

「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／
次世代高効率石炭ガス化技術開発」
事後評価報告書

平成25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25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	1-22
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
参考資料3 分科会議事録	参考資料 3-1
参考資料4 評価結果を受けた今後の取り組み方針について	参考資料 4-1

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／次世代高効率石炭ガス化技術開発」の事後評価報告書であり、第31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／次世代高効率石炭ガス化技術開発」（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35回研究評価委員会（平成25年3月26日）に諮り、確定されたものである。

平成25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

次世代高効率石炭ガス化技術開発」

事後評価分科会委員名簿

(平成24年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	よしかわ くにお 吉川 邦夫	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授
分科会長 代理	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
委員	いたや よしのり 板谷 義紀	岐阜大学 工学部 機械システム工学科 教授
	かみや ひでひろ 神谷 秀博	東京農工大学 大学院生物システム応用科学府 教授
	しらい ひろみ 白井 裕三	一般財団法人 電力中央研究所 エネルギー技術 研究所 燃料高度利用領域リーダー
	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

敬称略、五十音順

審議経過

第1回 分科会（平成24年11月16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. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑
8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

第35回研究評価委員会（平成25年3月26日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

発電効率の向上は、発電に伴う CO₂ 排出抑制に直接効果がある手段であり、石炭火力発電の高効率化が望まれる所以である。石炭ガス化発電システムの熱効率向上の方策として、廃熱を用いた水蒸気改質によって水素を生成するというエクセルギー再生のアイデアは有効と評価でき、学術的には有意義な研究成果が得られている。また、低温ガス化で大きな課題となるタール除去方法に対しても、優れた知見が得られている。

しかし、設備設計から起動、運転操作さらには制御に至るまで、極めて複雑かつ困難な課題がある。また、目標とする発電効率を得るためには、本研究開発プロジェクトの範囲外となる要素技術の確立に依存するなどの問題があることから、実用化へのロードマップは未知数である。

なお、本研究では開発された低温ガス化技術、高濃度・大循環量の循環流動層技術、および流動層のシミュレーションの要素研究・技術レベルは高く、その波及効果が期待される。

2) 今後に対する提言

本事業での開発した石炭ガス化発電システムは、高効率石炭火力発電システムの基幹技術であるが、システム構成上ガス精製、1700℃級ガスタービン、大型固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 等の他の技術の確立が欠かせない。これらの技術に対して、単に開発状況を見極めていくことに止まらず、目指すシステム上のニーズや要求仕様を積極的に発信し、開発の推進力となることも考慮されたい。

また、次世代高効率石炭ガス化技術実用化のハードルが高いが、波及効果のある優れた成果を出しており、現時点での成果を小規模なバイオマスガス化や発電を目的としない石炭ガス化システムに適用するなど、実用化に近い他の技術への活用を具体的に考えるべきである。さらにパイロットレベルでのホットモデルによる検証や、ガス精製技術などその他の要素技術研究と組み合わせたもう少し規模の大きい大型プロジェクトを企画するなど、エネルギーの将来展望を見据えた、今後の継続的な展開も重要であろう。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

石炭の利用は国のエネルギー政策・戦略上重要であるが、その利用にあたり対環境性向上が必要であり、石炭ガス化技術開発のニーズは高い。極めて新しい技術コンセプトに基づいたテーマであるため技術のハードルが高く、開発に時間がかかるため民間の資金のみでは開発が困難であり、NEDO 事業として実施することは妥当である。

一方、当該研究開発の内容が基礎的な研究のレベルに留まっており、また目標とする発電効率を達成するためには、周辺技術の進展が不可欠である。今後高効率石炭火力発電の体系を俯瞰したうえで、ここで目指しているガス化技術の位置付け、必要性を整理してほしい。

2) 研究開発マネジメントについて

現在実用開発段階にある技術の発電効率を大きく上回る効率の実現可能性を見通すことを目標としており、研究開発の目標は妥当である。また、提案された石炭ガス化システムを構築するための適切な研究計画が立案されている。プロジェクトリーダーが研究開発全般の整合を取っており、また研究実施者が適切に選定されている。中間評価の結果をうけ、プロジェクト全体を包括的に成果と実用化の見通しの両面から討議する場を設けるなど、情勢の変化・技術動向に適切に対応していた。

一方、研究開発の数値目標の設定が甘く、その数値目標の達成が、技術の実用化にどのように繋がるのか明確な見通しが不足している。企業の関与が弱く、プロジェクトの終了時点で、実用化はおろか、次のパイロット規模の技術実証の見通しもはっきりしていない。参加メーカーが途中で入れ替わったことは、技術継承、解析・評価の連続性等において問題があったのではないか。

3) 研究開発成果について

基礎研究として一部世界をリードする独創的な成果も得られ、システムのエネルギーおよび物質収支からライザー内粒子循環量、伝熱速度、タール除去など当初設定した低温ガス化に関する基礎的知見を得た。世界で類を見ない大型コールドモデルでの実験成果は極めて先端的であり、汎用性のある知見が得られている。

一方、「炉内流動解析」以外は、開発目標が抽象的であり、目標が達成されたかどうかの評価が困難である。また、本研究開発成果はあくまでコールドモデルとラボスケールのバッチ式ホットモデル試験結果の段階であり、当該研究で得られた成果から実用化のためのスケールアップまでには、装置上の解決すべき課題が山積している。知財に関して特許の出願が少なく、特にプロセスのオリジナリティに対する知的財産権の取得が弱いと判断される。

また、このプロジェクトで得られた成果の普及展開を考えるべきであり、どのような技術に活用できるか十分に整理し、具体的な情報として提供すべきである。

4) 実用化の見通しについて

基礎研究のため、実用化のイメージおよび開発のマイルストーンが具体的に示されているとは言い難いが、エクセルギー再生による高効率化のイメージは示されている。

実用化に至るには、まだ多数の克服すべき課題が残されており、現時点では、実用化を見通すことができない。特に、低温ガス化プロセスの開発が、電気炉加熱の段階で終わっており、エネルギー面での自立性の実証がなされておらず、引き続き研究開発が行われる見通しが立っていない。

A-IGCC、A-IGFC とともに、高温ガスタービンや SOFC 技術開発の進捗にも依存されるため、早期事業化のためには既存技術を周辺技術として活用することを前提とした高効率化システム構築の可否とその技術課題抽出が望まれる。併せて、低温ガス化技術を用いた高効率石炭火力発電システム構成上の他の技術について、単に開発状況、動向を見極めるのではなく、目指す発電システムの実用化可能性向上のため、ガス化炉側からのニーズや要求仕様を積極的に発信し、開発を誘引することも考慮されたい。

また、本事業で得られた低温ガス化、触媒、流動解析に係る成果には、高効率石炭火力発電技術以外の流動床技術分野に共通して活用できる要素が含まれることから、波及効果を意識して結果の整理、発信を行ってほしい。

研究評価委員会におけるコメント

第35回研究評価委員会（平成25年3月26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	技術ジャーナリスト
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	元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
	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	三菱電機株式会社 社友
	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 附属医 療福祉工学開発評価研究センター センター長／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
	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
	吉川 典彦	国立大学法人名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 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

発電効率の向上は、発電に伴う CO₂ 排出抑制に直接効果がある手段であり、石炭火力発電の高効率化が望まれる所以である。石炭ガス化発電システムの熱効率向上の方策として、廃熱を用いた水蒸気改質によって水素を生成するというエクセルギー再生のアイデアは有効と評価でき、学術的には有意義な研究成果が得られている。また、低温ガス化で大きな課題となるタール除去方法に対しても、優れた知見が得られている。

しかし、設備設計から起動、運転操作さらには制御に至るまで、極めて複雑かつ困難な課題がある。また、目標とする発電効率を得るためには、本研究開発プロジェクトの範囲外となる要素技術の確立に依存するなどの問題があることから、実用化へのロードマップは未知数である。

なお、本研究では開発された低温ガス化技術、高濃度・大循環量の循環流動層技術、および流動層のシミュレーションの要素研究・技術レベルは高く、その波及効果が期待される。

〈肯定的意見〉

次世代高効率石炭ガス化技術における基盤技術とした成果の観点からは、目標に対して十分な成果が得られている。次世代高効率石炭ガス化技術は、ハードルの高い技術であり、現時点では開発の見通しが立っていない状況であるが、地道に基盤技術の構築を進めてほしい。

世界各国で石炭ガス化技術の開発が実施されており、すでに実用プラントとして稼働してはいるものの、技術的制約は大きく我が国のエネルギー保障および技術戦略として、さらに高効率かつ多様なガス化技術開発は極めて重要である。当該事業は高度に熱回収しつつ低温ガス化で高効率化を図る次世代型技術に関する研究であり、高効率ガス化に対する展望を示している。また特に低温ガス化で大きな課題となるタール除去方法に対しても、優れた知見が得られている。

石炭ガス化発電システムの熱効率向上の方策として、廃熱を用いた水蒸気改質によって水素を生成するというエクセルギー再生のアイデアは有効と評価でき、学術的には有意義な研究成果が得られている。

エクセルギー再生という新しい概念のもとで、石炭ガス化複合発電システムを検討し、本システムが成立する条件を明らかにした点で、NEDO の関与が必要であったと高く評価される。

本事業の成果として、新規に S-IGFC の提案並びに S-IGFC を実現するた

めの現状技術レベル・開発課題などを明らかにしており、新たな技術領域を開拓した成果となっている。

本研究では開発された低温ガス化技術、高濃度・大循環量の循環流動層技術、および流動層のシミュレーションの研究・技術レベルは高く、その波及効果は高いと判断される。

エクセルギー再生ガス化複合発電、低温ガス化のコンセプトに基づいて、新たなガス化システム構造を提案し、その要素技術となるガス化システムの基本的な知見を得るためのラボ実験、流動状態の解析(コールドモデル、計算機シミュレーション)、タール発生等を防止できない場合を想定した触媒ガス化に必要な基礎研究など、個別要素研究として必要で重要なテーマを想定しており、基礎研究として十分な先駆的成果を得ていると思われる。

石炭は可採埋蔵量および賦存域の観点から重要なエネルギー源であり、さらに今後の原子力利用展開の不透明感も相まって石炭火力発電の重要性は増々高まっている。一方で、石炭は他の化石燃料に比べて最も炭素含有量が多いことから、利用にあたってはCO₂生成抑制が必要条件である。発電効率の向上は、発電に伴うCO₂生成抑制に直接効果がある手段であり、石炭火力発電の高効率化が望まれる所以である。

本事業は、石炭を用いた高効率発電システムとして期待される複合サイクル構成上の基幹技術である石炭ガス化に係るもので、その成果が石炭火力発電の高効率化に寄与することは自明であり、実施意義は大きい。実施の結果、技術的見通しを得るという目的が達成され、十分に評価できる。

また、物作りが国の成り立ちの重要要素をなす我が国において、国際的にも重要な技術分野である石炭ガス化についての次世代技術確立を目指すことは将来の国益に適うものであり、この点でも評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

目標とする発電効率を得るためには、本研究開発プロジェクトの範囲外の要素技術の性能向上を待たねばならず、自立したプログラムとは言えない。また、企業の参画が限定的であり、研究成果の多くが、大学あるいは研究機関における基礎的な研究レベルに留まっており、費用対効果の面で疑問が残る。

ガス化炉システムに関して高度な運転制御が必要であると考えられる。今後は、安全で運転しやすいシステムとするなど、この技術を利用するユーザーの視点からも課題をまとめて研究を進めてほしい。

個別基礎研究のテーマ、実施内容と、4番目のテーマとして実施したシス

テム解析が、基盤研究で行ったテーマ以外の要素、前提が多く、プロジェクト全体の論理的一貫性と言う点で、得られた結論の有効性に無理があるように思われる。

本事業が、2040年以後に実用化を目指す次世代型高効率石炭ガス化技術開発（30～100万kWクラスの発電所の新設・リプレース）の初期段階とすると、本技術の革新性が高すぎ、その技術を実現するための周辺技術の開発が進んでおらず、2040年頃の実現性が低いと判断される。革新的な技術シーズを有していると判断され、2070～2100年の実用化を目指した技術と考えられる。

査読付き論文が53報、著書・総論が7報など、個々の成果の普及を積極的に行ったことは高く評価できるが、この事業全体をまとめた事業原簿（公開版）では、事業全体の成果内容が僅か30頁程度に要約されており、事業原簿（公開版）から成果全体の詳細情報を入手できるような仕組みとなっていない。先導的な研究・開発要素が多い本事業ではもっと積極的に内容を事業原簿（公開版）として公開すべきである。公開情報である査読付き論文が53報、著書・総論が7報の要約をまとめるだけで、200～300頁の書類となるはずである。少なくとも事業原簿（公開版）から、開発項目と入手可能である査読付き論文や著書・総論との関係が検索できるようにすべきである。この意味で、成果の受取手に対して、適切に成果を普及しているとは言いがたい。

当該事業は次世代型の新しい石炭ガス化プロセスを提案して、課題抽出と課題に対するブレークスルーの可能性を試験する基盤研究と位置付けられる。しかし、設備設計から起動、運転操作さらには制御に至るまで、極めて複雑かつ困難な課題を有している。特にライザー部の部分燃焼やチャー循環、ホールドアップなどの制御、熱分解炉とガス化炉の構造および粒子移動の安定制御、周辺技術の進展等、現時点では非現実的な要素や当該事業とは別の周辺技術の確立に依存するなどの問題が山積しており、事業化へのロードマップは未知数であるといえる。次のフェーズへの展開は期待されるが、それに繋げるためには理想的な姿のみならず現状を踏まえた近い将来に実用化可能なシステム設計の提案も望まれる。

〈その他の意見〉

- ・ 本事業成果の発表（報告）にあたっては、この技術が高効率石炭火力発電の体系の中で、技術軸および時間軸においてどう位置付けられるかの考えを明確に示すことが肝要である。
- ・ 当該事業では究極の高効率化を目指したシステム設計が検討されたと思

われるが、今後は多様なシステムへの展開も視野に入れつつ、早期に我が国独自の各種高効率ガス化技術の実用化および国内外への事業展開に繋げる技術開発が期待される。

- 予算上の問題が原因と思われるがホットモデルによるパイロット試験研究が実施できなかったことは、ラボレベル実験やコールドモデルやシミュレーションで得られた知見の検証ができなかった点が残念である。

2) 今後に対する提言

本事業での開発した石炭ガス化発電システムは、高効率石炭火力発電システムの基幹技術であるが、システム構成上ガス精製、1700℃級ガスタービン、大型固体酸化物形燃料電池（SOFC）等の他の技術の確立が欠かせない。これらの技術に対して、単に開発状況を見極めていくことに止まらず、目指すシステム上のニーズや要求仕様を積極的に発信し、開発の推進力となることも考慮されたい。

また、次世代高効率石炭ガス化技術実用化のハードルが高いが、波及効果のある優れた成果を出しており、現時点での成果を小規模なバイオマスガス化や発電を目的としない石炭ガス化システムに適用するなど、実用化に近い他の技術への活用を具体的に考えるべきである。さらにパイロットレベルでのホットモデルによる検証や、ガス精製技術などその他の要素技術研究と組み合わせたもう少し規模の大きい大型プロジェクトを企画するなど、エネルギーの将来展望を見据えた、今後の継続的な展開も重要であろう。

〈今後に対する提言〉

- ・ 個別担当者が有する知見、技術や成果を、担当者間で審議して協力、発展できる可能性はあった（コールドモデル実験成果やラボ実験でのチャー粒子特性などをシミュレーション解析への反映など）と思われるが、時間的な制約や、シミュレーション法としてはかなり新規のソフト開発も必要なので今後の課題と考えるべきと思われる。パイロットレベルでのホットモデルによる検証は、非常に重要であると思われ、ガス精製技術などその他の要素技術研究と組み合わせた少し規模の大きい大型プロジェクトとして、エネルギーの将来展望を見据えた、今後の継続的な展開も重要のように思われる。
- ・ 本事業が、2040年以後に実用化を目指す次世代型高効率石炭ガス化技術開発（30～100万kWクラスの発電所の新設・リプレース）の初期段階とすると、本技術の革新性が高すぎ、その技術を実現するための周辺技術の開発が進んでおらず、2040年頃の実現性が低いと判断される。しかしながら、革新的な技術シーズを有していると判断され、2070～2100年の実用化を目指した技術と考えられるので、研究・開発を進めていただきたい。
- ・ 査読付き論文が53報、著書・総論が7報など、個々の成果の普及を積極的行ったことは高く評価できる。また、開発された研究成果もレベルが高く、NEDOが中心に公開シンポジウムなどを開催し、多くの研究者や技術者に事業内容が幅広く公開されることが望ましい。
- ・ ガス化プロセスの冷ガス効率向上の方策としてのエクセルギー再生のア

アイデアは理解できるが、それを IGCC や IGFC に導入するには、現行の技術レベルでは無理があり、発電を目的としない石炭ガス化システムあるいはバイオマスガス化システム等への適用を考えるべきである。

- 次世代高効率石炭ガス化技術に対しては、技術的なハードルが高いが、波及効果のある優れた成果を出しており、費用対効果の観点からは、現時点での成果を小規模なバイオマスガス化に適用するなど、実用化に近い他の技術への活用を具体的に提案し、プロジェクト化すべきである。
- 当該事業での実施内容は 1700°C の高温ガスタービンや大型 SOFC を前提とした高効率低温ガス化システムを提案したものであるが、これら周辺技術の確立には未だハードルが高い。すでに海外では石炭ガス化の商用炉が普及しつつある現状では、勿来の IGCC と J-Power の EAGLE の高温気流層ガス化に次ぐ低温ガス化技術の早期確立を目指し、かつての夕張の流動層ガス化をブレイクスルーして、近い将来に実用化が期待されるシステム設計を図ることが望まれる。それに基づき、次のフェーズへの展開を進めていただきたい。ただし、その際には国内向けの技術だけを前提にするのではなく、諸外国への技術移転やマーケット拡大も含めたシナリオを想定し、フレキシブルなシステム設計および技術戦略が必要である。また法規制の面については、国内マーケットではメーカー間の市場競争原理を維持しつつも、国外へのマーケットに対してはメーカー間で連携して政府の全面的なバックアップ体制を得つつ市場展開することができる体系が必要である。さらに、今後は多品種の石炭や低品位炭のガス化ニーズが高まると考えられることから、それらのニーズに早急に対応できるようにこれまでのコールバンクを一層充実させることが期待される。
- 本事業での開発技術（ガス化技術）は、高効率石炭火力発電システムの基幹技術であるが、システム構成上の他の技術（ガス精製、ガスタービン、燃料電池 等々）の確立が欠かせない。
これらの技術に対して、単に開発状況を見極めていくことに止まらず、目指すシステム上のニーズや要求仕様を積極的に発信し、開発の推進力となることも考慮されたい。

〈その他の意見〉

- 石炭ガス化技術は IGCC や IGFC のように高効率発電に限定することなく、化学原料ガス製造や間接液化など多岐にわたる炭素資源改質またはアップグレード化を想定することも重要である。このような観点から、研究開発事業の新規性として単に高効率化を目標にするだけでなく、利用する地域性や利用目的に応じた最適化を図る多様なシステム構成の開発も

積極的に推進して、事業化を早期に達成するための支援も重要である。

- 基盤的な研究の段階から大学、研究機関と企業との連携は重要であり、国プロなどの予算ではなく、自己資金や現有設備で産官学連携研究を実施し、実績を挙げているグループに予算提供をすれば、グループ間連携も容易で、より発展的で無理のないプロジェクト展開が可能と思われる。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

石炭の利用は国のエネルギー政策・戦略上重要であるが、その利用にあたり対環境性向上が必要であり、石炭ガス化技術開発のニーズは高い。極めて新しい技術コンセプトに基づいたテーマであるため技術のハードルが高く、開発に時間がかかるため民間の資金のみでは開発が困難であり、NEDO 事業として実施することは妥当である。

一方、当該研究開発の内容が基礎的な研究のレベルに留まっており、また目標とする発電効率を達成するためには、周辺技術の進展が不可欠である。今後高効率石炭火力発電の体系を俯瞰したうえで、ここで目指しているガス化技術の位置付け、必要性を整理してほしい。

〈肯定的意見〉

当該事業による研究開発は、現在実証試験が行われている IGCC と EAGLE とは方式が全く異なる次世代向けの新たな低温ガス化技術の基礎研究であり、目的指向型の技術開発支援を担う NEDO 事業としては妥当である。また、環境保全とエネルギー保障のために CCT のニーズが高まり、国際的な競争が激化している中で、我が国の石炭ガス化に対する高い技術力および競争力を構築していく上でも、必要な事業である。

必要な周辺機器の性能向上があれば、本研究成果が、将来の石炭火力の発電効率の飛躍的な向上に寄与するものと評価される。特に、新たな技術コンセプトに基づいている点では、国際的にもオリジナルな研究開発であると言える。かなり遠い将来を見据えたプロジェクトであることから、現状では民間中心の研究開発は無理であり、NEDO の関与が必要であると認められる。石炭火力発電の進展は、国のエネルギー政策・戦略に強く係るものであるとともに、本事業で目指す技術はかなりの開発期間を要する。このような技術開発を民間で推進することは困難であり、NEDO 事業として実施することは適切である。

石炭のエネルギー源としての重要性、利用にあたっての対環境性向上の必要性からして石炭ガス化技術開発のニーズは高い。本事業の目的は、現在実用開発段階の技術の発電効率を大きく凌ぐ技術の見通しを付けるものであり妥当と考える。

エクセルギー再生という新しい概念のもとで、石炭ガス化複合発電システムを検討し、本システムが成立する条件を明らかにした点で、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 の関与が必要であったと評価される。

極めて新しいコンセプトで取り組んでいるテーマであるため、民間活動のみでは実施自体が困難な内容であり、昨年3月以降課題として明確になったわが国のエネルギー将来展望を開拓するため、公共性は高く、NEDOが関与することは極めて意義があると思われる。基盤研究として実施した内容については、投じられた予算に対し、十分成果を挙げていると思われる。

次世代高効率石炭ガス化技術は、技術のハードルが高く、技術開発に時間がかかる将来技術であり、民間の資金のみでは開発が困難なことから、NEDO事業として実施することは妥当であると考えられる。

エクセルギー再生を組み込んだ世界の最先端のガス化技術であり、飛躍的な効率向上を目指すことに対する事業目的も妥当である。

予算上の問題もあったかと思われるが、パイロットレベルのホットモデル試験を行えなかった点は、本技術の国際競争力を担保する上で悔やまれる点である。従来にない大規模コールドモデル実験に注力することで、世界的に見て、類のない流動解析に関する成果を挙げたことは、厳しい予算の中で適切な判断だったと思われる。

〈問題点・改善すべき点〉

研究機関における基礎的な研究のレベルに留まっており、投じた予算の規模が妥当であったか疑問がある。また、目標とする発電効率を達成するためには、周辺技術の進展が不可欠であることから、本プロジェクトだけでは商用化は無理であり、わが国の国際競争力強化につながるかどうか不明である。当該研究開発の内容がやや基礎研究に偏重しており、産側の役割や寄与またはモチベーションに欠けるのではないかと懸念がある。基礎研究とは言え、本研究で実施されたベンチスケールのコールドモデル試験は重要と考えられるが、ホットモデル試験へと展開する上でさらなる産側の貢献が必要であろう。また、ガス化炉の設計や操作、制御はかなり複雑であるにもかかわらず設備開発を担うメーカーが途中で交代して、システム解析の担当だけにトーンダウンしたことは、今後の展開に対してやや懸念材料となる。産側のさらなる積極的な協力体制構築が必要である。

本事業が、2040年以後に実用化を目指す次世代型高効率石炭ガス化技術開発（30～100万kWクラスの発電所の新設・リプレース）の初期段階とすると、本技術の革新性が高すぎ、その技術を実現するための周辺技術の開発が進んでおらず、2040年頃の実現性が低いと判断される。革新的な技術シーズを有しており、2070～2100年の実用化を目指した技術と考えられる。

〈その他の意見〉

- エネルギー将来展望を考える上で、石炭高効率発電や再生可能エネルギーの利用のための予算獲得、産官学連携の強化を NEDO が中心になって推進する必要性は高いと考えられる。
- IGCC や EAGLE などの高温ガス化は気流層方式であり、灰分をスラグで分離回収するため利用できる石炭種に制約がある。また一部の海外メーカーでは気流層方式がすでに商用プラントとして稼働している。これに対して、流動層ガス化では利用できる石炭種の幅が拡大でき、実用化例も少ないことから、高効率化が進めば幅広い展開が期待される。
- 総合評価の「その他の意見」でも述べたが、高効率石炭火力発電の体系を俯瞰したうえで、ここで目指しているガス化技術の位置付け、必要性を整理してほしい。

2) 研究開発マネジメントについて

現在実用開発段階にある技術の発電効率を大きく上回る効率の実現可能性を見通すことを目標としており、研究開発の目標は妥当である。また、提案された石炭ガス化システムを構築するための適切な研究計画が立案されている。プロジェクトリーダーが研究開発全般の整合を取っており、また研究実施者が適切に選定されている。中間評価の結果をうけ、プロジェクト全体を包括的に成果と実用化の見通しの両面から討議する場を設けるなど、情勢の変化・技術動向に適切に対応していた。

一方、研究開発の数値目標の設定が甘く、その数値目標の達成が、技術の実用化にどのように繋がるのか明確な見通しが不足している。企業の関与が弱く、プロジェクトの終了時点で、実用化はおろか、次のパイロット規模の技術実証の見通しもはっきりしていない。参加メーカーが途中で入れ替わったことは、技術継承、解析・評価の連続性等において問題があったのではないかと懸念されている。

〈肯定的意見〉

開発目標は、現在実用開発段階にある技術の発電効率を大きく上回る効率の実現可能性を見通すこととしており、次世代技術の目標として妥当である。実施体制については、基礎的分野を担う大学や研究機関、具現化を担うメーカーから構成されており適切であるが、留意すべきと考えられる点もあり、それを問題点・改善すべき点に記す。

プロジェクトリーダーがうまく研究開発全般の整合を取っている点は、評価される。また、研究実施者が適切に選定されており、研究の進捗管理についても妥当な体制となっている。

プロジェクトリーダーを軸に、低温ガス化、流動解析、触媒ガス化、システム解析の項目に研究を分担し、個々に連携して組織的に行われている。

中間評価の結果をうけ、プロジェクト全体を包括的に成果と実用化の見通しの両面から討議する場として、第三者有識者からの指摘、助言を受ける「技術委員会」が設置され、有効に機能していたことが議事録（要約）から確認された。

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たと評価できる。

(1) 研究開発目標の妥当性

エネルギー変換効率およびタール除去率ともに第1段階の基礎研究としてこれまでにないインパクトの高いチャレンジングな目標が定量的に設定されている。

(2) 研究開発計画の妥当性

当該研究開発で提案された石炭ガス化システムを構築するために、まず主要な要素課題として、ライザー粒子循環量の増大とタール除去率向上およびシステム評価を中心に目標設定を行い、ブレークスルーするための研究計画を予算の範囲内で適切な規模で実施することが立案されている。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

各要素課題の基礎研究に関連してそれぞれ専門とする大学と産総研の研究者で分担し、またシステム評価については数多くの経験を有するメーカーで担当しており、事業体制はおおむね妥当である。

(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

得られた成果に基づき、事業化に向けたロードマップが示されている。

(5) 情勢変化への対応等

情勢変化にある程度対応しうるように、複数のシステム評価が実施されている。

内外情勢や研究開発動向に対し、適切な戦略と必要な要素となる基盤研究を、各チームとの連携で実施していると思われる。大学、公的機関で実施した基礎研究の内容、実施計画は妥当で、十分な成果を挙げている。研究体制も大学、公的研究機関間の連携としてはできており、設定した課題、低温ガス化、流体解析、触媒開発について妥当な組織になっていると思われる。中間審査段階で、企業が交代したが、本事業で対象とするガス化システムは、かなり長期的なスパンで考えないと事業化が困難であることが予測され、企業側が離脱する事情も一定理解できる。企業が抜け、新規参入企業との課題設定などの対応・マネジメントとしては、適切であったと思われる。

〈問題点・改善すべき点〉

研究開発の数値目標の設定が甘く、その数値目標の達成が、技術の実用化にどのように繋がるのか明確な見通しが不足している。また、企業の関与が弱く、プロジェクトの終了時点で、実用化はおろか、次のパイロット規模の技術実証の見通しもはっきりしていない。

(1) 研究開発目標の妥当性

高効率化のための最適目標が設定されているが、トータルシステムの熱効率に対しては中期的に事業化が可能と想定される現状を踏まえた現実的なシステムの目標も設定されれば、次のフェーズへの継続時に具体的な技術課題が明確になるであろう。

(2) 研究開発計画の妥当性

提案されているシステム全体の中での目標と研究開発計画との関連性または位置付けがややわかりにくい。特にチャー充填層でのタール除去に対して、

タール分解およびガス化促進触媒開発の位置付けをもう少し明確にされる
ことが望まれる。

(3)研究開発実施の事業体制の妥当性

産官学連携研究開発としては、事業後半でやや産の影が薄くなった感があり、
今後の事業展開のためにもメーカーの積極的な参画が望まれる。

(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

現段階では基礎研究のため実用化への具体的なスキームを描くのは困難か
もしれないが、まずは今後の事業展開への体制構築が必要であろう。

(5)情勢変化への対応等

究極のシステムに高温ガスタービンと大型 SOFC が前提として組み込まれ
ているが、これらを利用しないシステムフローも検討項目に加えておくべき
であろう。

メーカーが途中で入れ替わったことは、その役割から理解できるが、技術継承、
解析・評価の連続性、基礎的分野からメーカーへのフィードバック等において
全く問題がなかったとは言えないのではないか。出来ればメーカー交代ではな
く追加の方が好ましかったと考える。

目標に発電プラントの概略仕様の策定とあるが、概略仕様に該当する成果が
何か、原簿などで説明されていない。

世界の主流が噴流床ガス化方式を用いた石炭ガス化複合発電であるのに対
して、発電用の大型ガス化炉として普及しなかった流動床ガス化方式を選定
したことに対して、大型化に対する課題や運転しやすいシンプルなシステム
などユーザーの立場から考えた課題についても、目標を設定して実施すべき
である。

目標設定に当たり、石炭の性状範囲が設定されていない。噴流床と同等の燃
料比の範囲なのか等、炭種対応はユーザーサイドにとって重要な情報となる。
参加する企業が変わり、しかも実施する内容も大きく中間評価前後で変わっ
たという事情は配慮すべきと思われるが、システム解析の内容に、もっと基
盤研究として実施している内容に踏み込んだものが加わるような指導があ
っても良かったかと思われる。また、各要素研究に極めて重要な成果が得ら
れていることから、もう一步踏み込んだ連携の模索があれば、さらに重要な
知見が得られたと思われる。

〈その他の意見〉

- 本件のように長期的な研究開発が必要なテーマでは、参加企業としてもすぐ
に事業化、収益を挙げられないため、継続的に参加すること自体が困難とい
う事情はあると思われる。長期的な開発課題に対し、企業の継続的参加を可

能とする仕組み、方策の検討が必要と思われる。

- 実施体制は、低温ガス化、触媒ガス化、流動解析、システム解析の各サブテーマからなるグループに区分されている。各テーマとも基礎的、基盤的段階なので、それぞれを独自に推進することが主体となったと考えられるが、テーマ間の連携をもっと強められなかったか。

例えば、触媒ガス化研究の成果を低温ガス化にフィードバックして吟味するとか、低温ガス化側から触媒ガス化のニーズ（仕様）を提示するとか、流動解析結果からガス化炉の再吟味をするとか、等々。

3) 研究開発成果について

基礎研究として一部世界をリードする独創的な成果も得られ、システムのエネルギーおよび物質収支からライザー内粒子循環量、伝熱速度、タール除去など当初設定した低温ガス化に関する基礎的知見を得た。世界で類を見ない大型コールドモデルでの実験成果は極めて先端的であり、汎用性のある知見が得られている。

一方、「炉内流動解析」以外は、開発目標が抽象的であり、目標が達成されたかどうかの評価が困難である。また、本研究開発成果はあくまでコールドモデルとラボスケールのバッチ式ホットモデル試験結果の段階であり、当該研究で得られた成果から実用化のためのスケールアップまでには、装置上の解決すべき課題が山積している。知財に関して特許の出願が少なく、特にプロセスのオリジナリティに対する知的財産権の取得が弱いと判断される。

また、このプロジェクトで得られた成果の普及展開を考えるべきであり、どのような技術に活用できるか十分に整理し、具体的な情報として提供すべきである。

〈肯定的意見〉

(1) 目標の達成度

提案されているシステムのエネルギーおよび物質収支からライザー内粒子循環量、伝熱速度、タール除去など各要素技術で要求される目標値を設定し、それらの目標達成に至るための基礎的知見が個別にコールドモデル試験とラボスケールのバッチ試験を通して得られている。

(2) 成果の意義

粒子挙動のコールドモデル試験では、ベンチスケールで従来にない著しく高いライザー内粒子循環量を達成し、システムの熱回収に必要なレベルの粒子循環の可能性を示す成果が得られている。また、タール除去についてはチャー粒子層内への吸着分解、コーキングという比較的簡易的なプロセスで高い除去率を達成できる見込みが得られている点で優れた成果であり、当該目的以外への展開も期待できる。

(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

現在は基礎段階のため、数多くの知的財産権等の取得は期待できないかもしれないが、一部申請が行われている。

(4) 成果の普及

研究開発の成果は国内外の各種学会発表や論文投稿、総論執筆がかなり数多く行われており、成果の公表については十分な努力がなされている。

高効率化に重要に係る低温ガス化技術の可能性を見通すという所期の目的

に対し、満足できる成果が得られたと評価する。

研究機関を中心とするプロジェクトだけあって、研究成果の公表が積極的になされている。また、基礎研究として、一部、世界をリードする独創的な成果が得られている。

各要素となる基盤研究は、優れた内容を含んでおり、当初設定した低温ガス化に関する基礎的知見を得、世界で類を見ない大型コールドモデルでの実験成果は極めて先端的であり、汎用性のある知見を得ており、投入した予算に対し、十分な成果を得ていると思われる。また、論文や学会発表などの成果発表は適切に行われ、受賞件数も多いことから、高水準の成果を得ていると思われる。

本事業の成果として、新規に S-IGFC の提案並びに S-IGFC を実現するための現状技術レベル・開発課題などを明らかにしており、新たな技術領域を開拓することが期待できる成果となっている。

また、本研究では開発された低温ガス化技術、高濃度・大循環量の循環流動層技術、および流動層のシミュレーション技術のレベルは高く、その波及効果は、高いと判断される。

低温ガス化、流動解析、触媒ガス化、システム解析の項目ごとには、目標をクリアしている。また、流動解析など世界最高水準の成果を上げている。

3 件の特許出願を行い、知的財産権を確保すると共に、多数の外部発表を実施し、十分な情報発信を行っている。

〈問題点・改善すべき点〉

費用対効果を考えると、このプロジェクトで得られた成果の活用を考えるべきである。どのような技術に活用できるか、十分に整理し、具体的な情報として提供すべきである。

「炉内流動解析」以外は、開発目標が抽象的であり、目標が達成されたかどうかの評価が困難である。また、「炉内流動解析」で掲げられている数値目標は決して低いものではないが、その達成による一般への波及効果が薄く、本プロジェクトにのみ有用な開発目標となっている。また、特許の出願が少なく、特にプロセスのオリジナリティに対する知的財産権の取得が弱いと判断される。

参加企業が交代し、核となる低温ガス化炉の研究が大学・公的機関のみになってしまったためやむを得ない面があるが、実用化、普及に必要な特許等の取得は厳しかったと思われる。また、チーム間で共同論文等の発表も追及しても良かったのではないかと思われた。

査読付き論文が 53 報、著書・総論が 7 報など、個々の成果の普及を積極的

に行ったことは高く評価できるが、この事業全体をまとめた事業原簿（公開版）では、事業全体の成果内容が僅か 30 頁程度に要約されており、事業原簿（公開版）から成果全体の詳細情報を入手できるような仕組みとなっていない。公開情報である査読付き論文が 53 報、著書・総論が 7 報の要約をまとめるだけで、200～300 頁の書類となるはずである。少なくとも事業原簿（公開版）から、開発項目と入手可能である査読付き論文や著書・総論が検索できるようにすべきである。この意味で、成果の受取手に対して、適切に成果を普及しているとは言いがたい。

(1)目標の達成度

本研究開発成果はあくまでコールドモデルとラボスケールのバッチ式ホットモデル試験結果から目標値達成のための操作条件が示されている段階である。一部既設設備を利用したホットモデルの連続試験が試みられているものの、その成果が十分明示されているとは言えない。次のフェーズでは連続装置でのホットモデル試験を主目的に位置付け、ガス化率の目標を実証する計画立案が望まれる。

(2)成果の意義

革新的技術開発では常識にとらわれない発想が必要であるが、当該研究で得られた成果から実用化のためのスケールアップを想定すると、熱分解炉では処理石炭量に比較してタール分解のために相当量のチャー粒子の滞留が必要になることから、設備がかなり大型化することが予想され、非現実的な感がある。また熱分解炉とガス化炉の接続構造がかなり複雑であり、粒子移動のハンドリングおよびガス流れの圧力バランス等、装置上の解決すべき課題は山積している。さらに、燃焼炉ライザーでも完全燃焼ではなく、部分燃焼の制御が必要となり、システムの制御でも数多くの課題を抱えている。

(3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

現段階では「(2)成果の意義」でも記したとおり、連続設備での運転に至るまでに多くの課題を有しており、標準化の段階には至っていない。

4 グループ（4 サブテーマ）個々の結果を並列評価して低温ガス化技術の可能性を見通している。それはそれで良いが、各グループの結果を相互に有機的に評価、解析した上での技術的可能性、システムの具現性も示してほしい。

〈その他の意見〉

- 成果のまとめにあたっては、仕上がりの効率だけでなく、低温ガス化に伴う冷ガス効率の向上や排熱回収（エクセルギー再生）が高効率化に寄与する程度、内訳も整理されたし。
- ガス化剤として酸素などの酸化剤の利用を抑制して、熱回収で得られた高温

水蒸気とチャーの吸熱反応を主要な反応として活用することでガス化効率を向上させる学理をエクセルギー再生という観点から実証した点で評価できる。当該研究開発では基礎研究が主目的で、理想的なシステム検討が中心となっているが、技術的ハードルをもう少し下げたシステムも検討して、事業化が早期に実施できるシステムの提案も期待したい。

- こうした基盤研究中心のプロジェクトでは、特許等よりも論文などに比重を置いて評価すべきと思われる。

4) 実用化の見通しについて

基礎研究のため、実用化のイメージおよび開発のマイルストーンが具体的に示されているとは言い難いが、エクセルギー再生による高効率化のイメージは示されている。

実用化に至るには、まだ多数の克服すべき課題が残されており、現時点では、実用化を見通すことができない。特に、低温ガス化プロセスの開発が、電気炉加熱の段階で終わっており、エネルギー面での自立性の実証がなされておらず、引き続き研究開発が行われる見通しが立っていない。

A-IGCC、A-IGFCともに、高温ガスタービンやSOFC技術開発の進捗にも依存されるため、早期事業化のためには既存技術を周辺技術として活用することを前提とした高効率化システム構築の可否とその技術課題抽出が望まれる。併せて、低温ガス化技術を用いた高効率石炭火力発電システム構成上の他の技術について、単に開発状況、動向を見極めることなく、目指す発電システムの実用化可能性向上のため、ガス化炉側からのニーズや要求仕様を積極的に発信し、開発を誘引することも考慮されたい。

また、本事業で得られた低温ガス化、触媒、流動解析に係る成果には、高効率石炭火力発電技術以外の流動床技術分野に共通して活用できる要素が含まれることから、波及効果を意識して結果の整理、発信を行ってほしい。

〈肯定的意見〉

(1) 成果の実用化可能性

基礎研究のため、実用化のイメージおよび開発のマイルストーンが具体的に示されているとは言い難いが、エクセルギー再生による高効率化のイメージが明確に示されており、早急に連続装置での試験が実施され、高効率化が実証されることが期待される。また、各要素技術については、各種ガス化炉で採用の可能性を有している。

(2) 波及効果

気流層ガス化装置に比べバイオマスや低品位炭など原料の多様化が期待されるため、技術的な波及効果は高いと考えられる。また、大学の実施機関では若手研究者や学生など当該研究開発を通しての人材育成が推進されていると思われる。

小規模なバイオマスガス化に適用できるなど、波及効果が高い研究成果が得られている。

流動、反応、触媒、システム解析などの幅広い研究分野を基盤とした研究がなされている。また、人材を育成できる研究内容となっている。

実用化すべきプロセスのイメージが明確にされ、研究実施者間で共有されて

いる。

本事業は基礎・基盤フェーズであり、実用化の可能性に言及する段階ではないと考える。実用化へ向けてのコメントを<その他の意見>欄に述べる。

本事業で得られた低温ガス化、触媒、流動解析に係る成果には、種々の目的の流動床技術分野に共通して活用できる要素が含まれると思われる。そんな波及効果も意識して、結果の整理、発信を行ってほしい。

実用化までのシナリオの中で、エクセルギー再生型石炭ガス化複合発電システムの全体像および必要な要素技術を明らかにした点が高く評価される。

5年間のプロジェクトで、査読付き論文が53報、著書・総論が7報、国際会議口頭発表83件、国内口頭発表117件など、精力的な活動を行っており、当該分野の研究開発や人材育成等を促進したと高く評価される。

低温ガス化技術、高濃度・大循環量の循環流動層技術などの成果は、関連分野への技術的波及効果が高く認められると評価される。

各要素の基盤研究の成果に基づき、本プロジェクトで対象とする低温ガス化技術を実際のエネルギー技術基盤に適応するための境界条件や適用方法などが十分に抽出され、本プロジェクトに含まれていない研究開発課題の進捗に対応した戦略が練られたと思われる。また、本基盤研究の内容は汎用性があり、波及効果は大きいと思われる。

<問題点・改善すべき点>

ガスタービンや燃料電池の周辺技術が成熟した時点で、次の段階としてベンチ試験によりプロセスの確認を行うとしたシナリオとなっている。しかし、現時点での850°Cのガス化では、目標効率を達成できないとしている。ベンチ試験を行う前に、目標を達成できる温度での低温ガス化技術を開発するための要素検討が必要である。このように基礎基盤としてすべき課題があり、今後の基礎・基盤研究としての進め方を示すべきである。

実用化に至るには、まだ多数の克服すべき課題が残されており、現時点では、実用化を見通すことができない。特に、低温ガス化プロセスの開発が、電気炉加熱の段階で終わっており、エネルギー面での自立性の実証がなされておらず、引き続き研究開発が行われる見通しが立っていない。

(1) 成果の実用化可能性

A-IGCC、A-IGFCともに、高温ガスタービンやSOFC技術開発の進捗にも依存されるため、早期事業化のためには既存技術を周辺技術として活用することを前提とした高効率化システム構築の可否とその技術課題抽出が望まれる。また、長期的なマイルストーンについては今後の社会情勢に依存して未知数的な部分も多く、詳細なイメージを描くことは困難かもしれないが、

次のフェーズへの展開についてはもう少し具体性の高い計画を描いておくことが必要である。

(2)波及効果

ガス化触媒に関しては回収再利用が困難と考えられ、大型設備への展開の可能性について経済性および資源循環の観点から疑問がある。全体システムで水蒸気ガス化速度が律速となり、ガス化率向上を図るためには装置の大型化が予測される。このことから、ガス化炉へ若干の酸素導入を含めたフレキシブルな対応が今後は望まれる。

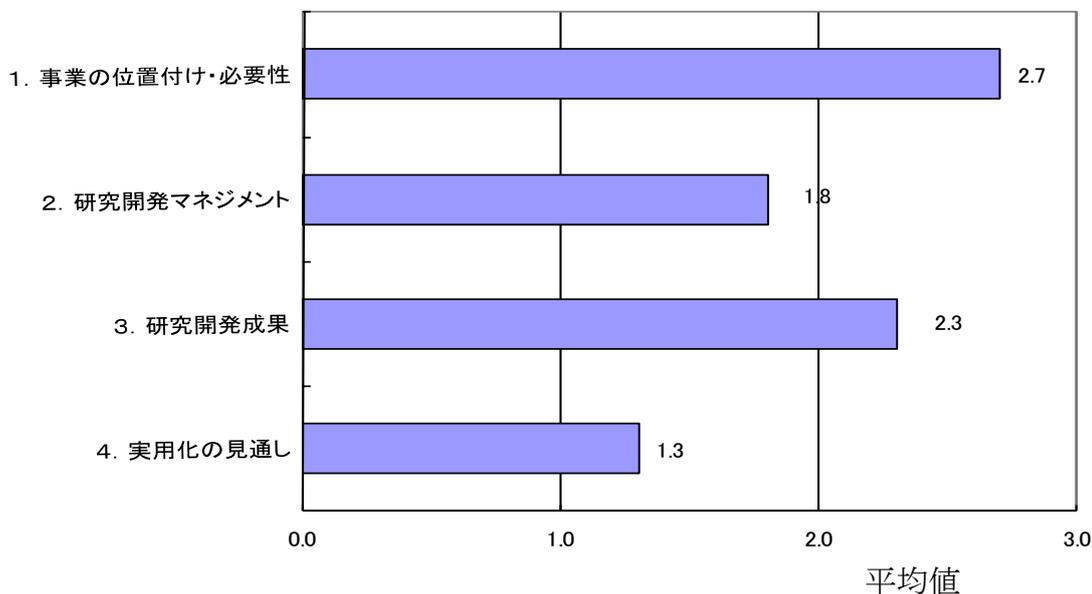
基盤研究が中心となるため、産業界のメンバーが長期的に関わり、普及促進を産官学連携で行えると、波及効果がさらに広がったと思われる。中間審査までで、産側の担当者が交代し、その実績を引き継ぐ産側担当者の不在が惜しまれる。

その他の意見)

- 本事業のテーマである低温ガス化技術の実用化に向けて、次フェーズ以降に展開すべき開発ステップの定性的、定量的な検討をしておいてほしい。併せて、低温ガス化技術を用いた高効率石炭火力発電システム構成上の他の技術（ガス精製、ガスタービン、燃料電池 等々）について、単に開発状況、動向を見極めることではなく、目指す発電システムの実用化可能性向上のため、ガス化炉側からのニーズや要求仕様を積極的に発信し、開発を誘引することも考慮されたい。
また、目指す発電システムが高効率石炭火力発電技術の体系の中でどう位置付けされるものかを整理して、実用化効果を示すようにしてほしい。
- 基盤研究のプロジェクトに産業界を継続的に参加してもらえる仕組みは必要と思われる。そのためには、当該プロジェクトの実施前からお金がなくても自己資金等で、ある程度、共同研究を実施しているグループでの共同提案などを採択時の条件にすることも肝要ではないかと思われる。

3. 評点結果

3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	B	B	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	B	B	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	1.8	B	B	B	C	B	B
3. 研究開発成果について	2.3	B	B	B	B	A	A
4. 実用化の見通しについて	1.3	C	C	D	B	B	B

(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. 事業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/
次世代高効率石炭ガス化技術開発」

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.....	i
プロジェクト用語集.....	v
I. 事業の位置付け・必要性について.....	1
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.....	6
1. 事業の目標.....	6
2. 事業の計画内容.....	7
2.1 研究開発の内容.....	7
2.2 研究開発の実施体制.....	9
2.3 研究開発の運営管理.....	10
3. 情勢変化への対応.....	11
4. 中間評価結果への対応.....	11
5. 評価に関する事項.....	14
III. 事業全体の成果.....	15
1. 事業全体の成果.....	15
2. 研究開発項目毎の成果.....	17
IV. 実用化の見通し.....	44
1. 実用化の見通し.....	44
2. 実用化までのシナリオ.....	44
3. 波及効果.....	45
V. 成果普及について.....	46

(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 24 年 9 月 13 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	P 0 7 0 2 1
担当推進部 / 担当者	環境部 / 在間主幹、正木主査		
0. 事業の概要	<p>石炭は、石炭火力発電を中心に、今後とも世界的に需要が拡大し、世界の一次エネルギーに占める割合が高くなると見込まれている。我が国でも一次エネルギー総供給量に占める石炭の割合および発電量に占める石炭火力の割合は 20%以上であり、石油に次いで大きな割合を占め、石炭は重要な基幹エネルギーとなっている。</p> <p>一方、その単位エネルギー当たりの二酸化炭素 (CO2) 排出量が他の化石燃料よりも高いことから、我が国が経済成長を図りつつ 2050 年に向けた CO2 の大幅削減目標を実現するためには、3E(供給安定性、経済性、環境適合性) の同時達成が可能となる革新的な技術開発が求められている。</p> <p>このような状況の下、我が国の環境調和型エネルギー技術開発は CO2 排出低減に向け、高効率な石炭火力発電技術の開発を推進していく必要がある。</p> <p>世界をリードする次世代の CCT の開発のために、中核となるガス化技術の戦略的開発を目的として、「次世代高効率石炭ガス化技術開発」については、現在開発中の IGCC(石炭ガス化複合発電)、IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電システム)を効率で凌ぐ高効率石炭ガス化技術の開発を目的として、ガス化効率の向上のため、低温ガス化、触媒ガス化などの技術開発を行った。</p>		
I. 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高効率な石炭利用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ガス化技術分野において、革新的な効率向上が期待される技術、あるいはエネルギー・セキュリティに寄与する技術について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施した。</p>		

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<ul style="list-style-type: none"> 目標値 : ガス化温度 900℃以下のガス化プロセスの原理検証 上記プロセスを適用した発電プラント概略仕様の策定 設定根拠 : 発電効率 65%以上 (送電端/燃料電池との組合せ) を成立させるための石炭ガス化条件であり、また発電プラントとしての実用化イメージを明確にする。 																																																																																																	
事業の計画内容	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #e0f0e0;">開発項目</th> <th style="background-color: #e0f0e0;">H19</th> <th style="background-color: #e0f0e0;">H20</th> <th style="background-color: #e0f0e0;">H21</th> <th style="background-color: #e0f0e0;">H22</th> <th style="background-color: #e0f0e0;">H23</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 低温ガス化</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1-1 水蒸気ガス化及びチャーの燃焼の基礎研究</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">→</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1-2 常圧ホットモデルによる熱分解炉の検討</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">→</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2. 触媒ガス化</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2-1 触媒ガス化の基礎特性及び実用的触媒探索</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">→</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2-2 ケミカルループを用いたCaの触媒的利用ガス化技術</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">→</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3. 炉内流動解析</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3-1 コールドモデルによる高濃度粒子循環システムの開発</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">→</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3-2 高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">→</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. システム解析</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4-1 効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">→</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4-2 発電プラントに係る概略仕様の検討</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">→</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							開発項目	H19	H20	H21	H22	H23		1. 低温ガス化							1-1 水蒸気ガス化及びチャーの燃焼の基礎研究	→						1-2 常圧ホットモデルによる熱分解炉の検討			→				2. 触媒ガス化							2-1 触媒ガス化の基礎特性及び実用的触媒探索	→						2-2 ケミカルループを用いたCaの触媒的利用ガス化技術	→						3. 炉内流動解析							3-1 コールドモデルによる高濃度粒子循環システムの開発	→						3-2 高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション	→						4. システム解析							4-1 効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討	→						4-2 発電プラントに係る概略仕様の検討				→		
開発項目	H19	H20	H21	H22	H23																																																																																													
1. 低温ガス化																																																																																																		
1-1 水蒸気ガス化及びチャーの燃焼の基礎研究	→																																																																																																	
1-2 常圧ホットモデルによる熱分解炉の検討			→																																																																																															
2. 触媒ガス化																																																																																																		
2-1 触媒ガス化の基礎特性及び実用的触媒探索	→																																																																																																	
2-2 ケミカルループを用いたCaの触媒的利用ガス化技術	→																																																																																																	
3. 炉内流動解析																																																																																																		
3-1 コールドモデルによる高濃度粒子循環システムの開発	→																																																																																																	
3-2 高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション	→																																																																																																	
4. システム解析																																																																																																		
4-1 効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討	→																																																																																																	
4-2 発電プラントに係る概略仕様の検討				→																																																																																														
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位: 百万円)	会計・勘定	H19 年度	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	合計																																																																																											
	一般会計	0	0	0	0	0	0																																																																																											
	特別会計 (需給)	37	218 補正予算 180 含む	201	127	127	720																																																																																											
	予算額	37	218	201	127	127	720																																																																																											
開発体制	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">経産省担当原課</td> <td colspan="6">資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課</td> </tr> <tr> <td>プロジェクトリーダー</td> <td colspan="6">九州大学 先導物質化学研究所、林 潤一郎 教授</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">委託先</td> <td colspan="6">H19～H21 年度まで</td> </tr> <tr> <td colspan="6"> <ul style="list-style-type: none"> ・ (株) IHI (H19-H21) 再委託: 東京大学、大阪大学、九州大学、北海道大学 (H20 まで) ・ (一財) 石炭エネルギーセンター 再委託: 東北大学、群馬大学、九州大学 ・ (独) 産業技術総合研究所 </td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="6">H22～H23 年度</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="6"> <ul style="list-style-type: none"> ・ 三菱重工業 (株) (H22-H23) ・ (一財) 石炭エネルギーセンター 再委託: 秋田大学、群馬大学、九州大学 ・ (独) 産業技術総合研究所 ・ (国) 東京大学、(国) 大阪大学、(国) 九州大学 再委託: (国) 弘前大学 </td> </tr> </table>							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	九州大学 先導物質化学研究所、林 潤一郎 教授						委託先	H19～H21 年度まで						<ul style="list-style-type: none"> ・ (株) IHI (H19-H21) 再委託: 東京大学、大阪大学、九州大学、北海道大学 (H20 まで) ・ (一財) 石炭エネルギーセンター 再委託: 東北大学、群馬大学、九州大学 ・ (独) 産業技術総合研究所 							H22～H23 年度							<ul style="list-style-type: none"> ・ 三菱重工業 (株) (H22-H23) ・ (一財) 石炭エネルギーセンター 再委託: 秋田大学、群馬大学、九州大学 ・ (独) 産業技術総合研究所 ・ (国) 東京大学、(国) 大阪大学、(国) 九州大学 再委託: (国) 弘前大学 																																																							
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	九州大学 先導物質化学研究所、林 潤一郎 教授																																																																																																	
委託先	H19～H21 年度まで																																																																																																	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ (株) IHI (H19-H21) 再委託: 東京大学、大阪大学、九州大学、北海道大学 (H20 まで) ・ (一財) 石炭エネルギーセンター 再委託: 東北大学、群馬大学、九州大学 ・ (独) 産業技術総合研究所 																																																																																																	
	H22～H23 年度																																																																																																	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 三菱重工業 (株) (H22-H23) ・ (一財) 石炭エネルギーセンター 再委託: 秋田大学、群馬大学、九州大学 ・ (独) 産業技術総合研究所 ・ (国) 東京大学、(国) 大阪大学、(国) 九州大学 再委託: (国) 弘前大学 																																																																																																	

