

# 事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：低温プロセスによる革新的メタン製造技術開発

実施者名：株式会社IHI、代表名：代表取締役社長 井手 博

---

(コンソーシアム内実施者：東京ガス株式会社(幹事企業),国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構)

# 目次

## 0. 全体サマリー

- (1) 全体サマリー
- (2) コンソーシアム内における各主体の役割分担

## 1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

## 2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

## 3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

## 4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

# 0. 全体サマリー

## (1) 全体サマリー

### 【背景】

- カーボンニュートラルな社会実現のために、民生・産業部門エネルギー需要の約6割を占める熱需要の対策が必要。
- カーボンニュートラルなe-methane※は都市ガス代替として、既存インフラ・設備を活用でき、熱需要の脱炭素化に有効。
- コストダウンのためにはe-methane製造に係る一連の合成プロセスのエネルギー変換効率を高めることが必要。

### 【取組】

- 革新的なメタネーション技術（ハイブリッドサバティエ技術、PEMCO<sub>2</sub>還元技術）の開発に取り組む。
- 現状ラボスケールの技術を小規模実証までスケールアップし、それぞれのスケールで総合効率60%-65%を目指す。
- 技術の特徴に応じ、主として下記の適用先・開発ポイントを想定。

| 革新的技術                 | 主な適用先                                                      | 開発ポイント                 |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|
| ハイブリッドサバティエ           | 大規模に製造し、都市ガス導管へ注入（海外からの輸送も含む）                              | スケールアップにおける構造設計と運転条件設定 |
| PEMCO <sub>2</sub> 還元 | 大規模に製造し、都市ガス導管へ注入（海外からの輸送も含む）<br>需要先で小規模オンサイトカーボンリサイクルにも適用 | メタン選択性の向上と過電圧の低減       |

### 【社会実装に向けて】

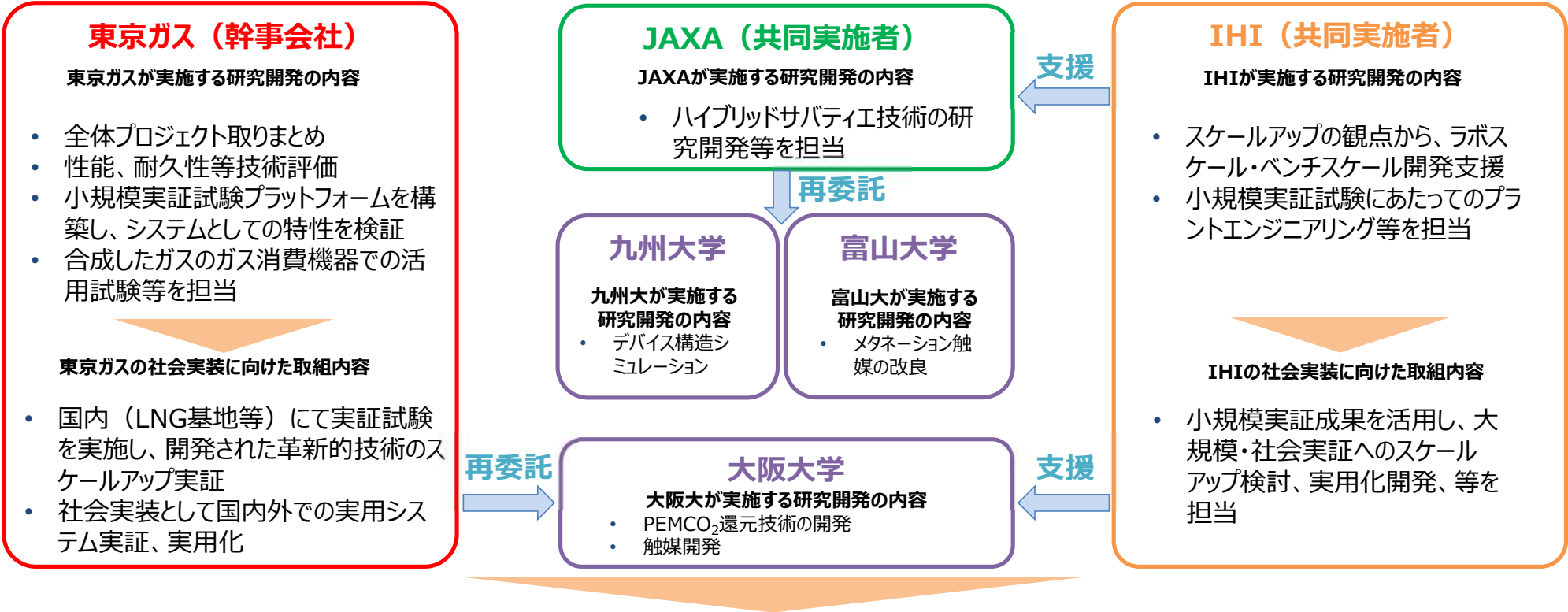
- 本プロジェクトにおいて10 Nm<sup>3</sup>/hクラスの小規模実証を実施、更なる大規模化への課題抽出・対策を行う。

※グリーン水素等の非化石エネルギー源を原料として製造された合成メタンに対して用いる呼称

## 0. 全体サマリー

### (2) コンソーシアム内における各主体の役割分担

- 基本技術をJAXAおよび大阪大学が開発し、東京ガス・IHIが社会実装に向けたシステム化、実証、およびスケールアップを担当。
- ハイブリッドサバティエ技術については、高度に専門的な部分はJAXAから九州大学・富山大学に再委託。
- PEMCO<sub>2</sub>還元技術については、東京ガスから大阪大学に再委託。



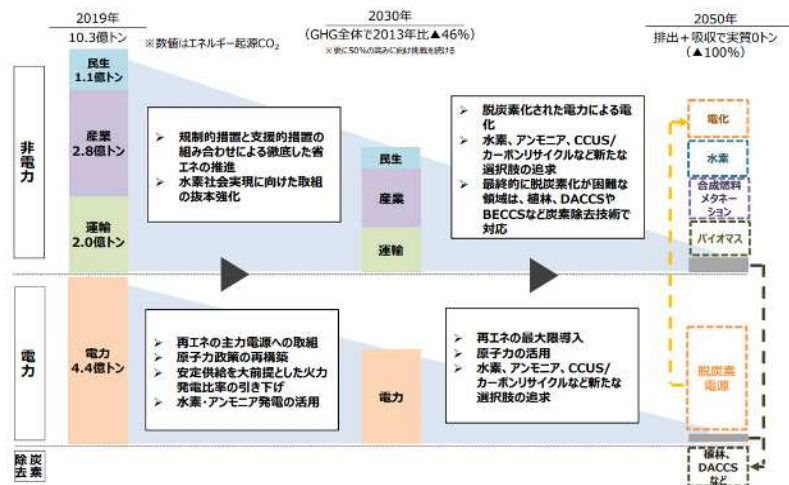
革新的メタネーション技術による社会実装の実現

# 1. 事業戦略・事業計画

## 脱炭素に向けたニーズの加速による、メタネーション技術への注力拡大

## カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

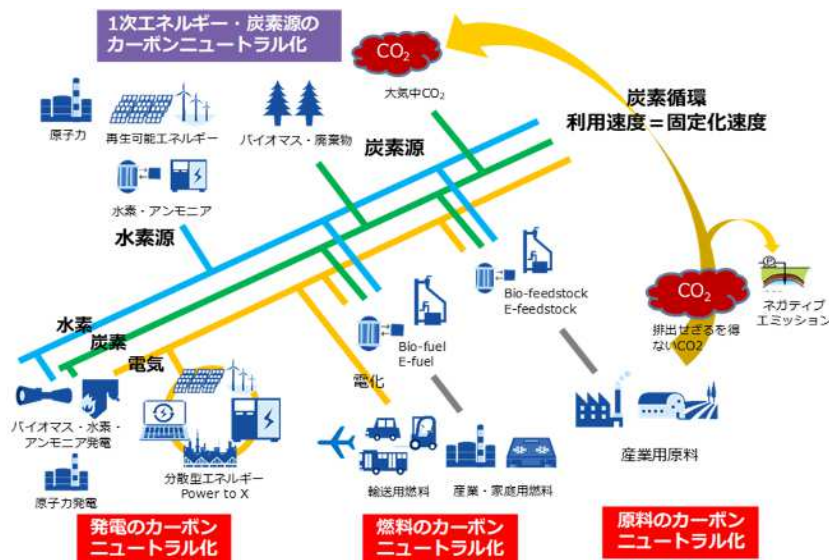
## 2 (2) . 2050年カーボンニュートラルの実現



出展：第4回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会

- 市場機会：  
カーボンニュートラルに向けたソリューションのニーズ拡大  
カーボンリサイクルの追求/脱CO<sub>2</sub>ニーズ拡大
- 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：  
2050年カーボンニュートラル，2030年GHG46%減の実現

## IHIが考えるカーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ



- 当該変化に対するIHIの経営ビジョン：  
「プロジェクトChange」
  - ・E S Gを価値観の軸においた経営
  - ・カーボンソリューションを新たな成長事業へ→ カーボンニュートラル化実現のための  
メタネーション技術への注力

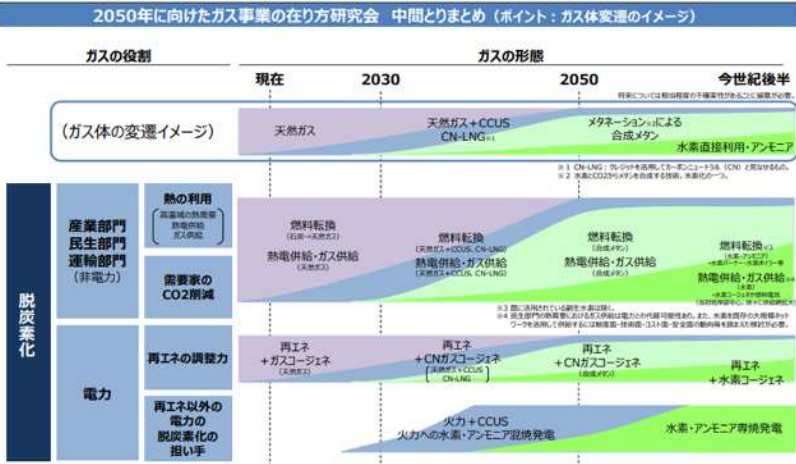


1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

都市ガスを利用する需要家をターゲットとして想定

セグメント分析

産業部門、民生部門、運輸部門といった都市ガス利用者に対するカーボンニュートラルメタンの供給を想定。



出典: 経済産業省 メタネーション推進協議会について  
([https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/methanation\\_suishin/pdf/001\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methanation_suishin/pdf/001_05_00.pdf))

ターゲットの概要

- ・2030年時点、日本全体として都市ガスインフラの1%相当（28万トン/年）の合成メタンを供給。
- ・2050年時点、日本全体として都市ガスインフラの90%相当（2500万トン/年）の合成メタンを供給。

| ユーザー候補         | ガス業界                         | 発電事業者・製造業                                |
|----------------|------------------------------|------------------------------------------|
| メタネーションに期待する役割 | 既存事業の継続・発展                   | CO2排出量の削減                                |
| メタネーションへの期待度   | ✓ 製品であるカーボンニュートラルメタンの調達先の多様化 | ✓ CO2削減方法のひとつ<br>✓ 回収メタンを自家消費できれば実現性向上可能 |
| メタネーション社会実装の動機 | ✓ 既存の都市ガスインフラの活用             | ✓ 社会実装が進むにつれて導入コストの低減を期待できる              |

## 1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

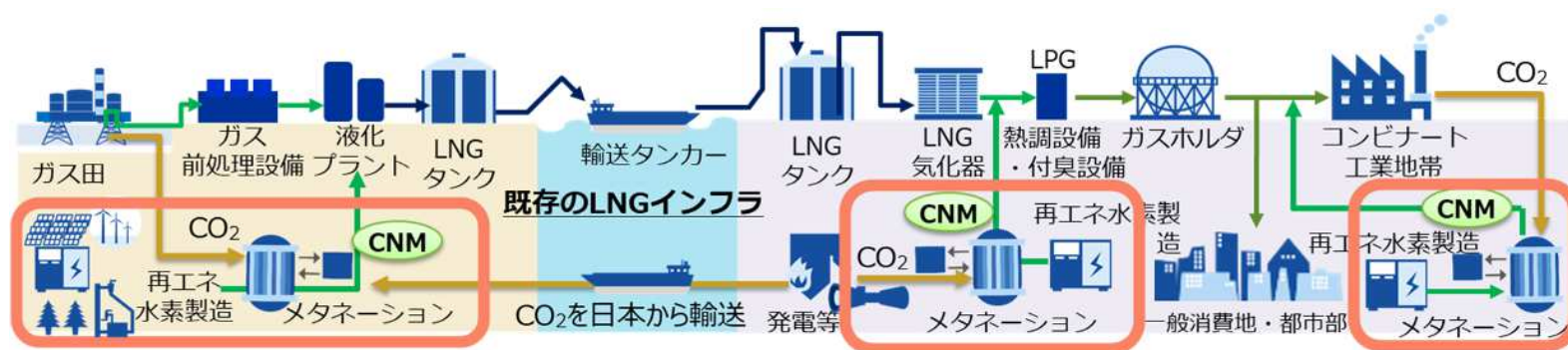
メタネーション技術を用いてカーボンニュートラルメタンを提供することでCO2減を実現，カーボンニュートラルサプライチェーン事業を創出する

- ・水素・アンモニア利用・再生可能エネルギー利用を中心とする社会へ移行することを想定
- ・地域・お客さまごとに最適な総合ソリューションを提供することによる“脱CO2・循環型社会”への貢献を宣言
- ・2030年時点で、既存インフラへ合成メタンを1%注入を目指して、メタネーション触媒の開発・メタネーション装置の最適利用の検証を実施中

### 社会・顧客に対する提供価値

- ・都市ガス導管やガス消費機器等の既存のインフラ設備の継続した活用
- ・熱需要に対する脱炭素化の貢献
- ・2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けたカーボンニュートラルメタンの普及推進

### ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）と研究開発計画の関係性



○カーボンニュートラルメタンサプライチェーン構築を目指して以下検証・開発を実施

- ・海外製造プラントの検証
- ・メタネーション触媒の開発
- ・メタネーション設備のスケールアップ
- ・再エネ発電・蓄エネ・水素製造・メタネーション設備の最適利用の検討
- ・原料となる水素の製造に関する研究

