

二酸化炭素回収技術実用化研究事業（プロジェクト）  
技術評価結果報告書（中間評価）

平成30年2月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成29年5月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「二酸化炭素回収技術実用化研究事業（プロジェクト）」は、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして期待されているCCS（二酸化炭素回収・貯留）の実用化の推進に資するべく、CCSの実施に要するコストの6割以上を占めるCO<sub>2</sub>の分離・回収に係るコストを大幅に低減しうる革新的な技術の実用化研究を実施するため、平成27年度より実施しているものである。

なお、平成29年度からは、事業名をCO<sub>2</sub>分離回収技術の研究開発事業（プロジェクト）と変更の上、事業を継続中である。

今般、省外の有識者からなる二酸化炭素回収技術実用化研究事業（プロジェクト）中間評価検討会（座長：川上 浩良 首都大学東京 都市環境学部教授）における検討の結果とまとめられた、「二酸化炭素回収技術実用化研究事業（プロジェクト）技術評価結果報告書（中間評価）」の原案について、産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（座長：小林 直人 早稲田大学研究戦略センター副所長・研究院副研究院長 教授）において、審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成30年2月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

## 産業構造審議会産業技術環境分科会

### 研究開発・イノベーション小委員会 評価ワーキンググループ

#### 委員名簿

|    |        |                                         |
|----|--------|-----------------------------------------|
| 座長 | 小林 直人  | 早稲田大学研究戦略センター副所長・研究院副研究院長<br>教授         |
|    | 大島 まり  | 東京大学大学院情報学環教授<br>東京大学生産技術研究所教授          |
|    | 亀井 信一  | 株式会社三菱総合研究所研究理事                         |
|    | 齊藤 栄子  | 三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社<br>政策研究事業本部主任研究員 |
|    | 高橋 真木子 | 金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント<br>研究科教授         |
|    | 津川 若子  | 東京農工大学大学院工学研究院准教授                       |
|    | 西尾 好司  | 株式会社富士通総研経済研究所上席主任研究員                   |
|    | 浜田 恵美子 | 日本ガイシ株式会社 取締役                           |
|    | 森 俊介   | 東京理科大学工学部経営工学科教授                        |

(敬称略、座長除き五十音順)

# 「二酸化炭素回収技術実用化研究事業」

## 研究開発プロジェクト

### 中間評価検討会

#### 委員名簿

|    |       |                          |
|----|-------|--------------------------|
| 座長 | 川上 浩良 | 首都大学東京 都市環境学部 教授         |
|    | 梅田 健司 | 電気事業連合会 技術開発部長           |
|    | 金子 憲治 | 株式会社日経BPクリーンテック研究所 主任研究員 |
|    | 加納 博文 | 千葉大学 大学院理学研究科 理学部 教授     |
|    | 芝尾 芳昭 | イノベーションマネジメント 代表取締役      |

(敬称略、座長除き五十音順)

# 二酸化炭素回収技術実用化研究事業

## 技術評価に係る省内関係者

### 【中間時評価時】

(平成29年度)

産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携室長 松村 亘 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 竹上 嗣郎

### 【事前評価時】

(平成26年度)

産業技術環境局 環境政策課 環境調和産業・技術室長 永澤 剛 (事業担当室長)

大臣官房参事官 (イノベーション推進担当)

産業技術環境局 研究開発課 技術評価室長 福田 敦史

# 二酸化炭素回収技術実用化研究事業

## 中間評価の審議経過

### 【中間評価】

#### ◆「二酸化炭素回収技術実用化研究事業」評価検討会

第1回評価検討会（平成29年10月4日）

- ・事業の概要について
- ・評価の進め方について

第2回評価検討会（平成29年11月29日）

- ・技術評価結果報告書（中間評価）について

### 【事前評価】

#### ◆産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ（平成26年8月19日）

- ・技術評価書（事前評価）について

## 目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ

委員名簿

二酸化炭素回収技術実用化研究事業 中間評価検討会 委員名簿

二酸化炭素回収技術実用化研究事業 技術評価に係る省内関係者

二酸化炭素回収技術実用化研究事業 中間（終了時）評価の審議経過

目次

|                                                                 | ページ |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| I. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業（プロジェクト）概要 .....                             | 1   |
| A：二酸化炭素回収技術実用化研究事業（先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業）技術評価結果報告書（中間評価） ..... | 3   |
| 1. 事業アウトカム .....                                                | 5   |
| 2. 研究開発内容及び事業アウトプット .....                                       | 7   |
| 3. 当省（国）が実施することの必要性 .....                                       | 10  |
| 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ .....                                  | 10  |
| 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等 .....                                      | 12  |
| 6. 費用対効果 .....                                                  | 14  |
| B：二酸化炭素回収技術実用化研究事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）技術評価結果報告書（中間評価） ..... | 16  |
| 1. 事業アウトカム .....                                                | 18  |
| 2. 研究開発内容及び事業アウトプット .....                                       | 19  |
| 3. 当省（国）が実施することの必要性 .....                                       | 22  |
| 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ .....                                  | 23  |
| 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等 .....                                      | 25  |
| 6. 費用対効果 .....                                                  | 29  |
| II. 外部有識者（評価検討会等）の評価 .....                                      | 30  |
| A. 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業 .....                                 | 30  |
| 1. 事業アウトカムの妥当性 .....                                            | 30  |
| 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性 .....                                   | 31  |
| 3. 当省（国）が実施することの必要性 .....                                       | 33  |
| 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性 .....                              | 34  |
| 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性 .....                                  | 35  |
| 6. 費用対効果の妥当性 .....                                              | 36  |
| 7. 総合評価 .....                                                   | 37  |
| 8. 今後の研究開発の方向等に関する提言 .....                                      | 38  |
| B. 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業 .....                                 | 41  |
| 1. 事業アウトカムの妥当性 .....                                            | 41  |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性.....         | 42 |
| 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性.....    | 45 |
| 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性 .....       | 46 |
| 6. 費用対効果の妥当性.....                    | 47 |
| 7. 総合評価 .....                        | 48 |
| 8. 今後の研究開発の方向等に関する提言.....            | 49 |
| Ⅲ. 評点法による評価結果 .....                  | 51 |
| A. 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業.....       | 51 |
| B. 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業.....       | 52 |
| Ⅳ. 評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等..... | 53 |





## I. 二酸化炭素回収技術実用化研究事業（プロジェクト）概要

### 全体概要

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| プロジェクト名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 二酸化炭素回収技術実用化研究事業                                                                                                       |
| 行政事業レビューとの関係                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 平成 26 年行政レビューシート 事業番号 新 27-0054（研究開発事業に係る技術評価書（事前評価）、平成 27 年度行政事業レビューシート 事業番号 新 27-0040、平成 28 年度 行政事業レビューシート 事業番号 0454 |
| 上位施策名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 攻めの地球温暖化外交戦略（平成 25 年 11 月）、エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月）、科学技術イノベーション総合戦略 2015（平成 27 年 6 月 19 日）                               |
| 担当課室                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 産業技術環境局環境政策課 地球環境連携室                                                                                                   |
| <p><u>プロジェクトの目的・概要</u></p> <p>二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon dioxide Capture and Storage）は、工場や発電所等から排出される CO<sub>2</sub> を大気放散する前に回収し、地下へ圧入・貯留する技術で、温室効果ガスの大気中への排出量削減効果が大きいこと等から、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして世界的に期待されている。国際エネルギー機関（IEA；International Energy Agency）が公表した Energy Technology Perspective 2015 では、2℃目標を達成するための CO<sub>2</sub> 削減量において、個々の気候変動対策技術の寄与する割合のうち、CCS 技術が 13%を占めることが見込まれていることから、様々な二酸化炭素削減技術の中でも CCS は主要な対策であるといえる。また、海外では CO<sub>2</sub> を地中に圧入する大規模プロジェクトが 17 件稼働しており（14 件が CO<sub>2</sub>-EOR、3 件が深部塩水層に貯留する CCS）、5 件が建設中となっている。</p> <p>我が国では、エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月閣議決定）において、化石燃料の効率的・安定的な利用のための環境整備に向けて、「2020 年頃の CCS 技術の実用化を目指した研究開発を進める」方針が示されるなど、CCS 技術を重要な気候変動対策の一つとして位置づけている。</p> <p>CCS 技術の実用化にあたっては、CO<sub>2</sub> の分離回収、輸送、圧入、モニタリングまでの一貫した操業技術の確立、十分な貯留能力を有した貯留地点の特定、CCS 事業コストの十分な低減が不可欠であることから、我が国では、大規模 CCS 実証事業、CO<sub>2</sub> 貯留適地の調査事業、分離回収のコスト低減及び CO<sub>2</sub> 貯留の安全性確保を目指した研究開発事業等を実施している。</p> <p>また、CCS 事業に係るコストのうち、その 6 割以上を CO<sub>2</sub> 分離回収コストが占めると試算（RITE, 2005）されており、CCS 技術の広範な展開に向けては、CO<sub>2</sub> 分離回収コストの低減が非常に重要であると言える。</p> <p>このことから、本プロジェクトにおいては、分離回収コストの低減を目的として、大気圧の燃焼排ガスに含まれる CO<sub>2</sub> の回収に有利な技術である化学吸収法（固体吸収材）に係る研究開発（<u>A：先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業</u>）と、石炭ガス化複合発電（IGCC）等で発生する高圧のガスに含まれる CO<sub>2</sub> の回収に有利な技術である膜分離法に係る研究開発（<u>B：二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業</u>）の 2 つのテーマを実施している。</p> |                                                                                                                        |

| 予算額等（委託）  |           |           |          | （単位：百万円） |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 開始年度      | 終了年度      | 中間評価時期    | 終了時評価時期  | 事業実施主体   |
| 平成 27 年度  | 平成 31 年度  | 平成 29 年度  | 平成 32 年度 |          |
| H27FY 執行額 | H28FY 執行額 | H29FY 予算額 | 総執行額     | 総事業費*    |
| 460       | 524       | 500       | 984      | 4,502    |

\* 総事業費は平成 27～29 年度の執行額と平成 30～31 年度の予算想定額の合計

**A：二酸化炭素回収技術実用化研究事業（先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業）技術評価結果報告書（中間評価）**

|              |                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| プロジェクト名      | 二酸化炭素回収技術実用化研究事業<br>(先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業)                                                                            |
| 行政事業レビューとの関係 | 平成 26 年行政レビューシート 事業番号 新 27-0054 (研究開発事業に係る技術評価書(事前評価)、平成 27 年度行政事業レビューシート 事業番号 新 27-0040、平成 28 年度 行政事業レビューシート 事業番号 0454 |
| 上位施策名        | 攻めの地球温暖化外交戦略(平成 25 年 11 月)、エネルギー基本計画(平成 26 年 4 月)、科学技術イノベーション総合戦略 2015(平成 27 年 6 月 19 日)                                |
| 担当課室         | 産業技術環境局環境政策課 地球環境連携室                                                                                                    |

プロジェクトの目的・概要

二酸化炭素回収・貯留(CCS: Carbon dioxide Capture and Storage)は、工場や発電所等から排出される CO<sub>2</sub> を大気放散する前に回収し、地下へ圧入・貯留する技術で、温室効果ガスの大気中への排出量削減効果が大きいこと等から、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして世界的に期待されている

CCS 技術の実用化にあたっては、CO<sub>2</sub> の分離回収、輸送、圧入、モニタリングまでの一貫した操業技術の確立、十分な貯留能力を有した貯留地点の特定、CCS 事業コストの十分な低減が不可欠であることから、我が国では、大規模 CCS 実証事業、CO<sub>2</sub> 貯留適地の調査事業、分離回収のコスト低減及び CO<sub>2</sub> 貯留の安全性確保を目指した研究開発事業等を実施している。

また、CCS 事業に係るコストのうち、その 6 割以上を CO<sub>2</sub> 分離回収コストが占めると試算(RITE, 2005)されており、CCS 技術の広範な展開に向けては、CO<sub>2</sub> 分離回収コストの低減が非常に重要であると言える。このことから、分離回収コストの低減を目的として、大気圧の燃焼排ガスに含まれる CO<sub>2</sub> の回収に有利な技術である化学吸収法(固体吸収材)と、石炭ガス化発電(IGCC)等で発生する高圧のガスに含まれる CO<sub>2</sub> の回収に有利な技術である膜分離法に係る研究開発を実施している。

この二つの技術のうち、固体吸収材は、アミンをシリカ等の多孔質の固体担体に担持させた先進的吸収材であり、従来のアミン吸収液と類似の CO<sub>2</sub> 吸収特性を有しながら、CO<sub>2</sub> を再生する工程で消費される顕熱や蒸発潜熱等のエネルギーを大幅に低減することが期待できる。これまでの基礎研究フェーズにおいて、CO<sub>2</sub> の脱離性能に優れ、高い CO<sub>2</sub> 回収容量を有する先進的固体吸収材を開発している。また、60℃程度での CO<sub>2</sub> の低温再生が可能になれば、未利用排熱を利用することによって CO<sub>2</sub> 分離回収エネルギーをさらに低減することが可能となる。このため本事業では、固体吸収材の実用化研究を実施し、石炭火力発電所等に適用可能な革新的 CO<sub>2</sub> 回収技術の実用化技術の確立を目指す。

| 予算額等（委託）  |           |           |          | （単位：百万円） |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 開始年度      | 終了年度      | 中間評価時期    | 終了時評価時期  | 事業実施主体   |
| 平成 27 年度  | 平成 31 年度  | 平成 29 年度  | 平成 32 年度 |          |
| H27FY 執行額 | H28FY 執行額 | H29FY 執行額 | 総執行額     | 総事業費*    |
| 220       | 315       | 330       | 535      | 3,150    |

\* 総事業費は平成 27～29 年度の執行額と平成 30～31 年度の予算想定額の合計

## 1. 事業アウトカム

| 事業アウトカム指標                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                 |                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>石炭火力発電所等から排出されるガスからの CO<sub>2</sub> 分離回収コストについて、2,000 円/t-CO<sub>2</sub> 以下を達成し得る、先進的固体吸収材を用いた CO<sub>2</sub> 分離回収技術である、固体吸収材システム<sup>*1</sup>を実用化する。</p> <p>そのため、平成 31 年度に、CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円台/t-CO<sub>2</sub> を達成し得る固体吸収材システムを確立し、実機スケールで実証可能な技術を完成させる。</p> <p>【参考】既存の化学吸収法の分離回収コスト 4,200 円/t-CO<sub>2</sub><sup>*7</sup></p> |                                                                                                                                 |                                                                                                                                |
| 指標目標値                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                 |                                                                                                                                |
| 事業開始時<br>(平成 27 年度)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 計画：ラボスケール試験 <sup>*3</sup> において CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円台/t-CO <sub>2</sub> を達成し得る、固体吸収材を開発する。                            | 実績：新規に開発したアミンを用いた固体吸収材のサンプルを合成し、ラボスケール試験において CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円台を達成し得ることを確認した <sup>*2</sup> 。                     |
| 中間評価時<br>(平成 29 年度)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 計画：ベンチスケール試験 <sup>*4</sup> において、CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円台/t-CO <sub>2</sub> を達成し得る固体吸収材システムを確立し、パイロットスケールで実証可能な技術を完成させる。 | 実績：シミュレーション結果をもとに実機スケール <sup>*6</sup> での仕様を検討し、CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円台を達成することを確認した。固体吸収材システム確立はベンチスケール試験の実施により達成の見込み。 |
| 終了時評価時<br>(平成 32 年度)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 計画：パイロットスケール試験 <sup>*5</sup> 等において、CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円台/t-CO <sub>2</sub> を達成し得る固体吸収材システムを確立し、実機スケールで実証可能な技術を完成させる。 | 実績：——                                                                                                                          |
| 目標最終年度<br>(平成 42 年(2030 年)度)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 計画：CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t-CO <sub>2</sub> 以下を達成し得る固体吸収材システムを実用化する。                                                   |                                                                                                                                |

\*1 固体吸収材システム：固体吸収材を用いて CO<sub>2</sub> 分離回収を行うための複数の機器から構成される系統。他方、プロセスとは、固体吸収材等により CO<sub>2</sub> を吸収・脱離する過程。

\*2 プロセスシミュレーションの結果を元に化学吸収液プロセスに対する評価と同条件での試算（平成 26 年度二酸化炭素回収技術高度化事業（二酸化炭素固体吸収材等研究開発事業）成果報告書、RITE）

\*3 ラボスケール試験：実験室レベル（CO<sub>2</sub> 処理量：数 kg-CO<sub>2</sub>/day）での試験（10 頁図 1 参照）

\*4 ベンチスケール試験：ラボスケール試験（CO<sub>2</sub> 処理量：数 kg-CO<sub>2</sub>/day）からスケールアップ（CO<sub>2</sub> 処理量：数 t-CO<sub>2</sub>/day）する試験（10 頁図 1 参照）

\*5 パイロットスケール試験：実用化試験の前段階として、ベンチスケール試験（CO<sub>2</sub> 処理量：数 t-CO<sub>2</sub>/day）からス

ケールアップ（CO<sub>2</sub> 処理量：数十 t-CO<sub>2</sub>/day）する試験。（10 頁図 1 参照）

\*6 実機スケール：実証・実用化フェーズで想定される規模（CO<sub>2</sub> 処理量：数千 t/day）

\*7 次世代火力発電に係る技術ロードマップ技術参考資料集（平成 28 年 6 月）

## 2. 研究開発内容及び事業アウトプット

### (1) 研究開発内容

本事業では、固体吸収材による CO<sub>2</sub> 回収技術の実用化研究開発フェーズとして、上記の 3 項目を検討する。

#### ① 実用プロセス開発

(材料ハンドリング・熱交換技術(移動層)の実証、評価)

#### ② 実用化のための材料最適化

(吸収材の大量合成、低コスト・高容量製造技術、耐久性等)

#### ③ 燃焼排ガス試験・経済性評価

実用規模のプラント試験設備を用いた研究開発を行うことで、分離回収コスト:2,000 円/t-CO<sub>2</sub> 以下を達成し得る石炭火力発電等に適用可能な先進的 CO<sub>2</sub> 吸収法の実用化技術を確立する。

具体的な実施内容は以下の通りである。

#### ① 実用プロセス開発

固体吸収材法は、従来型の化学吸収法(液体)で用いられているアミン系吸収剤をシリカ等の固体担体に担持させた材料を用いるプロセスであり、液体を用いる吸収法に比べ、エネルギー消費量の削減および設備のコンパクト化の可能性を有することから、固体吸収材を用いた最適な CO<sub>2</sub> 分離回収プロセスの構築を行う。

##### a) システム開発、低温排熱利用技術の開発

安定した CO<sub>2</sub> 吸収のため機器内の固体吸収材を均一に流動させ、吸収材の性能を最大限活用するため CO<sub>2</sub> を含むガスと吸収材の均一な反応が可能となるガス投入を確保する機器の開発を行う。また、CO<sub>2</sub> の安定的な分離回収には吸収材の安定的な搬送が不可欠であるため、搬送機構(弁、定量供給機等)の吸収材のハンドリング性能向上や、吸収材の定量供給を可能とする機器を開発する。更に、粉化した吸収材の除去等、メンテナンス性の向上を図る。

