

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プログラム
ゼロエミッション石炭火力基盤技術
革新的ガス化技術に関する基盤研究事業
石炭ガス化発電用高水素濃度対応型低 NO_x 技術開発」
(事後評価)第1回分科会
資料5

(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
革新的ガス化技術に関する基盤研究事業
石炭ガス化発電用高水素濃度対応型低 NO_x 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	I-1
1.1 NEDOが関与することの意義	I-1
1.2 実施の効果(費用対効果)	I-1
2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-1
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-1
2.1 研究開発の内容	II-1
2.2 研究開発の実施体制	II-2
2.3 研究の運営管理	II-3
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	II-4
3. 情勢変化への対応	II-5
4. 中間評価結果への対応	II-5
5. 評価に関する事項	II-10
III. 研究開発の成果	
1. 事業全体の成果	III-1
2. 各研究開発項目毎の成果	III-1
IV. 実用に向けての見通し及び取り組みについて	
1. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて	IV-1
【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 25 年 11 月 1 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 革新的ガス化技術に関する基盤研究事業 石炭ガス化発電事業用高水素濃度低 NOx 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 (平成 23 年 4 月～平成 25 年 3 月) 環境部/矢内俊一、横塚正俊、平田学、河田和久 (平成 22 年 8 月 中間評価時～平成 23 年 3 月)						
0. 事業の 概要	<p>平成 20 年 5 月に発表されたエネルギーイノベーションプログラムにおいては、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ことが謳われている。また、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・導入を目指すことも達成目標としている。このような状況下で、国が策定したエネルギー分野別の技術戦略マップ 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協力を推進) の着実な進展を図ることが必要となっている。</p> <p>石炭は可採埋蔵量が豊富で地域的偏在がなく価格が安定しているため、石炭火力発電を中心に今後とも世界的需要が拡大すると考えられる。上記のように石炭を中心とする化石燃料のクリーンな有効利用が求められる中では、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石炭利用技術開発が求められ、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、発電から CO2 貯留までのトータルシステムに関する実施可能性調査や究極の石炭ガス化燃料電池複合発電からの CCS を目指した最適モデルの検討、CO2 分離回収型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研究」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次世代向けの石炭ガス化基礎技術開発を行うものである。</p> <p>本テーマ「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」では、CO2 分離型石炭ガス化複合発電のガスタービン燃焼器に求められる幅広い水素含有率の変化に対応した信頼性の高いドライ低 NOx 燃焼技術を研究開発することとし、バーナ構造の開発を目的として行うものである。</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、多量の付加的なエネルギーが必要となり、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。</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、石炭ガス化ガスの高効率有効利用と石炭ガス化複合発電設備の高効率・高信頼稼動に資する基盤的な技術開発として、「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 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 (1) 「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」 「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」 (提案公募：平成 20、21 年度は委託事業、平成 22 年度から共同研究 (NEDO 負担 2/3)) CO2 回収率 (以下 CCS) 0%から 90%相当の石炭ガス化ガスに対して [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、NOx 濃度 10ppm (16%酸素濃度換算) 以下とする燃焼技術の目処を得る。 (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、NOx 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℃、高圧条件等にて実証。 ・設定根拠: 燃焼器性能の代表的評価指針である NOx 濃度を世界最高レベル値とした。</p>						
事業の計画	実施事項	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	総額

内容	石炭ガス化発電用 高水素濃度対応低 NOx 技術開発	93	138	68	406	703	1,408
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) 契約種類： ・委託 (○) ・助成 (一) ・共同研究 (○負担率 (2/3))	会計・勘定	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	総額
	一般会計	0	0	0	0	0	0
	特別会計 (需給)	93	138	45	271	469	1,016
	補正予算	—	—	—	—	—	—
	総予算額	93	138	45	271	469	1,016
	(委託)	93	138	—	—	—	231
	(助成) ：助成率	—	—	—	—	—	—
(共同研究) ：負担率 2/3	—	—	45	271	469	785	
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(1)「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」 「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」 (提案公募：平成 20、21 年度は委託事業、平成 22 年度から平成 24 年度は共同 研究 (NEDO 負担 2/3)) 委託先または共同研究先：(株) 日立製作所					
情勢変化への 対応	<p>①基本計画の変更 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> 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) 戦略的炭化ガス化・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 <p>さらに、その中で、平成 21 年度まで実施していた、革新的ガス化技術に関する基盤研究事業及び戦略的炭化ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT) のテーマを、「ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発」のテーマとして統合した。</p> <p>②委託事業から共同研究への移行 「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」については、平成 20～21 年度の研究成果で中間目標へ目処が得られており、平成 22 年度からは一部得られる知見の効果を自主的に実証試験等でも検証していくことから、実用化へ向けて前倒しで取り組んでいくために、事業 3 年目である平成 22 年度から共同研究 (NEDO 費用負担 2/3) へ移行した。</p>						
中間評価結果 への対応	平成 23 年度～平成 24 年度は中間評価委員会分科会及び技術検討委員会で「実ガス組成による検討をすべき」との指摘のあったため、実機想定燃料組成とほぼ同等のガスが得られる、多目的石炭ガス製造設備 (EAGLE) のガスタービンに本テーマの開発燃焼器を組み込み、実ガス試験を行うために研究加速を行った。(加速総額 720 百万円 内 NEDO 負担額 480 百万円)						
評価に関する	事前評価	平成 19 年度実施 担当部 環境技術開発部					

事項	中間評価	平成 22 年度 中間評価実施	
	事後評価	平成 25 年度 事後評価実施	
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>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」 「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」(日立製作所)</p> <p>送電端効率 42% (HHV) を実現する CO₂ 分離回収付石炭ガス化発電システムの発電効率向上にはタービン入口温度の高温化が必須であり、燃焼器では高温化に伴う NOx 増大を抑制し環境負荷低減に寄与する高度燃焼技術が必要となる。特に燃焼前回収方式による CO₂ 分離回収付石炭ガス化発電(以下、CCS-IGCC)システムでは CO₂ 回収率の増加に伴い水素含有率の高い燃料がガスタービンに供給される。燃料中の水素含有率が増加するにつれて燃料は発火しやすく燃焼速度が速くなるため、従来の予混合燃焼方式では、予混合器内部で自着火したり、火炎が逆流したりするリスクが増大し、安定な低 NOx 燃焼は困難となる。一方、拡散燃焼方式では、NOx 低減に蒸気噴射等が必要となり、効率低下を招く恐れがある。また本システムでは、CO₂ 回収率 0~90% に対し水素含有率は 25% から 85% 程度まで大きく変化する。そこで、本研究では高度燃焼技術として、水素含有率の幅広い変化に対応した信頼性の高いドライ低 NOx 燃焼技術を研究開発し、バーナ開発を目的とする。さらにガスタービンに搭載可能な燃焼器を試作し、社内試験及び実プラント試験により実用化の見通しを得る。</p> <p>本研究開発では、大気圧要素燃焼試験により構造を最適化した多孔同軸噴流バーナ(以下、クラスタバーナ)を基に、それを複数配置して実用化を考慮したマルチクラスタバーナ形式低 NOx 燃焼器(以下、マルチクラスタ燃焼器)の構造を検討し、ガスタービンに搭載可能なマルチクラスタ燃焼器を試作した。そして、実ガスを模擬した試験用燃料を用いた中圧・高圧の社内試験により、これらの燃焼器の妥当性を検証した。平成 22 年度からは、試験用燃料を用いた単缶試験による開発の妥当性を検討し、実ガスに含まれる一酸化炭素(CO)の影響などを評価するため、多目的石炭ガス製造設備(EAGLE: coal Energy Application for Gas, Liquid & Electricity)にて発生する実際の石炭ガス化ガスを用い、同設備構内のガスタービン設備でのプラント試験により、実ガス多缶燃焼特性を評価した。最終目標は「高水素濃度燃料に対応する燃焼技術として、NOx 濃度 10ppm (16%酸素濃度換算) 以下とする燃焼技術の確立」であり、以下の成果を得た。</p> <p>① バーナ構造の最適化</p> <p>水素濃度の幅広い変化に対し、同一バーナ構造で燃焼可能なドライ低 NOx 燃焼技術として、同軸噴流の噴出方向を調整して火炎を浮上させ、水素含有燃料に特有の火炎逆火等のリスクを回避し、燃料と空気を急速混合する新コンセプト「クラスタバーナ」の有効性を確認した。さらに、種々のパラメータに対して NOx 排出量および安定燃焼範囲を指標として構造を最適化した。クラスタバーナの最適化にあたって安定燃焼範囲の確保に対し課題となる燃焼振動現象の解明や、NOx 排出量のさらなる低減のための火炎内部分布計測による NOx 生成領域の特定、さらには CO を含む実ガスを模擬した試験用燃料の燃焼特性を検討し、その有効範囲を特定すると共に有効範囲外で相違の生まれる原因を見出した。</p> <p>② マルチクラスタ燃焼器の開発</p> <p>前記の結果を基に小型ガスタービンに搭載可能なマルチクラスタ燃焼器を試作した。凸型空気孔プレートを備えた凸型燃焼器により中圧・定格負荷相当条件で CCS 0%、CCS 30%、CCS 50%、CCS 90%燃料に対し NOx が 5.4ppm、5.8ppm、6.5ppm、9.2ppm と目標を達成した。さらに、中間評価の結果を踏まえて、燃焼振動、メタル温度の観点から信頼性にも重点を置き、より実用化に即した大型ガスタービンに搭載可能な大型燃焼器を試作した。高圧・定格負荷条件での試験の結果、NOx は CCS 0% CCS 30%、CCS 50%、CCS 90%燃料に対し NOx 8.6ppm、15.6ppm、18.1ppm、21.6ppm と CCS 0%燃料に対して目標を達成し、また全ての燃料に対して燃焼振動、メタル温度を管理値以下に抑制することでより信頼性の高い実用化に即した燃焼性能を実現した。現技術により、稼働中のプラント(水蒸気噴射)と同等の NOx をドライで達成した。今後、本技術を IGCC 実証機に適用する予定である。また、CCS30%~に対して更なる低 NOx を目指し、大型燃焼器の研究を継続する。</p> <p>③ マルチクラスタ燃焼器の実ガス多缶燃焼試験</p> <p>実ガス多缶燃焼特性の評価のため、EAGLE 試験用小型燃焼器を製作し、EAGLE 既設ガスタービンの燃料系統、制御装置など必要な改造を行った。試験の結果、CCS 0%条件に相当する燃料組成のアダロ炭での最大負荷(定格負荷に相当)条件で、NOx が 8.5ppm となり 10ppm 以下に抑制し、試験用燃料を用いた開発の妥当性を確認した。また、バーナ構造の最適化に際して見出したとおり燃料比率が設計点より大きく異なる条件では、CO を含まない試験用燃料と実ガスの理論空気量の差に起因する局所火炎温度の差により試験用燃料単缶試験より NOx が増加することを確認した。</p> <p>① 乱流燃焼解析</p> <p>クラスタバーナに混在する予混合と拡散燃焼をシームレスに適用できる統一モデルとして、火炎帯の反応進行度分布を双曲正接関数で表現した予混合燃焼モデルを、拡散燃焼に拡張したモデルを開発した。浮上火炎の形状、水素濃度増加に伴う火炎の変化、空気孔プレート形状の影響などを定性的に再現する結果を得ることができ、本手法をプレート設計の改良の一部に活用した。</p>		
	投稿論文	「査読付き」2 件	
	特 許	「出願済」23 件 (外国出願 2 件)	

	その他の外部発表 (プレス発表等)	「学会発表等」15件、「プレス発表」2件
IV. 実用化の見 通しについ て	<p>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」 「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低NOx技術開発」(日立製作所)</p> <p>本事業は高水素濃度燃料に対する低NOx濃度の燃焼技術を確立する基盤研究であったが、中間・最終目標である、高水素濃度燃料に対応するNOx濃度10ppm(16%酸素濃度換算)以下をバーナ基本構造で達成できる目処が立ち、実用化へ向けて前倒しで取り組んでいくことから、平成22年度から本技術の妥当性を自主的に実証試験等でも検証していくとした。そのため、事業3年目である平成22年度から共同研究(NEDO負担2/3)へ移行した。さらに、平成23年度からは、実ガス、実ガスタービンを用いたEAGLE実プラントでの試験準備、及び試験を実施し、実用化に向けた様々な重要な知見を得ることができ、実用化への目途が立った。</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に供試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。
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。 $CO + H_2O \rightleftharpoons H_2 + CO_2$
発電効率 Thermal efficiency		発電電力量と発電のために投入した燃料の送熱量の比。発電機で発生した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。
石炭 Coal		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間たか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
空気分離装置 Air Separation Unit	ASU	プラントに必要な酸素を製造する設備。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

平成 20 年 5 月に発表された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・導入を目指すことが達成目標として謳われている。さらに、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 エネルギー革新技术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協力を推進）の着実な進展を図ることが必要となっている。

石炭は可採埋蔵量が豊富で地域的偏在がなく価格が安定しているため、石炭火力発電を中心に今後とも世界的需要が拡大すると考えられる。上記のように石炭を中心とする化石燃料のクリーンな有効利用が求められる中では 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、発電から CO₂ 貯留までのトータルシステムに関する実施可能性調査や究極の石炭ガス化燃料電池複合発電からの CCS を目指した最適モデルの検討、CO₂ 分離回収型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研究」とした基盤研究事業の位置付けで開発を行うものである。

CO₂ を回収するシステムでは CO₂ 回収率の増加に伴い燃料の水素含有率が高くなる。CO₂ 分離回収型石炭ガス化発電システムでは幅広い水素含有率の燃料をガスタービンに供給することになり、安定燃焼と低 NO_x を実現する燃焼技術は必須であり共通の基盤技術である。「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NO_x 技術開発」においては、幅広い水素含有率の変化に対応した信頼性の高いドライ低 NO_x 燃焼技術を研究開発することとし、バーナ構造の開発を目的として行うものである。

1.2 実施の効果(費用対効果)

本技術開発『石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NO_x 技術開発』は、送電端効率 42% (HHV) を実現するために必須のドライ低 NO_x 技術であり、従来の予混合燃焼器や拡散燃焼器では不可能だった高効率と低 NO_x の両立を可能にする。

今後さらに実用化に焦点を置いた研究開発を通して高水素濃度対応低 NO_x 技術を完成させることで、CO₂ 回収により高水素濃度となる燃料に対してもガスタービンの安定な高効率化を実現し、早期にゼロエミッション石炭火力発電としての大規模 CCS-IGCC が実現できる。

また、本開発技術の対象とする燃料は、製油所などの化学プラントで発生するリファイナリガスや、製鉄所で発生するコークス炉ガス(Coke Oven Gas : COG)などの鋼鉄ガスといった副生ガスと同等の水素濃度と質量当たり発熱量を有している。したがって、本開発技術はこれらの燃料に対してもバーナ構成を変更する必要なく展開することができ、副生ガスなどの水素含有燃料に対して、不活性媒体を噴射せずに高効率に活用することが可能である。また、これらの単位エネルギー当たりの CO₂ 発生量が少ない水素含有燃料を積極的に利用できることで、来るべき低炭素社会の早期実現に寄与できる。

2. 事業の背景・目的・位置付け

送電端効率 42% (HHV) を実現する CO₂ 分離回収付石炭ガス化発電システムの発電効率向上にはタービン入口温度の高温化が必須であり、燃焼器では高温化に伴う NO_x 増大を抑制し環境負荷低減に寄与する高度燃焼技術が必要となる。特に燃焼前回収方式による CO₂ 分離回収付石炭ガス化発電(以下、CCS-IGCC)システムでは CO₂ 回収率の増加に伴い水素含有率の高い燃料がガスタービンに供給される。燃料中の水素含有率が増加するにつれて燃料は発火しやすく燃焼速度が速くなるため、従来の予混合燃焼方式では、予混合器内部で自着火したり、火炎が逆流したりするリスクが増大し、安定な低 NO_x

燃焼は困難となる。一方、拡散燃焼方式では、NO_x 低減に蒸気噴射等が必要となり、効率低下を招く恐れがある。また本システムでは、CO₂ 回収率 0~90%に対し水素含有率は 25%から 85%程度まで大きく変化することが想定される。

そこで、本研究では高度燃焼技術として、水素含有率の幅広い変化に対応した信頼性の高いドライ低 NO_x 燃焼技術を研究開発し、バーナ開発を目的とする。さらにガスタービンに搭載可能な燃焼器を試作し、社内試験および実プラント試験により実用化・事業化の見通しを得る。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

「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)

CO₂ 回収率(CCS)0%から 90%相当の石炭ガス化ガスに対して

<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°C、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°C、高圧条件等にて実証。

- ・設定根拠: 燃焼器性能の代表的な評価指標である NO_x 濃度につき、世界最高レベルの目標設定とした。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

2.1.2 研究の内容

燃焼前回収方式によって CO₂ を回収する CO₂ 分離回収付石炭ガス化発電システムでは想定される CO₂ 分離回収率 0~90%に対し水素含有率は 25%から 85%程度まで大きく変化する。このような幅広い水素濃度に対して構造を変えることなく同一の低 NO_x 燃焼器で対応可能とするバーナ構造の開発を目的とする。さらに実ガスタービンに搭載可能な燃焼器を試作し、社内試験及び実プラント試験により実用化の見通しを得る。

本研究開発では、大気圧要素燃焼試験により構造を最適化した多孔同軸噴流バーナ(以下、クラスタバーナ)を基に、それを複数配置して実用化を考慮したマルチクラスタバーナ形式低 NO_x 燃焼器(以下、マルチクラスタ燃焼器)の構造を検討し、ガスタービンに搭載可能なマルチクラスタ燃焼器を試作した。そして、実ガスを模擬した試験用燃料を用いた中圧・高圧の社内試験により、これらの燃焼器の妥当性を検証した。平成 22 年度からは、試験用燃料を用いた単缶試験による開発の妥当性を検討し、実ガスに含まれる一酸化炭素(CO)の影響などを評価するため、多目的石炭ガス製造設備 EAGLE にて発生する実際の石炭ガス化ガスを用い、同設備構内のガスタービン設備でのプラント試験により、実ガス多缶燃焼特性を評価した。

「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。

2.1.2 スケジュール及び役割分担

「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NO_x 技術開発」の項目別スケジュールを表 II-2-2 に示す。

表Ⅱ-2-2 スケジュール

	FY2008 (H20)	FY2009 (H21)	FY2010 (H22)	FY2011 (H23)	FY2012 (H24)
クスタバーナー 構造の最適化 (大気圧燃焼試験)	予備 検討	バーナー基本 構造の検討	バーナー基本 構造の最適化	★ 中間評価 火炎内部 詳細計測	バーナー基本 構造の最適化②
マルチクスタバーナー の検討 (実寸燃焼試験)	マルチクスタバーナー 形式低NOx燃焼器 の設計・製作・試験準備	燃焼 試験	小型 燃焼器の 設計・製作	燃焼試験装置 改修・試運転	大型燃焼器 中圧燃焼試験
実ガス多缶燃焼 特性の検討 (EAGLE試験)		小型燃焼器の改良設計 実ガス試験用燃焼器の製作・工場内試験	小型燃焼器 中圧燃焼試験	大型燃焼器 高圧燃焼試験 (定格負荷 特性の検討)	大型燃焼器 高圧燃焼試験 (部分負荷 運用性の検討)
乱流燃焼解析	基礎的の火炎による モデル検証・予備検討	クスタバーナーの 乱流燃焼解析	マルチクスタバーナー の乱流燃焼解析①	マルチクスタバーナー の乱流燃焼解析②	
数値目標	大気圧燃焼試験 NOx<10ppm (@16%O ₂)		中圧燃焼試験 NOx<10ppm (@16%O ₂)		高圧・実寸 NOx<10ppm(@定格負荷) 燃焼効率η a) η>99.0%(@運用負荷) b) η>99.9%(@定格負荷)

2.1.3 予算の推移

「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」の予算の推移を表Ⅱ-2-3 に示す。平成 20～21 年度の研究成果で中間目標である「高水素濃度燃料に対応する燃焼技術として、NOx 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」ことへの目処が大気圧小型燃焼器で得られた。そのため、平成 22 年度からは得られた知見の効果を自主的に実証試験等でも検証し、実用化へ向けて前倒しで取り組んでいくために、事業 3 年目である平成 22 年度から共同研究 (NEDO 費用負担 2/3) へ移行させた。さらに、平成 23 年度～平成 24 年度は中間評価中間評価委員会分科会及び技術検討委員会で「実ガス組成による検討をすべき」との指摘のあったため、実機想定燃料組成とほぼ同等のガスが得られる、多目的石炭ガス製造設備 (EAGLE) のガスタービンに本テーマの開発燃焼器を組み込み、実ガス試験を行うために研究加速を行った。(加速総額 720 百万円 内 NEDO 負担額 480 百万円) 研究開発の加速のため EAGLE プラントでの実ガス多缶燃焼試験の準備、及び試験を実施した。

表Ⅱ-2-3 予算の推移

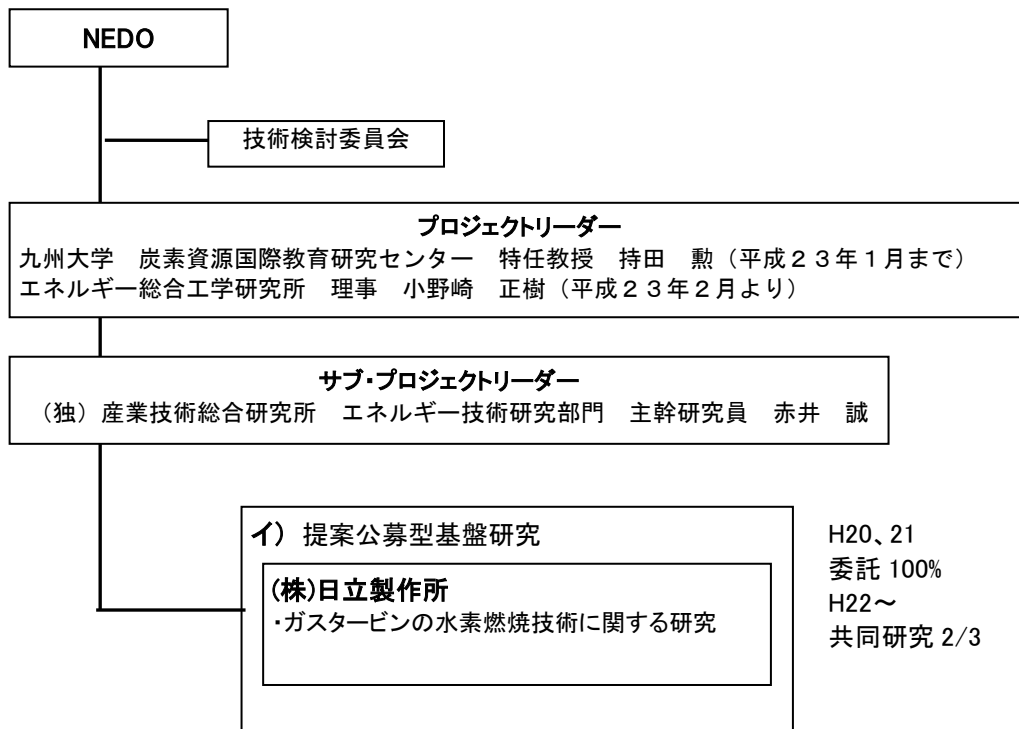
(単位:百万円)

	委託先 共同研究先	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	総額
石炭ガス化発電用高水素濃度対応 低 NOx 技術開発	日立製作所	93	138	68	406	703	1,408

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。平成 20 年度、21 年度は委託契約、平成 22 年度から共同研究 (NEDO 負担 2/3) 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 炭素資源国際教育研究センター持田勲特任教授を指名し、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（一財）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。



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、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った。

本事業では、外部有識者からなる技術検討委員会を年2回開催し、運営管理を行ってきた。

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	新日鐵住金株式会社	技術開発本部 技術開発企画部
委員	松岡秀一	准主任部員	出光興産株式会社	販売部 石炭事業室
委員	佐川篤男	研究主幹	日本エネルギー経済研究所	新エネルギー技術・石炭グループ

2.4 究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」における実用化に向けたロードマップを図 II-2-4 に示す。本事業はクラスタバーナを用いた高水素濃度・低 NOx 技術に対応した基盤研究であるが、早期実証につなげることにより、将来的には 1300℃から 1500℃へと高温化してゆく商用機への対応を通して水素含有燃料一般に対する低 NOx 燃焼技術の深化が期待できる。さらに、広範囲の水素濃度に対して同一構造のバーナで対応できる利点を生かし、大きな開発コストを必要とせず副生ガス（リファイナリガス、鉄鋼ガス等）焚きガスタービン等の低 NOx 化技術への展開が可能であり波及効果も期待できる。