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

[標準化] 革新的メタネーション技術の優位性と国際標準化により獲得を目指す事業

- 革新的メタネーション技術が有する性能的な特徴（エネルギー変換効率の高さ、装置一体化による低コスト）とその知財化より、既存技術を活用した海外製品に対する優位性を確保するクロード戦略が基本路線（性能やコストなどの具体的な優位性は今後精査していく）
- 上記をベースにしつつ、国際標準化（オープン戦略）により海外製品に対する優位性をより強固なものにし、特に国際市場におけるe-methane供給事業やe-methane関連装置販売事業の獲得に繋げていく。
- 国際標準化については、性能評価、環境性や安全性に関わる項目が候補になる。

|                       |                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 国内熱エネルギー需要の脱炭素化       | <ul style="list-style-type: none"><li>・ ガス業界をあげて取り組んでおり、海外から低廉なe-methaneを社会実装（大量輸入）を実現し、国内熱エネルギー需要の脱炭素化、さらには日本国のNDC達成に貢献。</li><li>・ 革新的メタネーション技術によりコスト低減を図っていく。</li></ul>                |
| 海外でのe-methane供給事業     | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 革新的メタネーション技術を活用した低廉なe-methane製造技術が強みに、海外で製造した低廉なe-methaneを液化e-methaneとして輸送・供給する事業を行う。</li><li>・ 特に、今後LNG市場が拡大していくと想定されるアジア地域は有望なターゲット。</li></ul> |
| 海外でのe-methane関連装置販売事業 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ 革新的メタネーション技術だけでなく、水電解装置、CO<sub>2</sub>回収利用も含めた関連装置を、海外でe-methaneを扱うプレイヤーに販売、さらには製造コンサルを行っていく。</li></ul>                                          |

革新技術が優位

- ・エネルギー変換効率の高さ
- ・装置一体化による低コスト

＜既存技術＞

水電解＋サバティエ反応  
（エネルギー変換効率50%程度）

＜革新技術＞

ハイブリッドサバティエ、PEMCO<sub>2</sub>還元  
（エネルギー変換効率70～80%程度）

1. 事業戦略・事業計画／（４）経営資源・ポジショニング

メタネーション技術の強みを活かして、社会・顧客に対してカーボンニュートラルという価値を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

IHI経営方針「プロジェクトChange」 2020年11月10日プレスリリース  
・カーボンソリューションを成長事業を創出する柱と定義  
・脱CO2の実現を社会課題の一つととらえ、脱CO2の実現に取り組むことを宣言

ターゲットに対する提供価値

- ・カーボンニュートラルなエネルギーの供給
- ・供給先の既存の設備を活用することで供給先の投資額を抑制
- ・供給先のカーボンニュートラルに対する目標達成への寄与

自社の強み

- ・メタネーション触媒技術
- ・既存のLNGサプライチェーンにおける豊富な実績
- ・メタネーション装置に付随する装置(CO2回収等)も含めたトータルソリューションの提供

自社の弱み及び対応

- ・既存ガスインフラに関する知見
- ・メタンガスの供給網へのアクセス

パートナー会社と協業

他社に対する比較優位性

- ・受入基地、タンク等の既存のLNGサプライチェーンの中で培ったノウハウ/経験
- ・既存技術(サバティエ)を活用したメタネーションの実績および触媒の独自技術
- ・CO2回収、太陽光発電・蓄電システムといったメタネーションに必要なその他技術の保有

|                                        | 技術                                                                                                                                                                        | 顧客基盤                                                                                                                                                               | サプライチェーン                                                                                                                                                    | その他経営資源                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 自社                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>・(現在) 既存技術(サバティエ)を活用したメタネーション</li></ul> <p>↓</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・(将来) 革新的メタネーション技術を活用した大型メタネーション設備</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・(現在) ガス事業者、電力事業者、海外</li></ul> <p>↓</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・(将来) ガス事業者、電力事業者、鉄鋼業、セメント工業、化学工業、海外</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・(現在) 機器サプライヤー</li></ul> <p>↓</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・(将来) パートナー企業との提携による合成メタン製造事業の参画可能性</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・(現在) メタネーション技術に関連する人材</li></ul> <p>↓</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・(将来) 上記に加えてメタネーション技術に関連する知財</li></ul> |
| 競合A社                                   | <ul style="list-style-type: none"><li>・小型メタネーション装置</li></ul>                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"><li>・ガス事業者</li><li>・自治体</li><li>・海外</li></ul>                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>・機器サプライヤー</li></ul>                                                                                                   |                                                                                                                                                              |
| 競合他社と比較し、IHIは触媒技術・トータルソリューション等に独自の強みあり |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                              |

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

8年間の研究開発の後、2031年頃の事業化、2033年頃の投資回収を想定

投資計画

- ✓ 社会実装、販売開始後に、国内の需要家向けの受注を獲得し、同年には事業売上化が可能
- ✓ 2050年カーボンニュートラル化実現に向け、需要は継続的に高まっていくと想定
- ✓ 2050年までに2500万トン/年のカーボンニュートラルメタンの需要が生じると想定

【導入基数】

- ・2031年：約10万トン/年 生産規模
- ・2040年：約200万トン/年 生産規模

|                      | 2022年度                | ...     | 2030年度 | 2031年度                                                             |
|----------------------|-----------------------|---------|--------|--------------------------------------------------------------------|
| 売上高                  | -                     | ...     | -      | 2031年頃の事業化、2033年頃の投資回収を想定                                          |
| 研究開発費                | 約42億円（本事業支援期間の参画企業合計） |         |        | 必要に応じ、スケールアップに係る投資等を実施予定                                           |
| 取組の段階                |                       | 研究開発・実証 |        | 大規模実証・社会実装                                                         |
| CO <sub>2</sub> 削減効果 | -                     | -       | -      | 合成メタン使用時の排出CO <sub>2</sub> 量を削減量と同量みなし、<br>2050年に向けて合成メタン導入量を増加させる |

※合成メタン分の排出CO<sub>2</sub>を削減量とする(1.96kg-CO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>-CH<sub>4</sub>)

1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

|           | 研究開発・実証                                                                                                                                               | 設備投資                                                                                                                          | マーケティング                                                                                                    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 取組方針      | <ul style="list-style-type: none"><li>IHIが保有するエンジニアリング技術も活用し、メタネーションプラントの大型化開発を目指す</li><li>革新的なメタネーション技術を活用し、メタネーションプラントの高効率化、低コスト化、大型化を目指す</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>カーボンニュートラルに関する技術開発加速のため、当社グループのリソースを増強</li><li>海外拠点（事務所、工場等）を必要に応じて積極的に活用</li></ul>     | <ul style="list-style-type: none"><li>ユーザー候補との連携・経済性評価によるスムーズな社会実装</li><li>日本の技術力およびGHG削減効果のアピール</li></ul> |
| 国際競争上の優位性 | <ul style="list-style-type: none"><li>メタネーション関連技術について、海外技術は台頭しておらず、国内技術が先行している状況であり、優位性を活用できる</li></ul>                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>国内の都市ガスインフラが確立されており、LNGサプライチェーンが既に構築されている</li><li>メタネーションへの投資を積極的に行っている国は現状ない</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>海外技術は台頭していないため、競争相手が限定され、海外企業に対して有利に価格交渉を進めることが可能</li></ul>          |

1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

国の支援に加えて、必要に応じてスケールアップに係る投資等について自己負担を予定

資金調達方針 自己負担はすべて自己資金で賄うことを予定（資金計画は参画企業合計を記載）

- ・東京ガス株式会社、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構と共に各技術のスケールアップに取り組む。
- ・今回の開発以前からメタネーションに関する自主技術開発に取り組んでいる。

|               | 2021<br>年度 | 2022<br>年度    | 2023<br>年度 | 2024<br>年度 | 2025<br>年度 | 2026<br>年度 | 2027<br>年度 | 2028<br>年度 | 2029<br>年度 | 2030<br>年度 | 2031<br>年度以降                         |
|---------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------------------|
| 事業全体の資金需要     | -          | 約42億円（参画企業合計） |            |            |            |            |            |            |            |            | 必要に応じ、<br>スケールアップに<br>係る投資等を<br>実施予定 |
| うち研究開発投資      | -          | 約42億円（参画企業合計） |            |            |            |            |            |            |            |            |                                      |
| 国費負担※<br>（補助） | -          | 約38億円（参画企業合計） |            |            |            |            |            |            |            |            |                                      |
| 自己負担          | -          | 約4億円（参画企業合計）  |            |            |            |            |            |            |            |            |                                      |

※インセンティブ額が全額支払われた場合

## 2. 研究開発計画

## 2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

### 革新的技術開発の取組意義

#### e-methane への取組 意義

- ✓ e-methaneは、**熱需要の脱炭素化を実現できる**有望技術のうちの一つ（日本の産業・民生部門における**消費エネルギーの約6割は熱需要**）。
- ✓ e-methaneは、**既存インフラを活用しながら追加のインフラ投資を抑制し脱炭素が可能な手段**。
- ✓ e-methaneは、グリーン成長戦略重点分野「**次世代熱エネルギー産業**」に該当。

#### 現状の e-methane 製造プロセスの 課題

| 現状のe-methane製造プロセス                                                       | 水電解技術の課題                                    | サバティエメタネーション技術の課題                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ➤ 水電解により製造した水素とCO <sub>2</sub> を原料として、 <b>サバティエ方式</b> によりメタンを化学合成するプロセス。 | ➤ 現状の水電解技術（PEM、アルカリ）の <b>水素製造効率は70%程度</b> 。 | ➤ サバティエ方式では、 <b>水素からメタンの合成効率は理論的に最高で78%程度であり、単体で高効率化することは困難</b> 。<br>➤ メタン合成反応は大きな発熱反応であり、 <b>大型化の際の熱マネジメントが課題</b> 。 |

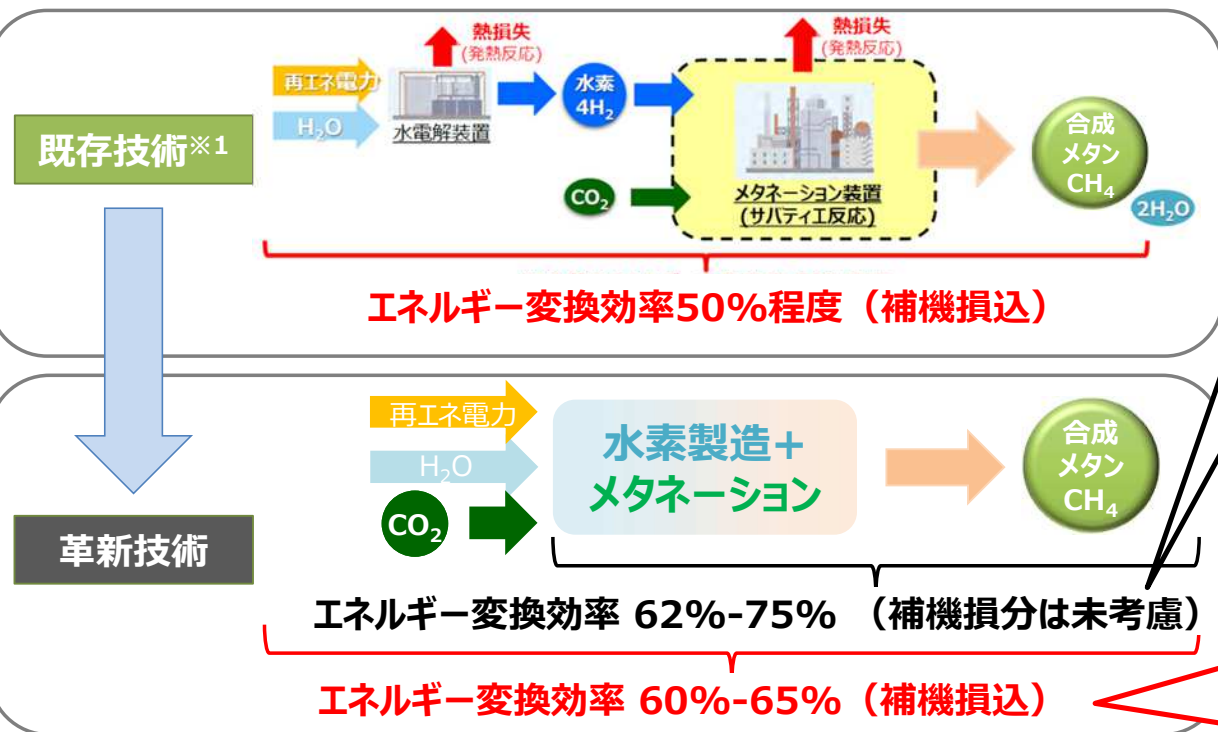
#### 革新的技術開 発の 必要性

- e-methane製造プロセスの社会実装に向けて、**高エネルギー変換効率化、大型化、低コスト化を達成する必要がある**。
- 革新的技術開発は、**e-methane製造プロセスにおける総合的なエネルギー変換効率を高める**ことに加え、**低コスト化を可能とするもの**であり、併せて**大型化を図ることで社会実装への実現性を高める**。

## 2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

### 対象とする革新的技術の開発目標・研究開発内容

- **取り組む革新的技術**：水電解装置とメタネーション装置を融合させた**ハイブリッドサバティエ技術**および**PEMCO<sub>2</sub>還元技術**の2技術。
- **開発目標**：2030年度までに、**利用用途に合わせた規模感にてe-methane製造に係る一連のプロセス**（①再エネからの水素製造、②メタネーション）の**総合的なエネルギー変換効率（補機損込）**について、**既存技術を上回る効率（60%-65%、補機損込）**が見通せる革新的技術の実現。



#### 研究開発内容①【ハイブリッドサバティエ技術】

発生する熱エネルギーを有効利用し、高効率なメタン合成を可能とする技術。エネルギー変換効率75%（補器損分は未考慮）を実現できるデバイスの確立。

#### 研究開発内容②【PEMCO<sub>2</sub>還元技術】

1デバイスでメタン合成を実現する技術。エネルギー変換効率62%（補器損分は未考慮）の確立。

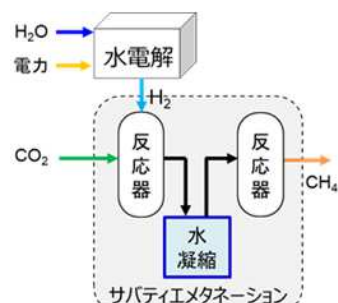
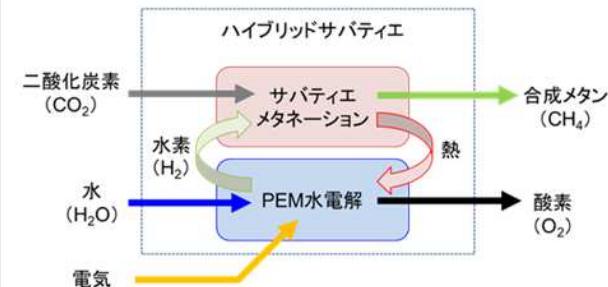
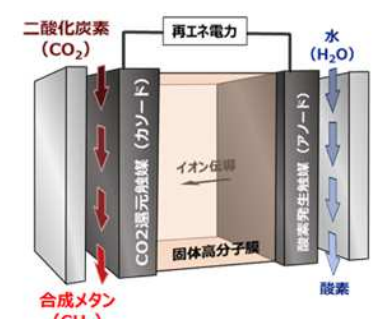
#### 研究開発内容③【スケールアップ開発】