情勢変化への対応	(1) 「Cool Earth –エネルギー革新技術計画」の策定 「世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して 2050 年までに半減する」という長期目標が提案された。					
III. 研究開発成果について	開発項目	中間目標 (平成 20 年度末)	最終目標	成果	最終目標 に対する 達成状況	
	低温ガス化	ガス化温度 900℃ 以下の低温ガス化 炉の選定	ガス化温度 900℃以下の低温 ガス化炉開発	循環流動層+熱分解分離型ガス化炉を選 定し、ラボスケール試験によりガス化効 率の向上効果を確認した。	○	
	触媒ガス化	850℃における触媒 水蒸気ガス化プロ セスの構築	750℃触媒水蒸気 ガス化プロセス の構築	4 種の触媒において 750℃以下での高活 性特性を確認し、触媒とケミカルルーピ ング低温ガス化プロセスの構成と条件を 確立した。	○	
	炉内流動解析	循環流動層フラッ クス 200 kg/m ² ・s 条件の達成、シ ミュレーション技 術検討	循環流動層粒子 フラックスを 350 kg/ m ² ・s 達 成装置の構築	コールドモデル試験により、フラックス 546kg/(m ² ・s)を達成した	○	
	システム検討	ガス化温度 900℃ 以下のガス化シ ステムの選定	ガス化温度 900℃以下のガス 化システム開発	褐炭を用いた方が高効率を得られやす い。送電端効率 65%にするには A-IGFC だけでなく、ガス化炉におけるエクセ ルギー再生が必要。	○	
	発表論文	「査読付き」64, 「その他」解説 7, 国際学会発表 80、国内学会発表 117				
	特許	3				
IV. 実用化の見通しについて	<p>本技術は、新しい概念に基づく次世代高効率石炭ガス化発電システムの開発であり、主要課題である低温ガス化炉については、本プロジェクトにおいて平成 19 年度から 5 ヶ年計画で実用化に向けた要素技術の確立とシステムの最適化設計を実施し、ガス化炉の大型化については技術開発の進捗に合わせて見極めを行った後、次のステップに移行する。</p> <p>ガス化炉の開発と並行してシステム解析を行い、新規石炭ガス化発電システムを構築するための周辺技術を含めてその最適化を行う。その結果と、ガス化炉以外の主要構成要素であるガスタービン、燃料電池、その他周辺技術の技術開発状況を総合的に勘案して実用化を図る。</p>					
V. 評価に関する事項	事前評価	平成 19 年度実施 担当部 環境技術開発部				
	中間評価以降	平成 21 年度 中間評価実施 平成 23 年度 事業終了後、事後評価実施予定				

VI. 基本計画に関する項	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①及び②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①の研究開発の具体的内容に(3)を追加。合わせて、達成目標を設定。</p> <p>平成22年3月：基本計画をゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトとして新たに制定。</p> <p>平成22年5月：事業項目②ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発 研究開発項目(2)「次世代高効率石炭ガス化技術開発」について、2. 事業の具体的内容に(5)を追加。また、3. 達成目標の表現を一部変更。</p> <p>平成23年1月：2. 事業の実施方式 (1)事業の実施体制 に研究開発責任者(PL)の氏名を記載。また、事業進捗を反映し、4. 評価に関する事項 の評価時期を一部見直し。</p> <p>平成23年1月：事業進捗を反映し、4. 評価に関する事項を一部見直し。</p>

プロジェクト用語集

A-IGCC	<u>A</u> dvanced- <u>I</u> GCC の略称で、この研究開発で目指す IGCC にガス化炉でのエクセルギー再生を組み込んだ次世代型の IGCC
A-IGFC	<u>A</u> dvanced- <u>I</u> GFC の略称で、この研究開発で目指す IGFC にガス化炉でのエクセルギー再生を組み込んだ次世代型の IGFC
A-USC	<u>A</u> dvanced- <u>U</u> ltra <u>S</u> uper <u>C</u> ritical の略称で、超々臨界圧火力発電よりも更に高い蒸気温度を採用した蒸気火力発電システム。
BSU	<u>B</u> ench- <u>s</u> cale <u>u</u> nit、ベンチスケールユニットの略。実証プラントの前の段階として、プロセス開発やサンプル試作のために使用される実験プラント。多くの場合、連続操作がおこなわれる。
CWP	<u>C</u> oal <u>W</u> ater <u>P</u> aste の略称で、石炭、水、脱硫剤および石灰石を混合した燃料であり、加圧流動床ボイラ (PFBC) の燃料としてしようされている。
DI	<u>D</u> rum <u>I</u> ndex、ドラム指数の略で、JIS が規定するコークスの機械的強度指標である。コークスを回転ドラム内で振とうして所定の衝撃を与えた時の微粉の発生しにくさで強度を表す。
DSS	<u>D</u> aily <u>S</u> tart <u>S</u> top の略。発電所などでの運用方法であり起動停止を毎日行う運用方法。
FOB	<u>F</u> ree <u>o</u> n <u>B</u> oard の略で、本船積み込み渡し条件 (の価格) と訳される。積み出し港から買主までの運賃や保険料は含まれていない。
GT	<u>G</u> as <u>T</u> urbine の略称で、燃焼により発生した高温のガスでタービンを回して動力を得る原動機の一つ。
HGI	<u>H</u> ardgrove <u>G</u> rindability <u>I</u> ndex の略称で、石炭の粉碎性を示す数値。粉碎性 100 として選んだ標準石炭と比較した相対値を示す。指数が高いほど粉碎され易い。
IGCC	<u>I</u> ntegrated <u>G</u> asification <u>C</u> ombined <u>C</u> ycle の略称で、石炭をガス化して発生したガスをガスタービン燃料とする複合発電形式の高効率発電システム。
IGFC	<u>I</u> ntegrated <u>G</u> asification <u>F</u> uel <u>C</u> ell combined cycle の略称で、IGCC に燃料電池を付加した更なる高効率発電システム。
LNG C/C	<u>L</u> iquefied <u>N</u> atural <u>G</u> as <u>C</u> ombined <u>C</u> ycle の略称で、液化天然ガスを利用したガスタービン複合発電システム。
NO _x	<u>N</u> itrogen <u>O</u> xides の略称で、窒素酸化物を示す。
OF	<u>O</u> ver <u>F</u> low、オーバーフローの略。本研究では、沈降槽上部にある上澄み液の領域から排出されるハイパーコール溶液の流れを指す。
PC	<u>P</u> ulverised <u>C</u> oal の略称で、微粉碎した石炭 (微粉炭) を指す。
PCF	<u>P</u> ulverised <u>C</u> oal <u>F</u> iring の略称で、微粉炭燃焼を指す。
PFBC	<u>P</u> ressurized <u>F</u> luidized <u>B</u> ed <u>C</u> ombustion の略称で、加圧流動床燃焼を指す。

S-IGFC	Super-IGFC の略称。本技術開発で提案する、燃料電池 (FC) の廃熱を直接ガス化炉へ熱交換により供給する形式の IGFC。
WSS	Weekly Start Stop の略。発電所などでの運用方法で週毎に起動停止をを行う運用方法。
エクセルギー	Exergy、エネルギーのうち仕事に変換可能な有効エネルギー
エクセルギー再生	Exergy recuperation, 正確にはエクセルギー率の再生。仕事をしてエクセルギー率の低くなった熱エネルギーを、吸熱化学反応等を利用してエクセルギー率の高い、化学エネルギーに変換するようなことを指す。この過程でエネルギーは保存されるが、エネルギーの質は向上する。
循環流動層	流動層でガス速度が比較的大きくなると、粒子の飛び出しが大きくなるため、外部に粒子の捕集機構を設けて粒子をガスから分離し、再び装置に循環させることにより、装置内に濃厚な流動層を維持する装置形式。
フローインジェクション	試料の定量、定性分析を行う際に、一定量の液体サンプルを液体が連続して流れる中へ注入することで、均等に微量の試料を導入する方法である。
噴流床ガス化	ガス流速が比較的大きく、固体粒子がガスの流れにお同伴されガス化反応が進行する装置形式。ガス化炉に適用した場合、高温ガス化に適している。噴流床ガス化装置では、石炭灰は熔融してスラグとなる。
ライトサイクルオイル (LCO)	石油精製過程の流動接触分解 (FCC) または残油流動接触分解 (RFCC) において副生する軽質軽油を指す。2 環の芳香族を主成分とする。
流動層	上向きのガス流れの中で固体粒子が比較的濃厚な粒子層 (流動層) を形成する気-固接触の装置形式。
流動層ガス化	ガスの流れの中で固体粒子が比較的濃厚な粒子層 (流動層) を形成する状態でガス化が進行する装置形式。ガス化炉に適用した場合、高温では粒子が熔融し大粒子を形成し流動層を維持できなくなるため不適で、必然的に低温ガス化となる。固体粒子の滞留時間が長いのが特徴。
冷ガス効率	ガス化原料が保有していた化学エネルギーに対する生成ガスの化学エネルギーの割合を指す。エネルギーのリサイクルがない通常のガス化炉では冷ガス効率は70~75%程度となる。本技術開発では、ガス化炉へのエネルギーのリサイクルがあるため、見かけ上生成ガスの保有エネルギーが供給石炭の保有エネルギーより大きくなる。

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

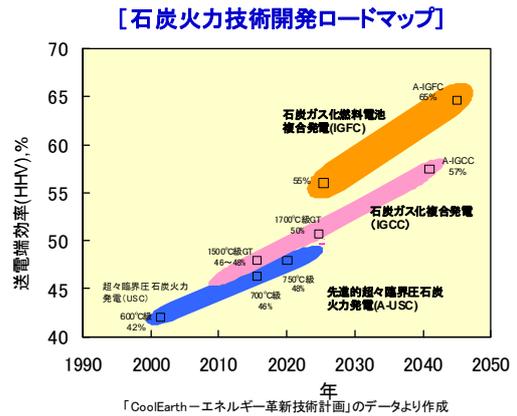
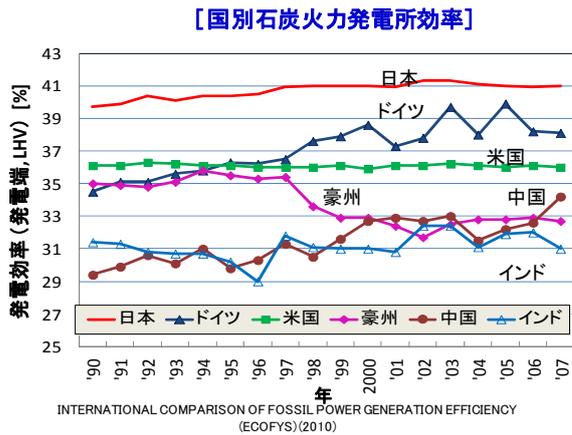
エネルギーイノベーションプログラムは、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、その有効かつクリーンな利用を図ることを目的としている。また、石炭を環境に配慮して効率的に利用する技術である Clean Coal Technology (CCT)は、2006年5月の「新・国家エネルギー戦略」において重要項目として位置付けられている。

現在、世界をリードしている我が国の高効率な石炭利用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・セキュリティー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ガス化技術分野において、革新的な効率向上が期待される技術、あるいはエネルギー・セキュリティーに寄与する技術について、海外との競争力強化を念頭に基礎的な技術開発を加速・推進するとともに、本格的なプロジェクト研究につながる技術シーズを発掘することを目的として実施した。

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ですが、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、高効率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。



○世界をリードする日本の高効率石炭利用技術の優位性を保つ
 ○次世代の高効率技術の基盤となる技術シーズを発掘

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

図 I-1.1 CCT 推進の目的と技術背景

次世代高効率石炭ガス化技術

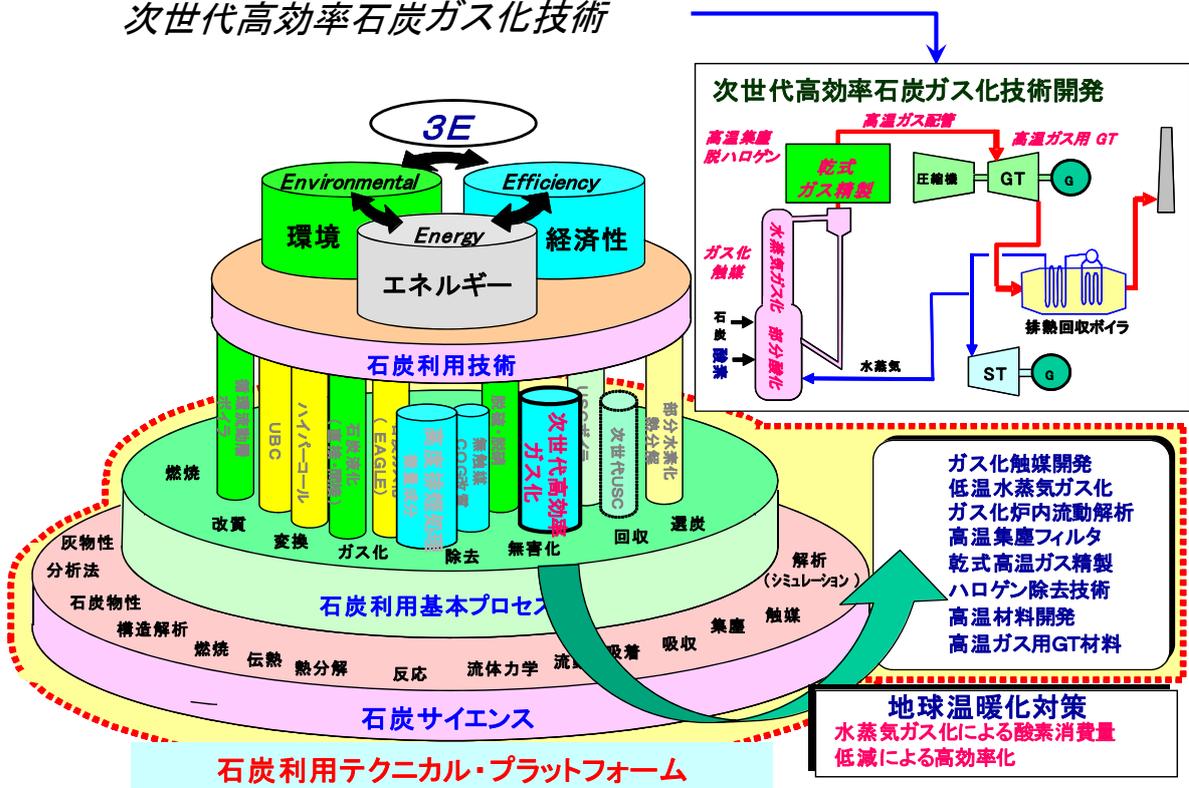


図 I-1.2 本プロジェクトの CCT 中の位置付け

1.2 実施の効果（費用対効果）

本事業は2040年以後に実用化を目指す次世代高効率石炭ガス化技術開発の初期段階であり、主に反応の確認や適用反応器形式の選定などの基盤技術の成果を得た。

本事業の遂行により、石炭の低温ガス化及び触媒ガス化反応速度が分かり、本技術に適する低温ガス化反応装置として熱媒体循環型の流動層タイプであることも分かった。これに基づいて小型装置のガス化試験や、コールドモデルによる流動解析を実施した。また、最適発電システムの検討(発電効率：A-IGCC 57%, A-IGFC 65%)の結果から判断し、現在の日本における石炭火力発電の平均発電効率は約40%（送電端、HHV）であるが、仮に将来、これら全ての石炭火力発電所のうち20%が高効率なA-IGCC/A-IGFC（送電端効率：57%/65%）にリプレースすると想定すると、2040年までに運開35年以上を経過する石油・石炭火力の設備容量は約50GWであり、リプレース需要は10GW（60万kWプラント約17基分）となる。またその実施の効果としては石炭消費量にして500万トン～700万トン、CO₂排出量にして0.13～0.18億トンの削減が期待できる。

石炭価格は他の化石エネルギーよりかなり安いことが予測され、とくに本技術は低品位褐炭も利用できるため、2040年以後において低価格で発電できると推測する。

⑤「化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用」 に寄与する技術の技術ロードマップ(7/13)

【抜粋】

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
5613H	石炭ガス化複合発電 (IGCC)	送電端効率 41%HHV(250 MW実証機)	46%HHV(1500℃級GT・湿式ガス精製)	48%HHV(1500℃級GT・乾式ガス精製)	50%HHV(1700℃級GT・乾式ガス精製)	57%HHV(A-IGCC)
		空気吹き石炭ガス化技術 多炭種対応技術 高効率酸素製造技術	乾式ガスクリーニング技術	低温高効率石炭ガス化技術 IGHAT 高温ガスタービン技術(1700℃級)		
5614H	石炭ガス化燃料電池 複合発電(IGFC)	プラント規模/送電端効率 実証機(1000 t/d級)	65%HHV(A-IGFC)	商用機(600 MW級/送電端効率55%HHV)		
		多炭種対応技術	酸素吹き石炭ガス化技術 乾式ガスクリーニング技術 精密ガスクリーニング技術 高温ガスタービン技術 高効率酸素製造技術	大容量高温形燃料電池		

図 I-1.3 技術戦略マップにおける位置付け

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高効率な石炭利用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・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、「次世代高効率石炭ガス化技術開発」について、現在開発中の IGCC(石炭ガス化複合発電)、IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電システム)を効率で凌ぐ、更なる高効率を目指した、石炭ガス化技術の開発を目的とする、低温ガス化、触媒ガス化などの技術開発をする。またそれによって我が国の高効率な石炭利用技術における世界トップの地位を維持する。

石炭は、可採埋蔵量が豊富でしかも世界中に広く分布すること、また価格が安価で安定していることから、世界の一次エネルギーの 27%を占めている。しかしながら、地球温暖化の観点から、石炭利用に際して発生する CO₂ をできるだけ少なくすることが求められている。排出する CO₂ を回収・隔離する技術も検討されているが、石炭利用システムをできるだけ高効率化することも重要であり、その方策を追求することは大いに意義がある。現在、高効率の石炭発電技術として、石炭ガス化複合サイクル発電 (IGCC) や石炭ガス化燃料電池複合サイクル発電 (IGFC) の開発が行われているが、石炭の一部を燃やして高温(約 1600°C)で石炭をガス化するとともに石炭灰を熔融・排出するため、酸素を多く使用する他、熱損失が大きい。今後、我が国では IGCC、IGFC が商業化されて、石炭利用の高効率化、CO₂ 貯留が実現することが予測されるが、2050 年の CO₂ 排出削減 50%の実現と資源供給制約の克服には一層の高効率化が必要であり、我が国のエネルギー環境技術分野において指導性を発揮するにはさらなる高効率な石炭利用技術の基盤を構築することが要請される。

一方、褐炭や亜瀝青炭は石炭資源の約 1/2 を占めるがその利用は限定的である。上質な瀝青炭が逼迫していく中、今後、これら低品位炭のエネルギー源としての位置付けが高まると予想されるほか、我が国のエネルギー安全保障や海外進出企業のエネルギー確保の観点から、その利用技術の開発は非常に重要である。そこで、本研究開発では、未利用石炭(褐炭、亜瀝青炭)等高水分・難粉碎性の燃料にも対応可能な高効率発電プロセスの開発に当たっての要素技術を開発することを目的とした。

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

平成16～18年度:次世代高効率石炭ガス化発電プロセスの開発に関する調査

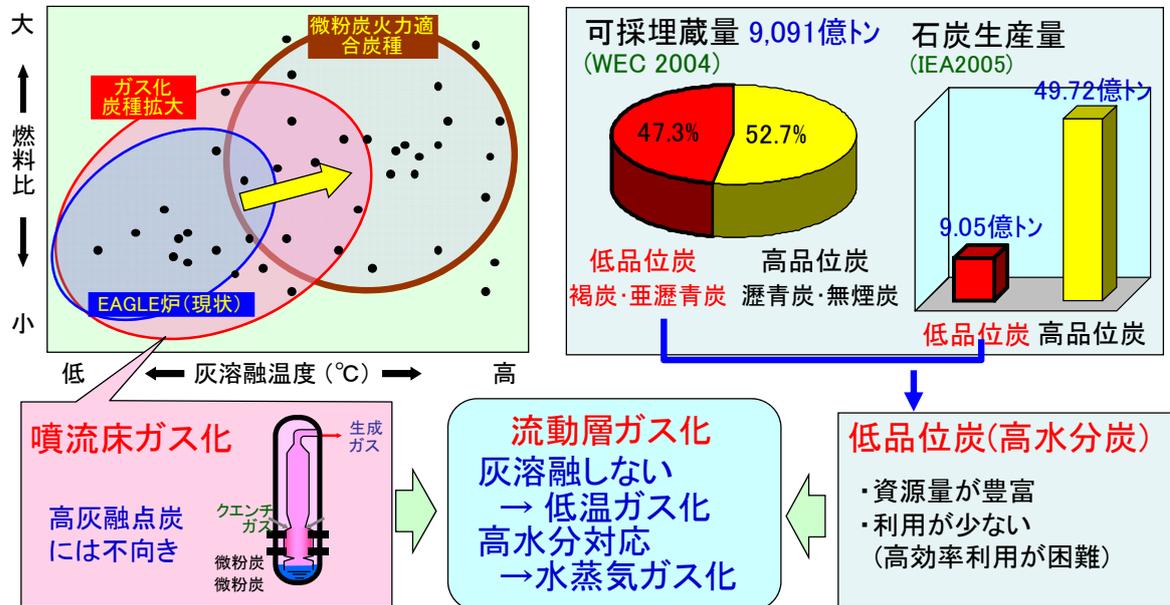


図 I -2.1 研究開発目標

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

石炭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、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。

海外での石炭火力ガス化技術は、塊炭を空気や酸素でガス化する固定床方式や粉炭・粒炭をガス化する流動床方式から、ガス化効率の高い微粉炭をガス化する噴流床方式へ移行しており、米国、オランダ、スペイン等で技術開発が進んでいる。また中国の GreenGen プロジェクトのように技術開発が推進されている。これまで微粉炭火力発電では高効率な石炭利用技術における世界トップの地位を維持してきたが、石炭ガス化分野においても、我が国の高効率な石炭利用技術における世界トップの地位を維持する。

そこで、研究開発目標を次のように設定した。

[中間目標（平成 20 年度）]

- ・目標値：ガス化温度 900℃以下のガス化プロセスの選定
- ・設定根拠：ガス化温度 900℃以下のガス化プロセスの開発に向けたプロセス選定

[最終目標（平成 23 年度）]

当初の最終目標（平成 23 年度）

- ・目標値：ガス化温度 900℃以下のガス化プロセスの開発
- ・設定根拠：発電効率 65%以上（送電端）を成立させるための石炭ガス化条件
中間評価以降、見直した最終目標（平成 23 年度）

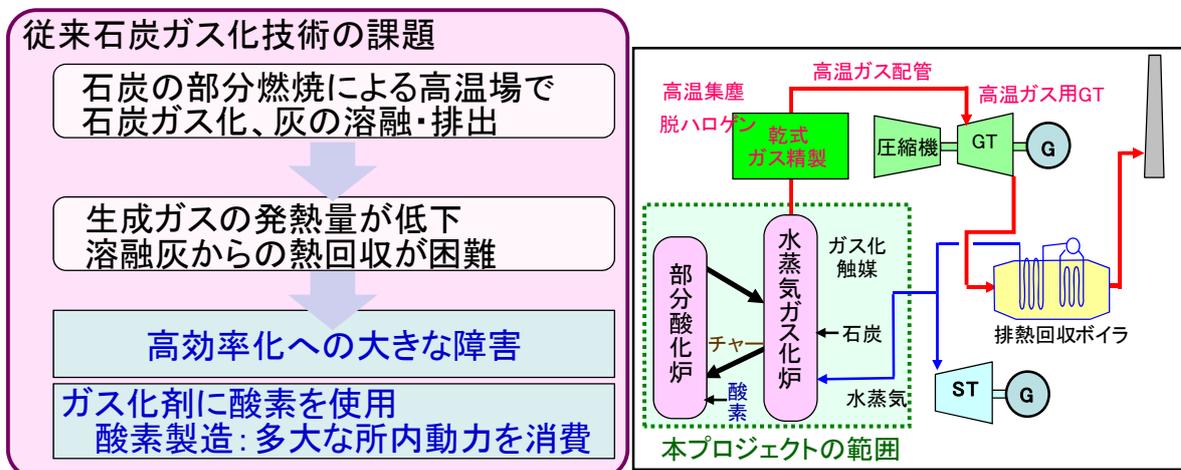
- ・目標値：ガス化温度 900℃以下のガス化プロセスの原理検証
上記プロセスを適用した発電プラント概略仕様の策定
- ・設定根拠：発電効率 65%以上（送電端/燃料電池との組合せ）を成立させるための石炭ガス化条件であり、また発電プラントとしての実用化イメージを明確にする。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

現在の噴流床ガス化技術では、石炭の一部を燃焼して形成した高温場で石炭をガス化するとともに石炭灰を溶融・排出している。このため生成したガスの発熱量が低下するだけでなく、溶融灰からの熱回収も容易でないことから、高効率化への大きな壁となっていた。

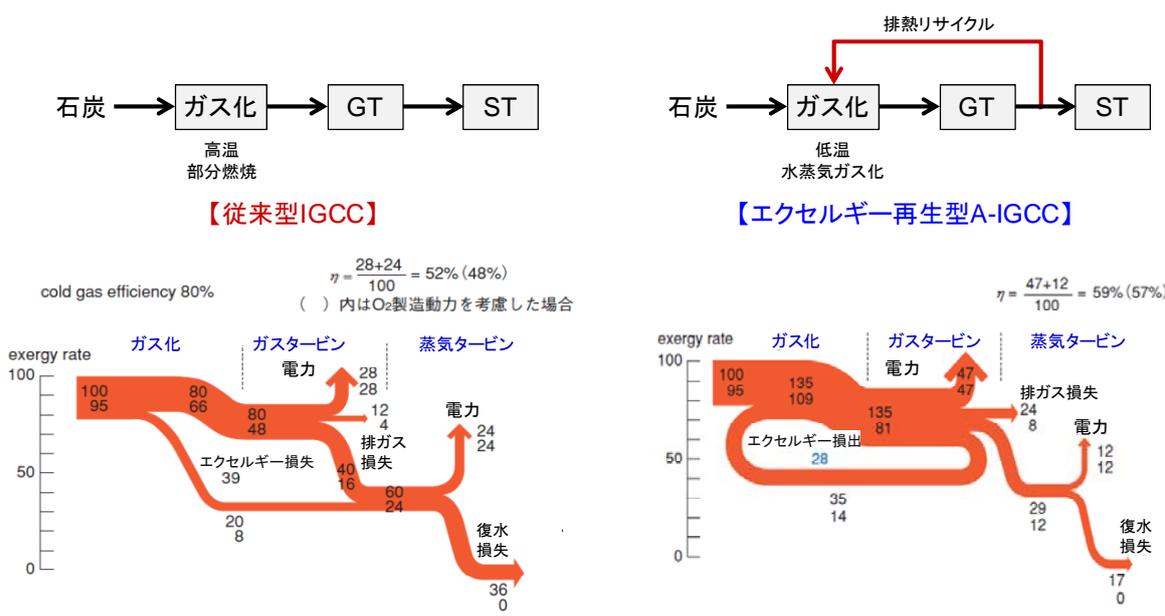
さらに、高温場の形成を容易にし、生成ガスの発熱量を確保するためにガス化剤に酸素を用いることが多く、酸素製造により多大な所内動力を消費するために、送電端の効率低下が免れなかった。そこで、高効率が得られる、排熱リサイクルによるエクセルギー再生型 IGCC を開発するため、低温水蒸気ガス化や触媒ガス化などの新たなガス化プロセスへ向けて次の要素技術開発を行った。



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

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

図 II-2.1 研究開発内容の概要



図Ⅱ-2.2 従来型 IGCC との比較

表Ⅱ-2.1 研究開発項目及び研究開発スケジュール

開発項目	H19	H20	H21	H22	H23
1. 低温ガス化					
1-1 水蒸気ガス化及びチャーの燃焼の基礎研究	→				
1-2 常圧ホットモデルによる熱分解炉の検討			→		
2. 触媒ガス化					
2-1 触媒ガス化の基礎特性及び実用的触媒探索	→				
2-2 ケミカルループを用いたCaの触媒的利用ガス化技術	→				
3. 炉内流動解析					
3-1 コールドモデルによる高濃度粒子循環システムの開発	→				
3-2 高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション	→				
4. システム解析					
4-1 効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討	→				
4-2 発電プラントに係る概略仕様書の検討				→	
開発予算(百万円)	37	218 補正予算 180含む	201	127	127

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、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した。

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。

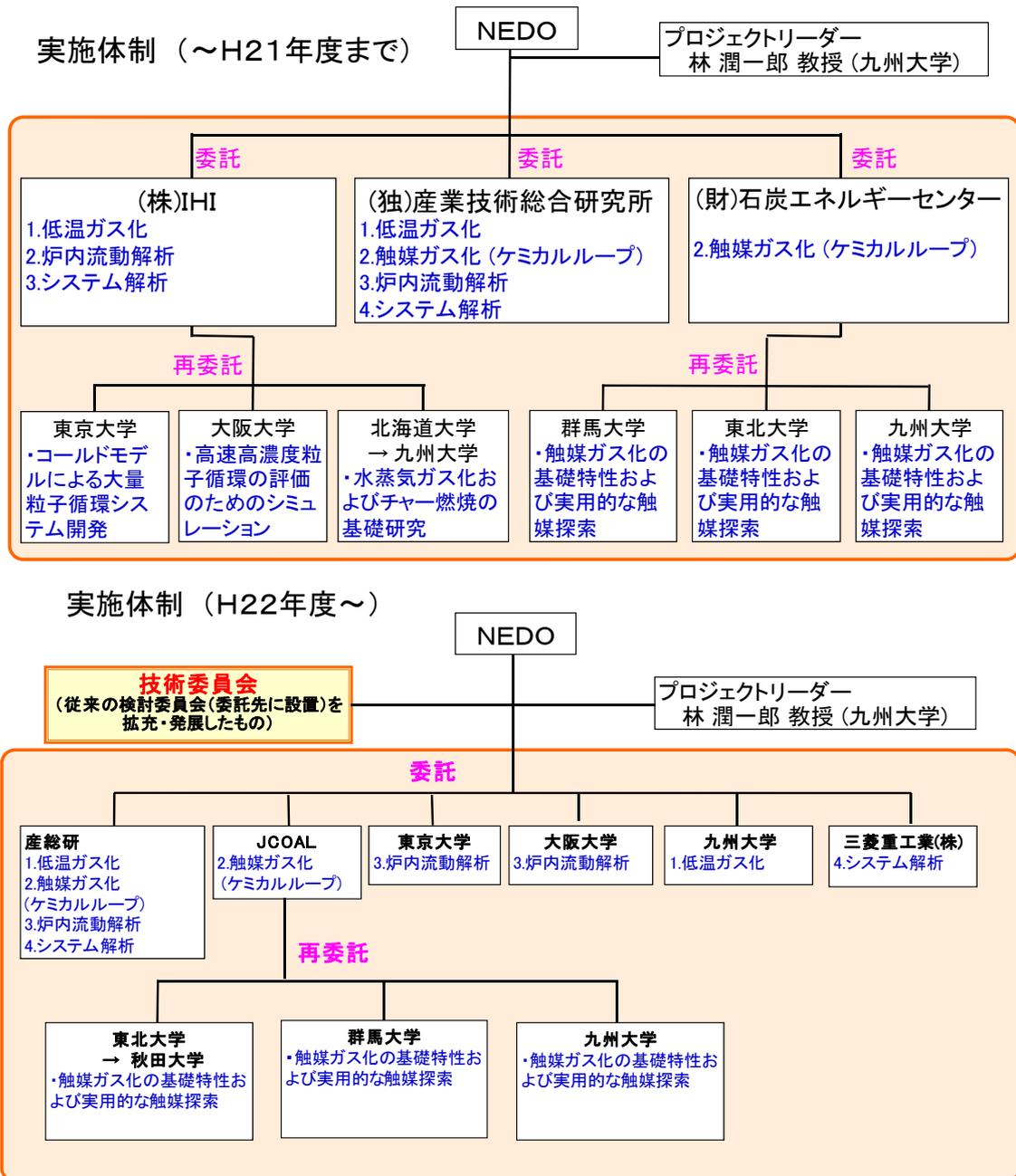


図 II-2.2 実施体制図

表 II-2.1 各テーマ目標

項目		最終目標 (H23)	中間目標 (H20)	目標設定の根拠
低温ガス化	当初	ガス化温度900°C以下のガス化プロセス用の低温ガス化炉の開発	ガス化温度900°C以下のガス化プロセスの開発に向けた低温ガス化炉の選定	発電効率A-IGCC 57%、A-IGFC 65% (送電端)を成立させるための石炭ガス化条件
	中間評価以降	ガス化温度900°C以下のガス化プロセス用の低温ガス化炉の原理検証		発電効率65%以上(送電端/燃料電池との組合せ)を成立させるための石炭ガス化条件
炉内流動解析		循環流動層ライザーの粒子フラックスを350 kg/m ² /s以上で調整できる装置を構築する。	コールドモデルで循環流動層ライザーの粒子フラックス200 kg/m ² /sを実現する。またシミュレーション技術等を併用しガス化システム内各プロセスの最適化を図る。	ガス化温度を900°Cよりさらに低い温度にした場合、同じ発電効率(65%以上、送電端/燃料電池との組合せ)を維持するためにはより大量に粒子媒体を循環させる必要があるため
触媒ガス化		ガス化温度750°Cにおける触媒水蒸気ガス化、プロセスの構築	ガス化温度850°Cにおける触媒水蒸気ガス化プロセスの構築	発電効率70%以上を実現する低温触媒ガス化プロセス
システム検討	当初	ガス化温度900°C以下のガス化プロセス用のシステムの開発	ガス化温度900°C以下のガス化プロセスの開発に向けたシステムの選定	発電効率A-IGCC 57%、A-IGFC 65% (送電端)を成立させるための石炭ガス化条件
	中間評価以降	ガス化温度900°C以下のガス化プロセス用のシステムの構築		発電効率65%以上(送電端/燃料電池との組合せ)を成立させるための石炭ガス化条件

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。

【技術委員会】(2回/年)

第三者で構成され、NEDOとともに研究の方向、計画、成果を審議することで、現状の課題に対する解決の道筋を立て、より実用化見通しを明らかにする。

委員長: 持田 勲 特命教授(九州大)
 委員: 三浦 孝一 教授(京都大)
 岡崎 健 教授(東工大)
 守富 寛 教授(岐阜大)
 梅景 俊彦 教授(九州工大)
 金子 祥三 特任教授(東京大)
 後藤 秀樹 所長(Jパワー)
 犬丸 淳 領域リーダー(電中研)

※平成21年度までは委託先設置の検討委員会を開催していたが、中間評価を反映し、平成22年度からNEDOの委員会として設置



研究の方向、計画、成果

【ワーキンググループ会議】(3~5回程度/年)

実施者及びNEDOによる研究開発成果、進捗状況の討議、確認
 (委託先内にプロジェクトマネージャを設置: 産総研)

図 II-2.3 研究開発の運営管理体制

3. 情勢変化への対応

(1) 「Cool Earth –エネルギー革新技术計画」の策定

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

この目標の実現は、従来の技術の延長では困難であり、革新的技術の開発が不可欠。

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

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

【対応内容】研究加速費用配賦（平成 20 年度補正予算）

- ・低温ガス化：小型循環流動層ガス化試験装置の改造
- ・流動解析：コールドモデル循環流動試験設備の設置

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>

研究開発の初期段階であり、技術的見通しは今後の研究の成否に掛っているが、中間目標は達成している。一方、中間目標から最終目標までのハードルは数も多く、かつ高いと考えられるため、最終目標の達成を見通すことはできない。今後は、石炭の無触媒／触媒ガス化反応性に関する過去の膨大なデータのさらなる活用、燃料輸送費を含めた経済性の試算・評価、ガス化触媒の挙動研究、タール処理の代替方式、本テーマが実証規模で実用化可能かの Feasibility study (FS) 等を含めた多面的な検討を定量的に実施して頂きたい。

なお、本プロジェクトにより、どこが従来の触媒ガス化プロセスを超えた新しい技術や知見が得られたのかの明確な提示を望む。また、フェーズ I 終了時において、世界に対して本技術の実用化イメージを発信できるように解決すべき課題を整理して頂きたい。

<肯定的意見>

○非常にスケールが大きく、また息の長いプログラムであり、ある意味では我が国の石炭関連の研究者や技術者が総力を挙げて取り組むプロジェクトとも言える。フェーズ 1 の原理実証では要素試験が主であるので、これらの成果から実用化の可能性について論じることは難しい面もある。しかしながら、プロジェクト開始 2 年間の成果としては目標値はクリアしているのではないだろうか。論文発表等は満足できるものである。

○中間目標は達成している。ただし、システム選定、基礎データ取得、シミュレーションによる評価といった開発の初期段階であり、技術的見通しは今後の研究の成否に掛っている。

○技術的には世界をリードする内容である。高度のシミュレーションや多くの要素を組み合わせで最適化するシステム化技術など、学術面や研究者養成面での効果も大きい。

○熱分解炉とガス化炉、燃焼炉を分離した新しいガス化システムを考案し、その開発課題と目標が明確にされており、基盤技術開発のひとつとして妥当である。

○石炭火力の発電効率を 65% または 57% 達成するための A-IGFC や A-IGCC のシステムを原理的に目指すチャレンジな研究と評価できる。中間目標に対して、65% の発電効率が得られるシステム計算を実施し、ガス化炉の基本仕様を提案することとすれば、十分達成している。また、現状の気流層ガス化炉では灰融点がかかなり低い石炭に限定されるのに対して、多炭種に対応でき、閉塞のトラブル少ない非スラグ方式のガス化と熱回収を組み合わせたシステム、従来の循環流動層に比べ粒子フラックスが大きな流動層ガス化炉などを開

発のターゲットとしている点では、新規性が高い戦略的研究である。

○現在、1000～2000 t/dの灰溶融気流層ガス化炉方式の実証プラントが稼働しているが、本方式は低融点炭灰の利用が前提である。一方、埋蔵量の多い高融点炭灰に対するドライガス化システムの開発が求められているものの、流動層を中心としたドライガス化プロセスの開発が、現在、ほとんど中断されている。本システムの実用化検討の成果に多くの期待が寄せられている。その成果は新たな技術領域を開拓すると期待される。成果は中間目標値をクリアしていると判断される。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があると評価される。

○現在進行している他のガス化研究開発の不得手な部分をカバーし、かつ高効率化を目標としていることからNEDOとしてのテーマとして評価できる。

<問題点・改善すべき点>

●中間目標は最終目標の達成のために不可欠であることは理解できるが、中間目標から最終目標までのハードルは数も多く、かつ高いと考えられるため、最終目標の達成を見通すことはできなかった。

●実用化が2029年以降の計画である。地球環境上の制約を考えると、2029年実用化では遅きに失する可能性もある。

●アルカリゲッターの導入や同時脱硫も含めたガスクリーニングの検討が必要ではないか。またガス化触媒となるアルカリ金属や他の金属について、その挙動を明らかにしておくべきと考えられる。

●本事業では新たな流動層による中低温ガス化システムを開発のターゲットにしているため、関連する要素技術の基盤研究が中心となっているが、それぞれの要素技術に対する具体的な数値目標または装置イメージの概念設計を明確にするべきである。また、中低温ガス化の最大の課題のひとつであるタール生成については、触媒によるケミカルループ方式の採用を想定されているが、スケールアップを前提とした場合の展望について、さらに詳細な検証が必要であろう。本研究が原理実証を目標としているものの、次のフェーズ以降では順次スケールアップによる実証試験となっていることから、最終的なガス化炉のイメージを想定して、タール処理の代替方式も含めた多面的な検討を実施しておく必要があると考えられる。これに関して、さらにガス化炉の実機をイメージしたラボスケールガス化炉でもホットモデル試験を行っておくことが望まれる。

●A-IGCCは流動層/粒子循環型ガス化方式であり、1970～2000年に開発された夕張ガス化、トッピングサイクル、A-PFBCなどと同じ技術課題を共有するタイプのシステムと考えられる。流動層/粒子循環型ガス化方式の先行プロジェクトが実用化されず、後発の灰溶融気流層ガス化炉方式が採用され、2000 t/dの実証プラントが稼働したという現実をもっと直視すべきである。

(1) A-IGCCシステムが実証規模である1000～2000 t/d規模で実用化できる可能性を有しているのか、また必要な要素技術が2020年代に開発できるのか否かを、Feasibility study (FS)を通じて明らかにする必要がある。石炭の無触媒/触媒ガス化反応性に関しては過去の膨大なデータがあり、それをもっと活用すべきである。

(2) 本システムが高効率発電を指向しているため、わが国での立地が前提である。ガス化速度などで低品位炭(亜瀝青炭、褐炭など)を使用した低温ガス化が有利であることは明白であるが、低品位炭の発熱量が低く、総合効率(発電効率などを含む)が高くなったとしても、正味の発電量が低いため2000 t/d規模の実用化には向かないと思われる。瀝青炭を中心にFSを進めるべきと考える。低品位炭のガス化、低品位炭の触媒ガス化、およびケミカルループを、本システムの候補として掲げるのであれば、燃料輸送費を含めた経済性の試算・評価が必要である。例えばNi触媒の場合、実施者側から「2000 t/dガス化炉に必要なNi量は140 t/d程度(約7%として)であり4万t/年程度(負荷率80%)と計算されます。一方、廃液中のNi量は日本で20万t/年、世界全体では130万t/年となっており、十分にカバーするものと判断されます。」との回答を得たが、ガス化炉1基で、日本全体で発生する廃液Ni量の1/5を回収・消費することは現実的とは思われない。

<今後に対する提言>

- ・要素試験をさらに実施して、データの蓄積を図り、フェーズ2 に進んで欲しい。
- ・システム検討、低温ガス化、炉内流動解析、触媒ガス化といった要素技術間の情報および意見交換を定常的に行い、それぞれの開発項目へのフィードバックを図ることを強化してほしい。また、今回の研究（要素試験）が次フェーズ（ベンチ試験）へ移行するための技術的必要条件を定性的でなく定量的に定め、適時、その条件達成の可能性チェック、課題対策検討を行いつつ進めてほしい。これは、スケジューリングされた評価時期にとらわれることなく行うことが必要と考える。
- ・本研究では複数の技術が組み合わせられている。システム全体の完成は2029 年になるとしても、できるところから逐次実用化する計画とすべきではないか。
- ・本プロジェクトにより、どこが従来の触媒ガス化プロセスを超えた新しい技術や知見が得られたのかを、明確に提示した方が良い。
- ・企業の役割がシステム検討に限定されているが、本事業がNEDO事業として全く新しいガス化方式と炉を提案されているものと理解すると、実用化されたときのガス化炉のイメージを具現化するための検証にも積極的に企業が関わることが必要であろうと考えられる。
- ・A-I G C Cのコンセプトは新しく、ドライガス化方式を再度見直すよい機会であり、本プロジェクトの実施は高く評価できる。フェーズI 終了時において、世界に対してA-I G C Cの実用化イメージを発信できるように課題の整理をお願いしたい。
- ・実用化に向けて、過去の経験から、主要各プロセスの最適化とトータルとしての主要プロセスの最適はもちろんですが、補助的なプロセスも含めた総合的なシステムの最適化を目指した開発を望みます。

<その他の意見>

- ・システムとしての優位性を定量的に評価するためにA-I G F CまたはA-I G C Cとしての発電効率で比較することはやむを得ないが、高い効率が得られる要因として石炭ガス化技術とは独立したS O F Cや1 7 0 0℃級の高温ガスタービン的前提としている。今後ガス化炉としての性能評価法についても、従来方式と比較して検討して頂きたい。
- ・温暖化問題に関して、ここ2 年間に情勢は大きく変わっている。燃焼効率を上げる程度では十分とは言えない。どのように対応するのか、説明が必要である。

<その後の対応>

中間評価における指摘

- ・ガス化システム実現のためにブレークスルー しなければならない具体的な技術課題と解決の道筋が明らかにされていない。
- ・実用化イメージが明確でない。

以下の項目について H22 年度実施方針へ反映。

・実施体制の見直し

本プロジェクトは低温ガス化プロセスの開発であり、当初は低温ガス化に知見のある IHI を体制に組み込んでいたが、低温ガス化プロセスに目途が立ったこと、また中間評価を受け、三菱重工を体制に組み込んだ。体制を見直すことで、発電プラントを構成するための課題整理を行い、実用化イメージを明確化することとした。

・委員会体制の見直し

従来の委託先設置を改め、NEDO の委員会とし、プロジェクト全体を包括的に成果と実用化見通しの両面から討議・確認するとともに、第 3 者有識者からの指摘、助言を受ける場として、『技術委員会』を設置。（平成 22 年度より年 2 回開催）

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

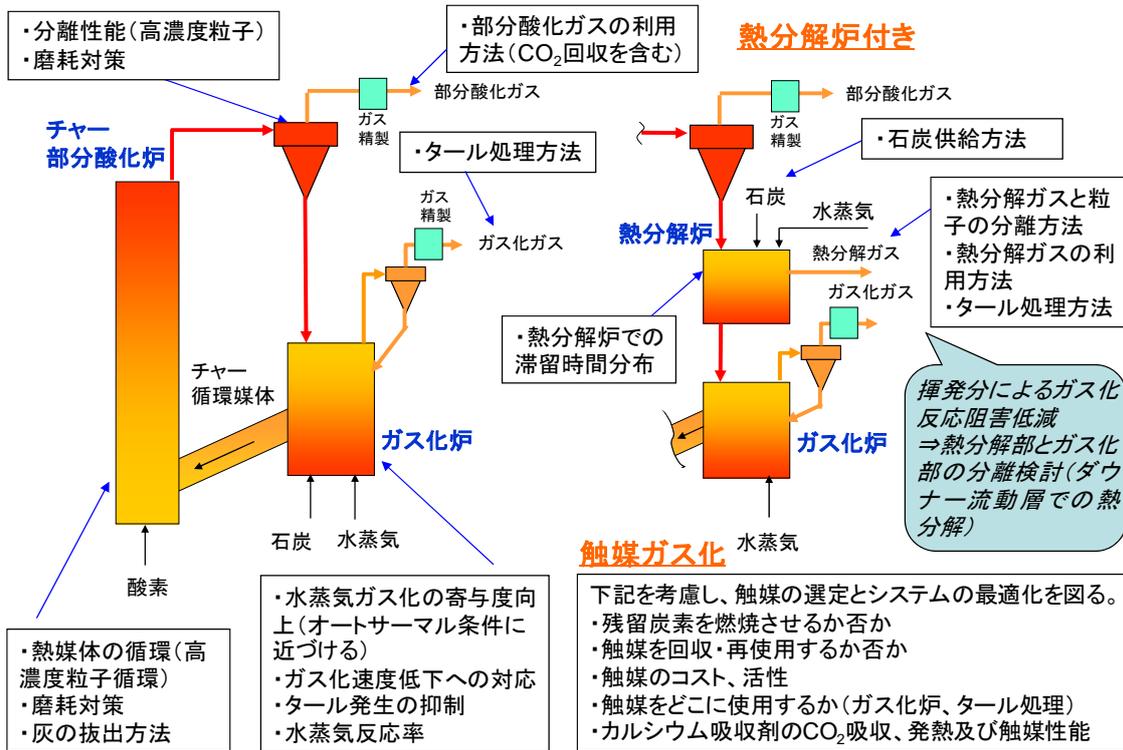
⑤ 評価委員 (中間評価)

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

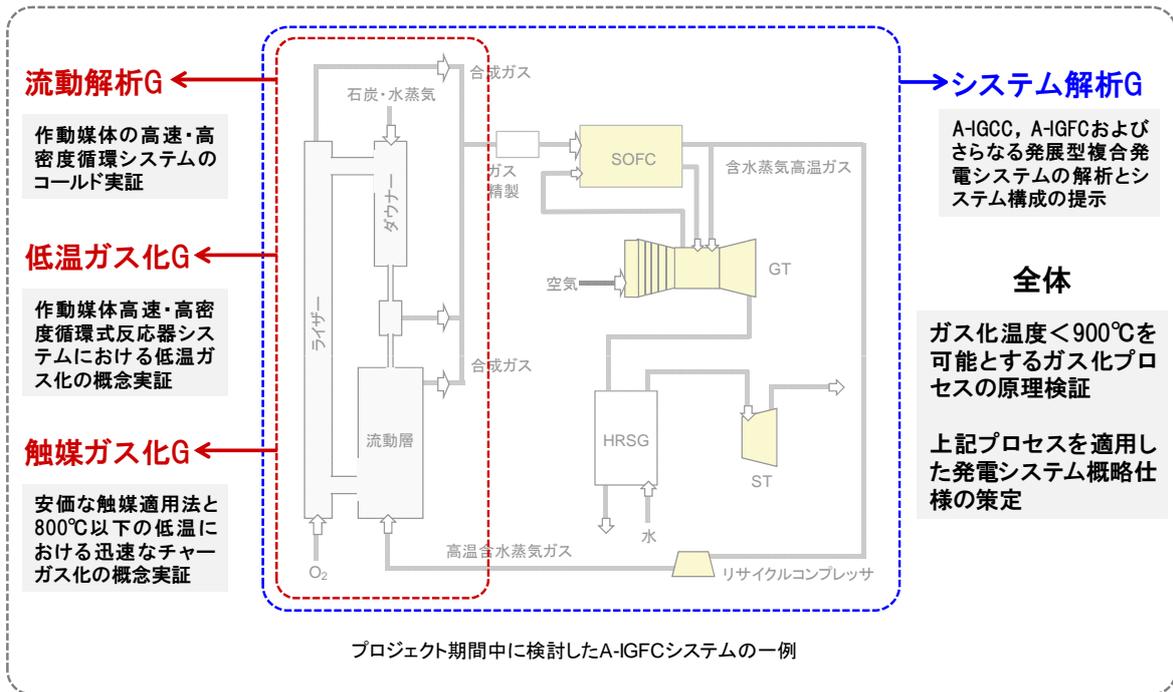
1. 事業全体の成果



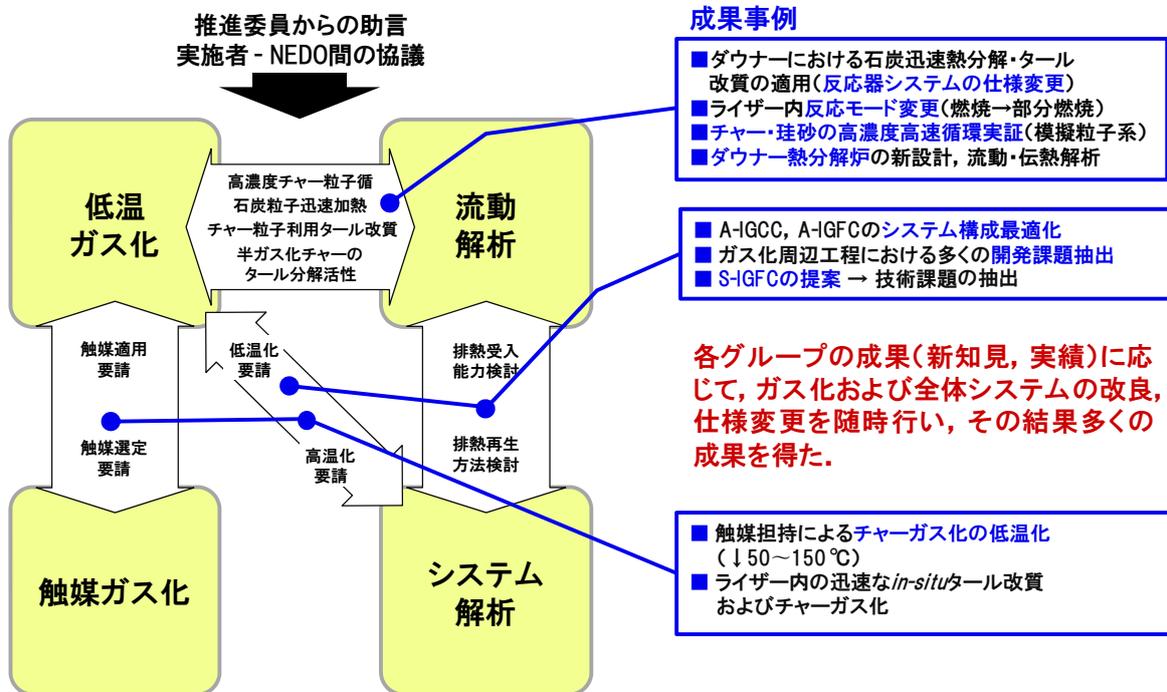
図III-2.1 ガス化技術の課題

表 III-1.1 本事業の中間目標、最終目標、達成状況及び最終目標に対する達成状況

開発項目	中間目標 (平成20年度末)	最終目標	達成内容	最終目標に対する達成状況
低温ガス化	ガス化温度 900℃以下の低温ガス化炉の選定	ガス化温度 900℃以下の低温ガス化炉開発	循環流動層+熱分解分離型ガス化炉を選定し、ラボスケール試験によりガス化効率の向上効果を確認した。	○
炉内流動解析	循環流動層フラックス 200 kg/m ² ・s 条件の達成、シミュレーション技術検討	循環流動層粒子フラックスを 350 kg/m ² ・s 達成装置の構築	コールドモデル試験により、フラックス 546kg/(m ² ・s)を達成した。	○
触媒ガス化	850℃における触媒水蒸気ガス化プロセスの構築	750℃触媒水蒸気ガス化プロセスの構築	4種の触媒において750℃以下での高活性特性を確認し、触媒とケミカルルーピング低温ガス化プロセスの構成と条件を確認した。	○
システム検討	ガス化温度 900℃以下のガス化システムの選定	ガス化温度 900℃以下のガス化システム開発	褐炭を用いた方が高効率を得られやすい。送電端効率65%にするにはA-IGFC化だけでなく、ガス化炉におけるエクセルギー再生が必要。	○



