空気
	リダクタ石炭搬送ガス	空気	空気	CO ₂
	チャー搬送ガス	窒素	CO ₂	CO ₂
	コンバスタ投入ガス	空気	空気	空気
		酸素	酸素	酸素



図Ⅲ-2-7 炉内 CO 濃度分布

2. 1. 3 基礎試験による反応促進効果の確認

群馬大学では、熱天秤(TG)を用いた基礎試験により、性状の異なる4炭種のチャーのガス化特性を異なる雰囲気ガス組成において評価し、O₂/CO₂ガス化場ではO₂/N₂ガス化場よりも反応が促進される可能性があることを示した(図Ⅲ-2-8)。これは、10%-O₂/N₂雰囲気での炭素転換率と10%-CO₂/N₂雰囲気での炭素転換率を比較したもので、その結果、O₂/CO₂ガス化場のガス化速度定数はO₂/N₂ガス化場の1.4~2.6倍と大きくなることを明らかとした。前項の小型ガス化炉では設備制約から全てのN₂をCO₂に置換できなかったが、本試験により、完全なO₂/CO₂雰囲気における反応促進効果を確認することができた。

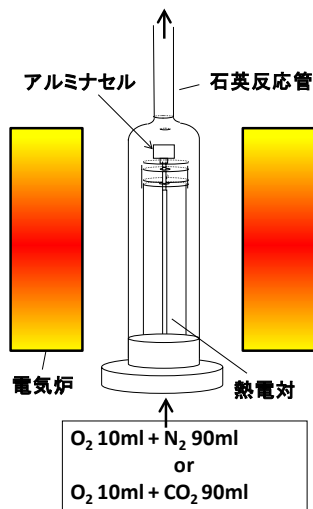
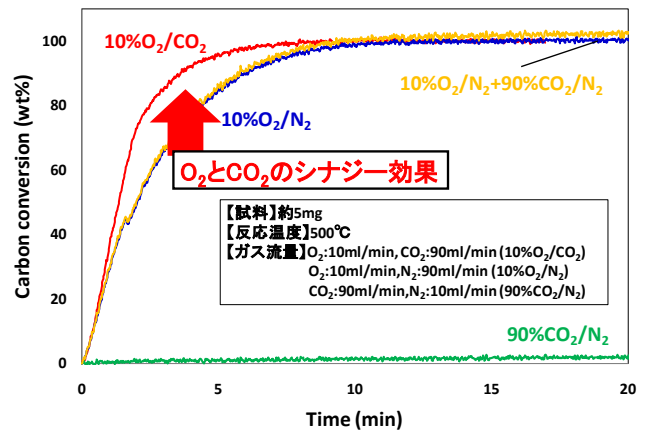
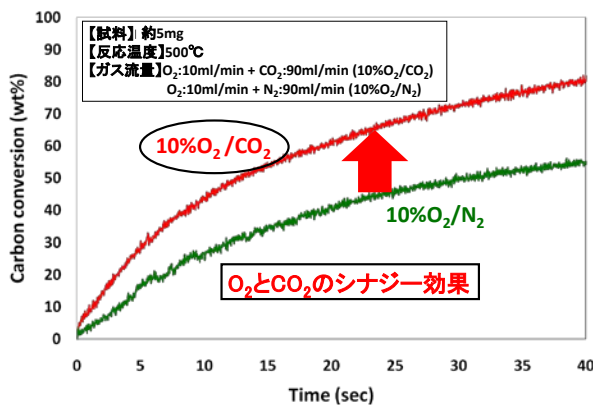


Fig. TG(ULVAC社 HPC-9300)

(1)試験装置概要



(2)A炭チャーの試験結果



(3)D炭チャーの試験結果

		A炭チャー	B炭チャー	C炭チャー	D炭チャー
ガス化速度定数 × 10 ⁻¹ (min ⁻¹)	10%O ₂ /N ₂	3.89	0.24	0.093	0.31
	10%O ₂ /CO ₂	6.65	0.35	0.245	0.58
比率		1.71	1.46	2.63	1.87

(4)C炭チャーの試験結果

図Ⅲ-2-8 熱天秤によるO₂/CO₂ガス化場での反応性検討

2. 2 基盤技術の開発

2. 2. 1 実機規模ガス化炉数値解析手法の構築と O₂/CO₂ ガス化特性の評価

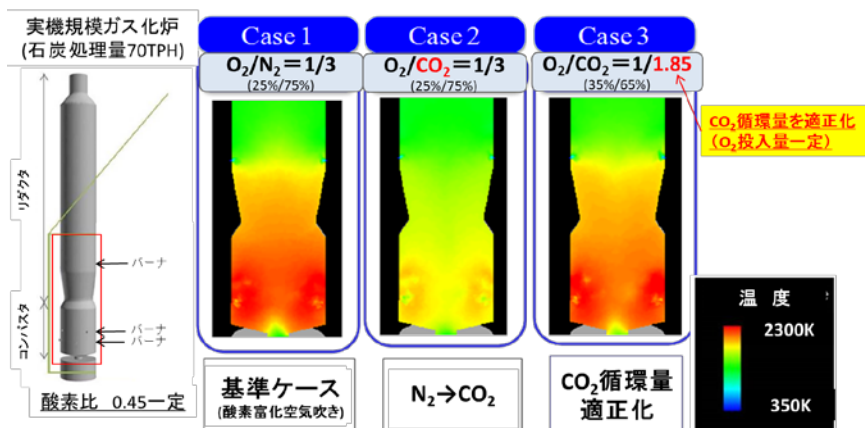
(1) CO₂ 投入時の適正運転条件検討

電中研は、酸素富化空気吹きガス化炉を対象とした炉内熱流動解析ツールを開発しており、小型炉の酸素富化空気吹きデータと比較し、ガス組成や炉内温度分布などの基本的データがある程度再現できることを示している(電中研報告 W03027)。また、本ツールを実機規模ガス化炉用に改造した実績もある。当該ツールは、大規模並列計算の導入により実機規模大型炉の解析を可能としたもので、非構造格子に対応するため複雑な炉形状にも対応できる。

本プロジェクトでは、このツールをベースとして、後述する O₂/CO₂ 吹き対応チャーガス化反応モデル(2.5.1 参照)を組み込むことにより、実機規模 O₂/CO₂ ガス化炉の炉内流動解析ツールを開発した。当該ツールについても、小型炉で実施した CO₂ 富化試験のデータと比較し、ガス組成や炉内温度分布をある程度の精度で再現できることを確認している(電中研報告 M11017)。

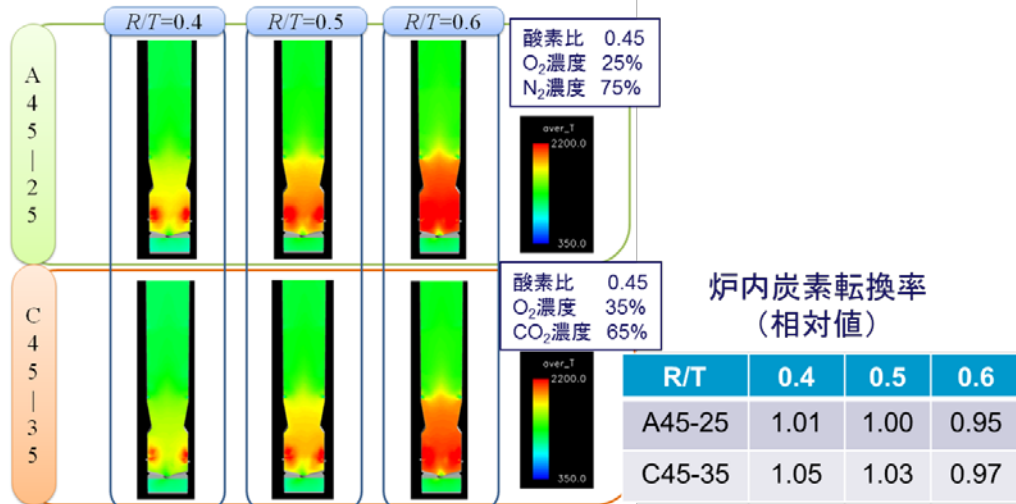
次に当該コードを実機規模ガス化炉用に改造し、酸素富化空気吹きガス化相当の条件(O₂ 25%、N₂ 75%)で解析を行った。

当初、本システムでは、投入ガス中の CO₂ 濃度が増加すると、N₂ と CO₂ のモル比熱の違いから炉内温度が大きく低下するのではないかと懸念されたが、CO₂ 循環量の調整によりガス化炉内の温度分布が調整できることが確認できた。本システムでは反応に必要な酸素は純酸素として一定量を投入するため、CO₂ 循環量の調整により、投入ガス中の O₂ 濃度を調整し、安定運転可能な炉内温度を維持することが可能である。空気吹き相当の O₂/CO₂ 比=1/3 で O₂/CO₂ ガス化炉を運転すると、炉内温度が大幅に低下する(図Ⅲ-2-9 Case2)が、O₂/CO₂ 比を 1/1.85 まで変化させると(投入ガス中 O₂ 濃度 35%)、良好なスラグ排出が期待できる温度分布が実現できることが示された(図Ⅲ-2-9 Case3)。



図Ⅲ-2-9 実機規模ガス化炉解析ツールによる検討結果
(酸素富化空気吹き相当の O₂ 濃度条件)

また、2室2段ガス化炉の主要運転条件である R/T(リダクタ投入石炭の全投入石炭に対する比率)をパラメータとした解析を行い、O₂/CO₂ ガス化条件でも、従来酸素富化空気吹き条件と同様に R/T を増加させる方が炉内炭素転換率の向上につながることを示した。また、同一の R/T 条件で比較した場合、O₂/CO₂ ガス化の方が炉内炭素転換率が向上することも明らかとなった(図Ⅲ-2-10)。

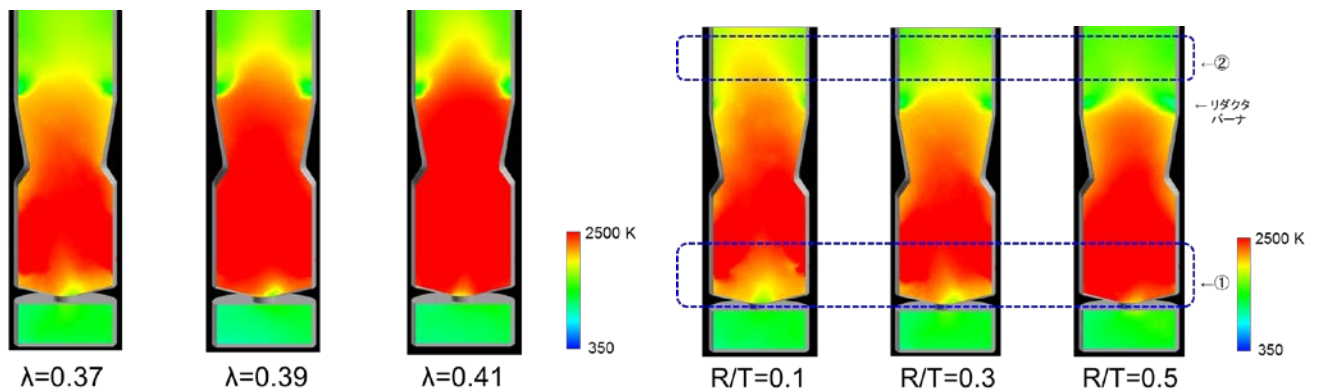


図Ⅲ-2-10 実機規模ガス化炉解析ツールによる運転条件 R/T の影響検討 (酸素富化空気吹き相当 O₂ 濃度条件)

(2) 酸素吹き相当の O₂ 濃度条件における実機規模ガス化炉内流動状況の解析

国際会議における技術開発動向調査において、三菱重工業(株)が空気吹きと同形状の2室2段炉で酸素吹きガス化炉を運用しているとの情報が得られたため、酸素吹き相当の O₂ 濃度条件で実機規模ガス化炉の解析を実施し、運転条件の影響などを検討し、酸素比、R/T などの運転条件がガス化反応に及ぼす影響を明らかとした(図Ⅲ-2-11)。R/T が大きくなるとコンバスタ下部①などのガス温度が高くなること、R/T=0.1 まで低下すると、リダクタ石炭によるケミカルクエンチ効果*が低下し、リダクタバーナ後流②のガス温度上昇が顕著となることなどがわかった(ケミカルクエンチ効果: 二室二段炉では、二段目の石炭がガス化される際、吸熱反応であるガス化反応により、炉内を冷却される。従来の酸素吹き炉では、炉内を冷却するクエンチガス投入が必要な場合があったが、一般に二室二段炉ではそれが不要となる)。

また、R/T を $\lambda=0.37$ というきわめて低い酸素比までコンバスタ底部の温度を高く保った運転が可能となることを明らかとした。本結果は、後述するプラント全体の送電端効率試算に活用した(やや安全側となる酸素比 $\lambda=0.38$ での送電端効率を試算することとした)。



(1) 酸素比 λ の影響(R/T=0.3) (2) 運転条件 R/T の影響 ($\lambda=0.37$)

図Ⅲ-2-11 実機規模ガス化炉解析ツールによる運転条件の影響検討 (酸素吹き相当 O₂ 濃度条件)

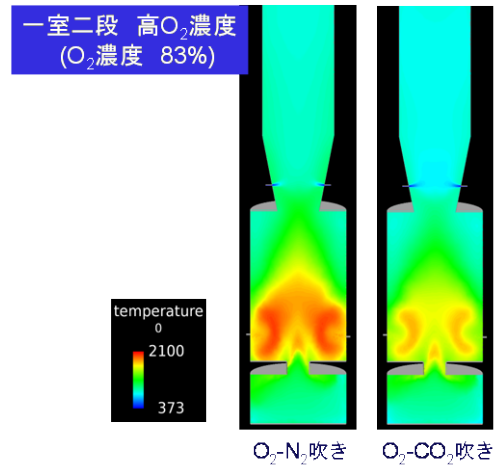
(3) 1室2段炉解析ツールの構築

O₂/CO₂ ガス化による反応促進は、炉形状にかかわらず有効と考えられる。将来の商用化を見据えた場合、特定形状のガス化炉(2室2段炉)だけでなく、異なる形状のガス化炉(例えば1室2段炉)にも適用できる技術であることを確認しておくことで、商用展開の方向性が拡大できる可能性がある。

こうした視点から、中間評価における議論の中で「特定炉形式にしばられず異なる炉形式の炉における効果も確認するように」との指摘を受けた。

様々な炉形式の中から、高い送電端効率が達成可能な日本のガス化技術、1室2段炉を想定した実機規模ガス化炉解析ツールを構築し、炉内温度分布データが取得できるまでに至った(図Ⅲ-2-12)。

解析に際しては、あらかじめ炉形状の影響(スロート径比)を検討した上で解析対象形状を選定し、想定炉形状を対象に解析を行ったものの、電中研は実機1室2段炉の詳細形状データを持たないため、これ以上の詳細検討は控え、2室2段炉の解析を優先した。しかし、現フェイズで実機規模1室2段炉解析ツールを構築できたことは、今後、本システムの商用化、普及拡大を考える上で大きな一歩といえる。

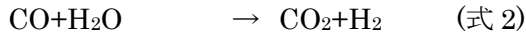
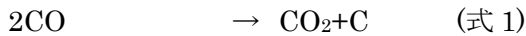


図Ⅲ-2-12 高O₂濃度1室2段炉の解析

2. 2. 2 高 CO 条件における炭素析出対策の構築

本システムでは石炭ガス化ガス中の CO 濃度が 60%以上と高くなるため、乾式ガス精製の脱硫剤の活性物質表面への炭素析出が懸念される。炭素析出により脱硫剤の性能が低下するだけでなく、析出した炭素で脱硫剤が膨張し崩壊するおそれもあり、本システムの実現には炭素析出対策が不可欠である。

既往の研究成果から、炭素析出の主要要因は Boudouard 反応(式 1)であり、これに水性ガスシフト反応(式 2)の影響を考慮する必要があることが明らかとされている。



式 1 から、炭素析出を抑制する一つの方策として、CO₂を添加することで、Boudouard 反応を抑制する方法が考えられる。また、式 2 から、H₂O を添加し CO₂の増加と CO の減少を通じて Boudouard 反応を抑制する方法も考えられる。さらに、GT から循環される燃焼排ガスが CO₂と H₂O の混合ガスであることに注目し、この燃焼排ガスを添加することで Boudouard 反応を抑制する方法も考えられる。

以上の 3 つの方法について、高 CO 濃度条件脱硫剤評価装置を用いて模擬ガスによる炭素析出抑制効果を評価し、それぞれの脱硫剤性能への影響を確認した。

その結果、CO₂、水蒸気、または燃焼排ガスのいずれかの添加ガスを乾式ガス精製設備の上流に投入することで炭素析出を抑制できることを見出した(図Ⅲ-2-13)。

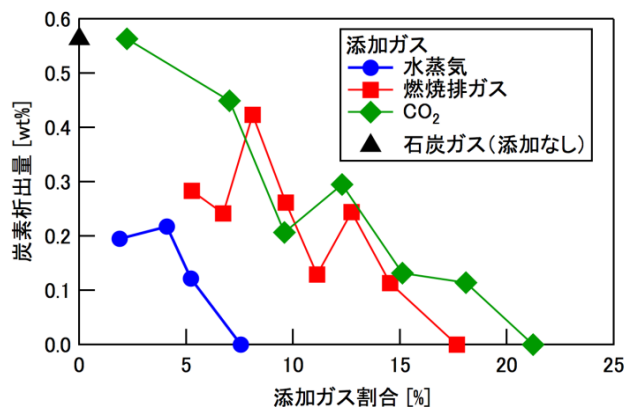
また、上記添加ガスの脱硫剤性能への影響や、発電システム内での各ガスを供給する際の温度、圧力(図Ⅲ-2-14)を考慮して算出した所要動力から、各添加ガスの得失を整理し、燃焼排ガスが脱硫性能への影響も小さく、炭素析出抑制対策に伴う送電端効率の低下が極めて少ないことを明らかにした(表Ⅲ-2-2)。

また、燃焼排ガスを添加した際に析出を抑制できる条件を確認した(図Ⅲ-2-15)。

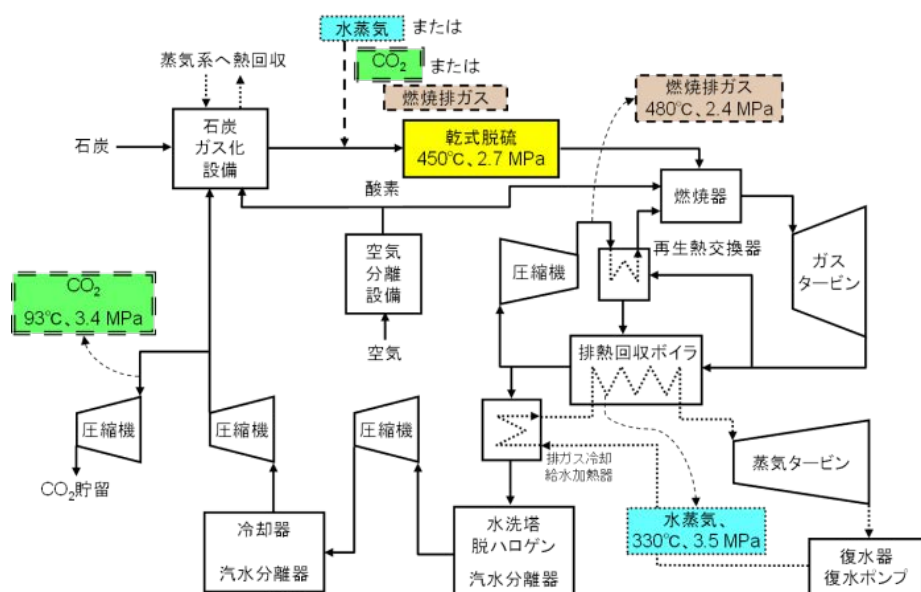
こうした検討により、商用化に不可欠な炭素析出対策の基盤技術が確立されたため、次フェイズでは

O₂/CO₂ ガス化ガスを用いた実条件における検証試験を計画している。

なお、本検討で想定した入口ガス条件は、実機規模ガス化炉数値解析の結果(2.2.1 参照)を反映しており、炭素析出対策による効率低下については、プラント効率計算の結果(2.3.5)を反映している。



図Ⅲ-2-13 ガス添加による炭素析出抑制効果の検討 (添加ガス割合 = 添加ガス量 ÷ 生成ガス量)

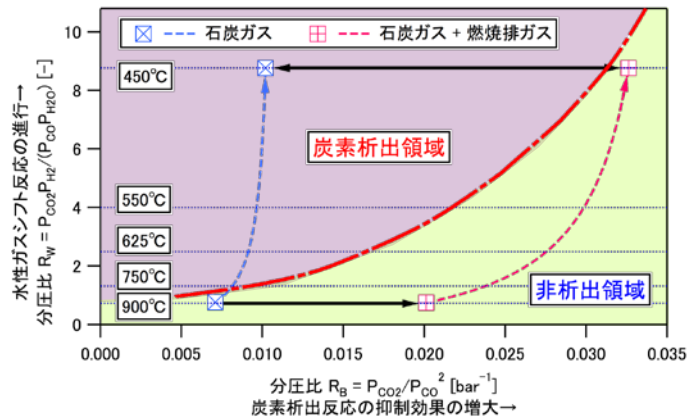


図Ⅲ-2-14 添加ガスの想定抽気位置

表Ⅲ-2-2 炭素析出対策の得失比較

添加ガス	①回収CO ₂	②水蒸気	③燃焼排ガス
炭素析出抑制効果	○ 中	◎ 大	○ 中
必要ガス量	▲ 多	◎ 少	○ 中
添加ガス量比*1[-]	3.1	基準: 1.0	2.3
熱損失・必要動力	○ 中	▲ 大	◎ 小
消費熱量比*2[-]	0.7	基準: 1.0	0.2
脱硫性能への影響	◎ 小	▲ 大	◎ 小
総合評価	○	▲	◎

*1: 水蒸気を基準とする添加ガス量割合の比、
 *2: 消費水蒸気の熱量を基準とするCO₂加熱消費熱量および燃焼排ガス昇圧動力の比



図Ⅲ-2-15 燃焼排ガス添加時の非析出領域の確認

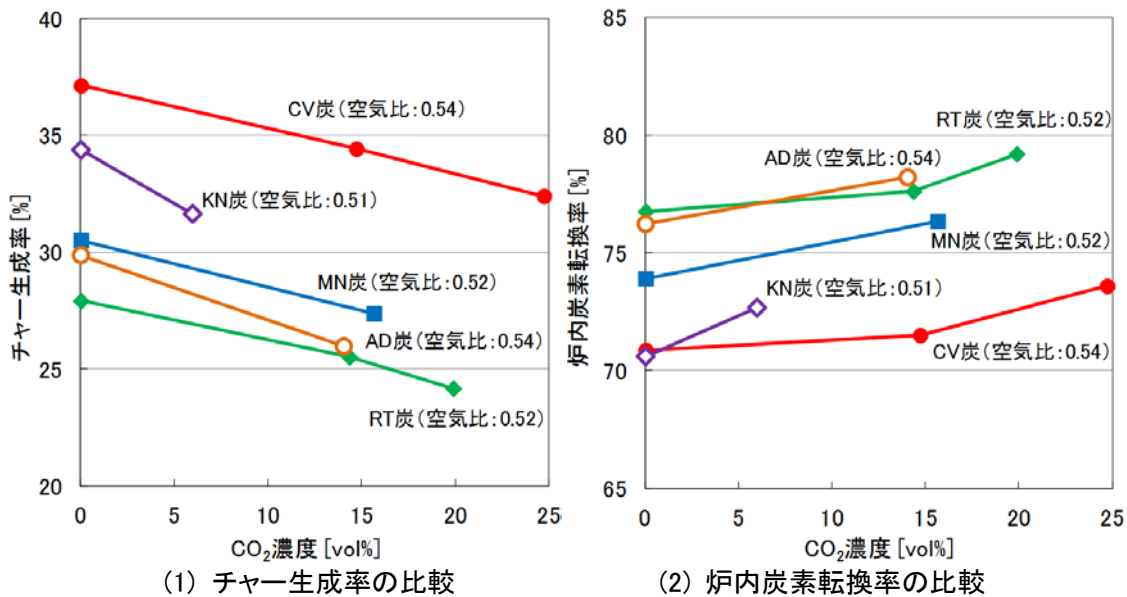
2. 2. 3 小型ガス化炉によるCO₂富化試験法の開発と炭種によるガス化特性の評価

小型ガス化炉にCO₂供給設備やCO₂予熱装置などを追設し、幅広い性状の瀝青炭および亜瀝青炭7炭種についてCO₂富化ガス化試験を行った(表Ⅲ-2-3、燃料比0.9~2.2、発熱量22~30kJ/kg、水分3.9~18.2%、窒素分0.3~2.5%、全硫黄0.2~0.6%)。小型ガス化炉は、O₂濃度に上限(約28%)があり、モル比熱の大きいCO₂の富化により炉内温度が低下するため、灰溶流点が高灰融点炭2炭種では運転条件が制約されたものの、全ての炭種でCO₂富化運転が可能であった。酸素吹き相当の高O₂濃度運転が想定されるベンチ炉および実機では、O₂/CO₂条件により炉内温度調整がむしろ容易になる可能性がある。

表Ⅲ-2-3 小形ガス化炉試験に供試した炭種の主な性状

炭種	RT炭	AD炭	SK炭	CV炭	DD炭	MN炭	KN炭
	インドネシア	インドネシア	中国	カナダ	中国	インドネシア	ロシア
発熱量(kJ/kg, 気乾)	22.5	24.5	25.4	26.4	28.8	29.4	30.3
固有水分(%、気乾)	18.2	14.6	5.3	6.2	3.9	4.7	4.1
灰分(%、無水)	4.0	3.7	18.4	11.0	11.2	8.4	7.4
燃料比(-、無水)	0.93	0.98	1.70	1.42	2.26	1.25	1.35
N分(%、無水)	1.04	0.99	0.86	1.07	0.27	1.85	2.46
全硫黄(%、無水)	0.13	0.16	0.28	0.27	0.61	0.22	0.32
灰溶流点(°C、還元)	1240	1240	1400	1380	1470	1330	1310

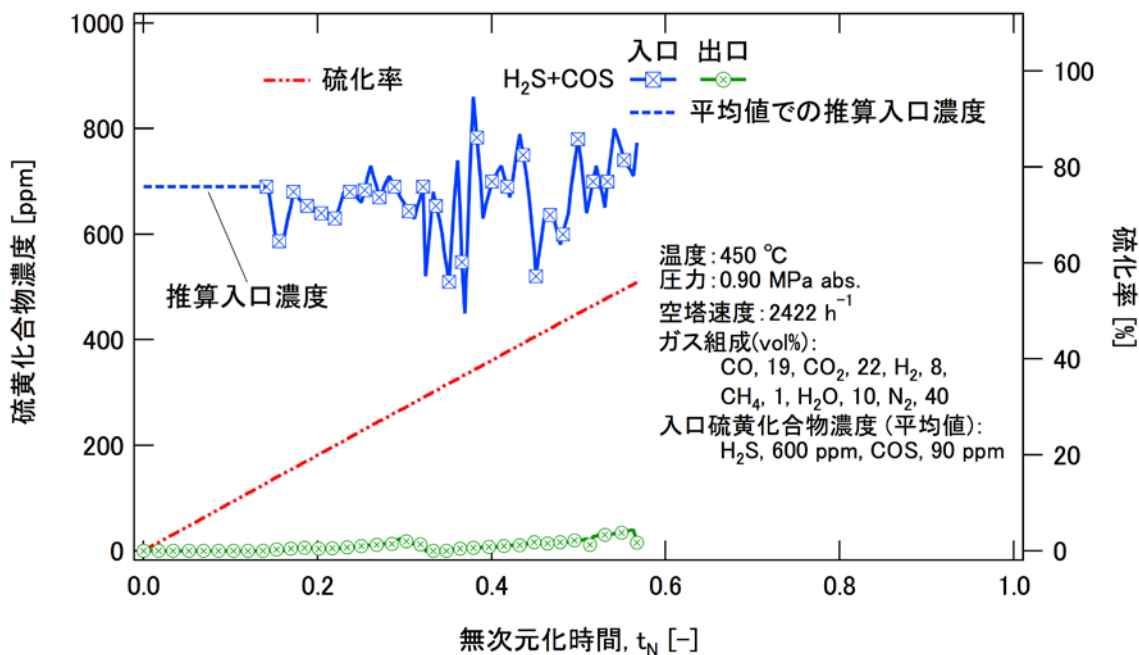
また、炭種毎にコンバスタ温度を一定として CO₂ 富化時のガス化特性を評価する手法を開発し、当該手法により、灰溶流点が 1400℃未満の 5 炭種については、CO₂ 富化によるガス化反応促進効果があることを確認し、本システムにおける高効率運転が可能となる見通しを得た(図Ⅲ-2-16)。



図Ⅲ-2-16 小型ガス化炉による CO₂ 富化試験結果
(コンバスタ温度は炭種によって異なる)

2. 2. 4 ガス化ガスによる脱硫剤評価法の開発と設計データの取得

既設の小型ガス化炉で製造したガス化ガスを、実機に用いるハニカム形状の亜鉛フェライト脱硫剤反応器に抽気して、実機で用いられるガス流速相当の条件において、性能を評価する装置を設計・設置した。本装置を活用して、脱硫剤の硫黄化合物除去特性(図Ⅲ-2-17)を測定して、実機相当条件での性能を評価する手法を開発した。これにより、次フェイズで製作を計画している乾式ガス精製システムの脱硫装置の基本設計データを効率的に取得できるようになった。



図Ⅲ-2-17 ガス化ガスを用いた脱硫剤の性能試験

図Ⅲ-2-17における無次元化時間とは、脱硫剤の硫黄吸収容量を100%使い切るのに必要な硫黄化合物が、脱硫剤入口に供給されるまでにかかる時間を1.0になる様に規格化して表示したものである。試験毎に多少相違が出る脱硫剤の充填量や硫黄化合物濃度の影響を受けずに、脱硫剤の重要な性能指標である、硫黄吸収容量ならびに破過時間(出口に硫黄化合物が検出される時間)を相互に比較できる。

本試験では、ハニカム脱硫剤に大流量の石炭ガスを流通させることで、硫黄化合物の除去性能を把握できた。図に示したように、入口の硫黄化合物濃度が数百ppmという高い値で変動していたにも関わらず、出口側では一定以下の硫黄化合物濃度を維持できており、硫化率60%(硫黄吸収容量の60%が満たされた状態)まで出口硫黄化合物濃度の顕著な増大は見られなかった。このことは、ハニカム脱硫剤内で硫黄化合物を除去する反応速度が十分高いことを示している。

本試験のデータ取得は14時間で完了した。石炭ガスの流量が低い場合は数日から数週間かかると推算されるのと比べ短時間でデータ取得ができることも石炭ガス化研究炉生成ガス供給設備によって供給できるガス化ガスを用いた試験の利点である。

2.3 全体システム成立性の検討

2.3.1 プラントメーカーFSによる課題抽出とシステム改良

本システムは、O₂/CO₂ガス化IGCCとセミクローズド型GTという従来にない技術を組み合わせた新しいコンセプトのシステムとなるため、プラントメーカーの協力を得て、実機システム全体に関するフィージビリティ・スタディ(FS)を行い、主要構成機器の技術開発状況を整理(表Ⅲ-2-4)するとともに、提案システムの課題を抽出した(図Ⅲ-2-18)。

プラントの試設計を行い、各設備の仕様を確認するとともに、起動停止を含む運転手順も作成し、システムとしての課題を網羅的に抽出した。

その結果、①石炭粉砕・乾燥用動力の考慮、②HRSGにおけるGT排ガス酸露点の考慮、③再生熱交換器とHRSGの組合せ変更などの課題が抽出された。

これらを反映しシステムの成立性向上を図ると共に効率計算に反映した。

表Ⅲ-2-4 主要構成機器の技術開発状況

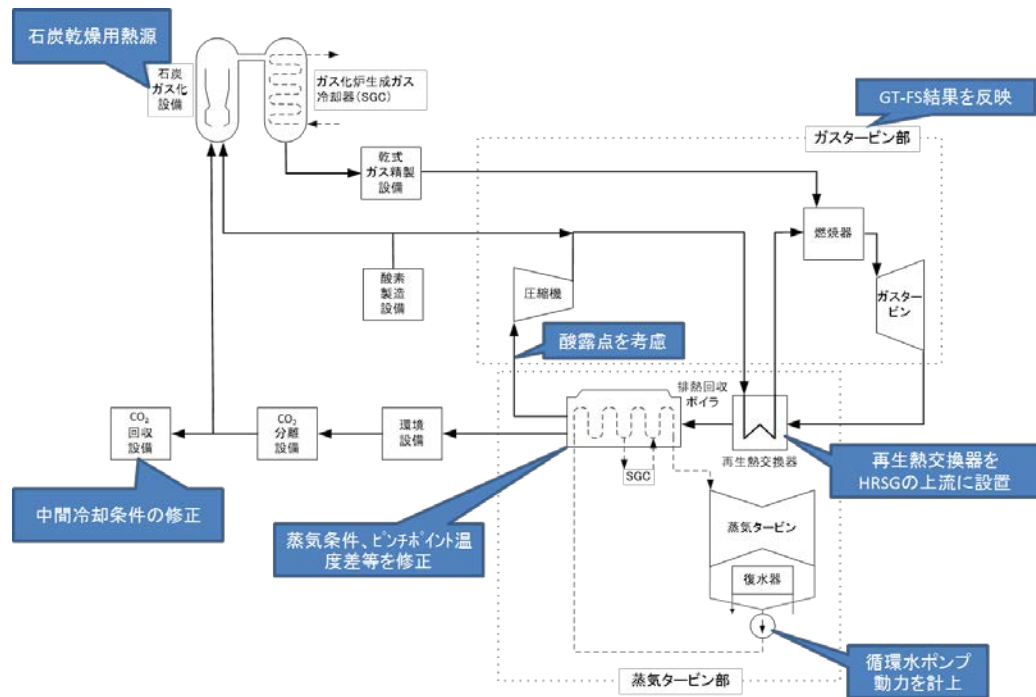
機器	開発状況	備考
O ₂ -CO ₂ 吹きガス化炉	PDU(3トン/日ガス化炉)	酸素吹きガス化炉は実証・商用段階
Syngas利用石炭粉砕・乾燥	商用段階	環境対策設備の検討
乾式脱硫	基礎研究段階(Zn-Fe系)	Fe系は20トン/日の実績有り
GT	机上検討	燃焼方式、循環ガス量、残存O ₂ の検討
再生熱交換器	小型実証段階	大型化、HRSGとの組合せ/配置の検討
ST	商用段階	主蒸気温度/再熱蒸気温度の検討
HRSG	商用段階	酸露点の管理、構成の検討
給水加熱器(酸露点対策)	テフロンコーティング伝熱管等	調査・検討が必要
排ガス水洗塔	商用段階	所要冷却水量の検討
CO ₂ 圧縮機	商用段階	
空気分離設備(ASU)	商用段階	所要動力、信頼度の検討

基本システムに対し、追加検討が必要な項目

- ①石炭粉砕・乾燥用熱源
- ②GT排ガスの酸露点(約85~110℃)の考慮
- ③再生熱交換器とHRSGの組合せ/配置

：設備簡素化、低コスト化、効率向上の観点から、特に重要

：研究開発課題



図Ⅲ-2-18 プラントメーカー FS による主な抽出課題

FS ではこの他に、空気分離装置や再生熱交換器について、専門メーカーによる詳細な FS が必要であることが指摘された。

また、GT 燃焼器については、石炭ガス化ガスの特性から酸素直接燃焼方式を選定した。さらにその中で NO_x 抑制、燃焼障害(逆火、振動燃焼)、運用性向上(部分負荷、燃料性状)の観点から拡散燃焼方式が望ましいことを示した。1300℃級 GT の場合は、燃焼器への循環ガスの適正配分(燃焼領域への循環ガス、希釈循環ガス、内筒及び尾筒の冷却循環ガスに配分して利用)により、内筒及び尾筒壁面温度を許容メタル温度以下に抑えることが可能だが、1500℃級 GT の場合は技術開発が必要で、本システムへの適用を考えると1500℃を超える高温型の GT 開発は難しいことなどもわかった。なお、燃焼器については、WENET など従来のセミクロズド GT 開発では CO₂ を希釈剤に想定した実験が行われていないため、次フェイズに必要なデータを取得する計画である。

2. 3. 2 空気分離装置メーカー FS による ASU のカスタマイズ検討

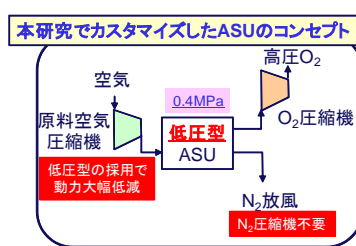
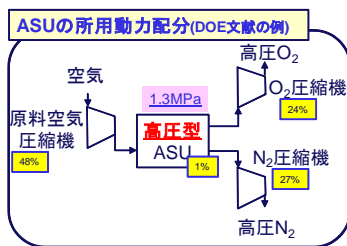
本システムでは、従来の酸素吹き IGCC と同様にガス化用酸素を ASU で製造するが、それに加え、GT 燃焼用の酸素も必要となり、ASU の所要動力が著しく大きくなる。前項のプラントメーカー FS 結果から、ASU に関する詳細検討が必要と判断し、専門メーカーの協力を得て、本システムにカスタマイズした低原単位型 ASU を試設計した(図Ⅲ-2-19)。

具体的には、本システムの「窒素を系内に入れず廃棄する」という特徴に注目した。従来の IGCC では、空気分離過程で発生する大量の高圧窒素を GT に投入し、冷却や希釈に活用するとともにその動力を回収していた。これに対しカスタマイズ ASU は、空気分離システム全体の圧力を下げ、動力の大半を消費する原料空気圧縮機の動力低減を図った。ただ、本システムでも中圧の窒素は副産するため、これは動力回収や系内の乾燥に用いている。これに加え、三塔式精留塔の採用により精留条件を改善すること等により、従来の文献では 0.4 kWh/kg-O₂ 程度とされていた酸素製造動力原単位を 0.277kWh/kg-O₂ まで低減できることを示した。