また、固体吸収材は、従来型の吸収液より低温で CO<sub>2</sub> を放散する特徴を持つことから、低温の排熱を利用できる可能性が高い。そこで、CO<sub>2</sub> 分離回収に必要な熱エネルギーを大幅に削減すべく、排熱利用技術(高効率廃蒸気活用技術、低温熱源からのヒートポンプ熱回収技術)の開発を行う。

##### b) ベンチスケール燃焼排ガス試験

国内民間企業が保有するベンチプラントにおいて、燃焼排ガスを用いて CO<sub>2</sub> 分離回収試験を実施し、固体吸収材の評価を行う。

##### c) 実ガス試験装置(パイロットスケール)の設計・製作

実ガス試験装置(パイロットスケール、数十 t/day)を用いた燃焼排ガス試験により、商業規模(数千 t/day)の CO<sub>2</sub> 分離回収設備の設計が可能となる。また、石炭火力発電所等に導入するためには、信頼性の高いエンジニアリングデータの取得が不可欠である。そこで、先進的な固体吸収材の CO<sub>2</sub> 分離回収性能、およびベンチスケール燃焼排ガス試験の結果等を考慮し、燃焼排ガスを用いた実ガス試験(パイロットスケール)装置の設計・製作を行う。

#### ② 実用化のための材料最適化

##### a) 大量合成・低コスト化検討

CCS を目的とする CO<sub>2</sub> 分離回収技術は、化学産業等で稼働しているプラントよりも一桁大きな処理量とな



ることが想定される。従って、実用化に向けて、吸収容量が大きくより低温で CO<sub>2</sub> を放散する吸収材を大量かつ低コストで合成する技術を開発する。

b) 高耐久性化

吸収材が機器内を移動することによって発生する破砕や粉化は、ランニングコストに重要な影響を与えるため、吸収材の強度・耐久性・耐摩耗性の向上を図り、温度変化、移動に対する耐久性の高い材料の検討を行う。

③ 燃焼排ガス試験・経済性評価

先進的固体吸収材の実用化に向け、燃焼排ガスを用いた実ガス試験（パイロットスケール）を実施し、長期間運転時の吸収材の性能や装置の耐久性を評価する。具体的には、以下について実施する。

a) 実ガス試験（パイロットスケール）

前述の実用プロセス開発において設計・製作した実ガス試験装置（パイロットスケール）において、石炭火力発電所における実燃焼排ガスを用いて、固体吸収材システムの実ガス試験（パイロットスケール）を行う。

b) 耐久性、共存ガス影響評価

繰り返し温度負荷に対する吸収材の耐久性や、燃焼排ガスに含まれる水分、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> の吸収材への影響等を評価し、水等が吸収材と反応する際の吸収材からの CO<sub>2</sub> 再生技術やそれらの前処理技術等を検討する。

c) コスト評価および先進的 CO<sub>2</sub> 分離回収システム確立

上記の実ガス試験から得られる吸収材の性能を考慮し、本事業で開発した固体吸収材システムを石炭火力発電所に適用した際の CO<sub>2</sub> 分離回収エネルギーおよび CO<sub>2</sub> 回収コストを精査する。以上の検討を通して、先進的吸収材法を総合的に評価し、低コスト・低エネルギー消費型の先進的 CO<sub>2</sub> 分離回収システムの技術を確立する。

## (2) 事業アウトプット

| 事業アウトプット指標                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>C02 分離回収コスト 2,000 円/t-C02 以下の固体吸収材システムの実用化を目標とし、本事業終了時には、パイロットスケール試験等において、2,000 円台/t-C02 を達成し得る固体吸収材システムを確立し、実機スケールで実証可能な技術を完成する。そのために、① 分離回収エネルギー低減のための低温再生技術を確立し、② 高性能かつ実用スケールで調達可能な材料の合成技術を確立し、③ これらの技術を用いて、既存のアミン吸収液法からの C02 分離回収エネルギーの大幅な低減を図る。分離回収エネルギーを大幅に低減し、発電プラント等の効率低下を軽減することで、既存の方式と比べ、分離回収コストの削減が可能となる。</p> |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                    |
| 指標目標値（計画及び実績）                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                    |
| 事業開始時<br>(平成 27 年度)                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 計画：<br>ラボスケール試験において、C02 分離回収エネルギー1.5 GJ/t-C02 を達成し得る固体吸収材を開発する。                                                                                    | 実績：<br>(達成) 開発した固体吸収材に対するプロセスシミュレーションで C02 分離回収エネルギー 1.5 GJ/t-C02 を達成した。                                                                                                                                                           |
| 中間評価時<br>(平成 29 年度)                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 計画：<br>① 固体ハンドリング技術および最適移動層システム（再生方式）を確立する。<br>② スケールアップ試験用材料合成技術を確立する (10m <sup>3</sup> )。<br>③ ベンチスケール試験を実施・評価し、C02 分離回収エネルギー 1.5GJ/t-C02 を達成する。 | 実績：<br>① 達成 (100%)<br>固体ハンドリング技術（吸収材供給方法、ガス導入方法）を確立し、低温蒸気で 1.5GJ/t-C02 を達成可能な再生方式を確立した。<br>② 達成 (100%)<br>実用的な 10m <sup>3</sup> 規模での固体吸収材の合成技術を確立した。<br>③ ほぼ達成<br>ラボスケールの小型連続回収試験装置で 1.5GJ/t-C02 を達成した。H29 年度後半のベンチスケール試験でも達成の見込み。 |
| 終了時評価時<br>(平成 32 年度)                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 計画：<br>① 熱交換技術、低温排熱利用技術を確立する。<br>② 低コストな材料合成技術を確立する。<br>③ 燃焼排ガスを用いたパイロットスケール（数十 t-C02/day レベル）試験の実施・評価し、C02 分離回収エネルギー                              | 実績：<br>(本事業を実施することで達成する見込み)                                                                                                                                                                                                        |

|  |                                                 |  |
|--|-------------------------------------------------|--|
|  | ギー1.0GJ/t-CO <sub>2</sub> を達成し得る固体吸収材システムを確立する。 |  |
|--|-------------------------------------------------|--|

#### <共通指標実績>

| 論文数 | 論文の被引用度数 | 特許等件数<br>(出願を含む) | 特許権の実施件数 | ライセンス<br>供与数 | 国際標準への寄与 | プロトタイプ<br>の作成 |
|-----|----------|------------------|----------|--------------|----------|---------------|
| 6   | 32       | 1                | 0        | 0            | 1        | 2             |

### 3. 当省(国)が実施することの必要性

CCSは、生産性向上、省エネルギーなどに寄与せず、利益の向上に資さない地球温暖化対策に特化した技術である。地球温暖化自体は外部不経済(ある経済主体の行動が、その費用の支払いや補償を行うことなく、他の経済主体に対して不利益や損失を及ぼすこと。例えば、公害。)であり、地球温暖化のための対策に特化した技術である CCS は、市場原理だけでは、その導入を図ることは困難である。

CCS の導入を図るためには、財政支援、税制優遇、規制など、導入を促進するための制度的仕組みが必要である。しかしながら、CCS のコストが高い現状では、財政支援、税制優遇を実施した場合には、多額の政策的経費が必要となり、規制を実施した場合には、電力、鉄鋼、セメント業界等の民間企業に過度の負担を強いることになり、我が国産業競争力の低下、産業の海外移転による産業の空洞化などを惹起する恐れがある。

このため、CCS の導入を図るためには、まずは CCS のコストを低減することが不可欠であるが、制度的仕組みがなく CCS 導入のインセンティブがない中で、民間企業にコスト低減のための研究開発の実施を期待することは困難であるから、国が主導してこれらの研究開発を実施し、コスト低減の見通しを示すことが必要である。

また、新規技術の実用化においては、各要素技術に対する信頼性、諸所の基礎的なエンジニアリングデータの確保が必要である。そのためには実用化試験データの取得が不可欠であり、このようなデータなしに企業が新技術を導入するか否かの判断をするにはリスクを伴うため、良い技術であっても採用されない可能性がある。したがって国が主導してパイロット試験レベルまでの技術開発を行う必要がある。

### 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

#### (1)アウトカムに至るまでに達成すべき中間段階の目標(技術的成果等)の具体的内容とその時期

プロジェクト終了時まで、低コスト・省エネルギー型の CO<sub>2</sub> 分離回収技術の実用性に関する検証を終え、実用化に必要な基盤的な実用化研究事業を完了する。具体的目標と時期は以下の通りである。

- ・ 2017 年度末までに 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub> を達成し、ベンチスケールでの固体吸収材システムの確立を目指す。
- ・ 2019 年度末までに、パイロットスケール試験等において、CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> を達成し得る固体吸収材システムを確立し、実機スケールで実証可能な技術の完成を目指す。
- ・ これらを経たのち、2020 年以降に実機スケールでの実証を行う(図 1)。

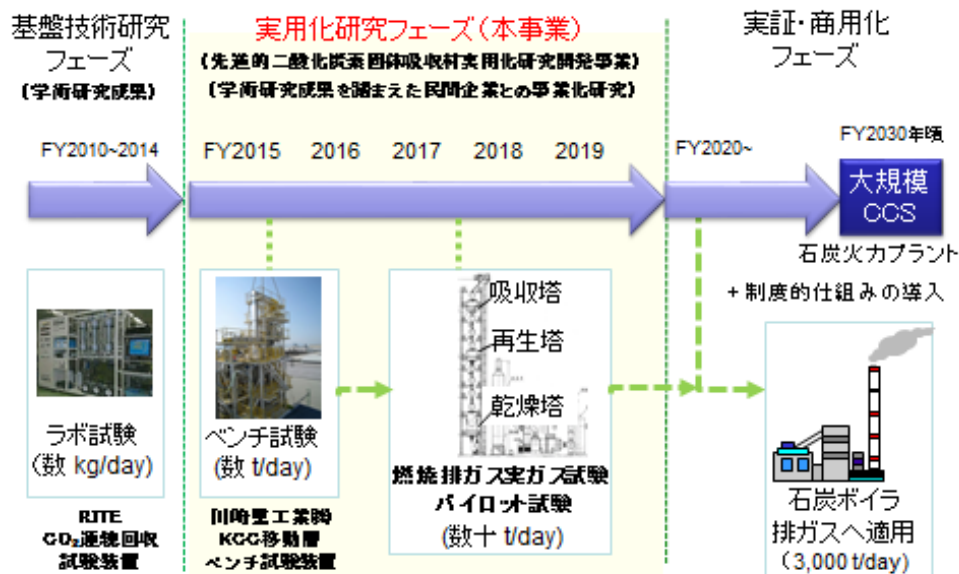


図 1 先進的固体吸収材技術開発シナリオ

## (2) アウトカムに至るまでの戦略

### a) アウトカムに至るまでのスケジュール

本事業終了後、発電所における実機スケールでの実証試験を経て、2020 年台に制度的な仕組みの導入等が行われれば、本格的に CCS の導入が進むことが期待される。また、小規模スケールでの CO<sub>2</sub> 回収(有効利用分野)においては、本事業終了後、大規模適用に先行して実用化することが想定される。

### b) 知財管理取り扱い

特許権等の帰属特許法を踏まえ、原則として発明者(研究者)主義としつつ、発明者の所属企業・機関の「職務発明規定」に準拠して機関帰属とする。

共同発明に係る権利持分比率を決める場合は、原則として、発明に対する貢献度(寄与率)で特定するものとする。

シナジー効果を確保する観点から、当該プロジェクトにおいて発生した知財については、原則としてプロジェクト内は非独占実施とする。

ただし、製品化、実用化に向けて(a)特許の一括管理(共有化)、(b)クロスライセンス、(c)独占的实施等による方が有効と考えられる場合等、慎重に検討を行ったうえで、決定、採用するものとする。

### c) 実証や国際標準化

実証に関しては、本事業終了後、石炭火力発電所等における大規模実証を経て、制度的仕組みの導入等により、本格導入が進むものと想定される。

国際標準化に関しては、ISO/TC265 において、CCS に関する標準化が進められている。特に、回収に関する WG については、我が国が、WG コンビナ(主査)と事務局を務めており、回収技術の国際標準を主導している。本事業を実施することにより得られたデータや記録等の成果については、技術パッケージ及びマニュアルとして整理する。それらをもとに、国際標準化の際には ISO/TC265 国際規格のシード文書としての活用や、これらを活かした国際規格の積極的な提案が図れるようにするとともに、日本企業の産業競争力強化に資するよう努める。

d) 性能や安全基準の策定

本事業を実施することにより得られたデータや操業記録等をもとに、技術の性能指標や操業における安全基準を抽出・整理する。これにより、関連業界における安全性基準の策定が進むことを見込んでいる。

さらに、これらを国際規格にも反映するよう努める。

(3) 成果とユーザーの段階的イメージ・仮説

実用化研究終了後の主な導入先は大規模 CO2 排出源であり、火力発電所のほか、産業利用として、製鉄所、セメント工場、石油化学プラント等があげられる。したがって、ユーザーとしては、電力事業者、鉄鋼産業、設備製作に関してエンジニアリングメーカー等があげられる。

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

5-1 研究開発計画

本事業は、公募による選定審査手続きを経て、公益財団法人地球環境産業技術研究機構が経済産業省からの委託契約を基に以下のスケジュール（図2）で実施している。

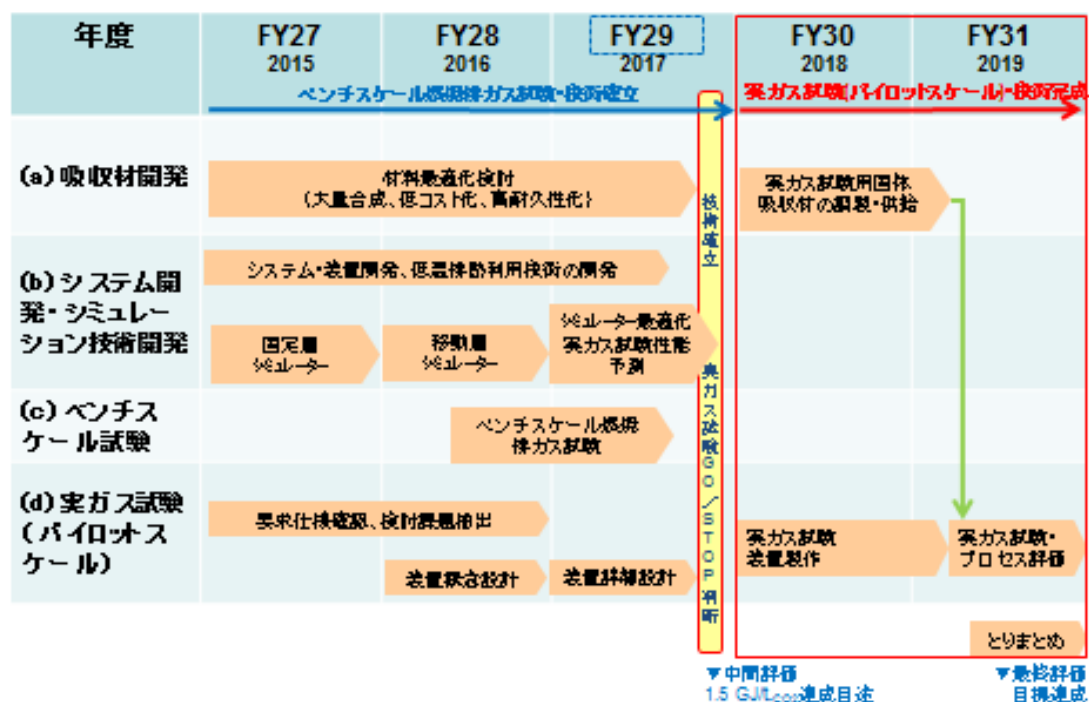


図2 事業の年次展開予定

## 5-2 研究開発の実施、マネジメント体制

図3の研究開発実施体制に示すように、経済産業省から公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)への委託研究である。プロジェクトリーダーを選任して、プロジェクト全体のとりまとめを行うとともに、方針の提言、研究開発の進捗管理を行っている。

材料技術開発、実用プロセス開発、実ガス試験については、それぞれ技術的知見を有するRITE、民間企業(川崎重工業株式会社)が研究開発を実施している。CO<sub>2</sub>回収設備のユーザーとなる電力会社からの協力を得ながら研究を進めており、今後、石炭火力発電所等からの燃焼排ガススケールアップ試験の計画・準備を進める。

また、外部の学識経験者等から構成される有識者委員会を設置し、研究実施内容について評価・助言をいただき、計画を適宜見直ししながら進めている。

委託元である経済産業省においては、研究開発成果等を踏まえ、事業の変更、中止の判断を行う。以上の実施体制を戦略的に構築することにより、有効かつ効率的な研究開発を実施している。

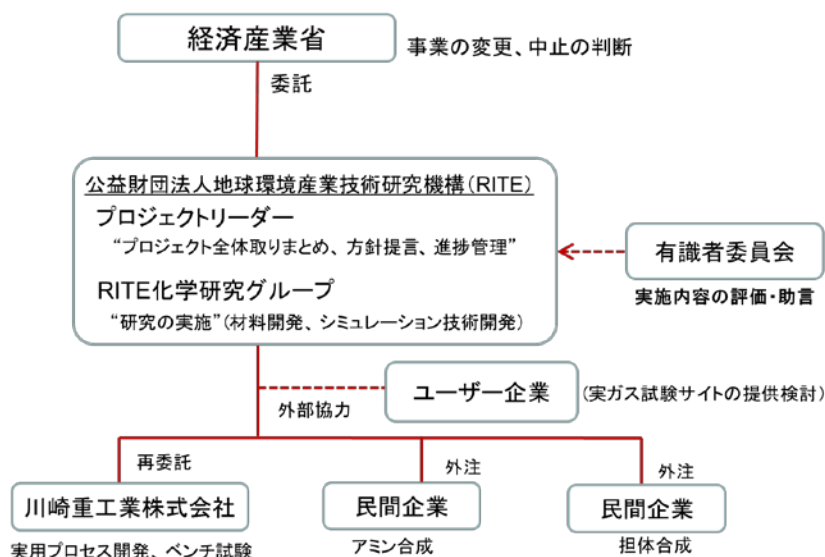


図3 研究開発の実施、マネジメント体制

## 5-3 「国民との科学・技術対話」の推進

本事業の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明することを目的として、以下の活動を実施した。

①シンポジウムの開催：RITEがこれまで推進してきた低炭素社会実現に向けての温暖化対策シナリオ提案、CO<sub>2</sub>分離回収技術、CO<sub>2</sub>地中貯留技術、バイオリファイナリー技術に関する研究・開発の成果と今後の展望について、世界の最新動向・日本の現状を踏まえて研究活動報告を実施した。

・革新的環境技術シンポジウム2015～今後の低炭素社会の実現を目指して～

平成27年12月18日、東京：伊藤謝恩ホール、主催：RITE

・革新的環境技術シンポジウム2016～エネルギー・環境技術のイノベーションによるゼロエミッション社会の構築～

平成 28 年 12 月 7 日、東京：伊藤謝恩ホール、主催：RITE

②大学院大学における研究・教育活動：RITE 化学研究グループは国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学の物質創成科学研究科において連携研究室（環境適応物質学研究室）を担当し、温暖化対策技術に関する講義と配属学生の研究指導を実施している。講義（先端物質科学特論）では、研究目的、内容等、研究成果の講演や受講者との対話を行うとともに、配属学生の修士論文、博士論文指導を通じて技術の理解を深める活動を実施した。

