

「戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発(STEP CCT)プロジェクト」

事業原簿

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 環境技術開発部
-----	------------------------------------

## —目次—

概要 .....	i
プロジェクト基本計画 .....	1
プログラム基本計画 .....	7
技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ） .....	15
事前評価書 .....	25
プロジェクト用語集 .....	30
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 .....	32
1.1 NEDOが関与することの意義 .....	32
1.2 実施の効果（費用対効果） .....	33
2. 事業の背景・目的・位置づけ .....	34
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標 .....	36
2. 事業の計画内容 .....	39
2.1 研究開発の内容 .....	39
2.2 研究開発の実施体制 .....	42
2.3 研究の運営管理 .....	43
3. 情勢変化への対応 .....	45
4. 評価に関する事項 .....	46
III. 研究開発成果について	
研究開発項目①「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」	
(1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積	
1. 事業全体の成果 .....	47
2. 研究開発項目毎の成果 .....	48
(2) 高度除去技術	
1. 事業全体の成果 .....	62
2. 研究開発項目毎の成果 .....	63
研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」	
1. 事業全体の成果 .....	76
2. 研究開発項目毎の成果 .....	76
IV. 実用化の見通しについて .....	87

概要

		作成日	平成 21 年 7 月 30 日																	
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム																			
プロジェクト名	戦略的炭化ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT)	プロジェクト番号	P07021																	
担当推進部/担当者	環境技術開発部/江口主幹、只隈主査																			
0. 事業の概要	<p>エネルギーイノベーションプログラムにおいて、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、その有効かつクリーンな利用を図るとしている。また、石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT) は、2006 年 5 月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘や、今後、世界的なエネルギー需要の増加に伴い良質の石炭資源の入手が徐々に難しくなることへの対応から、地球環境問題を考慮しながら石炭適用範囲を拡大する技術は我が国のエネルギー・セキュリティの観点からも重要となる技術である。</p> <p>そこで、世界をリードする次世代の CCT の開発のために、中核となるガス化技術および燃焼技術の戦略的開発を目的に、「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」について、将来の環境対策を考慮した微量成分の分析法や挙動の解明、カナダ・米国で打ち出された微粉炭火力での微量成分排出規制に対応するための対策技術を開発することで環境対策技術の世界トップの地位を維持する。また、「次世代高効率石炭ガス化技術開発」については、現在開発中の IGCC(石炭ガス化複合発電)、IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電システム)を効率で凌ぐ高効率石炭ガス化技術の開発を目的として、ガス化効率の向上のため、低温ガス化、触媒ガス化などの技術開発を行う。</p> <p>本事業は、エネルギーイノベーションプログラムに位置づけられる石炭ガス化及び石炭燃焼技術分野において、環境問題への対応、革新的な効率向上が期待される技術、あるいはエネルギー・セキュリティに寄与する技術について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施する。</p>																			
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>世界をリードする次世代の CCT の開発のために、中核となるガス化技術および燃焼技術の戦略的開発を目的に、「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」について、将来の環境対策を考慮した微量成分の分析法や挙動の解明、カナダ・米国で打ち出された微粉炭火力での微量成分排出規制に対応するための対策技術を開発することで環境対策技術の世界トップの地位を維持する。また、「次世代高効率石炭ガス化技術開発」については、現在開発中の IGCC(石炭ガス化複合発電)、IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電システム)を効率で凌ぐ高効率石炭ガス化技術の開発を目的として、ガス化効率の向上のため、低温ガス化、触媒ガス化などの技術開発を行う。</p>																			
II. 研究開発マネジメントについて	<p>研究開発項目①「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」</p> <p>(1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>最終目標</th> <th>中間目標</th> <th>目標設定の根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>コールバンク 石炭 微量成分</td> <td>109炭種 109炭種 109炭種</td> <td>100炭種 100炭種 40炭種</td> <td>微量成分および新規の炭種についてのデータを拡充する</td> </tr> <tr> <td>石炭中微量成分分析の標準化</td> <td>ISO規格提案</td> <td>ISO新規(NWI)提案</td> <td>開発した測定法を標準化するためには、国際標準としてISOの委員会への提案が適する</td> </tr> <tr> <td>排ガス中ホウ素、セレンの測定方法の標準化</td> <td>ISO規格提案 ホウ素(B)、セレン(Se) JIS規格提案</td> <td>ISO新規(NWI)提案 ホウ素(B)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 高度除去技術 [最終目標 (平成 22 年度)] 目標値 : 石炭火力発電設備の煙突出口濃度 3 μg-Hg/kWh 設定根拠: カナダの石炭火力発電所向け基準(世界的に最も厳しい排出基準)への対応技術を開発しておく必要性から設定。 [中間目標 (平成 20 年度)] 石炭火力発電設備の煙突出口濃度 3 μg-Hg/kWh に向けた除去システムの選定</p> <p>(3) 石炭多消費国向けの除去技術 目 標 : 石炭多消費国向けの除去技術を開発する。 設定根拠: 国連環境計画 (UNEP) において、排出の抑制や輸出入の規制を目的とした条約制定の決定や 2013 年の調印を目指した交渉が始まるなど、排出抑制に対する国際的な枠組みへの対応を視野に設定。</p> <p>&lt;※ この項目については、平成 21 年度から開始し、委託先を公募中&gt;</p>				項目	最終目標	中間目標	目標設定の根拠	コールバンク 石炭 微量成分	109炭種 109炭種 109炭種	100炭種 100炭種 40炭種	微量成分および新規の炭種についてのデータを拡充する	石炭中微量成分分析の標準化	ISO規格提案	ISO新規(NWI)提案	開発した測定法を標準化するためには、国際標準としてISOの委員会への提案が適する	排ガス中ホウ素、セレンの測定方法の標準化	ISO規格提案 ホウ素(B)、セレン(Se) JIS規格提案	ISO新規(NWI)提案 ホウ素(B)	
項目	最終目標	中間目標	目標設定の根拠																	
コールバンク 石炭 微量成分	109炭種 109炭種 109炭種	100炭種 100炭種 40炭種	微量成分および新規の炭種についてのデータを拡充する																	
石炭中微量成分分析の標準化	ISO規格提案	ISO新規(NWI)提案	開発した測定法を標準化するためには、国際標準としてISOの委員会への提案が適する																	
排ガス中ホウ素、セレンの測定方法の標準化	ISO規格提案 ホウ素(B)、セレン(Se) JIS規格提案	ISO新規(NWI)提案 ホウ素(B)																		
事業の目標																				

<b>研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」</b> [最終目標（平成23年度）] 目標値：ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの開発 設定根拠：発電効率65%以上（送電端）を成立させるための石炭ガス化条件 [中間目標（平成20年度）] ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの開発に向けたプロセス選定								
事業の計画内容		H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	
	1. 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							
	(1)微量成分の高精度分析手法に資するデータ蓄積							
	(2)高度除去技術							
	(3)石炭多消費国向け除去技術の開発							
	2. 次世代高効率石炭ガス化技術開発							
	(1)低温ガス化							
(2)触媒ガス化								
(3)炉内流動解析								
(4)システム解析								
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載)  (単位：百万円)	会計・勘定	H19年度	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	合計金額
	一般会計	0	0	0 (0)				現状 補正金
	特別会計(需給)	92	164	562 (499)				818 (1,317)
	総予算額	92	164	562 (499)				818 (1,317)
	戦略的炭素ガス化・燃焼技術開発	92	164	562 (499)				818 (1,317)
	1. 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	60	130	284 (499)				474 (973)
	(1)微量成分の高精度分析手法に資するデータ蓄積	17	24	43 (27)				84 (111)
	(2)高度除去技術	43	106	241 (332)				390 (722)
	(3)石炭多消費国向け除去技術の開発	-	-	- (140)				0 (140)
	2. 次世代高効率石炭ガス化技術開発	32	34	278 -				344 (344)
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	<b>研究開発項目①「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」</b> 鹿児島大学 大木 章 教授 <b>研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」</b> 九州大学 林 潤一郎 教授						
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載）	<b>研究開発項目①「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」</b> (1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積 出光興産(株) (財)電力中央研究所 (財)石炭エネルギーセンター 再委託：(独)産業技術総合研究所 (2) 高度除去技術 バブコック日立(株) 再委託：鹿児島大学 <b>研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」</b> (株)IHI 再委託：東京大学、大阪大学 北海道大学(～H20年度)→九州大学(H21年度～) (財)石炭エネルギーセンター 再委託：東北大学、群馬大学、九州大学 (独)産業技術総合研究所						
情勢変化への対応	平成21年度より、研究開発項目①「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」に「(3)石炭多消費国向け除去技術の開発」の項目を追加（公募中）							
Ⅲ. 研究開発成果について	<b>研究開発項目①「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」</b> (1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積 石炭燃焼により、ガスとして放出された物質のうち、ホウ素、セレンは、公定法となる分析手法が存在しないか、あっても信頼性が乏しい。また、固体の石炭については、国内、国外とも微量成分の規格は存在せず、データの比較は容易でない。そこで、高精度の分析手法の標準化をめざして、次に記載する如							

く、国内/国際的に認定されるように課題の整理、検討を進める。さらに現在、管理された石炭サンプルを分析データと共に供給できる体制を持っているが、このデータライブラリの拡充を次のように図る。

プラント内の挙動解明や高精度除去装置の開発には、高精度分析手法が必要である。しかしながら、排ガス中でガスとして存在する微量物質の測定法のうち、ガス状セレンの測定法としては、吸収液を用いた方法がJIS等に規定されているが、これらの方法では十分な精度が得られないことが明らかになっている。一方、ガス状ホウ素の測定法には、国の内外いずれにおいても公定法が存在しない。そこで、模擬燃焼排ガスならびに燃焼排ガスを用いて、ガス状セレンとホウ素の測定法の最適サンプリング手法を確立すると共に、その測定精度を明確にし、公定法のないガス状ホウ素測定法については、ISOへの提案を図った。

項目	最終目標	中間目標	成果	中間目標に関する達成状況	全体としての目標達成
コールバンクの拡充	石炭データ: 109炭種 微量データ: 109炭種	石炭データ: 100炭種 微量データ: 40炭種	石炭データ: 100炭種 微量データ: 40炭種	○	順次分析実施
石炭中微量成分の分析手法の規格化	ISO規格提案	ISOガイダンス提案	ISOガイダンス提案終了 ガイダンスとして受理	○	ISO本規格提案準備中
ガス状ホウ素・セレンの規格化	ISO規格提案 JIS規格提案	ホウ素分析手法のISO新規提案	ホウ素分析手法の新規提案終了	○	ISO規格提案準備中

記号 ○ は、中間目標が達成済みであることを示す

## (2) 高度除去技術

平成19年度に模擬ガスを用いたラボ試験により、触媒部水銀酸化特性の評価、石炭燃焼灰への水銀付着特性評価、脱硫吸収液への水銀吸収特性評価及び酸素燃焼時における各機器の水銀挙動特性の評価を予定通り実施した。その結果、排ガス中の水銀を高度除去するための機器構成として、脱硝触媒、集塵器、湿式脱硫装置の組合せが有効であることを確認した。

平成20年度では、小型燃焼炉(0.5MW)の後流に脱硝触媒、バグフィルタ、湿式脱硫装置から成る小型排ガス処理装置を設置し、実ガスでの評価試験を実施した。試験は、カナダ炭を含む3炭種の石炭を燃焼し、脱硝触媒部における水銀酸化特性の評価、集塵器における灰への水銀付着特性の評価、湿式脱硫装置における水銀の除去特性評価を実施した。また、小型燃焼炉を酸素燃焼運転した排ガスを使用し、上記に示す各機器の水銀除去特性を測定し、次世代火力として注目される酸素燃焼ボイラにおける水銀除去についても検討を行った。上記の試験結果より、脱硝触媒、集塵器及び湿式脱硫装置を組み合わせたシステムにより、目標値である水銀放出量を3μg/kWh以下にできる見通しを得ることができた。さらに、より除去率を向上する方法として、集塵器温度を低下(160→90℃)する方法及び排ガス中の塩素濃度を増加(50~100ppm)する方法が有効であることが分かった。

中間目標	試験内容(年度)	項目	達成状況	評価
水銀排出量 3μg/kWh	19~20年度	水銀除去システムの選定	小型炉試験により、 脱硝触媒+集塵器+脱硫装置 の組合せにより、 水銀排出量3μg/kWh以下を確認	◎
	ラボ試験 (19年度)	触媒部酸化特性評価	HCl, SO <sub>2</sub> 等の影響評価	○
		灰付着特性評価	温度、未燃分等の影響評価	○
		脱硫液吸収特性評価	L/G, pH等の影響評価	○
		酸素燃焼時の評価	各機器の特性評価	○
		機器構成の検討	除去率向上構造を検討	○
	小型燃焼炉 (20年度)	触媒部酸化特性評価	3炭種での特性評価	○
		灰付着特性評価	3炭種、温度等の影響評価	○
		脱硫液吸収特性評価	3炭種、L/G等の影響評価	○
		酸素燃焼時の評価	各機器の特性評価	○
	システムの評価		目標値を達成できる構成を提案	○
廃水処理技術 (19~20年度)	脱硝廃水の水銀除去技術	キレート繊維によりHg, B等重金属除去を確認	○	
	石炭灰の水銀除去技術	酸洗浄により	○	

◎:目標を上回る成果 ○:目標通りの成果

## 研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

最終目標、中間目標及び現在までの研究開発成果のまとめを下記に示す。

開発項目	最終目標	中間目標 (平成20年度末)	研究現状	中間目標に対する達成状況

	システム検討	ガス化温度 900℃以下のガス化システム開発	ガス化温度 900℃以下のガス化システムの選定	最適なガス化炉、GT、ST の組合せを選定し効率を試算した	○
	低温ガス化	ガス化温度 900℃以下の低温ガス化炉開発	ガス化温度 900℃以下の低温ガス化炉の選定	循環流動層+熱分解分離型ガス化炉を選定し、ラボスケール試験によりガス化効率の向上効果を確認した。	○
	炉内流動解析	循環流動層粒子フラックスを 350 kg/m <sup>2</sup> ・s 達成装置の構築	循環流動層フラックス 200 kg/m <sup>2</sup> ・s 条件の達成、シミュレーション技術検討	コールドモデル試験により、フラックス 211kg/(m <sup>2</sup> ・s) を達成した	○
	触媒ガス化	750℃触媒水蒸気ガス化プロセスの構築	850℃における触媒水蒸気ガス化プロセスの構築	4 種の触媒において 850℃以下で高活性特性を示すことを確認した	○
	投稿論文	「査読付き」7 件、「その他」12 件、「学会発表」18 件			
	特許	「出願済」1 件（出願準備中 5 件）、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 0 件）			
IV. 実用化の見通しについて	<p><b>研究開発項目①「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」</b></p> <p>(1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積  ISO/TC27(Solid mineral fuels) 技術委員会において、本プロジェクトで標準化活動を行った石炭中微量元素の分析ガイダンスは、2008 年 10 月に発行された。  (ISO23380:2008 “Selection of methods for the determination of trace elements in coal, October 2, 2008.)  これにより石炭中微量元素の分析方法の公定法制定への道筋が開け、今後の JIS 規格および ISO の本規格の制定に向けた標準化活動の基盤が与えられた。  今後、コールバンク保有炭について ISO23380 による微量成分分析を行い、コールバンクデータベース化するとともに、国際ラウンドロビントへの対応を含め、分析手法の規格化に資するべくデータの有効利用を図り、石炭中微量成分の分析方法の標準規格（ISO または JIS）を早期に制定するべく活動を行う。</p> <p>(2) 高度除去技術  カナダ、米国等では発電所から排出される水銀量の規制強化が進んでおり、本研究の成果を PR することで、実用化の可能性は高いと考えられる。  また、石炭焚火力の増設が急ピッチで進んでいる中国、インド等においても本技術の転用が可能である。</p> <p><b>研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」</b></p> <p>本技術は、新しい概念に基づく次世代高効率石炭ガス化発電プロセスとハイブリッドガス化コプロダクションプロセスの開発であり、主要課題である低温ガス化炉については、本プロジェクトにおいて平成 19 年度から 5 ヵ年計画で実用化に向けた要素技術の確立とシステムの最適化設計を実施し、ガス化炉の大型化については技術開発の進捗に合わせて見極めを行った後、次のステップに移行する。  一方、1700℃級のガスタービンについては、別の国家プロジェクトの進展に委ねられており、2025 年ごろまでに 1700℃級ガスタービンが実用化されれば、本プロセスへ導入することにより、実用化が可能となる。</p>				
V. 評価に関する事項	事前評価	平成 19 年度実施 担当部 環境技術開発部			
	中間評価以降	平成 21 年度 中間評価実施 24 年度 事後評価実施予定			
VI. 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 20 年 3 月：別紙研究開発項目①及び②の達成目標の時期に誤記があったため改訂 平成 20 年 7 月：イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂 平成 21 年 7 月：別紙研究開発項目①の研究開発の具体的内容に(3)を追加。合わせて、達成目標を設定。			

(エネルギーイノベーションプログラム)

「戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発」

(STEP CCT < Strategic TEchnical Platform for Clean Coal Technology >)

基本計画

環境技術開発部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

### (1) 研究開発の目的

エネルギーイノベーションプログラムにおいて、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、その有効かつクリーンな利用を図るとしている。石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT)は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘を行うことが重要となる。世界的なエネルギー需要の増加にともない、将来的には良質な石炭資源の入手が難しくなることへの対応から、地球環境問題を考慮しつつ、我が国のエネルギー・セキュリティの確保をはかることも重要である。

本事業は、エネルギーイノベーションプログラムに位置づけられる石炭ガス化及び石炭利用技術分野において、環境問題への対応、革新的な効率向上が期待される技術、あるいはエネルギー・セキュリティに寄与する技術について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施する。

### (2) 研究開発の目標

石炭ガス化及び石炭利用技術分野において、我が国の石炭利用分野における国際競争力強化のために基礎的な技術開発を実施し、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。

なお、別紙に研究開発項目毎に研究開発目標を設定する。

### (3) 研究開発の内容

上記の目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

[委託事業]

- ① 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
- ② 次世代高効率石炭ガス化技術開発

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、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、公募によって研究開発実施者を選定し、委託により実施する。

共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発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研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を研究開発項目毎に置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

## (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・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、本研究開発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. 研究開発の実施期間

本研究開発の実施期間は、平成19年度から平成23年度までの5年間とする。ただし、各研究開発項目の研究期間は研究開発項目毎に設定する。

## 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目的達成度、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、外部有識者による研究開発の中間評価及び事後評価を各研究開発項目に設定して実施する。

また、事業全体についての中間評価を平成21年度に、事後評価を平成24年度に実施する。

## 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

得られた研究開発成果については、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

得られた研究開発の成果については、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25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、研究開発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、研究開発費の確保状況、当該研究開発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

平成20年度以降に技術動向調査などにより、必要に応じて新規研究開発項目を追加することもある。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成19年3月、基本計画制定。
- (2) 平成20年3月、別紙研究開発項目①及び②の達成目標の時期に誤記があったため改訂。
- (3) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。
- (4) 平成21年7月、別紙研究開発項目①の研究開発の具体的内容に(3)を追加。合わせて、達成目標を設定。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目①「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」

1. 研究開発の必要性

エネルギーイノベーションプログラムにおいて、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、その有効かつクリーンな利用を図るとしている。また、石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT)は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘や、今後、世界的なエネルギー需要の増加に伴い良質の石炭資源の入手が徐々に難しくなることへの対応から、地球環境問題を考慮しながら石炭適用範囲を拡大する技術は我が国のエネルギー・セキュリティの観点からも重要となる技術である。

そこで、世界をリードする次世代のCCTの開発のために、中核となるガス化技術および燃焼技術の戦略的開発を目的に、「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」について、将来の環境対策を考慮した微量成分の分析法や挙動の解明、カナダ・米国で打ち出された微粉炭火力での微量成分排出規制に対応するための対策技術を開発することで環境対策技術の世界トップの地位を維持する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積

石炭燃焼プロセスにおいて、微量成分の除去技術を開発するためには、高精度の測定技術が必要である。

分析技術は、ガスとして存在する物質の一部は公定法が存在せず、固体の石炭は、国際規格ISO、国内規格JISとも存在せず、実施者によって異なる手法を用いているのが現状である。したがって、精度、再現性、さらに運用面で種々の問題が起きているため、これらの標準化を目的とした分析技術の課題の整理と解決を目指すものである。

今後、国際的な標準化として認定されるように、微量成分の分析データを加えてデータベースの拡充を図り、規格化に資するデータの蓄積を行う。

(2) 高度除去技術

上記の高精度なサンプリング、分析技術を踏まえ、石炭火力発電設備の煙突出口濃度 $3\mu\text{g-Hg/kWh}$  を目標値とする高度微量成分除去技術を開発する。

各種調査を踏まえて、ラボ試験、小型炉燃焼試験などで炭種・運用条件等の影響に関する試験などを行い、大型燃焼炉や排煙処理試験装置等における除去方式の選定や操作条件などの検討を行う。

(3) 石炭多消費国向け除去技術の開発

微量成分の地球規模での排出量の削減に向けて、石炭多消費国向け除去技術の開発を行う。

石炭多消費国で多く利用される低品位炭や流動層燃焼設備等を反映した対象国向けのシミュレータを開発（改良含む）し、解析した上で、既設の燃焼試験設備による基礎試験の実施により低コストで高効率な除去技術を開発する。

### 3. 達成目標

研究開発目標を下記のように設定する。

[最終目標（平成22年度）]

目標値：石炭火力発電設備の煙突出口濃度 $3\mu\text{g-Hg/kWh}$

設定根拠：カナダの石炭火力発電所向け基準(世界的に最も厳しい排出基準)への対応技術を開発しておく必要性から設定。

(平成23年度)

目標：石炭多消費国向けの除去技術を開発する。

設定根拠：国連環境計画（UNEP）において、排出の抑制や輸出入の規制を目的とした条約制定の決定や2013年の調印を目指した交渉が始まるなど、排出抑制に対する国際的な枠組みへの対応を視野に設定。

[中間目標（平成20年度）]

石炭火力発電設備の煙突出口濃度 $3\mu\text{g-Hg/kWh}$ に向けた除去システムの選定

## 研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

エネルギーイノベーションプログラムにおいて、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、その有効かつクリーンな利用を図るとしている。また、石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT)は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘や、今後、世界的なエネルギー需要の増加に伴い良質の石炭資源の入手が徐々に難しくなることへの対応から、地球環境問題を考慮しながら石炭適用範囲を拡大する技術は我が国のエネルギー・セキュリティの観点からも重要となる技術である。

そこで、世界をリードする次世代のCCTの開発のために、中核となるガス化技術および燃焼技術の戦略的開発を目的に、「次世代高効率石炭ガス化技術開発」について、現在開発中のIGCC(石炭ガス化複合発電)、IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電システム)を効率で凌ぐ高効率石炭ガス化技術の開発を目的として、ガス化効率の向上のため、低温ガス化、触媒ガス化などの技術開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

現在の噴流床ガス化技術では、石炭の一部を燃焼して形成した高温場で石炭をガス化するとともに石炭灰を溶融・排出している。このため生成したガスの発熱量が低下するだけでなく、溶融灰からの熱回収も容易でないことから、高効率化への大きな壁となっていた。さらに、高温場の形成を容易にし、生成ガスの発熱量を確保するためにガス化剤に酸素を用いることが多く、酸素製造により多大な所内動力を消費するために、送電端の効率低下が免れなかった。そこで、低温水蒸気ガス化や触媒ガス化(ガス化温度 900℃以下)などの新たなガス化プロセスに向けて、次の研究開発を行なう。

#### (1) 低温ガス化

流動層ガス化、水蒸気ガス化の基礎プロセスを開発する。

#### (2) 触媒ガス化

低温ガス化に必要な低コストの触媒の探索および開発する。

#### (3) 炉内流動解析

高速に移動する流動媒体の伝熱・流動などの解析を行う。

#### (4) システム検討

高効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討を行う。

### 3. 達成目標

研究開発目標を下記のように設定する。

[最終目標(平成23年度)]

- ・目標値 : ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの開発
- ・設定根拠 : 発電効率65%以上(送電端)を成立させるための石炭ガス化条件

[中間目標(平成20年度)]

ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの開発に向けたプロセス選定

# 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

## 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-I. 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-II. 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-III. 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-IV. 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CO<sub>2</sub>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-V. 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」等に表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-I. 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-II. 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-III. 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-IV. 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-V. 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-I. 総合エネルギー効率の向上

〔

##### 4-V. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

##### 4-V-i. 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

〔

##### 4-V-iv. 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

##### ①概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- i. 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CO<sub>2</sub>の分離・回収技術の実証
- ii. 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
- iii. 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。

「② 次世代高効率石炭ガス化技術開発」

##### ②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CO<sub>2</sub>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。

##### ③研究開発期間

2007年度～2012年度

〕

「① 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」

(4) 石炭利用技術開発（一部、運営費交付金）

①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。

②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（戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発）。

③研究開発期間

1995年度～2011年度

- ・ 戦略的石炭ガス化・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. 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-I. 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-II. 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-III. 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-IV. 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-V. 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。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用プログラム基本計画（平成16・02・03産局第6号）は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第8号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第10号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第12号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第11号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第13号）は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第14号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第9号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第17号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第12号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第13号）は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画（平成17・03・29産局第2号）は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・31産局第19号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第15号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第18号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第17号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第16号）は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成19・03・26産局第1号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成19・03・20産局第4号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成19・03・19産局第7号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成19・03・16産局第3号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成19・03・23産局第2号）は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (6) 平成21年4月1日付け制定。エネルギーイノベーションプログラム基本計画（平成20・03・25産局第5号）は廃止。

# 技術戦略マップ2009

平成21年4月  
経済産業省 編

# 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ものである。

技術戦略マップ2009の策定に当たっては主に下記の3項目の内容について見直しを実施し、改訂を行った。

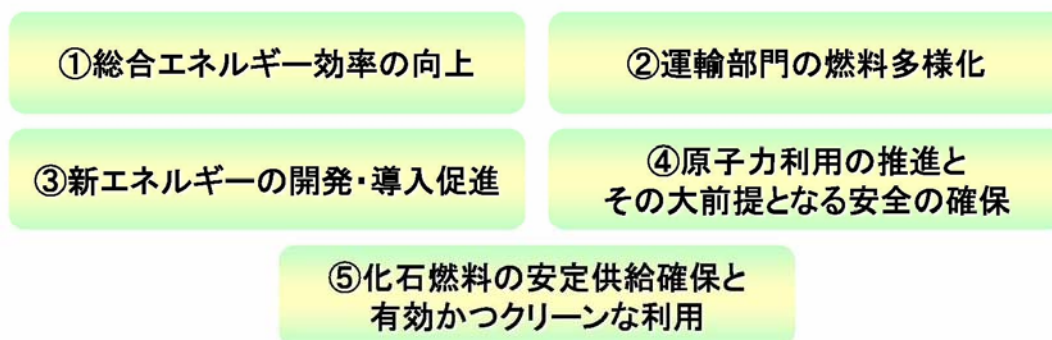
- ・省エネルギー技術戦略との整合【参考資料：省エネルギー技術戦略2009】
- ・既存ロードマップに最新技術を反映
- ・個別技術の統廃合（235技術→178技術（新2技術））

## 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、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、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、及び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。



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

### II. 技術の特徴付けについて

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

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

### III. エネルギー技術全体の俯瞰図について

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

# エネルギー技術 - 俯瞰図 -

## ① 総合エネルギー効率の向上

- 高効率空調
  - 高効率冷凍機
  - 高効率冷却水循環
  - 高効率照明
  - 高効率空調機
  - 高効率空調機
  - 高効率空調機
- 高効率発電機
  - 高効率発電機
  - 高効率発電機
  - 高効率発電機
  - 高効率発電機
  - 高効率発電機
- 高効率送電
  - 高効率送電
  - 高効率送電
  - 高効率送電
  - 高効率送電
  - 高効率送電
- 高効率変電
  - 高効率変電
  - 高効率変電
  - 高効率変電
  - 高効率変電
  - 高効率変電
- 高効率配電
  - 高効率配電
  - 高効率配電
  - 高効率配電
  - 高効率配電
  - 高効率配電
- 高効率消費
  - 高効率消費
  - 高効率消費
  - 高効率消費
  - 高効率消費
  - 高効率消費

## ⑤ 化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用

- CO2回収貯留
  - CO2回収貯留
  - CO2回収貯留
  - CO2回収貯留
- 化石燃料開採
  - 化石燃料開採
  - 化石燃料開採
  - 化石燃料開採
- 化石燃料加工
  - 化石燃料加工
  - 化石燃料加工
  - 化石燃料加工
- 化石燃料輸送
  - 化石燃料輸送
  - 化石燃料輸送
  - 化石燃料輸送
- 化石燃料貯蔵
  - 化石燃料貯蔵
  - 化石燃料貯蔵
  - 化石燃料貯蔵
- 化石燃料利用
  - 化石燃料利用
  - 化石燃料利用
  - 化石燃料利用

## ④ 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 新原子力
  - 新原子力
  - 新原子力
  - 新原子力
- 既存原子力
  - 既存原子力
  - 既存原子力
  - 既存原子力
- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
- 原子力熱
  - 原子力熱
  - 原子力熱
  - 原子力熱
- 原子力推進
  - 原子力推進
  - 原子力推進
  - 原子力推進

## ③ 新エネルギーの開発・導入促進

- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽熱利用
  - 太陽熱利用
  - 太陽熱利用
  - 太陽熱利用
- 風力発電
  - 風力発電
  - 風力発電
  - 風力発電
- 水力発電
  - 水力発電
  - 水力発電
  - 水力発電
- 地熱発電
  - 地熱発電
  - 地熱発電
  - 地熱発電
- バイオマス
  - バイオマス
  - バイオマス
  - バイオマス
- 燃料電池
  - 燃料電池
  - 燃料電池
  - 燃料電池
- 蓄電池
  - 蓄電池
  - 蓄電池
  - 蓄電池
- 新エネルギー
  - 新エネルギー
  - 新エネルギー
  - 新エネルギー

## ② 運輸部門の燃料多様化

- 自動車
  - 自動車
  - 自動車
  - 自動車
- 船舶
  - 船舶
  - 船舶
  - 船舶
- 航空機
  - 航空機
  - 航空機
  - 航空機
- 鉄道
  - 鉄道
  - 鉄道
  - 鉄道
- バス
  - バス
  - バス
  - バス
- トラック
  - トラック
  - トラック
  - トラック
- 船舶
  - 船舶
  - 船舶
  - 船舶
- 航空機
  - 航空機
  - 航空機
  - 航空機
- 鉄道
  - 鉄道
  - 鉄道
  - 鉄道
- バス
  - バス
  - バス
  - バス
- トラック
  - トラック
  - トラック
  - トラック

・技術名の前に記した色抜きの記号(▽○★◇)は、その技術が普及する部門を示す(▽: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、色抜きの記号(▽○★◇)で示し、技術名は、赤字・下線付きで記載した。



