

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／④次世代  
火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」  
事後評価報告書

2022年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

2022年1月

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

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

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／④次世代  
火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」  
事後評価報告書

2022年1月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	1-4
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-14
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料1 分科会議事録及び書面による質疑応答	参考資料 1-1
参考資料2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料3 評価結果の反映について	参考資料 3-1

## はじめに

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

本書は、「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／④次世代火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」の事後評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／④次世代火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」（事後評価）分科会において評価報告書案を策定し、第67回研究評価委員会（2022年1月26日）に諮り、確定されたものである。

2022年1月  
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

## 審議経過

### ● 分科会（2021年4月20日）

#### 公開セッション

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

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他
10. 閉会

### ● 第67回研究評価委員会（2022年1月26日）

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／④次世代火力発電基盤  
技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」

事後評価分科会委員名簿

(2021年4月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	あさみ けんじ 朝見 賢二	北九州市立大学 国際環境工学部 エネルギー循環化学科 教授
分科 会長 代理	なかがき たかお 中垣 隆雄	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	さいとう あや 齋藤 文	みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 グローバルイノベーション&エネルギー部 エネルギービジネスチーム 課長
	みずぐち こうじ 水口 浩司	株式会社東芝 研究開発センター トランスデューサ技術ラボラトリー 室長
	やまなか いちろう 山中 一郎	東京工業大学 物質理工学院 応用化学系 教授
	よしだ のりゆき 吉田 範行	一般社団法人日本ガス協会 普及部長

敬称略、五十音順

## 評価概要

### 1. 総合評価

カーボンニュートラル・次世代火力発電における CCUS 技術としての CO<sub>2</sub> からの有価物製造は、非常に意義深いものである。PL のリーダーシップのもと、PJ に参加する産官学の共同で事業が進められており、コロナ禍による一部実施の遅れはあるものの、本前倒し事業評価の段階で、概ね計画通りに実施できたものと評価する。特に都市ガス導管網、調整力としての役割が期待される既設火力など既存インフラを活用したカーボンニュートラルエネルギーシステムへの移行において、本事業の成果は大きな効力を発揮するものと期待される。

一方、2050 年カーボンニュートラルという大きな政策目標の変換があったため、脱炭素、CO<sub>2</sub> 排出量ゼロを達成するための技術開発を目指し、サプライチェーン全体の CO<sub>2</sub> 排出量やエネルギー効率等は概算を把握し、見通しだけでも示す必要がある。また、今後の実用化に向けて、CO<sub>2</sub> 削減量を正確に見積もるための LCA の検討と、さらに社会実装する上で、ガスインフラへの適用のためのメタネーションで作ったメタンガスへの他のガスの混合による燃焼量調整等の検討を期待したい。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

本事業目的は、地球温暖化抑制のため、CO<sub>2</sub> から有価物を再生するというものであり、全体としての排出量を大幅に低減するために妥当なものである。その目的および意義は、我が国のみならず世界的なものであり、到達目標の事業規模は一企業でなしうるものではないことから、国(NEDO)事業として実施するのにふさわしいものと考えられる。また、CO<sub>2</sub> 大幅削減に向けてあらゆる技術を総動員し、早期に社会実装していくためには、カーボンリサイクルを含む CCUS も重要なイノベーションであり技術開発が必須である。そういった状況において、本事業は、2050 年カーボンニュートラル達成に向けてカーボンリサイクル技術の普及を実現するという政策目標に貢献できるものである。今後に向けて、製品メタンのコスト目標については、日本のエネルギー事情を背景とした再生可能エネルギー大量導入のための手段の一つであることを周知しつつ、「グリーンメタン」としてのプレミアム価値の確立に向けた動きを期待したい。

#### 2. 2 研究開発マネジメントについて

専門性を有した各主体が、それぞれ強みを発揮する研究開発の実施体制が生まれ、PM と PL それぞれによる研究開発の進捗管理が適切に行われており、技術開発の方向性、実施体制とも妥当なものと評価する。新型コロナウイルス感染症拡大で、研究計画の変更を余儀なくされたことはあるが、当初目標をほぼクリアできており、優れた PJ 運営となっている。また、2050 年カーボンニュートラルの実現、2030 年 CO<sub>2</sub> 排出半減などの野心的目標が明らかになる中、これらの目標を達するために礎となる妥当な研究目標であり評価できる。

一方、今後に向けた後継プロジェクトでは、当該分野での市場競争が厳しくなっていく中、今後ますます革新的かつ早急な技術開発が必要となるため、NEDO として研究開発マネジメントの知見を適切に蓄積して応用していただくことを期待したい。また、現状の想定より更に脱炭素社会への加速が進む事も想定されるため、複数のシナリオを常に想定しながら今後の研究開発の方向性を検討して頂きたい。さらに、メタネーション装置は、本プロジェクトのキーコンポーネントであり、各社連携して、高効率で耐久性の高いものにして欲しい。

### 2. 3 研究開発成果について

研究開発目標は概ね達成できており、高い成果をあげている。特に③の研究項目は触媒の耐久性管理のための基礎データも取得されており、スケールアップを含む実証規模設計への反映が期待できる。また、天然ガスが非常に低価格のため、これに対抗する合成ガスとしての経済的成立性を示すことが難しい課題ではあるが、川上から川下まで広く検討され、コストを含めて技術的に現実解を導き出したことは評価できる。さらに、油田随伴 CO<sub>2</sub> を原料としてパイロットプラントレベルにおけるメタネーション反応において、高活性高選択性触媒を開発し、高速でほぼ純メタンを製造可能であることを実証した点も評価できる。

一方、個々の研究成果に対しては、分離回収の先導的な研究成果としての位置づけであり、60,000Nm<sup>3</sup>/h のフルスケール実機規模での概念設計のキースペックを出せるとさらに良く、触媒関係の成果についても、さらに良い評価を得るために、上記フルスケール相当での青写真、適用有無での効果比較まで言及をしていただきたい。また、製品の利用者の理解を促すことにより、製品の受容性を向上させる効果や、気候変動や脱炭素社会実現などに関する教育への貢献のため、本事業で建設した設備を活かした広報・発信を技術開発とともに期待したい。

### 2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

CO<sub>2</sub> のメタン化については、本 PJ における反応器設計、触媒改良、運転シミュレーションなどを通じて、その製造技術はほぼ確立できたものと評価され、今後の実用化に向けたロードマップの前倒し実施が大きく期待される。また、技術開発の戦略として、段階的に開発・実証の中で要素技術開発およびシステム全体の設計、運用も含めてスケールアップを検討していくことは妥当である。

一方、メタネーションで作ったメタンをそのまま都市のガスインフラに流せないことから、早期社会実装する上で、ガスインフラへの適用や LCA の検討を期待している。また、カーボンニュートラルに向けて取り得る手段は直接合成する方法に限られないため、例えばカーボンニュートラル LNG 等の代替手段との棲み分けを考慮した検討、さらにメタネーションの実用化に向けた具体的取組みにおいて、技術確立後の導入にかかるリードタイムも考慮した成果の活用を検討いただきたい。

## 研究評価委員会委員名簿

(2022年1月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	きの くにき 木野 邦器	早稲田大学 理工学術院 教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 研究アドバイザー 東海国立大学機構 岐阜大学 特任教授
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	技術ジャーナリスト
	ごないかわ ひろし 五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 教授
	しみず ただあき 清水 忠明	新潟大学 工学部工学科 化学システム工学プログラム 教授
	ところ ちはる 所 千晴	早稲田大学 理工学術院 教授 東京大学大学院 工学系研究科 教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員	

敬称略、五十音順

## 研究評価委員会コメント

第67回研究評価委員会（2022年1月26日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

## 1. 総合評価

カーボンニュートラル・次世代火力発電における CCUS 技術としての CO<sub>2</sub> からの有価物製造は、非常に意義深いものである。PL のリーダーシップのもと、PJ に参加する産官学の共同で事業が進められており、コロナ禍による一部実施の遅れはあるものの、本前倒し事業評価の段階で、概ね計画通りに実施できたものと評価する。特に都市ガス導管網、調整力としての役割が期待される既設火力など既存インフラを活用したカーボンニュートラルエネルギーシステムへの移行において、本事業の成果は大きな効力を発揮するものと期待される。

一方、2050 年カーボンニュートラルという大きな政策目標の変換があったため、脱炭素、CO<sub>2</sub> 排出量ゼロを達成するための技術開発を目指し、サプライチェーン全体の CO<sub>2</sub> 排出量やエネルギー効率等は概算を把握し、見通しだけでも示す必要がある。また、今後の実用化に向けて、CO<sub>2</sub> 削減量を正確に見積もるための LCA の検討と、さらに社会実装する上で、ガスインフラへの適用のためのメタネーションで作ったメタンガスへの他のガスの混合による燃焼量調整等の検討を期待したい。

### <肯定的意見>

- ・カーボンニュートラル・次世代火力発電における CCUS 技術としての CO<sub>2</sub> からの有価物製造は、非常に意義深いものである。PL のリーダーシップのもと、PJ に参加する産官学の共同で事業が進められており、コロナ禍による一部実施の遅れはあるものの、本前倒し事業評価の段階で、概ね計画通りに実施できたものと評価する。
- ・注) CCUS (Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)
- ・本事業はカーボンリサイクルの先駆的な内容であり、高く評価できる。いずれの成果も国際的な同様のプロジェクトと比較しても優位に立っており、積極的に成果の公表に努めるべきと考える。特に、都市ガス導管網、調整力としての役割が期待される既設火力など既存インフラを活用したカーボンニュートラルエネルギーシステムへの公正な移行において、本事業の成果は大きな効力を発揮すると期待される。
- ・研究開発目標は概ね達成できており、すばらしい成果をあげている。要素技術の開発から、エネルギー全体像まで幅広く技術開発・検討を行っており、我が国にとって有意義な事業となった。本事業の成果は今後も広く発信し、我が国の技術の優位性、先進性をアピールいただきたい。特にメタネーション技術開発は、実機により長時間運転を達成しており、今後の大型化、早期の社会実装に期待したい。
- ・本プロジェクトは、2050 年カーボンニュートラルを達成するための初期のマイルストーンの位置づけとして、意義のあるものである。天然ガスが非常に低価格のため、これに対抗する合成ガスとしての経済的成立性を示すことが難しい課題に対して、川上から川下まで広く検討され、コストを含めて技術的に現実解を導き出したことは大いに評価できる。また、グリーンガスとしての可能性を現実レベルなものとしたことも評価すべき点である。

- ・ 油田随伴CO<sub>2</sub>を原料としてパイロットプラントレベルにおけるメタネーション反応において、高活性高選択性触媒を開発し高速でほぼ純メタンを製造可能であることを実証した点は大いに評価できる。
- ・ 本事業は、既存インフラを活用することで社会コストを抑制しながらカーボンニュートラルの実現を目指す観点から非常に重要度が高い技術開発であり、現時点でここまでの成果をアウトプットできたことは、次につながる貴重な取り組みであると評価できる。6月までに最終目標達成見込みとなっている開発項目の着実な達成ならびに成果の実用化や事業化に向けた今後の取組みに期待している。

#### <改善すべき点>

- ・ CO<sub>2</sub>メタン化は排出削減に対する即効性のある技術と考えられ、実用化のスケジュールを見直し、1日も早い実現が期待される。
- ・ 事業実施者への改善ではないが、天然資源のメタンとのコスト競争はやや無理があると思われる。そのための固定費の前提条件もさることながら、OPEXの要求事項として1~3円/kWhの出し方には注意が必要で、ネガティブなイメージを与えかねない。また、過度な固定費削減は実装段階での実施主体の参画の障壁となり得るため、本格普及までは前述の通り、プレミアム市場の醸成に向け、他の気体燃料での事例も参考とした制度や支援が必要ではないかと思われる。
- ・ 注) OPEX (operating expense)
- ・ 2050年カーボンニュートラルという大きな政策目標の変換があったため、脱炭素、CO<sub>2</sub>排出量ゼロを達成するための技術開発を目指し、サプライチェーン全体のCO<sub>2</sub>排出量やエネルギー効率等は概算でも把握して、見通しだけでも示していただけるとよかったと思う。CO<sub>2</sub>有効利用技術は、ともすると既存の燃料よりもCO<sub>2</sub>排出量が多くなるケースもあり、技術開発早期であっても気候変動対策としての有効性を確認しながら進めていくことが望ましいと考えられる。また、製品のユーザー側はScope3までゼロにすることが求められていく状況であり、ユーザーの動向、受容性も含めた市場分析も非常に重要である。
- ・ CO<sub>2</sub>削減量を正確に見積もる上で、LCAの検討が不十分である。
- ・ 社会実装する上で、メタネーションで作ったメタンガスに他のガスの混合による燃焼量調整等（ガス会社によっても燃焼量調整が異なる。）を行う必要があり、ガスインフラへの適用には、避けて通れない検討である。（∵ガス会社は燃焼量を変えたことで、インフラ整備に数十年間かかっている。ガス会社としては、ガス組成による燃焼量調整のみで、インフラ整備が不要な形態での導入を望むことが予想されるため）
- ・ 注) LCA (Life Cycle Assessment)
- ・ より大規模製造を試みる際に、社会情勢の変化とともにボトルネックとなる因子も変化すると考えられ、俯瞰的に解析し、明確化すべきである。

<今後に対する提言>

- ・ バイオマス発電排ガスなど、ニュートラルへの対応を考えた CO<sub>2</sub> 原料の確保を考えることが、今後ますます重要になる。
- ・ これも実施者ではなく、NEDO に対してであるが、過去の CCT の成果、他のカーボンリサイクル事業、他省庁（環境省・JST など）の成果との相関を俯瞰的に整理・構造化して発信することが望まれる。これは国費が原資である同一目的の事業において重複がないことを明確に説明するためにも必要と思われる。

注) CCT (Clean Coal Technology)

注) JST (国立研究開発法人 科学技術振興機構)

- ・ CO<sub>2</sub> 有効利用技術は再エネ、水素を大量に利用するケースが多く、社会全体での最適なあり方の検討も必要であると思う。その中で、各技術がどのような役割を果たすのか、必要な要素はどのようなものなのかを検討していくことも重要である。
- ・ 現実的なグリーンガスとしての価格設定（∵本 PJ は早期実装される可能性が高く、グリーンガスとしての価格としてベースになる可能性が高いため）
- ・ メタノールも同様にグリーン化成品としての価格設定
- ・ LCA の検討を行い、CO<sub>2</sub> 削減可能であることを示して欲しい。
- ・ 早期社会実装するためのガス調整検討
- ・ 例えばカーボンニュートラルなどの大目的達成のために貢献しうる関連研究開発について、それぞれの研究開発結果の俯瞰的評価と情報の共有を行い、環境や社会情勢の劇的変化に対応しうる研究開発力の育成が重要かと考えます。
- ・ 将来の経済性評価にあたり、トータルのコストを下げるために、副生物販売（熱、酸素）を想定されているが、需要とのマッチングが必ず出来るとも限らず、コストが上振れするリスクもある。妥当なコストを想定したときに、社会がそれを許容するシナリオなど社会的条件を今後考察することも重要と考える。

## 2. 各論

### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

本事業目的は、地球温暖化抑制のため、CO<sub>2</sub>から有価物を再生するというものであり、全体としての排出量を大幅に低減するために妥当なものである。その目的および意義は、我が国のみならず世界的なものであり、到達目標の事業規模は一企業でなしうるものではないことから、国(NEDO)事業として実施するのにふさわしいものと考えられる。また、CO<sub>2</sub>大幅削減に向けてあらゆる技術を総動員し、早期に社会実装していくためには、カーボンリサイクルを含むCCUSも重要なイノベーションであり技術開発が必須である。そういった状況において、本事業は、2050年カーボンニュートラル達成に向けてカーボンリサイクル技術の普及を実現するという政策目標に貢献できるものである。今後に向けて、製品メタンのコスト目標については、日本のエネルギー事情を背景とした再生可能エネルギー大量導入のための手段の一つであることを周知しつつ、「グリーンメタン」としてのプレミアム価値の確立に向けた動きを期待したい。

#### <肯定的意見>

- ・ 事業目的は、地球温暖化抑制のため、CO<sub>2</sub>から有価物を再生するというものであり、全体としての排出量を大幅に低減するために妥当なものである。その目的および意義は国家のみならず世界的なものであり、到達目標の事業規模は1企業でなしうるものではない。よって、国(NEDO)事業として実施するのにふさわしいものと考えられる。
- ・ 評価項目(1) 事業開始時と2021年の評価時点では2050年や2030年における温室効果ガスの排出削減の目標設定が大きく様変わりしている。特に、パリ協定のNDCの上積みとして2030年に-46% (2013年比)の目標設定は、極めて困難を伴うと予測される。このような時代背景にあって、先行してカーボンリサイクル燃料の技術開発プログラムを進めていたことを鑑みると、本事業は極めて妥当であると結論付けられる。評価項目(2) 天然ガス採掘ビジネスで既設のCO<sub>2</sub>分離回収設備を保有している国内企業を中心に、再エネ水素とでメタン化し、製品の天然ガスに混合して供給する実証であり、目的のカーボンリサイクル技術開発の達成の手段として可能な範囲で民間の保有資産を利用しつつ、必要な公的資金を投入した事業であることから妥当であると判断できる。

注) NDC (National Determined Contribution)

- ・ 本事業の開始当初は「2050年代の早期にGHG排出量80%削減」が目標であったと思うが、CO<sub>2</sub>大幅削減に向けてあらゆる技術を総動員し、早期に社会実装していくためには、カーボンリサイクルを含むCCUSも重要なイノベーションであり技術開発が必須である。そういった状況において、本事業は、2050年カーボンニュートラル達成に向けてカーボンリサイクル技術の普及を実現するという政策目標に貢献できるものである。また、技術が社会で普及するためのコスト目標が明確に設定されていることも含め、目標設定は妥当であると考えられる。

注) GHG (Greenhouse Gas)

- ・ 2050年カーボンニュートラルを達成するための初期のマイルストーンの位置づけとして、意義のあるプロジェクトである。
- ・ 地球温暖化ガス排出削減やカーボンニュートラルなど、色々な言葉で表現されるが本質的には段階的かつ迅速にCO<sub>2</sub>の排出削減を推し進めて行く必要があることは疑いようがなく、産業が果たすべき目的をNEDOが先導することは大いに評価できる。
- ・ CO<sub>2</sub>を資源として利用しCO<sub>2</sub>削減に貢献すること、またその際、既存インフラを活用するという観点は非常に重要と考える。昨年の総理のカーボンニュートラル宣言をはじめ、実施期間中の大きな社会情勢の変化を受け、早期実用化の重要性は益々高まっていると認識する。NEDOが関与する意義についても、社会的必要性や難易度を踏まえ、また、NEDO内部にある他分野の知見を本事業に活かして推進すべき事業と整理されていることも妥当と考える。

#### <改善すべき点>

- ・ 2050年カーボンニュートラルという国の方針が打ち出されたことにより、本PJ開始時のCO<sub>2</sub>排出量の大幅削減の目標から、情勢はさらに厳しい方向へと変化している。CO<sub>2</sub>からの有価物再生技術の更なる進展とともに、ネガティブエミッションへつなげるための方策を確立することが求められる。
- ・ 一方、製品メタンのコスト目標については厳しいと言わざるを得ず、余剰電力の価格低下や設備の大規模化による投入資本費の削減を考慮しても、天然資源のメタンと同等にまで下げることは、近未来では達成困難と見られる。そのため、カーボンリサイクル燃料は、日本のエネルギー事情を背景とした再生可能エネルギー大量導入のための手段の一つであることを周知しつつ、「グリーンメタン」としてのプレミアム価値の確立に向けた動きも必要であると思われる。
- ・ 昨年10月のカーボンニュートラル宣言を受け、脱炭素社会に向けた目標の変更または追加があってもよかったのではないかと。今後は、サプライチェーン全体のCO<sub>2</sub>排出量に加え、水素や再生可能エネルギーの消費量をなるべく抑えるためのエネルギー効率も重要になってくるものと考えられるため、そういった指標があってもよかった。また、他の委員からも指摘があったが、コスト目標のターゲットが既存の天然ガスと同等となっており、チャレンジングな目標であることは評価できるものの、低炭素またはCO<sub>2</sub>フリーの燃料であるというプレミアムはあつてしかるべきであるため、複数のコスト目標を設定してもよかったと思う。
- ・ 天然ガスの価格が低いため、天然ガス並みのコスト設定では、経済的成立性は見込めない。グリーンガスとして現実的な価格設定を行うべきである。
- ・ CO<sub>2</sub>回収については、随伴CO<sub>2</sub>のためCO<sub>2</sub>の分離回収工程は必要ないとのことだが、それ以外のCO<sub>2</sub>ソースを使う場合、分離回収が必要であるため、それを考慮した価格設定も必要である。
- ・ LCAの検討が不十分である。

- メタネーションで作ったメタンをそのままガスインフラに流すことはできない。早期社会実装する上では、ガスインフラへ適用する検討も必要。
- **NEDO** 事業やその他政府関係の類の研究開発計画や結果の共有がまだ充分でないと思われる。例えば、他のプロジェクトで実施済み研究開発と類似研究結果の再実施が挙げられる。再発見は必要なく、過去の研究開発の壁を突き破ることが期待できる研究開発計画となっているかどうか重要である。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

専門性を有した各主体が、それぞれ強みを発揮する研究開発の実施体制が生まれ、PMとPLそれぞれによる研究開発の進捗管理が適切に行われており、技術開発の方向性、実施体制とも妥当なものと評価する。新型コロナウイルス感染症拡大で、研究計画の変更を余儀なくされたことはあるが、当初目標をほぼクリアできており、優れたPJ運営となっている。また、2050年カーボンニュートラルの実現、2030年CO<sub>2</sub>排出半減などの野心的目標が明らかになる中、これらの目標を達するために礎となる妥当な研究目標であり評価できる。

一方、今後に向けた後継プロジェクトでは、当該分野での市場競争が厳しくなっていく中、今後ますます革新的かつ早急な技術開発が必要となるため、NEDOとして研究開発マネジメントの知見を適切に蓄積して応用していただくことを期待したい。また、現状の想定より更に脱炭素社会への加速が進む事も想定されるため、複数のシナリオを常に想定しながら今後の研究開発の方向性を検討して頂きたい。さらに、メタネーション装置は、本プロジェクトのキーコンポーネントであり、各社連携して、高効率で耐久性の高いものにして欲しい。

### <肯定的意見>

- ・ 技術開発の方向性、実施体制とも妥当なものと評価する。新型コロナウイルス感染症拡大で、研究計画の変更を余儀なくされたことはあるが、当初目標をほぼクリアできており、優れたPJ運営となっている。
- ・ 評価項目(1)欧州の余剰風力利用のe-Fuel関係の事業などを踏まえ、全体的には妥当な目標設定であったと言える。評価項目(2)③のメタネーション実証に最も経費が配分されており、実績に違和感はない。評価項目(3)(4)技術検討委員会をはじめとする進捗の共有の場が複数回設定されており、運営に問題点は見つからない。評価項目(5)研究機関からの特許出願が2件あり、知財管理は適切になされたと考えられる。

#### 注) e-Fuel (Electrofuels)

- ・ 評価項目(1)から(5)については妥当であり、問題はなかったものと認識している。大きなプロジェクトであり、円滑な遂行には多大なご苦勞があったものと推測され、実施者の皆様の努力に敬意を表したい。
- ・ CO<sub>2</sub>源の川上からメタン・メタノール等の川下まで、最も早期社会実装が可能な検討を行っている。
- ・ 2050年カーボンニュートラルの実現、2030年CO<sub>2</sub>排出半減などの野心的目標が明らかになる中、これらの目標を達するために礎となる妥当な研究目標であり、大いに評価できる。
- ・ 専門性を有した各主体がそれぞれ強みを発揮する研究開発の実施体制が組み立てられていた。PMとPLそれぞれによる研究開発の進捗管理が適切に行われていた。

#### <改善すべき点>

- 資料 6-1 において、メタネーション触媒検討において、産総研と日立造船で開発方針（ペレットとプレート）が一致していない様に見える。開発位置づけを明確にしてほしい。
- パイロットプラントレベルの研究と20年後を目指した研究とが同じ土俵でマネジメントされているようなところも垣間見られた。
- 強いて挙げれば、事業実施期間中の情勢変化への対応として、本事業の重要性が更に増したことへの具体的な対応が追加できればより良かったと感じる。

#### <今後に対する提言>

- 技術開発を進めていくうえで、こういった技術開発事業の進め方、管理は、技術開発そのものと同様に我が国にとって重要なノウハウとなり、他の分野の新しい技術開発にも応用できる知見となるはずである。脱炭素社会実現に向けて、また当該分野での市場競争が厳しくなっていく中、今後ますます革新的かつ早急な技術開発が必要となるため、貴機構として研究開発マネジメントの知見を適切に蓄積して応用していただくことが我が国の国益につながると思う。
- メタネーション装置は、本プロジェクトのキーコンポーネントであり、各社連携して、高効率で耐久性の高いものにして欲しい。
- 本研究開発に限ったことではないが、10年以内の研究開発、20年後の研究開発など研究の進捗レベル、階層に見合ったチーム編成をもうちょっと意識したほうが良いのではないかな。
- 現状の想定より更に脱炭素社会への加速が進む事も想定されるため、複数のシナリオを常に想定しながら今後の研究開発の方向性を検討して頂きたい。

## 2. 3 研究開発成果について

研究開発目標は概ね達成できており、高い成果をあげている。特に③の研究項目は触媒の耐久性管理のための基礎データも取得されており、スケールアップを含む実証規模設計への反映が期待できる。また、天然ガスが非常に低価格のため、これに対抗する合成ガスとしての経済的成立性を示すことが難しい課題ではあるが、川上から川下まで広く検討され、コストを含めて技術的に現実解を導き出したことは評価できる。さらに、油田随伴CO<sub>2</sub>を原料としてパイロットプラントレベルにおけるメタネーション反応において、高活性高選択性触媒を開発し、高速でほぼ純メタンを製造可能であることを実証した点も評価できる。

一方、個々の研究成果に対しては、分離回収の先導的な研究成果としての位置づけであり、60,000Nm<sup>3</sup>/hのフルスケール実機規模での概念設計のキースペックを出せるとさらに良く、触媒関係の成果についても、さらに良い評価を得るために、上記フルスケール相当での青写真、適用有無での効果比較まで言及をしていただきたい。また、製品の利用者の理解を促すことにより、製品の受容性を向上させる効果や、気候変動や脱炭素社会実現などに関する教育への貢献のため、本事業で建設した設備を活かした広報・発信を技術開発とともに期待したい。

### <肯定的意見>

- ・ 研究成果は目標をほぼクリアできている。メタン化については、コロナによりプラント試験の実施が遅れているが、成功を収める可能性は高い。今後の実用化に向けた次の段階の開発研究が期待される。成果の普及活動も幅広く行われている。
- ・ 評価項目(1)前倒し評価であり、新型コロナの影響もあって一部は予定を含んでいるが概ね達成したと見てよい。大きく上回って達成の◎がないのは、好意的に解釈すれば事業開始時点での目論見の妥当性の裏付けでもある。特に③の研究項目は触媒の耐久性管理のための基礎データも取得されており、スケールアップを含む実証規模設計への反映が期待できる。評価項目(2)論文5件、外部発表50件の累計があり、カーボンリサイクルロードマップへの反映を含む外部発信・成果普及は十分と言える。評価項目(3)1.2と重複するが、研究機関からの特許出願が2件あり、知財管理は適切になされたと考えられる。
- ・ 研究開発目標は概ね達成できており、すばらしい成果をあげている。研究成果も多く発表されており、我が国の技術の優位性、先進性を幅広く発信していただいた。
- ・ 天然ガスが非常に低価格のため、これに対抗する合成ガスとしての経済的成立性を示すことが難しい課題に対して、川上から川下まで広く検討され、コストを含めて技術的に現実解を導き出したことは大いに評価できる。莫大と言われているグリーンガス市場創出の可能性が高くなった。
- ・ 油田随伴CO<sub>2</sub>を原料としてパイロットプラントレベルにおけるメタネーション反応において、高活性高選択性触媒を開発し高速でほぼ純メタンを製造可能であることを実証した点は大いに評価できる。

- ・ 全ての研究開発項目に関して、見込みの項目を含めて最終目標を全て達成ということは評価できる。論文や外部発表、メディア発表など研究成果の積極的な発信に努めたことも評価できる。

#### <改善すべき点>

- ・ 設定目標に対する成果としての全般的な評価の点では特に問題はない。個別の成果に対しては、以下の通り。②は分離回収の先導的な研究成果としての位置づけであり、60,000Nm<sup>3</sup>/h のフルスケール実機規模での概念設計のキースペックを出せるとさらに良いと思われる。(膜分離であれば総面積、Tubular reactor であれば長さ、直径、本数、など。吸着分離であれば、塔槽類の大きさとバッチ操作時間をイメージしたダイヤグラムなど。)③の触媒関係の成果についても、上記フルスケール相当での青写真、適用有無での効果比較まで言及があるとさらに良いと思われる。技術的に良い筋であることに疑いはないが、それがフルスケールにおいてどのようなインパクトがあるのか、評価する側としては不明であった。④では、Static な解析であること的前提を述べた方が良い。ガス化炉がキーコンポーネントであり、溶融灰の処理など、ここを一定負荷で運転する意図は理解できるが、BOP にも反応や熱慣性に伴う応答の時定数があり、負荷変動追従が主機以外で制限されるのはよくあることであるため、注意が必要である。

注) BOP (balance of plant)

- ・ 現状の天然ガスをリファーするのではなく、グリーンガスとしての価格設定をすべきである。(メタノールも同様)
- ・ メタノールについては、現状の結果では技術的検証が不十分である。
- ・ LCA の検討が不十分であるため、正確な CO<sub>2</sub> 削減量が分からない。
- ・ 上記メタネーション研究開発以外の項目については、既存報告との十分な比較ができていない。優位性、改善すべき点、課題を明確化すべき。

#### <今後に対する提言>

- ・ 可能な範囲で、本事業のプレーヤー以外の(海外を含む)類似プロジェクト、研究論文との横並び比較として、適切な技術評価指標で相対化したベンチマーキングを実施し、本事業成果の客観的な立ち位置を明確化することを希望。どこが優れていて、どこを強化すべきなのかがわかると、次のプロジェクトの目標設定にもつながると思われる。
- ・ 技術の理解を促進するために、サイト見学を通じて、実際の設備を見ること、規模感(大きさ)や動いている様子を肌で感じることは非常に重要である。コロナ禍で見学自体が難しい状況であるが、本事業で建設した設備を活かした広報・発信は、技術開発とともに、可能な限り続けていただきたい。製品の利用者の理解を促すことにより製品の受容性を向上させる効果や、気候変動や脱炭素社会実現などに関する教育にも大きな貢献ができるのではないかと考えられる。

- メタネーションで作ったメタンは、そのまま、国内のガスラインに流すことはできない、メタンだけでは燃焼量が足りず、C2、C3の添加が必要になる。早期社会実装する上でガスインフラに適用するための検討を行ってほしい。
- メタノールもしっかりとした技術検証を行い、メタン同様にグリーン化成品としての可能性を示して欲しい。
- 既報や他研究成果との比較を行い、各報告の特徴を明らかにすべきではないか。
- 6月までに最終目標達成見込みとなっている開発項目の着実な達成を期待している。

## 2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

CO<sub>2</sub>のメタン化については、本PJにおける反応器設計、触媒改良、運転シミュレーションなどを通じて、その製造技術はほぼ確立できたものと評価され、今後の実用化に向けたロードマップの前倒し実施が大きく期待される。また、技術開発の戦略として、段階的に開発・実証の中で要素技術開発およびシステム全体の設計、運用も含めてスケールアップを検討していくことは妥当である。

一方、メタネーションで作ったメタンをそのまま都市のガスインフラに流せないことから、早期社会実装する上で、ガスインフラへの適用やLCAの検討を期待している。また、カーボンニュートラルに向けて取り得る手段は直接合成する方法に限られないため、例えばカーボンニュートラルLNG等の代替手段との棲み分けを考慮した検討、さらにメタネーションの実用化に向けた具体的取組みにおいて、技術確立後の導入にかかるリードタイムも考慮した成果の活用を検討いただきたい。

### <肯定的意見>

- ・ CO<sub>2</sub>のメタン化については、本PJにおける反応器設計、触媒改良、運転シミュレーションなどを通じて、その製造技術はほぼ確立できたものと評価される。今後の実用化に向けたロードマップの前倒し実施が大きく期待される。
- ・ 評価項目(1)(2)P2Gの技術ニーズは、余剰再エネの増加とともに高まると予測され、有意な成果を確実に挙げた点では高く評価できる。
- ・ 評価項目(3)現時点で顕著とは言えないまでも、波及効果については今後確実に伸びていくと思われる。特に都市ガス導管を利用した普及戦略はどの国にも適用可能であり、潜在的な市場は大きい。
- ・ 技術開発の戦略として、段階的に開発・実証の中で要素技術開発およびシステム全体の設計、運用も含めてスケールアップを検討していくことは妥当であり、現実的である。
- ・ CO<sub>2</sub>からグリーンメタンを製造するまでのプロセスの早期社会実装は近く、ガスインフラへ適用できれば、社会普及へのインパクトは大きい。
- ・ メタネーションについては大型実証に進むべき研究成果がでており、期待が持てる。社会実装するための、適切な研究開発マイルストーンが示されている。
- ・ メタネーションについて、段階的なスケールアップで技術開発・実証を進めることが明確化されている。2050年のカーボンニュートラルへ貢献する技術として、成果が着実に実用化されることを期待している。

### <改善すべき点>

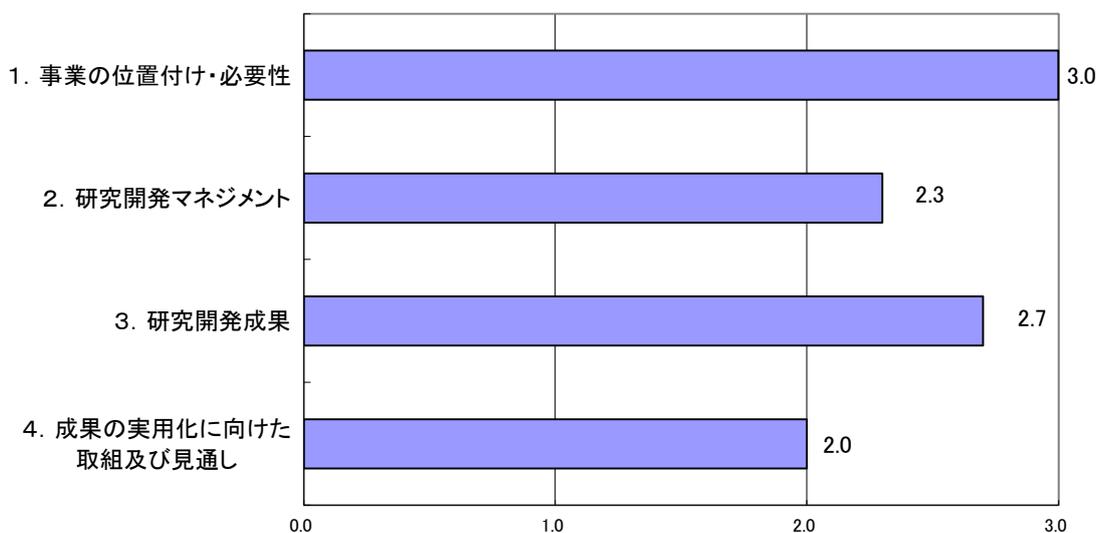
- ・ メタノール合成については、優れた膜反応システムが開発されている。類似分野の他のNEDO PJの成果、情報を共有してさらに優れた反応系の開発につなげてもらいたい。

