2025年度　JPECフォーラム

【17】合成燃料研究開発における JPEC基盤技術研究所の取り組み

～SOEC共電解による合成ガス製造と次世代FT触媒設計～

2025年5月13日

JPEC　合成燃料技術開発本部

―禁無断転載・複製　©JPEC　2025―

基盤技術研究所における液体合成燃料製造開発の概要

◆取組み概要

効率的な液体合成燃料製造を目標に、水とCO_2の共電解による合成ガス製造、FT反応での液体燃料への転換、両技術を組み合わせた液体燃料一貫製造プロセスの研究開発、ならびに合成燃料利用技術の研究開発

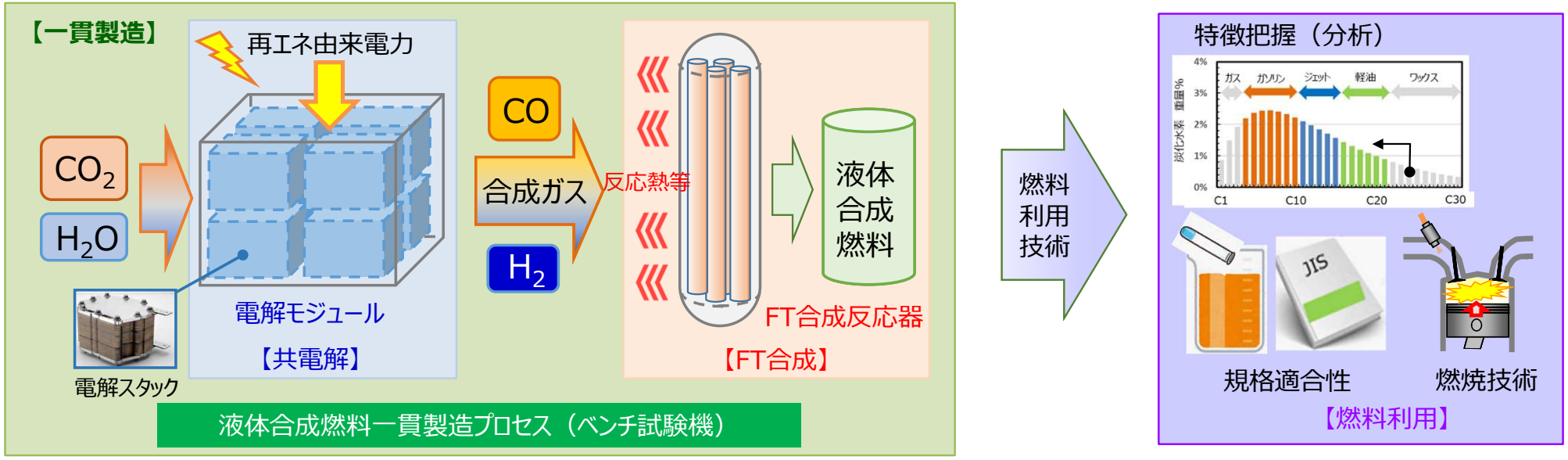
◆課題・目標など

【 共電解 】 運転方法、製造能力及び基本特性の把握、高温・高濃度CO_2共存下での電解セル、スタックの安定性・耐久性、スケールアップ

【ＦＴ合成】液体燃料収率の向上　（既存触媒での合成反応比較）

【一貫製造】エネルギー投入量の削減

【燃料利用】合成燃料の特徴把握・規格適合性（分析技術）、燃焼技術（特性）

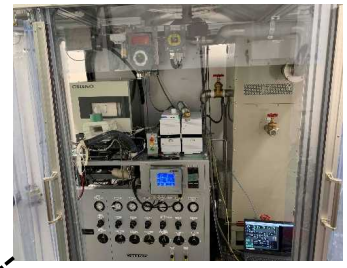


基盤技術研究所における液体合成燃料製造開発の概要

◆課題解決のために・・・


ガス設備監視盤（データ解析室・監視室）


機器分析室

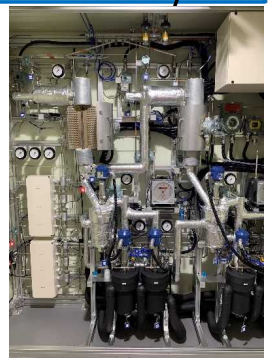

セル電解評価装置


ボンベ庫（シリンダーキャビネット）


基盤技術研究所
三井リンクラボ新木場１


2kW級スタック電解評価装置

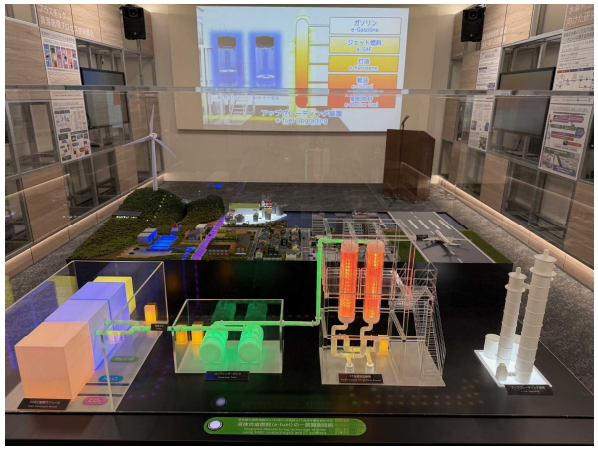

2kW級FTベンチ


全自動触媒評価装置

基盤技術研究所の設備
- セル電解評価装置
- 2kW級スタック電解評価装置
- 全自動触媒評価装置
- 2kW級FTベンチ
- 原料ガスボンベ庫
- 分析装置（GC、HPLC）
- ガス設備監視盤（CO 、H_2等の監視）
  など

※見学者用
一貫製造モデル模型

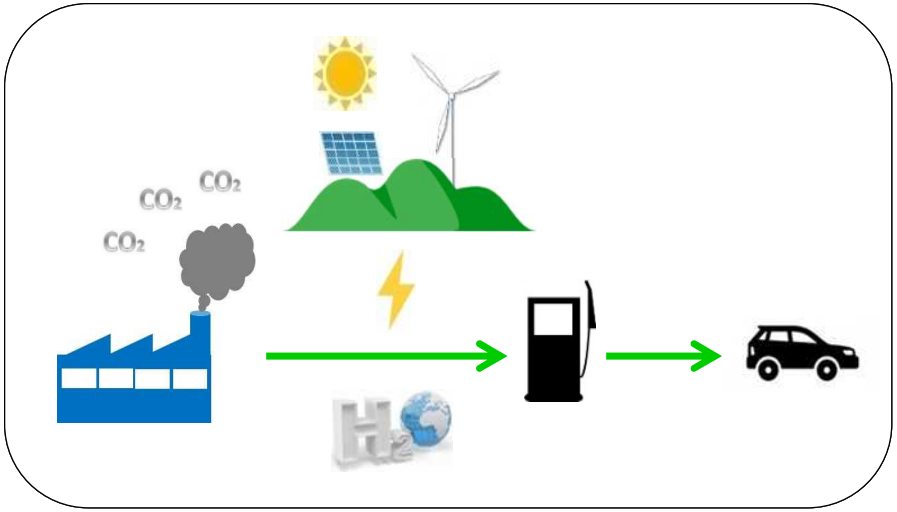
見学者：27組（2024年度）



発表内容

- SOEC共電解の研究開発
  渡邉副主任研究員
- FT合成における触媒粒子径の影響
  鈴木研究員
- FTベンチ装置による液体合成燃料製造検討
  教蓮副主任研究員
- FT合成燃料の性状分析
  大山副主任研究員

SOEC共電解の研究開発



2025年5月13日

JPEC　合成燃料技術開発本部

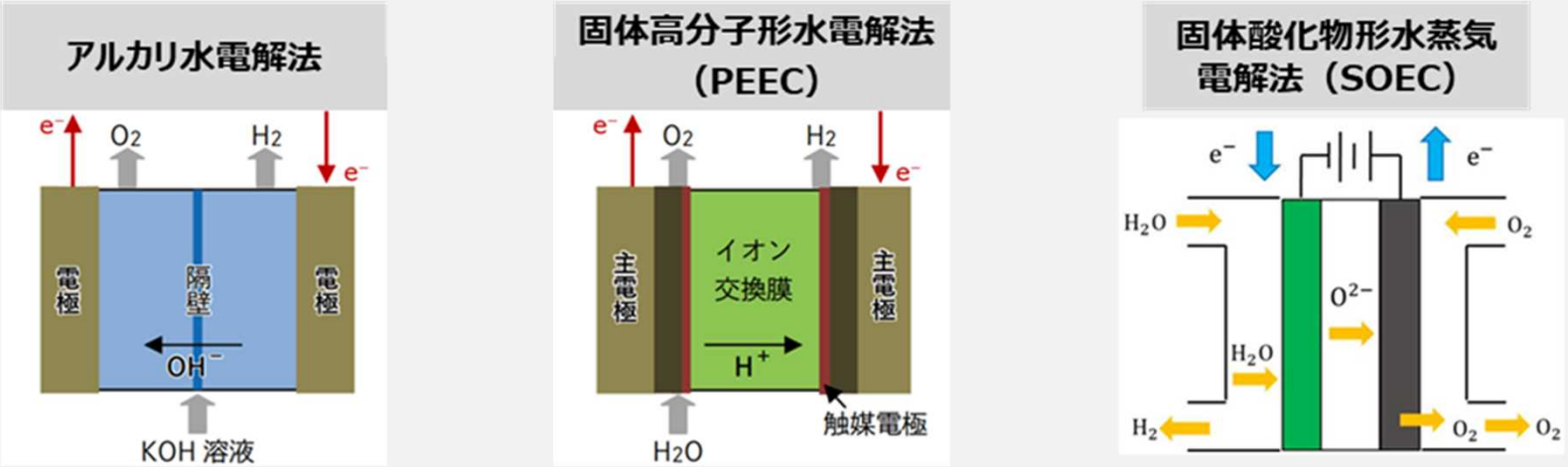
渡邉治彦

1.背景(1/2)

SOEC（固体酸化物形電解セル）電解技術

- 実用化段階にあるアルカリ水電解、固体高分子型水電解（約2.0V）と比較して、SOEC電解は低い動作電圧（約1.3V）で運転が可能であり、水素製造を高効率で行うことが可能なデバイスとして期待されている
- 水蒸気にCO_2を共存させることで、ワンデバイスで合成ガス（H_2＋CO）の製造が可能