## 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) 研究開発の取組み

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) 関連施策の取組み

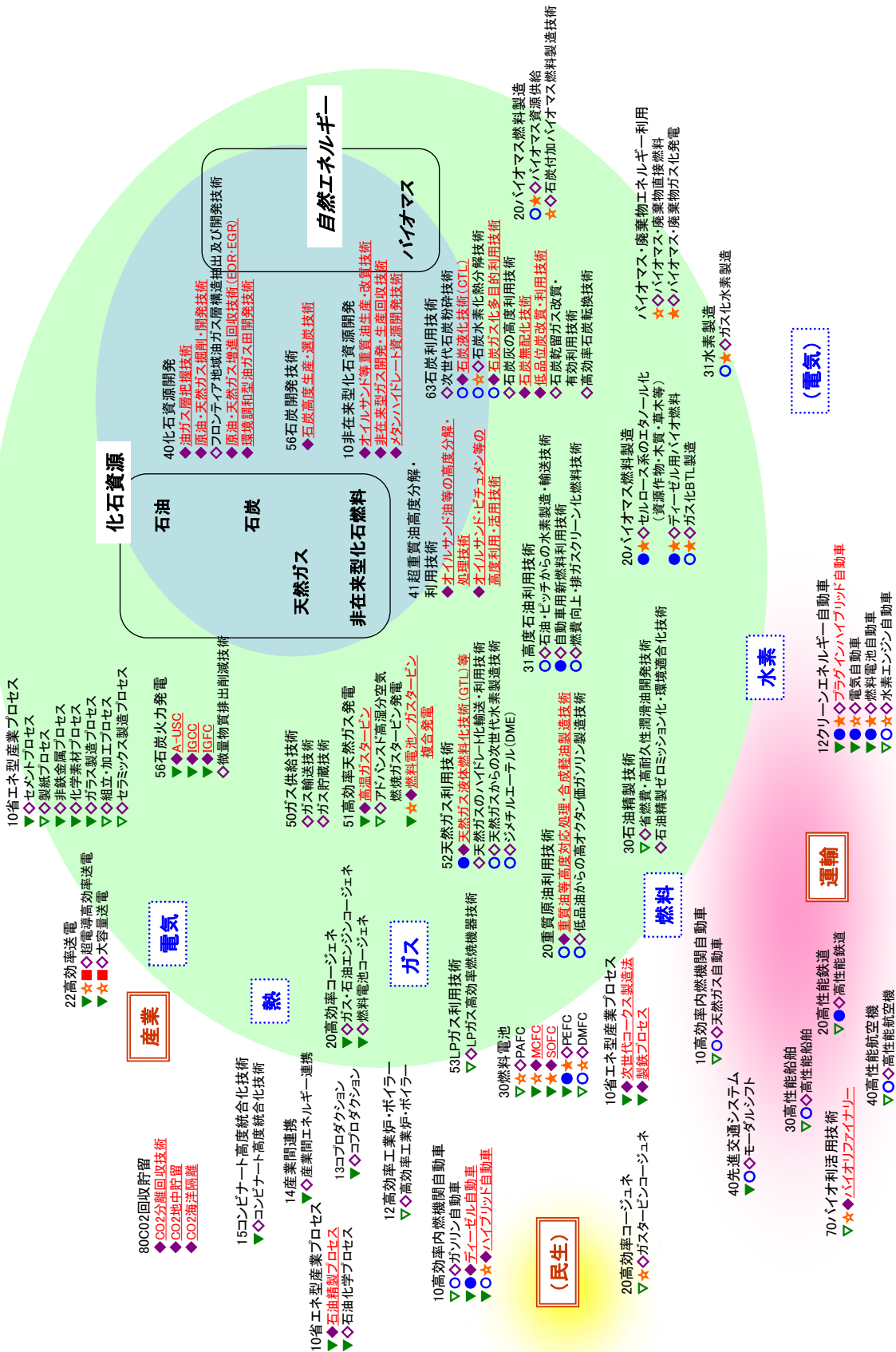
- 資源国との総合的な関係強化(研究開発協力、人的交流の拡大、経済関係強化など)
- アジア諸国に対するエネルギー・環境分野における協力の積極的推進

#### (v-4)改訂の主たるポイント

○技術の目的、方向性が同一の技術であるものを統廃合し90の技術とした。

具体的には、

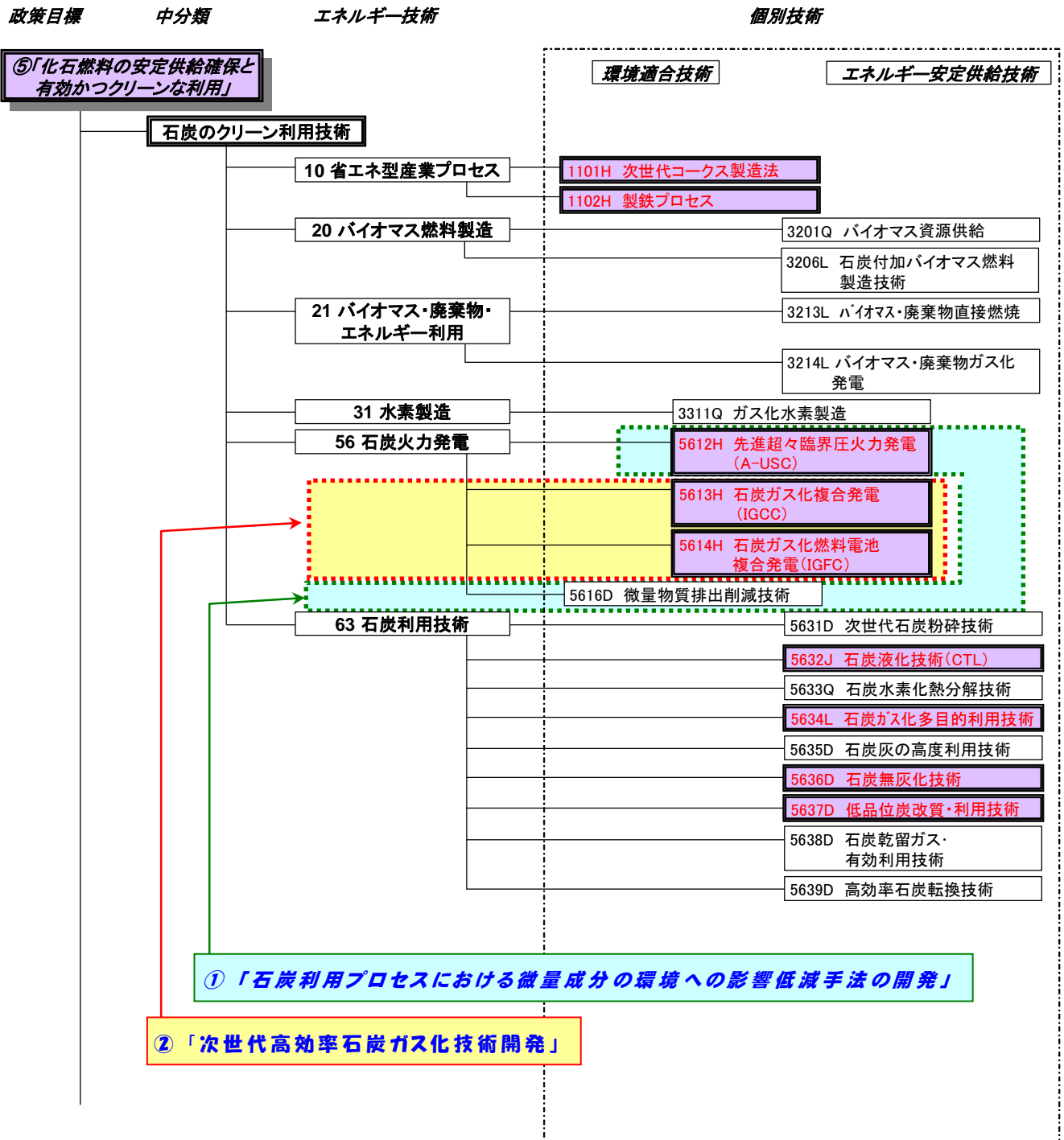
- ・「石炭地下ガス化技術」は同じ石炭開発技術である5601D「石炭高度生産・選炭技術」に統廃合した。
  - ・「コールドベッドメタン増進回収技術(ECBM)」は同じ非在来型化石資源開発である5102D「非在来型ガス開発・生産回収技術」に統廃合した。
  - ・「高過酷度接触分解重質油等高度対応処理技術」、「重質油からの合成軽油製造技術(ATL)」は同じ重質油をクリーン燃料油に転換する技術であることから5201J「重質油等高度対応処理・合成軽油製造技術」に統合した。
  - ・「オイルサンド・ピチュレン等の超臨界水等熱分解技術」は、オイルサンド油、超重質油の高度分解・利用技術である5411D「オイルサンド油等の高度分解・処理技術」に統廃合した。
  - ・2030年以降の技術として期待されている「次世代高効率石炭ガス化発電(A-IGCC/A-IGFC)は同じ高効率石炭ガス化発電である5613H「石炭ガス化複合発電(IGCC)」、5614H「石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)」に統廃合した。また、同様に「石炭ガス化高温分空気燃焼ガスタービン発電(IGHAT)」も同じ高効率石炭ガス化発電であることから5613H「石炭ガス化複合発電(IGCC)」に統廃合した。
  - ・「低品位炭燃焼技術」「低品位炭改質技術」は今後、高品位炭に代わり利用が増加することが予想される低品位炭の利用技術であることから5637D「低品位炭改質・利用技術」に統合した。
  - ・「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」で21技術の1つに挙げられ、今後温暖化対策のオプションと期待されるCCS(CO2回収・貯留技術)の中核技術である「CO2燃焼前回収」、「CO2燃焼後回収」、「酸素燃焼CO2回収」は、5801D「CO2分離回収技術」に統合した。
- 2008年策定の「バイオ燃料技術革新計画」にも記載され、植物性の材料を燃料や化学製品原料に変換する技術である5701P「バイオリファイナリー」を新たに追加した。
- 2008年策定の「Cool Earthエネルギー革新技術計画」でも要素技術として取り上げられ、中級機向けの技術として期待されている5512H「高温分空気燃焼ガスタービン発電(AHAT)」の要素技術の充実を図った。



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

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

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



## 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ロードマップ(7/13)

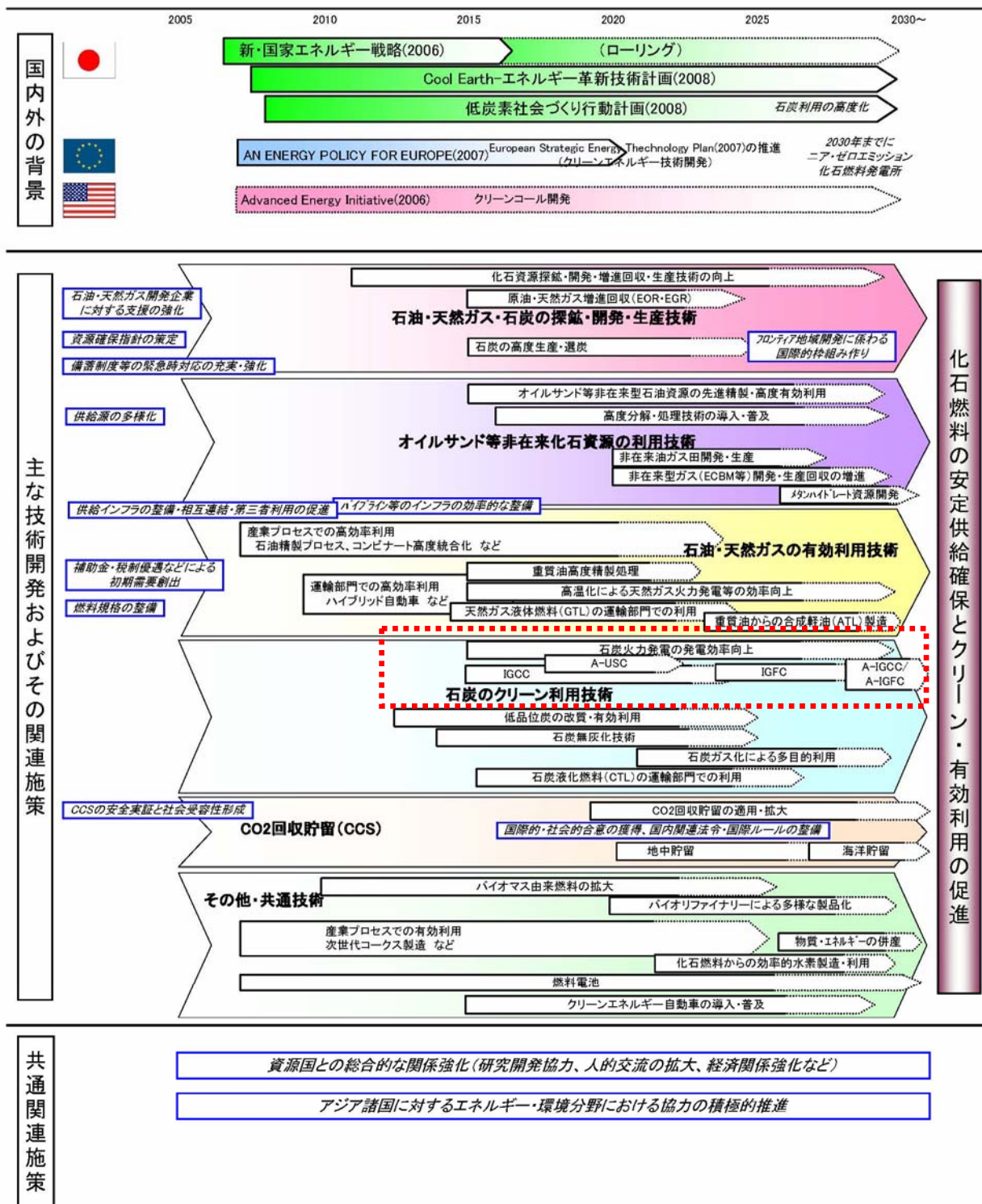
No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030~
3213L	21 バイオマス・廃棄物 エネルギー利用  バイオマス・廃棄物 直接燃焼	大規模コージェネ	小規模ストーブ等の公共施設等での普及拡大	設備コスト低減	中小規模コージェネ	
3214L	21 バイオマス・廃棄物 エネルギー利用  バイオマス・廃棄物 ガス化発電	実用規模実証	ガス化改質・高含水バイオマスのガス化効率向上 熱化学再生ガス化 低カロリー対応ガスエンジン技術 集塵・タール処理技術	セメント製造への原料・燃料利用	燃料電池発電システム技術	
3311Q	31 水素製造  ガス化水素製造	水素価格(水素製造全体) 150円/Nm <sup>3</sup>	80円/Nm <sup>3</sup> 5 t/d パイロットプラント	40円/Nm <sup>3</sup>	ケミカルループ利用ガス化技術 吸収剤リサイクル技術	CO <sub>2</sub> 回収技術 水素分離膜技術
5612H	61 石炭火力発電  先進超々臨界圧火力 発電(A-USC)	送電効率 42%HHV(600℃級)	46%HHV(700℃級)	48%HHV(750℃級)	ボイラー・タービン新合金開発 高温弁開発 高温耐熱溶接技術	
5613H	61 石炭火力発電  石炭ガス化複合発電 (IGCC)	送電効率 41%HHV(250 MW実証機) 46%HHV(1500℃級GT・湿式ガス精製)	48%HHV(1500℃級GT・乾式ガス精製)	50%HHV(1700℃級GT・乾式ガス精製)	57%HHV(A-IGCC) 空気吹き石炭ガス化技術 多炭種対応技術 高効率酸素製造技術 乾式ガススクリーニング技術	低温高効率石炭ガス化技術 IGHAT 高温ガスタービン技術(1700℃級)
5614H	61 石炭火力発電  石炭ガス化燃料電池 複合発電(IGFC)	プラント規模・送電効率 実証機(1000 t/d級)	65%HHV(A-IGFC) 商用機(600 MW級・送電効率55%HHV)	多炭種対応技術 酸素吹き石炭ガス化技術 乾式ガススクリーニング技術 精密ガススクリーニング技術 高温度ガスタービン技術 高効率酸素製造技術	大容量高温形燃料電池	
5616D	61 石炭火力発電  微量物質排出削減技術	微量物質挙動把握 微量物質計測技術	微量物質捕集技術			

### ② 次世代高効率石炭ガス化技術開発

### ① 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

## 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。



# NEDO POST 3 19年度新規研究開発プロジェクト概要



研究開発テーマ名: 戦略的石灰ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT <Strategic Technical Platform for Clean Coal Technology >)

## 研究目的

背景、目的、必要性

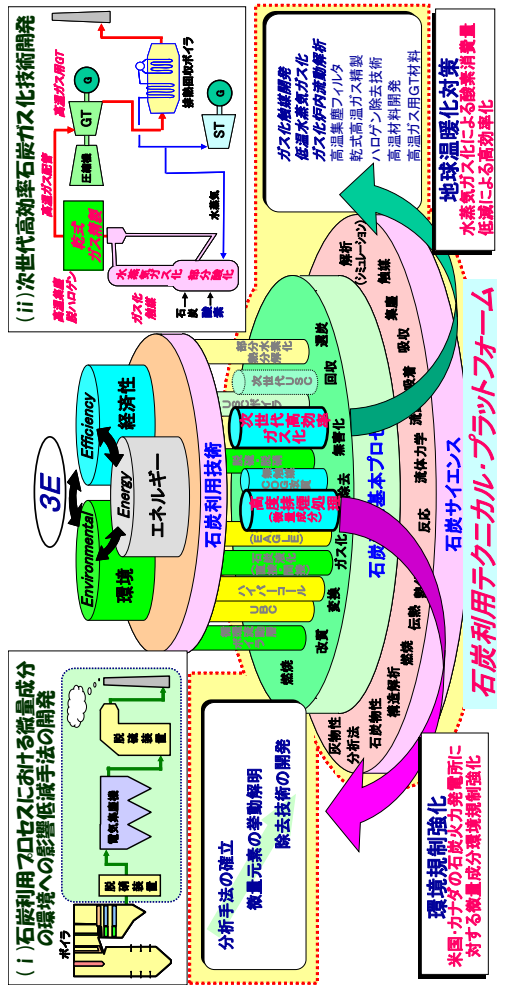
- ①背景: 国の戦略重点科学技術としてCCTは重要と位置付けられている。世界をリードしている環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘も不可欠である。良質の石灰資源の入手も徐々に難しくなることから、今後の地球環境問題を考慮しながらの石灰適用範囲の拡大は日本のエネルギーセキュリティにとって重要である。
- ②市場ニーズ(目的):
  - ・将来の環境対策を考慮した微量成分の分析法や挙動の解明および微量成分対策が必要な北米の微粉石灰力に対する除去技術開発
  - ・高灰融点炭やガス化効率の向上のため、次世代ガス化技術の開発
- ③技術ニーズ:
  - ・環境対策技術の世界トップの維持および微粉石灰力での微量成分排出規制(カナダ、米国)対応
  - ・次世代高効率ガス化のための低温水蒸気ガス化技術

## 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事業費総額 14.4億円 <(i) 6.9億円 / (ii) 7.5億円>
- ②研究開発期間 (i) 4年 / (ii) 5年

## その他関連図表



## 研究内容

○研究開発課題

- (i) 石灰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
  - ・環境影響物質分析方法の標準化対応
  - ・微量成分高度除去技術
- (ii) 次世代高効率石灰ガス化技術開発
  - ・低温水蒸気ガス化
  - ・触媒ガス化
  - ・ガス化炉内流動解析
  - ・システム検討

○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) 石灰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
  - ・分析方法の標準化対応: 微量成分の高精度分析手法の開発・標準化のためのデータ取得、国際標準化の委員会への提言。
  - ・高度微量成分除去技術の開発: ラボ試験、小型炉燃焼試験やモデル解析などにより炭種・運用条件、触媒を考慮した最適な微量成分除去技術の開発を行う。
- (ii) 次世代高効率石灰ガス化技術開発
  - ・低温ガス化: 流動層ガス化、水蒸気ガス化の基礎プロセスの開発
  - ・触媒ガス化: 低温ガス化に必要な低コストの触媒の探索および開発
  - ・炉内流動解析: 高速に移動する流動媒体の伝熱・流動などの解析
  - ・システム検討: 高効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討

○目標値とその条件および設定理由

- (i) 石灰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
  - ・目標値: 石灰火力発電設備の煙突出口濃度  $3 \mu\text{g-Hg/kWh}$
  - ・設定根拠: カナダの石灰火力発電所向け基準(世界的に最も厳しい排出基準)への対応技術を開発しておく必要性から設定。
- (ii) 次世代高効率石灰ガス化技術開発
  - ・目標値: ガス化温度  $900^\circ\text{C}$  以下のガス化プロセスの開発
  - ・設定根拠: 発電効率65%以上(送電端)を成立させるための石灰ガス化条件

## 技術戦略マップ上の位置付け

H16年度クリーンコールサイクルのアクションプランでは、国内の優れた環境調和型エネルギー技術を通じてアジア大、ひいては世界規模での環境と経済の両立を目指すとの謳われており、また、H17年度のエネルギーと石灰安定供給施策研究会では、環境負荷を低減する技術開発の着実な実行を行うと述べられており、本開発は今後の展開に重要な位置を占めるものである。

## 事前評価書

	作成日	平成 19 年 1 月 18 日
1. 事業名称 (コード番号)	戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT <Strategic TEchnical Platform for Clean Coal Technology>)	
2. 推進部署名	環境技術開発部	
3. 事業概要	<p>(1) 概要：石炭を効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT) は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘や、今後、世界的なエネルギー需要の増加に伴い良質の石炭資源の入手が徐々に難しくなることへの対応から、今後の地球環境問題を考慮しながらの石炭利用範囲の拡大は我が国のエネルギーセキュリティーの観点からも重要となる技術である。</p> <p>そこで、世界をリードする次世代の CCT の開発のために、中核となるガス化技術および燃焼技術の戦略的開発を目的に、(i) 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、(ii) 次世代高効率石炭ガス化技術開発を実施する。(i)については、将来の環境対策を考慮した微量成分の分析法や挙動の解明、カナダ・米国で打ち出された微粉炭火力での微量成分排出規制に対応するための対策技術開発することで環境対策技術の世界トップの地位を維持する。(ii)については、現在開発中の IGCC(石炭ガス化複合発電)、IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電システム)を効率で凌ぐ高効率石炭ガス化技術の開発を目的として、ガス化効率の向上のため、低温ガス化、触媒ガス化など技術開発を行う。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費 (i) 約 6.9 億円 (100%委託) (ii) 約 7.5 億円 (100%委託)</p> <p>(3) 事業期間：(i) 平成 19 年度～ 22 年度 (4 年間) (ii) 平成 19 年度～ 23 年度 (5 年間)</p>	
4. 評価の検討状況		
<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>環境への影響を減らして、石炭を効率的に利用する技術である CCT は、2006 年 5 月の「新・国家エネルギー戦略」において化石エネルギーのクリーンな利用の開拓のために重要と位置付けられている。H16 年度にクリーン・コール・サイクル (C3) 研究会 (資源エネルギー庁石炭課長の私的研究会) がまとめた中間報告書のアクションプランでは、国内の優れた環境調和型エネルギー技術を通じアジア大、ひいては世界規模での環境と経済の両立を目指すと謳われており、また、H17 年度の石炭安定供給施策研究会 (資源エネルギー庁) では、環境負荷を低減する技術開発の着実な実行を行うと述べられているなど、世界をリードしている環境対策技術の優位性を保つには、本開発は今後の展開に重要な位置を占めるものである。また、次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘や、良質の石炭資源の入手も徐々に難しくなることへの対応から、今後の地球環境問題を考慮しながらの石炭適用範囲の拡大は我が国のエネルギーセキュリティーの観点からも重要である。</p>		



(1) 研究開発目標の妥当性

(i) 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

現在、国内では環境対策について世界トップレベルの措置が取られているが、今後も環境対策技術の世界トップの地位の維持のため、今後、世界的に最も厳しい排出基準となるカナダの石炭火力発電所向け策定中基準（石炭火力発電設備の煙突出口濃度  $3 \mu\text{g-Hg/kWh}$ ）への対応技術を開発しておく必要がある。また、将来、良質炭の入手が困難になった時の対応技術の開発という観点からも重要であり、開発計画目標として妥当であると思われる。

(ii) 次世代高効率石炭ガス化技術開発

現在の噴流床ガス化技術では、石炭の一部を燃焼して形成した高温場で石炭をガス化するとともに石炭灰を溶融・排出している。このため生成したガスの発熱量が低下するだけでなく、溶融灰からの熱回収も容易でないことから、高効率化への大きな壁となっていた。さらに、高温場の形成を容易にし、生成ガスの発熱量を確保するためにガス化剤に酸素を用いることが多く、酸素製造により多大な所内動力を消費するために、送電端の効率低下が免れなかった。

そこで、低温水蒸気ガス化や触媒ガス化（ガス化温度  $900^{\circ}\text{C}$ 以下）などの新たなガス化プロセスの開発を目標とするものである。このようなプロセスを完成させるためには、石炭の水蒸気による低温ガス化特性を十分に把握した上で、ガス化炉、ガス化システムなどの最適化の必要がある。また、炭種による影響評価や、低温ガス化に触媒を用いる場合は、触媒の選定や石炭の前処理についても検討が必要である。これらのことから高い研究開発目標であり妥当であると思われる。

(2) 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。研究開発にあたっては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研究管理を行う。

プロジェクト開始3年目に中間評価を行い、その結果を踏まえて、事業全体について見直しを行う。プロジェクトの終了の翌年に事後評価を行う。

(3) 研究開発成果

(i) 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

本プロジェクトでは、石炭火力における微量成分の高度除去技術の開発を目指しており、その成果は、環境対策技術の世界トップレベルを維持し、北米などへの石炭火力発電設備のプラント輸出の技術的なアドバンテージにするとともに、新たな環境対策設備の輸出へと繋げることが期待できる。

(ii) 次世代高効率石炭ガス化技術開発

現在開発中の、IGCC、IGFC を凌ぐ高効率（送電端効率 65%以上）の石炭ガス化技術シーズの発掘が見込まれる。

(4) 実用化・事業化の見通し

(i) 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

新たな環境対策設備の輸出へと繋がる可能性が見込まれるほか、北米などへの石炭火力発電設備のプラント輸出の技術的なアドバンテージとなる。また、将来の輸入炭逼迫時に適用炭種の拡大によるエネルギー確保に寄与すると期待される。

実用化は、本プロジェクトを経て、民間を主体とする本格的パイロットプラントあるいはフィールド試験を2011～2016年頃に運転して、実用化規模に繋げることを想定している。

(ii) 次世代高効率石炭ガス化技術開発

C3イニシアチブに基づき、2025年度以降の実用化を目指した送電端効率 65%以上の次世代石炭ガス化技術の開発に繋がる。

(1) その他特記事項

平成 20 年度以降に技術動向調査などを基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

国の環境、エネルギー政策に沿った技術開発であり、我が国エネルギー供給を支える石炭について、より環境負荷の少なく効率的な利用の推進を図る技術である本技術開発はNEDO事業として推進すべき重要事項である。

## 「戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発 (STEP-CCT) 基本計画 (案)」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成19年3月28日  
NEDO技術開発機構  
環境技術開発部

NEDO POST 3において標記基本計画 (案) に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間  
平成19年2月22日～平成19年3月1日
2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>  
計0件

## プロジェクト用語集

A-USC	<b>A</b> dvanced- <b>U</b> ltra <b>S</b> uper <b>C</b> ritical の略称で、超々臨界圧火力発電よりも更に高い蒸気温度を採用した蒸気火力発電システム。
BSU	<b>B</b> ench- <b>s</b> cale <b>u</b> nit、ベンチスケールユニットの略。実証プラントの前の段階として、プロセス開発やサンプル試作のために使用される実験プラント。多くの場合、連続操作がおこなわれる。
CIF	<b>C</b> ost, <b>I</b> nsurance and <b>F</b> reight の略で、運賃・保険料込み条件（の価格）と訳される。買主の荷揚げ港までの運賃や海上保険料が含まれる。
CWP	<b>C</b> oal <b>W</b> ater <b>P</b> aste の略称で、石炭、水、脱硫剤および石灰石を混合した燃料であり、加圧流動床ボイラ（PFBC）の燃料としてしようされている。
DI	<b>D</b> rum <b>I</b> ndex、ドラム指数の略で、JIS が規定するコークスの機械的強度指標である。コークスを回転ドラム内で振とうして所定の衝撃を与えた時の微粉の発生しにくさで強度を表す。
DSS	<b>D</b> aily <b>S</b> tart <b>S</b> top の略。発電所などでの運用方法であり起動停止を毎日行う運用方法。
FDIS	<b>F</b> inal <b>D</b> raft <b>I</b> nternational <b>S</b> tandard の略で、最終国際規格案のこと。全ての国の代表団体が2ヶ月をかけて投票を行う。
FOB	<b>F</b> ree <b>o</b> n <b>B</b> oard の略で、本船積み込み渡し条件（の価格）と訳される。積み出し港から買主までの運賃や保険料は含まれていない。
GT	<b>G</b> as <b>T</b> urbine の略称で、燃焼により発生した高温のガスでタービンを回して動力を得る原動機の一つ。
HGI	<b>H</b> ardgrove <b>G</b> rindability <b>I</b> ndex の略称で、石炭の粉碎性を示す数値。粉碎性100として選んだ標準石炭と比較した相対値を示す。指数が高いほど粉碎され易い。
IGCC	<b>I</b> ntegrated <b>G</b> asification <b>C</b> ombined <b>C</b> ycle の略称で、石炭をガス化して発生したガスをガスタービン燃料とする高効率発電システム。
IGFC	<b>I</b> ntegrated <b>G</b> asification <b>F</b> uel <b>C</b> ell combined cycle の略称で、IGCCに燃料電池を付加した更なる高効率発電システム。
ICP-AES(OES)法	<b>I</b> nductively <b>C</b> oupled <b>P</b> lasma - <b>A</b> tomically <b>E</b> mission <b>S</b> pectrometry( <b>O</b> ptical <b>E</b> mission <b>S</b> pectrometry)の略称で、誘導結合プラズマ発光分光分析装置を指す。ICPにより試料を熱励起し、これが基底状態に戻る際の発光スペクトルから元素の同定・定量を行う方法である。
ICP-MS	<b>I</b> nductively <b>C</b> oupled <b>P</b> lasma <b>M</b> ass <b>S</b> pectrometer の略称で、高周波誘導結合プラズマ質量分析計を指す。プラズマで物質をイオン化して質量分析を行う超高感度な分析計で、複数元素の同時測定ができ、測定範囲が広い（ppt～%）という特長をもつ。
ISO	<b>I</b> nternational <b>O</b> rganization for <b>S</b> tandardization。国際標準化機構。電気規格を除く工業分野の国際的な標準規格を策定するための民間の非政府組織。
LNG C/C	<b>L</b> iquefied <b>N</b> atural <b>G</b> as <b>C</b> ombined <b>C</b> ycle の略称で、液化天然ガスを利用したガスタービン複合発電システム。
NO <sub>x</sub>	<b>N</b> itrogen <b>O</b> xides の略称で、窒素酸化物を示す。
NWI	<b>N</b> ew <b>W</b> ork <b>I</b> tem の略で、新業務項目のこと。ISO 企画化は、これを提案することで、規格策定のプロセスが開始する。
OF	<b>O</b> ver <b>F</b> low、オーバーフローの略。本研究では、沈降槽上部にある上澄み液の領域から排出されるハイパーコール溶液の流れを指す。

PC	<b>P</b> ulverised <b>C</b> oal の略称で、微粉碎した石炭（微粉炭）を指す。
PCF	<b>P</b> ulverised <b>C</b> oal <b>F</b> iring の略称で、微粉炭燃焼を指す。
PFBC	<b>P</b> ressurized <b>F</b> luidized <b>B</b> ed <b>C</b> ombustion の略称で、加圧流動床燃焼を指す。
PTFE	<b>P</b> oly <b>t</b> etra <b>f</b> luoro <b>e</b> thylene。テトラフルオロエチレン、いわゆるテフロンのこと。
SRM1632c	NIST の標準試料のうち、Trace Elements in Coal (Bituminous)の試料。微量元素の含有量の放射化分析結果が Certificate として付属する。
UNEP	<b>U</b> nited <b>N</b> ations <b>E</b> nvironment <b>P</b> rogramme の略称で国際連合環境計画のこと。環境に関する諸活動の総合的な調整を行なうとともに、新たな問題に対しての国際的協力を推進することを目的とする。
WSS	<b>W</b> eekly <b>S</b> tart <b>S</b> top の略。発電所などでの運用方法で週毎に起動停止をを行う運用方法。
フローインジェクション	試料の定量、定性分析を行う際に、一定量の液体サンプルを液体が連続して流れる中へ注入することで、均等に微量の試料を導入する方法である。
ライトサイクルオイル (LCO)	石油精製過程の流動接触分解 (F C C) または残油流動接触分解 (R F C C) において副生する軽質軽油を指す。2環の芳香族を主成分とする。
国際ラウンドロビンテスト	測定方法について、複数の国際機関での互換性（適用性）を評価する目的で行うテストのこと。
冷ガス効率	ガス化原料が保有していたエネルギーに対する生成ガスのエネルギーの割合を指す。

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1.1 NEDO が関与することの意義

エネルギーイノベーションプログラムにおいて、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、その有効かつクリーンな利用を図るとしている。石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT)は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘を行うことが重要となる。世界的なエネルギー需要の増加にともない、将来的には良質な石炭資源の入手が難しくなることへの対応から、地球環境問題を考慮しつつ、我が国のエネルギー・セキュリティの確保をはかることも重要である。

本事業は、エネルギーイノベーションプログラムに位置づけられる石炭ガス化及び石炭利用技術分野において、環境問題への対応、革新的な効率向上が期待される技術、あるいはエネルギー・セキュリティに寄与する技術について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施する。