- ・ 想定する製品に対する市場分析が不足していると感じた。細かく見ていくと、より低炭素であるか、等の課題に対して責任ある調達がなされているかなど、必ずしも既存の製品と同等の市場が将来に広がっているわけではないため、利用まで含めた市場分析を行い、求められる技術を洗い出すことも必要であると思う。
- ・ メタンガスをそのまま都市のガスインフラに流せないため、燃焼量調整等も踏まえた導管注入についての検討が必要である。
- ・ LCA が不十分であり、CO<sub>2</sub>削減量が正確に見積もれていない。
- ・ 社会実装するためのボトルネックとなりうる周辺環境や関連技術について明確化されていない。

#### <今後に対する提言>

- ・ 本PJでは、CO<sub>2</sub>源の一つとして天然ガス随伴のものが想定されている。排出削減のためのソースとしては有効利用したいものではあるが、これを利用してもカーボンニュートラルとはならない。ニュートラルを目標としたCO<sub>2</sub>源の確保が求められる。
- ・ あくまでこれから、であり、コスト目標の達成については不透明である。技術的には可能でも、カーボンリサイクル燃料は公的資金なしで経済的自立は困難な状況であり、限界コストの見極めが重要である。
- ・ CO<sub>2</sub> 有効利用により解決できる課題は気候変動以外にも多いと考えられるため、ユーザーに訴求できるポイントを整理し、利用まで含めた市場分析とともに実用化の戦略を検討してみるのもよいと思う。
- ・ ガスインフラへの適用検討が無ければ、社会実装はできない。是非、検討してほしい。
- ・ 大目的を共通とする研究開発については、その社会実装化の条件は大きく変わらないと考えられる。俯瞰的視点から、各研究開発成果がどの位置にあるのか評価すべきである。ある時点で先頭と思われた成果も前提条件や将来展望の変化により、その価値が変化することも予想でき、筋の良い研究を幅広く推進することが重要であると思う。
- ・ カーボンニュートラルに向けて取り得る手段は直接合成する方法に限られないため、例えばカーボンニュートラル LNG（天然ガスの採掘から燃焼に至るまでの工程で発生するCO<sub>2</sub>をCO<sub>2</sub>クレジットでカーボン・オフセットしたもの）等の代替手段との棲み分けを考慮した検討も期待したい。また、メタネーションの実用化に向けた具体的取組みにおいて、技術確立後の導入にかかるリードタイムも考慮した成果の活用を検討頂きたい。

### 3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)					
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.3	A	A	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.7	A	B	A	A	A	B
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.0	B	B	B	B	B	B

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

#### 〈判定基準〉

- |                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について            |
| ・非常に重要 →A          | ・非常によい →A                |
| ・重要 →B             | ・よい →B                   |
| ・概ね妥当 →C           | ・概ね妥当 →C                 |
| ・妥当性がない、又は失われた →D  | ・妥当とはいえない →D             |
| 2. 研究開発マネジメントについて  | 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて |
| ・非常によい →A          | ・明確 →A                   |
| ・よい →B             | ・妥当 →B                   |
| ・概ね適切 →C           | ・概ね妥当 →C                 |
| ・適切とはいえない →D       | ・見通しが不明 →D               |

## 第2章 評価対象事業に係る資料

## 1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／  
④次世代火力発電基盤技術開発／  
7) CO2 有効利用技術開発」

事業原簿

公開版

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

## 概 要

### プロジェクト用語集

- 1. 事業の位置付け・必要性について……………1-1**
  1. 事業の背景・目的・位置づけ
  2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性
    - 2.1 NEDO が関与することの意義
    - 2.2 実施の効果（費用対効果）
  
- 2. 研究開発マネジメントについて……………2-1**
  1. 事業の目標
  2. 事業の計画内容
    - 2.1 研究開発の内容
    - 2.2 研究開発の実施体制
    - 2.3 研究開発の運営管理
    - 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性
  3. 情勢変化への対応
  4. 中間評価結果への対応
  5. 評価に関する事項
  
- 3. 研究開発成果について……………3-1**
  1. 事業全体の成果
  2. 研究開発項目毎の成果
  
- 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて……………4-1**
  1. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

（添付資料）

- ・特許論文等リスト
- ・プロジェクト基本計画

# 概要

		最終更新日	2021年3月25日				
プロジェクト名	カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／④次世代火力発電基盤技術開発／7) CO2 有効利用技術開発	プロジェクト番号	P16002				
担当推進部/ PMまたは担当者	環境部 PM 西海 直彦 (2021年3月現在) 環境部 PM 村上 武 (2017年10月～2019年6月)						
0. 事業の概要	我が国の優れた CCT 等に更なる産業競争力を賦与できる将来有望な CCU 技術の確立を目指し、CO2 有効利用品製造プロセスやシステムにおける CCU 技術の総合評価を実施する。CCU 技術の総合評価 (経済性、環境性など) のため、CO2 の排出源、CO2 分離回収技術、変換技術や有効利用技術などがベストマッチングできる最適なシステムを、実験やシミュレーションを通じて詳細検討する。また、将来大量に導入が予想される再生可能エネルギーと、高効率な石炭火力発電技術である石炭ガス化複合発電 (IGCC) との共生を念頭に入れたポリジェネレーションシステム (熱・電力・燃料供給システム) も CCU 技術の一つとして検討し、その運用性、環境性、経済性などを評価する。						
1. 事業の位置 付け・必要性について	供給安定性及び経済性に優れた天然資源である石炭を利用した火力発電は、将来的にも、国内の発電供給量の 26%を担う重要な電源である。 しかし、これら石炭火力発電では CO2 排出量が比較的多く、将来的に CO2 分離回収有効利用 : Carbon Capture and Utilization (CCU) が検討されている。現時点では CO2 の大規模処理が困難であるものの、有価物の製造等により利益を創出する可能性がある。 2030 年度以降を見据え、将来の有望な CCU 技術の確立を目指して、我が国の優れた CCT (Clean Coal Technology) 等に、更なる産業競争力を賦与する事が可能な CCU 技術について、実用化に向けた開発を実施する。						
2. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	事業終了時に本事業として実施する CO2 有効利用技術の適用性を確認する。一例としては、将来的に天然ガス代替では 0.9 円～1.4 円/MJ* (LHV) を見通す経済性を評価する。 ※35 円～55 円/Nm <sup>3</sup> : 天然ガス 39MJ/Nm <sup>3</sup>						
事業の計画内容	主な実施事項	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	
	① CO2 有効利用 トータルシステムとしての 総合評価	[Blue bar spanning 2017fy to 2021fy]					
	② CO2 分離回収・ 有効利用システムの 検討・評価	[Blue bar spanning 2017fy to 2019fy]					
	③高濃度 CO2 利用 品製造プロセスの検 討・評価	[Blue bar spanning 2017fy to 2021fy]					
	④再生可能エネ ルギー併用 CO2 有効 利用システムの検討	[Blue bar spanning 2017fy to 2019fy]					

事業費推移 (単位:百万円) (委託)	会計・勘定	2017fy	2018fy	2019fy	2020fy	2021fy	総額
	一般会計	-	-	-	-	-	-
	特別会計(需給)	366	628	448	351	126	1919
	開発成果促進財源	-	-	-	-	-	-
	総 NEDO 負担額	366	628	448	351	126	1919
	(委託)	366	628	448	351	126	1919
開発体制	経産省担当原課	資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課					
	プロジェクトリーダー	日本大学 坂西 欣也					
	プロジェクトマネージャー	環境部 西海 直彦					
	委託先	一般財団法人エネルギー総合工学研究所 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 (再委託先: 山口大学、京都大学) 国際石油開発帝石(株) (再委託先: 国立研究開発法人産業技術総合研究所) JFE スチール(株) 日立造船(株) (再委託先: 名古屋大学)					
情勢変化への対応	<p>事業開始(2017年度)以降、下記のような情勢変化があり、本事業の早期実用化の重要性がますます高まった状況にある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2019年6月に経済産業省により「カーボンリサイクル技術ロードマップ」が策定された。CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルに係る技術は、将来有望な選択肢の一つであり、そのイノベーションを加速化していくことが重要とされている。</li> <li>・2020年1月に内閣府により「革新的環境イノベーション戦略」が策定された。CO<sub>2</sub>排出削減効果が大きな技術(39テーマ)の一つとして「低コストメタネーション技術の開発」が設定され、技術の確立を目指すことが示された。</li> <li>・2020年12月に経済産業省により「カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。この中で、「カーボンリサイクル産業」も重要分野として指定され、技術開発・社会実装を進め、グローバル展開を目指すことが示された。</li> </ul> <p>本事業の事業内容を上記政策に反映しており、本事業の早期実用化の重要性がますます高まった。</p>						
評価に関する事項	事後評価	2021年度 前倒し事後評価実施					
3. 研究開発成果について	<p>最終目標(2021年度)の達成状況</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・メタメーションについては、基礎基盤研究段階の本プロジェクトでのベンチスケール試験を通じて、技術目標を達成した。実用化に向けての技術的知見や課題も得られ、段階的な設備スケールアップ試験・実証に向けた大きな成果を得られた。</li> </ul>						

	<p>・0.9円～1.4円/MJ（LHV）を見通す経済性の評価については、商用スケールでの事業性を電気料金（水電解コスト）、副生物（酸素、熱）販売、CAPEX/OPEX等の条件を加味して評価し、電気料金は1～3円/kWh程度が事業性には必要であることが明らかとなった。</p>	
	投稿論文	5件
	特許	「出願済」2件（うち国際出願1件）
	その他の外部発表 （プレス発表等）	50件

【メタネーション】

策定した実用化に向けた技術ロードマップに基づき、本プロジェクトで得た知見・技術的課題を踏まえ、段階的な技術開発・実証を進める。

2021年度カーボンリサイクル技術ロードマップの気体燃料分野の公募を実施予定。

市場ニーズ

・天然ガス（メタン）は生活・産業に不可欠なエネルギーである一方で、利用に際して発生するCO<sub>2</sub>が問題となる。温暖化対策として、ガス自体の脱炭素化が求められており、それに対応できる技術として期待できる。

・変動する再生電力の余剰分を使った水電解水素を使ったメタネーションを行い、ガス導管注入を行うことで余剰電力の受け皿となりうると期待できる。

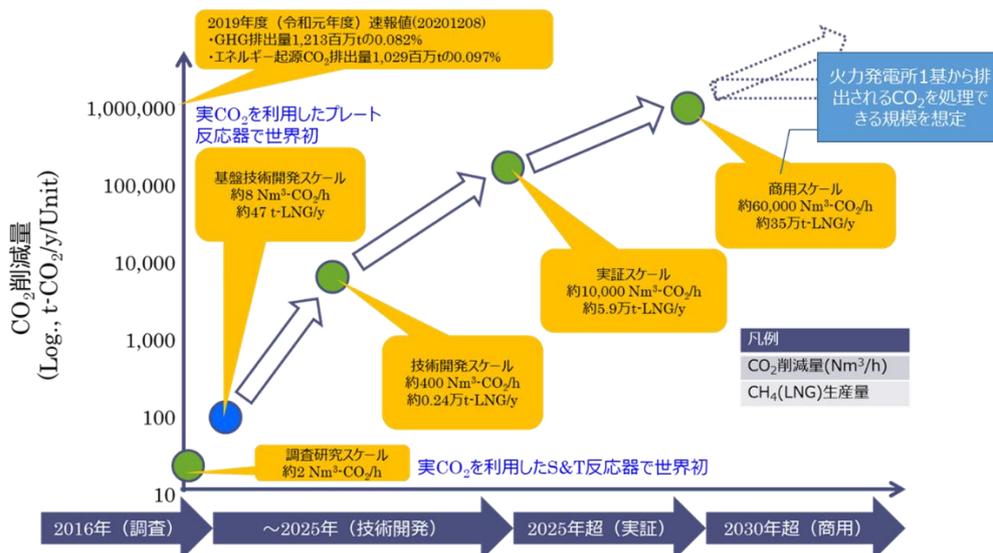
競合技術に対する優位性

・メタン合成技術の中では、基礎技術は既に確立されているという優位性があり、大型化研究開発の段階を経て実用化には近い。

技術確立の見通し

・段階的な大型化研究・実証を経ることで実用化のための技術確立は獲得できる。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見直しについて



5. 基本計画に関する事項

作成時期	2016年1月 作成
変更履歴	2016年4月、9月、2017年2月、5月、6月、2018年2月、7月、9月、2019年1月、7月、2020年2月、3月、7月、9月、2021年1月 改訂 (目的、目標、内容、研究開発項目等の追加、修正)

プロジェクト用語集

名称	略号	意味
メタネーション Methanation		水素と二酸化炭素から天然ガスの主成分であるメタンを合成する技術
ポリジェネレーションシステム Polygeneration System		バイオマスや廃棄物、石炭等を燃料として発電すると共に、水素や化学品といった有価物を併産するシステム
二酸化炭素回収・貯留 Carbon Dioxide Capture and Storage	CCS	発電所など大規模な排出源で発生するCO <sub>2</sub> を、他のガスから分離・回収し、安定した地層に貯留したり、海洋に隔離することにより、CO <sub>2</sub> を大気から長期間隔離する技術
二酸化炭素回収・有効利用・貯留 Carbon Dioxide Capture, Utilization and Storage	CCUS	回収・貯留したCO <sub>2</sub> を有効利用すること
サバティエ反応 Sabatier reaction		水素と二酸化炭素を高温高压状態に置き、ニッケルを触媒としてメタンと水を生成する化学反応
共電解 Co-electrolysis		二酸化炭素と水蒸気を同時に電気分解すること
メンブレンリアクター Membrane Reactor		触媒を固定した膜を利用したり、生成物を取り出す機能を備えた膜を利用して物質を合成する装置。
断熱型		反応系と外部との熱の出入りを断ち、孤立させた状態で反応させる方式。反応熱を高温蒸気として反応器下流で回収する。
シェルアンドチューブ型 Shell & Tube Type		反応熱を除熱流体を用いて反応器内で回収し、出口温度を低温とすることで高メタン濃度を一段の反応で達成可能。
プレート型 Plate Type		シェルアンドチューブ型と同じく熱交換型。単位体積当たりの伝熱面積をシェルアンドチューブ型より広く設定することが可能で、反応熱を効率よく除熱可能。
ホットスポット Hot Spot		メタン反応は発熱反応であり、局所的に高温となる場所のこと

# 1. 事業の位置付け・必要性について

## 1. 事業の背景・目的・位置づけ

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

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

2016年4月「エネルギー・環境イノベーション戦略」において、CO<sub>2</sub>排出削減ポテンシャルが期待出来る技術としてCO<sub>2</sub>固定化・有効利用が示されている。(図1.1.1)

2016年6月に経済産業省により策定された「次世代火力発電に係るロードマップ」において、2030年以降を見据えた取組みとして、CCUS技術(有効利用技術 要素技術開発・実証事業)の開発を進めることとしている。(図1.1.2)

そこで本事業では、2030年度以降を見据え、将来の有望なCCU技術の確立を目指して、我が国の優れたCCT(Clean Coal Technology)等に、更なる産業競争力を賦与する事が可能なCCU技術について、実用化に向けた開発を実施する。



図 1.1.1 エネルギー・環境イノベーション戦略

出典：内閣府 総合科学技術・イノベーション会議 2016年4月

## 7. 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表

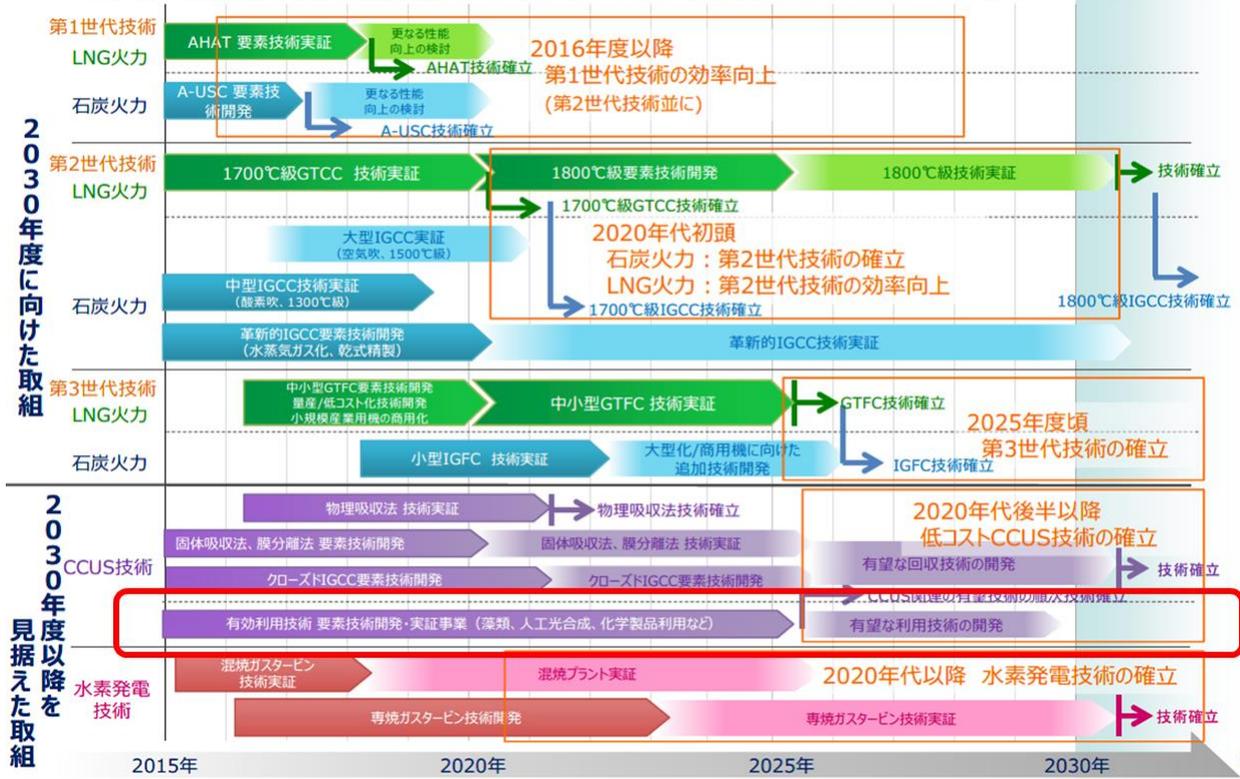


図 1.1.2 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表

出典：経済産業省 次世代火力発電の早期実現に向けた協議会 2016年6月

## 2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 2.1 NEDO が関与することの意義

CO<sub>2</sub> 排出削減に寄与する CO<sub>2</sub> 有効利用技術の開発・実用は、

- 社会的必要性：大、国家的課題（温暖化対策）に貢献する技術
- 研究開発の難易度：実用化に向けて実証試験など長期かつ段階的な技術開発が必要で難易度高
- 投資規模：長期に渡る開発が必要で投資リスク大

エネルギー・地球環境問題の解決を担う組織である NEDO は、国家的課題である温暖化対策に対し、マネジメント力を生かした産学官の技術力・研究力を最適に組み合わせ研究を推進できる。また、NEDO 内部にある他分野の知見（水素）を本事業に生かし効果的な事業推進ができる。

以上のことから、NEDO がもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業である。

### 2.2 実施の効果（費用対効果）

①プロジェクト費用の総額（5年間）：約 19 億円

②CO<sub>2</sub> 排出削減効果

【メタネーション】

## 電力市場

CO<sub>2</sub> 由来のメタンを天然ガスパイプライン運用上の許容圧力範囲内において、再エネ由来電力として、少なくとも 3,000 万 kW 程度の余剰電力を吸収可能。

## CO<sub>2</sub> 削減効果

国内の天然ガス年間消費量(約 1,000 億 m<sup>3</sup>) の 10%を CO<sub>2</sub>と水素からの合成メタンで代替した場合、年間約 2,240 万 ton の CO<sub>2</sub> 削減効果となる。日本での年間 CO<sub>2</sub> 排出量の約 2%削減となる。

- ・天然ガス燃焼時の CO<sub>2</sub> 排出量 : 51g/MJ
- ・天然ガス発熱量 : 40MJ/m<sup>3</sup>
- ・2019 年度 日本の CO<sub>2</sub> 排出量 : 12 億 1300 万 ton

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

【最終目標（2021年度）】

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

※35円～55円/Nm<sup>3</sup>：天然ガス39MJ/Nm<sup>3</sup>

【目標設定根拠】

- ・将来のCO<sub>2</sub>有効利用技術の社会への普及には技術の確立だけでなく、経済性等の社会への適用性を評価する必要がある、その確認をすることを目標として定めた。
- ・0.9円～1.4円/MJ（LHV）は、現時点での天然ガス価格から算出した値で、商用スケールでの経済性を検討する目標値として定めた。

### 2. 事業の計画内容

#### 2.1 研究開発の内容

##### (1) 本プロジェクトの概要と経緯

2016年度からCO<sub>2</sub>排出削減のための有効利用技術の一つであり、既存インフラが使えるメタネーションについて、事業性等の調査・実験・検討を行った。また、NEDOとして、CO<sub>2</sub>濃度の異なる排出源ごとのCO<sub>2</sub>分離回収技術・有効利用技術の最適組み合わせの検討や再エネ導入増加に伴う電源系統安定化に関して寄与すると期待できるポリジェネレーションシステムの可能性検討が必要と判断し、本プロジェクトを開始した。

#### ■CO<sub>2</sub>有効利用可能性調査(2016～2017年度)

<概要>

CO<sub>2</sub>排出量削減のための有効利用技術の一つであり、既存インフラが使えるメタネーションについて、技術・事業性等の調査・実験・検討を行った。

CO<sub>2</sub>排出源ごとのCO<sub>2</sub>分離回収技術・有効利用技術の最適組み合わせの検討やポリジェネレーションシステムの可能性の検討が必要とNEDOが判断。

#### ■CO<sub>2</sub>有効利用技術開発(2017～2021年度)

<2021年度目標(最終目標)>

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

図 2.1.1 プロジェクトの経緯

【事業内容】

2030 年度以降を見据え、将来有望な CCU 技術の確立を目指して、我が国の優れたグリーンコー  
ルテクノロジー（CCT）等に更なる産業競争力を賦与することが可能な CO<sub>2</sub> 有効利用技術  
（CCU）について、実用化に向けた開発を実施する。

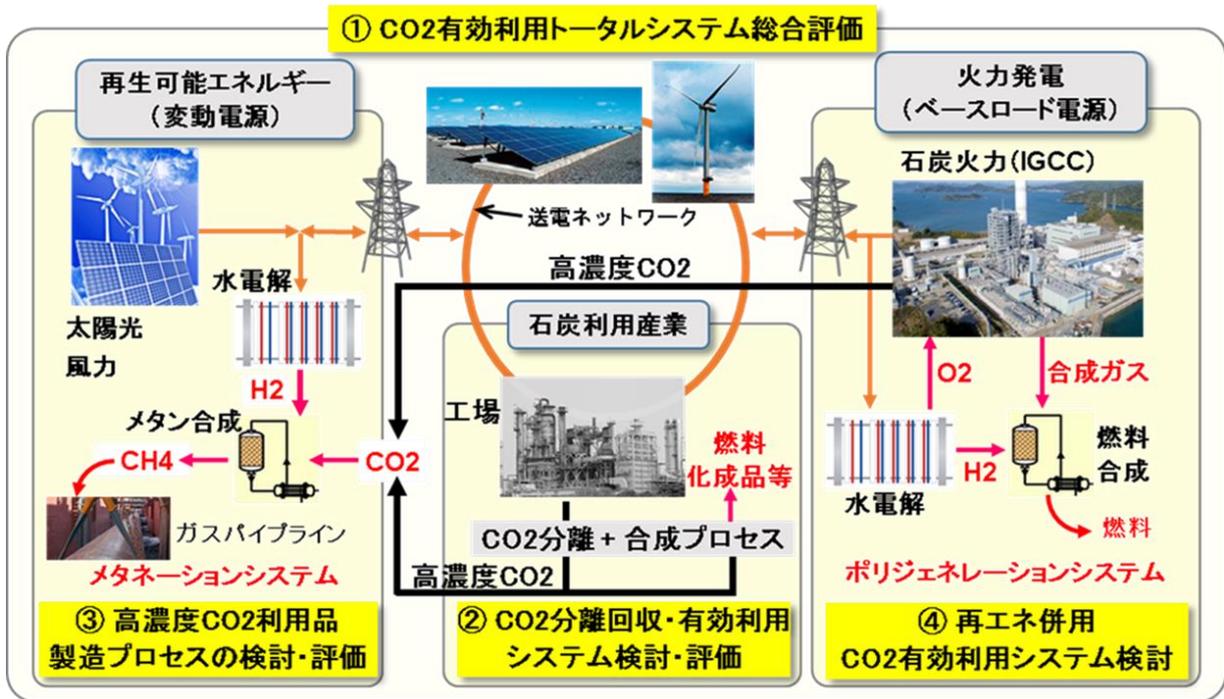


図 2.1.2 研究テーマ相互関係

【研究開発項目①】

CCU 技術による CO<sub>2</sub> 排出削減や有価物製造を総合的な観点からその効果と価値を明らかにする  
ため、研究開発項目②～④を踏まえて上で CCU 技術や CCU 技術を用いたトータルシステムの総  
合評価を行う。

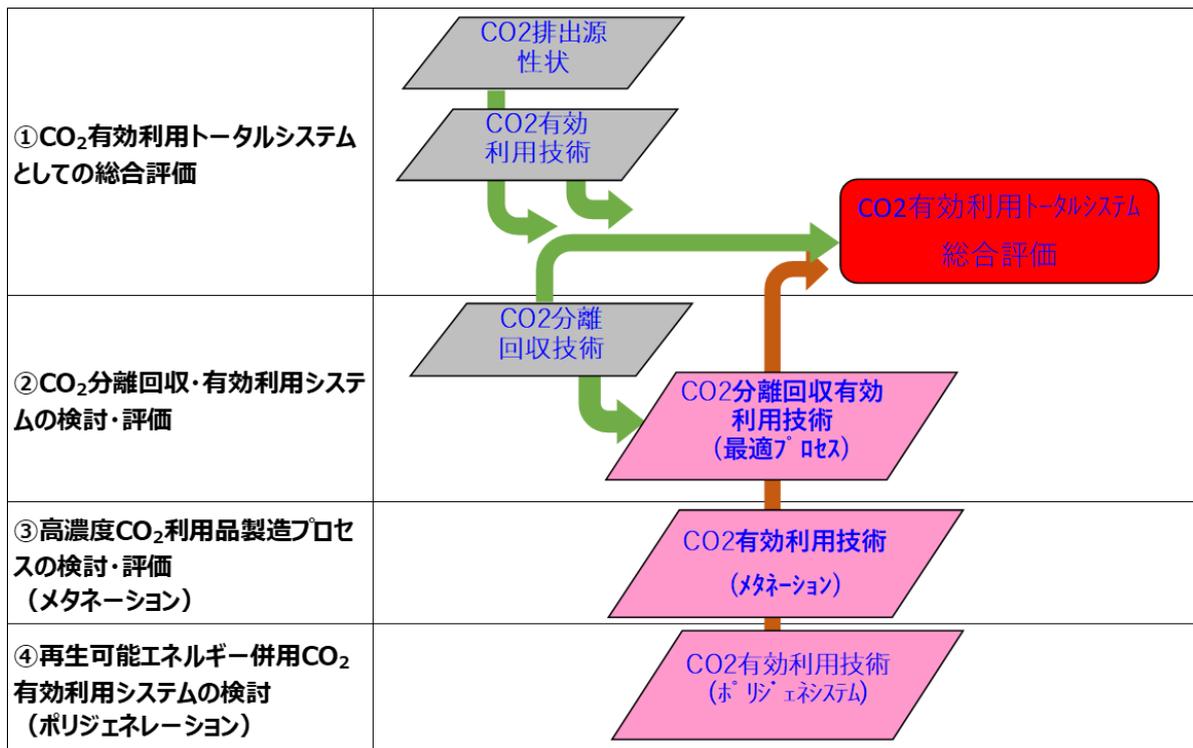


図 2.1.3 CO<sub>2</sub> 有効利用トータルシステム総合評価

【研究開発項目②】

最適な CCU プロセスを構築するための技術課題や経済性を明らかにするため、CO<sub>2</sub> 分離回収技術および変換技術の組み合わせの検討や評価を、実験やシミュレーションを通じて行う。

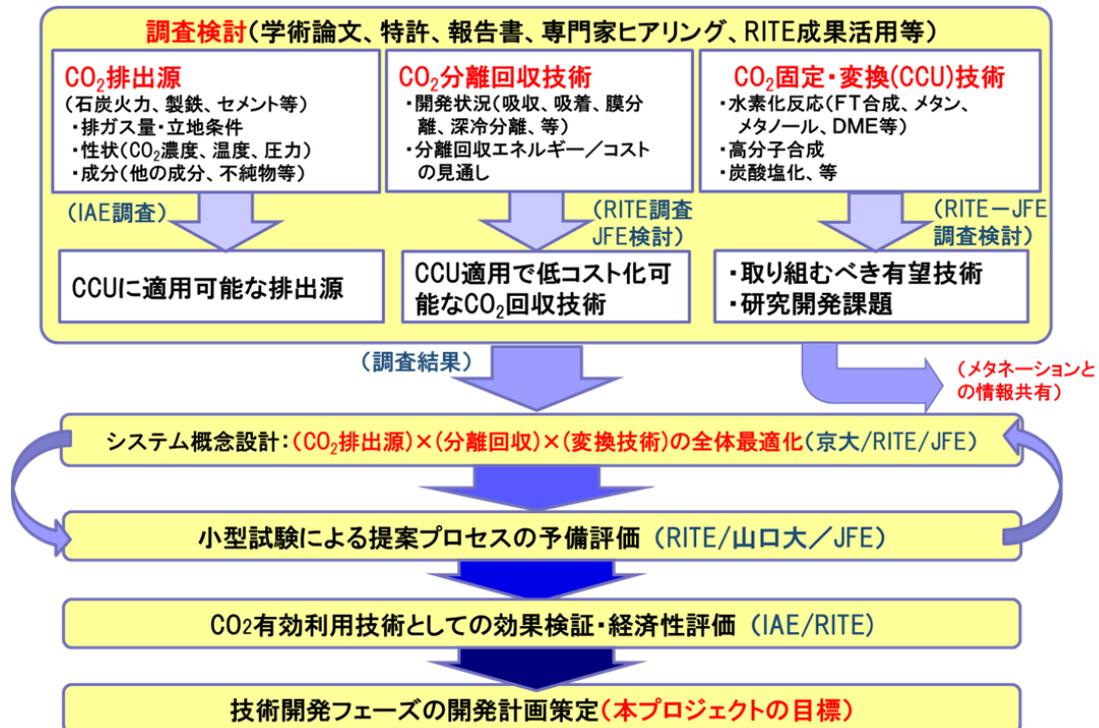


図 2.1.4 CO<sub>2</sub> 分離回収・有効利用システムの検討・評価

【研究開発項目③】

高濃度に分離回収された CO<sub>2</sub> を利用した有価物製造プロセス（メタネーション）の事業性を明らかにするために、同プロセスの試験装置を設計・製作し、その検証結果から CCU 技術としての適用性や経済性に関する検討や評価を行う。

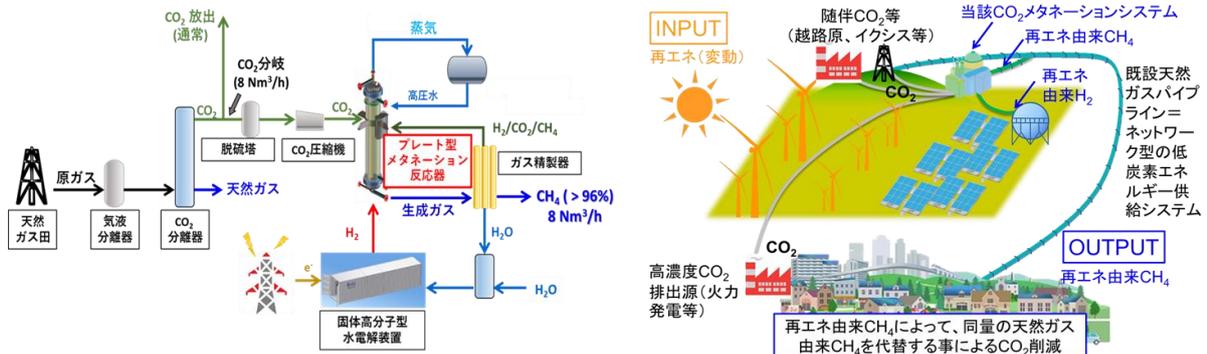


図 2.1.5 高濃度 CO<sub>2</sub> 利用品製造プロセスの検討・評価（メタネーション）

【研究開発項目④】

国内外における石炭ガス化ガスをベースとしたポリジェネレーションシステムの検討例を調査し、用いられている技術（石炭ガス化、水素/酸素製造、合成燃料製造など）について開発状況を整理する。また、再生可能エネルギーとの組み合わせシステムの可能性についても検討する。

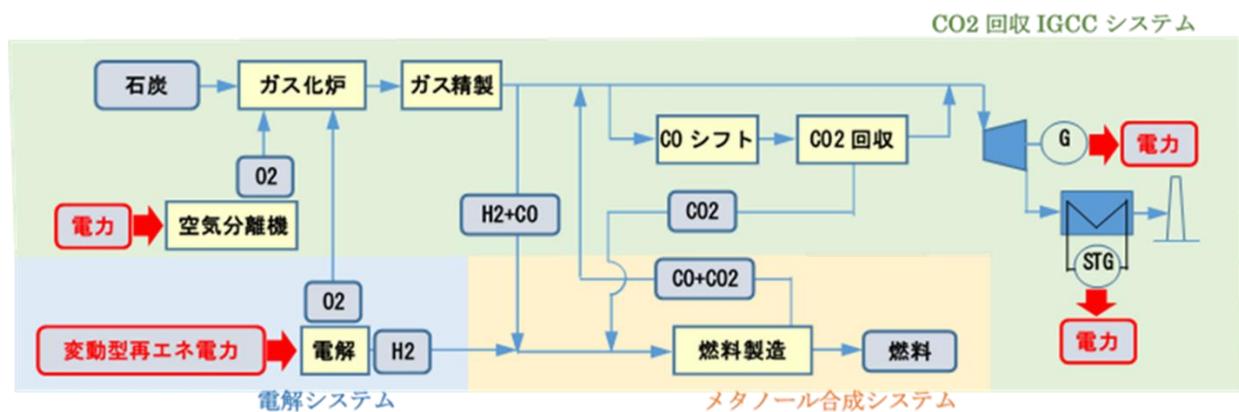


図 2.1.6 再生可能エネルギー併用 CO<sub>2</sub> 有効利用システムの検討（ポリジェネレーション）

## 2.2 研究開発の実施体制

(2017年度～2019年度)

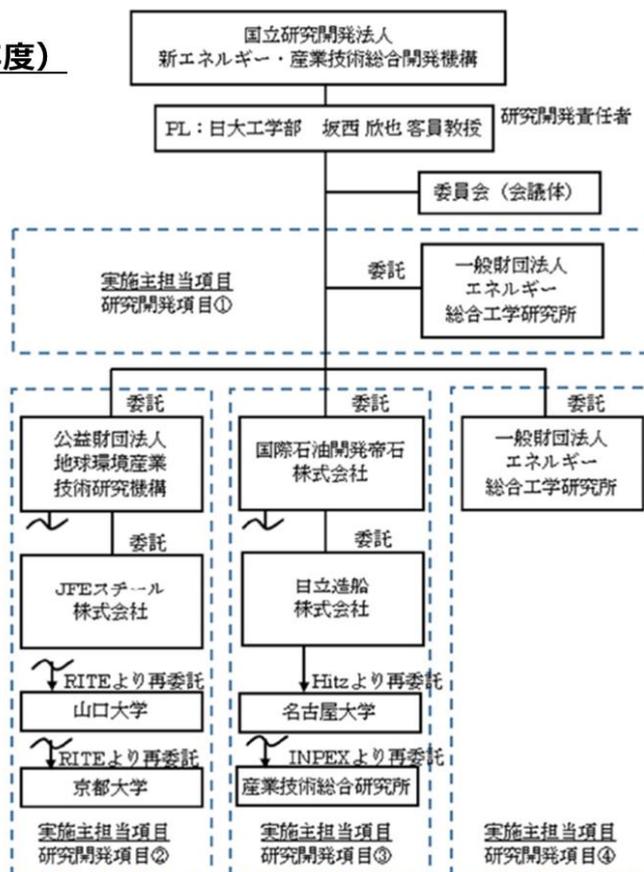


図 2.2.1 研究開発の実施体制 (2017 年度～2019 年度)

