

NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025
プログラムNo. 10

カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／CO₂排出削減・有効利用実用化技術開発／液体燃料へのCO₂利用技術開発／
**次世代F T反応と液体合成燃料一貫製造
プロセスに関する研究開発**

2025年7月17日
成蹊大学 里川重夫

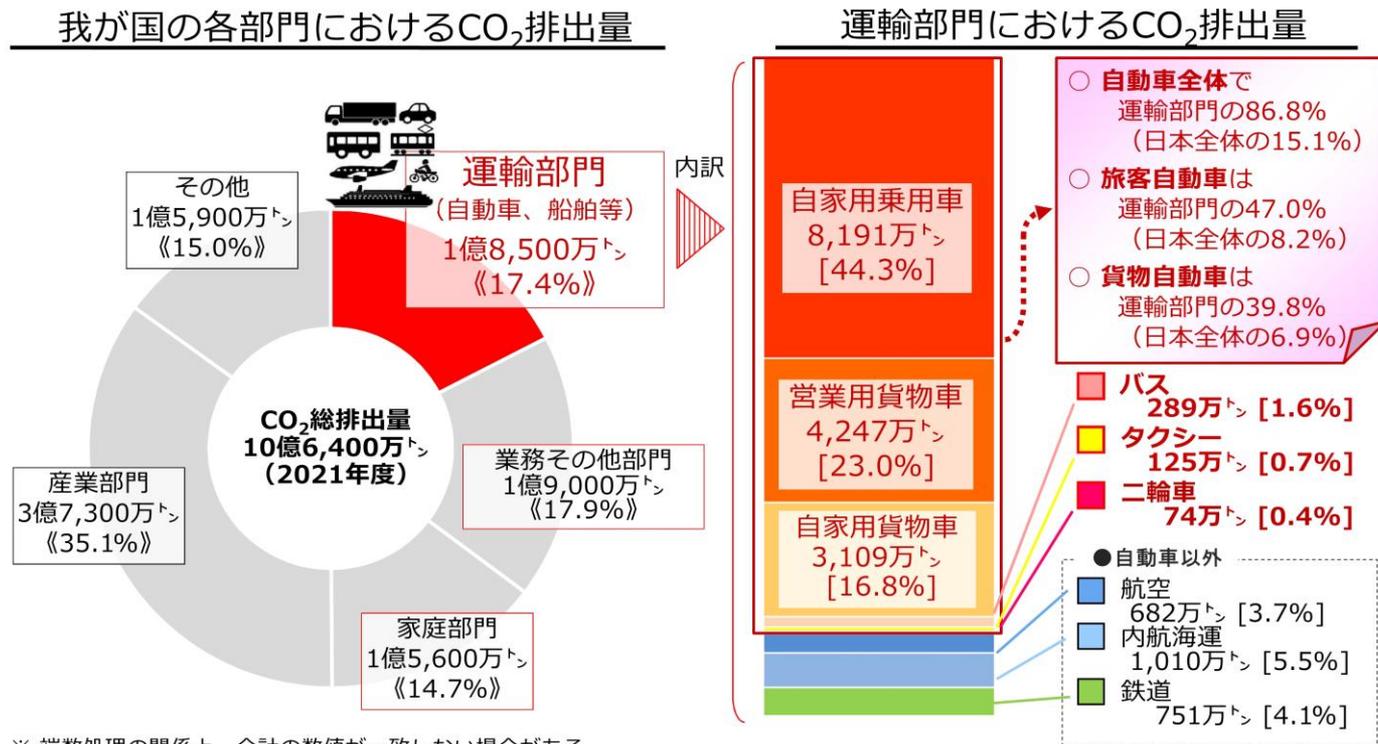
ENEOS (株)
(学) 成蹊大学
(国) 名古屋大学
(国) 横浜国立大学
出光興産 (株)
(国研) 産業技術総合研究所
(一般) カーボンニュートラル燃料技術センター
日本特殊陶業 (株)
(国) 東京科学大学
(一般) 電力中央研究所
三菱電機 (株)

問合せ先：(一財)カーボンニュートラル燃料技術センター
synfuel_210215@pecj.or.jp TEL 03-5534-5863

運輸部門のCO₂排出量

- 我が国のCO₂総排出量は10億6,400万トン。このうち運輸部門からの排出量は17.4%。自動車全体では運輸部門の86.8% (日本全体の15.1%) を占めている。
- 運輸部門のCO₂を削減していく上で、航空機や船舶、大型トラック等の電動化が実現しにくいモビリティを中心に、化石燃料からバイオ燃料や合成燃料(e-fuel)等のカーボンニュートラル (CN) 燃料への転換が求められている。

<運輸部門における二酸化炭素排出量>



※ 端数処理の関係上、合計の数値が一致しない場合がある。

※ 電気事業者の発電に伴う排出量、熱供給事業者の熱発生に伴う排出量は、それぞれの消費量に応じて最終需要部門に配分。

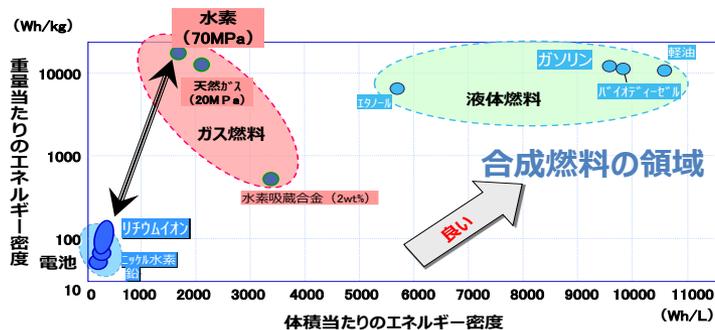
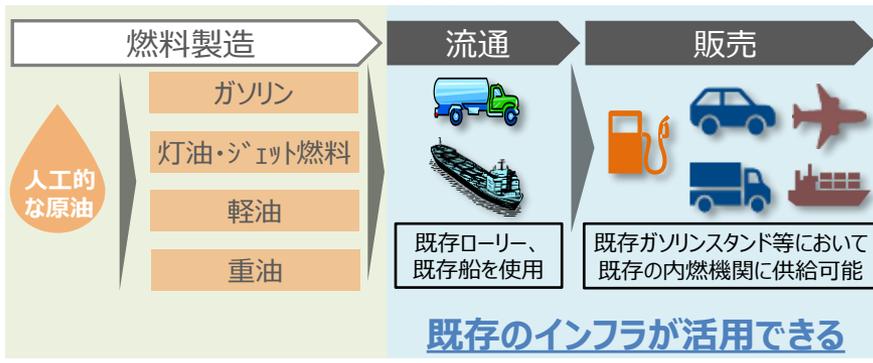
※ 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ (1990~2021年度) 確報値」より国交省環境政策課作成。

※ 二輪車は2015年度確報値までは「業務その他部門」に含まれていたが、2016年度確報値から独立項目として運輸部門に算定。

e-fuelのメリットと課題

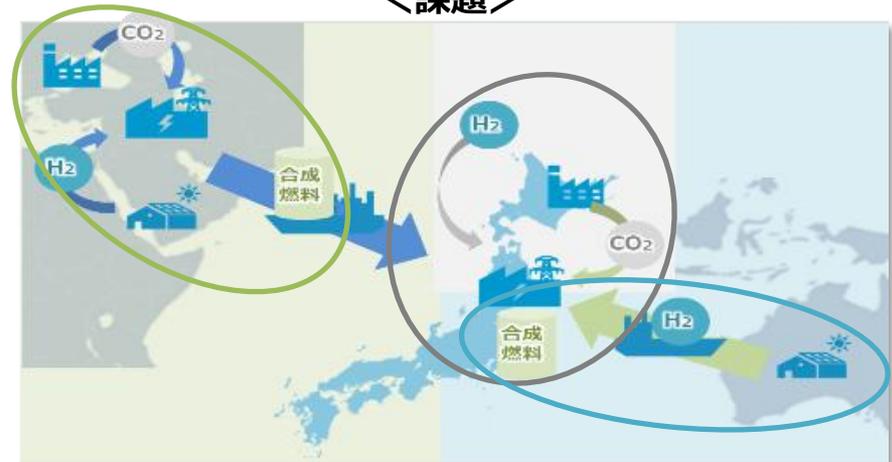
- e-fuelとは、水素と二酸化炭素を原料として人工的に製造される燃料であり、カーボンニュートラル実現の切り札として早期の商用化が期待されている。
- メリットとしては、①既存の内燃機関や燃料インフラ（タンクローリー・ガソリンスタンド等）が活用できることや、②化石燃料と同等の高いエネルギー密度を有すること等が挙げられる。
- 課題は製造コストであり、水素価格に大きく依存するが、試算によれば約300円～700円/Lと高額になる。

<メリット>



⇒ **化石燃料と同等の、高いエネルギー密度を有する**

<課題>



海外ですべて製造し
輸入する場合

製造コスト
: 約**300円/ℓ**

原料調達から製造まで
すべて国内で行う場合

製造コスト
: 約**700円/ℓ**

水素を輸入し、
国内で製造する場合

製造コスト
: 約**350円/ℓ**

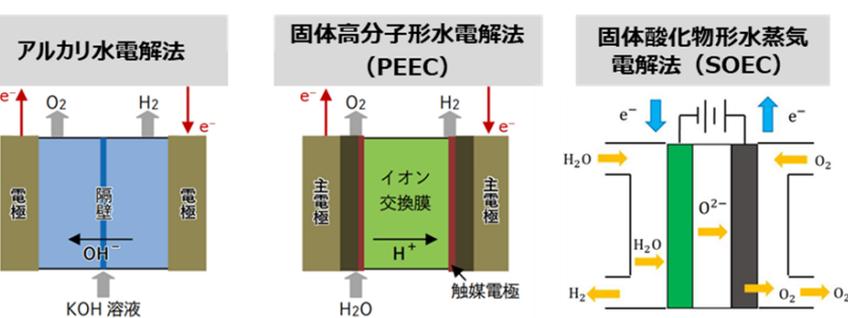
⇒ **高効率化（低コスト化）が必須**

e-fuelの製造コスト試算例

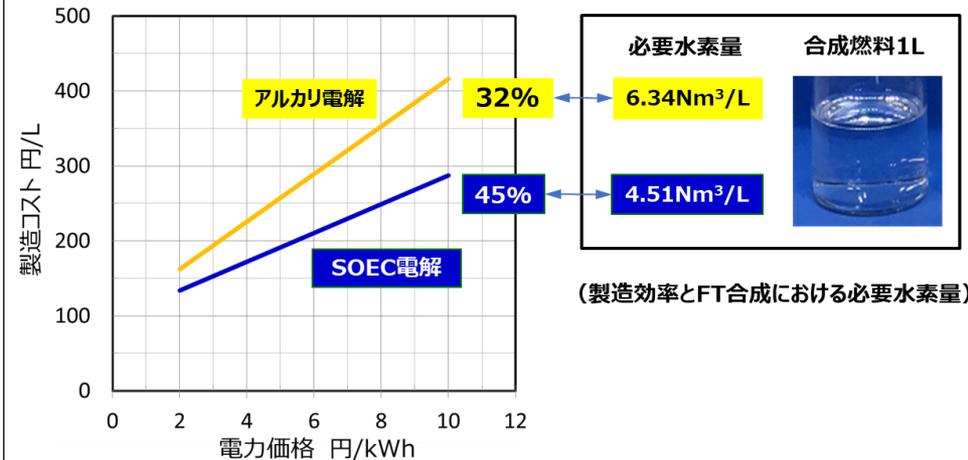
【技術動向】（水素製造）

- e-fuelの製造には大量の水素が必要となる。
- 水素は、再生エネルギー由来電力を用いて、アルカリ水電解、固体高分子形水電解(PEEC)、固体酸化物形水蒸気電解(SOEC)等といった電解技術により製造される。
- SOECは、電解に必要となる電力消費をアルカリ電解等の8割程度まで低減できるポテンシャルを有していることから、製造コストの大幅な低減が可能となる。

＜グリーン水素製造のための電解技術＞



＜電解技術の違いによる製造効率と必要水素量の試算＞

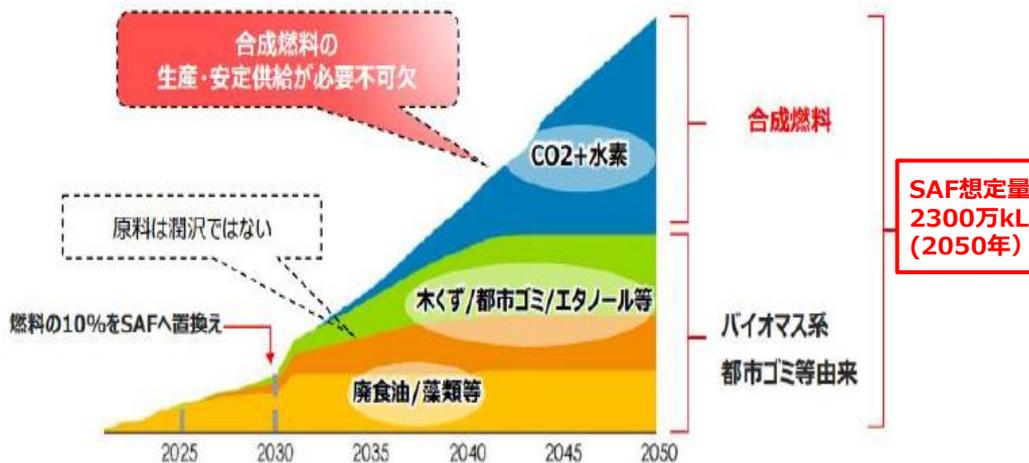


将来の需要ポテンシャル

- **航空分野**においては、国内の持続可能な航空燃料 (SAF; Sustainable Aviation Fuel)の需要拡大が予想されている。2035年までは、廃食油や植物からのエタノール等を用いたバイオ系SAFの拡大見込まれているものの、バイオ原料制約があることから、2035年以降はe-fuelの拡大が見込まれている。
- **自動車分野**においては、シナリオ分析の中で、電動化が困難なトラックや長距離バスへの活用や、既販車両及びハイブリッド車への活用等で2050年に約1400万kLものCN燃料の需要ポテンシャルが見込まれている。
- **船舶分野**においては、化石燃料の需要が段階的に減少し、2030年以降にe-fuelの需要拡大が見込まれている。足下では、e-メタノールを含むグリーンメタノールで航行する船舶の発注が顕著である。その他、**建設機械**や**農業用機械**等においても、e-fuelに対するニーズの声がある。

<航空分野/SAF普及ロードマップ>

(出典：第1回合成燃料 (e-fuel) の導入促進に向けた官民協議会 資料10 定期航空協会)