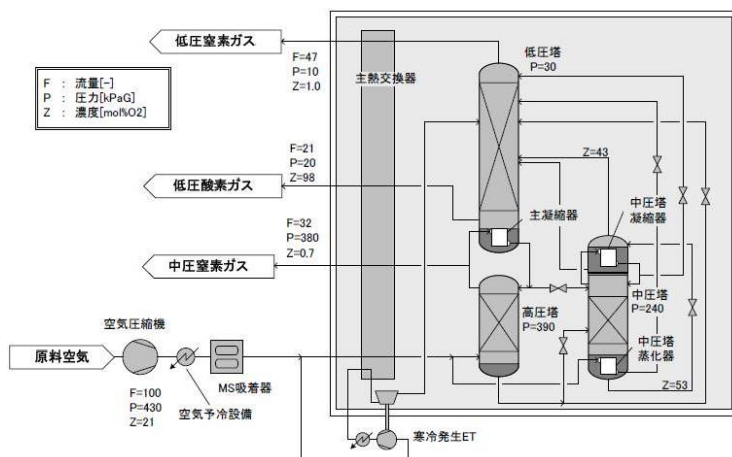
今回のカスタマイズ ASU は、高圧 N₂ を大量に使用する従来の Pre-Combustion 型 IGCC には適しておらず、本システムにおいてのみ、そのメリットを享受することができる。

また、今回のカスタマイズ ASU は、蒸気を抽気して酸素製造動力原単位を最適化しているため、プラント全体の送電端効率については不利な条件となっている。そこで、後述するプラント送電端効率の検討に向け、ASU の酸素製造原単位は若干犠牲にしてもプラント送電端効率を最適化できる改良型カスタマイズ ASU (抽気蒸気ではなく電気式ヒータを用いる、酸素製造原単位 0.322kWh/kg-O₂) を構築した。プラント送電端効率はこの改良型 ASU をベースとして算出した。

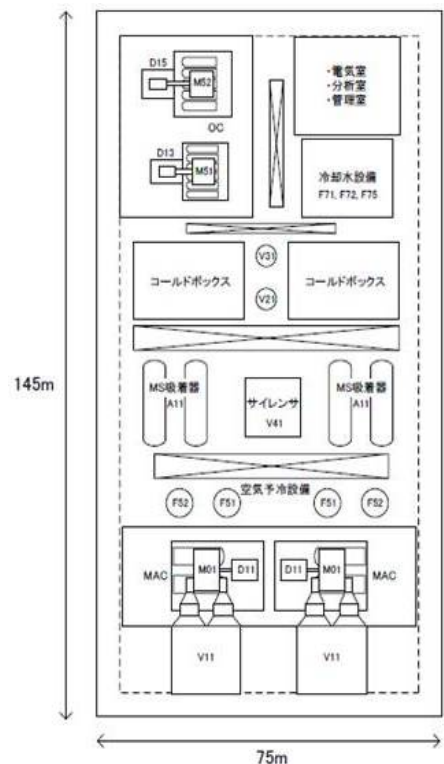
試設計の過程で機器配置の概要も検討し、プラントレイアウトへ反映した(図Ⅲ-2-19(4))。プラントメーカーによる試算では、既存 Pre-Combustion プラントの ASU が全敷地面積の約 3.5% であるのに対し、GT 用の ASU を別置きすると全敷地面積の 7.8% になると懸念されたが、今回の試算で全敷地面積比 4.8% に対応できる見通しが得られ、全敷地面積には大きな影響がないことが確認された(従来 ASU 142m×56m に対し、カスタマイズ ASU は 145m×75m)。



(1)従来 ASU のコンセプト (2)カスタマイズ ASU のコンセプト



(3)カスタマイズ ASU の概略フロー(酸素圧縮機は省略)



(4) カスタマイズ ASU のレイアウト

図Ⅲ-2-19 本システムにカスタマイズした空気分離装置(ASU)の試設計

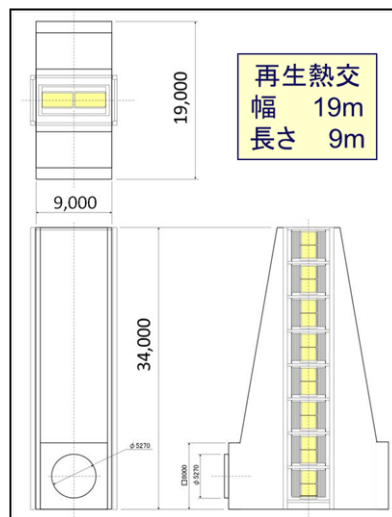
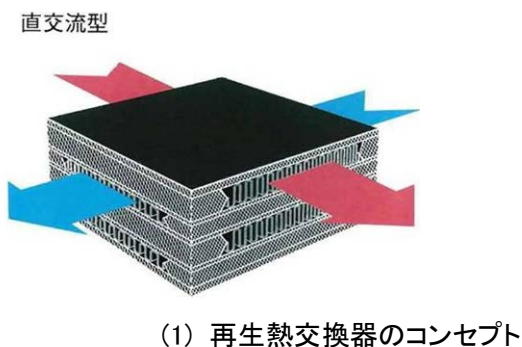
2. 3. 3 再生熱交換器メーカー FS による本システム用の再生熱交換器試設計

本システムは、モル比熱の大きい CO₂ を主体とする循環排ガスを作動流体とするため、燃焼器出口ガス温度が下がらず、燃焼器入口温度(コンプレッサ出口温度)が上がらないという傾向がある。そこで、高性能ガス-ガス熱交換器である再生熱交換器を採用することで、燃焼器出口ガスにより燃焼器入口ガスを予熱するにより、プラントの送電端効率向上が期待される。

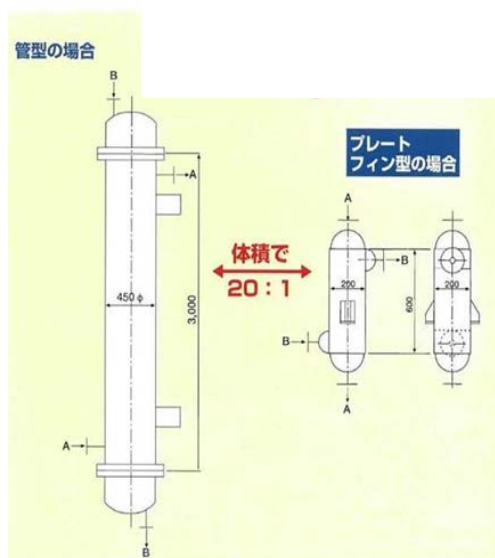
再生熱交換器は、プレートフィン型の高性能ガス-ガス熱交換器で、従来のシェル&チューブ式熱交と比べ体積比 1/20 のコンパクト化ができるなどの特徴があり、温度/圧力条件により、ステンレス製の高温製品からアルミ製の極低温製品まで幅広い分野で商用化されている(図Ⅲ-2-20)。また、大容量化にあたっては、複数のプレートを組み合わせてコアを構築し、さらにそのコアを複数組合せてブロックとした上で、複数のブロックを集積することで対応している。

本システムで採用する再生熱交換器は、既存製品と比べ極めて容量が大きく、既存製品を単純に複数台並列するだけでは、かなりのスペースを要すると懸念されたため、再生熱交換器メーカーの協力を得て、本システムの温度/圧力を考慮した成立性を検討し、プラントレイアウトのベースとなる試設計を行った。

その結果、温度/圧力条件については既存技術で対応できることが確認され、現行部品(横幅 600mm)を大型化(横幅 1000mm)した上で、機器レイアウトを工夫すれば、幅 9m、長さ 19m、高さ 34m 程度のコンパクトなサイズに仕上げることが出来る可能性が示された(図Ⅲ-2-21)。



図Ⅲ-2-21 試設計した再生熱交換器の概形図



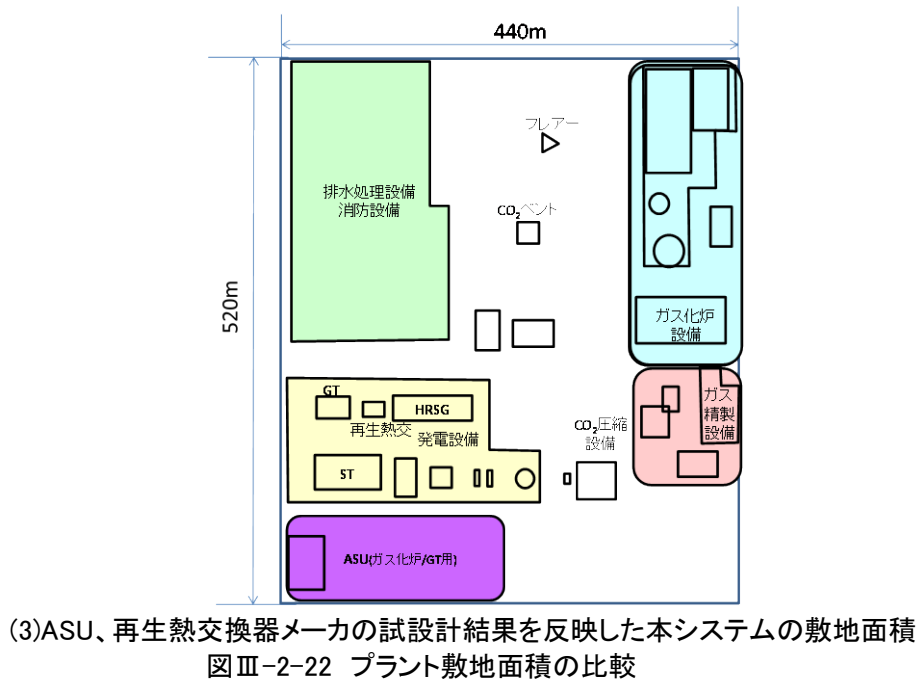
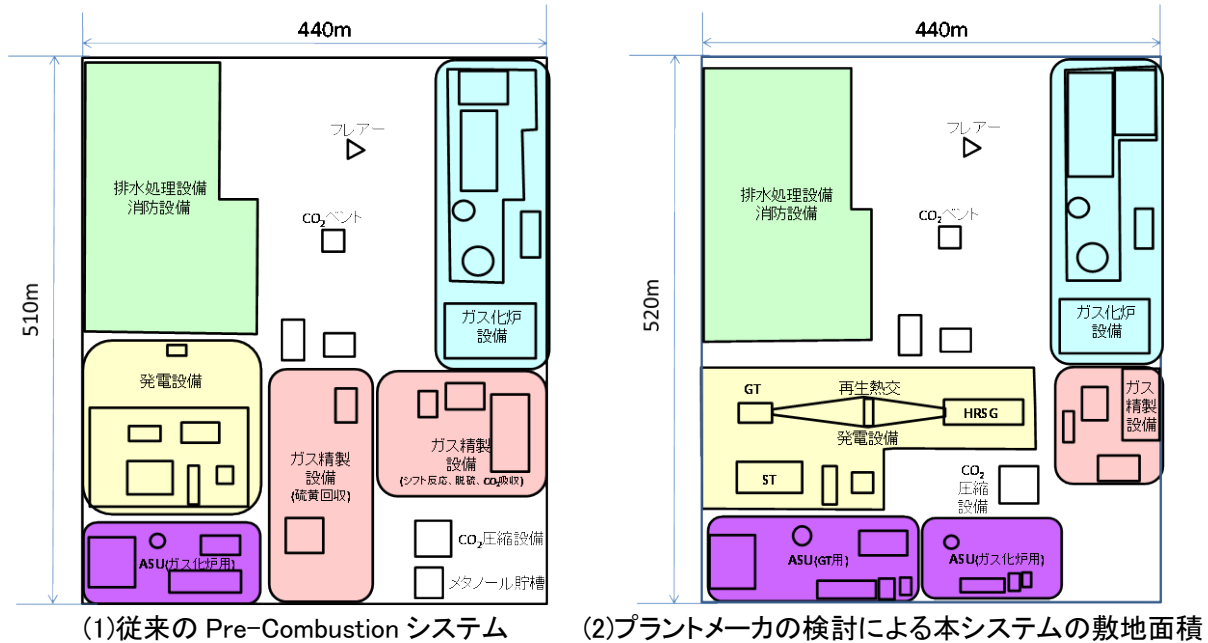
(2) 再生熱交換器の特徴

図Ⅲ-2-20 再生熱交換器の概要と特徴 (メーカーカタログより)

2. 3. 4 プラントレイアウトの検討

前述した種々の FS 成果を織り込んで、プラントレイアウトを検討し、従来の Pre-Combustion プラントと比較した。

レイアウトの詳細が公開された事例は少ないが、米国の Pre-Combustion プロジェクトである HECA (Hydrogen Energy California)を参考プラントとして、機器容量に応じた設備所要面積を概算し配置を検討した。プラントメーカーによる当初検討では、再生熱交換器や空気分離装置の所要面積が大きくなるとの懸念があったが、専門メーカーによる空気分離装置および再生熱交換器の試設計結果も織り込んだ結果、本システムの敷地面積は従来の Pre-Combustion プラントより同等以下となる見通しが得られた(図Ⅲ-2-22)。



2. 3. 5 送電端効率の検討

プラントメーカーによる実機 FS 結果(GT 概略検討結果を含む)を踏まえ、成立性を向上させた改良システムの送電端効率を検討した。本システムの商用化時期を 2030 年代半ばと想定し、それまでに 1500℃級 GT や必要な高温耐熱技術が開発されると想定し、電中研が開発した EnergyWin™を用いて性状の異なる 3 炭種(燃料比 1.3~2.3)を供試した際の送電端効率を計算した結果、43.6~43.8%HHVとなり、プロジェクト目標である CO₂ 回収後(全量回収後)の送電端効率 42%を達成できる目処が得られた(表Ⅲ-2-5)。

なお、送電端効率計算にあたっては、実機規模ガス化炉数値解析結果を基に酸素比を設定した(2.2.1 参照)

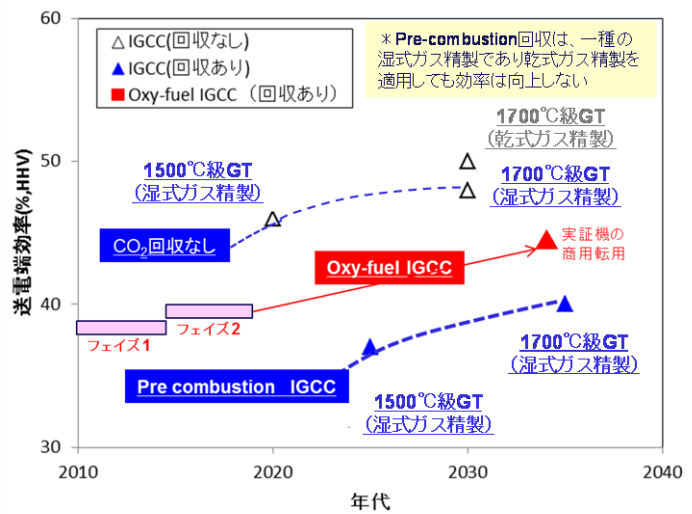
様々なロードマップを参照すると、CO₂ 回収のない IGCC において 1500℃級 GT が 2020 年頃に、1700℃級 GT が 2030 年頃に商用導入されると想定される。これから数年遅れて Pre-combustion 型の IGCC が商用化されると考えると、2020 年代半ばに 1500℃級の Pre-combustion 型機が、2030 年代半ばに 1700℃級の Pre-combustion 型機が商用化されるものとみられる。しかし、Pre-combustion 型 IGCC は CO₂ 回収部分が湿式ガス処理となるため、仮に乾式ガス精製を組み合わせても GT 入口まで精製ガスを高温に保つことは難しいため、その後の技術開発により CO₂ 回収ペナルティが低減されたとしても、1700℃級 GT を採用した Pre-combustion 型 IGCC の送電端効率は 40%程度に留まると考えられ、本技術は効率面で優位性があると言える(図Ⅲ-2-23)。

また、海外でも米 DOE/NETL によると、2020 年台後半の商用化を目指している第二世代 CO₂ 回収火力の想定効率は、“Advanced Post-combustion 型”が約 36%、“Advanced Oxy-fuel Boiler”が約 39%、“Advanced Pre-Combustion 型”が約 39%といずれも 40%以下となっている。さらに、その先の第三世代 CO₂ 回収型火力としては IGFC なども視野に検討しているようだが、開発時期は明確になっていないようである。

こうしたことから、開発時期が 2030 年代だとしても、本システムの優位性は国際的にも変わらないと考えられる。

表Ⅲ-2-5 3 炭種の送電端効率比較

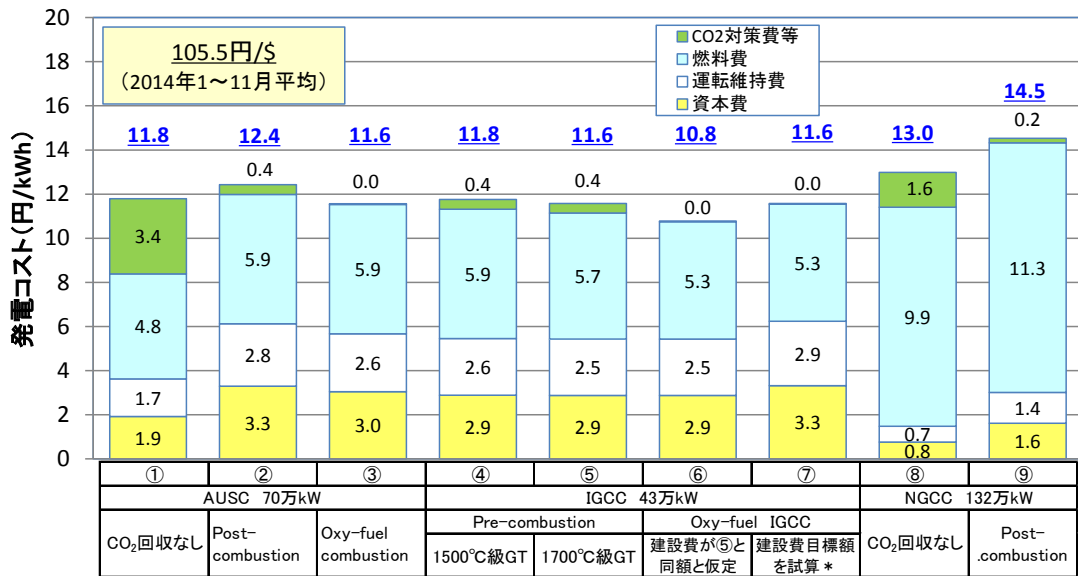
炭種	DD炭	MN炭	MO炭
	中国	インドネシア	豪州
発熱量(kJ/kg, 気乾)	28.8	29.4	30.0
固有水分(% , 気乾)	3.9	4.7	3.6
灰分(% , 無水)	10.8	8.4	9.6
燃料比(- , 無水)	2.26	1.25	1.86
酸素比(-)	0.38	0.38	0.38
送電端効率(% , HHV)	43.8	43.6	43.6



図Ⅲ-2-23 2030 年代の CO₂ 回収型 IGCC 送電端効率予想

2. 3. 6 発電コストの検討

コスト等検証委員会の試算に基づき、本システムの発電コストを試算した(図Ⅲ-2-24)。

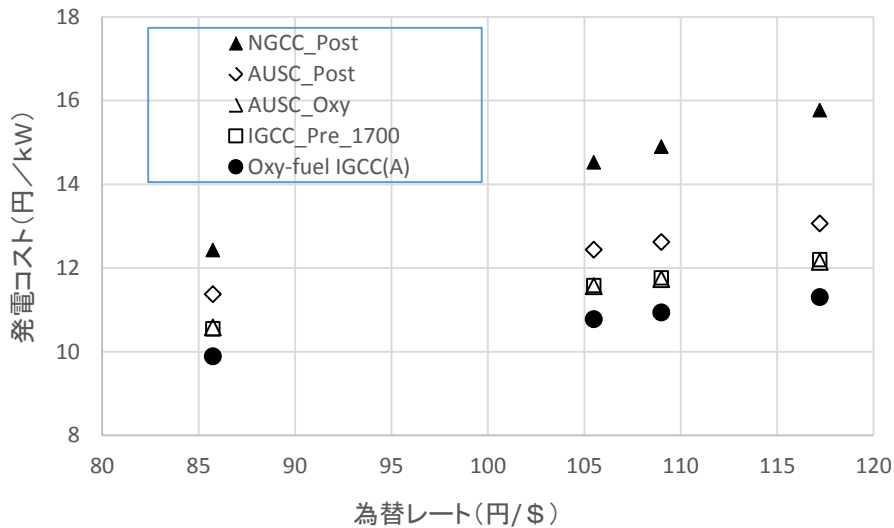


* :⑥はOxy-fuel IGCCの「発電コストが⑤の発電コストと同額」となる建設費を見積もった結果で、建設費が⑤の1.15倍未満なら発電コストが有利。

【試算法について】

- 1) コスト等検証委員会が公開した報告書のエクセルシートを用いて試算。
- 2) 上記報告書の「2030年モデル石炭火力」(効率48%)を「AUSC」、「IGCC*」と考えた。(* :1700°C級GT、湿式ガス精製)
- 3) 出力は発電方式毎に統一、送電端効率とともに、ロードマップなどから、一般的と考えられる数値を設定。
- 4) 稼働年数等は上記報告書の設定値で試算。(燃料費とCO₂価格はWorld Energy Outlook2013データに更新)
- 5) ①、⑧の所内率や建設費単価などは上記報告書、②~⑦、⑨については、DOE/NETL報告書などのデータを元に設定。

図Ⅲ-2-24 発電コストの試算結果



図Ⅲ-2-25 為替レートの影響検討

試算は、コスト等検証委員会の報告書とともに公開されたエクセルシートで行い、稼働年数や割引率等のデータは同委員会の調査結果を統一条件として設定した。

ただし、燃料費やCO₂価格については、最新情報を反映するため、World Energy Outlook 2013のデータで更新するとともに、本システムの商用化時期である2030年代のCO₂回収型石炭火力を比較対象とする

ため、同報告書に記載の「2030年モデル石炭火力」を「AUSC」および「1500℃級 GT の IGCC」と読み替えて検討した。

AUSC と NGCC(LNG 複合発電)の検討に際しては、コスト等検証委員会報告書に記載された 2030 年モデルの送電端出力(AUSC 700MW、NGCC 1320MW)を採用し、CO₂ 回収時も送電端出力が同一となるように条件を統一設定した。

IGCC については、プラントメーカ FS での検討結果を踏まえ、送電端出力が 430MW で同一となるように条件を統一設定した。

また、コスト等検証委員会では、設備利用率を 80%に設定していたが、2012 年度の石炭火力全体での実績にあわせて 75%とした。

検討のベースとなる CO₂ 回収を行わない石炭火力の送電端効率は、種々のロードマップ等に記載の一般的な値を設定した(AUSC:48%_{HHV}、IGCC*:46%_{HHV}、NGCC:57%_{HHV}、*:比較対象となる IGCC は Pre-combustion 回収型となるため、湿式ガス精製と仮定し、効率が 46%程度と考えられる。これは、Pre-combustion 回収システムは湿式法のため乾式ガス精製と組合せた場合でも燃焼器前で温度が低下し、乾式ガス精製本来の効率向上効果が期待できないと考えられるためである)。

コストを試算するために必要となる CO₂ 回収型火力の情報(所内率や建設コストなど)については、DOE/NETL 資料を参照した。AUSC の Post-combustion 回収システム②および Oxy-fuel combustion システム③については DOE/NETL-2007/1291 の USC 関連の情報を基に、IGCC の Pre-combustion 回収システム④、⑤については DOE/NETL-2010/1397 の Shell 炉 IGCC(当該報告書で取り上げた「スラリー吹きでない唯一の IGCC」)関連の情報を元に試算した。

Oxy-fuel IGCC については、2 つのケーススタディを行った。まず⑥は 1700℃級 GT を採用した Pre-combustion 回収型 IGCC⑤と建設費が同一と仮定した場合であり、効率向上により発電コストが有利となる。⑦は、建設費をパラメータとして発電コストを計算し、発電コストが⑤と同額になる建設費を求めたものである。このパラメータ検討の結果、為替レートにもよるが、建設費が⑤の 1.13~1.16 倍未満であれば、Oxy-fuel IGCC が優位となることがわかった。これにより「1,700℃級 GT を採用した Pre-combustion 回収型 IGCC の 1.13 倍程度」を建設費ターゲットと考えて開発すれば発電コストの優位性が保てることが明らかとなった。

また、為替レートとの関係もパラメータ検討した。

コスト等検証委員会報告書に記載の 2010 年年間平均 85.74 円/\$から、2014 年の 1~11 月の平均 105.50 円/\$*、同年 10 月の月平均 108.99 円/\$、同じく 11 月の月平均 117.21 円/\$までを変化させた図が図Ⅲ-2-25 である(*:為替レートとしては、三菱東京 UFJ 銀行の TTS レートを採用した)。

発電コストに占める燃料費比率の大きい天然ガスコンバインド(Post-combustion 回収型 NGCC)と比べれば、いずれの CO₂ 回収型石炭火力も発電コストが低い、中でも、全量回収後の送電端効率の高い本システムが、現実的な為替レート範囲では最も有利な発電コストとなった。

2. 4 次フェイズの検討

NEDO は、本プロジェクトが「基礎的・基盤的研究開発」であることから、本研究における「実用化」の定義を「当該研究開発の成果が、ガス化炉をスケールアップした後継プロジェクトに活用されること」と定めた。

そこで、これまでの検討で、①プラントメーカーや重要構成機器の専門メーカーのアドバイスを反映した実現性の高いシステムを構築し、その性能を確認するとともに、②次フェイズに求められる基盤技術を開発したことに加え、「商用化までを見据えて次フェイズで重点的に検討すべき事項を整理」し、「次フェイズで必要となる設備の検討」や「当該設備の設計や検討に必要な基礎データを得る」ことにより、「実用化」につなげる成果を確実なものとする事とした。

具体的には、ベンチ規模ガス化炉を既設炉の改造とした場合と新設した場合の得失比較を行うとともに、本システムのキーテクノロジーとなるセミクローズド GT の開発課題を抽出し、次フェイズで行う燃焼器基礎試験の試験装置を試設計し、CFD 解析により供試体燃焼器の設計を進めた。これにより、次フェイズのプロジェクトを円滑に進めるための基礎データを取得した。あわせて次フェイズの諸検討のベースとなるデータを取得する単一バーナ燃焼試験も実施した。

表Ⅲ-2-6 次フェイズガス化炉の検討

項目	ガス化炉試験設備を新規設置	ガス化炉試験設備を流用
連続試験時間	約100時間※	約50時間
データ取得可能試験条件数	5条件 (1回の試験あたり)	2条件 (1回の試験あたり)
設備系統	・既設ガス化炉設備と同様 ・CO ₂ 供給、原炭処理設備を新設	・既設ガス化炉設備を流用 ・CO ₂ 供給設備を追加
設備配置	—	既設高圧ガス設備横にCO ₂ 供給設備を配置
建設工程	13.5ヶ月	11ヶ月
建設コスト	△	○

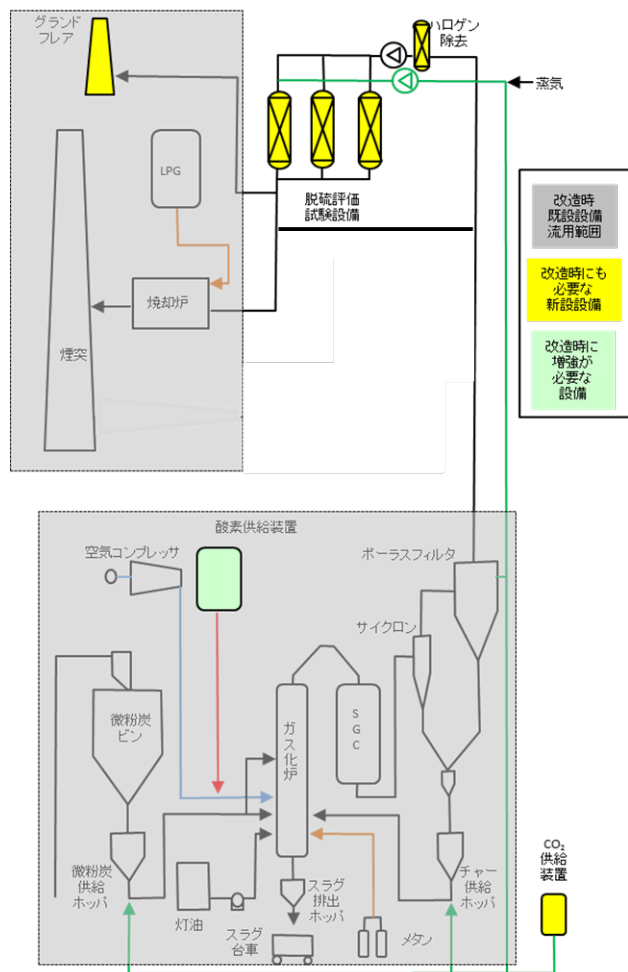
※ 新設炉では、1試験の連続ガス化運転時間でより多くの条件を設定でき、効率的に試験できるよう、100時間程度を想定した設備容量とした。

(1)次フェイズ試験設備の試設計

プラントメーカーへの再委託として、次フェイズで想定される 50TPD ベンチ規模ガス化炉を軸とする試験設備の試設計を行った(表Ⅲ-2-6、図Ⅲ-2-26)。検討においては、ガス化炉を新設するケースと既設のガス化炉を O₂/CO₂ ガス化ができるよう改造するケースを検討して比較した。

その結果、改造ケースと新設ケースを比較すると、新設ケースでは連続試験時間が 100 時間(改造ケースでは 50 時間)まで延長され、1 回の試験で取得できる試験条件も、2 条件から 5 条件へと拡大され、建設期間についても改造ケースの 11 ヶ月に比べ、新設ケースでも 13.5 ヶ月とそれほど長くはならないことが明らかとなった。

しかし、コスト面では、改造ケースの採用により、多くの既設設備が流用可能となり、設備費が大幅に低減できるため、想定される試験条件数が多くない場合には、改造ケースの採用も有効である。

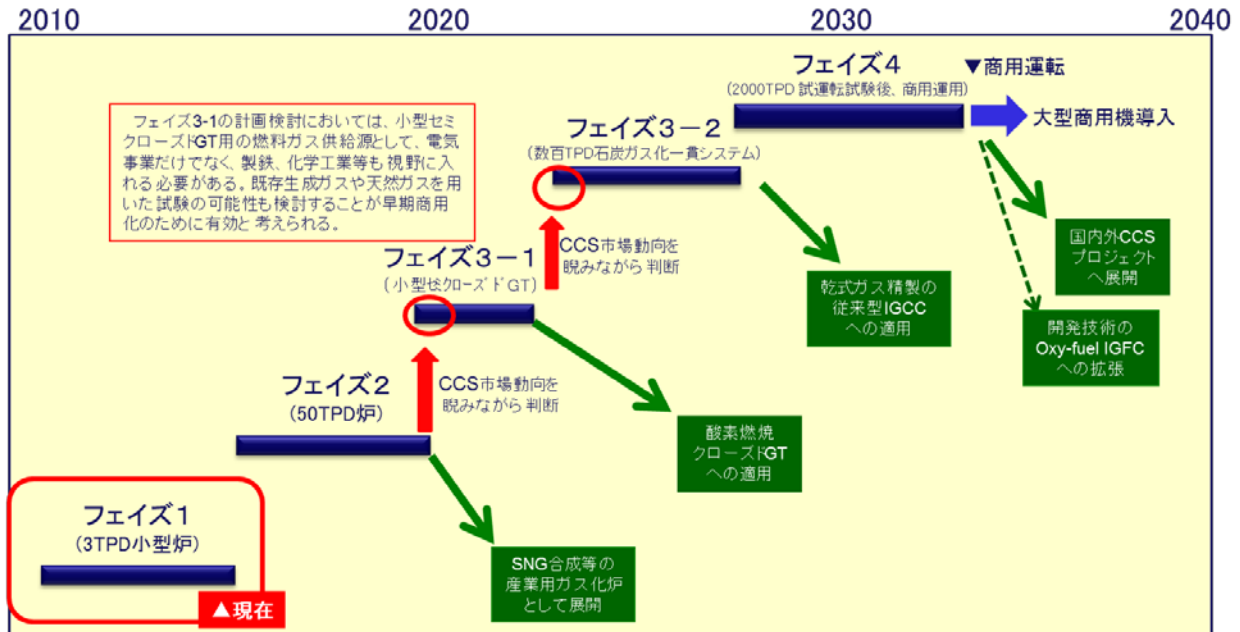


図Ⅲ-2-26 ベンチプラントの概略構成案

(2)次フェイズ基本計画の検討

商用化に向けたロードマップ(図Ⅱ-2-3 再掲)を作成し、各フェイズにおける開発課題を整理し、マイルストーンを確認した(表Ⅱ-2-4 再掲)。

後述するセミクローズドGTの課題抽出結果を受け、GTについては燃焼器の開発を中心に進めることが有効であることを確認した。次フェイズは、前半でGT燃焼器の模擬ガス試験を実施し、後半はCFDを活用した燃焼器設計を行うことが有効と考えられる。



図Ⅱ-2-3 「CO2回収型次世代IGCC技術」の商用化までのロードマップ(再掲)

表Ⅱ-2-4 各フェイズのマイルストーン(再掲)

フェイズ	目標	次フェイズに向けクリアすべき課題	開始時期	終了 目途	波及効果	備考
フェイズ2	ベンチ炉試験 (50TPD) パイロット設備に向けた技術構築	①ベンチ炉試験による ガス化／乾式脱硫性能検証 ② セミクローズドGT燃焼器の開発 (模擬ガス燃焼器試験とCFD解析) ③ 硫黄以外の不純物対策 の構築 (対象毎にPre/Post除去の適合性を評価)	2015	2019	SNG合成等の産業用石炭ガス化炉として適用可能	
フェイズ3-1	パイロット試験 (数百TPD) 天然ガス等を用いたセミクローズドGT一貫システムの構築	天然ガス、プロセスガス等 を利用した循環系を含む 小型セミクローズドGT によるシステム構築、検証	2020	2023	酸素燃焼セミクローズドGTへの適用可能	開始時期はCCS市場動向を睨みながら判断
フェイズ3-2	実証試験設備構築のためのシステム成立性検証	① ガス精製スケールアップ ② 石炭ガス を用いた循環系を含む 小型セミクローズドGT によるシステム構築、検証	2024	2028	乾式ガス精製技術を国内外IGCCに適用可能	開始時期はCCS市場動向を睨みながら判断
フェイズ4	大型実証試験 (2000TPD) 実機フルシステムでの性能実証	発電設備としての信頼性検証	2029 (FEED)	2034	国内外のCCSプロジェクトで商用化	

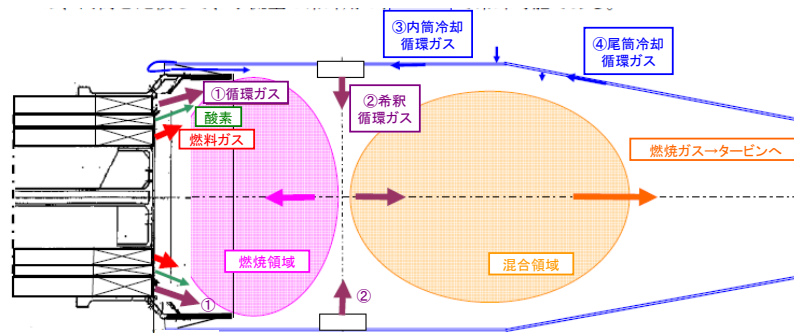
(3)セミクローズド GT の課題抽出と開発計画の検討

プラントメーカーへの再委託として、本システムのキーテクノロジーとなるセミクローズド GT 燃焼器の検討を行い、燃焼器の基本概念を明確化するとともに課題を抽出した(図Ⅲ-2-27)。

一般に GT 燃焼器は予混合式と拡散式に分けられる。天然ガスなどの高カロリー燃料の GT 燃焼器は、火炎温度の上昇により NO_x 生成量が増えぬよう、均一火炎を形成する予混合式燃焼器を採用する。しかし、本システムの場合、燃料ガスと酸素を循環ガスと混合することにより、従来の低カロリーガスの燃焼相当とすることが可能である。GT の運用性(部分負荷運転や燃料性状変化への対応など)や燃焼障害(逆火や振動燃焼など)も考慮して、安定燃焼を確保しながら、NO_x 生成を抑制することが可能で、かつ実績も多い拡散式燃焼器を採用することとした。

本システム用のセミクローズド GT 燃焼器の基本概念として、燃焼器中心に起動用油ノズルを設置し、拡散噴射ノズルの燃料孔の内外周にそれぞれ酸化剤ノズルを設けるものとした。実機 GT ではこの燃焼器を 20 本程度設置することになる。

開発の進め方としては、次フェイズではセミクローズドシステム GT 用燃焼器の開発までを実施し、次々フェイズ以降に GT 一貫システムを開発する手法が効率的と考えられる。次々フェイズは二段階に分けて実施し、前半の試験はガス燃料によるセミクローズド GT システムに特化した検討に集中し、後半で石炭ガス化を組み合わせた一貫システムに進む方法が効率的であると考えられる。

