

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」

⑤CO<sub>2</sub>回収型次世代 IGCC 技術開発」

事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿 .....	1
評価概要（案） .....	2
評点結果 .....	5

## はじめに

本書は、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「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／⑤CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発」(事後評価)の研究評価委員会分科会(2020年10月2日)及び現地調査会(2020年10月2日 於 電力中央研究所)において策定した評価報告書(案)の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第33条の規定に基づき、第63回研究評価委員会(2021年1月8日)にて、その評価結果について報告するものである。

2021年1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「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／⑤CO<sub>2</sub>回収型次世代  
IGCC技術開発」分科会  
(事後評価)

分科会長 板谷 義紀

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  
「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／⑤CO<sub>2</sub>回収型次世代 IGCC 技術開  
発」(事後評価)

分科会委員名簿

(2020年10月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	いたや 義紀 板谷 義紀	国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学 工学部機械工学科 教授 地方創生エネルギーシステム研究センター センター長
分科 会長 代理	にのみや 善彦 二宮 善彦	学校法人中部大学 工学部応用化学科 教授
委員	あかまつ 史光 赤松 史光	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 マイク ロ機械科学講座 燃焼工学領域 教授
	いしばし 喜孝 石橋 喜孝	常磐共同火力株式会社 IGCC 事業本部 アドバイザー
	すぎむら 英市 杉村 英市	電気事業連合会 技術開発部 技術開発部長
	たつみ 孝夫 翼 孝夫	国際石油開発帝石株式会社 再生可能エネルギー・電力事業本部 事 業企画ユニット テクニカルコンサルタント

敬称略、五十音順

# 「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／⑤CO<sub>2</sub> 回収型次世代 IGCC 技術開発」(事後評価)

## 評価概要 (案)

### 1. 総合評価

長年積み上げてきた石炭ガス化の基盤技術研究とはいえ、高温高压設備を運転する CO<sub>2</sub> 回収型クローズド IGCC と水蒸気添加ガス化に関わる要素試験を実施してきた事業者の努力とそれによって事業最終段階での事業の開発目標をほぼ達成されたことは評価できる。特に CO<sub>2</sub> 回収しつつ現状の石炭火力の送電端効率を下回ることなく同等またはそれ以上の効率が得られ、発電コストも従来方式に比べかなり低くできるポテンシャルを有することが明らかにされたことは、優れた成果と言える。また、水蒸気添加ガス化および乾式ガス精製などの成果は、従来型 IGCC の効率向上にも貢献できる重要な成果であり高く評価され、大型化ならびに実証のフェーズに進むことが強く期待される。さらに本プロジェクトで開発したガス化炉 (Oxy-fuel IGCC) は、合成ガスに N<sub>2</sub> がほとんど混入しないために、産業用ガス化炉としても高性能であり、化学合成に適した H<sub>2</sub> /CO 比率のガスが得られるとともにその比率を調整できる見込みがあることから、化学合成プラントへの展開も期待できる。加えて、発電とともに化学品を併産することで、実質的な CO<sub>2</sub> 分離・回収コストを低減して再エネ導入等に伴う需給調整にも寄与できるため、ポリジェネレーションシステムへの展開が期待でき、技術的・経済的・社会的な顕著な波及効果が見込まれる。

今後は、CCS の市場動向を睨みながら数百 TPD (Tons Per Day) 規模のパイロットプラントに向け着々と技術開発を進め、CO<sub>2</sub> 回収型 IGCC システムの商用化に向け年間を通して運転できる信頼性確保も重要課題の一つとして取り組んで頂きたい。また、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化の“SNG (Substitute Natural Gas: 代替天然ガス) 合成等の産業用ガス化炉としての展開”については、経済性を含めたフィージビリティスタディを進めて頂きたい。さらに、石炭火力発電を取り巻く事業環境は時々刻々と変化しているため、実用化に向けた進め方については必要に応じて都度見直しを行うとともに、細かな情報発信をお願いしたい。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

次世代火力発電に係る技術ロードマップ等において、火力発電のさらなる高効率化と将来の CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) に向けた経済的な CO<sub>2</sub> 分離・回収技術の確立が求められており、本事業はそれらを両立する技術の開発であるため、上位の施策・制度の目標達成に寄与するものである。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、高い技術的難易度のものであることから、民間企業のみで取り組むことは難しく、公的な機関である NEDO の事業として実施することが妥当である。さらには、CO<sub>2</sub> 排出削減は世界的にも喫緊の課題となっており、本研究開発の成果の活用が期待されることから、費用対効果は大きいものと考えられる。

ただし本技術は、回収した CO<sub>2</sub> を処分する CCS が確立されていることが前提であり、

CCS 開発導入も並行して注力していく必要がある。

今後においても、大崎クールジェンプロジェクトと CO<sub>2</sub>回収型次世代 IGCC の 2 タイプのガス化技術を有する我が国の強みを生かした国内外への展開を目指した活動が必要である。そのためには各専門分野での技術発表だけでなく、専門外でもわかりやすい当該技術の広報活動を積極的に進めて、石炭火力でも CO<sub>2</sub>ゼロエミッション化が可能な革新的技術を保有していることを、国内外へ積極的にアピールする努力を事業終了後も期待したい。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

CO<sub>2</sub>回収して現状の高効率石炭火力の送電端効率と同程度以上を目指す研究開発目標は、実用化のハードルを下げる大きなファクターであり、重要なブレークスルー技術として妥当である。また、IGCC システム全体が従来技術と大きく異なり、CO<sub>2</sub>回収に伴う N<sub>2</sub>フリー・高濃度 CO<sub>2</sub> 雰囲気となるため、ガス化のみならずシステムを構成する主要な周辺技術であるガス精製や GT 燃焼をはじめとする基盤技術への影響は多大である。本研究開発ではその影響および性能を基礎的に解明・評価したうえで、実用に供しうる技術として確立するために、共同研究先と分担して研究開発する体制が組織されており、計画に沿った事業が有効に実施されていると判断できる。また、CO<sub>2</sub>回収型 IGCC システムを、ガス化、ガス精製、GT(Gas Turbine)燃焼の 3 つの要素に分け、それぞれに必要な課題抽出と検証を進め、その後それらを組合せた全体システムを評価するやり方は評価できる。さらに、知財に関して、公開して特許を取得する方法と秘匿してノウハウにする方法を念頭に置き、進めていることも評価できる。

一方、国外の第 3 者等により権利化されるリスクを回避するためには、細心の注意と公開情報の取捨選択が必要である。また、CO<sub>2</sub>回収型 IGCC の早期実用化のためには、本事業で一体的に実施されているガス精製や GT 等のガス化炉周辺技術について、すでに確立されている湿式ガス精製などのその他の技術導入も視野に入れた複数の組み合わせでのシステムで評価ならびにコスト試算しておくことが望まれる。