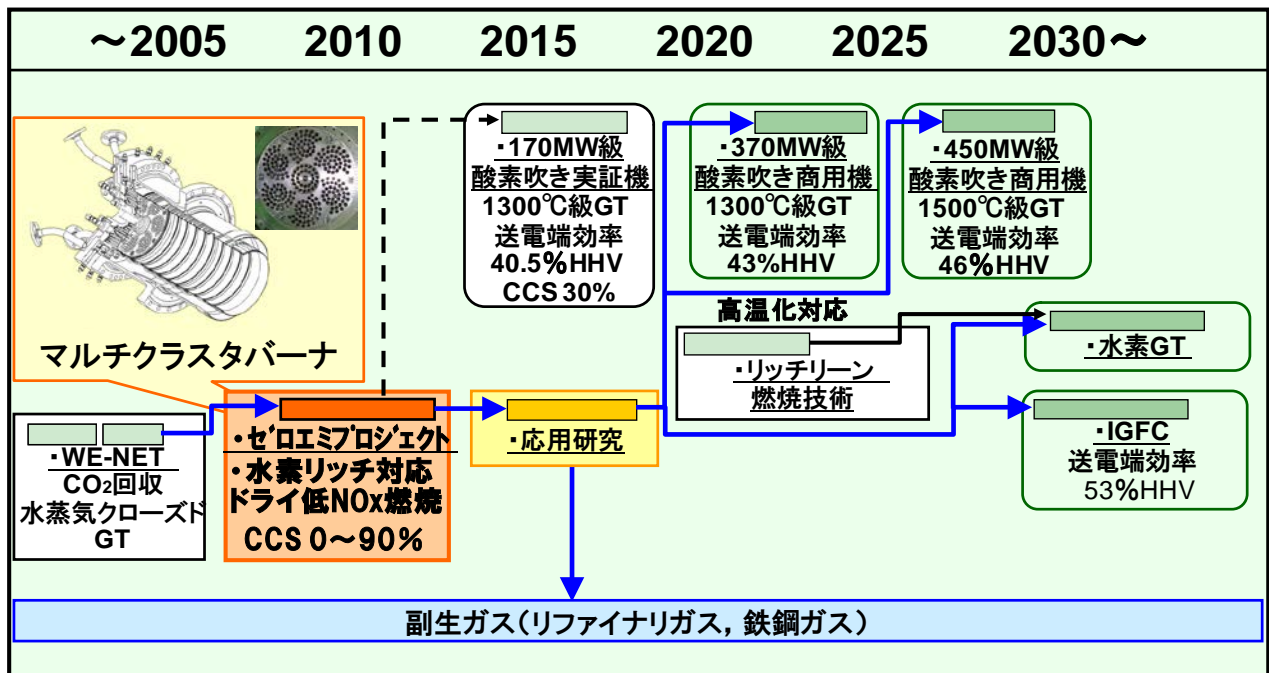


図 II-2-4 「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」の実用化に向けたロードマップ

2.4.2 知財マネジメント

「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」における研究発表、特許出願等の件数を表Ⅱ-2-5 に示す。本研究開発のキーとなる技術に関しては、基本となる特許と共にその応用技術および代替技術に関しても、有機的特許網を構築して国内、および海外に速やかに出願し、本技術に関する知財権の確保を図った。

表Ⅱ-2-5 「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」の研究発表、特許出願等の件数

	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	合計
研究発表	0	1	3	6	1	4	15
プレス発表	0	0	0	1	1	0	2
論文投稿	0	1	0	0	1	0	2
研究報告書* など	1	1	1	1	1	0	5
特許 (海外出願)	3 (0)	4 (0)	4 (2)	4 (0)	7 (0)	1 (0)	23 (2)

*本研究開発の中間年報、最終報告書

3. 情勢変化への対応

(1) 基本計画の変更

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 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

この中で、平成 21 年度まで実施していた、革新的ガス化技術に関する基盤研究事業及び戦略的炭ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT) のテーマを、「ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発」のテーマとして統合した。

(2) 委託事業から共同研究への移行

「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NOx 技術開発」については、平成 20～21 年度の研究成果で中間目標である「高水素濃度燃料に対応する燃焼技術として、NOx 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」の目処が小型燃焼器で得られており、平成 22 年度からは実用化へ向けて前倒しで取り組める段階になったと判断されたため、事業 3 年目である平成 22 年度から共同研究 (NEDO 費用負担 2/3) へ移行させた。

4. 中間評価結果への対応

<研究開発成果に関する評価>

希薄燃焼によって低 NOx 化を図る予混合燃焼的な方策が最も確実な方法という知見を得たことで希薄均一条件での燃焼を実現することを主眼にする方式を採用した。内部 EGR 的な方策を採用し、安定燃焼と低 NOx 化のため循環ガス量をどの程度にするかを主に空気孔の旋回角などのパラメータで制御可能とした。それにより、高水素濃度対応ドライ低 NOx 燃焼技術に世界で初めて挑戦し、世界初の 10ppm 以下の目標に到達しており評価したい。

なお、バーナーの燃焼振動については、起こってしまったのは実用にならないため、より具体的な原因解明と対策が必要である。

<肯定的意見>

- 開発は順調に進んでおり、中間目標をクリアしている。
- 目標達成基準が数値化されており達成度が明確である。

- ・特許を7件出願している点も産業競争力の点で評価できる。
- 高水素濃度対応ドライ低 NOx 燃焼技術に世界で初めて挑戦して、成果を挙げている点は高く評価できる。
- ガスタービン燃焼器でリッチ・リーン燃焼などの効果を検証する上でシミュレーションは有効であり、燃料の混合分率 0~1 の範囲の燃焼速度を別途計算して 5000 点程度の燃焼速度データベースを構築してシミュレーションに供し、リッチ・リーンないし二段燃焼などにも対応した、拡散燃焼から予混合燃焼までを計算できる。また、希薄燃焼によって低 NOx 化を図る予混合燃焼的な方策が最も確実な方法という知見を得て、希薄均一条件での燃焼を実現することを主眼にする方式を採用した。内部 EGR 的な方策を採用し、安定燃焼と低 NOx 化のため循環ガス量をどの程度にするかを主に空気孔の旋回角などのパラメータで制御可能とした。
- 水素は次世代エネルギーとして、日本では数多くの蓄積があり WE-NET により人材も多くいるなどその活用は大きく、発電用への利用は期待される。特にガスタービンの低 NOx 化技術は環境改善の基本であり、着実に成果が見られる。
- 「高水素濃度対応ドライ低 NOx 燃焼技術」は改良を進め、世界初の 10ppm 以下の目標に到達しており、評価したい。
 - ・クラスタバーナも着想としては興味深く、成果の意義は大きい。今後の更なる成果を期待したい。
- 難しいテーマに対して、良い成果を上げており、今後の進捗が楽しみである。

<問題点・改善すべき点>

- ・ガスタービンシステムとバーナーの開発目標と CFD シミュレーションおよびプロセスシミュレーションの「想定目標」を定量的に示し、目標値に向けた開発要素を明示すべきではないか。
 - ・中間評価段階の 1 本クラスタバーナーおよびマルチクラスタバーナーまでの開発は高く評価できるが、これまでの成果を実寸サイズ燃焼器へどのように結びつけるのかが不明。スケールアップパラメータは何かの課題抽出をピックアップすることも重要な目標と思われるが、説明がない。
- ・成果の説明では、中間目標を達成したという結果を示すだけでなく、科学的、技術的根拠を説明すべき。それがないと、中間目標の達成が、最終目標の達成に結びつくのかわからない。
 - ・成果の普及では、本報告も含め、一般に対してもわかり易い説明をしてもらいたい。
- 燃焼試験では、大量の CO が貯蔵できないために、メタンを用いているが、この影響が定量的に評価されていない。小型の装置を用いて、両者を比較して、化学反応数値解析法を併用して、大型装置での定量評価の基礎を確立しておく必要がある。燃焼振動等の不安定現象を完全に抑制して、装置の信頼性を高める必要がある。NOx 排出濃度の計測結果を説明できるような数値解析ツールが必要である。
- シミュレーションでは乱流モデルは k-ε モデル、化学反応に関して総括反応をベースとするモデルに修正を加えて計算を実施しているが、シミュレーション結果のみでバーナー形状を決定できるほどの信頼性を確立していないが、計算のプロを導入し、シミュレーションのみでバーナーの最適化を行うようにすること。そのために何が不足しているのかを明示すること。
- 水素は限定的な供給とコストの問題があり、建設費、安全性、コストを総合的に必要で、国際市場を視野に入れると水素の入手が困難な国には不適合になる。水素による効果的な条件と同時にリスクを検討すべき。
- シミュレーションを行っているが、実機とのマッチング調整によるさらなる修正が必要ではないか。振動については、起こってしまったは実用にならないため、より具体的な原因解明と対策が必要ではないか。

<その他の意見>

- ・CO2 回収型高効率 IGCC のシステムにおける「高水素濃度対応ガスタービン開発」が「ク

「ローズド・ガスタービン」であることはわかるが、システム開発では 1300、1500、1700℃ 級ガスタービンの開発が 2015 年以降であり、まずは高水素濃度対応低 NOx バーナーの開発とする説明は違和感があった。

- ・ガスタービン技術開発が限られている中、ガスタービン技術開発は人材の育成にも貢献する。

目標に向かっての研究により企業としての取り組みを期待。

- ・燃焼用空気の予熱は燃焼速度に大きな影響があり、安定燃焼範囲や燃焼効率に重要な因子であり、ガスタービン燃焼器の定格負荷条件に縛られているので、熱効率向上などの点で制約を受けている。ガスタービンを自社の中で最高の性能を示すものを使用しないと本開発システムが霞んでしまうので、全力投球する上でも最高性能を出すことを検討すべきである。

<実用化の見通しについての評価及び今後の提言>

実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンが明確になっており、目標への着実な進展は評価できる。また、マルチクラスターバーナーの構造はかなり複雑になっており、製作やメンテナンスのコストを考えると、より単純な構造が望ましい。燃焼振動特性の改善に対しては、基本に立ち返り、最高性能を示させるために総力を結集されることを強く要望する。

<肯定的意見>

- 装置開発の技術的課題は概ね解決されていると評価できる。
- 広く展開可能な燃焼基盤であり、ゼロエミッション石炭火力の完成を待たず、実用化の可能性が高い。早ければ、2020 年目標の300MW 級酸素吹き商用機での実用化が見込まれている。
- 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンが明確にされており、本事業が終了した時点で、ガスタービンの水素燃焼に技術に必要な基礎データの取得がなされると高く評価できる。
- クラスターバーナーの乱流解析へ実測との整合性の説明は不足していたが、傾向をよく説明できている。しかしながら、どのパラメータが重要なかが不明確。
- クラスターバーナーによる分散燃焼で低NOx と耐逆火性を両立させたことは評価できるが、バーナーの場合には燃焼室熱負荷にも左右されるが、実機での熱負荷と比べた場合にも達成できることを確認することが必要である。
- 難しい課題に先進的手法で取り組んでおり、モデリングとの対応を進めることによりさらなる展開が期待できる。
- 目標への着実な進展は評価できる。

<問題点・改善すべき点>

- 幅広い分野への展開を図り早期に実用化することを期待する。
- マルチクラスターバーナーの構造はかなり複雑になっており、製作やメンテナンスのコストを考えると、より単純な構造が望ましい。可能なら検討して欲しい。
- 上記の振動対策、モデリング・シミュレーションの改良が望まれる。
- 市場性など開発費の回収には不可欠な条件があるので、この市場についての、具体的な方向性が必要。またより高温化しかつ低NOx 可能な技術として既存技術との競合力の評価が必要。
- シミュレーションしてみると理解できると思うが、燃焼がうまく行かない時には、シミュレーション結果も可笑しくなる。LES にしなくても標準型のk- ϵ 2 方程式モデルであってもできることはもちろんである。また燃焼の振動は高周波の揺らぎは再現していると思うが、燃焼振動は低周波であり、燃焼振動が発生するような燃焼器を使わざるを得ないのは基本的に頭脳の結集とは思えない。基本に立ち返り、最高性能を示させるために自社の総力を結集されることを強く要望する。三菱重工が、日本や米国に先行して、中国で次世代の石炭火力発電設備 (IGCC) の事業化を目指す事を表明し、IGCC で中国に進出ということもあり、必要ならば三菱重工をも開発に加えては如何か？

<その他の意見>

- ・CO2 回収率が最大何%まで安定燃焼可能かを評価できると良い。
- ・本技術の論文発表、国際的な評価についてのより積極的な展開が必要。
- ・AHAT サイクル(Advanced Humidified Air Turbine)では 650℃程度までの空気予熱の経験もあり、ガスタービンのヒートマスマテリアルバランスが大きく変わり開発要素が大きくなるというが、この位は容易にクリアしないと実機化は難しいと考える。そのため必要なら、三菱重工と共同で IGCC 用のガスタービンを導入することが必要。もし日立に適切なガスタービンがないなら他社のを購入し、日本最高の技術を追求して欲しい。
- ・着実に成果を出しており、実用化もある程度見えている。本研究事業後は民間での推進が可能である。

問題点・改善すべき指摘点	対 応
窒素とメタンを含有している、実ガスに近い熱量の模擬ガスで試験を行っているが、一酸化炭素の影響評価は出来ていない。実ガス組成に含まれる一酸化炭素の影響を評価すべき。	実ガス試験の実施 実機想定燃料組成とほぼ同等のガスが得られる、多目的石炭ガス製造設備 (EAGLE) のガスタービンに開発燃焼器を組み込み、実ガス試験を行った。
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	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に新 PL を任命した。
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。 さらに、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。	プロジェクトマネジメントの強化 マネジメントの強化として、民間企業において石炭液化プロジェクト等でのエンジニアリング経験を有する専門家に PL を交代した。 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プレス等の機会を通じて積極的に発信する。また、これらの成果は技術検討委員会へ適切にフィードバックし、プロジェクト全体の底上げに繋げていく。
低 NOx バーナは、実用化に向けての課題抽出が不十分である。さらに、技術的な目標設定だけでなく、国内外の将来市場を見て、実用化時期とコストの目標を明確に設定されたい。	目標到達へのロードマップ作成 研究の全体像をマップ化した上で、実用化に向けた課題を網羅的に抽出しその優先順位付けを行う。また、マイルストーンの設定により、解決に向けた道順を明確にする。

<p>低 NO_xバーナーについては、モデリング・シミュレーションの改善と振動対策により、さらに実用化に向けたブラッシュアップが望まれる。</p> <p>高水素濃度対応ドライ低 NO_x 燃焼技術に世界で初めて挑戦し、世界初の 10ppm 以下の目標に到達しており評価したい。</p> <p>なお、バーナーの燃焼振動については、起こってしまっは実用にならないため、より具体的な原因解明と対策が必要である。</p> <p>燃焼振動特性の改善に対しては、基本に立ち返り、最高性能を示させるために総力を結集されることを強く要望する。</p>	<p>燃焼振動への対策とシミュレーションの改善</p> <p>バーナー構造の改良による燃焼振動特性の改善と、解析モデルの改良（これまでの試験結果の反映）により解析精度の向上を図る。</p>
<p>マルチクラスターバーナーの構造はかなり複雑になっており、製作やメンテナンスのコストを考えると、より単純な構造が望ましい。</p>	<p>バーナー構造のシンプル化に向けた検討の加速</p> <p>本バーナーは空気孔プレート 1 枚と同一構造をもつ燃料ノズルから構成されるため、従来型と比較しても構造はシンプルである。しかし、空気孔の噴出方向の調整等により構造のシンプル化を進めるだけでなく、メンテナンスの容易性やホットパーツの寿命延長に向けた検討を続ける。</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。

NEDOPOST2 では、基盤研究についての目標が「CO₂ 回収後の送電端効率向上」としていたことに対して、送電端効率のみならず、CCS を含めた要素技術が総合的に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とのコメントがあり、提案型公募を実施した。

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. 研究開発の成果

1. 事業全体の成果

表Ⅲ1-1 本事業の開発目標・成果・達成度

目 標	研究開発成果	達成度
<p>ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発</p> <p>(1)「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」(出典:「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 p.11)</p> <p>「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低NOx技術開発」</p> <p>NOx濃度 10ppm以下 (16%酸素濃度換算)</p>	<p>(1)「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」(出典:「ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発」事業原簿 pⅢ-2-x)</p> <p>「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低NOx技術開発」</p> <p>①小型燃焼器にて、CO₂回収率 0%～90%燃料で安定燃焼を確認。</p> <p>NOx排出濃度は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂回収率 0%燃料: 5.4ppm ・CO₂回収率 30%燃料: 5.8ppm ・CO₂回収率 50%燃料: 6.5ppm ・CO₂回収率 90%燃料: 9.2ppm <p>②大型燃焼器にて、CO₂回収率 0%～90%燃料で安定燃焼を確認。</p> <p>NOx排出濃度は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・CO₂回収率 0%燃料: 8.6ppm ・CO₂回収率 30%燃料: 15.6ppm ・CO₂回収率 50%燃料: 18.1ppm ・CO₂回収率 90%燃料: 21.6ppm <p>CCS 0%燃料に対して目標を達成。全ての燃料に対し燃焼振動、メタル温度を管理値以下に抑制でき、より高信頼性の燃焼性能を実現。現技術により、稼働中のプラント(水蒸気噴射)と同等のNOxをドライで達成。今後、本技術をIGCC実証機に適用する予定。また、CCS30%～に対して更なる低NOxを目指し、大型燃焼器の研究を継続。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃焼効率>99.99% (定格負荷) ・燃焼効率>99.5% (運用負荷) <p>③EAGLE実ガス多缶燃焼試験にて、起動から最大負荷(定格負荷相当)に安定運転を確認</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最大負荷にてNOx=8.5ppm 	<p>(1)「革新的ガス化技術に関する基盤研究事業」</p> <p>「石炭ガス化発電用高水素濃度対応低NOx技術開発」</p> <p>達成</p>

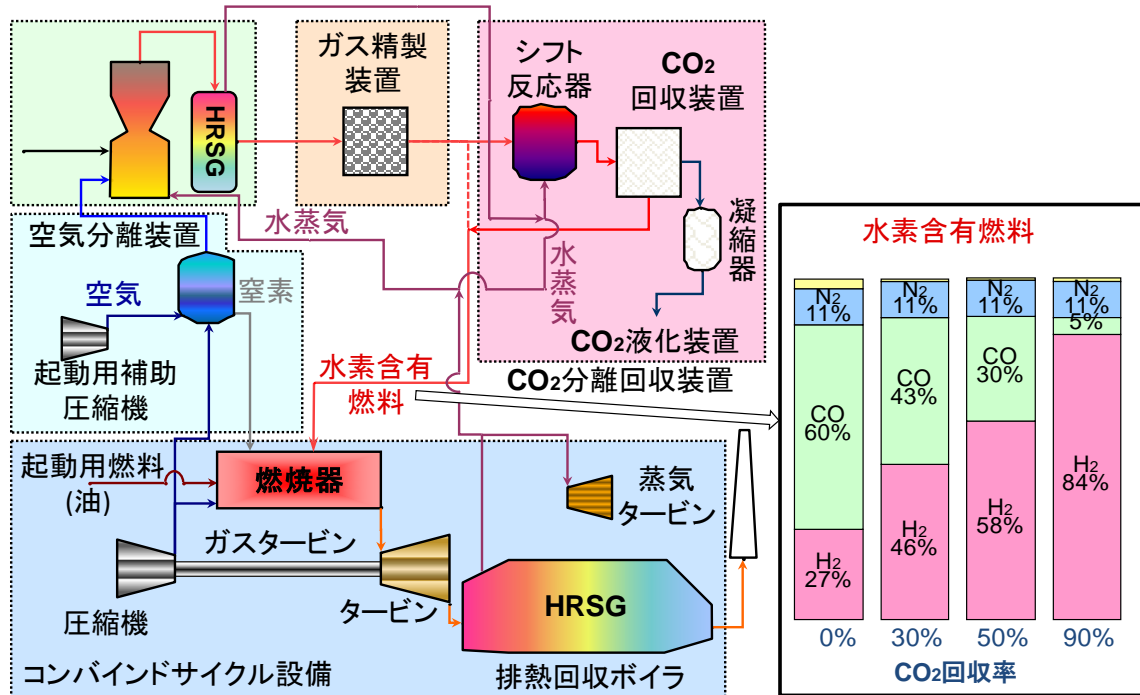
2. 各研究項目の成果

2.1 研究開発の概要及び成果等

石炭は世界に広く分布し埋蔵量も豊富なことから、次世代の石油代替燃料として期待されている。しかし、単位エネルギーあたりの二酸化炭素(CO₂)排出量が他の燃料より高いため、2050年までにCO₂排出量を大幅に削減するためには、CO₂回収・貯留技術(CCS)を組み込んだゼロエミッション石炭火力発電を早期に実現できる高効率な石炭火力発電技術が必要である。このためには、石炭ガス化複合発電(IGCC)とCCSを組み合わせることが有効と考えられており、欧州、米国、豪州などでは大規模な実証プロジェクトが計画されている。

IGCCにおいては、取り扱うガス中にCO₂以外の不活性ガスが少なく、一酸化炭素(CO)シフト反応後のCO₂濃度を高めた回収が可能で、ベースとなる火力発電の効率も高い酸素吹きIGCCに燃焼前回収法を組み合わせた方式が、高効率ゼロエミッション石炭火力発電として有望である。上記のプラントでは、CO₂回収率に応じて水素濃度が幅広く変化する高水素濃度燃料がガスタービンに供給される。

図Ⅲ2-1-1にCO₂回収付酸素吹きIGCCプラントの代表的なシステム構成とガスタービンに供給される燃料組成を示す。



図Ⅲ2-1-1 CO₂回収付酸素吹きIGCCプラント

水素は発火しやすく燃焼速度が速いため、予混合燃焼方式の燃焼器で高水素濃度燃料を燃焼させた場合、燃焼室内にある火炎が予混合器流路内に逆流したり、予混合器内で自発火する可能性が高くなったりするため、燃焼器の信頼性が低下する恐れがある。また、火炎の逆流や自発火は燃料の燃焼速度や着火性に依存するため、CO₂回収率の変化によって燃料の水素濃度が変化する場合には、これらの現象を防止する条件も変化することになる。

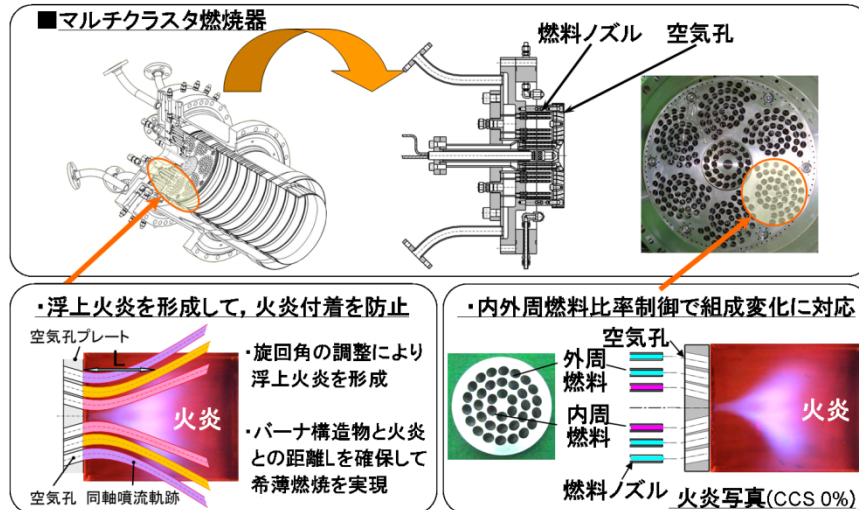
一方、拡散燃焼方式の燃焼器では、高水素濃度燃料の安定燃焼は可能であるが、燃焼室内で最も燃焼しやすい混合気形成された位置で燃焼反応が起きるため、局所の火炎温度が高くなり窒素酸化物(NO_x)の排出濃度が増加する。このため、環境規制を満足するには窒素、あるいは水や蒸気を燃焼器に噴射して局所の火炎温度を低下させ、NO_x排出濃度を低減する必要がある。そのため、拡散燃焼方式では、不活性媒体の噴射に伴う発電効率の低下や、噴射設備の初期コストおよびプラントランニングコストの上昇という課題が生じる。したがってCCS-IGCCプラントでは、燃料中の水素濃度の幅広い変化に対応でき、窒素、あるいは水や蒸気などの噴射が不要で、かつNO_x排出濃度が低いドライ低NO_x燃焼器が必要となる。

そこで、本研究では、幅広い水素濃度の変化に対して、同一バーナ構造で燃焼可能なドライ低NO_x燃焼技術の開発を目的とする。その手段として、燃料ノズルと空気孔を同軸に配置した構造をもち、燃料と空気の同軸噴流によって短い距離で急速に混合できる多孔同軸噴流バーナ(クラスタバーナ)を用いる。大気圧要素燃焼試験により構造最適化したクラスタバーナを基に、それを複数配置して実用化を考慮したマルチクラスタバーナ形式低NO_x燃焼器(マルチクラスタ燃焼器)の構造を検討し、ガスタービンに搭載可能な燃焼器を試作した。そして、実ガスを模擬した試験用燃料を用いた中圧・高圧の社内試験により、これらの燃焼器の妥当性を検証した。平成22年度からは、試験用燃料を用いた単缶試験による開発の妥当性を検討し、実ガスに含まれる一酸化炭素(CO)の影響などを評価するため、多目的石炭ガス製造設備EAGLEにて発生する実際の石炭ガス化ガスを用い、同設備構内のガスタービン設備でのプラント試験により、実ガス多缶燃焼特性を評価した。

