

「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術  
開発（１）（５）・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術  
開発」

中間評価報告書

平成29年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

平成29年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 古川 一夫 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34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。

「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術  
開発（１）（５）・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術  
開発」

中間評価報告書

平成29年12月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

## 目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	7
研究評価委員会コメント	8
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-16
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

## はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・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、「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発（１）（５）・ＣＯ２回収型クローズドＩＧＣＣ技術開発」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第３２条に基づき、研究評価委員会において設置された「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発（１）（５）・ＣＯ２回収型クローズドＩＧＣＣ技術開発」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第５４回研究評価委員会（平成２９年１２月１３日）に諮り、確定されたものである。

平成２９年１２月  
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 審議経過

### ● 分科会（平成29年10月2日）

#### 公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

### ● 現地調査会（平成29年8月24日）

三菱重工業株式会社 総合研究所（長崎） 10会議室

### ● 第54回研究評価委員会（平成29年12月13日）

「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発

(1) (5)・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発」

中間評価分科会委員名簿

(平成29年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	いたや よしのり 板谷 義紀	岐阜大学 大学院工学研究科 環境エネルギーシステム専攻 教授
分科 会長 代理	せきね やすし 関根 泰	早稲田大学 理工学術院 先進理工学部 応用化学科 教授
委員	うめだ けんじ 梅田 健司	電気事業連合会 技術開発部長
	しみず ただあき 清水 忠明	新潟大学 工学部 化学システム工学科 教授
	たつみ たかお 巽 孝夫	国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部 事業企画ユニット シニアコーディネーター
	なかざわ はるひさ 中澤 治久	一般社団法人 火力原子力発電技術協会 専務理事

敬称略、五十音順

## 評価概要

### 1. 総合評価

我が国のエネルギー安全保障の観点から、多様な一次エネルギーに依存せざるを得ない現状では、世界最先端の火力発電技術を継続的に維持していくことは不可欠である。特に石炭火力発電技術についても、世界のトップランナーを走ることにより、国内のみならず石炭に依存している開発途上国への技術移転等によりグローバルな二酸化炭素排出削減に貢献することは重要である。

本事業の目標は、わが国のエネルギー供給のロードマップと世界的な趨勢を考慮したものとなっており、市場調査などを通じて技術の優位性を確保できるよう設定されている。実施体制については、当該技術について十分な知見を有する構成員による体制が組み立てられており適切と考えられる。成果については、中間目標をおおむね順調にクリアできる見込みが得られており、また最終目標についても達成が期待できる。

次フェーズに向けては、産炭国でニーズの高い原料ガス生成への展開も視野に入れた、低コスト・高効率設備の開発も盛り込んだ波及効果が高い計画を作成することが望まれる。また、若手研究者や技術者を本研究開発に参加させて、人材育成していくことも必要である。かつ、CO<sub>2</sub>の有効利用技術など CCS 以外の技術展開を視野に入れた検討も進めていただき、より確実に実用化を推進していただきたい。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

我が国のエネルギー安全保障の観点から、多様な一次エネルギーに依存せざるを得ない現状では、世界最先端の火力発電技術を継続的に維持していくことは不可欠である。特に、温室効果ガス排出量が多いことから批判の高い石炭火力発電技術についても、世界のトップランナーを走ることにより、国内のみならず石炭に依存している開発途上国への技術移転等により、グローバルな二酸化炭素排出削減に貢献することは重要である。本事業は、石炭を利用しつつ二酸化炭素の大気排出を減らすための分離を行うことができるエネルギー転換技術の開発を目指すものであり、我が国の目指す方向と合致している。支援額も、技術開発によって将来期待できる燃料費節約効果との比較において適切と言える。また、本事業は研究開発から実用化、導入・普及まで長期間を要するとともに、高い技術的難易度が求められることから、民間企業のみでの取組みには限界があり、NEDO の事業として実施する必要性は高い。

#### 2. 2 研究開発マネジメントについて

研究開発目標は、我が国の火力発電のロードマップ、市場規模の見通し及び海外の競合技術に対する優位性を勘案し、戦略的かつ適切に設定されている。新規技術に求められる要素技術が適切に選択されており、実施にあたっては、各事業者が所有するガス化設備を有効活



用し、スケールアップに向けた基礎データを取得するための速やかな計画となっている。実施体制については、主要なメーカー、研究機関、大学で構成されており、役割分担が詳細かつ明確となっており、適切な管理のもと、研究開発が予定通り進捗している。知財戦略は、知財確保が有利な技術について明確に定め、出願・権利化を進める方針であり、評価できる。

一方、現在主な目標が送電端効率となっているが、ある程度の目途が立った後は、連続運転等の信頼性、設備コスト、炭種適合性などを目標に加味することが望ましい。

次フェーズに向けて、現時点でも産炭国でニーズの高い原料ガス生成への展開も視野に入れた低コスト・高効率石炭ガス化設備の開発も盛り込むこと、また、ユーザーが関与する体制を構築することが望ましい。

さらに、発電関連エネルギー技術は、大規模なものであるとともに長期の試験により運転安定性を確認することが要求される性質のものであるため、長期的視野を持って技術の確立と国際競争力の確保を目指してもらいたい。

## 2. 3 研究開発成果について

難易度の高い技術開発でありながら全般に中間目標を達成しており、また、最終目標も達成する見込みが得られている。さらに、開発技術はいずれも従来方式とは異なる新しい技術であり、既存設備への部分適用など様々な波及効果も含め今後の成果が期待される。

一方、全体的に主要目的の実証試験を実施するための設備改造計画が中心となっており、定量的な目標はあまり設定されていない。本格的な実証試験が開始されれば、種々のトラブルも想定されるので、速やかに試運転から本格運転が実施できる準備とモデル解析に必要な条件設定や基礎的なラボ試験による課題抽出に努力して頂きたい。また、化学燃焼については、実験データの解釈や実用化に向けた設計方針の立案についてまだ不十分なところも見受けられるため、データ解釈の精緻化と実用的な設計提案の立案についてより深く検討していただきたい。

今後、最終目標の達成に向けては課題も残されており、引き続きメーカー、研究機関、大学それぞれの役割分担を明確にするとともに、適材適所で研究開発を進めていただきたい。

## 2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本事業の対象とする 3 つの研究開発テーマにおいて、それぞれ技術開発の段階に応じて実用化に対する戦略が定められているとともに、それぞれの発展段階に応じて実用化の考え方や中間的なマイルストーンが明示されている。また、実用化の際の展開として、電力関係ならびに電力事業以外の適用も考慮されており、市場の把握が適切になされていると考えられる。

一方、次世代ガス化と化学燃焼については情報発信が少ないように思われる。本技術の先進性・有効性について社会的認知を得るとともに、市場開拓に向けて積極的な情報発信をすべきである。また、積極的に CO<sub>2</sub> の利活用を拡大できる技術開発を手掛けられることを望む。

今後、化学燃焼はクローズド IGCC とは異なるタイプの CO<sub>2</sub> 回収型ガス化技術として、

スケールアップ及び最適設計に向けた継続的な研究開発が必要である。IGCC や CCS としての実用化のみならず、多炭種に対応できる高効率ガス製造技術としての展開も、今後のマイルストーンに盛り込むことを検討されたい。また、社会的に実用化時期が見通せない技術でもあることから、できるだけ若手の研究者を参画させ人材育成を図ることを期待する。

## 研究評価委員会委員名簿

(平成29年12月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長・教授、 研究院 副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション 創発センター 研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	いなば ようじ 稲葉 陽二	日本大学 法学部／大学院 法学研究科 教授
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授／シニア教授
	ごないかわひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さく まいちろう 佐久間 一郎	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
	さとう りょうへい 佐藤 了平	大阪大学 産学共創本部 名誉教授／特任教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 特任教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授

敬称略、五十音順

## 研究評価委員会コメント

第54回研究評価委員会（平成29年12月13日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 火力発電技術開発における我が国の立場と存在感を国際的にきちんとアピールするための戦略を検討されたい。

## 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、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

## 1. 総合評価

我が国のエネルギー安全保障の観点から、多様な一次エネルギーに依存せざるを得ない現状では、世界最先端の火力発電技術を継続的に維持していくことは不可欠である。特に石炭火力発電技術についても、世界のトップランナーを走ることにより、国内のみならず石炭に依存している開発途上国への技術移転等によりグローバルな二酸化炭素排出削減に貢献することは重要である。

本事業の目標は、わが国のエネルギー供給のロードマップと世界的な趨勢を考慮したものとなっており、市場調査などを通じて技術の優位性を確保できるよう設定されている。実施体制については、当該技術について十分な知見を有する構成員による体制が組み立てられており適切と考えられる。成果については、中間目標をおおむね順調にクリアできる見込みが得られており、また最終目標についても達成が期待できる。

次フェーズに向けては、産炭国でニーズの高い原料ガス生成への展開も視野に入れた、低コスト・高効率設備の開発も盛り込んだ波及効果が高い計画を作成することが望まれる。また、若手研究者や技術者を本研究開発に参加させて、人材育成していくことも必要である。かつ、CO<sub>2</sub>の有効利用技術など CCS 以外の技術展開を視野に入れた検討も進めていただき、より確実に実用化を推進していただきたい。

### <肯定的意見>

- ・ 開発プロジェクトの目標設定は、わが国のエネルギー供給のロードマップと世界的な趨勢を考慮したものとなっており、市場調査などを通じて技術の優位性を確保できるように計画がなされている。実施体制の構築にあたっては、当該技術について十分な知見を有する構成員による体制が組み立てられており適切と考えられる。成果に関しては、中間目標をおおむね順調にクリアできる見込みが得られており、また最終目標についても特に大きな障害は見られず達成が期待できる。
- ・ 我が国のエネルギー安全保障の観点から、多様な一次エネルギーに依存せざるを得ない現状では、世界最先端の火力発電技術を継続的に維持していくことは不可欠である。特に温暖化ガス排出量が多いことから批判の高い石炭火力発電技術についても、世界のトップランナーを走ることにより、国内のみならず石炭に依存している開発途上国への技術移転等によりグローバルな炭酸ガス排出削減に貢献することは重要である。このような状況の中で、CLC 技術の本格的な研究開発は、欧米に比べてやや遅れてはいるが、CCS を前提とした CLC と、いわゆる Oxy-Fuel IGCC となるクローズド IGCC の 2 つの技術について我が国の技術として早急に確立しておくことは必須の課題である。また、現在の IGCC 技術に水蒸気吹き込みを加える次世代 IGCC は、最大効率の IGCC システムを探索する研究として成果が期待される。これらの事業全般に、日本独自の最先端技術を目指した高効率石炭火力が期待できる研究開発の目標設定と実施計画のもとに、概ね順調に進捗しており、評価できる。
- ・ さらなる推進を期待している。

- ・ 次世代火力発電に係るロードマップに沿って着実に技術開発が進められていること、現フェーズ・次フェーズの課題が概ね明確に整理されているとともに、現フェーズすべての課題に関する中間目標が達成見込みであることから、評価できる。なお、中間評価前に実証設備の現地視察が開催されたが、委員の事業内容への理解促進につながるため、有効かつ有意義と言える。
- ・ 革新的な石炭火力の技術開発であり、中間評価段階としては順調に進捗している点は評価できる。
- ・ エネルギーの3E達成のため、石炭資源のクリーン活用技術は今後とも最重要課題のひとつである。本事業は、この分野でのイノベーションにつながる要素技術として期待される。

#### <改善すべき点>

- ・ CCS技術の事業化時期は見通せないが、実証および実用化試験事業へ繋げて、技術的確立を早期に実現するためのロードマップを示す必要がある。しかし、CCSを前提とする石炭火力技術研究開発だけでは、企業が一部経費負担しながら次フェーズ以降も事業実施を継続できるかは疑問があり、産炭国でニーズの高い原料ガス生成への展開も視野に入れた、低コスト・高効率設備の開発も盛り込んだ波及効果が高い次フェーズ計画を、後半の事業の中で作成されることが望まれる。また、若手研究者や技術者を本研究開発に参加させて、人材育成と技術伝承していく体制へと改善されることも必要である。
- ・ 化学への出口は諦めた方がよい。
- ・ 出口のイメージがやや不足しており、どういう形として、どの国に適用出来そうか、今後つめる必要がある。
- ・ 実用化にあたっては、制度のあり方など社会情勢に大きく左右されることを意識する必要がある。コスト、耐久性、スケールアップの難易度といった課題について正面から向き合うべき。

#### <今後に対する提言>

- ・ 可能であれば、本技術の活用について、CO<sub>2</sub>の有効利用技術などCCS以外の技術展開を視野に入れた検討を進めていただき、より確実に実用化を進めていただきたい。
- ・ 実用化に向けて、事業リスクが高い一方で、より実機に近い形での実証試験が不可欠。国際競争力確保の観点からも、こういった技術開発を息長く継続するための仕組みづくりが重要。地に足のついたCO<sub>2</sub>対策の議論を促すためにも、新技術の成果について早期の情報発信が望まれる。
- ・ 世界的なCO<sub>2</sub>削減や石炭火力に対する位置付けを考えれば、研究開発の確実な手順からでなく、研究開発を前送りに進めるように要望する。再エネによる発電と次世代火力発電は矛盾するのではなく、段階的に引き継がれていくか、あるいは相互に補完するものとするので、自信を以て推進して頂きたいと考える。
- ・ 統合でシナジー効果が出るように進めて欲しい。

- 今回の研究開発の主要部分となる CCS 技術に関しては、実用化時期が社会的な要因に大きく依存される。このような技術については、長期的に技術を維持しつつ、いつでも実用化へのスタンバイできる体制が必要となる。このような観点から技術を伝承できる人材育成の枠組みを構築しておくことは不可欠である。また、回収された CO<sub>2</sub> の貯留は我が国ではかなり限定的となるため、リサイクル技術およびシステムに関する研究開発にも積極的な支援が必要である。一方、IGCC 技術に対しては、設備コスト的に石炭火力への普及が現時点では不明確である。そこで、石炭ガス化技術の多目的利用を可能とする多炭種に対応でき、産炭国での原料ガス製造にも導入可能な低コストのガス化技術開発も、波及効果を高くする上で重要である。



## 2. 各論

### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

我が国のエネルギー安全保障の観点から、多様な一次エネルギーに依存せざるを得ない現状では、世界最先端の火力発電技術を継続的に維持していくことは不可欠である。特に、温室効果ガス排出量が多いことから批判の高い石炭火力発電技術についても、世界のトップランナーを走ることにより、国内のみならず石炭に依存している開発途上国への技術移転等により、グローバルな二酸化炭素排出削減に貢献することは重要である。本事業は、石炭を利用しつつ二酸化炭素の大気排出を減らすための分離を行うことができるエネルギー転換技術の開発を目指すものであり、我が国の目指す方向と合致している。支援額も、技術開発によって将来期待できる燃料費節約効果との比較において適切と言える。また、本事業は研究開発から実用化、導入・普及まで長期間を要するとともに、高い技術的難易度が求められることから、民間企業のみでの取組みには限界があり、NEDO の事業として実施する必要性は高い。

#### <肯定的意見>

- ・ エネルギー資源の乏しい我が国にあって、海外から輸入する石炭は重要なエネルギー源の一つであり、世界的な資源の偏りが少ない石炭を利用する技術はエネルギーセキュリティの観点からも必要である。一方、二酸化炭素排出低減は国際的な課題であり、我が国のエネルギー技術開発も、二酸化炭素排出低減を視野に入れなければならない。本事業は、石炭を利用しつつ二酸化炭素の大気排出を減らすための分離を行うことができるエネルギー転換技術の開発を目指すものであり、我が国の目指す方向と合致していると考えられる。
- ・ 二酸化炭素排出低減が課題であることは国際的にも認識されてはいるものの、具体的な費用負担など二酸化炭素分離の実社会への実装に係る具体的な動きはまだ不明確であり、民間事業者としては、事業化に向けた技術開発への具体的な道筋が見えないという事情もある。さらに、本事業の対象とする発電を中心とするエネルギー技術は数十年の時間と大型設備を必要とする、長期かつ大型のプロジェクトであり、民間事業者だけでは開発リスクを負うことが困難である。よって、公的な支援を必要とするので、本事業にNEDO が関与することは十分に合理的である。支援する金額自体も、日本の一般炭輸入が年間 1 兆円程度あることを考えると、技術開発によって将来期待できる燃料費節約効果との関連で見て、適切な範囲であると考えられる。
- ・ エネルギー基本計画において、再生可能エネルギー導入促進と共に、石炭火力はベースロード電源として位置付けられている。単なる微粉炭燃焼の高効率化でなく、CO<sub>2</sub> 分離回収部分が組み込まれた新しい高効率な石炭火力技術開発が今回の対象となっており、その難易度が高く、民間法人のみで研究開発する事は極めて困難であり、NEDO 事業として妥当と思われる。

- 地球温暖化対策の具体化が重大課題となっているが、確たる方向性については定まっていない。技術開発についても今後長期に亘る取組が必要となることから、中長期的な視点も考慮して取り組むべきである。現状、温暖化対策の制度面などの不透明度が高く、民間で担うには荷が重く NEDO 事業として支援する意義は大きい。本事業の取組は、2050 年の CO<sub>2</sub> の削減目標実現に必要とされる飛躍的なイノベーションとなり得るものであり、今後の成果が期待される。
- 目的は妥当である。
- 我が国のエネルギー安全保障の観点から、多様な一次エネルギーに依存せざるを得ない現状では、世界最先端の火力発電技術を継続的に維持していくことは不可欠である。特に温暖化ガス排出量が多いことから批判の高い石炭火力発電技術についても、世界のトップランナーを走ることにより、国内のみならず石炭に依存している開発途上国への技術移転等によりグローバルな炭酸ガス排出削減に貢献することは重要である。しかし、最近ではクリーンコールテクノロジー (CCT) のプロジェクトがやや下火になり、数少なくなりつつある CCT 事業の一部として必要性は高い。また、国際的な動向や政治的な要因が高く、事業化が見通せない CCS に対しても、現時点で炭酸ガス回収型石炭火力システムを複数のオプションとして我が国の技術として保有しておくことは必須の課題である。このような観点から、本事業の目的に向けて NEDO 事業として実施することは妥当である。
- 次世代火力発電に係る技術ロードマップにおいて、火力発電の高効率化、CO<sub>2</sub> の経済的な回収技術の確立を方針としており、本事業は上位の政策の目標達成に寄与していることは明確である。また、本研究は研究開発から実用化、導入・普及まで長期間を要するとともに、高い技術的難易度が求められることから、民間企業での取組みには限界があり、NEDO の事業として実施する必要性は高いと考える。さらには、CO<sub>2</sub> 排出量削減は世界的課題であり、国内外に火力発電所新設の需要が見込まれ、本研究成果の活用が期待されることから、費用対効果は大きいと考える。

#### <改善すべき点>

- CCS 技術の事業化時期は見通せないが、実証および実用化試験事業へ繋げて、技術的確立を早期に実現するためのロードマップを NEDO のなかで示すことが期待される。しかし、CCS を前提とする事業では、企業一部経費負担する事業実施の可能性は低いと考えられる。そこで現時点でも諸外国でニーズの高い原料ガス製造への展開も視野に入れた、低コスト・高効率設備の開発も盛り込んだ技術の波及効果が高い次フェーズ計画を早急に作成されることが望まれる。
- 今回の事業内容は、商用化という視点では課題がまだ多く至近での実現は難しいが、中長期的な目標に向けステップ毎に着実に進めるべき。将来的な活用方法については、他のクリーンコール技術や、脱化石燃料技術との定量的な比較評価が必要。他の施策との組み合わせも考慮しつつ、本事業の役割や有効な分野の絞り込みを行っていくべき。

- 各々の技術が国内外でどう適用すれば、有効となるか、普及がどの程度見込めるか等を具体的な出口の見える化が必要と思われる。分離される CO<sub>2</sub> は高濃度であり、貯留のみならず、幅広い用途が展開できるように期待したい。国内外から日本は CO<sub>2</sub> 排出が多い（従来型）石炭火力の技術開発を推進しているという誤解を払拭する必要があり、「“CO<sub>2</sub> 分離回収内蔵型” 革新的な石炭火力発電（仮称）」を技術開発しているという国内外へ更に発信する必要有り。世界の石炭火力の約 70%が中国、インド、米国にあり、国内向けのみならず、それらのニーズに合致する次世代型技術開発（プラント仕様や実証先を含めて）という位置付けにして頂く事を望む。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

研究開発目標は、我が国の火力発電のロードマップ、市場規模の見通し及び海外の競合技術に対する優位性を勘案し、戦略的かつ適切に設定されている。新規技術に求められる要素技術が適切に選択されており、実施にあたっては、各事業者が所有するガス化設備を有効活用し、スケールアップに向けた基礎データを取得するための速やかな計画となっている。実施体制については、主要なメーカー、研究機関、大学で構成されており、役割分担が詳細かつ明確となっており、適切な管理のもと、研究開発が予定通り進捗している。知財戦略は、知財確保が有利な技術について明確に定め、出願・権利化を進める方針であり、評価できる。

一方、現在主な目標が送電端効率となっているが、ある程度の目途が立った後は、連続運転等の信頼性、設備コスト、炭種適合性などを目標に加味することが望ましい。

次フェーズに向けて、現時点でも産炭国でニーズの高い原料ガス生成への展開も視野に入れた低コスト・高効率石炭ガス化設備の開発も盛り込むこと、また、ユーザーが関与する体制を構築することが望ましい。

さらに、発電関連エネルギー技術は、大規模なものであるとともに長期の試験により運転安定性を確認することが要求される性質のものであるため、長期的視野を持って技術の確立と国際競争力の確保を目指してもらいたい。

### (1) 研究開発目標の妥当性

#### <肯定的意見>

- ・ 目標設定は魅力的であり、実現した場合のインパクトは大きい。
- ・ 目標として、事業目的にかなうとともに、ユーザーとしても重要視する CO<sub>2</sub> 分離・回収コスト、発電端効率について具体的数値で設定している。また、数値についても CO<sub>2</sub> 分離・回収コストを競合するシステムのコストや他国目標より安価に設定するなど、優位性を有しており、評価できる。
- ・ 具体的な送電端効率が記載されており、目標が明確になっている。
- ・ 現状システムに拘らず、非常に先進的で高い目標を掲げて取組んでいる。
- ・ 我が国の火力発電のロードマップおよび市場規模の見通しに従って、戦略的に適切な目標が設定されているとともに、海外の競合技術の調査を行い本技術開発が競合技術に対して優位になるための条件・開発目標が適切に設定されている。
- ・ ケミカルルーピング燃焼（CLC）技術の本格的な研究開発は、欧米に比べてやや遅れてはいるが、CCS を前提とした CLC といわゆる Oxy-Fuel IGCC の 2 つの技術について、CO<sub>2</sub> 回収コストと現在の石炭火力 USC の熱効率を確保する目標設定は妥当である。また、現在の IGCC 技術に水蒸気吹き込みを加える次世代 IGCC は、最大効率の IGCC システムを探索研究として評価できる。

#### <改善すべき点>

- ・ 先導的な研究開発なので、やむを得ないが、主な目標が送電端効率となっている。ある程度目途が立った後には、連続運転等の信頼性や設備コスト、炭種適合性などを加味する事が望ましい。
- ・ 実施計画の中での要素課題に対する定量的な目標値があまり設定されておらず、最終評価時点での達成度を評価する上で、もう少し具体的な目標設定が望まれる。
- ・ 現段階ではやむを得ないが、実用化に向けては、環境性、運用柔軟性、設備の足回りなどトータルシステムとしての課題についても取り組む必要がある。

#### <今後に対する提言>

- ・ 発電利用に留まらず、石炭という貴重な資源の有効活用技術としての視点も持つべき。開発の方向性、工程、目標の設定については、地球温暖化問題に対する社会状況を考慮して柔軟に対応する必要がある。
- ・ 本事業で対象としている CO2 回収型石炭利用技術は、短期的には企業による実用化・商用化が見込まれる性質のものではないものの、長期的には世界的に必要とされるものと考えられる。また、発電関連エネルギー技術は、大規模なものであるとともに長期の試験により運転安定性を確認することが要求される性質のものである。短期の市場動向に目を奪われるのではなく、長期的視野を持って技術の確立と国際競争力の確保を目指してもらいたい。そのためには、公的な支援がある程度の長期にわたって必要と考えられる。

### (2) 研究開発計画の妥当性

#### <肯定的意見>

- ・ 研究開発計画は無理がない妥当なスケジュールで計画されており、計画に合致した進捗が見られる。新規技術に求められる要素技術が適切に選択されており、特に欠けている要素は見られない。
- ・ 実施にあたっては、既存の要素技術や研究施設を有効に活用している。
- ・ 本研究開発計画と体制も、各事業者が所有するガス化設備を有効活用することによる経費節減とスケールアップに向けた基礎データを取得するための速やかな実施計画、ならびに産官学連携での実施体制となっている。

#### <今後に対する提言>

- ・ 次フェーズに向けて、現時点でも諸外国でニーズの高い原料ガス生成への展開も視野に入れた、低コスト・高効率石炭ガス化設備の開発も盛り込むことにより、技術の波及効果が高い計画を早急に作成されることが望まれる。
- ・ 世界的な CO2 削減や石炭火力に対する厳しい位置付けを考えれば、堅実な手順からでなく、同時並行で研究開発する手順を採用して、一部で前送りに進めるように希望する。

### (3) 研究開発の実施体制の妥当性

#### <肯定的意見>

- ・ 実施体制は、主要なメーカー、研究機関、大学で構成されており、役割分担が詳細かつ明確となっていることから評価できる。
- ・ 研究開発実施体制としては、石炭ガス化技術(クローズド、次世代)においては、これまでの類似のガス化技術の開発経験を有する実施者で構成されており、また化学燃焼については基盤的な反応及び装置要素についての知見を有する研究者並びに化学燃焼を実際に大型装置で実現するために必要なボイラーなどの設計に関する知見を有する技術者が共同で実施しており、適切な体制が組み立てられていると考えられる。また、成果の実用化を考慮すると、ガス化の場合は電力事業のための研究を実施する研究機関が参画しており、電力事業への展開を見通せる体制となっている。化学燃焼の場合は、実用化の際に市場へプラントを供給することが見込まれる企業が参画しているので実用化への展開を見通せる。
- ・ 研究開発体制としては、主要なメーカー、研究所、大学にて構成されており評価できる。

#### <今後に対する提言>

- ・ 実用化検討に向けては、ユーザーが関与する体制を整備する必要がある。
- ・ 今後の実証評価や普及促進等を鑑みて、ユーザーの参加が望ましい。

### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

#### <肯定的意見>

- ・ 研究開発が予定通り進捗しており、適切に管理されていると思われる。
- ・ 研究開発はスケジュールに基づいて遅滞なく進行しているので、適切な進捗管理がなされていると考えられる。また市場調査や学会・メーカーヒアリングなどにおける研究・開発の動向調査が適切に行われており、情勢の変化への対応ができる体制となっている。

#### <改善すべき点>

- ・ 先端的な研究開発なので、欧米や中国等の研究開発を継続して注視する必要があると思われる。

### (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

#### <肯定的意見>

- ・ 知的財産については、特許出願と非出願の基本戦略が示され、一部の成果については共同出願が行われている。
- ・ 知財戦略は、知財確保が有利な技術について明確に定め、出願・権利化を進める方針であり、評価できる。

- 知的財産については、特許などの形で明文化した知財にするものと、ノウハウとして秘匿するものとに分けるといふ 2 本立ての方針となっており、これは侵害があった時の立証の容易さなどを考えた適切な戦略と考えられる。

## 2. 3 研究開発成果について

難易度の高い技術開発でありながら全般に中間目標を達成しており、また、最終目標も達成する見込みが得られている。さらに、開発技術はいずれも従来方式とは異なる新しい技術であり、既存設備への部分適用など様々な波及効果も含め今後の成果が期待される。

一方、全体的に主要目的の実証試験を実施するための設備改造計画が中心となっており、定量的な目標はあまり設定されていない。本格的な実証試験が開始されれば、種々のトラブルも想定されるので、速やかに試運転から本格運転が実施できる準備とモデル解析に必要な条件設定や基礎的なラボ試験による課題抽出に努力して頂きたい。また、化学燃焼については、実験データの解釈や実用化に向けた設計方針の立案についてまだ不十分なところも見受けられるため、データ解釈の精緻化と実用的な設計提案の立案についてより深く検討して頂きたい。

今後、最終目標の達成に向けては課題も残されており、引き続きメーカー、研究機関、大学それぞれの役割分担を明確にするとともに、適材適所で研究開発を進めて頂きたい。

### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### <肯定的意見>

- ・ 具体的に掲げた中間目標について達成もしくは対応策を検討実施しており、今後も着実な進展が見込める。
- ・ 実証試験を実施するための既設設備の改造の進捗および基礎的な予備データ取得は、概ね計画通り進められており、今年度末までには中間段階での目標を達成できる見込みであると思われる。
- ・ 難易度の高い技術開発で全ての中間目標が達成されている事は高く評価できる。
- ・ 全般に中間目標を達成しており、十分な結果が得られている。
- ・ 研究開発成果としては、それぞれの項目において当初予定された中間目標をおおむね達成できる見込みが得られている。
- ・ 研究開発項目ごとの中間目標が数多く詳細に設定されているが、すべてにおいて目標達成見込みであり、順調に進捗していると考えられる。

#### <改善すべき点>

- ・ 情報の発信にあたっては、マイナス要因や今後の課題についても記載するよう配慮した方が良い。
- ・ 現時点では中間段階のため、ある程度やむを得ないが、各事業とも全体的に主要目的の実証試験を実施するための設備改造計画が中心となっており、定量的な目標はあまり設定されていない。本格的な実証試験が開始されれば、種々のトラブルも想定されるので、今年度中には試運転をほぼ終了し、予備データを取得しておくことにより、次年度以降速やかに本格運転に繋げることができる準備と、解析に必要な条件設定や基礎的なラボ試験から課題抽出ができるよう努力して頂きたい。



- ・ 化学燃焼の中間成果については、これまでにない新規な技術であるということもあり、実験データの解釈や実用化に向けた設計方針の立案についてまだ詰めが甘いところも見受けられるので、今後はデータ解釈の精緻化と実用的な設計提案の立案についてより深く検討されたい。

#### <今後に対する提言>

- ・ スケールアップに関わる課題、摩耗による影響など実運用面で問題となる事象への対策についても研究開発項目として織り込むべき。

### (2) 成果の最終目標の達成可能性

#### <肯定的意見>

- ・ いずれも従来方式とは異なる新しい技術であり、既存設備への部分適用など様々な波及効果も含め今後の成果が期待される。
- ・ 今後のプロジェクトの最終目標に対しても、特に大きな問題点は現段階では見られておらず、最終的な目標を達成する見込みが得られている。

#### <改善すべき点>

- ・ 個別の中間課題は達成されているが、各々がどう最終目標とつながっているか、把握困難な部分も有るので、今後補足が必要と思われる。

#### <今後に対する提言>

- ・ 最終目標の方向性を探るためにも、この段階でユーザーおよび一般向けの情報発信を丁寧におこなうべき。
- ・ 最終目標達成に向けて課題も残されており、新たな課題も発生する可能性があるため、引き続きメーカー、研究機関、大学それぞれの役割分担を明確にするとともに、適材適所で研究開発を進めていただきたい。

### (3) 成果の普及

#### <肯定的意見>

- ・ 成果の普及については、ガス化(クローズド、次世代)に関しては論文・学会発表等の専門家向けの媒体による発表と、一般向けの解説の両方が行われており、本技術開発の成果の公表と社会的認知度(社会の理解)を高める取り組みが適切に行われている。化学燃焼に関しては、まだ設計の基盤を確立するために基礎となる技術知見を蓄積する段階にあることから、一般への解説よりはむしろ、学術論文・学会発表等の専門家向け媒体による発表で十分役割を果たしていると思われる。

<今後に対する提言>

- 世界的にみて、今回の様な先端的な研究開発の成果評価として論文や研究発表など公表する事は必ずしも国益にならないという面があり、“成果の普及”の評価項目のあり方の再考を期待する。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

<肯定的意見>

- 知財の確保については、特許化の方が良いものと、ノウハウとする方が良いものに適切に分類され、知財化戦略に基づいた取り組みがなされている。

<今後に対する提言>

- 権利化することが有利と判断される技術に対しては早急な特許申請をして、成果の基礎的な部分に対しては学術論文等への積極的な投稿が今後も推進されることが望まれる。

## 2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本事業の対象とする 3 つの研究開発テーマにおいて、それぞれ技術開発の段階に応じて実用化に対する戦略が定められているとともに、それぞれの発展段階に応じて実用化の考え方及び中間的なマイルストーンが明示されている。また、実用化の際の展開として、電力関係ならびに電力事業以外の適用も考慮されており、市場の把握が適切になされていると考えられる。

一方、次世代ガス化と化学燃焼については情報発信が少ないように思われる。本技術の先進性・有効性について社会的認知を得るとともに、市場開拓に向けて積極的な情報発信をすべきである。また、積極的に CO<sub>2</sub> の利活用を拡大できる技術開発を手掛けられることを望む。

今後、化学燃焼はクローズド IGCC とは異なるタイプの CO<sub>2</sub> 回収型ガス化技術として、スケールアップ及び最適設計に向けた継続的な研究開発が必要である。IGCC や CCS としての実用化のみならず、多炭種に対応できる高効率ガス製造技術としての展開も、今後のマイルストーンに盛り込むことを検討されたい。また、社会的に実用化時期が見通せない技術でもあることから、できるだけ若手の研究者を参画させ人材育成を図ることを期待する。

### <肯定的意見>

- ・ 今すぐ実用化するフェーズではないが、将来の選択肢を広げる意義は大きく、要素技術としての可能性は高い。
- ・ 本事業の対象とする 3 つの研究プロジェクトにおいては、それぞれが技術開発の段階に応じて実用化に対する戦略が定められている。ある程度確立した技術のさらなる高度化を目指すもの(次世代ガス化)、ある程度確立した技術の基盤の上に新たに CO<sub>2</sub> 回収という従来にない機能を持たせるもの(クローズド)、全くこれまでにはない新規技術の基盤を作り出すもの(化学燃焼)と、それぞれの発展段階に応じて実用化の考え方及び中間的なマイルストーンが明示されている。また、実用化の際の展開として、電力関係の市場についての把握ならびに、電力事業以外の適用も考慮されており、市場の把握が適切になされていると考えられる。
- ・ 高効率な CO<sub>2</sub> 回収に関する技術であり、世界的課題である CO<sub>2</sub> 排出量削減に寄与するとともに、従来型 IGCC や産業用の酸素吹きガス化炉など既存の技術にも適用可能なことから、市場ニーズが見込まれ実用化が期待できる。また、今後、火力発電所新設の需要が見込まれることから、本技術が実用化されれば経済面や環境面への波及は大きいと考える。
- ・ 実用化を念頭においた取組みになっており、順調に進んでいると思われる。
- ・ 概ね妥当である。
- ・ いずれも実用化に向けた次フェーズ以降の計画が設定されており、本研究開発での実証試験の成果に応じた計画の見直しが進められるであろうと期待される。また、クローズド IGCC と次世代ガス化では、現行の IGCC の比較的マイナーな改造で CCS への対応または一層の高効率化が期待できる技術である。

#### <改善すべき点>

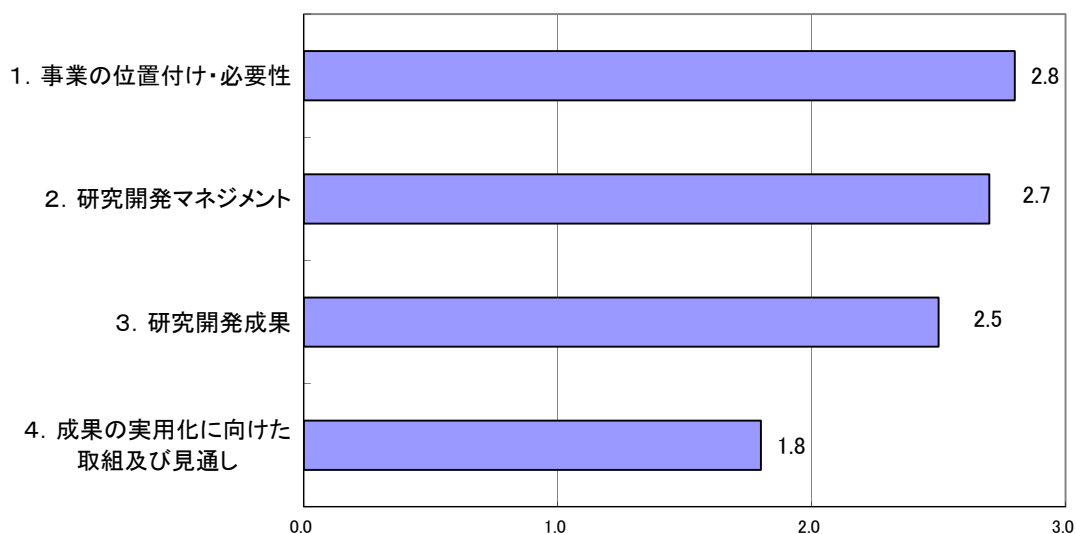
- ・ クローズド IGCC と次世代ガス化では、既存の IGCC に対しても、できるだけ最小限での改造にて対応できる技術およびノウハウの開発が望まれる。また、社会的に実用化時期が見通せない技術でもあることから、できるだけ若手の研究者の参画により人材育成を図り、長期にわたる実用化へのマイルストーンを本フェーズ終了までに計画されることが期待される。
- ・ 次世代ガス化と化学燃焼については情報発信がやや少ないように思われる。特に、化学燃焼については、現段階で明確な市場が無く、知財の取り扱い上も難しいところがあるとは思いますが、本技術の先進性・有効性について社会的認知を得るとともに、市場開拓にむけてもある程度積極的な情報発信が望まれる。
- ・ 石炭焚き CLC の CO<sub>2</sub> 市場は無いとの評価であるが、CO<sub>2</sub> 利活用分野において、液炭が全てでなく、他への適用も含めて把握してもらいたい。更に積極的に CO<sub>2</sub> の利活用を拡大できる技術開発を手掛けられることを要望する。
- ・ 温暖化対策の方向性が定まっていない現状ではやむを得ないが、活用の方向性が曖昧。スケールアップに関わる課題など実用化に向けた課題を明示すべき。
- ・ 化学プロセスへの展開は我が国では出口が無い可能性が高い。

#### <今後に対する提言>

- ・ CO<sub>2</sub> 市場を体系的に調査願う。
- ・ 国際競争力のある技術に仕上げて欲しい。
- ・ 本事業の成果に加えて CO<sub>2</sub> の貯留・輸送技術の現状を合わせて世間に発信することで、温暖化対策のひとつである CCS のあり方について、具体的な議論が活性化するよう働きかけるべき。
- ・ 化学燃焼は実用化の時期が見通せないが、クローズド IGCC とは異なるタイプの炭酸ガス回収型ガス化技術として、スケールアップおよび最適設計に向けた継続的な研究開発が必要である。また、IGCC や CCS としての実用化のみならず、多炭種に対応できる高効率ガス製造技術としての展開も、今後のマイルストーンに盛り込まれることも検討されるべきである。

### 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)					
1. 事業の位置付け・必要性について	2.8	A	A	A	A	B	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.7	A	B	A	A	B	A
3. 研究開発成果について	2.5	B	B	A	A	A	B
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	1.8	B	B	B	B	C	B

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

#### 〈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. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当 →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

## 第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「次世代火力発電等技術開発／  
次世代火力発電基盤技術開発（5）  
CO<sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術開発」

事業原簿

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------------



—目次—

次世代火力発電等技術開発」事業一覧 .....	- 1 -
概 要 .....	- 2 -
プロジェクト用語集 .....	- 5 -
1. 事業の位置付け・必要性について .....	- 7 -
1. 事業の背景・目的・位置づけ .....	- 7 -
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性 .....	- 11 -
2.1 NEDO が関与することの意義 .....	- 11 -
2.2 実施の効果（費用対効果） .....	- 11 -
2. 研究開発マネジメントについて .....	- 12 -
1. 事業の目標 .....	- 12 -
2. 事業の計画内容 .....	- 14 -
2.1 研究開発の内容 .....	- 14 -
2.2 研究開発の実施体制 .....	- 16 -
2.3 研究開発の運営管理 .....	- 16 -
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性 .....	- 17 -
3. 情勢変化への対応 .....	- 18 -
4. 評価に関する事項 .....	- 19 -
3. 研究開発成果 .....	- 20 -
1. 事業全体の評価 .....	- 20 -
2. 研究開発項目毎の成果 .....	- 21 -
2-① キャリア及び製造方法の開発評価と選定 .....	- 21 -
2-② キャリア性能の技術評価 .....	- 24 -
2-③ プロセス構造、条件の最適化評価 .....	- 43 -
2-④ 技術調査、市場・経済性検討、検討委員会開催 .....	- 47 -
4. 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて .....	- 53 -
1. 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて .....	- 53 -
添付資料 .....	- 54 -
プロジェクト基本計画 .....	- 54 -
特許論文リスト .....	- 79 -

# 次世代火力発電等技術開発」事業一覧

年度(平成)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
<b>研究開発項目①</b> 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3助成) 3) CO2分離・回収型IGFC実証(未定)					※1					◇		◇			◆
<b>研究開発項目②</b> 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(2/3助成) 2) 高温分空利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1										
<b>研究開発項目③</b> 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1										
<b>研究開発項目④</b> 次世代火力発電基盤技術開発															
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)									※2						
2) 燃料電池向け石炭ガスクリンナップ技術要素研究(委託)									※2						
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)															
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)															
5) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)									※2						
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)															
7) CO2有効利用技術開発(委託)															
<b>研究開発項目⑤</b> CO2回収型クローズドIGCC技術開発(委託)									※2						
<b>研究開発項目⑥</b> 次世代火力発電技術推進事業(委託)															
<b>研究開発項目⑦</b> 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)															

# 概要

		最終更新日	平成 29 年 10 月 2 日		
プロジェクト名	C02 分離型化学燃焼石炭利用技術開発	プロジェクト番号	P10016		
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM：中田 博之				
0. 事業の概要	<p>エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとされている。また、官民協議会で策定した次世代火力発電に係るロードマップ（平成 28 年 6 月）では、C02 分離回収技術は、2020 年代後半から 2030 年頃に経済的な回収技術を確認すると示されている。</p> <p>C02 分離型化学燃焼石炭利用技術は、流動層反応器を用い流動材の化学変化を介して、石炭を O2 ガス（空気）と直接接触させることなく、熱や燃料ガスに転換し、C02 を分離する方法であり、空気分離の必要がなく、C02 を回収してもプラント効率が低下しない高効率石炭火力発電技術の研究開発である。</p>				
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>石炭は他の化石燃料と比べ利用時の C02 排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる C02 排出量の抑制が求められている。今後 C02 排出量抑制のためには、石炭火力発電の高効率化に加え、CCS による低炭素化を図っていく必要がある。しかしながら、CCS は多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロス可能な限り低減する必要がある。</p> <p>現在、石炭の燃焼排ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからの C02 の分離・回収技術の開発が進められているが、C02 分離・回収工程において多くのエネルギー損失が発生することが課題となっている。これを解決するため、エネルギー損失が少なく（空気分離装置や C02 分離回収装置が不要）、C02 の分離・回収ができる化学燃焼石炭利用技術について、実用化に向けた研究開発が求められている。</p>				
2. 研究開発マネジメントについて					
事業の目標	<p>[中間目標（平成 29 年度）] 分離・回収コスト 1,000 円台/t-C02 を見通せるキャリアを選定する。</p> <p>[最終目標（平成 32 年度）] 分離・回収コスト 1,000 円台/t-C02 を見通せる C02 分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。</p>				
事業の計画内容	主な実施事項	H27fy	H28fy	H29fy	
	(1) キャリアの選定				
	(2) キャリアの技術性能評価				
	(3) プロセス構造、条件の最適化評価				
	(4) 技術、市場性調査				
事業費推移 (会計・勘定別に NEDO が負担した実績額（評価実施年度については予算額）を記載） (単位: 百万円)	会計・勘定	H27fy	H28fy	H29fy	総額
	一般会計	—	—	—	—
	特別会計 (需給)	65	151	114	330
	開発成果促進財源	—	—	—	—
	総 NEDO 負担額				
委託	(委託)				

開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁資源・燃料部 石炭課
	プロジェクトリーダー	一般財団法人石炭エネルギーセンター 原田 道昭
	プロジェクトマネージャー	環境部 中田 博之
	委託先	(一財)石炭エネルギーセンター 三菱日立パワーシステムズ(株) (一財)エネルギー総合工学研究所 (国研)産業技術総合研究所  再委託先：大阪大学、神奈川工科大学、東京大学、群馬大学 共同実施先：産業技術総合研究所
情勢変化への対応	2014年4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画」の中で、石炭は安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されている。また、2015年7月に決定された「長期エネルギー需給見通し」において、石炭火力の高効率化を進め、環境負荷の低減と両立しながら活用することで、2030年の石炭火力の比率を26%程度とする方向性が示された。更に、2015年12月にパリ協定が採択され、日本の目標としては、2030年度迄に2013年度比26%、2050年には80%の温室効果ガスを削減することを掲げている。これらの情勢変化に対応するため、石炭火力への適用を目指した本事業の開発が求められている。	
評価に関する事項	事前評価	—
	中間評価	2017年度 中間評価
	事後評価	2020年度 事後評価
	<p>ケミカルルーピング (CLC) を用いた石炭利用技術は、酸素を運ぶ流動材 (酸素キャリア) を用いることが前提となるため、酸素キャリアの性能 (反応性、耐久性など) がプロセスの性能 (プラントコスト、キャリア消費等運転コスト) を左右する。</p> <p>本開発では、天然キャリア及び人工キャリアの評価、選定を行った。コスト面で有利な天然キャリア (イルメナイト: チタン鉄鉱石) 5タイプのキャリア性能評価を行い、最も性能の高い豪州産2号 (IL<sub>au2</sub>) を選定した。人工キャリアでは第一候補として酸化鉄含有量を30%とし、焼成温度を1300℃としてハーシナイト (FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) 化したキャリアを、第二候補として天然キャリアであるイルメナイトにCaを含浸させ1300℃で焼成したキャリアを選定した。</p> <p>天然キャリアを対象に技術課題を抽出し実現性を評価した。評価結果をもとにCO<sub>2</sub>分離・回収コストを試算すると、CO<sub>2</sub>回収コスト1,100円/t-CO<sub>2</sub>となり、中間目標値である1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通すことが可能となった。</p> <p>今後、平成29年度中に石炭ガス化ガス中のS分の酸化還元速度の影響把握やキャリアとチャー粒子、灰の分離構造の検討を進め、石炭固有の課題を検討し上記目標の精度を高める。</p> <p>(1)キャリアの選定 人工キャリアは、工業的に最も低コストで量産可能な噴霧造粒法によるキャリア粒子製造を中心に性能を調査すると共に、天然キャリアについては、イルメナイトを豪州、インド、アフリカから調達し性能確認して有望キャリアを選定した。</p> <p>(2)キャリアの技術性能評価 酸素キャリアを用いて反応性ガス (CO, CH<sub>4</sub>) 雰囲気下でのガスとの反応速度を確認した。また、チャーを酸素キャリア流動層に投入し、その生成ガスを分析しチャーガス化速度を求めた。更に、カルシウムで表面を改質したイルメナイト粒子は、酸化還元繰り返しにおいて高い還元速度反応が保持されると共に粒子の構造変化を抑制することが分かった。キャリア粒子の耐摩耗性については、循環流動層の試験を行い、珪砂と比較した結果、イルメナイトは2倍程度摩耗したが設計条件を満足していた。石炭とキャリアの混合性については、比重差のある粒子の混合流動をコールドモデルと流動層シミュレーションで最適な流動条件を把握した。タール改質では、天然キャリアはタールが生成しても水生ガス化反応でほぼCO<sub>2</sub>に転化可能であった。</p> <p>(3)プロセス構造、条件の最適化評価 今回の研究開発成果を反映し、各反応塔の概略寸法を検討した。これをもとにCLC (炉のみ) 重量はCFBボイラ部位の1.3倍であった。CFB建設単価20万円/kWe、ボイラ部位15%相当とすると、CLC (炉のみ) 建設費3.9万円/kWe (20万円/kWe×0.15×1.3)、CLC全プラント建設費20.9万円/kWe (3.9万円/kWe+20万円/kWe×0.85) となり、ある一定の条件であるが、天然イルメナイトによるCO<sub>2</sub>回収費は1,000円台/t-CO<sub>2</sub>になる見通しを得た。</p>	

	<p>(4)技術・市場調査          欧米各国では100kWh~3MWのパイロット試験が実施されている。EUのACCLAIRプロジェクトでは、1MWthの装置で鉄系キャリアの試験を行い熱自立に成功したが、CO2回収率が52%と低かった。また米国DOEプロジェクトではCa酸素キャリアによる3MWth試験を実施している。          市場調査として、国内液化炭酸ガス供給事業の可能性と海外EORの可能性について検討した。国内では、コプロダクションとしてのCLCの利用の可能性があり、海外では米国の他に東南アジアでのEORの可能性等が示唆された。</p>																																																																						
投稿論文	「査読付き」1件、「その他」0件																																																																						
特許	「出願済」1件（うち国際出願0件） 「出願予定」1件（うち国際出願0件）																																																																						
その他の外部発表 (プレス発表等)	「学会等発表」17件、「受賞実績」2件、「研究報告・雑誌投稿」0件																																																																						
4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて	<p>実用化スケジュールについて、PDU装置によるプロセス原理実証以降のスケジュールを表1に示す。基盤研究プロジェクト終了後、実機を想定した各機器の開発を行い、その後数万kWクラスの実証炉でボイラとしての性能評価を行い、各機器開発に2年程度、実証試験炉に3年程度の開発期間を想定しており、約5年後の実用化を想定している。</p> <p>今回、有望なキャリアについて目途が立ったものの、国内CCSの制度化時期、海外EOR事業を見極めながら、次のPDUを用いた研究開発時期を決める必要がある。</p> <p style="text-align: center;">表1 実用化スケジュール</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">西暦</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> <th style="text-align: center;">20XX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原理実証 (PDU)</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">▲国内CCS政策動向、海外EOR市場を踏まえて実施判断</td> </tr> <tr> <td>機器のコストダウン</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">コストダウン目途▲</td> </tr> <tr> <td>実証炉建設</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">▲90億円</td> </tr> <tr> <td>実証試験</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">▲20億円</td> </tr> <tr> <td>実用化評価</td> <td colspan="9" style="text-align: center;">適宜実用化FS</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="4" style="text-align: center;">事業の継続判断▲</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">実用化の可否判断▲</td> </tr> </tbody> </table> <p>今後、EORと石炭焚きボイラが両立する海外市場調査の深掘し研究開発の継続判断を行う。</p>	西暦	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	原理実証 (PDU)	▲国内CCS政策動向、海外EOR市場を踏まえて実施判断									機器のコストダウン	コストダウン目途▲									実証炉建設	▲90億円									実証試験	▲20億円									実用化評価	適宜実用化FS										事業の継続判断▲				実用化の可否判断▲				
西暦	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX																																																														
原理実証 (PDU)	▲国内CCS政策動向、海外EOR市場を踏まえて実施判断																																																																						
機器のコストダウン	コストダウン目途▲																																																																						
実証炉建設	▲90億円																																																																						
実証試験	▲20億円																																																																						
実用化評価	適宜実用化FS																																																																						
	事業の継続判断▲				実用化の可否判断▲																																																																		
5. 基本計画に関する事項	<p>作成時期 平成28年1月 作成</p> <p>変更履歴 平成28年4月改訂（実施体制、PM、評価時期等の変更） 平成28年4月改訂（評価時期、研究開発スケジュール等の変更） 平成29年2月改訂（研究開発項目の追加、PM・PLの修正、評価実施時期の修正等） 平成29年6月改訂（中間目標の設定、中間評価時期の修正）</p>																																																																						

## プロジェクト用語集

名称	略号	意味
ケミカルループニング燃焼 <u>C</u> hemical- <u>L</u> ooping <u>C</u> ombustion	CLC	CLCとは温室効果ガスCO <sub>2</sub> の分離回収・隔離貯蔵に関連した石炭燃焼技術の一つである。 本技術は空気を石炭に直接接触させずに金属酸化物で石炭を酸化反応させる。還元された金属は空気で酸化して金属酸化物として再利用する。反応生成物はCO <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> Oとなり、冷却によって高純度CO <sub>2</sub> ガスを回収でき、エネルギーロスを伴わない次期CO <sub>2</sub> 回収技術として注目されている。 なお、CLCの名称*は1994年、東京工業大学石田愈・名誉教授によって始めて提唱された。 ※Ishida, M. et al., Energy, 19, 415-422, 1994
酸素キャリア		金属酸化物の総称である。 CLCでは金属酸化物の酸化/還元反応で酸素を運搬（キャリア）することから名付けられた。
天然キャリア		天然鉱物系酸素キャリアの総称である。 CLCでは大量の酸素キャリアを必要とするので、天然鉱物を利用できるならば実用上極めて有利である。しかし、一般に多孔質では無いためガスとの反応性は極めて低い。
人工キャリア		人工合成系酸素キャリアの総称である。 より多く酸素が運搬可能な酸素キャリアを人工的に合成したもの。性能向上が図れる反面、高コストになる。
空気反応塔 <u>A</u> ir <u>R</u> eactor	AR	還元されて金属となった酸素キャリアを空気で酸化反応を行う反応塔である。 酸素キャリアは金属酸化物として再利用する。塔内の酸化反応熱はボイラで熱回収し発電に利用する。
チャー反応塔 <u>C</u> har <u>R</u> eactor	CR	石炭を投入し、熱分解で生成したチャーをガス化反応させる反応塔である。 塔内では石炭が投入直後に熱分解して揮発分とチャー（固体炭素）が生成する。揮発分は即座に塔外の揮発分反応塔に移動し、塔内に残ったチャーをガス化剤（CO <sub>2</sub> やH <sub>2</sub> O）でガス化反応させる。生成したガスは揮発分と共に揮発分反応塔へ移動させる。塔内の酸素キャリアは主に熱媒体の役割とガス化反応を阻害するH <sub>2</sub> やCOの酸化反応に使用する。
揮発分反応塔 <u>V</u> olatile <u>R</u> eactor	VR	CRから移動した揮発分や生成ガスを酸素キャリアで酸化反応させる反応塔である。塔内ではCO <sub>2</sub> とH <sub>2</sub> Oが生成し、酸素キャリアは還元されて金属粒子となる。金属粒子はARに移動して空気で酸化反応させ再利用する。
CO <sub>2</sub> 転換率		生成ガス（CH <sub>4</sub> , CO）中の炭素が酸素キャリアで酸化され、CO <sub>2</sub> になった炭素割合である。
チャーガス化率		チャー中の炭素（C）がガス化反応し、生成ガス（CH <sub>4</sub> , CO, CO <sub>2</sub> ）中の炭素割合である。
キャリア繰り返し反応性		一般的な酸素キャリアが酸化/還元を繰り返すと酸化熱によるシンタリングや膨張/収縮の繰返による粉化が生じ、反応性が低下する。 一方、酸化鉄を主成分とするチタン鉱石（FeTiO <sub>3</sub> ）は酸化/還元を繰り返すとFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> の混合物となり、表面にFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> が移動して層を形成して反応性が向上する。

名称	略号	意味
キャリア耐久性		キャリア粒子の循環中の物理的な摩耗、粉化が少ないことである。
キャリアの摩耗量		小型循環流動層による酸素キャリア循環試験において、酸素キャリアが物理的に粉化し、装置外に排出されたキャリアの重量である。
キャリア粉化率		上記 キャリアの摩耗量と初期キャリア重量との比である。すなわち、摩耗＝粉化を意味する
キャリア補充率		キャリア補充量をキャリア初期充填量で割ったもの。キャリア補充量は物理的なキャリアの摩耗の他に性能低下による補充を含む。
気泡流動層		大部分のガスが粒子層内を気泡となって上昇し、水の沸騰に似た流動状態である。気泡により粒子層内が攪乱された状態となる。
粒子循環流束 Solid circulation Flux	Gs (Kg/ m <sup>2</sup> s)	キャリア粒子はAR断面積平均の質量速度(Gs)で循環するので、Gsは層内の流動状態の判断に用いる。特にGsの大小によってAR内の流動状態が異なるため、GsはARの設計に使用する。 Gs=10～70であると層下部に粒子濃厚領域、上部に希薄域が構成され、内部循環が活発に行われる。
ライザー		粒子上昇管。キャリア長時間循環反応評価装置では、AR(空気反応塔)上部のキャリア粒子上昇部を「ライザー」と称している。
タール改質		タールとは石炭熱分解(乾留)から発生した粘り気のある黒から褐色の油状の液体である。 改質とはタールを水蒸気やCO <sub>2</sub> 、あるいはO <sub>2</sub> ガスと反応させ、H <sub>2</sub> やCOガスに転換することである。
二酸化炭素分離・貯留 Carbon Dioxide Capture and Storage(Sequestration)	CCS	発電所や天然ガス鉱山など大規模な排出源で発生するCO <sub>2</sub> を、他のガスから分離・回収し、安定した地層に貯留したり、海洋に隔離することにより、CO <sub>2</sub> を大気から長期間隔離する技術
発電効率 Thermal efficiency		投入した燃料の総熱量に対する発電電力量の比。分子の発電電力量に対し、発電機で発生した発電電力量を基準とする発電端効率と、発電所内で消費される所内動力を差し引いた送電端効率の2つがある。
石炭 Coal		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間高い地圧と地熱などによる加圧、乾留などの作用を受けて変質した可燃性固体。火力発電などに用いられる石炭は、製鉄業でコークス用に用いられる原料炭と区別して一般炭と呼ばれる。 一般に、発熱量4,000kcal/kg以下、湿分と水分の合計が30%以上、灰分40%以上の、揮発分10%以下のものは低品位炭と呼ばれる(火力原子力発電技術協会 纂：火力発電用語辞典より)。

## 1. 事業の位置付け・必要性について

### 1. 事業の背景・目的・位置づけ

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が長く、かつ世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多く地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO<sub>2</sub>排出量の抑制が求められている。

したがって、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

#### (1) 政策的重要性

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電(IGCC)の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留(CCS)の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、平成26年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。平成27年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S(安全性、経済効率性、環境適合、安定供給)を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、平成28年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、石炭火力やCO<sub>2</sub>回収・利用(CCUS)を含む次世代火力発電関連技術を早期に技術確立し、実用化するための技術ロードマップ(図1-1、図1-2、図1-3)がとりまとめられ、火力発電の高効率化、CO<sub>2</sub>削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指し、今後とも、官民一体となり技術開発を加速化させることとしている。

CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術(ケミカルルーピング技術)は、エネルギーロスが少なく、CO<sub>2</sub>を回収してもプラント効率が低下しない高効率石炭火力発電技術であり、クローズドIGCC技術と同様コンセプト(CO<sub>2</sub>分離回収装置が不要)であることから、次世代火力発電技術ロードマップの中ではCCUS技術として位置づけられる。



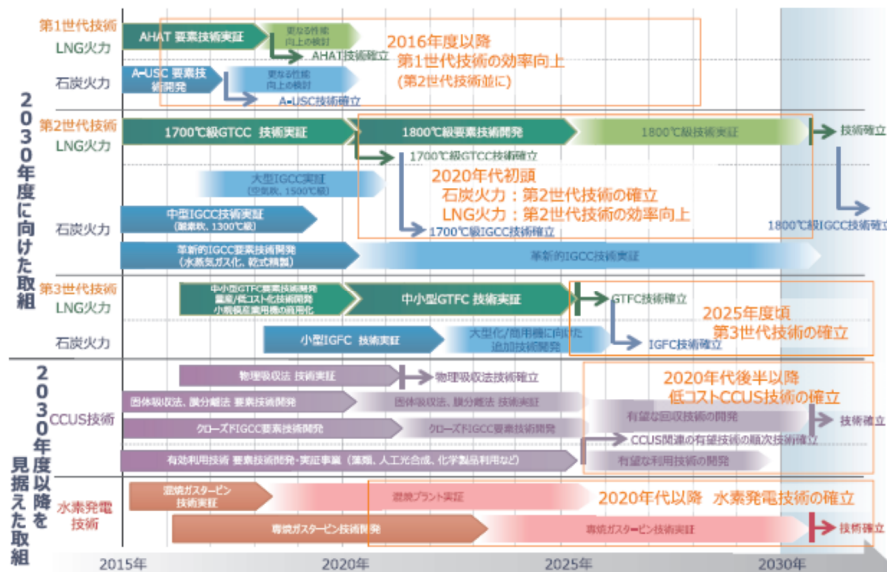


図 1-1 次世代火力発電に係る技術ロードマップ

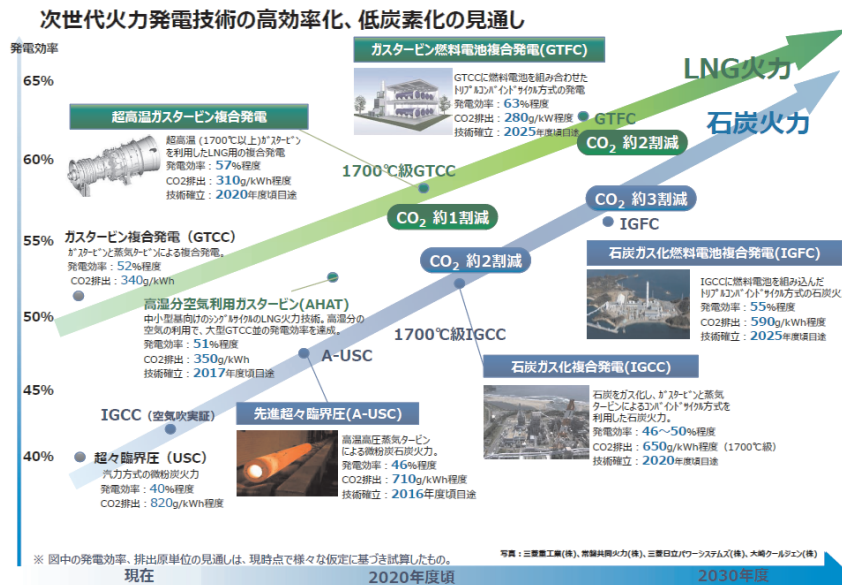


図 1-2 次世代火力発電に係る技術ロードマップ (次世代火力発電技術)

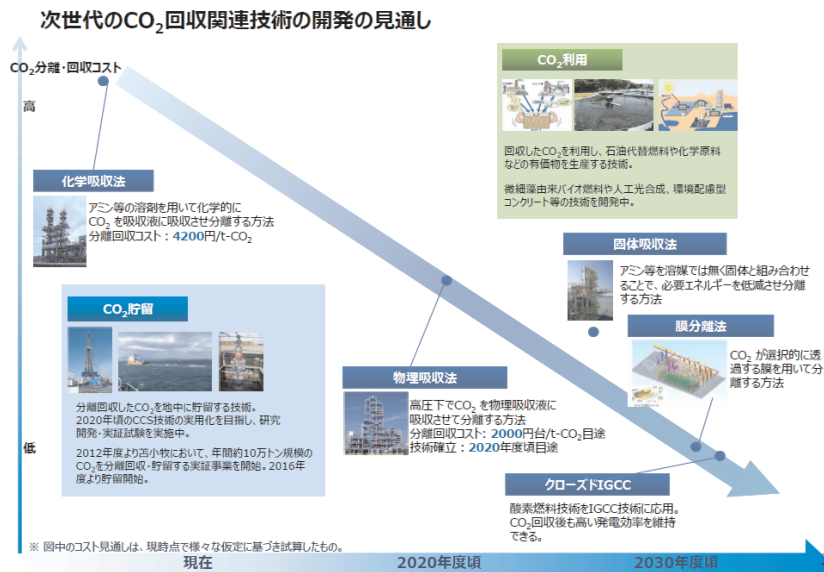


図 1-3 次世代火力発電に係る技術ロードマップ (CO<sub>2</sub>回収関連技術)

(2) 我が国の状況

我が国におけるケミカルルーピング技術は、1995年頃から東工大石田教授グループで研究を開始した。1995年～2002年にかけて、天然ガスを燃料とした場合の反応特性、内部循環型の流動特性、耐高温酸素キャリアとしてはNi系からFe系に改良した知見を得た。その後、2010年からJCOAL技術開発委員会小委員会（ケミカルルーピング開発チーム）を立ち上げ、石炭を燃料とし実用化を想定した方式を検討した。

現在、100kWthクラスに相当[空気燃焼塔、石炭反応塔、揮発分反応塔の3塔で構成：高さ約7m、キャリア充填量約130kg、粒子循環速度約0.164kg/s (600℃)、ライザの空塔速度約7.4m/s]の試験装置(図1-4)をAISTつくば西事業所の敷地内に設置し、キャリアの酸化/還元反応性及び連続運転による装置の安全性、操作性を確認している。2016年度メタンガスを燃料として運転し、2017年度はメタンガスに代わり石炭を投入し、キャリアに対する石炭の影響等を評価している。

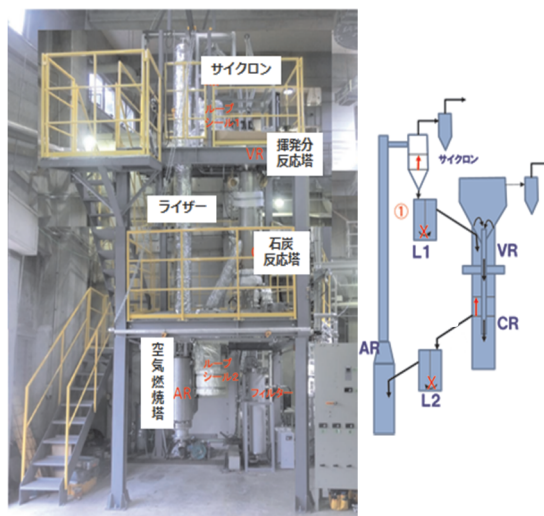


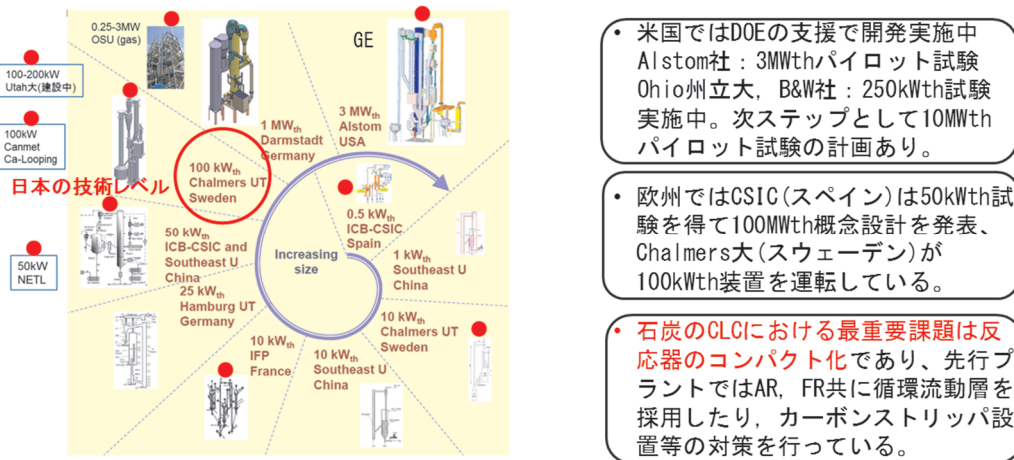
図 1-4 100kWth 級 CLC

(3) 世界の取組状況

欧米では、ケミカルルーピング技術開発は、熱自立可能な1~3MWth級規模のパイロット試験装置を運転中、米国では10MWth級規模までスケールアップを検討しており、日本よりも開発ステージが進んでいる。用途は発電向けが中心で、送電端効率は(HHV基準、CO2回収付き)35%以上がターゲットとなっている。

また各国のCO2回収コスト目標は、平均30ドル/t-CO2と日本の研究開発目標1,000円台/t-CO2と比較して高い。

図1-5に海外技術動向を示す。



- 米国ではDOEの支援で開発実施中  
Alstom社：3MWthパイロット試験  
Ohio州立大、B&W社：250kWth試験  
実施中。次ステップとして10MWth  
パイロット試験の計画あり。
- 欧州ではCSIC(スペイン)は50kWth試験  
を得て100MWth概念設計を発表、  
Chalmers大(スウェーデン)が  
100kWth装置を運転している。
- 石炭のCLCにおける最重要課題は反  
応器のコンパクト化であり、先行プ  
ラントではAR、FR共に循環流動層を  
採用したり、カーボントリッパ設  
置等の対策を行っている。

図1-5 海外先行プロジェクトプラント規模

## 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 2.1 NEDO が関与することの意義

石炭は他の化石燃料と比べ利用時の CO2 排出量が大きく、地球環境問題（温暖化対策）では、その削減が今後のエネルギー・環境政策上の重要な課題である。石炭火力発電においては、高効率化が鋭意進められているが、2050 年以降には更なる CO2 排出量の抑制が求められており、今後 CO2 排出量抑制のためには、CCS による低炭素化を図っていく必要がある。

しかしながら、CCS は多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロスを可能な限り低減する必要がある。

また、CO2 削減対策は生産性が低く民間での取り組みは経済的負担が大きいことから、国が積極的に関与しなければ、その技術開発はなかなか進まないと言うのが現状であり、NEDO が引き続き日本の CCS 対策を牽引する必要性は高いと考えられる。

更に、研究開発のステージが基盤研究の段階であり、実用化までのリードタイムが長いことから、民間ではリスクが高く、NEDO が関与する必要がある。

### 2.2 実施の効果（費用対効果）

#### （1）経済性効果

##### ①米国 CO2/EOR

現在、米国で CO2/EOR で用いられる CO2 量は、約 5,000 万トンであり、そのうち約 4,000 万トンが CO2 貯留層から産出される CO2 から供給されており、価格は 15～19 \$/ton である。（出展：GCCSI CCS の採用を促進する回収 CO2 の工業利用 2011 年 3 月）

米国では既に CO2 パイプラインが整備されており、CO2 の供給はパイプライン入口での価格で取引されているため、CLC によって安価な石炭から CO2 を 15 \$/ton で供給できるようになれば、この CO2 貯留層からの CO2 に対して競争力を持つことができると想定される。

実際には CO2 パイプラインに近い炭鉱の山元で、発電と CO2 製造を行い、パイプラインに CO2 を供給するビジネスモデルを想定しており、このようなサービスを供給する会社を設立するか、事業者にビジネスモデルの提案をすることによって CLC ボイラの販売事業を行う。

年間、CO2 貯留層から産出される CO2 を CLC から発生する CO2 で代替できるとした場合、CLC 発電設備 10 万 kW から発生する CO2 回収量は 81t/h、年間稼働率 70%と仮定して 6,000 時間運転すると CO2 が 48.6 万トン回収できるので、4,000 万トン÷48.6 万トン/基≒80 基の CLC 発電設備の市場導入が期待できる。

CLC 発電設備の建設単価を 20.9 万円/kW として、10 万 kW で 209 億円となることから、209 億円×80 基=1.7 兆円の市場規模となる。

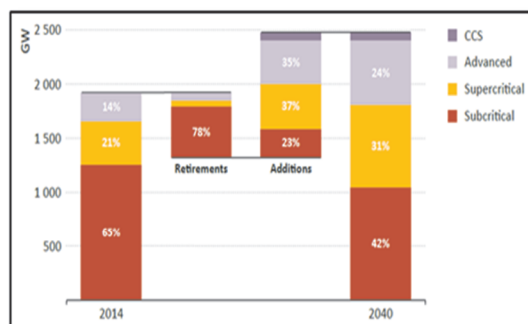
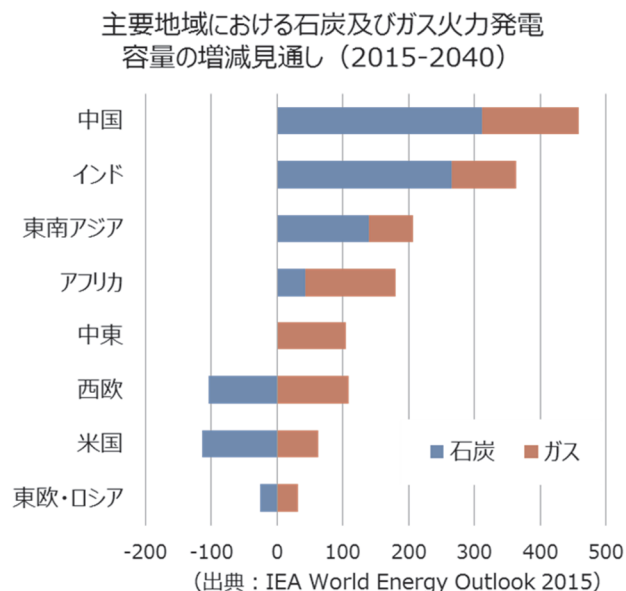
この市場のうち、初年度 1 基、2 年目以降年間 2 基受注すると、5 年で 1,881 億円/年（シェア 11%）、15 年間で 6,061 億円（シェア 36%）の経済効果が期待できる。

##### ②世界における石炭火力需要

世界的に地球温暖化対策を念頭に置いた政策が進んでおり、併せて石炭需要には地域性がある。IAE World Energy Outlook 2015 によれば、欧米の石炭火力は縮小傾向だが、アジアや豪州など

は、今後も石炭火力が導入される見込み。世界全体では石炭火力発電の容量(GW)が約 25%増えると予想されている。

従って、石炭火力発電所から CO2 を分離回収する政策が広まればアジア、豪州などでは本技術の導入が期待できる。



(出典：IEA World Energy Outlook 2015)

## (2) CO2 削減効果

本技術は循環流流動床技術がベースであり、現状商用規模の発電効率は 38%(HHV)相当と考えられる。仮に出力 500MW 級の石炭火力発電所を想定し、年間利用率 70%程度の条件では、CO2 の発生量は 264 万 t-CO2/年 (500MW×8,760 時間×0.7×0.86kg/kWh=263.676 万 t-CO2/年) であるが、ケミカルルーピング技術ではシステムとして CO2 を分離し、本研究では分離効率 98%程度期待できることから、分離回収した 259 万 t-CO2/年 (264 万 t-CO2/年×0.98) がそのまま削減可能となる。発電効率は多少低くても CO2 削減効果は大きい。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術

ケミカルルーピングを利用した化学燃焼技術とは、流動層反応器を用い流動材の化学変化を介して、燃料を O<sub>2</sub> ガス (空気) と直接接触させることなく、熱や燃料ガスに転換し、CO<sub>2</sub> を分離する方法である。石炭を燃料とする場合、空気分離の必要がなく、CO<sub>2</sub> を回収してもプラント効率 (送電端効率) が低下しない高効率の石炭火力発電の実現が期待される。図 2-1-1 に CO<sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術の概念図を示す。