①、②技術のエネルギー変換効率を維持しつつ、スケールアップの実現を図り、利用用途に合わせた規模感の小規模実証にて、エネルギー変換効率60%-65%（補器損込）を実現する。

※1 資源エネルギー庁「CO<sub>2</sub>等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクトの研究開発・社会実装計画の方向性

## 2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

### 対象とする革新的技術のまとめ

|           | 既存技術（水電解＋メタネーション）                                                                                             | ハイブリッドサバティエ技術※2                                                                    | PEMCO <sub>2</sub> 還元技術※3                                                                                                        |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| イメージ      |                              |  |                                               |
| メタン合成温度   | 中温（400℃）                                                                                                      | 低温（220℃）                                                                           | 低温（80℃）                                                                                                                          |
| 特徴        | 技術確立済<br>高濃度なe-methane                                                                                        | 高効率（排熱の有効利用）<br>高濃度なe-methane                                                      | 高効率（副生成物まで活用の場合）<br>メタンに限らず、様々な副生成物を合成可能                                                                                         |
|           | 8 Nm <sup>3</sup> /h規模の実証が完了しており、技術的に確立している※1。さらなる大型化に向けた技術実証が進められている。<br>2段の反応器を利用することで、高濃度なe-methaneの生成が可能。 | サバティエの反応熱を水電解反応に利用できる水電解技術と低温で作動するサバティエ技術を一体化させ、熱バランスさせることで、低エネルギー条件で高濃度なメタン合成が可能。 | 1デバイスで水とCO <sub>2</sub> からメタンの合成が可能。省スペース設置可能で、オンサイト利用に適する。<br>様々な副生成物（有価物）を同時に生成でき、熱エネルギー以外にも有効利用することで、エネルギー変換効率だけでなく価値創造を実現可能。 |
| 現状の課題     | 複数プロセスを有し、排熱の有効利用が課題                                                                                          | 水電解に必要なセルの研究開発                                                                     | メタン合成反応の制御                                                                                                                       |
| エネルギー変換効率 | 50%程度（補器損込）※2                                                                                                 | 75%（補器損分は未考慮）<br>65%（補器損込）                                                         | 62%（補器損分は未考慮）<br>60%（補器損込）                                                                                                       |
| 利用方法      | 既存都市ガス導管への注入                                                                                                  | 既存都市ガス導管への注入                                                                       | 既存都市ガス導管への注入<br>副生成物の有効利用を視野に入れたオンサイト利用                                                                                          |

※1 INPEX・NEDO資料「CO2有効利用技術開発」<https://www.nedo.go.jp/content/100902796.pdf> ※2 資源エネルギー庁「CO<sub>2</sub>等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクトの研究開発・社会実装計画の方向性  
 ※3 曽根理嗣他,第64回 宇宙科学技術連合講演会「二酸化炭素還元-酸素製造タンデム型装置の研究」, 3G09, 2020 ※3 Yi Xu et al., Nat. Commun., 2021, 2932.

## 2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

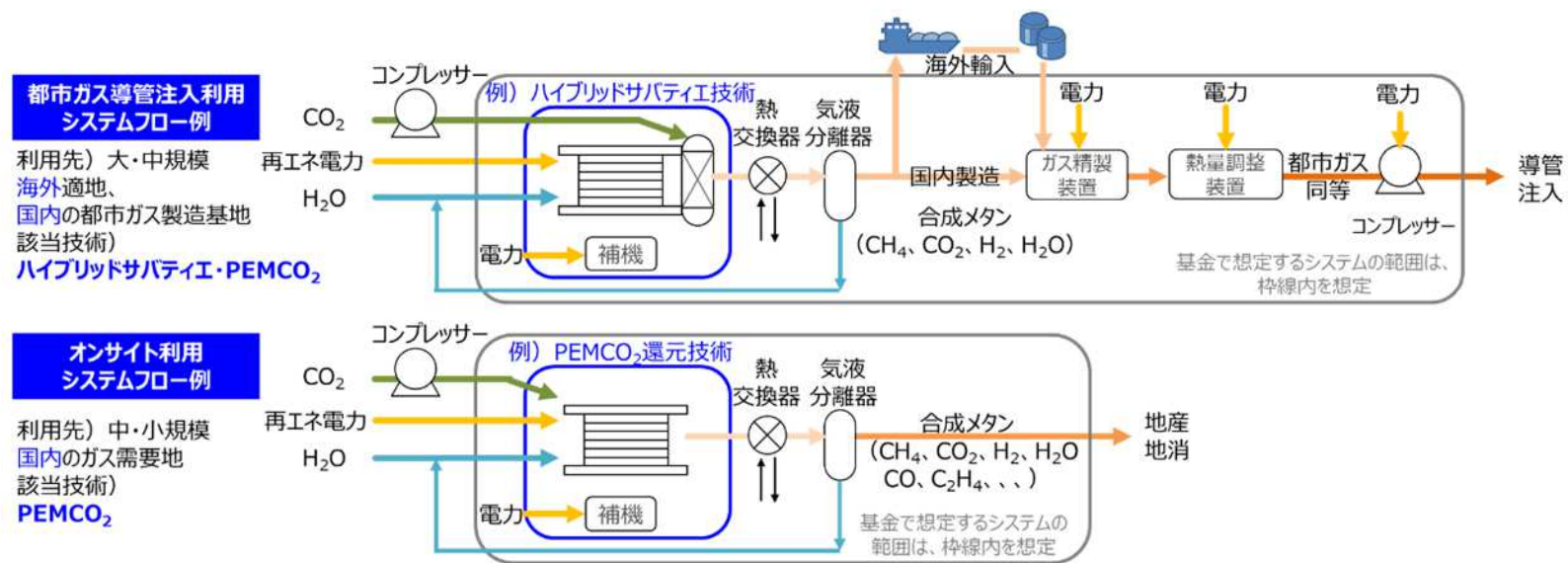
### 【参考】革新的技術の都市ガス導管への注入とオンサイト活用のシステムフロー

- 革新的技術によって製造したe-methaneは、**既存燃料である都市ガスの代替利用を想定**としている。
- 代替利用の一つは、**都市ガス導管への注入**であり、他の利用方法はe-methaneの**地産地消（オンサイト利用）**を想定している。
- e-methaneの都市ガス導管注入では、海外で製造して輸入する方法、国内で製造する方法の2類型が存在する。**ハイブリッドサバティエ技術とPEMCO<sub>2</sub>還元技術はそれぞれ独自の優位性を有する。**

**ハイブリッドサバティエ技術の優位性：さらなる高効率化の可能性および高濃度ガスを精製可能。**

**PEMCO<sub>2</sub>還元技術の優位性：コンパクト設備でのガス精製可能。**

- e-methaneのオンサイト利用では、熱需要を主とするエリアにおいて、e-methaneをガス精製装置等といった付帯設備なく利用できる。PEMCO<sub>2</sub>還元技術は、副生成物の熱利用を視野に入れた利用が可能であり、オンサイト利用にも適している。



2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

e-methane製造プロセスのエネルギー効率向上を達成するために必要な複数のKPIを設定

| 研究開発項目                     |                         | アウトプット目標                                                                                                 |                                                                                                                                |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 革新的技術による総合的なエネルギー変換効率向上 |                         | 10 Nm <sup>3</sup> /h規模のe-methane製造に係る一連のプロセスの総合的なエネルギー変換効率（補機損込）について、既存技術を上回る効率（60%-65%、補機損込）を目指す。      |                                                                                                                                |
| 研究開発内容                     |                         | KPI                                                                                                      | KPI設定の考え方                                                                                                                      |
| 1                          | ハイブリッドサバティエ技術           | ・エネルギー変換効率（補機損分は未考慮）<br>目標：75%                                                                           | 水素製造効率とメタン合成効率を掛け合わせたエネルギー変換効率75%を達成する技術の確立が必要。                                                                                |
| 2                          | PEMCO <sub>2</sub> 還元技術 | ・エネルギー変換効率（補機損分は未考慮）<br>目標：62%                                                                           | 電流効率と電圧効率を掛け合わせたエネルギー変換効率62%を達成する。1デバイスでメタンが合成できることから、設備をコンパクトにでき、コスト低減効果が見込める。                                                |
| 3                          | スケールアップ開発               | ・製造量目標：10 Nm <sup>3</sup> /h<br>・エネルギー変換効率（補器損込）<br>ハイブリッドサバティエ技術目標：65%<br>PEMCO <sub>2</sub> 還元技術目標：60% | 各技術ともに都市ガス導管注入利用を想定。実用時のスケールを実現するための検証目標として、10 Nm <sup>3</sup> /h規模でエネルギー変換効率60%-65%（補器損込）をプロジェクト最終目標と設定し、スケールアップを実現する手法を確立する。 |

## 2. 研究開発計画／（２）研究開発内容

### 各KPIの目標達成に必要な解決方法を実施

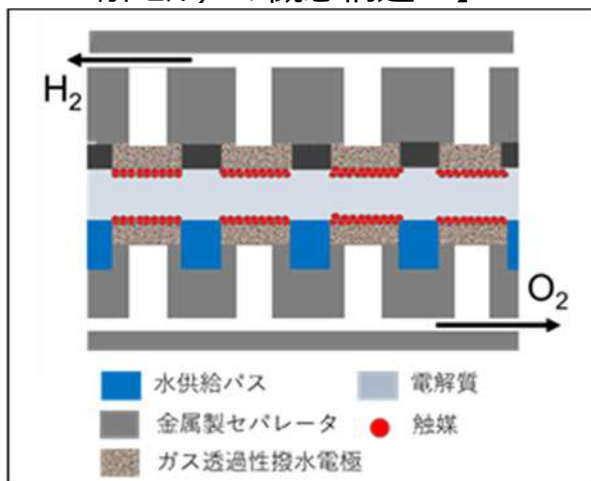
|                              | KPI                                                                                                                  | 現状                                                         | 達成レベル                                            | 解決方法                                                                                                                     | 実現可能性<br>(成功確率)                           |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1<br>ハイブリッドサバティエ技術           | ・エネルギー変換効率（補器損分は未考慮）<br>目標：75%                                                                                       | 宇宙用用途にて、ラボレベルでのCH <sub>4</sub> 生成量800 mL/minクラスの原理実証（TRL4） | 地上用途に合わせたデバイス設計、プロトタイプ実証（TRL5）                   | ・ 構造設計および運転条件の最適化<br>- 構造設計：宇宙用途にて実績のあるデバイスシミュレーションを用い、地上用途プラントの実証に適したデバイス設計<br>- 運転条件：高エネルギー変換効率を達成できるデバイスの設計及び運転条件の最適化 | ラボレベルのデバイス設計技術を活用した最適なプラント実証向けデバイス設計（80%） |
| 2<br>PEMCO <sub>2</sub> 還元技術 | ・エネルギー変換効率（補器損分は未考慮）<br>目標：62%                                                                                       | ラボレベルでのメタン合成実証レベル（TRL4）                                    | エネルギー変換効率62%プロトタイプ実証（TRL5）                       | ・ 触媒設計および運転条件の最適化<br>- メタン選択性向上：解析評価技術を活用した触媒設計<br>- 過電圧低減：解析評価技術を活用した触媒設計<br>- 運転条件：高エネルギー変換効率を達成できる触媒設計及び運転条件の最適化      | 触媒・運転条件設計による効率化と実証プラント向けのデバイス設計（80%）      |
| 3<br>スケールアップ開発               | ・製造量目標：10 Nm <sup>3</sup> /h<br>・エネルギー変換効率（補器損分は未考慮）<br>ハイブリッドサバティエ技術<br>目標：65%<br>PEMCO <sub>2</sub> 還元技術<br>目標：60% | ラボスケールでのメタン合成実証レベル（TRL4）                                   | 10 Nm <sup>3</sup> /h規模のクラスおよび効率60%-65%の導入（TRL7） | ・ スケールアップ設計<br>- ラボスケール機からの設計指針となるパラメータ特性の把握<br>- 利用方法に合わせた性能評価<br>- セルスタックの大型化・複数並列配置<br>・ 小規模プラットフォーム実証による実性能把握        | ラボスケール実証デバイスを元に小規模実証機の設計（80%）             |

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

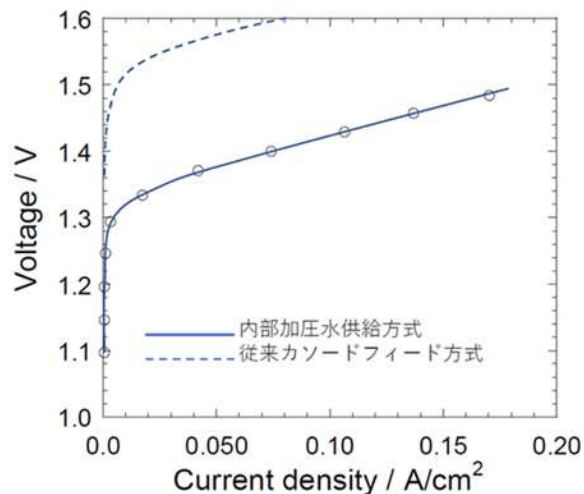
### ①ハイブリッドサバティエ技術：宇宙用途における実績

- 水を電極に隣接したスリット状の供給パスから電解質に供給する構造および**内部加圧水供給構造（加圧水型水電解構造）**※1,2を取ること  
で、**外部からの熱入力を増進し水電解反応への熱融通可能とする構造**を実現。**吸熱域（1.23V）からの電解を達成**※3。
- メタネーション温度220℃の低温域においても、高い活性を示す触媒を研究開発※4,5。
- mL/min級ハイブリッドサバティエ装置にて、**最大800 mL/minのメタン合成の実証に成功**。