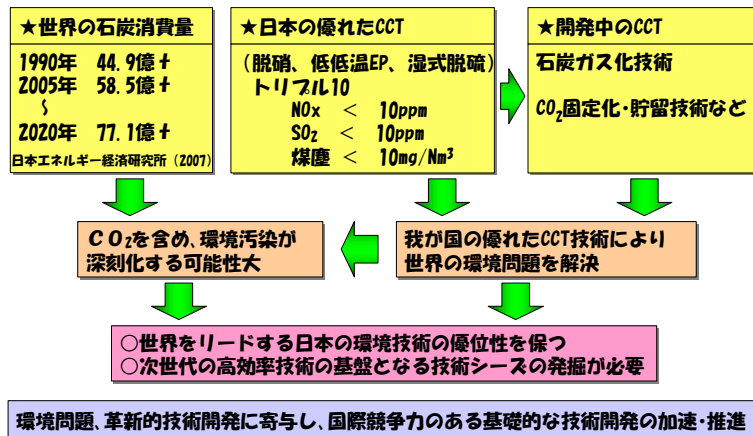


図 I-1-1 戦略的炭化・燃焼技術開発 (STEP CCT) の背景

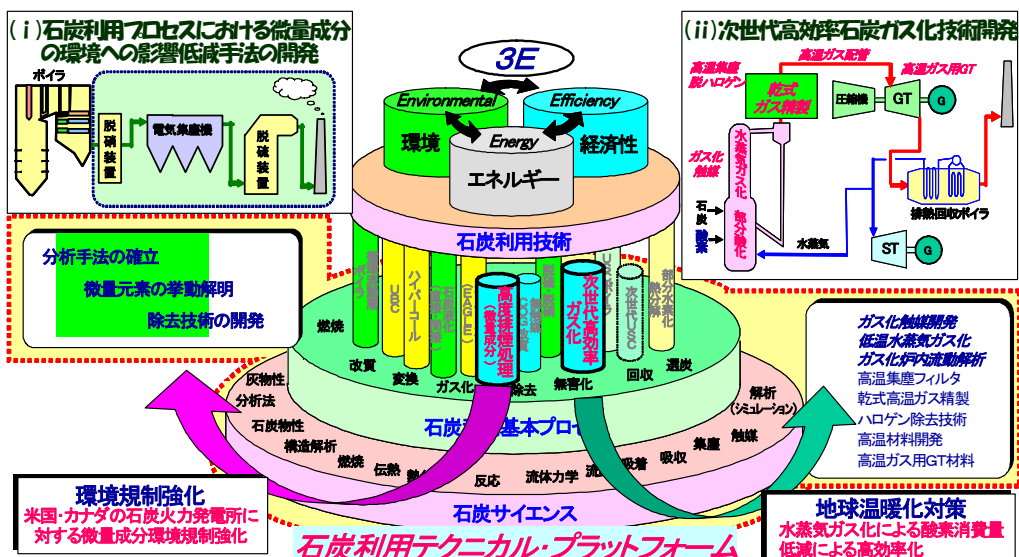


図 I-1-2 戦略的炭化・燃焼技術開発 (STEP CCT) の概要

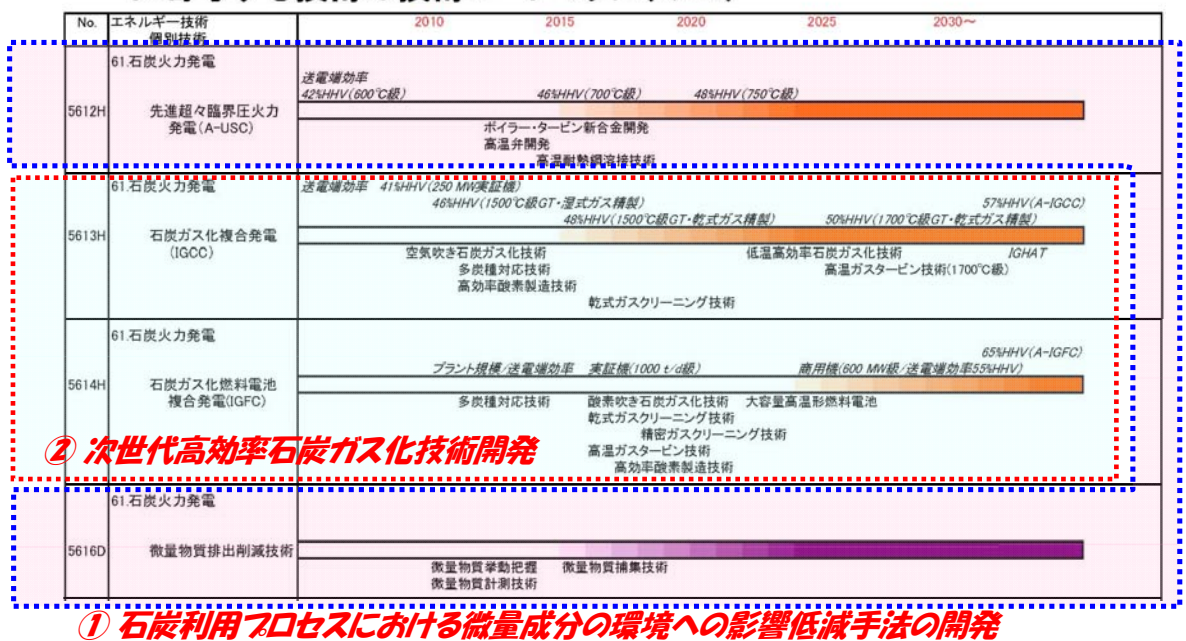
## 1.2 実施の効果（費用対効果）

エネルギーイノベーションプログラムにおいて、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、その有効かつクリーンな利用を図るとしている。石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT)は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘を行うことが重要となる。世界的なエネルギー需要の増加にともない、将来的には良質な石炭資源の入手が難しくなることへの対応から、地球環境問題を考慮しつつ、我が国のエネルギー・セキュリティの確保をはかることも重要である。

本事業は、エネルギーイノベーションプログラムに位置づけられる石炭ガス化及び石炭利用技術分野において、環境問題への対応、革新的な効率向上が期待される技術、あるいはエネルギー・セキュリティに寄与する技術について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施する。

### 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ロードマップ(7/13)

【抜粋】



② 次世代高効率石炭ガス化技術開発

① 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

図 I-1-3 技術戦略マップ2009における位置付け

本事業の「① 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、「先進的超々臨界圧発電(A-USC)」の燃焼に関わる技術であり、「微量物質排出削減技術」に該当する。

また、「② 次世代高効率石炭ガス化技術開発」は、「石炭ガス化複合発電(IGCC)」および「石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)」に関わる石炭ガス化技術の開発に該当する。

## 2. 事業の背景・目的・位置づけ

エネルギーイノベーションプログラムにおいて、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、その有効かつクリーンな利用を図るとしている。石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT)は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘を行うことが重要となる。世界的なエネルギー需要の増加にともない、将来的には良質な石炭資源の入手が難しくなることへの対応から、地球環境問題を考慮しつつ、我が国のエネルギー・セキュリティの確保をはかることも重要である。

本事業は、エネルギーイノベーションプログラムに位置づけられる石炭ガス化及び石炭利用技術分野において、環境問題への対応、革新的な効率向上が期待される技術、あるいはエネルギー・セキュリティに寄与する技術について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施する。

### 研究開発項目①「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」

本事業の事前調査として、平成17年度にCCT推進事業「石炭利用プロセスにおける微量成分に関するアジアを中心とする動向調査」および平成18年度「石炭利用プロセスにおける環境への影響低減手法の調査（挙動解明に係る調査／計測・分析手法に係る調査／高度除去技術に係る調査）」を実施した。事前調査により、実施内容および目標の設定をおこなった。

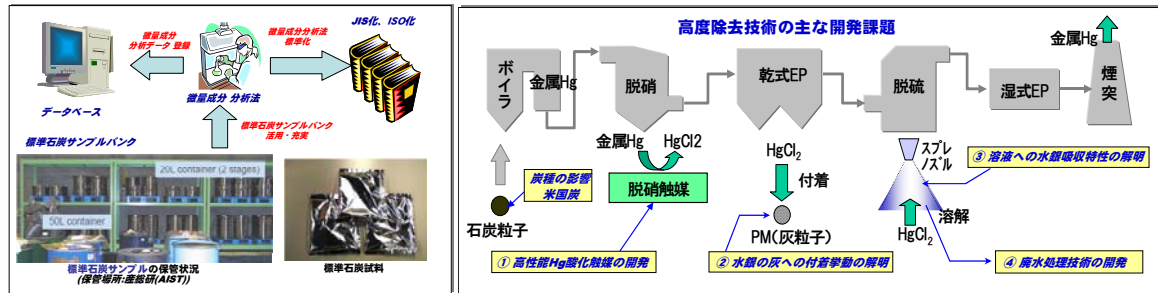
#### 【事前調査】

##### 平成17年度：CCT推進事業

##### 石炭利用プロセスにおける微量成分に関するアジアを中心とする動向調査

##### 平成18年度：石炭利用プロセスにおける環境への影響低減手法の調査

##### 挙動解明に係る調査／計測・分析手法に係る調査／高度除去技術に係る調査



#### 微量成分の挙動解析に不足している項目

	石炭		反応過程の知見			排煙処理設備			除去技術評価手法
	含有量	含有形態	揮発化	酸化反応	凝縮	脱硝装置	電気集塵器	湿式脱硫装置	
水銀	○	○	○	○	○	○	○	○	×
セレン	○	×	○	○	×	×	×	×	×
ホウ素	○	×	○	○	×	×	×	×	×

図 I-2-1 研究開発目標

### 研究開発項目② 次世代高効率石炭ガス化技術開発

本事業の事前調査として、平成16～18年度に「次世代高効率石炭ガス化発電プロセスの開発に関する調査」を実施した。事前調査により、実施内容および目標の設定をおこなった。



平成16～18年度：次世代高効率石炭ガス化発電プロセスの開発に関する調査

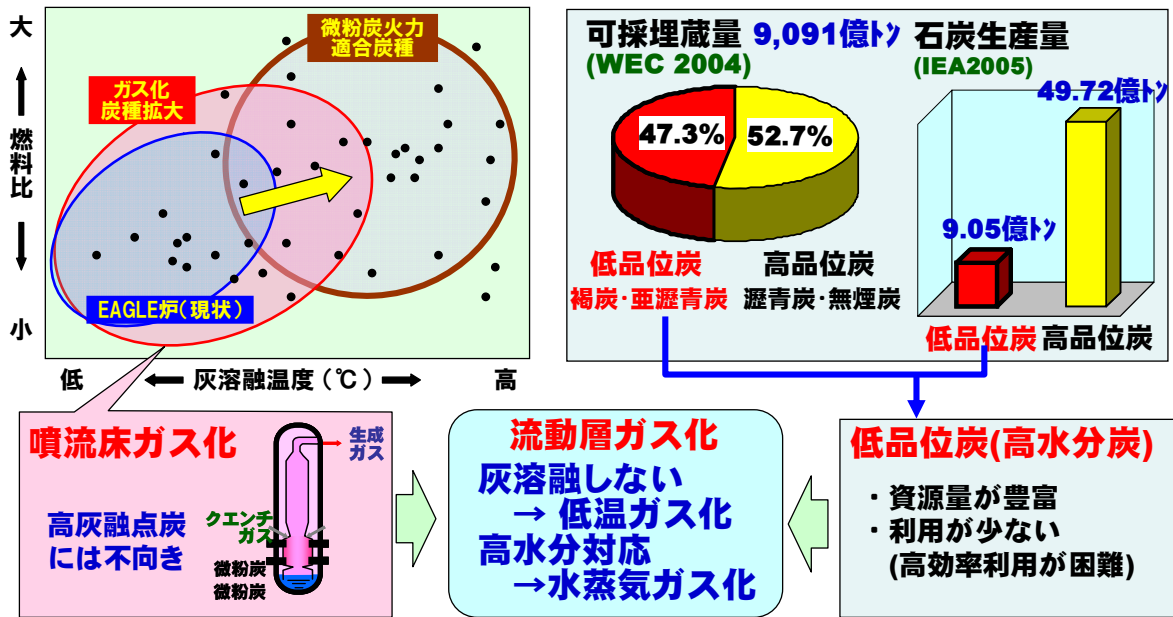


図 I-2-3 研究開発目標

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

石炭ガス化及び石炭利用技術分野において、我が国の石炭利用分野における国際競争力強化のために基礎的な技術開発を実施し、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。

エネルギーイノベーションプログラムにおいて、エネルギーの安定供給を確保し、環境問題への対応を図るため、石炭の利用に係わる環境負荷の低減に資する技術開発を推進するとしている。また、石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT)は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要と位置付けられている。現在、世界をリードしている我が国の環境対策技術の優位性を保つとともに次世代の高効率利用技術の基盤となる技術シーズの発掘や、今後、世界的なエネルギー需要の増加に伴い良質の石炭資源の入手が徐々に難しくなることへの対応から、地球環境問題を考慮しながら石炭適用範囲を拡大する技術は我が国のエネルギー・セキュリティの観点からも重要となる技術である。

そこで、世界をリードする次世代の CCT の開発のために、中核となるガス化技術および燃焼技術の戦略的開発を目的に、「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」について、将来の環境対策を考慮した微量成分の分析法や挙動の解明、カナダ・米国で打ち出された微粉炭火力での微量成分排出規制に対応するための対策技術を開発することで環境対策技術の世界トップの地位を維持する。

#### 研究開発項目①「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」

##### (1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積

[最終目標]

表 II-1 研究開発目標

項目	最終目標	中間目標	目標設定の根拠
コールバンク 石炭 微量成分	109炭種 109炭種 109炭種	100炭種 100炭種 40炭種	微量成分および新規の炭種についてのデータを拡充する
石炭中微量成分 分析の標準化	ISO規格提案	ISO新規(NWI)提案	開発した測定法を標準化するためには、国際標準としてISOの委員会への提案が適する
排ガス中ホウ素、 セレンの測定方法 の標準化	ISO規格提案 ホウ素(B)、セレン(Se) JIS規格提案	ISO新規(NWI)提案 ホウ素(B)	

[中間目標（平成20年度）]

##### (a) コールバンクの拡充

石炭利用基盤技術開発 (Brain-C) プログラム (H7~17) から引き続き「コールバンク」として世界の石炭約 100 種について、研究用試料を分析データとともに提供する事業を行っている。さらに、追加される微量成分の分析データについてのデータベースのフレーム構築、管理などについて検討を行う。

##### (b) 石炭中微量成分の分析手法の規格化に資するデータ蓄積

開発した独自の石炭中微量成分の分析方法により、コールバンクのうち 40 炭種の石炭を分析する。また、この独自の分析法の国際標準化を目指して活動を実施する。

(c) ガス状微量成分の高精度分析手法の開発

セレン、ホウ素は、水銀と同様に、揮発性が高く、石炭の燃焼排ガス中でガスとして存在するため、挙動が非常に複雑となる。従って、それらの成分のプラント内挙動解明や高度除去技術の開発には、ガス状微量成分の高精度な測定法が必要である。

・最適サンプリング手法の構築

電中研で開発したサンプリング手法を用いて模擬ガスおよびパイロットスケールの石炭燃焼炉での燃焼排ガスをサンプリングし、それらの排ガス中ガス状セレン、ホウ素の測定を行う。

・分析手法の実ガスへの適用性評価

同手法の実ガスへの適用性評価のため、出光の小型微粉炭燃焼炉で石炭を燃焼し、燃焼排ガスを採取、分析を実施する。

・ガス状ホウ素分析手法の ISO への提案

平成 20 年度までに排ガス中のほう素濃度測定方法の提案書を作成し、国際標準化機構(ISO)国際会議に、新規作業項目案 (NWI) として提案し内容説明を行う。

設定根拠：コールバンクについては、近年の輸入炭種の変化（亜瀝青炭の利用の拡大）に対応するべく、新たな炭種として、9 炭種の分析を行うと共に、既存炭種の微量成分の分析結果を拡充する。

石炭中の微量成分の分析手法の標準化およびガス状ホウ素、セレンの高精度分析手法の開発については、それぞれの分析法についての標準化が望まれており、国際標準である ISO への提案と規格化を目標として設定した。

研究開発項目①「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」

(2) 高度除去技術

【最終目標（平成 22 年度）】

目標値：石炭火力発電設備の煙突出口濃度  $3\mu\text{g}\cdot\text{Hg}/\text{kWh}$

設定根拠：カナダの石炭火力発電所向け基準(世界的に最も厳しい排出基準)への対応技術を開発しておく必要性から設定。

(平成 23 年度)

目標：石炭多消費国向けの除去技術を開発する。

設定根拠：国連環境計画 (UNEP) において、排出の抑制や輸出入の規制を目的とした条約制定の決定や 2013 年の調印を目指した交渉が始まるなど、排出抑制に対する国際的な枠組みへの対応を視野に設定。

【中間目標（平成 20 年度）】

石炭火力発電設備の煙突出口濃度  $3\mu\text{g}\cdot\text{Hg}/\text{kWh}$  に向けた除去システムの選定

平成 17 年度 クリーン・コール・テクノロジー推進事業「石炭利用プロセスにおける微量成分に関するアジアを中心とする動向調査」、平成 18 年度「石炭利用プロセスにおける環境への影響低減手法の調査／挙動解明に係る調査」、「石炭利用プロセスにおける環境への影響低減手法の調査／計測・分析手法に係る調査」、「石炭利用プロセスにおける環境への影響低減手法の調査／高度除去技術に係る調査」

## 研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

【最終目標（平成23年度）】

- ・目標値：ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの開発
- ・設定根拠：発電効率65%以上（送電端）を成立させるための石炭ガス化条件

【中間目標（平成20年度）】

ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの開発に向けたプロセス選定

平成16～18年度「次世代高効率石炭ガス化発電プロセスの開発に関する調査」に基づき目標値を設定した。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### 研究開発項目①「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」

研究開発内容の概要を図 II-2-1 に示す。

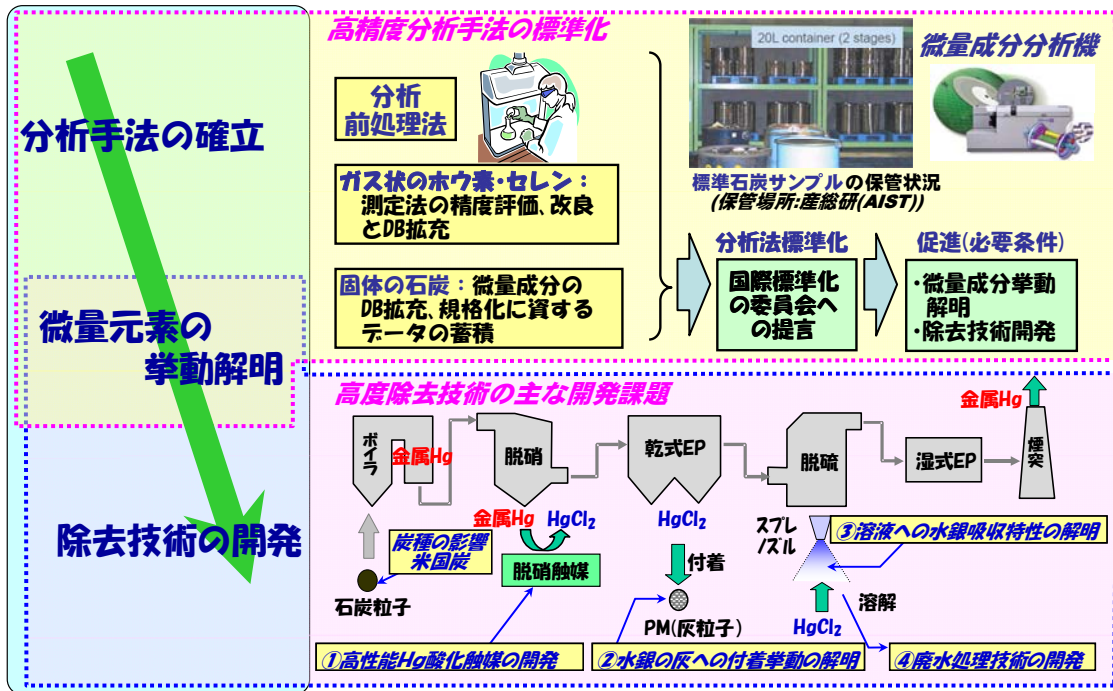


図 II-2-1 研究開発内容の概要

(1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積

石炭燃焼プロセスにおいて、微量成分の除去技術を開発するためには、高精度の測定技術が必要である。

分析技術は、ガスとして存在する物質の一部は公定法が存在せず、固体の石炭は、国際規格 ISO、国内規格 JIS とも存在せず、実施者によって異なる手法を用いているのが現状である。したがって、精度、再現性、さらに運用面で種々の問題が起きているため、これらの標準化を目的とした分析技術の課題の整理と解決を目指すものである。

今後、国際的な標準化として認定されるように、微量成分の分析データを加えてデータベースの拡充を図り、規格化に資するデータの蓄積を行う。

(2) 高度除去技術

上記の高精度なサンプリング、分析技術を踏まえ、石炭火力発電設備の煙突出口濃度  $3\mu\text{g-Hg/kWh}$  を目標値とする高度微量成分除去技術を開発する。

各種調査を踏まえて、ラボ試験、小型炉燃焼試験などで炭種・運用条件等の影響に関する試験などを行い、大型燃焼炉や排煙処理試験装置等における除去方式の選定や操作条件などの検討を行う。

(3) 石炭多消費国向け除去技術の開発

微量成分の地球規模での排出量の削減に向けて、石炭多消費国向け除去技術の開発を行う。

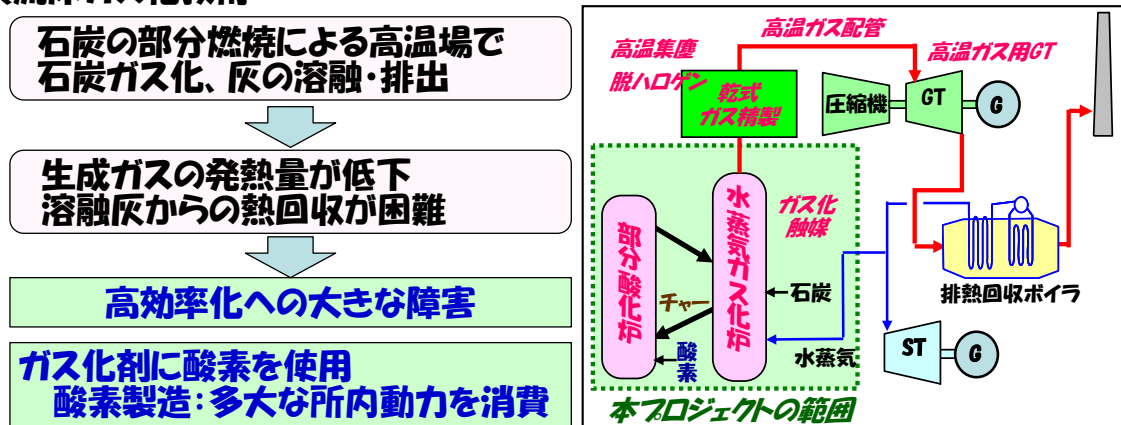
石炭多消費国で多く利用される低品位炭や流動層燃焼設備等を反映した対象国向けのシミュレータを開発（改良含む）し、解析した上で、既設の燃焼試験設備による基礎試験の実施により低コストで高効率な除去技術を開発する。

※ 「(3) 石炭多消費国向け除去技術の開発」については、平成 21 年度から開始する。委託先を公募中（公募期間：平成 21 年 7 月 24 日～8 月 24 日）

## 研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

研究開発内容の概要を図 II-2-1 に示す。

### 噴流床ガス化技術



低温水蒸気ガス化や触媒ガス化などの新たなガス化プロセスに向けて、次の研究開発を行なう。

- (1) 低温ガス化 : 流動層ガス化、水蒸気ガス化の基礎プロセスの開発。
- (2) 触媒ガス化 : 低温ガス化に必要な低コストの触媒の探索および開発
- (3) 炉内流動解析 : 高速に移動する流動媒体の伝熱・流動などの解析
- (4) システム検討 : 高効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討

図 II-2-2 研究開発内容の概要

現在の噴流床ガス化技術では、石炭の一部を燃焼して形成した高温場で石炭をガス化するとともに石炭灰を溶融・排出している。このため生成したガスの発熱量が低下するだけでなく、溶融灰からの熱回収も容易でないことから、高効率化への大きな壁となっていた。さらに、高温場の形成を容易にし、生成ガスの発熱量を確保するためにガス化剤に酸素を用いることが多く、酸素製造により多大な所内動力を消費するために、送電端の効率低下が免れなかった。そこで、低温水蒸気ガス化や触媒ガス化（ガス化温度 900℃以下）などの新たなガス化プロセスに向けて、次の研究開発を行なう。

- (1) 低温ガス化  
流動層ガス化、水蒸気ガス化の基礎プロセスを開発する。
- (2) 触媒ガス化  
低温ガス化に必要な低コストの触媒の探索および開発する。
- (3) 炉内流動解析  
高速に移動する流動媒体の伝熱・流動などの解析を行う。
- (4) システム検討  
高効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討を行う。

研究開発スケジュールと主な実施内容を図 II-2-3 に示す。

(金額:百万円)

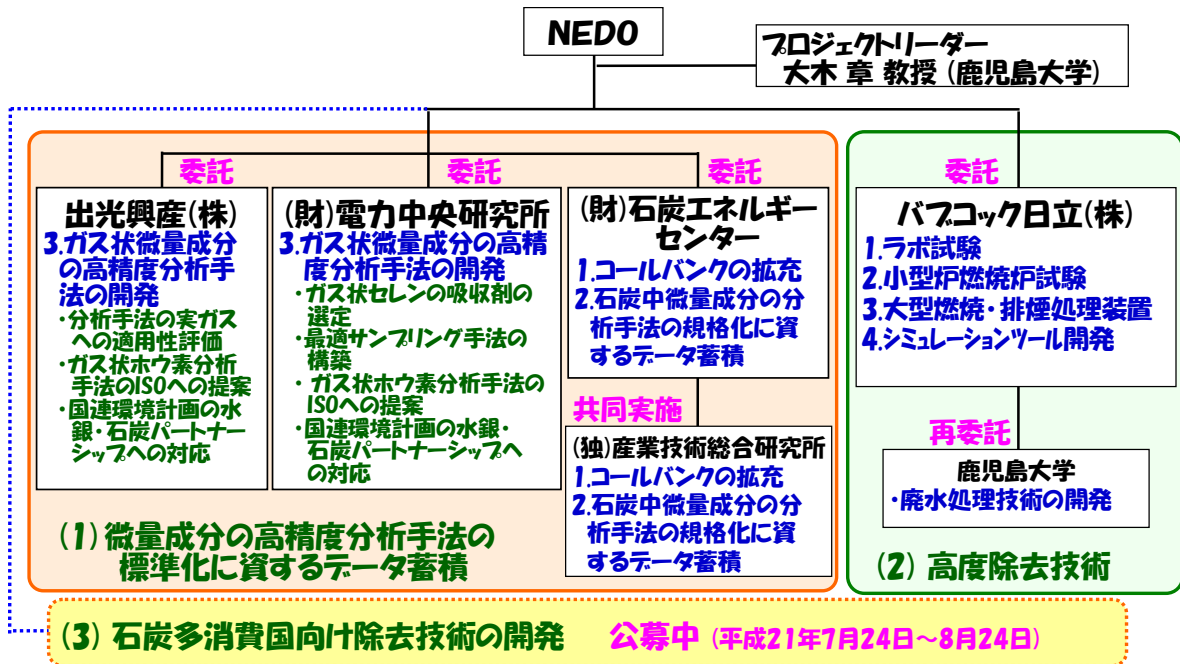
	H19年度	H20年度	H21年度		H22年度	H23年度	H24年度	合計金額	
			当初	補正				現状	補正合
<b>戦略的石灰ガス化・燃焼技術開発</b>	92	164	561	(499)				818	(1,317)
<b>1. 石灰利用プロセスにおける微量成分の環境への影響低減手法の開発</b>	60	130	284	(499)				474	(973)
<b>(1) 微量成分の高精度分析手法に資するデータ蓄積</b>	17	24	43	(27)				84	(111)
・コールバンクの拡充									
・石灰中微量成分の分析手法の規格化に資するデータ蓄積									
・ガス状微量成分の高精度分析手法の開発									
・排ガス内のホウ素、セレンの挙動の調査									
・国連環境計画の水銀・石灰パートナーシップへの対応									
<b>(2) 高度除去技術</b>	44	106	241	(332)				390	(722)
・ラボ試験									
・小型燃焼炉試験									
・大型燃焼炉試験									
・H22年度前倒し分				(232)					
・追加分:石灰多消費国炭				(100)					
・廃水処理技術の開発									
<b>(3) 石灰多消費国向け除去技術の開発</b>				(140)				0	(140)
・水銀シミュレータの開発									
・石灰多消費国向けの除去技術の開発									
<b>2. 次世代高効率石灰ガス化技術開発</b>	32	34	278	-				344	(344)
<b>(1) 低温ガス化</b>									
・水蒸気ガス化およびチャー燃焼の基礎研究									
・常圧ホットモデルによる熱分解炉検討									
・常圧ラボスケール熱分解ホットモデル試験									
<b>(2) 触媒ガス化</b>									
・触媒ガス化の基礎特性および実用的な触媒探索									
・ケミカルループを用いたCaの触媒的利用ガス化技術									
<b>(3) 炉内流動解析</b>									
・コールドモデルによる大量粒子循環システムの開発									
・高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション									
<b>(4) システム解析</b>									
・効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討									

H21年度 補正予算による追加項目

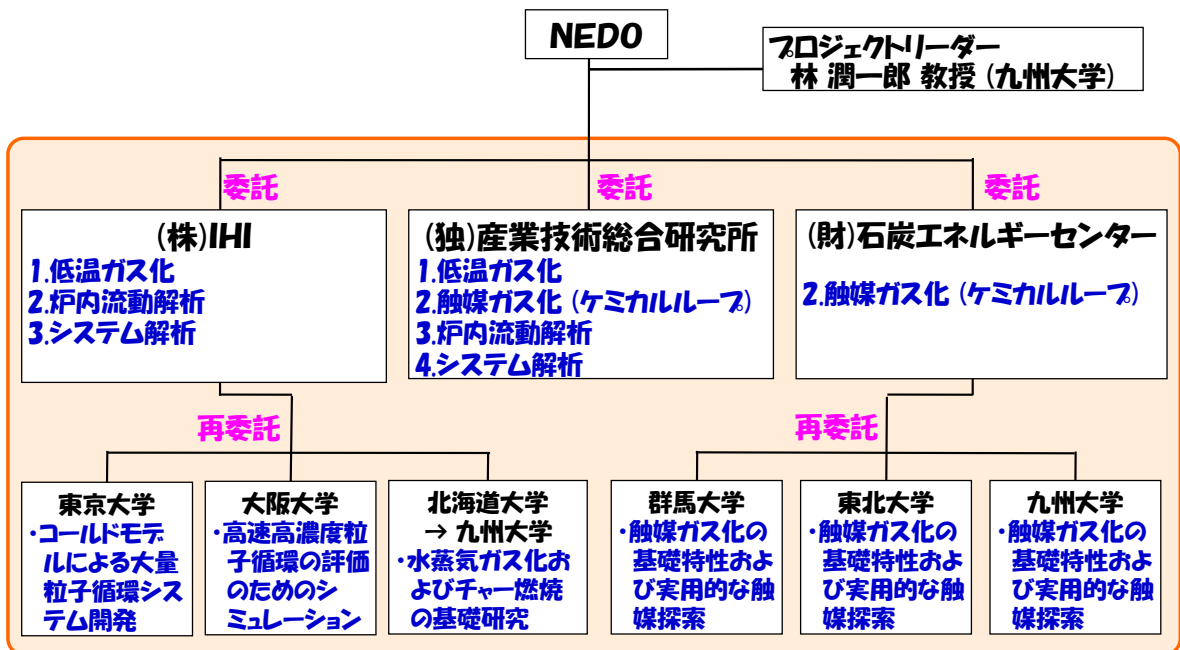
公募中

図 II-2-3 研究開発スケジュールと実施内容

研究開発項目①「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」



研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」



2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・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



クトリーダーと密接な関係を維持しつつ、本研究開発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っている。

## 研究開発項目①「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」

### (1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積

- ・ 推進会議における外部からの協力者等

研究開発の推進のため、推進会議を委託先で実施している。推進会議では、研究進捗、研究成果および研究の報告付け等において報告、検討する。

また、外注内容である「ISO 化の可能性調査」は、外注委託先で ISO 国内委員会を実施する。各委託先は、委員会には、オブザーバーとして参加している。ISO 国内委員会では、委託先での研究成果を元に、国際委員会への提案内容について、審議する。

