

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／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／高度除去技術」
事後評価報告書

平成24年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

平成24年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 古川 一夫 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、別添のとおり
評価結果について報告します。

目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 評点結果	1-16
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1

はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／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／高度除去技術」の事後評価報告書であり、第28回研究評価委員会において設置された「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／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／高度除去技術」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第31回研究評価委員会（平成24年3月28日）に諮り、確定されたものである。

平成24年3月
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／
 ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／
 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／高度除去技術」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成23年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	にのみや よしひこ 二宮 善彦	中部大学 工学部 応用化学科 教授
分科会長 代理	たなか ただし 田中 雅	中部電力株式会社 技術開発本部 電力技術研究所 特別専門役
委員	かまた ひろゆき 鎌田 博之	株式会社 I H I 総合開発センター 化学システム開発部 主任研究員
	きだ あきこ 貴田 晶子	愛媛大学 客員教授
	なるせ いちろう 成瀬 一郎	名古屋大学 大学院工学研究科 機械理工学専攻 環境・エネルギー講座 高温エネルギー変換工学研究グループ 教授
	もりとみ ひろし 守富 寛	岐阜大学 大学院工学研究科 環境エネルギーシステム専攻 教授

敬称略、五十音順

審議経過

● 第1回 分科会（平成23年11月18日）

公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について
4. プロジェクトの概要説明
5. プロジェクトの詳細説明

非公開セッション

6. 実用化の見通し
7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他
10. 閉会

● 第31回研究評価委員会（平成24年3月28日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

石炭は可採埋蔵量、賦存域の観点から貴重なエネルギー源であるが、国内外を問わず今後良質な石炭の安定的な入手が難しくなり、これまで問題にならなかった水銀を初めとする微量元素の排出抑制の必要性が高まっている。本事業はこのニーズに対応するものであり、石炭利用プロセスにおける微量成分、とりわけ水銀の触媒酸化技術や電気集塵器および脱硫装置での水銀の挙動に対しての小型燃焼炉から大型燃焼炉での一連の成果が得られた。また、提案の高酸化脱硝触媒+低温集塵+湿式脱硫システムが石炭火力発電施設の煙突出口濃度 $3\mu\text{g-Hg/kWh}$ をクリアできる高度除去技術であることが実証されたことは、時流を得た成果が得られたと高く評価できる。

一方、従来の SO_x 、 NO_x 、PM に加えて、水銀 (Hg)、セレン (Se)、ホウ素 (B) を対象としている点は評価できるが、想定される他の重金属を含めて「総合的な高度除去技術」(MACT (最大抑制可能技術) や BAT (最善適用可能技術)) であることを示して欲しかった。

また、酸素燃焼、いわゆるオキシフューエル燃焼も対象にされているが、当該プロジェクトにおけるその必要性が十分に明記されていない。酸素燃焼では排ガス循環を伴うため、排ガス中に酸性ガス濃度が高くなること、脱硫装置での水銀再飛散がある。一定の対応策は示されたものの、実用化に向けて施設全体の改善も必要となるため、どのような場合にどの技術を組み合わせるのかを含めて整理してほしかった。

2) 今後に対する提言

小型炉から大型炉試験までのスケールアップを踏まえた実験成果を活用するため、適切な数値シミュレーションモデルを開発し、開発成果の迅速な実用化が必要である。石炭利用による水銀をはじめとする微量成分の排出量の増大が見込まれるインド、中国等アジア地域に、日本発の技術として積極的に成果を展開して欲しい。また、アジア地域特有の技術課題（例えば、プラント構成や炭種に起因する課題）があれば、必要に応じて継続的な技術開発を行うべきだと考える。

開発成果の活用に係る石炭の利用は、エネルギー情勢や戦略に影響を受けるものであることから、民間だけで成果活用の推進を図るには困難が伴う。この観点から鑑みれば、事業終了後の NEDO の役割が重要であり、国内外へ積極的に情報発信し、当該技術の新たな市場の開発に尽力する必要がある。また、プ

プロジェクト成果の公開性という観点に立てば、同業他社も類似プロジェクトの研究開発を行っており、当該プロジェクトで得られた知的財産権で保護される成果内容以外の成果が同業他社も利用できる体制が必要になる。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

石炭はエネルギーセキュリティ上重要な燃料であるが、国内外を問わず今後良質な石炭の安定的な入手が難しくなり、これまで問題にならなかった水銀、セレン、ホウ素などの微量成分の排出に配慮が必要なケースが増えると予想される。これに対応し、燃焼に伴う環境対策において高い技術を有している我が国が微量物質除去においても高いレベルを維持することは単に国内への技術導入という面だけでなく国際的にも貢献するものであり、本事業目的は妥当である。

また、本技術開発は公共性も高いが、多額の資金を要するので、民間のみでの推進は困難であり、NEDO が関与すべき事業であると評価する。

一方、プロジェクト終了後、当該研究成果をどのように実用化して行くかの具体的なロードマップを提示し、予想される課題を明確にすべきである。また、本成果が国内の微量成分排出抑制に対して将来的にどのような貢献ができるのかを明確にした方が良いと考える。

2) 研究開発マネジメントについて

現状で最も厳しい水銀規制値である北米並みの $3\mu\text{g/kWh}$ を開発目標としており、目標設定として妥当であると考え。また、試験規模をラボ、ベンチ、パイロットと段階的にスケールアップしており開発の進め方として成果をだしている。また、プロジェクトの途中で、カナダ炭、米国炭に加え、水銀含有量が比較的高い中国炭の燃焼試験を追加した点は高く評価できる。さらに、メーカーを実施主体とし、基礎的知見、技術を有する大学による補完を加えるという事業体制は適切であったと評価する。目標値として煙突出口の水銀濃度を設定しているが、排煙処理はある除去レベルまでは、コストをかければ達成できるケースもある。実用化には本プロジェクトで開発した技術の競争力（例えばコスト）が他の競合技術よりも優位であることを示すことも必要である。競合技術とのベンチマークをしっかりと行い、その結果を示すことや、目標除去コストのような競争力を示す指標を目標の一部に設定することが有効であると考え。

また、国内及び欧州など北米以外では集塵装置として電気集塵器(EP)が主流であるが、北米ではバグフィルタ(FF)も一部で使用されており、それぞれに対

応するための実験計画であったかに疑問が残る。

3) 研究開発成果について

性状の異なる特徴的な4炭種で目標値である $3\mu\text{g/kWh}$ をパイロットスケールの試験でクリアしており、研究成果は目標値をクリアしている。これは、世界的に最厳な排出基準に対応できるもので、我が国の高い環境対策技術を知らしめる成果として、情報発信に努めることを期待する。さらに、空気燃焼と酸素燃焼(OxyFuel)において、脱硝触媒(SCR)入口、脱硝触媒(SCR)出口、電気集塵機(EP)入口、電気集塵機(EP)出口、脱硫装置(FGD)出口における金属水銀、2価水銀、HCl、SO₂などを測定し、各プロセスにおける分配割合や除去特性について、小規模から大規模の燃焼炉により解明がなされており、評価に値する。一方で、本プロジェクトで開発した技術の革新性が見え難いのも事実である。北米でも活性炭注入やハロゲン注入など様々な技術の開発が進められており、開発した技術と競合技術のベンチマークをきちんと行い、高度除去技術として開発した本技術の優位性を明確に示せると良いと考える。

成果のまとめ、報告、情報発信にあたっては、本技術開発の新規制、開発要素、および数値解析によるシミュレーションツール開発およびその解析結果が明確に示されていない。極低濃度の微量成分のプラント内での挙動は複雑であるので、シミュレーション技術は重要である。また、酸素燃焼に対しては、除去ニーズ、除去基準、排煙処理フロー(含、CO₂回収)が空気燃焼とは異なる。空気燃焼の場合と同じ範疇で扱える部分、酸素燃焼に特化すべき部分等に配慮した成果の取りまとめをして欲しい。大学側で実施された除去技術はキレート樹脂であり、基礎研究としての成果は理解できるが、既存技術との比較、実用化の観点から技術開発課題を抽出すべきであったと考える。

4) 実用化の見通しについて

クリアしなければならない目標値を適切に設定し、大型炉での試験結果により実用化の技術見通しは得られたと評価できる。北米とともに中国やインドにおいても発電所から排出される水銀量の規制強化が検討されている。今後の事業展開に期待が持てる。

しかしながら、実用化に対するロードマップが不明瞭であり、開発の各段階でのマイルストーンが明確でない。

また、日本の開発技術が進むべき方向性、中国を含む海外ばかりでなく国内市場に向けた競合メーカーの動向、競合技術と差別化の程度、コスト競争力等の見通しも示して欲しかった。

研究評価委員会におけるコメント

第31回研究評価委員会（平成24年3月28日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 （科学技術ジャーナリスト養成プログラム） 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議 副議長
	五十嵐 哲	学校法人工学院大学 工学部 応用化学科 教授
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院 総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	学校法人日本大学 法学部 教授
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 相談役
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
	佐藤 了平	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル 生産科学専攻（システムデザイン領域担当） 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	架谷 昌信	学校法人愛知工業大学 特任教授
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

1. プロジェクト全体に関する評価結果

1. 1 総論

(1) 総合評価

石炭は可採埋蔵量、賦存域の観点から貴重なエネルギー源であるが、国内外を問わず今後良質な石炭の安定的な入手が難しくなり、これまで問題にならなかった水銀を初めとする微量元素の排出抑制の必要性が高まっている。本事業はこのニーズに対応するものであり、石炭利用プロセスにおける微量成分、とりわけ水銀の触媒酸化技術や電気集塵器および脱硫装置での水銀の挙動に対しての小型燃焼炉から大型燃焼炉での一連の成果が得られた。また、提案の高酸化脱硝触媒＋低温集塵＋湿式脱硫システムが石炭火力発電施設の煙突出口濃度 $3\mu\text{g-Hg/kWh}$ をクリアできる高度除去技術であることが実証されたことは、時流を得た成果が得られたと高く評価できる。

一方、従来の SO_x 、 NO_x 、PM に加えて、水銀 (Hg)、セレン (Se)、ホウ素 (B) を対象としている点は評価できるが、想定される他の重金属を含めて「総合的な高度除去技術」(MACT (最大抑制可能技術) や BAT (最善適用可能技術)) であることを示して欲しかった。

また、酸素燃焼、いわゆるオキシフューエル燃焼も対象にされているが、当該プロジェクトにおけるその必要性が十分に明記されていない。酸素燃焼では排ガス循環を伴うため、排ガス中に酸性ガス濃度が高くなること、脱硫装置での水銀再飛散がある。一定の対応策は示されたものの、実用化に向けて施設全体の改善も必要となるため、どのような場合にどの技術を組み合わせるのかを含めて整理してほしかった。

〈肯定的意見〉

- 石炭は貴重なエネルギー源であるが、国内外を問わず今後良質な石炭の安定的な入手が難しくなり、これまで問題にならなかった水銀を初めとする微量元素の排出に配慮が必要なケースが増えると予想される。本プロジェクトで開発した除去技術は、北米での規制対応をはじめ、将来的には石炭需要の増えるインドや中国などアジア地域での水銀排出量抑制技術のオプションとなりうる貴重な成果であると考えます。
- 水銀の国際条約制定を 2 年後に控え、石炭火力からの排出削減に必要な技術的課題解決の事業であり、有益なものと考えます。水銀の低減目標値の設定も妥当です。データの信頼性に若干難はあるものの、大型炉による実証実験による基礎データは有用なものです。
- 石炭利用プロセスにおける微量成分、とりわけ Hg の触媒酸化技術や電気集塵器および脱硫装置での水銀捕捉割合について、小型燃焼炉から大型燃

焼炉で得られた一連の成果は、国内外において有意な成果であると評価する。

- 総じて提案の高酸化脱硝触媒＋低温集塵＋湿式脱硫システムが石炭火力発電施設の煙突出口濃度 $3\mu\text{g-Hg/kWh}$ をクリアできる技術であることが実証され、大型機での脱水銀メカニズムの解明が進んだことは高く評価できる。
- 空気燃焼とともに **OxyFuel** 燃焼においても、小型炉から大型炉試験までのスケールアップを踏まえた **SCR** 入口、**SCR** 出口、**EP** 入口、**EP** 出口、**FGD** 出口における金属水銀、2価水銀、**HCl**、**SO₂** などの測定を実施しており、水銀の挙動に対して時流を得た成果が得られたと高く評価できる。石炭の種類についても、当初計画の米国・カナダ炭に加え、水銀含有量の多い中国炭の結果を追加しており、評価できる。
- 石炭は可採埋蔵量、賦存域の観点から重要なエネルギー源であるが、その一方で他の化石燃料に比べて本質的にダーティな燃料である。石炭利用に当たっては清浄な利用技術の確立が必須条件であり、特に近年、水銀を始めとするいわゆる微量物質の排出抑制の必要性が高まっている。本事業はこのニーズに対応するものであり、開発成果は重要なエネルギー源である石炭の利用性を高めることに寄与すると考えられ、その意義は大きい。また、高い環境対策技術レベルにある我が国がさらに高度な対策技術を有することは国際的にみても国益に適うものであり、その観点からも成果が期待される事業である。

〈問題点・改善すべき点〉

- プロジェクト組織における **NEDO** の位置づけ・役割が不明瞭であり、また、プロジェクトリーダーが再委託先の主要な研究者になっている点に矛盾を感じる。研究内容に関しては、酸素燃焼、いわゆるオキシフューエル燃焼も対象にされているが、当該プロジェクトにおけるその必要性が明記されていない。また、公開部分と非公開部分があるが、非公開部分に関してはすべて実用化の見通しであり、技術的な内容が一切ない。実用化の見通しを非公開にされるのであれば、具体的な実用化のロードマップを含め、より詳細な御提案を期待する。
- 「高度除去技術」プロジェクトであり、従来の **SO_x**、**NO_x**、**PM** に加えて、**Hg**、**Se**、**B** を対象としている点は評価できるが、想定される他の重金属を含めて「総合的な高度除去技術」(**MACT** や **BAT**) であることを示して欲しかった。
- 小型炉から大型炉試験までのスケールアップを踏まえた実験成果は高く

評価されるが、数値解析によるシミュレーションツールによる解析は不十分であり、改善が望まれる。成果を普及させるには、実験結果に基づいた普遍性のあるデータ解釈が必要である。

- 本研究開発の成果が単なるプラントの輸出だけでなく、将来的な低品位炭や低質炭の利用に対して、エネルギーセキュリティー上、どのような効果があるか明確に提示した方が良い。
- 高度除去技術としては、触媒部での低塩素炭への塩素添加、集塵装置の低温化、酸素燃焼による水銀除去が考慮されているが、前者2つは既存技術で高度技術とはいえない。酸素燃焼では課題が残されている。排ガス循環を伴うため、排ガス中に酸性ガス濃度が高くなること、脱硫装置での水銀再飛散がある。一定の対応策は示されたものの、実用化に向けて施設全体の改善も必要となるため、どのような場合にどの技術を組み合わせるのかを含めて整理してほしかった。

水銀除去率の実験値の信頼性（精度・確度）が十分とはいえない。大型炉の実験は制約があるものの、実験計画作成で考慮が必要であった。

〈その他の意見〉

- ・ 企業と大学の連携が目に見える形で成果を纏めて頂きたい。
- ・ 我が国を含めた石炭利用の今後のあり得る姿や環境基準を展望した上で、本技術の位置付けを明確にしておくことが肝要と考える。
- ・ ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発の「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」ではこの「高度除去技術」と「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」が走っているが、排ガス・廃水中の微量成分分析と石炭分析データベースの違いはあると思われるが、両者の連携があっても良いように思われる。使用する石炭で排出濃度が異なるのであれば、データベースに組み込むようすべきである。これは NEDO へのコメントかもしれません。

(2) 今後の提言

小型炉から大型炉試験までのスケールアップを踏まえた実験成果を活用するため、適切な数値シミュレーションモデルを開発し、開発成果の迅速な実用化が必要である。石炭利用による水銀をはじめとする微量成分の排出量の増大が見込まれるインド、中国等アジア地域に、日本発の技術として積極的に成果を展開して欲しい。また、アジア地域特有の技術課題（例えば、プラント構成や炭種に起因する課題）があれば、必要に応じて継続的な技術開発を行うべきだと考える。

開発成果の活用に係る石炭の利用は、エネルギー情勢や戦略に影響を受けるものであることから、民間だけで成果活用の推進を図るには困難が伴う。この観点から鑑みれば、事業終了後の NEDO の役割が重要であり、国内外へ積極的に情報発信し、当該技術の新たな市場の開発に尽力する必要がある。また、プロジェクト成果の公開性という観点に立てば、同業他社も類似プロジェクトの研究開発を行っており、当該プロジェクトで得られた知的財産権で保護される成果内容以外の成果が同業他社も利用できる体制が必要になる。

〈今後に対する提言〉

- ・ 開発成果の迅速な実用化が第一義に必要であろう。この観点から鑑みれば、事業終了後の NEDO の役割が重要であり、単に終了後の実施者の展開をチェックするだけではなく、NEDO から国内外へ積極的に情報発信し、NEDO も当該技術の新たな市場の開発に尽力する必要がある。また、プロジェクト成果の公開性という観点に立てば、同業者も類似プロジェクトを研究開発しており、当該プロジェクトで得られた成果が同業者も利用できる体制が必要になる。
- ・ 小型炉から大型炉試験までのスケールアップを踏まえた実験成果を活用するため、適切な数値シミュレーションモデルを開発し、水銀の排出量が多い中国やインドなどアジア圏などへの積極的な事業展開が望まれる。
- ・ 本技術開発成果の活用に係る石炭の利用は、エネルギー情勢や戦略に影響を受けるものであることから、民間だけで成果活用の推進を図るには困難が伴うと思う。

実施者の国（NEDO）は、成果の活用について単に管理するに止まらず、活用に繋がる情報発信、内外のユーザへの働きかけを考慮していただきたい。

- ・ 石炭利用による水銀をはじめとする微量成分の排出量の増大が見込まれるインド、中国等アジア地域に、日本発の技術として積極的に成果を展開して欲しい。そのために、現状の排出状況の調査や将来予測は、公

的な資金で継続的に実施すべきであると考え。また、アジア地域特有の技術課題（例えば、プラント構成や炭種に起因する課題）があれば、必要に応じて継続的な技術開発を行うべきだと考える。

- ・ 大型炉での実証実験データは有益なものですが、精度・確度が今一步で、連続的なデータ収集に心がけていただきたい。

酸素燃焼を適用する場合の施設全体の配慮事項を整理していただきたい。実用化には必要と考えます。

石炭灰へ濃縮した水銀について、成果によればセメント添加（フライアッシュセメント）は問題ないが、粘土原料の代替として利用する場合にはセメントキルンからの水銀排出が増加する可能性が高い。セメント製造からの水銀排出量は日本全体では寄与が非常に大きいため、石炭灰に濃縮しない形での除去技術を期待します。

〈その他の意見〉

- ・ セレンとホウ素については、中間評価以降に実施された課題であるが、熱力学的解析をベースに実験結果を評価してはどうか。実験ではガス態にもあるという結果となっているが、サンプリング手法によってはばいじんが捕集されなかった可能性もあり、ガス態という表現は適切ではない。挙動把握のためには、捕集において、ろ紙、水、酸溶液の3段階すれば、除去性を考える上でよりよいデータとなった可能性がある。

1. 2 各論

(1) 事業の位置付け・必要性について

石炭はエネルギーセキュリティ上重要な燃料であるが、国内外を問わず今後良質な石炭の安定的な入手が難しくなり、これまで問題にならなかった水銀、セレン、ホウ素などの微量成分の排出に配慮が必要なケースが増えると予想される。これに対応し、燃焼に伴う環境対策において高い技術を有している我が国が微量物質除去においても高いレベルを維持することは単に国内への技術導入という面だけでなく国際的にも貢献するものであり、本事業目的は妥当である。

また、本技術開発は公共性も高いが、多額の資金を要するので、民間のみでの推進は困難であり、NEDO が関与すべき事業であると評価する。

一方、プロジェクト終了後、当該研究成果をどのように実用化して行くかの具体的なロードマップを提示し、予想される課題を明確にすべきである。また、本成果が国内の微量成分排出抑制に対して将来的にどのような貢献ができるのかを明確にした方が良いと考える。

〈肯定的意見〉

- 石炭はエネルギーセキュリティ上重要な燃料であるが、その一方で他の化石燃料に比べて CO₂ 排出原単位が大きいという面があり、その利用進展は国のエネルギー戦略に依るところが大きい。エネルギー戦略に係るとともに多額の資金を要する本技術開発は民間のみでの推進は困難であり、NEDO 事業として実施することが妥当である。

石炭の利用には対環境性向上が必須であり、今後は微量物質の除去ニーズがますます高まってくると考えられる。燃焼に伴う環境対策において高い技術を有している我が国が微量物質除去においても高いレベルを維持することは単に国内への技術導入という面だけでなく国際的な国益にも通じるものであり、本事業目的は妥当である。

- 石炭は貴重なエネルギー源であるが、国内外を問わず今後良質な石炭の安定的な入手が難しくなり、これまで問題にならなかった水銀を初めとする微量元素の排出に配慮が必要なケースが増えると予想される。また、エネルギー供給全体に占めるベースロードとして石炭火力の重要性も増すと考えられるため、本研究開発で高度な水銀除去技術を開発することは、重要な技術課題であると考えられる。
- 水銀の国際条約制定を 2 年後に控え、石炭火力からの排出削減に必要な技術的課題解決の事業であり、有益なものと考えます。水銀の低減目標値の設定も妥当です。今後の石炭種変更の可能性は高く、国内及び海外施設

への実用化が必要とされ注目され解決すべき重要課題です。

- 石炭微粉炭燃焼からの水銀、セレン、ホウ素などの微量成分の挙動解析や低減技術は十分に確立しておらず、当事業の実施は CCT を推進する我が国としては、適切な課題設定と高く評価できる。
- 水銀は新たな地球環境汚染物質として着目されており、このような観点から国際的に重要な課題である。よって、当該事業の妥当性・公共性は高く、NEDO が関与すべき事業であると評価する。
- 水銀等の重金属の大気排出は国連環境計画でも 2013 年の排出規制の動きもあり、排出源として最も大きな石炭燃焼における日本の排煙処理技術が世界をリードする意義は大きく、国プロとして推進させるべきである。また米国の排出基準をクリアすることは石炭燃焼ボイラの市場拡大にとっても重要である。

〈問題点・改善すべき点〉

- 公共性が高い事業であるにも関わらず、非公開部分があることにやや疑義を感じる。費用対効果が評価指標に挙げられている以上、プロジェクト終了後、当該研究成果をどのように実用化して行くかの具体的なロードマップを提示し、それを具現化するに際し予想される課題を明確にすべきである。
- 技術的には問題ないが、低品位炭にも対応させるべく世界標準にするためのコスト、技術の優位性をもっと明確にすべきである。
- 本プロジェクトの成果が、日本の環境技術の国際競争力を高め、ひいてはプラントの輸出などに繋がることは評価できるが、本成果が国内の微量成分排出抑制に対して将来的にどのような貢献ができるのか位置づけを明確にした方が良いのではないかと考える。

〈その他の意見〉

- ・ 国内的には震災・脱原発の影響もあり、当面のエネルギーセキュリティーの観点からは石炭利用を不可避であり、そのためにもクリーンコールテクノロジーの推進は不可欠である
- ・ 酸素燃焼、いわゆるオキシフューエル燃焼に関する成果の報告があるが、事業の目的の中に明確な記載がない。オキシフューエル燃焼に関しては、公開されている成果もあるようであるので、NEDO 内の類似プロジェクトとも情報交流を密にして頂きたい。

(2) 研究開発マネジメントについて

現状で最も厳しい水銀規制値である北米並みの $3\mu\text{g/kWh}$ を開発目標としており、目標設定として妥当であると考えます。また、試験規模をラボ、ベンチ、パイロットと段階的にスケールアップしており開発の進め方として成果をだしている。また、プロジェクトの途中で、カナダ炭、米国炭に加え、水銀含有量が比較的高い中国炭の燃焼試験を追加した点は高く評価できる。さらに、メーカーを実施主体とし、基礎的知見、技術を有する大学による補完を加えるという事業体制は適切であったと評価する。目標値として煙突出口の水銀濃度を設定しているが、排煙処理はある除去レベルまでは、コストをかければ達成できるケースもある。実用化には本プロジェクトで開発した技術の競争力（例えばコスト）が他の競合技術よりも優位であることを示すことも必要である。競合技術とのベンチマークをしっかりと行い、その結果を示すことや、目標除去コストのような競争力を示す指標を目標の一部に設定することが有効であると考えます。

また、国内及び欧州など北米以外では集塵装置として電気集塵器(EP)が主流であるが、北米ではバグフィルタ(FF)も一部で使用されており、それぞれに対応するための実験計画であったかに疑問が残る。

〈肯定的意見〉

- 石炭火力発電施設の煙突出口濃度 $3\mu\text{g-Hg/kWh}$ （北米規制基準）は妥当であり、日本の排煙技術の高度化は現状打開策として是が非でも推進すべき最重要事項である。中間評価結果を受けた技術開発および学術的観点からの支援体制も整っている。
- 開発目標は世界的に最厳な排出基準であり、戦略的な目標と評価できる。ラボ試験、小型試験装置試験、大型試験装置試験というステップで開発を進め、前ステップでの結果を踏まえて次ステップへとフェーズ移行して成果を出しており、妥当な計画であったと考える。
燃焼から排煙処理までのトータルシステムに長じたメーカーを実施主体とし、基礎的知見、技術を有する大学による補完を加えるという事業体制は適切であったと評価する
- プロジェクトの設定が、小型炉から大型炉試験までのスケールアップを踏まえた計画となっており、目標達成に必要な要素技術が取り込まれていると判断される。
カナダ炭、米国炭に加え、水銀含有量が比較的高い中国炭の燃焼試験を追加した点は高く評価できる。
中間評価時の評価指摘事項に対して真摯に対応した点が評価できる。

- 現状で最も厳しい水銀規制値である北米並みの $3.0 \mu\text{g/kWh}$ を開発目標としており、目標設定として妥当であると考え。また、試験規模をラボ、ベンチ、パイロットと段階的にスケールアップしており開発の進め方として妥当である。プロジェクト途中で、中国炭の評価を追加した点も、情勢変化への対応として評価できる。
- 水銀低減目標の数値がクリアできる条件を達成すべく、小規模から大規模実験の段階的な確認計画が実施された。
排ガス中の水銀に加えて、ホウ素及びセレンに対する排ガス挙動把握の実験が実施された。
- 定量的かつ適切な開発目標が設定されており、また、それに沿った研究計画・内容になっているものと評価する。また、UNEP への対応として中国炭を追加試験されたことも情勢変化への対応として適切である。

〈問題点・改善すべき点〉

- 排煙処理はある除去レベルまでは、コストをかければ達成できるケースもある。目標値としてスタック出口の水銀濃度を設定しているが、実用化には本プロジェクトで開発した技術の競争力（例えばコスト）が他の競合技術よりも優位であることを示すことも必要である。競合技術とのベンチマークをしっかりと行い、その結果を示すことや、目標除去コストのような競争力を示す指標を目標の一部に設定することが有効であると考え。
- 実用化では大型炉における結果を踏まえて十分なフィードバックが必要と思われる。3 年目からの大型炉実験において課題が残されているため、大型炉実験が 2 年目から実施されることが望ましかったのではないかと。
_（例えば脱硫装置からの水銀再飛散が 0.2mg/L の低濃度で起こることの解析は不十分で、対処方法はキレート剤添加であるが、実証時間は短く、実用レベルでの検証はさらに必要である）
国内施設への対応技術と海外では集塵設備が EP と FF と主流が異なるため、それぞれに対応するための実験計画であったかに疑問が残る。FF を使用した小型炉と EP を使用した大型炉の結果は、同等に評価できないのではないかと。また FF では排ガス粒子の未燃炭素が水銀除去に影響を及ぼす可能性がある。海外に展開するには、FF の大型炉実験も必要ではなかったか。（無理があるのは承知ですが）目的の一つに海外展開とあるが、今一步の成果の整理をする初期の実験計画が必要であった。
- 大学側の成果として投稿論文が 3 報（1 報が投稿中）と少なく、今後、学術誌などに成果を発表されることが望ましい。
- プロジェクトリーダーの位置づけが曖昧である。プロジェクトリーダーが

所属する機関が再委託先になっている体制に矛盾を感じる。

- 水銀についてはバブ日立を中心によく検討されているが、提案の高酸化脱硝触媒＋低温集塵＋湿式脱硫システムの普及 PR はされると思うが、このプロジェクトで新規はともかく改造の観点からの導入コスト評価（定量的な費用対効果）が示されるべきであった。

〈その他の意見〉

- ・ 水銀除去技術の選定として、過去の技術レビューが十分でなかったという印象がある。「高度」除去技術として、低温 EP と酸素燃焼が挙げられるが、前者は新規技術とは考えにくい。とすれば酸素燃焼（ガス循環により水銀の酸化態が増えることによる効果を付随させている）が新規技術と考えられる。この点を中心にした結果のまとめが適切ではなかったか。大型炉の実験で水銀除去率の元となるガス中水銀濃度の測定値の代表性については、測定時間 10 分、2 回測定では十分とはいえない。時間的制約があるものの、考慮すべき条件であった。中間評価後の海外炭種の追加実験は中国炭 1 種であり、費用対成果が十分であったか疑問。
- ・ 開発目標は上述の通り妥当と考えるが、目標に対する評価に加え、この技術の持つさらなる可能性（ポテンシャル）の有無を吟味、評価しておくことも肝要と思う。実用化のターゲットを海外への展開としているが、我が国の今後の石炭火力の展望を考えた上で、本技術が我が国においてどう位置付けられるかの考察もしておいて欲しい。
- ・ 酸素燃焼での目標値を、通常燃焼と同じ値に設定することは根拠が明確でないと考えられるので、酸素燃焼に対しては、冷却機器の腐食等、別の観点から精査を行い目標値設定した方が望ましい。

(3) 研究開発成果について

性状の異なる特徴的な4炭種で目標値である $3\mu\text{g/kWh}$ をパイロットスケールの試験でクリアしており、研究成果は目標値をクリアしている。これは、世界的に最厳な排出基準に対応できるもので、我が国の高い環境対策技術を知らしめる成果として、情報発信に努めることを期待する。さらに、空気燃焼と酸素燃焼(OxyFuel)において、脱硝触媒(SCR)入口、脱硝触媒(SCR)出口、電気集塵機(EP)入口、電気集塵機(EP)出口、脱硫装置(FGD)出口における金属水銀、2価水銀、HCl、SO₂などを測定し、各プロセスにおける分配割合や除去特性について、小規模から大規模の燃焼炉により解明がなされており、評価に値する。一方で、本プロジェクトで開発した技術の革新性が見え難いのも事実である。北米でも活性炭注入やハロゲン注入など様々な技術の開発が進められており、開発した技術と競合技術のベンチマークをきちんと行い、高度除去技術として開発した本技術の優位性を明確に示せると良いと考える。

成果のまとめ、報告、情報発信にあたっては、本技術開発の新規制、開発要素、および数値解析によるシミュレーションツール開発およびその解析結果が明確に示されていない。極低濃度の微量成分のプラント内での挙動は複雑であるので、シミュレーション技術は重要である。また、酸素燃焼に対しては、除去ニーズ、除去基準、排煙処理フロー(含、CO₂回収)が空気燃焼とは異なる。空気燃焼の場合と同じ範疇で扱える部分、酸素燃焼に特化すべき部分等に配慮した成果の取りまとめをして欲しい。大学側で実施された除去技術はキレート樹脂であり、基礎研究としての成果は理解できるが、既存技術との比較、実用化の観点から技術開発課題を抽出すべきであったと考える。

〈肯定的意見〉

- 開発目標である水銀排出量をクリアする結果を得ており、目標は達成されている。これは、世界的に最厳な排出基準に対応できるものであり、我が国の高い環境対策技術を知らしめる成果として、情報発信に努められることを期待する。
- 性状の異なる特徴的な4炭種で目標値である $3.0\mu\text{g/kWh}$ をパイロットスケールの試験でクリアしており評価できる。
- 目標値の水銀排出量は達している。
- 微粉炭燃焼プロセスにおける Hg の各プロセスにおける分配割合や除去特性については、小規模から大規模の燃焼炉により解明がなされており、評価に値する。得られた成果は、電力事業用や産業用微粉炭燃焼ボイラに展開可能であると考えられる。知的財産権の取得や成果の公表も戦略的に実施されている。

- 研究成果は目標値をクリアしている。
空気燃焼とともに OxyFuel 燃焼においても、SCR 入口、SCR 出口、EP 入口、EP 出口、FGD 出口における金属水銀、2 価水銀、HCl、SO₂などを測定しており、時流を得た成果が得られたと評価できる。
- 提案排ガスシステムは目標の煙突出口濃度 3 μg-Hg/kWh をクリアしており、この成果を多いに世界市場に普及させるための NEDO や政府が支援策の仕組みを作るべきである。

〈問題点・改善すべき点〉

- 微量水銀の除去は、単独の方策では難しく、複数の手法や機器の組合せが必要な総合化技術であることは理解できるが、一方で、本プロジェクトで開発した技術の革新性が見え難いのも事実である。北米でも活性炭注入やハロゲン注入など様々な技術の開発が進められており、開発した技術と競合技術のベンチマークをきちんと行い、高度除去技術として開発した本技術の優位性を明確に示せると良いと考える。
- 「高度」の水銀除去技術とするには、結果は従来の運転条件の除去特性が中心で、改善に留まっている。新規の除去技術の重要なポイントの明確化が必要。更に実用化に向けては施設全体への適用条件を整理が必要。全体として、大型炉実験によって確認された水銀除去率の目標値達成度に対する数値の信頼性（精度）向上が求められる。
- 企業の成果と委託先である大学の成果とが有機的に連携していないように感ずる。
- バブ日立の特許など知的財産権が北米のみならず、中国・インド向けに確保されているのかが懸念される。
プロジェクトは終了しているが、得られた成果の内容をよく精査し、データベース化、分析の世界標準化（ホウ素，セレン）に寄与してほしい。
シミュレーション解析の成果が見当たらない。
廃水処理技術の予算額と成果には不満が残る。提案除去技術はキレート樹脂であり、基礎研究としての成果は理解できるが、既存技術との比較、実用化の観点から技術開発課題を抽出すべきではないのか。またキレート樹脂に新規性があるのであれば知的財産権は確保しているのかが疑問が残る。
- 報告書には、数値解析によるシミュレーションツール開発およびその解析結果がほとんど記載されておらず、この部分の成果は不十分であり、今後の成果・普及への努力を期待する。
- 成果のまとめ、報告において本技術開発の新規制、開発要素が明確に示さ

れていないと感じる。単に水銀の挙動把握の域を出ないのではないかとの誤解を招きかねない。この点を成果のまとめ、報告、情報発信にあたって留意すべきと考える。

また、酸素燃焼に対しては、除去ニーズ、除去基準、排煙処理フロー（含、CO₂回収）が空気燃焼とは異なると思われる。空気燃焼の場合と同じ範疇で扱える部分、酸素燃焼に特化すべき部分等に配慮した成果の取りまとめをして欲しい

〈その他の意見〉

- ・ 極低濃度の微量成分のプラント内での挙動は複雑であるので、シミュレーション技術は重要であると考え。本プロジェクトで検討されたシミュレーションの結果とラボ、ベンチ、パイロットで試験的に評価された結果の差異や整合性は、炭種や機器構成の異なる実プラントに展開する上で重要な評価ポイントとなるので、成果を積極的に公表して頂きたいと考える。
- ・ プロジェクトの性質上、成果に対する学術的な解釈や貢献は求められていないことは理解しているが、近い将来、当該プロジェクトで得られた新たな開発成果を実用化するに際し、学術的な支援は実施段階でのトラブルシューティング等で必要になるものと考え。よって、再委託先である学側におかれては、学術的にも当該開発成果へ今後も貢献されることを期待する。
- ・ 成果の普及にあたっては、海外のみならず国内ユーザ（電力等）に対しても、技術的シーズとして本技術開発成果の持つ可能性（ポテンシャル）の提示を進められたい。

(4) 実用化の見通しについて

クリアしなければならない目標値を適切に設定し、大型炉での試験結果により実用化の技術見通しは得られたと評価できる。北米とともに中国やインドにおいても発電所から排出される水銀量の規制強化が検討されている。今後の事業展開に期待が持てる。

しかしながら、実用化に対するロードマップが不明瞭であり、開発の各段階でのマイルストーンが明確でない。

また、日本の開発技術が進むべき方向性、中国を含む海外ばかりでなく国内市場に向けた競合メーカーの動向、競合技術と差別化の程度、コスト競争力等の見通しも示して欲しかった。

〈肯定的意見〉

- クリアしなければならない目標値を適切に設定しており、実用化のイメージは明確である。
- 非公開ではあるが、実用化に対する実施者の見通しは理解できる。
- 基本的には厳しい規制の北米や今後の途上国を対象にするのは理解できる。
- 北米とともに中国やインドにおいても発電所から排出される水銀量の規制強化が検討されており、実用化イメージ・出口イメージが明確であり、今後の事業展開に期待が持てる。
- 大型炉での試験結果により実用化の技術見通しは得られたと評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 実用化は、国内及び海外（北米、中国、インド）への技術展開を想定しているが、今回の成果は、大型炉による基礎実験の意味合いが強い。①脱硝触媒部での低塩素炭への塩素添加、②酸素燃焼の適用は、いずれも酸性ガス暴露対策が必要であり、実用化へは装置全体の金属腐食等を考慮した、より長期間の実証が必要。酸素燃焼については、利点・欠点を整理し、適用可能性を明確にされたい。
- 実用化に対するロードマップが不明瞭である。開発の各段階でのマイルストーンが明確でない。
- コスト等、競争力に関する情報が不足しており、本技術の普及がどの程度進むか評価が難しい。厳しい目標値をクリアしているので、除去コスト等の見通しも示すと良い。
- 企業内には戦略ビジョンがあり、バブ日立の北米戦略のイメージまま理解できるが、中国を含む海外ばかりでなく国内市場に向けた競合メーカーの

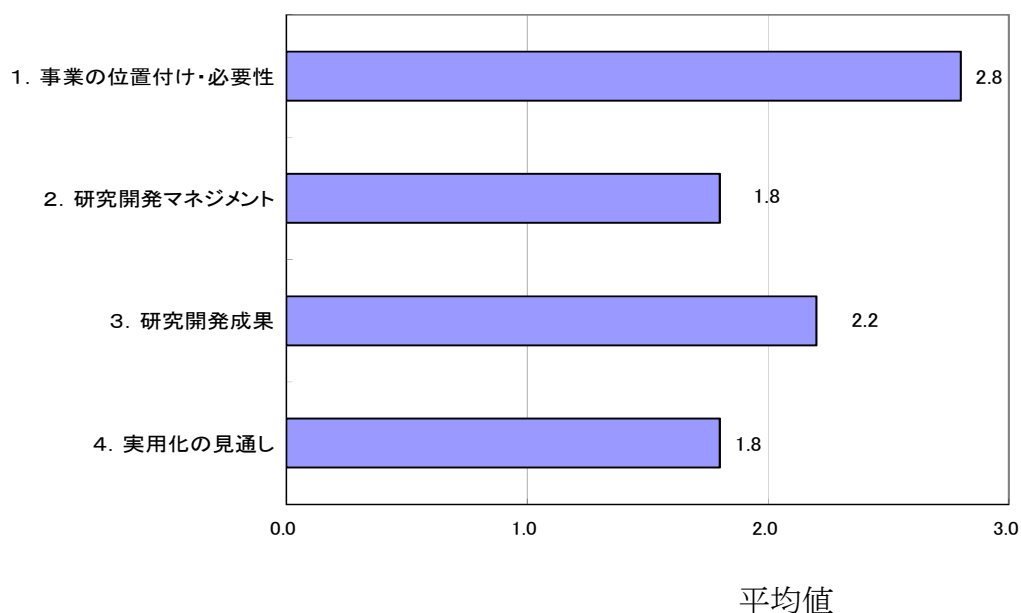
動向や具体的な獲得シェア(基数)などの目標値が明示されると良かった。機密事項のあると思われるが提案の高酸化脱硝触媒+低温集塵+湿式脱硫システムだけがひとり勝ちするとは考えにくく、競合技術と差別化してどの程度のシェアを確保できるのかを示し、日本の開発技術が進むべき方向性を示して欲しかった。

〈その他の意見〉

- 水銀除去は、北米のみならず、中国やインド、将来的には我が国でも取り組まなければならない課題になる可能性がある。最大限の波及効果が得られるように、実施者の技術ノウハウの蓄積に留まらないよう得られた知見等を積極的に公表して頂きたい。
- 公開部分の成果の波及や国内外への情報発信に関しては、NEDOも明確な活動方法を明示して頂きたい。
- 大型試験炉レベルから実用機規模へのスケールアップにあたり、実用規模での実証試験の要否、そこで確認、実証すべき事項について検討、整理して置くことを望む。
- 国内でも水銀排出量の多いと思われるセメント、鉄、非鉄など他の産業への波及効果は期待したいところであり、その場合の具体的な長所や課題を示してほしかった。

2. 評点結果

2. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	A	A	A	B	A
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	A	B	A
2. 研究開発マネジメントについて	1.8	B	B	B	B	B	C
3. 研究開発成果について	2.2	A	B	B	B	A	C
4. 実用化の見通しについて	1.8	B	B	B	B	B	C

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト/
ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発/
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/
高度除去技術」

事業原簿 (公開版)

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

—目次—

概要	
プロジェクト用語集	v
I. 事業の位置付け・必要性について	
1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	1
1.1 NEDOが関与することの意義	1
1.2 実施の効果（費用対効果）	3
2. 事業の背景・目的・位置づけ	4
II. 研究開発マネジメントについて	
1. 事業の目標	5
2. 事業の内容	5
3. 情勢変化への対応	9
4. 中間評価結果への対応	9
5. 評価に関する事項	12
III. 研究開発成果について	
1. 事業の概要	15
2. 研究開発項目毎の成果	21
IV. 実用化の見通しについて	51
V. 成果普及について	53
(添付資料)	
・イノベーションプログラム基本計画	
・プロジェクト基本計画	
・技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）	
・事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）	

概要

		作成日	平成 23 年 8 月 10 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	ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト ゼロエミッション石炭火力基盤技術 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 高度除去技術	プロジェクト番号	P07021	
担当推進部/ 担当者	環境部/矢内主任研究員、坂中主査			
0. 事業の概要	<p>我が国のクリーンコール技術の国際競争力強化を目指し、ゼロエミッション石炭火力の実現に向けた技術開発・調査研究を積極的に推進する必要がある。</p> <p>石炭を利用する際、NOx、SOx、煤塵、石炭灰、有害微量元素、地球温暖化ガスの排出抑制への対応が必要であり、これらの対策技術の開発は今後とも継続的に実施していく必要がある。本事業は平成 19～22 年度の委託研究として微量元素に着目し、排ガス中における水銀挙動を明らかにすることに取り組み、これを実施した。さらに、本研究により、目標値である水銀排出量 3 μg/kWh を達成するためのシステムとして、脱硝触媒(高水銀酸化型)と低温集塵器(90)及び湿式脱硫装置を提案し、大型燃焼炉でカナダ炭 2 炭種、米国炭 1 炭種及び中国炭 1 炭種を用いた試験により、上記システムにより、目標値である大気への水銀排出量 3 μg/kWh を達成できることを確認した。</p>			
.事業の位置付け・必要性について	<p>温室効果ガスの大幅削減等、エネルギーに関わる環境問題へ積極的に取り組む必要があるという認識のもと、NEDO エネルギー分野戦略マップ 2009 に沿った技術開発の推進と総合資源エネルギー調査会鉱業分科会クリーンコール部会で示された Cool Gen 計画（世界的に需要が拡大する石炭クリーン利用に関する技術開発の強力な推進）の着実な進展を図ることが必要となっている。</p> <p>エネルギーイノベーションプログラムは、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ことを目的としている。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>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燃焼技術分野において、微量元素排出抑制に関し、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進することを目的として実施する。</p>			
.研究開発マネジメントについて				
事業の目標	ゼロエミッション石炭火力の実現のため、本研究では、石炭焚ボイラの排煙処理プロセスにおける水銀挙動を明確にし、大気への水銀放散を防止するための技術開発を早期に実現することを目的とする。			

事業項目	平成19年度				平成20年度				平成21年度				平成22年度									
	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期	第1 四 半 期	第2 四 半 期	第3 四 半 期	第4 四 半 期						
事業の計画内容	<p>①ラボ試験</p> <p>a. 水銀酸化触媒の評価</p> <p>b. 排ガス中 Hg の灰付着特性評価</p> <p>c. 脱硫吸収液への Hg 吸収特性評価</p> <p>d. 酸素燃焼時における Hg 除去挙動の検討</p> <p>②小型炉燃焼炉試験</p> <p>a. 3 炭種での実ガス試験</p> <p>b. 水銀酸化触媒の評価</p> <p>c. 集塵装置での Hg 除去評価</p> <p>d. 脱硫装置での Hg 除去評価</p> <p>e. 酸素燃焼時の評価</p> <p>f. 最適除去システムの選定</p> <p>③大型燃焼・排煙処理装置</p> <p>a. 実ガス試験</p> <p>b. 水銀酸化特性評価</p> <p>c. 集塵機での Hg 除去評価</p> <p>d. 脱硫装置での Hg 除去評価</p> <p>e. 酸素燃焼改造及び評価</p> <p>④シミュレーションツールの開発</p> <p>a. 水銀除去モデルの作成</p> <p>b. モデルの検証及び精度向上</p> <p>⑤廃水処理技術の開発 (再委託先：鹿児島大)</p> <p>a. 液中分析, 廃水処理方法の基礎的検討</p> <p>b. 灰からの溶出挙動解析, 廃水処理技術の開発</p> <p>c. 燃焼炉システムへの適用</p> <p>⑥B, Se の分配挙動解明 (再委託先：秋田大学)</p> <p>a. 燃焼時放出挙動解明</p> <p>b. 灰への付着等挙動解明</p> <p>⑦動向調査</p>																					
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				合計金額			
	一般会計		0				0				0				0				0			
	特別会計(需給)		43				106				370				228				747			
	予算額		43				106				370				228				747			
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		鹿児島大学 大木 章 教授																			
	委託先		バブコック日立株式会社 (再委託：鹿児島大学、秋田大学)																			
情勢変化への対応	<p>(1) 国連環境計画に関連して 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)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。</p> <p>(2) 基本計画の変更</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」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)

(3)米国環境庁 (U.S.EPA) 規制への対応
 2011 年 3 月に米国環境庁 (U.S.EPA) より National Emission Standard for Hazardous Air Pollutants(NESHAP)が提案され 2011 年 11 月に石炭火力発電所の排出規制が強化される見込みであり、水銀の新設瀝青炭焼き規制値は 3.6 μg/kWh となる。ただし本事業の目標値は本値より厳しい 3.0 μg/kWh に設定しているため事業目標の変更対応は行わない。

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、石炭燃焼灰への灰付着特性及び脱硫液への水銀の吸着特性を把握した。
 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)の排ガスの一部を小型排ガス処理装置に供給し、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、試験結果に基づき、目標値を達成するための機器構成として、酸化状水銀への反応を促進する脱硝触媒と排ガス温度を 90℃まで下げる集塵器と湿式脱硫装置の組み合わせを提案した。
 さらに、平成 21,22 年度は当社にて保有している脱硝触媒、集塵器、湿式脱硫装置を有する大型燃焼装置(120kg/h)を用いて各機器の水銀挙動を評価するとともに、20 年度に提案したシステムの評価を行い、カナダ炭だけでなく、水銀含有量が多い中国炭や、水銀付着の障害となる高S炭においても水銀排出量为目标値である 3 μg/kWh 以下にできることが確認できた。
 また、集塵器で灰に付着させて捕集した水銀やホウ素、セレン等微量成分の溶出特性や脱硫液で捕集したこれらの微量成分の除去技術についても同時に検討した。(再委託先：鹿児島大学)
 さらに、排ガス中のホウ素、セレンの挙動については、平成 21 年度に実施した中間評価でのコメントを反映し、標準化グループで規定した測定方法に基づき、大型燃焼炉での測定を実施し、その挙動を評価した。また、電気炉を用いた基礎試験により、集塵器及び脱硫装置の運転条件がホウ素、セレンの除去特性に及ぼす影響について評価した。(再委託先：秋田大学)

. 研究開発成果について

目 標	試験内容 (年度)	項目	達成状況	評価
水銀排出量 3 μg/kWh	19~22年度	水銀除去システムの選定	ラボ試験、小型炉試験により、高効率除去に必要なシステム構成(脱硝触媒+集塵器+脱硫装置)を選定。 大型燃焼炉試験により、上記システム評価を実施し、水銀排出量3 μg/kWh以下を確認	◎
	ラボ試験 (19年度)	触媒部酸化特性評価	HCl, SO ₂ 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	○

