

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025 プログラムNo.13

低温プロセスによる革新的メタン製造技術開発 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/合成メタン製造に係る革新的技術開発

発表：2025年7月17日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

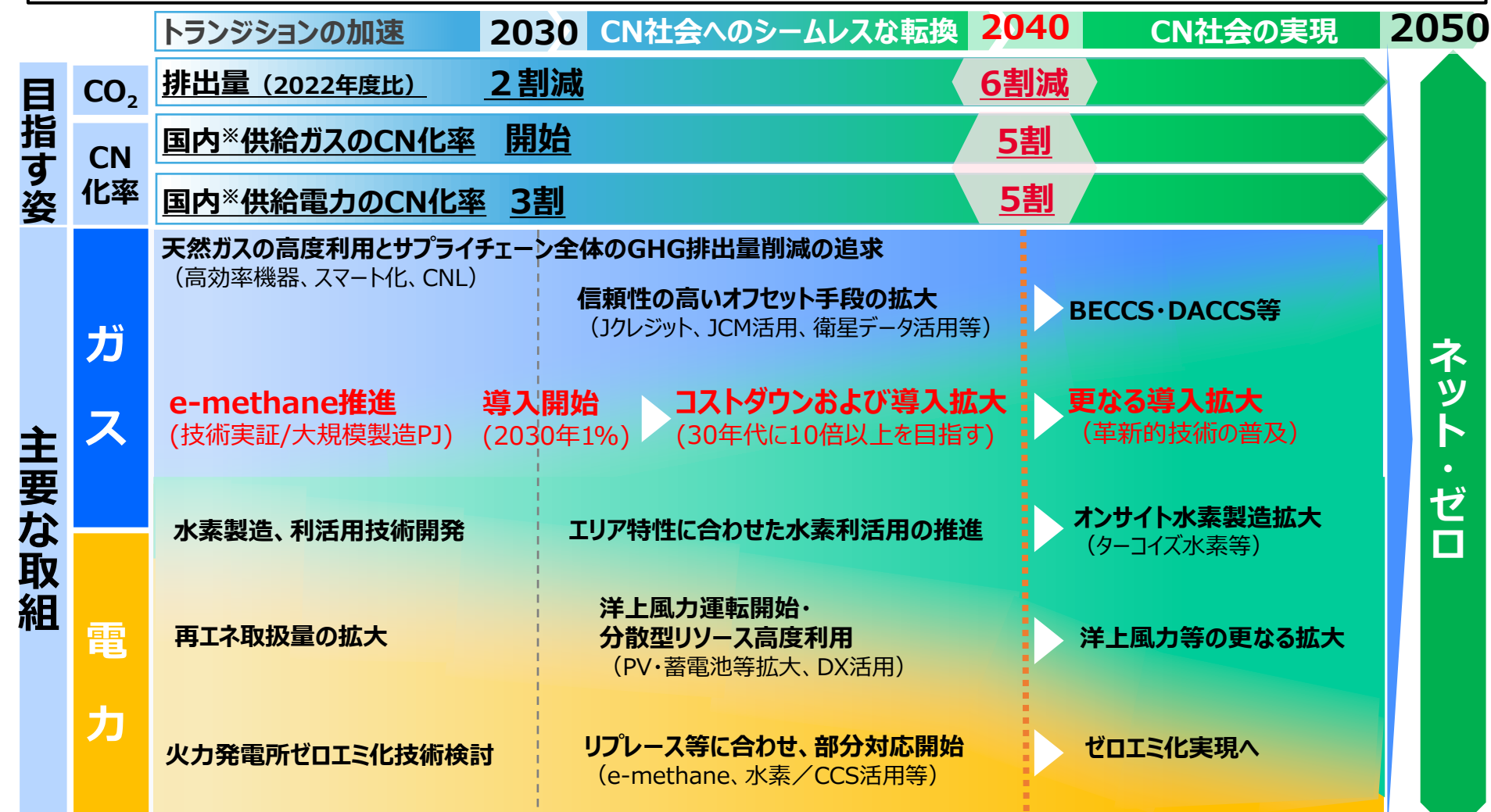
発表者名：伊東 健太郎

団体名：東京ガス（株）、（株）IHI、（国研）宇宙航空研究開発機構、（国）大阪大学、
（国）九州大学、（国）富山大学

問い合わせ先：東京ガス株式会社 <https://www.tokyo-gas.co.jp/>

2050年カーボンニュートラルに向けた東京ガスの取組み

- 足元の天然ガス高度利用と並行しながら、ガス・電力の脱炭素化技術の実装・拡大を進め、2050年カーボンニュートラルの実現を目指している。
- ガスのカーボンニュートラル化に貢献するe-methaneは、CI値の低い水素と回収したCO₂から製造された合成メタンの総称で、その合成方法はメタネーションと呼ばれる。