(2020年度～2021年度)

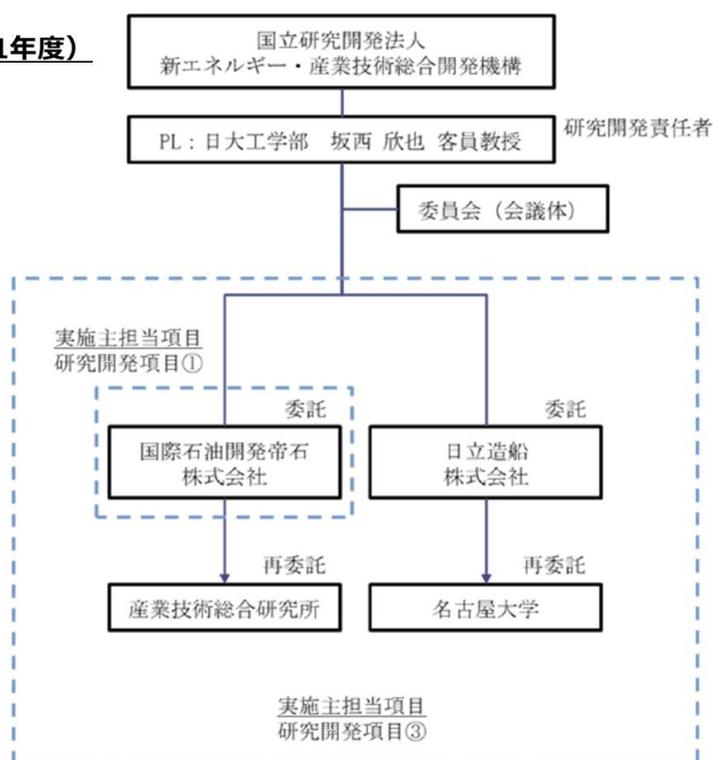


図 2.2.2 研究開発の実施体制 (2020 年度～2021 年度)

## 2.3 研究開発の運営管理

PM は、PL や実施者と密接に連携し、研究開発の進捗状況を把握した。また従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリング等により実施状況を確認し、目標達成の見通しを常に把握することに努めた。

PL は、PM、実施者との打ち合わせを頻繁に行い、各研究開発項目の進捗状況、成果及び問題点を把握し、適宜指導を行った。

PM/PL による管理実績として外部委員による NEDO 主催の技術検討委員会、事業者主催の推進委員会、プロジェクト進捗会議等で進捗フォローを行った。

(技術検討委員会：2 回、推進委員会：4 回、進捗会議：6 回)

### 【外部委員リスト】

#### ○技術検討委員会

関根 泰	早稲田大学 先進理工・応用化学 教授
杉村 英市	電気事業連合会 技術開発部長
鷹嘴 利公	産業技術総合研究所 イノベーション推進本部 地域連携推進部 関東地域連携室 室長
中澤 治久	火力原子力発電技術協会 専務理事
山崎 晃	千葉工業大学 社会システム科学部 金融・経営リスク科学下 教授

## 2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

### (1)知的財産等に関する戦略

- ・ノウハウとして保有する方が有利な技術は出願しない。
- ・知財として確保する方が有利な技術については積極的に特許として出願する。

### (2)知的財産管理

本プロジェクトで得られた知財については、関係各機関の知財管理部門と連携し、特許管理、知財管理を進める。

「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条（委託の成果に係る知的財産兼の帰属）の規程等に基づき、原則として、事業成果に関わる知的財産権は全て委託先に帰属させる。

### 3. 情勢変化への対応

事業開始以降、以下のような情勢変化があり、より加速しての本事業の早期実用化が引き続き重要な状況にある。

➤ 2019年6月に経済産業省により「カーボンリサイクル技術ロードマップ」が策定された。CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルに係る技術は、将来有望な選択肢の一つであり、そのイノベーションを加速化していくことが重要とされている。

➤ 2020年1月に内閣府により「革新的環境イノベーション戦略」が策定された。CO<sub>2</sub>排出削減効果が大きな技術（39テーマ）の一つとして「低コストメタネーション技術の開発」が設定され、技術の確立を目指すことが示された。

➤ 2020年12月に経済産業省により「カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。この中で、「カーボンリサイクル産業」も重要分野として指定され、技術開発・社会実装を進め、グローバル展開を目指すことが示された。

本事業の事業内容を上記政策に反映しており、本事業の早期実用化の重要性がますます高まった。

### 3. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

メタメーションについては、基礎基盤研究段階の本プロジェクトでのベンチスケール試験を通じて、技術目標を達成した。実用化に向けての技術的知見や課題も得られ、段階的な設備スケールアップ試験・実証に向けた大きな成果を得られた。

0.9 円～1.4 円/MJ (LHV) を見通す経済性の評価については、商用スケールでの事業性を電気料金 (水電解コスト)、副生物 (酸素、熱) 販売、CAPEX/OPEX 等の条件を加味して評価し、電気料金は 1～3 円/kWh 程度が事業性には必要であることが明らかとなった。

#### 2. 研究開発項目毎の成果

本事業における研究開発項目ごとの目標と達成状況を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 研究開発項目ごとの目標と達成状況

○達成、△達成見込み、×未達

(△については事業終了 2021 年 6 月末までには達成見込み)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
①-1 CO <sub>2</sub> 排出源ごとの排ガス量・性状の調査・解析	CCU技術の有効性検討のため、 <b>CO<sub>2</sub>排出源ごとの排ガス量・性状の調査</b> を実施する。	産業別や化学プロセス別の調査を行い、結果を総合評価等に反映した。	○
①-2 CO <sub>2</sub> 固定化・有効利用技術の最新開発動向調査	取り組むべき有効利用技術と研究課題の整理のため、 <b>CO<sub>2</sub>固定化・有効利用技術の最新開発動向</b> の調査を実施する。	各種CO <sub>2</sub> 有効利用技術の動向を調査し、 <b>市場規模・CO<sub>2</sub>固定化可能量を考慮するとメタノール合成が有望と結論づけた。</b>	○
①-3 CO <sub>2</sub> 有効利用技術の効果検証	CO <sub>2</sub> 有効利用技術による <b>CO<sub>2</sub>排出削減効果</b> を検証する。	CO <sub>2</sub> 排出削減効果を試算した。	○
①-4 CO <sub>2</sub> 有効利用トータルシステムの総合評価	メタメーション等についての経済性も含めた <b>総合評価</b> を行う。	総合評価を実施し、CO <sub>2</sub> フリー燃料・資源としての可能性を評価した。	○

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
②-1 CCUに適用可能な分離回収技術に関する調査	各種CO <sub>2</sub> 分離回収技術を調査し、 <b>CCUに適した分離回収技術の抽出</b> を行う。	CO <sub>2</sub> 排出源ごとのCO <sub>2</sub> 分離回収技術、CO <sub>2</sub> 有効利用先との <b>最適組み合わせ</b> を示した。	○
②-2 最適CCUプロセスの概念設計と試験による有効性検証	CO <sub>2</sub> ガス組成や変換システムまでの <b>全体最適化したプロセスの検討を試験・シミュレーションにより行う</b> 。抽出した <b>プロセスの概念設計</b> を行う。	製鉄複製ガス、石炭火力排ガス、IGCC合成ガスを対象に、 <b>プロセスシミュレーションを行い最適プロセスを導きだした</b> 。抽出したプロセス（膜反応器）の <b>概念設計・要素研究</b> を実施した。	○
②-3 プロセスの技術課題整理・開発計画の策定	②-2の結果をもとに、 <b>技術開発課題を抽出し、実用化に向けた開発計画</b> を策定する。	技術課題を整理し <b>開発計画を策定</b> した。	○

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
③-1 反応熱エネルギーマネジメント技術	メタネーション反応をシミュレーションできる <b>数値モデルを構築</b> する。このモデルを用いて、反応速度・熱流体シミュレーションを行い、 <b>反応器・プロセス設計</b> へのフィードバックを行う。	<b>CFD(数値流体力学)モデルを構築</b> し、実験測定データをシミュレーションでの再現を確認。シミュレーション結果の <b>次期スケールアップ反応器設計</b> へのフィードバックを推進中。	△ (2021年6月達成見込み)
③-2 触媒活性マネジメント技術	メタネーション触媒の失活が生じない下記 <b>条件を明確</b> にする。 微量不純物(H <sub>2</sub> S、VOC)許容濃度上限	H <sub>2</sub> S、VOCによる活性低下に帯するメカニズム解明を実施し、 <b>許容濃度の確認</b> を実施中。	△ (2021年6月達成見込み)
③-3 プロセス運転マネジメント技術	メタン合成能力8Nm <sup>3</sup> /hの試験装置を設計・建設・試験を実施し、下記目標を達成する。 <b>合成能力：8Nm<sup>3</sup>/h メタン濃度：96%以上 熱回収率：85%以上 定格運転時間：4500時間</b>	合成能力、メタン濃度( <b>実績99%</b> )、熱回収率( <b>実績87%</b> )は達成済み。 定格運転時間は、 <b>6月には達成見込み（1月末の段階で2500時間達成）</b>	△ (2021年6月達成見込み)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
③-4 プロセス適用性・経済性評価	下記各スケールにおける <b>メタネーション事業の適用性・経済性を評価</b> する。 ① 400 Nm <sup>3</sup> -CO <sub>2</sub> /h ② 10,000 Nm <sup>3</sup> -CO <sub>2</sub> /h ③ 60,000 Nm <sup>3</sup> -CO <sub>2</sub> /h	<b>400Nm<sup>3</sup>/hスケールの基本エンジニアリング</b> を実施し、適用性の評価を実施。また、将来の <b>商用スケールでの経済性評価</b> を実施し、収益性の分析した。	△ (2021年6月達成見込み)
③-5 オーストラリアにおける商用スケール適用に係るPre-FS	オーストラリアでの <b>商用スケール60,000 Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/hのPre-FS</b> を実施する。	オーストラリア <b>研究機関CSIRO</b> と共同で、電力網・ガスパイプライン網等々の情報を得て、 <b>商用スケールのPre-FS</b> を実施した。	△ (2021年6月達成見込み)

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
④-1 CO <sub>2</sub> 有効利用基礎技術 適用統合システムの検討	変動型再生電源と安定電源(IGCC)を 協調させる手法としての <b>ポリジェネレーション システム</b> をCO <sub>2</sub> 排出量削減効果や技術課 題等について調査・検討を行い、 <b>システムの 有効性を示す</b> 。	再生利用ポリジェネレーションシステム化により、電 力と化学エネルギーのフレキシブルな造り分けが可能 (= <b>系統安定化に寄与</b> )、またIGCCと再生余 剰電力でメタノールを製造貯蔵し、一次エネルギー 削減が可能 (= <b>CO<sub>2</sub>削減が可能</b> )と結論づけ られた。	○
④-2 CO <sub>2</sub> 有効利用統合システ ムの事業性検討	メタネーション、メタノール合成、ポリジェ ネレーションの事業性検討のため、 <b>技術調 査・市場調査</b> を実施する。	各技術の動向調査、市場調査を実施し、調査内 容を <b>各個別技術開発へ情報提供</b> できた。	○

## 2.1 ①CO<sub>2</sub> 有効利用トータルシステムとしての総合評価

CCU 技術を適用したシステムやプロセスのトータルとしての総合評価を行うためには、CO<sub>2</sub>の排出源ごとの特徴の調査や解析、CO<sub>2</sub>の固定化や有効利用技術の開発動向の調査と課題整理、およびCO<sub>2</sub>削減効果、再生可能エネルギーとの協調性など多角的に情報を収集・解析し、検証・評価する必要がある。本項目では、CO<sub>2</sub>排出源ごとの排ガス量・性状の調査・解析、CO<sub>2</sub>固定化・有効利用技術の開発動向の調査、CO<sub>2</sub>有効利用技術の効果検証を行い、次々章の高濃度CO<sub>2</sub>利用製造プロセスの検討・評価、いわゆるメタネーションプロセスの開発、事業性検討結果も踏まえ、CO<sub>2</sub>有効利用技術に対する開発課題、実用化時の経済性、CO<sub>2</sub>削減効果等を定量／定性的な指標としCO<sub>2</sub>有効利用トータルシステムとしての総合評価を行った。

### ① -1 CO<sub>2</sub> 排出源ごとの排ガス量・性状の調査・解析

日本のCO<sub>2</sub>排出量については国立環境研究所より分野別排出量の統計が毎年公開されている。ここでは、本データベースを元に日本のCO<sub>2</sub>排出量について調査した。日本の総CO<sub>2</sub>排出量は近年概ね12～13億トン/年程度であり、その分野別、工業事業別の排出量は図3.2.1-1、図3.2.1-2に示す通りエネルギー転換部門、いわゆる発電事業などから約4.8億トン、産業部門から約3.4億トン、および運輸部門から約2億トンが主たるCO<sub>2</sub>排出源となっていることがわかる

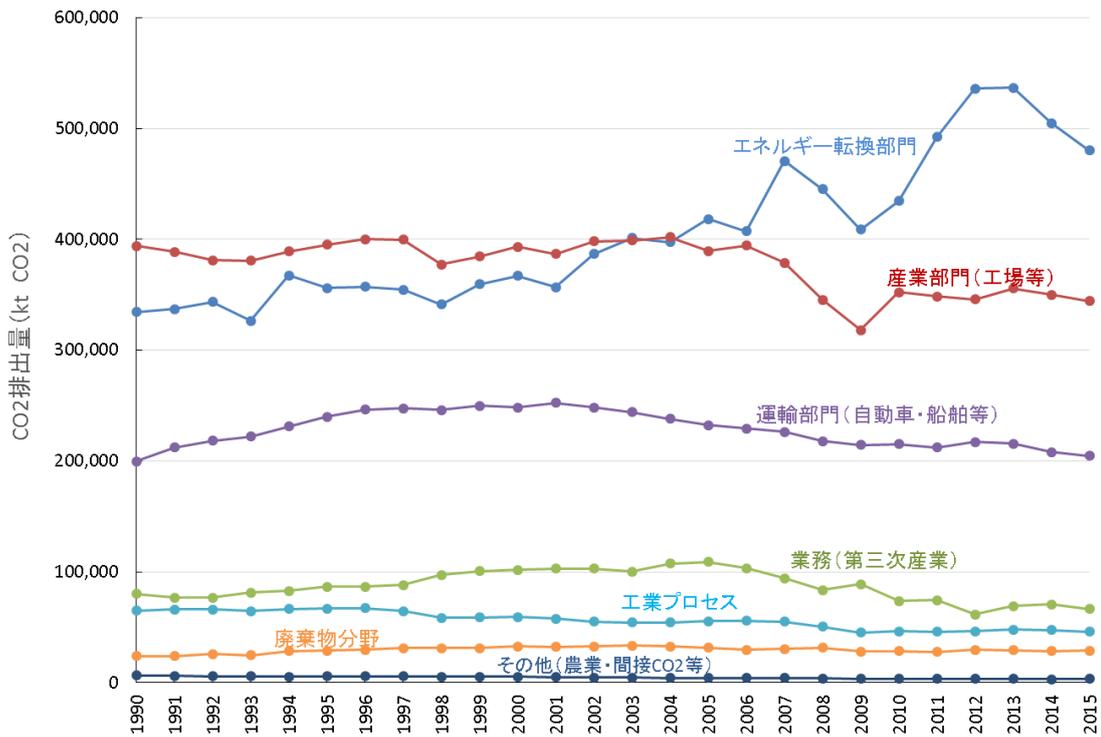


図 3.2.1-1 日本の分野別 CO<sub>2</sub> 排出量の推移

出典：国立環境研究所、“温室効果ガスインベントリオフィス-日本の温室効果ガス排出量”より引用して作成

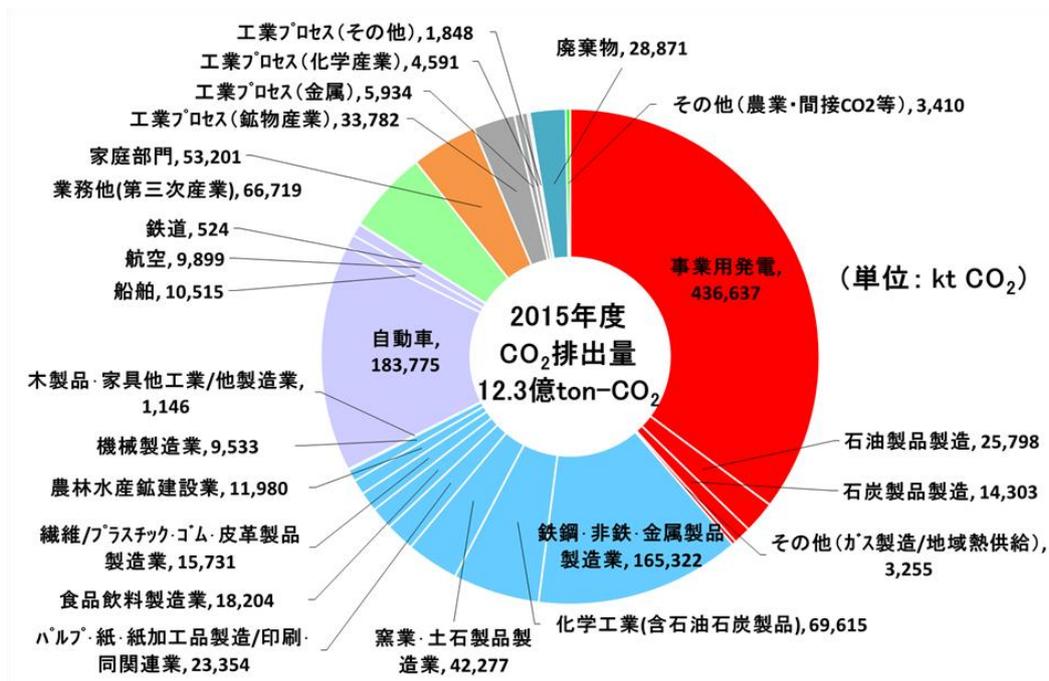


図 3.2.1-2 日本の CO<sub>2</sub> 排出量 (工業事業別)

出典：国立環境研究所、“温室効果ガスインベントリオフィス-日本の温室効果ガス排出量”より引用して作成

またエネルギー転換部門の代表例として、典型的な LNG (Liquefied Natural Gas) ガスタービンコンバインドサイクル発電 (GTCC : Gas Turbine Combined Cycle) と石炭火力発電での排ガス性状を調査した。産業部門として鉄鋼製造業、化学工業分野の排ガス性状も調査した。纏めたものを表 3.2.1-1 に示す。

CO2 源		CO2 濃度	CO2 排出機器	ガス温度 (°C)	排ガス成分
発電	石油火力	3~8%	ボイラ	40~65	CO2, NOx, SOx, O2, N2
	天然ガス火力	3~5%	ガスタービン	93~106 (排熱回収後)	CO2, NOx, SOx, CO, O2, N2
	石炭火力	10~15%	ボイラ	40~65	CO2, NOx, SOx, CO, O2, N2, Hg, As, Se
セメント製造	30%	予備焼成	150~350	CO2, H2O, N2, 炭化水素, 揮発分 (K2O, Na2O, S, Cl)	
	14~33wt%	High T Kiln (焼成)	150~350		
石油精製	8~10%	Process heaters	160~190	使用燃料に依存	
	3~5%	Utilities (steam, electricity)	160~190		
	10~20%	Fluid catalytic cracker (FCC) (regeneration of catalyst)	160~190	O2, CO2, H2O, N2, Ar, CO, NOx, SOx	
	30~45%, 98~100%	H2 purification	20~40 (PSA), 100~120 (化学吸着)	CO2, H2, CO, CH4	
鉄鋼業	20~27%	Blast furnace (high CO2 if BFG is burned)	100	H2, N2, CO, CO2, H2S	
	16~42%	Basic oxygen Furnace (high CO2 from burning BOF gas)	~100	H2, N2, CO, CO2, H2S	
石油化学工業	エチレン製造	7~12%	Steam cracking	160~215	H2O, CO, NOx, SOx, O2, N2, CO2
	酸化エチレン製造	~30%(空気酸化) 98~100%(酸素酸化)	Absorption unit to purify EO (lower end is air oxidation, higher end is oxygen oxidation)	16~32 (水吸着) 100~120 (化学吸着)	主に CO2, H2O, N2, (空気酸化) 微量CH4, C2H6, EO(酸化エチレン)
	アンモニア製造	98~100%	H2 purification	100~120 (化学吸着)	CO2, H2, O2, CH4
	水素製造	30~45%, 98~100% (15~20% in stream before purification)	H2 purification (lower end is PSA, higher end for CO2 specific separation)	20~40 (PSA), 100~120 (化学吸着)	CO2, H2, CO, CH4, 化学吸着後: ~100% CO2
	エタノール製造 (バイオマス)	98~99%	Fermentation	35	CO2, C2H5OH, CH3OH, H2S, CH3SCH3(ジメチルスルフィド), CH3CHO(アセトアルデヒド), CH3COOCH2CH3(酢酸エチル)

表 3.2.1-1 各種 CO<sub>2</sub> 排出源からの排出される排ガス特性

出典 : International Journal of Greenhouse Gas Control 63(2017)、総合資源エネルギー調査会 (2015 年 9 月 3 日)、日本鉄鋼連盟資料より作成

これら各種製造プロセスにおける排出 CO<sub>2</sub> の特性をよく抑えておくことが重要であり、これに適した CO<sub>2</sub> 分離回収技術を選出、適合させることが重要である。

### ① -2 CO<sub>2</sub> 固定化・有効利用技術の最新開発動向調査

有望な CO<sub>2</sub> 固定化有効利用技術について、最近の研究開発動向を調査した。最新の論文検索結果から、CCU 技術としてメタノール、蟻酸、一酸化炭素、メタン、精密化学が活発に議論されていることが明らかとなった。また、その他の報告書、研究会、HP 情報をもとに、最近の研究開発動向を整理した結果、市場規模、固定化可能量等を考慮すると現時点では炭酸塩固定とメタノール等の化学品が有望であると考えられる。特に、海外ではメタノール合成に関する検討が鉄鋼業を中心に活発に進んでおり、CO<sub>2</sub> 反応の平衡の制約による低反応率の克服、安価な水素の調達が可能になれば有望な技術と成り得る。

	LNG (メタン)	蟻酸	メタノール	DME	エチレン	FT合成 ガソリン、軽油等
化学式	CH <sub>4</sub>	HCOOH	CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>4</sub> ~C <sub>10</sub> C10~C20
ハンドリング (沸点)	常温で気体 -161.5°C	液体 100.75°C	液体 64.6°C	液体 -25°C	常温で気体 -104°C	液体 30~220°C 180~350°C
技術的実現可能性 (TRL)	実証レベル 本PJで検証中	ラボレベル (TRL:3~5)	実証レベル (TRL:6~7)	実証~商用レベル(推定)	ラボレベル (TRL:2)	ベンチレベル事例あり
現在の市場規模	3~4 兆m <sup>3</sup> (世界) 日本で 7,700万t (2011)	62万トン	7,700万t (2016) 1億トン(2020)	423万t(2015)* (* <a href="http://www.wenyc.com">http://www.wenyc.com</a> )	1.8億トン (2017)	800~1,000 B gallons
CO <sub>2</sub> 利用による製造コスト	2,496~ 5,593€/t	1,524€/t (組成的には反応で水ができない)	1,317~ 2,312 €/t	不明 (メタノールから製造可能)	不明	不明
CO <sub>2</sub> 削減ポテンシャル	2030年削減ポテンシャル 40~650 億m <sup>3</sup> /y *ICEF試算	>3億t/y? **GCCSI (100~300万tの試算もあり)	>3億t/y **GCCSI CO <sub>2</sub> 固定ポテンシャル≒1億t/y(世界、化成品用途)	不明 (*中国で2020までに生産能力2000万トンまで増大計画)	2015市場規模1億7000万t相当では5.3億t	2030年削減ポテンシャル 燃料: 7 00 0 万 ~ 2 1 億トン *ICEF試算

図 3.2.1-3 最新開発動向調査

メタノール合成における課題についてまとめたものを表 3.2.1-2 に示す。メタノール合成は熱力学的平衡制約に支配される反応系であり、高圧で反応が行われる。そのため原料ガスの圧縮に必要な動力や未反応原料のリサイクルが必要であり、生成したメタノールは原理的に 50%の濃度であり、エネルギーを大量に消費する蒸留工程を必要とし、生成する水が反応の阻害、触媒の劣化を引き起こす原因となりえる。さらに、メタノール合成は大きな発熱反応であり、反応熱の除熱が必要であることが課題として挙げられる。これらの課題を解決する方法として、反応系外に水を引き抜くメンブリアクターの利用が考えられる。メタノール合成は平衡反応であるため、水を系外に除去することにより、メタノール生成側に反応が促進するとともに、リテンタート側のメタノール濃度が従来の触媒反応器と比較して高くなるために後段の蒸留工程の負荷が低減あるいは不要となると考えられ、プロセス全体の省エネルギー化につながると考えられる。メンブリアクターを用いたプロセスの概略図を図 3.2.1-4 に示す。

従来のCO <sub>2</sub> 水素化メタノール合成法	解決策（検討課題）
<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>の転化率が低い（熱力学的平衡制約） ⇒高圧反応（原料ガスの圧縮）、 原料リサイクル比大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①生成物の系内からの除去（メンブレンリアクター、水凝縮反応器など） ⇒平衡シフト効果によるCO<sub>2</sub>転化率の向上、低圧反応（装置のコンパクト化・低コスト化が可能）</li> <li>②高活性触媒の開発</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>水の生成による反応阻害、触媒劣化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐水性触媒の開発</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>反応熱の除去（大きな発熱反応） CO<sub>2</sub>原料ではCO原料の時の半分程度の発熱量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>反応器形状の工夫（系内からの生成物の除去による徐熱など）</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>生成物：水、メタノール、不純物の混合物 ⇒蒸留工程が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水とメタノールを分離可能な反応器など ⇒蒸留工程の省略・簡略化の可能性（省エネルギー化）</li> <li>不純物（DME, キ酸メチルなど）を許容する用途</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>原料コストの低減（CO<sub>2</sub>回収コスト、水素製造コスト）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①低コストCO<sub>2</sub>回収技術との組み合わせ</li> <li>②安価な副生水素の利用など</li> </ul>

表 3.2.1-2 CO<sub>2</sub>を原料としたメタノール合成の開発課題

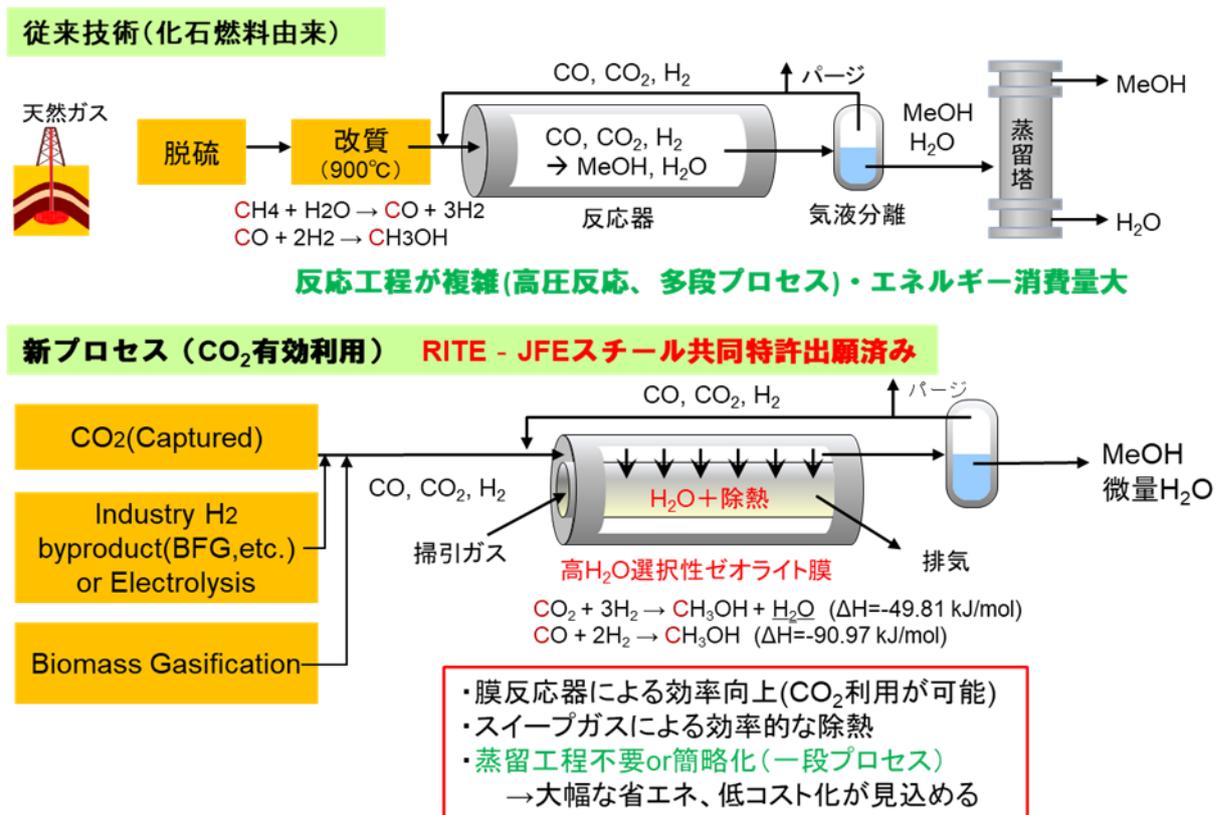


図 3.2.1-4 メンブリアクターを用いたメタノール合成プロセスの概念図

① -3 CO<sub>2</sub> 有効利用技術の効果検証

研究開発項目 2 の検討結果より、メタン合成以外の CO<sub>2</sub> 有効利用技術としてはメタノール合成が適していることが明らかとなった。メタノールは石油化学、化学工業において最も重要な出発原料の

ひとつであり、多種多様な化学製品と化学物質の製造に用いられることが主である。ここでは CO<sub>2</sub> を原料としてメタノール合成を行った場合の CO<sub>2</sub> 削減効果を試算した。2016 年のメタノールの世界需要は 7,700 万 t、そのうち化学品用途は 5,000 万 t 程度の需要（今後ますます増大）がある。5,000 万 t/year の需要のある化学品用途のメタノールを、CO<sub>2</sub> を原料として製造すると仮定した場合に必要な CO<sub>2</sub> 量は 7,300 万 t/year（CCU プラントへの原料 CO<sub>2</sub> 投入 = 1.46 t-CO<sub>2</sub>/t-MeOH）であり、CCU プラントのメタノール合成における CO<sub>2</sub> 排出原単位は 0.226 t-CO<sub>2</sub>/t-MeOH であるので、CO<sub>2</sub> 排出量は 1,130 万 t/year となる。一方で現行のメタノール合成プラントの CO<sub>2</sub> 排出原単位は 0.768 t-CO<sub>2</sub>/t-MeOH であるので CO<sub>2</sub> 排出量は 3,840 万 t/year となる。その差分である 2,710 万 t/year がプロセス改善による CO<sub>2</sub> 削減効果となり、原料として必要な CO<sub>2</sub> 量（7,300 万 t/year）と合わせて 1 億 10 万 t/year の CO<sub>2</sub> 削減効果が見込まれ、大きな効果が見込まれる。

#### ① -4 CO<sub>2</sub> 有効利用トータルシステムの総合評価

CO<sub>2</sub> 有効利用トータルシステムの総合評価の過程で、CO<sub>2</sub> 処理規模に応じて最適なメタネーションプロセスを評価検討するための追加調査を行う必要が出てきたため、断熱型、シェルアンドチューブ型、プレート型、それぞれのメタネーション反応器特性を定量比較し、CO<sub>2</sub> 有効利用技術に対する開発課題、実用化に向けた経済性を整理した。

また、2020 年度には、定量比較の結果を踏まえ、商用スケールにおける有望な反応器について、③-1 と共に 400 Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/h（技術開発スケール）のプロセス設計を行い、触媒選定も含めた最適な反応プロセスの組み合わせを検討した。

開発項目②、③を踏まえてメタン、メタノールを CO<sub>2</sub> フリー化するカーボンリサイクルエネルギーシステムの CO<sub>2</sub> 削減効果を定量的に把握した。その可能性を見いだすことができたと共に、④による再生・火力発電の協調運用の優位性を見いだすことができた。

## 2.2 ②CO<sub>2</sub> 分離回収・有効利用システムの検討・評価

抽出した有望な CO<sub>2</sub> 固定化・有効利用技術に対して、適用可能な低コスト CO<sub>2</sub> 分離回収技術の検討を行い、これらの評価結果をもとに、火力発電所や石炭利用産業から排出される CO<sub>2</sub> の分離回収コストおよび回収エネルギーロス低減、最適化するプロセス、すなわち、CO<sub>2</sub> 排出源、CO<sub>2</sub> 回収技術、有効利用（変換）技術のベストマッチングとなる最適 CO<sub>2</sub> 変換技術のプロセスの概念設計を行った。

また、最適な CCU プロセスの概念設計に基づいて、実験的な評価を実施し、その有効性の検証も行う。さらには、これらの検討結果を通じて、今後確立すべき技術開発課題を抽出し、有望システムを実用化に結び付けるための研究開発計画を策定した

② -1 CCU に適用可能な分離回収技術に関する調査

液体吸収法、固体吸収・吸着法、膜分離法等、各種 CO<sub>2</sub> 分離回収技術の開発状況について、国内外の学術論文、特許、報告書等を検索し、現状の CO<sub>2</sub> 分離回収技術のこれまでの開発状況と回収する CO<sub>2</sub> の規模や純度、および分離回収に必要なエネルギー／コストの見通しについて精査を行った。特に貯留に供するための純度まで CO<sub>2</sub> を濃縮する場合と比較して CCU に適用した場合に省エネルギー化・低コスト化が見込まれる CO<sub>2</sub> の変換・有効利用技術について調査を行った。

調査結果から、原料ガス CO<sub>2</sub> 濃度と各種 CO<sub>2</sub> 分離プロセス効率（CCS 処理コストにて比較）の比較から、常圧ガスの場合には、原料ガス中 CO<sub>2</sub> 濃度が低い場合（石炭火力）には化学吸収法が有利であり、原料ガス CO<sub>2</sub> 濃度が高い場合（鉄鋼, oxycombustion）では吸着分離法が有利である。一方、原料ガス圧が高い場合には（IGCC）圧力差を駆動力とする膜分離法が有利である。また CO<sub>2</sub> 回収技術に求められる条件として、低コスト、低エネルギー（低 CO<sub>2</sub> 排出量）、系内に反応を邪魔する成分が入らないことが不可欠である。以上のことから IGCC 等の高压ガスからの回収には、高压で CO<sub>2</sub> を回収可能な膜分離法が有利であり、高压の CO<sub>2</sub> を用いた水素化反応（メタノール合成など）が有望である。また、常圧ガスからの CO<sub>2</sub> 回収の場合には、CO<sub>2</sub> 濃度が比較的高い高炉ガスからの PSA による回収、メタノール合成等への利用が有利である。また、炭酸塩や藻類としての利用の場合には CO<sub>2</sub> を回収せずそのまま直接利用することも可能である。また、これまでの検討結果より、CO<sub>2</sub> 排出源ごとの CO<sub>2</sub> 分離・回収、有効利用技術をまとめたものを図 3.2.2-1 に示す。

