

CO₂を原料とした 低級オレフィン製造技術の開発

契約件名 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／化学品へのCO₂利用技術
開発／CO₂を原料とした直接合成反応による低級オレフィン製造
技術の研究開発

発表： 2026年7月21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 和田 知歌子

団体名 (株)IHI

問い合わせ先 E-mail: wada2215@ihi-g.com TEL: 070-3238-7734

目次

1. 背景

2. 目的, 実施事項

3. ラボスケール多段式反応試験(5 kg-CO₂/day)

3-1. 触媒性能評価結果および物質収支

3-2. 生成物の炭化水素分布

4. 実ガスパイロット試験(100 kg-CO₂/day)

4-1. 1000時間運転の結果

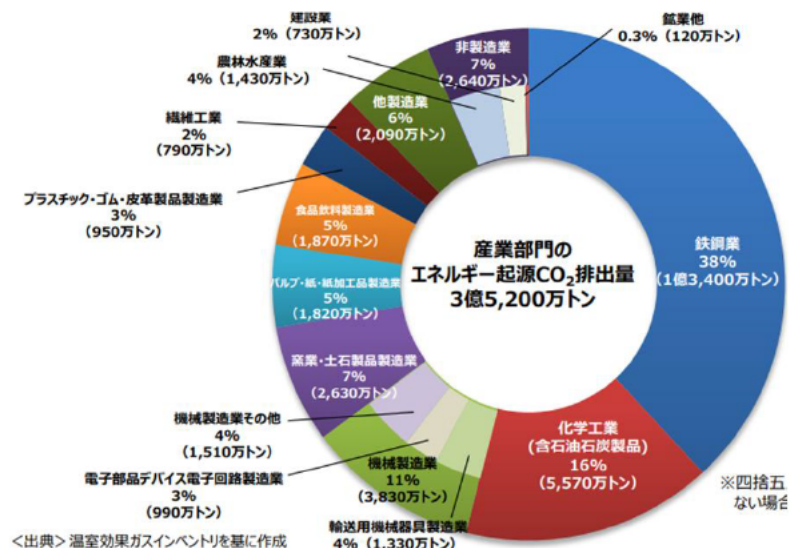
4-2. 1000時間運転後の触媒分析結果

5. まとめ, 今後の予定

1. 背景 カーボンリサイクル導入の必要性

- ✓ 日本のCO₂削減目標 2030年に2013年比で 46%削減, 2035年 同比 60%削減

日本における産業部門からのエネルギー起源CO₂排出量



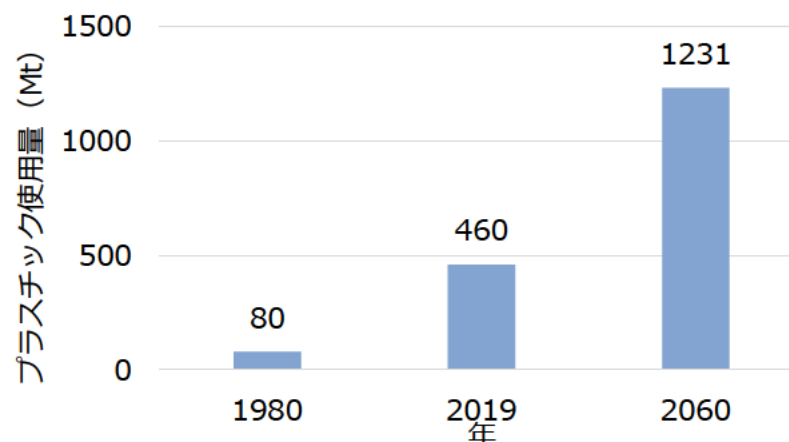
環境省資料 <https://www.env.go.jp/content/000234474.pdf>

- ✓ 燃料や素材・原料など電化だけでは対応できない分野においては, カーボンリサイクルが必須

分野別CO₂排出量

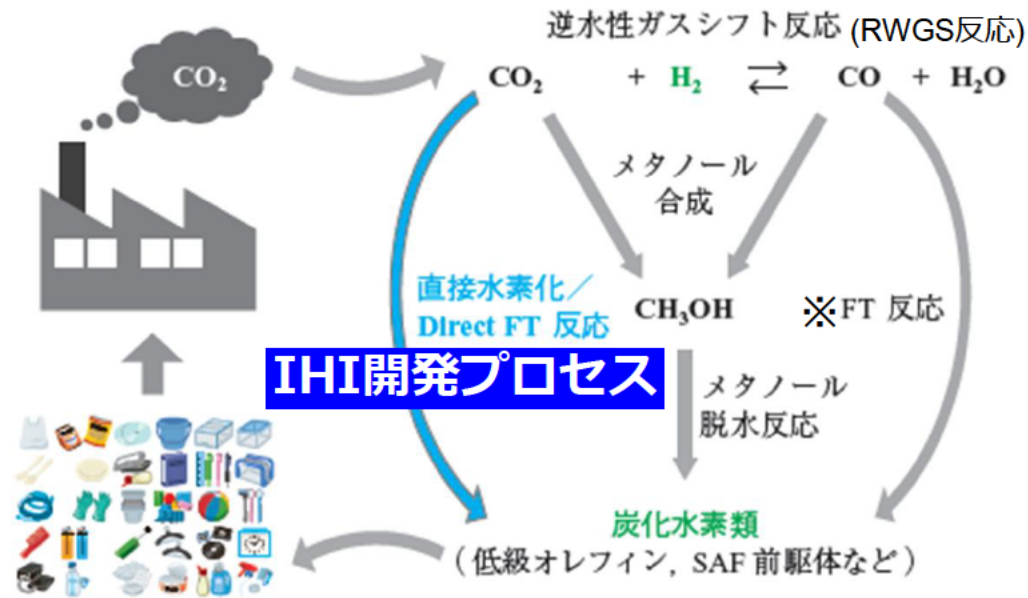
- ✓ 我が国のCO₂排出量は, 産業部門からの排出が37%と最も多い
- ✓ 化学工業は全体の16%を占め, 鉄鋼業, 機械製造と並び主要排出元となっている
- ✓ 石油化学製品中, **プラスチック, 繊維, 合成ゴム**が占める割合が大きい, 今後も需要の伸びが予測されている