<自動車分野/将来のシナリオ分析>

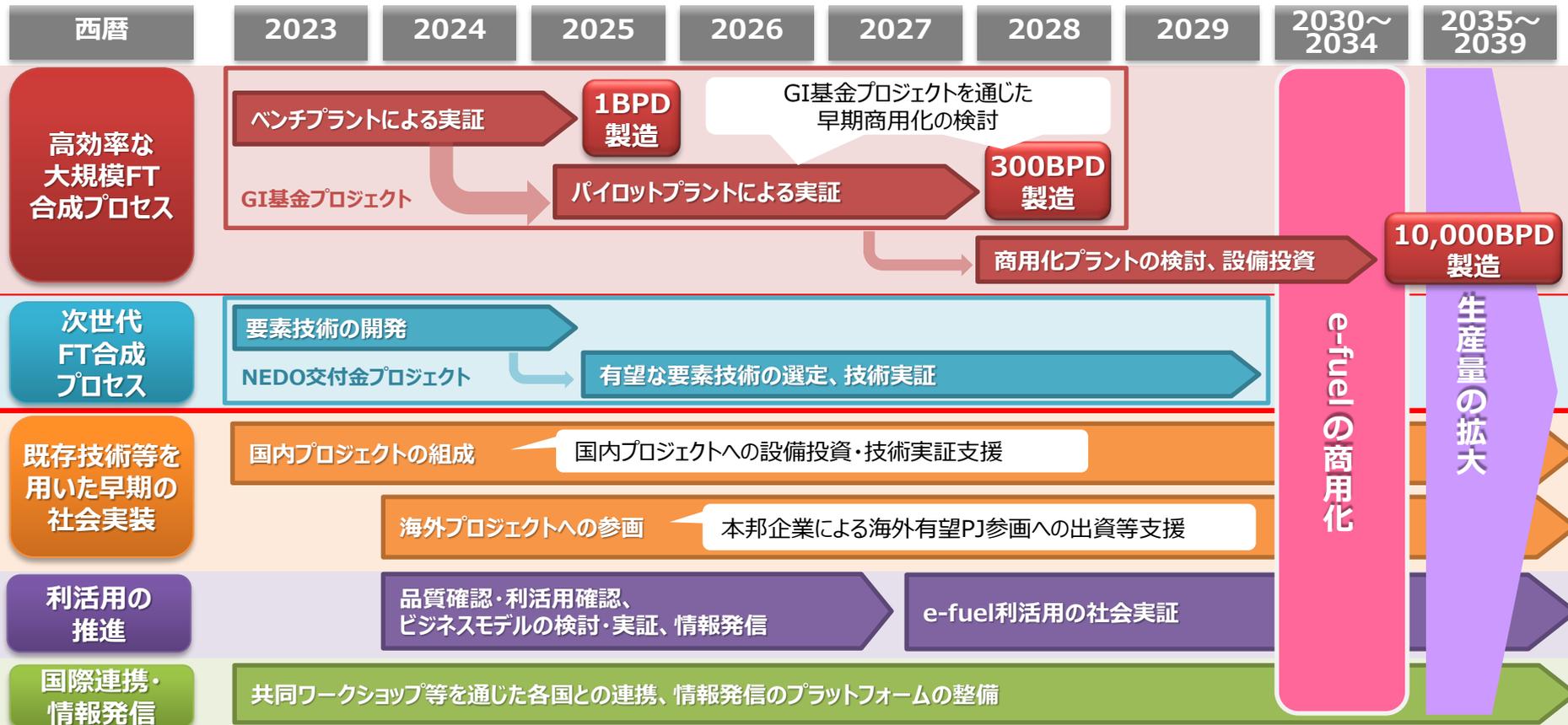
(出典：METI燃料安定供給対策に関する調査事業2023年3月31日みずほR&T)



政策・施策における位置づけ

- 合成燃料（e-fuel）に関しては、2022年9月に官民協議会を立ち上げ、2030年代前半までの商用化を目指す新たなロードマップ取りまとめ。

<合成燃料（e-fuel）の商用化に向けたロードマップ>



2025年に製造を開始し、「2030年代前半までの商用化を目指す」

更なる加速化も視野に不断の努力を継続

欧州におけるエネルギー政策

【政策・制度動向】

- 欧州は、2030年までに欧州連合の温室効果ガス排出量を55%削減することを目的とした欧州連合による政策パッケージ「Fit For 55」を策定。この一環で、自動車、航空機、船舶を対象に、CO₂等削減目標やe-fuelの導入目標を定めた法案が採択されている。

CO₂排出基準規則（2023年3月欧州理事会採択）

- ・目標：乗用車及び小型商用車のCO₂排出基準を2021年比で2035年に100%減（＝実質EV・FCVのみ）
※ドイツの主張を踏まえ、CO₂ニュートラル燃料（以下、CN燃料とする）専用車の型式登録に関する前文規定（Recital11）が追加（後述）

	内容
CO ₂ 排出削減目標 (2021年対比)	2030年：乗用車▲55%、小型商用車▲50% 2035年：乗用車・小型商用車▲100%
CN燃料（Recital 11）	CN燃料のみで走行する車両を2035年以降も登録できるようにする

ReFuelEU Aviation（2023年10月欧州理事会採択）

- ・SAF（e-SAF）の定義：REDに準拠したバイオ燃料、**RFNBO**およびRCF
非化石・非再生可能資源由来（GHG▲70%）低炭素燃料も含む
- ・導入目標

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
SAF	2%	6%	20%	34%	42%	70%
e-SAF	-	1.2%	5.0%	10%	15%	35%

関係機関ヒアリング
2030年e-SAF需要：7TWh
≒60万トン（Diesel換算）

FuelEU Maritime（2023年7月欧州理事会採択）

- ・GHG削減目標

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
GHG削減	2%	6%	14.5%	31%	62%	80%

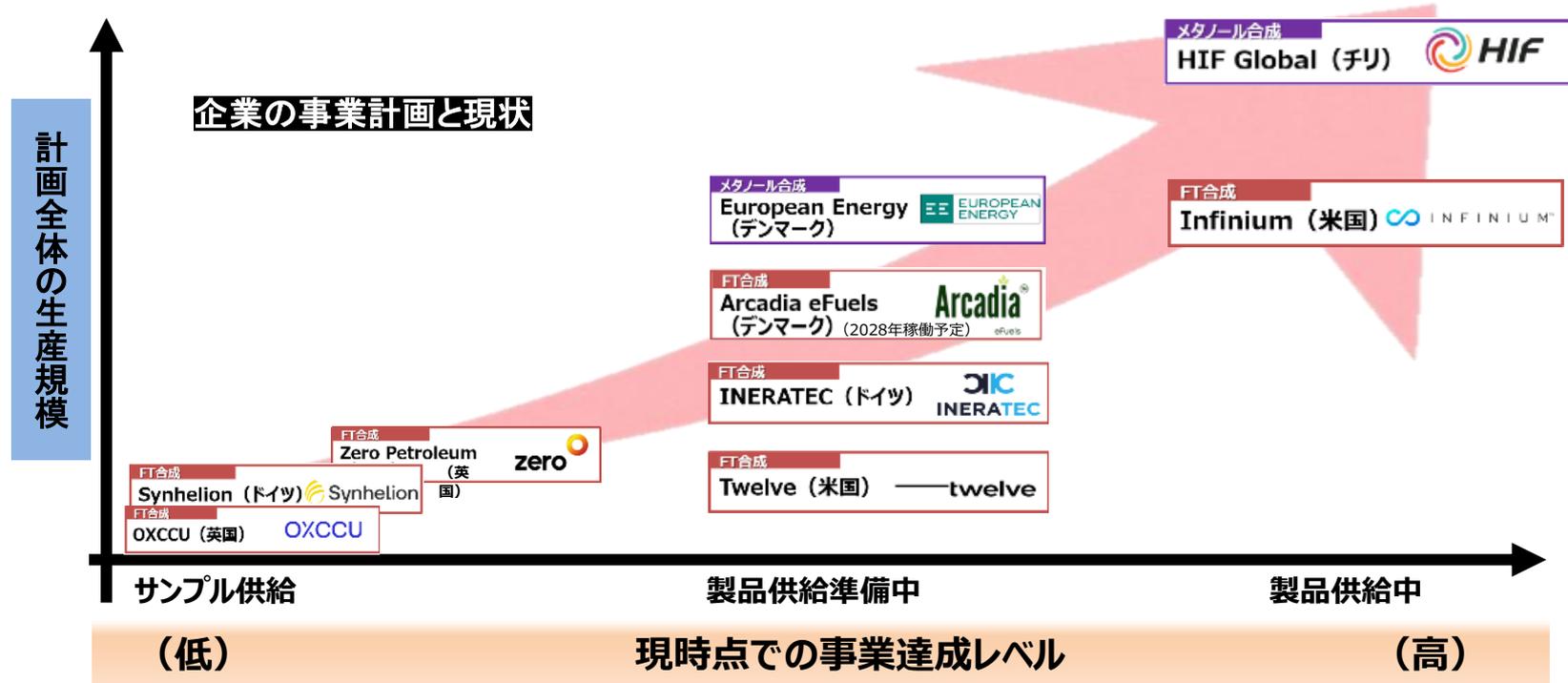
※'25～'33年末まで**RFNBO**によるGHG削減量をダブルカウント

関係機関ヒアリング
2030年**RFNBO**需要：3TWh
≒25万トン（Diesel換算）

- ・**RFNBO**導入目標：2031年時点で1%未満の場合、2034年までに2%の目標設定

海外における合成燃料事業化状況

- 自社技術をコアにした小規模デモプラントが、計画遅れが生じたものの徐々に稼働を開始している。
- 大学からスピンアウトした企業よりもエネルギー産業と繋がりが強い企業が商業プラントの稼働態勢で先行している。
- 既に製品供給中のHIFとInfiniumは世界各地での計画の実現により、e-fuelのマーケットリーダーとなる可能性がある。

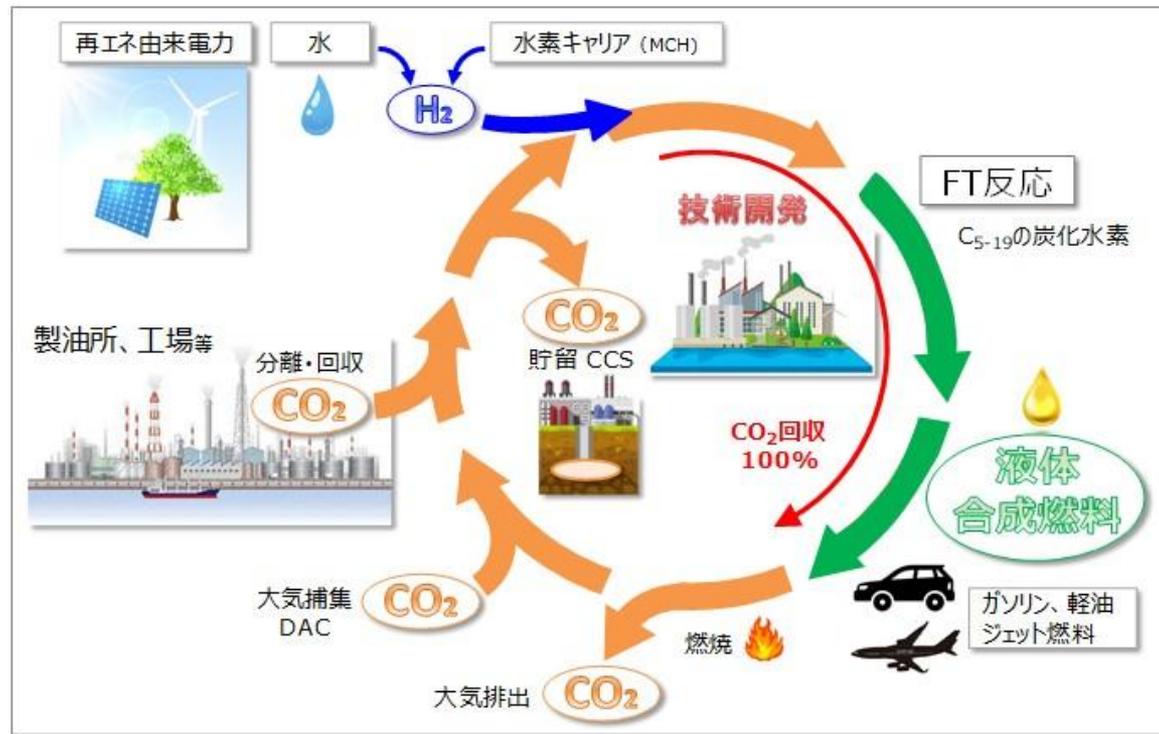


注：現時点で入手した情報から定性的に表示したものであり、今後のプロジェクトの進捗により変更が生ずる可能性がある。

（出所） 各社発表を基にJPEC作成

本研究開発の目的

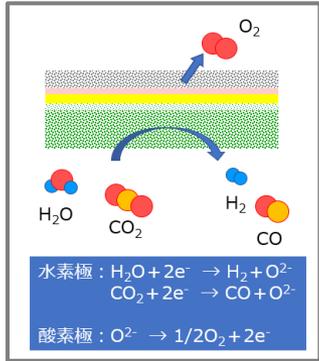
- CO₂をカーボンニュートラルな内燃機関用燃料へと変換することを可能とする技術として、FT（フィッシャー・トロプシュ）反応と、FT用原料である合成ガスを再エネより製造する技術および、これとFT反応を組合わせた液体合成燃料製造プロセス技術の要素基盤技術を確立し、次フェーズの準プラント級実証への目途をつける。



【 CO₂よりの液体合成燃料製造の将来像イメージ 】

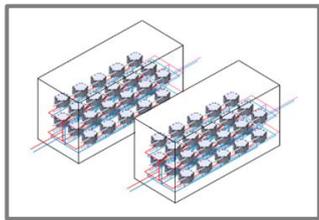
実施内容

- 海外最新技術に対する優位性及び化石燃料等と同等の製造コストを目指し、一貫製造プロセスの構成及び運転諸条件を検討し、各要素技術の技術開発目標を設定。液体合成燃料一貫製造プロセスの構築と最適化、さらに将来のスケールアップに向けた研究開発を行う。



