

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：東京ガス株式会社、代表者名：代表執行役社長 笹山 晋一

(コンソーシアム内実施者名：株式会社IHI、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
(2) コンソーシアム内における各主体の役割分担	3
1. 事業戦略・事業計画	
(1) 産業構造変化に対する認識	5
(2) 市場のセグメント・ターゲット	8
(3) 提供価値・ビジネスモデル	11
(4) 経営資源・ポジショニング	15
(5) 事業計画の全体像	16
(6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画	17
(7) 資金計画	18
(8) 社会実装に向けた共同委員会	19
2. 研究開発計画	
(1) 研究開発目標	21
(2) 研究開発内容	26
(3) 実施スケジュール	43
(4) 研究開発体制	45
(5) 技術的優位性	46
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	48
(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	49
(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	50
(4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保	51
4. その他	
(1) 想定されるリスク要因と対処方針	53

(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、PEMCO₂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 ₂ 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） 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】

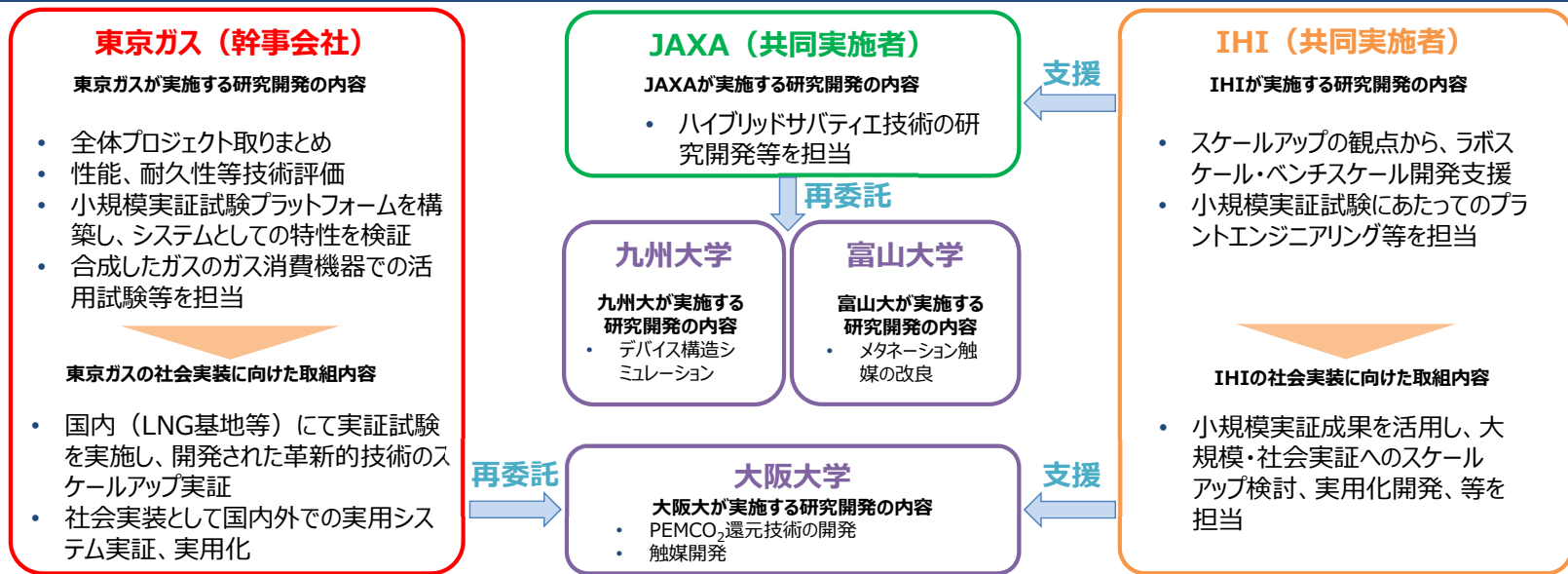
- 本プロジェクトにおいて10 Nm³/hクラスの小規模実証を実施、更なる大規模化への課題抽出・対策を行う。

※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。
- PEMCO₂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

(1) 産業構造変化に対する認識	5
(2) 市場のセグメント・ターゲット	8
(3) 提供価値・ビジネスモデル	11
(4) 経営資源・ポジショニング	15
(5) 事業計画の全体像	16
(6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画	17
(7) 資金計画	20
(8) 社会実装に向けた共同委員会.....	21

エネルギーの安定供給を絶やさず、現実感あるカーボンニュートラル社会への移行が求められている

5

2050年カーボンニュートラル宣言、2030年度温室効果ガス削減▲46%目標、エネルギー市場におけるボラティリティの高まり、SDGs・共生社会重視の潮流など、環境、制度・市場、社会をめぐる環境が激変し、当社創業以来の大変革期を迎えている

東京ガスの経営ビジョン Compass 2030 3つの約束

価値共創のエコシステム構築

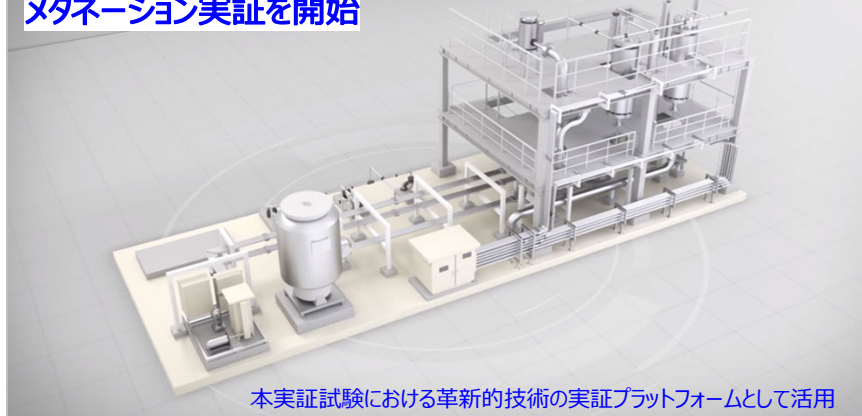
CO₂ネット・ゼロへの移行をリード

LNGバリューチェーンの変革

ガス体と再エネの両輪で責任あるトランジションをリード



東京ガス敷地内（神奈川県横浜市鶴見区）にて、メタネーション実証を開始



脱炭素化に向けた活動の進展によりカーボンニュートラルなガスの需要が増大すると予想

6

- 東京ガスグループは、2050年カーボンニュートラルに向けた市場環境の変化を大きな飛躍ととらえ、脱炭素社会への移行をリードしていく。

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

(社会面)

- 社会全体でカーボンニュートラルを実現するために、非電力部門においては、脱炭素化された電力による電化、水素化、メタネーション、合成燃料等の導入が進展する。

(経済面)

- ESG投資による金融機関の変化や、TCFD等による企業の非財務情報開示により、企業のカーボンニュートラルに向けた活動が加速する。

(政策面)

- 家庭用・産業用エネルギー使用の約6割を占める熱需要(次頁参照)の脱炭素化を実現するため、ガスの脱炭素化が求められる。
- エネルギー事業者間の競争激化。

(技術面)

- Power to Gas等の技術に牽引され再エネ水素製造技術が向上し、再エネ水素価格が低下、CO₂分離回収技術も向上。
- 再エネ水素低コスト化・CO₂回収技術向上によりメタネーションが普及。

● 市場機会：

カーボンニュートラルなe-methaneを導入し、既存の都市ガスインフラを活用することにより、**社会コストを最小限に抑えて脱炭素化に貢献**可能。

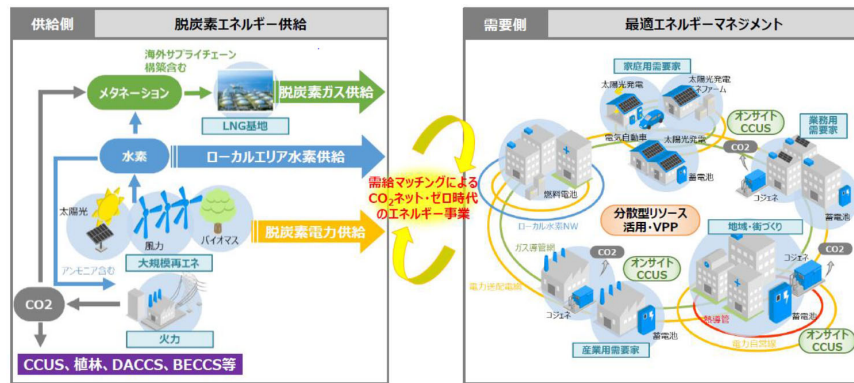
● 社会・顧客・国民等に与えるインパクト：

顧客側**消費機器は最低限の調整・改修等で導入可能**であり、顧客側の負担なしまたは最小限で脱炭素化が可能。

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

当社が目指すCO₂ネットゼロの絵姿

エネルギーの供給側と需要側をセットでマネジメントできる当社の強みを活かし、メタネーションを始めとした脱炭素ガス体エネルギーや、再エネを中心とした脱炭素電力の普及を目指す。



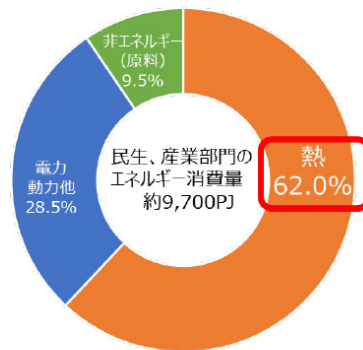
- 当該変化に対する経営ビジョンの実現プラン：Compass Action 低・脱炭素化実現のため、トランジション期間では徹底したCO₂削減貢献に取り組む。また、ガス・電力の脱炭素化に向け、**水素・メタネーションに関するコア技術を自社確立し、既存インフラを活用しながら実装拡大**を行うことで、追加的な社会的コストを抑制し、エネルギー安定供給の責任を全うしながら、カーボンニュートラル社会への着実な移行をリードしていく。

【参考】熱需要の脱炭素化の重要性

- 熱需要分野は『「CO₂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』で右図のように記載されている。
- 「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3年6月)の「成長が期待される14の分野」に「③次世代熱エネルギー産業」として挙げられている。

- 日本の民生・産業部門における消費エネルギーの**約6割は熱需要**。特に産業分野においては、**電化による対応が難しい高温域**も存在。
- 2050年カーボンニュートラル実現に向けては、**熱需要の脱炭素化を実現することが重要**。需要サイドに熱エネルギーを供給する**ガスの脱炭素化が大きな役割を果たす**。