目 標	試験内容 (年度)	項目	達成状況	評価
	大型燃焼炉 (21~22年度)	炭種の評価	カナダ炭及び中国炭を含む4炭種で評価試験を実施	○
		触媒部酸化特性評価	HCl, SO ₂ 等の影響評価, 水銀酸化促進剤の効果確認	○
		灰付着特性評価	温度, 灰の比表面積等の影響評価	○
		脱硝液吸収特性評価	L/G, pH等の影響及び再放出防止法検討	○
		排ガス中B,Se挙動評価	B,Se測定法を確認し, 集塵部及び脱硝部への分配特性を評価	○
		酸素燃焼時の評価	各機器の特性評価	○
		システム評価	選定システム(脱硝触媒+集塵器+脱硝装置)により, 目標値3μg/KW達成を確認	○
		数値解析によるシミュレーションツールの解析	各機器におけるHg挙動の基礎式を作成し, 大型燃焼炉結果を用いて精度評価	○
	廃水処理技術 (19~22年度)	脱硝廃水中の有害元素除去技術	キレート樹脂によりHg,B等の有害元素除去を確認	○
		石炭灰中の有害元素除去	酸洗浄により有害元素除去を確認	○
排ガス中B,Seの挙動解明 (22年度)	基礎試験によるB,Seの配分特性評価	基礎試験により, 石炭燃焼時のB,Se放出挙動及び灰粒子への付着特性評価	○	
発表等	査読付き論文(海外)4件、口頭発表24件(国内13件、海外11件)			
特許	出願済7件			
.実用化の見通しについて	<p>カナダや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いる。当社では、アメリカ等での本研究成果の社外発表によるPRや、日立グループ会社であるHitachi Power America Ltd.を通じて、北米市場を中心とした発電所への微量成分除去技術のPRを進めており、実用化の可能性は高い。</p> <p>また、中国では石炭燃焼火力発電所の増設が急ピッチで進んでおり、近年はSO₂やNO_x除去だけでなく、Hg等の微量元素の放出抑制についても注目されるようになってきている。当社は、中国をはじめとする東アジア地区においても、本研究の成果を含めてPRを実施しており、本技術の転用が可能である。</p>			
.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 平成23年度 事業終了後、事後評価実施予定		
.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	<p>平成20年3月：別紙研究開発項目及びの達成目標の時期に誤記があったため改訂</p> <p>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</p> <p>平成21年7月：別紙研究開発項目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。</p>		

プロジェクト用語集

A/H	Air Heater (Air Preheater) 空気予熱器
BUF	Boost Up Fan 昇圧ファン
EP	Electrostatic Precipitator 電気集塵器
FDF	Forced Draft Fan 押込通風ファン
FF	Fabric Filter ろ布
FGD	Flue Gas Desulfurization 排煙脱硫
GGH	Gas-Gas Heater (Gas-Gas Heat Exchanger) ガス-ガスヒータ
GRF	Gas Recirculation Fan 排ガス再循環ファン
Hg ⁰	金属状 (0 価) 水銀
Hg ²⁺	酸化状 (2 価) 水銀
Hg ^{2+(g)}	ガス状酸化水銀
Hg ^{2+(p)}	粒子状酸化水銀
IDF	Induced Draft Fan 誘引通風ファン
L/G	Liquid/Gas 脱硫吸収液/ガス比
PAF	Primary Air Fan 1次空気ファン
SCR	Selective Catalytic Reduction 選択的触媒還元
TMT	Trimercaptotriazine トリメルカプトトリアジン (重金属吸着剤の一種)

プロジェクト体系の変遷

2009年に行われた「戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発（STEP-CCT）」の中間評価時の事業原簿に対し、「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト/ゼロエミッション石炭火力基盤技術/石炭利用プロセスにおける微量成分の環境低減手法の開発」の一部を改定した。

なお、現在「戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発（STEP-CCT）」の名称はなくなり、新設の「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」のなかに、「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト」及び「クリーン・コール・テクノロジー推進事業」とともに、「石炭利用プロセスにおける微量成分の環境低減手法の開発」が2010年3月統合された。したがって、現在の事業名は「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト/ゼロエミッション石炭火力基盤技術/石炭利用プロセスにおける微量成分の環境低減手法の開発/高度除去技術」となっている。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDOが関与することの意義

エネルギーイノベーションプログラムは、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ことを目的としている。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」において重要項目として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、今後の世界的なエネルギー需要の増加、すなわち中国・インドで見られる急速な経済成長に伴う良質の石炭資源の入手難への対応、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。

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燃焼技術分野において、微量元素排出抑制に関し、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進することを目的として実施する。

一般的にこのような、中長期的視点に立ったエネルギー戦略は、公益性高く、社会的な必要性は大きい。が、実用化に向けては多大な技術開発資金と開発期間を要するため、費用回収の面から民間企業で実施することが現実的に難しく、NEDOの研究開発のマネジメント（体制、交付金など）の下で行われることが望ましい。

このように、NEDOには我が国のクリーンコール技術の国際競争力強化し、ゼロエミッション石炭火力の実現に向けた技術開発・調査研究を積極的に推進する使命がある。

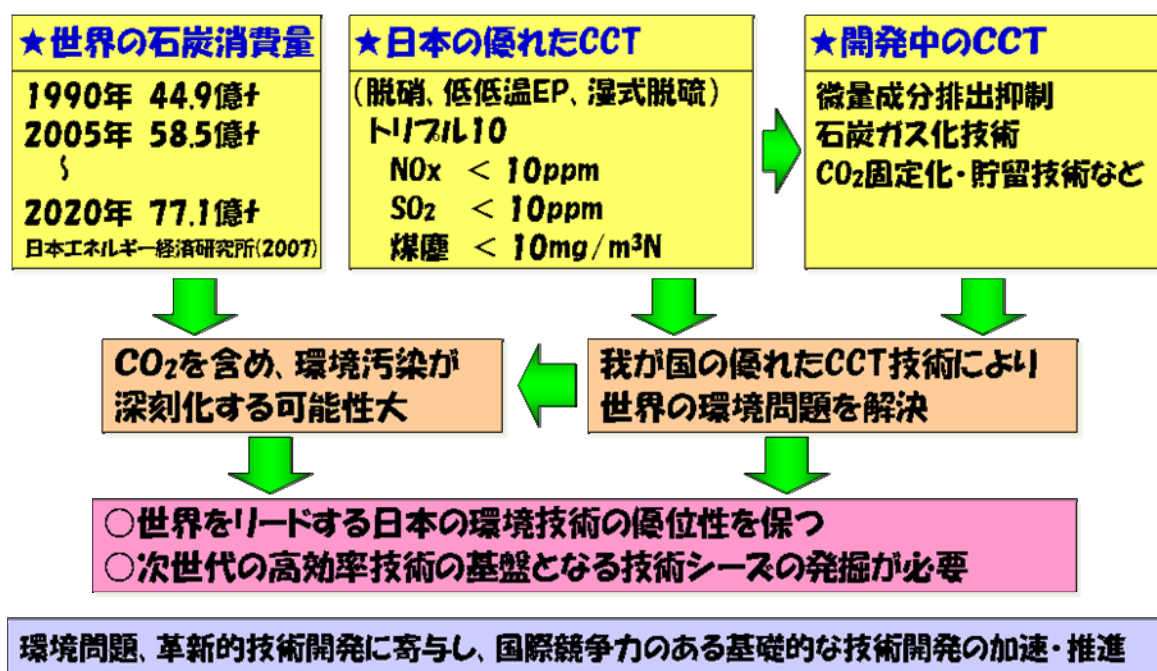


図 I - 1 CCT 推進の目的と技術背景

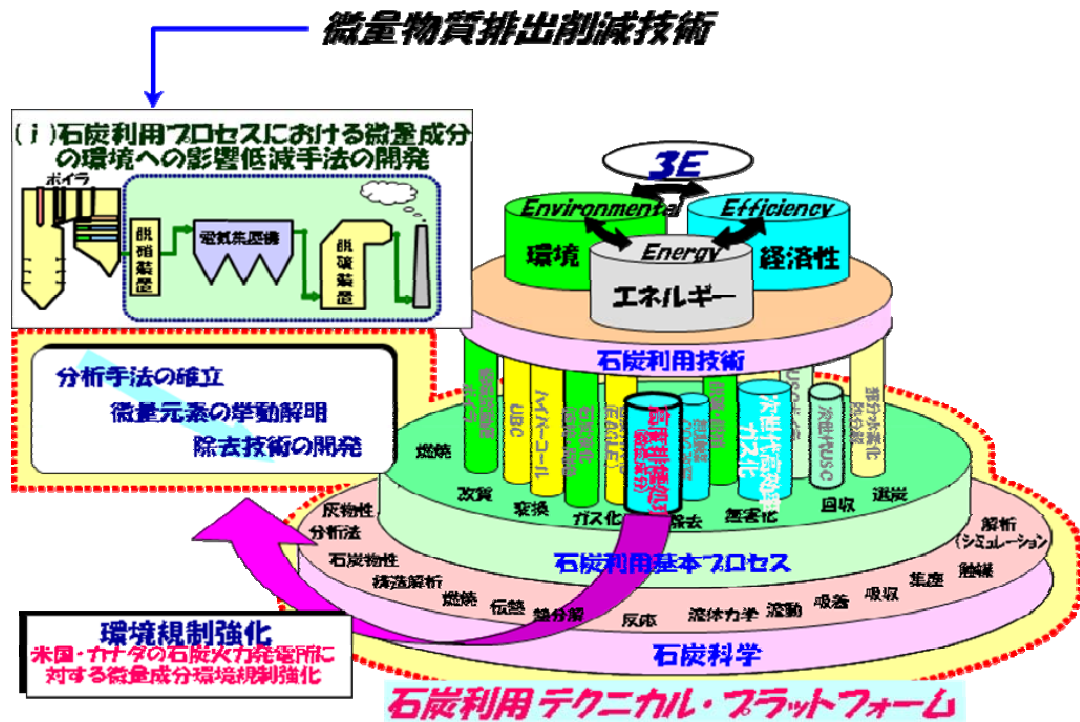


図 I -2 本プロジェクトの CCT 中の位置付け



図 I -3 本事業のプロジェクトの中の位置付け

1.2 実施の効果（費用対効果）

各国の排ガス規制状況、石炭火力発電所の現状、予測される将来動向に対し、本事業究の成果は以下のように適用できると考えられる。

【カナダ】

カナダでは CANADA-WIDE STANDARDS により、新設石炭焚発電ユニットの排ガス中水銀量を世界で最も厳しい $3 \mu\text{g}/\text{kWh}$ に規制することを検討している。本研究の水銀除去の目標値はこれに合わせて設定しており、本目標をクリアする技術を確立した。

【米国】

2011年3月に環境庁（U.S. EPA）より National Emission Standard for Hazardous Air Pollutants (NESHAP) が提案され、2011年11月に石炭火力発電所の排出規制が強化される見込みである。微量成分も重要な規制対象となっており、水銀規制値は新設瀝青炭焚きの場合 $3.6 \mu\text{g}/\text{kWh}$ と厳しい。

米国には、石炭焚火力発電ユニットが約 1,300 基あり、発電量は 305GW に相当する。ほとんどのユニットは集塵装置を備えているが、脱硫装置は発電量として約 1/3 にしか設置されていない。従来の Hg 低減方法としては、活性炭などの吸着材を集塵装置（ESP あるいは FF）の前で排ガス中に供給し、吸着除去する方法が主流である。今後、発電量として約 1/3（主に東部地域）に対しては、NOx 低減のために脱硝触媒（SCR）が設置される見込みであることから、本研究で使用した脱硝触媒と、集塵装置、脱硫装置を組み合わせた水銀除去システムの需要は高まると予想される。

【中国、インド等の新興国】

石炭焚火力発電所が急ピッチで増加している。これらの国における環境対策としては、まず脱硝、脱硫が優先されるが、その延長線上で微量成分除去の要求が出てくるのは必至である。その場合、現地の石炭の中には、微量成分含有量が高いものも少なくないため、高い除去性能が必要になると予想される。こうした各国の石炭火力プラントに対し、本研究の成果である高度除去技術を適用することにより、世界規模でよりクリーンなエネルギー供給に貢献することができる。

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)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
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

図 I -4 技術戦略マップ 2009における位置付け

2. 事業の背景・目的・位置づけ

現在、世界をリードしている我が国の石炭利用に関する環境対策技術の優位性を引き続き保つとともに、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・低価格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の適用出来る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。またそれによって我が国の環境対策技術における世界トップの地位を維持する。

・研究開発項目「石炭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行った。

【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

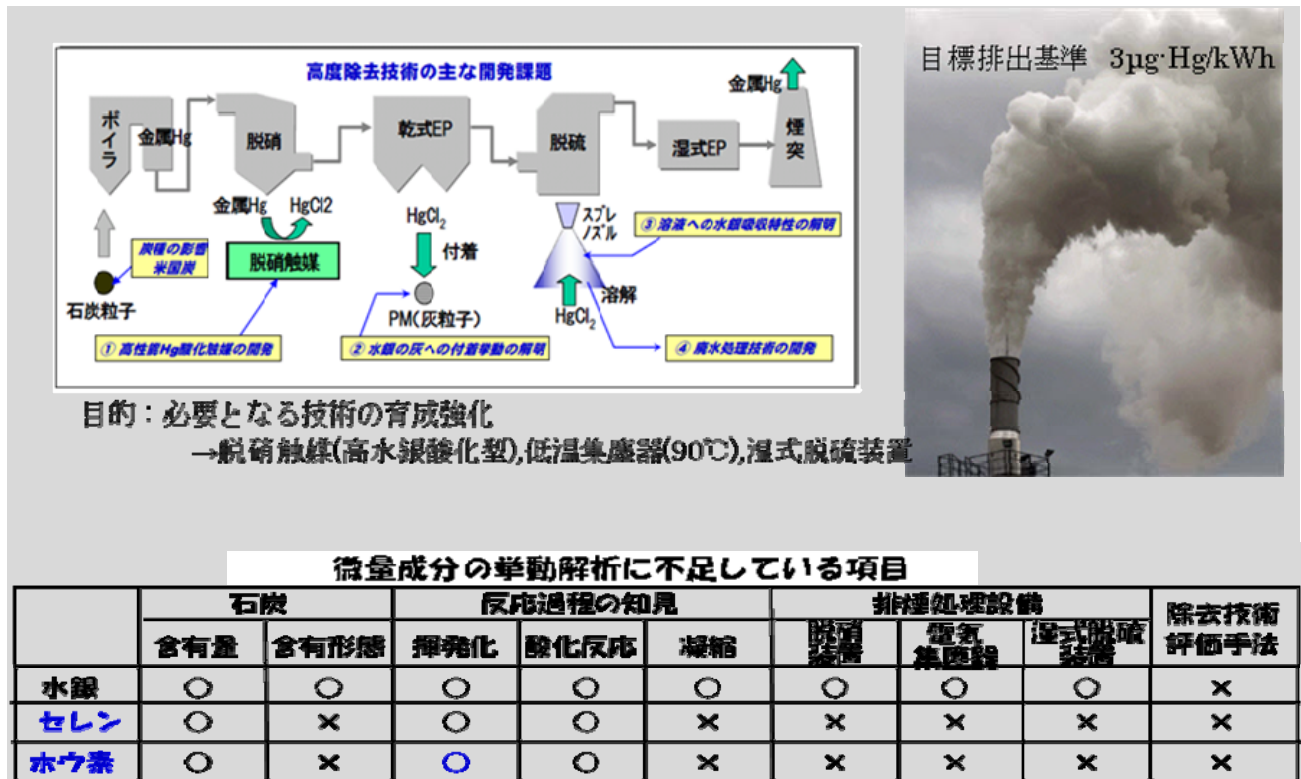


図 I -5 事業の実施項目と目的

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

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。

研究開発目標を次のように設定する。

[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

[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。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

・研究開発項目「石炭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」

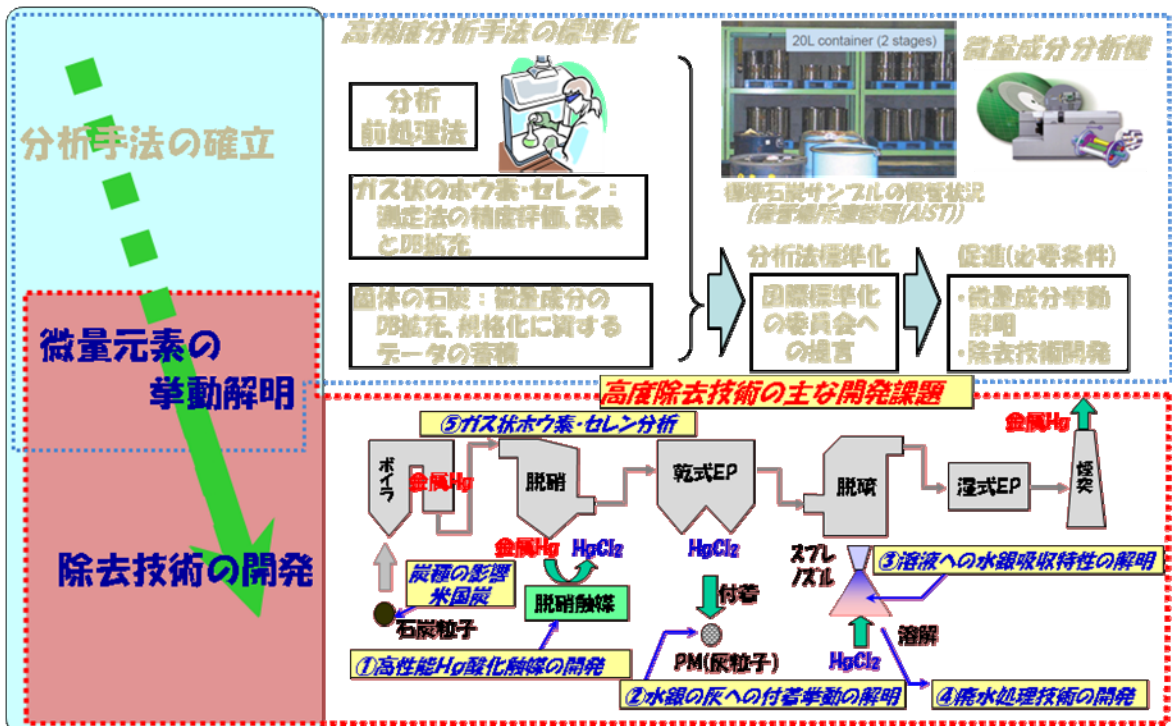
(1) 高度除去技術

本事業は平成 19～22 年度の委託研究として微量元素に着目し、排ガス中における水銀挙動を明らかにする。

本研究により、世界的に最も厳しい排出基準である水銀排出量 $3 \mu\text{g-Hg/kWh}$ を達成するため、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。

システムとして、脱硝触媒(高水銀酸化型)と低温集塵器(90%)及び湿式脱硫装置を提案し、大型燃焼炉でカナダ炭 2 炭種、米国炭 1 炭種及び中国炭 1 炭種を用いた試験により、上記システムにより、目標値である大気への水銀排出量 $3 \mu\text{g/kWh}$ を達成できる高度微量成分除去技術を開発する。

研究開発内容の概要を図Ⅱ-1に、また研究開発予算を図Ⅱ-2に示す。図Ⅱ-3 研究開発のスケジュールと実施内容



図Ⅱ-1 高度除去技術開発の概要

【研究開発予算】

(金額・百万円)

	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	合計
高度除去技術	43	106	370 (うち補正予算: 337)	228	747

【補正予算】

国連環境計画(UNEP)

・国境を越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日に決定。

平成21年度の予算に以下の新たな必要予算を追加し、大型燃焼試験の平成22年度実施分を前倒した。さらに燃焼試験において中国炭についても追加実施した。

- 1) 大型燃焼試験の前倒し……237百万円
- 2) 中国炭の燃焼試験追加……100百万円(情勢変化への対応)

図Ⅱ-2 研究開発予算

事業項目	平成 19 年度				平成 20 年度				平成 21 年度				平成 22 年度			
	第 1 四半 期	第 2 四半 期	第 3 四半 期	第 4 四半 期	第 1 四半 期	第 2 四半 期	第 3 四半 期	第 4 四半 期	第 1 四半 期	第 2 四半 期	第 3 四半 期	第 4 四半 期	第 1 四半 期	第 2 四半 期	第 3 四半 期	第 4 四半 期
①ラボ試験																
a. 水銀酸化触媒の評価			■	■												
b. 排ガス中 Hg の灰付着特性 評価			■	■												
c. 脱硫吸収液への Hg 吸収 特性評価			■	■												
d. 酸素燃焼時における Hg 除去挙動の検討			■	■												
②小型炉燃焼炉試験																
a. 3 炭種での実ガス試験				■	■	■	■	■	■							
b. 水銀酸化触媒の評価				■	■	■	■	■	■							
c. 集塵装置での Hg 除去評価				■	■	■	■	■	■							
d. 脱硫装置での Hg 除去評価				■	■	■	■	■	■							
e. 酸素燃焼時の評価				■	■	■	■	■	■							
f. 最適除去システムの選定							■	■	■							
③大型燃焼・排煙処理装置																
a. 実ガス試験												■	■	■	■	■
b. 水銀酸化特性評価												■	■	■	■	■
c. 集塵機での Hg 除去評価												■	■	■	■	■
d. 脱硫装置での Hg 除去評価												■	■	■	■	■
e. 酸素燃焼改造及び評価												■	■	■	■	■
④シミュレーションの開発																
a. 水銀除去モデルの作成			■	■												
b. モデルの検証及び精度向上					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
⑤廃水処理技術の開発 (再委託先：鹿児島大)																
a. 液中分析、廃水処理方法 の基礎的検討					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
b. 灰からの溶出挙動解析、 廃水処理技術の開発					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
c. 燃焼炉システムへの適用									■	■	■	■	■	■	■	■
⑥B, Se の分配挙動解明 (再委託先：秋田大学)																
a. 燃焼時放出挙動解明															■	■
b. 灰への付着等挙動解明															■	■
⑦動向調査																

図Ⅱ-3 研究開発のスケジュールと実施内容

2.2 研究開発の実施体制

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

NEDO は、事業に参加する各事業グループの有する研究開発ポテンシャルを検討し、これを最大限活用することにより効率的かつ効果的な研究開発の推進を図る観点から、各事業の実

施先決定後に必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を指名し、その下で運営管理を実施する。

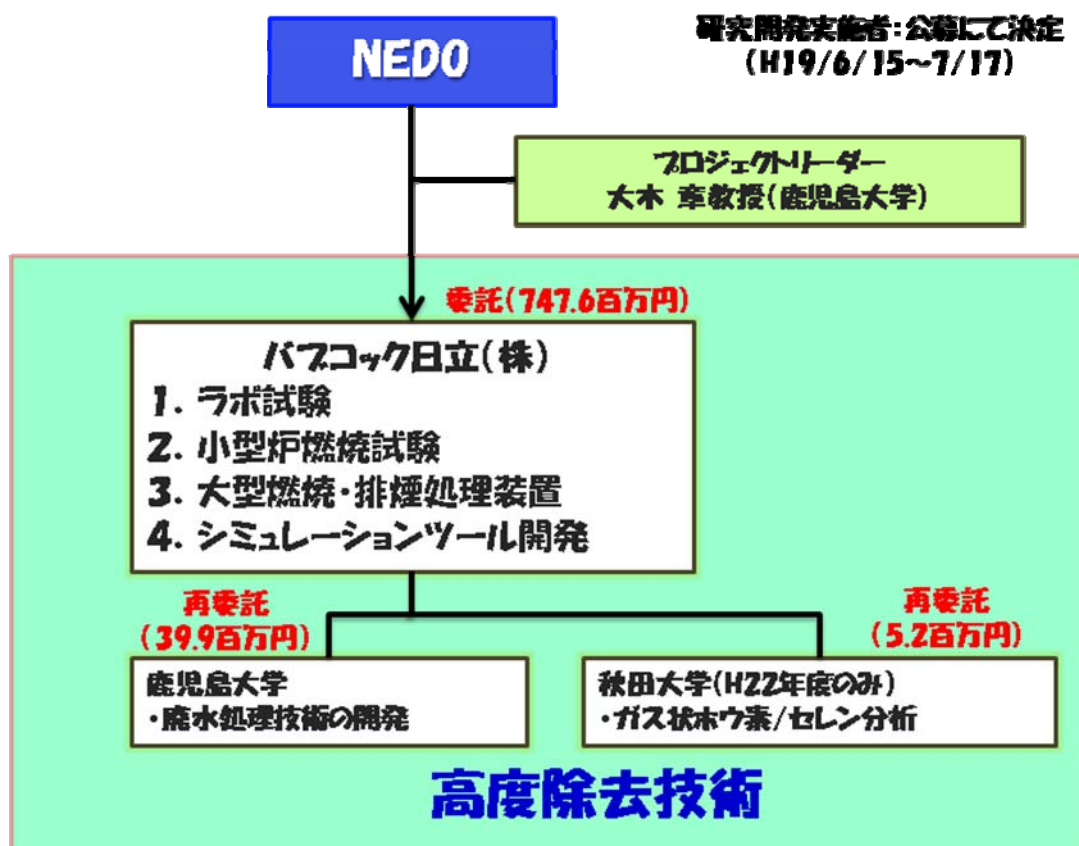


図 II -4 実施体制図

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. 情勢変化への対応

(1) 国連環境計画に関連して

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)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。

(2) 米国環境庁 (U.S.EPA) 規制への対応

2011 年 3 月に米国環境庁 (U.S.EPA) より National Emission Standard for Hazardous Air Pollutants(NESHAP)が提案され 2011 年 11 月に石炭火力発電所の排出規制が強化される見込みであり、水銀の新設瀝青炭焼き規制値は $3.6 \mu\text{g}/\text{kWh}$ となる。ただし本事業の目標値は本値より厳しい $3.0 \mu\text{g}/\text{kWh}$ に設定しているため事業目標の変更対応は行わない。

4. 中間評価結果への対応

<成果に関する評価 実用化の見通しに関する評価 今後に対する提言>

ラボ試験、小型炉試験の結果から、中間目標には到達している。また、現時点では、北米だけであるが、今後、火力発電所から排出される水銀量の規制強化が世界に拡大する可能性がある課題を取り上げ、先取りして解決していることは評価できる。さらに、実用化イメージ・出口イメージも明確になっているので成果の実用化の可能性は有るといえる。

一方、実験データが少なく、炭種や反応条件の影響まで十分に明らかにされていない。今後は、種々の炭種における、プロセスでの Hg、B、Se の分配挙動や、脱硝触媒の改良等を研究課題とした、定量的な実証試験の実施が望まれる。これが、企業単独開発ではノウハウなどの問題で困難であるのであれば、大学などに委託して、学術的にそのメカニズムを明らかにして頂きたい。

なお、本テーマは単独企業での事業体制(廃水処理は大学への再委託)となっているが、同業他社を含めた成果の受取手に対して、適切に成果を普及させることができるか疑問である。プロジェクトリーダーを中心に成果を普及させる方法を検討し、成果物の積極的な公開に留意されたい。

また、「脱硝触媒ありき」の考え方で良いのか疑問である。適用対象ボイラの仕様、運用条件等を踏まえたシステムのあり方を考慮して頂きたい。

さらに、排煙中にはガス状と灰粒子に付着した水銀があると考えられる。「排煙中濃度」といった指標だけでなく、その存在状態、割合を把握して頂きたい。

特に、サブミクロン粒子(吸着面積大)への付着による濃縮効果に留意する必要があるか、検討して頂きたい。

<肯定的意見>

○中間目標は達成。ただし、今後へ向けての問題点も認められる。

○現時点では、北米だけであるが、今後、火力発電所から排出される水銀量の規制強化が世界に拡大する可能性がある。技術的解決策を他国に先んじて確立しておくことは、産業面でも国際貢

献の面でも重要と考える。

○ラボ試験、小型燃焼炉、大型燃焼炉が準備され、Hg の挙動の全体像が明らかにされると期待される。

○現在の国内で利用されている石炭 'Sakamoto' ではほとんど問題にならないレベルかもしれないが、水銀含有量の多い石炭を利用している環境規制が厳しい地域向けの技術開発を小型炉と大型炉で実施して、技術的な確立を図ることは重要な課題として評価できる。原理的には既知の技術であるものの、小型炉にて水銀除去の操作因子を実証する中間目標も達成していると思われる。

○ラボ試験および小型燃焼炉試験における成果は目標値をクリアしていると判断される。微粉炭燃焼ボイラからの水銀排出量 $3 \mu\text{g} / \text{kWh}$ を目標にした課題とその解決の道筋が明確に示されている。

○今後顕在化する可能性のある課題を取り上げ、先取りして解決していることは評価できる。

○ラボ試験、小型炉試験の結果から、中間目標には到達していると考えられる。世界的にも厳しいカナダの排出基準 $3 \mu\text{g} / \text{kWh}$ をクリアするような結果が得られている。手法等の成果には汎用性もあり、他国での転用の可能性は有るといえる。実用化イメージ・出口イメージも明確になっているので成果の実用化の可能性は有るといえる。今後実施予定の大型試験における成果が待たれる。

<問題点・改善すべき点>

●特許の関係かも知れないが、学術論文、国内外の学会での発表が少ないように思える。

●実験データが少なく、炭種や反応条件の影響まで十分に明らかにされていない。B や Se についても、プロセスのどこに濃縮されるのか分配挙動を明らかにする必要がある。もし脱硫排水に濃縮され排ガスから放出されない（これも 100% と言えるか）から問題としないとするならば、今回この両元素を何故取り上げたのか疑問になる。

●ラボ試験結果からは、硫黄分の多い石炭燃焼を想定して、酸露点以上で集塵操作を実施すると灰への水銀付着がほとんどなく、フライアッシュ中への固定化効果はほとんど期待できないことになる。これに対して石灰吹き込み等を併用した低温度化が提案されているが、これについての定量的な実証試験も実施し、石炭の性状に応じた操作指針の確立が求められる。また、ホウ素、セレンの微量成分について、「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」で提案されたサンプリング法の実証試験を大型炉で実施することも望まれる。

●水銀排出量 $3 \mu\text{g} / \text{kWh}$ を達成するために既存設備の操作条件の変更（最適化）のみで達成できるのであれば、単なる試験（社内ノウハウの蓄積）であり、「戦略的炭ガス化・燃焼技術開発」という看板にそぐわず、また「成果に汎用性がある」、「成果は他の競合技術と比較して優位性がある」など、国民の税金を使って実施する研究開発と判断しにくい部分がある。

実施者側からの「排煙システム全体の運用により目標を達成するための技術開発もソフト面での開発であり、最終的には、実機において、保証値（規制値）をクリアできる技術開発と考えている。」との見解自体は、十分に理解できる。

しかしながら、平成 21 年度から実施する大型燃焼炉試験装置を使用した試験において、ソフト面での開発は社内ノウハウの蓄積になりがちで非公開となり、同業他社を含めた成果の受取手に

対して、適切に成果を普及させることができるか疑問である。プロジェクトマネージを中心に成果を普及させる方法を事前に打ち合わせ、成果物の積極的な公開に留意されたい。

●「脱硝触媒ありき」の考え方で良いのか疑問である。適用対象ボイラの仕様、運用条件等を踏まえたシステムのあり方を考慮すべきではないか。

●優位性を確立するには時間が重要である。実用化の時期は 2015 年近辺が想定されているが、極力前倒しで実用化されたい。

<今後に対する提言>

・脱硝触媒の有無、E P 灰洗浄の実用性、塩素添加による悪影響の有無・程度等を考慮した上で、今後の研究開発を遂行、展開してほしい。さらに、排煙中の水銀濃度を抑えるという観点だけでは不十分であり、E P 灰、石膏、排水中の水銀の除去、固定といった点も付加、言及すべきと考える。

・環境対策においては、国内と海外では、現状の設備および運用が大きく異なるため、対策の検討においてはそこを明確に区分して実施したほうが効果が明確になると考えられる。

・技術的には良好な結果が出ているが、コスト面でも競合技術に対する優位性を確立していただきたい。

・Hg、B、Se の分配挙動を明らかにしておく必要がある。また排水の処理に実用化まで考えて、キレート繊維や光触媒還元法を本当に採用するのか、その妥当性を明示する必要がある。

・本事業では試験設備を所有していることから、単独企業での事業体制（廃水処理は大学への再委託）となっているため、知的財産権と成果の普及とは相反する要素を含んでおり、このギャップをどのように埋めるかについて、今後、指針を示しておくべきである。

・種々の炭種に対して水銀排出量 $3 \mu\text{g}/\text{kWh}$ を達成するためには、脱硝触媒の改良研究（脱硝性能を維持したまま、なるべく Hg を酸化し、同時に SO₂ は酸化しない）研究・開発が重要である。企業単独開発ではノウハウなどの問題で困難であるのであれば、大学などに委託して、その学術的にメカニズムを明らかにする努力が必要と考える。成果物の公開方法について、積極的に検討されたい。

<その他の意見>

・水銀汚染は国際的な問題であり、新興国を含む環境保全が必要である。規制を待つだけでなく、地球や健康を保全する活動でのリーダーシップを強化すべき。

・論文による公表や特許取得が少ないので増やす必要がある。Hg の挙動に及ぼす塩素の影響に関してはすでに多くの報告もあるので、より掘り下げた研究開発が期待される。

・本課題は、実証研究的要素が大きいと考えられるので、大型炉での実証後は早急な実用化、商用ボイラへの導入を推進することで、社会的な普及を目指して頂きたい。

・国内の事業用微粉炭火力は、新設がかなり難しいことおよび既設機においては、発電原価の低減と利用率向上の観点から、大規模な改造やユーティリティー追加は、非常に困難であることも留意していただきたい。

・排煙中にはガス状と灰粒子に付着した水銀があると思う。「排煙中濃度」といった指標だけでなく、その存在状態、割合を把握してほしい。特に、サブミクロン粒子（吸着面積大）への付着による濃縮効果に留意する必要はないか。

<その後の対応>

以下の項目について H22 年度実施方針へ反映。

・関連性の高い微量物質の 2 テーマ（微量成分分析及び高度除去）については、既に P L による情報の集約と研究者間の技術交流を進めており、今後も総合力の発揮に向けて活発化していく。

・高度除去のテーマについては実施者が個別のユーザヒアリングを行うことで、ユーザー意見の吸い上げを強化する。また、得られた各個別情報は、N E D O が集約し、P L を通じて迅速に共有化を図り、必要があれば開発に反映させていく。

・今後可能な範囲で実験データの上積みを図り、炭種や反応条件の影響を明らかにする。また、より広範な適用先となるよう、脱硝触媒の無いプラントについても低コストな添加剤等による除去率向上を目指し、燃焼試験を行う。

・ダクト中における粒子状水銀の割合を明らかにし、また、電気集塵器で捕集した灰中の水銀濃度を測定し、灰の比表面積と水銀吸着量との関係について検討する。

5. 評価に関する事項

①評価の実施時期

2007 年 1 月 9 日～2 月 5 日	事前評価
2007 年 2 月 21 日～3 月 1 日	事前評価
2009 年 8 月 6 日（木）	中間評価

②評価手法

パブリックコメント	（事前評価）
外部評価	（中間評価）

③評価事務局

推進部	（事前評価）
研究評価部	（中間評価）

④評価項目・基準

知的基盤・標準整備等の評価項目・評価基準

⑤評価委員（中間評価）

評価委員

席	評価における立場	氏名	所属	役職
	分科会長	真下 清	日本大学 理工学部 物質応用化学科	教授
	分科会長代理	菅原 勝康	秋田大学 工学資源学部 環境物質工学科	教授
	委員	板谷 義紀	名古屋大学 大学院工学研究科 化学・生物工学専攻	准教授
	委員	田中 雅	中部電力株式会社 技術開発本部 電力技術研究所	研究主幹
	委員	二宮 善彦	中部大学 工学部 応用化学科	教授
	委員	原田 孝	九州電力株式会社 火力部	副部長 兼 事業推進 グループ長
	委員	村上 清明	株式会社 三菱総合研究所 科学技術部門統括室	参与

III. 事業全体の成果

1. 事業の概要

世界の石炭焚発電所における水銀排出の概要を図III-1に示す。日本国内においては、ボイラ出口に脱硝触媒、集塵器及び脱硫装置を設置する構成が一般的であるが、海外においては未だに集塵器だけであったり、脱硝触媒と集塵器だけ、あるいは集塵器と脱硫装置だけという構成のほうが多い。例えば、北米においても脱硝触媒、集塵器及び脱硫装置が設置されている発電所は全体の40%であり、中国においてはその割合はさらに低くなっている。

このような機器構成の違いによって、発電所から大気に放出される水銀排出割合が異なることが知られている。集塵器だけ、あるいは脱硝触媒と集塵器だけの場合は、水銀排出割合は40%以下と低く、脱硫装置を設置することで排出割合は80%と高くなる傾向がある。また、同じ機器構成の場合でも、各機器の運転条件や使用する炭種によって、水銀排出量に幅がある。そこで、発電所からの水銀排出量を低減するためには、これらの機器における水銀挙動を明らかにし、最適な機器構成、運転条件を把握する必要がある。

システム構成	Hg除去率 % ($\mu\text{g}/\text{kWh}^*$)	設置状況	
		北米	中国
	0~40 (33~20 ^{*1})	20%	50%
	0~40 (33~20 ^{*1})	25%	5%
	0~80 (33~7 ^{*1})	15%	35%
	20~80 (26~7 ^{*1})	40%	10%

- ・発電所の機器構成により、Hg除去率が変動
- ・同じ構成でも、石炭の種類により、Hg除去率が変動
- ・各機器における水銀挙動を明らかにするため、ラボ、小型燃焼炉試験、大型燃焼炉試験を実施

*1:石炭中Hg量を100 $\mu\text{g}/\text{kg}$
発熱量29,000kJ/kg.
発電効率37%と仮定

図III-1 世界の石炭焚発電所における水銀排出

そこで、模擬ガスを使用したラボ試験、小型燃焼炉を使用した実ガス試験及び火炉と脱硝触媒、集塵器及び脱硫装置を備えた大型試験装置を用いて、水銀排出量を目標値である3 $\mu\text{g}/\text{kWh}$ 以下にするために必要となる機器構成、運転条件の検討を行った。

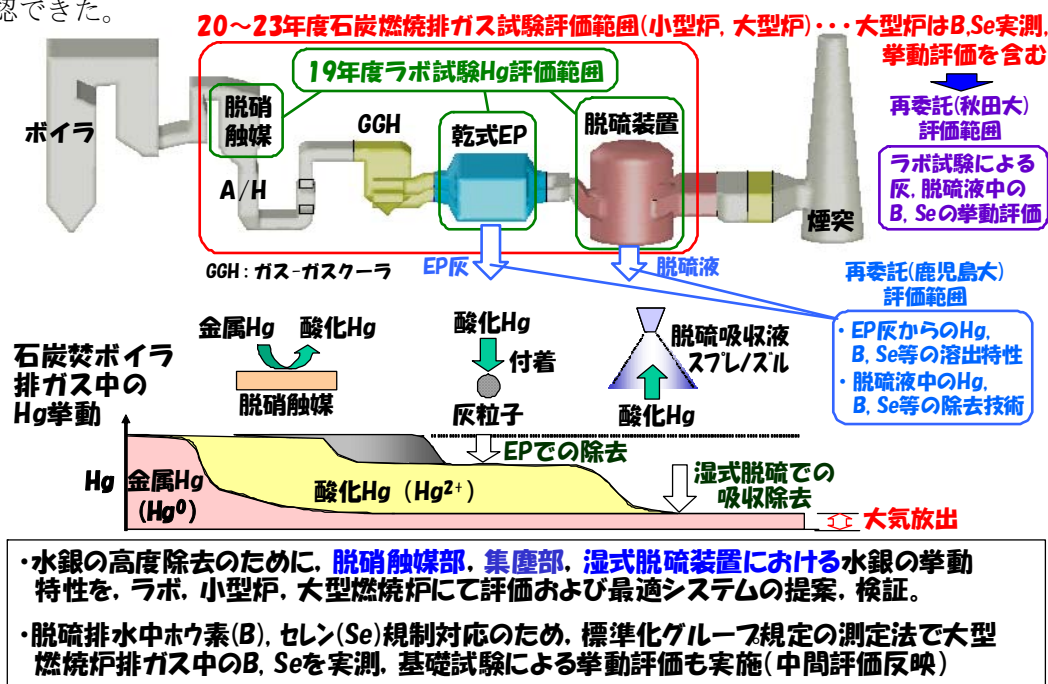
各機器における水銀挙動の概要を図III-2に示す。石炭中に含まれる水銀は、燃焼場で金

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、灰と共に除去される。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なく、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に除去するためには、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、石炭燃焼灰への灰付着特性及び脱硫液への水銀の吸着特性を把握した。

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)の排ガスの一部を小型排ガス処理装置に供給し、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、試験結果に基づき、目標値を達成するための機器構成として、酸化状水銀への反応を促進する脱硝触媒と排ガス温度を 90℃まで下げる集塵器と湿式脱硫装置の組み合わせを提案した。

さらに、平成 21,22 年度は当社にて保有している脱硝触媒、集塵器、湿式脱硫装置を有する大型燃焼装置(120kg/h)を用いて各機器の水銀挙動を評価するとともに、20 年度に提案したシステムの評価を行い、カナダ炭だけでなく、水銀含有量が多い中国炭や、水銀付着の障害となる高S炭においても水銀排出量を目標値である 3 μg/kWh 以下にできることが確認できた。



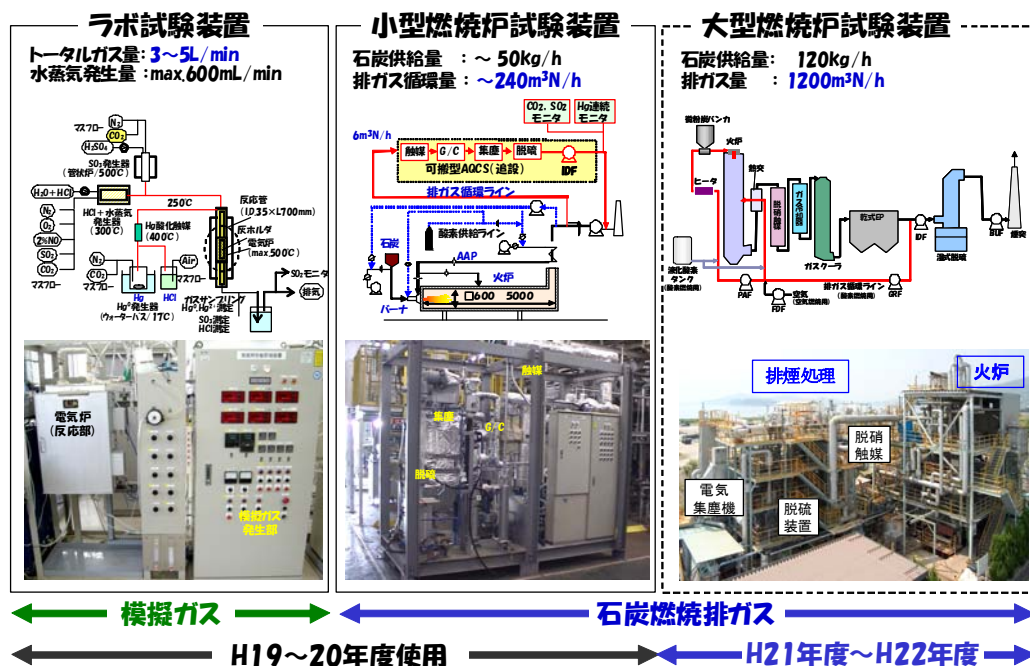
図Ⅲ-2 微量成分高度除去技術開発の実施内容

また、集塵器で灰に付着させて捕集した水銀やホウ素、セレン等微量成分の溶出特性や脱硫液で捕集したこれらの微量成分の除去技術についても同時に検討した。(再委託先：鹿児島大学)

さらに、排ガス中のホウ素、セレンの挙動については、平成 21 年度に実施した中間評価でのコメントを反映し、標準化グループで規定した測定方法に基づき、大型燃焼炉での測定を実施し、その挙動を評価した。また、電気炉を用いた基礎試験により、集塵器及び脱硫装置の運転条件がホウ素、セレンの除去特性に及ぼす影響について評価した。(再委託先：秋田大学)

図Ⅲ-3 に本事業で使用した試験装置の概要を示す。

まず、模擬ガスによる試験装置を用いて、脱硝触媒部、集塵器及び湿式脱硫装置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組成を模擬し、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-3 試験装置の概要

つぎに、小型燃焼炉試験装置により、表Ⅲ-1 に示した石炭のうち、カナダ炭 2 炭種及び豪州炭を燃焼した排ガスの一部を脱硝触媒、集塵器及び脱硫装置に供給し、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挙動についても検討した。

さらに、大型燃焼炉試験装置を用いて、カナダ炭 2 炭種、米国東部瀝青炭（パトリオット炭）及び中国炭を燃焼した排ガスの水銀挙動及びシステム評価を実施した。本装置は石

炭供給量 120kg/h, 排ガス量 1200m³N/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る。また, 本装置を改造し, 酸素燃焼時における水銀挙動も合わせて評価した。

表Ⅲ-1 石炭組成と目標値

項目	試料名		カナダ炭		米国東部瀝青炭	豪州炭	中国炭	
	ベース	単位	コールバレー	クインサム	パトリオット	サケンバー	(銘柄不詳)	
高位発熱量	気乾	KJ/Kg	25.970	28.870	27.880	29.620	15.660	
全水分	到着	%	6.99	5.08	11.7	8.35	8.67	
工業分析	気乾試料水分	気乾	6.41	4.05	7.16	2.44	2.04	
	揮発分	無水	36.96	37.94	40.62	33.29	19.04	
	固定炭素	無水	51.86	53.34	48.7	55.21	33.04	
	灰分	無水	11.18	8.72	10.68	11.5	47.92	
元素分析	C	無水	69.22	73.22	71.32	73.26	40.88	
	H	無水	4.26	4.55	5.14	4.63	2.34	
	O	無水	14.28	12.1	8.45	8.39	7.95	
	N	無水	0.97	1.16	1.58	1.77	0.6	
	S	無水	0.26	0.46	2.9	0.45	0.77	
	灰中S	無水	0.17	0.21	0.07	0.01	0.46	
	Cl	無水	mg/Kg	25	330	300	170	410
	F	無水	mg/Kg	70	60	40	50	170
	Hg	無水	μg/Kg	28.3~40.9	26.9~66.8	100~140	14.0~36.2	100~200
	水銀発生量*1 (石炭中全水銀が放出と仮定)		(μg/kWh)	11~15	9~23	35~49	5~20	60~124
目標値3 μg/kWhを達成するための除去率		(%)	72~80	67~87	91~94	35~85	95~97	

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

・石炭中水銀濃度によって, 必要な除去率が異なるが, 安定に3 μg/kWhを達成するには除去率94%が必要。(中国炭の場合は, さらなる高度除去が必要)

つぎに本研究の目標値について述べる。表Ⅲ-1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, 米国で使用されている米国東部瀝青炭(パトリオット炭)及び中国国内で消費されている中国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箇所抽出し, 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, 石炭中の水銀は同一銘柄であっても, ばらつきは大きいことが分かる。近年, エネルギー消費量が急増し, それに伴い石炭消費量も急増している中国においては, 使用されている石炭中に含まれる水銀が多いものがあり, その量は米国東部瀝青炭と比較しても, 倍近いことが分かる。

また, 石炭中に含まれる水銀がすべて大気に放出されたと仮定した場合の単位発電量当りの水銀発生量を表中に示す。ここで, 水銀発生量を計算にする際にボイラの発電効率は37%と仮定した。この結果より, カナダ炭や豪州炭を燃焼した場合, 水銀発生量は最大で15~23 μg/kWhとなる。そのため, 目標値である大気への放出量を3 μg/kWh以下にするためには, 排ガス処理装置で80~87%の水銀を除去する必要があることが分かる。さらに, 米国東部瀝青炭や中国炭のような水銀含有量が多い場合は, 94%~97%という高い除去率が要求されることが分かる。

平成 20 年度では、小型燃焼炉で発生した排ガスの一部を脱硝触媒、バグフィルタ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、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除去特性の評価を実施した。また、小型燃焼炉を酸素燃焼運転した排ガスを使用し、上記に示す各機器で水銀挙動を測定し、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した。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、水銀放出量を目標値である $3 \mu\text{g/kWh}$ 以下にできる見通しを得ることができた。さらに、水銀除去率をさらに向上する方法として、集塵器温度を低下($160 \sim 90^\circ\text{C}$)させ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。

平成 21～22 年度では、火炉と排ガス処理装置から構成する大型燃焼炉試験設備を用い、カナダ炭 2 炭種、米国東部瀝青炭及び中国炭を使用した試験を実施し、脱硝触媒部における水銀酸化特性の評価、灰への水銀付着特性及び脱硫吸収液への水銀吸収特性を評価した。また、測定方法標準化グループにおいて提案されている測定方法に基づき、B,Se の測定を実施し、測定方法の妥当性を確認すると同時に、実燃焼排ガスにおける B,Se の挙動を評価した。さらに、大型燃焼試験装置を酸素燃焼条件で運転し、上記各機器における水銀挙動を評価した。