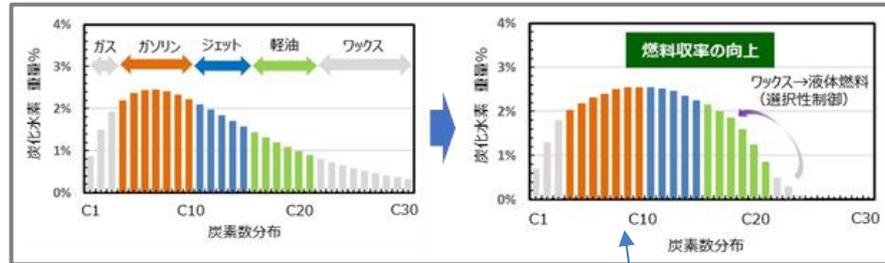
電解プロセス高度化

- 共電解によるFT用合成ガス製造技術
- 電解プロセスの高度化による効率向上
- 電解セル、スタックの特性・劣化要因把握
- セル設計方法



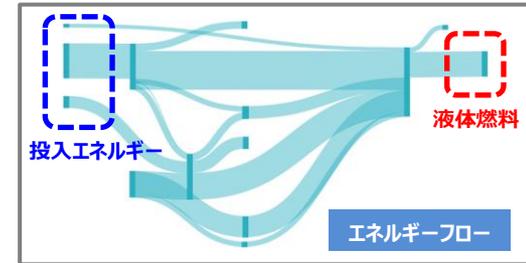
共電解実用化

- 大容量電解モジュールの概念設計
- 大容量化のための金属支持SOEC開発
- 加圧条件でのSOEC合成ガス製造
- SOECシステム化に関する研究開発



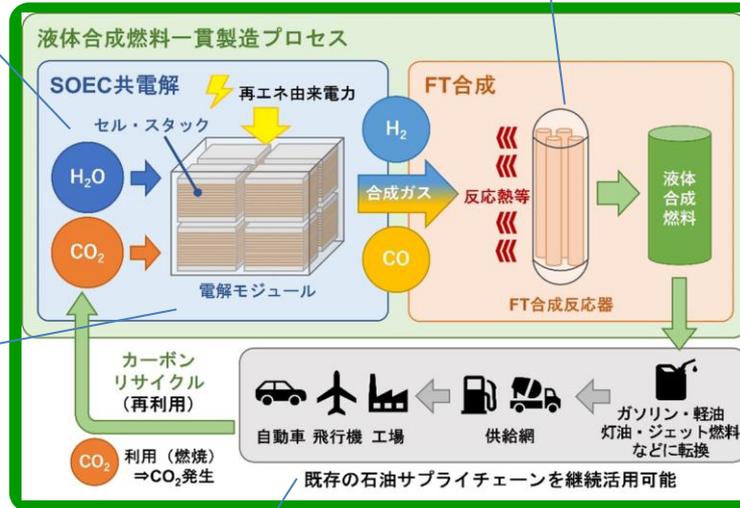
次世代FT反応技術:選択性制御技術

- CO_2 を含む合成ガスからの1段で効率よくFT反応を行う技術
- 生成物の選択性制御技術



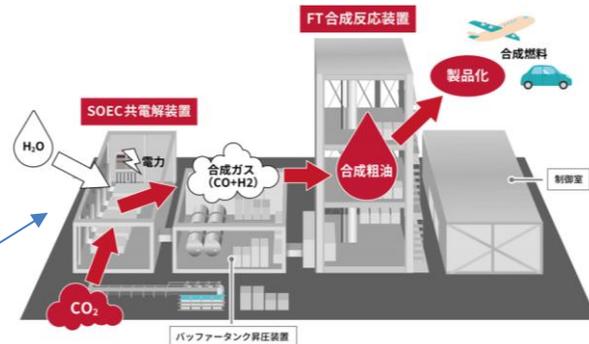
製造効率50%

- 製造効率 = 液体燃料 / 投入エネルギー



燃料利用技術

- 液体合成燃料の品質や燃焼特性、燃料としての付加価値等に関する研究開発
- 輸送用燃料規格適合性の検証、FT合成燃料(原油)のポスト処理技術を開発

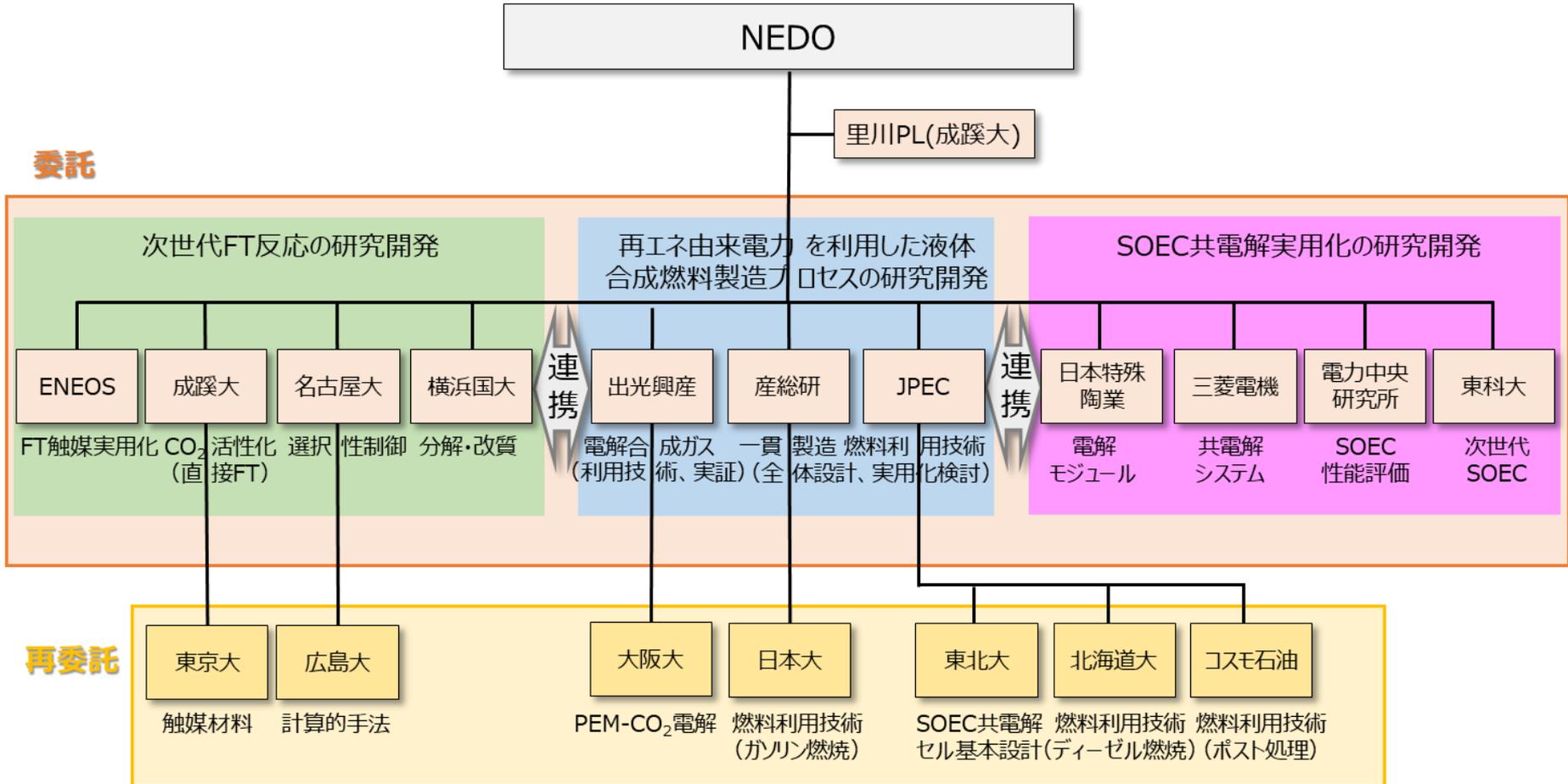


一貫製造プロセスの構築と最適化

- 燃料収率向上
- 一貫製造プロセスの構築と最適化 (熱・電気エネルギー回収)

本研究開発の実施体制

- 研究開発責任者：成蹊大学教授 里川重夫
 - 参画機関
 - ・ 大学：成蹊大、名古屋大、横浜国大、東科大 〈東京大、広島大、大阪大、日本大、東北大、北海道大〉
 - ・ 国研：産業技術総合研究所
 - ・ 企業：ENEOS、出光興産、日本特殊陶業、三菱電機 〈コスモ石油〉
 - ・ 法人：カーボンニュートラル燃料技術センター(JPEC) 電力中央研究所
- ※〈 〉：再委託



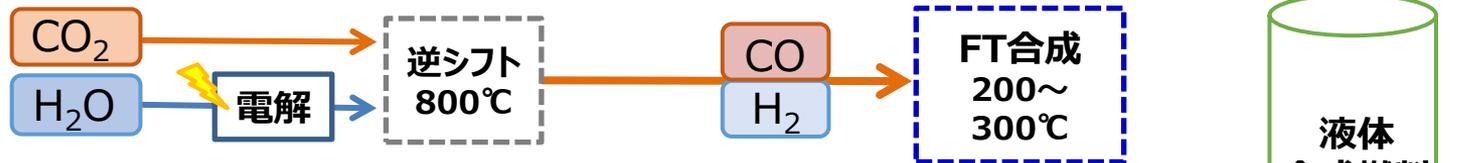
各研究開発テーマの関係

次世代FT反応と液体合成燃料一貫製造プロセスに関する研究開発

- 研究開発項目①「次世代FT反応の研究開発」
- 研究開発項目②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」
- 研究開発項目③「SOEC共電解実用化の研究開発」

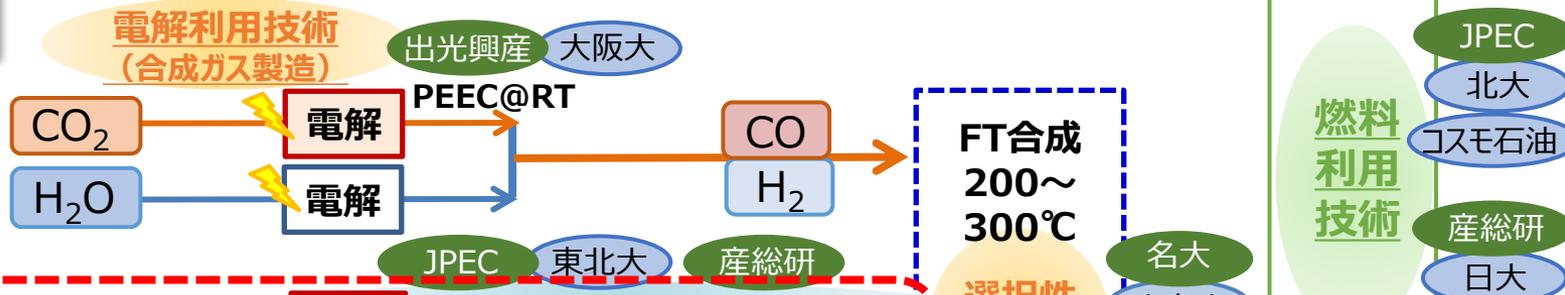


現状技術

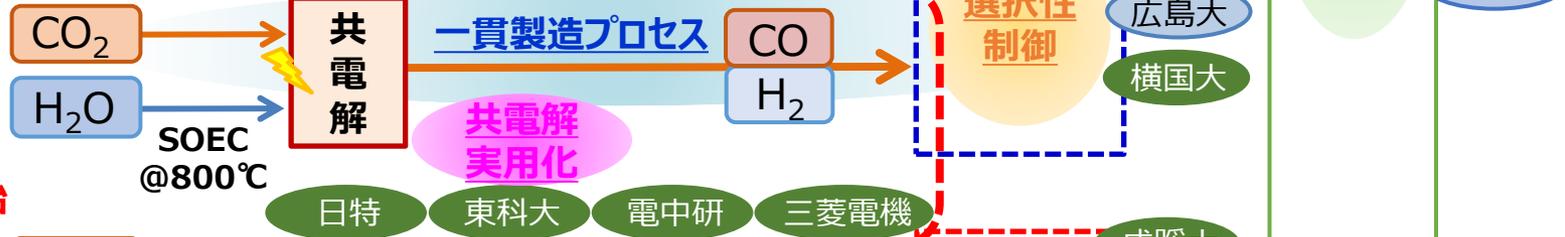


本PJでの取組み

+ CO₂電解

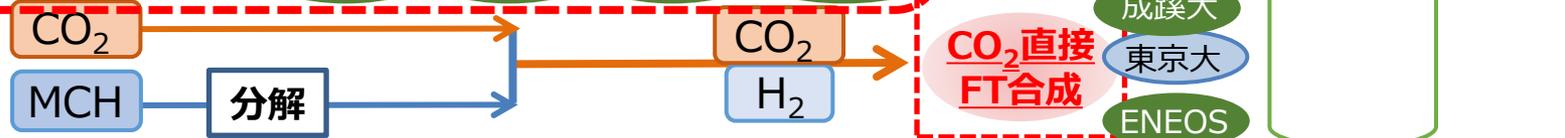


+ 共電解



2023年10月開始

+ 直接FT



液体
合成燃料

燃料
利用
技術

JPEC

北大

コスモ石油

産総研

日大

名大

広島大

横国大

成蹊大

東京大

ENEOS

研究開発項目 ①～③の24テーマ

① 次世代FT反応の研究開発 (7テーマ)	テーマ名	担当機関
①-1. 直接FT反応の研究開発	①-1-1. CO ₂ を原料とした直接FT反応の研究開発 ①-1-2. 直接FT反応の基盤技術の研究開発 ①-1-3. 直接FT反応の基盤技術の研究開発 多孔質材料を応用したコバルト系触媒の研究開発	ENEOS 成蹊大学 東京大学
①-2. 選択性制御の研究開発	①-2-1. 選択性制御の研究開発 ①-2-2. 選択性制御の研究開発 計算科学的手法の導入 ①-2-3. FT生成油の分解・改質の研究開発	名古屋大学 広島大学 横浜国立大学
①-3. 次世代FT触媒の実用化検討	①-3-1. 次世代FT触媒の実用化検討	ENEOS
② 再エネ由来電力を利用した液体合成燃料 製造プロセスの研究開発 (12テーマ)	テーマ名	担当機関
②-1. 再エネ由来電力を利用した合成ガス製造技術の研究開発	②-1-1. PEECによるCO ₂ 電解等を利用したFT反応向け合成ガス製造技術の実用化に向けた研究開発 ②-1-2. CO ₂ 電解電極触媒の研究開発	出光興産 大阪大学
②-2. 再エネ利用合成ガス製造とFT反応を組合せた液体合成燃料製造プロセス技術の基盤研究開発	②-2-1. SOEC共電解とFT反応を組合せた液体合成燃料一貫CO ₂ フリー製造プロセス技術の基盤研究開発 ②-2-2. SOEC共電解セルの基本設計 ②-2-3. SOEC共電解とFT反応を組合せた液体合成燃料一貫製造ベンチ試験機の製作と運転 ②-2-4. FT合成の実用化に向けた基盤技術の研究開発 ②-2-5. FT用共電解実用化に向けた基盤技術研究開発	JPEC 東北大学 産総研・JPEC 産総研 産総研
②-3. 燃料利用技術の研究開発	②-3-1. 合成燃料の燃料性状の特徴把握 ②-3-2. 将来ガソリンエンジンを想定した合成燃料利用技術の研究開発 ②-3-3. 将来ディーゼルエンジンを想定した合成燃料利用技術の研究開発 ②-3-4. 将来ガソリンエンジンを想定した合成燃料利用技術の研究開発 基礎燃焼特性の評価 ②-3-5. FT合成燃料（粗油）の規格適合化処理技術の開発	JPEC 産総研・日本大学 北海道大学 産総研 コスモ石油・JPEC
③ SOEC共電解実用化の研究開発 (5テーマ)	テーマ名	担当機関
③-1. SOECセル・スタックの設計・製作に関する研究開発	③-1-1. 100kW級電解モジュールの概念設計 ③-1-2. 大容量化のための金属支持SOEC (MS-SOEC)開発 ③-1-3. 加圧条件でのSOEC共電解による合成ガス製造技術の開発	日本特殊陶業 東京科学大学 電力中央研究所
③-2. SOECセル・スタックを用いたFT反応用合成ガス製造のシステム化に関する研究開発	③-2-1. 100kW級SOEC共電解システム概念設計の研究開発	三菱電機
③-3. SOECに関わる国内外での先行技術動向調査ならびに特許を含む知財情報調査	③-3-1. SOECに関わる国内外での先行技術動向調査ならびに特許を含む知財情報調査	