(1) バーナ構造の最適化

① クラスタバーナ概要

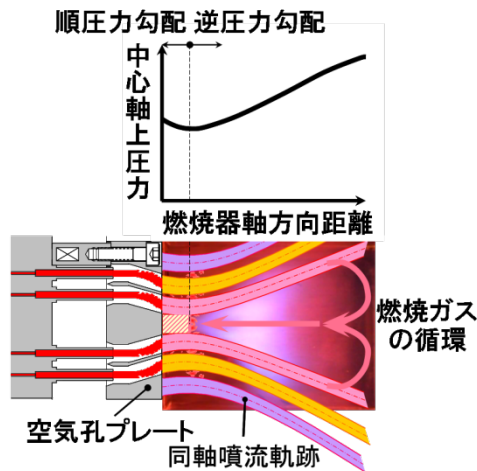
図Ⅲ2-1-2 に本研究で開発したドライ低 NO_x 燃焼器（マルチクラスタ燃焼器）のクラスタバーナの概要を示す。本燃焼器は、多数の同軸噴流バーナからなる多孔同軸噴流バーナ（クラスタバーナ）を複数備えた分散混合方式燃焼器である。多数の同軸噴流により、燃料を分散投入することと、同軸噴流が燃焼室に流入する際の急拡大を契機として急速に混合することを利用して、希薄燃焼を実現している。また、燃料と空気の混合を促進すると共に、バーナ構造物の信頼性を確保するため、同軸噴流の噴出方向を調整し、バーナ構造物から一定の距離に火炎を浮上させることで、燃焼器構造物に火炎が付着することを防止する。



図Ⅲ2-1-2 マルチクラスタ燃焼器のクラスタバーナ概要

図Ⅲ2-1-3 に火炎を浮上させて保持する原理を示す。クラスタバーナでは多数の同軸噴流（本図では 36 個）を複数（本図では 3 列）の同心円上に配置し、同一のピッチ円直径（以下、PCD と略記：Pitch Circle Diameter）毎に噴出方向を調整している。この同軸噴流の噴出方向の調整により、図示のような流線を実現し、バーナ中心軸上に順圧力勾配と逆圧力勾配を誘起する。

本図に示すように、バーナ中心軸上に誘起された逆圧力勾配によって、高温の燃焼ガスがバーナ中心軸上を空気孔プレートに向かって循環するが、空気孔プレート直下流の順圧力勾配により空気孔プレートから一定の距離以上には空気孔プレートに接近できない。このようにして順圧力勾配と逆圧力勾配が切り替わる位置まで循環した燃焼ガスから、同軸噴流として噴出した混合気に熱を与えて火炎の基点を形成し、バーナから一定の距離浮上した安定な火炎を形成させることができる。

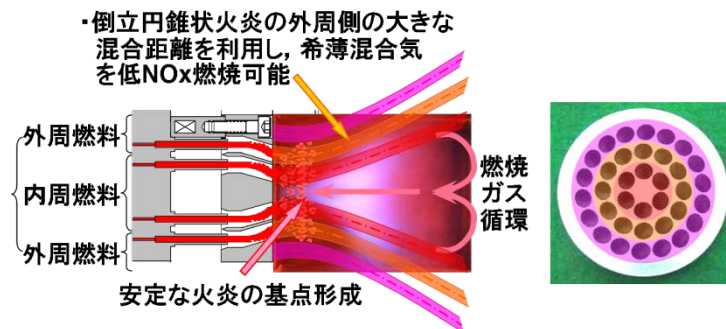


図Ⅲ2-1-3 浮上火炎の原理

図Ⅲ2-1-4 にクラスタバーナで安定な低 NO_x 燃焼を実現するための、燃料比率の制御の概念を

示す。上記のように圧力勾配の切り替わる点で、循環燃焼ガスから混合気に熱を与えることで火炎の基点を形成しているため、最もバーナ中心軸に近い（PCD が最も小さい）1 列目の同軸噴流群から噴出する混合気の当量比が火炎の基点の安定性を左右する。一方、クラスタバーナの外周側（図Ⅲ2-1-4 に示す 2 列目および 3 列目）は、火炎の基点から倒立円錐状に拡大する火炎に対して、空気孔プレートから到達するまでの距離が長く、より均一な混合気が得られやすいため、低 NO_x 燃焼性能が高い性質を有する。

上述のように、マルチクラスタ燃焼器では燃焼器全体の火種となるパイロットバーナの他に、メインバーナ内周（1 列目）同軸噴流群も、火炎安定化の機能を有している。そこでマルチクラスタ燃焼器の燃焼試験における主要なパラメータは、下記の 2 つである。第一のパラメータは、燃焼器に投入する全燃料に占めるパイロットバーナ投入燃料の比率であり、パイロットバーナ燃料比率と定義する。第二のパラメータは、メインバーナに投入する全燃料のうち、外周側（2 列目および 3 列目）に投入する燃料の比率であり、メインバーナ外周燃料比率と定義する。



図Ⅲ2-1-4 内周燃料と外周燃料の分配

② 大気圧要素試験の装置・目的・成果まとめ

表Ⅲ2-1-1 に本研究開発で用いた大気圧要素試験の装置とその目的と得られた成果をまとめる。研究開発では 4 種類の試験装置を使用した。バーナ構造を最適化にあたっては縦型装置を用いた。また、実ガスを模擬した試験用燃料による開発の妥当性を検証するため、同じ縦型装置を用いて CO を含む実機想定燃料と水素 (H₂)、メタン (CH₄)、窒素 (N₂) からなる試験用燃料の双方の排ガス特性を比較した。さらに燃焼速度計測装置を用いて、両燃料の基礎燃焼特性である燃焼速度を計測・比較した。またバーナ構造の最適化にあたって、開発課題として抽出した燃焼振動現象の把握、および抑制策の立案のため、可視化試験装置、および分布計測縦型装置を用いて検討した、以下の③～⑤でそれぞれの詳細を述べる。

表Ⅲ2-1-1 大気圧要素試験の装置・目的・成果まとめ

試験装置	目的	成果
縦型装置	バーナ構造最適化	空気孔旋回プレートの旋回角, 形状, 燃料ノズル噴孔径をパラメータに最適構造を抽出
縦型装置	試験用燃料の妥当性の検証	・燃料比率の計画点付近では, 試験用燃料は実ガスのNO _x を良く再現 ・計画点以下の比率では, 試験用燃料は実ガスのNO _x を過小評価
燃焼速度計測装置		試験用燃料は実ガスの燃焼速度を良く再現
可視化装置	燃焼振動現象の把握と抑制策の立案	・燃料比率に対する火炎挙動の変化を確認 ・振動抑制策の知見を獲得
縦型装置 (分布計測)		・火炎内の変動圧分布を取得 ・火炎内で2つの周波数の存在を確認

③ 大気圧要素試験によるバーナ構造最適化

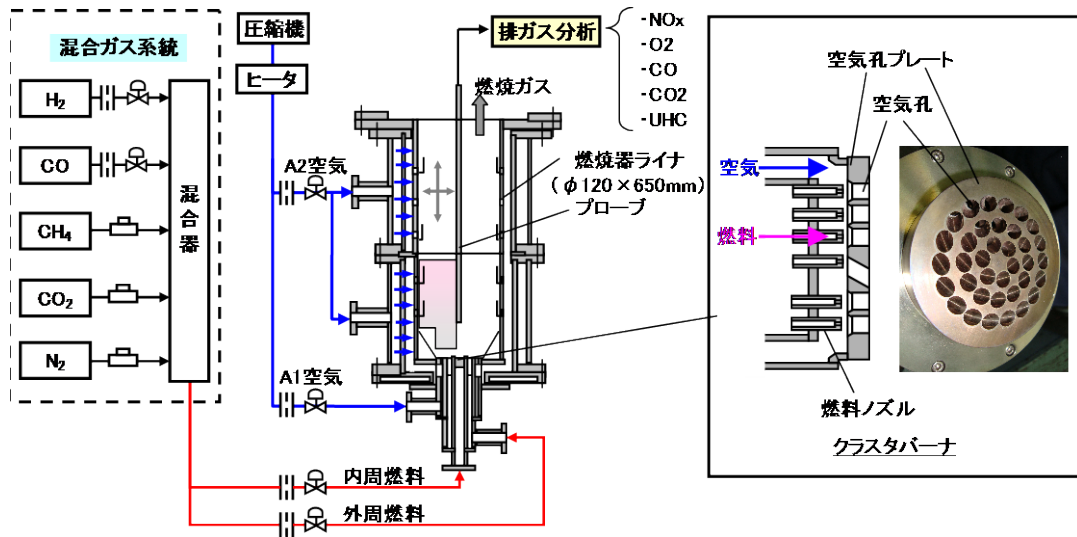
水素濃度が大きく変化する燃料に対応できるバーナ基本構造の開発を目的に、要素試験用

バーナを設計・製作し、大気圧要素試験でその適応性および成立性を確認した。図Ⅲ2-1-5に本試験で使用した縦型試験装置を示す。本試験装置には、燃料となる水素(H₂)、一酸化炭素(CO)、メタン(CH₄)、二酸化炭素(CO₂)、および窒素(N₂)の供給が可能であり、燃焼器の上流に設けたミキサによって混合した後、燃料ノズルに供給した。ミキサの下流にはオリフィス流量計と流量調節弁を2系統備えており、各々の流量を調整することで、バーナの保炎強化と低NO_x燃焼に必要な燃料流量の配分調整が可能となる。ミキサ上流の各々のガス系統には流量計および流量調節弁を備えており、各成分の流量を調整することで燃料組成を任意に調整できる。

一方、燃焼に必要な空気は圧縮機より供給され、供給配管の途中に設けたヒーターによって空気温度を約350℃まで加熱できる。バーナへ供給する空気はA1系統より、また燃焼室となるライナの冷却空気はA2の系統より供給した。排ガス分析については、燃焼室の下流位置で燃焼ガスを採取し、NO_x、O₂、CO、CO₂、UHC(Unburned Hydrocarbon)を計測した。

図Ⅲ2-1-6に試験で使用したクラスタバーナの構造を示す。クラスタバーナは空気を燃焼室に供給するための空気孔プレートと、空気孔プレート上流に同軸に配置した複数の燃料ノズルで構成される。試験に用いた空気孔プレート Type-A は表面形状が平板型であり、空気孔径はすべて同一である。空気孔プレート Type-0 は表面形状が燃焼室側に傾斜した凸型であり、空気孔径は Type-A と同じである。燃料ノズルは、いずれのケースも噴孔径3.0mmのものを使用した。表Ⅲ2-1-2に試験条件を示す。燃焼器圧は大気圧であり、バーナ出口温度は1500℃である。燃料はCCS0%の試験用燃料を使用した。

Type-A と Type-0 を比較し、プレート傾斜形状の影響を述べる。図Ⅲ2-1-7に Type-A と Type-0 のNO_x排出濃度と燃焼効率を示す。安定燃焼が可能な最大外周燃料比率は、Type-A で68%、Type-0 で75%であり、Type-0の方が最大外周燃料比率が高くなる。最大外周燃料比率におけるNO_x排出濃度は、Type-A が7ppm、Type-0 が3ppmとなり、Type-0の方がNO_x排出濃度が低くなる。したがって、空気孔プレート形状を凸型にすることは安定燃焼範囲の拡大、およびNO_x排出濃度の低減に有効である。燃焼効率はどちらの空気孔プレートも99.9%以上あり、燃焼安定性は良好である。



図Ⅲ2-1-5 縦型試験装置 (大気圧)

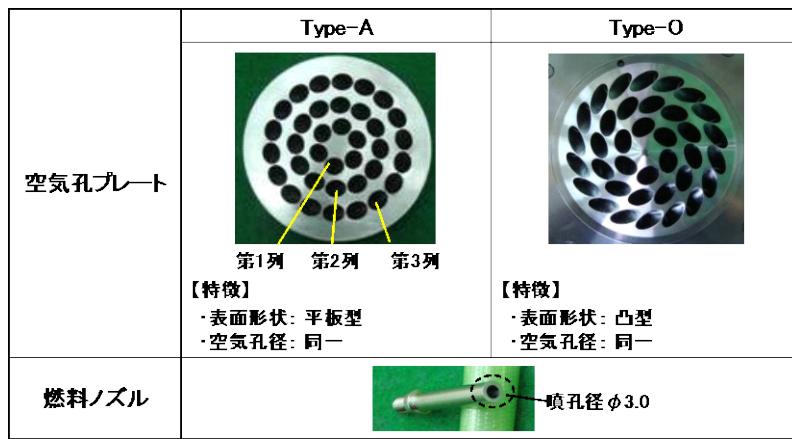
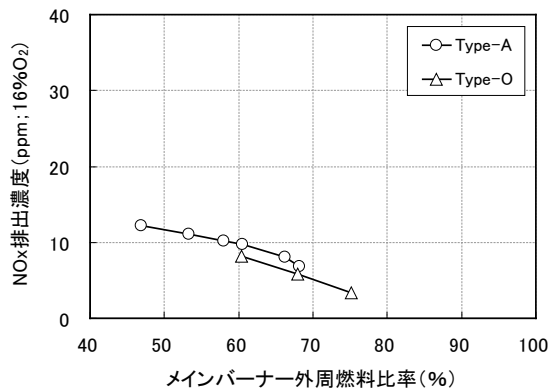


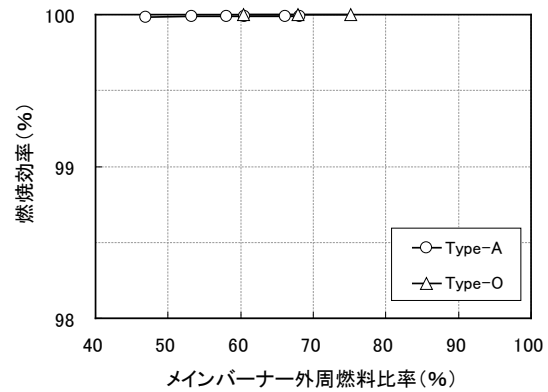
図 III 2-1-6 クラスタバーナ試験品の構造

表 III 2-1-2 大気圧要素試験条件

項目	単位	CCS0%	
空気流量	Nm ³ /h	157	
空気温度	°C	350	
燃焼器圧	MPa	0.1013	
バーナ出口温度	°C	1500	
燃料性状	水素 (H ₂)	vol. %	40
	メタン (CH ₄)	vol. %	18
	窒素 (N ₂)	vol. %	42
	低位発熱量	MJ/Nm ³	11



(a) NOx 排出特性



(b) 燃焼効率

図 III 2-1-7 プレート傾斜形状の影響

④試験用燃料の妥当性の検証

CCS-IGCC プラントで発生するガス燃料は水素(H₂)と一酸化炭素(CO)を主たる成分とし、CO₂回収率が增加するに従い一酸化炭素(CO)が水素(H₂)に転換し高水素濃度燃料となる。しかし、実機ガスタービンに搭載できる実寸大燃焼器の試験に必要な大量のCOは道路交通法の規制により入手できない。したがって、実寸大燃焼器を用いた単缶燃焼試験では、COを除くH₂、CH₄、N₂の3成分で実ガス組成を模擬する試験用燃料で試験している。

表 III 2-1-3 にCO濃度の高いCCS 0%およびCCS 30%の条件における、実機CCS-IGCCで想定される

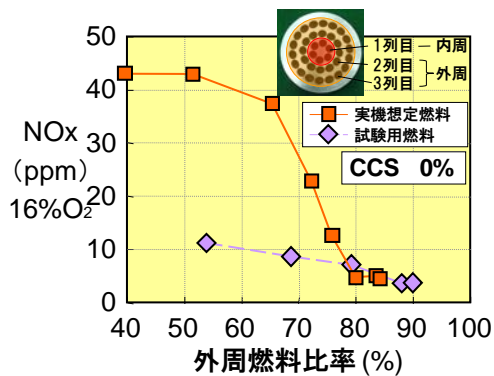
燃料(実機想定燃料)と、実寸大燃焼器の燃焼試験で使用している試験用燃料の組成と燃料の特性量を示す。試験用燃料の調整に当たっては、体積あたりの低位発熱量をほぼ同等とした上で、多種混合燃料の燃焼速度に関して弊社内で使用している燃焼速度の経験式により、概略の燃焼速度がほぼ等しくなるよう H_2 、 CH_4 、 N_2 の3成分の濃度を配分した。

この試験用燃料による燃焼特性を実機想定燃料の燃焼特性と縦型試験装置により比較した。図Ⅲ2-1-8 に CCS 0%燃料に関して、バーナ出口平均燃焼ガス温度を $1500^{\circ}C$ とする条件で燃焼した場合の実機想定燃料と試験用燃料の燃焼特性を外周燃料比率に対して示す。本図(a)が NO_x 排出特性であり、本図(b)が燃焼効率特性である。試験用燃料は外周燃料比率が 80%以上の条件では、 NO_x 排出特性、燃焼効率特性ともに実機想定燃料の燃焼特性を良く再現しているが、外周燃料比率が 80%未満の条件では、 NO_x 排出濃度を過小評価し燃焼効率を過大評価している。

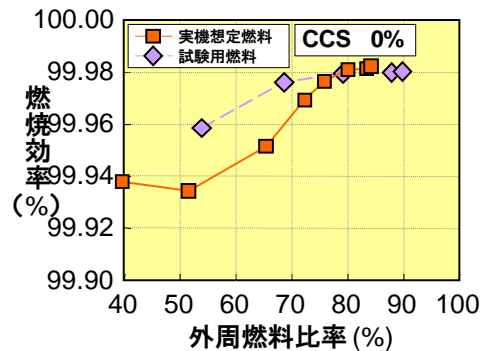
この原因を検討するため、第1列の同軸噴流バーナでの局所の当量比から推定される実機想定燃料と試験用燃料の理論断熱火炎温度を計算した。図Ⅲ2-1-9 に実機想定燃料と試験用燃料の理論断熱火炎温度を外周燃料比率に対して示す。本図(a)が第1列同軸噴流バーナ群、本図(b)が第1列同軸噴流バーナ群の局所当量比である。本図(a)に示す第1列同軸噴流バーナ群の理論断熱火炎温度に着目すると、外周燃料比率 80%を下回る条件では、実線で示す実機想定燃料の断熱火炎温度と破線で示す試験用燃料で約 $100^{\circ}C$ の解離があることが特徴的である。第1列同軸噴流バーナ群の理論断熱火炎温度が、外周燃料比率 80%を下回る条件では試験用燃料の方が実機想定燃料より $100^{\circ}C$ 低くなる要因は、本図(b)に示す第1列同軸噴流バーナ群の局所当量比の違いによるものと考えられる。すなわち、試験用燃料は表Ⅲ2-1-3 に示すように CO の持つ発熱量を補償するためメタン濃度を増加しており、その影響で実機想定燃料より理論空気量が約 24%大きくなっている。このため、外周燃料比率が 80%を下回る条件になると第1列の局所当量比が1を超え、燃料過濃条件になる。クラスタバーナにおいて同軸噴流の局所当量比が燃料過濃状態になると、その部分は拡散燃焼バーナと同様の燃焼形態を取り、量論混合比の火炎温度の火炎塊が分散して燃焼すると考える。この時、試験用燃料では表Ⅲ2-1-3 に示すように量論混合比の断熱火炎温度が実機想定燃料より低いいため、本図(a)に示すような局所燃焼ガス温度の特性を示す。一方、実機想定燃料では外周燃料比率が 73%を下回る条件になるまで第1列の局所当量比は1を超えず、局所燃焼ガス温度は上昇し続ける。また、外周燃料比率が 73%を下回り燃料過濃条件となっても、表Ⅲ2-1-3 に示すように量論混合比の断熱火炎温度が高いので本図(a)に示すような局所燃焼ガス温度の特性となる。 NO_x 排出濃度は局所の燃焼ガス温度と高温部での滞留時間に依存して決まることが知られており、外周燃料比率が 80%を下回る条件で NO_x 排出濃度および燃焼効率に不一致が現れる要因は、上記の理論空気量および量論混合比火炎温度の差によるものと考えられる。

表Ⅲ2-1-3 CCS-IGCC 実機想定燃料と試験用燃料の特性量の比較

項目	単位	実機想定燃料		試験用燃料		
		CCS 0%	CCS 30%	CCS 0%	CCS 30%	
燃料組成	水素 (H_2)	vol. %	26.5	45.5	40.0	55.0
	一酸化炭素 (CO)	vol. %	60.0	43.0	0.0	0.0
	メタン (CH_4)	vol. %	1.0	1.0	18.0	15.7
	窒素 (N_2)	vol. %	12.5	10.5	42.0	29.3
低位発熱量	MJ/m^3N	10.8	10.7	10.8	11.6	
	MJ/kg	11.35	14.93	15.60	21.88	
比重量	kg/m^3N	0.939	0.720	0.690	0.528	
量論混合比	kg/kg	0.3402	0.2850	0.1976	0.1438	
量論混合比断熱火炎温度	$^{\circ}C$	2129	2142	1992	2053	
理論空気量	mol/mol	2.187	2.235	2.707	2.847	

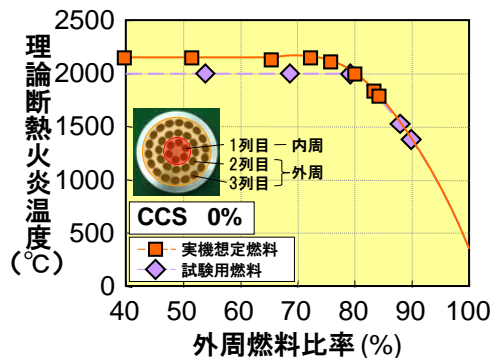


(a) NOx 排出濃度

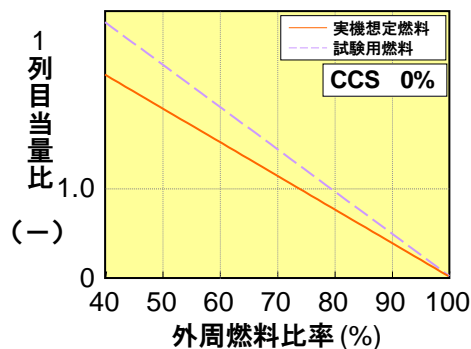


(b) 燃焼効率

図Ⅲ2-1-8 CCS 0%の実機想定燃料と試験用燃料の燃焼特性



(a) 第1列同軸噴流バーナ火炎温度



(b) 第1列同軸噴流バーナ当量比

図Ⅲ2-1-9 CCS 0%の実機想定燃料と試験用燃料の理論断熱火炎温度

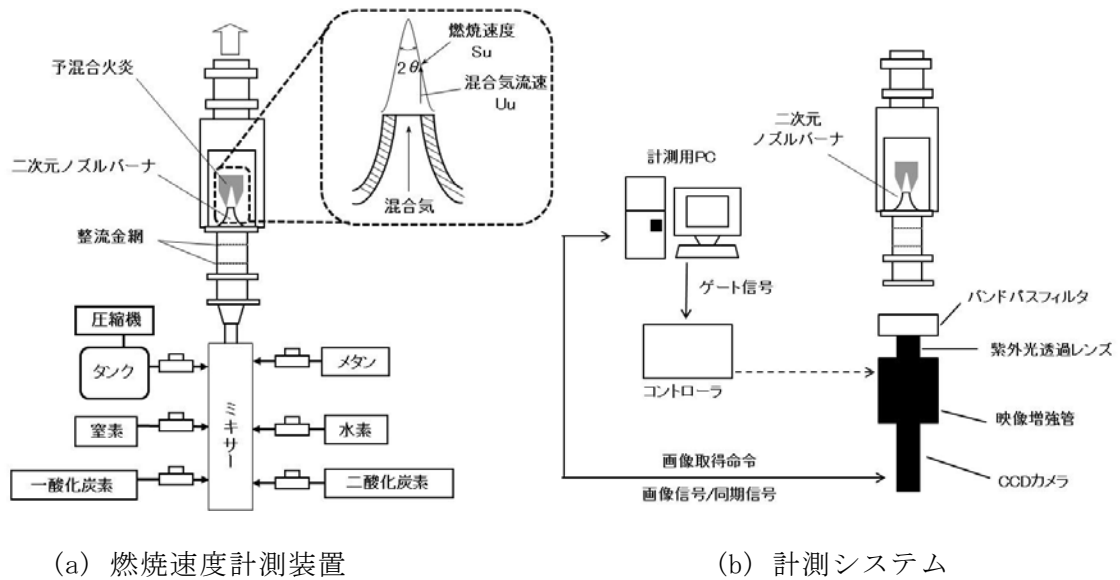
次に、試験用燃料組成の妥当性と適用範囲を検討するため、基礎燃焼特性である燃焼速度に着目し、実機想定燃料と試験用燃料の燃焼速度を計測し比較した。