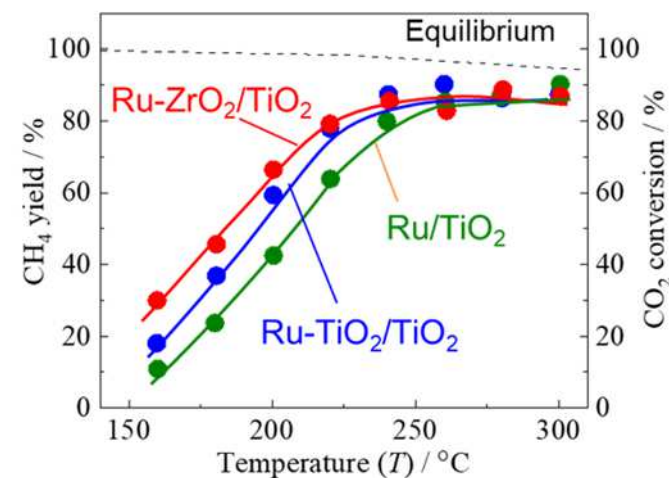
【加圧水型水電解セル（吸熱式水電解セル）の概念構造※3】



【水電解セル評価※3】



【メタネーション触媒評価※4】



※1 特願2017-182777「水電解／燃料電池発電用セル及びこれを複数積層したセル積層体」

※2 特願2017-217736「メタン合成装置」

※3 曾根理嗣他, 第64回 宇宙科学技術連合講演会「外部気液分離を必要としない内部加圧式水電解による水素/酸素製造と炭酸ガスからの水再生技術の一体化」, 3G09, 日本航空宇宙学会, 2020

※4 M. Inoue et al., *Catal. Lett.*, 2018, 148, 1499; M. Inoue et al., *Appl. Catal. A: Gen.* 2020, 597, 117557

※5 特願2017-172457「二酸化炭素の水素還元用触媒とその製造方法、二酸化炭素の水素還元方法及および二酸化炭素の水素還元装置」

※6 エネルギー変換効率は、e-methaneの熱エネルギーを水電解反応における投入電力量で除した値として試算、保温熱は未考慮。

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ①ハイブリッドサバティエ技術：構造設計の課題と解決方法

#### ● 構造設計の課題：

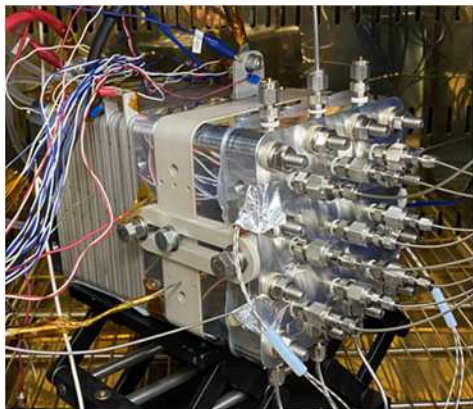
地上用途でのデバイス設計実績なし（宇宙用途にて、e-methane量：数百mL/min規模までの実績のみ）。

#### ● 解決方法：

①mL/min級ハイブリッドサバティエ技術、試作デバイス結果を元に、地上用途での大型化及び低コスト化デバイスの基本構造を設計する（**数値解析により装置設計で培ったデバイス設計確度の高い装置の研究開発**）。

②試作デバイスを作製・評価し、大型化デバイスへの課題抽出及び改良を進め、適切なデバイス構造を確立する。

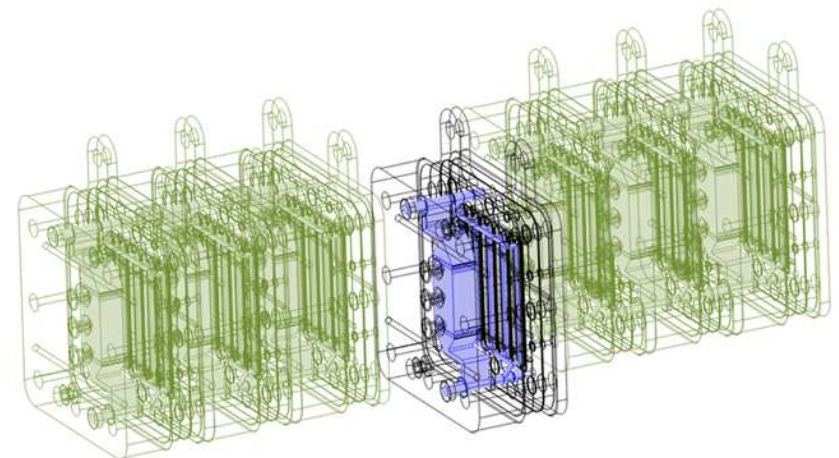
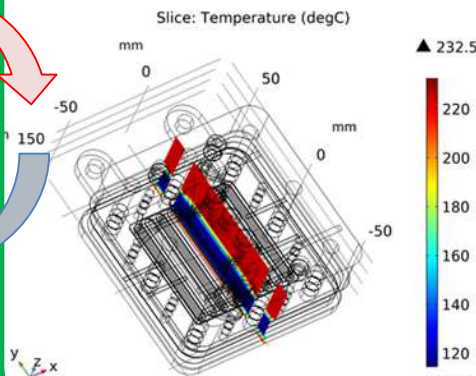
【デバイス試作・評価※1】



実験結果  
フィードバック

設計指針

【数値解析（COMSOL physicsの活用）※2】



※1 島明日香他, 第65回 宇宙科学技術連合講演会「二酸化炭素還元-酸素製造タンデム型装置の研究」, 2H16, 2021

※2 曽根理嗣他, 第64回 宇宙科学技術連合講演会「外部気液分離を必要としない内部加圧式水電解による水素／酸素製造と炭酸ガスからの水再生技術の一体化」, 3G09, 2020

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ①ハイブリッドサバティエ技術：構造設計の具体的な取組内容

- 構造設計では、数値解析を元に、**水電解装置、サバティエ装置、ハイブリッドサバティエ装置に分けて、それぞれ改良を進める。**

#### 【水電解装置の取組内容】

地上用途規模への適応に向けて、高電流密度化、適切なデバイス構造が必要。

- 1.流配
- 2.耐圧性

#### 【サバティエ装置の取組内容】

地上用途規模への適応に向けて、発熱を利用しやすい構造が必要。

- 1.触媒設計
- 2.触媒製造

#### 【ハイブリッドサバティエ装置の取組内容】

地上用途規模への適応に向けて、水電解反応に熱を有効利用できる構造が必要。

- 1.熱マネジメント
- 2.デバイスの簡素化

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ①ハイブリッドサバティエ技術：運転条件の課題と解決方法

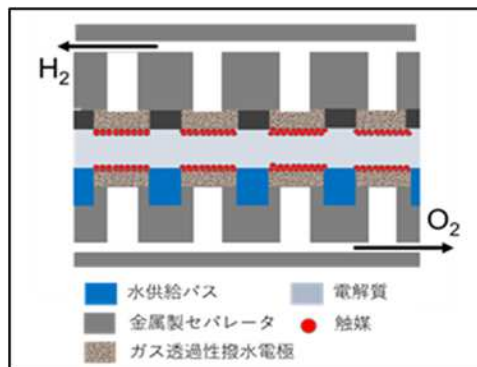
#### ● 運転条件の課題：

運転条件は、高エネルギー変換効率の維持に大きく影響を与える。しかし、合成メタン製造に係る一連のプロセスの運転条件は未確定（適切な運転条件・劣化挙動）である。

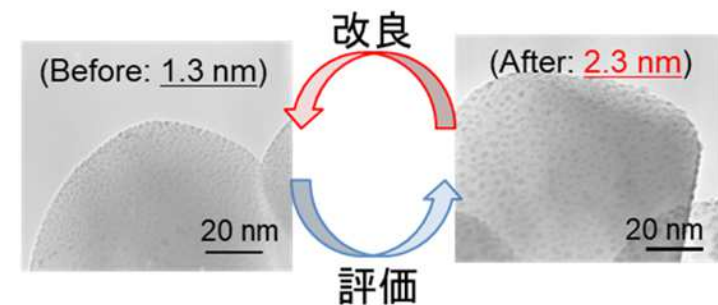
#### ● 解決方法：

1. 早期に連続運転試験を実施し、劣化挙動と要因を把握する。
2. 連続運転試験結果を元に、運転条件の最適化、および劣化耐性向上に向けての触媒・製作方法・デバイス構造の改良を行い、所期の性能を発揮できるデバイスを実現する。

【加圧水型水電解セル※1】



【メタネーション触媒※2】



※1 曾根理嗣他,第64回 宇宙科学技術連合講演会「二酸化炭素還元-酸素製造タンデム型装置の研究」, 3G09, 2020  
※2 M. Inoue et al., *Catal. Lett.*, 2018, 148, 1499; M. Inoue et al., *Appl. Catal. A: Gen.* 2020, 597, 117557

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ①ハイブリッドサバティエ技術：運転条件の確立に向けた取組内容

- 連続運転試験を通して得られた課題に対し、**水電解装置、サバティエ装置、ハイブリッドサバティエ装置に分けて、それぞれ改良を進める。**

#### 【水電解装置の取組内容】

連続運転に利用可能な触媒、電解質、ガス拡散層の選定が必要。

- 1.触媒
- 2.電解質
- 3.ガス拡散層

#### 【サバティエ装置の取組内容】

連続運転に利用可能な触媒の選定、および適切な温度制御手法が必要。

- 1.触媒設計
- 2.温度制御

#### 【ハイブリッドサバティエ装置の取組内容】

長時間運転時の劣化に対し、高いエネルギー変換効率を維持する運転制御手法が必要。

- 1.一体連結反応の運転制御
- 2.温度制御

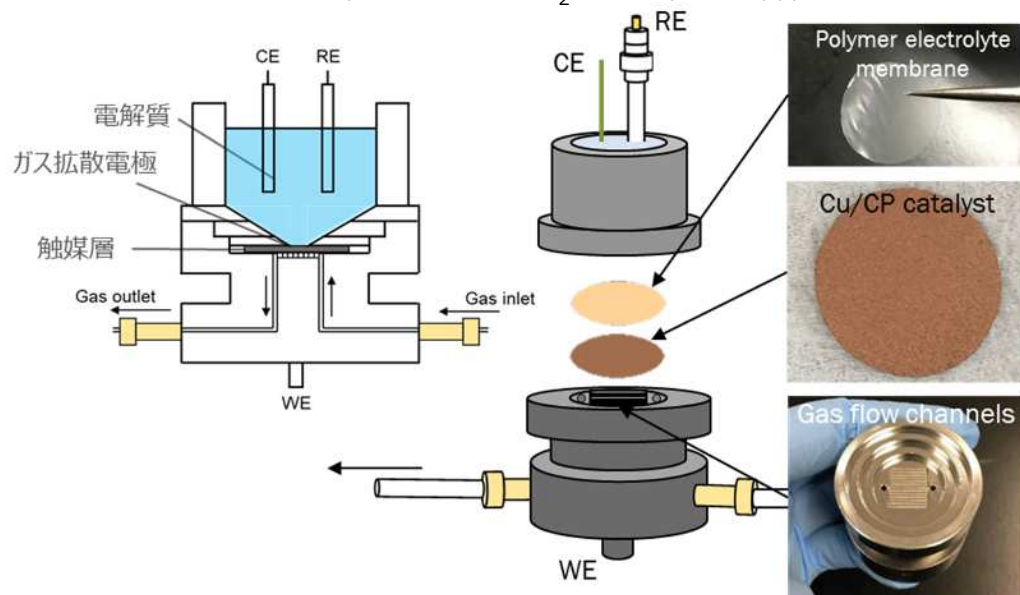
## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ②PEMCO<sub>2</sub>還元技術：評価技術の実績

- CO<sub>2</sub>電解反応では多くの副生成物が発生する可能性があるため、**反応プロセス解析技術が重要**。PEMFC・PEM水電解用触媒の活性評価手法を確立。
- **触媒表面上における電解反応の中間生成物を特定し、反応プロセスを解明できる分析手法を確立：GDE電極セルとオペランド分光法による解析評価と組み合わせた解析評価。**
- **オペランド分光法による反応経路解析に基づく新規触媒材料開発手法を確立。**

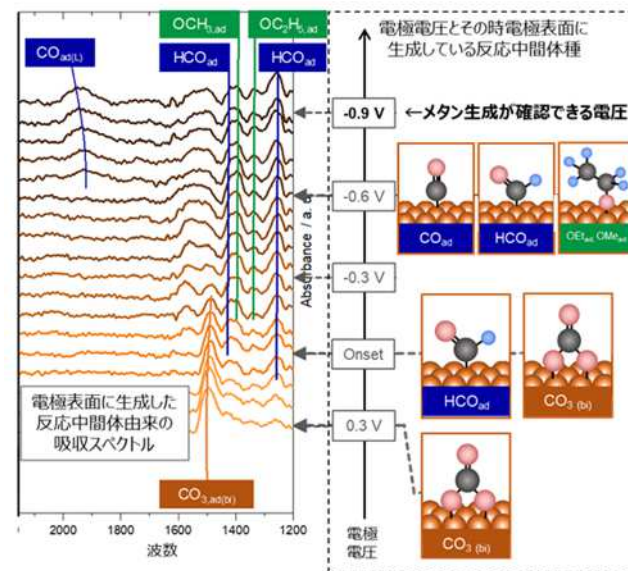
#### 【触媒活性評価に用いるGDE電極セルの構造】

本構成により、気相系ハーフセルにてCO<sub>2</sub>還元触媒の活性評価が可能。



#### 【GDE電極セルとオペランド分光法による解析評価】

吸収スペクトルを観察することで、各電圧下における触媒上の反応中間体を解析可能。  
生成ガス組成の結果と照らし合わせることで、メタン合成に有利な反応経路を特定することができる。



※1 片山他, ACS Appl. Mater. Inter. 9, 28650 (2017), 中山他, ACS Appl. Energy Matter. 3, 4720–4726 (2020), J. Electrochem. Soc., 163, A2340–A2348 (2016)など  
 ※2 片山ら, J. Phys. Chem. C 2019, 123, 5951–5963

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ②PEMCO<sub>2</sub>還元技術：メタン選択性の課題

#### ● メタン選択性の課題：

PEMCO<sub>2</sub>還元では、多岐に渡るCO<sub>2</sub>還元反応によって**多数の副生成物が発生し、メタンの選択性の低下及びエネルギー変換効率の低下**を招く。先行研究より、CuはCO<sub>2</sub>還元反応のメタン選択性が比較的高いこと、およびメタン選択性では炭素-酸素-触媒金属間の結合力がカギであることは判明しているが、**反応の詳細メカニズムは未解明で、CO<sub>2</sub>還元反応の反応制御技術は確立できていない**。