民生、産業部門の
用途別エネルギー消費量

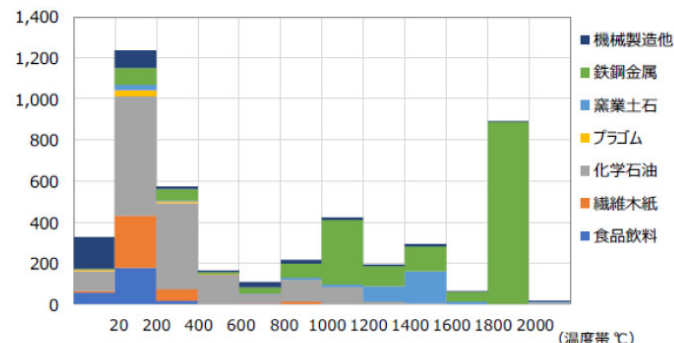


(出典) 2020年エネルギー白書を基に日本ガス協会作成

出典：資源エネルギー庁「CO₂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

- 産業部門の熱需要は低温帯から高温帯まで多岐にわたる。
- 例えば、鉄鋼業のような高温帯が必要な業種における熱需要は、電気で経済的・熱量的にも供給することが難しい。化学分野は幅広い温度帯を活用しているが、石油化学のように高温帯を扱う分野では既存の大型設備で適用できる電化設備は存在しない。

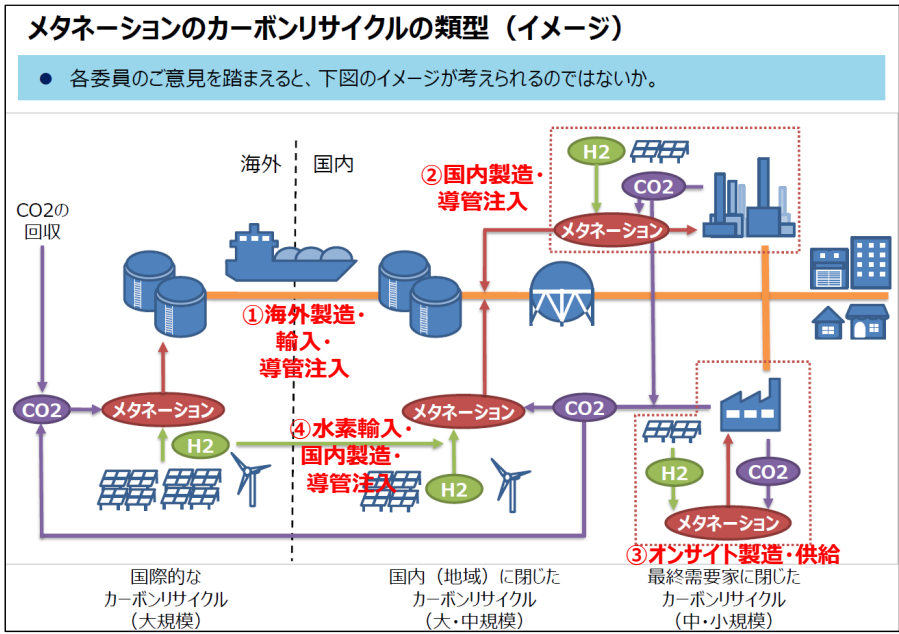
(熱需要 PJ) 産業部門の業種別・温度帯別の熱需要 イメージ



(出典) 平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査
(出典) 令和3年1月27日第36回基本政策分科会資料

【参考】メタネーションのカーボンリサイクルの類型

- メタネーションによるカーボンリサイクルについては、実施場所およびe-methaneの供給方法等により大きくは4つの類型に分類される。
- 類型により、求められるe-methaneの性状が異なる。



出典：資源エネルギー庁、第2回メタネーション推進官民協議会資料に追記。

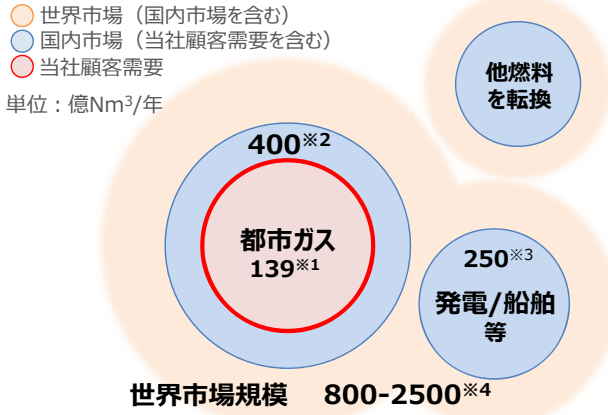
類型	概要	求められるe-methaneの性状例
①	海外でメタネーションを行い、既存のLNGインフラを利用して輸入、国内の都市ガスインフラに注入	(液化に向けた性状) ・液化過程で多くの不純物は除去される (導管注入条件) ・付臭等 ・注入圧力まで昇圧
②	国内でメタネーションを行い、既存の都市ガスインフラに注入	(導管注入条件) ・高純度に精製 ・付臭等 ・注入圧力まで昇圧
③	需要家オンサイトで排出されるCO ₂ を用いてメタネーションを行い、オンサイトで利用	(消費先条件) ・消費時に影響ない純度 ・副生成物も利用可能 ・低圧でも利用可能
④	海外で水素製造、水素を輸入して国内でメタネーション	・導管注入条件と消費先条件の両方のケースがあり得る

e-methaneにより、都市ガス事業、熱需要分野の経済合理的なカーボンニュートラル化

セグメント分析

- **e-methaneの主な利用先として、都市ガス導管への注入を想定し、当社保有の都市ガスインフラを活用したカーボンニュートラルな都市ガスの供給を実現する。**
- また、**オンサイト**でのe-methane供給を想定し、都市ガス/他燃料事業の高温熱利用需要の一部、さらには、**発電/船舶用燃料**や**海外でのe-methane販売（～10兆円規模）**の展開も見込む。

（脱炭素都市ガス/LNG/他燃料市場のセグメンテーション）



ターゲットの概要

市場概要と目標とするシェア・時期

- **2030年**時点では既存技術（サバティエ）を主活用し、**当社都市ガス販売量の1%相当（8千万Nm³/年）**をe-methaneにて供給する（既存インフラの活用で経済合理性を担保）。
- **2035年から**さらなる経済合理性の確保が期待できる**革新的技術**（ハイブリッドサバティエ技術、PEMCO₂還元技術）を市場導入する。
- **2050年**には、革新的技術を主として、都市ガスへの導入量を増加させるとともに、技術の確立に併せて、**発電や船舶用燃料**、また**海外でのガス販売**など、**既存都市ガス事業外へのe-methane供給ビジネス**のシェアも並行して拡大していく。

【都市ガス導管への注入】

需要家	主なプレーヤー	全国内需要量 (2019年度)	課題	想定ニーズ
都市ガス 需要家	ガス事業者	400 億 Nm ³ /年	<ul style="list-style-type: none">・ 天然ガスとのコスト差・ 制度上のCN価値帰属	<ul style="list-style-type: none">・ 都市ガス利用のCN化・ エリア規模の排出削減

【オンサイト供給】

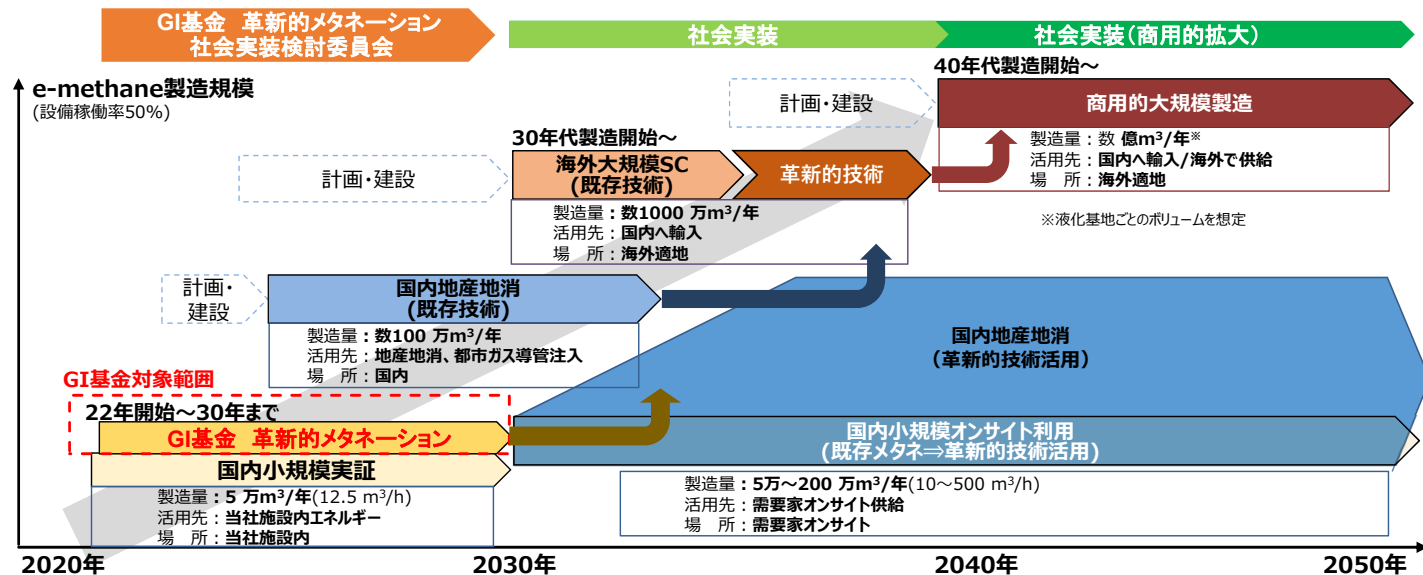
需要家	主なプレーヤー	課題	想定ニーズ
高温熱 利用需要家	ガス事業者 他燃料事業者	<ul style="list-style-type: none">・ 既存燃料とのコスト差・ 設置場所	<ul style="list-style-type: none">・ カーボンサイクルによる 脱炭素化

※1：2019年度東京ガス決算説明会資料より抜粋。 ※2：グリーンイノベーション基金事業「CO₂等を用いた燃料製造技術開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画における国内都市ガス販売量想定（2050年）
※3：IEA WEO2021の公表政策シナリオにおける日本のLNG火力の発電電力量（2050年）から燃料消費量を算定 ※4：高位 IEA WEO2021の公表政策シナリオにおけるASEANの発電用除く天然ガス需要量（2050年）；
低位 bpf「Statistical Review of World Energy 2020」における東南アジア（タイ、シンガポール、マレーシア）のLNG輸入量（2019年）

【参考】メタネーション社会実装へのロードマップのイメージ

10

- 2021年度から当社施設内にて既存技術による小規模な実証試験を実施中。得られた知見・ノウハウを基に、**スケールアップ**を図りながら**国内地産地消モデル構築**を目指します。並行してGI基金による**革新的技術開発**を加えて行きます。
- 既存技術により2030年には**海外から都市ガスの1%相当のe-methaneを製造・国内輸入**。2040年には革新的技術を本格活用し**海外-methaneへの商用的拡大**を目指します。
- ニーズのある国内需要家に対しては、革新的技術を活用して早期の**オンサイト供給**を提供します。
- 将来的に都市ガス以外の**発電/船舶用の燃料**、**海外でのガス供給**等へも市場を拡大します。