プラスチック使用量 (base case シナリオ)



OECD Global Plastic Outlookより
<https://www.oecd.org/oecd-reports/2022/06> データを基に作成

1. 背景 CO₂を原料とした低級オレフィン合成 IHI

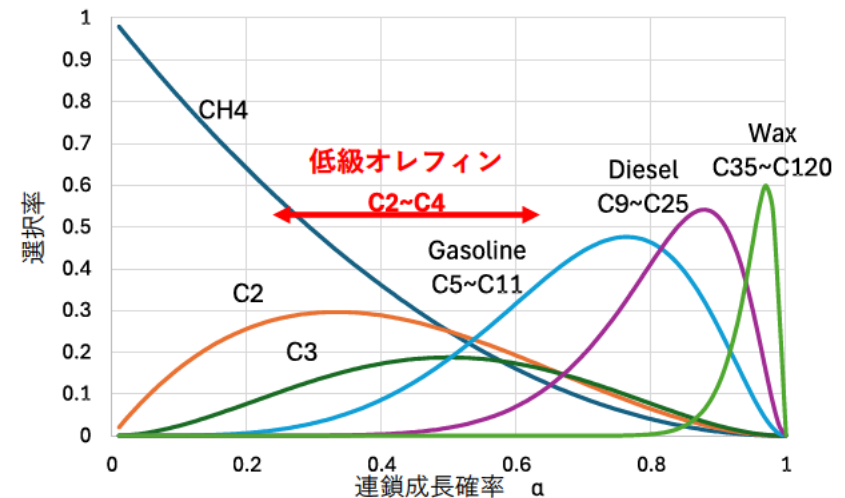


CO₂を原料とした低級オレフィン合成

- ✓ プロセスをシンプルにするため、CO₂と水素から直接、低級オレフィンの製造を目指す

※FT反応：フィッシャー・トロプシュ合成の略。COとH₂から炭化水素を合成する反応

FT合成による生成物の炭素数分布 (模式図)



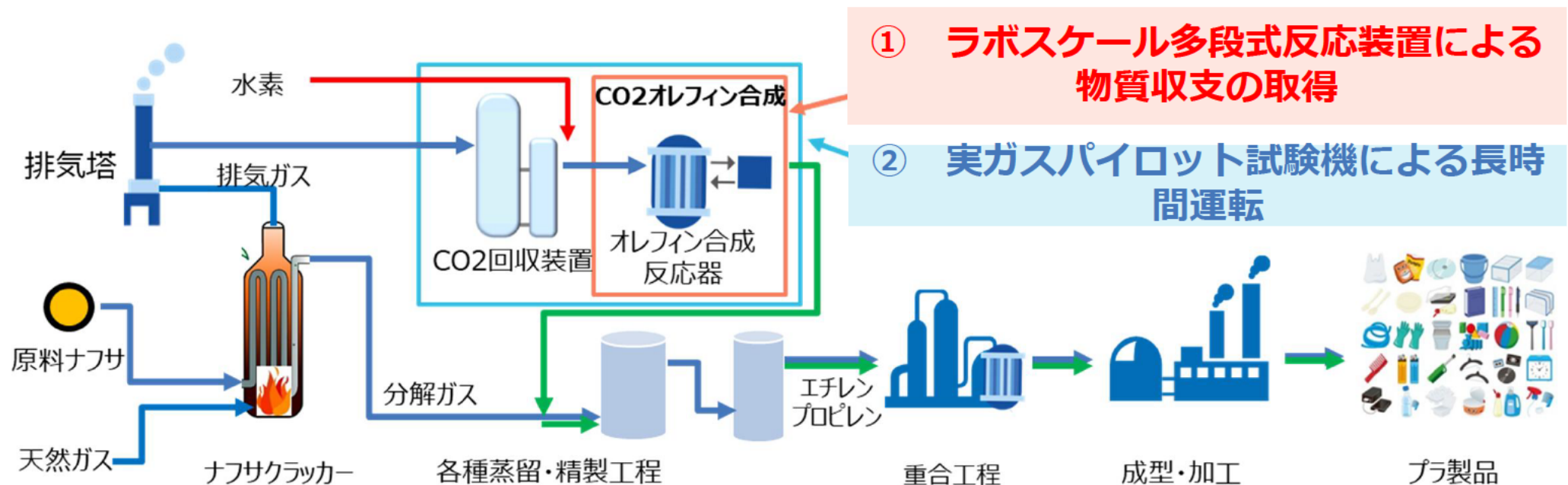
ダイレクトFT合成による低級オレフィン合成

- ✓ $n\text{CO}_2 + 3n\text{H}_2 \rightarrow (\text{CH}_2)_n + 2n\text{H}_2\text{O}$
 $\Delta H_{298}^0 = -128 \text{ kJ/mol}$... 発熱反応
- ✓ FT合成の場合、CO生成とそれに続くCH₂生成、CH₂の重合反応により進行
- ✓ 生成物の分布は触媒表面でのCH₂の連鎖成長確率 α による。目標とするC₂~C₄分布が高くなるように条件の最適化が必要。