#### 5－4 資金配分

年度ごとの資金配分を以下の＜資金配分表＞に示す。

平成 27 および 28 年度は基盤技術研究フェーズで開発した固体吸収材をベンチスケール試験規模で安価に大規模に合成するための技術開発に資金を重点的に配分した。また、平成 28 年度からベンチスケール試験を開始しており、実用プロセス開発・燃焼排ガス試験への資金配分を徐々に増加させている。また、平成 30 年度以降はベンチ試験と並行して、実ガス試験（パイロットスケール）の準備を始めるため、さらに実用プロセス開発・燃焼排ガス試験への資金配分を増加させる予定である。

＜資金配分表＞（単位：百万円）

| 年度 平成              | 27  | 28  | 29  | 30～31 | 合計  |
|--------------------|-----|-----|-----|-------|-----|
| 実用化のための材料最適化（材料開発） | 200 | 196 | 168 |       | 564 |
| 実用プロセス開発・燃焼排ガス試験   | 20  | 119 | 162 |       | 301 |
| 合計                 | 220 | 315 | 330 |       | 865 |

#### 5－5 社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応

本事業開始後の平成 27 年 12 月のパリ協定採択を境に、先進国が責任を果たす上では、CCS の着実な実施、普及がますます重要となったと言える。発電部門では、CO<sub>2</sub> 排出量に最も大きく寄与する石炭火力発電への依存を縮小する方向性が謳われる一方、発展途上国のみでなく、我が国を含めた先進国でも、依然、石炭使用は続くものと予想される。このような情勢の中、本事業では、石炭火力発電所からの低コスト CO<sub>2</sub> 回収技術の確立を最重要課題として、RITE、川崎重工業株式会社、関西電力株式会社、3 社協力体制を構築し、実ガス試験（パイロットスケール）の実施場所として国内の石炭火力発電所を選定した（平成 29 年 9 月、プレスリリース）。さらに、今後の CCS 実施先に広く対応すべく、他の排出源（製鉄所、セメント工場、ボイラ等）への適用性も検討しつつ開発を進めている。

#### 6. 費用対効果

我が国の帯水層への CO<sub>2</sub> 貯留可能量は、全国貯留層賦存量調査（平成 17 年、RITE）によると、カテゴリー A（背斜構造）の基礎試錐データがあるもので約 52 億トン程度、全体では 1,461 億トンと推定されている。現状で約 4,200 円/t-CO<sub>2</sub> の分離回収技術が 2,000 円台/t-CO<sub>2</sub> になれば、トン CO<sub>2</sub>

あたり 1,200～2,200 円の便益があり、カテゴリーA 帯水層可能量 52 億トンの CO2 貯留に適用した場合に、約 6 兆 2 千億円～11 兆 4 千億円程度の便益が得られることになる。

このうち火力発電所の寄与を 25%程度と考えても、約 1 兆 6 千億円～2 兆 9 千億円程度の便益が得られることになる。

本事業の成果によって CO2 処理費用を低減する効果は莫大なものであり、本事業は研究開発費を大きく上回る十分な費用対効果を有するものと考えられる。



**B：二酸化炭素回収技術実用化研究事業（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）技術評価結果報告書（中間評価）**

|              |                                                                                                                                 |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| プロジェクト名      | 二酸化炭素回収技術実用化研究事業<br>（二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業）                                                                                    |
| 行政事業レビューとの関係 | 平成 26 年行政レビューシート 事業番号 新 27-0054（研究開発事業に係る技術評価書（事前評価））、<br>平成 27 年度行政事業レビューシート 事業番号 新 27-0040、<br>平成 28 年度 行政事業レビューシート 事業番号 0454 |
| 上位施策名        | 攻めの地球温暖化外交戦略（平成 25 年 11 月）、エネルギー基本計画（平成 26 年 4 月）、科学技術イノベーション総合戦略 2015（平成 27 年 6 月 19 日）                                        |
| 担当課室         | 産業技術環境局 環境政策課 地球環境連携室                                                                                                           |

プロジェクトの目的・概要

二酸化炭素回収・貯留（CCS: Carbon dioxide Capture and Storage）は、工場や発電所等から排出される CO<sub>2</sub> を大気放散する前に回収し、地下へ圧入・貯留する技術で、温室効果ガスの大気中への排出量削減効果が大きいこと等から、地球温暖化対策の重要な選択肢の一つとして世界的に期待されている。

CCS 技術の実用化にあたっては、CO<sub>2</sub> の分離回収、輸送、圧入、モニタリングまでの一貫した操業技術の確立、十分な貯留能力を有した貯留地点の特定、CCS 事業コストの十分な低減が不可欠であることから、我が国では、大規模 CCS 実証事業、CO<sub>2</sub> 貯留適地の調査事業、分離回収のコスト低減及び CO<sub>2</sub> 貯留の安全性確保を目指した研究開発事業等を実施している。

また、CCS 事業に係るコストのうち、その 6 割程度を CO<sub>2</sub> 分離回収コストが占めると試算(RITE, 2005)されており、CCS 技術の広範な展開に向けては、CO<sub>2</sub> 分離回収コストの低減が非常に重要であると言える。このことから、分離回収コストの低減を目的として、大気圧の燃焼排ガスに含まれる CO<sub>2</sub> の回収に有利な技術である化学吸収法（固体吸収材）と、石炭ガス化複合発電（IGCC）等で発生する高圧のガスに含まれる CO<sub>2</sub> の回収に有利な技術である膜分離法に係る研究開発を実施している。

この二つの技術のうち、膜分離法は、圧力差によって CO<sub>2</sub> を透過・分離するため、特に圧力を有するガス源からの CO<sub>2</sub> 分離において、他の分離法に比べ低コストでの分離が可能となることから、主に IGCC への適用が期待されている。本事業では、膜分離法の実用化に向けて、従来技術の約 3 分の 1 以下の 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> 以下で、圧力を有するガス源である IGCC から CO<sub>2</sub> を分離・回収する技術の実用化研究を行う。

| 予算額等（委託）  |           |           |           | （単位：百万円）         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| 開始年度      | 終了年度      | 中間評価時期    | 終了時評価時期   | 事業実施主体           |
| 平成 2 7 年度 | 平成 3 1 年度 | 平成 2 9 年度 | 平成 3 2 年度 | 次世代型膜モジュール技術研究組合 |
| H27FY 執行額 | H28FY 執行額 | H29FY 執行額 | 総執行額      | 総事業費*            |
| 240       | 209       | 170       | 449       | 1352             |

\* 総事業費は平成 27～29 年度の執行額と平成 30～31 年度の予算想定額の合計

## 1. 事業アウトカム

| 事業アウトカム指標                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                           |                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CO <sub>2</sub> 分離・回収コスト 1,500 円/t-CO <sub>2</sub> 以下を達成する膜モジュール <sup>*3</sup> を用いた CO <sub>2</sub> 膜分離システム <sup>*4</sup> を確立し、実用化すべく、平成 31 年度までに、実用化段階（数百万 t-CO <sub>2</sub> /年規模を想定）で CO <sub>2</sub> 分離・回収コスト 1,500 円/t-CO <sub>2</sub> 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント <sup>*2</sup> を開発する。 |                                                                                                                                           |                                                                                                                  |
| 指標目標値                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                           |                                                                                                                  |
| 事業開始時（平成 27 年度）                                                                                                                                                                                                                                                                            | 計画：<br>模擬ガス試験において、CO <sub>2</sub> 分離回収コスト 1,500 円/t-CO <sub>2</sub> を達成し得る膜分離システムを実現する単膜 <sup>*1</sup> を開発する。                             | 実績：目標達成度 100%<br>CO <sub>2</sub> 分離・回収コスト 1,500 円/t-CO <sub>2</sub> 以下を達成するために設定した分離性能をラボ試験レベルで実現した。             |
| 中間評価時（平成 29 年度）                                                                                                                                                                                                                                                                            | 計画：<br>量産化を念頭においた連続製膜を行い、模擬ガス試験において、CO <sub>2</sub> 分離・回収コスト 2,100 円/t-CO <sub>2</sub> 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント用単膜 <sup>*6</sup> を開発する。 | 実績：目標達成度 100%<br>連続製膜処方 <sup>*5</sup> により作製した単膜を用いて、CO <sub>2</sub> 分離・回収コスト目標を達成した（1,790 円/t-CO <sub>2</sub> ）。 |
| 終了時評価時（平成 32 年度）                                                                                                                                                                                                                                                                           | 計画：<br>実ガス試験において、CO <sub>2</sub> 分離・回収コスト 1,500 円/t-CO <sub>2</sub> 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメントを開発する。                                      | 実績：－                                                                                                             |
| 目標最終年度<br>（平成 42（2030 年度頃）                                                                                                                                                                                                                                                                 | 計画：CO <sub>2</sub> 分離・回収コスト 1,500 円/t-CO <sub>2</sub> 以下を達成する膜分離システムを確立し、実用化する。                                                           |                                                                                                                  |

\*1 単膜：ラボスケールの平膜（膜面積：1.2～58cm<sup>2</sup>程度）（図 4 参照）

\*2 膜エレメント：大面積の膜を用いた構造体で、膜とその支持体および流路材などの部材を一体化したもの（図 5 参照）

\*3 膜モジュール：膜エレメントとそれを収納する容器（ハウジング）を組み合わせたもの。（図 6 参照）

\*4 膜分離システム：膜モジュールを用いて CO<sub>2</sub> 分離回収を行うための複数の機器から構成される系統。

\*5 連続製膜処方：大面積膜の連続製膜（基材を連続的に搬送し、連続的に製膜溶液を塗布して乾燥させる製膜方法で、本プロジェクトでは塗布幅 320 mm、塗布長さ約 20m を検討。塗布長さは 100m 以上も可能）のための製膜溶液調製や製膜等に関する手順。均一で膜欠陥の無い大面積膜を得るためには、連続製膜レシピ処方の確立が重要な技術課題である。本プロジェクト中で検討を進め、処方を決定した。

\*6 膜エレメント用単膜：連続製膜処方により作製したラボスケールの平膜（膜面積：約 6m<sup>2</sup>）。



①単膜 (1.2cm<sup>2</sup>)

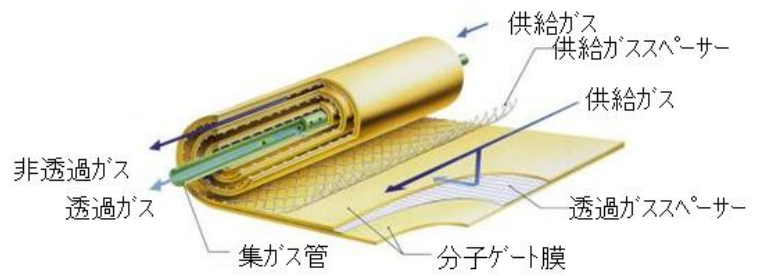


②単膜 (58cm<sup>2</sup>)

図4 単膜イメージ



①膜エレメント  
(左 2inch、右 4inch、L200mm)



②膜エレメント概念図

図5 膜エレメントイメージ



①膜エレメントを組み込んだ  
ステンレス製ハウジング



②ハウジング中に組み込んだ膜エレメントのイメージ  
(透明なアクリル製ハウジングを使用)

図6 膜モジュールイメージ

## 2. 研究開発内容及び事業アウトプット

### (1) 研究開発内容

本事業「二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究事業」では、前身の「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」（平成 22 年度～26 年度）で開発した膜素材や膜分離システムを基礎として、実用化に向けて IGCC プロセスからの排出ガス（実ガス）を用いた実ガス試験を実施し、分離膜の性能、耐久性等に関する技術課題の抽出と解決を行う。併せて、耐圧性、耐乾性（湿度依存性）、耐久性、耐不純物性等のプロセス適合性についても検討を進め、分離・回収コスト 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> 以下を実現する膜エレメントを開発し、膜分離システムで実証可能な技術確立を行う。

①「実機膜モジュールの実用化研究」では、実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術確立すると共に、IGCC プロセスからの排ガスと同成分を含むガス（模擬ガス）を用いたプロセス適合性に関する試験を行い検討を進め、実機膜モジュールの実用化のための研究開発を行う。

②「実ガス試験による実用化研究」では、これまでに開発した膜素材や膜分離システムの実用化に向け、実ガス試験により実用化研究を行い、膜エレメントの性能、耐久性等に関する技術課題の抽出と解決を行う。

③「経済性評価・取りまとめ」では、模擬ガス、実ガス試験結果を用いた実機と同等の操業条件でのシミュレーション等により、膜モジュール及びその周辺技術（不純物の前処理、排気処理、水蒸気導入方法等）から構成される実機での CO<sub>2</sub> 分離膜システムの検討を行い、併せて、これらの経済性評価を行う。

(2) 事業アウトプット

| 事業アウトプット指標                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>分離・回収コスト 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> 以下を実現する分離膜、実機膜モジュール、膜分離システムの技術を確立するには、以下の3項目を検討する必要がある。</p> <p>(1) 実機膜モジュールの実用化研究： 実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術を確立し、IGCC プロセス適用条件でのプロセス適合性（耐圧性、耐乾燥性、耐久性、耐不純物性）を付与する。</p> <p>(2) 実ガス試験による実用化研究： IGCC プロセス用の実ガス試験装置を製作・手配し、実ガス試験により膜エレメントの性能を評価し、技術課題を抽出し、解決する。</p> <p>(3) 経済性評価・取りまとめ： 模擬ガス、実ガス試験結果を用いた実機での膜分離システムを検討し、経済性評価を行う。</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 指標目標値（計画及び実績）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 事業開始時（平成 27 年度）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>計画：</p> <p>模擬ガスを用いて、単膜におけるプロセス適合性（耐圧性、耐乾燥性、耐久性、耐不純物性）を確認</p>                                                                                                                                                                                                                            | <p>実績：目標達成度 100%</p> <p>模擬ガスを用いて単膜におけるプロセス適合性を確認した。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 中間評価時（平成 29 年度）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p>計画：</p> <p>①-1. 連続製膜とエレメント化技術の課題抽出と課題の解決。</p> <p>①-2. 実用化条件で製造した膜と膜エレメントを IGCC プロセス適用条件での耐圧性、耐久性等のプロセス適合性を確認する。</p> <p>①-3. 模擬ガス試験において、分離性能低下が2年間で25%以内である膜エレメント用単膜を開発する。</p> <p>①-4. 模擬ガス試験においてCO<sub>2</sub> 分離・回収エネルギー0.9GJ/t-CO<sub>2</sub> 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメント用単膜を開発する。</p> | <p>実績：目標達成度 100%（全項目において、H28 年度末まで：計画通り、H29 年度末：達成見込み）</p> <p>①-1. 量産化を念頭において、実用化を想定した連続製膜、膜エレメント化技術の開発を進め、連続製膜の目処をつけた。</p> <p>①-2. 単膜の耐圧性、耐久性等のプロセス適合性について確認した。</p> <p>①-3. 連続製膜の単膜で分離性能低下が2年間で25%以内が期待できるデータ（600 時間の耐久性試験から推算）を取得した。</p> <p>①-4. 連続製膜処方により作製した単膜を用いて、CO<sub>2</sub> 分離・回収エネルギー目標を達成した（0.53GJ/t-CO<sub>2</sub>）。</p> |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                      |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | <p>②IGCC プロセスによる実ガス試験装置の製作、手配</p> <p>③模擬ガス試験結果に基づく経済性評価を行う</p>                                                                                                                                                                                                                                       | <p>②IGCC プロセスの種々の前処理設備を有する米国 NCCC*<sup>1</sup> における実ガス試験装置を使用するよう調整した。</p> <p>③経済性評価を行い、事業アウトカムの目標値を達成することを確認した。</p> |
| 終了時評価時(平成 32 年度) | <p>計画：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実ガス試験結果に基づき、プロセス適合性に関する要因を把握し、その課題について解決する。</li> <li>・実ガス試験において、分離性能低下が 2 年間で 25%以内である膜エレメントを開発する。</li> <li>・実ガス試験において、CO<sub>2</sub> 分離回収エネルギー 0.5GJ/t-CO<sub>2</sub> 以下を達成し得る膜分離システムを実現する膜エレメントを開発する。</li> <li>・実ガス試験結果に基づく経済性評価を行う。</li> </ul> | 実績：－                                                                                                                 |

\* NCCC: 米国 National Carbon Capture Center の略で、実ガス試験による種々の CO<sub>2</sub> 回収技術の評価を実施

#### <共通指標実績>

| 論文数 | 論文の被引用度数 | 特許等件数<br>(出願を含む) | 特許権の実施件数 | ライセンス<br>供与数 | 国際標準への寄与 | プロトタイプ<br>の作成 |
|-----|----------|------------------|----------|--------------|----------|---------------|
| 1   | －        | 12               | 0        | 0            | 1        | 0             |

### 3. 当省(国)が実施することの必要性

CCS は、生産性向上、省エネルギーなどに寄与せず、利益の向上に資さない地球温暖化対策に特化した技術である。地球温暖化自体はいわゆる外部不経済（ある経済主体の行動が、その費用の支払いや補償を行うことなく、他の経済主体に対して不利益や損失を及ぼすこと。例えば、公害。）であり、地球温暖化のための対策に特化した技術である CCS は、市場原理だけでは、その導入を図ることは困難である。

CCS の導入を図るためには、財政支援、税制優遇、規制など、導入を促進するための制度的仕組みが必要である。しかしながら、CCS のコストが高い現状では、財政支援、税制優遇を実施した場合には、多額の政策的経費が必要となり、規制を実施した場合には、電力、鉄鋼、セメント業界等の民間企業に過度の負担を強いることになり、我が国産業競争力の低下、産業の海外移転による産業の空洞化などを惹起する恐れがある。

このため、CCS の導入を図るためには、まずは CCS のコストを低減することが不可欠であるが、制度的仕組みがなく CCS 導入のインセンティブがない中で、民間企業に、コスト低減のための研究開発の実施を期待することは困難であることから、国が主導してこれらの研究開発を実施し、コスト低減の見通しを示すことが必要である。

また、新規技術の実用化においては、各要素技術に対する信頼性、諸所の基礎的なエンジニアリングデータの確保が必要である。そのためには実ガスを用いた実用化試験データの取得が不可欠であり、このようなデータなしに企業が新技術を導入するか否かの判断をするにはリスクを伴うため、良い技術であっても採用されない可能性がある。したがって国が主導して実ガス試験レベルまでの技術開発を行う必要がある。

#### 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

##### (1) アウトカムに至るまでの戦略

##### (a) アウトカムに至るまでのスケジュール



図7 二酸化炭素分離膜モジュール技術開発シナリオ

IGCC の本格的な稼働は既存の石炭火力発電所のリプレースの時期に行われると考えられている。したがって、本事業終了後には、設置面積が少なく、メンテナンスが容易という特徴を活かし、実用化に向けて実機スケールでの実証試験が行われ、2020 年代に制度的な仕組みの導入等が行われれば、本格的に CCS の導入が進むことが期待される。



平成 27 年度からの 5 年間の計画で進めている二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究事業の後、実証フェーズにおいて、膜モジュールシステムとしての検証試験を行い、CO<sub>2</sub> 分離膜モジュールシステムを組み込んだ IGCC プロセスとして完成させて、事業アウトカムを達成したい。