図III-2.2 各テーマの実施内容



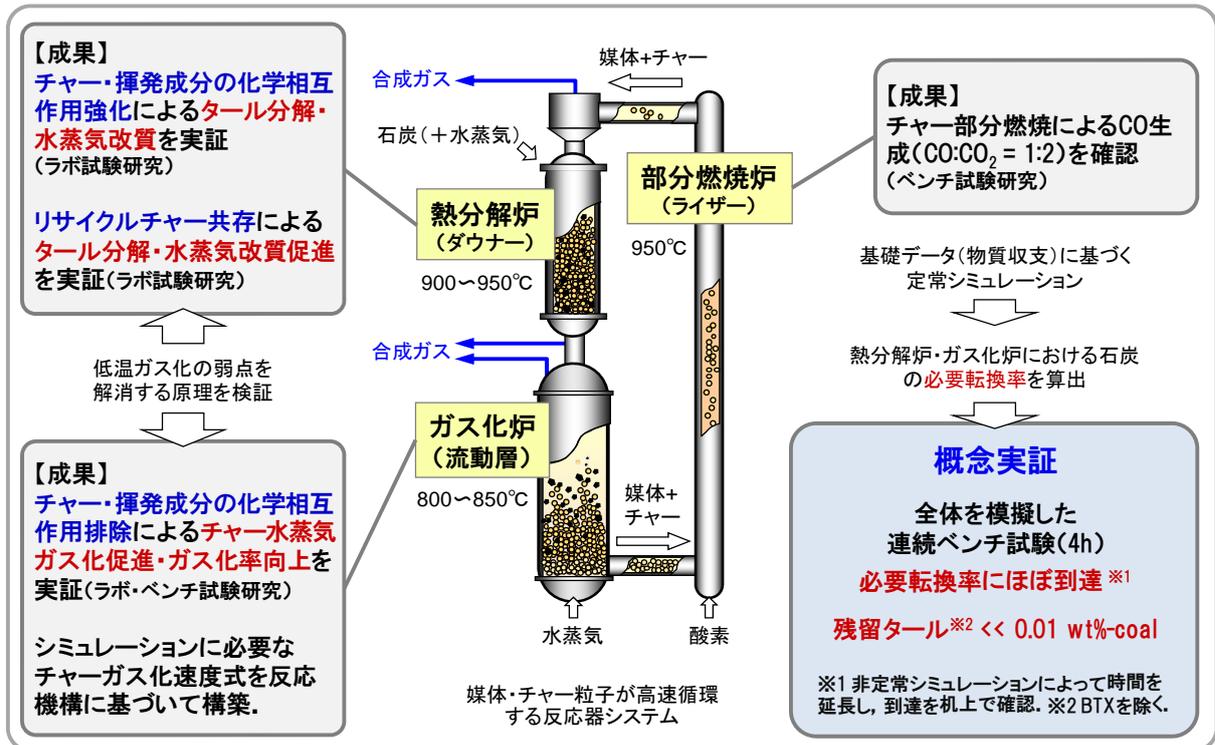
図III-2.3 各テーマの研究連携

2. 研究開発項目毎の成果

(1) 低温ガス化

表III-2.1 研究テーマ目標および達成度

検討課題	最終目標	結果と達成度
・900℃以下での石炭のガス化を実現するための、熱分解分離形式の2塔循環流動層ガス化炉の有効性の確認	・実験室規模の2塔循環流動層ガス化装置の連続運転によるコンセプトの確認	・連続運転(6時間以上)を達成し、熱分解炉におけるタールフリークリーンガスと炭化物併産のためのproof-of-conceptを得た。
・チャーリサイクルによるガス化促進	・2塔循環流動層ガス化装置においてチャーリサイクルによるガス化促進 S/C=1.5におけるガス化率: 52%(中間評価)	・S/C=1.5におけるガス化率: 63%を達成
・チャーによるタール分解によるタールの低減	・ダウン条件、900℃、チャー:石炭=0.85:0.15において重質タール収率0.5%以下までの低減	・ダウン形式の装置で、900℃、チャー:石炭=0.7:0.3において重質タール収率0.3%まで低減を達成



図III-2.4 低温ガス化の研究成果

① 流動層を利用した水蒸気ガス化の基礎プロセス開発 (IHI)

水蒸気ガス化における阻害効果を、文献調査と数値解析により評価した。また、低温ガス化による水蒸気ガス化特性を把握するため、常圧流動層ラボガス化試験装置を用いてバッチ試験を実施した。熱分解炉を模擬する反応管(ヒータ加熱炉)を設計・製作し、熱分解炉をラボガス化試験装置の前段に設置して熱分解とガス化を分離する装置を製作し試験を実施した。さらに、現有の常圧循環流動層型小型ガス化炉(NEDO資産)の加熱ヒータ、フィーダ、バルブなどの保守点検を実施した。

チャーの水蒸気ガス化反応は、ガス化によって発生したタールや揮発分等によって阻害されることが分かっている。数値解析ソフトにより、流動層ガス化条件における阻害効果の評価を行った。数値

解析ソフトとしては、石炭の熱分解および水蒸気ガス化反応の定量評価が可能な PC Coal Lab.(Niksa Energy Associates 社製)を用いた。計算の結果、熱分解ガスの分離により水蒸気ガス化反応の速度が向上し、50%炭素転換率を得るための滞留時間が 40%程度低減可能なことが分かった。常圧流動層ラボガス化試験装置を用いた試験を行ったところ、熱分解過程の条件により水蒸気ガス化反応速度の向上効果が見られない場合もあることを明らかにした。これらより、ダウンナー熱分解炉に必要な条件を検討した。

水蒸気濃度の影響を含めたラボガス化の試験結果及びガス化阻害効果の解析結果より、最終的にダウンナー熱分解炉に必要な条件を決定し、おおよそのスケールを明らかにした。また、小型循環流動層ガス化炉に気泡流動層型熱分解炉を設置し、チャーの水蒸気ガス化反応に対する熱分解分離の効果を検証した。

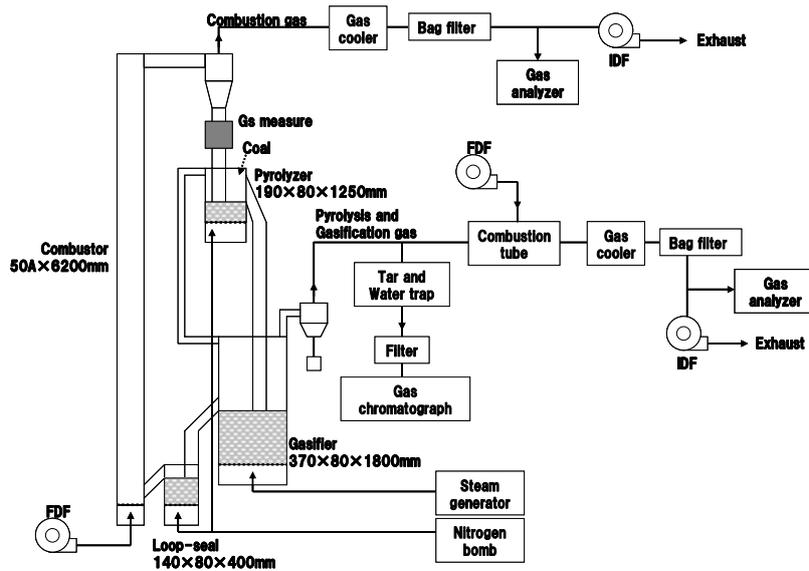


図 III-2.5 小型循環流動層ガス化炉のフロー図

② 水蒸気ガス化およびチャーの燃焼の基礎研究 (産総研)

常圧二塔式循環流動層水蒸気ガス化連続試験で、アダロ炭ガス化速度の温度依存性を検討した。また、流動媒体として、多孔質アルミナを用いた場合、タールがほぼ全てアルミナに吸収され、コーキングされながら改質されるため、通常の循環流動層において利用される砂砂を用いた場合に比べてガスへの転換率が向上することを明らかにした。さらに、加圧下での石炭とチャーの水蒸気ガス化速度を測定し、速度解析の結果、Langmuir-Hinshelwood 機構に従いチャーガス化が進行することを示した。

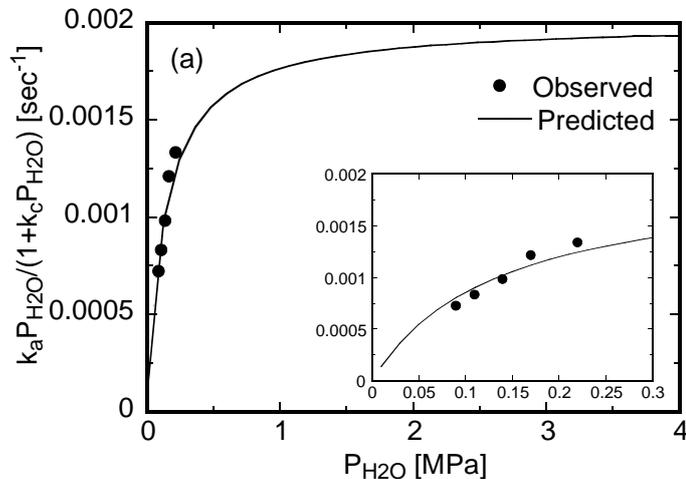
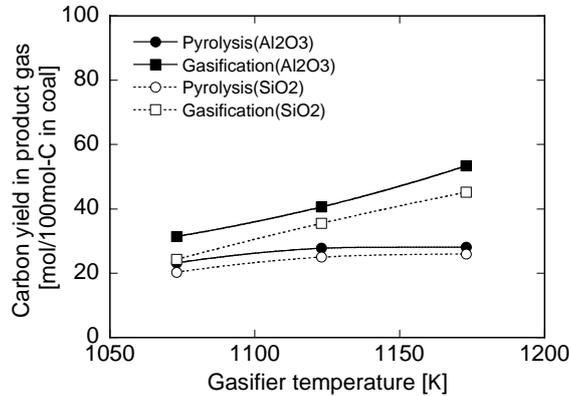


図 III-2.6 アダロ炭の加圧下における水蒸気ガス化速度の実測結果と Langmuir-Hinshelwood 式による予測値の比較

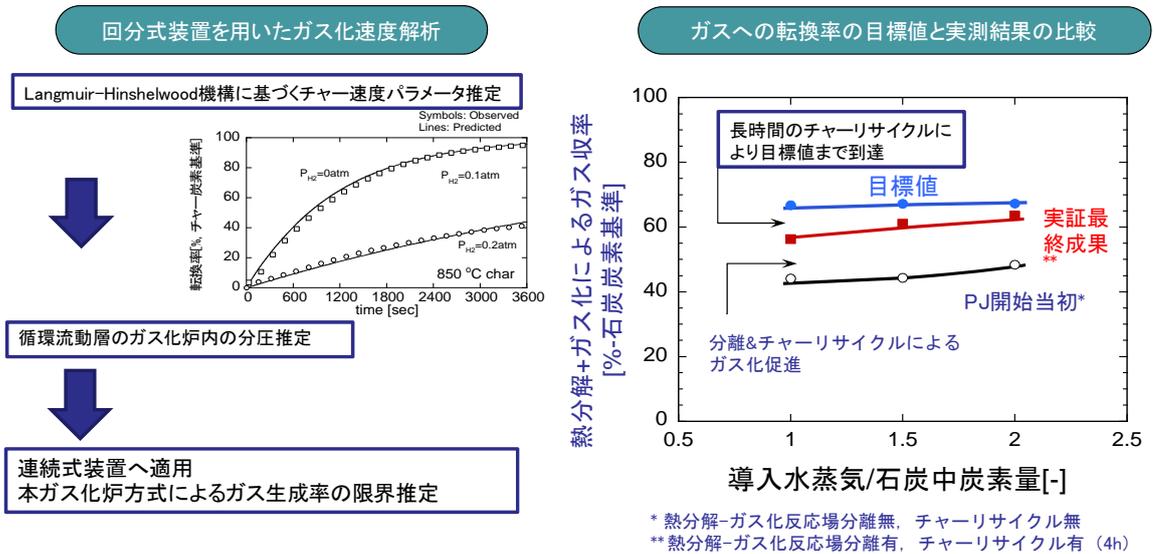
一方、二塔式流動層ガス化炉における高速燃焼炉に着目し、亜瀝青炭チャーの燃焼における温度、圧力および粒径の影響について、加圧流動層燃焼炉を用いて実験的に検討した。結果として、チャーの燃焼完結時間は、高圧・高温・小粒径ほど速くなることを定量的に示した。初期燃焼速度は、大粒径の場合、高圧ほど速くなるが、高温ではその影響は小さくなった。0.5~1.0mm のような小粒径の粒子では、圧力の影響はほとんど生じなかった。また、圧力：0.5MPa、粒径：0.5~1.0mm の条件でも、50%の燃焼には、20 秒程度必要となることを明らかにした。



図III-2.7 二塔式循環流動層におけるガス収率（媒体粒子の影響）

ガス化率の目標値と達成可能性

- チャーガス化速度パラメータを実験的に決定し、チャーリサイクルによるガス化率の限界を推定
- 長時間のリサイクルによりガス化率は向上し、目標値まで到達



図III-2.8 熱分解分離型ガス化炉方式によるガス化性能

低温ガス化では、熱分解に伴い発生する揮発分（主に水素）とタール成分がチャーの水蒸気ガス化を阻害するため、流動層形式の熱分解炉をガス化反応器の直前に設置し、熱分解とガス化の反応場を物理的に分離することを試みた。アダロ炭による連続ガス化実験を行い、熱分解炉を設置した場合と設置しない場合との結果を比較し、熱分解とガス化の分離の効果を調べた。その結果、熱分解反応場を分離し、分解生成物をチャーガス化反応器に同伴させないことにより、ガス生成量、チャー反応速度のいずれも5~10%程度向上し、熱分解とガス化を分離することは、石炭全体のガス化速度、ガス収率に有効であるというコンセプトを実験的に検証することに成功した。

ここで、上記コンセプト検証に用いた装置では、熱分解装置は気泡流動層型であり、熱分解における滞留時間が長く、本プロジェクトで想定しているダウンナー方式による迅速熱分解条件ではなかった。迅速熱分解条件ではさらなる分離の効果が期待できるが、これを確かめるため新たにダウンナー形式の熱分解反応器をもつ、2塔循環式ガス化装置を設計・試作した。

熱分解炉がドロップチューブタイプであり、ガス化炉、燃焼炉を気泡流動層とする新規な循環流動層ガス化装置を用いて、アダロ炭のガス化基礎特性を検証した。まず、媒体粒子を多孔質アルミナとした場合、熱分解、ガス化、燃焼の各炉から排出されるガスから求めた炭素の物質収支はほぼ良好であり、また長時間の安定したガス化試験が可能であることを確認した。ついで、循環速度（ガス化炉での固体粒子滞留時間）、水蒸気濃度等の操作条件を変化させた場合の熱分解、ガス化反応場の分離によるガス化速度促進の効果を検証し、分離によりガス化が促進されることを確認した。

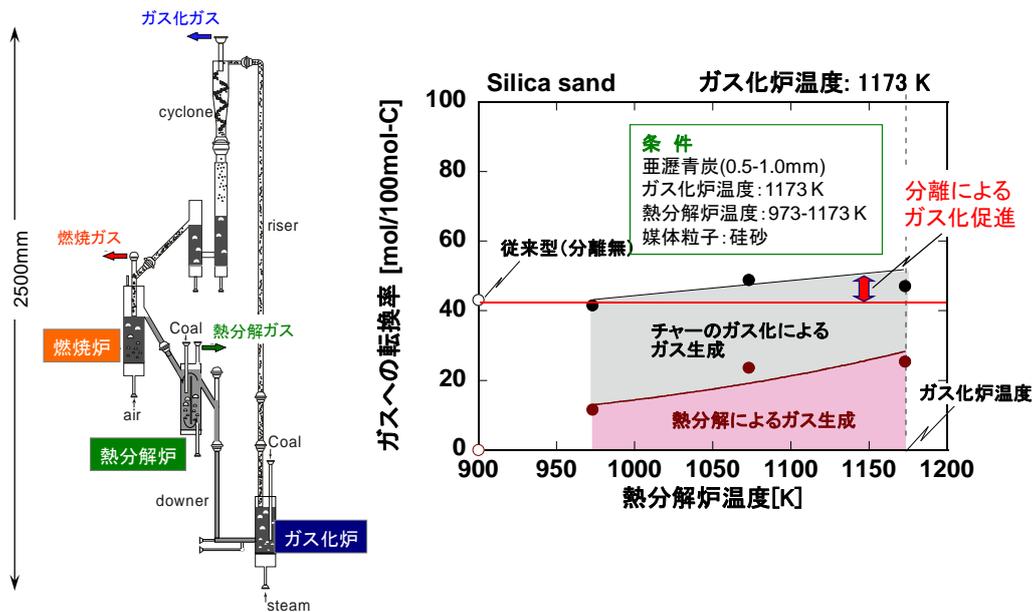


図 III-2.9 熱分解炉とガス化炉の分離によるガス化促進の一例

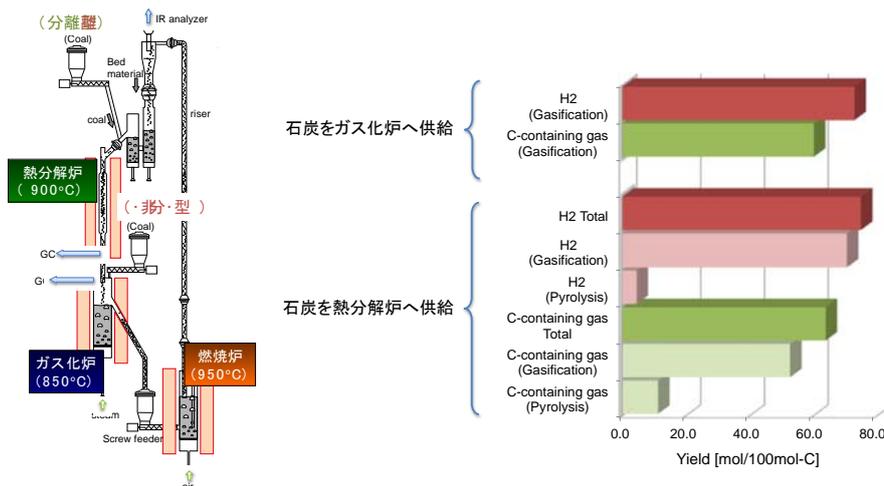
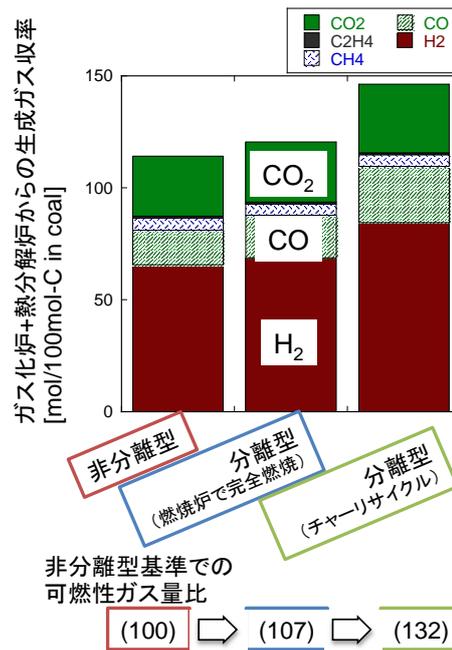


図 III-2.10 新規熱分解分離型循環流動層の模式図と熱分解分離の効果の一例

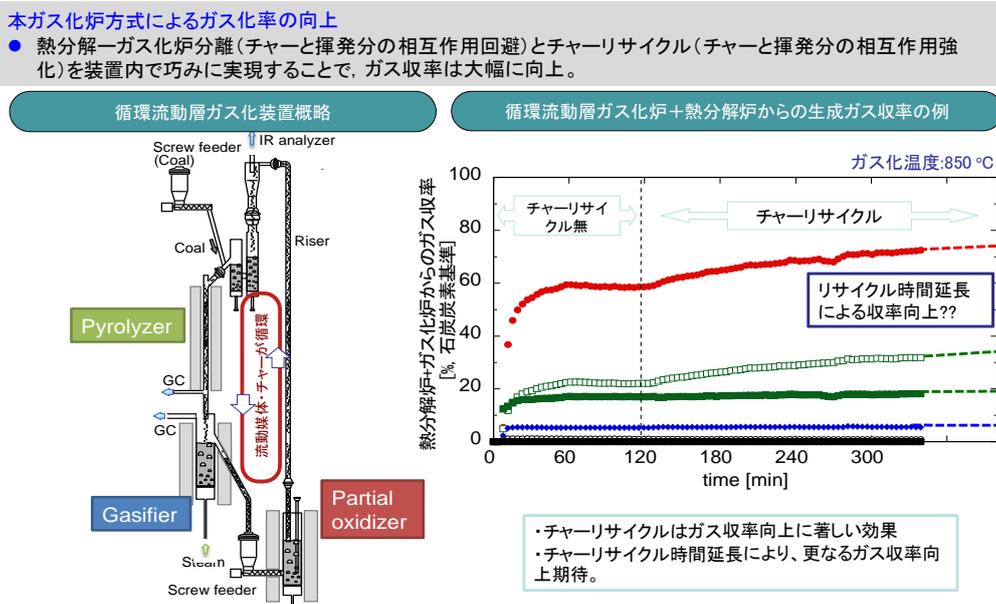
熱分解分離型循環流動層ガス化装置はガス化促進に効果的であることを実証したが、その促進効果がどの程度、効率向上に寄与しているのかを明らかにするため、熱・物質収支を考慮したガス化炉の簡易シミュレーションを行った。その結果、ガス化炉と燃焼炉の熱収支を考慮すると、熱分解・ガス化反応場の分離によるガス化率向上では、未だ不十分であり、更な

るガス化促進が必要であることが明らかとなった。



図Ⅲ-2.11 熱分解分離型流動層においてチャーリサイクルを行った場合のガス収率向上の一例

そこで、上述の新規流動層によるガス化促進効果を更に加速させるために、ガス炉にて未反応のチャーの熱分解炉とガス化炉へのリサイクルを試みた。チャーのリサイクルにより、まず熱分解炉では揮発分とチャーの相互作用が強化されたことにより、チャー表面でのタールのクラッキングが促進し、熱分解炉から排出されるタールの低減および水素、CO ガス収率の向上を見出した。一方で、リサイクルされたチャーは、ガス化炉にて再度ガス化されるため、ガス化炉からの生成ガスの向上も確認した。チャーリサイクルにより、通常の熱分解炉非分離型の循環流動層よりもトータルのガス収率を30%程度向上することに成功した。このように、ガス化反応装置内にて、揮発分とチャーの相互作用を巧みに制御することにより、ガス収率が向上することを検証することに成功した。また、リサイクル時間の延長にともなうガス化率の向上の度合いを定量的に把握するため、チャーならびにコークの Langmuir-Hinshelwood 機構に基づくガス化速度解析を行い、リサイクル時間にともなうガス収率向上の予測も行った。

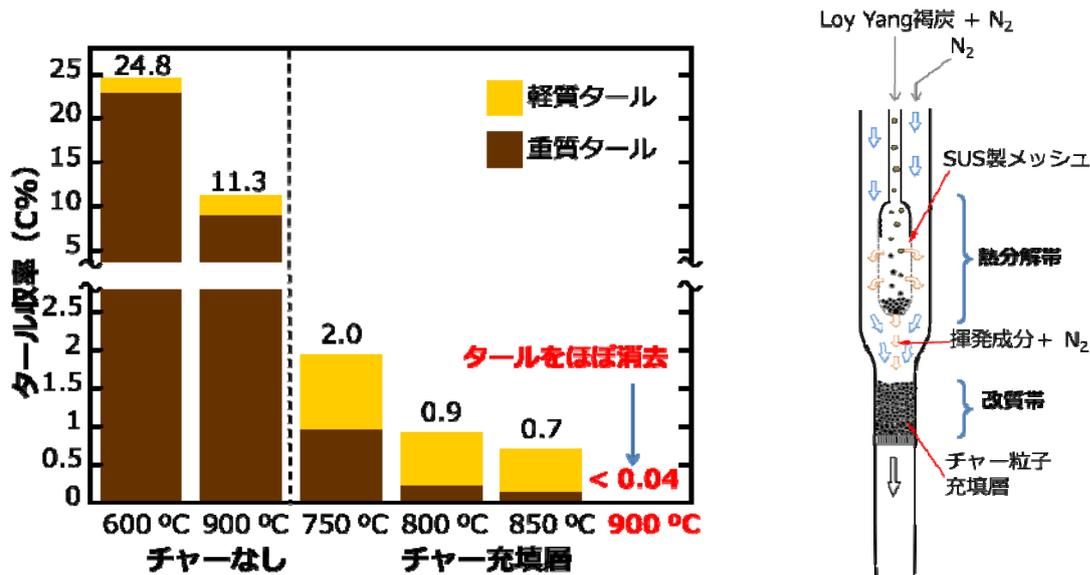


図Ⅲ-2.12 反応炉形式・操作条件の最適化によるガス収率の向上

③ 石炭迅速熱分解により生成した揮発成分の媒体粒子ならびにチャー粒子表面における in-situ 接触分解に関する基礎研究 (北大 (H19-H20)、九大(H21-H23))

炭化水素ガスやタールを高濃度で含む揮発成分は、チャーの水蒸気ガス化を著しく阻害するので、ガス化速度向上のためには石炭の熱分解とチャーガス化を分離することが望ましい。そこで、石炭の迅速熱分解によって生成した揮発成分のチャー粒子あるいは流動媒体粒子表面における in-situ 分解特性を実験室規模の反応器において模擬し、得られた知見をもとに熱分解工程における揮発成分のタールフリー化、すなわち、チャー・コークとタールフリーガスを併産する熱分解工程の可能性を検証することを目的とした。

熱分解で生成するタールを含む揮発成分の接触分解特性を石炭の迅速熱分解条件から独立させて追跡するため、石炭迅速熱分解反応器の直下流に固定層反応器を備えた試験装置を製作した。これを用い、下流の固定層反応器に予め 800℃の流動層反応器で調製したチャー粒子を充填し、充填粒子表面における接触分解特性を 750、800 および 850 ℃、接触時間 0.14 s で調査した。また、上流のドロップチューブ/固定層反応器での褐炭熱分解により得られたチャー収率はほぼ一定で、下流の固定層反応器に供給された揮発成分の濃度は温度によらず一定であることを確認した。さらに、タールはチャー充填層温度が高いほど分解し、800℃での重質タールの収率は 0.1mol-C/100mol C-coal sample まで低下、さらにチャー粒子表面でコーキングが進行しても、充填チャーに対する供給石炭の質量比が約 1.5 の範囲では、ほぼ定常的に重質タールが分解することを確認した。また、タール分解特性に及ぼす粒子供給時間の影響や液体クロマトグラフィーによる生成物中の多環芳香族化合物の高感度分析手法を確立した。その結果、チャーとの接触によりタールは主としてコークへ転換し、900℃ではチャーガス化を伴いながら難分解成分であるベンゼンおよびナフタレンの収率をそれぞれ 0.01 および 0.001%-C まで減少できることを見いだした。



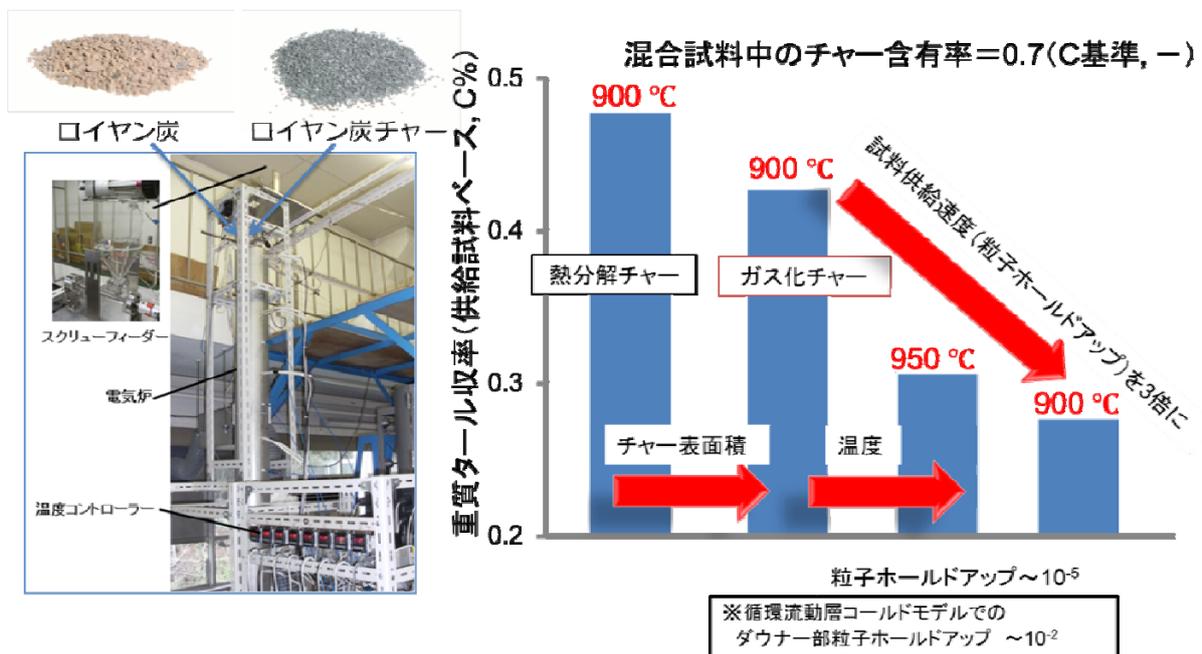
図Ⅲ-2.13 石炭迅速熱分解反応器の直下流に固定層反応器を備えた試験装置 (左) とチャーによるタールの改質結果 (右)

石炭粒子を迅速熱分解する反応器の直下流に固定層反応器を備えたドロップチューブ/固定層-固定層二段反応器およびこれまで蓄積したタール改質特性解析実験技術を駆使してロイヤン炭ばかりでなくインドネシア産アダロ炭を石炭試料とした実験を実施し、タール改質特性に関する実験データを取得した。また、チャー充填層の媒体粒子(けい砂)による希釈効果についても調査し、粒子循環型流動層を用いた次世代石炭ガス化炉実現に向けたダウンナー部での熱分解タール除去の可能性について検証した。その結果、水蒸気の添加はタールの改質に有効であること、改質温度 900℃において、アダロ炭タール収率は <0.7 C% (ロイヤン@900℃ <0.1 C%) まで低減できること、シリカサンドによる

チャー充填層の希釈のタール収率に及ぼす影響は小さいことを明らかにした。

より実プロセスに近い実験条件下で石炭熱分解生成タールの改質特性についても検討した。加熱長 2.5m のドロップチューブ型反応器を製作し、これに褐炭と流動層反応器 (800°C) を用いて調製した褐炭チャーを同時に供給し、反応器を落下する過程で発生するタールがチャー表面でどの程度分解するかを調査した。反応温度 900°C、反応器内ガス滞留時間 6s、及び石炭とチャーの混合比 50 : 50 (炭素基準) で供給した場合、重質タール収率は、1.4 %-C であった。これはチャーの相互作用がないときの重質タール収率 (計算値) の 1.8 %-C より少ないため、粒子落下の数秒間にタールの改質が進行したことを裏づける。タールの改質は、チャーの割合が多いほど顕著となり、石炭:チャー比=25:75 および 15 : 85 の場合、重質タール収率は、それぞれ、0.47 %-C および 0.16 %-C となった。以上、ダウン型模擬実験条件下においても揮発成分チャー相互作用によりタール改質効果を見出すとともに、チャー/石炭比、粒子ホールドアップの増加やチャー細孔度の増加により、より顕著なタール改質が期待できることを示した。

タール改質特性に及ぼす粒子ホールドアップの影響に特に着目してダウン型模擬実験研究をさらに推進した。本実験系では、反応器内の粒子ホールドアップ、つまりチャー濃度を二段反応器で用いたチャー充填層のように高めることはかなわないものの、 10^{-5} 程度のチャー濃度希薄条件においても、石炭チャー/石炭の比の増加による顕著なタール改質を確認した。反応温度を 900°C から 950°C にすることでもタールの収率は減少する。更に、温度を 900°C に固定で試料供給速度を約 3 倍 (0.15 から 0.5 g/min へ) に増やすと温度を 50°C 上げるよりもタール収率の低減に効果があることも明らかとなった。この時の粒子ホールドアップは、 10^{-5} 程度であり、本プロジェクトで想定している循環流動層のコールドモデルによる大量粒子循環システムの場合、ダウン型において 10^{-3} オーダーの粒子ホールドアップが実現されていることから、もしそのような環境が実現できた場合は、更なるタールの低減を期待できる。



図Ⅲ-2.14 ダウン型模擬実験研究に用いたドロップチューブ反応器 (左) とチャー共存によるタールの改質結果 (右)

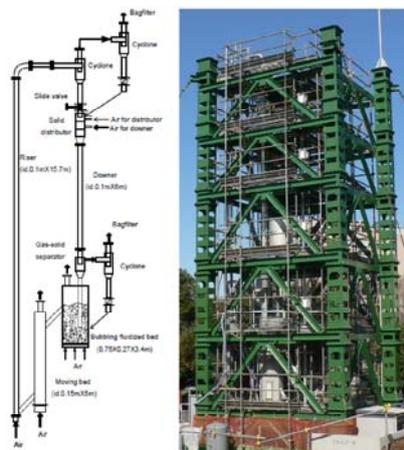
以上をもって粒子循環型流動層石炭ガス化システムの熱分解炉での石炭熱分解タールの石炭チャーによる迅速改質の可能性を実験事実に基づいて示すことができ、当初の目標である、ダウン型 (流動層ガス化炉前段に設けた熱分解炉) におけるタールフリークリーニングガスと炭化物併産のための proof-of-concept を得た。

(2) 炉内流動解析

表III-2.2 研究テーマ目標および達成度

検討課題	最終目標	結果と達成度
<ul style="list-style-type: none"> ・実反応系で想定される固気比における高速粒子循環の達成 ・気泡流動層とライザーの非機械式バルブの構造最適化 	最終目標値 $G_s=350 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上	<ul style="list-style-type: none"> ・最大$G_s=546 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$を達成 ・$G_s=$約200-500 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$の範囲で調節可能 ・固気比:35-40達成
<ul style="list-style-type: none"> ・ダウンナー石炭粒子供給方法の検討と構造の最適化 	<ul style="list-style-type: none"> ・固気混合部の粒子一粒子混合・伝熱を最適化するノズル構造の決定 ・2成分粒子間の伝熱係数と操作条件の関係の解明 	<ul style="list-style-type: none"> ・二粒子間の混合による温度変化を測定 ・法線型構造が接線型構造より粒子混合に優れることを解明(達成) ・1.9%の範囲では、ダウンナー内の伝熱係数は130-145 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$(達成)
<ul style="list-style-type: none"> ・数値シミュレーションによる流動の検討 	相似則モデルの粒径比が計算結果に与える影響の検討とケイ砂・チャー2成分系への拡張	相似則モデルの粒径比が粒子混合と粒子運動のエネルギーを与える影響を評価、2成分系モデル開発

大型コールドモデルを用いて高速・高濃度粒子循環システムを実証するとともに、ライザー、ダウンナー、流動層および各インターフェースに必要な構造と性能を明らかにする。



実規模比(塔径比)1/10の大型コールドモデル

■流動媒体の高速高密度循環システム

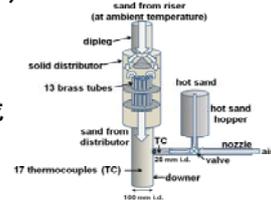
■低温ガス化実現に必要なとされる高固気比の高速高密度粒子循環を達成

- 粒子循環速度 G_s 最大546 $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (目標値; 350 $\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- 固気比 35~40 ($G_s = 200 \sim 500 \text{ kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

■ダウンナー(熱分解炉)の構造最適化

- 石炭粒子一媒体粒子迅速混合のための法線型インレットを設計
- 高伝熱係数(130~140 $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)を達成

■流動層~ライザーインターフェース(非機械式バルブ)の構造最適化



■数値シミュレーションによる流動の検討

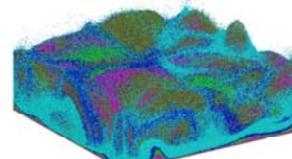
■流動層ガス化炉内の流動解析を行うための計算コードを開発

- 層内の粒子対流時間分布を分析

■流動層~ライザー粒子輸送のシミュレーションコードを開発

■粒子間付着カモデルの導入により、流動層内の珪砂・チャー二成分系流動特性の表現に成功

■計算負荷低減のための相似則モデル導入に成功



並列計算による1千万個オーダーの大規模流動解析

図III-2.15 流動解析の研究成果

① コールドモデルによる高速高濃度粒子循環システムの開発 (東大、産総研)

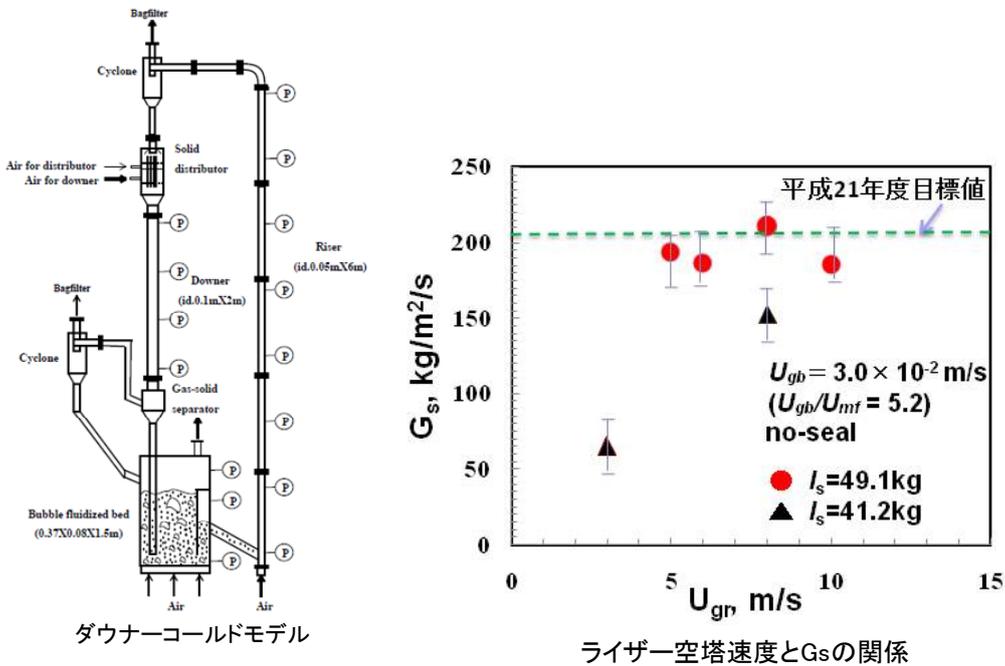
各操作因子(粒子循環速度・圧力損失・滞留時間分布など)の測定方法を検討した。本プロジェクトで製作する二塔式循環流動層型ベンチスケールホットモデルを想定したコールドモデルの設計と試作を行い、各操作因子の影響について調べた。石炭熱分解で生成する揮発分をチャーと分離することを想定して、ダウンナーおよびダウンナーの構造を検討した。また、ダウンナーを流動層上部に設置できる構造とした装置の設計・試作を行い、ダウンナー内の粒子の流動特性について調べた。その結果、ライザーガス流速 $u_{gr}=6.0 \text{ m/s}$, 気泡流動層ガス流速 $u_{gb}=3.0 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ ($u_{gb}/u_{mf}=5.2$) の条件において最大の G_s ($=116 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{s})$)を得た。さらに、ライザーの静圧分布から粒子ホールドアップを求め、ライザー部分の $\epsilon_s \leq 0.04$ であり、希薄層の形成がみられたことがわかった。

次に、二塔式循環流動層コールドモデルを改造し、熱分解炉を想定したダウンナーも含めた小型三塔式循環流動層コールドモデルを試作し、ガスシールが流動に及ぼす効果を調べた。三塔式循環流動層

コールドモデルのライザー部（長さ 6.4 m、内径 50 mm）、ダウナー部（長さ 1.3 m、内径 100 mm）は、透明アクリル樹脂製または透明塩化ビニル樹脂製のパイプを組み合わせた構造となっており、内部の流動状態が可視化可能となっている。

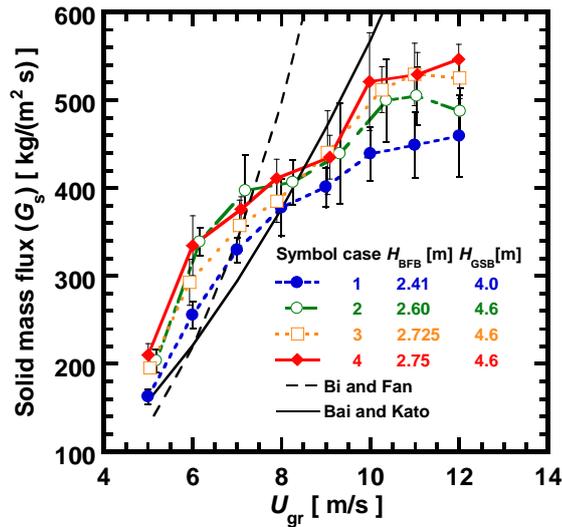
実験結果より、気泡流動層の層高を増すにつれ粒子循環量及びライザー各部の時間平均粒子密度が増加することを明らかにした。ライザーガス流速が $U_{gr}=8.0$ m/s の条件において最大の粒子循環速度 $G_s = 336$ kg/(m²・s) が得られた。同時に、高密度粒子ダウナー(高さ 3.8 m、内径 0.05m と 0.1m の 2 種類)を試作し、多管式粒子分散器の粒子通過能力と気固分離器の分離効率を調べた。珪砂 6 号（平均粒径 $d_p=320$ μm）と 8 号（平均粒径 $d_p=82.5$ μm）に対して、直径 50 mm のダウナーの最大粒子質量流量はそれぞれ 815 と 1876 kg/(m²・s) を達成した。気固分離効率については、ダウナー空塔速度(U_{gd}) 1-7 m/s, 珪砂 6 号または 8 号を使用、直径 50 mm のダウナー使用、の条件において、気体固体分離効率 99.8%以上という高い効率を得ることができた。

さらに、小型コールドモデルから得られた知見をもとに、実機の大きさ並びに1/10スケールの大型循環流動層ガス化炉コールドモデルの設計と建設を行った。大型循環流動層コールドモデルの各主要部の概略仕様は以下の通りである。(1) 気泡流動層：内面750mm×270mm×高さ3400mm；(2) 移動層：内径150mm×高さ5000mm；(3) ライザー：内径100mm×高さ15700mm；(4) ダウナー：内径100mm×高さ6500 mm。



図III-2.16コールドモデルを用いた流動媒体の循環システムの検討結果

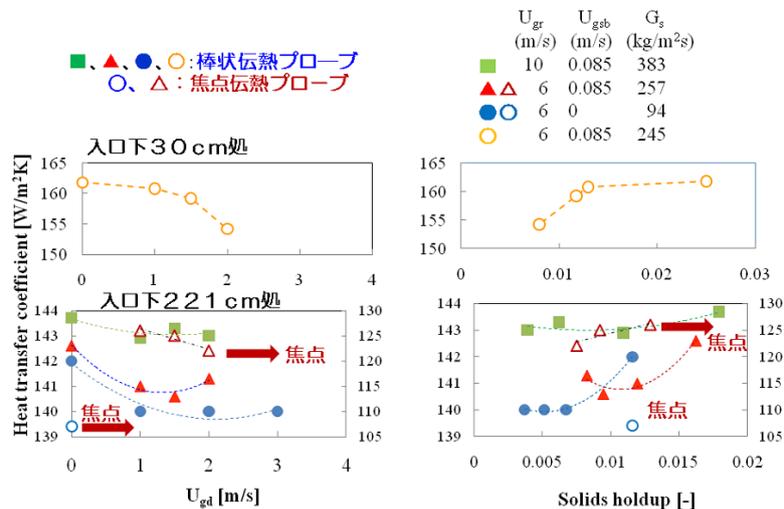
建設したライザー・ダウナー・気泡流動層から成る大型循環流動層において、高速・高密度条件でのケイ砂粒子の流動特性を測定した。ライザー空塔速度とガスシール層高の増加により、粒子質量フラックス(G_s)が増加することを明らかにし、 $G_s > 500$ kg/m² s での高速粒子循環を達成した。 G_s 最大値は 546 kg/m² s に達した。この運転状況での、ライザーの粒子ホールドアップ(ϵ_s)は 0.04-0.05 程度であった。ダウナーでは、入口 1.5-2 m 以内の領域で加速領域の形成が見られることとガス流速増加に伴い、粒子ホールドアップの減少が見られることを確認した。また、大型循環流動層での圧力バランスの式から G_s と ϵ_s の推算を行い、ライザーとダウナー同時に高密度を達成する運転条件の試算を行った。



図III-2.17 流動層実験装置ライザー空塔速度とGsの関係

ダウナー入口の石炭粒子供給部における、石炭粒子—循環砂粒子間の混合を模擬して、加熱砂粒子をダウナーに投入し、ダウナー入口0.1m下、1.8 m下、3.8 m下で温度を調べて加熱粒子—循環砂粒子間の混合特性を調べた。ノズルを1本用いた場合、ダウナー直下では接線型の混合特性の方がいいものの、それより下の領域では法線型ノズルの方が、良好に混合が進むことを明らかにした。

さらに、ダウナー入口の石炭粒子供給部における、石炭粒子—循環砂粒子間の混合を模擬して、加熱砂粒子をダウナーに投入し、ダウナー入口0.1m下、1.8 m下、3.8 m下で温度を調べて加熱粒子—循環砂粒子間の混合特性を調べた。ノズルを2本用いた場合は法線型ノズルの方が、良好に混合が進むことを明らかにした。

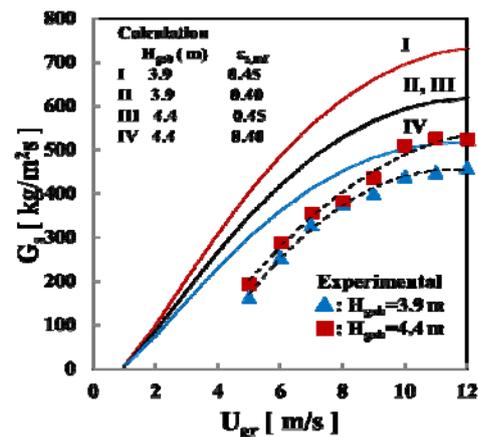
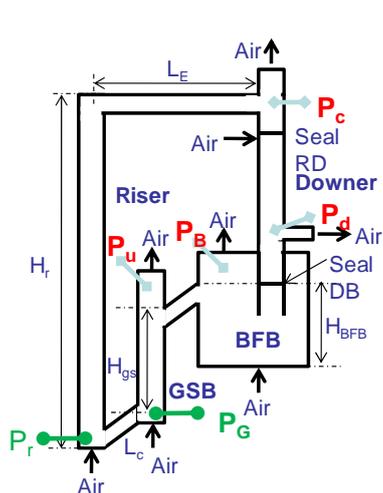


図III-2.18 ナー内の伝熱係数の測定結果

大型循環流動層コールドモデルにおいて、チャー模擬粒子を大量に含む二種混合粒子の高速高密度運転時の流動特性を調べた。ライザー空塔速度 $U_{gr}=6.0$ m/s、10.0 m/sにおいて粒子循環を行い、砂粒子とチャー模擬粒子が混合した状態で循環すること、また、その存在比が安定していることを確認した。チャー模擬粒子存在下での高速循環では、チャー模擬粒子30vol%相当の場合で最大 G_s 394 kg/(m² s)、チャー模擬粒子50vol%相当の場合で最大 G_s 349 kg/(m² s)で高速運転を行うことが可能であった。

ダウナー内の伝熱特性を測定するため、水平管伝熱プローブと焦点発熱プローブを設計した。焦点発熱プローブはダウナー各所での局所伝熱係数を、伝熱プローブはガス—粒子相と伝熱プローブの表

面との間の伝熱係数 h [W/m²K]を測定できる。各操作条件において、ダウナー入口近傍と入り口から2.21mの所で測定した平均伝熱係数およびダウナーの発達領域中心部の局所伝熱係数を測定した。伝熱係数は粒子の循環量、ダウナーのガス速度、粒子のホールドアップなどに依存していた。 G_s を一定にした場合、ダウナー内のガス流速の増加に伴い、伝熱係数はわずかに下がっていることが分かった。また、ダウナー中心部の粒子のホールドアップは他のところと比べて低いので、局所伝熱係数も低いことが分かった。図III-2.13 に伝熱係数と粒子のホールドアップの関係を示す。この図に示したように、 G_s を一定にした場合では低ホールドアップの範囲で伝熱係数は殆ど変化しないことが分かった。低ホールドアップの場合では、ダウナー内の伝熱は主にガス相とプローブ間の伝熱に依存していると考えられる。



(1) $P_c = P_s = P_b = P_u =$ 大気圧

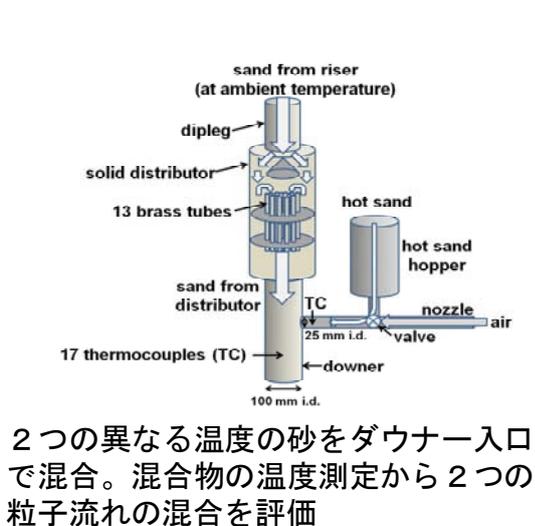
(2) ライザー底の圧力
 $P_r = \Delta P_{r,static} + \Delta P_c + \Delta P_{r,ac} + \Delta P_{r,fg} + \Delta P_{r,fs}$

(3) ガスシール底の圧力

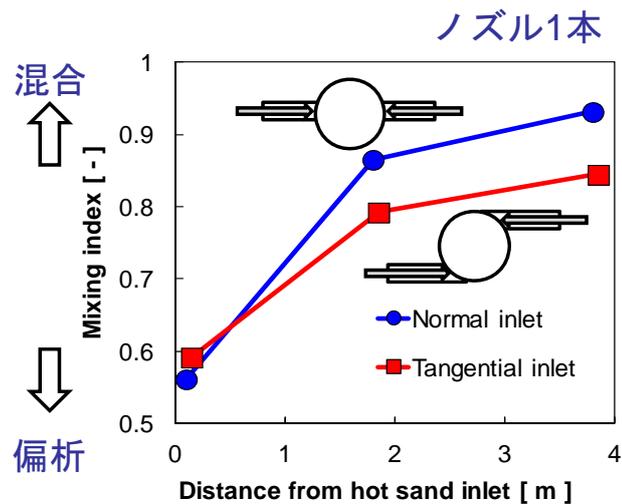
$$P_G = [\rho_p \epsilon_{s,mf} + \rho_g (1 - \epsilon_{s,mf})] g H_{GS} - [\Delta P_{r,static} + \Delta P_{E,static} + \Delta P_{cy-d,static}] \left(\frac{D_r}{D_{GS}}\right)^2 + \Delta P_{GS,ac} - \Delta P_{GS,f}$$