メタネーション技術を用い、既存インフラを活用して都市ガス事業をカーボンニュートラル化

- 既に整備されている都市ガスインフラを活用してカーボンニュートラルなe-methaneを供給することにより、都市ガス需要家の脱炭素化に貢献。
- 再エネコストが安価な海外でe-methane製造、既存の液化プラント・LNG船等を活用して輸入し、国内でLNGと同様に処理して供給。
- e-methane由来の都市ガスが、脱炭素手法として需要側で正当に評価されるための国際ルール・国内法整備が必要。

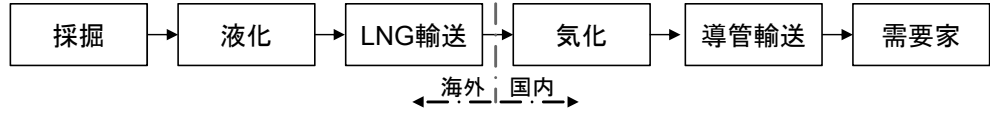
社会・顧客に対する提供価値

- e-methane由来の都市ガス供給
- 既存消費機器を交換せず、小規模な調整等で脱炭素可能。
 - 既に整備されているインフラを活用できることから、社会コスト最小で脱炭素社会に移行可能。

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

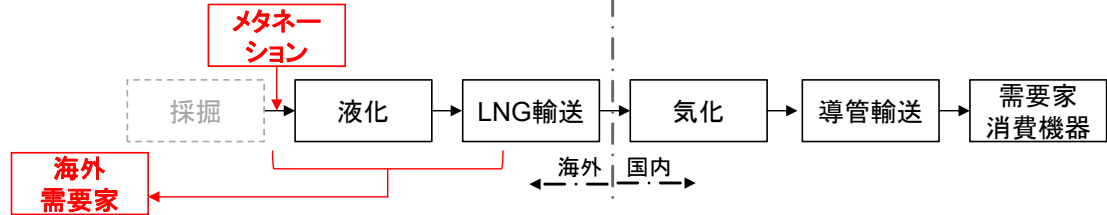
既存ビジネスモデル

- 採掘された天然ガスを液化して輸入、国内で気化・熱量調整して主として導管により需要家に供給。
- 天然ガス主成分のメタンは化石燃料の中で最もCO₂排出量が少なく、有害な廃棄物も少ない。



脱炭素化ビジネスモデル①e-methaneの海外製造・輸入・導管注入

- 地中から採掘された天然ガスを、メタネーション技術により製造されたメタンに置き換えることにより、既存インフラを最大限活用した脱炭素化ビジネスモデルとする。
- 既存インフラ活用に加え、需要家側消費機器もそのまま活用、もしくは調整・一部改修等の最小限の脱炭素移行コストで実現可能。
- 製造したe-methaneを、製造地近郊の海外市場へ展開することも可能。



メタネーション技術を用い、既存インフラを活用して都市ガス事業をカーボンニュートラル化

12

- 国内でe-methaneを製造し、既に整備されている都市ガスインフラを活用してカーボンニュートラルなe-methaneを供給することにより、都市ガス需要家の脱炭素化に貢献。
- e-methane由来の都市ガスが、脱炭素手法として需要側で正当に評価されるための法整備が必要。

社会・顧客に対する提供価値

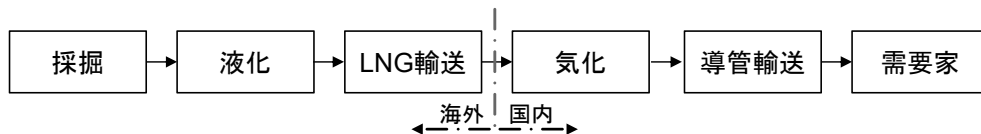
e-methane由来の都市ガス供給

- 既存消費機器を交換せず、小規模な調整等で脱炭素可能。
- 既に整備されているインフラを活用できることから、社会コスト最小で脱炭素社会に移行可能。

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

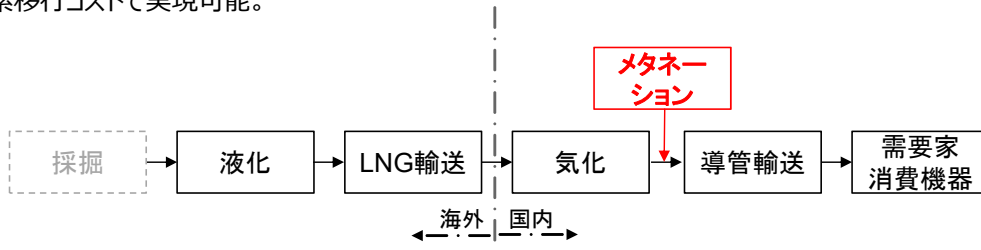
既存ビジネスモデル

- 採掘された天然ガスを液化して輸入、国内で気化・熱量調整して主として導管により需要家に供給。
- 天然ガス主成分のメタンは化石燃料の中で最もCO₂排出量が少なく、有害な廃棄物も少ない。



脱炭素化ビジネスモデル②e-methaneの国内製造・導管注入

- 国内で製造したe-methaneを都市ガス輸送導管に注入し、脱炭素化する。
- 導管網等の既存インフラ活用に加え、需要家側消費機器もそのまま活用、もしくは調整・一部改修等の最小限の脱炭素移行コストで実現可能。



メタネーション技術を用いたオンサイトCCUによりカーボンニュートラル化

13

- 需要先で排出しているCO₂を回収、メタネーションによりe-methaneを製造してオンサイト活用。排出されたCO₂を回収再利用することにより、**需要家オンサイトでのカーボンリサイクル**を提供。
- 需要先の利用形態によっては、求められるe-methaneの性状要件が緩和される場合があり、より低コストなカーボンリサイクル実現が可能。

社会・顧客に対する提供価値

オンサイトカーボンリサイクル

- オンサイトで排出されるCO₂を用いてe-methaneを製造、再利用することにより需要家でのカーボンリサイクルを実現。

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

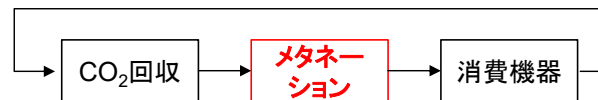
既存ビジネスモデル

- カーボンニュートラルLNG導入。
- 各種CO₂クレジット等による相殺。

脱炭素化ビジネスモデル③**オンサイト供給**

- 需要家オンサイトで排出されるCO₂を回収、再エネ電力を用いてメタネーションを行い、オンサイト活用することにより需要家オンサイトでのCCUを実現。
- オンサイトエネルギーサービスのメニューとしてe-methane供給を位置づけ、需要家のカーボンリサイクルを実現。
- 需要先での設置面積を考慮すると、水電解とメタネーションを一つの装置で行う革新的技術（PEMCO₂還元等）が有利。
- e-methane製造時の副生成物も需要先で活用できる可能性がある。

CO₂循環



[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ズド戦略が基本路線**（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

- ・ 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。
- ・ 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。

海外での e-methane供給事業

- ・ 革新的メタネーション技術を活用した低廉なe-methane製造技術を強みに、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。
- ・ 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。

海外でのe-methane 関連装置販売事業

- ・ 革新的メタネーション技術だけでなく、水電解装置、CO₂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。

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、PEMCO₂還元
（エネルギー変換効率70～80%程度）

既存都市ガス事業の強みを活かして、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）

他社に対する比較優位性

ターゲットに対する提供価値

- ・ 既存のガス消費設備に対し、最小限の投資で脱炭素化へ移行。
- ・ 脱炭素価値を有するエネルギー供給。



自社の強み

- ・ LNGの液化、輸送、受入れのサプライチェーン。
- ・ レジリエンスに優れる既存都市ガス供給網。
- ・ 既にインフラを通して顧客と連結されている。
- ・ コージェネレーション技術等、顧客側機器の調整等に必要な技術力・ノウハウ所有。

自社の弱み及び対応

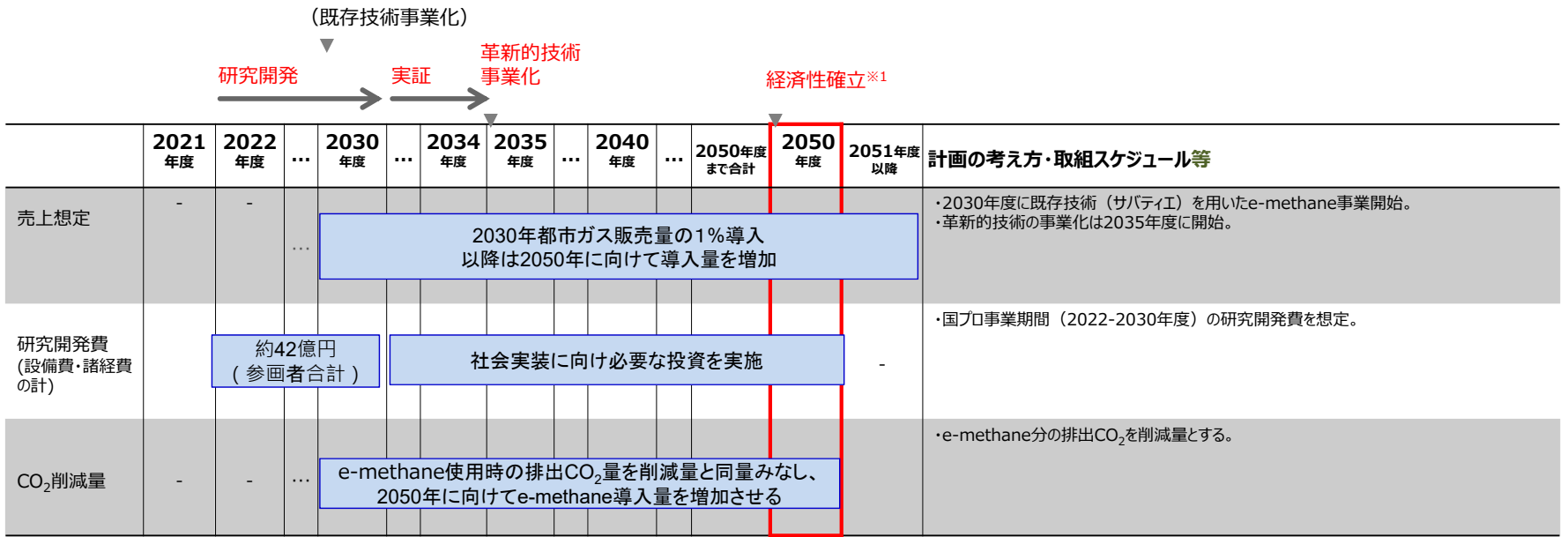
- ・ カーボンニュートラルなe-methaneは現時点ではLNGに比べて高コストなため、高効率な革新的メタネーション技術開発に取り組む。
- ・ 同時に原料である低コストグリーン水素製造技術開発に取り組む。