#### (b) 知財管理の取扱い

- ・ 特許権等の帰属特許法を踏まえ、原則として発明者（研究者）主義としつつ、発明者の所属企業・機関の「職務発明規定」に準拠して機関帰属とする。※

- ・ 共同発明に係る権利持分比率を決める場合は、原則として、発明に対する貢献度（寄与率）で特定するものとする。※

- ・ シナジー効果を確保する観点から、当該プロジェクトにおいて発生した知財については、原則としてプロジェクト内は非独占実施とする。※

※ただし、製品化、実用化に向けて(a)特許の一括管理（共有化）、(b)クロスライセンス、(c)独占的实施等による方が有効と考えられる場合等、慎重に検討を行ったうえで、決定、採用するものとする。

#### (c) 実証や国際標準化

実証に関しては、本事業終了後、石炭火力発電所等における大規模実証を経て、CCS の制度的仕組みの導入により、本格導入が進むものと想定される。

国際標準化に関しては、ISO/TC265 において、CCS に関する標準化が進められている。特に、回収に関する WG については、我が国が、WG コンビーナ（主査）と事務局を務めており、回収技術の国際標準を主導している。本事業を実施することにより得られたデータや記録等の成果については、技術パッケージ及びマニュアルとして整理する。それらをもとに、国際標準化の際には ISO/TC265 国際規格のシード文書としての活用や、これらを活かした国際規格の積極的な提案が図れるようにするとともに、日本の企業の産業競争力強化に資するよう努める。

#### (d) 性能や安全基準の策定

本事業を実施することにより得られたデータや操業記録等をもとに、技術の性能指標や操業における安全基準を抽出・整理する。これにより、関連業界における安全性基準の策定が進むことを見込んでいる。さらに、これらを国際規格にも反映するよう努める。

### （２）成果とユーザーの段階的イメージ・仮説

実用化研究終了後の主な導入先は IGCC 発電所であり、IGFC（石炭ガス化燃料電池複合発電）等の新規技術の開発にも利用できる。したがって、ユーザーとしては、電力事業者、設備製作に関してエンジニアリングメーカー等があげられる。

## 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

### 5-1 研究開発計画

本事業は、公募による選定審査手続きを経て、次世代型膜モジュール技術研究組合が経済産業省からの委託契約を基に実施している。

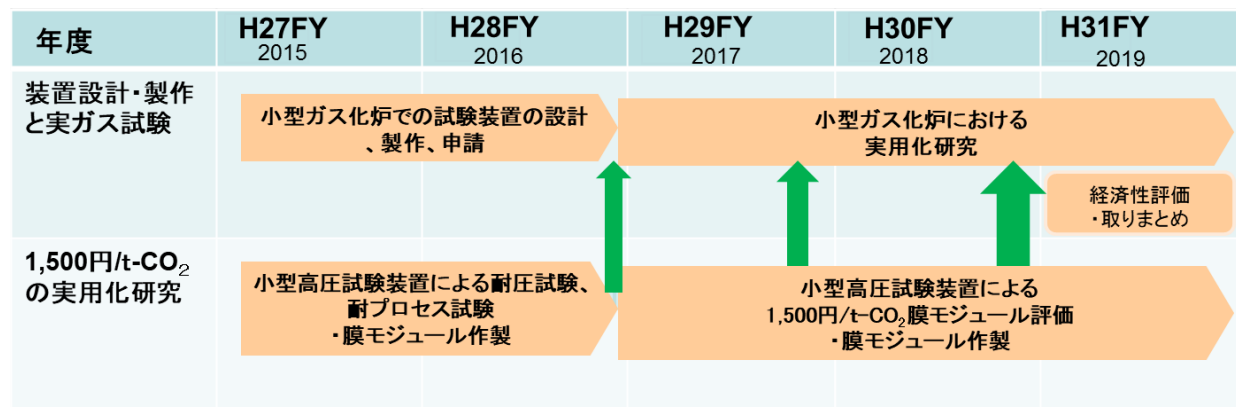


図8 事業の年次展開予定（事前評価時）

事前評価時点でのスケジュール（図8）において、装置設計・製作と実ガス試験では、既存の実ガス試験サイトで行うこと、1,500円/t-CO<sub>2</sub>の実用化研究では、実用化を想定した連続製膜と膜エレメント化技術開発を先行して行う研究開発スケジュールへ変更した（図9）。

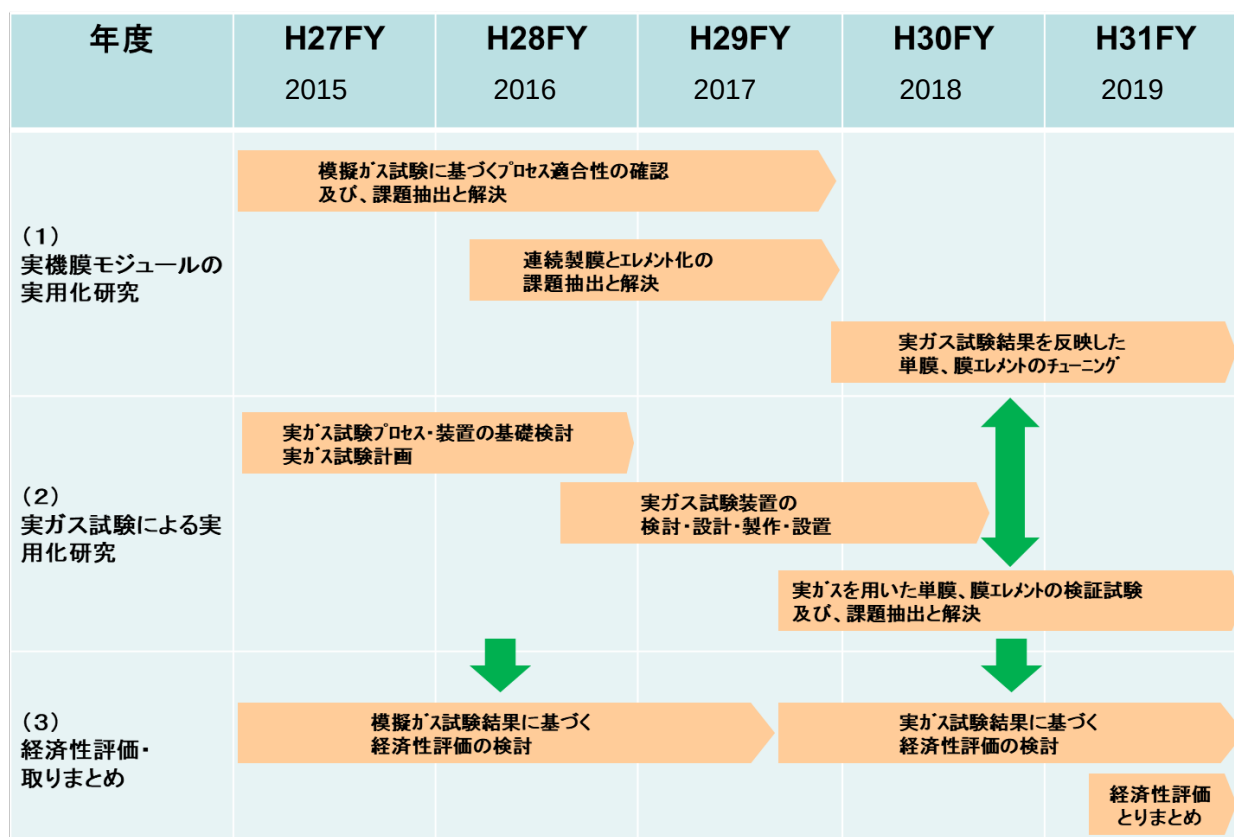


図9 事業の年次展開予定（現在）

## 5-2 研究開発の実施体制・運営

プロジェクトリーダーの指示に基づき、技術部が主催する定例技術会議にて、各研究室の進捗を管理するとともに、その成果を融合して、更なる開発を進めて行く上で、関係者が情報共有し、一体となって研究遂行する。なお、IGCC とのプロセス接合に関しては、電源開発(株)の協力を得た。

更に、2 回程度、外部の有識者の参加する研究推進委員会を開催することにより、研究開発の進捗、成果について、客観的な意見提言、必要な指導、支援を受けることで、プロジェクト進捗を管理してきた。

平成 23 年 2 月に、CO<sub>2</sub> 回収型石炭ガス化複合発電（IGCC-CCS）で用いる二酸化炭素分離膜モジュールの実用化を推進する目的で、分子ゲート機能 CO<sub>2</sub> 分離膜の基盤技術を有し、膜素材を担当する（公財）地球環境産業技術研究機構と(株)クラレ、分離膜モジュールを担当する日東電工(株)、エンジニアリングを担当する新日鉄住金エンジニアリング(株)からなる次世代型膜モジュール技術研究組合を設立し、素材から膜モジュール、システムまでの一貫した研究体制を構築した。平成 23 年度より平成 26 年度までの 4 年の期間、経済産業省から受託した「二酸化炭素分離膜モジュール研究開発事業」を実施した。

### （1）平成 27 年度

平成 27 年度の実施体制図は以下の通りである。

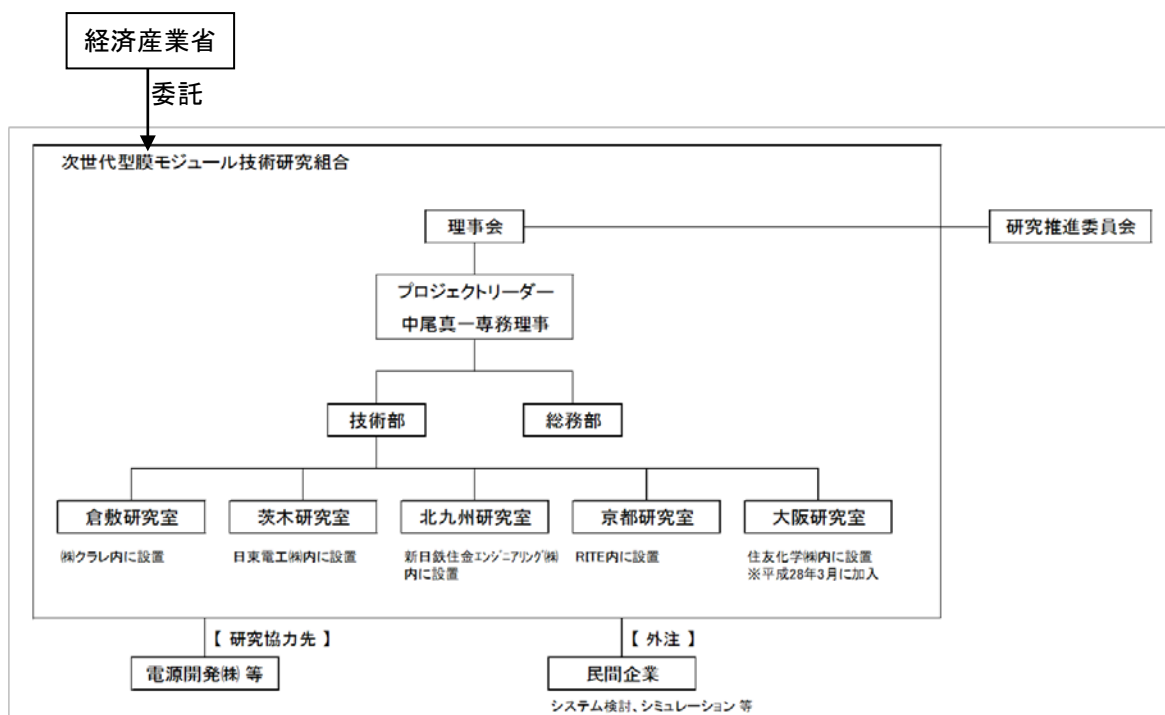


図 10 研究開発の実施、マネジメント体制（平成 27 年度）

（公財）地球環境産業技術研究機構（RITE）〔京都研究室〕、(株)クラレ〔倉敷研究室〕、日東電工(株)〔茨木研究室〕、新日鉄住金エンジニアリング(株)〔北九州研究室〕の 4 社で構成する「次世代型膜モジュール技術研究組合」にて実施した。

また、研究推進委員会を 2 回実施し、研究推進委員の先生に、第 1 回は計画の妥当性、第 2 回は

研究開発の成果について確認していただき、今後の計画等につき指導を受けた。

平成 28 年 3 月には、CO<sub>2</sub> 分離膜モジュールの基盤技術を有する住友化学(株)が次世代型膜モジュール技術研究組合に参加し、実ガス試験に向けたモジュール開発を加速する体制を整え、より実ガス試験の実施に向けた体制へと変革させている。同年 3 月末には、(株)クラレ、日東電工(株)、新日鉄住金エンジニアリング(株)は、基礎開発段階の当初の役割を果たし、その成果を次世代型膜モジュール技術研究組合へ技術移転した上で、同技術研究組合を脱退した。

## (2) 平成 28 年度

平成 28 年度の実施体制図は以下の通りである。

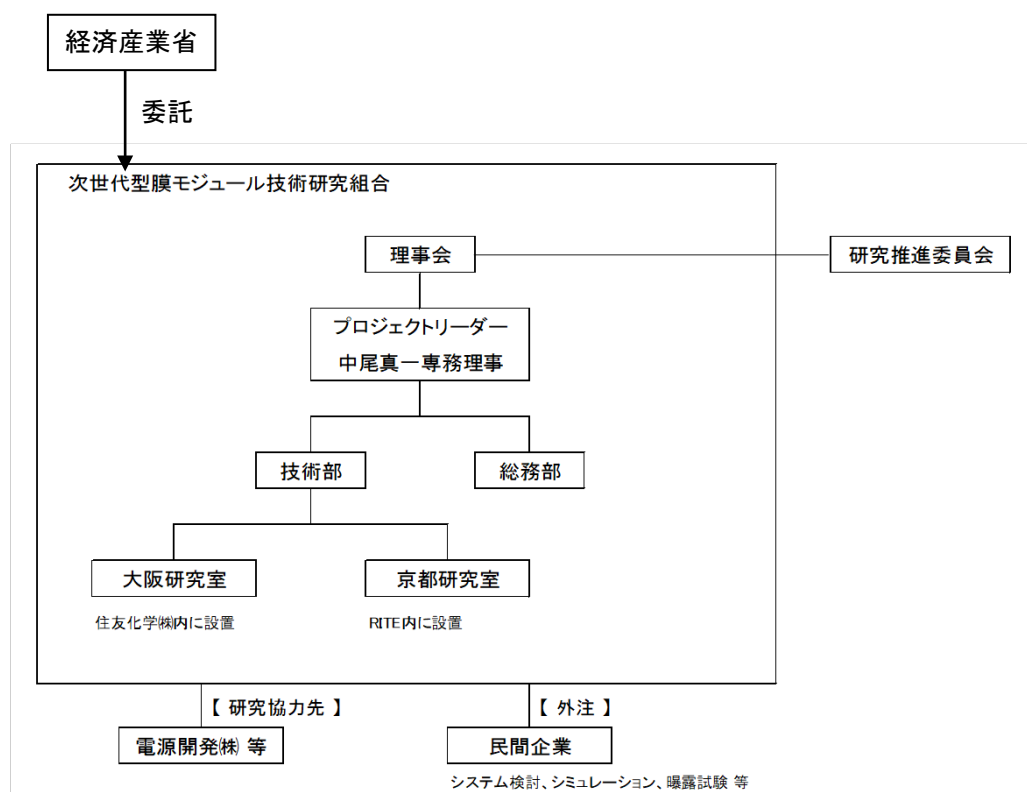


図 11 研究開発の実施、マネジメント体制（平成 28 年度以降）

RITE〔京都研究室〕、住友化学（株）〔大阪研究室〕の 2 社で構成する「次世代型膜モジュール技術研究組合」にて実施した。次世代型膜モジュール技術研究組合において、膜モジュールの量産化検討が重要な課題であるが、住友化学(株)は膜エレメント製作技術を保有しており、次世代型膜モジュール技術研究組合で開発してきた膜のエレメント化を担当することにより、開発を加速する役割を担っている。

また、研究推進委員会を、平成 27 年度と同様に年 2 回実施した。

## 5-3 「国民との科学・技術対話」の推進

CO<sub>2</sub> 分離膜技術の最近の研究開発動向や海外での開発状況全般について報告し、CO<sub>2</sub> 分離回収に関心を持つ方々に最新の情報を広く伝えることで、官民挙げた CO<sub>2</sub> 削減に関する研究開発活動の理解を得ることを目的として、「国民との科学・技術対話」に積極的に取り組み、「革新的 CO<sub>2</sub> 膜分離

技術シンポジウム」を平成 27 年度と平成 28 年度に各 1 回行った。(本事業期間中、毎年 1 回実施予定)

(1) 平成 27 年度

1. 第 5 回革新的 CO2 膜分離技術シンポジウム

副題：温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向

2. 開催内容

日 時：平成 27 年 10 月 2 日(金) 13 時～17 時

会 場：東京大学伊藤謝恩ホール

参加人数：242 名

(2) 平成 28 年度

1. 第 6 回革新的 CO2 膜分離技術シンポジウム

副題：温暖化防止に貢献する膜分離技術の最新動向

2. 開催内容

日 時：平成 29 年 1 月 23 日(月) 13 時～17 時

会 場：東京大学伊藤謝恩ホール

参加人数：201 名

#### 5-4 資金配分

実機膜モジュールの実用化研究に軸足を置いて、膜本来の耐久性を模擬ガス試験により確認し、合わせて、大量生産を目指した連続製膜と膜エレメント化技術の開発を進めた。一方、実ガス試験による実用化研究では、試験装置の設計・製作から予算に見合った既存の実ガス試験サイトで実施する方向に転換し、コストミニマム化を図った。

単位:百万円

|                   | H27FY | H28FY | 合計  |
|-------------------|-------|-------|-----|
| (1)実機膜モジュールの実用化研究 | 192   | 182   | 374 |
| (2)実ガス試験による実用化研究  | 10    | 11    | 21  |
| (3)経済性評価・取りまとめ    | 38    | 16    | 54  |
| 合計                | 240   | 209   | 449 |

#### 5-5 社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応

本事業計画当初と比較して、経済環境の変化や我が国のエネルギー構造の変化が考えられるが、今後とも、化石燃料消費による CO2 の排出は予想されるため、化石燃料の安定的な使用のためには CCS の早期実用化が不可欠である。

これに対応して、二酸化炭素分離膜モジュールの早期実用化を見据え、民間会社と(公財)地球環境産業技術研究機構が参加する次世代型膜モジュール技術研究組合、及び研究協力先として電力

会社、米国 National Carbon Capture Center (NCCC) からの研究開発体制を構築している。

CCS に係る技術開発は世界中で行われているが、分離・回収コスト削減は共通の課題となっており、この分野に膜分離技術を適用する研究は加速されてきている。

このため、国内外の技術動向を注視しており、国内外における学協会情報収集等を積極的に行っている。また、同時に、本事業で取り組んでいる革新的 CO<sub>2</sub> 膜分離技術シンポジウムでは、海外招聘者より二酸化炭素分離膜技術の研究動向や海外での開発状況について最新状況を紹介していただき、常に競合技術との比較を行い、競合技術に勝てる二酸化炭素分離膜モジュールの実用化研究を推進している。

## 6. 費用対効果

本事業は、二酸化炭素回収・貯留 (CCS) の実用化を目的とし、そのために総コストの 6 割以上を占める分離・回収コストを低減する技術を開発するものである。本事業の二酸化炭素回収技術を実用化し、発電所等の大規模発生源からの CO<sub>2</sub> 分離に本技術を実用化することで、CO<sub>2</sub> の分離に要するコストを従来の約 3 分の 1 の 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> に削減する。温暖化対策としての CCS は、それ単独では経済的価値を産み出しにくい技術であるが、これらの事業成果により、CCS の経済的障害を緩和し、CCS の実用化に向け着実に前進することができるものとする。