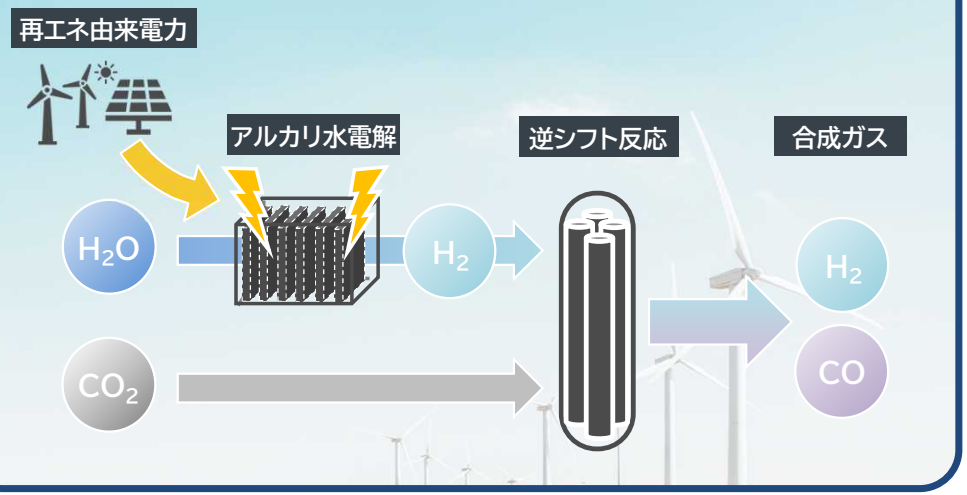
電気分解手法



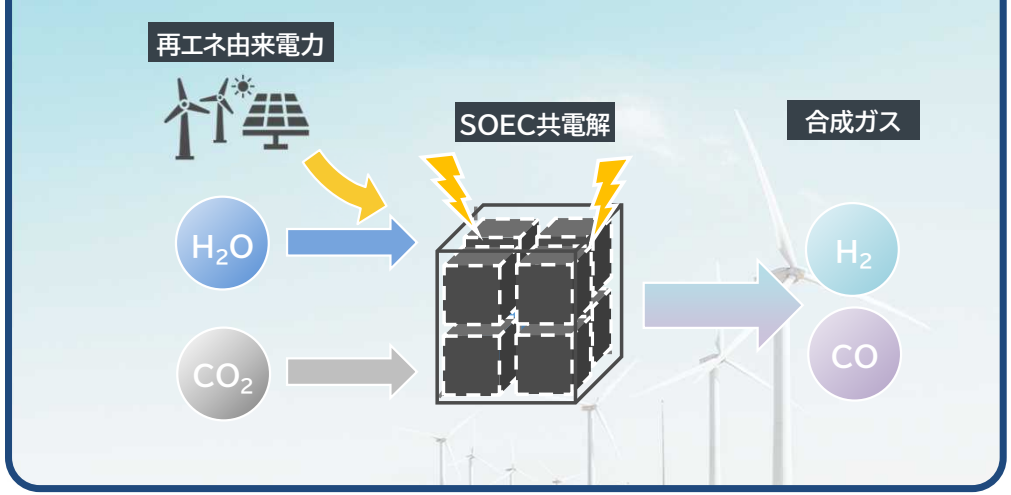
1.背景(2/2)

e-fuelの製造には、水素（H_2）と一酸化炭素（CO）が必要不可欠

既存技術（アルカリ水電解＋逆シフト反応）



将来技術（SOEC共電解）



既存技術の特徴

- ✓ 確立された技術である
- ✓ 2段階での製造が必要

共電解の特徴

- ✓ ワンステップで合成ガス製造が可能
- ✓ 高温域（800℃付近）での動作であるため、エネルギー投入量の低減を図れる

より効率的な合成ガス製造ができる可能性

2.目的

e-fuelの製造におけるSOEC共電解の技術課題

- 合成ガス製造能力及び、基本特性の把握
- 一貫製造に向けた運転方法の確立
- 高温・高濃度CO_2共存下での電解、スタック安定性・耐久性、スケールアップ

これらの課題の解決ため、評価装置を用いて検討を実施

3.装置概要

評価装置について

- セル電解評価装置：単セルを評価
- スタック電解評価装置：多段スタックを評価(6段、25段)

セル電解評価装置



単セル



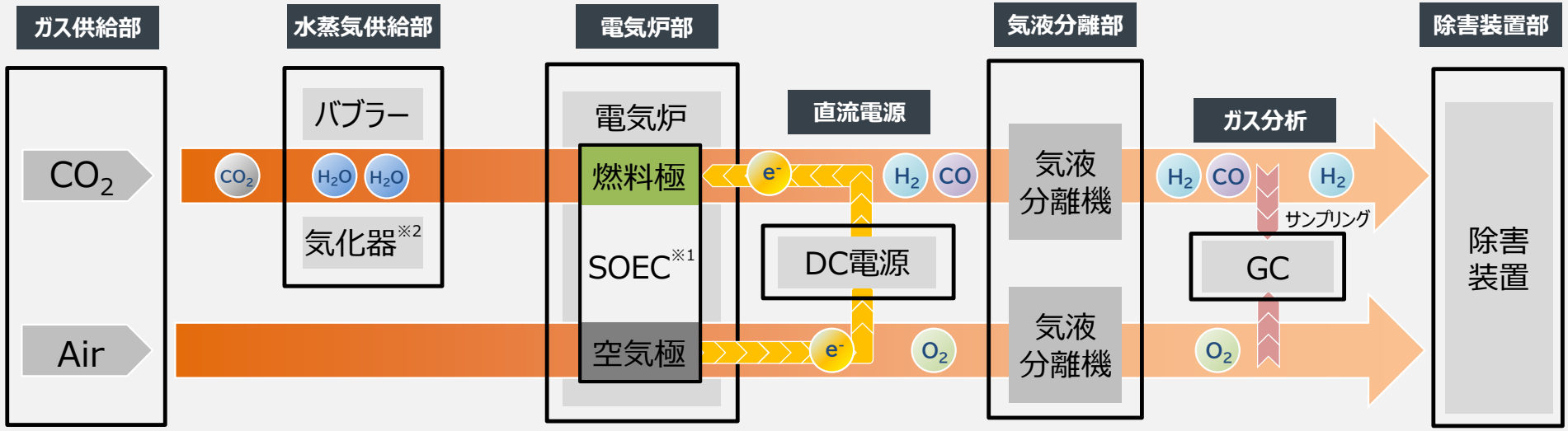
スタック電解評価装置



スタック(25段)