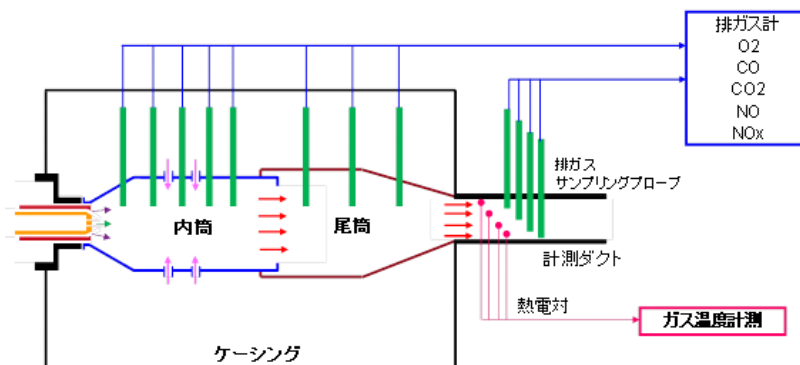


図Ⅲ-2-27 セミクローズド GT 燃焼器の基本概念

(4)セミクローズド GT 燃焼器試験に関連する予備検討

ガスタービン燃焼器基礎試験設備(模擬ガス燃焼設備)の予備検討として、実機ガスの模擬ガス及び実燃焼器の縮小スケールモデル燃焼器を用いた基礎燃焼試験装置・試験条件の基本検討を実施した(図Ⅲ-2-28)。

基礎燃焼試験設備は、試験圧力 0.4~0.5MPa-A で燃焼器スケール比 1/4~1/3 を想定したもので、ノズル、内筒、燃焼筒、計測ダクトおよびそれらを内包するケーシングにより構成される。



図Ⅲ-2-28 次フェイズ基礎燃焼試験装置の概略構成案

(5)セミクローズド GT 燃焼器検討に向けた基礎データ取得試験

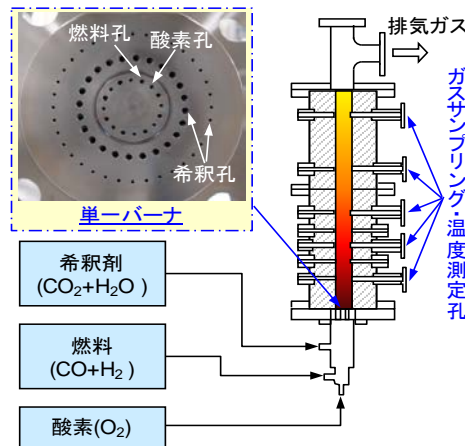
本システムの GT 燃焼器では、燃焼排ガス(CO₂+H₂O)の一部を希釈剤として循環させ、燃料(主成分 CO)と酸素を量論比近傍で燃焼させる。これまでのセミクローズド GT を対象とした研究(燃焼試験)では、希釈剤に H₂O を用いており(表Ⅲ-2-7)、CO₂ を主成分とするガスを希釈剤として用いた事例はない。

表Ⅲ-2-7 これまでのセミクローズド GT 検討事例との比較

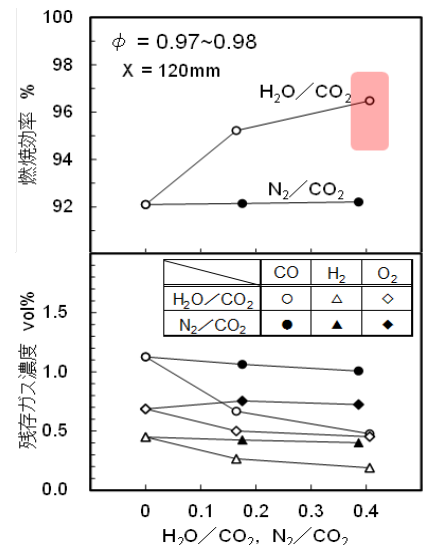
プロジェクト	燃料ガス	酸化剤	希釈剤 (試験評価時)	量論比条件での 燃え切り性	試験評価時の 課題
WE-NET	H ₂	O ₂	H ₂ O	H ₂ の酸素燃焼であり、燃え切り性は 良好	—
CO ₂ 回収対応 クローズド型 高効率GT技術	天然ガス (主にCH ₄)	O ₂	CO ₂ +H ₂ O (H ₂ Oのみ)	CH ₄ の酸素燃焼であり、燃え切り性は比較的 良好	希釈剤中CO ₂ の影響検討未実施
本プロジェクト	CO(74%) +H ₂ (26%)	O ₂	CO ₂ (72%) +H ₂ O(28%)	燃え切り性の悪いCOを多く含む燃料のため酸素燃焼でも、 量論比に近い条件 で燃焼効率を上げるには、 基礎的な燃焼データの収集が必要 。	・希釈剤中CO₂の影響検討が必要 ・燃料中不純物の検討も重要

・CO₂を主成分とする希釈剤を用いた検討事例はなく、基礎データの取得が必要。
 ・これまで未検討である排ガス循環の影響についても、早期に検討する必要がある。

そこで、単一バーナを用いた燃焼試験(図Ⅲ-2-29)により、本システムにおける燃焼特性基礎データを取得した(図Ⅲ-2-30)。得られた基礎データは次フェーズに予定される GT 燃焼器基礎燃焼試験設備や燃焼器の設計に反映する。



図Ⅲ-2-29 基礎燃焼試験装置



図Ⅲ-2-30 希釈剤組成の影響

(6)乾式ガス精製における硫黄以外の不純物対策検討

脱硫技術については、本フェーズにおいて、炭素析出対策までを含め、基盤技術がほぼ確立されたが、商用化のためには、ハロゲンや窒素など、硫黄以外の不純物対策が必要である。

そのため電中研は、硫黄以外の不純物の除去について予備検討した。不純物によって、GT 前で除去すべき不純物、燃焼前に除去する方が容易なもの、燃焼後に除去する方が容易なものなどに分類できると考え、情報を収集した。これまでの検討の結果、種々の不純物の中でハロゲン類は脱硫剤を劣化させる可能性があると考えられるため、少なくともハロゲン類は、乾式脱硫の上流で除去する必要があることを明らかとした。また、既に電中研が開発済みのハロゲン除去剤の性能を石炭ガス化ガスにより確認した。

これに加え、プラントメーカー FS の一貫として、種々の不純物の GT 燃料としての、あるいは回収 CO₂としての仕様(ガス組成)を調査し、パイプラインへの影響や圧入時の圧縮機動力などが主な要因であり、貯留用と EOR 用とで仕様異なること等を明らかとした。

次フェーズでは、O₂/CO₂ ガス化試験の生成ガスを対象に不純物の実態把握を行ない、実機での不純物除去に対する設計方針を確立する予定である。

2. 5 本技術の普及に向けた検討

全体システムの成立性確認と並行して、本技術のいっそうの普及に向けた様々な検討を進めた。

例えば、本システムを幅広く普及させるためには、本システムと従来の IGCC を比較し、本システムの炭種適合範囲が十分に広いことを示す必要がある。そこで、本技術開発では、ガス化炉の炭種適合性評価に必要な基盤技術の開発を行った。

まず、炭種によって O₂/CO₂ ガス化炉の特性がどう影響を受けるかを評価する上では、実機規模ガス化炉の数値解析が有効であるため、O₂/CO₂ ガス化反応モデルの高精度化に取り組んだ。

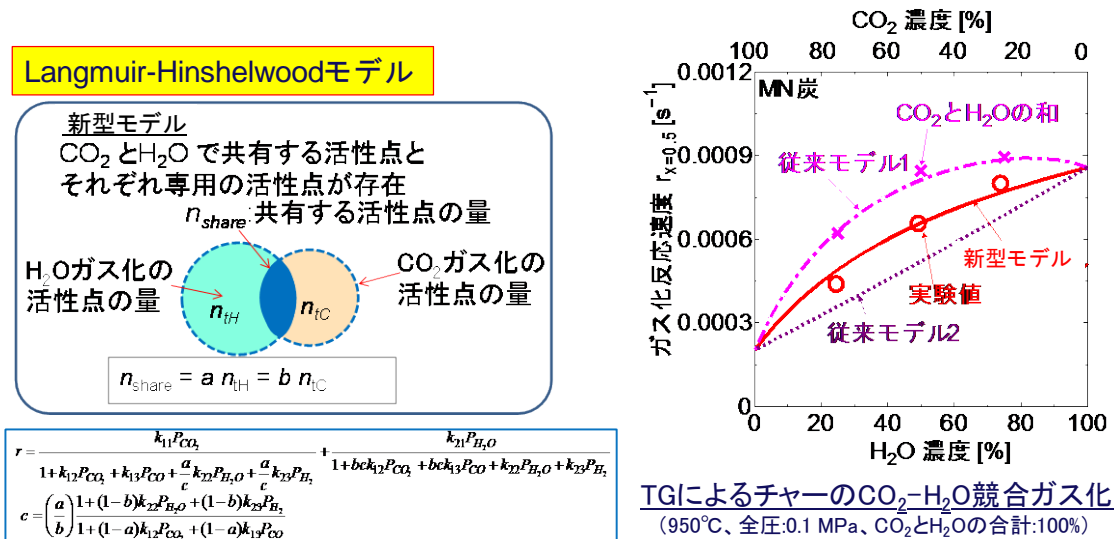
また、ガス化炉の安定運転を支配する重要因子であるスラグ排出性を評価するための基盤技術も様々な角度から検討した。

2. 5. 1 炭種適合性評価のための基盤技術開発

(1) O₂/CO₂ 吹き対応チャーガス化反応モデルの構築

O₂/CO₂ ガス化炉は、従来の空気吹きガス化炉に比べて、炉内の CO₂ 濃度が高く、従来の反応モデルでは精度よい予測ができない可能性がある。そこで、前述した実機規模石炭ガス化炉の炉内流動解析で O₂/CO₂ ガス化炉内を精度よく予測するため、O₂/CO₂ ガス化を正確に表現できる反応モデルを開発した。

まず、PDTF(加圧型反応管試験装置)を用いた基礎試験により、高 CO₂ 濃度条件も含めた、基準炭のガス化反応データを取得した。これらの実験結果に対し、電中研で開発した新型チャーガス化反応モデル(高 CO₂ 濃度条件に適用可能で、H₂O との共存も考慮したモデル)が適用可能であることを明らかにした(図Ⅲ-2-31)。さらにこれを実機規模数値解析ツールに組み込んだことで、O₂/CO₂ ガス化炉内におけるチャーガス化反応挙動を高精度に予測可能となった(2.2.1 参照)。



(1) 提案した新型モデルの概要

(2) TG による実験データとの比較

図Ⅲ-2-31 O₂/CO₂ 吹き対応チャーガス化反応モデル

(2) O₂/CO₂ ガス化雰囲気におけるスート生成挙動解明

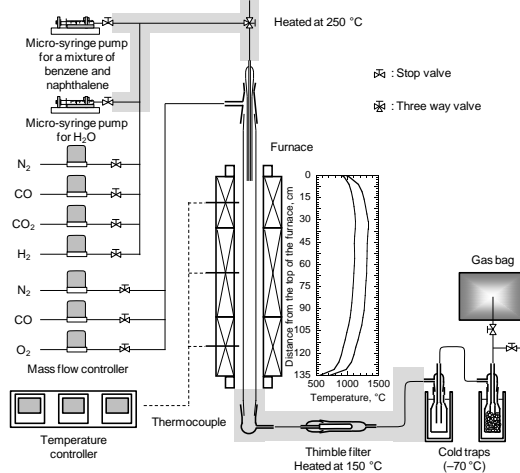
前項で開発した反応モデルを組み込んだ数値解析ツールにより実機規模ガス化炉の数値解析を進める一方で、九州大学と共同で O₂/CO₂ ガス化に特有なスート生成挙動を解明した。

石炭ガス化では、チャーと共に揮発分由来のスートが固体の炭素として生成する。ガス化炉の効率向上には、スート生成挙動を精度良く把握する必要があり、そのためには初期熱分解(揮発分放出)、二次気相分解の二つのモデル構築が必要となる。

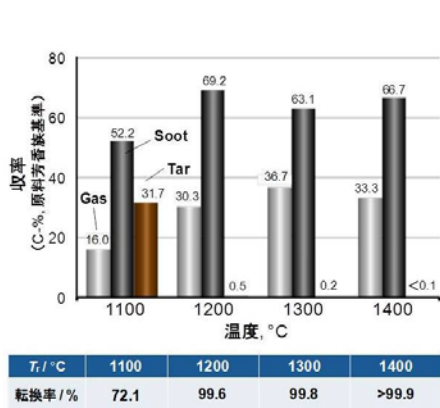
九州大学は、独自に設計・製作した縦型管状反応器を用いて、気相反応生成物の分析方法を確立し、熱分解生成物の気相反応特性を明らかとした。さらに、素反応群から構成される詳細化学反応モデル(二次気相反応モデル)を用いて気相反応実験結果を解析し、生成物分布の予測が実測値と定性的に一致することを示した。また、芳香族混合物の分解・改質試験を行い、反応温度やガス組成がスート生成特性に及ぼす影響を明らかとし、詳細化学反応モデルを用いてスート生成経路を解明した(図Ⅲ-2-32)。

また、電中研でも、独自開発した分析手法により、PDTF 試験で採取したチャー粒子のうちのスート粒子を分離して、チャー、スートそれぞれの挙動を詳細に解析したところ、CO₂ ガス化のスート収率は、O₂ ガス化の場合と異なる挙動を示すことが明らかとなった(図Ⅲ-2-33 (黒字部))。このような挙動を表すために、電中研が開発した初期熱分解モデルに、詳細化学反応モデルを組合せてスート生成量を計算可能とした。PDTF による実験で得られたスート生成量と比較したところ、実験における O₂ 濃度変化、CO₂ 濃度変化に対するスート生成挙動を的確に表すことができた(図Ⅲ-2-33(朱記部))。

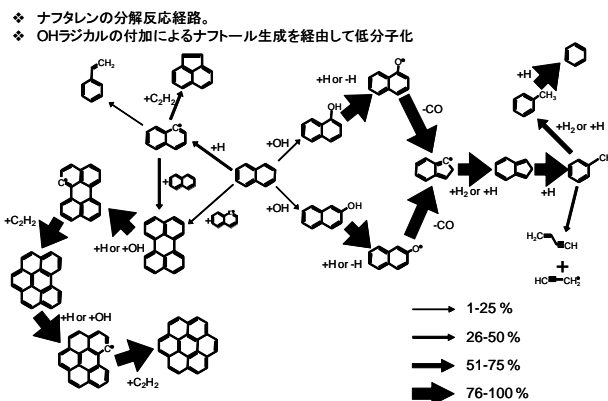
今後、これらの初期熱分解モデルおよび気相反応モデルを数値解析に組み込むことで、さらなる予測精度向上を図ることができる。



(1) 縦型管状反応器の概要

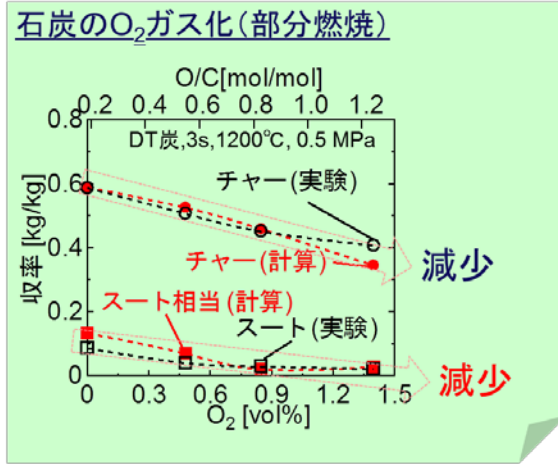
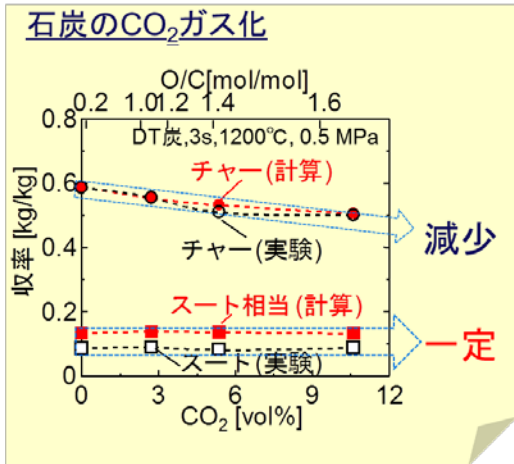


(2) 芳香族混合物の分解・改質試験の一例



(3) 解明したスート生成経路

図Ⅲ-2-32 二次気相反応モデルの構築



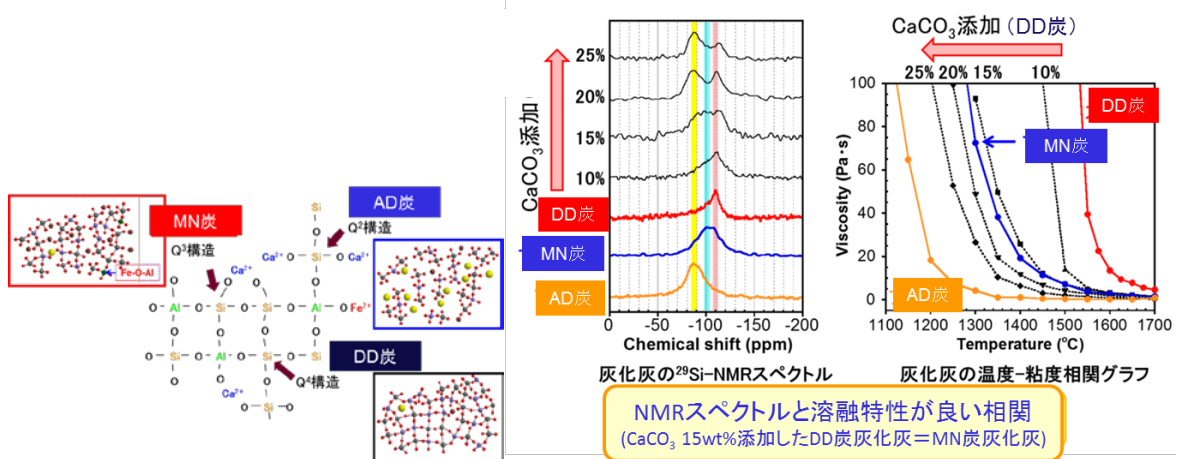
(1) CO₂ガス化時 (2) O₂ガス化時
 図Ⅲ-2-33 PDTF 試験におけるスート挙動とモデルによる計算値の比較

(3) スラグ排出性評価技術の開発

a) NMR を活用した炭種による石炭灰及びスラグの構造類型化と高温粘度特性との相関検討
 スラグ排出の確保は石炭ガス化炉の安定運転の大前提となるため、炭種適合性を評価する上では、当該炭種のスラグが評価対象のガス化炉で安定的に排出できるかどうかを見極める必要がある。

九州大学は、NMR で石炭灰の構造を類型化する手法を開発し、高温粘度特性との相関を明らかとした。

NMR を用いて電中研小型炉でガス化試験に供試した 3 炭種の灰化灰を分析した結果、熔融スラグの高温粘度が大きい DD 炭の灰は 3 次元ネットワーク構造が大きく発達した Q⁴ 構造、高温粘度の低い AD 炭の灰は鎖状ネットワーク構造の Q² 構造で、中間的粘度の MN 炭は Q³ 構造をとっていることが明らかとなり、ネットワークが強固なほど熔融スラグの高温粘度が高くなる傾向がうかがえた。DD 炭の灰化灰に CaCO₃ を添加して灰化した灰の構造を分析したところ、添加量 15% で MN 炭に近いスペクトルを、添加量 20~25% でアダロ炭に近いスペクトルを示した(図Ⅲ-2-34)。これは、Ca や Fe が加わることで、結晶形態が変化し、Q⁴ 構造の 3 次元ネットワークが崩れたことを示していると考えられる。また、同時にフラックス添加によりスラグ粘性が低下するメカニズムの検証ともなっている。検討に際しては、中間評価での指摘を踏まえ、電中研小型炉で生成した実スラグを提供して分析対象に加えることで、実用的な評価技術開発の加速を図った。

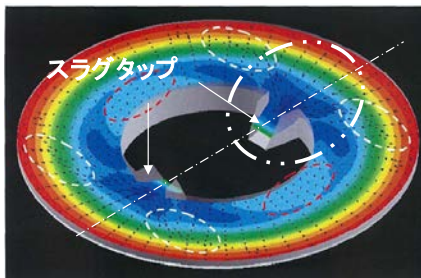


(1) NMR 分析による灰構造の類型化 (2) NMR スペクトルの比較 (3) 高温粘度特性の比較
 図Ⅲ-2-34 NMR によるスラグの類型化と高温粘度の相関検討

b) スラグ排出現象の類型化と予測モデルの開発

スラグタップを含むスラグホール底面を想定した数値解析を行うとともに、それを検証するコールド試験を、粘性 4~8Pa・s の模擬スラグ(カルボキシメチルセルロース)を用いて実施した(図Ⅲ-2-35)。高温熔融スラグの粘度がスラグ温度によって変化することによるスラグ層内の粘性分布も考慮した検討の結果、無次元数 Oh(オーネゾルゲ数)と Fr(フルード)数でスラグ排出の形態変化を類型化できることを明らかとした(図Ⅲ-2-36)。液滴流下は、安定な連続流下状態で温度低下等によりスラグが高粘性となり、不安定な流動状態に遷移する状況に類似している。従って、本成果により、熔融時の高温粘度の温度依存性データを取得することにより、無次元数 Oh を用いて、実機におけるスラグ排出性を評価できる(安定な連続流下から不安定な液滴流下状態へ流動様相が遷移する条件を予測できる)見通しが得られた。

解析対象



スラグタップを含むスラグホール断面

パラメータ

- ・スラグ粘度 μ
- ・表面張力 σ
- ・重力 g
- ・スラグ流入量 Q

無次元数

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gL}}$$

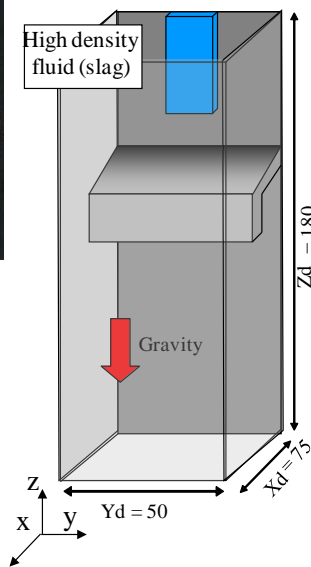
慣性力:重力

$$Oh = \frac{\mu}{\sqrt{\rho \sigma L}}$$

粘性力:慣性力・表面張力

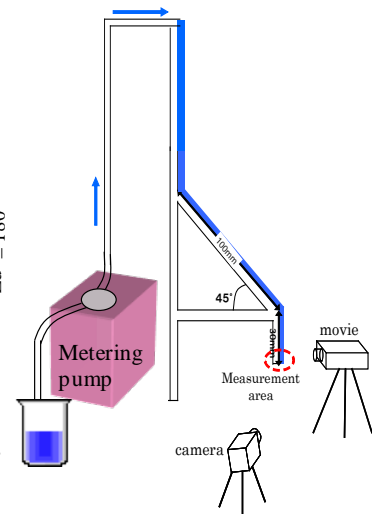
U:スラグホールでのスラグ平均流速
L:スラグホールでのスラグ膜厚さ
 μ :スラグ粘度 σ :スラグ表面張力係数

解析格子



格子 75 × 50 × 180
底面以外の壁面: No slip
底面: 自然流出

実験



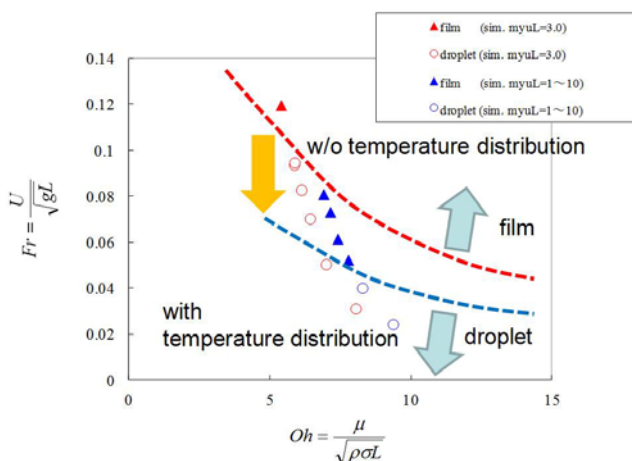
- ・壁面材質: アクリル
- ・模擬スラグ: カルボキシメチルセルロース(CMC)溶液
- ・粘度 3.6~8.6 [Pa s]

(1) 数値解析の対象領域

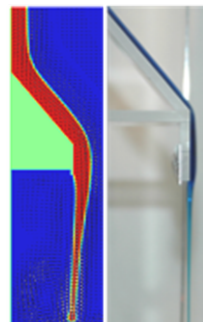
(2) 解析格子の概要

(3) コールド検証試験の概要

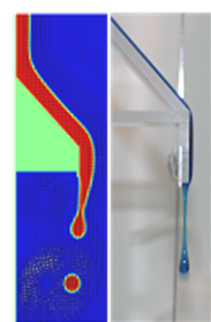
図Ⅲ-2-35 スラグ排出挙動の数値解析対象領域と模擬スラグによるコールド検証試験方法



(1) 無次元数による排出形態の類型化



連続流下 (film)



液滴 (droplet)

(2) 連続流下型排出

(3) 液滴型排出

図Ⅲ-2-36 無次元数によるスラグ排出現象の類型化

c) 高温熔融石炭灰の直接観察法の開発

これまで石炭灰及び熔融スラグのガス化炉内での高温挙動はわかっておらず、石炭灰の熔融過程を直接観察する研究はほとんどなされていないのが現状であった。本研究では、まず高温での試料の状態変化を直接観察可能なホットサーモカップル法を用い、種々の石炭灰の熔融挙動を理解することを目的とした。

ホットサーモカップル法とは、通常温度測定に用いる熱電対にヒーターと試料保持の役割を兼ね備え、温度に伴う試料の状態変化を実体顕微鏡で直接観察する方法である(図Ⅲ-2-37(1))。

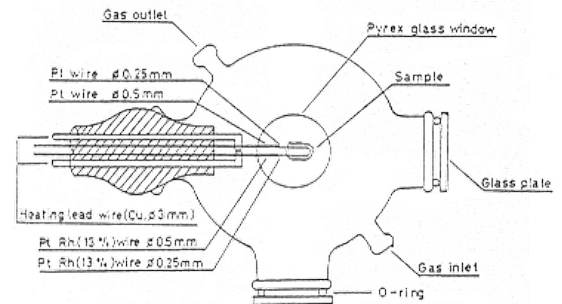
図Ⅲ-2-37(2)に DD 炭灰の熔融過程の代表的な実体顕微鏡写真を示す。まず 1000~1360°Cにおいて、昇温とともに試料の内部に亀裂が発生している。これは試料粉体の焼結が進行したためである。1380°Cにおいて、熱電対の先端付近(図中の○部)で試料の一部が熔融していることが観察される。さらに昇温とともに熱電対に接している箇所から熔融部の割合が増加しており、1500°Cでは熔融部が試料の外周を覆った状態になっている。このとき試料の内部には未熔融部分と気泡を含んでいる。1520~1600°Cでは昇温とともに内部の気泡が合体・成長し、脱泡が起こっている。脱泡に伴い試料の内部で対流が発生し、試料の均質化が進んでいる。脱泡は 1620°Cでほぼ終了し、この温度以上に加熱しても試料の形状にはほとんど変化は認められなかった。1620°Cの試料では、1500°Cと 1520°Cにおいて試料の中央部に見られた黒色部分(未溶解部)が消滅し、試料全体がほぼ均一になったものと推察された。

こうして計測した同一融体形成温度を表Ⅲ-2-8 に示す。DD 炭の灰は 1600°C以上で均一な融体を形成するのにに対し、MN 炭と AD 炭の灰は比較的低温の 1500°C以下で均一な融体を形成することが判明した。

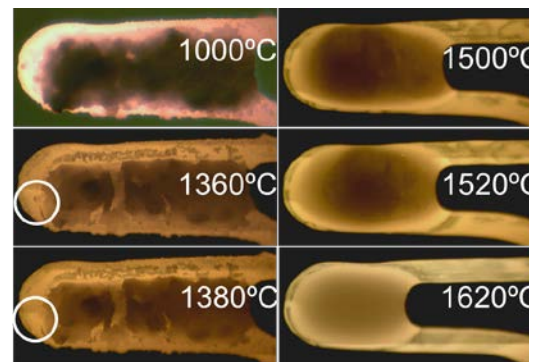
本成果により、石炭灰およびスラグの均一融体形成挙動の直接観察が可能となり、固体 NMR を中心とした構造解析結果並びに高温粘度測定結果と合わせることで、スラグ排出性評価技術開発のベースが得られた。

この他、回転式の高温粘度系を用いて、実スラグおよび組成調整した模擬スラグの高温粘度計測データを拡充し、石炭灰組成(スラグの元素組成)を基に、高温熔融スラグの粘度およびその温度依存性を予測するためのスラグ組成パラメータを予測する手法を開発した(図Ⅲ-2-38)。検討に際しては、中間評価での指摘を踏まえ、電中研小型炉で生成した実スラグを提供して分析対象に加えることで、実用的な評価技術開発の加速を図った。

高温熔融スラグの粘度をスラグ温度に対して予測するモデルができれば、スラグ排出性を予測できるツール構築に大いに役立つと期待される。



(1) ホットサーモカップルセル

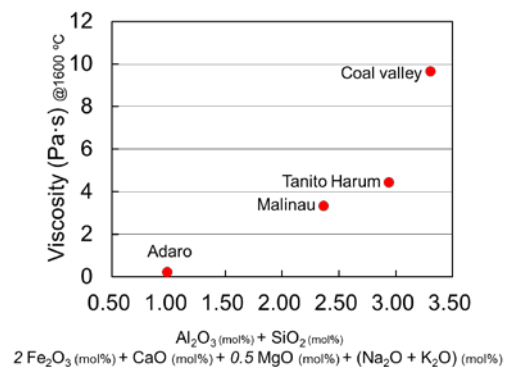


(2) DD 炭灰化灰の熔融挙動

図Ⅲ-2-37 ホットサーモカップル法

表Ⅲ-2-8 ホットサーモカップル法による灰化灰熔融挙動観察

石炭灰	DD炭	AD炭	MN炭
均一融体形成温度	1620°C	1480°C	1500°C



図Ⅲ-2-38 実試験スラグの組成パラメータ予測値

2. 5. 2 適合炭種拡大のための基盤技術開発

石炭は他の化石燃料と比べ発熱量あたりの価格が低廉なため、将来はエネルギー争奪戦が予想される。本技術が商用普及する 2030 年台の長期的エネルギー需給状況を考えると、高品位な瀝青炭だけでなく、高灰分炭や亜瀝青炭はもとより褐炭までを視野に入れたより低品位な石炭を発電用燃料として利用することが求められると考えられる。そこで、褐炭の水分を除去し自然発火性抑制を行うとともに、褐炭のガス化速度を向上する改質法として、溶剤改質法を提案した。

本溶剤改質法は、京都大学が開発したもので、褐炭を 350°C の 1-メチルナフタレン中で 1 時間処理(図 III-2-39(1))するものである。得られた改質炭の特性を評価するために、N₂ 気流中で加熱速度 10°C/min で 900°C まで加熱し、その温度で 30 分保持することにより、まず試験用チャーを調製した。次に、調製したチャーを 900~1200°C の CO₂ ガス中でガス化し、0.1MPa の条件でも 2.0MPa の条件でも反応速度が向上することを確認した(図 III-2-39(2))。

本技術の活用により、開発システムはもとより、より広範な石炭火力発電技術に対し、高水分褐炭の利用拡大が期待される。

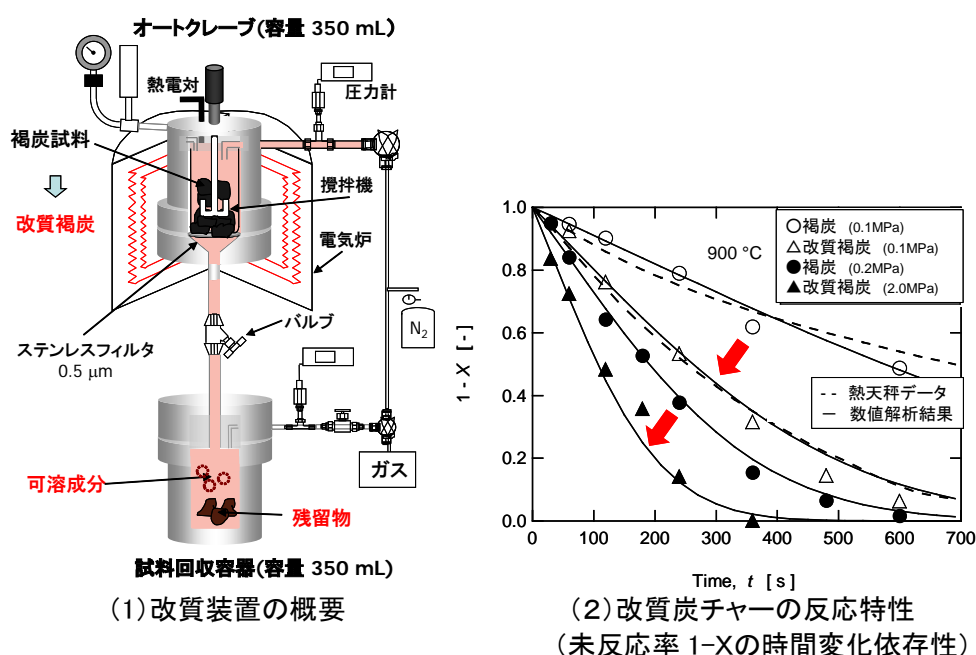


図 III-2-39 京大が開発した褐炭改質法

2. 6 成果の意義

本プロジェクトの成果を表 III-2-9 に整理するとともに、これらの成果の持つ意義について記載する。

地球温暖化対策の観点から火力発電分野における CO₂ 削減が求められており、電気事業では発電効率の向上やバイオマス燃料の導入など様々な対策を進めている。一方、近年欧米を中心に CO₂ の分離回収・貯留(CCS)技術が注目され、導入に向けた動きが活発化している。しかし、既存の CO₂ 回収技術では、大幅な発電効率の低下などが課題となっている。そこで、本事業では、石炭ガス化システムから回収した CO₂ に必要な O₂ を加えてガス化剤や GT 燃焼用空気の代替として用いることにより、CO₂ 回収後も送電端効率を最新鋭火力並みの 42% に維持できる CO₂ 回収型次世代 IGCC システムの実用基盤技術を開発した。

CO₂ 回収後の送電端効率は、現状技術では 30% 台前半とされており、CO₂ 回収後も 42% に維持できる本技術のインパクトは大きい。この効率は、CO₂ を回収しない最新鋭火力(微粉炭で 42%、1300°C 級 GT の IGCC で 43%)と同等で、CO₂ 回収による効率低減を回避できることになる。

また、本技術が商用化される予定の 2030 年台においても、現状で想定される最新鋭 IGCC である 1700°C 級 GT を用いた Pre-combustion 回収型 IGCC の送電端効率はペナルティが若干改善されたとしても 40% 台と推定されるため、本技術は効率面で優位性を保つことができる。従って、国内で CCS を行うこととなった場合にも、効率を維持することで燃料費を大幅に削減できるため、本技術開発の意義は大きい。

さらに、本技術は世界でも例のない独自のシステムであり、地球環境問題の解決に向けた画期的な将来オプションの一つとして、国内企業のアジア地域などへの展開を含め、大きな技術的・経済的インパクトを与えるものである。

表Ⅲ-2-9 本プロジェクトの成果

	内容	電中研	九州大	成果
1.基本コンセプトの確認	(1)本システムの特徴の確認	◎	—	本システムが高効率となる要因を整理。
	(2)小型ガス化炉を用いた反応促進効果の確認	◎	—	小型ガス化炉にCO ₂ 供給設備などを追設し、CO ₂ 富化による反応促進効果を確認。
	(3)基礎試験による反応促進効果の確認	◎ (群馬大)	—	熱天秤基礎試験などを行い、CO ₂ 富化による反応促進効果を確認。
2.基盤技術の開発	(1)実機規模ガス化炉数値解析手法の構築とO ₂ /CO ₂ ガス化特性の評価	◎	—	O ₂ /CO ₂ ガス化に適用可能なチラー反応モデルを構築し、それを組み込んだ実機規模数値解析ツールにより、O ₂ /CO ₂ ガス化特性を予測、評価。
	(2)高CO条件における炭素析出対策の構築	◎	○	生成ガス中CO ₂ 濃度の高い本システムで懸念された炭素析出現象を抑制する手法を構築。
	(3)小型ガス化炉によるCO ₂ 富化試験法の開発と炭種によるガス化特性の評価	◎	—	小型ガス化炉によるCO ₂ 富化試験法を開発し、5炭種でCO ₂ 富化による反応促進効果を確認。これらの炭種で高効率運転が期待できる。
	(4)ガス化実ガスによる脱硫剤評価法の開発と設計データの取得	◎	—	小型ガス化炉のガス化実ガスによる脱硫剤評価法を開発し、実用化に向けた脱硫剤設計の基礎データを取得。
3.全体システム成立性の検討	(1)メーカーFSによる課題抽出とシステム改良	◎	○	プラントメーカーのFS結果を元に本システムの課題を抽出し、実現性の高いシステムを構築した。
	(2)空気分離装置/再生熱交換器メーカーによる検討	◎	—	重要構成機器を対象に、専門メーカーによる試設計を行い、動力低減や小型化の見通しを得た。
	(3)送電端効率/敷地面積/発電コストの検討	◎	—	メーカーFS結果を反映した改良システムを対象として、送電端効率などを検討し、初期の目標をクリアすることなどを示した。
4.次フェーズの検討	(1)試験基本計画策定および試験設備試設計	◎ (MHPS) (MHD)	○	ベンチ炉等の次フェーズ試験設備を設計すると共に試験計画を策定した。また、次フェーズ以降をにらんで、硫黄分以外の除去方案に関する予備検討を行い、対策候補を見出すと共に、セミクローズドGT燃焼器の開発に必要な燃焼特性基礎データを取得した。
5.本技術の普及に向けた検討	(1)炭種適合性評価のための基盤技術開発	◎	◎	O ₂ /CO ₂ ガス化時のスト生成挙動の実験的検討や芳香族混合物の分解・改質試験を通じて開発した初期熱分解モデルと詳細反応モデルを用いてスト生成挙動を解明した。また、スラグ排出性の観点からIGCCへの炭種適合性を評価するためにスラグ排出現象や炭種の類型化を可能とする基盤技術を開発した。
	(2)適合炭種拡大に向けた基盤技術開発	◎ (京都大)	○	炭種拡大に向けた種々の検討の中で、触媒を使用することなく、低品位炭のガス化速度を促進する改質方法として、溶剤改質法を提案し、その有効性を確認した。