2. 本研究の目的

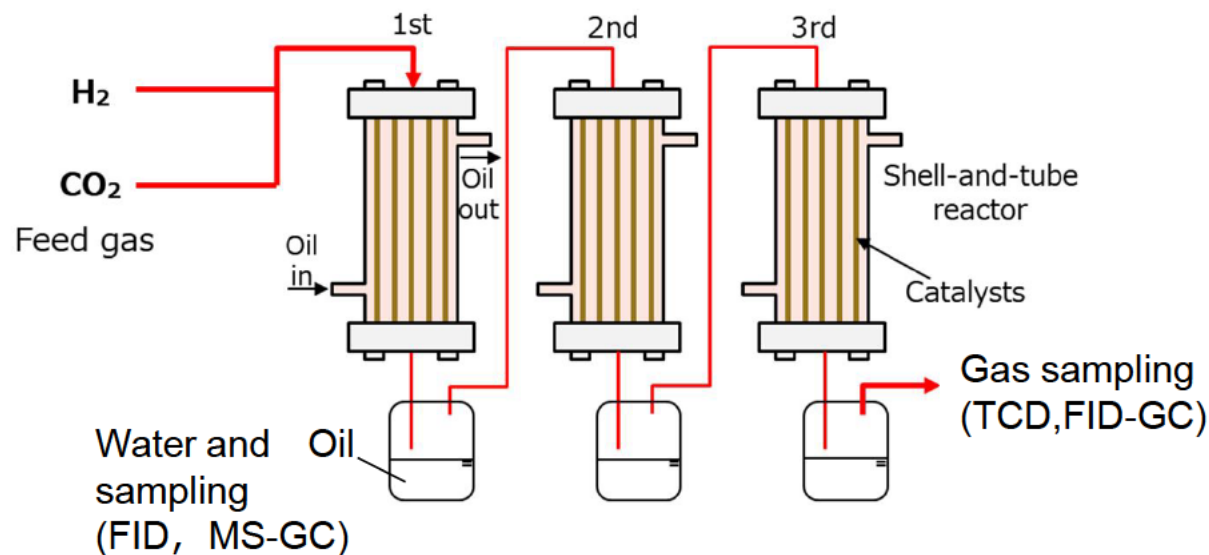
- ① 5 kg-CO₂/dayのラボスケール多段式反応装置試験より**物質収支を取得**し, LOY (低級オレフィン収率)向上に向けた課題の抽出。
- ② 実ガスからアミン吸収法によって回収したCO₂を使用した100 kg-CO₂/dayスケールのパイロット試験における長時間の**安定運転**の確認。

【プロセス全体の概要図】



3. ラボスケール多段式反応試験

【多段式反応装置の概要図】



5 kg-CO₂/day



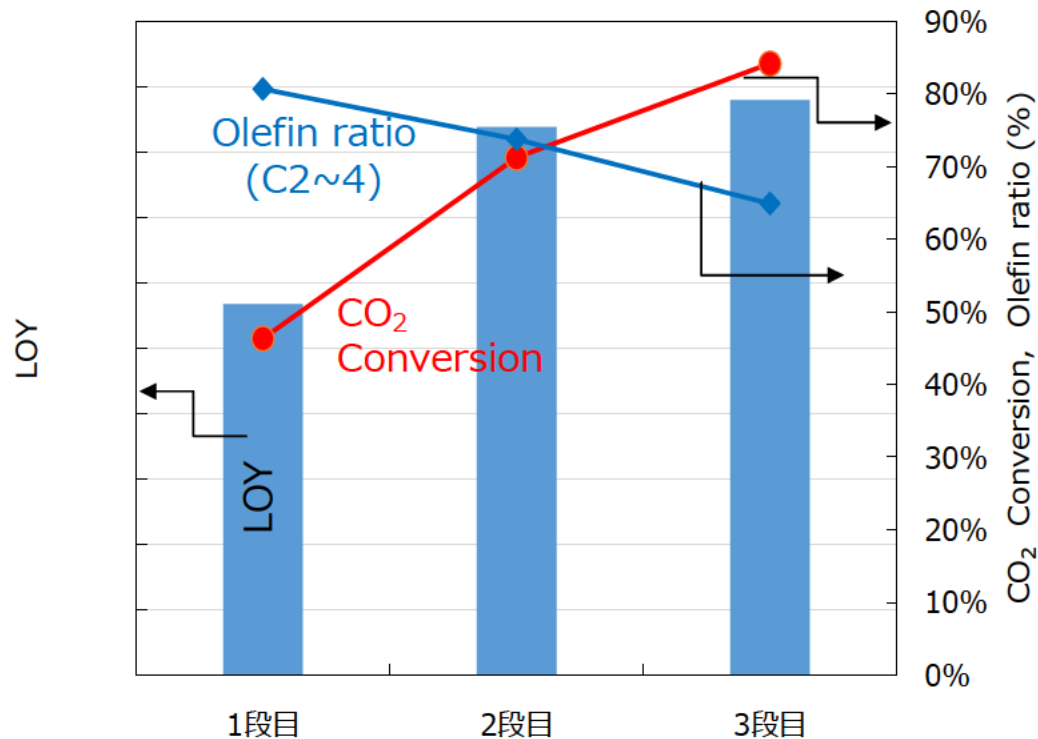
SIGC

(Soma IHI green energy center @
Soma, Fukushima)

条件	内容
触媒	Fe系触媒 (アルカリ添加)
H ₂ /CO ₂	3
反応器温度	300 °C
圧力	1.5 MPa
生成物分析	TCD, FID, MS-GC