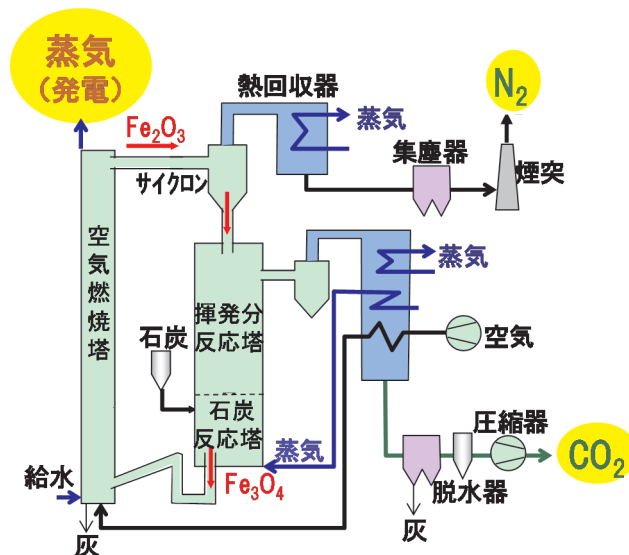


図 2-1-1 CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術の概念図

ケミカルルーピングを用いた石炭利用技術は、CO<sub>2</sub>を回収しつつ高効率発電が可能となる一方で、酸素を運ぶ流動材（酸素キャリア、以下キャリアと記す）を用いることが前提となることから、その反応性や耐久性等に起因するキャリア消費コスト及びプラントコストを含めたCO<sub>2</sub>分離・回収コストが、競合する石炭火力発電システムより安価とする必要がある。図2-1-2はキャリア消費コストとプラント初期充填量、キャリア消費率およびキャリア価格との関係を示す。

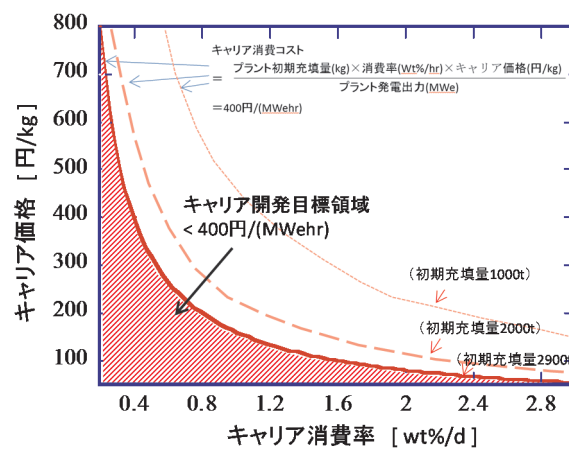


図 2-1-2 キャリア消費コストとプラント初期充填量、キャリア消費率およびキャリア価格との関係  
 (キャリア消費率：(消費量/d) / プラント初期充填量 × 100)

本研究開発の目的は、分離回収コスト 1,000 円台/CO<sub>2</sub>-t 以下に達成できる酸素キャリアの選定及びプロセスを構築することである。

[中間目標(平成 29 年度)]

分離・回収コスト 1,000 円台 / t-CO<sub>2</sub> を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標(平成 32 年度)]

分離・回収コスト 1,000 円台 / t-CO<sub>2</sub> を見通せる CO<sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

表2-2-1にキャリア選定とプロセス構築に関する技術課題と対応策を示す。

表2-2-1 キャリア、プラント開発の技術課題及び対応策

	技術課題	対応策（定量分析、評価方法）
1	キャリアとガス（H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> ）との反応速度（初期、平均速度）の把握	キャリア反応速度の測定方法（装置）策定、速度測定、動的解析を行い、気固反応モデルを作成
2	キャリアによる石炭反応促進メカニズムの解明、石炭反応速度の把握	キャリアの石炭反応促進メカニズムを解明、石炭反応速度を測定、反応速度を動的に評価、単一粒子反応モデルを作成 また、環境への影響評価として、石炭を反応させる時の排ガス中の窒素化合物、硫黄化合物について測定すること。また、キャリア廃棄物と石炭灰の混合物が環境への影響を与えないことの見通しを立てること。
3	キャリア繰り返し反応性、物性変化の把握	繰り返し反応評価試験で、キャリア反応性、物性（溶融、細孔分布、強度など）変化を評価
4	キャリア耐久性、磨耗、粉化の把握	コールド、ホット、耐磨耗性評価装置によって、キャリア耐久性を評価
5	流動層内の石炭とキャリアの混合、滞留条件を把握	コールドモデル試験によって、異なる比重粒子の混合、滞留方法を検討
6	粒子の循環流動（BFB流動化速度、ライザーホールドアップ）の把握	粒子の流動化速度（バブリング流動層）、ライザー（キャリア粒子上昇部）のホールドアップをコールドとホット条件で測定し評価
7	長時間キャリア循環反応評価	天然ガスを燃料として、長時間（約1000サイクル）ホット装置試験によって、キャリア循環、反応、劣化、粉化を評価 燃料に石炭を混合した試験も実施し、石炭の影響についても評価を行う。
8	灰とキャリアの分離	灰とキャリア分離方法の策定、分離方法を試験的に評価
9	プラント構成の最適化、プロセス効率アップ	プロセス解析、反応器構造のシミュレーションによって、プラント最適構成、効率向上方法を検討
10	ケミカルルーピング石炭利用技術原理の実証	実機に近い条件（熱自立）の大型PDU試験によって、CLC石炭利用技術原理を実証

これらを分類すると次の①～⑤となり、それぞれについて研究開発を行うものとする。

#### ① キャリア及び製造方法の評価と選定

高性能かつ低コストの人工キャリアの製造方法を検討し、5タイプ程度の人工キャリアを②の供試体として選定する。また天然キャリアについては、反応性や耐久性等の物性、調達価格及び調達方法を調査し、5タイプ程度の天然キャリアを②の供試体として選定する。②のキャリア性能評価の結果をフィードバックしながら、キャリア反応性、耐久性及びコストなど総合評価を行い、人工キャリアと天然キャリアについて各1～2タイプ程度を選定する。

## ② キャリアの技術性能評価

キャリアの基礎的な酸化・還元反応性、繰り返し反応性、耐摩耗性及びキャリアの構造・物性変化について、試験装置を製作のうえ、天然ガスを燃料として要素試験を行い、各特性を把握する。

燃料を石炭とする場合についても、酸化・還元反応性及びキャリアの構造・物性変化について、試験装置を製作のうえ、要素試験を行い、特性を把握する。

キャリアを長時間、循環反応させる装置を製作し、天然ガスを燃料として、キャリア候補に対して長時間の試験を行うとともに、燃料に石炭を混合した条件についても試験を行い、キャリアの反応性や構造・物性変化を把握する。天然ガスと石炭の要素試験によるキャリア特性結果と合わせて、燃料を石炭とした場合と天然ガスとした場合におけるキャリア反応性の差異を評価する。

また、石炭を反応させる時の排ガス中の窒素化合物、硫黄化合物について測定をおこなうとともに、キャリア廃棄物と石炭灰の混合物が環境への影響を与えないことの見通しを立て、環境への影響を評価する。

以上の結果を踏まえて、補充コストの要件400円/MWhを達成するキャリアとして、人工キャリアと天然キャリアについて各1~2種類程度を選定する。

コールドモデルを製作し、異なる比重の模擬粒子の流動、混合、滞留条件を測定することで、石炭とキャリアの流動混合について検討を行う。

## ③ プロセス構造、条件の最適化評価

②のキャリア性能評価の結果を反映したケミカルルーピングプロセスモデルの解析により、プロセス各部分の物質及び熱収支を把握し、プロセス構成条件及び効率向上方法を検討する。

揮発分反応塔及び石炭反応塔における比重差のある粒子の混合流動について、流動層シミュレーションで評価して最適な流動条件を把握する。

選定されたキャリア候補の特性を反映したプロセス構成及びプラントの合理化の検討結果を反映して、プラント最適仕様を作成する。

同仕様に基づき、プラントコスト及び保守・運転コストを含めて経済性を検討し、選定したキャリアで分離・回収コスト（圧縮コストは除く）1,000円台/t-CO<sub>2</sub>が見通せるかどうか評価を行う。

## ④ 技術動向調査、市場・経済性検討

国内外のケミカルルーピング技術及びCCUSの技術開発動向を把握しながら、将来ビジネスを見据えたFSや市場調査を実施し、ケミカルルーピング技術実用化の経済性を検討する。

⑤ また、H29年度の間評価の良好な結果及び事業化の見通しが得られれば、石炭を燃料とするPDU試験装置を用いて、実機に近い熱自立条件で石炭燃焼、粒子循環反応試験を行い、ケミカルルーピングプロセス原理の実証を行うとともに、装置内部の摩耗、腐食を確認するため解体研究を実施する予定である。



## 2.2 研究開発の実施体制

プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー（以下「PM」という。）を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー、以下「PL」という。）を指名する。図 2-2-1 に実施体制を示す。

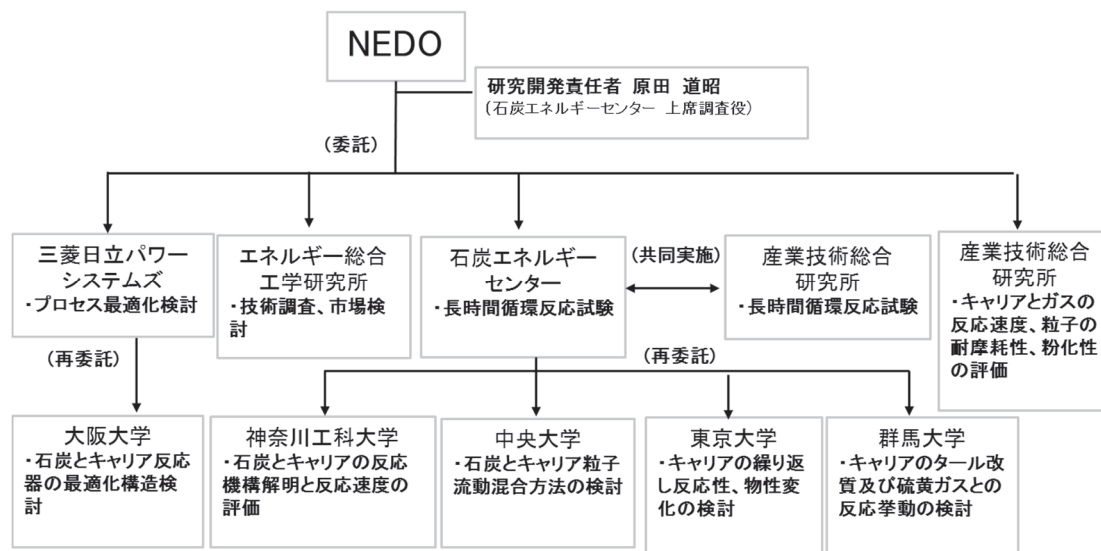


図 2-2-1 CO2 分離型化学燃焼石炭利用技術開発の実施体制

## 2.3 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

### (1) 進捗把握・管理

PMは、PLや研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。従事日誌、月間工程表、執行管理表および現地調査並びに適宜ヒアリングにより実施状況をチェックし、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

### (2) 技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

## 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

技術開発進捗状況と事業環境を整理しながらステップを踏んで着実に事業化検討を進める考えである。現状ラボレベルの要素開発段階であり、

中間評価後の PDU 装置によるプロセス原理実証以降のスケジュールを示す。基盤研究プロジェクト終了後、実機を想定した各機器の開発を行い、その後数万 kW クラスの実証炉でボイラとしての性能評価を行い、各機器開発に 2 年程度、実証試験炉に 3 年程度の開発期間を想定しており、約 5 年後の実用化を想定していた。表 2-2-2 に実用化迄のイメージ工程を示す。

今後の課題としては、国内 CCS の制度化、CO<sub>2</sub> パイプラインなどのインフラ整備などの実用化環境の整うまでに、いかに製品化、事業化を継続させるかにあるが、今回の調査で当面の石炭焼き CLC の市場が無いことから国内 CCS の制度化時期を見極めながら実用化事業化する必要がある。

表 2-2-2 に実用化迄のイメージ工程

西 暦	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX
原理実証 (PDU)	▲国内CCS政策動向、海外EOR市場を踏まえて実施判断								
機器のコストダウン			コストダウン目途▲						
実証炉建設					▲90億円				
実証試験							▲20億円		
実用化評価				適宜実用化FS					
			事業の継続判断▲				実用化の可否判断▲		

実用化・事業化につなげる知財戦略・標準化戦略については、ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願せず、知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する方針とする。

本プロジェクトにおける特許出願・論文投稿件数・研究発表・講演数を、それぞれ表 2-2-3 に示す (H29 年度は予定を含む)。

表 2-2-3 特許出願・論文投稿件数・研究発表・講演数

	平成27年度	平成28年度	平成29年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	1(0)	1(0)	2
論文	0	1	1	2
研究発表・講演	0	17	0	17

### 3. 情勢変化への対応

石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業開始（平成 24 年度）以降、下記のような情勢変化があり、本実証事業の重要性が一層強くなったと考えられる。

#### （1）エネルギー基本計画

平成 26 年 4 月 11 日に閣議決定された新しい「エネルギー基本計画」の中で、石炭は、温室効果ガスの排出量が多いという問題はあるが、安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されている。

#### （2）電力システム改革

電気事業の自由化は、卸電力自由化は 1995 年より、小売供給自由化は 2000 年の大口需要家を対象に実施されて以降、段階的に実施され、2016 年 4 月より全面自由化されており、事業者としても自由化範囲拡大を念頭に競争力（安定性、経済性、環境性）のある電源の開発が必要だという認識のもと、安定供給性や経済性に優れた石炭火力の更なる効率向上を目指し、本事業を立ち上げ、推進してきている。

現在、国が進めている電力システム改革において、2016 年に小売全面自由化、2018 年～2020 年目途に小売料金規制撤廃の法整備がなされている。電力自由化に向けては、競争力のある電源を確保するため、各分野の事業者が多くの石炭火力の新増設を計画中である。安全性、経済性、安定供給性ととも環境性、いわゆる 3E+S は我が国のエネルギー政策の基本であり、環境性に優れた本技術の早期実用化が一層重要になってくる。

#### （3）海外における石炭火力発電を取り巻く情勢

2015 年 12 月開催予定の気候変動枠組条約締約国会議（COP21）において京都議定書に代わる温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして「パリ協定」が採択され、主要排出国を含むすべての国が削減目標を 5 年ごとに提出・更新すること、その実施状況を報告し、レビューを受けることが合意された。また世界共通の長期目標として、気温上昇を 2℃より十分低く保持すること、1.5℃に抑える努力を迫及することにも言及された。世界的に環境負荷低減に向けた規制が厳しくなっている。

米国においては、2013 年 6 月にオバマ大統領が「オバマ大統領気候変動計画（米国）」を発表、その中で石炭火力発電にとっては CCS を設置しなければ現状達成が困難なレベルの CO2 排出基準（環境保護庁規制案：約 0.499kg-CO2/kWh）の制定が検討されている。またイギリスにおいては排出原単位基準（EPS）が制定され、新設の場合は設備の CO2 排出原単位 0.45kg-CO2/kWh という規制値が、カナダにおいては新設の石炭火力発電所、経済的耐用年数に達した古い発電所を対象に 0.42kg-CO2/kWh の排出基準が課されており、CCS 設備を備えない新規石炭火力は建設が困難な状況にある。

さらに米英は、平成 26 年 4 月 OECD 輸出信用に関する国際ルールを決める OECD 輸出信用会合で石炭火力向けの輸出信用の原則禁止を共同提案した。

それに対し、日本は石炭火力に頼らざるをえない国が多い中、高効率化こそが現実的な気候変動対策であると主張、平成 27 年 11 月、石炭火力向け支援に関する見直し案として、高効率石炭火力向けの支援は継続するが低効率の石炭火力向けの支援を制限することで合意した。

今後経済発展を進める新興国、途上国がその増大する電力需要に応えるためには、一定程度石炭火力発電プラントの新増設・リプレースに依存せざるをえないことは明らかであり、こうした

中、新興国では公的金融支援がなければ、高効率な石炭火力発電プラントよりも低コストながら低効率な発電プラントが導入されることになり、CO2 排出抑制の観点からはむしろ望ましくない結果となる恐れがあることが懸念されている。

こうした CO2 排出規制の強化に向けた検討の動きがある中、米国政権がトランプ大統領に交代し、気候変動に関する政策変更が明らかになっているものの、長期的な視点に立てば、世界的に気候変動への対策が強化されていくことは避けられないと考えられる。エネルギー資源の大半を輸入に頼る我が国においては、安定供給性やコストの面で優れたエネルギー源である石炭火力は今後も必要不可欠な存在であり、今後もその役割を継続的に果たしつつ環境影響を抑制していくためには、高効率の石炭火力発電を利用していく必要がある。

#### **4. 評価に関する事項**

研究開発としては、平成 27 年度に立ち上げ、今回初めて中間評価を実施する。これまで試験準備のためのリアクターの製作や試験を行い成果の一部が平成 28 年度末頃からでてきた状況である。今後技術検討会の開催を企図すると共に、今回の中間評価のコメントを反映したいと考えている。

### 3. 研究開発成果

#### 1. 事業全体の評価

ケミカルルーピング（CLC）を用いた石炭利用技術は、酸素を運ぶ流動材（酸素キャリア）を用いることが前提となるため、酸素キャリアの性能（反応性、耐久性など）がプロセスの性能（プラントコスト、キャリア消費等運転コスト）を左右する。

本開発では、天然キャリア及び人工キャリアの評価、選定を行った。コスト面で有利な天然キャリア（イルメナイト：チタン鉄鉱石）5タイプのキャリア性能評価を行い、最も性能の高い豪州産2号（IL<sub>au2</sub>）を選定した。人工キャリアでは第一候補として酸化鉄含有量を30%とし、焼成温度を1300℃としてハーシナイト（FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>）化したキャリアを、第二候補として天然キャリアであるイルメナイトにCaを含侵させ1300℃で焼成したキャリアを選定した。

天然キャリアを対象に技術課題毎に評価を行った結果を表3-1-1に示す。評価結果をもとにCO<sub>2</sub>分離・回収コストを試算すると、CO<sub>2</sub>回収コスト1,100円/t-CO<sub>2</sub>（CO<sub>2</sub>圧縮費を含む）となり、目標値である1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通すことが可能となった。

表3-1-1 天然キャリアによる技術的な実現性の評価結果

◎ 大きく上回って達成、○達成・達成見込み、△一部達成、×未達

実施計画	技術課題	H26年度 概念設計条件	中間成果	評価
②-1	キャリアとガスとの反応速度	・生成ガスのCO <sub>2</sub> 転化率:98% ・VR滞留時間:キャリア3分、ガス1秒	・生成ガスのCO <sub>2</sub> 転化率:98% ・VR滞留時間:キャリア6分、ガス2秒(粒子层高増加で対応可)	○
②-2	キャリアと石炭との反応速度	・CR滞留時間:キャリア12分、ガス2秒 ・チャーガス化率:97.3%以上	・チャーガス化率:94% → カーボンストリップ設置や反応器構造の改良で対応可(設計ガス化率97.3%で変更なし)	○
②-3	キャリアの繰返反応性、物性変化	・酸化/還元繰返し反応性:10倍向上と仮定	・繰返し反応性:天然キャリア5倍、Ca添加改質イルメナイトで12倍向上可 → 天然キャリアのVR滞留時間を3分→6分とする。	○
②-4	キャリアの耐久性、摩耗	・摩耗量、粉化率:未考慮 ・キャリア補充率:0.40wt%/dと仮定	・キャリア摩耗量は珪砂の2倍であることを確認。CFBでの珪砂補充率経験値より概念設計時の補充率0.40wt%/dは安全側であると判断。	○
②-5	石炭とキャリアの混合性	・流動条件:気泡流動層形成 ・粒径:石炭100μm、イルメナイト123μm ・混合性、滞留方法:未検討	・石炭とキャリアの混合は円滑に進むことを確認。 ・チャーがキャリア同伴されARに移動を防ぐ反応器構造の改良案を提案。	○
②-6	循環流動性	・運転制御条件:未検討 ・粒子循環流速 G <sub>s</sub> :52kg/m <sup>2</sup> s	・長時間循環反応評価装置(ベンチ試験装置)で検討開始。 ・ベンチ試験装置で、粒子循環流速設計条件(G <sub>s</sub> :52kg/m <sup>2</sup> s)を満足することを確認した。	○
	長時間循環反応評価	・連続運転性能:性能は低下しないと仮定 ・S分、N分挙動:机上検討	・ベンチ試験装置で検討開始。 64h連続運転達成し、装置の安定化確立。	○
②-7	灰とキャリアの分離	・サイクロン:完全分離と仮定 ・反応塔内:CR、VRでは灰飛散なしと仮定	・ベンチ試験装置で検討開始。	○
	タール改質、硫黄ガス影響	・タール改質:未検討 ・硫黄ガス:未検討	・固定層試験でキャリアによるタール改質活性を把握。 ・S/C増加で煤の生成減少。タール改質への影響因子を検討中。	○
CO <sub>2</sub> 回収コスト		2,000円台/t-CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> 圧縮費を含む)	1,000円台/t-CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> 圧縮費を含む)	○

今後、平成29年度中に石炭ガス化ガス中のS分の酸化還元速度の影響把握やキャリアとチャー粒子、灰の分離構造の検討を進め、石炭固有の課題を検討していく。

## 2. 研究開発項目毎の成果

CO<sub>2</sub>分離回収コスト1000円台/CO<sub>2</sub>-t以下を達成できる酸素キャリアの選定およびプロセス構築のため、①キャリアおよび製造方法の評価と選定、②キャリア性能の技術評価、③プロセス構造、条件の最適化評価及び④技術動向調査、市場・経済性検討、検討委員会開催を行った。以下に項目毎の成果について記す。

なお、三菱日立パワーシステムズ株式会社をMHPS、石炭エネルギーセンターをJCOAL、エネルギー総合工学研究所をIAE、産業技術総合研究所を産総研、【 】内は再委託先を表記して各委託先の成果を示す。

### 2-① キャリア及び製造方法の開発評価と選定

#### 2-①-1 人工キャリアの開発評価と選定（JCOAL【中央大、神奈川工大、東大】）

工業的に最も低コストで量産が可能な方法である噴霧造粒法によるキャリア粒子製造を中心として性能を調査した。

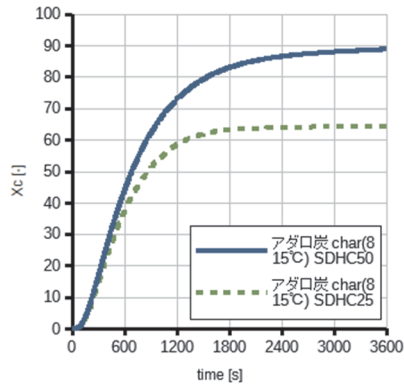
その結果、(1) 酸化鉄含有量を50%とし、焼成温度を1300℃としてハーシナイト(FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)化したキャリア粒子(SD<sub>50</sub>)の耐摩耗性が高く、第一の候補として選定した。図3-2-①-1-1は酸化鉄の含有量による炭素転換率と反応速度の違いを示した図である。初期の反応速度自体は含有率による差が無いことが分かる。

一方、反応速度がハーシナイトより高くなる含侵法によるキャリア製造についても調査した。

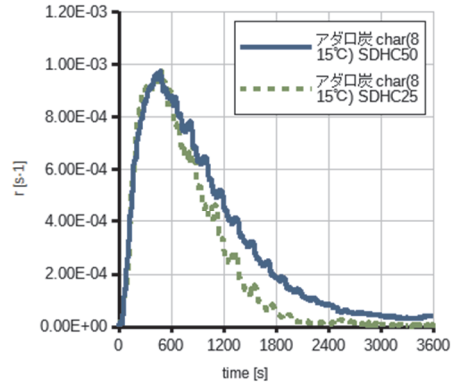
(2) 原材料として天然キャリアであるイルメナイトにCaを含侵させ1300℃で焼成したキャリアは、耐摩耗性は劣るものの反応速度がイルメナイトより向上し、第二の候補として選定した。さらに、(3) 強靱で高性能な触媒担体である水澤化学製ネオビードに酸化鉄を含侵させたものは、担体自体が高価格であるが反応速度が非常に速いことが分かった。

これらを比較し、(1)と(2)を人工キャリア粒子の候補として有力なものとして位置付けた。ただし、(2)は全く新規に開発したキャリア粒子で量産方法が確立されていないため、(3)を予備候補とする。

図3-2-①-1-2は今回検討した人工格子酸素キャリアのFE-SEM像で、(a)は噴霧造粒粉で1100℃焼成品、(b)は1300℃焼成品（ハーシナイト）、(c)は酸化鉄を担持した高耐久性触媒ネオビードを示す。1,100℃焼成では粒子間の結合がごく一部で起こっており、1,300℃焼成によって粒子間の結合が非常に強くなっていることが分かった。一方、(c)については非常に緻密なことが分かり、それによって強度が高いと考えられた。

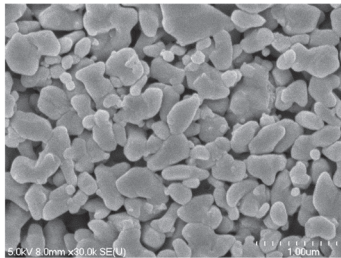


炭素転換率

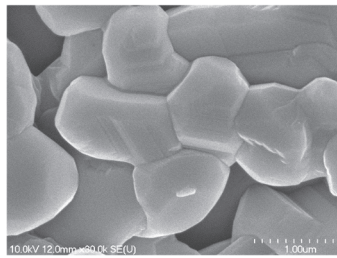


反応速度

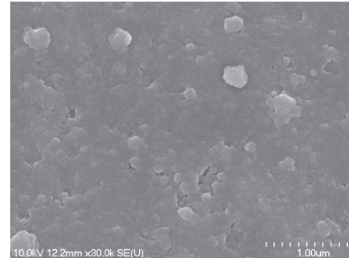
図 3-2-①-1-1 ハーシナイト化した酸素キャリア粒子の性能比較  
(SDHC50 (SD<sub>50</sub>) : 50 %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SDHC25 (SD<sub>25</sub>) : 25 %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)



(a) 噴霧造粒品1100°C焼成  
酸化還元10サイクル後



(b) 噴霧造粒品1300°C焼成  
酸化還元10サイクル後



(c) 酸化鉄含侵ネオビード  
酸化還元10サイクル後

図 3-2-①-1-2 人工格子酸素キャリア粒子の FE-SEM 像参考図\*)

(Ca 含侵イルメナイト粒子表面像については②-3 項に示す。)

\*) 平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「化学ループ燃焼 (CLC) 用多孔質セラミックス粒子の開発」

2-①-2 天然キャリアの開発評価と選定 (MHPS、JCOAL)

イルメナイトを豪州、インド、アフリカから計5タイプのサンプルを商社から調達し、組成（酸化チタン、酸化鉄、酸化マンガン含有量）の調査と熱重量測定（TG）試験によるキャリア性能評価を実施した。図 3-2-①-2-1 は 5 タイプのイルメナイトの写真である。図 3-2-①-2-2 は 5 タイプのイルメナイト還元反応性の比較である。豪州産 2 号 (IL<sub>au2</sub>) のイルメナイトの初期反応性は他 4 タイプより高かったため、豪州産 2 号 (IL<sub>au2</sub>) を天然キャリアの候補として選定した。

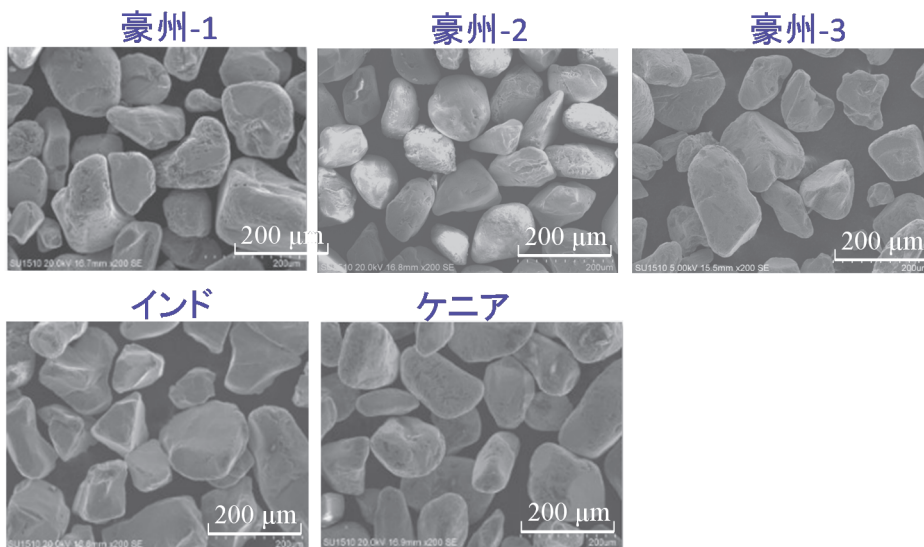


図 3-2-①-2-1 5 タイプ イルメナイトの SEM 写真

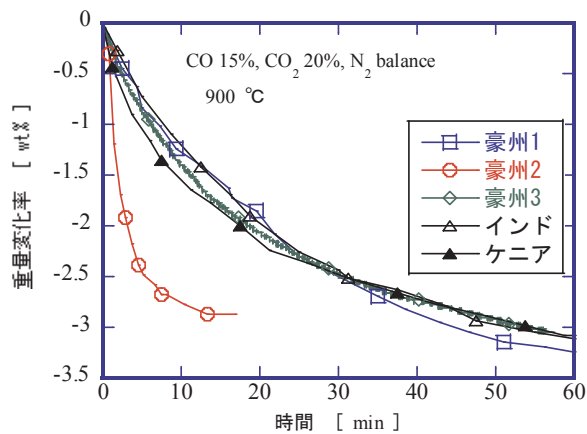


図 3-2-①-2-2 TG 試験による 5 種類のイルメナイトの還元反応性の比較



## 2-② キャリア性能の技術評価

### 2-②-1 キャリアとガスの反応速度の評価 (産総研)

最終的に選定された天然キャリアの豪州産2号 (IL<sub>au2</sub>)、人工キャリア SD<sub>50</sub>、と天然キャリア (IL<sub>au1</sub>, IL<sub>IN</sub>, IL<sub>KE</sub>)、人工キャリア (SD<sub>10</sub>) を用いて 900℃、800℃、700℃での温度で CO および CH<sub>4</sub> 反応性ガス雰囲気下還元実験を実施した。天然キャリア豪州産2号 (IL<sub>au2</sub>) の反応性は人工キャリア SD<sub>50</sub> と同等であった。得られたデータから反応速度の動的解析を行い、各キャリアの還元速度定数を求めた。

還元ガスの酸化反応を一次反応と仮定し、以下の式よりガス側反応速度を算出した。

$$-\ln(1 - X) = kt \quad \text{①}$$

$$X = \frac{\text{供給還元ガス量} - \text{未反応還元ガス量}}{\text{供給還元ガス量}} \quad (\text{還元ガス反応率}) \quad \text{②}$$

$$X = \frac{CO_{\text{入口濃度}} - CO_{\text{出口濃度}}}{CO_{\text{入口濃度}}} = CO_2 \text{ 転換率} \quad (\text{還元ガスが CO の場合}) \quad \text{③}$$

図 3-2-②-1-1 に還元温度 900℃、還元ガス 10%CO の場合の CO<sub>2</sub> 転換率「X」を示した。滞留時間「t」は反応管の容積および CO ガスの体積流量から計算した。図 3-2-②-1-2 に天然キャリア豪州産2号 IL<sub>au2</sub> について、式①を用いて横軸に滞留時間「t」、縦軸に「-ln(1-X)」をプロットした結果を示した。直線であるため還元ガス酸化反応は仮定した一次反応であることが確認された。

また、得られた直線の傾きからガス側反応速度を算出した。

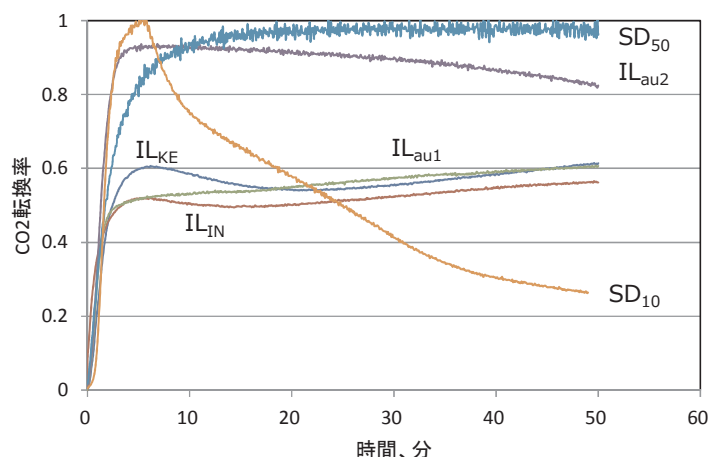


図 3-2-②-1-1 CO<sub>2</sub> 転換率の比較による酸素キャリアの還元反応性の評価 ; 900℃、10%CO

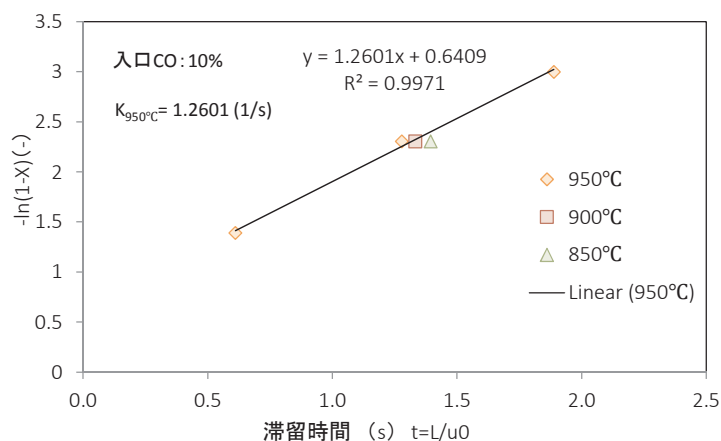


図 3-2-②-1-2 天然キャリア IL<sub>au2</sub> のガス側還元反応速度定数；10%CO

天然キャリア IL<sub>au2</sub> と人工キャリア SD<sub>50</sub> の反応速度が同等であったことから、価格の安い天然キャリア IL<sub>au2</sub> で VR ガスの滞留時間の検討を行った。

図 3-2-②-1-3 には還元温度 950°C、900°C、850°C、還元ガス 10%CO の場合における滞留時間と還元反応率「CO<sub>2</sub> 転換率 X」との関係を示す。同図より概念設計時の CO<sub>2</sub> 転換率 98% を達成するのに必要なガス滞留時間は 2 秒であることが明らかとなった。そこでガス滞留時間を概念設計時の VR ガス滞留時間を 2 秒に変更するため、設計仕様を変更した結果を表 3-2-②-1-1 に示す。キャリア静止層高を 1m から 2 倍にすることでガス滞留時間を確保した。

層高の見直しに伴い、圧力損失が約 3 倍に増加する。仕様を見直した VR の圧力と風量条件を満たす送風機を確認するために、図 3-2-②-1-4 の通り P-Q 線図と各種送風機適用範囲を示すマップ上で、送風機の適用範囲内であることを確認した。

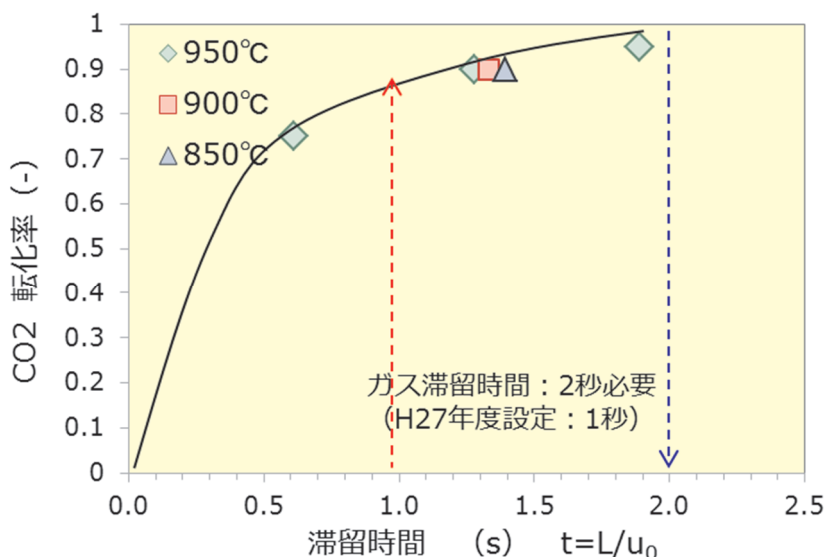


図 3-2-②-1-3 CO<sub>2</sub> 転換率と滞留時間の関係

表 3-2-②-1-1 VR 設計仕様の変更 (250MWth)

		H27年度条件	H28年度見直し
ガス滞留時間	秒	1	2
キャリア層高	m	1	2
キャリア充填量	t	176	352
塔断面積	m <sup>2</sup>	70	←
塔高	m	9.3	10.2
空塔速度	m/s	1.5	←
ガス量	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /min	1376	←
圧力損失	kPa	33	98
流動状態	-	気泡流動化	乱流流動化
フロア形式	-	軸流送風機	←

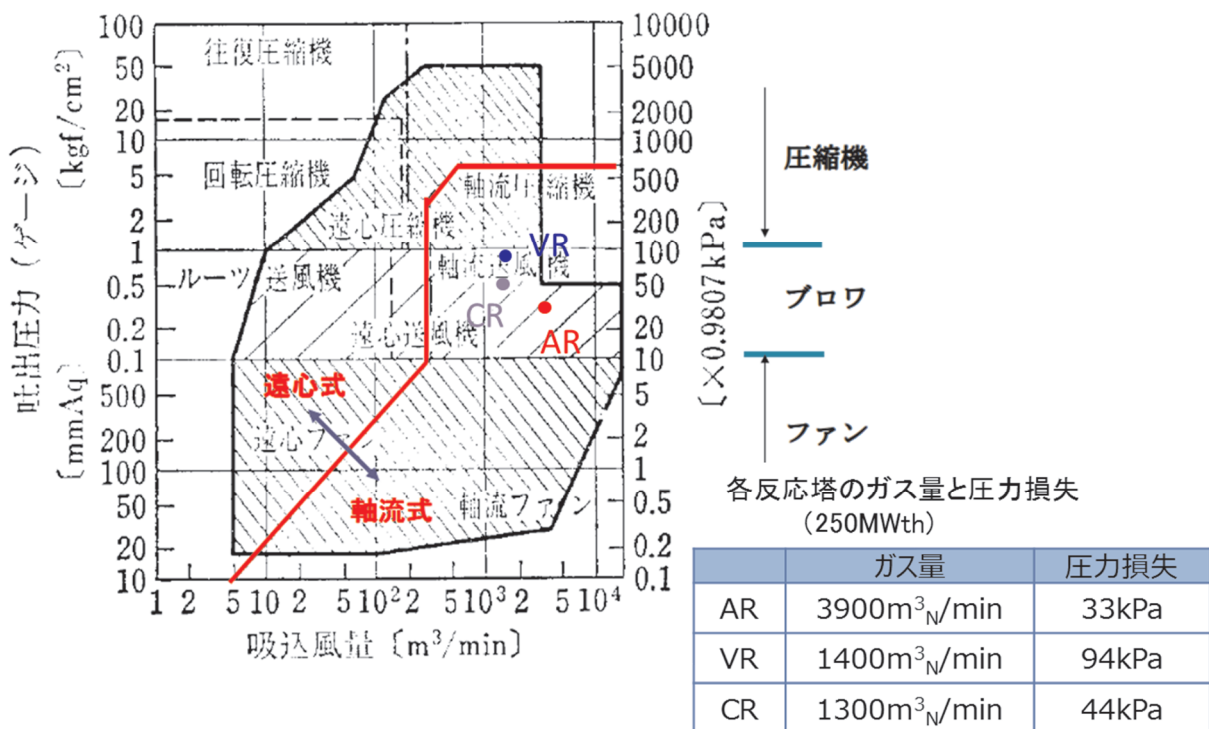


図 3-2-②-1-4 P-Q 線図と各種送風機適用範囲

2-②-2 石炭とキャリアの反応機構の解明と反応速度の評価（IAE、JCOAL【神奈川工大】）

図 3-2-②-2-1 に示す小型流動層試験により、石炭チャーのガス化反応速度を測定した。実験方法は、チャーを酸素キャリア流動層に投入し、その生成ガス进行分析しチャーガス化速度を求めた（CR 運転）。CR 運転終了後に空気を入れ流動材を酸化した（AR 運転）。人工キャリア（SD<sub>50</sub>）と天然キャリア（イルメナイト IL<sub>au2</sub>）を対象とし、流動層の温度は850℃、900℃及び950℃で実施した。

図 3-2-②-2-2 に AR 運転と CR 運転でのチャーの炭素収支を示す。CR 運転でガス化したチャーの炭素は設計温度 950℃で最大で 94%であることが明らかとなった。これは小径化したチャーが層内から飛散したのち AR 運転で酸化したためと考えられ、これよりチャーガス化率は概念設計値 97%には僅かながら到達しない可能性がある。設計ガス化率 97%を満たすために、カーボンストリップやチャー反応塔構造の見直しを行うことにより、未反応チャーの飛散を防止し、計画ガス化率の達成を見込む。

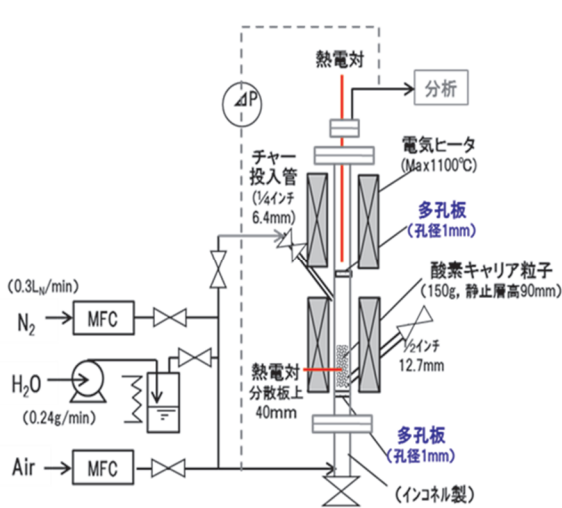


図 3-2-②-2-1 小型試験装置

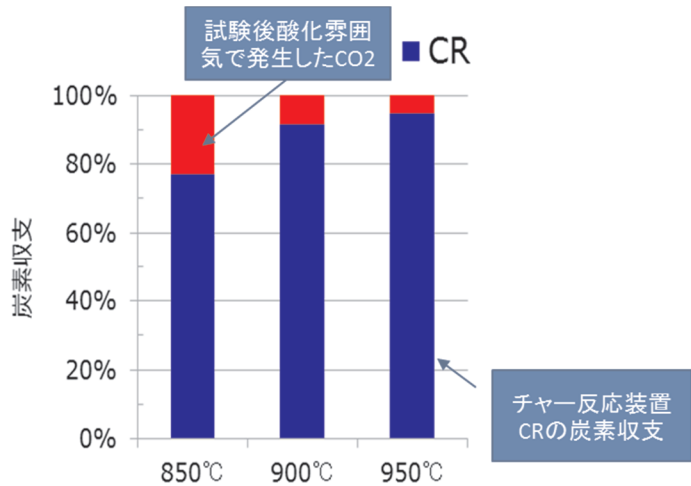
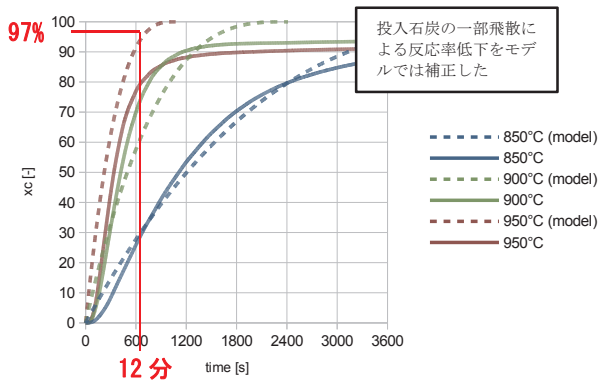
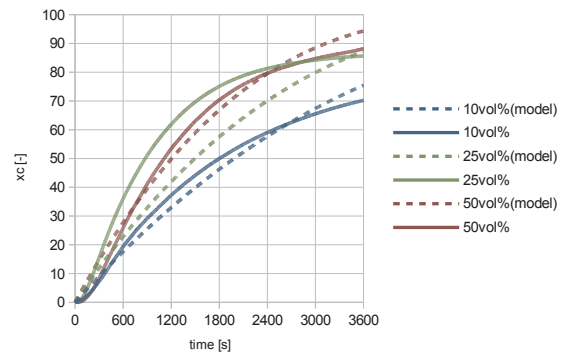


図 3-2-②-2-2 炭素収支

アダロ炭チャーとイルメナイトにおける反応率の経時変化を図 3-2-②-2-3 に示す。同図には未反応核モデル（表面反応律速）で整理した結果を併せて示している。同モデルでは、投入石炭の一部飛散による反応率低下を補正しており、その未反応核モデル各パラメータを表 3-2-②-2-1 に示す。設計炭であるアダロ炭のチャーガス化反応速度パラメータは H26 年度の設計条件とほぼ同等の結果であった。図 3-2-②-2-3 に示したモデル計算結果によると、設計条件の 950℃、12 分でチャーガス化率が 97%に到達することがわかる。従って反応塔構造の見直しにより小径化したチャーの反応時間を確保すれば、計画ガス化率を達成できると考えられる。



(a) 温度



(b) 水蒸気濃度

$$\frac{dX_{Char}}{dt} = k_c (1 - X_{Char})^{2/3}$$

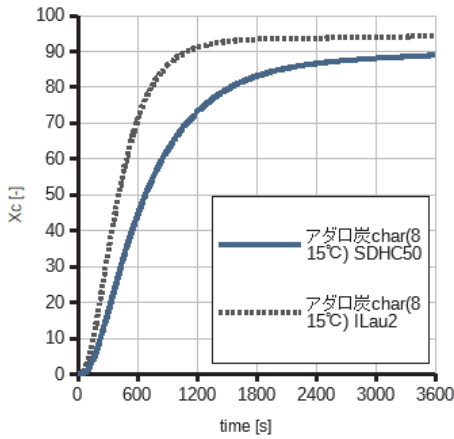
$$1 - (1 - X_{Char})^{1/3} = \left(\frac{k_c}{3}\right)t$$

$$k_c = \frac{dX_{Char}}{dt} \Big|_{X_c=0} = A_{H_2O} \exp\left(-\frac{E_{H_2O}}{RT}\right) P_{H_2O}^n$$

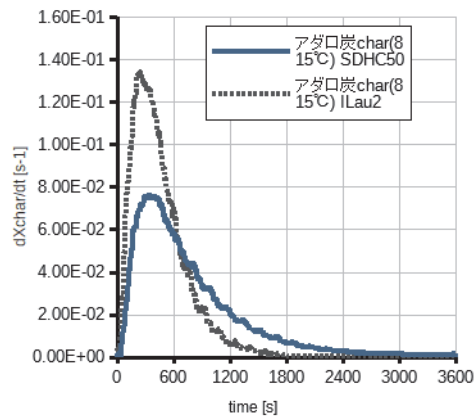
未反応核モデル（表面反応律速過程）

図 3-2-②-2-3 アダロ炭チャーとイルメナイトとの反応および反応モデルとの比較

また、キャリアの比較結果を図 3-2-②-2-4 に示した。この結果からは、人工キャリアの SD<sub>50</sub> よりも天然キャリアのイルメナイト IL<sub>au2</sub>の方が反応速度は速いことが分かった。



(a) 反応率



(b) 反応速度

図 3-2-②-2-4 人工キャリアと天然キャリアとの比較

表 3-2-②-2-1 チャー反応塔の設計に必要な反応速度データ

項目	記号	H26年度設計条件	H28年度 成果 (速報)
供試炭 チャー	-	亜瀝青炭	アダロ炭
頻度因子	$A_{H_2O}$	$4.62 \times 10^6$ /MPa <sup>n</sup> s	$6.60 \times 10^6$ /MPa <sup>n</sup> s
活性化エネルギー	$E_{H_2O}$	200 kJ/mol	194 kJ/mol
反応次数	n	0.47	0.31

## 2-②-3 キャリアの繰り返し反応性、物性変化の検討（【東大】、JCOAL）

平成 28 年度は、酸化鉄を酸素キャリアに用い、担体としてアルミナ微粒子を用いた噴霧造粒粉の酸化還元反応の繰り返し時の劣化挙動について、走査型電子顕微鏡による画像解析と熱天秤による反応速度解析の連成解析を実施した。酸素キャリアの質量比、還元度、酸素濃度、反応温度等の種々の反応条件における酸化還元反応速度、粒子内の酸化鉄の凝集状態、および酸化鉄の粒子表面への偏析状態について検討した。その結果、還元反応速度定数の劣化速度は、キャリアの再酸化時の粒子内温度と強い相関があることがわかった。この相関関係を利用することで、次年度以降の粒子寿命予測やメークアップ率の向上の提言につなげることができる。

今年度はさらにカルシウムで表面を改質したイルメナイト粒子について検討を行った。イルメナイトを表面改質し酸化物イオン・電子混合伝導体であるチタン酸カルシウムを粒子の表面及び内部に形成することで、酸化還元反応速度の向上と粒子構造変化の抑制について検討した。図 3-2-②-3-1 に示すように、未改質の純イルメナイトでは、酸化還元反応繰り返し時に鉄の偏析と空洞化が観測された。一方、表面改質イルメナイトでは、粒子の構造変化の抑制も観測された。

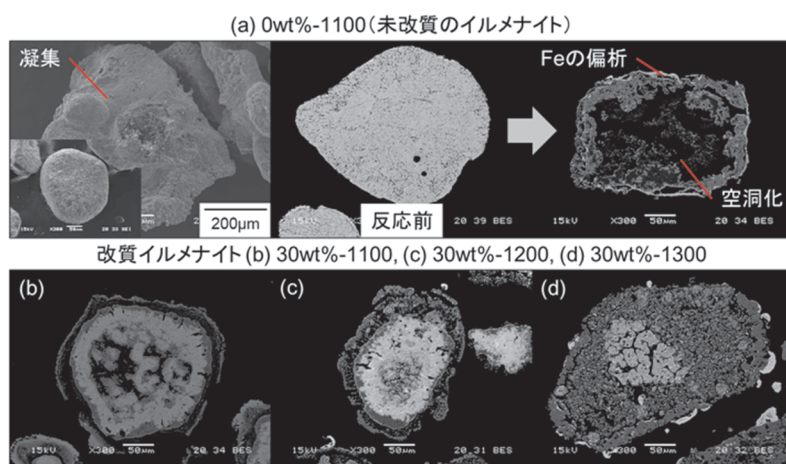


図 3-2-②-3-1 (a)純イルメナイトおよび(b, c, d)改質イルメナイトの酸化還元 50 サイクル後の粒子断面 SEM 写真

また、図 3-2-②-3-2 の酸化還元サイクルでの還元反応速度に示すように、表面改質イルメナイトでは、酸化還元繰り返しにおいて、高い還元反応速度が保持されることも明らかになった。天然イルメナイトの繰り返し反応性向上は約 5 倍であるが、表面改質により約 12 倍の還元速度向上が見られた。キャリアの繰り返し反応性は概念設計時には 10 倍向上を仮定していたが、表面改質を行えばこれを達成できると考えられる。

さらに、図 3-2-②-3-3 に示すように、エネルギー分散型 X 線分光法 (SEM-EDX) を用いて表面改質イルメナイトの粒子内部の組成分析を行った結果、表面改質イルメナイト中では、酸化還元時の Fe の粒子表面への拡散が抑制され、構造を保持していることが明らかになった。Fe の粒子構造変化は粒子内鉄と酸素のイオン輸送現象と関係しており、酸化物イオン・電子混合伝導体であるチタン酸カルシウムによる酸化物イオンの輸送特性向上が構造変化抑制に寄与していることが示唆された。この成果により、酸化還元繰り返し時の粒子構造変化の抑制に関して、粒子内のカチオンと酸化物イオンの輸送特性制御に基づく新たな粒子設計指針を示すことができる。

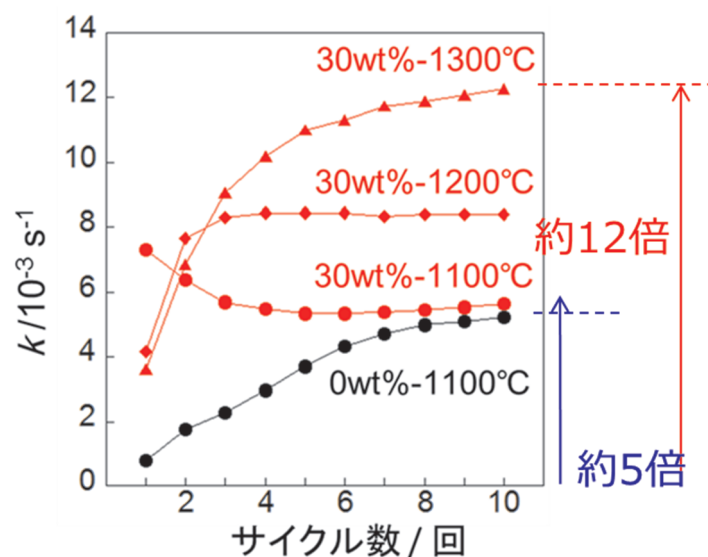


図 3-2-②-3-2 酸化還元サイクル(水素/酸素)での還元反応速度 黒線：純イルメナイト；赤線：改質イルメナイト (CaO 添加量(wt%)と焼成温度(°C)を記載)

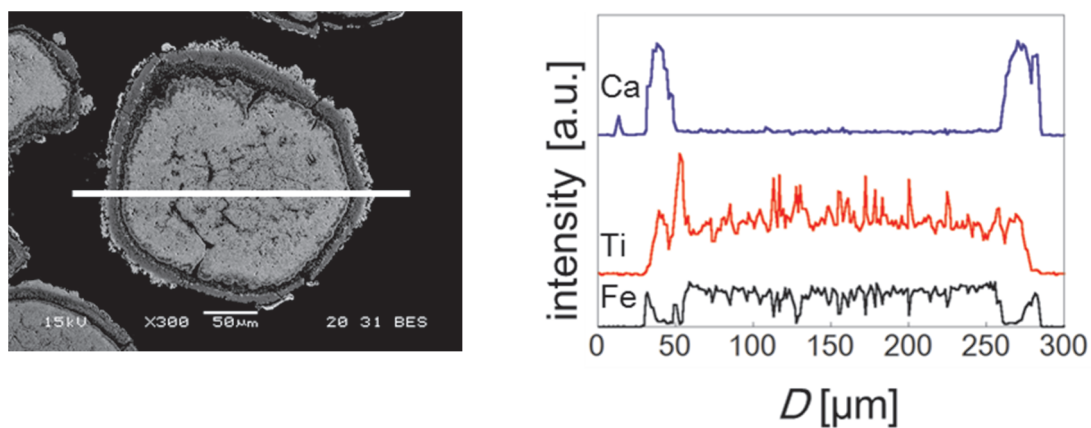


図 3-2-②-3-3 SEM-EDX の線分析による Fe の粒子表面への拡散評価 (試料：表面改質イルメナイト)



#### 2-②-4 キャリア粒子の耐摩耗性、粉化性の評価（産総研）

循環流動層型の耐摩耗性評価装置のホットモデルを製作した。この装置とバブリング流動層型の装置を用いて、各種キャリアについて 10 条件以上で摩耗試験を実施した。摩耗率の絶対値は装置によって異なる可能性があるため、実機で使用実績のある珪砂に対する相対的な摩耗率比で評価した。

バブリング流動層型では、層内粒子の粒度分布を測定し、大粒径の粒子が摩耗により小さくなる割合を定量して、摩耗速度を算出した。耐摩耗性が高い順に、廃 FCC 触媒、イルメナイト ( $IL_{in}$ )、噴霧造粒粒子 ( $SD_{25}$ , 1300°C 焼成) となった。

循環流動層型では排気中の粒子を定量して摩耗速度を求め、キャリア粒子の補充率を算出した。図 3-2-②-4-1 に循環流動層によるキャリア粒子の耐摩耗性評価装置概図を、図 3-2-②-4-2 に循環流動層によるキャリア粒子の耐摩耗性評価結果を示す。空塔速度 8m/s での補充率は珪砂が 0.17 wt.%/日、イルメナイトは 0.36wt.%/日であり約 2 倍となった。カルシウムで表面を改質したイルメナイト (Ca 含浸  $IL_{in}$ ) の補充率は、未改質のイルメナイトの 2 倍強となった。これは表面付近のカルシウムが削られて装置内から排出された影響が大きいと推定され、排出された粉末は未改質の場合より白くなった。

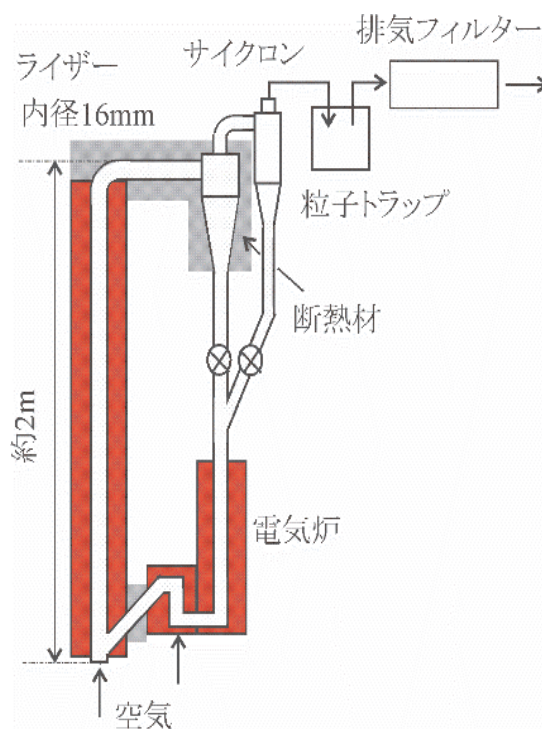


図 3-2-②-4-1 循環流動層によるキャリア粒子の耐摩耗性評価装置概略図

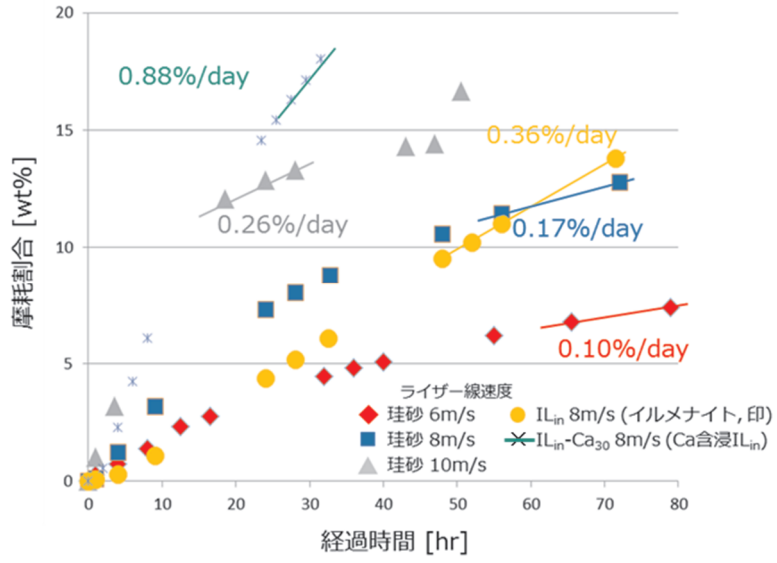


図 3-2-②-4-2 循環流動層によるキャリア粒子の耐摩耗性評価結果

## 2-②-5 石炭とキャリア粒子の流動混合方法の検討

### (1) 流動層モデル実験による検討 (【中央大】、JCOAL)

燃料反応塔の中では、チャーの良好な混合と、空気反応塔への流出を防ぐという相矛盾することを解決しなくてはならない。そのため、チャーの混合と分離条件が必要となる。また、微粒子についても同様に良好な混合と分離を行わないと行けないが、飛び出し損失についてはサイクロンなどの粒子回収機構を付加することで対応できる。

ここでは幅 400 mm、奥行き 100 mm の矩形断面流動層コールドモデルや幅 300 mm、奥行き 10 mm と 50 mm、奥行き 5 mm の二次元流動層を用い、流動媒体として天然キャリアであるイルメナイトに近い粒子密度を有するユニビーズ (UB:  $d_p = 0.1 \text{ mm}$ 、 $\rho_B = 4200 \text{ kg/m}^3$ ) あるいはジルコニア粒子 (Zr:  $d_p = 0.1 \text{ mm}$ 、 $\rho_p = 6000 \text{ kg/m}^3$ ) を用いた。チャー模擬粒子として粒子径の大きな ABS 樹脂球 (ABS:  $d_p = 6 \text{ mm}$ 、 $\rho_p = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) を浮上性粗粒子、c-Flotsam、として、粒子径が流動媒体より小さくて軽い中空ガラスビーズ (HG:  $d_p < 100 \mu\text{m}$ 、 $\rho_p = 700 \text{ kg/m}^3$ ) を浮上性微粒子、f-Flotsam、として使った。種々の流速でビデオ撮影により浮上・沈降の様子を調べた。

その結果、粗粒子の c-Flotsam ではガス流速が 20-30cm/s 以上で図 3-2-②-5-1 の写真に示すように粒子濃厚領域の下降流が発達し十分な混合が行われることが分かった。

一方、微粒子の f-Flotsam では小さな気泡でも発生すると気泡に伴われて上昇するが、粒子濃厚領域では浮力が小さすぎて自由に動けないことが判明した。そのため、図 3-2-②-5-2 のように下降流に伴われて層内に分散していた。また、層表面からフリーボードに射出され、気流搬送によって装置上部にまで輸送されることも確認できた。微粒子の飛び出し速度は大きく 1 分程度で 50%以上飛び出していることが目視観察で分かった。

粗粒子の c-Flotsam は、粒子混合は全く問題が無く、微粒子の f-Flotsam はフリーボードに射出された粒子をサイクロンなどで回収して流動層に戻せば円滑な粒子混合が実現可能であるといえた。

一方、空気反応塔へのチャー流出を防ぐために、チャー粒子の分離条件を明らかにする必要がある。そこで、良好な粒子混合と粒子分離を同時に実現するために、粒子分離条件を定量的に把握することを試みた。

ここでは、塔径 40 mm の流動層を使って浮上性粗粒子の浮上、沈降挙動を測定した。ガス流速を最小流動化状態程度に保ち、粒子放出器に取り付けた単一粒子の放出深さを変え、浮上するか沈降したままかを調べ、浮上限界深さとしてまとめた。

流動媒体としてジルコニア、ユニビーズ、ガラスビーズの 3 種類を用いた。チャー模擬した浮上性粒子として、直径 6 mm の ABS 樹脂球、直径 3.2 mm のポリプロピレン粒子、比重が 0.02 と極端に小さい直径 9 mm、5.5 mm、3 mm のポリスチレン粒子を使用した。これらの物性を表 3-2-②-5-1 に示す。

詳細に浮上・沈降を調べ、流動層内での浮上性粗粒子の浮遊条件のマップ化を行った。チャー微粒子の模擬粒子として中空ガラスビーズを用いたが、これは 3 次元流動層での観察が非常に難しいため、幅 50 mm の二次元流動層に微粒子を少量放出し、その動きをビデオで調べた。その結果、フリーバブリングと同様、気泡が存在しない場合は全く浮上できないことが分かった。

図 3-2-②-5-3 に示す様に、小気泡が来ると一部は気泡に伴われて上昇するが、気泡ウェイク部分から粒子濃厚領域に放出された微粒子はもはや浮上しなかった。

微粒子の場合、十分な浮力が無いことから、流動媒体を押しつけて浮上することが出来ないと考えられる。

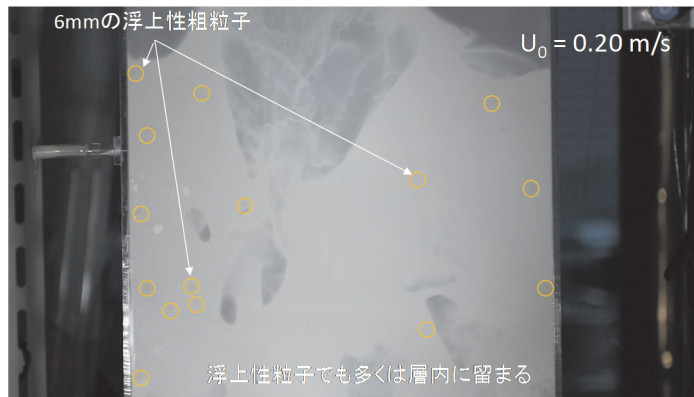


図 3-2-②-5-1 黄色い○で囲った直径 6 mm の浮上性粗粒子が層内に混合している様子が分かる、特に、気泡が少ない粒子が濃厚な領域に集中している。なお、空気流速が 0.1 m/s より遅いと、多くの粗粒子は層表面に留まるが、0.1-0.2 m/s では、ガス流速に応じて層内に留まる粒子と層表面に浮上している粒子に分かれる。

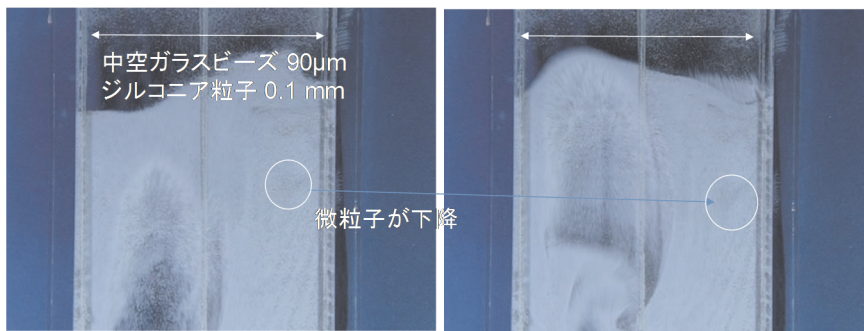
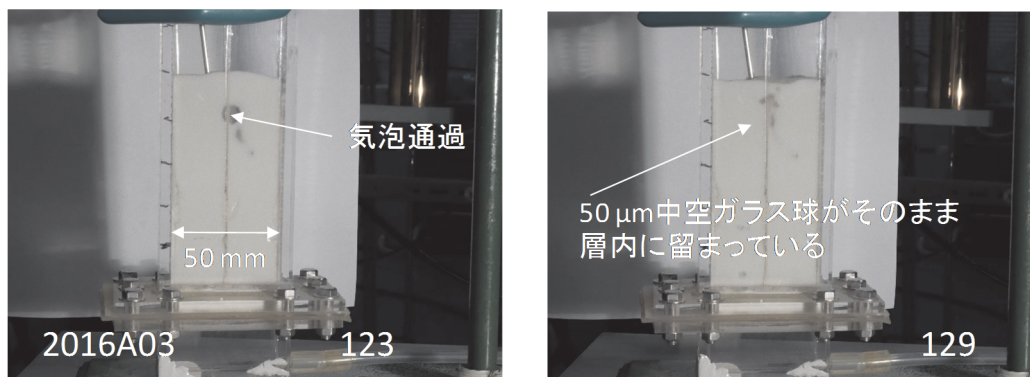


図 3-2-②-5-2 浮上性微粒子が層内に混合していく様子、気泡周辺の浮上性微粒子は層内を上昇、層表面でフリーボードに射出される。



(a) 気泡と共に上昇する微粒子 (b) 気泡に取り残された粒子は層内に留まる

図 3-2-②-5-3 浮上性微粒子が流動層内に保持される様子

表 3-2-②-5-1 使用粒子の特性

(a) 流動媒体の特性				
粒子	材質	$d_p$ [mm]	$\rho_p$ [kg/m <sup>3</sup> ]	略号
Zr	Zirconia	0.1	6000	BM1
UB	Uni beads	0.1	4200	BM2
GBL	Glass beads L	0.39	2600	BM3
GBS	Glass beads S	0.18	2600	BM4
(b) 浮上性粒子の特性				
粒子	材質	$d_p$ [mm]	$\rho_p$ [kg/m <sup>3</sup> ]	略号
BB	ABS	6	1000	cF1
PP	Polypropylene	3.2	1000	cF2
PSs	Polystyrene	9	20	cF4
PSm	Polystyrene	5.5	20	cF5
PSL	Polystyrene	3	20	cF6
HG5	Hollow glass beads	< 0.05	700	fF1
HG7	Hollow glass beads	0.05 _ 0.07	700	fF2
HG9	Hollow glass beads	0.07 _ 0.1	700	fF3
cF: Coarse Flotsam, fF: fine Flotsam				

## (2) 石炭とキャリア反応器の最適構造（混合、滞留）検討【阪大】

本検討項目では、VR、CRの比重差のある粒子の混合流動を流動層シミュレーションで評価して最適な流動条件を把握することを目的とする。本プロジェクトで扱うような微粒子の流動化挙動をDEM-CFDシミュレーションにより計算する場合、オリジナルの粒径の条件では計算負荷が大きくなり過ぎるため実用的な計算を行うことは不可能である。そこで、流動層流路断面18mm×1.4mmのミリスケール2次元流動層を検証用実験装置として、相似則モデルの粒径比が2までの条件に対して、実粒子条件の計算も用いて検証を行い、相似則モデルが有効であることが確認されている。

この相似則モデルの粒径比をさらに拡大し、検討を行うとともに、さらに空間スケールの大きな検証用実験の条件の検討を行い、検証用実験装置の製作に着手した。流動層流路断面を80mm×40mmの2次元流動層とし、相似則モデルの粒径比の大きな4.0 および 8.0 の条件を検討した。以後、それぞれの相似則モデルの粒子条件を  $4d_p$  モデル、 $8d_p$  モデルと呼ぶ。計算の初期条件としては、ガラス粒子層の上部にカーボン粒子を配置した。

実空塔速度0.04m/sと0.16m/sでの計算結果を図3-2-②-5-4に示す。実空塔速度0.04m/sの場合、粒子の混合は進まないが、実空塔速度0.16m/sの場合は気泡通過による攪拌により混合が進行することが確認された。これより、流速の増加によりチャーの偏析を防止でき、良好な混合を維持可能であると判断される。

両粒子条件とも各空塔速度条件に対する流動化の挙動はほぼ一致しており、これらの結果は、流動層流路断面18mm×1.4mmのミリスケール2次元流動層に対する結果ともほぼ一致している。

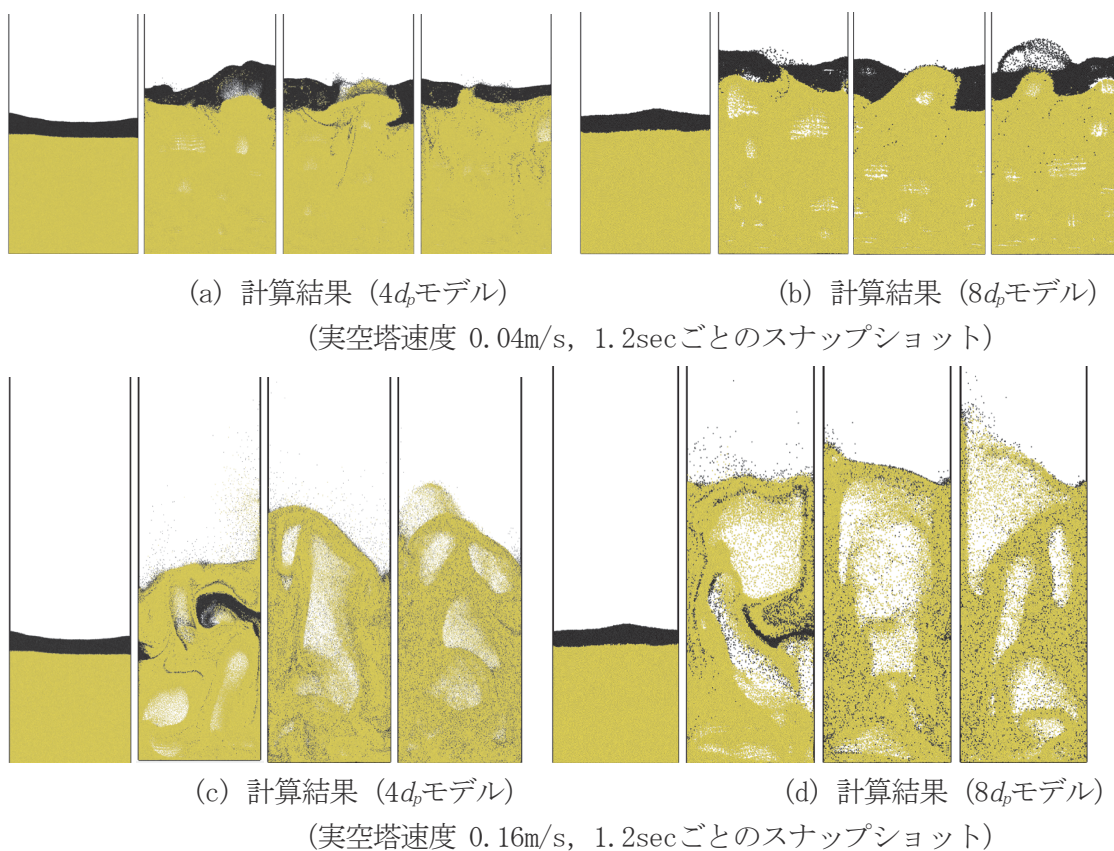


図3-2-②-5-4 混合の進行

時間進行に対する混合の進展の様子は同図に示す通りよく一致しているが、 $8d_p$ モデルの結果は  $4d_p$  モ

デルの結果に比べて層膨張が大きくなる傾向がある。これは、 $8d_p$ モデルの場合、流動層奥行き厚さのモデル粒径に対する比が7.5しかなく、壁の影響により、 $4d_p$ モデルに比べて $8d_p$ モデルでは流動層内の空隙率が大きくなる傾向があるためと考えられる。

以上の計算結果から、相似則モデルの粒径比が 8 程度までの検証が可能であると考え、本計算条件に対応した検証用実験装置の製作に着手した。ここでは、静電気発生の影響などを排除するため、ガラス製流路を製作し、これを検証用流動層として用いる。