	技術	顧客基盤	サプライチェーン	その他経営資源
自社	(現在)LNG都市ガス ↓ (将来) e-methane 都市ガス	ガス需要家 ↓ ガス需要家	国内外整備済 ↓ ・ 海外製造 ・ 国内製造	CGSはじめ消費機器関連技術力 ↓ メタネーション関連技術
	優位性： サプライチェーンの大部分のインフラは既存システムから転用可能であり、 インフラ・消費機器更新の社会コストを最小限 にできる。			
競合	・ カーボンニュートラル他燃料(水素・アンモニア・MCH等)	・ 燃料需要家	・ 供給インフラを新たに整備する必要 ・ 顧客先消費機器改造・更新が必要	・ 液体燃料は既存インフラ活用できる可能性
競合	・ 再エネ電力	・ 全需要家対象 ・ 高温熱需要分野は対応困難	・ 生産量不足 ・ 海外調達困難	・ 系統増強の必要性

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像

9年間の研究開発の後、2035年度に事業化、2050年頃の経済性確立※1を想定

投資計画



※1 単年度の（LNG調達コスト＋環境価値）とメタン製造コストの差がプラスとなることと定義。

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"> 高効率メタン合成技術、プラント建設・運転最適化要素技術→e-methane製造コストの低廉化見通し&実証 技術の知財化、標準化 	<ul style="list-style-type: none"> 海外からの天然ガスサプライチェーンへの適用や国内オンサイト需要家先への実装 再エネ電源、メタン合成設備、CO₂分離回収装置の追加が必要 先行するサバティエ方式で、適地選定や運用に関する知見を蓄積、リプレースないし新規建設に活用 プラントレイアウト、建設方法など最適化 	<ul style="list-style-type: none"> e-methaneの脱炭素価値の定量化、政策等に基づいた価格設定 脱炭素エネルギーの商品価値を顧客に訴求
進捗状況	<ul style="list-style-type: none"> 標準化について基礎調査を実施し、標準化を進めるべき方向性を検討した 	<ul style="list-style-type: none"> 設備投資を効率的に進めるため、プラント建設適地調査のための論点整理を実施中 国内および海外サプライチェーン構築に向けたFSを実施中 	<ul style="list-style-type: none"> e-methaneのLCA評価法について検討中
国際競争上の優位性	<ul style="list-style-type: none"> 関連技術（燃料電池等）で国内技術が先行。優位性が活用できる 2.（5）に記載の技術的優位性 	<ul style="list-style-type: none"> 国内の都市ガスインフラ充実、国際LNGサプライチェーン確立 →大幅な追加コストが不要 	<ul style="list-style-type: none"> 既存インフラ/サプライチェーンの活用により低廉なe-methane由来都市ガスの供給が可能

国の支援に加えて、自己負担により更なるスケールアップ等に係る投資等を予定

資金調達方針

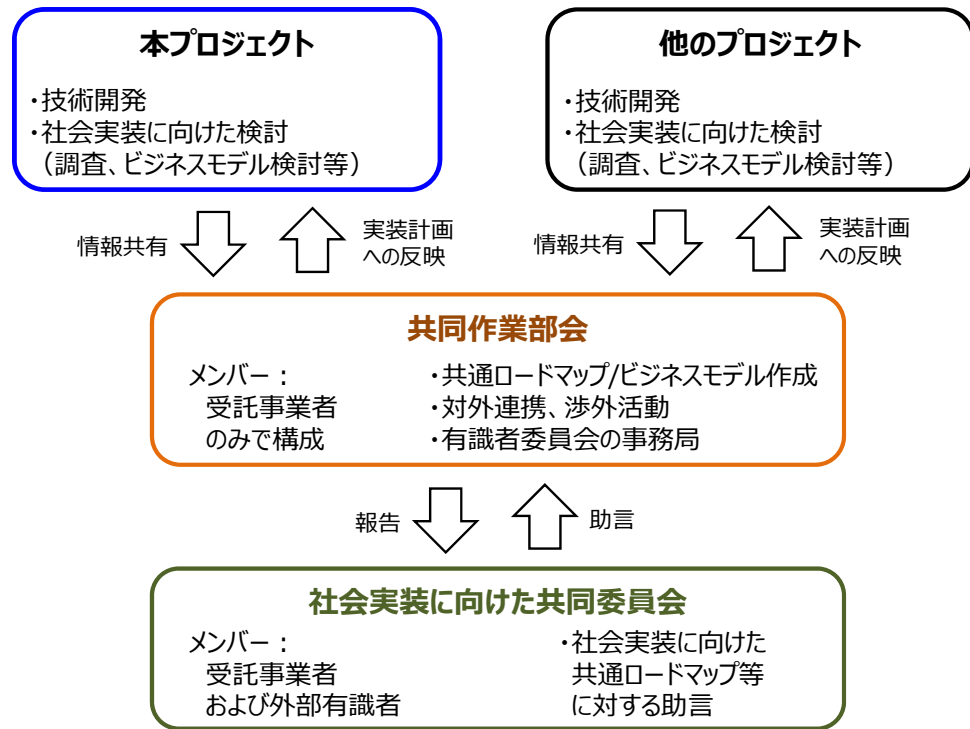
(単位：億円)	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年度	2029 年度	2030 年度	...	2035 年度	2035年度まで
事業全体の 資金需要	約42億円（参画者合計）												本事業期間にて低温プロセス による革新的メタン製造技術 の開発を完了させた後、引き 続き社会実装に向けた実用的 技術の確立に向け、自己負担 により更なるスケールアップ等 に係る継続的な研究開発投資 や、コストダウンに向けた設備 投資等を実施する予定
うち研究開発投資	約42億円（参画者合計）												
国費負担※ （委託又は補助）	約38億円（参画者合計）												
自己負担	約4億円（参画者合計）												

※インセンティブが全額支払われた場合

1. 事業戦略・事業計画／（8）社会実装に向けた共同委員会

社会実装に向けた共同委員会および共同作業部会の構成と実施内容

19



留意点ほか

- ・ 個別プロジェクトで有識者委員会が設置される場合、委員の重複に伴う負荷や情報管理の面で配慮が必要。
- ・ 情報や知財の管理を徹底し、双方共有すべき以外の情報開示が発生しないようにする必要がある。
- ・ 有識者委員会の外部有識者として、
 - ・ 大学および研究機関の研究者
 - ・ 民間（メーカー、需要家、サプライチェーン関連企業）
 - ・ オブザーバーとしてMETI, NEDO等を想定。

2.研究開発計画

(1) 研究開発目標	21
(2) 研究開発内容	26
(3) 実施スケジュール	43
(4) 研究開発体制	45
(5) 技術的優位性	46

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 ₂ を原料として、 サバティエ方式 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 水素製造効率 は 70%程度 。	➤ サバティエ方式では、 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 。 ➤ メタン合成反応は大きな発熱反応であり、 大型化の際の熱マネジメントが課題 。

革新的技術
開発の
必要性

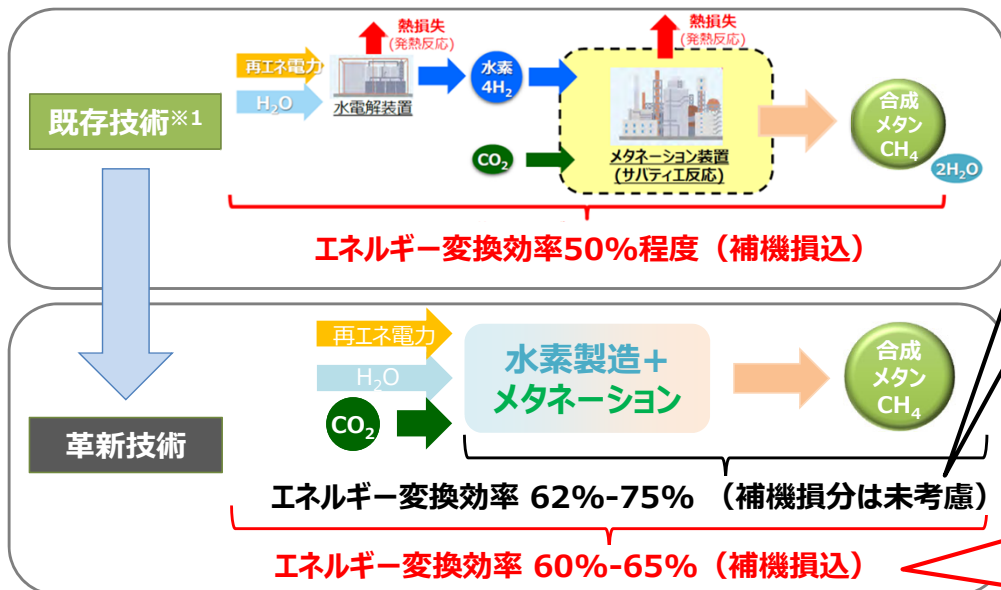
- e-methane製造プロセスの社会実装に向けて、**高エネルギー変換効率化、大型化、低コスト化を達成する必要がある**。
- 革新的技術開発は、**e-methane製造プロセスにおける総合的なエネルギー変換効率を高める**ことに加え、**低コスト化を可能とするもの**であり、併せて**大型化を図ることで社会実装への実現性を高める**。

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

22

- **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**PEMCO₂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【PEMCO₂還元技術】

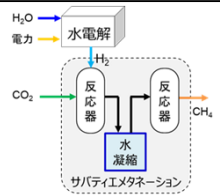
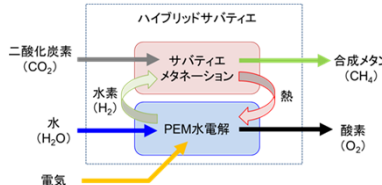
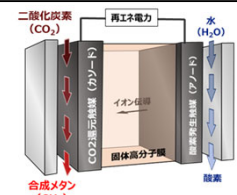
1デバイスでメタン合成を実現する技術。エネルギー変換効率62%（補器損分は未考慮）の確立。

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。

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※3	PEMCO ₂ 還元技術※4
イメージ			
メタン合成温度	中温（400℃）	低温（220℃）	低温（室温～80℃）
特徴	技術確立済 高濃度なe-methane	高効率（排熱の有効利用） 高濃度なe-methane	高効率（副生成物まで活用の場合） メタンに限らず、様々な副生成物を合成可能
	8 Nm ³ /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。 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、 低エネルギー条件下で高濃度なメタン合成が可能。 （当社が開発中の低コスト水電解セルスタック製造技術を活用することが可能。）	1デバイスで水とCO₂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。 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。 （当社が開発中の低コスト水電解セルスタック製造技術を応用することが可能）
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） 65%（補器損込）	62%（補器損分は未考慮） 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 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「CO₂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

※4 Yi Xu et al., Nat. Commun., 2021, 2932.