※ 今後改訂していく中で、国内外を含む全体のロードマップへ進化させていきます

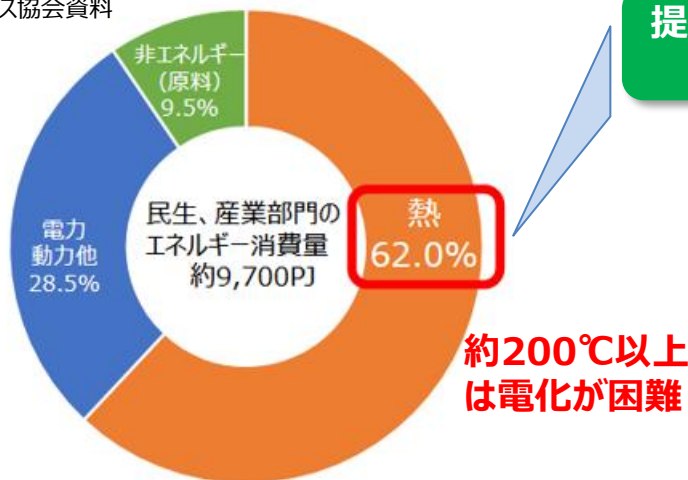
ネット・ゼロ

e-methane活用の意義

- 日本のエネルギー消費の6割を占める熱需要分野のカーボンニュートラル化は、2050年のカーボンニュートラル実現に向けた重要な課題であり、e-methaneはその有効な解決策の一つとなる。
- そのほか、追加のインフラ投資コストを抑制できるなど、様々な価値を提供し、次世代熱エネルギー産業の実現に寄与する。

民生・産業部門のエネルギー消費構成

(出典) 日本ガス協会資料



e-methaneの提供価値

提供価値① 熱需要分野のカーボンニュートラル化
⇒日本のカーボンニュートラル実現に貢献

+

提供価値② 追加的な社会コストの低減
⇒投資リスクの低減、国民負担の低減

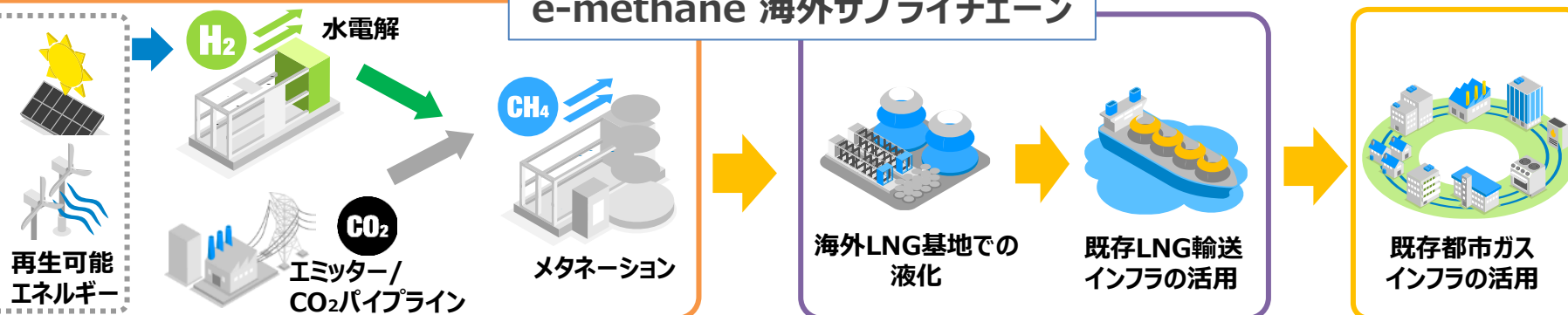
+

提供価値③ 日本の製造業の競争力強化への貢献
⇒製造業は自社の製品開発投資に集中

+

提供価値④ アジア地域のカーボンニュートラル化
⇒日本の技術の海外展開

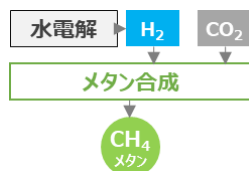
e-methane 海外サプライチェーン



既存技術の課題と革新的技術による解決

- e-methaneの更なる普及拡大に向けては、現在使用されている旧来技術のサバティエ方式は、いくつか課題がある。
- サバティエ方式の主な3つの課題 ①合成効率の向上、②装置コストの低減、③熱マネジメント、を解決するために革新的メタネーション技術開発に取り組む。

既存技術



サバティエ方式 $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

①効率

総合効率
50%程度

②機器コスト

機器コスト高

③熱マネジメント

高温(約500℃)

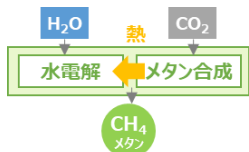


既存のサバティエ方式の技術的課題を革新的技術により解決し、新たな価値を創造



革新技术

ハイブリッドサバティエ



①効率

高効率
→将来80%超目標



②機器コスト

一体化構成



(写真提供:
JAXA*1)



③熱マネジメント

低温作動のため、負荷
追従・起動停止容易

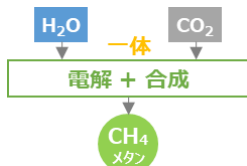


④新たな価値

既存技術の組み合わせ。
早期実装が可能



PEMCO₂還元



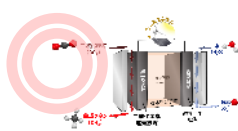
①効率

高効率
→将来70%超目標



②機器コスト

抜本的低コスト化



メタン以外の合成燃料も
製造可能
(e-fuelへの活用*2)