## 2-②-6 長時間キャリア粒子の循環、反応性の検討（JCOAL、産総研）

本年度は三塔循環流動層キャリアの長時間循環反応装置の製造と据付を完了した後、三塔式循環流動層の試運転を実施し、三塔式循環流動層の運転、制御方法を把握した。また、天然ガスを燃料としたキャリア長時間循環反応試験を累計約 200h 実施し、長時間循環反応によるイルメナイト酸素キャリアの反応性、粉化性、凝集性等性質の変化を検討した。イルメナイトは豪州産 2 号（IL<sub>au2</sub>）より反応性は劣るが量が確保可能なインド産で試験を行った。さらに石炭燃料投入のため、必要な装置、データ取得（水蒸気発生装置、石炭フィーダー、等）等の準備を行った。

図 3-2-②-6-1 は長時間循環反応評価装置の写真である。AR、CR 及び VR の 3 つの反応器、ライザーと 2 つのループシール、2 つのサイクロン、ガスフィルター及び排ガス処理装置によって構成され、3 階建て（高さ 7m）の架台に設置した。

実機 AR の設計条件では断面積平均の粒子循環流束( $G_s$ )を  $G_s=52\text{kg/m}^2\text{s}$  に設定したが、天然イルメナイトの密度が大きく、粒子の上部方向への輸送が不足し  $G_s=52\text{kg/m}^2\text{s}$  を維持できない可能性がある。そこで、本装置による天然イルメナイト粒子の循環流動性の評価として  $G_s$  の確認を行った。測定方法と結果を図 3-2-②-6-2 に示す。計測の結果、ライザーでの粒子輸送能力は、実機 AR 設計条件  $G_s=52\text{kg/m}^2\text{s}$  以上の  $G_s=91\text{kg/m}^2\text{s}$  を確保できており、粒子を上部へ輸送・循環できることを確認した。

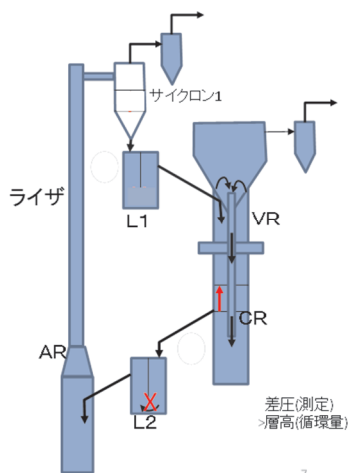


図 3-2-②-6-1 キャリア長時間循環反応評価装置（写真）



CRの差圧変化から層高変化(循環量)を計算する。

- ・粒子定常循環時にL2を30s程度止める
- ・CRの差圧変化から層高変化を計算し、循環量を求める。



- ・ 粒子循環速度 (600°C) : 0.164 kg/s
- ・ ライザの内径 : 48 mm
- ・ ライザ空塔速度 : 7.4 m/s

ライザ粒子輸送能力(600°C):  
Gs = 91 kg/m<sup>2</sup>/s

図 3-2-②-6-2 循環量測定方法及び結果

計 21 回の試運転から、装置の性能、容量、操作条件、安定性 (64 時間連続運転)、安全対策等を確認したうえ、天然キャリア(イルメナイト)を用いて、連続 64h 試験を含め累計約 200h のキャリア長時間循環反応試験を実施した。その結果の一部は図 3-2-②-6-3 と図 3-2-②-6-4 に示す。CH<sub>4</sub> 転換率が比較的安定しており、イルメナイトの長時間循環流動性は良好であることが推定できた。また、図 3-2-②-6-4 に示す通り、粒子間の磨耗率は低いことが確認できた。さらに、図 3-2-②-6-5 に示す通り、イルメナイトの反応性は試験時間とともに増加し、CH<sub>4</sub> 転換率も初期の 40%から後期の 74%に増加したことが確認された。

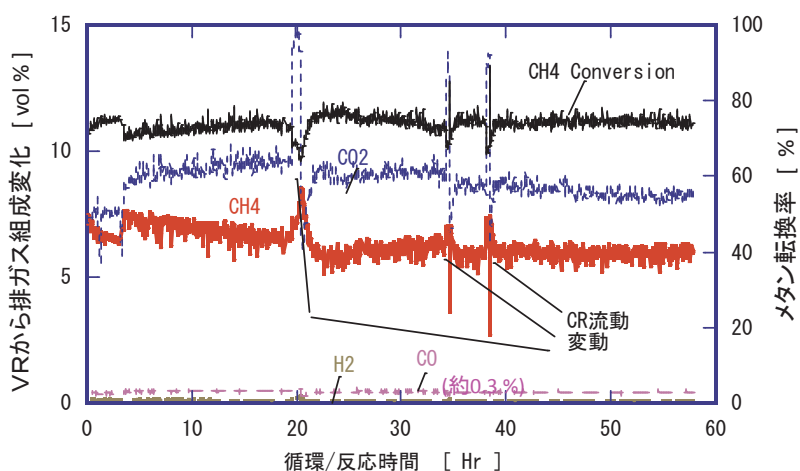


図 3-2-②-6-3 キャリア (インド) 三日間長時間試験、VR 出口ガス組成とメタン転換率

循環 / 反応試験のフィルタから粉塵の回収及び摩耗率の計算

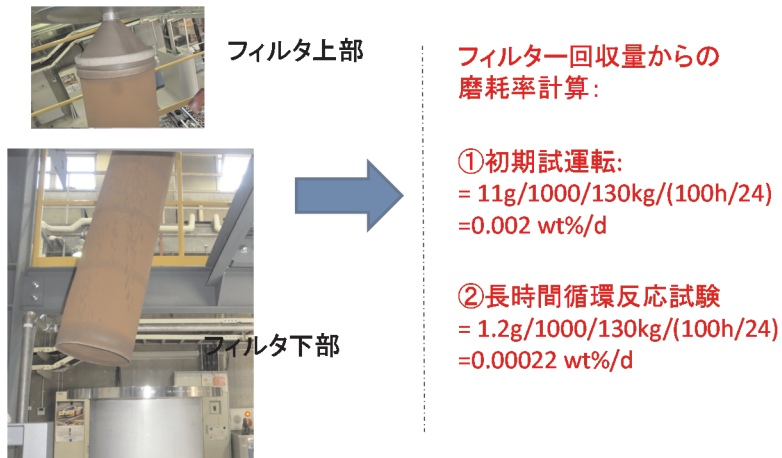


図 3-2-②-6-4 フィルタから粉塵の回収及びキャリア摩耗率の計算

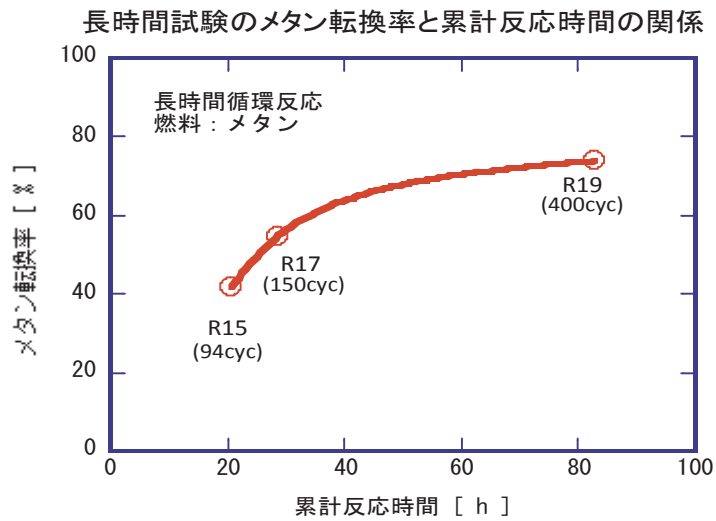


図 3-2-②-6-5 メタン転換率と累計反応時間の相関

2-②-7 キャリアのタール改質及び硫黄ガスとの反応性の検討（【群馬大学】、JCOAL）

2種類のケミカルルーピングキャリア（天然および人工キャリア）を用い、石炭タールの水蒸気改質実験を行うことで、各キャリアのタール改質活性を検討した。石炭の水蒸気改質実験には、固定層流通式二段反応器を用いた。反応管の下段部には未処理の各キャリアを3.5g充填し、上段部には1gの石炭試料を石英ウールで包んでセットした。未処理の状態においては、SD<sub>50</sub>はIL<sub>au1</sub>と比較し、高いタール改質活性を示した。また、酸化前処理によりIL<sub>au1</sub>のタール改質活性が向上した。また、S/Cを1.5とすることで、S/C=0.5と比較して、煤が著しく減少することを明らかにした。

図3-2-②-7-1に酸化前処理が石炭揮発分の炭素収支に及ぼす影響を、図3-2-②-7-2に水蒸気導入量が石炭揮発分の炭素収支に及ぼす影響を示す。

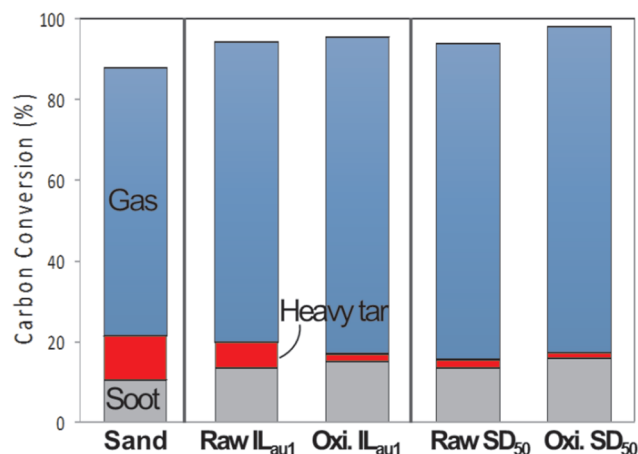


図3-2-②-7-1 酸化前処理が石炭揮発分の炭素収支に及ぼす影響

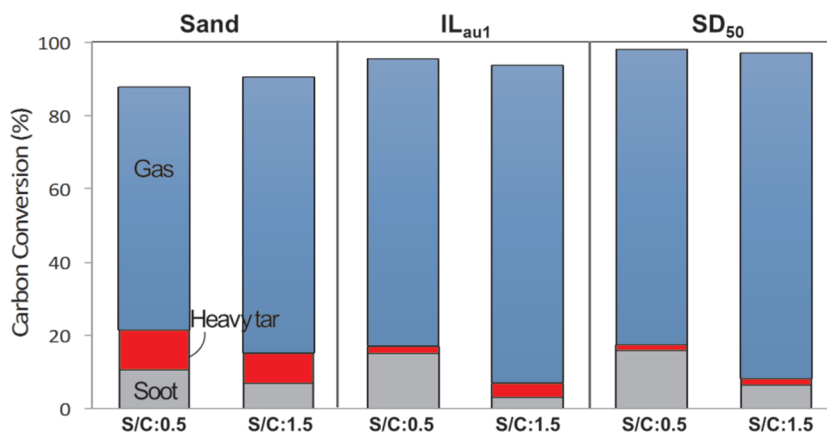


図3-2-②-7-2 水蒸気導入量が石炭揮発分の炭素収支に及ぼす影響

## 2-③ プロセス構造、条件の最適化評価

### 2-③-1 プロセス最適条件解析 (JCOAL)

プロセス最適条件を解析するため、化学プロセスシミュレータ Aspen で CLC プロセス解析モデルを作成し、物質収支、熱収支、運転条件の評価を可能にした。図 3-2-③-1-1 に作成した解析モデルを示す。反応器モデルには Kunii - Levenspiel 2 相モデル (図 3-2-③-1-2) を採用し、バブリング流動層反応器をモデル化するに必要な各パラメータ、気体交換係数  $K_{be}$ 、気泡径  $D_b$ 、気泡上昇速度  $u_b$  等を求め、キャリア、ガスなどの滞留時間、反応時間を評価可能にした。今後キャリア性能評価結果を反映してモデルで解析を行い、プロセス最適条件の検討を行う。

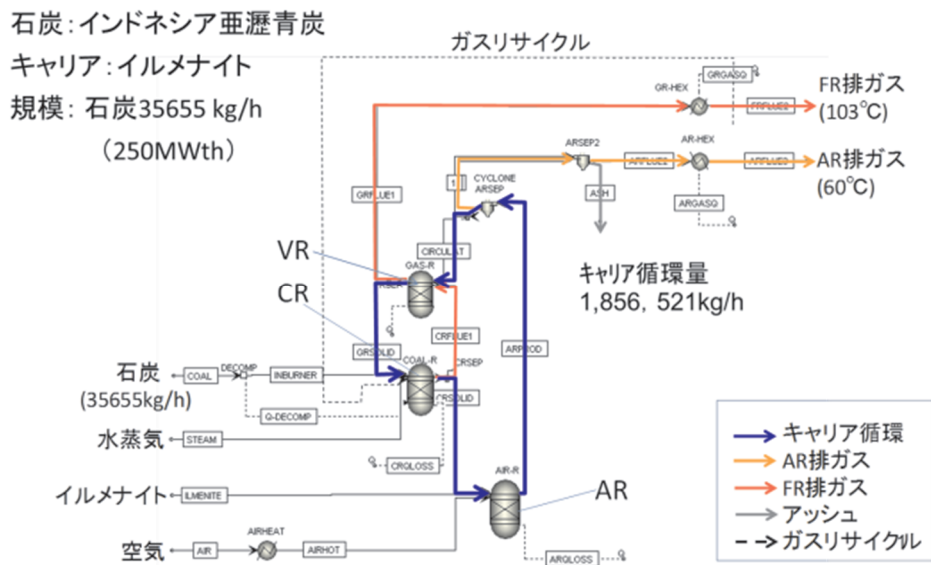
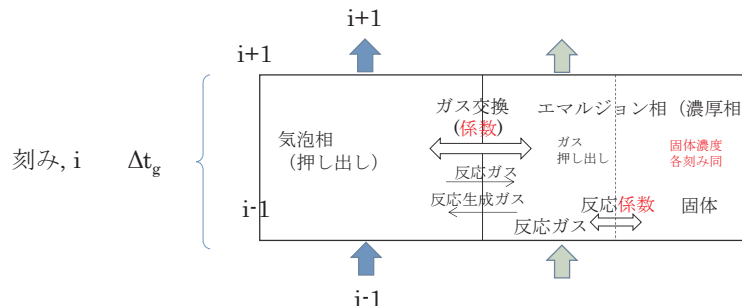


図 3-2-③-1-1 CLC プロセス解析モデル

Kunii - Levenspiel  
2相モデル(1990)

$$\text{気泡相: } -\delta u_b \frac{dC_{Ab}}{dz} = \delta \gamma_B K_Y C_{AB} + \delta K_{be} (C_{Ab} - C_{Ae})$$

$$\text{濃厚相: } -(1-\delta) u_{mf} \frac{dC_{Ae}}{dz} = (1-\delta)(1-\varepsilon_{mf}) K_Y C_{Ae} - \delta K_{be} (C_{Ab} - C_{Ae})$$



- パラメータ求め:
- ① 固体反応濃度 (kg, 層内キャリア重量)
  - ② 気一個反応速度係数 (反応ごとに、実験値)
  - ③ ガス交換係数 (気泡相-濃厚相間、実験値 (文献値))
- }  $K_Y$   
}  $K_{be}$

図 3-2-③-1-2 流動層二相モデル

2-③-2 プラントの合理化の検討 (MHPS)

2-②-1、2-②-2 での検討の結果、ガスの反応性は天然キャリア、人工キャリアともに同等であったが、石炭チャーの反応性の高い天然キャリア豪州産2号 (IL<sub>au2</sub>) を選定した。選定した IL<sub>au2</sub> の性能を基にプラント仕様を見直し、建設費、運転費を評価し CO2 回収費を算出した。課題毎に概念設計時に対し下表のとおり見直しを行った (表 3-2-③-2-1)。

表 3-2-③-2-1 各評価結果のプラント仕様への反映

②-1 キャリアとガスとの反応速度	VR のガス滞留時間は、ガス滞留時間を 1 秒から 2 秒への変更が必要であり、キャリア層高を 2 倍に変更した。VR の層高を変更すると圧力損失は増加するが、必要な送風機能力は既存品の適用範囲である。またループ圧力分布を検討し循環流動に支障ないことを確認している。
②-2 キャリアと石炭との反応速度	CR のチャー反応速度は、これまでの設計条件とほぼ同等の結果であった。得られた反応速度データを基にしたチャー反応率は 94% と設計条件 97% より若干低い。チャー反応率を向上させるため、未反応チャーを反応塔内で滞留させる内部構造改良で対応可能である。
②-3 キャリアの繰返反応性、物性変化	キャリアの繰返反応性は初期性能から 10 倍増と仮定したが、約 5 倍程度であった。このため VR のキャリア滞留時間を 3 分から 6 分に変更し VR 寸法を見直した。
②-4 キャリアの耐久性・摩耗性	キャリア摩耗量は珪砂の 2 倍であることを確認。CFB での珪砂補充率経験値より概念設計時の補充率 0.40wt%/d は安全側であると判断されたので変更はしない。
②-5 石炭とキャリアの混合性	概念設計時の粒径 (石炭:100 μm、イルメナイト:123 μm) で円滑な混合が確認されたため、本粒子条件で反応塔を計画。また比重差のある石炭とキャリアの混合は流速を増加させることでチャーの偏析を防止し、良好な混合状態を維持できることが分かったため、CR の流動条件を見直した。また、CR 内部構造は未反応チャーが内部循環する構造に改良する。
②-6 循環流動性	今回のベンチ試験で設計条件 (Gs : 52kg/m <sup>2</sup> s) 以上の粒子循環量が確認されたので設計変更は行わない。
②-6 長時間反応性評価	現在ベンチ試験で検討中であり、設計変更を行わない。
②-6 灰とキャリアの分離	設計条件のキャリア補充率 0.4wt%/日と仮定したが、得られた補充率は 0.36wt%/日であり設計条件を満足しており変更は行わない。
②-7 タール改質、硫黄ガス影響	灰とキャリアの分離はまだ未実施 (今年度後半実施予定) なので設計変更行わない。

この結果、図 3-2-③-2-1 に示す通り CLC 重量は CFB ボイラ部位の約 1.3 倍に相当した。図 3-2-③-2-2(b) に示す通り CLC 全プラント建設費は、CFB 建設費が 20 万 kWe\* と仮定すると、ボイラの

単価はプラントの15%程度なので、図3-2-③-2-2(a)に示す通り20.9万円/kWe程度と想定され、天然キャリアイルメナイトによるCO<sub>2</sub>回収費は図3-2-③-2-2(c)の様に1,100円/t-CO<sub>2</sub>と想定された。また図3-2-③-2-2(d)に示す脱硫や脱硝および脱水などの後処理装置やCO<sub>2</sub>精製装置の設置有無により建設費は変動するので平成29年度中に検討する。

※：NEDO 平成24年度成果報告書「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業／基礎事業／石炭高効率利用システム案件等形成調査事業」インドネシアにおける低品位炭高効率利用石炭火力発電所プロジェクトの案件発掘調査 平成25年3月

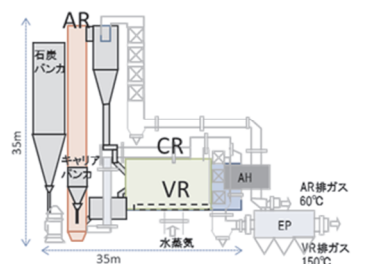
## CLCのコスト試算 - CFB ボイラ部位別の重量

表1 H27年度CLC100MWe級の  
各反応塔サイズによる重量

部位	寸法(m)	重量(t)
AR	W3.1 × D9.4 × H33	1060
VR	W6.5 × D19.5 × H10.2	575
CR	W4.8 × D14.4 × H9.3	720

表2 CFBからCLCによる重量増加割合

部位	重量(t)
外部熱交換器 (FBHE)	170 t
VR+CR	1295 t
FBHE 対 (VE+CR)	7.6倍



**AR, VR, CRの重量計算条件**  
 ・全壁面にキャスト、外壁金属にSUS304を使用した重量を算出。  
 ・H24年度報告書より、金属温度：200℃、キャスト厚さ：95mm、  
 外壁金属厚さ：10mmに設定

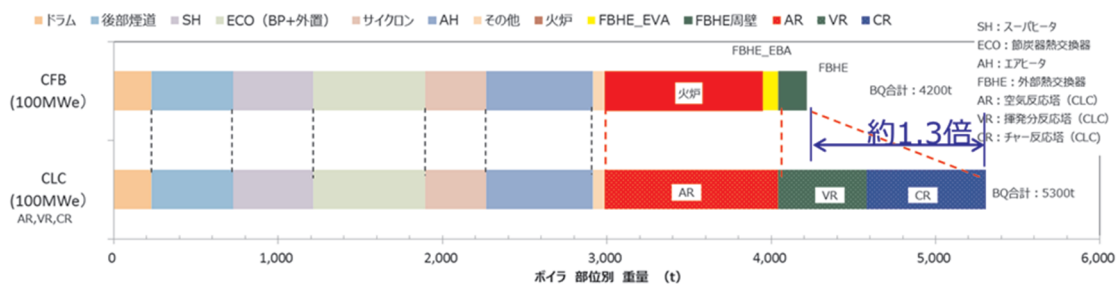


図3-2-③-2-1 ボイラ部位別重量におけるCFBとCLCの比較

CLC建設費はCFB建設費の1.1倍相当の**20.9万円/KWe**と想定

天然キャリアイルメナイトによるCO2回収費：**1,100円/t-CO2**と想定。

但し、後処理装置が必要なときはCLC建設費が増加し、CO2回収費が増加する可能性があり、今後、検討予定

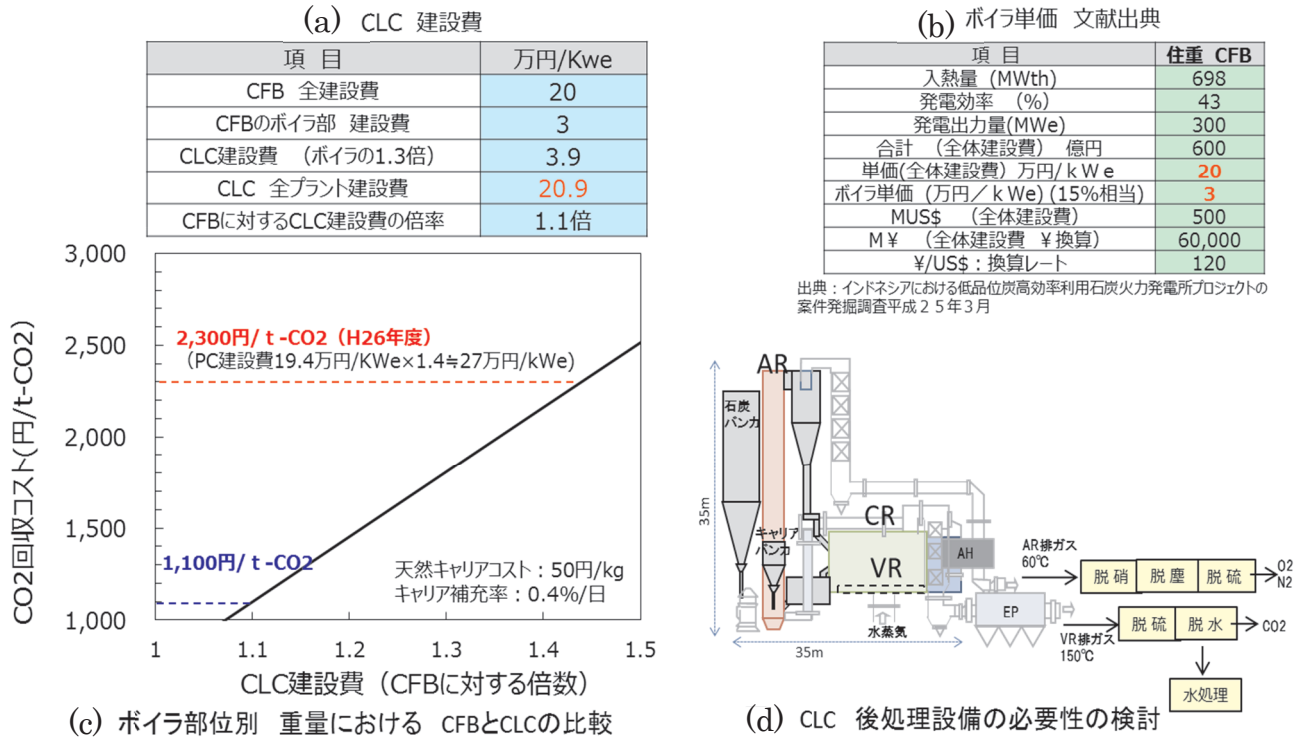


図 3-2-③-2-2 CLC コスト試算結果

## 2-④ 技術調査、市場・経済性検討、検討委員会開催

### 2-④-1 技術動向調査 (JCOAL、MHPS、【東京大学】、産総研、IAE)

ケミカルルーピングの技術開発は、当初、気体燃料を対象に行われてきた。石田東工大名譽教授は、2000年にはパイロット規模の空気反応塔の外側を囲む燃料反応塔から成る二重管式内部循環装置を開発し、燃焼試験を実施した。この数年間に欧米では石炭を対象に 10kWth から 3MWth に及ぶパイロット規模の技術開発が進められている。

欧米の主な CLC プロジェクトの特徴と開発期間を図 3-2-④-1-1 に示す。欧米では今後も CLC 技術開発が続けられる予定である。米国では Alstom 社が 3MWth プラントを継続中であり、また Ohio 大が開発した技術を B&W 社が引継ぎ 250kWth 試験及び次ステップとして 10MWth パイロット試験の計画がある。欧州では Darmstadt 大の 1MWth 試験は終了したが、Shalmars 大の NOCO2 プロは継続している。

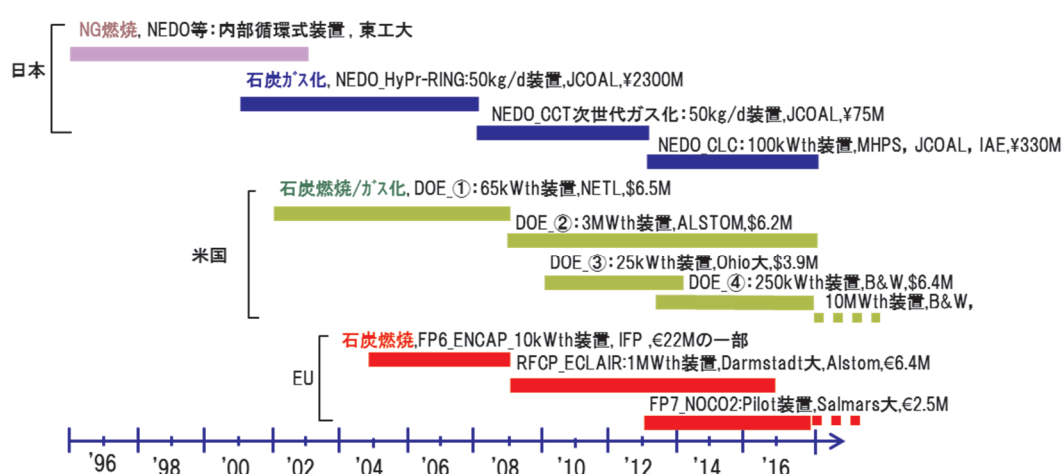


図 3-2-④-1-1 欧米の主な CLC プロジェクトの特徴と開発期間

2016年9月25日～28日に、中国南京で開催された、第四回 CLC 国際会議に参加し、世界の CLC 開発状況等を調査した。本会議は2年に1回開催されるケミカルルーピングをテーマとした最大の国際会議である。約100件の発表と約200人の参加を得て盛況であった。発表内容は、大学での酸素キャリアや条件を変えて実験した発表が多く、大きく目を引くものは Chalmers やスペインなどの従来から研究を進めていたグループに限られた。

また、IEA-GHGT13 国際会議にも参加し、世界の CLC 開発状況等を把握した。特に海外技術開発状況としてベンチ、パイロット装置試験の実施状況は以下の通り。

EU の ACCLAIR プロジェクトでは Darmstadt 工科大と Alstom(仏)が 1MWth 装置による鉄系酸素キャリアの試験を行っているが 2015 年で一旦完了した。試験成果としては熱自立運転に成功したが、CO<sub>2</sub>回収率が 52%と低かった。このため、カーボンストリッパーを改良し、引き続き 1MWth 試験を実施予定である。

米国の DOE プロジェクトでは Alstom (米) が Ca 酸素キャリアによる 3MWth 試験を 2017 まで実施予定である。試験結果はまだ未公表である。今後も継続して調査を実施する。併せて、文献調査でもキャリア反応性や CLC 条件での石炭反応性などの情報を継続し収集する。



2-④-2 市場・経済性検討 (IAE、JCOAL)

(1) 国内のCO2市場

基盤研究2年間の成果概要をまとめ、将来のCLCユーザと成りうる、化学、石油、ガス、製紙、炭酸ガス製造会社にヒアリングを行い意見交換した。その中から将来事業として成立できる「業界」として、液化CO2(含むドライアイス)のCO2供給源として、日本の石油の将来需給から、製油所由来のCO2供給量を求め、事業の可能性を検討した。図3-2-④-2-1に2015年度の炭酸ガス出荷量と、液化炭酸ガス供給会社を示す。

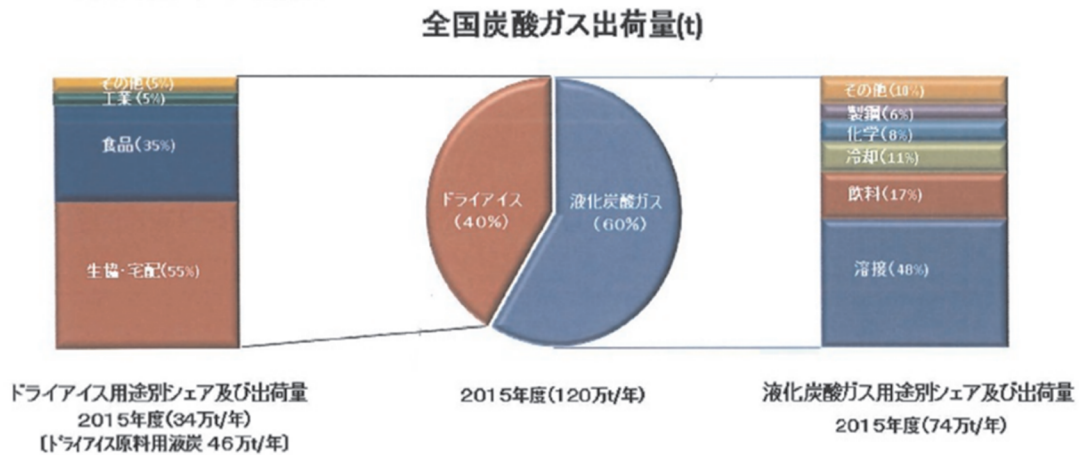


図3-2-④-2-1に2015年度の炭酸ガス出荷量と液化炭酸ガス供給会社

わが国の炭酸ガス市場(出荷ベース)は、2015年度では年間120万トンで、60%が液化炭酸ガ

ス(液炭)として、残りの 40%がドライアイスとして流通している。液炭の約半分が溶接用であり、飲料(ビールや炭酸飲料)17%、冷却用が 11%である。ドライアイスの 55%が生協や宅配便に、35%が食品の冷却用に使用されており、90%が冷却用である。

わが国の液炭またはドライアイスの製造会社は 27 社あり、原料となる CO<sub>2</sub> は製油所や化学工場(アンモニア等)から主に供給されて来たが、エア・ウオータ炭酸・室蘭では、供給源であった室蘭製油所の閉鎖により、室蘭製鉄所の熱風炉排ガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収に切替えるなど、製油所の統廃合や化学工場の閉鎖などで、特に西日本では CO<sub>2</sub> 原料が不足しているのが現状である。

なお、液化炭酸ガスの品質は、最も厳しい飲料向けの品質(硫黄分他 34 項目について ppm、ppb、ND の規格有)に合わせて製造されていることから、これら多くの不純物を含有する石炭は液化炭酸ガス製造の原料として用いることは非常にハードルが高いことがわかった。

一方で、CLC の特徴として、ガス分離装置が不要で低コスト高純度の炭酸ガス、窒素が回収できる点がある。そこでガスを燃料とすれば燃料自体がクリーンであるため、炭酸ガス、窒素ガスを利用しているユーザに供給できる可能性があることも分かった。

## (2) 海外の CO2-EOR 市場

図 3-2-④-2-2 に東南アジア(インドネシア、ベトナム)の油田の位置関係を示す。

インドネシアは、2000 年代前半から石油の純輸入国となったが、現在も、国際石油価格が高値時の市場参入と、石油収益を維持する狙いから、原油とコンデンセートの輸出を継続している。輸出されている原油は主に、インドネシア最古で最大の 2 つの油田である、ドゥリ油田とミナス油田から産出されている。両油田は、スマトラ島東部沿岸の南スマトラ盆地に位置しており、ドゥリ油田は 1952 年から生産開始し現在およそ 14 万 bbl/日である。一方、ミナス油田は 1955 年から生産開始し、現在は約 19 万 bbl/日を生産している。両油田の操業社はシェブロンであり、石油増進回収法 (EOR) を採用しているものの生産量は減少傾向にある。ミナス原油の性状を見ると、流動点が非常に高い(常温で固体)のが特徴であり、一般的にインドネシアの油田は EOR に不向きと云われている。

ベトナムは石油の確認埋蔵量 44 億バレルと中国、インドに次ぐアジア地域で三番目に多い石油資源を保有している。ランドン油田では、JX 開発が石油天然ガス・金属試験機構 (JOGMEC) と共同で CO2 注入実証試験を 2011 年に海上油田で実施した。このパイロットテストは、東南アジア初の CO2-EOR 適用事例で、海上油田のため CO2 はコンテナ船によってベトナム本土で生産された CO2 を海上輸送で供給され、10%程度の増産効果があったと報告されているが、施設の追加コストや CO2 調達コストから商業化はなされていない。



図 3-2-④-2-2 東南アジア(インドネシア、ベトナム)の油田の位置関係

図 3-2-④-2-3 に米国の CO2-EOR 市場の調査結果を示す。

米国の炭酸ガス市場は約 8,000 万トン/年で、約 60%がパイプラインによる EOR 用で、使用量は 5,000 万トンになる。EOR 以外の外販分は、需要全体の約 40%で、約 3,000 万トン/年で、日本の出荷量の約 30 倍に当たる。CO2 の取引価格(推計)は、EOR 用が 20~30 ドル/ト

ン、外販が 100 ドル/トンと推測される。EOR 用の CO2 はパイプラインで大量供給され、そのうち約 4000 万トンが CO2 貯留層から産出される CO2 から供給されている。\*) 純度も日本の液化炭酸ガスのような高純度は要求されていない (CO2 純度は 94%程度で良い) ため、取引価格が安くなっていると推測される。

\*) 出展 GCCSI CCS の採用を促進する回収 CO2 の工業利用 2011 年 3 月

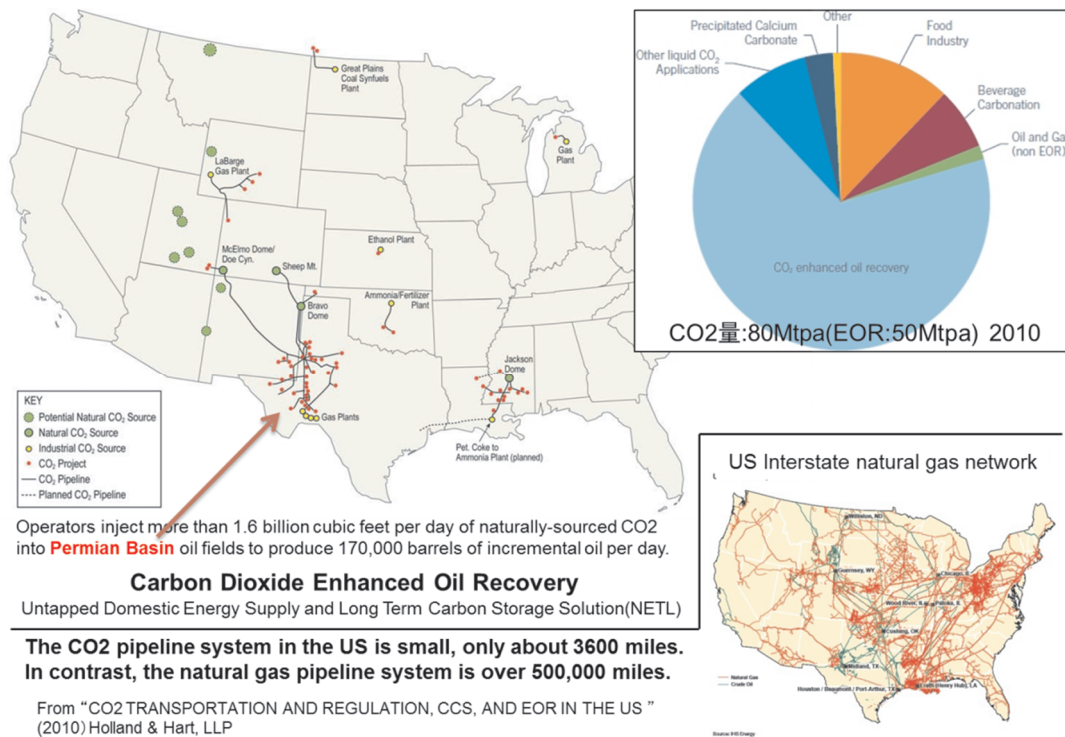


図 3-2-④-2-3 米国の CO2 市場

2-④-3 検討委員会 (IAE)

実施者の自主的な取り組みとして、外部の大学等学識経験者、重工業メーカー、エンジニアリング、シンクタン等の有識者を招聘した技術検討会を行い、研究開発の成果や課題解決方法等について意見を求め、その後の研究の方針の参考にした。NEDO もオブザーバーとして参画し動向を注視すると共に、研究計画の妥当性の判断の一助とした。

表 3-2-④-3-1 に技術検討会の委員メンバーを示す。

表 3-2-④-3-1 に技術検討会委員メンバー

氏名	機関名	所属・タイトル	備考
成瀬 一郎	名古屋大学	大学院工学研究科 教授	委員長
谷口 泉	東京工業大学	大学院理工学研究科 准教授	
伏見 千尋	東京農工大学	工学研究院 准教授	
大川原 正明	日本粉体工業技術協会	粒子加工技術分科会 幹事	
伊藤 一芳	住友重機械工業	エネルギープラント技術部 副部長	
片桐 務	日揮	技術開発センター チーフエンジニア	
木戸口 晃	三井造船	技術開発本部 技術理事	
村岡 利紀	川崎重工業	環境システム研究部 課長	
佐川 篤男	エネルギー経済研究所	石炭・ガスサブユニット 研究理事	
本郷 尚	三井物産戦略研究所	シニア研究フェロー	

## 4. 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて

### 1. 成果の実用化に向けた取組み及び見通しについて

表 4-1-1 に事業開始時に想定していた、中間評価後の PDU 装置によるプロセス原理実証以降のスケジュールを示す。基盤研究プロジェクト終了後、実機を想定した各機器の開発を行い、その後数万 kW クラスの実証炉でボイラとしての性能評価を行い、各機器開発に 2 年程度、実証試験炉に 3 年程度の開発期間を想定しており、約 5 年後の実用化を想定していた。

今後の課題としては、国内 CCS の制度化、CO<sub>2</sub> パイプラインなどのインフラ整備などの実用化環境の整うまでに、いかに製品化を継続させるかにあるが、今回の調査で当面の石炭焚き CLC の市場が無いこと、NEDO で行われた他の調査事業から北米での石炭火力から回収した CO<sub>2</sub> による EOR 実現の可能性が政策的に困難になってきたことから、国内 CCS の制度化時期、海外での EOR 市場を見極めながら原理実証実施時期を決める必要がある。

現状、国内の CCS 制度化は未定であることから、EOR と石炭焚きボイラが両立する地域、市場の調査を進めることで、海外 EOR 市場への展開の可能性を検討する。

表 4-1-1 実用化・事業化のスケジュール

西暦	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX
原理実証 (PDU)	▲市場動向を踏まえて実施												
機器のコストダウン			コストダウン目途▲										
実証炉建設 実証試験					▲90億円			▲20億円					
事業化検討				事業化 FS						▲実用化判断			
顧客への 拡販活動				▲続行判断						▲初号機 (建設期間4年)			
初号機受注													
収益発生												収益発生▲	

## 添付資料

### プロジェクト基本計画

P 1 6 0 0 2

P 1 0 0 1 6

P 9 2 0 0 3

#### 「次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

#### 1. 研究開発の目的・目標・内容

##### (1) 研究開発の目的

###### ①政策的な重要性

平成27年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、平成28年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、CO<sub>2</sub>削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。

###### ②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率の世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電（IGCC）が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅なCO<sub>2</sub>削減を実現しうるCO<sub>2</sub>の回収・貯留・利用（CCUS）の技術の開発・推進も重要なテーマであり、国内でのCCS（二酸化炭素の回収・貯留）大規模実証事業や貯留ポテンシャル調査等が進められている。

###### ③世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、CO<sub>2</sub>排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで巨額の研究開発費を投じ、基礎研究から技術開発、実証研究等の様々な取組が行われており、日本と同様にIGCCや先進的超々臨界圧火力発電（A-USC）、高効率ガスタービン等の開発が進められている。また、大幅なCO<sub>2</sub>削減を達成するため、C

O<sub>2</sub>分離・回収を行ったIGCCやCCS-EOR（石油増進回収）の実証といったプロジェクトも進められている。

#### ④本事業のねらい

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業をはじめ、石炭火力、LNG火力の双方につき、新たな火力発電技術の開発等を実施する。また、火力発電から発生するCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、火力発電所から発生する大量のCO<sub>2</sub>を効率的に分離・回収・有効利用するための技術開発等を実施する。これまでの火力発電に係る技術開発は、個別の技術ごとに進められていたが、石炭火力、LNG火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するためには、個別技術開発を統合し、包括的かつ一体的に推進することが有効である。そこで、次世代火力発電技術に係る事業を本事業において統合し、関連事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。

## （2）研究開発の目標

### ①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅向上やCO<sub>2</sub>分離・回収後においても高効率を維持すること及びCO<sub>2</sub>有効利用等、CO<sub>2</sub>排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の確立を目指す。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

### ②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）商用機として送電端効率63%（高位発熱量基準）を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%（高位発熱量基準）を達成する。また、CCUSの実現に向け、CO<sub>2</sub>分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>という大幅な低減を達成する。また、CO<sub>2</sub>有効利用の一例として、天然ガスパイプラインの許容圧力変動による、負荷変動対応能力は、6,000万kWと推定される。そのうち、1割をCO<sub>2</sub>由来のメタンで代替すると、1,300億円を獲得する。

世界の火力発電市場は、今後、2040年にかけて石炭火力では約520兆円、LNG火力では約270兆円で、累計790兆円の規模が見込まれる。年平均では約30兆円であり、このうちのシェア1割、約3兆円の次世代火力技術の市場を獲得する。

### ③アウトカム目標達成に向けての取組

市場ニーズを見極めつつ、各技術開発プロセスの進捗管理を行い、開発優先度の調整、開発スケジュールの最適化、技術開発の相互連携を図り、中長期の火力発電技術開発の全体プロセスの最適化・効率化を図る。そして、技術開発のプロセスにおけるコスト低減の取組と信頼性の確保により、商用機導入を早期に拡大する。



### (3) 研究開発の内容

火力発電の効率化及びCO<sub>2</sub>分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（NEDO負担1/3、2/3、1/2）により実施する。

なお、個別研究開発項目の研究開発内容の詳細については、別紙にて記載する。

#### 研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [助成事業]

- 1) 酸素吹IGCC実証（1/3助成）
- 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証（2/3助成）
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

#### 研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]

- 1) 1700℃級ガスタービン（2/3助成）
- 2) 高湿分空気利用ガスタービン（AHAT）（2/3助成）

#### 研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発 [助成事業（2/3助成）]

#### 研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]

- 1) 次世代ガス化システム技術開発
- 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
- 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
- 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
- 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 6) 石炭火力の競争力強化技術開発
- 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

#### 研究開発項目⑤ CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発 [委託事業]

#### 研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業 [委託事業]

#### 研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 [助成事業（1/2助成）]

### 3. 研究開発の実施方式

#### (1) 研究開発の実施体制

本事業は、NEDOが単独又は複数の企業、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、原則公募によって実施者を選定し実施する。ただし、移管事業に関してはこの限りではない。

NEDOは、プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー（以下「PM」という。）を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー、以下「PL」という。）を指名する。

なお、研究開発項目ごとのPM、PLは以下のとおり。また、研究開発項目④2）、3）、4）は、推進にあたって、燃料電池に関する情報共有と開発戦略の整合性を図るため、プロジェクトチーム（PT）にNEDO新エネルギー部を加える。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM：NEDO 高橋洋一、PL：大崎クールジェン株式会社 木田淳志

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業

1) 1700℃級ガスタービン

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱重工業株式会社 石坂浩一

2) 高温分空気利用ガスタービン（AHAT）

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：一般社団法人高効率発電システム研究所 福田雅文

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発

1) 次世代ガス化システム技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

2) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ要素研究

PM：NEDO 西岡映二、PL：電源開発株式会社 小俣浩次

3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

PM：NEDO 高橋洋一、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 北川雄一郎

4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM：NEDO 高橋洋一、PL：電源開発株式会社 小俣浩次

5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人石炭エネルギーセンター 原田道昭

6) 石炭火力の競争力強化技術開発

PM：NEDO 中元崇、PL：NEDOにおいて選定

7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

PM：NEDO 村上武、PL：NEDOにおいて選定

研究開発項目⑤ CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：NEDOにおいて選定

## (2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

### ①進捗把握・管理

PMは、PLや研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

### ②技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

#### 4. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、平成28年度から平成33年度までの6年間とする。なお、研究開発項目①及び②は平成24年度から平成27年度、研究開発項目③は平成20年度から平成27年度まで経済産業省により実施したが、平成28年度からNEDOが実施している。

#### 5. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、事業の意義及び目標達成度や成果に係る技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。研究開発項目①～⑤、⑦については、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を行う。

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を平成29年度及び平成31年度、事後評価を平成34年度に実施する。研究開発項目②は、中間評価を平成30年度、事後評価を平成33年度に実施する。研究開発項目④1)は、中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成30年度に実施し、2)は事後評価を平成30年度に実施し、3)、4)及び6)は、事後評価を平成32年度に実施し、5)は中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成32年度に実施し、7)は前倒し事後評価を平成31年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成31年度に実施する。研究開発項目⑥は、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、事後評価を平成33年度に実施する。

#### 6. その他の重要事項

##### (1) 委託事業成果の取扱い

###### ①成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

###### ②標準化等との連携

得られた事業成果については、標準化等との連携を図り、我が国の優れた次世代火力発電等技術を普及させるために、標準化への提案等を積極的に行う。

###### ③知的財産権の帰属

事業成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

なお、海外動向や国際展開を見据えた知財管理を行うとともに、海外における知財の確保を積極的に推進する。

知財マネジメント適用プロジェクトは、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発の3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発、4) 燃料電池石炭ガス適用性研究、6) 石炭火力の競争力強化技術開発及び7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発である。

##### (2) 基本計画の変更

PMは、当該事業の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目

標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、基本計画を見直す等の対応を行う。

(3) 根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ハ、第三号及び第六号イに基づき実施する。

(4) その他

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

7. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成28年1月、基本計画制定。

(2) 平成28年4月、3. 研究開発の実施方式 (1) 研究開発実施体制 研究開発項目③、④ 1) と 2)、⑤のPMの変更。

5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5) 中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒し。別紙 研究開発項目④ 5) の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒し。研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒し。

(3) 平成28年9月、5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5) 中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

別紙 研究開発項目④ 5) の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

(4) 平成29年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の (2) 研究開発の目標並びに (3) 研究開発の内容に、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発 6) 石炭火力の競争力強化技術開発、7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発及び研究開発項目⑦次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発の内容を追加した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

5. 評価に関する事項の①及び⑥の実施時期を修正し、並びに④ 1)、5) の前倒しの区分を明確化し、④ 6)、7)、⑦を追加した。

6. その他の重要事項の (1) 委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に知財マネジメント適用プロジェクト名を追記した。

(5) 平成29年5月

3. 研究開発の実施体制 (1) 研究開発実施体制 研究開発項目②の 1) と 2) 及び④の 6) のPMの変更。

(6) 平成29年6月

研究開発項目④の 1) 3. 達成目標に中間目標を設定し、平成29年度に中間評価を実施する。

## 研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

## 1. 研究開発の必要性

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が約110年と長く、かつ世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多く、地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO<sub>2</sub>排出量の抑制が求められている。

したがって、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留（CCS）の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、平成26年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。

以上のとおり、石炭火力発電におけるCO<sub>2</sub>排出量の課題を克服していくことが一層重要となっており、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減を目指す本事業の必要性は大きい。

## 2. 具体的研究内容

本事業では、石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を大幅に削減させるべく、究極の高効率石炭火力発電技術である石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）とCO<sub>2</sub>分離・回収を組合せた実証試験を行い、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。

## 1) 酸素吹IGCC実証

IGFCの基幹技術である酸素吹IGCCの実証試験設備により、性能（発電効率、環境性能）、運用性（起動停止時間、負荷変化率等）、経済性及び信頼性に係る実証を行う。

2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

酸素吹IGCC実証試験設備とCO<sub>2</sub>分離・回収設備を組み合わせ、CO<sub>2</sub>分離・回収型石炭火力システムとしての性能、運用性、信頼性及び経済性に係る実証を行う。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCシステムと燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性を確認し、最適なCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCシステムの実証を行う。

## 2. 達成目標

### [実施期間]

酸素吹 I G C C 実証：平成 24 年度～30 年度（うち平成 24 年度～27 年度は経済産業省において実施）

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹 I G C C 実証：平成 28～32 年度

CO<sub>2</sub>分離・回収型 I G F C 実証：平成 30 年度～33 年度

### [中間目標（平成 29 年度）]

#### 1) 酸素吹 I G C C 実証

(a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

商用機の 1/2～1/3 倍の規模で、1300℃級ガスタービンを採用する実証試験設備により送電端効率（高位発熱量基準）40.5%を達成すれば、1500℃級ガスタービンを採用する商用機（石炭処理量 2,000～3,000 t/d）で送電端効率約 46%を達成する見通しが得られる。

(b) 環境性能：「SO<sub>x</sub><8ppm」、 「NO<sub>x</sub><5ppm」、 「ばいじん<3mg/Nm<sup>3</sup>」を達成する（O<sub>2</sub>=16%）。

我が国における最新の微粉炭火力は世界的に見ても最高水準の環境諸元を達成しており、酸素吹 I G C C を導入する場合には同等の環境諸元を達成することが求められる。

#### 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹 I G C C 実証

CO<sub>2</sub>分離・回収設備の詳細設計を完了する。

### [最終目標（平成 30 年度）]

#### 1) 酸素吹 I G C C 実証

(a) プラント制御性運用性：事業用火力発電設備として必要な運転特性及び制御性を確認する。

我が国における微粉炭火力はベースからミドル電源として運用されており、酸素吹 I G C C 商用機を導入する場合にも同等の制御性、運用性を確保する。

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率 70%以上の見通しを得る。

我が国における微粉炭火力は年間利用率 70%以上で運用されており、酸素吹 I G C C 商用機を導入する場合にも同等の設備信頼性を確保する。

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

酸素吹 I G C C 商用機には、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から、微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭までの適用炭種の広さが求められる。

(d) 経済性：商用機において発電原価が微粉炭火力と同等以下となる見通しを得る。

国内外において酸素吹 I G C C 商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。

[最終目標（平成33年度）]

2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

(a) 基本性能（発電効率）：新設商用機において、CO<sub>2</sub>を90%回収しつつ、発電効率40%（送電端効率、高位発熱量基準）程度の見通しを得る。

CO<sub>2</sub>回収時のエネルギーロスによる発電効率の低下という課題に対し、CO<sub>2</sub>を90%回収（全量ガス処理）しながらも、現状の微粉炭火力と同等レベルの発電効率40%程度の見通しを得る。

(b) 基本性能（回収効率・純度）：CO<sub>2</sub>分離・回収装置における「CO<sub>2</sub>回収効率>90%」、「回収CO<sub>2</sub>純度>99%」を達成する。

革新的低炭素型石炭火力の実現のためにCO<sub>2</sub>分離・回収装置単体における回収効率は90%以上を目標とする。CO<sub>2</sub>地中貯留から求められる可能性があるCO<sub>2</sub>純度について、湿式物理吸収法を使って定常運転時、体積百分率99%以上を目標とする。

(c) プラント運用性・信頼性：CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性を検証する。

商用機において、CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCシステムを構築するには、プラントの起動停止や、発電所特有の負荷変動等に対し、IGCC本体に追従したCO<sub>2</sub>分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。

(d) 経済性：商用機におけるCO<sub>2</sub>分離・回収の費用原単位を評価する。

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCを普及させるに当たっては、費用原単位評価が必要であり、CO<sub>2</sub>分離・回収装置建設時期や発電所敷地等の制約に応じた評価を実施する。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

500MW級の商業機に適用した場合に、CO<sub>2</sub>回収率90%の条件で、47%程度の発電効率（送電端効率、高位発熱量基準）達成の見通しを得る。

## 研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

### [実施期間]

1700℃級ガスタービン：平成24年度～32年度（うち平成24年度～27年度は経済産業省において実施）

高温分空気利用ガスタービン（AHAT）：平成24年度～29年度（うち平成24年度～27年度は経済産業省において実施）

### 1. 研究開発の必要性

平成20年3月に閣議決定された「Cool Earth —エネルギー革新技术計画」において、天然ガスタービンの高効率化が環境負荷低減の実現のための重要な技術開発であると位置づけられている。また、平成23年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO<sub>2</sub>排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。

また、高温分空気利用ガスタービン（AHAT）は、ガスタービンサイクルを改良したシステムであり、比較的早期に実用化が期待できる高効率発電システムで、電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機（10万kW程度）の高効率化（45%（高位発熱量基準）→51%（高位発熱量基準）以上）を目的とした日本オリジナルの技術であり、世界初となるAHATの実用化は急務である。

これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。

さらに、石炭ガス化複合発電（IGCC）や石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）における更なる効率向上には、将来的に1700℃級ガスタービンやAHATシステムの導入が不可欠である。

### 2. 具体的研究内容

#### 1) 1700℃級ガスタービン

1700℃級ガスタービンにおける性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発を実施する。例として、製造技術・検査技術の開発、超高温高負荷タービンの信頼性向上、過酷環境下でのデータ取得のための特殊計測技術開発等を実施する。また、1700℃級での実証運転時における特殊計測の実施、試運転データの評価・分析を行い、商用化の検討を実施する。

#### 2) AHAT

AHATシステムについては、ユーザーニーズとしてミドル運用以上（年間50回以上の起動・停止）における長期信頼性が求められていることから、既存40MW級総合試験装置の改造による実証機製作、実証試験による長期信頼性評価を実施する。また、実証機試験結果を用いて



商用機化の検討を実施する。

### 3. 達成目標

#### 1) 1700℃級ガスタービン

[中間目標 (平成30年度)]

1700℃級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発により、商用機に適用できる見通しを得た上で、設計・製作の仕様を決定する。

[最終目標 (平成32年度)]

1700℃級ガスタービンの実証試験データの取得、及び評価を実施し、送電端効率57%達成(高位発熱量基準)の見通しを得る。

#### 2) AHAT

[最終目標 (平成29年度)]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

- ・ミドル運用(年間50回以上の起動・停止)の2倍である年間100回以上の起動・停止での実証試験を実施し、等価運転時間 10,000時間以上を確保する。

(等価運転時間とは、起動・停止等の機械装置の寿命を考慮し、同等の連続運転時間とみなせる運転時間)

## 研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

[実施期間]平成20年度～28年度（うち平成20年度～27年度は経済産業省において実施）

### 1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により700℃以上の蒸気温度を達成できる先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発（A-USC）の実現可能性が見えてきた。

本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高い発電効率を実現できるA-USCの開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

#### (2) ボイラ要素技術

700℃級候補材料について、耐久試験により、10万時間の長期信頼性を確保する

#### (3) タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

#### (4) 高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

#### (5) 実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成28年度）]

蒸気温度を700℃へ高めるための要素技術開発を実施し、2020年以降において商用プラントでの送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成の技術的見通しを得る。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 1) 次世代ガス化システム技術開発

[実施期間]平成27年度～30年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。

#### 2. 具体的研究内容

次世代高効率石炭ガス化発電システムについて、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発を実施する。

酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっている。

そこで、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。

これまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型IGCCガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだIGCCシステムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があると分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

##### (1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

##### (2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

##### (3) IGCCシステム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだIGCCの最適化システム試設計及び経済性検討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

[最終目標（平成30年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

#### 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究

[実施期間]平成27年度～29年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は石炭をガス化させ、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせるトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率発電技術として、実現が望まれている。

クールアースエネルギー革新技術開発ロードマップにおいても2025年頃の高効率石炭火力発電技術として55%の送電端効率を目指すIGFCが位置づけられている。

IGFCにおいては、燃料である石炭ガス化ガスに多種類の微量成分が含まれており、この微量成分の一部が燃料電池の劣化を招き、長期信頼性を損なう可能性があることが懸念されている。

そのため、IGFCの実現に向けては、石炭ガス化ガス中の微量成分の燃料電池への影響を把握するとともに、燃料電池の被毒成分に対するガス精製技術を確立することが必要である。

#### 2. 具体的研究内容

燃料電池用ガス精製技術と燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を確認する。また、特定された被毒成分に対して、成分を許容レベルまで除去するガス精製技術を検討し、模擬ガスによる性能評価を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成29年度）]

- ・模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を評価する。
- ・模擬ガス試験により燃料電池用ガス精製技術性能を評価し、ガス精製技術を確立する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間]平成28年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

平成27年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）については、小型GTFC（1,000kW級）の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC（10万kW級）の実証事業を経て、発電効率63%程度、CO<sub>2</sub>排出原単位：280g-CO<sub>2</sub>/kWh程度を達成し、2025年頃に技術を確立することが示されている。また、量産後は従来機並の発電単価を実現することとされている。

さらには、同ロードマップにおいて、IGFCの技術を確立するためには、GTFCの開発成果を活用していくことが示されており、次世代火力発電技術の早期確立に向けて、本事業の必要性は高い。

#### 2. 具体的研究内容

小型GTFC（1,000kW級）の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発し、2020年度から開始する中小型GTFCの技術実証に活用する。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

- ・ 高圧SOFCモジュールを開発する。
- ・ ガスタービンとの関係技術を確立する（燃料器、燃料/空気差圧制御系、排燃料・排空気・空気抽気）。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

[実施期間]平成28年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は、石炭をガス化し、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種類の発電形態を組み合わせるトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率石炭火力発電技術として、その実現が望まれている。

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、IGFCの開発方針として、2025年度頃技術確立、発電効率55%及び量産後従来機並の発電単価の実現を目指すことが示された。

IGFCを構成する高温型燃料電池については、現在、天然ガスを燃料とした燃料電池の開発が進んでいるが、石炭ガスを燃料とした場合の適用性についての検証及びシステムの検討を行う必要がある。

燃料を石炭ガスとした場合に、燃料電池の劣化を引き起こすガス中被毒成分濃度の確認と被毒成分の除去技術についての研究は、すでに着手されている。

IGFCを構成する燃料電池モジュールについて、石炭ガスを燃料とした場合の運用性や性能を把握する必要があることから、実燃料電池モジュールを用いた石炭ガス燃料の適用性試験を行い、その結果を踏まえて、IGFCの技術確立に必要な実証機に係るシステム検討を行う必要がある。

#### 2. 具体的研究内容

##### (1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、CO<sub>2</sub>分離・回収を行わないIGFCとCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCについて、ケーススタディを行い、送電端効率とコストの試算を行う。IGFCの実用化に向けた課題、商用化システムの検討結果及び(2)の成果を踏まえて、IGFC実証システムについて検討を行い、実証機の容量を決定のうえ、試設計を行う。

##### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガス燃料の適用性試験に供する高温型燃料電池モジュールについては、天然ガス燃料で既に実用化されている燃料電池モジュールとする。本試験に係る設計、製作、据付け等を行い、まず、天然ガスを燃料とした試運転を行う。次いで、天然ガスをH<sub>2</sub>リッチガスに改質した燃料を用い、燃料電池モジュールの運用性、性能等を把握するとともに、天然ガス燃料の場合との比較から課題を抽出する。さらに、石炭ガス化の実ガスを燃料として、燃料電池の被毒成分をガス精製によりクリーンアップしたうえで燃料電池モジュールに供給し、その運用性、性能等を把握するとともに、石炭ガス適用時の課題を抽出する。さらに、これまで実績のない石炭ガスによる運転を行うことから、燃料電池セル及びモジュール内部構造への影響を把握するため、装置の解体調査を行い、石炭ガス適用時の課題を抽出する。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

#### (1) I G F Cシステムの検討

I G F C実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

#### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの運用性と性能を把握し、課題を抽出する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

[実施期間]平成27年度～32年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとされている。

現在、石炭の燃焼排ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の開発が進められているが、CO<sub>2</sub>分離・回収工程において多くのエネルギー損失が発生することが課題となっている。これを解決するため、エネルギー損失のない高効率でありながら、CO<sub>2</sub>の分離・回収が可能な化学燃焼石炭利用技術について、実用化に向けた開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

従来、石炭の燃焼時の排気ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収に当たっては、この過程における多くのエネルギー損失が課題となっているが、CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術においては、酸素キャリアとなる金属を媒体とする石炭の燃焼反応と金属の酸化反応を二つの反応器で別個に発生させることにより、CO<sub>2</sub>の分離・回収装置及び空気分離装置が不要となり、エネルギー損失のないCO<sub>2</sub>の分離・回収が可能である。

さらに、CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電は、流動床燃焼技術を用いることから多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）が活用でき、IGCCやA-USCが大規模プラントであるのに対して、中小規模プラント（10～50万kW）におけるCO<sub>2</sub>の分離・回収に適しているといった特長がある。

しかしながら、実用化に向けては、酸素キャリアのコスト抑制及び反応塔の小型化に向けた酸素キャリアの反応性の向上という課題がある。

そこで、有望な酸素キャリアの評価と選定並びにプラント構築を目的として、以下の項目を実施する。

##### (1) 酸素キャリアの評価と選定

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等について要素試験にて評価を行い、コストを踏まえて選定する。

##### (2) プラント試設計及び経済性検討

酸素キャリアの反応性からプロセス解析を行うとともに酸素キャリアの流動や循環を検討し、プラント試設計を行う。この結果をもとに経済性検討を行う。

##### (3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等並びに流動や循環を含むプラントの成立性を検証するため、ベンチ試験装置を製作し、試験・評価を行う。

#### 3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるキャリアを選定する。



[最終目標（平成32年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるCO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 6) 石炭火力の競争力強化技術開発

[実施期間]平成29年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

日本の石炭火力発電所は、長年の技術開発の成果により、高い発電効率や排出ガス対策で、世界的に最高レベルの技術を有している。しかしながら、日本の技術を採用したプラント価格は、他の国のプラントに比べて高価であるため、国際市場に於いて必ずしも高い競争力を有しておらず、海外での導入事例も限られているのが現状である。日本の石炭火力発電所が受注に至った地域では、厳しい技術要件が定められており、日本の高効率発電技術が入札時に評価されている一方、他国性の石炭火力発電所を導入した諸外国のユーザーの多くが、稼働率の低下をはじめとしたオペレーション上の様々な課題を抱えている。

そこで、日本の高効率発電技術と共にユーザーニーズに的確にマッチングした日本の高いO&M品質を長期保守契約（L T S A）で提供するビジネスモデルを構築することで、結果として日本の石炭火力発電所の競争力が向上すると考えられることから、L T S Aを実現するために必要な技術開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

L T S Aを実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を特定、開発し、発電所における技術実証に活用する。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

L T S Aを実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を確立する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

[実施期間]平成29年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源である。

しかし、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多く、将来的にCO<sub>2</sub>分離回収有効利用：Carbon Capture and Utilization (CCU) が検討されている。現時点ではCO<sub>2</sub>の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造等により利益を創出する可能性がある。

2030年度以降を見据え、将来の有望なCCU技術の確立を目指して、我が国の優れたCCT (Clean Coal Technology) 等に、更なる産業競争力を賦与する事が可能なCO<sub>2</sub>有効利用技術=CCU (Carbon Capture and Utilization) 技術について、実用化に向けた開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

短～中期において大規模且つ高濃度のCO<sub>2</sub> (99%以上)を、エネルギーとして工業的に活用可能な国産の技術開発を実施する。一例として、メタネーション技術については石炭火力発電所等から回収した高濃度CO<sub>2</sub>の適用性を評価する。

#### 3. 達成目標

[最終目標 (平成31年度) ]

事業終了時に本事業として実施するCO<sub>2</sub>有効利用技術の適用性を確認する。一例としては、将来的に天然ガス代替では0.9円～1.4円/MJ (LHV)を見通す経済性を評価する。

## 研究開発項目⑤ 「CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発」

[実施期間]平成27年度～31年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

### 1. 研究開発の必要性

石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後CO<sub>2</sub>排出量抑制のためには、石炭火力発電の高効率化に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。

しかしながら、CCSは多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロス可能な限り低減する必要がある。

### 2. 具体的研究内容

本システムは、排ガスCO<sub>2</sub>を一部系統内にリサイクルすることにより、CO<sub>2</sub>回収型石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上することのできる、世界でも例のない次世代IGCCシステムである。本システムは高効率に加え、CO<sub>2</sub>の100%回収が可能であるため、CO<sub>2</sub>を排出しないゼロエミッション石炭火力の実現が期待できる。

本システムの実現に向けては、平成20年度から平成26年度まで実施した「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量3t/dの小型ガス化炉を活用し、送電端効率42%（高位発熱量基準）以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。

本事業では、この基盤技術開発の成果を活用し、実機により近い大型のサイズのガス化炉において検証を行い、システム実現に向け、基盤技術をより確実な技術として発展させるとともに、他のCO<sub>2</sub>分離・回収技術と比較した本システムの経済的優位性を確認することを狙いとする。

具体的には、石炭投入量50t/d規模のガス化炉を用いた、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術の実証や乾式ガス精製システムの実証といった高効率発電を可能とする各要素技術を開発する。また、セミクローズドGTについては、燃焼試験とCFD解析を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。

### 3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術確立の目途を得る。

[最終目標（平成31年度）]

送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術確立する。

## 研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

[実施期間]平成28年度～33年度

### 1. 研究開発の必要性

長期エネルギー需給見通しにおける基本方針は、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現することである。2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を一層削減するには、次世代技術の普及による更なる高効率化、そして、CO<sub>2</sub>の回収、貯留・利用の推進が重要である。また、日本の優れた火力発電技術を海外に展開していくことにより、地球規模での温暖化問題の解決を推進していく必要がある。

### 2. 具体的研究内容

最新の技術動向や社会情勢、社会ニーズに合わせ、国内外の石炭利用技術分野における最新技術の普及可能性及び技術開発動向等の調査や新規技術開発シーズ発掘のための、CCT関連やCCS関連の調査を実施する。また、IEA/CCC（Clean Coal Centre）、IEA/FBC（Fluidized Bed Combustion）、GCCSI（Global CCS Institute）等に参画し、技術情報交換・各種技術情報収集を行うとともに、国内関係者への情報提供を行う。また、今後の国際市場における日本の石炭火力発電所受注に向けて、高い競争力を発揮できる戦略及びビジネスモデルを構築する。さらに、低コスト高効率石炭火力発電システム実現に向けた検討を進める。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成33年度）]

石炭利用技術分野において、CO<sub>2</sub>排出量低減、環境負荷低減及び国際競争力の強化を図るために必要となる基礎的情報や、最新情報の収集・解析及び将来における次世代火力の技術開発や導入可能性について、関連技術の適応性、課題等の調査を行う。また、海外との協力を通して、我が国の優れたCCTの導入に向けた取組を行う。

## 研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」

[実施期間]平成29年度～32年度

### 1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン適用材料開発については、長期高温環境下での使用を想定したクリープ試験を実施する等、更なる信頼性の向上が必要である。本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高温材料信頼性向上及び保守技術開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高温材料信頼性向上試験

信頼性向上のため、クリープ疲労試験、異種材料溶接部健全性評価、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等を実施する。

#### (2) 保守技術開発

タービンロータ超音波探傷試験（UT検査）等の精度向上、高効率化、適用箇所の拡大を目的とした非破壊検査技術開発を実施する。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成32年度）]

事業終了時において送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成可能な商用プラントへ適用する長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術を確立する。

### 4. その他重要事項

本事業については、他の事業との連携を図りながら、ユーザー及び外部有識者等の意見を適切に反映し、着実な運営を図る。情報発信及び知財化についても、技術の流出防止と適宜知財化を適切に助成先へ指導する。

研究開発スケジュール

◇中間評価、 事後評価

年度(平成)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3助成) 3) CO2分離・回収型IGFC実証(未定)					※1					◇		◇			
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(2/3助成) 2) 高温空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1										
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1										
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発															
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)										◇	◇				
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)															
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)															
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)															
5) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)										◇					
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)															
7) CO2有効利用技術開発(委託)															
研究開発項目⑤ CO2回収型クローズドIGCC技術開発(委託)										◇		◇			
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)															
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)															

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトでH28年度からNEDOへ移管  
 ※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

## 特許論文リスト

### 【特許】

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	国立大学法人 東京大学、三 菱日立パワー システムズ株 式会社	特願 2016- 151114	国内	2016/08/01	出願	高活性 酸素リ キャリ ア材料 の製造 方法	大友順一郎 竹田誠 武田 豊
2	中央大学、三 菱日立パワー システムズ		国内		明細書 作成中	燃料反 応塔及 びこれ を備え たケミ カルル ーピ ング燃 焼シ テム	幡野博之 武田 豊

### 【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	査読	発表年月
1	T. Saito, K. Nakayama, S.Y. Lin and T. Takarada	JCOAL 群馬大学	Kinetics of Char and Catalyzed Char Gasification at High Steam Partial Pressures with or without H <sub>2</sub> for Chemical-Looping Coal Combustion	J. of Chem. Eng. Japan	有	2016.12
2	K. Miya, J. Otomo	東京大学	Improvements in reaction kinetics and stability of ilmenite as oxygen carrier by surface modification with calcium titanate in redox cycles of chemical-looping systems	Chemical Engineering Journal	有	2017.6



【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	幡野、藤野	中央大学	固気系流動層内の浮上性粗粒子の混合と分級	第 22 回流動化・粒子プロセスシンポジウム	2016/12/09
2	藤野、金井塚、幡野	中央大学	化学ループ燃焼用格子酸素キャリアの酸化還元反応特性	第 22 回流動化・粒子プロセスシンポジウム	2016/12/09
3	Shiyong Lin, Tomonao Saito, Keiichiro Hashimoto	JCOAL	Study on the oxygen carrier recycle reactivity for Chemical Looping Coal Combustion (CLC)	4 <sup>th</sup> International Conference on Chemical Looping, Nanjing, China	2016/9/26-28,
4	Tomonao SAITO, Shi-Ying LIN	JCOAL	Study on the oxygen carrier recycle reactivity for Chemical Looping Coal Combustion (CLC)	4 <sup>th</sup> International Conference on Chemical Looping, Nanjing, China	2016/9/26-28,
5	Junichiro Otomo, Yuya Saito, Kazuyuki Miya, Noriaki Kikuchi, Fumihiko Kosaka	東京大学	Reaction kinetics and morphological variation of Fe-based oxygen carriers in redox cycles of chemical looping systems	4 <sup>th</sup> International Conference on Chemical Looping, Nanjing, China	2016/9/26-28,
6	Shiyong Lin, Tomonao Saito, Keiichiro Hashimoto	JCOAL	Development of the Three-Tower Chemical Looping Coal Combustion Technology	13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, Lausanne, Switzerland	2016/11/14-18
7	Tomonao Saito and Shi-Ying Lin	JCOAL	Chemical Looping Coal Combustion Technology Development in Japan	The 1st Australia-Japan Symposium on Carbon Resource Utilisation, Australia	2016/11/27-30
8	林石英	JCOAL	CO <sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術 (ケミカルループ技術)	CO <sub>2</sub> 等ガス分離回収の技術開発と応用セミナー、東京	2016/06/22
9	林 石英、齋藤知直	JCOAL	三塔循環流動層ケミカルループ石炭利用技術の開発	第 25 回日本エネルギー学会、東京	2016/8/9-10
10	齋藤知直、林石英	JCOAL	酸素キャリアの繰り返し反応における生成ガスの影響	化学工学会第 48 回秋季大会、徳島	2016/09/6-8
11	齋藤知直、林石英	JCOAL	酸素キャリアの還元速度におよぼす影響因子の検討	化学工学会第 48 回秋季大会、徳島	2016/09/6-8
12	齋藤佑耶・幡野博之・大友順一郎	東京大学中央大学	ケミカルループ法における酸素キャリア粒子の構造変化と酸化還元反応速度の相関	化学工学会第 48 回秋季大会、徳島	2016/09/6-8

13	味谷和之・大友順一郎	東京大学	水素生成・貯蔵を指向したケミカルループ法におけるイルメナイト系酸素キャリアの開発	化学工学会第 48 回秋季大会、徳島	2016/09/6-8
14	齊藤知直、林石英	JCOAL	生成ガスによるチャーガス化反応速度への阻害作用の解明	第 53 回石炭科学会議、福山	2016/10/26-28
15	味谷和之・大友順一郎	東京大学	ケミカルループ法におけるイルメナイト系酸素キャリアの高活性化及び構造評価	化学工学会第 82 年会、東京	2017/03/6-8
16	斎藤 佑耶・高坂文彦・幡野博之・大友順一郎	東京大学中央大学	ケミカルループ法における鉄/アルミナ酸素キャリア粒子の劣化挙動	化学工学会第 82 年会、東京	2017/03/6-8
17	畑中健志、余田幸陽、松村明光	産総研	ケミカルループ燃焼における酸素キャリア粒子の磨耗特性評価	第 22 回流動化・粒子プロセスシンポジウム	2016/12/06

(b)新聞・雑誌等への掲載

なし

(c)その他

なし

「次世代火力発電等技術開発／  
CO2回収型クローズドIGCC技術開発・  
次世代火力発電基盤技術開発  
(1)次世代ガス化システム技術開発」

事業原簿

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境部
-----	--------------------------------------