装置概略図



※1 SOEC(固体酸化物形電解セル) ※2 セル電解評価装置には気化器無し

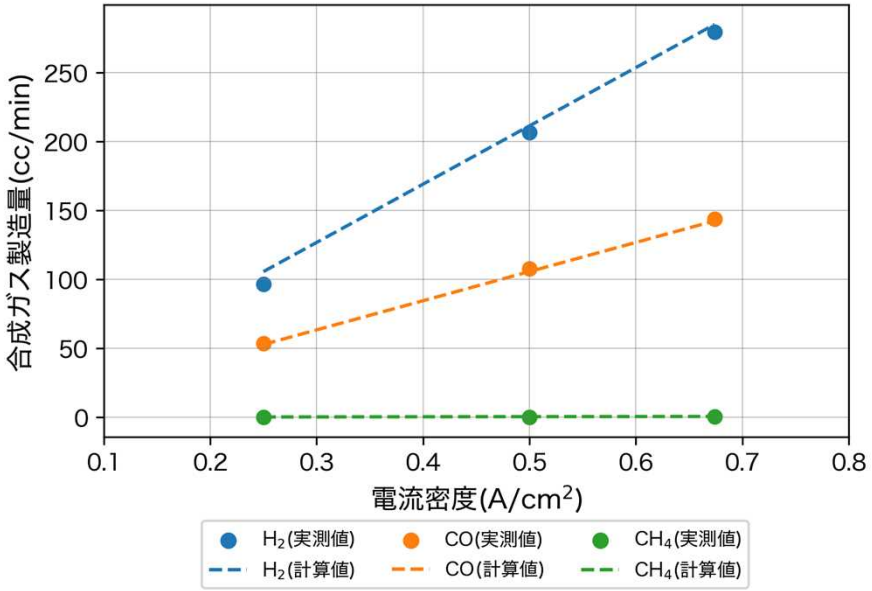
4.評価結果（単セル評価）

セル電解評価装置を用いた単セル評価

- **合成ガス製造能力及び、基本特性の把握**
- **DSS※運転による耐久性の確認**

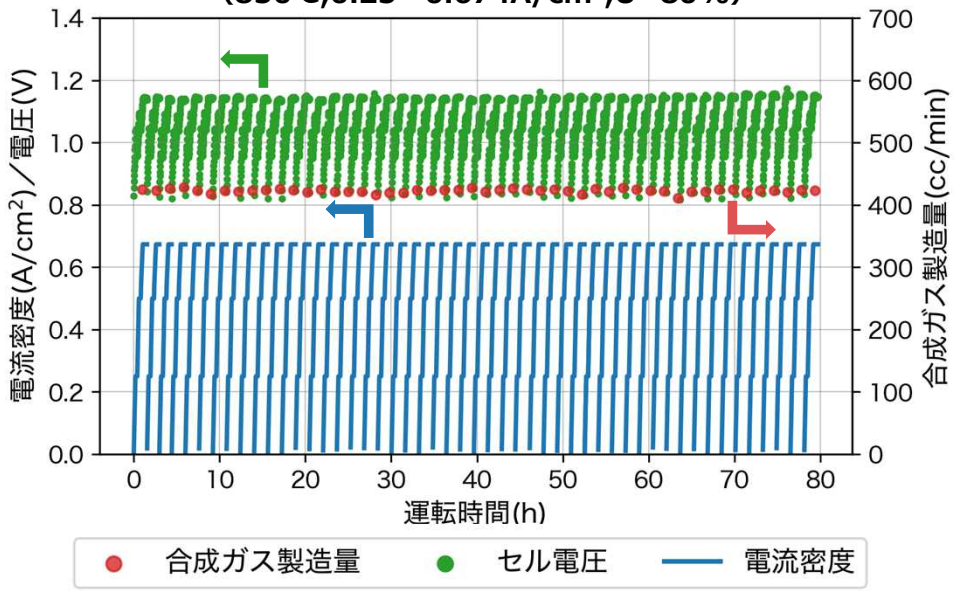
※ DSS : Daily Start and Stop（日間起動停止）

単セルを用いた共電解による合成ガス製造量
（850℃,0.25～0.674A/cm²,U=80%）



- **平衡組成通りの合成ガス製造能力を確認**

共電解における単セルの耐久性評価
（850℃,0.25～0.674A/cm²,U=80%）



- **シーケンス運転による熱サイクル数50回の耐久性を確認**

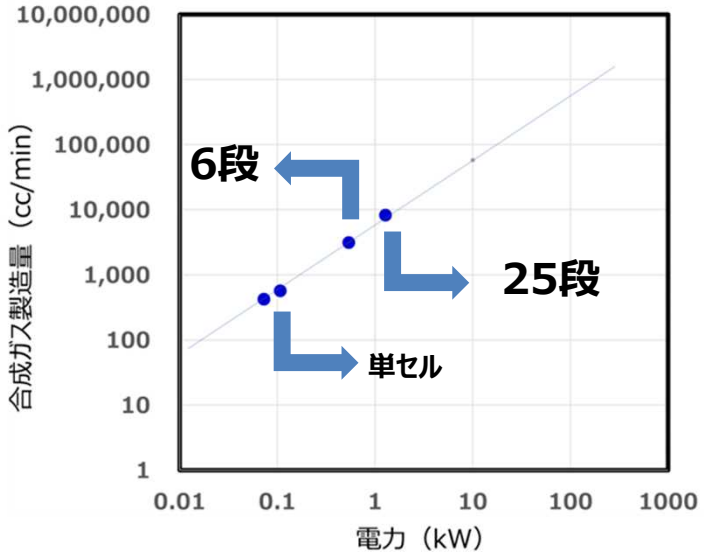
5.評価結果（多段スタック評価）

スタック電解評価装置を用いた多段スタック評価

- **合成ガス製造能力及び、基本特性の把握**
- **一貫製造に向けた運転方法の確立（DSS※運転、連続運転）**

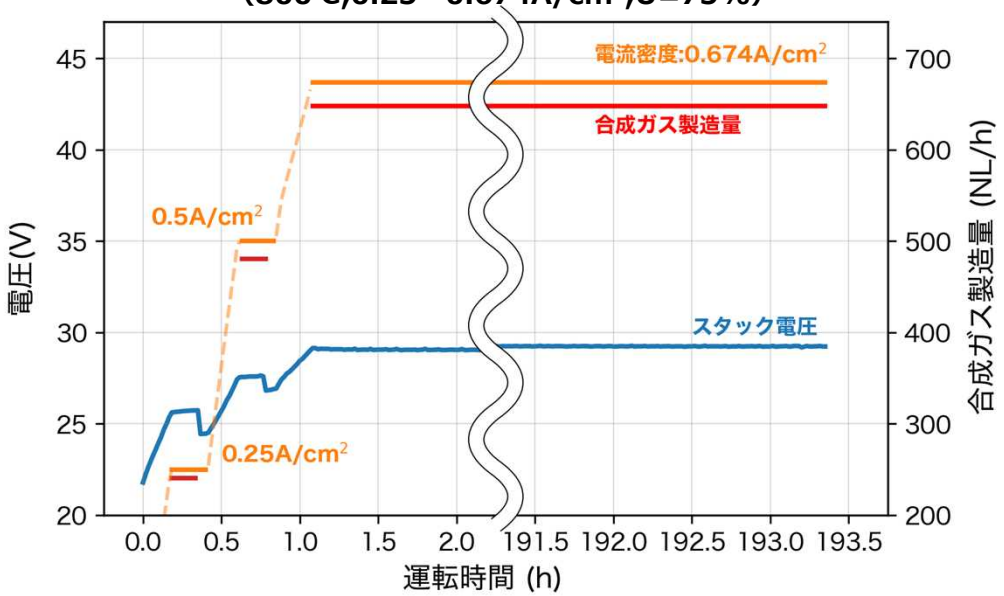
※ DSS : Daily Start and Stop（日間起動停止）

共電解による合成ガス製造能力
（セル/多段スタック）



- **電力量に比例して平衡組成通りの合成ガスが生成することを確認**

多段スタックを用いた共電解による合成ガス製造（連続運転）
（800℃,0.25～0.674A/cm²,U=75%）

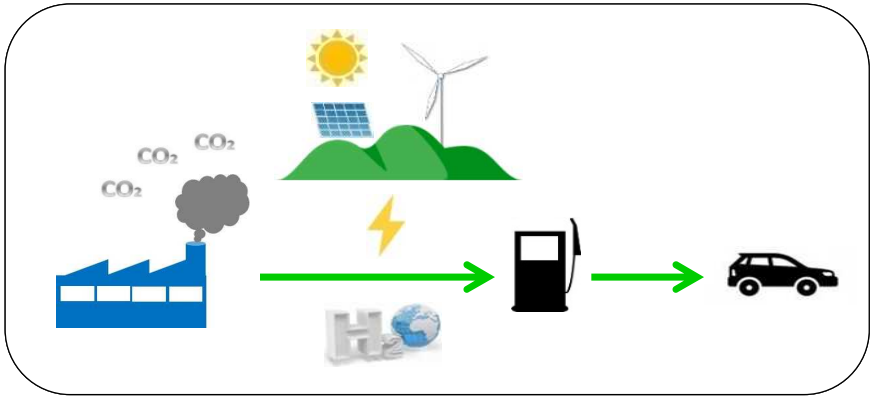


- **多段スタック評価から運転方法を確立**
- **一貫製造運転における運転条件を検討**

6.まとめ

- ✓ **SOEC共電解の基本特性及び、平衡組成通りの合成ガス製造能力を確認**
- ✓ **シーケンス運転による熱サイクル数50回の耐久性を確認**
- ✓ **スタック電解評価装置を用いて、安定した共電解運転方法を確立**
- ✓ **各評価装置の結果から一貫製造運転における共電解条件を検討し、SOEC電解モジュール試験機での安定した合成ガス製造に貢献**

FT合成における触媒粒子径の影響



2025年5月13日

JPEC　合成燃料技術開発本部

鈴木 星哉

発表内容

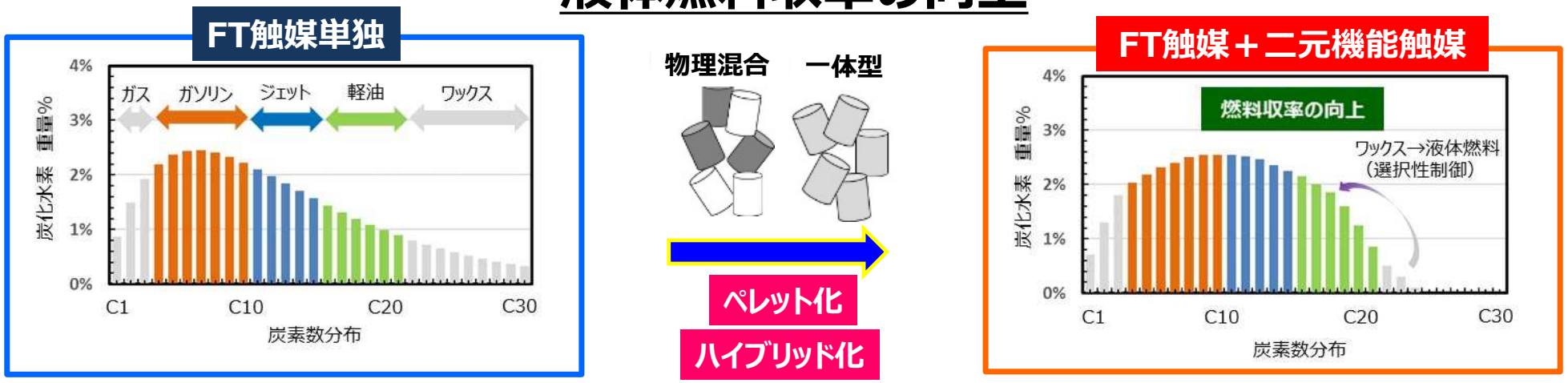
1. 目的
2. 実験
3. 結果と考察
4. まとめ

発表内容

1. 目的
2. 実験
3. 結果と考察
4. まとめ

①液体燃料収率の向上

液体燃料収率の向上



●FT触媒：Co/SiO_2

- ✓ 低温でのFT合成のため、ガス選択性が低く、液体収率が高い
- ✓ 工業規模検討のため、一般的な触媒を選定

○二元機能触媒：Pt/ゼオライト

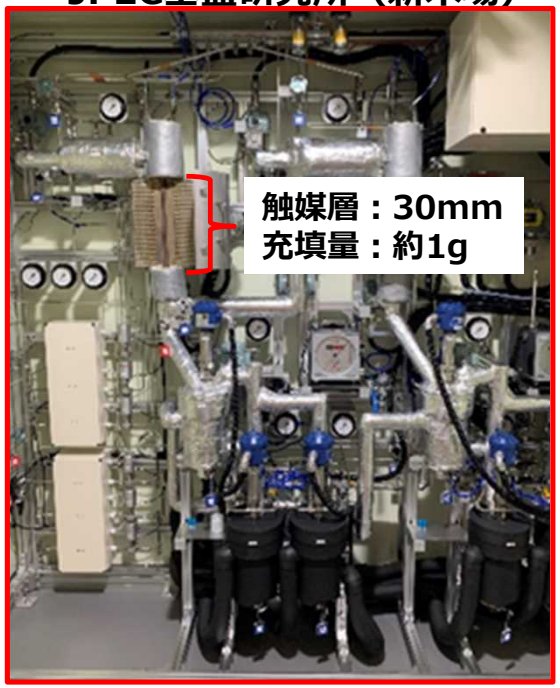
- ✓ 生成したワックス（C20+）を分解し、液体収率向上
- ✓ 白金の水素化能により、ゼオライトの劣化抑制

ハイブリッド触媒:
FT触媒＋二元機能触媒

②マイクロ評価装置による触媒準備

- **液体収率向上のための実証用ハイブリッド触媒の準備（ペレット化検討）**
  - **触媒粒子径の最適化・・・本日発表**
  - FT触媒と二元機能触媒を組み合わせたハイブリッド触媒の最適化
  - 2kW、10kW級FTベンチを想定した触媒設計
- **各種反応条件（圧力、温度変化等）でのFT触媒及びハイブリッド触媒の評価**
  - 反応速度式構築へのデータ採取

マイクロ触媒活性評価装置
JPEC基盤研究所（新木場）



2kW級FTベンチ試験機
JPEC基盤研究所（新木場）



10kW級FTベンチ試験機
産業総合技術研究所（つくば）



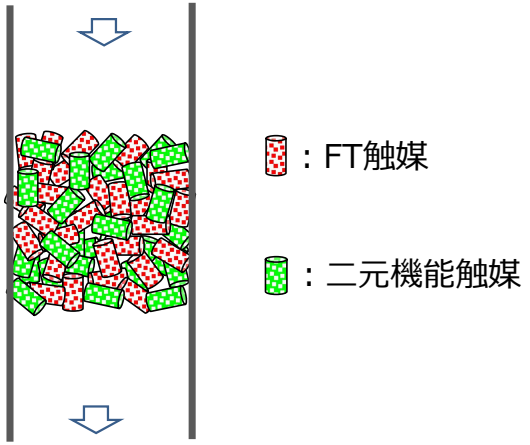
発表内容

1. 目的
2. 実験
3. 結果と考察
4. まとめ

実験条件

- 反応管　：固定床
- 還元前処理　：H2気流下、350℃、12h
- 原料ガス　：H2/CO/Ar = 50/25/25（H2/CO = 2）
- **触媒充填量　：0.7g**
- **W/F　：1.7～14.0g･h/mol**
- 反応時間　：24h
- **反応温度　：230℃ or 240℃**
- **反応圧力　：0.85MPaG**
- **触媒平均粒子径：0.2mm or 0.75mm or 1.35mm**
- **触媒混合方法　：物理混合**
- ガス分析　：オンラインGC-TCD
- 生成油分析　：GC×GC-FID