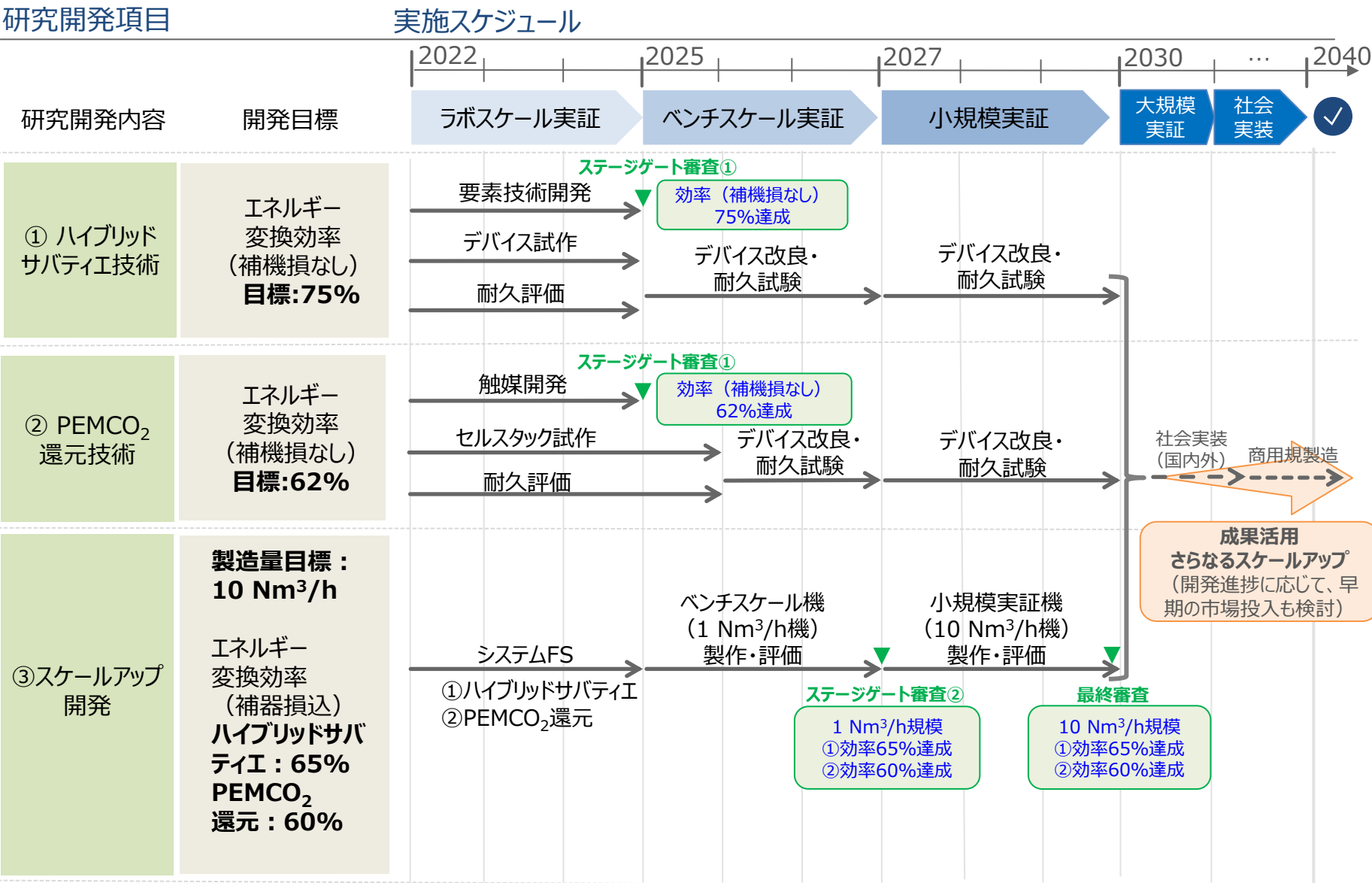


* 1:A. Shima, M. Sakurai, Y. Sone, H. Nakajima, M. Inoue, and T. Abe, " Development of CO2 Reduction-Water Electrolysis Tandem Device as a Full-Scale Model", Proceedings of 52nd International Conference on Environmental Systems, ICES-2023-196 (2022).