- ・ 推進会議のメンバーおよび外注先国内委員会メンバー

#### 推進会議メンバー

	氏名	所属
メンバー	藤原尚樹 ほか	出光興産株式会社
メンバー	伊藤茂男 ほか	財団法人電力中央研究所
メンバー	田丸和博 ほか	財団法人石炭エネルギーセンター
メンバー	山田理 ほか	独立行政法人産業技術総合研究所
オブザーバー	笹岡英司	岡山大学大学院環境学研究科 教授
オブザーバー	内藤俊之 ほか	株式会社 IHI 電力事業部開発部、総合開発センター化学システム開発部

## ISO 国内委員会の委員

	氏名	役職
委員長	田尾 博明	(独)産業技術総合研究所環境管理技術研究部門 副部門長
委員	伊藤 茂男	(財)電力中央研究所エネルギー技術研究所 領域リーダー
委員	指宿 堯嗣	(社)産業環境管理協会 常務理事
委員	成瀬 一郎	名古屋大学大学院工学研究科 教授 機械理工学専攻
委員	中里 哲也	(独)産業技術総合研究所環境管理技術研究部門 計測技術研究グループ主任研究員
オブザーバー	只隈 祐輔	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境技術開発部 主査
オブザーバー	野田 直希	(財)電力中央研究所エネルギー技術研究所 燃料改質工学領域
オブザーバー	藤原 尚樹	出光興産株式会社販売部石炭事業室 石炭・環境研究所 所長
オブザーバー	田丸 和博	(財)石炭エネルギーセンター 技術開発部部長代理
事務局	小野 憲仁	(社)産業環境管理協会環境管理部門 環境技術センター副所長
事務局	大野 香代	(社)産業環境管理協会環境管理部門 環境技術センター技術室

## 研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

委員会等における外部からの指導及び協力者

表Ⅱ-2.4 検討委員会登録委員

氏名	会社、大学、法人名	所属	役職
持田 勲	科学技術振興機構	JST イノベーションプラザ福岡	館長
三浦 孝一	国立大学法人京都大学	大学院化学工学専攻	教授
岡崎 健	国立大学法人東京工業大学	大学院理工学研究科	教授
守富 寛	国立大学法人岐阜大学	大学院工学研究科環境エネルギー工学専攻	教授
梅景 俊彦	国立大学法人九州工業大学	工学部	教授
白井 裕三	財団法人電力中央研究所	エネルギー技術研究所プラント工学領域	上席研究員
有森 映二	電源開発株式会社	技術開発センター 若松研究所	課長

### 3. 情勢変化への対応

(1) 「Cool Earth ―エネルギー革新技術計画」 の策定（平成 20 年 3 月 5 日）

「世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して 2050 年までに半減する」という長期目標が提案された。

この目標の実現は、従来技術の延長では困難であり、革新的技術の開発が不可欠。

エネルギー分野において、世界トップ水準の技術を有する我が国は、世界をリードできる技術分野に研究開発資源を重点化し、技術開発を加速・推進することにより、我が国の競争力を強化・維持しつつ、技術は我が国の貴重な資源であるとの認識に立って、国際的な連携を強力に推進し、世界全体での 2050 年までの大幅削減に積極的に貢献していくことが必要。このため、以下の検討を進めてきた

- ・ 2050 年の大幅削減に向け我が国として重点的に取り組むべき技術の特定
- ・ 長期にわたる技術開発のマイルストーンとして、各技術のロードマップの作成
- ・ 長期的視点から技術開発を着実に進めるためロードマップを軸とした国際連携のあり方

(2) 国連環境計画(UNEP)「水銀排出の抑制や輸出入の規制条約」 （平成 21 年 2 月 20 日）

- ・ 国境を超えた汚染の広がり懸念される水銀について、排出の抑制や輸出入の規制をするための条約を制定することが 2009 年 2 月 20 日決定。
- ・ 国連環境計画(UNEP)の管理理事会(約 150 カ国が参加ナイロビ)で、2013 年の調印をめざして交渉を始めることで合意
- ・ 中国、インドも水銀を対象を絞った条約の制定に向けた委員会設置を受入。

(3) 基本計画の変更「研究開発項目①「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」に「(3) 石炭多消費国向け除去技術の開発」を追加（平成 21 年 7 月）

国連環境計画（UNEP）において、排出の抑制や輸出入の規制を目的とした条約制定の決定や 2013 年の調印を目指した交渉が始まるなど、排出抑制に対する国際的な枠組みへの対応を視野に設定した。（平成 21 年度補正予算による）

## 4. 評価に関する事項

### 4.1 事前評価

本プロジェクトを開始するに当たって、事前評価書、基本計画(案)を作成し、NEDO のホームページからパブリックコメントを求めた。

#### <NEDO POST2 について>

NEDO の新規/拡充研究開発プロジェクトに関して、主にプロジェクトの実施内容についてご意見を求めた。(平成 19 年 1 月 19 日～2 月 5 日)

#### <NEDO POST3 について>

NEDO の新規/拡充研究開発プロジェクトの基本計画(案)を提示してパブリック・コメントを求め、かつ公募に先立って計画の概要のお知らせを行った。  
(平成 19 年 2 月 21 日～3 月 1 日)

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 研究開発項目①「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」

##### (1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積

###### 1. 事業全体の成果

石炭燃焼により、ガスとして放出された物質のうち、ホウ素、セレンは、公定法となる分析手法が存在しないか、あっても信頼性が乏しい。また、固体の石炭については、国内、国外とも微量成分の規格は存在せず、データの比較は容易でない。そこで、高精度の分析手法の標準化をめざして、次に記載する如く、国内/国際的に認定されるように課題の整理、検討を進める。さらに現在、管理された石炭サンプルを分析データと共に供給できる体制を持っているが、このデータライブラリの拡充を次のように図る。

プラント内の挙動解明や高精度除去装置の開発には、高精度分析手法が必要である。しかしながら、排ガス中でガスとして存在する微量物質の測定法のうち、ガス状セレンの測定法としては、吸収液を用いた方法が JIS 等に規定されているが、これらの方法では十分な精度が得られないことが明らかになっている。一方、ガス状ホウ素の測定法には、国の内外いずれにおいても公定法が存在しない。そこで、模擬燃焼排ガスならびに燃焼排ガスを用いて、ガス状セレンとホウ素の測定法の最適サンプリング手法を確立すると共に、その測定精度を明確にし、公定法のないガス状ホウ素測定法については、ISO への提案を図った。

表 III.1-1.1 これまでの達成度

項目	最終目標	中間目標	成果	中間目標に関する達成状況	全体としての目標達成
コールバンクの拡充	石炭データ: 109炭種 微量データ: 109炭種	石炭データ: 100炭種 微量データ: 40炭種	石炭データ: 100炭種 微量データ: 40炭種	○	順次分析実施
石炭中微量成分の分析手法の規格化	ISO規格提案	ISOガイダンス提案	ISOガイダンス提案終了 ガイダンスとして受理	○	ISO本規格提案準備中
ガス状ホウ素・セレンの規格化	ISO規格提案 JIS規格提案	ホウ素分析手法のISO新規提案	ホウ素分析手法の新規提案終了	○	ISO規格提案準備中

記号 ○ は、中間目標が達成済みであることを示す

最終目標、中間目標及び現在までの研究開発成果のまとめを表 III.1-1.1 に示す。

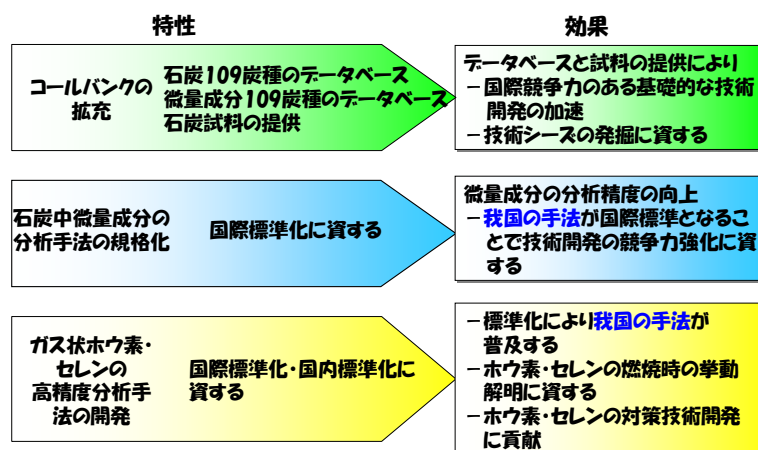


図 III.1-1.1 成果の意義

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 コールバンクの拡充

#### 2.1.1 コールバンクの概要

1995年(平成7年)度に通商産業省資源エネルギー庁および新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援のもとに(財)石炭利用総合センター(CCUJ、現JCOAL)を中心とした「石炭利用基盤技術開発」、通称 BRAIN-C(Basic Research Associate for Innovated Coal Utilization Program) プログラムが設立された。このプログラムは、石炭の基礎物性・反応データの取得から、構造解析・反応機構の解明を経て、各種反応モデルを基にしたシミュレーション技術の開発にいたるまで石炭利用技術の基盤となる広範な研究開発からなり、二学会(日本エネルギー学会と化学工学会)、国立研究所、大学、民間企業など多数の機関によって2004年(平成16年)度まで10年間にわたり実施された。(独)産業技術総合研究所(産総研)では、標準石炭試料作成業務を2001年(平成13年)にCCUJより引き継ぎ、10年間にわたる BRAIN-C プログラムで構築された石炭標準サンプルバンクを、当該プログラムの終了後も「コールバンク」としてJCOALとともに継続して運営を行ってきた。

コールバンクの設置の目的、機能およびシステムは以下のとおりである。

#### 目 的

- ・標準試料炭による体系的研究の推進。
- ・各研究機関が共通の標準試料炭で実験・研究することにより、データの整合性、解析の精度向上とともに、研究者相互の共通の場での議論に役立つ。
- ・石炭構造、基礎物性データの共有化。

#### 機 能

- ・標準試料炭の酸素遮断試料調整・保存(150kg/100炭種、10年間保存)。
- ・標準試料炭の種類：石炭のランク別、灰融点別、硫黄含量別、アルカリおよびCa含有量。
- ・標準試料炭の中から大学、国立研究所、民間企業の基盤技術開発のニーズに応じて配布する。

#### 試料調整・保管システム

- ・酸素遮断・試料調整保管システム(図 III.1-2.1 参照)

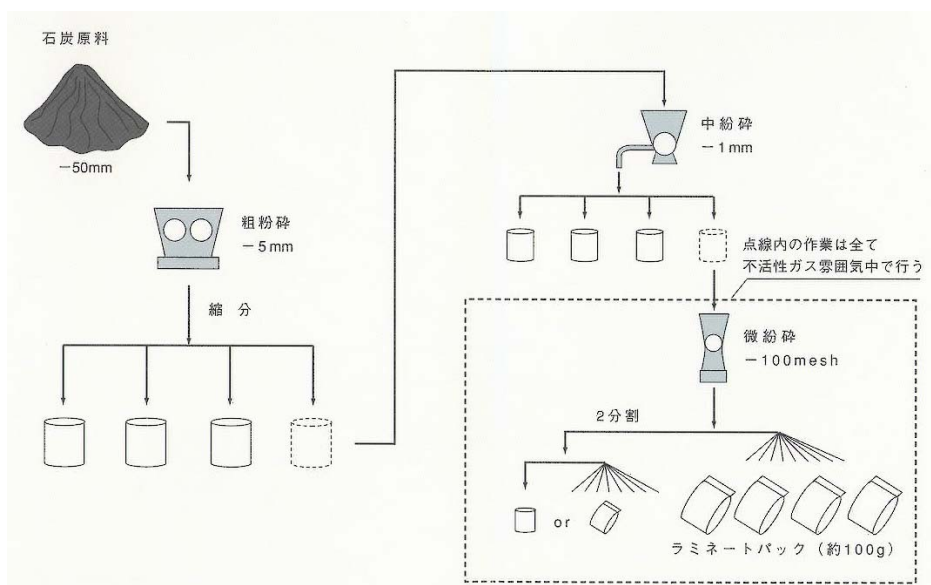


図 III.1-2.1 標準試料の粉砕・縮分手順

図 III.1-2.2 に産総研における実際の保管状況を示した。現時点で、米国炭 10 炭種、中国炭 18 炭種、豪州炭 29 炭種、インドネシア炭 19 炭種、ロシア炭 7 炭種、南アフリカ炭 6 炭種、ベトナム炭 1 炭種、カナダ炭 3 炭種、コロンビア炭 2 炭種、日本炭 5 の合計 100 種の実試料を保管し、表 III.1-2.1 に示す方法に従って元素分析、工業分析、マセラル分析、灰の組成・性状分析等を実施し、分析値のデータベースを構築、(財)石炭エネルギーセンター(JCOAL)によりデータの公開を実施している。また、Brain-C プログラムのフォローアップおよび STEP-CCT の研究用途に、関係試験研究機関のニーズに応じて試料の配布を行っている。対外的には、銘柄ではなく SS ナンバーで管理し対応している。供給形態は、-5 mm、-1 mm、-100 メッシュの粒度について、窒素封入下に約 100 g の試料を詰めたラミネートパックにより行っている。



図 III.1-2.2 標準試料の保管形態 (左：気密容器、右：ラミネート包装)

表 III.1-2.1 基本性状分析項目および分析・試験の方法

① 全水分	JIS M8811(石炭類及びコークス類のサンプリング方法並びに全水分・湿分測定方法)	
②工業分析(a.d)	JISM8812(石炭類及びコークス類の工業分析方法)	
水分	107℃、1時間乾燥	気乾試料
灰分	815℃、恒量灰化	気乾試料
揮発分	900℃、7分間急速乾留	気乾試料
固定炭素	計算値、 $100 - (\text{水分} + \text{灰分} + \text{揮発分})$	
③発熱量(a.d)	JIS M8814(石炭類及びコークス類の発熱量測定方法)	
	燃研式B型熱量計	気乾試料
④るつぼ膨張試験	JIS M8801(石炭類の試験方法) ボタン法	気乾試料
⑤粉碎性試験	JIS M8801(石炭類の試験方法)	
	ハードグローブ法	気乾試料(粒度 1,190~590 $\mu\text{m}$ )
⑥元素分析(d.b)	JIS M8813(石炭類及びコークス類の元素分析方法)	
灰分	無水ベースの工業分析値	
炭素・水素	リービヒ法	気乾試料
全硫黄	燃焼容量法	気乾試料
灰中の硫黄	燃焼容量法	灰化試料
燃焼性硫黄	全硫黄 - 不燃焼硫黄	
窒素	セミケルダール法	気乾試料
酸素	計算値、 $100 - (\text{灰分} + \text{炭素} + \text{水素} + \text{窒素} + \text{燃焼性硫黄})$	
⑦形態別硫黄(a.b)	JIS M8817(石炭類の形態別硫黄の定量方法)	
全硫黄	燃焼容量法	気乾試料
硫酸塩硫黄	重量法	気乾試料
黄鉄鉱硫黄	酸化法	気乾試料
有機硫黄	全硫黄 - (硫酸塩硫黄 + 黄鉄鉱硫黄)	
無機硫黄	硫酸塩硫黄 + 黄鉄鉱硫黄	
⑧塩素(d.b)	ASTM D2361-91(ボンブ燃焼法) - 比色法	気乾試料
⑨灰の成分分析	JIS M8815(石炭灰及びコークス灰の分析方法)	
	SiO <sub>2</sub> ;重量法	灰化試料
	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO, MgO ;容量法	灰化試料
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , TiO <sub>2</sub> , MnO, V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ;比色法	灰化試料
	Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O ;炎光光度法	灰化試料
	SO <sub>3</sub> ;燃焼容量法	灰化試料
⑩灰の溶解性	JIS M8801(石炭類の試験方法) 酸化雰囲気灰化試料	
⑪組織分析	還元雰囲気(60%CO+40%CO <sub>2</sub> )灰化試料	
	JISM8816(石炭類の微細組織成分及び反射率測定方法)	
	ビトリナイト反射率;油浸法、光電管式、測定数 50 点以上	
	マセラルタイプ分析;油浸法、ポイントカク、測定数 400 点以上	

今後も、石炭の基礎研究、転換利用技術開発のデータベースとしての高い資産価値の継承発展を目指し、当面、石炭中微量元素の分析方法の確立と分析データベースの拡充を中心に検討を加え、世界においても貴重な石炭データベースとして拡充、活用、公開を図る枠組みの構築を行っていく予定である。



### 2.1.2 コールバンクの拡充に関する研究開発成果

次節に記載する石炭中微量元素の定量分析方法（マイクロ波利用石炭前処理法と誘導結合プラズマ(ICP)法を組み合わせた独自の石炭中微量成分の分析方法）を利用してコールバンク試料（100炭種）のうち計画通り40炭種について微量成分分析を実施した。微量成分の分析項目（17元素）は次の通りである。

#### 微量元素の分析項目

Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Li, Be, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Cd, Sr, Ba, Pb, Hg の23種類。

またコールバンクのデータベースのフレーム構築、管理、公開、改定などを行い、既存のデータベースに微量成分のデータを加えるに際し、セキュリティーのシステムの向上を図るべく、基本仕様構成枠組み開示利用枠組みの検討、分析条件に関する格納、取り出し形式等について調整、入れ込みを進めた。

## 2.2 石炭中微量成分の分析手法の規格化に資するデータ蓄積

### 2.2.1 概要

石炭の利用に際して環境に排出される微量元素への関心の高まりとともに、各種の分析技術の発達を背景に、石炭中微量元素の分析方法についても、高感度、高分離能の測定機器を用いた研究例が多数報告されている。一方、水銀とカドミウム等一部の元素以外、ISOの国際規格は系統的な制定がなされておらず、分析定量方法の標準化については課題が多く残されている。石炭中微量元素の分析および定量法は、形態別組成分析の検討も含め、今後の石炭利用に不可欠であり、石炭のみならず石炭とともに利用される種々の固体燃料にも適用可能であり、標準化の意義は極めて大きい。

石炭中微量元素の分析法としてICP法と発光分析(AES)または質量分析(MS)を組み合わせた方法が試料中の微量、極微量元素を同時定量できる特長を有することから有望とされている。しかしながら、灰化および溶液化による石炭前処理過程が後段の分析に大きく影響するため、超強酸を用いるなど、試薬や手順に様々な工夫がなされており、回収率の高い手法の確立とその標準化が望まれる。

### 1.2.2 規格化する分析方法

産総研は、ICP法に組み合わせるマイクロ波利用の石炭前処理法を検討し、比較的穏やかな条件で高い回収率と分析精度を得ることができることを明らかにした。

石炭試料は、硝酸(HNO<sub>3</sub>)および過酸化水素水(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、必要に応じフッ酸(HF)を加えた混合溶液に入れ、マイクロ波照射(Perkin Elmer Multiwave 3000)により、温度240℃以下で溶解させた。220℃までの加温により、石炭は完全に溶解した。

表 III.1-2.2 および表 III.1-2.3 に、米国 NIST で微量元素の分析値が保証された瀝青炭 SRM1632c について、分解温度 220℃で行った分析例を 18 種類の元素について示した。第 2 列は標準試料供給元により公表された保証値を含む参照値である。

表 III.1-2.2 標準石炭試料中の微量元素の分析値 (1)

元素	参照値 ( $\mu\text{g/g-coal}$ )	HNO <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +HF		HNO <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
		分析値 ( $\mu\text{g/g-coal}$ )		分析値 ( $\mu\text{g/g-coal}$ )	
		ICP-AES	ICP-MS	ICP-AES	ICP-MS
Li	8	na	7.69 $\pm$ 0.03	na	8.6 $\pm$ 0.2
Be	1	0.88 $\pm$ 0.02	1.01 $\pm$ 0.03	0.92 $\pm$ 0.06	1.04 $\pm$ 0.04
V	23.7 $\pm$ 0.5	23.0 $\pm$ 2.1	23.1 $\pm$ 0.2	21.7 $\pm$ 0.7	24.9 $\pm$ 0.2
Cr	13.7 $\pm$ 0.1	13.1 $\pm$ 0.9	13.7 $\pm$ 0.4	12.3 $\pm$ 0.2	15.0 $\pm$ 0.3
Mn	13.0 $\pm$ 0.5	12.0 $\pm$ 1.3	13.3 $\pm$ 0.1	11.8 $\pm$ 0.1	14.1 $\pm$ 0.1
Co	3.5 $\pm$ 0.2	4.1 $\pm$ 0.3	3.30 $\pm$ 0.03	3.7 $\pm$ 0.2	3.56 $\pm$ 0.03
Ni	9.3 $\pm$ 0.5	10.4 $\pm$ 1.0	10.6 $\pm$ 0.2	10.0 $\pm$ 0.5	11.7 $\pm$ 0.3
Cu	6.0 $\pm$ 0.2	4.7 $\pm$ 0.9	5.9 $\pm$ 0.2	4.6 $\pm$ 0.4	6.3 $\pm$ 0.2
Zn	12.1 $\pm$ 1.3	12.3 $\pm$ 4.0	15.2 $\pm$ 0.5	14.7 $\pm$ 3.7	15.7 $\pm$ 0.3
Ga	3	4.03 $\pm$ 0.08	3.69 $\pm$ 0.04	3.8 $\pm$ 0.1	4.11 $\pm$ 0.06

分解温度: 220°C na: 分析値なし

表 III.1-2.3 標準石炭試料中の微量元素の分析値 (2)

元素	参照値 ( $\mu\text{g/g-coal}$ )	HNO <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> +HF		HNO <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
		分析値 ( $\mu\text{g/g-coal}$ )		分析値 ( $\mu\text{g/g-coal}$ )	
		ICP-AES	ICP-MS	ICP-AES	ICP-MS
As	6.2 $\pm$ 0.2	5.8 $\pm$ 0.5	6.0 $\pm$ 0.1	5.4 $\pm$ 0.2	6.4 $\pm$ 0.1
Se	1.33 $\pm$ 0.03	—	1.6 $\pm$ 0.4	—	1.4 $\pm$ 0.6
Rb	7.5 $\pm$ 0.3	na	6.90 $\pm$ 0.05	na	7.31 $\pm$ 0.02
Sr	63.8 $\pm$ 1.3	59.6 $\pm$ 1.2	na	50.3 $\pm$ 0.5	na
Cd	0.072 $\pm$ 0.007	0.22 $\pm$ 0.01	0.09 $\pm$ 0.01	0.25 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.02
Cs	0.594	na	0.65 $\pm$ 0.02	na	0.68 $\pm$ 0.01
Ba	41.1 $\pm$ 1.6	37.8 $\pm$ 1.4	na	34.3 $\pm$ 2.0	na
Pb	3.79 $\pm$ 0.08	2.9 $\pm$ 0.2	4.0 $\pm$ 0.1	2.77 $\pm$ 0.01	4.3 $\pm$ 0.1

分解温度: 220°C na: 分析値なし —: 検出限界以下

HFの添加の有無を比較すると、分析値にほとんど差はなく、取り扱いが困難な強酸であるHFを用いなくても満足な結果が得られることを示している。また、検出器としてAESとMSを用いた場合の比較からは、いくつかの元素についてAESでは十分な精度の分析値が得られないものがあり、MSの併用が不可欠であると言える。産総研法の特長を図III.1-2.3に示す。

## マイクロ波照射酸処理法+ICP-AES/MS(産総研法)

ふっ酸を使わなくても多くの微量元素の定量分析を可能とした

第1周期: なし  
第2周期: Be, B, F  
第3周期: Cl  
第4周期: Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br  
第5周期: Rb, Sr, Zr, Mo, Cd, Sn, Sb, I  
第6周期: Cs, Ba, Hf, Ta, W, Hg, Tl, Pb, Bi

赤字は本法で着目した微量元素(17個)

## 海外において国内標準とされる代表的な多成分同時分析法

Eschka法+水素化物生成冷蒸気原子吸光法(HGAAS)

→ As, Se, Sb(米、豪など、最大3種)

灰のHCl+HNO<sub>3</sub>+HF 分解と原子吸光法(AAS)

→ Ba, Be, Cr, Co, Li, Mn Ni, Pb, Sr, V, Zn (米、豪など、最大11種)

灰のHCl+HNO<sub>3</sub>+HF分解等とICP-AES/MS法

→ As, Be, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Th, U, V, Zn(米、豪など最大16種)

\*ICP法を用いる場合、多成分の同時分析が可能であるが、ホウ素等については単元素の従来型の分析法を併用してデータ取得する必要あり。

### 図 III.1-2.3 産総研法の特長

#### 1.2.3 データの蓄積

コールバンク保有炭のうち40炭種についてISO23380による微量成分分析を行い、コールバンクデータベース化するとともに分析手法の規格化に資するべくデータ蓄積を行った。

#### 微量元素の分析項目

Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Li, Be, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Cd, Sr, Ba, Pb, Hgの23種類。

#### 2.2.4 規格化

上記のマイクロ波利用石炭前処理法と誘導結合プラズマ(ICP)法を組み合わせた独自の石炭中微量成分の分析方法を背景にICP法による石炭中微量成分の分析方法に関する国際標準の確立のために、精度、再現性、操作性等の検証を順次進め、標準化に向けた活動を行った。

ISO/TC27 国際会議等におけるこれまでの標準化活動の結果、2008年10月、AIST法をAnnex Bに記載したガイドISO23380:2008「石炭中微量元素分析の選定方法」が発行された。これにより石炭中微量元素の分析方法の公定法制定への道筋が開け、今後のJIS規格およびISOの本規格の制定に向けた標準化活動の基盤が与えられた。

### 2.3 ガス状微量成分の高精度分析手法の開発

#### 2.3.1 概要

石炭に含まれる物質の中で、揮発性が高く排ガス中でガスとして存在する水銀、セレンおよびホウ素は、プラントにおける挙動が非常に複雑となる。そのため、それら成分のプラント内挙動解明や高度除去技術の開発には、ガス状微量成分の高精度な測

定法が必要である。

ガス状水銀については、JIS や米国の公定法に高い精度の測定法が規定されている。ガス状セレンについては、吸収液を用いた測定法が JIS 等に規定されているが、その方法では、十分な精度が得られないことが最近の研究で明らかになっている。一方、ガス状ホウ素の測定に公定法は存在しないものの、従来慣用的に用いられている吸収液を用いれば、ガス状ホウ素がほぼ全量捕集できることを確認している。そこでガス状セレンとホウ素の高精度な測定手法を見出し、標準化するためには、最適な測定条件を明らかにすると共に、燃焼排ガスへの適用性を検証し、標準化に向けたデータの蓄積を行う必要がある。

### 2.3.2 ガス状セレン測定法の開発

#### (a) 新たな吸収剤の選定

ガス状セレンの分析手法に関するこれまでの検討では、公定法で規定されている吸収液（硝酸、臭素飽和臭化水素酸、硝酸酸性過酸化水素水、過マンガン酸カリウム溶液）の吸収性能が低いため、ガス状セレンの測定精度が低くなると考えられた。そこで、本研究では、新たな吸収剤として、ガス状成分の除去に用いられる活性炭と、固体中セレンを分析する際、セレンの揮発防止液として使用する硝酸マグネシウム水溶液の 2 種類を用い、各吸収剤を 2 段とし、燃焼排ガスに含まれるガス状セレンの吸収性能を検討した。その結果、いずれの吸収剤も回収率は 25%程度と低く、2 段目の吸収剤からセレンが検出されない(図 III.1-2.4)ことから、回収率が低くなる原因は、吸収剤の吸収性能以外にあると考えられた。

測定精度が十分に得られない原因を種々検討した結果、吸収液にガスを導入するためのサンプリング用配管を、サンプリング後に吸収液で洗浄し、さらに、配管ごと固体中のセレンの分析法で定量した結果、洗浄後の配管からもセレンが検出された。この結果、ガス状セレンは排ガスサンプリング時に配管へ付着することが明らかとなった(図 III.1-2.5)。

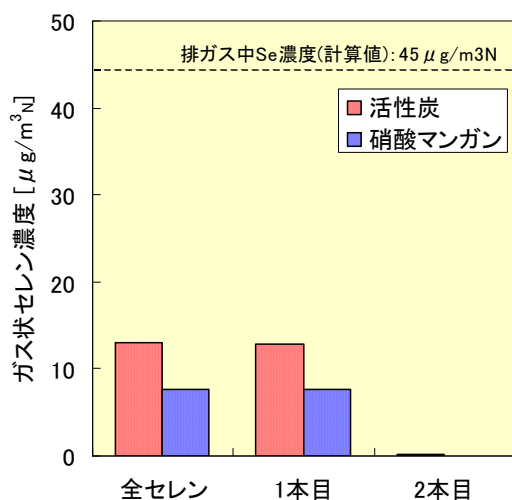


図 III.1-2.4 新規吸収剤の検出濃度

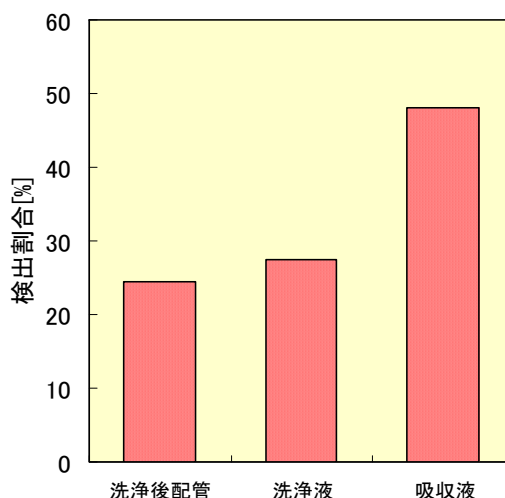


図 III.1-2.5 ガス状セレンの検出

(b) 最適サンプリング法の構築

配管へのセレンの付着を詳細に検討するため、配管を吸収瓶外部と内部の2つの部分①②に分け(図 III.1-2.6)、それぞれの配管を固体中セレンの分析方法を用いて付着セレンを回収し、付着に及ぼす配管温度と共存ガスの影響を検討した。

付着に対する配管温度の検討では、配管①の温度を 210℃とした場合、吸収瓶外部の配管①へのセレンの付着は見られず、ガス温度が低下する吸収瓶内部の配

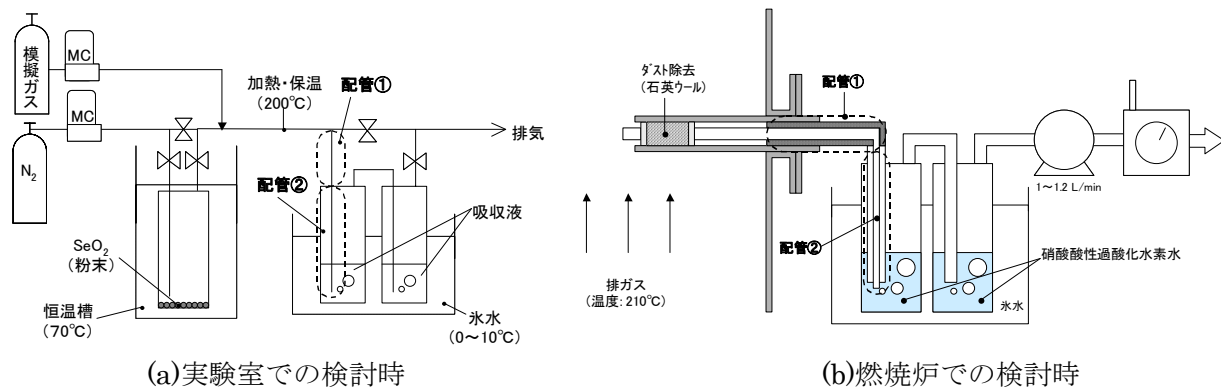


図 III.1-2.6 ガス状セレン付着性評価装置概略図

管②への付着が確認された(図 III.1-2.7)。また、配管①温度を 130℃一定とした付着に対する共存ガスの検討において、窒素雰囲気では配管①②へ付着せず、模擬燃焼排ガス雰囲気では配管②への付着が見られ、燃焼排ガスでは配管①②からセレンが検出された(図 III.1-2.8)。これらの結果より、吸収液直前の配管は、温度が低くなるため、セレンの付着は避けられないことが判明した。