物理混合のイメージ



整粒


平均1.35mm

破砕　ふるい分け




0.75mm

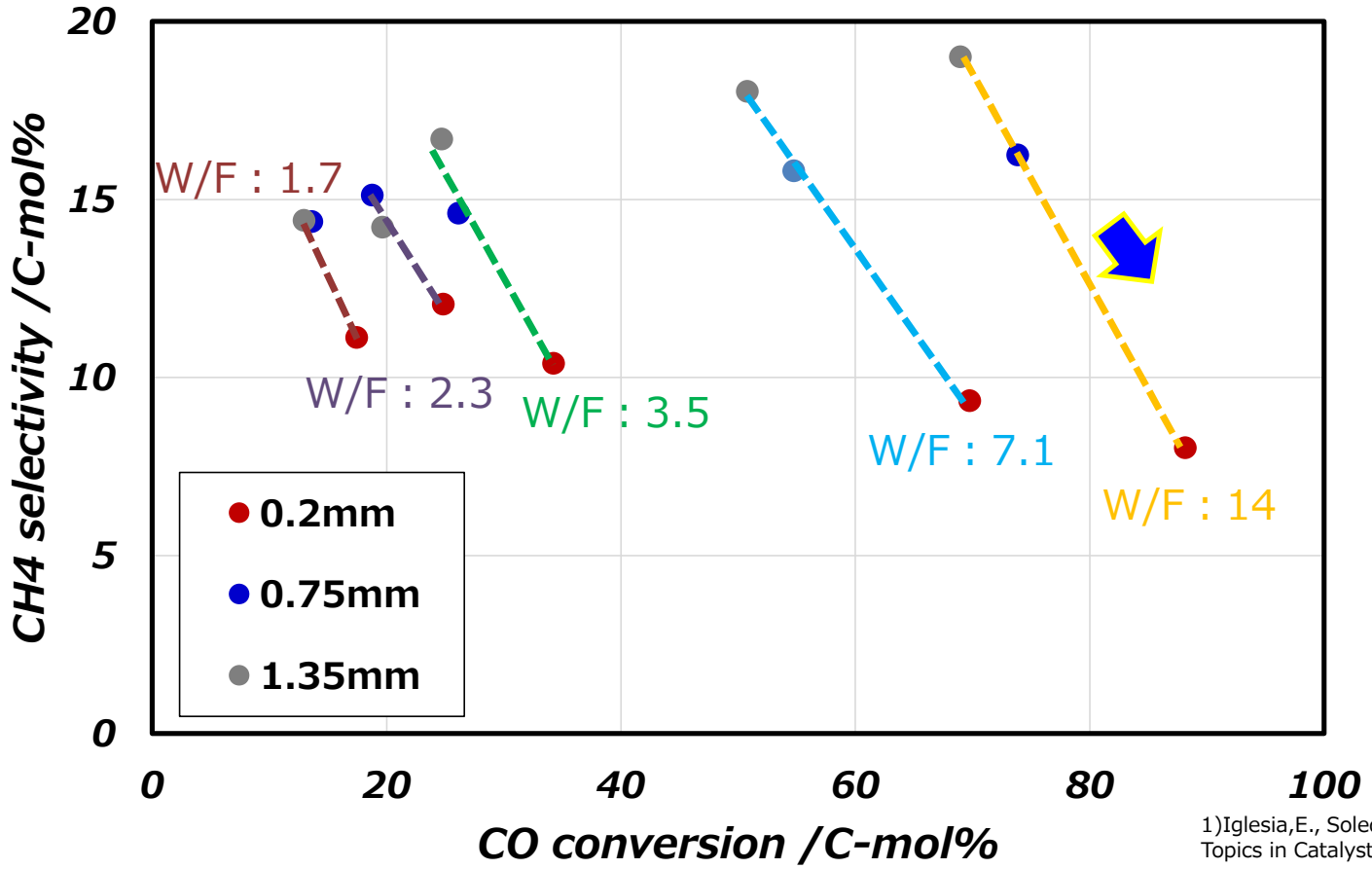

0.2mm

発表内容

1. 目的
2. 実験
3. 結果と考察
4. まとめ

①FT触媒の粒子径とCO転化率及びメタン選択性との関係

✓ **小粒子径ほど高CO転化率**[1)]
→小粒子径ほど外表面積が多く、細孔内へのガス拡散の影響が少ないためと考えられる

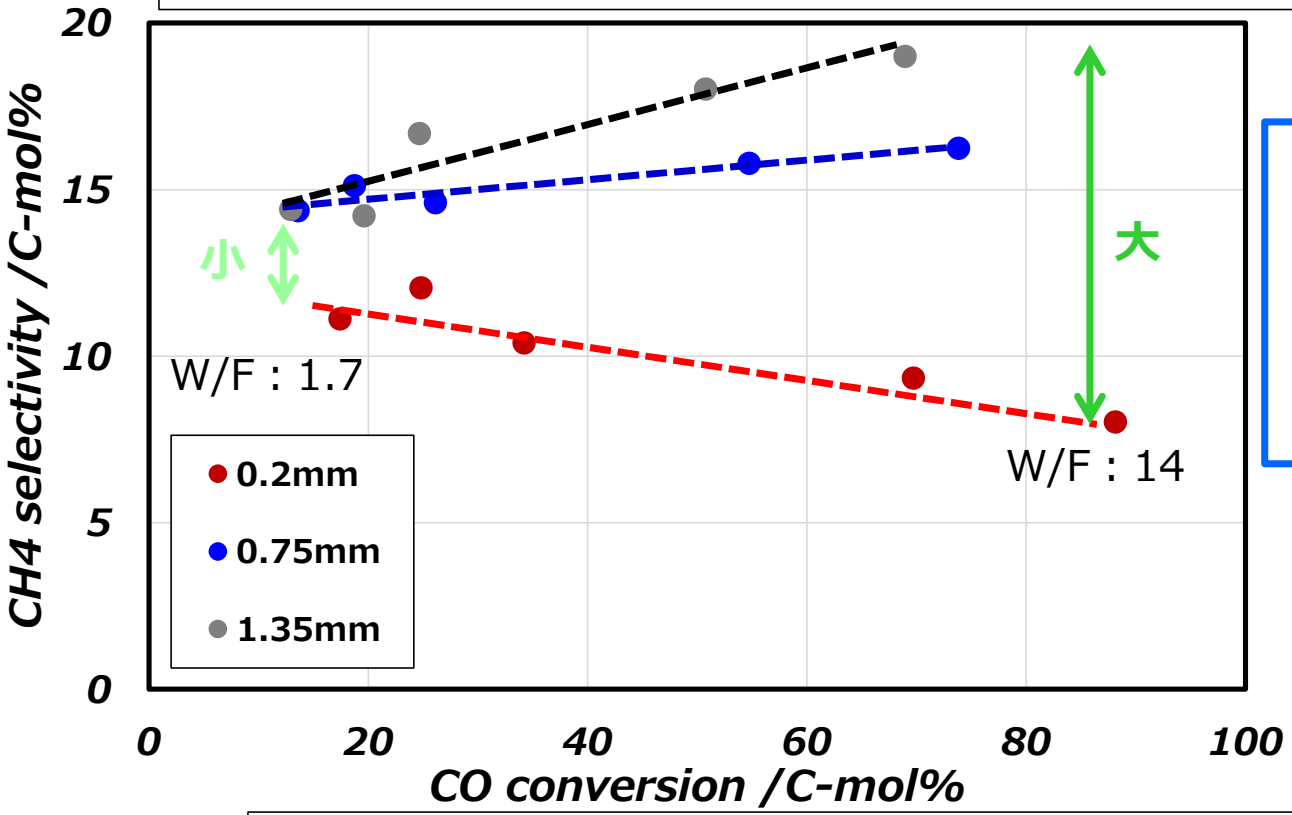


1)Iglesia,E., Soled,S.L., Baumgartner,J.E., Reyes,S.C. Topics in Catalysts2 (1995) 17-27

反応条件
温度：230℃ 圧力：0.85MPaG **W/F：1.7~14.0 g･h/mol** 原料ガス：H2/CO/Ar=50/25/25 触媒：15%Co/SiO2 FT触媒量：0.7g

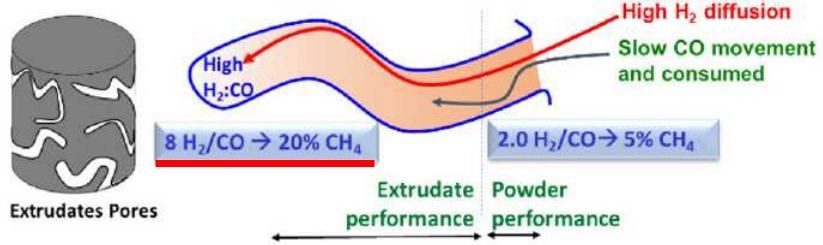
②FT触媒の粒子径とCO転化率及びメタン選択性との関係

✓ **小粒子径ほど低メタン選択性**[1)2)]
＝C2以降の炭化水素への連鎖成長が優先
→細孔の奥ほど、H2/CO比が高くなっていると考えられる
→線速度が速いほど（W/Fが小さいほど）細孔内へのガス拡散の影響が少なくなっている可能性



細孔内への合成ガス拡散のイメージ

2)

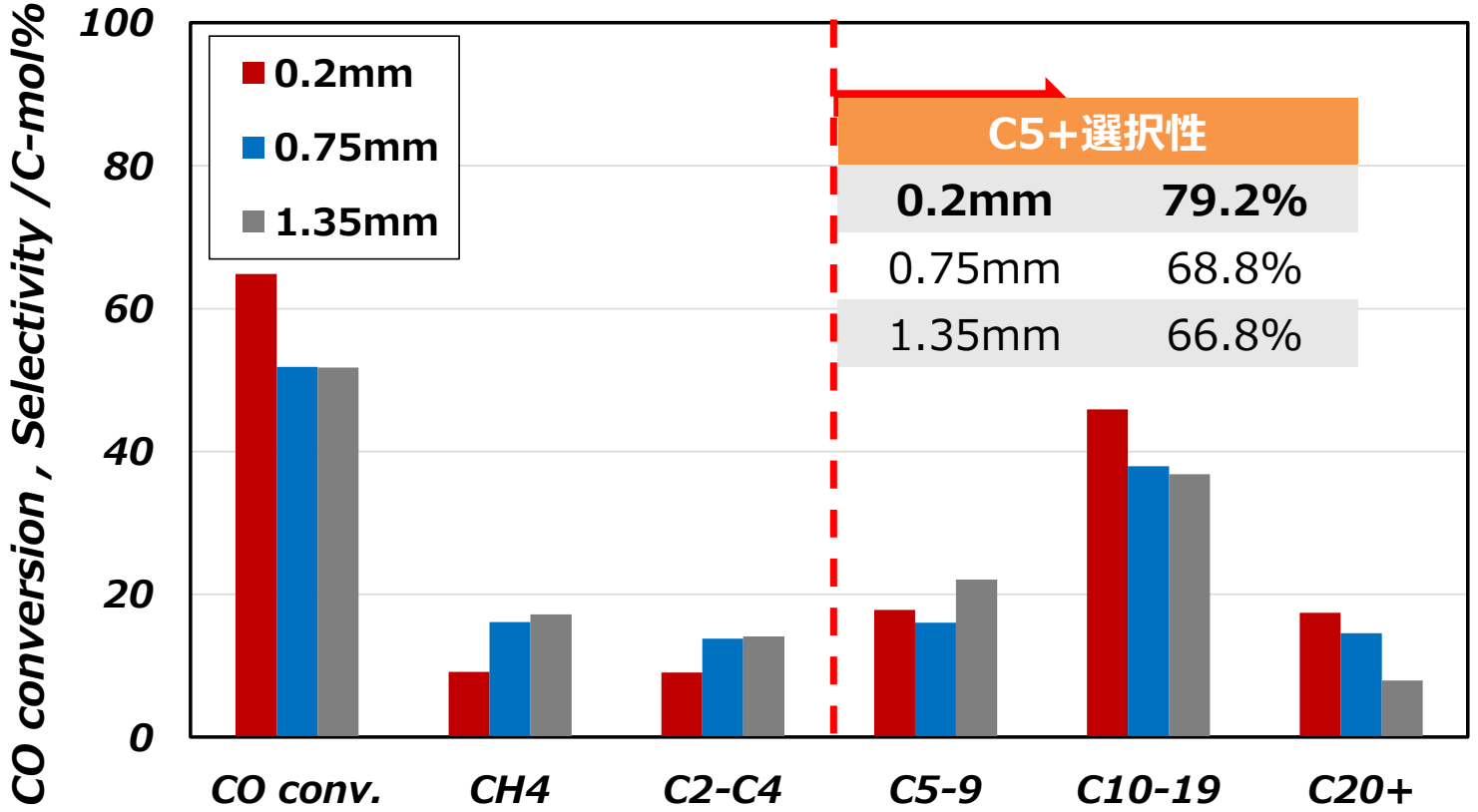


1)
Iglesia,E., Soled,S.L., Baumgartner,J.E., Reyes,S.C.
Topics in Catalysts2 (1995) 17-27
2)
M. Peacock・J. Paterson・L. Reed・S. Davies・S. Carter・A. Coe・J. Clarkson
Topics in Catalysts （2020）63:328-339

反応条件
温度：230℃ 圧力：0.85MPaG **W/F：1.7~14.0 g･h/mol** 原料ガス：H2/CO/Ar=50/25/25 触媒：15%Co/SiO2 FT触媒量：0.7g