また、上記試験設備により、高度除去方法として提案した脱硝触媒と低温集塵器及び湿式脱硫装置から構成されるシステムにおける水銀除去性能の評価を行い、上記 4 炭種の試験で水銀放出量を目標値である $3 \mu\text{g/kWh}$ 以下にできることを確認した。

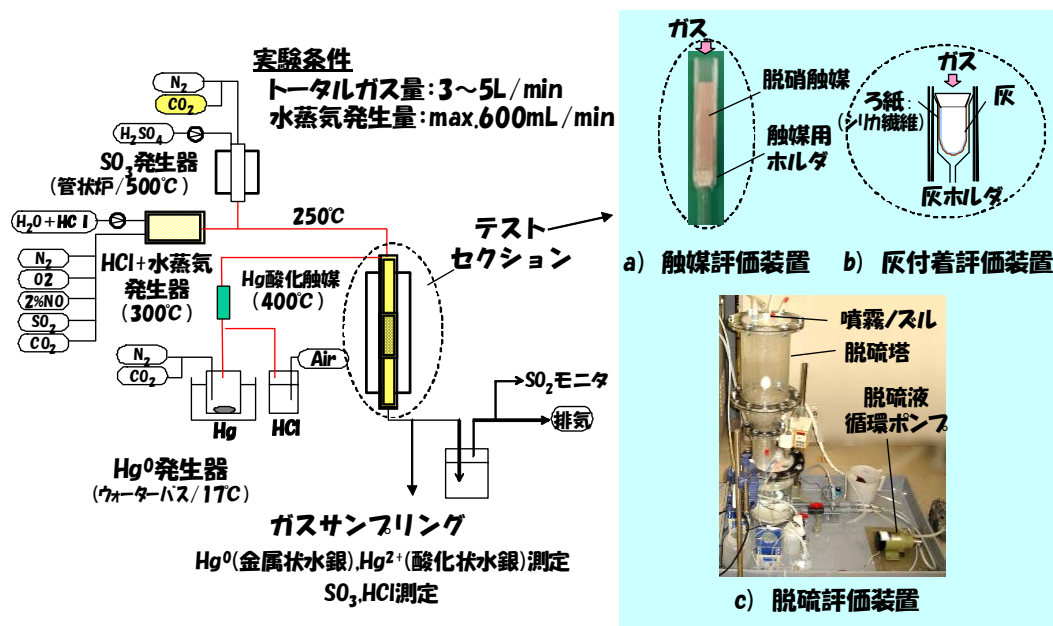
脱硫廃水中の有害元素除去技術及び石炭灰中の有害元素除去については、キレート樹脂による水銀、ホウ素等の有害元素除去及び酸洗浄による有害元素除去を確認した。

排ガス中ホウ素、セレンの挙動解明については、基礎試験により、石炭燃焼時のホウ素、セレンの排ガスへの放出挙動及び灰粒子への付着特性を評価した。

2. 研究開発項目ごとの成果

2.1 ラボ試験結果

ラボ試験の概要を図Ⅲ-4に示す。N₂,O₂,NO,SO₂,CO₂ 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、HCl, SO₃, 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、図中右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。



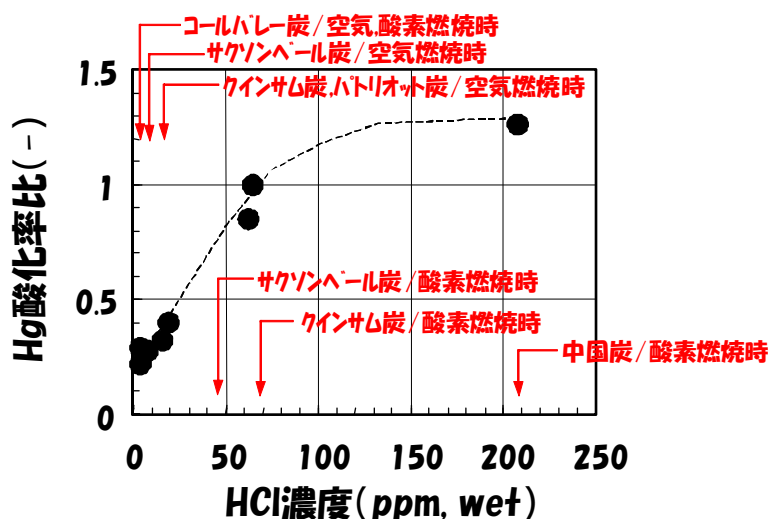
・石炭燃焼排ガスを模擬したガスを発生し、各テスト装置に供給し、水銀挙動を評価

図Ⅲ-4 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, SO₂ 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 HCl 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、SO₂ 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-5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。コールバレー炭、サクソンバレー炭及びクインサム炭等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。



脱硝触媒部でのHg酸化特性

・触媒部でのHg酸化率は、0～100ppmの範囲で排ガス中塩素濃度に大きく影響される。(一般に排ガス中の塩素濃度はこの範囲)

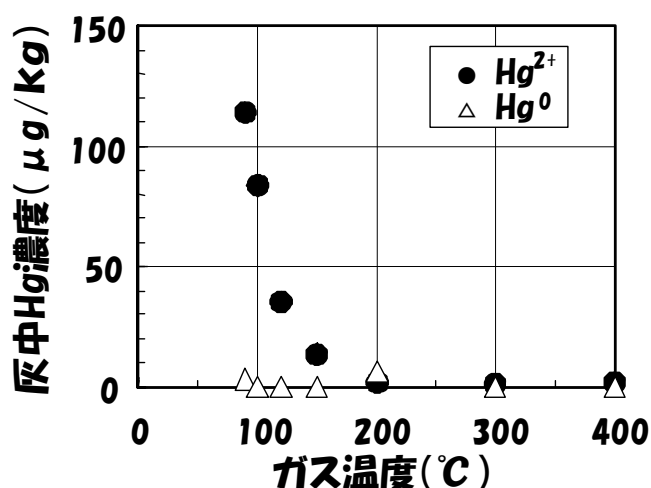
図Ⅲ-5 ラボ試験結果の概要 (脱硝触媒部での Hg 酸化特性)

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 SO₃、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、金属水銀は灰へのほとんど付着せず、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℃以上ではほとんど付着せず、130℃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 SO₃ 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-6 に示す。金属水銀(Hg⁰)を△で、酸化状水銀(Hg²⁺)を●で示す。金属水銀はガス温度が 90～400℃の範囲では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℃以上ではほとんど灰に付着しないが、130℃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℃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)を利用出来る。これは、乾式 EP の前段と湿式脱硫装置の後流の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℃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。



灰へのHg附着特性(パトリオット炭灰)

- ・集塵器部でHg⁰は灰に附着せず、除去されない。
 - ・Hg²⁺は、150°C以下で灰への附着量が増加する。
- (集塵器前にGGHを設置する方式が有効←水銀除去として世界初の技術)

図Ⅲ-6 ラボ試験結果の概要 (灰への Hg 附着特性)

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収特性は、L/G の影響は小さく、また、吸収液 pH 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-7に示す。金属水銀(Hg⁰)を△で、酸化状水銀(Hg²⁺)を●で示す。金属水銀は脱硫吸収液には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 の影響はほとんどなく、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、湿式脱硫装置の組み合わせが有効であることが分かった。

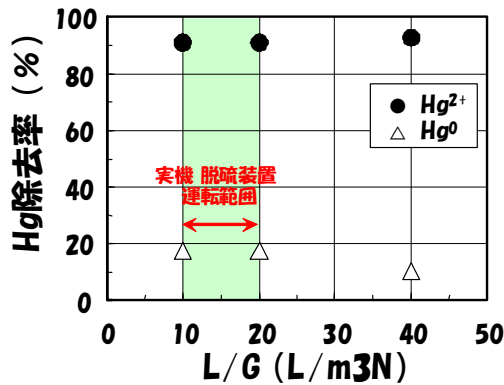


図 脱硫部でのHg除去特性

- ・脱硫部ではHg⁰はほとんど除去されない。
- ・Hg²⁺は、90%以上が除去でき、L/G(液/ガス比)の影響はほとんどない。

・集塵部、脱硫部で除去できるのは、Hg²⁺であり、高度水銀除去のためには、脱硝触媒部での水銀酸化率を高める必要がある。

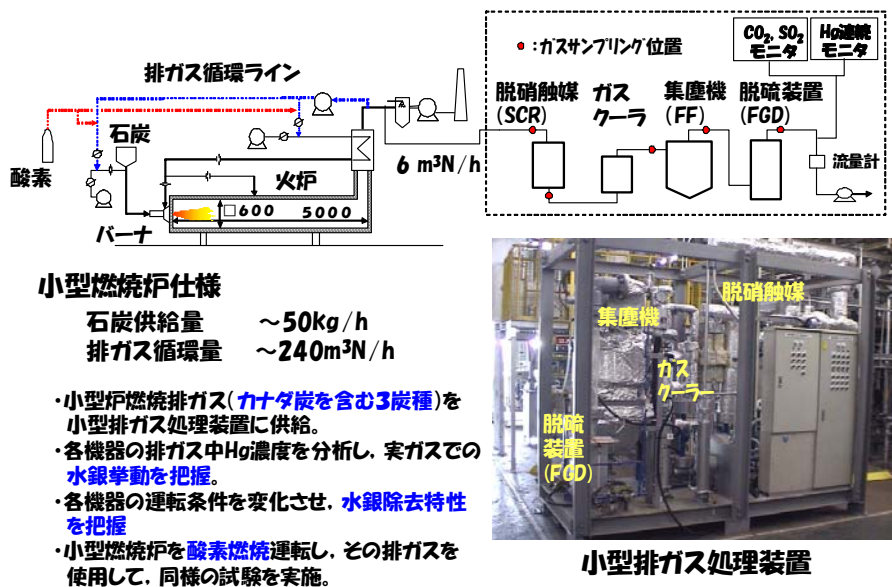
・高度水銀除去システムとして、脱硝触媒+低温集塵器+湿式脱硫装置が有効。

図Ⅲ-7 ラボ試験結果の概要（脱硫部での Hg 除去特性）

2.2 小型炉試験結果

小型炉試験の概要を図Ⅲ-8に示す。石炭供給量 50kg/h の小型燃焼炉の排ガスの一部を抜き出し、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に通ガスした。試験は、表Ⅲ-3に示すカナダ炭を含む3炭種を燃焼した実排ガスをを用いて、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吸収液への水銀吸収特性を評価した。

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-8 小型燃焼炉試験装置の概要

表Ⅲ-3 小型炉燃焼試験で使用した石炭の分析結果

分析項目	石炭名		サクソ ン バール炭	コール バレー炭	クインサム炭	
	ベース	単位				
高位発熱量	気乾	KJ/kg	29.620	25.970	28.870	
全水分	到着	%	8.35	6.99	5.08	
工業 分析 値	気乾試料水分	気乾	2.44	6.41	4.05	
	揮発分	無水	33.29	36.96	37.94	
	固定炭素	無水	55.21	51.86	53.34	
	灰分	無水	11.50	11.18	8.72	
元素 分析 値	C	無水	73.26	69.22	73.22	
	H	無水	4.63	4.26	4.55	
	O	無水	8.39	14.28	12.10	
	N	無水	1.77	0.97	1.16	
	S	無水	0.45	0.26	0.46	
	灰中S	無水	%	0.01以下	0.17	0.21
	Cl	無水	mg/kg	170	25	330
	F	無水	mg/kg	50	70	60
Hg	無水	μg/kg	14.0~36.2	28.3~40.9	26.9~66.8	

a) 試験結果 (コールバレー炭)

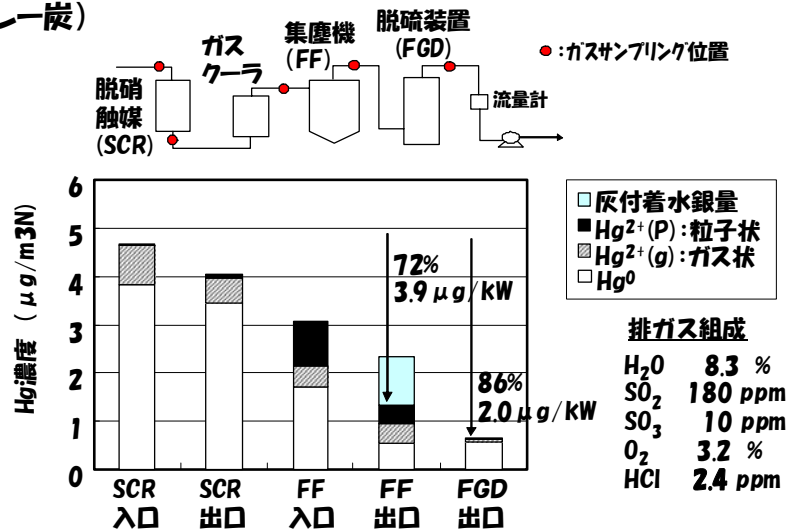
試験結果の一例として、コールバレー炭を燃焼し、排ガス処理装置の各機器前後で水銀濃度を測定した結果を図Ⅲ-9に示す。脱硝触媒(SCR)入口と出口部の水銀濃度を比較すると、絶対量がわずかに減少していることが分かる。これは、触媒反応器内で灰に不着した水銀が灰と共に反応管内部に堆積したためと考えられる。ラボ試験の結果より、灰に付着する水銀のほとんどが酸化状水銀であることから、この測定値のうち、減少した水銀は酸化状水銀であると推定できる。一方、金属水銀はほとんど灰に付着しないことから、その減少量は酸化反応により酸化状水銀に変化したとみなすことができる。この結果より、コールバレー炭においては触媒部の水銀酸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2.4ppmと非常に少ないことが原因である。

つぎに、集塵器(FF)部の水銀挙動について述べる。図Ⅲ-中の青色部は集塵器で捕集した灰中に含まれる水銀濃度と集塵器で捕集した灰量とから算出した灰に付着した水銀量を示す。この結果より集塵器部における水銀除去率は70%となっていることが分かる。

湿式脱硫装置(FGD)出口では、ほとんどが金属水銀となっており、酸化状水銀のほとんどが脱硫液によって吸収除去され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除去率は、86%となり、発電量1kWh当りの水銀発生量は2.0μg/kWhとなり、目標値を達成できる達成できる見通しを得ることができた。

(コールバレー炭)

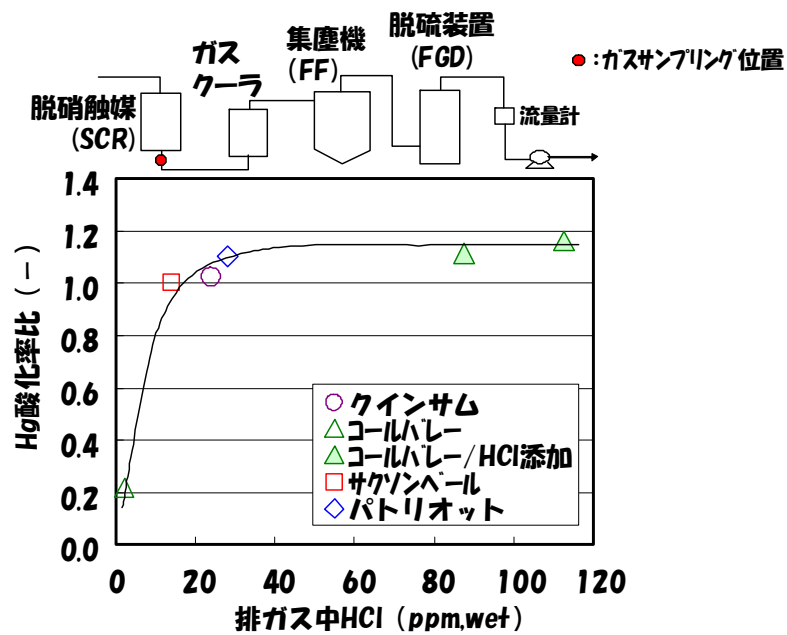


- ・排ガス中の塩素濃度が低いため、脱硝触媒部でのHg酸化率が低い。
- ・そのため、システム全体でのHg除去率は86%であり、Hg排出量は目標値を達成するも、余裕は小。
- ・安定に目標値を達成するためには、触媒部の水銀酸化率を向上する必要有り。

図III-9 小型燃焼炉試験結果の概要 (一例)

b) 脱硝触媒部における水銀酸化特性

石炭を燃焼した実排ガスにおける脱硝触媒部の水銀酸化特性を評価した結果を図III-10に示す。表III-3に示すように石炭中に含まれる塩素濃度が異なるため、各石炭を燃焼した場合の排ガス中の塩素濃度も数 ppm から 25ppm まで変化している。この結果より、排ガス中の塩素濃度が数 ppm と低いコールバレー炭は水銀酸化率が低く、排ガス中の塩素濃度が高い石炭では水銀酸化率が向上することが確認できた。コールバレー炭のような塩素含有量が少ない石炭の改善策として、排ガス中に塩素を添加し、塩素濃度を 80~110ppm とした場合の結果を図中に合わせて示す。排ガス中に塩素を添加することで、脱硝触媒部での水銀酸化率が向上することが確認できた。



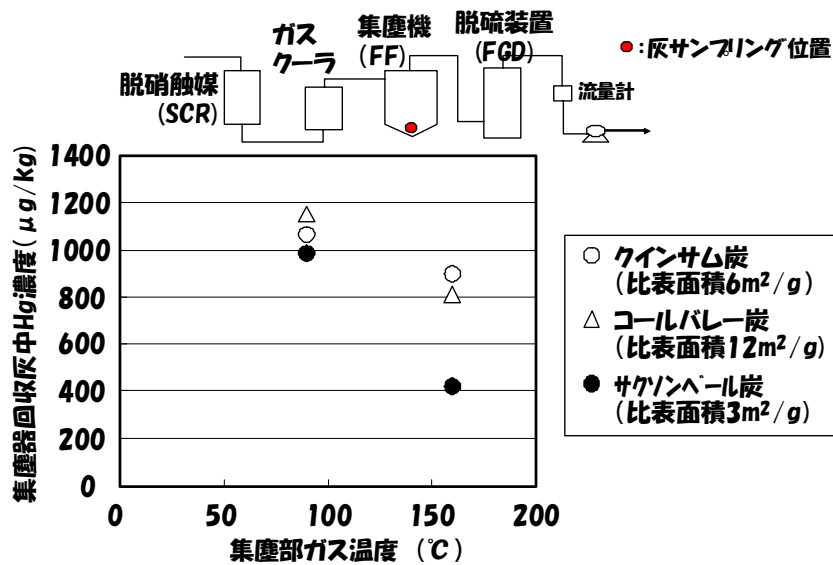
・排ガス中の塩素濃度(石炭種に依存)により、触媒部での水銀酸化率が変化
 ・塩素含有量が少ない石炭では、排ガス中に塩素を添加することで、脱硝触媒部の水銀酸化率が向上。

図III-10 小型燃焼炉試験結果の検討(触媒部での挙動)

c) 灰への水銀吸着特性

集塵器における灰への水銀吸着特性について評価した結果を図III-11に示す。いずれの炭種においても、集塵部のガス温度を集塵器の一般的な温度である160℃から、90℃に下げることによって灰に付着する水銀量が増加することが確認できた。集塵部の温度を下げる方法としては、日本国内では煙突出口の紫煙防止対策として、GGHを使用したシステムが実用化されており、実現可能な方法である。

また、炭種によって、特に160℃近傍での水銀付着量が異なっている。これは、灰中の比表面積の差が主要因と考えられる。各炭種における回収灰の比表面積をグラフ右に記載しているが、灰への水銀吸着量が極端に少ないサクソンベール炭の比表面積が3m²/gと小さい値であった。

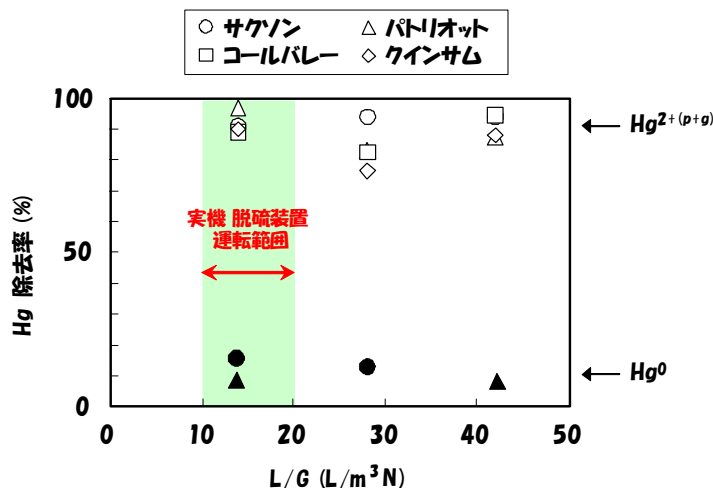


- ・集塵部のガス温度を一般的な160°Cから、90°Cに下げること、灰に付着する水銀量が増加。(集塵部温度を90°Cに下げの方法は、国内ではGGHを使ったシステムが実用化されており、実現可能)
- ・石炭種により、灰への水銀付着量に変化。灰の比表面積の違いが主要因と考えられる。

図III-11 小型炉試験結果の概要 (集塵部での挙動)

d) 脱硫吸収液への水銀吸収特性

湿式脱硫装置における水銀吸収特性について評価した結果を図III-12に示す。金属水銀はほとんど除去できず、一方、酸化状水銀は80~90%と高い除去率となることが確認できた。また、酸化状水銀の除去特性は、L/Gが10~40L/m³Nの範囲ではほとんど差が小さく、実機運転範囲である10~20L/m³Nでは、水銀除去率に与える影響はほとんどないと考えられる。



- ・脱硫装置では排ガス中の酸化状水銀の約90%が捕集される。
- ・脱硫吸収液循環量と排ガス量との比(L/G)が水銀吸着に及ぼす影響は、実機運転範囲(10~20L/m³N)ではほとんどない。

図III-12 小型燃焼炉試験結果の概要 (脱硫部での挙動)

e) システム評価結果

各炭種でのシステム全体での水銀除去率をまとめた結果を表Ⅲ-4に示す。今回試験を実施した3炭種では、FGD 出口の水銀除去率は、86~89%であり、単位発電量当りの水銀排出量は、0.9~2.0 μg/kWh と目標値を達成できる見通しを得ることができた。塩素濃度が低く、脱硝触媒部の水銀酸化率が低いコールバレー炭では、排ガス中に塩素を添加することで、脱硝触媒部の水銀酸化率を向上することができ、システム全体の水銀除去率も93%まで上昇し、単位発電量当りの水銀排出量も 0.8 μg/kWh と低減できることを確認した。

表Ⅲ-4 各炭種での水銀除去率 (小型燃焼炉試験結果)

	排ガス中 塩素濃度 (ppm)	集塵機出口		FGD出口	
		Hg除去率 (%)	Hg排出量 (μg/kWh)	Hg除去率 (%)	Hg排出量 (μg/kWh)
クインサム炭	25	42	6.7	86	1.6
コールバレー炭	2.5	72	3.9	86	2.0
” (塩素添加)	90	76	2.6	93	0.8
サクソンベール炭	15.5	67	2.9	89	0.9

・他の石炭においても、FGD出口Hg除去率は、86~89%、単位発電量当りのHg排出量も、0.9~2.0 μg/kWhと目標値達成できる見通しを得た。

・塩素濃度の低いコールバレー炭では、排ガス中への塩素添加により、脱硝触媒部の水銀酸化率が向上し、システム全体でのHg除去率は93%まで向上し、Hg排出量も0.8 μg/kWhと、目標値を達成。

f) 酸素燃焼排ガスにおける水銀除去特性

酸素燃焼システムの装置構成を図Ⅲ-13に示す。酸素燃焼システムは、石炭を高濃度酸素と再循環した排ガスとで燃焼することで、排ガス中のCO₂純度を90%(dry)以上に高め、排ガス中のCO₂を直接圧縮、貯蔵する方法である。この場合、燃焼排ガスを再循環するため、排ガス組成が大きく異なる。図中右にクインサム炭を酸素燃焼した場合の排ガス組成を示すが、水分、SO₂、SO₃、HCl濃度が空気燃焼時に比べて高濃度化することが分かる。

排ガス中の水銀は、CO₂圧縮機の腐食原因となると同時に、漏洩時においては環境被害の原因ともなるため、空気燃焼時と同様に排ガス中の水銀を除去する必要がある。

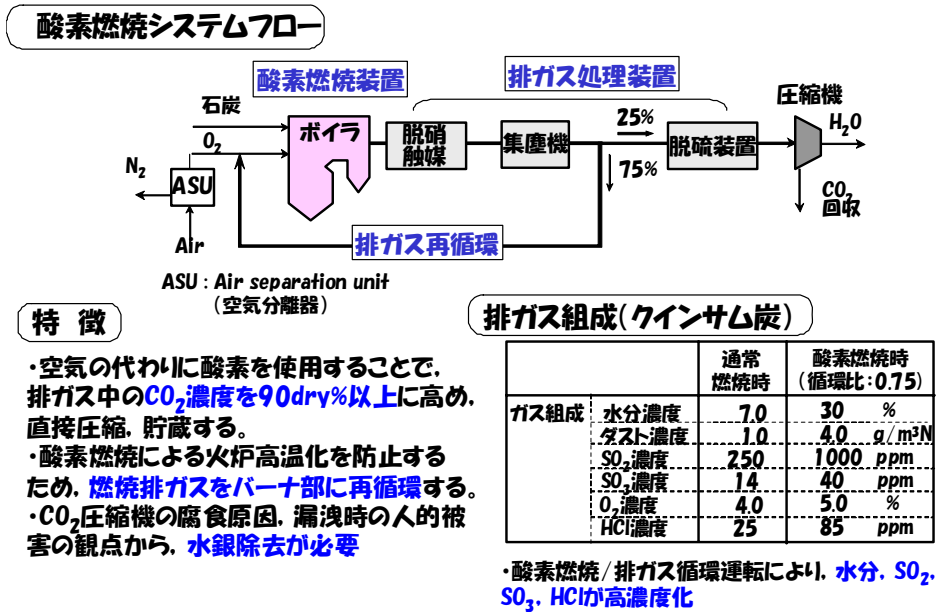
クインサム炭を酸素燃焼した場合の各機器における水銀挙動を図Ⅲ-14右に示す。本試験では、排ガス処理していない排ガスを再循環しており、再循環ガス中に水銀が含まれるため、小型排ガス処理装置に供給する排ガス中の水銀濃度が高くなっている。

酸素燃焼時は、排ガス再循環により塩素濃度が高くなる点では、水銀酸化に有利となる。一方、水銀酸化反応に直接寄与するCl₂濃度は、図中下部に記載しているように、HCl濃

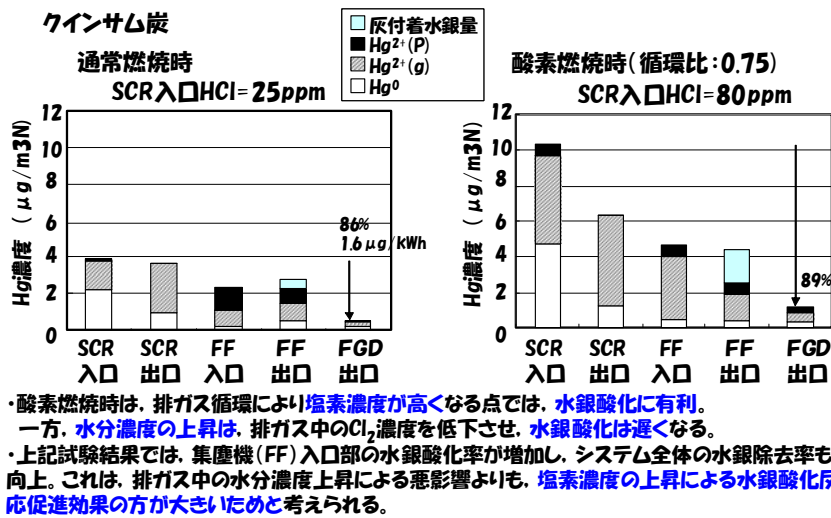
度と水分濃度との平衡反応となっている。そのため、酸素燃焼による水分濃度の上昇は、排ガス中の Cl₂ 濃度を低下させることとなり、水銀酸化反応は遅くなると考えられる。

クインサム炭の試験結果では、集塵器(FF)入口部における水銀酸化率が増加し、システム全体の水銀除去率も向上している。これは、排ガス中の水分濃度による悪影響よりも、塩素濃度の上昇による水銀酸化反応促進効果の方が大きいとと考えられる。

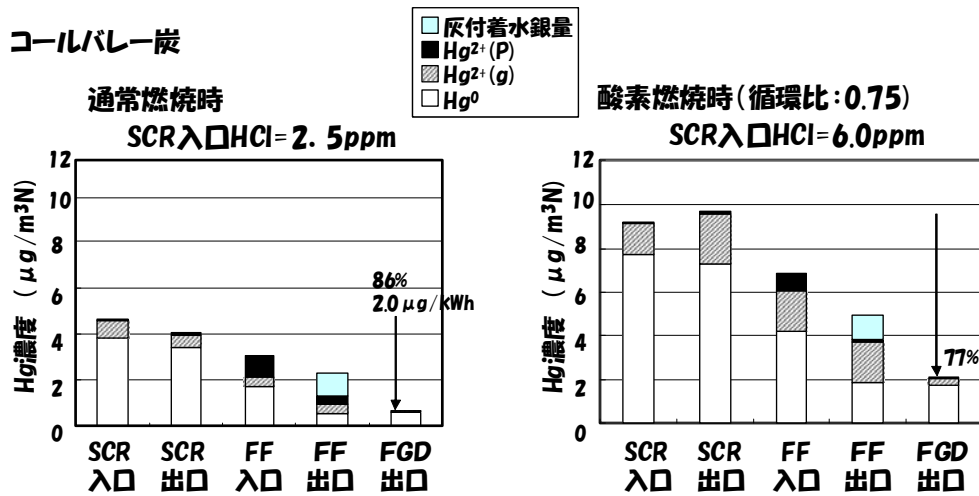
つぎに、塩素含有量が少ないコールバレー炭を酸素燃焼した場合の各機器における水銀挙動を図III-15 右に示す。低塩素炭の場合、酸素燃焼時における塩素濃度も 6.0ppm と低いと、水分濃度増加による悪影響と相殺され、システム全体の水銀除去率も向上してないと考えられる。



図III-13 酸素燃焼時のフローと排ガス組成 (小型炉試験結果)



図III-14 小型燃焼炉酸素燃焼試験結果 (クインサム炭)



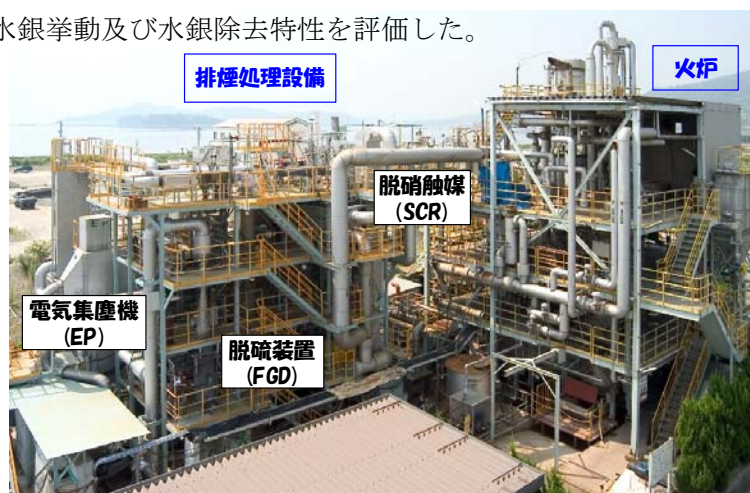
・低塩素炭の場合は、濃縮後の塩素濃度も低いいため、水銀酸化反応の増加が少なく、システム全体の水銀除去率も向上しない。

図Ⅲ-15 小型燃焼炉酸素燃焼試験結果 (コールバレー炭)

2.3 大型燃焼炉試験結果

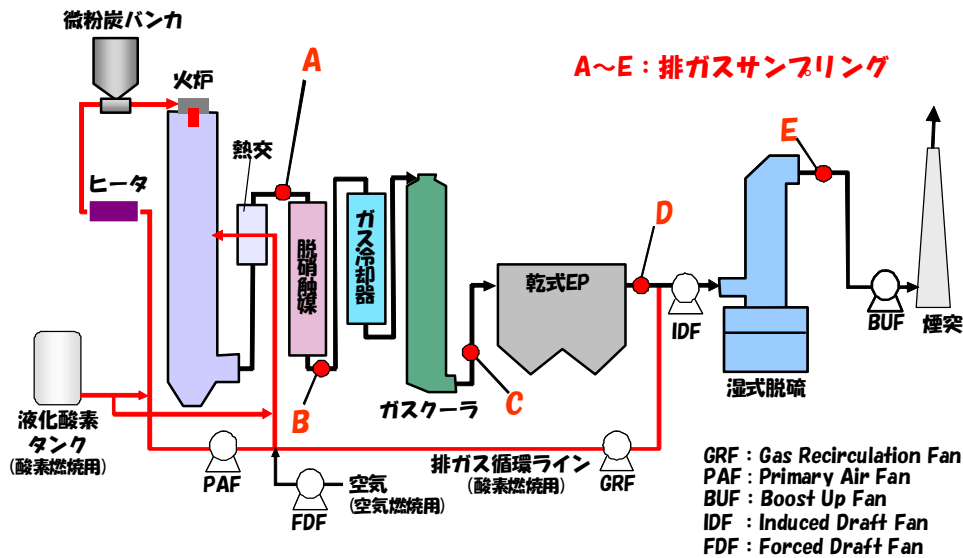
大型燃焼炉試験装置の概要を図Ⅲ-16に示す。石炭供給量は120kg/h、排ガス量は1200m³N/hであり、火炉の後流に全カス量进行处理する脱硝触媒、電気集塵器及び脱硫装置とから構成されている。図Ⅲ-17にシステムフローを示す。図中にA～Eに示す位置において、排ガスのサンプリングを実施し、各機器における水銀挙動及び水銀除去特性を評価した。

また、酸素燃焼時は図中に赤字で示すラインを使用し、乾式電気集塵器(EP)後流の排ガスを火炉側に再循環し、酸素を供給することで酸素燃焼を実施した。酸素燃焼時においても、通常燃焼時と同様に図中にA～Eに示す位置において排ガスのサンプリングを実施し、各機器における水銀挙動及び水銀除去特性を評価した。



石炭供給量 : 120kg/h
排ガス量 : 1200m³N/h

図Ⅲ-16 大型燃焼炉試験装置の概要



図III-17 大型燃焼炉試験装置のシステムフロー

試験に使用した石炭の組成を表III-5に示す。カナダ炭2炭種の他に、米国東部瀝青炭であるパトリオット炭と中国炭での試験を実施した。パトリオット炭は、カナダ炭と比較して、硫黄含有量が多いという特徴がある。また、中国炭は石炭中の水銀量及び灰分が多いという特徴がある。

表III-5 大型燃焼炉試験で使用した石炭の組成

分析項目	石炭名		コールバレー炭	クインサム炭	パトリオット炭	中国炭 (銘柄不明)	
	ベース	単位					
高位発熱量	気乾	kJ/kg	26.270	27.180	27.330	15.660	
全水分	到着	%	10.3	7.23	12.2	8.67	
工業分析	気乾試料水分	気乾	5.62	3.65	9.23	2.04	
	揮発分	無水	35.86	36.28	40.43	19.04	
	固定炭素	無水	51.84	49.68	50.15	33.04	
	灰分	無水	12.3	14.04	9.42	47.92	
元素分析	C	無水	68.66	68.61	71.80	40.88	
	H	無水	4.38	4.77	4.67	2.34	
	O	無水	13.75	11.54	10.21	7.95	
	N	無水	0.79	0.78	1.32	0.60	
	S	無水	0.30	0.43	2.68	0.77	
	灰中S	無水	%	0.18	0.17	0.10	0.46
	Cl	無水	mg/kg	<50	330	420	410
	F	無水	mg/kg	60	50	40	170
Hg	無水	μg/kg	35	47	112	278	

a) 試験結果

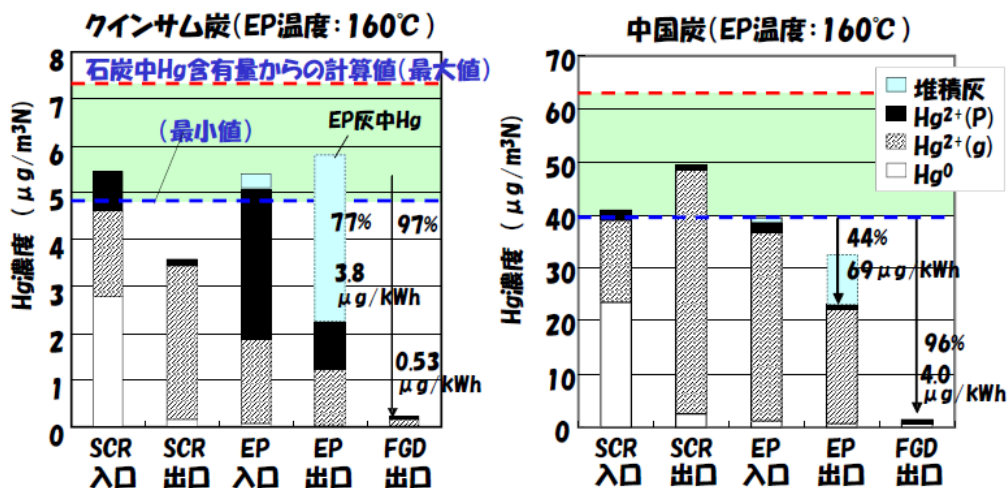
試験結果の一例として、カナダ炭であるクインサム炭と水銀含有量の多い中国炭を燃焼し、EP 温度を 160℃とした場合の各機器の入口、出口で水銀濃度を測定した結果を図III-

18 に示す。試験に使用した石炭中の水銀含有量を分析し、石炭中の水銀がすべて排ガス中に放出されたと仮定して計算した排ガス中の水銀濃度を図中に合わせて記載している。石炭のサンプリングは、試験中数回実施し、その最大値を赤破線で、最小値を青破線で示している。また、EP 部では、灰に付着した水銀が灰と共に除去されることとなる。そこで、各運転条件での EP 灰中の水銀濃度を測定し、EP 入口、出口のダスト濃度差から換算した EP 灰中の水銀濃度を図中に破線で記載した。

測定場所毎のトータルの水銀濃度が多少ばらついているが、これは、石炭中の Hg 濃度がばらついていること及び排ガス中の Hg 濃度が SO₂ や NO_x 濃度と比較して 1/1000 以下と非常に少ないことが原因と考えられる。

クインサム炭の場合、EP 部だけでは水銀除去率は 77%であり、これは単位発電量当りの水銀排出量に換算すると 3.8 μg/kWh に相当し、目標値を達成できないことが分かる。湿式脱硫装置出口では、水銀除去率は 97%となり、水銀排出量は 0.53 μg/kWh と目標値を達成できることが分かった。

中国炭の場合、EP 部での水銀除去率は 44%と低く、水銀排出量も 69 μg/kWh と高い結果となった。これは、EP 入口部での水銀の状態が大きく影響している。クインサム炭の場合、EP 入口部において、水銀の約 7 割が灰粒子に付着した酸化水銀(Hg²⁺(P))であるのに対し、中国炭では EP 入口部では、ほとんどは灰に付着していないガス状の酸化水銀(Hg²⁺(g))である。そのため、EP 部での水銀除去率が低くなったと考えられる。中国炭で EP 入口部において灰への水銀付着量が少ない原因として、排ガス中の SO₃ 濃度が高く、SO₃ が灰表面の Hg 吸着サイトに先に付着したためと考えられる。

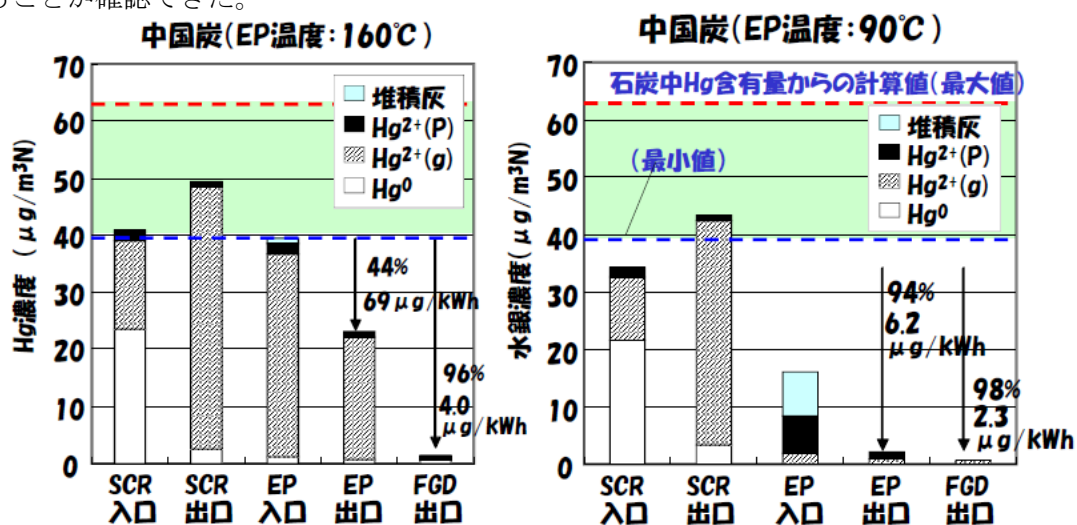


- ・石炭中Hg濃度がばらつくこと、及び排ガス中Hg濃度がSO₂、NO_x等比べて、1/1000以下と低いことから、Hg測定値のばらつきあり。
- ・クインサム炭ではEP部だけでは、水銀除去率は77%(水銀排出量:3.8 μg/kWh) 脱硫装置により、水銀除去率97%(水銀排出量:0.53 μg/kWh)となり、目標値達成
- ・中国炭は水銀濃度が高いため、脱硫装置出口部で水銀排出量は4.0 μg/kWh

図III-18 大型燃焼炉試験結果 (空気燃焼, 炭種の影響)

b) EP 温度低減の効果

次に、EP 温度を低下した場合の例として、中国炭の試験結果を図Ⅲ-19 に示す。EP 温度を通常の 160℃で運転した場合は、EP 入口部で水銀の灰への付着はほとんど進行せず、EP 部における水銀除去率は 44%と低い値であった。これに対し、EP 部の温度を 90℃まで下げることで EP 入口部におけるガス状水銀の割合が大幅に減少し、EP 部における水銀除去率は 94%、水銀排出量 6.2 μg/kWh と大幅に向上することが分かった。湿式脱硫装置出口では、水銀除去率は 98%まで向上し、水銀排出量も 2.3 μg/kWh と目標値を達成できることが確認できた。



・集塵部のガス温度を90℃に下げること、集塵部の水銀除去率が向上し、
 脱硫装置出口の水銀発生量も2.3 μg/kWhまで低減可能を確認。

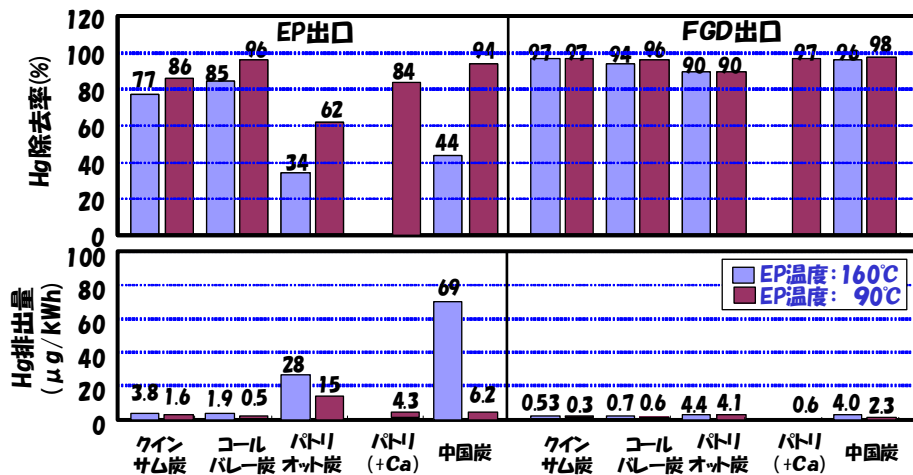
図Ⅲ-19 大型燃焼炉試験結果（空気燃焼，EP 温度の影響）

c) 試験結果まとめ（空気燃焼）

試験を実施した 4 炭種の水銀除去率と水銀排出量の結果を図Ⅲ-20 にまとめて示す。他の炭種でも、EP 温度を 90℃に下げることで水銀除去率が増加することが確認できた。

ただし、排ガス中の SO₂ 及び SO₃ 濃度が最も高いパトリオット炭では、その効果が低く湿式脱硫装置出口においても、水銀排出量は 4.1 μg/kWh と目標値を満足できない結果であった。この原因は、排ガス中の SO₃ が先に灰表面の水銀吸着サイトに付着し、水銀の吸着を阻害していると考えられる。

そこで、高 S 炭対応技術として、排ガス中の SO₃ を除去することで水銀除去率の向上を図った結果について以下に述べる。



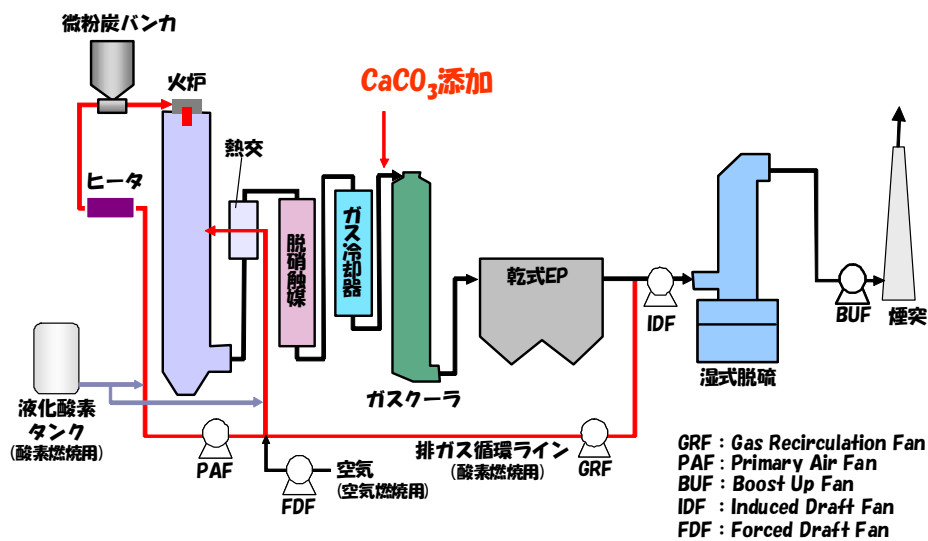
・集塵部のガス温度を90℃に下げること、他の石炭における水銀除去率も向上
 ・ただし、排ガス中のSO₂及びSO₃濃度が高いパトリオット炭ではその効果が低い。
 排ガス中のSO₃が先に灰表面の水銀吸着サイトに付着し、水銀の吸着を阻害していると考えられる。

→次に、高S炭対応技術として、排ガス中のSO₃を除去することで、
 Hg除去率向上を図った結果について述べる。

図III-20 大型燃焼炉試験結果（空気燃焼，各炭種での水銀除去率と排出量）

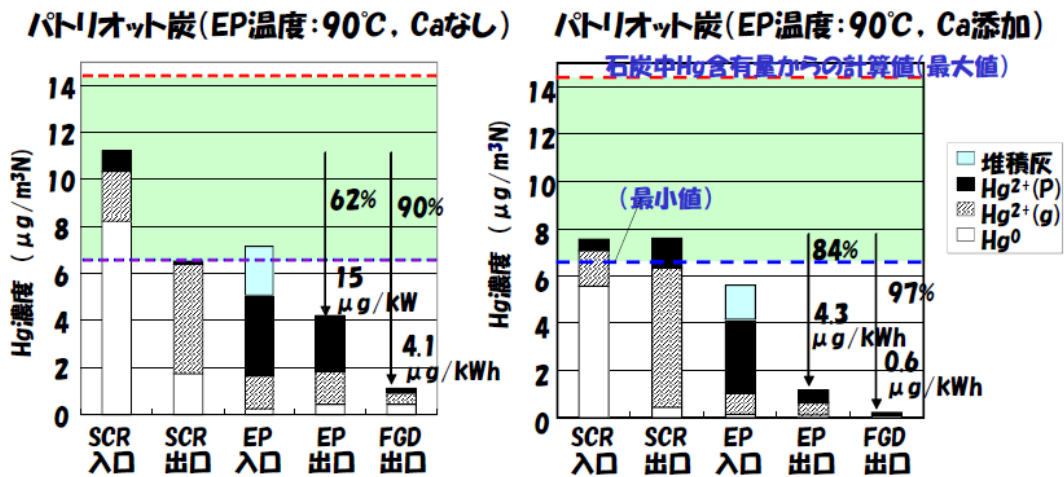
d) 高S炭対応技術

排ガス中のSO₃を除去する方法として、図III-21に示すCaCO₃添加について検討した。CaCO₃はガスクーラの上流より添加した。CaCO₃を添加した場合に結果を図III-22に示す。Caを添加することで、EP出口における水銀除去率は84%まで向上し、湿式脱硫装置出口の水銀除去率も97%、水銀排出量0.6μg/kWhと向上し、目標値を満足できることが確認できた。Caを添加する方法は、高S炭を使用する発電所で有効な技術になると考えられる。