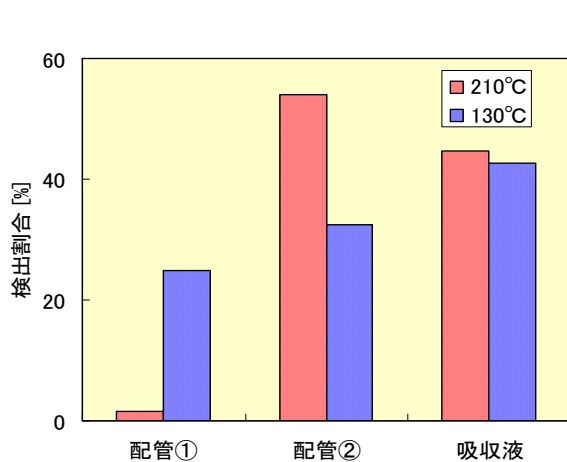


図 III.1-2.7 付着に及ぼす配管温度の影響

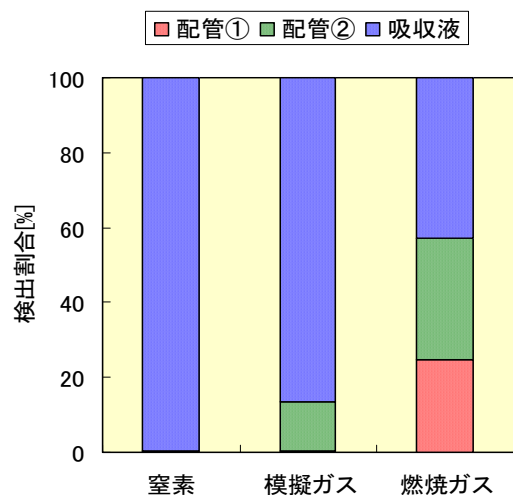


図 III.1-2.8 付着に及ぼすガス組成の影響

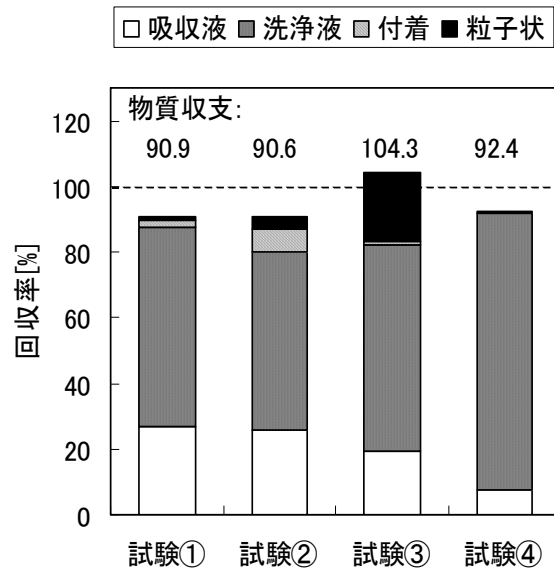


図 III.1-2.9 付着セレンを含めたセレンの測定精度

次に、固体中セレンの分析手法を用いて配管等へ付着したセレンを定量した際の測定精度を確認するため、石炭燃焼炉にて排ガス中のガスと粒子状のセレン濃度を測定すると共に、測定箇所の上流装置に沈降した石炭灰中セレン濃度を分析した。その結果を用いて、供給セレン（石炭中有セレン含有量と石炭供給量より算出）に対する測定されたセレンの割合（回収率）を算出し、ガス状セレンの測定法の精度を確認した。その結果、これまで25～50%であった回収率が100±10%となり（図 III.1-2.9）、配管等へ付着したセレンを定量することにより、ガス状セレンを高い精度で測定できることが明らかとなった。さらに、測定法を標準化するためには、配管へ付着したセレンの簡便な回収方法を検討する必要がある。

### 2.3.3 ガス状ホウ素測定法の開発

ガス状ホウ素は、従来慣用的に用いられている吸収液でガス状ホウ素がほぼ全量捕集できることから、標準化のためには、測定法の最適な測定条件を明らかにし、標準化に必要なデータを蓄積する必要がある。

そこで、模擬燃焼排ガスならびに燃焼排ガスを用いて、採取時の配管材料や配管の加熱保温温度等の最適な測定条件を検討すると共に、標準化に必要な測定法の不確かさ、再現性を確認した。その結果、プローブや配管に石英ガラスやPTFEを使用し、130℃以上に加熱保温した場合、配管、フィルターおよび捕集ダストへのホウ素の付着は見られないことが判明した（図 III.1-2.10）。また、本検討で最適化したサンプリング手法は、SO<sub>2</sub>の影響がなく、燃焼排ガス中の濃度範囲で、精度良く分析可能であることが明らかとなった（図 III.1-2.11、2.12）。

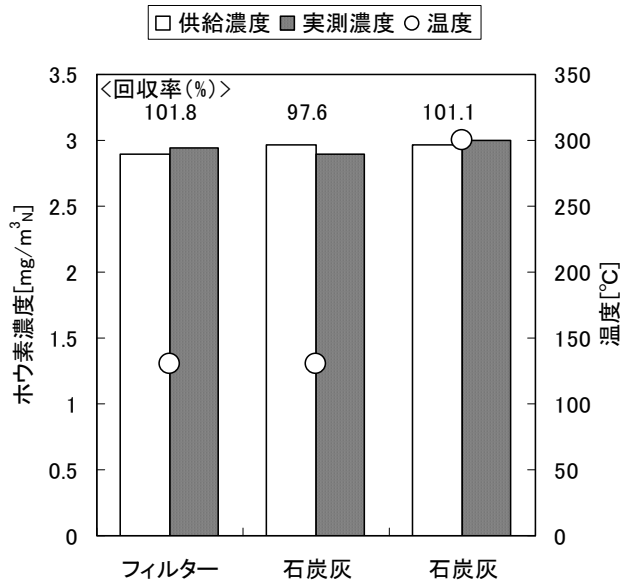


図 III.1-2.10 ホウ素の測定に及ぼす配管の加熱保温温度の影響 (模擬ガス)

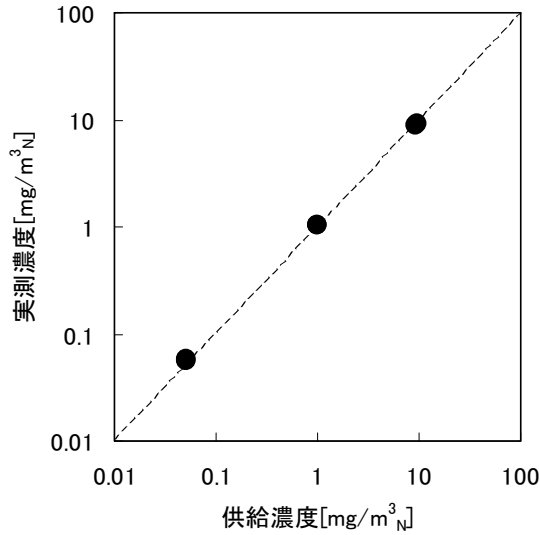


図 III.1-2.11 ガス状ホウ素の測定範囲 (模擬ガス)

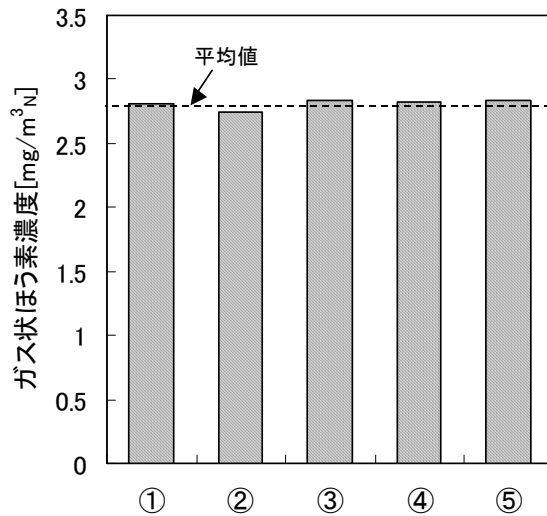


図 III.1-2.12 ホウ素測定法の繰り返し性 (燃焼排ガス)

### 2.3.4 分析手法の実ガスへの適用性評価

上記(2.3.3)で開発されたガス状ホウ素測定法について、(2.3.2)とは異なる他の石炭燃焼設備における実ガスを用いて、さらには他の分析者による測定を実施し、測定対象設備、分析者による測定への影響を検討した。

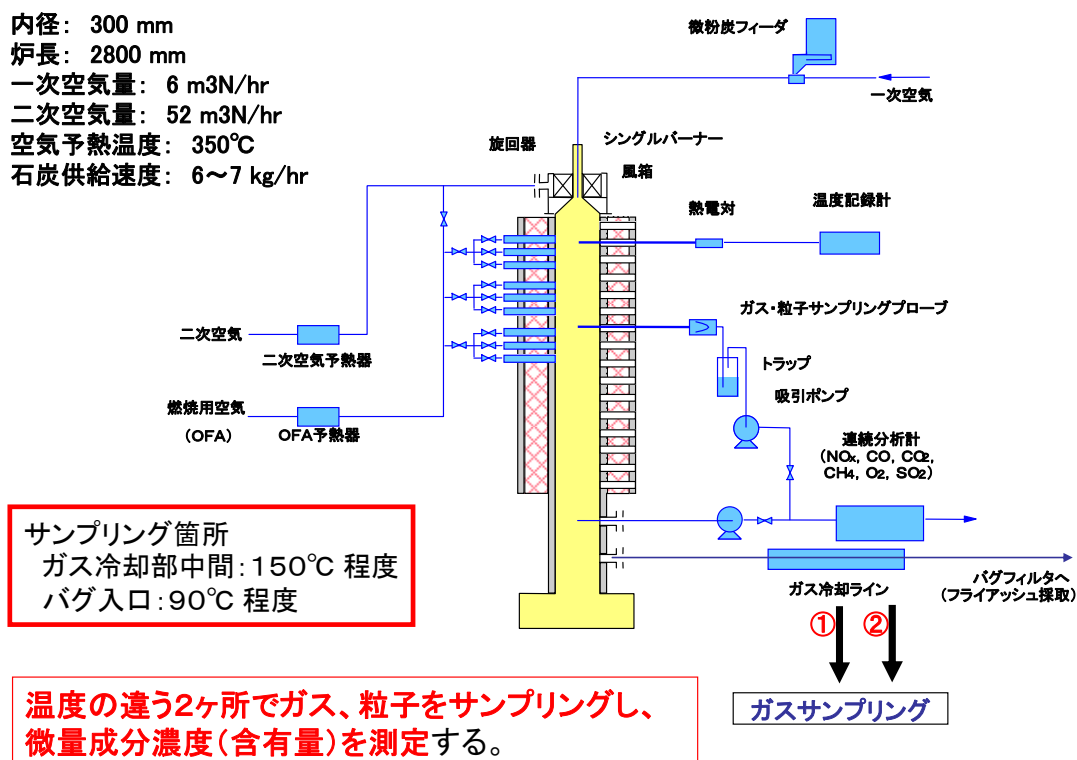


図 III.1-2.13 小型微粉炭燃焼炉

測定対象設備として採用した小型微粉炭燃焼炉を図 III-2.13 に、サンプリング方法を図 III.1-2.14 に示す。サンプリング方法は、(2.3.2)と同様の方法であるが、ホウ素の測定上のばらつきを検討することを目的として、フィルター出口で、サンプリングラインを3分岐し、それぞれを吸収液へ導いた。測定結果を、図 III.1-2.15 に示す。それぞれの棒グラフは、3分割した結果のホウ素濃度を示している。これらの試験結果より、小型微粉炭燃焼炉で、別種の石炭の排ガス測定においても、(2.3.2)と同様の方法で、ホウ素をガス状、粒子状に分別して測定することが出来ることが確認できると共に、今後の測定のばらつきを検討する試験のメドを立てることが出来た。



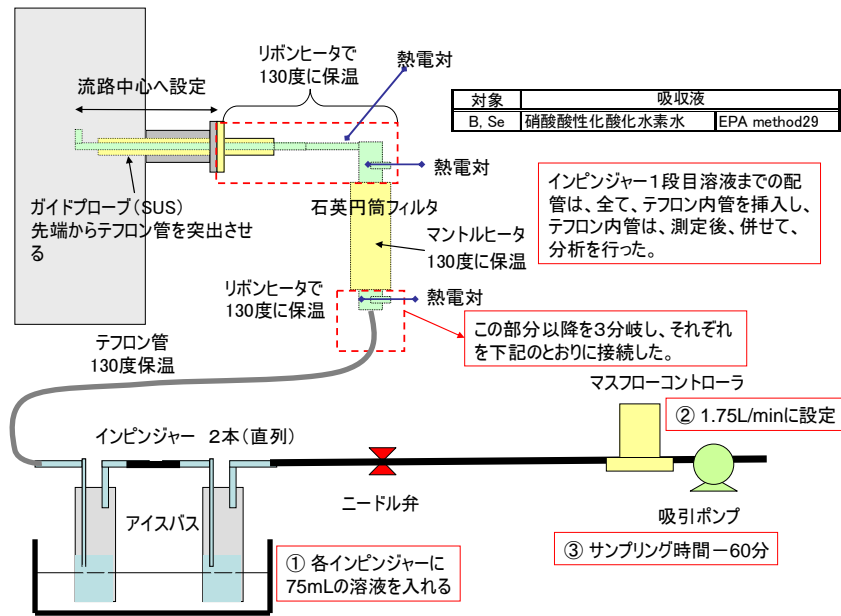


図 III.1-2.14 試験に使用した排ガスサンプリング方法

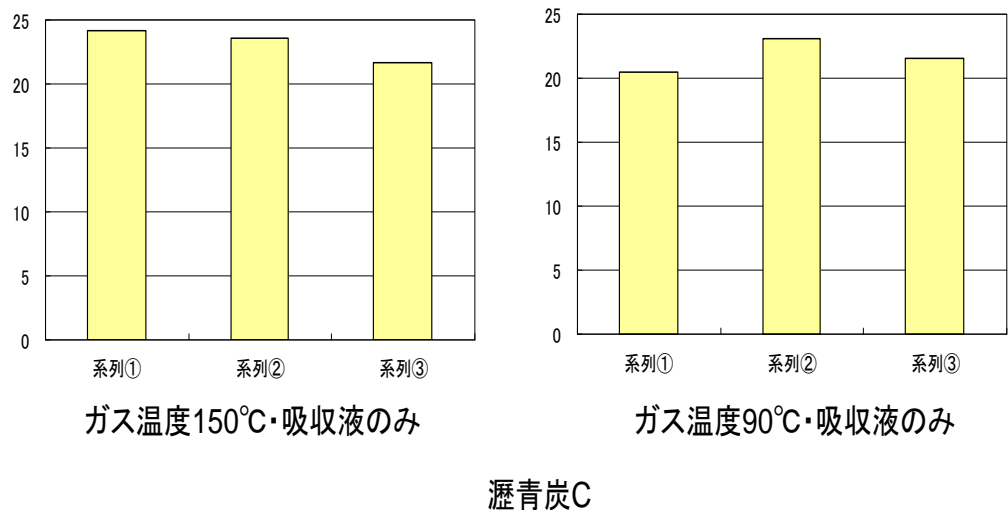


図 III.1-2.15 ガス状ホウ素の測定結果

今後は、同時に3つのガスをサンプリングすることで、これらのばらつきを検討できるデータをダスト濃度も含めたホウ素の測定として検討し、また、対象元素としてセレンについての測定を行う。

### 2.3.5 ガス状ホウ素分析手法のISOへの提案

ガス状ホウ素分析手法の標準化に向けてISOのTC146/SC1へ排ガス中のホウ素濃度測定方法についてISO国際会議で新業務報告(NWI)提案すると同時に、規格化へ向けた日本語作業原案(WD)を検討した。なお、WD原案検討では、規格化に必要な測定方法の性能評価試験データについても審議を行った。



3) 石炭中ホウ素の含有量と燃焼排ガス中の濃度範囲

4) ホウ素の人体への影響

についてであった。

結果として、SC 1は日本からのホウ素測定法の新規提案を受け入れ、NPとして投票を行うことを承認した。日本はWDおよびこの規格の妥当性(justification)についてTC146事務局に提出することとなった。

(c) 排ガス中のホウ素濃度測定方法のWDの検討

提案書の作成と併行して、日本語WDの検討を行った。WDは今後日本標準規格の作成にも利用できるように、勘案しながら検討を進めた。WDの検討では、国際標準規格で要求される濃度測定方法の評価試験データ結果および解析方法についても検討し、規格化に際して不足データがあるかどうかの判断を行った。

(d) まとめと今後の進め方

排ガス中のガス状ホウ素濃度の測定法に関する標準化提案は、国際会議の10月30日行われたSC 1会議の場で新規作業項目案(NP)として提案し内容説明を行った。その結果、新規提案が受け入れられ、新たに国際会議での意見を反映させた新規規格の投票文書を作成しNPとして投票を行うことが決まった。

投票文書は3月にTC 1 4 6オランダ事務局へ送付し投票が行われる予定である。今後、投票結果を受けて作業を進めることとする。投票結果で採択されれば、WGが設定されるので次回の国際会議で発表するWD案を完成させて審議を行う。採択されなかった場合は、各国のコメントを分析し、再度投票実施に向けての検討を行うこととする。

今回、排ガス中のホウ素濃度測定方法のWDの検討を行い、日本語WD原案が作成された。本分析法は石炭燃焼施設等から排出されるホウ素量を把握するために有益と考えられるので、日本語WD原案を基にJ I S (日本工業規格)を作成することとする。

## 研究開発項目①「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」

### (2) 高度除去技術

#### 1. 事業全体の成果

本研究の開発成果を表 III.2-1 に示す。本研究では、平成 19 年度に模擬ガスを用いたラボ試験により、触媒部水銀酸化特性の評価、石炭燃焼灰への水銀付着特性評価、脱硫吸収液への水銀吸収特性評価及び酸素燃焼時における各機器の水銀挙動特性の評価を予定通り実施した。その結果、排ガス中の水銀を高度除去するための機器構成として、脱硝触媒、集塵器、湿式脱硫装置の組合せが有効であることを確認した。

平成 20 年度では、小型燃焼炉(0.5MW)の後流に脱硝触媒、バグフィルタ、湿式脱硫装置から成る小型排ガス処理装置を設置し、実ガスでの評価試験を実施した。試験は、カナダ炭を含む 3 炭種の石炭を燃焼し、脱硝触媒部における水銀酸化特性の評価、集塵器における灰への水銀付着特性の評価、湿式脱硫装置における水銀の除去特性評価を実施した。また、小型燃焼炉を酸素燃焼運転した排ガスを使用し、上記に示す各機器の水銀除去特性を測定し、次世代火力として注目される酸素燃焼ボイラにおける水銀除去についても検討を行った。上記の試験結果より、脱硝触媒、集塵器及び湿式脱硫装置を組み合わせたシステムにより、目標値である水銀放出量を  $3 \mu\text{g/kWh}$  以下にできる見通しを得ることができた。さらに、より除去率を向上する方法として、集塵器温度を低下( $160 \rightarrow 90^\circ\text{C}$ )する方法及び排ガス中の塩素濃度を増加( $50 \sim 100\text{ppm}$ )する方法が有効であることが分かった。

表 III.2-1 研究開発成果の概要

中間目標	試験内容 (年度)	項目	達成状況	評価
水銀排出量 $3 \mu\text{g/kWh}$	19~20年度	水銀除去システムの選定	小型炉試験により、 脱硝触媒+集塵器+脱硫装置 の組合せにより、 水銀排出量 $3 \mu\text{g/kWh}$ 以下を確認	◎
	ラボ試験 (19年度)	触媒部酸化特性評価	HCl, SO <sub>2</sub> 等の影響評価	○
		灰付着特性評価	温度, 未燃分等の影響評価	○
		脱硫液吸収特性評価	L/G, pH等の影響評価	○
		酸素燃焼時の評価	各機器の特性評価	○
		機器構成の検討	除去率向上構造を検討	○
	小型燃焼炉 (20年度)	触媒部酸化特性評価	3炭種での特性評価	○
		灰付着特性評価	3炭種, 温度等の影響評価	○
		脱硫液吸収特性評価	3炭種, L/G等の影響評価	○
		酸素燃焼時の評価	各機器の特性評価	○
		システムの評価	目標値を達成できる構成を提案	○
	廃水処理技術 (19~20年度)	脱硫廃水の水銀除去技術	キレート繊維によりHg,B等重金属除去を確認	○
		石炭灰の水銀除去技術	酸洗浄により	○

◎:目標を上回る成果 ○:目標通りの成果

2. 研究開発項目毎の成果

図 III.2-1 に石炭焚ボイラ排ガス中の水銀挙動の一例を示す。石炭中に含まれる水銀は、燃焼場で金属水銀として排ガス中に放出される。排ガス中の金属水銀は主に脱硝触媒部でその一部が酸化され酸化状水銀となる。酸化状水銀は、灰に付着しやすい特性があり、灰に付着した酸化状水銀は集塵器において灰とともに除去される。また、酸化状水銀は水に溶けやすい特性があるため、湿式脱硫装置において、脱硫吸収液に吸収除去される。一方、金属水銀は灰への付着がほとんど無く、また、水にもほとんど溶けないため、集塵器及び湿式脱硫装置で除去されず、そのまま、大気に放出されることとなる。そのため、ボイラ部で発生した排ガス中の水銀を高度除去するためには、脱硝触媒部での水銀酸化反応を促進し、集塵器及び脱硫装置における酸化状水銀の除去率を高めることが重要となる。

そこで、本研究では、まず、平成 19 年度に燃焼排ガスを模擬したラボ試験により脱硝触媒部における水銀酸化特性、石炭燃焼灰への付着特性及び脱硫液への水銀の吸収特性を把握した。

つぎに、平成 20 年度は当社にて保有している小型燃焼炉(石炭量 40kg/h)及び排ガス処理装置を使用した実ガス試験を実施し、各機器における水銀形態の変化及び水銀除去特性を確認した。

また、集塵器で捕集した石炭灰中に含まれる水銀の溶出特性及び湿式脱硫液に含まれる水銀の挙動について評価した。(再委託先：鹿児島大学)

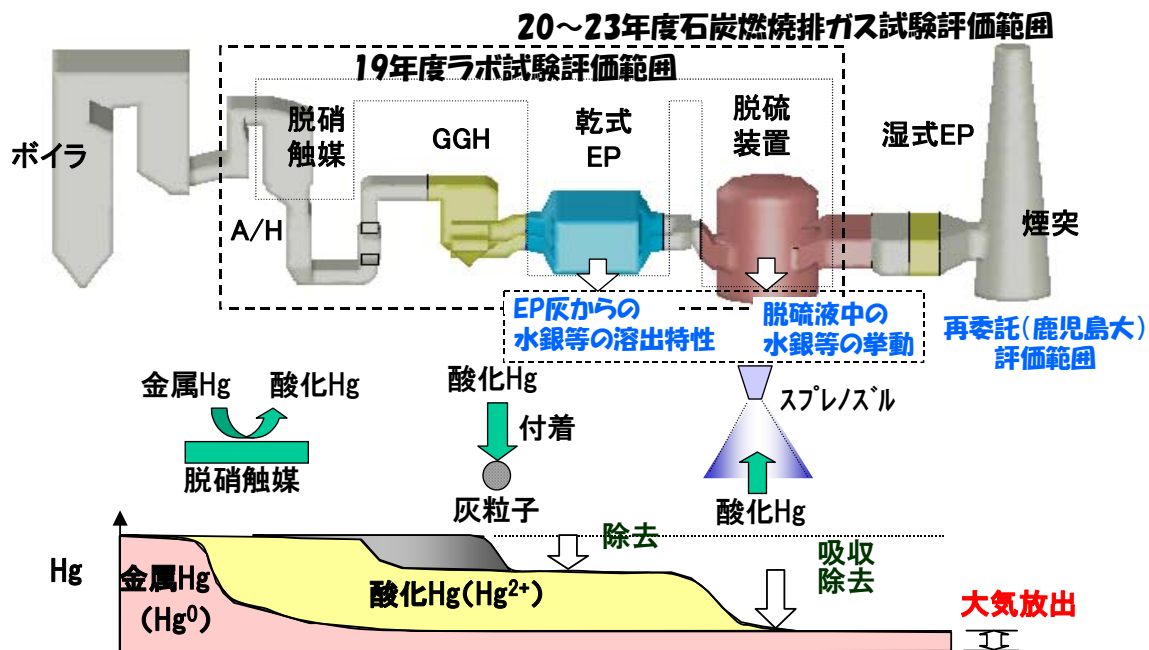


図 III.2-1 石炭焚ボイラ排ガス中の水銀挙動

つぎに本研究の目標値について述べる。表 III.2-2 は、一般的なカナダ炭 2 炭種と国内火力で使用されている豪州炭の石炭組成を示す。表中にそれぞれの石炭に含まれる水銀量を測定した結果を示す。数値は、原炭から無作為に 10 カ所抽出し、分析した結果の最小値と最大値を示している。この結果より、石炭中の水銀量は、同一銘柄であっても 20~40% 程度のばらつきがあることが分かる。

また、石炭に含まれる水銀が全て大気に放出されたと仮定した場合の単位発電量当たりの水銀発生量を表中に示す。ここで、水銀発生量を計算する際にボイラの発電効率率は 37% と仮定した。この結果より、これらの石炭を燃焼した場合、水銀発生量は最大で 15~22.5  $\mu\text{g/kWh}$  であることが分かる。そのため、目標値である大気への放出量を 3  $\mu\text{g/kWh}$  以下にするためには、排ガス処理装置で 75~87% の水銀を除去する必要があることが分かる。

さらに、近年、エネルギー使用量が急増し、そのほとんどを石炭焚火力発電に依存している中国で使用されている石炭組成の一例を表中に示す。ただし、中国の発電所で使用されている石炭を入手できていないため、ここに示す数値は、文献等で紹介されている数値である。この結果を見ると中国炭中に含まれる水銀量は他の 3 炭種に比べて多く、3  $\mu\text{g/m}^3\text{N}$  を達成するためには、95% という高い除去率が要求されることが分かる。

表 III.2-2 石炭組成と目標値

項目	試料名		カナダ		国内使用炭	中国炭	
	ベース	単位	コールバレー	クインサム	サクソンペール炭	例	
高位発熱量	気乾	kJ/kg	25,970	28,870	29,620	32,447	
全水分	到着	%	6.99	5.08	8.35		
工業分析	気乾試料水分	気乾	6.41	4.05	2.44	1.6	
	揮発分	無水	36.96	37.94	33.29	40.9	
	固定炭素	無水	51.86	53.34	55.21	52.9	
	灰分	無水	11.18	8.72	11.5	4.6	
元素分析	C	無水	69.22	73.22	73.26	81.2	
	H	無水	4.26	4.55	4.63	5.64	
	O	無水	14.28	12.1	8.39	7.1	
	N	無水	0.97	1.16	1.77	1.43	
	S	無水	0.26	0.46	0.45	3.65	
	灰中S	無水	0.17	0.21	0.01		
	Cl	無水	mg/kg	25	330	170	
	F	無水	mg/kg	70	60	50	
Hg	無水	$\mu\text{g/kg}$	28.3~40.9	26.9~66.8	14.0~36.2	100~200	
水銀発生量*1 (石炭中の全水銀が放出した場合) ( $\mu\text{g/kWh}$ )			10.6~15.3	9.1~22.5	4.6~19.7	30~60	
目標値 3 $\mu\text{g/kWh}$ を達成するための除去率 (%)			71.6~80.4	66.9~86.7	34.8~84.8	90~95	

$$*1: \text{水銀発生量 } (\mu\text{g/kWh}) = \frac{\text{石炭中Hg濃度 } (\mu\text{g/kg})}{\text{石炭中発熱量 } (\text{kWh/kg}) \times \text{発電効率 } (37\%)}$$

図 III.2-2 に本研究で使用した試験装置の概要を示す。

まず、模擬ガスによるラボ試験装置を用いて、脱硝触媒部、集塵器及び湿式脱硫装置など各機器における水銀挙動を把握した。トータルガス量は3～5 L/min であり、各種ボンベガスを合成することで各種石炭を燃焼した場合の排ガス性状を模擬し、排ガス組成及び機器の動作温度等が水銀挙動に与える影響について検討した。

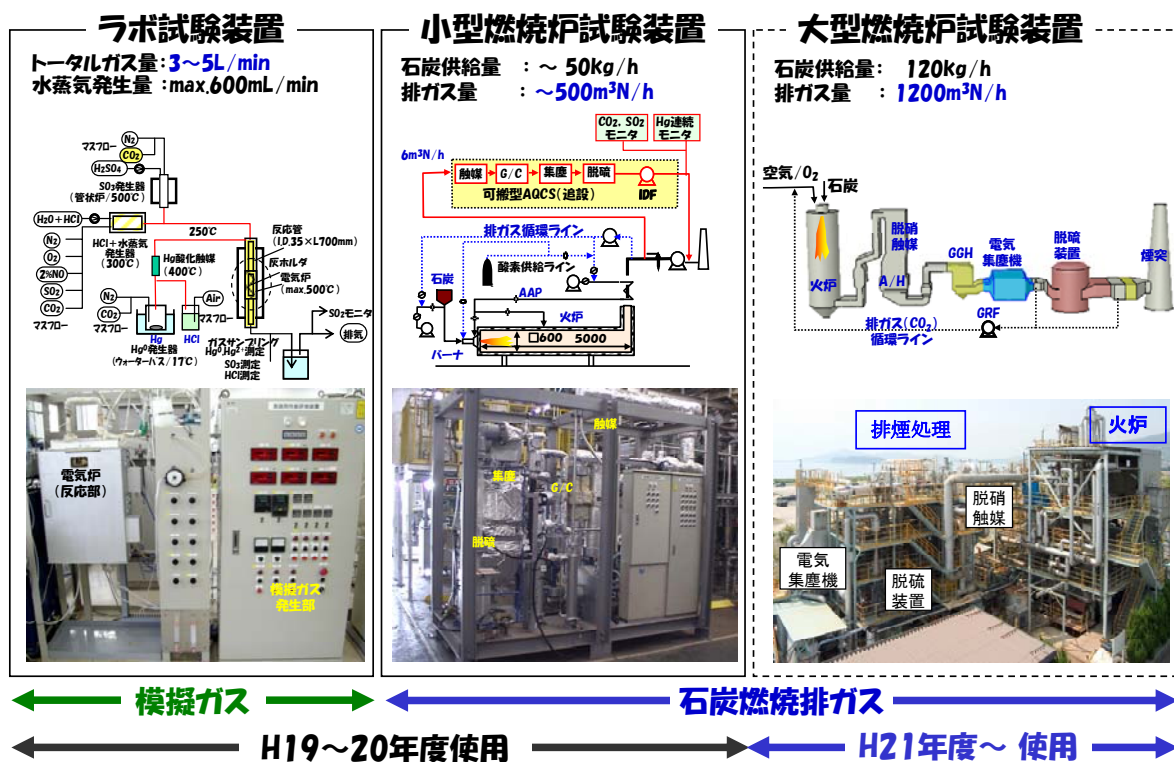


図 III.2-2 試験装置の概要

つぎに、小型燃焼炉試験装置により、表 III.2-2 に示した3炭種を燃焼した排ガスを使用し、各機器における水銀挙動を測定した。小型燃焼炉の石炭供給量は50kg/hである。また、本試験では、小型炉を酸素燃焼モードで運転し、排ガス組成が大きく異なる酸素燃焼条件下における水銀の除去挙動についても検討した。

さらに、平成21年度では、大型燃焼炉を使用した試験を計画している。本装置は石炭供給量120kg/h、排ガス量1200m<sup>3</sup>N/hの火炉の後流に、脱硝触媒、電気集塵器及び湿式脱硫装置を有する装置であり、本装置を用いて、上記3炭種に加え、中国炭を用いた試験を計画している。さらに、本装置を酸素燃焼対応に改造し、酸素燃焼時における水銀挙動も合わせて評価する予定である。

## 2.1 ラボ試験結果

ラボ試験の概要を以下に示す。N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、NO、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> ボンベよりマスフローコントローラにより流量を調整したガスを混合することで燃焼排ガスを模擬し、テストセクションに供給した。また、HC 1、SO<sub>3</sub>、Hg 発生器より微量のガスを供給し、模擬排ガス中の濃度を調整した。テストセクション部は、右図に示す触媒評価装置、灰付着評価装置及び脱硫評価装置をそれぞれ設置し、各種特性を評価した。