③FT触媒の粒子径と炭化水素選択性との関係

✓ **小粒子径ほどC5+選択性が高く、ワックス（C20+）選択性も高い**
→二元機能触媒による分解で、更に液体収率の向上が期待される



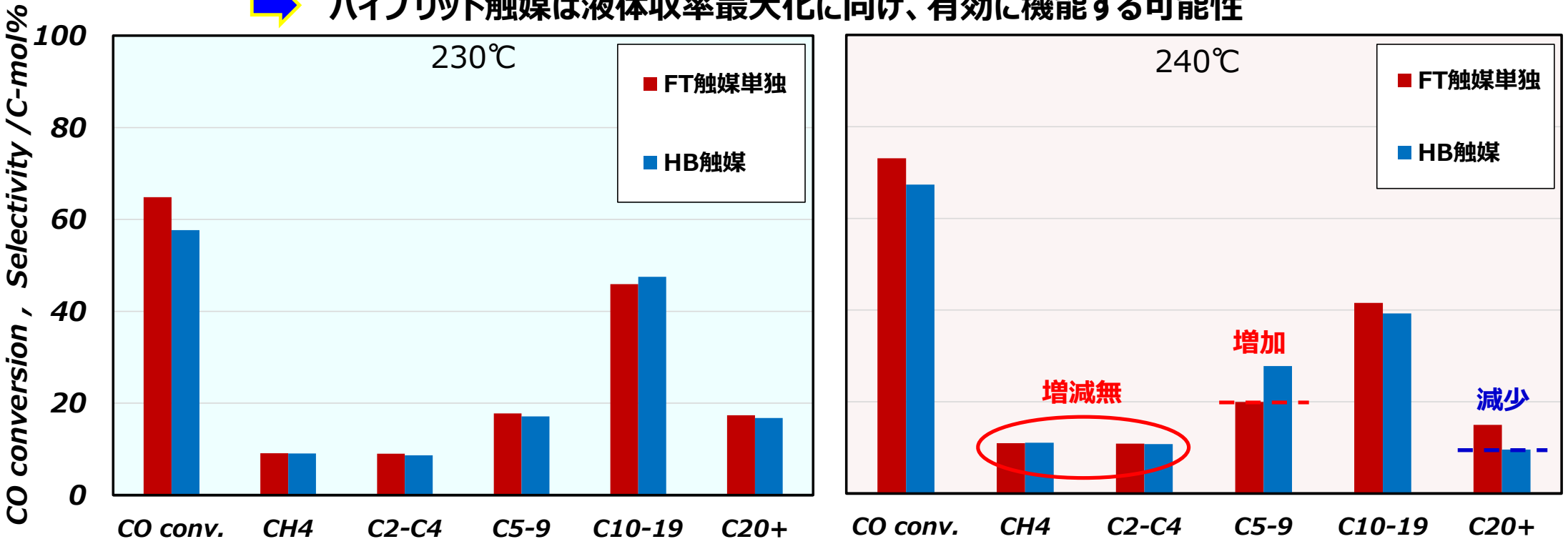
反応条件
温度：230℃　圧力：0.85MPaG　W/F：7.1 g･h/mol 原料ガス：H2/CO/Ar=50/25/25　触媒：15%Co/SiO2　FT触媒量：0.7g

次に小粒子径において、ハイブリッドにした際の評価を実施

④小粒子径におけるFT触媒単独とハイブリッド触媒の比較

- ✓ 230℃では二元機能触媒の効果が明確に確認できなかった
- ✓ **240℃ではC20+（ワックス）が分解され、C5-9の炭化水素の選択性が高くなった。また、分解によるC1-C4ガスの増加は見られなかった**

ハイブリッド触媒は液体収率最大化に向け、有効に機能する可能性



反応条件
温度：230,240℃　圧力：0.85MPaG　W/F：7.1 g･h /mol 原料ガス：H2/CO/Ar=50/25/25　触媒：15%Co/SiO2＋1%Pt/ゼオライト（物理混合）　FT触媒量：0.7g　平均粒子径：0.2mm

発表内容

1. 目的
2. 実験
3. 結果と考察
4. まとめ

まとめ

- ✓ **小粒子径ほど液体収率が高いことが分かった**
  →高CO転化率、低メタン選択性
- ✓ **ハイブリッド触媒で更に液体収率が向上することを確認した**
  →ワックス（C20+）の分解、分解に伴うC1-C4ガスの増加無し

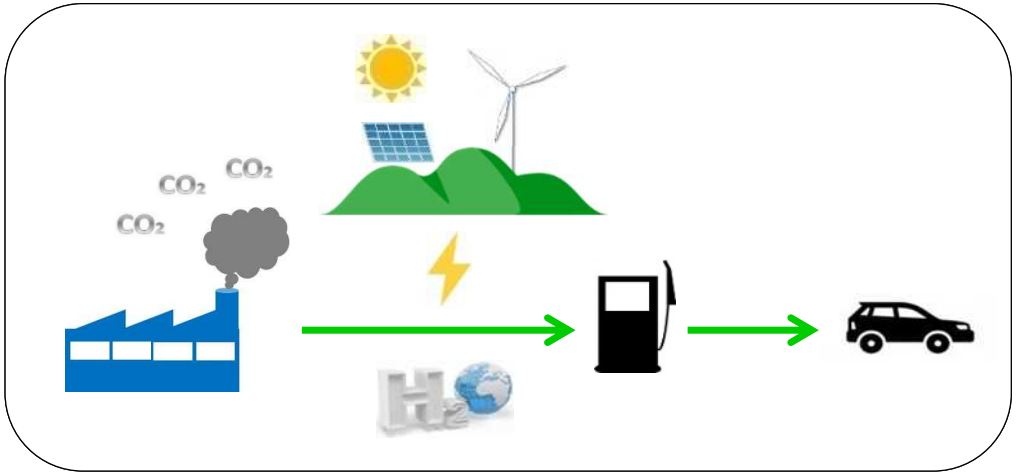
➢ **以下触媒を実証用ハイブリッド触媒として設計・工業規模での製造を実施**

触媒組成	**15%Co/SiO2 + 1%Pt/ゼオライト + バインダー （1:1:1）**
●FT触媒	**15%Co**/SiO2
SiO2担体	形状:球形、**粒子径:10μm**
●二元機能触媒	1%**Pt**/ゼオライト
担体	**ゼオライト**、粒子径2-3μm
○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**/**0.5mmΦ**



本ハイブリッド触媒を充填した
日本初のSOEC共電解ーFT合成一貫製造ベンチプラントにおいて、合成燃料製造に成功した

FTベンチ装置による液体合成燃料製造検討



2025年5月13日

JPEC 合成燃料技術開発本部

教蓮亨

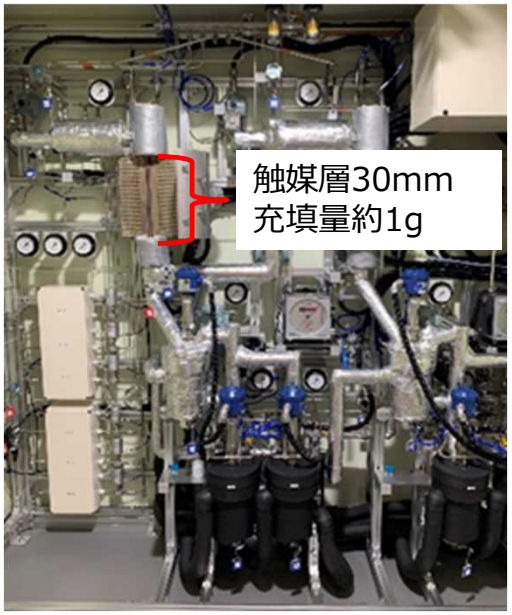
発表内容

1.目的
2.2ｋW級FTベンチ装置概要
3.実験条件
4.触媒粒子径変更による結果

目的① 2kW級FTベンチでのスケールアップ検討

・マイクロ評価装置の結果を基に2kW級FTベンチ装置にて評価を実施
・装置のスケールアップ（10kW級@産総研)へ繋げる

2022年6月～



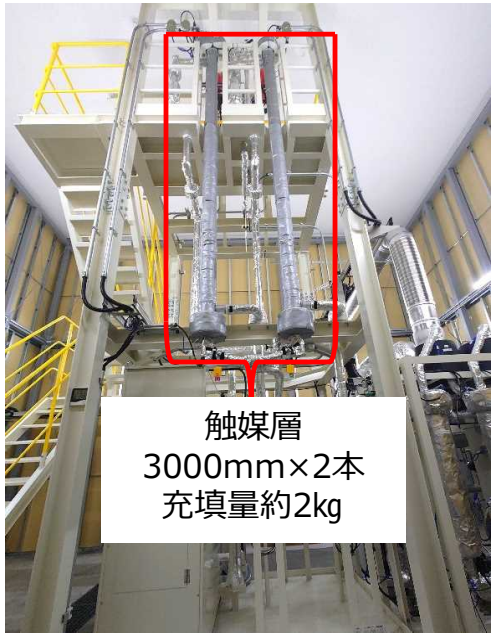
マイクロ触媒活性評価装置
JPEC基盤研究所（新木場）

2022年11月～



2kW級FTベンチ試験機
JPEC基盤研究所（新木場）

2024年8月～



10kW級FTベンチ試験機
産業総合技術研究所（つくば）

・液体合成燃料最大化、反応熱コントロール、リアクター差圧が課題
・一貫製造運転に向けた運転方法等、プロセス条件の最適化検討

目的② 液体合成燃料の製造プロセス最適化

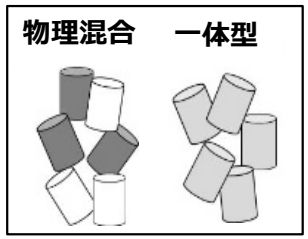
合成ガス

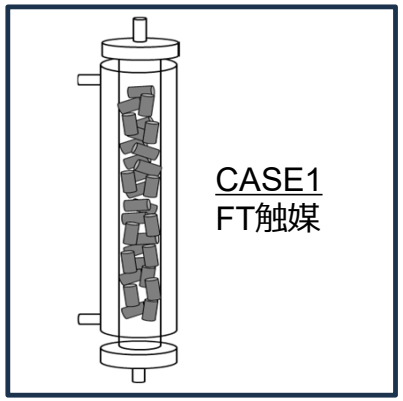
H_2

CO

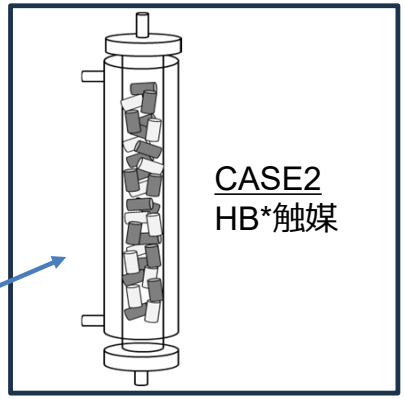
マイクロ評価装置で選定

物理混合　一体型





CASE1
FT触媒

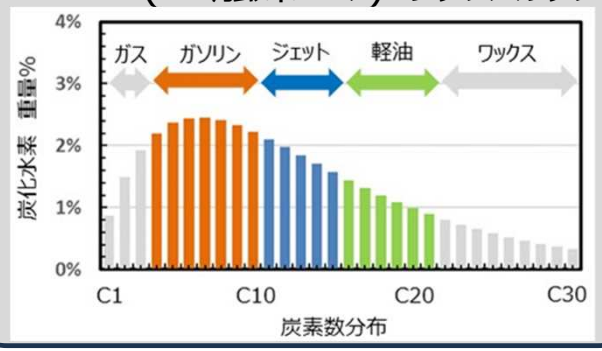


CASE2
HB*触媒

＊FT触媒と酸触媒のハイブリッド触媒
分解と異性化（二元機能触媒）

合成粗油

CASE1(FT触媒のみ):ワックスリッチ



CASE2(HB触媒):ワックスレス



・CASE2の中間留分（C10～19）が増える触媒種をマイクロ評価装置にて選定
・その結果を基にスケールアップした場合の影響を検証
・まずは高CO転化率、低CH4選択性の条件を探して効率的な合成燃料生成を目指す