また、本事業のアウトカムにより、分離回収コストが現状よりも 2,500 円/t-CO<sub>2</sub> 低減出来る場合を仮定すると (現状で約 4,200 円/t-CO<sub>2</sub> の分離・回収技術が 1,000 円台/t-CO<sub>2</sub> になれば)、たとえば、50 万 kW の IGCC から回収の場合 (CO<sub>2</sub> を年間 260 万 t 回収と想定)、IGCC 1 基当たり 64 億円/年のコスト削減となる。

本事業の効果により CCS の実現性が増すばかりでなく、CCS に係る費用を低減する効果は大きなものであり、本事業は研究開発費を大きく上回る十分な費用対効果を有するものと期待される。

## Ⅱ．外部有識者（評価検討会等）の評価

### A．先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業

#### 1．事業アウトカムの妥当性

CCS の実用化に向けて、CO<sub>2</sub> の分離・回収コスト低減は、解決すべき重要な技術課題のひとつであり、CO<sub>2</sub> 分離回収コストを 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> まで下げることが、事業アウトカムとして妥当であると言える。

他の競合国に比して、事業アウトカムが早期に実用化されれば、国際的にその効果は優れたものとなり、市場の占有率も高まると考えられる。市場規模も早期に実用化に至れば大きなものとなるため、早期の実用化が望まれる。

他方、これまで目標としてきた 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> の分離・回収コスト及び実現時期について、ここ最近の再生可能エネルギーの急激なコストダウン等を考えると、再エネと比較したコスト競争力の確保という観点も重要であり、場合によっては見直しを視野に入れておくことも必要である。

#### 【肯定的所見】

・（A 委員）欧州や豪州など他の競合国に比して、事業アウトカムが早期に実用化されれば、国際的にその効果は優れたものとなる。その場合は市場の占有率も高まると考えられる。国際的優位性、市場の占有率を高めるためにも、早期の実用化が望まれる。

・（B 委員）最終的には、実用化に近づくことと推定している CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> を目標値に設定しており、2020 年までに分離回収コストを 2,000 円台/t-CO<sub>2</sub> とする「環境エネルギー技術革新計画」に沿った目標設定、並びに CO<sub>2</sub> 分離回収コストは目標値を達成済、固体吸収材システム確立は本年度後半で達成見込みと計画通りに進めており、事業アウトカムが実現した場合の問題解決に与える効果、目標値及び達成時期の適切な設定が認められるため、評価できる。

・（C 委員）CO<sub>2</sub> 分離回収コストの目標と設定した「中間評価時・2,000 円台/t-CO<sub>2</sub>」「事業終了時・2,000 円/t-CO<sub>2</sub>」は、現状のカーボンコスト水準を前提にした場合、仮にそのコストが顕在化したとしても、民間企業が自立的に「CCS 付き石炭火力」に取り組む水準ではない。とはいえ、パリ協定の締結など、今後、カーボンコストの上昇・顕在化リスクは高まっていく方向であり、技術的な実現可能性と革新性とのバランスを考えると、「2,000 円/t-CO<sub>2</sub>」は妥当な目標設定と言える。

・（D 委員）CCS 技術において CO<sub>2</sub> 分離回収コストを十分下げることが、実用化のカギになることは明白であり、その指標を最終的に 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> と設定している。これは実用化に向けた高い目標値であるが、中間評価時の経済性評価において、ラボにおけるベンチ試験やパイロットスケールにおいて得られる CO<sub>2</sub> 分離回収エネルギーの算定から十分に達成見込みが有望とされる内容であることがわかる。これは前例にないほど画期的なデータであり、今後も現在の計画に従って進めることで、目標を達成できると期待できる。

・（E 委員）2016 年 5 月 13 日に地球温暖化対策計画の閣議決定において、中期目標として 2030 年度に 2013 年度比で 26%削減、長期的目標として 2050 年までに 80%の温室効果ガスの排出削減目標が示された。一方で 2011 年の東日本大震災以降、原子力発電規制が強まり、それを補うべく火力発電の需要は長期化しており CO<sub>2</sub> 排出の問題はより深刻となってきた。我が国として国際公約として掲げたパリ協定の 2℃目標を達成するためには、大規模排出源となっている火力発電所における CO<sub>2</sub> 排出削減は避けて通れない課題であり、国としての達成すべき重要なテーマとなっている。その

目標達成において大きな障害となりえる CO<sub>2</sub> の分離・回収コストの低減は、解決すべき重要な技術課題であり、CCS の実用化を促進するための CO<sub>2</sub> 分離回収コストを 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> まで下げることが期待する事業アウトカムを達成するためにも妥当な数字であると言える。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A 委員）市場規模も早期に実用化に至れば大きなものとなるが、時間を要すると他のエネルギー（再生エネルギーなど）との競争で、必ずしも優位性が保たれるのか疑問となる。
- ・（C 委員）ここ 1～2 年の再生可能エネルギーの急激なコストダウンを考えると、将来、CO<sub>2</sub> 分離回収技術の活用を促すには、さらなる挑戦的なコスト低下目標を掲げる必要がある。海外では、3 円/kWh を切るメガソーラーの PPA（電力購入契約）が登場し、陸上・洋上風力発電でも 10 円/kWh を下回る応札例が出てきている。これまで、「再生可能エネルギーは高い」を前提に、CCS は、化石燃料による火力発電に課されるカーボンコストとの対比（削減）で、開発戦略を立ててきた。しかし、「カーボンコストのない再エネ」が石炭火力並みの低コストになりつつあることで、「CCS 付き石炭火力」をゼロエミッション電源の 1 つとしてとらえ、再エネと比較したコスト競争力の確保という観点も重要になってきたと考える。
- ・（E 委員）炭素取引価格が以前に比べ下がってきている実態がある。今後の炭素取引価格の推移を見守る必要があるが、これまで目標としてきた 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> の分離・回収エネルギーコスト、及び実現時期については、CCS の普及の経済性論理の観点から場合によっては見直すことも視野に入れておくことも必要である。

## 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

研究開発内容、事業アウトプットは明確かつその目標も適切に示されており、中間評価時においても目標が的確に達成されている。CO<sub>2</sub> 分離回収コストの大きな要素である「分離回収エネルギー」に開発目標のターゲットを絞り、まず「1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>」、最終的に「1.0GJ/t-CO<sub>2</sub>」を掲げ、個体ハンドリング技術や最適な移動層システムを確立し、未利用廃熱が活用可能な 60℃の再生温度条件で、消費エネルギー1.5GJ/t-CO<sub>2</sub> を達成したこと、実用化に向け大きく寄与する材料合成技術の確立、高耐久性能の実現を達成したことは評価に値する。また、将来のユーザーとなり得る関西電力とも連携し、スケールアップ試験に向けた検討を行っていることは、実用化に向けたステップとして大いに評価できる。

他方、今後の改善項目が明確になっているものの、最適化すべき要素の多いこともうかがわせる。しかし、平成 30 年度からは実ガス試験の装置製作が始まるスケジュールになっており、スケールアップの開発スケジュールがやや拙速になっているようにも感じる。

【肯定的所見】

- ・（A 委員）研究開発内容は明確かつその目標も適切に示されている。
- ・（B 委員）世界各国で行われている吸収液法のコスト低減の困難さを把握したうえで固体にアミンを担持する本手法を見出しており、CCS 実用化に向けて、具体的数値による目標設定、並びに個体ハンドリング技術の確立・最適移動層システムの確立、スケールアップ試験用材料合成技術の確立（10m<sup>3</sup>）、ラボレベル連続試験で CO<sub>2</sub> 分離回収エネルギー1.5GJ/t-CO<sub>2</sub> を達成しており、評価できる。
- ・（C 委員）CO<sub>2</sub> 分離回収システムのコストを決める大きな要素である「分離回収エネルギー」に開



発目標のターゲットを絞り、まず「1.5GJ/t-CO<sub>2</sub>」、最終的に「1.0GJ/t-CO<sub>2</sub>」を掲げたことは、研究開発の要素が具体化、明確化されている。加えて、海外の固体吸収材の開発動向を調査し、

「2GJ/t-CO<sub>2</sub> を達成した技術はない」ことを見出し、それを半減させる省エネ性能を目指したことは、十分な革新性を持つと評価できる。ラボスケールで目標（1.5GJ/t-CO<sub>2</sub> 以下）を達成し、ベンチスケールで 2.1GJ/t-CO<sub>2</sub> まで到達している。現在、各プロセスの改善に取り組んでおり、1.5GJ-CO<sub>2</sub> を目指すとしている。目標である 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub> の達成に向け、これからが正念場だが、スケールアップに伴う最適化に加え、固体のハンドリングという開発要素もあり、経験工学的にノウハウを蓄積していく面の多いことは理解できる。ベンチスケールで既に従来の液体アミンベースに比べ、分離回収エネルギーの半減に成功したことは、基本技術の「筋の良さ」を感じさせる。化学プラントは、一般的にスケールアップにより、熱ロスが低減する方向になることを考えれば、目標達成も期待できる。

再生温度が60度のため、復水器入口の蒸気など未利用排熱を利用できる可能性も大きく、その場合、発電効率の低下や追加的なランニングコストを伴わずに分離・回収できる道が拓ける。

また、実ガス試験に向け、すでに関西電力とも提携し、40 t-CO<sub>2</sub>/d の試験装置の設計に取りかかっていることは、実用化に向けた次のステップとして大変、評価できる。RITE による固体吸収材と KCC 移動層システムのそれぞれで国際特許を押さえており、今後、両技術を統合したエンジニアリング技術として、特許出願を予定しているとのこと。今後、開発競争が激しくなる分野だけに、早めの知財戦略は評価できる。

・（D 委員）CO<sub>2</sub> 分離回収技術の実用化に向け、問題点を明確にし、それに向け多角的に戦略を立て、優れた吸収材の開発、低エネルギーでの経済性の高い回収システムの実現に向けた努力がなされてきている。国内外の類似の研究の問題点を克服し、技術的にも経済的にも優位性を示している。適正なアウトプットの目標が示され、中間評価時における目標が的確に達成されている。それらの科学技術は論文や特許等のアウトプットとして、見える形にされている。

・（E 委員）火力発電所における未利用の排熱を利用できることは、CO<sub>2</sub> 分離回収のためのエネルギーロスによって生じる発電コストの増加を抑制することにつながり、CCS の普及においても重要な課題となっている。固体ハンドリング技術確立し、発電所において未利用となっている 60℃の再生温度条件で、消費エネルギー1.5GJ/t-CO<sub>2</sub> を達成したことは国際的な達成基準から見ても評価に値する。実用化に向けて材料合成技術の確立、高耐久性性能の実現を達成したことは、実用化の実現性に大きく寄与する成果であり評価できる。

#### 【問題あり・改善とする所見】

・（A 委員）事業アウトプット指標及び目標値が、他の競合国等と比べ適切かが必ずしも十分に示されているとは思えない。

（C 委員）ベンチスケールで 2.1GJ-CO<sub>2</sub> の実績値を、今後の最適化で 1.5GJ-CO<sub>2</sub> まで高めるとし、担持アミン種・量の最適化、蒸気流量の調整、蒸気条件の変更、塔・コンベアからの放熱低減、乾燥工程の削除など、5 項目の対応テーマを掲げている。改善項目が明確になっている半面、まだ、最適化すべき要素の多いこともうかがわせる。一方で、平成 30 年度から、実ガス試験の装置製作が始まるスケジュールになっている。スケールアップの開発スケジュールがやや拙速になっていないか、今後の開発状況を注視していきたい。

### 3. 当省(国)が実施することの必要性

CCS は CO<sub>2</sub> 削減技術として、その実用化に大きな期待が寄せられているが、CCS は追加エネルギーをかけて CO<sub>2</sub> を削減する技術であり、現時点では導入に経済的なインセンティブは働かず、民間企業による自主的な CCS 技術の確立、CCS の推進は期待できない。その中で、CCS 全コストの 6 割以上を占める CO<sub>2</sub> の分離・回収コストの大幅な低減は重要な課題であるが、長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、国が主導的に実施すべきものである。

#### 【肯定的所見】

- ・(A 委員) 外部不経済の本研究は、国主導で進めるべきである。特に多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない可能性が高い。
- ・(B 委員) CO<sub>2</sub> 分離回収分野の技術開発は重要であるが、先進的な取組であること、また、制度的仕組みがなく CCS 導入のインセンティブがない中で長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、国が主導的に実施すべきものであると考えられる。
- ・(C 委員) CCS 技術が、経済性を持つか否かは、炭素税・排出権取引など CO<sub>2</sub> 排出(カーボン)コストが顕在化し、しかもそのコストが CCS のコストよりも高くなる場合に限られる。温暖化対策のなかで、再生可能エネルギー推進を後押しした固定価格買取制度(FIT)や RPS 制度は、各国で導入が相次ぎ、世界的な市場形成では政策リスクが低減してきた。一方、本格的なカーボンコストの導入政策は、依然として不透明で、民間で自発的に CCS 技術の開発や実証に乗り出す局面になっていない。従って、国が主体的に CCS プロジェクトに関与する意義は大きい。また日本企業は、IGCC(石炭ガス化複合発電)を含めた高効率な石炭火力のプラント技術で世界をリードしている。CCS は、今後、石炭火力と組み合わせて国内外で設置が進む可能性が高く、「CCS 付き石炭火力プラント」は、官民が連携したインフラ輸出のアイテムとして有望になる。国が産業政策として民間をリードする形で実用化を進める意義がある。
- ・(D 委員) 二酸化炭素など地球温暖化ガス対策は、政策的なものであり、市場原理に基づくものではないため、国が積極的に関与して事業を進めるべきであり、必要なことである。これらの内容について他省庁と連携して国としての政策や施策に反映させ、この分野で世界をリードすることが期待される。
- ・(E 委員) 地球温暖化の影響は深刻度を増しており、2015 年 12 月に「パリ協定」が採択され、わが国も実現にむけ国際公約を果たすことが求められている。CCS は国際的にも CO<sub>2</sub> 削減の中核技術として位置付けられており、その実用化には大きな期待が寄せられている。一方で、CCS は追加エネルギーをかけて CO<sub>2</sub> を削減する技術であり、CCS の導入に経済的なインセンティブは働かず、民間企業が自主的に CCS 技術を確立し推進する合理的理由が見いだせない。その中で、CCS 実用化において全コストの 6 割以上を占める CO<sub>2</sub> の分離・回収エネルギーコストの大幅な低減は特に重要な課題であり、民間企業の自主的な推進が期待できない以上、国がリーダーシップを発揮して取り組むことは当然のことと言える。CCS の実用化には相当な費用発生が見込まれ、経済性に合わないとなると民間企業への促進は困難となる。CCS を推進するために国として財政支援や税制優遇措置を行うことは避けられず、高コストのままであるとその費用は膨大なものになってしまう。低コストの CCS 技術を確立することは国際公約の達成とともに、将来的な国の財政負担を軽減するためにも不可欠であり、

国が率先して事業を推進する意義も大きい。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・ 所見無し

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

実用化研究フェーズの 2019 年度末までのロードマップと目標設定は具体的であり、また、アウトカムの実現に向けて電力会社の協力を得て、実際の火力発電所を対象として実ガス試験を行うことも長期的な成果を考えると適切な選択であると言え評価できる。アウトカムに至るまでの戦略も示されており、小規模スケールの CO2 回収においては、大規模適用に先行して実績を積み上げて実用化の技術を確立する方向性も実践的で評価できる。

知財の取扱いについても妥当であり、国際標準化や性能や安全性基準の策定などに積極的に取り組んでいることも評価できる。ISO/TC265 の作成においては、イニシアティブをとって、日本の技術が国際的な標準となり、我が国の産業競争力強化に寄与することに期待したい。

早い時点で本技術のユーザーとなる電力会社の協力を取り付けたことは非常に良いことであるが、本技術が普及した場合の潜在的なユーザーを念頭に置き、積極的なユーザー拡大のシナリオもロードマップに描くべきと考える。

【肯定的所見】

・（A 委員）知財管理の取扱い、実証や国際標準化、性能や安全性基準の策定などに積極的に取り組んでいる。また、達成時期における目標値の達成の可能性も高い。

・（B 委員）次世代火力発電に係る技術ロードマップに、開発方針として「CO2 分離回収技術は、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」としており、当該方針に沿ったロードマップであることは評価できる。

・（C 委員）ラボ試験から、エンジニアリング会社と連携したベンチ試験（数 t/d）、電力会社と連携した実ガス試験（数十 t/d）というスケールアップを 5 年間で実施し、2020 年以降の実証・商用化、並行して制度的な仕組みの導入というロードマップを掲げている。

このスケジュールは、技術的にはかなり急いだスケジュールにも思えるが、我が国のエネルギー政策、具体的には 2030 年のベストミックス（あるべき電源構成）を議論する上で、ギリギリのタイミングとも言える。その意味で、このロードマップは評価できる。2030 年までに「CCS 付き石炭火力」が「ゼロエミッション電源」の 1 つとして、再エネ、原発とともにある程度のコスト競争力を持てば、原発に代って、CO2 を出さないベース電源として位置づけられる。想定よりも原発の再稼働が進まない場合、ゼロエミ電源（非化石電源）として掲げた 44%は、現状では、再エネで補うしかない。だが、「CCS 付き石炭火力」の実用化のめどが立てば、ベストミックスに織り込み、政策的に後押しするシナリオも考えられる。その意味では、2020 年からのエネルギー基本計画（ベストミックス）の見直しまでに、実ガス試験で成果を挙げ、ベストミックスのなかに位置付けることが望ましい。

・（D 委員）知財の取扱いは妥当である。国際標準化に関して、ぜひ ISO/TC265 の作成においてイニシアティブをとって、日本の技術を標準となるように期待したい。実用化に向けた計画は妥当であり、十分計画に従った成果を上げている。

・（E 委員）実用化研究フェーズの 2019 年度末までのロードマップと目標設定は具体的である。ま

た、アウトカムの実現に向けて電力会社の協力を得て、実際の火力発電所を対象として実ガス試験を行うことも長期的な成果を考えると適切な選択であると言え評価できる。アウトカムに至るまでの戦略も示されており、2020 年台に CCS の普及を想定したシナリオを念頭に進めており、小規模スケールの CO2 回収においては、大規模適用に先行して実績を積み上げて実用化の技術確立する方向性も実践的で評価できる。国際標準の分野においても、CO2 回収に関しては主査と事務局を務めており、国際規格への積極的な提案により我が国の技術を国際標準化に押し上げるリーダーシップを発揮しようとしていることは、わが国の産業競争力を強化に資すると言える。

#### 【問題点・改善とする所見】

- ・（A 委員）今後、本技術が普及した場合のユーザー利用の可能性が見通すことができない。
- ・（E 委員）早い時点で CCS のユーザーとなる電力会社の協力を取り付けたことは非常に良いことであるが、潜在的なユーザーを念頭に、積極的なユーザーベースの拡大のシナリオもロードマップに描いて欲しい。

#### 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制は妥当である。エンジニアリング会社、CO2 回収設備のユーザーとなり得る電力会社と連携し、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制で実施しており評価できる。