## —目次—

「次世代火力発電等技術開発」事業一覧.....	- 1 -
概 要.....	- 2 -
プロジェクト用語集.....	- 7 -
1. 事業の位置付け・必要性について.....	- 9 -
1. 事業の背景・目的・位置づけ.....	- 9 -
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	- 12 -
2.1 NEDO が関与することの意義.....	- 12 -
2.2 実施の効果.....	- 12 -
2. 研究開発マネジメントについて.....	- 13 -
1. 事業の目標.....	- 13 -
2. 事業の計画内容.....	- 14 -
2.1 研究開発の内容.....	- 14 -
2.2 研究開発の実施体制.....	- 15 -
2.3 研究開発の運営管理.....	- 16 -
2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性.....	- 16 -
3. 情勢変化への対応.....	- 18 -
4. 評価に関する事項.....	- 19 -
3-1. クローズド IGCC 研究開発成果について.....	- 20 -
1. 事業全体の成果.....	- 20 -
2. 研究開発項目毎の成果.....	- 22 -
2.1 O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立.....	- 22 -
2.2 炭種適合性評価ツールの構築.....	- 26 -
2.3 セミクローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築.....	- 30 -
2.4 GT 燃焼器基本構造の開発.....	- 33 -
2.5 セミクローズド GT システムの概念設計.....	- 34 -
2.6 CO <sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討.....	- 35 -
3-2. 次世代ガス化システム研究開発成果について.....	- 38 -
1. 事業全体の成果.....	- 38 -
2. 研究開発項目毎の成果.....	- 39 -
2.1 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証.....	- 39 -
2.2 エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価.....	- 45 -
2.3 水蒸気添加 IGCC のシステム検討.....	- 46 -
4-1. クローズド IGCC の成果の実用化に向けた取組及び見通しについて.....	- 48 -
4-2. 次世代ガス化システムの成果の実用化に向けた取組及び見通しについて.....	- 49 -

(添付資料)

・プロジェクト基本計画

# 「次世代火力発電等技術開発」事業一覧

年度(平成)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3助成) 3) CO2分離・回収型IGFC実証(未定)					※1					◇		◇			
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(2/3助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1										
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1										
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発															
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)										◇		◇			
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)															
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)															
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)															
5) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)										◇					
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)															
7) CO2有効利用技術開発(委託)															
研究開発項目⑤ CO2回収型クローズドIGCC技術開発(委託)										◇		◇			
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)															
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)															

本事業原簿記載

◇ 中間評価  
◆ 事後評価

## 概要

		最終更新日	平成 29 年 10 月 2 日
プロジェクト名	次世代火力発電等技術開発／CO2回収型クローズドIGCC技術開発・次世代火力発電基盤技術開発(1)次世代ガス化システム技術開発	プロジェクト番号	P16002 P10016
担当推進部/ PMまたは担当者	CO2回収型クローズドIGCC 環境部 PM:足立 啓(平成29年10月現在) 細田 兼次(平成27年8月～平成28年3月) 次世代ガス化システム 環境部 PM:中田 博之(平成29年10月現在) 佐藤 順(平成27年12月～平成28年3月)		
0. 事業の概要	<p>エネルギー基本計画(平成26年4月閣議決定)においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電(IGCC)等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。</p> <p>クローズド IGCC ではCO2回収を行っても、高い発電効率を達成できる、革新的な発電システムに関する技術開発を行う。また、次世代ガス化システムでは現在開発中のIGCCを効率でしのぐ、噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率向上の技術開発を行う。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後CO2排出量抑制のためには、石炭火力発電の高効率化に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。</p> <p>しかしながら、CCSは多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロス可能な限り低減する必要がある。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>(1)クローズド IGCC [中間目標(平成29年度)] 送電端効率42%(高位発熱量基準)を見通すための要素技術確立の目途を得る。 [最終目標(平成31年度)] 送電端効率42%(高位発熱量基準)を見通すための要素技術を確立する。</p> <p>(2)次世代ガス化システム [中間目標(平成29年度)] 既存のIGCC(1500℃級GTで送電端効率46～48%)を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。 [最終目標(平成30年度)] 既存のIGCC(1500℃級GTで送電端効率46～48%)を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。</p>		

事業の計画内容 (クローズドIGCC)	主な実施事項	H27fy	H28fy	H29fy	
	3TPD ガス化他				
	50TPD ガス化他				
	システム検討				
事業の計画内容 (次世代ガス化システム)	①水蒸気添加による冷ガス効率向上の検証				
	②エネルギー効率の高い酸素性製造装置の適用性評価				
	③水蒸気添加IGCCのシステム検討				
事業費推移 (会計・勘定別にNEDOが負担した実績額(評価実施年度については予算額)を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H27fy	H28fy	H29fy	総額
	一般会計	—	—	—	—
	特別会計(需給)	389	1,702	1,239	3,330
	(1)クローズドIGCC	381	1,627	952	2,960
	(2)次世代ガス化システム	8	75	287	370
	開発成果促進財源	—	—	—	—
	総 NEDO 負担額				
委託	(委託)				
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁資源・燃料部 石炭課			
	プロジェクトリーダー	一般財団法人電力中央研究所 牧野 尚夫			
	プロジェクトマネージャー	(1)CO2回収型クローズドIGCC 環境部 足立 啓 (2)次世代ガス化システム 環境部 中田 博之			
	委託先	(1)CO2回収型クローズドIGCC (一財)電力中央研究所 三菱重工業(株) 三菱日立パワーシステムズ(株)  再委託先(電中研):九州大学、名古屋大学、福岡大学、愛媛大学、福岡女子大学  (2)次世代ガス化システム (一財)電力中央研究所  再委託先:産業技術総合研究所、九州大学、名古屋大学			

<p>情勢変化への対応</p>	<p>2014年4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画」の中で、石炭は安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されている。また、2015年7月に決定された「長期エネルギー需給見通し」において、石炭火力の高効率化を進め、環境負荷の低減と両立しながら活用することで、2030年の石炭火力の比率を26%程度とする方向性が示された。更に、2015年12月にパリ協定が採択され、日本の目標としては、2030年度に2013年度比26%の温室効果ガスを削減することが提出されている中、達成に向けては石炭火力の高効率化が前提となっている。これらの情勢変化により、本事業の早期実用化が一層重要になっている。</p>	
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>—</p>
	<p>中間評価</p>	<p>2017年度 中間評価</p>
	<p>事後評価</p>	<p>2019年度 事後評価(クローズド IGCC) 2018年度 事後評価(次世代ガス化)</p>
<p>3. 研究開発成果について</p>	<p>(1) CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC</p> <p>①O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立 酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討および 3TPD 小型石炭ガス化炉による検討を実施した。50TPD 炉に CO<sub>2</sub> 供給設備などの建設を完了して試運転により運用に問題ないことを確認した。3TPD 炉に微粉炭高濃度搬送システムなどを追設し、ガス化試験により微粉炭搬送性能などを確認するとともに、運転方法を確立しており、高 CO<sub>2</sub> 濃度での基準炭のガス化基本性能データの取得を終える見込である。</p> <p>②炭種適合性評価ツールの構築 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上および炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築を実施した。これまでに取得した4炭種に加え、新たに2炭種の反応性データを取得し、3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する見込である。また、高温溶融スラグ諸物性の温度依存性予測式を構築し、炉形状を考慮したスラグ排出解析ツールに導入する見込である。</p> <p>③クローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築 酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討、3TPD 小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討および炭素析出対策の検証を実施した。50TPD 炉用にハロゲン予備除去系を含む3塔切替式の乾式脱硫性能検証装置を製作、据付し、調整運転を終える見込である。また、3TPD 炉用の高圧試験設備を追設して、試運転調整を兼ねた予備試験を行い、当該試験結果を元に、高圧条件における脱硫剤の性能評価に着手する見込である。さらに、炭素析出速度評価設備を導入し、圧力およびガス組成が炭素析出特性に及ぼす影響を評価する見込である。</p> <p>④GT 燃焼器基本構造の開発 模擬ガスを用いる 1/3 スケール GT 燃焼器試験設備を設計、製作した。1/3 スケールGT燃焼器を用いた燃焼試験により、燃焼特性を評価予定。</p> <p>⑤クローズド GT システムの概念設計 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出を実施した。燃料中不純物(NH<sub>3</sub>)や希釈剤中 NO などが NO<sub>x</sub> 生成に及ぼす影響を検討する予定である。排気バイパスラインで得られた加熱条件等、設計データに基づき、排気循環ループを追設し、基準条件における排気循環燃焼試験により、排気循環ガスの経時的な組成変化を確認する見込である。</p>	



	<p>⑥CO<sub>2</sub>回収型 IGCC システム全体検討  想定する最新システムを対象に、Energy Winを用いて循環排ガス組成を考慮した上で、送電端効率の試算データおよび 2015 年に公開されたコスト等検証ワーキングの発電コスト試算法を用いて、発電コストの試算データを更新する見込みである。また、フェーズ 1 で想定したシステムを対象に汎用化学プロセスシミュレータ Aspen Plus を用いて、本システム全体の熱物質収支解析モデルを構築して、熱効率の評価を可能とした。回収 CO<sub>2</sub> の不純物基準などに関する調査・検討を通じ、システム構築の準備を整えた。これに加え、全体システムの成立性検討と送電端効率 42%(HHV)達成のための技術課題を整理予定である。さらに、回収 CO<sub>2</sub> の不純物基準などに関する調査・検討を通じ、システム構築の準備を整えた。</p> <p>(2)次世代ガス化システム  2017 年度の間目標達成に向け、3TPD 規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉に水蒸気過熱設備を設置し、本ガス化炉を用いた水蒸気ガス化試験を行い、試験方法を確立する見込みである。  主な実施事項の進捗は以下の通り。</p> <p>①水蒸気添加による冷ガス効率向上の検証  3TPD 規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉を対象に数値解析により水蒸気添加時のガス化性能を予測した。ガス化試験を実施し、数値解析結果と比較評価することにより、水蒸気注入効果を評価する見込み。</p> <p>②エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価  各種酸素製造技術を調査し、各技術の仕様や特徴を整理した結果、現状で次世代ガス化システムへの適用が期待できる酸素製造技術は、既存技術の深冷分離技術のみであることが分かった。次世代ガス化システムの特性に合わせた深冷分離法の機器構成を明らかにする見込み。</p> <p>③水蒸気添加のシステム検討  発電コスト検証ワーキンググループによる算定方式を用い、IGCC の送電端効率向上に対する発電コストの感度解析を行った。水蒸気添加 IGCC システムにおける建設単価の目標を明らかにする見込み。</p>
投稿論文	(1)クローズド IGCC 「査読付き」15 件、「その他」1 件  (2)次世代ガス化システム 「査読付き」0 件、「その他」0 件
特 許	(1)クローズド IGCC 「出願済」5 件(うち国際出願 0 件)  (2)次世代ガス化システム なし。
その他の外部 発表 (プレス発表等)	(1)クローズド IGCC 「学会等発表」45 件、「受賞実績」4 件、「研究報告・雑誌投稿」7 件  (2)次世代ガス化システム 「学会等発表」6 件(予定 4 件含む)、「研究報告・雑誌投稿」1 件
4. 成果の実用 化・事業化 に向けた取 組及び見	(1) CO <sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC CO <sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC では、全体システムとして 2030 年代の商用化を目指しているが、「石炭 CO <sub>2</sub> 搬送」および「乾式ガス精製」等の要素技術はこの度のフェーズ2で開発の見通しを得ている。これらの要素技術は既存の IGCC へ適用することで更なる高効率化が可能であり、2020 年代前半の成果の活用を目指してい

<p>通しについて</p>	<p>る。また、発電用途のみならず化学用途へ転用可能であり幅広い成果の普及を見込んでいる。</p> <p>(2)次世代ガス化システム        数値解析による商用規模ガス化炉の評価技術が確立することで、実機への適用が可能となる。3TPD よりも大きな規模で実績を積むため、CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC 技術開発プロジェクトで開発されている O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化炉への適用に取り組む。既に世界各国に普及している産業用の酸素吹きガス化炉も、本プロジェクトの副次効果としての適用先と考えられる。</p> <p>なお、二室二段噴流床ガス化炉以外のガス化炉においても水蒸気の効果的利用の概念を適用することが可能であり、炉形式に応じた基本的な数値解析技術を開発することで、本プロジェクトで得られた知見を用いて実機への適用を検討できる。</p>	
<p>5. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成 28 年 1 月 作成</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>平成 28 年 4 月改訂(実施体制, PM, 評価時期等の変更)        平成 28 年 4 月改訂(評価時期, 研究開発スケジュール等の変更)        平成 29 年 2 月改訂(研究開発項目の追加, PM・PL の修正, 評価実施時期の修正等)        平成 29 年 6 月改訂(中間目標の設定、中間評価時期の修正)</p>

## プロジェクト用語集

名称	略号	意味
石炭ガス化複合発電 Integrated coal Gasification Combined Cycle	IGCC	石炭をガス化し得られた石炭ガス化ガスを燃料として、高効率のガスタービン複合発電システムで発電する高効率発電システム。
石炭ガス化 Coal gasification		固体である石炭を熱分解反応やガス化剤との反応により、気体に転換すること。高温による熱分解反応やガス化剤との化学反応の複合反応として進行する。
ガス化剤 Gasification reagent		石炭などをガス化する際に石炭の炭素分と反応させてガス化するために用いるものをさす。 通常用いられるガス化剤には、空気、酸素、水蒸気、水素およびこれらの混合物がある。
スラグ Slag		金属酸化物や金属塩の熔融混合物をいう。IGCCにおいては、熔融状態の石炭灰を指し、炉底で水冷固化したガラス状粒子(水砕スラグ)を含めた呼称として使われている。IGCCで得られる水砕スラグは、フライアッシュと異なり、金属成分の溶出がないため、土木工事用資材など砂代替として有効利用できるものと期待されている。
スラッキング Slagging		一般に、炉内で熔融した石炭灰(スラグ)が炉内の輻射伝熱面などに付着し、冷却されて固化堆積する現象のこと。
チャー Char		石炭粒子が熱分解した際に生成される未燃固形粒子。石炭中の揮発分が熱分解などで放出されたもので、石炭粒子と比べると、一般に粒径がやや小さく、固定炭素分および灰分の含有量が相対的に増加している。
シフト反応 Water gas shift reaction		一酸化炭素と水蒸気から水素と二酸化炭素を生成する反応。 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{CO}_2$
炭素転換率 Carbon conversion efficiency		投入石炭中の炭素量に対する生成ガス中炭素分の割合。
冷ガス効率 Cold gas efficiency		ガス化炉に投入した石炭の総熱量に対する生成ガスの総熱量の割合。
発電効率 Thermal efficiency		投入した燃料の総熱量に対する発電電力量の比。分子の発電電力量に対し、発電機で発生した発電電力量を基準とする発電端効率と、発電所内で消費される所内動力を差し引いた送電端効率の2つがある。

名称	略号	意味
石炭 Coal		化石燃料の一つ。土砂に埋没した植物が長時間高い地圧と地熱などによる加圧、乾留などの作用を受けて変質した可燃性固体。 火力発電などに用いられる石炭は、製鉄業でコークス用に用いられる原料炭と区別して一般炭と呼ばれる。 一般に、発熱量4,000kcal/kg以下、湿分と水分の合計が30%以上、灰分40%以上の、揮発分10%以下のものは低品位炭と呼ばれる(火力原子力発電技術協会纂:火力発電用語辞典より)。
二酸化炭素分離・貯留 Carbon Dioxide Capture and Storage(Sequestration)	CCS	発電所や天然ガス鉱山など大規模な排出源で発生するCO <sub>2</sub> を、他のガスから分離・回収し、安定した地層に貯留したり、海洋に隔離することにより、CO <sub>2</sub> を大気から長期間隔離する技術
空気分離装置 Air Separation Unit	ASU	プラントで使用する酸素を製造する設備。製鉄所や発電所などの大型設備においては、深冷分離法を用いて空気から酸素を分離製造することが多いが、プラント規模、必要とされる酸素純度によって他の方式が用いられることもある。
乾式ガス精製システム Hot gas clean-up system		従来のがス精製システムが湿式処理でガス化ガス中の硫黄分などを除去するのに対し、約400℃以上の高温のままにハニカム固定床脱硫材などにより硫黄分を除去するシステムが乾式ガス生成システムである。湿式処理の場合は、工程に応じたガス温度まで冷却、加熱を繰り返す必要があり、多くの熱交換工程を組み込むことで熱損失が発生した。これに対し、乾式ガス精製システムでは、ガス化炉を出た生成ガスを除塵後に温度調整なく処理できるため、効率低下が小さく、高効率システムには好適とされる。
クローズドガスタービンシステム Closed cycle gas turbine system		発電用ガスタービンは、オープンサイクルとクローズドサイクルに大別される。前者は、ガスタービンを出た作動流体が空気予熱器や排熱回収ボイラを経て大気に放出されるシステムであり、後者では、希ガスなどの作動流体が系内に封入されており、圧縮機を経て加熱器で昇温されタービンに導かれた後に再生熱交換器、圧縮機を経て再度加熱器に循環する。
セミクローズドガスタービンシステム Semi-closed cycle gas turbine system		前項で記載したクローズドガスタービンシステムに対し、燃焼排ガスの一部を系外に排気し、残りの排ガスを系内で循環するシステムはセミクローズドガスタービンと呼ばれる。本事業原簿記載のシステムはセミクローズドガスタービンシステムである。

## 1. 事業の位置付け・必要性について

### 1. 事業の背景・目的・位置づけ

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が長く、かつ世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多く地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO<sub>2</sub>排出量の抑制が求められている。

したがって、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

#### (1) 政策的重要性

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電(IGCC)の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留(CCS)の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、平成26年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。平成27年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S(安全性、経済効率性、環境適合、安定供給)を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、平成28年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、石炭火力やCO<sub>2</sub>回収・利用(CCUS)を含む次世代火力発電関連技術を早期に技術確立し、実用化するための技術ロードマップ(図1-1、図1-2、図1-3)がとりまとめられ、火力発電の高効率化、CO<sub>2</sub>削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指し、今後とも、官民一体となり技術開発を加速化させることとしている。

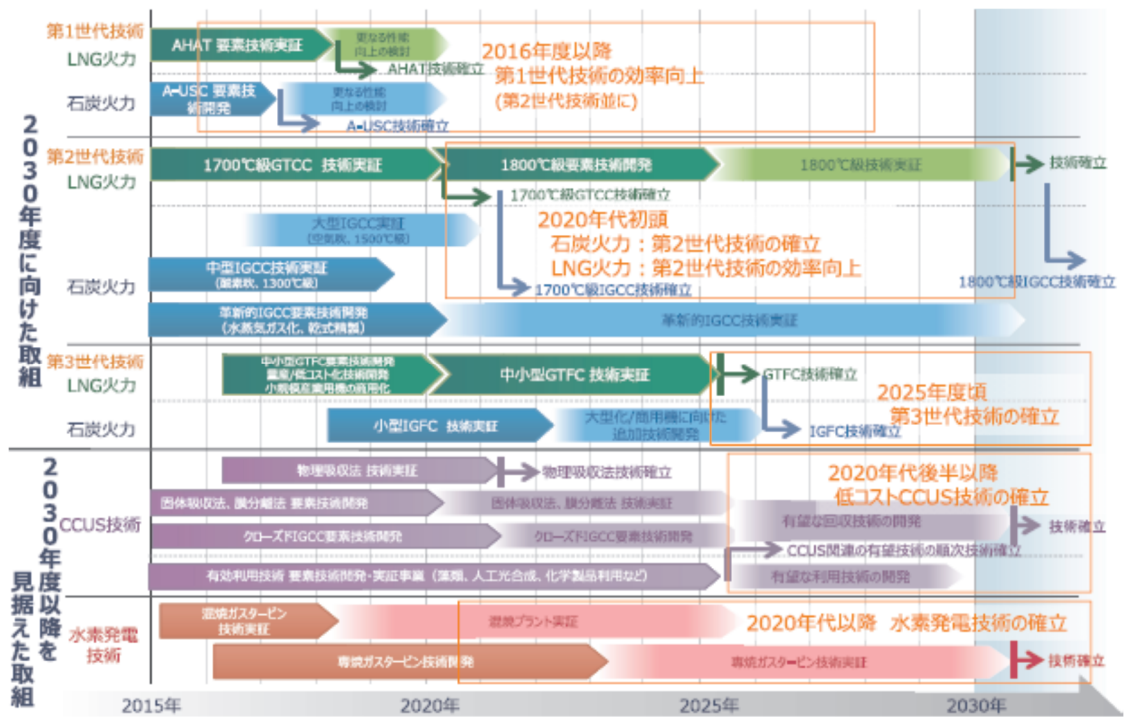


図 1-1 次世代火力発電に係る技術ロードマップ

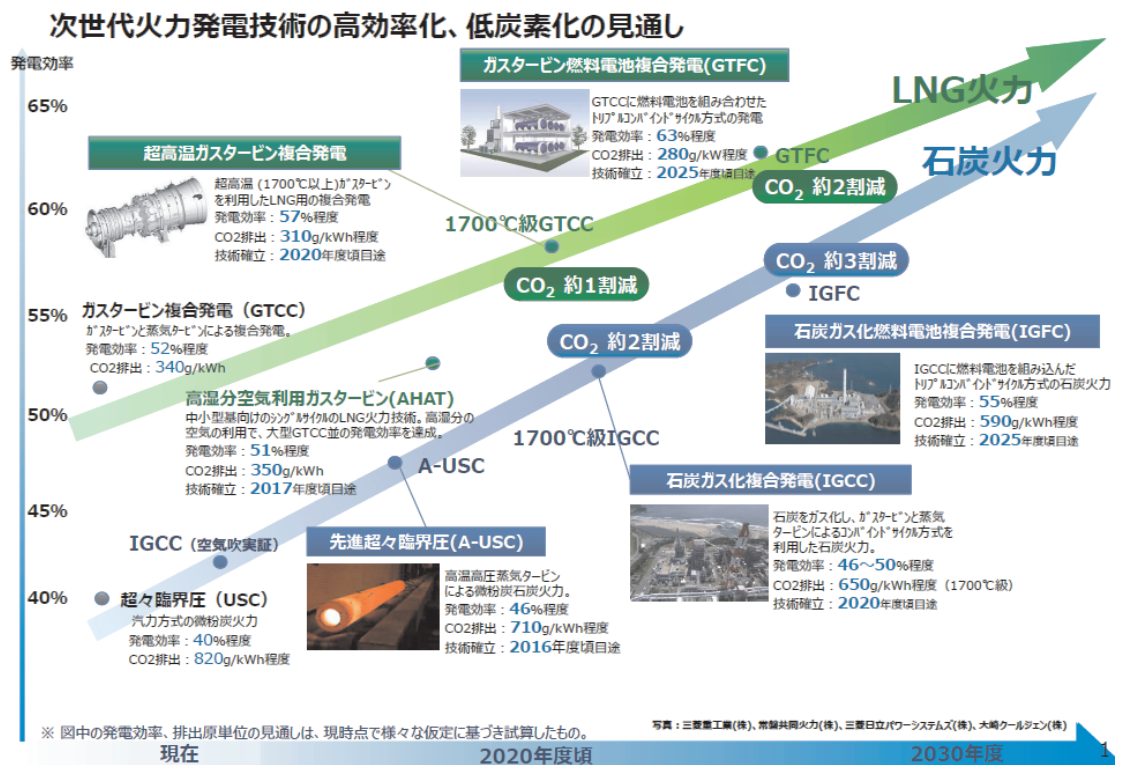


図 1-2 次世代火力発電に係る技術ロードマップ(次世代火力発電技術)

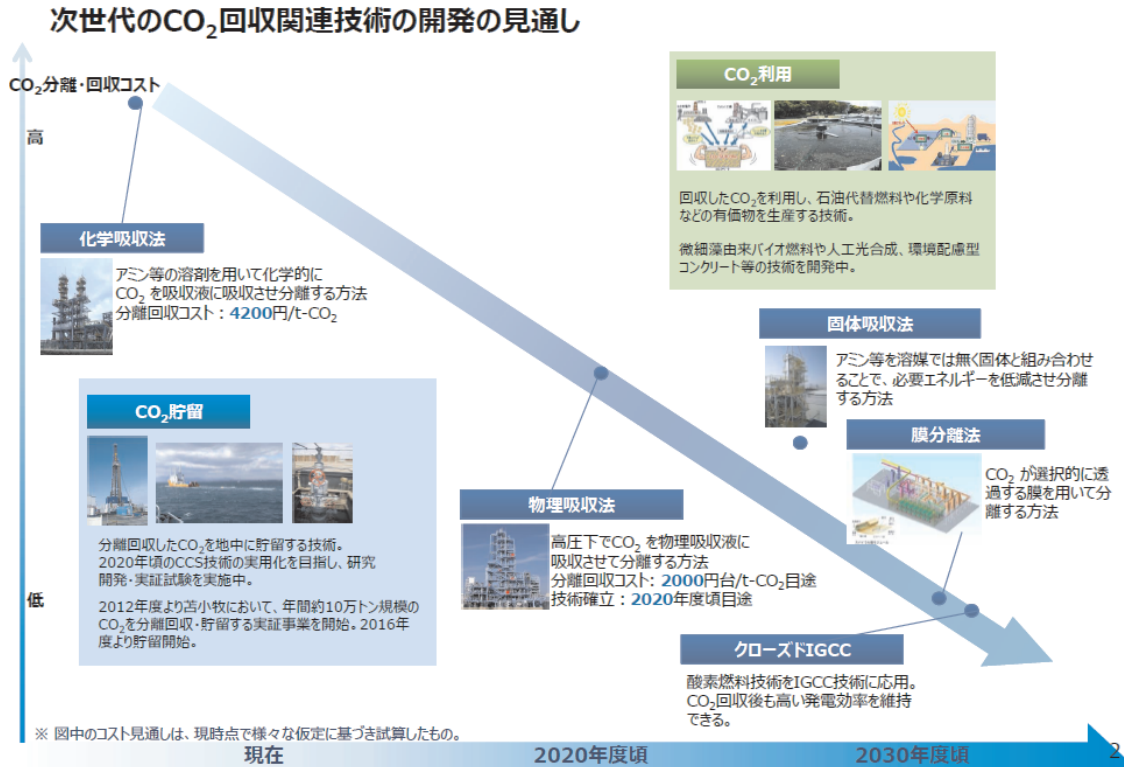


図 1-3 次世代火力発電に係る技術ロードマップ(CO<sub>2</sub>回収関連技術)

## (2) 我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率の世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電(USC)を実用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電(IGCC)が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅なCO<sub>2</sub>削減を実現するCO<sub>2</sub>の回収・貯留・利用(CCUS)の技術の開発・推進も重要なテーマであり、国内でのCCS(二酸化炭素の回収・貯留)大規模実証事業や貯留ポテンシャル調査等が進められている。

## (3) 世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、CO<sub>2</sub>排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで巨額の研究開発費を投じ、基礎研究から技術開発、実証研究等の様々な取組が行われており、日本と同様にIGCCや先進的超々臨界圧火力発電(A-USC)、高効率ガスタービン等の開発が進められている。CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCについては、石炭CO<sub>2</sub>搬送、乾式ガス精製および酸素燃焼型ガスタービンを組み合わせたシステムであり世界で類似案件はない。次世代ガス化システムについてもガス化炉へ直接水蒸気を投入することで高効率化を図るもので類似案件はない。

## 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 2.1 NEDO が関与することの意義

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる必要があり、次世代火力発電技術と位置付けられている IGCC の高効率化によって CO<sub>2</sub> 排出量削減が可能であり社会的必要性が大きい。しかし、本技術は研究開発の難易度が高く、投資規模も大きいため、民間企業だけではリスクが高いことから NEDO の関与が必要不可欠である。

### 2.2 実施の効果

図 1-4 へ示す主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増減見通しの通り、世界的に地球温暖化対策を念頭に置いた政策が進む中、欧米の石炭火力は縮小傾向であるものの、アジアや豪州などの石炭火力は今後も導入が進む見込みであり、世界全体では石炭火力発電の容量(GW)が約 25%増える予想されている。また、表 1-1 へ示す現行 USC との発電効率および CO<sub>2</sub> 排出量の比較の通り、発電効率の向上により大幅な CO<sub>2</sub> の削減が達成でき、実施の効果は大きい。

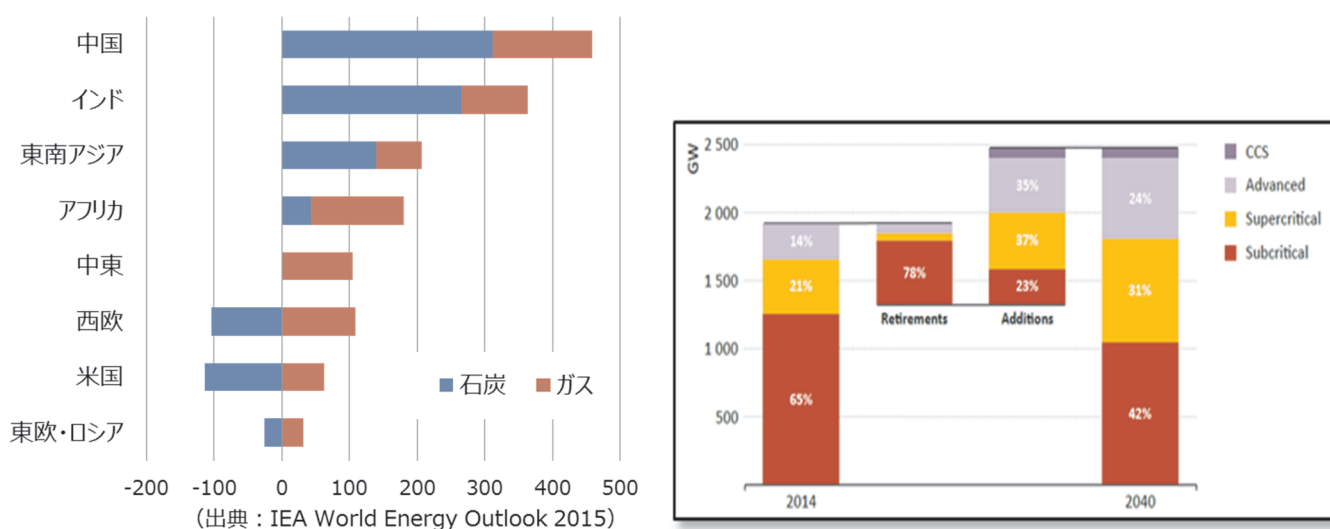


図 1-4 主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増減見通し(2015-2040)

#### (1) クローズド IGCC における実施の効果

国内ターゲット市場は 2040~2060 年頃の国内発電所リプレースへの本格導入を想定(想定条件: 経年 40~60 年で廃止)すると、出力 400MW 級規模の発電所が約 18 基導入される見込みである(全廃止容量 40~95GW の 1/9)。これは建設費単価約 30~40 万円/kW とすると、約 2.5 兆円の市場が期待できる。海外ターゲット市場については、国内で効果を確認後、海外への普及展開が期待でき、展開時期が 2050 年代以降で未確定要素が多いものの、CCS 火力としての送電端効率の優位性は極めて高い上、新興国を中心に海外の石炭火力新設需要は大きいものと考えられる。

#### (2) 次世代ガス化における実施の効果

水蒸気を 1500℃級 GT を適用した IGCC へ添加することで発電効率が約 2 ポイント向上し、燃料費を約 4%削減できると試算されている。2030~2050 年頃の国内発電所リプレースへの本格導入を想定



(想定条件: 経年 40~60 年で廃止)すると、出力 500MW 級規模の水蒸気添加 IGCC が約 15 基導入見込みである(全廃止容量 80~100GW の 1/12)。これは建設費単価約 30 万円/kW とすると、約 2.3 兆円の市場が期待できる。海外ターゲット市場についてはクローズド IGCC と同様に本技術を取り入れた IGCC を普及・展開することが期待できる。

表 1-1 現行 USC との発電効率および CO2 排出量の比較

	発電効率 (送電端,HHV)	kWh あたりの CO2 排出量	CO2 排出量**	CO2 削減量	CO2 削減割合
現行 USC	40%	0.82kg/kWh	250 万 t/年	ベース	ベース
IGCC	46%	0.71kg/kWh	218 万 t/年	32 万 t/年	約 13%
CO2 回収型ク ローズド	42%	0kg/kWh	0 万 t/年	240 万 t/年(回 収量)	約 100%
次世代ガス化 システム	48%*	0.68 kg/kWh	208 万 t/年	42 万 t/年	約 17%

\*: 水蒸気添加による効果のみを考慮。乾式ガス精製および酸素製造の高効率化による効果は含まず。

\*\* : 500MW に適用された場合の排出量を試算

$$500\text{MW} \times 8,760 \text{ 時間} \times 0.7 (\text{稼働率}) = 3,066,000 \text{ MWh/年}$$

$$\text{現行 USC: } 3,066,000,000 \text{ kWh/年} \times 0.82\text{kg/kWh} = 2,514,120\text{t-CO}_2/\text{年} \div 250 \text{ 万 t/年}$$

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

本事業を通じて、発電効率の大幅向上や CO2 分離・回収後においても高効率を維持すること等、CO2 排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の確立を目指す。

#### (1) CO2 回収型クローズド IGCC

[中間目標(平成29年度)]

送電端効率42%(高位発熱量基準)を見通すための要素技術確立の目途を得る。

[最終目標(平成31年度)]

送電端効率42%(高位発熱量基準)を見通すための要素技術を確立する。

#### (2) 次世代ガス化システム

[中間目標(平成29年度)]

既存のIGCC(1500°C級GTで送電端効率46~48%)を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

[最終目標(平成30年度)]

既存のIGCC(1500°C級GTで送電端効率46~48%)を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

#### (1) CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC

本システムは、排ガスCO<sub>2</sub>を一部系統内にリサイクルすることにより、CO<sub>2</sub>回収型石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上することのできる、世界でも例のない次世代IGCCシステムである。本システムは高効率に加え、CO<sub>2</sub>の100%回収が可能であるため、CO<sub>2</sub>を排出しないゼロエミッション石炭火力の実現が期待できる。

本システムの実現に向けては、平成20年度から平成26年度まで実施した「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量 3TPD の小型ガス化炉を活用し、送電端効率42%（高位発熱量基準）以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。

本事業では、この基盤技術開発の成果を活用し、実機により近い大型のサイズのガス化炉において検証を行い、システム実現に向け、基盤技術をより確実な技術として発展させるとともに、他のCO<sub>2</sub>分離・回収技術と比較した本システムの経済的優位性を確認することを狙いとする。

具体的には、石炭投入量 50TPD 規模のガス化炉を用いた、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術の実証や乾式ガス精製システムの実証といった高効率発電を可能とする各要素技術を開発する。また、セミクローズドGTについては、燃焼試験とCFD解析を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。

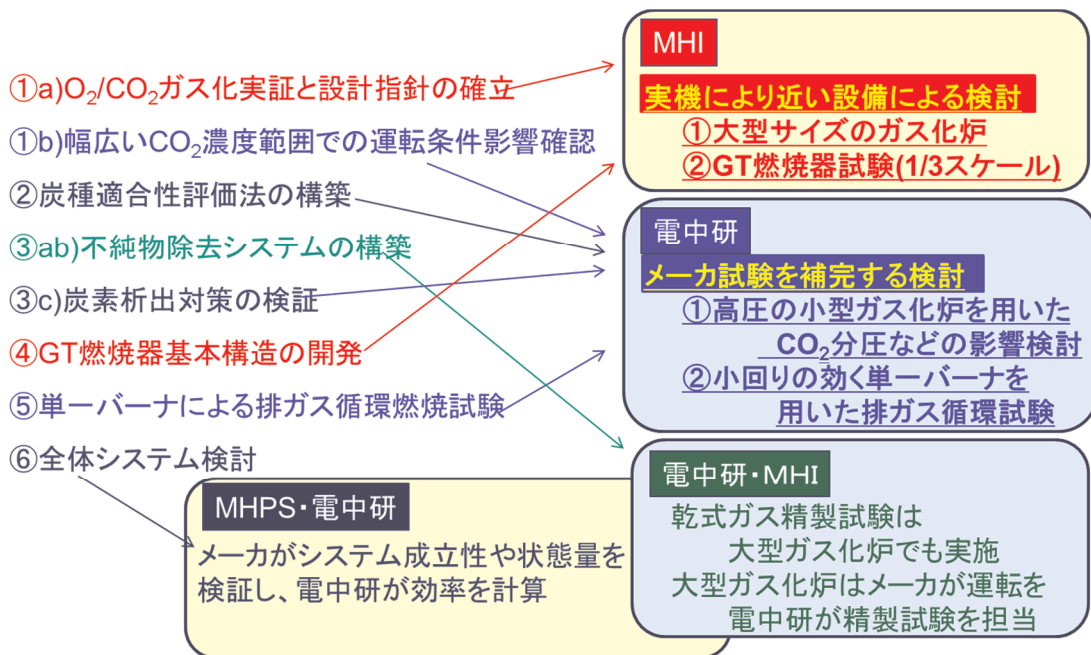


図 2-1 CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC 役割分担

5

#### (2) 次世代ガス化システム

次世代高効率石炭ガス化発電システムについて、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発を実施する。酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっている。そこで、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向

上を目指す。これまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型IGCCガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだIGCCシステムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があると分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

3) IGCCシステム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだIGCCの最適化システム試設計及び経済性検討を行う。冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

2.2 研究開発の実施体制

プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー(以下「PM」という。)を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて研究開発責任者(プロジェクトリーダー、以下「PL」という。)を指名する。

(1) CO2回収型クローズド IGCC

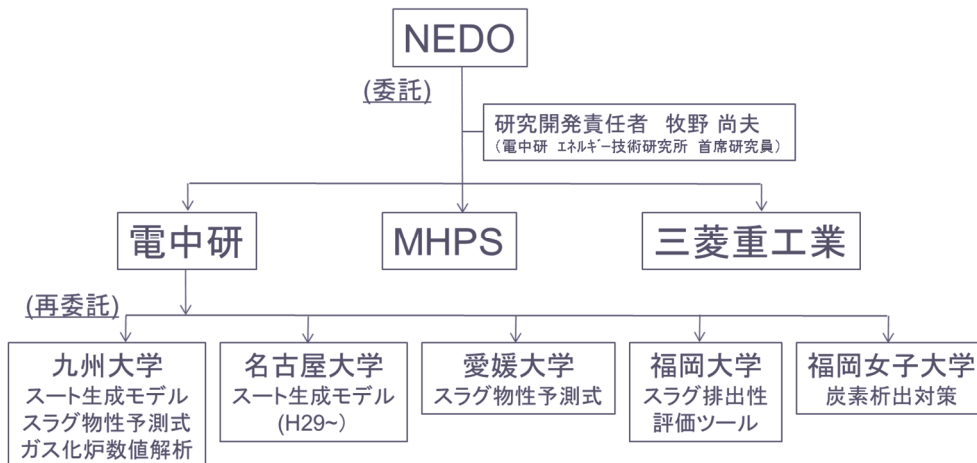


図 2-2 CO2回収型クローズド IGCC 実施体制

## (2) 次世代ガス化システム

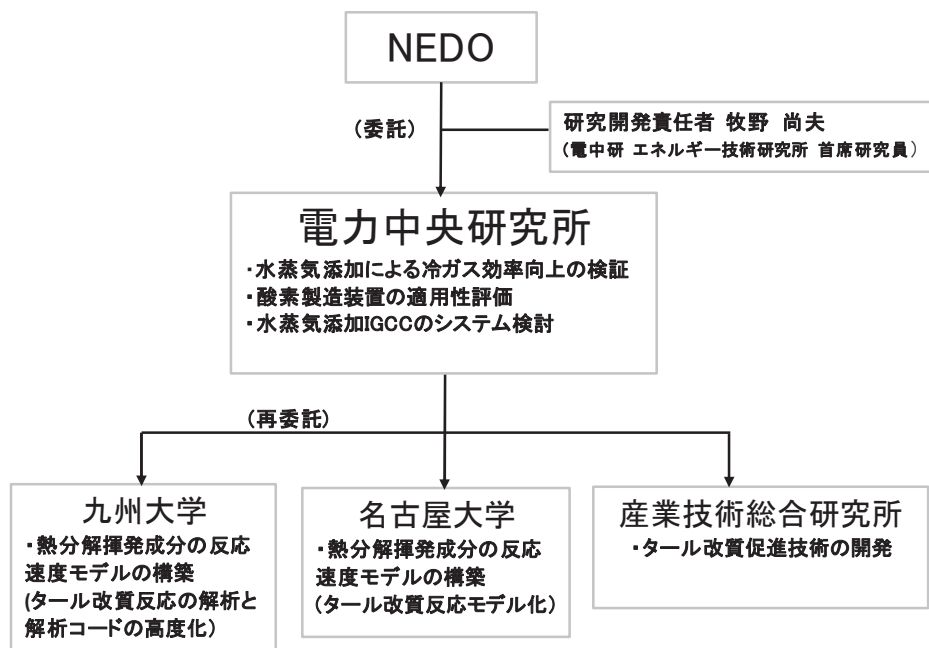


図 2-3 次世代ガス化システム実施体制

### 2.3 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

#### (1) 進捗把握・管理

PMIは、PLや研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

#### (2) 技術分野における動向の把握・分析

PMIは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

### 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

クローズド IGCC における実用化とは、システムに必要な O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 石炭ガス化および乾式ガス精製等に関する要素技術を確立し、石炭ガス化一貫システム(次フェイズ)および従来型 IGCC に活用できることである。本技術の要素技術である O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 石炭ガス化技術は産業用ガス化炉などに、乾式ガス精製技術は従来型 IGCC に活用でき、一層の効率向上に向けた道が拓ける。

次世代ガス化システムでは数値解析による商用規模ガス化炉の評価技術が確立することで、実機への適用が可能となる。3TPD よりも大きな規模で実績を積むことが早期実用化につながることから、CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC 技術開発プロジェクトで開発されている O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化炉への適用が考えら

れる。既に世界各国に普及している産業用の酸素吹きガス化炉も、本プロジェクトの副次効果としての適用先と考えられることから、情報発信を行いアピールに努める。なお、二室二段噴流床ガス化炉以外のガス化炉においても水蒸気の効果的利用の概念を適用することが可能であり、炉形式に応じた基本的な数値解析技術を開発することで、本プロジェクトで得られた知見を用いて実機への適用を検討できる。

実用化・事業化につなげる知財戦略・標準化戦略については、ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願せず、知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する方針とする。

本プロジェクトにおける特許出願・論文投稿件数を、それぞれ表 2-1、表 2-2 に示す（H29 年度は予定を含む）。

表 2-1 「CO2 回収型クローズド IGCC 技術開発」の特許出願、論文投稿件数

	H27 年度	H28 年度	H29 年度	合計
研究発表	19 件	13 件	11 件	43 件
論文投稿	5 件	5 件	2 件	12 件
雑誌**等への投稿	0 件	3 件	0 件	3 件
特許	1 件	1 件	3 件	5 件

\* 動力協会誌などへの投稿

表 2-2 「次世代ガス化システム技術開発」の特許出願、論文投稿件数

	H27 年度	H28 年度	H29 年度	合計
研究発表	0 件	2 件	4 件	6 件
論文投稿	0 件	0 件	0 件	0 件
雑誌等への投稿	0 件	1 件	0 件	1 件
特許	0 件	0 件	0 件	0 件

「CO2 回収型クローズド IGCC 技術開発」においては、電中研と再委託先大学で連携し、研究発表 43 件（電中研 31 件、MHPS 1 件、九州大 1 件、愛媛大 4 件、福岡大 5 件、福岡女子大 1 件）、論文 12 件（電中研 9 件、九州大 1 件、愛媛大 1 件、福岡大 1 件）、と積極的に情報発信を行い、外部有識者の認知を得るべく活動した。また、得られた成果を関連研究者間のミーティングなどの機会を通じて共有化し、プロジェクト全体の底上げに努めた。

また、本システムの運転方法や GT 燃焼器に関する特許を三菱重工業および三菱日立パワーシステムズ社が 2 件出願し、電中研も本事業の中で開発した乾式ガス精製関連技術などに関する特許を 3 件出願した（表 2-3）。

表 2-3 「CO2 回収型クローズド IGCC 技術開発」における出願特許

種別	出願日	出願番号	名称	出願人	発明者	手続き状況
特許	2016/2/5	特願2016020800	ガス化システムおよびガス化システムの運転方法	三菱重工業株式会社、三菱日立パワーシステムズ株式会社	(MHI)高島 竜平、横濱 克彦、(MHPS)多田 宏明、石井 弘実	出願係属中
	2017/3/23	特願2017057744	ガスタービン燃焼器及び発電システム	三菱重工業株式会社	(MHI)薛 耀華、瀧口 智志	出願係属中
	2017/4/19	特願2017083179	不純物除去剤の再生システム	電力中央研究所	小林 誠	出願係属中
	2017/9/1	特願2017168870	ハロゲン化物吸収剤、及び、ハロゲン化物吸収剤の評価方法	電力中央研究所	小林 誠	出願係属中
	2017/9/21	特願2017181725	不純物除去剤の再生システム	電力中央研究所	小林 誠、小沢 靖	出願係属中

### 3. 情勢変化への対応

石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業開始(平成 24 年度)以降、下記のような情勢変化があり、本実証事業の重要性が一層強くなったと考えられる。

#### (1) エネルギー基本計画

平成 26 年 4 月 11 日に閣議決定された新しい「エネルギー基本計画」の中で、石炭は、温室効果ガスの排出量が多いという問題はあるが、安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されている。

IGCC は、「発電効率を大きく向上させることで発電量当たりの温室効果ガス排出量を抜本的に低下させる高効率化技術として開発をさらに進める。」とされている。

#### (2) 電力システム改革

電気事業の自由化は、卸電力自由化は 1995 年より、小売供給自由化は 2000 年の大口需要家を対象に実施されて以降、段階的に実施され、2016 年 4 月より全面自由化されており、事業者としても自由化範囲拡大を念頭に競争力(安定性、経済性、環境性)のある電源の開発が必要だという認識のもと、安定供給性や経済性に優れた石炭火力の更なる効率向上を目指し、推進してきている。

現在、国が進めている電力システム改革において、2016 年に小売全面自由化、2018 年～2020 年目途に小売料金規制撤廃の法整備がなされている。電力自由化に向けては、競争力のある電源を確保するため、各分野の事業者が多くの石炭火力の新增設を計画中である。安全性、経済性、安定供給性ととも環境性、いわゆる 3E+S は我が国のエネルギー政策の基本であり、環境性に優れた本技術の早期実用化が一層重要になってくる。

#### (3) 海外における石炭火力発電を取り巻く情勢

2015 年 12 月開催予定の気候変動枠組条約締約国会議(COP21)において京都議定書に代わる温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして「パリ協定」が採択され、主要排出国を含むすべての国が削減目標を 5 年ごとに提出・更新すること、その実施状況を報告し、レビューを受けることが合意された。また世界共通の長期目標として、気温上昇を 2℃より十分低く保持すること、1.5℃に抑える努力を追及することにも言及された。世界的に環境負荷低減に向けた規制が厳しくなっている。

米国においては、2013 年 6 月にオバマ大統領が「オバマ大統領気候変動計画(米国)」を発表、その中で石炭火力発電にとっては CCS を設置しなければ現状達成が困難なレベルの CO<sub>2</sub> 排出基準(環境保護庁規制案:約 0.499kg-CO<sub>2</sub>/kWh)の制定が検討されている。またイギリスにおいては排出原単位基準(EPS)が制定され、新設の場合は設備の CO<sub>2</sub> 排出原単位 0.45kg-CO<sub>2</sub>/kWh という規制値が、カナダにおいては新設の石炭火力発電所、経済的耐用年数に達した古い発電所を対象に 0.42kg-CO<sub>2</sub>/kWh の排出基準が課されており、CCS 設備を備えない新規石炭火力は建設が困難な状況にある。

さらに米英は、平成 26 年 4 月 OECD 輸出信用に関する国際ルールを決める OECD 輸出信用会合で石炭火力向けの輸出信用の原則禁止を共同提案した。

それに対し、日本は石炭火力に頼らざるをえない国が多い中、高効率化こそが現実的な気候変動対策であると主張、平成 27 年 11 月、石炭火力向け支援に関する見直し案として、高効率石炭火力向けの支援は継続するが低効率の石炭火力向けの支援を制限することで合意した。

今後経済発展を進める新興国、途上国がその増大する電力需要に応えるためには、一定程度石炭火力発電プラントの新增設・リプレースに依存せざるをえないことは明らかであり、こうした中、新興国では公的

金融支援がなければ、高効率な石炭火力発電プラントよりも低コストながら低効率な発電プラントが導入されることになり、CO<sub>2</sub> 排出抑制の観点からはむしろ望ましくない結果となる恐れがあることが懸念されている。

こうした CO<sub>2</sub> 排出規制の強化に向けた検討の動きがある中、米国政権がトランプ大統領に交代し、気候変動に関する政策変更が明らかになっているものの、長期的な視点に立てば、世界的に気候変動への対策が強化されていくことは避けられないと考えられる。エネルギー資源の大半を輸入に頼る我が国においては、安定供給性やコストの面で優れたエネルギー源である石炭火力は今後も必要不可欠な存在であり、今後もその役割を継続的に果たしつつ環境影響を抑制していくためには、高効率の石炭火力発電を利用していく必要がある。

また、アジアなどにおいて LNG(液化天然ガス)はいまだ高価格であり、経済発展を進める新興国、途上国がその増大する電力需要に応えるためには、主に自国産の低廉な石炭を使った火力発電に頼らざるを得ない国も多いこと、さらに、これまで IGCC や CCS の開発を推進してきた米国や欧州において、前者では、シェールガス革命により、後者では再生可能エネルギーの大量導入により、高効率石炭火力の開発・導入が停滞している状況下において、日本で高効率 IGCC や CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC の開発を進めることは、低廉な低品位炭に適した発電方式として、今後、電力需要が拡大するアジア・大洋州を中心に海外普及が望め、世界的な CO<sub>2</sub> 排出削減に貢献できることから、重要である。

#### 4. 評価に関する事項

##### (1)CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC

フェーズ 2 は平成 27 年度から開始し、50TPD 炉を使用したガス化試験の準備を進め、平成 29 年度下期を目途にガス化試験を開始予定である。外部有識者による評価については、試験データを取得した後に実施予定である。

なお、前フェーズ「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト/革新的 CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC 技術開発(フェーズ1)」(事後評価)実施期間:平成 20~26 年度、における総合評価は以下の通り。

##### 1)総合評価

化石燃料資源の殆どを輸入に頼る日本にとって、本事業は世界各地に豊富に存在する石炭を将来的に有効活用する技術開発で、日本のエネルギーセキュリティの向上に大きく寄与すると同時に、輸入燃料費の低減、CO<sub>2</sub> 削減による地球温暖化防止に大きく貢献するものである。世界に先駆けて O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化の研究開発に取り組んだ意義は大きい。高い目標値(送電端効率 42%(HHV))の設定のもと、当該技術開発プロジェクトをほぼ計画通りに遂行し、目標値が達成できる条件を見出すに至ったことは高く評価できる。

一方、目標値の達成は計算結果により得られたものであり、当初計画の検討項目に実証試験が含まれていなかったことから、O<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub> ガス化及び乾式脱硫の実証試験がこのプロジェクト期間内でできなかったことは残念であり、また、知財の取得数が事業規模に比して少ない。本事業により、将来日本企業が国際競争力を持ちうる領域となることが期待でき、そのためにも得られた成果に対して国際的な知財確保がなされている必要がある。

震災以降、原子力発電所の停止により膨大な燃料購入費の海外流出が続いており、また地球温暖化への世界的な取組強化など、本事業に関する社会環境・背景は大きく変化し、実施前より本事業の実施意義・必要性は格段に高まっている。研究計画は実現可能性・見込みと共に、社会のニーズ・変化に応じ

て機動的に見直す必要があるが、震災以降の急激な情勢変化を考えると、事業の加速化・前倒し検討が行えなかったのかという点が残念である。

## (2) 次世代ガス化システム

研究開発としては、平成 27 年度に立ち上げ、今回初めて中間評価を実施する。また、これまで試験準備のためのリアクターの製作や既設設備の改造が主であり、特に試験データが少なかったことから、外部有識者を招聘した技術検討会は実施していない。今後試験データが集まり次第、取り組んでいく予定である。

## 3-1. クローズド IGCC 研究開発成果について

### 1. 事業全体の成果

電力中央研究所、三菱重工業および三菱日立パワーシステムは、火力発電所からの CO<sub>2</sub> 排出量を大幅に削減する革新的将来オプションとして、CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC システム(図 3-1.1)の要素技術開発に取り組んでいる。本システムは、IGCC のガスタービン(GT)排ガスをガス化炉や GT に再循環させ、必要な酸素を加えてガス化剤や燃焼用空気に代替するセミクローズド GT システムであり、CO<sub>2</sub> 回収後においても送電端効率 42%(HHV 基準)が期待される。H29 年度までに、表 3-1.1 に示すように、その中間目標を達成した。

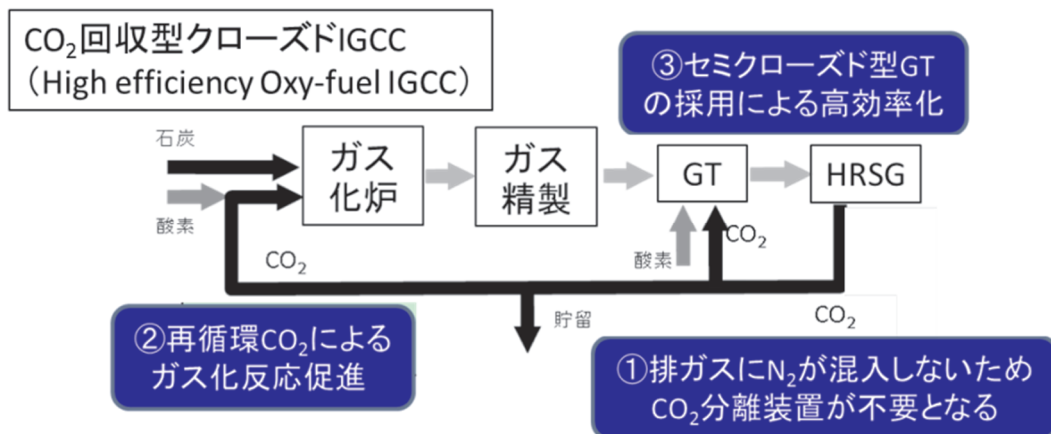


図 3-1.1 CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC システムの概念

表 3-1.1 本事業の開発項目・中間目標および達成状況

中間目標	研究開発成果	達成度
送電端効率 42%(HHV)を見通すための要素技術確立の目途を得る。	・種々の検討を通じてシステム成立性にかかわる課題抽出を進めるとともに、想定する最新システムにおいて 3 炭種の送電端効率が 43%HHV 以上であることを確認する見込。	達成見込 (H30 年 3 月)



<p>①O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立</p> <p>(1) 酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討 ・CO<sub>2</sub>供給設備などを導入してO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証試験を実施し、ガス化炉システムの性能を評価する。</p> <p>(2) 3TPD 小型石炭ガス化炉による検討 ・微粉炭高濃度搬送システムなどを追設して3TPD炉の運転条件範囲を拡大し、試験方法を確立し、本格試験の準備を整える。</p> <p>② 炭種適合性評価ツールの構築</p> <p>a) 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上 ・3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する。 ・スート生成モデルを簡略化して3次元ガス化炉内数値解析ツールに組み込む。</p> <p>b) 炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築 ・高温炉内から排出されるスラグ流動挙動を解析するツールを構築する。</p>	<p>①O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立</p> <p>(1) 酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討 ・50TPD 炉にCO<sub>2</sub>供給設備などの建設を完了して試運転により運用に問題ないことを確認した。 ・H29年度下期にベース炭を用いたO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化試験を行い、ガス化性能、スラグ排出性、ガス化炉灰付着成長状況などのベースデータを取得予定。</p> <p>(2) 3TPD 小型石炭ガス化炉による検討 ・3TPD 炉に微粉炭高濃度搬送システムなどを追設し、ガス化試験により微粉炭搬送性能などを確認するとともに、運転方法を確立しており、高CO<sub>2</sub>濃度での基準炭のガス化基本性能データの取得を終える見込である。</p> <p>② 炭種適合性評価ツールの構築</p> <p>a) 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上 ・これまでに取得した4炭種に加え、新たに2炭種の反応性データを取得し、3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する見込である。 ・スート生成モデルを簡略化して3次元ガス化炉内数値解析ツールに組み込み、PDTF、3TPD 炉の解析に適用する見込である。</p> <p>b) 炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築 ・高温溶融スラグ諸物性の温度依存性予測式を構築する見込である。 ・炉形状を考慮したスラグ排出解析ツールを構築し、前項の温度依存性予測式を導入する見込である。</p>	<p>①(1):達成見込(H30年3月)</p> <p>①(2):達成見込(H30年3月)</p> <p>②a):達成見込(H30年3月)</p> <p>②b):達成見込(H30年3月)</p>
<p>③セミクローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築</p> <p>(1)酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討 ・50TPD 炉で実施するガス精製試験の準備を整える。</p> <p>(2)3TPD 小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討 ・3TPD 炉で実施する高圧脱硫試験の準備を整える。</p> <p>(3)炭素析出対策の検証 ・速度論的な観点も加味して炭素析出特性に及ぼすガス組成と圧力の影響を評価する。</p>	<p>③セミクローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築</p> <p>(1)酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討 ・50TPD 炉用にハロゲン予備除去系を含む3塔切替式の乾式脱硫性能検証装置を製作、据付し、調整運転を終える見込である。</p> <p>(2)3TPD 小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討 ・3TPD 炉用の高圧試験設備を追設して、試運転調整を兼ねた予備試験を行った。当該試験結果を元に、高圧条件における脱硫剤の性能評価に着手する見込である。</p> <p>(3)炭素析出対策の検証 ・炭素析出速度評価設備を導入し、圧力およびガス組成が炭素析出特性に及ぼす影響を評価する見込である。</p>	<p>③(1):達成見込(H30年3月)</p> <p>③(2):達成見込(H30年3月)</p> <p>③(3):達成見込(H30年3月)</p>
<p>④ GT 燃焼器基本構造の開発</p> <p>・1/3スケールGT燃焼器試験設備を用いた模擬ガス燃</p>	<p>④GT燃焼器基本構造の開発</p> <p>・模擬ガスを用いる1/3スケールGT燃焼器試験設備を設計、製作した。</p>	<p>④達成見込(H30年3月)</p>

焼試験により燃焼特性を評価する。	・1/3 スケールGT燃焼器を用いた燃焼試験により、燃焼特性を評価予定。	
⑤セミクローズド GT システムの概念設計 (1)単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出 ・排気循環が GT 排ガス組成に及ぼす影響を検討する。	⑤セミクローズド GT システムの概念設計 (1)単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出 ・燃料中不純物(NH <sub>3</sub> )や希釈剤中 NO などが NO <sub>x</sub> 生成に及ぼす影響を検討する予定。 ・排気バイパスラインで得られた加熱条件等、設計データに基づき、排気循環ループを追設し、基準条件における排気循環燃焼試験により、排気循環ガスの経時的な組成変化を確認する見込である。	⑤(1):達成見込(H30年3月)
⑥CO <sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討 (1)諸検討結果の全体システムへの反映 ・フェイズ1で構築したシステムを対象に、実機システムを適用したガス化炉/ガスタービンなどの性能を検討する。 ・回収 CO <sub>2</sub> の不純物基準に関する調査・検討などを通じ、システム構築の準備を進める。 (2)プラント性能及び発電コストの試算 ・想定システムの送電端効率および発電コストの試算データを更新する。	⑥CO <sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討 (1)諸検討結果の全体システムへの反映 ・フェイズ1で想定したシステムを対象に汎用化学プロセスシミュレータ Aspen Plus を用いて、本システム全体の熱物質収支解析モデルを構築して、熱効率の評価を可能とした。全体システムの成立性検討と送電端効率 42%(HHV)達成のための技術課題を整理予定。 ・回収 CO <sub>2</sub> の不純物基準などに関する調査・検討を通じ、システム構築の準備を整えた。 (2)プラント性能及び発電コストの試算 ・想定する最新システムを対象に、Energy Win を用いて循環排ガス組成を考慮した上で、送電端効率の試算データおよび 2015 年に公開されたコスト等検証ワーキングの発電コスト試算法を用いて、発電コストの試算データを更新する見込である。	⑥(1):達成見込(H30年3月)  ⑥(2):達成見込(H30年3月)

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立

#### 2.1.1 酸素吹き 50TPD 石炭ガス化試験設備による検討

CO<sub>2</sub>回収を行っても、高い発電効率を達成できる CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC(High efficiency Oxy-fuel IGCC)における O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹き石炭ガス化炉の要素技術確立の目的を得るために、石炭投入量 50トン/日規模のベンチスケールガス化炉試験設備(図 3-1.2 50TPD ガス化炉試験設備、50TPD 炉)を用いて O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術を実証し、安定運用可能な条件を見出す計画である。

これらの試験実施に向けて、H28 年度までに、MHI 既存の 50TPD 炉への CO<sub>2</sub>供給設備、O<sub>2</sub>供給設備等の受託資産の建設を完了させるとともに、装置が計画通りの性能を満たしていることを確認するために、ガス通気試運転と CO<sub>2</sub>による微粉炭の高濃度搬送予備試験を実施した。

これらの試運転にて、実機と同様に複数の微粉炭供給ホッパを切り替えながら、搬送ガスに CO<sub>2</sub>を用いた条件においても定格の微粉炭流量にて安定搬送可能であることを確認済みである。

更に、ガス化試験に供試予定のインドネシア産 MN 炭を初めとする候補炭の各種分析を実施し、実際のガス化試験時の運用方針を明確にした。



図 3-1.2 50TPD ガス化炉試験設備

H29 年度は 50TPD 炉にて、ベース炭であるインドネシア産 MN 炭を用いた  $O_2/CO_2$  ガス化試験を実施する計画である。

これまでに電中研 3TPD 炉の試験から、搬送ガスとして  $N_2$  よりもモル比熱が大きい  $CO_2$  を搬送ガスとして利用する際に、ガス化炉内の  $CO_2$  濃度が上昇することによる炉内温度の低下が確認されており、本 50TPD 炉や実機運転時もコンバスタ内部の温度低下が懸念される。このため、コンバスタの酸素比を適正に保つことで、従来の酸素吹きガス化炉に適用されている  $N_2$  搬送条件と同等のスラグ排出性を確保できることを試験にて確認する計画である。(H29 年度下期に本試験を完了させ、年度末の報告には反映させる予定である。)

ガス化特性に関しては、ガス化剤である  $CO_2$  の分圧が従来よりも高くなりガス化反応が促進され、チャー量も低減される見込みであり、本試験にて生成ガス組成や発熱量などを計測することで特性を確認する。

また、運用面でもガス化炉の各部シールガスやフィルタ逆洗用のガスとして従来の  $N_2$  から  $CO_2$  に変更しても問題なく運用できることを確認する。(各部への  $CO_2$  通気準備を完了済みである。)

ガス化試験後にはガス化炉内部および熱交換器の点検を実施することで、チャーによる伝熱管の閉塞等なく、安定運用可能であることを確認する。

また、50TPD 炉で生成した石炭ガス化ガスを用い、乾式ガス精製システムの設計データを取得する計画であり、ガス化ガスの一部を抽気し、クローズド IGCC で想定するガス精製システムと同じ構成の 3 塔切替式乾式ガス精製システム(電中研にて設計・製作)へ通気することで、高温高圧の条件において、性能を評価する装置を H29 年度上期に完成させ、H29 年度中には試運転調整を終える見込みである。ガス精製試験については、2.3.1 にて詳述する。

### 2.1.2 3TPD 小型石炭ガス化炉による検討

前述の 50TPD 炉では、設備規模が大きいこともあり、微粉炭搬送ガス以外には  $CO_2$  を投入しない計画である。そこで、ガス化剤中  $CO_2$  濃度がガス化反応などに及ぼす影響を評価するため、電中研の既設 3 トン/日石炭ガス化研究炉(3TPD 炉、小型ガス化炉)を改造して、ガス化試験を行うこととした。

本試験の実施に向け、微粉炭高濃度搬送設備(図 3-1.3)を追設した。もともと本 3TPD 炉は、酸素富化空気吹き的设计であったが、微粉炭高濃度搬送設備の導入により搬送ガスとして炉内に投入する不活性ガス量が低減されるため、ガス化剤中の  $O_2$  濃度、 $CO_2$  濃度の設定範囲を拡大できた(図 3-1.4)。

これに加え、炉内冷却用の蒸気投入系を追設するとともに、高温型耐火材を施工することにより、ガス化剤中  $O_2$  濃度の上昇に伴うコンバスタ内の高温化に備えた。

H28 年度には、微粉炭高濃度搬送設備の性能を確認する石炭ガス化試験を行い、微粉炭の定量給炭能力(図 3-1.5)や 2 本のバーナへの均等分配性(図 3-1.6)などが良好であることを確認した。

H29 年度には、運転操作工程の最適化をはかりつつ、ベースデータの取得を進めた。

これにより、実施計画書に記載した「(改造した 3TPD 炉による)試験方法を確立し、運転条件範囲を見極め、ベースデータを取得する」という初期の目標は達成され、H30 年度以降に本格実施するガス化試験によって所期の目標を達成できる目処がたった。

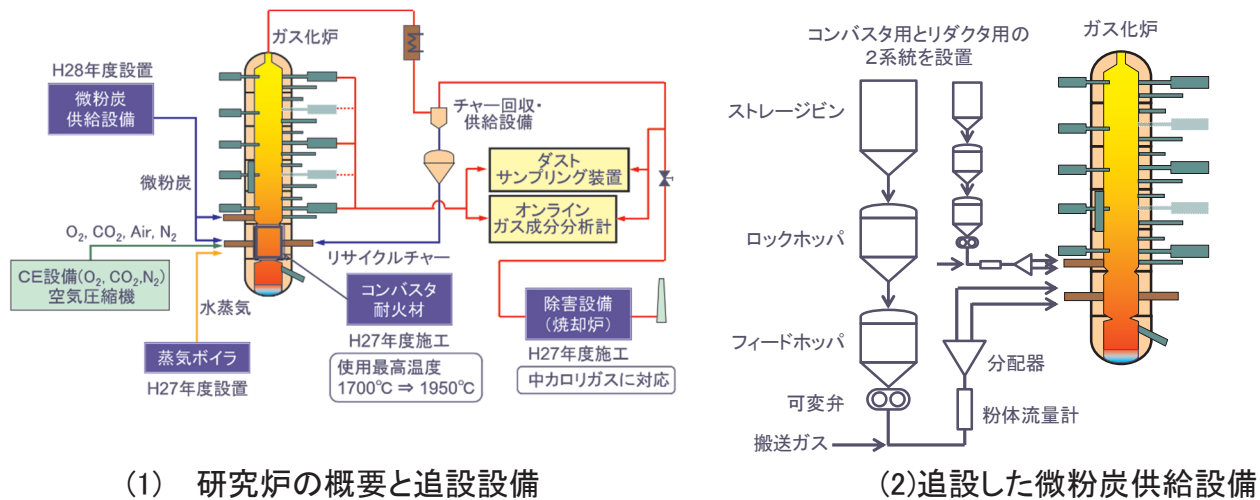


図 3-1.3 石炭ガス化研究炉の概要と追設設備  
(加圧噴流床、2 室 2 段ガス化炉、運転圧力 2MPa)

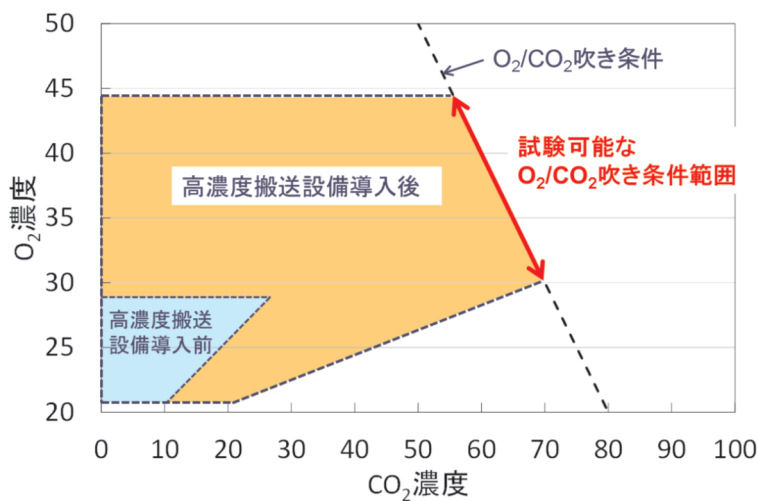
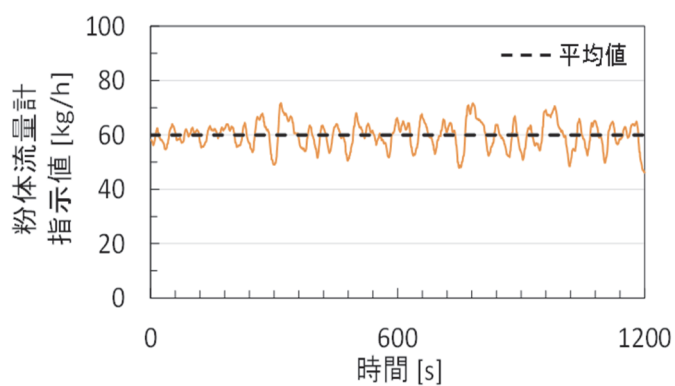
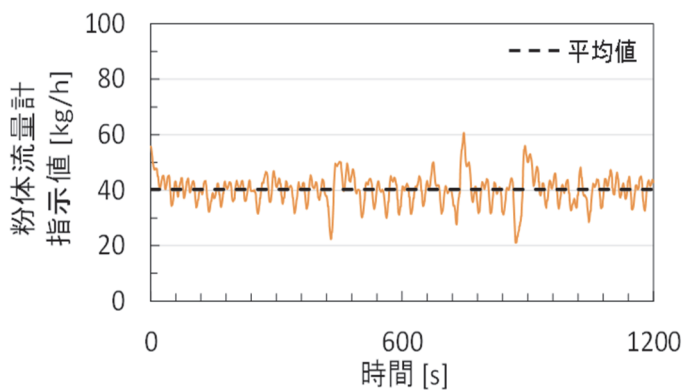


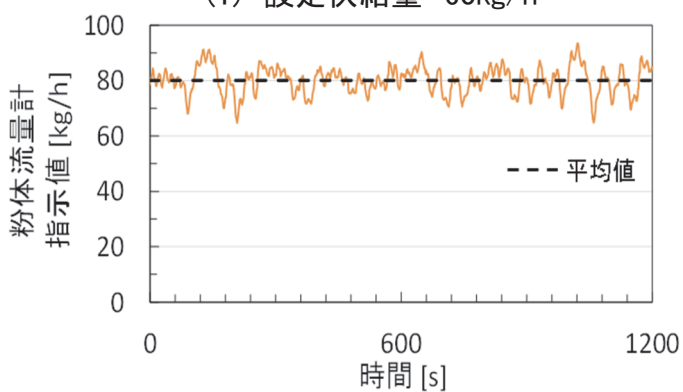
図 3-1.4 改造による試験条件範囲の拡大



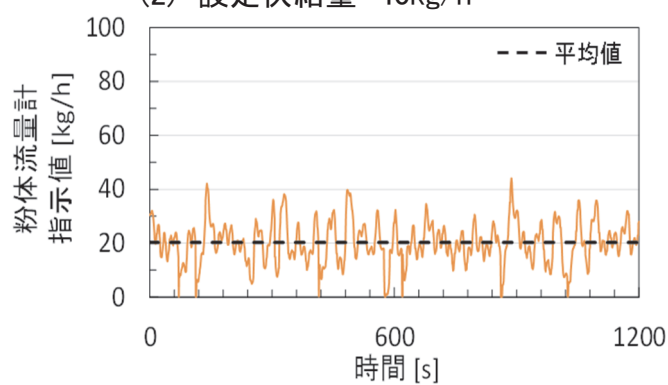
(1) 設定供給量 60kg/h



(2) 設定供給量 40kg/h

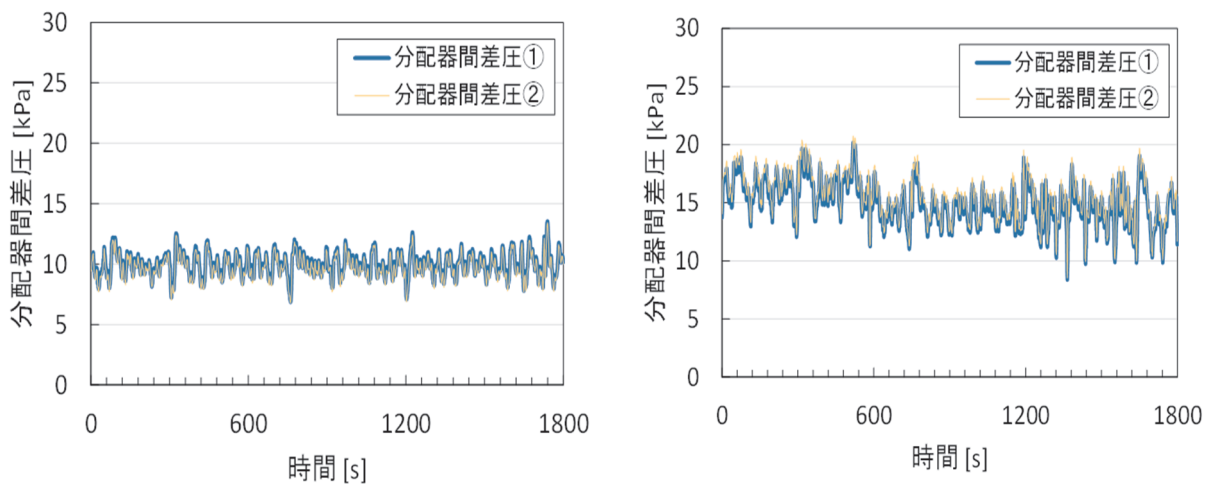


(3) 設定供給量 80kg/h



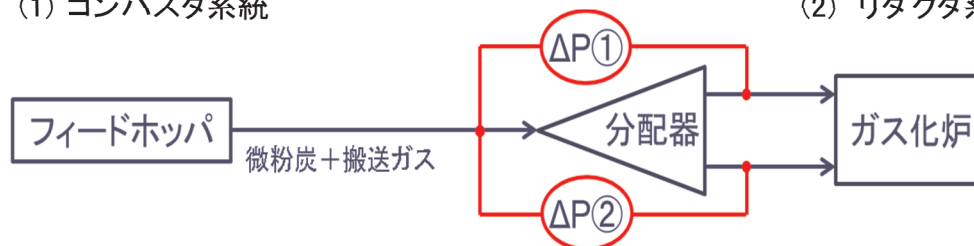
(4) 設定供給量 20kg/h

図 3-1.5 微粉炭定量給炭能力の確認試験結果



(1) コンバスタ系統

(2) リダクタ系統



(3) 計測位置の説明図

図 3-1.6 2 本のバーナへの均等分配性能確認試験結果

## 2.2 炭種適合性評価ツールの構築

本プロジェクトは、H20 年度から H26 年度まで実施した基盤技術開発研究（以下、フェイズ 1）の成果を元に始まったものであり、先行するフェイズ 1 では、開発するクローズド IGCC システムが従来にない  $O_2/CO_2$  ガス化炉を採用することから、炭種適合性を評価するツールの基盤技術を構築した。本プロジェクトでは、この基盤技術を発展させ、燃焼、ガス化反応を含むガス化炉内の流動様相を解析する 3 次元ガス化炉内数値解析ツールの高精度化と、ガス化炉の安定運転を確保する上で不可欠な溶融スラグ排出性の炭種による違いを評価するスラグ排出性評価ツールの構築を目指している。これにより、 $O_2/CO_2$  ガス化炉に適合した炭種の見極めなど、 $CO_2$  回収型クローズド IGCC におけるガス化炉の運用指針が得られるものと期待している。