## 2. 3 研究開発成果について

“ガス化”、“ガス精製”、“GT 燃焼”のそれぞれに要素技術に対して各種試験・検証を行い、CO<sub>2</sub>回収型次世代 IGCC システムに必要な要素技術項目について、一通りの見通しが得られたことは評価できる。また、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化技術のガス化特性、スラグ排出性、灰付着成長がほぼ無いこと、並びに極めて技術的難易度の高い乾式ガス精製などの基本性能はほぼ見通しが立ち、全体プロセスを構築することが可能となったことは評価に値すると思われる。さらに、諸検討結果による全体システムの最適化の結果、送電端効率 42%を達成できる見通しが得られている。次世代ガス化システムについては、水蒸気添加ガス化試験、および、各種検討結果により、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を実現するための見通しが得られており、本プロジェクトでの最終の研究開発目標は達成されていると考える。

一方地球温暖化等の事業環境が急変しており、今回の事業が CO<sub>2</sub>フリー石炭火力として位置付け、その研究成果と今後の方向性を石炭関係者のみならず、広く周知される方向に進

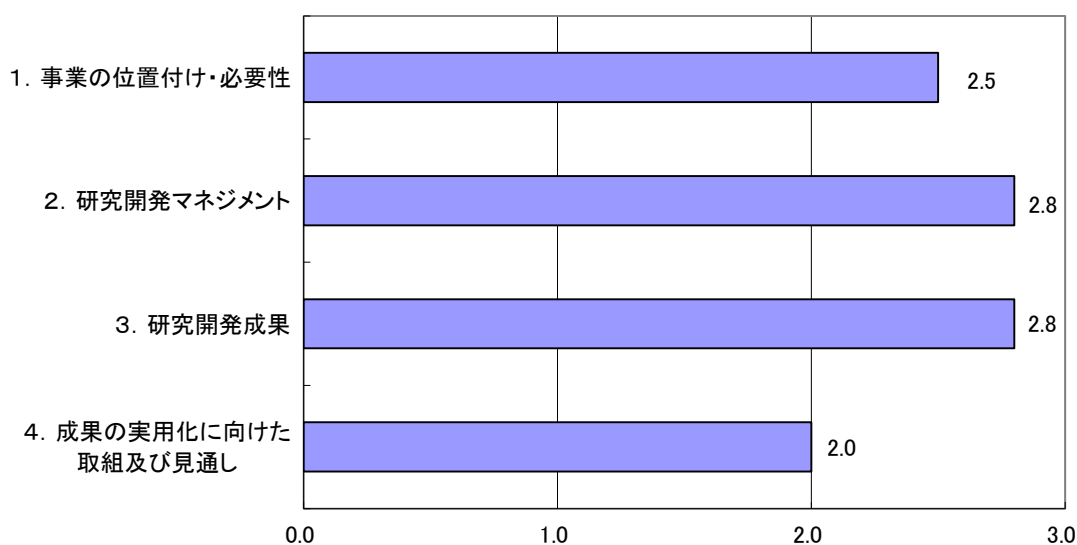
むことを期待する。

#### 2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本取り組み並びに成果は実用化に向けて必要不可欠であり、技術開発戦略としても段階的な開発の常套手段であり妥当と言える。ガス化に関しては、50TPD と 3TPD の実証試験が実施され、それをサポートする形で反応速度論ならびに物性値計測およびそのデータを活用した CFD によるガス化炉内 3次元解析が行われている。また IGCC を構成する上で主要プロセスとなるガス生成と GT 燃焼試験の要素研究で得られた成果に基づき、全体システム評価が実施されている。また、実用化に向けたロードマップにおいてマイルストーンを現実的かつ明確に示しており、成果の実用化の見通しについても、CO<sub>2</sub> 貯留の開発進捗次第ではあるものの、現在大崎クールジェンプロジェクトにおいて実証試験中の酸素吹き IGCC 技術との親和性が高く、石炭火力における究極の高効率 CO<sub>2</sub> 分離・回収技術として実用化が期待できる。

一方現実的に石炭ガス化の実用化事例が乏しく将来展望が見通せないまま、これからも継続的な研究開発事業が多く国民から懐疑的に捉えられる可能性が高くなることも認識しておく必要がある。このような観点からは、ロードマップ通りに研究開発が進捗しない場合にも、これまで我が国独自の優れた技術として積み上げてきた IGCC のノウハウの蓄積を絶やさないために、技術伝承または機械学習等を活用したデータバンクのような仕組みを検討して頂きたい。また O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> ガス化の“SNG 合成等の産業用ガス化炉としての展開”については良いアイデアだとは思いますが、経済性を含めたフェージビリティスタディも進めて頂きたい。

## 評点結果〔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	2.5	B	B	A	A	A	B	2.5
2. 研究開発マネジメント	2.8	A	A	A	A	A	B	2.8
3. 研究開発成果	2.8	A	A	A	B	A	A	2.8
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し	2.0	B	A	B	B	B	C	2.0

(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〉

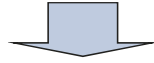
- |                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について            |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A                |
| ・重要 →B             | ・よい →B                   |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C                 |
| ・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               |

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**

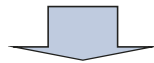
温暖化対策は世界的課題



高効率発電技術と効率的なCO<sub>2</sub>回収システムによる  
CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>回収システム  
によるCO<sub>2</sub>排出量の抑制



CO<sub>2</sub>を約100%回収しつつ高効率を達成する  
CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術を開発

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 (その1)