研究開発計画（全体）

中間評価

研究項目	2020	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
① 次世代FT反応の研究開発					
● 直接FT反応の研究開発		鉄系触媒の選択率向上, 最適反応条件, 耐久性評価			
		コバルト系/鉄系触媒の研究開発, 反応メカニズム, 改良, 劣化機構と対策			
● 選択性制御の研究開発		Ru系/コバルト系触媒の連鎖成長因子の検討, 制御			
		CO吸着特性と反応機構解析		C-C反応機構解析, 反応性力場開発	
		新型ゼオライト触媒の開発/新規ポスト処理法/FT油の分解・異性化			
● 次世代FT触媒の実用化検討		触媒の工業化			
		反応容器の最適化			
② 再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発					
● 再エネ由来電力を利用した合成ガス製造技術		MEA大型化技術, 電極性能向上, 劣化率の低減, システム化			
		単原子触媒等の貴金属フリー, 触媒合成のスケールアップ			
● 液体合成燃料製造プロセス技術		一貫製造ベンチプラントの仕様検討及び設計		製作, 試運転	実証運転
		ハイブリッドFT触媒の評価及び高度化, 工業規模製造			
		SOEC共電解プロセスの高度化, 実用セル・スタックの劣化特性			
● 燃料利用技術の研究開発		液体合成燃料の調達・性状分析, 既存燃料との混合時の性状分析			
		ポスト処理条件検討, 燃料転換			
		燃焼特性評価, ディーゼルエンジン試験, ガソリンエンジン試験			
③ SOEC共電解実用化の研究開発					
● SOECセル・スタックの設計・製作				電解モジュール設計	
				大容量化, 加圧化検討	
● SOEC合成ガス製造システム化研究				電解システム仕様検討	
● SOEC先行技術動向調査ならびに特許情報調査				技術動向調査と特許調査	

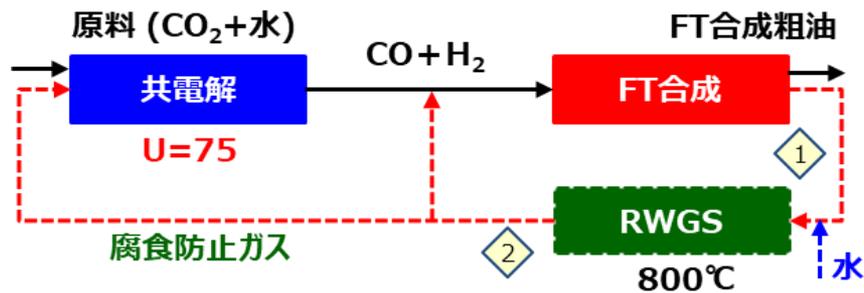
研究成果（進捗概要）

②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

JPEC

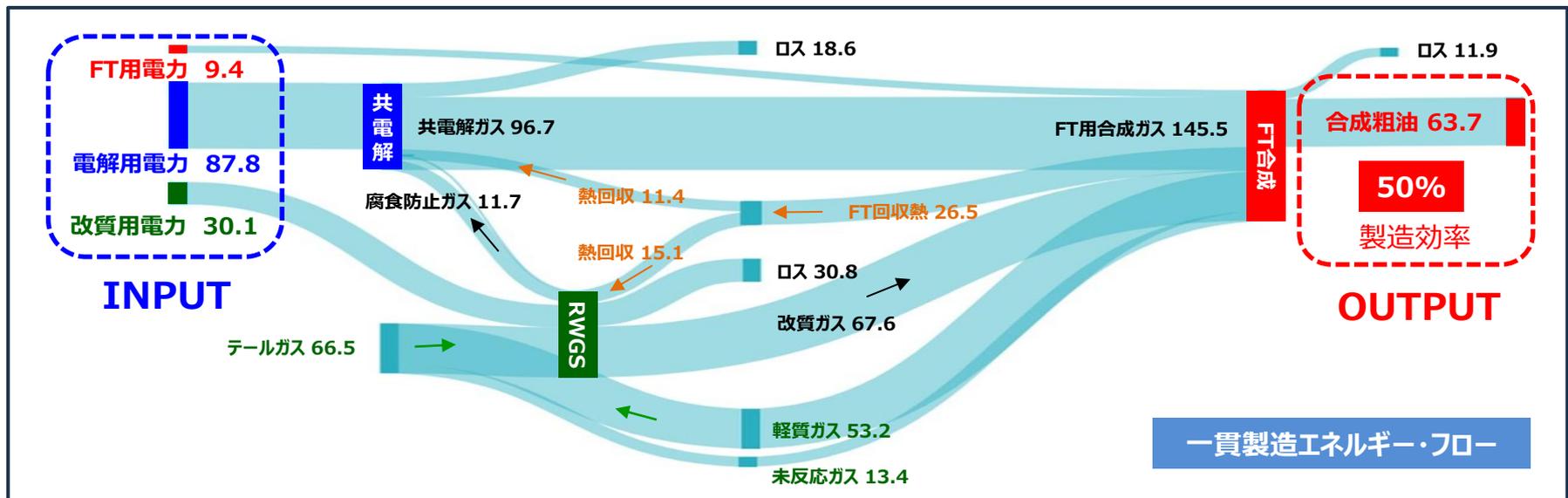
- CO₂からFT用合成ガスを製造する共電解技術とFT反応技術を組合わせた一貫製造プロセスにおいて、プロジェクト目標の**製造効率50%**は、FT合成におけるC5+液収率57%でクリア可能
- C5+液収率57%は、1.2MPa, GHSV 60h⁻¹, 210℃前後（CO転化率70%）の反応条件で到達可能（試算）

一貫製造プロセスシミュレーターの構築

C5+液収率
57%

【共電解】 【FT】	燃料利用率 CO転化率 メタン選択性 C5+選択性	75% 78% 4.2% 72.7%
【RWGS】	α S/C	0.795 8.0

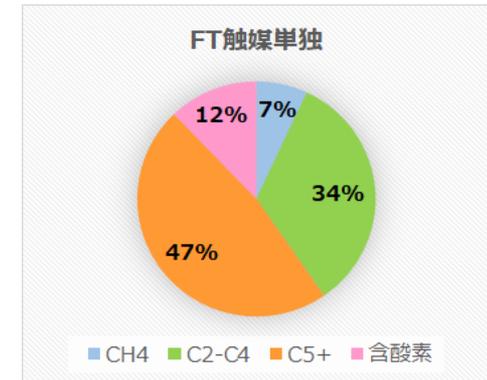
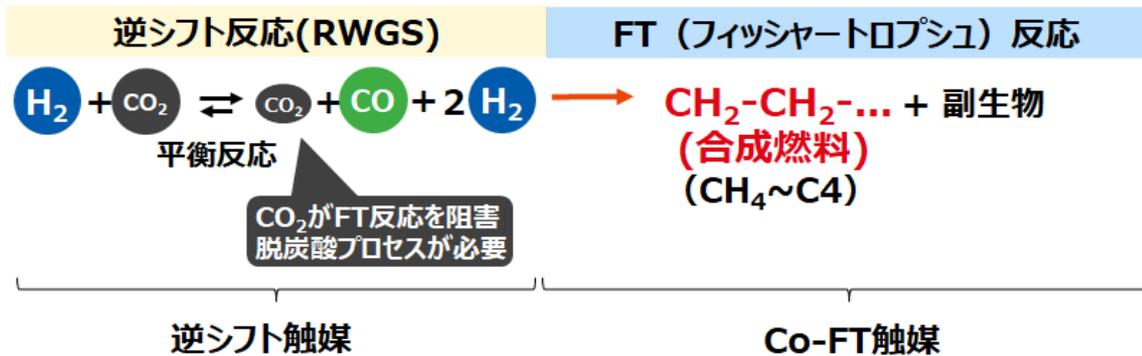
(C5+液収率=CO転化率×C5+選択性)



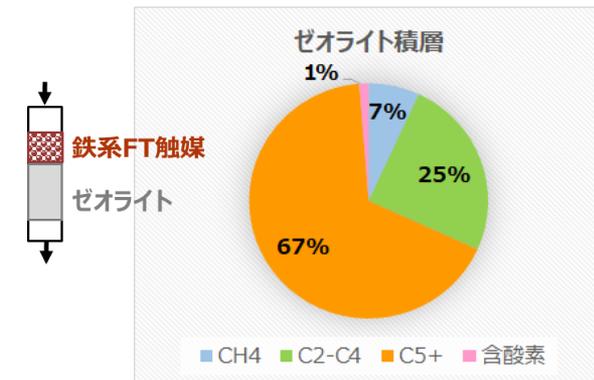
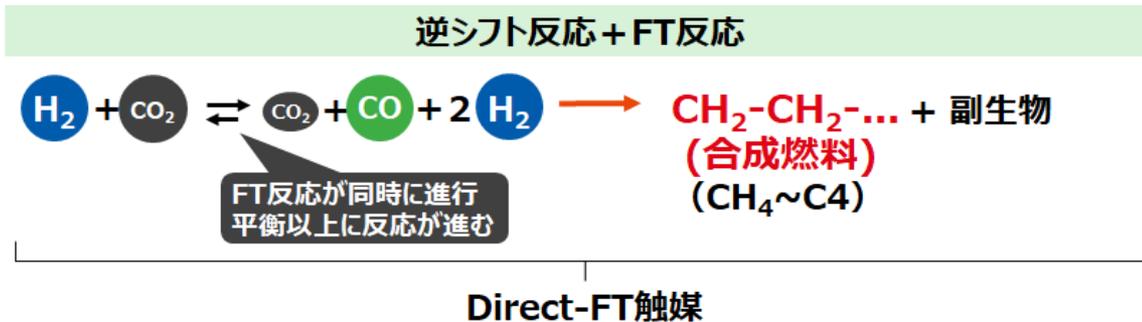
①-1-1. CO₂を原料とした直接FT反応

CO₂を含む合成ガスから1段で効率よく液体燃料を合成する技術の研究開発を行い、Fe系直接FT触媒を用いた直接FT反応において、C5+炭化水素選択率65%を達成した。

●既存プロセス(逆シフト+FT)



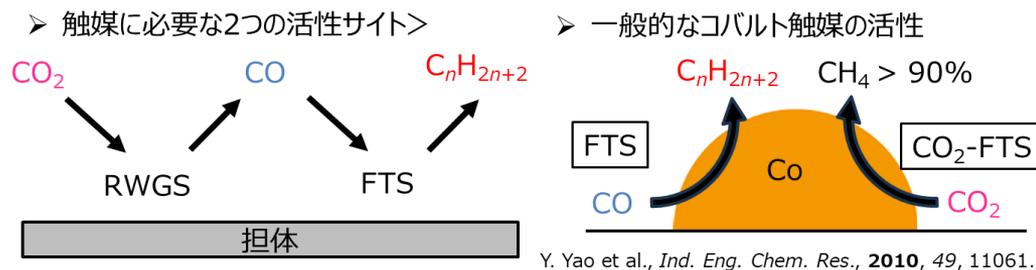
●直接FT(Direct-FT)



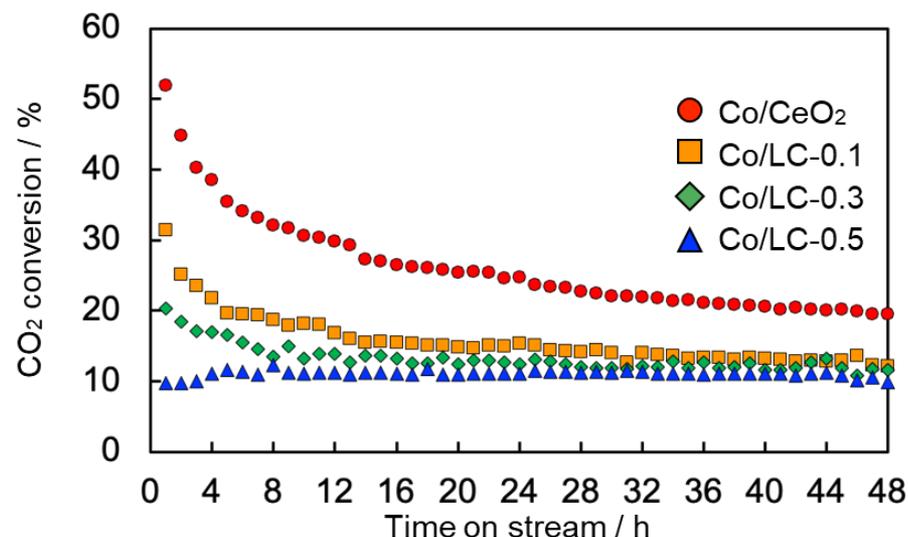
- CO₂を含む合成ガスからの1段で効率よくFT反応を行う技術
- ゼオライトを積層することでアルコールなどの含酸素、C₂-C₄が減少、C₅+選択率が向上

①-1-2. 直接FT反応の基盤技術

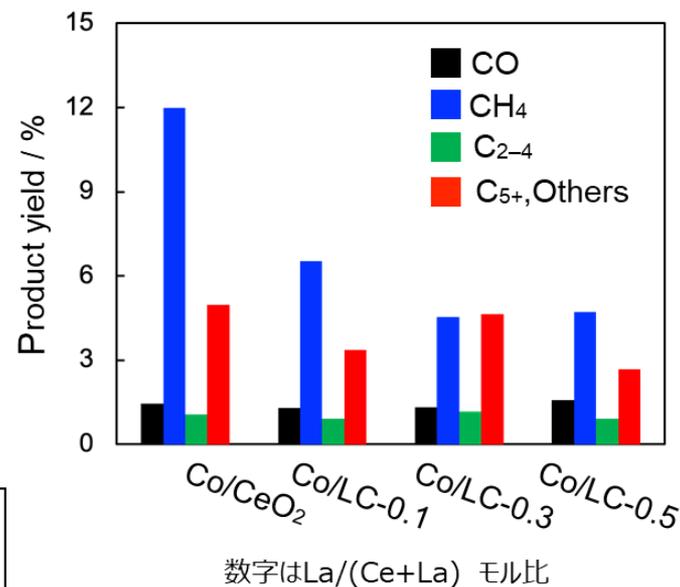
CO₂を含む合成ガスから1段で効率よく液体燃料を合成する技術の研究開発を行い、Co系直接FT触媒を用いた直接FT反応において、C₅+炭化水素選択率65%を達成した。