・灰への水銀吸着を阻害しているSO₃を除去する方法として、CaCO₃添加を検討

図III-21 高S炭対応技術の検討（空気燃焼）

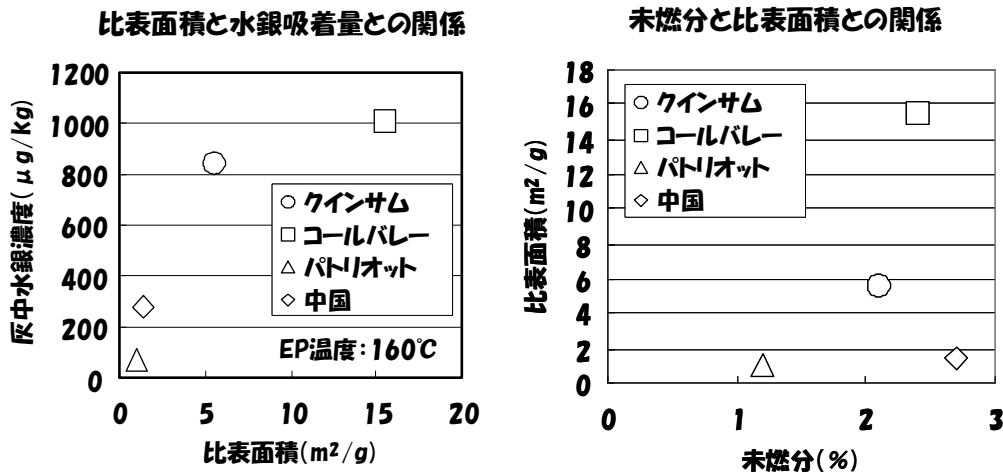


・CaCO₃を添加することで、集塵部の水銀除去率が62%から84%に向上し、FGD出口の水銀排出量も0.6 μg/kWhと低減できることを確認

図III-22 高S炭対応技術の検討(空気燃焼)

e) 灰の比表面積と水銀吸着量との関係

一般に、灰の比表面積が大きくなると水銀吸着量が増加すると言われている。そこで、各試験で得られた EP 灰の比表面積を測定し、水銀吸着量との関係についてまとめた結果を図III-23 左に示す。灰の比表面積が増加すると、水銀の吸着量が増加することが分かる。ただし、比表面積が大きく、水銀吸着量が多い、コールバレー炭やクインサム炭の未燃分は、右図に示すように2%程度であり、他の石炭と比べて特に大きいわけではない。炭種によって灰に比表面積が異なる原因については、原炭の組成等によるものと考えられる。



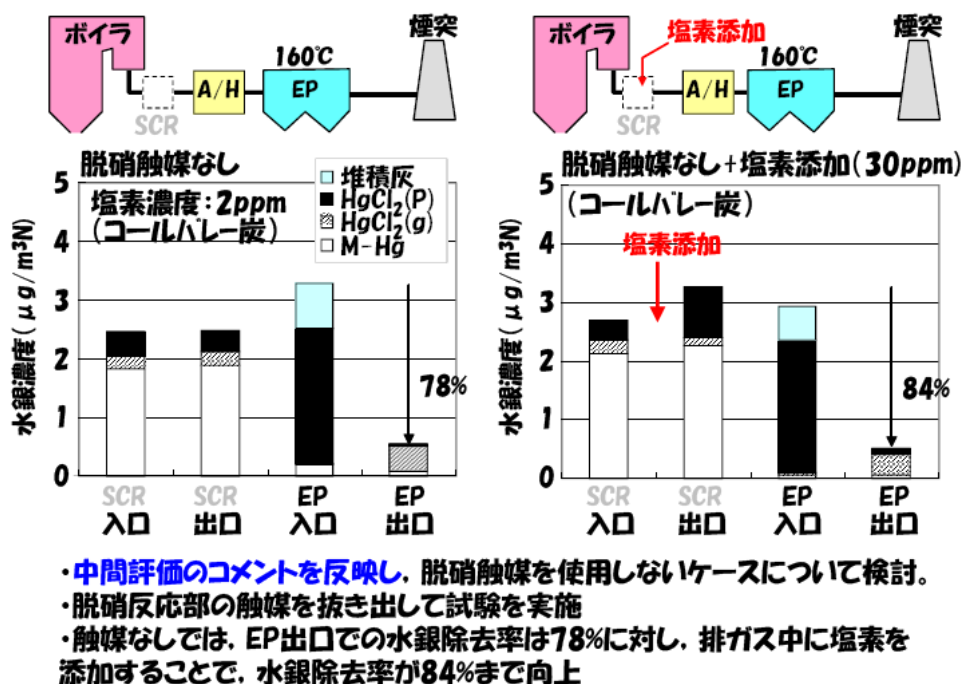
・灰中の比表面積が増加すると、水銀の吸着量は増加する傾向あり。
・ただし、比表面積が大きい、コールバレー炭やクインサム炭の未燃分は、2%程度で特に大きいわけではなく、他の要因があると考えられる。

図III-23 灰表面積と水銀除去率との関係

f) 脱硝触媒未設置プラントへの対応

図Ⅲ-1に示したように、海外においては脱硝触媒の無いプラントが多数存在する。このようなプラントにおいて、少しでも水銀除去率を向上する方法として、塩素を添加する方法について検討した結果を以下に述べる。

試験は、大型燃焼炉試験装置の脱硝触媒部から、脱硝触媒を抜き出し、脱硝触媒がない状態で水銀の挙動を評価した。図Ⅲ-24に塩素を添加しない場合と、添加した場合の水銀挙動を示す。脱硝触媒がない場合のEP出口部での水銀除去率は78%であった。これに対し、排ガス中に塩素を30ppm添加した場合、EP出口部における水銀除去率は84%まで向上することが確認できた。



図Ⅲ-24 脱硝触媒未設置プラントへの対応

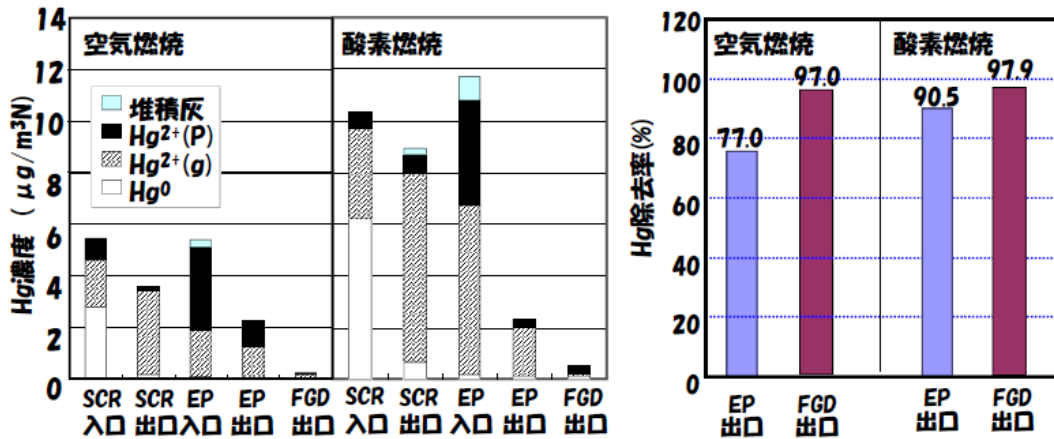
g) 酸素燃焼時の水銀除去特性

次に、大型燃焼炉試験装置を酸素燃焼条件で運転し、排ガス中の水銀挙動について評価した結果を以下に述べる。

図Ⅲ-25に、クインサム炭を酸素燃焼した場合の測定結果を示す。

各機器における水銀挙動を左図に示す。まず、空気燃焼時と比べて、酸素燃焼時は脱硝触媒入口部における水銀濃度が高くなっていることが分かる。これは、EP部で除去されなかった水銀が再循環ガス中に含まれ、火炉に戻っているためである。EP部及び脱硫酸装置出口部における水銀除去率を右図に示すが、酸素燃焼の方が水銀除去率が高くなっていることが分かる。これは、酸素燃焼運転では、排ガスを再循環することで排ガス中の塩素濃度が高くなり、水銀酸化率が高くなったためと考えられる。

クインサム炭 空気燃焼と酸素燃焼の比較(EP温度:160℃)

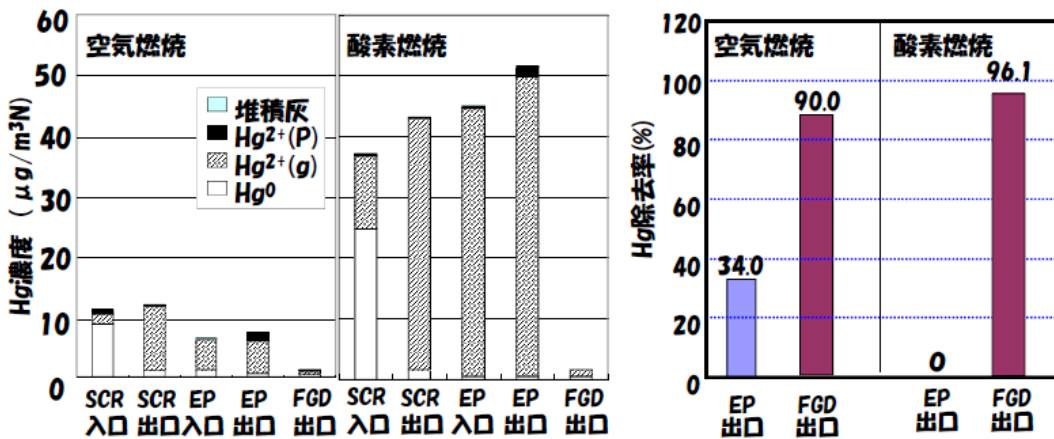


・クインサム炭の場合、酸素燃焼時は、空気燃焼時に比べてHg除去率が向上

図Ⅲ-25 大型燃焼炉試験結果（酸素燃焼，クインサム炭）

次に、図Ⅲ-26 にパトリオット炭を酸素燃焼した場合の結果を図Ⅲ-26 に示す。パトリオット炭の場合は、酸素燃焼条件の場合、空気燃焼時に比べて EP 部の水銀除去率が低下する結果となった。これは、酸素燃焼時は排ガス中の SO₂ 濃度が増加し、それに伴い SO₃ 濃度が高くなり、水銀の灰への付着を阻害したためと考えられる。

パトリオット炭 空気燃焼と酸素燃焼の比較(EP温度:160℃)

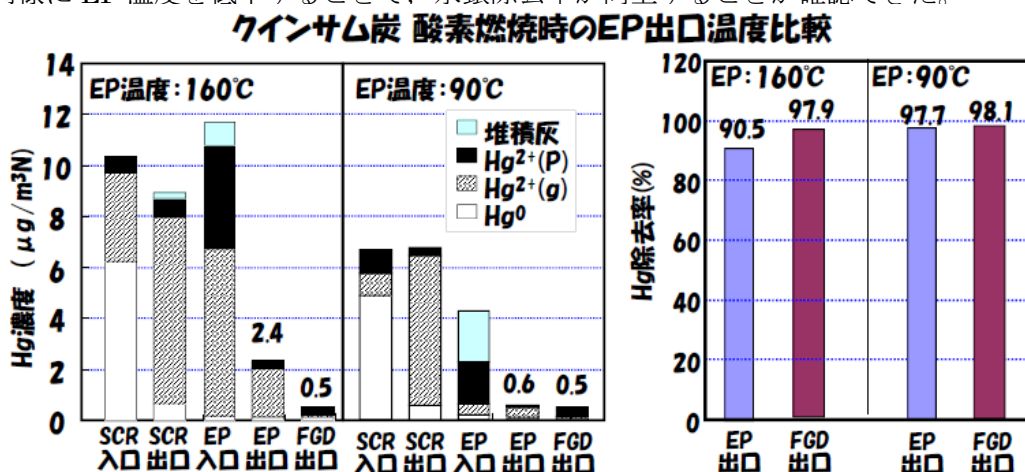


・パトリオット炭では、酸素燃焼時はEP出口における水銀除去率が低下。
これは、排ガス中のSO₂及びSO₃濃度が、酸素燃焼により濃縮され、水銀の灰への付着阻害が増大したためと考えられる。

図Ⅲ-26 大型燃焼炉試験結果（酸素燃焼，パトリオット炭）

次に、空気燃焼時と同様に、EP 部の温度を低下させた場合の影響について検討した結果を図Ⅲ-27 に示す。EP 部の温度を低下することで、脱硝触媒入口の水銀濃度が低くなっている。これは、EP 部での水銀除去率が向上し、再循環ガスに含まれる水銀量が減少し

たためである。EP 出口及び脱硫装置出口部における水銀除去率を比較すると空気燃焼時と同様に EP 温度を低下することで、水銀除去率が向上することが確認できた。

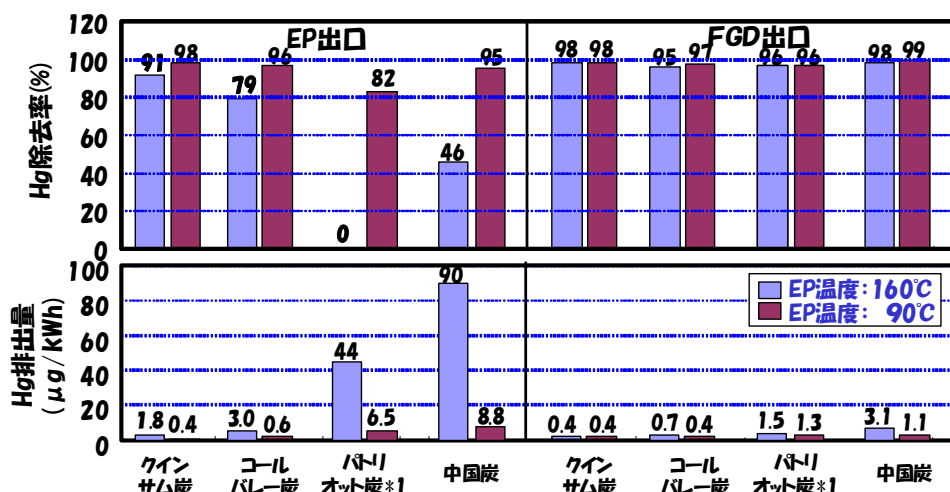


・集塵器温度低減により、水銀除去率向上を確認

図III-27 大型燃焼炉試験結果（酸素燃焼，EP 温度の影響）

図III-28 に試験を実施した 4 炭種の結果を示す。いずれの炭種でも、集塵器温度を下げることで水銀除去率が向上することが確認できた。中国炭のような水銀含有量の多い石炭でも、集塵器温度を下げることで水銀除去率が向上でき、目標値である 3 μg/kWh を達成できる見通しを得ることができた。

なお、パトリオット炭は酸素燃焼時は排ガス中の SO₃ 濃度が高くなるため、EP 温度を 90°C に下げた場合、GGH の伝熱管表面に多量の灰が付着した。これは灰中のアルカリ成分によって、凝縮した SO₃ を中和しきれなくなり、灰が酸性となることで灰の付着性が増加したためである。そこで、GGH 上流より、Ca を添加し、灰の付着を抑制した。パトリオット炭の EP 温度 90°C 条件での水銀除去率の向上は、Ca を添加したことによる影響もあると考えられる。



・いずれの炭種でも、集塵器温度を下げることで、水銀除去率が向上。
 中国炭のような水銀含有量の多い石炭でも、集塵器温度を下げることで水銀除去率を向上でき、目標値である3 μg/kWhを達成できる見通しを得ることができた。
 *1:パトリオット炭は排ガス中のSO3濃度が高くなるため、EP温度を90°Cに下げた場合、GGHの伝熱管表面に多量の灰が付着。そのため、GGH上流より、Caを添加。水銀除去率向上は、Ca添加の効果も考えられる。

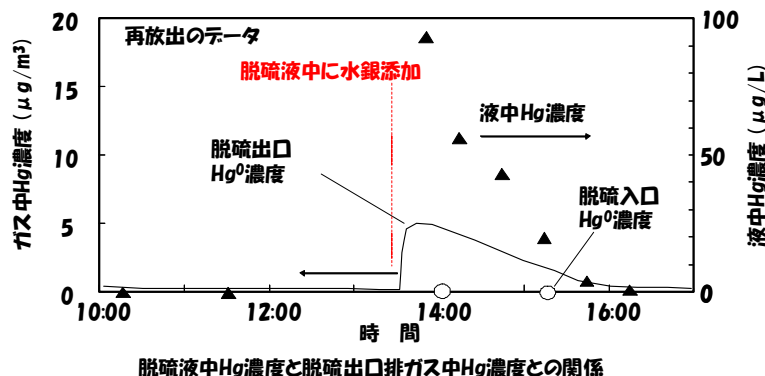
図III-28 大型燃焼炉試験結果（酸素燃焼，各炭種での水銀除去率と排出量）

h) 脱硫装置からの水銀再放出抑制技術

脱硫液中の水銀濃度が高くなった場合、脱硫液中から水銀が再放出し、水銀除去率が低下することが、実機発電プラントにおいても報告されている。

図III-29は、大型燃焼炉試験装置を使用し、脱硫装置の吸収液に水銀を添加することで吸収液中の水銀濃度を増加させて、脱硫装置出口の水銀濃度を計測した結果を示す。脱硫液中の水銀濃度が上昇することで、脱硫装置出口の金属水銀濃度が大幅に増加することが分かる。

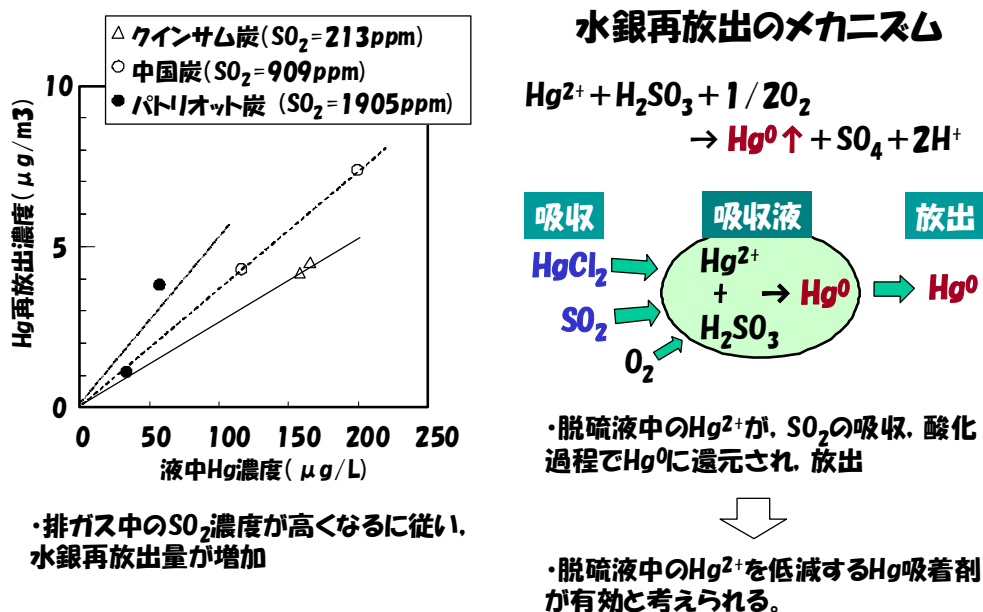
・脱硫液中の水銀濃度が高くなった場合、脱硫液中から水銀が再放出し、大気に放出(水銀除去率が低下)される現象がある。
 そこで、水銀再放出メカニズムの解明及び再放出抑制技術を検討した。



・水銀再放出を模擬するため、脱硫液中に水銀を添加。
 ・脱硫液中の水銀濃度が上昇すると、脱硫装置出口のHg⁰濃度が大幅に増加する。

図III-29 脱硫装置からの水銀再放出抑制技術

図Ⅲ-30 に排ガス中の SO₂ 濃度が異なる 3 炭種で脱硫液中水銀濃度と水銀再放出濃度を測定した結果を示す。排ガス中の SO₂ 濃度が高くなるに従い、水銀再放出量が増加することが分かる。これらの結果より、脱硫液より右図に示すメカニズムで水銀が再放出していると考えられる。脱硫吸収液は、脱硫塔内を落下する過程で SO₂ を吸収し、液中で H₂SO₃ となる。この H₂SO₃ が酸化される際に液中の酸化水銀を還元し、金属水銀として排ガス中に放出している。そのため、水銀再放出を抑制する方法として、脱硫液中の酸化水銀を低減する Hg 吸着剤が有効と考えられる。

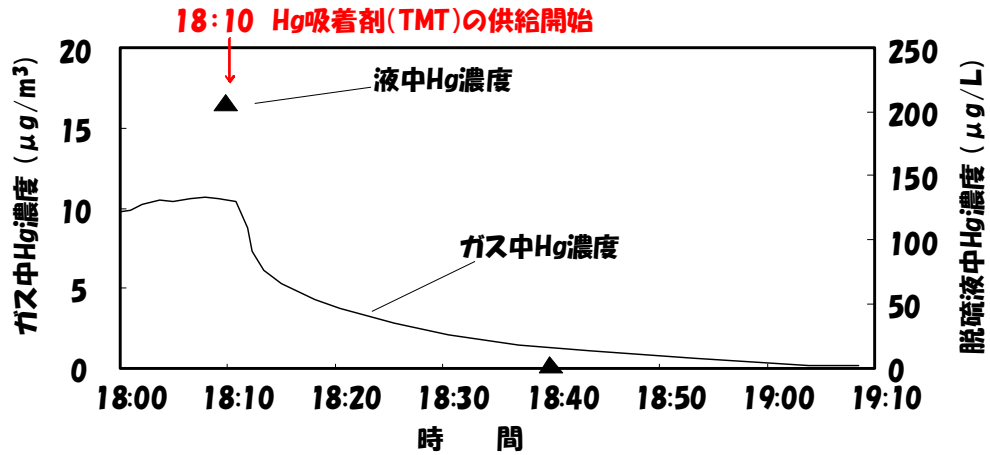


図Ⅲ-30 脱硫装置からの水銀再放出抑制技術（メカニズム）

図Ⅲ-31 に水銀吸着剤として、TMT を使用した場合の再放出抑制効果について検証した結果を示す。予め、脱硫液中の水銀濃度を高くすることで、脱硫装置出口部の排ガス中金属水銀濃度が高くなる状態を作成し、水銀吸着剤を脱硫液中に添加した。水銀吸着剤添加と同時に脱硫装置出口排ガス中の金属水銀濃度は低下することが確認できた。

脱硫装置から水銀再放出を抑制する方法としては、脱硫装置の上流部すなわち集塵部で水銀を除去する方法が有効であるが、装置の改造等が必要となる。装置の改造を必要としない方法として、上記の水銀添加剤を使用する方法も有効であると考えられる。

・脱硫液中の水銀を効率よく除去するため、水銀吸着剤の効果を検証



Hg吸着剤によるHg再放出低減効果

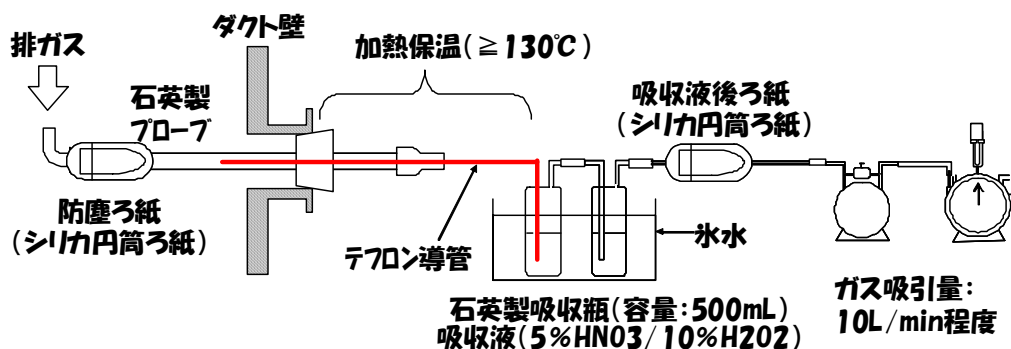
・Hg吸着剤を添加することで、脱硫液中Hg濃度が低下し、それに伴い脱硫装置からのHg再放出量が低下することを確認。

図Ⅲ-31 脱硫装置からの水銀再放出抑制技術

2.4 排ガス中 B,Se 測定方法の確認と機器分配特性の評価

平成 21 年 8 月に実施した中間評価分科会でのコメントに基づき、標準化グループで規定した図Ⅲ-32 に示す B,Se の測定法に従って、大型燃焼炉試験装置で排ガス中の B,Se を測定し、その妥当性を評価すると同時に、各機器における B,Se の分配特性を検討した結果について述べる。

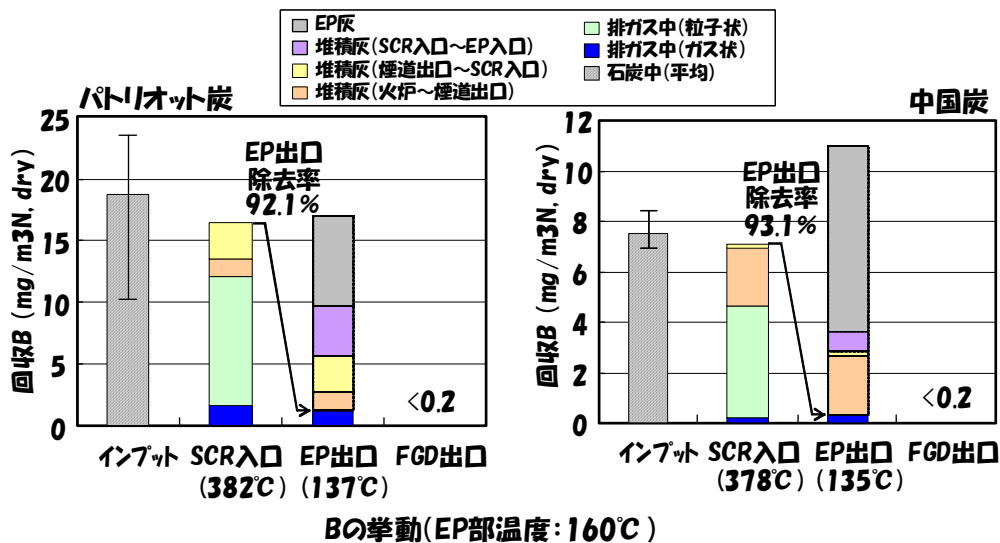
・標準化グループに準拠した方法で、大型燃焼炉排ガスを測定



図Ⅲ-32 排ガス中 B,Se 測定方法の確認と機器分配特性の評価 (大型燃焼炉)

a) 測定結果 (B)

パトリオット炭と中国炭を燃焼した場合のホウ素(B)の測定結果を図III-33 に示す。排ガス中の形態別 B 及び各ダクト中に堆積した灰と EP 灰中の B 量を測定した結果を図中に記載している。全体のマスバランスは取れており、精度良く B を測定できることが確認できた。B の分配特性については、脱硝触媒入口部で大部分が灰粒子側に移行しており、集塵器で約 90%が除去され、残りの B は湿式脱硫装置で除去されることが分かった。これらの結果はパトリオット炭と中国炭で同様の結果であり、炭種による差は小さいと考えられる。



- ・排ガス中の形態別B及び堆積灰中のB量を測定し、精度良くBを測定可能なことを確認
- ・BはSCR入口部で大部分が灰粒子側に移行しており、集塵部で大部分(約90%)が除去可能であり、また、残りのBは、FGD部で除去される。
- ・パトリオット炭と中国炭では、同様の傾向となった。

図III-33 排ガス中 B,Se 測定方法の確認と機器分配特性の評価

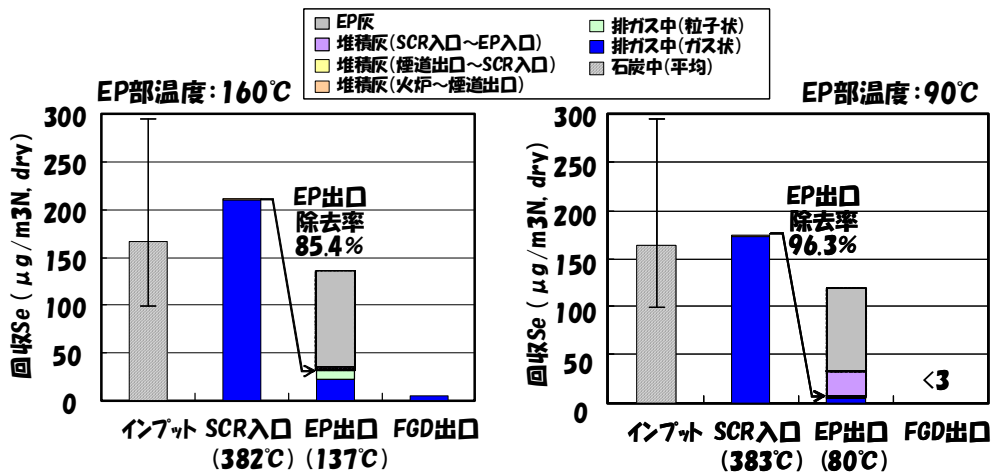
(大型燃焼炉, B 測定結果)

b) 測定結果 (Se)

次に、パトリオット炭を燃焼した場合のセレン(Se)の測定結果を図III-34 に示す。排ガス中の形態別 Se 及び堆積灰中の Se 量を測定し、精度良く Se を測定可能なことが確認できた。

Se の脱硝触媒入口部で大部分がガス状であるが、ガス温度の低下とともに灰粒子側に移行し、EP 部で 85%が除去され、さらに FGD 部でほとんどが除去可能であることが確認できた。

また、EP 部の温度を 90℃に下げた場合の測定結果を右図に示すが、脱硝触媒から EP 入口間での Se の灰への移行割合が増加し、EP 部での除去率が増加することが分かった。



Seの挙動(パトリオット炭)

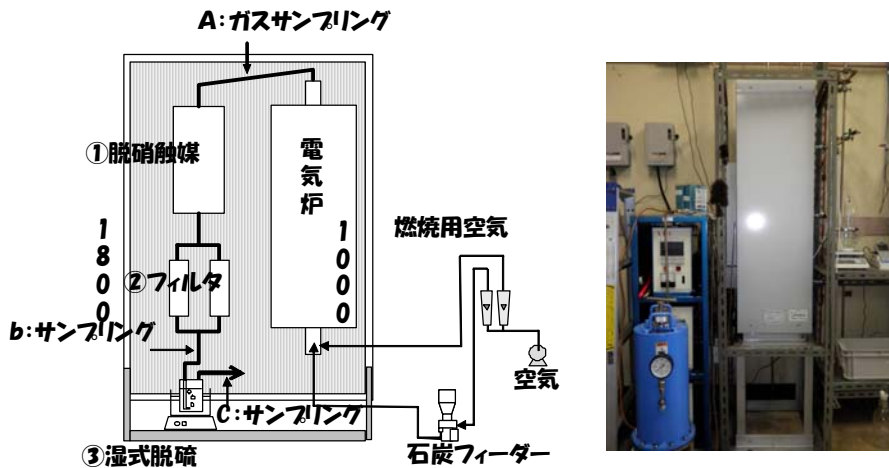
- ・排ガス中の形態別Se及び堆積灰中のSe量を測定し、精度良くSeを測定可能なことを確認
- ・SeはSCR入口部で大部分がガス状であるが、ガス温度の低下とともに灰粒子側に移行し、EP部で85%が除去され、さらにFGD部でほとんどが除去可能であることが確認できた。
- ・EP部のガス温度を90°Cに下げること、SCRからEP入口間での灰への移行割合が増加し、EP部での除去率が増加する。

図Ⅲ-34 排ガス中 B,Se 測定方法の確認と機器分配特性の評価
(大型燃焼炉, Se 測定結果)

2.5 基礎試験による排ガス中 B,Se の挙動解明 (再委託先: 秋田大学)

排ガス中の B,Se 分配メカニズムを詳細に検討するため、基礎試験装置を用いて集塵器温度の影響、脱硫装置運転条件の影響について試験を実施した結果を以下に示す。

基礎試験装置は、図Ⅲ-35 に示すように、石炭を電気炉で燃焼し、発生した排ガス及び灰中の B,Se を測定した。電気炉の後流に実機の電気集塵機に相当するフィルタを設置し、この部分のガス温度を変化させて、B,Se の挙動を評価した。

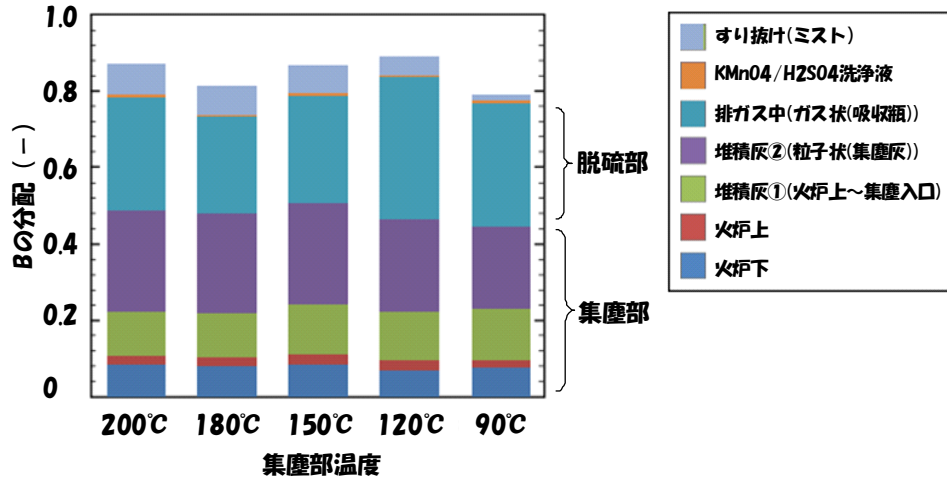


- ・石炭(パトリオット炭)を電気炉で燃焼し、発生した排ガス及び灰中のB,Seを測定。
- ・フィルタ部(実機では電気集塵機に相当)のガス温度を変化させ、B,Seの挙動を評価。

図Ⅲ-35 基礎試験による排ガス中 B,Se の挙動解明 (装置概要)

a) 試験結果 (B)

集塵部の温度を 90~200℃と変化させて、B を測定した結果を図III-36 に示す。B は約 50%が灰に付着しており、フィルタ部で除去され、ガス温度の影響はほとんどないことが分かる。残りのホウ素は、脱硫部でほとんど除去されることが分かる。

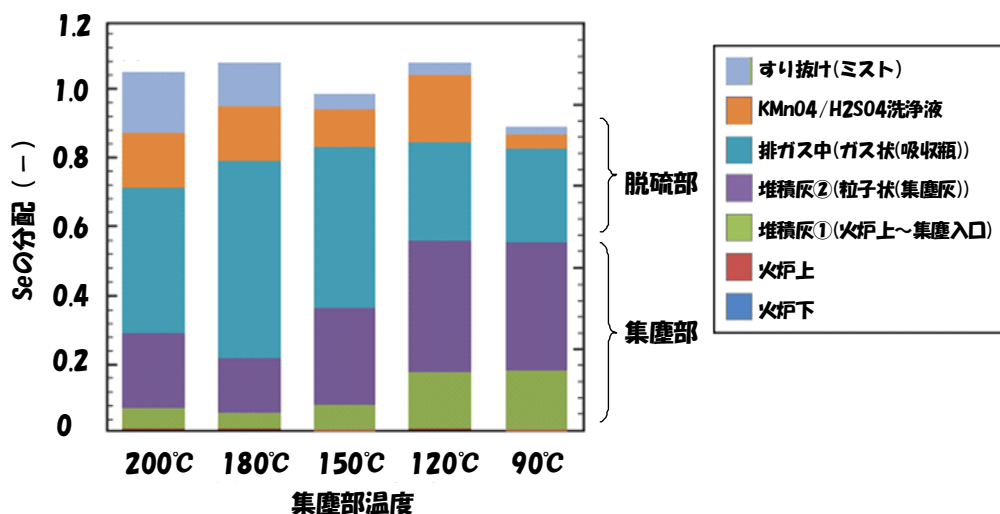


- ・ホウ素(B)は、およそ50%が灰に付着しており、フィルタ部で除去される。
- ・灰への付着量は、フィルタ部の温度を変えても変化しない。
- ・残りのホウ素は、脱硫部でほとんどが除去されることが分かる。

図III-36 基礎試験による排ガス中 B,Se の挙動説明 (B 測定結果)

b) 試験結果 (Se)

同様に集塵部の温度を 90~200℃と変化させて、Se を測定した結果を図III-37 に示す。Se は 20~60%が灰に付着しており、フィルタ部で除去されることが分かる。Se の場合はフィルタ部の温度を下げることで、灰への付着割合が増加しており、集塵器のガス温度を下げることで水銀と同様に除去率の向上が見込まれる。フィルタ部を通過した残りの Se は、脱硫部でほとんど除去されることが分かる。

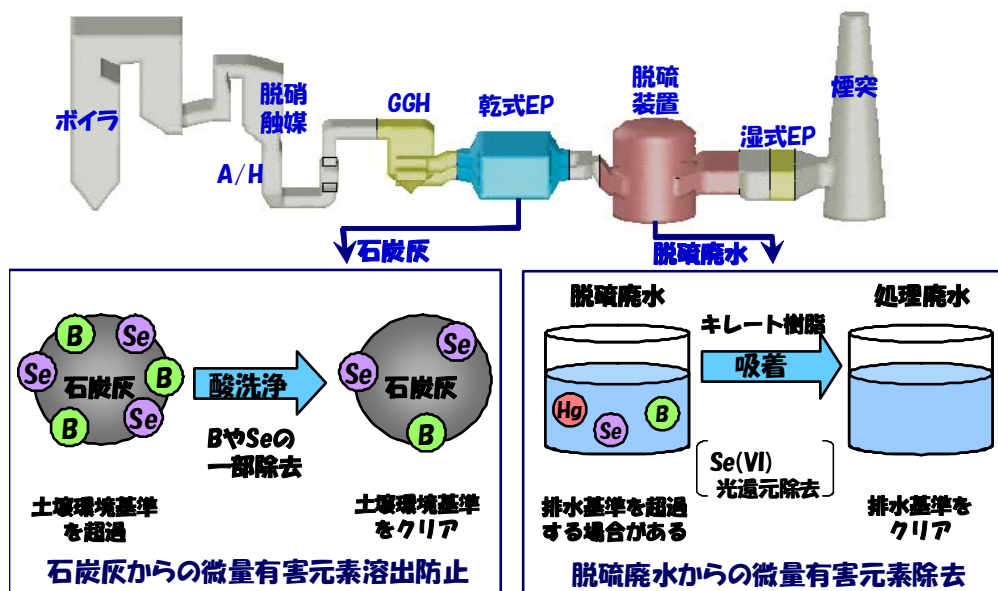


- ・セレン(Se)は、20～60%が灰に付着しており、フィルタ部で除去される。
- ・フィルタ部の温度を下げることで、灰への付着割合が増加しており、集塵部のガス温度を下げることで、集塵部でのSe除去率を向上させることが可能。
- ・残りのセレン(Se)は、脱硫部でほとんどが除去されることが分かる。

図Ⅲ-37 基礎試験による排ガス中のB,Seの挙動説明 (Se測定結果)

2.6 廃水処理技術の開発 (再委託先: 鹿児島大学)

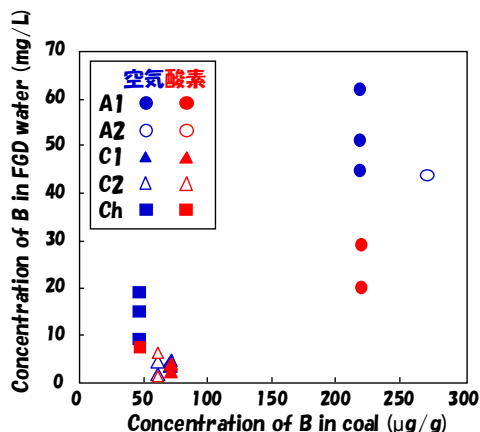
図Ⅲ-38 に示すように、排ガス中から除去した水銀(Hg)、ホウ素(B)、セレン(Se)などの微量成分は、EP 灰や脱硫廃水に含まれることとなる。そこで、石炭灰からの微量有害元素の溶出防止と脱硫廃水からの微量有害元素除去技術について検討した。



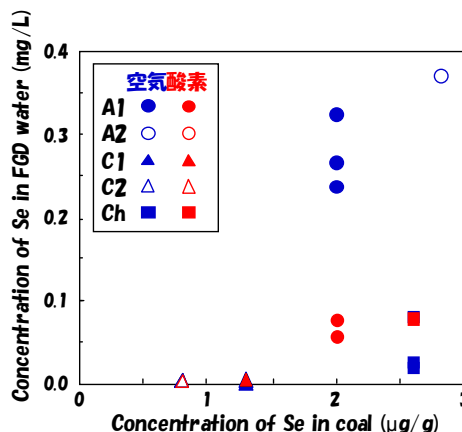
図Ⅲ-38 廃水処理及び石炭灰からの微量有害元素溶出処理技術の開発

a) 廃水処理技術の開発

図Ⅲ-39 左に、石炭中の B 濃度に対する FGD 液中の B 濃度のプロットを示す。石炭中の B 濃度が増加すると、FGD 液中の B 濃度も増加した。図右に、石炭中の Se 濃度に対する FGD 液中の Se 濃度のプロットを示す。B の場合と同様な傾向を示したが、中国炭 (Ch)のみ、石炭中の Se 濃度が高いにもかかわらず、FGD 吸収液濃度は非常に低かった。これは中国炭の灰分が非常に高いため、石炭より放出された Se が灰に吸着し、FGD まで到達しなかったと考えられる。



石炭中濃度と脱硫廃水中濃度 (B)



石炭中濃度と脱硫廃水中濃度 (Se)

- ・石炭中濃度が高い場合ほど、脱硫廃水中濃度も高い傾向
- ・脱硫廃水中濃度： 空気燃焼 > 酸素燃焼

図Ⅲ-39 石炭中 B,Se 濃度と脱硫廃水中 B,Se 濃度との関係

実ガス試験で得られた脱硫廃水を模擬した模擬廃水を用いた試験により、各種吸着剤の B,Hg,Se の除去性能を評価した結果を図Ⅲ-40 に示す。B については、N-methylglucamine 繊維(GRY-L)が最も高い除去率(95%)を示し、CRB02 と CRB05 も高い除去能力をもっていた。これらの吸着剤を用いると、模擬 FGD 液中の B 濃度を排水基準以下まで下げることができた。

活性アルミナ以外の吸着剤は、模擬 FGD 液中の Hg を効率的に除去した。B と Hg の同時除去という観点から考えると、CRB20 が最も優れている。

Se については、IX8 がある程度の除去能力を示したが、それ以外の吸着剤はほとんど除去能力を持たなかった。Se(VI)は、構造の類似している SO₄²⁻が大過剰共存している場合には、除去は困難であると言われている。FGD 液からの Se(VI)除去には、光触媒還元等が有効である。

- ・実ガス試験で得られた脱硫廃水を模擬した模擬廃水を用いた試験を実施。
- ・キレート樹脂を用いることで、B、Hgを80%以上除去できることを確認。

吸着法による模擬 FGD 液からの有害微量元素除去

吸着材の種類	% removal of element		
	B	Hg	Se
CRB02	88	98	0
CRB05	82	94	0
GRY-L	95	86	0
CR11	0	100	3
CR20	0	84	0
1X8	0	100	48
Activated alumina	14	28	18
Activated carbon	12	99	3

図Ⅲ-40 吸収剤による脱硫廃水中 B,Se,Hg 除去特性評価

b) 石炭灰からの有害微量元素の溶出

図Ⅲ-41 に大型燃焼炉の試験で得られた石炭灰を用い、環境庁告示 46 号の溶出試験を行った結果を示す。空気燃焼時の石炭灰については、埋立基準を超過することはなかった。土壤環境基準については、B,Se のほとんどの場合が超過した。酸素燃焼時の石炭灰では、特に排ガス中の SO₂ 濃度が高い Pa 炭(パトリオット炭)で As などの重金属の溶出量が増加した。これは、酸素燃焼により排ガス中の SO₂ 及び SO₃ 濃度が濃縮されることで、灰中にも多量の硫酸が含まれることとなる。そのため、溶出液の pH が低下することとなり、重金属イオンの溶出が抑制されたと考えられる。

石炭灰(大型燃焼炉)からの溶出試験結果(環境庁告示46号)

単位：mg/L

溶出元素	Co-Air	Qu-Air	Ch-Air	Pa-Air	Co-Oxy	Pa-Oxy	土壤環境基準	埋立基準
As	ND	0.007	ND	0.003	ND	0.6	0.01	0.3
B	6.6	8.0	3.4	45.6	4.3	85.2	1	
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01	0.3
Cr	1.1	0.9	0.8	0.6	1.0	4.4	0.05(6価)	0.3(6価)
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.0005	0.005
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01	0.3
Se	0.04	0.08	0.2	0.1	0.04	0.04	0.01	0.3

空気燃焼 (Air)

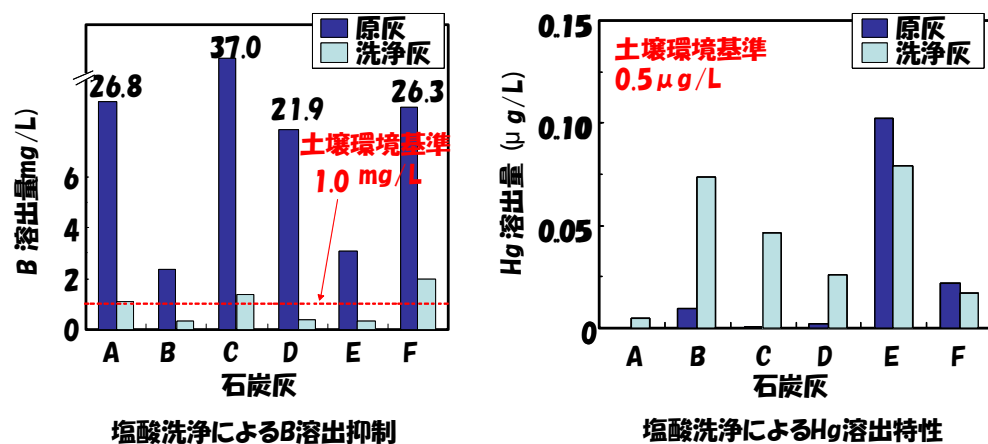
- ・ B、Seが土壤環境規準を超過。埋立基準は満足。

酸素燃焼 (Oxy)

- ・ Pa炭など高硫黄炭の灰では、Asの溶出。

図Ⅲ-41 石炭灰 (大型燃焼炉) からの溶出試験結果

土壤環境基準を満足するため、酸洗浄による溶出防止法を検討した結果を図Ⅲ-42 に示す。0.1M 塩酸を用いて洗浄を行った後の溶出試験結果を図左に示すが、酸洗浄により B の溶出を低く抑えることができることが確認できた。また、酸洗浄により水銀の溶出量が土壤環境基準値以上に増加しないことを確認した。



・B(ホウ素)の溶出防止技術として、0.1M塩酸洗浄の効果及び水銀の溶出特性への影響小を確認

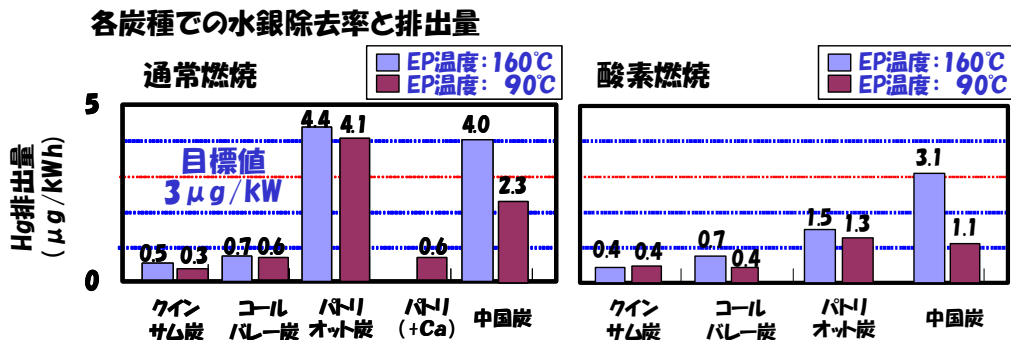
図Ⅲ-42 酸洗浄による B 溶出防止技術

2.7 まとめ

まとめを図Ⅲ-43に示す。ラボ試験，小型炉試験結果により，水銀の高度除去に必要なシステム構成を選定し，大型燃焼炉試験により，上記システム評価を実施し，目標値である水銀排出量 $3\mu\text{g}/\text{kWh}$ 以下を達成できることを確認した。