3-1. 触媒性能評価結果および物質収支

各段での触媒性能



- 反応器下流に設置したドレンによって水が除かれ, RWGS反応が促進され, 段数を経ることでCO₂転化率が向上。
- 2, 3 段目でオレフィンが水素化されてパラフィン化し, LOYが向上しない課題を確認。

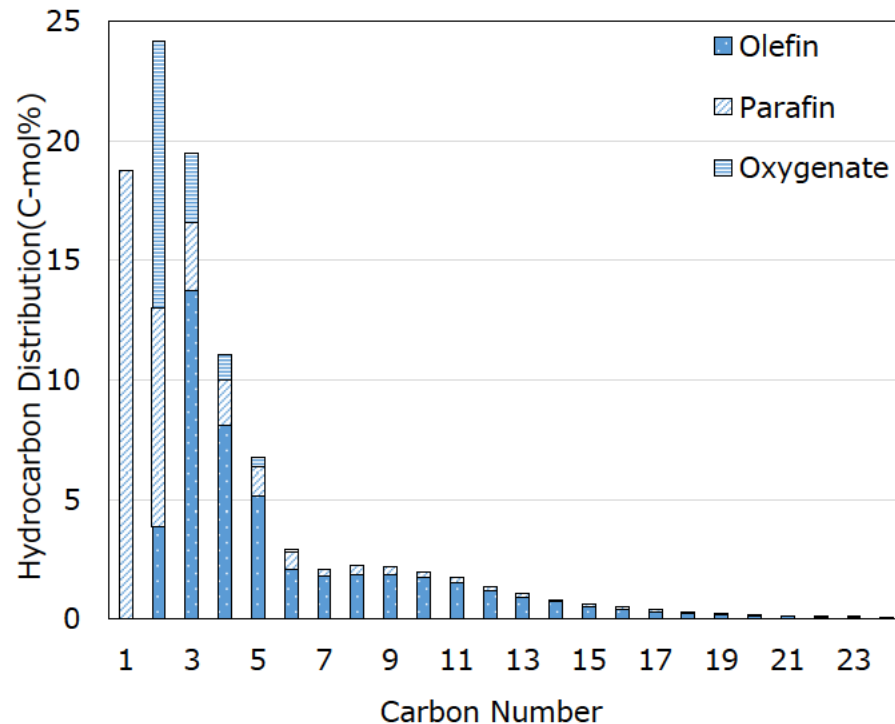
マテリアルバランス

material	Detection Ratio of Products Relative to Feed Gas
C	87% Liquid phase:26% Gas phase:74%
H	103%
O	107%

- 炭素の約9割を検出した。
- 水素と酸素はほぼ全量検出した。

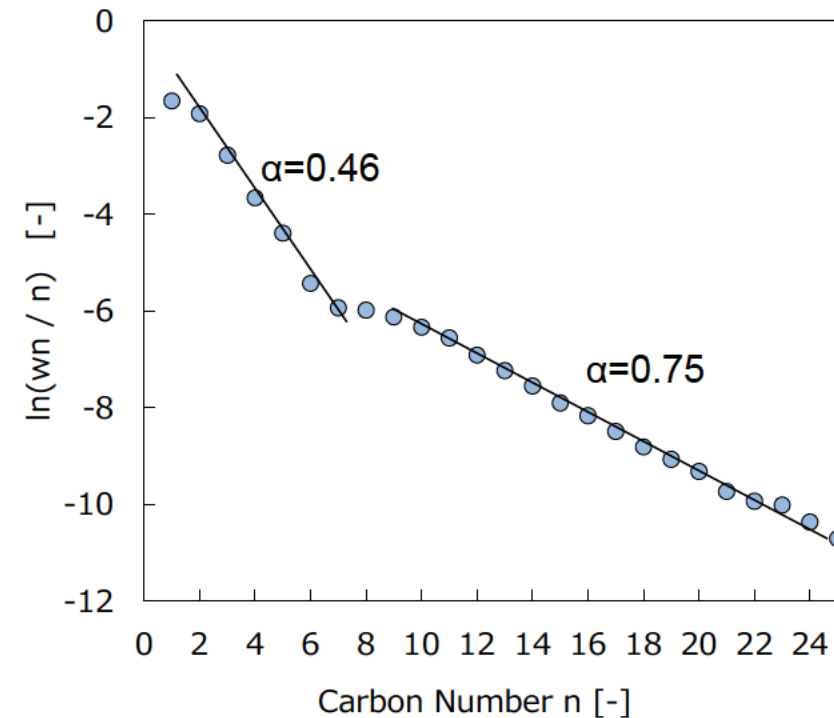
3-2. 生成物の炭化水素分布

炭素数分布



- C2生成物割合はParafin > Oxygenate > Olefin の順であり, Parafin および Oxygenateの副生を抑制しLOYを向上させる必要があることが判明した。