他方、実ガス試験の次の段階となる大規模実証プロジェクトでは、ファイナンスの視点からの技術的、制度的な助言を得るためにも、金融セクターの参加を促すことも必要と考える。また、今後スケールアップ等において、様々な技術課題が出てくると思われるが、オープンイノベーションの手法は非常に効果的であり、技術課題の早期解決が必要な場合は、プロジェクト体制を超えた外部の知見や技術を利用することも視野に入れて活動したほうがよいと考える。

#### 【肯定的所見】

- ・（A 委員）研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制は概ね適切であると思われる。
- ・（B 委員）実ガス試験の技術的知見を有する民間企業が参画し、CO2 回収設備のユーザーとなる電力会社の協力を得ながら、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制で実施しており、評価できる。
- ・（C 委員）ラボ試験からベンチ試験、実ガス試験のフェーズに入り、エンジニアリング会社、電力会社と連携する体制を構築したことは的を射ている。また、CCS の国際標準化を進めている ISO/TC265 の回収に関する WG において、日本が WG コンビーナ（主査）と事務局を務め、議論を主導していることは評価できる。同 WG に実例データなどを提供していくためにも、実ガス試験、そして大規模実証の実績を他国に先駆けて実施する必要がある。
- ・（D 委員）国プロとして妥当な研究開発の実施体制、マネジメント体制であり、システム開発、材料開発がうまく機能している。ユーザー企業を入れて、意見を聞くなど、実用化に向け有意義な組織となっている。
- ・（E 委員）プロジェクト体制の中に、ユーザー企業の参画を得たことは今後のプロジェクトの推進に、大きなプラスとなることであり、異なる立場から様々なフィードバックを得ることが期待できる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ａ委員）知財の取扱いについての戦略及びルールが十分に説明されたとは思えない。
- ・（Ｂ委員）知財について、特許の一括管理（共有化）、クロスライセンス、独占的实施等が有効と判断する目安のようなものがあれば、より適切と考える。
- ・（Ｃ委員）CCS が普及していく場合、ゼロエミッション電源の１つとして制度的に高い設備利用率を保証した上で、プロジェクトファナンスなど金融セクターのサポートが必要になる。実ガス試験の次の段階となる大規模実証プロジェクトでは、ファイナンスの視点からの技術的、制度的な助言を得るためにも、金融セクターの参加を促すことが必要と考える。
- ・（Ｅ委員）今後スケールアップ等において、様々な技術課題が出てくると思われるが、実現までのスピード化を考え、今回のプロジェクト体制を超えた外部の知見や技術を利用することも視野に入れて欲しい。実用化段階では、オープンイノベーションの手法は非常に効果的であり、技術課題の早期解決が必要な場合は、国内、海外を含めた外部の有効な技術を利用することも視野にいれて活動していただきたい。

6. 費用対効果の妥当性

C02 排出量削減のための制度設計など不確定要素が多いものの、削減を可能とする技術開発は必要であり、示された費用対効果が実際に適用されれば、その効果は絶大である。

他方、費用対効果は実用された時期により異なると考えられるため、再生可能エネルギーのコストと比較するなど、引き続き分析が必要である。

【肯定的所見】

- ・（Ａ委員）示された費用対効果が実際に適用されれば、その効果は絶大である。
- ・（Ｂ委員）C02 排出量削減のための制度設計など不確定要素が多いものの、削減を可能とする技術開発は必要であり、従来技術より大幅な分離回収コスト削減が期待できることから妥当である。
- ・（Ｃ委員）固体吸収方式によって回収コストが 4,200 円/t-C02 から 2,000 円/t-C02 に下がった場合、その分、カーボンコストの水準が下がっても、「CCS 付き石炭火力」の経済性が得られることになる。発電事業者にとっての費用対効果は、顕在化したカーボンコストとの差になるため、現時点で、それを議論しても大きな意味を持たないと考える。
- ・（Ｄ委員）本目的について十分な効果があり、さらに波及効果も大きいので、費用対効果としては申し分ない。
- ・（Ｅ委員）パリ協定では 2030 年までに 2013 年度の排出量 26%を削減目標に掲げ、2050 年までに 80%の温室効果ガスの排出削減を目指している。2015 年 10 月に出された環境省レポート「2050 年を見据えた 温室効果ガスの大幅削減に向けて」によれば、2050 年の目標を達成するには、CCS において約 2 億トン/年の C02 回収が必要とされている。この数字をベースに試算すると、本事業の技術成果により 1,200 円～2,200 円/t-C02 の便益を想定すると、2,400 億円/年～4,400 億円/年の効果が見込まれ、当事業の研究開発にくらべても大きな効果が見込まれる。

【問題あり・要改善とする所見】

- ・（Ａ委員）費用対効果は実用された時期により異なると考えられるため、引き続き分析が必要と思

われる。

・（C委員）これまで「CCS 付き石炭火力」は、CCS 付きでも再生可能エネルギーよりも安いという前提があったと思われる。例えば、5000 円/t-CO<sub>2</sub> のカーボンコストが顕在化した場合、仮に CCS コスト 4000 円/t-CO<sub>2</sub>（回収コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub>、貯留コスト 2,000 円/t-CO<sub>2</sub>）とした場合、CCS によって 1000 円/t-CO<sub>2</sub> の便益が得られ、導入する意味がある。だが、太陽光・風力発電の発電コストが急速に下がっており、海外では、3 円/kWh を切るメガソーラーの PPA（電力購入契約）が登場し、陸上・洋上風力発電でも 10 円/kWh を下回る応札例が出てきている。もちろん太陽光・風力は自然変動電源のため、大量導入した場合、需給バランスを維持して系統負荷を抑制するには蓄電池の併設など「平準化のコスト」がかかる。今後、「CCS 付き石炭火力」の便益を考える場合、例えば「蓄電池併設型の太陽光・風力」の発電コストよりも、どの程度安いかなど、「ゼロエミッション電源」の 1 つとしてのコスト競争力という視点も必要になってくるとと思われる。

## 7. 総合評価

外部不経済の CCS 事業においては、国が道筋をつけて事業をランディングさせる必要があるため、本事業の意義は高いと考える。CCS 実用化に向けて、コストの大部分を占める分離回収分野をターゲットとして、事業開始・中間評価・終了時評価とステップ毎に CO<sub>2</sub> 分離回収のコストや消費エネルギーの目標値を定め、中間評価時点で概ね目標を達成しており、着実な研究開発が進められている。また、エンジニアリング会社や CO<sub>2</sub> 回収設備のユーザーとなり得る電力会社と連携し、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制を構築しており、実用化を視野に入れた研究開発マネジメント体制である点も評価できる。また、本技術の成果を最大限に生かすため、導入シナリオや制度的な仕組みの導入を早く検討する必要性を感じる。

他方、国際的優位性や、市場の占有率などは事業時期に強く依存し、再エネの導入状況を視野に入れる必要も有り、実用化に向けたスピードも最重要の指標のひとつと考える。技術課題の早期解決に向けてオープンイノベーション的な手法を活用するなどし、早期の実用化を期待したい。また、わかりやすい説明を様々な形で示すなど、広く国民に理解されるような取り組みも必要と考える。

### 【肯定的所見】

・（A委員）外部不経済の CCS 事業においては、国が道筋をつけて事業をランディングさせる必要があるため、本事業の意義は高い。研究計画に沿って固体吸収材の開発は進んでおり、早期の実用化を強く望む。

・（B委員）CCS 実用化に向けて、コストの大部分を占める分離回収分野をターゲットとして事業開始、中間評価、終了時評価とステップ毎に CO<sub>2</sub> 分離回収のコストや消費エネルギーの目標値を定め、中間評価時点で概ね目標を達成しており、着実な技術開発が進められていると考えられる。

また、CO<sub>2</sub> 回収設備のユーザーとなる電力会社の協力を得ながら、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制を構築しており、実用化を視野に入れた柔軟な研究開発マネジメント体制である点も評価できる。

・（C委員）ベンチスケールで既に従来の液体アミンベースに比べ、分離回収エネルギーの半減に成功したことは、基本技術の「筋の良さ」を感じさせる。化学プラントは、一般的にスケールアップ

により、熱ロスは低減する方向になることを考えれば、目標達成も期待できる。再生温度 60 度を実現したため、復水器入口の蒸気など未利用排熱を利用できる可能性も大きく、その場合、発電効率の低下や追加的なランニングコストを伴わずに分離・回収できる道が拓ける。目標である 1.5GJ/t-CO<sub>2</sub> の達成に向け、これからが正念場だが、スケールアップに伴う最適化に加え、固体のハンドリングという開発要素もあり、経験工学的にノウハウを蓄積していく面の多いことは理解できる。

・(D 委員) CO<sub>2</sub> 分離回収エネルギーを軽減するための戦略が立てられ実現できたため、中間評価段階でのコスト目標値を十分にクリアしており、最終目標値も達成できると期待できる。再生温度を 60℃に抑えることができ、廃熱等のエネルギーを利用できる材料やシステムの開発に成功したことが成功のカギといえる。素晴らしい成果である。

・(E 委員) 本事業が予定通り研究目標を達成し推進されていることは非常に喜ばしいことである。しかし、炭素取引価格の大幅な低下など外部環境の変化も激しく、本技術の本格的な適用タイミングでは当初予想していた利用環境が想定と異なる状態も想定しうる状況にある。本技術の成果を最大限に生かすためにも外部環境の変化も視野に入れ、タイムラインから考えた導入シナリオを国としての制度的な仕組みの導入とともに早く検討する必要性を感じる。

#### 【問題あり・要改善とする所見】

・(A 委員) 国際的優位性や、市場の占有率などは事業時期に強く依存するため、早期の実用化を望む。また、他の技術、例えば再生エネルギーや水素エネルギーなどが普及し始めると、本事業の効果は限定的となる。CCS は必要な技術であることは疑いのないことなので、費用対効果からも早期の実用化を期待したい。

・(C 委員) 太陽光・風力の発電コストが急速に下がり、海外では 10 円/kWh を切る PPA（電力購入契約）例が出てきており、国内でも、今後、急速に下がっていくことが見込まれる。「CCS 付き石炭火力」は、今後、ゼロエミッション電源として、カーボンコストのない再エネとの競合も視野に入れる必要も出てくる。その意味では、最終目標である回収エネルギー「1.0GJ/t-CO<sub>2</sub>」に加え、未利用排熱を利用した追加的なランニングコスト・ゼロを目指したシステム開発が望まれる。

・(D 委員) 貯留・固定化において、広く国民に理解されるような取り組みが必要である。わかりやすい説明を様々な形で示していくと良い。

・(E 委員) 実用化研究における推進においては、スピードも最重要の指標と考え、場合によっては技術課題の解決に本プロジェクト関係者以外の協力も視野に入れた、オープンイノベーション的な手法の採用も考えて頂きたい。

#### 8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

ベンチスケールから実ガス試験（パイロットスケール）へ 10 倍程度のスケールアップを計画しているが、経験上、プラント系実証試験における 2 ケタのスケールアップはハードルが高いと認識しており、十分検討のうえ、実ガス試験の規模を計画すべき。今後、予期せぬトラブルが発生する可能性もあるが、原因を究明し、今後の実用化に向けたノウハウとして蓄積すべき。

再生可能エネルギー（特に、太陽光と風力）の発電コストが急速に低下している中、「CCS 付き

石炭火力」の存在意義を高めるには、更なるコスト低減が求められる。

CCS を進めるには、分離回収技術だけでなく貯留技術実証も早急に安全に進める必要があり、広く国民の理解を深め、貯留場所の確保を促進すべき。

ユーザー企業のニーズや運用面における課題など、実証・商用化を見越しながらプロジェクトを推進しつつ、オープンイノベーションの考え方を利用するなど本技術の潜在利用者を積極的に探す活動も行うべき。

#### 【各委員の提言】

・（A 委員）欧州や豪州なども CCS 技術の確立を目指し、大型プロジェクトが進行する中、本プロジェクトの固体吸収材が諸外国のプロジェクトに比べどの程度優れているかの比較を明らかにして頂きたい。

・（B 委員）ベンチスケールから実ガス試験（パイロットスケール）へ 10 倍程度のスケールアップを計画されているが、我々のプラント系実証試験における経験上、2 ケタのスケールアップはハードルが高いと認識しており、スケールアップの規模について十分検討のうえ、実ガス試験の規模を計画されたい。今後、実ガス試験（パイロットスケール）の段階に入るため、予期しないトラブルが発生する可能性がある。本事業の CO<sub>2</sub> 分離回収コスト、エネルギーの最終目標の達成はもとより、万一トラブルが発生した場合も、その原因をしっかりと究明し、今後の実用化に向けたノウハウとして蓄積していただきたい。CO<sub>2</sub> 分離回収分野をはじめ、CCS の技術開発は先進的な取組であるものの、CCS 導入インセンティブがない中で長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、引き続き、国が主導的に実施いただければと考える。

・（C 委員）再生可能エネルギー、なかでも太陽光と風力の発電コストが急速に低下している中、「CCS 付き石炭火力」の存在意義を高めるには、より一層の低コストが求められる。海外では、3 円/kWh を切るメガソーラーの PPA（電力購入契約）が登場し、陸上・洋上風力発電でも 10 円/kWh を下回る応札例が出てきている。平成 27 年 5 月に開催した経産省・発電コスト検証ワーキンググループの報告書では、2030 年モデルにおけるメガソーラーの発電コストを 12.7～15.6 円/kWh（政策経費含む）、陸上風力 13.6～21.5 円/kWh（同）、洋上風力 30.3～34.7 円/kWh（同）と予測したが、海外ではこれを大幅に下回る水準までコスト低減が進んでいる。国内の太陽光・風力発電も、長期的には国際水準に収斂していく可能性もある。同発電コスト検証 WG では、2030 年モデルにおける石炭火力の発電コストを 12.9 円/kWh とし、その際、カーボンコスト 4000 円程度/t-CO<sub>2</sub> を前提に、CO<sub>2</sub> 対策費 4.0 円/kWh を折り込んでいた。この CO<sub>2</sub> 対策費を CCS のコストとすれば、固体吸収材の 2,000 円/t-CO<sub>2</sub> は、この水準（12.9 円/kWh）に近いと推察できる。従って、今回の目標を達成しても、10 円/kWh を下回った太陽光・風力に対して競争力がないことになる。もっとも、自然変動電源である風力・太陽光を火力発電のように需要に応じた供給減にするためには蓄電池が必要で、その場合、kWh 当たりのコストは 2 倍近くなる。「CCS 付き石炭火力」のコスト目標は、蓄電池併設メガソーラー・風力のコストを下回る必要があり、それを目標として意識すべきと考える。ここにきて、定置型蓄電池のコストも大幅に下がっており、今後ともその価格動向などを注視していく必要がある。並行して、再生熱 60 度の特徴を生かし、未利用排熱を活用した追加的なランニングコストの発生しないシステムの実証を急ぐべきと考える。

・（D 委員）Carbon Capture の方はこの事業によって期待できる水準に達しており、現在の計画を進めることで、実用化可能と期待している。実際に CCS を進めるには、Storage 技術を早急に安全に進



める必要がある。そのためには、広く国民に貯留・固定方法の内容について理解してもらい、貯留場所の確保を促進すべきである。

・（E委員）実ガス試験をユーザー企業の協力とともに推進できることは非常に大きな意味を持つと思われる。ユーザー企業のニーズや運用面における課題など、実証・商用化を見越しながらプロジェクトを推進されていくことを期待する。新規適用先の分野は CO2 分離回収技術の幅広い利用につながるものであり、小規模であれば現在の技術の応用で早期商用化も実現できる可能性もあり、本技術のシナジ的な活用が可能となる。これもまたオープンイノベーションの考え方を利用して本技術の潜在利用者を積極的に探す活動を行って頂きたい。

#### <上記提言に係る担当課室の対処方針>

ベンチスケールから実ガス試験（パイロットスケール）へのスケールアップ規模については、慎重に検討を行う。

実ガス試験中のトラブルについては、原因究明と対策を確りを行い、また、実用化に向けたノウハウとして蓄積していく。

目標達成にとどまらず、少しでもコスト削減ができるよう、研究開発を行っていく。

CCS 技術の実用化に向け、本プロジェクトの他、「大規模 CCS 実証事業」、「貯留適地調査事業」、「安全に CCS を実施するための研究開発事業」等を着実に進めていく。

ユーザーとなり得る企業のニーズや運用面における課題を整理し、実証・商用化段階での、本技術の潜在利用者を想定し、プロジェクトを推進する。

## B. 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業

### 1. 事業アウトカムの妥当性

事業アウトカムの指標は、従来型アミン吸収液方式のコスト 4,200 円/t-CO<sub>2</sub> に比べて低減された数値目標 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> が設定され、十分に革新性があり、挑戦的な目標と言える。また、中間評価時に掲げた回収コスト 2,100 円/t-CO<sub>2</sub> という中間目標も、最終目標に至る段階的な数値目標としては妥当な水準と考える。

また、CO<sub>2</sub> 分離膜を用いた CCS は世界中で研究が進められている事業で、事業アウトカムが早期に実用化されれば、国際的なインパクトは極めて大きく、市場の占有率も高くなり、市場規模も大きなものとなることが期待される。

他方、国際的優位性、市場の占有率を高めるため早期の実用化が望まれるものの、海外では太陽光・風力発電の急速なコストダウンが進んでおり、国内外の再エネと蓄電池のコストを注視し、これまで目標としてきた 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> の分離・回収コスト及び実現時期については、場合によっては見直すことも視野に入れておくことも必要と考える。

#### 【肯定的所見】

・(A 委員) CO<sub>2</sub> 分離膜を用いた CCS は世界中で研究が進められている事業で、事業アウトカムが早期に実用化されれば、国際的なインパクトは極めて大きい。その場合は市場の占有率も高まる。当然、市場規模も早期に実用化に至れば大きなものとなるが、時間を要すると他にエネルギー（再生エネルギーなど）との競争で、必ずしも優位性が保たれなくなる可能性もある。

・(B 委員) CCS のコストの大部分を占める CO<sub>2</sub> 分離回収コストについて、従来型アミン吸収液方式のコスト 4,200 円/t-CO<sub>2</sub> に比べて低減された具体的な数値目標 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> が設定されるとともに、世界的に石炭利用の拡大が見込まれる中で、我が国が先行する IGCC 等の高効率石炭火力への適用を前提としていることから、実用化や国際競争力へ寄与する目標設定と考えられるため、評価できる。

・(C 委員) CO<sub>2</sub> 分離回収コスト 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> という事業アウトカムの指標は、今後、顕在化し得るカーボンコストを想定した場合、IGCC-CCS が経済性を持ち得るコスト水準と言えるだろう。既存の CO<sub>2</sub> 分離技術のコストと比べると十分に革新性があり、挑戦的な目標と言える。また、中間評価時に掲げた回収コスト 2,100 円/t-CO<sub>2</sub> という中間目標も、最終目標に至る段階的な数値目標としては妥当な水準と考える。

・(D 委員) IGCC 火力発電から排出される高圧 CO<sub>2</sub> の分離回収に向けた経済的なシステムの構築は重要であり、実用化のカギとなるコストの最終目標値を 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> と設定しており、この値は大変高い目標値であり、評価できる。中間評価時において、試算コストとして 1,790 円/t-CO<sub>2</sub> が得られており、順調に進んでおり、良好な状況である。