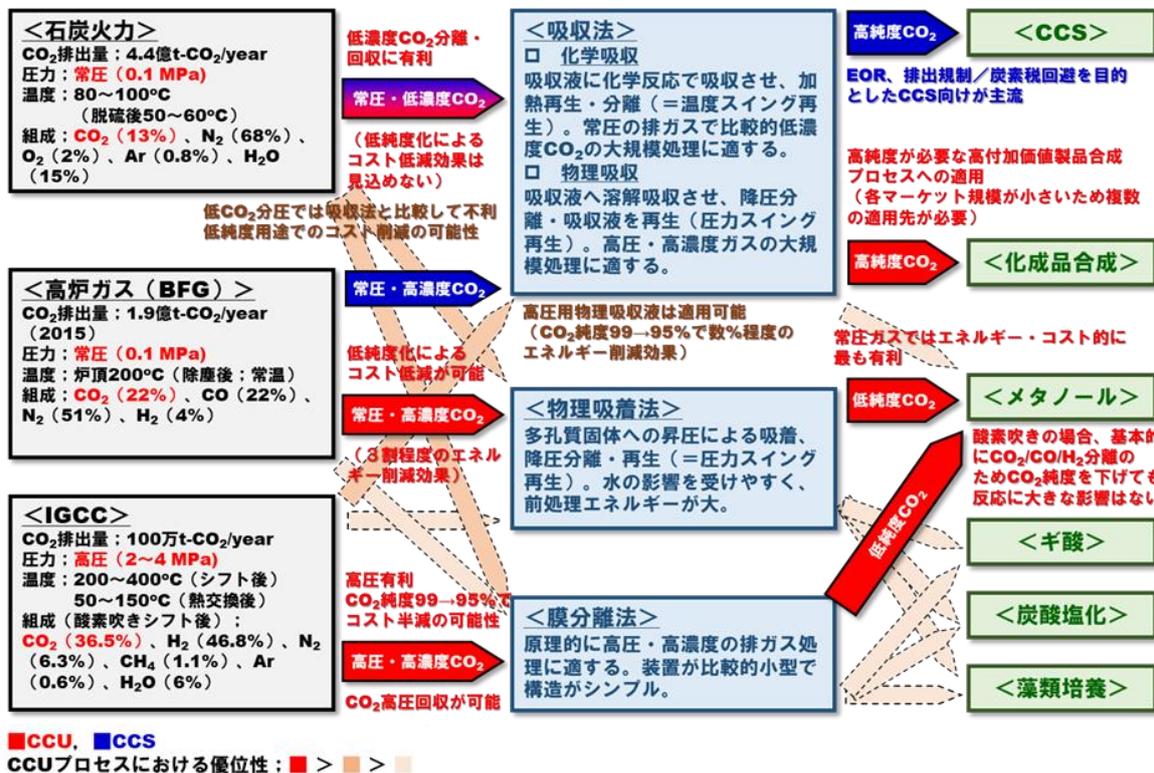


図 3.2.2-1 CO<sub>2</sub> 排出源ごとの CO<sub>2</sub> 分離・回収、有効利用技術のまとめ

② -2 最適 CCU プロセスの概念設計と試験による有効性検証

CO<sub>2</sub> 排出源のガス組成や後工程の変換プロセスを考慮した省エネルギー型の CO<sub>2</sub> の回収方法、さらに変換システムまでの全体最適化を考慮した CCU プロセスの検討を行った。

有望技術システムとして候補となるプロセスを抽出し、その概念設計を行い、これらの検討結果を通じて有望な技術を抽出し、シミュレーションによるプロセス性能予測と小型試験機による提案プロセスの有効性の確認し、必要に応じて提案プロセスに適用するための新規材料の開発等の要素技術開発を行った。

本研究では、CO<sub>2</sub> 回収工程には VPSA、膜分離、化学吸収を検討対象とすることとした。また、CO<sub>2</sub> 変換工程としては、通常の触媒反応器に加えメンブレンリアクターを候補とした。反応後の精製は連続蒸留塔で行うものとした。製鉄副生ガスを原料としたケースを対象としたスーパーストラクチャー（考慮する全ての構造を含むプロセス構造）を、図 3.2.2-2 に示す。

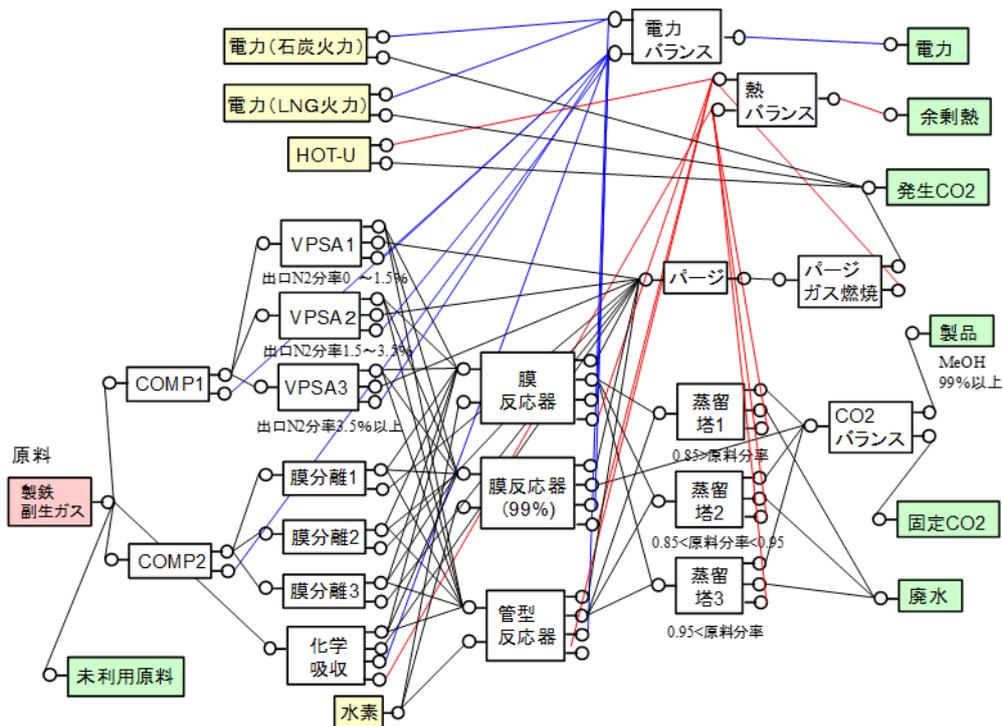


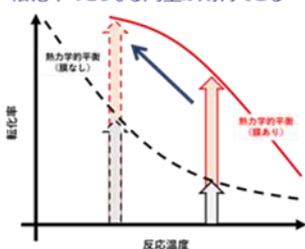
図 3.2.2-2 対象プロセスのスーパーストラクチャー

製鉄所副生ガス、メタノール合成のプロセスシミュレーションを実施し、最適プロセスを明らかにした。開発したメンブレンリアクターは試験では、従来の触媒充填層型の反応器と比較して約 3 倍の CO<sub>2</sub> 転化率が得られることを実証した。

## ② -3 プロセスの技術課題整理・開発計画の策定

開発したメンブレンリアクターの実用化に向けた開発としては、実環境下（あるいはそれを模擬した環境下）でのメンブレンリアクターとしての耐久性が必要不可欠な検討項目として挙げられる。さらに、メンブレンリアクターの実用化例はこれまでないため、熱供給などを考慮したリアクター構造を検討する必要がある。図 3.2.2-3 に開発計画を示す。

◆ 低温・高圧有利  
⇒触媒の低温活性を向上させることで  
転化率のさらなる向上が期待できる



### <STEP 1>

- 分離膜の高性能化  
反応条件下において高い透過分離性能  
(特にH<sub>2</sub>O/原料ガス)を發揮する分離膜の開発
- 膜の長尺・大面積化  
実用的な膜反応器開発に向けた長尺・大面積化
- 触媒活性の低温化  
膜反応器に適した触媒の開発

### <STEP 2>

- 分離膜の耐久性  
実環境（あるいはそれを模擬した環境）下  
における膜の耐久性評価
- 膜反応器の最適操作条件  
反応温度・圧力などをパラメータとして  
最適操作条件を検討
- モジュール化検討  
膜を複数本束ねた膜反応器の構造策定

### <STEP 3>

- 膜反応器の耐久性  
実環境（あるいはそれを模擬した環境）下  
における膜の耐久性評価
- モジュール化  
膜を複数本束ねた膜反応器の作製・性能

図 3.2.2-3 策定した開発計画

## 2.3 ③高濃度 CO<sub>2</sub> 利用品製造プロセスの検討・評価

本項目では、高濃度 CO<sub>2</sub> メタネーションプロセスの導入実現に向けた即効性、実装性を検討するため、硫黄化合物や VOC 等の触媒活性への影響などを検討した。また、INPEX が保有する南長岡ガス田の天然ガス生産設備（越路原プラント）において、将来のスケールアップを見据えた高濃度 CO<sub>2</sub> メタネーション試験装置の設計・製作及びその検証を実施し、CCU 技術としての、適用性、経済性及び事業性に関する検討、評価を行った。同時に、高濃度 CO<sub>2</sub> メタネーションプロセスの高効率化、長寿命化に必須である、高濃度 CO<sub>2</sub> メタネーション反応の反応熱シミュレーションによる回収熱エネルギーの評価や、高濃度 CO<sub>2</sub> に含まれる不純物による触媒被毒メカニズムの解析・寿命の評価を行った。

## ③ -1 反応熱エネルギーマネジメント技術

日立造船によって開発された高性能触媒を用いたメタネーション反応器内で想定される現象を予測可能な数値流体解析技術の開発（モデル化）に取り組んだ。これにより、メタネーション反応器内部のホットスポットの形成予測や反応器の熱マネジメント技術を確立することを目的とする。まず、数値流体解析に必要なメタネーション反応速度式の構築に向けた研究を実施した。加圧ガス流通式触媒固定床反応器を用いて、原料ガスである CO<sub>2</sub>と水素が、メタンと水に完全に転換する過程で想定されるガス雰囲気下で、反応速度を網羅的に測定した。モデルでは実験で得られた 100 個程度の速度データを良好に再現でき、モデルで計算される反応速度との差が最小となるように速度パラメーターを決定することに成功した。数値計算は、単管式もしくは多管式シェルアンドチューブ型反応器を計算対象とした。その結果、単管式シェルアンドチューブ反応器内部の温度プロファイル、生成ガス濃度などを正確に再現できた。多管式シェルアンドチューブ型反応器の場合、内部温度プロファイル、流れ分布などを可視化でき、出口成分や総放熱量などは実験値と一致することも確認できた。さらに、日立造船が開発したプレート型反応器（メタン生成規模：8 Nm<sup>3</sup>/h）の形状情報に基づいて、計算メッシュを作成済みであり、シミュレーションの試行を完了した。

### ③ -2 触媒活性マネジメント技術

大きな発熱反応を伴うメタネーション反応において、高活性な日立造船製触媒を用いると特にリアクター入り口領域に局所的に超高温領域（ホットスポット）が発生し、触媒の熱的あるいはコンタミによる化学的劣化が生じる可能性がある。600℃におけるメタネーション試験を 500 時間行ったところ日立造船製触媒のメタン化活性は反応時間の経過に伴い低下した。600℃の水素気流に触媒を所定時間（0, 108, 252, 396, 540, 684 時間）曝露後メタネーション試験を実施した結果、曝露時間が長いほど反応開始直後のメタン生成量が低下した。触媒のメタン化活性が 600℃を越える温度になると顕著になることを明らかにした。

触媒への不純物による被毒の影響を明らかにするため、反応温度を変化させ硫化水素濃度の影響を検討した。硫化水素が存在しない場合、反応温度を 500℃まで上昇させても触媒の温度による失活は見られなかったが、反応温度を増加させると硫化水素による失活が更に加速した。

INPEX 長岡鉱場越路原プラントにおいて製品ガス精製の過程で回収された実 CO<sub>2</sub> ガスを用いたメタネーション反応を実施し、反応特性および触媒失活挙動を調査したところ、明らかな触媒の活性低下が認められた。触媒の構造変化及び活性の変化を調査したところ、Ni のシタリングが進行していることが分かった。失活要因物質の絞り込みを行った。

メタネーション反応器内のホットスポット形成回避のため、活性金属担持量が異なる触媒の傾斜配置の有効性検討を行い、反応器内に異なる活性の触媒を配置した際の温度上昇および CH<sub>4</sub> 収率への影響について、反応速度論、流体および伝熱解析を考慮した数値解析および実験両面からの評価を行った。シミュレーションによる系統的な検討の結果から、高活性触媒充填では不可避だった反応器でのホットスポットの形成が、触媒活性傾斜配置により抑制できるという結果が得られた。

### ③ -3 プロセス運転マネージメント技術

メタネーション試験装置の工事および、試験運転を開始した（図 3.2.3-1）。試験は運転圧力、運転温度ならびに、空塔速度を変動パラメーターとし、変動を含めて種々、実施した。試験装置は定格において、濃度 96%以上のメタンを、8 Nm<sup>3</sup>/h の製造速度で安定的に供給することに成功した。また、反応熱の回収効率向上ならびに、発熱反応による触媒層内のホットスポット領域および、内部温度の軽減を目的として導入したプレート型反応器を用いた結果、定格条件における触媒層内の最高温度が 550℃以下になることを示し、従 来の一般的構造による反応器よりも、100℃以上温度を降下させることが出来た。また、実験結果から、当該反応器を用いることにより、反応熱は 85%以上回収できることが示唆された。試験装置は短周期的な起動／停止操作の繰り返しに対し、主要プロセス機器の機械的な影響はなく、安定した高濃度メタンを製造することが示された。さらに 1 か月以上の 長時間運転においてもプロセスが安定して動作することを示され、装置のスケールアップへの知見を得ることが出来た。（図 3.2.3-2）

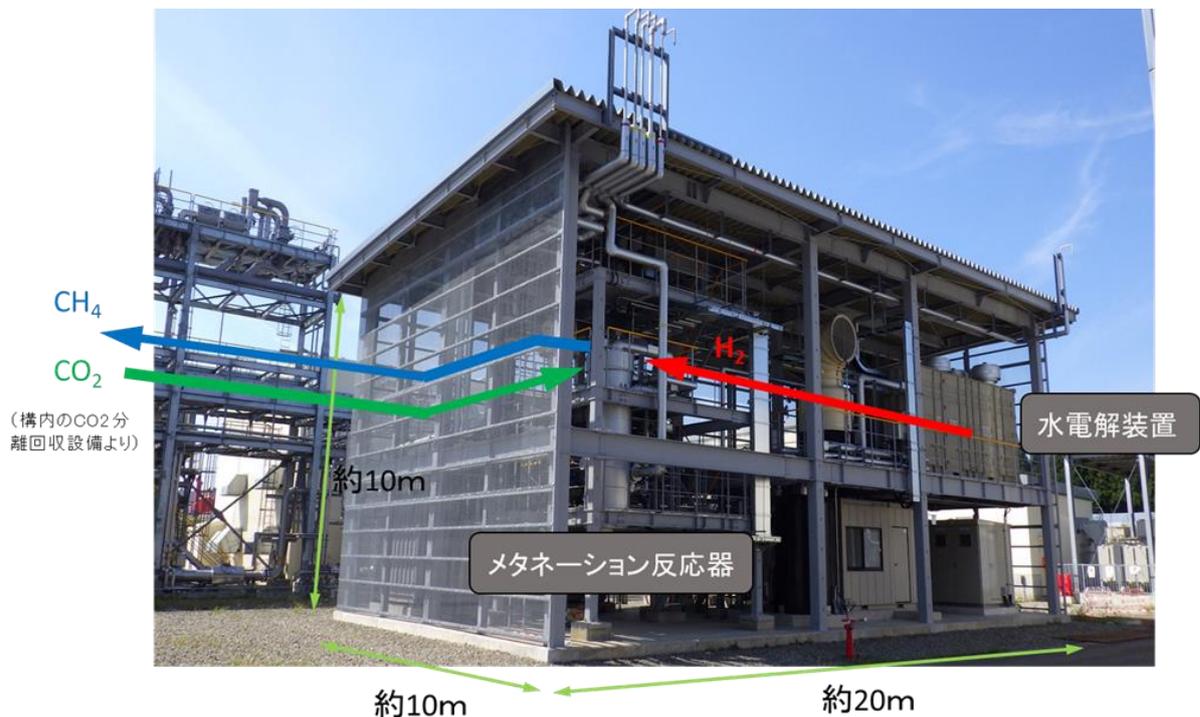


図 3.2.3-1 メタネーション試験設備

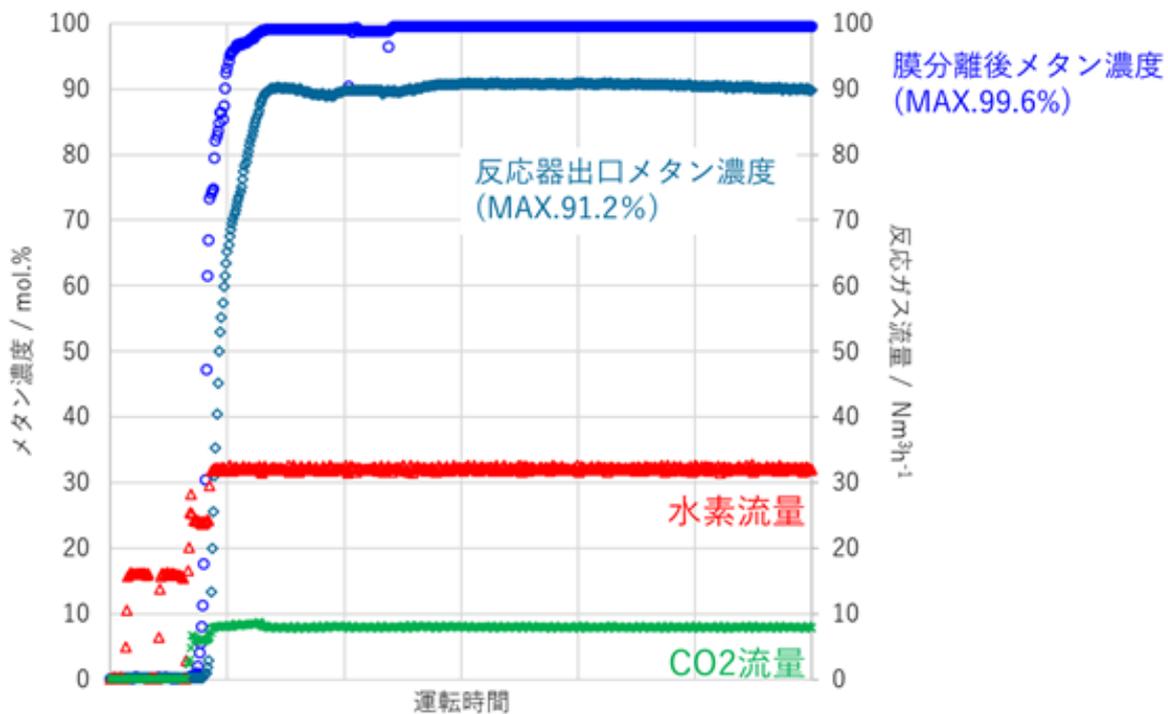


図 3.2.3-2 メタネーション試験 運転データ

### ③ -4 プロセス適用性・経済性評価

CO<sub>2</sub> 有効利用可能性調査事業における経済性評価の精度向上と共に、③-1～3 で得られた技術情報を基に、60,000 Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/y (商用スケール、2019 年度) における適用性・経済性を評価した。経済性評価においては、IRR=9.5, 5.0%を満足させる事をクライテリアとした。メタネーションの主生産物であるメタン、副産物である排熱、電解槽による水素生産の副産物である酸素を外販する事により、商用スケールにおいても経済性が向上する事を明らかにした。尚、各生産物の価格は、実態等を勘案し、精査した。さらに、適用性・経済性評価の精度向上のため、最適メタネーションプロセスの評価検討に資する国内外の技術情報の収集と共に、400 Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/h スケールの基本エンジニアリング (コンセプト選定) を実施した。

### ③ -5 オーストラリアにおける商用スケール適用に係る Pre-FS

60,000 Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/h (商用スケール) の適用先の 1 つとして、オーストラリアのサンベルト地帯に位置する INPEX イクシス LNG プロジェクト (ダーウィン近郊) が挙げられる。そこで、Pre-FSとして、オーストラリア国内の既存エネルギーインフラ網 (電力網、ガス PL 網、LNG 出荷基地等)、各種再エネポテンシャル (Power to Gas 事業を含む等)、CO<sub>2</sub> 排出量 (濃度、発生量、CCS/CCU 事業を含む等) を調査すると共に、INPEX イクシス LNG プロジェクトにおける CO<sub>2</sub> ポテンシャル (発生量、組成、温度・圧力等)、イクシス設備との連系可能性等を調査する事で、CO<sub>2</sub>-メタネーション技術の適用モデル案の構築、経済性試算等を実施した。

## 2.4 ④再生可能エネルギー併用 CO<sub>2</sub> 有効利用システムの検討

わが国のエネルギー供給安定の確保を考えれば、将来も引き続き、再生可能エネルギー、原子力、LNG 火力、石炭火力によるエネルギーミックスで対応せざるを得ないことは明らかである。

そこで、本章では、わが国の優れたこれまでの CCT などに更なる産業競争力を賦与できる将来有望な CCU 技術の確立を目指し、将来大量に導入が予想される再生可能エネルギーと高効率な石炭火力発電技術である石炭ガス化複合発電（IGCC）との協調により両者の長短所を補完しあったポリジェネレーションシステム（熱・電力・燃料供給システム）を CCU 技術の一つとして、その運用性、環境性、経済性などの評価を行った。

### ④ -1 CO<sub>2</sub> 有効利用基礎技術適用統合システムの検討

今後、再生可能エネルギーによる発電電力量の増大を踏まえれば、変動し易く、また、余剰となってくる再生可能エネルギーを活用しながら、将来の重要なベースロード電源である石炭火力の一つの IGCC の CO<sub>2</sub> 排出量を低減させていくシステムが考案できれば、電源の安定性確保と CO<sub>2</sub> 削減を大きく前進させられることが期待される。その手法の一つとして、ポリジェネレーションシステムが考えられる。

ここでは IGCC と燃料用メタノール合成装置と水電解を組み合わせた全体システムがどのようなバランス関係になるか全体システムの検討を行った。今回検討ベースとしたポリジェネレーションの基本システム構成を図 3.2.4-1 に示す。

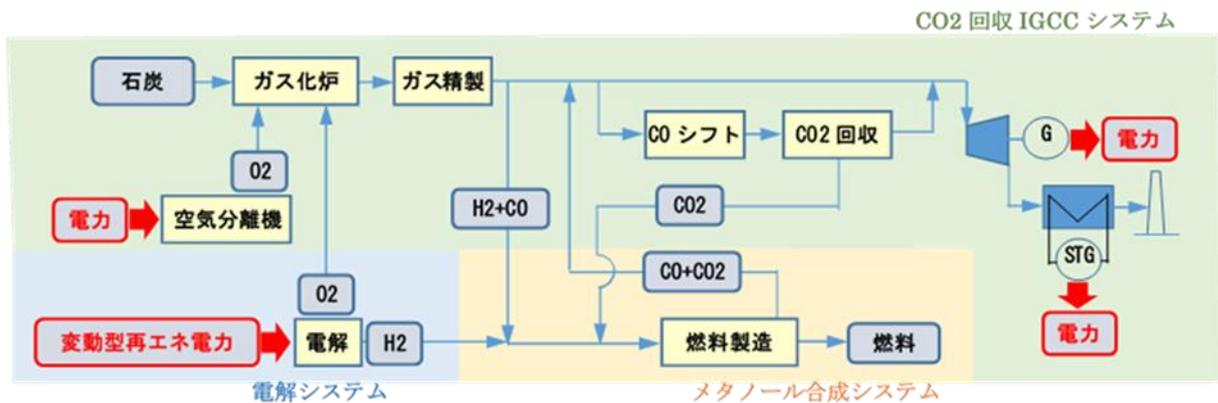


図 3.2.4-1 再生可能エネルギー利用 IGCC ポリジェネレーションシステム

図 3.2.4-2 は、水素投入量による送電端出力と製造メタノール熱量の合計量、およびメタノール製造時の IGCC からの CO<sub>2</sub> 排出量との関係を示したものである。水素投入、メタノール製造量の増大とともに、送電端出力が低下していくため、それに伴い、CO<sub>2</sub> 排出量が減少していくことがわかる。

このように、昼間の再生可能エネルギーと石炭ガス化ガスをうまく活用し、昼間の電力供給は再生可能エネルギーを主体とし、その余剰電力分などを石炭ガス化ガスを利用してエネルギー貯蔵する、

或いは、再生可能エネルギーの少なくなる夜間の電力は、IGCC による発電電力で賄うなど、わが国のエネルギー供給に対し、フレキシブルに対応可能なシステムの構築できる可能性がこのポリジェネレーションにはあると思われる

いずれにしても、再生可能エネルギーと石炭火力は、このように組み合わせることにより、再生可能エネルギーの変動抑制、余剰対策をしながら、その導入量増大を図ることが可能となり、また、石炭火力は基本的に CO<sub>2</sub> を再生可能エネルギーを用いて他燃料に転換を行い、一次燃料の輸入量の削減につながる。

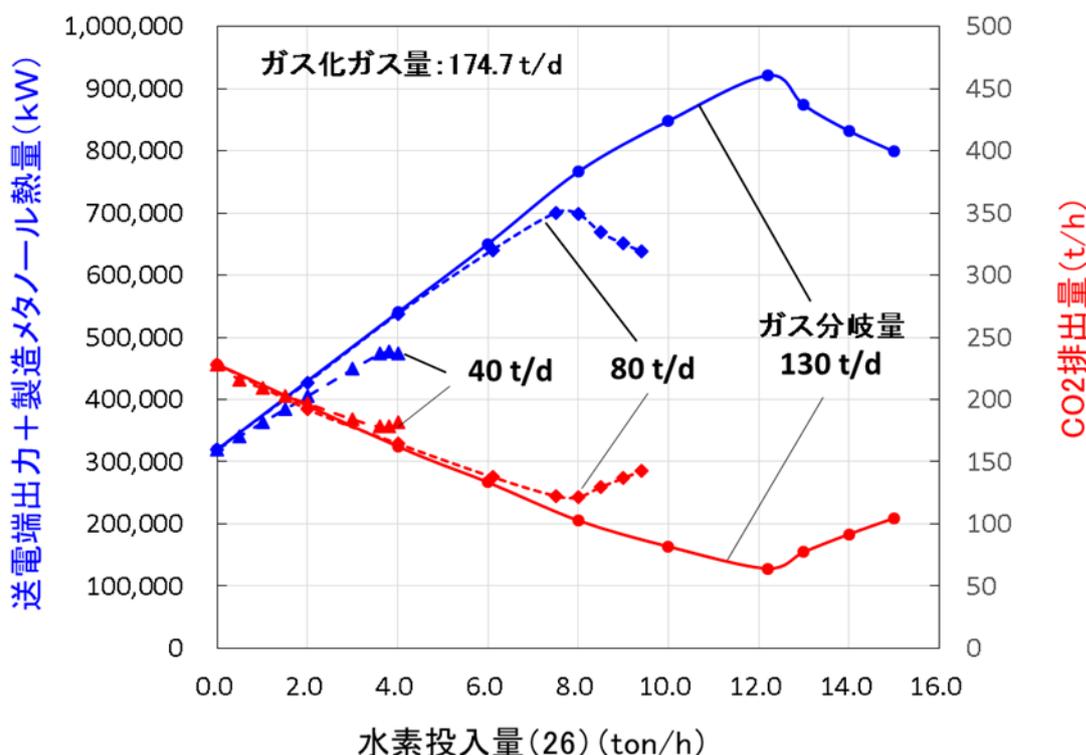


図 3.2.4-2 水素投入量と送電端出力 + 製造メタノール熱量と CO<sub>2</sub> 排出量の関係

#### ④ -2 CO<sub>2</sub> 有効利用統合システムの事業性検討

ここでは、本プロジェクトの調査、研究開発主体となったメタネーション技術、メタノール製造技術、およびポリジェネレーションシステムの CO<sub>2</sub> 有効利用技術統合システムとしての市場導入イメージ、出口イメージ固め、その規模感を抑えるため技術調査、市場性調査を行った。

再生可能エネルギーと石炭ガス化複合発電 (IGCC) との協調運転を考えたポリジェネレーションシステムを検討したが、このシステムでは、昼間、再生可能エネルギー由来の余剰電力を使って水を分解して水素を製造し、水素と IGCC ガス化ガスとにより、例えばメタノールを製造する。同時に、夜間には石炭等により IGCC 発電を主に運用させる。一方、IGCC の導入においては常に微粉炭火力発電方式との競合性が問われる。従って、ポリジェネレーションの実現に当たっても、微粉炭火力と

IGCC の比較論がまず必要と思われ、その結果として IGCC の優位性が論じられれば、それはポリジェネレーションシステムの実現を前進させる大きな要素になる。

IGCC 導入の対象として、今後とも石炭火力発電がその国の電力需要を一定量賄う国における IGCC の導入可能性を、CO<sub>2</sub> 排出量に焦点を絞り、検討した。

## 4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

### (1) 実用化に向けた戦略

実用化に向け下記方針で取り組む。

#### 【メタネーション】

策定した実用化に向けた技術ロードマップに基づき、本プロジェクトで得た知見・技術的課題を踏まえ、段階的な技術開発・実証を進める。

2021年度 カーボンリサイクル技術ロードマップの気体燃料分野の公募を実施予定。

### (2) 実用化に向けた具体的取組

下記に示す開発ロードマップに従い段階的なスケールアップでの技術開発・実証を進める。

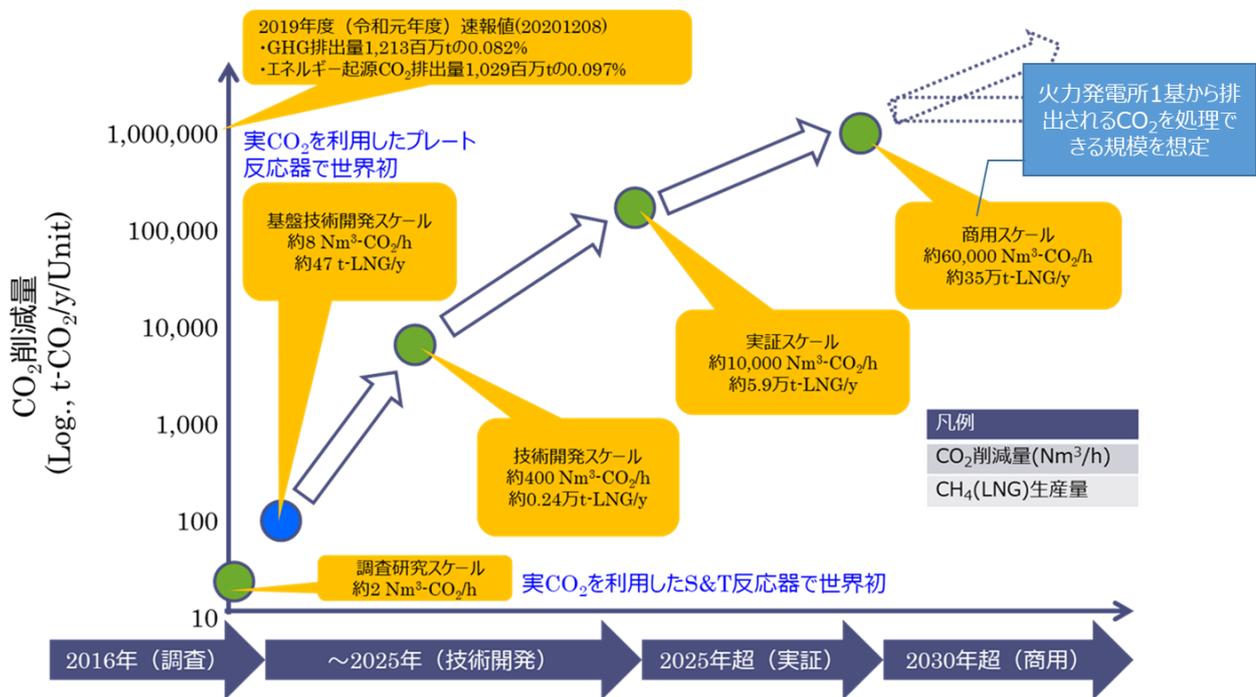


図 4.1 メタネーション技術開発ロードマップ

### (3) 成果の実用化の見通し

#### 市場ニーズ

- ・低炭素化・脱炭素化による温暖化対策のため、CO<sub>2</sub>を回収して合成燃料等の有価物を製造し、社会に再循環させることにより、化石燃料起源のCO<sub>2</sub>排出を抑制する技術として期待できる。
- ・変動する再エネ電力の余剰分を使った水電解水素を使ったメタネーションを行い、ガス導管注入を行うことで余剰電力の受け皿となりうると期待できる。

### 競合技術に対する優位性

・メタン合成技術の中では、基礎技術は既に確立されているという優位性があり、大型化研究開発の段階を経て実用化には近い。

### 技術確立の見通し

・段階的な大型化研究・実証を経ることで実用化のための技術確立は獲得できる。

## (4) 波及効果

### 社会的効果

世界的に温暖化対策・CO<sub>2</sub> 排出削減が求められている中で、メタネーションは既存インフラ（都市ガスパイプライン）を使える利点があり、実用化されれば国内の CO<sub>2</sub> 排出量削減に大きな貢献ができる。また、海外で適用をすることで国際的な貢献にもなる。

### 国内科学技術の発展

本プロジェクトでは、一部の技術開発において、再委託による大学研究者からの支援・連携により開発を加速している。また、実用化には化学・プラント・ガス関連企業の連携のもとで進めていくこととなり、これら連携のより日本の技術・研究力向上に貢献できる。

## 資料

### ●特許論文等リスト

【特許】

番号	出願者	出願番号	国内外 国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	産業技術総合研究所	特願 2019-017829	国内	2019/2/4	出願	気相反応の触媒反応器および触媒反応方法	高坂文彦 山口十志明 倉本浩司 望月剛久 安藤祐司 高木英行 松岡浩一
2	地球環境産業技術研究機構	PCT/JP2020/19275	PCT	2020/4/22	出願	ゼオライト膜複合体およびその製造方法、並びに流体分離方法	流波 余語克則

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	発表年月
1	Zhang Wei、 Hiroshi Machida、 Hiroyuki Takano、 Koichi Izumiya、 Koyo Norinaga	名古屋大学、日立造船	Computational fluid dynamics for CO2 methanation in a shell and tube reactor with multi-region coupled heat transfer	Chemical Engineering Journal (Elsevier)	2020/1/16
2	Bo Liua、 Hidetoshi Kitaa,b、 Katsunori Yogo	地球環境産業技術研究機構	Preparation of Si-rich LTA zeolite membrane using organic template-free solution for methanol dehydration	Separation and Purification Technology、2020	2020/05/15
3	泉屋宏一 高野裕之 四宮博之 熊谷直和	日立造船株式会社	再生可能エネルギーによるCO2からのメタン製造技術	エネルギー・資源 通巻第244号(11月号)	2020/11/10

4	村田直宏 泉屋宏一 熊谷直和	日立造船株式会社	CO2 を利用した再生可能エネルギーの燃料化技術-炭素循環社会を目指して	日本マリンエンジニアリング学会誌 55 巻 6 号	2020/11
5	若山樹 赤塚紘己 稲井康文	国際石油開発帝石	再エネ由来水素を必要とする CO2-メタネーション技術 ～NEDO-CO2 有効利用技術開発事業を通じた INPEX の取組み～	太陽エネルギー・Vol, 4 6 , No.6 ( 通巻 No.260 ) 、26-30、 2020	2020/11/30