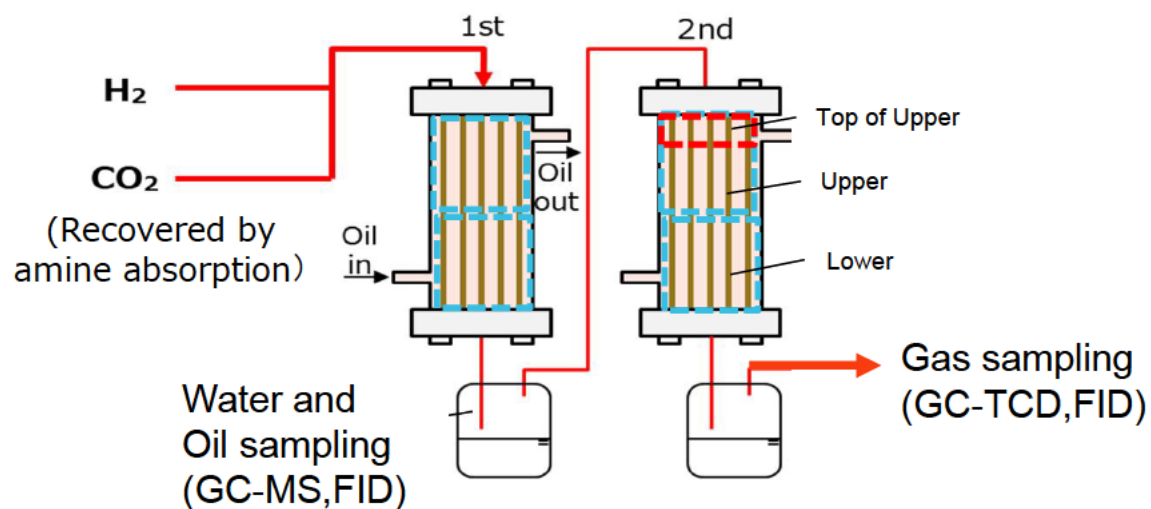
ASF (Anderson-Schulz-Flory) プロット



- 低炭素側の α 値はC2~4の炭素数割合が最も高くなる値であった。

4. 実ガスパイロット試験

【実ガスパイロット試験装置の概要図】



100 kg-CO₂/day



タイのナフサクラッカー商用プラントに設置の
パイロット試験装置

【触媒外観】

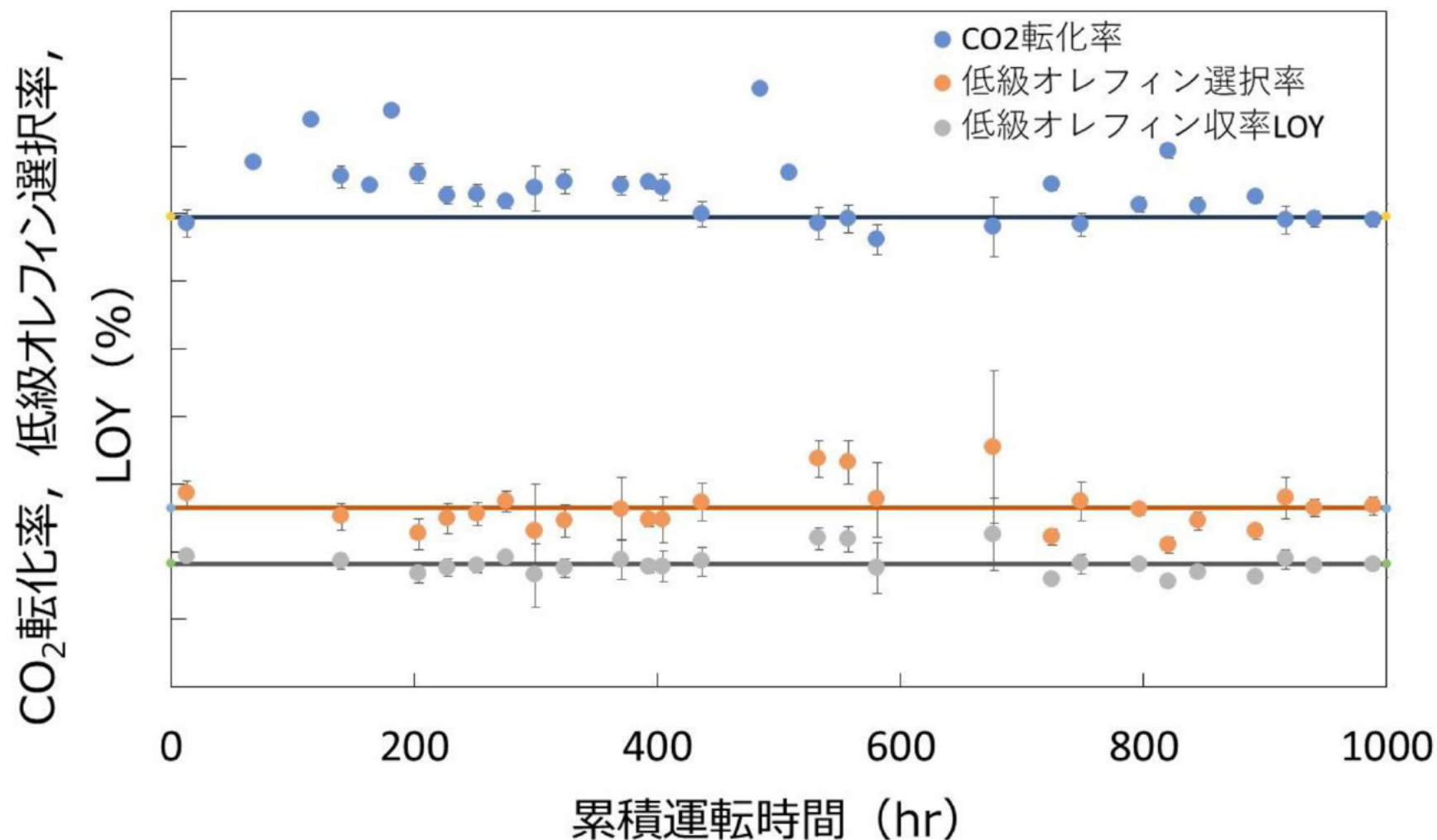


条件	内容
触媒	Fe系触媒 (アルカリ添加)
H ₂ /CO ₂	3
反応器温度	300 °C
圧力	1.5 MPa
生成物分析	TCD, FID, MS-GC