### a) 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上

電中研は酸素富化空気吹き石炭ガス化炉の 3 次元ガス化炉内数値解析ツールを開発し、活用してきたが、フェイズ 1 ではさらに  $O_2/CO_2$  ガス化場に拡張可能な反応モデル（初期熱分解モデル、チャーガス化反応モデル、気相反応モデル）を構築した。

本プロジェクトでは、チャーガス化反応モデルに関しては、Drop Tube Furnace (DTF) (図 3-1.7、最高温度 1800°C、炉内最高圧力 2.6MPa の粒子落下型気流層管型反応炉) を用いた高温ガス化実験と熱天秤 (TG) (図 3-1.8、最高温度 1400°C、炉内圧力 0.9MPa の上皿式作動型示差熱天秤) を用いた低温でのガス化実験を組み合わせ H29 年度までに新たに 2 炭種のチャーガス化反応データを取得し、実機規模  $O_2/CO_2$  ガス化炉 3 次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種をフェイズ 1 の成果と合わせて全 6 炭種まで拡大した (図 3-1.9)。また、本ツールを用いた解析により、例えば、主にコンバスタ中央部やリダクタ下段付近でガス化反応が生じるため、 $CO$ 、 $H_2$  濃度が高くなることや、水分含有量の多い AD 炭 (気

乾水分 15%)では、DT 炭(気乾水分 4%)に比べて炉内の H<sub>2</sub> 濃度が高くなることなど、炉内における詳細なガス化挙動や、炭種による生成ガス組成の違いが評価できた。

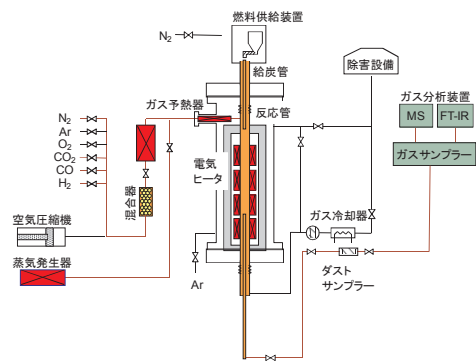


図 3-1.7 DTF 装置の概略図

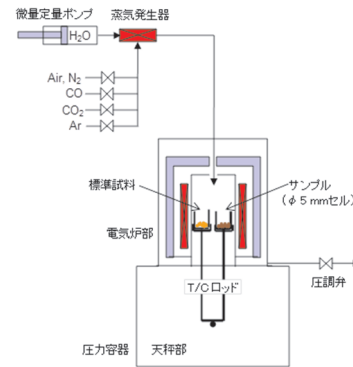
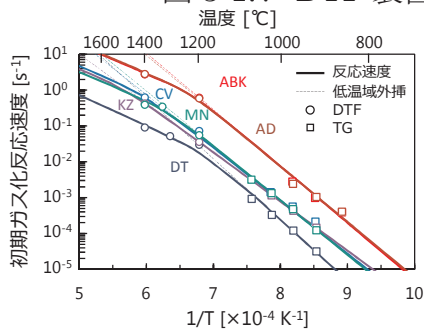
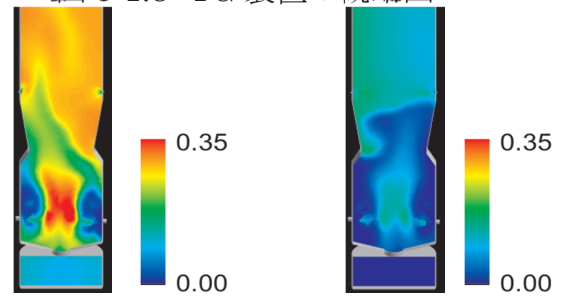


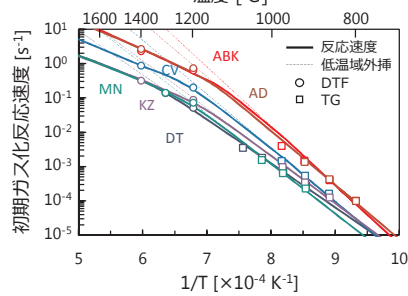
図 3-1.8 TG 装置の概略図



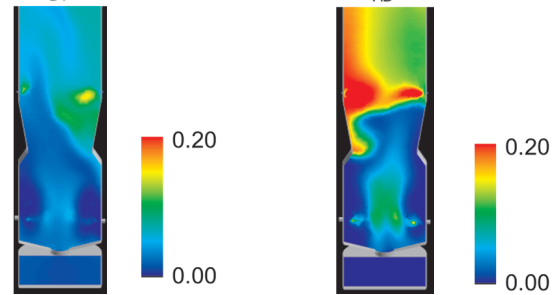
(1) CO<sub>2</sub> ガス化データ (CO<sub>2</sub> 分圧 0.2MPa)



(1)DT 炭 CO 濃度分布 (2)AD 炭 CO 濃度分布



(2) H<sub>2</sub>O ガス化データ (H<sub>2</sub>O 分圧 0.05MPa)



(3)DT 炭 H<sub>2</sub> 濃度分布 (4)AD 炭 H<sub>2</sub> 濃度分布

図 3-1.9 3次元ガス化炉内数値解析ツールによる炉内挙動解析結果の例

また、チャーと同じく固体の炭素であるものの、揮発分の複雑な気相反応を経て生成するスート(図 3-1.10(1))に関して、フェイズ 1 で開発・評価した初期熱分解モデルと気相反応モデルを、3次元炉内数値解析ツールに組み込み、基礎的な解析により動作を検証した。H29年度は引き続き、3TPD 小型ガス化炉を対象とした解析による検証を進めている。さらに、気相反応モデルの炭種適合性を高めることを狙い、多炭種の揮発分組成とその反応挙動を調査する基礎実験を実施するとともに、複数のモデルの比較検討も進めている。揮発分の反応に関する基礎実験結果の例として、初期熱分解モデルで考慮しているベンゼン、ナフタレンが他の側鎖を持つ芳香環よりも高収率で、分解しにくいことが分かり、スート生成への影響が大きいことが示唆された。(図 3-1.11)。

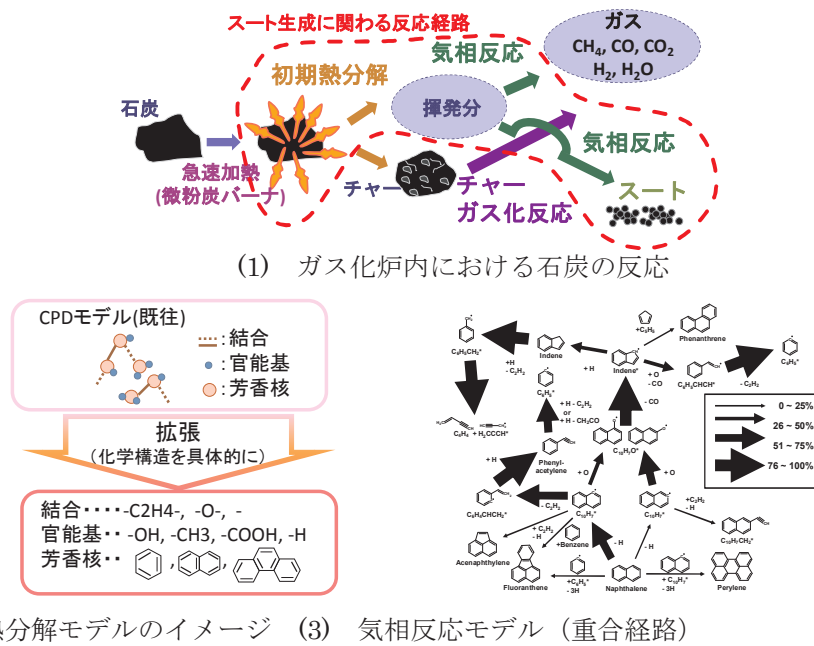


図 3-1.10 ガス化炉内における石炭の反応とスート生成モデルのイメージ

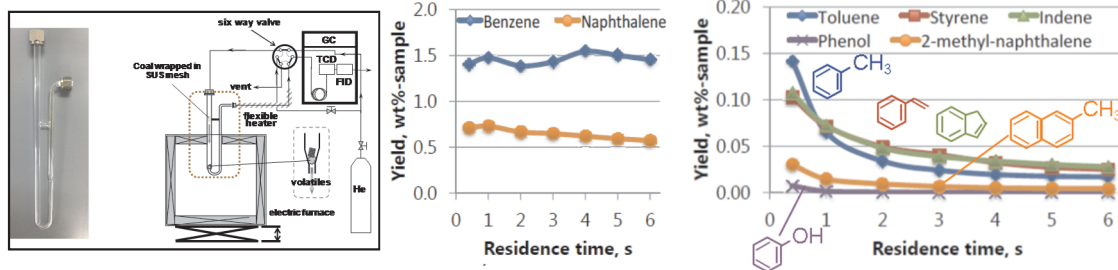
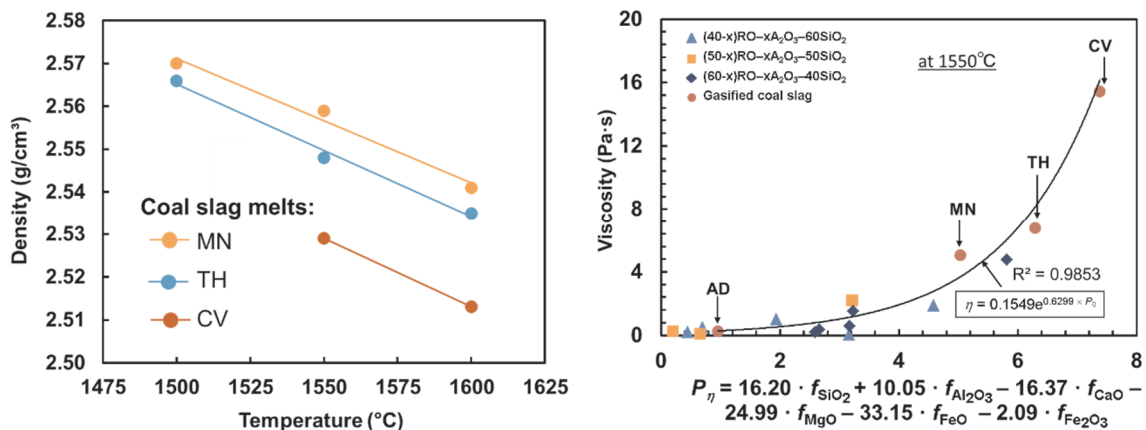


図 3-1.11 スート生成モデルの高精度化に向けた基礎試験結果(920°C, AD 炭)



## b) スラグ排出性評価ツールの構築

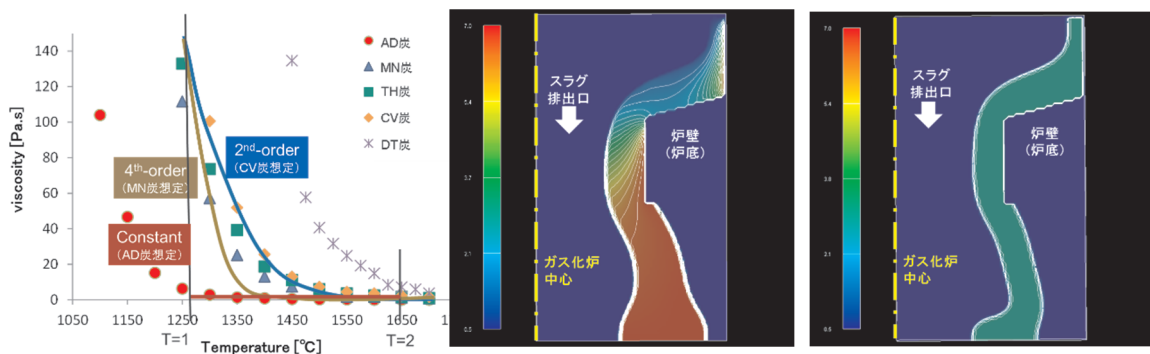
IGCCの中核設備である噴流床ガス化炉では、石炭灰を溶融させ高温の溶融スラグとして炉底から排出するが、溶融スラグの流動性は炭種によって大きく異なる。しかし、 $O_2/CO_2$ ガス化炉に限らず、空気吹き／酸素吹きいずれの噴流床石炭ガス化炉でも、スラグ排出性を事前に予測・評価する手法は確立されておらず、特定のガス化炉を安定に連続運転できる炭種、運転条件を見極める溶融スラグの排出性評価法構築が求められている。そこでフェイズ1では、溶融スラグの流下特性を予測するスラグ排出性評価ツールの基本コードを構築し、その精度を、溶融スラグを模擬した高粘性流体の流下試験データにより検証した。本プロジェクトでは、この評価ツールに実際のガス化炉を想定した形状を適用し、より実用的なツールに発展させた。また、本評価ツールが必要とする高温溶融スラグの諸物性を計測して蓄積したデータを元に、灰の元素組成などを元に、これら諸物性の温度依存性を予測する式を構築(図3-1.12)し、本評価ツールに組込むことにより、灰の元素組成などから高温溶融スラグのガス化炉からの排出特性を予測・評価できるツールの構築を目指している。例えば、高温における溶融スラグ粘度の温度依存性が大きく異なる複数の炭種について溶融スラグの流動性を評価した。スラグの冷却に伴い粘度が著しく増加するMN炭の場合は、スラグ層内に高粘度領域が形成されて流動性が低下する兆候が見られるのに対し、低温まで低い粘度が保たれるAD炭の場合は、炉底で冷却されても粘度の高い領域がほとんどみられず、良好なスラグ排出性が保たれることが予測された(図3-1.13)。



(1) 高温溶融スラグ密度の計測結果 (2) 組成パラメータ\*による高温粘度の予測例

図3-1.12 高温溶融スラグの諸物性計測・予測の状況

(\* : 組成パラメータとは灰元素組成から算出されるパラメータ)



(1) 粘度実測値と想定した粘度予測曲線 (2) MN炭スラグ層粘度分布 (3) AD炭スラグ層粘度分布

図3-1.13 スラグ排出性評価ツールを用いた炭種によるスラグ流の高温粘度評価

## 2.3 セミクローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築

乾式ガス精製システムは、高温・高圧で硫黄化合物やハロゲン化合物を除去できることから、現行のIGCCで主流となっている湿式ガス精製システムと置き換えることにより熱効率の向上が期待される。従来のPre-Combustion型CO<sub>2</sub>回収IGCCはCO<sub>2</sub>回収のために生成ガスを湿式処理するのに対し、本プロジェクトで開発するクローズドIGCCシステムでは、シフト反応器やCO<sub>2</sub>回収設備を必要としないため、乾式ガス精製システムの採用による送電端効率の向上効果を最大限に享受できるものとされる。そこで本プロジェクトでは、50TPD炉(炉内圧 約1MPa)に実機を想定した3塔式の乾式脱硫プロセスを含む乾式ガス精製システムを設置して長時間連続運転による性能検証などを行い、大型化に必要な運転・設計データを取得する。また、炉内圧が2MPaと高い3TPD炉に高圧脱硫設備を設置して脱硫剤性能への圧力の効果を把握する計画である。

クローズドIGCCシステムが採用するO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化炉の生成ガスはCO濃度が高く、ガス温度が450℃程度まで低下する乾式脱硫プロセスにおいてハニカム脱硫剤で炭素微粒子が析出し、脱硫性能の低下などを引き起こすことが懸念された。そこで、フェイズ1において、系内で循環しているGT燃焼排ガスの一部を乾式ガス精製システムの上流で添加することで、炭素析出を抑制できることを基礎試験により確認した。本プロジェクトでは、本抑制策の実証を進めるために基礎試験によりガス組成が炭素析出速度に及ぼす影響を把握するとともに、より実機に近い圧力やガス組成での炭素析出抑制策の検証によりGT燃焼排ガス投入量の明確化なども検討する。

### 2.3.1 酸素吹き50TPD石炭ガス化試験設備による検討

本プロジェクトでは、ガス化実ガスによる長時間連続試験などに向け、50TPD炉においてハロゲン除去物除去器と固定床3塔方式の乾式脱硫装置とを組み合わせたプロセス(図3-1.14)を用いて、石炭ガス化ガスを抽気してガス精製システムの実機相当条件での性能評価と設備大型化に必要な運転・設計データの取得を目指している。そのためにOxy-fuelシステム用乾式酸性ガス除去評価装置(図3-1.15)を追設し、H28年度までに一部設備の製作・設置を終えている。H29年度内には、設備の据付と試運転調整を行い、本格試験に向けた準備を整える見込である。

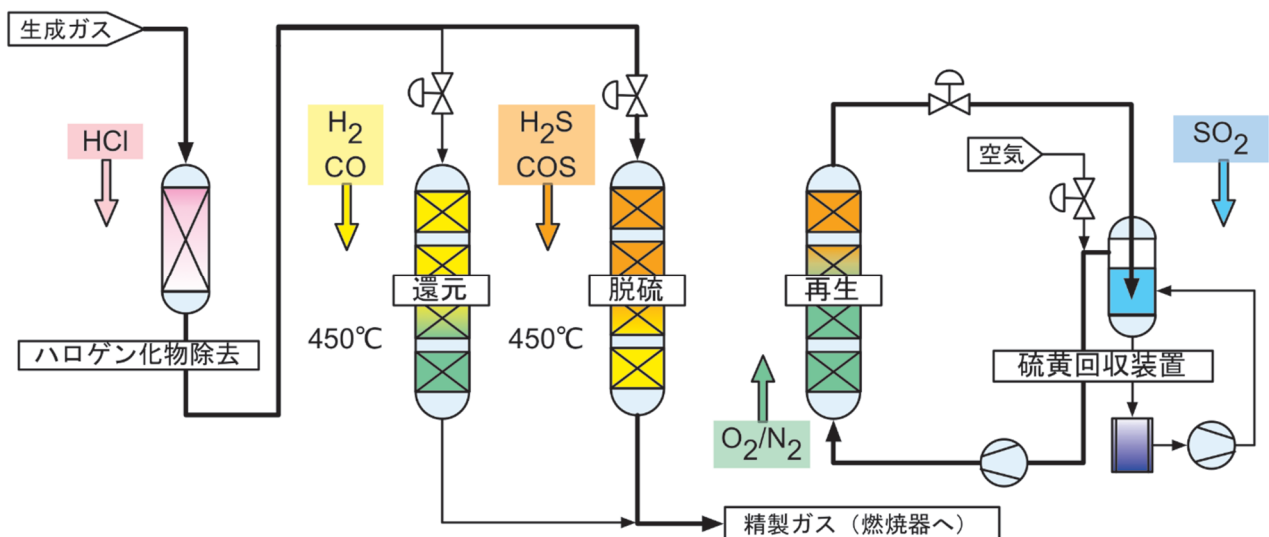


図 3-1.14 ハロゲン化物除去と固定床3塔方式乾式脱硫プロセスのコンセプト

(引 Kobayashi, Akiho, Energy Conv Manag 2016; 125:70-79.)

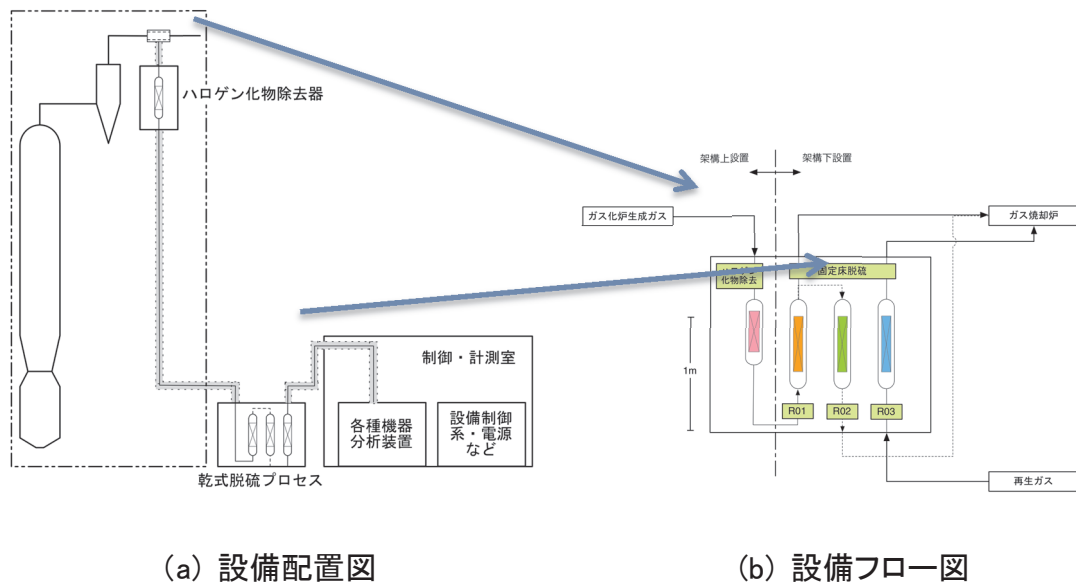


図 3-1.15 Oxy-fuel システム用乾式酸性ガス除去評価装置概略図

### 2.3.2 3TPD 小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討

実機の乾式ガス精製装置は高圧下で運転されるため、50TPD 炉(約 1MPa)よりも運転圧力が高い 3TPD 炉(約 2MPa)に高圧脱硫試験設備を追設して抽気石炭ガス化ガスを用いた試験を行い、設計データを取得する計画である。H29 年度までに設備の設置・試運転を終え、本格試験に向けた準備を整える予定である。

### 2.3.3 炭素析出対策の検証

フェイズ 1 で見出した炭素析出対策を検証するため、ガス組成が炭素析出速度に及ぼす影響などを確認する基礎試験を進めているが、それと並行して、調製方法の改良などによる炭素析出耐性の高い脱硫剤の開発も実施した(図 3-1.16)。十分な炭素析出抑制策が行えないガス化炉起動時を想定した厳しい条件では、改良前の脱硫剤では図 3-1.16(1)のように炭素析出により流路が損壊するなどの障害がみられたが、改良型の脱硫剤では、同一の条件でも炭素析出は発生せず健全な状態が保たれ、脱硫性能も低下しないことが確認できた(図 3-1.16(2)、図 3-1.17)。H29 年度は、炭素析出抑制策の効果を裏付けるため石炭ガスの組成や圧力の影響の把握を評価する。



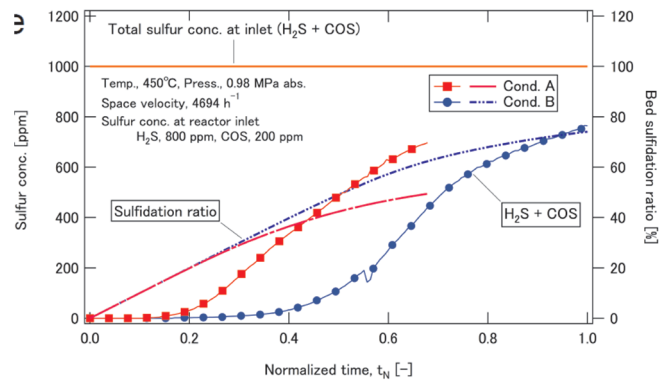
(1) 改良前の脱硫剤

(試験後には炭素析出により流路が損壊)

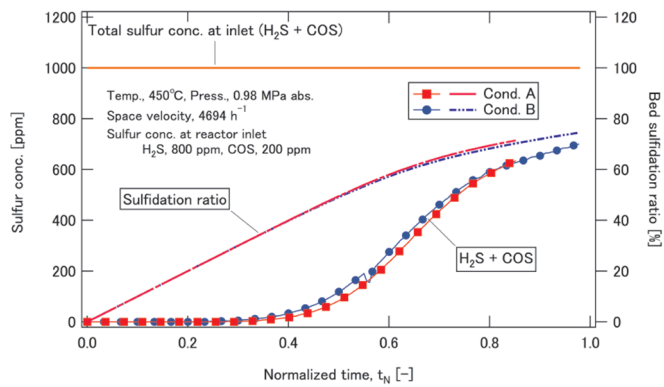


(上写真と同一条件で試験後も健全)

図 3-1.16 炭素析出耐性の高い脱硫剤の開発状況



### (1) 改良前の脱硫剤



### (2) 改良後の脱硫剤

図 3-1.17 改良による脱硫性能の向上

(改良型脱硫剤では、改良前脱硫剤においては炭素析出が発生した厳しい条件 (Cond.A: 析出領域) でも、非析出領域 (Cond.B) と同等の良好な脱硫性能が得られた)

## 2.4 GT 燃焼器基本構造の開発

CO<sub>2</sub>を主成分とするGT排ガスを循環するクローズドIGCC向け燃焼器の開発に向け、GT基礎燃焼試験と燃焼試験数値解析により、実機スケール燃焼器の特性を評価し、循環排ガスが燃焼特性に及ぼす影響を解明する計画である。本燃焼器には、排ガス中の非凝縮性ガスを低減しつつ、投入した石炭ガス化ガスをメタル温度の制約の中で安定して完全燃焼させることが要求される。H28年度は実機燃焼器設計に必要な基礎データを取得するために(1)1/3スケール燃焼器と基礎燃焼試験装置(図3-1.18,19)設計・製作、(2)ガス供給設備製作、(3)GT基礎燃焼試験装置の試運転を実施した。

基礎燃焼試験用のスケールモデル燃焼器は、実機燃焼器と滞留時間を一致させ、スケール比を1/3として設計・製作した。燃焼器は拡散燃焼方式であり、石炭ガス化ガスの流路をリサイクルガスの流路との間に配置し、酸素ノズルは3ヶ所設置した。供試燃焼器内部には燃焼時のメタル温度計測用の熱電対(全20点)を設置した。また、燃焼器出口部にてガス温度と組成の計測が可能な構造とした。

ガス供給設備は、想定されるさまざまな炭種の組成を再現するため、ガス種ごとにガスを貯蔵し、燃焼器上流で混合する。電気ヒータにより実機と同一温度まで昇温可能である。燃焼器内部圧力は0.4MPa(A)が上限である。完成した装置を用いて燃焼器に着火し、石炭ガス化ガスを模擬した低カロリーガスを安定して燃焼できることを確認した。

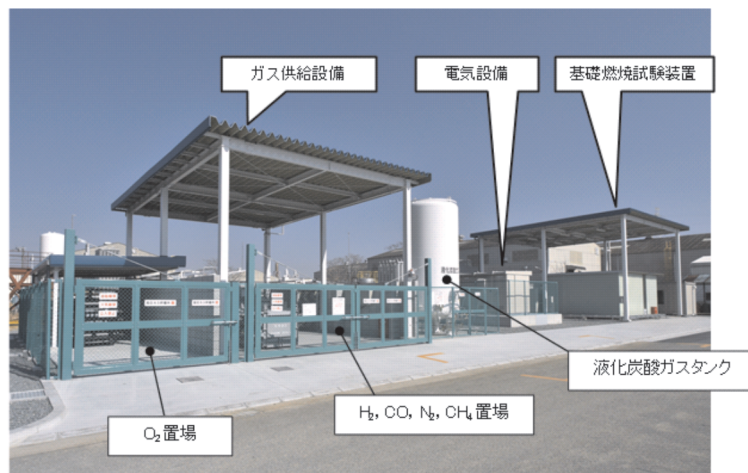


図 3-1.18 GT 基礎燃焼試験装置

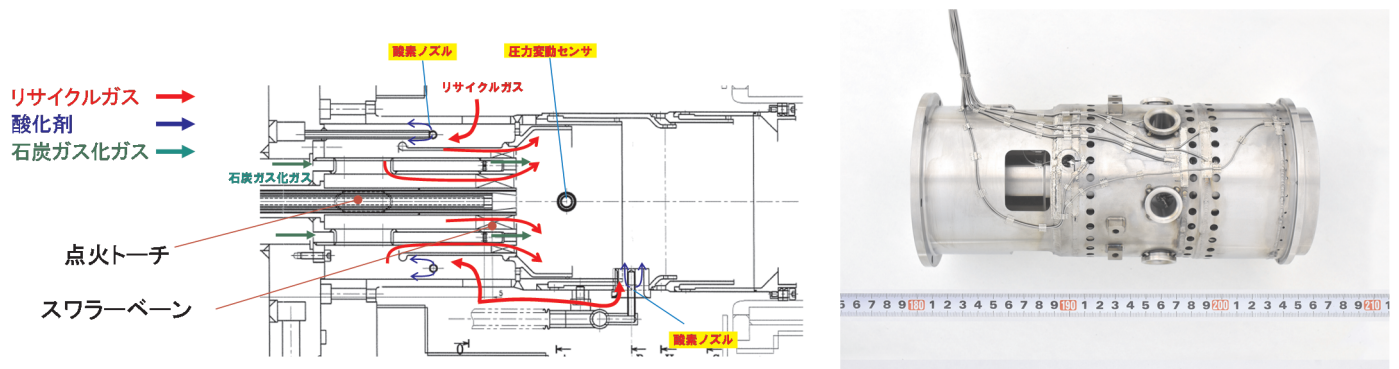


図 3-1.19 GT 基礎燃焼試験装置供試体燃焼器(スケール比 1/3)

H29年度は、GT基礎燃焼試験装置を用いて石炭ガス化ガスの燃焼試験を実施する計画である。インドネシア産MN炭の組成を基準とし、①圧力の影響(大気圧～0.4MPa(A))②炭種(石炭ガス化ガス組成)の影響、③燃焼器出口酸素濃度の影響についてそれぞれ確認する。計測項目は、燃焼器出口排ガス組成(CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、O<sub>2</sub>、CO)、燃焼器メタル温度、燃焼器圧力損失である。本試験で取得したデータを基に、実機燃焼特性評価手法を構築する。

## 2.5 セミクローズドGTシステムの概念設計

### 2.5.1 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出

クローズドIGCCにおける排気循環がGT排ガスの組成(回収CO<sub>2</sub>純度)に及ぼす影響を検討するため、単一バーナ基礎燃焼試験装置(図3-1.20)による排気循環を想定した燃焼試験を実施した。

量論比近傍(当量比 $\phi < 1$ )の燃焼で生じる残存O<sub>2</sub>(希釈剤中O<sub>2</sub>)については、希釈剤中にO<sub>2</sub>を添加した試験を行い、希釈剤中O<sub>2</sub>は燃焼効率の向上に寄与すること、排気循環を想定した場合、希釈剤中O<sub>2</sub>濃度と残存O<sub>2</sub>濃度が一致する循環O<sub>2</sub>濃度は当量比 $\phi$ によって変化することを確認した(図3-1.22)。

一方、燃料中に含まれる不純物のNH<sub>3</sub>(Fuel-N)については、燃焼後の生成NO<sub>x</sub>(Fuel-NO<sub>x</sub>)はほとんどがNOであること、石炭ガス化ガス組成の内、主にNH<sub>3</sub>濃度、CH<sub>4</sub>濃度、H<sub>2</sub>/CO比がNO<sub>x</sub>生成に影響を及ぼすことを確認した。また、希釈剤中にNOを添加した試験を行い、希釈剤中NO(Recycle NO)と燃料中NH<sub>3</sub>(Fuel-N)との相互作用は認められず、生成NO<sub>x</sub>濃度はFuel-NO<sub>x</sub>と添加したNOによるNO<sub>x</sub>を合算した濃度にほぼ等しくなること、排気循環を想定した場合、希釈剤中NO濃度と生成NO<sub>x</sub>濃度が一致する循環NO<sub>x</sub>濃度は量論比近傍(当量比 $\phi < 1$ )では当量比による違いがほとんど見られず、Fuel-NO<sub>x</sub>生成量の大きくなるCH<sub>4</sub>を含む燃料では上昇することを確認した(図3-1.23)。

H29年度は、上記結果を踏まえ、H28年度に設置した排気循環ループ(図3-1.21)を活用し、排気循環ガスの経時的な組成変化の確認に向け、基準条件における排気循環燃焼試験を進めている。

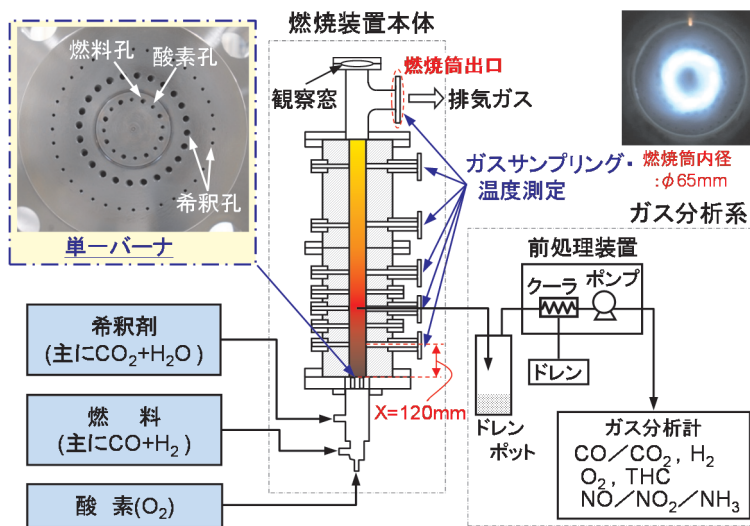


図 3-1.20 単一バーナ基礎燃焼試験装置



図 3-1.21 排気循環ループ

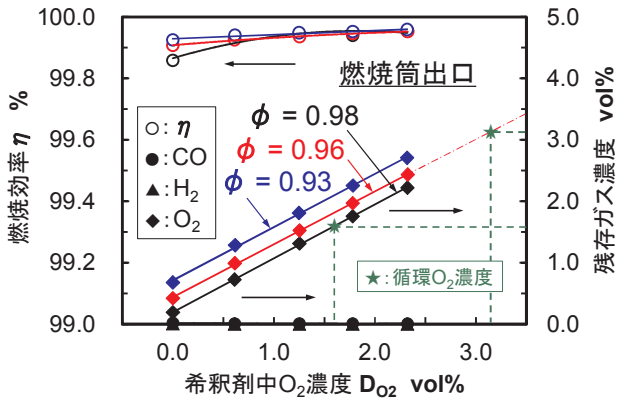


図 3-1.22 希釈剤への O<sub>2</sub> 添加結果

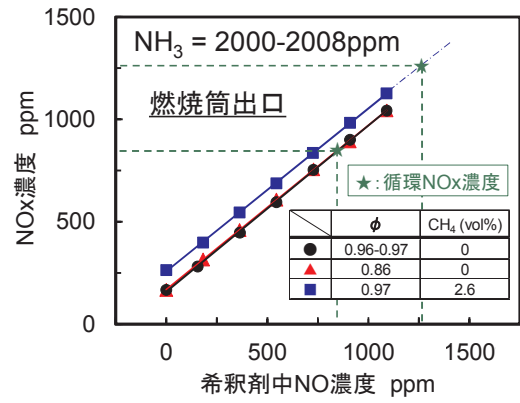


図 3-1.23 希釈剤への NO 添加結果

## 2.6 CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討

### 2.6.1 諸検討結果の全体システムへの反映

CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC システム全体検討を実施可能とするために、汎用化学プロセスシミュレータ Aspen Plus を用いて、本システム全体の熱物質収支解析モデルを構築して、熱効率の評価を可能とした。Aspen Plus の解析では、MHPS が保有するガス化炉性能計算プログラム及びガスタービン性能計算プログラムの結果にチューニングすることで、実機ガス化炉・ガスタービンを想定した解析モデル(図 3-1.24)とした。

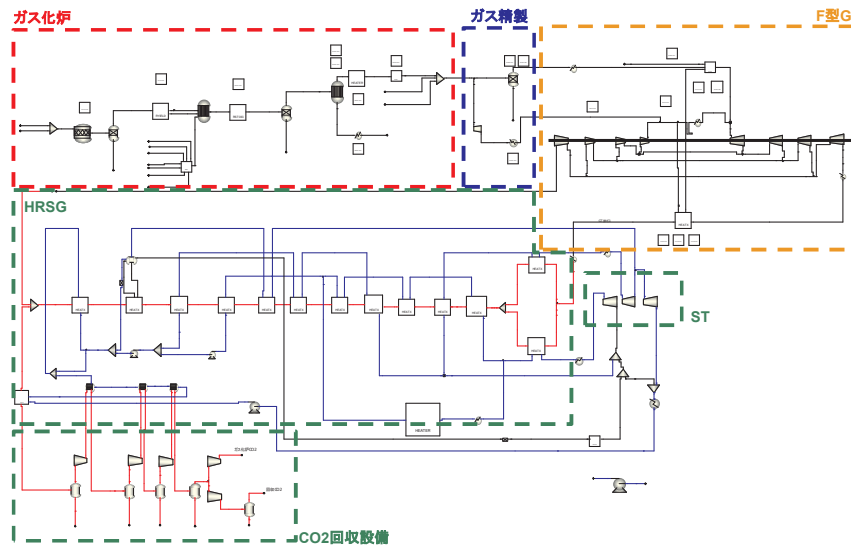


図 3-1.24 Aspen Plus 解析モデル

モデルの構築では、まずフェーズ 1 で電力中央研究所にて作成した熱物質収支を再現するモデルを構築し、計算結果が再現可能であることを確認した(図 3-1.25)。その後、実機ガス化炉・ガスタービンを想定したモデルへ改良を行い、また諸検討結果の反映として、炭素析出防止用リサイクル排ガスラインの追加、HRSG 給水温度の見直し(酸露点回避)、石炭乾燥方法の変更などを行った。

H29 年度は、ガス化炉の運転条件(ガス化炉投入蒸気・燃料比率(Steam/Coal)及び微粉炭中水分)をパラメータにプラント熱効率の解析を行っており、実現性を考慮した最適な運転点を見出すよう検討を進

めている。さらに全体システムの成立性検討と送電端効率 42% (HHV) 達成のための技術課題を整理する。

回収 CO<sub>2</sub> の不純物基準に関する調査、検討としては、CO<sub>2</sub> 回収および CCS に関する技術開発動向などを調査するとともに、不純物低減技術の調査として乾式ガス精製技術の開発動向などの調査を実施した。

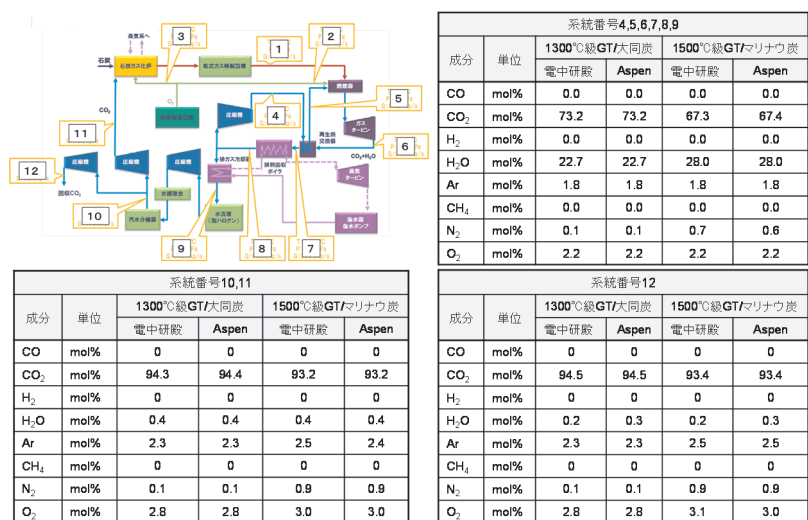


図 3-1.25 再現モデルによる各部ガス組成の計算結果比較

## 2.6.2 プラント性能及び発電コストの試算

本プロジェクトでは、種々の試験結果から得られた情報を総合的に勘案し、より実現性の高いシステムの提案を目指しており、本章では、最新システムを対象に、プラント性能および発電コストを試算、更新する。

これまでのところ、フェイズ1で想定したシステムに対する改造項目は見出されていないため、プラント性能の更新として、循環排ガス組成の影響を検討した。

フェイズ1では、循環排ガスを CO<sub>2</sub> と Ar の混合ガスと仮定して効率を計算したが、実際の循環排ガスには N<sub>2</sub> なども含まれる。そこで、前フェイズで試算対象とした 3 炭種を対象に、循環排ガスの組成を繰り返し計算で算出し、当該組成の排ガスがガス化炉および複合発電系に循環される際のプラント性能への影響を確認した。

その結果、いずれの炭種でも想定送電端効率は 43%<sub>HHV</sub> 以上となり、目標値(42%<sub>HHV</sub>)を上回る見通しが得られた(表 3-1.2)。

また、この送電端効率解析結果を元に、クローズド IGCC システムの発電コストを更新した。

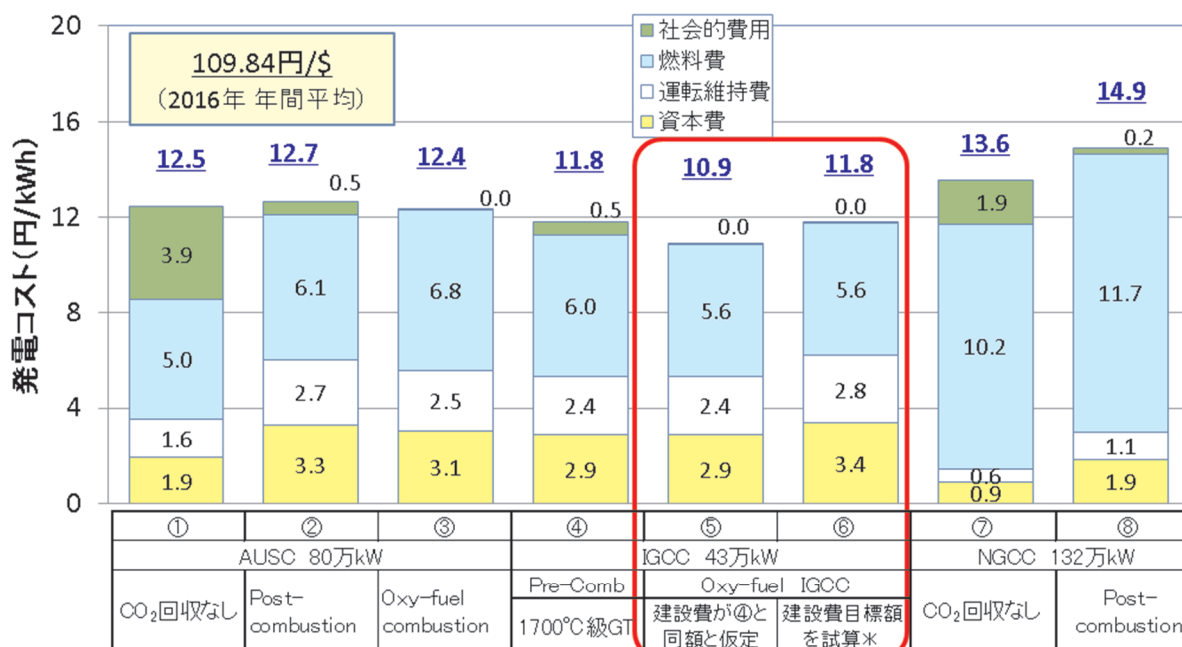
コスト試算にあたっては、H27 年にコスト等検証ワーキングが公開した計算手法を適用した。

コスト等検証ワーキングの試算手法は、本プロジェクト前フェイズで採用した H24 年のコスト等検証委員会の手法と比べ、燃料費が高めの設定となっていることなどから、クローズド IGCC システムの発電コストは、他の CO<sub>2</sub> 回収型石炭火力②~⑤や CO<sub>2</sub> を回収しない発電システムで社会的費用を考慮した場合①よりも、優位なコストとなった(図 3-1.26)。



表 3-1.2 循環排ガス組成を考慮した送電端効率

炭種	DD炭	MN炭	MO炭
	中国	インドネシア	豪州
発熱量(kJ/kg,気乾)	28.8	29.4	30.0
固有水分(% ,気乾)	3.9	4.7	3.6
灰分(% ,無水)	10.8	8.4	9.6
燃料比(-,無水)	2.26	1.25	1.86
酸素比(-)	0.38	0.38	0.38
送電端効率 (% ,HHV)	43.8	43.3	43.4



\*: ⑥は「Oxy-fuel IGCCの発電コストが④の発電コストと同額となる建設費」を見積もった結果で、④の建設費の1.17倍未満なら発電コストが有利。

【試算法について】

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

図 3-1.26 コスト等検証 WG の手法による発電コスト試算

### 3-2. 次世代ガス化システム研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

次世代高効率石炭火力発電技術として、現在開発されている IGCC を効率でしのぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、電力中央研究所は、水蒸気を噴流床ガス化炉へ添加して冷ガス効率及び送電端効率の向上を図る水蒸気添加 IGCC システム(図 3-2.1)を対象とした基盤研究に取り組んでいる。平成 25 年度および平成 26 年度に実施したシミュレーションによる調査研究では、噴流床ガス化炉への高温水蒸気の添加による冷ガス効率及び送電端効率の向上とエネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだ IGCC システムの構築による更なる送電端効率の向上の可能性があったことが分かった。そこで、小型ガス化炉を用いた水蒸気添加効果の検証と評価を進めており、表 3-2.1 に示すように平成 29 年度中に中間目標を達成した。引き続き最終目標の達成に向けて取り組んでゆく。

表 3-2.1 本事業の中間目標および達成状況

中間目標	研究開発成果	達成度
事業全体  既存の IGCC (1,500℃級ガスタービンで送電端効率 46~48% (HHV 基準)) をしのぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。	3 トン/日規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉に水蒸気過熱設備を設置した。本ガス化炉を用いて水蒸気添加ガス化試験を実施し、試験方法を確立する見込み。	達成見込み (H30 年 3 月)
①水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証  二室二段噴流床方式の小型ガス化炉における水蒸気注入の評価	3 トン/日規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉を対象に、数値解析により水蒸気添加時のガス化性能を予測した。ガス化試験を実施し、数値解析結果と比較評価することにより、水蒸気注入効果を評価する見込み。	達成見込み (H30 年 3 月)
②エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価  エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価	各種酸素製造技術を調査し、各技術の仕様や特徴を整理した結果、現状で水蒸気添加 IGCC への適用が期待できる酸素製造技術は、既存技術の深冷分離技術のみであることが分かった。水蒸気添加 IGCC システムの条件に合わせて省エネルギー化した深冷分離法の機器構成を明らかにする見込み。	達成見込み (H30 年 3 月)
③水蒸気添加 IGCC のシステム検討  噴流床ガス化炉に水蒸気を添加する IGCC システムのコスト試算	発電コスト検証ワーキンググループによる算定方式で、IGCC の送電端効率向上に対する発電コストの感度解析を行い、水蒸気添加 IGCC システムにおける建設単価の目標を明らかにした。	達成見込み (H30 年 3 月)

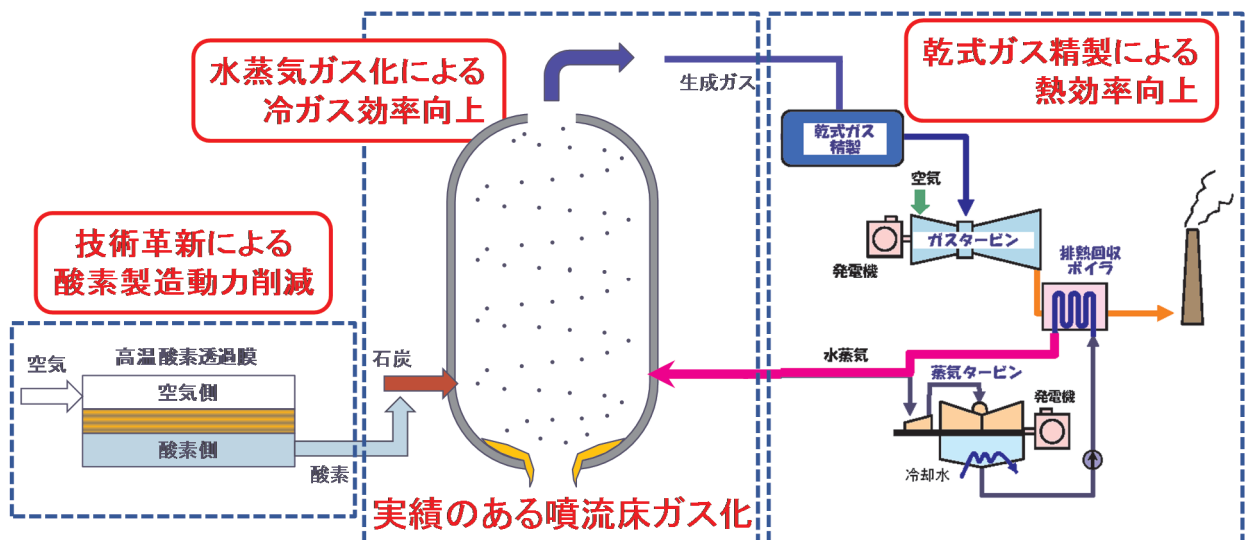


図 3-2.1 水蒸気添加 IGCC システムの概略系統図

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証として、小型ガス化炉を用いて水蒸気添加ガス化試験を実施する。また、課題とされる生成ガスへのタールの残留に対し、水蒸気添加ガス化条件におけるタールの改質反応を明らかにする実験と改質反応のモデリングを実施している。最終的に反応モデルをガス化炉内数値解析に組み込み、タールの挙動を含めたガス化炉内の反応(図 3-2.2)を予測する技術の確立し、商用規模の水蒸気添加噴流床ガス化炉の評価を可能とすることを旨とする。各項目について、以下に述べる。

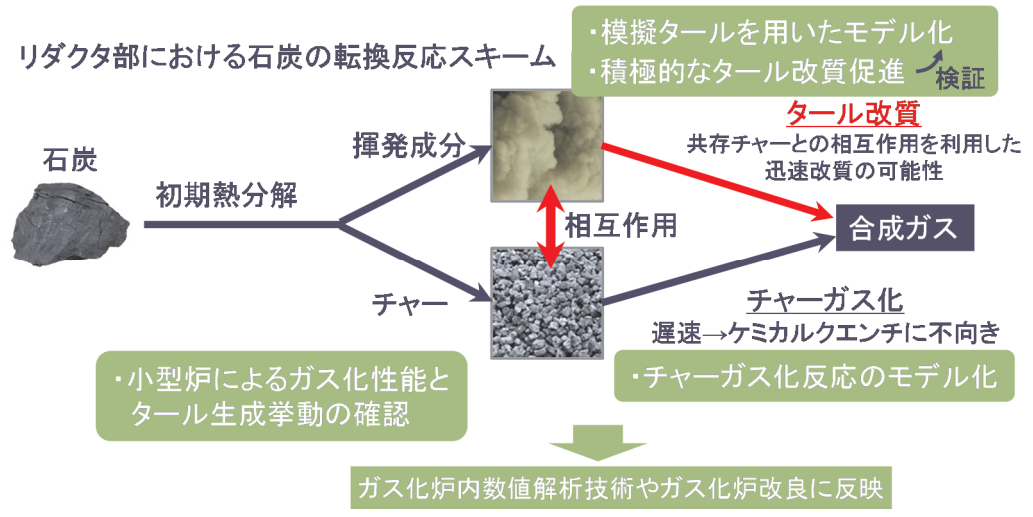


図 3-2.2 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の予測に必要な反応モデルの概要

## 2.1.1 小型ガス化炉による水蒸気添加効果の検証

### (1) 3TPD 炉による水蒸気添加ガス化試験方法の確立

二室二段噴流床ガス化炉(図 3-2.3)への水蒸気添加効果を評価するため、小型ガス化炉によるガス化試験を行い、水蒸気添加効果を検証する。ここで、ガス化性能評価およびガス化炉の安定運転に関わるスラグ排出性評価については、電力中央研究所の 3 トン/日規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉(3TPD 炉)を用い、また、タール生成挙動の評価のためには、二室二段噴流床ガス化炉の 2 段目(リダクタ)を模擬する炉(リダクタ模擬小型ガス化炉)を新たに製作している。

まず、これまでの 3TPD 炉の運転実績を踏まえ、水蒸気添加ガス化試験を実施するにあたり実施可能な試験条件を検討し、供試する石炭を決定した。次に、水蒸気添加ガス化試験に必要な温度までガス化用水蒸気を過熱するため、3TPD 炉に水蒸気過熱設備を導入する工事を進めており、平成 29 年 9 月に設置を完了する(図 3-2.4)。10 月よりガス化試験を開始し、①水蒸気投入なし(基本性能把握)、②水蒸気添加量小(水蒸気添加によるガス化性能把握)、③水蒸気添加量大(ガス化性能向上把握)の条件を計画している。これらのガス化試験より、平成 29 年度内に小型炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する見込みである。

さらに、3TPD 炉ガス化試験結果を解析し、2.1.2 節に記載するガス化炉内数値解析によるガス化性能の予測結果と比較評価することにより、水蒸気をガス化炉に添加した効果を評価する見込みである。平成 30 年度にも引き続き水蒸気添加ガス化試験を継続し、水蒸気添加効果を小型ガス化炉で検証する計画である。

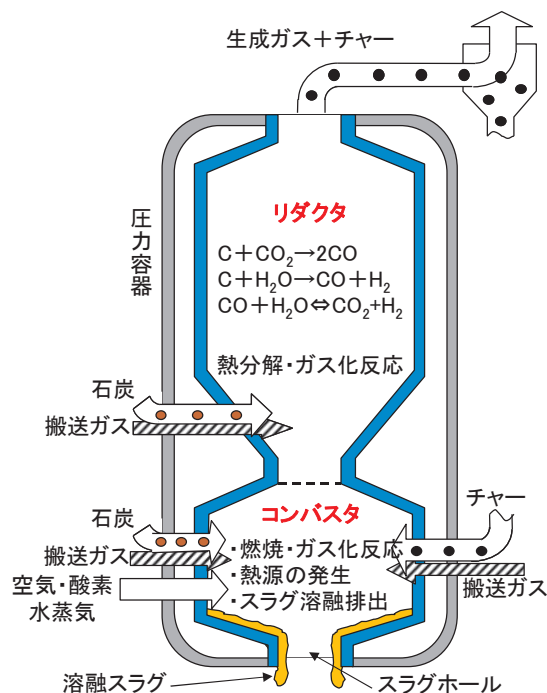


図 3-2.3 二段噴流床石炭ガス化炉の概略

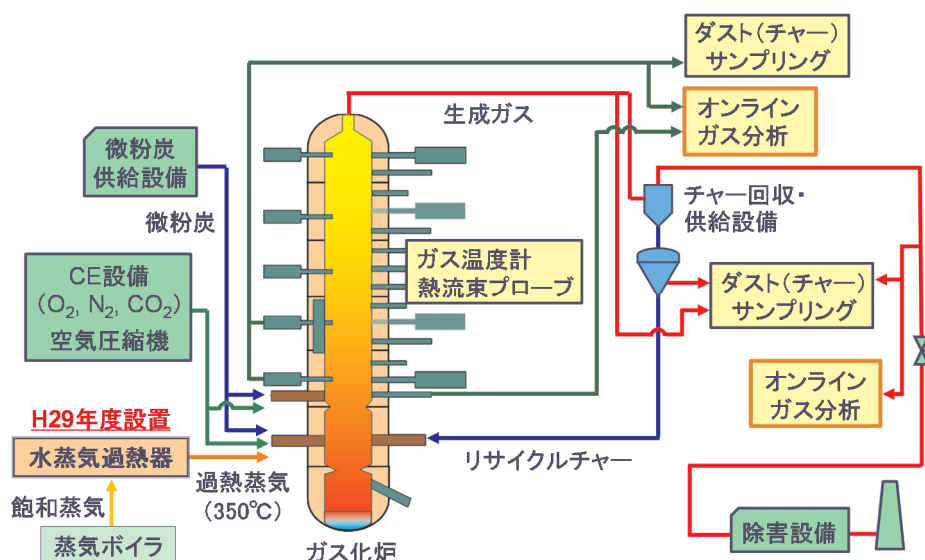


図 3-2.4 3TPD 炉の概略系統図と水蒸気過熱設備

## (2) リダクタ模擬小型ガス化炉の製作

噴流床ガス化炉で効果的に水蒸気ガス化が進む条件では、吸熱反応によりリダクタ内温度が低下すると予想されており、タールの残留が懸念される。そこで、本項目ではガス化炉で発生するタールを実際に測定し、運転条件との相関を明らかにすることを目的としている。しかし、3TPD 炉の設計において生成ガス中のタールは考慮されておらず、タールが残留する条件での運転が困難であるため、小型でフレキシビリティのあるガス化炉を新たに製作している。

コンバスタでは高温かつ投入酸素によってタールは迅速に消費される一方、リダクタで生成されるタールは、分解されずに残留する可能性があるため、新設するガス化炉ではリダクタでの反応挙動に注目している。そこで、小型で自立した炉を実現するため、コンバスタは石炭ではなく気体燃料の燃焼・改質反応で代替することとし、リダクタ部だけに石炭を供給するコンセプトとした。リダクタ模擬小型ガス化炉と名付け、図 3-2.5 に示す設備を平成 28 年度に設計した。

リダクタ模擬小型ガス化炉のコンバスタに供給する燃料ガスやガス化剤などを調整し、燃焼、メタン改質反応ならびに水性ガスシフト反応を組み合わせることで、目的とするコンバスタ出口温度および組成の模擬ガスを作り出し、水蒸気添加ガス化相当条件を設定する。リダクタに投入した石炭(定格 5kg/h)は模擬ガスにより加熱されるとともに熱分解およびガス化反応が進む。リダクタ部に設置したタールサンプリングプローブでタールを捕集し、タール濃度や組成を測定することができる。平成 29 年 6 月に製作を開始しており、11 月に設置を完了し、年度内に試運転を実施する見込みである。平成 30 年度には、ガス化条件(ガス組成ならびにガス温度)を変化させた試験を行い、タールの残留条件を検討することで、水蒸気添加ガス化条件におけるタールの挙動を把握する計画である。

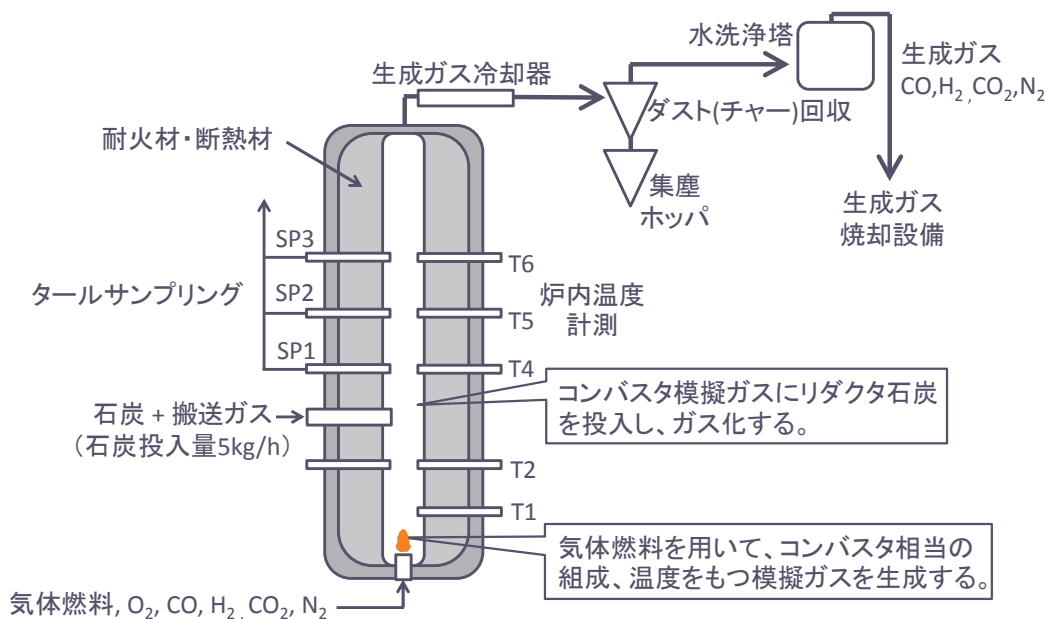


図 3-2.5 リダクタ模擬小型ガス化炉の概要

## 2.1.2 数値解析による水蒸気添加方法の適正化

### (1) ガス化炉内数値解析による 3TPD 炉ガス化試験条件の検討

3TPD 炉による水蒸気添加ガス化試験を実施するにあたり、数値解析技術を用いて事前検討を実施した。実機規模のガス化炉の開発においても数値解析技術が不可欠であり、平成 29 年度には 3TPD 炉試験結果を用いて数値解析技術の改良・検証を行う計画である。

電力中央研究所では、ガス化反応速度論と物質収支および熱収支を考慮したガス化炉の一次元数値解析によるガス化性能予測手法と、ガス化炉の形状を踏まえた三次元伝熱流動解析による詳細な炉内現象の予測手法を開発している。上述の 2.1.1 節で決定した試験候補炭に対し、3TPD 炉を対象にした一次元解析を行い、コンバスタに水蒸気を添加する際に、ガス化炉の安定運転に必要な炉内温度(スラグの安定排出に必要なコンバスタ温度)を維持できる運転条件(酸素比)を推定した。このガス化条件において、三次元熱流動解析を行った結果、図 3-2.6 に示す炉内温度分布のように、3TPD 炉で通常の運転である空気吹き条件に比べ、酸素濃度を高めて水蒸気を添加すると、特にリダクタでの吸熱大きく炉内温度が大幅に低下することが分かった。そこで、給炭量比 R/T(リダクタに投入する石炭の割合)を通常の条件よりも低減することでリダクタガス温度が上昇するとともに、コンバスタの熱負荷が増えるため炉底のスラグタップ周辺の高温度域が広がる効果が得られた(図 3-2.7 左図)。このときの水蒸気濃度分布(図 3-2.7 右図)から、バーナ噴流で形成される旋回流により添加水蒸気は速やかに混合され、水蒸気がガス化反応により効率良く消費されることが確認され、熱損失の大きい小型炉でも、水蒸気の添加に伴い冷ガス効率が若干ではあるが向上することが分かった。これらの結果を踏まえて 3TPD 炉のガス化試験を実施し、数値解析技術の検証を行い、平成 30 年度には実機の炉内現象の予測を行う計画である。

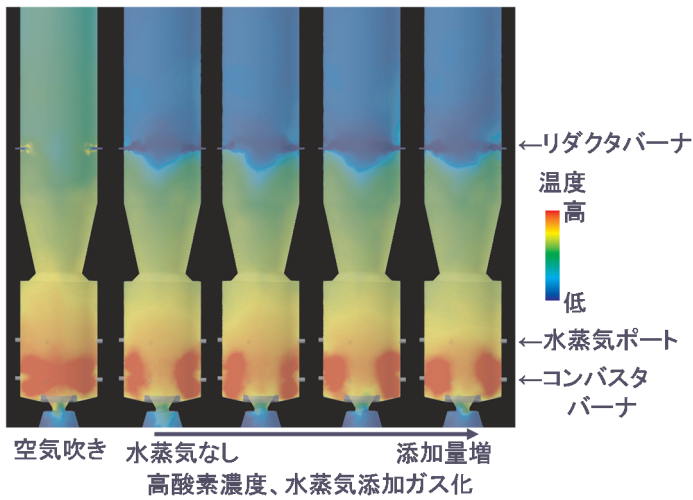


図 3-2.6 3TPD 炉内のガス温度分布予測

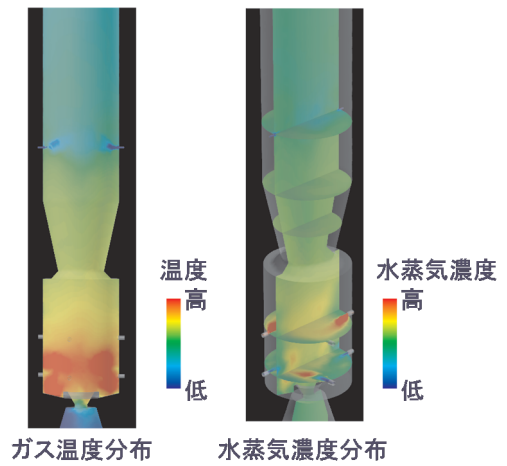


図 3-2.7 R/T 低減条件における解析

## (2) 水蒸気添加噴流床ガス化炉におけるチャーのガス化反応速度モデルの構築

上述の数値解析では、解析対象に応じた適切な数値モデルが必要である。チャーのガス化反応はガス化炉内での律速反応であり、ガス化炉の設計や性能評価には不可欠である。そこで、電力中央研究所では、噴流床ガス化炉内に相当する高温加圧条件でのチャーのガス化反応速度モデルを開発し、各種石炭の反応速度を明らかにしてきた。本プロジェクトで対象とする水蒸気添加ガス化条件においては、従来の噴流床型ガス化条件に比べて炉内温度が低下することが予測されているため、これまでに確立されたチャーガス化反応モデルの適用範囲を拡大する必要があり、本項目ではチャーのガス化反応速度における温度履歴の影響を調べた。

噴流床ガス化炉のような気流層反応装置における気固反応を解明できるDTFを用い、亜瀝青炭に対して複数の炉内温度で熱分解実験を行い、温度履歴の異なるチャーを調製した。得られたチャーのCO<sub>2</sub>や水蒸気によるガス化反応速度をTGおよびDTFによるガス化実験で取得したところ、図3-2.8に示すように、低い温度で生成したチャーは、高温で生成したチャーよりも同一のガス化条件におけるガス化反応速度が速いことを定量的に明らかにした。その理由として、供試亜瀝青炭に含まれる鉄分がガス化反応に対して高い触媒作用を示しており、その形態(分散性)が温度履歴によって変化するためであることを明らかにした(図3-2.9)。

同様に、3TPD 炉のガス化試験に供試予定の瀝青炭についても、DTF を用いた熱分解実験とチャーガス化実験を行い、温度履歴の影響を明らかにした。炭種によりチャーガス化反応のメカニズムが異なることから、複数の石炭についてデータを取得する計画としており、チャーガス化反応速度モデルにおいてチャーの生成温度を考慮することで、ガス化炉の数値解析精度の向上を図る。

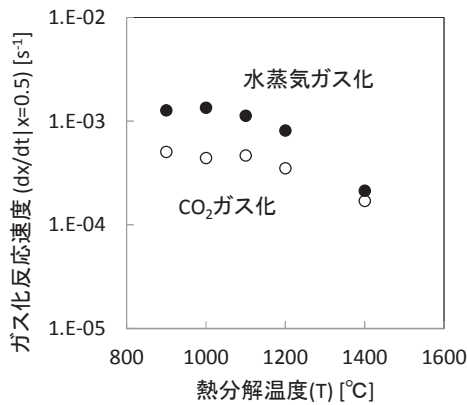


図 3-2.8 チャーのガス化反応速度に及ぼすチャー生成条件の影響

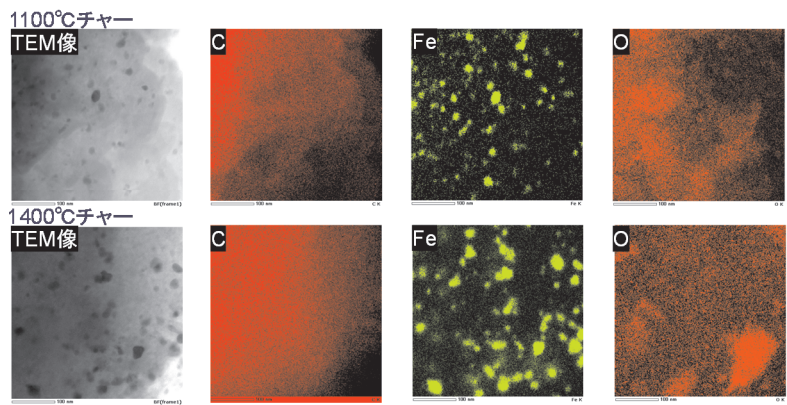


図 3-2.9 TEM 観察によるチャー中铁分の分散性

亜瀝青炭のチャーには触媒作用を示す鉄のナノ微粒子が高分散しており、高い反応性の理由である高い触媒作用をしていることが分かった。チャーの生成温度が高いほど微粒子鉄のシンタリングが進み、の粒径が大きくなり、触媒作用が低下すると考えられる。

### 2.1.3 水蒸気添加噴流床ガス化炉における熱分解揮発成分反応速度モデルの構築

ガス化炉内で、石炭の熱分解で揮発した成分は、気相での縮重合や水蒸気による改質などの反応で消費される。さらに、チャー粒子表面で揮発成分が軽質ガスと析出炭素に改質されることが知られている。前述の通り、水蒸気添加ガス化条件では、従来の噴流床型ガス化条件に比べて炉内温度が低下することが予測されるため、熱分解揮発成分の分解・改質が十分に進まず、生成ガス中にタールとして残留することが懸念されることから、タールトラブルの回避が大きな課題の一つであると考えられる。そこで、2.1.1(1)節においてリダクタ模擬小型ガス化炉におけるタール挙動を把握する一方、本項目では熱分解揮発成分の気相改質反応および接触改質反応の基礎実験から水蒸気添加噴流床ガス化条件における反応速度モデルを構築し、ガス化炉内数値解析ツールに組み込むことで、残留タールを定量的に予測することを目指している。

チャー表面における接触改質反応のモデル化に必要な実験を行うため、石炭熱分解揮発成分の代わりに模擬タール物質を用いた接触改質反応実験を行う流通式管状反応装置(図 3-2.10)を平成 28 年度に設計・製作し、基本性能を確認した。平成 29 年度には、主要な模擬タール物質に対してチャーを用いない気相改質実験を行い、2000 以上の素反応から構成される詳細化学反応モデルによる気相改質反応シミュレーションの改良と検証を完了する見込みである。平成 30 年度にはチャーを用いた模擬タール物質の接触改質実験結果から、チャー表面におけるタール改質に関する不均一反応速度モデルを構築する計画である。

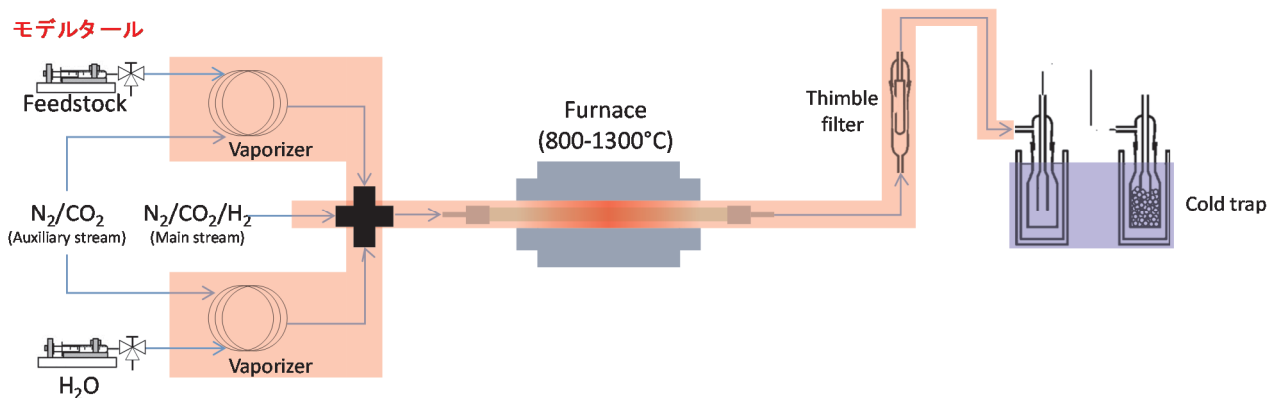


図 3-2.10 模擬タールの接触改質反応実験のための流通式管状反応装置



## 2.1.4 水蒸気添加噴流床ガス化炉におけるタール改質促進技術の開発

前項では、水蒸気添加噴流床ガス化炉における残留タールを定量的に予測する手法を構築することが目的である。さらに、積極的に残留タールを低減することが可能となれば、水蒸気添加 IGCC の一層の効率向上に貢献することができる。

流動層ガス化炉のように粒子濃度が高い場合には、石炭やバイオマスの熱分解揮発成分がチャー表面での接触改質反応によりタールが減少し炭素析出が起こることがすでに知られている。そこで、噴流床ガス化条件に相当する粒子濃度において、石炭熱分解揮発成分の接触改質反応を解明する実験を行うため、石炭とチャーを同時に供給して反応させる粒子落下式管状ガス化装置(図 3-2.11)の本体を平成 28 年度に設計・製作し、基本性能を確認した。平成 29 年度には、水蒸気添加噴流床ガス化条件を想定した石炭と水蒸気の供給量比において、チャーによる揮発成分の接触改質を含む実験条件でのタール生成特性を明らかにするとともに、本設備を圧力容器に格納し、加圧下での接触改質反応実験を実施可能となる見込みである。平成 30 年度にはタール生成特性における圧力影響を把握し、水蒸気添加噴流床ガス化を模擬した条件における接触改質反応によるタール低減効果を明らかにする計画である。

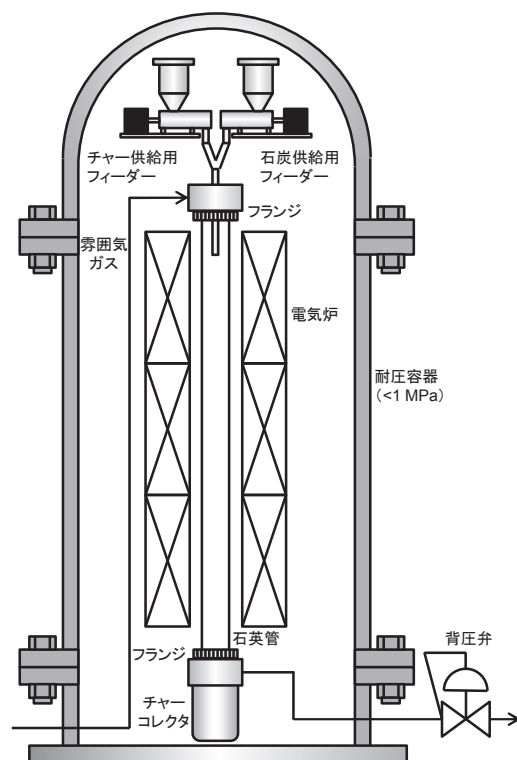


図 3-2.11 石炭とチャーを同時供給する粒子落下式管状ガス化装置

## 2.2 エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

IGCC プラントにおいて、所内動力の大半はガス化用酸素の製造のために消費されている。そこで、エネルギー効率の高い酸素製造技術が期待されている。米国 APCI 社 (Air Products and Chemicals, Inc.) ではイオン透過膜 (ITM: Ion Transport Membranes) を利用した高効率酸素製造技術 (ITM Oxygen) を開発していることから、本項目ではその開発動向を調査した。APCI 社は、米国エネルギー省の資金を受け、100 トン/日規模の酸素製造と 5MW の電力とを併産するパイロットプラントを開発した。平成 28 年 2 月に米国アレントアウンにある同社の研究開発拠点を訪問し、パイロットプラントの運転状況等についてヒアリング調査を行ったところ、平成 26 年 11 月に数機の ITM モジュールを組み込んで酸素製造試験を開始し、徐々に酸素製造量を増やして最終的に酸素製造量 40 トン/日で 450 時間の連続運転が実施されたが、電力併産の実施には至らず、平成 27 年 7 月に試験を終了したとのことであった。