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	中尾 真一	地球環境産業技術研究機構	無機膜研究センターの研究成果と今後の計画	未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム	2018/11/6
2	倉本 浩司	産業技術総合研究所	低炭素社会実現のための新たなメタン転換プロセス研究	エネルギー技術シンポジウム	2018/12/4
3	熊谷 直和	日立造船ト	メタネーションによる CO2 循環利用を活かしたカーボンニュートラルへの実効的貢献	エネルギー技術シンポジウム	2018/12/4
4	則永 行庸	名古屋大学	反応器内流動・伝熱・反応数値解析、メタネーション反応試験、メタネーション素反応解析	化学工学会 84 年会	2019/3/13～15
5	倉本 浩司	産業技術総合研究所	産総研における低炭素社会実現のための CO2 およびメタン転換プロセス開発について	「材料中の水素機能解析技術第 190 委員会	2019/4/5
6	倉本 浩司	産業技術総合研究所	低炭素社会実現にむけた CO2 およびメタンの熱化学転換プロセス開発に関する取り組み	公益社団法人RITE 無機膜研究センター産業化戦略協議会第 11 回セミナー	2019/4/25
7	高木 英行	産業技術総合研究所	「カーボンリサイクル関連技術についての産業技術総合研究所での取組」	日本学術振興会第 148 委員会「カーボンリサイクル関連技術についての産業技術総合研究所での取組」	2019/5/9
8	則永 行庸	名古屋大学	Multi-Region Coupled Heat Transfer in a Shell and Tube Reactor for an Exothermic Reaction with a Customized OpenFOAM	OpenFOAM Workshop 2019	2019/6/23～26

9	則永行庸ほか 4名	名古屋大学、日立造船	触媒固定床反応器による実験に基づくCO <sub>2</sub> メタン化反応速度モデルの構築	第28回日本エネルギー学会大会 主催：日本エネルギー学会	2019/8/7~8
10	李惠蓮	地球環境産業技術研究機構	CO <sub>2</sub> を有効利用したメタノール合成に関する技術開発	RITE 主催 温暖化対策技術シンポ in 関西	2019/9/26
11	高坂 文彦 倉本 浩司 山口 十志明	産業技術総合研究所	CO <sub>2</sub> メタン化プロセスの高効率化を目指して	テクノブリッジフェア 2019 つくば	2019/10/24~25
12	oZhang Wei 溝口 莉彩 町田 洋 則永 行庸	名古屋大学	CO <sub>2</sub> メタネーション反応器における伝熱と流動に関する数値解析	第56回石炭科学会議	2019/10/29~30
13	則永 行庸	名古屋大学	メタネーションの技術開発とCO <sub>2</sub> 分離回収との統合	未来を拓く無機膜環境・エネルギー技術シンポジウム	2019/11/7
14	高坂 文彦	産総研創エネルギー研究部門	Thermal Management of CO <sub>2</sub> Methanation Process Based on Experimental and Numerical Approach Using Ni-YSZ Tubular Catalysts	AIC h E annual Meeting 2019	2019/11/10~15
15	李惠蓮	地球環境産業技術研究機構	膜反応器を適用したメタノール合成のシミュレーションによる解析	日本膜学会主催 膜シンポジウム2019	2019/11/12~13
16	則永 行庸	名古屋大学	単管シェルアンドチューブ型メタネーション反応器の熱流体シミュレーション	第25回流動化・粒子プロセスシンポジウム	2019/11/28~29
17	若山 樹	国際石油開発帝石	CO <sub>2</sub> 有効利用技術開発	The 8th NextPV International Workshop (東大先端研&CNRS シンポ for NEXT PV)	2019/11/19
18	茂木 康弘	JFE スチール	製鉄所から排出されるCO <sub>2</sub> の有効利用技術開発	日本鉄鋼協会会報 ふうらむ	2019/12
19	若山 樹	国際石油開発帝石	CO <sub>2</sub> 有効利用技術開発	気候変動・災害対策 Biz	2019/12/6
20	中尾 真一	地球環境産業技術研究機構	無機膜の実用化開発と脱炭素社会に向けた取り組み	革新的環境技術シンポジウム 2019	2019/12/18

21	若山 樹	国際石油 開発帝石	NEDO CO2 メタネーション事業に ついて	長岡バイオエコノミー・ シンポジウム	2020/1/17
22	若山 樹	国際石油 開発帝石	NEDO CO2 メタネーション事業に ついて	水素エネルギー利活用 促進セミナー	2020/1/22
23	若山 樹	国際石油 開発帝石	CCU 技術の現状と課題～ NEDO-CO2 有効利用技術開 発事業を通して～	公益財団法人石油学 会・新エネルギー部会 講演会	2020/1/24
24	杉田 啓介	地球環境 産業技術 研究機構	CCU 技術の現状と課題～ NEDO-CO2 有効利用技術開 発事業を通して～	公益財団法人石油学 会・新エネルギー部会 講演会	2021/1/24
25	泉屋 宏一	日立造船	CO2 を利用した再生可能エネル ギーの燃料化技術	(株)技術情報センターセ ミナ-「CO2 有効利用 技術と事業動向・展 望」	2020/2/14
26	若山 樹	国際石油 開発帝石	「NEDO CO2 メタネーション事業 について	コンビナート機能融合 研究会	2020/2/18
27	吉田	日立造船	日立造船の環境への取り組みノ エネルギー・カーボンサイクル	第 6 回カーボンサイク ルイノベーション研究会	2020/2/18
28	高木 英行	産業技術 総合研究 所	水素エネルギーに関する産総研で の取組	大阪科学技術センター 地球環境技術推進懇 談会 2019 年度第 3 回講演会	2020/2/19
29	中村	日立造船	NEDO CO2 メタネーション事業に ついて	水素・燃料電池展 FCEXPO 2020	2020/2/26～28
30	瀬下、李	地球環境 産業技術 研究機構	CO2 を有効利用したメタノール合 成に関する技術開発	水素・燃料電池展 FCEXPO 2020	2020/2/26～28
31	石井 義郎	国際石油 開発帝石	NEDO CO2 メタネーション事業に ついて	秋田県地下資源開発 促進協議会講演会	2020/3/9
32	若山 樹	国際石油 開発帝石	NEDO CO2 メタネーション事業に ついて	新潟県天然ガス協会 総会	2020/5/20
33	若山 樹	国際石油 開発帝石	NEDO CO2 メタネーション事業に ついて	石油学会第 69 回研 究発表会	2020/5/26
34	若山 樹 赤塚 紘己 稲井 康文	国際石油 開発帝石	Introduction of Nagaoka CCU Project for effective recycling of CO2 to produce methane	Asia Clean Energy Forum 2020	2020/6/19
35	若山 樹	国際石油 開発帝石	NEDO CO2 メタネーション事業に ついて」	日本ガス協会「 Gas Innova ～新たな事 業領域の『探索』とガス	2020/6/30

				事業の『進化／深化』』	
36	則永 行庸、張煒、チェ チョルヨン、柳瀬 慶一、チャンクウィン、町田 洋	名古屋大学	メタネーションおよび CO2 分離回収との統合プロセスに関する研究開発	Adsorption News 7月号 特集号「二酸化炭素・有効利用・貯留技術開発（CCUS）技術の最前線」	2020/7
37	則永行庸	名古屋大学	メタネーション研究開発と CO2 分離回収と利用の統合化に向けた取り組み	一般社団法人 日本ガス協会	2020/8
38	則永行庸	名古屋大学	メタネーションおよび CO2 分離回収との統合	地球環境技術推進懇談会（2020 年度第一回）	2020/9
39	安田 将也 ChoiCheolyong Zhang Wei 高野 裕之 泉屋 宏一 町田 洋 則永 行庸	名古屋大学 日立造船	CO2 メタネーションの総括反応速度モデルの構築と触媒有効係数に関する検討	第 51 回化学工学会 秋季大会	2020/9/24~26
40	溝口莉彩 ZhangWei ChoiCheolyong 町田 洋 則永 行庸	名古屋大学	反応・伝熱・流動を考慮した新規メタネーション反応装置解析ソルバーの開発	第 51 回化学工学会 秋季大会	2020/9/24~26
41	若山樹 赤塚紘己 稲井康文	国際石油開発帝石	CCU 技術の現状と課題～NEDO-CO2 有効利用技術開発事業を通して～	RITE-産業化戦略協議会	2020/9/28
42	若山樹 赤塚紘己 稲井康文	国際石油開発帝石	CCU 技術の現状と課題～NEDO-CO2 有効利用技術開発事業を通して～	技術情報センター	2020/9/28
43	高木英行	産業技術総合研究所	Research and development of CO2 Utilization technology in AIST	RD20（クリーンエネルギー技術に関するG20各国の国立研究所等のリーダーによる国際会議）	2019/10/2
44	熊谷直和	日立造船	CO2 + 再生水素でメタンを合成する	日本化学会 秋季事業 第 10 回 CSJ 化学フェスタ 2020	2020/10/21

45	李	地球環境 産業技術 研究機構	CO2 を有効利用したメタノール合 成に関する技術開発	第 1 回 地球環境の ための炭素の究極利 用技術に関するシンポ ジウム)	2020/10/27~30
46	山口 祐一郎	地球環境 産業技術 研究機構	NEDO 事業紹介	燃料電池開発情報セ ンター機関誌 秋号	2020/10
47	泉屋宏一	日立造船	二酸化炭素有効利用のためのメ タネーション技術の開発	第 5 回 西部支部エネ ルギー技術講演会	2020/10/30
48	Toshiki Tsuboi, Shoya Yasuda, Hiroshi Machida, Koyo Norinaga, Tomoyuki Yajima, Yoshiaki Kawajiri	名古屋大 学	Modeling and estimating kinetic parameters for CO2 methanation in a fixed bed reactor (固定床反応器におけ る CO2 メタン化の動態パラメ ーターのモデリングと推定)	国際学会 第 9 回 PSE Asia 「プロセスシ ステム工学におけるアジ アシンポジウム」	2020/11/4~6
49	高木英行	産業技術 総合研究 所	水素エネルギーに関する動向と産 業技術総合研究所での取り組み	かがわエネルギー産業 フォーラム勉強会	2020/11/25
50	山口 祐一郎	地球環境 産業技術 研究機構	NEDO 事業紹介	RITE30 執念記念誌	2020/11

## 2. 分科会公開資料

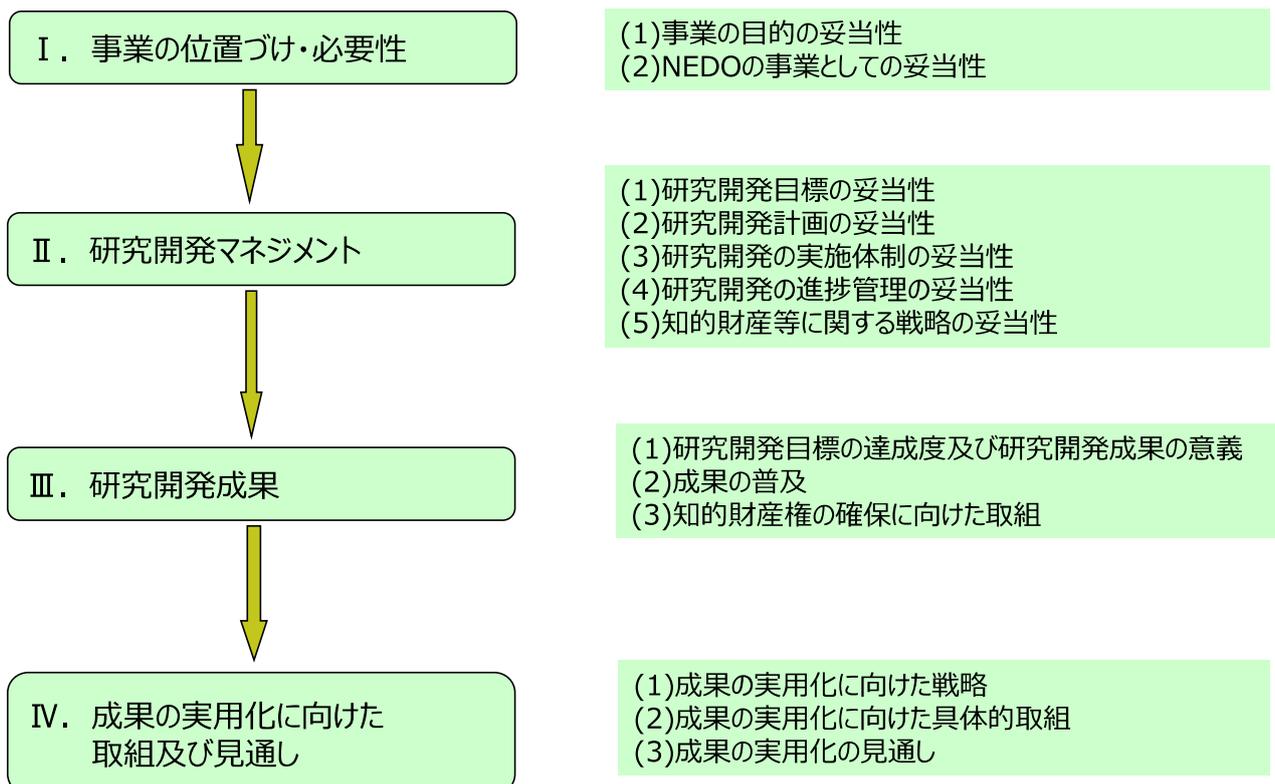
次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／  
④次世代火力発電基盤技術開発  
7)CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」  
(前倒し事後評価)

(2017年度～2021年度 5年間)  
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO  
環境部  
2021年4月20日

発表内容



年度(西暦)	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
研究開発項目④ 次世代火力発電基盤技術開発																		
1) 次世代ガス化システム技術開発(委託)									※2	◆		◆						
2) 燃料電池向け石炭ガスクリーンアップ技術要素研究(委託)								※2	◆									
3) ガスタービン燃料電池複合発電技術開発(委託)															◆			
4) 燃料電池石炭ガス適用性研究(委託)															◆			
5) CO <sub>2</sub> 分離型化学燃焼石炭利用技術開発(委託)									※2	◆								
6) 石炭火力の負荷変動対応技術開発(委託)																		
7) CO <sub>2</sub> 有効利用技術開発(委託)																		
8) CO <sub>2</sub> 分離・回収型ボリジェネレーションシステム技術開発(委託)																		
9) 機動性に優れる広負荷帯高効率ガスタービン複合発電の要素研究(委託)																		

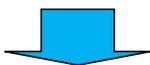
\* 一部抜粋  
◇ 中間評価、◆ 事後評価

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆ 事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

- ・CO<sub>2</sub>排出削減、温暖化対策は世界的課題
- ・石炭火力発電からのCO<sub>2</sub>排出量が多い



CO<sub>2</sub>の回収・貯留やCO<sub>2</sub>を資源として利用し、有価物を製造する技術によるCO<sub>2</sub>排出削減の必要性

事業の目的

CO<sub>2</sub>を資源として利用し、有価物を製造する技術によるCO<sub>2</sub>排出削減の必要性



CO<sub>2</sub>排出削減に寄与するCO<sub>2</sub>有効利用技術の確立

◆政策的位置付け (その1)

■ 長期エネルギー需給見通し (2015年7月)

(3) 2030年度以降を見据えて進める取組

安全性、安定供給、経済効率性及び環境適合に関する政策目標の確実な実現と多層・多様化した柔軟なエネルギー需給構造の構築に向け、革新的な蓄電池、水素社会の実現に向けた技術、次世代型再生可能エネルギー、二酸化炭素の回収貯留(CCS)及び利用に関する技術を始めとする新たな技術の開発・利用の推進、メタンハイドレートなど我が国の排他的経済水域内に眠る資源の活用に向けた取組も推進する。

◆政策的位置付け (その2)

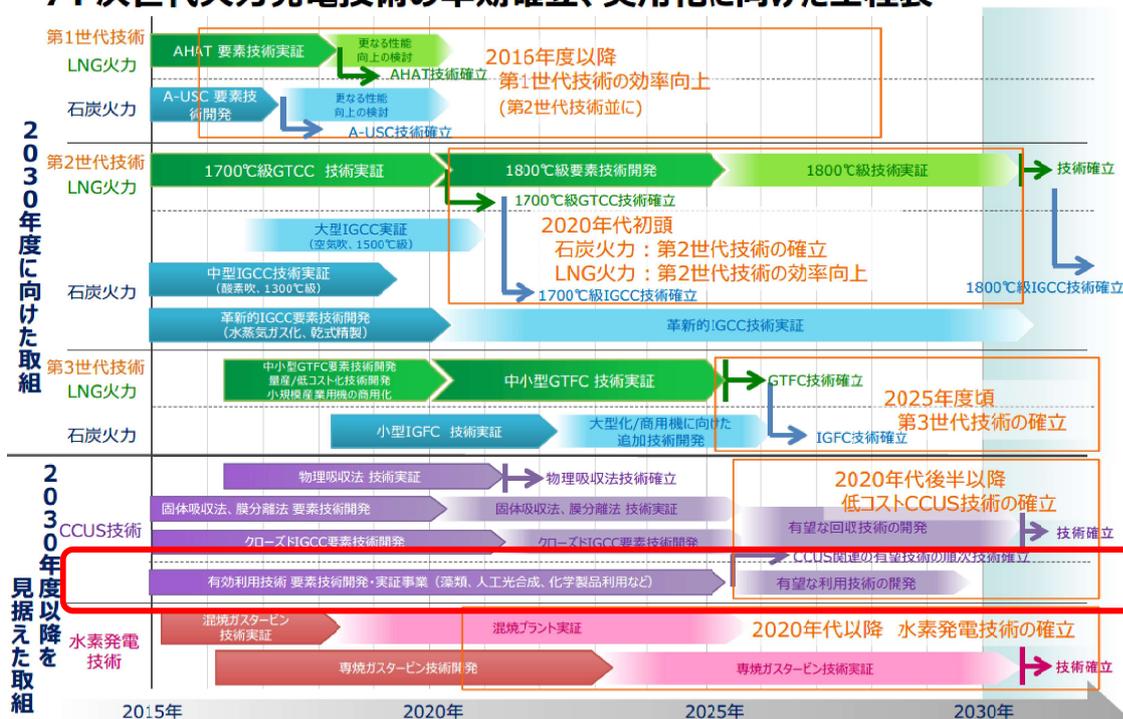
■ エネルギー・環境イノベーション戦略 (2016年4月)

II. 有望分野の特定		
①これまでの延長線の技術ではなく、非連続的でインパクトの大きい革新的な技術 ②大規模に導入することが可能で、大きな排出削減ポテンシャルが期待できる技術 ③実用化まで中長期を要し、且つ産学官の総力を結集すべき技術 ④日本が先導し得る技術、日本が優位性を発揮し得る技術		
エネルギーシステム 統合技術	○革新技術を個別に開発・導入するだけでなく、ICTによりエネルギーの生産・流通・消費を互いにネットワーク化し、デマンドレスポンス (DR) を含めてシステム全体を最適化。AI、ビッグデータ、IoT等を活用。	
システムを構成する コア技術	○次世代パワエレ：電力損失の大幅削減と、新たなシステムの創造 ○革新的センサー：高耐環境性、超低電力、高寿命でメンテナンスフリー ○多目的超電導：モーターや送電等への適用で、電力損失を大幅減	
分野別革新技術	省エネルギー	1 革新的生産プロセス ○高温高压プロセスの無い、革新的な素材技術 > 分離膜や触媒を使い、20~50%の省エネ 2 超軽量・耐熱構造材料 ○材料の軽量化・耐熱化によるエネルギー効率向上 > 自動車重量を半減、1800℃以上に安定適用
	蓄エネルギー	3 次世代蓄電池 ○リチウム電池の限界を超える革新的蓄電池 > 電気自動車が、1回の充電で700km以上走行 4 水素等製造・貯蔵・利用 ○水素等の効率的なエネルギーキャリアを開発 > CO <sub>2</sub> を出さずに水素等製造、水素で発電
	創エネルギー	5 次世代太陽光発電 ○新材料・新構造の、全く新しい太陽光発電 > 発電効率2倍、基幹電源並みの価格
		6 次世代地熱発電 ○現在は利用困難な新しい地熱資源を利用 > 地熱発電の導入可能性を数倍以上拡大
	CO <sub>2</sub> 固定化・有効利用	○排ガス等からCO <sub>2</sub> を分離回収し、化学品や炭化水素燃料の原料へ転換・利用 > 分離回収エネルギー半減、CO <sub>2</sub> 削減量や効率の格段の向上

◆政策的位置付け (その3)

■ 次世代火力発電に係る技術ロードマップ<sup>o</sup> (2016年6月)

7. 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表



◆本プロジェクトの経緯

■CO<sub>2</sub>有効利用可能性調査(2016~2017年度)

<概要>

CO<sub>2</sub>排出量削減のための有効利用技術の一つであり、既存インフラが使えるメタネーションについて、技術・事業性等の調査・実験・検討を行った。

CO<sub>2</sub>排出源ごとのCO<sub>2</sub>分離回収技術・有効利用技術の最適組み合わせの検討やポリジェネレーションシステムの可能性の検討が必要とNEDOが判断。

■CO<sub>2</sub>有効利用技術開発(2017~2021年度)

<2021年度目標(最終目標)>

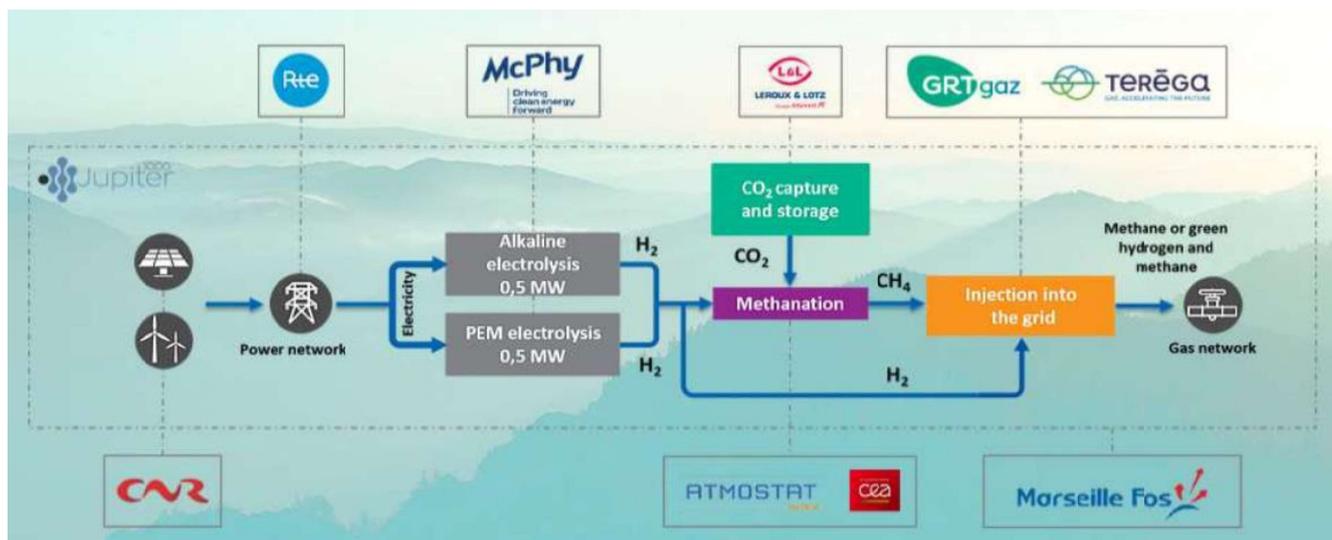
事業終了時に本事業として実施するCO<sub>2</sub>有効利用技術の適用性を確認する。一例としては、将来的に天然ガス代替では0.9円~1.4円/MJ(LHV)を見通す経済性を評価する。

◆国内外の研究開発の動向と比較 (その1)

**EUにおいてPower-to-Gas関係のプロジェクトが進行中。**

■ **Jupiter 1000 (フランス、2014年～2023年)**

- Power to Gasの最初の産業用実証(CO<sub>2</sub>回収によるメタネーションプロセス)。
- 水素は100%再エネから製造。メタン合成能力: 25Nm<sup>3</sup>/h。
- 参画企業: GRTgaz(全体統括、ガス供給)、ATMOSTAT(メタン化リアクター)、他。



出典: Jupiter1000 プロジェクトホームページより

◆国内外の研究開発の動向と比較 (その2)

■ **STORE&GO (ドイツ・スイス・イタリア、2016～2020)**

- Horizon2020のもと、27機関がメタネーション実証を行うもの。
- 実証サイトはドイツ、スイス、イタリアで、地域特性に合わせて再エネ、CO<sub>2</sub>を調達している。
- CO<sub>2</sub>供給元は、大気・排水処理プラント・バイオガスプラント。

Partner Organizations



出典: STORE&GO ホームページより

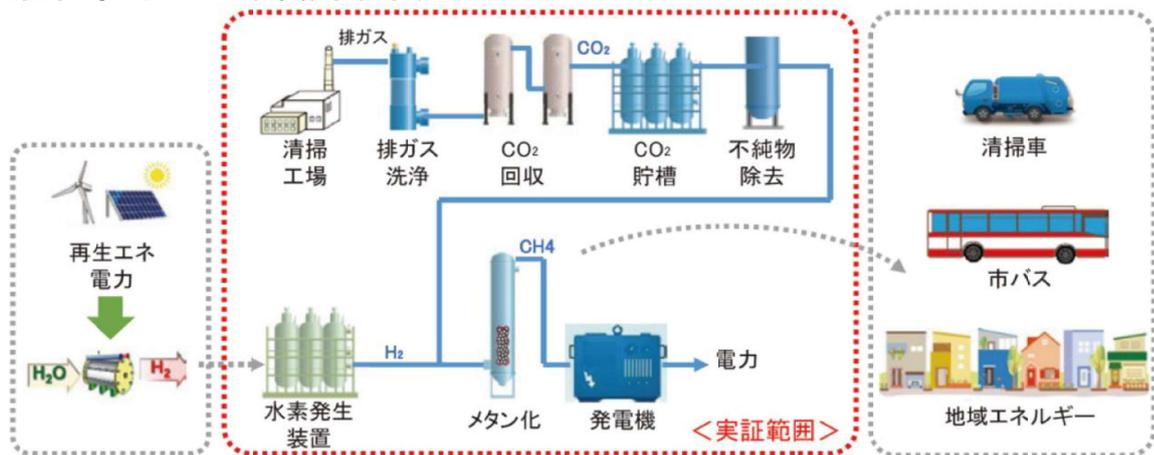
海外でもメタネーション実証は実施中であり、日本においてもメタネーション分野の研究開発を進め、国際的にリードすべきと考える。

◆他事業との関係

■ 清掃工場から回収した二酸化炭素の資源化による炭素循環

モデルの構築実証事業 (環境省) (2018年～2022年)

- ・ごみ焼却炉からの排ガスCO<sub>2</sub>を利用したメタネーション実証事業(合成能力:125Nm<sup>3</sup>/h)。
- ・メタネーション反応器は、以前にNEDO事業で開発した別の技術を使用。
- ・実証試験は2022年度開始予定。



出典：環境省ホームページ内資料「日立造船株式会社におけるCCU事業の取組」より

ゴミ焼却炉の排ガスは石炭火力等の排ガスとは性状が大きく異なり、そのため設備構成も違う。

10

◆NEDOが関与する意義

CO<sub>2</sub>排出削減に寄与するCO<sub>2</sub>有効利用技術の開発・実用は、

- 社会的必要性：大、**国家的課題（温暖化対策）に貢献する技術**
- 研究開発の難易度：実用化に向けて**実証試験など長期かつ段階的な技術開発が必要**で難易度高
- 投資規模：長期に渡る開発が必要で**投資リスク大**

エネルギー・地球環境問題の解決を担う組織であるNEDOは、国家的課題である**温暖化対策**に対し、マネジメント力を生かした**産学官の技術力・研究力を最適に組み合わせ研究を推進**できる。また、NEDO内部にある**他分野の知見（水素）**を本事業に生かし効果的な事業推進ができる。



**N E D O が も つ こ れ ま で の 知 識 、 実 績 を 活 か し て 推 進 す べ き 事 業**

11

## ◆実施の効果 (費用対効果)

### プロジェクト費用の総額 (5年間) : 約19億

#### 【メタネーション】

##### ▶ 電力市場

CO<sub>2</sub>由来のメタンを天然ガスパイプライン運用上の許容圧力範囲内において、再エネ由来電力として、少なくとも**3,000万kW程度の余剰電力を吸収可能**。

##### ▶ CO<sub>2</sub>削減効果

国内の天然ガス年間消費量(約1,000億m<sup>3</sup>)の10%をCO<sub>2</sub>と水素からの合成メタンで代替した場合、**年間約2,240万tonのCO<sub>2</sub>削減効果**となる。日本での年間CO<sub>2</sub>排出量の**約2%削減**となる。

- ・天然ガス燃焼時のCO<sub>2</sub>排出量 : 51g/MJ
- ・天然ガス発熱量 : 40MJ/m<sup>3</sup>
- ・2019年度 日本のCO<sub>2</sub>排出量 : 12億1300万ton

12

## ◆事業の目標

### 【最終目標 (2021年度)】

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

※35円~55円/Nm<sup>3</sup> : 天然ガス39MJ/Nm<sup>3</sup>

### 【目標設定根拠】

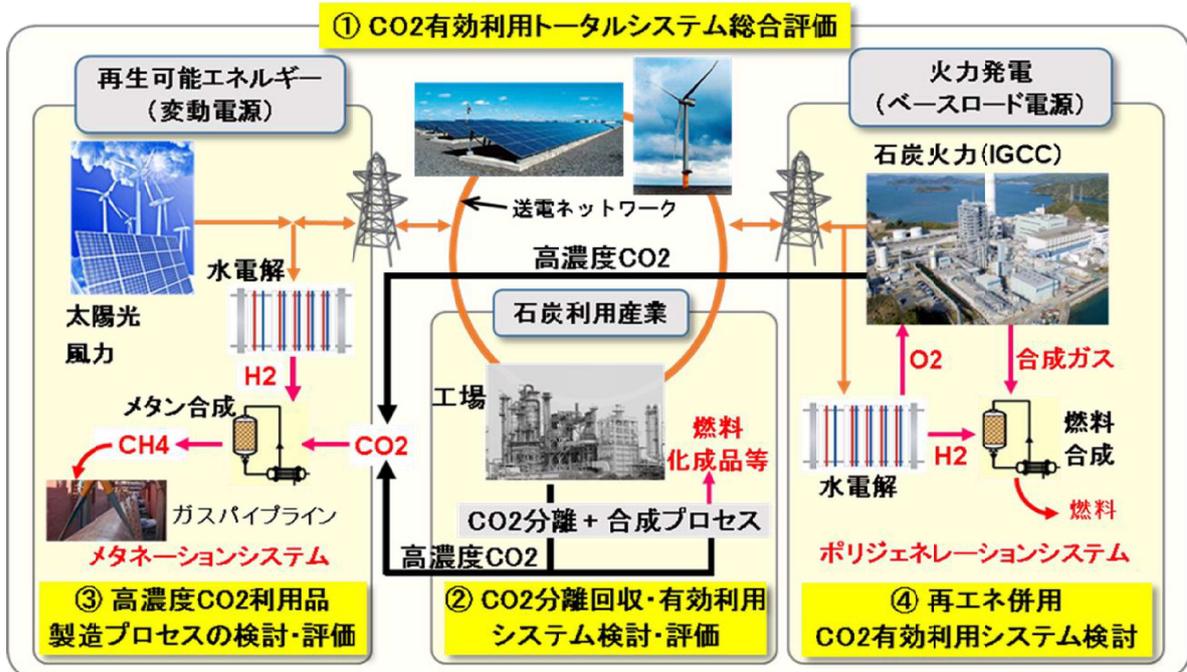
- ・将来のCO<sub>2</sub>有効利用技術の社会への普及には技術の確立だけでなく、**経済性等の社会への適用性を評価する必要があり、その確認をすることを目標として定めた。**
- ・**0.9円~1.4円/MJ (LHV)** は、現時点での天然ガス価格から算出した値で、商用スケールでの**経済性を検討する目標値として定めた。**

13

◆本プロジェクトの概要

【事業内容】

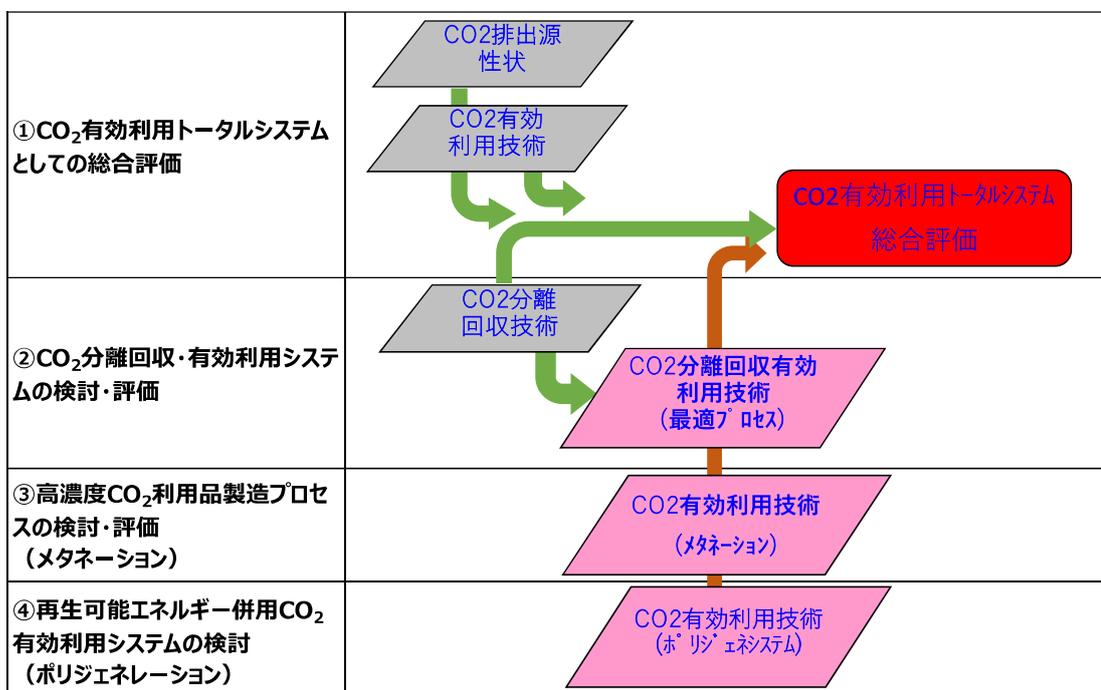
2030年度以降を見据え、**将来有望なCCU技術の確立**を目指して、我が国の優れたクリーンコールテクノロジー（CCT）等に更なる産業競争力を賦与することが可能なCO<sub>2</sub>有効利用技術（CCU）について、実用化に向けた開発を実施する。