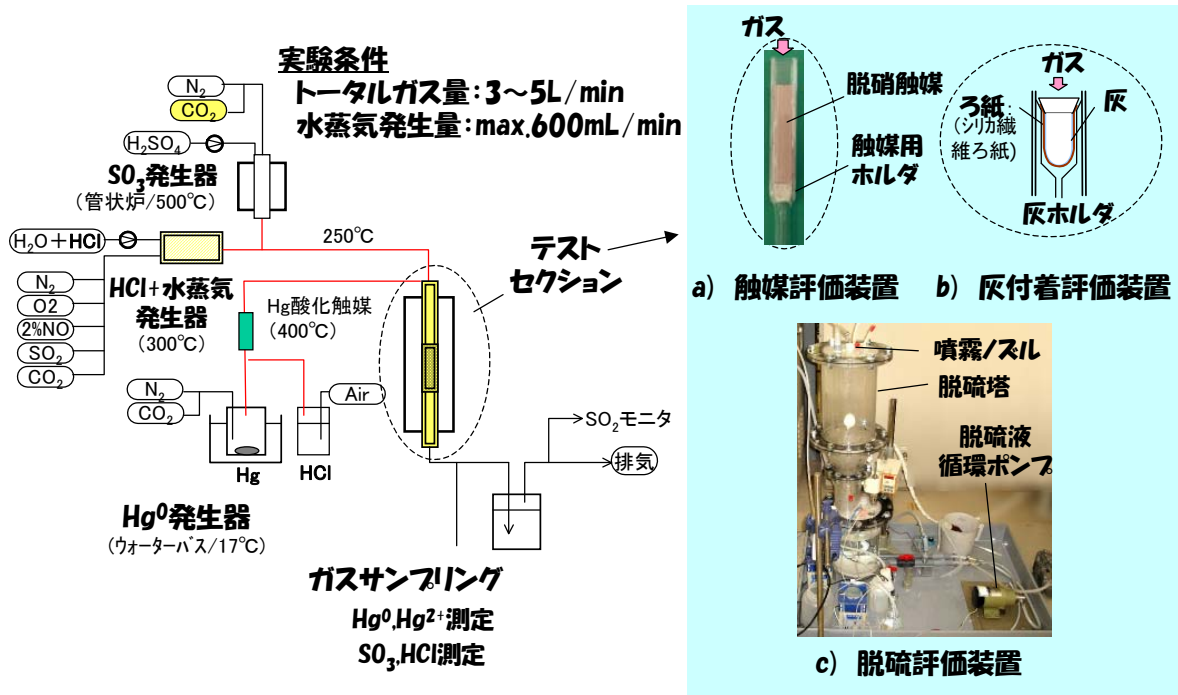


図 III.2-3 ラボ試験装置の概要

### a) 脱硝触媒部における水銀酸化特性

触媒評価装置を用いて、脱硝触媒部における触媒温度、排ガス中 HCl、SO<sub>2</sub> 濃度が水銀酸化特性に及ぼす影響について評価した。その結果、脱硝触媒部での水銀酸化特性は、排ガス中の HC 1 濃度が高いほど高活性であり、脱硝触媒の動作温度である 350~400℃の範囲では低温ほど高活性であり、SO<sub>2</sub> 濃度の影響は小さいことが分かった。

測定結果の一例として、排ガス中の塩素濃度と水銀酸化率との関係を図 III.2-4 に示す。脱硝触媒部での水銀酸化率は排ガス中塩素濃度の影響が大きく、0~100ppm の範囲で大きく変化することが分かる。表 III.2-2 に示す 3 炭種の石炭を燃焼した場合の排ガス中塩素濃度は 2~25ppm の範囲であり、水銀酸化率を向上する手段の一つとして、排ガス中の塩素濃度を高める方法が考えられる。

### b) 灰への水銀付着特性

灰付着評価装置を用いて、集塵器部におけるガス温度、排ガス中 SO<sub>3</sub>、水銀濃度及び灰中未燃分量が灰への水銀付着特性に及ぼす影響について評価した。その結果、灰への水銀付着特性は、金属水銀は灰へはほとんど付着せず、酸化状水銀が灰に付着し



やすいことが分かった。また、酸化状水銀はガス温度が 150°C以上ではほとんど付着せず、130°C以下で付着量が急増することが分かった。また、水銀付着量は灰中未燃分量の増加に伴い増加し、排ガス中の SO<sub>3</sub>濃度の増加により低下することが分かった。

測定結果の一例として、ガス温度と灰への水銀付着量との関係を図 III.2-5 に示す。金属水銀(Hg<sup>0</sup>)を△で、酸化状水銀(Hg<sup>2+</sup>)を●で示す。金属水銀はガス温度が 90~400°C の範囲でほとんど灰に付着しないことが分かる。一方、酸化状水銀は 150°C以上ではほとんど灰に付着しないが、130°C以下では灰への付着量が急増することが分かる。この結果より、集塵器部で水銀を除去するためには、前段部で排ガス中の水銀を酸化状水銀に変換し、ガス温度を 130°C以下に低減する方法が有効であると考えられる。

集塵器のガス温度を低減する方法として、実機ボイラでは GGH(Gas-Gas heat exchanger)を利用できる。これは、乾式 EP の前段と湿式脱硫の後流に熱交換器を設置する方法であり、煙突出口排ガスの紫煙対策として、日本国内で実用化されている方法である。この GGH を用いた場合の集塵器入口ガス温度は約 90°Cであり、水銀除去技術の一つとして有用になると考えられる。

#### c) 脱硫吸収液への水銀吸収特性

脱硫評価装置を用いて、湿式脱硫部における吸収液量と排ガス量との比(L/G)及び吸収液の pH が脱硫吸収液への水銀吸収特性に及ぼす影響について評価した。その結果、脱硫吸収液への水銀吸着特性は、吸収液 pH の影響は小さく、また、L/G の影響も小さいことが分かった。

測定結果の一例として、L/G と吸収液への水銀吸収特性との関係を図 III.2-6 に示す。金属水銀(Hg<sup>0</sup>)を△で、酸化状水銀(Hg<sup>2+</sup>)を●で示す。金属水銀は脱硫吸収液にほとんど吸収されないことが分かる。一方、酸化状水銀は L/G が 10~40 の範囲では、L/G の影響はほとんど無く、90%以上の高い除去率であることが分かった。通常、実機の湿式脱硫装置は、L/G=10~20 の範囲で運転しており、この範囲では、酸化状水銀の除去率は 90%以上と高い値となることが分かる。

以上の結果より、高度水銀除去システムとして、排ガス中の水銀を高効率に酸化状水銀に変換する脱硝触媒と、ガス温度を 130°C以下とした低温集塵器と、湿式脱硫装置の組合せが有効であることが分かった。

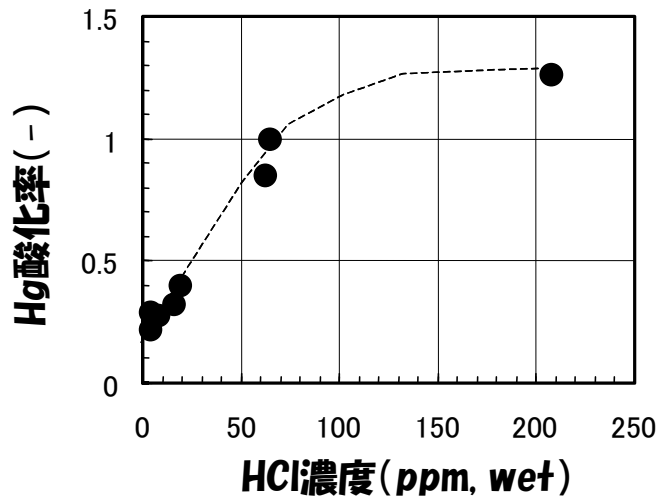


図 III.2-4 脱硝触媒部での水銀酸化特性(ラボ試験結果)

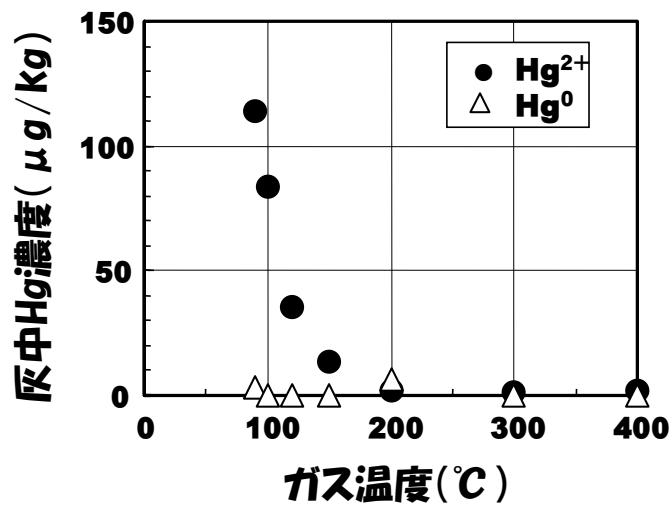


図 III.2-5 灰への水銀付着特性(ラボ試験結果)

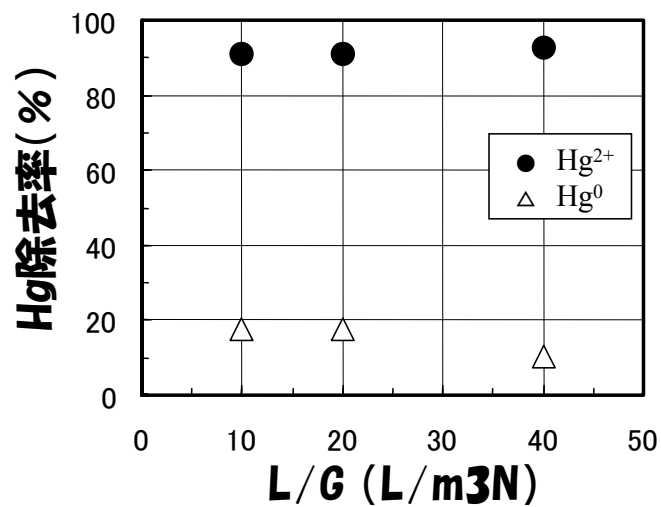


図 III.2-6 脱硫部での水銀除去特性(ラボ試験結果)

## 2.2 小型炉試験結果

小型炉試験の概要を図 III.2-7 に示す。石炭供給量 50kg/h の小型燃焼炉の後流に、脱硝触媒、ガスクーラー、集塵器及び湿式脱硫装置から構成した小型排ガス処理装置を設置した。試験は、表 III.2-2 に示すカナダ炭を含む3炭種を燃焼した実排ガスを用いて、脱硝触媒部における水銀酸化特性、集塵器における水銀の灰付着特性、脱硫装置における脱硫液への水銀吸着特性を評価した。

また、小型燃焼炉を酸素燃焼運転し、その排ガスを使用して、各機器の水銀除去特性を評価した。

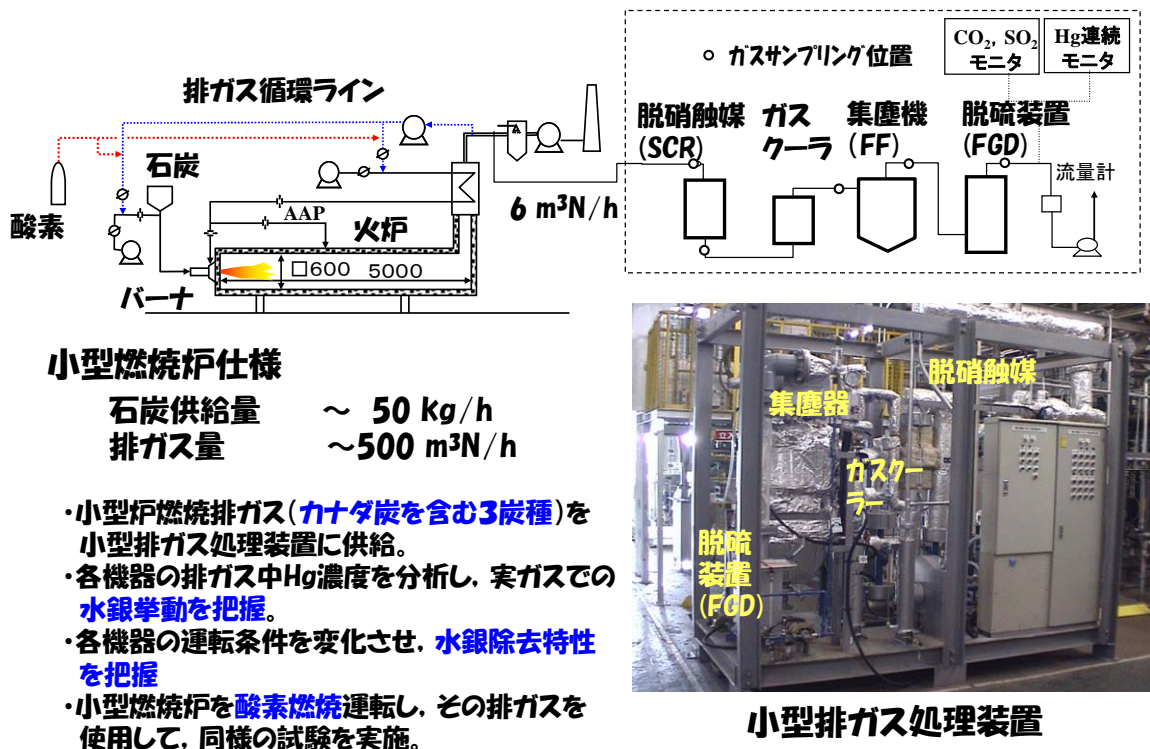


図 III.2-7 小型炉試験装置の概要

### a) 試験結果 (コールバレー炭)

試験結果の一例として、コールバレー炭を燃焼し、排ガス処理装置の各機器で水銀濃度を測定した結果を図 III.2-8 に示す。石炭中に含まれる水銀が全て排ガスに放出された場合の水銀濃度の計算値を図中左に示す。石炭中の水銀濃度は、サンプリング毎にばらつきをもっており、その結果をバーで示しているが、±10%程度のばらつきがあることが分かる。

脱硝触媒(SCR)入口と出口部の水銀濃度を比較すると、絶対量がわずかに減少していることが分かる。これは、触媒反応機内で灰に付着した水銀が灰と共に反応管内部に堆積したためと考えられる。ラボ試験の結果より、灰に付着する水銀はそのほとんどが酸化水銀であることから、この測定値のうち、減少した水銀は酸化水銀であると推定できる。一方、金属水銀はほとんど灰に付着しないことから、その減少量は酸化反応により酸化水銀に変化したと見なすことができる。この結果より、コール

バレー炭においては触媒部の水銀酸化率はわずかであることが分かる。これは、排ガス中の塩素濃度が 2.5ppm と非常に少ないことが原因である。ラボ試験の結果(図 III.2-4)より、排ガス中の水銀酸化反応は塩素濃度の影響が大きく、塩素濃度が低い場合は水銀酸化率が低いことが分かっている。

つぎに、集塵器(FF)部の水銀挙動について述べる。図中の青色部は、集塵器で補修した灰中に含まれる水銀濃度と集塵器で補修した灰量とから算出した灰に付着した水銀量である。この結果より、集塵器部において酸化水銀のおよそ 60%が除去できることが分かる。

湿式脱硫装置(FGD)部出口では、ほとんどが金属水銀となっており、ラボ試験で得られた結果と同様の挙動を示していることが確認できた。

脱硝触媒、集塵器及び湿式脱硫装置から構成したシステム全体での水銀除去率は 83.7%となり、発電量 1kWh 当たりの水銀発生量は 2.2 $\mu$ g となり、目標値を達成できる見通しを得ることができた。ただし、目標値に対して、ぎりぎりの数値であり、安定に目標値を達成するためには、さらなる改善が必要である。さらに、システム全体の水銀除去率を向上する方法としては、脱硝触媒部での水銀酸化率を向上する方法が有効である。そこで、脱硝触媒の上流に塩素を添加した結果について以下に述べる。

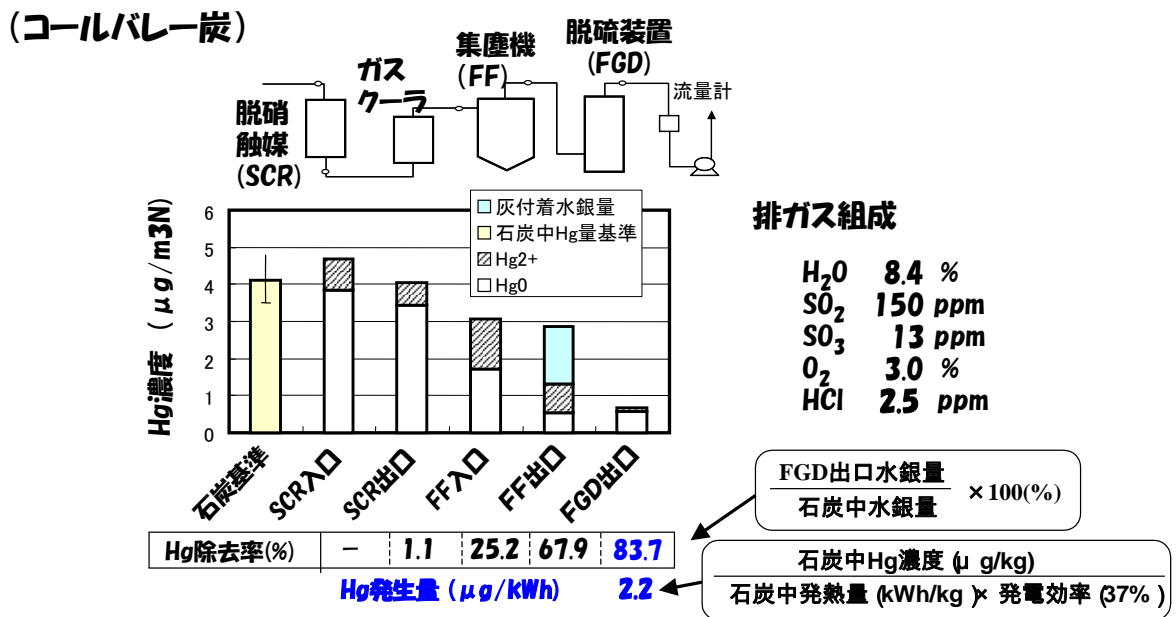


図 III.2-8 小型燃焼炉試験結果の概要

b) 塩素添加による効果の確認

脱硝触媒上流に塩素を添加し、排ガス中の塩素濃度を 120ppm とした場合の結果を 図 III.2-9 に示す。排ガス中の塩素濃度を高めることで脱硝触媒部の水銀酸化率が向上し、FGD 出口における金属水銀量が大幅に低減されたことが分かる。このときのシステム全体での水銀除去率は 93.7%に向上し、発電量 1kWh 当たりの水銀発生量は 0.9 $\mu$ g となり、目標値を大幅に達成できる見通しを得ることができた。

以上の結果より、排ガス中に含まれる水銀を除去する方法として、脱硝触媒、集塵器及び湿式脱硫装置で構成した排ガス処理システムが有効であり、目標値である  $3 \mu\text{g/kWh}$  を達成できる見通しを得た。また、水銀除去性能をさらに向上する方法として、脱硝触媒の上流に塩素を添加する方法が有効であることを確認した。

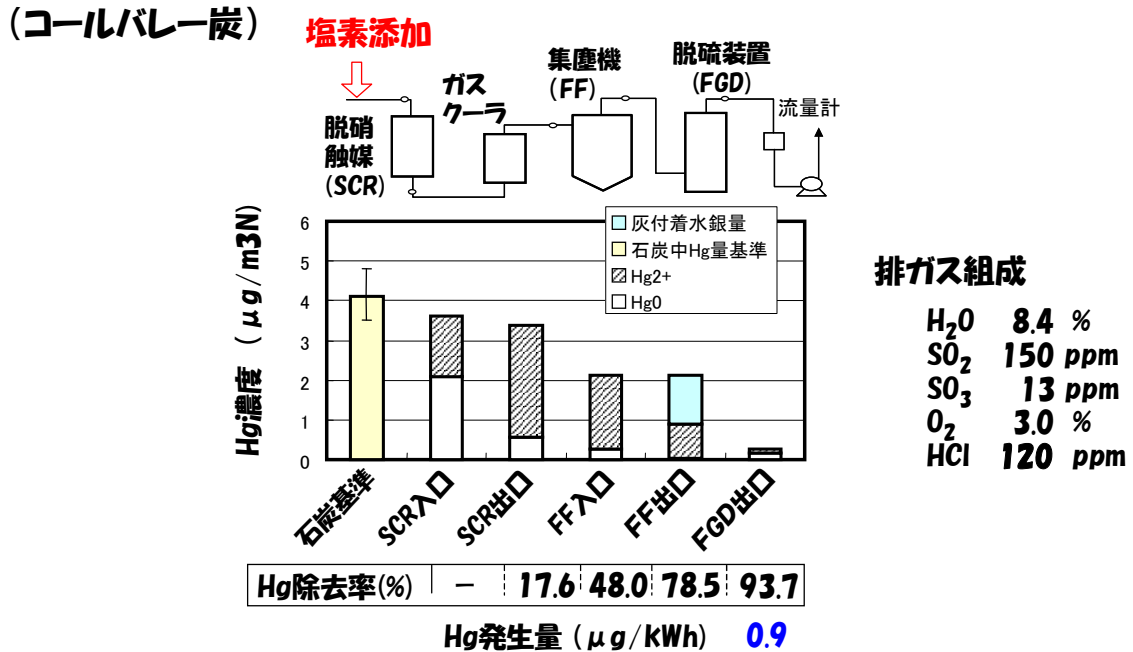


図 III.2-9 塩素添加時における各機器の水銀挙動

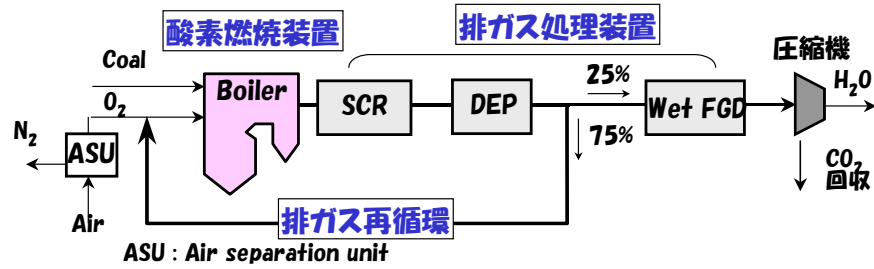
c) 酸素燃焼排ガスにおける水銀除去特性

CO<sub>2</sub> 削減技術の一つとして、開発が進められている酸素燃焼時における排ガス中の水銀除去特性について検討した結果を以下に述べる。

酸素燃焼システムの構成例を図 III.2-10 に示すが、酸素燃焼システムは、空気の変わりに酸素を使用することで、排ガス中の CO<sub>2</sub> 濃度を 90%dry 以上に高め、CO<sub>2</sub> を直接、圧縮/貯蔵する方法である。酸化剤として酸素を使用した場合、空気燃焼に比べて燃焼排ガスの温度が高くなるため、燃焼排ガスの一部をバーナ部に戻す方法が用いられる。

そのため、酸素燃焼時における排ガス組成は、空気燃焼時と大きく異なることとなる。図中にサクソンベール炭を燃焼した場合の、通常燃焼時(空気燃焼)と酸素燃焼時の排ガス組成を比較した結果を示すが、酸素燃焼により、基準ガスが N<sub>2</sub> から CO<sub>2</sub> に変わると同時に水分、SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HCl 濃度が高くなる。このようなガス組成における水銀挙動を明らかにするため、小型燃焼炉を酸素燃焼条件で運転し、各機器における水銀濃度を測定した結果について、つぎに述べる。

## 酸素燃焼システムフロー



### 特徴

- ・空気の変わりに酸素を使用することで、排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度を90dry%以上に高め、直接圧縮、貯蔵する。
- ・酸素燃焼による火炉高温化を防止するため、燃焼排ガスをバーナ部に再循環する。
- ・CO<sub>2</sub>圧縮機の腐食原因、漏洩時の人的被害の観点から、水銀除去が必要

### 排ガス組成(サクソンベール炭)

		通常燃焼時	酸素燃焼時 (循環比:0.75)
ガス組成	水分濃度	8.1	29.6 %
	ダスト濃度	3.1	5.9 g/m <sup>3</sup> N
	SO <sub>2</sub> 濃度	353	1453 ppm
	SO <sub>3</sub> 濃度	8.6	70.8 ppm
	O <sub>2</sub> 濃度	3.6	6.6 %
	HCl濃度	13.7	46.1 ppm

・酸素燃焼/排ガス循環運転により、水分、SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>、HCl濃度が高濃度化

図 III.2-10 酸素燃焼システムフローと排ガス組成

図 III.2-11 にサクソンベール炭を通常(空気)燃焼及び酸素燃焼し、各機器の水銀濃度を測定した結果を示す。酸素燃焼時は、脱硝触媒入口及び集塵器入口部の水銀酸化率が増加していることが分かる。これは、酸素燃焼時は排ガス中の塩素濃度が空気燃焼時の13.7ppmに比べて46.1ppmと高くなっているため、水銀の酸化反応が進行したためと考えられる。

また、集塵器及び脱硫装置における酸化状水銀の除去挙動は、空気燃焼と同じ挙動を示すことが確認できた。

これらの結果より、酸素燃焼時においては、排ガス中の塩素濃度が高くなるため、通常燃焼時に比べて高い水銀除去率が得られると考えられる。

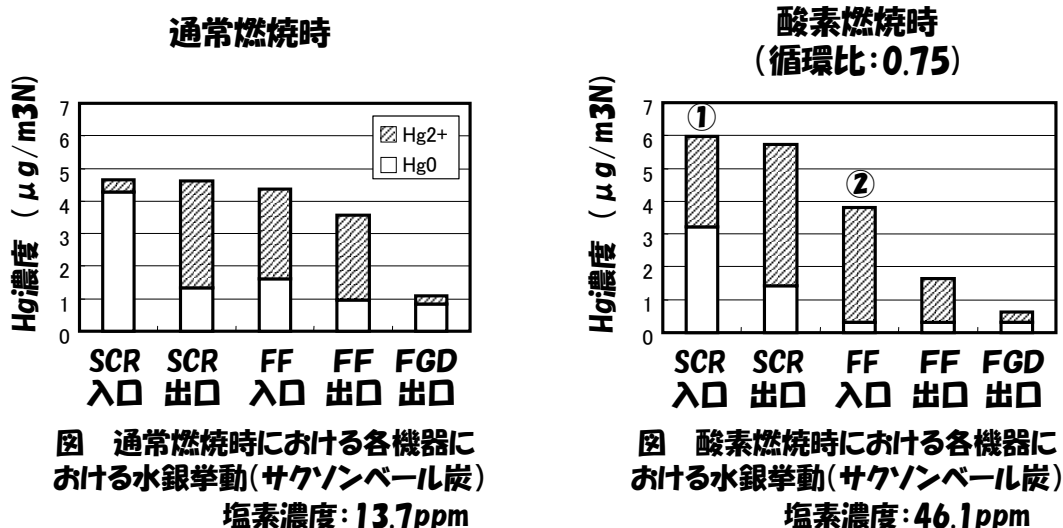


図 III.2-11 酸素燃焼時における水銀挙動

### 2.3 廃水処理技術の開発 (再委託先: 鹿児島大学)

上記のように排ガス中に含まれる微量有害元素(主に水銀)は、一部は灰に付着し、集塵器で灰と共に除去され、また、大部分は湿式脱硫液に吸収し、除去することとなる。そこで、石炭灰からの微量有害元素の溶出防止方法及び脱硫廃水からの微量有害元素除去方法について検討した。

#### a) 脱硫排水中の水銀等有害微量元素の分析と廃水処理技術の開発

小型炉燃焼試験で得られた6種の脱硫廃水を用いて溶液中に溶存する Hg, As, Se, B およびその他元素の分析を行った。B については、海域への排水基準(230mg/L)は満足しているが、それ以外への排水基準(10mg/L)は超過するケースがあった。また、Hg, Se についても排水基準 (それぞれ 0.005mg/L と 0.1mg/L)を超過するケースがあった。

そこで、キレート繊維を用いた有害元素の吸着除去を検討した。試験は、上記脱硫廃水を模擬した模擬廃水に L/S=80 でキレート繊維を添加し、30分振とう後、水相中の B, Hg, Se 濃度を測定した。図 III.2-12 に各元素の除去率を示すが、B と Hg は効果的に除去されたが、Se はほとんど除去されなかった。今回用いたキレート繊維は Se(VI)の除去能力を有するはずであるが、模擬廃水中には Se(VI)(SeO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)と類似の構造をもつ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が大過剰に含まれるため、Se(特に Se(VI))除去が妨害されたと考えられる。

そこで、Se(VI)を光触媒還元により Se(0)にして除去する方法について検討した。模擬廃水中に、TiO<sub>2</sub> 粉末(光触媒)0.2g/L 及びギ酸(正孔捕捉剤)を添加し、光強度 35-40W/m<sup>2</sup> で紫外線を照射し、所定時間経過後に水相中の Se 濃度を測定した。その結果、ギ酸を 10mM 添加した場合、3時間ではほぼ Se が除去できることを確認した。

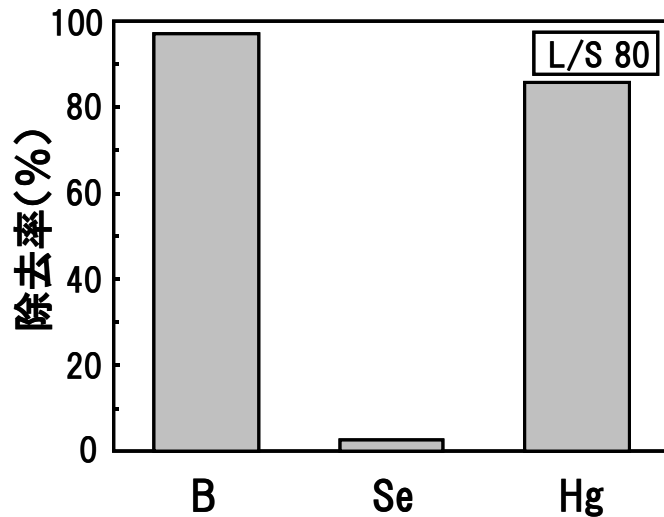


図 III.2-12 キレート繊維を用いた脱硫吸収液中の有害元素除去

b) 石炭灰からの有害微量元素の溶出挙動解析

小型燃焼炉試験等で得られた5種の石炭灰を用いて、環境庁告示46号の溶出試験を行った結果を表III.2-3に示す。ほとんどの石炭灰において、Bは土壤環境規準(1mg/L)を超過した。また、Seについては、1種のみ土壤環境基準(0.01mg/L)を超過した。しかし、埋立基準(Seは0.3mg/L, Bはなし)については、超過する元素はなかった。

米国の溶出試験であるToxicity Characteristic Leaching Procedure(TCLP試験)も合わせて実施した。TCLPの基準は、埋立基準値に比べて高く、基準値を超える元素はなかった。

石炭灰は、現在セメント分野への再利用、埋立処理などが実施されているが、土壤改良材への利用等といった農業分野への利用が検討されている。そのためには、土壤環境基準値をクリアする必要がある。そこで、石炭灰中の有害元素を除去する方法として酸洗浄法について検討した。

石炭灰試料と0.1M HClをL/S=8となるように投入し、振とう機を用いて室温にて3分間振とうした。濾過後、固相側を再度溶出試験を行った結果、B及びSeの溶出が大きく押さえられ、酸洗浄が有効な溶出防止策となることが分かった。

表 III.2-3 石炭灰からの溶出試験結果(環境庁告示46号)

溶出元素						単位 mg/L	
	A1-PR	A1-PA	A1-IL	A2-03	A2-04	土壤環境基準	埋立基準
As	N.D	0.007	N.D	N.D	N.D	0.01	0.3
B	1.3	96.2	73.3	161	82.6	1	
Cd	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	0.3
Cr	N.D	0.16	0.22	0.26	0.088	0.05(6価)	0.3(6価)
Hg	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.0005	0.005
Pb	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	0.3
Se	N.D	0.004	0.1	0.004	0.005	0.01	0.3



### 3. 最終目標の達成可能性

本研究の平成 22 年度末における最終目標は、水銀排出量  $3 \mu\text{g/kWh}$  を可能とする排煙処理システムを確立することである。この目標値に対し、これまで模擬ガスを使用したラボ試験を用いて排煙処理装置の各機器における基本的な水銀挙動を明確にした。また、上記結果に基づき、小型燃焼炉と排ガス処理装置を組み合わせ、カナダ炭を含む 3 炭種での実ガスでの水銀除去に関する評価試験を実施した。その結果、脱硝触媒、集塵器及び湿式脱硫装置から構成するシステムにより、水銀排出量を  $3 \mu\text{g/kWh}$  以下にできる見通しを得ることができた。

今後は、平成 21,22 年度において、燃焼・排煙処理装置を有する大型試験試験炉を用いた実証試験により、上記システムの有効性を確認し、最終目標値を達成できると考える。

