

# NEDO脱炭素技術分野成果報告会2025

## プログラムNo.8

### CO<sub>2</sub>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

カーボンリサイクル・次世代火力発電等技術開発／CO<sub>2</sub>排出削減・有効利用実用化技術開発／化学品へのCO<sub>2</sub>利用技術開発

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

鎌田博之

株式会社IHI

問い合わせ先 E-mail: kamata6703@ihi-g.com URL: <https://www.ihi.co.jp/>



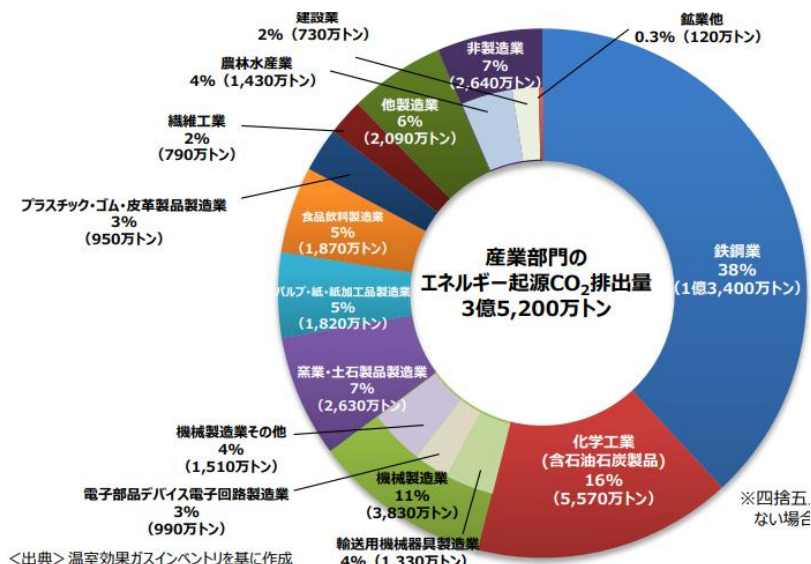
## 報告内容

1. 背景
2. 目的
3. 実施項目, 日程
4. 進捗状況
  - (1) 低級オレフィン合成触媒開発
  - (2) 反応器開発
  - (3) 実ガス試験およびオレフィン合成設備
5. 今後の技術課題, まとめ



# 1. 背景 カーボンリサイクル導入の必要性

- ✓ 日本のCO<sub>2</sub>削減目標 2030年に2013年比で 46%削減, 2035年 同比 60%削減



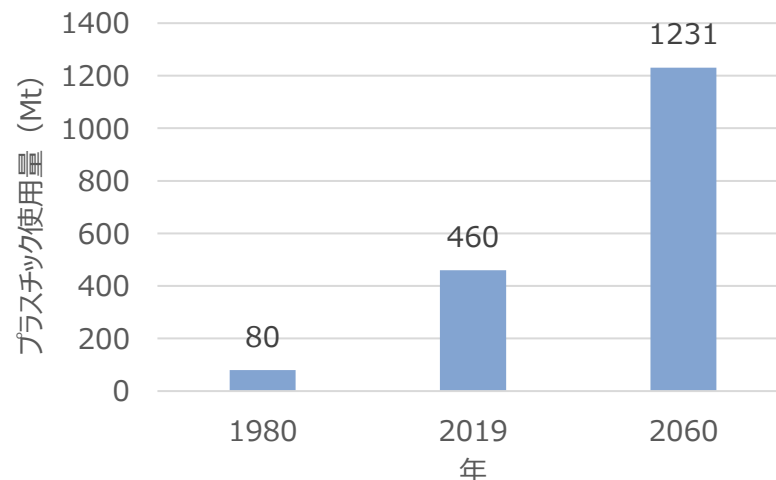
## 日本における産業部門からのエネルギー起源CO<sub>2</sub>排出量