分析項目	サンプル形態
SEM-EDS	成形触媒を樹脂埋め, 断面出しして観察。
XRD	成形触媒を篩掛けして粉末 を回収, 分析
BET比表面積	

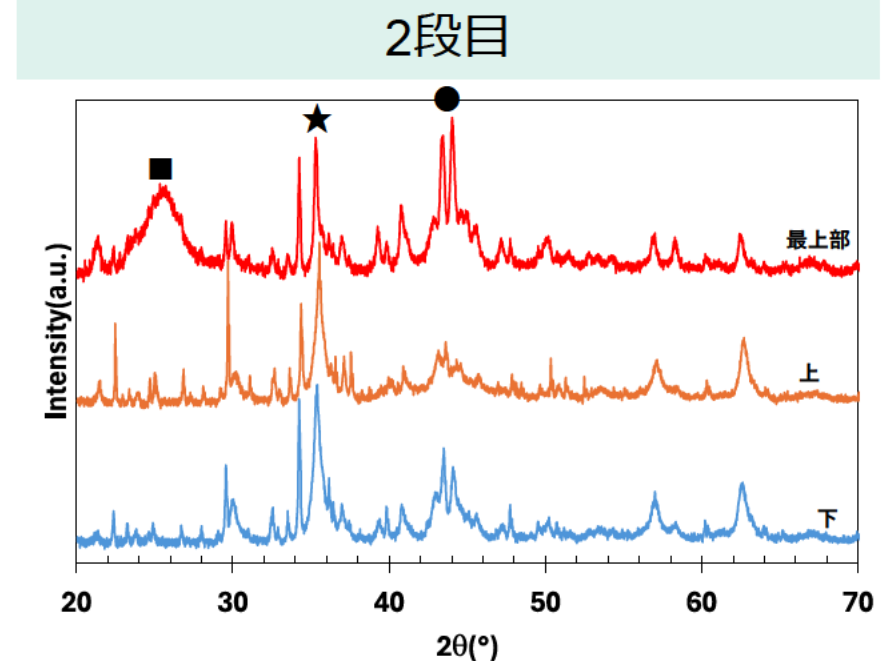
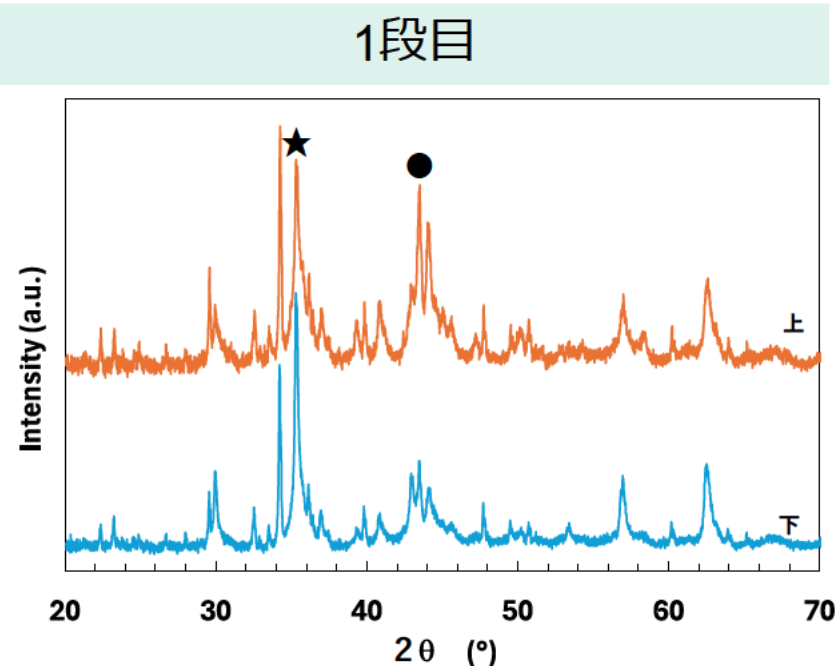
4-1. 実ガスパイロット試験 1000時間運転の結果 IHI

1000時間運転の間、CO₂転化率，低級オレフィン選択率，LOYが安定した値を示した。



4-2. 1000時間後触媒の分析結果 XRD

- 上部ほど Fe_5C_2 (活性点)の粒成長と, 炭素種の形成を確認。
- 下部ほど Fe_3O_4 (★)のピーク強度が高く, Fe_5C_2 の相変化を確認。

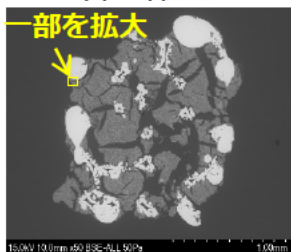


位置	Fe ₅ C ₂ 結晶子サイズ(nm)		
	1段目	2段目	48hrラボ試験後
最上部	-	35.6	-
上部	28.4	25.8	13.1
下部	22.6	25.6	13.4