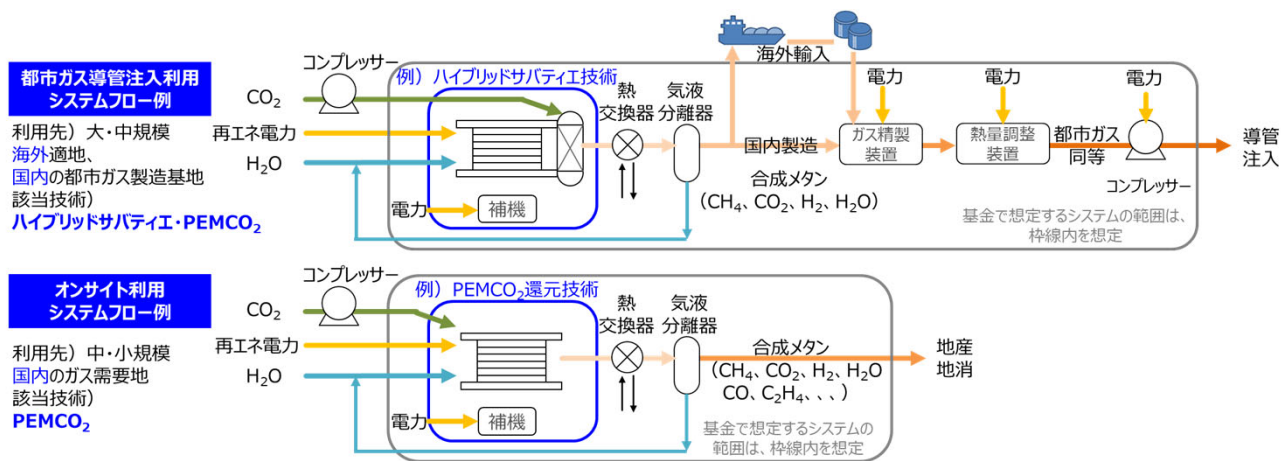
【参考】革新的技術の都市ガス導管への注入とオンサイト活用のシステムフロー

- 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PEMCO₂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。

PEMCO₂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。PEMCO₂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 ³ /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） 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が75%を達成する技術の確立が必要。	
2 PEMCO ₂ 還元技術	・エネルギー変換効率（補機損分は未考慮） 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で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 ³ /h ・エネルギー変換効率（補器損込） ハイブリッドサバティエ技術目標：65% PEMCO ₂ 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 ³ /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。	

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

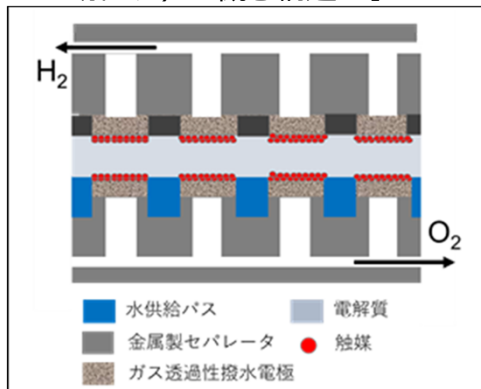
	KPI	事業開始時	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 ハイブリッドサバティエ技術	・エネルギー変換効率（補器損分は未考慮） 目標：75%	宇宙用途にて、ラボレベルでのCH ₄ 生成量800 mL/minクラスの原理実証（TRL4）	地上用途に合わせたデバイス設計、プロトタイプ実証（TRL5）	・ 構造設計および運転条件の最適化 - 構造設計：宇宙用途にて実績のあるデバイスシミュレーションを用い、地上用途プラントの実証に適したデバイス設計 - 運転条件：高エネルギー変換効率を達成できるデバイスの設計及び運転条件の最適化	ラボレベルのデバイス設計技術を活用した最適なプラント実証向けデバイス設計（80%）
2 PEMCO ₂ 還元技術	・エネルギー変換効率（補器損分は未考慮） 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 - メタン選択性向上：解析評価技術を活用した触媒設計 - 過電圧低減：解析評価技術を活用した触媒設計 - 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 スケールアップ開発	・製造量目標：10 Nm ³ /h ・エネルギー変換効率（補器損分は未考慮） ハイブリッドサバティエ技術 目標：65% PEMCO ₂ 還元技術 目標：60%	ラボスケールでのメタン合成実証レベル（TRL4）	10 Nm ³ /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 - 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 - 利用方法に合わせた性能評価 - セルスタックの大型化・複数並列配置 ・ 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%）

①ハイブリッドサバティエ技術：宇宙用途における実績

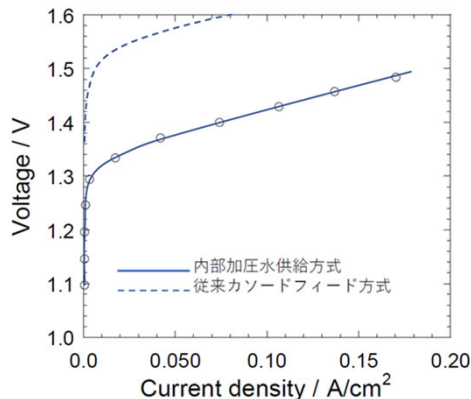
27

- 水を電極に隣接したスリット状の供給バ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。

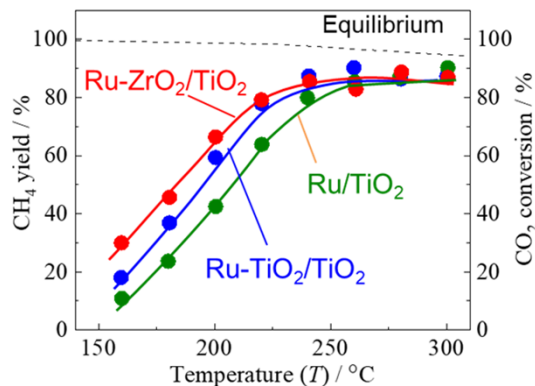
【加圧水型水電解セル（吸熱式水電解セル）の概念構造※3】



【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。

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：

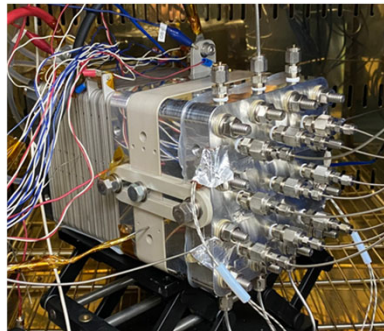
地上用途でのデバイス設計実績なし（宇宙用途にて、メタン製造量：数百mL/min規模までの実績のみ）。

● 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。

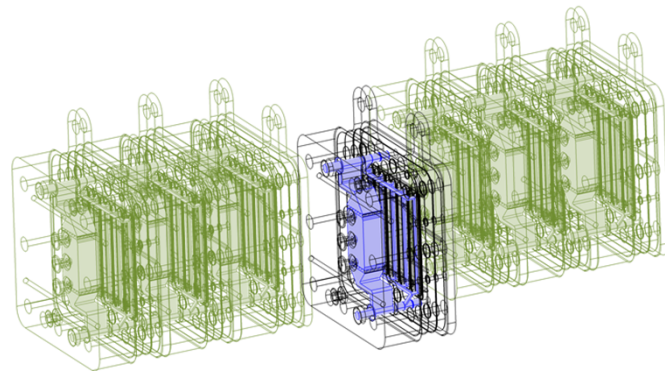
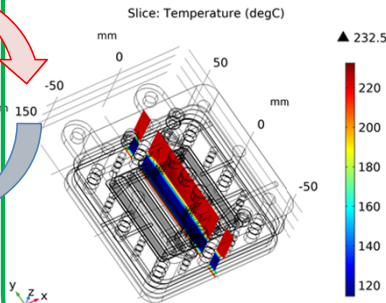
【デバイス試作・評価※1】



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

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

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

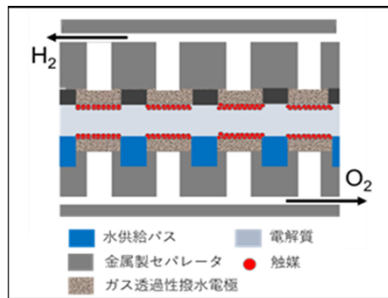
● 運転条件の課題：

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、e-methane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。

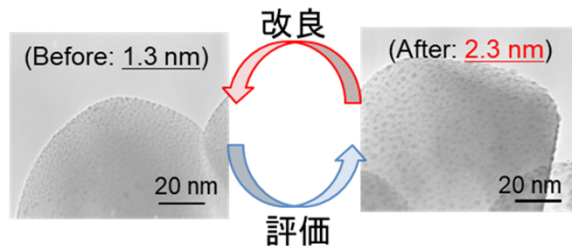
● 解決方法：

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

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。

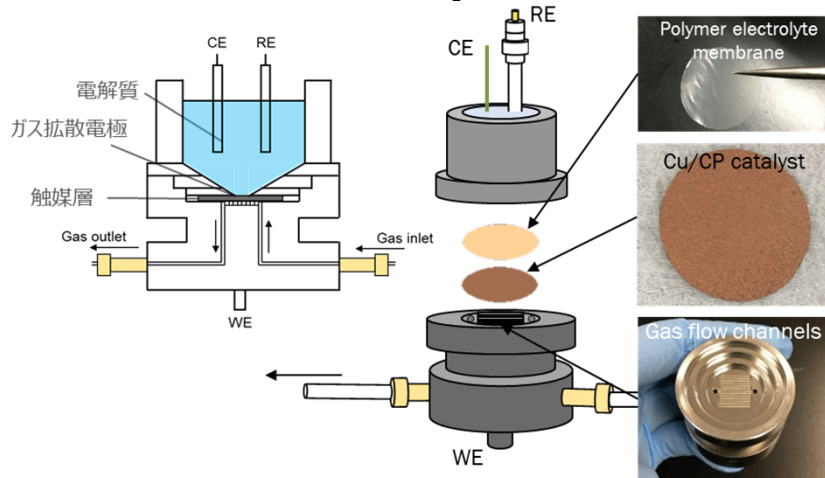
- 1.一体連結反応の運転制御
- 2.温度制御

PEMCO₂還元技術：評価技術の実績

- CO₂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。

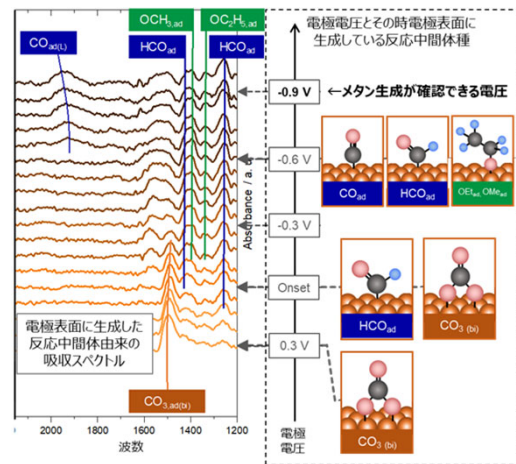
【触媒活性評価に用いるGDE電極セルの構造】

本構成により、気相系ハーフセルにてCO₂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

②PEMCO₂還元技術：メタン選択性の課題

● メタン選択性の課題：

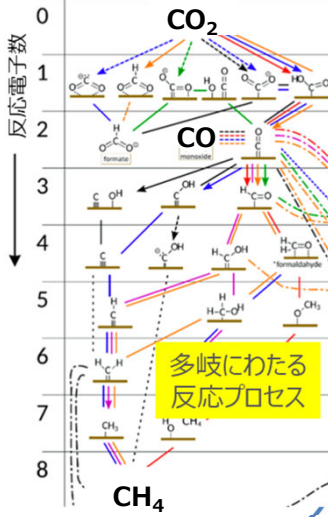
PEMCO₂還元では、多岐に渡るCO₂還元反応によって**多数の副生成物が発生し、メタンの選択性の低下及びエネルギー変換効率の低下**を招く。先行研究より、**CuはCO₂還元反応のメタン選択性が比較的高いこと**、および**メタン選択性では炭素-酸素-触媒金属間の結合力がカギ**であることは判明しているが、**反応の詳細メカニズムは未解明で、CO₂還元反応の反応制御技術は確立できていない**。