2. 7 特許・成果の普及

学会等における研究発表、論文投稿を通じ、積極的に成果普及を図っている。これまでの実績として表Ⅱ-2-5を再掲する。

表Ⅱ-2-5 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」の特許出願、論文投稿件数(再掲)

	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	合計
研究発表	8件	33件	29件	46件	49件	29件	10件	204件
論文投稿	3件	15件	11件	15件	12件	16件	9件	76件
研究報告書*等	1件	1件	1件	2件	2件	2件	1件	10件
特許	0件	1件	1件	1件	1件	0件	0件	4件

*本研究開発の中間年報

本プロジェクトの成果は、Fuelなどの著名な論文を中心に積極的に投稿するとともに、広く一般に情報を発信するため、関連学協会の講演会で研究発表を行った。研究発表については、中間評価時の指摘を考慮して、「若手研究者を登用し、その対外発表の機会を創出」するように努めた。

また、外部発表に際しては、本システムを商用利用する業界にアピールするよう、IGCCやCCSに関連する著名な国際会議で積極的に発表し、関連業界における認知度を向上させるよう努めた(Gasification Technology Conference(2回)、Power GEN(4回)、GHGT(3回)、Oxy-fuel Combustion Conference(3回)、iSGA(8回)、International Freiberg Conference on IGCC & XtL Technologies(2回)、ICCS&T(4回)、件数はポスター発表を含む)。

特許については、本受託開始前に、電中研が11件の関連特許を出願済であったことから、炭素析出関連の4件のみとなっているが、いずれも審査請求手続きなどを進めている。

IV. 実用化の見通しについて

1. 商用化までのマイルストーンと各段階での波及効果

本システムの商用化に向けた開発ステップ図Ⅱ-2-3に記す。

一般的にこうした新技術が発電設備として商用化されるまでには、次フェイズで想定するベンチ試験について、パイロット、実証とステップアップするため、開発に長い期間が必要となる。常磐共同火力で商用化された空気吹き IGCC 技術も、1980 年代の 2TPD プロセス開発から、1990 年代のパイロット試験、2010 年代の実証試験と約 30 年の時間を必要とした。

本システムの商用化までのマイルストーンを検討した結果の一例を以下に記載する。

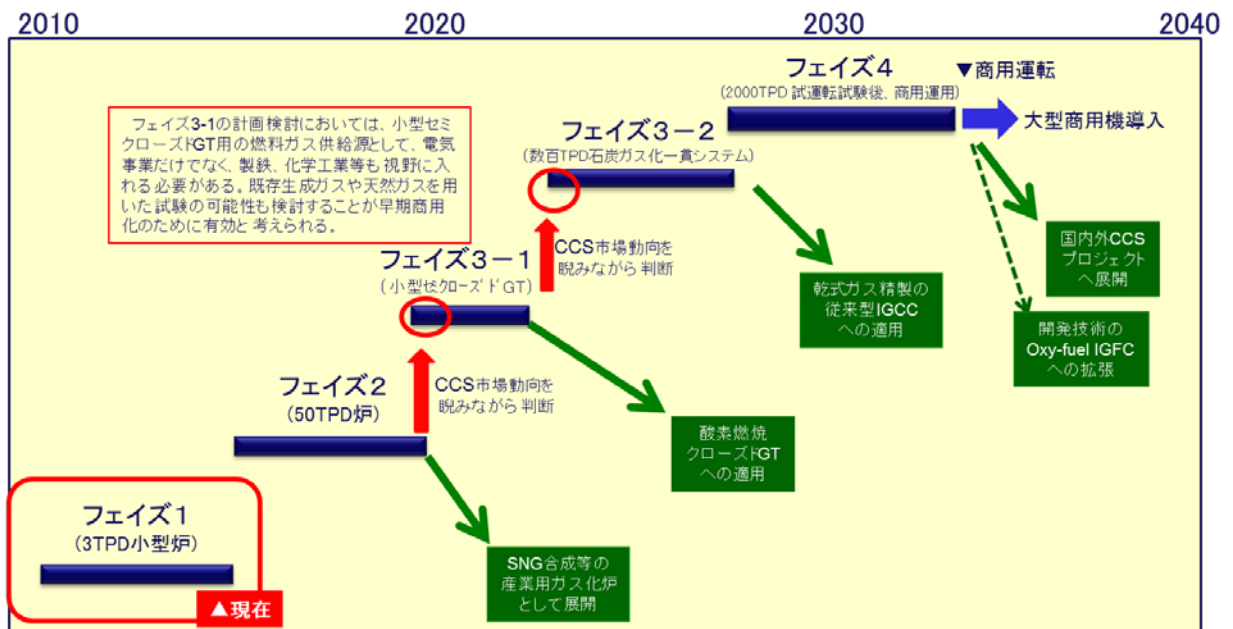
本フェイズで得られた成果を元に、次フェイズにおける 50TPD ガス化炉をベースとした O₂/CO₂ ガス化技術の実証と抽気生成ガスによる乾式ガス精製システムの実証が可能となった。メーカは 50TPD ガス化炉での試験実績が豊富なため、次フェイズが終わる際には、得られた成果を元に、直ちに SNG 合成等の産業用ガス化炉としての展開が可能となる。

セミクロード GT 燃焼器については、次フェイズで設計検討を終えることで、フェイズ 3 では、小型セミクロード GT システムの実証試験が可能となる。前半はガス燃料を用いた GT システム中心の試験検討を行うことが効率的と考えられるが、後半はその知見を活用して数百 TPD 規模の石炭ガス化一貫システム検討を行う計画が望ましい。フェイズ 3 においては、前半の試験を終えた時点で、酸素燃焼クロード GT を用いた NGCC からの CO₂ 回収が可能となる。英国を中心に天然ガス火力から CO₂ を回収することが検討されているため、こうした諸外国への商用展開が可能となる。

これに加え、後半の試験が終了した時点で、乾式ガス精製設備の大型化が可能となるため、通常の IGCC 商用機への乾式ガス精製設備の適用が現実のものとなり、効率向上による排 CO₂ 出量低減にも貢献できる。

さらに、フェイズ 4 の 2000TPD 規模ガス化炉を軸とする実証試験が終了した際には、本システムの商用が実現することに加え、さらなる副次的メリットがある。

本システムのコンセプトについては、IGFC 技術への適合性に関する検討結果が日本ガスタービン学会で報告されており、本プロジェクトとは別に開発が進められる IGFC 技術(特に IGFC の商用化、大型化)が完成されれば、本システムと IGFC 技術を両輪としたさらに高効率なシステムの実現も可能となると考えられる。



図Ⅱ-2-3 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」の開発スケジュール(再掲)

2. 産業界における具体的利用のイメージ

CCS プロジェクトの動向は、現時点では海外でも不透明である。しかし、今後国内で火力発電所における CO₂ 回収が求められることとなった場合、本技術は CO₂ 回収に伴う送電端効率低下を防ぐ上で極めて有効である。

エネルギー基本計画（2014年4月）は、石炭火力を「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と位置づけているが、既設石炭火力の老朽化が進んでおり、老朽石炭火力の新鋭石炭火力へのリプレースを急ぐ必要がある。

こうしたことを背景に、本システムが商用化される 2030 年代半ば以降の国内石炭火力のリプレース需要を検討した結果、今後国内石炭火力に CCS 対応が求められた場合、仮に設備寿命を 60 年と長めに仮定しても 2040～2060 年の間で約 14 基のリプレース需要が想定されることがわかった(図 I-1-1 を再掲、原子力発電所の新設が進まない中で、国内石炭火力に CCS 対応が求められた場合、累積リプレース容量の 10%(2040 年)～50%(2060 年)が CCS 対応火力にリプレースされ、その半数が本システムと仮定)。

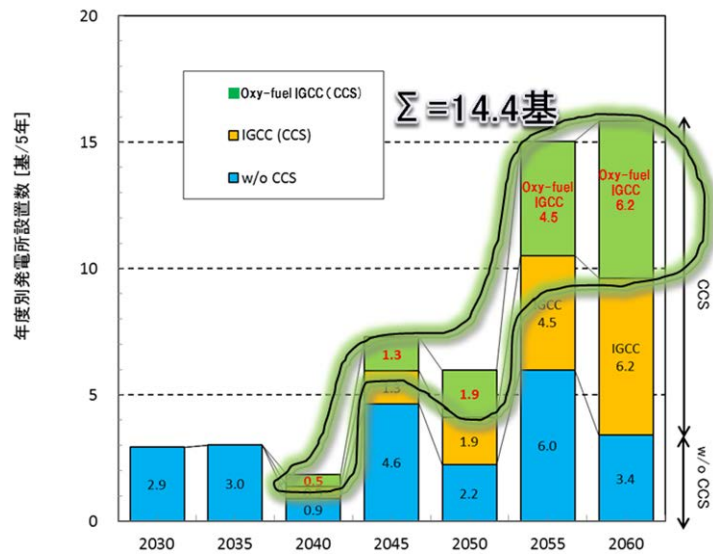


図 I-1-1 本システムの市場規模予測(再掲)

こうしたことを背景に、本システムが商用化される 2030 年代半ば以降の国内石炭火力のリプレース需要を検討した結果、今後国内石炭火力に CCS 対応が求められた場合、仮に設備寿命を 60 年と長めに仮定しても 2040～2060 年の間で約 14 基のリプレース需要が想定されることがわかった(図 I-1-1 を再掲、原子力発電所の新設が進まない中で、国内石炭火力に CCS 対応が求められた場合、累積リプレース容量の 10%(2040 年)～50%(2060 年)が CCS 対応火力にリプレースされ、その半数が本システムと仮定)。

3. 実用化の見通し

本事業は、「基礎的・基盤的研究開発」であることから、「実用化」を、「当該研究開発の成果が、ガス化炉をスケールアップした後継プロジェクトに活用されること」と定義した。図IV-3-1 に示すように、前掲の表 II-2-4(各フェーズのマイルストーン)に記載した次フェーズでクリアすべき課題に対して取り組んで行くための、準備は、本フェーズの成果からほぼ整い、本フェーズ成果の活用により、次フェーズを円滑にスタートし、その目標である「パイロット設備に向けた技術構築」を行うことが可能になったといえる。

フェーズ	ベンチ炉試験	目標	フェーズ3に向けてクリアすべき課題
2		パイロット設備に向けた技術構築	①ベンチ炉試験によるガス化/乾式脱硫性能検証 ②セマイクロゾドGT燃焼器の開発(模擬ガス燃焼器試験とCFD解析) ③硫黄以外の不純物対策の構築(対象毎にPre/Post除去の適合性を評価)

○本研究(フェーズ1)の成果

- ①・多炭種でCO₂富化による反応促進を確認した
- ・乾式脱硫剤の特性を確認し、炭素析出対策を構築した
- ・ベンチ炉の設備(新設/追設の比較)と試験計画を検討した
- ②CO₂希釈を想定した単一バーナ基礎燃焼特性データを取得した
- ③ハロゲン化物除去剤を試作し、その初期性能を把握するとともに、性能向上の課題を明らかにした



○フェーズ2の課題解決に向けた成果の活用について

- ①・ベンチ炉の炭種選定データ等として活用
- ・ベンチ炉実ガス抽気による乾式脱硫設備設計等の基礎データとして活用
- ・ベンチ炉の設計、試験計画に反映する
- ②セマイクロゾドGT燃焼器開発の基礎データとして活用
- ③硫黄以外の不純物対策を効率的に立案するため、吸収剤の基本性能データを活用

図IV-3-1 本技術開発の「実用化」の見通し

抜粋

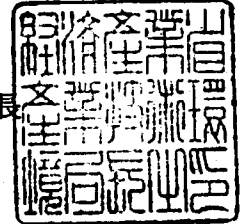
イノベーションプログラム 基本計画

平成21年4月
経 済 産 業 省

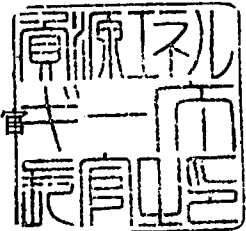
経済産業省

平成21・03・26産局第1号
平成21年4月1日

経済産業省産業技術環境局長



経済産業省資源エネルギー庁長官



エネルギーイノベーションプログラム基本計画の制定について

上記の件について、イノベーションプログラム実施要領（平成16・07・27産局第1号）第4条第1項の規定に基づき、別添のとおり制定する。

エネルギーイノベーションプログラム基本計画

1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを 2050 年までに半減するという長期目標を達成するため、以下に政策の柱毎に目的を示す。

1-1. 総合エネルギー効率の向上

1970 年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030 年までに GDP あたりのエネルギー利用効率を約 30% 向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

1-2. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ 100% を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030 年に向け、運輸部門の石油依存度が 80% 程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

1-3. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

1-4. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時に CO₂ を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

1-5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

2. 政策的位置付け

低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）

2008年6月の福田総理（当時）のスピーチ「福田ビジョン」等を受け、我が国が低炭素社会へ移行していくための具体的な道筋を示すため、国全体を低炭素化へ動かす仕組みや革新的な技術開発、国民一人ひとりの行動を促すための取組について策定。

「環境エネルギー技術革新計画」や「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」等に示された革新的技術の開発に5年間で300億ドル程度を投入するという具体的な目標が示された。

環境エネルギー技術革新計画（2008年5月）

温室効果ガスの大幅な削減を目指すだけでなく、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を考慮し、以下の戦略等を策定。

1. 低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略
2. 国際的な温室効果ガス削減策への貢献策
3. 革新的環境エネルギー技術開発の推進方策

Cool Earth - エネルギー革新技術計画（2008年3月）

2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受け、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するため、エネルギー分野における革新的な技術開発について検討をおこない、21の技術を選定。

エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

経済成長戦略大綱（２００６年７月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

- １．省エネルギーフロンランナー計画
- ２．次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
- ３．新エネルギーイノベーション計画
- ４．原子力立国計画
- ５．資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

京都議定書目標達成計画（２００５年４月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

３．達成目標

３ - 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、GDP当たりのエネルギー消費指数を２０３０年度までに少なくとも３０％改善することを目指す。

３ - 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ１００％の運輸部門の石油依存度を２０３０年までに８０％程度とすることを目指す。

３ - 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

３ - 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

２０３０年以降においても、発電電力量に占める比率を３０～４０％程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

３ - 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

4. 研究開発内容

4 - . 総合エネルギー効率の向上

4 - - . 共通

(1) 省エネルギー革新技术開発事業(運営費交付金)

概要

テーマ公募型事業として、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」に基づき、「先導研究」、「実用化開発」及び「実証研究」の3つの技術開発フェーズに加え、「挑戦研究」フェーズを追加し、革新的な省エネルギー技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標を実現するための「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の主旨に基づき、大幅な省エネルギー効果を発揮する革新的なエネルギー使用合理化技術について研究開発・実用化を推進する。

研究開発時期

2003年度～2013年度

(2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業(運営費交付金)

概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

研究開発期間

2000年度～

(3) 新エネルギー技術実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

(4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

ラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

4 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

4 - - . 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

(1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型/特別研究(運営費交付金)

概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件化が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

研究開発期間

2001年度～2012年度

(2) 石炭生産技術開発

概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、発熱量が低いものの低灰分、低硫黄といった特徴を有する低品位炭の有効利用を目的として、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、3500～5000kcal/kgの発熱量の低品位炭を瀝青炭並みの6000kcal/kg以上に改質する低品位炭改質技術を開発し、600t/d大型実証プラントでの製造技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等

4 - - .メタンハイドレート等非在来化石資源の利用技術

(1)メタンハイドレート開発促進委託費

概要

日本周辺海域に相当量の賦存が見込まれ、国産のクリーンなエネルギー資源として有望なメタンハイドレートを利用可能とするため、資源量評価手法、生産手法及び環境影響評価手法等の確立のための技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2016年度までに、商業的産出のための技術を整備することを目指し、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化、有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選択及び現場産出試験等による生産手法の確立等を推進する。

研究開発期間

2001年度～2016年度

(2)革新的次世代石油精製等技術開発(4 - - 参照)

4 - - .石炭クリーン利用技術

(1)革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- ・ 酸素吹きによる石炭ガス化発電の開発実証及び化学吸収法によるCO₂の分離・回収技術の実証
- ・ 石炭ガス化発電からCCSまで一貫したトータルシステムの設計等
- ・ 次世代IGCC(石炭ガス化複合発電)など革新的な石炭ガス化技術にかかる先進基盤研究

を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、パイロットプラントにおいて、高圧の石炭ガスからCO₂の分離・回収技術の確立及びガス化炉の信頼性向上へ向けて、3炭種以上の適応炭種拡大試験を実施する。

研究開発期間

2007年度～2012年度

(2)国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金

概要

石炭火力発電から排出されるCO₂の削減技術について諸外国との実証事業等を実施し、当該技術の普及基盤を整備することにより、エネルギー供給に対する環境上の制約を取り除き、もって我が国エネルギー需給構造の安定化を図る。

技術目標及び達成時期

石炭ガス化技術等実証普及事業では、海外において取り組みが進められているゼロエミッション型石炭火力発電の石炭ガス化・発電技術、CO₂分離回収技術、

CO₂輸送貯留技術等に関する情報収集や関連する技術調査の実施等により、我が国におけるゼロエミッション型石炭火力発電の実用化開発に資する技術・知見を得る。

酸素燃焼国際共同実証事業では、既存の微粉炭火力発電の改造による酸素燃焼方式のゼロエミッション型石炭火力発電プラントの実用化を目標とするものであり、既存のプラントの改造により対応可能であること、酸素燃焼を行うことにより、燃焼ガスからCO₂を分離する装置が不要であることから、比較的lowコストで極めて大きなCO₂削減効果が期待できる。

石炭火力発電原油増進回収国際共同事業では、2008年5月の日中首脳会談で合意された「日中間でのCCS-EOR（二酸化炭素の回収・貯留、石油増進回収法）協力」に係る日中共同事業として、中国における石炭火力発電CCS-EOR事業の事前調査としてCCS-EORの有効性確認、CCS-EORの経済性・事業実現性等を検討する。これらにより、多量のCO₂排出削減を実現するモデルの構築、世界のCO₂排出削減への貢献が期待出来る。

研究開発期間

2007年度～2016年度

(3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金

概要

従来の超々臨界圧火力発電（USC）は、蒸気温度の最高温度は630程度が限界で、送電端熱効率も42～43%が原理的限界といわれてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電技術（A-USC）の開発を行うものである。A-USCは、蒸気温度700級で46%、750級で48%の高い送電端熱効率の達成が可能な技術であり、2020年以降増大する経年石炭火力発電のリプレース需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。そのため、ボイラーメーカー、タービンメーカー及び材料メーカーが共同でA-USCの技術開発に取り組む。

技術目標及び達成時期

平成22年度までにシステム基本設計を完了し、シミュレーションにより送電端熱効率46%～48%の達成が可能なことを確認する。平成24年度までにボイラー、タービン部材等が700以上の蒸気温度に耐えられるかどうかを試作、評価し、経済性を含めたシステム成立性への見通しを得る。平成27年～平成28年度に実缶試験、回転試験を実施し、蒸気温度700以上の条件下でボイラー、タービンの信頼性を確認する。また、ボイラー、タービン部材について3万～7万時間の長期信頼性試験を実施し材料特性を検証する。

研究開発期間

2008年度～2016年度

(4) 石炭利用技術開発(一部、運営費交付金)

概要

環境適合的な石炭利用の拡大を図るため、石炭利用プロセスにおける環境影響を低減させる手法の開発等、クリーン・コール・テクノロジーの開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、

- ・ 化学原料等に利用可能な合成用ガスを石炭乾留ガスから無触媒で製造する技術をパイロットプラントで確立する(無触媒石炭乾留ガス改質技術開発)。

2011年度までに、

- ・ 石炭利用プロセスにおいて、環境分析技術の高精度化、環境影響成分の挙動解析のためのモデルの構築等により、環境への影響低減手法を開発する(戦略的炭化ガス化・燃焼技術開発)。

研究開発期間

1995年度～2011年度

- ・ 戦略的炭化ガス化・燃焼技術開発 2007年度～2011年度
- ・ 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 2006年度～2009年度

(5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金

概要

供給安定性に優れた石炭の高効率かつ低環境負荷での利用を図るため、石炭をガス化して燃料とし、コンバインドサイクル(ガスタービンと蒸気タービンの組合せ)を駆動する高効率発電技術(石炭ガス化複合発電技術(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)の実証試験を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、25万kWの実証機を用いた実証試験により、熱効率40.5%(送電端、高位発熱量ベース)を目指す。この目標は50万kWの商用機における熱効率46～48%に相当する。本技術は実証試験終了後の2010年度より商用化が可能である。

研究開発期間

1999年度～2009年度

(6) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(4 - 参照)

5．政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

5 - ．総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

5 - ．運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

5 - ．新エネルギー等の開発・導入促進

- 補助金等による導入支援
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

5 - ．原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

5 - ．化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

抜粋

(エネルギーイノベーションプログラム)

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」基本計画

クリーンコール開発推進部

1. 事業の目的・目標・内容

(1) 事業の目的

① 政策的な重要性

我が国として、世界全体での2050年までのCO2大幅削減に積極的に貢献していくことが必要であるという認識の下、エネルギー分野の技術戦略マップ2009等に沿った技術開発の推進と、総合資源エネルギー調査会鉱業分科会クリーンコール部会で示されたCool Gen計画（世界的に需要が拡大する石炭のクリーン利用に関する技術開発を強力に推進）の着実な進展を図ることが必要となっている。また、「平成22年度の科学技術に関する予算等の資源配分の方針」において、「温室効果ガス25%削減に向けた革新的技術、新産業の創出」として、CO2回収・貯留（CCS）等の革新的技術の更なる加速が必要と位置付け、「新成長戦略」（平成21年12月閣議決定）においても、火力発電所の効率化等の開発の前倒しが指摘されている。

② 我が国の状況

石炭は、石炭火力発電を中心に、今後とも世界的に需要が拡大し、世界の一次エネルギーに占める割合が高くなると見込まれているが、一方、その単位エネルギー当たりの二酸化炭素（CO2）排出量が他の化石燃料よりも高いことから、我が国が経済成長を図りつつ2050年に向けたCO2の大幅削減目標を実現するためには、3E（供給安定性、経済性、環境適合性）の同時達成が可能となる革新的な技術開発が求められている。その中でも、CO2回収・貯留（CCS）技術を組み込んだゼロエミッション石炭火力を実現できる、高効率な石炭火力発電技術の開発及びCCSとの最適化検討が有効である。CCSについては、そのエネルギー消費とコストの大半を占める分離回収技術の高効率化・コスト低減が重要となっている。

③ 世界の取り組み状況

地球温暖化問題との関連でCO2排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで基礎研究から技術開発、実証研究の取り組みが行われている。例えば、米国エネルギー省の炭素隔離プログラムにおけるFutureGenプロジェクトでは、ゼロエミッション型石炭火力発電所の実現を目指し、CO2分離システム及びCO2地中貯留の実証を中核とする多国間協力事業として行っている。また、欧州では2020年までのゼロエミッション発電所実現を目指し、エネルギー業界、研究機関、非政府組織、加盟各国及び欧州委員会から構成される欧州技術プラットフォームが発足している。

④ 本事業のねらい

本事業では、発電からCO₂貯留までのCCSトータルシステムに関するフィジビリティ・スタディー（FS）を実施し、実施可能性を評価するとともに、CCS対応技術を含めたクリーンコール技術全般について最新技術調査を行う。さらに、究極の高効率石炭火力発電技術である石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）からのCCSを目指した酸素吹石炭ガス化発電技術と高効率CO₂回収技術の最適モデルを検討評価するとともに、CO₂分離回収型石炭ガス化複合発電の早期実用化に向けた酸素吹石炭ガス化複合発電実証の最適化検討を行う。そのため、CCS対応として高効率が期待できる酸素吹石炭ガス化複合発電（IGCC）からの分離回収技術確立を目指したパイロット試験と、CCSを組み込んだ後でも、現行の最高効率を維持できる次世代向けの石炭ガス化基礎技術開発を行う。

(2) 事業の目標

① 過去の取り組みとその評価

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）では、環境負荷低減、特に地球温暖化ガス発生量低減を目的に「多目的石炭ガス製造技術開発（EAGLE）」（H10～H21）を実施した。当該事業の前倒し事後評価では、世界最高水準の石炭ガス化性能を得るとともに、高灰融点炭への炭種拡大、CO₂分離・回収や微量物質挙動調査など世界に先駆けて取り組む等、石油代替エネルギーとしての確立を目指した技術革新として、高く評価されている。一方で、当該事業の成果については、早期の実用化・事業化への取り組みを一層進めるよう指摘されており、本事業の新規事業項目等に反映させるとともに、本事業に統合した既存事業とも連携をはかり、ゼロエミッション石炭火力の早期実現に向けて、成果の活用を図ることとする。

② 本事業の目標

ゼロエミッション石炭火力の実現のため、我が国のクリーンコール技術の国際競争力強化のための技術開発・調査研究を実施し、環境への対応、効率向上、エネルギー・セキュリティに寄与することを目標とする。

③ 本事業以外に必要とされる取り組み

ゼロエミッション石炭火力の早期実現のためには、石炭火力を発生源とする日本型CCSの早期確立が必要であるため、我が国が得意とする高効率石炭ガス化・燃焼技術や分離・回収技術等と欧米等先進国のCCS技術等との共同研究、あるいは我が国のクリーンコール技術と併用したCCSへの我が国の関与、協力を期待している中国におけるCCSの技術検討等を行う「国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト」を平成22年度から実施する予定であり、本事業との相乗効果が期待される。

④ 全体としてのアウトカム目標

ゼロエミッション石炭火力の実現のため、IGCCの送電端効率を2015年までに48%、2025年までに57%、IGFCの送電端効率について2025年頃に55%、長期的には65%の達成を目指し、これに必要な技術開発、実証試験等を進めるとともに、CO₂分離回収コストを2015年までに2,000円台/t-CO₂、2020年には1,000円台/t-CO₂として実用化の目途を付けることを目指す。

なお、事業項目ごとに事業目標を設定し、別紙に記載する。

(3) 事業の内容

上述の目標を達成するために、以下の事業項目について、別紙事業計画に基づき実施する。

- ① ゼロエミッション石炭火力トータルシステム調査研究 (P08020)
 - ※「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」のうち「発電からCO₂貯留までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー」を改称。
- ② ゼロエミッション石炭火力基盤技術
 - ※「戦略的炭ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT)」と「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」のうち「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」を統合。

研究開発項目(1)「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」 (P08020)

 - ア)「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」
 - イ)「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低NO_x技術開発」
 - 研究開発項目(2)「次世代高効率石炭ガス化技術開発」 (P07021)
 - 研究開発項目(3)「石炭利用プロセスにおける微量成分の環境への影響低減手法の開発」 (P07021)
- ③ クリーン・コール・テクノロジー推進事業 (P92003)
- ④ 燃料電池対応型石炭ガス化複合発電最適化調査研究 (新規) (P10016)
- ⑤ 革新的CO₂回収型石炭ガス化技術開発 (新規) (P10016)

2. 事業の実施方式

(1) 事業の実施体制

本事業は、NEDOが単独ないし複数の企業、大学等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）から、公募によって事業実施者を選定し実施する。事業実施にあたり、事業項目②の研究開発項目(1)ア)、研究開発項目(2)及び(3)は実用化まで長時間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いにノウハウを持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。また事業項目①、③についても委託により実施する。事業項目②の研究開発項目(1)イ)、事業項目④及び⑤については、NEDOが実施先と共同研究契約を締結し、共同研究（NEDO負担2/3）により実施する。

NEDOは、事業に参加する各事業グループの有する研究開発ポテンシャルを検討し、これを最大限活用することにより効率的かつ効果的な研究開発の推進を図る観点から、各事業の実施先決定後に必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を指名し、その下で運営管理を実施する。

(2) 事業の運営管理

事業全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び事業実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。また、必要に応じて、NEDOに設置する委員会、技術検討会等で、外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度、プロジェクトの進捗について事業実施者から報告を受ける等の運営管理を行う。

3. 事業の実施期間

本事業の実施期間は、事業項目ごとに以下のとおりとする。

- ① ゼロエミッション石炭火力トータルシステム調査研究
本事業の実施期間は、平成20年度（継続）から平成24年度までの5年間とする。
- ② ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発
研究開発項目(1)「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」
本事業の実施期間は、平成20年度（継続）から平成24年度までの5年間とする。
研究開発項目(2)「次世代高効率石炭ガス化技術開発」
本事業の実施期間は、平成19年度（継続）から平成23年度までの5年間とする。
研究開発項目(3)「石炭利用プロセスにおける微量成分の環境への影響低減手法の開発」
本事業の実施期間は、平成19年度（継続）から平成22年度までの4年間とする。
- ③ クリーン・コール・テクノロジー推進事業
本事業の実施期間は、平成4年度から平成26年度までの23年間とする。
- ④ 燃料電池対応型石炭ガス化複合発電最適化調査研究
本事業の実施期間は、平成22年度から平成23年度までの2年間とする。
- ⑤ 革新的CO2回収型石炭ガス化技術開発
本事業の実施期間は、平成22年度から平成25年度までの4年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、事業の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による事業の中間評価及び事後評価を実施する。

評価については、調査研究事業（①、④）及び調査事業（③）は、業務方法書第39条及び事業評価実施規定に基づき毎年度事業評価を実施するとともに、適切な時期に外部有識者による評価を実施する。（平成22年度①の中間評価を予定）また、研究開発事業（②、⑤）のうち、ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発研究開発項目(1)「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」は、平成22年度に中間評価、25年度に事後評価を、ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発 研究開発項目(2) 研究開発項目(3)「石炭利用プロセスにおける微量成分の環境への影響低減手法の開発」は、平成21年度に中間評価、24年度に事後評価を、「革新的CO2回収型石炭ガス化技術開発」については、平成26年度に事後評価を実施する。

なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

② 知的基盤整備事業及び標準化等との連携

得られた事業成果については、知的基盤整備、標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報(TR)制度への提案等を積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

委託事業、共同研究開発事業の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条

の規定等に基づき、原則として、すべて委託先、共同研究先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDOは、事業内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、産業技術政策動向、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該事業の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標や研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本事業の根拠法は、事業項目ごとに以下のとおりである。

- ① ゼロエミッション石炭火力トータルシステム調査研究
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第九号及び第十号
- ② ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号イ、ロ
- ③ クリーン・コール・テクノロジー推進事業
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第九号及び第十号
- ④ 燃料電池対応型石炭ガス化複合発電最適化調査研究
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号イ、第九号及び第十号
- ⑤ 革新的CO₂回収型石炭ガス化技術開発
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号イ、ロ

(4) その他

平成22年度以降の技術動向や政策上の必要性に鑑み、必要に応じた研究開発項目の追加や見直しを行うことがある。

本事業は、平成21年度まで以下の基本計画もしくは実施方針を定めて実施していたテーマを統合して実施する。

- ・革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト
- ・戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT)
- ・クリーン・コール・テクノロジー推進事業

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成22年3月、基本計画制定。
- (2) 平成22年5月、事業項目②ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発 研究開発項目(2)「次世代高効率石炭ガス化技術開発」について、2. 事業の具体的内容に(5)を追加。また、3. 達成目標の表現を一部変更。

事業項目② ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発

(旧「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」に係る部分)

研究開発項目(1)「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」(P08020)

1. 事業の必要性

石炭火力から発生するCO₂を分離・回収・貯留するCCSを含めたゼロエミッション型の石炭ガス化発電技術を火力発電に適用する場合、多量の付加的なエネルギーが必要となるため、貴重な炭化水素資源の有効活用の観点から、石炭ガス化システムやCO₂分離・回収技術の更なる高効率化が求められる。そこで、ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上させるための基盤研究を実施する必要がある。

2. 事業の具体的内容

発電技術と組み合わせると発電効率を大きく低下させる性質をもつCCS技術について、可能な限り発電効率を高く維持するため、次の効率向上に資する基盤研究事業を実施する。

ア) 「CO₂回収型次世代IGCC技術開発」

CO₂を酸化剤の一部として用いることにより、CO₂回収型石炭ガス化システムの効率を大幅に向上することのできる次世代IGCCシステムの基盤技術の開発を行う。また、このシステムについて、環太平洋地域に賦存する多様な石炭に対する適応性の検討を実施する。

イ) 「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低NO_x技術開発」(提案公募)

IGCCの発電効率を大幅に改善させる、革新的なガス化技術や要素技術の発掘を目的として、2015～2030年頃の実用化を目指した先導的な研究開発及び将来の革新的なブレークスルーにつながる基盤研究としてテーマを公募した結果、本テーマを選定した。高水素濃度燃料に対応する低NO_x濃度の燃焼技術を確立する基盤研究を実施する。

3. 達成目標

ア) の事業目標を次のように設定する。

[中間目標(平成22年度)]

- ・送電端効率向上(42%:HHV基準、CO₂回収後)技術の目途を得る。

[最終目標(平成24年度)]

- ・目標値 : 性状の異なる環太平洋地域の3種類以上の石炭を用い、CO₂回収後において、送電端効率42%(HHV基準)を実現させる基盤技術の確立。
- ・設定根拠: 既存技術では1300℃級ガスタービンを用いたIGCCで、CO₂回収前の送電端効率が43%程度であり、CO₂回収ロスを高効率化技術で補完するため。

イ) の事業目標を次のように設定する。

[中間目標(平成22年度)]

- ・目標値 : 高水素濃度燃料に対応する燃焼技術として、NO_x濃度10ppm(16%酸素濃度換算)以下とする燃焼技術の目途を得る。
(前提条件) 燃焼器出口ガス温度1300℃、中圧条件等にて実証。

[最終目標(平成24年度)]

- ・ 目標値 : 高水素濃度燃料に対応する燃焼技術として、NO_x濃度10ppm（16%酸素濃度換算）以下とする燃焼技術の確立。
（前提条件）燃焼器出口ガス温度1300℃、実圧条件等にて実証。
- ・ 設定根拠：燃焼器性能の代表的評価指標であるNO_x濃度を世界最高レベル値とした。

抜粋

エネルギー分野

資源に乏しいわが国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

また、「新・国家エネルギー戦略」や「エネルギー基本計画」においても、エネルギー技術戦略策定の必要性が明記されており「新・国家エネルギー戦略」が想定する2030年という長期の時間設定の中、超長期エネルギー技術ビジョン（2005年10月策定）を参考にしつつ、2006年11月策定のエネルギー技術戦略マップ2006をベースにし、技術戦略マップ2007（エネルギー分野）を作成した。技術戦略マップ2008では、2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受けて策定された「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（2008年3月策定）をもとに、足下の2030年頃までの見通しに変更があったものについて修正を行った。

技術戦略マップ2009の策定に当たっては、省エネルギー技術戦略との整合、既存ロードマップに最新技術を反映、個別技術の統廃合（235技術→178技術（新2技術））の3項目の内容について見直しを行った。

技術戦略マップ2010の策定に当たっては、研究開発の最新動向を踏まえ、技術ロードマップの見直しを行った。また、研究者・技術者のみならず国民全般が内外のエネルギー技術に係る課題や研究開発の取組に対する理解を深める1つの試みとして、エネルギー分野の技術ロードマップの中から18の技術分野を抽出し、「技術ロードマップ解説書」を取りまとめた。

エネルギー分野の技術戦略マップ

I. 検討の手順

技術戦略マップは、技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオ、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ及び技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、2006年に策定した「新・国家エネルギー戦略」における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・導入促進、④原子力の利用、そして、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出した。

①総合エネルギー効率の向上

②運輸部門の燃料多様化

③新エネルギーの開発・導入促進

④原子力利用の推進と
その大前提となる安全の確保

⑤化石燃料の安定供給確保と
有効かつクリーンな利用

次に、抽出した技術を時間軸展開することによりロードマップの作成を行い、技術開発及びその成果が導入されるにあたって必要となる関連施策を整理した導入シナリオの作成を行った。