平成 28 年度には酸素透過膜 (OTM: Oxygen Transport Membranes) 技術を開発している米国 Praxair 社でヒアリング調査を行った。同社は天然ガス改質プラント向けの酸素製造装置として開発を行っているが、IGCC とのインテグレーションについてはさらなる検討が必要であることが分かり、今後の大型化や IGCC への適用可能性については、注視してゆく必要があるといえる。

既存技術も含めて各種酸素製造技術を調査し、各技術の仕様や特徴を整理した結果(表 3-2)、現状で次世代ガス化システムへの適用が期待できる酸素製造技術は深冷分離技術のみであるといえる。現在の深冷分離技術による酸素分離動力原単位は約  $0.28\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{-}100\%\text{O}_2$  換算(酸素濃度 97.5mol%、常圧)

であり、平成 29 年度には次世代ガス化システムの特性に合わせた深冷分離法の機器構成を明らかにする見込みである。

表 3-2.2 各種酸素製造技術の調査結果と次世代ガス化システムへの適用性

項目	既存酸素製造法		従来の改良プロセスによる高効率化			高効率酸素製造法	
	複式精留型 深冷分離法 既存ASU	圧カスイング 吸着法 PSA	内部熱交換器型 深冷分離法 HDIC	高圧カスイング 吸着法 HT-PSA	自己熱再生プロセス 深冷分離法	高温酸素分離膜法	
分離方式						ITM O <sub>2</sub> oxygen	OTM
基本動作	深冷における蒸留	圧カスイングによる窒素吸着	深冷における蒸留	圧カスイングによる酸素吸着	深冷における蒸留	膜中酸化物イオン拡散	
酸素濃度	85～99.9%	～93%	～95%	～99%	理論的には既存ASUと同様	～99.9%	純酸素発生なし
酸素発生量 (Nm <sup>3</sup> /h)	～130,000	100～8,000	5,000～100,000	5,000～10,000		5,000～100,000	
酸素圧縮方式	外部圧縮型(酸素圧縮機) 内部圧縮型(液体ポンプ)	酸素圧縮機	外部圧縮型(酸素圧縮機) 内部圧縮型(液体ポンプ)	酸素圧縮機	外部圧縮型(酸素圧縮機) 内部圧縮型(液体ポンプ)	酸素圧縮機	-
作動温度	-183℃	常温	-183℃	600～800℃	-183℃	800～900℃	950～1,050℃
実用化時期	1910年	1972年	2020年頃 5,000Nm <sup>3</sup> /h規模開発中	2017年頃 500Nm <sup>3</sup> /h規模開発中	未定 自社開発は断念	3年以上の開発が必要 自社開発は断念	2040～2050年 Oxy Combustion 向け
酸素分離動力原単位 (kW h/Nm <sup>3</sup> -100% O <sub>2</sub> 換算)	多塔式低原単位型プロセス 97.5m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.28 (5,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算)	93m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.34～0.35 (4,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算)	95m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.25 (5,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算)	99m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.25 (1,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算)	既存ASUと比較して約10% 削減するとの試算あり	99.9m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /時 0.23 (5,000Nm <sup>3</sup> /h規模で試算)	-
大型化の可能性	単機で適用済み	多塔基×数ユニットで 対応可能	原理的には単機で可能 内部熱交換器の大型化技術 に依存	多塔基×数ユニットで 対応可能	理論的には 既存ASUと同様	大型化可能 (1,300℃級ガスタービンとのインテ グレーションに関する試算あり)	大型化可能 (6MW so 6規模のSynGas製造設備 の実証を目指している)
経済性	(基準)	ユニット数増や設置面積 増によりコスト増	内部熱交換器型の製 造管理コスト増	ユニット数増や設置面積 増によりコスト増	検討事例なし	35%コスト削減の試算あ り	Oxy Combustionへの適用に より、IGCC+CCSと同等の CO <sub>2</sub> 回収動力原単位が得られ るとの試算あり
次世代ガス化技術 への適用性	◎	△	○	△	△	○	△
備考	国内外のIGCC実証機・商 用機に採用。	深冷分離補等の棲み分けが 出来ている。中小容量で強 み。 IGCCパイロットプラント に採用。	既存深冷分離法における原 料空気圧縮機動力を、異な るプロセスにて低減。	既存PSAでは窒素吸着剤の ところ、本法では酸素吸着 剤を利用して、体積比 分の分離動力を低減可能。 高純度窒素が併産出来な い。	極低温での熱の廃棄先が課 題。自己熱再生理論に基づ いた酸素供給部を含むプラ ント全体のインテグレーションが必 要不可欠。	高温・高圧の排空から IGCCとのインテグレーションに て、熱や圧縮動力を回収。 窒素が併産出来ない。	酸素分離と同時に、燃料と 酸素とを反応させる技術で あり、IGCCとのインテグ レーションについては更なる検討が 必要。

## 2.3 水蒸気添加 IGCC のシステム検討

水蒸気添加 IGCC のプラントのシステム構成を検討する上で、乾式ガス精製システムを組み込むためのシステム条件を明らかにすることは重要な要素の一つである。乾式脱硫プロセスで懸念される課題としては、脱硫剤への炭素析出による性能劣化の防止が挙げられ、電力中央研究所の知見を基に、炭素析出を回避するプロセス条件を検討した。乾式脱硫プロセスの上流で生成ガスに水蒸気を添加する方法で炭素析出を回避する場合、送電端効率の低下が避けられないが、これに対し、ガス化炉への水蒸気添加量を増加させることで送電端効率を落とさずに炭素析出を回避できる条件を試算した。ただし、このときの水蒸気添加量は、ガス化反応にとっては過剰であり、ガス化炉内温度の低下が予測されることから、2.1 節で検討しているガス化炉におけるタールの挙動を踏まえながら、ガス化炉およびシステム全体の条件を検討する計画である。

平成 26 年度に実施した調査研究では、理想的な反応条件を想定したときに、ガス化炉への水蒸気添加により冷ガス効率が 8.8 ポイント向上し、それにより送電端効率が 2.4 ポイント向上することを明らかにしている。そこで、本プロジェクトでは、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験による知見や、乾式ガス精製プロセスの構成、空気分離設備の構成を踏まえた水蒸気添加 IGCC のシステム全体(図 3-2.12)のシステム条件を平成 30 年度に決定し、送電端効率の解析を精緻化する計画である。

発電コストについて、経済産業省の発電コスト検証ワーキンググループ(2015 年)による算定方式を用いて送電端効率に対する感度解析を行った。新技術導入による設備コスト(資本費および運転維持費)の増加が、送電端効率の向上により運転コスト(燃料費と CO<sub>2</sub> 対策費)が低減することで許容されると考え

た場合、図 3-13 に示すように、建設費単価の目標を算出することができる。例えば、IGCC の送電端効率が 2 ポイント(HHV)向上する場合、建設費単価の増加分は 10%以内が目標となるといえる。

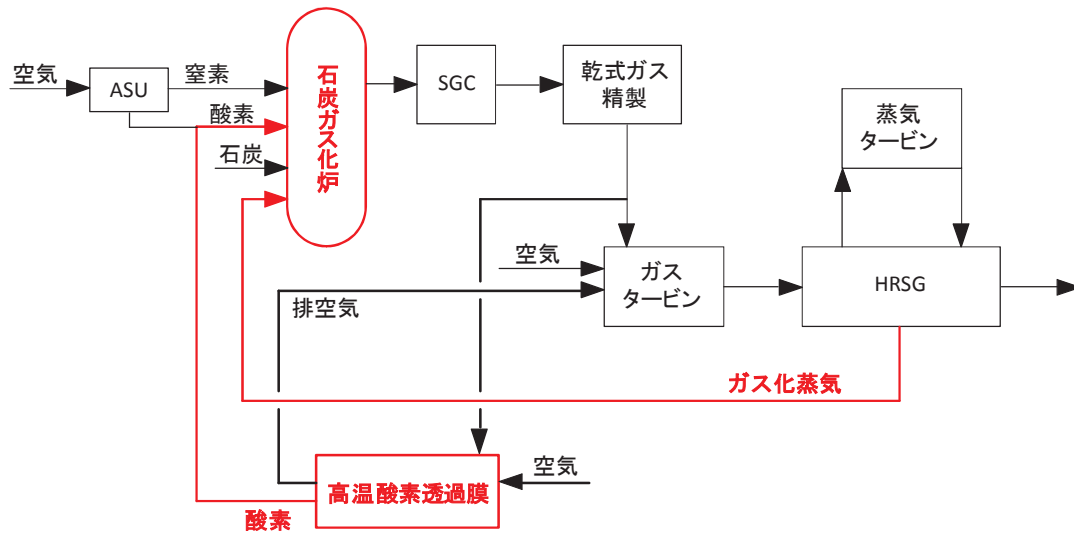


図 3-2.12 水蒸気添加 IGCC のシステム構成例

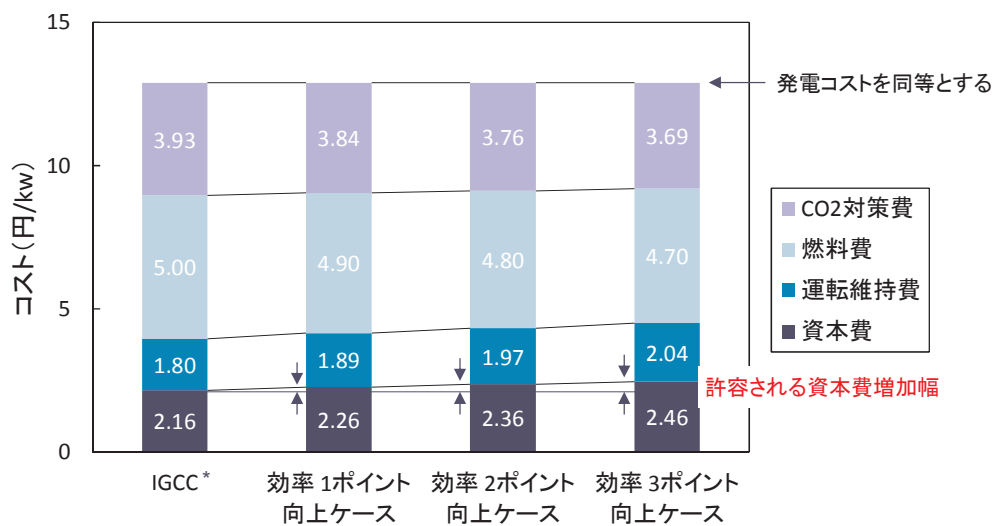


図 3-2.13 IGCC の発電コストの感度解析結果  
(発電コスト検証ワーキンググループの算定方式による)

## 4-1. クローズド IGCC の成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

クローズド IGCC の実用化に向けたロードマップを図 4-1 に示す。

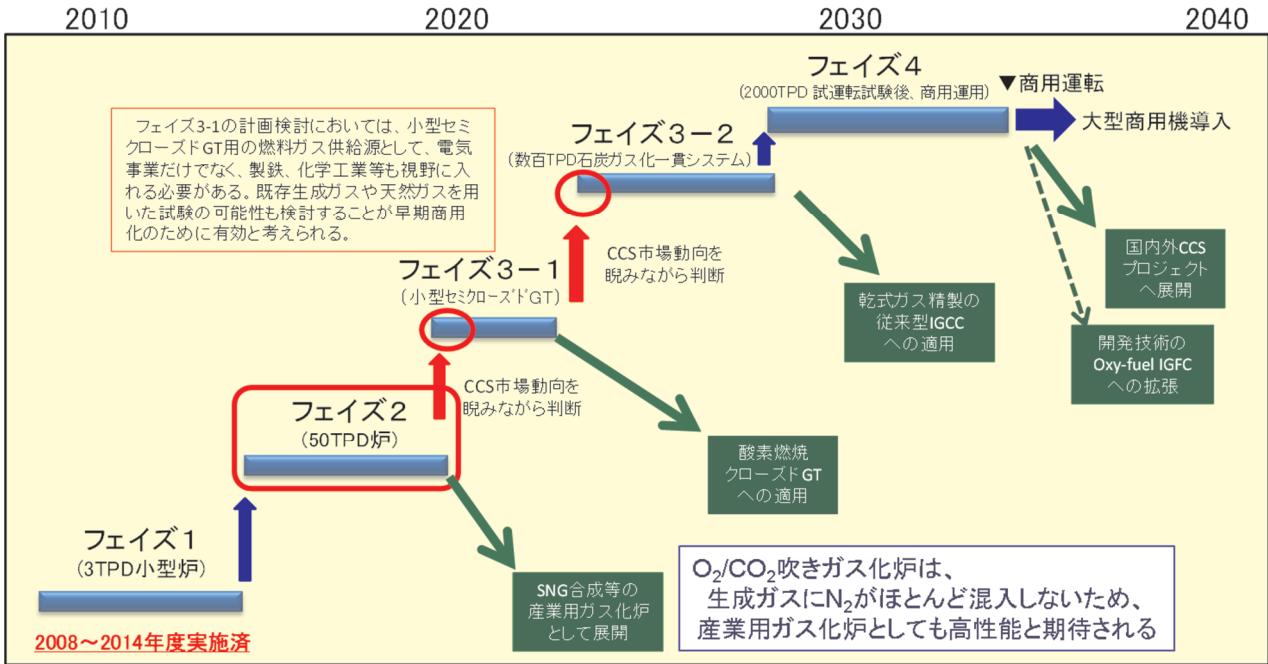


図 4-1 CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC の開発スケジュール

本システムの開発は、従来の発電システムの開発と同様、設備の段階的スケールアップとともに、個々の技術の完成度を高めてゆく方式で進めることが望ましいと考えられる。もちろん、CCSの導入が世界的に加速される状況となれば、各ステップの実施内容を精査して一層の加速を図ることも不可能ではないが、確実な実用化を狙うためには、段階的な開発がベースとなる。すなわち、本フェーズで用いる50TPDガス化炉でO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化を実証した後に、セミクローズドNGCCを想定したフェーズ3-1を経由して、数百TPD規模の大型ガス化炉を軸とする石炭ガス化一貫システムの開発を行う。その結果を反映した2000TPD級のIGCC実証試験を経て、大型商用機の導入は2030年代半ばと想定される。

こうした開発スケジュールを考慮して、本プロジェクトにおける「実用化」を「本システムに必要なO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>石炭ガス化および乾式ガス精製システムなどに関する要素技術を確認し、それが石炭ガス化一貫システム(次フェーズ)および従来型IGCCに活用できること」と定義した。

実際、50TPD炉、3TPD炉によるガス化・ガス精製試験の準備が整うなど、計画は順調に進んでおり、H31年度の計画終了時には、次ステップに進むための要素技術が確立される見込である。

本プロジェクト終了時には、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化炉を商用規模(例えば2000TPD)までスケールアップできるだけのデータが整うと期待される。O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化炉は、生成ガス中にN<sub>2</sub>を含まないため、SNG合成用などの産業用ガス化炉としては直ちに実用化が可能であり、本プロジェクト終了後の副次効果として期待される。

#### 4-2. 次世代ガス化システムの成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

次世代ガス化システム技術開発では、「水蒸気添加噴流床ガス化技術」、「乾式ガス精製技術」および「高効率酸素製造技術」を適用することで、IGCC の送電端効率の向上を目指している。これらの技術のうち、本プロジェクトでは、水蒸気添加噴流床ガス化技術に関して実験検討を行っており、3TPD 炉を用いて水蒸気添加効果を検証し、その結果を反映した数値解析技術により商用規模の水蒸気添加噴流床ガス化炉の評価を可能とする。噴流床ガス化炉には各種炉形式が開発されているが、特に空気吹き IGCC で採用されている二室二段噴流床方式をベースとした酸素吹きガス化炉において、水蒸気添加による大きな冷ガス効率向上効果が期待されることから、本プロジェクトの研究対象としている。数値解析による商用規模ガス化炉の評価技術が確立されれば実機への適用が近いと考えられるが、パイロットプラント規模で実績を積むことが望ましいため、パイロット試験への適用を本プロジェクトにおける「実用化」と定義する。実用化に向けたステップを図 4-2 に示す。例えば、CO<sub>2</sub>回収型クローズド IGCC 技術開発プロジェクトで開発されている O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 吹きガス化炉への適用に積極的に取り組む。

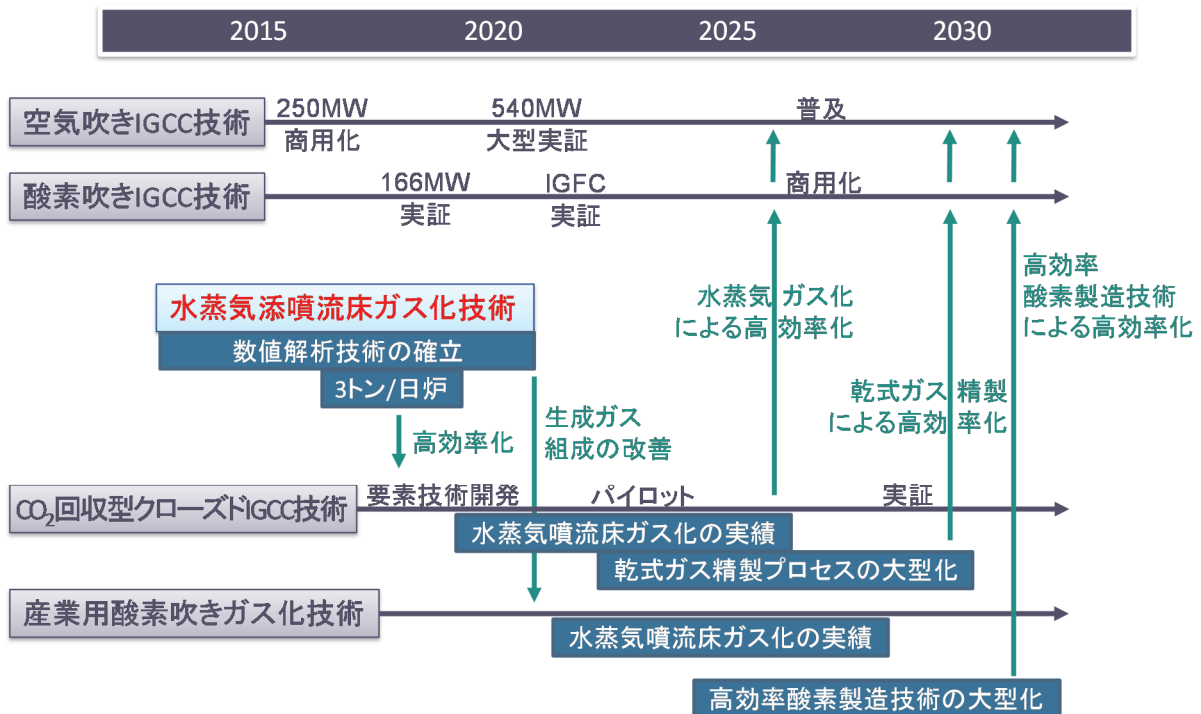


図 4-2 次世代ガス化システムに関連する技術のステップ

二室二段噴流床ガス化炉以外のガス化炉においても水蒸気の効果的利用の概念を適用することが可能であり、炉形式に応じた基本的な数値解析技術を開発することで、本プロジェクトで得られた知見を用いて実機への適用を検討できる。従って、既に世界各国に普及している産業用の酸素吹きガス化炉も、本プロジェクトの副次効果としての適用先と考えられることから、積極的に情報発信を行い、一層のアピールに努める。このような実績を重ねることで、商用規模の各種 IGCC 技術において、水蒸気添加ガス化技術が実現するようになると考えられる。

乾式ガス精製技術については、本プロジェクトにおいて、これまでの知見を用いて水蒸気添加 IGCC に適用する場合の課題を抽出し、必要な構成の検討のみを実施している。技術開発については、CO<sub>2</sub>回収

型クローズド IGCC 技術開発プロジェクトにおいて進められており、同プロジェクトの将来展開の中で大型化と実証を進めることで、2030 年頃の商用規模 IGCC への適用も可能となる。

高効率酸素製造技術については、本プロジェクトにおいて、各種技術の調査と水蒸気添加 IGCC への適用性評価を行っている。特に高温酸素透過膜を用いた高効率酸素製造技術は国内外とも大型化の見通しが立っていないが、将来開発が進んだ時点で IGCC への適用が期待できる。一方、既存技術である深冷分離法については、メーカーによる省エネルギー化が適宜 IGCC へ反映されることが期待できる。

## 添付資料

### プロジェクト基本計画

P 1 6 0 0 2

P 1 0 0 1 6

P 9 2 0 0 3

#### 「次世代火力発電等技術開発」基本計画

環境部

#### 1. 研究開発の目的・目標・内容

##### (1) 研究開発の目的

###### ①政策的な重要性

平成27年7月に決定された長期エネルギー需給見通しにおいては、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現していくこととしており、火力分野においては、石炭火力発電及びLNG火力発電の高効率化を図り、環境負荷の低減と両立しながら、有効活用を推進することとしている。火力発電の高効率化は、再生可能エネルギーの最大限の導入促進、安全性の確認された原子力発電の活用と合わせ、温室効果ガス削減目標積み上げの基礎となった対策・施策として位置づけられている。これを踏まえ、平成28年6月に官民協議会で策定した「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」においては、火力発電の高効率化、CO<sub>2</sub>削減を実現するため、次世代の火力発電技術の早期確立を目指すこととしている。

###### ②我が国の状況

我が国の火力発電の熱効率は世界最高水準を保っている。世界で初めて超々臨界圧火力発電（USC）を商用化し、さらには高効率な空気吹石炭ガス化複合発電（IGCC）が既に実用化段階であり、酸素吹IGCCにおいても実証フェーズにある。また、効率向上に大きく寄与するガスタービンにおいて、1600℃級という高温化を世界に先駆けて実現する等、熾烈な国際競争の中においても、我が国の高効率火力発電システムは、トップレベルを維持しており、世界をリードしている。しかしながら、燃料資源を他国に大きく依存する我が国にとっては、限られた資源の有効利用を図ることは至上命題であり、今後とも、更なる効率化を図っていく必要がある。また、中長期的な視点では、大幅なCO<sub>2</sub>削減を実現しうるCO<sub>2</sub>の回収・貯留・利用（CCUS）の技術の開発・推進も重要なテーマであり、国内でのCCS（二酸化炭素の回収・貯留）大規模実証事業や貯留ポテンシャル調査等が進められている。

###### ③世界の取組状況

地球温暖化問題の対策として、CO<sub>2</sub>排出量の削減が強く求められている中で、米国や欧州においても国家レベルで巨額の研究開発費を投じ、基礎研究から技術開発、実証研究等の様々な取組が行われており、日本と同様にIGCCや先進的超々臨界圧火力発電（A-USC）、高効率ガスタービン等の開発が進められている。また、大幅なCO<sub>2</sub>削減を達成するため、CO<sub>2</sub>分離・回収を行ったIGCCやCCS-EOR（石油増進回収）の実証といったプロジェ

クトも進められている。

#### ④本事業のねらい

長期エネルギー需給見通しの実現に向けて、火力発電の高効率化に関しては、石炭火力の発電効率を大幅に引き上げる石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）の実証事業をはじめ、石炭火力、LNG火力の双方につき、新たな火力発電技術の開発等を実施する。また、火力発電から発生するCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札となる技術として、火力発電所から発生する大量のCO<sub>2</sub>を効率的に分離・回収・有効利用するための技術開発等を実施する。これまでの火力発電に係る技術開発は、個別の技術ごとに進められていたが、石炭火力、LNG火力は共通する要素技術が多く、火力発電全体の技術開発を加速するためには、個別技術開発を統合し、包括的かつ一体的に推進することが有効である。そこで、次世代火力発電技術に係る事業を本事業において統合し、関連事業を一元管理し、一体的に進めることで、開発成果を共有しつつ、技術開発に係るリソースを最適化する。これにより、次世代火力発電技術の開発を加速し、早期の技術確立及び実用化を狙う。

### （2）研究開発の目標

#### ①アウトプット目標

本事業を通じて、発電効率の大幅向上やCO<sub>2</sub>分離・回収後においても高効率を維持すること及びCO<sub>2</sub>有効利用等、CO<sub>2</sub>排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の確立を目指す。

研究開発項目ごとの目標については、別紙にて定める。

#### ②アウトカム目標

本事業の開発成果により、2030年頃にLNG火力においては、将来のガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）商用機として送電端効率63%（高位発熱量基準）を達成し、さらには、IGFC商用機へと繋げることで、石炭火力として送電端効率55%（高位発熱量基準）を達成する。また、CCUSの実現に向け、CO<sub>2</sub>分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>という大幅な低減を達成する。また、CO<sub>2</sub>有効利用の一例として、天然ガスパイプラインの許容圧力変動による、負荷変動対応能力は、6,000万kWと推定される。そのうち、1割をCO<sub>2</sub>由来のメタンで代替すると、1,300億円を獲得する。

世界の火力発電市場は、今後、2040年にかけて石炭火力では約520兆円、LNG火力では約270兆円で、累計790兆円の規模が見込まれる。年平均では約30兆円であり、このうちのシェア1割、約3兆円の次世代火力技術の市場を獲得する。

#### ③アウトカム目標達成に向けての取組

市場ニーズを見極めつつ、各技術開発プロセスの進捗管理を行い、開発優先度の調整、開発スケジュールの最適化、技術開発の相互連携を図り、中長期の火力発電技術開発の全体プロセスの最適化・効率化を図る。そして、技術開発のプロセスにおけるコスト低減の取組と信頼性の確保により、商用機導入を早期に拡大する。

### （3）研究開発の内容



火力発電の効率化及びCO<sub>2</sub>分離・回収・有効利用等に関する調査、開発及び実証を実施する。実施に当たっては、各事業の性質に合わせ、委託事業又は助成事業（NEDO負担1/3、2/3、1/2）により実施する。

なお、個別研究開発項目の研究開発内容の詳細については、別紙にて記載する。

研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 [助成事業]

- 1) 酸素吹IGCC実証（1/3助成）
- 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証（2/3助成）
- 3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 [助成事業]

- 1) 1700℃級ガスタービン（2/3助成）
- 2) 高温分空気利用ガスタービン（AHAT）（2/3助成）

研究開発項目③ 先進超々臨界圧火力発電技術開発 [助成事業（2/3助成）]

研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発 [委託事業]

- 1) 次世代ガス化システム技術開発
- 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究
- 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発
- 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究
- 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 6) 石炭火力の競争力強化技術開発
- 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

研究開発項目⑤ CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発 [委託事業]

研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業 [委託事業]

研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発 [助成事業（1/2助成）]

### 3. 研究開発の実施方式

#### (1) 研究開発の実施体制

本事業は、NEDOが単独又は複数の企業、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、原則公募によって実施者を選定し実施する。ただし、移管事業に関してはこの限りではない。

NEDOは、プロジェクトの進行全体の企画・管理やプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させるため、必要に応じてプロジェクトマネージャー（以下「PM」という。）を任命する。また、各実施者の研究開発ポテンシャルを最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、必要に応じて研究開発責任者（プロジェクトリーダー、以下「PL」という。）を指名する。

なお、研究開発項目ごとのPM、PLは以下のとおり。また、研究開発項目④2）、3）、4）は、推進にあたって、燃料電池に関する情報共有と開発戦略の整合性を図るため、プロジェクトチーム（PT）にNEDO新エネルギー部を加える。

#### 研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業

PM：NEDO 高橋洋一、PL：大崎クールジェン株式会社 木田淳志

#### 研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業

##### 1) 1700℃級ガスタービン

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱重工業株式会社 石坂浩一

##### 2) 高温分空気利用ガスタービン（AHAT）

PM：NEDO 山中康朗、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 吉田正平

#### 研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：一般社団法人高効率発電システム研究所 福田雅文

#### 研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発

##### 1) 次世代ガス化システム技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ要素研究

PM：NEDO 西岡映二、PL：電源開発株式会社 小俣浩次

##### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

PM：NEDO 高橋洋一、PL：三菱日立パワーシステムズ株式会社 北川雄一郎

##### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

PM：NEDO 高橋洋一、PL：電源開発株式会社 小俣浩次

##### 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

PM：NEDO 中田博之、PL：一般財団法人石炭エネルギーセンター 原田道昭

##### 6) 石炭火力の競争力強化技術開発

PM：NEDO 中元崇、PL：NEDOにおいて選定

##### 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

PM：NEDO 村上武、PL：NEDOにおいて選定

#### 研究開発項目⑤ CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：一般財団法人電力中央研究所 牧野尚夫

#### 研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発

PM：NEDO 足立啓、PL：NEDOにおいて選定

## (2) 研究開発の運営管理

NEDOは、研究開発全体の管理及び執行に責任を負い、研究開発の進捗のほか、外部環境の変化等を適切に把握し、必要な措置を講じるものとする。運営管理は、効率的かつ効果的な方法を取り入れることとし、次に掲げる事項を実施する。

### ①進捗把握・管理

PMは、PLや研究開発実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握する。また、外部有識者で構成する技術検討委員会を組織し、定期的に技術的評価を受け、目標達成の見通しを常に把握することに努める。

### ②技術分野における動向の把握・分析

PMは、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策の分析及び検討を行う。

## 4. 研究開発の実施期間

本事業の実施期間は、平成28年度から平成33年度までの6年間とする。なお、研究開発項目①及び②は平成24年度から平成27年度、研究開発項目③は平成20年度から平成27年度まで経済産業省により実施したが、平成28年度からNEDOが実施している。

## 5. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、事業の意義及び目標達成度や成果に係る技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。研究開発項目①～⑤、⑦については、技術評価実施規程に基づき、プロジェクト評価を行う。

評価の時期については、研究開発項目①は、中間評価を平成29年度及び平成31年度、事後評価を平成34年度に実施する。研究開発項目②は、中間評価を平成30年度、事後評価を平成33年度に実施する。研究開発項目④1)は、中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成30年度に実施し、2)は事後評価を平成30年度に実施し、3)、4)及び6)は、事後評価を平成32年度に実施し、5)は中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成32年度に実施し、7)は前倒し事後評価を平成31年度に実施する。研究開発項目⑤は、中間評価を平成29年度、前倒し事後評価を平成31年度に実施する。研究開発項目⑥は、その調査内容に応じて研究開発項目①から⑤、⑦の中間評価、事後評価の際に合わせて評価を実施する。研究開発項目⑦は、事後評価を平成33年度に実施する。

## 6. その他の重要事項

### (1) 委託事業成果の取扱い

#### ①成果の普及

得られた事業成果については、NEDO、実施者とも普及に努める。

#### ②標準化等との連携

得られた事業成果については、標準化等との連携を図り、我が国の優れた次世代火力発電等技術を普及させるために、標準化への提案等を積極的に行う。

#### ③知的財産権の帰属

事業成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

なお、海外動向や国際展開を見据えた知財管理を行うとともに、海外における知財の確保を積極的に推進する。

知財マネジメント適用プロジェクトは、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発の3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発、4) 燃料電池石炭ガス適用性研究、6) 石炭火力の競争力強化技術開発及び7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発である。

### (2) 基本計画の変更

PMは、当該事業の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、研究開発費の確保状況等、事業内外の情勢変化を総合的に勘案し、必要に応じて目標達成に向けた改善策を検討し、達成目標、実施期間、実施体制等、基本計画を見直す等の対

応を行う。

(3) 根拠法

本事業は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第一号ハ、第三号及び第六号イに基づき実施する。

(4) その他

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

7. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成28年1月、基本計画制定。

(2) 平成28年4月、3. 研究開発の実施方式 (1) 研究開発実施体制 研究開発項目③、④ 1) と2)、⑤のPMの変更。

5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5) 中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒し。別紙 研究開発項目④ 5) の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒し。研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒し。

(3) 平成28年9月、5. 評価に関する事項、研究開発項目④ 5) 中間評価、事後評価の年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

別紙 研究開発項目④ 5) の3. 達成目標、中間目標年度と最終目標年度を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

研究開発スケジュールは研究期間を1年延長し、中間評価と事後評価を1年後ろ倒ししたが、当初計画通りに戻す。

(4) 平成29年2月

1. 研究開発の目的・目標・内容の(2) 研究開発の目標並びに(3) 研究開発の内容に、研究開発項目④次世代火力発電基盤技術開発6) 石炭火力の競争力強化技術開発、7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発及び研究開発項目⑦次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発の内容を追加した。

3. 研究開発の実施方式のPM及びPLを追記・修正した。

5. 評価に関する事項の①及び⑥の実施時期を修正し、並びに④1)、5) の前倒しの区分を明確化し、④6)、7)、⑦を追加した。

6. その他の重要事項の(1) 委託事業成果の取扱い③知的財産権の帰属に知財マネジメント適用プロジェクト名を追記した。

(5) 平成29年5月

3. 研究開発の実施体制 (1) 研究開発実施体制 研究開発項目②の1) と2) 及び④の6) のPMの変更。

(6) 平成29年6月

研究開発項目④の1) 3. 達成目標に中間目標を設定し、平成29年度に中間評価を実施する。

## 研究開発項目① 「石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業」

## 1. 研究開発の必要性

石炭は、他の化石燃料と比べ、可採年数が約110年と長く、かつ世界各国に幅広く分布する等、供給安定性が高く、経済性に優れることから、エネルギー自給率が極めて低い我が国にとって重要な一次エネルギー源であり、発電の分野においても石炭火力発電は発電電力量の約3割を占める重要な電源の一つである。

一方で、石炭は他の化石燃料と比べ、燃焼時の単位発熱量当たりのCO<sub>2</sub>排出量が多く、地球環境面での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についてもさらなるCO<sub>2</sub>排出量の抑制が求められている。

したがって、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減の観点から本事業を実施する必要性がある。

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、石炭火力発電は、「安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源」と評価されている一方、「温室効果ガスの排出量が多いという課題がある」と指摘され、その課題を解決すべく、次世代高効率石炭火力発電技術として、石炭ガス化複合発電（IGCC）の開発・実用化を進めるとともに、2020年頃の二酸化炭素回収貯留（CCS）の実用化を目指した研究開発を行うことが盛り込まれている。

その後、エネルギー基本計画を踏まえ、平成26年12月にまとめられた「エネルギー関係技術開発ロードマップ」において、「高効率石炭火力発電」、「二酸化炭素回収・貯留技術」が国際展開も見据えた形で整理されている。

以上のとおり、石炭火力発電におけるCO<sub>2</sub>排出量の課題を克服していくことが一層重要となっており、石炭火力発電の高効率化及びCO<sub>2</sub>排出量削減を目指す本事業の必要性は大きい。

## 2. 具体的研究内容

本事業では、石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を大幅に削減させるべく、究極の高効率石炭火力発電技術である石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）とCO<sub>2</sub>分離・回収を組合せた実証試験を行い、革新的低炭素石炭火力発電の実現を目指す。

## 1) 酸素吹IGCC実証

IGFCの基幹技術である酸素吹IGCCの実証試験設備により、性能（発電効率、環境性能）、運用性（起動停止時間、負荷変化率等）、経済性及び信頼性に係る実証を行う。

2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

酸素吹IGCC実証試験設備とCO<sub>2</sub>分離・回収設備を組み合わせ、CO<sub>2</sub>分離・回収型石炭火力システムとしての性能、運用性、信頼性及び経済性に係る実証を行う。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCシステムと燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの燃料電池への利用可能性を確認し、最適なCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCシステムの実証を行う。

## 2. 達成目標

### [実施期間]

酸素吹 I G C C 実証：平成 24 年度～30 年度（うち平成 24 年度～27 年度は経済産業省において実施）

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹 I G C C 実証：平成 28～32 年度

CO<sub>2</sub>分離・回収型 I G F C 実証：平成 30 年度～33 年度

### [中間目標（平成 29 年度）]

#### 1) 酸素吹 I G C C 実証

(a) 発電効率：40.5%程度（送電端効率、高位発熱量基準）を達成する。

商用機の 1/2～1/3 倍の規模で、1300℃級ガスタービンを採用する実証試験設備により送電端効率（高位発熱量基準）40.5%を達成すれば、1500℃級ガスタービンを採用する商用機（石炭処理量 2,000～3,000 t/d）で送電端効率約 46%を達成する見通しが得られる。

(b) 環境性能：「SO<sub>x</sub><8ppm」、 「NO<sub>x</sub><5ppm」、 「ばいじん<3mg/Nm<sup>3</sup>」を達成する（O<sub>2</sub>=16%）。

我が国における最新の微粉炭火力は世界的に見ても最高水準の環境諸元を達成しており、酸素吹 I G C C を導入する場合には同等の環境諸元を達成することが求められる。

#### 2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹 I G C C 実証

CO<sub>2</sub>分離・回収設備の詳細設計を完了する。

### [最終目標（平成 30 年度）]

#### 1) 酸素吹 I G C C 実証

(a) プラント制御性運用性：事業用火力発電設備として必要な運転特性及び制御性を確認する。

我が国における微粉炭火力はベースからミドル電源として運用されており、酸素吹 I G C C 商用機を導入する場合にも同等の制御性、運用性を確保する。

(b) 設備信頼性：商用機において年間利用率 70%以上の見通しを得る。

我が国における微粉炭火力は年間利用率 70%以上で運用されており、酸素吹 I G C C 商用機を導入する場合にも同等の設備信頼性を確保する。

(c) 多炭種適用性：灰融点の異なる数種類の炭種で適合性を確認する。

酸素吹 I G C C 商用機には、微粉炭火力に適合し難い灰融点の低い亜瀝青炭から、微粉炭火力に適合する比較的灰融点の高い瀝青炭までの適用炭種の広さが求められる。

(d) 経済性：商用機において発電原価が微粉炭火力と同等以下となる見通しを得る。

国内外において酸素吹 I G C C 商用機の普及を促進するためには、発電原価を微粉炭火力と同等以下とすることが求められる。

[最終目標（平成33年度）]

2) CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCC実証

(a) 基本性能（発電効率）：新設商用機において、CO<sub>2</sub>を90%回収しつつ、発電効率40%（送電端効率、高位発熱量基準）程度の見通しを得る。

CO<sub>2</sub>回収時のエネルギーロスによる発電効率の低下という課題に対し、CO<sub>2</sub>を90%回収（全量ガス処理）しながらも、現状の微粉炭火力と同等レベルの発電効率40%程度の見通しを得る。

(b) 基本性能（回収効率・純度）：CO<sub>2</sub>分離・回収装置における「CO<sub>2</sub>回収効率>90%」、「回収CO<sub>2</sub>純度>99%」を達成する。

革新的低炭素型石炭火力の実現のためにCO<sub>2</sub>分離・回収装置単体における回収効率は90%以上を目標とする。CO<sub>2</sub>地中貯留から求められる可能性があるCO<sub>2</sub>純度について、湿式物理吸収法を使って定常運転時、体積百分率99%以上を目標とする。

(c) プラント運用性・信頼性：CO<sub>2</sub>分離・回収型IGCCシステムの運用手法を確立し、信頼性を検証する。

商用機において、CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCシステムを構築するには、プラントの起動停止や、発電所特有の負荷変動等に対し、IGCC本体に追従したCO<sub>2</sub>分離・回収装置の運用手法を確立し、信頼性を検証する。

(d) 経済性：商用機におけるCO<sub>2</sub>分離・回収の費用原単位を評価する。

CO<sub>2</sub>分離・回収型酸素吹IGCCを普及させるに当たっては、費用原単位評価が必要であり、CO<sub>2</sub>分離・回収装置建設時期や発電所敷地等の制約に応じた評価を実施する。

3) CO<sub>2</sub>分離・回収型IGFC実証

500MW級の商業機に適用した場合に、CO<sub>2</sub>回収率90%の条件で、47%程度の発電効率（送電端効率、高位発熱量基準）達成の見通しを得る。

## 研究開発項目② 「高効率ガスタービン技術実証事業」

### [実施期間]

1700℃級ガスタービン：平成24年度～32年度（うち平成24年度～27年度は経済産業省において実施）

高温分空気利用ガスタービン（AHAT）：平成24年度～29年度（うち平成24年度～27年度は経済産業省において実施）

### 1. 研究開発の必要性

平成20年3月に閣議決定された「Cool Earth —エネルギー革新技术計画」において、天然ガスタービンの高効率化が環境負荷低減の実現のための重要な技術開発であると位置づけられている。また、平成23年8月に制定された「第4期科学技術基本計画」においては、安定的なエネルギー供給と低炭素化の実現のため火力発電の高効率化に資する技術開発は重点的な取組として位置づけられている。

欧米は巨額の研究開発費を投じており、厳しい国際競争の中で我が国の優位性を維持するため、また電力産業の保守高度化とリプレース需要にあった大容量機の高効率化を目指し、コンバインド効率向上、CO<sub>2</sub>排出量削減を達成するため、1700℃級に必要な革新的技術開発に取り組み、早期に実用化する事が必要である。

また、高温分空気利用ガスタービン（AHAT）は、ガスタービンサイクルを改良したシステムであり、比較的早期に実用化が期待できる高効率発電システムで、電力産業の短中期的ニーズに対応する中小容量機（10万kW程度）の高効率化（45%（高位発熱量基準）→51%（高位発熱量基準）以上）を目的とした日本オリジナルの技術であり、世界初となるAHATの実用化は急務である。

これらの政策を実現するために、発電規模に応じた発電熱効率の一層の向上が必要であり、ガスタービン高温部品の技術向上と発電サイクルの工夫が必要不可欠である。また、環境負荷の少ない発電システムを開発することは、電力の安定的かつ低廉な供給を確保する上で極めて重要な対策である。

さらに、石炭ガス化複合発電（IGCC）や石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）における更なる効率向上には、将来的に1700℃級ガスタービンやAHATシステムの導入が不可欠である。

### 2. 具体的研究内容

#### 1) 1700℃級ガスタービン

1700℃級ガスタービンにおける性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発を実施する。例として、製造技術・検査技術の開発、超高温高負荷タービンの信頼性向上、過酷環境下でのデータ取得のための特殊計測技術開発等を実施する。また、1700℃級での実証運転時における特殊計測の実施、試運転データの評価・分析を行い、商用化の検討を実施する。

#### 2) AHAT

AHATシステムについては、ユーザーニーズとしてミドル運用以上（年間50回以上の起動・停止）における長期信頼性が求められていることから、既存40MW級総合試験装置の改造による実証機製作、実証試験による長期信頼性評価を実施する。また、実証機試験結果を用いて



商用機化の検討を実施する。

### 3. 達成目標

#### 1) 1700℃級ガスタービン

[中間目標 (平成30年度)]

1700℃級ガスタービンの性能向上、信頼性向上に関する要素技術開発により、商用機に適用できる見通しを得た上で、設計・製作の仕様を決定する。

[最終目標 (平成32年度)]

1700℃級ガスタービンの実証試験データの取得、及び評価を実施し、送電端効率57%達成(高位発熱量基準)の見通しを得る。

#### 2) AHAT

[最終目標 (平成29年度)]

実証機を用いた試験により、長期信頼性の実証として以下を達成する。

・ミドル運用(年間50回以上の起動・停止)の2倍である年間100回以上の起動・停止での実証試験を実施し、等価運転時間 10,000時間以上を確保する。

(等価運転時間とは、起動・停止等の機械装置の寿命を考慮し、同等の連続運転時間とみなせる運転時間)

### 研究開発項目③ 「先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発」

[実施期間]平成20年度～28年度（うち平成20年度～27年度は経済産業省において実施）

#### 1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により700℃以上の蒸気温度を達成できる先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発（A-USC）の実現可能性が見えてきた。

本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高い発電効率を実現できるA-USCの開発を行う。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### （1）システム設計、設計技術

基本設計、配置最適化、経済性の試算

##### （2）ボイラ要素技術

700℃級候補材料について、耐久試験により、10万時間の長期信頼性を確保する

##### （3）タービン要素技術

大型鋼塊の製造性を確認するとともに10万時間の長期信頼性を確保する

##### （4）高温弁要素技術

実缶試験・回転試験に組み込み、信頼性を確認する

##### （5）実缶試験・回転試験

実缶試験、回転試験により、ボイラ要素及びタービン要素の信頼性の実証を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成28年度）]

蒸気温度を700℃へ高めるための要素技術開発を実施し、2020年以降において商用プラントでの送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成の技術的見通しを得る。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 1) 次世代ガス化システム技術開発

[実施期間]平成27年度～30年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、石炭ガス化複合発電（IGCC）等の次世代高効率石炭火力発電技術等の開発及び実用化を推進することとされている。中長期的には、さらなる高効率化に向けて、現在開発中のIGCCを効率でしのぐ次世代高効率石炭火力発電技術等の開発を実施する必要がある。

#### 2. 具体的研究内容

次世代高効率石炭ガス化発電システムについて、冷ガス効率及び送電端効率の向上並びに実用化に向けた技術開発を実施する。

酸素吹石炭ガス化においては、ガス化炉にガス化剤として酸素を供給して石炭を部分燃焼させ、石炭を熱分解しているが、投入された石炭が一部燃焼して消費されること、酸素製造装置等の所内動力の増加により送電端効率が低下することが効率向上のための課題となっている。

そこで、熱分解の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、冷ガス効率の向上を図るとともに、酸素供給量の低減を図り、送電端効率の向上を目指す。

これまでのシミュレーションによる検討結果では、①噴流床型IGCCガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率及び送電端効率の向上、②エネルギー効率の高い酸素製造技術を組み込んだIGCCシステムの構築による更なる送電端効率の向上、の可能性があると分かった。そこで、これらの可能性を検証及び評価するため、以下の項目を実施する。

##### (1) 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証

噴流床型ガス化炉への高温の水蒸気の注入による冷ガス効率の向上について、小型ガス化炉での検証を行う。

##### (2) エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価

エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性を評価する。

##### (3) IGCCシステム検討

エネルギー効率の高い酸素製造装置を組み込んだIGCCの最適化システム試設計及び経済性検討を行う。

冷ガス効率の向上及び試設計を踏まえて、送電端効率を精査する。

#### 3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

[最終目標（平成30年度）]

既存のIGCC（1500℃級GTで送電端効率46～48%）を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

#### 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

##### 2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンナップ技術要素研究

[実施期間]平成27年度～29年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は石炭をガス化させ、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種の発電形態を組み合わせ、トリプル複合発電を行うもので、究極の高効率発電技術として、実現が望まれている。

クールアースエネルギー革新技術開発ロードマップにおいても2025年頃の高効率石炭火力発電技術として55%の送電端効率を目指すIGFCが位置づけられている。

IGFCにおいては、燃料である石炭ガス化ガスに多種類の微量成分が含まれており、この微量成分の一部が燃料電池の劣化を招き、長期信頼性を損なう可能性があることが懸念されている。

そのため、IGFCの実現に向けては、石炭ガス化ガス中の微量成分の燃料電池への影響を把握するとともに、燃料電池の被毒成分に対するガス精製技術を確立することが必要である。

#### 2. 具体的研究内容

燃料電池用ガス精製技術と燃料電池を組み合わせ、石炭ガス化ガスの模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を確認する。また、特定された被毒成分に対して、成分を許容レベルまで除去するガス精製技術を検討し、模擬ガスによる性能評価を行う。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成29年度）]

- ・模擬ガス試験により燃料電池の被毒耐性を評価する。
- ・模擬ガス試験により燃料電池用ガス精製技術性能を評価し、ガス精製技術を確立する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発

[実施期間]平成28年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

平成27年7月に経済産業省における「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」により策定された「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、ガスタービン燃料電池複合発電（GTFC）については、小型GTFC（1,000kW級）の商用化、量産化を進め、SOFCのコスト低減を図り、中小型GTFC（10万kW級）の実証事業を経て、発電効率63%程度、CO<sub>2</sub>排出原単位：280g-CO<sub>2</sub>/kWh程度を達成し、2025年頃に技術を確立することが示されている。また、量産後は従来機並の発電単価を実現することとされている。

さらには、同ロードマップにおいて、IGFCの技術を確立するためには、GTFCの開発成果を活用していくことが示されており、次世代火力発電技術の早期確立に向けて、本事業の必要性は高い。

#### 2. 具体的研究内容

小型GTFC（1,000kW級）の商用化及び量産化を進め、SOFCのコスト低減を図る。さらに、中小型GTFC（10万kW）の要素技術を開発し、2020年度から開始する中小型GTFCの技術実証に活用する。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

中小型GTFC（10万kW）の要素技術を確立する。

- ・ 高圧SOFCモジュールを開発する。
- ・ ガスタービンとの関係技術を確立する（燃料器、燃料／空気差圧制御系、排燃料・排空気・空気抽気）。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 4) 燃料電池石炭ガス適用性研究

[実施期間]平成28年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

石炭ガス化燃料電池複合発電（IGFC）は、石炭をガス化し、燃料電池、ガスタービン、蒸気タービンの3種類の発電形態を組み合わせるとトリプル複合発電を行うもので、究極の高効率石炭火力発電技術として、その実現が望まれている。

「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」において、IGFCの開発方針として、2025年度頃技術確立、発電効率55%及び量産後従来機並の発電単価の実現を目指すことが示された。

IGFCを構成する高温型燃料電池については、現在、天然ガスを燃料とした燃料電池の開発が進んでいるが、石炭ガスを燃料とした場合の適用性についての検証及びシステムの検討を行う必要がある。

燃料を石炭ガスとした場合に、燃料電池の劣化を引き起こすガス中被毒成分濃度の確認と被毒成分の除去技術についての研究は、すでに着手されている。

IGFCを構成する燃料電池モジュールについて、石炭ガスを燃料とした場合の運用性や性能を把握する必要があることから、実燃料電池モジュールを用いた石炭ガス燃料の適用性試験を行い、その結果を踏まえて、IGFCの技術確立に必要な実証機に係るシステム検討を行う必要がある。

#### 2. 具体的研究内容

##### (1) IGFCシステムの検討

国内外における高温型燃料電池及びIGFCの技術開発動向をレビューすることにより、最新情報を入手し、IGFCの実用化に向けた課題の整理を行う。商用機システムとして、CO<sub>2</sub>分離・回収を行わないIGFCとCO<sub>2</sub>分離・回収型IGFCについて、ケーススタディを行い、送電端効率とコストの試算を行う。IGFCの実用化に向けた課題、商用化システムの検討結果及び(2)の成果を踏まえて、IGFC実証システムについて検討を行い、実証機の容量を決定のうえ、試設計を行う。

##### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガス燃料の適用性試験に供する高温型燃料電池モジュールについては、天然ガス燃料で既に実用化されている燃料電池モジュールとする。本試験に係る設計、製作、据付け等を行い、まず、天然ガスを燃料とした試運転を行う。次いで、天然ガスをH<sub>2</sub>リッチガスに改質した燃料を用い、燃料電池モジュールの運用性、性能等を把握するとともに、天然ガス燃料の場合との比較から課題を抽出する。さらに、石炭ガス化の実ガスを燃料として、燃料電池の被毒成分をガス精製によりクリーンアップしたうえで燃料電池モジュールに供給し、その運用性、性能等を把握するとともに、石炭ガス適用時の課題を抽出する。さらに、これまで実績のない石炭ガスによる運転を行うことから、燃料電池セル及びモジュール内部構造への影響を把握するため、装置の解体調査を行い、石炭ガス適用時の課題を抽出する。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

#### (1) I G F Cシステムの検討

I G F C実証機の容量を決定し、実証機の試設計を完了する。

#### (2) 燃料電池モジュールの石炭ガス適用性研究

石炭ガスを燃料とした場合の燃料電池モジュールの運用性と性能を把握し、課題を抽出する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 5) CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

[実施期間]平成27年度～32年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

#### 1. 研究開発の必要性

エネルギー基本計画（平成26年4月閣議決定）においては、石炭火力発電は重要なベースロード電源として位置づけられているが、温室効果ガスの大気中への排出をさらに抑えるため、環境負荷の一層の低減に配慮した石炭火力発電の導入を進めることとされている。

現在、石炭の燃焼排ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の開発が進められているが、CO<sub>2</sub>分離・回収工程において多くのエネルギー損失が発生することが課題となっている。これを解決するため、エネルギー損失のない高効率でありながら、CO<sub>2</sub>の分離・回収が可能な化学燃焼石炭利用技術について、実用化に向けた開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

従来、石炭の燃焼時の排気ガス又は石炭ガス化プラントの石炭ガス化ガスからのCO<sub>2</sub>分離・回収に当たっては、この過程における多くのエネルギー損失が課題となっているが、CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術においては、酸素キャリアとなる金属を媒体とする石炭の燃焼反応と金属の酸化反応を二つの反応器で別個に発生させることにより、CO<sub>2</sub>の分離・回収装置及び空気分離装置が不要となり、エネルギー損失のないCO<sub>2</sub>の分離・回収が可能である。

さらに、CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電は、流動床燃焼技術を用いることから多様な燃料（低品位炭、バイオマス等）が活用でき、IGCCやA-USCが大規模プラントであるのに対して、中小規模プラント（10～50万kW）におけるCO<sub>2</sub>の分離・回収に適しているといった特長がある。

しかしながら、実用化に向けては、酸素キャリアのコスト抑制及び反応塔の小型化に向けた酸素キャリアの反応性の向上という課題がある。

そこで、有望な酸素キャリアの評価と選定並びにプラント構築を目的として、以下の項目を実施する。

##### (1) 酸素キャリアの評価と選定

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等について要素試験にて評価を行い、コストを踏まえて選定する。

##### (2) プラント試設計及び経済性検討

酸素キャリアの反応性からプロセス解析を行うとともに酸素キャリアの流動や循環を検討し、プラント試設計を行う。この結果をもとに経済性検討を行う。

##### (3) ベンチ試験装置によるプロセス検証

酸素キャリアの反応性、耐久性及び流動性等並びに流動や循環を含むプラントの成立性を検証するため、ベンチ試験装置を製作し、試験・評価を行う。

#### 3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるキャリアを選定する。



[最終目標（平成32年度）]

分離・回収コスト1,000円台／t-CO<sub>2</sub>を見通せるCO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 6) 石炭火力の競争力強化技術開発

[実施期間]平成29年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

日本の石炭火力発電所は、長年の技術開発の成果により、高い発電効率や排出ガス対策で、世界的に最高レベルの技術を有している。しかしながら、日本の技術を採用したプラント価格は、他の国のプラントに比べて高価であるため、国際市場に於いて必ずしも高い競争力を有しておらず、海外での導入事例も限られているのが現状である。日本の石炭火力発電所が受注に至った地域では、厳しい技術要件が定められており、日本の高効率発電技術が入札時に評価されている一方、他国性の石炭火力発電所を導入した諸外国のユーザーの多くが、稼働率の低下をはじめとしたオペレーション上の様々な課題を抱えている。

そこで、日本の高効率発電技術と共にユーザーニーズに的確にマッチングした日本の高いO&M品質を長期保守契約（L T S A）で提供するビジネスモデルを構築することで、結果として日本の石炭火力発電所の競争力が向上すると考えられることから、L T S Aを実現するために必要な技術開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

L T S Aを実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を特定、開発し、発電所における技術実証に活用する。

#### 3. 達成目標

[最終目標（平成31年度）]

L T S Aを実現するために必要な各種モニタリング・センシング・解析等の要素技術を確立する。

## 研究開発項目④ 「次世代火力発電基盤技術開発」

### 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発

[実施期間]平成29年度～31年度

#### 1. 研究開発の必要性

供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の26%を担う重要な電源である。

しかし、これら石炭火力発電ではCO<sub>2</sub>排出量が比較的多く、将来的にCO<sub>2</sub>分離回収有効利用：Carbon Capture and Utilization (CCU) が検討されている。現時点ではCO<sub>2</sub>の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造等により利益を創出する可能性がある。

2030年度以降を見据え、将来の有望なCCU技術の確立を目指して、我が国の優れたCCT (Clean Coal Technology) 等に、更なる産業競争力を賦与する事が可能なCO<sub>2</sub>有効利用技術=CCU (Carbon Capture and Utilization) 技術について、実用化に向けた開発を実施する。

#### 2. 具体的研究内容

短～中期において大規模且つ高濃度のCO<sub>2</sub> (99%以上)を、エネルギーとして工業的に活用可能な国産の技術開発を実施する。一例として、メタネーション技術については石炭火力発電所等から回収した高濃度CO<sub>2</sub>の適用性を評価する。

#### 3. 達成目標

[最終目標 (平成31年度) ]

事業終了時に本事業として実施するCO<sub>2</sub>有効利用技術の適用性を確認する。一例としては、将来的に天然ガス代替では0.9円～1.4円/MJ (LHV)を見通す経済性を評価する。

## 研究開発項目⑤ 「CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発」

[実施期間]平成27年度～31年度（うち平成27年度はNEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施）

### 1. 研究開発の必要性

石炭は他の化石燃料と比べ利用時の二酸化炭素排出量が大きく、地球環境問題での制約要因が多いという課題を抱えており、石炭火力発電についても更なる二酸化炭素排出量の抑制が求められている。今後CO<sub>2</sub>排出量抑制のためには、石炭火力発電の高効率化に加え、CCSによる低炭素化を図っていく必要がある。

しかしながら、CCSは多大な付加的なエネルギーが必要であり、効率の低下や発電コストの上昇を招く。そのためエネルギー資源を海外に依存する我が国では、資源の有効利用と発電コストの抑制のため、このエネルギーロス可能な限り低減する必要がある。

### 2. 具体的研究内容

本システムは、排ガスCO<sub>2</sub>を一部系統内にリサイクルすることにより、CO<sub>2</sub>回収型石炭ガス化発電システムの効率を大幅に向上することのできる、世界でも例のない次世代IGCCシステムである。本システムは高効率に加え、CO<sub>2</sub>の100%回収が可能であるため、CO<sub>2</sub>を排出しないゼロエミッション石炭火力の実現が期待できる。

本システムの実現に向けては、平成20年度から平成26年度まで実施した「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」において、石炭投入量3t/dの小型ガス化炉を活用し、送電端効率42%（高位発熱量基準）以上を達成可能とする基盤技術を開発してきた。

本事業では、この基盤技術開発の成果を活用し、実機により近い大型のサイズのガス化炉において検証を行い、システム実現に向け、基盤技術をより確実な技術として発展させるとともに、他のCO<sub>2</sub>分離・回収技術と比較した本システムの経済的優位性を確認することを狙いとする。

具体的には、石炭投入量50t/d規模のガス化炉を用いた、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術の実証や乾式ガス精製システムの実証といった高効率発電を可能とする各要素技術を開発する。また、セミクローズドGTについては、燃焼試験とCFD解析を通し、実スケールの燃焼器の特性評価を行う。

### 3. 達成目標

[中間目標（平成29年度）]

送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術確立の目途を得る。

[最終目標（平成31年度）]

送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術確立する。

## 研究開発項目⑥ 「次世代火力発電技術推進事業」

[実施期間]平成28年度～33年度

### 1. 研究開発の必要性

長期エネルギー需給見通しにおける基本方針は、3E+S（安全性、安定供給、経済効率性、環境適合）を同時達成しつつ、バランスの取れた電源構成を実現することである。2030年以降、中長期的に火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>を一層削減するには、次世代技術の普及による更なる高効率化、そして、CO<sub>2</sub>の回収、貯留・利用の推進が重要である。また、日本の優れた火力発電技術を海外に展開していくことにより、地球規模での温暖化問題の解決を推進していく必要がある。

### 2. 具体的研究内容

最新の技術動向や社会情勢、社会ニーズに合わせ、国内外の石炭利用技術分野における最新技術の普及可能性及び技術開発動向等の調査や新規技術開発シーズ発掘のための、CCT関連やCCS関連の調査を実施する。また、IEA/CCC（Clean Coal Centre）、IEA/FBC（Fluidized Bed Combustion）、GCCSI（Global CCS Institute）等に参画し、技術情報交換・各種技術情報収集を行うとともに、国内関係者への情報提供を行う。また、今後の国際市場における日本の石炭火力発電所受注に向けて、高い競争力を発揮できる戦略及びビジネスモデルを構築する。さらに、低コスト高効率石炭火力発電システム実現に向けた検討を進める。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成33年度）]

石炭利用技術分野において、CO<sub>2</sub>排出量低減、環境負荷低減及び国際競争力の強化を図るために必要となる基礎的情報や、最新情報の収集・解析及び将来における次世代火力の技術開発や導入可能性について、関連技術の適応性、課題等の調査を行う。また、海外との協力を通して、我が国の優れたCCTの導入に向けた取組を行う。

## 研究開発項目⑦ 「次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発」

[実施期間]平成29年度～32年度

### 1. 研究開発の必要性

従来型石炭火力発電の中で最高効率である超々臨界圧火力発電（USC）は蒸気温度の最高温度は630℃程度が限界と言われてきた。700℃以上の高温蒸気へ適用されるボイラ・タービン適用材料開発については、長期高温環境下での使用を想定したクリープ試験を実施する等、更なる信頼性の向上が必要である。本事業では2020年以降に増大する経年石炭火力のリプレース及び熱効率向上需要に対応するため、高温材料信頼性向上及び保守技術開発を行う。

### 2. 研究開発の具体的内容

#### (1) 高温材料信頼性向上試験

信頼性向上のため、クリープ疲労試験、異種材料溶接部健全性評価、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等を実施する。

#### (2) 保守技術開発

タービンロータ超音波探傷試験（UT検査）等の精度向上、高効率化、適用箇所の拡大を目的とした非破壊検査技術開発を実施する。

### 3. 達成目標

[最終目標（平成32年度）]

事業終了時において送電端熱効率46%（高位発熱量基準）達成可能な商用プラントへ適用する長時間クリープ疲労試験、材料データベースの拡充、表面処理技術開発等の高温材料信頼性向上及びタービンロータ超音波探傷試験（UT検査）精度向上等の保守技術を確立する。

### 4. その他重要事項

本事業については、他の事業との連携を図りながら、ユーザー及び外部有識者等の意見を適切に反映し、着実な運営を図る。情報発信及び知財化についても、技術の流出防止と適宜知財化を適切に助成先へ指導する。

研究開発スケジュール

◇中間評価、 事後評価

年度(平成)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3助成) 3) CO2分離・回収型IGFC実証(未定)					※1					◇		◇				◆
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(2/3助成) 2) 高温分空利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)					※1											
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)					※1											
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)										◇						
2) 燃料電池向け石炭ガスクリンナップ技術要素研究(委託)																
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)																
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)																
5) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)										◇						
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)																
7) CO2有効利用技術開発(委託)																
研究開発項目⑤ CO2回収型クローズドIGCC技術開発(委託)										◇		◇				
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)																
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)																

※1 経済産業省にて実施したプロジェクトでH28年度からNEDOへ移管  
 ※2 NEDOゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクトにて実施

## 2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・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。



# 「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発(1)(5)・CO2回収型クローズドIGCC技術開発」 (中間評価)

(2015年度～2020年度 6年間)

## プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

環境部

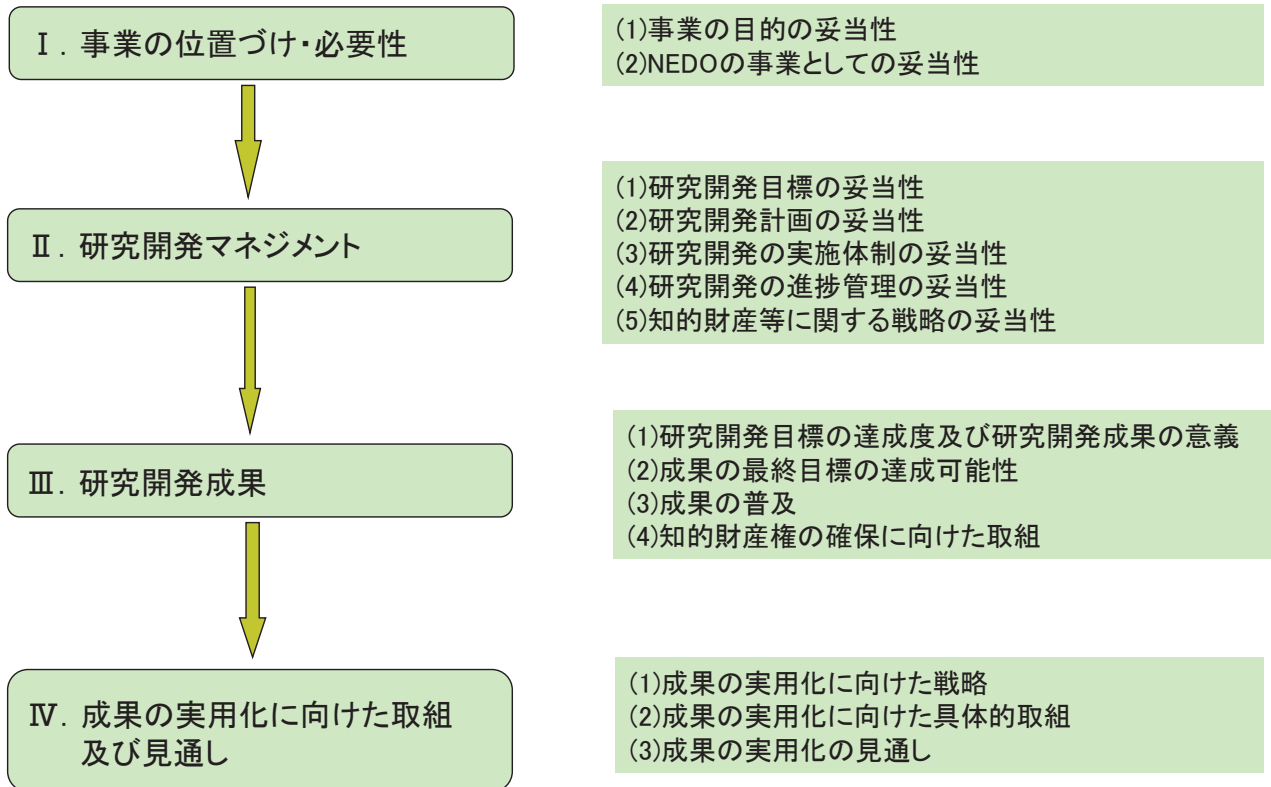
2017年10月2日

### 次世代火力発電等技術開発 評価テーマ

公開

年度(平成)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
研究開発項目① 石炭ガス化燃料電池複合発電実証事業 1) 酸素吹IGCC実証(1/3助成) 2) CO2分離・回収型酸素吹IGCC実証(2/3助成) 3) CO2分離・回収型IGCC実証(未定)																
研究開発項目② 高効率ガスタービン技術実証事業 1) 1700℃級ガスタービン(2/3助成) 2) 高温分空気利用ガスタービン(AHAT)(2/3助成)																
研究開発項目③ 先進超々臨界圧実用化要素火力発電技術開発(2/3助成)																
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)																
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーナップ技術要素研究(委託)																
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)																
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)																
5) CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)																
6) 石炭火力の競争力強化技術開発(委託)																
7) CO2有効利用技術開発(委託)																
研究開発項目⑤ CO2回収型クローズドIGCC技術開発(委託)																
研究開発項目⑥ 次世代火力発電技術推進事業(委託)																
研究開発項目⑦ 次世代技術の早期実用化に向けた信頼性向上技術開発(1/2助成)																

◇中間評価、◆事後評価



1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆事業実施の背景と事業の目的

**社会的背景**

温暖化対策は世界的課題



高効率発電技術と効率的なCO2回収システムによる  
CO2排出量削減の必要性

**事業の目的**

石炭火力発電の効率向上、効率的なCO2回収システム  
によるCO2排出量の抑制



- CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発(CO2分離回収設備と酸素製造設備が不要)
- CO2回収型クローズドIGCC技術開発(CO2分離回収設備が不要)
- 次世代ガス化システム開発(IGCCの水蒸気ガス反応の促進)

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

次世代火力発電に係るロードマップ\*1 (2016年6月) から抜粋

5. 2030年度に向けた取組の中心となる石炭、LNG火力に関する方針

- 2030年度に向け、石炭火力、LNG火力それぞれで設備の新陳代謝による高効率化が必要

エネルギーミックスでは、石炭火力、LNG火力について、高効率化を進めつつ環境負荷の低減と両立しながら活用する方針を提示している。

6. 2030年度以降を見据えた取組に係る技術に関する方針

- CCUS技術及び水素発電技術は、火力発電からのCO<sub>2</sub>排出量をゼロに近づける切り札となり得るものであり長期的視点を持ちつつ戦略的に推進

- CCUS技術の開発方針

CO<sub>2</sub>分離回収技術は、2020年代後半から2030年頃に経済的な回収技術を確立

CCUSが実際に実用化されるためには、前提として経済的なCO<sub>2</sub>分離回収技術の確立が不可欠である。従来技術では、CO<sub>2</sub>回収設備の設置・稼働が発電コストを相当押し上げ、また、設備の稼働による電力消費が全体の発電効率を低下させることから、貯留の点を除いても経済性の面で相当の課題がある。

そのため、当面は、複数の技術開発を並行して継続し、2020年代後半から2030年頃にかけて、経済的な回収技術を確立させることを目指す。

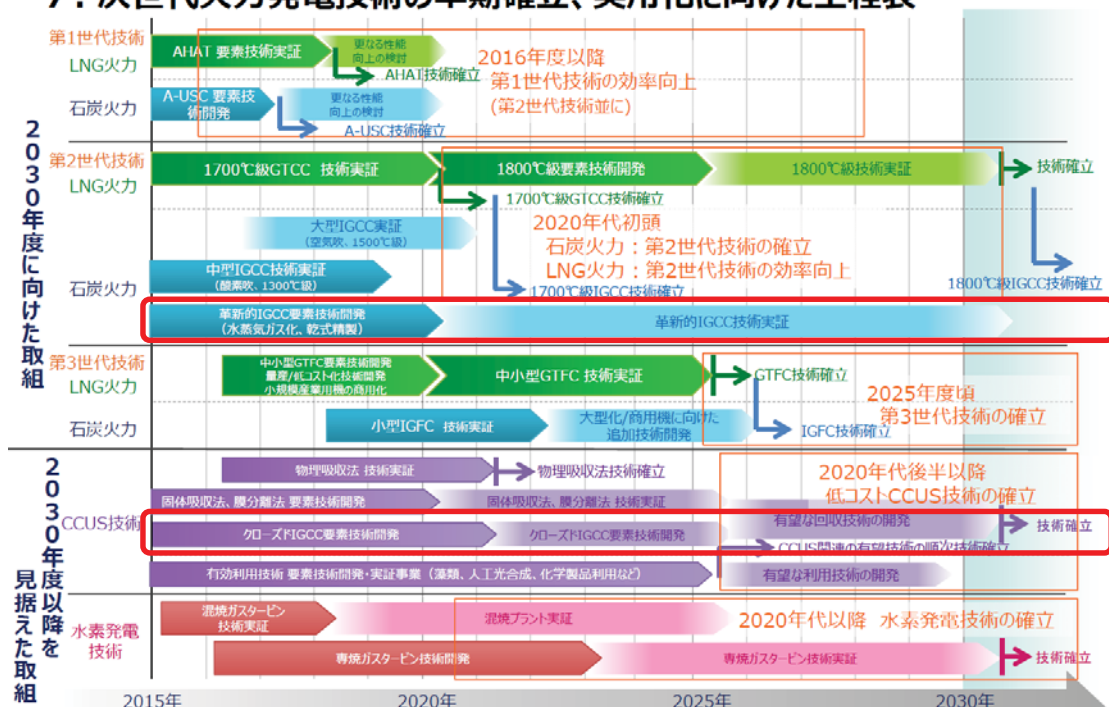
\*1: 経済産業省の主導で設置された産学官の有識者からなる「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」にて策定

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

次世代火力発電に係るロードマップ\*1 (2016年6月) から抜粋

7. 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表



\*1: 経済産業省の主導で設置された産学官の有識者からなる「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」にて策定

◆政策的位置付け

次世代火力発電に係るロードマップ\*1 (2016年6月) から抜粋

8. 個別技術の開発方針 -2030年度以降を見据えた取組に係る技術

ケ-ズドIGCC

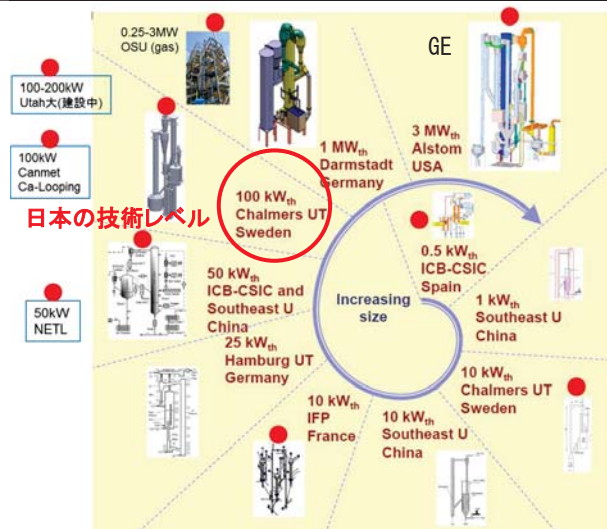
CO<sub>2</sub>分離回収に最適化した発電方式(IGCC)。当面、要素技術の開発を継続する。/今後、他の競合技術との優位性を精査しつつ、さらなる開発を進める。

\*1: 経済産業省の主導で設置された産学官の有識者からなる「次世代火力発電の早期実現に向けた協議会」にて策定

◆国内外の研究開発の動向と比較(競合技術との比較)

● CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発(CLC)

- CLC燃焼技術開発は発電向けが主体で、欧米共に1~3MWth級パイロット運転中。米国では10MWthのパイロット試験の計画あり。
- 主としてFe系天然キャリア、Ca系を主体に研究されている。高反応性キャリアの開発も盛んである。
- 各国CO<sub>2</sub>回収コスト目標: 平均30ドル/t-CO<sub>2</sub>未満と日本の研究1,000円台/t-CO<sub>2</sub>よりも高い。