◆本プロジェクトの概要

【研究開発項目①】

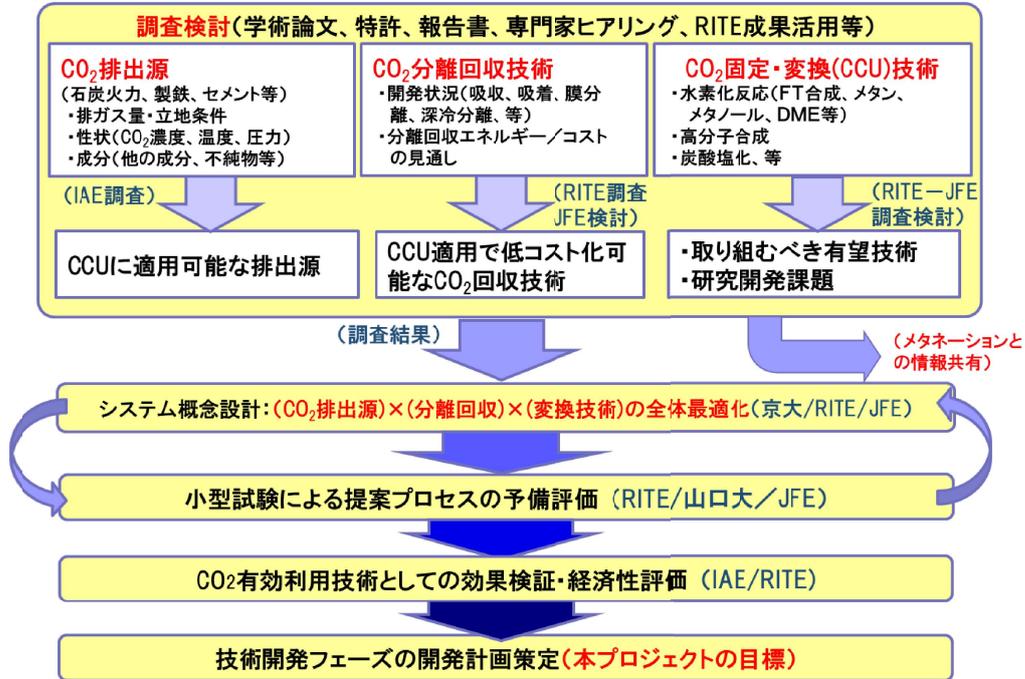
CCU技術によるCO<sub>2</sub>排出削減や有価物製造を総合的な観点からその効果と価値を明らかにするため、研究開発項目②～④を踏まえて上でCCU技術やCCU技術を用いたトータルシステムの**総合評価**を行う。



### ◆本プロジェクトの概要

#### 【研究開発項目②】

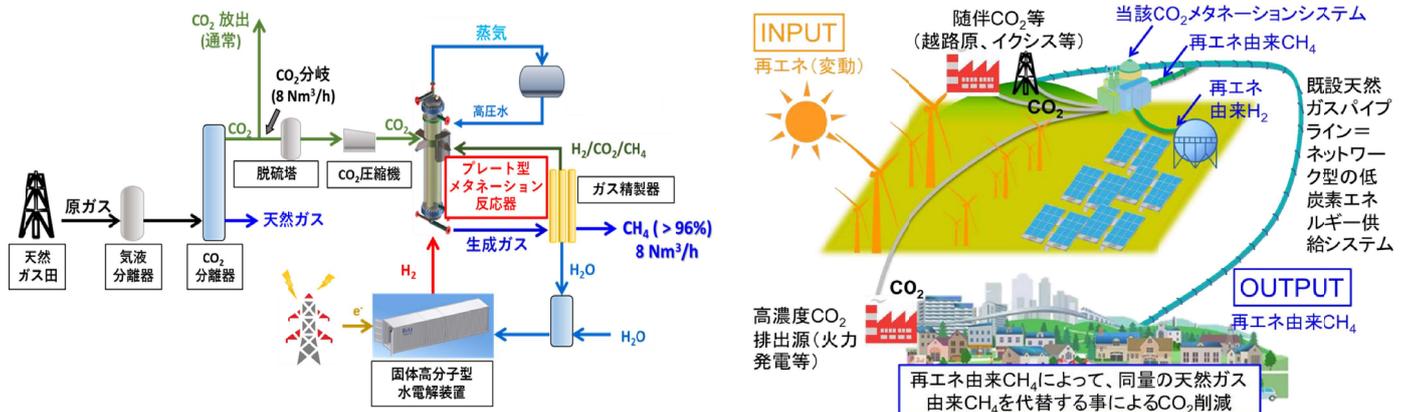
最適なCCUプロセスを構築するための技術課題や経済性を明らかにするため、**CO<sub>2</sub>分離回収技術および変換技術の組み合わせの検討や評価**を、実験やシミュレーションを通じて行う。



### ◆本プロジェクトの概要

#### 【研究開発項目③】

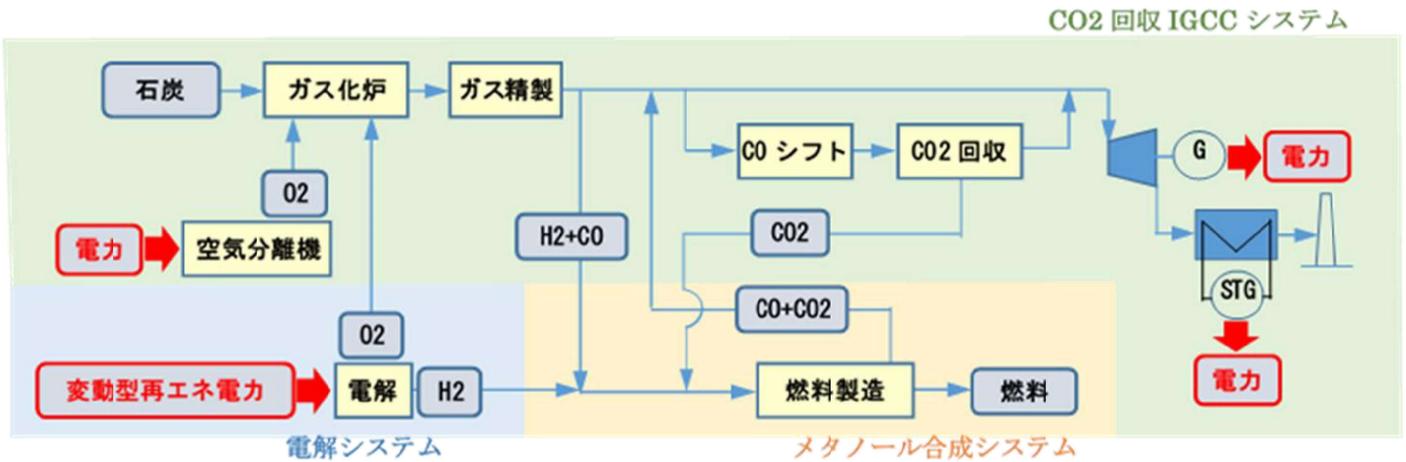
高濃度に分離回収されたCO<sub>2</sub>を利用した**有価物製造プロセス (メタネーション)** の事業性を明らかにするために、同プロセスの**試験装置を設計・製作し、その検証結果からCCU技術としての適用性や経済性**に関する検討や評価を行う。



◆本プロジェクトの概要

【研究開発項目④】

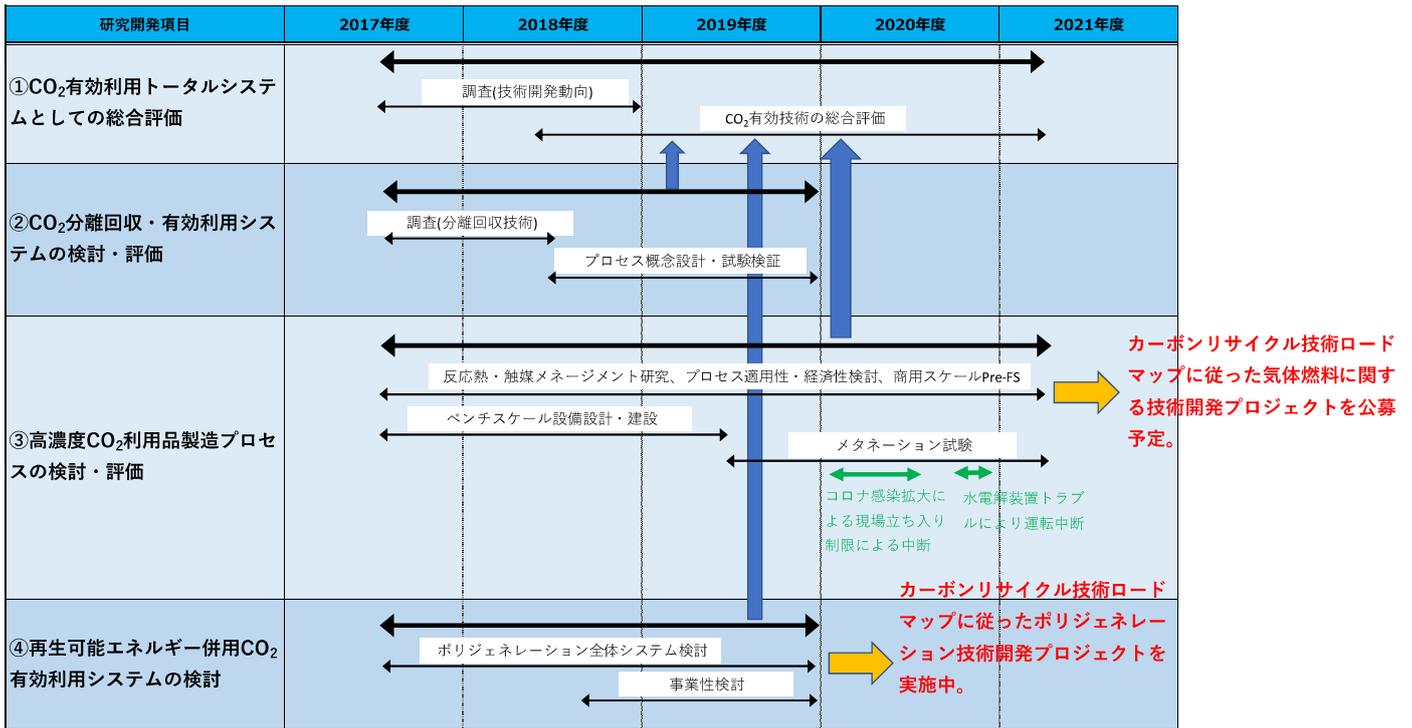
国内外における石炭ガス化ガスをベースとしたポリジェネレーションシステムの検討例を調査し、用いられている技術（石炭ガス化、水素/酸素製造、合成燃料製造など）について開発状況を整理する。また、再生可能エネルギーとの組み合わせシステムの可能性についても検討する。



◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
①CO <sub>2</sub> 有効利用トータルシステムとしての総合評価	CO <sub>2</sub> 排出量削減や有価物製造を総合的な観点からその効果と価値を明らかにするため、以下の②～④を踏まえてうえでCCU技術やCCU技術を用いたトータルシステムの総合評価を行う。	技術の実用化を目指すうえで、CO <sub>2</sub> 効果・経済性等の総合的な評価をする必要がある。
②CO <sub>2</sub> 分離回収・有効利用システムの検討・評価	最適なCCUプロセスを構築するための技術課題や経済性を明らかにするために、CO <sub>2</sub> 分離回収技術及び変換技術の組み合わせ（プロセス）等の検討や評価を、実験やシミュレーションを通じて行う。	CO <sub>2</sub> 排出源ごとのCO <sub>2</sub> 分離回収技術・有効利用技術の最適組み合わせを検討し、抽出したプロセスの最適化を検討・評価することが必要と判断した。
③高濃度CO <sub>2</sub> 利用品製造プロセスの検討・評価	CO <sub>2</sub> を利用したメタネーションプロセスの試験装置（メタン合成能力8m <sup>3</sup> /h）の設計・建設・試験を以下を目標に実施。 ・性能 製造能力：8Nm <sup>3</sup> /h 熱回収率：85%以上 合成メタン濃度：96%以上 ・メタン反応の熱・触媒活性 将来的に天然ガス代替では0.9円～1.4円/MJ（LHV）を見通す経済性を評価する。	実用化までの段階的な開発を元に目標値を策定した。  現時点での天然ガスを目標値としたもの。
④再生可能エネルギー併用CO <sub>2</sub> 有効利用システムの検討	石炭ガス化ガスをベースとしたポリジェネレーションシステムの検討例を調査し、技術（石炭ガス化、水素/酸素製造、合成燃料製造など）についての開発状況を整理する。再生可能エネルギーとの組み合わせシステムの可能性についても検討する。	増加している再生エネルギー導入量と電力の安定化を両立するシステムをして有効であると考え、その可能性の検討を実施することとした。

◆研究開発のスケジュール



新型コロナウイルス感染拡大の影響で、2020年度③メタネーション試験が中断したことにより、事業期間を2021年まで延長。

◆プロジェクト費用

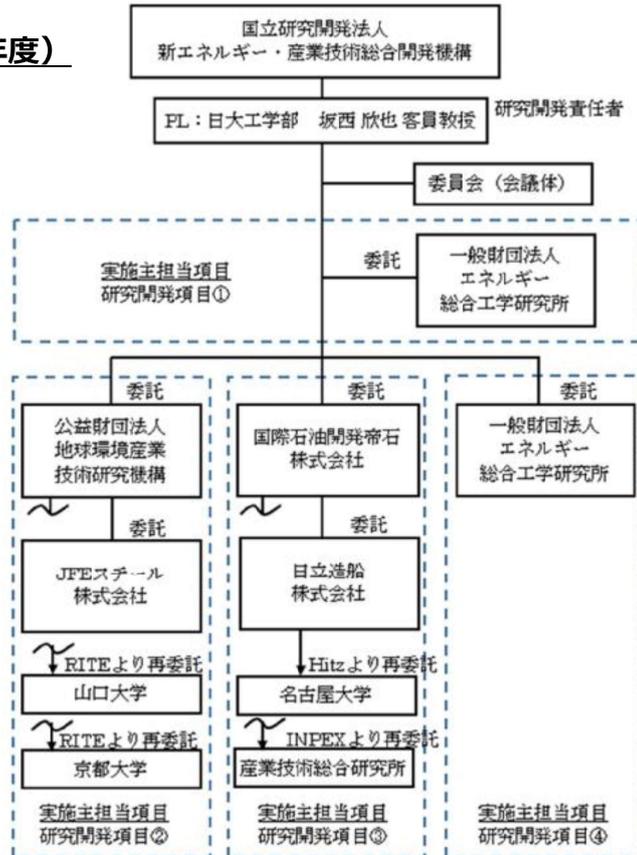
◆費用

(単位：百万円)

研究開発項目	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	合計
①CO <sub>2</sub> 有効利用トータルシステムとしての総合評価	22	21	6	9	3	60
②CO <sub>2</sub> 分離回収・有効利用システムの検討・評価	39	39	50	0	0	128
③高濃度CO <sub>2</sub> 利用品製造プロセスの検討・評価	286	549	389	342	123	1,689
④再生可能エネルギー併用CO <sub>2</sub> 有効利用システムの検討	20	20	3	0	0	43
合計	366	628	448	351	126	1,919

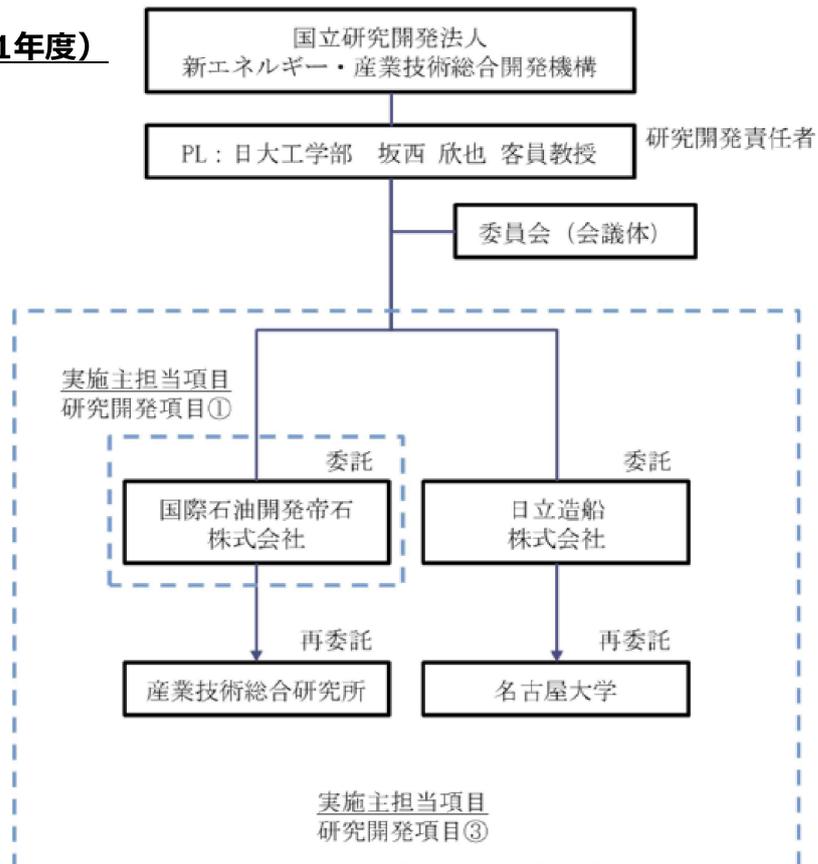
◆ 研究開発の実施体制 (その1)

(2017年度～2019年度)



◆ 研究開発の実施体制 (その2)

(2020年度～2021年度)



## ◆研究開発の進捗管理

### PMによる進捗管理

- PLや実施者と密接に連携し、研究開発の**進捗状況を把握**した。また従事日誌、月間工程表、執行管理表および適宜ヒアリング等により実施状況を確認し、**目標達成の見通しを常に把握**することに努めた。

### PLによる進捗管理

- PM、実施者との打ち合わせを頻繁に行い、各研究開発項目の**進捗状況、成果及び問題点を把握**し、適宜指導を行った。

### PM/PLによる管理実績（技術検討委員会、推進委員会、進捗会議）

- 技術検討委員会：2回、推進委員会：4回、進捗会議：6回

## ◆動向・情勢の把握と対応

**事業開始以降、以下のような情勢変化があり、より加速しての本事業の早期実用化が引き続き重要な状況にある。**

### 情勢の変化

- 2019年6月に経済産業省により「**カーボンリサイクル技術ロードマップ**」が策定された。CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、多様な炭素化合物として再利用するカーボンリサイクルに係る技術は、将来有望な選択肢の一つであり、そのイノベーションを加速化していくことが重要とされている。
- 2020年1月に内閣府により「**革新的環境イノベーション戦略**」が策定された。CO<sub>2</sub>排出削減効果が大きな技術(39テーマ)の一つとして「**低コストメタネーション技術の開発**」が設定され、技術の確立を目指すことが示された。
- 2020年12月に経済産業省により「**カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略**」が策定された。この中で、「**カーボンリサイクル産業**」も重要分野として指定され、技術開発・社会実装を進め、グローバル展開を目指すことが示された。

**⇒本事業の事業内容を上記政策に反映しており、本事業の早期実用化の重要性がますます高まった。**

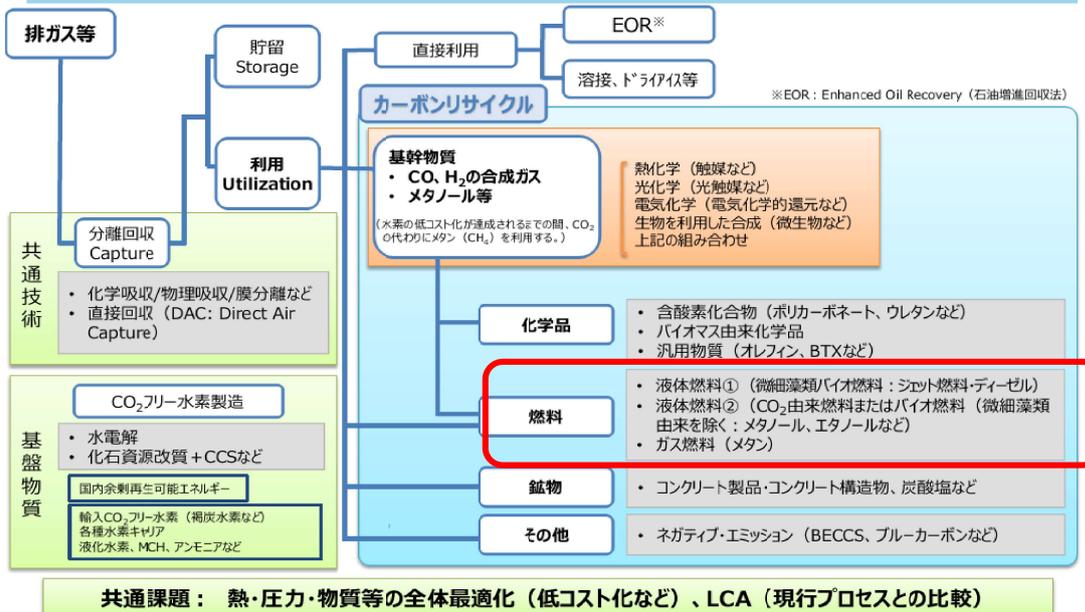
◆ 動向・情勢の把握と対応

■ カーボンリサイクル技術ロードマップ<sup>o</sup> (2019年6月)

カーボンリサイクル技術の中で、燃料分野として特にガス燃料(メタン)は有望視されている。

CCUS/カーボンリサイクル

- カーボンリサイクル: CO<sub>2</sub>を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化や人工光合成、メタネーションによる素材や燃料への利用等とともに、大気中へのCO<sub>2</sub>排出を抑制していく。

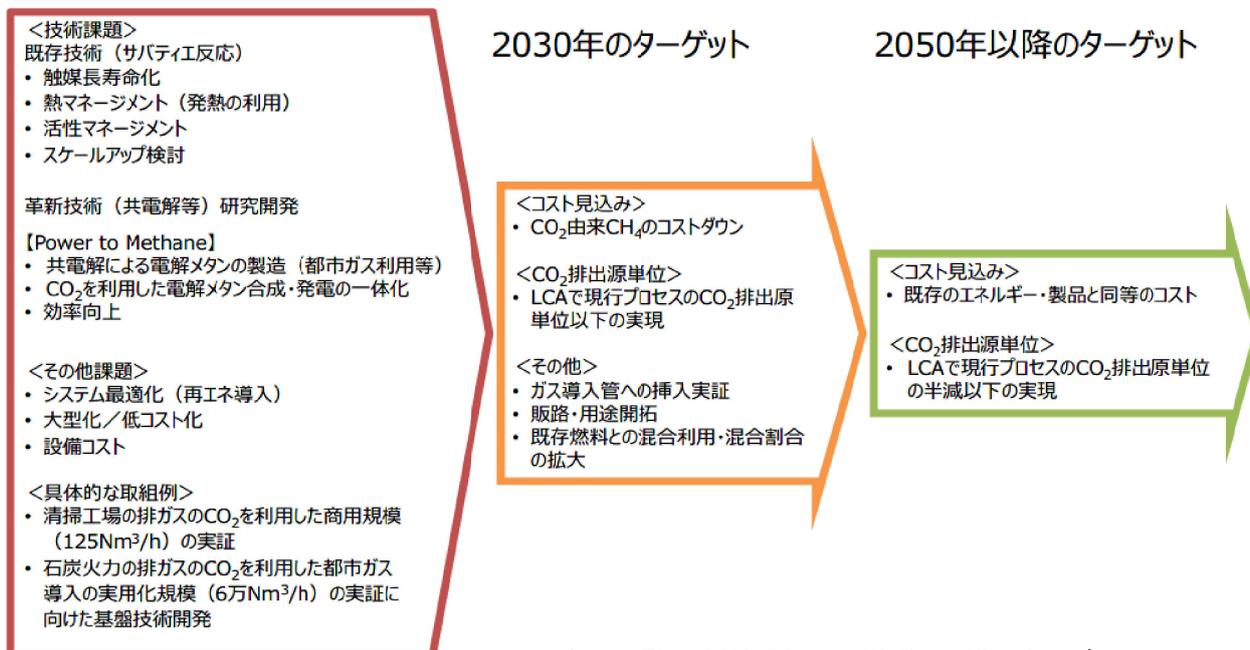


出典: 経済産業省「カーボンリサイクル技術ロードマップ」

◆ 動向・情勢の把握と対応

燃料

- ガス燃料(メタン)の製造技術



出典: 経済産業省「カーボンリサイクル技術ロードマップ」

◆ 動向・情勢の把握と対応

■ 革新的環境イノベーション戦略 (2020年1月)

本プロジェクトの開発ロードマップを政策に反映している。  
 カーボンリサイクル技術によるCO<sub>2</sub>の原燃料化など

② 低コストメタネーション (CO<sub>2</sub>と水素からの燃料製造) 技術の開発

【目標】

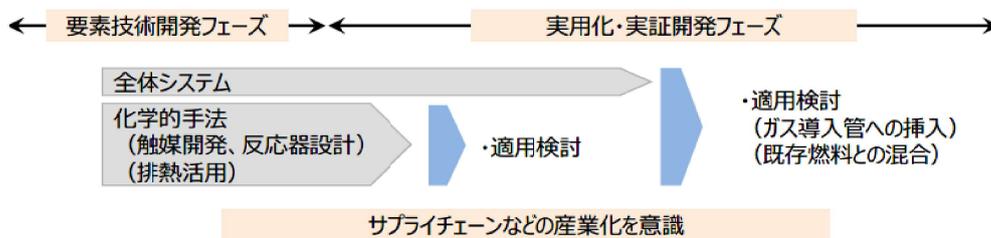
- ・ 2050年までに既存メタン (40~50円/Nm<sup>3</sup> (天然ガス (輸入価格) ) と同等のコストとすることを目指す。世界全体におけるCO<sub>2</sub>削減量は約11億トン。<sup>1)</sup>

【技術開発】

- ・ 再エネ由来の水素、火力発電所等から回収したCO<sub>2</sub>を利用した、燃料に使用可能なメタンを低コストで製造する技術を確認するため、劣化の少ない革新的な触媒の開発、製造システム全体の最適化等についてナショナルプロジェクトとして5年程度 商用規模の1/150の規模での技術開発を行う。廃棄物焼却施設等で排出されるCO<sub>2</sub>を原料としたメタン製造に関しては、清掃工場の排ガスのCO<sub>2</sub>を利用した商用化規模 (125Nm<sup>3</sup>/h) の実証に取り組むとともに、2030年以降の本格的な社会実装に向けた実用化を目指す。

【実施体制】

- ・ 将来のビジネス展開まで見据えた上で、実プロセスを想定した触媒性能や製造プロセス全体でのコスト低減等を行うため、大学、触媒メーカー、プラントメーカー、システム運用企業、ガスライン利用を想定したガス事業者等が連携したサプライチェーンを意識した体制を構築する。



出典：内閣府 統合イノベーション戦略推進会議決定「革新的環境イノベーション戦略」

◆ 知的財産権等に関する戦略

本プロジェクトにおいて発生する知的財産に関しては、以下の通り。

- 本プロジェクトで得られた知財については、**関係各機関の知財管理部門と連携し、特許管理、知財管理を進める。**
- 「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条 (委託の成果に係る知的財産兼の帰属) の規程等に基づき、原則として、事業成果に関わる**知的財産権は全て委託先に帰属させる。**

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (その1)

①CO<sub>2</sub>有効利用トータルシステムとしての総合評価

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
①-1 CO <sub>2</sub> 排出源ごとの排ガス量・性状の調査・解析	CCU技術の有効性検討のため、 <b>CO<sub>2</sub>排出源ごとの排ガス量・性状の調査</b> を実施する。	産業別や化学プロセス別の調査を行い、結果を総合評価等に反映した。	○
①-2 CO <sub>2</sub> 固定化・有効利用技術の最新開発動向調査	取り組むべき有効利用技術と研究課題の整理のため、 <b>CO<sub>2</sub>固定化・有効利用技術の最新開発動向</b> の調査を実施する。	各種CO <sub>2</sub> 有効利用技術の動向を調査し、 <b>市場規模・CO<sub>2</sub>固定化可能量を考慮するとメタノール合成が有望</b> と結論づけた。	○
①-3 CO <sub>2</sub> 有効利用技術の効果検証	CO <sub>2</sub> 有効利用技術による <b>CO<sub>2</sub>排出削減効果</b> を検証する。	CO <sub>2</sub> 排出削減効果を試算した。	○
①-4 CO <sub>2</sub> 有効利用トータルシステムの総合評価	メタネーション等についての経済性も含めた <b>総合評価</b> を行う。	総合評価を実施し、CO <sub>2</sub> フリー燃料・資源としての可能性を評価した。	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (その1)

②CO<sub>2</sub>分離回収・有効利用システムの検討・評価

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
②-1 CCUに適用可能な分離回収技術に関する調査	各種CO <sub>2</sub> 分離回収技術を調査し、 <b>CCUに適した分離回収技術の抽出</b> を行う。	CO <sub>2</sub> 排出源ごとのCO <sub>2</sub> 分離回収技術、CO <sub>2</sub> 有効利用先との <b>最適組み合わせ</b> を示した。	○
②-2 最適CCUプロセスの概念設計と試験による有効性検証	CO <sub>2</sub> ガス組成や変換システムまでの <b>全体最適化したプロセスの検討を試験・シミュレーションにより行う</b> 。抽出した <b>プロセスの概念設計</b> を行う。	製鉄複製ガス、石炭火力排ガス、IGCC合成ガスを対象に、 <b>プロセスシミュレーションを行い最適プロセスを導きだした</b> 。抽出したプロセス (膜反応器) の <b>概念設計・要素研究</b> を実施した。	○
②-3 プロセスの技術課題整理・開発計画の策定	②-2の結果をもとに、 <b>技術開発課題を抽出し、実用化に向けた開発計画</b> を策定する。	技術課題を整理し <b>開発計画を策定</b> した。	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (その1)

③高濃度CO<sub>2</sub>利用品製造プロセスに検討・評価

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
③-1 反応熱エネルギー管理技術	メタネーション反応をシミュレーションできる <b>数値モデルを構築</b> する。このモデルを用いて、反応速度・熱流体シミュレーションを行い、 <b>反応器・プロセス設計へのフィードバック</b> を行う。	CFD(数値流体力学)モデルを構築し、実験測定データをシミュレーションでの再現を確認。シミュレーション結果の <b>次期スケールアップ反応器設計へのフィードバックを推進中</b> 。	△ (2021年6月達成見込み)
③-2 触媒活性管理技術	メタネーション触媒の失活が生じない下記 <b>条件を明確</b> にする。 微量不純物(H <sub>2</sub> S、VOC)許容濃度上限	H <sub>2</sub> S、VOCによる活性低下に帯するメカニズム解明を実施し、 <b>許容濃度の確認</b> を実施中。	△ (2021年6月達成見込み)
③-3 プロセス運転管理技術	メタン合成能力8Nm <sup>3</sup> /hの試験装置を設計・建設・試験を実施し、下記目標を達成する。 <b>合成能力：8Nm<sup>3</sup>/h メタン濃度：96%以上 熱回収率：85%以上 定格運転時間：4500時間</b>	合成能力、メタン濃度( <b>実績99%</b> )、熱回収率( <b>実績87%</b> )は達成済み。 定格運転時間は、 <b>6月には達成見込み(1月末の段階で2500時間達成)</b>	△ (2021年6月達成見込み)

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (その1)

③高濃度CO<sub>2</sub>利用品製造プロセスの検討・評価

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
③-4 プロセス適用性・経済性評価	下記各スケールにおける <b>メタネーション事業の適用性・経済性を評価</b> する。 ① 400 Nm <sup>3</sup> -CO <sub>2</sub> /h ② 10,000 Nm <sup>3</sup> -CO <sub>2</sub> /h ③ 60,000 Nm <sup>3</sup> -CO <sub>2</sub> /h	400Nm <sup>3</sup> /hスケールの <b>基本エンジニアリング</b> を実施し、適用性の評価を実施。また、将来の <b>商用スケールでの経済性評価</b> を実施し、収益性の分析した。	△ (2021年6月達成見込み)
③-5 オーストラリアにおける商用スケール適用に係るPre-FS	オーストラリアでの <b>商用スケール60,000 Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/hのPre-FS</b> を実施する。	オーストラリア <b>研究機関CSIRO</b> と共同で、電力網・ガスパイプライン網等々の情報を得て、 <b>商用スケールのPre-FS</b> を実施した。	△ (2021年6月達成見込み)

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (その1)

④再生可能エネルギー併用CO<sub>2</sub>有効利用システムの検討

研究開発項目	最終目標	成果	達成度
④-1 CO <sub>2</sub> 有効利用基礎技術 適用統合システムの検討	変動型再生エネルギーと安定電源(IGCC)を 協調させる手法としての <b>ポリジェネレーション システム</b> をCO <sub>2</sub> 排出量削減効果や技術課 題等について調査・検討を行い、 <b>システムの 有効性を示す</b> 。	再生エネルギー利用ポリジェネレーションシステム化により、電 力と化学エネルギーのフレキシブルな造り分けが可能 (= <b>系統安定化に寄与</b> )、またIGCCと再生エネ余 剰電力でメタノールを製造貯蔵し、一次エネルギー 量削減が可能(= <b>CO<sub>2</sub>削減が可能</b> )と結論づけ られた。	○
④-2 CO <sub>2</sub> 有効利用統合システ ムの事業性検討	メタメーション、メタノール合成、ポリジェネ レーションの事業性検討のため、 <b>技術調 査・市場調査</b> を実施する。	各技術の動向調査、市場調査を実施し、調査内 容を <b>各個別技術開発へ情報提供</b> できた。	○

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み (中間) / 一部達成 (事後)、×未達

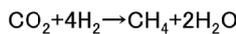
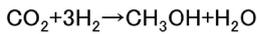
◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- **メタメーションについては、基礎基盤研究段階の本プロジェクトでのベンチスケール試験を通じて、技術目標を達成した。実用化に向けての技術的知見や課題も得られ、段階的な設備スケールアップ試験・実証に向けた大きな成果を得られた。**
- **0.9円～1.4円/MJ (LHV) を見通す経済性の評価については、商用スケールでの事業性を電気料金 (水電解コスト)、副生物 (酸素、熱) 販売、CAPEX/OPEX等の条件を加味して評価し、電気料金は1～3円/kWh程度が事業性には必要であることが明らかとなった。**

◆ 各個別テーマの成果と意義

① CO<sub>2</sub>有効利用トータルシステムとしての総合評価

開発項目②～③を踏まえてメタン、メタノールをCO<sub>2</sub>フリー化するカーボンリサイクルエネルギーシステムのCO<sub>2</sub>削減効果を定量的に把握。その可能性を見出すことができたと共に、④による再生・火力発電の協調運用の有意性を見出すことができた。

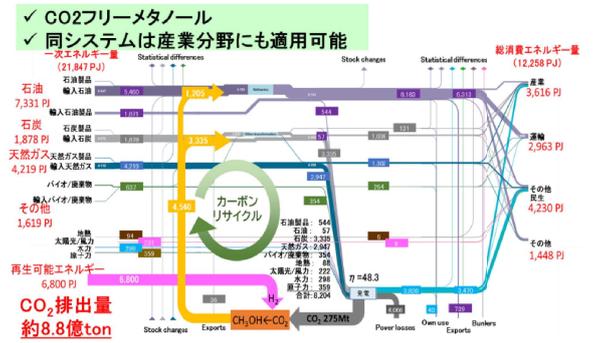
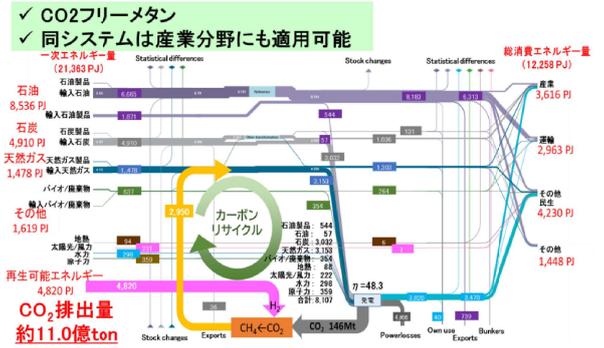


電力単価 (円/kWh)	2	3	4	5
CO <sub>2</sub> 量 (kg)	1000			
必要H <sub>2</sub> 量 (kg)	136			
電気料金 (円/kg-CH <sub>3</sub> OH)	21.0	31.5	42.0	52.5
CO <sub>2</sub> 代 (円/kg-CH <sub>3</sub> OH)	13.8			
H <sub>2</sub> 設備償却費 (円/kg-CH <sub>3</sub> OH)	7.8			
メタノール設備償却費 (円/kg-CH <sub>3</sub> OH)	5.0			
メタノール単価 (円/kg-CH <sub>3</sub> OH)	47.6	58.1	68.6	79.1
メタノール単価 (円/kWh)	7.6	9.2	10.9	12.6