■次世代火力発電に係るロードマップ

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。

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

クローズドIGCC

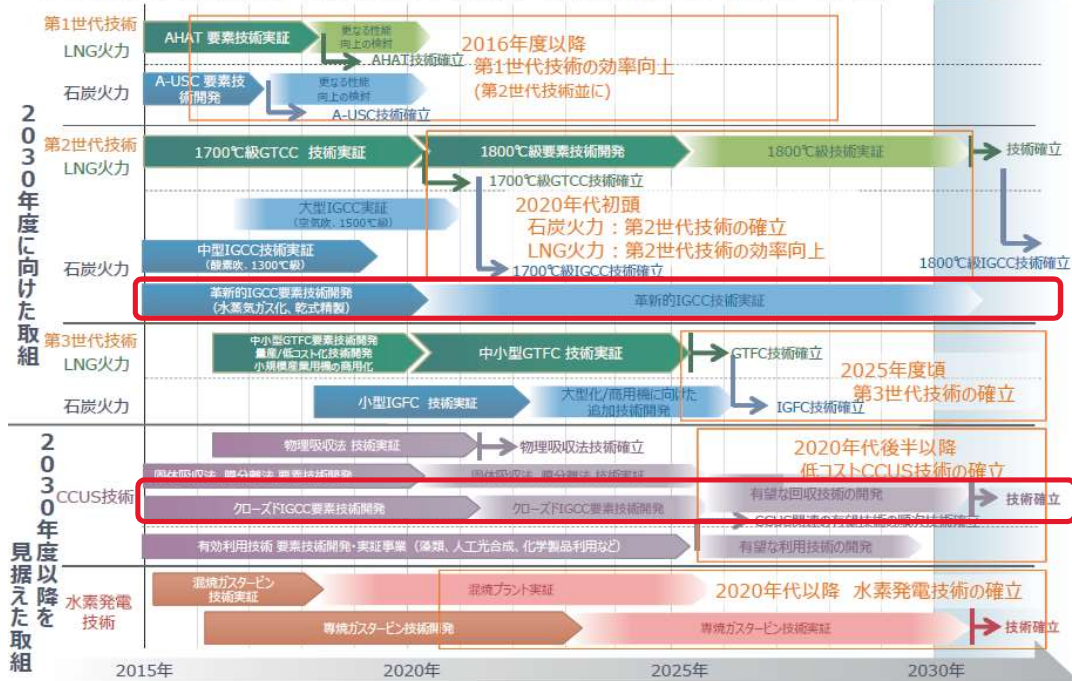
**CO<sub>2</sub>分離回収に最適化した発電方式(IGCC)**。当面、要素技術の開発を継続する。／今後、他の競合技術との優位性を精査しつつ、さらなる開発を進める。



◆政策的位置付け (その2)

■ 次世代火力発電に係るロードマップ

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



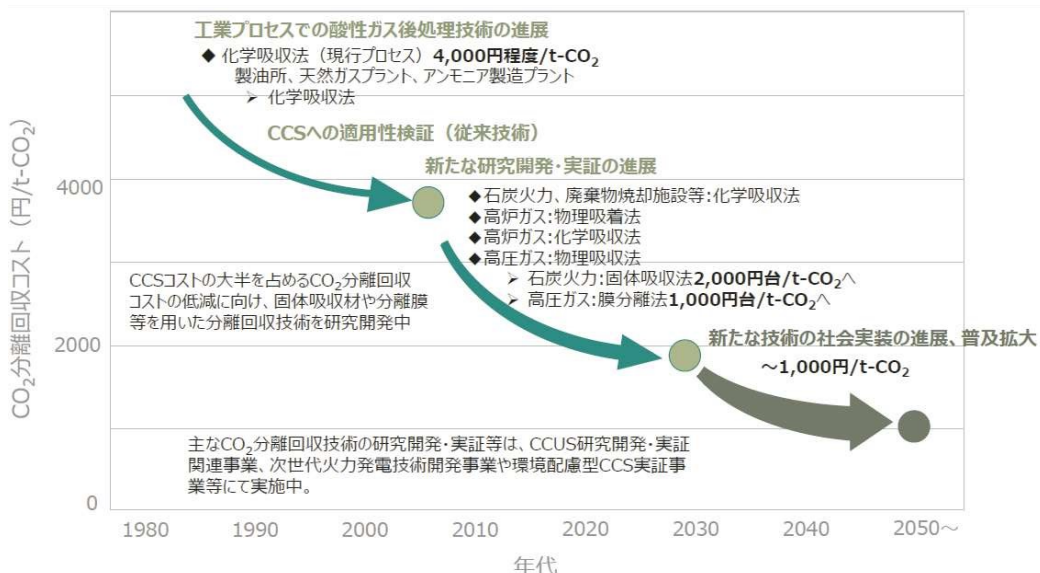
出典: 経済産業省 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会、「次世代火力発電に係る技術ロードマップ」(2016年6月)

◆政策的位置付け (その3)

■ 革新的環境イノベーション戦略

2050年までにCO<sub>2</sub>分離回収コスト1,000円/t-CO<sub>2</sub>を目指し技術開発を行う。様々なCO<sub>2</sub>排出源に対応する分離回収能力を獲得することを目指す。

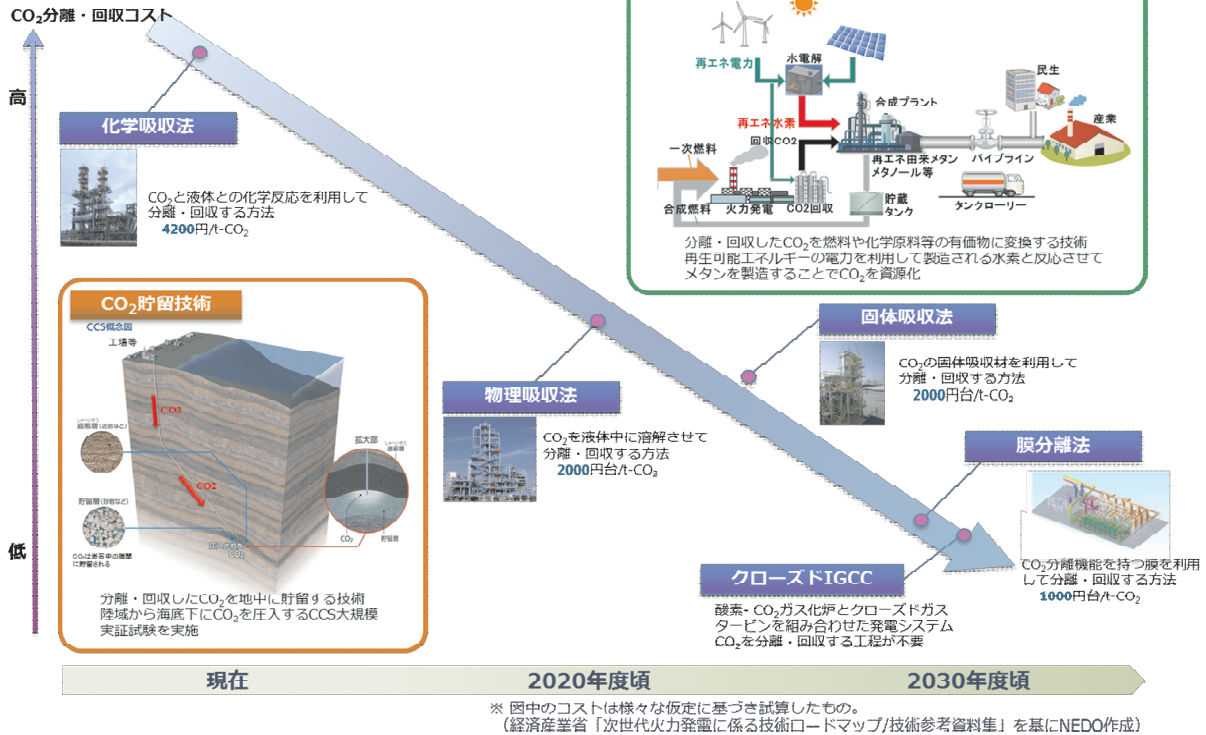
(参考5) イノベーションによるコスト削減 CO<sub>2</sub>分離回収の例