図Ⅲ2-1-10 に燃焼速度の計測装置と計測システムを示す。本装置の二次元ノズルバーナから予混合気を噴射し、流れ方向に対し傾斜した予混合火炎を形成することで、燃焼速度を計測できる。燃焼速度 S_u は、予混合火炎の半頂角 θ とノズルバーナへ供給する予混合気の流れ速度 U_u から、角度法により次式で算出した。

$$S_u = U_u \cdot \sin \theta$$

ノズルバーナ上流部に整流金網を設けることで、速度分布を平滑化し予混合気中の乱れを低減する。装置には燃料となる H_2 、 CH_4 、 CO 、 N_2 が供給でき、各成分の流量を制御することで燃料組成を調節してミキサへ供給する。空気は圧縮機からミキサに供給し、ミキサは供給された燃料と空気を混合し、予混合気を形成する。火炎からの発光は、バンドパスフィルタを通り、紫外光透過レンズで集光される。レンズで集光された光は映像増強管で増幅した後、CCDカメラで撮影し、計測用PCで画像解析した。画像解析では、30枚の瞬時画像を平均化し平均火炎像を求めた。火炎の頂角は、平均火炎像の二値化により抽出した火炎座標から算出した。

表Ⅲ2-1-4 に試験条件を示す。予混合気温度を大気温度とし、燃料流量と空気流量を調節し、当量比を設定した。試験では当量比1以下の燃料希薄領域の燃焼速度を計測した。

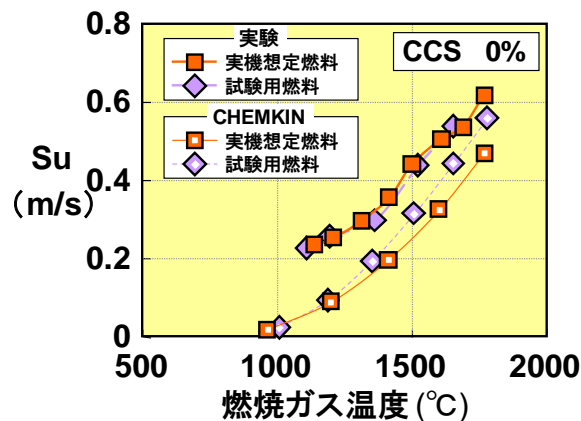


図Ⅲ2-1-10 燃焼速度計測装置と計測システム

表Ⅲ2-1-4 燃焼速度計測試験条件

項目	単位	実機想定燃料	試験用燃料
		CCS 0%	CCS 0%
空気流量	NL/min	25~50	25~50
燃料流量	NL/min	4.0~16.1	5.0~15.0
当量比	-	0.35~0.70	0.45~0.80
予混合気温度	°C	30	30
燃焼ガス温度	°C	1140~1770	1110~1660

図Ⅲ2-1-11 に実機燃料および試験用燃料の燃焼速度の実験結果と計算結果を燃焼ガス温度に対して示す。燃焼速度の計算には Chemkin Premix を用い、詳細反応機構に GRI-Mech. III を用いた。実機燃料と試験用燃料の燃焼速度は燃焼ガス温度の増加とともに速くなる傾向を示し、本試験の範囲内では両燃料の燃焼速度は誤差 2.6% の範囲で一致した。このことから、燃焼ガス温度が同等な燃料希薄条件では、試験用燃料の燃焼速度は、実機想定燃料の燃焼速度を再現することがわかった。また、Chemkin を用いて計算した層流燃焼速度においても、試験用燃料は実機想定燃料の挙動と同等であることがわかった。一方、燃焼速度の実験値は、いずれの燃焼ガス温度に対しても計算値より大きくなっている。実験値は予混合気中に含まれる乱れの効果により燃焼速度が増加し、計算値を上回ったと考える。



図Ⅲ2-1-11 燃焼速度 Su の結果

⑤ 燃焼振動現象の検討（火炎可視化と分布計測）

縦型試験装置によりクラスタバーナの基本構造を検討し、凸型空気孔プレートが安定燃焼範囲の拡大に有効であることがわかった。さらなる低 NOx 化のためには、低 NOx 化の妨げとなる燃焼振動の発生機構に関する知見が必要である。そこで、本試験では、それらの知見を得るために、大気圧条件において火炎可視化により振動現象を検討した。

図 III 2-1-12 に可視化試験装置を示す。この試験装置は、石英ガラスライナ製の燃焼器の中央にクラスタバーナ 1 個を設置した大気圧燃焼試験装置であり、火炎を可視化できる。試験装置には燃料となる水素、メタン、窒素を供給でき、各成分の流量を調整することで燃料組成を調整する。空気は圧縮機から供給され、供給配管の途中に設けたヒーターにより加熱される。加熱された空気は、燃焼用空気、および石英ガラスライナを冷却するためのフィルム冷却空気に分配される。

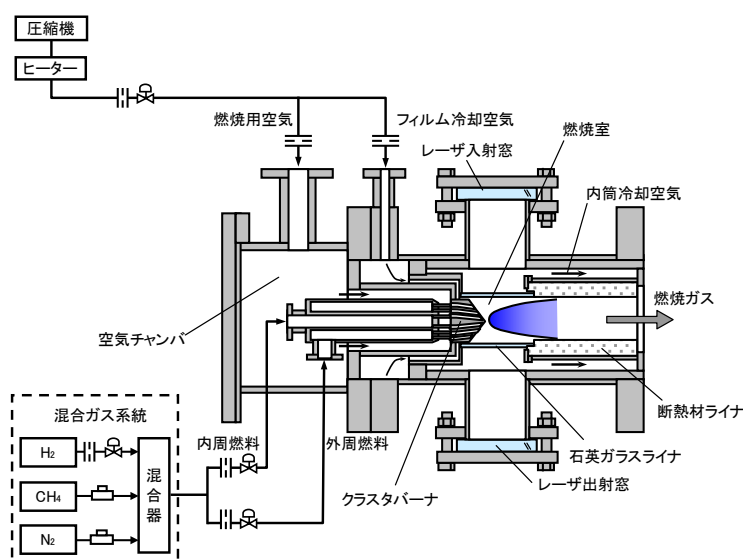
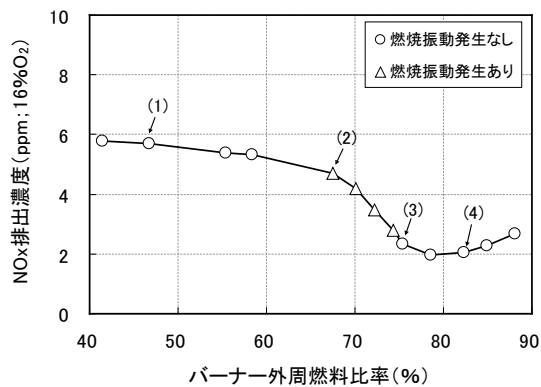


図 III 2-1-12 可視化試験装置

試験では、バーナ外周燃料比率を変化させ NOx 排出濃度と火炎挙動の変化を調べた。図 III 2-1-13 (a) に NOx 排出濃度、(b) に火炎可視化画像を示す。本図 (a) の○印は燃焼振動が発生しなかった条件、△印は燃焼振動が発生した条件を示す。外周燃料比率の増加に伴い NOx 排出濃度は低下し、外周燃料比率 83% 近傍で NOx 排出濃度は最小となった。外周燃料比率が 68% より低い条件では、本図 (b) (1) に示すような安定した浮上火炎が形成され、燃焼振動は発生しなかった。しかし、外周燃料比率が 68% になると、本図 (b) (2) に示すように火炎が浮上した状態とバーナの外周領域に火炎が付着した状態が繰り返され、燃焼振動が発生した。このように浮上火炎と付着火炎の反復がトリガーとなり燃焼振動が発生することがわかった。また、付着火炎はバーナ外周側で発生する循環流により発生したと考える。外周燃料比率が 75% になると、本図 (b) (3) に示すように浮上火炎の輝度が非常に低くなり、浮上火炎では良好な希薄燃焼が行われていることが推定できる。またバーナ外周では火炎がバーナに完全に付着した結果、燃焼振動が発生しなくなった。外周燃料比率 83% では、本図 (b) (4) に示すように希薄で非常に輝度の低い浮上火炎と、相対的に輝度の高い付着火炎が定常的に共存する燃焼状態となった。この時、付着火炎の輝度が相対的に高いことから、付着火炎の領域において NOx 生成が大きいことが推定される。以上から、付着火炎はバーナ外周側の循環流により発生し、浮上火炎と付着火炎の反復がトリガーとなって燃焼振動が発生することがわかった。



(a) NOx 排出濃度

外周燃料比率	火炎	火炎可視化画像
(1) 47%	浮上火炎	
(2) 68%	浮上火炎と付着火炎の繰り返し (燃焼振動発生)	
(3) 75%	付着火炎	
(4) 83%	付着火炎	

(b) 火炎可視化画像

図Ⅲ2-1-13 NOx 排出特性と火炎可視化画像 (CCS 0%)

CCS-IGCC 用ドライ低 NOx 燃焼器の燃焼試験で発生する高周波燃焼振動に着目し、トラバース装置に圧力センサを組み込み、燃焼室内における変動圧力の空間分布を計測した。本研究では、火炎内部へ挿入可能な燃焼振動計測用のセンサとして、無冷却で耐熱可能な振動センサを選定した。このセンサプローブを二軸トラバース装置に組み込むことで、変動圧力の断面計測が可能となり、燃焼振動の軸方向モードと半径方向モードを把握できる。さらにバーナの設置位相を周方向に回転することで、周方向の燃焼振動モード計測も把握できる。

図Ⅲ2-1-14 に変動圧力分布を計測する縦型試験装置の概略を示す。装置下流には、上方へ向かい流れる燃焼ガスに対向してセンサプローブを設置しており、二軸トラバース装置によりセンサを走査することで変動圧力の分布計測が可能である。

図Ⅲ2-1-15 にセンサプローブをバーナ中心軸上の火炎内に設置した際の変動圧力周波数特性を示す。左図はクラスタバーナにより形成した火炎へセンサプローブを挿入した様子を示しており、右図は挿入位置における3つのセンサプローブの周波数特性を示している。なおグラフ縦軸は振幅の二乗値であるパワースペクトルとした。燃焼試験装置に設置した3つの振動センサ(バーナ端面、ライナ壁面、センサプローブ)は、いずれも同様の周波数で変動圧力が卓越していることが確認できる。この結果より、火炎中へセンサを挿入した場合においても、燃焼形態が著しく変化しない限り、センサプローブと壁面に設置した他のセンサの間で周波数特性が変化しないことを確認した。変動圧力の卓越した周波数は、低周波成分(約80Hz)と高周波成分(約1000Hz)であり、3つのセンサの変動圧力のピーク値を比較すると、低周波成分は3つのセンサの間でピーク値に際立った変化はないが、高周波成分はバーナ端面が最も変動圧力が大きく、次いでライナ壁面、センサプローブの順で変動圧力が減衰している。一般に変動圧力の空間減衰は変動圧力の周波数成分が高いほど大きいため、高周波成分の変動圧力は燃焼室上流側、すなわちバーナ出口近傍で発生している可能性がある。

図Ⅲ2-1-16 に燃焼室内における低周波振動と高周波振動の変動圧力の空間分布を示す。図中、計測範囲原点がバーナ端面中心軸に対応しており、コンターラベルは計測範囲内において、各周波数成分の変動圧力の最大値を1として規格化している。低周波成分の変動圧力分布は燃焼室下流側ほど振幅が増大し、高周波成分は軸方向に約110mm間隔で振幅の増減が現れていることがわかる。

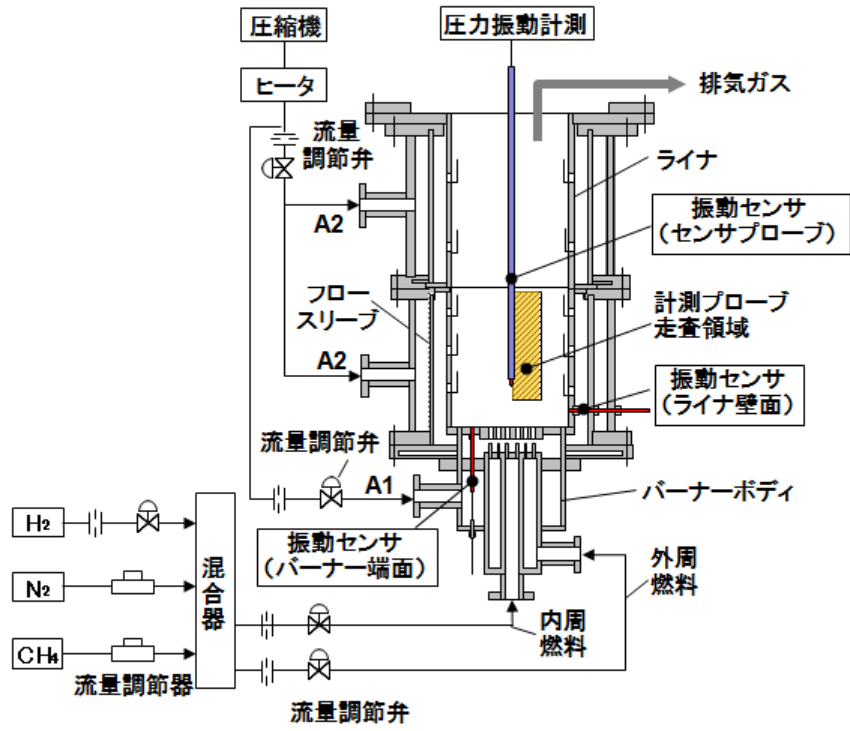


図 III 2-1-14 縦型試験装置 (変動圧力分布計測)

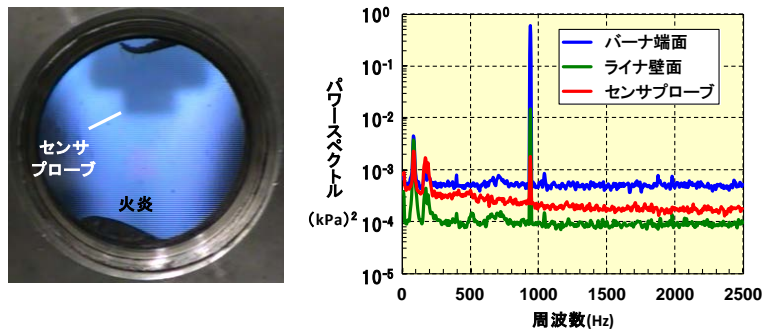
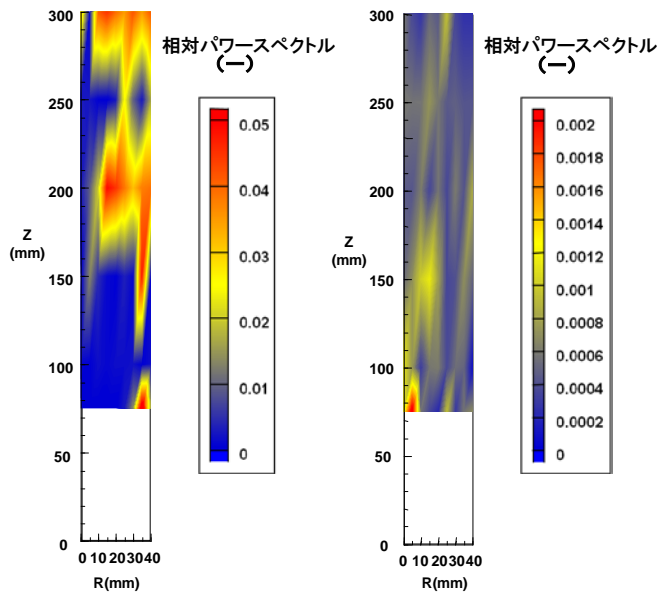


図 III 2-1-15 変動圧力周波数特性



(a) 低周波振動

(b) 高周波振動

図 III 2-1-16 変動圧力分布計測結果

(2) マルチクラスタ燃焼器の開発

① 実寸マルチクラスタ燃焼器と実寸燃焼試験の装置・目的・成果まとめ

表Ⅲ2-2-1 に実寸マルチクラスタ燃焼器の仕様、表Ⅲ2-2-2 に本研究開発で用いたマルチクラスタ燃焼器の実寸燃焼器試験の装置とその目的、成果をまとめる。以下、②で小型マルチクラスタ燃焼器の開発（中圧試験装置）、③で大型マルチクラスタ燃焼器の開発（高圧試験装置）、(3)で EAGLE 試験の詳細を述べる。

表Ⅲ2-2-1 実寸マルチクラスタ燃焼器の仕様

項目	小型燃焼器	大型燃焼器
バーナ写真		
バーナ構成	<ul style="list-style-type: none"> ・中央：油噴霧ノズル ・中央：パイロットバーナ1個 ・外周：メインバーナ6個 	同左
燃料系統数	油：1系統，ガス：5系統	同左
対象ガスタービン	<ul style="list-style-type: none"> ①H-14(14MW級) ②H-25(25MW級) 	H-80(80MW級)
燃焼器缶数	<ul style="list-style-type: none"> ①6 ②10 	10
備考	本燃焼器6缶をEAGLE実機GTに設置し試験実施	—

表Ⅲ2-2-2 実寸燃焼器試験の装置・目的・成果まとめ

試験装置	目的	成果
中圧試験装置	<ul style="list-style-type: none"> ・最適構造の性能確認 ・構造信頼性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・凸型プレートでNOx<10ppmに目途 ・燃焼器運転方法の指針を獲得 ・高圧条件への展開の指針を獲得
高圧試験装置	<ul style="list-style-type: none"> ・実機への展開を踏まえた燃焼性能の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライ低NOx燃焼を実現 ・高信頼性の性能を実現
EAGLE	<ul style="list-style-type: none"> ・実ガス，実GTでの性能検証 ・試験用燃料の妥当性検証 ・多缶の影響の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・起動から最大負荷まで安定，高信頼性の運転を実現 ・計画点付近で試験用燃料は実ガスのNOxを再現(大気圧試験での挙動と一致)。最大負荷にてドライシングルNOx達成。 ・多缶偏差の影響なし

② 小型マルチクラスタ燃焼器の開発

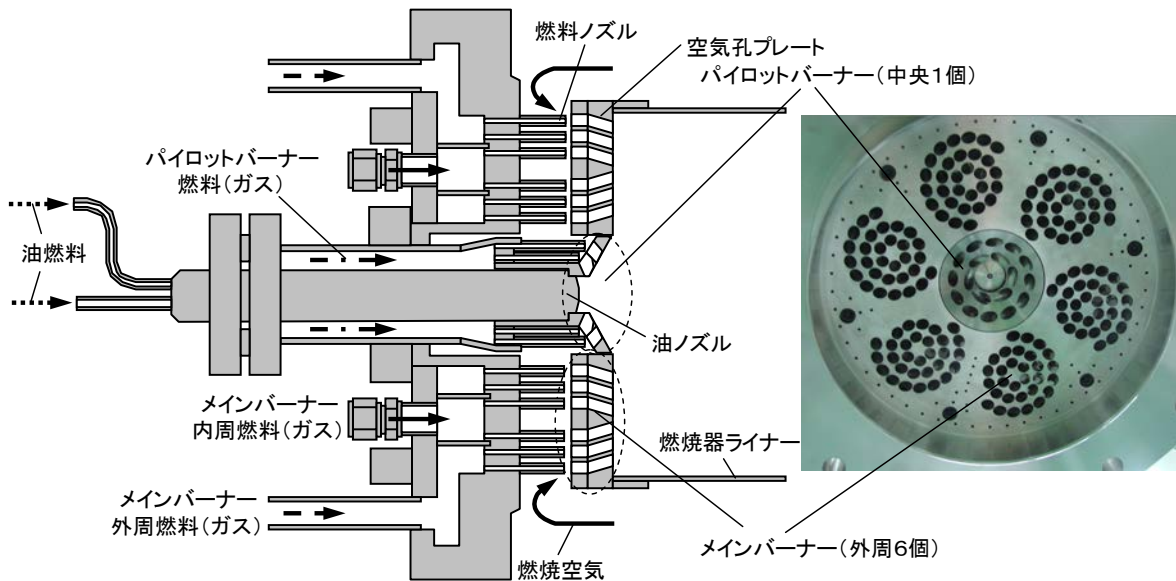
小型ガスタービンに搭載可能な小型マルチクラスタ燃焼器の燃焼性能を単缶の中圧燃焼試験で検討した。図Ⅲ2-2-1 に平板型プレートをもつ平板型マルチクラスタ燃焼器構造を示す。燃焼器の中央には、ガスタービンの起動から部分負荷の運用とメインバーナの保炎強化に用いるパイロットバーナを備え、その外周に低 NOx 燃焼用のメインバーナを6個備える。パイロットバーナの中央には起動から部分負荷までの運用を可能とする油ノズルを備え、その外周には空気孔と燃料ノズルが一對となった同軸噴流バーナを2列配置し、油専焼，油／ガスの混焼，ガス専焼を可能にするとともに、ガス焚きでの低 NOx 燃焼が可能な構造とした。

大気圧要素試験によりクラスタバーナの基本構造を検討した結果、低 NOx 化を妨げる燃焼振動の抑制には凸型空気孔プレートが有効であることがわかった。そこで、凸型空気孔プレート

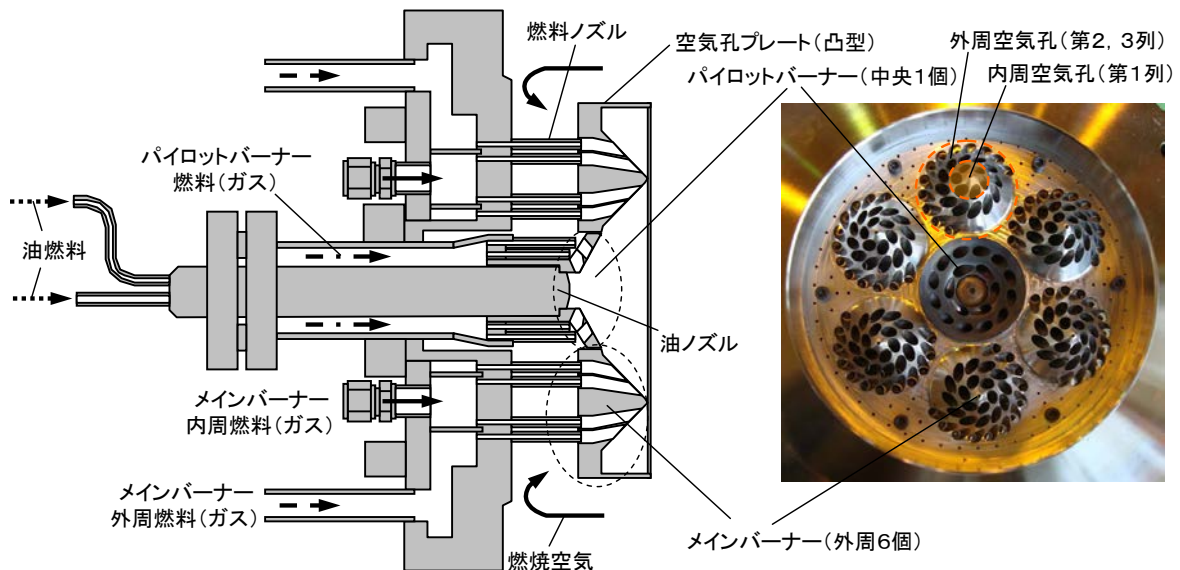
を有するクラスタバーナを複数個備えた「凸型マルチクラスタ燃焼器」を設計・製作し、その燃焼性能を中圧試験で検討した。図Ⅲ2-2-2 にその燃焼器構造を示す。凸型マルチクラスタ燃焼器の特徴は、それぞれのメインバーナが燃焼器側に突出した凸型の表面形状をしている点である。その他の構成は、平板型マルチクラスタ燃焼器と同様である。

表Ⅲ2-2-2 に中圧試験条件を示す。試験用燃料は水素(H_2)、メタン(CH_4)、窒素(N_2)の3成分で調整し、CCS 0%、30%、50%、90%における組成(参考文献：NEDO 調査報告書「平成16年度クリーン・コール・テクノロジー推進事業 石炭ガス化を核とするコプロダクションシステムに関する調査」)を想定して成分を調整した。CCSが0%から90%まで変化すると、燃料中の水素濃度は40%から84%まで変化する。ガスタービンの定格負荷条件において、空気流量は2.9 kg/s、燃焼器入口空気温度は387°C、燃焼器圧力は0.6 MPaで試験した。

本研究では、燃焼器に供給する全燃料流量に対し、パイロットバーナに供給する燃料流量の比率を「パイロットバーナ燃料比率」と定義した。また、メインバーナに供給する全燃料流量のうち、外周側(3列ある空気孔列のうち、第2, 3列)に供給する燃料流量の比率を「メインバーナ外周燃料比率」と定義し、この比率を試験パラメータとした。