- 米国ではDOEの支援で開発実施中 Alstom社: 3MWthパイロット試験 Ohio州立大, B&W社: 250kWth試験 実施中。次ステップとして10MWthパイロット試験の計画あり。
- 欧州ではCSIC(スペイン)は50kWth試験を得て100MWth概念設計を発表、Chalmers大(スウェーデン)が100kWth装置を運転している。
- 石炭のCLCにおける最重要課題は反応器のコンパクト化であり、先行プラントではAR, FR共に循環流動層を採用したり、カーボンストリップ装置等の対策を行っている。

1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較(競合技術との比較)

● CO2回収型クローズドIGCC技術開発

➢ 米国では超臨界CO<sub>2</sub>サイクル発電システムであるAllam Cycleの開発に取り組んでいる。

<主な特徴>

- ✓ CO<sub>2</sub>回収設備が不要であり、シンプルなサイクル
- ✓ ほぼ100%のCO<sub>2</sub>を回収し、直接地中貯留が可能
- ✓ NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の同時除去技術を採用



- ベースとなる基本コンセプトの研究開発が天然ガスを用いて進められており、動向を注視する必要がある。
- CO2回収型クローズドIGCCでは石炭を燃料としており、ガス化、ガス精製技術に注力。
- Allam Cycleのガスタービン技術が活用できれば以降の開発の効率化が図れる。

<開発動向>

- ✓ 2009年～: 8 RiversにてAllam Cycleの開発に着手
- ✓ 2010年: 実証機向けの設計に着手
- ✓ 2013年1月: 5MWth燃焼器の運転を開始
- ✓ 2016年3月: テキサス州で25MWe実証機(天然ガス焚き)の建設開始(試運転まで含めて\$140mil.のプログラム)
- ✓ 2016年11月1日: 東芝からタービン・燃焼器を出荷
- ✓ 2017年5月24日: タービン・燃焼器含む機器の建設工程を90%完了。フル負荷運転前の予備試験を実施中。
- ✓ 2017年秋頃: 25MWe実証機(天然ガス焚き)の稼働予定
- ✓ 2020年第二四半期頃: 295MWe商用機(天然ガス焚き)を\$300mil.で建設する計画。

既にPre-FEEDを完了させ、東芝では商用機向けタービンの設計に着手した模様。

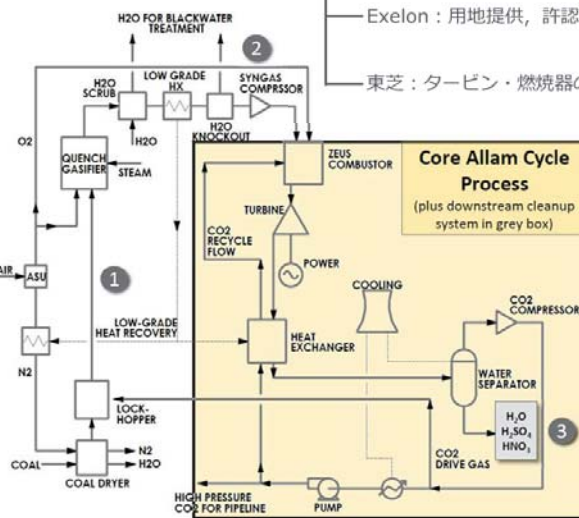
<プロジェクト体制>

Net Power: 全体取纏め, 基本技術所有, システムエンジニアリング

CB&I: EPCサービス提供

Exelon: 用地提供, 許認可取得

東芝: タービン・燃焼器の開発



1. 事業の位置付け・必要性 (1)事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較(競合技術との比較)

● 次世代ガス化システム技術開発

➢ 酸素吹き噴流床ガス化炉は、各種炉形式が開発されている。スラギング防止、炉壁保護、石炭搬送のため水蒸気などの各種ガスや水を投入する炉はあるが、水蒸気ガス化を促進するために水蒸気を投入する噴流床ガス化炉はない。

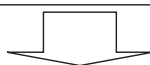
IGCC用酸素吹き噴流床ガス化炉における水蒸気の利用状況

	EAGLE	GE Energy	E-Gas™ (CB&I)	Shell	PRENFLO® (Uhde)	HCERI
IGCC プロジェクト	大崎クールジェン	Tampa, Edwardsport (米)	Wabash (米)	Buggenum (蘭), Taean (韓)	Puertollano (西)	GreenGen (中)
形式	1室2段	1室1段	2室2段	1室1段	1室1段	2室2段
水および水蒸気の利用状況	なし	湿式給炭のスラリー水	湿式給炭のスラリー水	冷却用蒸気	なし	冷却用蒸気
	—	微粉炭に対して2~3割の水を加えてスラリー化		・瀝青炭では石炭の1.5割 ・垂歴青炭では不要	—	一段目、二段目ともに投入

## ◆NEDOが関与する意義

## 「次世代火力発電等技術開発」

- 「CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発」は、流動材の酸化/還元反応を利用した新たな燃焼方式により、CO<sub>2</sub>を回収してもプラント効率が低下しない高効率の石炭火力発電が期待できる。⇒社会的必要性が高い。
- 「CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発」は、酸素燃焼技術を適用することにより、CO<sub>2</sub>を回収しても高い発電効率が期待できる。⇒社会的必要性が高い。
- 「次世代ガス化システム技術開発」は、IGCCシステムにおいて水蒸気添加により冷ガス効率・発電効率が期待できる。⇒社会的必要性が高い。
- 火力発電設備メーカーの海外競争力強化に貢献できる。
- 研究開発の難易度が高く、実用化までのリードタイムが長いことから、民間企業だけではリスクが高い。



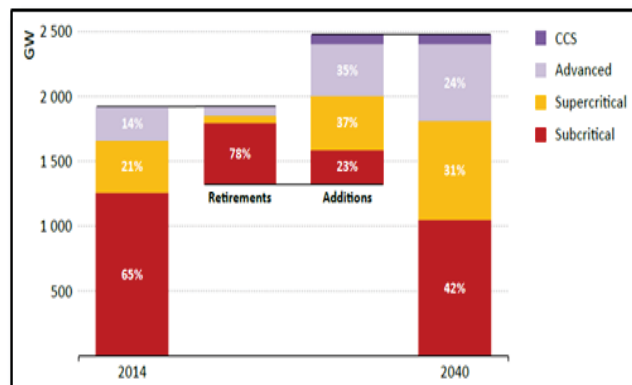
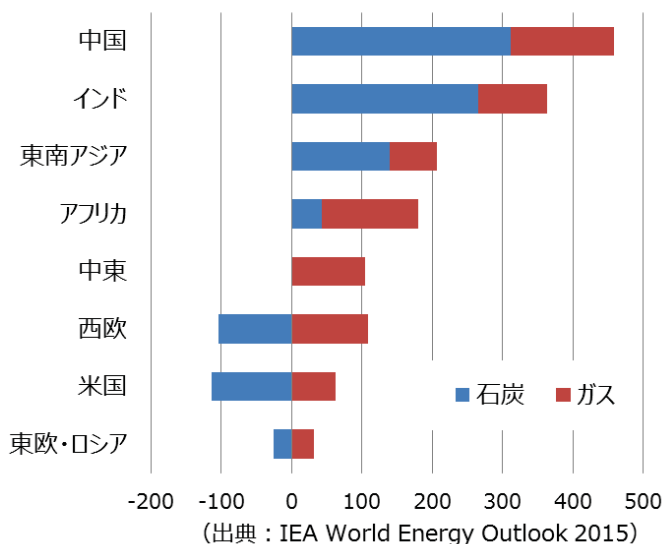
## NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

10

## ◆実施の効果（費用対効果）

- 世界的に地球温暖化対策を念頭に置いた政策が進むも、石炭需要には地域性がある。
- 欧米の石炭火力は縮小傾向だが、アジアや豪州などは石炭火力は今後も導入が進む。
- 世界全体では石炭火力発電の容量(GW)が約25%増えると予想されている。

主要地域における石炭及びガス火力発電容量の増減見通し（2015-2040）



(出典) IEA World Energy Outlook 2015, Fig.8.14

11

## ◆実施の効果（費用対効果）

## ➤ プロジェクト費用

## □ CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発:3.3億円

研究段階は、基盤技術開発であり、試験装置はラボレベル。

実用化までには、PDU(ベンチ)⇒パイロット⇒実証等スケールアップした試験が必要。  
実用化までには、まだ時間と費用が必要であるが、期待される市場規模(試算根拠)は以下の通り。

## □ CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発:

- ✓ 国内ターゲット市場: CCS本格運用を待つ必要がある為、海外のCO2/EOR市場への参入を目論んだ。
- ✓ 海外ターゲット市場: 北米でCO2/EORで用いられるCO2量は約5000万トンで、そのうち約4000万トンがCO2貯留層から産出されるCO2から供給されている\*)。

\*)出展 GCCSI CCSの採用を促進する回収CO2の工業利用 2011年3月

## ◆実施の効果（費用対効果）

- 現状のCO2供給がCLCボイラで代替されるとし、発電量10万kW発電設備のCO2回収量は81t/hなので、年間稼働率70%(6,000H)で48.6万tのCO2が回収できるとする。
- CLC建設単価を20.9万円/kW(現状想定値)とすると10万kWで209億円となるので、この数値をもとに受注規模を想定した。

	市場規模(米国)	受注予測(累積)/シェア 初号機受注以降、年間2台受注した場合の累積シェア
現状	1.7兆円	4000万トン/年÷48.6万トン/台≒80台 80台×209億円=1.7兆円
20XX年 (初年度)	1.7兆円	209億円(1台) /1.2%
5年後	1.7兆円	1,881億円(9台) /11%
15年後	1.7兆円	6,061億円(29台) /36%

- しかしながら、近年のNEDO調査事業の結果から北米(カナダ)でも石炭焚き火力の建設ができない状況にあり、他の産油地で石炭焚き火力の存続する新たな市場開拓が必要である。

## ◆実施の効果（費用対効果）

➤ プロジェクト費用(中間評価迄の3年間の費用)

### □ CO2回収型クローズドIGCC技術開発:約29億円程度(要素研究)

既設の実証規模(石炭処理量:50t/d)のプラントを流用し、ガス化炉、ガス精製を主としたシステム全体の上流側の要素開発段階である。

#### ✓ 国内ターゲット市場:

・2040～2060年頃の国内発電所リプレイス(油火力なども含む)への本格導入を想定(想定条件:経年40～60年で廃止)すると、出力400MW級規模の発電所が約18基導入される見込(全廃止容量40～95GWの1/9)。

⇒建設費単価約30～40万円/kWとすると、約2.5兆円の市場が期待できる。

#### ✓ 海外ターゲット市場

・国内で効果を確認後、海外への普及展開が期待できる。

・展開時期が2050年代以降で未確定要素が多いものの、CCS火力としての送電端効率の優位性は極めて高い上、新興国を中心に海外の石炭火力新設需要は大きいものと考えられる。

⇒定量化は難しいものの、かなりの規模の市場が潜在する。

## ◆実施の効果（費用対効果）

### □ 次世代ガス化システム技術開発:3.7億円(基盤研究)

研究段階は、基盤技術開発であるが、既存ベンチ規模(石炭処理量:3t/d)のガス化炉を流用すると共にリダクター模擬小型ガス化炉を用いた試験である

#### ✓ 国内ターゲット市場:リプレイス等

・IGCC(1500℃級GT)の発電効率が約2ポイント向上すると、燃料費を約4%削減できる。

・2030～2050年頃の国内発電所リプレイスへの本格導入を想定(想定条件:経年40～60年で廃止)すると、出力500MW級規模の水蒸気添加IGCCが約15基導入見込(全廃止容量80～100GWの1/12)。⇒建設費単価約30万円/kWとすると、約2.3兆円の市場が期待できる。

#### ✓ 海外ターゲット市場

・国内で効果を確認後、海外への普及展開が期待できる。

・展開時期が2040年代以降で未確定要素が多いものの、送電端効率の優位性は極めて高い上、新興国を中心に海外の石炭火力新設需要は大きいものと考えられる。

⇒定量化は難しいものの、かなりの規模の市場が潜在する。



## 1. 事業の位置付け・必要性 (2)NEDOの事業としての妥当性

## ◆実施の効果 (費用対効果)

## CO2削減効果の試算(国内想定)

現行USCとの発電効率(送電端効率, HHV以下同)およびCO2排出量の比較

	発電効率	kWhあたりのCO2排出量	CO2排出量 * *	CO2削減量	CO2削減割合
現行USC	40%	0.82kg/kWh	250万t/年	ベース	ベース
IGCC	46%	0.71kg/kWh	218万t/年	32万t/年	約13%
次世代ガス化システム IGCC(水蒸気添加IGCC)	48%*	0.68kg/kWh	208万t/年	42万t/年	約17%
	発電効率	kWhあたりのCO2排出量	CO2排出量 * *	CO2回収量	CO2削減割合
CO2回収型クローズド IGCC	42%	0 kg/kWh	0 万t/年	240 万t/年	約100%
CO2分離型化学燃焼石 炭利用技術開発	38%	0.86kg/kWh	$\frac{264 \times 0.02}{=5.3}$ 万t/年	259万t/年	約98%

\* : 水蒸気添加による効果のみを考慮。乾式ガス精製および酸素製造の高効率化による効果は含まず。

\* \* : 500MWに適用された場合の排出量を試算

$500\text{MW} \times 8,760\text{時間} \times 0.7(\text{稼働率}) = 3,066,000 \text{ MWh/年}$

現行USC:  $3,066,000,000 \text{ kWh/年} \times 0.82\text{kg/kWh} = 2,514,120\text{t-CO}_2/\text{年} \approx 250\text{万t/年}$

16

## 2. 研究開発マネジメント (1)研究開発目標の妥当性

## ◆事業の目標

- 本事業を通じて、発電効率の大幅な向上やCO2分離・回収後においても高効率を維持すること及びCO2排出の削減に寄与する革新的な次世代火力発電技術の確立を目指す。  
各研究開発項目ごとの目標について順次記載する。

1. 次世代火力発電基盤技術開発(5)  
CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発
2. CO2回収型クローズドIGCC技術開発
3. 次世代火力発電基盤技術開発(1)  
次世代ガス化システム技術開発

17

1. 次世代火力発電基盤技術開発(5)  
CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発

2. CO2回収型クローズドIGCC技術開発

3. 次世代火力発電基盤技術開発(1)  
次世代ガス化システム技術開発

◆ プロジェクトの概要

- CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発
- 技術開発ステージ: ラボレベルの基盤技術開発(要素技術)

燃料反応塔(揮発分反応塔+石炭反応塔)  
における反応

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

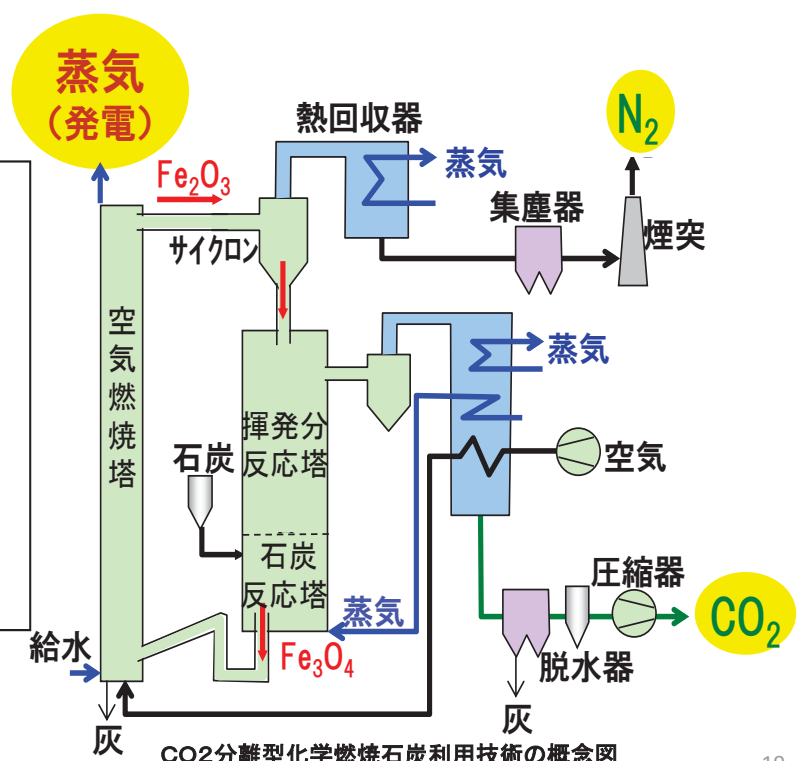
$$CO + H_2 + 2MO_x \rightarrow 2MO_{x-1} + H_2O + CO_2$$

$$C + 2MO_x \rightarrow 2MO_{x-1} + CO_2 \quad (\text{吸熱})$$

空気燃焼塔 (AR) における反応

$$2MO_{x-1} + \text{Air (O}_2) \rightarrow 2MO_x \quad (\text{発熱})$$

(M: 金属)



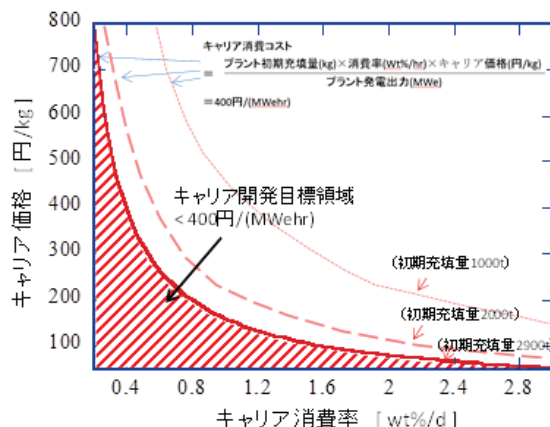
CO2分離型化学燃焼石炭利用技術の概念図

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆事業の目標

● CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発

- ケミカルルーピングを用いた石炭利用技術は、CO<sub>2</sub>を回収しつつ高効率発電が可能となる一方で、酸素を運ぶ流動材(酸素キャリア、以下キャリアと記す)を用いることから、その反応性や耐久性等に起因するキャリア消費コスト及びプラントコストを含めたCO<sub>2</sub>分離・回収コストが、競合する石炭火力発電システムより安価とする必要がある。



キャリア消費コストとプラント初期充填量、キャリア消費率及びキャリア価格との関係

[中間目標(平成29年度)]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるキャリアを選定する。

[最終目標(平成32年度)]

分離・回収コスト1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せるCO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭火力発電システムを提示する。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール及び費用

● CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発

◇NEDO中間評価 ◆NEDO事後評価

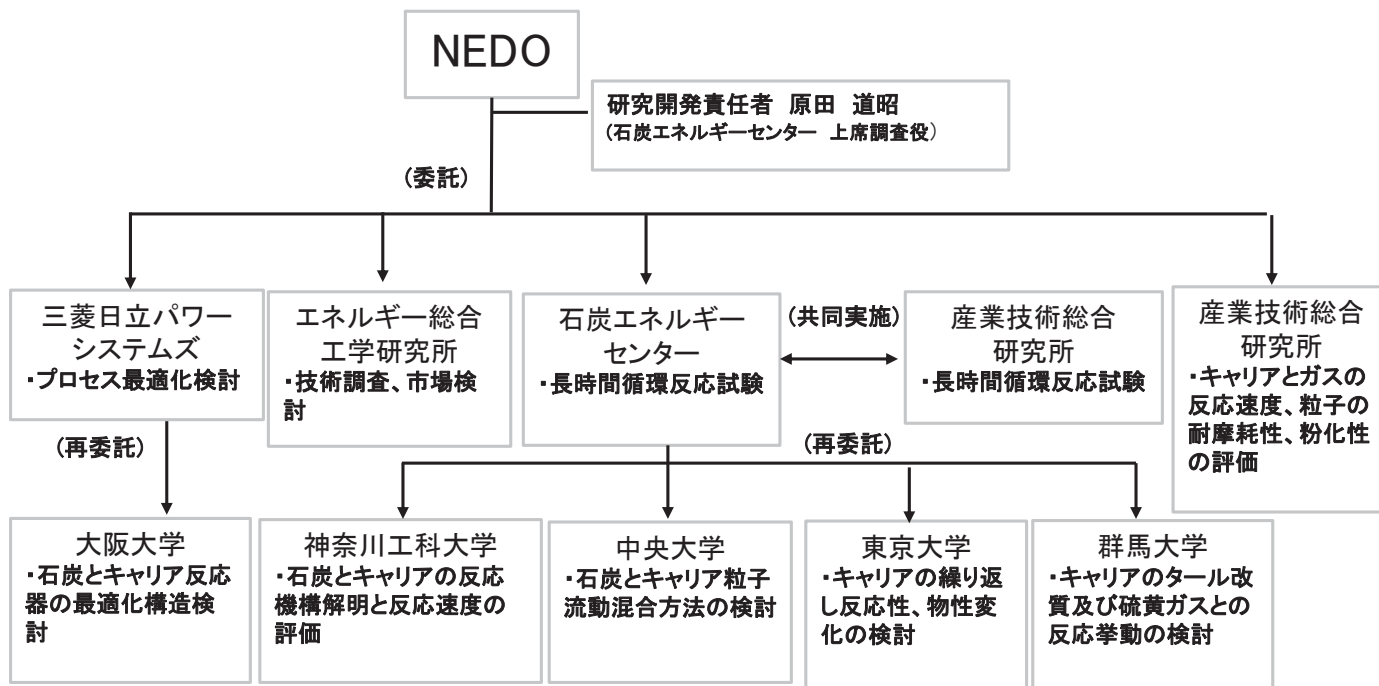
年度	2015	2016	2017	2018	2019	2020
			◇ 中間評価			◆ 事後評価
キャリアの選定価 (天然、人工キャリア)	→					
キャリア性能評価 (反応性、耐摩耗性、反応装置を用いた長時間運転試験)	→					
プロセス構造検討・条件最適化	→					
技術・市場調査・経済性検討	→					
PDU試験				設計	製作	試験運転

(単位:百万円)

年度	2015	2016	2017	合計
研究開発費	65	151	114	330

## ◆ 研究開発の実施体制

## ● CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発



22

## 2. 研究開発マネジメント

(1) 研究開発目標の妥当性 (2) 研究開発計画の妥当性 (3) 研究開発の実施体制の妥当性

1. 次世代火力発電基盤技術開発(5)  
CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発
2. CO2回収型クローズドIGCC技術開発
3. 次世代火力発電基盤技術開発(1)  
次世代ガス化システム技術開発

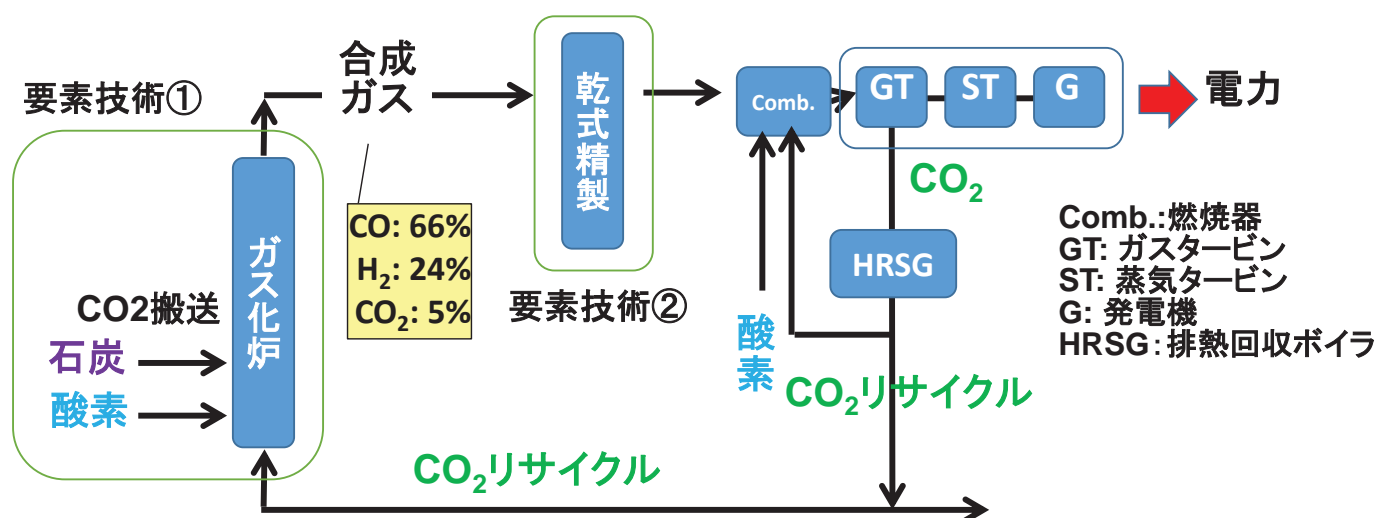
23

## ◆プロジェクトの概要

## ● CO2回収型クローズドIGCC技術開発

## ➤ 技術開発ステージ:

石炭処理量50t/dのガス化炉を用いた実証試験であるが、主にガス化炉、ガス精製に係る技術開発(部分的な要素開発であり、本格的なガスタービンの開発はCO2政策動向を見ながら次のフェーズで実施する計画)



24

## ◆事業の目標

## ● CO2回収型クローズドIGCC技術開発

- IGCCのGT排ガスを再循環しガス化剤やGT燃焼器の希釈剤などに用いることでCO2回収後も高い効率を維持できる「CO2回収型クローズドIGCC」について、2007～2014年の先行プロジェクトで構築した基盤技術をベースに、本システムに必要な要素技術を確立する。
- 目標効率としては、現時点の主力石炭火力USCの送電端効率である42%を設定し、CO2回収後も、この42%を維持できることを目標として定めた。

[中間目標(平成29年度)]

送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術確立の目途を得る。

[最終目標(平成31年度)]

送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術を確立する。

25

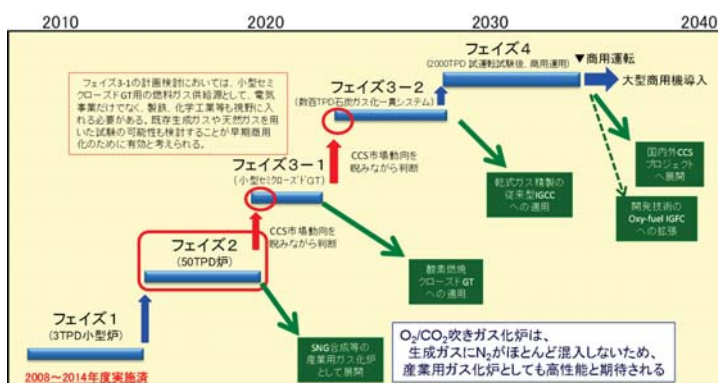
2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール

● CO2回収型クローズドIGCC技術開発

◇ NEDO中間評価 ◆ NEDO事後評価

年度	2015	2016	2017	2018	2019
			◇ 中間評価		◆ 事後評価
3t/dガス化炉設備 O2/CO2ガス化試験 乾式ガス精製設備追設		設備改造	設計・製作	ガス化試験運転	試験運転
50t/dガス化炉設備 O2/CO2ガス化試験 乾式ガス精製設備追設		設備改造	設計・製作	ガス化試験運転	試験運転
炭種適合性評価ツール開発 システム検討					



26

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ プロジェクト費用

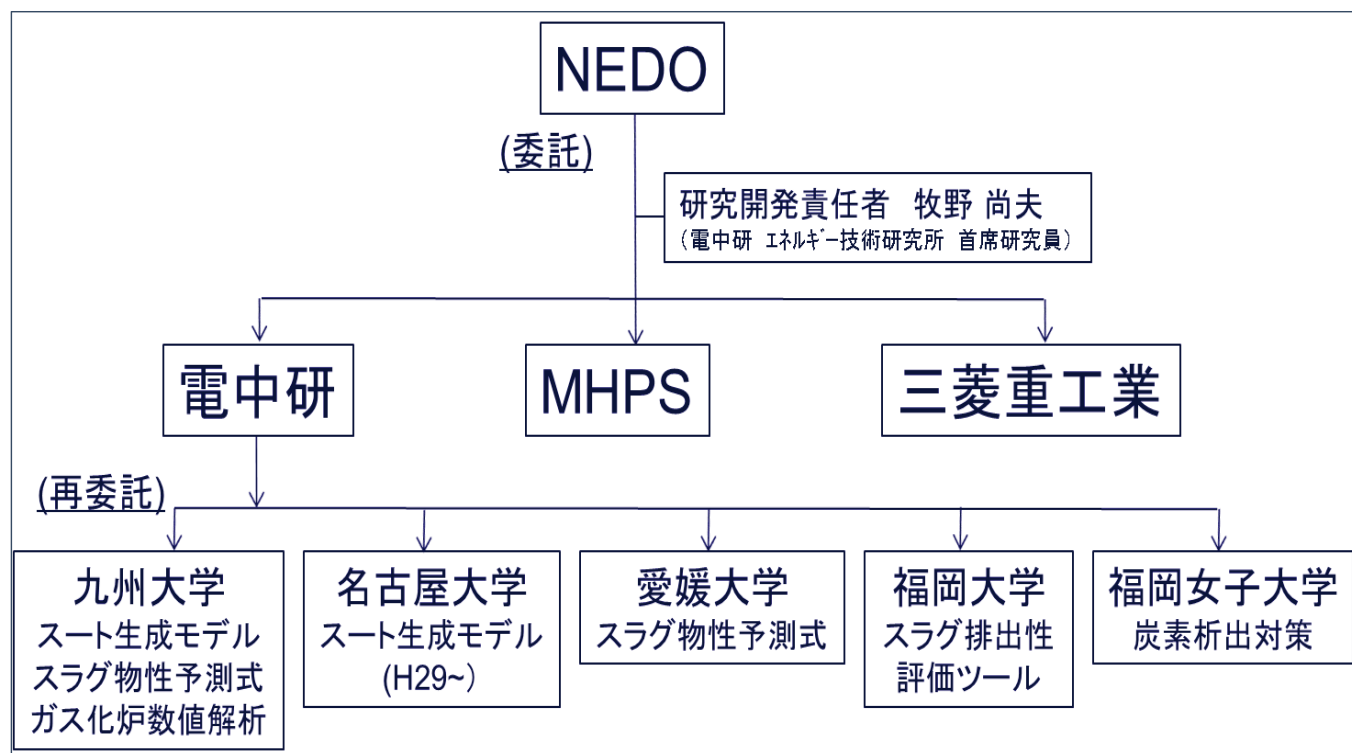
● CO2回収型クローズドIGCC技術開発

(単位: 百万円)

年度	2015	2016	2017	2018	2019	合計
3t/dガス化試験、 乾式ガス精製試験、 炭種適合性評価ツールの開発	252	1,085	449	—	—	1,786
50t/dガス化試験	128	540	410	—	—	1,078
システム評価	2	2	2	—	—	6
合計	382	1,627	861	—	—	2,870
( ) 予定				(752)	(606)	(4,228)

## ◆ 研究開発の実施体制

## ● CO2回収型クローズドIGCC技術開発



28

## 2. 研究開発マネジメント

(1) 研究開発目標の妥当性 (2) 研究開発計画の妥当性 (3) 研究開発の実施体制の妥当性

1. 次世代火力発電基盤技術開発(5)  
CO2分離型化学燃焼石炭利用技術開発
2. CO2回収型クローズドIGCC技術開発
3. 次世代火力発電基盤技術開発(1)  
次世代ガス化システム技術開発

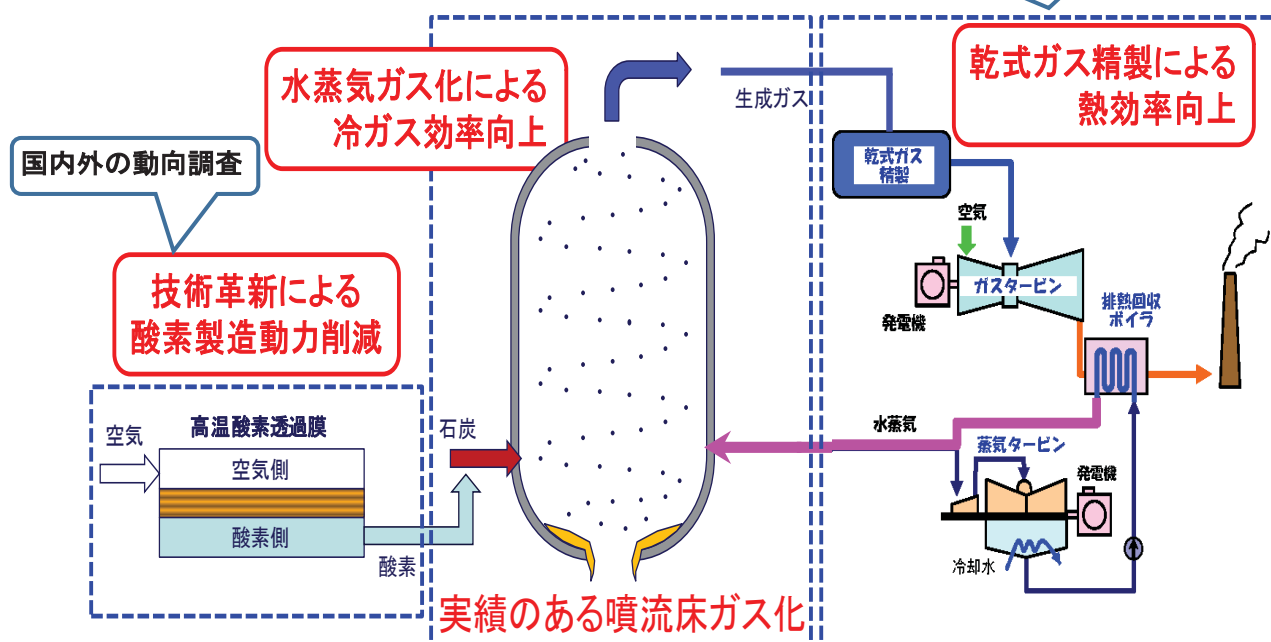
29

## 2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

## ◆プロジェクトの概要

## ● 次世代ガス化システム技術開発

- 技術開発ステージ: 石炭処理量3t/dのガス化炉を用いたベンチ試験レベルの基盤技術の開発 (要素開発)

CO2回収型クローズドIGCC  
技術開発の成果を反映

30

## 2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

## ◆事業の目標

## ● 次世代ガス化システム技術開発

- IGCCでは、部分燃焼の一部を、ガスタービン排熱を利用して作る水蒸気を用いた石炭ガス化反応に置き換えることにより、酸素供給量の低減を図り、冷ガス効率が向上するとともに送電端効率が向上する可能性がある。
- 一方、課題として、ガス化炉へ水蒸気を投入する方法によってガス化炉内の流動状態が大きく異なるため、水蒸気投入方法を慎重に設計する必要があること、ガス化炉出口の温度が低下するため、タール生成・分解挙動の予測とタール低減対策が必要である。
- これらの可能性を検証及び評価するため、最適な試験装置を用いてデータを取得し、数値解析モデルの適用範囲を拡充するとともに適切なタール改質モデルを導入し、**評価ツールを構築**する。着実に試験を進めるため以下のステップを踏んで研究開発を実施する。

## [中間目標 (平成29年度)]

既存のIGCC (1500℃級GTで送電端効率46~48%) を凌ぐ高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得るため、小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験方法を確立する。

## [最終目標 (平成30年度)]

既存のIGCC (1500℃級GTで送電端効率46~48%) を凌駕する高効率石炭ガス化発電システムの見通しを得る。

31

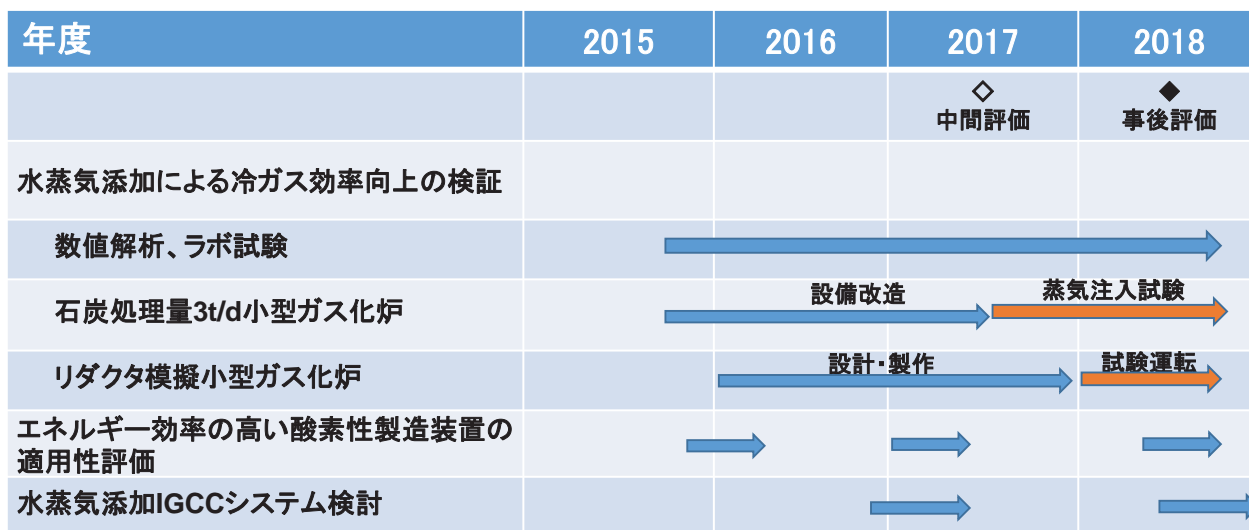


2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆ 研究開発のスケジュール及び費用

● 次世代ガス化システム技術開発

◇ NEDO中間評価 ◆ NEDO事後評価



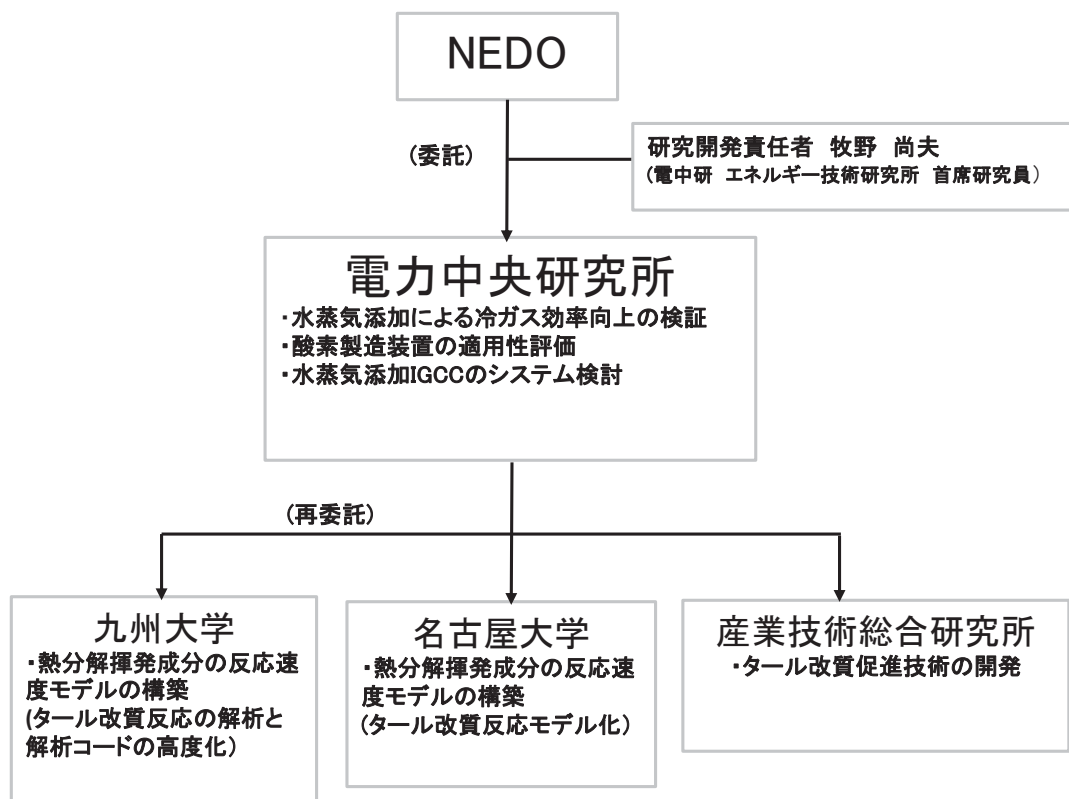
(単位:百万円)

年度	2015	2016	2017	2018	合計
研究開発費	8	75	287	—	370
( ) 予定				(150)	(520)

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制

● 次世代ガス化システム技術開発



## ◆ 研究開発の進捗管理

### PMによる進捗管理

- 従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリングにより実施状況をチェックする。

### PLによる進捗管理

- 共同実施者間での打合せや再委託先との打合せを頻繁に行うとともに、それに基づいた情報連絡会および再委託連絡会を定期的に実施し、各実施項目の進捗状況や成果と課題を把握し、プロジェクト計画や工程に反映させている。

## ◆ 動向・情勢の把握と対応

事業開始(2012年度)以降、下記のような情勢変更があり、本事業の重要性が一層高くなっている。

### 情勢の変化

- 2014年4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画」の中で、石炭は安定供給性や経済性に優れた重要なベースロード電源の燃料として再評価されている。
- 2016年4月より電気の小売り全面自由化により、競争力のある電源の開発が必要だという認識のもと、安定供給性や経済性に優れた石炭火力の更なる効率向上を目指し、我が国のエネルギー政策の基本である。「3E+Sの」を推進してきている。
- 2015年12月にパリ協定が採択され、日本の目標としては、2030年度に2013年度比26%の温室効果ガスを削減することが提出されている中、達成に向けては石炭火力の高効率化が前提となっている。

⇒本事業の早期実用化が一層重要になっている。

## ◆ 知的財産権等に関する戦略

- ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない。
- 知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する。

### □ CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

基盤研究段階であり、キーテクノロジーとなる酸素キャリアについて権利化を目指す。また、酸素キャリアの性能を踏まえてプラント試設計を進めるにあたり、システムを構築するために必要な各機器や運転・制御などについて出願・権利化を進める。

### □ CO<sub>2</sub>回収型クローズIGCC

ガス化システムおよびガス化システムの運転方法、ガスタービン燃焼器および発電システムならびに不純物除去剤の再生システム等のコア技術について権利化に積極的に取り組む。

### □ 次世代ガス化システム技術開発

冷ガス効率向上のための設計手法や条件設定手法はノウハウとして保有する。ガス化炉構造の改良など設計に関わる技術については権利化に積極的に取り組む。

36

## ◆ 知的財産管理

- 各プロジェクトにおいて発生する知的財産に関しては、以下の通り。

### □ CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発

- 本プロジェクト実施メンバーが、CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術(CLC)開発プロジェクト「知財合意書」を取り交わし、同合意書に基づき設置した知財運営委員会にて、開発成果の権利化や秘匿保持を適切に行うよう、運営規則に基づき運営を行った。

### □ CO<sub>2</sub>回収型クローズIGCC

本プロジェクトで得られた知財については、関係各機関の知財管理部門と連携し、特許管理、知財管理を進めている。

### □ 次世代ガス化システム技術開発

本プロジェクトで得られた知財については、関係各機関の知財管理部門と連携し、特許管理、知財管理を進める。

37

1. 次世代火力発電基盤技術開発(5)  
CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発
2. CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発
3. 次世代火力発電基盤技術開発(1)  
次世代ガス化システム技術開発

3. 研究開発成果 (1)研究開発目標

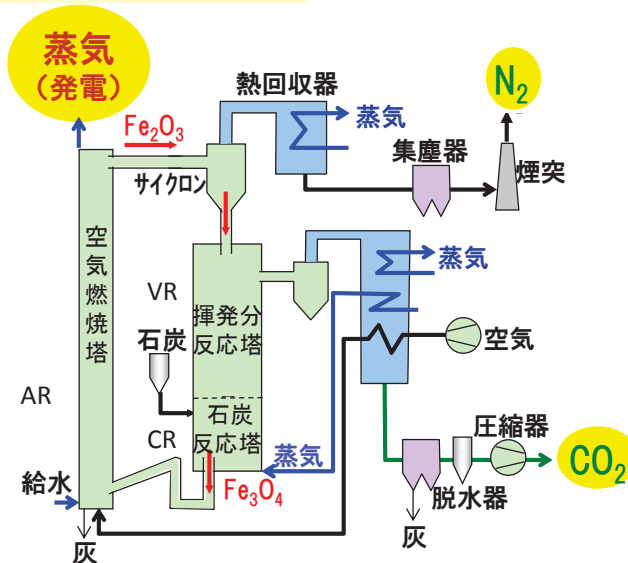
● 研究開発課題

①酸素キャリア及び製造方法の開発評価と選定

②酸素キャリアの技術性能評価

②-5  
酸素キャリアの  
層内混合特性

②-6  
・循環流動特性  
・酸素キャリアの  
・長時間反応性灰と  
酸素キャリア分離



CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術の概念図

②-1  
酸素キャリアの  
ガス反応速度

②-2  
酸素キャリアの  
チャーガス化速度  
②-7  
酸素キャリアの  
タール改質, 耐S

②-3  
酸素キャリアの  
繰り返し反応性

②-4  
酸素キャリアの  
摩耗特性

③プロセス構造、条件の最適化評価

④技術調査、市場・経済性検討他

## 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標

## ◆ 研究開発課題毎の目標と達成状況

◎ 大きく上回って達成、○達成・達成見込み、△一部達成、×未達

実施計画	技術課題	H26年度 概念設計条件	中間成果	評価
②-1	キャリアとガスとの反応速度	・生成ガスのCO <sub>2</sub> 転化率:98% ・VR滞留時間:キャリア_3分、ガス_1秒	・生成ガスのCO <sub>2</sub> 転化率:98% ・VR滞留時間:キャリア_6分、ガス_2秒(粒子層高増加で対応可)	○
②-2	キャリアと石炭との反応速度	・CR滞留時間:キャリア_12分、ガス_2秒 ・チャーガス化率:97.3%以上	・チャーガス化率:94% → カーボンストリップ設置や反応器構造の改良で対応可(設計ガス化率97.3%で変更なし)	○
②-3	キャリアの繰返反応性、物性変化	・酸化/還元繰返し反応性:10倍向上と仮定	・繰返し反応性:天然キャリア5倍、Ca添加改質イルメナイトで12倍向上可 → 天然キャリアのVR滞留時間を3分→6分とする。	○
②-4	キャリアの耐久性、摩耗、	・摩耗量、粉化率:未考慮 ・キャリア補充率:0.40wt%/dと仮定	・キャリア摩耗量は珪砂の2倍であることを確認。CFBでの珪砂補充率経験値より概念設計時の補充率0.40wt%/dは安全側であると判断。	○
②-5	石炭とキャリアの混合性	・流動条件:気泡流動層形成 ・粒径:石炭100 $\mu$ m、イルメナイト123 $\mu$ m ・混合性、滞留方法:未検討	・石炭とキャリアの混合は円滑に進むことを確認。 ・チャーがキャリア同伴されARに移動を防ぐ反応器構造の改良案を提案。	○
②-6	循環流動性	・運転制御条件:未検討 ・粒子循環流束 G <sub>s</sub> :52kg/m <sup>2</sup> s	・長時間循環反応評価装置(ベンチ試験装置)で検討開始。 ・ベンチ試験装置で、粒子循環流速設計条件(G <sub>s</sub> :52kg/m <sup>2</sup> s)を満足することを確認した。	○
	長時間循環反応評価	・連続運転性能:性能は低下しないと仮定 ・S分、N分挙動:机上検討	・ベンチ試験装置で検討開始。 64h連続運転達成し、装置の安定化確立。	○
	灰とキャリアの分離	・サイクロン:完全分離と仮定 ・反応塔内:CR、VRでは灰飛散なしと仮定	・ベンチ試験装置で検討開始。	○
②-7	タール改質、硫黄ガス影響	・タール改質:未検討 ・硫黄ガス:未検討	・固定層試験でキャリアによるタール改質活性を把握。 ・S/C増加で煤の生成減少。タール改質への影響因子を検討中。	○
CO <sub>2</sub> 回収コスト		2,000円台/t-CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> 圧縮費を含む)	1,000円台/t-CO <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> 圧縮費を含む)	○

40

## 3. 研究開発成果 (2) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

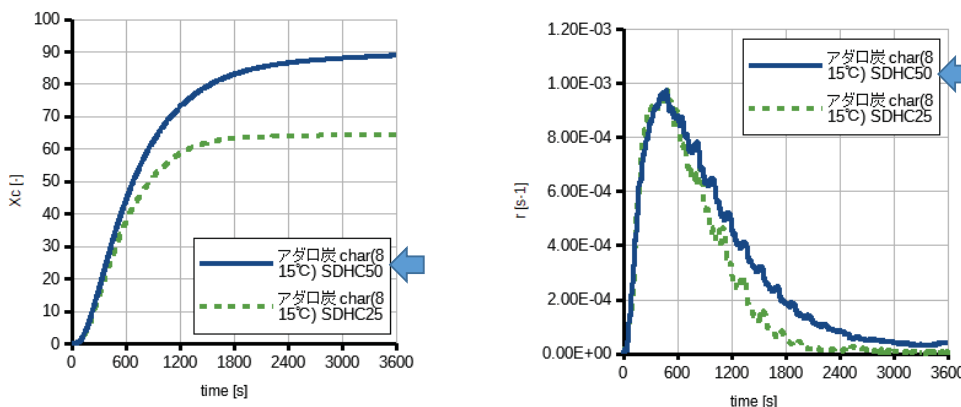
## ● プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- 酸素キャリアの評価・選定により、天然キャリアの利用について目途を得、引き続き中間目標達成に向けて取り組む。

<ul style="list-style-type: none"> <li>分離・回収コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を見通せる安価な天然キャリアを選定。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>技術的な実現性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>天然キャリア性能を定量的に把握しCLCプロセスの実現性に技術的目途を付けた。</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>実用化の課題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>石炭のS分のキャリア酸化還元速度への影響把握</li> <li>繰返し利用時天然キャリア崩壊対策(Ca添加等)</li> <li>Cセパレータの実用化</li> <li>多炭種対応</li> </ul>

41

- ①-1 人工キャリアの開発評価と選定(JCOAL【中央大、神奈川工大、東大】)
- 酸化鉄含有量を50%とし、焼成温度を1300°Cとしてハーシナイト( $\text{FeAl}_2\text{O}_4$ )化した50% $\text{Fe}_2\text{O}_3$ キャリア粒子を、第一の候補として選定した。
- 原材料として天然キャリアであるイルメナイトにCaを含浸1300°C焼成したキャリアは反応速度がイルメナイトより向上し、第二の候補として選定した。(2-③項で示す)

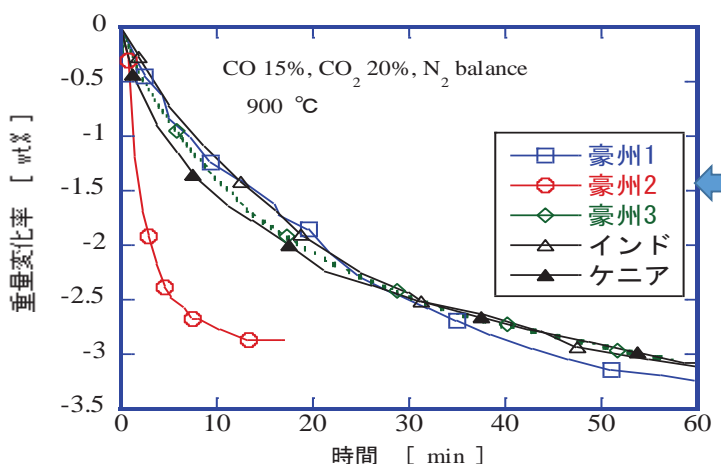


炭素転換率 反応速度  
 図①-1-1 人工キャリア第一候補の性能  
 (SDHC50( $\text{SD}_{50}$ ): 50 % $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、SDHC25( $\text{SD}_{25}$ ): 25 % $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

42

◆ ①-2 天然キャリアの開発評価と選定(MHPS、JCOAL)

- 5タイプのイルメナイト還元反応性を比較し、初期反応性の高い豪州産2号( $\text{IL}_{\text{au}2}$ )のイルメナイトを選定した。

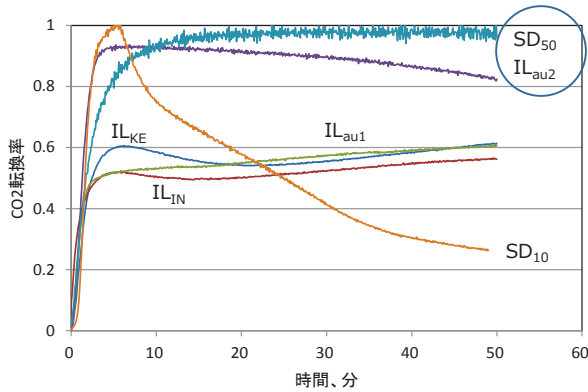


図①-2-1 5種類のイルメナイトの還元反応性の比較(熱重量測定試験法)

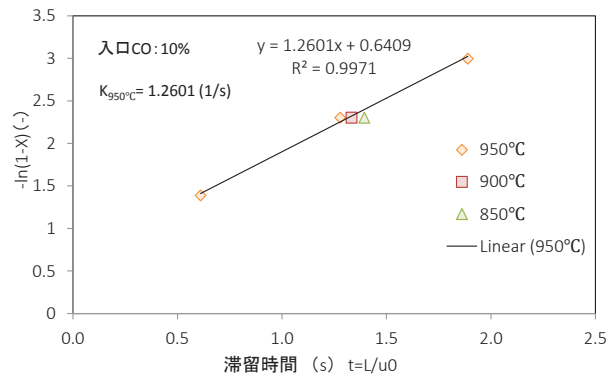
43

● ②-1 酸素キャリアとガスの反応速度の評価(産総研)

- 6タイプの酸素キャリア(天然キャリア:  $IL_{au1}$ ,  $IL_{au2}$ ,  $IL_{IN}$ ,  $IL_{KE}$ 、人工キャリア:  $SD_{10}$ ,  $SD_{50}$ )を用いて還元実験を実施。天然キャリア豪州産2号  $IL_{au2}$  の反応性は人工キャリアと同等であった。
- 反応速度の動的解析から、ガス側反応速度は一次反応、キャリア側の速度は未反応核モデルと仮定し、各キャリアの還元速度定数を求めた。



図②-1-1 CO<sub>2</sub>転換率の比較による酸素キャリアの還元反応性の評価; 900°C、10%CO

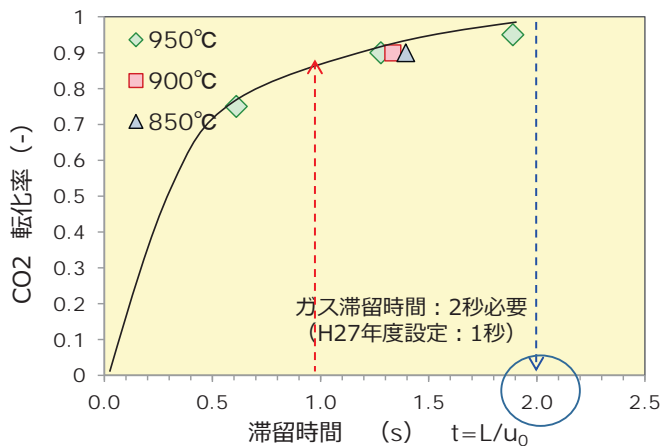


図②-1-2 天然キャリア $IL_{au2}$ のガス側還元反応速度定数; 10%CO

44

● ②-1 酸素キャリアとガスの反応速度の評価(産総研)

- 反応速度からCO<sub>2</sub>転換率98%に必要なガス滞留時間は2秒であることが明らかとなった。
- 表②-1-1の通りガス滞留時間2秒を確保できる設計仕様でCO<sub>2</sub>転換率98%達成。



図②-1-3 CO<sub>2</sub>転換率と滞留時間の関係

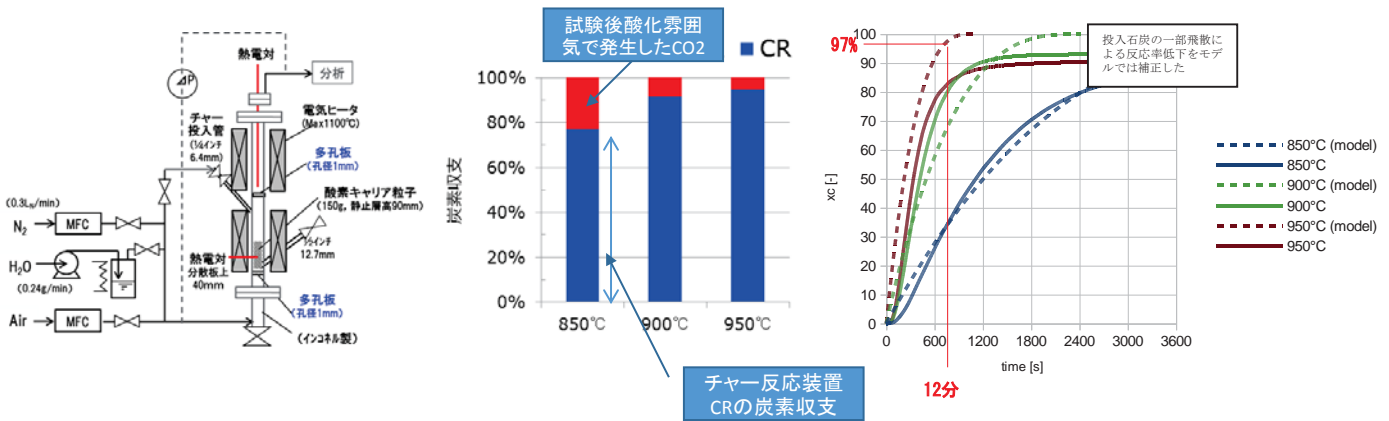
表②-1-1 VR設計仕様の変更(250MWth)

		H27年度条件	H28年度見直し
ガス滞留時間	秒	1	2
キャリア層高	m	1	2
キャリア充填量	t	176	352
塔断面積	m <sup>2</sup>	70	←
塔高	m	9.3	10.2
空塔速度	m/s	1.5	←
ガス量	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /min	1376	←
圧力損失	kPa	33	98
流動状態	-	気泡流動化	乱流流動化
ブロー形式	-	軸流送風機	←

45

● ②-2 石炭チャーと酸素キャリアの反応機構の解明と反応速度の評価  
(IAE、JCOAL【神奈川工大】)

- 小型流動層試験で、石炭チャーのガス化反応速度を測定した。炭素収支は小径チャーの飛び出しで最大94%であった。
- 全量反応したと仮定すると、950°C12分で反応率97%が達成できる。
- カーボンストリップやチャー反応塔構造の見直しで、未反応チャーの飛散を防止し、計画滞留時間を確保することでガス化率の達成を見込める。

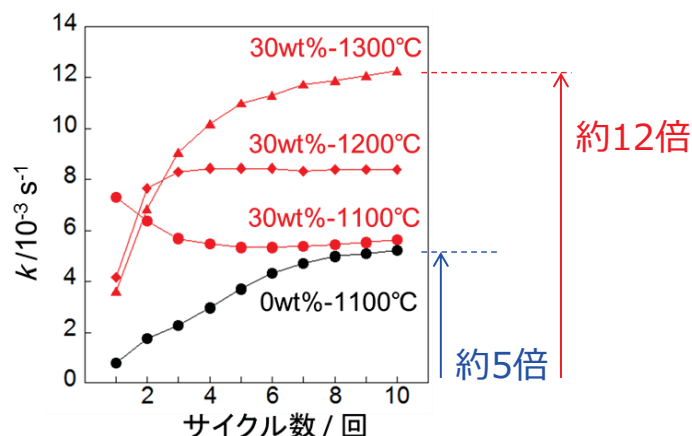


図②-2-1 小型試験装置及び炭素収支

図②-2-2 チャー反応率と未反応核モデルによる整理結果

● ②-3 酸素キャリアの繰り返し反応性、物性変化の検討(【東大】、JCOAL)

- 天然イルメナイトの繰り返し利用による反応性向上を確認した。以下の通り、繰り返し反応性向上は5倍程度。ただし、改質(Ca添加)により約12倍達成見込み。
- VRのキャリア滞留時間を3分(反応性10倍)から6分に変更しVR寸法を見直した。

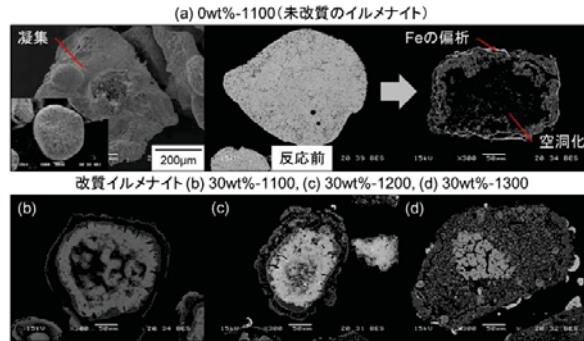


図②-3-1 酸化還元サイクル(水素/酸素)での還元反応速度 黒線:純イルメナイト; 赤線:改質イルメナイト(図中にCaO添加量(wt%)と焼成温度(°C)を示す)



● ②-3 キャリアの繰り返し反応性、物性変化の検討(【東大】、JCOAL)

- 未改質の純イルメナイトでは、酸化還元反応繰り返し後に鉄の偏析と空洞化が観測された。一方、Ca添加表面改質イルメナイトでは、粒子の構造変化の抑制も観測された。

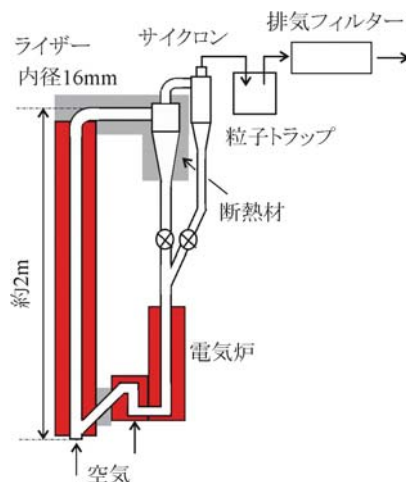


図②-3-2 (a)純イルメナイトおよび(b,c,d)改質イルメナイトの酸化還元50サイクル後の粒子断面SEM写真

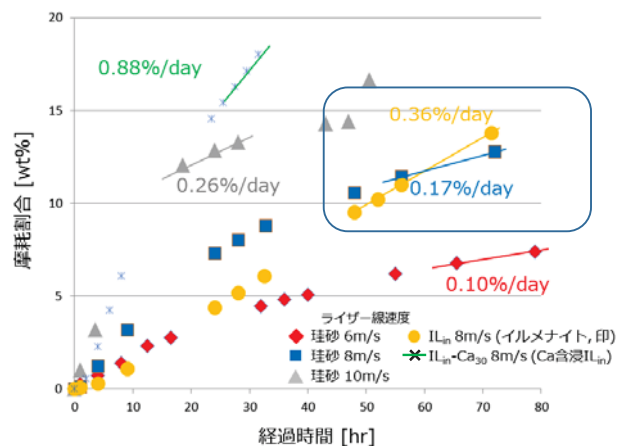
48

◆ ②-4 キャリア粒子の耐摩耗性、粉化性の評価(産総研)

- 循環流動層型耐摩耗性評価試験装置で、飛散粒子を測定して摩耗割合を求めた。空塔速度8m/sの摩耗割合は珪砂が0.17 wt%/日、イルメナイトは0.36wt%/日であり珪砂の約2倍となった。



図②-4-1 循環流動層によるキャリア粒子の耐摩耗性評価装置概略図



図②-4-2 循環流動層によるキャリア粒子の耐摩耗性評価結果

49

- ②-5 石炭とキャリア粒子の流動混合方法の検討(【中央大】、JCOAL)  
石炭とキャリア反応器の最適構造(【阪大】)
- 石炭とキャリア反応器の混合・分離特性検討の為、VR、CRで比重差のある粒子の混合流動を評価した。
- 概念設計時の粒径(石炭:100 $\mu\text{m}$ 、イルメナイト:123 $\mu\text{m}$ )で円滑な混合が確認された。
- 比重差のある石炭とキャリアの混合は空塔速度を増加させることでチャーの偏析を防止し、良好な混合状態を維持可能。
- CR内部構造は未反応チャーが内部循環する構造に改良する。

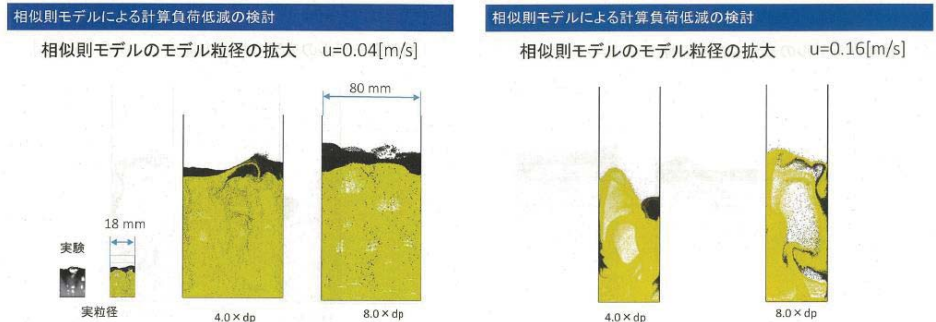


図 キャリア粒子および石炭粒子の混合評価

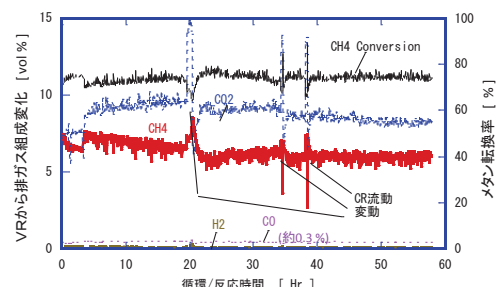
■ 空塔速度を増加させることで、チャーとキャリアの偏析を防止し、良好な混合状態を維持可能

50

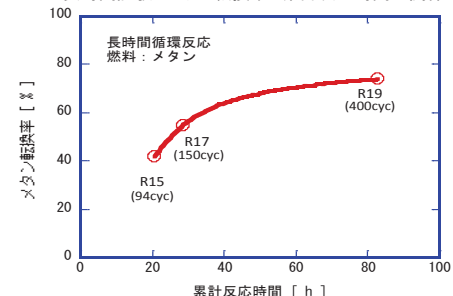
- ②-6 長時間酸素キャリア粒子の循環、反応性の検討(JCOAL、産総研)
- ベンチ試験でCH<sub>4</sub>反応長時間運転を実施し、連続64h、累積85h。
- メタン反応率は累積時間の増加に伴い増加し、最大74%まで増加。
- 粒子循環量は91kg/m<sup>2</sup>s(粒子循環流束)で設計条件52kg/m<sup>2</sup>sを満足。
- メタンに一部石炭を加えての長時間試験を実施中。



図②-6-1キャリア長時間循環反応評価装置



長時間試験のメタン転換率と累計反応時間の関係

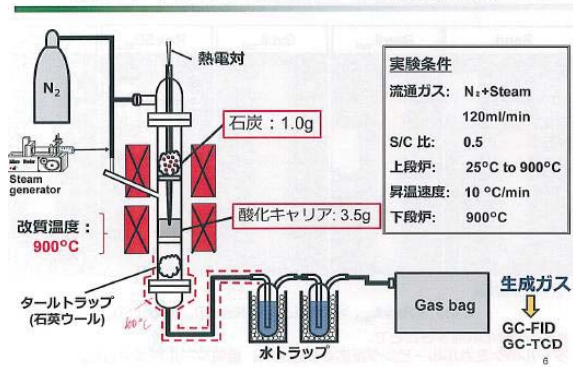


51

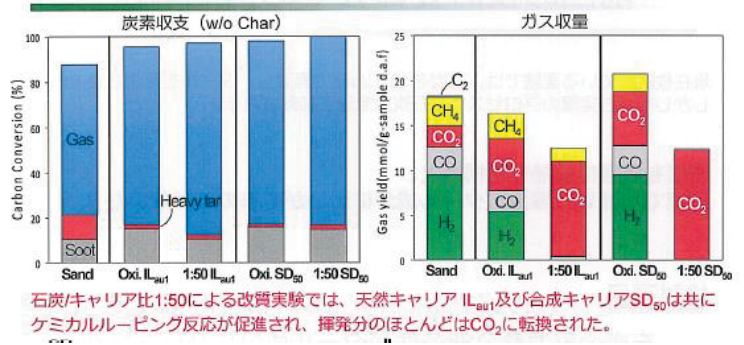
②-7 キャリアのタール改質及び硫黄ガスとの反応性の検討  
 (【群馬大学】、JCOAL)

- 天然キャリアはタールが生成してもケミカルルーピング反応によりほぼCO<sub>2</sub>に転化可能。
- 硫黄ガスとの反応性について検討中

酸化キャリアによるタール改質実験



石炭/キャリア比の影響：炭素収支及びガス収量結果



③ プラントの合理化の検討(MHPS)

- 天然キャリア(IL<sub>aus2</sub>)で装置の概略寸法を検討。
- CLCボイラ建設費を重量を基準にコスト評価。CLCボイラ重量はCFBボイラ部位の約1.3倍に相当。

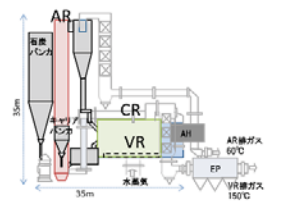
CLCのコスト試算 - CFB ボイラ部位別の重量

表1 H27年度CLC100MWe級の各反応塔サイズによる重量

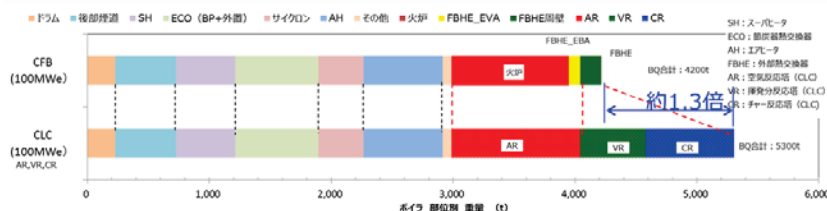
部位	寸法(m)	重量 (t)
AR	W3.1 × D9.4 × H33	1060
VR	W6.5 × D19.5 × H10.2	575
CR	W4.8 × D14.4 × H9.3	720

表2 CFBからCLCによる重量増加割合

部位	重量 (t)
外部熱交換器 (FBHE)	170 t
VR+CR	1295 t
FBHE 対 (VE+CR)	7.6倍



AR, VR, CRの重量計算条件  
 ・全壁面にキヤスタ, 外壁金属にSUS304を使用した重量を算出。  
 ・H24年度報告書より, 金属温度: 200°C, キヤスタ厚さ: 95mm, 外壁金属厚さ: 10mmに設定



### ③ プラントの合理化の検討(MHPS)

- CLC全プラント建設費を同様の設備を持つCFB建設費から推定した。
- CFB建設費は文献値から20万円/kWe※で、ボイラ価格は全体建設費の15%※
- ボイラ価格をCFBの1.3倍に増加として下表3の通り20.9万円/kWe程度、天然キャリアイルメナイトによるCO2回収費は1,100円/t-CO2と推定した。

CLC建設費はCFB建設費の1.1倍相当の**20.9万円/KWe**と想定

天然キャリアイルメナイトによるCO2回収費：**1,100円/ t-CO2**と想定。

但し、後処理装置が必要なときはCLC建設費が増加し、CO2回収費が増加する可能性があり、今後、検討予定

表3 CLC 建設費

項目	万円/Kwe
CFB 全建設費	20
CFBのボイラ部 建設費	3
CLC建設費 (ボイラの1.3倍)	3.9
CLC 全プラント建設費	20.9
CFBに対するCLC建設費の倍率	1.1倍

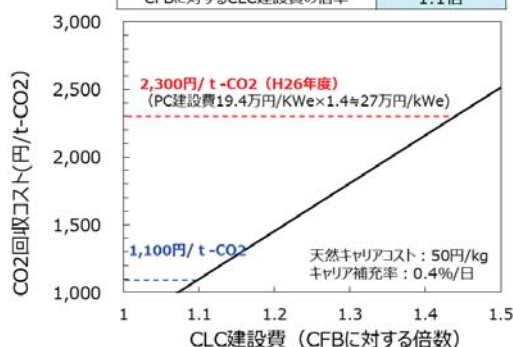
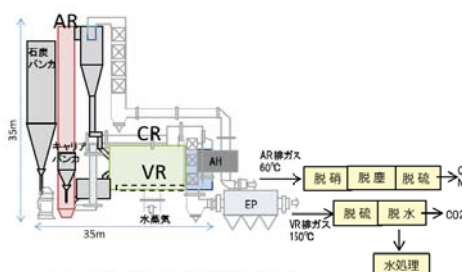


表4 ボイラ単価 文献出典

項目	仕重 CFB
入熱量 (MWth)	698
発電効率 (%)	43
発電出力量(MWe)	300
合計 (全体建設費) 億円	600
単価(全体建設費) 万円/kWe	20
ボイラ単価 (万円/kWe) (15%相当)	3
MUS\$ (全体建設費)	500
M ¥ (全体建設費 ¥換算)	60,000
¥/US\$: 換算レート	120

出典：インドネシアにおける低品位炭高効率利用石炭火力発電所プロジェクトの案件発掘調査平成25年3月



※: NEDO 平成24年度成果報告書「国際エネルギー消費効率化等技術・システム実証事業／基礎事業／石炭高効率利用システム案件等形成調査事業」インドネシアにおける低品位炭高効率利用石炭火力発電所プロジェクトの案件発掘調査 平成25年3月

### 3. 研究開発成果 (2) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

#### ◆ ④ 市場・経済性検討 (IAE、JCOAL)

##### CCSが実用化されるまでの当面の石炭焼きCO2製造市場を調査

- 液化炭酸ガス(液炭)またはドライアイスの原料となるCO2は製油所や化学工場(アンモニア等) 統廃合や閉鎖などで、特に西日本で不足。
- しかし、液炭品質は、最も厳しい飲料向け(硫黄分他34項目についてppm、ppb、NDの規格有)に合わせており、これら不純物を含有する石炭の製造原料利用は非常にハードルが高いことがわかった。
- 一方、CLCはガス分離装置が不要で低コストで炭酸ガス、窒素が回収できる特徴があり、ガスを燃料とすれば、炭酸ガス、窒素ガス利用しているユーザに供給できる可能性があることも分かった。

##### 海外のCO2-EOR市場

- インドネシア、ベトナムでは海上油田が多い。ベトナムでは2011年にCO2注入実証試験が実施され、東南アジア初の適用事例(商業には至っていない)。
- 米国では炭酸ガス市場は8000万t/年で5000万t/年がEOR用。

## ◆ 成果の普及 特許・論文など

	平成27年度 (2015)	平成28年度 (2016)	平成29年度 (2017)	計
論文	0	1	1	2
研究発表・講演	0	17	0	17
受賞実績	0	2	0	2