(4) 圧力バランス $P_G = P_r$

図III-2.19 循環流動層の圧力バランスモデル



2つの異なる温度の砂をダウナー入口で混合。混合物の温度測定から2つの粒子流れの混合を評価

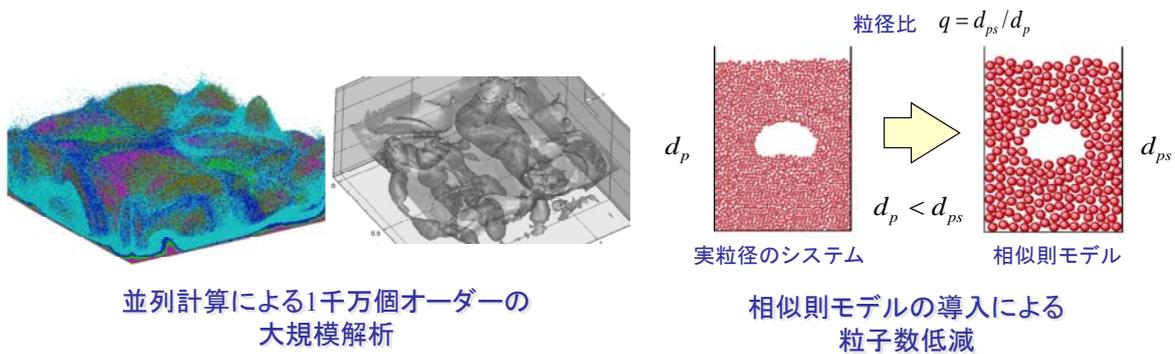


図III-2.20 粒子混合の最適化

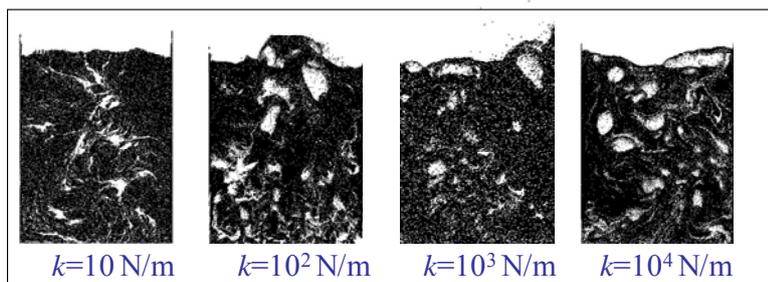
② 高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション (阪大)

2成分系流動層に対する流体力モデルの検討と検証実験を実施した。また、粒子数 900 万個の 3次元大規模流動層に対する並列計算を可能にし、3次元流動層に対する検証用実験装置を作成して粒子流動化挙動に対する検証実験を行った。さらに、計算コードに固体境界の幾何形状の表現に対して自由度を大きくする手法を導入し、伝熱管などの内挿物の表現を可能とした。これにより容器形状に対する自由度拡大の見込みが立った。次に、DEM-CFD カップリングモデルによる数値解析に対して IB 法を適用することにより、コールドモデルで採用されているガス化炉への粒子供給を行う鉛直内挿管の境界条件を表現し、ガス化炉内の流動解析を行う計算コードを開発した。本計算コードを用いて試行的な計算を行い、ガス化炉におけるガス化効率を評価する上で重要となる粒子のガス化炉内での滞留時間分布を分析した。計算を行った条件の範囲内で、設計値に比べて非常に短い滞留時間を有する粒子が存在する可能性があることが確認された。コールドモデルのダウナー下部の流動層からライザー下部への粒子輸送をシミュレーションするため、DEM-CFD カップリングモデルによる数値解析に対して IB 法 (埋め込み境界法) を適用することにより、流動層への鉛直内挿管の境界条件を表現し、コールドモデルの流動解析を行う計算コードを開発した。本計算コードを用いてコールドモデルの運転条件で計算を行い、ガス化炉におけるガス化効率を評価する上で重要となる粒子のガス化炉 (ダウナー下部の流動層) 内での滞留時間分布を分析した。計算では、流動層の出口溢流管高さを変化させ、粒子の平均滞留時間分布を調べた。その結果、出口溢流管の高さは、粒子輸送速度や平均滞留時間には大きな影響がないことが示された。ガス化炉内のケイ砂、チャー2 成分系に対して、付着・凝集が粒子挙動や偏析現象へ与える影響、およびそれらが粒子のガス化炉内における滞留時間に及ぼす影響の評価を可能とするため、流動層の DEM-CFD カップリングシミュレーションへの粒子間付着力モデルの導入と検討を行った。まず、粒子間の相互作用力に付着力を付加した場合、流動パターンに対する付着力の影響は接触力モデル中のバネ定数に大きく依存することを示し、動的付着力モデルを用いることにより、この問題を解消し、実験で得られる流動を良好に表現できることを示した。

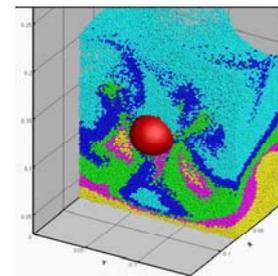
さらに計算負荷を軽減するため、実粒径よりも大きな粒径を用いる相似則モデルを導入し、そのモデル粒径を実粒径の 2 倍とした場合と 4 倍とした場合について流動に及ぼす影響を検討した。その結果、実粒径の 2 倍のモデル粒径の場合には、付着力のある場合とない場合の流動パターンおよび粒子層の変形パターンを良好に表現できること、粒子モデル径の増大により粒子層内の対流が抑制される傾向のあることを明らかにした。



図III-2.21 並列大規模解析、相似則モデル



図III-2.22 粒子間付着力の影響の検討

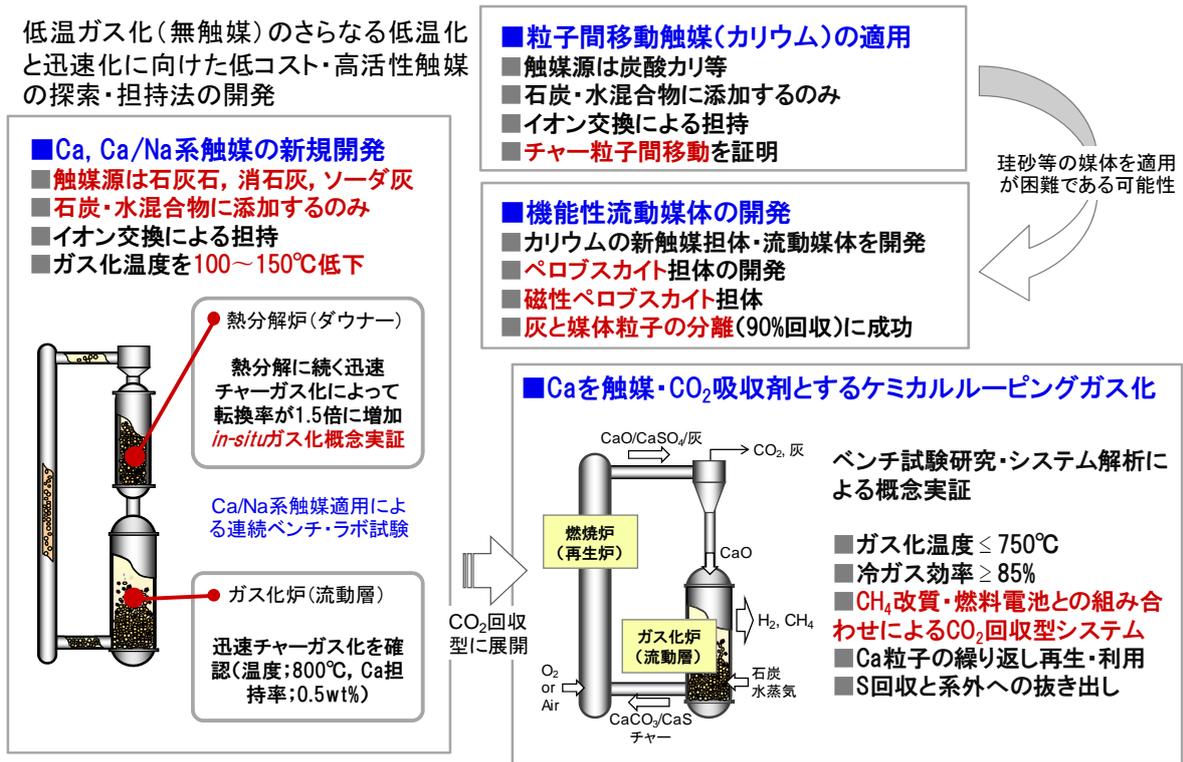


図III-2.23 流体力モデル

(3) 触媒ガス化

表III-2.3 研究テーマ目標および達成度

検討課題	最終目標	結果と達成度
低コスト触媒および触媒ガス化方法の探索	ガス化温度 750°C以下における触媒ガス化、プロセスの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・Ni等金属精錬工場の廃液を用いてNiを担持し、500°Cでガス化 ・循環流動層での担持法の確立 ・高価なNiを回収可能
・廃棄物を利用する触媒		<ul style="list-style-type: none"> ・石灰石やソーダ灰等を担持 ・700°Cでのガス化可能 ・触媒回収必要なし
・天然鉱物を利用する触媒		<ul style="list-style-type: none"> ・ペロブスカイト系担体を用いた金属触媒を開発 ・700°Cでガス化可能 ・サイズ分離や磁性分離で約90%の触媒回収率 ・触媒の回収によって活性が回復
・回収可能な触媒		<ul style="list-style-type: none"> ・20回以上の熱分解・再炭酸塩化で粒子の強度変化のないことを確認 ・CaOの力焼エネルギーの80%以上をガス化ガスエネルギーに転換 ・CaOケミカルルーピングガス化プロセスの提案
・CaCO ₃ を利用するケミカルルーピング水蒸気ガス化		



図III-2.24 触媒ガス化の研究成果

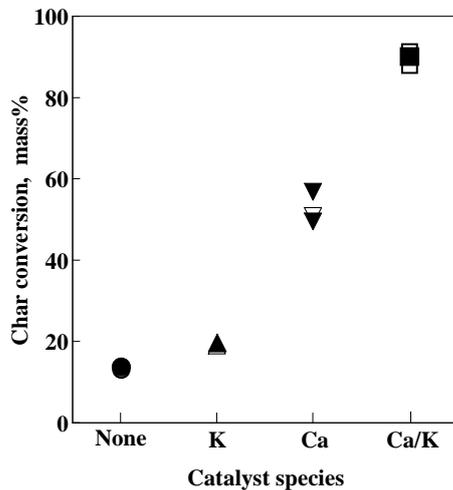
① 石炭担持型高活性触媒の探索と回収技術の構築（東北大(H19-H21)、秋田大(H22-H23)）

豪州産 Loy Yang 褐炭、CaCO₃、KCl を用い、常温で褐炭中の COOH 基と金属イオンとのイオン交換により金属イオン担持炭の調製を行い、CaCO₃ から導入される Ca²⁺量は KCl の有無に依らないが、一方、K⁺担持量は KCl 単独時より CaCO₃ 共存下で大きくなり、CaCO₃ と KCl を同時に使用すると、K 量の多い Ca/K 共担持炭が製造できることが見出された。

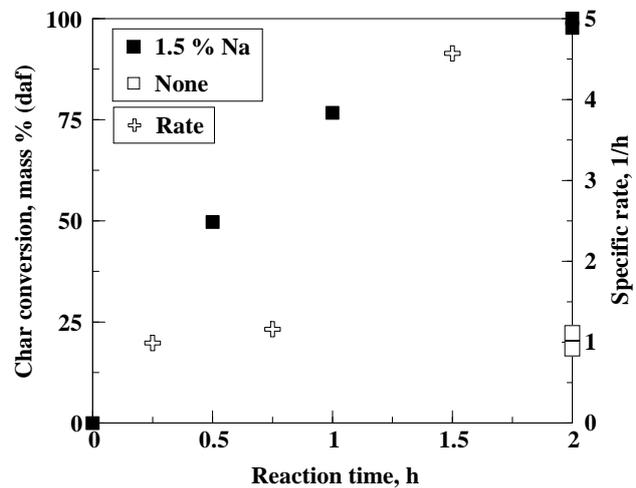
次に、石英製固定床反応器を用い、常圧 100 % CO₂ 中 750°C で 2 h ガス化したところ、触媒効果は

K<Ca<Ca/K となり、Ca/K では相乗効果が出現し、チャー基準の転化率は 90%に達した（図III-2.12）。ガス化後の Ca/K 担持チャーの X 線回折（XRD）測定によると、Ca²⁺は CaO に変化し粒子凝集により平均結晶子径は 30 nm 程度と成長したが、一方、K 種の回折線は全く観測されず、K 触媒は微細な状態で高い活性を維持していることが示された。

アルカリ金属の有効性が確認されたので、アメリカ Wyoming 州に膨大な埋蔵量を持つ天然ソーダ灰 (> 99 % Na₂CO₃) に着目し、Loy Yang 炭と共通試料の Adaro 炭との Na⁺交換を行ない、反応は前者で迅速に進行するものの、条件を最適化することで、イオン交換サイトの少ない Adaro 炭でも、1.5 mass % Na を担持できることが明らかとなった。



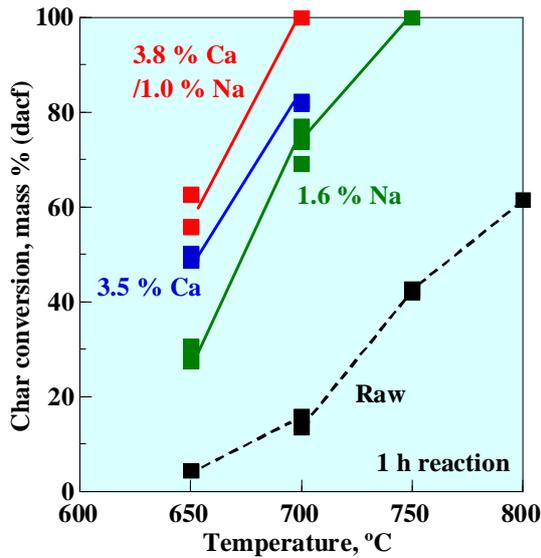
図III-2.25 750 °C 固定床 CO₂ ガス化における原炭、K、Ca、Ca/K 担持炭の反応性



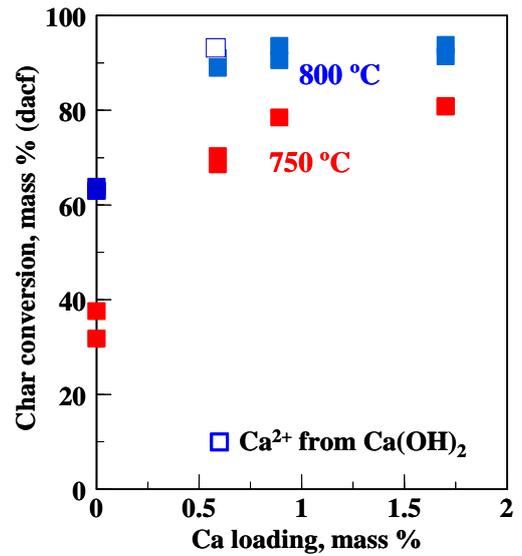
図III-2.26 Na⁺交換 Adaro 炭の固定床 H₂O ガス化での 700 °C チャー転化率と反応速度

Na⁺交換 Adaro 炭を 700°C で H₂O ガス化した結果、チャー転化率は 2 h でほぼ 100 %に達し、イオン交換 Na は少量で大きな効果を発揮した。残存チャー基準の速度 (specific rate) は、指数関数的に増加してアルカリ金属に特有な挙動を示し、Na 種は転化率 50 %でも XRD で検出できないほど微細であった。このように、低コスト天然ソーダ灰は亜歴青炭のガス化触媒として非常に有望であることが判明した。

以上の研究から天然ソーダ灰の有用性が明白となったので、アルカリ金属とは異なる機能を持つ Ca または Fe とを組み合わせた複合触媒の開発を進め、Ca(OH)₂ とソーダ灰より Adaro 炭上にイオン交換担持した Ca/Na は各々単独より大きな効果を発揮し、700 °C でのチャー転化率は 1 h でほぼ 100 %に上り、原炭より 150 °C 低温でのガス化が達成され、新規な高性能複合触媒の開発に成功した。一方、リモナイト（褐鉄鉱；主成分は α-FeOOH）を分散させたソーダ灰水溶液より得た Fe/Na は、相乗作用を示すものの Ca/Na より低活性であった。

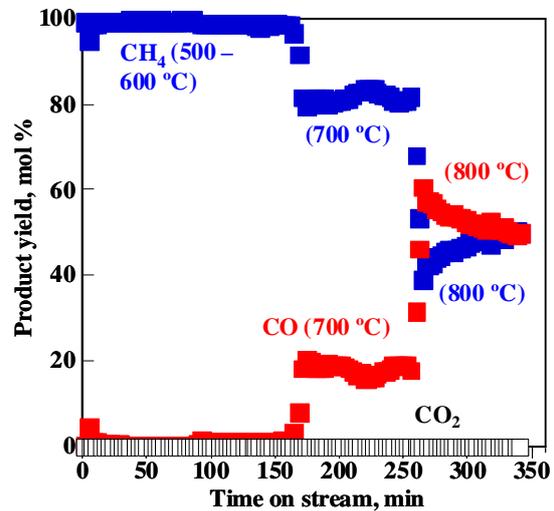
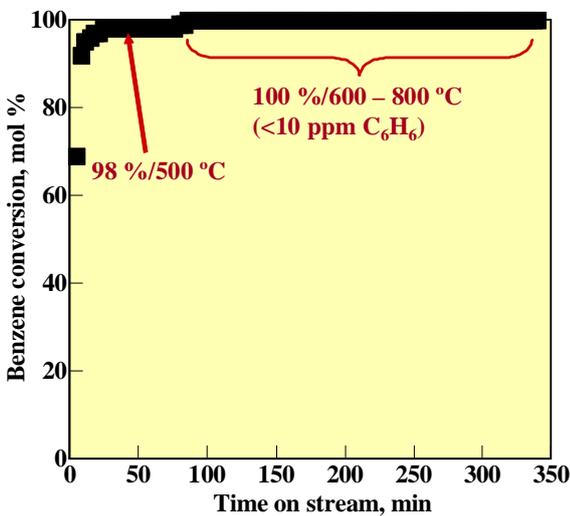


図III-2.27 Adaro 炭試料の固定床 H₂O ガス化におけるチャー転化率の温度依存性



図III-2.28 Adaro 炭の固定床 H₂O ガス化に対する CaCO₃ 由来 Ca 触媒の有効性

さらに、産総研と共同で熱分解非分離型循環流動床 (CFB) を用いて連続 H₂O ガス化試験を行い、Ca 触媒の効果は 800 °C で最も顕著となることを見出し、石炭中炭素のガス化率と生成ガス総量はいずれも原炭時の約 2 倍に上った。粒子循環型ガス化に適した低コスト低担持量触媒の開発を目指し、Ca(OH)₂ の原料の CaCO₃ は、単に Adaro 炭と水の混合物に添加することで、約 0.5 % Ca の少量でもチャーの H₂O ガス化を促進して Ca(OH)₂ 水溶液由来のイオン交換 Ca に匹敵する効果を示し、1 h 後の転化率は 750 °C で原炭の約 2 倍となった。これは CaCO₃ 中の Ca²⁺ が石炭中の COOH 基とイオン交換する結果であり CaCO₃ の有効性が実証された。



図III-2.29 45 %H₂/15 % H₂O/He 中 500 – 800 °C におけるリモナイト触媒上のベンゼン転化率 (左) と生成物収率 (右) の時間変化

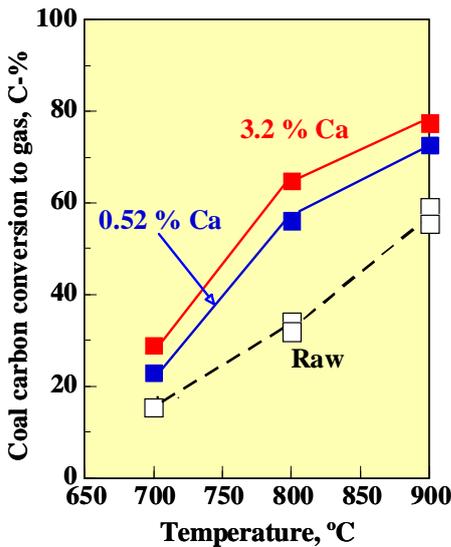
イオン交換 Ca 触媒は、低温ガス化グループと共同で実施した、ダウンナーを模擬したドロップチューブ反応器 (DTR) によるガス化で高い活性を示すことを見出され、H23 年度で詳細に検討した。さらに、流通式接触分解装置に低品位鉄鉱石のリモナイトを充填して用いたところ、タールモデル化合物の難分解性ベンゼン (1700 ppm) が H₂/H₂O 中 600 °C で完全に分解・除去 (10 ppm 以下) できることに成功し、反応は C₆H₆ → CH₄ → CO で進行した (図III-2.20)。この結果は、タールが発生し

ない粒子循環型ガス化法の開発に資するものと期待される。

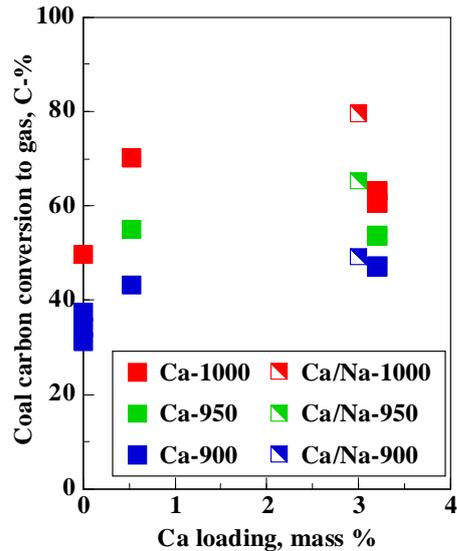
これまでの成果を発展させ、CFB を用いる常圧 H₂O ガス化における Ca 触媒の性能ならびに DTR による H₂O ガス化に対する Ca 単独と Ca/Na 複合触媒の効果を中心に検討した。

前者では、Ca(OH)₂ 水溶液より Adaro 炭にイオン交換した Ca 触媒は、0.5 % Ca の少量でも、700 – 900 °C でのガス化を促進して炭素ガス化率と燃料ガス生成量を増大させ、800 °C で最大の効果を発揮し、約 100 °C 低温でのガス化を実現することを実証した。

一方、Adaro 炭の DTR ガス化では、Ca 触媒は、急速加熱下数 sec の短い粒子滞在時間にもかかわらず、0.5 % Ca の少量で 900 – 1000 °C でのタールやチャーのガス化に活性を示して炭素ガス化率を向上させ、Ca/Na は Ca 単独を上回る性能を発揮することを見出した (図III-2.22)。



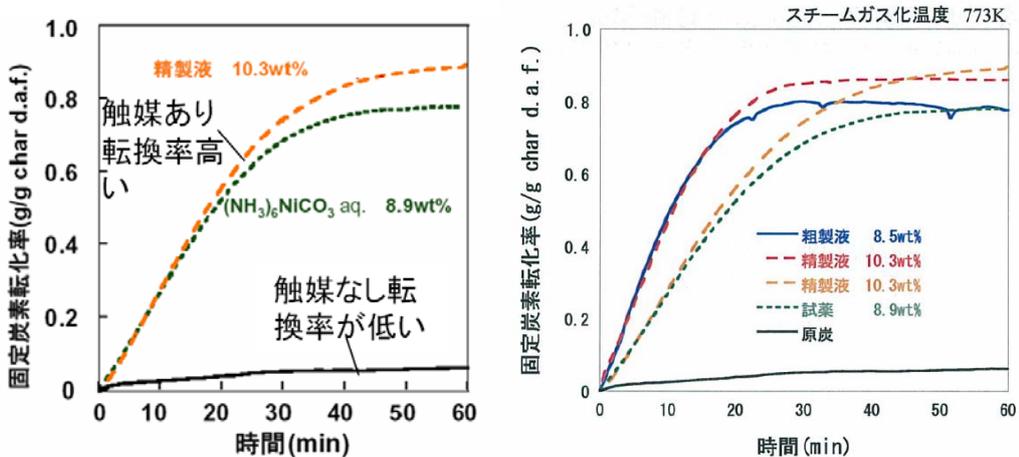
図III-2.30 CFB ガス化における炭素ガス化率の温度依存性と Ca 触媒の効果



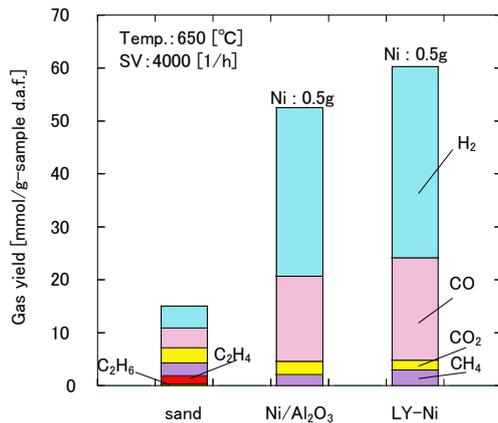
図III-2.31 DTR ガス化時の炭素ガス化率に対する Ca および Ca/Na の触媒性能

② 低コスト鉱物資源ガス化触媒の探索と利用法の構築 (群馬大)

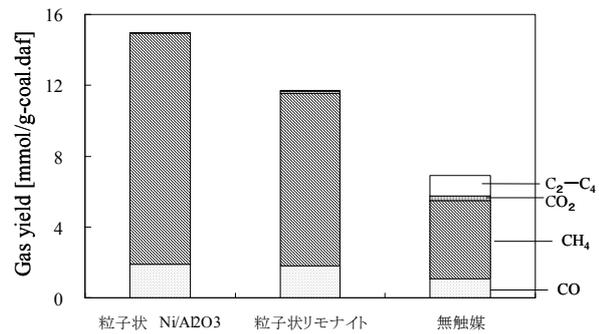
低コストかつ高効率な触媒ガス化を実現する方法として、褐炭および亜瀝青炭に、Ni の湿式精錬工程液および Ni めっき廃液を用いて、Ni をイオン交換担持し、高分散状態の Ni による接触ガス化について検討した。その結果、湿式精錬工程液や Ni めっき廃液からも Ni を担持可能であること、また、亜瀝青炭でも十分にイオン交換担持可能であることを明らかにした。また、Ni めっき廃液を用いた場合においては、担持の際、共存するリン酸が担持を阻害するものの、その後のガス化活性にはリン酸はほとんど影響せず、試薬や湿式精錬工程液を用いて担持した場合と同様、高い活性を示すことが明らかになった。



図III-2.32 Ni 精錬廃液を利用した Ni 担持炭の低温ガス化反応性(500°C)



図III-2.33 触媒種による下水汚泥タールの分解効果（ガス収率）



図III-2.34 650°Cにおける触媒種による石炭タールの分解効果（ガス収率）

また、石炭タールやバイオマス廃棄物タールの分解に対し、調製したニッケル担持褐炭チャーが高い触媒活性を示した。安価なソロアコ・リモナイトがタール分解用高活性Fe触媒の原料として用いた場合、触媒層温度650°Cの場合が最もガス収率が高いことがわかった。この場合、触媒再生がタール分解活性に影響しないことが確認された。

触媒の回収や担持工程はコストの大幅な増加に繋がり、将来的なA-IGCC導入の足枷になることが懸念される。そこで、これらの煩雑なプロセスを回避し、かつ高効率での石炭低温ガス化を実現するため、粒子間移動触媒の概念を導入し、石炭の水蒸気ガス化におけるその有効性を評価した。あらかじめイオン交換によりアルカリ金属を担持した褐炭(以下アルカリ担持炭)を作製し、これを褐炭および瀝青炭の原炭と混合した後、熱重量・質量分析装置を用いて0.3atmの水蒸気雰囲気下(キャリアガス:アルゴン)、室温~900°Cでガス化を行った。アルカリ担持炭との混合ガス化を行った場合、褐炭ならびに瀝青炭双方において、各々の原炭の場合と比較して著しく水蒸気ガス化が促進されることを見出した。このことは、触媒が石炭チャー粒子間を移動し、原炭のガス化を促進した事を意味しており、石炭の低温ガス化における粒子間移動触媒の導入の有効性が示された。

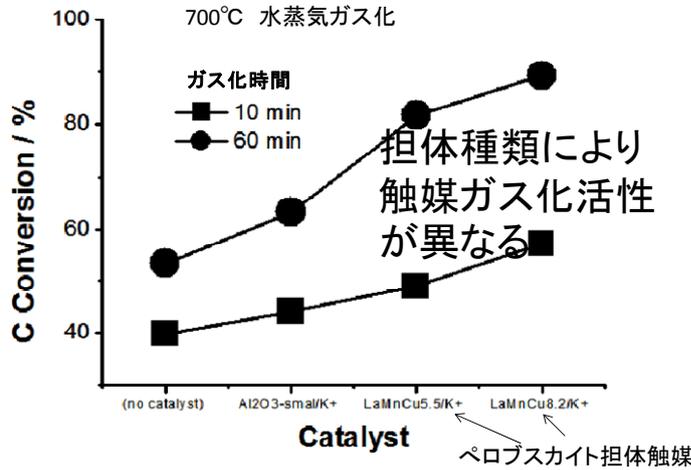
次いで、ヒノキ、Loy Yang 褐炭、大同炭、ホンゲイ炭由来のチャーならびに黒鉛とアルカリ金属を担持した褐炭チャーとを混合して水蒸気ガス化を行い、アルカリ金属触媒の移動によるガス化促進効果のチャー構造依存性について、原料の炭素含有量、チャーの比表面積および粒子径の影響を評価した。各チャーは密閉白金るつぼ中、700°Cで7分間急速熱分解して作製した。また、ガス化は熱重量分析装置を用いて、0.5atmの水蒸気雰囲気下(キャリアガス:アルゴン)、700°Cで行った。ガス化促進効果は原料中の炭素含有率の減少ならびにチャーの比表面積の増加とともに著しく増加した。また、ガス化促進効果は、いずれのチャーにおいても粒子径が250~500μm程度までは持続され、特に褐炭では500~1000μm程度でも低下が認められなかった。これらの結果は、本プロセスが、特にA-IGCCにおいて利用が見込まれる亜瀝青炭や褐炭といった低品位石炭のガス化に特に有効であることを示している。

③ 担持型高活性ガス化触媒の探索と鈹物、触媒分離を含むガス化プロセスの構築 (九大)

様々な担持触媒の石炭ガス化特性を調べるため、まず、流動層ガス化装置を立ち上げ、動作を確認した。次に、メソ細孔性アルミナ触媒がガス化特性に与える影響を検討するため、細孔構造の異なるアルミナにK₂CO₃を高分散し、石炭(アダロ炭)燃焼挙動を調べた。その結果、細孔容量が小さくなるにつれ燃焼温度が低下することがわかった。さらにMn系Perovskite担体の物性と触媒作用との相関を調べるために、組成の異なる3種類のPerovskite担体を調製し、その構造を分析した。

700°C以下のガス化の実現するために、反応速度の向上(反応時間又は石炭/触媒量)、高活性及び30分以内にガス化目標値を達成できる触媒の高性能化を目指し、ペロブスカイト担持型ガス化触媒の設計、調製及び性能評価を行った。ガス化性能に対し担体のマンガン含有量、及び担体の細孔径の影響を調べたところ、マンガンの含有率が18%のLaMn_{0.8}Cu_{0.2}O₃担体を用いた10%K₂CO₃担持触媒は、10分と60分のガス化で各々55%と91%のガス化転換率を示した。ナノ繊維状の単位構造を持つメソ孔

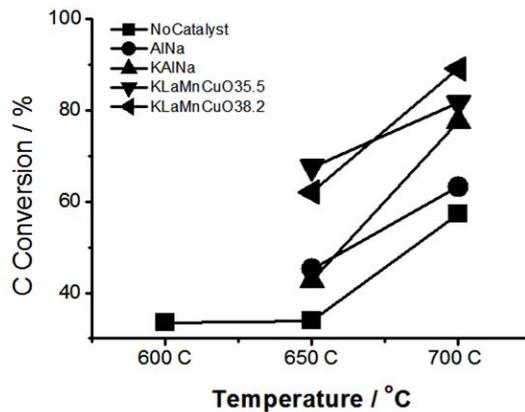
性アルミナ担体触媒は同一条件で各々43%と62%の転換率を、無触媒の条件では同一条件で各々39%と51%の転換率を示した。ペロブスカイト担体触媒の中でMnを18%含有する K_2CO_3 10 wt%/LaMn_{0.8}Cu_{0.2}O₃触媒が最も高いガス化転換率を示した。他の触媒に比べて高い水素含有率を示し、生成ガスの組成改質及び二酸化炭素の生成抑制等の制御が可能であることが確認された。また、ガス化時のタール生成量が低減し、700°Cではタールの形成がほぼゼロ、650°Cと600°Cでのガス化でもタールの形成が殆ど認められないことが確認できた。



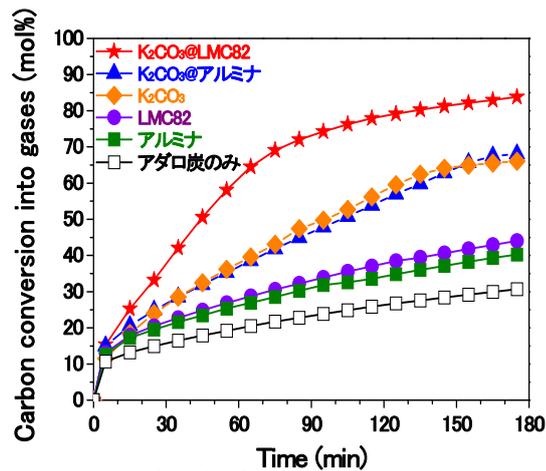
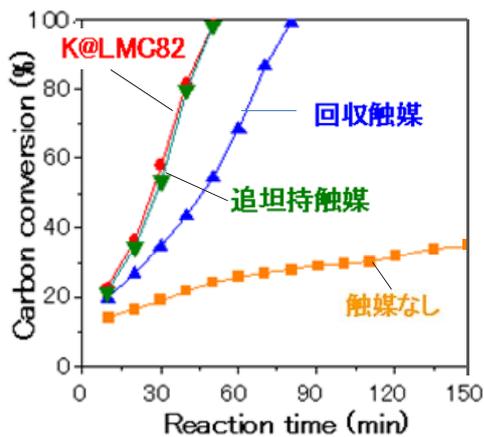
図III-2.35 各種往還型触媒を利用した石炭低温ガス化反応性

触媒の再利用性については、使用済み触媒を用いた二回目のガス化活性を評価した。回収触媒のガス化再利用の際にガス化活性は、一回目に比べてやや低く、一回目ガス化時に5%程の K_2CO_3 の揮発したことが活性低下の原因と見られる。なお、5 wt%の K_2CO_3 を追加担持することで触媒活性の回復が見られ、特に700°Cガス化では未使用触媒と同程度の活性を示した。

反応後の触媒を石炭灰から分離するため、粒子サイズの違いによる触媒と石炭灰の分離を検討した。ペロブスカイトが均一に多孔性アルミナの表面に付着されることが確認した。



図III-2.36 各触媒場合の石炭ガス化炭素転換率の比較



図III-2.37 回収触媒のガス化活性（炭素転換率）の比較

活性種の回収性能およびタール生成抑制性能を評価するのに適した、K 化合物との反応性が低いステンレス製の反応器を用いたタール回収ユニット付き水蒸気ガス化評価装置を設計・作成した。この装置を用いて $K_2CO_3@LMC82$ 触媒のアダロ炭の水蒸気ガス化試験を行ったところ、ガス化反応性とガス化反応後の活性種損失抑制の両面から判断して、反応温度 $700^\circ C$ が本開発触媒においては適していることを明らかにした。また、担体としての性能をアルミナと比較すると、LMC82 は活性種である K_2CO_3 とのシナジー効果により高い触媒ガス化特性を示し、活性種回収能についても、LMC82 はガス化反応終了時点で約 80% の高い活性種回収率と、アルミナ担体より優れていることを確認した。活性種 (K_2CO_3) 担持量については、本研究に用いた LMC82 担体においては 10 wt% が最も効率が高いことを見出した。また、 K_2CO_3 を 10 wt% 担持した LMC82 を石炭に対して 2 倍量使用することにより、炭素転換率 95% 以上を達成した。更に、触媒なしと比べて $K_2CO_3@LMC82$ 触媒は約半分へとタール生成量を抑制できることを明らかにした。

ペロブスカイト酸化物型 (LMC82) 担体の場合は、炭素転換率 30% 程度までは一時的に担体上の K イオン量が減少したものの、その後増加し、反応終点付近では約 78% の K イオンが担体上に回収されることを確認した。長期反復使用時における触媒能について、LMC82 担体を用いた場合は 5 回目までは高いガス化触媒能を保持し、6 回目以降に反応性が低下することを確認した。LMC82/アルミナ担体を用いた場合は 3 回目から、磁性を有するペロブスカイト型 (LKM91) 担体を用いた場合は 6 回目から触媒能の低下が見られた。

LMC82 及び LMC82/アルミナ担体を用いた場合は篩を用いたサイズ分離を、磁性を有する LKM91 担体を用いた場合は永久磁石を用いた磁性分離を、夫々試みたところ、何れの場合も石炭灰との混合物から約 90% の触媒の回収が可能であることを確認した。

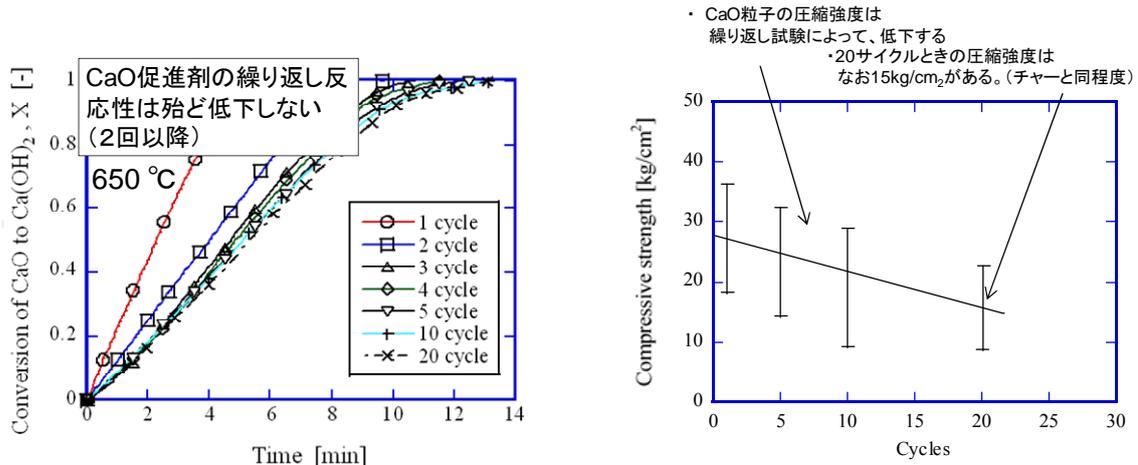
また、LMC82/アルミナ担体の高いタール改質効果を確認した。

④ ケミカルループを利用するカルシウム系ガス化促進剤の開発と低温ガス化プロセスの構築 (JCOAL)

世界の主なケミカルループ石炭ガス化プロセスについて最近の研究開発動向を調査した。その結果、ケミカルループ石炭ガス化プロセスは我が国のものを含め 4 種類あり、実験室規模からパイロット規模まで世界中で盛んに研究が進められていること、また石灰石を CO_2 吸収剤として利用し石炭から水素を製造するプロセスは、日本と欧州で開発が進められていることが明らかになった。さらに、ケミカルループ石炭ガス化による CO_2 回収水素製造の原理、石炭利用の効率アップ及び低温ガス化の可能性を検討した。その結果、ケミカルループ石炭ガス化を利用すれば、低い反応温度でも CO_2 回収とともに水素の高効率な製造が可能であることを明らかにした。

カルシウム系ガス化促進剤を用いたケミカルループ石炭ガス化システムの実用性を向上させるため、CaO の水酸化及び未反応のまま排出される $Ca(OH)_2$ の分解の繰り返し反応時における CaO の反応性及び物性（結晶及び圧縮強度）の変化を調べた。CaO の水酸化及び $Ca(OH)_2$ の分解の転換率がほぼ 100% に達成し、繰り返し反応の影響はほとんど見られなかったが、CaO の水酸化反応速度が繰り返し反応とともに徐々に低下した。繰り返し反応により CaO 結晶が大きく成長したのがその原因と考えられる。

また、繰り返し反応によってCaO粒子の強度は低下する傾向を示したが、20回繰り返し反応してもなおガス化炉内の流動に耐える15kg/cm²（チャーの強度と同程度）があることが確認された。

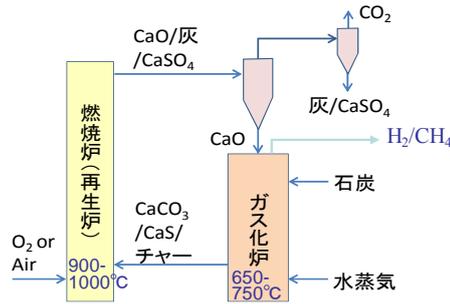


図III-2.38 ケミカルループガス化促進剤の繰り返し反応性及び粒子強度変化

次にガス化特性について調べた。まず、高圧熱天秤、連続供給石炭ガス化装置及び吸収剤再生（カ焼）装置を用いて、高水素分圧/高水蒸気分圧下での石炭チャーとCa担持炭チャーの反応速度、石炭ガス化炉内及びカ焼炉内におけるCaO（CO₂吸収剤）による硫黄分の吸収等によるガス洗浄効果、ならびにカ焼装置出口のサイクロンとフィルターによる石炭灰と吸収剤の分離効果を検討した。また、高濃度でCO₂を回収するために採用する酸素燃焼においては、酸素を水蒸気で希釈する方法（水蒸気サイクル）とCO₂で希釈する方法（CO₂サイクル）があるが、両方式についてのカ焼エネルギーを検討した。さらに、ケミカルループ石炭ガス化システムを構成するプロセスの評価と全体の効率を解析し、次の結果を得た。

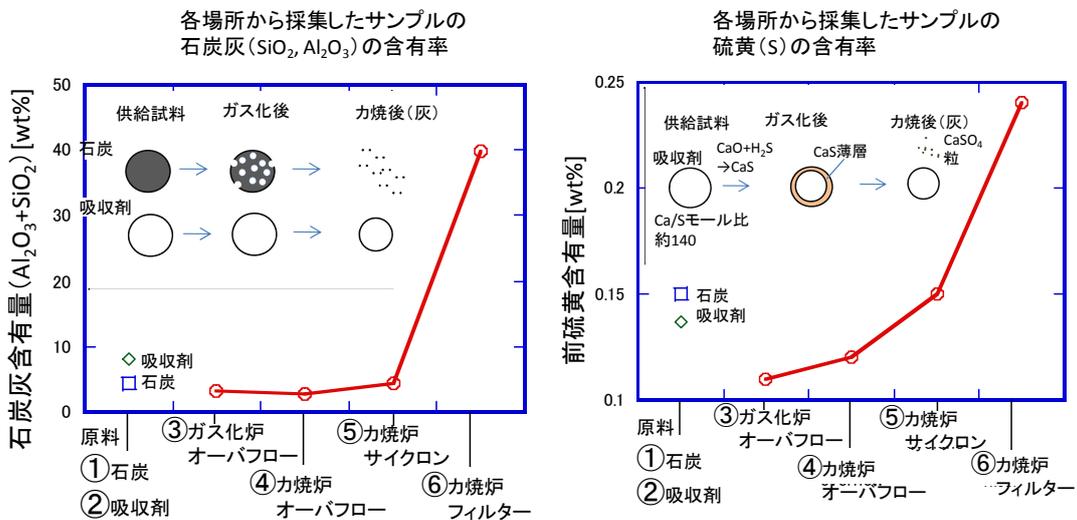
- 高水素分圧/高水蒸気分圧下でのチャー及びCa担持炭チャーガス化速度も水素分圧の増加とともに減少した。しかし、ガス化反応速度に対する水素分圧の影響はチャーよりCa担持炭チャーの方が少なかった。
- CaO（CO₂吸収剤）をガス化炉内に供給したケミカルループ石炭ガス化では、石炭中の硫黄分の約4-7%が生成ガスとして排出され、残りの約96-93%が吸収剤にCaSとして固定されるか、チャーやタールに残されることがわかった。ガス化から排出した固体残渣を再生（カ焼）した際、フィルターで採集された粒子中の硫黄分が最も多く、その次がサイクロンで、オーバーフローから採集した粒子の硫黄分は最も少ないことがわかった。従って、オーバーフローから採集した粒子を吸収剤として再利用し、フィルター及びサイクロンから採集した粒子を系外に抜き出すことで、プロセス内での炉内脱硫の実現が可能である。
- 吸収剤再生（カ焼）装置出口のサイクロン分級による吸収剤と石炭灰の分離の可能性について検討した。その結果、サイクロンで捕集できなかった細かい粒子（フィルターによる捕集）に含まれる石炭灰の主成分（SiO₂+Al₂O₃）は最も多いことが分かった。このことから、サイクロン分級を適切に利用すれば、石炭灰を濃縮し、吸収剤との分離が可能であることが分かった。
- 再生（カ焼）条件における酸素希釈方法として水蒸気サイクルとCO₂サイクル方式のカ焼エネルギー解析を行った。その結果、総合的には水蒸気サイクルの方がメリット大きい。
- カ焼装置出口のサイクロンによる灰分の分離を導入した場合、システム熱効率が約2%（一例として）高くなることが分かった。また、灰分の多い石炭の場合では灰分分離によるシステム熱効率の向上効果がさらに大きくなる。
- 連続供給石炭ガス化試験から採集した排水中のフェノール、有機酸及びTOCを分析し、廃水処理のためのプロセス構成を検討した。凝縮水のpHは10程度のアルカリ性を示し、NH₄⁺とCa⁺によるものであるが、通常のイオン交換でNa⁺に交換すれば良い。高沸点分としてはフェノール類や芳香族類が検出されており、活性汚泥法などで有機分の分解除去が必要となる。
- 加圧ガス化炉への粉体供給および加圧ガス化炉からの粒子抜出しはロックホッパー方式を採用し、また、CO₂の回収のため、吸収剤の再生（カ焼）はCO₂を循環するための動力消費でエネルギー損失になる。解析の結果からは、供給、落圧コンプレッサによる動力消費はシステムの熱効率を

約 0.54% 低下させ、カ焼 CO₂ 循環ブローによる動力消費は熱効率を約 1.48% 低下させることが分かった。



<p>ガス化炉：</p> <p>① 石炭ガス化反応：$C(\text{石炭}) + H_2O(\text{水蒸気}) + \text{熱} \leftrightarrow H_2 + CO_2 + \text{チャー}$</p> <p>② CaOのCO₂吸収反応：$CaO + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + \text{熱}$</p> <p>③ CaOのH₂S吸収反応：$CaO + H_2S \rightarrow CaS$</p>	<p>燃焼炉(再生炉)：</p> <p>① CaCO₃の再生反応：$CaCO_3 + \text{熱} \leftrightarrow CaO + CO_2$</p> <p>② チャーの燃焼反応：$C(\text{チャー}) + 2O_2 \rightarrow CO_2 + \text{熱}$</p> <p>③ CaSの酸化反応：$CaS + 2O_2 \rightarrow CaSO_4(\text{石膏})$</p>	<p><特長></p> <ul style="list-style-type: none"> ・媒体熱容量が大きい(硅砂の十数倍) ・炉内脱硫可能 ・低質炭の利用可能 ・安価な媒体が利用可能
--	--	--

図III-2.39 ケミカルルーピングの概念



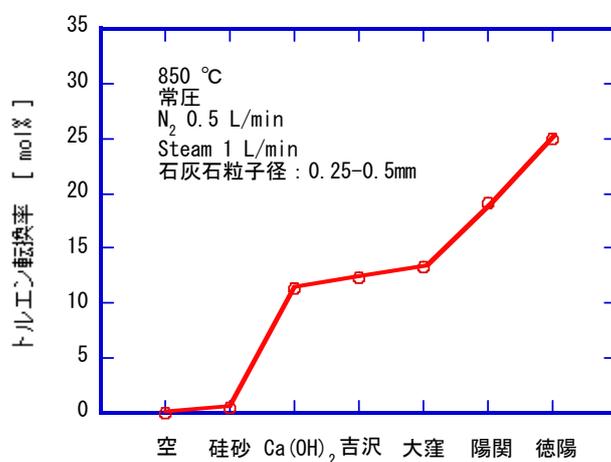
図III-2.40 ガス化及びカ焼過程で採取した試料に灰 (SiO₂ と Al₂O₃) と硫黄の割合

Ca 系ケミカルルーピングガス化試験から採集した固体サンプルを分析し、炉内脱硫のメカニズム及び廃吸収剤 (CaSO₄) の分離方法を検討した。また、ケミカルルーピングガス化の凝縮水による生成ガス中の有害ガスの吸収、及び凝縮水の再利用方法を検討した。さらに、プロセス構成条件について、高压ガス化/低压カ焼条件下での粒子ハンドリング技術を調査しながら、同圧ガス化/カ焼条件の粒子循環を実現するための吸収剤カ焼条件を検討し、次の結果を得た。

- ・カ焼装置のフィルターから採集したサンプル中の硫黄分が他場所のサンプルより濃縮されていたため、効率的に硫黄化合物を分離することができる。また、ガス化炉で硫黄吸収による生成した CaS は粒子の薄い表面にしか存在しないため、カ焼炉で CaSO₄ に酸化し易いことが分かった。

ガス化炉： $\text{CaO} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{CaS}$ ； カ焼炉： $\text{CaS} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$

- ケミカルルーピングガス化の凝縮水には、有機物（有機酸、フェノール類など）がおおく、 NH_3 も含まれる。
- 同圧循環に必要な CO_2 分圧 19 気圧の場合に、 CaCO_3 分解の反応平衡温度は約 1100°C であるものの、天然石灰石の実際分解温度(CO_2 20 気圧)は約 1000°C であることを実験から明らかにした。
- CaO によるタール低減効果調査の一環として、固定層反応器を用いて、 CaO 粒子による模擬タール（トルエン）水蒸気改質の触媒効果 (850°C) を調べた。珪砂だけ充填の場合と比べて、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及び天然石灰石充填の場合のトルエン転換率は約 20 倍～50 倍高いことが明らかになった。
- 熱水処理法について、触媒担持炭の触媒活性変化を調べ、さらに熱水処理法と一般乾燥法の褐炭ガス化プロセスの熱効率を解析した。 Ca 担持炭を熱水処理した Ca 担持熱水改質炭チャーは、 Ca 担持炭チャーに比べて若干ガス化速度は遅いものの、 Ca 担持していないチャーに比べて非常に速く、 750°C 、約 7 分で 50%炭素転換が達成できた。プロセス解析結果として、熱水処理プロセスの熱利用効率が高く、発電効率は乾燥プロセスより約 2%高いことが分かった。



図III-2.41 充填物なし、珪砂、各種石灰石充填時のトルエン水蒸気改質転換率

(4) システム解析

表III-2.4 研究テーマ目標および達成度

検討課題	最終目標	結果と達成度
・全体システムに関するプロセス解析	・送電端効率56%が可能なA-IGCCシステムの構成 ・送電端効率65%が可能なA-IGFCシステム ・CO ₂ 回収時、65%以上の送電端効率が得られるシステム構成	・送電端効率56%のA-IGCCの構成を示した。実現のためには1700°C級ガスタービンおよび高圧/常圧熱交換器(ガスタービン排熱再生器)が必要であることを示した。 ・A-IGCCでは、燃焼後CO ₂ 回収のほうが効率低下が小さい。 ・送電端効率65%のA-IGFCの構成を示した。実現のためには、アノード排ガスをリサイクルのためのリサイクルコンプレッサおよび高温ガス精製が必要である。 ・FCとガス化炉で直接熱交換するS-IGFCを提案。S-IGFCでは、CO ₂ 回収を行っても送電端効率65%以上が期待できる。
・次世代石炭ガス化システムの開発のための技術課題	・ガス化炉以外の周辺技術について、システム実現のための技術障壁を明らかにする	・エクセルギー再生による熱効率向上を確認。 ・S-IGFCシステム実現のための、技術課題を抽出 ガス化炉: 純水蒸気ガス化の困難性 SOFC: バンドル法、新規開発のSOFC 熱交換器: 方式、高温材料 ・将来技術を含めてレビュー

■ガス化温度900°C以下のガス化炉を採用するA-IGCC, A-IGFCのコンセプトを具現化したシステムを設計。

■送電端効率65%を達成する高効率発電を実現するために鍵となる技術を示し、今後開発が必要な要素プロセスや機器等のスペックを抽出。

■エクセルギー再生の効果を具現化する、送電端効率56%のA-IGCC, 65%のA-IGFCのシステムを設計

□今後開発が必要となる要素工程と機器スペックを抽出

□現状の技術レベルに照らして開発課題を整理

□現状レベルのCO₂回収技術を適用した場合の効率低下が比較的大きい。

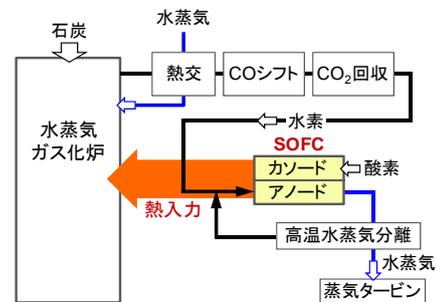
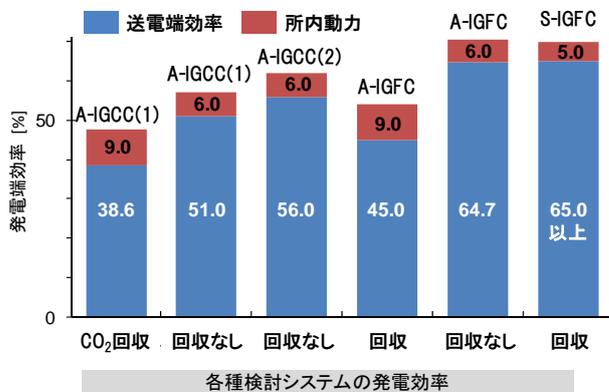
■新概念に基づくIGFC(S-IGFC)を提案、発電端効率>65%のCO₂回収型複合発電のシステム構成を提示。