図Ⅲ2-2-1 平板型マルチクラスタ燃焼器の構造

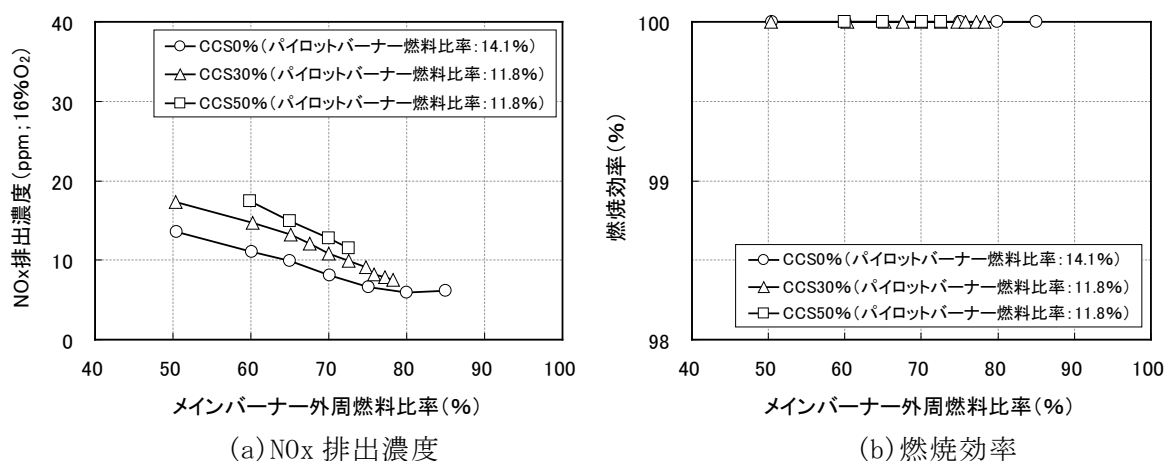


図Ⅲ2-2-2 凸型マルチクラスタ燃焼器の構造

表Ⅲ2-2-3 小型マルチクラスタ燃焼器の中圧試験条件

項目	単位	試験用燃料				
		CCS 0%	CCS 30%	CCS 50%	CCS 90%	
ガスタービン負荷	%	100				
空気流量	kg/s	2.9				
空気温度	°C	387				
燃焼器圧力	MPa	0.6				
燃料性状	水素 (H ₂)	vol. %	40	55	65	84
	メタン (CH ₄)	vol. %	18	16	6	2
	窒素 (N ₂)	vol. %	42	29	29	14
	低位発熱量	MJ/m ³ N	11	12	9	10

まず、平板型マルチクラスタ燃焼器の定格負荷条件の試験結果を説明する。図Ⅲ2-2-3 にメインバーナ外周燃料比率に対する NO_x 排出濃度と燃焼効率を示す。試験では、定格負荷条件において、パイロットバーナ燃料比率を 12.4% に固定し、メインバーナ外周燃料比率を変化させ燃焼特性の変化を調べた。図示した最大外周燃料比率 (CCS0% : 85%, CCS30% : 78%, CCS50% : 73%) は、安定燃焼が可能な最大の燃料比率を表す。外周燃料比率をこれ以上増加させると振動振幅が急増し安定燃焼が不可であった。いずれの CCS の燃料においても、外周燃料比率の増加に伴い NO_x 排出濃度は低下する傾向を示す。CCS0% の NO_x 排出濃度は、外周燃料比率 80% で最も低い値を示し、外周燃料比率が 65% 以上で NO_x 排出濃度が 10ppm 以下となる結果が得られた。CCS30% の NO_x 排出濃度は、外周燃料比率 78% で 8ppm と最も低くなり、外周燃料比率が 73% 以上の条件で NO_x 排出濃度が 10ppm 以下となることを確認した。しかし、CCS50% においては外周燃料比率が 73% の条件で NO_x 排出濃度は 12ppm であり、低 NO_x 化に対しさらなる工夫が必要である。また、CCS が大きくなると最大外周燃料比率は減少し、同一外周燃料比率、およびそれぞれの最大外周燃料比率における NO_x 排出濃度は増加する傾向にあることを確認した。一方、燃焼効率はいずれの CCS の燃料でも 99.99% 以上あり、良好な燃焼安定性を確認した。

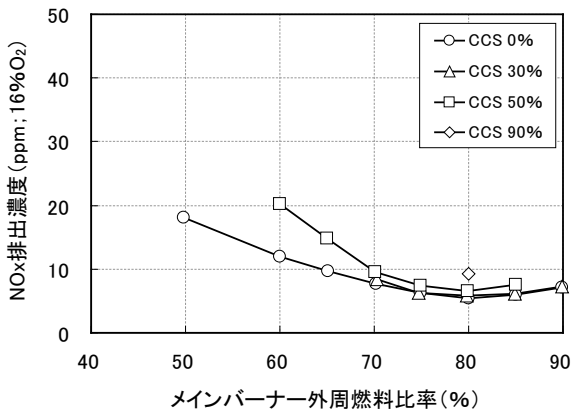


図Ⅲ2-2-3 平板型マルチクラスタ燃焼器の燃焼特性
(中圧, 定格負荷条件, パイロットバーナ比率: 12.4%)

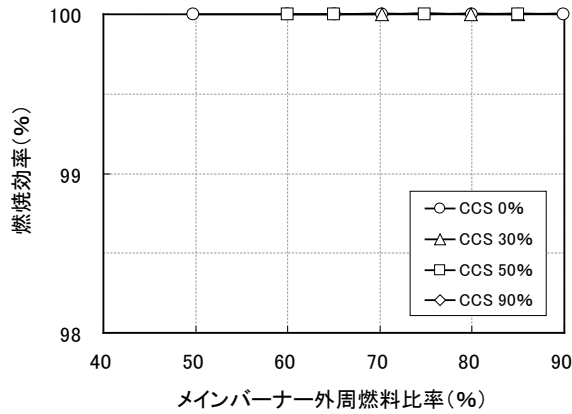
次に、凸型マルチクラスタ燃焼器の試験結果を述べる。図Ⅲ2-2-4 に試験結果を示す。(a)は NO_x 排出濃度 (O₂ 濃度 16%換算), (b)は燃焼効率, (c)は燃焼振動振幅の相対値 (管理値により規格化), (d)はメインバーナ外周燃料比率 80%での火炎監視画像である。CCS 0%, CCS 30%, CCS 50%では、燃焼振動振幅が急激に増加することなく、外周燃料比率の増加に伴い NO_x 排出濃度は低下し、外周燃料比率 80%近傍で極小となった。CCS 0%, CCS 30%, CCS 50%の NO_x 排出濃度の最小値はそれぞれ、5.4 ppm, 5.8 ppm, 6.5 ppm となり、NO_x 排出濃度が 10 ppm 以下となることを確認した。CCS 90%では、燃焼振動振幅やプレートのメタル温度の急激な増加の

ために、設定できた条件は外周燃料比率 80%のみであったものの、その NOx 排出濃度は 9.2 ppm となり、10 ppm 以下となることを確認した。次に、燃焼効率はいずれの CCS の燃料でも 99.99%以上あり、燃焼安定性は良好であることを確認した。ただし、本図(c)から振動振幅が管理値を超える場合があり、振動特性の改善が必要である。また、本図(d)の火炎監視画像から CCS 90%では空気孔プレートの一部にホットスポットが発生した。そのため、大型燃焼器への展開には、NOx だけでなく、燃焼振動、メタル温度の点から信頼性も重視する必要がある。

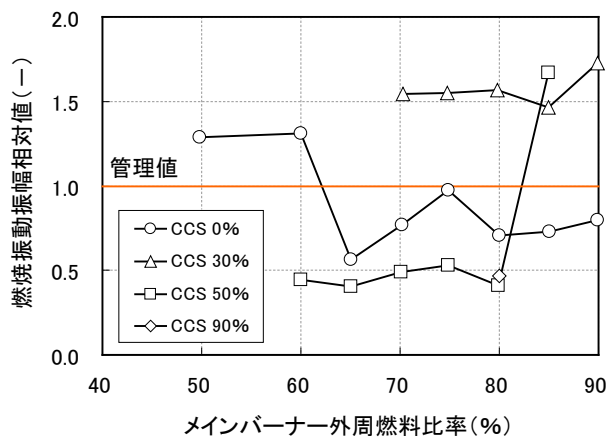
以上をまとめると、凸型マルチクラスタ燃焼器により、CCS 0%、CCS 30%、CCS 50%、CCS 90%に対し、NOx 排出濃度が 10 ppm 以下となることを確認した。本試験結果より CCS 0%～90%の幅広い水素濃度の変化に対して、同一バーナ構造で燃焼可能なドライ低 NOx 燃焼を実現できることを確認した。ただし、大型燃焼器への展開には、NOx だけでなく、燃焼振動、メタル温度の信頼性も重視する必要がある。



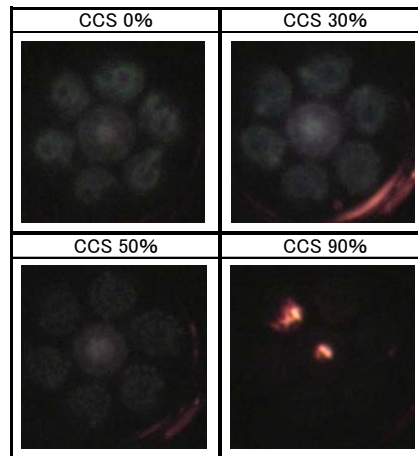
(a) NOx 排出濃度



(b) 燃焼効率



(c) 燃焼振動振幅

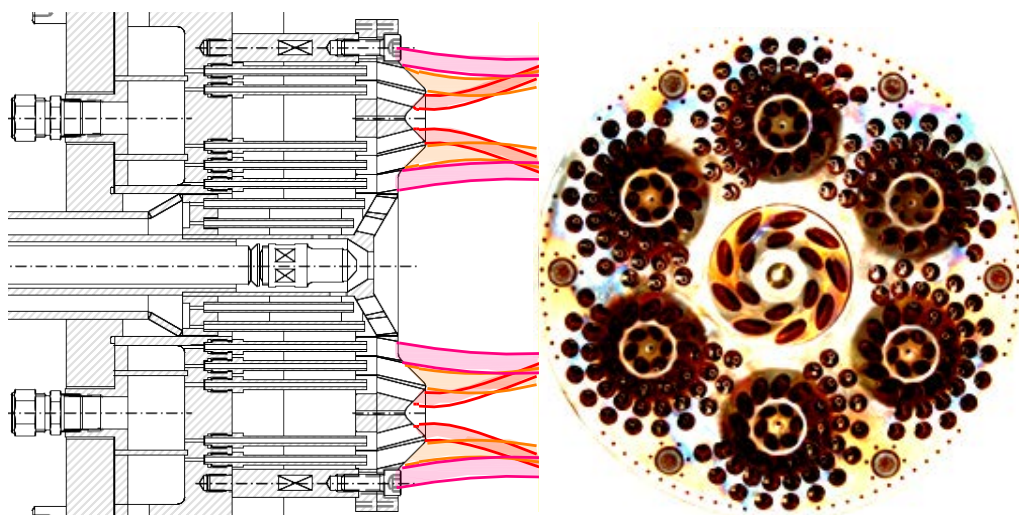


(d) 火炎監視画像

図III 2-2-4 凸型マルチクラスタ燃焼器の燃焼特性
(中圧，定格負荷条件，パイロットバーナ比率：12.4%)

③大型マルチクラスタ燃焼器の開発

マルチクラスタ燃焼器の大型ガスタービンへの適用性を検討するため、より大型のガスタービンに実装可能な大型マルチクラスタ燃焼器を設計、製作し、その燃焼特性を検討した。小型マルチクラスタ燃焼器の試験結果から、低 NOx 化、燃焼振動の抑制には凸型空気孔プレートが有効であることがわかった。そこで、大型燃焼器においてもそのような凸型空気孔プレートの燃焼特性を検討した。空気孔プレート試験品を図III 2-2-5 に示す。このプレートではメインバーナは凸形状となっているが、凸形状の先端の過熱を防止するため、先端（それぞれのメインバーナの中心領域）が凹型となっている凹凸型空気孔プレートである。また、小型マルチクラスタ燃焼器と同様に、燃焼器中央には起動用燃料(油燃料)とガス燃料のいずれでも運用できるパイロットバーナを1個、その外周にガス燃料専焼のメインバーナを6個備える。表III 2-2-3 に高圧試験条件を示す。CCS 0%～CCS 90% (H₂ 濃度：40%～84%) の試験用燃料で試験した。

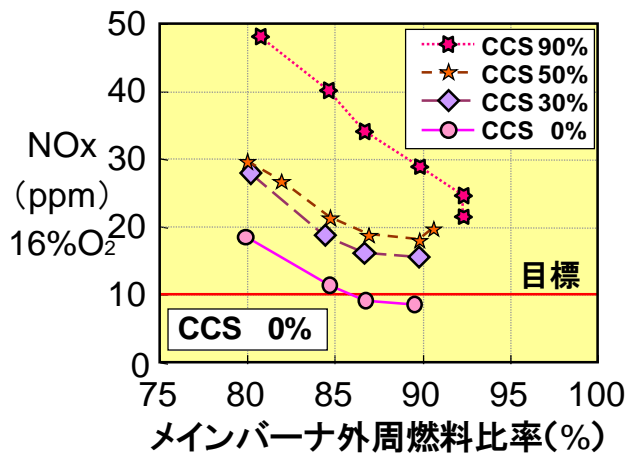


図Ⅲ2-2-5 大型マルチクラスタ燃焼器の空気孔プレート試験品

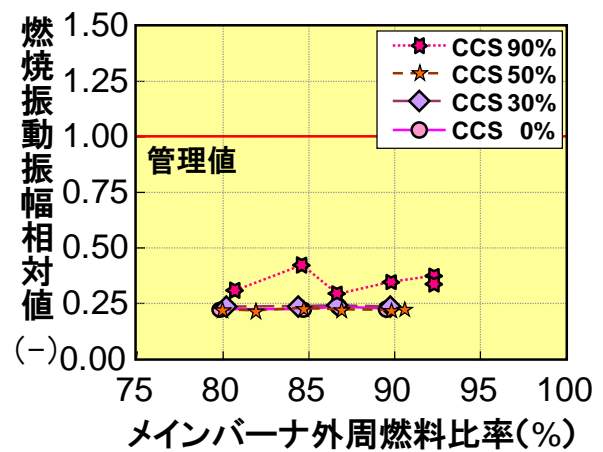
表Ⅲ2-2-4 大型マルチクラスタ燃焼器の高圧試験条件

項目	単位	試験用燃料				
		CCS 0%	CCS 30%	CCS 50%	CCS 90%	
ガスタービン負荷	%	100				
空気流量	kg/s	9.4	9.6	9.5	9.8	
空気温度	℃	400				
燃焼器圧力	MPa	0.73				
燃 料 性 状	水素 (H ₂)	Vol. %	40	55	65	84
	メタン(CH ₄)	Vol. %	18	16	6	2
	窒素 (N ₂)	Vol. %	42	29	29	14
	低位発熱量	MJ/m ³ N	11	12	9	10

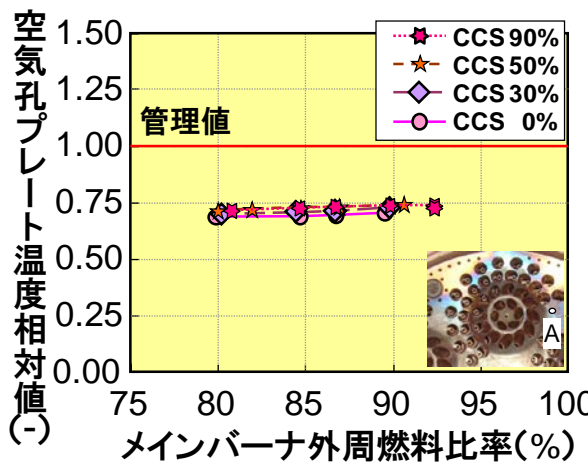
図Ⅲ2-2-6 に定格負荷条件での試験結果を示す。本図(a)は NO_x 排出濃度 (O₂ 濃度 16%換算), (b)は燃焼振動振幅の相対値 (管理値により規格化), (c)は空気孔プレートで計測箇所のうち最も高くなる箇所 (図中の A 点) のメタル温度の相対値 (管理値により規格化), (d)は NO_x が最小となる燃料比率でのライナメタル温度の軸方向分布を示す。CCS 0%, CCS 30%, CCS 50%, CCS 90%の NO_x 排出濃度の最小値はそれぞれ, 8.6ppm, 15.6ppm, 18.1ppm, 21.6ppm となり, CCS 0%では目標 10 ppm を達成したが, CCS 30%以上では 10ppm を超える結果となった。一方, 小型燃焼器で課題となった燃焼振動やメタル温度に関しては, CCS0%~90%のいずれの燃料でも, 振動振幅は管理値より十分低く安定燃焼を実現し, プレートメタル温度, ライナメタル温度は管理値以下となり, 高信頼性の燃焼を実現した。今後, CO₂ 回収率の高い燃料に対しても低 NO_x と信頼性の両立に向けて研究を継続する。



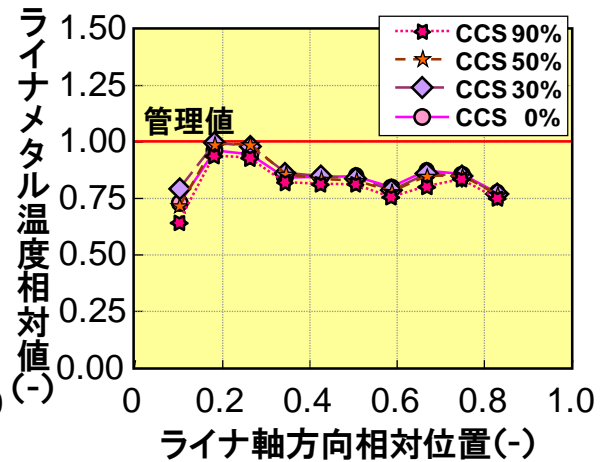
(a) NOx 排出濃度



(b) 燃焼振動振幅



(c) プレートメタル温度

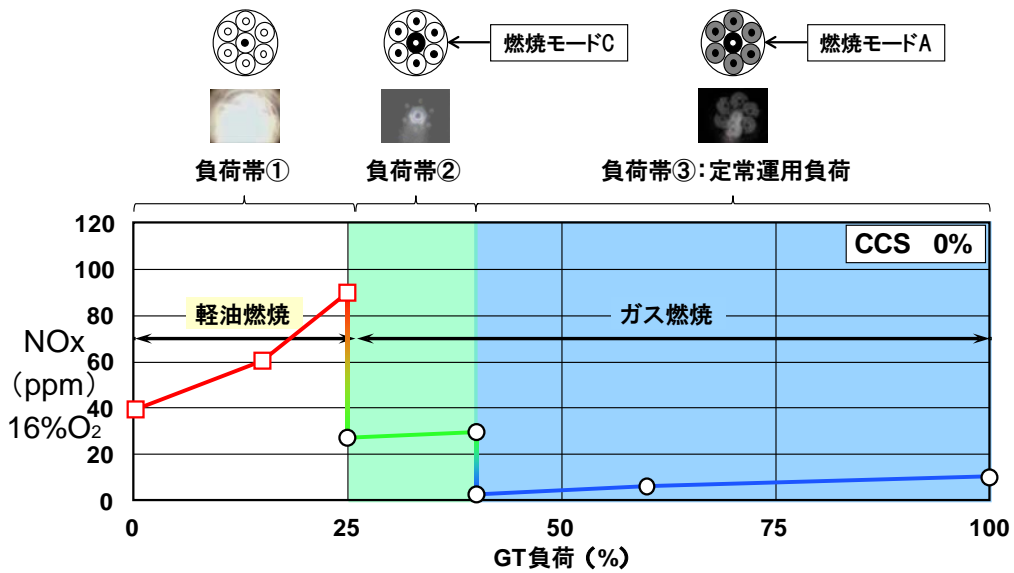


(d) ライナメタル温度

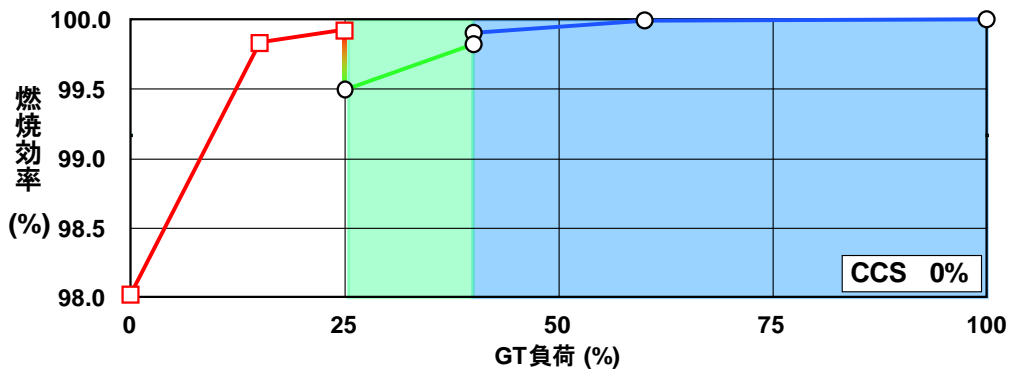
図Ⅲ2-2-6 大型マルチクラスタ燃焼器の試験結果
(高圧, 定格負荷条件)

図Ⅲ2-2-7 に部分負荷条件での試験結果を示す。本図(a)は NOx, (b)は燃焼効率, (c)は燃焼振動振幅の相対値 (管理値により規格化), (d)は空気孔プレート, およびライナの最高メタル温度の相対値 (管理値により規格化) を示す。起動から定格負荷条件までマルチクラスタ燃焼器を下記のように運用した。油で着火し, 25%負荷まで油焚きで運転する。25%負荷において油焚きからガス焚きの部分燃焼モード (モード C: パイロットバーナとメインバーナ内周の燃焼) に切り替え, 40%負荷まで運転する。40%負荷においてメインバーナ外周も燃焼させ全バーナ燃焼モード A に切り替える。40%負荷から定格条件までモード A で負荷を上昇させる。

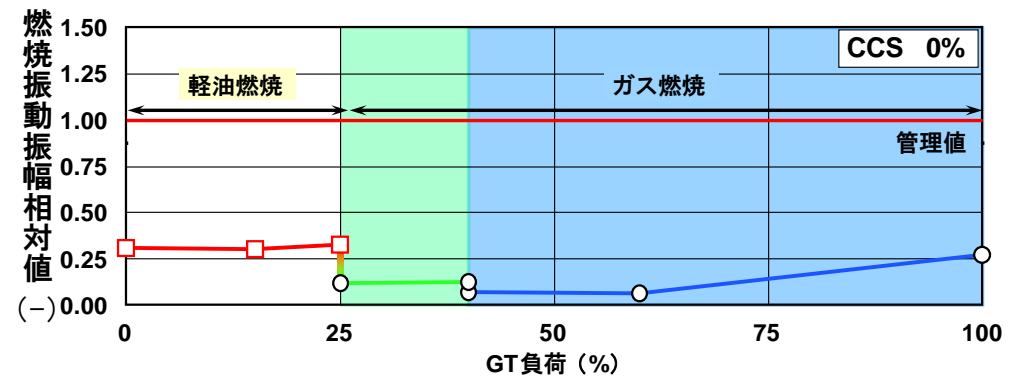
本図(a)から, 油焚きでは NOx は負荷とともに上昇するが, ガス焚きへの切替え後は, NOx は低下し全バーナに着火した 40%負荷以降は, 広範囲で低 NOx 燃焼を実現した。本図(b)から, ガス焚きへの切り替え後は, 燃焼効率は 99.5%を超えており, 広範囲で安定性の良好な低 NOx 燃焼を実現した。次に, 本図(c)から, 起動から定格負荷条件まで燃焼振動振幅は管理値に比較して十分低く保ちつつ運転でき, 安定な燃焼を実現した。最後に, 本図(d)から, 起動から定格負荷条件まで, 空気孔プレート, およびライナのメタル温度を管理値以下に保ちつつ運転できることを確認した。以上から, 部分負荷条件においても, 安定で高信頼性の運転が可能なことを確認した。