・(E 委員) 2016 年 5 月 13 日に地球温暖化対策計画の閣議決定において、中期目標として 2030 年度に 2013 年度比で 26%削減、長期的目標として 2050 年までに 80%の温室効果ガスの排出削減目標が示された。一方で 2011 年の東日本大震災以降、原子力発電規制が強まり、それを補うべく火力発電の需要は長期化しており CO<sub>2</sub> 排出の問題はより深刻となってきた。我が国として国際公約として掲げたパリ協定の 2℃目標を達成するためには、大規模排出源となっている火力発電所における CO<sub>2</sub> 排出削減は避けて通れない課題であり、国としての達成すべき重要なテーマとなっている。その目標達成において大きな障害となりえる CO<sub>2</sub> の分離・回収コストの低減は、解決すべき重要な技術

課題である。膜分離法は圧力を有するガス源からの CO<sub>2</sub> 分離の低コスト化に有力な技術であり、特に CO<sub>2</sub> の排出削減が大きな課題となる IGCC などの石炭火力に対して有効である。火力発電所における CCS の導入において、本技術により CO<sub>2</sub> 分離費用を従来の約 1/3 以下となる 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> まで下げることができれば事業アウトカムとしても大きな成果となる。

【問題あり・要改善とする所見】

・（A 委員）国際的優位性、市場の占有率を高めるためにも、早期の実用化が望まれる。国際的には IGCC 以外のいわゆる Post 型 CCS が多く、そこへのアプローチは将来的に可能なのか？あるいは他の分離膜で対応するのか。

・（C 委員）CCS を巡る新たな環境変化として、太陽光・風力発電の急速なコストダウンを意識する必要がある。海外では、3 円/kWh を切るメガソーラーの PPA（電力購入契約）が登場し、陸上・洋上風力発電でも 10 円/kWh を下回る応札例が出てきている。これまで「再生可能エネルギーは CO<sub>2</sub> を出さないが高コスト」という前提で、発電コストの安い石炭火力にカーボンコスト（CCS のコスト）を加えても競争力を維持するというイメージだった。カーボンコストのない再エネの低コスト化は CCS の経済性に関し、さらなるコストダウンの必要性を高めることになる。とはいえ、国内の再エネコストは相対的に高止まりしており、自然変動電源である太陽光・風力の大量導入には、蓄電池など出力変動の抑制コストも加わることになる。CCS のコストターゲットには、今後の国内外の再エネと蓄電池のコストを注視していく必要がある。

・（E 委員）炭素取引価格が以前に比べ下がってきている実態がある。今後の炭素取引価格の推移を見守る必要があるが、これまで目標としてきた 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> の分離・回収コスト、及び実現時期については、CCS の普及の経済性論理の観点から場合によっては見直すことも視野に入れておくことも必要である。

## 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性

研究開発内容は明確かつその目標も適切に示されている。また、実用化に向けて重要と考えられる、連続製膜、高圧での耐圧・耐久性、耐不純物性、湿度依存性について試験を行い、状況確認したことは実用化の推進において大きな進歩であり評価できる。特に国内化学メーカーと連携し、連続製膜、膜エレメント化技術に目途をつけたことは実用化の推進において大きな進歩であり評価できる。

他方、経済性評価において、実導入を想定し膜モジュールの数量など具体的に検討しデータ化することで、より正確な評価ができるのではないかと考える。また、分子ゲート膜の CO<sub>2</sub> 分離性能にバラツキがみられるが、実用化に向けて製品品質のバラツキを極力低減すべく改善して頂きたい。

模擬ガス試験において 2 年間で 25%内の性能低下が示されているが、実際の火力発電所に導入された場合、CO<sub>2</sub> 分離・回収コストにどのように影響するのかを検討頂きたい。

【肯定的所見】

・（A 委員）研究開発内容は明確かつその目標も適切に示されている。

・（B 委員）実用化に向けて重要と考えられる、連続製膜、高圧での耐圧・耐久性、耐不純物（H<sub>2</sub>S）性、湿度依存性について試験を行い、状況確認したことは評価できる。

・（C 委員）事業アウトプットとして掲げた「実機膜モジュールの実用化研究」「実ガス試験による

実用化研究」「経済性評価」は、実稼働時の耐久性や交換コストが問題になりやすい膜技術の実用化において、必須の課題と言える。中間評価の目標として、連続製膜技術の課題抽出、IGCC プロセスでの耐久性の確認などを掲げ、定量的な目標として、模擬ガスでの「分離性能低下・2年間で25%」を掲げたことは、途中段階の具体的な目標設定として、概ね適切に思われる。こうした中間評価目標を達成していることは、研究室段階の初期研究が順調に進んでいることを伺わせる。特に国内化学メーカーと連携し、連続製膜、膜エレメント化技術にめどをつけたことは、ある程度の劣化・交換が避けられない膜方式の経済性を高める上で大きな前進といえる。

- ・(D委員) 分離回収コストを1,500 円/t-CO<sub>2</sub>を実現するために、膜モジュールの性能向上、低コスト化が集中的に検討されてきた。今回のヒアリング資料よりさらに高性能なデータもあるとのこと、目標値に向けて順調に進んでいることが確認できた。

- ・(E委員) 量産化を念頭に置いた連続製膜、膜エレメント化技術の目途をつけたことは実用化の推進において大きな進歩であり評価できる。連続製膜レシピにより作成された単膜でCO<sub>2</sub>分離・回収エネルギーにおいて0.53GJ/t-CO<sub>2</sub>、そしてCO<sub>2</sub>分離・回収コストにおいて1,790 円/t-CO<sub>2</sub>を達成できたことは、実用化研究が順調に進んでいることを裏付けており評価できる。実ガス試験において、試験の実情を考慮し外部施設となる米国NCCCの実ガス試験装置を活用することを選択したことは費用対効果の観点からも正しい選択だと考えられる。

#### 【問題あり・改善とする所見】

- ・(A委員) 事業アウトプット指標及び目標値が、他の競合国等と比べ適切かが必ずしも十分に示されているとは思えない。

- ・(B委員) 経済性評価において、膜モジュールの数量など詳細なデータがあれば、より正確な評価ができるため望ましい。

- ・(C委員) 今後は、実ガスによる試験を通じた課題抽出や改善が期待されるところだが、米NCCCの試験装置を使う方向になっていることはやや疑問を感じる。環境関連技術の開発で、国際的な連携はたいへん重要であるが、日本企業に強みのある膜技術の研究段階で、海外の装置を活用することは、日本の戦略技術の手の内を明かすことにならないか危惧される。予算的な制約もあると思うが、国内におけるIGCC実用化研究などとも連携する形で、国内の装置で実ガス試験を行うことが好ましいと考える。

- ・(E委員) 分子ゲート膜のCO<sub>2</sub>分離性能にバラツキがみられる。技術的な課題として既に認識されているものと思われるが、実用化において製品品質のバラツキは極力低減する必要がある。分離膜性能の均質化についても十分議論をして改善して頂きたい。模擬ガス試験において2年間で25%内の低減を示されているが、その性能低減が実際の火力発電所に導入された場合、ライフサイクルに渡ってCO<sub>2</sub>分離・回収コストにどのように影響するのかを検討し、分離回収コストへのインパクトを示して頂きたい。米国での試験が初めての試みであることも考慮し、事前検討に十分な時間を割き、様々な想定されるリスクを議論しつつして、実ガス試験に臨んでいただきたい。

### 3. 当省(国)が実施することの必要性

CCS は CO2 削減技術として、その実用化に大きな期待が寄せられているが、CCS は追加エネルギーをかけて CO2 を削減する技術であり、現時点では導入に経済的なインセンティブは働かず、民間企業による自主的な CCS 技術の確立、CCS の推進は期待できない。その中で、CCS 全コストの 6 割以上を占める CO2 の分離・回収コストの大幅な低減は重要な課題であるが、長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、国が主導的に実施すべきものである。

#### 【肯定的所見】

・(A 委員) CCS は外部不経済に基づく事業のため、基本的には国主導で進めるべきである。特に多額の研究開発費、長期にわたる研究開発期間、高い技術的難度等から、民間企業のみでは十分な研究開発が実施されない可能性が高い。

・(B 委員) CO2 分離・回収技術の技術開発は重要であるが、先進的な取組であり、長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、国が主導的に実施すべきものであると考えられる。

・(C 委員) 温暖化対策の技術の中でも、CCS はそれ自体で価値を生まないため、カーボンを顕在化させる政策を前提に、初めて導入インセンティブが出てくる。温暖化ガス削減の義務的な世界枠組みがないなか、各国のカーボン政策は不透明で、民間が自発的に開発を進めることは期待できない。IGCC は、次世代石炭火力として、日本企業が長年、官民で取り組んできた革新技术で、世界をリードする位置にある。IGCC と組み合わせた低コストの CSS 技術は、こうした既存技術を生かすうえでも、是非とも日本が主導権を持っておきたい分野である。また、国内では原発の再稼働が進まないなか、パリ協定で日本が掲げた温室効果ガス削減目標（2030 年のベストミックス）を目指す際、電源構成のベースを担うゼロエミッション電源が不足する恐れが高い。IGCC-CCS の低コスト化は、原発に代るベースを担うゼロエミ電源になる可能性もある。国主導で積極的に実用化に取り組む意義は大きい。

・(D 委員) 二酸化炭素など地球温暖化ガス対策は、政策的なものであり、市場原理に基づくものではないため、国が積極的に関与して事業を進めるべきであり、必要なことである。これらの内容について他省庁と連携して国としての政策や施策に反映させ、この分野で世界をリードすることが期待される。

・(E 委員) 地球温暖化の影響は深刻度を増しており、2015 年 12 月に「パリ協定」が採択され、わが国も実現にむけ国際公約を果たすことが求められている。CCS は国際的にも CO2 削減の中核技術として位置付けられており、その実用化には大きな期待が寄せられている。一方で、CCS は追加エネルギーをかけて CO2 を削減する技術であり、CCS の導入に経済的なインセンティブは働かず、民間企業が自主的に CCS 技術を確立し推進する合理的理由が見いだせない。その中で、CCS 実用化において全コストの 6 割以上を占める CO2 の分離・回収エネルギーコストの大幅な低減は特に重要な課題であり、民間企業の自主的な推進が期待できない以上、国がリーダーシップを発揮して取り組むことは当然のことと言える。CCS の実用化には相当な費用発生が見込まれ、経済性に合わないとなると民間企業への促進は困難となる。CCS を推進するために国として財政支援や税制優遇措置を行うことは避けられず、高コストのままであるとその費用は膨大なものになってしまう。低コストの CCS 技術を確立することは国際公約の達成とともに、将来的な国の財政負担を軽減するためにも不可欠であり、国が率先して事業を推進する意義も大きい。コスト的に高い競争力を持つ石炭火力発電の効率化に

において我が国は世界トップの技術力を有する中で、最大の課題は石炭火力発電における環境問題である。CCS 技術を含めた低コストの石炭火力発電所の技術を確立できれば、CO<sub>2</sub> をほとんど排出しない石炭火力発電の実現が可能となり、この分野においてわが国の国際競争力を高めることが可能となる。環境問題を解決し産業競争力を高めることでも、国としての関与する意義もある。

【問題あり・要改善とする所見】

・（A 委員）科学技術的価値の観点からみた卓越性、先導性はむしろ学術サイドの知見を活用すべきで、本事業が担うべき内容ではなく、むしろ広くアイデアは募るべきである。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性

長期的な目標に向け、実用化研究と実証研究を組み立てており、現実的なロードマップとなっていることは評価できる。また、経験工学的な要素の大きいプラント技術の実用化においては妥当な開発期間である。知財管理の取扱、実証や国際標準化、性能や安全性基準の策定などについても積極的に取り組んでいる。

他方、本技術が普及した場合の他分野への波及効果や事業展開の道筋、「実証フェーズ・商用化フェーズ」における課題解決に向けた取組の方向性は明確でないと考える。また、技術を取り巻く環境は刻々と変化し、技術の実用化のタイミングが実ニーズに合わないケースも多々あることから、基本的なロードマップは現状で良いとしても、早期実現が必要になったときのシナリオを等も検討しておくべきと考える。

【肯定的所見】

・（A 委員）知財管理の取扱、実証や国際標準化、性能や安全性基準の策定などに積極的に取り組んでいる。また、達成時期における目標値の達成の可能性も高い。

・（B 委員）次世代火力発電に係る技術ロードマップに、開発方針として「CO<sub>2</sub> 分離回収技術は、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」としており、当該方針に沿ったロードマップであることは評価できる。

・（C 委員）2020 年以降に実ガスによる実証フェーズ、2030 年以降に実用化フェーズというロードマップは、経験工学的な要素の大きいプラント技術の実用化においては妥当な開発期間であろう。

・（D 委員）分離回収コストを 1,500 円/t-CO<sub>2</sub> を実現するために、実機膜モジュールの実用化研究、実ガス試験による実用化研究、経済性評価を検討することとしており、それぞれにおいて具体的計画が立てられており、前者 2 つの中間評価時の達成度は 100%であり、妥当である。実ガス試験の計画において、既存の実ガス試験サイトで行うなど、目標達成のために柔軟にスケジュールの変更もなされている。

・（E 委員）次世代火力発電の早期実現に向けた評議会において策定された技術ロードマップにおいては、2030 年に向けて IGCC の実用化が見込まれている。その長期的なゴールをもとに、実用化研究と実証研究を組み立てており、現実的なロードマップとなっている。

【問題点・改善とする所見】

・（A 委員）今後、本技術が普及した場合、他分野への波及効果が明確ではない。また企業がこの技術をどの程度本格的に使用して、事業展開を図ろうとしているかを見通すことができない。

・(B委員)「実証フェーズ・商用化フェーズにおける課題」において、もう少し課題解決に向けた方向性が伺えるような具体性があれば、より望ましい。

・(C委員) 国連気候変動枠組み条約によるパリ協定の中期目標のターゲットが 2030 年であり、国内のエネルギー基本計画で 2030 年度の電源構成を議論していることを考えると、もう少しロードマップを前倒しすべきだろう。2020 年台の前半には実用化のメドをつけ、ベストミックスにも折り込んだうえで、政策的措置によって電力会社が導入に向けて動き出せることが望ましい。CCS のコストがある程度、明確になれば、政策支援の規模も明らかになる。政策的に IGCC-CCS の投資収益性が確保されれば、民間の金融セクターの資金によって導入が進むことも考えられる。

・(E委員) 時代環境は変化することも多く、技術の実用化のタイミングが実ニーズに間に合わないケースも多々ある。基本的な技術ロードマップは現状のものでも良いとしても、早期実現が必要になったときのシナリオなども事前に検討しておき、ある意味では環境変化にもある程度対応できるタフなロードマップを用意しておくことも検討して頂きたい。

## 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性

研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制は妥当と考える。また、膜モジュールの量産化に対応可能な技術を持つ化学メーカーと連携し、外部学識経験者等の意見を取り入れる体制で実施しており、評価できる。実ガス試験においては、無駄な費用を抑えるべく既存設備での実施を検討し、コスト低減を行っていることは評価できる。

他方、実ガス試験フェーズに入った場合、IGCC の開発に取り組んでいるエンジニアリング会社等の知見は不可欠であり、早期の実用化に向け、IGCC 関連企業との連携を図るべきと考える。

### 【肯定的所見】

・(A委員) 研究開発計画、研究開発実施者の適格性、研究開発の実施体制は概ね適切であると思われる。

・(B委員) 課題である膜モジュールの量産化に対応可能な技術を持つ住友化学(株)が参画しており、また、外部有識者の意見を取り入れる体制としていることから、体制は妥当と考える。知財については、住友化学(株)と RITE が取扱いについて適宜協議・決定しており、妥当と考える。

(C委員) 膜モジュールという技術集約度の高い要素技術を考えると、こうした技術で実績のある化学メーカーとの共同研究体制を組むことは適切だろう。

・(D委員) 石炭火力発電や CCS の取組は国プロとして行う必要性が高いものであり、それに対して適切な研究開発の実施体制、マネジメント体制であり、材料開発やシステム開発がうまく機能している。IGCC 関係企業との連携も進められ、実用化に向け有意義な組織となっている。

・(E委員) プロジェクトの中核的な二つの課題となっている、1) 実機膜モジュールの実用化研究、2) 実ガス試験による実用化研究に対して、課題ベースの研究体制を再構築し問題解決をやりやすくしていることは評価できる。実ガス試験において無駄な費用を抑えるべく、米国 NCCC での実施を検討しコスト低減を行っていることは評価できる。

### 【問題あり・要改善とする所見】

・(A委員) 知財の取扱いについての戦略及びルールが十分に説明されたとは思えない。また、IGCC 以外への展開は可能なのか。その場合の知財戦略は整っているのか。あるいはそれが実行されてい

るのか。

・(B委員) 知財について、特許の一括管理(共有化)、クロスライセンス、独占的实施等が有効と判断する目安のようなものがあれば、より適切と考える。

・(C委員) 実ガス試験のフェーズに入った場合、IGCCの開発に取り組んでいるエンジニアリング会社、重工業メーカーの知見が不可欠になると思われる。早期の実用化のためにも、IGCC関連企業との連携を図るべきではないか。

## 6. 費用対効果の妥当性

示された費用対効果が実際に適用されれば、その効果は絶大である。

しかし、費用対効果は実用された時期により異なると考えられるため、再生可能エネルギーのコストと比較するなど、引き続き分析が必要である。

### 【肯定的所見】

・(A委員) 説明された費用対効果が実際に適用されれば、その効果は絶大である。

・(B委員) 世界的課題であるCO<sub>2</sub>排出量削減に寄与する技術開発であるとともに、従来技術より大幅なコスト削減が図れるなど、大きな効果が期待できる。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、妥当であると考えられる。

・(C委員) CCSの費用対効果は、世界的なカーボン政策の動向、それによるカーボンコストの顕在化とその水準によって、実際に得られる便益が決まるので、現段階で具体的に評価することは難しい。ただ、今後、地理的に日照や風況に恵まれた海外の国々が再エネの大量導入でゼロエミッション電源の低コスト化を進めるなか、国内の再エネコストが高止まりした場合、日本のカーボンリスクが急速に高まる恐れがある。その場合、IGCC-CCSが安いゼロエミ電源を担えば、その便益は巨大になる可能性がある。

・(D委員) IGCC発電と組み合わせることで、回収コストが低く抑えられ、これによりCCSの意義が高くなることや、IGFC等の発電にも展開可能な技術であり、波及効果もあり、費用対効果は申し分ない。

・(E委員) 資源エネルギー庁のレポート「火力発電における論点(平成27年3月)」によれば、国内における石炭火力は4,080万KWあり、IGCCのCO<sub>2</sub>排出は平均0.7kg/kWhとなっている。国内の石炭火力が全てIGCCに置き換わったと仮定し、稼働率を火力発電所の平均的な80%をベースに試算した場合、IGCCにおいても約2.0億t-CO<sub>2</sub>/年を排出することになる。そのCO<sub>2</sub>を本事業のアウトカムにより全て回収する場合、CO<sub>2</sub>分離・回収コストが2,500円/t-CO<sub>2</sub>低減できたとすると、ポテンシャルとしてCCSで回収できるコストは約6,100億円/年低減できることになり、その効果は大きい。