■ガス化炉におけるSOFC排熱の直接再生

■水蒸気のみをガス化剤とする流動層ガス化

■ガスタービン不使用

□SOFCの新設計、高温水蒸気・水素分離工程開発が必要。



図III-2.42 システム解析の研究成果

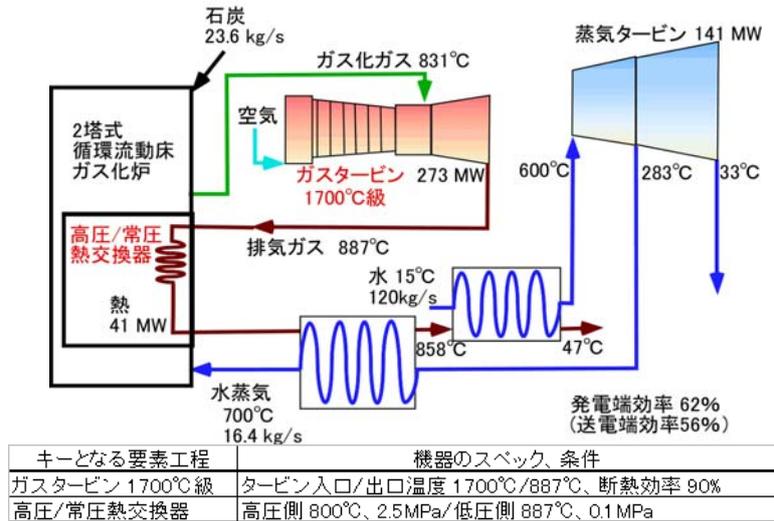
① 効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討および課題整理 (産総研、三菱重工)

A-IGCC の設計

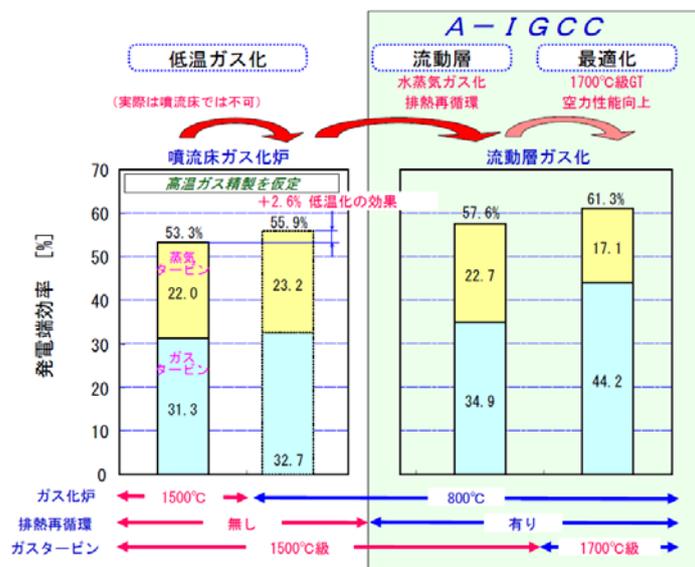
様々な炭種対応のため、システム解析条件の投入石炭量を 667MW(HHV)に統一し、石炭を亜瀝青炭とした場合について、「低温ガス化」での分析結果を用いて IGCC、A-IGCC を分析した。オートサーマル条件にするにはガス化炉に 41MW の入熱が必要であるが、1700°C級の A-IGCC ではガスタービン排気温度が高いため、排熱でこの入熱を賄えることが示された。また、IGCC と A-IGCC の性能の変化を圧縮機やタービンの空力性能や熱交換器性能の向上を想定して調べた。その結果、以下のことが分かった。オートサーマル条件の IGCC システムでは、空力性能向上により、発電効率は 50%を超えるポテンシャルがある。A-IGCC は、空力特性を向上し、ピンチポイント温度差を 15°Cにすると、1700°C級で効率 60%超のポテンシャルがある。A-IGCC の方が噴流床ガス化を用いた IGCC システムに対しても効率が高い。また、ガス精製を高温で行うかもしくは同等のエネルギー損失で済ませ

る熱再生により、A-IGCC が可能となり、同じガス化炉を用いた IGCC よりも効率が高くなること、A-IGCC と同等のガス精製技術を用いた場合でも、噴流床ガス化炉の IGCC よりも A-IGCC の方が高効率であることが示された。

以上の検討から、以下のことが分かった。1700℃級ガスタービンの採用によって 62%の発電端効率(56%の送電端効率)が得られる。高効率化はガス化炉にリサイクルするガスタービン排熱のエクセルギーが化学エネルギーに再生されるためである。今後開発が必要である機器は、1700℃級ガスタービンおよび高圧/常圧熱交換器（ガスタービン排熱再生）である。



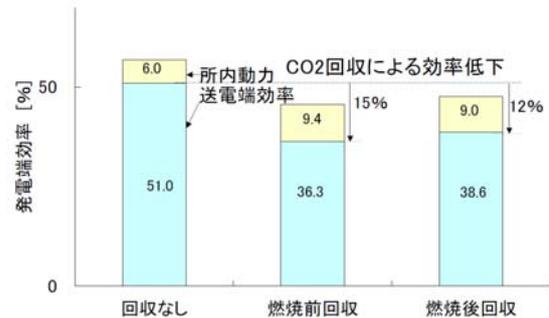
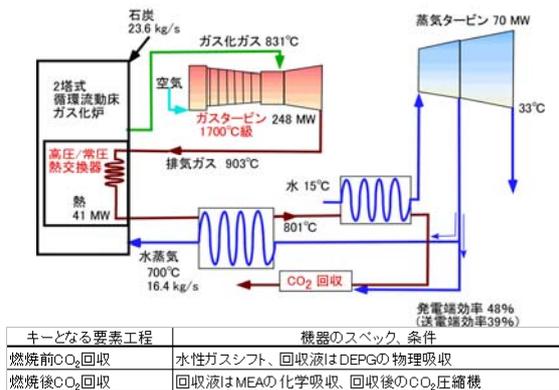
図Ⅲ-2.43 A-IGCC の検討結果



図Ⅲ-2.44 A-IGCC システム出力の計算結果及び各種ガス化との比較

CO₂回収型 A-IGCC の設計

CCS 対応を検討するため、CO₂回収装置を組み込んだ IGCC について、アミン法を採用した場合の効率を調べた。シンプルなアミン法では CO₂回収装置に多くの熱を必要とし、燃焼後 CO₂回収の方が、結果的に燃焼前 CO₂回収に比べ効率低下が抑えられた。また、CO₂回収型 A-IGCC について、燃焼前回収、燃焼後回収を比較した。AMSIM を導入して CO₂回収ユニットの解析を厳密に行ったところ、PRO/II のみで解析を行った平衡状態の結果よりも効率が低下した。燃焼前回収にはシフト転換が必要であり、発熱反応であることから、ガス中の化学エネルギーが減少してしまう。その結果、タービン出力の低下につながる事が明確になった。このため、システム全体で熱の更なる有効利用を検討する必要がある。

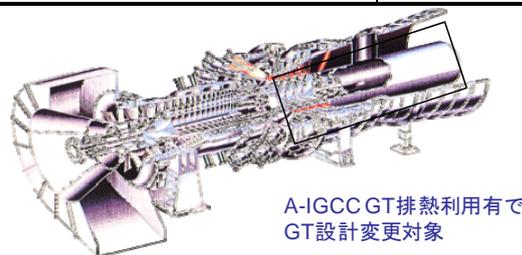


図Ⅲ-2.45 CO₂回収型 A-IGCC の検討結果

図Ⅲ-2.46 回収方式による発電効率の比較

以上の検討から、以下のことが分かった。燃焼前および燃焼後の CO₂回収による発電効率の低下は 12~15%である。従来の IGCC とは異なり、A-IGCC では、燃焼後回収のほうが効率低下が小さい。回収液の性能向上によって燃焼前/燃焼後の優劣が逆転する可能性がある。

項目	課題	検討項目
1.GT排ガス温度の制約 タービン高温段から排ガス取出	・ GT設計変更 (構造/材料等)	・ 設計変更したGT検証 設計変更の費用回収
2.高圧/常圧熱交換器 高圧：ガス化炉(流動媒体) 常圧：GT高温排ガス	・ 高圧/常圧熱交 ・ 熱交換器内ガス化炉流動媒体の挙動及び熱交特性 ・ 熱交換器摩耗	・ 構造(差圧/熱伸び吸収) ・ 熱交特性 ・ コールドモデルによる検討 ・ 耐摩耗材の高温強度
3.GT高温排ガス配管計画 10×10mダクト	・ 配置/配管	・ 材料/構造/コスト/信頼性
4.部分負荷時の運用	・ GT排ガス温度低下	・ 部分負荷時のガス化炉制御



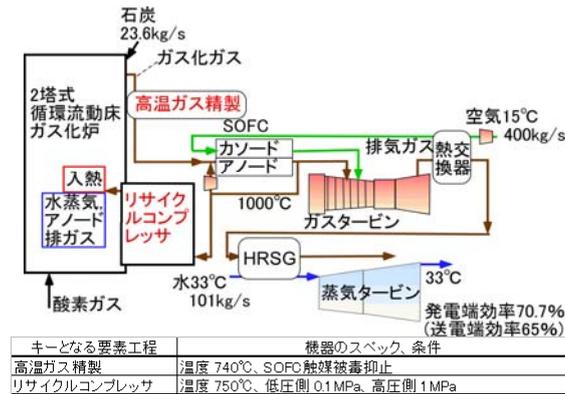
図Ⅲ-2.47 A-IGCC の課題

A-IGFC の設計

燃料電池、燃料電池ガスタービンハイブリッドシステムの開発動向を調査するとともに、その結果を踏まえて高温型燃料電池を組み込んだガス化温度 900°C以下のガス化プロセスの開発に向けて最適なシステムを検討した。アノード(燃料極)排ガスの一部をアノード入口にリサイクルした場合、

61.8%の発電端効率(55.8%の送電端効率)が得られた。さらに、700℃のアノード排ガスを昇圧し石炭ガス化炉に戻すなどの工夫により、アノード排ガスの一部を水蒸気、アノード排ガスと入熱として石炭ガス化炉にリサイクルした場合、70.7%の発電端効率(約65%の送電端効率)が得られた。燃焼後回収ありのA-IGFCの発電効率は、CO₂回収により減少する。燃焼後回収なしのA-IGFCの場合も送電端効率65%にするには、SOFCのアノードガスのガス化炉へのリサイクルにより、エクセルギー再生を行なう必要がある。

以上の検討から、以下のことが分かった。アノード排ガスのガス化炉への直接リサイクルによって、吸熱的ガス化によるエクセルギー再生の効果が顕著になる。CO₂回収に伴ない発電効率は低下する。送電端効率65% (HHV)の達成には、アノード排ガスリサイクルのためのリサイクルコンプレッサおよび高温ガス精製が必要である。



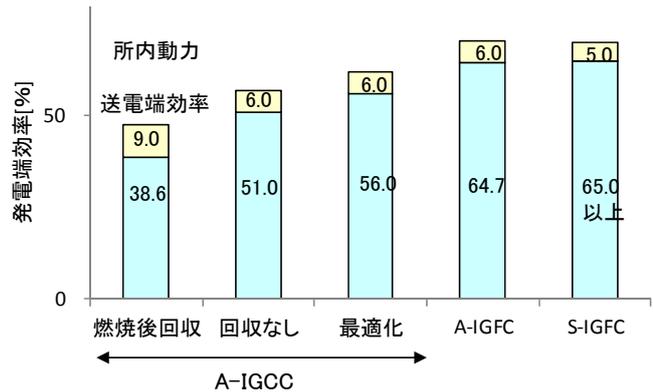
図III-2.48 A-IGFCの検討結果

S-IGFCの設計

さらに、A-IGFCの効率(64.7%)を凌駕する、究極のエクセルギー再生型IGFCとして、スーパーIGFC (S-IGFC)を提案するに至った。S-IGFCは、ガス化炉におけるSOFC排熱の直接化学再生、水蒸気のみによるガス化、ガスタービン不使用の発電等によって、CO₂を回収しても65%以上の発電効率が得られる。S-IGFCの実現には、水蒸気のみを酸化剤とする迅速な石炭ガス化(触媒ガス化)、新設計SOFC、高温水素・水蒸気分離などの新技術が必要となる。



図III-2.49 S-IGFCの構成



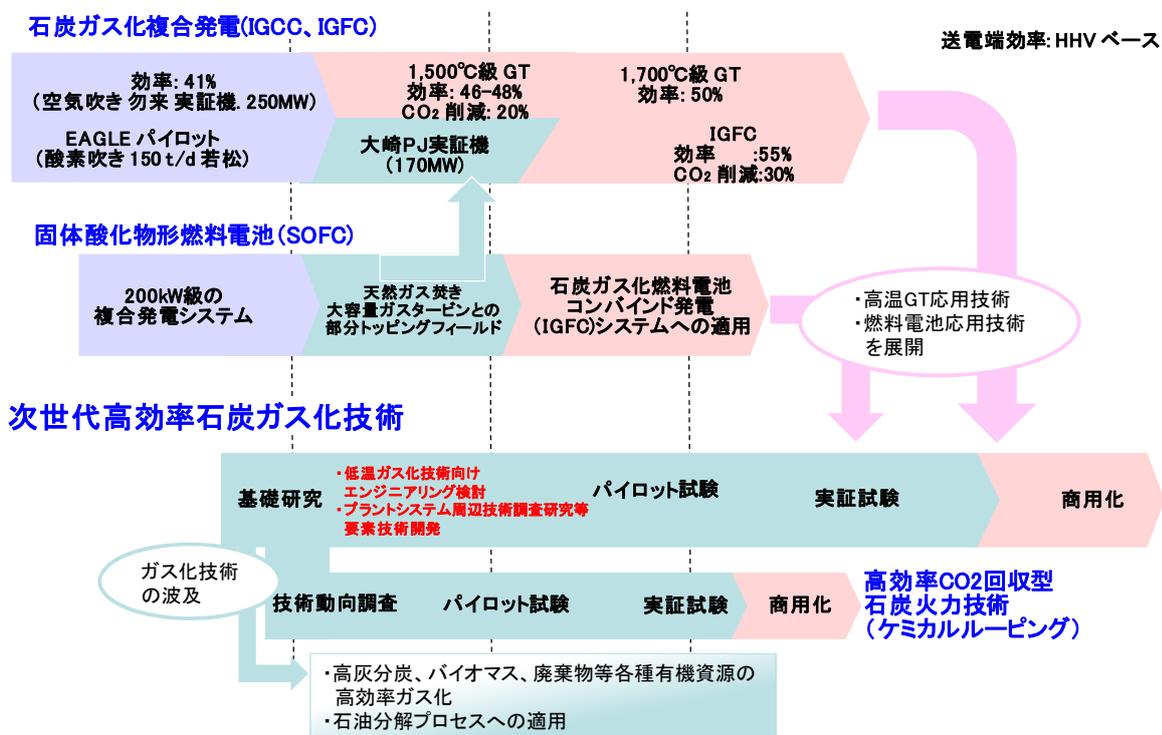
図III-2.50 A-IGCC, A-IGFCとS-IGFC発電効率の比較

表 III-2.5 S-IGFC 現状技術レベル・開発課題

場所	システム構成上の問題点	問題点の解決案
1.全体システム構成	構成システムの成立性。 適用石炭性状範囲の明確化	構成設備・性能を明確化した上で エクセルギの回収システムの検討
2.ガス化炉	SOFCを包含するガス化炉の成立性 ①酸素供給ゼロでの部分酸化炉 ・投入炭素の60%をガス化 ②SOFCよりの直接熱交換 ・必要伝熱面積の検討など ③ガス化炉構造 ・SOFC配置、流動床構成など ④構成材料の耐久性 ・摩耗・腐食・層内応力など	システム仕様決定後検討 ①ガス化炉成立性の検討 ②熱交特性・配置検討 ③構造検討・コールドモデルによる流動状態検討 ④構造材料の高温強度検討
3.SOFC	バンドル化内装構造の成立性 ①バンドル内温度平準化 ②バンドル構造 ・集電方法、シール方法など ③酸素供給方法 ・酸素/空気、封込め/循環など	システム仕様決定後検討 ①SOFCバンドル熱解析 ②集電材料の検討・構造解析検討 ③空気供給/循環冷却を推奨
4.ガス精製	後流システムとの適合性 ①CO Shift反応器 ・CO転換率目標 100% ②脱硫設備 ・温度-出口S濃度 0 ppm ③CO2分離設備 ・CO2回収率 100% ・不純物回収 全量回収	システム仕様決定後検討 ①反応条件を反映 ②選定システム仕様反映 ③選定システム仕様反映
5.水素系統	水素分離・循環システムの成立性 ①水素分離装置 ・純度 100% & 回収率 100% ②H2タービン ・入口温度815°C ③H2圧縮機 ・出口温度937°C ④H2配管の信頼性 ・温度815~937°C	システム仕様決定後検討 ①水素純度の低減 ②冷却器によるH2温度低減 又は高温水素タービンの開発 ③中間冷却器による冷却 ④水素温度低減 高温高圧水素雰囲気下の材料 特性評価
6.酸素供給設備	全体システムの成立性・信頼性 ①空気分離装置 ・酸素濃度 100% ②酸素圧縮機 ・酸素圧縮機 出口温度447°C	システム仕様決定後検討 ①酸素純度の適正化 ②中間冷却器による温度低減
7.熱交換器	高温熱交換器の成立性・信頼性 ①H2ガス温度796°C	システム仕様決定後検討 ①5.水素系統見直し
8.BOP	①高温配管・高温制御弁	システム仕様決定後検討

IV. 実用化の見通し

1. 実用化の見通し



図IV-1 次世代高効率石炭ガス化技術の展開

2. 実用化までのシナリオ

本研究では、エクセルギー再生を行い高効率発電を目指す次世代石炭ガス化発電システムの中核である、循環流動層ガス化炉の基礎的な要素技術の開発に目処をつけた。すなわち、

(1)エクセルギー再生を行うためのプロセスの基本的要請である、900°C以下の低温ガス化技術

(2)上記低温ガス化をさらに補強するための、触媒ガス化技術

(3)同様にガス化装置の基本的要請である、高濃度・大循環速度を両立する循環流動層の実現に一定の技術的目処を付けることができた。また、要素技術開発と並行して行ったプロセス解析の結果、次世代石炭ガス化発電システムとして検討すると、システムの中核である循環流動層石炭ガス化炉と組み合わせて、高効率化を実現させるためには、エクセルギー再生を取り入れることが不可欠であり、ガスタービンの設計変更や燃料電池の技術開発が必須である。

これらの結果を踏まえ、エクセルギー再生を取り入れた高効率発電を目指す次世代石炭ガス化発電システムの開発に当たっては、これら周辺技術の成熟を待って、システム構成に一定の見通しが得られた段階で、今回得られた成果を基に次の段階であるベンチ試験によるプロセスの確認の段階を再開することとする。

3. 波及効果

本研究で開発した石炭の低温流動層ガス化技術、高濃度・大循環量の循環流動層技術、二成分粒子からなる流動層のシミュレーション技術、触媒ガス化技術は、本研究が直接目指す次世代石炭ガス化発電技術の中核である石炭ガス化炉への応用の他に、次のような波及効果が考えられる。

表IV-3.1 本研究で開発された技術の波及効果

番号	要素技術	波及効果
1	低温ガス化技術	<p>流動層による低温ガス化技術の適用</p> <p>高温ガス化に本質的に向いていない、バイオマス、廃棄物等各種有機資源を効率よくガス化可能となる。当面は、木質バイオマスのガス化に直ちに応用可能。</p> <p>(1)木質バイオマスの高効率ガス化装置 (2)石炭チャーによるタール改質器（石炭とバイオマスとの共ガス化） (3)流動層形式の急速熱分解装置への応用</p>
2	高濃度・大循環量の循環流動層技術	<p>他プロセスへの応用</p> <p>循環流動層の粒子循環量および粒子濃度を大幅に増大させることにより、いろいろな化学反応速度を大幅に向上可能で、極めて小型で高性能な反応装置が実現できる可能性がある。例えば、</p> <p>(1)低品位炭の(水蒸気)熱分解による液体燃料の生成 (2)石油分解（FCC）プロセス（特に重質油分解） (3)バイオマスガス化による合成ガス生成 (4)粒子による吸収、吸着プロセスの高度化</p>
3	二成分粒子からなる流動層のシミュレーション技術	<p>気-固システムの数値解析への応用</p> <p>これまでの多くのシミュレーションは均一粒子を想定したもので、密度、粒径、付着力の異なる二成分系の粒子群（移動層、流動層、噴流層、その他）とガスとの混相流の挙動の予測は困難であった。これが、シミュレーション可能となると、粒子系の混合・偏析等が予測できる。例えば、</p> <p>(1)ダウンナー反応器内での熱媒体粒子と、固体燃料の混合の解析 (2)バイオマス燃焼炉・ガス化炉での、バイオマス粒子・チャー粒子・熱媒体粒子の混合と偏析の解析 (3)固体-固体接触操作（乾燥・吸着・吸収・造粒など）での、操作前・操作後粒子の混合と偏析の解析</p>
4	安価な触媒ガス化技術	<p>低温ガス化と組み合わせた高性能ガス化システムの構築</p> <p>安価な触媒による低温での石炭ガス化およびケミカルルーピングガス化技術は、産炭地で実際に応用可能と思われる。</p> <p>(1)褐炭・亜瀝青炭の低温ガス化 (2)ケミカルルーピングプロセス（ガス化、化学合成）</p>

V. 成果普及について

(1) 特許出願状況

特許出願件数：3件

表V-1 特許出願状況

番号	特許
1	「石炭ガス化方法及びガス化設備」、(株) I H I、電中研、産総研、JCOAL 特願 2009-172381.2009.7.23 Australia Patent Application2010-203035
2	「ガス化炉で蒸発したアルカリを再利用したガス化システム」、村上高広、松岡浩一、倉本浩司、鈴木 善三、特願 2007-270215, 2007.10.17
3	“Fe and Ni Catalysts Supported on Peat Derived Carbon”, Chunbao (Charles) Xu, Jaclyn Donald, Yasuo Ohtsuka, Applied to American and Canadian Patents, 2009.

(2) 外部発表

表V-2 外部発表の状況

	論文 査読つき	著書・総論	国際会議 口頭発表	国内口頭発 表	受賞	特許 (国際出願)
2007年			1	2		1
2008年	6	2	10	10		
2009年	10	2	24	25	1	2(2)
2010年	13	2	22	33	2	
2011年	8		20	38	2	
2012年	16	1	6	9	1	
合計	53	7	83	117	6	3(2)

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」
「次世代高効率石炭ガス化技術開発」
(事後評価)
【H19年度～H23年度 5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」

2012年11月16日(金)

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
環境部

1. 事業の位置付け・必要性

(1) NEDOの事業としての妥当性

公開



【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)は重要項目の一つ。

【事業の目的】

世界をリードしている石炭利用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である。



石炭火力の更なる高効率化

現在、開発中のIGCC(石炭ガス化複合発電)、IGFC(石炭ガス化燃料電池複合発電)を効率で凌ぐ、更なる高効率を目指す。

1. 事業の位置付け・必要性

(1) NEDOの事業としての妥当性

公開



<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 選別技術	2010	2015	2020	2025	2030~
61 石炭火力発電	石炭ガス化複合発電 (IGCC)	送電効率 41% (250 MW 実設備)	45% (1500°C 級 GT・型式ガス機)	48% (1500°C 級 GT・型式ガス機)	50% (1700°C 級 GT・型式ガス機)	57% (A-IGCC)
		空気を吹き石炭ガス化技術 多段階対応技術 高効率触媒製造技術	乾式ガスクリーニング技術	低温高効率石炭ガス化技術 IGHAT 高温ガスタービン技術(1700°C 級)		
61 石炭火力発電	石炭ガス化燃料電池 複合発電(IGFC)	プラント規模・送電効率 実設備(1000+台)	多段階対応技術	酸素吹き石炭ガス化技術 乾式ガスクリーニング技術 精密ガスクリーニング技術 高温度タービン技術 高効率触媒製造技術	適用機 630 MW 級・送電効率 55%	65% (A-IGFC)

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

第2期中期目標期間においては、地域の環境問題への更なる対応、CO2問題等地球規模の環境問題への対応…(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ガス化技術分野において、革新的な効率向上が期待される技術で、世界トップレベルの石炭利用技術の維持を目的としたものであり、**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。

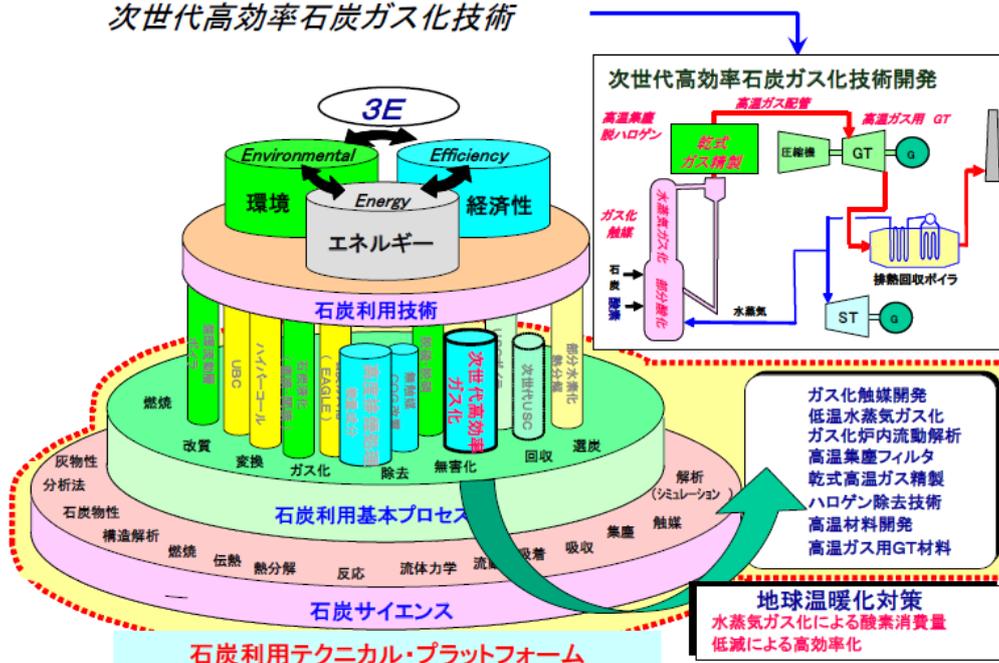
1. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業目的の妥当性

公開



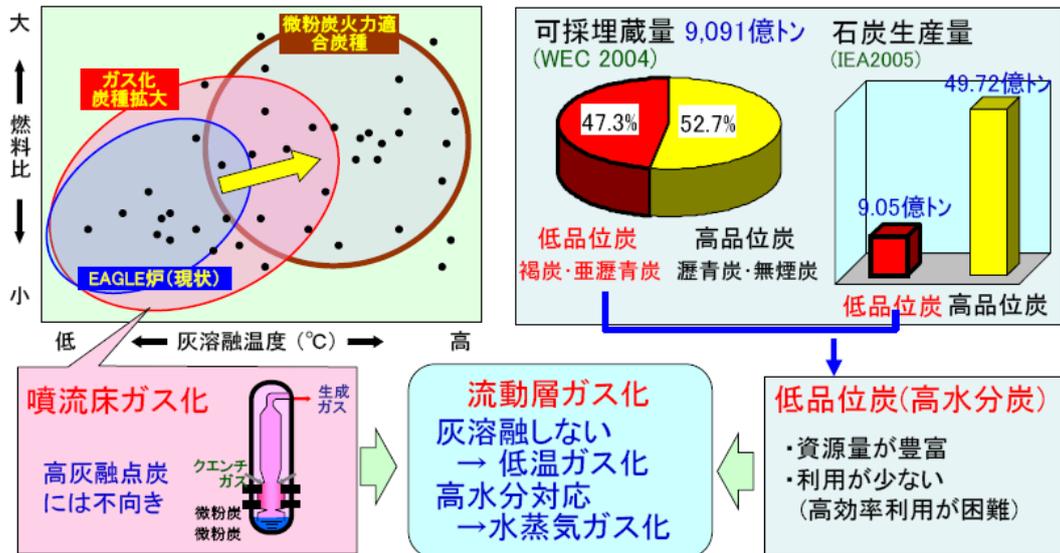
ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト
次世代高効率石炭ガス化技術



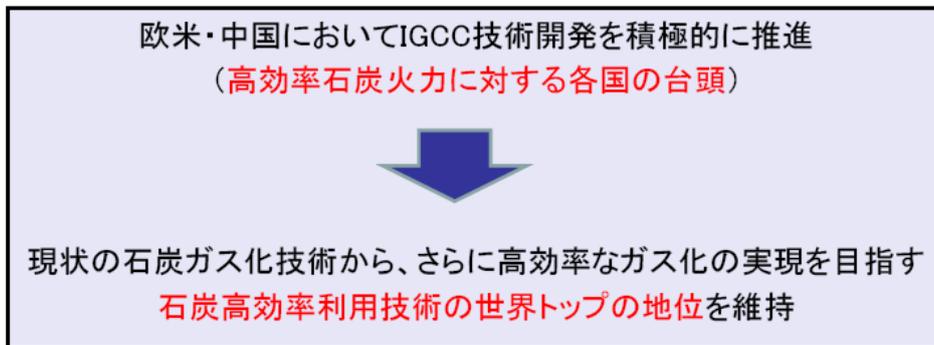
1. 事業の位置付け・必要性
 (2) 事業目的の妥当性

【事前調査】

平成16～18年度：次世代高効率石炭ガス化発電プロセスの開発に関する調査



2. 研究開発マネジメント
 (1) 研究開発目標の妥当性



研究開発項目② 次世代高効率石炭ガス化技術開発

[中間目標(平成20年度)]

ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの開発に向けたプロセス選定

[最終目標(平成23年度)]

目標値:ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの原理検証

上記プロセスを適用した発電プラント概略仕様の策定

設定根拠:発電効率65%以上(送電端)を成立させるための石炭ガス化条件であり、また発電プラントとしての実用化イメージを明確にする。

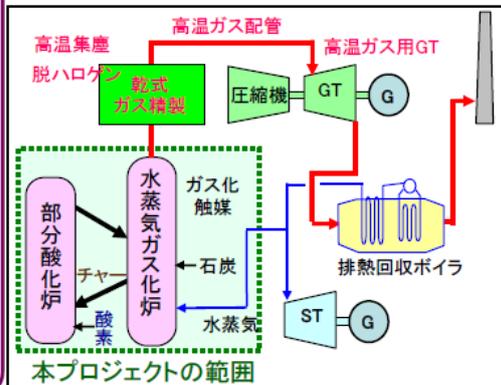
従来石炭ガス化技術の課題

石炭の部分燃焼による高温場で
石炭ガス化、灰の溶融・排出

生成ガスの発熱量が低下
溶融灰からの熱回収が困難

高効率化への大きな障害

ガス化剤に酸素を使用
酸素製造: 多大な所内動力を消費



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

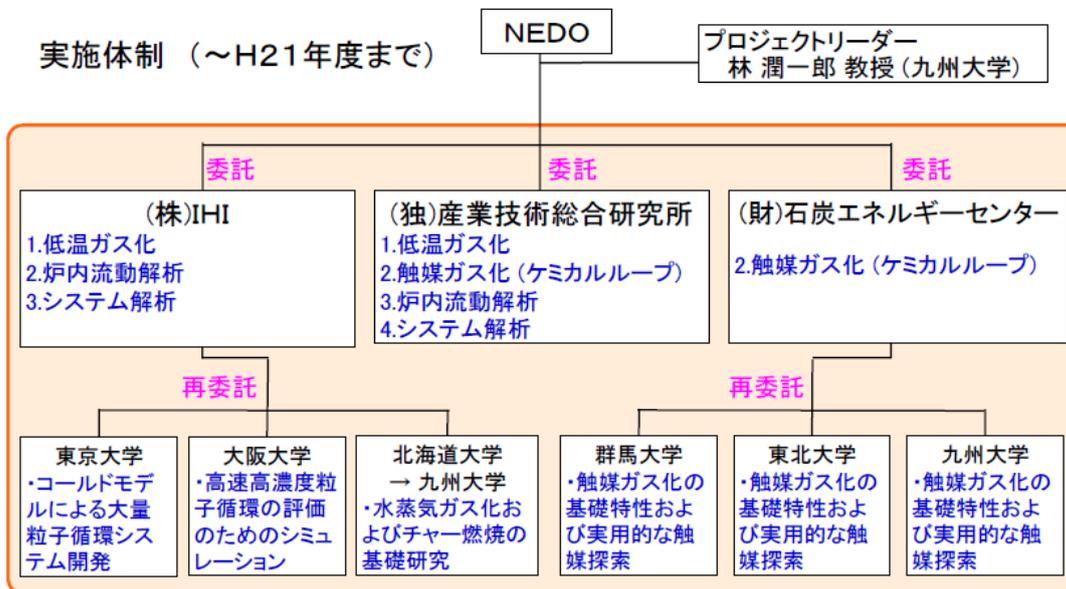
- (1) 低温ガス化 : 流動層ガス化、水蒸気ガス化の基礎プロセスの開発
- (2) 炉内流動解析: 高速に移動する流動媒体の伝熱・流動などの解析
- (3) 触媒ガス化 : 低温ガス化に必要な低コストの触媒の探索および開発
- (4) システム検討: 高効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討

開発項目	H19	H20	H21	H22	H23
1. 低温ガス化					
1-1 水蒸気ガス化及びチャーの燃焼の基礎研究	→				
1-2 常圧ホットモデルによる熱分解炉の検討		→			
2. 触媒ガス化					
2-1 触媒ガス化の基礎特性及び実用的触媒探索	→				
2-2 ケミカルループを用いたCaの触媒的利用ガス化技術	→				
3. 炉内流動解析					
3-1 コールドモデルによる高濃度粒子循環システムの開発	→				
3-2 高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション	→				
4. システム解析					
4-1 効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討	→				
4-2 発電プラントに係る概略仕様の検討				→	
開発予算(百万円)	37	218 補正予算 180含む	201	127	127

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

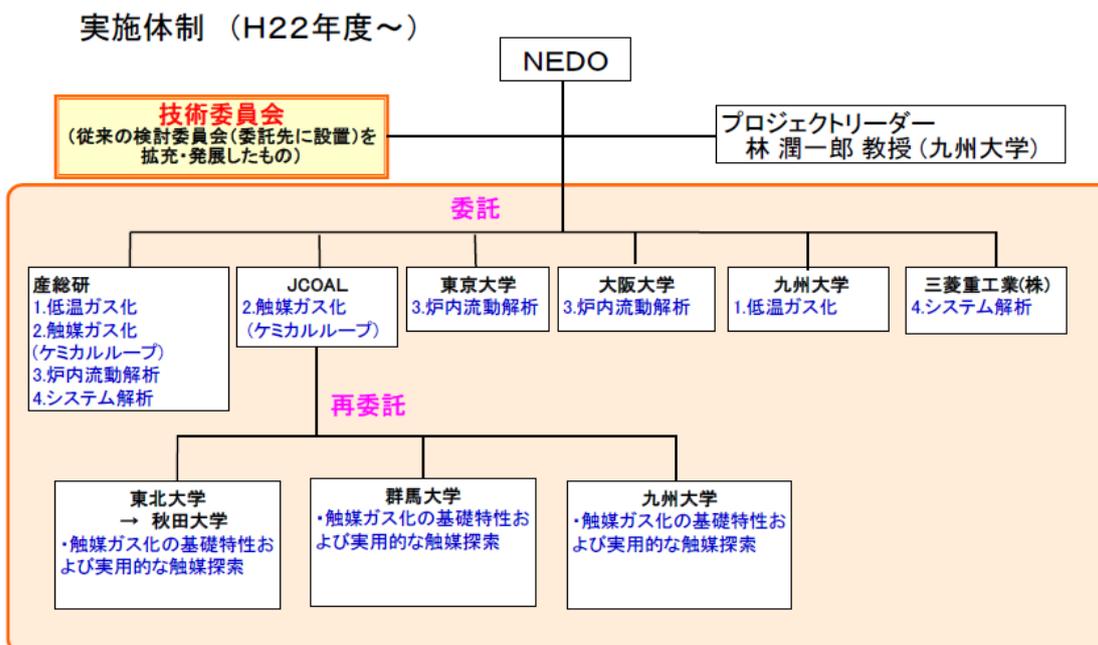
公開



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

公開



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

公開



【技術委員会】(2回/年)

第三者で構成され、NEDOとともに研究の方向、計画、成果を審議することで、現状の課題に対する解決の道筋を立て、より実用化見通しを明らかにする。

委員長: 持田 勲 特命教授(九州大)
委員: 三浦 孝一 教授(京都大)
岡崎 健 教授(東工大)
守富 寛 教授(岐阜大)
梅景 俊彦 教授(九州工大)
金子 祥三 特任教授(東京大)
後藤 秀樹 所長(Jパワー)
犬丸 淳 領域リーダー(電中研)

※平成21年度までは委託先設置の検討委員会を開催していたが、中間評価を反映し、平成22年度からNEDOの委員会として設置



研究の方向、計画、成果

【ワーキンググループ会議】(3~5回程度/年)

実施者及びNEDOによる研究開発成果、進捗状況の討議、確認
(委託先内にプロジェクトマネージャを設置:産総研)

事業原簿 10頁

10

2. 研究開発マネジメント

(4) 情勢変化への対応等

公開



(1) 「Cool Earth —エネルギー革新技術計画」策定

(平成20年3月5日)

平成19年5月、総理のイニシアティブ「美しい星50(クールアース50)」が発表され、「世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比して2050年までに半減する」という長期目標を提案。

- ◆ 目標の実現は、従来の技術の延長では困難であり、革新的技術開発が不可欠。
- ◆ エネルギー分野において、世界をリードできる技術分野に研究開発資源を重点化し、技術開発を加速・推進。

対応

研究加速費用配賦(平成20年度補正予算)

- ・低温ガス化
小型循環流動層ガス化試験装置の改造
- ・流動解析
コールドモデル循環流動試験設備の設置



事業原簿 11頁

11

【中間評価の指摘事項】

- ◆ ガス化システム実現のためにブレークスルーしなければならない具体的な技術課題と解決の道筋が明らかにされていない。
- ◆ 実用化イメージが明確でない。

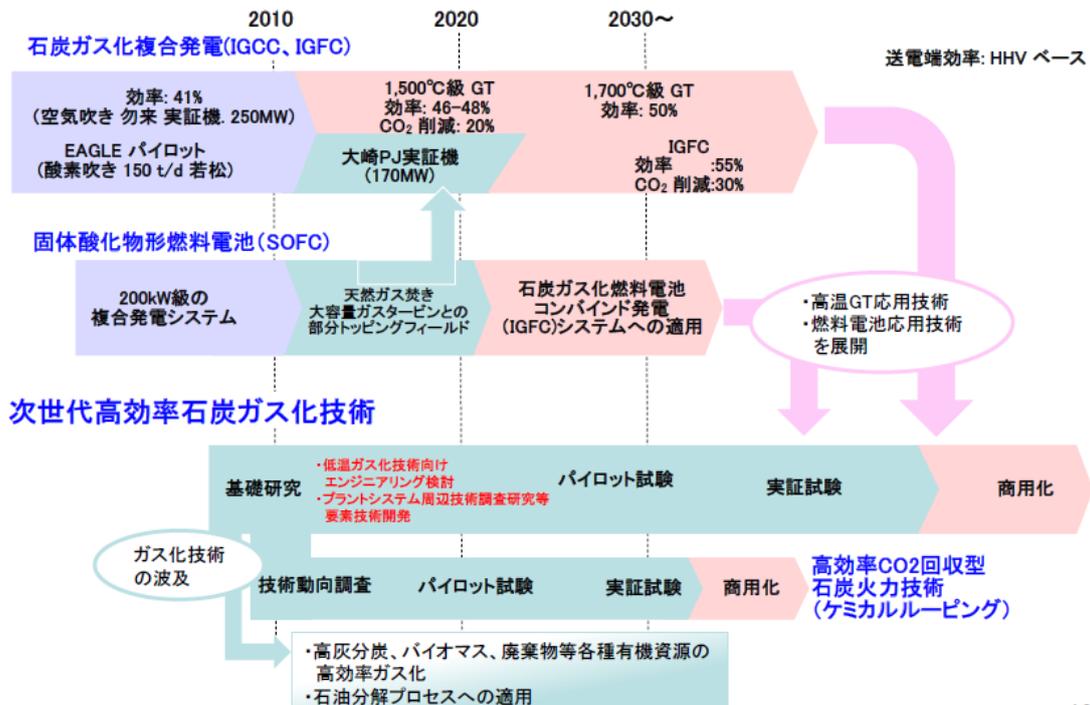
【中間評価結果反映 概要】

・実施体制の見直し

本プロジェクトは低温ガス化プロセスの開発であり、当初は低温ガス化に知見のあるIHIを体制に組み込んでいたが、低温ガス化プロセスに目途が立ったこと、また中間評価を受け、三菱重工を体制に組み込んだ。体制を見直すことで、発電プラントを構成するための課題整理を行い、実用化イメージを明確化することとした。

・委員会体制の見直し

従来の委託先設置を改め、NEDOの委員会とし、プロジェクト全体を包括的に成果と実用化見通しの両面から討議・確認するとともに、第三者有識者からの指摘、助言を受ける場として、『技術委員会』を設置。(毎年度2回開催)



(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」
「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

(事後評価)

【H19年度～H23年度 5年間】

4. プロジェクト概要説明資料 (公開)

4.2 「研究成果」および「実用化の見通し」

2012年11月16日(金)

(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構
環境部

4. プロジェクト概要説明: 研究成果および実用化の見通し

説明内容

公開

序論

- (1) エクセルギー再生型ガス化複合発電
- (2) 高効率ガス化複合発電の必要性
- (3) 提案するシステムの概要と研究グループ
- (4) 目標

主要研究成果

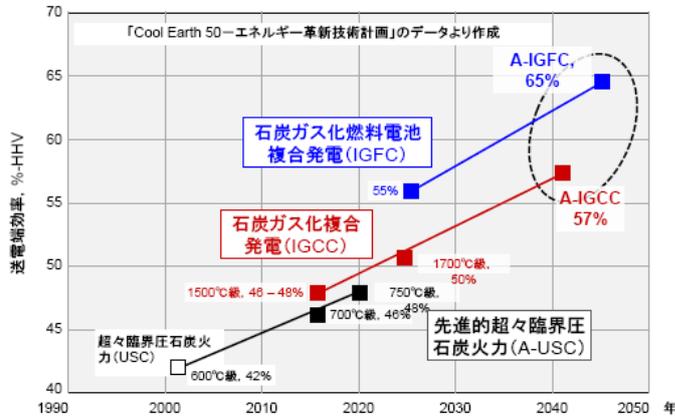
- (1) 低温ガス化
- (2) 流動解析
- (3) 触媒ガス化
- (4) システム解析
- (5) まとめ

実用化の見通し

成果の波及効果

序論(1) エクセルギー再生型ガス化複合発電

公開



■ 主としてガスタービン入口ガスの高温化に依存して向上してきたガス化複合発電 (IGCC) の発電効率は、いずれ限界に達する。

■ 新原理の導入による発電効率の飛躍的な向上が必要

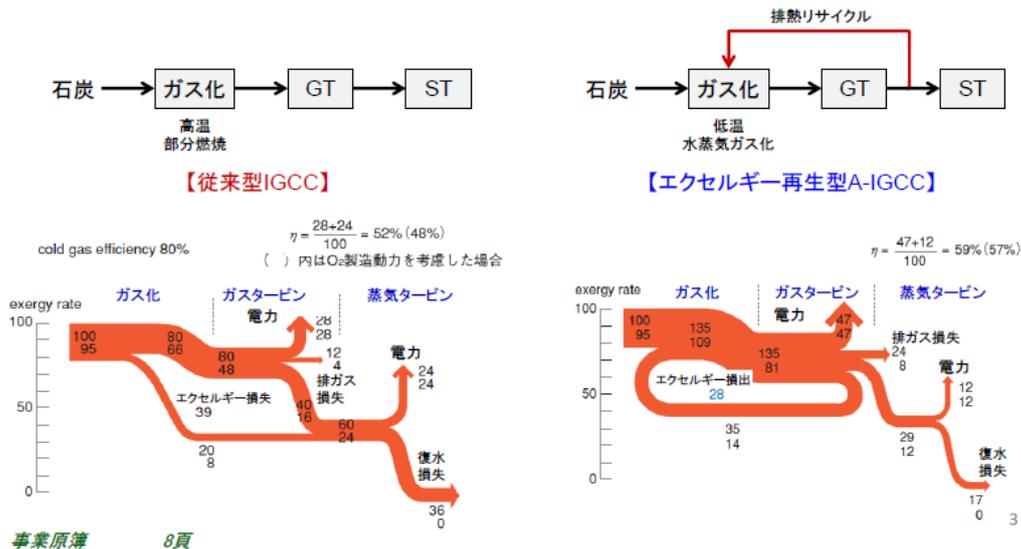
■ 新概念 (エクセルギー再生) に基づく A-IGCC および A-IGFC に着目

序論(2) 高効率ガス化複合発電の必要性

公開

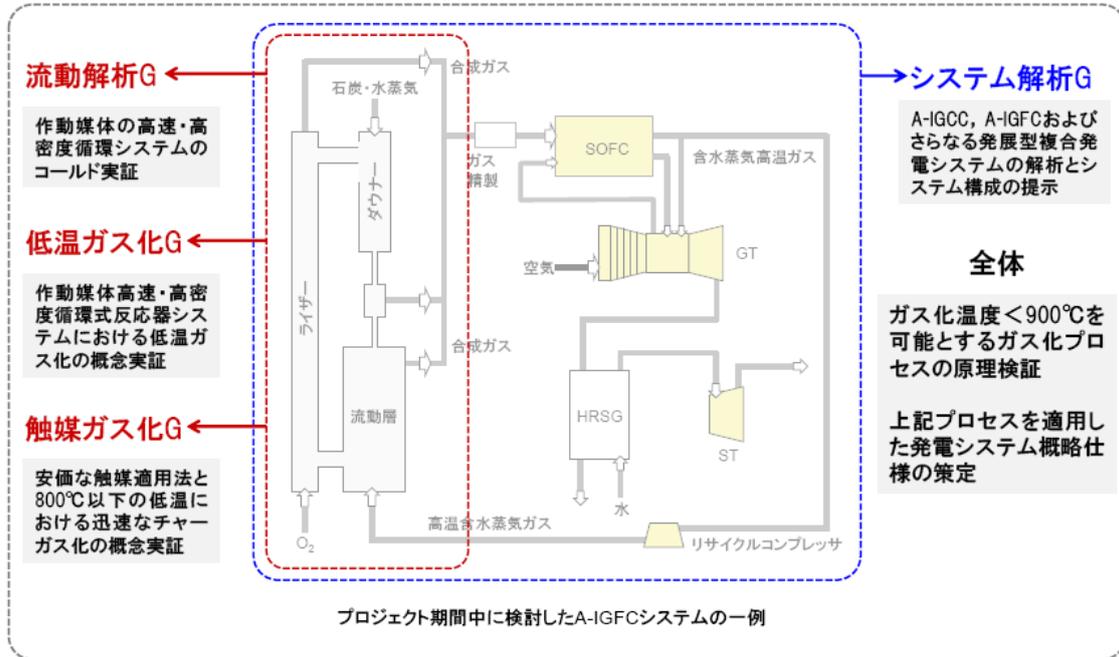
■ 従来型 IGCC における「エクセルギー損失」は、主として部分燃焼ガス化および燃料ガスの燃焼工程にある。

■ エクセルギー損失低減の手段は、① 発熱的な部分燃焼ガス化から吸熱的な水蒸気ガス化へのモードシフト、② タービン・燃料電池排熱のガス化炉へのリサイクル・化学再生



序論(3) 提案するシステムの概要と研究グループ

公開



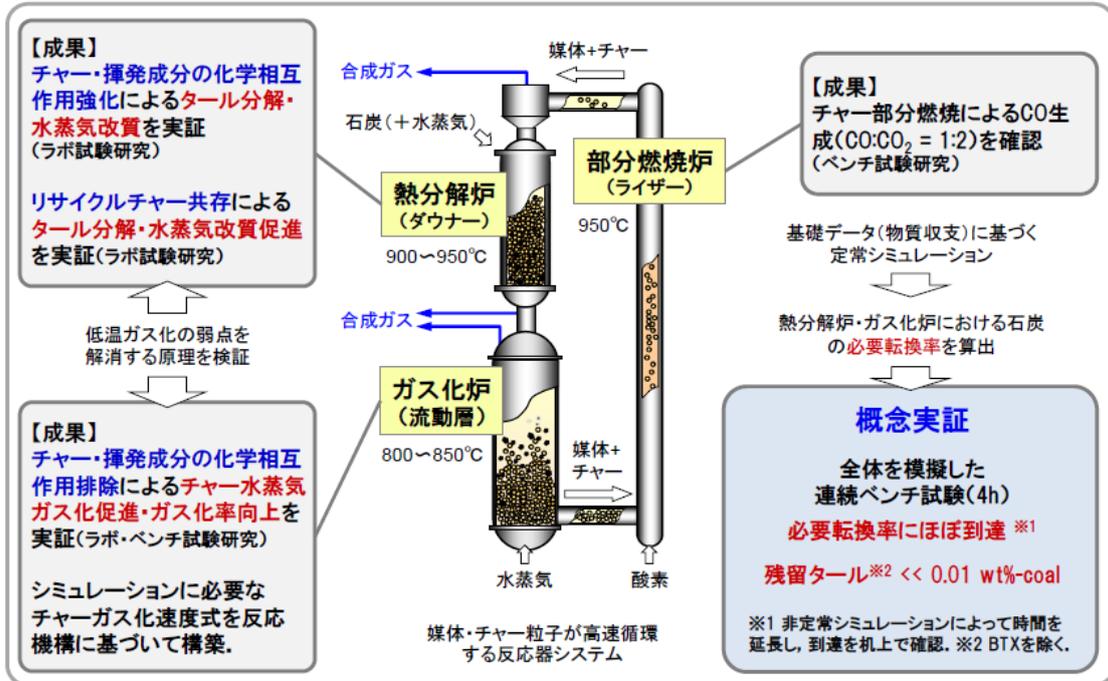
序論(4) 目標

公開

	中間評価(H21)以前	中間評価(H21)以後
中間目標	<p>【目標】 ガス化温度<900℃のガス化プロセスの選定</p> <p>【設定根拠】 同上ガス化プロセスの開発に向けたプロセス選定の必要性</p>	
最終目標	<p>【目標】 ガス化温度<900℃のガス化プロセスの開発</p> <p>【設定根拠】 発電効率65%以上(送電端)を成立させるための石炭ガス化条件</p>	<p>【目標】 ガス化温度900℃以下のガス化プロセスの原理検証ならびに同プロセスを適用した発電システムの概略仕様決定</p> <p>【設定根拠】 発電効率65%以上(送電端/燃料電池との組合せ)を成立させるための石炭ガス化条件であり、また発電プラントとしての実用化イメージを明確にする。</p>

主要研究成果 (1) 低温ガス化

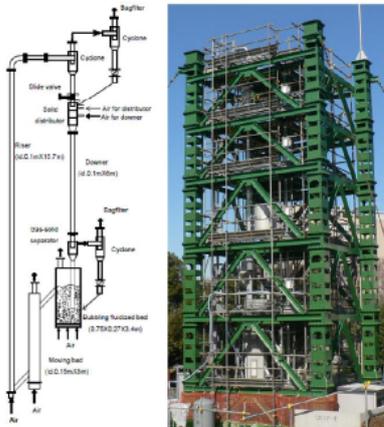
公開



主要研究成果 (2) 流動解析

公開

大型コールドモデルを用いて高速・高濃度粒子循環システムを実証するとともに、ライザー、ダウナー、流動層および各インターフェースに必要な構造と性能を明らかにする。



実規模比(塔径比) 1/10の大型コールドモデル

■流動媒体の高速高密度循環システム

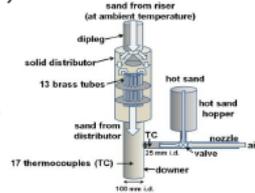
■低温ガス化実現に必要なとされる高固気比の高速高密度粒子循環を達成

- 粒子循環速度 G_s 最大546 $kg\ m^{-2}\ s^{-1}$ (目標値: 350 $kg\ m^{-2}\ s^{-1}$)
- 固気比 35~40 ($G_s = 200\sim 500\ kg\ m^{-2}\ s^{-1}$)

■ダウナー(熱分解炉)の構造最適化

- 石炭粒子-媒体粒子迅速混合のための法線型インレットを設計
- 高伝熱係数 ($130\sim 140\ W\ m^{-2}\ K^{-1}$)を達成

■流動層~ライザーインターフェース (非機械式パルプ)の構造最適化



■数値シミュレーションによる流動の検討

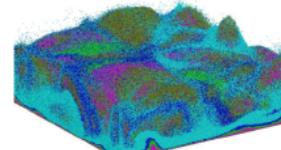
■流動層ガス化炉内の流動解析を行うための計算コードを開発

- 層内の粒子対流時間分布を分析

■流動層~ライザー粒子輸送のシミュレーションコードを開発

■粒子間付着力モデルの導入により、流動層内の珪砂・チャー二成分系流動特性の表現に成功

■計算負荷低減のための相似則モデル導入に成功



並列計算による1千万個オーダーの大規模流動解析

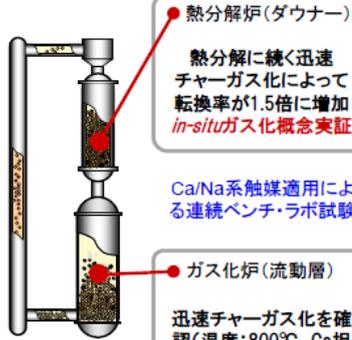
主要研究成果 (3) 触媒ガス化

公開

低温ガス化(無触媒)のさらなる低温化と迅速化に向けた低コスト・高活性触媒の探索・担持法の開発

■Ca, Ca/Na系触媒の新規開発

- 触媒源は石灰石, 消石灰, ソーダ灰
- 石炭・水混合物に添加するのみ
- イオン交換による担持
- ガス化温度を100~150℃低下



事業原簿 29頁

■粒子間移動触媒(カリウム)の適用

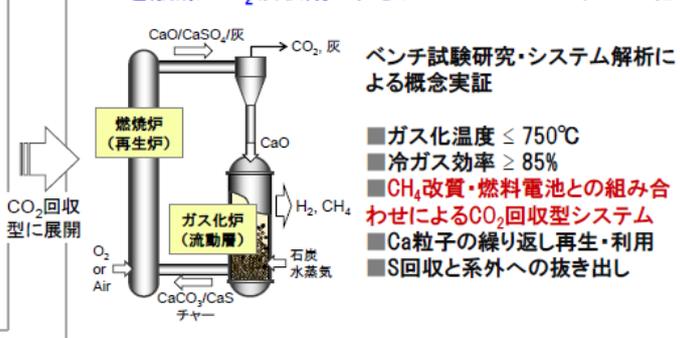
- 触媒源は炭酸カリ等
- 石炭・水混合物に添加するのみ
- イオン交換による担持
- チャー粒子間移動を証明