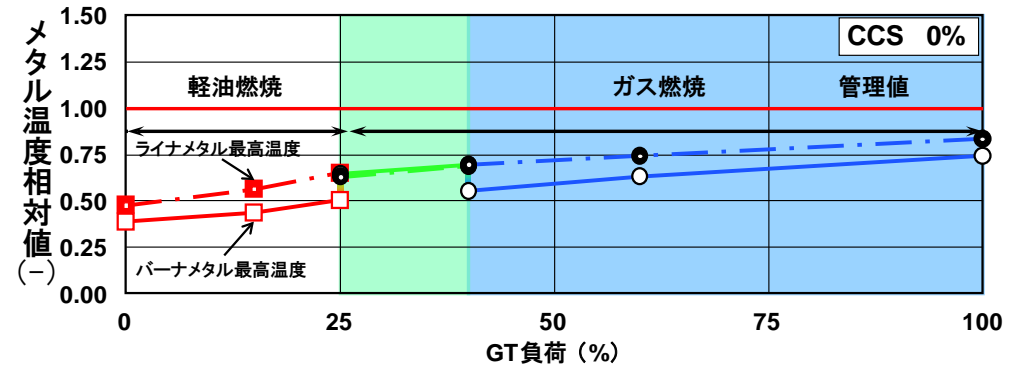
(a) NO_x 排出濃度



(b) 燃焼効率



(c) 燃焼振動



(d) メタル温度

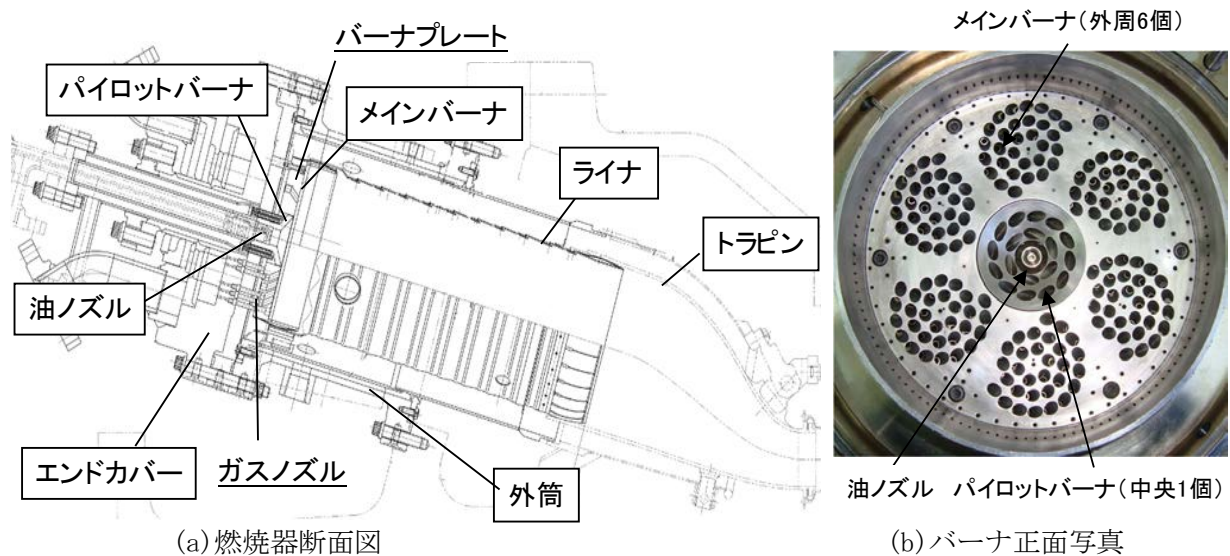
図Ⅲ2-2-7 大型マルチクラスタ燃焼器の試験結果 (部分負荷条件)

(3) EAGLE 実ガス多缶燃焼試験

実際の石炭ガス化ガスは一酸化炭素(CO)を主な成分として含んでいるため、燃焼器の運用状況によっては実際の IGCC ガスタービン燃焼器の燃焼特性が、開発に使用してきた試験用燃料焼き単缶燃焼特性と異なる可能性がある。また実際のガスタービンにおいては、複数缶の燃焼器が同時に運用されるため、単缶での燃焼では現れない事象が発現する可能性も懸念される。このため、CCS-IGCC 対応ドライ低 NOx 燃焼の基盤技術の実用化に向け、CO を含む実ガスの燃焼特性および多缶同時燃焼特性の把握することで研究を加速することが重要である。

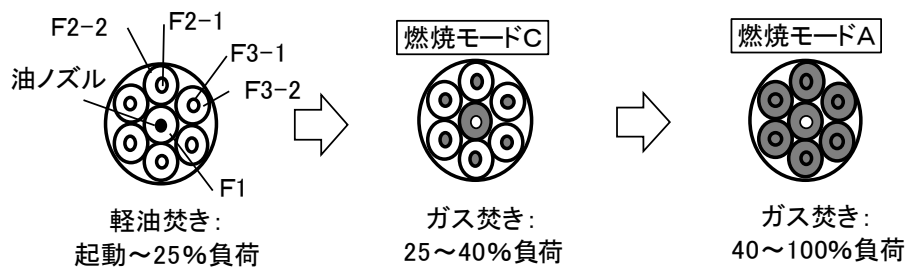
そこで、CO を含む実ガス多缶燃焼特性の把握を目的に、本ドライ低 NOx 燃焼技術を採用したガスタービン燃焼器(多缶)を多目的石炭ガス製造技術開発(EAGLE)パイロット試験設備に搭載し、実ガス多缶燃焼試験を実施した。本節では、その試験結果を基に実ガス多缶燃焼特性を検討した。

図Ⅲ2-3-1 に EAGLE 試験で使用したマルチクラスタ燃焼器の構造を示す。マルチクラスタ燃焼器は、中央にガスタービン起動用油ノズルを設置したクラスタ型(分散混合)のパイロットバーナ(F1バーナ)1個、およびその周囲に低 NOx 燃焼が可能なガス専焼クラスタ型のメインバーナを6個配置している。パイロットバーナは、油専焼、油とガスの混焼、ガス専焼のいずれの形態でも燃焼が可能である。中央の油ノズルは空気噴霧式であり、着火特性とクロスファイア特性の改善、および負荷条件における煤塵発生の抑制のため、噴霧角、および微粒化を最適化した。一方、メインバーナは3列の空気孔を同心円上に配置し、内周(1列目)と外周(2, 3列目)の同軸噴流バーナからなるガス専焼のバーナである。メインバーナは主に保炎に寄与する内周側と低 NOx 燃焼に寄与する外周側の同軸噴流バーナに別々に燃料を供給する構造とした。火炎が逆流する可能性が高い水素リッチ燃料に対して、本研究では火炎を浮上させてバーナと火炎の距離を確保することにより、火炎の逆流の防止、および燃料と空気の混合促進による低 NOx 燃焼を図っている。



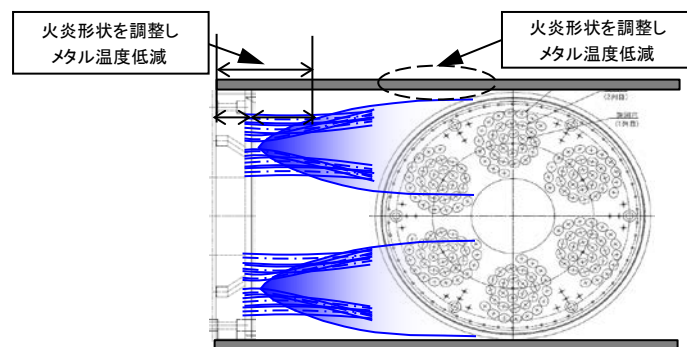
図Ⅲ2-3-1 EAGLE 試験用マルチクラスタ燃焼器の構造

次に、マルチクラスタ燃焼器の運用方法を図Ⅲ2-3-2 で説明する。油焼きは油ノズルによる1モード、ガス焼きはパイロットF1とメインバーナ内周F2-1, F3-1による「燃焼モードC」、および全バーナによる「燃焼モードA」の2つのモードで運転する。着火から定格負荷条件まで下記のように運転する。油で着火し、起動、昇速を経て、25%負荷まで油焼きで運転する。25%負荷において油焼きからガス焼きのモードCに切り替え、40%負荷まで運転する。40%負荷においてメインバーナ外周F2-2, F3-2も燃焼させ全バーナ燃焼モードAに切り替える。40%負荷から定格条件までモードAで負荷を上昇させる。なお、切り替え負荷は計画値であり、ガスタービン、および燃焼器の運転状況によって調整する。



図Ⅲ2-3-2 マルチクラスター燃焼器の燃料系統と運用方法

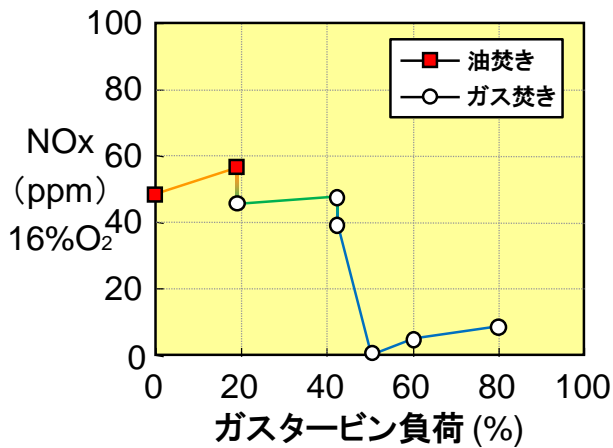
図Ⅲ2-3-3 に試験に用いた空気孔プレートとそれにより形成される火炎形状の概念図を示す。メインバーナからの同軸噴流の噴出方向を調整し、火炎を流れ方向に細長い形状にすることで、構造物付近の火炎温度を調整して、そのメタル温度の低減を図っている。



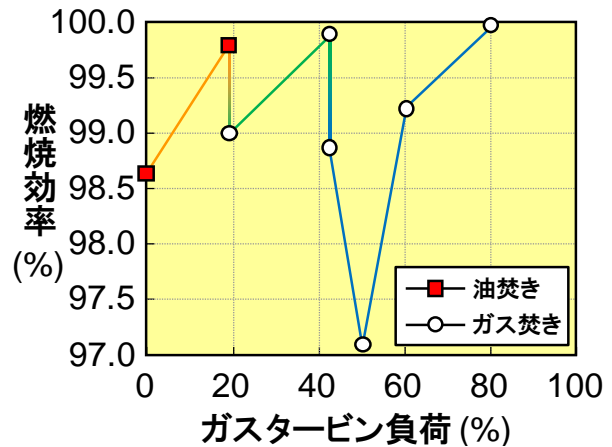
図Ⅲ2-3-3 空気孔プレート試験品と火炎形状の概念図

図Ⅲ2-3-4 にガスタービン負荷に対する (a) NO_x 排出濃度、(b) 燃焼効率、(c) 燃焼振動、(d) メタル温度の変化を示す。図には試験で使用したアダロ炭での最大負荷 80% 条件 (定格負荷相当) までを示した。本図(a)から、油焼き時は負荷とともに NO_x は増加するが、ガス焼きに切り替えると NO_x は低下し、最大負荷で NO_x が 8.5ppm(16%O₂ 換算)となり、10ppm 未満を達成し、ドライシングル NO_x を達成した。本図(b)から、モード A の低負荷で一部燃焼効率が低下するが、負荷 60%以上で燃焼効率が 99.3%以上を達成し、安定燃焼を実現した。本図(c)から、燃焼振動の振幅値は全負荷帯で管理値よりも低く、燃焼安定性は良好であった。さらに、本図(d)から、バーナメタル温度、ライナメタル温度ともに管理値よりも低く、メタル温度特性は良好であった。また、起動から最大負荷まで多缶偏差の影響は無かった。以上から、本プラント試験により、実ガス、実ガスタービンを用いて、起動から最大負荷まで安定かつ高信頼性の運転を実現でき、最大負荷にてドライシングル NO_x を達成した。

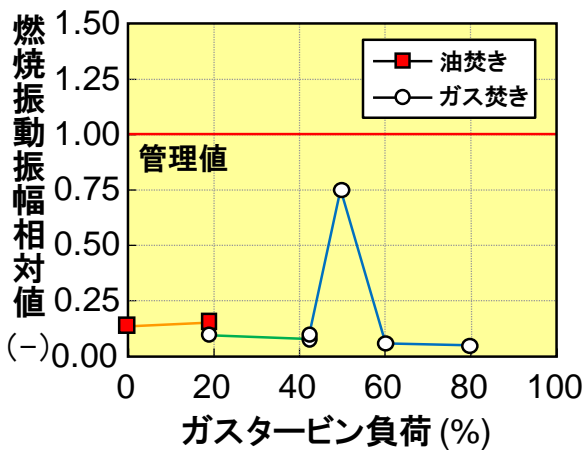
次に、最大負荷 80%条件において、実ガス焼き EAGLE 燃焼試験と試験用燃料焼き場内試験の NO_x を比較する。図Ⅲ2-3-5 に外周燃料比率に対する NO_x(本図(a))、燃焼振動振幅(本図(b))を示す。本図(a)から、計画点の外周燃料比率 80%、およびその近傍では、両者の NO_x 値はほぼ一致しており、試験用燃料により実ガスの NO_x を評価でき、試験用燃料による燃焼器開発の妥当性を確認できた。しかし、外周燃料比率が低くなるにつれて、両者の NO_x の相違が拡大し、実ガス NO_x の方が高くなる。これは、バーナ単体の大気圧要素試験で確認したとおり、メインバーナの内周領域(1列目空気孔)の火炎温度が高くなることによるものと考えられる。一方、本図(b)から、実ガス、試験用燃料ともに振動振幅は管理値よりも低く、安定燃焼を実現した。



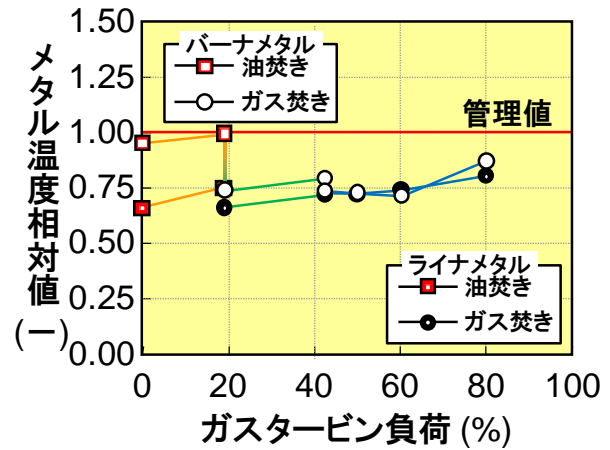
(a) NOx 排出濃度



(b) 燃焼効率

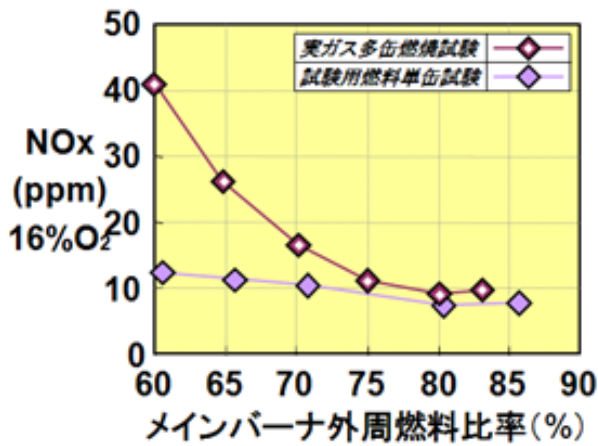


(c) 燃焼振動

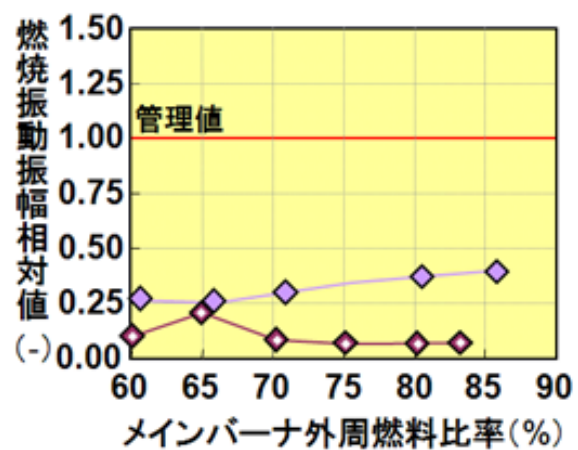


(d) メタル温度

図 III 2-3-4 EAGLE プラントでの燃焼特性



(a) NOx 排出濃度



(b) 燃焼振動

図 III 2-3-5 EAGLE 実ガスと場内試験用燃料の NOx 比較

(4) 乱流燃焼解析

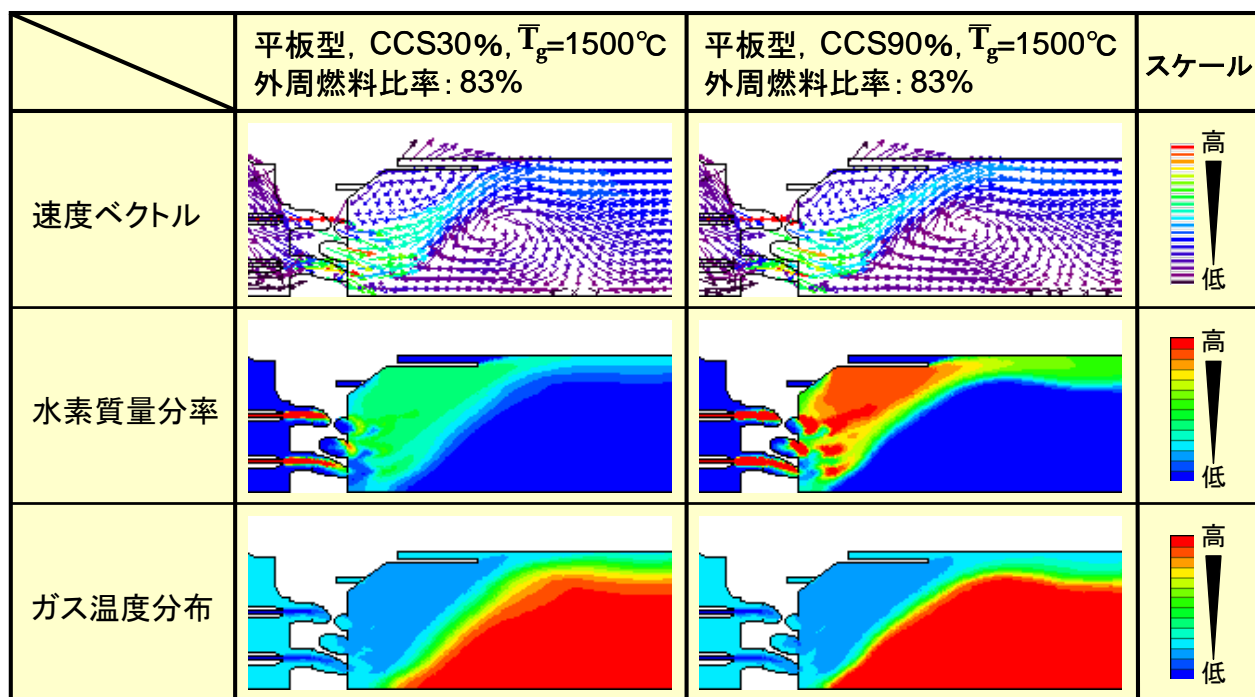
乱流燃焼解析により得られる燃焼場の情報は、クラスタバーナの構造検討にとって有用である。幅広く水素濃度に変化する高水素濃度燃料に対しドライ低 NOx 燃焼技術の開発を加速するため、乱流燃焼解析を適用した。クラスタバーナの燃焼形態には予混合燃焼と拡散燃焼が混在する。そのため、クラスタバーナの燃焼解析には両方の燃焼形態にシームレスに適用できる燃焼モデルが必要である。本解析では、火炎帯の反応進行度分布を双曲正接関数で表現した予混合燃焼モデルを拡散燃焼に拡張す

ることで、予混合燃焼から拡散燃焼にシームレスに適用できる統一的燃焼モデルを適用した。

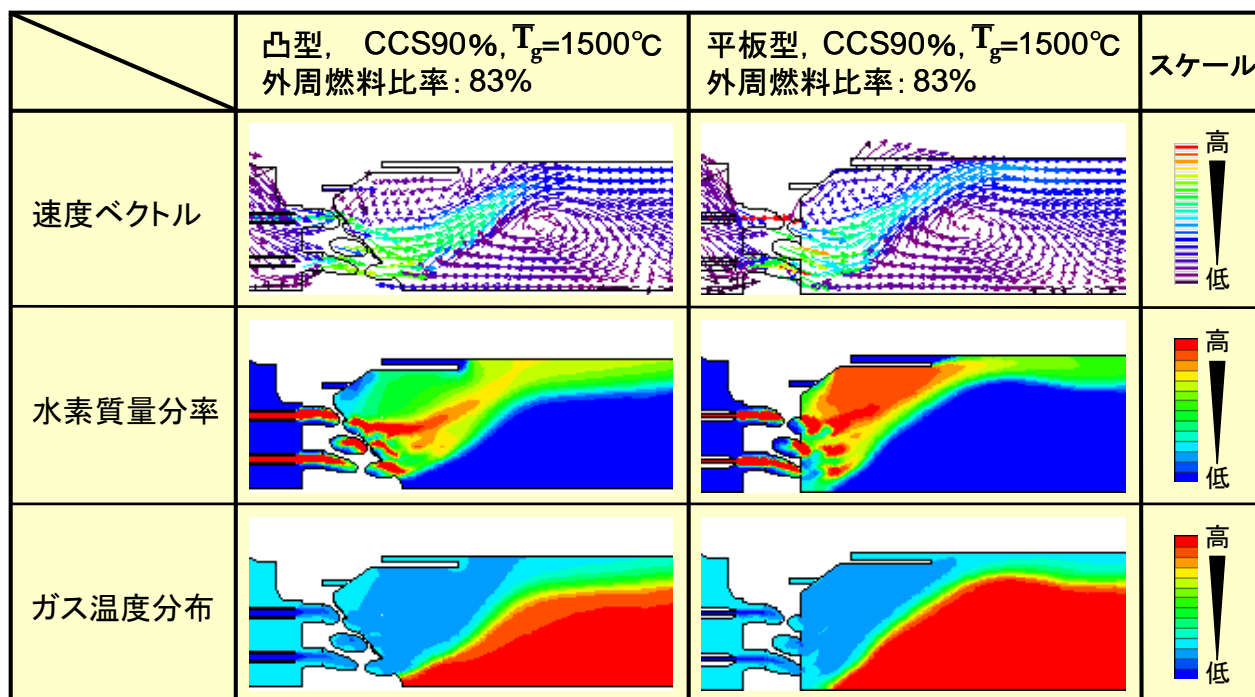
解析対象は、平板型クラスタバーナ、および凸型クラスタバーナであり、両者の比較により空気孔プレート形状の影響を調べた。解析条件は、CCS30%、CCS90%に対応する燃料を使用し、CO₂回収率の影響を調べた。なおバーナ出口ガス温度は 1500℃、メインバーナ外周燃料比率は均一希薄条件の 83.3%である。

図Ⅲ2-4-1 に平板型クラスタバーナにおける CCS30%、CCS90%相当燃料の速度ベクトル分布、水素質量分率分布、燃焼ガス温度分布をそれぞれ示し、CO₂回収率の影響について考察する。ガス温度分布より、ガス温度 1000℃以上の燃焼ガスが存在する領域が燃焼室中央部より円錐状に存在することから、燃焼室内部で浮上火炎が形成されており、定性的な傾向は再現可能であることを確認した。CO₂回収率を比較すると、CCS30%相当燃料に比べ CCS90%相当燃料を用いた場合の方が、燃焼ガス温度 1000℃から 1700℃の温度勾配が急峻となっている。これは水素質量分率分布からわかるように、CO₂回収率の増加に伴い燃料組成中の水素濃度が増加するため、反応領域中の水素の質量分率が相対的に高まり、反応速度の増加が火炎帯厚さの縮小として表れたと考える。また水素燃焼室中央部の高温領域がバーナに接近していることから、火炎の基点となる領域においても水素濃度の増加により火炎の燃焼室上流側へ移動する傾向があることを確認した。

図Ⅲ2-4-2 に CCS90%相当燃料に対する平板型クラスタバーナと凸型クラスタバーナの速度ベクトル分布、水素質量分率分布、燃焼ガス温度分布をそれぞれ示し、空気孔プレート形状の影響について考察する。両者を比べると平板型に比べて凸型の方がバーナ外周部の高温ガス領域が縮小している。これは凸型形状によりバーナ外周部の流動が変化したことによるものであり、高温ガス領域が縮小することで NO_x 排出濃度は低減すると考える。ただし、実際の燃焼試験では当該条件で空気孔プレートに付着する火炎が生じており、その点が実験と相違する。この相違の原因は、着火、および消炎の挙動のモデル化の精度によると考える。今後は、H₂ リッチ燃料のような合成ガスの着火、消炎モデルの精度向上が必要と考える。