【メタン選択性の課題】

CO₂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**。

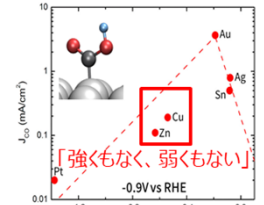
- 反応生成物の一例
- メタン生成の反応電位 : 0.16 V vs RHE
 - エタノール生成の反応電位 : 0.08 V vs RHE
 - エタン生成の反応電位 : 0.07 V vs RHE
 - メタノール生成の反応電位 : 0.02 V vs RHE
 - 水素の発生電位 : 0.00 V vs RHE
 - 一酸化炭素の発生電位 : -0.11 V vs RHE
 - ギ酸生成の反応電位 : -0.23 V vs RHE

【メタン生成反応経路※1】

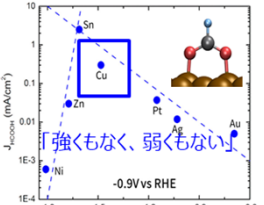


【先行研究】各触媒におけるCO₂還元反応の電流効率※2

材料	電圧 / V vs SHE	電流密度 / mA cm ⁻²	ファラデー効率 / %						
			CH ₄	C ₂ H ₄	EtOH	PrOH	CO	HCOO	H ₂
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

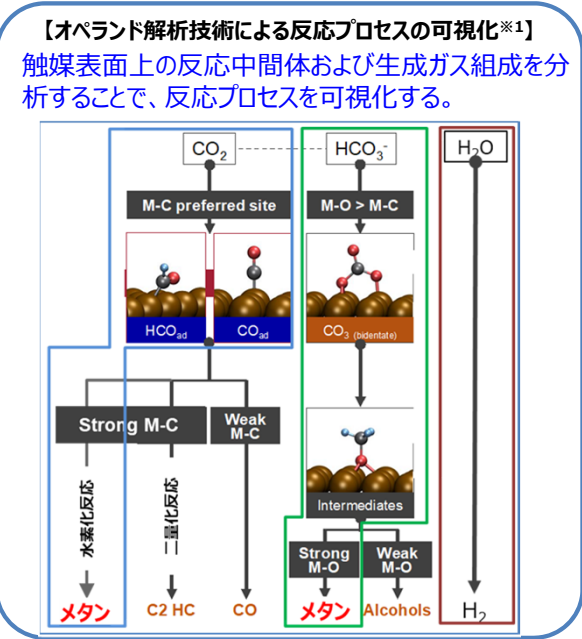
メタン生成には、炭素－金属間と酸素－金属間の2つの異なる結合が、どちらも「**強くもなく、弱くもない**」絶妙なバランスを満たす必要がある。

※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

②PEMCO₂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。



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)

②PEMCO₂還元技術：過電圧の課題

● 過電圧の課題：

PEMCO₂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

CO₂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

CO₂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

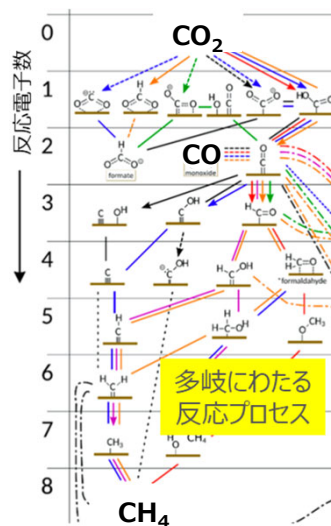
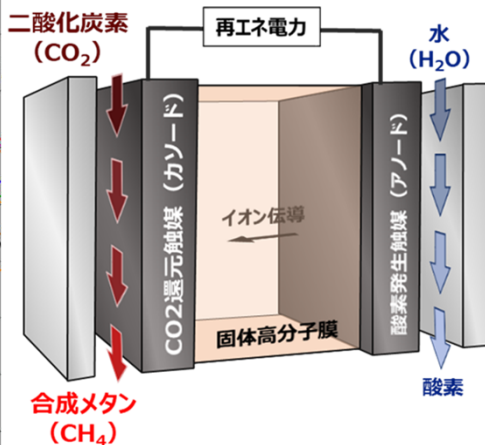
生成が優位となる電位：エタン＞エタノール＞**メタン**（メタノールは生成無）



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】

【PEMCO₂還元デバイス構造】

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

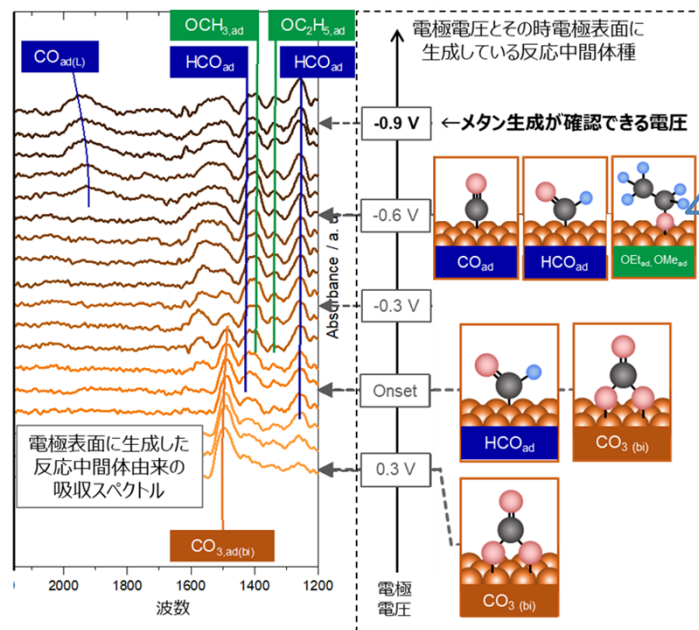
② PEMCO₂還元技術：過電圧の低減手法

● 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。

【オランダ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）

②PEMCO₂還元技術：運転条件の課題

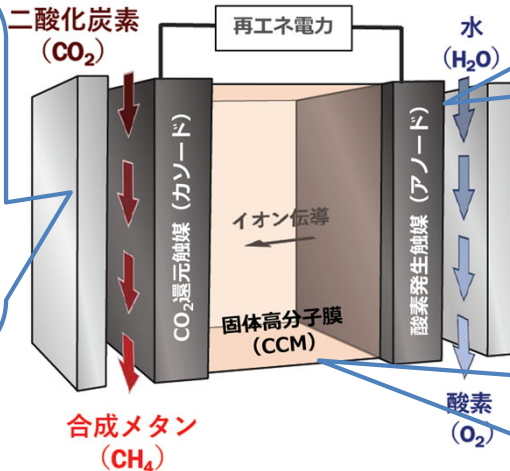
● 運転条件の課題：

PEMCO₂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、e-methane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

②PEMCO₂還元技術：運転条件の確立に向けた取組内容

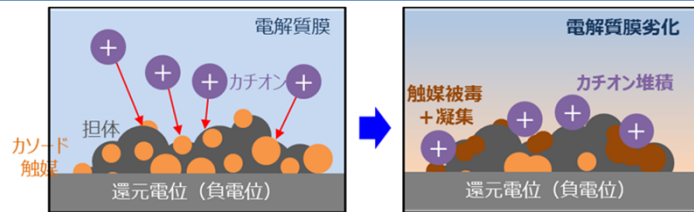
38

● 取組内容：

- ①PEMCO₂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

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

39

● 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 Nm³/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 Nm³/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 Nm³/h規模

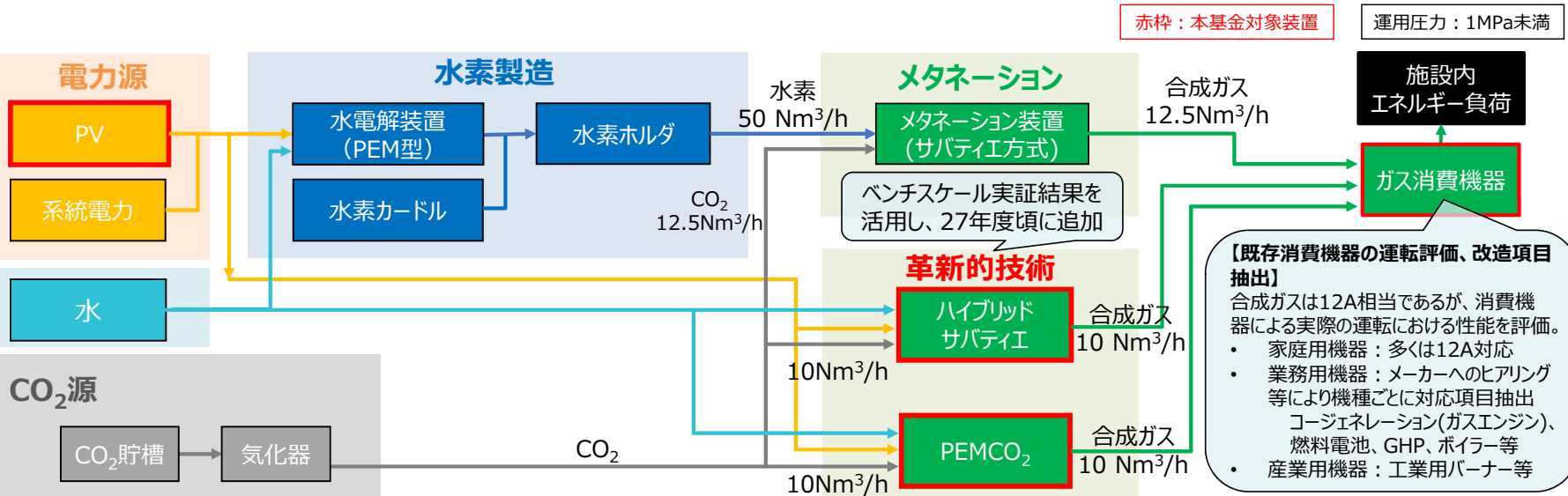
目的

- 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

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 ₂ 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