* 2:PEMCO₂還元技術のe-fuelへの応用可能性検討は、GI基金事業によらず当社独自の取り組みです。

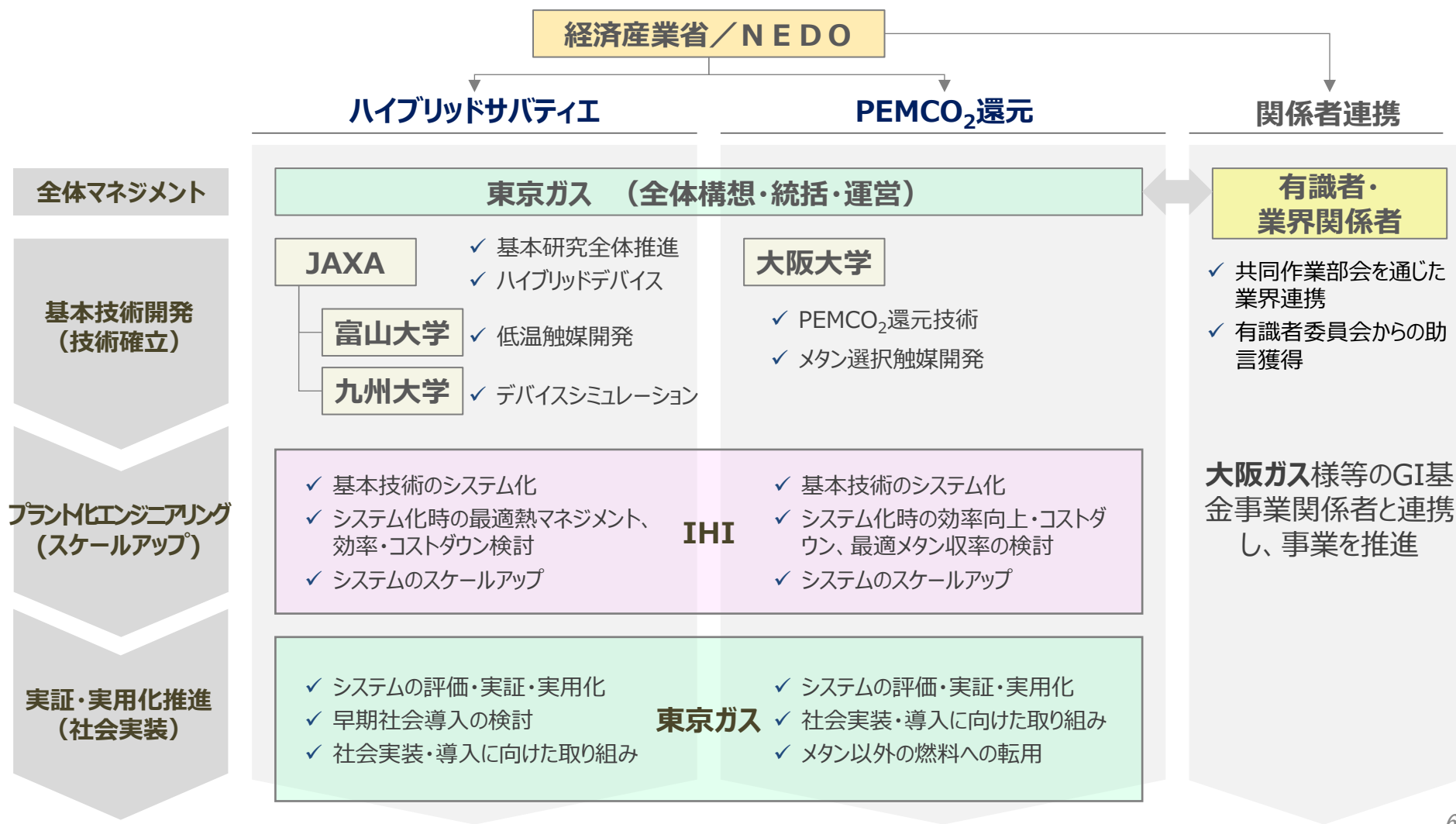
目標と開発スケジュール

- 基本技術開発とスケールアップ開発により、2030年までにメタン製造量10 Nm³/h級の高効率システムの確立を目指す。GI基金事業終了後、速やかな社会実装を目指す。



開発体制

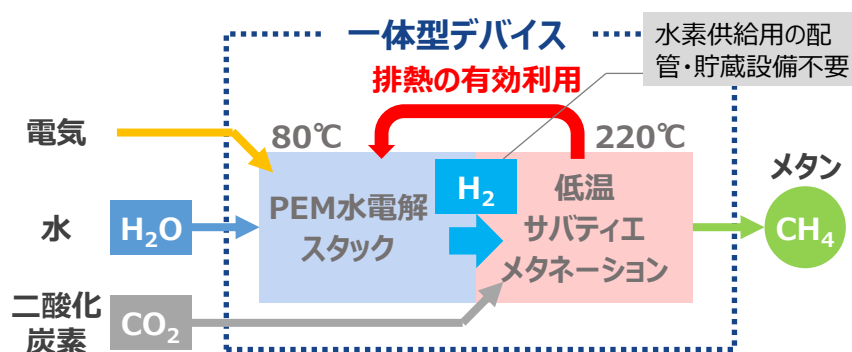
- JAXA、IHIらとグリーンイノベーション基金事業に採択され、2022年度より研究開発を開始した。
- 基本技術開発をJAXAと大阪大学が、システム化・スケールアップをIHIが、全体マネジメントと実証を東京ガスが担当する。



ハイブリッドサバティエ技術：概要

- 熱融通が可能な一体型デバイス構造により、高効率化と熱マネジメントが容易である。
- 既存技術の組み合わせのため、早期の社会実装が期待される。

ハイブリッドサバティエ技術のイメージ



効率

サバティエの発熱を水電解（吸熱反応）で有効利用することにより、**高効率化**が可能。（将来効率目標**80%超**）

熱マネジメント

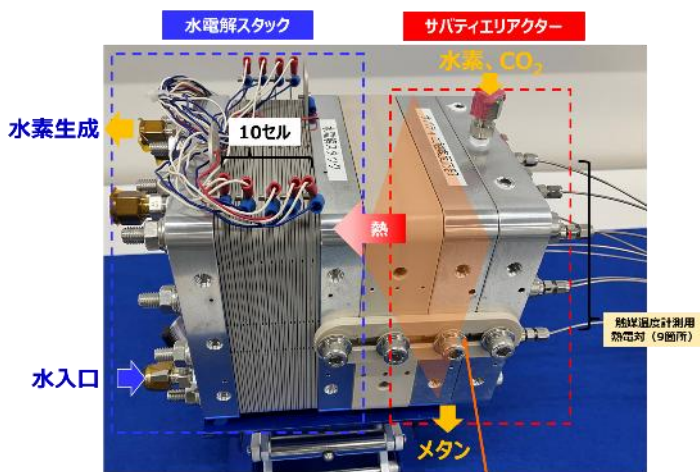
低温プロセス（約220℃）のため、**起動停止、再エネ変動への対応**運転が容易。