II. 技術の特徴付けについて

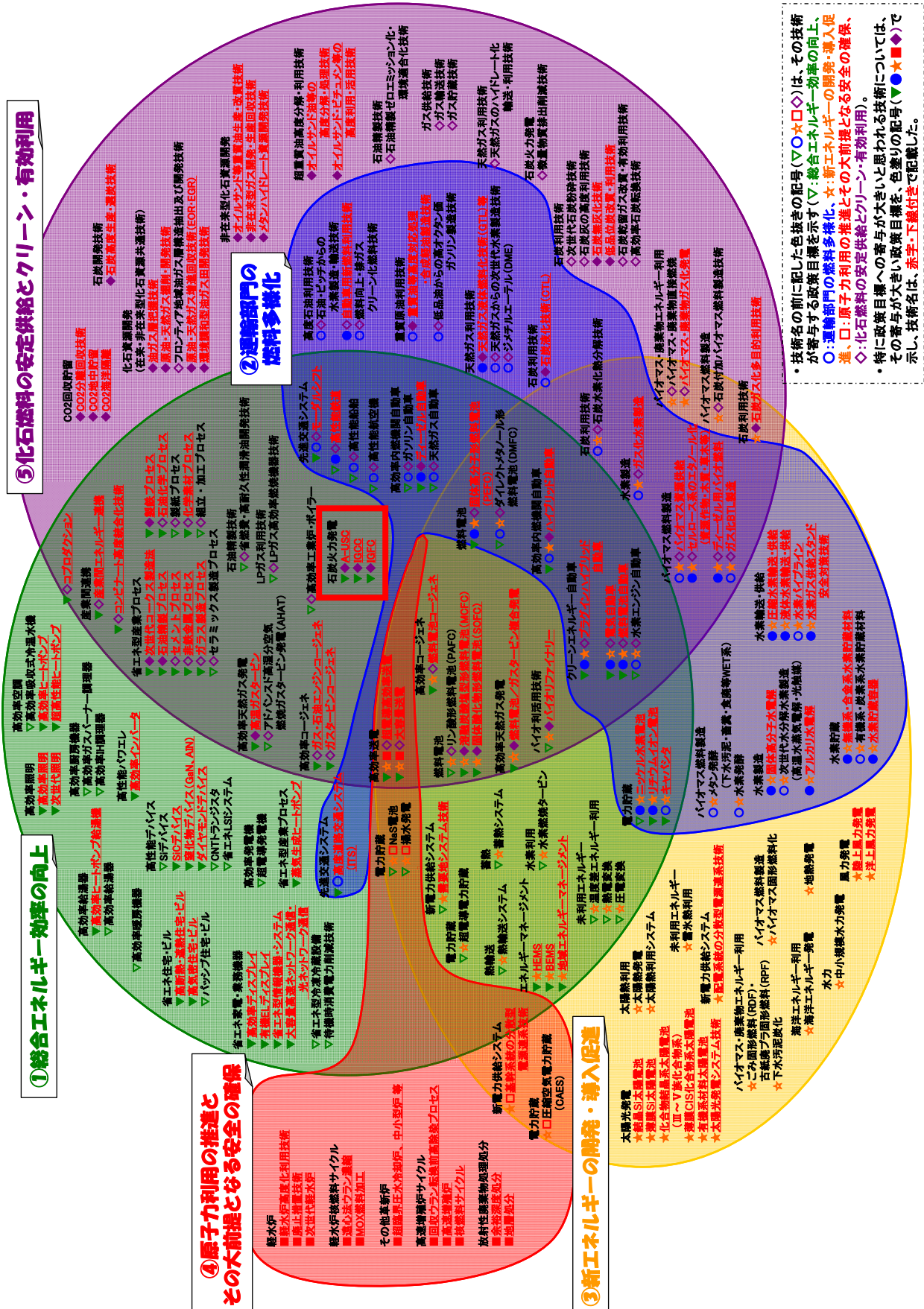
エネルギー技術分野全体を俯瞰するため、有識者にアンケート調査を行い、5つの政策目標に対する寄与について定性的な評価を行った。

評価項目	内 容
政策目標に関する指標	
①総合エネルギー効率の向上	転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」など、GDPあたりの最終エネルギー消費指数を向上することに寄与する技術
②運輸部門の燃料多様化	バイオマス由来燃料、GTL (Gas to Liquid)、BTL (Biomass to Liquid)、CTL (Coal to Liquid) などの新燃料、EV (電気自動車) やFCV (燃料電池自動車) など、運輸部門の石油依存度を低減することに寄与する技術
③新エネルギーの開発・導入促進	太陽、風力、バイオマス等を起源とするエネルギーに関連する技術の開発・導入促進に寄与する技術。また、再生可能エネルギーの普及に資する新規技術、エネルギー効率の飛躍的向上に資する技術、エネルギー源の多様化に資する新規技術など「革新的なエネルギー高度利用技術」も含む。
④原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保	2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を30~40%程度以上とすることに寄与する技術。負荷平準化等、原子力利用の推進に資する技術や安全確保に資する技術も含む。
⑤化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用	化石資源の開発・有効利用技術、CCT (クリーン・コール・テクノロジー) などのクリーン利用や、資源確保に資する技術

III. エネルギー技術全体の俯瞰図について

評価結果を基に、5つの政策目標に対する寄与を示したエネルギー技術全体を俯瞰するマップを作成した。

エネルギー技術 - 俯瞰図 -



⑤ 化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用

- CO2回収装置
 - ◇ CO2分離回収技術
 - ◇ CO2埋田貯蔵
 - ◇ CO2海注貯蔵
- 化石資源開採
 - ◇ 非常・非常態化石資源共通掘削技術
 - ◇ 原油・天然ガス掘削・開採技術
 - ◇ フロンティア地帯原油・天然ガス掘削技術
 - ◇ 原油・天然ガス掘削回帰技術 (FOR: EGR)
 - ◇ 環境調和型油田開発技術
- 非常態化石資源開採
 - ◇ 非常態化石資源開採・成層技術
 - ◇ 非常態化石資源開採・生産回収技術
 - ◇ マタンハイランド着層掘削技術
- 石油精製技術
 - ◇ 石油高度生産・選別技術
- 高度石油高度分離・利用技術
 - ◇ オイルサンド油層
 - ◇ 高度分離・処理技術
 - ◇ オイルサンド・バイオ技術
 - ◇ 高度利用・活用技術

燃料多様化

- 高度石油利用技術
 - ◇ 石油・ピッチからの水素製造・輸送技術
 - ◇ 自動運転型燃料供給技術
 - ◇ 燃料向上・排ガス
- クリーン化燃料技術
 - ◇ 重質原油利用技術
 - ◇ 重質原油利用技術
 - ◇ 重質原油からの高オクタン価ガソリン製造技術
- 天然ガス利用技術
 - ◇ 天然ガスからの次世代水素製造技術
 - ◇ ジメチルエーテル (DME)
- 石炭利用技術
 - ◇ 石炭液化技術 (CTL)
 - ◇ 次世代石炭液化技術
 - ◇ 石炭灰の高率利用技術
 - ◇ 石炭無灰化技術
 - ◇ 低品位燃料・利用技術
 - ◇ 石炭貯留ガス貯蔵・有効利用技術
 - ◇ 高効率石炭発電技術

③ 新エネルギーの開発・導入促進

- 太陽光発電
 - ★ 超薄膜太陽電池
 - ★ 薄層Si太陽電池
 - ★ 有機太陽電池
 - ★ 薄膜Si太陽電池
 - ★ 薄膜GaInP太陽電池
 - ★ 太陽光発電システム技術
- バイオマス・廃棄物エネルギー利用
 - ★ 二酸化炭素回収・貯蔵 (CCS)
 - ★ 二酸化炭素回収・貯蔵 (CCS)
 - ★ 二酸化炭素回収・貯蔵 (CCS)
 - ★ 二酸化炭素回収・貯蔵 (CCS)
 - ★ 二酸化炭素回収・貯蔵 (CCS)
- 水素製造
 - ★ 水素製造
 - ★ 水素製造
 - ★ 水素製造
- 風力発電
 - ★ 風力発電
 - ★ 風力発電
- 地熱発電
 - ★ 地熱発電

・技術名の前に記した色抜きの記号(▽○★◇)は、その技術が寄与する政策目標を示す(▽: 総合エネルギー効率の向上、◇: 運輸部門の燃料多様化、★: 新エネルギーの開発・導入促進、○: 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保、★: 化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用)。
 ・特に政策目標への寄与が大きいと思われる技術については、その寄与が大きい政策目標を、色差の記号(▽○★◇)で示し、技術名は、赤字・下線付きで記載した。

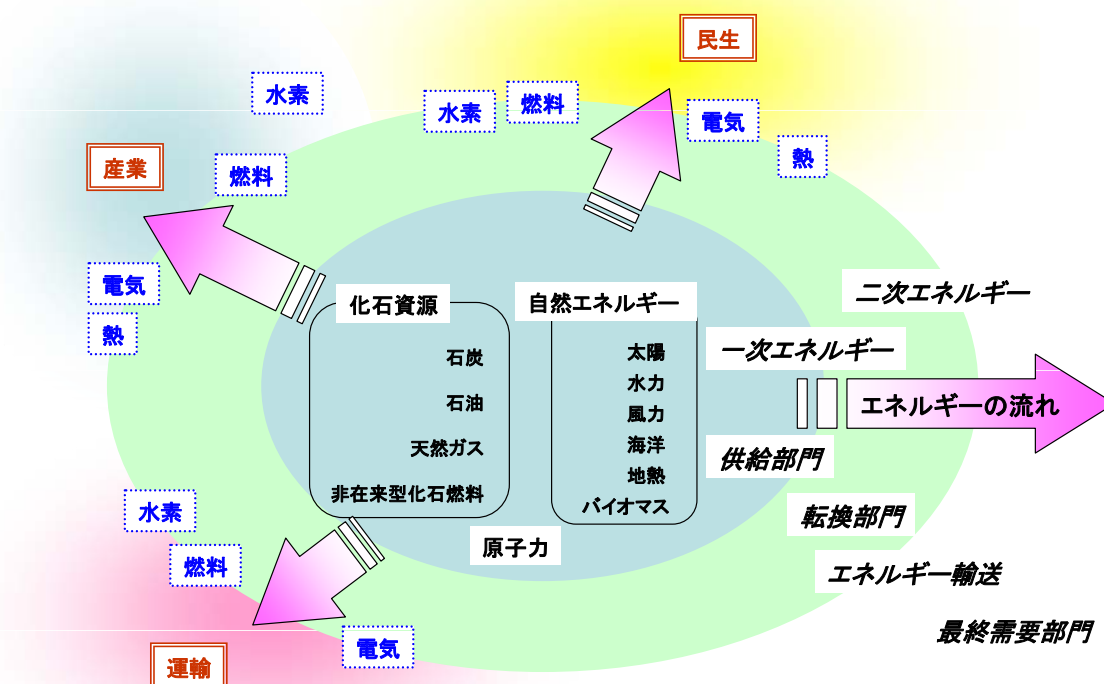
IV 導入シナリオ・技術マップ・技術ロードマップの見方

○導入シナリオ

5つの政策目標毎に、国内外の背景、エネルギー政策の動向、主な技術開発及び関連施策、その政策目標を達成するための共通関連施策について整理した。

○技術マップ

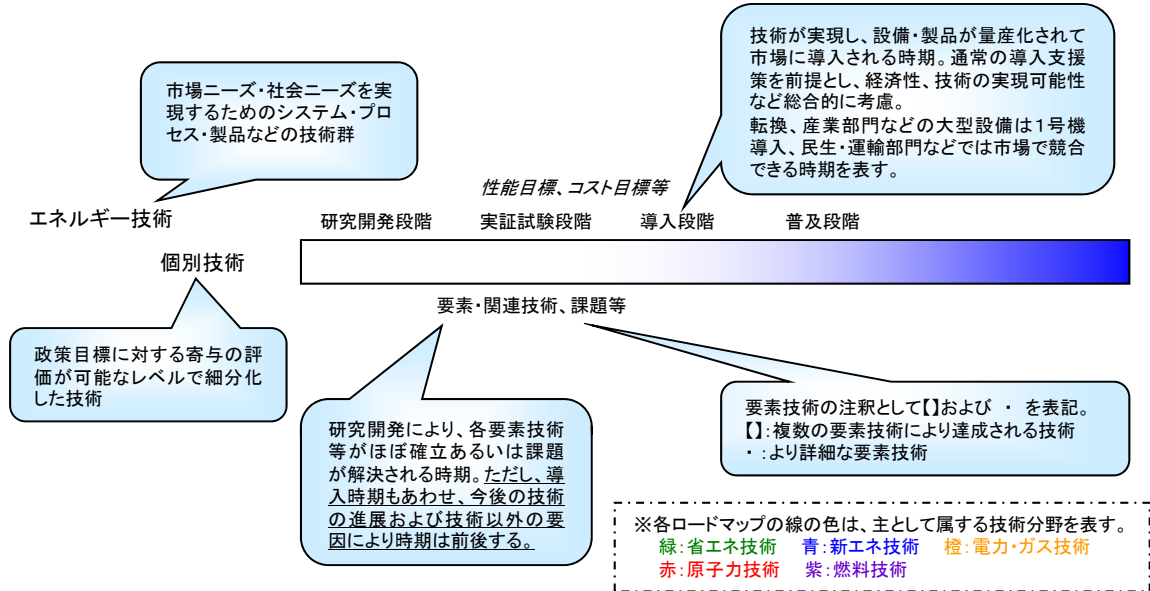
エネルギー分野全体から2030年頃までに実用化され、5つの政策目標に寄与すると思われる178個の技術を洗い出し、それぞれの政策目標の達成に寄与する技術別に、分類・整理してリストとして示すとともに、下図のように一次エネルギー／二次エネルギー／最終エネルギー消費のエネルギーの流れ、電気／熱／燃料等のエネルギーの形態、産業／民生／運輸の需要部門別に整理を行い図示した。



○技術ロードマップ

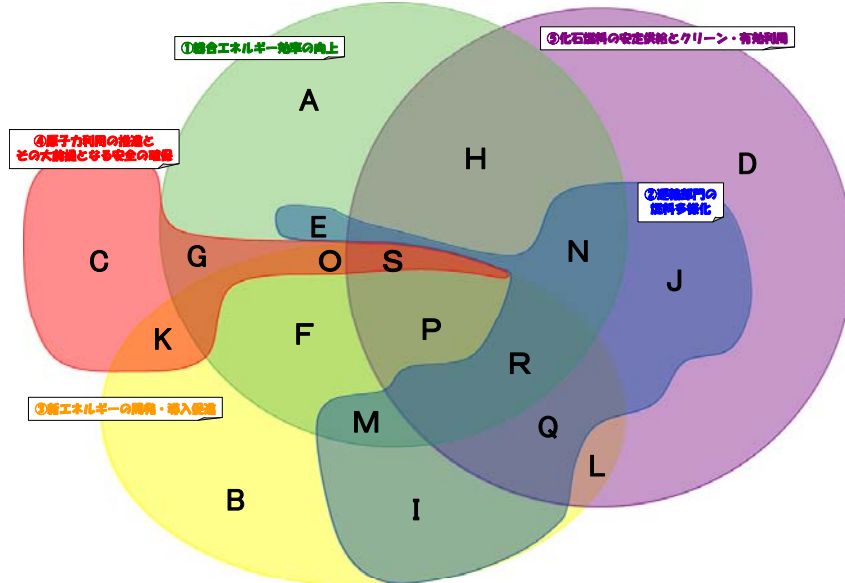
それぞれの政策目標達成に寄与する技術について、技術開発を推進する上で必要な要素技術・課題、求められる機能等の向上、技術開発フェーズの進展等を時間軸上にマイルストーンとして展開した

また、技術スペックの記載にあたっては、分野別推進戦略や他分野のロードマップを参考とした。



個別技術No. は次の考え方で区分した。

- 1桁目 : 「新・国家エネルギー戦略」における5つの政策目標のうち一番関連が強い政策目標を表す。
- 2, 3桁目 : エネルギー技術を指す。
- (4桁目 : 個別の番号)
- 5桁目 : 俯瞰図における位置を指す。



V. 改定のポイント

- 既存ロードマップに最新技術を反映
- 「技術ロードマップ解説書」を作成

VI 政策目標に寄与する技術の

「導入シナリオ」・「技術マップ」・「技術ロードマップ」

i. 総合エネルギー効率の向上

(i-1) 目標と将来実現する社会像

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により相当程度の成功を収めてきた。今後約30年においても、「新・国家エネルギー戦略」に掲げるこれまでと同程度の成果（2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上）を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進することが不可欠である。

(i-2) 研究開発の取組

関連技術を5つ分類した。

- 燃料を省く、または効率的に利用することによる製造プロセスの抜本的な効率化を図るための「超燃焼システム技術」
- 余剰エネルギーを時間的・空間的な制約を超えて利用し、エネルギー需給のミスマッチを解消するための「時空を超えたエネルギー利用技術」
- 生活スタイルの変化に伴う民生部門でのエネルギー消費量の増加に対応し、高効率機器とITとの融合により省エネルギーを図るための「省エネ型情報生活空間創生技術」
- 運輸部門のエネルギー消費量の削減に向け、輸送機器の効率化とモーダルシフト等利用形態の高度化により省エネルギーを図るための「先進交通社会確立技術」
- 幅広い分野で使用される半導体等のデバイスの高性能化により省エネルギーを図るための「次世代省エネデバイス技術」

また、電力貯蔵技術等の電力安定供給に資する技術、送電ロスを大幅に低減する技術等は、「時空を超えたエネルギー利用技術」に分類した。

(i-3) 関連施策の取組

- 事業者支援補助金による初期需要創出（高効率機器の補助導入など）
- セクター別ベンチマークの導入によるエネルギー消費原単位改善
- 省エネ評価制度の国際的整備
- 国際標準化・規格化による国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

(i-4) 改訂のポイント

- 燃料電池関連技術については、本年策定中の二次電池分野のロードマップの検討結果に合わせて見直し・修正を行った。具体的には燃料電池コジェネ(1203P)、固体酸化物燃料電池SOFC(3303P)、固体高分子型燃料電池(PEFC)(3304R)、燃料電池自動車(2123S)について、時期の見直し並びに一部字句の修正を行った。
- 電力システムシステム(需要システム技術)(3501F)について、近年の状況を踏まえ、時期の見直し並びに一部技術の追加・削除を行った。
- 電力貯蔵のうち、NaS電池(35410)、キャパシタ(3545M)、超電導電力貯蔵(3547F)について、近年の状況を踏まえ、時期の見直し並びに一部技術の追加・削除を行った。
- クリーンエネルギー自動車のうち、プラグインハイブリッド自動車(2121S)、電気自動車(2122S)について、近年の状況を踏まえ、時期の見直し並びに一部技術の追加・削除を行った。
- その他、バイオリファイナリー(5701P)、温度差エネルギー利用(3252F)、地域エネルギーマネージメント(1213F)、先進交通システム(ITS)(1401E)について見直した。
- 解説書の作成
超燃焼システム技術、時空を超えたエネルギー利用技術、省エネ型情報生活空間創生技術、先進交通社会確立技術、次世代省エネデバイス技術の5技術に関し、解説書を作成した。

V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

(v-1) 目標と将来実現する社会像

化石燃料資源の大宗を輸入に依存するわが国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、わが国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めることが重要である。

資源開発に関し、実績に優る欧米メジャーの優位性、中国、インド等新興エネルギー需要国の資源獲得に向けた積極的な動きの中、わが国が資源国に対する交渉上の優位性を獲得するためには、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進することが重要である。

(v-2) 研究開発の取組

技術開発としては、石油製品等を効率的に製造するためのコンビナート高度統合技術等の石油有効利用技術、非在来型石油資源の精製技術、新たな天然ガス田の開発に資すると考えられるGTL (Gas To Liquid) 製造技術等の天然ガス利用技術、EOR (Enhanced Oil Recovery: 原油増進回収法) 技術、メタンハイドレート生産技術等の石油・天然ガスの探鉱開発・生産技術、供給安定性に優れた石炭の高効率なガス化技術や新たな用途開拓につながる改質技術等の開発に重点的に取り組むとともに、これと併せて、資源国との関係強化に向けた取組や、新燃料等の供給インフラ整備の検討、実証事業等を推進することが必要である。

(v-3) 関連施策の取組

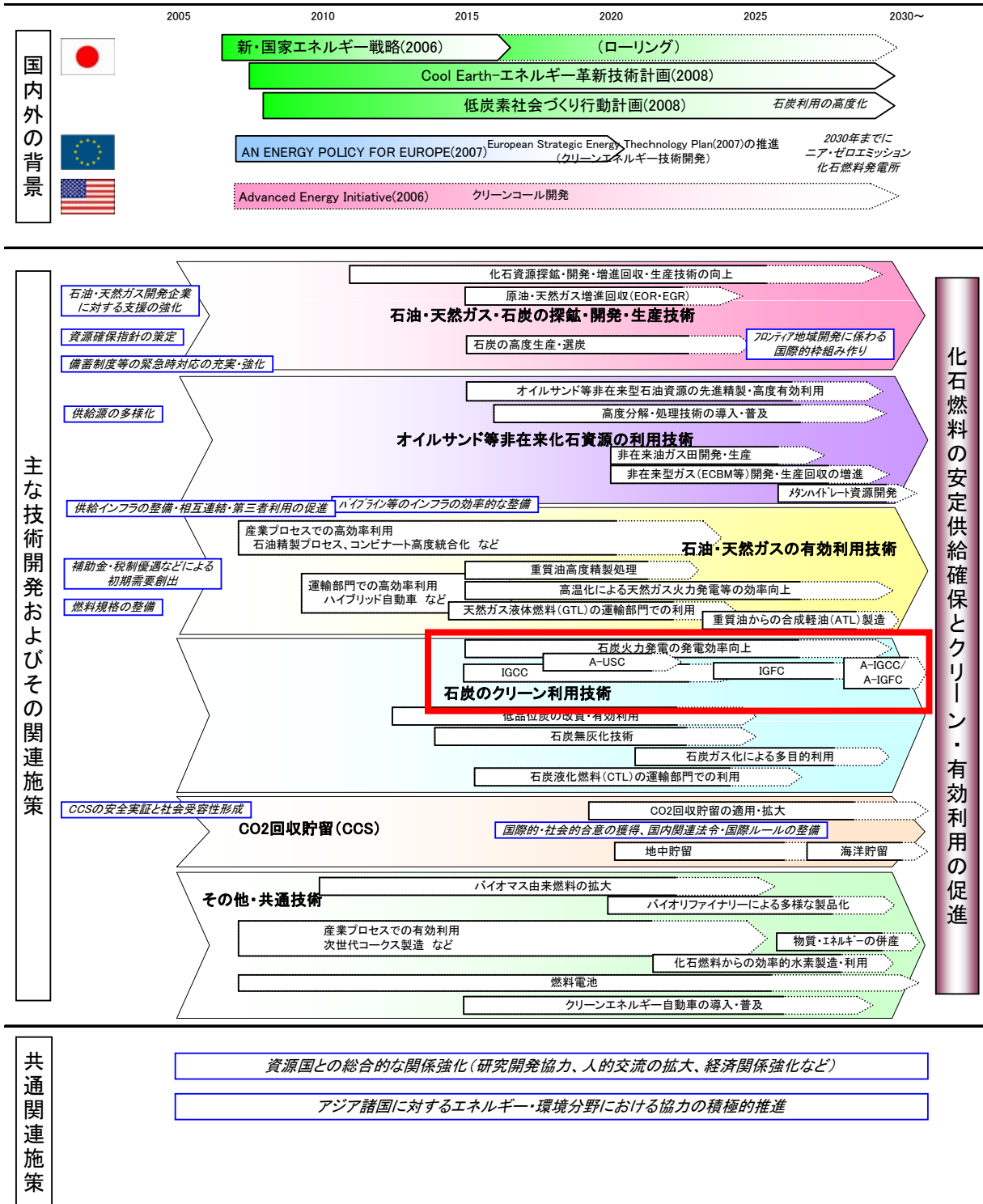
- 資源国との総合的な関係強化（研究開発協力、人的交流の拡大、経済関係強化など）
- アジア諸国に対するエネルギー・環境分野における協力の積極的推進

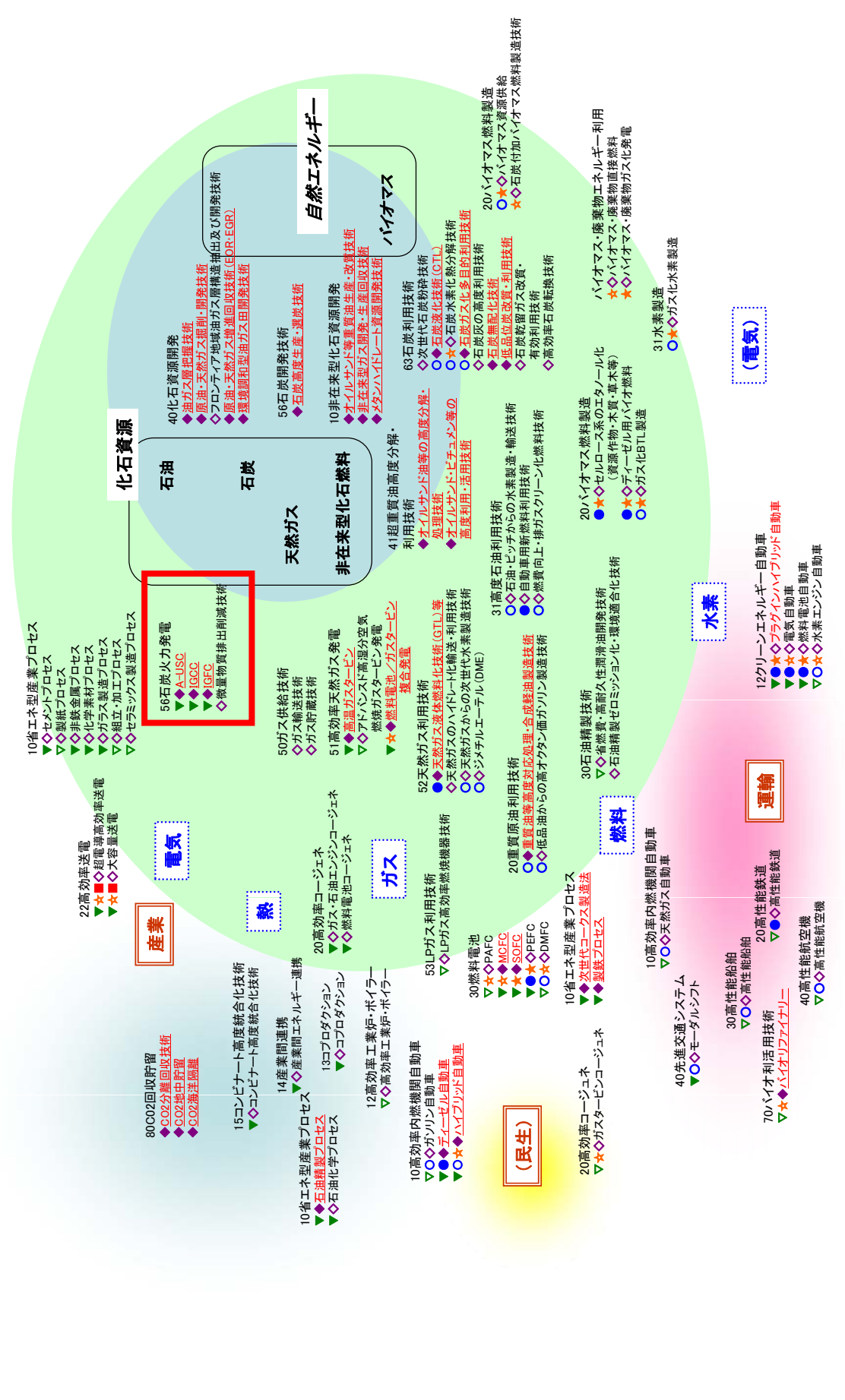
(v-4) 改訂のポイント

- 高効率コジェネのうち、燃料電池コジェネ(1203P)については今年度策定中のロードマップを基に修正した。
- エネルギーマネージメントのうち地域エネルギー（1213F）について、字句等の一部削除を行った。
- バイオマス燃料製造のうち、バイオマス資源供給（3201Q）、セルロース等のエタノール化(3202Q)、ディーゼル用バイオ燃料(3203Q)、BTL製造(化学合成バイオ燃料製造)(3204Q)、メタン醗酵(3205I)、水素醗酵等(3207I)について、技術の進展状況を踏まえ、実現時期の見直し、一部技術項目の追加・削除を行った。
- CO2回収貯留のうち、CO2分離回収技術(5801D)、CO2地中貯留(5802D)、CO2海洋隔離(5803D)について、時期の見直し並びに一部の技術項目の見直しを行った。
- 石炭の高度生産・クリーン利用技術並びにCCS技術について、解説書を作成した。

⑤「化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用」 に向けた導入シナリオ

石油・天然ガス等の化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発の推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。



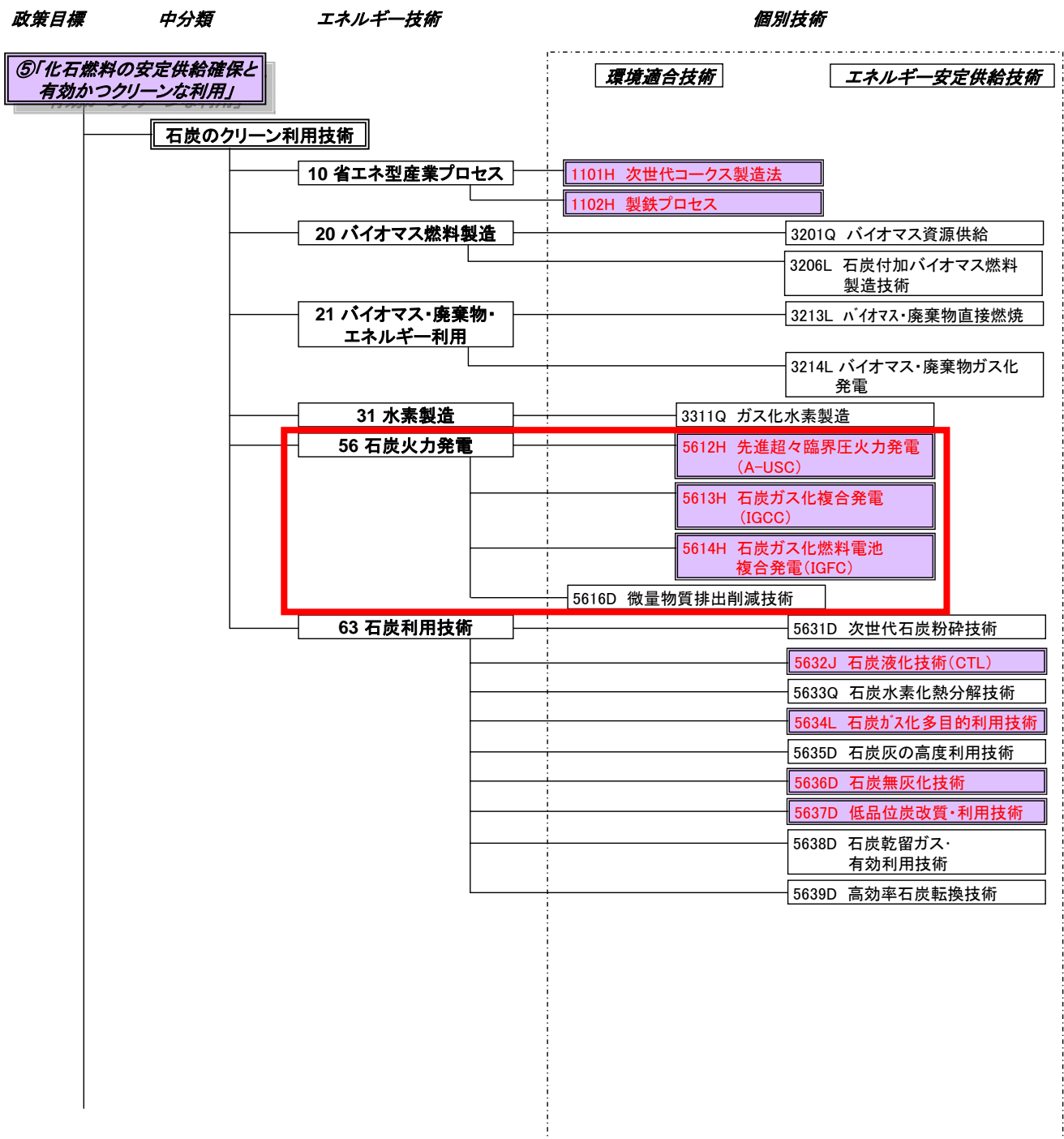


● 技術名の前に記した色付きの記号(▽○☆◇)は、その技術が寄与する政策目標を示す(▽:総合エネルギー効率の向上、○:運輸部門の燃料多様化、☆:新エネルギーの開発・導入促進、◇:原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保、◇:化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用)。
● 「化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用」への寄与が大きいと思われる技術名を、色塗りの記号(◆)、赤字・下線付きで記載した。

⑤「化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用」に寄与する技術の技術マップ(整理図)

⑤「化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用」 に寄与する技術の技術マップ(技術リスト) (3/4)

※それぞれの政策目標への寄与が大きいと思われる個別技術を **赤字** で示す。



プロジェクトテーマ名: 革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト

2007年12月26日版

研究目的

背景、目的、必要性

- ① **背景:** 地球温暖化問題との関連で、石炭火力発電からのCO2排出量の削減が強く求められている。しかし、Cool Earth 50が目指すCO2削減目標を達成するためには、発電効率の向上のみでは達成できず、今後はCO2の分離・回収・貯留(CCS)も視野に入れた革新的な技術開発が必要とされている。また、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)でも、CCSが重要な技術であるとの認識が高まりつつある。
- ② **市場ニーズ(目的):**
 - ・石炭火力発電からのCO2分離・回収に最も効率的と考えられる石炭ガス化発電システムからのCO2排出をニアゼロエミッション化するための可能性調査。
 - ・石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上するための技術の確立。
- ③ **技術ニーズ:**
 - ・CCSの有効性確認のための実施可能性調査(フィジビリティ・スタディー)
 - ・CO2を回収しながら高効率発電が可能な革新的なガス化基盤技術の確立

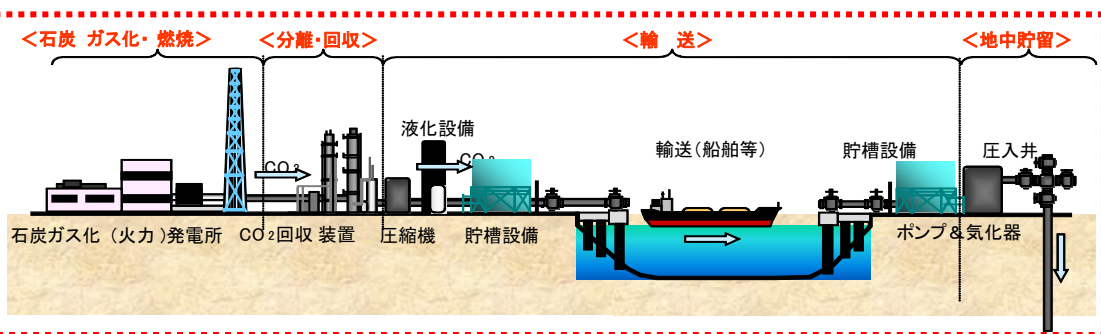
プロジェクトの規模

事業費と研究開発期間(目安として)

- ① 事業費 平成20年度 9.3億円
- ② プロジェクト期間 5年

その他関連図表

← フィジビリティ・スタディー(発電からCCSまでのトータルシステムについて) →



基盤技術

- ・CO2回収型次世代IGCC技術開発
- ・炭種適用拡大技術開発等

研究内容

○プロジェクトの課題

- (i) **フィジビリティ・スタディー(発電からCCSまでのトータルシステムについて)**
我が国において石炭ガス化発電システムからCO2を分離・回収し、CO2を輸送・貯留するまでのトータルシステムの実施可能性に関する調査を行う。本調査には、石炭ガス化発電システムの概念設計、CO2輸送システムの概念設計、CO2の貯留ポテンシャル、コスト等の評価を含む。
- (ii) **基盤研究**
CO2回収後において、既存の石炭ガス化複合発電(IGCC)並みの発電効率を達成する革新的なガス化技術の可能性を探索するための基盤研究等の実施。

○キーテクノロジー、ブレークスルーのポイント、オリジナリティ

- (i) **フィジビリティ・スタディー(発電からCCSまでのトータルシステムについて)**
 - ・我が国において、石炭ガス化発電システムからCO2の分離・回収・輸送・貯留に至る一貫したトータルシステムについて、総合的に詳細に調査した事例はない。
 - ・CO2の発生源と貯留サイトのマッチングを考慮し、複数の候補サイトでの実施可能性を詳細に検討する必要がある。
 - ・検討の精度を高めるため、経済性評価モデルの構築や国際標準化検討(ポテンシャル評価、リスク評価等)も重要な検討事項。
- (ii) **基盤研究**
 - ・CO2回収型次世代IGCC技術開発 : CO2回収後において既存IGCC並みの発電効率の達成とCO2回収コスト削減を図る。
 - ・炭種適用拡大技術開発等 : アジアに賦存する多様な石炭資源の適用拡大と革新的な高効率ガス化技術の適用可能性検討等を実施する。

○目標値とその条件および設定理由

- (i) **フィジビリティ・スタディー(発電からCCSまでのトータルシステムについて)**
 - ・我が国における発電とCCSに関する実施可能性調査を実施する。
- (ii) **基盤研究**
 - ・**目標値:** 送電端効率向上(42%: HHV基準、CO2回収後)の技術的目途を得る。
 - ・**設定根拠:** 既存技術では1300℃級ガスタービンを用いたIGCCで、CO2回収前の送電端効率が43%程度であり、CO2回収ロスを高効率化技術で補完するため。

技術戦略マップ上の位置付け

重要技術ロードマップの「⑤化石燃料の安定供給確保とクリーン・有効利用」のクリーンコールテクノロジー(石炭ガス化複合発電、石炭ガス化多目的利用技術等)に位置付けられている。

添付資料4

事前評価書（案）

	作成日	平成 19 年 12 月 12 日
1. 事業名称 (コード番号)	革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト	
2. 推進部署名	環境技術開発部	
3. 事業概要	<p>(1) 概要：地球温暖化問題との関連で CO2 排出量の削減が強く求められている中で、Cool Earth 50 が目指す CO2 削減目標である「世界全体の温室効果ガス排出量を現状と比較して 2050 年までに半減する」などの CO2 削減目標を達成するためには、省エネルギーや CO2 負荷の小さいエネルギーへの転換、再生可能エネルギーの導入、原子力発電の導入等を行っても限界があり、今後は CO2 の分離・回収・貯留（Carbon dioxide capture and storage, CCS）も視野に入れた革新的な技術開発が必要とされている。また、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）でも、CCS が重要な技術であるとの認識を強めている。</p> <p>このような状況の中、火力発電分野でも CO2 の削減が強く求められており、今後は石炭火力から発生する CO2 を分離・回収・貯留する CCS を含めたゼロエミッション型の石炭ガス化発電技術の実施可能性を検討することが必要となってきた。そこで、我が国における実施可能性を詳細に評価するために、本プロジェクトでは（i）発電から CO2 貯留までのトータルシステムに関するフィジビリティ・スタディー（FS）を実施する。また、CCS には多くのエネルギーを必要とすることから、更なる発電効率の改善も重要であり、（ii）ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上させるための基盤研究等も併せて実施する。（i）には、石炭ガス化発電システムの概念設計、CO2 輸送システムの概念設計、CO2 の貯留ポテンシャル評価、発電から CO2 に至るトータルシステムのコスト評価等を含む。（ii）については、CO2 回収後に於いても、既存 IGCC 並の発電効率を達成する、革新的なガス化技術発掘のための基盤研究等を行う。</p> <p>(2) 事業費 平成 20 年度 9.3 億円</p> <p>(3) 事業期間：平成 20 年度～24 年度（5 年間）</p>	