脱硫廃水中の有害元素除去技術として，キレート繊維によるHg,B等の有害元素除去を確認した。

さらに，基礎試験により，石炭燃焼時のB,Se放出挙動及び灰粒子への付着特性を評価した。



- ・ラボ試験，小型炉試験により，高度除去に必要なシステム構成(脱硝触媒+集塵器+脱硫装置)を選定。
- ・大型燃焼炉試験により，上記システム評価を実施し，目標値である水銀排出量 $3\mu\text{g}/\text{kWh}$ 以下を確認

脱硫廃水中の有害元素除去技術：
キレート繊維によりHg,B等の有害元素除去を確認

基礎試験によるB,Seの配分特性評価：
基礎試験により，石炭燃焼時のB,Se放出挙動及び灰粒子への付着特性評価

図Ⅲ-43 成果のまとめ

IV. 実用化の見通し（公開版）

1. 成果の実用化可能性

北米では発電所から排出される水銀量の規制強化が進んでいる。カナダの $3\ \mu\text{g}/\text{kWh}$ だけでなく、米国においては、EPAより $3.6\ \mu\text{g}/\text{kWh}$ の規制が施工される予定であり、州ごとに見るとさらに厳しい規制が設けられている。

表 米国での水銀規制動向

National Emission Standard for HAP (2011/3/16. EPA提案)

Mercury	0.008lb/GWh(Coal-fired Unit>8300Btu/lb) (3.6 $\mu\text{g}/\text{kWh}$)
----------------	---

このような状況に対し、当社では、北米などで本研究の成果を学会等でPRすると同時に、日立グループ会社であるHitachi Power Systems Americaを通じて、北米を中心とした発電所への微量成分除去技術のPRを進めており、実用化の可能性は高い。

また、中国では、現在石炭火力の増設が急ピッチで進んでいる。環境規制については、近年SO₂やNO_x除去だけでなく、Hgの放出規制についても注目されるようになっていく。当社では、中国への環境設備をPRする際に、本研究の成果も合わせてPRを実施しており、今後、急発展が見込まれる東アジアにおいても実用化の可能性は高い。

2. 実用化までのシナリオ

2007年～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確立した後、2009年～2010年度に大型燃焼炉を用いた試験により基礎技術を確立した。同時に、実用化検討及び国際会議等でのPR、北米や中国等の発電所へのPRを実施中である。さらに、2012年度より、本研究成果の事業化検討を実施し、2015年をめどに実機適用を行う予定である。

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。

V. 成果普及について

(1) 特許出願状況

特許出願件数：7件

出願日	出願番号	名 称
2009.02.02	P2009-021630	酸素燃焼用石炭焚きボイラの排ガス処理装置と方法
2009.11.25	P2009-267914	酸素燃焼システムにおける排ガス処理装置
2009.12. 9	P2009-279419	酸素燃焼方式の排ガス処理装置と該排ガス処理装置の運用方法
2010.03.17	P2010-061420	ボイラフロント
2010.05.18	P2010-114020	排煙脱硫装置と燃焼システムと燃焼方法
2011.01.11	P2011-003360	排ガス処理システム
2011.01.17	P2011-007167	排ガス処理システム

(2) 外部発表

研究発表

学会発表（国内）：13件

学会発表（海外）：11件

投稿論文

論文投稿（査読付，海外）：4件

研究発表 学会発表(国内) (1/2)

日付	発表機関	タイトル
2009.11.27	第46回日本エネルギー学会 石炭科学会議	湿式排煙脱硫廃水からの有害微量元素の除去
2009.11.27	第46回日本エネルギー学会 石炭科学会議	石炭灰からの有害微量元素の溶出挙動と溶出防止
2010.3.17	第44回日本水環境学会年会	石炭火力発電の排煙脱硫廃水からの有害微量元素除去
2010.3.17	第44回日本水環境学会年会	石炭灰の洗浄による有害微量元素の除去と溶出防止
2010.3.18	21年度日本水環境学会九州 支部研究発表会	湿式排煙脱硫廃水中の有害元素とその除去法開発
2010.3.18	21年度日本水環境学会九州 支部研究発表会	石炭灰からの微量有害元素溶出とその防止法開発

研究発表 学会発表(国内) (2/2)

日付	発表機関	タイトル
2010.8.2	第19回日本エネルギー学会大会	湿式排煙脱硫廃水中のホウ素やセレン等の除去
2010.9.21	第47回日本エネルギー学会石炭科学会議	湿式排煙脱硫廃水に含まれる難除去性セレン除去法の開発
2010.9.21	第47回日本エネルギー学会石炭科学会議	石炭燃焼システムにおける湿式排煙脱硫廃水の分析と有害微量元素除去
2011.3	化学工学会第46年会	石炭燃焼炉における排ガス中微量元素除去技術の検討
2011.3.18	日本水環境学会年会	洗浄剤による石炭灰からの有害元素溶出抑制
2011.8.9	第20回日本エネルギー学会大会	石炭燃焼灰に含まれる微量元素の溶出とその抑制
2011.10.25	第48回日本エネルギー学会石炭科学会議	1.5MWthパイロット試験設備における石炭排ガス中のホウ素、セレンの挙動評価

研究発表 学会発表(海外) (1/3)

日付	発表機関	タイトル
2009.4.23~24	MEC6(Mercury Emissions from coal, 6 th International Experts Workshop)	Advanced AQCS for Controlling Mercury
2009.10.19	3 rd IWA-ASPIRE Conference & Exhibition	Removal of arsenic and selenium compounds from aqueous media by using TiO ₂ photocatalytic reaction
2010.6.8	The 35 th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems	Study of Mercury Behavior in Flue Gas of Oxy-fuel Combustion
2010.6.14	Mercury Emissions from coal, 7 th International Experts Workshop	Analysis and Cleaning Technologies for Mercury and Other Hazardous Trace Elements in Coal

研究発表 学会発表(海外) (2/3)

日付	発表機関	タイトル
2010.6.16	Mercury Emissions from coal 7 th International Experts Workshop	Advanced AQCS for Controlling Mercury
2010.6.25	1 st Water and Environment Technology Conference 2010	Removal of selenium(VI) from FGD wastewater by use of photocatalytic reduction
2011.1.26	Special Workshop on SO ₂ , SO ₃ , Hg and Boiler Corrosion Issue Under Oxyfuel Combustion Condition	Advanced AQCS for Oxy-fuel Combustion System: Controlling Mercury & SO ₃
2011.4.14	VDI Academic Forum Measurement and Reduction of Mercury Emission	Advanced AQCS for Oxy-Fuel Combustion System: Controlling of Mercury

研究発表 学会発表(海外) (3/3)

日付	発表機関	タイトル
2011.6.7	The 36 th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems	Development of Mercury and SO ₃ Control Technology using Gas Cooler in Oxy-fuel Combustion System
2011.9.13	28 th International Pittsburgh Coal Conference	Analysis of Trace Hazardous Elements in Flue Gas Desulfurization Water and the Removal of These Elements from Water
2011.9.14	2 nd International Oxy-fuel Combustion Conference	Study of Hg and SO ₃ Behavior in Flue Gas of Oxy-fuel Combustion System

投稿論文 論文投稿<査読付>(海外)

日付	発表機関	タイトル
2010.11	International Journal of Greenhouse Gas Control	Study of Hg and SO ₂ Behavior in Flue Gas of Oxy-fuel Combustion Condition
2011.3	Journal of Water and Environment Technology, 9, 13-19	Removal of selenium (VI) from simulated wet flue gas desulfurization wastewater by use of photocatalytic reduction
2011.7	Energy & Fuels, 25, 3568-3573	Analysis of Trace Elements in Flue Gas Desulfurization Water in Coal Combustion System and Removal of Boron and Mercury from the Water
投稿中	Journal of Water and Environment Technology	Elution of Arsenic, Boron, Chromium and Selenium from Acid Washed-Coal Fly Ash

2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

(エネルギーイノベーションプログラム)
「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」
「ゼロエミッション石炭火力基盤技術」
「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」
「高度除去技術」
(事後評価)
[H19年度～H22年度 4年間]

4. プロジェクトの概要説明資料 (公開)

4.1 「事業の位置付け・必要性」及び「研究開発マネジメント」

2011年11月18日(金)

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
環境部

1

1. 事業の位置付け・必要性

(1) NEDOの事業としての妥当性



【背景】

- ・エネルギーイノベーションプログラムの一項目として位置づけられている「化石燃料の安定供給確保及び有効かつクリーンな利用」に関連し、石炭を環境に配慮しつつ効率的に利用する技術である**Clean Coal Technology (CCT)**は重要視されている。
- ・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**や、今後の世界的なエネルギー需要の増加、特に新興国で見られる急速な経済成長に伴う良質石炭資源の入手難への対応、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・セキュリティーの観点からも重要技術と認識されている。

【市場ニーズ(目的)】

- ・水銀対策の必要な**北米の微粉炭火力の除去技術開発**。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。

【技術ニーズ】

- ・微粉炭火力での**水銀排出規制(カナダ、米国)対応**および**環境対策技術の世界トップの維持**。

1. 事業の位置付け・必要性

(1) NEDOの事業としての妥当性

<技術戦略マップ2009/エネルギー分野>

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]

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030~
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		

NEDOの中期目標 (抜粋)

<4>環境調和型エネルギー技術分野 ①技術開発/実証

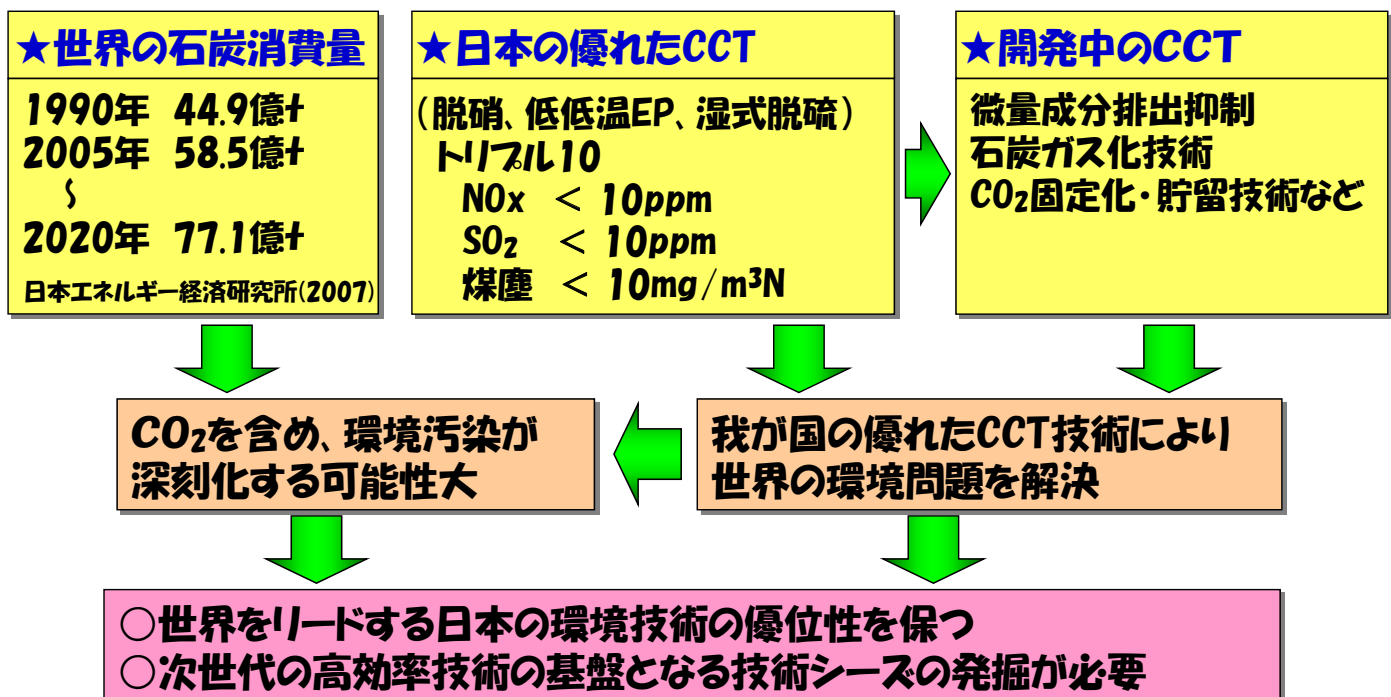
NOx/SOx/煤塵等、地域の環境問題への対応に関する世界トップクラスの技術を有している。..(略)..石炭等の化石エネルギーの利用効率をより一層高めることも重要...水銀等の微量金属の排出規制強化も重要な課題 ..(略)

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燃焼技術分野において、微量元素排出抑制に関する基盤技術開発で、世界トップレベルの環境技術の維持を目的にしたものであり、**NEDOの中期目標に適合している。**

一般的にこのような、中長期的視点に立ったエネルギー戦略は、**公益性が高く、社会的な必要性は大きい**が、**実用化に向けては多大な技術開発資金と開発期間を要するため、費用回収の面から民間企業で実施することは困難であり、NEDOが実施する必要性や位置づけは明確である。**

1. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業目的の妥当性



環境問題、革新的技術開発に寄与し、国際競争力のある基礎的な技術開発の加速・推進

1. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業目的の妥当性

[プロジェクト体系]

[平成19年度：プロジェクト発足時]

戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発
 (STEP CCT < Strategic Technical Platform for Clean Coal Technology >)

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
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
高度除去技術
次世代高効率石炭ガス化技術開発

中間評価は戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発(STEP CCT)として評価

[平成22年度：プロジェクト終了年度]

ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

I. ゼロエミッション石炭火力タータルシステム調査
II. ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発
革新的ガス化技術に関する基盤研究事業
次世代高効率石炭ガス化技術開発
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
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
高度除去技術
III. グリーン・コール・テクノロジー推進事業
IV. 燃料電池対応型石炭ガス化複合発電最適化調査研究
V. 革新的CO2回収型石炭ガス化技術開発

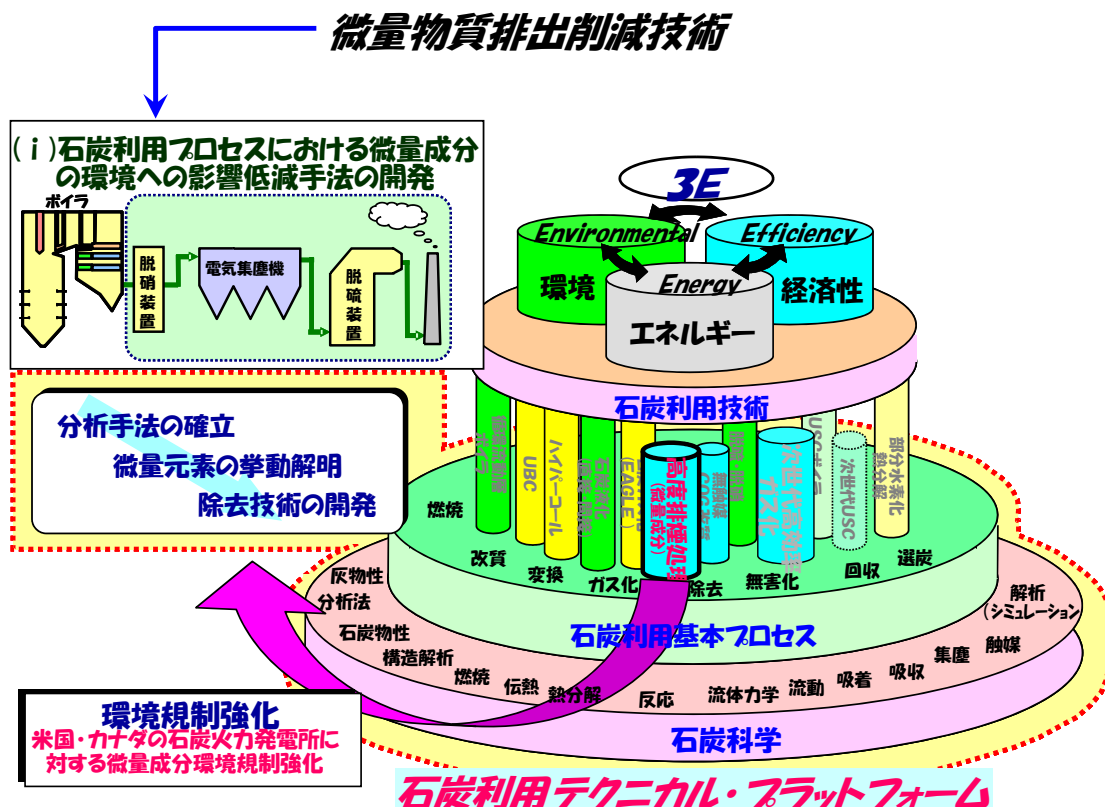
本事後評価では高度除去技術の1テーマを評価

- ・次世代高効率石炭ガス化開発……………平成23年度終了
- ・微量成分高精度分析手法の標準に資するデータ蓄積…平成25年度終了

1. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業目的の妥当性

ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト



1. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業目的の妥当性

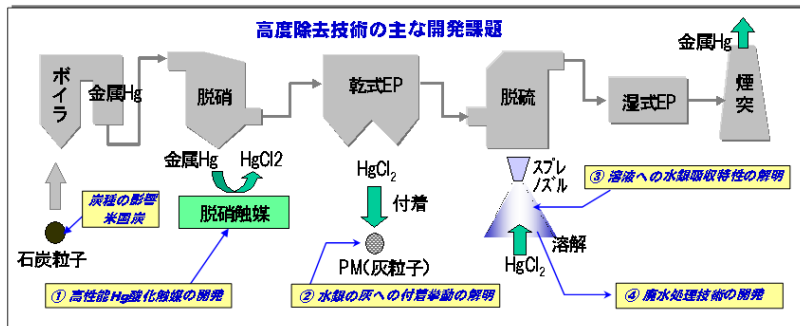
【事前調査】

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



【目的】

- ・石炭燃焼に関わる水銀の排出挙動の解明
- ・水銀の排出抑制技術に関し、海外との競争力強化
- ・厳しい水銀の排出基準(カナダ・北米)をクリア出来る排出抑制技術の開発

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	○	×	○	○	×	×	×	×	×

2. 研究開発マジメント

(1) 研究開発目標の妥当性

カナダ・米国で打ち出された微粉炭火力の微量成分排出規制
(煙突出口濃度 $3 \mu\text{g-Hg/kWh}$)



対策技術開発を実施し環境対策技術の世界トップの地位を維持

――研究開発目標を次のように設定――

[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

[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。



2. 研究開発マネジメント

(2) 研究開発計画の妥当性

- ① 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。
- ② 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。

事業項目	平成19年度				平成20年度				平成21年度				平成22年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
①ラボ試験																
a. 水銀酸化触媒の評価																
b. 排ガス中Hgの灰付着特性評価																
c. 脱硫吸収液へのHg吸収特性評価																
d. 酸素燃焼時におけるHg除去挙動の検討																
②小型炉燃焼炉試験																
a. 3炭種での実ガス試験																
b. 水銀酸化触媒の評価																
c. 集塵装置でのHg除去評価																
d. 脱硫装置でのHg除去評価																
e. 酸素燃焼時の評価																
f. 最適除去システムの選定																
③大型燃焼・排煙処理装置																
a. 実ガス試験																
b. 水銀酸化特性評価																
c. 集塵機でのHg除去評価																
d. 脱硫装置でのHg除去評価																
e. 酸素燃焼改造及び評価																
④シミュレーションの開発																
a. 水銀除去モデルの作成																
b. モデルの検証及び精度向上																
⑤廃水処理技術の開発 (再委託先：鹿児島大)																
a. 液中分析、廃水処理方法の基礎的検討																
b. 灰からの溶出挙動解析、廃水処理技術の開発																
c. 燃焼炉システムへの適用																
⑥B、Seの分配挙動解明 (再委託先：秋田大学)																
a. 燃焼時放出挙動解明																
b. 灰への付着等挙動解明																
⑦動向調査																

事業原簿 7頁

9

2. 研究開発マネジメント

(2) 研究開発計画の妥当性

[研究開発予算]

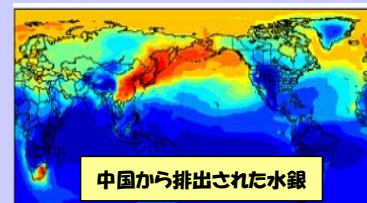
(金額:百万円)

	平成19年度	平成20年度	平成21年度	平成22年度	合計
高度除去技術	43	106	370 (うち補正予算: 337)	228	747

[補正予算]

国連環境計画(UNEP)

- ・国境を越えた汚染の広がりが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日に決定。



平成21年度の予算に以下の新たな必要予算を追加し、大型燃焼試験の平成22年度実施分を前倒した。さらに燃焼試験において中国炭についても追加実施した。

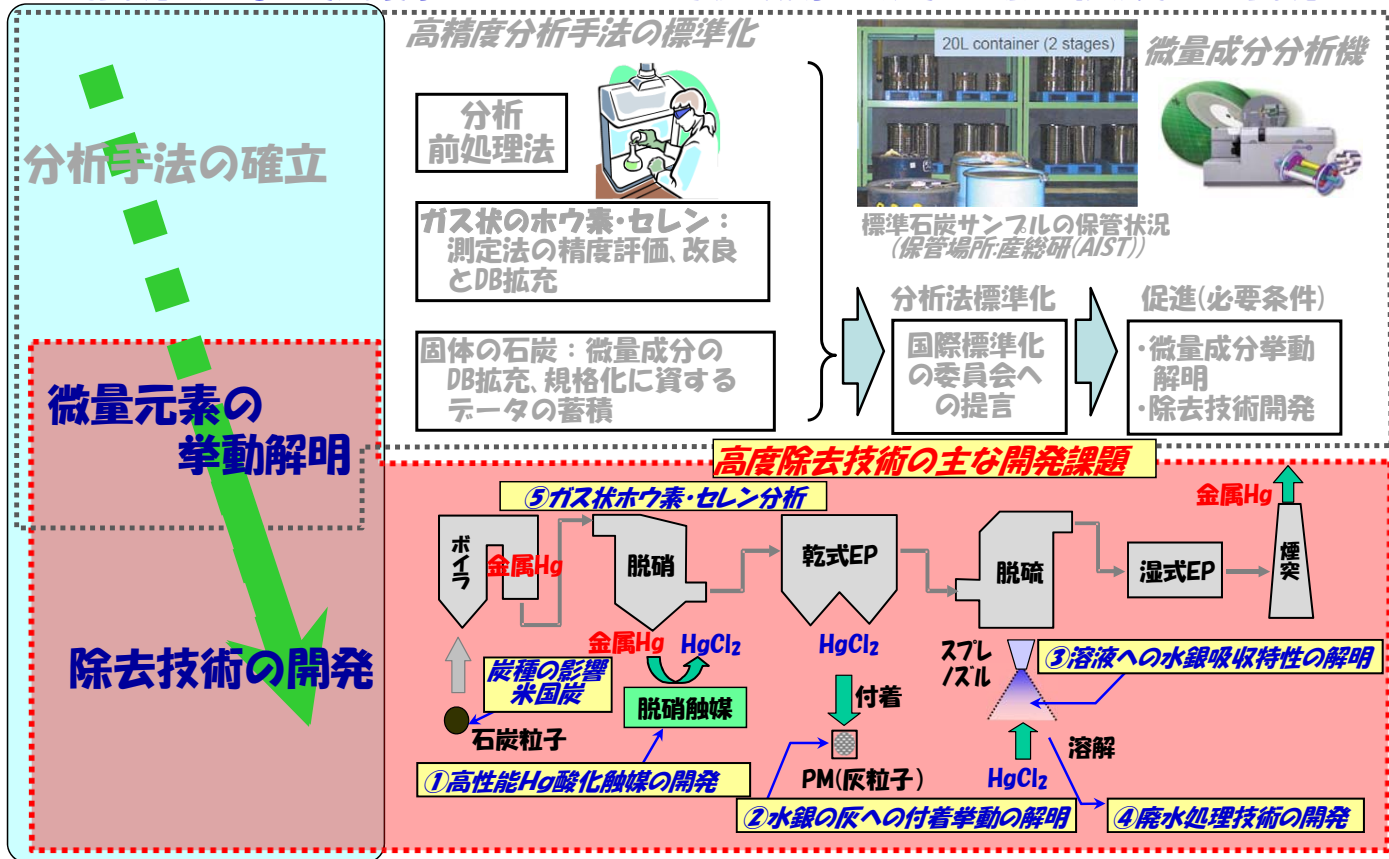
- 1) 大型燃焼試験の前倒し……237百万円
- 2) 中国炭の燃焼試験追加……100百万円(情勢変化への対応)

事業原簿 6頁

10

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

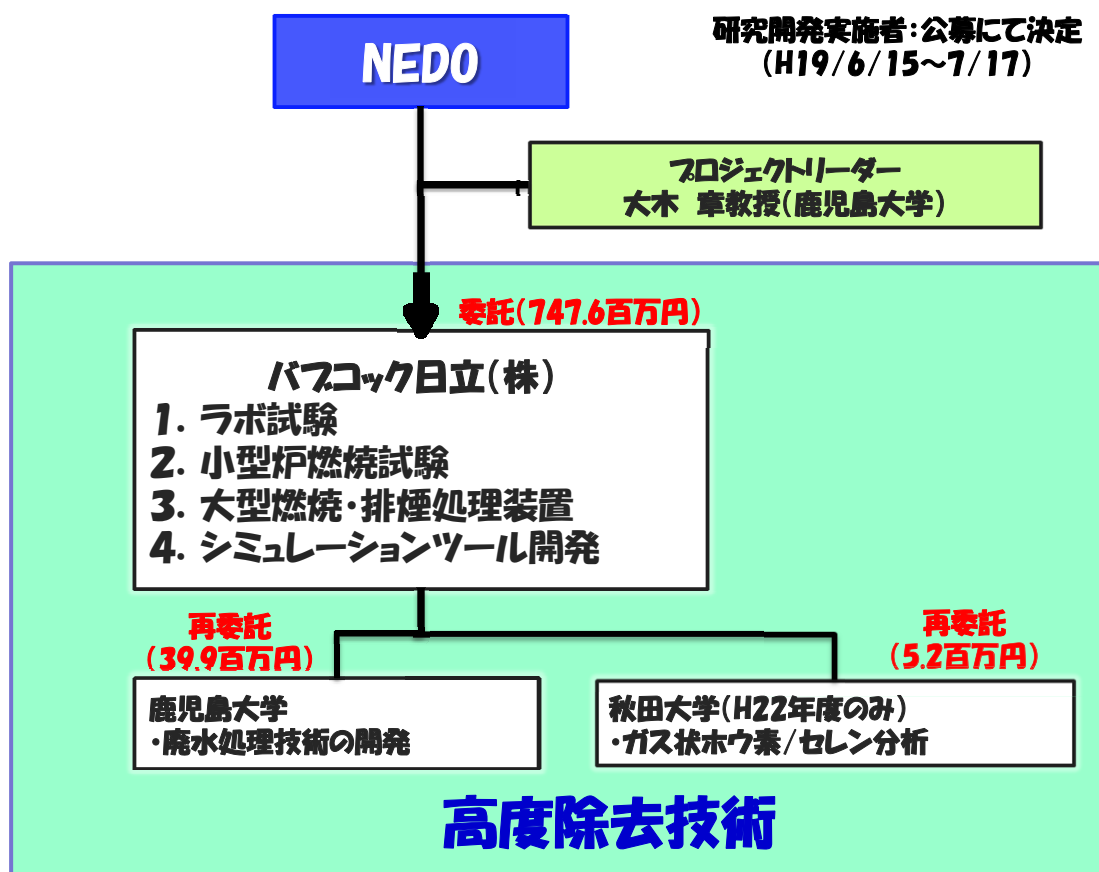
研究開発項目① 石炭利用プロセスにおける微量成分の環境への影響低減手法の開発



事業原簿 6頁

11

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発実施者の事業体制の妥当性



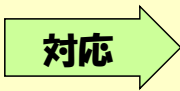
事業原簿 8頁

12

(4) 情勢変化への対応等

(1) 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が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



燃焼試験対象炭に中国炭を1炭種追加し、試験を実施
(平成21年度補正予算)

(2) 米国環境庁(U.S.EPA)規制への対応

2011年3月に米国環境庁(U.S.EPA)よりNational Emission Standard for Hazardous Air Pollutants(NESHAP)が提案され2011年11月に石炭火力発電所の排出規制が強化される見込みであり、水銀の新設瀝青炭焼き規制値は3.6 μg/kWhとなる。ただし本事業の目標値は本値より厳しい3.0 μg/kWhに設定しているため事業目標の変更対応は行わない。

(5) 中間評価結果への対応

【総合評価】

本プロジェクトにおける微量物質の排出削減技術ならびに分析技術は、エネルギー安全保障等の観点からエネルギーイノベーションプログラムに合致しており、**NEDO事業として高く評価できる。**中間目標に対しては、概ね達成している。また、ニーズに対応した研究であり、**実用化や出口のイメージは明確になっている。**

評価指摘事項	対応内容
実施者間の積極的な議論展開	関連性の高い微量物質の2テーマ(微量成分分析及び高度除去)について、情報の集約と研究者間の技術交流を進めるため、 合同ワーキング を開催した。
ユーザからの要望等のくみ取り	高度除去のテーマについてユーザヒアリングを実施した。
炭種等の影響をより明確化	今後予想される日本での使用炭種の拡大を念頭に、利用者のニーズに沿ったシステムとなるよう、 炭種や提供データの充実 を行った。また脱硝触媒が無い場合にも 添加剤等による除去率向上 を確認した。
成果物の積極的な公開	MEC等の専門会議での対外発表 により、広く外部の意見を取り入れる機会を設けた。
ガス状および灰粒子水銀の状態を明確化	ダクト中における粒子状水銀の割合を明らかにし、また、電気集塵器で捕集した灰中の水銀濃度を測定し、灰の比表面積と水銀吸着量との関係について検討した。

(エネルギーイノベーションプログラム)
「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」
「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」
「高度除去技術」
(事後評価)
[H19年度～H22年度 4年間]

4. プロジェクトの概要説明
4.2 研究成果及び実用化見通し

2011年11月18日(金)

バフコック日立(株)
鹿児島大学
秋田大学

4. プロジェクトの概要説明

社会的・経済的背景

石炭を取りまく環境問題

Phase1 NO_x、SO_x、煤塵...酸性雨
Phase2 CO₂、CH₄、N₂O...地球温暖化
Phase3 Hg、B、Se...微量成分



- 国連、欧米を中心に微量成分問題に関心が高まる
- 炭種によって輸入できない石炭もある



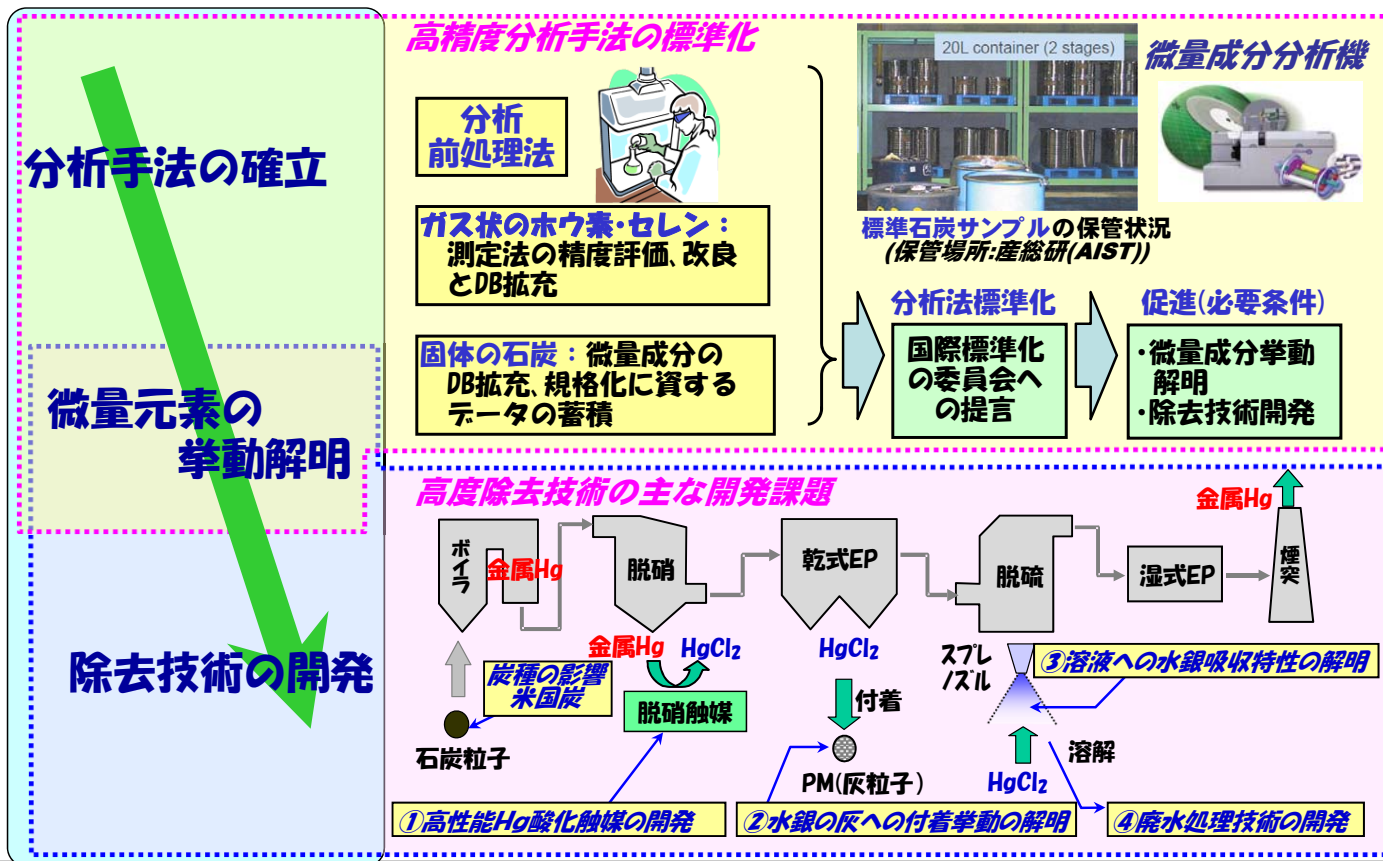
将来的に良質な石炭資源の入手が難しくなることから**微量成分**の観点でのエネルギー・セキュリティの確保に寄与する技術開発が必要

★**カナダ**: Canada-Wide Standardsにより、新設石炭炊発電ユニットの排ガス中水銀量を、世界で最も厳しい3 μg/kWhに規制することを検討

★**米国**: National Emission Standards for Hazardous Air Pollutantsが提案され、2011年11月より3.6 μg/kWhの水銀規制値が適用される可能性

豪州炭中の微量元素濃度
Hg: 0.026-0.4 μg/g
B: 1-300 μg/g
Se: 0.21-2.5 μg/g

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



事業目的の妥当性－微量成分研究の方向性

微量成分は未知な研究分野のため、優れた除去技術開発には下記が必要

- 我が国で使用される石炭中の含有量のデータ蓄積
- 国際標準化された分析・測定技術
- 利用システムにおける挙動の解析技術

微量成分の対策技術開発ステップ

STEP1

データ蓄積
分析・測定

STEP2

挙動の解析理解

STEP3

除去・対策技術

日本で利用

海外で利用

Hg

終了

終了

開発中

その他
(B, Se
など)

未着手

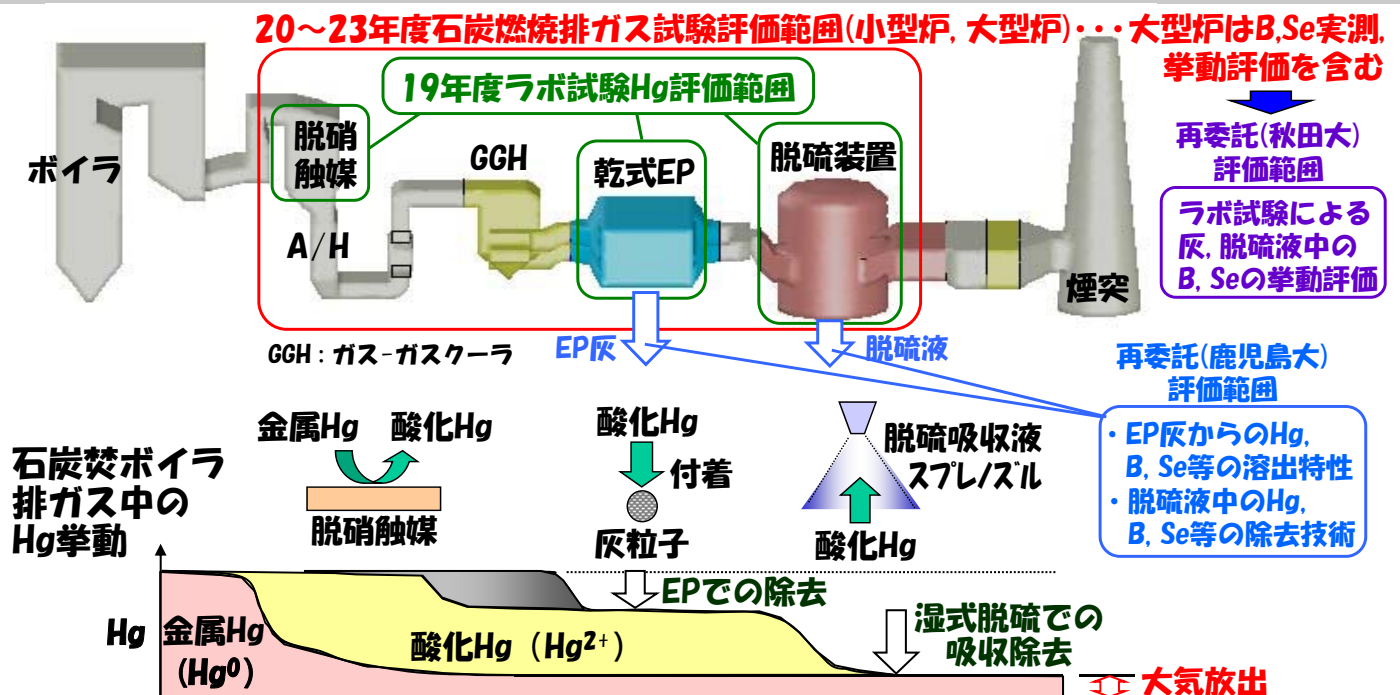
他の水銀除去技術との比較

	システム構成	Hg除去率 % ($\mu\text{g}/\text{kWh}^*2$)
活性炭法	<p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> 高S炭でHg除去率が低下 EP灰の再利用が困難 ランニングコスト大(8.6億円/年*1) 	低S炭 90~95% (3~2) 高S炭 50~70%
本開発法		96~98% (1)

*1: 活性炭供給量: $0.17\text{g}/\text{m}^3$
 活性炭単価: $140\text{¥}/\text{kg}$.
 発電規模: 1000MW と仮定

*2: 石炭中Hg量を $100\mu\text{g}/\text{kg}$
 発熱量 $29,000\text{kJ}/\text{kg}$.
 発電効率 37% と仮定

微量成分高度除去技術開発の実施内容

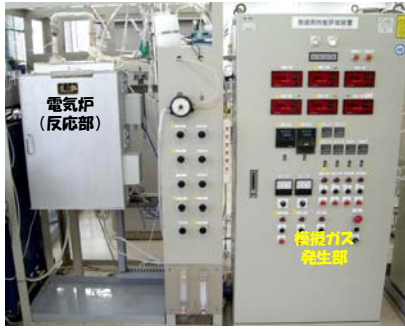
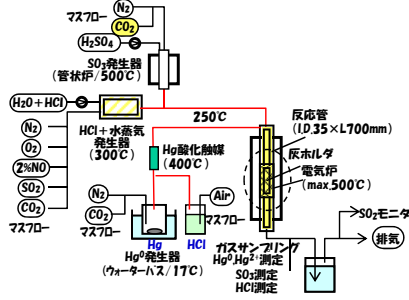


- 水銀の高度除去のために、脱硝触媒部、集塵部、湿式脱硫装置における水銀の挙動特性を、ラボ、小型炉、大型燃焼炉にて評価および最適システムの提案、検証。
- 脱硫排水中ホウ素(B)、セレン(Se)規制対応のため、標準化グループ規定の測定法で大型燃焼炉排ガス中のB、Seを実測、基礎試験による挙動評価も実施(中間評価反映)

試験装置の概要

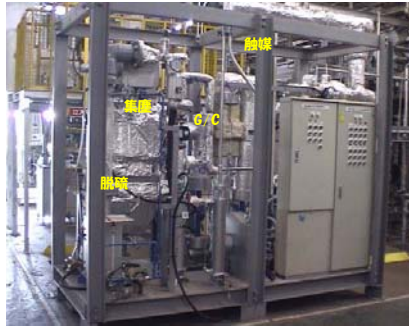
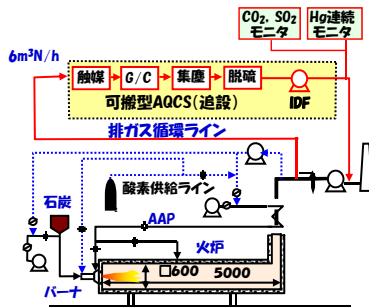
ラボ試験装置

トータルガス量：3~5L/min
水蒸気発生量：max.600mL/min



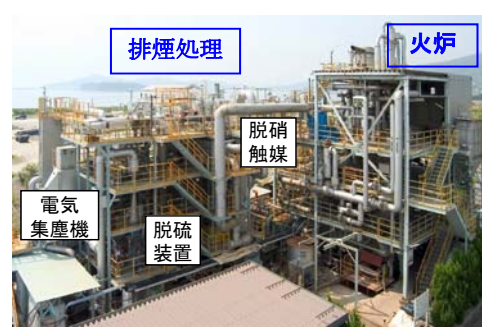
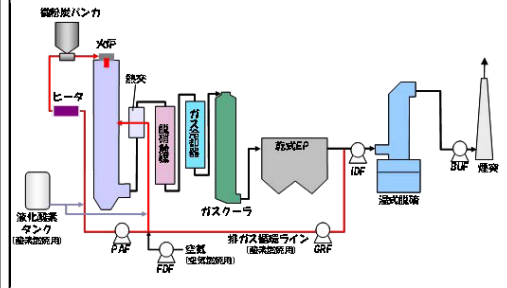
小型燃焼炉試験装置

石炭供給量：~50kg/h
排ガス循環量：~240m³N/h



大型燃焼炉試験装置

石炭供給量：120kg/h
排ガス量：1200m³N/h



石炭組成と目標値

項目	試料名		カナダ炭		米国東部瀝青炭	豪州炭	中国炭	
	ベース	単位	コールバレー	クインサム	パトリオット	サケンベル	(銘柄不詳)	
高位発熱量	気乾	KJ/Kg	25.970	28.870	27.880	29.620	15.660	
全水分	到着	%	6.99	5.08	11.7	8.35	8.67	
工業分析	気乾試料水分	気乾	6.41	4.05	7.16	2.44	2.04	
	揮発分	無水	36.96	37.94	40.62	33.29	19.04	
	固定炭素	無水	51.86	53.34	48.7	55.21	33.04	
	灰分	無水	11.18	8.72	10.68	11.5	47.92	
元素分析	C	無水	69.22	73.22	71.32	73.26	40.88	
	H	無水	4.26	4.55	5.14	4.63	2.34	
	O	無水	14.28	12.1	8.45	8.39	7.95	
	N	無水	0.97	1.16	1.58	1.77	0.6	
	S	無水	0.26	0.46	2.9	0.45	0.77	
	灰中S	無水	0.17	0.21	0.07	0.01	0.46	
	Cl	無水	mg/Kg	25	330	300	170	410
	F	無水	mg/Kg	70	60	40	50	170
Hg	無水	μg/Kg	28.3~40.9	26.9~66.8	100~140	14.0~36.2	100~200	
水銀発生量*1 (石炭中全水銀が放出と仮定)		(μg/kWh)	11~15	9~23	35~49	5~20	60~124	
目標値3μg/kWhを達成するための除去率		(%)	72~80	67~87	91~94	35~85	95~97	

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

・石炭中水銀濃度によって、必要な除去率が異なるが、安定に3μg/kWhを達成するには除去率94%が必要。(中国炭の場合は、さらなる高度除去が必要)

目標達成度

目 標	試験内容 (年度)	項目	達成状況	評価
水銀排出量 3 μ g/kWh	19~22年度	水銀除去システムの選定	ラボ試験, 小型炉試験により, 高度除去に必要なシステム構成(脱硝触媒+集塵器+脱硫装置)を選定。 大型燃焼炉試験により, 上記システム評価を実施し, 水銀排出量3 μ 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 ₂ 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	○

◎ : 目標を上回る成果 ○ : 目標通りの成果

目標達成度

目 標	試験内容 (年度)	項目	達成状況	評価
	大型燃焼炉 (21~22年度)	炭種の評価	カナダ炭及び中国炭を含む4炭種で評価試験を実施	○
		触媒部酸化特性評価	HCl, SO ₂ 等の影響評価, 水銀酸化促進剤の効果確認	○
		灰付着特性評価	温度, 灰の比表面積等の影響評価	○
		脱硫液吸収特性評価	L/G, pH等の影響及び再放出防止法検討	○
		排ガス中B,Se挙動評価	B,Se測定法を確認し, 集塵部及び脱硫部への分配特性を評価	○
		酸素燃焼時の評価	各機器の特性評価	○
		システム評価	選定システム(脱硝触媒+集塵器+脱硫装置)により, 目標値3 μ g/kWh達成を確認	○
		数値解析によるシミュレーションツールの解析	各機器におけるHg挙動の基礎式を作成し, 大型燃焼炉結果を用いて精度評価	○
	廃水処理技術 (19~22年度)	脱硫廃水中の有害元素除去技術	キレート樹脂によりHg,B等の有害元素除去を確認	○
		石炭灰中の有害元素除去	酸洗浄により有害元素除去を確認	○
	排ガス中B,Seの挙動解明 (22年度)	基礎試験によるB,Seの配分特性評価	基礎試験により, 石炭燃焼時のB,Se放出挙動及び灰粒子への付着特性評価	○