出典: 統合イノベーション戦略推進会議決定、「革新的環境イノベーション戦略」(2020年1月)

### ◆技術戦略上の位置付け (その1)

#### ■ CO<sub>2</sub>回収関連技術の開発の見通し



### ◆技術戦略上の位置付け (その2)

#### ■ カーボンリサイクル技術ロードマップ

- CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への再利用等とともに、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制していく。
- CO<sub>2</sub>回収を容易にするためのプロセス技術として、クローズドIGCCの開発を進める。

#### 共通技術

##### ● CO<sub>2</sub>分離回収技術

<技術課題>

- 設備・運転コスト及び所要エネルギーの削減
- 新しい基材(吸収材、吸着材、分離膜)の開発(選択性、容量、耐久性の向上)
- 基材の製造コストの低減
- プロセスの最適化(熱、物質、動力等) など
- CO<sub>2</sub>排出源、用途に応じた分離回収法の選定
- CO<sub>2</sub>発生源と需要・供給先を連携させたカーボンリサイクルに適合するCO<sub>2</sub>分離回収システムの構築(コプロダクション)
- 輸送、貯蔵

<個別技術>

- 化学吸収法(温度差(現行プロセス))  
4,000円程度/t-CO<sub>2</sub>  
所要エネルギー-2.5GJ程度/t-CO<sub>2</sub>
- 物理吸収法(圧力差(実証段階))
- 固体吸収法(温度差)(研究開発段階)
- 物理吸着法(圧力差・温度差、大型化の利点少、選択率、容量、耐久性の向上)
- 膜分離法(圧力差)
- その他、深冷分離法、Direct Air Capture など

<CO<sub>2</sub>回収を容易にするためのプロセス技術>

- 酸素富化燃焼・クローズドIGCC
- 低コスト酸素供給技術の開発
- ケミカルリーフ
- 低コスト、長寿命の酸素キャリアの開発

#### 2030年のターゲット

- 低圧ガス用(燃焼排ガス、高炉ガスなどからのCO<sub>2</sub>分離)  
2,000円台/t-CO<sub>2</sub>  
所要エネルギー-1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>  
化学吸収法、固体吸収法など
  - 高圧ガス用(化学プロセス、燃料ガスなどからのCO<sub>2</sub>分離)  
1,000円台/t-CO<sub>2</sub>  
所要エネルギー-0.5GJ/t-CO<sub>2</sub>  
物理吸収法、膜分離法など
  - その他プロセス全体の見直し  
クローズドIGCC・ケミカルリーフなど  
1,000円台/t-CO<sub>2</sub>  
所要エネルギー-0.5GJ/t-CO<sub>2</sub>
- <CO<sub>2</sub>分離回収システムの構築>
- CO<sub>2</sub>排出源および用途に合わせた省エネルギー、低コストとなるCO<sub>2</sub>分離回収の実現
  - 10,000時間連続運転の実現(耐久性、信頼性の実証)

#### 2050年以降のターゲット

- <分離回収実用化>
- 1,000円以下/t-CO<sub>2</sub>の達成
  - CO<sub>2</sub>分離回収システムの耐久性、信頼性の向上
  - CO<sub>2</sub>発生源と用途先の運用に応じたCO<sub>2</sub>分離回収システムの最適化
  - CO<sub>2</sub>分離回収システムの本格普及

◆国内外の研究開発の動向と比較 (その1)

■ 超臨界CO<sub>2</sub>サイクル発電システム (Allam Cycle)

➢ 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>

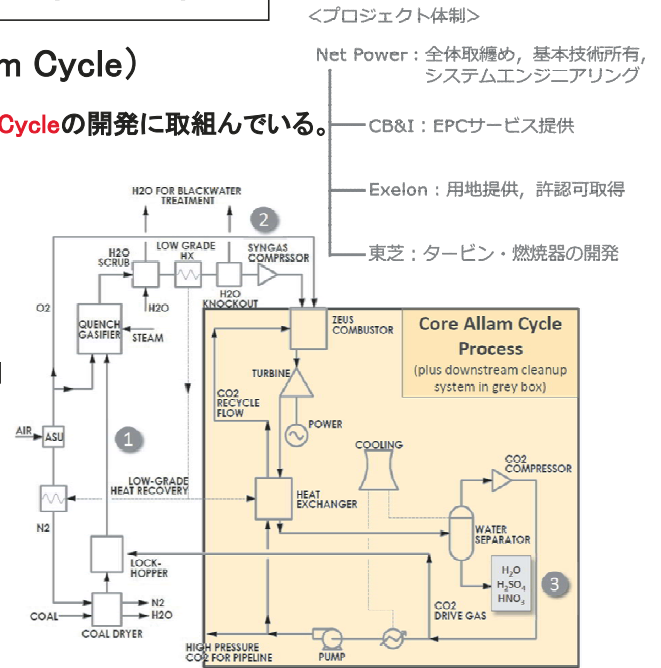
- ✓ CO<sub>2</sub>回収設備が不要であり、シンプルなサイクル
- ✓ ほぼ100%のCO<sub>2</sub>を回収し、直接地中貯留が可能
- ✓ NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>の同時除去技術を採用



- 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。
- CO<sub>2</sub>回収型クローズdIGCC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25MW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。
- ✓ 2018年5月: 25MW実証機(天然ガス焚き)の燃焼試験開始(First-fire)
- ✓ 2022年: 300MW級商用機(天然ガス焚き)のPre-FEEDを終え、2022年の初並列を目指し、調整中。



<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

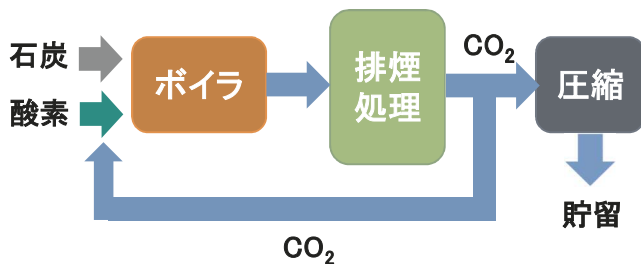
Exelon: 用地提供, 許認可取得

東芝: タービン・燃焼器の開発

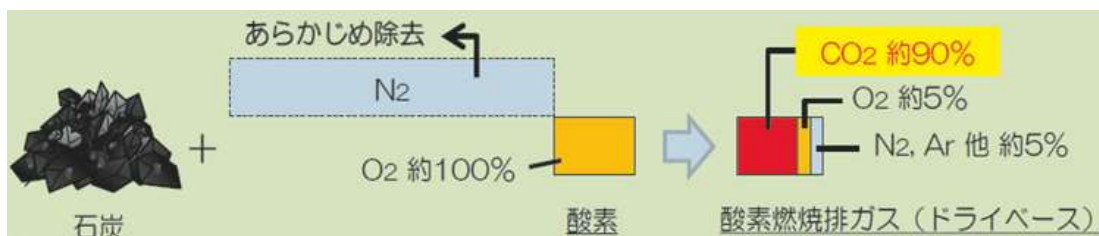
◆国内外の研究開発の動向と比較 (その2)