- Co/CeO₂はCO₂転化率が時間とともに低下するが、メタン選択性が高い
- 担体をLaドープCeO₂(LC-0.1-0.5)を用いることでメタン生成能を抑制
- Co/LC-0.3触媒はC₅+, Others収率が最も高く、長鎖炭化水素の生成を確認



➤ 48時間活性試験後の生成物収率



触媒重量：0.3 g, 還元条件：100%H₂, 50 mL min⁻¹, 400 °C
 反応ガス：H₂/CO₂/N₂ = 3/1/1, ガス流量：120 mL min⁻¹
 反応温度：300 °C, 圧力：1.0 MPa(a)

①-2-1. 選択性制御の研究開発（触媒設計・開発）

Schulz-Flory分布則を破り、選択的に液体燃料を生成する触媒プロセスの研究開発を行い、液体炭化水素（C5-19）選択率75%以上達成を可能とする触媒（FT触媒+固体酸触媒のハイブリッド）を開発した。

- 開発Co触媒とZSM-5の組み合わせでC5~C19の選択率向上に寄与
- 従来型Co触媒ではZSM-5とのハイブリッドでもCH₄とother/C20+が多量に生成 → 構造解析により特性発現の理由を検討

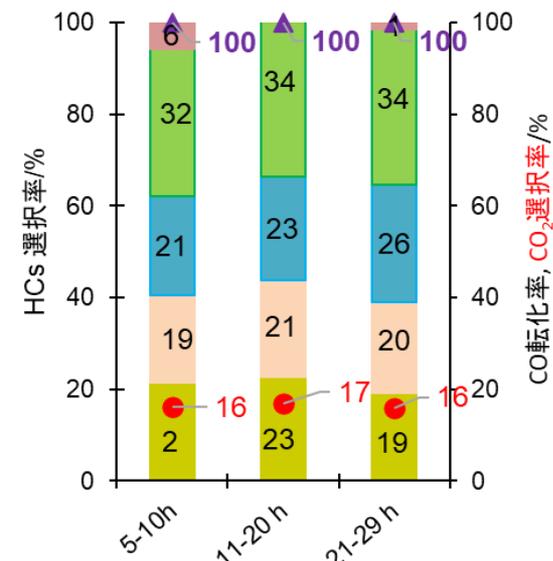
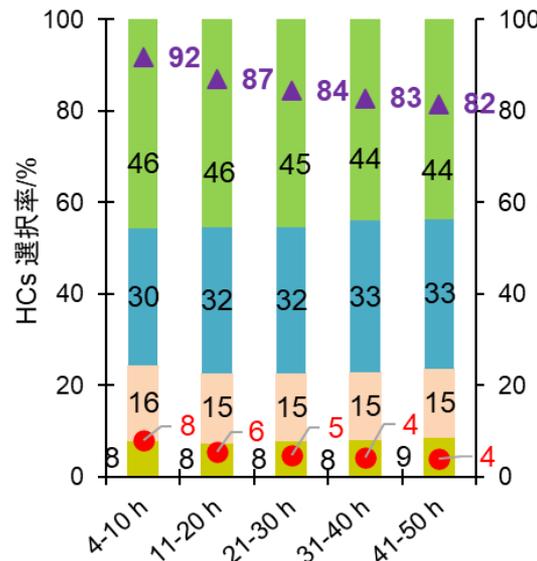
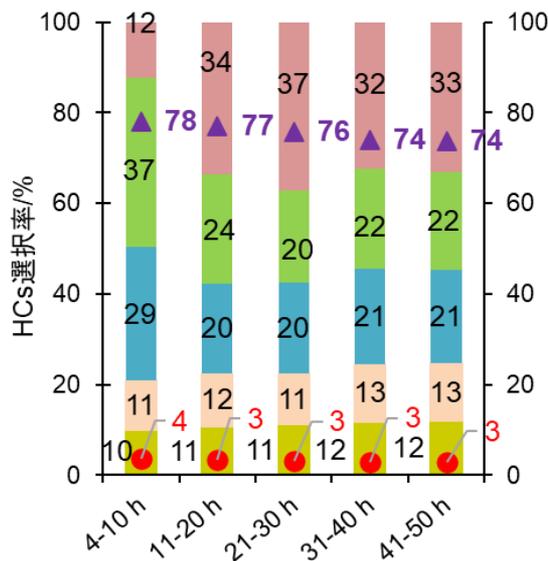
目的成分

■ C20+/others. ■ b/oC5-19. ■ nC5-19. ■ C2-4. ■ CH₄. ▲ CO conv. ● CO₂ select.

従来型: Co(N). 還元: 1 h / 500 °C.

開発品: Co(acac). 還元: 1 h / 500 °C.

開発品: 還元: 12 h / 500 °C.



前処理: 500°C, 1 h. 反応圧力: 1.0 MPa (abs.), H₂/CO: 2/1,
 反応: 230°C (触媒層). ガス総流量: 12.3 mL/min. 触媒量: 1.0 g (Co/Al₂O₃) + 2.0 g (ZSM-5), W/F: 26 g_{-cat} h mol⁻¹

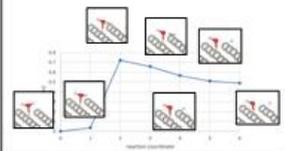
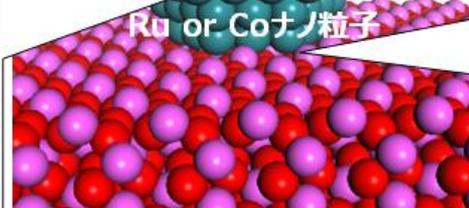
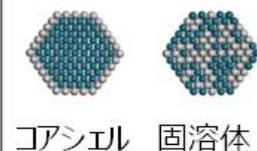
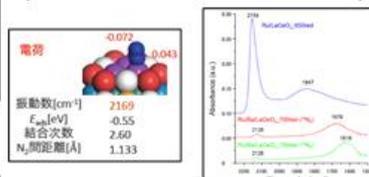
①-2-2. 選択性制御の研究開発 計算科学的手法の導入

状態密度と機械学習による不均一場での吸着特性予測モデルを構築した。実験研究との共同により、実動作環境下でのCO/H₂吸着特性およびゼオライト界面での動特性評価（炭化水素の安定性、反応性等）による現象理解が可能となった。

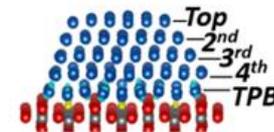
● CO吸着特性と反応機構解析における研究開発要素

ガス成分の抑制

金属ナノ粒子へのCO吸着特性の解明

実動作環境モデルでのCO/H₂吸着特性の解析CO反応機構
(遷移状態探索)金属ナノ粒子
(安定性・状態密度)CO吸着
(サイト・エネルギー・振動数)

実験値との比較

担体効果
(電荷移動・ドーパント)

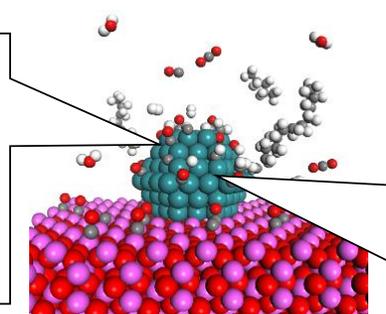
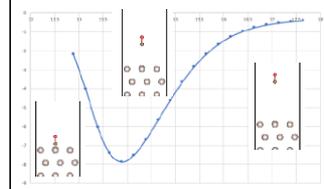
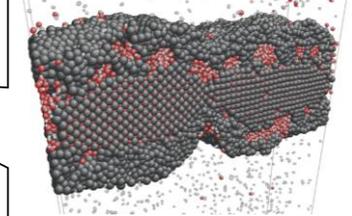
CO吸着特性と反応機構解析

● C-C生成機構と反応ダイナミクスおよび反応性力場開発における解析要素

wax成分の切断

直鎖炭化水素の反応性

ゼオライト界面での動特性評価

反応性力場開発
(パラメータ作成)反応性分子動力学計算
(実構造モデル:既報解析例)

C-C生成機構と反応ダイナミクス

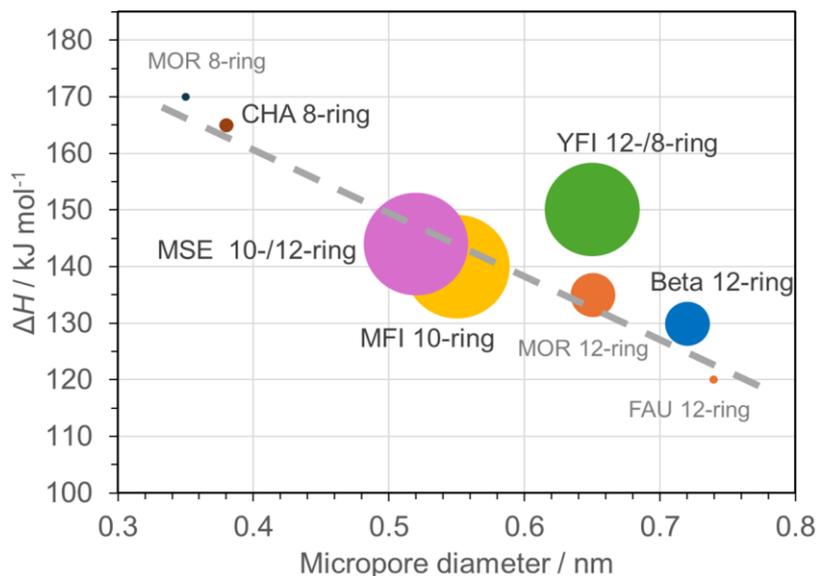
①-2-3. FT生成油の分解・改質の研究開発

各種ゼオライトにおけるC20の異性化・分解のバランス, 反応温度, 細孔径の大きさを明らかにするとともに、液体炭化水素 (C5-C19) の選択率86%を達成した。また、名大開発Co/Al₂O₃とゼオライトのハイブリッドでC5-C19選択率76%以上を達成した。

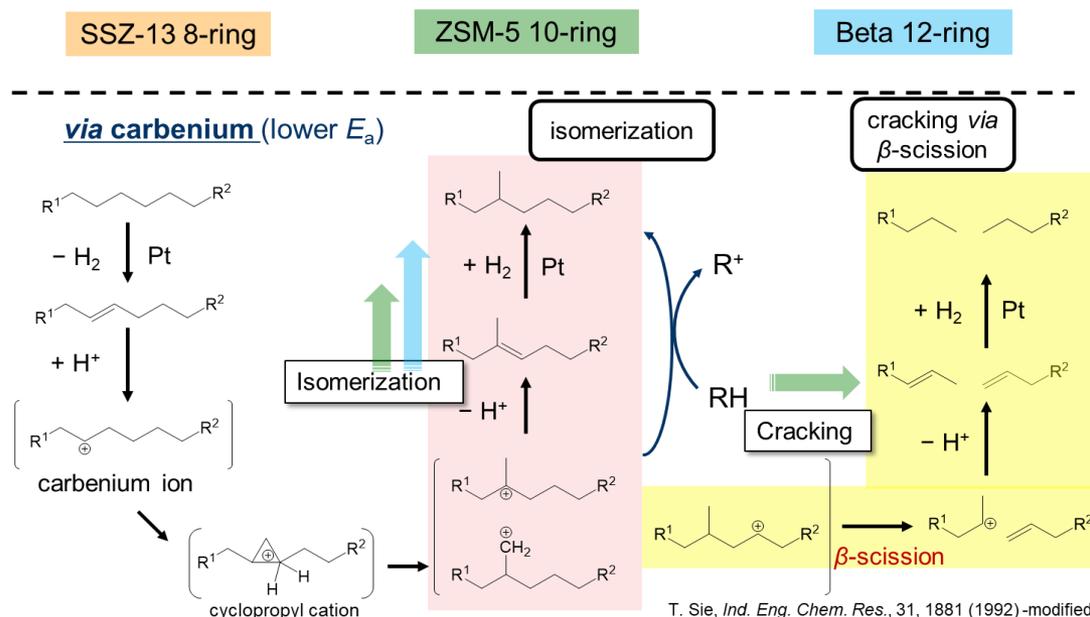
- C20 (n-eicosane) の転化率とゼオライトの員環数 (細孔径) ・酸強度の大きき関係

- C20 (n-eicosane) の異性化/分解のバランスとゼオライトの細孔サイズの関係

(注)プロットのマルの大きさは活性の高さを大ききに表示



Catalytic cracking of *n*-eicosane at 230°C



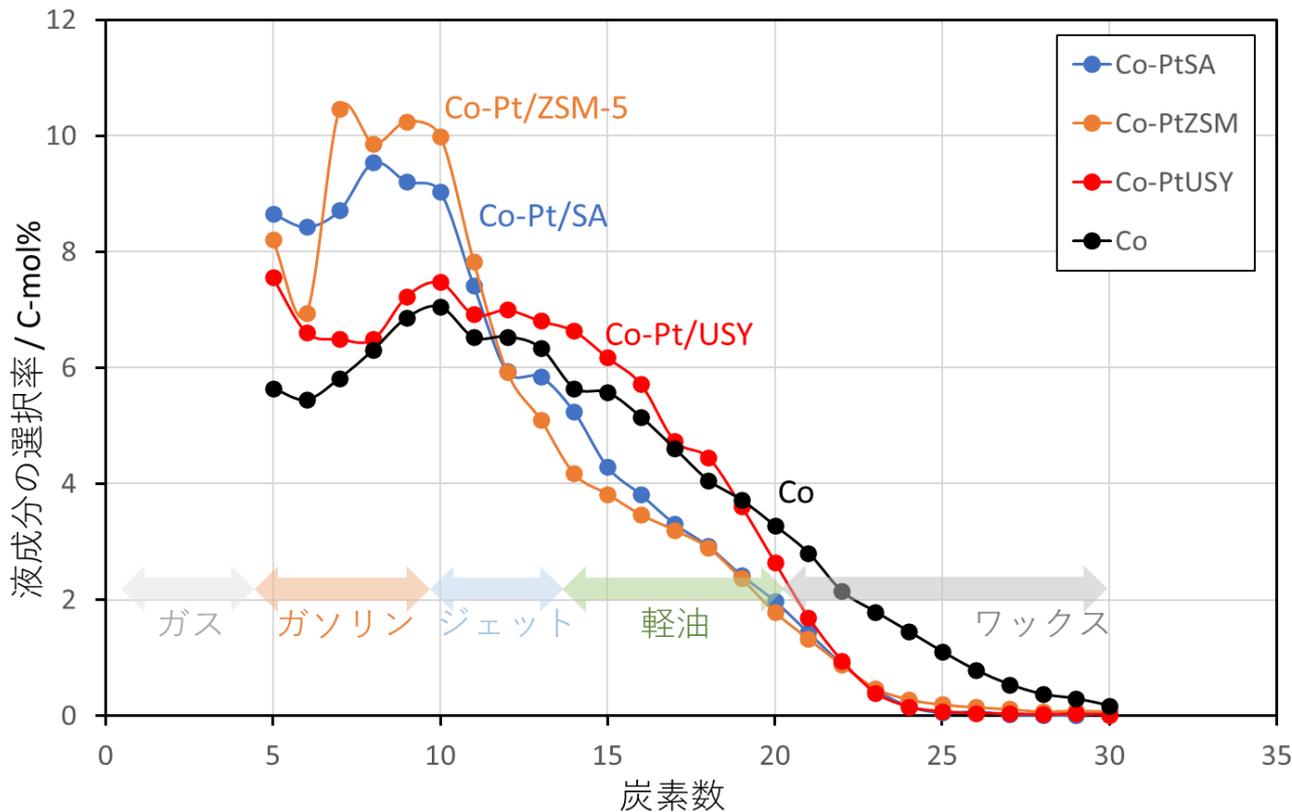
研究成果（進捗概要）

②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

産総研

②-2 再エネ利用液体合成燃料製造プロセス技術の開発 ②-2-4.FT合成の実用化に向けた研究開発

本研究開発では、一貫製造ベンチ実証試験に向け、FT合成の燃料収率の向上に有効なハイブリッドFT触媒（15%Co/SiO₂ + 1%Pt/USY + バインダー）HB-1の仕様を決定し、工業規模製造を完了。実証運転での使用方法を確立した。