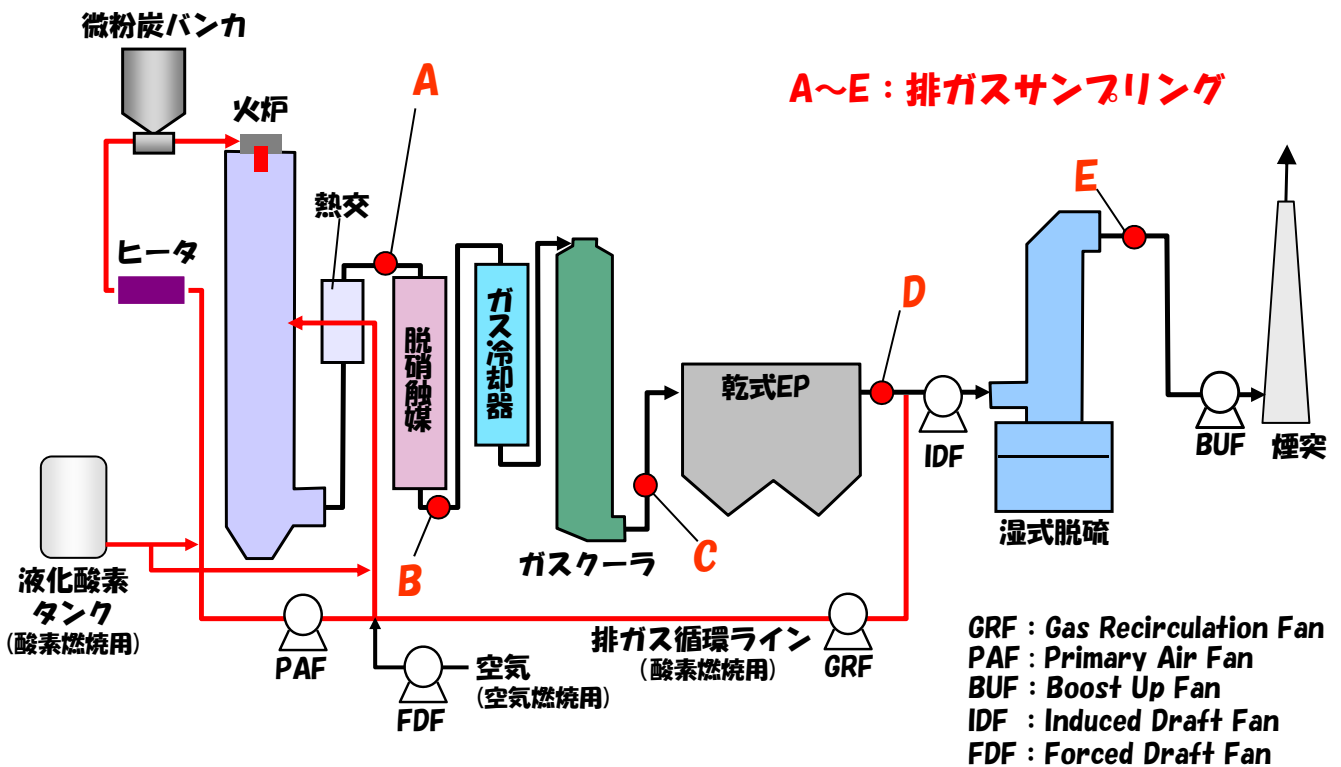
◎ : 目標を上回る成果 ○ : 目標通りの成果

大型燃焼炉試験装置の概要

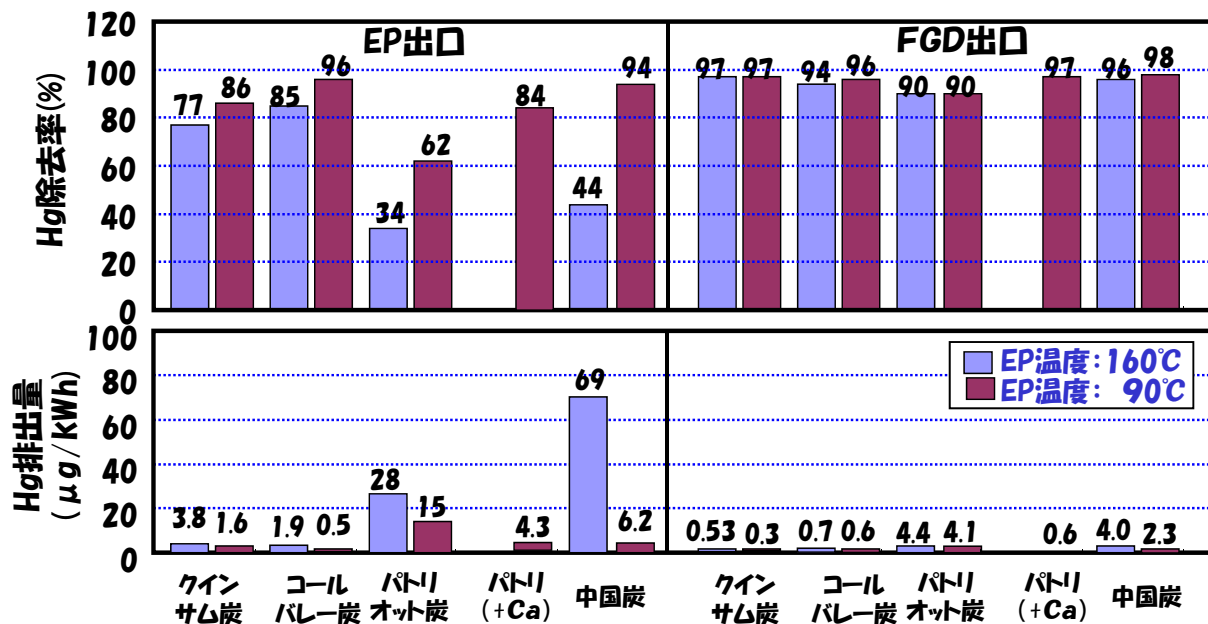


石炭供給量 : 120kg/h
 排ガス量 : 1200m³N/h

大型燃焼炉試験装置のシステムフロー

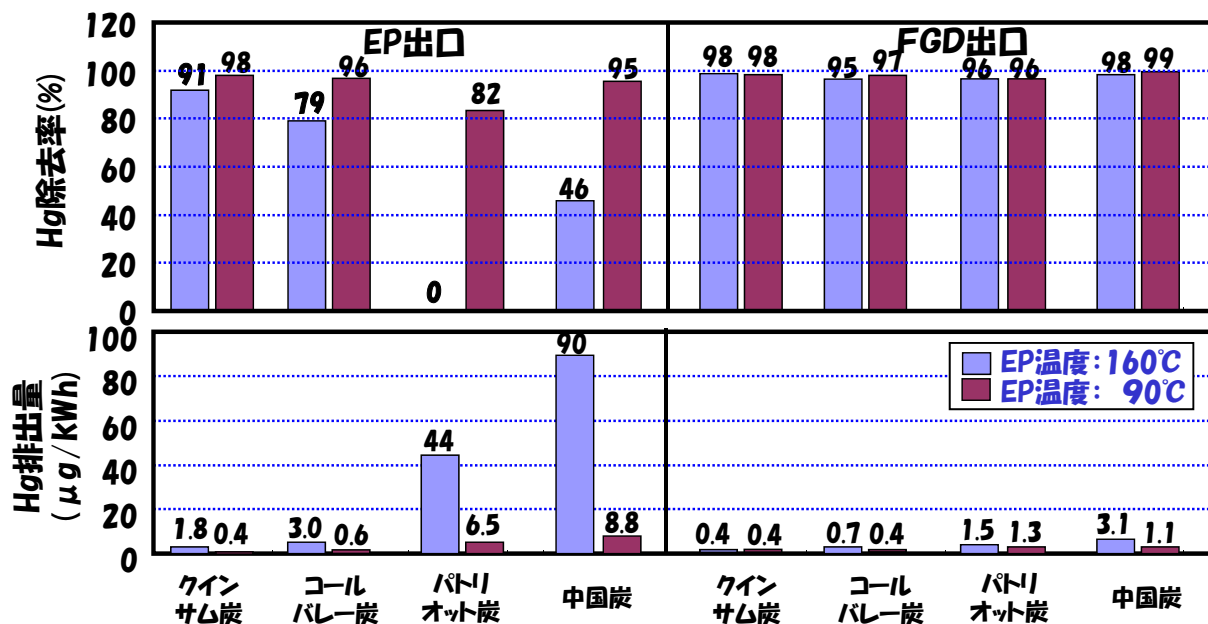


大型燃焼炉試験結果(空気燃焼) 各炭種での水銀除去率と排出量



- ・集塵部のガス温度を90℃に下げること、他の石炭における水銀除去率も向上
- ・ただし、排ガス中のSO₂及びSO₃濃度が高いパトリオット炭ではその効果が低い。排ガス中のSO₃が先に灰表面の水銀吸着サイトに付着し、水銀の吸着を阻害していると考えられる。
- 次に、高S炭対応技術として、排ガス中のSO₃を除去することで、Hg除去率向上を図った結果について述べる。

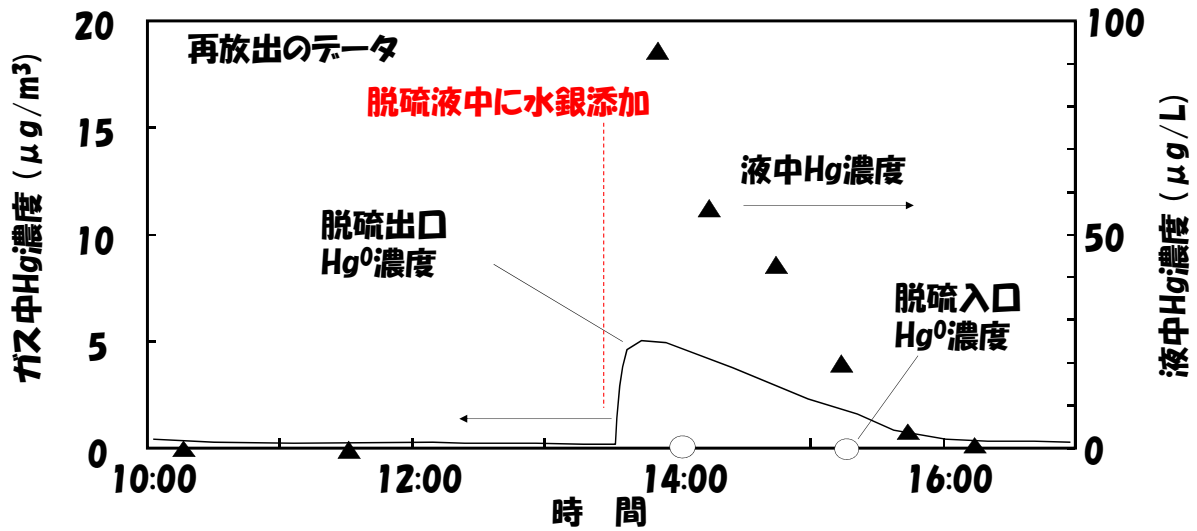
大型燃焼炉試験結果(酸素燃焼) 各炭種での水銀除去率と排出量



- ・いずれの炭種でも、集塵器温度を下げることで、水銀除去率が向上。
- ・中国炭のような水銀含有量の多い石炭でも、集塵器温度を下げることで水銀除去率を向上でき、目標値である3 μg/kWhを達成できる見通しを得ることができた。

脱硫装置からの水銀再放出抑制技術

- ・脱硫液中の水銀濃度が高くなった場合、脱硫液中から水銀が再放出し、大気に放出(水銀除去率が低下)される現象がある。
- ・そこで、水銀再放出メカニズムの解明及び再放出抑制技術を検討した。

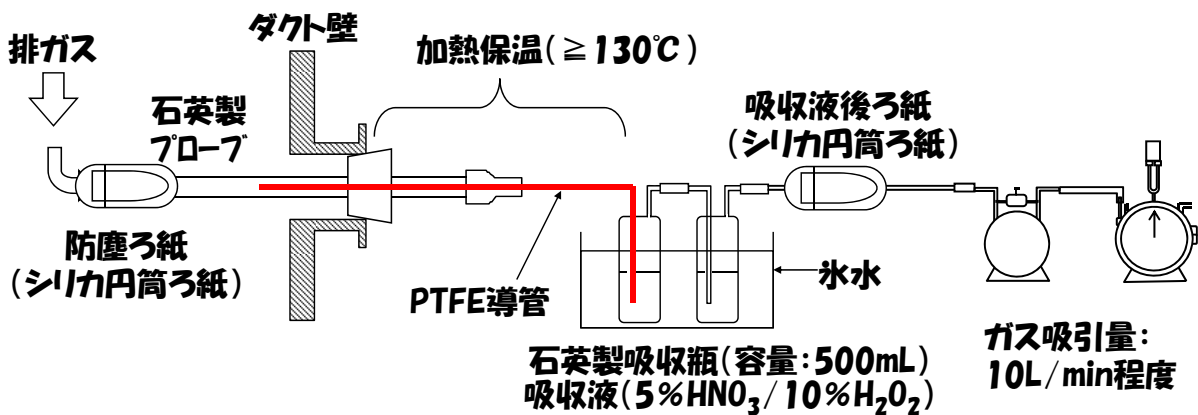


脱硫液中Hg濃度と脱硫出口排ガス中Hg濃度との関係

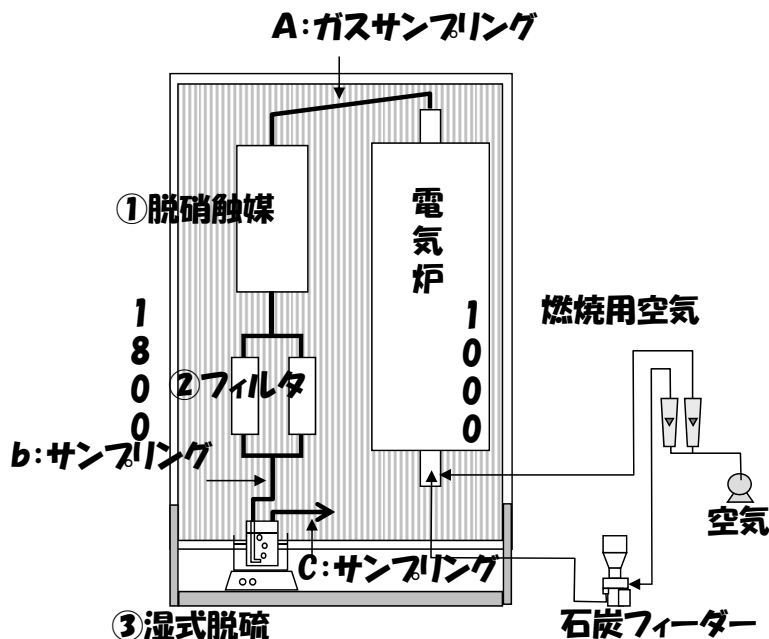
- ・水銀再放出を模擬するため、脱硫液中に水銀を添加。
- ・脱硫液中の水銀濃度が上昇すると、脱硫装置出口のHg⁰濃度が大幅に増加する。

排ガス中B,Se測定方法の確認と 機器分配特性の評価 (大型燃焼炉)

- ・標準化グループに準拠した方法で、大型燃焼炉排ガスを測定



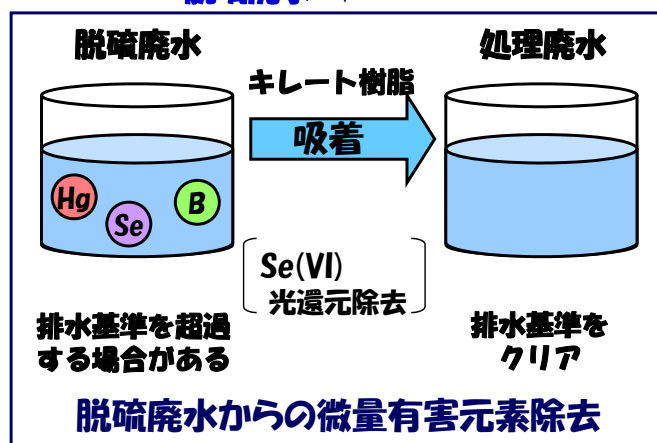
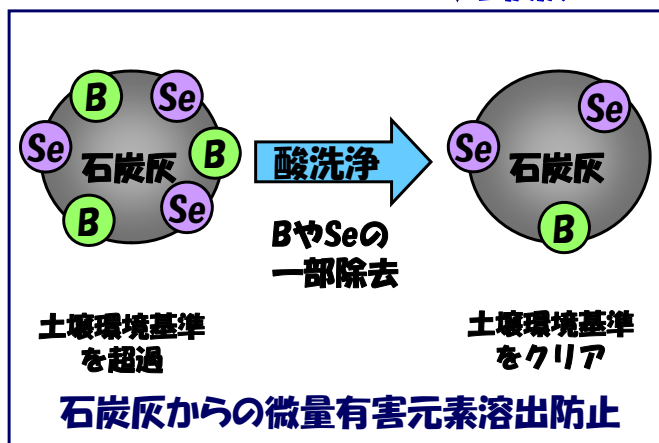
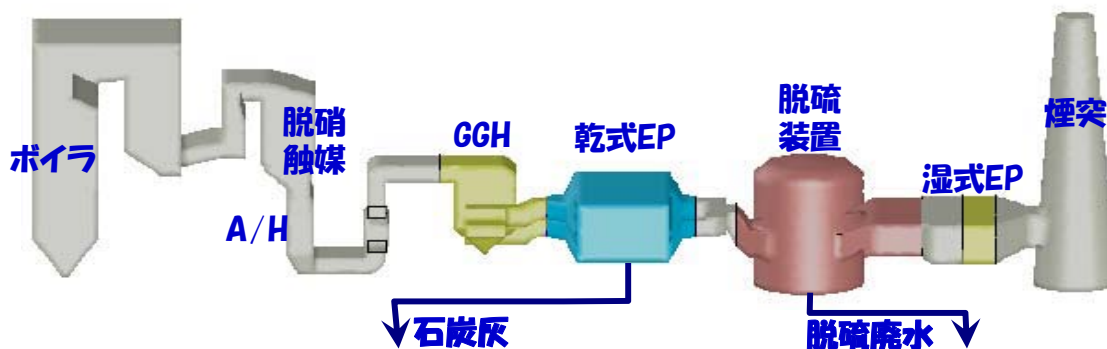
4. プロジェクトの概要説明 **基礎試験による排ガス中B,Seの挙動解明**
(再委託先:秋田大学)



- ・石炭(パトリオット炭)を電気炉で燃焼し、発生した排ガス及び灰中のB,Seを測定。
- ・フィルタ部(実機では電気集塵機に相当)のガス温度を変化させ、B,Seの挙動を評価。

4. プロジェクトの概要説明 **廃水処理技術の開発**
(再委託先:鹿児島大学)

石炭利用プロセスにおける微量成分排出に関する廃水処理技術の開発



(1) 特許出願状況**特許出願件数: 7件****(2) 外部発表****研究発表****学会発表(国内): 13件****学会発表(海外): 11件****投稿論文****論文投稿<査読付>(海外): 4件****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。**
- ・CO₂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、CO₂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。

実用化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

【北米】・発電所から排出される水銀量の規制強化が進んでいる。
 アメリカ等での研究成果発表によるPRや、日立グループ会社であるHitachi Power Systems America Ltd. を通じて、北米市場を中心とした発電所への微量成分除去技術のPRを進めており、実用化の可能性は高い。

National Emission Standards for HAP (2011/3/16 EPA提案)

Mercury	0.008lb/GWh (Coal-fired Unit) > 8300Btu/lb (3.6 μg/kWh)
---------	--

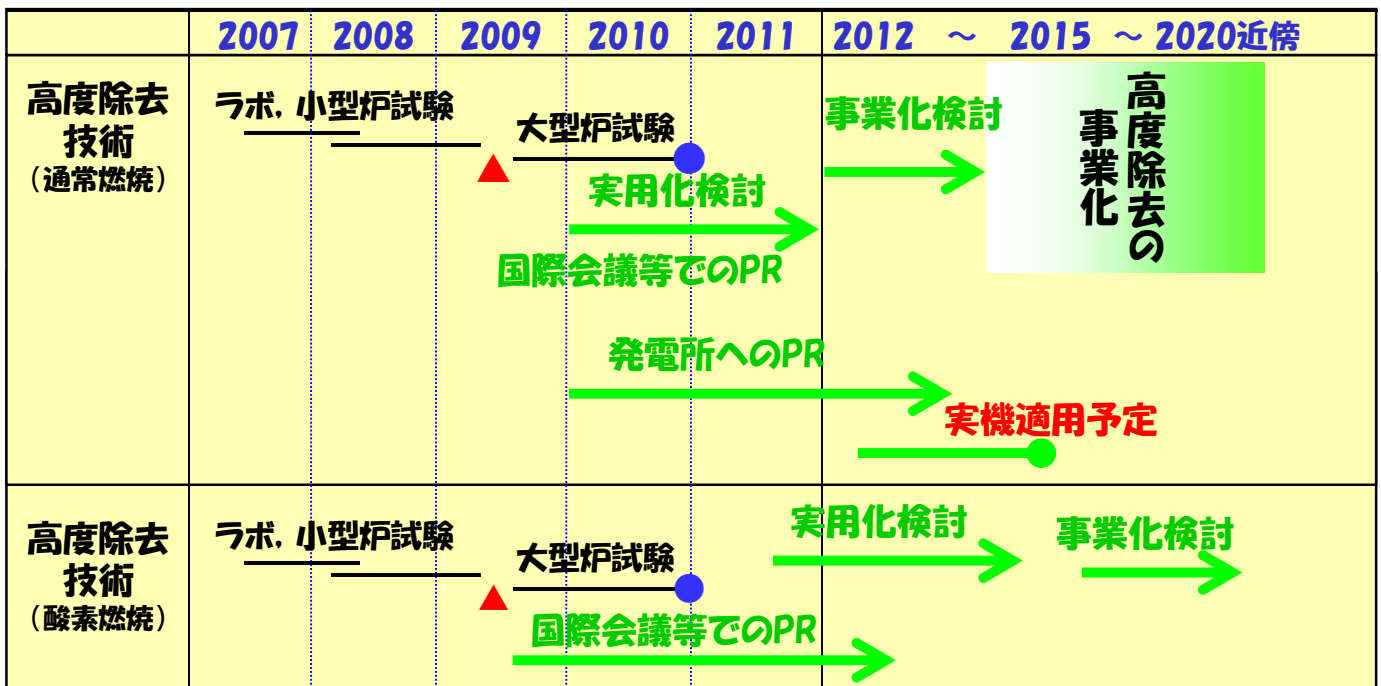
【中国】・石炭焚火力の増設が急ピッチで進んでいる。
 ・近年SO₂やNO_x除去だけでなく、Hg等の微量元素の放出抑制についても注目されるようになっており、本研究の成果を含めてPRを実施している。

【インド】・石炭焚火力の増設が急ピッチで進んでいる。
 ・数年後にSO₂規制が始まる段階であり、まずは、脱硫装置の設置が優先されると考えられるが、本研究の成果を積極的にPRすることで、実用化を進める予定である。

実用化の見通しについて

(2) 事業化までのシナリオ

▲: 基本原理確認 ●: 基本技術確立



(エネルギーイノベーションプログラム)
「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト」
「ゼロエミッション石炭火力基盤技術」
「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」
「高度除去技術」
(事後評価)

(H19年度～22年度 4年間)

5. プロジェクト詳細説明資料

- (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

2011年11月18日(金)

バブコック日立(株)

5. プロジェクト詳細説明

世界の石炭焚発電所における水銀排出

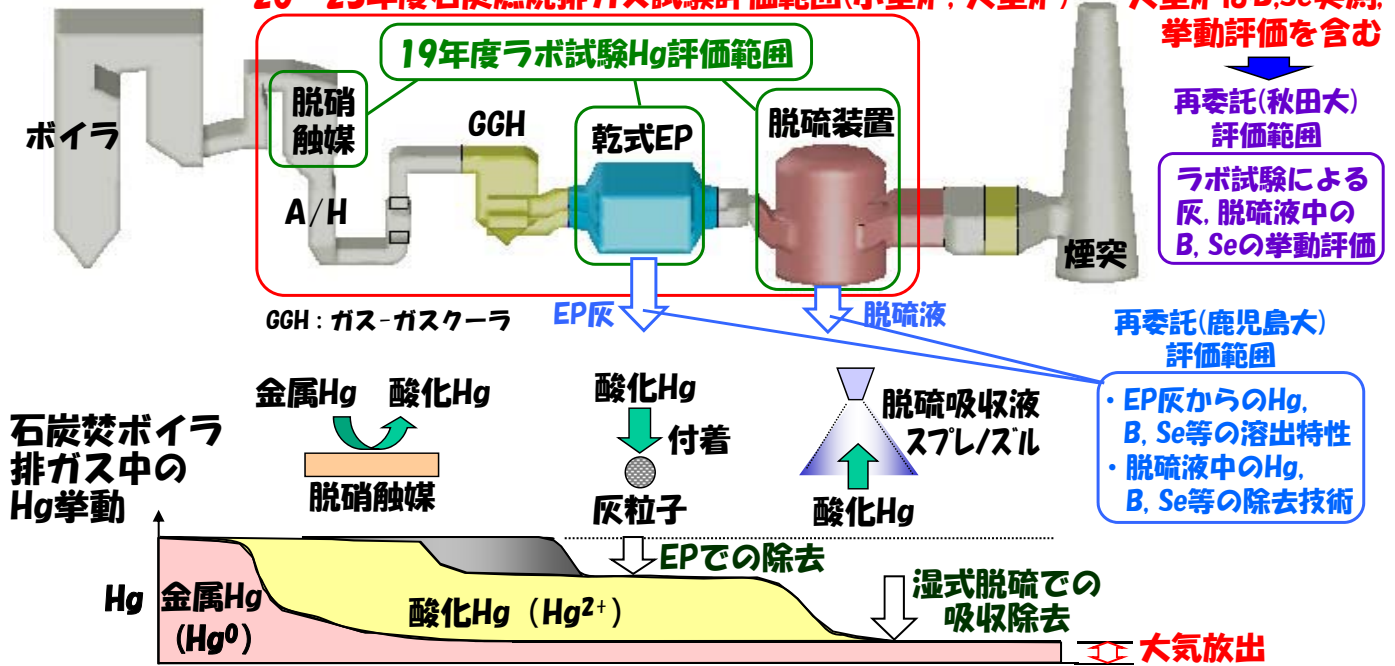
HITACHI
Inspire the Next

システム構成	Hg除去率 % ($\mu\text{g}/\text{kWh}^*$)	設置状況	
		北米	中国
<p>ボイラ → 集塵機 → 煙突</p>	0~40 (33~20* ¹)	20%	50%
<p>ボイラ → 脱硝触媒 → 集塵機 → 煙突</p>	0~40 (33~20* ¹)	25%	5%
<p>ボイラ → 集塵機 → 脱硫装置 → 煙突</p>	0~80 (33~7* ¹)	15%	35%
<p>ボイラ → 脱硝触媒 → 集塵機 → 脱硫装置 → 煙突</p>	20~80 (26~7* ¹)	40%	10%

*1: 石炭中Hg量を100 $\mu\text{g}/\text{kg}$
発熱量29,000kJ/kg.
発電効率37%と仮定

- ・発電所の機器構成により、Hg除去率が変動
- ・同じ構成でも、石炭の種類により、Hg除去率が変動
- ・各機器における水銀挙動を明らかにするため、ラボ、小型燃焼炉試験、大型燃焼炉試験を実施

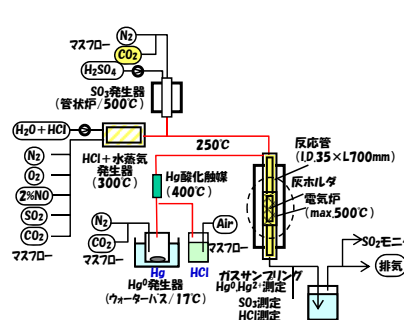
20~23年度石炭燃焼排ガス試験評価範囲(小型炉, 大型炉)・・・大型炉はB, Se実測, 挙動評価を含む



- ・水銀の高度除去のために、脱硝触媒部、集塵部、湿式脱硫装置における水銀の挙動特性を、ラボ、小型炉、大型燃焼炉にて評価および最適システムの提案、検証。
- ・脱硫排水中ホウ素(B)、セレン(Se)規制対応のため、標準化グループ規定の測定法で大型燃焼炉排ガス中のB, Seを実測、基礎試験による挙動評価も実施(中間評価反映)

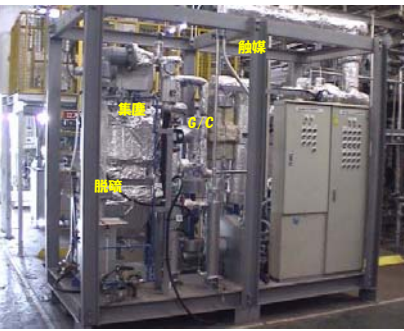
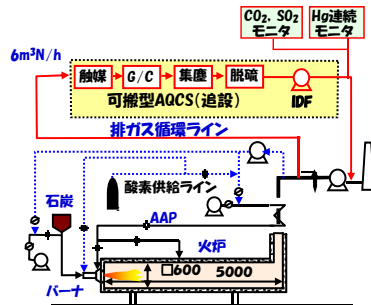
ラボ試験装置

トータルガス量: 3~5L/min
水蒸気発生量: max.600mL/min



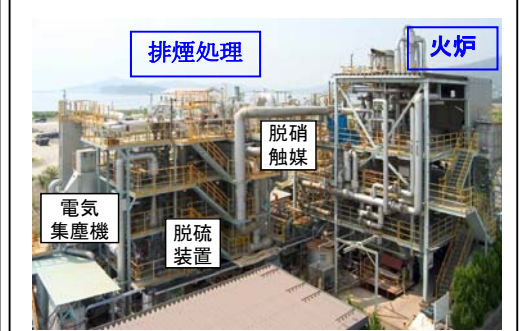
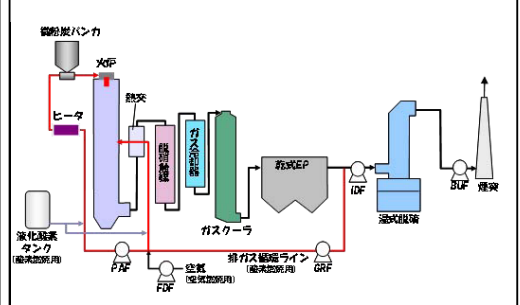
小型燃焼炉試験装置

石炭供給量: ~ 50kg/h
排ガス循環量: ~240m³N/h



大型燃焼炉試験装置

石炭供給量: 120kg/h
排ガス量: 1200m³N/h



項目	試料名		カナダ炭		米国東部瀝青炭	豪州炭	中国炭	
	ベース	単位	コールバレー	クインサム	パトリオット	サグノンヘル	(銘柄不詳)	
高位発熱量	気乾	KJ/kg	25.970	28.870	27.880	29.620	15.660	
全水分	到着	%	6.99	5.08	11.7	8.35	8.67	
工業分析	気乾試料水分	気乾	6.41	4.05	7.16	2.44	2.04	
	揮発分	無水	36.96	37.94	40.62	33.29	19.04	
	固定炭素	無水	51.86	53.34	48.7	55.21	33.04	
	灰分	無水	11.18	8.72	10.68	11.5	47.92	
元素分析	C	無水	69.22	73.22	71.32	73.26	40.88	
	H	無水	4.26	4.55	5.14	4.63	2.34	
	O	無水	14.28	12.1	8.45	8.39	7.95	
	N	無水	0.97	1.16	1.58	1.77	0.6	
	S	無水	0.26	0.46	2.9	0.45	0.77	
	灰中S	無水	0.17	0.21	0.07	0.01	0.46	
	Cl	無水	mg/kg	25	330	300	170	410
	F	無水	mg/kg	70	60	40	50	170
	Hg	無水	μg/kg	28.3~40.9	26.9~66.8	100~140	14.0~36.2	100~200
水銀発生量*1 (石炭中全水銀が放出と仮定)	(μg/kWh)		11~15	9~23	35~49	5~20	60~124	
目標値3μg/kWhを達成するための除去率	(%)		72~80	67~87	91~94	35~85	95~97	

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

・石炭中水銀濃度によって、必要な除去率が異なるが、安定に3μg/kWhを達成するには**除去率94%**が必要。(中国炭の場合は、さらなる高度除去が必要)

目標	試験内容 (年度)	項目	達成状況	評価
水銀排出量 3μg/kWh	19~22年度	水銀除去システムの選定	ラボ試験、小型炉試験により、高度除去に必要なシステム構成(脱硝触媒+集塵器+脱硫装置)を選定。 大型燃焼炉試験により、上記システム評価を実施し、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 ₂ 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	○

目標	試験内容 (年度)	項目	達成状況	評価
大型燃焼炉 (21~22年度)		炭種の評価	カナダ炭及び中国炭を含む4炭種で評価試験を実施	○
		触媒部酸化特性評価	HCl, SO ₂ 等の影響評価, 水銀酸化促進剤の効果確認	○
		灰付着特性評価	温度, 灰の比表面積等の影響評価	○
		脱硫液吸収特性評価	L/G, pH等の影響及び再放出防止法検討	○
		排ガス中B,Se挙動評価	B,Se測定法を確認し, 集塵部及び脱硫部への分配特性を評価	○
		酸素燃焼時の評価	各機器の特性評価	○
		システム評価	選定システム(脱硝触媒+集塵器+脱硫装置)により, 目標値3 μ g/kW達成を確認	○
		数値解析によるシミュレーションツールの解析	各機器におけるHg挙動の基礎式を作成し, 大型燃焼炉結果を用いて精度評価	○
廃水処理技術 (19~22年度)		脱硫廃水中の有害元素除去技術	キレート樹脂によりHg,B等の有害元素除去を確認	○
		石炭灰中の有害元素除去	酸洗浄により有害元素除去を確認	○
排ガス中B,Seの挙動解明 (22年度)		基礎試験によるB,Seの配分特性評価	基礎試験により, 石炭燃焼時のB,Se放出挙動及び灰粒子への付着特性評価	○

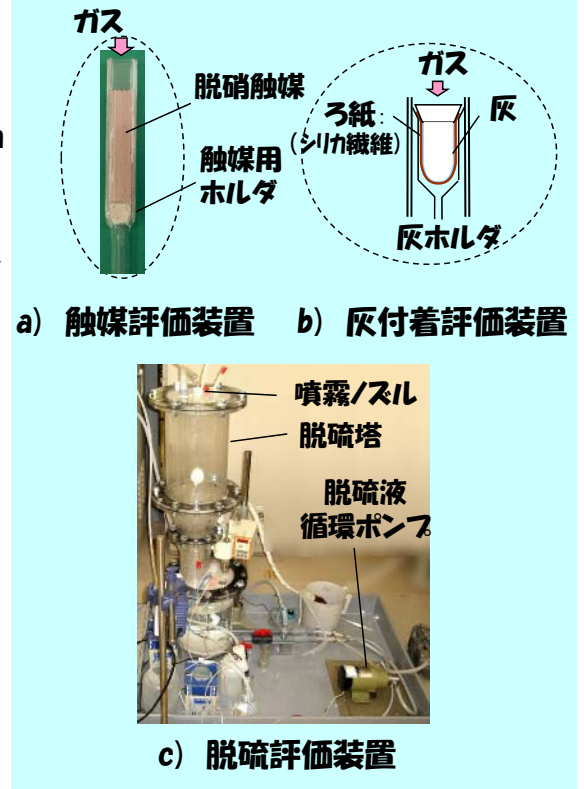
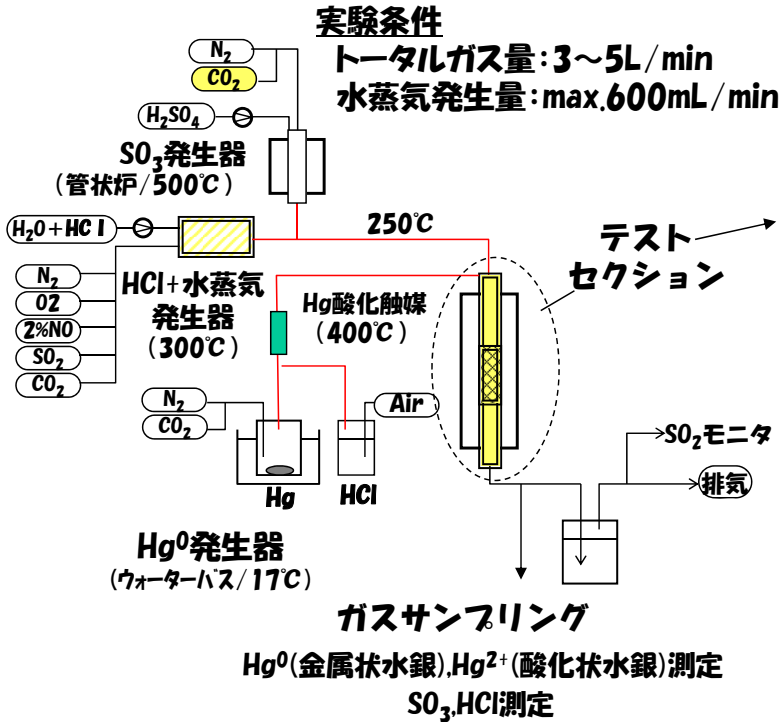
◎ : 目標を上回る成果 ○ : 目標通りの成果

Babcock-Hitachi K.K.

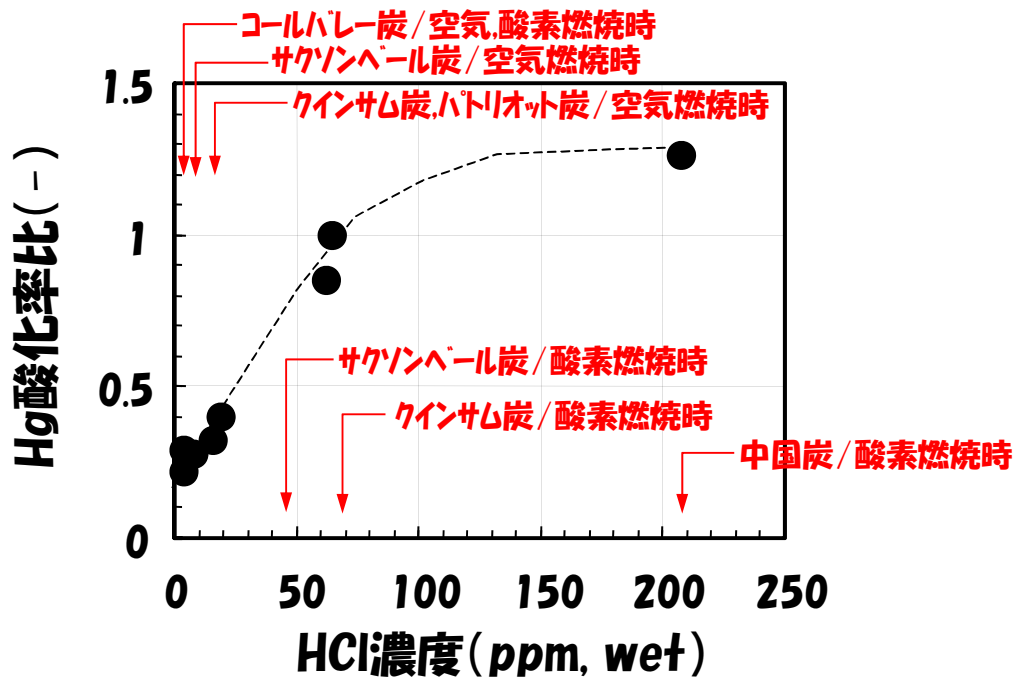
事業原簿 19頁

7

ラボ試験結果 (平成19年度)

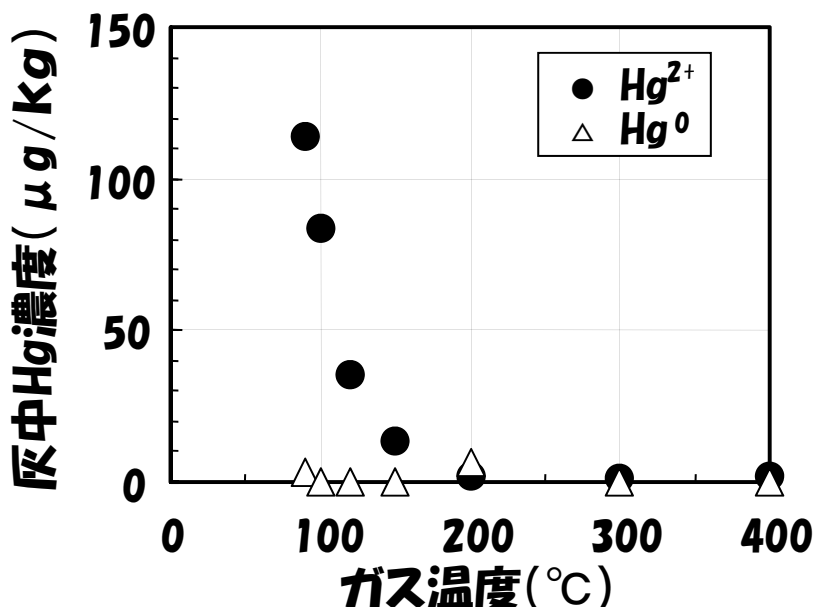


・石炭燃焼排ガスを模擬したガスを発生し、各テスト装置に供給し、水銀挙動を評価



脱硝触媒部でのHg酸化特性

・触媒部でのHg酸化率は、0~100ppmの範囲で排ガス中塩素濃度に大きく影響される。(一般に排ガス中の塩素濃度はこの範囲)



灰へのHg付着特性(パトリオット炭灰)

- ・集塵器部でHg⁰は灰に付着せず、除去されない。
- ・Hg²⁺は、150°C以下で灰への付着量が増加する。
(集塵器前にGGHを設置する方式が有効←水銀除去として世界初の技術)

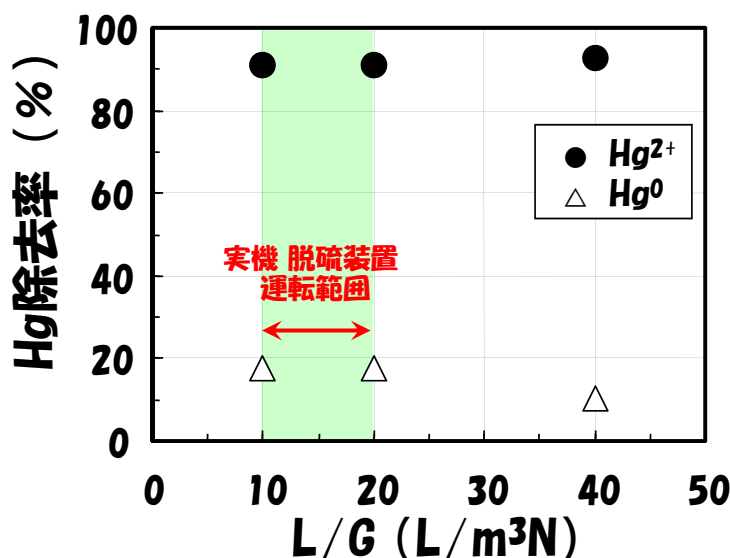


図 脱硫部でのHg除去特性

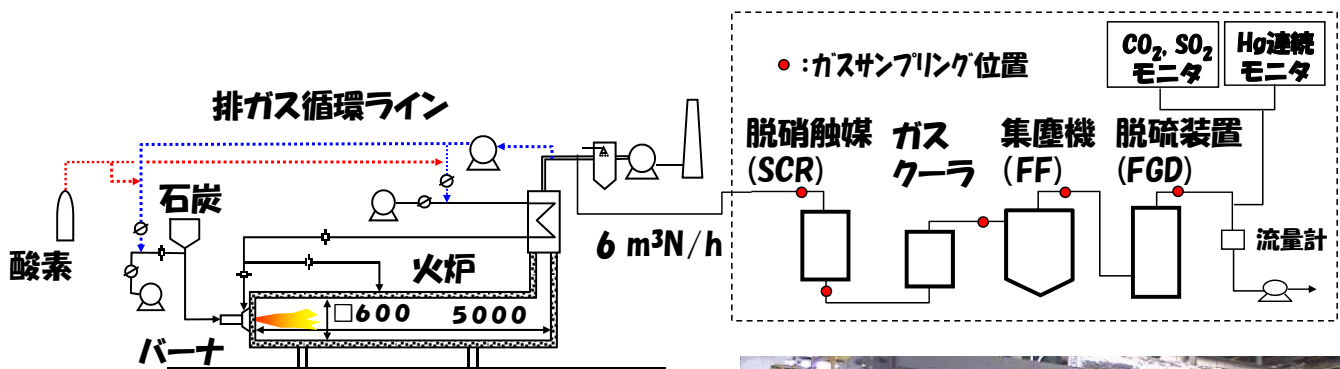
- ・脱硫部ではHg⁰はほとんど除去されない。
- ・Hg²⁺は、90%以上が除去でき、L/G(液/ガス比)の影響はほとんどない。
- ・集塵部、脱硫部で除去できるのは、Hg²⁺であり、高度水銀除去のためには、脱硝触媒部での水銀酸化率を高める必要がある。
- ・高度水銀除去システムとして、脱硝触媒+低温集塵器+湿式脱硫装置が有効。

小型炉試験結果 (平成20年度)

Babcock-Hitachi K.K.