■ 酸素燃焼CO<sub>2</sub>回収技術(微粉炭石炭火力発電)

- 酸素とCO<sub>2</sub>で石炭を燃焼し、ボイラ排ガスの主成分をCO<sub>2</sub>として、CO<sub>2</sub>を回収する技術。
- 排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度は約90%以上となり、また、ガス量が約1/5に削減される。
- 排ガスはそのままCO<sub>2</sub>圧縮・回収ができる(CO<sub>2</sub>分離回収装置が不要)。



酸素燃焼例 カライドA発電所4号機(豪州)  
(出典:カライド酸素燃焼プロジェクトホームページより)



出典: カライド酸素燃焼プロジェクトプレスリリース資料2015.3.2

◆事業の目標

最終目標 (2020年度)

- CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCについては、2019年度までに送電端効率42% (高位発熱量基準) を見通すための要素技術を確立する。
- 次世代ガス化システムについては、2018年度までに既存の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。
- 両技術の相乗効果として、2020年度までにCO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。

【目標設定根拠】

- 現時点の主力石炭火力USCの送電端効率42%を目標効率として設定し、CO<sub>2</sub>回収後も維持できることを目標として定めた。
- IGCCでは、ガス化炉への水蒸気注入により送電端効率が向上する可能性があるため、既存IGCCの送電端効率46~48%を凌駕できることを目標として定めた。

◆研究開発のスケジュールと費用

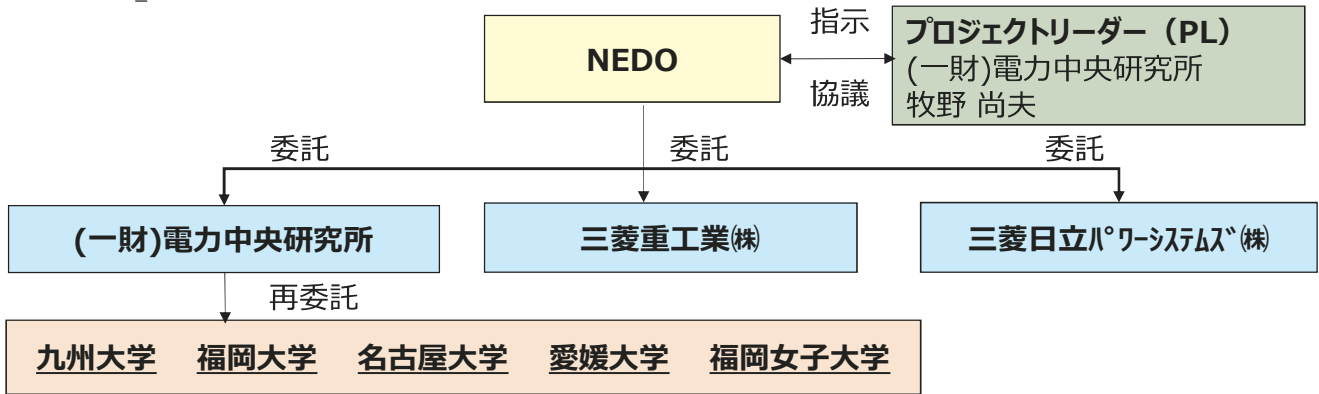
研究開発項目		2015	2016	2017	2018	2019	2020	
				◇ 中間評価			◆ 事後評価	
クローズドIGCC	①O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立	50TPD炉 設備改造		ガス化試験		設計指針とりまとめ		
		3TPD炉 設備改造		ガス化試験		相乗効果評価		
	③炭種適合性評価ツールの構築	スート生成モデル組込みと3TPD解析による検証			炭種拡大		相乗効果評価	
		スラグ排出性評価ツール改良			高精度化			
	④乾式ガス精製システムの構築	50TPD炉用試験設備の製作		性能評価試験		装置解体調査		
	3TPD炉用試験設備の製作		高圧脱硫試験評価		水蒸気添加影響評価			
⑤システム全体検討	試験装置製作		GT燃焼器基礎燃焼試験		実スケール燃焼器性能解析		設計指針とりまとめ	
	単一バーナ試験装置による排気循環燃焼試験							
	諸検討結果の次世代IGCC全体システムへの反映、効率・コスト評価							
次世代ガス化	②水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証	3TPD炉 設備改造		3TPD炉 試験(水蒸気添加)				
		リダクタ炉 設計・製作		リダクタ炉 試験(タール挙動把握、相乗効果把握)		商用規模ガス化炉 数値解析		

(単位：百万円)

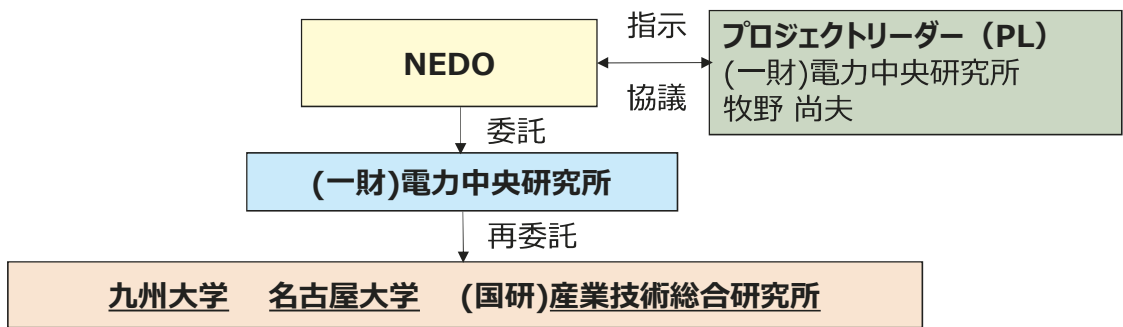
総額	2015	2016	2017	2018	2019	2020
4,434	382	1,627	952	504	684	285

◆ 研究開発の実施体制 (その1)

● CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC技術開発 (2015~2017年度)