⑤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	これまでの開発進捗	進捗度
<div>1</div> <div>ハイブリッドサバ ティエ技術</div>	ステージゲート審査①ま でにエネルギー変換効率 75%（補器損分は未考 慮）を達成している	<ul style="list-style-type: none">ハイブリッドサバティエデバイスの設計に必要となる水電解セルとサバティエ反応槽の配置／熱授受に係るシミュレーションを実施し、得られた結果を元にデバイスを製作した。新規構造の水電解セルの試作・試験を行った結果、性能向上を確認した。従来触媒および劣化抑制を目的とした改良メタネーション触媒の触媒活性評価の結果、CO₂転化率90%以上を確認した。水電解スタックとサバティエリアクターを組み合わせたハイブリッドサバティエリアクターの性能試験を実施した結果、エネルギー変換効率75%以上を確認した。	○：目標効率 達成
<div>2</div> <div>PEMCO₂還元 技術</div>	ステージゲート審査①ま でにエネルギー変換効率 62%（補器損分は未 考慮）を達成している	<ul style="list-style-type: none">電圧効率向上に向けて、反応メカニズムの解析を行い、低電位ながらメタン生成可能な材料系および反応条件、実現に向けた課題を明らかにした。システム化に向けた最小単位となるフルセルを製作・評価し、ハーフセルと同等の触媒活性を確認した。Pt系触媒を用いたフルセル試験を行い、還元電位が+0.14 V vs.RHEと、低電位条件でのメタン生成を確認し、エネルギー変換効率42.6%を確認した。	△：目標効率 達成に向けた対 策を実施中
<div>3</div> <div>スケールアップ 開発</div>	ステージゲート審査①ま でにベンチスケール機（1 Nm ³ /h）の仕様を決定 している	<ul style="list-style-type: none">これまでのスケールアップ開発の課題整理などをもとに、商用プラント規模と同じ設備構成として、ベンチスケール機および実証機のシステム設計を開始した。	○：計画通り

⑤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

1

ハイブリッドサバ
ティE
技術

ステージゲート審査①
までにエネルギー変換
効率75%（補器損
分は未考慮）を達成
している



2

PEMCO₂還元
技術

ステージゲート審査①
までにエネルギー変換
効率62%（補器損
分は未考慮）を達成
している



3

スケールアップ開
発

ステージゲート審査①
までにベンチスケール
機（1 Nm³/h）の
仕様を決定している



残された技術課題

1. エネルギー変換効率と耐久性能を両立した
デバイスの大型化
2. デバイスの性能を最大化する運転条件の確
立
3. メタネーション触媒の大量合成方法の確立

1. ファラデー効率の向上
2. 過電圧の低減
3. 電解セルの大型化

1. エネルギー変換効率向上を目的とした要求
仕様の明確化

解決の見通し

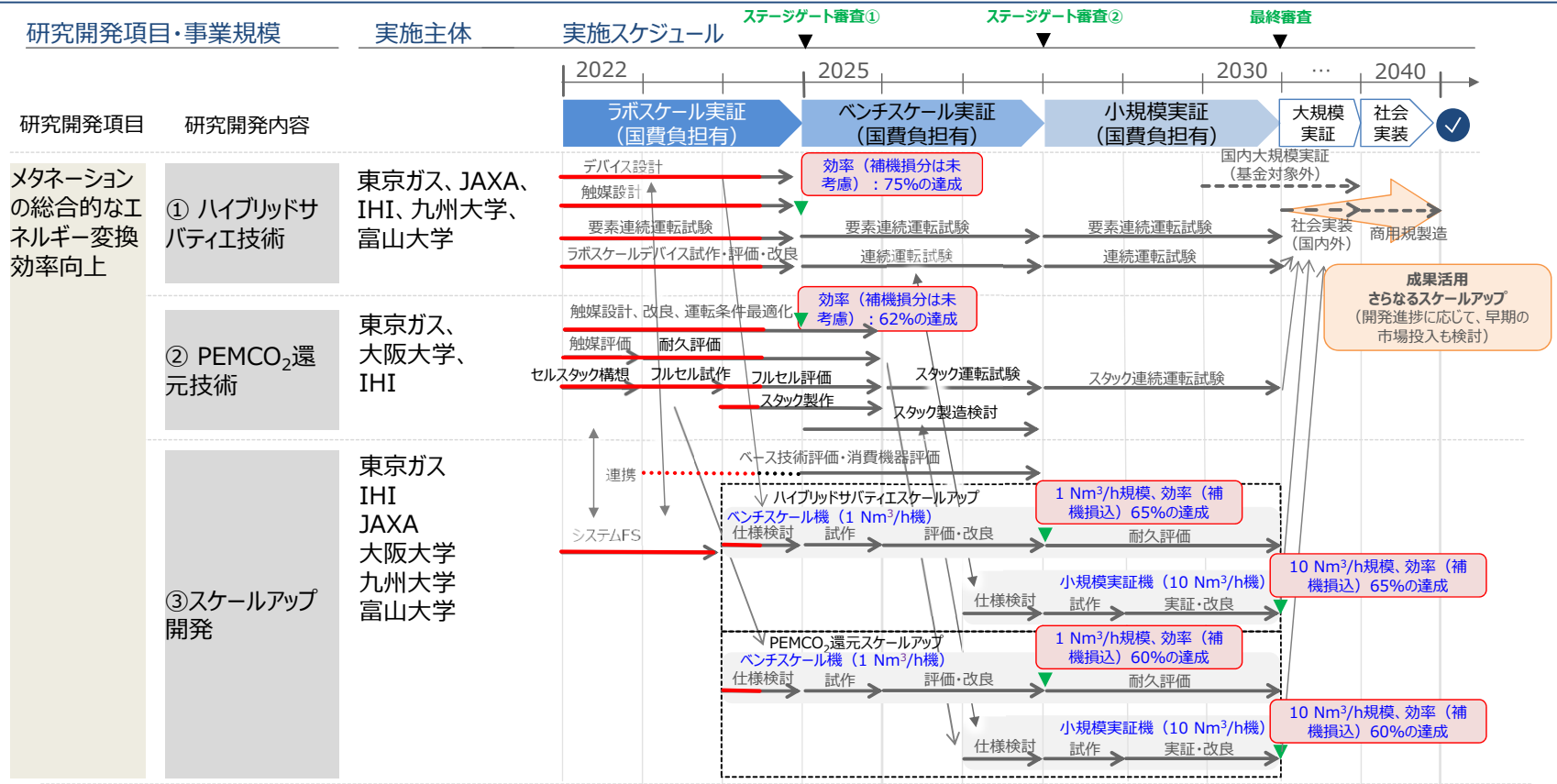
1. 実験とシミュレーションのイタレーション
によるデバイス改良
2. 各種運転試験による最適化
3. 大型合成装置の導入及び合成条
件の最適化

1. 活性サイトの吸着力最適化
2. 水素化能力の高い活性サイトの導
入
3. 触媒塗布条件、構成材料の最適
化

1. デバイス本体および周辺補器・計装
類も含めたシステムFSによる全体検
証

2. 研究開発計画／ (3) 実施スケジュール

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 ₂ 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 ・サバティエ装置の改良 ・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 ・過電圧の低減	・フルセル仕様の決定 ・運転条件案の設定 ・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 ・サバティエ装置の改良 ・ハイブリッド構造：構造確定	・触媒調整法の確立 ・温度制御手法の設定			
2024 ステージゲート 審査①	ハイブリッド構造の試作	・運転条件の確定 ・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 ³ /h機試作・評価完了		1 Nm ³ /h機試作・評価完了		ベンチスケール機改良案の決定
2027 ステージゲート 審査②	1 Nm ³ /h機改良 エネルギー変換効率（補器損込）：65%の達成		1 Nm ³ /h機改良 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 ベース技術評価の完了
2028～2029	10 Nm ³ /h機試作・評価完了		10 Nm ³ /h機試作・評価完了		小規模実証機改良案の決定
2030 最終審査	10 Nm ³ /h改良 エネルギー変換効率（補器損込）：65%の達成		10 Nm ³ /h機改良 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

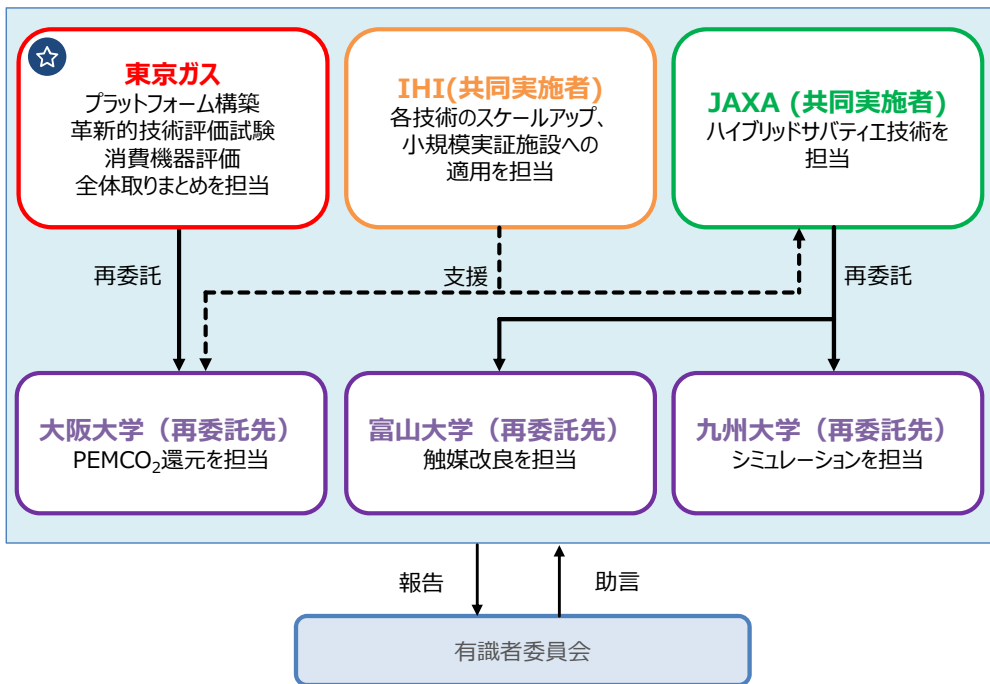
2. 研究開発計画／（４）研究開発体制

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

45

実施体制図

総事業費/国費負担額：39億円/36億円



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、PEMCO₂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

- 定期的な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

46

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 ₂ リサイクル（O ₂ 製造）ハイブリッドサバティエ技術：JAXA ② 低温作動触媒製造技術：富山大 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 ② 高濃度なe-methaneを精製可能 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 ₂ 還元技術	① オペランド解析技術：大阪大 ② 触媒合成技術：大阪大 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 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 ③ システムの簡素化、小型化可能性 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 ② プラントエンジニアリング技術：IHI ③ 小規模実証プラットフォーム：東京ガス	① IHI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 ② 実証済み小規模プラットフォームの活用 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