機器コスト

東京ガスが開発中の**低コスト水電解セルスタック製造技術**を活用し、さらなる**低コスト化**が可能。

その他

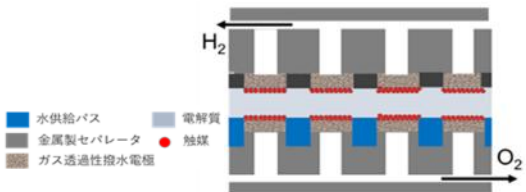
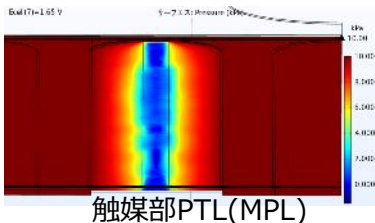
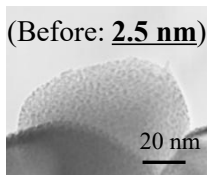
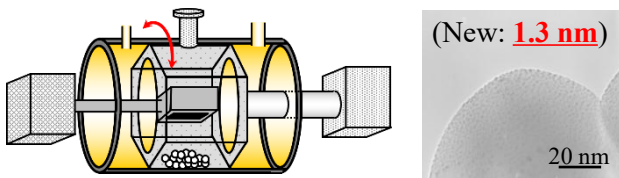
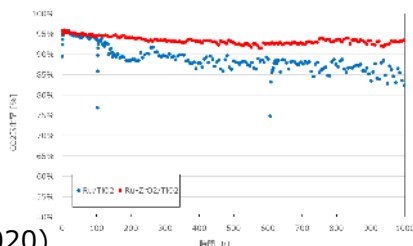
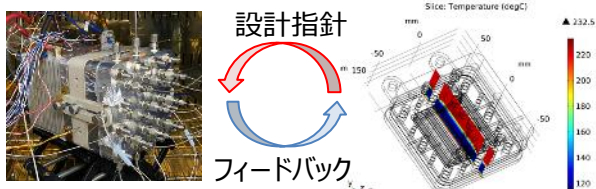
既存技術の組み合わせであることから、**早期の社会実装**が可能。
（JAXAが宇宙開発で原理実証済）



ハイブリッドサバティエリアクター

ハイブリッドサバティエ技術：主な開発内容と実績

- 水電解セルとサバティエ触媒の要素技術開発とともに、これらを組み合わせた際のデバイス構造の最適化や運転条件の確立に取り組んだ。

開発項目	取り組み方針	実績
水電解セル ✓ 電解電圧の低減 ✓ 耐久性の向上 	✓ 電解質膜、触媒、GDL、撥水加工の選定 ✓ セル構造の数値シミュレーション 	水パスの改良とTi-GDL導入により電解性能向上を確認
サバティエ触媒 *3 ✓ 低温活性化、耐久性の向上 	✓ 触媒構造、担持率・利用率の改善 *4 ✓ シンタリングを抑制する触媒調製方法 *4 	触媒改良により、1000時間後も転化率90%を維持 
構造設計と運転条件 ✓ サバティエ発熱利用の構造最適化 ✓ 高効率を維持できる運転条件の確立	✓ デバイス構造の数値シミュレーション ✓ 試作デバイスの運転評価と課題抽出 *5 	ベンチスケール機（1 Nm³/h級）の設計・運転条件へ反映

*3 : T. Abe, M. Tanizawa, K. Watanabe, A. Taguchi, *Energy Environ. Sci.* **2** 315 (2009).

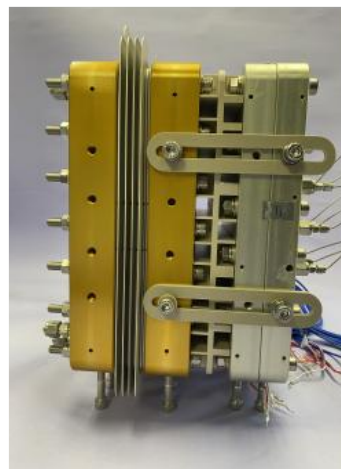
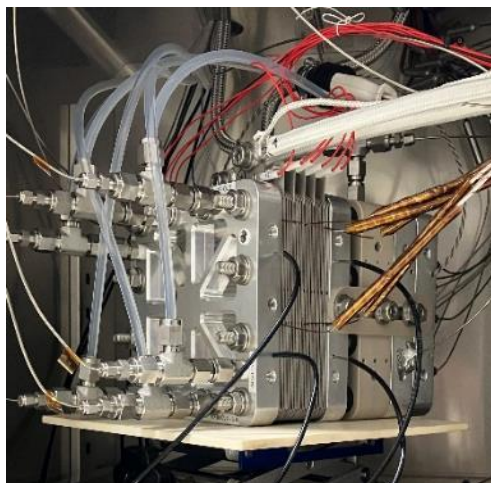
*4 : M. Inoue, A. Shima, K. Miyazaki, B. Lu, Y. Sone, T. Abe, *Appl. Catal. A Gen.* **597** 117557 (2020).