- 酸触媒の違いによるCo系ハイブリッドFT触媒の炭素数分布
- 実証用ハイブリッド触媒（工業規模製造品）HB-1

形状/サイズ

円柱状：粉体同士の混練物押出による一体成形/1.5~0.5mmΦ

研究成果（進捗概要）

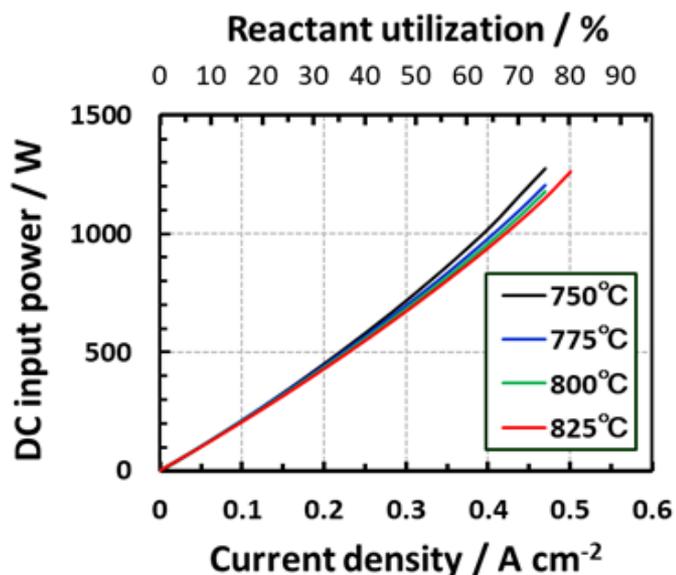
②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

産総研・東北大学

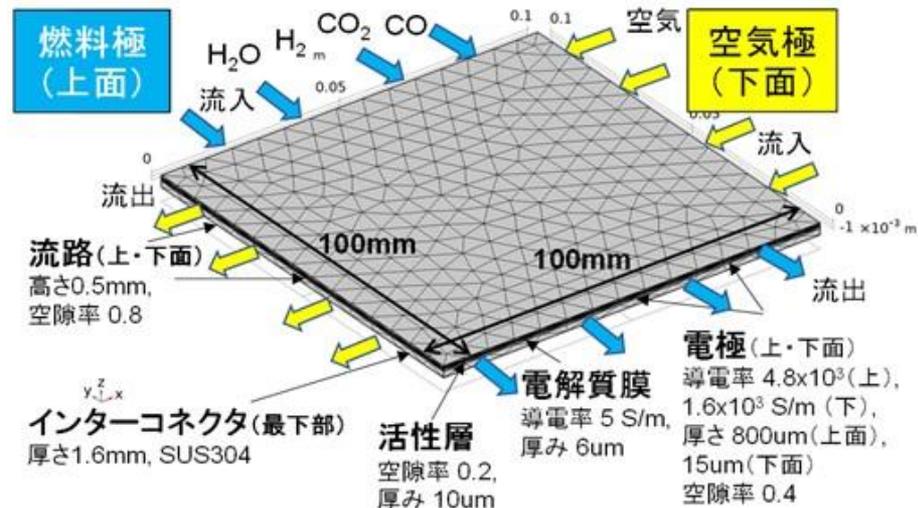
②-2 再エネ利用液体合成燃料製造プロセス技術の開発 ②-2-2.SOEC共電解セルの基本設計/②-2-5.FT用共電解実用化に向けた基盤技術研究開発

本研究開発では、SOEC-FTプロセスの実用化・大型化に向け、FT用SOEC共電解性能評価手法を開発し、セル・スタックの特性と劣化因子解明およびモジュール性能予測技術開発を実施した。

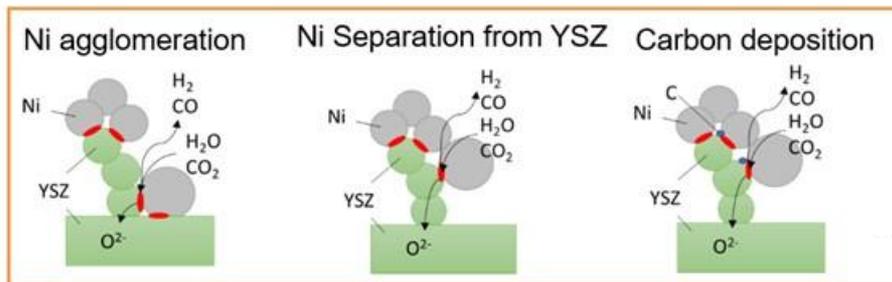
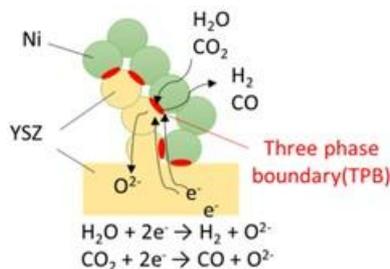
- 25段セルスタック電力-電流特性の温度依存性



- 共電解セル性能予測のための有限要素法モデル



- 提案されている劣化モデル
- 燃料極でのNi移動の影響が顕著



研究成果（進捗概要）

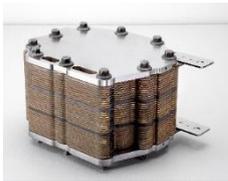
③「SOEC共電解実用化の研究開発」

日特・三菱電機

③-1.SOECセル・スタックの設計・製作に関する研究開発 ③-1-1.100kW級電解モジュールの概念設計/③-2-1.100kW級SOEC共電解システム概念設計の研究開発/③-1-3.加圧条件でのSOEC共電解による合成ガス製造技術の開発

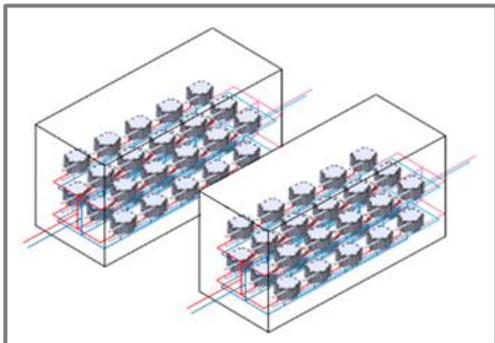
本研究開発では、将来の大型実証に向けたSOEC共電解システムの研究開発に関して、大型モジュールおよびシステム概念設計を実施した。

- 森村SOFCテクノロジー製平板型スタック

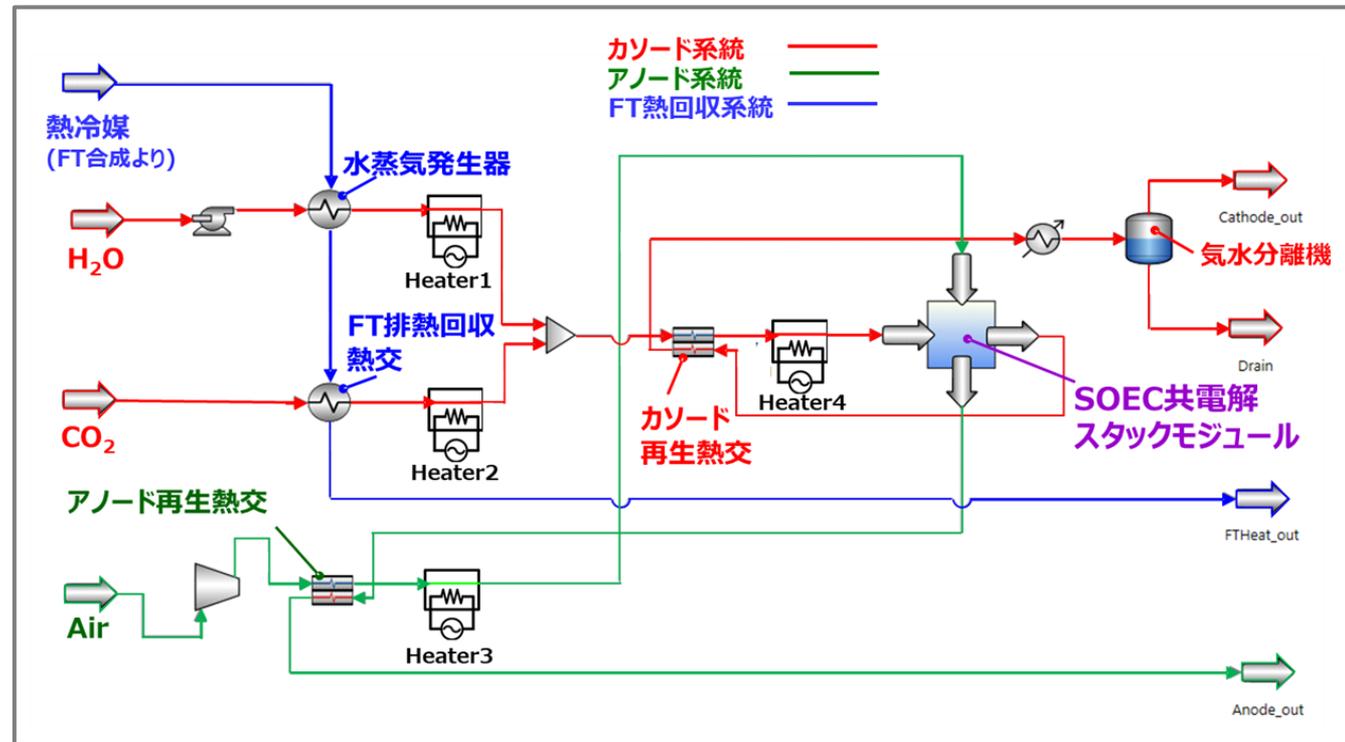


スタック外観

- 大型電解モジュール（イメージ）



- FT合成システムの排熱を利用したSOEC共電解システム構成イメージ

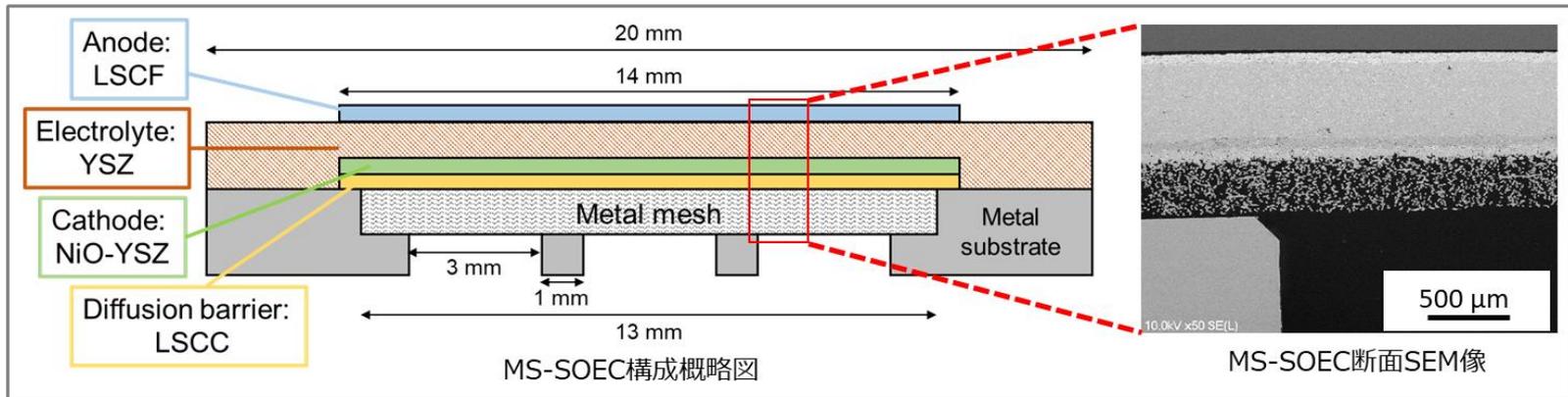


研究成果（進捗概要） ③「SOEC共電解実用化の研究開発」

東科大・電中研

③-1.SOECセル・スタックの設計・製作に関する研究開発 ③-1-2.大容量化のための金属支持SOEC (MS-SOEC)開発/③-1-3.加圧条件でのSOEC共電解による合成ガス製造技術の開発

本研究開発では、本研究開発では、大容量化のための金属支持SOEC（MS-SOEC）の開発とシステムのコンパクト化に有効な加圧系における合成ガス製造技術の開発を行った。



$$V_{EC} = E_{EC} + \eta_{ne} + \eta_{ir} + \eta_c + \eta_a$$

$$\approx E_{EC} + \eta_{ne} + (R_{ir} + R_c + R_a) \times J$$

$$E_{EC} = E^\circ + \frac{RT}{2F} \ln \frac{p_{H_2} p_{O_2}^{0.5}}{p_{H_2O}} \quad \text{ネルンストの式}$$

SOECに適用される各電極反応抵抗式

$$R_c = c_0 \times p_{H_2}^0 \times p_{H_2O}^{-1.0}$$

$$R_a = a_0 \times p_{O_2}^{-0.5}$$

■ η_{ne} : ネルンストロス
 ■ η_a : 酸素極過電圧(酸素極反応抵抗: R_a)
 ■ η_c : 燃料極過電圧(燃料極反応抵抗: R_c)
 ■ η_{ir} : 内部抵抗ロス(内部抵抗: R_{ir})
 ■ E_{EC} : 開路電圧、 E° : 標準起電力
 V_{EC} : セル電圧、 J : 電流密度、 a_0, c_0 : 抵抗パラメータ