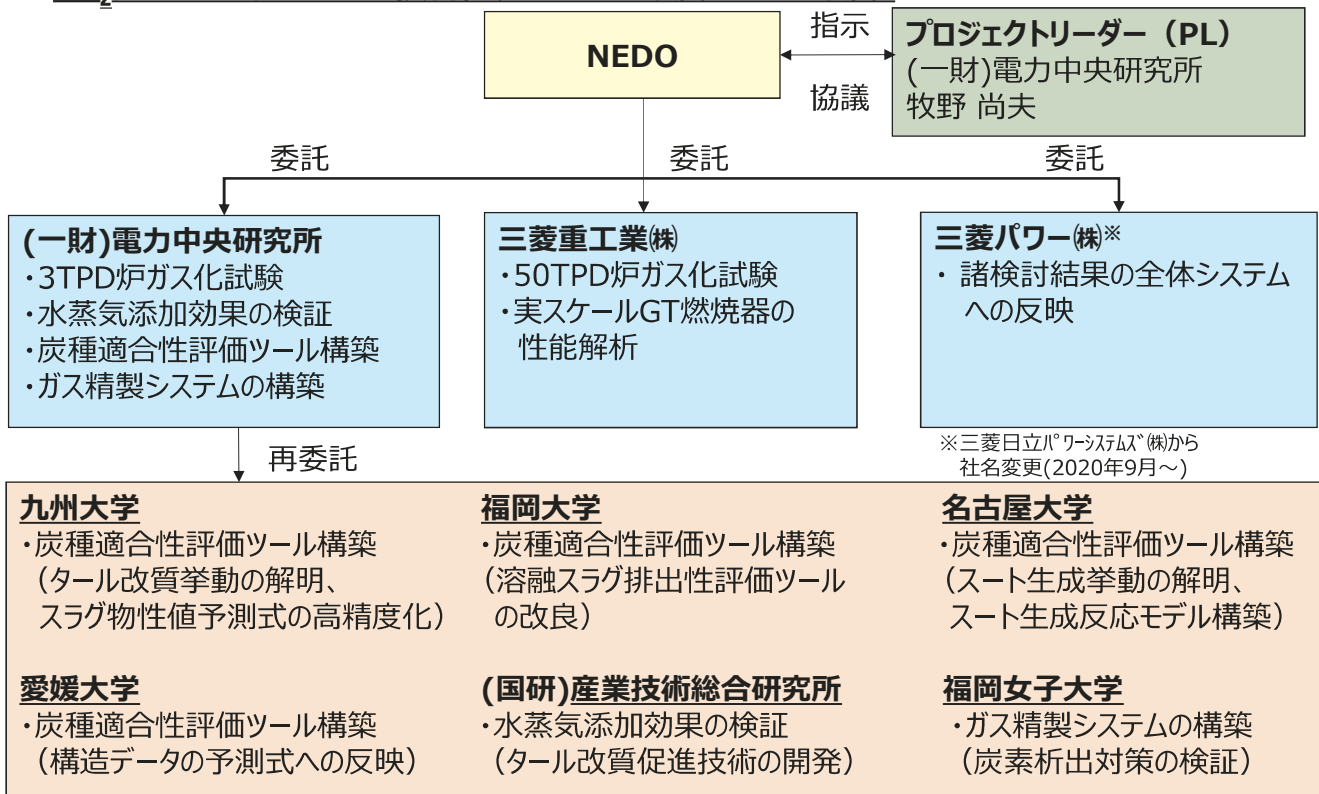


● 次世代ガス化システム技術開発 (2015~2017年度)



◆ 研究開発の実施体制 (その2)

● CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC技術開発 (2018年度~2020年度)



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)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
<b>①O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立</b> a) 50TPD炉ガス化試験による検討	・50TPD炉を用いた炭種変化試験を実施する。また、水蒸気添加によるデータを取得する。 ・取得データを解析してO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 吹きガス化炉設計指針をとりまとめる。	・O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化試験を行い、石炭性状に応じてガス化炉酸素比等を調整することで、複数の炭種に対しガス化特性(ガス組成、発熱量、スラグ排出性)を評価した。また、水蒸気添加時のデータを取得した。 ・50TPD炉にて取得したデータを基に、従来にないO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 吹きガス化炉設計指針をとりまとめる予定。	△ (2021年2月達成予定)
b) 3TPD炉ガス化試験による検討	・3TPD炉を用いたCO <sub>2</sub> 濃度変化試験を行う。 ・水蒸気ガス化反応促進技術を加えた相乗効果を確認する。	・3TPD炉でO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化試験を行い、CO <sub>2</sub> 濃度増加によりガス化反応が促進されることを明らかにした。 ・3TPD炉のO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化試験で水蒸気を添加することにより、ガス化反応が一層促進することを確認する予定。	△ (2020年12月達成予定)
<b>②水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証</b> a) 3TPD炉およびリダクタ炉による水蒸気添加効果の検証	・3TPD炉による水蒸気添加ガス化試験を行い、ガス化性能やスラグ排出性を評価する。 ・0.1TPD規模のリダクタ炉を用いた試験により、水蒸気添加ガス化時のタール生成挙動を評価する。	・3TPD炉で複数炭種に対して水蒸気添加ガス化試験を行い、スラグの安定排出性を確保しながら、冷ガス効率を向上できる条件を明らかにした。 ・リダクタ炉を用いて水蒸気添加ガス化を想定した試験を行い、生成ガス中タール濃度のガス化条件による違いを明らかとする予定。	△ (2021年2月達成予定)
b) 数値解析による水蒸気添加方法の適正化	・商用規模ガス化炉内数値解析技術を整備し、商用機ガス化炉における水蒸気添加方法の最適化を検討し、実現可能な冷ガス効率を見積もる。	・3TPD炉の三次元数値解析結果を前述②a)の水蒸気添加ガス化試験結果と比較することにより、これまでに改良を進めてきたガス化炉内三次元解析技術の妥当性を確認した。 ・商用規模ガス化炉を対象とした三次元数値解析により、水蒸気混合状況や生成ガス組成などを把握し、適切な水蒸気投入条件の設定により、高い冷ガス効率が見積もれることを確認した。	○
c) 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	・残留タールの低減を図るため、接触改質反応が効果的に進む反応条件を基礎的な実験により明らかにする。	・水蒸気やCO <sub>2</sub> によるガス化条件、および複数の温度・圧力条件の反応実験を行い、チャー(未燃炭素粒子)の存在により、重質タールと軽質タールがともに低減することを明らかにし、この接触改質効果を予測することが可能となった。	○