*5 : A. Shima, M. Sakurai, Y. Sone, H. Nakajima, M. Inoue, and T. Abe, "Development of CO₂ hydrogenation-water electrolysis tandem reactor", *Proceedings of 51st International Conference on Environmental Systems, ICES-2022-85* (2022).

ハイブリッドサバティエ技術：一体型デバイス試験

- 一体型の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、2024年度のステージゲート目標であるエネルギー変換効率75%以上を達成した。

【ハイブリッドサバティエリアクター外観】



【試験条件】

スタック温度 : 69℃
触媒温度 : 240℃
投入CO₂ : 0.14 L/min

【試験結果】

水素製造効率

= 熱中立電圧 / 平均セル電圧
= 1.48 V / 1.43 V
= 103.5%



メタネーション効率

= 反応転化率
× 理論メタネーション効率
= 98.0%
× 77.8% (理論値)
= 76.2%

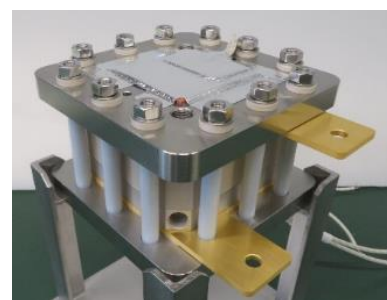
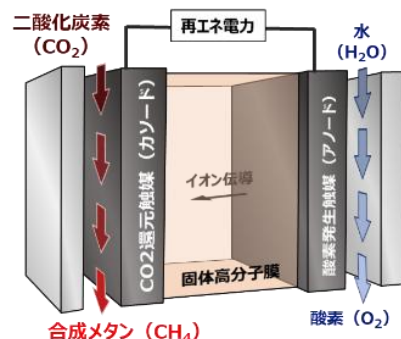
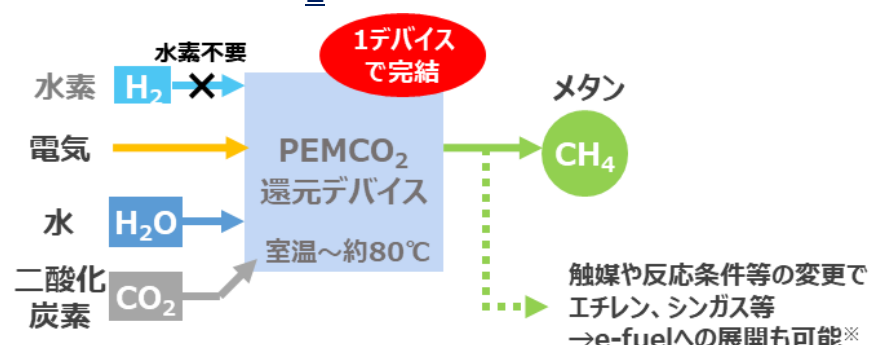


エネルギー変換効率
: 78.9%

PEMCO₂還元技術：概要

- 電極の工夫により水電解にも用いられている固体高分子膜（PEM）を利用した電気化学的還元により、水とCO₂からメタンを直接合成する技術*⁶。
- 熱マネジメントが不要となる低温（室温～約80℃）で反応し、シンプルな設備構造から大幅な設備コスト低減が期待できる。
- 様々なe-fuelの合成に適用できる可能性もあり、多用途展開が期待される*⁷。

PEMCO₂還元技術のイメージ



PEMCO₂還元の作動原理

PEMCO₂還元セル

効率

1段反応により**高効率化可能**
(将来目標効率**70%超**)

熱マネジメント

低温（室温～約80℃）反応で、**熱マネジメントが不要**

機器コスト

水とCO₂から**直接メタンを合成**する
簡略なシステムにより、**抜本的な低コスト化が可能**

新たな価値

電極条件変更により**メタン以外の副生成物を合成可能**
(e-fuelへの応用) *⁷

*⁷：PEMCO₂還元技術のe-fuelへの応用可能性検討は、GI基金事業によらず当社独自の取り組みです

*⁶：M. Umeda, Y. Yoshida, S. Matsuda, "Highly selective methane generation by carbon dioxide electroreduction on carbon-supported platinum catalyst in polymer electrolyte fuel cell" *Electrochim. Acta* 340, 135945 (2020).

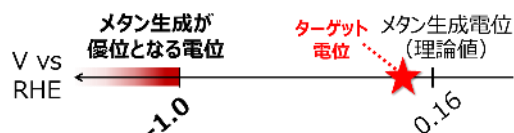
PEMCO₂還元技術：主な開発内容と実績

- エネルギー変換効率向上を目指し、電圧効率およびファラデー効率向上に向けた開発を実施。電気化学試験の結果とオペランド解析技術を活用し、触媒設計・運転条件の確立に取り組んだ。