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CO<sub>2</sub>排出量

- ✓ 我が国のCO<sub>2</sub>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

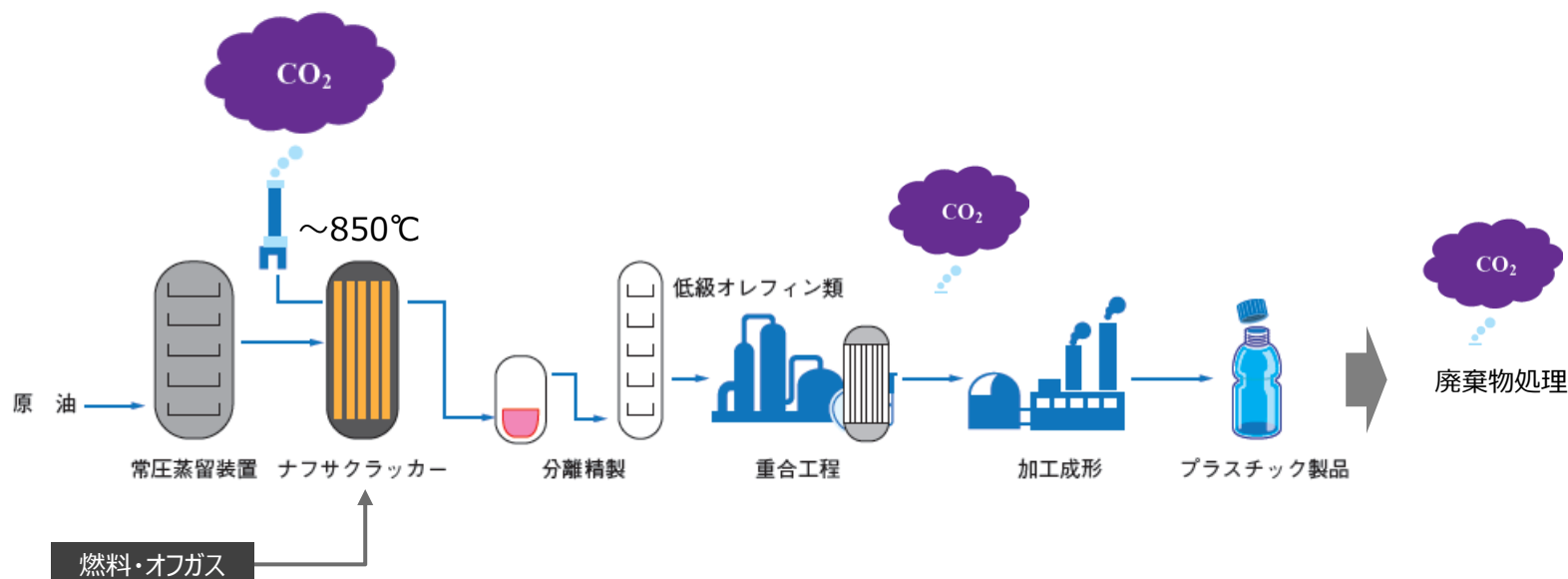


## プラスチック使用量 (base case シナリオ)

# 樹脂・プラスチック類の製造におけるCO<sub>2</sub>排出

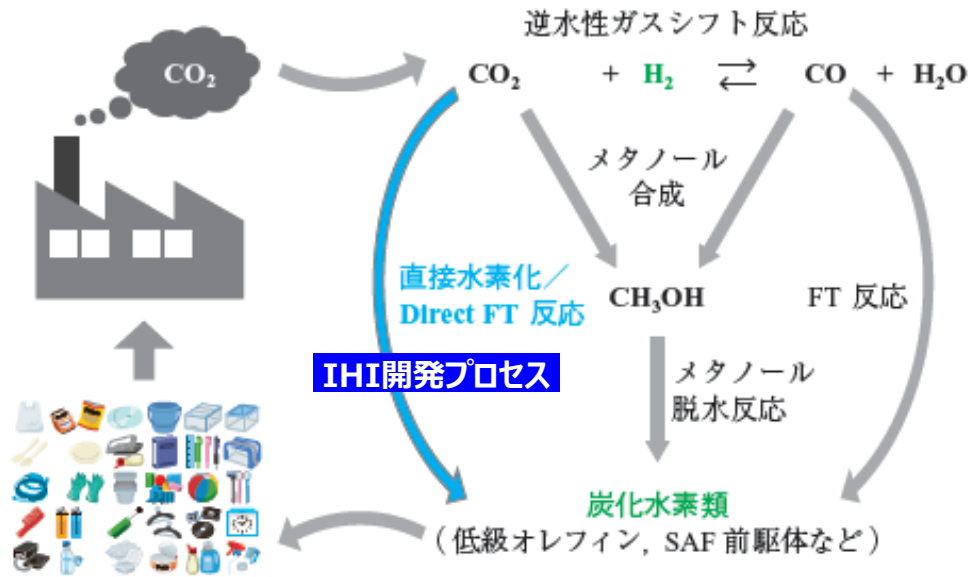
## 現状の低級オレフィン製造

- ✓ 低級オレフィンとは、ナフサまたは天然ガス（エタン）を原料として、熱分解することで製造される。重合、加工・成形を経て、最終プラスチック製品となる
- ✓ ナフサ分解の工程の熱源から発生するCO<sub>2</sub>は石油化学工業のエネルギー起源CO<sub>2</sub>の主要部分を占めるといわれる