装置仕様と実験条件

2kW級
FTベンチの仕様

（１）触媒層の長さ：**1300mm**（触媒容量810ml＝約500g）
（２）反応管内径：**28mm**
（３）反応管加熱方法：熱媒体油システム（最大制御温度：350℃）
（４）使用ガス：**H2**、**CO**、**CO2**、N2、Ar、Air
（**電解合成ガスの未反応CO2を想定して一部使用**）
（５）ガス分析：オンラインGC（マイクロ(4ch)システム）
（６）生成油分析：FID、GC-MS

実験条件

（１）還元前処理：H2＝150NL/h、350℃、6h
（２）反応条件

圧力(MPa)	温度(℃)	GHSV(1/h)	H2/CO比
0.85	220～240	1650	2.0

（３）触媒

No.	触媒径(平均)	FT触媒	二元機能触媒
1	**1.6mm**	**33%Co**	$Pt/SiO_2.AlO_3$
2	**1.6mm**	**15%Co**	
3	**0.8mm**	**15%Co**	
4			Pt/USY
5	**0.5mm**		
6			–

① ＦＴ触媒のCo担持量変更による影響調査
②（マイクロ評価装置の結果を基に）
ＦＴ触媒の平均粒子径変更による影響調査
※粒子径を小さくした際の差圧も検証
（次スライド）

差圧の検証

15%Co担持FT触媒



平均粒子径1.6mm

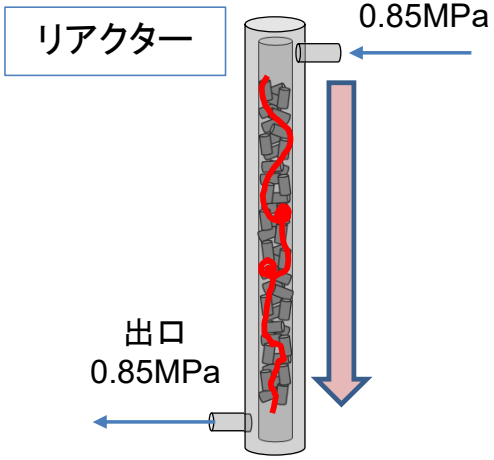


平均粒子径0.8mm
(0.6～1.0mm)



平均粒子径0.5mm
(0.3～0.7mm)

差圧検証



触媒粒子径による差圧をコゼニー・カルマン式で計算
運転中に実測して確認

粒子径 (mm)	計算値 (MPa)	実測値 (MPa)
0.3	0.0032	0.00

粒子径最小でも**差圧は発生しなかった**

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{180 \bar{V}_0 \mu}{\Phi_s^2 D_p^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3}$$

ただし

	単位
• Δp ：圧力損失	(Pa)
• L ：粒子充填層の高さの合計	(m)
• $\bar{V}_0$ ：空塔速度（充填層がない状態を仮定したときの速度）	(m/s)
• μ：流体の粘性	(Pa s)
• ε： **空隙率**	(-)
• Φ_S ：充填層内の粒子の球形度	(0-1)
• D_P ：粒子の球相当径	(m)

Co担持量の検証

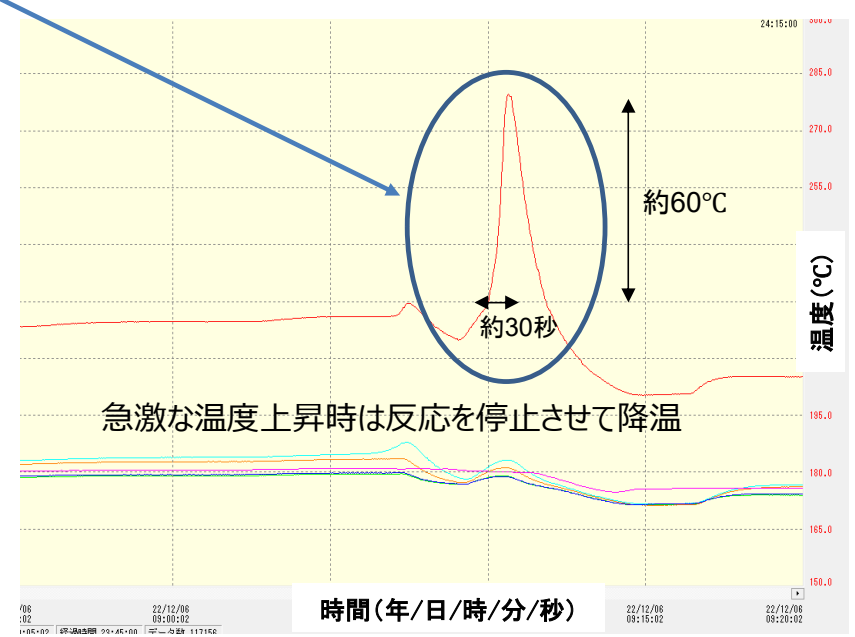
反応熱制御

2kW級実証初期はマイクロ評価装置（触媒層**30mm**）の結果から高CO転化率を狙って33%Co担持FT触媒を使用

しかし触媒層**1300mm**の2kW級では
→反応熱除去が十分に行われず急激な**ホットスポットの発生**で運転制御が難しい
→所定の温度まで昇温できない
（二元機能触媒が機能する**230℃以上**目標）

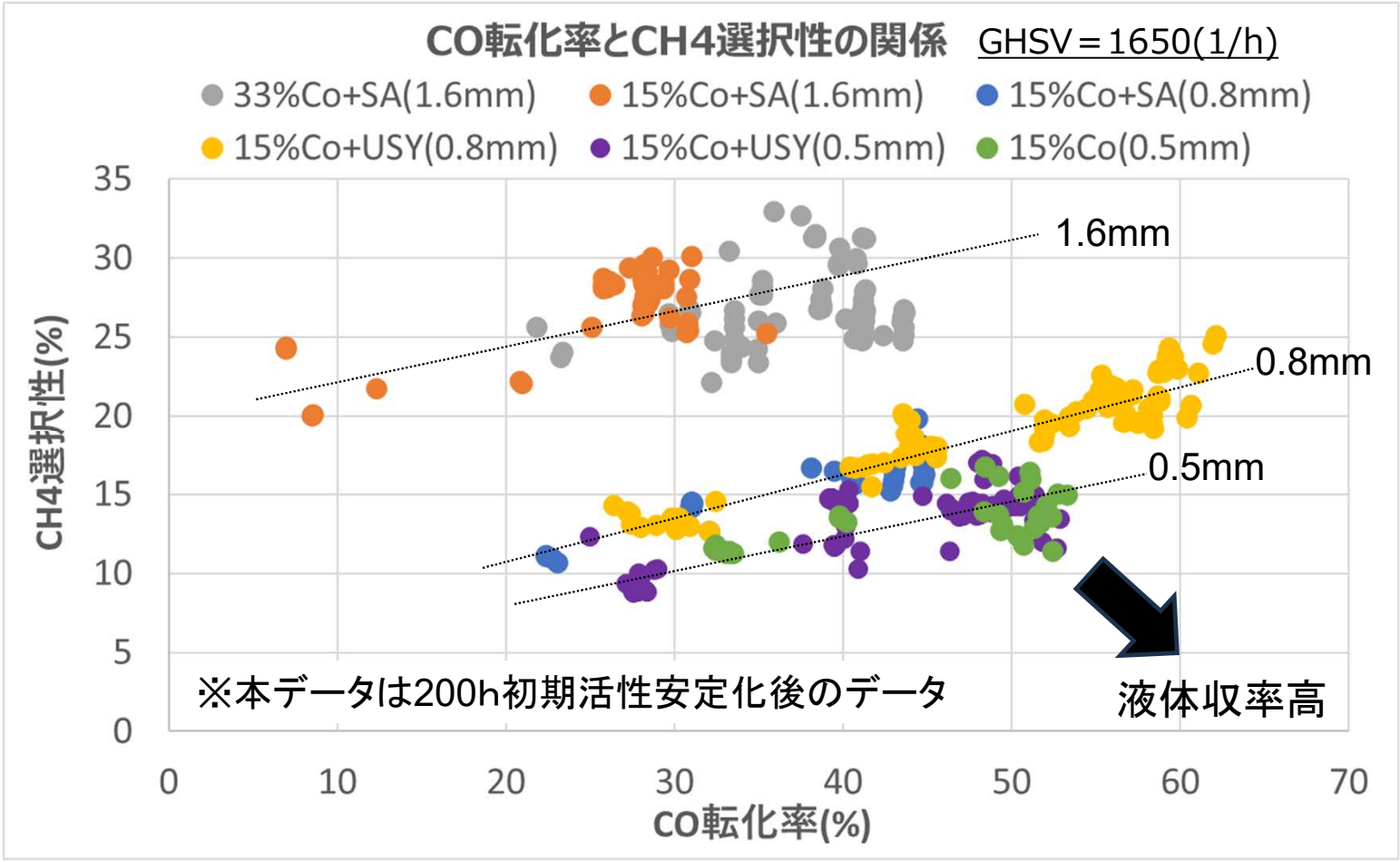
運転開始～平均温度安定までに要した時間(Day)			
充填触媒	220℃	230℃	240℃
33%Co+SA(1.6mm)	31	昇温不可	昇温不可
15%Co+SA(1.6mm)	5	18	46