4. 評価の検討状況

(1) 事業の位置付け・必要性

石炭ガス化発電と CO2 回収・貯留 (CCS) を組み合わせたゼロエミッション石炭ガス化発電技術は、省エネ等では限界のある温室効果ガス (CO2) の削減を行うための究極的かつ革新的な対策技術として期待されている。2007 年 5 月に内閣総理大臣が世界に提唱した「世界の二酸化炭素排出量を現状から 2050 年迄に半減」の中でも、革新的技術確立の最重要事項のひとつとして位置付けられている。また、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) の中でも、CCS 技術が中長期的には CO2 削減のための重要技術として位置づけられてきている。

このような状況の中で、発電から CO2 貯留までのトータルシステムに係る FS を実施して、我が国におけるゼロエミッション石炭ガス化発電技術の実施可能性を評価することは極めて重要で時宜を得たものあり、今後、我が国が地球温暖化問題への対応について検討していく上で、重要な情報となる。

また、CCS 技術 (CO2 の分離・回収・貯留) は多くのエネルギーを消費し、発電技術と組み合わせると発電効率を大きく低下させることから、発電効率向上のための技術開発を並行して実施することが重要であり、CO2 回収後において既存の IGCC 並の発電効率の達成に関する目処を得る為の基盤研究等を実施する。

(2) 研究開発目標の妥当性

革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクトでは、(i) フィジビリティ・スタディー (FS) と (ii) 基盤研究事業を実施する。

(i) フィジビリティ・スタディー (発電から CCS までのトータルシステムの FS)

我が国において、石炭ガス化発電システムから CO2 の分離・回収・輸送・貯留に至る一貫したトータルシステムについて詳細に評価した例はなく、本プロジェクトで総合的な評価を実施する。この際には、CO2 の発生源と貯留サイトのマッチングを考慮し、複数の候補サイトでの実施可能性を詳細に検討する必要がある。検討の精度を向上させるため、経済性評価モデルの構築や国際標準化検討 (ポテンシャル評価、リスク評価等) も併せて実施する。フィジビリティ・スタディーを実施するという目標は、今後、我が国がゼロエミッション石炭ガス化発電技術の実施可能性を評価する上で貴重な情報を得ることになり、極めて妥当である。

(ii) 基盤研究事業

CCS 技術 (CO2 の分離・回収・貯留) は多くのエネルギーを消費し、発電技術と組み合わせると発電効率を大きく低下させることから、発電効率向上のための技術開発を並行して実施する必要がある。CO2 回収後においても既存 IGCC 並の発電効率を達成する革新的なガス化技術を開発すること等を目的として基盤研究事業を実施する。例えば、CO2 回収型次世代 IGCC 技術開発として、CO2 回収後に於いても、既存 IGCC 並の発電効率を達成するガス化技術を開発し、効率の向上と CO2 回収エネルギー及びコスト削減を図ることも重要であり、また、アジアに賦存する多様な石炭資源の適用拡大も資源制約の観点から検討が必要である。

CO2 回収型次世代 IGCC 技術開発について、送電端効率向上 (42%:HHV 基準、CO2 回収後) の目処を得ることを目標としているが、既存技術では 1300°C 級ガスタービンをを用いた IGCC で、CO2 回収前の送電端効率が 42% 程度であり、CO2 回収による送電端効率のロスを高効率化技術で補完するという目標は、極めて妥当である。

(3) 研究開発マネジメント

公募を行い、適切な研究開発体制を構築する。本プロジェクトの推進にあたってはフィジビリティ・スタディーと基盤研究事業のそれぞれにプロジェクトリーダーを委嘱又は指名し、プロジェクトリーダーと協議してプロジェクト進捗管理を行う。

フィジビリティ・スタディーについては、プロジェクト開始3年目に中間評価（事業評価）を行い、その結果を踏まえて事業全体について見直しを行う。また、プロジェクトの終了の翌年に事後評価（事業評価）を行う。

基盤研究事業については、プロジェクト開始3年目に中間評価（技術評価）を行い、その結果を踏まえて事業全体について見直しを行う。また、プロジェクトの終了の翌年に事後評価（技術評価）を行う。

(4) 研究開発成果

ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクトでは、発電からCCSまでのトータルシステムの評価を行うフィジビリティ・スタディー、及び発電効率向上のための革新的なガス化技術の発掘を目的とした基盤研究事業を実施し、下記の成果が見込まれる。

(i) フィジビリティ・スタディー（発電からCCSまでのトータルシステムのFS）

我が国を対象に、石炭ガス化発電システムからCO₂の分離・回収・輸送・貯留に至る一貫したトータルシステムについて、総合的に詳細に評価することにより、今後、我が国が地球温暖化問題への対応方法を検討していく上で、重要な情報を得ることができる。

(ii) 基盤研究事業

新たな概念によるCO₂回収型次世代IGCCシステムの実現可能性を検討することによって、CO₂を回収しながら極めて高い送電端効率（42%：HHV基準）の達成が期待できる技術的シーズを発掘し、CCSに係る効率低下や高コストなど従来の課題を克服する画期的将来オプションが提供できると期待される。またアジアの多様な炭種に対する研究により、各種石炭への適応拡大も期待できる。

(5) 実用化・事業化の見通し

(i) フィジビリティ・スタディー（発電からCCSまでのトータルシステムのFS）

地球環境問題に対する関心も益々高まる状況にあり、国際的にも我が国に対するCO₂の削減要求が強まる中で、2015年頃からCCSの本格的な運用が計画されている（産構審地球環境小委員会資料（平成18年5月17日））。このような状況の中で、我が国において、石炭火力発電システムからのCCS可能性を詳細に検討することは極めて重要である。

実用化・事業化については、本プロジェクトで実施するCCSの可能性の評価結果、あるいは他のプロジェクトで実施されているCO₂分離・回収技術の進歩、事業化検討時点におけるCCSの必要性等を総合的に見極めて決定される。

(ii) 基盤研究事業

新たな概念によるCO₂回収型次世代IGCCシステムが構築できれば、CCSに伴う発電効率の低下を補償できる可能性があり、CCSの導入を円滑にできる可能性を有する。本プロジェクトで実施する基盤研究事業の成果は、ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの高度化のための技術開発につなげていく。

(6) その他特記事項

基盤研究事業については、平成20年度以降に必要な応じて新規テーマを追加することもある。

5. 総合評価

本プロジェクトは国の環境政策やエネルギー政策に沿った技術開発である。また、我が国のエネルギー供給を支える石炭の利用に際し、できる限り環境負荷を低減して効率的に利用する技術を開発するためのプロジェクトであり、NEDO事業として推進すべき重要事項である。

**<革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト>**

投稿No.6

2008/01/24 (木) 18:15

1. 本FSの成果とそのスピード感について

このコンセプトの本格商用実現は2025年頃には望まれる(と推察)、とすれば、その前の実証の運転開始は2015年頃。このFSが実証実現に資するものとなること、即ち、本FSで実証の実施場所の最適サイトの選択検討を行うこと―これが本FSの達成目標、成果となることを期待します。単なる机上のモデル開発やその比較検討では5年後(2012年度)の最終成果としては不十分と思います。世界最高効率クラスでの実証ができる適地サイトの複数箇所の選択およびそれぞれの特質比較検討を行える定量的なFSを期待します。

2. FSの全体体制について

上記業界も含め参画意欲と遂行責任のある企業・機関等に門戸広げ、産・学・官の合同プロジェクトとして、その成果を各業界にて早期に共有化・実現化できる体制が良いと思います。今、重要なのは、将来どういう事業体であれば、このコンセプトが実現できるのかであり、その実現検討に資する様なFSとなることを望みます。

3. 貯留ポテンシャル、コスト調査について

望ましくはCO₂の発生、分離・濃縮、(ここまでが上流)、輸送、貯留(下流)を同一サイトで行えるワールドのポテンシャルを選定・吟味し、諸外国に遅れを取らずに効果的な規模でのCCSを実証・事業化することが最終目的であると思います。しかし、上流と下流が同一サイトでない方が現実的かもしれません。実現に向け、国内外の具体的なサイト、関連事業者を切り口としたアプローチを是非行っていただきたいと考えます。

4. 多目的石炭ガス化製造技術、CO₂の分離・濃縮プログラムについて

酸素吹きIGCCからのCO₂が発生源モデルとなっておりますが、元々噴流床酸素吹きガス化炉はマルチフィード(石炭、残渣湯、バイオマス等)、マルチプロダクト(電力、燃料、水素、ケミカル、SNG、酸窒素)が特徴ですから、今後このガス化は石炭C1ケミストリーとして各分野への応用が期待されています。関連業界は大きな関心を持っております。発電プロジェクトとして狭義とすることなくコンビナートでの適用や企業間連携による実現を踏まえ、参加者の公募を検討いただきたい。

投稿No.5

2008/01/23 (水) 21:13

二酸化炭素の大幅な削減と資源安定供給を同時に達成するには、石炭を有効に利用していくことが必須である。天然ガスへの転換や省エネだけでは削減量に限界があるばかりでなく、安定した原料の調達が困難な事態になりかねない。このような観点から、本プロジェクトが遂行されることを大いに期待する。

個別の要素技術については、技術開発が進められているものの、全体のシステムとして十分に把握されていないことを危惧している。今回のプロジェクトでは、特に、トータルシステムでのFSに主眼が置



かれていることから、我が国の技術力を高めるのに十分に寄与すると考える。中長期のエネルギー技術戦略に則り、定量的な検討がなされることを期待したい。

投稿No.4

2008/01/23 (水) 20:27

二酸化炭素の大幅削減と資源安定供給を両立させるには、石炭を高効率で利用し、かつ発生する二酸化炭素を貯留隔離する必要がある。天然ガスへの転換や省エネなどで二酸化炭素の排出量の削減は可能であるが、Cool Earth 50 に示される大幅な削減には対応しきれない。資源安定供給を考えるならば、石炭の利用は避けて通れない。

本プロジェクトは、上記の考え方から、まさに王道を行くものであり、積極的な推進が期待される。

現在、個々の要素技術は技術開発が進んでいるものの、トータルシステムとして効率を上げるために、総合的な見地からFSが求められていると考える。

投稿No.3

2008/01/23 (水) 11:33

石炭火力から発生するCO₂の本質的削減として、発生CO₂を適地まで海上輸送し、CCSを行う本研究プロジェクトの意義は大きく、波及効果も期待される。

1点、CO₂を液化して輸送する場合、低温高圧状態となるため、貯槽・輸送船コストが高価となることが予想される。これを解決するalternativeとして、CO₂ガスハイドレートの自己保存性を活用した場合の可能性を検討することが求められる。

投稿No.2

2008/01/23 (水) 10:18

CO₂ 排出量の大幅な削減につながる具体策が強く求められるなか、「発電から CO₂ 貯留までのトータルシステムに関するフィージビリティ」を明確にすることが極めて重要であり、わが国の特殊性も加味して次のような検討を行うべきであると考え。

1. 総合FSの実施内容については、まず、

(1) ゼロエミッション化の目指すべき目標・意義の明確化を行う必要がある。

ここでは、始めに、Cool Earth 50 目標達成における石炭火力ゼロエミッション化の位置付け明確化に取り組み、世界を対象とするとともにわが国における位置付けを明確化すること、変化に対応した再検討が容易となる分析手法の確立に努める必要がある。

また、今回の分析においては、特に「石炭ガス化発電+CCS」に力点を置いて、その姿を明確にしつつ、位置付けを検討すること、さらに、石炭ガス化発電によって質の悪い石炭を利用できる利点やエネルギーセキュリティの視点も含めた検討が重要である。

加えて、Cool Earth 50 で例示されている水素還元鉄(+CCS)との相乗効果などを経済評価モデルによって評価することも面白い視点になり得るのではないかと。

次いで、このFSで得るべき成果として、目標達成への道筋の提示が是非必要で、

(2) ゼロエミッション化計画の提言・課題実現のための方策作成が課題である。

ここでは、以下の、IGCC+CCSシステムの詳細な分析と貯留層とのマッチング評価を踏まえて、

関係有識者による総合的な検討作業を継続的に実施する必要がある。

なお、検討は主に、IGCC+CCS システムを念頭に行うべきだが、必要に応じ、既存発電システム+CCSについての検討結果を加味する必要がある。

- ① IGCC+CCS トータルシステムの評価と分析
 - ①-1 ガス化発電技術 ①-2 分離回収技術 ①-3 CO₂ 輸送の選択肢
- ② 排出源と貯留層の相互関係と評価
- ③ IGCC+CCS に関わるリスク評価とガイドラインの検討および理解促進のため課題の整理

なお、繰り返しになるが、検討が多岐にわたり、かつ完成までに長期間を必要とするため、NEDO の PJ リーダを中心とし、関係者を糾合した継続的な総合検討体制が必要である。

2. 基盤研究についての目標は、「CO₂回収後の送電端効率向上」とされているが、送電端効率の検討ばかりでなく、CCSを含めた要素技術の改善が総合燃料効率の改善にどの程度貢献するか見据えた上での取り組みが必要であると考え。

諸外国での開発状況も参考にして、輸送・圧入を加えたシステム全体(下記)を検討し、取り組むべき課題を明確化していくことが必要なのではないか。

- ① ガス化技術:ガス化技術とともに、酸素分離技術も重要
- ② 回収技術:新しい分離回収材料(有機・無機)や回収システムについても研究
- ③ 輸送・貯留技術:昇圧時のエネルギーロスの低減が必要
- ④ その他

投稿No.1

2008/01/20 (日) 0:13

昨今の原油高騰により、全世界的にエネルギー価格が高騰している。一方、CO₂ 等によると思われる地球温暖化も徐々に影響が出始めている。このような環境下で、原油は、70-80 年、天然ガスもほぼ同様であるが、石炭は 130-150 年以上あるといわれている。この石炭を利活用することは必須と思われるが、依然 CO₂ 問題を今後、より具体的に、削減する必要がある。

NEDO 殿は、従来から、石炭も着目されて、CCT を始めとする技術開発を取り進めてきたが、その大部分を単一技術に注力していた。しかし、今回は、CCT と CCS を核としたシステム全体を対象としている点に幅が広くなり、評価される。一方、更に高効率化を図るため、基盤研究も平行して、研究するパッケージとなっている。是非、このようなパッケージとして、全体システムの R&D を推進していただけるようお願いしたい。但し、システム研究であり、従来型のメーカー中心で無く、国系研究所や技術/経営と人文科学系要素も加味した世界でも例の無いような革新的な長期研究体制を構築していただくことも加味いただければ、幸いです。

プロジェクトテーマ名: 革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト

2008年2月13日版

研究目的

○背景、目的、必要性

①背景: 地球温暖化問題との関連で、石炭火力発電からのCO₂排出量の削減が強く求められている。しかし、Cool Earth 50が提唱するCO₂削減目標を達成するためには、発電効率の向上のみでは達成できず、今後はCO₂の分離・回収・貯留(CCS)も視野に入れた革新的な技術開発が必要とされている。また、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)等でも、CCSが重要な技術であるとの認識が高まりつつある。

②市場ニーズ(目的):

- ・石炭火力発電からのCO₂分離・回収に、最も効率的と考えられる石炭ガス化発電システムからのCO₂排出を、ニアゼロエミッション化する可能性調査。
- ・石炭ガス化発電システムの効率やコストを大幅に向上するための技術の確立。

③技術ニーズ:

- ・CCSの有効性確認のための実施可能性調査(フィジビリティ・スタディー)
- ・CO₂を回収しながら高効率発電が可能な革新的なガス化基盤技術の確立。

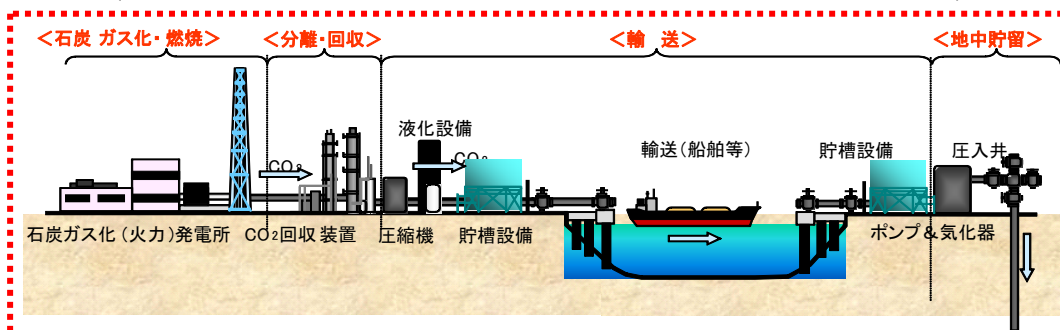
プロジェクトの規模

○事業費と研究開発期間(目安として)

- ①事業費 平成20年度 9.3億円(予定)
- ②プロジェクト期間 5年

その他関連図表

フィジビリティ・スタディー(発電からCCSまでのトータルシステムについて)



基盤技術

- ・CO₂回収型次世代IGCC技術開発
- ・炭種適用拡大技術開発等

研究内容

○プロジェクトの課題

(i) 発電からCCSまでのトータルシステムフィジビリティ・スタディー(FS)

我が国において石炭ガス化発電システムからCO₂を分離・回収し、CO₂を輸送・貯留するまでのトータルシステムの実施可能性に関する調査を行う。本調査には、石炭ガス化発電システムの概念設計、CO₂輸送システムの概念設計、CO₂の貯留ポテンシャル、コスト等の評価を含む。

(ii) 革新的ガス化技術に関する基盤研究

- ①CO₂回収後において、既存の石炭ガス化複合発電(IGCC)並みの発電効率を達成する革新的なガス化技術の可能性を探索するための基盤研究等の実施。
- ②石炭ガス化システムの効率を飛躍的に向上させる提案公募型基盤研究の実施。

○キーテクノロジー、ブレイクスルーのポイント、オリジナリティ

(i) 発電からCCSまでのトータルシステムフィジビリティ・スタディー(FS)

- ・我が国において、石炭ガス化発電システムからCO₂の分離・回収・輸送・貯留に至る一貫したトータルシステムについて、総合的に詳細に調査した事例はない。
- ・CO₂の発生源と貯留サイトのマッチングを考慮し、複数の候補サイトでの実施可能性を詳細に検討する必要がある。
- ・検討の精度を高めるため、経済性評価モデルの構築や国際標準化検討(ポテンシャル評価、リスク評価等)も重要な検討事項。

(ii) 革新的ガス化技術に関する基盤研究

- ・CO₂回収型次世代IGCC技術開発: 回収したCO₂を酸化剤の一部に用いる事で大幅な効率向上を図る実用基盤技術の開発と、アジアに賦存する多様な石炭に対する、適応の可能性検討を実施する。
- ・発電効率を大幅に改善させる革新的技術の発掘を目的とした、公募型基盤研究。

○目標値とその条件および設定理由

(i) 発電からCCSまでのトータルシステムフィジビリティ・スタディー(FS)

- ・我が国における発電とCCSに関する実施可能性調査を実施する。

(ii) 革新的ガス化技術に関する基盤研究

- ・目標値: 送電端効率向上(42%:HHV基準、CO₂回収後)の技術的目途を得る。
- ・設定根拠: 既存技術では1300℃級ガスタービンを用いたIGCCで、CO₂回収前の送電端効率が43%程度であり、CO₂回収ロスを高効率化技術で補完するため。

技術戦略マップ上の位置付け

重要技術ロードマップの「⑤化石燃料の安定供給確保とクリーン・有効利用」のCCT技術(石炭ガス化複合発電、石炭ガス化多目的利用技術等)に位置付けられている。

事前評価書(案)

		作成日	平成 20 年 2 月 13 日
1. 事業名称 (コード番号)	革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト		
2. 推進部署名	環境技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要：地球温暖化問題との関連で CO2 排出量の削減が強く求められている中で、Cool Earth 50 が提唱する「世界全体の温室効果ガス排出量を現状と比較して 2050 年までに半減する」などの CO2 削減目標を達成するためには、省エネルギーや CO2 負荷の小さいエネルギーへの転換、再生可能エネルギーの導入、原子力発電の導入等を行っても限界があり、今後は CO2 の分離・回収・貯留 (Carbon dioxide capture and storage, CCS) も視野に入れた革新的な技術開発が必要とされている。また、国内のみならず、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) や G 8、或いは EU や米国でも、CCS が重要な技術であるとの認識を強めている。</p> <p>このような状況の中、火力発電分野でも CO2 の削減が強く求められており、今後は石炭火力から発生する CO2 を分離・回収・貯留する CCS を含めたゼロエミッション型の石炭ガス化発電技術の実施可能性を検討することが必要となってきた。そこで、我が国における実施可能性を詳細に評価するために、本プロジェクトでは (i) 発電から CO2 貯留までのトータルシステムに関するフィジビリティ・スタディー (FS) を実施する。本 FS は、今後、我が国の高度なクリーン・コール・テクノロジーを海外へ展開する際にも重要な情報となる。また、CCS には多量の付加的なエネルギーが必要となることから、発電効率を可能な限り高く維持するためには、更なる効率改善も重要であり、(ii) ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上させるための基盤研究等も併せて実施する。(i) には、石炭ガス化発電システムの概念設計、CO2 輸送システムの概念設計、CO2 の貯留ポテンシャル評価、発電から CO2 に至るトータルシステムのコスト評価等を含む。(ii) については、CO2 回収後においても、既存 IGCC 並の発電効率を達成する革新的なガス化技術発掘のための基盤研究を実施する。</p> <p>(2) 事業費 平成 20 年度 9.3 億円</p> <p>(3) 事業期間： 平成 20 年度～平成 24 年度 (5 年間)</p>		

4. 評価の検討状況

(1) 事業の位置付け・必要性

石炭ガス化発電と CO2 回収・貯留 (CCS) を組み合わせたゼロエミッション石炭ガス化発電技術は、省エネ等では限界のある温室効果ガス (CO2) の削減を行うための究極的かつ革新的な対策技術として期待されている。2007 年 5 月に内閣総理大臣が世界に提唱した「世界の二酸化炭素排出量を現状から 2050 年迄に半減」の中でも、革新的技術確立の最重要事項のひとつとして位置付けられている。また、IPCC (気候変動に関する政府間パネル) の中でも、CCS 技術が中長期的には CO2 削減のための重要技術として位置づけられてきている。

このような状況の中で、発電から CO2 貯留までのトータルシステムに係る FS を実施して、我が国におけるゼロエミッション石炭ガス化発電技術の実施可能性を評価することは極めて重要で時宜を得たものあり、今後、我が国が地球温暖化問題への対応について検討していく上で、重要な情報となる。

また、CCS 技術 (CO2 の分離・回収・貯留) は多くのエネルギーを消費し、発電技術と組み合わせると発電効率を大きく低下させることから、発電効率向上のための技術開発を並行して実施することが重要であり、CO2 回収後において既存の IGCC 並の発電効率の達成に関する目処を得る為の基盤研究等を実施する。

(2) 研究開発目標の妥当性

革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクトでは、(i) 発電から CCS までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー (FS) と(ii) 革新的ガス化技術に関する基盤研究事業を実施する。

(i) 発電から CCS までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー (FS)

我が国において、石炭ガス化発電システムから CO₂ の分離・回収・輸送・貯留に至る一貫したトータルシステムの詳細設計に基づいて評価した例はなく、本プロジェクトで総合的な評価を実施する。この際には、CO₂ の発生源と貯留サイトのマッチングを考慮し、複数の候補サイトでの実施可能性を詳細に検討する必要がある。検討の精度を向上させるため、経済性評価モデルの構築や国際標準化検討（ポテンシャル評価、リスク評価等）も併せて実施する。フィジビリティ・スタディーを実施するという目標は、今後、我が国がゼロエミッション石炭ガス化発電技術の実施可能性を評価する上で貴重な情報を得ることになり、極めて妥当である。

(ii) 革新的ガス化技術に関する基盤研究事業

CCS 技術（CO₂ の分離・回収・貯留）は多くのエネルギーを消費し、発電技術と組み合わせると発電効率を大きく低下させることから、発電効率向上のための技術開発を並行して実施する必要がある。そこで、下記のように、効率向上に資するテーマ設定型、およびテーマ提案公募型の基盤研究事業を実施する。

①テーマ設定型基盤研究事業（CO₂ 回収型次世代 IGCC 技術開発）

石炭ガス化システムから回収した CO₂ を酸化剤の一部として用いることにより、石炭ガス化システムの効率を大幅に向上することのできる CO₂ 回収型次世代 IGCC システムの実用基盤技術の開発を行う。また、このシステムについて、アジアの多様な石炭に対する適応性の検討も実施する。

②テーマ提案公募型基盤研究事業

IGCC の発電効率を大幅に改善させる革新的なガス化技術の発掘を目的として、2015～2030 年頃の実用化を目指した先導的な研究開発及び、さらに革新的なブレークスルーに繋がる基盤研究テーマを公募する。

CO₂ 回収型次世代 IGCC 技術開発について、送電端効率向上（42%:HHV 基準、CO₂ 回収後）の目処を得ることを目標としているが、既存技術では 1300℃級ガスタービンを用いた IGCC で、CO₂ 回収前の送電端効率が 43%程度であり、CO₂ 回収による送電端効率のロスを高効率化技術で補完するという目標は、極めて妥当である。

(3) 研究開発マネジメント

公募を行い、適切な研究開発体制を構築する。本プロジェクトの推進にあたってはフィジビリティ・スタディーと基盤研究事業のそれぞれにプロジェクトリーダーを委嘱又は指名し、プロジェクトリーダーと協議してプロジェクト進捗管理を行う。

フィジビリティ・スタディーについては、毎年事業評価を行い、実施期間終了後に、FS 結果や報告書の内容等により評価した後、必要に応じて外部有識者による評価を受けるものとする。基盤研究事業については、プロジェクト開始 3 年目に中間評価（技術評価）を行い、その結果を踏まえて事業全体について見直しを行う。また、プロジェクトの終了の翌年に事後評価（技術評価）を行う。

(4) 研究開発成果

ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクトでは、発電から CCS までのトータルシステムの評価を行うフィジビリティ・スタディー、及び発電効率向上のための革新的なガス化技術の発掘を目的とした基盤研究事業を実施し、下記の成果が見込まれる。

(i) 発電から CCS までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー (FS)

我が国を対象に、石炭ガス化発電システムから CO₂ の分離・回収・輸送・貯留に至る一貫したトータルシステムについて、総合的に詳細に評価することにより、今後、我が国が地球温暖化問題への対応方法を検討していく上で、重要な情報を得ることができる。

(ii) 革新的ガス化技術に関する基盤研究事業

新たな概念による CO₂ 回収型次世代 IGCC システムの実現可能性を検討することによって、CO₂ を回収しながら極めて高い送電端効率（42%：HHV 基準）の達成が期待できる技術的シーズを発掘し、CCS に係る効率低下や高コストなど従来の課題を克服する画期的将来オプションが提供できると期待される。またアジアの多様な炭種に対する研究により、各種石炭への適応拡大も期待できる。

更に、テーマ提案公募型基盤研究事業により、大幅な効率改善が期待できる革新的なガス化技術の発掘も、期待される。

(5) 実用化・事業化の見通し

(i) 発電から CCS までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー (FS)

地球環境問題に対する関心も益々高まる状況にあり、国際的にも我が国に対する CO₂ の削減要求が強まる中で、2015 年頃から CCS の本格的な運用が計画されている（産構審地球環境小委員会資料（平成 18 年 5 月 17 日））。このような状況の中で、我が国において、石炭火力発電システムからの CCS 可能性を詳細に検討することは極めて重要である。

実用化・事業化については、本プロジェクトで実施する CCS の可能性の評価結果、あるいは他のプロジェクトで実施されている CO₂ 分離・回収技術の進歩、事業化検討時点における CCS の必要性等を総合的に見極めて決定される。

(ii) 革新的ガス化技術に関する基盤研究事業

新たな概念による CO₂ 回収型次世代 IGCC システムが構築できれば、CCS に伴う発電効率の低下を補償できる可能性があり、CCS の導入を円滑にできる可能性を有する。本プロジェクトで実施する基盤研究事業の成果は、ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの高度化のための技術開発につなげていく。

(6) その他特記事項

基盤研究事業については、平成 20 年度以降に必要な応じて新規テーマを追加することもある。

5. 総合評価

本プロジェクトは国の環境政策やエネルギー政策に沿った技術開発である。また、我が国のエネルギー供給を支える石炭の利用に際し、できる限り環境負荷を低減して効率的に利用する技術を開発するためのプロジェクトであり、NEDO事業として推進すべき重要事項である。

(燃料技術開発プログラム)
「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」
基本計画（案）

環境技術開発部

1. プロジェクトの目的・目標・内容

(1) プロジェクトの目的

地球温暖化問題との関連でCO₂排出量の削減が強く求められている中で、Cool Earth 50が提唱する「世界全体の温室効果ガス排出量を現状と比較して2050年までに半減する」などのCO₂削減目標を達成するためには、省エネルギーやCO₂負荷の小さいエネルギーへの転換、再生可能エネルギーの導入、原子力発電の導入等だけでは限界があり、今後はCO₂の分離・回収・貯留（Carbon dioxide capture and storage, CCS）も視野に入れた革新的な技術開発が必要とされている。また、国内のみならず気候変動に関する政府間パネル（IPCC）やG 8、或いはEUや米国でも、CCSが重要な技術であるとの認識を強めている。

このような状況の中、火力発電分野でもCO₂の削減が強く求められており、今後は石炭火力から発生するCO₂を分離・回収・貯留するCCSを含めたゼロエミッション型の石炭ガス化発電技術の実施可能性を検討することが必要となって来た。そこで、我が国における実施可能性を詳細に評価するために、本プロジェクトでは（i）発電からCO₂貯留までのトータルシステムに関するフィジビリティ・スタディー（FS）を実施する。本FSは、今後、我が国の高度なクリーン・コール・テクノロジーを海外へ展開する際にも重要な情報となる。また、CCSには多量の付加的なエネルギーが必要となることから、発電効率を可能な限り高く維持するためには、更なる効率改善も重要であり、（ii）ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上させるための基盤研究等も併せて実施する。（i）には、石炭ガス化発電システムの概念設計、CO₂輸送システムの概念設計、CO₂の貯留ポテンシャル評価、発電からCO₂に至るトータルシステムのコスト評価等を含む。（ii）については、CO₂回収後においても、既存IGCC並の発電効率を達成する革新的なガス化技術発掘のための基盤研究を実施する。

(2) プロジェクトの目標

本事業は、環境問題への対応を目的として、石炭火力から発生するCO₂を分離・回収・貯留（CCS）するゼロエミッション型の石炭ガス化発電技術の可能性を評価するためのFSを実施する。また、CCSは発電効率の大幅な低下をきたすため、その効率低下を補完するための基盤技術開発を、併せて実施することを目標とする。

なお、別紙にプロジェクト項目毎の目標を設定する。

(3) プロジェクトの内容

上記の目標を達成するために、以下のプロジェクト項目について、別紙のプロジェクト

ト計画に基づきプロジェクトを推進する。

[委託事業]

- ①発電からCO2貯留までのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー (FS)
- ②革新的ガス化技術に関する基盤研究事業

2. プロジェクトの実施方式

(1) プロジェクトの実施体制

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO技術開発機構」という）が単独ないし複数の原則本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点から国外企業との連携が必要な部分はこの限りではない。）から、公募によってプロジェクト実施者を選定し、委託により実施する。

共同で参加する各グループの有する技術ポテンシャルを最大限に活用して効率的なプロジェクトの推進を図る観点から、NEDO技術開発機構が委託先決定後に指名するプロジェクト責任者（プロジェクトリーダー）をプロジェクト項目毎に置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的なプロジェクトを実施する。

(2) プロジェクトの運営管理

プロジェクト全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、本プロジェクトの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、NEDO技術開発機構に設置する委員会及び技術検討会等、外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

3. プロジェクトの実施期間

プロジェクトの実施期間は、平成20年度から平成24年度までの5年間とする。ただし、各プロジェクト項目のプロジェクト期間はプロジェクト項目毎に設定する。

4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的および政策的観点から、プロジェクトの意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。評価方法については、以下に示すように、本プロジェクトの内容①、②について分けて行う。

- (1) ①については、業務方法書第40条及び事業評価実施規程に基づき、事業評価を実施する。
- (2) ②については、事業外部有識者によるプロジェクトの中間評価及び事後評価を実施する。

なお、個々の実施時期や方法は、プロジェクト項目毎に別紙プロジェクト計画に記載する。

5. その他の重要事項

(1) プロジェクト成果の取扱い

① 成果の普及

得られたプロジェクト成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

② 知的基盤整備事業及び標準化等との連携

得られたプロジェクトの成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報(TR)制度への提案等を積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第26条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、プロジェクト内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、産業技術政策動向、第三者の視点から評価結果、プロジェクト費の確保状況、当該プロジェクトの進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標やプロジェクト体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号イに基づき実施する。

(4) その他

②については、技術動向調査などの結果に基づき、平成21年度以降に必要な応じて新規技術開発テーマを追加することもある。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成20年3月、基本計画制定。

(別紙) プロジェクト計画

プロジェクト項目①

「発電からCCSまでのトータルシステムのフィジビリティ・スタディー (FS)」

1. プロジェクトの必要性

地球温暖化問題との関連で、CO₂排出量の削減が強く求められている中で、Cool Earth 50が提唱する「世界全体の温室効果ガス排出量を現状と比較して2050年までに半減する」などのCO₂削減目標を達成するためには、省エネルギーやCO₂負荷の小さいエネルギーへの転換、再生可能エネルギーの導入、原子力発電の導入等だけでは限界があり、今後はCO₂の分離・回収・貯留 (Carbon dioxide capture and storage, CCS) も視野に入れた革新的な技術開発が必要とされている。また、国内のみならず気候変動に関する政府間パネル (IPCC) やG 8、或いはEUや米国でもでも、CCSが重要な技術であるとの認識を強めている。

このような状況の中、火力発電分野でもCO₂の削減が強く求められており、今後は石炭火力から発生するCO₂を分離・回収・貯留するCCSを含めたゼロエミッション型の石炭ガス化発電技術の実施可能性を検討することが必要となって来た。そこで、我が国における実施可能性を詳細に評価するために、本プロジェクト項目 ①では、発電からCO₂貯留までのトータルシステムに関するフィジビリティ・スタディー (FS) を実施する。この中には、石炭ガス化発電とCO₂分離・回収システムの概念設計、CO₂輸送システムの概念設計、CO₂の貯留システムの概念設計と貯留ポテンシャル評価、発電からCO₂貯留に至るトータルシステムの評価等が含まれる。

2. プロジェクトの具体的内容

我が国において、石炭ガス化発電システムからCO₂の分離・回収・輸送・貯留に至る一貫したトータルシステムについて、システムの詳細設計に基づいて評価した例はなく、本プロジェクトでフィジビリティ・スタディー (発電からCCSまでのトータルシステムのFS) を行い、総合的な評価を実施する。この際には、CO₂の発生源と貯留サイトのマッチングを考慮し、複数の候補サイトでの実施可能性を詳細に検討する必要がある。検討の精度を向上させるため、各要素技術の概念設計、経済性評価モデルの構築や国際標準化検討 (ポテンシャル評価、リスク評価等) も併せて実施する。

(1) 石炭ガス化発電とCO₂分離・回収システムの概念設計

CO₂発生源である石炭ガス化発電とそれにCO₂分離・回収設備を付加したシステムの概念設計を行い、それらを組み合わせた最適システムの検討を行う。石炭ガス化技術として、CO₂の分離・回収が比較的容易である酸素吹きガス化法 (酸素吹き石炭ガス化複合発電) を対象とし、実証規模設備と商用規模設備について概念設計を実施する。

(2) CO₂輸送システムの概念設計

石炭ガス化発電所から距離が離れた滞水層にCO₂を貯留する際には、船舶やパイプラインによるCO₂の輸送が必要となる。そこで、地質構造が小さく複雑なためにCO₂の発生源近傍における貯留ポテンシャルに多くを期待できず、また、CO₂の発生源と貯留候補地が離れ、地形が急峻で人口密度が高く、地質構造が複雑であり、地震の多発国

でもであるという我が国の地理的・地質的特性に適したCO₂輸送システムの検討が必要であり、これらを考慮した設備及び輸送システム全体の概念設計を行う。

(3) CO₂の貯留システムの概念設計と貯留ポテンシャル評価

回収されたCO₂は、長期に亘って安全に地下に貯留する必要がある。このため、貯留候補地と考えられるサイトについて、貯留ポテンシャル調査を行い、貯留の可能性を明確化するとともに、貯留システムの概念設計や貯留システムの経済性評価等の調査を行う。

(4) 全体システム評価（発電からCO₂貯留に至るトータルシステムの評価）

我が国の石炭火力発電所は全国に広く分散しており、今後それらの発電所が老朽化した際には、最新の石炭ガス化発電設備が導入されていく可能性は高い。また、CO₂の貯留候補地も全国に分散しており、CO₂発生源と貯留地を連関させて系統的な検討を行う必要がある。また、それらの結果に基づきエネルギー需給への影響を評価することも重要となる。さらに、上記の検討を実施する際には、地中貯留ポテンシャル評価方法の標準化検討等も重要であることから、以下の検討を進める。