● 成果の普及 情報発信など  
なし

56

## ◆ 知的財産権の確保に向けた取組

	平成27年度 (2015)	平成28年度 (2016)	平成29年度 (2017)	計
特許出願(うち外国出願)	0	1(0)	1(0)	2

## ● 本技術のキーとなる酸素キャリアおよび反応塔について出願

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
1	国立大学法人東京大学、三菱日立パワーシステムズ株式会社	特願2016-151114	国内	2016/08/01	出願	高活性酸素キャリア材料の製造方法	大友順一郎 竹田誠 武田 豊
2	中央大学、三菱日立パワーシステムズ		国内		明細書作成中	燃料反応塔及びこれを備えたケミカルループ燃焼システム	幡野博之 武田 豊

57

## ● 本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

- 今回の調査で当面の石炭焚きCLCの市場が無いことから国内CCSの制度化時期、海外でのEOR市場を見極めながら原理実証実施時期を決める必要がある。
- 今後、EORと石炭焚きボイラが両立する地域、市場の調査を進めることで、海外EOR市場への可能性を調査する。

研究着手時のプロセス原理実証以降のスケジュール

西暦	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX	20XX
原理実証 (PDU)	▲市場動向を踏まえて判断												
機器の コストダウン			コストダウン 目途▲										
実証炉建設						▲90億円							
実証試験								▲20億円					
事業化検討				事業化FS									
顧客への 拡販活動					▲続行判断						▲実用化判断		
初号機受注											▲初号機 (建設期間4年)		
収益発生													収益発生▲

58

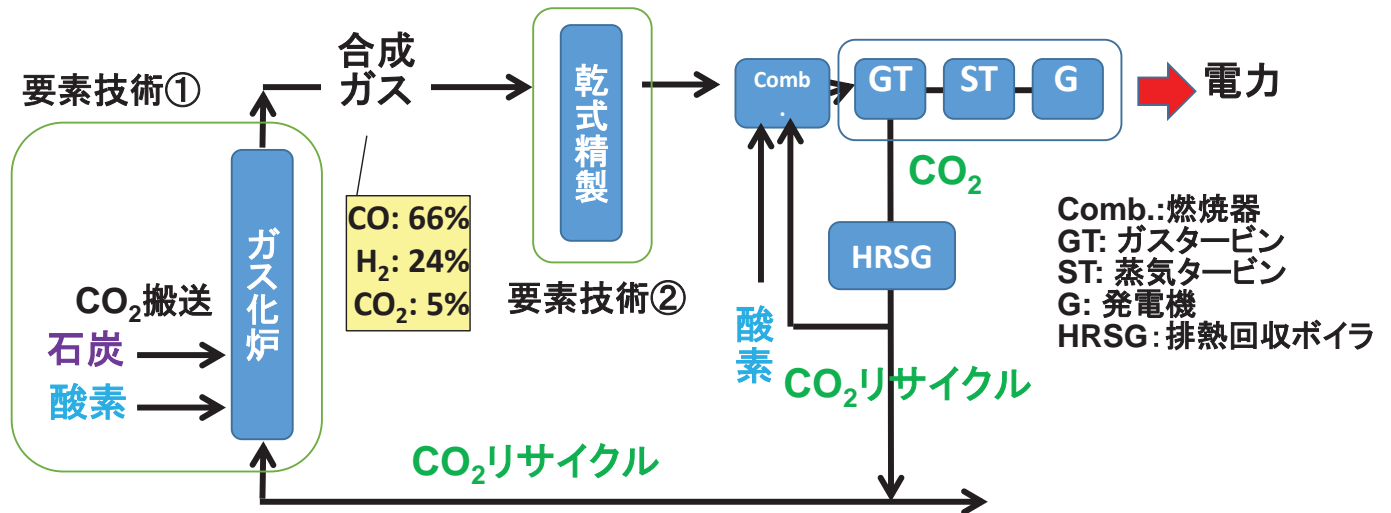
1. 次世代火力発電基盤技術開発(5)  
CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発
2. CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発
3. 次世代火力発電基盤技術開発(1)  
次世代ガス化システム技術開発

59

3. 研究開発成果

CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの概要

O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術や乾式ガス精製技術などの採用により、CO<sub>2</sub>回収後も送電端効率42%の高い効率が期待できる



60

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況(その1)

2017年度達成状況と中間目標(その1)

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立 a) 酸素吹き50TPD石炭ガス化試験設備による検討	・CO <sub>2</sub> 供給設備などを導入してO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証試験を実施し、ガス化炉システムの性能を評価する。	・50TPD炉にCO <sub>2</sub> 供給設備などの建設を完了して試運転により運用に問題ないことを確認した。 ・H29年度下期にベース炭を用いたO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化試験を行い、ガス化性能、スラグ排出性、ガス化炉灰付着成長状況などのベースデータを取得予定。	○ (H30年3月達成予定)	
b) 3TPD小型石炭ガス化炉による検討	・微粉炭高濃度搬送システムなどを追設して3TPD炉の運転条件範囲を拡大し、試験方法を確立し、本格試験の準備を整える。	・3TPD炉に微粉炭高濃度搬送システムを追設し、ガス化試験により微粉炭搬送性能を確認するとともに、運転方法を確立させた。 ・高CO <sub>2</sub> 濃度での基準炭のガス化基本性能データの取得を終える見込である。	○ (H30年3月達成予定)	
②炭種適合性評価ツールの構築 a) 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上	・3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する。 ・スート生成モデルを簡略化して3次元ガス化炉内数値解析ツールに組み込む。	・H26年度までのフェイズ1で取得した4炭種に加え、新たに2炭種の反応性データを取得し、3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する見込である。 ・スート生成モデルを簡略化して3次元ガス化炉内数値解析ツールに組み込み、PDF、3TPD炉の解析に適用する見込である。	○ (H30年3月達成予定)	
b) 炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築	・高温炉内から排出されるスラグ流動挙動を解析するツールを構築する。	・高温熔融スラグ諸物性の温度依存性モデルを構築する見込である。 ・炉形状を考慮したスラグ排出解析ツールを構築し、前項の温度依存性モデルを導入する見込である。	○ (H30年3月達成予定)	

◎ 大きく上回って達成、○達成・達成見込み、△一部達成、×未達

61

## 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況(その2)

## 2017年度達成状況と中間目標(その2)

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③セミクローズドサイクルにおけるガス精製システムの構築 a) 酸素吹き50TPD石炭ガス化試験設備による検討	・50TPD炉で実施するガス精製試験の準備を整える。	・50TPD炉用にハロゲン予備除去系を含む3塔切替式の乾式脱硫性能検証装置を製作、据付し、調整運転を終える見込である。	○ (H30年3月達成予定)	
b) 3TPD小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討	3TPD炉で実施する高圧脱硫試験の準備を整える。	・3TPD炉用の高圧試験設備を追設して、試運転調整を兼ねた予備試験を行った。当該試験結果を元に、高圧条件における脱硫剤の性能評価に着手する見込である。	○ (H30年3月達成予定)	
c) 炭素析出対策の検証	・速度論的な観点も加味して炭素析出特性に及ぼすガス組成と圧力の影響を評価する。	・炭素析出速度評価設備を導入し、圧力およびガス組成が炭素析出特性に及ぼす影響を評価する見込である。	○ (H30年3月達成予定)	
④ GT燃焼器基本構造の開発	・1/3スケールGT燃焼器試験設備を用いた模擬ガス燃焼試験により燃焼特性を評価する。	・模擬ガスを用いる1/3スケールGT燃焼器試験設備を設計、製作した。 ・1/3スケールGT燃焼器を用いた燃焼試験により、燃焼特性を評価予定。	○ (H30年3月達成予定)	

◎ 大きく上回って達成、○達成・達成見込み、△一部達成、×未達

62

## 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

## ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況(その3)

## 2017年度達成状況と中間目標(その3)

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
⑤セミクローズドGTシステムの概念設計 a) 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出	・排気循環がGT排ガス組成に及ぼす影響を検討する。	・燃料中不純物(NH <sub>3</sub> )や希釈剤中NOなどがNO <sub>x</sub> 生成に及ぼす影響を検討する予定。 ・排気バイパスラインで得られた加熱条件等、設計データに基づき、排気循環ループを追設し、基準条件における排気循環燃焼試験により、排気循環ガスの経時的な組成変化を確認する見込である。	○ (H30年3月達成予定)	
⑥CO <sub>2</sub> 回収型IGCCシステム全体検討 a) 諸検討結果の全体システムへの反映	・フェイズ1で構築したシステムを対象に、実機システムを適用したガス化炉/ガスタービンなどの性能を検討する。 ・回収CO <sub>2</sub> の不純物基準に関する調査・検討などを通じ、システム構築の準備を進める。	・フェイズ1で想定したシステムを対象に汎用化学プロセスシミュレータAspen Plusを用いて、本システム全体の熱物質収支解析モデルを構築して、熱効率の評価を可能とした。全体システムの成立性検討と送電端効率42%(HHV)達成のための技術課題を整理予定。 ・回収CO <sub>2</sub> の不純物基準などに関する調査・検討を通じ、システム構築の準備を整えた。	○ (H30年3月達成予定)	
b) プラント性能及び発電コストの試算	・想定システムの送電端効率および発電コストの試算データを更新する。	・想定する最新システムを対象に、Energy Winを用いて循環排ガス組成を考慮した上で、送電端効率の試算データを更新する見込である。 ・想定する最新システムを対象に、2015年に公開されたコスト等検証ワーキングの発電コスト試算法を用いて、発電コストの試算データを更新する見込である。	○ (H30年3月達成予定)	

◎ 大きく上回って達成、○達成・達成見込み、△一部達成、×未達

63



## 3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

## ◆ 成果の最終目標の達成可能性(その1)

研究開発項目	現状	最終目標(H31年度末)	達成見通し
①O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立 a) 酸素吹き50TPD石炭ガス化試験設備による検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・50TPD炉にCO<sub>2</sub>供給設備などの建設を完了して試運転により運用に問題ないことを確認した。</li> <li>・H29年度下期にベース炭のO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化試験により、ガス化性能、スラグ排出性、ガス化炉灰付着成長状況などを把握する予定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術の実証および実機規模ガス化炉設計指針の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度の50TPD炉石炭ガス化試験を経て、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術を実証するとともに、実機規模ガス化炉設計指針を確立できる見込である。</li> </ul>
b) 3TPD小型石炭ガス化炉による検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD炉に微粉炭高濃度搬送システムを追設し、ガス化試験により微粉炭搬送性能を確認するとともに、運転方法を確立させた。</li> <li>・高CO<sub>2</sub>濃度における基準炭のガス化性能ベースデータを取得する見込である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD炉でガス化剤中CO<sub>2</sub>富化ガス化試験を行い、ガス化剤のCO<sub>2</sub>分圧がガス化性能に及ぼす影響などを明らかにする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度の石炭ガス化試験でCO<sub>2</sub>分圧の影響などについて、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化炉の設計指針に反映できる見込である。</li> </ul>
②炭種適合性評価ツールの構築 a) 数値解析によるガス化炉内流動様相の解析精度向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H26年度までのフェイズ1で取得した4炭種に加え、新たに2炭種の反応性データを取得し、3次元ガス化炉内数値解析ツールで解析可能な炭種を拡大する見込である。</li> <li>・スート生成モデルを簡略化して3次元ガス化炉内数値解析ツールに組み込み、PDFT、3TPD炉の解析に適用する見込である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3次元ガス化炉内数値解析ツールにて解析可能な炭種を拡大するとともに、スート生成モデルの組込により解析精度を向上させる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度に新規炭種のガス化反応性データを拡充することで解析可能な炭種を拡大でき、スート生成モデルの組込により解析精度をさらに向上できる見込である。</li> </ul>
b) 炭種によるスラグ排出性評価ツールの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高温熔融スラグ諸物性の温度依存性モデルを構築する見込である。</li> <li>・炉形状を考慮したスラグ排出性評価ツールを構築し、前項の温度依存性モデルを導入する見込である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・スラグ排出性評価ツールを構築し、灰の元素組成などのデータから高温熔融スラグの排出性を評価可能とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度に灰の構造データなどを取得してスラグ排出性評価ツールに反映することにより、高温熔融スラグの排出性が評価可能となる見込である。</li> </ul>

64

## 3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

## ◆ 成果の最終目標の達成可能性(その2)

研究開発項目	現状	最終目標(H31年度末)	達成見通し
③セミクロードサイクルにおけるガス精製システムの構築 a) 酸素吹き50TPD石炭ガス化試験設備による検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・50TPD炉用にハロゲン予備除去系を含む3塔切替式の乾式脱硫性能検証装置を製作、据付し、調整運転を終える見込である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・50TPD炉の抽気ガス化ガスを利用して、3塔切替式の乾式脱硫性能検証装置により、乾式脱硫プロセスの成立性を含む性能データを取得して、今後の大型化に向けた準備を進める。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度に50TPD炉の抽気ガス化ガス試験を行うことで、実機への導入が想定される3塔式乾式ガス精製システムの大型化に向けた準備を進める。</li> </ul>
b) 3TPD小型石炭ガス化炉および基礎試験装置による検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD炉用の高圧試験設備を追設して、試運転調整を兼ねた予備試験を行った。当該試験の中で、高圧条件における脱硫剤の性能特性を予備的に評価する見込である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・3TPD炉の高圧ガス化ガスを高圧脱硫試験装置に適用し、高圧条件における脱硫性能を評価する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度に3TPD炉の抽気高圧ガス化ガスを用いた高圧脱硫試験により、高圧条件における脱硫性能を評価する見込である。</li> </ul>
c) 炭素析出対策の検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭素析出速度評価設備を導入し、圧力およびガス組成が炭素析出特性に及ぼす影響を評価する見込である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・循環排ガス添加による炭素析出対策の効果を裏付ける炭素析出速度とガス組成の関係を明らかにする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度に炭素析出速度評価設備などを用いて行う基礎試験で得られた速度論的な知見により、循環排ガス添加による炭素析出対策の効果が検証される見込である。</li> </ul>
④GT燃焼器基本構造の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・模擬ガスを用いる1/3スケールGT燃焼器試験設備を設計、製作した。</li> <li>・1/3スケールGT燃焼器を用いた燃焼試験により、燃焼特性を評価予定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機条件におけるGT燃焼器基本設計の完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H29年度までの実験データを元に、H30～H31年度にCFD解析を行うことにより、実機条件におけるGT燃焼器基本設計を完了する見込である。</li> </ul>

65

## 3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

## ◆ 成果の最終目標の達成可能性(その3)

研究開発項目	現状	最終目標(H31年度末)	達成見通し
⑤セミクローズドGTシステムの概念設計 a) 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出	<ul style="list-style-type: none"> <li>・不純物(NH<sub>3</sub>)含有燃料の排気特性データ、希釈剤中NO等添加による排気特性データを取得予定。</li> <li>・排気バイパスラインで得られた加熱条件等、設計データに基づき、排気循環ループを追設し、基準条件における排気循環燃焼試験により、排気循環ガスの経時的な組成変化を確認する見込である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・炭種や運転条件の違いなども考慮して、排ガス循環がGT排ガス組成に及ぼす影響を評価する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度に各種炭種を想定した排気循環燃焼試験を行い、排ガス循環がGT排ガス組成に及ぼす影響を評価する見込である。</li> </ul>
⑥CO <sub>2</sub> 回収型IGCCシステム全体検討 a) 諸検討結果の全体システムへの反映	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フェイズ1で想定したシステムを対象に汎用化学プロセスシミュレータAspen Plusを用いて、本システム全体の熱物質収支解析モデルを構築して、熱効率の評価を可能とした。全体システムの成り立ち検討と送電端効率42%(HHV)達成のための技術課題を整理予定。</li> <li>・回収CO<sub>2</sub>の不純物基準などに関する調査・検討を通じ、システム構築の準備を整えた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実機システムでCO<sub>2</sub>回収後の送電端効率42%(HHV)を達成可能なシステムの構築</li> <li>・システムにおける不純物低減対策技術の選定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガス化、ガス精製、GT燃焼などの各要素研究成果を踏まえ、H30～H31年度に技術課題を整理することにより、送電端効率42%(HHV)達成に必要な技術と、不純物低減に必要な技術の選定を行い、全体システムを構築できる見込である。</li> </ul>
b) プラント性能及び発電コストの試算	<ul style="list-style-type: none"> <li>・想定する最新システムを対象に、Energy Winを用いて循環排ガス組成を考慮した上で、送電端効率の試算データを更新する見込である。</li> <li>・想定する最新システムを対象に、2015年に公開されたコスト等検証ワーキングの発電コスト試算法を用いて、発電コストの試算データを更新する見込である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・想定する最新システムを対象に、送電端効率と発電コストを試算し、目標の42%(HHV)を達成できること、および発電コストが類似システムと比べて優位となることを示す。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H30～H31年度の検討で、想定される最新システムについて、その送電端効率と発電コストを評価できる見込である。</li> </ul>

66

## 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

## ◆ プロジェクトとしての成果の意義

●本プロジェクトにより、CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCに不可欠なO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術、乾式ガス精製技術、セミクローズドサイクルガスタービン用のガスタービン燃焼器が開発される。

●CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCについては、CO<sub>2</sub>回収後も42%<sub>HHV</sub>の高い送電端効率を保てる点で、他のCO<sub>2</sub>回収技術(燃焼前回収で40%<sub>HHV</sub> 目途\*)に比べ優位性が高く、その開発を順調に進めた意義は大きい。

(\*米の超臨界CO<sub>2</sub>酸素燃焼IGCCで送電端効率48%<sub>HHV</sub>との報告があるが、高温高圧設備(30MPa)の耐久性や同時脱硫・脱硝設備の性能等、未検証項目が多く、今後も情報収集を続ける)

●CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの開発進捗に加え、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化技術の産業用ガス化炉への適用が可能になること、乾式ガス精製技術の従来型IGCCへの適用に向けた大きな一歩となることもきわめて意義が深い。

67

## ◆ 成果の普及

	平成27年度	平成28年度	平成29年度	計
論文投稿	7件(7件)	6件(5件)	3件(3件)	16件(15件)
研究発表	20件(3件)	14件(1件)	11件(3件)	45件(7件)
受賞実績	3件	1件	0件	4件
新聞・雑誌*等への掲載	0件	3件	1件	4件

\* 動力協会誌などへの投稿、括弧内は査読有りの件数

※平成29年度7月5日現在(予定を含む)

## ◆ 成果の普及

## 新聞・雑誌等への掲載

- |   |             |
|---|-------------|
| 「動力協会誌 平成28年秋季号」<br>(「CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCCの開発」)                   | 平成28年11月 掲載 |
| 「ビジネスアイ エネコ 2017年1月号」<br>(「火力発電技術のCO <sub>2</sub> 排出低減に向けた電中研の取り組み(その2)」) | 平成29年1月 掲載  |
| 「電気評論 2017年2月号」<br>(「2.1 CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCCの開発」)                | 平成29年2月 掲載  |
| 「季報エネルギー総合工学 2017年 第40巻 第2号」<br>(座談会記事「2050年に向けたわが国の火力発電技術開発」)            | 平成29年7月 掲載  |

## ◆ 知的財産権の確保に向けた取組

## 戦略に沿った具体的取組

- ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない
- 知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する

	平成27年度	平成28年度	平成29年度	計
特許出願 (うち外国出願)	1件 (0件)	1件 (0件)	3件 (0件)	5件 (0件)

※平成29年度9月22日現在  
いずれも出願係争中

70

## ◆ 本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

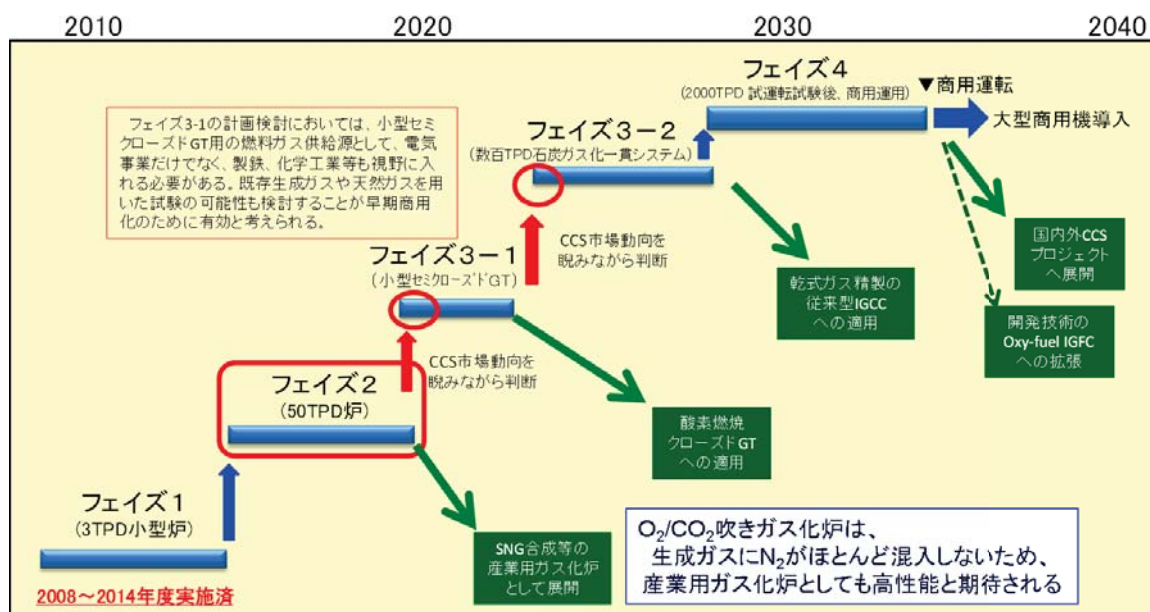
本システムに必要な $O_2/CO_2$ 石炭ガス化および乾式ガス精製等に関する要素技術を確立し、それが石炭ガス化一貫システム(次フェイズ)および従来型IGCCに活用できること

71

## 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し (1) 成果の実用化に向けた戦略

## ◆ 実用化に向けた戦略

O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>石炭ガス化および乾式ガス精製等に関する要素技術を確立し、次フェーズにおける石炭ガス化一貫システムの技術開発を可能とする。また、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>石炭ガス化技術は産業用ガス化炉などに、乾式ガス精製技術は従来型IGCCに活用でき、一層の効率向上に向けた道が拓ける。



72

## 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し (3) 成果の実用化の見通し

## ◆ 成果の実用化の見通し

## 【市場ニーズ】

- ・石炭は、新興国を中心に今後とも需要が伸びるものとみられているが、その一方で、地球温暖化対策の観点から、CO<sub>2</sub>排出量大幅削減に向けたCCSの導入が求められる可能性もある。
- ・本プロジェクトで開発したCO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術を採用すれば、CO<sub>2</sub>回収に伴う効率ペナルティを縮小し、燃料費の増加を回避できると期待される。
- ・本プロジェクトで開発したCO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術を海外に展開することで、二国間協定を通じて、我が国のCO<sub>2</sub>排出量削減分としてカウントできる点で環境面で貢献できる。

## 【競合技術に対する優位性】

- ・燃焼前回収技術については、CO<sub>2</sub>回収後で40%<sub>HHV</sub>を目指す技術開発が進められているが、CO<sub>2</sub>回収後に42%<sub>HHV</sub>を上回る高い効率が期待される実用的なシステムは他にみられない。
- ・米国Net Power社、8-Rivers社などがAllam Cycle(超臨界CO<sub>2</sub>酸素燃焼IGCC)の開発を進めているが、30MPaに及ぶ高圧システムの耐久性や同時脱硫・脱硝システムの性能検証など、今後検証すべき課題が多いことが懸念されている。

## 【技術確立の見通し】

- ・数百TPD石炭ガス化一貫システムによる検証試験を経て、2020年代後半に2000TPD級の実証機を建設し、当該実証機の商用転用を機に大型商用機の導入が可能になると考える。
- ・これに加え、本プロジェクト終了時点で、窒素をほとんど含まない産業用ガス化技術が、次フェーズ終了後に、従来型IGCCにも適用できる乾式ガス精製技術の商用化が可能となる。

73

## ◆波及効果

## 【新規雇用の創出】

・既設発電所が運開60年でリプレイスされると想定すると、石炭火力のみならず、油火力や原子力迄を含んだ供給力全体のバックアップが必要となる。特にCO<sub>2</sub>排出量規制が強化された場合は、国内の老朽発電所の一定割合が本システムでリプレイスされるものと考えられ、その規模は400MW級で、2040～2060年の間に約18基と推察される。1基のリプレイス工事(4年間)で毎年約千人規模の新規雇用が創出されると考えると、約18基で延べ約一万八千人の新規雇用が期待される。

## 【産業用ガス化炉としての新規海外展開】

・O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化炉を産業用高性能ガス化炉として海外に提供することにより、様々なガス化炉としての利用が拡大する。

## 【乾式ガス精製技術の実用化促進】

・本プロジェクトにより、開発される乾式ガス精製技術は、CO<sub>2</sub>を回収しない従来型のIGCCの効率向上にも貢献できるため、従来型IGCCの一層の効率向上が期待される。

## 【国内科学技術の発展】

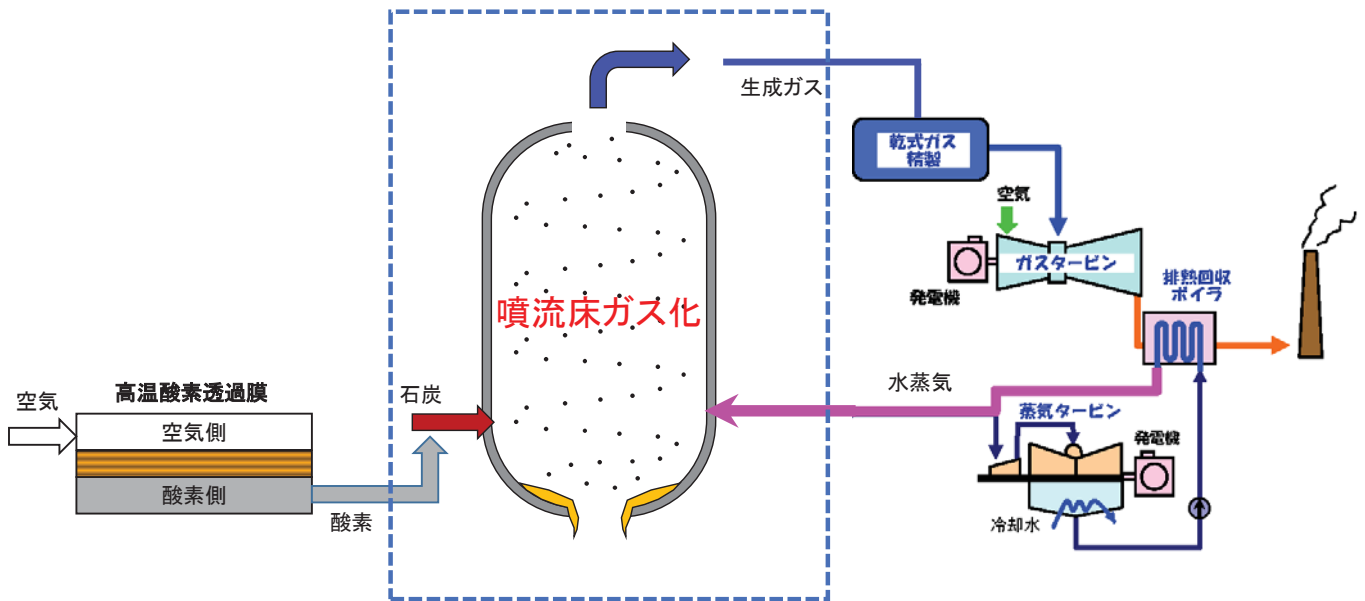
・本プロジェクトは、一部の技術開発において、再委託による大学研究者からの支援により、開発を加速化している。こうした連携により、石炭科学関連、化学工学関連、CFD技術関連の国内基盤技術発展を通じて、日本の研究力向上に貢献している。

74

1. 次世代火力発電基盤技術開発(5)  
CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発
2. CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発
3. 次世代火力発電基盤技術開発(1)  
次世代ガス化システム技術開発

# 次世代ガス化システム(水蒸気添加IGCC)の概要

水蒸気ガス化による冷ガス効率向上、送電端効率向上



## 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

### ◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

2017年度達成状況と中間目標

研究開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>二室二段噴流床方式の小型ガス化炉における水蒸気注入の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3トン/日規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉(3TPD炉)を対象に、数値解析により水蒸気添加時のガス化性能を予測した。</li> <li>3TPD炉による水蒸気添加ガス化試験を実施し、数値解析結果と比較することにより、水蒸気注入効果を評価する見込み。</li> </ul>	<p>○</p> <p>(H30年3月達成予定)</p>	
②エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種酸素製造技術を調査し、各技術の仕様や特徴を整理した結果、現状で水蒸気添加IGCCへの適用が期待できる酸素製造技術は既存技術である深冷分離技術のみであることが分かった。</li> <li>水蒸気添加IGCCのシステム条件に合わせて省エネルギー化した深冷分離法の機器構成を明らかにする見込み。</li> </ul>	<p>○</p> <p>(H30年3月達成予定)</p>	
③水蒸気添加IGCCのシステム検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>噴流床ガス化炉に水蒸気を添加するIGCCシステムのコスト試算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電コスト検証ワーキンググループによる算定方式で、IGCCの送電端効率向上に対する発電コストの感度解析を行い、水蒸気添加IGCCシステムにおける建設単価の目標を明らかにした。</li> </ul>	<p>○</p> <p>(H30年3月達成予定)</p>	

◎ 大きく上回って達成、○ 達成・達成見込み、△ 一部達成、× 未達

## 3. 研究開発成果 (2) 成果の最終目標の達成可能性

## ◆ 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (平成30年度末)	達成見通し
① 水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>3トン/日規模加圧型二室二段噴流床方式の小型ガス化炉(3TPD炉)を対象に、数値解析により水蒸気添加時のガス化性能を予測した。</li> <li>3TPD炉による水蒸気添加ガス化試験を実施し、数値解析結果と比較することにより、水蒸気注入効果を評価する見込み。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>二室二段噴流床水蒸気ガス化炉への水蒸気注入の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水蒸気添加ガス化の数値解析手法を小型ガス化炉(3TPD炉およびリダクタ模擬炉)で検証し、また、タールの分解・改質モデルを組み込む。本数値解析手法を用いて商用規模水蒸気添加ガス化炉の炉内現象を予測し、水蒸気添加の効果を評価する見込み。</li> </ul>
② エネルギー効率の高い酸素製造装置の適用性評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種酸素製造技術を調査し、各技術の仕様や特徴を整理した結果、現状で水蒸気添加IGCCへの適用が期待できる酸素製造技術は既存技術である深冷分離技術のみであることが分かった。</li> <li>水蒸気添加IGCCのシステム条件に合わせて省エネルギー化した深冷分離法の機器構成を明らかにする見込み。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー効率の高い酸素製造装置の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水蒸気添加IGCCにおいて、深冷分離法で省エネルギー化を図ったときに到達可能な酸素製造原単位を試算する見込み。</li> </ul>
③ 水蒸気添加IGCCのシステム検討	<ul style="list-style-type: none"> <li>発電コスト検証ワーキンググループによる算定方式で、IGCCの送電端効率向上に対する発電コストの感度解析を行い、水蒸気添加IGCCシステムにおける建設単価の目標を明らかにした。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>これらを組み込んだIGCC最適化システムの試設計及び経済性検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験による知見や、乾式ガス精製プロセスおよび酸素製造装置の構成を踏まえた水蒸気添加IGCCのシステム全体のシステム条件を決定し、送電端効率の解析を精緻化するとともに、経済性を検討する見込み。</li> </ul>

78

## 3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

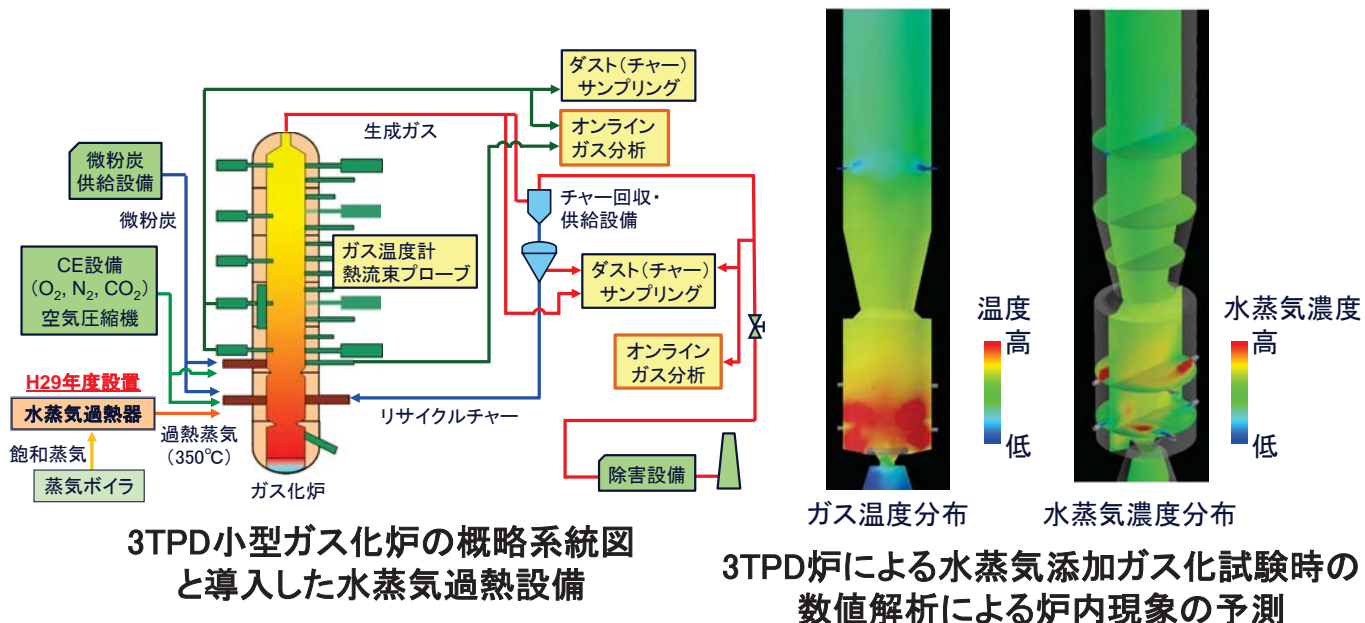
## ◆ プロジェクトとしての成果の意義

- 本プロジェクトにより、高い冷ガス効率を実現できる水蒸気添加噴流床ガス化技術が開発され、IGCCの効率向上に寄与することとなり、その開発を順調に進めた意義は大きい。
- 乾式ガス精製技術や高効率酸素製造技術の水蒸気添加IGCCへの適用性が明らかとなり、これらの技術開発に対する重要性を示すことができた。

79



◆ 小型ガス化炉による水蒸気添加ガス化試験



◆ 成果の普及

	平成27年度	平成28年度	平成29年度	計
研究発表・講演	-	2件	4件	6件
新聞・雑誌*等への掲載	-	1件	-	1件

※平成29年度7月末現在(予定を含む)

\* 雑誌への掲載

日本工業新聞社 ビジネスアイ エネコ 平成29年1月 掲載  
 「火力発電技術のCO2排出低減に向けた電中研の取り組み(その1)  
 高効率石炭火力発電技術への取り組み」

## ◆知的財産権の確保に向けた取組

- ガス化炉に水蒸気を投入すること自体は、既に多くの事例があり、公知となっている。冷ガス効率向上のための設計手法や条件設定手法をノウハウとして保有することで、海外メーカーへの優位性を確保する。
- タール低減技術やガス化炉構造の改良などに関わる技術については、知財化に積極的に取り組むこととする。
- 本プロジェクトにおいて、技術の開発ではなく調査や評価を実施している乾式ガス精製技術および高効率酸素製造技術について、特許出願案件はない。

82

## ◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

噴流床ガス化炉において、水蒸気ガス化反応を効果的に利用して高い冷ガス効率を実現するための基盤技術を確立し、それが3TPD炉よりも大型のガス化炉において活用できること。

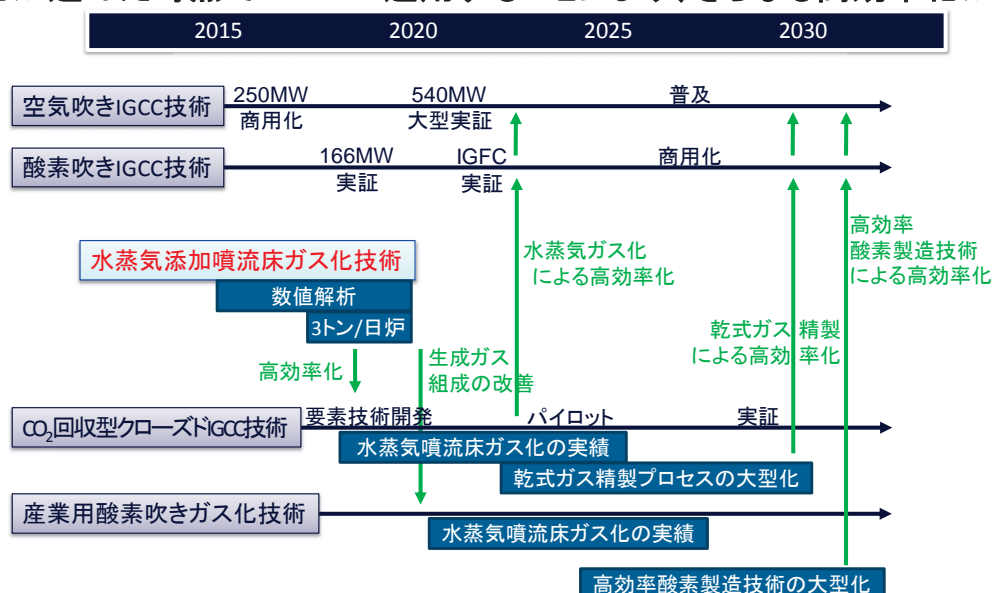
83

◆ 実用化に向けた戦略

- 数値解析による商用規模ガス化炉の評価技術が確立することで、実機への適用が可能となる。3TPDよりも大きな規模で実績を積むことが水蒸気添加IGCCの早期実用化につながることから、CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発プロジェクトで開発されているO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化炉への適用に積極的に取り組む。
- 二室二段噴流床ガス化炉以外のガス化炉においても水蒸気の効果的利用の概念を適用することが可能である。既に世界各国に普及している産業用の酸素吹きガス化炉も、本プロジェクトの適用先と考えられることから、積極的に情報発信を行い、一層のアピールに努める。

◆ 実用化に向けた具体的取組

- 水蒸気添加噴流床ガス化技術については、大型炉で実績を作り、商用規模の各種IGCCへの水蒸気添加ガス化技術の適用を目指す。
- 乾式ガス精製技術については、別プロジェクトにおいて進められている技術開発の中で大型化と実証を進めることで、2030年頃の商用規模IGCCへ適用する。
- 高効率酸素製造技術については、海外技術である高温酸素透過膜を用いた装置の大型化が進んだ時点でIGCCへ適用することにより、さらなる高効率化が期待できる。



## ◆ 成果の実用化の見通し

### 【市場ニーズ】

- ・ 石炭は、今後とも世界的に需要が伸びるものとみられているが、その一方で、地球温暖化対策の観点から、石炭火力からの二酸化炭素排出量を削減する必要がある。
- ・ そこで、本プロジェクトで開発した水蒸気添加IGCC技術のような高効率石炭火力発電プラントが求められる。

### 【競合技術に対する優位性】

- ・ 現在開発されているA-USCの送電端効率は、IGCCと同程度が見込まれているが、さらに効率が高い水蒸気添加IGCC技術を採用すれば、燃料費を一層低減できるとともに、二酸化炭素排出量の削減効果も大きい。

### 【技術確立の見通し】

- ・ 3TPD小型ガス化炉の試験結果をガス化炉内数値解析技術に反映することにより、様々なガス化方式における水蒸気添加ガス化技術の適用性を評価する技術が確立される。3TPDよりも大型(数十TPD規模)のガス化炉に適用することにより、商用規模IGCCにおいて水蒸気添加ガス化技術が実現するようになると考えられる。

## ◆ 波及効果

### 【新規雇用の創出】

- 国内の老朽発電所(運開40～60年)の一定割合が本システムでリプレースされるものと想定すると、その規模は、2030～2050年の間に約15基(500MW級)と推察される。1基のリプレース工事(約4年間)において約千人規模の雇用が創出されると考えると、約15基で延べ約1.5万人規模の雇用が期待される。

### 【産業用ガス化炉としての新規海外展開】

- 水蒸気添加ガス化技術を産業用高性能ガス化技術として海外に提供することにより、様々な用途への利用が拡大する。

### 【国内科学技術の発展】

- 本プロジェクトは、一部の技術開発において、再委託による大学など支援により、開発を加速化している。こうした連携により、国内の基盤技術が発展し、日本の研究力向上に貢献している。

## 参考資料 1 分科会議事録

## 研究評価委員会

### 「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発（１）（５）・ CO2回収型クローズドIGCC技術開発」（中間評価）分科会議事録

日 時：平成29年10月2日（月）9：30～17：15

場 所：WTC コンファレンスセンター Room A

東京都港区浜松町2-4-1 世界貿易センタービル3階

#### 出席者（敬称略、順不同）

##### <分科会委員>

分科会長	板谷 義紀	岐阜大学大学院 工学研究科 環境エネルギーシステム専攻	教授
分科会長代理	関根 泰	早稲田大学 理工学術院 先進理工学部 応用化学科	教授
委員	梅田 健司	電気事業連合会 技術開発部長	
委員	清水 忠明	新潟大学 工学部 化学システム工学科	教授
委員	巽 孝夫	国際石油開発帝石株式会社 経営企画本部 事業企画ユニット シニアコーディネータ	
委員	中澤 治久	一般社団法人 火力原子力発電技術協会	専務理事

##### <推進部署>

坂内 俊洋	NEDO	環境部 部長
在間 信之	NEDO	環境部 統括研究員
足立 啓	NEDO	環境部 主査
中田 博之	NEDO	環境部 主査

##### <実施者※メインテーブル着席者のみ>

牧野 尚夫	電力中央研究所	エネルギー技術研究所首席研究員
原 三郎	電力中央研究所	エネルギー技術研究所副所長
沖 裕壮	電力中央研究所	エネルギー技術研究所上席研究員
小林 誠	電力中央研究所	エネルギー技術研究所副研究参事
麦倉 良啓	電力中央研究所	エネルギー技術研究所研究参事
梶谷 史朗	電力中央研究所	エネルギー技術研究所上席研究員
百合 功	電力中央研究所	エネルギー技術研究所上席研究員
木戸口 和浩	電力中央研究所	エネルギー技術研究所上席研究員
梅本 賢	電力中央研究所	エネルギー技術研究所主任研究員
梅津 宏紀	電力中央研究所	エネルギー技術研究所主任研究員
幸田 栄一	電力中央研究所	エネルギー技術研究所副研究参事
藤井 貴	三菱日立パワーシステムズ(MHPS)	エンジニアリング本部 グループ長
山内 康弘	三菱日立パワーシステムズ(MHPS)	エンジニアリング本部 ボイラ技術総括部 ボイラ開発部部長
甘利 猛	三菱日立パワーシステムズ(MHPS)	エンジニアリング本部 ボイラ技術総括部 ボイラ開発部 開発グループ 主席技師
武田 豊	三菱日立パワーシステムズ(MHPS)	エンジニアリング本部

ボイラ技術総括部 ボイラ開発部 呉開発グループ 上席主任  
横濱 克彦 三菱重工業 総合研究所主席 PJ 統括  
高島 竜平 三菱重工業 総合研究所主席研究員  
斎藤 圭司郎 三菱重工業 総合研究所室長  
中尾 光宏 三菱重工業 総合研究所主任  
原田 道昭 石炭エネルギーセンター(JCOAL) 技術開発部上席調査役  
橋本 敬一郎 石炭エネルギーセンター(JCOAL) 技術開発部部長  
林 石英 石炭エネルギーセンター(JCOAL) 技術開発部部長代理  
入谷 淳一 エネルギー総合工学研究所(IAE) プロジェクト試験研究部 参事  
小野崎 正樹 エネルギー総合工学研究所(IAE) プロジェクト試験研究部 部長  
酒井 奨 エネルギー総合工学研究所(IAE) プロジェクト試験研究部 主管研究員

<評価事務局等>

保坂 尚子 NEDO 評価部 部長  
前澤 幸繁 NEDO 評価部 主査  
中井 岳 NEDO 評価部 主任

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 事業位置付け・必要性、研究開発マネジメント
  - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
  - 5.3 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
  - 6.1 次世代火力発電基盤技術開発 (5) CO<sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用
  - 6.2 CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC (ガス化関連)
  - 6.3 CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC (ガス精製関連)
  - 6.4 CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC (GT 燃焼関連)
  - 6.5 CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC (全体システム)
  - 6.6 次世代火力発電基盤技術開発 (1) 次世代ガス化システム
  - 6.7 CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC と次世代ガス化システムの統合について
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
  - ・開会宣言 (評価事務局)
  - ・配布資料確認 (評価事務局)
2. 分科会の設置について
  - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
  - ・出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.「プロジェクトの詳細説明」及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。



#### 4. 評価の実施方法について

評価事務局主査より、資料4-1～4-5に基づき評価の手順が説明された。

#### 5. プロジェクトの概要説明

##### 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われた。

##### 5.2 研究開発成果、成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し

実施者より資料5に基づき説明が行われた。

##### 5.3 質疑

5.1及び5.2の内容に対し以下の質疑応答が行われた。

【板谷分科会長】 ありがとうございます。

技術の詳細につきましては議題6で扱いますので、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議論します。ただいまの説明に対しまして、ご意見、ご質問等お願いします。

私のほうから1点確認させていただきます。NEDOの中田さんからご説明いただいた中で、費用対効果がありました。これは、例えばEORのようなCO<sub>2</sub>のアウトプットがあるという前提のもとでの試算という理解でよろしいでしょうか。

【中田主査】 はい、ケミカルルーピングについてはそのとおりです。現状、CO<sub>2</sub>の市場があるのはEORなのでEORに使われているCO<sub>2</sub>に代替するというところで検討しました。

【板谷分科会長】 EORということになりますと、当然、日本でできる話ではなくなってまいりますので、最初の全体のロードマップの中でも少しありましたように、CO<sub>2</sub>の活用技術開発というものも今後推進していくべきと考えますが、いかがでしょうか。

【中田主査】 先生のご指摘の通り、CO<sub>2</sub>の活用技術開発は推進すべきと考えます。CO<sub>2</sub>政策動向は、不透明ですが、今後、CO<sub>2</sub>政策が進めば本技術はシステム自体でCO<sub>2</sub>を分離回収できるので、導入の可能性が出てくると思います。

【板谷分科会長】 ありがとうございます。

そのほか、委員の皆様から。

【関根分科会長代理】 将来の実用化に向けた時間軸のことでお伺いします。今お話があったように、EORということになると、出口がまだはつきり固まってこない。発電ということになると、ガスタービンがまだなかなか仕上がりが遠いので、時間的には大分先になる。

化学利用というお話、さっきいただきまして、ガス化炉としてケミカルズをつくるための炉、これだと足が速いかもしれない。ただ、一方で、これは、皆さんご存じのとおり、中国で大規模にいろいろなガス化炉が各機関、大学からも出て、既に3,000t/dayクラスまでスケールが上がって運用されている現状、コストが非常に下がっている現状を考えていくと、競争力があるのかという気がしておりまして、技術の本質のおもしろみというところはさておき、その出口というところで、時間の順に何が一番可能性があるのか、何かアイデアがあれば、教えていただけますでしょうか。

【中田主査】 ガス化炉については、中国もかなり導入しています。ただし、中国のガス化炉は、効率面ではかなり日本のガス化炉に比べ、劣後すると考えています。従って、今後うまく石炭を利用していくという観点に立つと、東南アジア、豪州などの石炭火力の延び代があるところでは、IGCCなど日本の高効率発電技術の導入の可能性は出てくるかと考えています。一方、中国は独自にガス化炉の開発を進めているので日本の技術の導入は難しいと想定されます。

現状で考えられるのは、IGCCが普及すると、早期実現は、今回、電中研が取り組んでいる次世代ガス化

システムと思います。比較的容易に、蒸気を入れて効率向上することが確認できれば、市場導入の可能性は高いと考えています。

その他、ケミカルルーピンやCO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCは、システム全体でCO<sub>2</sub>を回収しますので、CO<sub>2</sub>政策にどのように各国が対応するのかわかることによって導入の可能性が出てくると思います。やはり、CO<sub>2</sub>を回収すると、かなりエネルギーペナルティーが大きいので、それを改善する対策として、ケミカルルーピングやクローズドIGCCは有望と考えます。ケミカルルーピングは流動床技術の応用ということで、比較的馴染みややすく、クローズドIGCCはガス化炉やガスタービンなど高い技術レベルが要求されるので、もう少し技術レベルのアップした国々が導入すると考えています。

【板谷分科会長】 よろしいでしょうか。

それでは、そのほかにご質問ございますか。清水先生。

【清水委員】 O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>のCO<sub>2</sub>リサイクルガス化で、将来の応用としては、SNG合成など書いてありますが、CO<sub>2</sub>をリサイクルしていると、どうしても水素が少なくなると思うのですが、発電のCO<sub>2</sub>対策に特化すると考えられないでしょうか。

【中田主査】 発電がメインですので、発電に特化したものをまずスタートラインとして考えたいと思っています。その応用として、SNGなど化学プラントにも展開していければ良いと言う考えです。

【清水委員】 あまり手を広げると、資源の集中ということで考えると、CO<sub>2</sub>リッチのガスということで、産業用には使いにくいのではないかと思います。

【中田主査】 先生のご指摘のとおりだと思います。我々もまずは発電への適用を考えています。

【清水委員】 それから、もう一点。次世代ガス化で、これは水蒸気を入れるということで水蒸気によるガス化の促進というのは、反応速度も速くなる。これはよく知られていることで、これを日本の独自技術としてどうやって差別化していくのか。ご発表の中にありましたけれど、水蒸気を入れること自体は学術的にもよく知られていることなので、やはりその具体的技術を保有するという、このノウハウというのはなかなか難しいと思うので、知財との兼ね合いをしっかりとっていただきたいと思います。

【中田主査】 承知いたしました。ノウハウとして蓄積するもの知財として権利化するものを整理します。どうもありがとうございます。

【板谷分科会長】 そのほか。どうぞ。

【巽委員】 これ、NEDOさんのほうだと思いますが、最初の3ページのところで、今回の事業の目的が、効率向上、それと、CO<sub>2</sub>の回収と抑制ということで、この3テーマが選ばれて、それぞれ詳しくはまたこの後の議論と思っておりますが、この3テーマを選んだということについて、もう少し説明いただければと思います。

例えば、水蒸気のガス化反応というのは、今、清水先生がおっしゃられたとおりなのですが、ほかの2件というのは、これに絞り込まれるところで、類似技術がいろいろ検討されて、ここになったのか、もうほとんど独自技術で、これしかないというような、その選定のところについて、補足いただけませんか。

【中田主査】 ありがとうございます。研究を立ち上げる前には、必ず予備調査をNEDOでやっています。従って、CO<sub>2</sub>を分離回収する技術として、世の中にどういったものがあるか技術調査を行いました。

その中で、ケミカルルーピングにつきましては、システムとしてCO<sub>2</sub>が回収できるというメリットのほかに、酸素製造装置が不要だということでさらに優位性があると考えました。酸素製造装置については、IGCCでもかなり所内動力を使っていますので、それを使わなくて済むということは非常にメリットがあります。

クローズドIGCCにつきましては、IGCCシステムにCO<sub>2</sub>分離回収技術を適用するケースを想定しました。技術オプションとして物理吸着と化学吸収がありますが、やはりエネルギーペナルティーがかなり大きいです。一方で、このクローズドIGCCを、送電端効率を現状のUSC並みに維持できるところがすごく魅力的

です。CO<sub>2</sub>を分離しても、今までと同じような発電効率が維持できれば電気事業者に採用されやすいと考えています。コストが経済的に仕上がれば、必ず日本のCO<sub>2</sub>政策に寄与できます。今後、IGCCがアジアに展開すれば更に貢献できると思います。

【板谷分科会長】 よろしいでしょうか。そのほか、ご質問ございませんでしょうか。

では、もう一点、私のほうからご質問させていただきます。電中研の牧野さんがご説明された中で、クローズドのIGCCと次世代ガス化の水蒸気導入の2つのプロジェクトを同時に、3t/dayの炉で実施されるということで、炉からすると、結構ヘビーな使い方になってくる、あるいは、操作条件等も違ってきますので、そのあたりの試験をされる時のマネジメントといいますか、何か特に検討されておられるでしょうか。

【原副所長】 電力中央研究所の原でございます。私のほうから簡単に紹介させていただきます。ご指摘のとおり、3t/day炉という1つの炉を使って、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>の試験、それから、次世代の水蒸気添加の試験と、異なる目的の試験をやらなければいけません。O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>のほうは、ある程度、先行フェーズからやってきておりますので、比較的、運転上の経験・知見も蓄積されてきている中で進めております。水蒸気添加のほうについては、これから試験方法の確立を図っていかなければいけませんので、それをサポートするために、CFDも使いまして、あらかじめ3t/day炉を対象とした解析を、いろいろな条件で実施した上で、実際に試験を行う条件の絞り込み等を行っており、できるだけ効率的に進められるようにと工夫しております。

【板谷分科会長】 ありがとうございます。

そのほか、ご質問ございますか。どうぞ。

【梅田委員】 事業の目標で確認させていただきます。ケミカルルーピングは、コスト上の目標というのがはっきりと書いてありますが、残りの2つについては、まだ要素技術開発というところはあると思いますが、コスト面の何か長期的な目標など何かあれば、ご説明いただければと思います。

【中田主査】 詳細に積み上げたコスト試算はまだできていません。1つの目安は、現行の発電単価です。システムが効率向上すると、燃料の使用量が削減できるので、それでトレードオフできるぐらいのコストアップで建設単価を上げると言う考えです。それとコスト検証委員会で使われている資料がありますので、それを参考にあらあらですが、現状の設備コストを踏まえ試算しています。ざっくりと、このクローズドIGCCの場合、30万円/kw～40万円/kwで、かなり幅がある試算結果でした。

詳細には、これから技術をしつかり確かめながら、積み上げていく必要があります。最終的には、技術的検証の上、見積もり範囲を設定しメーカーに依頼する必要があります。

【板谷分科会長】 そろそろ予定の時間ですけれども、これはというもし聞いておきたいことがありましたら、お願いします。どうぞ。

【中澤委員】 開発成果を説明するにあたり、コストの目標を最初に掲げた方がわかりやすいと思いますが、試算には不確定な想定値等も用いており誤解の無いよう配慮する必要があります。もう一つは、それぞれのシステムにおいて、規模などによってどこの時点ターゲットにするのかで大きくかわると思いますが、今現在、どのぐらいの規模のプラントを目標として掲げているのか、教えていただきたいと思えます。

【中田主査】 コスト目標については、市場に受け入れられる価格にする必要があると考えています。試験規模については、ケミカルルーピングは、まだまだラボレベルです。これからPDUやスケールアップした実証試験を踏まえないと、はっきりしたコストは評価できないと考えますが、適宜、市場の動向を見て、CO<sub>2</sub>をどうするか、CO<sub>2</sub>で経済性が成り立つのか、検討を進めていきたいと思っています。次世代ガス化システムとクローズドIGCCについては、50トン/dayの実証試験炉を使った試験を実施したいと考えています。クローズドIGCCは既に現行計画に50トン炉を使った試験があります。今後、次世代ガ

ス化システムにつきましては、クローズドIGCCと連携し50トン炉の設備を使った試験を計画したいと考えています。ある程度大きな規模で実証ができれば、ガス化炉側の試験はIGCCに適用できるステージに行くと考えており、併せてコスト評価を行いたいと思います。

【板谷分科会長】 それでは、よろしいでしょうか。

それでは、予定の時間が参りましたので、次の議題に移りたいと思います。どうもありがとうございました。

(非公開セッション)

#### 6. プロジェクトの詳細説明

省略

#### 7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

#### 8. まとめ・講評

【中澤委員】 本日は、詳しい説明、どうもありがとうございました。

今日のいろいろな質疑の中でも出ましたが、今現在、CO<sub>2</sub>の問題が非常に難しくなっている一方で、先行きが非常に不透明です。その中でこういう取組を継続していくのは非常に難しいと思いますけれども、今日ご説明いただきまして、まだ全体像は見えませんが、一つ一つの要素技術については着実に進展をしており、そうしたことが次につながっていくのかなという感じがいたしました。

今後、温暖化対策をどうするのかという議論をしっかりとやらしてもらうためにも、事実としてつかめている部分と、期待値や想定値をしっかりと分けた上で、ここで出てきた答えをしっかりと世の中に発信して、CO<sub>2</sub>対策はこういう方策がいゐるのではないかと議論ができるようにする必要があります。今日も出た話の中で、CO<sub>2</sub>のコストが決まれば、このぐらいの対策まで経済的にいけますから大丈夫ですよといった話があるのですけれども、そういうことを待っていたのでは、この話はいつまでたっても進みません。そして、対策の見通しが見えないと、結局石炭使わなければ良いのではという極端な話になってしまいますので、火力を生業にする身からすると、ぜひ今回の成果等を具体的に発信し、結果として石炭も使しようという話になるといいなと思っております。

その辺を頭に入れていただいて、ちょっと辛口のコメントとなりますが、バラ色の絵ばかりを描くのではなくて、課題は課題として上げながら、しっかりと次のステップに進んでいただけると、結果としていい答えが出ると思います。引き続きよろしく願いいたします。

【巽委員】 結構難易度の高い、例えばケミカルルーピングもそうですし、クローズド型もそうですし、次世代のスチームの改質もそうですし、個別に、データをきちっと詰める必要があつて、その中で、かなり基礎的なデータが出てきましたので、全体像がきちっと評価できるようになってきたと思っております。

ですから、総じて順調なのですが、今回、中間ということで、全体的には、定性的な目標というのは出ていますけれども、今後、定量的な目標を少しイメージしながら、それと、ピンポイントではなく、このあたりで、ここからここだろう、こういう目標を立てればいゝだろうというほうがいいのではないかなと思ってます。

1つ、中田さんが言われたとおり、例えばCO<sub>2</sub>の1,100円という目標は欧米の30USD/tonより非常に魅力的な数字なのですが、一方で、非常に厳し過ぎて、もし満足しなかったら、これから進めないだろうという懸念もありますから、その辺をもう少しフレキシブルに幅を持って設定頂ければいいなと思っております。

3つのプロジェクト総じて良いのですが、これから中間から最終の評価のほうになっていきますので、もう少し全体的なイメージを立てながら、特に、出口イメージというのは、CCSというのはなかなか国内で今のところ、非常にハードルも高く、海外でも一部しかできていませんが、将来のところをやっぱり幅広く持っていかねければと思っております。

エネルギー分野に携わってましたら、石炭も、そのほかのエネルギーもそうなのですが、やはり5年、10年のスパンではなく、20年、30年、50年のスパンで考えていかねばなりませんので、もちろん目のところの配慮も必要ですが、やはり石炭というのは非常に重要だと思っております。

ですから、NEDOさんも、経産省さんもいろいろ大変だと思いますが、受託の方も、ここは腰を据えてしっかりやっていただければいいなと思っております。

**【清水委員】** 今の話と大体同じなのですが、やはりエネルギー開発というのは、特にエネルギーといったら、10年、20年のスパンで行うもので、かなり腰を落ち着けてやらないといけな。それから、信頼性なり安定性というのが必要とされる分野なので、どうしても時間がかかる。と同時に、あるプロジェクトの方がおっしゃいましたが、やっぱり会社としては、目の前のビジネスも考えなきゃいけない。そこが非常にバランスをとるのが難しいところだと思いますが、やはりこういうときにこそ、国の将来像を考えて、大もとは税金であるこういうファンドを使って開発をする。そのためには、やはり社会の理解が必要であるということで、その今やっている研究内容、開発内容の重要性をぜひ社会一般によく知っていただくようにご努力いただきたいと思えます。

個別のものとしましては、ガス化は、これまでかなりの蓄積があるわけで、かなり現実に近い、実用に近いところまで行っていると思えます。それに対して、CO<sub>2</sub>分離型はまだかなり歴史が浅くて、基礎研究の課題なので、この両者についてはそれぞれ、目標とするもの、中期目標とするもの、達成を要求されるレベルというのは違うと思えますので、そこは分けて議論していただきたい。特にCO<sub>2</sub>分離型は、まだまだ端緒についたばかりで、基礎的なデータの積み上げがこれからもまだまだ必要とされることになると思えます。

**【板谷分科会長】** 次、お願いします。

**【梅田委員】** 全体を通しまして、本日、3つの事業、聞かせていただきましたけれども、全体的に、非常に緻密で、着実に取り組まれているなという印象を持ちました。

本日、中間評価ということでありますけれども、おおむね、どの事業も最終目標に向けてほぼ見込みを立てているということで、現時点では、最終に向けて、事業の終了に向けて、大きな不安要素はないと受けとめております。

それぞれの事業者さんにおかれても、最終目標の達成に向けて、引き続き努力を進めていただきたいと思っておりますし、実際に、先ほど来から話出ておりますけれども、いわゆるCCUSに向けた将来像というのはなかなか難しいところがありますけれども、こういった事業の要素技術をはじめとして、こういった技術開発を進めて、その技術を確立しておくということについては、非常に有意義だと思っておりますので、国、及び、NEDO様の支援をいただきながら、こういった事業をぜひ前に進めていただきたいと思っております。

中身のほうの話になりますけれども、本日聞かせていただいたそれぞれの事業の説明ですけれども、体制

と役割分担が非常に明確であったと思っていますし、プロマネの方が非常にしっかりとマネジメントされているのだらうと思いました。

それから、今日議論にはならなかったですけども、NEDOさんのほうの最初の説明で、知財戦略についての考え方というのが述べられましたけれども、それぞれのプロジェクト、その考え方に沿った動きをされていたので、しっかりグリップできていて、統一した知財戦略に基づいた動き方をされているというのは非常によかったと思っています。

それから、全体システムのところで説明がありましたけれども、それぞれの技術開発の最終目標に向けての技術課題が整理してあったのは非常にわかりやすかったと思っています。本フェーズで最終的にまだ取り組むものと、次フェーズでやるべきものというのがしっかりきれいに整理されていたのは、事業をロングスパンで見たときに、何をどこまでやらなきゃいけないのかということのはっきり見えるということは非常にいいものであると思っています。

それから、今日の分科会に先立って現地調査会という形で実際のプロジェクトの様子を見させていただきました。これにつきましては、実際に評価する委員にとりましては、事業自体の内容がよくわかりますし、理解促進という意味では非常に有益だったと思っています。

**【関根分科会長代理】** 3件のお話を伺いまして、非常にそれぞれの案件がしっかりとマネジメントいただいて、しっかり進んでいるなという印象でございました。それぞれにおいて、画期的なおもしろい結果がいろいろなところに出てきておりまして、伺っていて、非常に楽しく、おもしろく話を拝聴することができました。

全体としては、先ほど来お話がありますように、CCSの動向というのは非常に不透明な中で、唯一、化学というキーワードが幾つか出てまいりましたが、可能性があるのはCCSとしてのメタンP2Gですね。これがたった一つ可能性があるオプションではないかと思っております。そういう意味では、今後の方向性の中に、高効率石炭火力としてのIGCCというのが一つ大きな目標としてあるわけですが、ケミカルということを使う場合には、そのP2Gが一つのオプションになってくるという気がします。

そういった点で、せっかくの基礎研究から応用研究に至るいろいろな技術を、国際競争力のあるものに仕上げていただいて、それが我が国のみならず、海外で展開できるようなことになれば、化学も含めたいろいろな可能性が出てくると感じました。どうもありがとうございました。

**【板谷分科会長】** それでは、引き続きまして、最後に私のほうからコメントさせていただきます。

大体ほかの委員の皆様方からおっしゃられたとおりで、重複になるかとは思いますが、今日の話、拝聴させていただきまして、チャレンジングな内容について精力的に進めておられるということで評価させていただきたいと思います。

ただ、今まではどちらかというと、下準備的なところが中心になっているかなという気もします。これから実際に3t/day、あるいは、50t/dayの実証試験に入っていくって、その成果をまた期待したいと思っていますので、今後とも精力的に成果を出していただければと思います。

それと、特に最近、国内外からの石炭に対する風当たりというのは非常に強い状況になっております。その中で、どうしても我が国日本におきましては、どうしてもエネルギーのベストミックス化というように、いろいろなエネルギーを対象にせざるを得ないような状況の中で、特に石炭についても、高効率化ということと同時に、さらに、究極のCO<sub>2</sub>削減ということになれば、CCSにならざるを得なくなってきます。今回のテーマの中でも、ケミカルルーピングサイクルと、それから、クローズドIGCCについて基本的にはCO<sub>2</sub>回

収の技術ということで、世界のトップレベルの技術として仕上げていって頂きたいという思いがございます。

それと同時に、CCS が実際にどこまで実現できるのかというのはまだ先が見通せないような状況の中で、今後まだ、当然のことながら、実用化のためにはまだ時間はかかると思います。ただ、それがさらに先に延びていった場合に、技術の伝承というものがどうしても必要になってきようかと思えます。

今日プレゼンされた方も若い方も多くおられるので、まだいいのかとは思いますが、引き続き、今後もこういった技術、特にやはりこういう CCS の技術というのはずっと維持していかないと、せっかく一時的に開発しても、それで終わってしまい、必要となったときすぐにこれが実用化できる技術になるとは限りませんので、できれば伝承できるような枠組みを考えていただけるといいのかなという気がしました。

もう一点は、やはり、それと同時に、先ほども少しお話がありましたが、CCS といいですか、CO<sub>2</sub>の利用技術も含めて、今後、この技術が CO<sub>2</sub>貯留以外でも展開できるような形の検討もあわせてお願いできればと思います。

それから、最後になりますけれども、やはり IGCC、なかなか日本で実用化させるというのはなかなかまだ現状としては難しいという感じもいたします。その中で、どうしても IGCC は、設備コストが非常に高くなります。できるだけ CO<sub>2</sub>回収を低コストにするための試算等もやっていただいておりますので、非常に結構ですが、ただ、必ずしも日本で事業化するだけではなくて、海外への技術移転等を想定したときに、日本向けの最先端の効率なり、最先端の CO<sub>2</sub>回収効率を狙わなくても、もっと安く海外に技術移転できるような、FS のようなことも少しやっていただくのもいいのかなという気がいたしました。

ということで、最後のまとめとさせていただきますと思います。

どうも、今日は一日、ありがとうございました。

## 9. 今後の予定

### 10. 閉会

## 配布資料

資料番号	資料名
資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDOにおける研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料
資料 6-1	プロジェクトの詳細説明資料（次世代火力発電基盤技術開発（5）CO <sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術開発）（非公開）
資料 6-2	プロジェクトの詳細説明資料（CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCC（ガス化関連））（非公開）
資料 6-3	プロジェクトの詳細説明資料（CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCC（ガス精製関連））（非公開）
資料 6-4	プロジェクトの詳細説明資料（CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCC（GT燃焼関連））（非公開）
資料 6-5	プロジェクトの詳細説明資料（CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCC（全体システム））（非公開）
資料 6-6	プロジェクトの詳細説明資料（次世代火力発電基盤技術開発（1）次世代ガス化システム）（非公開）
資料 6-7	プロジェクトの詳細説明資料（CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCCと次世代ガス化システムの統合について）（非公開）
資料 7-1	事業原簿（CO <sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術開発）
資料 7-2	事業原簿（CO <sub>2</sub> 回収型クローズドIGCC技術開発・次世代ガス化システム技術開発）
資料 8	今後の予定

以上

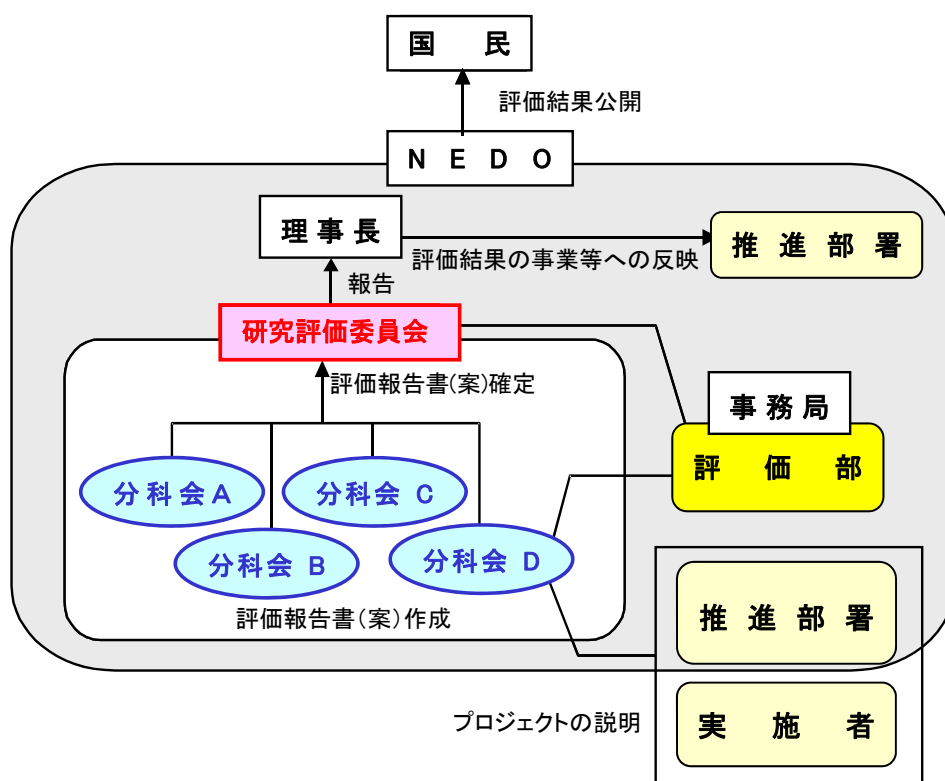


## 参考資料 2 評価の実施方法

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

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、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。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 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

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、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

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

## 3. 評価対象

「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発（１）（５）・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発」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実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。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、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、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発（１）（５）・  
CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発」に係る  
評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、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、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 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と期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

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、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(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及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化の戦略に基づき、実用化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱い（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）を整備し、かつ適切に運用しているか。

### 3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

### 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

「実用化」の考え方

クローズド IGCC：本システムに必要な O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> 石炭ガス化および乾式ガス精製等に関する要素技術を確立し、それが石炭ガス化一貫システム(次フェイズ)および従来型 IGCC に活用できること

次世代ガス化：噴流床ガス化炉において、水蒸気ガス化反応を効果的に利用して高い冷ガス効率を実現するための基盤技術を確立し、それが 3TPD 炉よりも大型のガス化炉において活用できること

化学燃焼：今回の調査で当面の石炭焚き CLC の市場が無いことから国内 CCS の制度化時期を見極めながら実用化する必要がある

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

## 「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

## 1. 事業の位置付け・必要性について

### (1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、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、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

### (2) NEDO の事業としての妥当性

- ・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と期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

## 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、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

### (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及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「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で活用を図っている



か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。

・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

### 参考資料3 評価結果の反映について

「次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電基盤技術開発（１）（５）・CO2回収型クローズドIGCC技術開発」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>・クローズドIGCCについて、現在主な目標が送電端効率となっているが、ある程度の目途が立った後は、連続運転等の信頼性、設備コスト、炭種適合性などを目標に加味することが望ましい。</p> <p>・クローズドIGCCについて、全体的に主要目的の実証試験を実施するための設備改造計画が中心となっており、定量的な目標はあまり設定されていない。本格的な実証試験が開始されれば、種々のトラブルも想定されるので、速やかに試運転から本格運転が実施できる準備とモデル解析に必要な条件設定や基礎的なラボ試験による課題抽出に努力して頂きたい。</p>	<p>・クローズドIGCCの設備コスト、炭種適合性についてはこれまでの試験にて検証中であり、特に設備コストは現状の石炭火力の発電コスト並みを目標としている。炭種においてもこれまでの経験した炭で検討し、複数適用できる見込みである。平成33年度開始予定の次期ステップでは、更に検討を進め、具体的な目標を設定する予定である。</p> <p>また、連続運転による信頼性については、複合発電設備を含めたクローズドIGCCトータルシステムの実証試験を実施するタイミングで検証が妥当と考えている。</p> <p>・クローズドIGCCの定量的な目標値は送電端効率として設定しており、達成するための技術開発要素を明確に設定している。クローズドIGCCは平成29年度下期より設備改造の試運転を踏まえ、50TPD炉を用いた試験を開始したところである。これまで、シミュレーションやラボ試験を実施し、その成果を踏まえ、次年度の試験条件等の検討を進めてきた。</p> <p>今後、本格的なガス化試験を行うが、トラブル等発生した場</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<ul style="list-style-type: none"> <li>・化学燃焼については、実験データの解釈や実用化に向けた設計方針の立案についてまだ不十分なところも見受けられるため、データ解釈の精緻化と実用的な設計提案の立案についてより深く検討して頂きたい。</li>   <li>・次世代ガス化と化学燃焼については情報発信が少ないように思われる。</li>   <li>・本技術の先進性・有効性について社会的認知を得るとともに、市場開拓に向けて積極的な情報発信をすべきである。</li> </ul>	<p>合は、実証炉の現象を踏まえ、シミュレーションやラボ試験も活用しながら解析したいと考えている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・化学燃焼については、今回評価委員会で反応炉について過剰スペックのコメントを受けた。現状、まだ要素試験の段階のため、今後の最適化の中で設計に反映し修正する。今回、有望キャリアの見通しが得られ、中間目標は達成したが、「研究項目④(5)CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術開発」は平成29年度で中止し、<b>PDU(Process Development Unit)の開発は取り止める</b>。研究開発の内容を見直し、ラボ試験を行いデータ蓄積し精度向上を図ると共に、実用的な設計立案に向け、実機設計技術の確立を目指した要素研究を、「研究開発項目④(8)流動床ガス化燃焼技術を応用した石炭利用技術開発」で実施する。</li>   <li>・次世代ガス化および化学燃焼について、今後、更に国内外の関連する技術会議を活用し対外発表及び情報発信を適宜行うよう委託先を指導する。</li>   <li>・本技術の先進性・有効性については、今後ユーザである電力に情報提供していきたい。現在、メーカーや電力中央研究所</li> </ul>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
	と研究を進めているが、将来的には電力を取り込んで実用化を進めたいと考えている。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・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。

NEDO 評価部

部長 保坂 尚子

担当 前澤 幸繁

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

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

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