### 【問題あり・要改善とする所見】

・(A委員) 費用対効果は実用された時期により異なると考えられるため、引き続き分析が必要と思われる。

・(C委員) 国内においても、再エネのコストが大幅に下った場合、ゼロエミッション電源としてのIGCC-CCSの便益は低下する。IGCC-CCSの便益を確保するには、太陽光・風力+出力変動抑制(蓄電池など)の合計コストより、IGCC-CCSのコストが下回る必要がある。



## 7. 総合評価

外部不経済の CCS 事業においては、事業の道筋がつくまでは国が支援すべきと考える。模擬ガス試験と膜の連続製造の開発は、着実に進んでおり、早期に実ガス試験に移り、実用化へのめどを付けることが期待される。国際的優位性や、市場の占有率などは事業実施時期に強く依存するため、早期の実用化を望むとともに、本技術の成果を最大限に生かすためにも、導入シナリオや制度的な仕組みの導入を早期に検討する必要性を感じる。外部有識者の意見を取り入れるなど柔軟に研究をマネジメントしている点は評価できる。

他方、再エネの導入状況も視野に入れる必要も有り、実用化に向けたスピードも最重要指標のひとつと考える。技術課題の早期解決に向けてオープンイノベーション的な手法を活用するなどし、早期の実用化を期待したい。また、わかりやすい説明を様々な形で示すなど、広く国民に理解されるような取り組みも必要である。

### 【肯定的所見】

- ・（A 委員）外部不経済の CCS 事業においては、事業の道筋がつくまでは国が支援すべきである。また、集中投資で早く実用化ベースに乗るよう、進めるべきである。国際的優位性や、市場の占有率などは事業時期に強く依存するため、早期の実用化を望む。
- ・（B 委員）課題が概ね明確化されているとともに、すべての課題に対する中間目標が達成されており、着実な技術開発が進められていると考えられる。また、外部有識者の意見を取り入れていることや予算に見合うスケジュールへ変更するなど柔軟に研究をマネジメントしている点も評価できる。
- ・（C 委員）IGCC 排ガスの圧力を利用した膜による CO<sub>2</sub> 分離という着想は素晴らしく、CCS のコストを大幅に削減できる可能性を持つ。模擬ガス試験と膜の連続製造の開発は、順調に進んでおり、早期に実ガス試験に移り、実用化へのめどを付けることが期待される。膜モジュールによる CO<sub>2</sub> 分離技術は、装置全体がコンパクトになる可能性があり、IGCC 以外にも応用範囲は広いと思われる。発電分野では、分散電源に活用でき、バイオマス発電に適用すればカーボンマイナス（大気中の CO<sub>2</sub> 削減）も可能になる。また、製鉄やセメントや化学など、電気への代替が難しい産業プロセスからの CO<sub>2</sub> を大幅に減らせる数少ない手法になる可能性もある。
- ・（D 委員）CCS 技術だけでは利益を生む事業とはなりにくいが、IGCC 発電と組み合わせることによって、CCS 技術の意義が高められ、高圧二酸化炭素排出条件に合う産業においても応用可能な事業である。中間評価段階ですでに高い目標値を達成しており、最終目標に向け期待できる。知財や国際標準化に向け、リードしていくことを期待する。
- ・（E 委員）本事業が予定通り研究目標を達成し推進されていることは非常に喜ばしいことである。しかし、炭素取引価格の大幅な低下など外部環境の変化も激しく、本技術の本格的な適用タイミングでは当初予想していた利用環境が想定と異なる状態も想定しうる状況にある。本技術の成果を最大限に生かすためにも外部環境の変化も視野に入れ、タイムラインから考えた導入シナリオを国としての制度的な仕組みの導入とともに早く検討する必要性を感じる。

### 【問題あり・要改善とする所見】

- ・（A 委員）他の技術、例えば再生エネルギーや水素エネルギーなどが普及し始めると、本事業の効果は限定的となる。CCS は必要な技術であることは疑いのないことなので、費用対効果からも早期の

実用化を期待したい。

・（C委員）世界では、太陽光・風力の発電コストが大幅に下がっている。10 円/kWh を下回るものも多く、こうした低コストの自然変動電源に蓄電池や水素ストレージを組み合わせたエネルギーシステムのトータルコストがどの程度まで下がっていくのか、評価・分析しておく必要がある。将来的に IGCC-CCS を海外展開する場合、ゼロミッション電源として競合する可能性がある。

・（D委員）CCS の最終段階の貯留・固定化において、広く国民に理解されるような取り組みが必要である。わかりやすい説明を様々な形で示していくと良い。

・（E委員）実用化研究における推進においては、スピードも最重要の指標と考え、場合によっては技術課題の解決に本プロジェクト関係者以外の協力も視野に入れた、オープンイノベーション的な手法の採用も考えて頂きたい。

## 8. 今後の研究開発の方向等に関する提言

実ガス試験の段階に入ると、想定しない様々な問題が発生し、進捗の遅れや費用の拡大につながりかねないリスクもある。早期実用化に向けて、実ガス試験サイトの研究機関と十分に事前検討を行うと共に、国内外の技術や知見を有する企業に協力を依頼するなど、適宜発生する問題に柔軟に対応しプロジェクトを進めていただきたい。

量産化に向けては、膜の性能のバラツキの許容目標を設定し、その範囲に収まるよう技術を確立していただきたい。

CCS を進めるには、分離回収技術だけでなく貯留技術実証も早急に安全に進める必要があり、広く国民の理解を深め、貯留場所の確保を促進すべきと考える。

### 【各委員の提言】

・（A委員）固体吸収材と分離膜の棲み分。固体吸収材は Post 型、Pre 型いずれにも対応可能化と思われるが、その場合、他国などと性能やコスト比較を精度よく実施して頂きたい。

・（B委員）実ガス試験の段階に入るため、予期しない問題が発生してくると思われる。早期実用化に向けて、場合によっては、試験サイトである米国 NCCC や平成 27 年度まで本研究開発に参画していた企業に協力を依頼するなど、適宜発生する問題に柔軟に対応いただければと考える。また、CO2 分離・回収技術の技術開発は先進的な取組であり、長期にわたる研究開発期間、多額の研究開発費が必要なことから、引き続き国が主導的に実施していくことが重要と考える。

・（C委員）国連気候変動枠組条約・パリ協定は、京都議定書と違い義務的な枠組みではない一方、主要排出国が参加している。したがって、同協定が、各国のエネルギー・環境政策にどの程度の影響力を持つかに関しては、見方が分かれている。ただ、これまでのところ、米国に温暖化対策に消極的な政権が登場しても、欧州や新興国の温暖対策を重視する姿勢に変わりなく、CO2 削減の機運はもはや不可逆的な流れになっていると思われる。加えて、ここ 1～2 年で太陽光・風力の発電コストが大幅に下がり、火力発電と同等か、それを下回るケースも出てきた。これが、再エネ大量導入、CO2 大幅削減の実現性を高めている。こうした流れの中、原発の再稼働が遅れ、再エネのコストが高止まりしている日本は、世界の中でカーボンリスクが高まっている。温暖化対策の世界枠組みの中でカーボンコストを顕在化する制度が導入されるシナリオだけでなく、CDP（カーボン・ディスクロージャー・プロジェクト）、SBTI（科学的ベースの削減目標イニシアティブ）、RE100（再エネ 100%イニシアティブ）のような民間ベースの「脱・炭素」機運の高まりのなかで、世界の多国籍企業はゼロ

エミッション電源への切り替えを進め、「高いカーボン比率」が、取引条件となり、非関税障壁化する恐れもある。そうした世界の脱カーボントレンドを考慮すると、原発の再稼働が遅れ、再エネのコストが高止まりしている日本で、IGCC-CCS の実用化にめどを付け、将来の「ベストミックス」に組み込んでいく意義は極めて大きい。世界的に石炭火力への金融機関から投融資が避けられ、石炭火力インフラを“座礁資産”と呼び、経営リスクと見る動きもあるだけに、石炭火力をゼロエミ化する CCS の実用化は加速すべきと考える。

・（D 委員）IGCC 発電と CCS を組み合わせれば、石炭から発電といえどもクリーンなエネルギーとなりうることを示せると良い。Carbon Capture 技術は実用化可能になりつつあるので、実際に CCS を進めるには、Storage 技術を早急に安全に進める必要がある。そのためには、広く国民に貯留・固定方法の内容について理解してもらい、貯留場所の確保を促進すべきである。

・（E 委員）実ガス試験をコスト対効果を考えて米国で実施することは良いことであるが、仕事の仕方や考え方などは日本と大きく違う環境での仕事となり、これまでに想定しない様々な問題が出てくる可能性もあり結果として進捗の遅れや費用の拡大につながりかねないリスクもある。海外での類似業務の経験者などの意見なども聞き、米国 NCCC と也十分にすり合わせ、確認をして進めて頂きたい。分離膜の量産化を視野にいたした研究を継続されていくにおいて、膜の性能バラツキの改良も是非積極的に取り組んでいただきたい。量産化においては、性能のバラツキの許容目標も設定しその範囲に収まる量産化技術を確立して欲しい。

#### <上記提言に係る担当課室の対処方針>

実ガス試験段階における様々な問題に対しては、実ガス試験サイトの研究機関と十分に事前検討を行うと共に、必要に応じて国内外の技術や知見を有する企業に協力を依頼するなど、柔軟に対応しプロジェクトを進めていく。

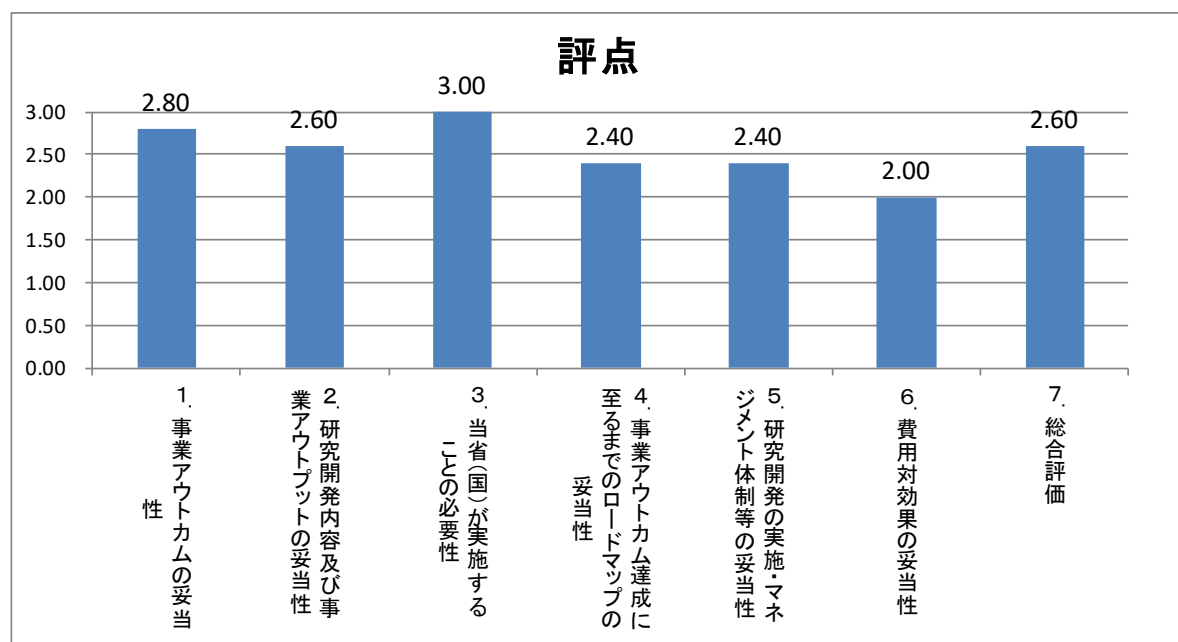
量産化に向け、膜の性能のバラツキの許容目標を設定し、その範囲に収まるよう技術を確立すべく研究開発を行う。

CCS 技術の実用化に向け、本プロジェクトの他、大規模 CCS 実証事業、貯留適地調査事業、安全に CCS を実施するための研究開発事業を着実に進めていく。

### Ⅲ. 評点法による評価結果

#### A. 先進的二酸化炭素固体吸収材実用化研究開発事業

|                              | 評点   | A委員 | B委員 | C委員 | D委員 | E委員 |
|------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1. 事業アウトカムの妥当性               | 2.80 | 3   | 3   | 2   | 3   | 3   |
| 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性      | 2.60 | 2   | 3   | 2   | 3   | 3   |
| 3. 当省(国)が実施することの必要性          | 3.00 | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性 | 2.40 | 2   | 3   | 2   | 3   | 2   |
| 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性     | 2.40 | 2   | 3   | 2   | 3   | 2   |
| 6. 費用対効果の妥当性                 | 2.00 | 1   | 2   | 1   | 3   | 3   |
| 7. 総合評価                      | 2.60 | 2   | 3   | 2   | 3   | 3   |



#### 【評価項目の判定基準】

##### 評価項目 1. ～ 6.

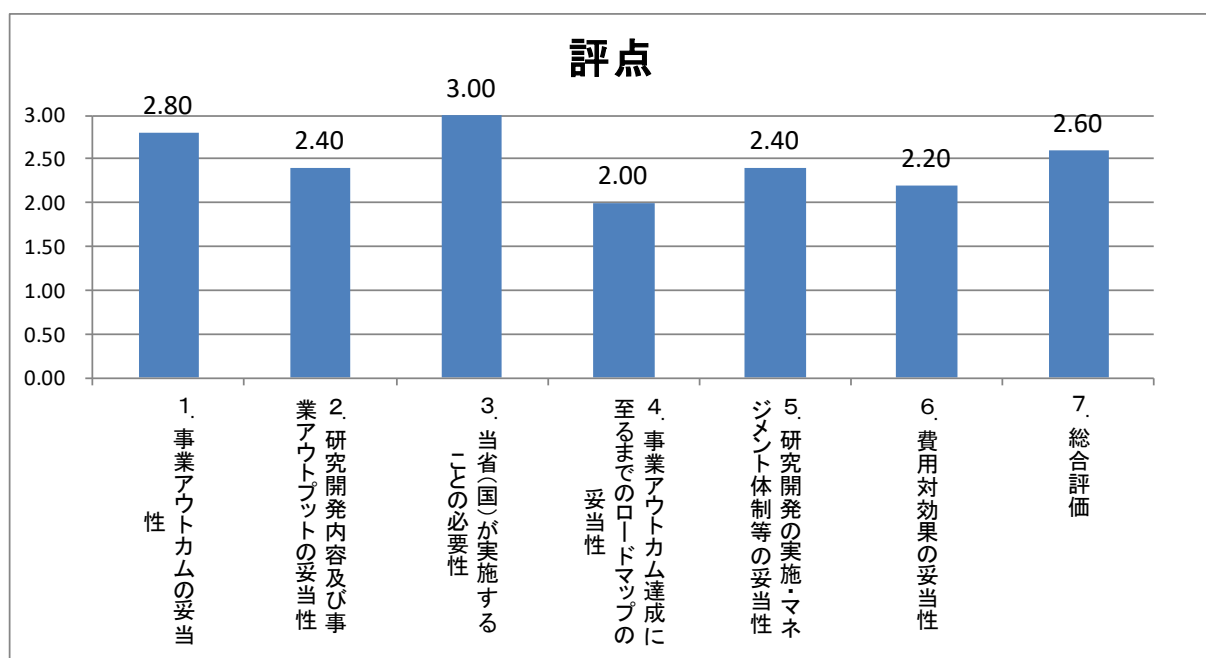
- 3点：極めて妥当
- 2点：妥当
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

##### 評価項目 7. 総合評価

- 3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。
- 2点：事業は良好であり、継続すべきである。
- 1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。
- 0点：事業を中止することが望ましい。

## B. 二酸化炭素分離膜モジュール実用化研究開発事業

|                              | 評点   | A委員 | B委員 | C委員 | D委員 | E委員 |
|------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1. 事業アウトカムの妥当性               | 2.80 | 3   | 3   | 2   | 3   | 3   |
| 2. 研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性      | 2.40 | 1   | 3   | 2   | 3   | 3   |
| 3. 当省(国)が実施することの必要性          | 3.00 | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   |
| 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップの妥当性 | 2.00 | 1   | 2   | 2   | 3   | 2   |
| 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性     | 2.40 | 1   | 3   | 2   | 3   | 3   |
| 6. 費用対効果の妥当性                 | 2.20 | 1   | 3   | 1   | 3   | 3   |
| 7. 総合評価                      | 2.60 | 2   | 3   | 2   | 3   | 3   |



### 【評価項目の判定基準】

#### 評価項目 1. ～ 6.

- 3点：極めて妥当
- 2点：妥当
- 1点：概ね妥当
- 0点：妥当でない

#### 評価項目 7. 総合評価

- 3点：事業は優れており、より積極的に推進すべきである。
- 2点：事業は良好であり、継続すべきである。
- 1点：事業は継続して良いが、大幅に見直す必要がある。
- 0点：事業を中止することが望ましい。

#### Ⅳ. 評価ワーキンググループの所見及び同所見を踏まえた改善点等

##### 評価ワーキンググループの所見【中間評価】

###### <研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性>

- ①オープンイノベーション的な手法を活用するべく、具体的な計画を作成し検討すること。
- ②A事業におけるスケールアップの課題、B事業における量産化の課題、等を解決して、CO2分離回収コストの低減という一番大きな課題克服を期待したい。中間評価以降、さらにそれらの課題解決に向けて戦略的かつ効率的に事業を進行させること。

###### <研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性>

- ③このプロジェクトだけで関連する事業全体が終わるわけではなくて、今後は実証、さらに商用に向けて国の戦略が必要となるので、事業後半において十分留意すること。

##### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【中間評価】

###### <研究開発内容及び事業アウトプットの妥当性>

- ①ご指摘を踏まえ、実用化に向けた技術課題の早期解決に向け、オープンイノベーション的な手法の活用等について検討してまいります。
- ②中間評価以降も、課題解決に向けて本事業を戦略的かつ効率的に進行すべく、事業計画を精査し事業を進めてまいります。

###### <研究開発の実施・マネジメント体制等の妥当性>

- ③ご指摘を踏まえて、事業の後半においては、CCSの実証試事業の結果や制度的仕組みの検討状況等にも十分留意し事業を推進してまいります。

##### 評価ワーキンググループの所見【事前評価】

- ①分離膜の開発については開始時に検証可能な基準を設けステージゲート方式等で絞り込みを行うことを検討すること。
- ②CCSの導入戦略について検討を継続すること。
- ③国際協力の観点および国際標準の枠組みを含む本事業の海外戦略の検討を行うこと。
- ④プロジェクト内を非独占実施とすることは参加企業のインセンティブを損なう恐れがあるため、知的財産管理戦略について再検討すること。

##### 所見を踏まえた改善点（対処方針）等【事前評価】

- ①ご指摘を踏まえ、中間評価時に係る指標を見直しました。評価時点において当該指標を達成できない場合には、研究計画等を見直すことといたします。
- ②今後、CCS実証事業の結果などを踏まえ、導入戦略の検討を継続してまいります。
- ③ご指摘を踏まえ、当該プロジェクトの実施に当たり、海外戦略についても検討して参ります。特に、国際標準化については、既にISOに専門委員会（TC265）が設置されており、本事業における成果も含めた我が国の技術が国際標準化に適切に反映されるよう取り組んでまいります。
- ④ご指摘を踏まえ、知的財産権の管理・運用を適切に実施してまいります。