○達成、△達成見込み、×未達

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)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
<b>③炭種適合性評価ツールの構築</b> a) 数値解析によるガス化炉内現象の解析精度向上	・O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 吹きガス化炉内数値解析について、評価可能な炭種を拡大する。 ・O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化と水蒸気添加の組合せによる相乗効果を検討可能な数値解析コードを構築する。	・O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> 吹きガス化炉を想定した高温高圧下に適用可能なチャーガス化反応速度データを拡充し、数値解析コードに組み込み、瀝青炭から褐炭におよぶ炭種について、ガス化炉内現象(組成、流速、温度の炉内分布等)を踏まえた炭種適合性評価を可能とした。 ・O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化と水蒸気添加の組合せによる相乗効果をガス化炉内数値解析により確認する予定。	△ (2021年2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	・スラグ排出性評価ツールの解析精度向上を図るとともに、物性予測式の予測精度向上と適用炭種拡大を図る。	・組成調整した模擬スラグを含む高温熔融スラグの物性実測値を蓄積することにより、適用炭種拡大と予測精度向上を図った。一方で、灰の主要元素組成から物性を予測する経験式を構築し、評価ツールに組込んだ。 ・排出性が比較的近い複数スラグの評価を想定し、両者の違いを明示できる手法を提案し、スラグ排出性評価ツールの解析精度向上を図った。	○
<b>④乾式ガス精製システムの構築</b> a) 50TPD炉ガス化ガスによる検討	・50TPD炉に乾式酸性ガス除去装置を設置し、性能評価試験を行う。	・50TPD炉に併設した乾式酸性ガス除去装置の長時間運転(最長67.5時間)を実施し、実石炭ガス化ガスをを用いた乾式ハロゲン化物除去プロセスおよび乾式脱硫プロセスの性能を把握した。 ・乾式脱硫プロセスのサイクル運転時の炭素析出に関し、ハニカム脱硫剤の改良ならびにプラントでの対策として模擬燃焼排ガスを添加した場合の効果を評価した。 ・乾式酸性ガス除去装置を解体し、付着物等を調べて生成ガス中不純物に関する知見を得る予定。	△ (2021年2月達成予定)
b) 3TPD炉ガス化ガスおよび基礎試験装置による検討	・3TPD炉において高圧脱硫試験設備を用いた性能評価試験を行う。	・高CO濃度条件乾式ガス精製評価装置による石炭ガス化模擬ガス試験や3TPD炉抽気ガス試験から、乾式ハロゲン化物除去および乾式脱硫の両プロセスの基本性能を把握した。 ・プロセスの信頼性の観点から、サイクル数が増加した場合の硫黄収支や、高い圧力条件での炭素析出抑制効果などを評価した。 ・脱硫サイクル運転時の再生条件変化に伴う硫黄収支などを調べ、乾式酸性ガス除去プロセスの性能データを拡充する予定。	△ (2021年2月達成予定)
c) 炭素析出対策の検証	・構築した炭素析出対策について、速度論的な視点からの効果検証を行う。	・速度論的な観点から、炭素の析出機構について考察し、鉄の還元によって促進される炭素析出に対して、本システムに組込んだ対策が有効に機能する要因を明らかにした。	○

○達成、△達成見込み、×未達

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)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
⑤システム全体検討 a) 単一バーナ基礎燃焼試験による課題の抽出	・炭種やガス化条件の変化を想定した排気循環燃焼試験データを取得し、本システムの課題抽出に資する。	・実機ガス化炉の炭種変化などを想定して燃料ガス組成を変えた排気循環燃焼試験を行い、燃料中NH <sub>3</sub> から生成するNO <sub>x</sub> の濃度の排気循環による影響を予測可能とした。さらに、既存脱硝装置の適用によって回収CO <sub>2</sub> の一般的な仕様基準を満たすことを明らかとした。 ・燃料ガス組成を変える燃焼試験を行い、循環ガス中CO濃度が回収CO <sub>2</sub> の仕様基準を満たす当量比を把握し、実機で仕様を満たせることを明らかとした。 ・水蒸気投入を想定した試験データを拡充し、課題抽出に資する予定。	△ (2021年2月達成予定)
b) 実スケールGT燃焼器の性能解析	・1/3スケールモデルでの基礎燃焼試験結果とCFD解析により実機スケール燃焼器の性能を評価する。	・CFD解析技術を200MW規模の実スケール燃焼器へのスケールアップ性能解析へと展開し、炭種を変化させた際の燃焼器出口のガス温度分布、ガス組成、燃焼器メタル温度を予測し、燃料の噴射角度やスワラの旋回角度、耐熱コーティング(TBC)などの対策により開発目標を満足することを確認した。 ・炭種変化において、燃焼器出口CO濃度の低減が可能な最適形状を決定し、設計指針に反映する予定。	△ (2021年2月達成予定)
c) 諸検討結果の全体システムへの反映	・送電端効率42%HHVを達成可能なシステムを構築する。 ・システムにおける不純物低減対策技術の検討を実施する。	・各要素機器の設定条件の妥当性を確認して「現状技術で実現可能なシステム」を構築した。さらに、後述⑤d)において、詳細に送電端効率を検討する「開発要素を含むシステム」の成立性についての評価を行った。 ・システムにおける不純物低減対策技術に関する情報を収集し、本システムの構成検討に反映する予定。	△ (2021年2月達成予定)
d) クローズドIGCCの性能および発電コスト試算	・クローズドIGCCシステムに水蒸気添加ガス化促進技術を適用した際の効率向上効果(0.5%程度)を確認する。	・前述③a)によるガス化炉内三次元数値解析結果や前述⑤c)などの成果を反映し、2030年代の商用化を想定した「開発要素を含むシステム」を対象に、送電端効率が目標の42%HHVを上回ることを確認し、その発電コストを評価した。 ・水蒸気添加ガス化技術を適用した際の効率向上効果を確認する予定。	△ (2021年2月達成予定)
e) 次世代ガス化システムのシステム検討	・商用規模水蒸気添加IGCCシステムの送電端効率を試算するとともに、発電コストを評価する。	・水蒸気添加ガス化IGCCを対象に、前述②b)のガス化炉内三次元数値解析結果などを反映した効率解析を行い、水蒸気添加により効率が向上する見通しを得た。また、熱効率の向上が発電コストに及ぼす影響を評価した。	○

○達成、△達成見込み、×未達

3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

◆成果の普及 (その1)

➤ 研究成果の発信

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文	4	5	5	3	5	1	23
研究発表・講演	16	14	18	27	20	2	97
受賞実績	3	2	0	0	2	0	7

※2020年8月末現在

◆ 成果の普及 (その2)

➤ 主な受賞実績

■ 2019年度 日本エネルギー学会 進歩賞(技術部門)

「高効率・低環境負荷IGCC 用乾式ガス精製システムの開発」  
電力中央研究所

■ 2019年度 日本機械学会 動力エネルギーシステム部門 優秀講演表彰

「3t/日石炭ガス化研究炉を対象とした数値解析－水蒸気添加  
ガス化の特性評価－」  
梅津宏紀(電中研)