- ✓ ナフサ分解工程からのCO<sub>2</sub>排出原単位を低減することが、プラスチック製品のカーボンフットプリントを低減するのに効果的

# CO<sub>2</sub>を原料とした低級オレフィン合成



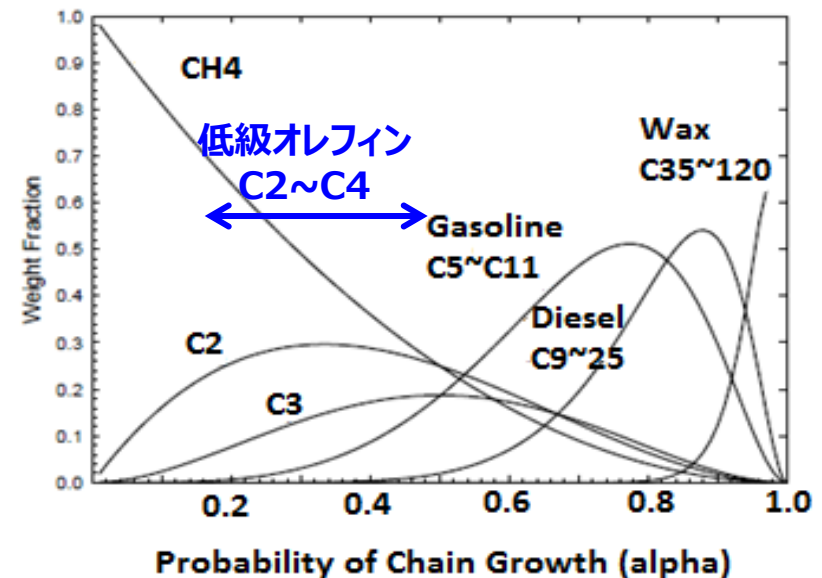
## CO<sub>2</sub>を原料とした低級オレフィン合成

- ✓ プロセスをシンプルにするため、CO<sub>2</sub>と水素から直接、低級オレフィンの製造を目指す

## ダイレクトFT合成による低級オレフィン合成

- ✓  $n\text{CO}_2 + 3n\text{H}_2 \rightarrow (\text{CH}_2)_n + 2n\text{H}_2\text{O}$   
 $\Delta H_{298}^0 = -128 \text{ kJ/mol} \dots \text{発熱反応}$
- ✓ FT合成の場合、CO生成とそれに続くCH<sub>2</sub>生成、CH<sub>2</sub>の重合反応により進行
- ✓ 生成物の分布（カーボン数）は、触媒表面でのCH<sub>2</sub>の連鎖成長確率（ASF分布,  $\alpha$ ）によるため、目標とするC<sub>2</sub>～C<sub>4</sub>分布が高くなるよう触媒および反応条件の最適化が必要