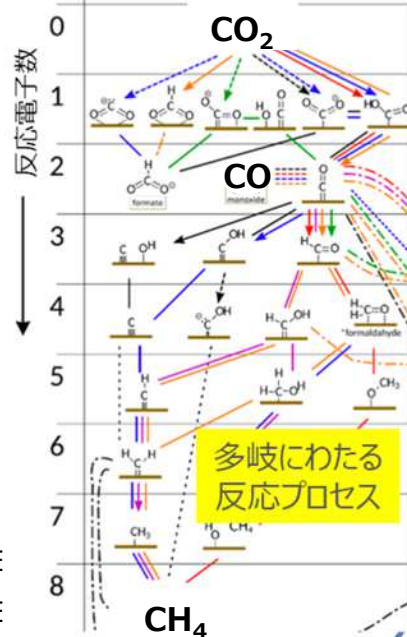
#### 【メタン選択性の課題】

CO<sub>2</sub>還元反応では、類似の反応経路で様々な生成物が得られるため、各生成物の反応電位が近接してしまい、副生成物が発生しやすい。

#### 反応生成物の一例

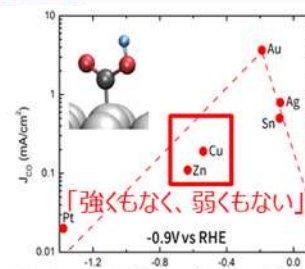
|              |                  |
|--------------|------------------|
| メタン生成の反応電位   | : 0.16 V vs RHE  |
| エタノール生成の反応電位 | : 0.08 V vs RHE  |
| エタン生成の反応電位   | : 0.07 V vs RHE  |
| メタノール生成の反応電位 | : 0.02 V vs RHE  |
| 水素の発生電位      | : 0.00 V vs RHE  |
| 一酸化炭素の発生電位   | : -0.11 V vs RHE |
| ギ酸生成の反応電位    | : -0.23 V vs RHE |

#### 【メタン生成反応経路※1】

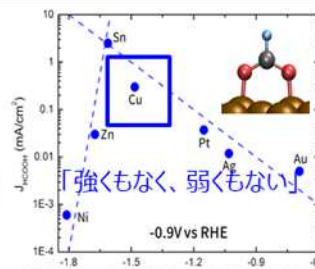


#### 【先行研究】各触媒におけるCO<sub>2</sub>還元反応の電流効率※2

| 材料 | 電圧 / V vs SHE | 電流密度 / mA cm <sup>-2</sup> | ファラデー効率 / %     |                               |      |      |      |      |                |
|----|---------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|------|------|------|------|----------------|
|    |               |                            | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | EtOH | PrOH | CO   | HCOO | H <sub>2</sub> |
| Au | -1.14         | 5.0                        | 0               | 0                             | 0    | 0    | 87.1 | 0.7  | 10.2           |
| Ag | -1.37         | 5.0                        | 0               | 0                             | 0    | 0    | 81.5 | 0.8  | 12.4           |
| Cu | -1.44         | 5.0                        | 33.3            | 25.5                          | 5.7  | 3.0  | 1.3  | 9.4  | 20.5           |
| Ni | -1.48         | 5.0                        | 1.8             | 0.1                           | 0    | 0    | 0    | 1.4  | 88.9           |
| Pt | -1.07         | 5.0                        | 0               | 0                             | 0    | 0    | 0    | 0.1  | 95.7           |



炭素－金属間の結合の強さ



酸素－金属間の結合の強さ

メタン生成には、炭素－金属間と酸素－金属間の2つの異なる結合が、どちらも「強くもなく、弱くもない」絶妙なバランスを満たす必要がある。

※1 S Nitop et al., Chem. Rev. 2019, 119, 7610-7672

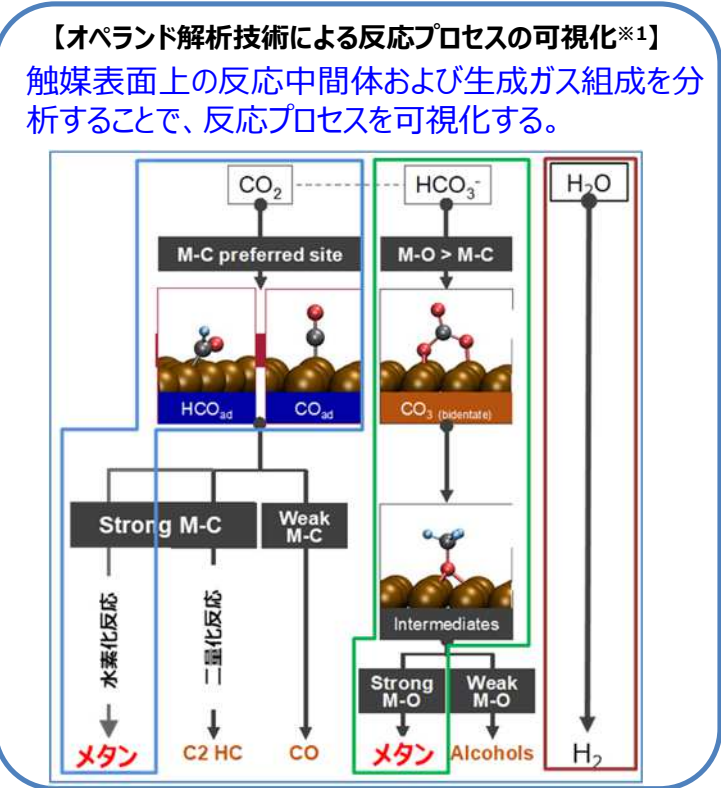
※2 Hori, Y. Modern Aspects of Electrochemistry 42 (2008) 89より一部抜粋

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ②PEMCO<sub>2</sub>還元技術：メタン選択性の向上手法

#### ● メタン選択性の向上手法：

1. **メタン生成に特化した反応プロセスをオペランド解析技術にて解明**し、解析結果を活用してCuベースの触媒設計および運転条件の最適化を実施することで、メタン選択性の向上を図る。
2. 触媒設計・運転条件最適化として、**アプローチ①メタン生成過程における反応中間体の水素化、アプローチ②水素生成反応の抑制**を実施する。



反応プロセス解析と  
触媒設計・運転条件最適化を繰り返し課題解決に取り組む。

アプローチ①：反応中間体の水素化を促進する触媒設計により、メタン生成を促進  
アプローチ②：水素生成反応を抑制する触媒設計により、相対的にメタン選択性を向上



SIPでのPEM研究開発知見・設備を応用

※1 片山ら、233rd ECS Meeting, B07-0945 (Invited)

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ②PEMCO<sub>2</sub>還元技術：過電圧の課題

#### ● 過電圧の課題：

PEMCO<sub>2</sub>還元のメタン生成反応は、**多電子反応であることから過電圧が高く、エネルギー変換効率の低下**を招く。

高い過電圧は、カソード電極反応、アノード電極反応、デバイスの電圧損によるものであり、**特にカソード電極反応の影響が大きく、課題**である。

**オペランド解析技術により、カソード電極反応の過電圧は、「水素化プロセス」であることを初めて実験的に特定済（大阪大片山准教授成果）。**

#### 【課題】カソード電極反応の過電圧

##### ✓ 要因①

CO<sub>2</sub>からメタンへの還元反応では、合計8電子の授受が必要。そのため、反応ステップが多く、反応の駆動力（＝過電圧）は大きくなってしまふ。

メタン生成電位（理論値）：0.16 V vs RHE

メタン生成が優位となる電位：-1.0 V vs RHE 以下

##### ✓ 要因②

CO<sub>2</sub>還元生成物の中でも、メタン生成（C1生成物）の過電圧は 特に大きい。

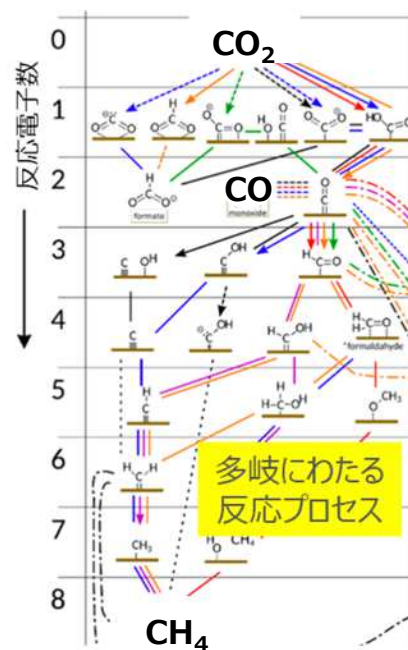
生成電位（理論値）：メタン＞エタノール＞エタン＞メタノール

生成が優位となる電位：エタン＞エタノール＞メタン（メタノールは生成無）

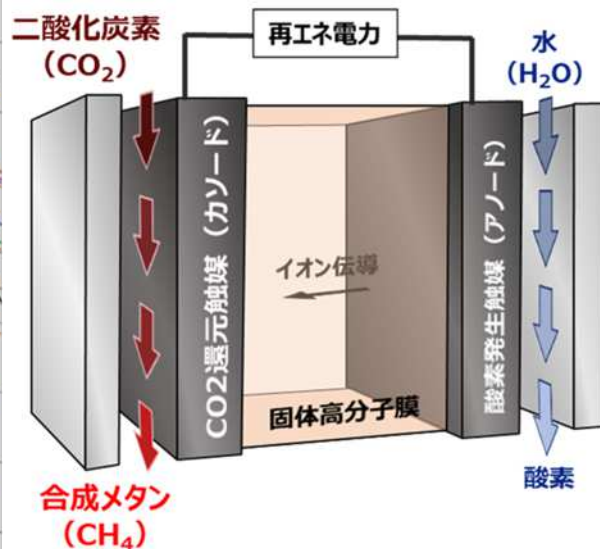
➡ **要因①、②が高過電圧の原因であり、その直接的な原因は、「水素化プロセス」であることを実験的に特定済（大阪大片山准教授成果）※1**

※1 片山ら, J. Phys. Chem. C 2019, 123, 5951–5963

#### 【メタン生成反応経路※2】



#### 【PEMCO<sub>2</sub>還元デバイス構造】



※2 S Nitop et al., Chem. Rev. 2019, 119, 7610-7672

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

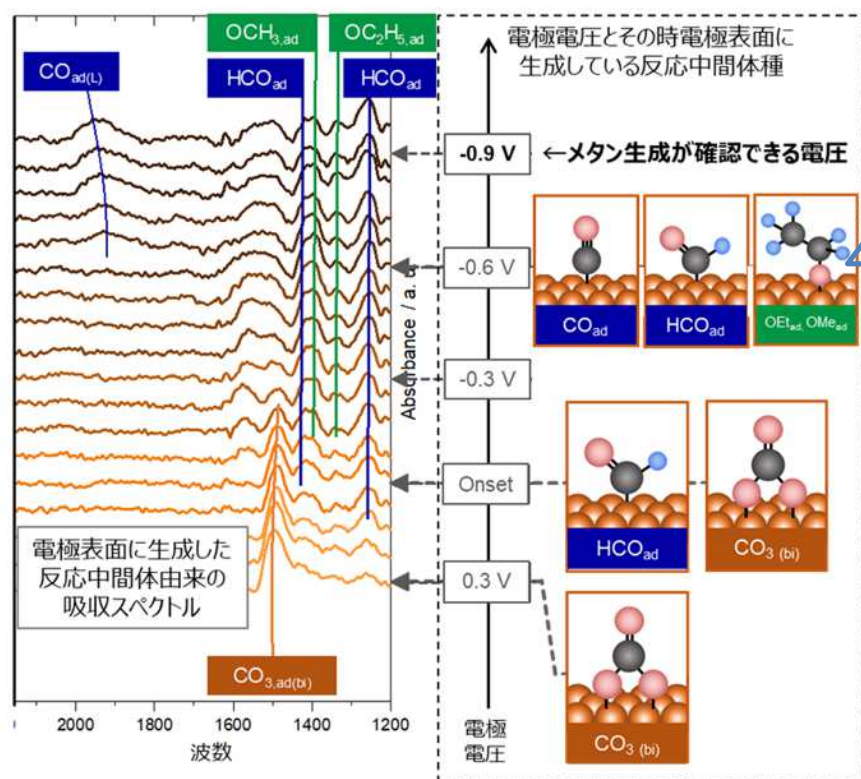
### ②PEMCO<sub>2</sub>還元技術：過電圧の低減手法

#### ● 低減手法：

アプローチ①反応中間体の水素化能力が高い活性サイトの導入により、カソード電極反応の過電圧を低減する。

アプローチ②さらなる過電圧低減のため、アノード電極反応・デバイス電圧損に向けたアノード最適化、CCM最適化を実施する。

【オペランド解析を活用した吸収スペクトル評価※1】



#### 【カソード電極反応の過電圧低減手法】

反応中間体の水素化能力を高めるためのアプローチを実施する。

- ✓ CO中間体への水素化促進

#### 【アノード電極反応の過電圧低減手法】

- ✓ 酸素発生過電圧の低減（東京ガス）

#### 【デバイス電圧損の低減手法】

- ✓ 膜抵抗・接触抵抗の低減（大阪大学・東京ガス）

※1 片山ら, J. Phys. Chem. C 2019, 123, 5951–5963

## 2. 研究開発計画／（２）研究開発内容

### ②PEMCO<sub>2</sub>還元技術：運転条件の課題

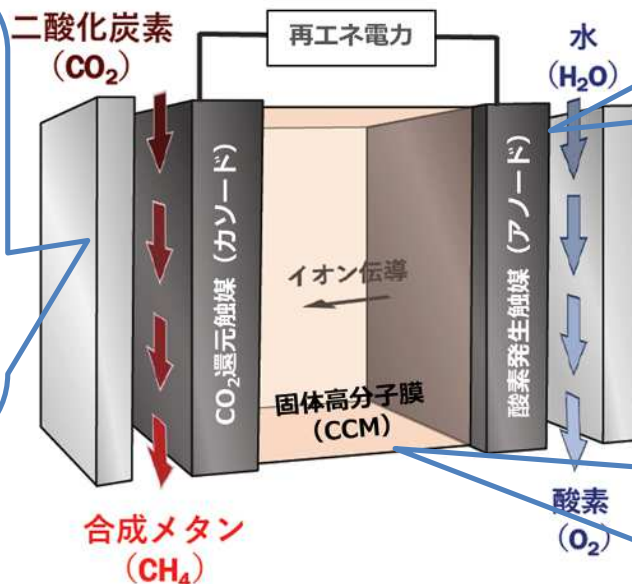
#### ● 運転条件の課題：

PEMCO<sub>2</sub>還元の運転条件は、高エネルギー変換効率の維持に大きく影響を与える。しかし、合成メタン製造に係る一連のプロセスの運転条件は未確定（適切な運転条件・劣化挙動）である。

- 特に、運転条件決定に影響を与える懸念箇所は、カソード/アノード電極触媒、CCMがあり、**電極触媒では触媒粒子の凝集・溶失・被毒、CCM膜では膜劣化に伴うイオン電導度の低下**である。