図III2-4-1 CO₂回収率の影響比較

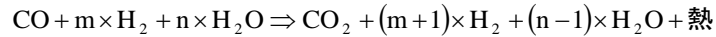


図III2-4-2 空気孔プレート形状の影響比較

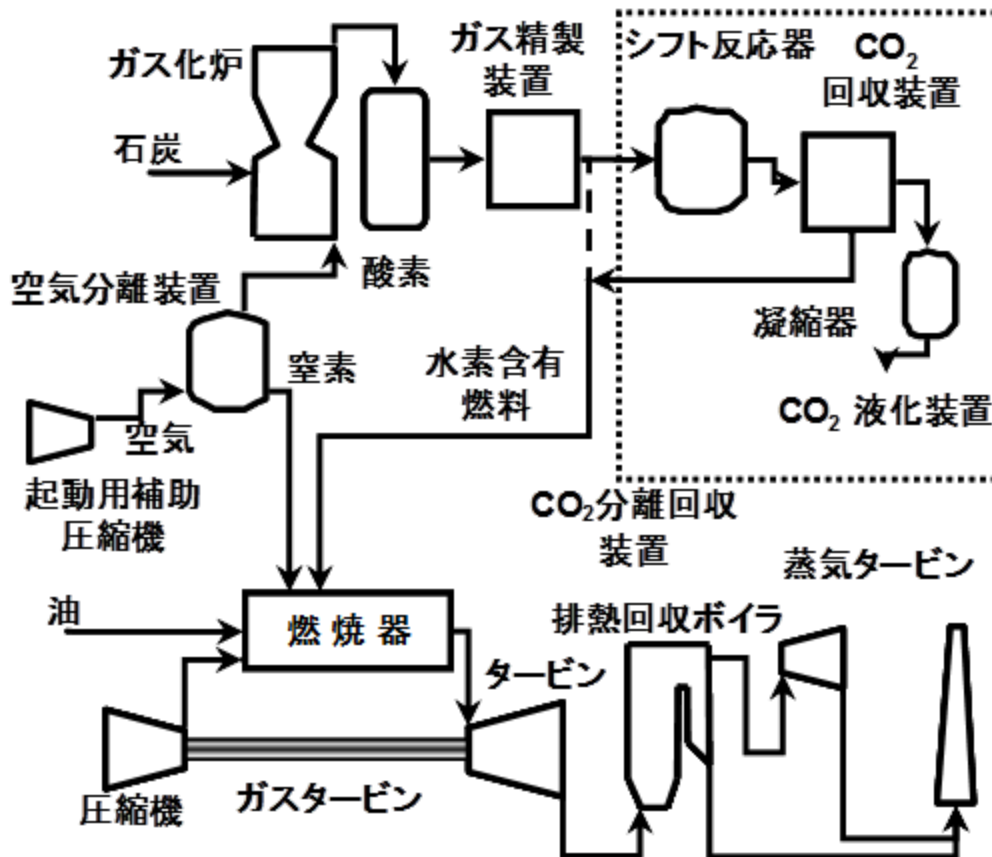
IV. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

1. 実用化に向けての見通し及び取り組みについて

高効率ゼロエミッション石炭火力発電として有望な酸素吹き IGCC に燃焼前回収法を組み合わせた方式の CCS-IGCC プラントの概略構成を図IV2-1-1 に示す。一般に、石炭ガス化ガスは、水素(H₂)と一酸化炭素(CO)を主成分とするガスであり、ゼロエミッション石炭火力発電を実現するため石炭ガスから炭素分を除去するには、石炭ガス化ガスに水蒸気を添加し触媒などを用いて下記の化学式に示すシフト反応を行わせ、CO を H₂ と CO₂ に転換した後に CO₂ を回収・貯留する。



石炭ガス化ガスからの CO₂ 回収・貯留は、圧力が高く体積流量が少ない状態で、かつ燃焼に關与する空気中の窒素などが混在しない炭素分濃度が高い状態で炭素分を回収・貯留する燃焼前回収方式が、設備がコンパクトになり所要エネルギーおよび補機類も少なくできるため、CO₂ 回収・貯留に伴う送電端効率の低下を小さくできる利点がある。さらに、燃焼前回収方式であってもガス化炉に用いる酸化剤が空気である場合には、ガス化の過程で空気中の窒素(N₂)が大量に石炭ガス化ガス中に含まれることになり、CO₂ を回収・貯留する対象の石炭ガス化ガス中の CO₂ 濃度が低くなるため、CO₂ 回収効率が低下する懸念がある。したがって、高効率ゼロエミッション石炭火力発電プラントとしては、酸素吹きガス化炉と燃焼前回収方式を組み合わせた方式の CCS-IGCC プラントが有望と考える。このような CCS-IGCC プラントでは CO₂ 回収率に応じて水素濃度が幅広く変化する高水素濃度燃料がガスタービンに供給される。

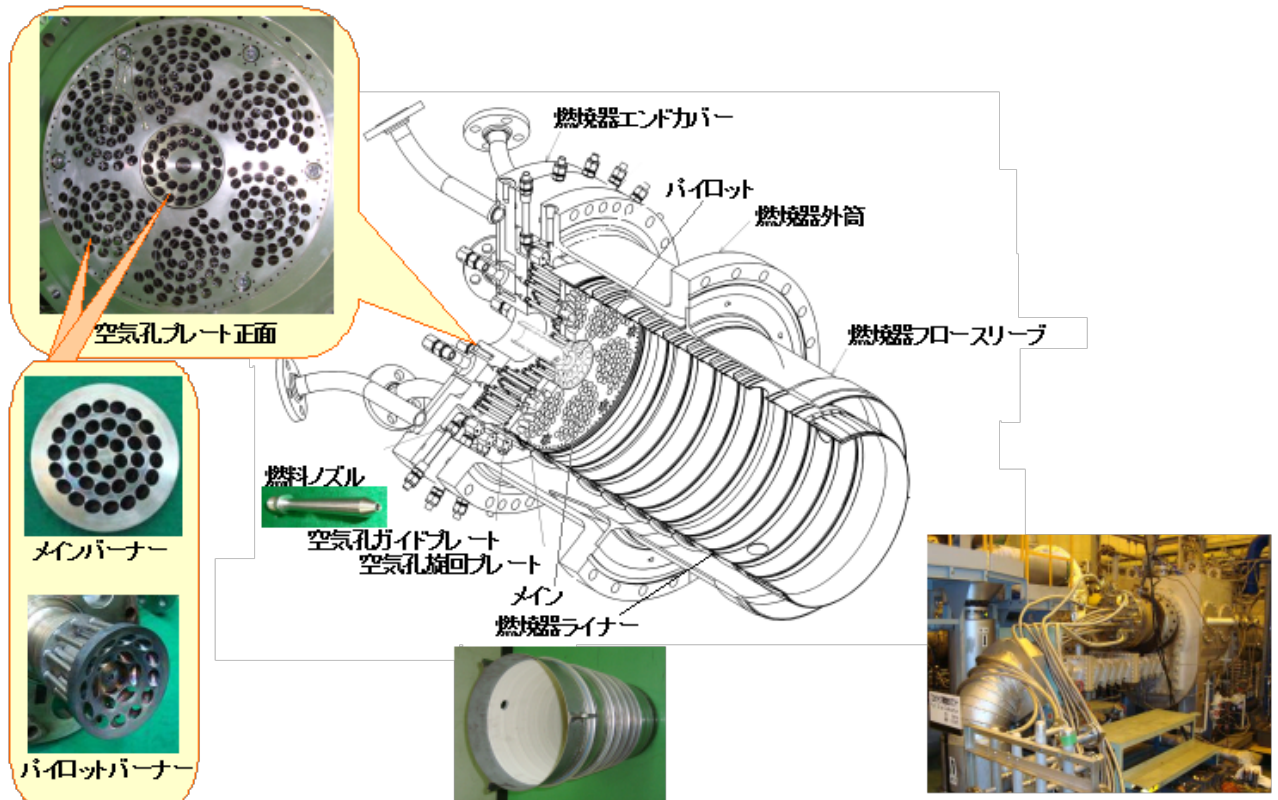


図IV2-1-1 燃焼前 CO₂ 分離・回収付き酸素吹き IGCC プラントの概要

水素は発火しやすく燃焼速度が速いため、予混合燃焼方式の燃焼器で高水素濃度燃料を燃焼させた場合、燃焼室内にある火炎が予混合器流路内に逆流したり、予混合器内で自発火する可能性が高くなったりするため、燃焼器の信頼性が低下する恐れがある。また、火炎の逆流や自発火は燃料の燃焼速度や着火性に依存するため、CO₂回収率の変化に対応して燃料の水素濃度が変化するとこれらの現象を防止できる条件が変化する。

一方、拡散燃焼方式の燃焼器では、高水素濃度燃料の安定燃焼は可能であるが、燃焼室内で最も燃焼しやすい混合気が形成された位置で燃焼反応が起きるため、局所の火炎温度が高くなり窒素酸化物（NO_x）の排出濃度が増加する。このため、環境規制を満足するには窒素、あるいは水や蒸気を燃焼器に噴射して局所の火炎温度を低下させ、NO_x 排出濃度を低減する必要がある。そのため、拡散燃焼方式では、不活性媒体の噴射に伴う発電効率の低下や噴射設備の初期コストおよびプラントランニングコストの上昇という課題が生じる。

したがって、高効率ゼロエミッション石炭火力発電として CCS-IGCC プラントを実現するには、プラントのキー構成要素であるガスタービンの安定した高効率稼動を保証するため、本研究で開発する低 NO_x 燃焼技術が必要となる。本研究開発ではその技術として、図IV2-1-2 に示す実際のガスタービンに搭載可能な CCS-IGCC 用マルチクラスタ燃焼器を開発した。



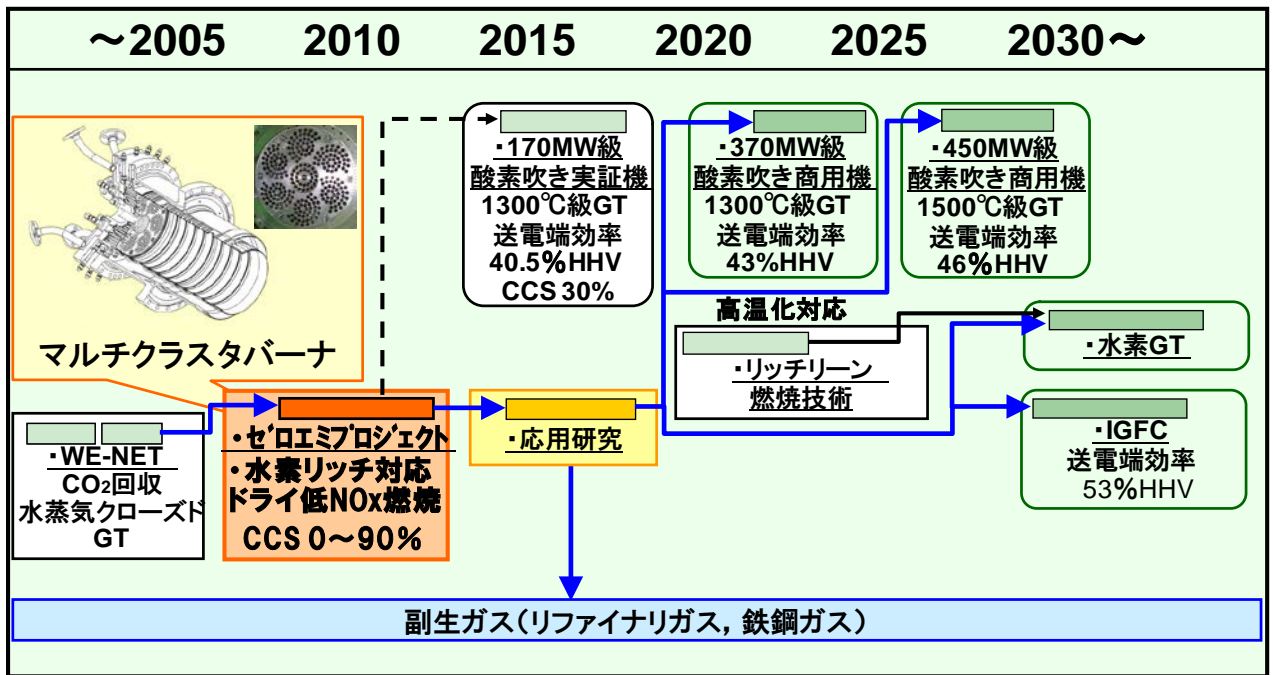
図IV2-1-2 CCS-IGCC 用マルチクラスタ燃焼器構造図

図IV2-1-3 に、本技術開発『石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NO_x 技術開発』のロードマップを示す。本技術開発の核をなす多孔同軸噴流バーナ(クラスターバーナ)は、大型プロジェクト『水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術(WE-NET)』計画と、その後継プロジェクトである『二酸化炭素回収対応クローズド型高効率ガスタービン技術』の下で、酸素を酸化剤とする高温燃焼用バーナとして開発された技術を、ガス燃料焚きガスタービン用低 NO_x 燃焼器用バーナに展開したものである。本研究を確実に遂行し、さらにより実用化に焦点を置く応用研究を通して高水素濃度対応低 NO_x 技術を完成させることで、CO₂回収により高水素濃度となる燃料に対してもガスタービンの安定な高効率稼動を実現し、早期に高効率ゼロエミッション石炭火力発電としての大規模 CCS-IGCC が実現できる。

図IV2-1-4 に、本開発技術の対象 CO₂回収率および水素濃度を、海外の同様な CCS-IGCC プロ

プロジェクトにおける対象 CO₂回収率および水素濃度と比較して示す。本開発技術は、世界最高水準の CO₂回収率および水素濃度に対応しており、発火しやすく燃焼速度が速い燃料である水素が高濃度で含有される燃料に対し、液化天然ガス(LNG) 焚きガスタービンと同等の低 NO_x 燃焼を目標とする本開発は意義が大きい。また、CO₂回収率の変化に対応して大きく燃料の水素濃度が変化しても同一の構造で対応できるドライ低 NO_x 燃焼器は類例がなく、研究開発の意義が大きいものとする。

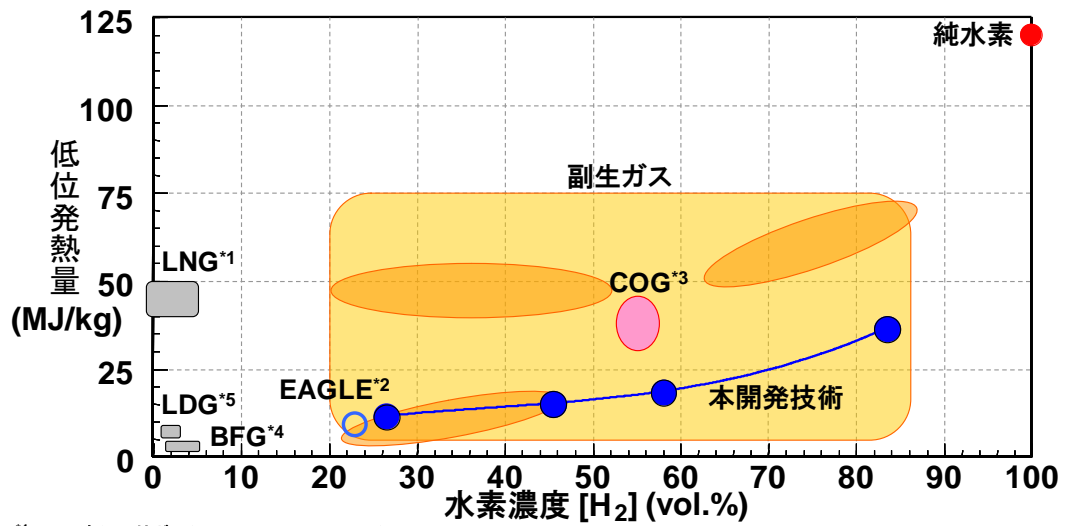
図IV2-1-5 に、燃料中の水素濃度と質量当たり低位発熱量で各種の水素含有燃料を整理して示す。本開発技術の対象とする燃料は、製油所などの化学プラントで発生するリファイナリガスや、製鉄所で発生するコークス炉ガス(Coke Oven Gas : COG)などの鋼鉄ガスといった副生ガスと同等の水素濃度と質量当たり発熱量を有している。したがって、本開発技術はこれらの燃料に対してもバーナ構成を変更する必要なく展開することができ、副生ガスなどの水素含有燃料に対して、不活性媒体を噴射せずに高効率に活用することが可能である。また、これらの単位エネルギー当たりの CO₂発生量が少ない水素含有燃料を積極的に利用できることで、来るべき低炭素社会の早期実現に寄与できる。



図IV2-1-3 『石炭ガス化発電用高水素濃度対応低 NO_x 技術開発』のロードマップ

酸素吹き CCS-IGCC (本研究)	CO ₂ 回収率 (%)	0	30	50	90
	H ₂ 濃度 (vol.%)		27	45	58
Energy Policy for Europe (欧州)	CO ₂ 回収率 (%)	0			90
	H ₂ 濃度 (vol.%)		27		84
Future Gen (米国)	CO ₂ 回収率 (%)	0			60
	H ₂ 濃度 (vol.%)		27		57

図IV2-1-4 本開発技術の対象 CO₂回収率・水素濃度と海外 CCS-IGCC プロジェクトの比較



^{*1}LNG: 液化天然ガス (Liquefied Natural Gas) ^{*2}EAGLE: coal Energy Application for Gas, Liquid & Electricity
^{*3}COG: コークス炉ガス (Coke Oven Gas) ^{*4}BFG: 高炉ガス (Blast Furnace Gas) ^{*5}LDG: 転炉ガス (Linz-Donawitz converter Gas)

図IV2-1-5 本開発技術の水素濃度・低位発熱量と各種水素含有燃料の比較

抜粋

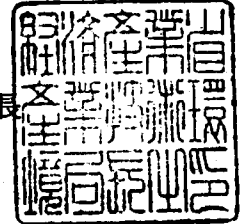
イノベーションプログラム 基本計画

平成21年4月
経 済 産 業 省

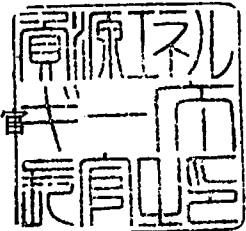
経済産業省

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トランナー計画
- 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、比較的低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

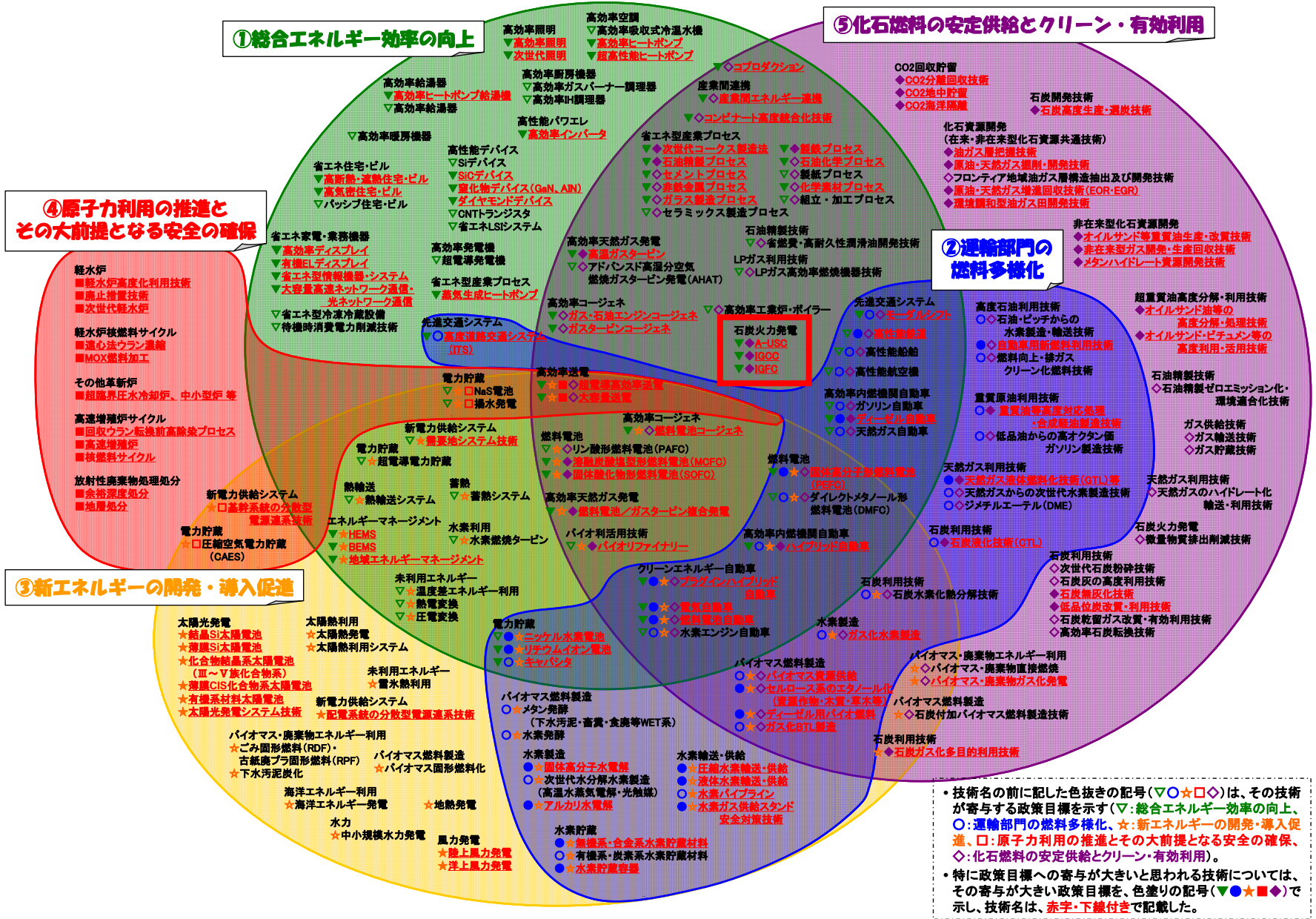
エネルギー技術分野全体を俯瞰するため、有識者にアンケート調査を行い、5つの政策目標に対する寄与について定性的な評価を行った。

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 ー俯瞰図ー



・ 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、色塗りの記号(▽●★■◆)で示し、技術名は、赤字・下線付きで記載した。

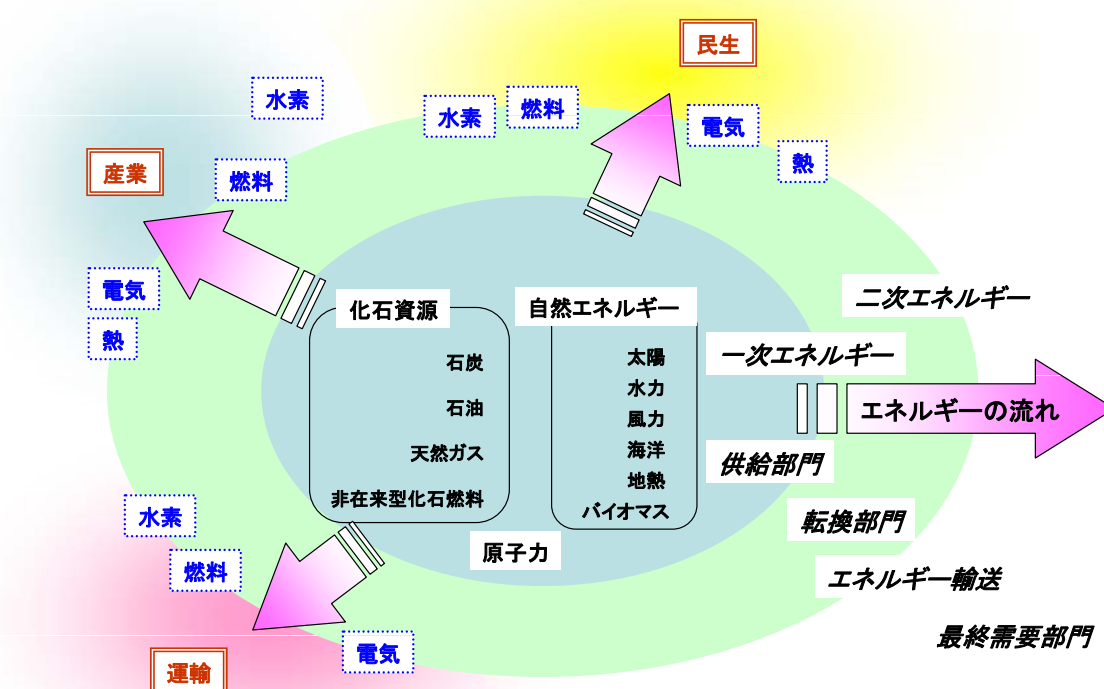
IV 導入シナリオ・技術マップ・技術ロードマップの見方

○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

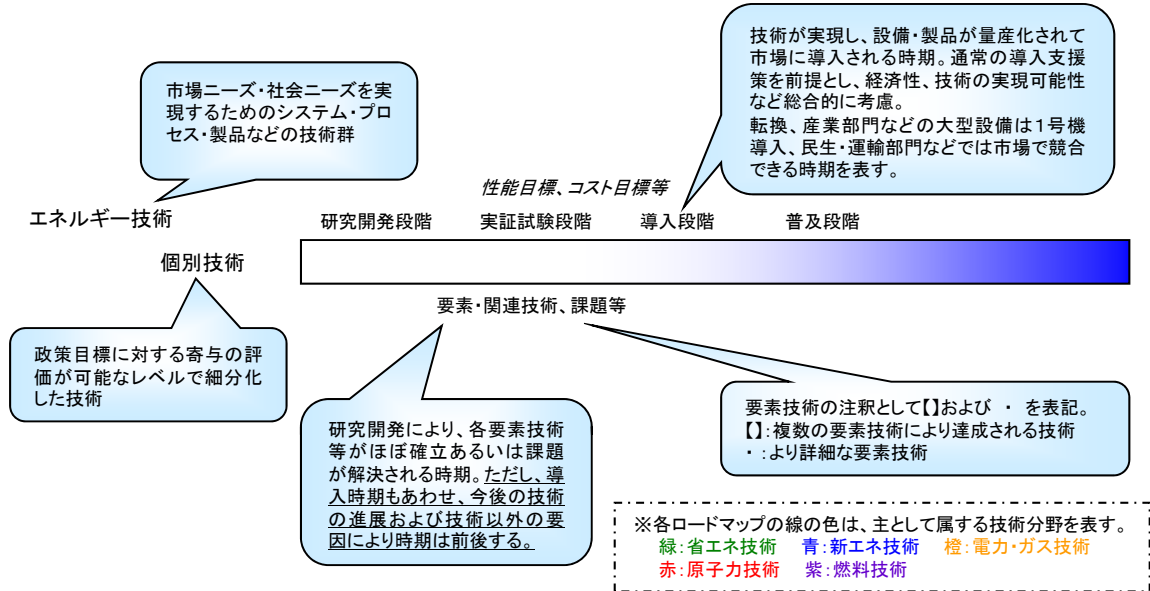
エネルギー分野全体から2030年頃までに実用化され、5つの政策目標に寄与すると思われる178個の技術を洗い出し、それぞれの政策目標の達成に寄与する技術別に、分類・整理してリストとして示すとともに、下図のように一次エネルギー／二次エネルギー／最終エネルギー消費のエネルギーの流れ、電気／熱／燃料等のエネルギーの形態、産業／民生／運輸の需要部門別に整理を行い図示した。