■機能性流動媒体の開発

- カリウムの新触媒担体・流動媒体を開発
- ペロブスカイト担体の開発
- 磁性ペロブスカイト担体
- 灰と媒体粒子の分離(90%回収)に成功

珪砂等の媒体を適用が困難である可能性

■Caを触媒・CO₂吸収剤とするケミカルルーピングガス化



8

主要研究成果 (4) システム解析

公開

■ガス化温度900℃以下のガス化炉を採用するA-IGCC, A-IGFCのコンセプトを具現化したシステムを設計。

■送電端効率65%を達成する高効率発電を実現するために鍵となる技術を示し, 今後開発が必要な要素プロセスや機器等のスペックを抽出。

■エクセルギー再生の効果を具現化する, 送電端効率56%のA-IGCC, 65%のA-IGFCのシステムを設計

□今後開発が必要となる要素工程と機器スペックを抽出

□現状の技術レベルに照らして開発課題を整理

□現状レベルのCO₂回収技術を適用した場合の効率低下が比較的大きい。

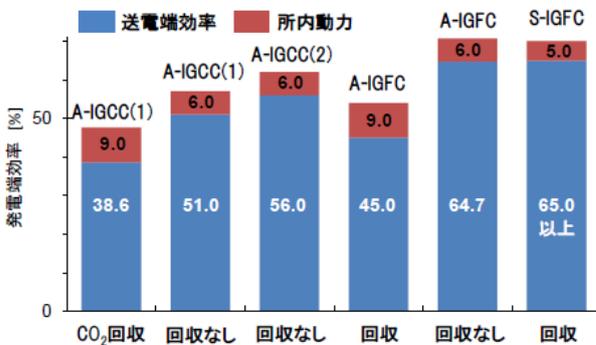
■新概念に基づくIGFC(S-IGFC)を提案, 発電端効率>65%のCO₂回収型複合発電のシステム構成を提示。

■ガス化炉におけるSOFC排熱の直接再生

■水蒸気のみをガス化剤とする流動層ガス化

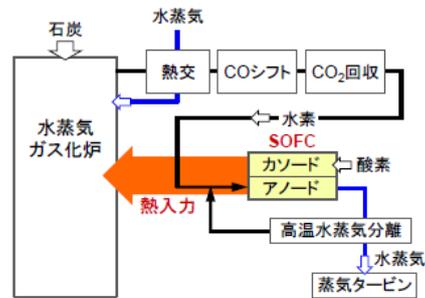
■ガスタービン不使用

□SOFCの新設計, 高温水蒸気・水素分離工程開発が必要。



各種検討システムの発電効率

事業原簿 39頁

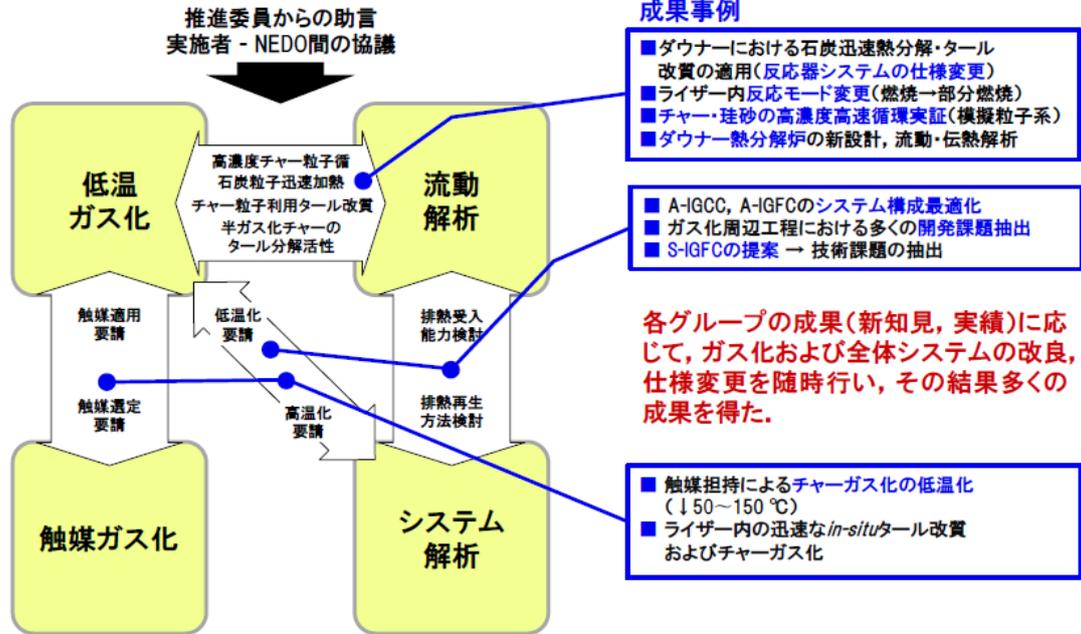


S-IGFCシステムの概略

9

サブグループ間の連携による成果事例

公開



成果のまとめ

公開

サブテーマ	達成目標	達成度	成果等
低温ガス化	<ul style="list-style-type: none"> ・チャーリサイクルによるガス化促進 S/C=1.5におけるガス化率: 52%(中間評価) 63%(現在) ・900℃、チャー:石炭=0.85:0.15において重質タール収率0.5%以下までの低減 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス化性能向上に努め、低温ガス化炉開発、運転のための指針を解明 ・熱分解炉におけるタールフリークリーニングと炭化物併産のためのproof-of-conceptを得た。
流動解析	<ul style="list-style-type: none"> ・Gs=350 kg/(m²・s)・固気比30以上 ・粒子混合・伝熱を最適化するノズル構造決定 ・固気分離効率98%以上 ・2成分系によるガス化炉内滞留時間の評価 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・高Gsおよび高濃度循環を達成 Gs=546 kg/(m²・s)・固気比30~40 ・法線式・接線式の供給器の構造および固気分離器構造の最適化 ・計算による粒子の流動化挙動の予測手法の解明
触媒ガス化	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス化温度750℃における触媒水蒸気ガス化、プロセスの構築 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・触媒性能としてはほぼ達成 ・触媒ガス化方法を想定ガス化プロセスに組み込み方法の解明
システム解析	<ul style="list-style-type: none"> ・全体システムについて、プロセス解析を実施し、最適な操作条件を抽出する。 ・プロセスの効率を定量的に計算し、効率に及ぼす各構成要素の条件を定量的に明らかにし、最適化する 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・A-IGCCおよび燃料電池利用システムの最適化システムの構築 ・システム構成における課題を明確化

知的財産権等の取扱いおよび成果の普及等

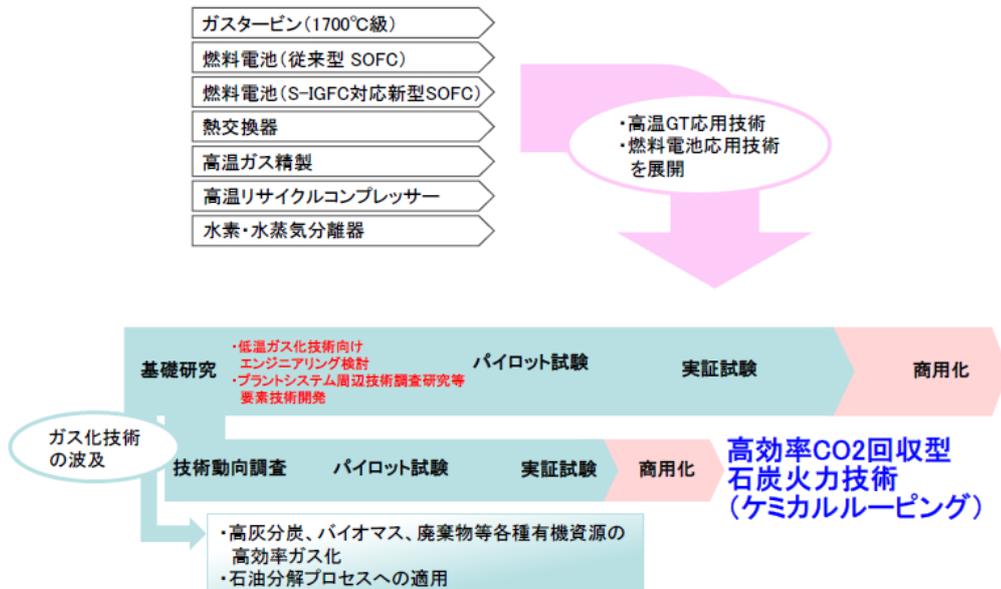
公開

- (1) 特許出願状況
特許出願件数: 3 件(うち国際出願2件)
- (2) 外部発表 260 件
学術論文(査読有り): 53件
総説, 著書: 7 件
国際学会発表: 83件
国内学会発表: 117 件
- (3) 受賞 6 件

実用化の見通し

公開

次世代高効率石炭ガス化技術の今後の展開



研究の波及効果

高濃度・高速粒子循環反応器システムの適用による低温ガス化技術

高温ガス化には本質的に適さない、高灰分(高灰融点)石炭、バイオマス、廃棄物等の炭素資源のガス化に適用可能。木質バイオマスのガス化に対しては直ちに適用可能と考えられる。

- 木質バイオマスの高効率ガス化装置
- 石炭チャーによるタール改質器(石炭とバイオマスとの共ガス化)
- 流動層形式の急速熱分解装置への応用

触媒ガス化

低温ガス化に適した褐炭、亜歴青炭のガス化への高濃度・高速粒子循環反応器システムの適用は、十分に合理性があり、さらに、触媒ガス化導入によって、従来にない高冷ガス効率の達成が期待できる。ケミカルルーピングガス化による合成ガス製造等の製造は、CO₂回収が必須となった場合に採用される強力なオプション。

(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」
 「次世代高効率石炭ガス化技術開発」

(事後評価)

【H19年度～H23年度 5年間】

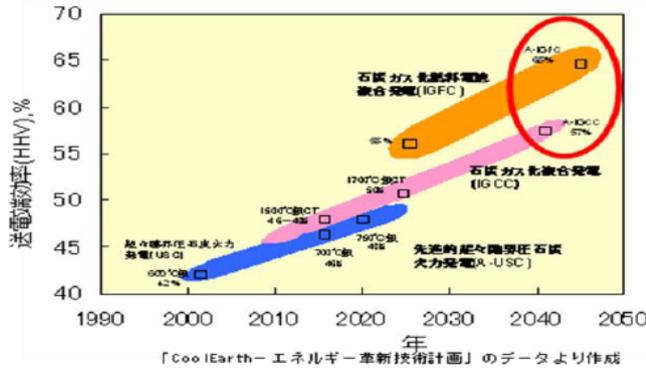
5. プロジェクトの詳細説明資料 (公開)

2012年11月16日(金)

独立行政法人 産業技術総合研究所
 一般財団法人 石炭エネルギーセンター
 三菱重工業株式会社
 国立大学法人 東京大学
 国立大学法人 大阪大学
 国立大学法人 九州大学

石炭ガス化発電システムの熱効率向上

公開



ガスタービン入り口温度の高温化により、現行のIGCCの熱効率は向上するが、いずれ限界となる。



新しいアイデアによる熱効率向上が必要!

石炭を燃料とする発電システムの熱効率の向上が不可欠

- ・ 現行のIGCCを見直し、高い熱効率を実現する新しい発電システムの基本コンセプト (A-IGCC)を提示する。
- ・ さらに、FCと組み合わせた超高効率発電(A-IGFC, S-IGFC)システムも指向する。
- ・ 将来の実用化研究のための、基礎データの収集と技術課題の抽出を開始する必要がある。

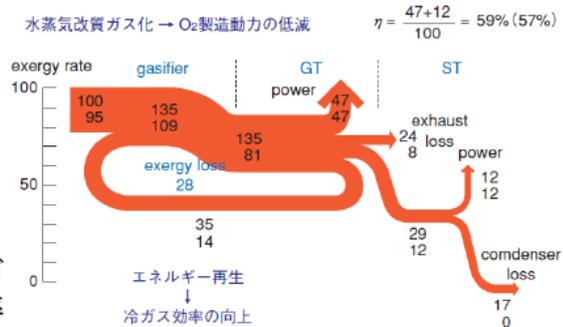
石炭ガス化発電における熱効率向上のための基本的アイデア

公開

一旦、ガスタービン等で仕事をして、低質のエネルギーとなった、熱エネルギーの質的な再生を図る。



エクセルギー率の下がった、熱エネルギーをガス化炉での吸熱反応(水蒸気ガス化反応)を利用して、エクセルギー率の高い、化学エネルギーに変換する。



熱のエクセルギー率

$$\eta = 1 - T_2/T_1$$

$$T_2=25^\circ\text{C}, T_1=800^\circ\text{C} \text{で} \eta=0.72$$

エクセルギー(率)の再生
エネルギー量は保存

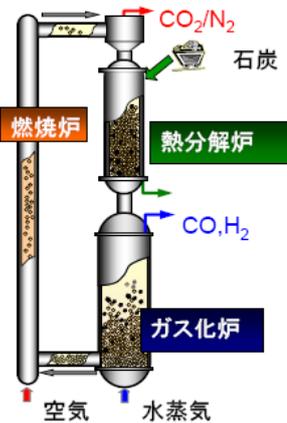
水素のエクセルギー率

$$\eta = 0.83$$

エクセルギー再生を行うためのガス化システム

公開

廃熱のエクセルギー再生が可能な温度レベル (900°C以下) での水蒸気ガス化炉実現



- 廃熱を受け入れられる反応温度
- 吸熱反応の持続が可能な温度を維持するための熱の供給

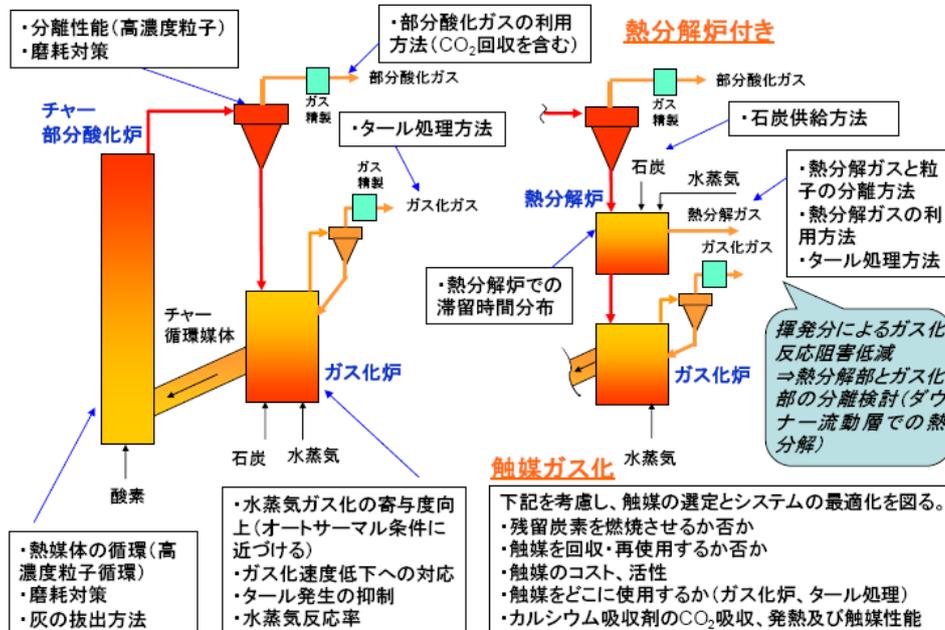


低温 (900°C以下) で、大循環量を有する循環流動層形式のガス化炉

本プロジェクトで最終的に提案したガス化炉形式

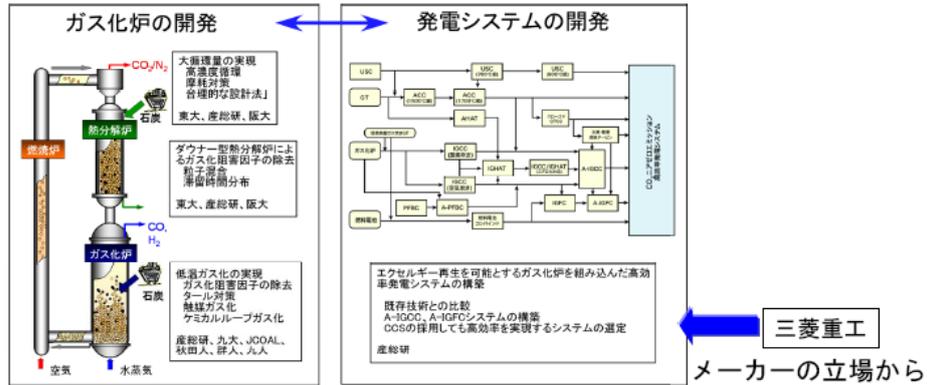
公開

次世代ガス化炉の検討課題



サブテーマの分担

公開



次世代高効率ガス化発電システムのコンセプトの明確化と開発技術課題の抽出

ガス化システム (2塔循環型流動層ガス化)

■低温ガス化 (AIST, JCOAL, 大学)

チャーガス化阻害因子の除去
触媒ガス化の可能性の検討

■吸熱反応熱を補償する、大粒子循環量の実現 (東大, AIST, 阪大)

発電システムとしての課題抽出

■コンセプト生かす、高効率発電システムの探求 (AIST)

■現実的な発電システムとしての評価と実用化のための技術課題の抽出 (MHI)

各テーマの目標と設定根拠

公開

項目	最終目標 (H23)	中間目標 (H20)	目標設定の根拠
低温ガス化	当初	ガス化温度900℃以下のガス化プロセス用の低温ガス化炉の開発	発電効率A-IGCC 57%、A-IGFC 65% (送電端)を成立させるための石炭ガス化条件
	中間評価以降	ガス化温度900℃以下のガス化プロセス用の低温ガス化炉の原理検証	発電効率65%以上(送電端/燃料電池との組合せ)を成立させるための石炭ガス化条件
炉内流動解析	循環流動層ライザーの粒子フラックスを350 kg/m ² /s以上で調整できる装置を構築する。	コールドモデルで循環流動層ライザーの粒子フラックス200 kg/m ² /sを実現する。またシミュレーション技術等を併用しガス化システム内各プロセスの最適化を図る。	ガス化温度を900℃よりさらに低い温度にした場合、同じ発電効率(65%以上、送電端/燃料電池との組合せ)を維持するためにはより大量に粒子媒体を循環させる必要があるため
触媒ガス化	ガス化温度750℃における触媒水蒸気ガス化、プロセスの構築	ガス化温度850℃における触媒水蒸気ガス化プロセスの構築	発電効率70%以上を実現する低温触媒ガス化プロセス
システム検討	当初	ガス化温度900℃以下のガス化プロセス用のシステムの開発	発電効率A-IGCC 57%、A-IGFC 65% (送電端)を成立させるための石炭ガス化条件
	中間評価以降	ガス化温度900℃以下のガス化プロセス用のシステムの構築	発電効率65%以上(送電端/燃料電池との組合せ)を成立させるための石炭ガス化条件

プロジェクトの体制とスケジュール

公開

開発項目	H19	H20	H21	H22	H23	
1. 低温ガス化						プロジェクトリーダー 林 潤一郎 九州大学教授
1-1 水蒸気ガス化及びチャーの燃焼の基礎研究	→					
1-2 常圧ホットモデルによる熱分解炉の検討	→					
2. 触媒ガス化						実施者側代表 藤森 俊郎 IHI 基盤技術研究所 (平成19～21年度)
2-1 触媒ガス化の基礎特性及び実用的触媒探索	→					
2-2 ケミカルループを用いたCaの触媒的利用ガス化技術	→					
3. 炉内流動解析						鈴木 善三 産業技術総合研究所 (平成22～23年年度)
3-1 コールドモデルによる高濃度粒子循環システムの開発	→					
3-2 高速高濃度粒子循環の評価のためのシミュレーション	→					
4. システム解析						
4-1 効率化を達成可能なシステムの最適化と効率の検討	→					
4-2 発電プラントに係る概略仕様書の検討				→		

低温ガス化

低温ガス化グループ (産総研、九大) 目標

公開

○熱分解分離形式の2塔循環流動層ガス化炉

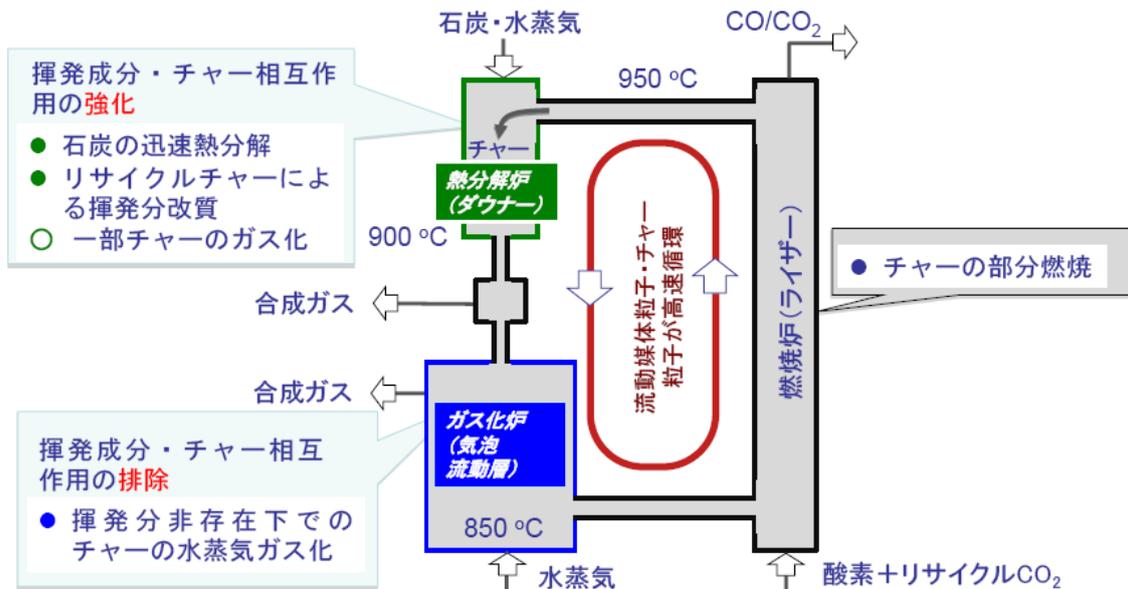
- ・連続運転による、基本コンセプトの有効性の確認
- ・チャーリサイクルによるガス化促進
S/C=1.5におけるガス化率：52%以上

○チャーによるタール低減

- ・系内を循環するチャーによるダウンナー熱分解器でのタール分解効果の確認
- ・900°C、チャー：石炭=0.85：0.15において重質タール収率0.5%以下までの低減

低温ガス化グループの研究概要

公開



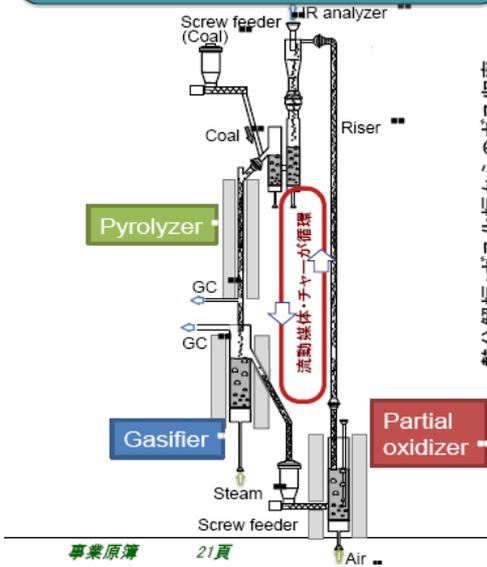
反応炉形式・操作条件の最適化によるガス収率の向上

公開

本ガス化炉方式によるガス化率の向上

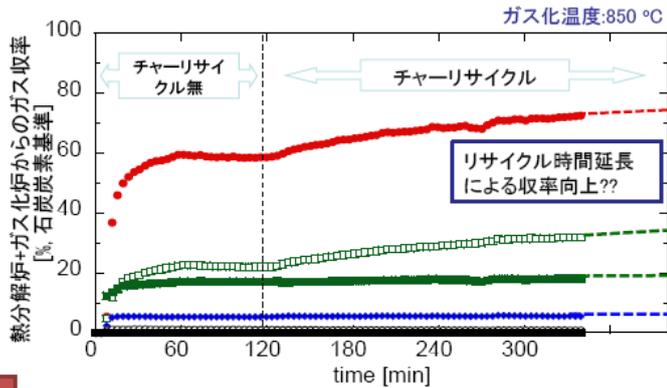
- 熱分解-ガス化炉分離(チャーと揮発分の相互作用回避)とチャーリサイクル(チャーと揮発分の相互作用強化)を装置内で巧みに実現することで、ガス収率は大幅に向上。

循環流動層ガス化装置概略



事業原簿 21頁

循環流動層ガス化炉+熱分解炉からの生成ガス収率の例



- チャーリサイクルはガス収率向上に著しい効果
- チャーリサイクル時間延長により、更なるガス収率向上期待。

11

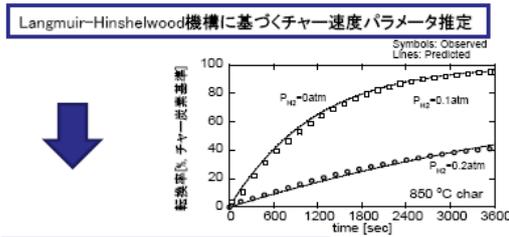
熱分解分離型ガス化炉方式によるガス化性能

公開

ガス化率の目標値と達成可能性

- チャーガス化速度パラメータを実験的に決定し、チャーリサイクルによるガス化率の限界を推定
- 長時間のリサイクルによりガス化率は向上し、目標値まで到達

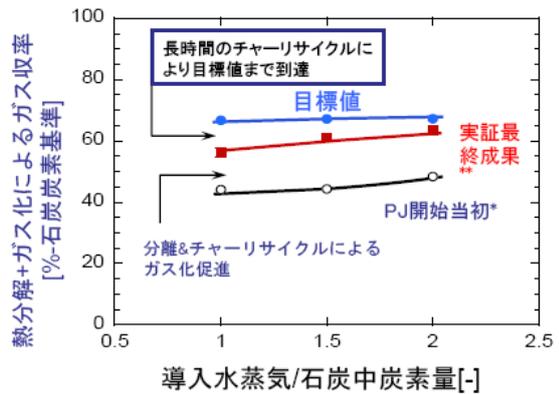
回分式装置を用いたガス化速度解析



循環流動層のガス化炉内の分圧推定

連続式装置へ適用
本ガス化炉方式によるガス生成率の限界推定

ガスへの転換率の目標値と実測結果の比較



* 熱分解-ガス化反応場分離無, チャーリサイクル無
** 熱分解-ガス化反応場分離有, チャーリサイクル有 (4h)

事業原簿 19頁

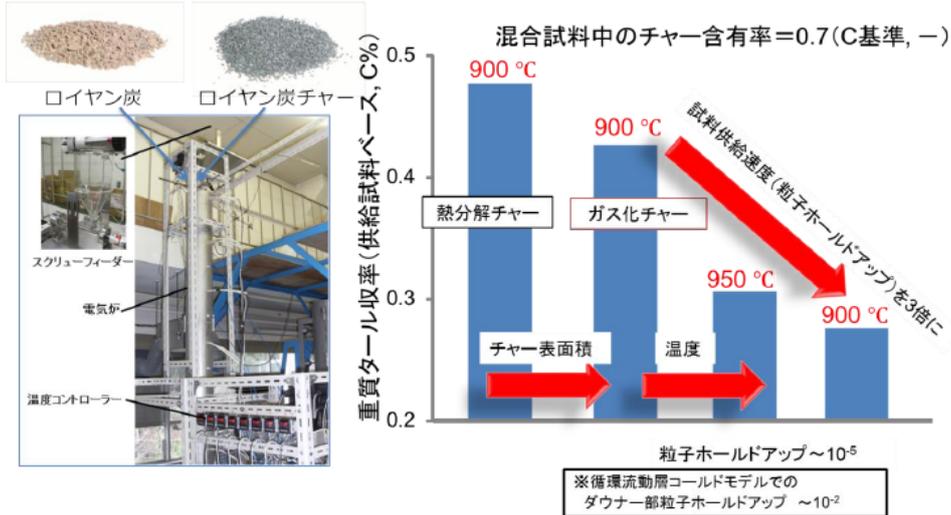
12

ダウナー形式熱分解炉模擬条件におけるタール分解

公開

ダウナー形式の熱分解炉を模擬した試作装置を用いてチャーによるタールの分解を検証

- 表面積、温度、ホールドアップの増加によりタール分解が促進
- 粒子濃度が極めて小さい希薄な条件下でも共存チャーのタール改質効果を確認



公開

低温ガス化グループ成果まとめ

検討課題	最終目標	結果と達成度
・900°C以下での石炭のガス化を実現するための、熱分解分離形式の2塔循環流動層ガス化炉の有効性の確認	・実験室規模の2塔循環流動層ガス化装置の連続運転によるコンセプトの確認	・連続運転(6時間以上)を達成し、熱分解炉におけるタールフリークリーンガスと炭化物併産のためのproof-of-conceptを得た。
・チャーリサイクルによるガス化促進	・2塔循環流動層ガス化装置においてチャーリサイクルによるガス化促進 S/C=1.5におけるガス化率: 52%(中間評価)	・S/C=1.5におけるガス化率: 63%を達成
・チャーによるタール分解によるタールの低減	・ダウナー条件、900°C、チャー:石炭=0.85:0.15において重質タール収率0.5%以下までの低減	・ダウナー形式の装置で、900°C、チャー:石炭=0.7:0.3において重質タール収率0.3%まで低減を達成

流動解析

15

流動解析グループ(東大、産総研、弘前大、阪大) 目標

公開

○流動媒体の高速高密度循環システム

- 実反応系で想定される固気比における高速粒子循環(目標値 $G_s = 350 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上) の構造の検討
- 気泡流動層とライザーの非機械式バルブの構造最適化

○ダウンナー熱分解炉

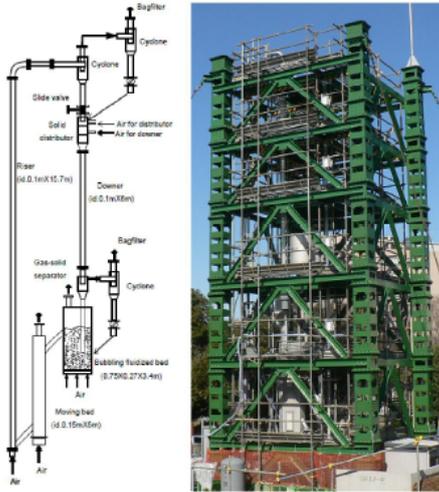
- 石炭粒子供給方法の検討と構造の最適化
- 固気分離部構造の最適化

○数値シミュレーションによる流動の検討

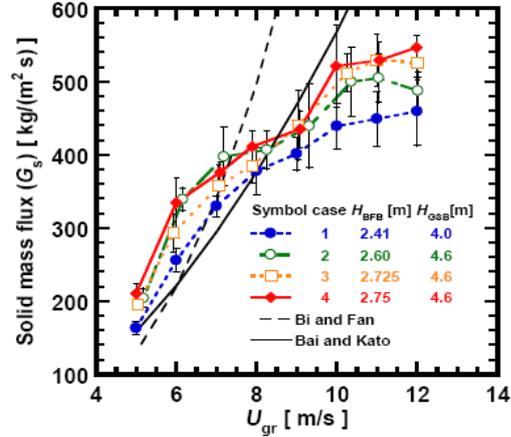
- ガス化炉・粒子再循環部付近の高濃度流れの検討
- 数値解析手法(大規模計算, 付着カモデル, 相似則モデル, 2成分系流動モデルなど)の検討

高速高密度循環の達成

公開



大型コールドモデル

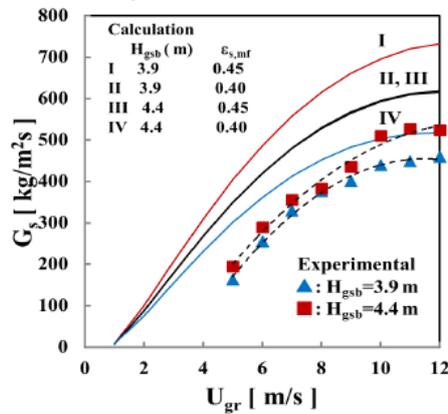
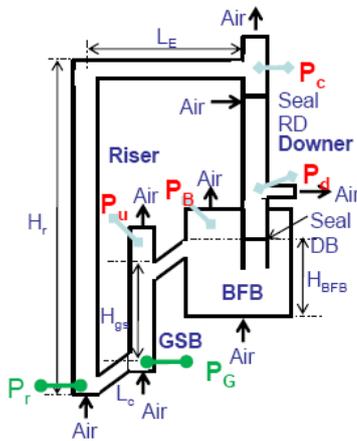


最大 $G_s=546 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 達成 (加圧時の $2000 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ に相当)

$G_s = \text{約} 200\text{--}500 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ の範囲で調節可能
固気比: 35-40 達成

循環流動層の圧力バランスモデル

公開



(1) $P_c = P_s = P_B = P_u = \text{大気圧}$

(2) ライザー底の圧力

$$P_r = \Delta P_{r,static} + \Delta P_c + \Delta P_{r,ac} + \Delta P_{r,fg} + \Delta P_{r,fs}$$

(3) ガスシール底の圧力

$$P_G = [\rho_p \epsilon_{s,mf} + \rho_g (1 - \epsilon_{s,mf})] g H_{GS} -$$

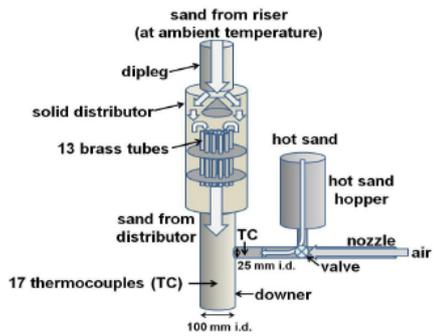
$$[\Delta P_{r,static} + \Delta P_{E,static} + \Delta P_{cy-d,static}] \left(\frac{D_r}{D_{GS}} \right)^2 +$$

$$\Delta P_{GS,ac} - \Delta P_{GS,f}$$

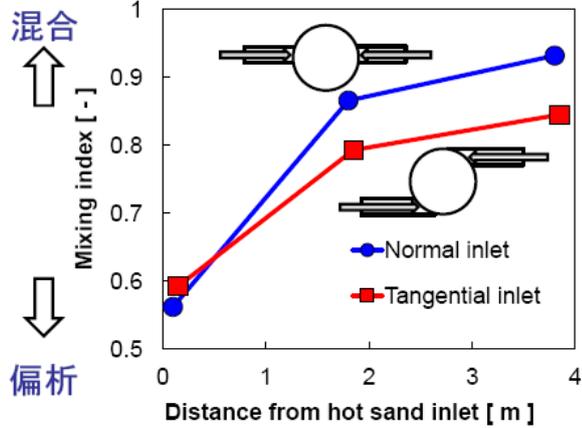
(4) 圧力バランス $P_G = P_r$

ダウナー内粒子一粒子混合の最適化

公開



2つの異なる温度の砂をダウナー入口で混合。混合物の温度測定から2つの粒子流れの混合を評価



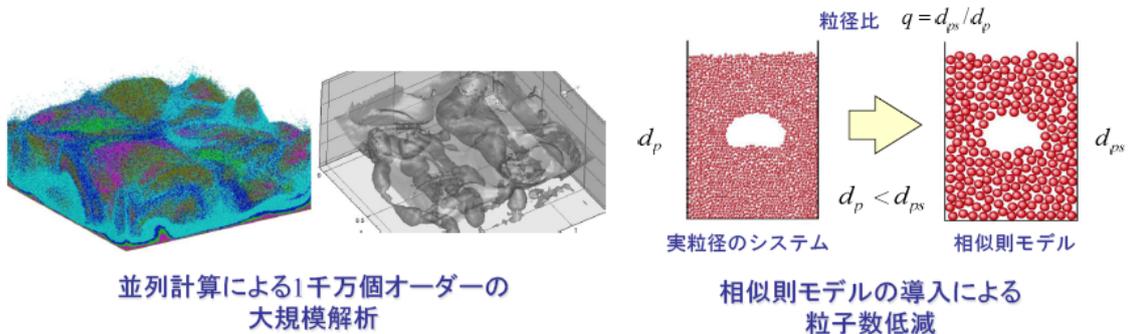
法線型の方が接線型よりも熱媒体粒子との混合に優れる

石炭供給部の構造は、法線型の方が、熱分解時の反応がより進行する可能性が高い。

公開

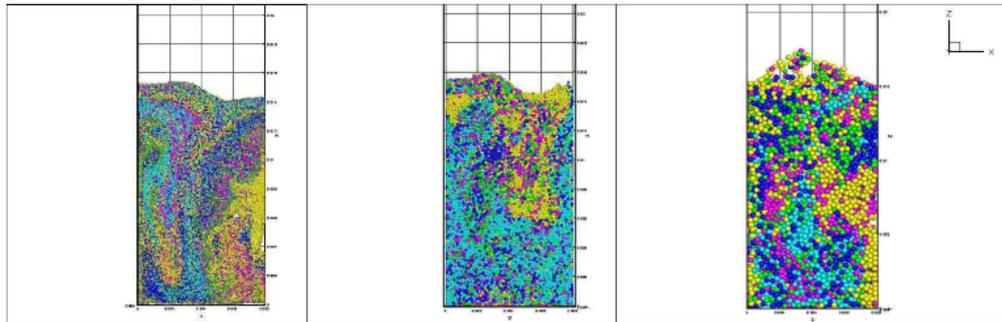
実粒径を対象とする解析(並列大規模解析、相似則モデル)

- 実粒径を対象とするDEM-CFDカップリングシミュレーションのためには、大粒子数の取扱が可能な大規模計算を可能とするとともに、粒子数を低減するモデルの検討が必要。
- 並列計算の導入により1千万個オーダーの粒子の流動化挙動の計算を可能にするとともに、相似則モデルによる粒子数低減を検討した。



相似則モデルの粒径比が流動に及ぼす影響

気泡の形成と挙動は相似則モデルにより良好に表現されたが、粒径比が大きくなると粒子の混合が抑制される傾向が見られた。



実粒径

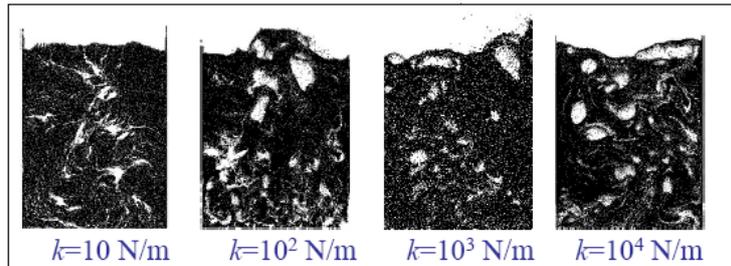
粒径比:2

粒径比:4

粒子シミュレーション(その他の結果)

粒子間付着力の影響の検討

- ・ 付着力の影響の検討、および流動化挙動に対するDEMモデル中のバネ定数の影響の検討。動的付着力モデルの導入。



$k=10$ N/m

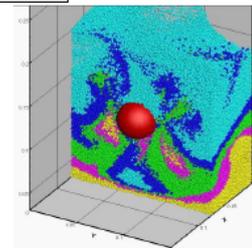
$k=10^2$ N/m

$k=10^3$ N/m

$k=10^4$ N/m

砂粒子-チャー2成分系への展開

- ・ 多分散系に対する流体力モデルの検討。
- ・ 大粒径比2成分系に対する流動解析モデルの開発。



流動グループ成果まとめ

検討課題	最終目標	結果と達成度
<ul style="list-style-type: none"> ・実反応系で想定される固気比における高速粒子循環の達成 ・気泡流動層とライザーの非機械式バルブの構造最適化 	最終目標値 $G_s=350 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上	<ul style="list-style-type: none"> ・最大 $G_s=546 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ を達成 ・G_s=約200-500 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ の範囲で調節可能 ・固気比:35-40達成
<ul style="list-style-type: none"> ・ダウンナー石炭粒子供給方法の検討と構造の最適化 	<ul style="list-style-type: none"> ・固気混合部の粒子-粒子混合・伝熱を最適化するノズル構造の決定 ・2成分粒子間の伝熱係数と操作条件の関係の解明 	<ul style="list-style-type: none"> ・二粒子間の混合による温度変化を測定 ・法線型構造が接線型構造より粒子混合に優れることを解明(達成) ・1.9%の範囲では、ダウンナー内の伝熱係数は130-145 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$(達成)
<ul style="list-style-type: none"> ・数値シミュレーションによる流動の検討 	相似則モデルの粒径比が計算結果に与える影響の検討とケイ砂・チャー2成分系への拡張	相似則モデルの粒径比が粒子混合と粒子運動のエネルギーを与える影響を評価、2成分系モデル開発

触媒ガス化

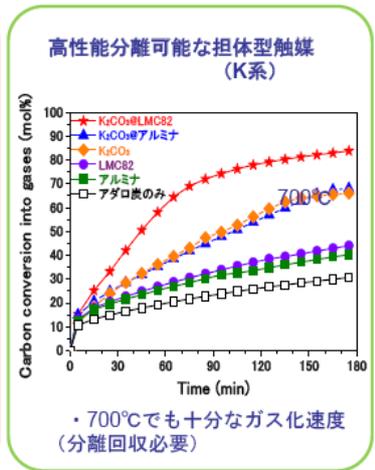
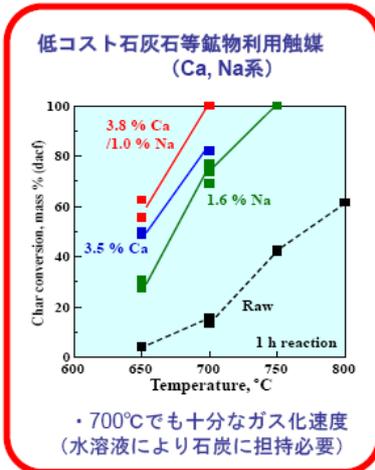
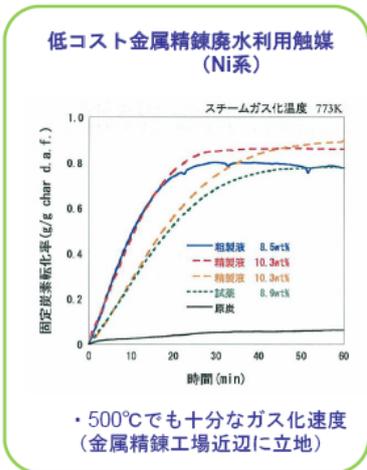
触媒ガス化グループ(JCOAL、群馬大、九大、秋田大) 目標

- 低コスト触媒、及び触媒ガス化方法の探索
 - ・ 金属精錬廃水、天然鉱物等を利用する低コスト触媒、
 - ・ 及び高性能、回収可能な担体型触媒の探索

- ケミカルルーピング石炭ガス化法の開発
 - ・ ケミカルルーピングを利用するCa系ガス化促進剤の開発
 - ・ 二塔循環式ケミカルルーピングガス化法の検討

成果その1 低コスト触媒及び触媒ガス化法の探索

・ 触媒の使用によって、700°C以下の低い温度でも十分なガス化速度が得られる。
 ・ 二塔循環流動層ガス化装置では、低コスト石灰石Ca触媒が使用可能。
 ・ ガス化活性が落ちる反応後期のチャーは高温燃焼炉中で媒体加熱用熱源として利用。
 ・ 褐炭利用の前処理(乾燥、熱水改質スラリー)過程で触媒担持作業を行う。



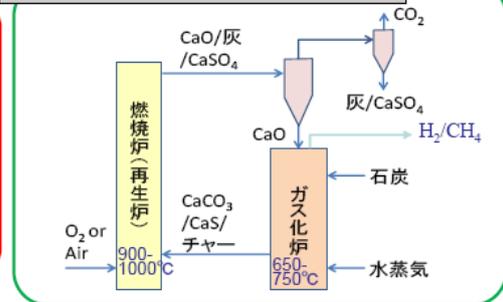
成果その2 ケミカルルーピング石炭ガス化法の開発

公開

今までの主な成果

- ① 温度650-750°Cでの生成ガスは主にH₂とCH₄、FC 廃熱でCH₄を改質した場合、エクセルギー再生になる。
- ② CaOはリサイクル利用に対し十分な強度をもつ。
- ③ 灰、脱硫後の硫黄化合物はサイクロンで分離可能。
- ④ CaOによるタール分解(触媒作用)が期待できる。
- ⑤ 2塔加压循環の場合、10atm, 1000°Cで力焼できる。

ケミカルルーピングガス化の概念図



ケミカルルーピングガス化概念

ガス化炉:

- ① 石炭ガス化反応: $C(\text{石炭}) + H_2O(\text{水蒸気}) + \text{熱} \leftrightarrow H_2 + CO_2 + \text{チャー}$
- ② CaOのCO₂吸収反応: $CaO + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + \text{熱}$
- ③ CaOのH₂S吸収反応: $CaO + H_2S \rightarrow CaS$

燃焼炉(再生炉):

- ① CaCO₃の再生反応: $CaCO_3 + \text{熱} \leftrightarrow CaO + CO_2$
- ② チャーの燃焼反応: $C(\text{チャー}) + 2O_2 \rightarrow CO_2 + \text{熱}$
- ③ CaSの酸化反応: $CaS + 2O_2 \rightarrow CaSO_4(\text{石膏})$

<特長>

- ・媒体熱容量が大きい(珪砂の十数倍)
- ・炉内脱硫可能
- ・低炭素の利用可能
- ・安価な媒体が利用可能

触媒グループ成果まとめ

公開

検討課題	最終目標	結果と達成度
低コスト触媒および触媒ガス化方法の探索	ガス化温度 750°C以下における触媒ガス化、プロセスの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・Ni等金属精錬工場の廃液を用いてNiを担持し、500°Cでガス化 ・循環流動層での担持法の確立 ・高価なNiを回収可能
・廃棄物を利用する触媒		<ul style="list-style-type: none"> ・石灰石やソーダ灰等を担持 ・700°Cでのガス化可能 ・触媒回収必要なし
・天然鉱物を利用する触媒		<ul style="list-style-type: none"> ・ペロブスカイト系担体を用いた金属触媒を開発 ・700°Cでガス化可能 ・サイズ分離や磁性分離で約90%の触媒回収率 ・触媒の回収によって活性が回復
・回収可能な触媒		<ul style="list-style-type: none"> ・20回以上の熱分解・再炭酸塩化で粒子の強度変化のないことを確認 ・CaOの力焼エネルギーの80%以上をガス化ガスのエネルギーに転換 ・CaOケミカルルーピングガス化プロセスの提案
・CaCO ₃ を利用するケミカルルーピング水蒸気ガス化		

システム検討

29

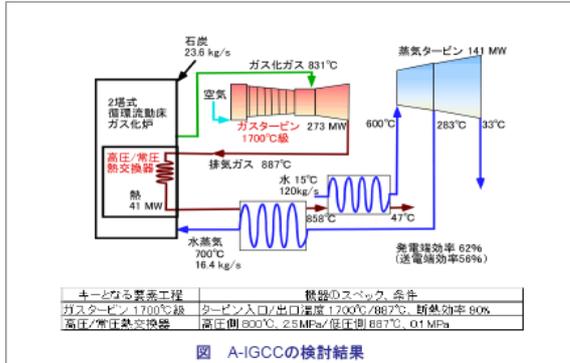
システム解析 (産総研、三菱重工) 目標

公開

- ◎全体システムに関するプロセス解析
 - ・ガス化温度900℃以下のガス化炉を採用したA-IGCCおよびA-IGFCのコンセプトを具現化し、システムを設計する。
 - ・低温ガス化、触媒ガス化と炉内流動解析による研究成果を踏まえ、ガス化炉の構造と入熱量などを基に、システムを設計する。
- ◎次世代石炭ガス化システムの開発のための技術課題
 - ・送電端効率65%を達成する高効率発電を実現するためにキーとなる技術を示し、今後開発が必要な要素プロセスや機器等のスペックを抽出する。
 - ・現状技術、将来技術を加味し、システム実現のための技術課題を明らかにする。

公開

A-IGCCの設計 (1)

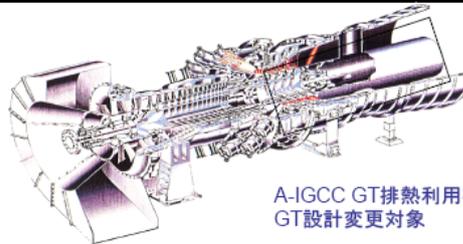


- ◎ 1700°C級ガスタービンの採用によって送電端効率56% (発電端効率62%) が得られる。高効率化はガス化炉にリサイクルするガスタービン排熱のエクセルギーが化学エネルギーに再生されるためである。
- ◎ 今後開発が必要である機器は、1700°C級ガスタービンおよび高圧/常圧熱交換器(ガスタービン排熱再生)である。

公開

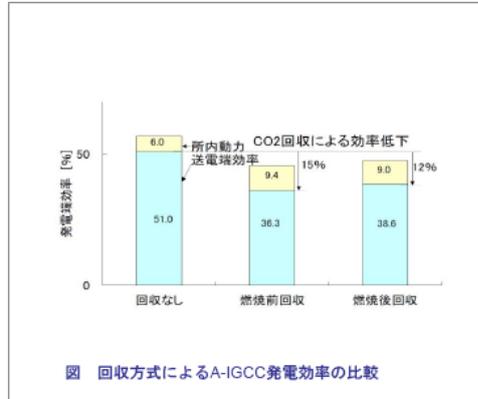
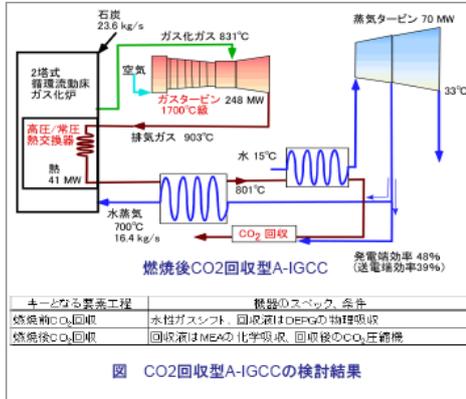
A-IGCCの設計 (2) メーカーの立場からの技術課題

項目	課題	検討項目
1. GT排ガス温度の制約 タービン高温段から排ガス取出	<ul style="list-style-type: none"> GT設計変更 (構造/材料等) 	<ul style="list-style-type: none"> 設計変更したGT検証 設計変更の費用回収
2. 高圧/常圧熱交換器 高圧：ガス化炉(流動媒体) 常圧：GT高温排ガス	<ul style="list-style-type: none"> 高圧/常圧熱交 熱交換器内ガス化炉流動媒体の挙動及び熱交特性 熱交換器摩耗 	<ul style="list-style-type: none"> 構造(差圧/熱伸び吸収) 熱交特性 コールドモデルによる検討 耐摩耗材の高温強度
3. GT高温排ガス配管計画 10×10mダクト	<ul style="list-style-type: none"> 配置/配管 	<ul style="list-style-type: none"> 材料/構造/コスト/信頼性
4. 部分負荷時の運用	<ul style="list-style-type: none"> GT排ガス温度低下 	<ul style="list-style-type: none"> 部分負荷時のガス化炉制御



公開

CO₂回収型A-IGCCの設計

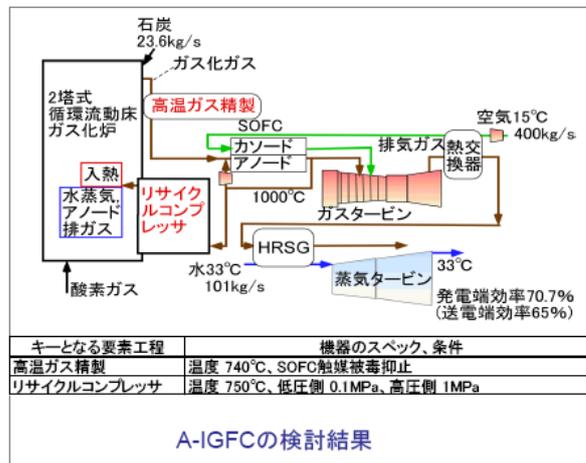


- ◎燃焼前および燃焼後のCO₂回収による熱効率の低下は12~15%。
- ◎従来のIGCCとは異なり、A-IGCCでは、燃焼後回収のほうが効率低下が小さい。
- ◎回収液の性能向上によって燃焼前/燃焼後の優劣が逆転する可能性がある。