#### 【課題】カソード電極触媒粒子の凝集・溶失・被毒

- ✓ 要因①：カソード電極では、酸性雰囲気で使用した際にCuの凝集・化学的溶失が進行しやすい。
- ✓ 要因②：カソード電極では、還元雰囲気（負電位側）で運転するため、金属触媒表面への電解質中のカチオン種蓄積が避けられない。



#### 【課題】アノード電極触媒粒子の凝集・溶失・被毒

- ✓ 要因③：アノード電極では、酸性かつ酸化雰囲気で使用した際に貴金属酸化物触媒の凝集・溶失が進行しやすい。

#### 【課題】CCM膜劣化によるイオン電導度低下

- ✓ 要因①：触媒上で微量に生成するラジカル種などにより電解質膜の分子骨格が局所的に分解されてしまう。
- ✓ 要因②：膜の水分量が低下し、イオン伝導を担う水分が不足してしまう。

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

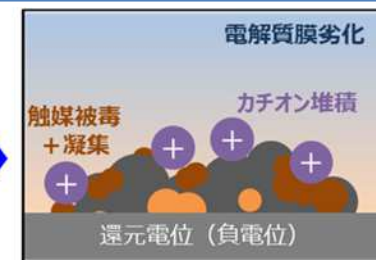
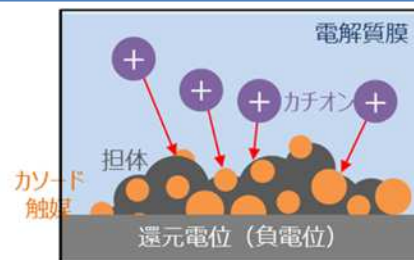
### ②PEMCO<sub>2</sub>還元技術：運転条件の確立に向けた取組内容

● 取組内容：

- ①PEMCO<sub>2</sub>還元の連続運転試験を実施し、オペランド解析技術による劣化メカニズムを解明する。
- ②解明したメカニズムに合わせ、**触媒改良**を行う。
- ③**フルセル設計・運転モード最適化によるデバイスの改良**を行い、繰り返し改良して、適切なデバイスを確立する。

#### 【①劣化メカニズム解明】

- ・オペランド解析技術を用いた触媒劣化メカニズム解析を実施。
- ・PEMFC・PEM電解で知られる触媒の劣化要因（膜劣化・触媒凝集・触媒溶失）に加えて、カソード触媒のカチオンによる被毒に着目して分光化学的に解析。



触媒設計改良



連続運転試験（定格、加速）

#### 【②触媒改良】

- ・触媒組成の調整により、触媒性を向上
- ・電解質膜を含めた最適化により、カチオン拡散を抑制



セル設計・  
運転モード  
設計改良

#### 【③フルセル設計・運転モード最適化】

- ・セル構造設計・運転条件の最適化により、電解質性能向上
- ・運転モードの最適化により、カチオン蓄積の抑制

## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ③スケールアップ開発：スケールアップの課題と解決方法

- 課題：  
スケールアップを進める上で、**スケールアップの設計指針が必要**であること、**スケールアップ時に大きなボトルネック課題が顕在化するリスク**がある。
- 解決方法：
  - ①ラボスケール機開発の時点から、**設計指針となるキーコンポーネントのパラメータ特性を把握し、最終仕様に適合する仕様、性能を設定し、開発する。**
  - ②利用方法に合わせた性能評価を実施し、**スケールアップ課題を明確化**する。
  - ③セルスタックの大型化・複数並列配置利用による加速的な大型化を実施する。

- ◆ 性能／コストターゲットの設定
- ◆ スケールアップ機の運用面を考慮したプロセスの設計



0.1 Nm<sup>3</sup>/h規模

#### 目的

- 触媒・電解膜等キーコンポーネントのパラメータ特性把握
- キーコンポーネントの改良・トライ&エラー



1 Nm<sup>3</sup>/h規模

#### 目的

- 反応器・電解槽の性能確認
- 触媒・電解槽の耐久性確認
- スケールアップにより新たに生じる課題の把握
- 連結スタックの性能確認



10 Nm<sup>3</sup>/h規模

#### 目的

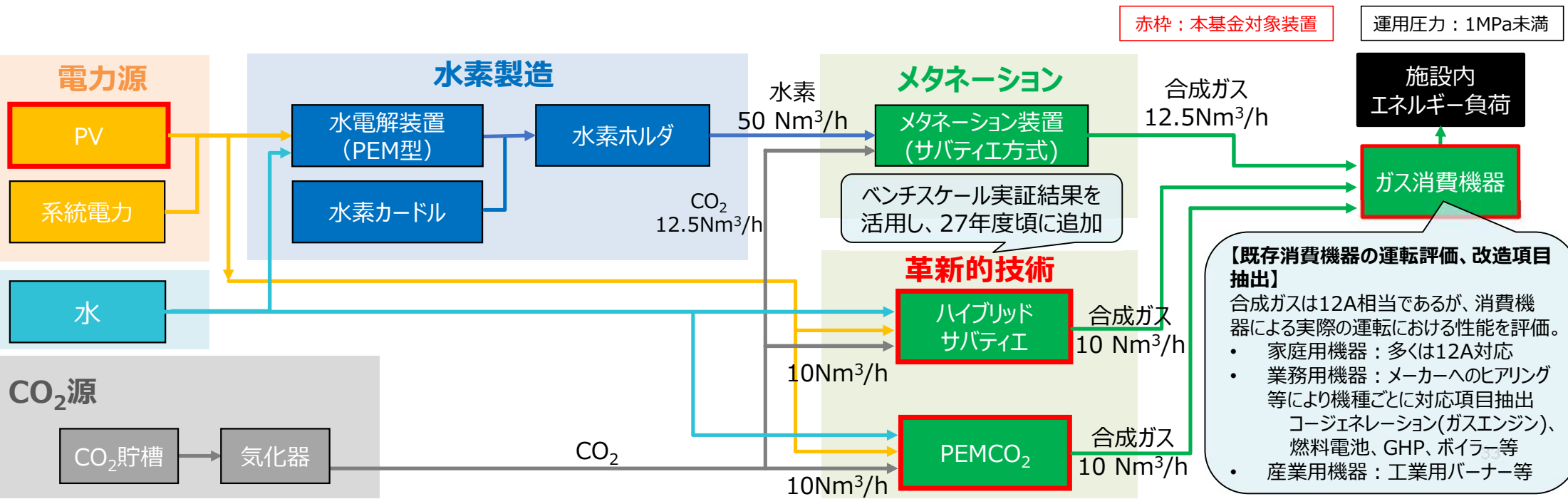
- 反応器・電解槽の性能確認
- システム全体の運用特性の把握
- システム全体のヒートバランスの確認
- 低負荷時等複数の運転モードでの課題の確認
- プラント起動・停止方法の検討

## 2. 研究開発計画／（２）研究開発内容

### ③スケールアップ開発：プラットフォーム構築

- 東京ガスが保有する実証試験設備を活用して、**大規模化・社会実装に向けた必要な技術課題の抽出**を実施する。
- 本基金にて開発する革新的技術を保有するプラットフォームに導入し、解決に向けた技術開発を実施するとともに、加えて**e-methane使用に際しての課題を抽出**する。

|               |                                              |
|---------------|----------------------------------------------|
| 導入済み設備（基金対象外） | ： 電力源、水素製造、メタネーション、CO <sub>2</sub> 源（貯槽、気化器） |
| 導入予定設備（基金対象）  | ： 革新的技術、ガス消費機器                               |
| 実施試験項目（基金対象）  | ： 既存技術/革新的技術評価、消費機器評価、メタン製造プラントの運転条件検討       |



## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ④研究開発の全体進捗まとめ：研究開発の進捗度

| 研究開発内容                           | 直近のマイルストーン                                                           | これまでの（前回からの）開発進捗                                                                                                                                                                                                                                                           | 進捗度    |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1<br>ハイブリッドサバ<br>ティエ<br>技術       | ステージゲート審査①<br>までに <b>エネルギー変換<br/>効率75%</b> （補器損<br>分は未考慮）を達成<br>している | <ul style="list-style-type: none"><li>ハイブリッドサバティエデバイスの設計に必要な水電解セルとサバティエ反応槽の配置／熱授受に係る<b>シミュレーションを実施</b>し、得られた結果を元に<b>デバイスの製作を開始</b>した</li><li>新規構造<b>水電解セルの試作・試験を開始</b>した</li><li><b>メタネーション触媒の耐久性向上</b>にむけた課題抽出を進めた</li><li>各種性能試験及び耐久試験を行うための<b>評価インフラを構築</b>した</li></ul> | ○：計画通り |
| 2<br>PEMCO <sub>2</sub> 還元<br>技術 | ステージゲート審査①<br>までに <b>エネルギー変換<br/>効率62%</b> （補器損<br>分は未考慮）を達成<br>している | <ul style="list-style-type: none"><li>Cu系触媒を用いた要素セル試験において<b>メタン生成を確認</b>した</li><li>電極近傍の条件制御を行うことでメタン生成時における<b>ファラデー効率の向上を確認</b>した</li><li>各種性能試験及び耐久試験を行うための<b>評価インフラを構築</b>した</li></ul>                                                                                  | ○：計画通り |
| 3<br>スケールアップ開<br>発               | ステージゲート審査①<br>までにベンチスケール<br>機（1 Nm <sup>3</sup> /hr）の<br>仕様を決定している   | <ul style="list-style-type: none"><li>将来の社会実装規模を想定した<b>スケールアップ時における目的、用途、条件、コストなどの課題抽出に着手</b>し、システムフローの設計検討を開始した</li></ul>                                                                                                                                                 | ○：計画通り |

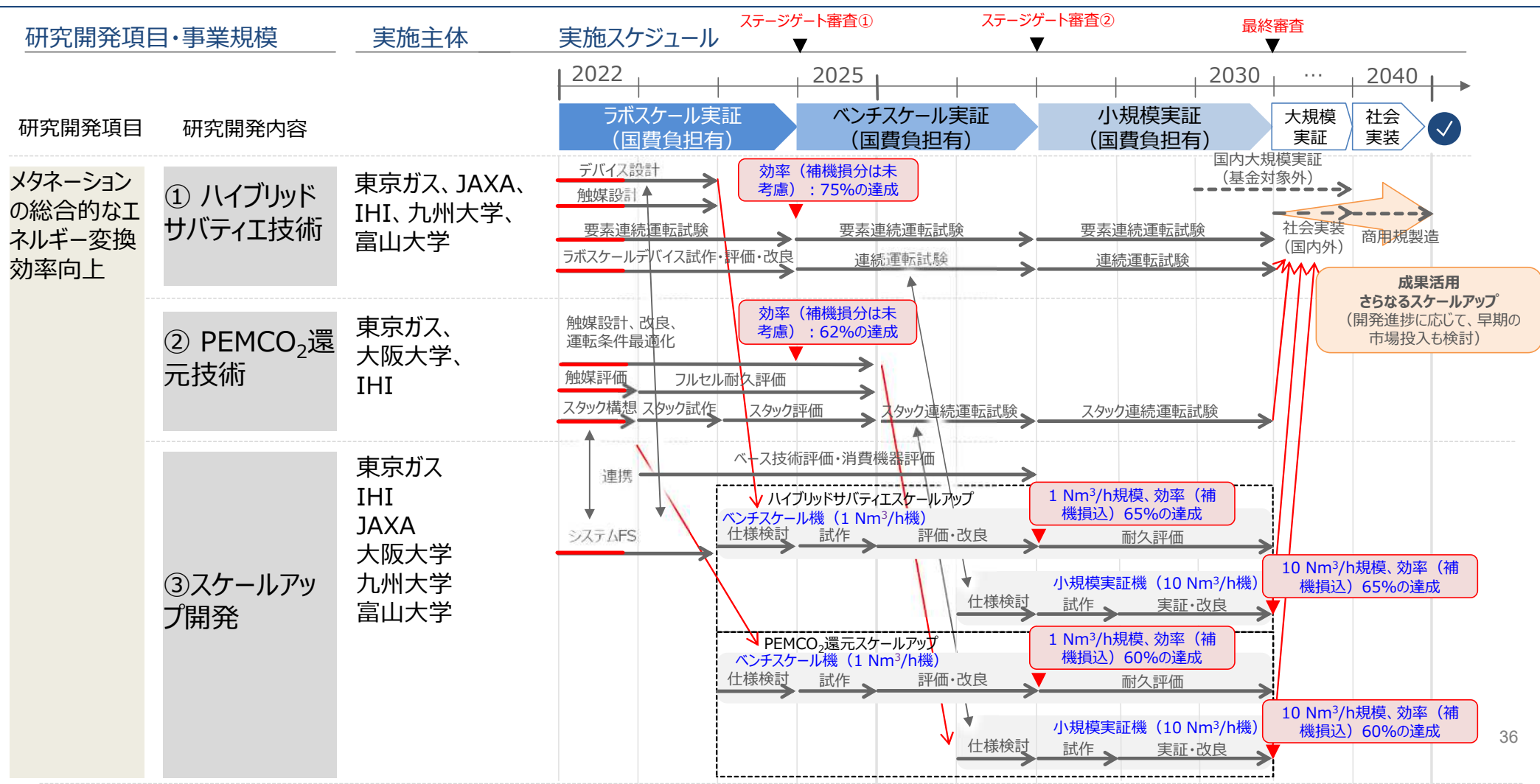
## 2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

### ④研究開発の全体進捗まとめ：技術課題と解決の見通し

| 研究開発内容                           | 直近のマイルストーン                                                         | 残された技術課題                                                                                    | 解決の見通し                                                                               |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1<br>ハイブリッドサバ<br>ティ工<br>技術       | ステージゲート審査①<br>までにエネルギー変換<br>効率75%（補器損<br>分は未考慮）を達成<br>している         | 1. エネルギー変換効率と耐久性能を両立した<br>デバイスの大型化<br>2. デバイスの性能を最大化する運転条件の確<br>立<br>3. メタネーション触媒の大量合成方法の確立 | 1. 実験とシミュレーションのイタレーション<br>によるデバイス改良<br>2. 各種運転試験による最適化<br>3. 大型合成装置の導入及び合成条<br>件の最適化 |
| 2<br>PEMCO <sub>2</sub> 還元<br>技術 | ステージゲート審査①<br>までにエネルギー変換<br>効率62%（補器損<br>分は未考慮）を達成<br>している         | 1. ファラデー効率の向上<br>2. 過電圧の低減<br>3. 電解セルの大型化                                                   | 1. 活性サイトの吸着力最適化<br>2. 水素化能力の高い活性サイトの導<br>入<br>3. 触媒塗布条件、構成材料の最適<br>化                 |
| 3<br>スケールアップ開<br>発               | ステージゲート審査①<br>までにベンチスケール<br>機（1 Nm <sup>3</sup> /hr）の<br>仕様を決定している | 1. エネルギー変換効率向上を目的とした要求<br>仕様の明確化                                                            | 1. デバイス本体および周辺補器・計装<br>類も含めたシステムFSによる全体検<br>証                                        |