① 経済性評価モデルの構築と評価

CO₂を分離・回収し、CO₂を輸送・貯留・モニタリングするまでのトータルシステムの経済性評価のためのモデルを構築すると共に、そのモデルを使って発電からCO₂貯留に至るトータルシステムの実施可能性に関する評価を行う。

② エネルギー需給影響評価モデルの構築と評価

①の結果を踏まえ、革新的ゼロエミッション石炭火力発電システムの導入・普及が、我が国のエネルギー需給構造に及ぼす影響を分析するためのモデルやCO₂排出削減への貢献を分析するためのモデルを構築し、そのモデルを使った影響評価を行う。

③国際標準化の検討

革新的ゼロエミッション石炭火力発電システムを普及させるためには、地中貯留ポテンシャルや地中貯留に係るリスクを正しく評価する指標が必要となる。そこで、これらの国際標準化に資する可能性を有する事項について、国際標準化の可能性検討を行う。

3. 達成目標

プロジェクト目標を下記のように設定する。

最終目標：平成24年度

目標値：発電からCCSに至るトータルシステムの実施可能性を評価する

4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、業務方法書第40条及び事業評価実施規程に基づき、事業評価を毎年実施すると共に、実施期間終了後に技術的および政策的観点から、プロジェクトの意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、FS結果や報告書の内容等により評価した後、必要に応じて外部有識者による評価を受けるものとする。

以上

プロジェクト項目②「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」

1. プロジェクトの必要性

地球温暖化問題との関連で、CO₂排出量の削減が強く求められている中で、Cool Earth 50が提唱する「世界全体の温室効果ガス排出量を現状と比較して2050年までに半減する」などのCO₂削減目標を達成するためには、省エネルギーやCO₂負荷の小さいエネルギーへの転換、再生可能エネルギーの導入、原子力発電の導入等だけでは限界があり、今後はCO₂の分離・回収・貯留（Carbon dioxide capture and storage, CCS）も視野に入れた革新的な技術開発が必要とされている。また、国内のみならず気候変動に関する政府間パネル（IPCC）やG 8、或いはEUや米国でも、CCSが重要な技術であるとの認識を強めている。

このような状況の中、火力発電分野でもCO₂の削減が強く求められており、今後は石炭火力から発生するCO₂を分離・回収・貯留するCCSを含めたゼロエミッション型の石炭ガス化発電技術の実施可能性を検討することが必要となって来た。しかし、火力発電にCCS技術を適用すると多量の付加的なエネルギーが必要となることから、貴重な炭化水素資源を有効に活用する観点から、石炭ガス化システムやCO₂分離・回収技術の更なる高効率化が必要である。そこで、本プロジェクト項目②として、ゼロエミッション石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上させるための基盤研究を実施する。

2. プロジェクトの具体的内容

CCS技術（CO₂の分離・回収・貯留）は多量の付加的なエネルギーを消費し、発電技術と組み合わせると発電効率を大きく低下させることから、可能な限り発電効率を高く維持するための技術開発を推進する必要がある。そこで、下記のように、効率向上に資するテーマ設定型、およびテーマ提案公募型の基盤研究事業を実施する。

①テーマ設定型基盤研究事業（CO₂回収型次世代IGCC技術開発）

石炭ガス化システムから回収したCO₂を酸化剤の一部として用いることにより、石炭ガス化システムの効率を大幅に向上することのできるCO₂回収型次世代IGCCシステムの実用基盤技術の開発を行う。また、このシステムについて、アジアの多様な石炭に対する適応性の検討も実施する。

②テーマ提案公募型基盤研究事業

IGCCの発電効率を大幅に改善させる革新的なガス化技術の発掘を目的として、2015～2030年頃の実用化を目指した先導的な研究開発及び、さらに革新的なブレークスルーに繋がる基盤研究テーマを公募する。

3. 達成目標

①のプロジェクト目標は、下記のように設定する。

[最終目標（平成24年度）]

- ・目標値：性状の異なるアジアの3種類以上の石炭を用い、CO₂回収後において、送電端効率42%（HHV基準）を実現させる基盤技術の確立。

- ・ 設定根拠： 既存技術では1300℃級ガスタービンを用いたIGCCで、CO2回収前の送電端効率が43%程度であり、CO2回収ロスを高効率化技術で補完するため。

[中間目標（平成22年度）]

送電端効率向上（42%:HHV基準、CO2回収後）のための主要構成技術の目処を得る。

- ②のテーマ提案公募型基盤研究事業のプロジェクト目標、実施内容の詳細については、採択テーマ決定後にNEDO技術開発機構と委託者の間で協議の上、別途「研究開発テーマ一覧」に定めることとする。

4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的および政策的観点から、プロジェクトの意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者によるプロジェクトの中間評価及び事後評価を実施する。なお、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該プロジェクトに係る技術動向、政策動向や当該プロジェクトの進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

以上

特許論文等リスト

本プロジェクトにおける特許出願・論文投稿等のリストを表-1 に示す。

表-1 「CO2 回収型次世代 IGCC 技術開発」の特許出願、論文投稿件数

	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	合計
研究発表	8 件	33 件	29 件	46 件	49 件	29 件	10 件	204 件
論文投稿	3 件	15 件	11 件	15 件	12 件	16 件	9 件	76 件
研究報告書*等	1 件	1 件	1 件	2 件	2 件	2 件	1 件	10 件
特許	0 件	1 件	1 件	1 件	1 件	0 件	0 件	4 件

* 本研究開発の中間年報

「CO2 回収型次世代 IGCC 技術開発」においては、九州大学と電中研が連携して研究発表 204 件(電中研 66 件、九大 116 件、京大 19 件、群大 3 件)、論文 76 件(電中研 11 件、九大 65 件)、と積極的に情報発信を行い、外部有識者の認知を得るべく活動した。この中で、中間評価における指摘を考慮して「若手研究者を登用し、その対外発表の機会を創出」するとともに、得られた成果を技術検討委員会や関連研究者間のミーティングなどの機会を通じて共有化し、プロジェクト全体の底上げに努めた。この他に、電力各社に対しても様々な機会を活用して成果を発信したが、非公開のものを含むため、一覧には記載しない。

O₂/CO₂ 吹き石炭ガス化の原理に関する基本特許は、本事業が始まる前に既に出願済(国内 11 件、国際 1 件)であったが、本事業の中で開発した乾式ガス精製の炭素析出抑制技術に関連し 4 件の特許を出願した。

次頁以降に、その詳細を示す。

(1) 研究発表

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	細貝 聡, 木塚崇博, 則永行庸, 林潤一郎	九州大学	褐炭迅速熱分解により生成した揮発成分のチャー粒子表面における接触分解特性	第17回日本エネルギー学会大会, 東京 (2008)	2008/8/4
2	Sou Hosokai, Masaki Nakano, Mikio Ohshita, Koyo Norinaga, Jun-ichiro Hayashi	九州大学	Decomposition of refractory aromatics over char and charcoal	1st Asian Conference on Innovative Energy & Environmental Chemical Engineering, Sapporo (2008)	2008/9/1
3	佐藤良多, 則永行庸, 林潤一郎	九州大学	詳細な化学を考慮したタールモデル化合物の水蒸気改質反応速度モデリング	化学工学会第40秋季大会, 仙台 (2008)	2008/9/28
4	三枝直路, 則永行庸, 林潤一郎	九州大学	炭化水素熱分解における多環芳香族化合物の生成機構	化学工学会第40秋季大会, 仙台 (2008)	2008/9/28
5	松原徹, 細貝聡, 松岡浩一, 則永行庸, 林潤一郎	九州大学	石炭熱分解タールのチャー表面におけるin-situ改質	化学工学会第74年会, 横浜 (2009)	2009/3/18
6	佐藤良多, 則永行庸, 林潤一郎	九州大学	低級アルカン熱分解反応シミュレーションに及ぼす流体・伝熱モデルの影響	化学工学会第74年会, 横浜 (2009)	2009/3/18
7	前田 裕二, 松隈 洋介, 井上 元, 峯元 雅樹	九州大学	石炭ガス化装置内の燃焼灰の挙動解析	化学工学会 第74年会(横浜)	2009/3/18
8	九州大学 佐々木久郎, 菅井裕一, Li Zhigang, Zhang Xiaoming, Wang Jiren	九州大学	TG-DTA Measurements of Coal using Gas Flow Containing High Concentration of CO2	平成21年度 資源・素材学会春季大会	2009/3/28
9	Anggoro Tri MURSILO, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Product Characterization of Raw Peat and Low Quality Coal Treated by Alkaline Hydrothermal: A Novel Method of CO2 Capturing and Hydrogen Generation	2nd International Symposium of Novel Carbon Resource Science, Earth Resource Science and Technology	2009/5
10	Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA	九州大学	Upgrading of Low Rank Coal and Woody Biomass by Hydrothermal Treatment	2nd International Symposium of Novel Carbon Resource Science, Earth Resource Science and Technology	2009/5
11	前田 裕二	九州大学	IGCCにおけるCO2除去・回収およびガス化炉内の灰の挙動の数値的検討	第46回化学関連支部合同九州大会	2009/7/11
12	前田 裕二	九州大学	IGCCにおけるCO2除去・回収およびガス化炉内	第20回九州地区若手ケミカルエンジニア討論会	2009/7/24
13	Toru Matsuhara, Sou Hosokai, Koyo Norinaga, Koich Matsuoka, Chun-Zhu Li and Jun-ichiro Hayashi	九州大学	In-situ decomposition of tar from rapid pyrolysis of coal in a sequence of coking over char and coke gasification with steam	10th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, Tsukuba (2009)	2009/7/26
14	Koyo Norinaga, Naomichi Saegusa, Olaf Deutschmann and Junichiro Hayashi	九州大学	A precise chemical kinetic model for thermal reactions of lower hydrocarbons	10th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, Tsukuba (2009)	2009/7/26
15	野中 壯泰, 平島 剛, 笹木 圭子	九州大学	水熱処理による低品位炭とバイオマスの高品質化	資源・素材学会秋季大会	2009/9/10
16	Anggoro Tri MURSILO, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Solid Product Characterization of Tropical and Cold Climate Peat Produced by Hydrothermal Treatment	資源・素材学会秋季大会	2009/9/10
17	佐々木久郎, 菅井裕一, Li Zhigang, Zhang Xiaoming, Wang Jiren	九州大学	CO2による石炭ガス化挙動と発熱特性	平成21年度 資源・素材学会秋季大会(札幌市)	2009/9/10
18	Jun-ichiro Hayashi	九州大学	Next Generation Coal Gasification: A Consideration from a Thermochemical Point of View	日本学術振興会・中国科学院30周年記念シンポジウム, 東京 (2009)	2009/9/16
19	細貝 聡, 畠山 朋, 則永行庸, 林潤一郎	九州大学	石炭迅速熱分解生成物の気相部分酸化およびCO2改質反応特性	化学工学会第41秋季大会, 広島(2009)	2009/9/17
20	Masek Ondrej, 細貝 聡, 則永行庸, Chunzhu Li, 林潤一郎	九州大学	NaおよびCaをイオン交換担持した褐炭の水蒸気存在下における迅速熱分解特性	化学工学会第41秋季大会, 広島(2009)	2009/9/17
21	Moriyasu Nonaka, Tsuyoshi Hirajima and Keiko Sasaki	九州大学	Upgrading and gasification of low rank coal and woody biomass	3rd International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences	2009/11
22	Anggoro Tri Mursito, Tsuyoshi Hirajima and Keiko Sasaki	九州大学	Characteristics of hydrothermally-upgraded peat and its application for fuel based combustion	10th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology	2009/11

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
23	Alam Md. Saiful, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai, Koyo Norinaga and Jun-ichiro Hayashi	九州大学	Sensitivity Analysis of Primary Reactions of Coal Volatiles in a Plug Flow Reactor	The Third International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences	2009/11/2-3
24	M.F. Irfan and K. Kusakabe	福岡女子大学	Pulverized Coal Pyrolysis and Gasification in N ₂ /O ₂ /CO ₂ / Mixtures by Thermogravimetric Analysis	3rd International Symposium on Novel Carbon Resources	2009/11/2-3
25	M.F. Irfan and K. Kusakabe	福岡女子大学	Reaction Kinetics of Coal Gasification with the N ₂ /O ₂ /CO ₂ Mixture	2009 AIChE Annual Meeting	2009/11/8-13
26	M.F. Irfan and K. Kusakabe	福岡女子大学	Thermogravimetric Characterization of Datong Coal for O ₂ /CO ₂ Gasification	第46回石炭科学会議	2009/11/26-27
27	Moriyasu Nonaka, Tsuyoshi Hirajima and Keiko Sasaki	九州大学	Washability study and gasification reactivity of coal	International Symposium on Earth Science and Technology	2009/12
28	Li Zhigang, 佐々木久郎, 菅井裕一, Zhang Xiaoming, Wang Jiren	九州大学	Experimental Study on Combustion, Gasification and Adsorption of Coal in CO ₂ Rich Atmosphere	International Symposium on Earth Science and Technology 2009	2009/12/8
29	Agung Tri Wijayanta, Alam Md. Saiful, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	Soot Formation on Primary Reactions of Coal Volatiles in a Plug Flow Reactor	The fourth International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences	2009/12/12-13
30	Alam Md. Saiful, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	EFFECT OF CO ₂ ATMOSPHERE ON SOOT FORMATION DURING COAL VOLATILES COMBUSTION	化学工学会 第75年会	2010/3/18-20
31	Li Zhigang, 佐々木久郎, 菅井裕一, Zhang Xiaoming, Wang Jiren	九州大学	Preliminary Measurements of Combustion and Gasification of Coal for Rapid Heating (急速加熱による石炭粉の燃焼およびガス化に関する試験的測定)	平成22年度 資源・素材学会春季大会	2010/3/30
32	野中 壮泰, 平島 剛, 笹木 圭子	九州大学	低品質炭素資源の前処理とガス化性	資源・素材学会春季大会	2010/4/1
33	Tsuyoshi HIRAJIMA	九州大学	Upgrading Low-Grade Coal to Reduce the Environmental Load	4th International Workshop and Conference on Earth Resources Technology	2010/5
34	松隈 洋介, 前田 裕二, 井上 元, 峯元 雅樹	九州大学	格子ボルツマン法によるIGCC ガス化炉下部からの溶融スラグ挙動の検討	日本混相流学会 年会講演会2010	2010/7/17
35	前田 裕二, 松隈 洋介, 峯元 雅樹, 井上 元	九州大学	石炭ガス化炉における溶融灰の流動解析	化学工学会第42回秋季大会	2010/9/7
36	野中 壮泰, 平島 剛, 笹木 圭子	九州大学	石炭のガス化性に及ぼすマセラルの影響	資源・素材学会秋季大会	2010/9/15
37	松下洋介	九州大学	微粉炭燃焼において生成ガスが酸化剤の物質移動に及ぼす影響の数値解析	第47回石炭科学会議	2010/9/22
38	Xiangchao Lin, Jin Miyawaki, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	²⁹ Si and ²⁷ Al solid-state NMR analyses of structure transition behaviors of minerals in coal ash	The 6th International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences	2010/11/12
39	Alam Md. SAIFUL, Agung Tri WIJAYANTA, Koichi NAKASO, Jun FUKAI	九州大学	GASIFICATION REACTION RATE ANALYSIS OF O ₂ /CO ₂ COAL COMBUSTION	The Sixth International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences	2010/11/12-13
40	松下洋介	九州大学	Investigation of Air and Oxygen Combustion Kinetics of Pulverized Coal	The Sixth International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences: Aiming toward low-carbon Society	2010/11/12-13
41	松下洋介	九州大学	噴流床ガス化炉の数値解析	化学工学会九州支部アドバンスト講習会「低炭素社会の実現に向けた戦略と課題」	2010/11/15
42	Xiongchao Lin, Jin Miyawaki, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	Study on the structure transition and fluidity properties of several coal ashes	8th Japan-China-Korea Joint symposium - Carbon Materials for Energy Devices & Environmental Protection- Carbon Saves the Earth 2010 (CSE2010)	2010/11/25
43	Anggoro Tri MURSIITO, Tsuyoshi HIRAJIMA	九州大学	Effects of Hydrothermal Upgrading of Tropical Peat on the Improvement of Devolatilization and Combustion Characteristics of Peat Fuel Products	Second International Symposium on Gasification and Its Application (ISGA2010)	2010/12
44	Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Effect of Gravity Separation on CO ₂ Gasification	Second International Symposium on Gasification and Its Application (ISGA2010)	2010/12

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
45	Shuhei OKABE, Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA, Satoshi KUMAGAI, Keiko SASAKI	九州大学	Characteristic of Low Rank Coal Upgraded by Hydrothermal Treatment	International Symposium on Earth Science and Technology 2010	2010/12
46	Daisuke Imajyo, Yuji Maeda, Yosuke Matsukuma, Masaki Minemoto, Gen Inoue	九州大学	Basic study on the behavior of molten slag discharging from the IGCC gasifier	The 23rd International Symposium on Chemical Engineering	2010/12/4
47	櫻井 靖紘	九州大学	Conversion of Nascent Volatiles from the Flash Pyrolysis of Coal in the Presence of CO ₂ at Elevated Temperature	The 23rd International Symposium on Chemical Engineering	2010/12/4-5
48	櫻井 靖紘	九州大学	Conversion of Nascent Volatiles from the Flash Pyrolysis of Coal in the Presence of CO ₂ at Elevated Temperature	The 23rd International Symposium on Chemical Engineering	2010/12/4-5
49	Alam Md. SAIFUL, Agung Tri WIJAYANTA, Koichi NAKASO and Jun FUKAI	九州大学	NUMERICAL PREDICTIONS OF SYNGAS FROM MILD COMBUSTION OF PULVERIZED COAL	Second International Symposium on Gasification and Its Application (iSGA 2010)	2010/12/5-8
50	Li Zhigang, 佐々木久郎, 菅井裕一 Zhang Xiaoming, Wang Jiren	九州大学	Flue Gas Analysis of Low-temperature Oxidation of Coal Sample for Low O ₂ Concentration in a Mixture of N ₂ /CO ₂ and Circulated Gas by Rapid Heating	International Conference on Earth Science and Technology	2010/12/8
51	Alam Md. SAIFUL, Agung Tri WIJAYANTA, Koichi NAKASO and Jun FUKAI	九州大学	NUMERICAL INVESTIGATION OF PARTICLE PROPERTIES ON COAL GASIFICATION UNDER CO ₂ ATMOSPHERE	Conference on Engineering Research, Innovation and Education 2011	2011/1/7-11
52	Hiroyuki Kono, Kyuro Sasaki, Yuichi Sugai, Takashi Takahashi, Daisuke Ito and Takashi Okabe	九州大学	Oil Drainage for EOR by CO ₂ Gas Diffusion and Dissolution into Heavy Oil	World Heavy Oil Congress 2011 (WHOC2011)	2011/3/16
53	Alam Md. SAIFUL, Agung Tri WIJAYANTA, Koichi NAKASO and Jun FUKAI	九州大学	COAL PARTICLE BEHAVIORS IN THE REACTOR DURING PULVERIZED COAL COMBUSTION IN CO ₂ /O ₂ MIXTURES	化学工学会 第76年会	2011/3/22-24
54	櫻井 靖紘	九州大学	石炭迅速熱分解生成物のCO ₂ 雰囲気における高温転換特性	化学工学会 第76年会	2011/3/22-24
55	Zhigang Li, Xiaoming Zhang, Yuichi Sugai, Jiren Wang, Kyuro Sasaki	九州大学	Gasification and Combustion Characteristics of Datong Coal in a Mixture of O ₂ /CO ₂ and Recycled Flue Gas by Rapid Heating	2011 International Conference on Future Environment and Energy (ICFEE2011)	2011/3/26
56	野中 壯泰、平島 剛、 笹木 圭子	九州大学	石炭前処理のCO ₂ ガス化への影響	資源・素材学会春季大会	震災のため開催中止
57	Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Pretreatment of Low Rank Coal for CO ₂ Gasification	5th International workshop and Conference on Earth Resources Technology	2011/5
58	Md. Saiful Alam, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	Syngas Production from Coal Gasification with CO ₂ Rich Gas Mixtures	The 7th international symposium on coal combustion	2011/7/17-20
59	松隈洋介, 前田裕二, 今城大輔, 井上 元, 峯元雅樹	九州大学	IGCC ガス化炉下部での熔融スラグの流動様式の数値計	日本混相流学会 年会講演会 2011	2011/8/6-8
60	K. Sasaki, Ferian Angara, Y. Sugai	九州大学	Coal-Matrix Swelling by CO ₂ Adsorption and a Model of Permeability Reduction	2011 World Mining Congress	2011/9/16
61	野中 壯泰、平島 剛、 笹木 圭子	九州大学	CO ₂ ガス化のための低品位炭前処理技術	資源素材学会秋季大会	2011/9/29
62	佐々木 久郎, 菅井 裕一	九州大学	石炭の自然発火—水分の多い低炭化度炭の等価酸化時間概念について—	平成23年度資源・素材学会秋季大会	2011/9/29
63	K. Norinaga, R. Sato, J.-i. Hayashi	九州大学	Prediction of steam reforming of the simulated coke oven gas with a detailed chemical kinetic model.	International Conference on Coal Science and Technology 2011	2011/10/9-13
64	Yohsuke Matsushita, Nozomi Wada	九州大学	Characteristics of Mass Transfer of Oxidant with Partial Oxidation Reaction in O ₂ /CO ₂ system	Proceedings of the International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	2011/11/8-10

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
65	Shuji YAMAMOTO, Yasuhiro SAKURAI, Shinji KUDO, Koyo NORINAGA, Jun-ichiro HAYASHI	九州大学	Fates of Mono- and Di-aromatics in High-temperature Atmosphere Containing CO, CO ₂ , H ₂ and H ₂ O	Proceedings of the International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	2011/11/8-10
66	Hiroaki WATANABE, Koyo NORINAGA	九州大学	Large-eddy simulation of a reacting flow of coal gas reforming	Proceedings of the International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	2011/11/8-10
67	Xiongchao Lin, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Hiromichi Takebe, Seong-Ho Yoon* and Isao Mochida	九州大学	Effects of fluxing agent addition on structural transition and flow behavior of coal ashes	7th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells (CCT&FCs-2011)	2011/11/9
68	櫻井 靖紘	九州大学	Conversion of Nascent Char and Volatiles from the Flash Pyrolysis of a Bituminous Coal in CO ₂ -Containing Atmosphere at Elevated Temperature	The Sixth International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences: Aiming toward low-carbon Society	2011/11/12-13
69	Xiongchao Lin, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Seong-Ho Yoon, Isao Mochida	九州大学	Investigation of effects of fluxing agent addition on structural transition of coal ashes by solid-state NMR	The International Symposium on Nuclear Magnetic Resonance 2011 (ISNMR2011)	2011/11/16
70	Shuji YAMAMOTO, Yasuhiro SAKURAI, Shinji KUDO, Koyo NORINAGA, Jun-ichiro HAYASHI	九州大学	Conversion of Refractory Aromatics in CO-CO ₂ -H ₂ -H ₂ O Atmosphere over 1100 ° C	The 24th International Symposium on Chemical Engineering	2011/12/2-4
71	井上 英樹, 今城 太輔, 松隈 洋介, 峯元 雅樹	九州大学	IGCCガス化炉での溶融スラグ挙動の数値解析	化学工学会第77年会	2012/3/15-17
72	齋 瑜, 藤岡 祐一, 小林 誠	福岡女子大学	Effect of H ₂ S on carbon deposition of iron oxide in O ₂ /CO ₂ coal gasification gas	化学工学会 第78年会 (大阪, 2013)	2012/3/19
73	野中壯泰, 平島 剛, 笹木圭子	九州大学	低品位炭前処理による性状変化	資源・素材学会春季大会	2012/3/26
74	中川 皓介, 上田 康, 武部 博倫	愛媛大学	酸化物スラグ融体の高温粘度評価測定	資源・素材学会平成24年度(2012年)春季大会	2012/3/27
75	森安 諒, 斎藤 全, 武部 博倫	愛媛大学	酸化物スラグ融体と白金の界面反応	資源・素材学会平成24年度(2012年)春季大会	2012/3/27
76	福井 智也, 上田 康, 武部 博倫	愛媛大学	ホットサーモカップル法によるスラグ及びマットの溶融挙動の評価	資源・素材学会平成24年度(2012年)春季大会	2012/3/27
77	Koichiro Hata, Hyun-Sig Kil, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	Porosity and surface evaluations of carbon materials using 129Xe-NMR method	The annual world conference on carbon (Carbon2012)	2012/6/19
78	Koichiro Hata, Yuzo Ohata, Keiko Ideta, Shigemi Toda, Ryusuke Harada, Jin Miyawaki, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	NMR analysis of surface functionalities on carbon blacks	Carbon2012, The Annual World Conference on Carbon	2012/6/20
79	Zhigang Li, Xiaoming Zhang, Yuichi Sugai, Jiren Wang and Kyuro Sasaki	九州大学	Properties and Developments of Combustion and Gasification of Coal and Char in a CO ₂ -Rich and Recycled Flue Gases Atmosphere by Rapid Heating	Journal of Combustion	2012/7/1
80	則永行庸	九州大学	「炭化水素熱化学反応の詳細化学反応速度モデル」	日本学術振興会, 石炭利用技術第148委員会第148号	2012/8/2
81	山本 修司, 櫻井 靖紘, 工藤 真二, 則永 行庸, 林 潤一郎	九州大学	O ₂ /CO ₂ ガス化炉内模擬ガス雰囲気における芳香族化合物の転換特性	第21回日本エネルギー学会大会, 2012.08.07	2012/8/7
82	Tsuyoshi HIRAJIMA	九州大学	Upgrading of Low Rank Coal and Biomass Aimed at Reducing Environmental Load	International Symposium on earth Science and Technology 2012 (CINEST2012)	2012/9/1
83	Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Satoshi KUMAGAI, Keiko SASAKI	九州大学	Upgrading and Drying of Lignite by Super- and Sub- Critical Fluids	International Symposium on earth Science and Technology 2012 (CINEST2012)	2012/9/1
84	Koichiro Hata, Yuzo Ohata, Keiko Ideta, Shigemi Toda, Ryusuke Harada, Jin Miyawaki, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	Solid-state NMR analysis of carbon blacks with different surface functionalities using water as a surface probe	2nd KIER-Kyushu U. Joint Symposium on Green System and Materials	2012/9/11

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
85	野中壯泰・平島剛・熊谷聡・笹木圭子	九州大学	亜臨界・超臨界流体による低品位炭の改質および乾燥	資源素材学会秋季大会	2012/9/11
86	佐々木久郎, 李 治剛, 菅井裕一, 張曉明	九州大学	高圧・高濃度CO ₂ 雰囲気における石炭の急速加熱によるガス化	成24年度資源・素材学会秋季大会	2012/9/11
87	李 治剛, 張曉明, 菅井裕一, 王繼仁, 佐々木久郎	九州大学	Coal Gasification in High Pressure and High CO ₂ Concentration Atmosphere by Rapid Heating	International Symposium on Earth Science and Technology 2012	2012/9/19
88	松隈 洋介, 糸賀 亮介, 峯元 雅樹	九州大学	多孔体への液滴浸潤過程の数値計算	化学工学会 第44回秋季大会 講演論文集	2012/9/19
89	Md. Saiful Alam, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	Numerical study of devolatilization effect on CO/H ₂ production from coal gasification	化学工学会 第44回秋季大会	2012/9/20
90	井生大地, 杉康太郎, 松隈洋介, 峯元雅樹	九州大学	アルカリ液濃縮によるCO ₂ 吸収・放散システムの可能性検討	化学工学会 第44回秋季大会 講演論文集	2012/9/20
91	齋 瑜、藤岡 祐一、小林 誠	福岡女子大学	Carbon deposition border in the desulfurization process in IGCC	化学工学会 第44回秋季大会(東北大学, 2012)	2012/9/20
92	宮崎雄介, 松隈洋介, 峯元雅樹	九州大学	鉄系吸着剤を用いた乾式脱硫システムの脱硫性能検討	化学工学会 第44回秋季大会 講演論文集	2012/9/21
93	K. Norinaga, R. Tanaka, S. Kudo, J. Hayashi, H. Watanabe, V. J. Janardhanan	九州大学	Modeling of Reaction Flow in a Reformer for Non-catalytic Partial Oxidation of Hot Coke Oven Gas	Proc. 62nd Canadian Chemical Engineering Conference Incorporating the 3rd International Symposium on Gasification and its Applications	2012/10/15
94	櫻井 靖紘, 山本 修司, 工藤 真二, 則永 行庸, 林 潤一郎	九州大学	石炭ガス化炉模擬雰囲気における芳香族化合物の転換反応機構	第49回石炭科学会議.2012.10.24	2012/10/24
95	岩永 圭太, 工藤 真二, 則永 行庸, 林 潤一郎, 古屋 謙治	九州大学	石炭ガス化で生成するタール構成分子リアルタイム計測へのイオン付着イオン化質量分析法の適用	第49回石炭科学会議.2012.10.24	2012/10/24
96	Md. Saiful Alam, Kazi Bayzid, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai, Sankar Bhattacharya	九州大学	Investigation of brown coal char-CO ₂ gasification in a laboratory scale drop tube furnace	2012 American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Annual Meeting (Paper No.: 128a)	2012/10/29
97	Yasuhiro Sakurai, Shuji Yamamoto, Kudo Shinji, Koyo Norinaga, Hayashi Jun-ichiro	九州大学	Conversion of Refractory Aromatics in Simulated Gaseous Atmosphere of Two-Stage Entrained-Flow Coal Gasifier	The 9th International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences	2012/11/3
98	Yu Yu, Yuichi Fujioka,	福岡女子大学	Effect of CO ₂ addition on retarding the carbon deposition of synthesis gas containing high CO for α -Fe ₂ O ₃ sorbents in O ₂ -blown coal gasification	9th Intl. Symp. of Novel Carbon Res. Scie., P50	2012/11/3
99	Yosuke Matsukuma, Ryuhei Itoh, Masaki Minemoto	九州大学	Numerical simulations of porous structure by Lattice Boltzmann method	Proceedings of International Workshop on Process Intensification in Fluid and Particle Engineering 2012	2012/11/8
100	Yong Jiang, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Seong-Ho Yoon, Isao Mochida	九州大学	Evolution of Si-Al microstructure of two representative coal ash slags with similar chemical compositions during heat treatment	10th China-Japan-Korea Joint Symposium on Carbon Materials to Save the Earth (CSE2012)	2012/11/24
101	Keita Iwanaga, KENJI FURUYA, Kudo Shinji, Hayashi Jun-ichiro, Koyo Norinaga	九州大学	Application of ion attachment mass spectroscopy for real time monitoring of tarry component included in producer gas from biomass/coal gasification	The 25th International Symposium on Chemical Engineering	2012/12/5
102	島袋 広人, 高曾 徹	九州大学	一様流中で振動する球からの物質移動の可視化	第10回日本流体力学会 中四国・九州支部講演会	2012/12/9
103	松隈洋介, 井上元, 峯元雅樹	九州大学	溶融スラッグの流下状態に粘度が及ぼす影響の数値的検討	第62回理論応用力学講演会	2013/3/6
104	島袋 広人, 高曾 徹	九州大学	流れの中で振動する球まわり流れと物質移動のシュリーレン法による可視化	日本機械学会 九州支部 第66期総会・講演会	2013/3/13
105	野中壯泰・平島剛・笹木圭子	九州大学	高水分褐炭の改質に伴う性状変化	資源・素材学会春季大会	2013/3/29
106	Koichiro Hata, Yuzo Ohata, Keiko Ideta, Shigemi Toda, Ryusuke Harada, Jin Miyawaki, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	Elucidation of surface properties of carbon blacks by solid-state NMR using water molecule as a surface probe	The Annual World Conference on Carbon (Carbon 2013)	2013/7/15

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
107	Koichiro Hata, Keiko Ideta, Ryohei Miyamae, Yuzo Ohata, Hyunsig Kil, Shigemi Toda, Ryusuke Harada, Jin Miyawaki, Isao Mochida, and Seong-Ho Yoon	九州大学	NMR analysis of water adsorption behavior in carbon micropores	The Annual World Conference on Carbon (Carbon 2013)	2013/7/15
108	武部 博倫、福井 智也、森安 諒	愛媛大学	マグネシウム-クロム質耐火物の微細組織とスラグ融体の界面反応	平成25年度資源・素材関係学協会合同秋季大会	2013/9/5
109	Koyo Norinaga	九州大学	Detailed chemical kinetic modeling toward better understanding of complex reactions of multi-component mixtures derived from carbon resources	The 63rd Canadian Chemical Engineering Conference (Frontier in Chemical Engineering Lecture Series, Application of Clean Coal Technology)	2013/10/23
110	田中亮太, 則永行庸, 工藤真二, 林潤一郎, 渡邊裕章	九州大学	詳細反応速度モデル簡略化による石炭乾留ガス部分酸化改質炉内の反応性乱流解析	第50回石炭科学会議	2013/10/28-31
111	Koichiro Hata, Yuzo Ohata, Keiko Ideta, Shigemi Toda, Ryusuke Harada, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon, Jin Miyawaki	九州大学	Elucidation of surface properties of carbon blacks by solid-state NMR using water molecule as a surface probe	The 11th Japan-China-Korea Joint Symposium on Carbon Saves the Earth (CSE2013) & The 3rd KU-KIER Joint Symposium on Green Energy Processes and Materials	2013/11/11
112	Hisahiro Einaga, Narihiro Urahama, and Yasutake Teraoka	九州大学	Effect of Fe addition on catalytic properties of TiO ₂ -supported Pt catalysts	The 6th Japan-China Workshop on Environmental Catalysis and Eco-Materials	2013/12/5
113	Ryota Tanaka, Shinji Kudo, Jun-ichiro Hayashi, Hiroaki Watanabe, and Koyo Norinaga	九州大学	A CFD Study of Non-Catalytic Partial Oxidation of Coke Oven Gas with Considering Turbulence-Chemistry Interaction	The 26th International Symposium on Chemical Engineering (ISChE 2013)	2013/12/6-8
114	武部 博倫	愛媛大学	乾式製錬小委員会の立ち上げにむけて	日本学術振興会 素材プロセス第69委員会 第4分科会(産学連携促進)[第10回]研究会	2014/1/29
115	武部 博倫、道上 聖史、森安 諒	愛媛大学	白金板とスラグ融体の界面相互作用	資源・素材学会平成26年度(2014年)春季大会	2014/3/27
116	鶴田親、武部 博倫	愛媛大学	Fe ₂ O ₃ 及びAl ₂ O ₃ を含むカルシウムケイ酸塩スラグ融体の粘度測定	資源・素材学会平成26年度(2014年)春季大会	2014/3/28
1	K. Miura, R. Ashida, M. Makino, A. Nishida	京都大学	Enhancement of Gasification Reactivity of Low Rank Coal without Using Catalyst	10th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry	2009/7/27
2	蘆田隆一、西田篤志、牧野三則、三浦孝一	京都大学	ガス化反応性向上のための低品位炭の改質	第18回日本エネルギー学会大会	2009/7/31
3	蘆田隆一、西田篤志、牧野三則、三浦孝一	京都大学	穏和な溶剤処理による石炭のガス化反応性の向上	化学工学会 第41回秋季大会	2009/9/16
4	K. Miura, R. Ashida, M. Makino, A. Nishida	京都大学	Upgrading of Low Rank Coal for Enhancing Its Gasification Reactivity	26th Annual International Pittsburgh Coal Conference	2009/9/23
5	K. Miura, R. Ashida, M. Makino, A. Nishida	京都大学	Enhancement of Gasification Reactivity of Coal without Using Catalyst	International Conference on Coal Science & Technology (ICCS&T)	2009/10/27
6	牧野三則、蘆田隆一、三浦孝一	京都大学	直接通電小型ガス化反応装置による改質褐炭のガス化特性	第46回石炭科学会議	2009/11/27
7	K. Miura, M. Makino, E. Sasaoka, S. Imai, R. Ashida	京都大学	Measurement of CO ₂ Gasification Rate of Coal Char under High Pressure and High Temperature Using a Mini Directly-Heated Reactor	7th International Symposium on Coal Combustion (7thISCC)	2011/7/20
8	K. Miura, M. Makino, S. Imai, E. Sasaoka, R. Ashida	京都大学	A mini directly-heated reactor for measurement of gasification rate of coal char under high pressure and high temperature	11th China-Japan Symposium on Coal and C1 Chemistry	2011/8/4
9	三浦 孝一、今井 俊輔、笹岡 英司、蘆田 隆一	京都大学	直接通電小型ガス化反応装置を用いた高温・高圧下での石炭のガス化速度の評価	第20回日本エネルギー学会大会	2011/8/9
10	K. Miura, S. Imai, E. Sasaoka, M. Makino, R. Ashida	京都大学	Measurement of Gasification Rate of Coal Char under High Pressure and High Temperature Using a Mini Directly-Heated Reactor	6th Asia Pacific Chemical Reaction Engineering Symposium (APCRE' 11)	2011/9/21