→Co担持量を33%→**15%へ減少**させることで発熱を抑える



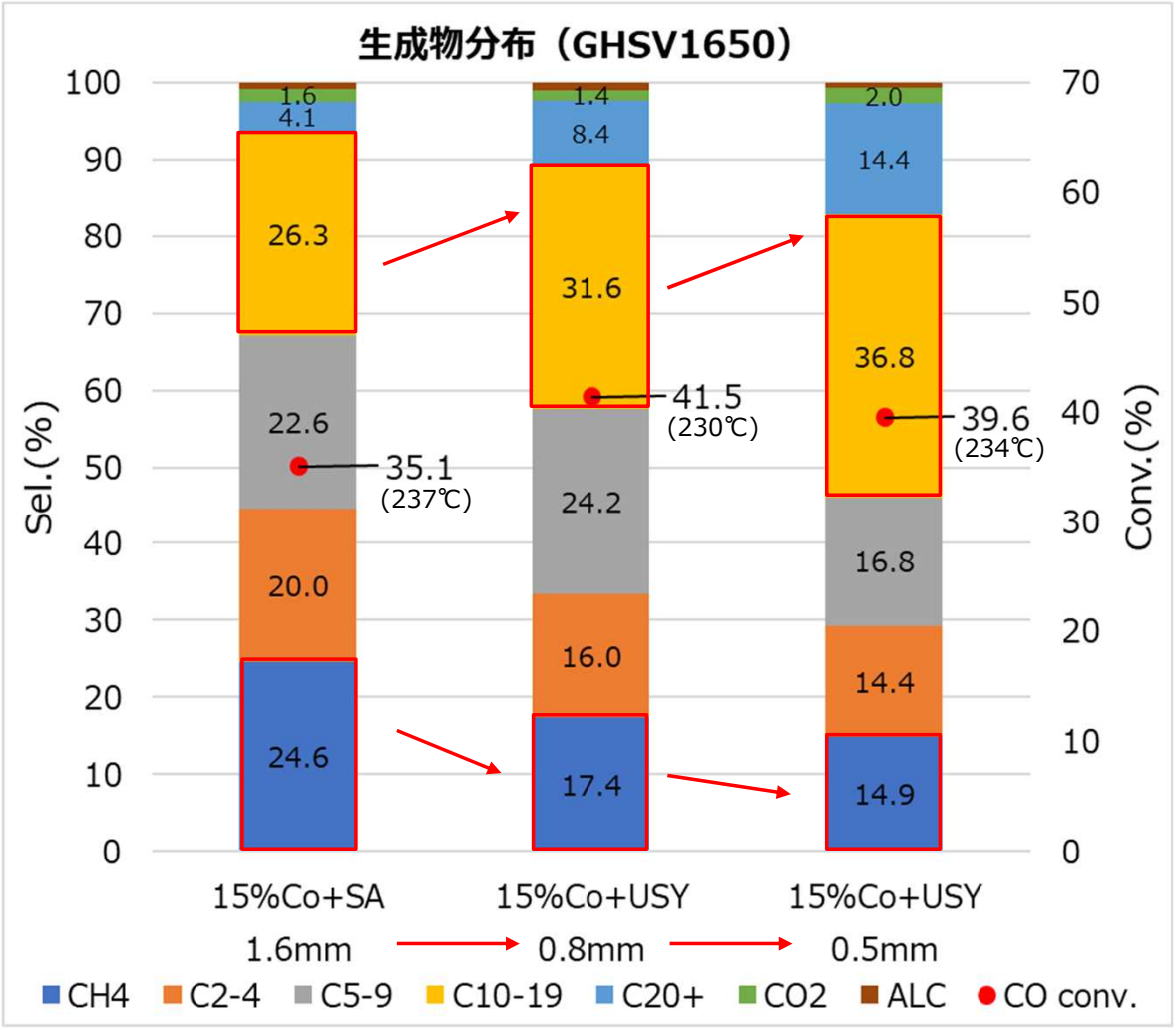
次のスライドから粒子径の影響結果

触媒粒子径の反応性への影響①



・粒子径を小さくするとCO転化率↑、CH4選択性↓で液体収率↑
・二元機能触媒はCH4選択性には影響少ない傾向（粒子径の影響が大きい）

触媒粒子径の反応性への影響②



粒子径を小さくすると
- CH4選択性が↓傾向
- 中間留分(C10-19) が↑傾向
  （連鎖成長性↑）

※異性化分等、組成の詳細は
今後調査予定

まとめ

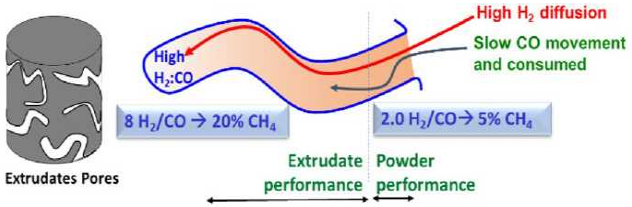
2kW級FTベンチ装置（触媒層1300mm＝約500g）での実験では

①33%→15%へCo担持量を落としたFT触媒では反応による発熱を抑えられ230℃以上の温度域まで昇温できるようになった

②15%Co触媒では粒子径が小さいほど、**CO転化率↑、CH4選択性↓、連鎖成長性↑**となった

→（マイクロ評価装置と同じく）メタネーションが起きやすい細孔内拡散が減少し、C2以降の連鎖成長が起きやすい触媒外表面の割合が増えた影響と思われる

細孔内への合成ガス拡散のイメージ



M. Peacock・J. Paterson・L. Reed・
S. Davies・S. Carter・A. Coe・J. Clarkson
Topics in Catalysts （2020）63:328-339

細孔の奥ほどH2過多になり易い
＝メタネーションが起きやすい

2kW級での運転知識を活かし、10kW級ベンチにおいて、
日本初のSOEC共電解-FT 一貫製造運転を達成した

FT合成燃料の性状分析



2025年 5月13日
JPEC 合成燃料技術開発本部
大山信雄

発表内容

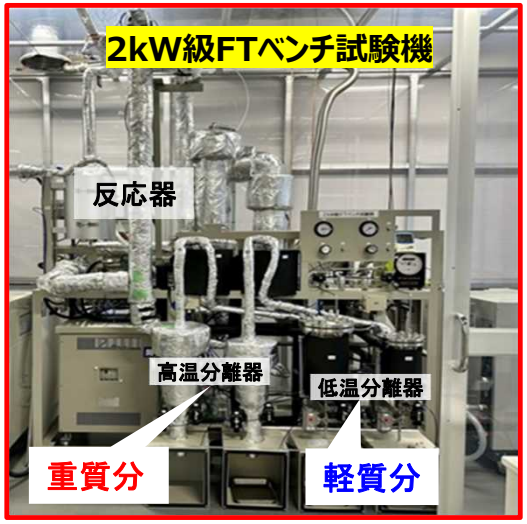
1. 背景
2. 合成燃料分析法の検討
3. まとめ

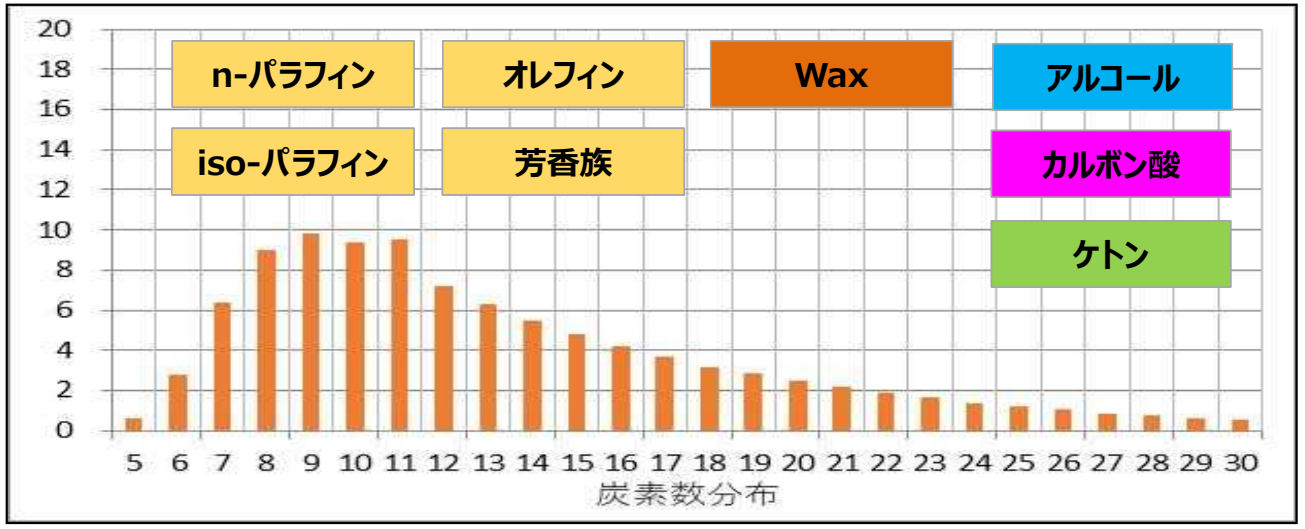
発表内容

1. 背景
2. 合成燃料分析法の検討
3. まとめ

背景

FT合成燃料の炭素数分布（詳細組成）を精度良く迅速に分析し、FT合成触媒の開発や燃料品質・燃焼性評価に貢献





課題

液体燃料の分析法はあるが、適用範囲が限られておりFT合成油（Wax含む)全体の詳細な組成分析方法は確立されていない

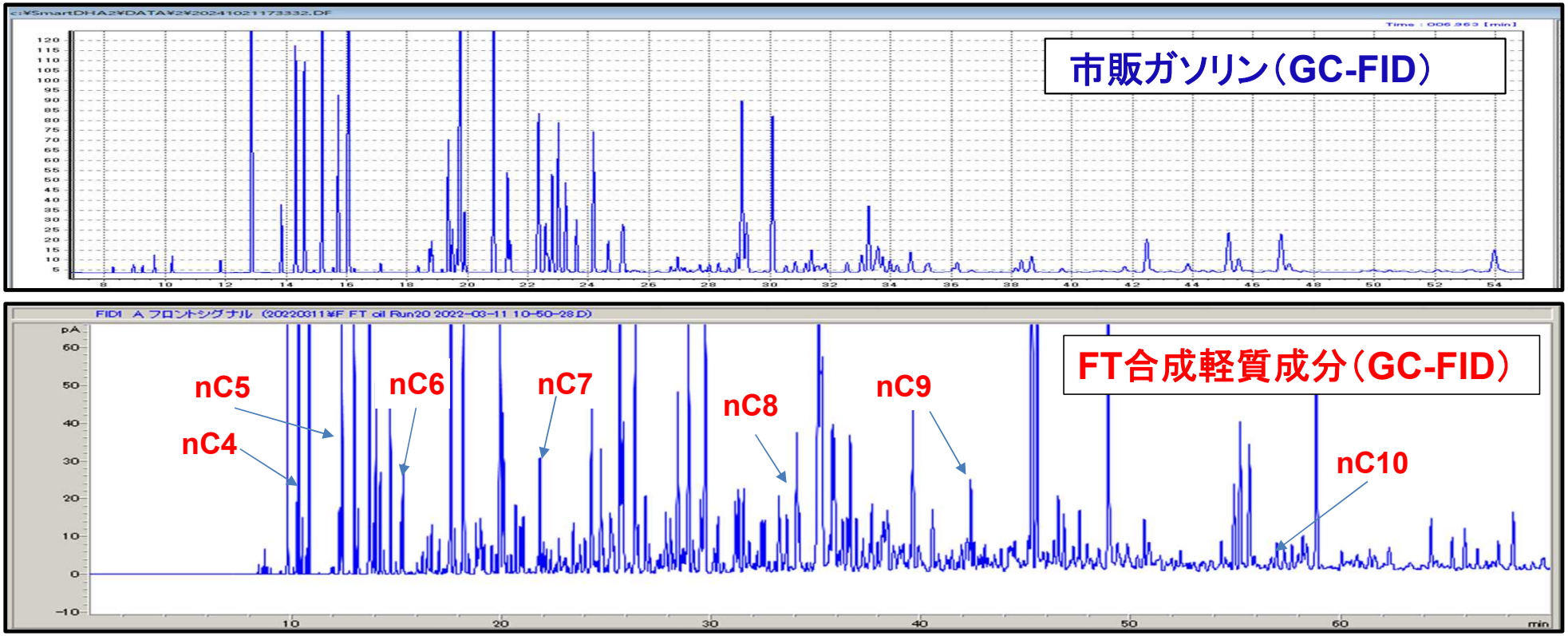
発表内容

1. 背景
2. 合成燃料分析法の検討
3. まとめ

合成燃料分析法の検討①：FT合成軽質成分

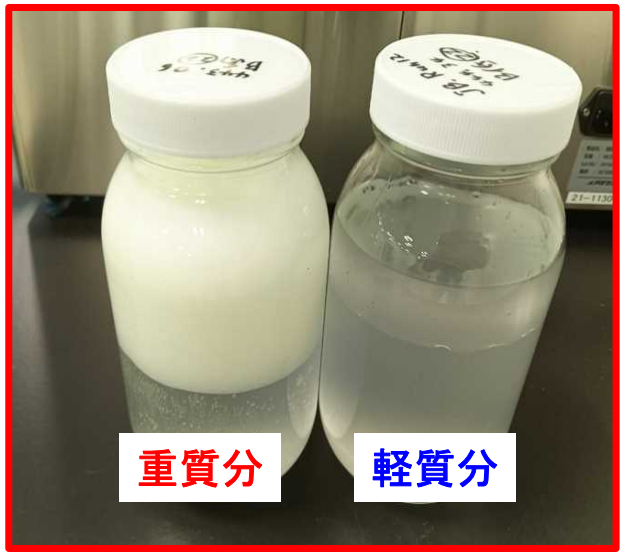
従来の燃料油組成分析では → **化合物種類が多くピークが重なり既存のPONA用テーブルでの同定は困難**