- ★ : Fe_3O_4
 ● : Fe_5C_2
 ■ : グラファイト

4-2. 1000時間後触媒の分析結果 SEM-EDS

試料全体像

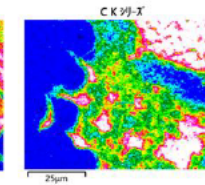
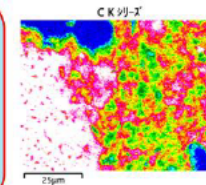
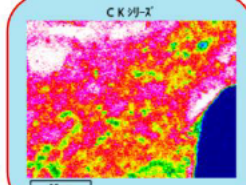
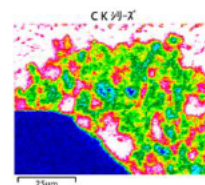
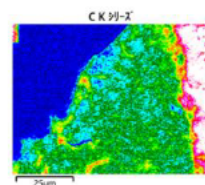
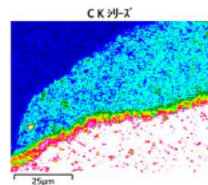
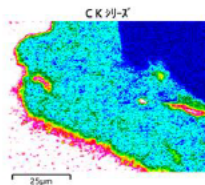
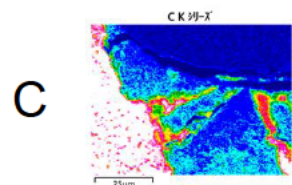
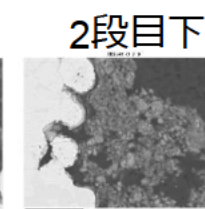
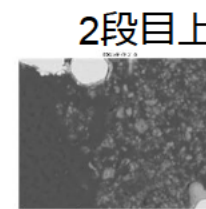
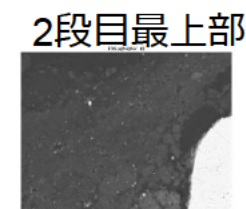
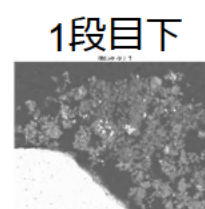
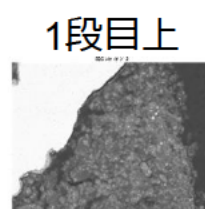
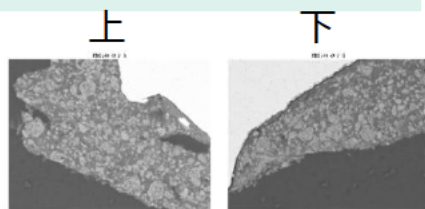
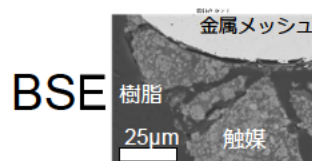


- 2段目最上部の炭素種の分布が顕著
- アルカリ成分の局在化を確認

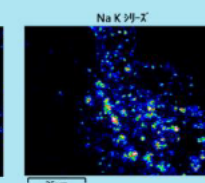
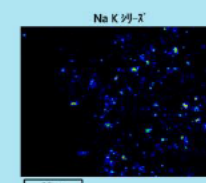
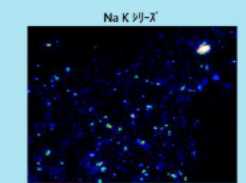
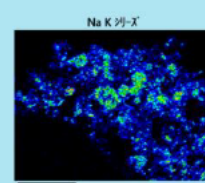
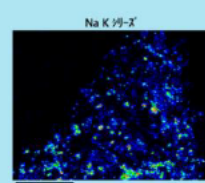
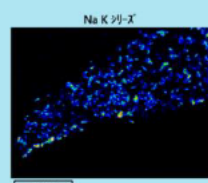
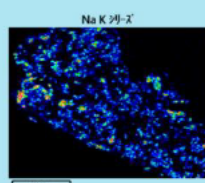
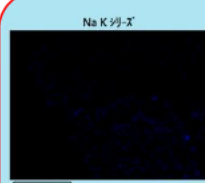
Fresh

48hr後
(ラボ試験)

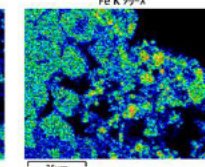
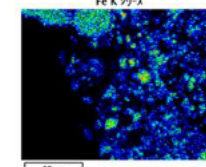
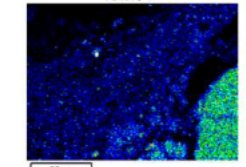
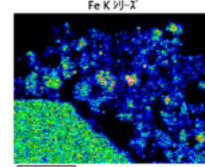
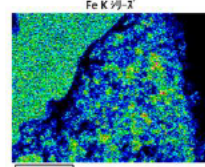
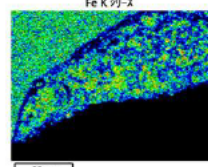
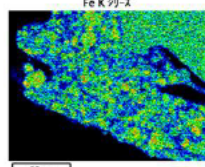
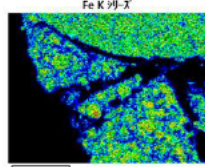
パイロット試験 1000hr後