公開

A-IGFCの設計

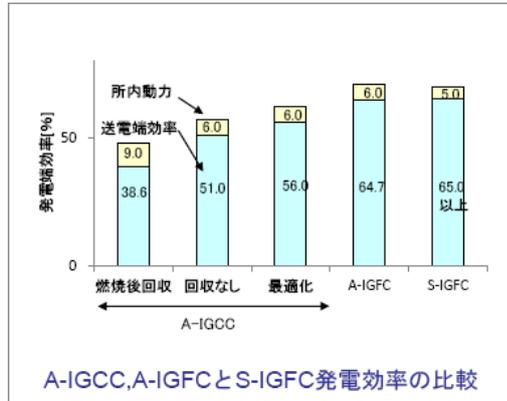
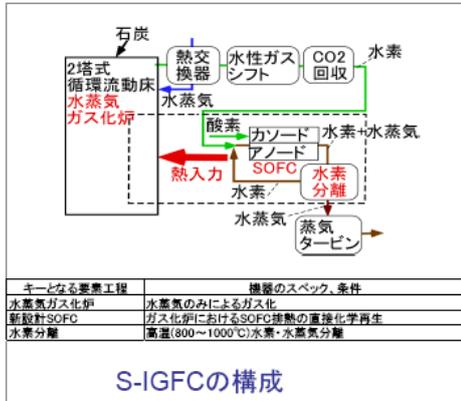
送電端効率 : 65%
発電端効率 : 71%



- ◎アノード排ガスのガス化炉への直接リサイクルによって、吸熱的ガス化によるエクセルギー再生の効果が顕著になる。
- ◎送電端効率65%、HHV(発電端効率71%)の達成には、アノード排ガスリサイクルのためのリサイクルコンプレッサおよび高温ガス精製が必要である。

S-IGFCの設計 (1)

公開



◎A-IGFCの送電端効率(65%)を凌駕する、究極のエクセルギー再生型IGFCとして、スーパーIGFC (S-IGFC) を提案するに至った。
 ◎ガス化炉におけるSOFC排熱の直接化学再生、水蒸気のみによるガス化、ガスタービン不使用の発電等によって、CO₂を回収しても65%以上の送電端効率が得られる。
 ◎S-IGFCの実現には、水蒸気のみを酸化剤とする迅速な石炭ガス化(触媒ガス化)、新設計SOFC、高温水素・水蒸気分離などの新技術が必要となる。

S-IGFCの設計 (2) メーカーの立場からの技術課題

公開

- ・発電効率向上の為にはエクセルギー再生が有効
- ・S-IGFC全体システムとして、SOFC排熱の回収・構成含めた成立性検討が必要
 - ①システムの検討条件の整理・明確化
 - ②SOFCを包含するガス化炉の成立性
 - ③送電端効率の検討

場所	システム構成上の問題点	問題点の解決案
1.全体システム構成	構成システムの成立性。 適用石炭性状範囲の明確化	構成設備・性能を明確化した上でエクセルギーの回収システムの検討
2.ガス化炉	SOFCを包含するガス化炉の成立性 ①酸素供給ゼロでの部分酸化炉 ・投入炭素の60%をガス化 ②SOFCよりの直接熱交換 ・必要伝熱面積の検討など ③ガス化炉構造 ・SOFC配置、流動床構成など ④構成材料の耐久性 ・摩耗・腐食・層内応力など	システム仕様決定後検討 ①ガス化炉成立性の検討 ②熱交特性・配置検討 ③構造検討・コールドモデルによる流動状態検討 ④構造材料の高温強度検討

システム解析グループ成果まとめ

検討課題	最終目標	結果と達成度
<ul style="list-style-type: none"> 全体システムに関するプロセス解析 	<ul style="list-style-type: none"> 送電端効率56%が可能なA-IGCCシステムの構成 送電端効率65%が可能なA-IGFCシステム CO₂回収時、65%以上の送電端効率が得られるシステム構成 	<ul style="list-style-type: none"> 送電端効率56%のA-IGCCの構成を示した。実現のためには1700°C級ガスタービンおよび高圧/常圧熱交換器(ガスタービン排熱再生器)が必要であることを示した。 A-IGCCでは、燃焼後CO₂回収のほうが効率低下が小さい。 送電端効率65%のA-IGFCの構成を示した。実現のためには、アノード排ガスリサイクルのためのリサイクルコンプレッサおよび高温ガス精製が必要である。 FCとガス化炉で直接熱交換するS-IGFCを提案。S-IGFCでは、CO₂回収を行っても送電端効率65%以上が期待できる。
<ul style="list-style-type: none"> 次世代石炭ガス化システムの開発のための技術課題 	<ul style="list-style-type: none"> ガス化炉以外の周辺技術について、システム実現のための技術障壁を明らかにする 	<ul style="list-style-type: none"> エクセルギー再生による熱効率向上を確認。 S-IGFCシステム実現のための、技術課題を抽出 ガス化炉: 純水蒸気ガス化の困難性 SOFC: バンドル法、新規開発のSOFC 熱交換器: 方式、高温材料 将来技術を含めてレビュー

全体の総括

プロジェクト成果のまとめ

公開

サブテーマ	達成目標	達成度	成果等
低温ガス化	<ul style="list-style-type: none"> ・チャーリサイクルによるガス化促進 S/C=1.5におけるガス化率: 52%(中間評価) 63%(現在) ・900℃、チャー:石炭=0.85:0.15において重質タール収率0.5%以下までの低減 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス化性能向上に努め、低温ガス化炉開発、運転のための指針を解明 ・熱分解炉におけるタールフリークリーンガスと炭化物併産のためのproof-of-conceptを得た。
流動解析	<ul style="list-style-type: none"> ・Gs=350 kg/(m²・s)・固気比30以上 ・粒子混合・伝熱を最適化するノズル構造決定 ・固気分離効率98%以上 ・2成分系によるガス化炉内滞留時間の評価 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・高Gsおよび高濃度循環を達成 Gs=546 kg/(m²・s)・固気比30~40 ・法線式・接線式の供給器の構造および固気分離器構造の最適化 ・計算による粒子の流動化挙動の予測手法の解明
触媒ガス化	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス化温度750℃における触媒水蒸気ガス化、プロセスの構築 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・触媒性能としてはほぼ達成 ・触媒ガス化方法を想定ガス化プロセスに組み込み方法の解明
システム解析	<ul style="list-style-type: none"> ・全体システムについて、プロセス解析を実施し、最適な操作条件を抽出する。 ・プロセスの効率を定量的に計算し、効率に及ぼす各構成要素の条件を定量的に明らかにし、最適化する 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・A-IGCCおよび燃料電池利用システムの最適化システムの構築 ・システム構成における課題を明確化

本プロジェクトでの発表(2012年9月現在)

公開

	論文 (査読つき)	著書・総論	国際会議 口頭発表	国内口頭発表	受賞	特許 (国際出願)
2007年			1	2		1
2008年	6	2	10	10		
2009年	10	2	24	25	1	2(2)
2010年	13	2	22	33	2	
2011年	8		20	38	2	
2012年	16	1	6	9	1	
合計	53	7	83	117	6	3(2)

件数合計 269件

今後の展開

41

本プロジェクトの成果としての具体的イメージ

公開

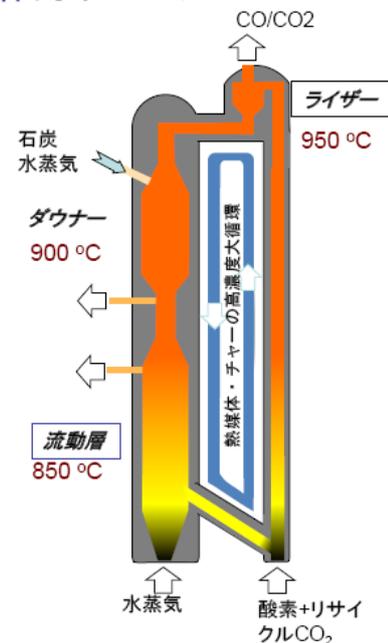
■A-IGCC、A-IGFCの熱効率予測とその最適構成の提示

■A-IGCC実現のための、具体的なプロセス構成とその中心となるガス化炉の構造の提案

熱分解炉分離方式の2塔循環流動層による低温ガス化

- ・ガス化温度低下とタール除去の方法(構造、運転方法、触媒の利用法....)
- ・大循環量の実現方法

■A-IGCCの実現のための、技術開発要素の明確化



公開

エクセルギー再生型石炭ガス化発電システム実現のための 解決すべき技術課題

A-IGCCの課題	S-IGFCの課題
<ul style="list-style-type: none"> ・GT設計変更(構造/材料等) ・高圧/常圧熱交換器 	<ul style="list-style-type: none"> ・システムの検討条件の整理・明確化 ・SOFCを包含するガス化炉の成立性

■ システム実現のためには、ガス化炉周辺の技術に大きな課題がある。



■ 周辺技術の成熟、技術開発動向の見極めが必要

公開

実用化の見通し

次世代高効率石炭ガス化技術の今後の展開



- エクセルギー再生による熱効率の大幅な向上は理論的に確認
- システムの中核である、低温ガス化炉の開発に目処
 - ・低温でのガス化
 - ・高濃度・大循環量

システム構成上でガス化炉周辺技術でいくつかの技術障壁



周辺技術の成熟、技術動向の見極めの過程を設ける

リプレイス対象火力発電所試算および効果 (2040年に導入された場合を想定)

公開

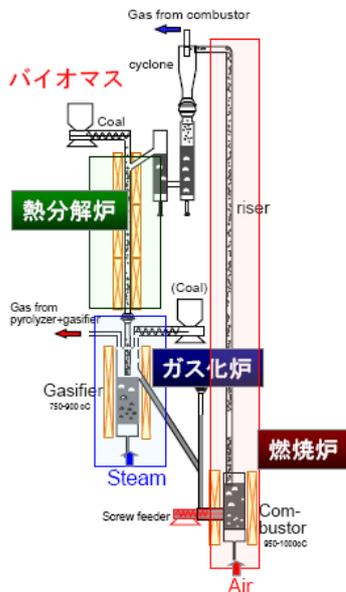
- 2040年までに運開35年以上を経過する石油・石炭火力の設備容量は約50GW
 石油火力;38.6GW
 石炭火力;30.1GW 計68.7GW→70GW
 のうち、
 10GWが2030年代にリプレイス
 10GWが廃止と想定し、残り約50GW
- 本システムへのリプレイス率:20%と仮定
 2040年度断面での本システムへのリプレイス需要
 = 50GW × (20/100) = **10GW**(60万kWプラント約17基分)

【効果】

- 石炭消費削減量 500万トン～700万トン
- CO2削減量 0.13～0.18億トン

成果の波及効果 その1

公開



2塔循環型流動層による低温ガス化技術

高温ガス化に本質的に向いていない、高灰分炭、バイオマス、廃棄物等各種有機資源を効率よくガス化可能となる。当面は、木質バイオマスのガス化に直ちに应用可能。

- (1) 木質バイオマスの高効率ガス化装置
- (2) 石炭チャーによるタール改質器 (石炭とバイオマスとの共ガス化)
- (3) 流動層形式の急速熱分解装置への応用

触媒ガス化

- (1) 褐炭・亜瀝青炭の低温ガス化
- (2) ケミカルルーピングプロセス (ガス化、化学合成)

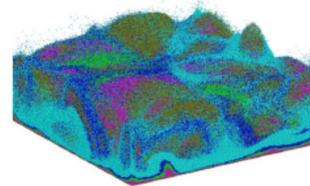
成果の波及効果 その2

高流速、高濃度循環系その他プロセスへの応用

- 1) 低品位炭の(水蒸気)熱分解による液体燃料の生成
- 2) 石油分解 (FCC)プロセス(特に重質油分解)
- 3) バイオマスガス化による合成ガス生成

2成分系粒子流動層のシミュレーション技術の応用

- 1) ダウナー反応器内での熱媒体粒子と、固体燃料の混合の解析
- 2) バイオマス燃焼炉・ガス化炉での、バイオマス粒子・チャー粒子・熱媒体粒子の混合と偏析の解析
- 3) 固体—固体接触操作(乾燥・吸着・吸収・造粒など)での、操作前・操作後粒子の混合と偏析の解析

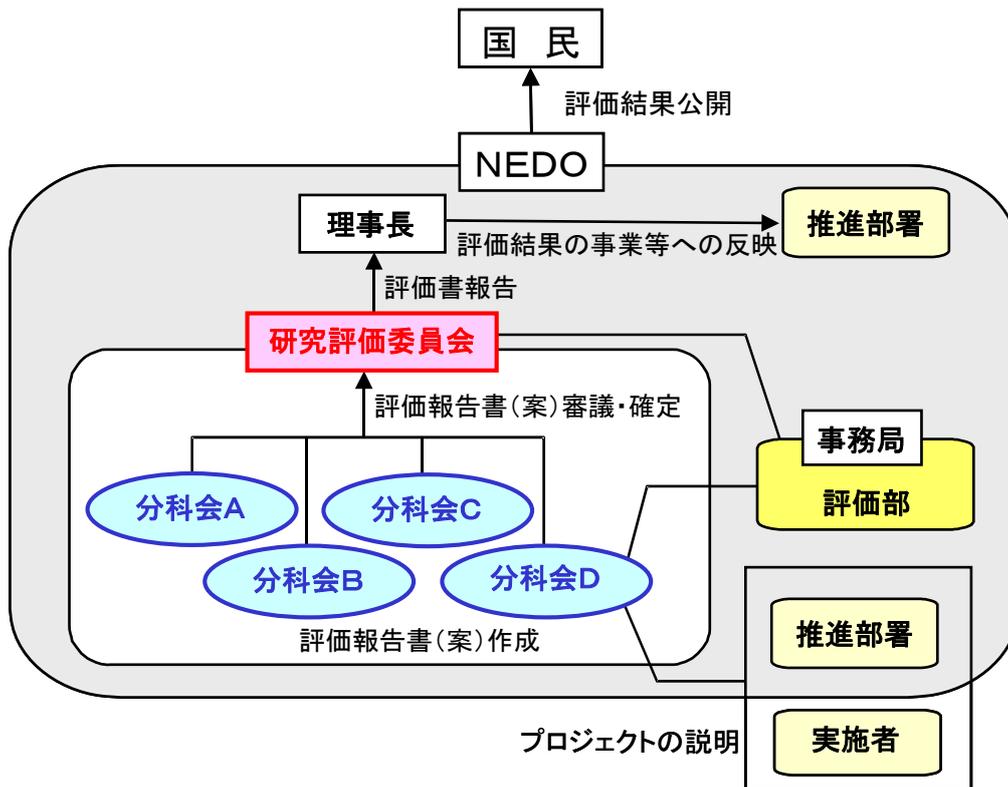


参考資料 1 評価の実施方法

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19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／次世代高効率石炭ガス化技術開発」プロジェクトを評価対象とした。

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。

評価項目・評価基準

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、著作権の登録、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。

標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

【中間評価 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中間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。(※)

(※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」)

- ・ 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。
- ・ 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

- ・ N E D O後継プロジェクト、N E D O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。（※）
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 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。
- ・ 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。

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。（※）
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 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。

参考資料 3 分科会議事録

研究評価委員会第1回「次世代高効率石炭ガス化技術開発」（事後評価）分科会議事録

日 時：平成24年11月16日（金） 13:00～16:45

場 所：AP東京 A室（KPP八重洲ビル 13階）

出席者（敬称略、順不同）

分科会長 吉川 邦夫 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 教授
分科会長代理 二宮 善彦 中部大学 工学部 応用化学科 教授
委員 板谷 義紀 岐阜大学 工学部 機械システム工学科 教授
委員 神谷 秀博 東京農工大学 大学院生物システム応用科学府 教授
委員 白井 裕三 電力中央研究所 エネルギー技術研究所 燃料高度利用領域リーダー
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 特別専門役

<実施者>

林 潤一郎 九州大学 大学院工学研究科 教授（PL）
鈴木 善三 独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 クリーンガスグループ グループ長
田中 敏嗣 大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 教授
石井 弘実 三菱重工業株式会社 エンジニアリング本部 電力計画部 IGCCプロセスグループ グループ長
小山 智規 三菱重工業株式会社 技術統括本部 長崎研究所 燃焼研究室 主席研究員
柴田 邦彦 一般財団法人石炭エネルギーセンター 技術開発部 部長
林 石英 一般財団法人石炭エネルギーセンター 技術開発部 クリーンコールグループ 課長
宝田 恭之 群馬大学 大学院工学研究科 環境プロセス工学専攻 教授
大塚 康夫 秋田大学 産学連携推進機構 客員教授
宮脇 仁 九州大学 先導物質化学研究所 助教
伏見 千尋 東京農工大学 大学院工学研究院 応用化学部門 准教授
堤 敦司 東京大学 生産技術研究所 教授
石束 真典 東京大学 生産技術研究所 特任研究員
壹岐 典彦 独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 ターボマシングループ グループ長
松岡 浩一 独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 ターボマシングループ 主任研究員
倉田 修 独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 ターボマシングループ 主任研究員

<推進者>

相楽 希美 NEDO 環境部 部長
高取 静雄 NEDO 環境部 統括主幹

正木 良輔 NEDO 環境部 主査

秋山 勝哉 NEDO 環境部 主査

<オブザーバー>

岡野 泰久 経済産業省 資源エネルギー庁 石炭課 係員

<推進者>

増山 和晃 NEDO 総務企画部 課長代理

<事務局>

竹下 満 NEDO 評価部 部長

三上 強 NEDO 評価部 主幹

内田 裕 NEDO 評価部 主査

中村 茉央 NEDO 評価部 職員

傍聴者 5名

議事次第

【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
- 4.評価報告書の構成について
- 5.プロジェクトの概要説明
- 6.プロジェクトの詳細説明
- 7.全体を通しての質疑
- 8.まとめ・講評
- 9.今後の予定、その他
- 10.閉会

配布資料

資料 1-1 研究評価委員会分科会の設置について

資料 1-2 NEDO技術委員・技術委員会等規程

資料 2-1 研究評価委員会分科会の公開について（案）

資料 2-2 研究評価委員会関係の公開について

資料 2-3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について

資料 2-4 研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて

資料 3-1 NEDOにおける研究評価について

資料 3-2 技術評価実施規程

- 資料 3-3 評価項目・評価基準
- 資料 3-4 評点法の実施について（案）
- 資料 3-5 評価コメント及び評点票（案）
- 資料 4 評価報告書の構成について（案）
- 資料 5-1 事業原簿（公開）
- 資料 5-2 プロジェクトの概要説明資料（公開）
- 資料 6 プロジェクトの詳細説明資料（公開）
- 資料 7 今後の予定

議事録

【公開セッション】

1. 開会、分科会の設置について、資料の確認

- ・開会宣言（事務局）
- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料 1-1 及び資料 1-2 に基づき事務局より説明。
- ・吉川分科会長挨拶
- ・出席者（委員、推進者、実施者、事務局）の紹介（事務局、推進者）
- ・配布資料確認（事務局）

2. 分科会の公開について

事務局より資料 2-1 及び資料 2-2 に基づき説明し、全ての議題を公開とすることが了承された。

3. 評価の実施方法

評価の実施方法を事務局より資料 3-1～3-5 に基づき説明し、事務局案どおり了承された。

4. 評価報告書の構成について

評価報告書の構成を事務局より資料 4 に基づき説明し、事務局案どおり了承された。

5. プロジェクトの概要説明

推進者・実施者より資料 5-2 に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【吉川分科会長】 どうもありがとうございました。

それでは、ただいまのご説明に対しまして、ご意見、ご質問等をちょうだいしたいと思います。ただ、技術の詳細につきましては、後ほど議題 6 で各実施者から詳細な説明があった後にやりたいと思いますので、ここでは主に事業の位置付け・必要性、マネジメントについてご意見をお願いしたいと思います。

それでは、評価委員の皆様、よろしくお願いいたします。

【田中委員】 よろしいですか。田中ですけれど、今回のプロジェクトの位置付けというところで、従来の噴流床に対して、こういう課題があるという説明をされました。それはそれでよくわかるんですけども、従来技術の中に流動床ガス化という技術もあるわけですね。それで、それも当然、石炭の適合性もあるんですけども、噴流床のこういうところをカバーできるという観点も、現在の流動床でもあるわけですね。

何が言いたいかという、今回やろうとしているこの流動床ガス化が、噴流床との位置付けはわかったんですけど、従来の流動床ガス化に対しても、こういう課題をこうしようとしているというよう

な、最終の報告書かどこかに——解説というと変ですね——そういう位置付けをちょっと明確にしていきたいと思います。

【吉川分科会長】 いかがでしょうか。

【林教授】 ご指摘ありがとうございます。

従来の流動層との違いについては、ご指摘のとおり、我々も重要な認識の点だと思っております、ここで少し補足をさせていただきますと、従来の流動層ガス化は、その圧力によらず、難しいポイントがあります。1つは、やはりチャーガス化が完全にできない、非常に困難であるポイント。それから、まだ実現していない触媒の適用によらない場合には、タールを除去することが、層内では少なくとも非常に難しいということがございました。

我々は、チャーのガス化が迅速化できないこと、それから、もう一つ、タール改質が難しいこと、2つを原理的に探っていきまして、その問題点を研究の途上で明らかにしたつもりでございます。詳細が必要であれば、また後から補足申し上げたいと思いますが、その弱点を逐次並列的に進む、熱分解からつながる複雑な改質、チャーのガス化をうまく切り分けた反応器システムが必要であるという結論に達しまして、今、簡単に紹介申し上げましたような、ダウンナーと流動層とライザーで、それぞれを分割して、石炭、あるいは揮発成分を転換していくという発想につながって、その概念実証まではできたのではないかと思います。

報告書については、もう少しこちらも検討いたしまして、それを強調できるように努力したいと思います。ありがとうございました。

【吉川分科会長】 よろしいでしょうか。

ほかに。二宮先生。

【二宮分科会長代理】 先ほどの低温ガス化の部分の、今おっしゃられた、6ページですか、低温ガス化のスキームの部分ですけれども、私、まだこの原理がよく理解できていません。というのは、図によりますと、合成ガスが3カ所から出て、今ちょうど林先生がおっしゃられた熱分解タールが、ダウンナーのどの部分で分解しているかということ、もう一度説明していただけませんか。

【林教授】 この図を使つての説明でよろしいでしょうか。

【二宮分科会長代理】 はい。

【林教授】 すみません、説明が不足しまして申しわけありません。

合成ガスが3カ所から出てくるというのは、ご指摘のとおりでございます。少々複雑な経路になっています。この最初のダウンナーリアクター、熱分解炉には、石炭、それから、必要であれば追加の水蒸気がここに投入されて、同時に、加熱された熱媒体がここに入っております。ここで起こるのは、まず石炭の急速熱分解であります。急速熱分解でございますので、当然、チャーと揮発成分、タールが発生いたします。この揮発成分のうち、タール蒸気と、それから、メタンについてはなかなか難しいんですが、メタンより大きな炭化水素については、この熱分解炉が、循環してくる流動媒体にかなり高い濃度でチャーが含まれております。言いかえれば、ここで完全にチャーを燃焼してしまわないわけです。そうすると、チャーがかなり高濃度の状態で、これらがタール蒸気と接触します。それで、チャーの表面というのはマイクロ多孔質でありまして、その炭化物表面というのがタールの分解能が極めて高いということ、研究の途上で見出しました。したがって、数秒という滞留時間範囲内で、チャーを高濃度化した反応場においては、その短い時間であってもタールをほぼ完全に消去できるということです。原理的には、炭素析出が主でございます。

さらに、この段階では水蒸気を投入しておりますので、チャーのうち最も活性が高い部分については、実は一部は水蒸気ガス化してまいります。ここで一旦タールをほぼ除去できたという状況で、この図には書いていないのですが、ガスと固体を分離する機構をここに置きまして、そこで合成ガスについては排出する。固体である残ったチャーのみがここに落ちてくるという構造をとっています。

ここでなぜ分離をするかと申しますと、チャーのガス化がやはり800～850℃という低い温度でしかエネルギーバランス上操作できませんので、ここにおいてチャーのガス化を加速する必要がありますが、仮にこれがそのままどんと1カ所に落ちるようになりますと、チャーの粒子が、高濃度の水素、あるいは高濃度のタールに周囲を取り巻かれるようになりますと、このタール蒸気と水素ガスというのがチャーのガス化を極めて強く阻害するということが、実験的に明らかになっております。したがって、ここについては、そのような相互作用を排除した形でチャーのガス化を最大化しようとする。すなわち、極端に言うと、入り口が水蒸気、それからチャーのみという系で始めるということですね。これによって、チャーの遅速化を最大限防ぐというコンセプトがございます。簡単に言うと、熱分解では揮発成分とチャーが出てまいります、ここではむしろ両者の接触を強化してタールを分解する、ここでは両者の相互作用を切り離してチャーのガス化を加速する、遅速化しないという工夫をしております。これにつきましては、完全燃焼すると、冷ガス効率が低下するという効率的な問題もあつたんですが、高濃度のチャーの一部を部分燃焼して、もとにリサイクルすることによりまして、比表面積が比較的大きなチャーが、ここで再びタール分解剤として機能するということになって、最終的にこの形で落ちついたということです。

【吉川分科会長】 これは触媒がどこに入ってくるんですか。

【林教授】 触媒は入っていません。入っていませんが、率直に申しますと、例えば、金属の量としては少ないのですが、アルカリ金属であるとか、アルカリ土類金属を含んでおります褐炭のような場合のほうが、やはり反応は速いというのが確かでございます。

【吉川分科会長】 先ほどの説明で触媒云々というのは、これとはまた別のプロセスの話なんですね。

【林教授】 そのとおりでございます。触媒がなくても何とかできるというところまでは概念実証できたつもりですが、例えばガス化も、やはりもう少し温度を下げたほうが、この粒子の高濃度循環に関しては、大分負荷が変わります。端的に申しますと、この部分燃焼温度とこの流動層のガス化温度の差が小さければ小さいほど苦しくなってくるというのが、より速く回さなければいけないということになりますので、その緩和には触媒が随分効くということがわかりました。

【吉川分科会長】 いかがでしょうか。

【二宮分科会長代理】 あと2点お聞きしますけれども、そうしますと、熱分解炉は、ガス側のほうから見れば、ダウンフローになりますか。というのは、石炭と高温のチャーが、熱媒体があれば、当然、それで熱分解しますね。そうすると、タールは上のほうの合成ガス出口に行くのかなと思ったのですが、今回、熱分解したタール分は、すべてダウンフローでキャプチャーされるというガス流れということと、もう一点は、最後、灰分の抜き出しはどこからなるのでしょうか。

【林教授】 1点目のご指摘は、おっしゃるとおりでございます。

それから、灰分につきましては、基本的には、ここからマルチサイクロンのシステムを想定しておりますので、そこで灰を可能な限り分離するという想定をしておりますが。

【二宮分科会長代理】 そうしますと、図に書いてある上側の合成ガス、あれは間違いということでしょうか。上から出てくる合成ガスと、サイクロンの上に出ていますね。ちょうど媒体+チャ

一の上のところ、左側に合成ガス、あのラインはないということですか。ここから出てくる左側の。

【林教授】 これですか。

【二宮分科会長代理】 はい。

【林教授】 これは、チャーの部分燃焼ガスがここから出てきますので、これはフルガスではないという。

【二宮分科会長代理】 燃焼ガスですか。

【林教授】 部分燃焼ですので、COとCO₂の混合物になります。少々複雑ですが、これも結果的にチャーの活性を残すということもありますし、全部燃やしてしまうと、やはり効率にかなり影響することがわかりましたので、全部燃やさないということです。

【二宮分科会長代理】 ありがとうございます。

【吉川分科会長】 この水蒸気は、何度ぐらいを想定されているんですか。

【林教授】 水蒸気は、システム側からの要請で種々あるのですが、ここに入ってくる水蒸気というのは、700℃ぐらいを想定しております。ここには、原則、通常は水蒸気を入れないというパスですが、括弧書きしているのは、ここに水蒸気をうまく入れることができれば、熱分解炉内でもチャーの一部をガス化できるということからです。

【吉川分科会長】 ありがとうございます。

ほかにいかがでしょうか。

【板谷委員】 今のご説明で大体のフローはわかりましたけれども、その場合、特に、基本的に、これ、熱分解炉とガス化炉というのは、吸熱反応場ということによろしいわけですね。そうしますと、その熱源としては、部分燃焼炉だけということになりますので、そうすると、やはり全体のエネルギーバランスというか、エネルギーバランスシートみたいなものを示していただくほうがわかりやすいのかなという気がしました。

【林教授】 ご指摘のとおりでございます。この反応器システムにつきましては、ガス化炉の底から入ってくる水蒸気の温度が大体700℃か、あるいは600℃というのを想定しております。ここが基本的には余計に入ってくる熱ということになります。ただし、ガス化の温度よりも水蒸気の温度のほうが低いですから、結果的には、チャーの部分燃焼で可能な限りこれを賄う必要があるということでございます。

それで、詳細の説明で少し詳しいデータが出てくるのではないかと思います。このような想定をしますと、我々が模擬反応系でここまではできますよというラインに関しては、グロスの冷ガス効率、水蒸気の熱投入量を無視して、単に生成ガスの化学エネルギーと投入石炭の化学エネルギーの比というのを比較しますと、95%以上の冷ガス効率は達成できそうだというところまでは、あくまで実験結果を踏まえた机上検討ではございますが、その程度のバランスになっていると思います。

【板谷委員】 その水蒸気の熱源も、実は最終的にはここから来るということになる訳ではないのですか。発電プロセスの中も含めて。

【林教授】 水蒸気は、発電プロセス、A-IGCCの場合は、タービン排熱を熱熱再生によって水蒸気を発生して、流動層に投入するということです。ですから、あくまでもガスタービンからの排熱、あるいは、燃料電池であれば、燃料電池からの排熱がここに入ってくるということです。

【板谷委員】 ですから、その大もとの熱源も、結局は、ここにガス化に投入した石炭からのエネルギーということになるわけですね。

【林教授】 そうですね。燃焼プロセスから出る排熱という意味では、そのとおりです。

【板谷委員】 ですから、全体のプロセスとして見た場合には、ガス化へ投入した石炭のエネルギーが熱源ということですね。

【林教授】 おっしゃるとおりです。

【板谷委員】 ですから、そういったことを含めて、今おっしゃられたようなガス化効率という理解でよろしいわけです。

それと、もう1点は、今そういう質問をしたのは、実は、このライザーの中の固体の粒子の移動速度の目標値の決定にあたっては、結局、この温度で回すための、要するに、顕熱で供給することになるわけですから、そこから来ているという理解でよろしいわけですね。

【林教授】 ええ。特に非常に大きな固気比というのは、35から40という値というのは、それぐらいあればこの系を安定に維持できるということです。

【板谷委員】 その温度を維持できる顕熱の供給ということになるわけですね。

【林教授】 そのような高い固気比が必要な場合があり得るという意味です。

【板谷委員】 そういった観点からしますと、やはりそれぞれの部分でのエネルギーの出入りみたいなものを、少しエネルギーバランス的なシートで示していただけるとわかりやすいのかなという気がしましたので、またちょっとご検討いただければと思います。

【林教授】 検討そのものは、各所各所と全体でしておりますので、ちょっと説明が不足しまして申しわけありませんでした。

【吉川分科会長】 これが多分このプロジェクトのオリジナルプロセスといいますか、これの特許はどういうふうになっているんですか、このプロセスの。

【林教授】 特許につきましては、当初、I H I さんがこのプロジェクトにご参画されていた当時に、基本的には、この仕様と同じものを特許出願している状態です。このシステムそのものについては、1つ、その特許があるということです。

【吉川分科会長】 これはNEDOさんにお伺いしたいんですけど、途中、中間評価後、I H I さんが抜けられて、三菱さんが入られたと。どうもその辺の事情が、特許をI H I さんがお持ちなら、なぜ抜けられたのか。つまり、特許を持っている人が最後まで実施しないと、これはものにならないと思うんですけれども、その辺の事情をちょっとご説明願えますか。

【正木主査】 では、推進部の担当の正木のほうからご回答させていただきます。

実際、特許はI H I さんが出されておりますが、先ほど今後の展開というところでもお話をさせていただきましたけれども、この発電システム自体を最終的に商用化・実用化というところを見据えた場合に、結構なロングスパンというか、2040年ないしは50年ぐらいに入ってこようかという、今、見通しです。そのような中で、やっぱり特許も出さなかったのも、30年以上かけての開発となるという部分ということがありまして、特許が3件にとどまっているということがあります。

それと、I H I さんが抜けて、三菱重工さんに入っていたいただいたというところなんですけれども、ご説明もさせていただきましたとおり、まだ発電プラントとしてどうかというところを見据えた場合に、ガス化については、低温ガス化、流動解析について九州大学さん、東京大学さんのほうで進めていただいて、基礎レベルでございますので。それとともに、実用化の見通しについて中間評価でご指摘いただいたので、プラント全体の課題としてはどうかというところを評価するために、I H I さんではなくて、三菱重工さん、発電プラントをガスタービン等を含めてラインナップでお持ちいただいている三菱重工さんに入っていたいただいたということが経緯でございます。

- 【吉川分科会長】 先ほどのご説明の中で、低温ガス化の見通しがついたのでチェンジしたと。その辺が、具体的にどういう意味で見通しがついたということなんでしょうか。
- 【正木主査】 見通しというか、基礎レベルの検討でございますので、基礎研究については、低温ガス化部分については九州大学さんのほうで頑張っていたとということで、IHIさんにも入っていただくという考えもあったんですけども、そこにはちょっとメーカーさんとしては、IHIさんではなくて、トータルを見ていただける三菱重工さんに入っていたということなんです。見通しが立ったというよりも、基礎レベルの研究で、ある程度プロセスも確定してきましたので、基礎研究については大学さんのほうにお願いするようにしたということなんです。
- 【吉川分科会長】 わかりました。
ほかにいかがでしょうか。
- 【神谷委員】 先ほどの二宮先生の質問に関連しますが、灰の挙動のところは気になります。飛灰のような細かいやつは、上の合成ガスと一緒に出てくるのでいいのですが、炉内に滞留する灰についてはどうなっていますか。これはその後の流動解析にも関連するんですけど、炉内滞留灰はどのような取り扱いになっているんでしょうか。
- 【林教授】 炉内の灰の滞留については、率直に申し上げて、そのような事象を十分検証できるような長時間のランとホットランというのを実際にはできておりません。もう設備の限界というところをちょっと言いわけがましいのですが、その検討までは、実際には幾つかの褐炭を使用したのですが、それをできるまでの十分なデータは、我々の範囲内ではできませんでした。
- 【神谷委員】 だけど、将来的には、実用化しようとする、その滞留した灰をどう扱うかというのは。
- 【林教授】 そうですね。全くご指摘のとおりです。
- 【吉川分科会長】 白井さん、どうぞ。
- 【白井委員】 成果のまとめのところを少し質問したい。ここで炭化物の併産という箇所がありますが、この成果に対して、この研究での位置付けについて、説明をお願いしたい。
- 【林教授】 座ったままで恐縮です。今ごらんになっておりますスライドの熱分解炉（ダウンナー）の部分でございます。これは、先ほど申しましたように、チャーの表面を積極的に活用して、その反応器内で出てくるタールをほぼ分解するというのがまず1つで、それがタールフリークリーンガスという表現になっています。
もう一つ、チャーにつきましては、チャーは気固分離の後に流動層ガス化炉に落ちて、そこで水蒸気ガス化を受けるわけですが、そこでの熱分解が不十分だと、そこでタールが発生してしまいますので、タールフリーになるぐらいに十分固体側は炭化が進んでいますよという状況で、流動層ガス化に送るということなんです。ちょっと表現がわかりにくくて申しわけありません。
- 【白井委員】 そうですね。このガス化炉から炭化物を併産して何かに使うというようなイメージにとれましたので、確認だけさせていただきます。
- 【林教授】 すいません。ありがとうございます。
- 【吉川分科会長】 ほかにいかがでしょうか。
ちょっと私のほうからお伺いしたいんですけど、先ほどのNEDOさんのご説明の中で、従来のIGCCは酸素吹きがネックだと。これを見ると、やっぱり酸素吹きのような気がするんですけども、そこはどうでしょうか。
- 【正木主査】 これについては、CO₂分離を行うとどうするかという議論もあるんですけども、酸素と

いうふうに書いておりますが、空気による部分燃焼でも可能というところで、特段、これを酸素吹きに固定しているという意味ではございません。

【吉川分科会長】 では、今、酸素と書いてあるところは、空気が入ってもシステムとしては成立するということですか。

【正木主査】 CO₂分離のところの観点もあるんですけども、炉のコンセプトだけで言うと、酸素か空気かというところは問題ないというところですよ。

【吉川分科会長】 わかりました。
どうぞ。

【二宮分科会長代理】 今回の事業体制の妥当性というところでお聞きしますが今回、プロジェクトリーダーが九州大学の林先生で、委託先で九州大学の低温ガス化ということで、再委託先で九州大学ということで、各担当者の名前が載っていないものですから、その関係がちょっとわからないのですけれども。単にこれだけ見ると、同じ大学の方がすべてに入っていて、さらに、先ほど技術委員会ですが、これも委員長が九州大学ということを見ると、何となく——大学は大きな組織ですから、必ずしも同じ大学だからいけないという意味ではないのですが、このあたりの配慮はどういうふうにされたか、ご説明をお願いいたします。

【正木主査】 すみません。ちょっとご説明が足りませんで恐縮でございますが、まず22年度からの体制について今ご指摘いただいたので、その点をご説明させていただきたいと思っておりますけれども。九州大学さんが委託先にも再委託先にも入っていただいているということでございますが、委託先の九州大学さんについてですが、21年度のほうをごらんいただきますと、IHIさんの再委託先で、当初は北海道大学、プロジェクトリーダーの林先生がプロジェクト開始当時は北海道大学で研究をいただいていたというところで、北海道大学にお願いをしておりました。そこから林先生が九州大学に移られまして、九州大学のほうで低温ガス化部分についてご研究いただいておりますので、その部分について委託をさせていただいたということで、委託先に九州大学さんが上がってきたような形になっております。

【二宮分科会長代理】 今の説明ですと、プロジェクトリーダーが実際の委託先で研究されて、再度、一番下の再委託でも研究されているというように聞こえますが、そうなのでしょうか。そのあたりはもう少し厳密に答えていただけるとありがたいのですが。

【林教授】 すいませぬ、私から発言するのも恐縮ですけど。私は当初からこのプロジェクトのPLにご指名をいただきまして、あくまで立場はNEDO側でございます。私は実施者側には入っておりませんので、あくまで実施する研究者は九州大学の別の研究者でございますし、その辺は要求をいただければ、予算管理等の体制もきっちりご説明できると思っております。ちょっと混乱させてすいませぬ。

【二宮分科会長代理】 できれば、そのあたりもう少し、今回、この資料を見ても、このあたりは書いていなくて、実際の担当者が、例えば低温ガス化の担当者がどなたで、あと、最後の下の担当者がどなたということが記載されていなかったの、この資料を出していただけるとよろしいかと思っております。

あともう一つ、技術委員会が今回設置されたので、その議事録なり、具体的にどのように今回のプロジェクトに反映されたかという資料も、これには載っていないのですけれども、もしありましたら、公開できる範囲で構いませんので、配付いただけると助かります。

【吉川分科会長】 いかがでしょうか、NEDO側のほうで。

【正木主査】 議事録の配付というのは、この後、先生にお渡し……。

【二宮分科会長代理】 というのは、この後、評価するまでの間に、今の技術委員会でどういう議題が出て、それがどういうふうに反映されたかというようなものがあるようなものを作成していただいて、配付していただきますと、ここの事業体制の妥当性というところの評価ができると思いますので、よろしくお願いたします。

【正木主査】 わかりました。その点は、こちらからフォローさせていただいてもよろしいですか。

【三上主幹】 終了後に、我々のほうから評価の先生方にお渡しするというのでやりますので、よろしくお願いたします。

【相楽部長】 ご指摘ありがとうございます。ほかの事後評価委員会でも、中立な立場でご検討いただいております技術検討委員会で、どういったご意見をいただきまして、それに対してどういったマネジメントの点での工夫をしてきたかというのを、概略をまとめた形でお示ししていることがございますので、そういった形で対応させていただくということでもよろしゅうございますでしょうか。

【二宮分科会長代理】 結構でございます。

【相楽部長】 わかりました。

【吉川分科会長】 今のご質問にも関連するんですけども、先ほどのNEDOさんの説明の中で、中間評価以降、実施者側のプロジェクトリーダーを産総研さんをお願いしたというような言葉がたしかあったと思うんですけども、その話と、林先生がプロジェクトリーダーをされた兼ね合いがよくわからなかったんですけど。

【正木主査】 まず、プロジェクトマネージャーと、名前がちょっと違うんですけども、プロジェクトリーダーというところを林先生をお願いをいたしておまして、それで、産総研さんにプロジェクトマネージャーということをお願いをいたしております。基本的に、プロジェクトマネージャーの産総研さんのほうでございますが、実施者側が最終的に5者、6者になってまいりましたんで、先ほど林先生の連携図がございましたが、そういった試験の結果の成果の取りまとめとか、取りつなぎとか、取りまとめについて主に担当していただいております。

【吉川分科会長】 ありがとうございます。

ほかにいかがでしょうか。どうぞ。

【板谷委員】 ちょっと細かい話ですけども、まず今二宮先生からもご質問あった件で、前半部分と後半部分の体制で、IHIが外れたところは、そっくりそのまま委託に変わったという理解なのですか。再委託のところが、そのまま委託先に変わったという。

【正木主査】 そうです。

【板谷委員】 そのほかのところは再委託のままということになったわけですか。

【正木主査】 JCOALさんはそのまま残っていただいておりますので、JCOALさんの再委託先に入っていただいていた大学さんには、そのまま残っていただいております。

【板谷委員】 ということなのですね。

【正木主査】 はい。

【板谷委員】 それと、先ほどのロードマップのところに出てきていた発電効率ですけども、あれは送電端での効率のHHVという理解でよろしいですか。

【正木主査】 はい。

【板谷委員】 それと、あと、最後のほうで、今回の成果として出された青い部分の白抜きに書いてある

ところが送電端効率という理解でよろしいですか。この数字は、全体ではなくて。最後のほうで、9枚目の資料になりますかね。林先生のご説明された、達成された効率、A-I G F Cのときに約65%とおっしゃられたのは、この青色部分の数字という理解でよろしいですか。

【林教授】 はい。ちょっと表現が。バーのうちの青い部分が送電端効率ですね。赤い部分が所内動力部分です。

【板谷委員】 そこに書いてある数字も、その部分の数字ということでよろしいですね。

【林教授】 はい。

【板谷委員】 わかりました。

【吉川分科会長】 今のご質問にも関連するんですけど、このプロジェクト全体はガス化システムの部分の開発と。ところが、評価は発電システム全体の評価で、つまり、全然研究されていない部分にかなり依存していると。そうすると、ガス化システムだけ見た場合、例えば、いわゆる冷ガス効率とか、炭素転換率とかという観点から見て、通常ガス化炉、ガス化システムと比べてどうなんだというのがいまひとつ見えなかったんですけども、その辺はいかがでしょうか。

【林教授】 ガス化炉としてのパフォーマンスについては、詳細説明の後の議論のほうが適切かもしれないとは思いますが、実際の水蒸気の顕熱を投入するということはございますが、それを含めても、冷ガス効率そのものは95%から100%の範囲内に入るところで、あくまでも炉体からのヒートロスがないという前提ではございますが、我々が模擬反応系でベンチの連続系で全体を模擬する反応システムでデータとして得たパフォーマンスに基づく、それぐらいの効率が実際に得られるだろうというふうに期待できるという。したがって、当然、それに対応して、酸素消費量も、従来のガス化に比べると減っております。概略のところそういう数値を載せるべきだったかと思えます。

【吉川分科会長】 冷ガス効率100%のガス化炉というのは、1つの夢ですね。逆に、もしそれが実現可能であれば、全体が発電効率で65とかというよりも、ガス化炉としてこういう性能が出たんだということを強調されたほうが私はいいように思うんですけど。

【林教授】 おっしゃるとおりです。

【吉川分科会長】 ほかにいかがでしょうか。どうぞ。

【二宮分科会長代理】 もう一つ、主な成果がもう一つ私は理解できていないところがあるのですが、今出された1番目の低温ガス化、これはもう原理的な成果がこうですということですね。次の2枚目は、これは実際の流動解析、大型のコールドモデルをつくられて、流動解析をされた。ここまではわかるのですけれども、次の3枚目のところで、これは実際に左側の図を見ると、何らかのベンチのホットガス化炉をつくられて、そのガス化炉の運転をされた結果ということよろしいのでしょうか。それとも、そうではなくて、左側のような装置をつくられて、実際に確かめられたということよろしいのでしょうか。

【林教授】 この部分でございますね。

【二宮分科会長代理】 この部分のこういうふうな装置が書かれているものですから、この装置をつくられて、実際に運転されたという。

【林教授】 では、申し上げます。産総研さんに、小型ではございますが、実験室規模のすべての反応器を含んだ連続系のシステムがございまして、そこに実際にカルシウム担持をした石炭を投入して、パフォーマンスが上がるということを実際に確かめております。それとは別途、バッチのいわゆるラボスケールのガス化もしております。

【二宮分科会長代理】 それはわかります。それで、そのときに、先ほどおっしゃられた熱分解炉のダウンナーでのタール分のチャーによる吸着と、あと、チャーのガス化ということも実際に実験されたと。

【林教授】 ええ。実際に出てくるタールは、この模擬反応系で確かめた値でございます。

【二宮分科会長代理】 わかりました。あと、4枚目が、全体のシステム解析をされたということでもいいわけですね。これは主な成果だということ。

【林教授】 はい。

【二宮分科会長代理】 わかりました。ありがとうございました。

【吉川分科会長】 今の話と関連して、よくわからないんですけども、今のシステムと2枚前のシステムですか、それとの兼ね合いはどういうふうになっていますか。その1個前ですね。

【林教授】 今のご質問は。

【吉川分科会長】 このシステムと先ほどの。

【林教授】 これですか。

【吉川分科会長】 そうです。

【林教授】 このカルシウム系、あるいはカルシウム／ナトリウム系の触媒転換に関しましては、2つ前のこの流動層のシステムに適用できるであろうと考えています。そことリンクした研究をしていたと。とくに、こことこととでのガス化促進の部分で適用できるということ。

おそらく、これ、触媒ガス化の位置付けに関するご質問ではないかと思ったのですが、これについては、このカリウムにつきましては、さらにこういう触媒よりも低温迅速なガス化を目指したわけですが、率直に申しますと、この部分については、必ずしもこれと粒子循環式の反応器システムを想定しているわけではないというのが率直なところで、しかしながら、この特性を生かすために、流動層にも適用できる担体を工夫する研究としても、少しこれよりはある意味でアドバンスの方向ではございますが、研究をそこまで展開しているということです。したがって、我々が中心、コアとして置いております粒子循環型の反応器システムにつきましては、当面のターゲットはここだというふうにご理解いただければと思います。

【吉川分科会長】 ありがとうございました。

ほかにいかがでしょう。どうぞ。

【相楽部長】 ちょっと時間が長引いて申しわけないんですけども、先ほど二宮先生から実施体制の点につきましてのご質問をいただきました。この点については、もし理解が正しければ、プロジェクトリーダーの位置付けのところを明確にすれば、ご理解いただけるのではないかと思います。プロジェクトリーダーと実施者の出身母体がかぶっているということについては、プロジェクトリーダーは、採択審査委員という位置付けではございませんので、そういった意味で、実施者とプロジェクトリーダーが同じ母体であるということに対しては、矛盾はございません。採択の際には、利害関係者はもちろん採択審査委員会委員からは外すというのは、それは大前提でございます。

プロジェクトリーダーの位置付けとしましては、プロジェクトが採択になりました後、推進をするにあたって、プロジェクトを取りまとめていただくにふさわしい方を、NEDOが委嘱をして、プロジェクトリーダーに就任をいただくということでございます。この場合につきましては、林先生にプロジェクトリーダーをお願いいたしまして、林先生からお話いただいたように、NEDO側に立ってというのは、全体を見渡して、どのようにプロジェクトを進めていったらいいかという立場で、NEDOと連携をとりながらプロジェクトを率いていただいたという、そういう位置付けになってござ

います。よろしゅうございますでしょうか。

【二宮分科会長代理】 今のお話ですと、プロジェクトリーダーが実施者となって、プロジェクトの委託先になって、実際にそういうことを主体となってやっても、それは差し支えないという、そういう理解でよろしいでしょうか。

【相楽部長】 はい。ほかのプロジェクトにおきましては、そういったケースもございます。あくまでも採択審査委員会は別でございますので、採択の段階での利害を有するというものではございません。よろしゅうございますか。

【吉川分科会長】 よろしいでしょうか。

【二宮分科会長代理】 はい。

6.プロジェクトの詳細説明

実施者より資料 6-に基づき説明が行われ、以下の質疑応答が行われた。

【吉川分科会長】 どうもありがとうございました。

それでは、質疑応答に移りたいと思います。いかがでしょうか。

私のほうから。最初に、この達成目標の根拠を明確にさせていただきたいんですが。20ページ、39枚目ですか、これにまとまっていますね。達成目標と達成度と。

【鈴木グループ長】 これですね。

【吉川分科会長】 ええ。これは、まず低温ガス化で、チャーリサイクルのガス化、これは炭素転換率の63という根拠ですね。それから、その次の、やっぱり特に気になるのは、タールが0.5%と書かれている根拠、それを目標にしているという根拠ですね。それから、あと、流動解析で、そこに書いてあるGs、固気比の値が、これは私のさっきの質問にも関係するんだけど、例えば、空気吹きでも同じ目標でいいのかというようなところですね。

【鈴木グループ長】 まず低温ガス化については、これは正直言いますと、このプロジェクトでは、低温ガス化については数値目標はなかったんです。つまり、このエクセルギー再生ができるのは、800℃ぐらいの温度、低温でガス化できるガス化装置を開発するというのが、実施計画書に書いてある目標です。ただ、ここに書いてある数字というのは、プロセスの要請から、先ほど言った、プロセス全体でガス化の効率、ガス効率の数字がありますが、それを達成するための逆算したチャーの転換率。ただし、これはアダロ炭とか、そういう比較的ガス化しやすい石炭をベースに計算してあります。

それから、2つ目の流動解析、これについては……。

【吉川分科会長】 いや、あとタールの目標、その根拠です。

【鈴木グループ長】 タールですね。

【林教授】 ちょっと補足していいですか。

ちょっと混乱を招いて申しわけありません。実は、達成目標の一番上の低温ガス化の部分については、一番上にある数字の52%というのが、中間評価段階での熱分解と水蒸気ガス化による炭素転換率だったんですね。下の63%というのは、最終的に、実験室で、限られた時間内ですが、到達した値。一番下の0.5%というのも、これも中間評価段階で、実験室規模ですが、到達していた値なので、ここは情報の張り込みがちょっと……。

【吉川分科会長】 ということは、これは目標ではなくて、得られたもの。

【林教授】　そうですね。1番目と3番目が、中間評価段階で既に得られていた値、真ん中が、ちょっと紛らわしいんですが、最終的に得られた値というので、これ、置き位置が間違っているようですので、最終的に訂正させていただきたいと思います。すみません。

【吉川分科会長】　というのは、特にタールの問題は、冒頭、この低温ガス化の大きなネックだと。そうすると、後段の機器に対して、どこまでタールが許容されるのかということと非常にリンクする話だと思うんですね。これで本当に達成目標なったと言われる理由がよくわからなかったんです、私は。

【鈴木グループ長】　タールについては、この装置だけで全部消そうということではなくて、タールの分解装置は一応想定しているんですね。

【林教授】　最終的に産総研の循環式の実験を、経時変化のグラフがありましたけど、あの条件で出てきたタールを詳細に分析して得られた結果としましては、BTXは一応タールから外すとすると、それよりも大きなものについては0.01%未満であったので、大体生成ガスレベルで言うと、我々が最終的に行き着いた値というのは、100mg/m³程度というふうにお考えいただけれと思います。ただし、これは、例えば、そのガスを燃料電池に持っていけるかということ、持っていけないので、そのレベルまで。

【吉川分科会長】　そういうことですね。

【鈴木グループ長】　タールについては、この装置だけで全部消そうということではなくて、タールの分解装置は一応想定しています。

それから、流動解析のほうですね。この循環速度について、コメントしていただければ。

【堤教授】　循環速度ですか。一番最初に、エクセルギー再生をやりますと、冷ガス効率としては130幾つになります。そのためのものすごい熱交換器等が要るわけですけど、それでどれだけガス化するので、吸熱反応ですから、どれだけ熱を与えなくてはいけないというのが決まりますので、それから計算しますと、粒子循環量がこのぐらいでないといけない。それはものすごく大きな数になります。

従来の循環流動層型のガス化炉も、ことごとく失敗したのは実はそこにあるとしまして、それから計算しますと、高さが100メートルとか、200メートルとか、そのぐらいになります。したがって、高濃度で高循環速度というのが開発課題。高濃度のほうは、循環速度がでかければこのぐらいになるというのはわかっていますので、それで循環速度を350という値に設定しました。

【鈴木グループ長】　補足すると、ライザーのほうの酸素吹きか空気吹きかというのは、直接関係なくて、ガス化炉側の要請で、この循環量は決まってきます。

【吉川分科会長】　ただ、固気比というのは、空気吹きか酸素吹きかで変わってきますね。

【堤教授】　燃焼と違うから。

【鈴木グループ長】　それは変わらないです。固気比が必要なのは、循環炉は……。

【吉川分科会長】　そっち側ですか。わかりました。

【鈴木グループ長】　もちろん、濃いのを廻す必要がありますが、もう一つは、ダウンナーでの伝熱速度確保という目的です。

【吉川分科会長】　それでは、ご質問をお願いいたします。

【田中委員】　田中ですが。低温ガス化と触媒ガス化の、このプロジェクトの中の相対的な位置付けが、もう一つよく私は理解できないんですけども。2層流の低温ガス化、これにさらにいい触媒を付加することによってよくなるという話なのか、一部、一番右、ここには映っていないけど、ケミカルルーピング的な話では、違うシステムのようにも聞こえるし、まずはこのプロジェクトにおける低温