2. 研究開発の進捗／2-1 研究開発の全体進捗まとめ

開発スケジュール



## 2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

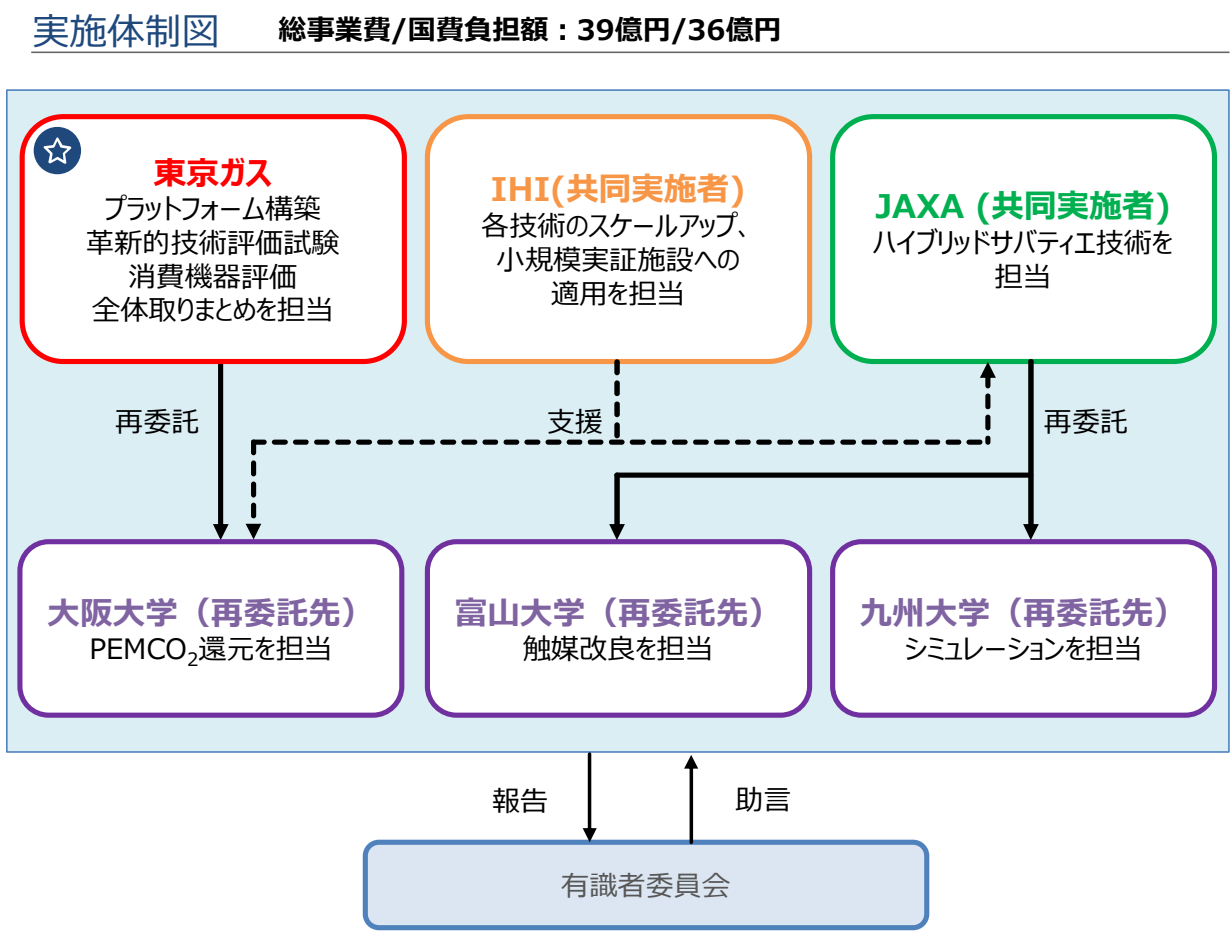
### 各年度の達成目標

● 2度のステージゲート及び最終目標達成に向けて、各年度の必要な到達レベルを年度目標として設定し、開発を推進。

| 年度                     | ①ハイブリッドサバティエ技術                                    |                         | ②PEMCO <sub>2</sub> 還元技術                           |                                       | ③スケールアップ開発                |
|------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
|                        | 構造設計                                              | 運転条件                    | 触媒設計                                               | 運転条件                                  | スケールアップ設計                 |
| 2022                   | ・水電解装置の改良<br>・サバティエ装置の改良<br>・ハイブリッド構造：設計方針の確定     | ・運転条件案の設定               | ・メタン選択性の向上<br>・過電圧の低減                              | ・フルセル仕様の決定<br>・運転条件案の設定<br>・耐久性向上案の確定 | システムFS完了                  |
| 2023                   | ・水電解装置の改良<br>・サバティエ装置の改良<br>・ハイブリッド構造：構造確定        | ・触媒調整法の確立<br>・温度制御手法の設定 |                                                    |                                       |                           |
| 2024<br>ステージゲート<br>審査① | ハイブリッド構造の試作                                       | ・運転条件の確定<br>・温度制御手法の確立  | スタックの試作                                            | 運転条件の最適化、確定                           | ベンチスケール機の仕様決定             |
|                        | エネルギー変換効率（補器損分は未考慮）：75%の達成                        |                         | エネルギー変換効率（補器損分は未考慮）：62%の達成                         |                                       |                           |
| 2025～2026              | 1 Nm <sup>3</sup> /h機試作・評価完了                      |                         | 1 Nm <sup>3</sup> /h機試作・評価完了                       |                                       | ベンチスケール機改良案の決定            |
| 2027<br>ステージゲート<br>審査② | 1 Nm <sup>3</sup> /h機改良<br>エネルギー変換効率（補器損込）：65%の達成 |                         | 1 Nm <sup>3</sup> /h機改良<br>エネルギー変換効率（補器損込）：60%の達成  |                                       | 小規模実証機の仕様決定<br>ベース技術評価の完了 |
| 2028～2029              | 10 Nm <sup>3</sup> /h機試作・評価完了                     |                         | 10 Nm <sup>3</sup> /h機試作・評価完了                      |                                       | 小規模実証機改良案の決定              |
| 2030<br>最終審査           | 10 Nm <sup>3</sup> /h改良<br>エネルギー変換効率（補器損込）：65%の達成 |                         | 10 Nm <sup>3</sup> /h機改良<br>エネルギー変換効率（補器損込）：60%の達成 |                                       | 各革新的技術の仕様確定               |

## 2. 研究開発計画／（４）研究開発体制

東京ガスがとりまとめ担当、２種類の革新的メタネーション技術開発に取り組み、IHIがスケールアップを支援



### 各主体の役割と連携方法

#### 各主体の役割

- 全体の取りまとめは、東京ガスが行う。
- 東京ガスは、小規模実証実験プラットフォーム構築、各技術の仕様検討、耐久性をはじめとする各革新的技術の評価試験および消費機器評価を担当する。
- IHIは、各革新的技術のラボレベルからプラントレベルへのスケールアップに向けた検討、小規模実証施設への適用を担当する。
- JAXAは、ハイブリッドサバティエ技術の研究開発を担当する。
- 大阪大学は、PEMCO<sub>2</sub>還元技術の開発を担当する。
- 富山大学は、ハイブリッドサバティエ技術のメタネーション触媒開発を担当する。
- 九州大学は、ハイブリッドサバティエ技術のデバイスシミュレーション開発を担当する。

#### 研究開発における連携方法

- 定期的ミーティングにより進捗確認、方向性検討。

#### 有識者委員会の設置

- 革新的メタネーションの社会実装を目的とした有識者で構成する委員会を他のプロジェクトと共同で設置し、幅広い観点から助言を受ける。

#### 標準化に向けた取り組み

- 東京ガスとIHIで連携し、国内外の標準化や規制の動向を調査、日本の技術となる革新的メタネーションが他国に対して有利になるような標準化に取り組む。

## 2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

### 国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

| 研究開発項目                    | 研究開発内容                    | 活用可能な技術等                                                                                                        | 競合他社に対する優位性・リスク                                                                                              |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.メタネーションの総合的なエネルギー変換効率向上 | 1 ハイブリッドサバティエ技術           | ①宇宙ステーション向けCO <sub>2</sub> リサイクル（O <sub>2</sub> 製造）ハイブリッドサバティエ技術：JAXA<br>②低温作動触媒製造技術：富山大<br>③デバイスシミュレーション技術：九州大 | ①低温ハイブリッド化による高効率化<br>②高濃度なe-methaneを精製可能<br>③既存技術に対し、総合的に見て十分な優位性が得られないリスク                                   |
|                           | 2 PEMCO <sub>2</sub> 還元技術 | ①オペランド解析技術：大阪大<br>②触媒合成技術：大阪大<br>③セルスタック化技術：東京ガス                                                                | ①オペランド解析による反応解明技術<br>②燃料電池での事業化（低コストセルスタックの製造）実績<br>③システムの簡素化、小型化可能性<br>④既存技術に対して、総合的に見て十分な優位性が得られないリスク      |
|                           | 3 スケールアップ開発               | ①既存サバティエメタネーション技術のプラント実証実績：IHI<br>②プラントエンジニアリング技術：IHI<br>③小規模実証プラットフォーム：東京ガス                                    | ①IHIの豊富なプラント実証実績によるバックキャスト開発が可能<br>②実証済み小規模プラットフォームの活用<br>③既存メタネーション技術の普及拡大速度に対し、大型化が追い付かないリスク <sup>39</sup> |

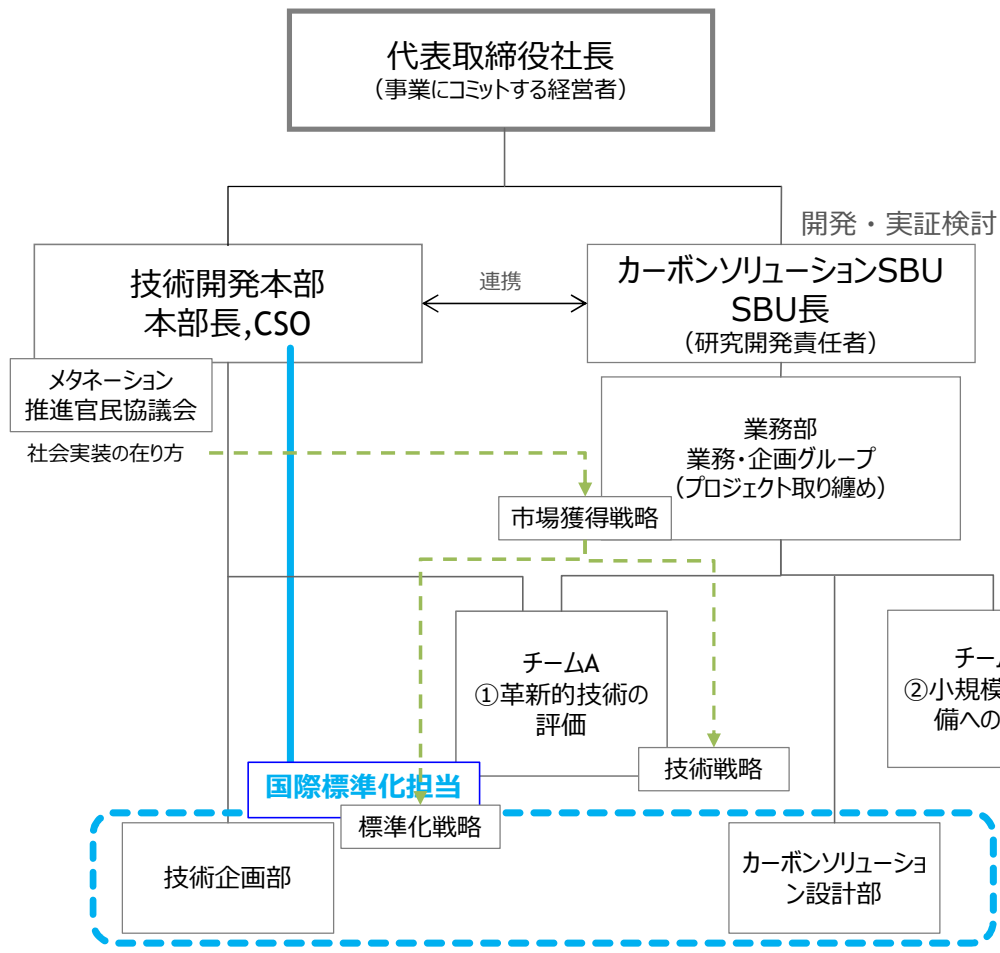
# 3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

### 3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制

## 経営者のコミットメントの下、専門部署に複数チームを設置

組織内体制図 （2023年6月時点）



### 組織内の役割分担

#### 研究開発責任者と担当部署

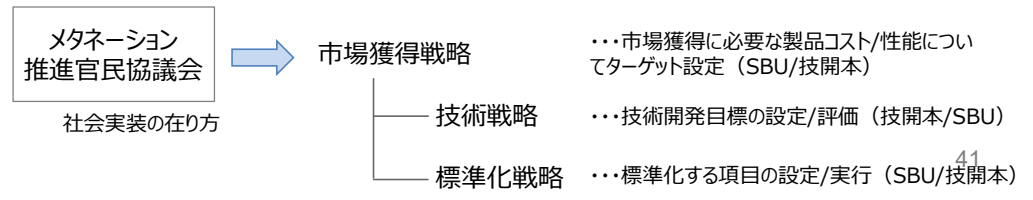
- 研究開発責任者
  - カーボンソリューションSBU SBU長 : 開発統括を担当
- プロジェクト取り纏め
  - 業務部 業務・企画グループ : プロジェクト取り纏め
- 担当チーム
  - チームA: 革新的技術の評価
  - チームB: 大規模設備を見据えた小規模実証設備への適用
  - 国際標準化担当:
    - 技術センター カーボンソリューション設計部
    - 技術企画部

#### 部門間の連携方法

- 技術開発本部－カーボンソリューションSBU間の定期連絡会  
(技術開発本部長がCSOを兼任しており、市場獲得戦略について連携する)

### 外部関連組織・会合

- 経済産業省 メタネーション推進官民協議会  
⇒e-methaneの社会実装を検討。技術開発本部本部長が委員として参画。  
サポートメンバーとして本プロジェクトから任命。