電力単価 (円/kWh)	2	3	4	5
CO <sub>2</sub> 量 (kg)	1000			
必要H <sub>2</sub> 量 (kg)	182			
電気料金 (円/kg-CH <sub>4</sub> )	56.0	84.0	112.0	140.0
CO <sub>2</sub> 代 (円/kg-CH <sub>4</sub> )	27.5			
H <sub>2</sub> 設備償却費 (円/kg-CH <sub>4</sub> )	20.8			
メタン設備償却費 (円/kg-CH <sub>4</sub> )	6.6			
メタン単価 (円/kg-CH <sub>4</sub> )	110.9	138.9	166.9	194.9
メタン単価 (円/kWh)	7.2	9.0	10.8	12.6

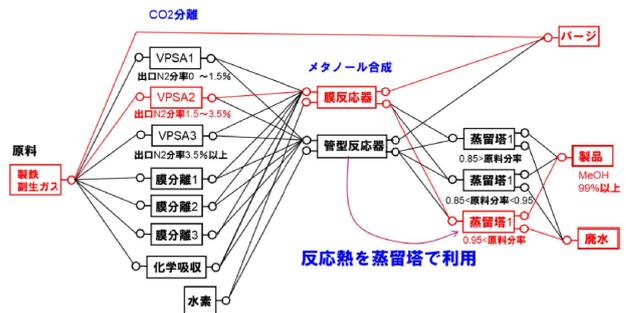
H<sub>2</sub>設備、メタン設備、メタノール設備利用率: 80%  
 メタノール燃焼熱: 5420kcal/kg(高位)、メタン燃焼熱: 13280kcal/kg(高位)  
 H<sub>2</sub>設備費、メタン設備費、メタノール設備費はエネ研にて設定



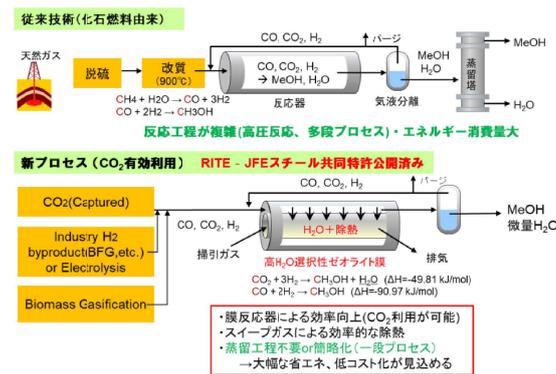
◆ 各個別テーマの成果と意義

② CO<sub>2</sub>分離回収・有効利用システムの検討・評価

CO<sub>2</sub>排出源ごとのCO<sub>2</sub>分離回収技術、CO<sub>2</sub>有効利用先との最適組み合わせを示した。製鉄複製ガス、石炭火力排ガス、IGCC合成ガスを対象に、プロセスシミュレーションを行い最適プロセスを導きだした。抽出したプロセス(膜反応器)の概念設計・要素研究を実施した。



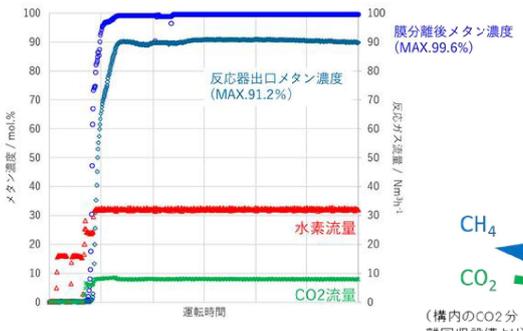
<p><b>&lt;石炭火力&gt;</b>                  CO<sub>2</sub>排出量: 4.4億t-CO<sub>2</sub>/year                  圧力: 常圧 (0.1 MPa)                  温度: 80~100°C                  組成: CO<sub>2</sub> (13%), H<sub>2</sub> (88%), O<sub>2</sub> (2%), Ar (0.8%), H<sub>2</sub>O (15%)</p>	<p>低濃度CO<sub>2</sub>分離・回収に有利                  常圧・低濃度CO<sub>2</sub>                  (低純度化によるコスト低減効果は見込めない)</p>	<p><b>&lt;吸収法&gt;</b>                  化学吸収                  吸収液に化学反応で吸収させ、加熱再生・分離 (= 温度スイング再生)。常圧の排ガスで比較的低濃度CO<sub>2</sub>の大規模処理に適する。                  物理吸収                  吸収液へ溶解吸収させ、降圧分離・吸収液を再生 (= 圧カスイング再生)。高圧・高濃度ガスの大規模処理に適する。</p>	<p><b>&lt;CCS&gt;</b>                  高純度CO<sub>2</sub>                  EOR: 排出規制/炭酸回収を目的としCCS向けが主流                  高純度が必要な高付加価値製品合成プロセスへの適用 (各マーケット規模が小さいため技術の適用先が必要)</p>
<p><b>&lt;高炉ガス (BFG)&gt;</b>                  CO<sub>2</sub>排出量: 1.9億t-CO<sub>2</sub>/year (2015)                  圧力: 常圧 (0.1 MPa)                  温度: 炉頂200°C (炉底: 常温)                  組成: CO<sub>2</sub> (22%), CO (22%), N<sub>2</sub> (51%), H<sub>2</sub> (4%)</p>	<p>低濃度化によるコスト低減が可能                  常圧・高濃度CO<sub>2</sub>                  (高純度化のエネルギー削減効果)</p>	<p>高圧用物理吸収は適用可能 (CO<sub>2</sub>純度99~99.5%で数%程度のエネルギー削減効果)                  常圧・高濃度CO<sub>2</sub>                  常圧付近ではエネルギー・コスト的に最も有利</p>	<p><b>&lt;化成品合成&gt;</b>                  高純度CO<sub>2</sub>                  高純度が必要な高付加価値製品合成プロセスへの適用 (各マーケット規模が小さいため技術の適用先が必要)</p>
<p><b>&lt;IGCC&gt;</b>                  CO<sub>2</sub>排出量: 100万t-CO<sub>2</sub>/year                  圧力: 高圧 (2~4 MPa)                  温度: 200~400°C (炉ト後)                  50~150°C (熱交換後)                  組成: CO (36.5%), H<sub>2</sub> (46.8%), N<sub>2</sub> (6.3%), CH<sub>4</sub> (1.4%), Ar (0.6%), H<sub>2</sub>O (6%)</p>	<p>高圧・高濃度CO<sub>2</sub>                  高圧・高濃度CO<sub>2</sub>分離に有利                  CO<sub>2</sub>高圧回収が可能</p>	<p><b>&lt;物理吸着法&gt;</b>                  多孔質固体への昇圧による吸着、降圧分離・再生 (= 圧カスイング再生)。水の影響を受けやすく、前処理エネルギーが大。</p>	<p><b>&lt;メタノール&gt;</b>                  精製後の場合、基本的にCO<sub>2</sub>/CO/H<sub>2</sub>分離のためCO<sub>2</sub>純度を下げても反応に大きな影響はない</p>
		<p><b>&lt;膜分離法&gt;</b>                  原理的に高圧・高濃度の排ガス処理に適する。装置が比較的小型で構造がシンプル。</p>	<p><b>&lt;キ酸&gt;</b>                  高純度CO<sub>2</sub></p>
		<p><b>&lt;膜反応器&gt;</b>                  膜反応器による効率向上 (CO<sub>2</sub>利用が可能)                  スイプガスによる効率的な除熱                  蒸留工程不要or簡略化 (一段プロセス) → 大幅な省エネ、低コスト化が見込める</p>	<p><b>&lt;炭酸塩化&gt;</b>                  高純度CO<sub>2</sub></p>
		<p><b>&lt;蒸留塔&gt;</b>                  高純度CO<sub>2</sub></p>	



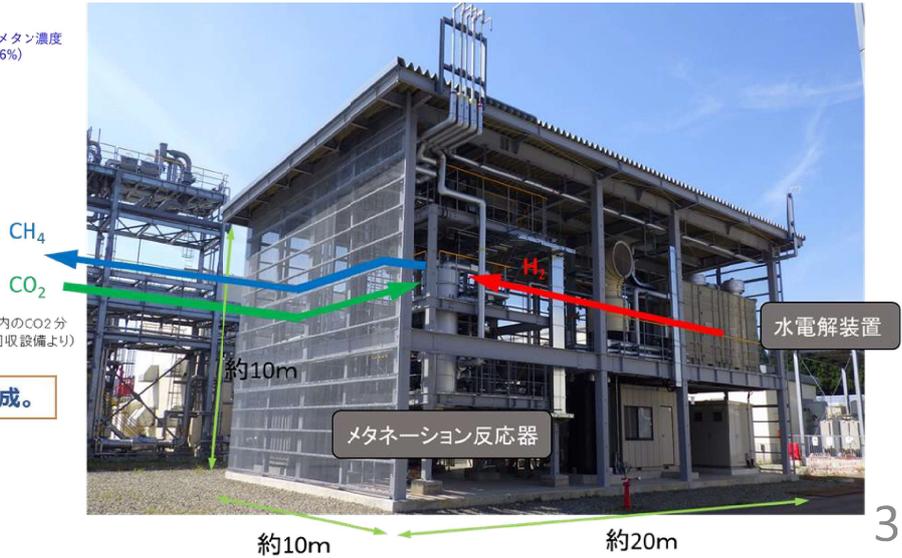
◆各個別テーマの成果と意義

③高濃度CO<sub>2</sub>利用品製造プロセスの検討・評価

- ・新規プレート型反応器を使用したベンチスケール試験設備（メタン合成能力：8Nm<sup>3</sup>/h）をINPEX長岡に建設し、**試験を実施**。
- ・試験運転を通じて合成プロセスの**熱マネジメント、触媒マネジメント等技術課題の検討・研究**を実施し、**技術的知見（メタン反応のモデル化、ガス性状による触媒活性影響、プロセス最適化、等）や大型化に向けた課題（設備コストダウン、反応熱・副生物利用、等）の抽出が出来た**。



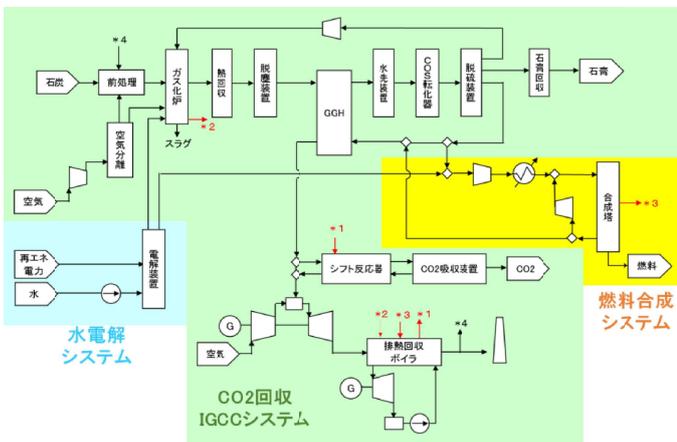
反応器出口で合成メタン濃度90%以上を達成。



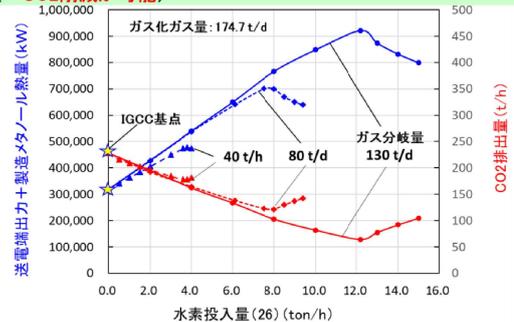
◆各個別テーマの成果と意義

④再生可能エネルギー併用CO<sub>2</sub>有効利用システムの検討

- ・石炭火力発電の特性（安定性、CO<sub>2</sub>排出量大）と再エネ電力の特性（不安定性、CO<sub>2</sub>排出量ゼロ）を生かした**ポリジェネレーションシステムの有効性を評価した**。



- ✓ 再エネ利用ポリジェネレーションシステム化により、電力と化学エネルギーのフレキシブルな造り分けが可能(=系統安定化に寄与)
- ✓ IGCCと再エネ余剰電力でメタノールを製造貯蔵し、一次エネルギー量削減が可能(=CO<sub>2</sub>削減が可能)



◆ 成果の普及

研究成果の発信

※2021年3月1日現在

	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	計
論文	0	0	1	4	0	5
外部発表	0	4	27	19	0	50

政策への反映

- ・カーボンリサイクル技術ロードマップ「**ガス燃料(メタン)の製造技術**」への本プロジェクトの取り組み・成果を反映した。 <技術課題>、<具体的取り組み例>
- ・革新的環境イノベーション戦略「**④低コストメタネーション技術の開発**」の開発方針に本プロジェクトで策定の開発ロードマップを反映した。

メディア発表

2019年11月 INPEX長岡でのメタネーション試験設備の完成・試験開始に際し、現地にメディア（新聞、テレビ）を招き**メディア向け説明会を実施した**。

◆ 知的財産権の確保に向けた取組

出願特許の状況

	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	計
特許出願（うち外国出願）	0	0	1	0	1(1)	2件

出願者	出願番号	出願日	名称	発明者
国立研究開発法人産業技術総合研究所	2019-017829	2019年2月4日	気相反応の触媒反応器および触媒反応方法	高坂文彦 山口十志明 倉本浩司 望月剛久 安藤祐司 高木英行 松岡浩一
公益財団法人地球環境産業技術研究機構	PCT/JP2020/19275	2020年4月22日	ゼオライト膜複合体およびその製造方法、並びに流体分離方法	柳波 余語克則

※2021年3月1日現在

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

CO<sub>2</sub>を利用して製造された有価物が市場に流通し、その製造システムにおいてCO<sub>2</sub>削減に寄与するCO<sub>2</sub>有効利用技術が確立すること。

42

◆実用化に向けた戦略

実用化に向け下記方針で取り組む。

【メタネーション】

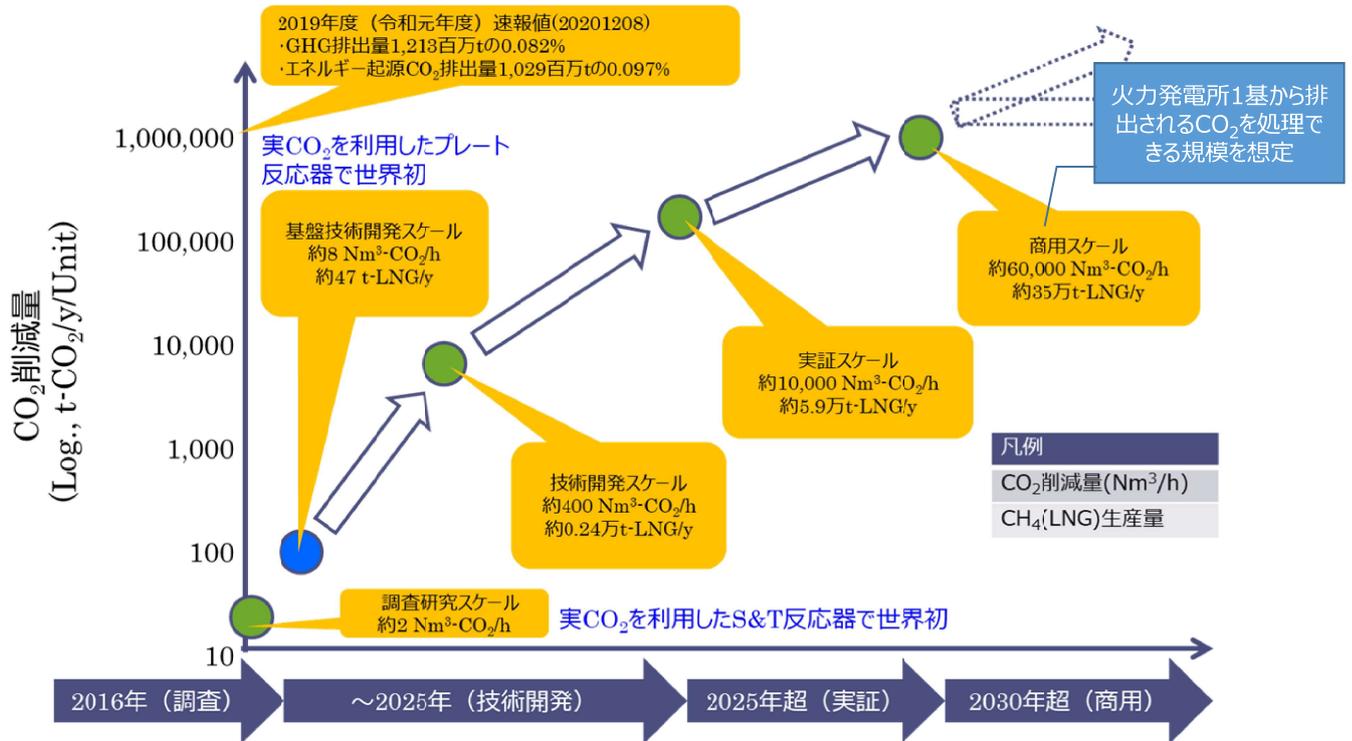
策定した実用化に向けた技術ロードマップに基づき、本プロジェクトで得た知見・技術的課題を踏まえ、**段階的な技術開発・実証**を進める。

2021年度 カーボンリサイクル技術ロードマップの**気体燃料分野**の公募を実施予定。

43

### ◆ 実用化に向けた具体的取組 (その1)

【メタネーション】段階的な**大型スケールでの技術開発・実証**を進める。



44

### ◆ 成果の実用化の見通し

#### ➤ 市場ニーズ

・低炭素化・脱炭素化による温暖化対策のため、CO<sub>2</sub>を回収して合成燃料等の有価物を製造し、社会に再循環させることにより、**化石燃料起源のCO<sub>2</sub>排出を抑制する技術**として期待できる。

・変動する再エネ電力の余剰分を使った水電解水素を使ったメタネーションを行い、ガス導管注入を行うことで**余剰電力の受け皿**となりうると期待できる。

#### ➤ 競合技術に対する優位性

・メタン合成技術の中では、基礎技術は既に確立されているという優位性があり、**大型化研究開発の段階を経て実用化**には近い。

#### ➤ 技術確立の見通し

・段階的な大型化研究・実証を経ることで**実用化のための技術確立は獲得**できる。

45

◆波及効果

➤ 社会的効果

世界的に温暖化対策・CO<sub>2</sub>排出削減が求められている中で、メタネーションは既存インフラ（都市ガスパイプライン）を使える利点があり、実用化されれば国内のCO<sub>2</sub>排出量削減に大きな貢献ができる。また、海外で適用をすることで国際的な貢献にもなる。

➤ 国内科学技術の発展

本プロジェクトでは、一部の技術開発において、再委託による大学研究者からの支援・連携により開発を加速している。また、実用化には化学・プラント・ガス関連企業の連携のもとで進めていくこととなり、これら連携のより日本の技術・研究力向上に貢献できる。

## 参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

**研究評価委員会**  
「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／  
④次世代火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」(事後評価) 分科会  
議事録及び書面による質疑応答

日 時：2021年4月20日(火) 13:00～17:10

場 所：NEDO 川崎本部 2301/2302/2303 会議室(オンラインからも参加)

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長 朝見 賢二 北九州市立大学 国際環境工学部 エネルギー循環化学科 教授  
分科会長代理 中垣 隆雄 早稲田大学 理工学術院 教授  
委員 齋藤 文 みずほリサーチ&テクノロジーズ株式会社 グローバルイノベーション&エ  
ネルギー部 エネルギービジネスチーム 課長  
委員 水口 浩司 株式会社東芝 研究開発センター トランスデューサ技術ラボラトリー 室長  
委員 山中 一郎 東京工業大学 物質理工学院 応用化学系 教授  
委員 吉田 範行 一般社団法人日本ガス協会 普及部長

<推進部署>

小林 出 NEDO 環境部 理事/部長  
在間 信之 NEDO 環境部 統括調査員  
阿部 正道 NEDO 環境部 主任研究員  
布川 信 NEDO 環境部 主任研究員  
谷村 寧昭 NEDO 環境部 主査  
天野 五輪磨(PM) NEDO 環境部 主査  
二関 洋子 NEDO 環境部 主任

<実施者>

坂西 欣也(PL) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域長補佐  
若山 樹 株式会社 INPEX 再生可能エネルギー・新分野事業本部・技術本部 技術研究所 貯留層評  
価グループ プロジェクトジェネラルマネージャー・シニアコーディネーター  
泉屋 宏一 日立造船株式会社 開発本部 PtG 事業推進室 技術開発グループ長  
倉本 浩司 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 エネルギープロセス研究部門 エネルギー変換  
プロセスグループ グループ長  
紫垣 伸行 JFE スチール株式会社 スチール研究所 環境プロセス研究部 主任研究員  
則永 行庸 名古屋大学 大学院工学研究科 化学システム工学専攻 教授  
橋崎 克雄 一般財団法人 エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 部長  
瀬下 雅博 公益財団法人 地球環境産業技術研究機構(RITE) 無機膜研究センター 主任研究員

<評価事務局>

森嶋 誠治      NEDO 評価部 部長  
塩入 さやか    NEDO 評価部 主査  
佐倉 浩平      NEDO 評価部 専門調査員

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
  - 5.1 a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント  
b) 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
  - 5.2 質疑応答

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
  - 6.1 高濃度 CO2 利用品製造プロセスの検討・評価
  - 6.2 CO2 分離回収・有効利用システムの検討・評価
  - 6.3 再生可能エネルギー併用 CO2 有効利用システムの検討
  - 6.4 CO2 有効利用トータルシステムとしての総合評価
7. 全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

## 議事内容

(公開セッション)

1. 開会、分資料の確認
  - ・開会宣言（評価事務局）
  - ・配布資料確認（評価事務局）
2. 分科会の設置について
  - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
  - ・出席者の紹介（評価事務局、推進部署）
3. 分科会の公開について  
評価事務局より事前配布された資料のとおりとし、議題6.「プロジェクトの詳細説明」及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。
4. 評価の実施方法について  
評価の手順を評価事務局より事前配布された資料のとおりとした。
5. プロジェクトの概要説明

5.1 a) 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われた。

b) 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し

引き続き推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

5.2 質疑応答

【朝見分科会長】 どうもありがとうございました。

それでは、事前にやり取りをした質疑応答も踏まえ、ご意見、ご質問等があれば、お願いします。  
どうぞ。

【水口委員】 非常に素晴らしい技術開発だと思いましたが、一方で、天然ガスと同様の価格設定をするのは非常に無理があると感じています。CO<sub>2</sub> という安定なものからメタネーションをしてメタンをつくっても、どうしてもお金がかかります。また CO<sub>2</sub> の回収、さらに合成することにもお金がかかるため、例えば、ポリジェネレーションを行った場合であっても、非常に厳しいと思います。私としては、むしろグリーンガスとして、ここはプレミア価格にし、3 倍程度の値段で売るべきだと思いますが、その辺りの目標設定についてはどうでしょうか。

【谷村主査】 まず、NEDO の分離回収等の技術開発についてはコストをできるだけ抑えていきます。また、使用側によって様々な利用方法があるため、メタンをどのように使用していくのか、単に燃料として使用する場合もあれば、化学原料として使用する場合もあり、さらに、そういった CO<sub>2</sub> をどのように回収していくか等もあります。ですので、まずはそれらを総合的に組み合わせていき、最適な経済性の精度をより上げていく必要があると思っています。

そして、グリーンエネルギーの部分でプレミアを付けていくことはご指摘のとおりですが、どちらかと言えば、営業の観点や社会的なインセンティブの付け方と関わってくるため、そういった実証開発を進めていく中で、付加価値をさらにアピールしながら、社会に反映させていく考えです。

【水口委員】 もう一点、スライド 44 ページの実用化に向けた具体的な取組ですが、再エネ価格が 1 円から 3 円を前提にしている割には 2025 年に既に CO<sub>2</sub> が 500t/d 程度の処理量となっているため、相当スケールの大きいプラントになりますよね。また現状として、2025 年には再エネ価格がまだ 1 円から 3 円に至らないと思うため、今のロードマップでは少し早すぎると感じます。もちろん 2025 年から 2030 年の間にその価格に至る可能性も考えられはしますが、その点いかがでしょうか。

【谷村主査】 そうですね。技術開発としては進めておくといった意味で、10,000m<sup>3</sup> が実証スケールのため、そこに関しては技術的な確立は行っておきたいです。また、再エネ価格が合うかに関しては様々な議論があります。まず国内と海外のどちらで実施するかという観点もあります。そういった最適な再エネ価格のバランスを世界的に探索し、この事業としての在り方、実用化適用の在り方として考えていくべきと思っています。そういった意味では、国内や国内外を含めた最もよい組合せで取り組む相手を構築する部分も、技術確立と同時に進めていくことになると思っています。

【水口委員】 分かりました。ありがとうございます。

【朝見分科会長】 よろしいでしょうか。ほかにご質問ありますか。

どうぞ。

【齋藤委員】 ご説明ありがとうございました。

3点ありますが、まず1点目はスライド12ページの実施の効果についてです。恐らくこの事業をやる前には、こういった効果が考えられるといった想定をした上で進められたと思いますが、このCO<sub>2</sub>の削減効果の年間約2,240万トンの部分はどうのように試算をされたのか、その根拠もしくは方法を教えてください。

2点目は、スライド14ページ、16ページにわたるCO<sub>2</sub>の分離回収の部分です。ここでは有効利用システム検討評価を行っており、資料を見ると、石炭火力、製鉄、セメントということで化石燃料由来のCO<sub>2</sub>をターゲットにしていると思いますが、ご紹介いただいた欧州のプロジェクト等では、バイオマス由来あるいはDAC、もともとカーボンニュートラルなCO<sub>2</sub>を使ったメタネーションが中心になっていると思います。また、CO<sub>2</sub>がカーボンニュートラルではないものを使用した場合、その排出の責任が利用者に行く可能性もあるため、カーボンニュートラルではない製品の市場が将来的にどうなのかという点も含めれば、もともとBECCSやDACの部分も対象にしておくべきと考えるのですが、そこを取って除かれたものと予想しています。ですので、ここの部分における考え方をご教示いただきたいです。

3点目は、スライド24ページのPM/PLによる管理実績の部分です。ここでの委員会の開催期間については、1年当たりの回数、もしくは数年間における回数になるのか教えてください。以上です。

**【谷村主査】** 最初に、スライド12ページのCO<sub>2</sub>の削減効果の導出ですが、基本的にはガスの消費量の10%を代替した場合が前提となります。それをCO<sub>2</sub>からつくった場合で削減効果を逆算している形です。また、10%の根拠及び理由は、メタネーション等のガス利用事業の開始時に社会に適用するにはどの程度が妥当かを考えています。要は、いきなり100%が替わるとは考えられないため、市場のスタートアップとして考えた場合に対して、10%の量が妥当と検討しました。

**【齋藤委員】** そうすると、10%であれば100億m<sup>3</sup>の天然ガスを使用し、普通の天然ガスであれば出てきたはずのCO<sub>2</sub>が排出されず出てこず、この合成メタンはCO<sub>2</sub>の排出量をゼロとして計算した場合になるのでしょうか。

**【谷村主査】** それは、天然ガスを利用したときに燃える分も減らしているかということでしょうか。

**【齋藤委員】** そうです。そこも含んでいるのか、それともLCA的にサプライチェーンで既存のLNGを日本に持ってきて燃やすところまでの100億m<sup>3</sup>の排出量と、今回、合成メタンをCO<sub>2</sub>の回収をしてつくって燃やした場合の排出量との差分が2,240万トンなのか。それとも、合成メタンもゼロとしてメタンが今燃えている分だけ削減されると2,240万トンになるのかどうかです。

**【在間総括調査員】** この当時は、まだLCA的にどこまでやるのか、また、メタン合成にどれだけのエネルギーが必要かという部分までは正確にできておりません。ですので、日本に入って来る予定の天然ガスがこれに代替することで入ってこなくなり、その分のCO<sub>2</sub>が減っているという簡単に計算したものになります。

**【齋藤委員】** 分かりました。ありがとうございます。

**【谷村主査】** 次に2点目のご質問、スライド16ページの部分、このプロジェクトにおいて石炭だけを対象にしている点ですが、事業の開始時点における根本的な計画設計として、CO<sub>2</sub>の排出においては石炭、あるいは火力がやはり最も大きいということで、まずそれをターゲットとしました。ですので、対象としては石炭火力がメインになっています。

また、委員ご指摘のとおり、バイオマス等の利用は当然考えられることで、むしろ今はそれが求められているという状況も認識しています。ですので、火力については、まずは出しているものを回収する、また、(CCU としての CO2 の) 利用については政策でも求められているため、それと足すことでカーボンネガティブになる要素をさらに合わせ込んでいく、それが今後の検討課題だと認識しています。

3つ目の委員会の開催についてはこの事業の期間内においてです。もともと実施計画の中で、委員会を定期的に行うと記載しているため、それに則って行われています。

【齋藤委員】 そうすると、2回というのは2020年度から2021年度の間にかけての数になりますか。

【谷村主査】 2017年度から2021年度です。

【齋藤委員】 その4年少々の間における回数ですか。

【谷村主査】 そうです。

【齋藤委員】 分かりました。ありがとうございます。

【朝見分科会長】 よろしいでしょうか。それでは、ほかにありますか。

どうぞ。

【中垣分科会長代理】 水口委員の意見とも少し重なります。スライド13ページの部分ですが、これはCO2のほうの輸送の過程は入っていないわけですね。コストには輸送にかかるものと分離回収にかかるものがあると思いますが、それらを幾ら程度として算定されているのでしょうか。多分、水素であれば50KWh程度で1kgの水素といったおおよその相場があり、そこから電力が幾らかということで大体の上乗せができます。一方で、CO2のほうもマテリアルなので、それをどこから持ってくるとなれば、ピュアなCO2を準備する場合だとそれなりにコストもかかります。また、ロケーションが違えば輸送することになり、その当たりのコストをどのようにはじき出しているのかが知りたいです。

【谷村主査】 具体的な費用の中での輸送が入っているか等々を含め、後ほど非公開の箇所で議論をさせていただきます。

【中垣分科会長代理】 分かりました。それからスライド39ページの部分です。これは燃料製造等も入っていますが、実質メタンとメタノールになっています。過去のNEDOのプロジェクトの整合性から考えると、クリーン・コール・テクノロジーをずっとやってきたわけですが、その先のオレフィンやアロマ(芳香族)のような化学品への変換はこの事業ではスコープに入っていないのでしょうか。

【在間総括調査員】 この事業の中ではメタネーションが大きな柱になっていますが、ここでのメタノールとは、要はCO2分離回収のコストを下げるのは、それ自身を下げるのもありますが、結局CCSに沿ったものか、CCUに沿ったものかによって大きく変わってきます。そのときに、後段のものとして、メタノールを一例として上げて計算をしているものです。NEDOでは今、2020年からカーボンリサイクル事業を展開しており、その中では化学品や炭酸塩事業等もやっているため、オレフィン等に関しても、今はうちの事業にはなっていませんが、今後そういった展開をしていくことになると思っています。

【中垣分科会長代理】 最後に、スライド44ページ目のスケールアップの部分について、現時点がブルーだと思いますが、3つほど商用スケールという最終的なゴールがあります。ここを2つにするな

どではなく、3段階に刻むことに何か合理的な理由があるのでしょうか。または3分の2乗則的なもので外挿ができるような考えはありますか。

【谷村主査】 スケールアップの考え方については、例えば400m<sup>3</sup>の部分では、反応器としての検討を技術確立していく上で、熱の循環等を含めて最低サイズで400m<sup>3</sup>が必要です。まずそこを1段階にし、その後、(システム全体の)実証スケールとして10,000m<sup>3</sup>と置いています。その間が離れており外挿するのは難しいため、この程度の段階を置くことが必要になります。要は、この実証スケールの部分では、反応器だけではなくパイロットとしての全体運用を考えており、それぞれの400m<sup>3</sup>と10,000m<sup>3</sup>では対象とする目的が違うため、こういった設定をしている状況です。また、8m<sup>3</sup>については材料等の基本的な設計を行う部分であり、それぞれの目的に合ったスケールアップになっています。

【中垣分科会長代理】 ありがとうございます。

【朝見分科会長】 山中先生どうぞ。

【山中委員】 全体的話から、まずはメタネーションで非常に素晴らしい結果が出ていることがよく分かりました。また、後ほど説明があるのかもしれませんが、その価格を考えた場合、今の時点で最もネックになり得る部分について、技術的な部分、あるいは大スケール化する際に問題点になり得る箇所、例えば小さなプラントで動かしたときには問題ないことが問題になる点など、現時点で分かっていることがあれば簡単に伺いたいです。

【谷村主査】 その点は、また個別の技術の中で説明をさせていただきます。

【山中委員】 分かりました。

【朝見分科会長】 ほかに、よろしいでしょうか。

それでは、私のほうから簡単な質問とコメントです。スライド45ページの実用化の見通しの部分で、最初の項目に天然ガスは云々と書いてあり、それに利用技術として対応できるとまとめています。これは公開資料になると思いますが、単純にここだけを見れば、メタンが駄目であるのにメタンをつくろうとしているようにも読めます。ですので、この表現は少し変更したほうがよい気がします。また、先ほど中垣先生の発言の中で、オレフィンの話がありました。NEDOのこの事業ではやっていないことはよく理解しましたが、以前、私も少し関わったNEDO内部の事業の人工光合成、その中でオレフィン合成をやっていたと思います。そことの関わり合いや切り分けについて、NEDOとしての全体像を見せてもらえたほうがよいと思いますが、いかがでしょうか。

【谷村主査】 1点目については、ご指摘のとおり、表現とアピールの仕方を修正し、対応したいと思います。2点目の他の事業との関連については、この事業の成果が確定した段階において、前後のプロセス、特に今おっしゃったような後ろのプロセスで利用していくことに対して、どのように最適な構築ができるかを再度組み替えていき、その中で、(NEDOの他の事業と)必要な連携があれば併せていく対応を取っていきたいと思います。

【朝見分科会長】 よろしく願います。

ほかに、よろしいでしょうか。それでは時間がまいりましたので、質疑応答はここまでとします。

(非公開セッション)

## 6. プロジェクトの詳細説明

省略

## 7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

## 8. まとめ・講評

**【朝見分科会長】** それでは、議題 8. まとめ・講評です。

吉田委員から始めて、最後に私という順番で講評をいたします。それでは、吉田委員お願いします。

**【吉田委員】** このたびの技術開発の目的となっている CO2 を資源として利用して CO2 の削減に貢献すること、かつ既存インフラを活用していくという観点について、非常に重要だと思い共感をしています。また、この事業の実施期間中には、昨年の総理のカーボンニュートラル宣言をはじめとした大きな情勢の変化があったと思いますが、そういった中でこのテーマの重要性がますます高まったと感じています。そして、本日の議論の中では、コストの話が課題として上げられたと思います。一つご紹介として、都市ガス業界の中でも昨今、ボランティアなオフセット・クレジットではありますが、カーボンニュートラル LNG を輸入する事業者が幾つか出てきており、カーボンが環境に優しいという観点で、都市ガスをプレミアムつきで購入いただいているお客様が増えてきていることも事実です。また、特にメタネーションについては非常に関心を持っているところです。6月の最終目標に向け、今後も取組が進むものと伺いましたので、ぜひそれらが最終目標を達成すること、そして大型化、低コスト化といった様々な課題があるとは思いますが、それらがクリアすることを期待しています。簡単ですが、私からは以上です。