13

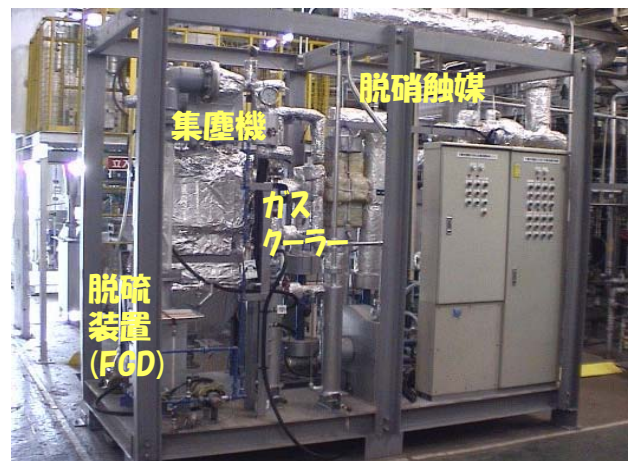
小型燃焼炉試験装置の概要



小型燃焼炉仕様

石炭供給量 ~50kg/h
排ガス循環量 ~240m³N/h

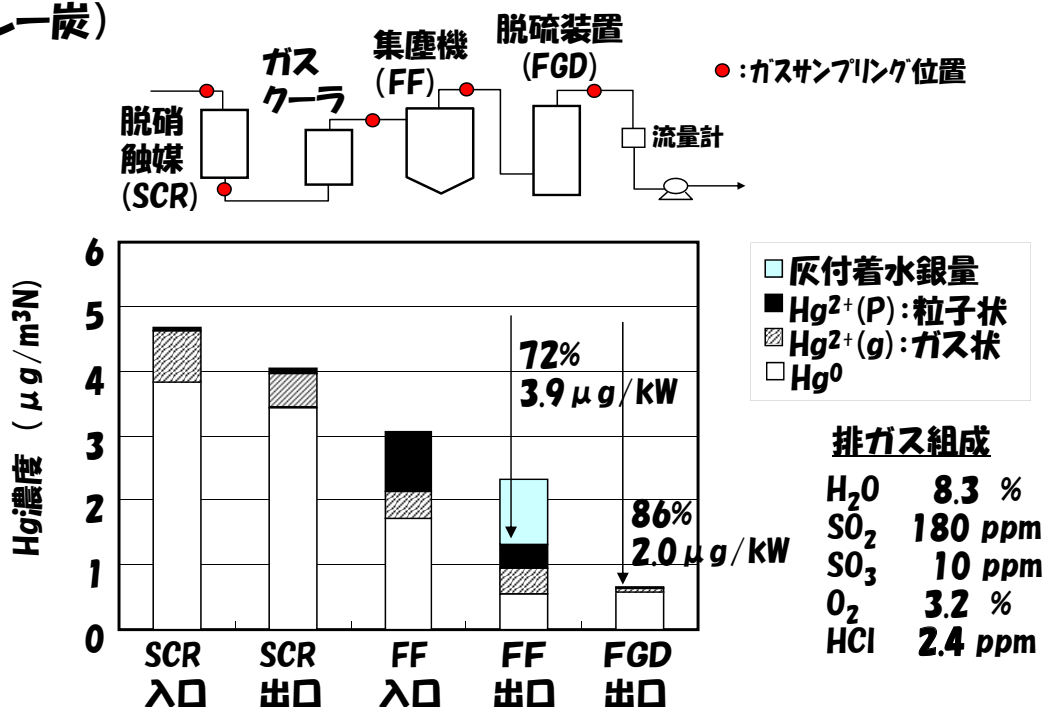
- ・小型炉燃焼排ガス(カナダ炭を含む3炭種)を小型排ガス処理装置に供給。
- ・各機器の排ガス中Hg濃度を分析し、実ガスでの水銀挙動を把握。
- ・各機器の運転条件を変化させ、水銀除去特性を把握
- ・小型燃焼炉を酸素燃焼運転し、その排ガスを使用して、同様の試験を実施。



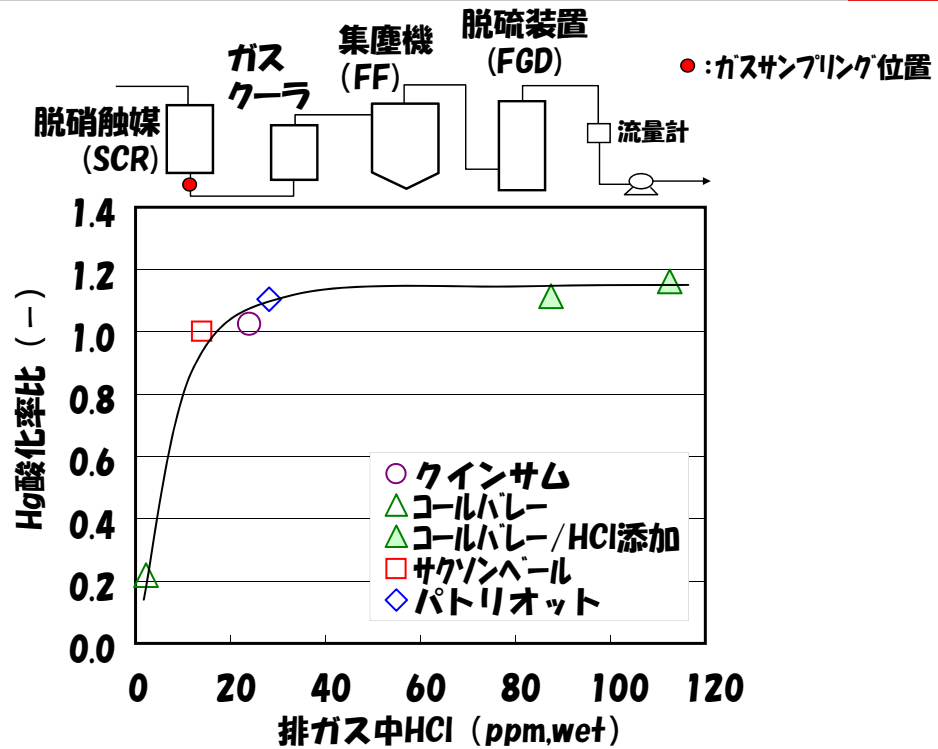
小型排ガス処理装置

分析項目	石炭名		サクソ ン ベール炭	コール バレー炭	クインサム炭	
	ベース	単位				
高位発熱量	気乾	KJ/kg	29.620	25.970	28.870	
全水分	到着	%	8.35	6.99	5.08	
工業分析値	気乾試料水分	気乾	2.44	6.41	4.05	
	揮発分	無水	33.29	36.96	37.94	
	固定炭素	無水	55.21	51.86	53.34	
	灰分	無水	11.50	11.18	8.72	
元素分析値	C	無水	73.26	69.22	73.22	
	H	無水	4.63	4.26	4.55	
	O	無水	8.39	14.28	12.10	
	N	無水	1.77	0.97	1.16	
	S	無水	0.45	0.26	0.46	
	灰中S	無水	0.01以下	0.17	0.21	
	Cl	無水	mg/kg	170	25	330
	Fg	無水	mg/kg	50	70	60
Hg	無水	μg/kg	14.0~36.2	28.3~40.9	26.9~66.8	

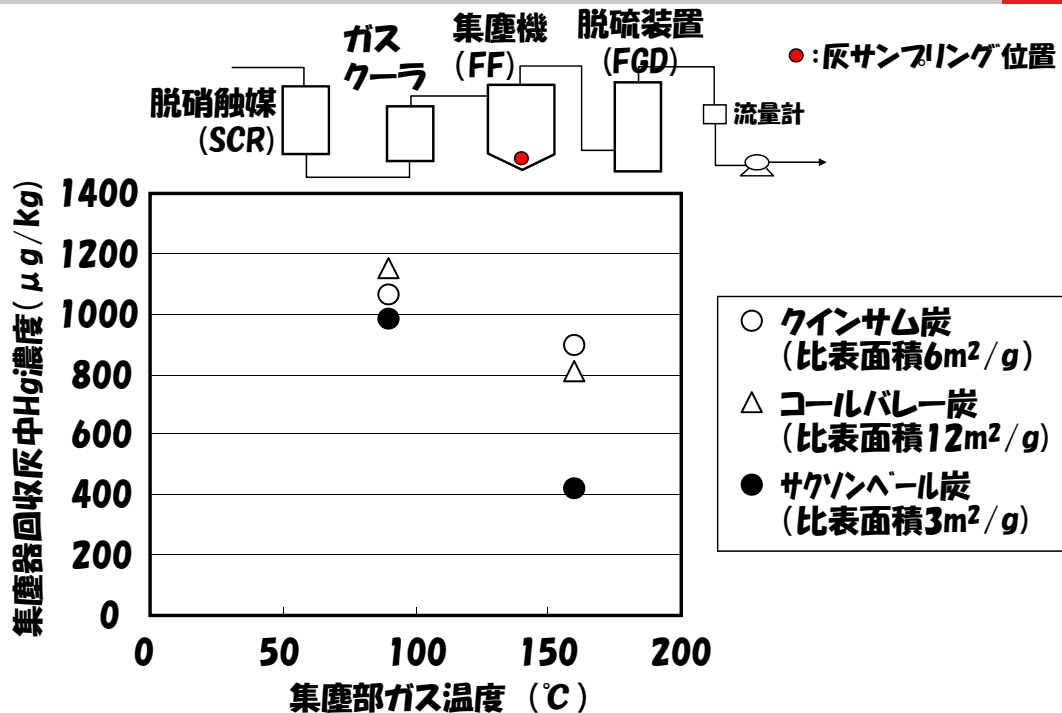
(コールバレー炭)



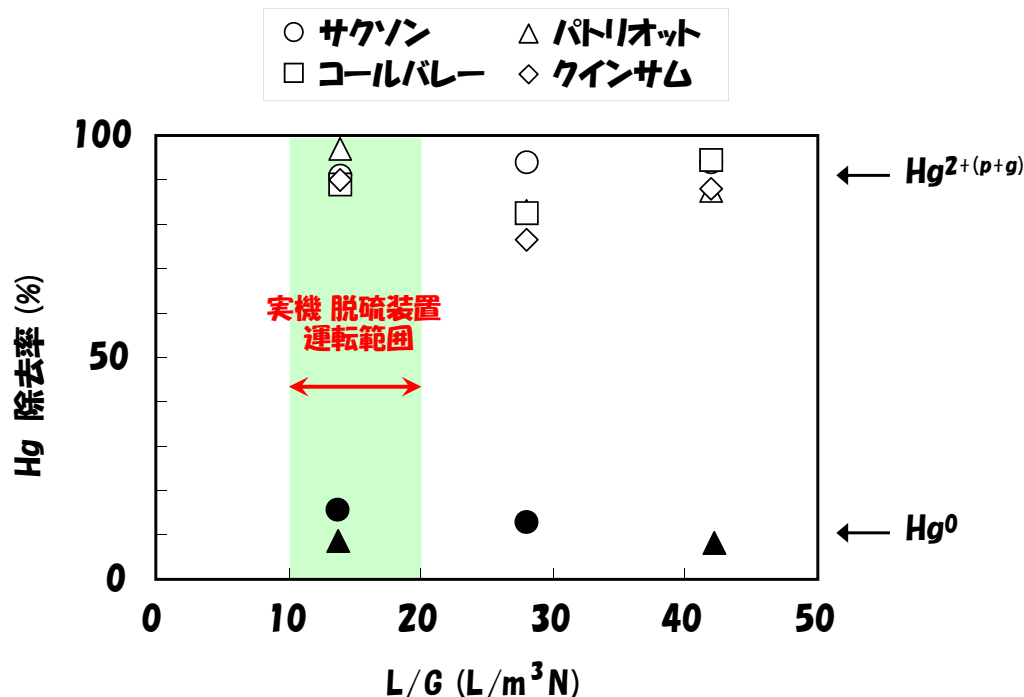
- ・排ガス中の塩素濃度が低いため、脱硝触媒部でのHg酸化率が低い。
- ・そのため、システム全体でのHg除去率は86%であり、Hg排出量は目標値を達成するも、余裕は小。
- ・安定に目標値を達成するためには、触媒部の水銀酸化率を向上する必要あり。



- ・排ガス中の塩素濃度(石炭種に依存)により, 触媒部での水銀酸化率が変化
- ・塩素含有量が少ない石炭では, 排ガス中に塩素を添加することで, 脱硝触媒部の水銀酸化率が向上。



- ・集塵部のガス温度を一般的な160°Cから, 90°Cに下げることによって, 灰に付着する水銀量が増加。(集塵部温度を90°Cに下げの方法は, 国内ではGGHを使ったシステムが実用化されており, 実現可能)
- ・石炭種により, 灰への水銀付着量に変化。灰の比表面積の違いが主要因と考えられる。



- ・脱硫装置では排ガス中の酸化状水銀の約90%が捕集される。
- ・脱硫吸収液循環量と排ガス量との比(L/G)が水銀吸着に及ぼす影響は、実機運転範囲(10~20L/m³N)ではほとんどない。

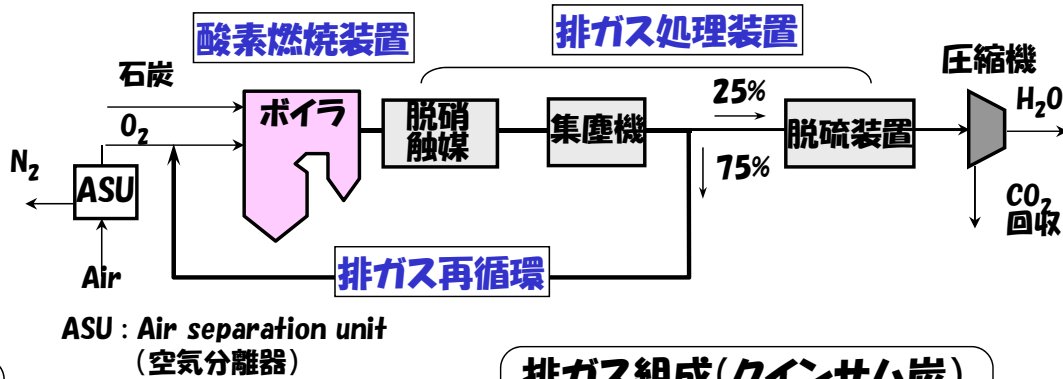
表 各炭種での水銀除去率

	排ガス中 塩素濃度 (ppm)	集塵機出口		FGD出口	
		Hg除去率 (%)	Hg排出量 (μg/kWh)	Hg除去率 (%)	Hg排出量 (μg/kWh)
クインサム炭	25	42	6.7	86	1.6
コールバレー炭	2.5	72	3.9	86	2.0
” (塩素添加)	90	76	2.6	93	0.8
サクソンベール炭	15.5	67	2.9	89	0.9

・他の石炭においても、FGD出口Hg除去率は、86~89%、単位発電量当りのHg排出量も、0.9~2.0 μg/kWhと目標値達成できる見通しを得た。

・塩素濃度の低いコールバレー炭では、排ガス中への塩素添加により、脱硝触媒部の水銀酸化率が向上し、システム全体でのHg除去率は93%まで向上し、Hg排出量も0.8 μg/kWhと、目標値を達成。

酸素燃焼システムフロー



特徴

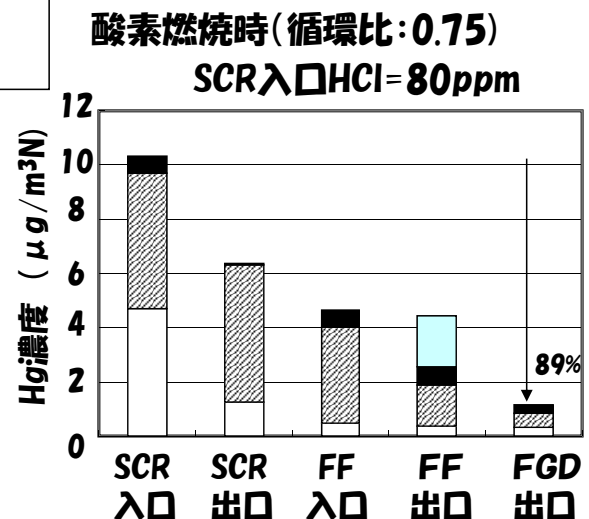
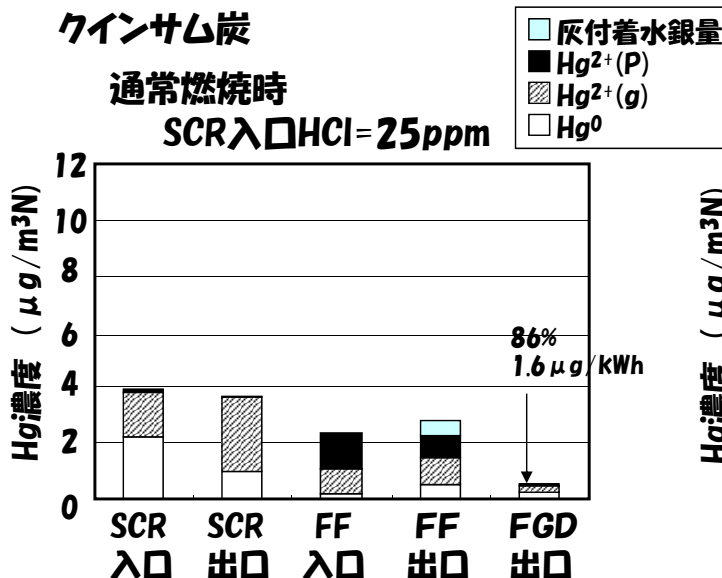
- ・空気の代わりに酸素を使用することで、排ガス中のCO₂濃度を90dry%以上に高め、直接圧縮、貯蔵する。
- ・酸素燃焼による火炉高温化を防止するため、燃焼排ガスをバーナ部に再循環する。
- ・CO₂圧縮機の腐食原因、漏洩時の人的被害の観点から、水銀除去が必要

排ガス組成(クインサム炭)

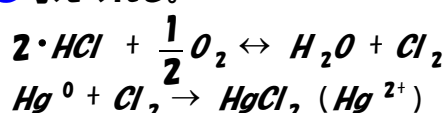
		通常燃焼時	酸素燃焼時 (循環比:0.75)
ガス組成	水分濃度	7.0	30 %
	ダスト濃度	1.0	4.0 g/m ³ N
	SO ₂ 濃度	250	1000 ppm
	SO ₃ 濃度	14	40 ppm
	O ₂ 濃度	4.0	5.0 %
	HCl濃度	25	85 ppm

・酸素燃焼/排ガス循環運転により、水分、SO₂、SO₃、HClが高濃度化

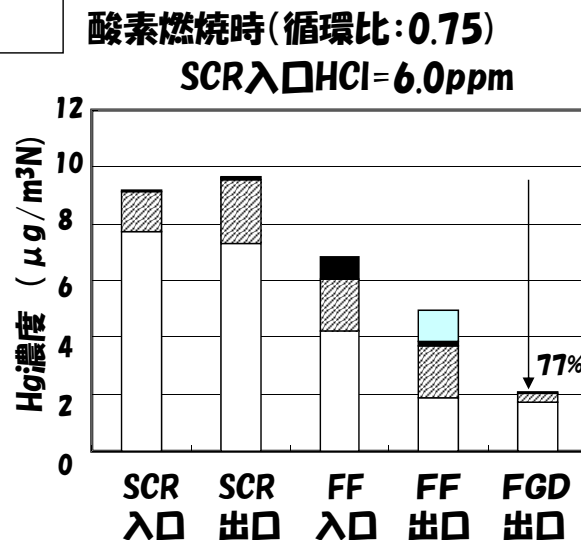
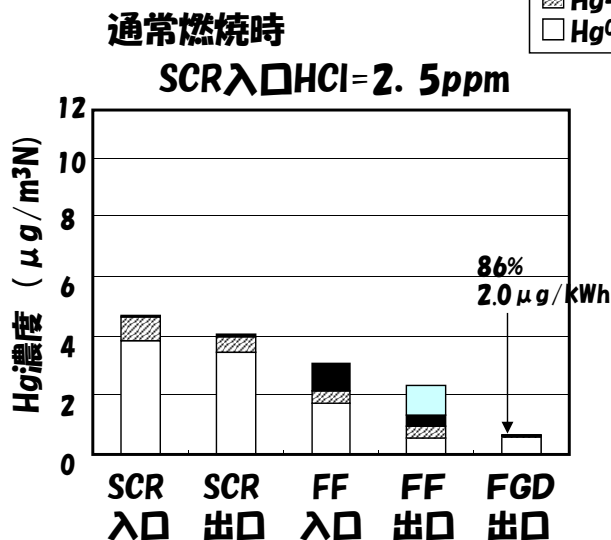
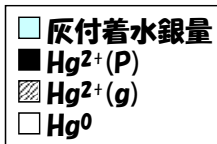
クインサム炭



- ・酸素燃焼時は、排ガス循環により塩素濃度が高くなる点では、水銀酸化に有利。
- 一方、水分濃度の上昇は、排ガス中のCl₂濃度を低下させ、水銀酸化は遅くなる。
- ・上記試験結果では、集塵機(FF)入口部の水銀酸化率が増加し、システム全体の水銀除去率も向上。これは、排ガス中の水分濃度上昇による悪影響よりも、塩素濃度の上昇による水銀酸化反応促進効果の方が大きいためと考えられる。

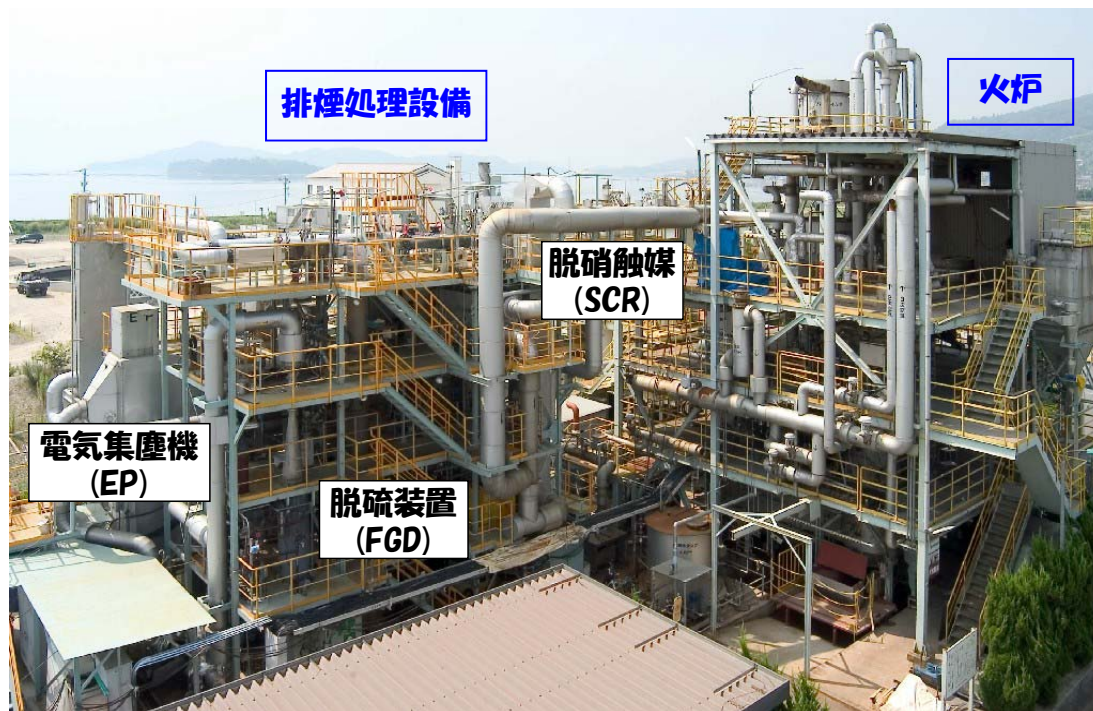


コールバレー炭

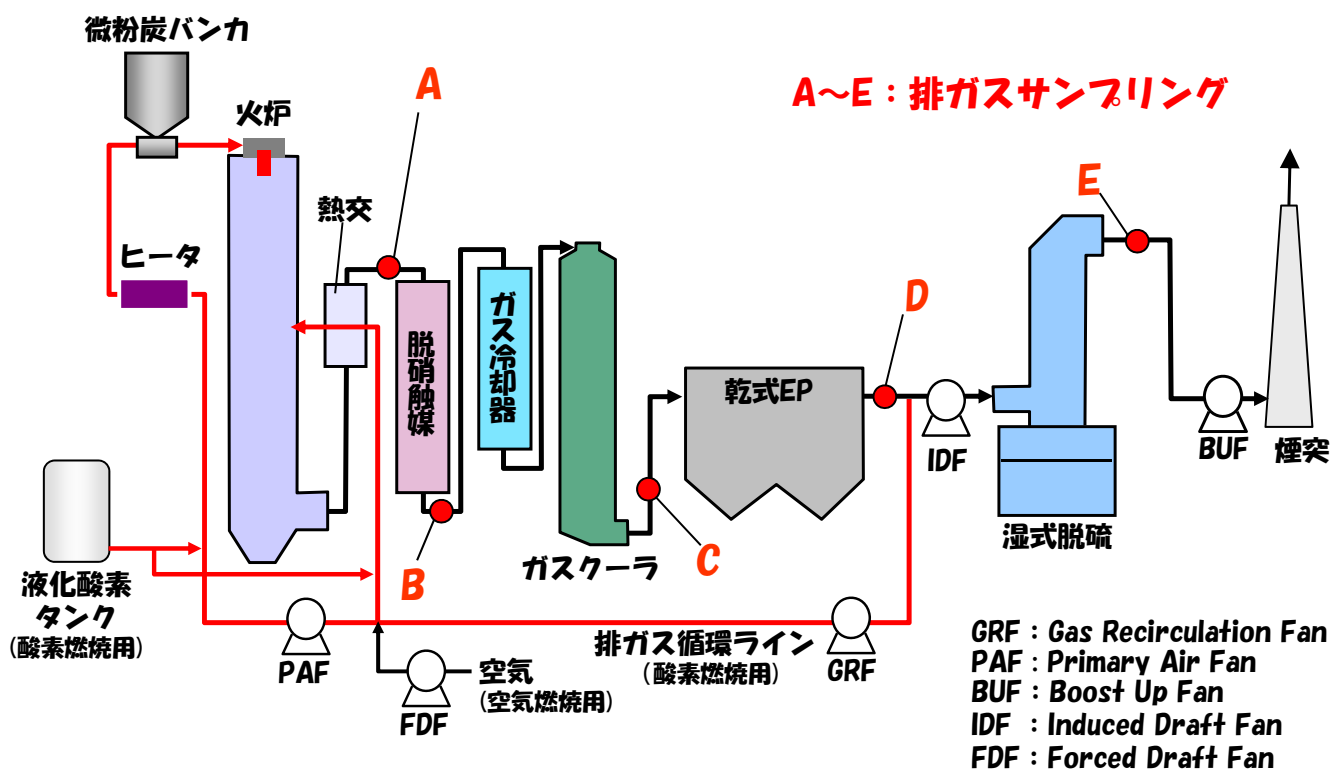


・低塩素炭の場合は、濃縮後の塩素濃度も低いため、水銀酸化反応の増加が少なく、システム全体の水銀除去率も向上しない。

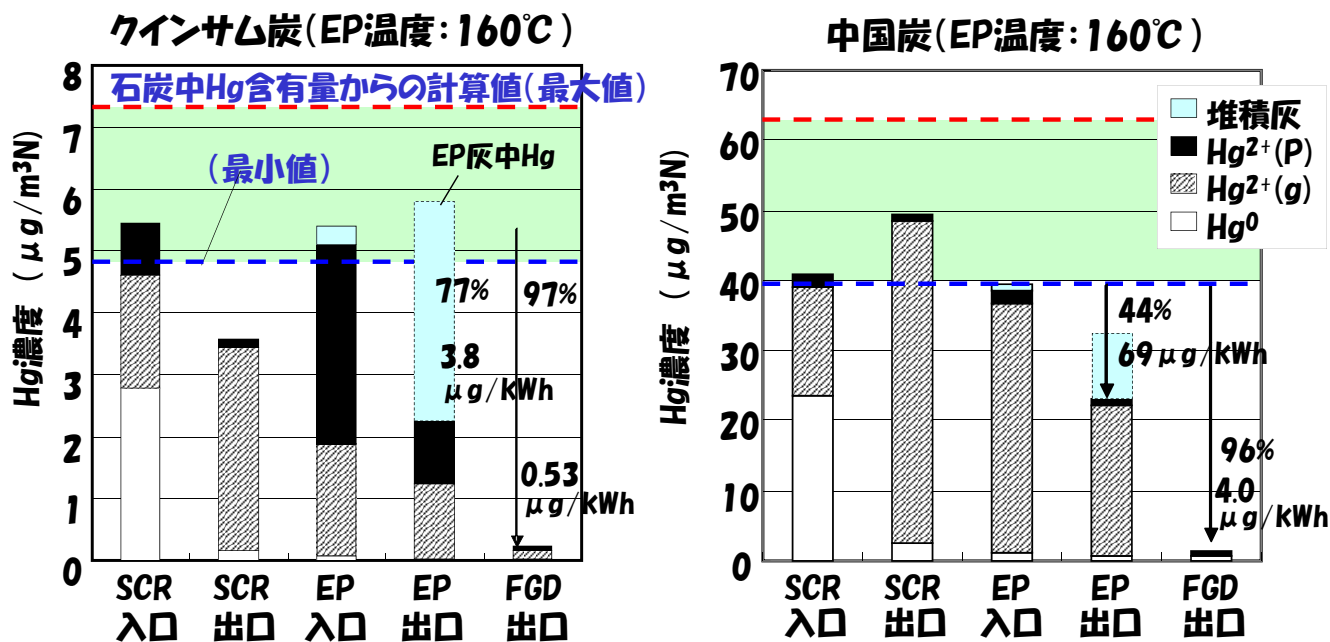
大型燃焼炉試験結果
(平成21~22年度)



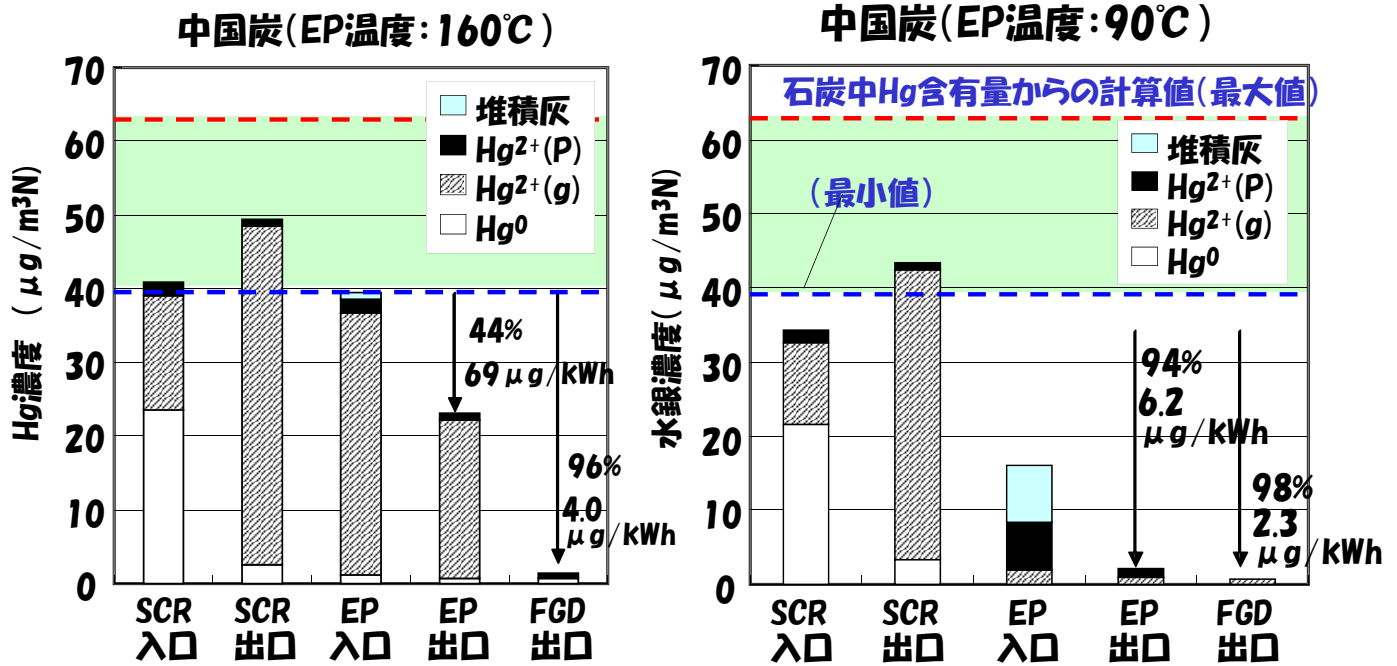
石炭供給量 : 120kg/h
排ガス量 : 1200m³N/h



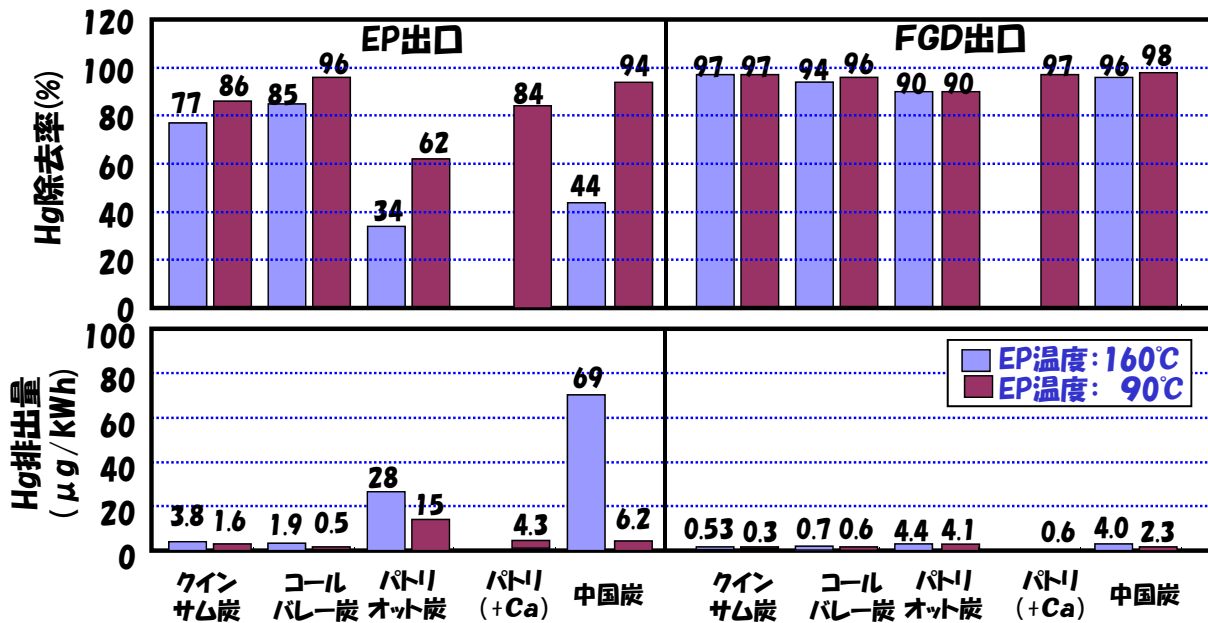
分析項目	石炭名		コールバレー炭	クインサム炭	パトリオット炭	中国炭 (銘柄不明)	
	ベース	単位					
高位発熱量	気乾	KJ/Kg	26.270	27.180	27.330	15.660	
全水分	到着	%	10.3	7.23	12.2	8.67	
工業分析	気乾試料水分	気乾	5.62	3.65	9.23	2.04	
	揮発分	無水	35.86	36.28	40.43	19.04	
	固定炭素	無水	51.84	49.68	50.15	33.04	
	灰分	無水	12.3	14.04	9.42	47.92	
元素分析	C	無水	68.66	68.61	71.80	40.88	
	H	無水	4.38	4.77	4.67	2.34	
	O	無水	13.75	11.54	10.21	7.95	
	N	無水	0.79	0.78	1.32	0.60	
	S	無水	0.30	0.43	2.68	0.77	
	灰中S	無水	%	0.18	0.17	0.10	0.46
	Cl	無水	mg/Kg	< 50	330	420	410
	F	無水	mg/Kg	60	50	40	170
	Hg	無水	μg/Kg	35	47	112	278



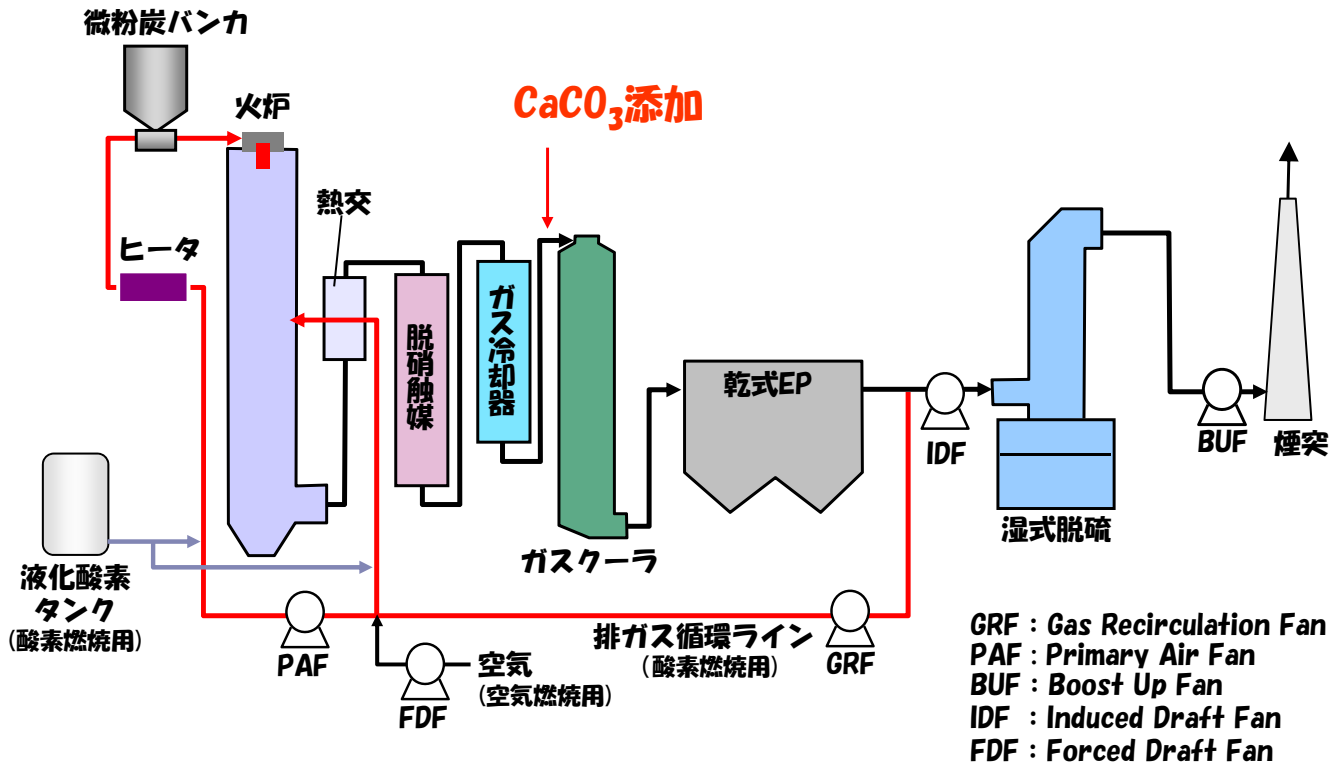
- ・石炭中Hg濃度がばらつくこと、及び排ガス中Hg濃度がSO₂, NO_x等と比べて、1/1000以下と低いことから、Hg測定値のばらつきあり。
- ・クインサム炭ではEP部だけでは、水銀除去率は77%(水銀排出量: 3.8 μg/kWh) 脱硫装置により、水銀除去率97%(水銀排出量: 0.53 μg/kWh)となり、目標値達成
- ・中国炭は水銀濃度が高いため、脱硫装置出口部で水銀排出量は4.0 μg/kWh



・集塵部のガス温度を90°Cに下げること、集塵部の水銀除去率が向上し、脱硫装置出口の水銀発生量も2.3 μg/kWhまで低減可能を確認。



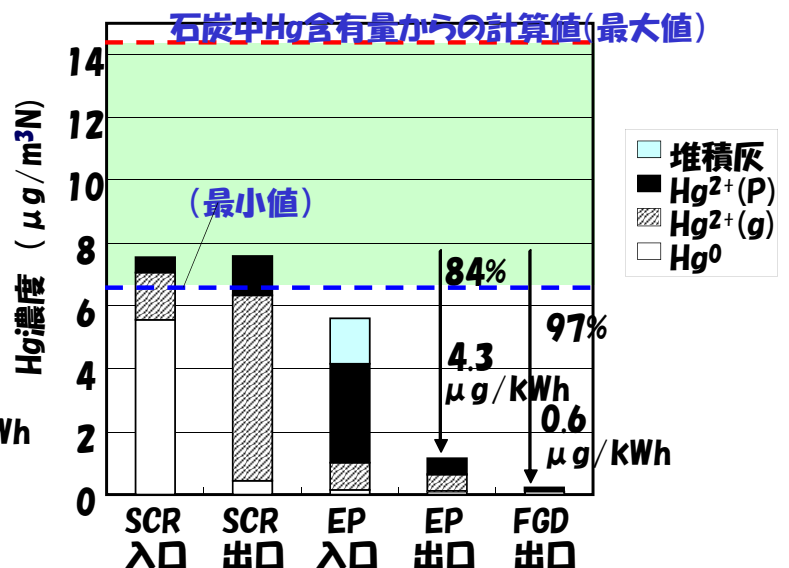
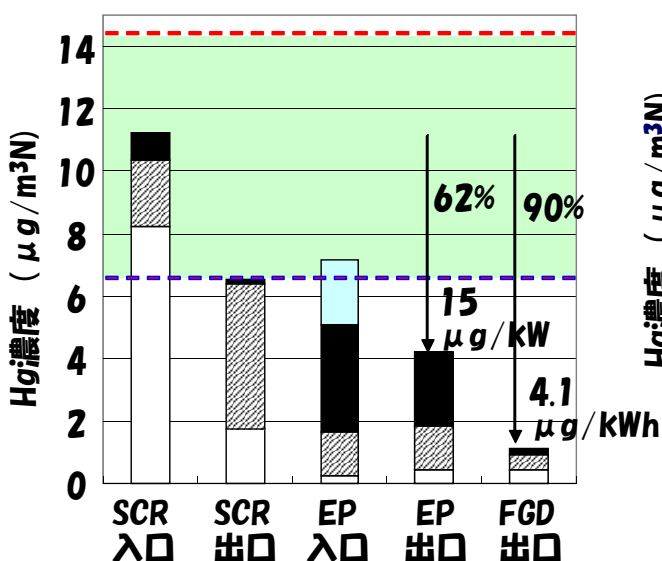
・集塵部のガス温度を90°Cに下げること、他の石炭における水銀除去率も向上
 ・ただし、排ガス中のSO₂及びSO₃濃度が高いパトリオット炭ではその効果が低い。排ガス中のSO₃が先に灰表面の水銀吸着サイトに付着し、水銀の吸着を阻害していると考えられる。
 →次に、高S炭対応技術として、排ガス中のSO₃を除去することで、Hg除去率向上を図った結果について述べる。



・灰への水銀吸着を阻害しているSO₃を除去する方法として、CaCO₃添加を検討

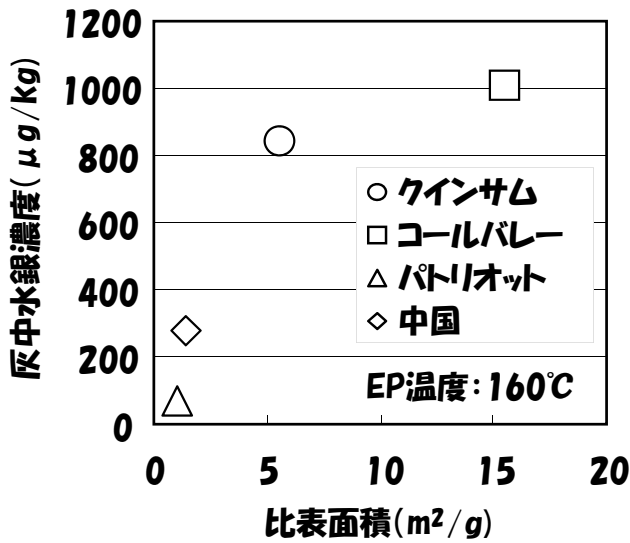
パトリオット炭(EP温度:90℃, Caなし)

パトリオット炭(EP温度:90℃, Ca添加)

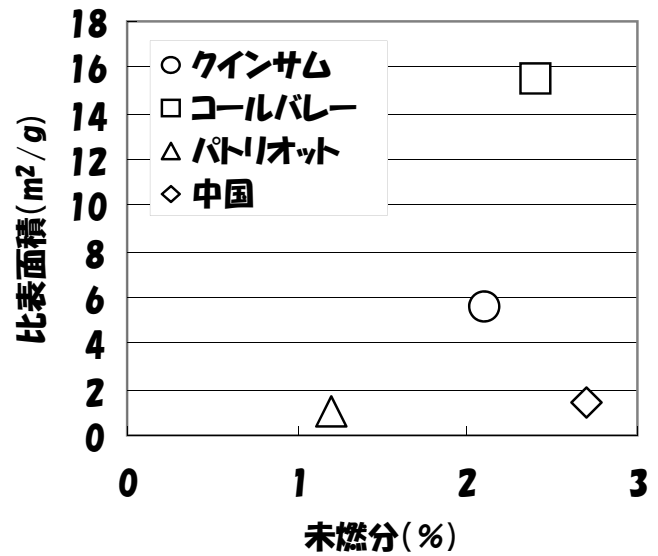


・CaCO₃を添加することで、集塵部の水銀除去率が62%から84%に向上し、FGD出口の水銀排出量も0.6 μg/kWhと低減できることを確認

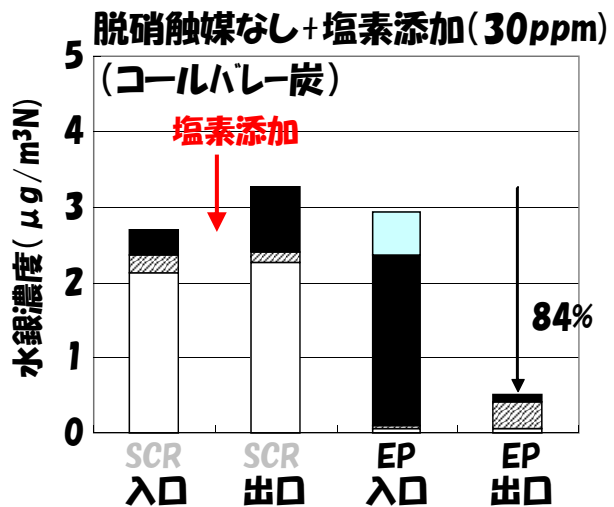
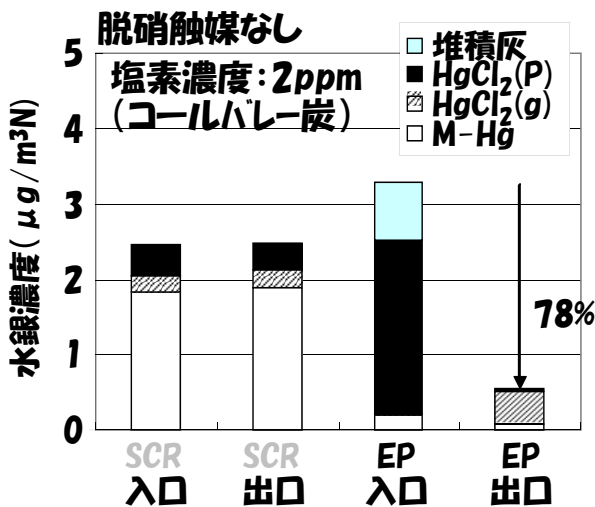
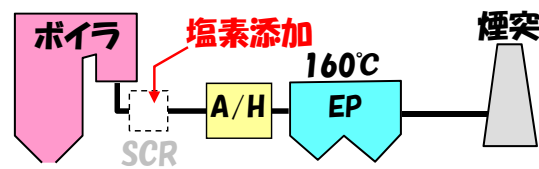
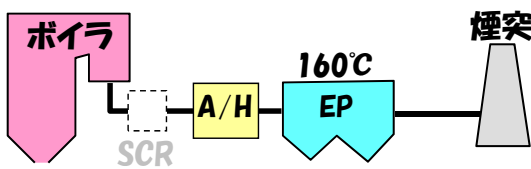
比表面積と水銀吸着量との関係



未燃分と比表面積との関係

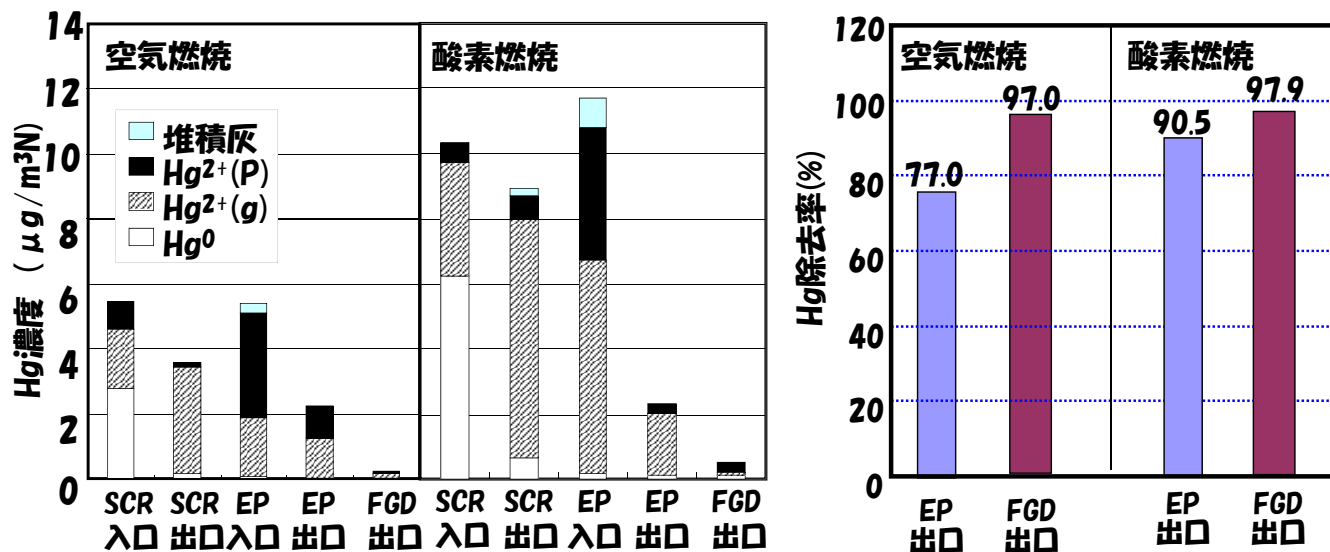


- ・中間評価のコメントを反映し、比表面積と水銀付着量との関係について検討。
- ・灰中の比表面積が増加すると、水銀の吸着量は増加する傾向あり。
- ・ただし、比表面積が大きい、コールバレー炭やクインサム炭の未燃分は、2%程度で特に大きいわけではなく、他の要因があると考えられる。



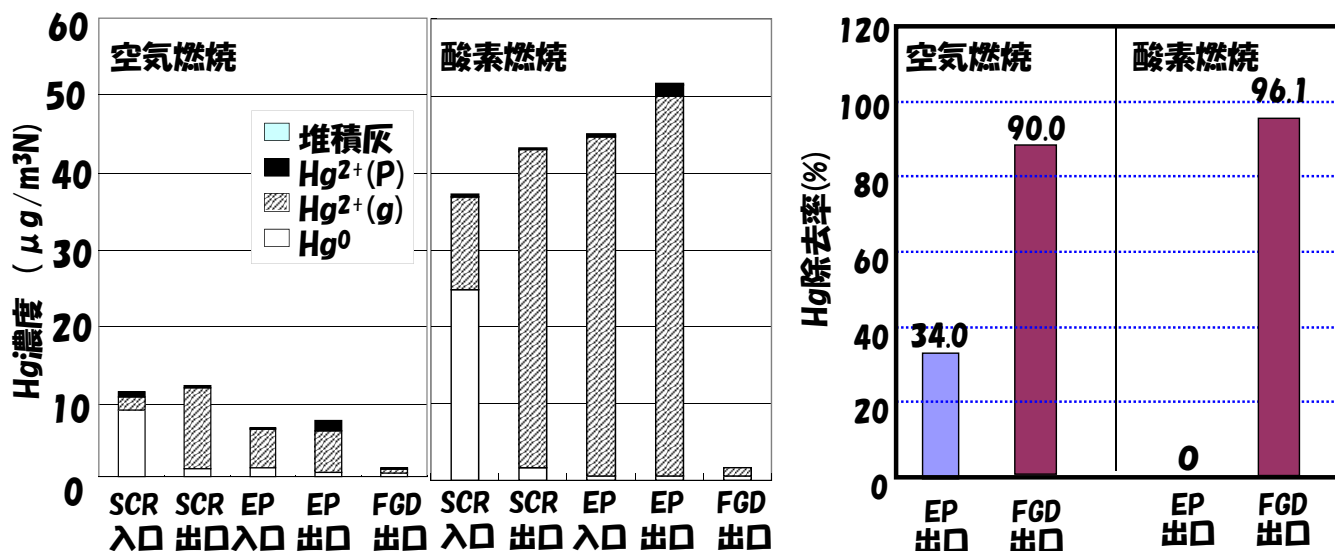
- ・中間評価のコメントを反映し、脱硝触媒を使用しないケースについて検討。
- ・脱硝反応部の触媒を抜き出して試験を実施
- ・触媒なしでは、EP出口での水銀除去率は78%に対し、排ガス中に塩素を添加することで、水銀除去率が84%まで向上

クインサム炭 空気燃焼と酸素燃焼の比較(EP温度:160°C)