ガス化と触媒ガス化の相対的な位置付けをちょっと整理していただきたいんですけど。

低温ガス化と触媒ガス化、この技術が両方成り立って初めてこのシステムが成り立つように聞こえるんだけど、でも、そうじゃないねという感じなんで

【鈴木グループ長】 説明がちょっとなかったんですけど、基本的な考え方は、まず触媒なしで低温ガス化をするというのが大目標になってございます。ただ、これは低温が800℃、もっと低い温度になれば、さらに、さっき言ったように、エクセルギー再生の効果が高くなりますので、使えるのであれば触媒を使いたいという、そういう立場になっています。ただし、これは、この触媒はすべて、先ほど想定している、我々が考えている3塔のガス化装置システムがありますけど、それとの親和性は考えて触媒というのを考えているということです。

【田中委員】 そうですか。

【鈴木グループ長】 ケミカルルーピングについては、今、かなり違うシステムだというふうにご指摘でしたけれども、基本的には、先ほど言った再生熱分解付きの2塔循環に、そのまま砂のかわりにカルシウムを置きかえるような形でできるとは考えています。そのときは、先ほど言ったように砂に比べて循環量、熱を運ぶ量が少なくなりますので、循環量速度が低減できるという効果とか、脱硫ができるという、そういう効果が期待できるわけです。

【田中委員】 全く素人なので、お聞きしたいんですけど、この触媒を入れることによって、熱分解炉とその下のガス化炉がある、そういう分離方式ですよ。それに悪さはしませんか、触媒は。熱分解のほうに。いや、単に聞いているだけですけど。

【林教授】 反応論的に言うと、いいところと、少し不利になる可能性がある部分がございます。例えば、カルシウムを担持した場合ですけれども、まずダウンナーにおけるタールの分解は非常に促進されます。一種の水蒸気改質です。それから、もちろん、流動層におけるチャーの水蒸気ガス化も促進されます。1点、弱点が、褐炭だとか石炭の組織にカルシウムを非常に高い分散度で分散させますと、最初にどんと起こる熱分解で発生する揮発成分の量が減るんです。逆に言うと、初期に出来るチャーがちょっと増えてしまいます。固体の中の反応については、よりチャーを増やす効果が、実はそういうアルカリ、アルカリ土類金属には一部ある場合がありますので、要するに、理想的には、もう熱分解でできるだけ高い割合でガス側にもものが行ってくればいいんですけど、その初期で固体とガス側の配分を決める反応でちょっと不利になる。しかしながら、総括で言うと、それを補って余りある効果が、適切な担持量であれば触媒であると考えています。トータルで言うと、コンバージョンは低くなることはない。温度を下げて、同等の程度で展開させられるというふうと考えています。

【田中委員】 ありがとうございます。

じゃ、この触媒に関しては、最後に1つだけ。どこかのシートに、3つぐらいの候補の触媒について、こうなった、こうなったと書かれていたんですけど、それで何が言えるのというのがないんですけど、我々ユーザーはすぐ先を急いじゃうんで申しわけないんですけど、もちろん、現時点で言えなくてもいいんですけど、こういうポテンシャルがあるねというところまで言っていたいただきたい。最終的な報告では、試験データの結果いいデータが得られた、で終わっちゃっているのだけど、今回のプロジェクトにおいて、この触媒はこのシステムに対してこういうポテンシャルがあるのでとかいうような、何かコメントをつけていただくと、すごくわかりやすくなるんですけど。お願いですけど。いや、それが可能かどうかわからないけど。

【林教授】 大切なご指摘だと思いました。そうすると、例えば、チャーのガス化について言うと、実際

に想定される条件で、流動層中で触媒を担持した場合のチャーのガス化がどういう状況で起こるかどうか、例えば、そういうパフォーマンスに関するデータを出せば、少しご理解はいただけるのでしょうか。そういうことでよろしいでしょうか。

【田中委員】 そうですね。私が言っているのは、一つ一つのメカニズムまできちっと示してほしいという意味ではなくて、こういう触媒を使ったらこうなったよ、こういう触媒を使ったらこうなったよ、だからよかったという感じにとられちゃうんですね。こういう触媒を使えば、今プロジェクトで扱っているシステムとして、よりこうなるよとか、こうなるポテンシャルがあるよとか、そういうような言い方ができないかなと。

【林教授】 わかりました。質問して恐縮ですが、例えば、流動層でチャーをガス化しますと、例えば、チャーのガス化速度が層内である一定レベル以上でないと定常状態を実現できなくなるわけです。チャーの蓄積が起り続けますので。それが破綻する条件なんです。しかしながら、あるところで速度が十分に速ければ、温度にもよりますが、あるレベルで層内チャーのホールドアップが定常になります。例えば、触媒添加がない場合は、最低850℃要るのが、100℃下げられるとか、そういうことをデータで示すことができれば、少しご理解いただけるということですか。

【田中委員】 そうですね。そう定量的なものにこだわりませんが、定性的な部分があってもいいと思います。

【林教授】 わかりました。努力いたします。ありがとうございます。

【吉川分科会長】 ありがとうございます。よろしいでしょうか。

ほかにいかがでしょう。どうぞ。

【白井委員】 低温ガス化の成果として、ガス収率が63%得られたことの意味をお教えてください。燃焼とガス化のバランスなど63%が得られれば系統的に成立するのか、もっと上を狙ったほうが良いのか、もっと下でもシステムは成立するのかということについてお伺いしたい。

【鈴木グループ長】 基本的には、これは目標炭というか、アダロ炭とか、そういうものに対してのシステムを成立するための条件というふうにして出しています。もちろん、だから、炭種によってかなりこれは変わるんですけども、基本的にはこのぐらいの、つまり、これは2塔、燃焼とガスが分離していますので、石炭ベースの炭素転換率はそんなに高くなくてもいい、ガス化炉のほうでは高くなくてもいいというのが特徴になっています。

【白井委員】 そうしますと、例えば、低炭化度炭でしたら良いけれど、少し炭化度が高くなってくると、もう少しガス収率を上げなくてはいけないとか、そういうようなことはあるのですか。

【林教授】 この63%というのは、700℃で水蒸気を入れるという仮定でいいんですね。その場合に、吸熱側の水蒸気ガス化と熱分解で、ガスへの転換率が目標値より高くなってしまうと、チャーの部分燃焼では熱を供給できなくなるという、要するに、それ以上はもう上げられないというレベルで決まっていますので、その割合については、もちろん、投入する原料炭の性状で多少は変わってまいります。おおよそ、そうむちゃくちゃには変わりませんので、問題は、もうちょっとハイランクの石炭になってまいりますと、この目標値を達成するのに、ガス化速度をどう引き上げるかというところが褐炭よりはつらくなります。

【白井委員】 ありがとうございます。

【吉川分科会長】 これ、システム全体としての炭素転換率はどういうことになっているんですか。

【林教授】 あくまで定常状態のシミュレーションベースですから、定常転換率で少ない……。

【吉川分科会長】 いや、実験データとして。

【林教授】 層内の連続試験では、層内の滞留量が完全には定常に達していませんが、先ほど鈴木PMから説明ありましたように、時間の制限がありまして、それですね。もう少し延ばすと、いわゆる定常の転換率に達するであると。いわゆる100%ということと言えるのではないかと。ただ、それを実際データで示すまでの燃焼時間が……。

【吉川分科会長】 その赤を延長して100を狙うということですか。

【林教授】 そうです。そうしたら定常の転換率ですね。要するに、供給速度と中の反応系内のチャーの滞留量が一定になるはずだということで、その場合、いわゆる定常転換率100%ですね。

【鈴木グループ長】 ただ、注意していただきたいのは、これは電気炉で加熱しているという条件だということ。

【吉川分科会長】 次、いかがでしょうか。どうぞ。

【神谷委員】 私は流動のところ、ダウナー内粒子、10ページ目ですか、粒子混合の最適化ですね。これの評価、差があるということはわかりましたが、これ、評価法としては、どんな方法を使って混合比というのは出されたんでしょう。

【鈴木グループ長】 こちらの担当の、伏見先生をお願いします。

【伏見准教授】 これは、その17 thermocouples と書いてあるところに、17個熱電対を刺しまして、それで、そのほかに、横から模擬粒子を入れているわけなんですけど、その温度をはかりまして、各軸方向でどういう温度分布を示すかというのをまずはかりました。それで、横から入れている粒子の温度を80℃程度に高くしてまして、真ん中に書いていますけれども、回っている粒子は室温ですので、その17個の熱電対粒子ではかられているところの温度が高ければ、横からの粒子が相対的に多く入ってきているということを想定して、まず温度を求めました。その後、粒子の循環量は一定にしていますので、それに対して横から供給する量も一定にしていますから、平均でどれくらい温かい粒子がその熱電対に当たるかということが想定されますので、それに対してどれくらい混合が進んでいるかというのを計算しまして、混合の定量化をしたというふうにしたものです。

【鈴木グループ長】 温度測定からミキシングを推定したということですか。

【神谷委員】 これは、実際のコールドモデルではなくて、これを混合度の評価用につくったということですか。

【鈴木グループ長】 そうです。あるいは、その部分にこれを入れてということですか。

【伏見准教授】 だから、本体、実は左側のほうは省略してありますけれども、そこはダウナーの部分だけしか書いていませんが、実際は、先ほどの16メートルの装置を使ってまして、その一部をこれ用に改良したものです。

【鈴木グループ長】 この部分ですね。

【伏見准教授】 あそこですと、その下の部分ですね。分散器のすぐ下のところに横から供給する粒子、粒子供給部分を入れて、あと熱電対を17個刺せるようなパイプに取りかえまして、それで実験を行ったものです。

【神谷委員】 やっぱなかなかおもしろいですね。

【内田主査】 すみません、ご所属とお名前をお願いいたします。

【伏見准教授】 東京農工大の伏見と申します。すみません。

【吉川分科会長】 よろしいでしょうか。

【神谷委員】 あと、関連して、シミュレーションのほうですけども。これ、2成分、動的付着力ですか。この概念は、要は、これは弾性係数を操作したということになるのか、もう少し高級な概念があるのか。

【田中教授】 わかりました。阪大の田中が回答させていただきます。

これぐらいの粒径になってきますと、100ミクロンであるとか、100ミクロンアンダーとかぐらいになってきますと、実際に付着力をはかってみると、粒子の実際に働く重力よりも大きな付着力が働くような領域になってきて、実は、シミュレーションに関して言うと、大きなところはかなりいろいろやられているんですけど、こういう小さなところの問題というのは、実はまだ十分な実績がないというか、精度の保証がありません。それで、実際に付着力をはかる場で、それがどれくらい影響してくるのかということを目測するというのが非常に重要な課題になるという認識で、それを実際にやったわけです。

それで、実は実際に測定した付着力を入れた計算をやりますと、一番はじめに得られたのは、実は一番左端のような結果が得られて、それでは実際の現象というのはいま表現できないということがわかったわけです。それで、実際の計算では、これ、たくさんの粒子を扱わないといけない。そうすると、計算時間を短縮するというをやらないと、実際にほとんど実用的な計算ができないわけですね。それで、実は、この付着力を表現するのに、ばね定数が非常に重要だということがわかったんですけど、これ、実際の計算では、ばね定数をものすごく弱くしているんですね。この10N/mというのは、これ、実はものすごく弱いばねです。これぐらいの計算をやらないと、実は大きな系というのは扱えないんです。それで、実際にはもっとばね定数というのは大きいんですけども、大きくしていくと、その付着力を入れても実際の流動が表現できるようになります。

それで、ここでは、その原因というか、ばね定数がなぜこういう影響があるのかということを目論的に明らかにして、それで、それに基づいて、実際の計算ができる弱いばねでもそれを表現できるようなモデルを開発したというのが、それがここで言っています動的付着モデルです。ですから、実際の物理を表現しようとする、実際のばねに近いものを入れてやればいいけれども、それでは実際のものの役には立たない、こういう実用的なことをやる。そういう場合に対応できるようなモデルを開発したと、そういうことです。よろしいでしょうか。

【神谷委員】 これは、ですから、粒径が小さくて、そうでしたら、要するに、チャーとかのサイズが100ミクロン程度という、いわゆる付着性が無視できない領域での計算法として展開したと。

【田中教授】 そうです。それから、この辺のところは、実はシミュレーション上の知見が不足しているところで、非常にこういう基礎的な検討をやらないといけなかったということです。

【神谷委員】 わかりました。

【吉川分科会長】 ほかに。じゃ、板谷先生。

【板谷委員】 まず全体的なところでお伺いしたいんですが、最初のほうでアダロ炭で試験をされているとおっしゃられたんですけども、後のほうの解析の全体の熱効率、そのあたりもそれを前提とした計算になるのでしょうか。

【壹岐グループ長】 産業技術総合研究所の壹岐と申します。

基本的な計算、今回お示したものは、アダロ炭を前提とした解析の結果でございます。プロジェクトの中では、ほかの対象についても追加的に検討はいたしております。

【板谷委員】 そうしますと、現状のIGCCの効率も、それを前提としての計算ということによろしい

わけですね。

【壹岐グループ長】 はい。仮想的な噴流床を求めて、アダロ炭ができたという仮想的なものでございます。

【板谷委員】 それで、そうだとすると、もしできれば、差し支えなければ、その石炭の性状データなんかを示していただけると、本当はありがたいのですけれども。

【鈴木グループ長】 それは後でよろしいですか。

【板谷委員】 はい。

それから、あとは、このシステム全体で考えたときに、水の収支というのはどういうふうになると考えればよろしいのでしょうか。

【壹岐グループ長】 プロセスシミュレータを使って物質・熱の収支をとっていきまして、ただ、プロセスシミュレータごとに得意な分野がありますので、それを幾つか組み合わせるところでは、実際、数値を移しかえるわけですが、それは確認して収支をとっているという形です。

【板谷委員】 そうしますと、実質的に、例えば、今ここにたまたま出ているその図でも構わないのですが、エクセルギー再生で使う水というのは、基本的にどこにインプットがあって、どこへアウトプットとして出ていくというふうに考えればよろしいでしょうか。

【壹岐グループ長】 排熱回収ボイラー、今指していただいています、そこに水が入ってまいりまして、水蒸気をつくります。高圧の水蒸気をつくりまして、それを蒸気タービンに一旦供給して、ちょうどガス化炉に適するところまで膨脹させて、あとは熱交換器で温度を調整して、700℃にして、ガス化炉に戻してやる、入れてやるという形になります。

【板谷委員】 蒸気タービンの蒸気が、途中で注気されて、それがこちらのガス化炉に入ってくる蒸気の一部として使われるということなのですね。

【壹岐グループ長】 はい。

【板谷委員】 それを700℃まで再加熱して利用するという形になっているわけですね。

【壱岐グループ長】 そうなっております。

【堤教授】 ちょっと補足をよろしいですか。東京大学の堤ですけど。

多分、先生がおっしゃっているのは、アイデアルの場合だと、これはどうなっているかという、入れた水が水素になっています。

【板谷委員】 全部水素に変わっているということですか。

【堤教授】 水素源は水です。でも、水蒸気がなくなって、完全に反応が止まっちゃうということになりますので、ある程度過剰にスチームを入れまして、それはリサイクルを最終的にはかけるという形になります。

【板谷委員】 でも、どこかで出てくるアウトプットの水はあるわけですよね。

【堤教授】 だから、それはまたリサイクルをかけることになりますね。

【板谷委員】 それをまたリサイクル。

【堤教授】 ただ、必ず水素源としての水は供給は必要になります。

【板谷委員】 そうですね。

【堤教授】 はい。

【板谷委員】 わかりました。

そうしますと、例えば、低品位炭なんかも想定されておられるという、最初のところでお話あった

と思うのですが、そういった場合、結構水分を含んだ石炭種なんかの場合ですと、そうすると、またちょっとこの辺の水蒸気のバランスというのは結構変わってくるような気がしますけれども。そのあたり、どういう最適設計をされる予定かなんかがもしありましたら。

【堤教授】 一応これは水分濃度をある程度低くしたやつで、アイデアルに全部計算しています。おっしゃるように、褐炭みたいなのは水分を含んでいますので、それは、この前の段階で乾燥プロセスを入れます。そここの乾燥にかかわるエネルギーというのはものすごく大きいので、そこではまた別の、自己熱再生乾燥というのを開発してまして、それを適用して、大体5分の1ぐらいにできますので、それを想定して最終的なプロセスを組み上げるということを考えています。

【板谷委員】 わかりました。

それから、ちょっと細かい話になりますけれども、まず熱伝達係数もはかられていますね。それは結構大きな熱伝達係数が得られたということで資料に書いてあったと思ったのですが、それ、ヌッセルト数にしますと大体どのぐらいになりますか。

と言いますのは、要するに、こういう粒子流体間の熱伝達係数は、粒子径でかなり大きくオーダーが依存してきますので。

【鈴木グループ長】 伏見君、覚える？ ちょっと計算して、すいません。

【伏見准教授】 伝達係数しか覚えていないんですけれども。

【鈴木グループ長】 ただ、粒子は、実際に想定する粒子でこれは実験していますので。

【板谷委員】 どのぐらいの粒子径の。

【伏見准教授】 粒子径が大体100～120マイクロメートル程度です。

【板谷委員】 そうしますと、やはりそここのヌッセルト数でも、熱伝達係数になると結構大きくなってきてしまうような気がしますので、その辺も、もしあれでしたら、示していただいたほうがという気はしますけれども。

【伏見准教授】 ありがとうございます。

【板谷委員】 それから、それぞれのいろんな要素研究をされて、その中で、例えば、触媒を使っのガス化速度の促進等の検討もされているわけですが、では、今度、次のステップとしても進められるとすると、どういった組み合わせが最も現実的で、最もいいというふうに考えておられるかというのがもしありましたら、教えていただけますか。

【林教授】 では、私からお答えいたします。

今説明してまいりました反応器システムそのものについては、実用化という観点から言うと、触媒を加えなくともできるガス化というのがまず最初にあると思います。したがって、A-IGCC、IGFCに関して言うと、それが1つの基本になります。しかしながら、わからない部分というのが、非常に循環速度が速い反応系ですので、その条件を緩和するという意味では、触媒が必要になるかもしれないというオプションがあります。

もう一つは、これは究極のガス化発電だろうと言っておりますS-IGFCに関して言うと、反応系の設計については、まだ余地があるかと思うので、さらに流動層ガス化の反応温度を下げる必要がある可能性が高いと認識しておりまして、その場合には、できるだけ簡便な方法が望まれますが、触媒を添加したガス化が必要になると考えています。

【板谷委員】 わかりました。

【吉川分科会長】 じゃ、二宮先生、どうぞ。

【二宮分科会長代理】 2点ほどあるのですけれども、1つは、これは最終的に30気圧ということであるということで、それで、この中に熱媒体として珪砂を入れるということによろしいのでしょうか。

その珪砂を入れたときに、珪砂と石炭の比率って、大体どのぐらいの割合で、実際そのライザーの部分、大体どのぐらいのイメージでこれは考えたらよろしいのでしょうか。

【鈴木グループ長】 非常に大きな循環速度を持っていますから、多分、圧倒的に珪砂だと思うんですが。

【二宮分科会長代理】 圧倒的に珪砂が多くて、チャーはあまり多く……。もし固体分離というならば。

【鈴木グループ長】 多分、数%以内、1%とか2%とか、CFBCありますね、蒸発の。精度でそれと同じぐらいだというふうに想定……。

【堤教授】 かなり多いです。

【鈴木グループ長】 多いですか。すみません、かなり多くなる。

【二宮分科会長代理】 どちらが多いのですか。

【鈴木グループ長】 チャーが多くなります。

【二宮分科会長代理】 チャーは大体どのぐらいの割合なのですか。

【堤教授】 結局、反応速度で決まりまして、反応速度が遅い、ガス化速度が遅いと、どんどんチャーが増えていって、そこで止まるわけですね。バランスしたところで。大体設計で想定しているのは、50%、半分ぐらいがチャーになっているような状態を想定しています。

【二宮分科会長代理】 わかりました。

そうしますと、まず所要動力として、今回、その部分の、先ほど圧力差でという話をされたと思いますが、その大循環の粒子が循環するときの全体のシステムの所要動力ってかなり大きいと思いますが、どのぐらいに相当しますか。

【鈴木グループ長】 実機での。

【二宮分科会長代理】 実機の想定として。

【堤教授】 多分、誤解があると思うのは、30気圧と言ったのは、A-IGCCやA-IGFCの場合で、これはガスタービンと直結させますので、ガスタービンは20数気圧ですので、余裕を見て10気圧足して、大体30気圧でやっていると。これは勿来の設備も、そういう形でやっています。

ただし、S-IGFC、要するに、ガス化炉と燃料電池を組み合わせた場合、この場合はガスタービンは要らなくなります。したがって、話は全然変わって、極端に言えば、常圧のガス化炉でもいけると。だから、何気圧にするかは、リアクターのボリュームとコストで最適にすればいいということですので、30気圧以下にはなりません。多分、10気圧とか、あるいは数気圧ぐらいのやつが最適になると思います。

【二宮分科会長代理】 そのときに、ここの部分の循環に対するポンプとか、あるいは動力の所要動力というのは、これはシステム全体でどのぐらい占めることになりますか。

【堤教授】 圧損をエネルギー……。

【二宮分科会長代理】 その数字がちょっと見えなかったものですから。

【鈴木グループ長】 そのところは、実は所内動力をまとめて計上しているだけです、実際には。

【二宮分科会長代理】 それがもしありましたら、一例でいいですので、示していただければと思います。

【鈴木グループ長】 でも、流動層の1つの欠点ですね。所要動力が多くなるというのは。

【二宮分科会長代理】 今回は、その部分が、全体のシステムの効率のいい部分に対して、どこまで影響を受けるのかなというのがちょっとわからなかったものですから、もしわかりましたお願いします。

それと、あともう一つ、昔の夕張のガス化炉の中のことをちょっと思い出しながらお聞きしたいのですが、夕張のガス化炉のときに、基本的には下段を燃焼炉にしたという理由の1つに、反応性の悪いチャーがあると。それを、結局、最後、燃焼炉で完全に燃やして、カーボンコンバージョンを上げたと理解を私はしているのですけれども。今回の場合ですと、先ほどライザーが完全燃焼でなく、部分燃焼だということをおっしゃったと思うのですけれども、そうしますと、結果として、循環しているうちに反応性の悪いチャーばかりがここにどんどん残って、いわゆるグラファイトに近いようなチャーがどんどん燃えずに、反応せず、どんどん蓄積していくのではないかと。おそらく夕張のガス化炉のときは、それが結構大きな問題で、結果として、上段・下段を変えて、下段を燃焼炉にしたという経緯があったと思います。今回も、このシステムが大きくなったときに、同じようなことが起きる懸念をちょっと持ったのですけれどもいかがでしょうか。温度を低温化するというメリットは当然わかるのですけれども、ただ、石炭というのは基本的には悪い反応性の部分が必ずある。その部分に対する考慮がちょっと足りないと感じたのですが、そのあたりはいかがでしょう。

【林教授】 では、私のほうから説明いたします。

流動層におけるチャーの水蒸気ガス化に関しては、アダロと他の、例えば豪州褐炭等々で検討いたしました。それで、チャーの中で長時間水蒸気を浴びた場合、チャーの反応性に本当に変化が大きく起こるのかどうかを検証しました。そのところ、大きな低下はないということを確認しています。

したがって、私の理解では、夕張のガス化プロジェクトのすべてを理解しているとは自分でも思っていないんですが、あのときは反応性の悪いチャーがあるのではなくて、反応が進まないような流動層の環境があったということというふうに僕らは理解しています。それが、先ほどの揮発成分とチャーの相互作用であり、そのほかの理由も当然あるんですけど、ガス化がある程度以上のコンバージョンが層内で進まない状況に層内がどうしてもなってしまうと、それを解消しようとする、さらに空気比、あるいは酸素比を上げざるを得ないというのがシングル層の問題で、さらに言うと、そこまでやっても気相反応でタールをつぶせなかったというのが多分結果だろうと僕らは認識しています。

【二宮分科会長代理】 そうしますと、基本的な上で熱分解したチャーを飛ばして、その段階でかなりタール分が炭化して、いわゆる煤に近いようなものができてくると。それが下のガス化炉に入ってきますよね。そういうようなものが、逆に、今みたいなグラファイトに近いようなものになるということはないのでしょうか。

【林教授】 ご指摘のとおり、タールの分解改質の多くの部分を担っているのは、炭素の析出なんですね。基層からの炭素の析出なんですが、実際にダウンナーの部分で一定の水蒸気分圧、これは熱分解から出てくる水蒸気だけでもいいんですけど、それについては、大体蓄積がない程度まで、瞬時にかなりガス化が進みます。結果的に申しますと、それから流動層に落ちるチャーについても、実際の反応性の低下というのは大きくは起こらない。

ただ、正確に言いますと、ご指摘のとおり部分もありまして、これは非常に水素リッチな系になってしまいますので、反応性の低下は、その水素のせいで、若干は起きてきます。本当に長時間回すと若干起きてきますが、2～3割程度ぐらいまでいきます。それはグラファイト化ではないんですが、確かに水素がたくさんあると、炭素の構造の再編成がやっぱり起こりやすく部分というのはどうしても出てきます。しかしながら、2～3割程度というふうにお考えいただければいいと思います。

【鈴木グループ長】 それから、あと、低温ガス化では、グラファイト化というのは少し遅くなるのではないかと思いますけど。

【二宮分科会長代理】 わかりました。そうかもしれませんね。ただ、今回、循環量が多いということで、時間的にはかなり長時間ですよ。特に今回、ぐるぐる回っていますので、特にチャーが。なかなか最後、反応して消えるまでの、それまでに新しいフレッシュな石炭が来るものですから、未反応の部分が選択的にどんどん残されていくのではないかとこの感じを受けたものですから、そういうコメントをさせていただきました。

【鈴木グループ長】 貴重なご意見ありがとうございます。

【吉川分科会長】 では、私のほうから幾つか質問させていただきたいんですけど。

まず低温ガス化の部分ですけれども、結局、冒頭、ほかのガス化に対してどういうメリットがあって、そのメリットはどれだけ実証されたのかということ、これは私はポイントになると思うんですけども。そういう意味で、まず低品位炭に使えるというメリットを掲げられて、その結論として、ほかのガス化炉に比べてこういう面で低品位炭に確かにすぐれていることがわかったということは、ちょっと私には見えなかったということですね。

それと、板谷先生の質問に関係するんですけども、各機器でのエネルギーバランスをとることが難しい。これを電気炉でやるのは非常に簡単だと思うんですよ。これが自立システムになったときに、いろんな問題が出てくるのではないかと、これはやっぱり電気炉から次の自立システムに向かうにあたっての課題といいますか、その中で、この5年間のプロジェクトの成果というのは、先ほど私は目標を聞いたんですけども、実はこれは目標ではなくて、得られた結果だったということなので、じゃ、どういう目標が達成できて、どういう成果があったのかというのが、いまひとつ私はよくわからないんですけども、そこはいかがでしょうか。

【鈴木グループ長】 確かにおっしゃるとおりです。ただ、言いわけになるかもしれませんが、これは本当は、先生おっしゃるように、熱自立規模でこれを実証するというのが当初の本当の目的であった。それが、途中の計画変更によって、やむを得ずラボスケールになったということは、ここにまずご理解いただきたい。そのために、エネルギーバランスではなくて、すべて炭素の転換率みたいなもので表示しているということ、これをまずご理解いただきたいと思います。

ただ、何がメリットかと言われると、今までのこの800℃前半の温度のガス化にしては非常に高い、電気炉ではありまして高い転換率が得られているという、それは言えると思います。

【堤教授】 よろしいですか。

低温ガス化のメリットは、ひとえにエクセルギー再生ができるというだけです。エクセルギー再生をやるから最終的な転換効率が上がる。そのために、ガスタービン、あるいは燃料電池の排熱程度の温度でガス化をやれるというのが鍵でして、少なくともそれができましたということ、ご理解していただけるかと思いますが。

【吉川分科会長】 ただ、もう一つのメリットは、やはり低温でやると、後段で排熱回収が楽になると。要するに、部分燃焼が少なくて済む。別にエクセルギー回収だけではなくて、そういうメリットもあると思うんですけども、やっぱり一方で、反応速度が遅くなるという本質的な問題があるので、その辺が結局どうクリアされたのかよくわからなかった。

【堤教授】 トータルの、それは全体システムの設計そのものになるかと思うんですが。

【吉川分科会長】 それと、コールドモデルのほうですけれども、これも確かにコールドモデルで設定さ

れたターゲットは達成されたということなんですけれども、じゃ、これがホットになって、またいろんな課題があると思うんですよ。コールドでここまで来たけど、じゃ、次にホットに、実際2000キロというんですか、これが達成できる見通しといたしますか、そこはいかがですか。

【堤教授】 通常の設計方法は、ホットモデルをつかって、それと全く同じ大きさのコールドモデルをつかって、スケールアップして、またホットモデルで実証して、コールドモデルで追っかけるというんですが、当初、25年あるいは30年かかって商業化をやった場合に、それをやると3ステップぐらいかかりますので、予算の関係上、ホットモデルの大きなのができないということで、それならば、もう最初にコールドモデルでパイロットスケールのやつをとって、データを押さえましょうというような、通常のやり方とはちょっと違う形でやりました。

だから、少なくともホットモデルとコールドモデルでスケールが同じだったら、大体流動はこうなるというのは把握できますので、そういった意味では、この大きさのホットモデルをつくったときに、どういう流動が起こるかというのは、確実に把握できたと考えています。

【吉川分科会長】 例えば、さっきのご質問に関して、例えばチャーが半分で、シリカが半分だという状況がどう模擬できているんですか、このコールドモデルで。

【堤教授】 それは、粒子濃度がどのぐらいで回っているかという問題だと思います。

【吉川分科会長】 要するに、2種類の粒子が存在しているということですね。

【堤教授】 はい。

【伏見准教授】 データもあります。今日はお示ししなかったんですけど、これは全部シリカ、珪砂の場合のデータなんですけれども、体積比率で半分が珪砂で、半分がチャー模擬粒子というものの実験も実はしておりまして、その場合、高速循環が大体G sで言うと400kg/(m²・s)ぐらいですけども、400弱のところまでの高速循環は可能であることは確かめております。

【吉川分科会長】 わかりました。

それと、あと、最後のシステムのところなんですけれども、結局、このエクセルギーの循環、水蒸気ガス化に持っていくというところで、ポイントはやっぱり温度だと思うんですね。結局、700℃という水蒸気が出てこない、これはガス化はできないと。ところが、先ほどのシステムを見ますと、700℃の蒸気を出すためには、1700℃級のガスタービンの排気がなければいけないと。そうすると、1700℃級のタービンができない限り、これはできないという感じに私はとれるんですけど、いかがでしょうか。

【堤教授】 おっしゃるとおりです。それが大分、中間評価も含めて、指摘されたことで、だから、本当はガスタービンとか、こういったトータルシステム個々の機器の開発も全部並行してやらなくてはならないと思います。

ただ、S-IGFCは可能なわけです。ガスタービンがありませんので。だから、最終的な我々の結論としては、そこに向かおうというふうに考えたわけです。

【林教授】 ちょっとだけ追加させてください。A-IGCCとA-IGFCについては、実際には温度レベルの問題で、排熱だけで吸熱反応を進めることができなかつたので、それで、最小限、一部を部分燃焼によって熱を得て、それで正味の、いわゆる局所の冷ガス効率としては、大体オートサーマル、ニュートラルな100%近いガス化を目指しましょうということで、その方針で途中から実際の反応系の研究を行いました。

【吉川分科会長】 何か再度全体を通してございますでしょうか。二宮先生、どうぞ。

【二宮分科会長代理】 今、S-I G F Cの話が出てきたもので、私、びっくりしているのですけれども。というのは、もともと燃料電池の場合、多分、ガス濃度の低いところで、ほとんど起電力は出てこなくて、基本的に、原理的にも私は使えないと思っていますが、今、それは原理的に可能だというような発言かと思います。つまり、その濃度が、本来、燃料電池の場合ですと、入り口のほうはガス濃度が高いですから、当然、起電力は発生します。ところが、後段に行けば、どんどん燃料極側の濃度が下がってきますから、基本的には発電できない。そのために、その後にタービンがついているという理解を私はしていましたが、今回はそうではないということでしょうか。

【堤教授】 全く正しいご指摘だと思います。要するに、あれはコンバインドサイクルではなくて、大体コストで考えますと、7対3ぐらいで、7を燃料電池で、残りの3を、未燃のやつをガスタービンで燃やしているというのが実際のところですよ。

ただ、今回ののはピュア水素にしまして、水素・スチーム、スチームが負極側に出ますので、要するに、最終的にはスチーム・水素の混合物になります、出口が。だから、出力がどんどん落ちるわけですよ。だから、そこのところをスチーム・水素を分離するシステムを入れて、水素を循環する操作をすることによって、100%そこで燃料電池で使えます。

【鈴木グループ長】 燃料の循環をするわけです。

【堤教授】 だから、課題に幾つかあったと思いますけど、スチーム・水素分離、高温分離とかいうのは、そういう課題の意味です。

【二宮分科会長代理】 わかりました。

【吉川分科会長】 じゃ、板谷先生、どうぞ。

【板谷委員】 さっき聞き忘れた点をまず確認したいんですが、低温ガス化のところ、熱分解炉の中でチャーでタールを低減するというところ、チャーと石炭比が0.85と0.15という比で書かれていたんですが、これはライザーから来たチャーが0.85で、あと熱分解炉へ投入するのが0.15の石炭というふうな理解なんですか。それとも、ここのチャーというのは、熱分解炉で熱分解したチャーも含めての、トータルのチャーということになるのでしょうか。

【鈴木グループ長】 これは……。

【林教授】 ちょっと図を出せますかね。9枚目のスライドかなんかのところに85対15の比率が書いてあったと思うんですけど。

【鈴木グループ長】 これですね。

【林教授】 これは炭素基準で、チャーとして供給したチャーの炭素が85に対して、石炭として供給した炭素が15という場合です。

【板谷委員】 これ、実際の装置を考えますと、熱分解炉の中では、その供給した石炭が熱分解されてチャーになりますよね。

【林教授】 はい。

【板谷委員】 そのチャーも含めて、戻ってきたチャーとそこでできたチャーを足し合わせたものが85ということですか。

【林教授】 ライザーからリサイクルされてくるチャーが85の場合ということですね、これは。

【板谷委員】 ということですか。

【林教授】 実際には、こういう百分率表示をしますと、もっこのチャーの割合が高くなります。極端に言うと、10%以下、5%程度になりますので、現実の想定される系は、石炭供給比に対するチャー

一の循環速度がもっと大きくなるというふうに考えています。

【板谷委員】 そうしますと、内部循環で回っているチャーというのは、ものすごい量ということになりますので、そうすると……。

【林教授】 それより非常に大きなホールドアップが出てくるということです。

【板谷委員】 じゃ、循環のところのホールドアップは大体どのぐらいなのでしょう。先ほどの目標値だとすると。

【林教授】 プロジェクトの過程で流動層ガス化と熱分解に対するデータがそろってまいりましたときに、およその循環の状況を計算したんですね。そのときに、これはもう堤先生からありましたように、転換速度の関数になってしまうんですけど、チャーのガス化があまり速くないという想定の場合には、循環している粒子の体積基準で言うと、半分ぐらいがチャーになる可能性があるというふうに考えました。したがって、先ほど伏見さんから話がありましたように、ナイロンショットで石炭を比重の上で模擬して、半分がナイロンショットというところまでコールドモデルでやっていただいたということです。

【板谷委員】 そうですか。

それから、先ほどのところで、最後のS-I G F Cのところ、そうしますと、当初、水素の分離はどうするのかと思ったんですけど、先ほどのお話ですと、全部ピュアな水素にして、あとは水蒸気だから、水蒸気で落としてしまえば、残りが水素だから、分離ができるということでしょうか。

【鈴木グループ長】 そうですね。

【板谷委員】 わかりました。

【吉川分科会長】 ほかにはよろしいですか。じゃ、どうぞ。

【白井委員】 再度確認させていただきたい。現在の成果として、850℃でガス化できたことは、効率向上のために、今のI G C Cに低温ガス化を適用する上で十分な成果であると言えるのか、やっぱり700℃まで進めないとは大幅な向上が認められないというのか、現時点での成果に対しての評価を教えてください。

【堤教授】 今の時点での評価というのが、現在、商用化されているのが、要するに、高温の噴流層ですから、比較が非常に……。最初から、そういう今のやつに対してどのぐらいなのかというのは大分言われて、ずっと比較をどうするかというのを、流動層を使って今のシステムでやった場合とか、そういうので比較していますが、850℃ですと、実際問題、先ほどもご指摘ありましたように、熱源がありません。1700℃級のガスタービンでも少し厳しいぐらいです。だから、今ない技術に対しての、あったとしたらどのぐらいになるかという仮定でしかありませんので、あくまでも仮定の話になってしまいますね。

【白井委員】 そうすると、最終的には700℃を目指さなくてはいけないという意味ですか。

【堤教授】 だからこそ、ガスタービンはあきらめる。

【林教授】 今あったのは、あくまで燃焼しない場合ですよ。発熱反応、部分燃焼を可能な限り減らすという方向ではありますけど、それでも十分850℃では大丈夫だし、現実、触媒を添加しなくても、800～850℃の流動層温度で、先ほど申し上げました熱分解改質ガス化プラス部分燃焼で成立はできます。

【鈴木グループ長】 ただ、温度が低くなると、ガス化炉の体積が大きくなるという、そういう問題で、それとの兼ね合いで温度が最終的には決まると思います。

【吉川分科会長】 今のご質問に関係するんですけども、そういう意味で、ギッシングでやられている2塔式の、こっち側は水蒸気ガス化で、こっち側が燃焼というのにある意味では似ている部分がありますね。それで、あれで成り立っているのは、別に700℃の水蒸気じゃなくても成り立っているの、ああいうコンセプトと、もうちょっと低い水蒸気の回収で持ってくるのとの組み合わせというのはどうなんですか、可能性は。

【林教授】 要するに、どのくらいの温度レベルの熱が発電側から取り出せるかということになりますけど、理想的には、その温度より低い温度で吸熱反応を操作するほうがいいですね。それはもっともなんですけど、現状、ある程度合理性を現実で持たせた、今説明申し上げた反応系ですと、やはり一番トップで900℃ぐらいの温度があったほうが操作はしやすいということですね。

ただ、究極的に言うと、例えば、もう活性の高いチャーだけ原料としてほうり込むようなものであれば、もういきなり700℃の流動層でも不可能ではないということになります。したがって、ちょっと幅を持たせてしまうと混乱は起こるんですけど、状況によって、入熱のレベルによって状況は変わるのではないかと正直には思っていますが、あくまでこのプロジェクトの中心は、粒子循環式の反応システムであったというふうにご理解いただければと。その場合には、やっぱり温度が高いところもある、もうつくらざるを得ないということですね。

【鈴木グループ長】 低温でエクセルギー再生がしっかりできれば、もちろん低温でいいんですけども。

【吉川分科会長】 わかりました。

田中委員、何かございますか。

【田中委員】 最後のほうで、今後の展開だったかな、タイトルは忘れましたが。そこで、周辺技術は、その熟成を見極めると、ちょっと言葉が違いますが、そんな表現があったと思うんですけど、周辺技術の定義にもよりますけれど、高温ガス精製の技術というのは、ここで周辺技術に入れているんですか。

【鈴木グループ長】 解析上は入れていますね。

【田中委員】 ちょっと気になったのは、この横軸がどのぐらいの長さかによっても変わると思うんですけど、高温ガス精製の中でも、集塵だとか、脱硫をどうするかということで、今回のシステムからニーズを出さないと育っていかないような領域はないのかなと。だから、見極めているだけでいいのかなという。

【鈴木グループ長】 それは、今言ったように、このシステムの成立の条件として、幾つかの技術課題は提示しましたが、それはこのプロジェクトからの発信ということで、こういう特殊な熱交換器とか、特殊なガスタービンを開発してくださいというような、そんな話になります。

【田中委員】 だから、周辺技術の話の中の、特に高温ガス精製のところで、例えば、炉内脱硫をやるんだというふうになってくると、ガス化炉自身に戻ってきますね。それだと、見極めているだけでは済まないような気がするんで、その整理をされた上で、ここはこういう形で見極める、ここは、このプロジェクトの中でやるかどうかは別として、こういう技術を今後やっていかなければいけないとか。単に見極めると言われると、本当に見極めれば誰かやってくれるのかなという気がするんですが。特に高温ガス精製については、ガス化炉とかなり結びつきが強いと思うので。

【堤教授】 こういうふうを考えています。必要になってくるのは高温ガス分離、ガス精製、それから、スチームと水素の分離とか、そういった高温ガス分離が重要になってきます。

ただし、自己熱再生という技術がありまして、一旦温度を下げてしまうんですね。低い温度で分離

して、また温度を上げる。上げるときに必要な熱を、下げるときをやつで使うという技術が出てきています。それを最終的には使えるというふうに考えています。もちろん、高温で、例えば膜分離とか、そういうのがアベイラブルになれば、それを使うことができる。

何が言いたいかといいますと、少なくとも現状の持っている技術、すなわち、何か膜ができないといけないとか、吸収剤ができないといけないとか、そういうことではなくて、今の技術でも実践できることは可能だと思います。だから、ここで言っているのは、そういったことを全部踏まえて、最終的にはどういう形でプロセスを組み上げていくかということだと思います。

【田中委員】 　だから、その周辺技術の中でも、例えば脱硫をどう考えるのかによって、炉内脱硫をやるんだとなれば、炉内脱硫でどうかという検討をもしするのであれば、ガス化炉そのものにかかわってくるので、いいのかなと。いいのかなというのは、単に見極めるだけでいいのかなと、そういうことです。あるいは、集塵の話ね。

【鈴木グループ長】 　我々が主体的にやらなければいけないという意味ですか。

【吉川分科会長】 　今のご質問は非常に大事で、例えば1700℃ガスタービン、ほうっておいても別のルートで開発は進めるわけなので、それは逆に、それができるのを待っていればいいんですけども、例えば、このプロジェクトが立ち上がらないと開発できないというものは永久にできないので、その辺の今後の将来の課題の区分けといいますか、それをきっちりされたほうがいいと思うんですね。

【鈴木グループ長】 　はい、貴重な……。

【吉川分科会長】 　ほかに、大体時間になりましたけど、よろしいでしょうか。
どうぞ。

【神谷委員】 　これは高温でのホットモデルはできなかったものであれなんですけれど、さっきのコールドモデルで石炭模擬粒子が使われて、非常におもしろい研究をされていると思いますが、やっぱり高温になりますと、粒子間の相互作用も大分変わってきますので、その点では、やはり今後の課題だと思いますけど、高温下での挙動というのは、それにつけ加えたような研究ができれば、ぜひ進めていただきたいと思います。これはコメントです。

【吉川分科会長】 　最後に、メーカーさんで唯一入られている三菱重工さんにちょっとお伺いしたいんですけども、今回は主としてガス化の部分が開発されたということで、その成果を踏まえまして、特にガス化部分で、やはりメーカーさんとして、実施自分が例えばパイロットプラントをつくるのかということになったとき、この辺が問題だろうと思われるところをちょっとコメントいただきたいんですけど。

【石井グループ長】 　申しわけありませんけど、今回のシステム検討におきましては、私ども、ガス化の部分につきましては、以前IHIさんがやられた検討をベースにしてやらせていただいたということで、特段、今回の流動層の検討につきましては、やらせていただいておりますので、コメントできません。

【吉川分科会長】 　わかりました。

7.全体を通しての質疑

省略された。

8.まとめ・講評

各委員から、以下の講評があった。

【田中委員】 講評というか、またコメントみたいになっちゃうんですけど、今日ご説明いただきまして、それなりに理解できたし、この技術、期待したいなと思っているんですけど、最後のまとめ方になるのかもしれませんが、今後、石炭を使った高効率発電技術の重要性はうたわれているのは当たり前で、当然でいいんですけど、そのための技術というのは、単にこれだけではなくて、NEDOさんの中でも、ほかでもやっているし、あると思うんですね。横軸の時間軸も違うかもしれませんが、今回のこのプロジェクトで目指している技術というのが、現在の並行して動いているような技術との相対的な位置付けを示していただいて、このプロジェクトはこうだよというような発信というか、まとめ方をしていただきたいなと思います。別にこれが最後に一つに絞られるという必要は全然ないと思うので、我々ユーザーにとってみれば、選択肢があったっていいんですけども、その選択肢の一つという位置付けかもしれないし、そういうような、この技術的なまとめ方をしていただきたいなと思います。ちょっと講評になっていませんけれども、よろしくをお願いします。

【吉川分科会長】 ありがとうございます。

白井委員、お願いいたします。

【白井委員】 今日は、ご説明いただきまして、非常に理解できました。やはり高効率の発電を目指すといった場合、まだハードルが高いということを感じます。ただし、成果については、非常によい成果が得られていると思います。ですから、例えば、波及効果に記載されている、バイオマスのガス化などに効率の改善という観点から、ぜひ検討をしていただきたい。また、そういうことで、基盤研究がさらによいものになっていくと考えます。ぜひ波及効果も含めた形で検討をお願いしたいと思います。以上です。

【吉川分科会長】 神谷委員、お願いいたします。

【神谷委員】 多分、予算の関係だと思いますけれども、ホットモデルができなかったというのは確かに残念だと思いますけれども、個々の成果は、限られた予算の中で、非常に貴重な成果が得られていると思います。大体こういうチームプロジェクトでの共通の指摘ですけど、個々は頑張るんですけど、その間の連携という意味で、もし可能であれば、今後も、例えば、さっきの流動のところと実際のガス化反応の部分、こういったところ、それから、モデリングのところですね。コールドモデルを使ったものと、さっきの混合のところなんか、本当はおもしろい課題、シミュレーションにとっても非常におもしろい課題の部分だと思いますので、構造と混合の問題等々。おそらく、これは研究の種といえますか、シーズとしては非常におもしろいところが出ていると思いますので、これは今後どうなっていくのか、よくわかっていないのですが、非常に重要な課題が抽出されていると思います。

また、先ほど田中委員がおっしゃったように、ガス精製の部分とか、途中でご質問しましたが、灰の循環の話、これは多分チャーの循環も当然入ってくると思いますので、その辺も今後の課題としてやはり抽出をしておいていただいて、将来の発展につなげていただけるような最終的な報告書といえますか、まとめをしていただければと思います。

【吉川分科会長】 板谷委員、お願いします。

【板谷委員】 今日、いろいろお話を聞かせていただきまして、大分よくわかってきました。それと、あと、それぞれの個別の研究に対しましては、要素研究として、要素技術として、非常にすぐれた成果を出されておられると思いました。

ただ、実際にこれをプロセスとして、あるいはシステムとして組み上げていったときに、どうい

ふうに整理をしていくのだろうか、あるいは、どういう装置設計していくのだろうかという思いもいろいろございますけれども、このあたり、今後どのような形で展開していくのかわかりませんが、やはり今後展開していく上では、ある程度実証研究で見えるような形の、今でき得る中で最適な基本設計のようなものをしていただいて、今後の展開につなげていっていただければと思います。

以上です。

【吉川分科会長】 二宮委員、お願いいたします。

【二宮分科会長代理】 皆さんと同じで、今日の話をお聞かせいただきまして、やっと理解ができたと思います。特に、先ほど堤先生のほうから言われた、今回の一番の目的は低温のガス化だとおっしゃる中で、林先生のお話を聞きまして、熱分解炉とガス化炉とを分けることによって、今までの流動層ガス化炉の問題点がわかってきて、さらに低温ガス化の方向性がみえてきたという意味では、今回、非常に大きな知見が得られたと思います。

ただ、ちょっと残念なところは、この事業原簿は非常にページ数が少ないことです。これはページ数が決まっているのでしょうか。というのは、今回、読ませていただいて、先ほどのいろいろな成果があるにもかかわらず、何も書かれていないことが多いことです。今日初めて聞いたという部分が多くて、先ほど粒子の50%、50%の話も、多分、これは載っていないのではないかと思いますけれども、伏見先生が実験を行われた成果だとするならば、これも本来、これが最終公表成果だとするならば、この内容の載せてあってよいかと思いました。非常に膨大な成果があるわりには、非常にコンパクトにまとめられていて、ちょっとわかりづらかったというところがあります。

以上でございます。

【吉川分科会長】 ありがとうございます。

最後、私のコメントですけれども、エクセルギー再生と組み合わせた低温ガス化というコンセプトでは非常におもしろい成果が上がっていると思います。ただ、これをIGCCと組み合わせるとか、それから、燃料電池と組み合わせるところに非常に大きな無理があるなど。これを実用化するという観点から。まだまだそれははるか遠い世界になると思うので、もし仮に、これ、次にパイロットに行くという方向を出すのであれば、もうちょっと手前で実現できるシステム、もうちょっと低温の水蒸気を使えるとか、それから、出口側が必ずしも発電ではないというような、いろんなオプションがあると思うんですけれども、そういう形でこの成果を次につなげていくというのが私は望ましいのではないかなと思います。

委員の皆様からは、以上でよろしいでしょうか。

では、推進部長、それからPLも、何かございましたらお願いいたします。

【林教授】 本日は多くの重要なお指摘とコメントをいただいたように思いますし、その意味では、ある程度は我々が取り組んできた技術研究開発の内容についてご理解いただけたのではないかなと思っております。改めてお礼を申し上げます。

今、最後の講評にいただいただけでも、随分と大事な宿題を与えていただいたと思いますので、それよりも前にいただいたコメントも含めて、何とか全力でクリアして、より真つ当に成果を我々も表現できるように、また一工夫したいと思います。今日はありがとうございました。

【相楽部長】 本日は、長時間にわたりましていろいろなご議論いただきまして、まことにありがとうございました。今日、いろいろな説明の機会を与えていただきまして、なかなか紙では十分説明し尽くせ

なかった部分を、NEDO側のマネジメントの部分、それから実施者の方々の技術的な部分について、説明をさせていただけたのではないかと考えております。

また、先生方からいただきましたコメントにつきましては、非常に有意義なものが多いので、今後の報告の取りまとめにも反映していきたいと思っておりますし、また、評価の観点からも、今日いただいたご質問、それから、また追加等でご質問、ツケになっている部分も返しながら、最終的にプロジェクトの成果として取りまとめをしていきたいと考えております。

中で、今後どうしていくのかというご議論をいただいていたんですけども、ここまで非常にいい研究を、特に今回の研究につきましては、アカデミアの方々にはかなり多くご参加いただきまして、日本の将来の石炭火力のオプションというか、何ができるのかという意味では、もう先生方ご指摘いただきましたように、非常に有意義な研究がなされたのではないかと考えております。ここからすぐまた何かできるかという、いろんな周辺技術の問題等もあって、先になるかとは思いますが、ここで一旦振り返るといって、調査といったような形で、今後何をしていくべきかということは、特にエンジニアリングの部分、それから、中に出てきたケミカルルーピングの話とか、そういったことも含めて、NEDOとしても進めていきたいと思っております。

いずれにせよ、今日評価をいただきまして、今後のNEDOの研究に反映してまいりたいと思っておりますので、本日はどうもありがとうございました。

9.今後の予定、その他

10.閉会

以上

参考資料 4

評価結果を受けた今後の取り組み方針について

評価結果を受けた今後の取り組み方針について

評価における主な今後の提言	今後の取り組み方針
<p>○本事業での開発した石炭ガス化発電システムは、高効率石炭火力発電システムの基幹技術であるが、システム構成上ガス精製、1700℃級ガスタービン、大型固体酸化物形燃料電池(SOFC)等の他の技術の確立が欠かせない。これらの技術に対して、単に開発状況を見極めていくことに止まらず、目指すシステム上のニーズや要求仕様を積極的に発信し、開発の推進力となることも考慮されたい。</p> <p>○次世代高効率石炭ガス化技術実用化のハードルが高いが、波及効果のある優れた成果を出しており、現時点での成果を小規模なバイオマスガス化や発電を目的としない石炭ガス化システムに適用するなど、実用化に近い他の技術への活用を具体的に考えるべきである。</p> <p>○パイロットレベルでのホットモデルによる検証や、ガス精製技術などその他の要素技術研究と組み合わせたもう少し規模の大きい大型プロジェクトを企画するなど、エネルギーの将来展望を見据えた、今後の継続的な展開も重要であろう。</p>	<p>○本技術を発電システムに組み込み、革新的な発電効率を達成出来るようにするためには、ガス精製、高温ガスタービン、SOFC等の周辺技術が必要であり、また、それらの周辺技術を適用できるように改良していく必要があるが、適用性は不確かであるため、本技術に対するシステム上のニーズや要求仕様について見極めていきたい。</p> <p>○本技術を採用した場合、高温ガス化に本質的に向いていない、高灰分炭、バイオマス、廃棄物等各種有機資源を効率よくガス化することができるようになる。また、循環流動層ガス化において、ケミカルルーピングプロセスを採用すれば、CO₂分離が容易に行えるシステムとなる。今後においてはこれらへの技術の展開も検討していきたい。</p> <p>○本技術の目的としては革新的に高効率が達成できる発電システムの構築であり、それを達成するためには周辺技術の熟成も必要となる。スケールアップした研究については周辺技術との連携、進捗状況を見極めながら、適宜検討していきたい。</p>

評価における主な今後の提言	今後の取り組み方針
<p>○当該研究開発の内容が基礎的な研究のレベルに留まっており、また目標とする発電効率を達成するためには、周辺技術の進展が不可欠である。今後高効率石炭火力発電の体系を俯瞰したうえで、ここで目指しているガス化技術の位置付け、必要性を整理してほしい。</p>	<p>○エンジニアリングの部分から本技術を採用した発電システムの実用化の見通しについて、検討していくとともに、我が国のエネルギー政策の動向とも、リンクさせながら、高効率石炭火力発電技術開発ロードマップにおける本技術の位置付けを明確にしていきたい。</p>

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25年3月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 内田 裕

*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

ミューザ川崎セントラルタワー20F

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