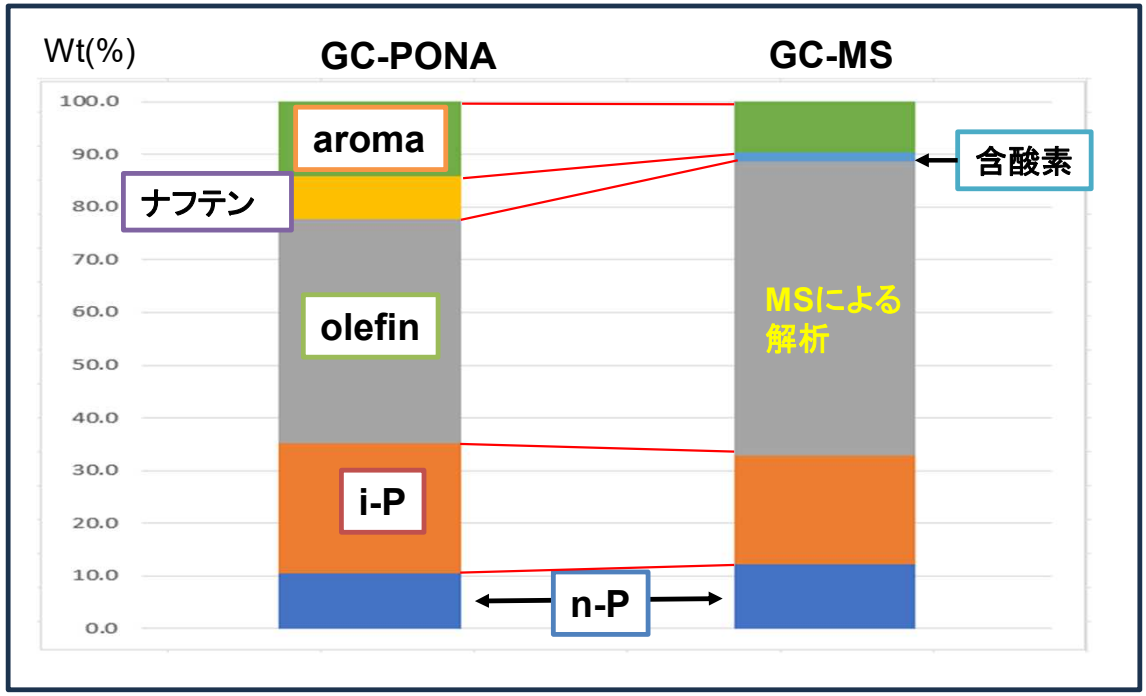
項目	分析方法	問題点	FT生成物分析可否
ガソリン（C5～C14）	GC-PONA（JIS-K2536-2）	既存テーブル同定不十分	△（一部）
JET・軽油	HPLC (JPI-5S-49)	芳香族タイプ分析	△（一部）



合成燃料分析法の検討②： FT合成軽質成分（分析法比較）

同一試料による組成分析法比較： ガソリン全成分（PONA）vs GC-MS





ガソリン全組成部分析（PONA）はFT合成油分析に適用できないことが分かった
GC-MSおよびGC-FIDを組み合わせて、新たにFT合成油用同定テーブルを作成

合成燃料分析法の検討③： FT合成軽質成分（分析時間短縮）

分析方法の最適化：測定条件の見直し

ガスクロ分析条件

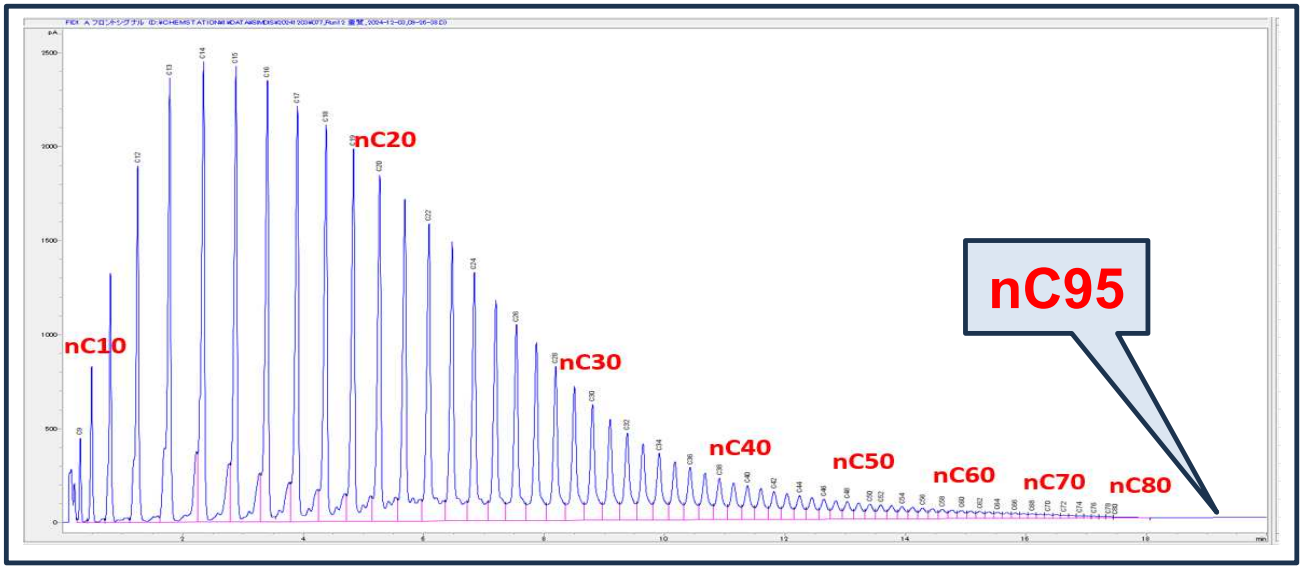
項目	全成分（PONA）	GC-MS	GC-FID
注入口温度（℃）	250	320	320
カラム（m）	102	102	30
注入量（μL）	0.2	1.0	0.2
分割比	130:1	150:1	120:1
カラム（極性）	微+無	微+無	中
キャリアガス	ヘリウム	ヘリウム	ヘリウム
分析時間（h）	3.0	5.5	1.5

軽質分は、GC-MSで解析することでFT合成油用同定テーブルを作成、カラム選定および分析条件を検討することで分析時間の短縮になった

合成燃料分析法の検討④：FT合成重質成分

従来の燃料油組成分析では → **分析方法がなく、高分子成分を溶解しGCに注入する必要がある**

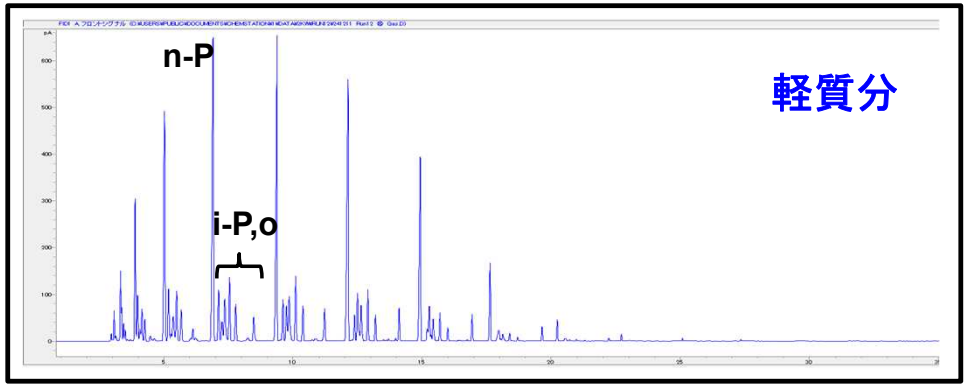


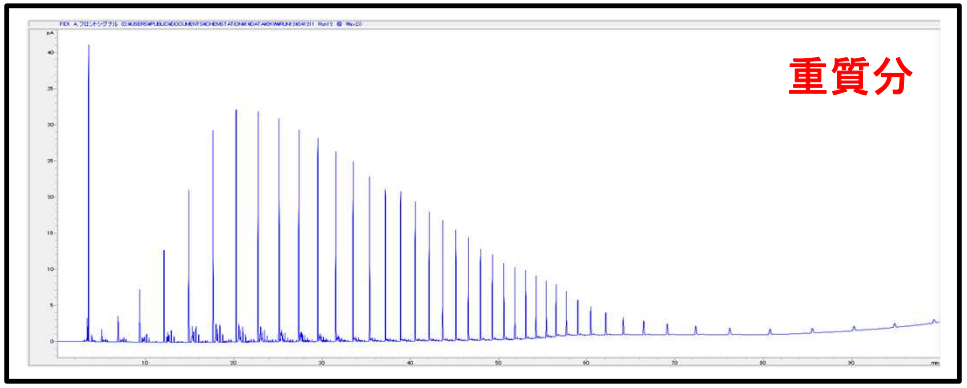


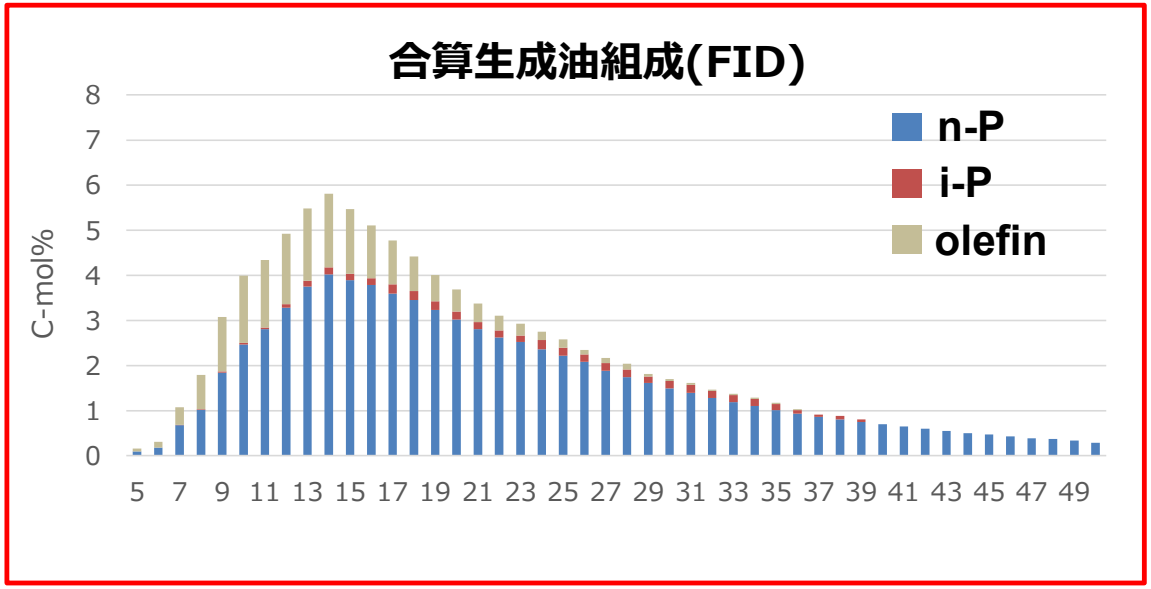
重質分を、二硫化炭素にて適切な量で希釈溶解し、注入直前まで80℃加温しGC注入することで C95までの分析が可能となった

合成燃料分析法の検討⑤：FT合成軽質+重質成分

軽質分+重質分の分析結果を、重量比で合算することにより全体の炭素分布（組成）を確認できた







発表内容

1. 背景
2. 合成燃料分析法の検討
3. まとめ

まとめ

JPEC

従来の燃料油組成分析

項目	分析方法	問題点	FT生成物分析可否
ガソリン（C5～C14）	GC-PONA（JIS-K2536-2）	既存テーブル同定不十分	△（一部）
JET・軽油	HPLC （JPI-5S-49）	芳香族タイプ分析	△（一部）
重質油（Wax）	なし	ー	ー

石油製品向け従来分析法はFT合成油の組成分析に適用できないことが判明

確立後のFT反応生成物分析

項目	分析方法	解決方法
軽質成分	GC-FID+MS	同定テーブルの作成
重質成分	GC-FID+MS	希釈溶解方法の確立

FT合成油の組成分析法を確立した

謝辞

本研究は、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）の委託事業として行った成果である。
ここに謝意を表する