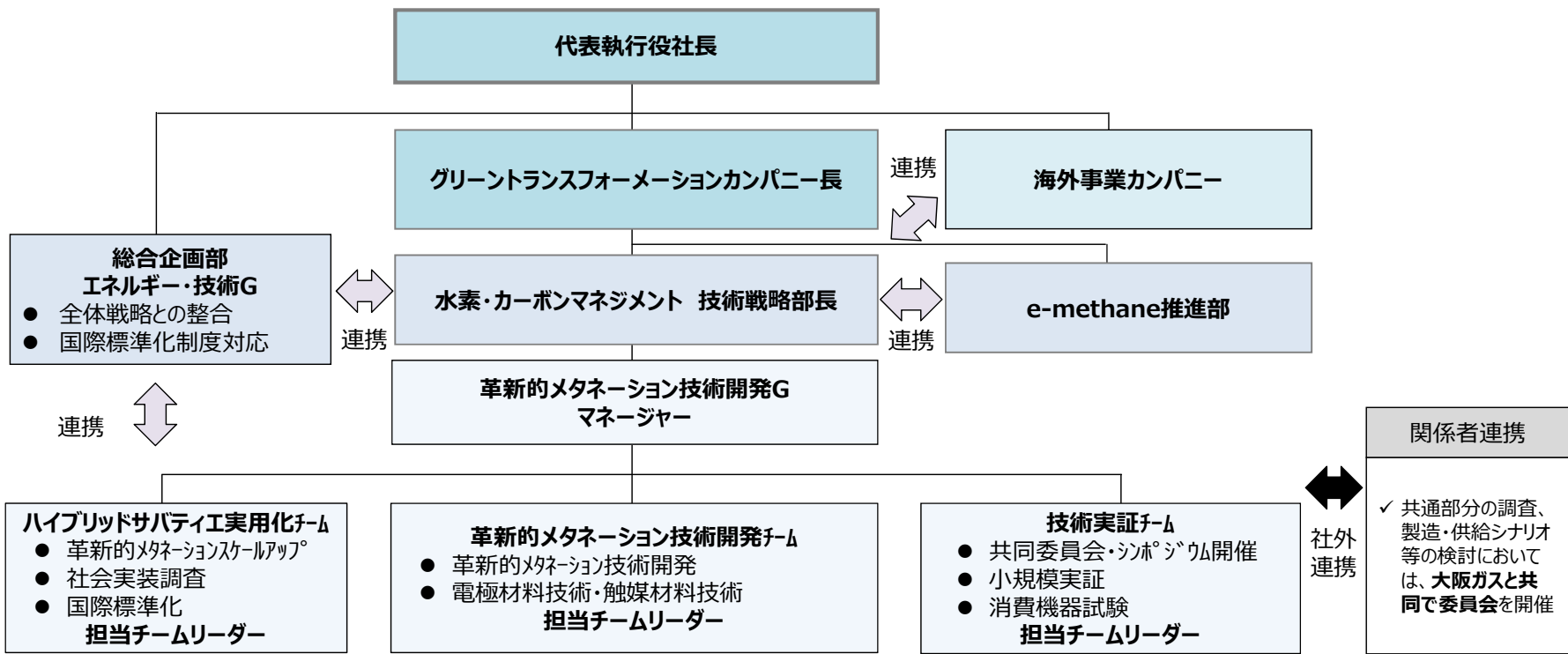
3.イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

（1）組織内の事業推進体制	48
（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	49
（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 ...	50
（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保	51

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



経営者等によるCO₂ネット・ゼロへの関与の方針

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

- 東京ガスグループ経営ビジョンCompass2030を2019年11月に策定、CO₂ネット・ゼロをリードすることを社内外に社長自ら公表。2021年11月には、Compass2030のアクションプランであるCompass Actionを発表し、メタネーションを都市ガス脱炭素化手段の柱として位置づけた。2023年2月には中期経営計画「Compass Transformation 23-25」を発表し、エネルギー安定供給を確保しながら、e-methane等の脱炭素分野を順次事業化していくことを発信した。
- メディア対象の説明会や施設見学会等において、担当役員自らCO₂ネット・ゼロに向けた取り組み内容を紹介している。
- 脱炭素に向けた施策については、社長や担当役員がリーダーシップを取り策定・公表・実行している。
- 社内の技術開発報告会において、特別に役員用説明会を開催し、グループ会社を含む経営層に革新的メタン合成技術の最新情報を共有した。

● 事業のモニタリング・管理

- Compass Actionでは、2030年の削減貢献量1,700万トンと上方修正し、地球規模での排出削減に貢献することを標榜。
- 中期経営計画で、KPIのひとつに削減貢献量を設定し（2022年度目標は650万トン）、目標年度ごとに進捗を確認、評価。
- 目標年度以外においても、経営会議、取締役会で定期的に水素・脱炭素化取り組みを報告し評価している。取組に関する定期的評価とモニタリングとして、経営層であるグリーンTRANSフォーメーションカンパニー長と水素・カーボンマネジメント技術戦略部長が定期的に連絡会を開催している。

経営者等の評価・報酬への反映

● 経営者の評価に反映されるKPIにCO₂削減貢献量目標を位置づけ

- 部門ごとのCO₂削減貢献量等を設定しており、部門長は達成度が評価される仕組みとしている。
- 2022年度にグループ体制に変更、カンパニー制導入により、これまで以上に目標達成進捗が業績に連動する仕組みとした。

事業の継続性確保の取組

● 長期目標としてのグループ経営ビジョン

- 中期経営計画の見直し毎にKPIが更新され、継続的なCO₂削減貢献に取り組む仕組みとなっている。
- 長期的な目標としてグループ経営ビジョンが設定されており、また、適宜更新される仕組みのため、役員の変更があっても目標や施策は引き継がれ適切に更新される。

経営戦略の中核において水素・カーボンマネジメント関連事業を位置づけ、広く情報発信

取締役会・経営会議等での議論

・カーボンニュートラルに向けた全社戦略

- 2021年11月に、グループ経営ビジョンCompass2030のアクションプランであるCompass Action を発表し、2030年CO₂削減貢献目標達成に向けて、全社横断的に進捗確認、経営方針との整合性チェック、アクションプランの見直しを定期的に実施している。
- GXリーグ基本構想への賛同企業として参画を表明した。

・事業戦略・事業計画の決議・変更

- 2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、事業戦略や事業計画に関しては経営会議で定期的に議論され、ブラッシュアップが行われてきた。また、施策の取りまとめや对外発表のタイミングにおいては取締役会にも付議され、承認されるガバナンス体制が存在する。
- 経営会議での議論は、各本部会を通じてグループマネージャーレベルまで情報共有される。
- 2022年度の経営会議において、メタネーションの社会実装に向けた取り組みが議論され、その中で技術開発についてはGI基金を活用した革新的メタネーション技術の長期技術開発を行っていく旨が示された。

・決議事項と研究開発計画の関係

- 研究開発計画の策定にあたっては、共有された経営会議等での議論を踏まえ、部長・グループマネージャーが方針を定めそれに沿った計画を策定していく。

ステークホルダーに対する公表・説明

・情報開示の方法

- 中期経営計画等のIR資料・統合報告書、サステナビリティレポート等において、事業戦略・事業計画を明示的に位置付けている。
- その他、中期経営計画の進捗報告や見直しについては社長会見を通じてプレス発表される。
- 2020年度よりTCFDを採用、環境データをはじめとした非財務情報はこれまでも積極的に開示してきており、今後も継続する。
- 本事業に採択された際に、研究開発計画の概要をプレスリリースした。
- 共同シンポジウムにより、当社の取り組みを広く对外公表する。
- 統合報告書の中期経営計画の進捗にGI基金事業実施先として選定されたことを記載し、技術開発部分でもNEDOの支援を受けて技術開発していることを紹介した。

・ステークホルダーへの説明

- プレス発表時には、規定に沿って適宜開示を行うほか、中期経営計画の進捗報告や見直しにおける社長会見後は事業の将来の見通し・リスクについて、投資家や金融機関等のステークホルダーに対して、社長自ら説明の場を設けているのが通例。
- 当社の広報活動の責務として、プレス発表内容については、対外的に透明性をもって对外発表をし、株主、お客様、従業員へ幅広く情報の周知徹底を行う。

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

経営資源の投入方針

● 実施体制の柔軟性の確保

- 事業推進に向けて、専門チームが組織されており、進捗状況に応じて部内・社内外から追加的なリソースを投入していく。部内のリソースは部長の権限で柔軟・迅速に実施することが可能。
- その他、目標達成に必要な場合は、積極的に外部リソースも活用していく。

● 人材・設備・資金の投入方針

<人材>

- 専門組織を設置しており、22年度に更に増員・強化された。
- グループ会社東京ガスエンジニアリングソリューションズ（エンジニアリング事業会社）および東京ガスケミカル（水素関係等設備会社）の専門性を活用した実施体制を構築済みであり、全社で本プロジェクトには柔軟に対応。

<設備>

- 小規模実証試験のための土地・ユーティリティ等は整備済みであり、従来技術（サバティエ）での実証試験を2022年3月に開始した。
- 本開発での革新的技術を上記実証試験施設に組み込むことが可能。

<資金>

- 国費負担を含めた研究開発に必要な予算を計上。

専門部署の設置

● 専門部署の設置

- 2023年度、再エネへの取り組み強化、e-methane の早期社会実装、技術開発サイドと事業サイドとの連携強化を目的として、新たに**グリーントランスフォーメーションカンパニーを設立**。カンパニー内に脱炭素化に向けた技術戦略を策定するための**専門部署「水素・カーボンマネジメント技術戦略部」を設置**。
- 上記部内に「革新的メタネーション技術開発グループ」を設置。GI基金事業の各種業務の推進と革新的メタネーションの技術開発を担当。
- 専門部署設置により、迅速な意思決定が可能となっている。
- グループ企業全体としての管理機能は総合企画部が担当、状況変化等に伴う専門部署配置の最適化等の役割も担う。

● 若手人材の育成

- 「水素・カーボンマネジメント技術戦略部」設立時には、若手に加えて中堅以上の社員を配属し、若手育成を効果的に進める年齢構成としている。
- 学会・研究会等での活動および学位取得等を積極的に支援。
- 適宜博士の資格を取得し専門性を高めている。

4.その他

(1) 想定されるリスク要因と対処方針	53
---------------------------	----

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、e-methane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

● 性能・コスト目標の未達

→ 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。

（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）

- 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。
- PEMCO₂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。
- 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。

社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

● e-methane価格低減困難、競合力低下

- 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e-methaneの優位性確保が困難）→他のエネルギーキャリアを選択。
 - 既存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）→既存サバティエに原資集中。
 - 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
 - CO₂帰属など制度上の課題 →業界として働きかけ。
- 再エネ、CO₂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。

その他（自然災害等）のリスクと対応

● 製造基地の運用支障（自然災害等による）

→ 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。



- 事業中止の判断基準：本件開発技術によるe-methaneコストが、想定する運用形態において、既存サバティエ技術、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。