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
11	K. Miura, S. Imai, E. Sasaoka, M. Makino, R. Ashida	京都大学	Measurement of Gasification Rate of Coal Char under High Pressure and High Temperature using A Mini Directly-heated Reactor	International Conference on Coal Science & Technology (ICCS&T)	2011/10/13
12	三浦 孝一、今井 俊輔、笹岡 英司、蘆田 隆一	京都大学	直接通電小型ガス化反応装置を用いた高温・高圧下での低品位炭およびその改質炭のガス化速度測定	第48回石炭科学会議	2011/10/25
13	K. Miura, S. Imai, M. Makino, E. Sasaoka, R. Ashida	京都大学	MEASUREMENT OF CO2 GASIFICATION RATE OF COAL CHAR UNDER HIGH TEMPERATURE AND HIGH PRESSURE USING A MINI DIRECTLY-HEATED REACTOR	18th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE2011)	2011/10/28
14	K. Miura, S. Imai, M. Makino, E. Sasaoka, R. Ashida	京都大学	Analysis of Coal Char Gasification Rate Measured under High Temperature and High Pressure Using a Mini Directly-Heated Reactor	4th International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2011)	2012/2/28
15	今井 俊輔、笹岡 英司、蘆田 隆一、三浦 孝一	京都大学	直接通電小型反応装置を用いた高温高圧条件下での石炭ガス化反応速度測定	化学工学会 第44回秋季大会	2012/9/20
16	牧野 三則、今井 俊輔、今井 高浩、笹岡 英司、蘆田 隆一、三浦 孝一	京都大学	高温高圧下での石炭チャーのガス化速度測定のための直接通電小型反応装置の開発	第49回石炭科学会議	2012/10/25
17	Shunsuke Imai, Eiji Sasaoka, Ryuichi Ashida, and Koichi Miura	京都大学	Measurement of coal char gasification rate under high temperature and high pressure by a mini directly-heated reactor (mini-DHR)	19th Regional Symposium on Chemical Engineering	2012/11/8
18	柴田 康弘、今井 俊輔、笹岡 英司、蘆田 隆一、三浦 孝一	京都大学	直接通電小型反応装置を用いた高温・高圧のCO ₂ 、CO、H ₂ O、H ₂ 共存下における石炭チャーのガス化反応速度測定	第15回化学工学会学生発表会 北九州大会	2013/3/2
19	三浦 孝一、今井 俊輔、柴田 康弘、笹岡 英司、蘆田 隆一	京都大学	直接通電小型反応装置を用いた高温高圧のCO ₂ 、CO、H ₂ O、H ₂ 共存下における石炭チャーのガス化反応速度測定	化学工学会 第78年会	2013/3/17
1	佐藤 和好、飯塚 裕樹、小川 由起子、宝田 恭之	群馬大学	石炭チャーのCO ₂ ガス化におけるO ₂ の添加効果	化学工学会 第43回秋季大会	2011/9/14-16
2	佐藤 和好、飯塚 裕樹、小川 由起子、宝田 恭之	群馬大学	石炭チャーのCO ₂ ガス化速度に対する共存O ₂ の影響	第20回日本エネルギー学会大会	2011/8/9-10
3	佐藤 和好、山田 優樹、宝田 恭之	群馬大学	アルカリ金属のチャー粒子間移動を利用したin-situ触媒担持による低温接触ガス化	第21回エネルギー学会大会	2012/8/6

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
1	中尾 吉伸	電力中央研究所	PROPOSAL FOR NEW CO2 CAPTURE IGCC SYSTEM	2009 Clearwater Coal Conference	2009/6/3
2	中尾 吉伸	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCCシステムにおけるガスタービンシステムの検討	第37回ガスタービン学会定期講演会	2009/10/22
3	H.Watanabe	電力中央研究所	CO2 gasification rate analysis and modeling under high CO2 partial pressure conditions	239th ASC National Meeting & Exposition	2010/3/25
4	小林 誠	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCCシステム用乾式脱硫プロセスの最適化 -炭素析出条件の把握と析出抑制策の検討-	電力中央研究所報告、M09015	2010/3/31
5	沖裕社	電力中央研究所	Development of oxy-fuel gasification IGCCsystem with CO2 recirculation for CO2 capture	GHGT-10	2010/9/21
6	梅本賢	電力中央研究所	CO2とH2Oの共存下におけるチャーガス化反応モデルの提案	第47回石炭科学会議	2010/9/22
7	梅本賢	電力中央研究所	MODELING OF COAL CHAR GASIFICATION IN COEXISTENCE OF CO2 AND H2O	27th International Pittsburgh Coal Conference	2010/10/13
8	梅本賢	電力中央研究所	Modeling of Coal Char Gasification in Coexistence of CO2 and H2O REGARDING TEMPERATURE DEPENDENCY	Second International Symposium on Gasification and Its Application	2010/12/7
9	沖 裕社	電力中央研究所	Development of Oxy-fuel IGCC system	2nd Oxyfuel combustion conference	2011/9/14
10	沖 裕社	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCCの開発	日本機械学会関西支部秋期講演会	2011/10/15
11	梅本 賢	電力中央研究所	石炭ガス化における気相析出炭素生成・反応挙動	第48回石炭科学会議	2011/10/24
12	梅本 賢	電力中央研究所	Soot production during coal gasification	The 7th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	2011/11/9
13	丹野 賢二	電力中央研究所	Numerical Simulation of Coal Gasification in O2-CO2 Blown Gasifier	The 7th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	2011/11/9
14	沖 裕社	電力中央研究所	Development of Oxy-fuel IGCC system	The 7th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	2011/11/9
15	木戸口 和浩	電力中央研究所	Development of Oxy-Fuel IGCC System with CO2 Recirculation for CO2 Capture	The 7th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	2011/11/9
16	原 三郎	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCCの開発	中電協主催の火力技術関連情報交換会	2011/11/17
17	沖 裕社	電力中央研究所	Development of Oxy-fuel IGCC system	PowerGen International 2011	2011/12/14
18	沖 裕社	電力中央研究所	Development of Oxy-fuel IGCC system	第6回 VGB Power Tech-TENPES技術交流会	2012/2/6
19	小林誠	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCC用乾式脱硫プロセスにおける炭素析出対策の最適化	化学工学会 第78年会	2012/3/1
20	梅津 宏紀	電力中央研究所	微粉炭燃焼場の数値シミュレーション -チャー燃焼モデルの高度化-	電力中央研究所報告、M11011	2012/3/19
21	渡邊 裕章	電力中央研究所	酸素-CO2吹き石炭ガス化炉の数値シミュレーション-CO2投入の影響評価-	電力中央研究所報告、M11017	2012/3/27
22	梅本 賢	電力中央研究所	石炭熱分解モデルの開発 -タールの生成挙動モデル化と分解挙動解析-	電力中央研究所報告、M11018	2012/3/28
23	小林 誠	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCCシステム用乾式脱硫プロセスの最適化 -添加ガス種による炭素析出抑制効果と脱硫性能の評価-	電力中央研究所報告、M10012	2012/3/29
24	木戸口 和浩	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCCの開発 -小型ガス化炉によるCO2最適投入量の検討-	電力中央研究所報告、M11019	2012/3/29

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
25	渡邊 裕章	電力中央研究所	酸素-CO2吹き石炭ガス化炉の数値シミュレーション	粉体工学会春期講演会	2012/5/22
26	木戸口和浩	電力中央研究所	EVALUATION OF CO2 ENRICHED GASIFICATION CHARACTERISTICS USING 3T/D BENCH SCALE COAL GASIFIER	37th International Technical Conference on Clean Coal & Fuel Systems	2012/6/7
27	Makoto Kobayashi	電力中央研究所	Suitable Method to Prevent Carbon Deposition in the IGCC Power Generation System with Exhaust Recycling and CO2 Capture.	POWER-GEN Europe2012	2012/6/14
28	渡邊 裕章	電力中央研究所	石炭ガス化プロセスにおけるガス化剤CO2濃度の影響	粉体工学会夏期シンポジウム	2012/7/23
29	小林 誠	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCCシステム用乾式脱硫プロセスの炭素析出抑制策 - 循環排ガス添加時のガス組成変化を考慮した炭素析出抑制効果の検討 -	電力中央研究所報告、M12001	2012/8/3
30	沖 裕社	電力中央研究所	Development of high efficiency Oxy-fuel IGCC system	日本機械学会 2012年年次大会	2012/9/1
31	梅津宏紀	電力中央研究所	微粉炭チャー燃焼のモデリング	日本機械学会 2012年年次大会	2012/9/11
32	小林誠	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCC用乾式脱硫プロセスにおける炭素析出影響と対策	化学工学会 第44回秋季大会	2012/9/21
33	Yuso Oki	電力中央研究所	Development of high efficiency Oxy-fuel IGCC system	Gasification Technology conference 2012	2012/10/1
34	Satoshi Umemoto	電力中央研究所	PROPOSING OF EXTENDED CHEMICAL PERCOLATION DEVOLATILIZATION MODEL FOR COAL PYROLYSIS	The 3rd International Symposium on Gasification and its Applications	2012/10/15
35	Hiroaki Watanabe	電力中央研究所	Numerical Simulation of O2-CO2 Blown Entrained Flow Coal Gasifier	3rd International Symposium on Gasification and its Applications	2012/10/15
36	梅本賢	電力中央研究所	揮発分組成を予測可能とする石炭初期熱分解モデルの構築	第49回石炭科学会議	2012/10/24
37	梅津宏紀	電力中央研究所	微粉炭チャー燃焼のモデリング	第49回石炭科学会議	2012/10/25
38	Yuso Oki	電力中央研究所	Development of high efficiency Oxy-fuel IGCC system	GHGT-11	2012/11/19
39	Yuso Oki	電力中央研究所	Development of high efficiency Oxy-fuel IGCC system	POWER-GEN International 2012	2012/12/12
40	沖 裕社	電力中央研究所	CO2回収型火力発電システムの開発状況	第322回ゴム技術フォーラム月例会	2013/4/23
41	沖 裕社	電力中央研究所	石炭火力発電システムの高効率化(IGCC等)	日本材料学会第62期通常総会・学術講演会	2013/5/17
42	梅本 賢	電力中央研究所	石炭ガス化における気相析出炭素微粒子の定量手法提案	粉体工学会 春期研究発表会	2013/5/22
43	牧野 尚夫	電力中央研究所	CO2回収型次世代IGCC技術の開発状況	日本燃焼学会 研究分科会	2013/6/18
44	原 三郎	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCC	CCTワークショップ2013	2013/8/7
45	沖 裕社	電力中央研究所	Development of high efficiency Oxy-Fuel IGCC System	3rd Oxyfuel Combustion Conference	2013/9/10
46	小林 誠	電力中央研究所	CO2回収型高効率IGCC用乾式脱硫プロセスにおける炭素析出抑制策の非平衡論的評価	化工学会 第45回秋季大会	2013/9/16
47	小林 誠	電力中央研究所	Operational strategy for dry gas desulfurization process in an Oxy-fuel IGCC power generation that reconcile improved thermal efficiency and carbon dioxide separation from flue gas.	The 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems	2013/9/27

No.	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月日
48	梅本 賢	電力中央研究所	Estimation of soot formation behavior in coal gasification using Extended CPD model	IGCS&T	2013/9/30
49	梅本 賢	電力中央研究所	石炭ガス化における氮相析出炭素微粒子の定量手法提案	粉体工学会 秋期研究発表会	2013/10/9
50	沖 裕壮	電力中央研究所	Development of high-efficiency oxy-fuel IGCC system	Gasification Technology Conference 2013	2013/10/15
51	梅本 賢	電力中央研究所	拡張CPD モデルを用いた石炭ガス化反応解析	第50回 石炭科学会議	2013/10/31
52	濱田 博之	電力中央研究所	Evaluation of CO ₂ -Enriched Gasification Characteristics Using Coal Research Gasifier	PowerGen International 2013	2013/11/12
53	中尾 吉伸	電力中央研究所	Development of High-efficiency Oxy-fuel IGCC System	PowerGen International 2013	2013/11/12
54	渡邊 裕章	電力中央研究所	A numerical investigation of effects of CO ₂ recycling on gasification performance of an oxy-fuel type coal gasifier	International symp. On Eco Topia Science 2013	2013/12/13
55	梶谷 史朗	電力中央研究所	CO ₂ 回収型高効率IGCC技術の開発状況	第14回北海道エネルギー資源環境研究発表会	2014/1/28
56	小林 誠	電力中央研究所	CO ₂ 回収型高効率IGCC用乾式脱硫プロセスにおける析出炭素の酸化除去方法	化工学会 第79回年会	2014/3/19
57	濱田 博之	電力中央研究所	3t/日石炭ガス化研究炉を用いたCO ₂ 富化ガス化特性の評価－給炭量比とCO ₂ 濃度の影響－	電力中央研究所報告、M13005	2014/3/26
58	濱田 博之	電力中央研究所	Evaluation of CO ₂ -Enriched Gasification Characteristics Using 3T/D Coal Research Gasifier	6th IFC - International Freiberg Conference on IGCC & Xtl. Technologies	2014/5/19
59	小林 誠	電力中央研究所	Inhibition and Elimination of Carbon Deposition in Dry Gas Desulfurization Process of Advanced Oxy-fuel IGCC Power Generation with Carbon Capture Capability with Small Penalty on Thermal Efficiency.	6th IFC - International Freiberg Conference on IGCC & Xtl. Technologies	2014/5/23
60	梅津 宏紀	電力中央研究所	チャー燃焼のモデリングと特性評価	粉体工学会 2014年度 春季研究発表会	2014/5/29
61	沖 裕壮	電力中央研究所	CO ₂ 回収型高効率IGCCの開発	第19回動力・エネルギー技術シンポジウム	2014/6/26
62	丹野 賢二	電力中央研究所	数値シミュレーションを用いた乾式脱硫ハニカム反応器内の流れ解析	第23回日本エネルギー学会大会	2014/7/20
63	梅本 賢	電力中央研究所	Application of partially shared active site L-H model to subbituminous coal char	iSGA4 (4th international symposium on gasification and its applications)	2014/9/2
64	小林 誠	電力中央研究所	Halide control for contaminant reduction process in Oxy-fuel IGCC power generation that is capable to separate CO ₂ with small efficiency penalty.	9th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems	2014/9/20
65	秋保 広幸	電力中央研究所	Halide control for contaminant reduction process in Oxy-fuel IGCC power generation that is capable to separate CO ₂ with small efficiency penalty.	9th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems	2014/9/20
66	沖 裕壮	電力中央研究所	Development of High-efficiency oxy-fuel IGCC system	GHGT-12	2014/10/7
67	丹野 賢二	電力中央研究所	CO ₂ 回収型高効率IGCCシステムの開発	日本機会学会誌	2014年

(2) 論文投稿

No.	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月日
1	Daniel M. Keown, Xaojiang Li, Jun-ichiro Hayashi, Chun-Zhu Li	九州大学	Evolution of Biomass Char Structure during Oxidation in O ₂ as Revealed with FT-Raman Spectroscopy	Fuel Process. Techn., 89(12), 1429-1435	有	2008/7/1
2	Sou Hosokai, Kazuhiro Kumabe, Mikio Ohshita, Koyo Norinaga, Jun- ichiro Hayashi	九州大学	Mechanism of Decomposition of Aromatics over Charcoal and Necessary Condition for Maintaining Its Activity	Fuel, 87(13-14), 2914-2922 (2008)	有	2008/8/1
3	Koyo Norinaga, Olaf Deutschmann, Naomichi Saegusa and Jun-ichiro Hayashi	九州大学	Analysis of pyrolysis products from light hydrocarbons and kinetic modeling for growth of polycyclic aromatic hydrocarbons with detailed chemistry	J. Anal. Appl. Pyrolysis, 86(1), 148-160 (2009)	有	2009/1/1
4	Anggoro Tri MURSILO, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Product Characterization of Raw Peat and Low Quality Coal Treated by Alkaline Hydrothermal: A Novel Method of CO ₂ Capturing and Hydrogen Generation	Proc. 2nd International Symposium of Novel Carbon Resource Science, Earth Resource Science and Technology, pp.110-117	無	2009/5
5	Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA	九州大学	Upgrading of Low Rank Coal and Woody Biomass by Hydrothermal Treatment	Proc. 2nd International Symposium of Novel Carbon Resource Science, Earth Resource Science and Technology, pp. 11-19	無	2009/5
6	Tsuyoshi Hirajima	九州大学	De-ashing and upgrading low-grade coal to reduce the environmental load	Newsletter, Novel Carbon Resource Sciences, G-COE Program Kyushu University, Vol. 1, pp.7-15	無	2009/6
7	Ondrej Mašek, Sou Hosokai, Koyo Norinaga, Chun-Zhu Li, Jun-ichiro Hayashi	九州大学	Rapid Gasification of Nascent Char in Steam Atmosphere during the Pyrolysis of Na- and Ca-Ion-Exchanged Brown Coals in a Drop-Tube Reactor	Energy and Fuels, 23, 4496-4501 (2009)	有	2009/9/1
8	Tokuji Kimura, Masaki Nakano, Sou Hosokai, Koyo Norinaga, Chun- Zhu Li, Jun-ichiro Hayashi	九州大学	Steam reforming of biomass tar over charcoal in a coke-deposition/steam-gasification sequence	Proceedings of Chemeca 2009, CD-ROM	有	2009/10/1
9	Anggoro Tri Mursito, Tsuyoshi Hirajima and Keiko Sasaki	九州大学	Characteristics of hydrothermally-upgraded peat and its application for fuel based combustion	Proc. 10th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, pp.846-849	有	2009/11
10	Moriyasu Nonaka, Tsuyoshi Hirajima and Keiko Sasaki	九州大学	Washability study and gasification reactivity of coal	Proc. International Symposium on Earth Science and Technology, pp.157-160	有	2009/12
11	Moriyasu Nonaka, Tsuyoshi Hirajima and Keiko Sasaki	九州大学	Upgrading and gasification of low rank coal and woody biomass	Proc. 3rd International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences, pp. 206-211	有	2009/12
12	Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Washability Study and Gasification Reactivity of Coal	Proc. International Symposium on Earth Science and Technology, pp.157-160	有	2009/12
13	Anggoro T MURSILO, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Upgrading and Dewatering of Raw Tropical Peat by Hydrothermal Treatment	Fuel, Vo.89, No.3, pp. 635-641	有	2010/1/1
14	Makiko Kajita, Tokuj Kimura, Koyo Norinaga, Chun-Zhu Li, Jun- ichiro Hayashi	九州大学	Catalytic and Noncatalytic Mechanisms in Steam Gasification of Char from the Pyrolysis of Biomass	Energy and Fuels, 24(1), 108-116 (2010)	有	2010/1/1
15	Toru Matsuhara, Sou Hosokai, Koyo Norinaga, Koichi Matsuoka, Chun-Zhu Li and Jun-ichiro Hayashi	九州大学	In-Situ Reforming of Tar from the Rapid Pyrolysis of a Brown Coal over Char	Energy and Fuels, 24(1), 76-83 (2010)	有	2010/1/1

No.	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月日
16	M.F. Irfan and K. Kusakabe	福岡女子大学	熱重量分析によるN ₂ /O ₂ /CO ₂ 混合気中の微粉炭熱分解・ガス化	Newsletter, Novel Carbon Resource Sciences, G-COE Program Kyushu University, Vol. 2	無	2010/2/1
17	Fujun Tian, Shu Zhang, Jun-ichiro Hayashi, Chun-Zhu Li	九州大学	Formation of NOx precursors during the pyrolysis of coal and biomass. Part X. Effects of volatile-char interactions on the conversion of coal-N during the gasification of a Victorian brown coal in O ₂ and steam at 800° C	Fuel, 80(5), 1035-1040 (2010).	有	2010/3/1
18	安波 哲, 九州大学工学研究院 佐々木久郎, 菅井裕一	九州大学	CO ₂ Temperature Prediction in Injection Tubing Considering Supercritical Condition at Yubari ECBM Pilot Test	Journal of Canadian Petroleum Technology	有	2010/4/1
19	Tsuyoshi HIRAJIMA	九州大学	Upgrading Low-Grade Coal to Reduce the Environmental Load	Proceedings of the 4th International Workshop and Conference on Earth Resources Technology, CDR 16, pp.1-10.	無	2010/5/1
20	Agung Tri Wijayanta, Alam Md. Saiful, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	Detailed Reaction Mechanisms of Coal Volatile Combustion: Comparison between Without Soot and Soot Models	Journal of Novel Carbon Resource Sciences, 2, 12-16	有	2010/9/1
21	Agung Tri Wijayanta, Alam Md. Saiful, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	Predictions of O ₂ /N ₂ and O ₂ /CO ₂ Mixture Effects during Coal Combustion using Probability Density Function	Journal of Novel Carbon Resource Sciences, 2, 12-16	有	2010/9/1
22	Anggoro Tri Mursito, Tsuyoshi Hirajima, Keiko Sasaki and Satoshi Kumagai	九州大学	The effect of hydrothermal dewatering of Pontianak tropical peat on organics in wastewater and gaseous products	Fuel, Vol. 89, Issue 12, pp.3934-3942	有	2010/12/1
23	Anggoro Tri MURSITO, Tsuyoshi HIRAJIMA	九州大学	Effects of Hydrothermal Upgrading of Tropical Peat on the Improvement of Devolatilization and Combustion Characteristics of Peat Fuel Products	Second International Symposium on Gasification and Its Application (ISGA2010)	無	2010/12/1
24	Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Effect of Gravity Separation on CO ₂ Gasification	Second International Symposium on Gasification and Its Application (ISGA2010)	無	2010/12/1
25	Shuhei OKABE, Tsuyoshi HIRAJIMA, Moriyasu NONAKA, Satoshi KUMAGAI, Keiko SASAKI	九州大学	Characteristic of Low Rank Coal Upgraded by Hydrothermal Treatment	Proceedings of International Symposium on Earth Science and Technology 2010 (CINEST2010), pp.549-552	無	2010/12/1
26	Alam Md. Saiful, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai, Koyo Norinaga and Jun-ichiro Hayashi	九州大学	A Reduced Mechanism for Primary Reactions of Coal Volatiles in a Plug Flow Reactor	Combustion Theory and Modelling, 14(6).	有	2010/12/1
27	Anggoro Tri Mursito, Tsuyoshi Hirajima and Keiko Sasaki	九州大学	Alkaline hydrothermal de-ashing and desulfurization of low quality coal and its application to hydrogen-ric as generation	Energy Conversion and Management, Vol.52, Issue 1, pp.762-769	有	2011/1
28	M.F. Irfan, M.R. Usman, K. Kusakabe	福岡女子大学	Coal gasification on CO ₂ atmosphere and its kinetics since 1948: a brief review	Energy, 36(1), 12-40	有	2011/1/1
29	Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Pretreatment of Low Rank Coal for CO ₂ Gasification	Proceedings of the 5th International workshop and Conference on Earth Resources Technology, pp.119-123	無	2011/5/1
30	Md. Saiful Alam, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	Study of Coal Combustion under CO ₂ /O ₂ Mixtures by Replacing Conventional N ₂ /O ₂	Newsletter, Novel Carbon Resource Sciences, G-COE Program Kyushu University, Vol. 5	無	2011/7/1

No.	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月日
31	Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Keiko SASAKI	九州大学	Upgrading of Low Rank Coal and Woody Biomass Mixture by Hydrothermal Treatment	Fuel, Vol.90, Issue 8, pp. 2578-2584	有	2011/8/1
32	Xiongchao Lin, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Hiromichi Takebe, Seong-Ho Yoon, Isao Mochida	九州大学	A study of the correlation of structure and fluidity of three Asian coal ashes and slags	Journal of Novel Carbon Resource Science, 5, 5-9 (2012).	有	2011/11/1
33	Koyo NORINAGA, Yasuhiro SAKURAI, Ryota SATO, Jun-ichiro HAYASHI	九州大学	Numerical simulation of thermal conversion of aromatic hydrocarbons in the presence of hydrogen and steam using a detailed chemical kinetic model	Chemical Engineering Journal, 178, 282-290	有	2011/12/1
34	Agung Tri Wijayanta, Md. Saiful Alam, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	Numerical investigation on combustion of coal volatiles under various O ₂ /CO ₂ mixtures using a detailed mechanism with soot formation	Fuel, 93, 670-676, DOI: 10.1016/j.fuel.2011.10.003	有	2012/3/1
35	Xiong-chao Lin, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Hiromichi Takebe, Yong-gang Wang, Seong-Ho Yoon, Isao Mochida	九州大学	Study on structural and compositional transitions of a high rank coal ash by using NMR	Journal of Coal Science and Engineering	有	2012/3/13
36	Xiongchao Lin, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Hiromichi Takebe, Seong-Ho Yoon, Isao Mochida	九州大学	Correlation between Fluidity Properties and Local Structures of Three Typical Asian Coal Ashes	Energy and Fuel, 26(4), 2136-2144 (2012).	有	2012/4/1
37	Xiongchao Lin, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Yusuke Nishiyama, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	High magnetic field solid-state NMR analyses by combining MAS, MQ-MAS, homo-nuclear and hetero-nuclear correlation experiments	Magnetic Resonance in Chemistry, 50(4), 289-294 (2012).	有	2012/4/1
38	Md. Saiful Alam, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai	九州大学	Numerical investigation of syngas production from coal gasification under various CO ₂ /O ₂ mixtures	Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine, 3(4) 88-97	有	2012/5/1
39	齋 瑜、藤岡 祐一	福岡女子大学	石炭ガス化脱硫装置における炭素析出の防止	Newsletter, Novel Carbon Resource Sciences, G-COE Program Kyushu University, Vol. 7, 5-10	無	2012/7/1
40	Hyun-Seok Kim, Nozomi Wada, Sohey Nozawa, Yohsuke Matsushita, Tsuyoshi Yamamoto, Motohira Oomori, Tatsuro Harada, Jin Miyawaki, Seong-Ho Yoon, Isao Mochida	九州大学	Comparative studies on the combustion kinetics of chars prepared from brown and bituminous coals under air (O ₂ /N ₂) and oxy-fuel (O ₂ /CO ₂) conditions	Journal of Novel Carbon Resource Sciences, 6, 29-35 (2012).	有	2012/9/1
41	Tsuyoshi HIRAJIMA	九州大学	Upgrading of Low Rank Coal and Biomass Aimed at Reducing Environmental Load	Proc. International Symposium on earth Science and Technology 2012 (CINEST2012)	無	2012/9
42	Moriyasu NONAKA, Tsuyoshi HIRAJIMA, Satoshi KUMAGAI, Keiko SASAKI	九州大学	Upgrading and Drying of Lignite by Super- and Sub- Critical Fluids	Proc. International Symposium on earth Science and Technology 2012 (CINEST2012)	無	2012/9
43	Hyun-Seok Kim, Yohsuke Matsushita, Motohira Oomori, Tatsuro Harada, Jin Miyawaki, Seong-Ho Yoon, Isao Mochida	九州大学	Fluidized bed drying of Loy Yang brown coal with variation of temperature, relative humidity, fluidization velocity and formulation of its drying rate	Fuel, 105, 415-424 (2012).	有	2012/10/12
44	Md. Saiful Alam, Kazi Bayzid, Agung Tri Wijayanta, Koichi Nakaso, Jun Fukai, Sankar Bhattacharya	九州大学	Investigation of brown coal char-CO ₂ gasification in a laboratory scale drop tube furnace	2012 American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Annual Meeting (Paper No.: 128a)	有	2012/10/29
45	金 玄錫, 松下 洋介, 野澤 創平, 宮脇 仁, 尹 聖昊, 持田 勲	九州大学	O ₂ /CO ₂ 系における部分酸化反応を伴うチャー粒子表面へのO ₂ の物質移動速度	化学工学論文集, 38(6), 384-390 (2012).	有	2012/11/1

No.	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月日
46	Nonaka Moriyasu; Hirajima Tsuyoshi; Sasaki Keiko	九州大学	Gravity Separation and Its Effect on CO ₂ Gasification	Fuel, 103, SI, 37-41	有	2013/1/1
47	C. Hwang, J. Kim, B. K. Ryu, H. Takebe	愛媛大学	Preparation of Porous Glass Films Using Phase Separation Phenomenon and Growth Behavior of Phase-separated Structure	J. Mater. Sci., 48, 2013, 8068-8076.	有	2013/1/1
48	Xinhong Qiu, Keiko Sasaki, Tsuyoshi Hirajima, Keiko Ideta, Jin Miyawaki	九州大学	Temperature effect on the sorption of borate by a layered double hydroxide prepared using dolomite as a magnesium source	Chemical Engineering Journal, 225, 664-672 (2013).	有	2013/6/1
49	Hirokichi Takebe, Takuya Kobatake, Akira Saitoh	愛媛大学	Dissolution behavior of SnO-P ₂ O ₅ and SnO-P ₂ O ₅ -B ₂ O ₃ glasses in water	Phys. Chem. Glasses: Eur. J. Glass. Sci. Technol. B, 54 (4), 2013, 182-186.	有	2013/8/1
50	Keiko Sasaki, Xinhong Qiu, Sayo Moriyama, Chiharu Tokoro, Keiko Ideta, Jin Miyawaki	九州大学	Characteristic sorption of H ₃ BO ₃ /B(OH) ₄ ⁻ on magnesium oxide	Materials Transactions, 54(9), 1809-1817 (2013).	有	2013/8/2
51	Xiongchao Lin, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Yonggang Wang, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	MAS, STMAS and DQMAS NMR studies of the thermal transformation of kaolinite	Applied Magnetic Resonance, 44(9), 1081-1094 (2013).	有	2013/9/1
52	Shin Yamamotoa, Hiroshi Machidab, Yuichi Fujiokac, Takayuki Higashiia	福岡女子大学	Development of Chemical CO ₂ Solvent for High-Pressure CO ₂ Capture	Energy Procedia, 37, 505-517	有	2013/9/7
53	Hyun-Seok Kim, Yusuke Nishiyama, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Yohsuke Matsushita, Joo-Il Park, Isao Mochida, Seong-Ho Yoon	九州大学	Analysis of water in Loy Yang brown coal using solid-state ¹ H NMR	Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 19(5), 1673-1679 (2013).	有	2013/9/25
54	Yasuhiro Sakurai, Shuji Yamamoto, Shinji Kudo, Koyo Norinaga, Jun-ichiro Hayashi	九州大学	Conversion Characteristics of Aromatic Hydrocarbons in Simulated Gaseous Atmospheres in Reducing Section of Two-Stage Entrained-Flow Coal Gasifier in Air- and O ₂ /CO ₂ -blown Modes	Energy Fuels 27(4)1974-1981	有	2013/12/1
55	Li-xin Zhang, Toru Matsuhara, Shinji Kudo, Jun-ichiro Hayashi, Koyo Norinaga	九州大学	Rapid pyrolysis of brown coal in a drop-tube reactor with co-feeding of char as a promoter of in situ tar reforming	Fuel 112,681-686	有	2013/12/1
56	武部博倫、斎藤全	愛媛大学	リン酸塩ガラスの特徴的な構造およびその応用	セラミックス, 48(12), 927-930 (2013).	無	2013/12/1
57	V. Bharathi, M. Sivakumar, R. Udayabhaskar, H. Takebe, B. Karthikeyan	愛媛大学	Optical, structural, enhanced local vibrational and fluorescence properties in K-doped ZnO nanostructures	Appl. Phys. A, 116, 395-401 (2014).	有	2014/1/1
58	Xinhong Qiu, Keiko Sasaki, Tsuyoshi Hirajima, Keiko Ideta, Jin Miyawaki	九州大学	Sorption of borate onto layered double hydroxides assembled on filter paper through in situ hydrothermal crystallization	Applied Clay Science, 88-89, 134-143 (2014).	有	2014/2/1
59	Xiongchao Lin, Caihong Wang, Keiko Ideta, Jin Miyawaki, Yusuke Nishiyama, Yonggang Wang, Seongho Yoon, Isao Mochida	九州大学	Insights into the functional group transformation of a chinese brown coal during slow pyrolysis by combining various experiments	Fuel, 118, 257-264 (2014).	有	2014/2/15

No.	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月日
60	Xinhong Qiu, Keiko Sasaki, Tsuyoshi Hirajima, Keiko Ideta, Jin Miyawaki	九州大学	One-step synthesis of layered double hydroxide-intercalated gluconate for removal of borate	Separation and Purification Technology, 123, 114-123 (2014).	有	2014/2/26
61	Keiko Sasaki, Xinhong Qiu, Jin Miyawaki, Keiko Ideta, Hitoshi Takamori, Sayo Moriyama, Tsuyoshi Hirajima	九州大学	Contribution of boron-specific resins containing N-methylglucamine groups to immobilization of borate/boric acid in a permeable reactive barrier comprising agglomerated MgO	Desalination, 337, 109-116 (2014).	有	2014/3/17
62	Jiang Yong, Xionchao Lin, Keiko Ideta, Hiromichi Takebe, Jin Miyawaki, Seong-Ho Yoon, Isao Mochida	九州大学	Microstructural transformations of two representative slags at high temperatures and effects on the viscosity	Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 20(4), 1338-1345 (2014).	有	2014/7/25
63	H. Einaga, J. Kawarada, K. Kimura, and Y. Teraoka	九州大学	Preparation of Platinum Nanoparticles on TiO ₂ from DNA-protected Particles	Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 455, pp. 179-184. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.04.056	有	2014/8/5
64	H. Einaga, N. Urahama, A. Tou, and Y. Teraoka	九州大学	CO oxidation over TiO ₂ -supported Pt-Fe Catalysts Prepared by Coprecipitation Methods	Catalysis Letters, in press. DOI: 10.1007/s	有	in press
65	H. Einaga, A. Kiya, S. Yoshioka, and Y. Teraoka	九州大学	Catalytic Properties of Copper Manganese Mixed Oxides Prepared by Coprecipitation Using Tetraammonium Hydroxide	Catalysis Science & Technology, in press. DOI: 10.1039/C4CY00660G	有	in press
1	中尾 吉伸	電力中央研究所	PROPOSAL FOR NEW CO ₂ CAPTURE IGCC SYSTEM	Proceedings of 2009 Clearwater Coal Conference	有	2009/6/3
2	木戸口 和浩	電力中央研究所	DEVELOPMENT OF OXY-FUEL IGCC SYSTEM WITH CO ₂ RECIRCULATION FOR CO ₂ CAPTURE	Proceedings of ASME 2011 Power Conference (POWER 2011) and the International Conference on Power Engineering 2011 (ICOPE-11)	有	2011/7/12
3	梅本 賢	電力中央研究所	Invention of Quantitative Method of Char and Soot to Clarify Soot Production and Reaction Behavior in Coal Gasification	Proceedings of International Conference on Coal Science and Technology	有	2011/10/9
4	梅本賢	電力中央研究所	Modeling of Coal Char Gasification in Coexistence of CO ₂ and H ₂ O Considering Sharing of Active Sites	Fuel (Special Issue: ISGA 2010)	有	2011/11/12
5	沖 裕壮	電力中央研究所	Development of high efficiency Oxy-Fuel IGCC System	Proceedings of ICOPE-13	有	2013/10/23
6	梅津 宏紀	電力中央研究所	Analysis and modeling of char particle combustion with heat and multicomponent mass transfer	Combustion & Flame	有	2014/1/28
7	渡邊 裕章	電力中央研究所	石炭ガス化炉の開発(実験とシミュレーション)	日本エネルギー学会誌	有	2014/7/1
8	沖 裕壮	電力中央研究所	CO ₂ 回収型次世代IGCC技術の開発状況	日本ガスタービン学会誌	有	2014/7/1
9	小林 誠	電力中央研究所	Exhaust circulation into dry gas desulfurization process to prevent carbon deposition in an Oxy-fuel IGCC power generation that reconcile improved thermal efficiency and carbon dioxide separation for sequestration.	Energy Conversion and Management(vol.87C,p1315-1323)	有	2014/9/19
10	渡邊 裕章	電力中央研究所	Modeling and simulaiton of coal gasification on an entrained flow coal gasifier with a recycled CO ₂ injection	Fuel	有	査読中
11	小林 誠	電力中央研究所	Inhibition and Elimination of Carbon Deposition in Dry Gas Desulfurization Process under Oxy-fuel IGCC Derived Coal Gas Environment.	Fuel	有	査読中

(3) 研究報告書等

No.	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月日
1	電力中央研究所 九州大学	開発項目「CO2回収型次世代IGCC技術開発」 平成20年度～平成21年度のうち 平成20年度分中間年報	NEDO中間年報	2009/3/31
2	電力中央研究所 九州大学	開発項目「CO2回収型次世代IGCC技術開発」 平成20年度～平成22年度のうち 平成21年度分中間年報	NEDO中間年報	2010/3/31
3	電力中央研究所 九州大学	開発項目「CO2回収型次世代IGCC技術開発」 平成20年度～平成23年度のうち 平成22年度分中間年報	NEDO中間年報	2011/3/31
4	電力中央研究所 九州大学	開発項目「CO2回収型次世代IGCC技術開発」 平成20年度～平成24年度のうち 平成23年度分中間年報	NEDO中間年報	2012/3/31
4	電力中央研究所 九州大学	開発項目「CO2回収型次世代IGCC技術開発」 平成20年度～平成25年度のうち 平成24年度分中間年報	NEDO中間年報	2013/3/31
6	電力中央研究所 九州大学	開発項目「CO2回収型次世代IGCC技術開発」 平成20年度～平成26年度のうち 平成25年度分中間年報	NEDO中間年報	2014/3/31
7	電力中央研究所	CO2回収型火カシステム	電力中央研究所 研究年報 2010年度版 p48-49	2011/4/1
8	電力中央研究所	CO2回収型火カシステム	電力中央研究所 研究年報 2011年度版 p56-57	2012/4/1
9	電力中央研究所	IGCCの高度化と低炭素化技術の確立	電力中央研究所 研究年報 2012年度版 p52-53	2013/4/1
10	電力中央研究所 九州大学	開発項目「CO2回収型次世代IGCC技術開発」 成果報告書	NEDO成果報告書	2015/4月予定

(4) 特許

No.	出願人	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	電力中央研究所	特願2009-180154	国内	2009/7/31	出願	反応検証装置及び反応検証方法	小林誠
2	電力中央研究所	特願 2010-139937	国内	2010/6/18	出願	乾式ガス精製設備及び石炭ガス化複合発電設備	小林誠
3	電力中央研究所	特願 2011-111823	国内	2011/5/18	出願	石炭ガス化発電設備	小林誠
4	電力中央研究所	特願2012-288418	国内	2012/12/28	出願	火力発電プラントの運転方法	小林誠

(5) 表彰

- ・日本エネルギー学会奨励賞 九州大学 松下洋介 准教授
- ・日本エネルギー学会奨励賞 群馬大学 佐藤 和好 助教
- ・優秀賞(第48回石炭科学会議) 電中研 梅本 賢 研究員
- ・優秀賞(第49回石炭科学会議) 電中研 梅本 賢 主任研究員

以上