### 3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

## 経営者等によるカーボンソリューション事業への関与の方針

---

#### （1）経営者等による具体的な施策・活動方針

---

##### ● 経営者のリーダーシップ

- 2020年11月10日プロジェクトChangeを発表  
成長戦略の再定義により、カーボンソリューション『脱CO2・循環型社会と快適で安心な自律分散コミュニティの実現』を成長戦略と位置付け、事業の柱を創出することを決算発表にて公表。
- 2021年11月9日IHIグループのESG経営を発表  
『IHIグループは事業活動を通じて、社会課題の解決を果たし、持続可能な社会を実現する』というIHIグループのESG経営を発表。その中で2050年までにバリューチェーン全体でカーボンニュートラルを実現することを宣言。
- 2021年12月24日ESG STORYBOOKを公開  
持続可能な社会の実現のために事業を通じて社会課題を解決するということを、広く理解してもらうためIHIグループの取り組み状況を取りまとめたESG STORYBOOKを公開。

##### ● 事業のモニタリング・管理

- 最高経営責任者（CEO）直下に設置された『ESG経営推進会議』において、サステナビリティに関する基本方針や施策を議論し、適宜取締役会に報告。
- 取締役会は、執行側のサステナビリティへの取り組みを適切に評価・監督。

#### （2）経営者等の評価・報酬への反映

---

- IHIの事業の性質やインセンティブ報酬の実効性および職責などを考慮して、適切な報酬水準・報酬構成割合に設定し、また、外部専門機関による客観的な報酬市場調査データを定期的に測定し検証。
- 報酬構成割合については、標準的な業績の場合、  
代表取締役社長および代表取締役会長について固定の基本報酬：業績連動賞与：業績連動型株式報酬の割合がおおむね50%：30%：20%、  
その他の取締役はおおむね55%：25%：20%となるように設定。

#### （3）事業の継続性確保の取組

---

コーポレート・ガバナンスを、『IHIが本来有する力を最大限に発揮するように経営の効率性を高め、持続的成長と企業価値の最大化を担保するシステム』と定義

- ・経営監視監督機能と業務執行機能の明確化
- ・企業内意思決定を効率化・適正化
- ・IHIグループ全体における業務の適正を確保

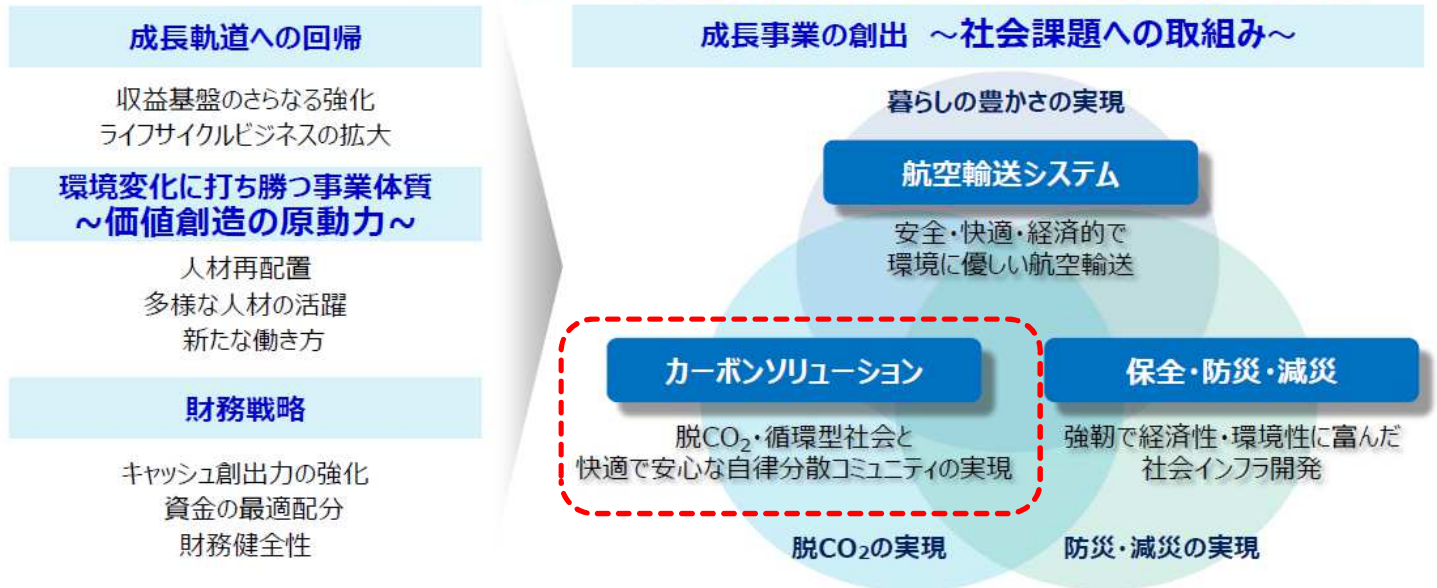
### 3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

#### 経営者等によるカーボンソリューション事業への関与の方針

##### ●「プロジェクトChange」の位置づけ



##### ●「プロジェクトChange」の力点 ～ESGを価値観の軸においた社会・環境に配慮した適切な経営～



- IHIグループを取り巻く環境変化のスピードに対応すべく、2020～2022年度までの期間を事業変革への準備・移行期間と位置づけ、「プロジェクトChange」の取り組みを実施している。
- 「プロジェクトChange」の中では、①成長軌道への回帰、②環境変化に打ち勝つ事業体質への変革、③財務戦略、④成長事業の創出、に力点を置き、ESGを価値観の軸に置いた適切な経営を目指し種々活動を行っているところ。
- 様々な社会課題への取り組みにより成長事業を創出すべく、特に脱CO<sub>2</sub>・循環型社会を目指した「カーボンソリューション」について、研究開発や事業化の取り組みを行っているところ。

### 3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

## 経営戦略の中核においてカーボンソリューション事業を位置づけ、広く情報発信

#### （１）取締役会等での議論

中期経営計画プロジェクトChangeにて【カーボンソリューション】を成長事業の一つと位置づけ、持続可能な社会の実現に資する成長事業の創出に向けた取り組みを議論。

#### -成長事業の定義

SDGs（持続可能な開発目標）の達成に向け、“自然と技術が調和する社会”を目指し、持続可能な社会の実現に向けた社会課題への取り組みをIHIグループが取り組むべき事業課題・成長事業と定義。

#### -成長事業への投資

成長事業の創出のため投資水準30%以上充当する計画

事業ポートフォリオの変革に向けた資金ニーズに応じ機動的な固定資産の譲渡など

#### -成長事業創出に向けた体制

既存事業の枠を超え、グループ全体最適を図り戦略に基づいた社内技術開発リソースの集約

世界のパートナーとの連携・共働による戦略の早期実現

#### （２）ステークホルダーに対する公表・説明

- ・ **情報開示の方法**

- 決算説明会**

- 説明資料において、『プロジェクトChange』の経過報告を実施。

- IHI統合報告書、ESG STORYBOOK, IHI Sustainability Data Book**

- 年度ごとに取り組み状況を発信。

- プレスリリース**

- 積極的に最新の取り組み状況を発信。GI基金事業として取り組みを開始したことについて、2022年4月19日付プレスリリースを配信。

- その他メタネーション事業関係のプレスリリースとして以下を配信。

- ・JFEスチール試験高炉向け世界最大級のメタネーション装置受注（2022年12月1日）
  - ・インドネシア国営石油ガス会社PT.Pertaminaとの事業性検討開始（2022年12月2日）
  - ・東邦ガス知多LNG共同基地向けメタネーション標準機初受注（2023年1月13日）

- ホームページ**

- カーボンニュートラル社会を実現させるIHIの技術・製品・取り組み情報を発信していく。

- CM**

- IHIが時代の声に応えて作り続けてきた技術の取り組みの歴史とともに、地球温暖化を止める技術としてアンモニア混焼技術についてを発信。

経営戦略の中核においてカーボンソリューション事業を位置づけ、広く情報発信

- 2021年5月13日 2020年度決算説明会 経営概況「プロジェクトChange」の進捗より 45

### 3. イノベーション推進体制／（４）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

## 機動的に経営資源を投入し、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

---

#### （１）経営資源の投入方針

---

-戦略技術に関連した研究開発工事は社長直轄の「戦略技術統括本部」管轄として進捗を管理し、社会実装に向け確実に研究開発を進める。

-収益基盤のさらなる強化とライフサイクルビジネスの拡大による成長軌道への回帰，持続可能な社会の実現に資する成長事業の創出を目的とする「プロジェクトChange」という取り組みを進めている。

-成長事業の創出の取り組み方針として，不透明な事業環境の中でも，リスクへの対応シナリオを複数用意し，状況変化に対し適切な施策を機動的に実行することで，より強固な収益基盤を構築できるよう対応を進める方針。

#### （２）専門部署の設置

---

- **専門部署の設置**

-IHIグループ全体の技術を横断的に俯瞰し，カーボンニュートラル等の社会課題の解決に向けて必要な技術戦略を検討する部隊として，社長直轄の「戦略技術統括本部」を2021年4月1日に新設。

- **若手人材の育成**

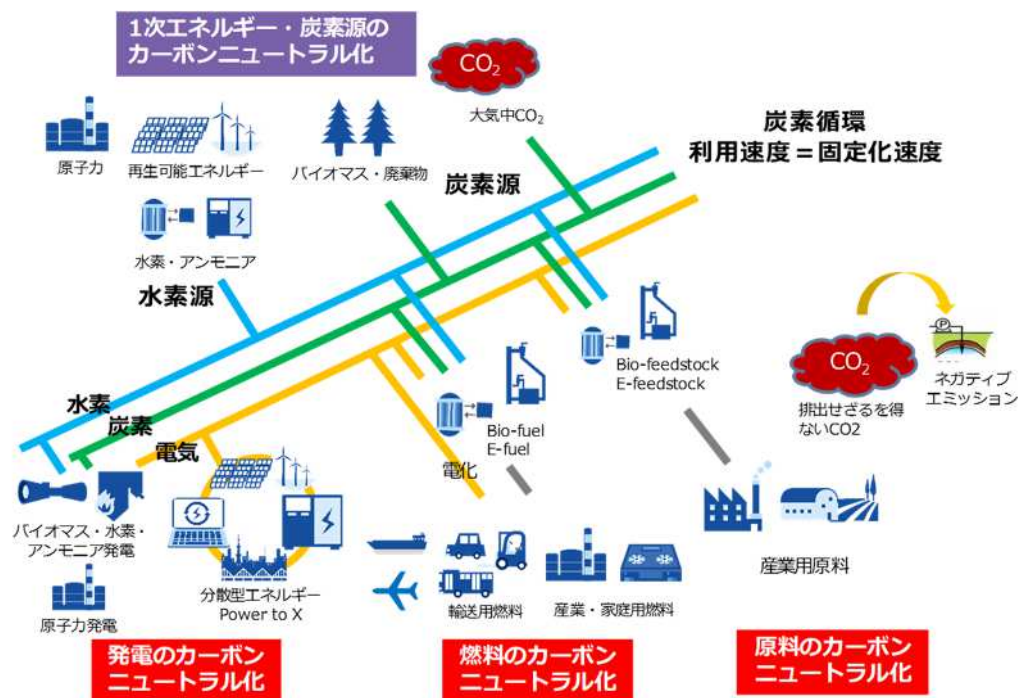
-若手人材の積極的活用

-大学での講義／社外講演会等への積極的発信

### 3. イノベーション推進体制／（４）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

機動的に経営資源を投入し、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

- IHIグループ全体の技術を横断的に俯瞰し、カーボンニュートラル等の社会課題の解決に向けて必要な技術戦略を検討する部隊として、社長直轄の「戦略技術統括本部」を2021年4月1日に新設。
- 当本部において将来の戦略技術を立案するとともに、戦略技術に関連した研究開発工事は当本部管轄として進捗を管理し、社会実装に向け確実に研究開発を進めているところ。



2021年5月13日 2020年度決算説明会 経営概況「プロジェクトChange」の進捗より

## 2050年カーボンニュートラルに向けたビジョン

## 4. その他

## 4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

リスクに対して十分な対策を講じるが、合成メタンの優位性が見出せないと判断される場合には事業中止も検討

| 研究開発（技術）におけるリスクと対応                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 社会実装（経済社会）におけるリスクと対応                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | その他（自然災害等）のリスクと対応                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>● <b>性能・コスト目標の未達</b><br/>→ ステージゲートで目標管理。他技術の動向を注視しつつ、大規模化への3ステップで技術のスケールアップ判断を実施。<br/>（想定：2024年度にラボ→ベンチスケール、2027年度にベンチ→小規模実証スケール）<ul style="list-style-type: none"><li>➢ ハイブリッドサバティエ →セル構造、スタック構成、運転温度/圧力の早期見直し</li><li>➢ PEMCO<sub>2</sub>還元 →反応の2段階化によるメタン収率向上（副生成物を後段プロセスでメタン化して総合効率向上）等の検討</li><li>➢ スケールアップ →各要素技術の特性から実装スケールの機器構成とコストを精査。要素技術開発に早期にフィードバックしボトルネック解消の取り組みを進める</li></ul></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>● <b>合成メタン価格低減困難、競合力低下</b><ul style="list-style-type: none"><li>➢ 他の脱炭素エネルギーキャリアの市場拡大（社会コストを含めても合成メタンの優位性確保が困難）→他のエネルギーキャリアを選択</li><li>➢ 既往サバティエ技術の技術進展による事業化の早期進展（本開発の意義が低下）→既往サバティエに原資集中</li><li>➢ サプライチェーン構築（コスト要件を満たすべき再エネ、原料、輸送等の条件不成立リスク）→ステークホルダーとの早期アライアンス構築</li><li>➢ CO<sub>2</sub>帰属など制度上の課題 →業界として働きかけ</li></ul><br/>→ 再エネ、CO<sub>2</sub>回収など周辺技術も含めたコスト低減の可能性探索。政策への働きかけ</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>● <b>製造基地の運用支障（自然災害等による）</b><br/>→ 適切なプロセスでリスクアセスメントを行った上で対応。地震、津波、台風、火災などへの対策を十分に確保（基礎工事、消防設備など）して実証設備を建設。運用時のトラブルに対応するための連絡体制、対応マニュアルの整備、訓練の実施。</li></ul> |
| <div>▼</div> <ul style="list-style-type: none"><li>● <b>事業中止の判断基準</b>：本件開発技術による合成メタンコストが、想定する運用形態において、既往サバティエ技術、または他のメタン合成技術を利用した同コストに対し低廉とならないことが判明した場合、もしくは社会コストも含めた他の脱炭素エネルギーキャリアに対する優位性が確保できないことが判明した場合。</li></ul>                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                   |