電極電圧、 V_{ec} / mV

図 SOEC性能表示式

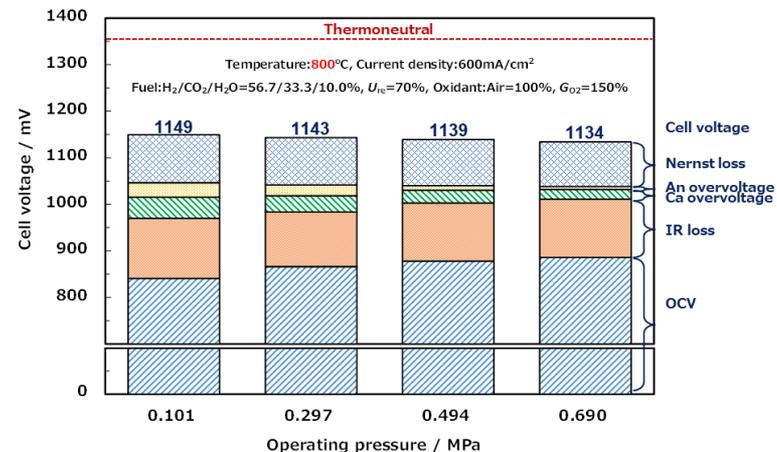


図 性能要因分析結果の圧力依存性

研究成果（進捗概要）

②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

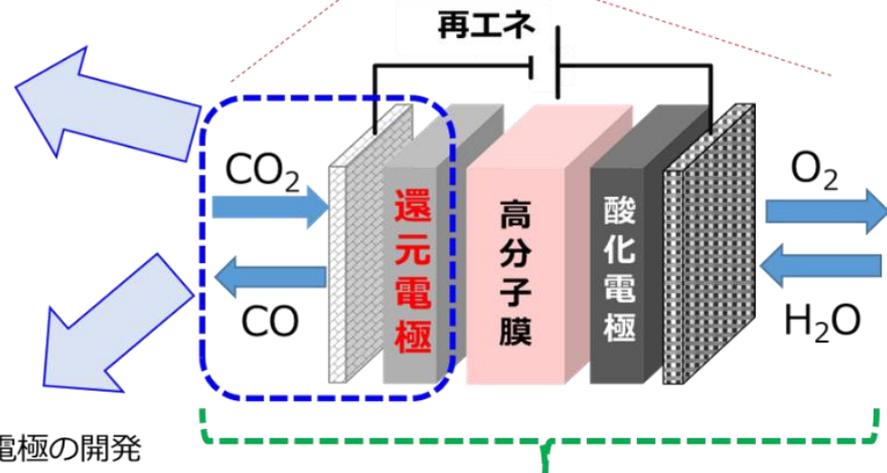
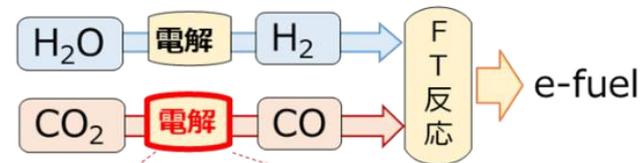
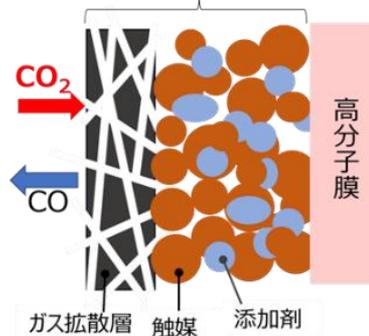
出光興産

②-1.再エネ由来電力を利用した合成ガス製造技術/②-1-1.PEECによるCO₂電解等を利用したFT反応向け合成ガス製造技術（②-1-2.CO₂電解電極触媒の研究開発）

PEEC形CO₂電解プロセス研究開発に関して、MEA大型化、電極性能の向上、劣化率の低減、システム化等の電解システム的能力向上に資する研究開発に取り組み、合成ガス製造プロセスの基本設計を行った。

1) CO₂還元性能向上

- ・添加剤の最適化等による電極構造改良
- ・単一原子触媒等の触媒開発と大量合成技術の開発（再委託：阪大）還元電極



2) 電極大型化

出光が保有する均一塗布技術を用いた大型電極の開発

出光技術
による塗布



他技術
による塗布



3) 耐久性向上/4) システム化検討

- ・劣化要因の特定と、劣化要因への対応（触媒担持方法の改良、添加剤検討、部材の材料変更、設計改良等）によるCO₂電解セルの耐久性向上
- ・システムの熱バランスシミュレーション等

研究成果（進捗概要） ②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

産総研・JPEC

②-2 再エネ利用液体合成燃料製造プロセス技術の開発 ②-2-1.SOEC共電解とFT反応を組合せた液体合成燃料一貫製造プロセス技術/②-2-3.一貫製造ベンチの製作と運転

本研究開発では、水とCO₂の共電解による合成ガス製造と液体燃料転換をFT反応で行う液体燃料一貫製造プロセスの研究開発に向けた一貫製造ベンチ試験機的设计・製作および実証運転を実施した。

制御室



合成粗油



FTベンチ

- 反応管加熱方法：熱媒体油システム（制御温度～320℃）
- 反応圧力：0.9MPaG未満
- 触媒長：3m×2本
- 触媒層（容積）：～1800cc
- 供給ガス量：750～1500L/h
- 生産量：～200cc/h
- ガス分析：オンラインGC分析

電解モジュール

- スタック：2～4基
- 反応温度：～900℃
- 原料供給量
- H₂O：～13.75NL/min
- CO₂：～6.75NL/min
- 合成ガス製造量：～1500L/h
- ガス分析：オンラインGC分析

バッファータンク
昇圧装置

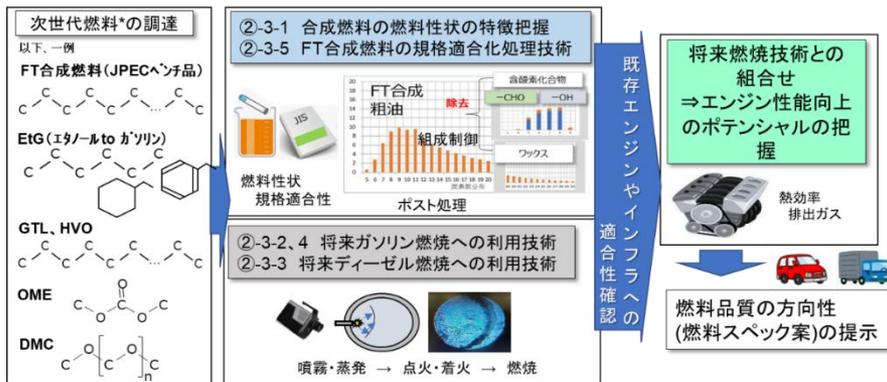
研究成果 (進捗概要)

②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

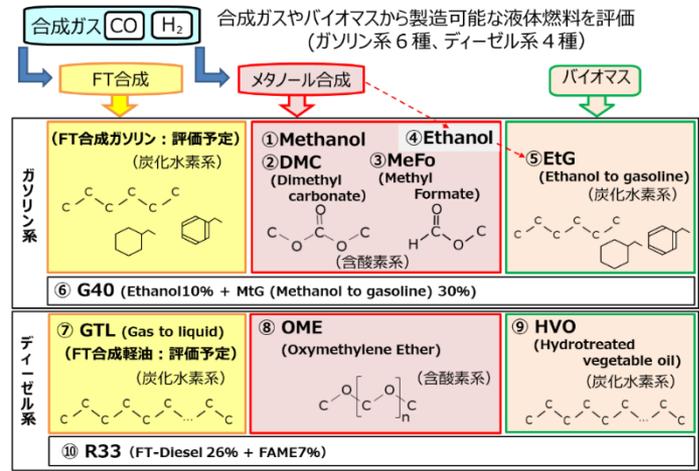


②-3. 燃料利用技術の研究開発 ②-3-1. 合成燃料の燃料性状の特徴把握

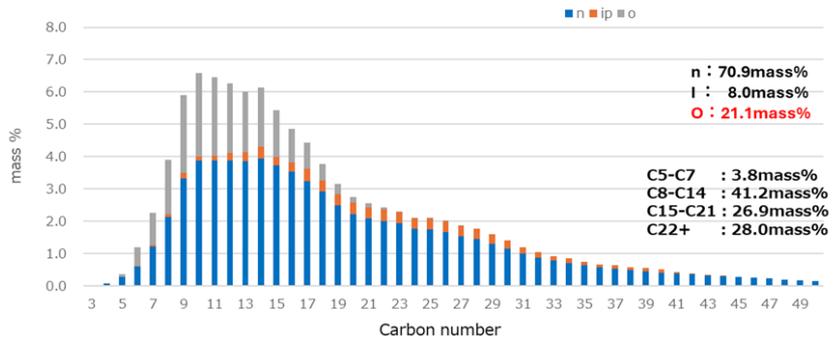
本研究開発では、将来の自動車用燃料へのカーボンニュートラル燃料導入・普及を睨んで、国内外の次世代燃料（合成燃料・バイオ燃料）の特徴把握（規格適合性等）、および事業で得られたFT合成油を燃料（ガソリン、軽油等）へ適切に転換するポスト処理の方法等の検討を実施。次世代燃料（MtG、HVO等）の特徴把握をするとともに、FT合成油全体の組成に見合ったポスト処理方針の提言を行った。



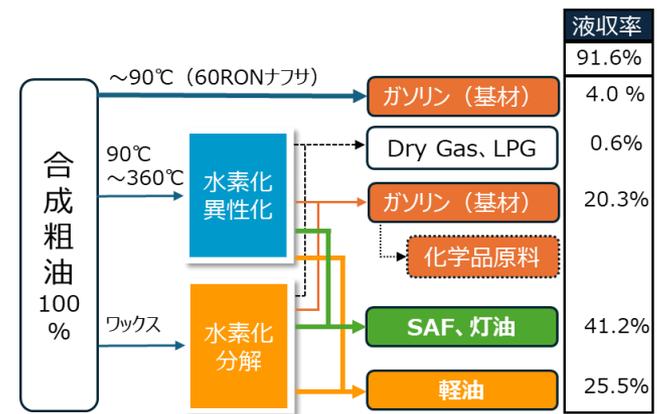
次世代燃料の
調達・評価



FT合成粗油の特徴把握



自動車燃料化への
ポスト処理方針の
提言



研究成果 (進捗概要)

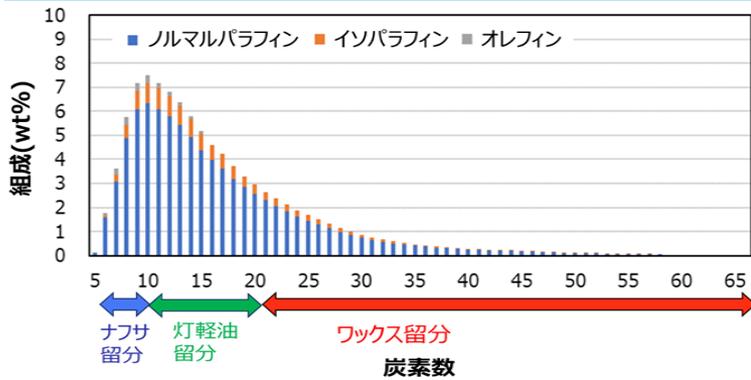
②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

JPEC・コスモ石油

②-3. 燃料利用技術の研究開発 ②-3-5. FT合成燃料 (粗油) の規格適合化処理技術の開発

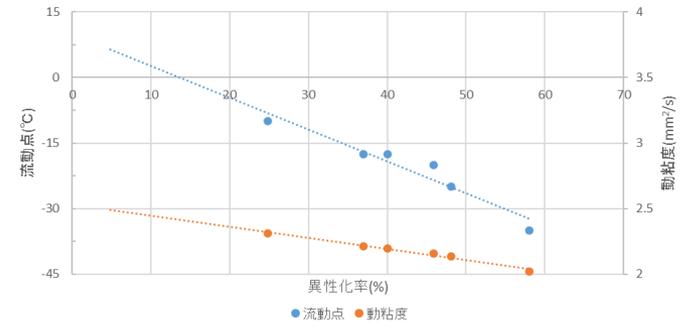
FT粗油は従来の原油とは組成が異なるため、燃料転換するには適切なポスト処理の方法と処理条件を適用する必要がある。

本研究開発では、模擬油を用いた事前検討結果を反映してFT粗油のポスト処理を行い、規格適合する燃料を得るとともに、より得率等の高い効率的なポスト処理条件の提言を行った。



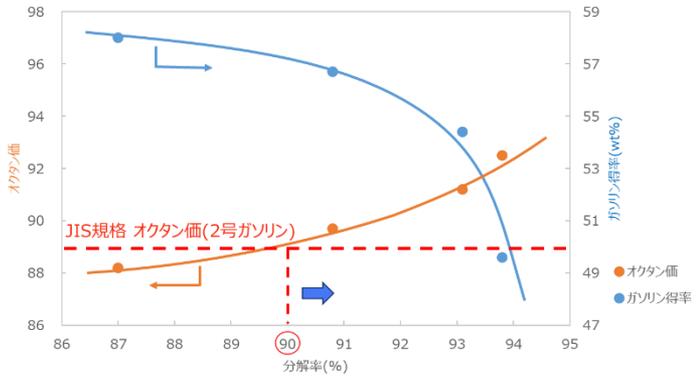
図②-3-5-1 FT合成粗油(2kW級FTベンチRUN5)の炭素数別組成

ポスト処理条件の把握②



図②-3-5-7 灯軽油留分の異性化率と性状の関係

ポスト処理条件の把握①



図②-3-5-10 ワックス分解率とガソリン得率、オクタン価の関係

効率的なポスト処理方法の提言

	オレフィン含有FT合成粗油 (10kW級FT粗油) 灯軽油基材製造志向	ワックスリッチFT合成粗油 灯軽油基材製造志向	ワックスリッチFT合成粗油 ガソリン基材製造志向
燃料基材得率	ガソリン: 4.0% 灯軽油: 66.8%	ガソリン: 14.3% 灯軽油: 63.1%	ガソリン: 27.2% 灯軽油: 49.8%
液体収率	91.6%	83.5%	82.6%
課題	<ul style="list-style-type: none"> FTナフサのガソリン基材活用量の向上 水素化ナフサの活用 MTGプロセスによるガソリン製造 	<ul style="list-style-type: none"> ナフサ接触改質におけるガス化および重質化抑制 ワックス水素化分解における軽質化抑制 副生物 (未反応物) の原料化 	<ul style="list-style-type: none"> ナフサ接触改質におけるガス化および重質化抑制 ワックス接触分解におけるガス化抑制 副生物 (未反応物) の原料化
今後の方向性	<ul style="list-style-type: none"> FTナフサ留分の異性化処理によるオクタン価向上検討 MTGプロセスの評価 ①製造効率の把握 (FT合成に対する優位性) ②燃料品質の確認 (排ガスや貯蔵性等に影響を与える不純物等) 	<ul style="list-style-type: none"> 接触改質反応条件の適正化 水素化分解反応条件の適正化 各ポスト処理触媒の探索 	<ul style="list-style-type: none"> ガソリンのオクタン価と高得率の両立 各ポスト処理触媒の探索