**【朝見分科会長】** ありがとうございます。それでは次に、山中委員お願いします。

**【山中委員】** 今日、カーボンリサイクルの次世代火力発電に関する成果を聞かせていただき、今のお話にもありましたが、既存のインフラを利用して推し進めていく案件と、将来を見通してしっかりと技術開発をまだまだしていかなければいけない案件、それらをしっかりと認識されながら事業が進んでいくことが望ましいと思いました。カーボンリサイクル、あるいはカーボンニュートラルと様々な言い方をしますが、CO2 の排出削減をとにかく抑えなければ、本当に地球がもたなくなる。これは多分、疑いようのない事実だと思います。石炭・石油いろいろな天然ガスが絡むにせよ、いきなりそれぞれゼロというのは不可能ですから、何に本当に可能性があるのかを並列的に推し進めていき、その中で有力なものを考えていく。やはりそういったことが必要だと思います。エネルギーのセキュリティーに関して何か1つに決めてしまうことは非常に危険ですから、時間は 20 年、30 年しかないとは思いますが、その辺は幾つかの有力な技術を、しっかりと長い目で開発していくことが重要だと感じています。以上です。

【朝見分科会長】 ありがとうございます。それでは次に、水口委員をお願いします。

【水口委員】 本日は、丁寧な説明をしていただき深謝申し上げます。恐らく 2050 年がカーボンニュートラル技術の最終目標になると思います。また、本技術は早期の実現としての位置付けで、脱炭素と言うよりも低炭素技術になるように思いますが、私はすごく重要だと思っております。今のロードマップは 2030 年になっていますが、ぜひ 2025 年にも実証していただきたい。もちろん商用機ではなくても良いので、実証で世界に向けてプレスリリースしていただき、日本の技術がここまで来ていることを発信してほしいです。何よりこれが発信されることによって、きっと日本の脱炭素技術が活性化すると思います。期待していますので、ぜひともよろしくをお願いします。

【朝見分科会長】 ありがとうございます。それでは次に、齋藤委員をお願いします。

【齋藤委員】 本日は、ご説明ありがとうございました。CO<sub>2</sub> の有効利用技術開発に対し、掲げられている目標はほぼ達成できているということで、内容としては詳細な技術開発からエネルギーの全体像の検討まで、非常に有意義な内容でした。特に INPEX さんのメタネーションの設備は、後ほど VR を見ることを楽しみにしておりますが、規模的にもこれから大規模化が見込めるようなものであり、日本の CO<sub>2</sub> の利用技術の高さがうかがえると感じ、今後に期待を持てる技術だと思っています。

また、先ほどまでも委員の皆様の話にありましたが、大きな社会変化として昨年 10 月に「カーボンニュートラルを日本も目指します」という宣言がありました。エネルギーのシミュレーションモデルをやられている方はよく理解していると思いますが、8 割削減とニュートラル、ゼロを目指すことではとても解が違うもので、我々はこれから非常に大きな課題にチャレンジしていくこととなります。今回の技術開発で、ステップがとても進んでいることはよく分かりましたが、今後は CO<sub>2</sub> の起源、また、再エネや水素も無尽蔵にあるものではないため、そういった部分を社会全体でどのように最適に利用していくのか、日本にとって最も良いやり方とは何かを踏まえて考えていくことが課題だと思います。そのうちの 1 つのピースがこういった技術になっていくのではないのでしょうか。

ですので、カーボンリサイクルも、先ほど水口委員のお話にもありましたが、低炭素ということで今後これをより進めていき、脱炭素を目指さなければいけない時期に来ているのだと思います。今回の目標は CO<sub>2</sub> 削減に寄与する技術を確立するというものですが、今後はさらなる目標を立てて進めていく必要があると思います。また、特に CO<sub>2</sub> を利用した製品を使う側がより厳しい目で見ていると感じます。今、使う側の企業はスコープ 1 から 3 の削減を隅々まで NGO などに厳しくチェックをされ、すぐに批判をされ、投資家から様々な意見が出てくる時代です。ですので、そういった部分も踏まえ、今回、CO<sub>2</sub> の回収から利用までを一貫で見えていただいたと思いますが、それをさらに使う側の受容性まで含めて考えていき、社会全体としてどうあるべきかという観点での検討が必要だと思いました。いずれにしても、とても有意義な技術開発が進んでいると思うため、今後の事業により期待をかけて見ていきたいと思っています。本日はありがとうございました。

【朝見分科会長】 ありがとうございます。それでは次に、中垣分科会長代理をお願いします。

【中垣分科会長代理】 本日は、様々な技術をご紹介いただきありがとうございました。大分進んでいることは理解できましたが、その上で私からは3つの論点に絞ってお話します。1つ目は、やはりコストのところですが、アフォーダブルとよく言いますが、妥当な価格があるのではないかと。そういう意味で、今の掘ってきた天然ガスと真っ向勝負でコスト的に戦うことは難しいと思います。これはCCUSでも議論がされているローハンギングフルーツの考え方ですね。今、天然ガスの随伴ですと、既にCO<sub>2</sub>分離化をしてついでにいますから、これに、例えばアンモニア製造等でもついでにしているところがあるため、そういったゼロ円CO<sub>2</sub>を利用するのも一つの考え方です。コスト計算の部分も、私の知る限りでは日立造船さんと日本製鋼さん辺りがNEDOのプロジェクトで都市ガスとして100円、150円/Nm<sup>3</sup>程度のコストをはじめていた報告書があったと思いますが、それに比べれば随分と安いなと思います。そういった意味でも、NEDOのほうで国際的な技術経済的な分析をしていただき、こういった技術に日本の優位性があり、そして燃料価格についてのベンチマークの部分をきちんと示していただきたいと思いました。

2つ目は、よくジャストランジションとも言いますが、今日ご紹介いただいたものは既設インフラとの親和性が最も重要だと思っています。これは、都市ガスのパイプラインだけではなく、(火力プラントも新設で)つくったのなら20年、その動かす火力は使い倒しですよ。それは、コンバインドサイクル発電、GTCCも同じなのですが、そういったところを見ると、混焼から専焼への流れは自然かなと思っています。水素、アンモニアだけではなく、そこにバイオマスもありますが、混入カーボンリサイクルのフレームも入れてほしいといった考え方にもなると思います。一方、備蓄の観点では、昨今LNGの逼迫もあり、あまり天然ガスは向かないような部分もあります。例えば、それがメタノールに変わっていく、場合によってはFT合成油にしてみる、そういったところが必要かなと思いました。

3つ目は、発電だけでは少々無理があるかなという部分で、よくセクターカップリングと言いますが、部門間連携をぜひ考えていただきたいと思いました。これは、IGCCなら、どちらかと言えば酸素吹きが向いていますし、それから今日、鉄鋼の話もありましたが、酸素高炉をJFEさんがやられていますから、そういったところから石炭を使ったところを、発電と鉄を造るだけではないガス化センター的な考え方ですね。そのようなところから、今日のお話にあったコ・プロダクションの部分、発電だけではなくてプラを造るとか、それから場合によっては燃料を造る、そういったところも併せて事業化してくると良いのではないのでしょうか。いずれにしても、カーボンリサイクルはトランジションのところでは欠かせない技術なため、ぜひこの先も研究開発を続けていてもらいたいと思っています。以上です。

【朝見分科会長】 ありがとうございます。それでは最後に、私のほうから講評させていただきます。まず、皆様方のご努力に敬意を表します。非常によい技術が出来上がってきていると思います。特にメタネーションに関しては、本当は私も皆様と共にプラントを見たかったのですが、残念ながらコロナによって拝見できず、いつの日か見せてもらえたらと思っています。

現状をお聞きすると、安い水素が出来て、ピュアなCO<sub>2</sub>さえ手に入れば、ちゃんとメタンは出来

ますよという状況に既に来ている気がします。ですので、そういった意味では、その技術開発に関しては非常に成功していると感じました。それから、メタノールをつくるところも順調に開発が進んでいると思えますし、カーボンリサイクルの手段としては、やはりメタンとメタノールは有力な手段でしょう。技術開発の完成形が実用化になるものとは思いますが、そこへ向けて2030年と言わず、もっと前倒しでやっていってほしいです。

次に、カーボンニュートラルの問題が皆様から出ているとおり、私も削減とゼロにすることは全く意味が異なると思っています。今の技術でやられているのは、大きく削減しよう、エミッションを減らそうという非常に大切な取組だと思いますが、菅総理があのようなことをおっしゃったおかげで皆さんが大変苦勞をされているのだと思います。ですが、本当にニュートラルにするということは新たなものを入れてはいけないということであり、なかなかそのようなことはできません。私は、今向かっている方向は決して間違っていないと思いますが、その方向で進めながらも、本当にニュートラルにする方法を考えていく必要があると思っています。

最後は、質問の中でも出しましたが、NEDO内の他のプロジェクトとの連携をもう少し図っても良いように感じました。確かに事業者間では開発競争があるので、そこはある程度尊重する必要がありますが、プロジェクトが異なっても向かっている方向が同じケースに関しては、取り仕切るNEDOを柱として情報交換を密にさせていただけたらと思います。以上です。

**【佐倉専門調査員】** ありがとうございます。それでは、オブザーバーでオンライン参加いただいている経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石炭課の富永和也課長補佐から一言いただけますか。

**【富永課長補佐（経済産業省）】** 本日は長時間にわたる議論をありがとうございました。私から一言だけ申し上げますと、今日の議論で、まさしく私どもが普段から思っていることを皆様からも意見としていただき大変心強く思いました。

今でこそカーボンニュートラルという形で世の中が盛り上がってきていますが、この事業自体は、カーボンリサイクルといった政策的な取組が始まる以前、2017年当時から動き出している先取りをしていた部分があり、それで今こういった事後評価を迎えているものだと思います。皆様からいただいた意見、あらゆる技術を選択肢に、少しでも前倒しを、という話はまさしくおっしゃるとおりです。かつアフォードブルの考え方、セクターカップリングという社会実装をいかに見据え、具体化に向けて取り組んでいくことが「2050カーボンニュートラル」を達成するために必要な次のフェーズであり、今ここに来ているものだと思います。INPEXのメタネーション技術の進捗が進んでいること自体は大変感慨深く、うれしい状況ですが、やはり少しでも前倒しに社会実装をすることが我々にとっての願いでもあるため、引き続き皆様のご意見やお力を借りながら、こういった事業を進めていければと思っています。本日は大変ありがとうございました。

**【佐倉専門調査員】** それでは、小林理事から一言お願いします。

**【小林理事／部長】** 本日は大変活発な議論をしていただきました。また貴重な意見も頂戴し、ありがと

うございました。何度も指摘がありましたとおり、菅総理が「2050年カーボンニュートラルを目指す」と昨年の所信で明らかにされました。これは、もともと再生可能エネルギー、当時は新エネルギーという言い方をし、いまだにNEDOの名前には残っているのですが、新エネルギー導入促進のための技術開発を進めるべくつくられたNEDOにとっては大変な追い風、ものすごい強風と捉えております。この期待に応えることは大変な試練だと思っておりますが、それと同時にやる気も満ちている状況です。

他方、もちろん再生可能エネルギーはできるだけ導入していくわけですが、2050年のタイミングで火力発電をゼロにできるのかと言えば、先ほどの報告にもありましたが、日本の再エネポテンシャルあるいは原発による発電量、さらには負荷調整電源としての役割、これが電池だけで済むのだろうかという部分も含め、そう簡単な話ではないと我々としても考えています。また、鉄鋼業の話も出ましたが、NEDO環境部ではゼロカーボンスチール、水素還元製鉄、こういったことも取り組んでおります。そのときにはJFEさん、日本製鉄さん、神戸製鋼さんと一丸になってやっておりますが、では高炉をなくせるのかと言えば、そのための努力はしていても、今の段階でできると言い切るのはなかなか難しいのが正直なところです。さらに、2030年のNDC、これはもう10年もないわけですが、これについても今のままで良いのかという話に関し、4月22日に気候変動サミットを主催するわけですが、さらには年末のCOP、これはイギリスが議長を務めるのですが、こうしたところに向け、2013年度比26%減というNDCについて、今のままで良いのかどうかについて様々な議論が行われています。いずれにしても、そういう動きを前提とすれば、日本の経済活動を通じて排出されたCO<sub>2</sub>、これはできるだけ回収して埋める、あるいは使う必要が生じます。本事業は、ご案内どおり回収するCO<sub>2</sub>を原料とし、再資源化する技術開発として2017年度からやっていますが、これは時代のほうが事業にシンクロナイズしたとも考えられます。バイオマス等との併用を含め、CO<sub>2</sub>排出の大幅削減、さらには非常にエキストリームなやり方をすれば、カーボンニュートラルの実現にも十分貢献できる技術として、NEDOとしては大変重要視しており、この点は経済産業省様も同様と伺っています。

今後の予定としては、ご指摘を踏まえ、早期のスケールアップ実証を通じて社会実装できるよう準備を加速したいと考えています。その際は、先ほども議論になりましたが、最適な高濃度CO<sub>2</sub>排出源との連携、あるいはメタン、メタノールを含む、またそれ以外を含む生成物の活用方法についてNEDOの行っている他の基盤技術開発とも連携しながら、さらに再エネ電力の需給状況等もしっかりと確認を行いながら事業を進めていくことになると思います。併せて、ご指摘いただいたCO<sub>2</sub>再生メタンのバリューをどのように事業者に対してコミュニケーションしていくかに関しても考えていき、そして世界に対する研究開発成果のアピールを、例えばカーボンリサイクル国際会議、これもNEDOが関わっていますが、こういったところとも通じながら、しっかりとアピールしていきたいと思っております。将来としては、最適立地を吟味しつつ、実際、再生可能エネルギーの値段は世界中で大きく変動するため、そういう意味で、広く世界展開を念頭に置きながら、地球規模でのネット・ゼロ社会の構築へ貢献したいと考えています。そういう技術としてしっかりと育てつつも、早急に実装を目指して頑張っていきたいと思っております。本日の議論を踏まえ、今後のプロジェクトをより効果的に推進することを我々としても肝に銘じてまいりたいと思っておりますので、委員の皆様におかれましては、今後ともご協力のほどお願い申し上げます。以上です。

【朝見分科会長】 どうもありがとうございました。以上で議題8. を終了いたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

## 配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDOにおける研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6	プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
資料 7	事業原簿（公開）
資料 8	評価スケジュール
番号無し	ご質問への回答（公開分）

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発」

④次世代火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」(事後評価) プロジェクト評価分科会

ご質問への回答 (公開分)

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答		委員氏名
		公開可/ 非公開	説明	
資料 7 概要、 他	・ 本 PJ は CO <sub>2</sub> 排出の大幅な削減に寄与する重要なものと理解しています。将来的にもベース電源として石炭火力が 26% を担うことを前提にして、これまで研究開発が進められてきています。しかし、菅政権が掲げた 2050 年カーボンニュートラルを達成するためには、化石資源の使用を停止しなければ原理的に不可能です。一般国民へ向けたこの点に対する説明が必要ではないでしょうか。	公開可	カーボンリサイクル技術などの活用を踏まえ 2050 年でのカーボンニュートラルを目指すとした菅首相の所信説明(令和 2 年 10 月 26 日)を受け、「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」(令和 2 年 12 月 25 日)が策定されています。ここでは「火力+CO <sub>2</sub> 回収」により、カーボンリサイクルを創出することとしています。このカーボンリサイクルにおいて CO <sub>2</sub> は炭素循環における原料として位置づけられており、本 PJ では回収 CO <sub>2</sub> からのメタネーションを通じて炭素循環に貢献できる技術開発を実施しています。また、本 PJ の成果が、CO <sub>2</sub> を利用したメタネーションによりカーボンニュートラルに貢献できることを NEDO および実施者から記者会見やセミナー・講演会などの各種媒体を用いて国民の皆様が発信しております。	朝見賢二 分科会長
資料 5 12 頁 「CO <sub>2</sub> の削減	・ CH <sub>4</sub> の地球温暖化係数は 21~28 である。環境省の LCA の考え方では、ガスの漏洩	公開可	本事業においては、CO <sub>2</sub> の回収から、メタネーション、ガス導管への注入に至るプロセスにおいてクローズな系で	水口委員

<p>効果」 資料 5 P. 45 の ガス自体の脱 炭素化</p>	<p>を考慮して CO2 削減効果を出さないとい けないことになっている。漏洩率を考慮 した数字か？ ・欧州では、石炭火力から発生した CO2 か ら製造した燃料はグリーン燃料として認 められていない。低炭素に成りうるが、 脱炭素までは言えない。脱炭素であるた めには、DAC か BECCS の CO2 が必須で あるが、そこまで考慮したものか？</p>		<p>あり、漏洩の影響は極めて小さいと考えています。 欧州とは、エネルギー需給構造が異なるため、我が国独自、 且つ国際的にも認められる制度設計が必要と考えていま す。 また、ご指摘のように、将来的には DAC/BECCS 由来の CO2 の利用も見込まれており、状況に応じて経済性評価に反映 させ、様々なケースでの検討も組み入れることとします。</p>	
<p>資料 5 P. 12 CO2 削減効果</p>	<p>「国内の天然ガス年間消費量の 10%を CO2 と水素からの合成メタンで代替した場合」 とあるが、10%の意味や根拠があればお聞き したい。</p>	<p>公開可</p>	<p>本研究開発開始時の 2017 年において市場への投入初期で の経済性を推慮するためにまずは、市場供給の 10%を合成 メタンに置き換えることを前提として効果の試算を行い ました。 その後、METI2050 在り方研の日本ガス協会やガス市室の目 標値 (2030-1%, 2050-90%) が設定されており、結果的にも 妥当な試算範囲と考えております。</p>	<p>吉田委員</p>
<p>資料 5 P. 30 ① -2</p>	<p>「市場規模・CO2 固定化可能量を考慮する とメタネール合成が有望と結論づけた」と ある。「メタン合成以外では」という事 と理解したが、メタンとメタノールではそ れぞれどのような利点と課題があるのかお 聞きしたい。</p>	<p>公開可</p>	<p>メタノールは液体としての貯蔵ができ、液体燃料や化学用 途として市場規模が多いという利点があります。 メタンは既存の天然ガス・都市ガスインフラを利用して気 体のまま導入できる利点がある。本事業を始めとして大規 模でパイロット的な設備検討も進展しています。 メタン、メタノール両方の課題として、再エネ電力や水素 の安定供給が必要であることと、製造プロセスにおけるバ ランスの調整による低エネルギー化、低コスト化が課題と</p>	<p>吉田委員</p>

			なっています。	
資料5 P.30 ① -3	CO2 排出削減効果について、その帰属先別（CO2 は排出者に帰属するのか、使用者に帰属するのか等）の内訳や考え方があればお聞きしたい。	公開可	<p>今後の制度設計に関する議論であり、今後議論が必要な点と考えられます。最終的には CO2 排出削減に係る経済インセンティブは CO2 の取引価格といつ形で経済的に反映されるものと考えます。</p> <p>また、CCU における LCA 評価ガイドラインは、欧州で先行しており、欧州の自国利益確保等の思惑に基づき、評価範囲、インベントリー分析、影響評価手法、解釈について定めているが、削減量の分配については ISO14044（2006）に依存しており、ここでも明確な記載はありません。</p> <p>本邦は、欧米とエネルギー資源（再エネ、化石を含む）賦存量やエネルギー需給構造等が大きく異なるため、本邦独自の制度設計、LCA 評価が必要である。今後 INPEX がみずほ情報総研と共同で制度設計、Pre-LCA を CSIRO と実施予定です。</p> <p>参考 1：“Techno-Economic Assessment &amp; Life Cycle Assessment Guidelines for CO2 Utilization”, Technische Universität Berlin, RWTH Aachen University, etc.</p> <p>参考 2：“Greenhouse Gas Accounting for CO2 Capture and Utilisation (CCU) Technologies - Greenhouse Gas Accounting Guidelines for CCU”, IEAGHG Technical Review 2018-TR01b, IEA Greenhouse Gas R&amp;D Programme</p>	吉田委員
資料5 P.31	「CO2 排出源ごとの CO2 分離回収技術、CO2	公開可	CO2 回収法と利用方法の例として地下貯留（CSS）などに用	吉田委員

<p>②-1 及び P. 37</p>	<p>有効利用先との最適組み合わせを示した」とあるが、メタネーションに関する CO2 排出源と CO2 分離回収技術の最適な組み合わせはどのようにお考えかお聞きしたい。</p>	<p>いる場合は 99%以上の高純度の CO2 回収が必要となります。一方、メタネーション用途においては触媒に影響を与えないことや導管注入純度を確保できるとの範囲内でそこまで高純度の CO2 が要求されないと考えられます。このためメタネーションに適用する CO2 分離回収技術については、想定される CO2 排出源の CO2 分圧（濃度）、排ガス圧力、温度、規模等に応じて、ある程度選択が可能です。例えば、低濃度の排出源に対して、化学吸収法が最適であり、化学吸収法の場合、高濃度の CO2 を得ることができます。一方比較的高圧・高濃度の排出源に対しては膜分離法が最適であると考えられるが、高濃度の CO2 を得るためには、多段化、化学吸収法との併用等の対応によりコスト増となる可能性があります。</p> <p>これらのバランスをとり、メタネーション用として、99%より低い濃度の CO2 を適用した場合の合成反応への影響を評価することで、CO2 分離・回収～合成の一貫した最適化を目指しています。</p> <p>このようにまず排出源として、何を主眼とすべきにより最適なシステムが異なりますが、CO2 削減効果や回収にかかる経済的な観点から、今後も継続利用される火力発電など大規模、高濃度の排出源を優先的に対象とすべきと考えられます。分離法に関しては排出源に適した化学吸収法や膜分離で低コスト化が達成された方式に更新していくこととなります。</p>	
---------------------	--	---	--

<p>資料 5 P. 32 ③-1</p>	<p>数値モデルの構築の成果は、今後の大規模実証へ展開できるものと理解してよいか。また、触媒活性のメカニズムは、反応器形状によって、変化するように思われるが、その点の見通しについてお聞きしたい。</p>	<p>公開可</p>	<p>数値モデル構築の成果は、大規模実証へ展開できます。本事業では、反応熱に対する活性挙動や不純物 (H<sub>2</sub>S 等) の活性への影響といったメカニズムを解明しました。例えば反応器方式に応じて反応熱挙動 (最高温度) ≒触媒活性が異なるが、メカニズムを解明した成果や、解明の基になる実験装置構築、手法確立等技術を適用することが可能であり、他の形状の反応器のメカニズム解明も容易となるものと考えています。</p>	<p>吉田委員</p>
<p>資料 5 P. 35</p>	<p>「電気料金は 1~3 円/kwh 程度が事業性には必要」とあるが、このような電気料金となる蓋然性をどのようにお考えかお聞きしたい。</p>	<p>公開可</p>	<p>再エネが大量導入され系統に送れない再エネ余剰電力が発生した場合を想定した料金において 1~3 円/kwh 程度となる蓋然性を考えております。 メタネーションメタンの価格を相当安価に設定している (環境価値も加算してない) ため、必要とされる再エネ価格も低く抑える必要が出ております。 一方、太陽光、風力のような再エネは限界費用がゼロであるため、海外の再エネ (変動) 価格は既にこのレンジに入ってきています。</p>	<p>吉田委員</p>
<p>資料 5 P. 44</p>	<p>実用化に向けて段階的な大型スケールでの技術開発・実証を進めるとのことだが、各スケールでの設備能力 (8→400→1 万→6 万 m<sup>3</sup>/h) の考え方や必要性についてお聞きしたい。</p>	<p>公開可</p>	<p>将来の商用化スケールは、最低でも 100 万 t-CO<sub>2</sub>/y (=60,000 Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/h) をメタネーション設備する規模が必要と考えており、発熱反応を伴うケミカルプラント等におけるスケールアップファクターを勘案し、段階的な技術開発が必要と考えている。スケールアップに関する具体的な考えとしては、以下の通りとなります。 1~8Nm<sup>3</sup>/h : 触媒材料や素子構成の基盤技術開発</p>	<p>吉田委員</p>

			<p>400Nm<sup>3</sup>/h：反応器の最小容量での検証システム</p> <p>10000Nm<sup>3</sup>/h：熱バランス対応した実証システム</p> <p>60000Nm<sup>3</sup>/h：商用スケール（実証システムの並列化）</p>	
資料 5 P. 44	<p>2m<sup>3</sup>/h タイプはシェル&amp;チューブ型、8m<sup>3</sup>/h はプレート型の反応器を採用されたと理解したが、今後の大型化（技術開発→実証→商用スケール）に向けた反応器形状の方針とその根拠、考え方についてお聞きしたい。</p>	公開可	<p>プレート型は、同じ熱交換型反応器であるシェル&amp;チューブ型(S&amp;T 型)に比較して、熱面積を広く取ることが出来ます。このため、プレート型は S&amp;T 型に比べて低温環境で反応を進めることが可能となる点や、これによる触媒の熱劣化を防ぎ触媒寿命の伸張に期待できる点が確認されました。</p> <p>一方、既存の多段断熱型反応器のとの比較においては、CAPEX/OPEX の違いや、回収排熱の温度や量に違いがある事から、導入地の熱需要等に応じて、反応器形状が決まると考えています。</p>	吉田委員
資料 7 P. 3-16 図 3. 2. 4-2	<p>グラフの解説を頂きたい。特に水素投入量 12t/h あたりからエネルギー量が減少し、CO<sub>2</sub> 排出量も増加に転じて効果が出なくなっている点について、その理由などお聞きしたい。</p>	公開可	<p>図中、</p> <p>①この変曲点は、石炭ガス化ガスのメタノール製造プラントへの分岐量が、40t/d、80t/d、130t/d と、いずれの場合も見られることがわかります。</p> <p>②一般にメタノール合成に必要な水素量は、以下の式により次の通りとなります。</p> $2\text{H}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ $3\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ <p>すなわち、CH<sub>3</sub>OH を合成するのに必要な H<sub>2</sub> 量は、以下の式にて表せます</p> $[\text{H}_2] = 2[\text{CO}] + 3[\text{CO}_2]$	吉田委員

			<p>これは、式を変形すると  <math>[H_2]-[CO_2]=2[CO]+2[CO_2]</math>  すなわち、  <math>2 = ([H_2]-[CO_2]) / ([CO]+[CO_2]) = M</math> 値と学術的に言われてます。</p> <p>これより、CO<sub>2</sub>、CO の組成が同じとき、その石炭ガス化ガスに電解装置から添加される水素量により反応場の様相が異なってきます。</p> <p>すなわち、  A) 水素が少ないとき、2 以下の場合、はメタノールが優勢に合成されます。  B) 水素が多いとき、2 を超えると、メタンが合成され始めます。</p> <p>メタンがこの変曲点を境に合成されはじめ、蒸留による分離ができなくなるために、下流のガスタービンに戻ってしまうので、CO<sub>2</sub> の排出量が増加に転じ、また、メタノールとして固定できなくなるために送電端出力+製造メタノール熱量も減じた傾向になったと言う訳かと解釈しています。</p>	
資料 7 P. 3-13	本試験の実施によってスケールアップに必要ななどんな知見が得られたのか具体的にご教示ください。	公開可	<p>・ 8 Nm<sup>3</sup>-CO<sub>2</sub>/h の規模において、従来の Shell &amp; Tube 型反応器と比較して、Plate 型反応器では、最高温度の低減 (約 100℃)、発熱挙動、高温高压水に依る熱回収率等のデータの取得に加え、最適反応器選定において、コスト削減等に関する課題が抽出されており、これらの情報は、スケール</p>	中垣分科 会長代理

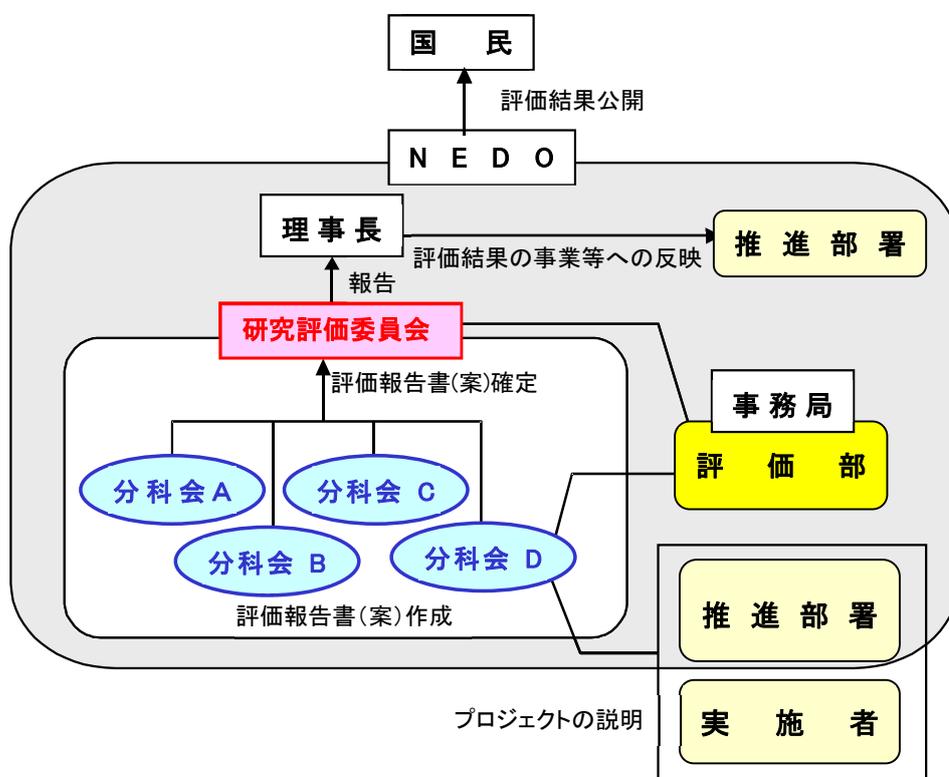
			アップ時のシステム設計に資する結果を得られています。	
資料 7 P.3-15	ポリジェネレーションの熱供給について言及がないため、どのような供給形態を想定して計算しているのかご教示ください。	公開可	今回、メタノール製造時に発生する余剰熱（クーラーからの排熱）については、IGCC 側の廃熱回収ボイラ（HRSG）での回収熱に熱量加算させる形で、蒸気タービンの出力アップにつながる方向で簡易的手法により算入致しております。	中垣分科 会長代理

## 参考資料 2 評価の実施方法

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

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

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



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

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

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

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

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

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

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

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

## 3. 評価対象

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／④次世代火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

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

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

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／  
④次世代火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」に係る  
評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされた事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 開発スケジュール（実績）及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）は妥当であったか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗に応じ、技術を評価し取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図ったか。
- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

#### (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用したか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

#### (2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化の戦略に沿って適切に行ったか
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

#### (3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化の戦略に沿って国内外で適切に行ったか。

「実用化」の考え方

CO<sub>2</sub>を利用して製造された有価物が市場に流通し、その製造システムにおいてCO<sub>2</sub>削減に寄与するCO<sub>2</sub>有効利用技術が確立すること。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

## 「プロジェクト」の事後評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

### 「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

## 1. 事業の位置付け・必要性について

### (1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

### (2) NEDOの事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされた事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール(実績)及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

### (3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。

- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。【該当しない場合、この条項を削除】

#### (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

#### (5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用したか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、最終目標を達成したか。
- ・最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

#### (2) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・一般に向けて、情報を発信したか。

#### (3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行ったか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、国際標準化に向けた見通しはあるか。【該当しない場合、

この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・産業技術として適用可能性は明確か。
- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・整備した知的基盤・標準の維持管理・活用推進等の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制を整備しているか、又は、整備の見通しはあるか。
- ・実用化に向けて、引き続き研究開発が必要な場合、誰がどのように取り組むのか明確にしているか。

【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備した知的基盤について、利用されているか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

### 参考資料 3 評価結果の反映について

「カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／④次世代火力発電基盤技術開発 7) CO<sub>2</sub>有効利用技術開発」(事後評価)の評価結果の反映について

評価のポイント	反映(対処方針)のポイント
<p>【1】 今後に向けた後継プロジェクトでは、当該分野での市場競争が厳しくなっていく中、今後ますます革新的かつ早急な技術開発が必要となるため、NEDOとして研究開発マネジメントの知見を適切に蓄積して応用していただくことを期待したい。</p> <p>【2】 現状の想定より更に脱炭素社会への加速が進む事も想定されるため、複数のシナリオを常に想定しながら今後の研究開発の方向性を検討して頂きたい。</p> <p>【3】 メタネーション装置は、本プロジェクトのキーコンポーネントであり、各社連携して、高効率で耐久性の高いものにしていく欲しい。</p> <p>【4】 個々の研究成果に対しては、分離回収の先導的な研究成果としての位置づけであり、60,000Nm<sup>3</sup>/hのフルスケール実機規模での概念設計のキースペックを出せるとさらに良く、触媒関係の成果についても、さらに良い評価を得るために、上記フルスケール相当での青写真、適用有無での効果比較まで言及をしていただきたい。</p>	<p>【1】 後継プロジェクトにおいて、早急かつ柔軟な技術開発を行うべく、NEDO関連事業との相乗効果も追求する。具体的には、メタネーションに係る電解還元等の共通基盤開発事業やCO<sub>2</sub>分離回収事業などの事業において得られる知見を本事業に活用したり、また、本事業で得られた知見の展開に取り組む。【反映先】NEDOマネジメント</p> <p>【2】 後継プロジェクトでは、水素の普及状況などについてのシナリオを複数想定し、実現可能な技術を段階的に設定するなど、開発計画を策定する。【反映先】実施計画書</p> <p>【3】 後継プロジェクトでは、スケールアップ検討とともに熱回収による高効率化と耐久性の向上を検討項目として設定し、サバティエ方式でのメタネーション技術の社会実装可能性を高める計画とする。【反映先】実施計画書</p> <p>【4】 CO<sub>2</sub>分離回収の技術開発については現在CCUS事業においてラボ～パイロットレベルにおいて実施中である。これらの知見もメタネーションでの大規模適用の一例として成果を利用することを検討する。また、後継プロジェクトでは、商用化規模での概念設計を行い、触媒についてもフルスケールでの仕様について検討</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>【5】製品の利用者の理解を促すことにより、製品の受容性を向上させる効果や、気候変動や脱炭素社会実現などに関する教育への貢献のため、本事業で建設した設備を活かした広報・発信を技術開発とともに期待したい。</p> <p>【6】メタネーションで作ったメタンをそのまま都市のガスインフラに流せないことから、早期社会実装する上で、ガスインフラへの適用やLCAの検討を期待している。</p> <p>【7】カーボンニュートラルに向けて取り得る手段は直接合成する方法に限られないため、例えばカーボンニュートラル LNG 等の代替手段との棲み分けを考慮した検討、さらにメタネーションの実用化に向けた具体的取組みにおいて、技術確立後の導入にかかるリードタイムも考慮した成果の活用を検討いただきたい。</p>	<p>する。【反映先】実施計画書</p> <p>【5】8Nm<sup>3</sup>/h級のメタネーション設備開発では現地に記者を呼ぶなど外部への発表を積極的に行った。後継プロジェクトにおいては、地域の導管注入にも取り組む予定であるところ、地域住民に対する情報発信も重要と考える。将来的には、さらに導管注入が広まる可能性があることも念頭におきつつ、各種媒体を通じ、積極的な発信を行う。【反映先】NEDO マネジメント</p> <p>【6】早期の社会実装に向けた環境を構築する観点から、後継プロジェクトでは、都市ガス既存導管への利用を進めるため、注入試験やカロリー調整方法についても検討する。また、LCA 的観点でのCO<sub>2</sub>削減量評価にも取り組む。【反映先】実施計画書</p> <p>【7】メタネーションのコスト見通し、オフセット LNG 価格、通常の LNG 価格などについて、技術等が市場に導入されるリードタイムも考慮しつつ、市場における時間軸を含んだ「棲み分けイメージ」について、後継プロジェクトで整理することを検討する。【反映先】NEDO マネジメント</p>

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

**NEDO 評価部**

部長 森嶋 誠治

担当 佐倉 浩平

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

([https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu\\_index.html](https://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html))

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162