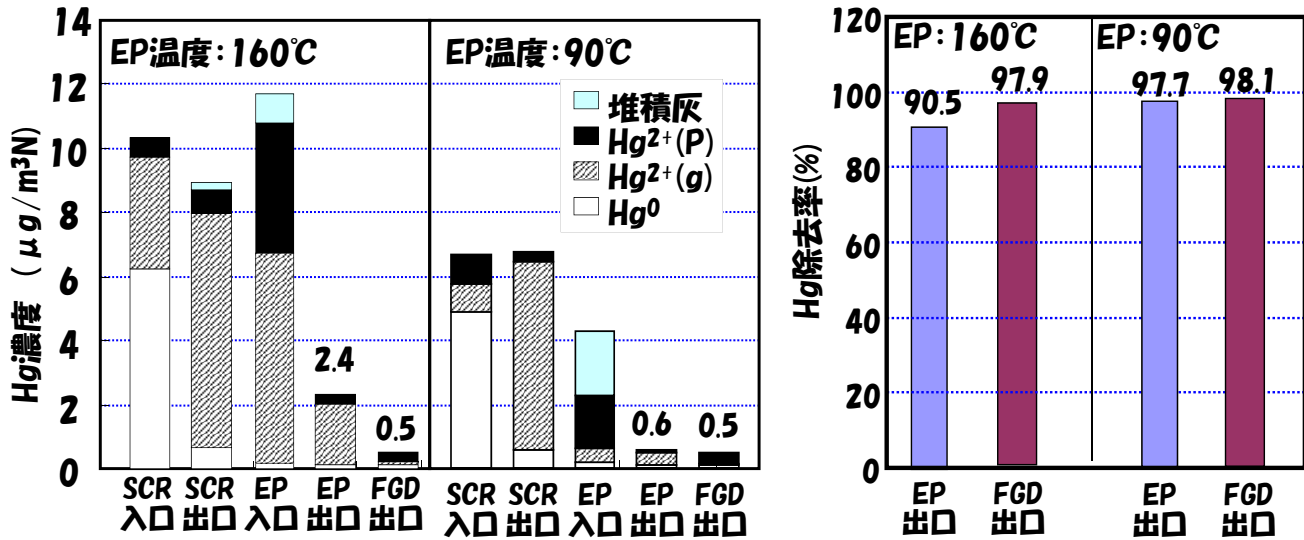
・クインサム炭の場合、酸素燃焼時は、空気燃焼時に比べてHg除去率が向上

パトリオット炭 空気燃焼と酸素燃焼の比較(EP温度:160°C)

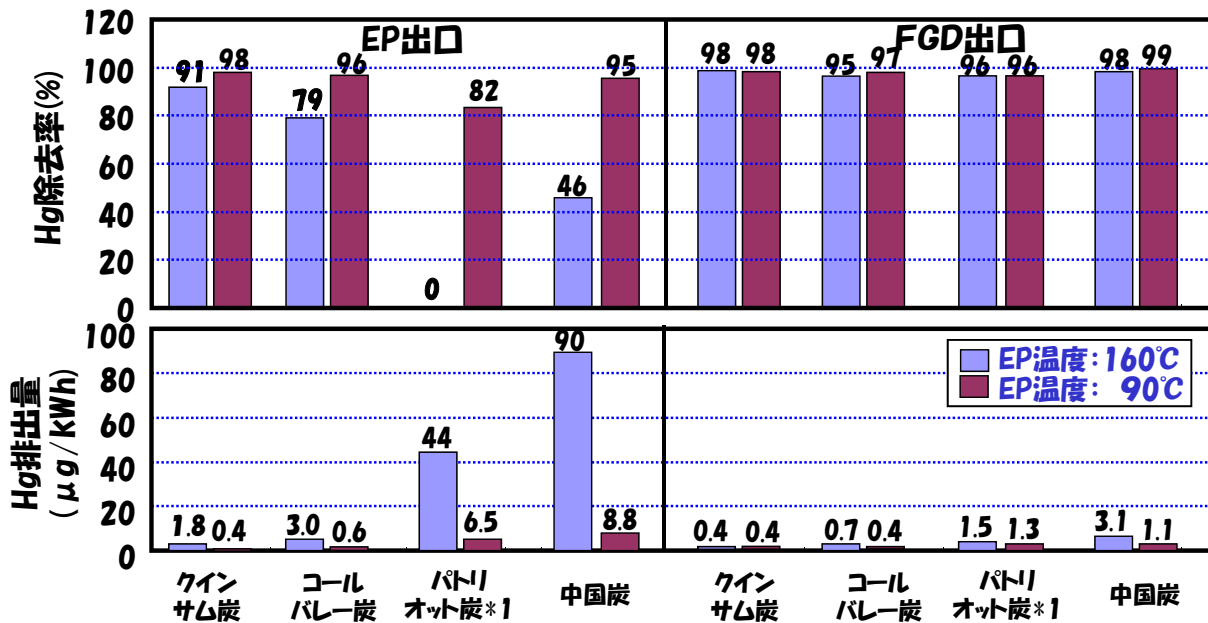


・パトリオット炭では、酸素燃焼時はEP出口における水銀除去率が低下。
 これは、排ガス中のSO₂及びSO₃濃度が、酸素燃焼により濃縮され、水銀の灰への付着阻害が増大したためと考えられる。

クインサム炭 酸素燃焼時のEP出口温度比較



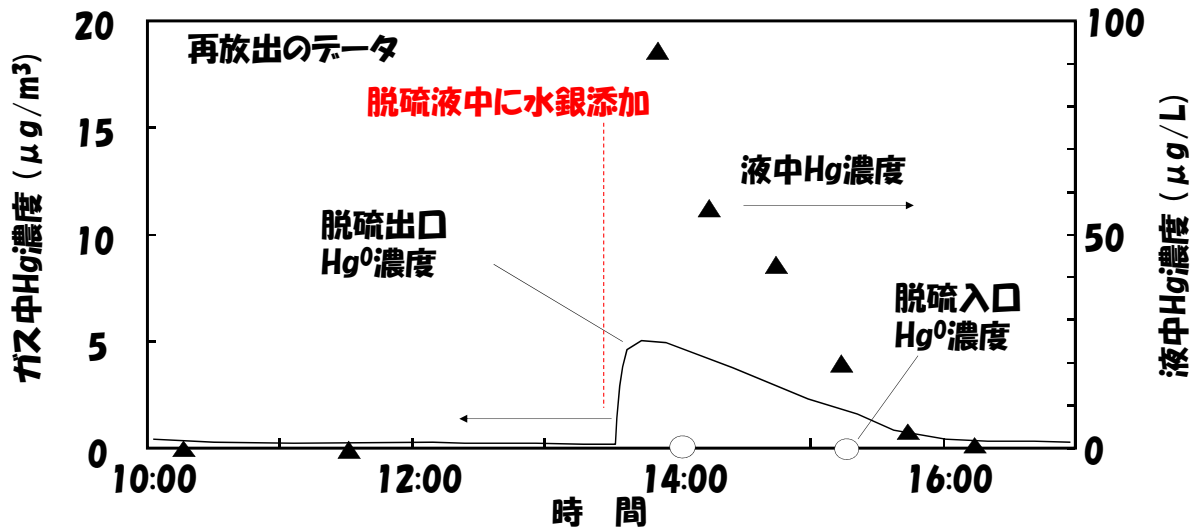
・集塵器温度低減により、水銀除去率向上を確認



・いずれの炭種でも、集塵器温度を下げることで、水銀除去率が向上。
中国炭のような水銀含有量の多い石炭でも、集塵器温度を下げることで水銀除去率を向上でき、目標値である3 μg/kWhを達成できる見通しを得ることができた。

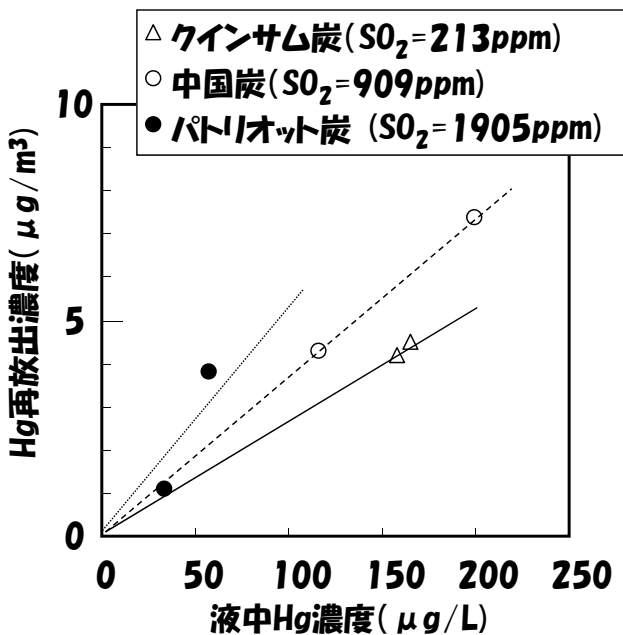
*1:パトリオット炭は排ガス中のSO₂濃度が高くなるため、EP温度を90°Cに下げた場合、GGHの伝熱管表面に多量の灰が付着。そのため、GGH上流より、Caを添加。水銀除去率向上は、Ca添加の効果も考えられる。

- ・脱硫液中の水銀濃度が高くなった場合、脱硫液中から水銀が再放出し、大気に放出(水銀除去率が低下)される現象がある。
- ・そこで、水銀再放出メカニズムの解明及び再放出抑制技術を検討した。



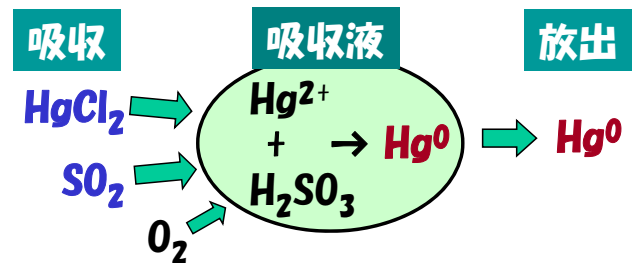
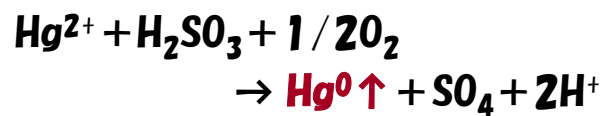
脱硫液中Hg濃度と脱硫出口排ガス中Hg濃度との関係

- ・水銀再放出を模擬するため、脱硫液中に水銀を添加。
- ・脱硫液中の水銀濃度が上昇すると、脱硫装置出口のHg⁰濃度が大幅に増加する。

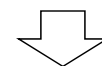


- ・排ガス中のSO₂濃度が高くなるに従い、水銀再放出量が増加

水銀再放出のメカニズム

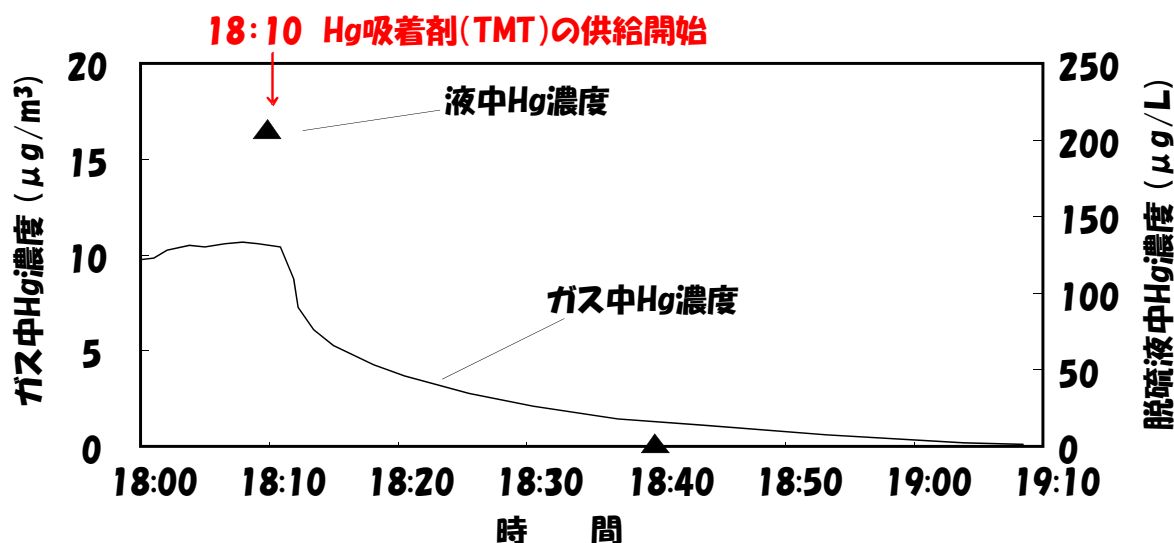


- ・脱硫液中のHg²⁺が、SO₂の吸収、酸化過程でHg⁰に還元され、放出



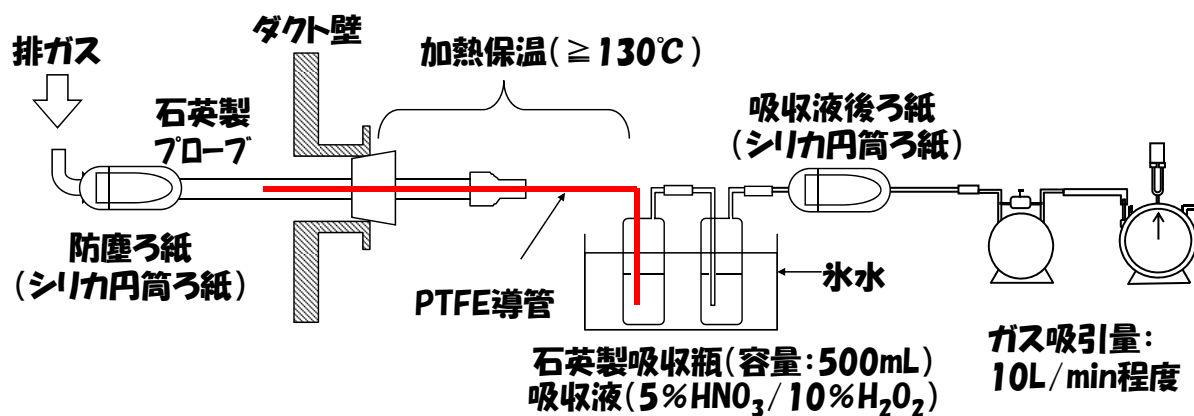
- ・脱硫液中のHg²⁺を低減するHg吸着剤が有効と考えられる。

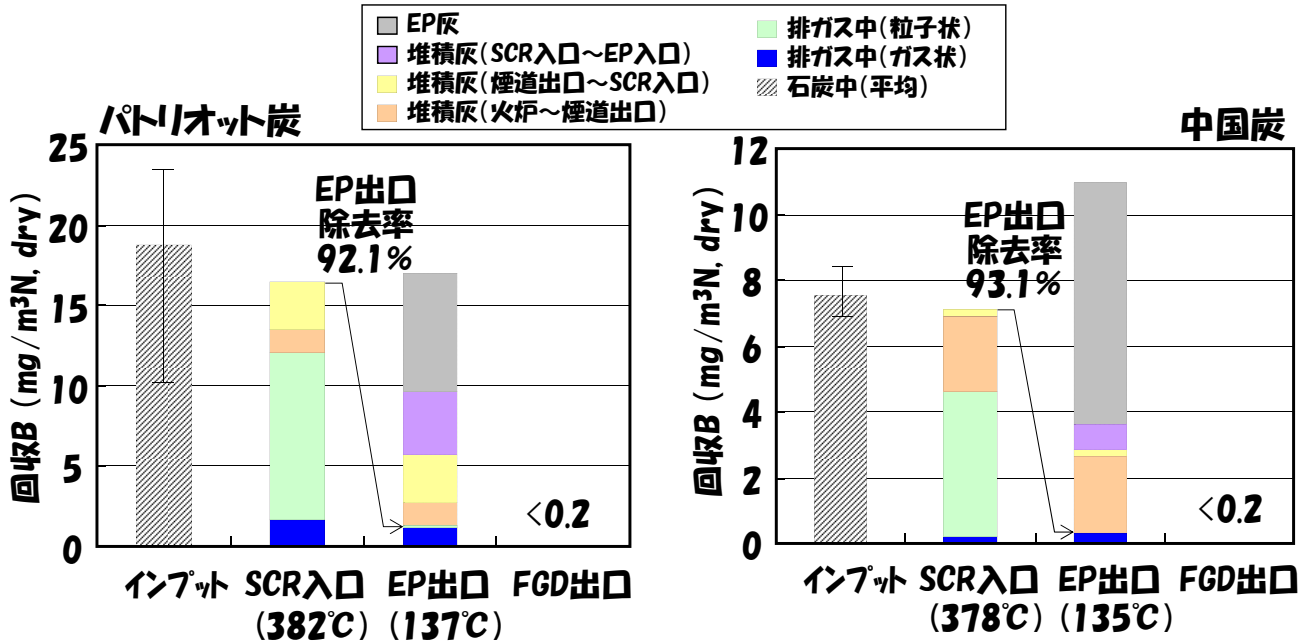
- ・脱硫液中の水銀を効率よく除去するため、水銀吸着剤の効果を検証



- ・Hg吸着剤を添加することで、脱硫液中Hg濃度が低下し、それに伴い脱硫装置からのHg再放出量が低下することを確認。

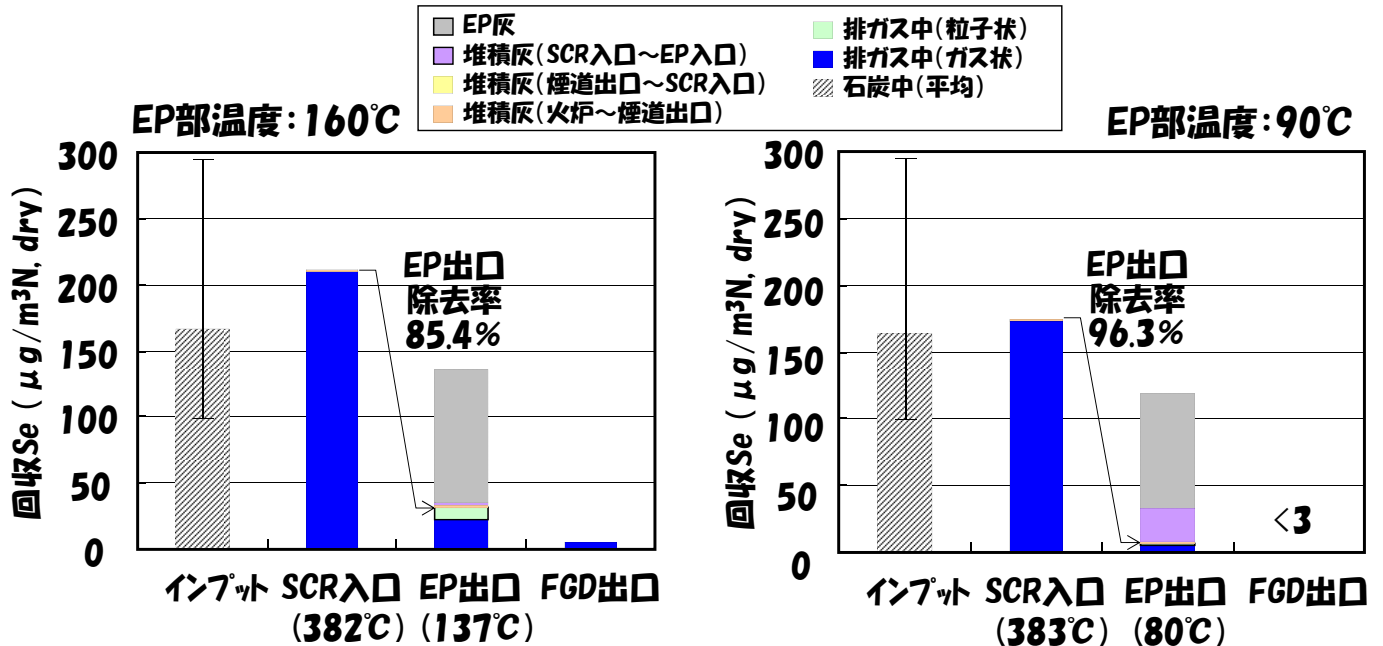
- ・中間評価のコメントを反映し、標準化グループに規定した方法で、大型燃焼炉排ガス中のB,Seを測定





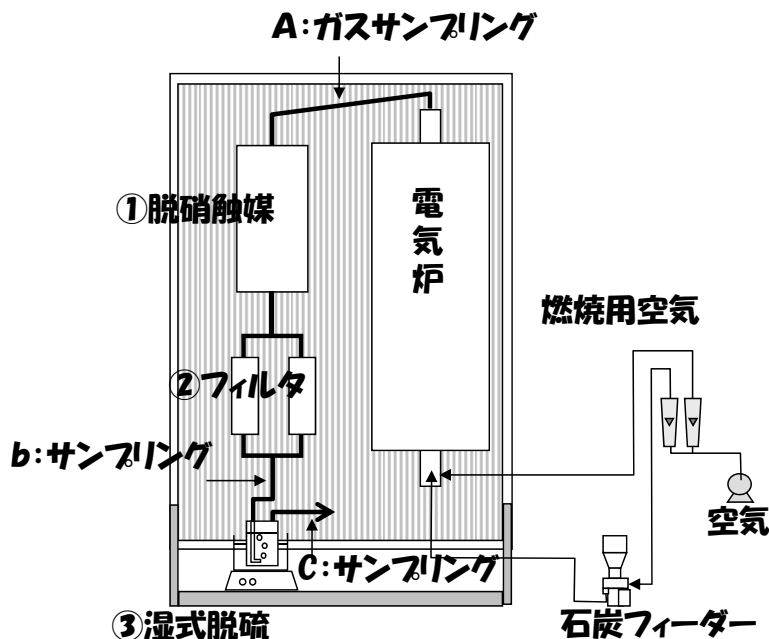
Bの挙動(EP部温度: 160°C)

- ・排ガス中の形態別B及び堆積灰中のB量を測定し、精度良くBを測定可能なことを確認
- ・BはSCR入口部で大部分が灰粒子側に移行しており、集塵部で大部分(約90%)が除去可能であり、また、残りのBは、FGD部で除去される。
- ・パトリオット炭と中国炭では、同様の傾向となった。

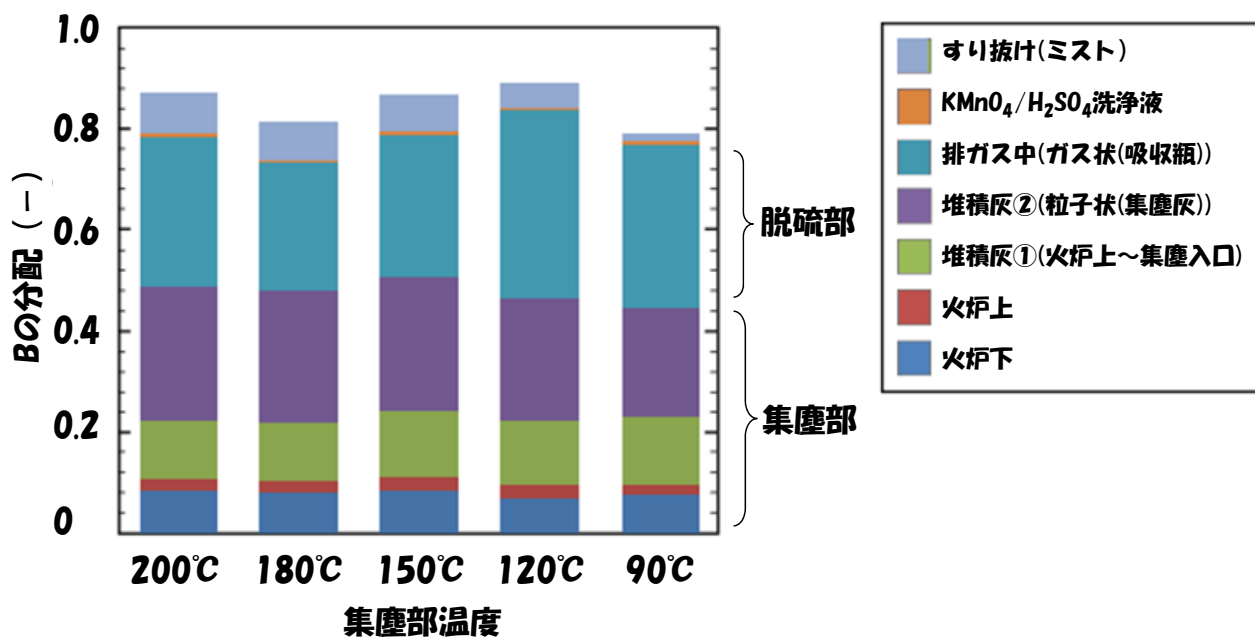


Seの挙動(パトリオット炭)

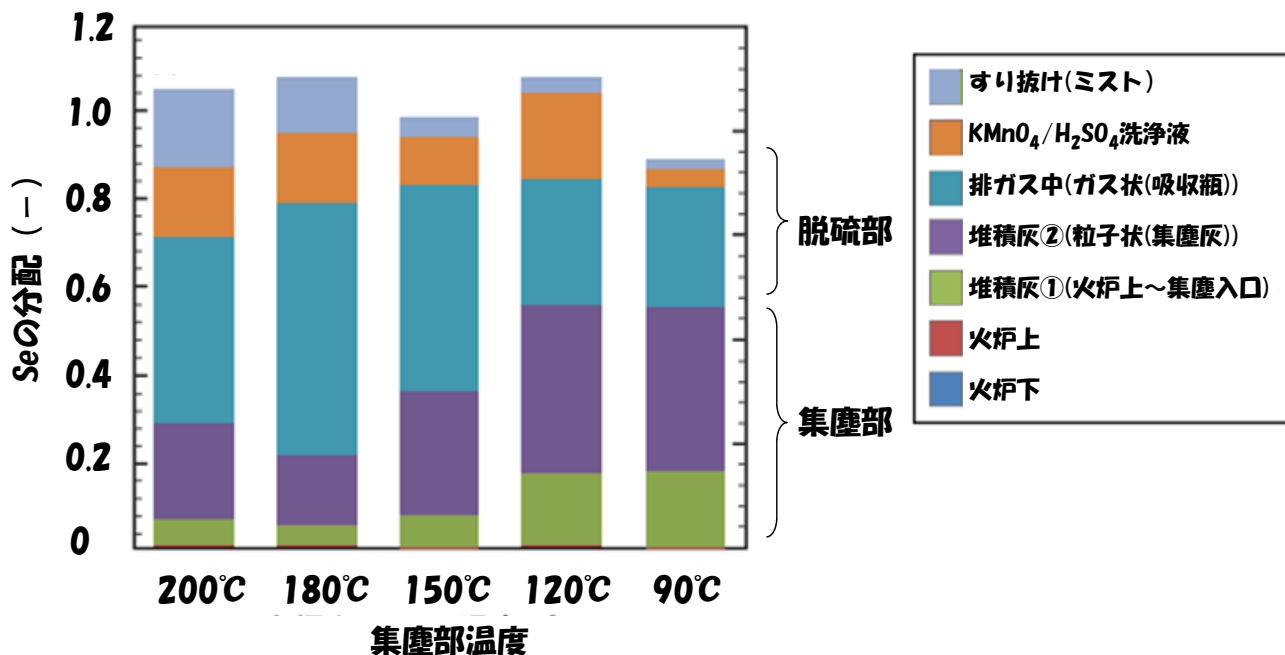
- ・排ガス中の形態別Se及び堆積灰中のSe量を測定し、精度良くSeを測定可能なことを確認
- ・SeはSCR入口部で大部分がガス状であるが、ガス温度の低下とともに灰粒子側に移行し、EP部で85%が除去され、さらにFGD部でほとんどが除去可能であることが確認できた。
- ・EP部のガス温度を90°Cに下げること、SCRからEP入口間での灰への移行割合が増加し、EP部での除去率が増加する。



- ・中間評価のコメントを反映し、基礎試験により排ガス中B,Seの挙動を評価
- ・石炭(パトリオット炭)を電気炉で燃焼し、発生した排ガス及び灰中のB,Seを測定。
- ・フィルタ部(実機では電気集塵機に相当)のガス温度を変化させ、B,Seの挙動を評価。

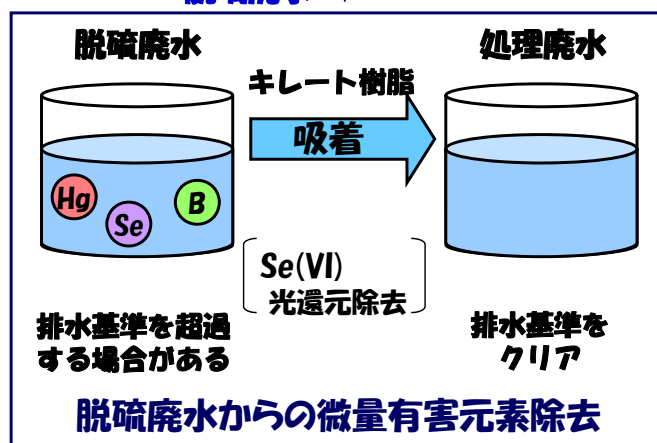
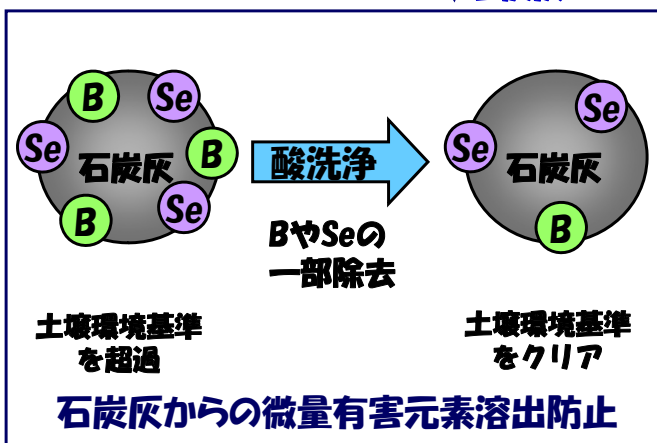
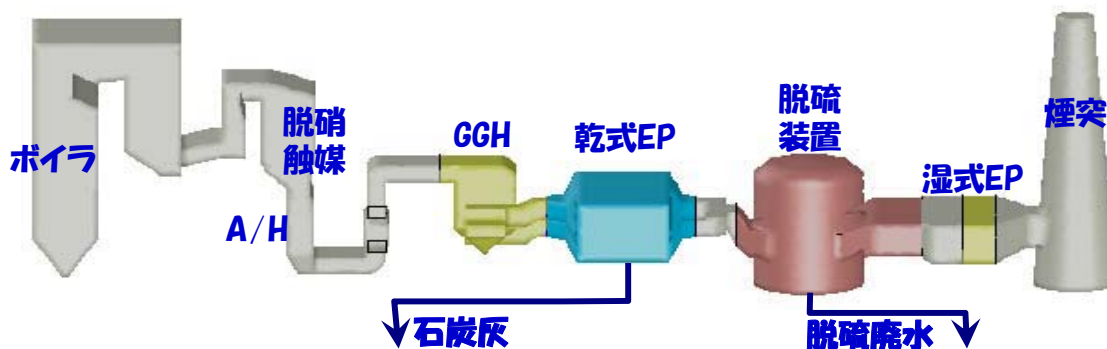


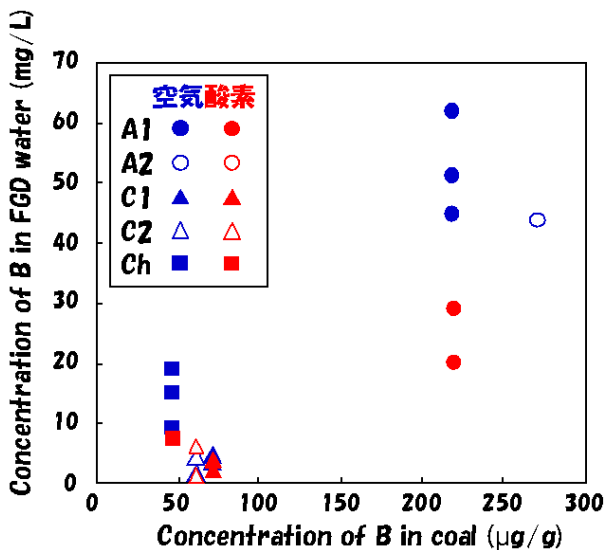
- ・ホウ素(B)は、およそ50%が灰に付着しており、フィルタ部で除去される。灰への付着量は、フィルタ部の温度を変えても変化しない。
- ・残りのホウ素は、脱硫部でほとんどが除去されることが分かる。



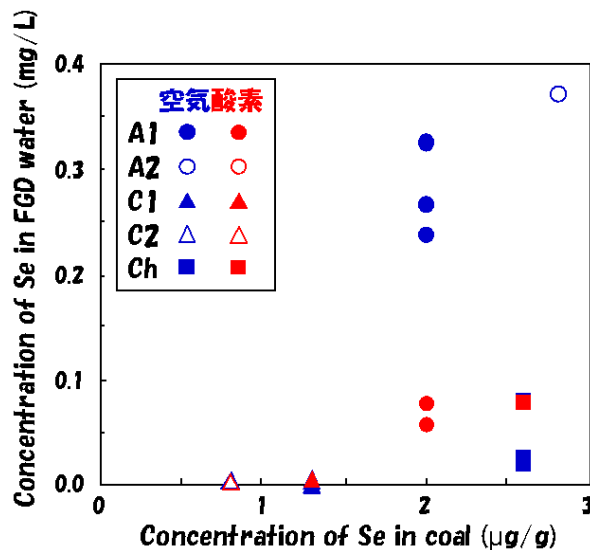
- ・セレン(Se)は、20～60%が灰に付着しており、フィルタ部で除去される。
- ・フィルタ部の温度を下げることで、灰への付着割合が増加しており、集塵部のガス温度を下げることで、集塵部でのSe除去率を向上させることが可能。
- ・残りのセレン(Se)は、脱硫部でほとんどが除去されることが分かる。

石炭利用プロセスにおける微量成分排出に関する廃水処理技術の開発 (鹿児島大学)





石炭中濃度と脱硫廃水中濃度 (B)



石炭中濃度と脱硫廃水中濃度 (Se)

- ・石炭中濃度が高い場合ほど、脱硫廃水中濃度も高い傾向
- ・脱硫廃水中濃度： 空気燃焼 > 酸素燃焼

- ・実ガス試験で得られた脱硫廃水を模擬した模擬廃水を用いた試験を実施。
- ・キレート樹脂を用いることで、B、Hgを80%以上除去できることを確認。

吸着法による模擬 FGD 液からの有害微量元素除去

吸着材の種類	% removal of element		
	B	Hg	Se
CRB02	88	98	0
CRB05	82	94	0
GRY-L	95	86	0
CR11	0	100	3
CR20	0	84	0
1X8	0	100	48
Activated alumina	14	28	18
Activated carbon	12	99	3

石炭灰(大型燃焼炉)からの溶出試験結果(環境庁告示46号)

単位: mg/L

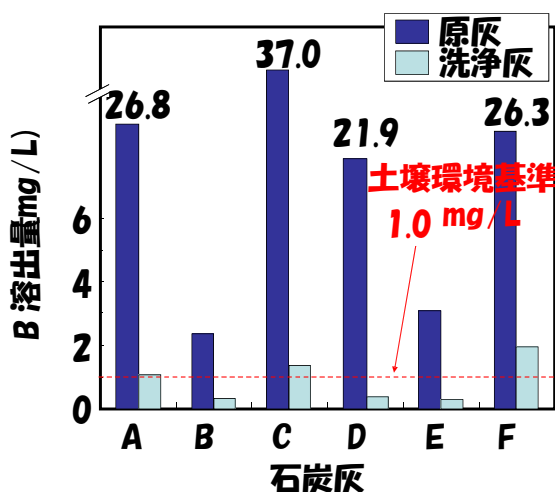
溶出元素	Co-Air	Qu-Air	Ch-Air	Pa-Air	Co-Oxy	Pa-Oxy	土壤環境基準	埋立基準
As	N.D	0.007	N.D	0.003	N.D	0.6	0.01	0.3
B	6.6	8.0	3.4	45.6	4.3	85.2	1	
Cd	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	0.3
Cr	1.1	0.9	0.8	0.6	1.0	4.4	0.05(6価)	1.5(6価)
Hg	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.0005	0.005
Pb	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	0.3
Se	0.04	0.08	0.2	0.1	0.04	0.04	0.01	0.3

空気燃焼 (Air)

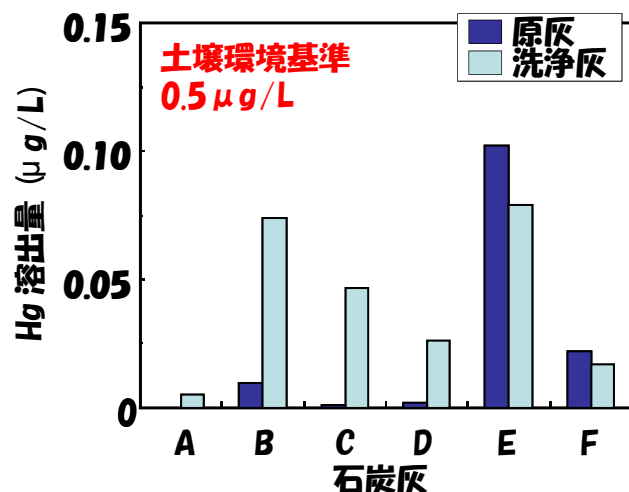
- ・ B, Seが土壤環境規準を超過。埋立基準は満足。

酸素燃焼 (Oxy)

- ・ Pa炭など高硫黄炭の灰では、Asの溶出。



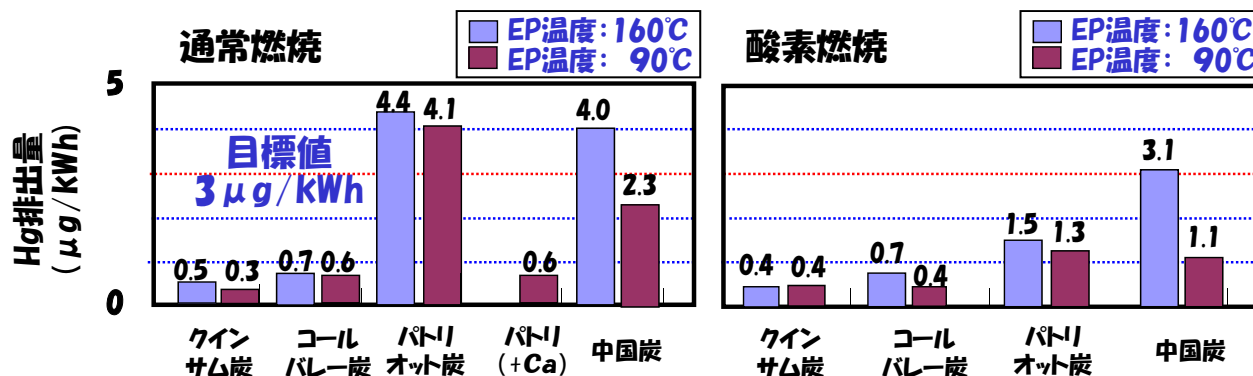
塩酸洗浄によるB溶出抑制



塩酸洗浄によるHg溶出特性

・B(ホウ素)の溶出防止技術として、0.1M塩酸洗浄の効果及び水銀の溶出特性への影響小を確認

各炭種での水銀除去率と排出量



- ・ラボ試験, 小型炉試験により, 高度除去に必要なシステム構成(脱硝触媒+集塵器+脱硫装置)を選定。
- ・大型燃焼炉試験により, 上記システム評価を実施し, 目標値である水銀排出量 $3\mu\text{g/kWh}$ 以下を確認

脱硫廃水中の有害元素除去技術:

キレート繊維によりHg,B等の有害元素除去を確認

基礎試験によるB,Seの配分特性評価:

基礎試験により, 石炭燃焼時のB,Se放出挙動及び灰粒子への付着特性評価

(1) 特許出願状況

特許出願件数: 7件

(2) 外部発表

研究発表

学会発表(国内): 13件

学会発表(海外): 11件

投稿論文

論文投稿<査読付>(海外): 4件

特許出願状況

出願日	出願番号	名称
2009.02.02	P2009-021630	酸素燃焼用石炭焚きボイラの排ガス処理装置と方法
2009.11.25	P2009-267914	酸素燃焼システムにおける排ガス処理装置
2009.12.9	P2009-279419	酸素燃焼方式の排ガス処理装置と該排ガス処理装置の運用方法
2010.03.17	P2010-061420	ボイラフロント
2010.05.18	P2010-114020	排煙脱硫装置と燃焼システムと燃焼方法
2011.01.11	P2011-003360	排ガス処理システム
2011.01.17	P2011-007167	排ガス処理システム

研究発表 学会発表(国内) (1/2)

日付	発表機関	タイトル
2009.11.27	第46回日本エネルギー学会 石炭科学会議	湿式排煙脱硫廃水からの有害微量元素の除去
2009.11.27	第46回日本エネルギー学会 石炭科学会議	石炭灰からの有害微量元素の溶出挙動と溶出防止
2010.3.17	第44回日本水環境学会年会	石炭火力発電の排煙脱硫廃水からの有害微量元素除去
2010.3.17	第44回日本水環境学会年会	石炭灰の洗浄による有害微量元素の除去と溶出防止
2010.3.18	21年度日本水環境学会九州 支部研究発表会	湿式排煙脱硫廃水中の有害元素とその除去法開発
2010.3.18	21年度日本水環境学会九州 支部研究発表会	石炭灰からの微量有害元素溶出とその防止法開発

研究発表 学会発表(国内) (2/2)

日付	発表機関	タイトル
2010.8.2	第19回日本エネルギー学会大会	湿式排煙脱硫廃水中のホウ素やセレン等の除去
2010.9.21	第47回日本エネルギー学会石炭科学会議	湿式排煙脱硫廃水に含まれる難除去性セレン除去法の開発
2010.9.21	第47回日本エネルギー学会石炭科学会議	石炭燃焼システムにおける湿式排煙脱硫廃水の分析と有害微量元素除去
2011.3	化学工学会第46年会	石炭燃焼炉における排ガス中微量成分除去技術の検討
2011.3.18	日本水環境学会年会	洗浄剤による石炭灰からの有害元素溶出抑制
2011.8.9	第20回日本エネルギー学会大会	石炭燃焼灰に含まれる微量元素の溶出とその抑制
2011.10.25	第48回日本エネルギー学会石炭科学会議	1.5MWthパイロット試験設備における石炭排ガス中のホウ素、セレンの挙動評価

研究発表 学会発表(海外) (1/3)

日付	発表機関	タイトル
2009.4.23~24	MEC6(Mercury Emissions from coal, 6 th International Experts Workshop)	Advanced AQCS for Controlling Mercury
2009.10.19	3 rd IWA-ASPIRE Conference & Exhibition	Removal of arsenic and selenium compounds from aqueous media by using TiO ₂ photocatalytic reaction
2010.6.8	The 35 th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems	Study of Mercury Behavior in Flue Gas of Oxy-fuel Combustion
2010.6.14	Mercury Emissions from coal, 7 th International Experts Workshop	Analysis and Cleaning Technologies for Mercury and Other Hazardous Trace Elements in Coal

研究発表 学会発表(海外) (2/3)

日付	発表機関	タイトル
2010.6.16	Mercury Emissions from coal 7 th International Experts Workshop	Advanced AQCS for Controlling Mercury
2010.6.25	1 st Water and Environment Technology Conference 2010	Removal of selenium(VI) from FGD wastewater by use of photocatalytic reduction
2011.1.26	Special Workshop on SO ₂ , SO ₃ , Hg and Boiler Corrosion Issue Under Oxyfuel Combustion Condition	Advanced AQCS for Oxy-fuel Combustion System: Controlling Mercury & SO ₃
2011.4.14	VDI Academic Forum Measurement and Reduction of Mercury Emission	Advanced ACQS for Oxy-Fuel Combustion System: Controlling of Mercury

研究発表 学会発表(海外) (3/3)

日付	発表機関	タイトル
2011.6.7	The 36 th International Technical Conference on Coal Utilization & Fuel Systems	Development of Mercury and SO ₃ Control Technology using Gas Cooler in Oxy-fuel Combustion System
2011.9.13	28 th International Pittsburgh Coal Conference	Analysis of Trace Hazardous Elements in Flue Gas Desulfurization Water and the Removal of These Elements from Water
2011.9.14	2 nd International Oxy-fuel Combustion Conference	Study of Hg and SO ₃ Behavior in Flue Gas of Oxy-fuel Combustion System

投稿論文 論文投稿<査読付>(海外)

日付	発表機関	タイトル
2010.11	International Journal of Greenhouse Gas Control	Study of Hg and SO ₃ Behavior in Flue Gas of Oxy-fuel Combustion Condition
2011.3	Journal of Water and Environment Technology, 9, 13-19	Removal of selenium (VI) from simulated wet flue gas desulfurization wastewater by use of photocatalytic reduction
2011.7	Energy & Fuels, 25, 3568-3573	Analysis of Trace Elements in Flue Gas Desulfurization Water in Coal Combustion System and Removal of Boron and Mercury from the Water
投稿中	Journal of Water and Environment Technology	Elution of Arsenic, Boron, Chromium and Selenium from Acid Washed-Coal Fly Ash

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。

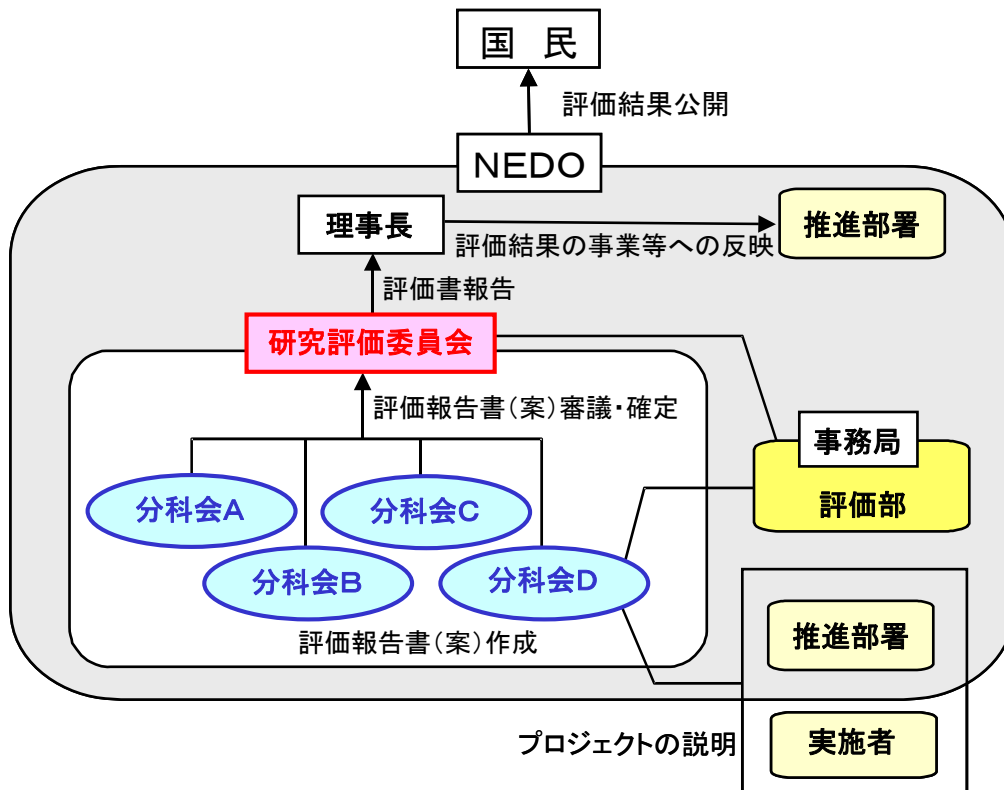
・CO₂削減技術の一つとして注目されている酸素燃焼石炭焚火力においても、CO₂圧縮機の腐食原因及び圧縮ガス漏洩時の人的被害の観点から、水銀除去が必要であり、本研究は、これら次世代火力システムにおいても重要となる。

参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある6名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

平成18年度に開始された「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／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／高度除去技術」を評価対象とした。なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクト

トの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ エネルギーイノベーションプログラムの目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われ

る体制となっているか。

- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。
- (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性
- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
 - ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。
- (5) 情勢変化への対応等
- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
 - ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(4) 成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。

(2) 波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1・・・、2・・・、3・・・、4・・・が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)・・・、(2)・・・が標準的評価基準、それぞれの基準中の・・・が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分

を含む) となっているか。

- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓する事が期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4) 成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化、事業化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2) 事業化までのシナリオ

- ・ NEDO後継プロジェクト、NEDO実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※ 基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

* 基礎的・基盤的研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4) 成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2) 波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
 - ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
 - ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。
- (4) 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性
- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
 - ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。
- (5) 情勢変化への対応等
- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
 - ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

3. 研究開発成果について

- (1) 目標の達成度
- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
 - ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
 - ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。
- (2) 成果の意義
- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
 - ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
 - ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
 - ・ 成果は汎用性があるか。
 - ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
 - ・ 成果は公開性が確保されているか。
- (3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組
- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事

業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

(4) 成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

4. 実用化の見通しについて

(1) 成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S 化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

(2) 波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成24年3月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 勉

担当 土橋 誠

*研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162