### 4. 成果の意義

石炭焚火力発電所から排出される水銀は、北米だけでなく、近年、エネルギー使用量が急増している中国、インド等においても重要な問題となっており、これらの地域への技術転用可能なものである。

また、 $\text{CO}_2$  削減技術の一つとして注目されている酸素燃焼石炭焚火力においても、 $\text{CO}_2$  圧縮機の腐食原因及び圧縮ガス漏洩時の人的被害の観点から、水銀除去が必要であり、本研究はこれら次世代火力システムにおいても重要となる。

## 研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

### 1. 事業全体の成果

最終目標、中間目標及び現在までの研究開発成果のまとめを表 III.3-1.1 に示す。

表 III.3-1.1 本事業の最終目標、中間目標及びこれまでの研究開発成果

開発項目	最終目標	中間目標 (平成 20 年度末)	研究現状	中間目標に対する達成状況
システム検討	ガス化温度 900℃以下のガス化システム開発	ガス化温度 900℃以下のガス化システムの選定	最適なガス化炉、GT、ST の組合せを選定し効率を試算した	○
低温ガス化	ガス化温度 900℃以下の低温ガス化炉開発	ガス化温度 900℃以下の低温ガス化炉の選定	循環流動層+熱分解分離型ガス化炉を選定し、ラボスケール試験によりガス化効率の向上効果を確認した。	○
炉内流動解析	循環流動層粒子フラックスを 350 kg/m <sup>2</sup> ・s 達成装置の構築	循環流動層フラックス 200 kg/m <sup>2</sup> ・s 条件の達成、シミュレーション技術検討	コールドモデル試験により、フラックス 211kg/(m <sup>2</sup> ・s)を達成した	○
触媒ガス化	750℃触媒水蒸気ガス化プロセスの構築	850℃における触媒水蒸気ガス化プロセスの構築	4 種の触媒において 850℃以下で高活性特性を示すことを確認した	○

### 2. 研究開発項目毎の成果

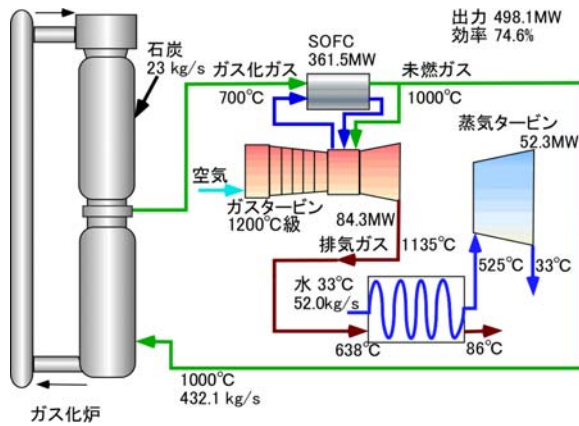
#### (1) システム検討

##### ① 効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討 (産総研)

様々な炭種対応のため、システム解析条件の投入石炭量を 667MW(HHV)に統一し、石炭を亜瀝青炭とした場合について、「低温ガス化」での分析結果を用いて IGCC、A-IGCC を分析した。700℃の水蒸気 16.4kg/s を供給し、ガス化炉温度 800℃、部分酸化炉温度 950℃で量論比の酸素供給を行った場合、オートサーマル条件にするにはガス化炉に 41MW の入熱が必要であるが、1700℃級の A-IGCC ではガスタービン排気温度が高いため、排熱でこの入熱を賄えることが示された。

ガス化の原料石炭を亜瀝青炭とした場合について、IHI 二塔式循環流動層ガス化炉を用いた IGCC と A-IGCC の性能の変化を圧縮機やタービンの空力性能や熱交換器性能の向上を想定して調べた。その結果、以下のことが分かった。Autothermal 条件の IGCC システムでは、空力性能向上により、発電効率は 50%を超えるポテンシャルがある。A-IGCC は、空力特性を向上し、ピンチポイント温度差を 15℃にすると、1700℃級で効率 60%超のポテンシャルがある。A-IGCC の方が噴流床ガス化を用いた IGCC システムに対しても効率が高い。また A-IGFC に関連して SOFC のモデル

の改良に取り組んだ。



ガス化炉をオートサーマル条件とするためのガス化炉への入熱41MWは、GT出口ガスにより供給可能。1500°C級A-IGCCに対して、タービン入り口温度上昇に対応して圧力比を増大した。最終的に、酸素製造動力込みの効率で56.0%となる。

図 III.3-2.1 A-IGCC システムの計算条件

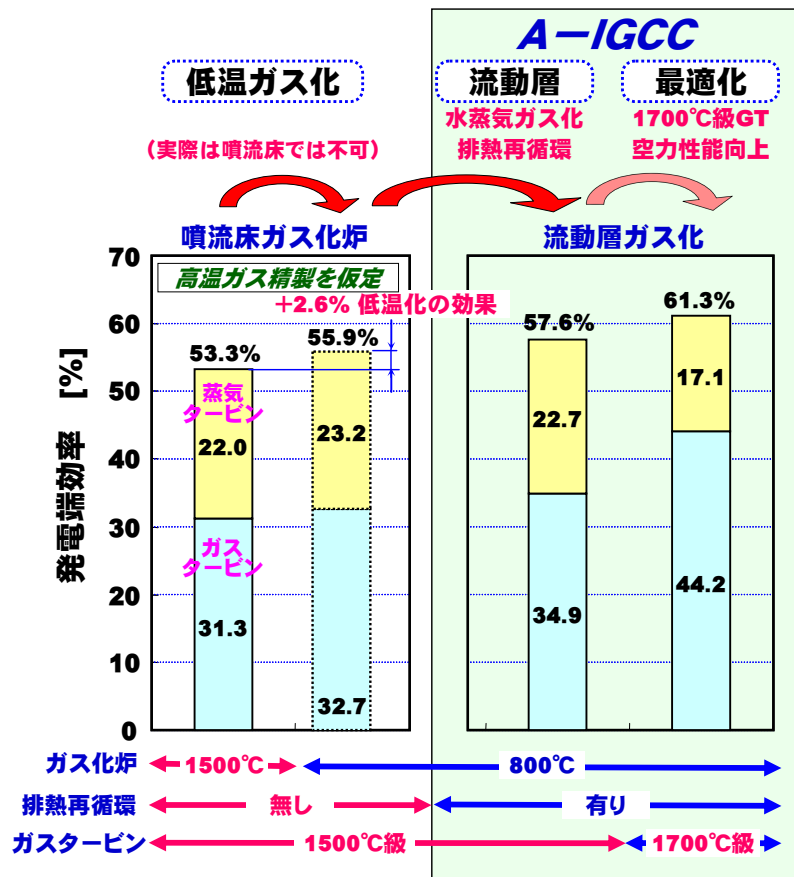


図 III.3-2.2 A-IGCC システム出力の計算結果及び各種ガス化との比較

(2) 低温ガス化

① 流動層を利用した水蒸気ガス化の基礎プロセス開発 (IHI)

蒸気ガス化における阻害効果を、文献調査と数値解析により評価した。また、低温ガス化による水蒸気ガス化特性を把握するため、常圧流動層ラボガス化試験装置を用いてバッチ試験を実施した。熱分解炉を模擬する反応管（ヒータ加熱炉）を設計・製作し、熱分解炉をラボガス化試験装置の前段に設置して熱分解とガス化を分

離する装置を製作し試験を実施した。さらに、現有の常圧循環流動層型小型ガス化炉の加熱ヒータ、フィーダ、バルブなどの保守点検を実施した。

チャーの水蒸気ガス化反応は、ガス化によって発生したタールや揮発分等によって阻害されることが分かっている。数値解析ソフトにより、流動層ガス化条件における阻害効果の評価を行った。数値解析ソフトとしては、石炭の熱分解および水蒸気ガス化反応の定量評価が可能な PC Coal Lab.(Niksa Energy Associates 社製)を用いた。計算の結果、熱分解ガスの分離により水蒸気ガス化反応の速度が向上し、50%炭素転換率を得るための滞留時間が 40%程度低減可能なことが分かった。常圧流動層ラボガス化試験装置を用いた試験を行ったところ、熱分解過程の条件により水蒸気ガス化反応速度の向上効果が見られない場合もあることを明らかにした。これら結果より、ダウンナー熱分解炉に必要な条件を検討した。

また、ガス化特性に対する水蒸気濃度の影響の把握、及び熱分解炉の仕様についての検討に着手した。

## ② 水蒸気ガス化およびチャーの燃焼の基礎研究 (産総研)

常圧二塔式循環流動層水蒸気ガス化連続試験で、アダロ炭ガス化速度の温度依存性を明確にした。また、珪砂または多孔質アルミナ粒子を流動媒体として用いた循環流動層ガス化試験で、多孔質アルミナ粒子を用いることで、ガス化時に生成したタールが迅速に吸収され、これがガス化炉内にてガス化されるため、珪砂の場合よりもガス転換率と水素収率が向上することを明らかにした。また、加圧雰囲気下での石炭とチャーの水蒸気ガス化速度を測定した。さらに、二塔式ガス化炉のチャー燃焼炉におけるチャーの燃焼速度を調べるため、これを模擬する加圧流動層燃焼装置を製作した。

ラボスケールの常圧二塔式循環流動層を用いて、亜瀝青炭の水蒸気ガス化連続試験を実施した。アルミナを用いた場合、タールがほぼ全てアルミナに吸収されるため、ガス化炉と燃焼炉から排出される炭素含有ガスから求めた物質収支は極めて良好であった。タールはコーキングされながら改質されるため、珪砂の場合に比べてガスへの転換率は向上した。タールの改質は温度に依存し、900℃においてはコークの改質によりガス収率は約 20%向上した。また、熱分解炉を併設した循環流動層ガス化反応器を試作し、熱分解とガス化反応場の分離によるガス化促進効果を検証した。反応場の分離により、ガス化はやや促進されることを明らかにした。なお、反応温度、圧力及び滞留時間の影響など、スケールアップに必要なデータの集積、及びシステム検討による検証などの検討も着手した。

さらに、二塔式流動層ガス化炉における高速燃焼炉に着目し、亜瀝青炭チャーの燃焼における温度、圧力および粒径の影響について、加圧流動層燃焼炉を用いて実験的に検討した。結果として、チャーの燃焼完結時間は、圧力が高いほど、温度が高いほど、粒径が小さいほど速くなる。初期燃焼速度は、粒径が大きいと圧力が高いほど速くなるが、温度が高くなるに連れて、その影響は小さくなる。0.5~1.0mm

のような細かい粒子では、圧力の影響はほとんど生じなかった。圧力：0.5MPa、粒径：0.5～1.0mm の条件でも、50%の燃焼には、20 秒程度必要となる。なお、加圧循環流動層による燃焼実験の実施、及びシミュレーションによる検証なども始めた。

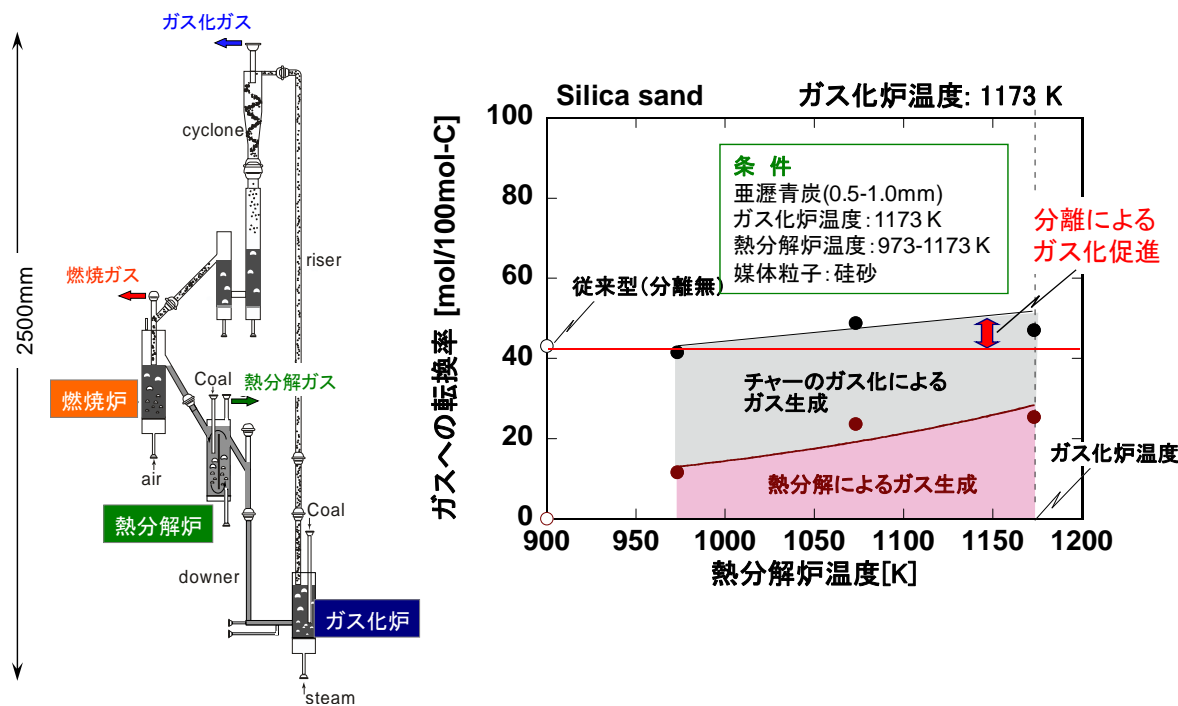


図 III.3-2.3 熱分解炉とガス化炉の分離によるガス化促進の一例

- ③ 石炭迅速熱分解により生成した揮発成分の媒体粒子ならびにチャー粒子表面における in-situ 接触分解に関する基礎研究 (北大)

熱分解で生成するタールを含む揮発成分の接触分解特性を石炭の迅速熱分解条件から独立させて追跡するため、石炭迅速熱分解反応器の直下流に固定層反応器を備えた試験装置を製作した。これを用い、下流の固定層反応器に予め 800℃の流動層反応器で調製したチャー粒子を充填し、充填粒子表面における接触分解特性を 750、800 および 850 °C、接触時間 0.14 s で調査した。また、上流のドロップチューブ／固定層反応器での褐炭熱分解により得られたチャー収率はほぼ一定で、下流の固定層反応器に供給された揮発成分の濃度は温度によらず一定であることを確認した。さらに、タールはチャー充填層温度が高いほど分解し、800℃での重質タールの収率は 0.1mol-C/100mol C-coal sample まで低下、さらにチャー粒子表面でコーキングが進行しても、充填チャーに対する供給石炭の質量比が～1.5 の範囲では、ほぼ定常的に重質タールが分解することを確認した。

炭化水素ガスやタールを高濃度で含む揮発成分は、チャーの水蒸気ガス化を著しく阻害するので、ガス化速度向上のためには石炭の熱分解とチャーガス化を分離することが望ましい。そこで、石炭の迅速熱分解によって生成した揮発成分のチャー

粒子あるいは流動媒体粒子表面における in-situ 分解特性を実験室規模の反応器において模擬し、得られた知見をもとに熱分解工程における揮発成分のタールフリー化、すなわち、チャー・コークとタールフリーガスを併産する熱分解工程の可能性を検証することを目的とした。ドロップチューブ/固定層-固定層二段反応器を用いて、褐炭の熱分解揮発成分のチャー粒子表面における改質特性を調査した。さらに、タール分解特性に及ぼす粒子供給時間の影響や液体クロマトグラフィーによる生成物中の多環芳香族化合物の高感度分析手法の確立を目指した。その結果、チャーとの接触によりタールは主としてコークへ転換し、900℃ではチャーガス化を伴いながら難分解成分であるベンゼンおよびナフタレンの収率をそれぞれ 0.01 および 0.001%-C まで減少できることを見いだした。

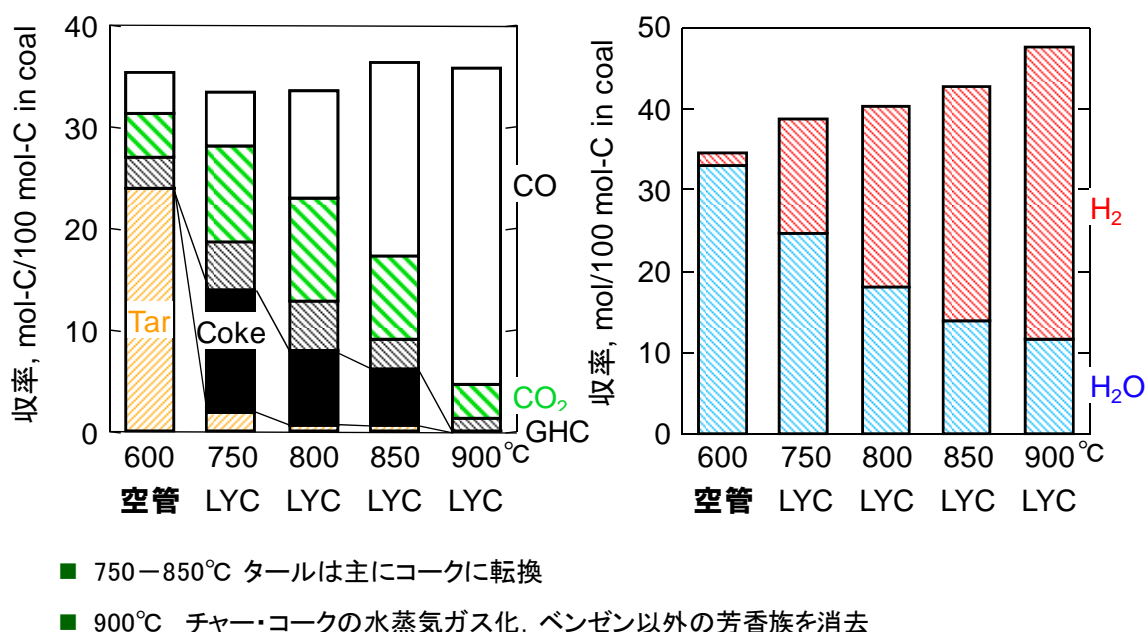


図 III.3-2.4 チャーによるタールの改質結果

### (3) 炉内流動解析

#### ① コールドモデルによる高速高濃度粒子循環システムの開発 (産総研、東大)

各操作因子 (粒子循環速度・圧力損失・滞留時間分布など) の測定方法を検討した。本プロジェクトで製作する二塔式循環流動層型ベンチスケールホットモデルを想定したコールドモデルの設計と試作を行い、各操作因子の影響について調べた。石炭熱分解で生成する揮発分をチャーと分離することを想定して、ダウンカマーおよびダウンナーの構造を検討した。また、ダウンナーを流動層上部に設置できる構造とした装置の設計・試作を行い、ダウンナー内の粒子の流動特性について調べた。

平成19年度設計および試作を行った二塔式循環流動層コールドモデルを用いて、基本流動特性を実験的に検討した。その結果、ライザーガス流速  $u_{gr}=6.0$  m/s, 気泡流動層ガス流速  $u_{gb}=3.0 \times 10^{-2}$  m/s ( $u_{gb}/u_{mf}=5.2$ ) の条件において最大の  $G_s$  (=116

kg/(m<sup>2</sup>s)) を得た。さらに、ライザーの静圧分布から粒子ホールドアップを求め、ライザー部分の $\epsilon_s \leq 0.04$ であり、希薄層の形成がみられたことがわかった。

ライザーガス流速  $u_{gr} = 8.0 \text{ m/s}$ , 気泡流動層ガス流速  $u_{gb} = 3.0 \times 10^{-2} \text{ m/s}$  ( $u_{gb}/u_{mf} = 5.2$ ), シールなしの条件において最大のGs (=211 kg/(m<sup>2</sup>・s)) を得た。また、粒子インベントリー ( $I_s$ )=49.1 kg, ダウナーのガス流速  $U_{gd}=1-3 \text{ m/s}$  の条件でダウナーの粒子分散器を安定運転し、気固分離器の分離効率 $98.2-99.6\%$  を達成した。さらに、気固流動層とライザーの間のシール部の構造を改良し、循環流動層は高流速条件において安定運転できるようになった。

そして、得られた知見をもとに、実機の大きさ並びに1/10スケールの大型コールドモデルの大きさについて設計を行った。さらに、大型コールドモデルの試作と建設の準備を行い、多量循環システムの課題解明、及び高濃度粒子の実証のための準備も着手している。

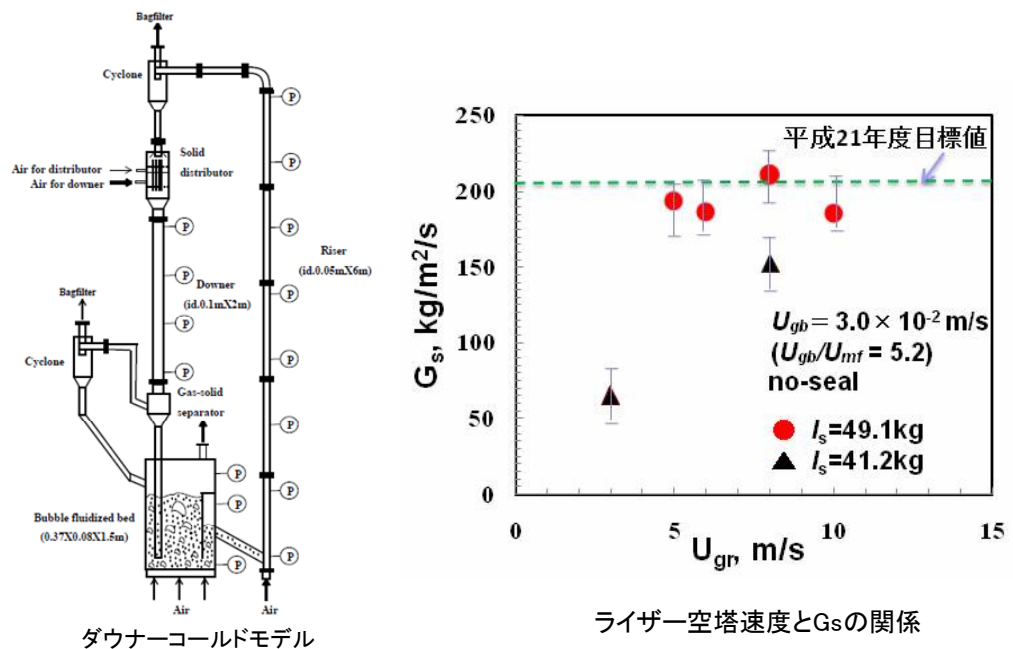


図 III.3-2.5 コールドモデルを用いた流動媒体の循環システムの検討結果

② 高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション (阪大)

二成分系流動層に対する流体力モデルの検討と検証実験を実施した。また、粒子数900万個の3次元大規模流動層に対する並列計算を可能にし、3次元流動層に対する検証用実験装置を作成して粒子流動化挙動に対する検証実験を行った。さらに、計算コードに固体境界の幾何形状の表現に対して自由度を大きくする手法を導入し、

伝熱管などの内挿物の表現を可能とした。これにより容器形状に対する自由度拡大の見込みがあった。

DEM-CFDカップリングモデルによる数値解析に対してIB法を適用することにより、コールドモデルで採用されているガス化炉への粒子供給を行う鉛直内挿管の境界条件を表現し、ガス化炉内の流動解析を行う計算コードを開発した。本計算コードを用いて試行的な計算を行い、ガス化炉におけるガス化効率を評価する上で重要となる粒子のガス化炉内での滞留時間分布を分析した。計算を行った条件の範囲内で、設計値に比べて非常に短い滞留時間を有する粒子が存在することが確認された。

#### (4) 触媒ガス化

##### ① 石炭担持型高活性触媒の探索と回収技術の構築 (東北大)

###### a. 金属イオン担持石炭の調製法の開発

Loy Yang 褐炭 (0.25-0.50 mm)、イオン交換水、 $\text{CaCO}_3$  または  $\text{KCl}$  粉末を用いて、常温常圧下で  $\text{Ca}^{2+}$  あるいは  $\text{K}^+$  と褐炭中の  $\text{COOH}$  基のイオン交換により、金属イオン担持炭が調製できることを確認した。 $\text{CaCO}_3$  から導入される  $\text{Ca}$  量は  $\text{KCl}$  の有無に依らないが、一方、 $\text{K}$  担持量は  $\text{KCl}$  単独時より  $\text{CaCO}_3$  共存下で大きくなり、 $\text{CaCO}_3$  と  $\text{KCl}$  を同時に使用すると、 $\text{K}$  量の多い  $\text{Ca/K}$  共担持炭が製造できることを見出した。Adaro 炭 (0.25-0.50 mm) の場合にも、ほぼ同様な結果が得られた。

###### b. 金属イオン担持褐炭のガス化反応性の評価とその状態解析

石英製固定床反応器を用い、常圧の 100 %  $\text{CO}_2$  または 50 %  $\text{H}_2\text{O}/\text{He}$  中 750°C でガス化を行ったところ、触媒効果はいずれのガス中でも  $\text{K} < \text{Ca} < \text{Ca/K}$  となり、特に、 $\text{CO}_2$  中では  $\text{Ca}$  と  $\text{K}$  の相乗効果が出現し、チャー基準の転化率は 90% に達した。 $\text{Ca/K}$  共担持残査チャーの X 線回折測定によると、 $\text{Ca}^{2+}$  は  $\text{CaO}$  に変化し粒子凝集によりその平均結晶子径は 30 nm 前後と大きくなったが、これに対して、 $\text{K}$  種に由来する回折線は全く観測されなかった。 $\text{Ca/K}$  触媒の作用機構の解明が今後の課題である。

共通試料である亜瀝青炭を主に使用し、天然ソーダ灰水溶液を用いる  $\text{Na}$  イオン交換条件の最適化を行い、75 - 150  $\mu\text{m}$  の粒径と 30°C の溶液温度では、1.5 mass% の  $\text{Na}$  を担持することに成功した。次に、固定床反応器を使用して、この  $\text{Na}$  担持炭を常圧 700°C で水蒸気ガス化したところ、チャー転化率は反応時間 0.5、1.0、2.0 h でそれぞれ約 50、75、100% に達し、イオン交換  $\text{Na}$  が少ない量で大きな効果を発揮することが実証された。 $\text{Na}$  触媒は、チャーが 50% ガス化された時点でも、X 線回折測定で検出できないほど微細に分散しており、これが高い活性を発現した要因と結論できる。このように、低コストの天然ソーダ灰が、亜瀝青炭のガス化触媒として非常に有望であることが明らかとなった。



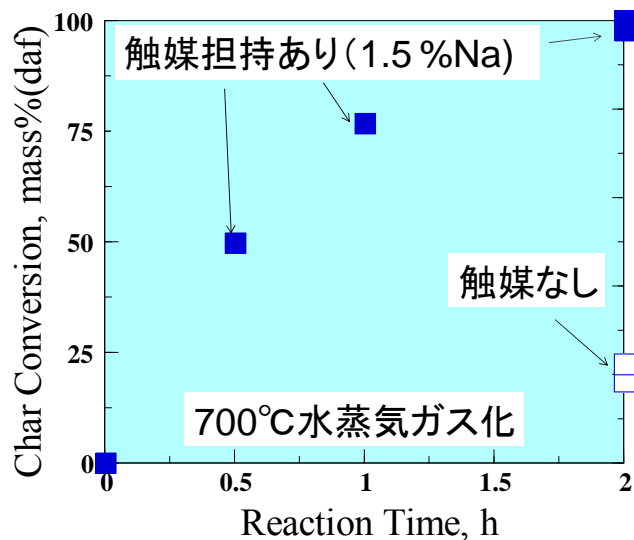


図 III.3-2.6 天然ソーダ灰を利用した Na 担持炭の低温ガス化反応性

② 低コスト鉱物資源ガス化触媒の探索と利用法の構築 (群馬大)

Ni精錬における工程液 (Ni粗製液) による褐炭へのNi担持を検討し、1ppm程度の希薄な溶液からでも褐炭への担持が可能であり、担持されたNiが石炭ガス化を触媒することを明らかにした。また、無電解ニッケルめっき廃液を用いた場合においても、同様な挙動を明らかにしたが、この場合、含有される亜リン酸がイオン交換担持を阻害することが明らかになった。さらに、Ni精錬工程液および無電解ニッケルめっき廃液からNiを褐炭に担持可能であったことから、褐炭を用いることによりNiを容易に濃縮できることが確認できた。

低コストかつ高効率な触媒ガス化を実現する方法として、褐炭および亜瀝青炭に、Niの湿式精錬工程液およびNiめっき廃液を用いて、Niをイオン交換担持し、高分散状態のNiによる接触ガス化について検討した。その結果、湿式精錬工程液やNiめっき廃液からもNiを担持可能であること、また、亜瀝青炭でも十分にイオン交換担持可能であることを明らかにした。また、Niめっき廃液を用いた場合においては、担持の際、共存するリン酸が担持を阻害するものの、その後のガス化活性にはリン酸はほとんど影響せず、試薬や湿式精錬工程液を用いて担持した場合と同様、高い活性を示すことが明らかになった。

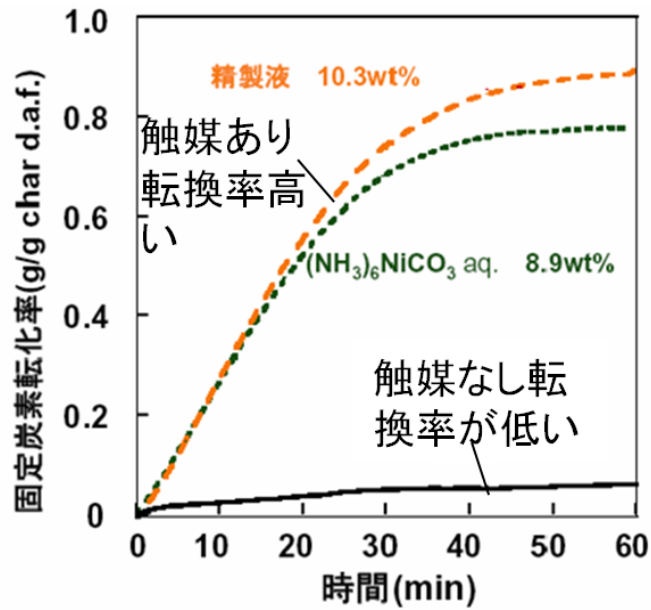


図 III.3-2.7 Ni 精錬廃液を利用した Ni 担持炭の低温ガス化反応性 (500°C)

③ 担持型高活性ガス化触媒の探索と鉍物，触媒分離を含むガス化プロセスの構築

(九大)

様々な担持触媒の石炭ガス化特性を調べるため、まず、流動層ガス化装置を立ち上げ、動作を確認した。次に、メソ細孔性アルミナ触媒がガス化特性に与える影響を検討するため、細孔構造の異なるアルミナに  $K_2CO_3$  を高分散し、石炭（アダロ炭）燃焼挙動を調べた。その結果、細孔容量が小さくなるにつれ燃焼温度が低下することがわかった。さらに Mn 系 Perovskite 担体の物性と触媒作用との相関を調べるために、組成の異なる 3 種類の Perovskite 担体を調製し、その構造を分析した。

700°C 以下のガス化の実現するために、反応速度の向上（反応時間又は石炭/触媒量）、高活性及び 30 分以内にガス化目標値を達成できる触媒の高性能化を目指し、ペロブスカイト担持型ガス化触媒の設計、調製及び性能評価を行った。ガス化性能に対し担体のマンガン含有量、及び担体の細孔径の影響を調べたところ、マンガンの含有率が 18% の  $LaMn_{0.8}Cu_{0.2}O_3$  担体を用いた 10%  $K_2CO_3$  担持触媒は、10 分と 60 分のガス化で各々 55% と 91% のガス化転換率を示した。ナノ繊維状の単位構造を持つメソ孔性アルミナ担体触媒は同一条件で各々 43% と 62% の転換率を、無触媒の条件では同一条件で各々 39% と 51% の転換率を示した。