○技術ロードマップ

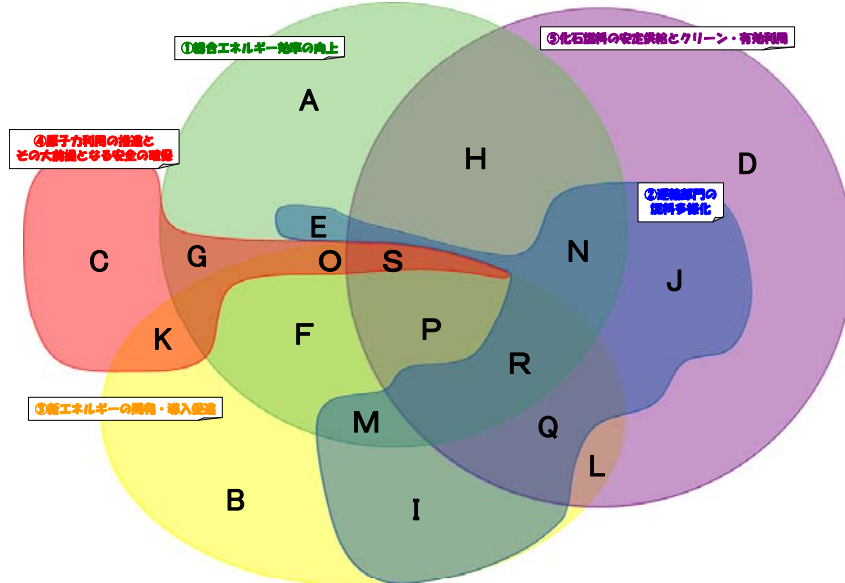
それぞれの政策目標達成に寄与する技術について、技術開発を推進する上で必要な要素技術・課題、求められる機能等の向上、技術開発フェーズの進展等を時間軸上にマイルストーンとして展開した

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

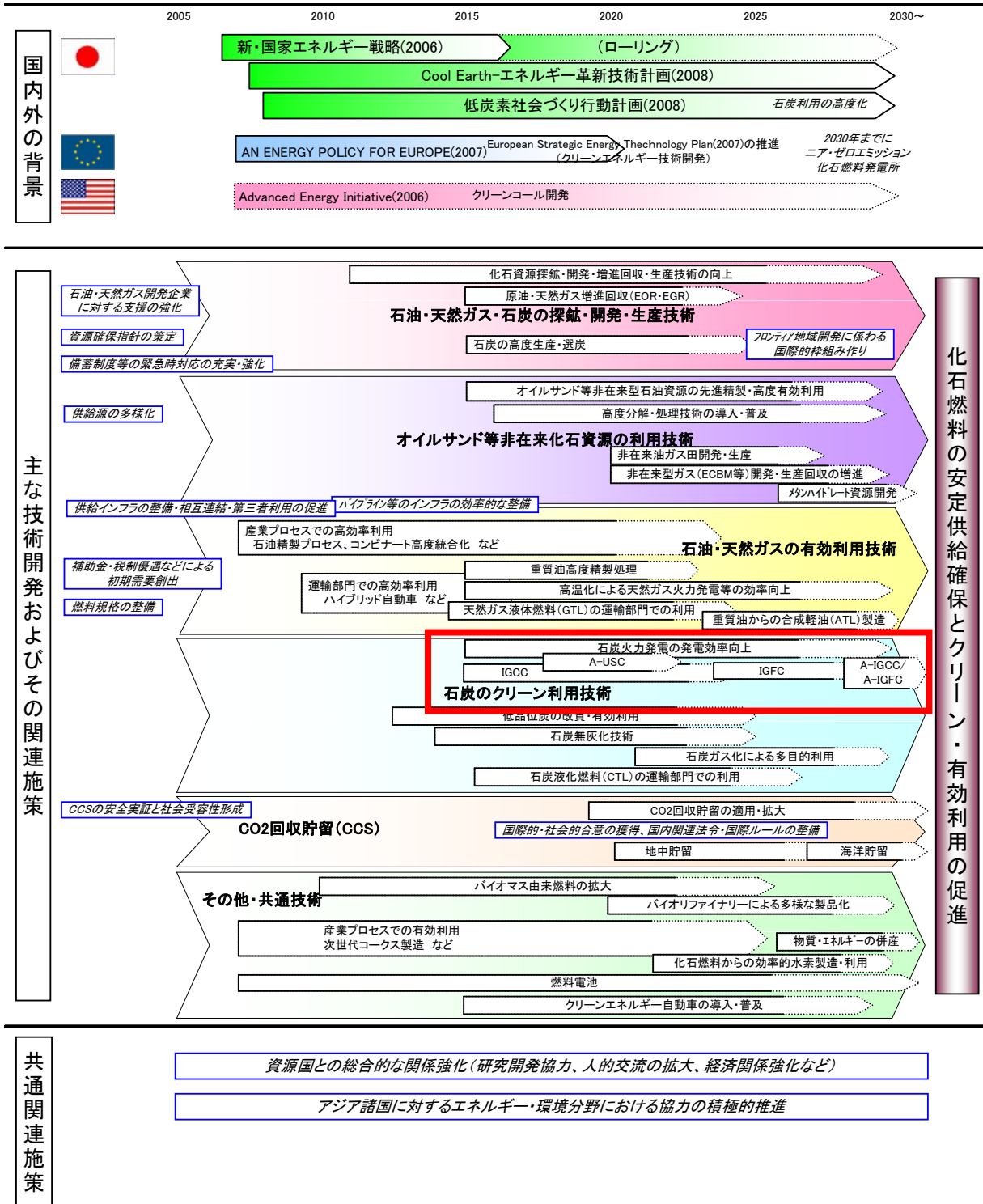
- 資源国との総合的な関係強化（研究開発協力、人的交流の拡大、経済関係強化など）
- アジア諸国に対するエネルギー・環境分野における協力の積極的推進

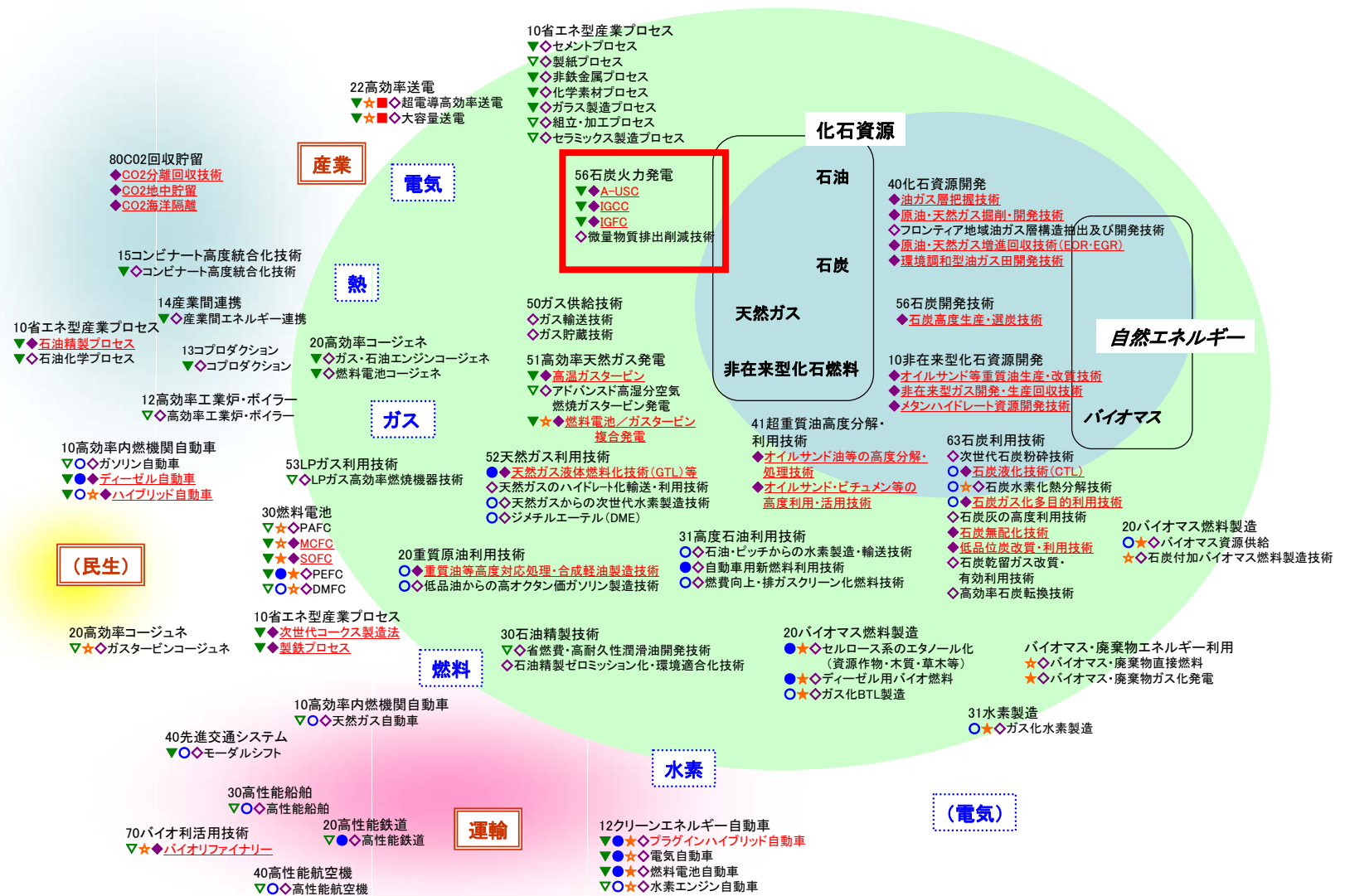
(v-4) 改訂のポイント

- 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。



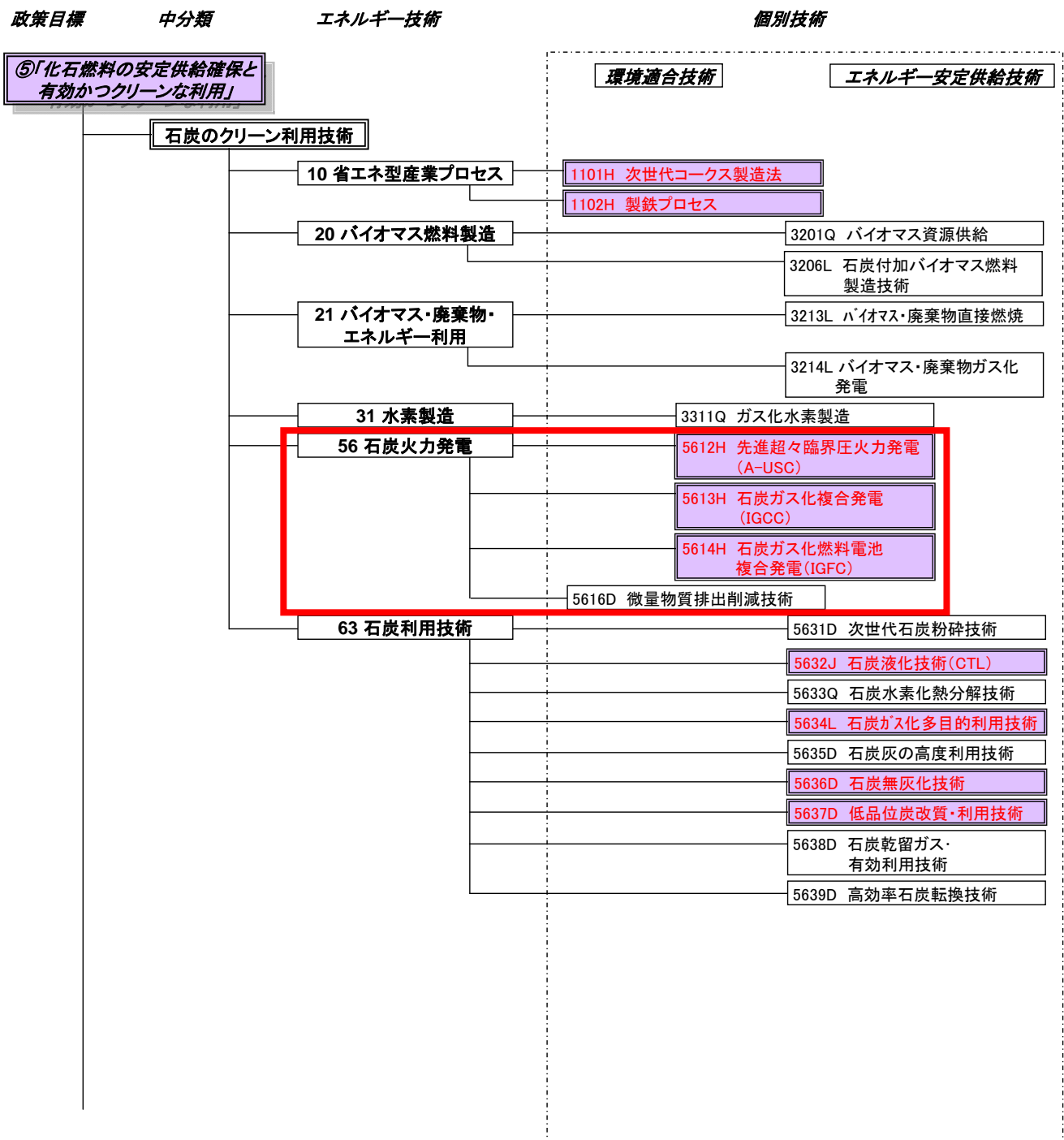


⑤「化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用」に寄与する技術の技術マップ(整理図)

● 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

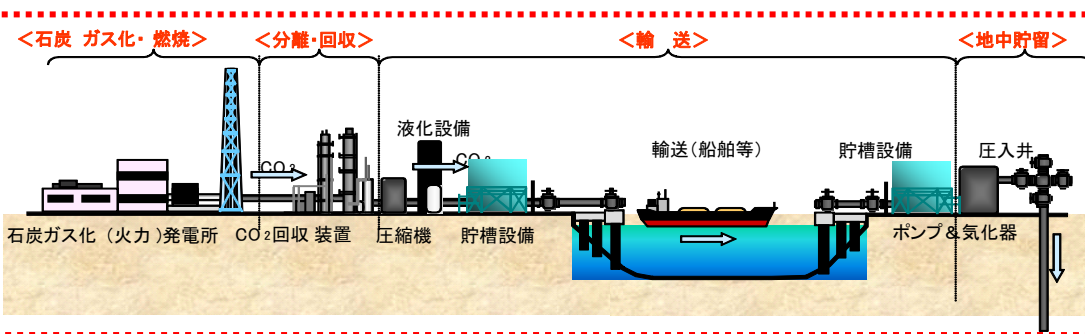
プロジェクトの規模

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。

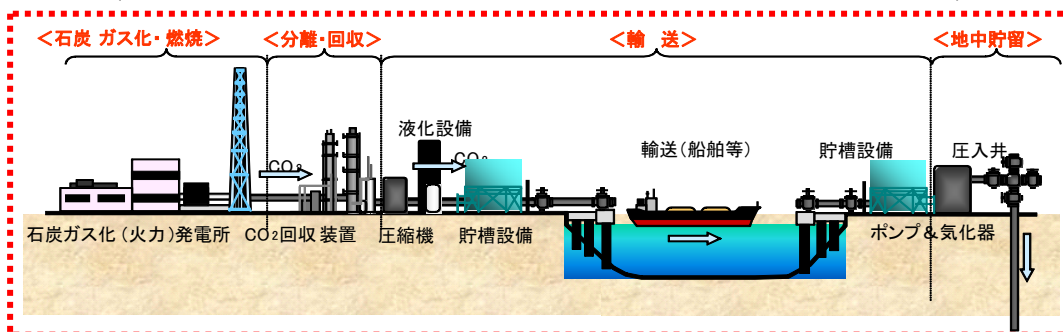
プロジェクトの規模

○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・論文リスト

	H20 年度 (2008 年度)	H21 年度 (2009 年度)	H22 年度 (2010 年度)	H23 年度 (2011 年度)	H24 年度 (2012 年度)	H25 年度 (2013 年度)	合計
特許 (外国出願)	3 件 (0 件)	4 件 (0 件)	4 件 (2 件)	4 件 (0 件)	7 件 (0 件)	1 件 (0 件)	23 件 (2 件)
研究発表	0 件	1 件	3 件	6 件	1 件	4 件	15 件
プレス発表	0 件	0 件	0 件	1 件	1 件	0 件	2 件
論文投稿	0 件	1 件	0 件	0 件	1 件	0 件	2 件

(1) 特許

出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
2008年9月10日	特願 2008-231618	ガスタービンの燃料供給方法	株式会社日立製作所
2008年9月12日	特願 2008-234169	燃焼器, 燃焼器の燃料供給方法 及び燃焼器の改造方法	株式会社日立製作所
2008年12月5日	特願 2008-310376	ガスタービンの運転方法 及びガスタービン燃焼器	株式会社日立製作所
2009年9月30日	特願 2009-225896	水素含有燃料対応燃焼器および, その低 NOx運転方法	株式会社 日立製作所
2009年9月30日	特願 2009-227542	ガスタービン燃焼器の制御装置および ガスタービン燃焼器の制御方法	株式会社 日立製作所
2009年11月27日	特願 2009-269542	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2010年1月13日	特願 2010-004697	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2010年8月5日	特願 2010-175977	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2010年12月27日	特願 2010-289353	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2011年1月12日	110951528US01	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2011年1月13日	110951528EP01	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2011年11月17日	特願 2011-251254	ガスタービン燃焼器及び石炭ガス化複 合発電プラント	株式会社 日立製作所
2011年11月21日	特願 2011-253406	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2012年1月6日	特願 2012-000974	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所

2012年2月22日	特願 2012-035786	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2012年7月4日	特願 2012-150122	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2012年7月24日	特願 2012-163282	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2012年9月12日	特願 2012-200020	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2012年11月26日	特願 2012-257671	ガスタービン燃焼器及びその運転方法	株式会社 日立製作所
2012年11月28日	特願 2012-259430	ガスタービン燃焼器及びガスタービン燃焼器の制御方法	株式会社 日立製作所
2012年12月20日	特願 2012-278087	バーナ	株式会社 日立製作所
2013年3月25日	特願 2013-062408	ガスタービン燃焼器	株式会社 日立製作所
2013年8月30日	特願2013-180189	ガスタービン燃焼システム	株式会社 日立製作所

(2) 研究発表（口頭発表）

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年10月21日	第37回ガスタービン定期講演論文(pp. 31-36), 講演	水素リッチ燃料焚き多孔同軸噴流バーナの大気圧燃焼特性	百々聡 他5名
2010年6月16日	ASME Turbo Expo 2010 (GT2010-22286), 講演	Applicability of a Multiple-Injection Burner to Dry Low-NOx Combustion of Hydrogen-Rich Fuels	浅井智広 他5名
2010年10月20日	第38回ガスタービン定期講演論文(pp. 171-176), 講演	水素リッチ燃料焚き多孔同軸噴流バーナの大気圧燃焼特性(第2報)	浅井智広 他5名
2010年10月20日	第38回ガスタービン定期講演論文(pp. 177-182), 講演	水素含有燃料焚きガスタービン用ドライ低NOx燃焼器の燃焼特性	百々聡 他5名
2011年6月9日	ASME Turbo Expo 2011 (GT2011-45295), 講演	Effects of Multiple-Injection-Burner Configurations on Combustion Characteristics for Dry Low-NOx Combustion of Hydrogen-Rich Fuels	浅井智広 他5名
2011年6月9日	ASME Turbo Expo 2011 (GT2011-45459), 講演	Combustion Characteristics of a Multiple-Injection for Dry Low-NOx Combustion of Hydrogen-Rich Fuels under Medium Pressure	百々聡 他5名
2011年7月7日	第39回ガスタービン定期講演論文(pp. 247-252), 講演	水素リッチ燃料焚き多孔同軸噴流バーナの火炎構造の検討	浅井智広 他4名
2011年7月7日	第39回ガスタービン定期講演論文(pp. 253-258), 講演	水素含有燃料焚きガスタービン用ドライ低NOx燃焼器の燃焼特性(第2報)	百々聡 他4名

2011年7月7日	第39回ガスタービン定期講演論文(pp. 259-264), 講演	水素含有燃料の燃焼特性に及ぼす一酸化炭素の影響の実験的検討	百々聡 他4名
2011年12月6日	火力原子力発電技術協会第38回新技術発表会, 講演	次世代石炭火力向け高水素濃度対応NOx燃焼技術について	百々聡
2012年12月7日	第50回燃焼シンポジウム講演論文集	石炭ガス化合成燃料の燃料組成の影響に関する実験的検討	穐山恭大 他2名
2013年7月31日	ASME 2013 Power Conference (Power2013-98122), 講演	A Dry Low-NOx Gas-Turbine Combustor with Multiple-Injection Burners for Hydrogen-Rich Syngas Fuel: Testing and Evaluation of Its Performance in an IGCC Pilot Plant	浅井智広 他5名
2013年10月16日	第37回ガスタービン定期講演論文集(pp. 289-294), 講演	石炭ガス化複合発電向け多孔同軸噴流バーナーを備えたドライ低NOxガスタービン燃焼器の開発	穐山恭大 他5名
2013年10月17日	平成25年度火力原子力発電大会研究発表要旨集(pp. 78-79), 講演	石炭ガス化複合発電向け多孔同軸噴流バーナーを備えたドライ低NOxガスタービン燃焼器の開発	浅井智広 他5名
2013年10月24日	International Conference on Power Engineering-2013 (ICOPE-2013) (No. 179), 講演	Multiple-Injection Dry Low-NOx Combustors for Hydrogen-Rich Syngas Fuel: Testing and Evaluation of the Performance in an IGCC Pilot Plant	浅井智広 他6名

(3) プレス発表

発表年月日	発表タイトル	プレス発表掲載新聞
2011年7月4日	次世代石炭火力発電向けガスタービンクリーン燃焼技術研究	日経産業新聞, 日刊工業新聞, 電気新聞, 化学工業日報, フジサンケイビジネスアイ, 電波新聞, 建設通信新聞
2013年4月11日	次世代石炭火力発電向けガスタービンクリーン燃焼技術を開発	日本経済新聞, 日経産業新聞, 日刊工業新聞, 電気新聞, 化学工業日報

(4) 論文投稿

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2009年10月15日	解説論文(火力原子力発電, Vol. 60, pp. 974-979, 2009)	水素リッチ燃料燃焼低NOx燃焼器の開発	小泉浩美 他5名
2013年1月	Journal of Engineering for Gas Turbines and Power (Vol. 135, Issue 1), 技術論文	Performance of a Multiple-Injection Dry Low NOx Combustor With Hydrogen-Rich Syngas Fuels	百々聡 他5名

(5) その他：受賞実績

受賞年月日	受賞	技術名称
2012年2月10日	日本ガスタービン学会賞 (技術)	水素リッチ燃料燃き多孔同軸噴流バーナ低NO _x 燃焼技術