開発項目

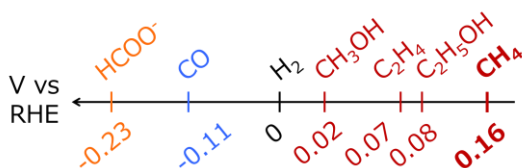
電圧効率の向上

- ✓ 過電圧の低減
- ✓ 金属触媒の探索



ファラデー効率の向上

- ✓ メタン選択性向上
- ✓ 高活性触媒の設計・開発

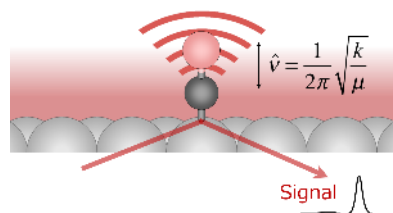


運転条件の最適化

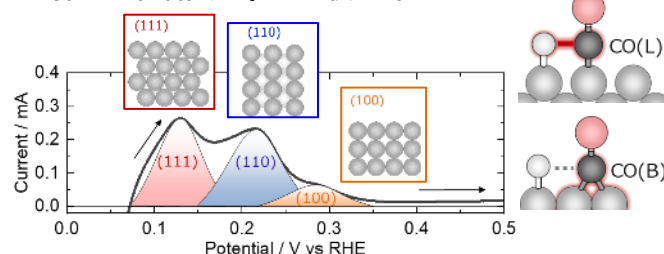
- ✓ 反応活性の向上
- ✓ メタンの連続生成可能な運転条件の確立

取り組み方針

オペランド解析を活用した反応メカニズムの理解に基づく低過電圧触媒の選定

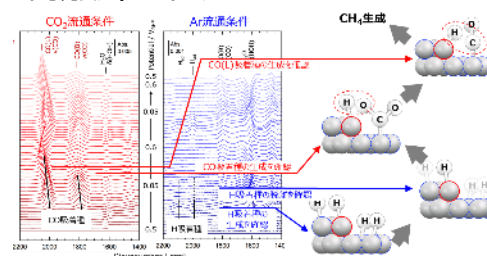


反応に直接かわる触媒最表面構造 (結晶面構造) の最適化

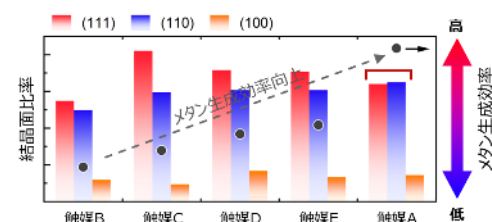


実績

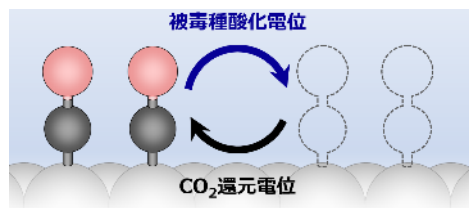
低過電圧領域でメタン生成可能な金属触媒を特定



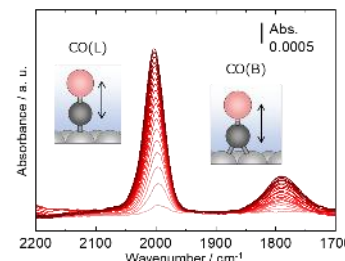
メタン選択性に優れた結晶面が (100)面であることを特定



反応中間体吸脱着挙動の観察



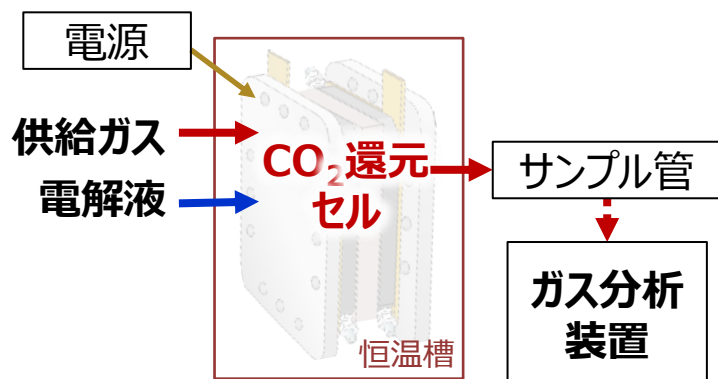
メタン生成に最適な運転条件を取得



PEMCO₂還元技術：メタン生成試験結果

- 実際に選定した触媒をCO₂還元セルに組み込み、低過電圧条件でメタン生成試験を実施した。
- メタン生成に必要な中間体の反応向上やメタン生成に寄与しない電流を抑制するよう触媒を改良することで、目標効率であるエネルギー変換効率62%以上を達成した。