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

➤ 出願特許の状況

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	1	1	4	4	0	0	10

※2020年8月末現在

➤ 主な出願特許

出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名称	発明者
一般財団法人 電力中央研究 所	特願2019-030900	国内	2019/2/22	出願	不純物除去装置、 乾式ガス精製設 備及び石炭ガス 化複合発電設備	小林 誠 中嶋 朗
三菱重工業株 式会社	特願2019-068331	国内	2019/3/29	出願	燃焼器、燃焼器 システム、及び ガスタービンシ ステム	瀧口 智志 中尾 光宏



## 概要

	最終更新日	2020年10月2日	
プロジェクト名	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／ ⑤CO <sub>2</sub> 回収型次世代IGCC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 青戸 冬樹 (2020年10月現在) 環境部 PM 足立 啓 (2016年4月～2019年3月) 環境部 PM 細田 兼次 (2015年8月～2016年3月)		
0. 事業の概要	<p>クローズドIGCC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>の約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。また、次世代ガス化システムは、冷ガス効率及び送電端効率の向上を目指す。CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの実現に向けては、2008年度から2014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。</p> <p>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。</p> <p>CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの開発、水蒸気を添加した次世代ガス化システム及び両技術の相乗効果確認を実施する。とりわけ相乗効果については、既存のIGCCへ両要素技術の適用性についても効果を検証する。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>エネルギー基本計画においては、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。石炭は、今後とも世界的に需要が拡大し、世界の一次エネルギーに占める割合が高くなると見込まれているが、他の化石燃料と比べ燃焼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、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>そこで本事業では、「CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCC」の要素技術開発、「次世代ガス化システム」の基盤技術開発、および、両技術を組み合わせた「CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCC」の相乗効果の確認を実施する。</p>		

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>最終目標（2020年度）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCについては、2019年度までに送電端効率42%（高位発熱量基準）を見通すための要素技術を確立する。</li> <li>・次世代ガス化システムについては、2018年度までに既存の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。</li> <li>・両技術の相乗効果として、2020年度までにCO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCの目標効率から更に0.5ポイント程度の向上の見通しを得る。</li> </ul>							
事業の計画内容	主な実施事項	2015fy	2016fy	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	
	①O <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> ガス化実証と設計指針の確立							
	②水蒸気添加による冷ガス効率向上効果の検証							
	③炭種適合性評価ツールの構築							
	④乾式ガス精製システムの構築							
	⑤システム全体検討							
事業費推移	特別会計（需給）	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	2022fy	総額
	総NEDO負担額（委託費）	382	1,627	952	504	684	285	4,434
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	環境部 青戸 冬樹						
	委託先	一般財団法人電力中央研究所（再委託先：九州大学、福岡大学、名古屋大学、愛媛大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、福岡女子大学） 三菱重工業株式会社 三菱パワー株式会社						
情勢変化への対応	<p>事業開始（2015年度）以降、下記のような情勢変化があり、本事業の早期実用化が引き続き重要な状況にある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2018年7月に閣議決定された「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。</li> </ul>							

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2019年6月に閣議決定された「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の中で、2050年までの温室効果ガスの80%排出削減の実現に向けて、石炭火力発電については商用化を前提に2030年までにCCSを導入することを検討することとしている。</li> <li>・2019年6月に経済産業省によって策定された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」の中で、CO<sub>2</sub>分離回収技術の低コスト化として、1,000円台/t-CO<sub>2</sub>を2030年のターゲットとしている。</li> <li>・2020年7月3日、梶山経済産業大臣は、非効率な石炭火力のフェードアウトや再エネの主力電源化を目指していく上で、より実効性のある新たな仕組み導入の検討を指示した。</li> <li>・2020年7月9日、第47回経協インフラ戦略会議においては、相手国から要請があった場合は、USC以上であって我が国の最先端技術を活用した環境性能がトップクラスの石炭火力発電の導入を支援することとしている。</li> </ul>	
評価に関する事項	中間評価	2017年度 中間評価
	事後評価	2020年度 前倒し事後評価
3. 研究開発成果について	<p>最終目標（2020年度）の達成状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・CO<sub>2</sub>回収型クローズドIGCCについては、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化実証と設計指針の確立、乾式ガス精製システムの構築等を実施し、諸検討結果による全体システムの最適化を行い、送電端効率42%を達成する見通しを得た。</li> <li>・次世代ガス化システムについては、水蒸気添加ガス化試験及び各種検討結果により、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た。</li> <li>・クローズドIGCCに水蒸気添加ガス化を組合せた際の相乗効果を明らかにするため、その送電端効率の評価を進めている。</li> </ul>	
	投稿論文	23件
	特許	10件
	その他の外部発表（プレス発表等）	研究発表・講演97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>本事業（フェイズ2）において、O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化、水蒸気添加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、次フェイズにおける石炭ガス化一貫システムの開発が可能となった。</p> <p>フェイズ2におけるO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>ガス化、水蒸気添加ガス化、乾式ガス精製等の成果は、産業用ガス化炉やポリジェネレーションシステムとして展開することで、早期の実用化が期待できる。</p> <p>フェイズ3では、数百TPD石炭ガス化一貫システムによる検証試験後に、乾式ガス精製の従来型IGCCへの適用を目指す。</p> <p>フェイズ4では、2000TPD級の実証機の商用転用を機に、CO<sub>2</sub>回収型次世代IGCCの大型商用機の導入を目指す。</p>	

	<p>2010 2020 2030 2040</p> <p>フェイズ4 (2000TPD 試運転試験後、商用運用) ▼商用運転 大型商用機導入</p> <p>フェイズ3-2 (数百TPD石炭ガス化一貫システム)</p> <p>フェイズ3-1 (小型槽CLO-STDGT) CCS市場動向を 睨みながら判断</p> <p>水蒸気 添加ガス化</p> <p>フェイズ2 (50TPD炉) CCS市場動向を 睨みながら判断</p> <p>現在 ▲</p> <p>フェイズ1 (3TPD小型炉) 2008~2014年度実施済</p> <p>乾式ガス精製の 従来型IGCC への適用</p> <p>国内外CCS プロジェクト へ展開</p> <p>開発技術の Oxy-fuel IGFC への拡張</p> <p>酸素燃焼 CLO-STDGT への適用</p> <p>SNG合成等の 産業用ガス化炉 として展開</p> <p>ホリネレーションシステム (発電と化学品の併産) として展開</p> <p>O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>吹きガス化炉は、 生成ガスにN<sub>2</sub>がほとんど混入しないため、 産業用ガス化炉としても高性能と期待される</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2016年1月 制定
	変更履歴	2016年4月、9月、2017年2月、5月、6月、2018年2月、7月、9月、2019年1月、7月、2020年2月、7月 改訂（研究開発の実施体制、具体的研究内容、達成目標、研究開発スケジュール表等の追加、修正）