研究成果（進捗概要）

②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

産総研

②-3. 燃料利用技術の研究開発 ②-3-2. 将来ガソリンエンジンを想定した合成燃料利用技術の研究開発/②-3-4. 将来ガソリンエンジンを想定した合成燃料利用技術の研究開発 基礎燃焼特性の評価

本研究開発では、将来ガソリンが合成燃料由来に変化した際に、ガソリンエンジン用燃料として十分な特性を有するかを確認するとともに、ポスト処理を含めてどのような合成燃料とすべきかの提言を行った。

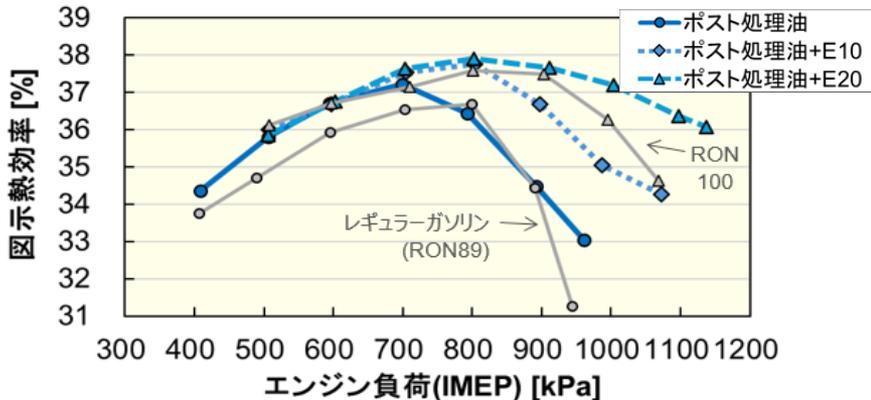
FT合成原油の主成分は直鎖パラフィン ⇒ オクタン価が低い



①ポスト処理 + アルコール添加

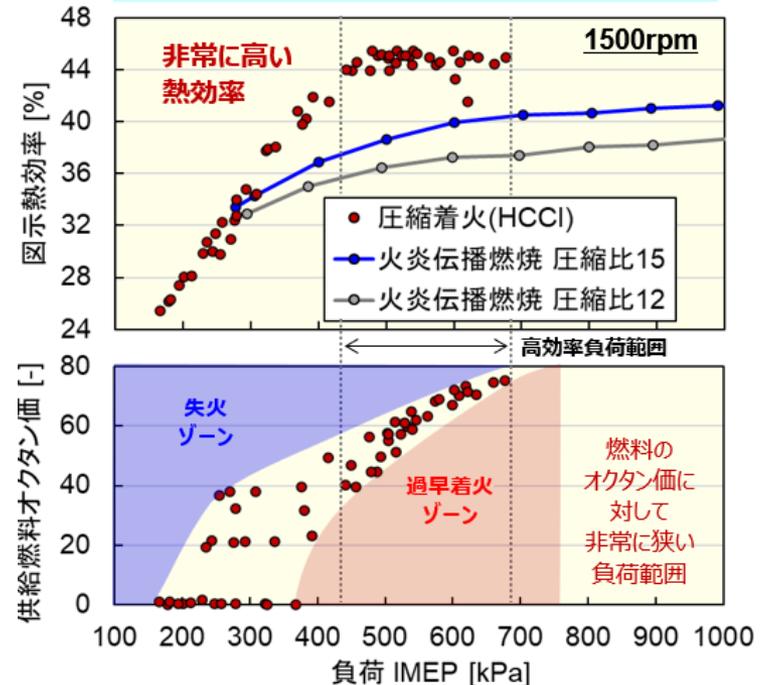
燃料名	ワックス接触分解	エタノール
ポスト処理油	100%	0%
ポスト処理油+E10	90%	10%
ポスト処理油+E20	80%	20%
レギュラーガソリン	-	-
イソオクタン(RON100)	-	-

※FT合成油の分析結果からノルパラWAXの接触分解油をガソリン基材と選定



ポスト処理油及びオクタン価向上成分（アルコール）添加した燃料はガソリン燃料として十分な性能が得られる

②低オクタン価燃料の圧縮着火



オクタン価50～70の燃料で高効率運転が可能
ただし、運転可能負荷範囲が限定される課題あり

研究成果 (進捗概要)

②「再エネ由来電力を利用した液体合成燃料製造プロセスの研究開発」

北海道大学

②-3. 燃料利用技術の研究開発 ②-3-3. 将来ディーゼルエンジンを想定した合成燃料利用技術の研究開発

本研究開発では、将来のディーゼルエンジンの燃焼効率の向上と、排出ガス低減を図ることが可能な液体合成ディーゼル燃料性状の提案を行った。

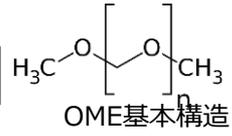
◆ 液体合成燃料として検討に用いた燃料

- ①GTL
 - 天然ガス原料だがFT合成で得られる燃料 (FT粗油での検討も一部実施)
- ②OME (オキシメチレンジメチルエーテル)
 - メタノール製造時の副生物
 - 含酸素燃料としての性能把握

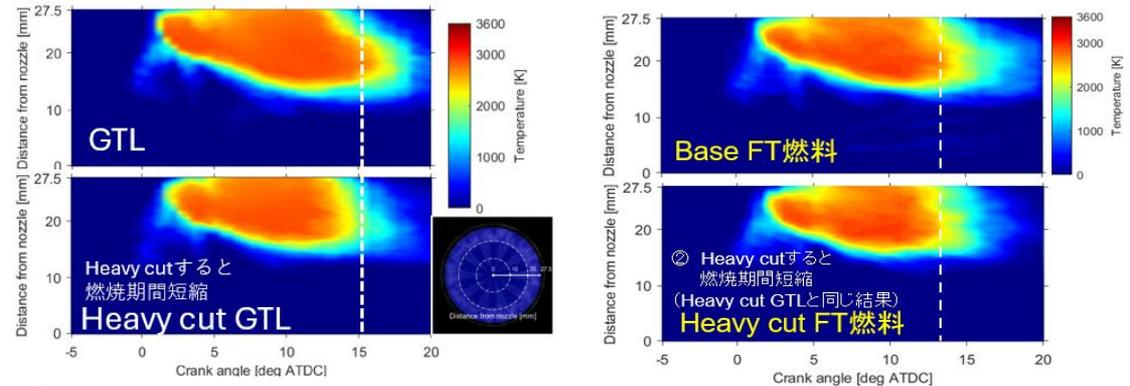
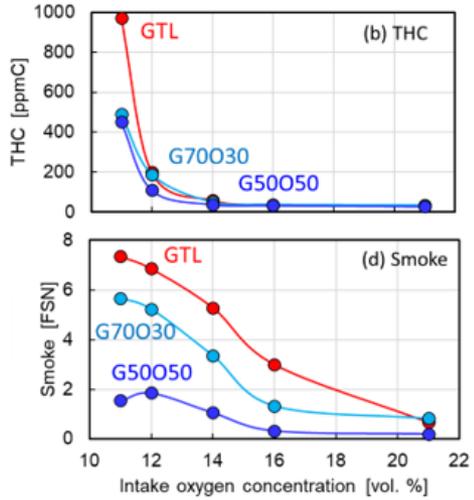
燃料性状検討



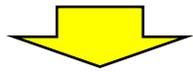
OME検討



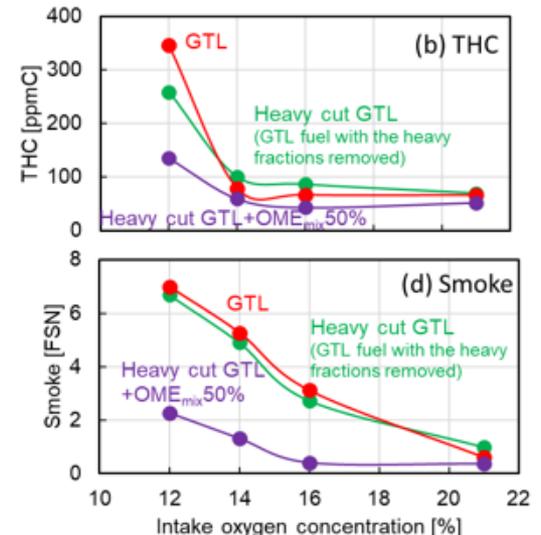
GTLにOMEを混合すると、スモーク低減やTHC低減の効果がみられる



重質分 (Heavy) をカットすると、燃焼時間が短縮、冷却損失が低減し熱効率が改善する (FT粗油からの燃料でも同様の結果)



重質カットGTLにOMEの混合でも同様に、スモーク低減やTHC低減の効果がみられる



まとめ

本事業は、CO₂を原料としたFT（フィッシャー・トロプシュ）反応の次世代技術と、再エネ由来の水素や電力との組み合わせによる液体合成燃料一貫製造プロセスの構築と最適化、さらに将来のスケールアップに向けた3つのテーマから構成される研究開発である。

本事業の最終目標の研究室レベルで**製造効率50%**の達成に目途をつけた。

商用化に向けた技術的課題抽出

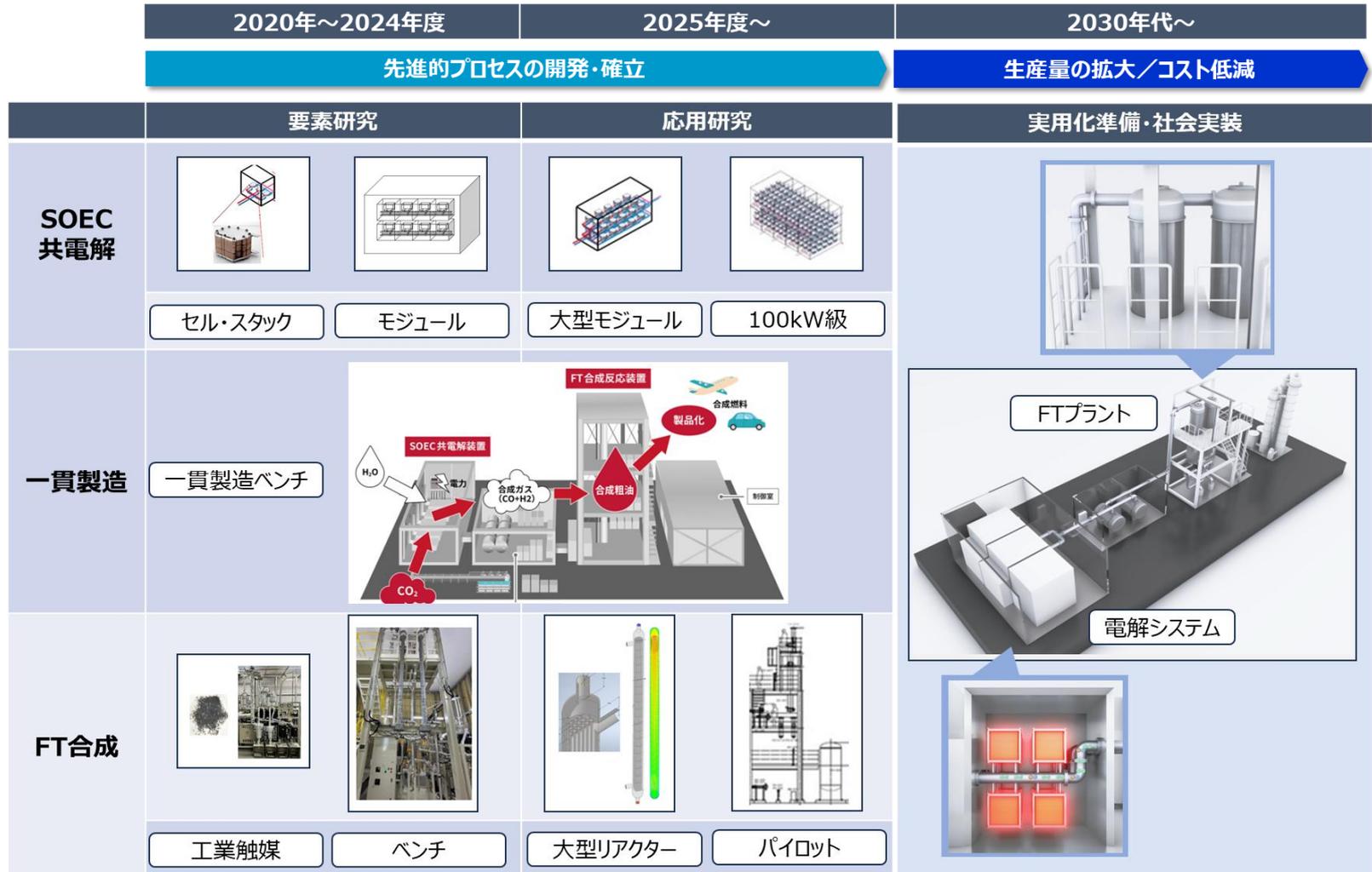
- CO₂を原料とした液体合成燃料製造における**電解技術**の安定性及び耐久性向上とスケールアップ、ハイブリッドFT触媒による**組成制御**と反応器設計、効率向上を目指した**改質技術**等の確立
- 高効率で低コスト化を実現する**次世代プロセス**のスケールアップ、合成原油の生産量拡大、**ポスト処理**の効率化と燃料の**品質信頼性**の検証

商用化に向けた対策

- **大容量化セル・スタック**の開発、**SOEC劣化機構**の解明と対策、**大型電解モジュール**の設計・製作
- 次世代FTハイブリッド**触媒技術**と**熱制御技術**の確立
- **テールガス改質技術**の確立と**スケールアップ**による電解消費電力の削減（製造効率の更なる向上）
- 一定量のe-fuelを安定して生産できる**パイロット実証**でエネルギー効率に優れた先進的な製造技術を確立し、e-fuelの抜本的な**製造コスト低減**を目指す。
- 実証で製造された燃料を利用実証することで、**燃料品質**への信頼性向上を図る。
- e-fuelの利用者が脱炭素価値を享受するための、**炭素強度・認証**等に資するデータ採取や分析を実施する。

今後の方向性

- 要素研究と応用研究を通じて、先進的な合成燃料製造技術を確認しスケールアップを完了する。
- e-fuelの市場形成に向けて、経済性、再エネ由来電力の利用、液体燃料代替としての需要、内燃機関への利用（燃料品質）及び流通、GHG排出削減効果（炭素強度・認証）等の課題に取り組む



本発表に関する成果は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託事業「次世代FT反応と液体合成燃料一貫製造プロセスに関する研究開発」によるものです。

この場をお借りしまして関係各位に感謝の意を表します。