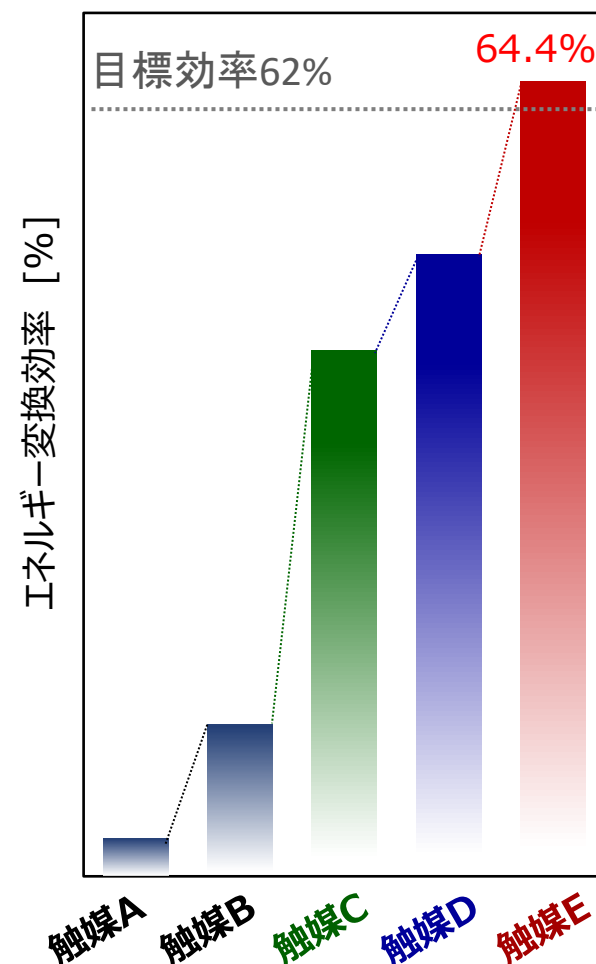
【評価装置フロー概略図】



【CO₂還元セル外観】



【試験結果】



【試験条件】

サンプル条件

- カソード電極：低過電圧触媒/カーボンペーパー
- 電解質膜：ナフイオン

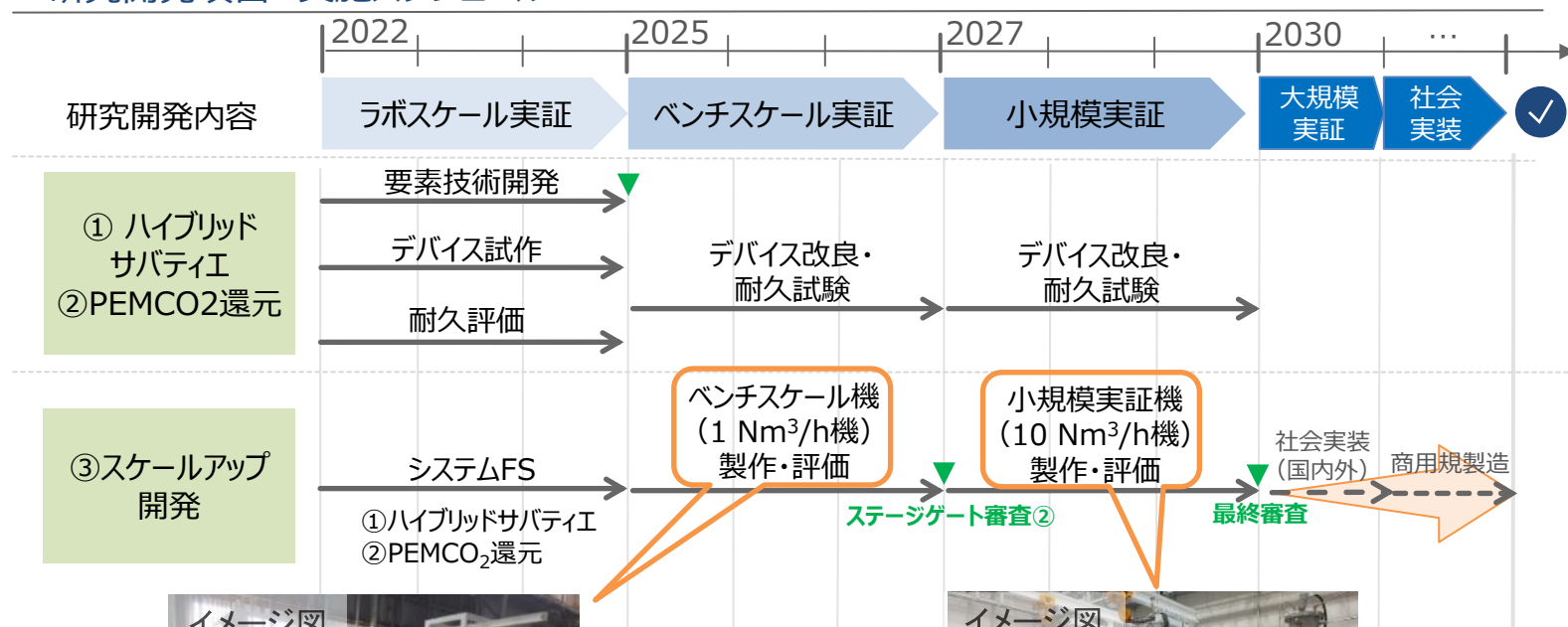
評価条件

- 温度：40 °C
- 供給ガス：CO₂/Ar
- 電解液：H₂SO₄

今後の技術課題と取り組み

- 今後はデバイスの大型化や耐久性向上を目指すとともに、スケールアップ開発による周辺機器を含めたシステム全体としての性能向上や運転条件の最適化に取り組む。

研究開発項目 実施スケジュール



1 Nm³/h規模

- 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

- 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

- e-methaneの社会実装により、エネルギー消費の6割を占める**熱需要分野のカーボンニュートラル化**に貢献できるとともに、追加的な社会コストの低減やエネルギーの多様化とセキュリティの向上にも貢献する。
- e-methaneの普及拡大に向け、既存技術による社会実装と規模拡大を推進するとともに、GI基金事業のご支援のもと**製造コスト低減、オンサイト供給、適用範囲拡大**が期待される**低温プロセスによる革新的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**を進めている。
- それぞれの技術について第1フェーズ（2022年～2024年）における開発目標を達成。早期社会実装を目指して、**デバイスの大型化、耐久性向上、システムのスケールアップ開発**に取り組んでいく。