アルカリ



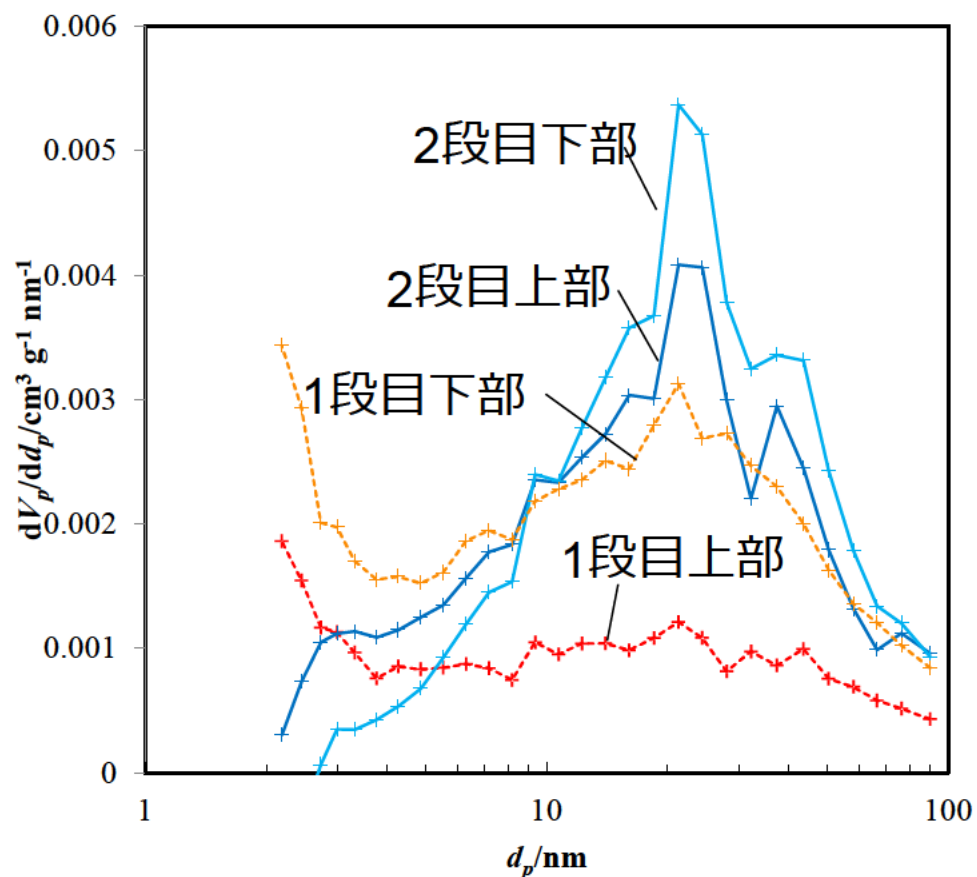
Fe



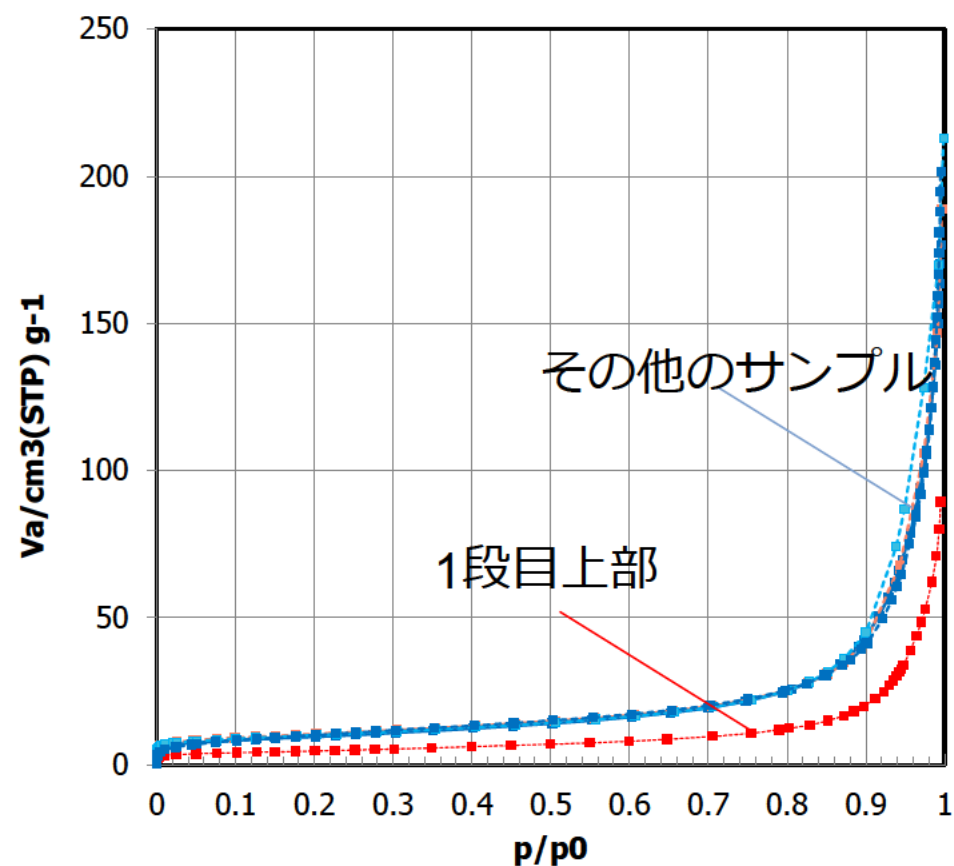
4-2. 1000時間後触媒の分析結果 BET

- 上流ほどメソポア領域において、細孔分布および構造特性の変化が認められた。

BJHプロット



吸着等温線



4-2. 1000時間後触媒の分析結果まとめ

No.	場所	確認された性状変化	顕著な理由・考察
1	1段目 上部	Fe_5C_2 の粒成長	1段目上部はホットスポット位置であるため、粒成長し易く、比表面積が低下する傾向がある。
2		比表面積の変化(低下傾向)	
3	1段目 下部	活性点の相変化 ($\text{Fe}_5\text{C}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$)	RWGSで生成された H_2O の影響により、水蒸気分圧が高くなる下部で酸化相への相変化が進行した。
4	2段目 最上部	炭素種の形成	1段目ドレンで落ち切らなかったオイル、ワックス、COが最も接触し易い場所であり、炭素種の形成が進んだ。
5	全面	アルカリ粒子の局在化	融点が低く、移動し易いため、局在化が進行した。

5. まとめと今後の予定

- 5 kg-CO₂/dayスケールの多段式反応装置を用いた試験で、物質収支を確認し、目的の低級オレフィン以外にパラフィンや含酸素化合物の副生を確認した。今後はこれらの副生抑制に注力する。
- 100 kg-CO₂/dayスケールの実ガスパイロット試験で1000時間安定運転できることを確認した。
- 1000時間後の触媒はFresh触媒と異なる特性を示すことが確認された。今後は長時間後も特性変化を起こしづらい運転条件の探索を行っていく。
- 実ガスパイロット試験にて合成した低級オレフィンを実製品ラインに注入する試験を進め、ポストCO₂回収システムの検討も開始する。