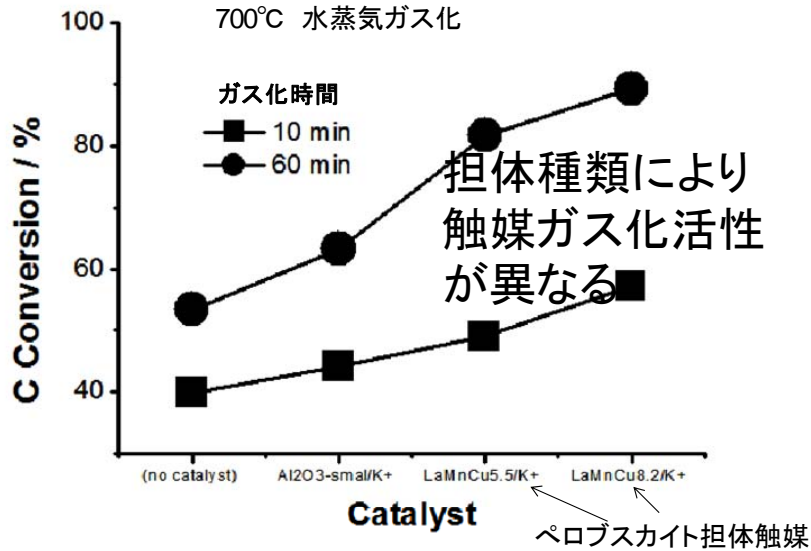


図 III.3-2.8 各種往還型触媒を利用した石炭低温ガス化反応性

④ ケミカルループを利用するカルシウム系ガス化促進剤の開発と

低温ガス化プロセスの構築 (JCOAL)

世界の主なケミカルループ石炭ガス化プロセスについて最近の研究開発動向を調査した。その結果、ケミカルループ石炭ガス化プロセスは我が国のものを含め4種類あり、実験室規模からパイロット規模まで世界中で盛んに研究が進められていること、また石灰石をCO<sub>2</sub>吸収剤として利用し石炭から水素を製造するプロセスは、日本と欧州で開発が進められていることが明らかになった。さらに、ケミカルループ石炭ガス化によるCO<sub>2</sub>回収水素製造の原理、石炭利用の効率アップ及び低温ガス化の可能性を検討した。その結果、ケミカルループ石炭ガス化を利用すれば、低い反応温度でもCO<sub>2</sub>回収とともに水素の高効率な製造が可能なることを明らかにした。

カルシウム系ガス化促進剤を用いたケミカルループ石炭ガス化システムの実用性を向上させるため、CaOの水酸化及び未反応のまま排出されるCa(OH)<sub>2</sub>の分解の繰り返し反応時におけるCaOの反応性及び物性（結晶及び圧縮強度）の変化を調べた。CaOの水酸化及びCa(OH)<sub>2</sub>の分解の転換率がほぼ100%に達成し、繰り返し反応の影響はほとんど見られなかったが、CaOの水酸化反応速度が繰り返し反応とともに徐々に低下した。繰り返し反応によりCaO結晶が大きく成長したのがその原因と考えられる。また、繰り返し反応によってCaO粒子の強度は低下する傾向を示したが、20回繰り返し反応してもなおガス化炉内の流動に耐える15kg/cm<sup>2</sup>（チャーの強度と同程度）があることが確認された。

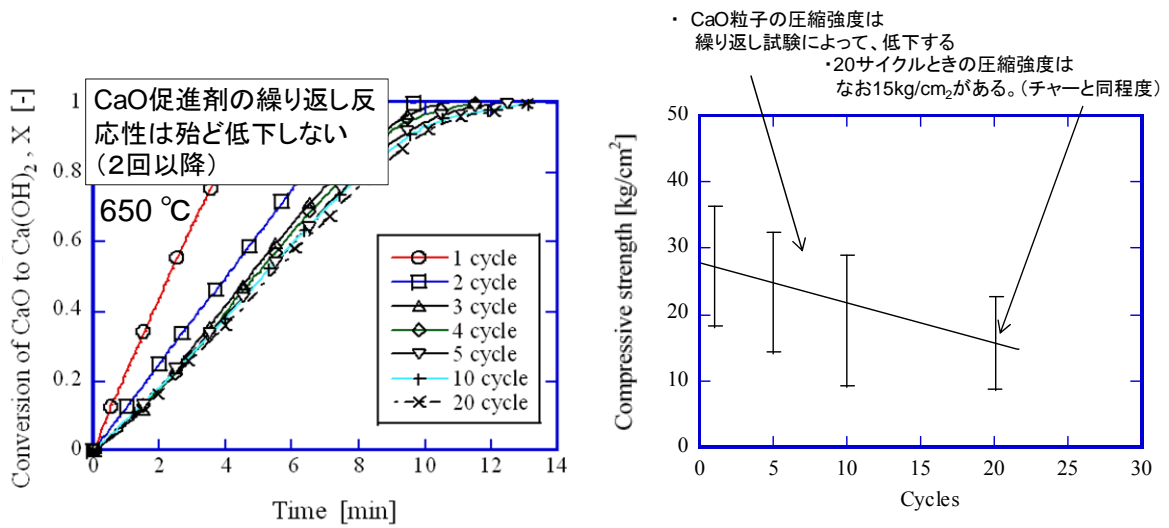


図 III.3-2.9 ケミカルループガス化促進剤の繰り返し反応性及び粒子強度変化

## IV. 実用化，事業化の見通し

### 研究開発項目①「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」

#### (1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積

##### 1. 成果の実用化可能性

表 IV-1-1 成果の最終目標の達成可能性

項目	最終目標	達成見込み	課題と進捗
コールバンクの拡充	石炭データ： 109炭種 微量データ： 109炭種	○	コールバンクのデータベースのさらなる拡充を目指し、コールバンクの既存一般分析に加えて、産総研法による微量成分分析を行いデータベースの更なる拡充を産総研との共同実施にて進める。
石炭中微量成分の分析手法の規格化	ISO規格提案	○	AIST法による国際標準の確立のために、国際ラウンドロビンテスト等を通じ、精度、再現性、操作性等の検証を順次進める。 必要な他の組織とも共同して、石炭中微量成分の分析方法の標準規格制定（ISOまたはJIS）に向けた作業を継続する。
ガス状ホウ素・セレンの規格化	ISO規格提案 JIS規格提案	○	ガス状ホウ素の測定法に関しては、NWIが採択された場合、採択されなかった場合のそれぞれの対応を行うとともに、日本工業規格（JIS）への提案に向けて、必要なデータを蓄積し、規格化を目指す。 ガス状セレンの測定法については、データを蓄積し、開発した測定法を平成23年度までにISOへの提案を図る。

##### 1.1 コールバンクの拡充

コールバンクのデータベースのさらなる拡充を目指し、コールバンクの既存一般分析に加えて、産総研法による微量成分分析を行いデータベースの更なる拡充を進める。石炭としては CCT の国際展開を考慮して低品位な炭種や微量元素含有量の多い炭種を 9 炭種新たに選定してデータの蓄積を行う。微量元素は残りの 6 9 炭種についてデータの蓄積を行う。

また、コールデータバンクのデータベースのフレーム構築、管理、公開、改定などを行っているが、既存のデータベースに微量成分のデータを加えるに際してのデータ構造、公開に際しての条件やセキュリティーの検討を進めるほか、分析条件に関する格納、取り出し形式等について入れ込みを行う。

なお、コールデータベースについては、微量成分の分析が蓄積され、技術的にも問題ないと判断される時期に内容や方法を関係機関と協議して公開する予定である。

##### 1.2 石炭中微量成分の分析手法の規格化に資するデータ蓄積

(独)産業技術総合研究所で開発された石炭前処理法と誘導結合プラズマ(ICP)法を組み合わせた独自の石炭中微量成分の分析方法による国際標準の確立のために、国際ラウンドロビンテスト等を通じ、精度、再現性、操作性等の検証を順次進める。国際標準化機構(ISO)が制定する工業標準のうち、固体鉱物系燃料の審議制定は、TC27 技術

委員会でを行うが、日本側は、日本工業標準調査会(JISC)の委託を受けた、石炭・コークス規格委員会が JCOAL を事務局とし活動している。引き続き石炭中微量成分の分析方法の標準規格制定 (ISO または JIS) に向けた作業を継続する。

### 1.3 ガス状微量成分の高精度分析手法の開発

ガス状ホウ素の測定法としては、開発した高精度測定法を ISO の NWI に提案しており、採択された場合、ISO 規格へ提案する。また、採択されなかった場合は、日本工業規格への提案も視野に入れ、標準化に向けた活動を続ける。

ガス状セレンについては、高精度な測定法の見通しを得ており、標準化に必要なデータを蓄積し、平成 23 年度までに、ISO の NWI へ提案できる見通しである。

## 2. 今後の展開

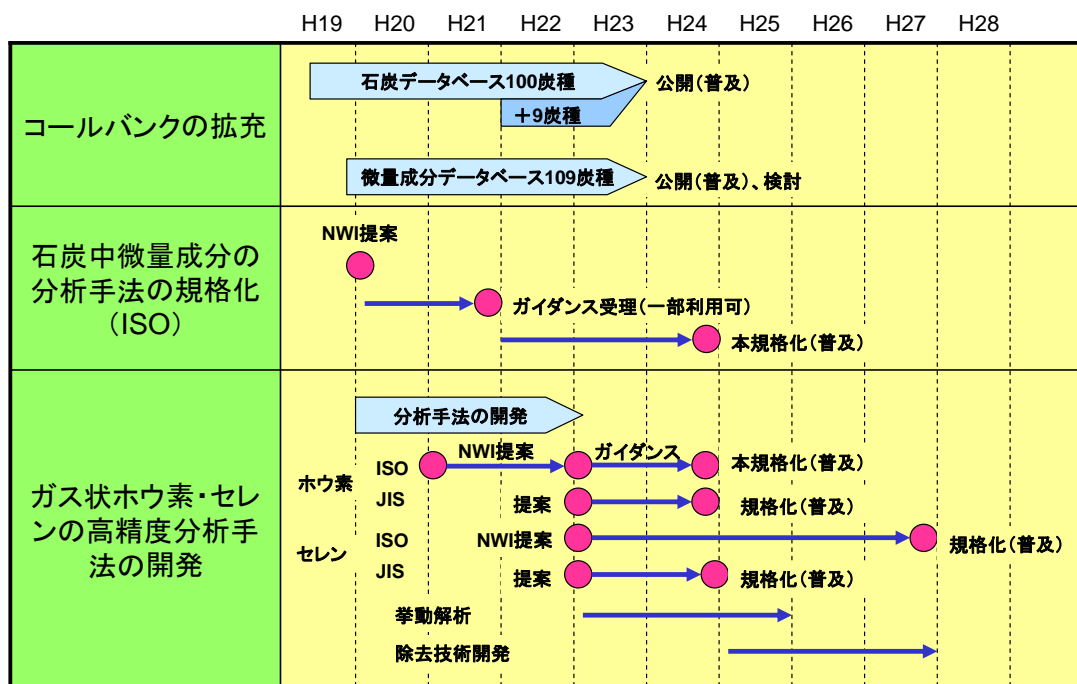


図 IV.1-2.1 開発と実用化のスケジュール

表 IV.1-2.2 今後の方向性

1. 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積の推進
  - ・コールバンクの拡充
  - ・石炭中微量成分分析手法の規格化
  - ・ガス状ホウ素・セレンの高度分析技術の開発
  - ・国連環境計画の水銀パートナーシップへの対応(H21、追加)
2. 排ガス内のホウ素、セレン挙動の調査(H22、追加)

### 2.1 コールバンクの拡充

コールバンクの利用状況については以下のとおり

(1) コールバンクデータベースへの登録ユーザー数 407ユーザー

(2) 試料提供件数

平成 17 年度：220 検体 平成 18 年度：181 検体

平成 19 年度：458 検体 平成 20 年度：202 検体

一般分析値のデータベースについては、JCOALに所定の申込をしたうえでパスワード発給を受け、ウェブサイトからアクセス可能である。現在拡充を行っている微量成分の分析データが蓄積され、技術的にも問題ないと判断される時期に内容や方法を関係機関と協議して公開する予定である。

コールバンクの標準試料については、Brain-CのフォローアップとSTEP-CCTの研究用に限り出荷しているのが現状である。そのため、試料数は限定された数字になっている。プロジェクト終了後、上記のデータベース公開と併せて、可能な時期が到来した時点で標準物質としての公開を視野に入れ準備を行う。

## 2.2 石炭中微量成分の分析手法の規格化に資するデータ蓄積

ISO/TC27(Solid mineral fuels)技術委員会において、本プロジェクトで標準化活動を行った石炭中微量元素の分析ガイダンスは、2008年10月に発行された。

(ISO23380:2008 “Selection of methods for the determination of trace elements in coal, October 2, 2008.)

これにより石炭中微量元素の分析方法の公定法制定への道筋が開け、今後のJIS規格およびISOの本規格の制定に向けた標準化活動の基盤が与えられた。

今後、コールバンク保有炭についてISO23380による微量成分分析を行い、コールバンクデータベース化するとともに、国際ラウンドロビンテストへの対応を含め、分析手法の規格化に資するべくデータの有効利用を図り、石炭中微量成分の分析方法の標準規格(ISOまたはJIS)を早期に制定するべく活動を行う。

## 2.3 ガス状微量成分の高精度分析手法の開発

ガス状ホウ素の測定法に関しては、NWIが採択された場合、ISOの規格提案に必要な測定の不確かさなどのデータを蓄積し、ISOの規格へ提案する。また、NWIが採択されなかった場合は、採択されなかった原因を検討すると共に、日本工業規格(JIS)への提案に向けて、必要なデータを蓄積し、規格化を目指す。

ガス状セレンの測定法については、ISOへ提案するため、サンプリング時に付着したセレンの回収方法の確立、測定法の精度検証など、国際標準化に向けたデータを蓄積し、開発した測定法を平成23年度までにISOへの提案を図る。

## 2.4 国連環境計画の水銀・石炭パートナーシップへの対応

現在、国連環境計画の水銀パートナーシップが国際的な水銀対策について議論を取り纏めており、そのうちの石炭部門である石炭パートナーシップは、国際エネルギー機関(IEA) Clean Coal Centreが主催している。IEAは、国際的な水銀専門家の研究会である水銀専門家会議(MEC)などの場で、水銀についての国際的な規制手法とその評価方法、普及方法などについて議論・検討しており、今後は水銀以外の微量元素についての検討も行う。

そこで、それらの石炭パートナーシップや、その専門家会議への参加を通じて情報収集を行う。

## 2.5 排ガス内のホウ素、セレンの挙動の調査

分析手法の開発の目処が立ったことから、ガス状ホウ素、セレンの除去技術開発に向けて挙動解析技術の基礎検討を進める。



研究開発項目①「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」

(2) 高度除去技術

1. 成果の実用化可能性

カナダ，米国等では発電所から排出される水銀量の規制強化が進んでおり，本研究の成果をPRすることで，実用化の可能性は高いと考えられる。

また，石炭焚火力の増設が急ピッチで進んでいる中国，インド等においても本技術の転用が可能である。

2. 事業化までのシナリオ

2007～2009年度において，微量元素の高度除去技術に関する基本原理を明確にした後，2009～2010年度に大型燃焼炉を用いた試験により基本技術を確立する予定である。同時に水銀の規制強化が進んでいる北米等を対象とした実用化検討を実施し，2012年度以降において事業化を検討する予定である。

また，酸素燃焼を対象としたシステムにおいても，本研究成果をもとに，酸素燃焼システムが実用化されると考えられる 2015～2020年をターゲットとして事業化を図る予定である。

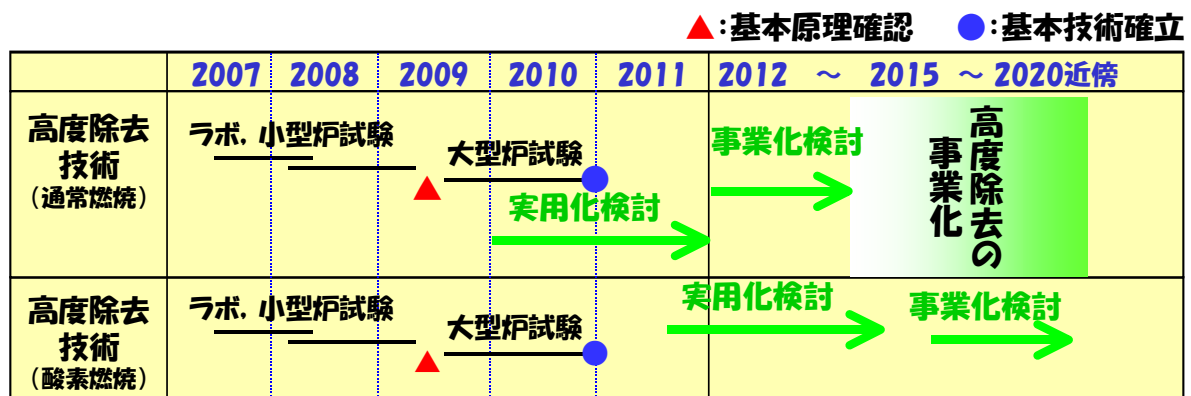


図 IV.2-1 事業化までのシナリオ

3. 波及効果

本研究は，石炭焚発電所から放出される石炭灰，脱硫石膏を利用する分野等にも関連するものである。

## 研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

### 1. 実用化の見通し

今の段階では 2030 年の実用化に向けて基盤技術研究の開発を進めている。図 IV-1 に事業化までのシナリオを示す。

2007-2012	2013-2018	2019-2023	2024-2028	2029-
<b>要素試験</b> 高濃度粒子循環流動層炉による低温ガス化の可能性追求	<b>ベンチ試験</b> プロセス確認	<b>パイロット試験</b> パイロットプラントによる連続試験(スケールアップの確認)	<b>実証試験</b> 実証機による連続試験(スケールアップの確認)	<b>商用化</b> 商用運転
常圧HOT試験	加圧HOT試験(0.1t/d)	加圧HOT試験(5t/d)	加圧HOT試験(150t/d)	(2000t/d)

図 IV.3-1 事業のマススケジュール

### 2. 今後の展開

#### (1) 低温ガス化に関連する基礎研究

- ・ 反応温度、水蒸気分圧、滞留時間などの操作条件を系統的に変化させることで、熱分解炉とガス化炉を分離した効果を定量的に把握し、スケールアップに必要なデータを集積する。
- ・ 溶剤抽出により生成した無灰炭の触媒水蒸気ガス化について、温度、触媒種を変えて無灰炭の触媒ガス化試験を実施し、最適な触媒ガス化条件を検討する。
- ・ チャーの燃焼については、2塔循環流動層の酸化炉における CO<sub>2</sub>回収を想定した CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>燃焼を模擬した循環流動層燃焼を行い、その挙動を調べる。
- ・ 実機で想定しているダウナーによる数秒間の迅速熱分解に近い条件を実験可能とする装置を試作し、基礎試験を行う。
- ・ IHI の 5kg/h 小型循環流動層ガス化炉に気泡流動層型熱分解炉を設置し、ガス化炉内の粒子、ガスサンプリングを行い、チャーの水蒸気ガス化反応に対する熱分解分離の効果を検証する。本結果をもとに、小型循環流動層ガス化炉に設置するダウナー型熱分解炉の検討を行う。

#### (2) 触媒ガス化及びケミカルループガス化

- ・ 低温熱分解時のタール改質とチャーガス化を促進するため、低コスト原料を用いて、アルカリ金属とアルカリ土類金属もしくは遷移金属とを組み合わせた高性能ナノコンポジット触媒の開発をおこなう。750℃前後で流動層触媒ガス化を行い、触媒性能を解明する。
- ・ 低コスト Ni 精錬工程の廃液を用いて触媒担持炭のガス化時及びガス化残渣中の触媒活性及び諸影響因子を解明する。また、低温ガス化で発生したタールの分解に対する触媒担持法の影響、触媒によるタールの二次分解反応挙動を解明する。
- ・ 回収可能な担体型触媒を開発するために、担体型触媒(ペロブスカイト系)の表面積、

Mn 含有量及び K 担持量の最適化を検討するとともに、低温流動床の水蒸気触媒ガス化を実施し、流動層触媒ガス化特性、及び触媒の回収率を調べる。

- ・酸化カルシウム吸収剤の熱輸送効果、ガス促進効果及びエクセルギー再生効果をプロセス全般から検討する。CO<sub>2</sub>回収が可能な CaCO<sub>3</sub> のカ焼法について、水蒸気により CO<sub>2</sub> 分圧を低下させる方法の検討を行う。また、CO<sub>2</sub> 吸収剤の物性変化を把握し、流動など粒子ハンドリングへの影響を評価する。

### (3) 熱媒体循環型低温ガス化炉の開発

- ・ベンチスケール循環流動層コールドモデルを用いて、粒子循環量、粒子の滞留時間分布、固気接触特性等の流動層特製を明らかにする。熱分解炉を模擬したダウンナー反応器を気泡流動層上部に取り付けて流動層特性を調べ、装置形式の最適化を行う。
- ・試作した大型循環流動層コールドモデルの粒子循環量、ダウンナー部、ライザーブ、及び気泡流動層中の粒子滞留時間分布、固気接触などの流動特性をさらに明らかにする。安定運転、大量粒子高濃度循環させるための最適化を検討する。

### (4) 高効率ガス化発電システムの解析

- ・A-IGFC について、最適化の検討を進める。SOFC, MCFC 等の高温型燃料電池を組み込んだガス化温度 900°C 以下のガス化プロセスの開発に向けて最適なシステムを検討する。
- ・A-IGCC、A-IGFC について、最適化の検討を進める。燃料電池、燃料電池ガス化タービンハイブリッドシステムの開発動向を調査するとともに、その結果を踏まえて SOFC、MCFC などの高温型燃料電池を込みこんだガス化温度 900°C 以下のガス化プロセスの開発に向けて最適なシステムを検討する。

## 特許出願、論文投稿、研究発表などの成果普及

### 研究開発項目①「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」

#### (1) 微量成分の高精度分析手法の標準化に資するデータ蓄積

##### (i) コールバンクの拡充

No.	内 容	件数	
1	コールバンク登録ユーザー数	407 ユーザー	
2	試料提供件数	平成 17 年度	220 検体
		平成 18 年度	181 検体
		平成 19 年度	458 検体
		平成 20 年度	202 検体

・普及方法 JCOAL のホームページ上で関連研究者向けに公開中。

##### (ii) 石炭中微量成分の分析手法の規格化

No.	内 容
1	ISO23380:2008 "Selection of methods for the determination of trace elements in coal", October 2, 2008.
2	ISO/TC27 "Solid mineral fuels" 技術委員会において、本プロジェクトで標準化活動を行った石炭中微量元素の分析ガイダンスが発行された (2009)

・普及方法 ISO のホームページ上で、発行されたガイダンスや、提案状況は公開中

##### (iii) ガス状ホウ素・セレンの高度分析手法の開発

No.	内 容
1	ガス状ホウ素測定法を ISO の NWI に提案。(2008)
2	ガス状セレン測定法の国際標準化に向けた準備を実施。(2009)

・普及方法 ISO のホームページ上で、発行されたガイダンスや、提案状況は公開中

#### (2) 高度除去技術

##### (i) 特許出願 : 1 件

No.	発明名称	出願者	番号	出願日
1	石炭焚ボイラの排ガス処理装置	バブコック日立(株)	特願 P2009021630	2009 年 2 月 2 日

他 5 件 出願準備中

##### (ii) 学術論文(査読有り) : 0 件

(iii) 学会発表(国際) : 1件

No.	内 容	発表日
1	Hirofumi Kikkawa “Advanced AQCS for Controlling Mercury “,MEC6 (6th International Experts Workshop), 2009.4.23, City Hotel, Ljubljana, Slovenia	2009年4月

(iv) 学会発表(国内) : 0件

(v) 国内会議、口頭発表 : 0件

## 研究開発項目②「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

(i) 特許 : 1件

No.	発明名称	出願者	番号	出願日
1	石ガス化方法及びガス化設備	(株) I H I	特願 2009-172381	2009年7月23日

(ii) 学術論文(査読あり) : 7件

No.	内 容	発表日
1	Takahiro Kitsuka, Bayarsaikhan Bazardorj, Nozomu Sonoyama, Sou Hosokai, Chun-Zhu Li, Koyo Norinaga, Jun-ichiro Hayashi, “Behavior of Inherent Metallic Species as a Crucial Factor for Kinetics of Steam Gasification of Char from Coal Pyrolysis”, Energy Fuels 21, 387-394 (2007)	2007年
2	Jun-Sik Kim, Ryo Tachino, Atsushi Tsutsumi, “Effects of solids feeder and riser exit configuration on establishing high density circulation fluidized beds”, Powder Technology 187, 37-45 (2008)	2008年
3	Takuya Tsuji, Keizo yabumoto and Toshitsugu Tanaka, “Spontaneous structures in three- dimensional bubbling gas-fluidized bed by parallel DEM-CFD coupling simulation”, Powder Technology, 184, 132-140 (2008)	2008年
4	桜井拓也、南智博、川口寿裕、辻拓也、田中敏嗣、辻裕、“流動層内熱流動問題の DEM-CFD 解析およびサーモグラフィ計測”、日本機械学会論文集, 75, 1041-1048 (2009)	2009年
5	Shiyong Lin, Yin Wang and Yoshizo Suzuki, “High temperature CaO hydration/ Ca(OH) <sub>2</sub> Decomposition over a multitude Cycles”, Energy Fuels, 23, 2855-2861 (2009)	2009年
6	Koichi Matsuoka, Koji Kuramoto, Takahiro Murakami, Atul Sharma and Yoshizo Suzuki, “Factors Affecting Steam Gasification Rate of Low Rank Coal Char in A Pressurized Fluidized Bed” Fuel Processing Technology,90(7-8) 895-900 (2009).	2009年
7	Masek O., Hosokai S., Norinaga K., Hayashi J., “Rapid steam gasification of nascent char during the pyrolysis of Na- and Ca-ion-exchanged brown coals in a drop-tube reactor”, Energy Fuels 掲載予定	2009年

## (iii) 総説、著書：3件

No.	内 容	発表日
1	Shiyong LIN, “ 3. Hydrogen Production from Coal ”, 「Hydrogen Fuel, Production, Transport and Storage」, Ram B. Gupta, CRC Press, 2008.	2008 年
2	林石英、“ガス化技術を用いた石炭利用の最新動向”、ペトロテック、2008.3	2008 年 3 月
3	林石英、“3.3 次世代高効率石炭ガス化複合発電技術 (A-IGCC、A-IGFC)”と“5.4 石炭利用 CO <sub>2</sub> 回収型水素製造技術 (HyPr-RING)”、「石炭利用最新技術と展望」、(株)シーエムシー出版、2009.1	2009 年 1 月

## (iv) 国際会議、プロシーディングス：9件

No.	内 容	発表日
1	Koichi Matsuoka, Daisuke Kajiwara, Koji Kuramoto, and Yoshizo Suzuki, “Kinetics for Steam Gasification of Low Rank Coal Char in A Pressurized Fluidized Bed” , 2007 International Conference on Coal Science and Technology, Nottingham (2007.8).	2007 年 8 月
2	Chihiro Fushimi, Atsushi Tsutsumi, “Advanced-integrated gasification combined cycle with exergy recuperation”, 1 <sup>st</sup> The University of Tokyo-Imperial College London Joint Symposium on Innovation in Energy Systems”, Jan.31-Feb.1, 2008, Imperial College London, UK	2008 年 1 月
3	Shiyong LIN, “Development of In-Situ CO <sub>2</sub> Capture Coal Gasification Technology”, 4 <sup>th</sup> International Conf. on Clean coal Techn. And Fuel Cells, 2008. 10, Yokosuka	2008 年 10 月
4	Yin Wang, Shiyong Lin and Yoshizo Suzuki, “Limestone Calcination in CO <sub>2</sub> /Steam and CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> atmospheres with CO <sub>2</sub> Capture”, Int. Symp. On Gasification and Application (ISGA 2008), 2008.12, Shanghai	2008 年 12 月
5	Norihiko Iki, Atsushi Tsutsumi, Yoshiaki Matsuzawa and Hirohide Furutani, “Parametric Study of Advanced IGCC ” 、 ASME Turbo Expo 2009、GT2009-59984、 2009.6, Orlando, Florida, USA	2009 年 6 月
6	Takuya Tsuji, Keizo Yabumoto, Toshihiro Kawaguchi and Toshitugu Tanaka, “Flow structure spontaneously formed in 3-D bubbling gas-fluidized bed”, Bulletin of 61th Annual meeting of the Division of Fluid Dynamics, the American Physics Society, 2008.11, San Antonio.	2008 年 11 月
7	Kaoru Yoshikawa, Takuya Sakurai, Toshihiro Kawaguchi, Takuya Tsuji and Toshitsugu Tanaka, “DEM-CFD simulation and infrared thermography measurement of particle temperature distribution in fluidized bed”, 3rd Int. Sympo. On Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics , 2008. 12, Tainan.	2008 年 12 月
8	Koichi Matsuoka, Koji Kuramoto, Yoshizo Suzuki, Sou Hosokai and Jun-ichiro Hayashi, “Steam Gasification of Coal in A Circulating Fluidized Bed System” , 10th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, Tsukuba (2009.7).	2009 年 7 月
9	Yasuo Ohtsuka, Kenta Akitsu, and Takemitsu Kikuchi “Catalytic Coal Gasification: High Performance of Composite Catalysts Ion-Exchanged from Potassium Chloride and Calcium Carbonate” The 238 <sup>th</sup> ACS Meeting, Washington D. C., USA (2009.8)	2009 年 8 月

## (v) 国内会議、口頭発表：17件

No.	内 容	発表日
1	松岡浩一、倉本浩司、村上高広、鈴木善三、林潤一郎、”石炭の熱分解により調製したコークの水蒸気ガス化特性”, 第44回石炭科学会議、(2007年10月)	2007年10月
2	高橋直紀、森下佳代子、宝田恭之、李留云、“褐炭－畜産污水－無電解めつき廃液によるニッケルイオン交換担持褐炭の調製”、第44回石炭科学会議、2007.10、秋田	2007年10月
3	梶原大介、松岡浩一、鈴木善三、”加圧下における低品位石炭の水蒸気ガス化速度解析”, 第13回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム、(2007年12月)	2008年12月
4	堤敦司、Prapan Kunchonthara、幸田栄一、古谷博秀、壹岐典彦、“エクセルギー再生による A-IGFC プロセス設計”、第45回石炭科学会議、2008.10、京都	2008年10月
5	松岡浩一、倉本浩司、村上高広、鈴木善三、細貝 聡、林潤一郎、“循環型二塔式気泡流動層による石炭の水蒸気ガス化基礎特性”、第45回石炭科学会議、2008.10、京都	2008年10月
6	高橋直紀、森下佳代子、宝田恭之、“褐炭を用いた無電解めつき廃液からのニッケル回収におけるニッケル回収率の向上”、第45回石炭科学会議、2008.10、京都	2008年10月
7	細貝聡、木塚崇博、則永行庸、林潤一郎、“褐炭迅速熱分解により生成した揮発分のチャー粒子表面における接触分解特性”、第17回日本エネルギー学会大会、2008、東京	2008年
8	佐藤良多、則永行庸、林潤一郎「詳細な化学を考慮したタールモデル化合物の水蒸気改質反応速度モデリング」化学工学会第40回秋季大会、仙台(2008)	2008年
9	辻拓也、藪本恵三、川口寿裕、田中敏嗣、“3次元気泡流動層内において形成される循環構造について”、日本混相流学会年会講演会、2008、会津	2008年
10	堤敦司、“エクセルギー再生石炭ガス化プロセスの開発に向けて”、第14回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム、2008.12、大阪	2008年12月
11	金俊植、立野良、勝田裕樹、伏見千尋、堤敦司、“高速高濃度循環流動層におけるライザー構造の影響”、第14回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム、2008.12、大阪	2008年12月
12	吉川薫、櫻井拓也、川口寿裕、辻拓也、田中敏嗣、“赤外線サーモグラフィを用いた2次元流動層内の粒子温度分布測定”、可視化情報シンポジウム2008、2008、東京	2008年
13	吉川薫、櫻井拓也、川口寿裕、辻拓也、田中敏嗣、“流動層内熱流動のDEM-CFD解析と赤外線サーモグラフィ測定による検証”、第14回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム、2008、大阪	2008年
14	辻拓也、藪本恵三、田中敏嗣、“気泡流動層中に挿入された物体の数値シミュレーション”、第14回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム、2008、大阪	2008年
15	松原 徹、細貝 聡、松岡 浩一、則永 行庸、林 潤一郎「石炭熱分解タールのチャー表面における in-situ 改質」化学工学会 第74年会、横浜、(2009)	2009年

No.	内 容	発表日
16	林石英、氣駕尚志、“In-Situ CO <sub>2</sub> 回収石炭ガス化発電”、化学工学会第74年会、2009、横浜	2009 年
17	花岡裕、菊地毅光、大塚康夫、“天然ソーダ灰を用いる低炭化度炭とのイオン交換と担持ナトリウムのガス化触媒性能”、第18回日本エネルギー学会大会、2009.10、札幌	2009 年 10 月