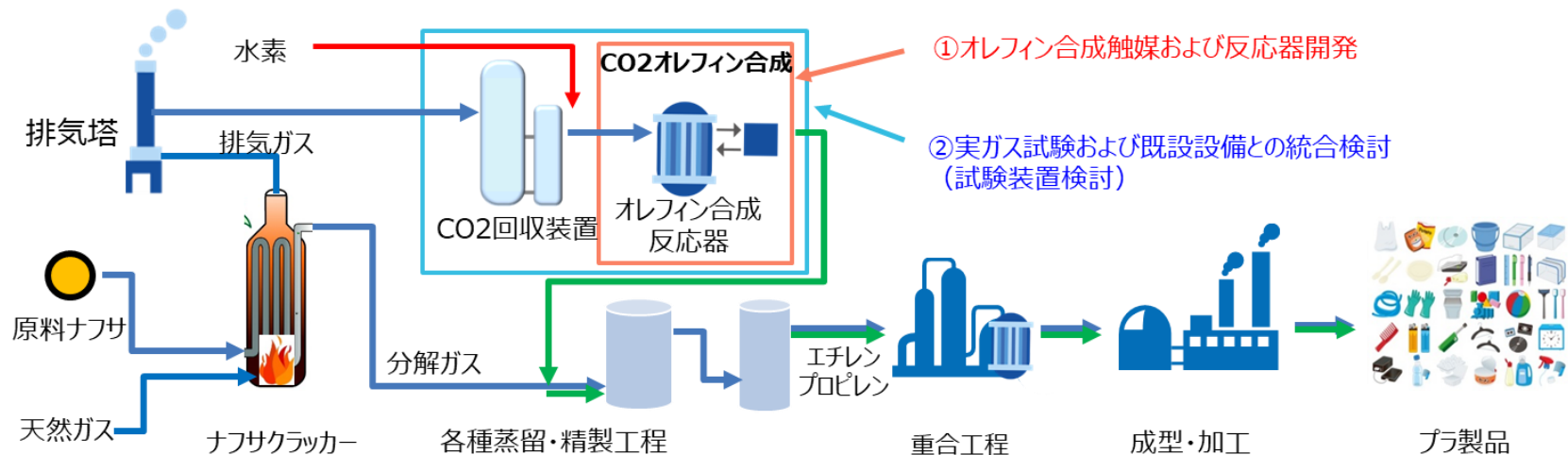
## FT合成による生成物の炭素数分布（模式図）



## 2. 本研究の目的

プラスチック・樹脂の原料である低級オレフィン製造について、化石資源であるナフサを原料とする従来プロセスに対してCO<sub>2</sub>フットプリントを低減できる技術の提供を目的として、燃焼排ガスや大気中から回収したCO<sub>2</sub>と水素を原料にした非化石資源由来の低級オレフィン製造プロセスを開発する。

石油化学プラント等から排出されるCO<sub>2</sub>と水素を原料として、低級オレフィンを効率よく合成する**①オレフィン合成触媒および反応器開発** および、オレフィン製造プロセスと既設のナフサクラッカーの統合を目指した**②ナフサクラッカー排ガスをを用いた実ガス試験およびオレフィン合成設備の検討**を行う。



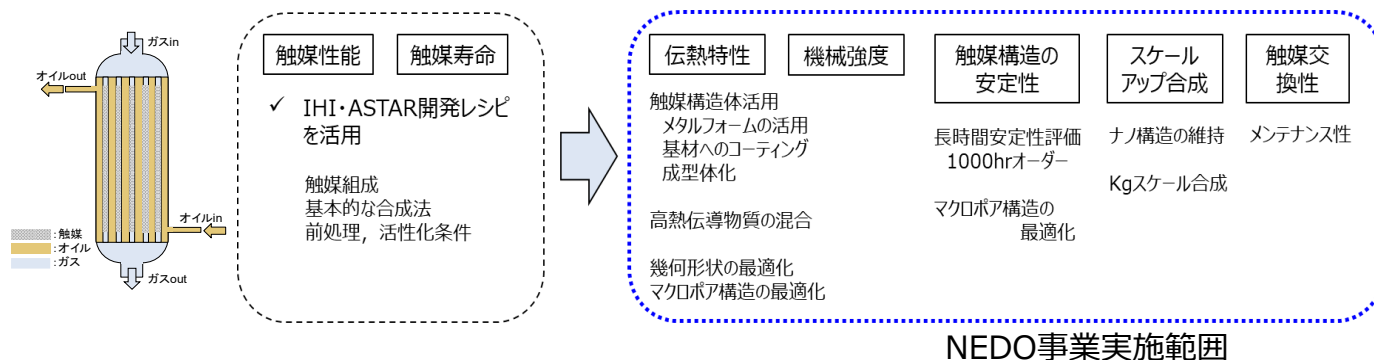
### 3. 開発項目

#### ①-(1) オレフィン合成触媒開発

- ✓ IHI開発の触媒レシピを基に，反応器への実装を目指して，触媒製造量のスケールアップ，触媒成形手法（ペレット化）の検討を行う

#### ①-(2) 反応器開発

- ✓ シミュレーションを活用して低級オレフィン合成に適したシェル&チューブ型反応器の開発を行う
- ✓ マルチステージ型反応器を活用した低級オレフィン合成効率の向上



#### ②実ガス試験および既設設備との統合検討

- ✓ ナフサクラッカー排ガスからのCO<sub>2</sub>回収装置と低級オレフィン合成装置の統合試験
- ✓ ナフサ由来の低級オレフィンとの適合性の評価

| 研究項目                 | 2021          | 2022        | 2023     | 2024 | 2025        |
|----------------------|---------------|-------------|----------|------|-------------|
| ①-(1) オレフィン合成触媒開発    | 触媒製造スケールアップ検討 |             |          |      |             |
|                      |               | 触媒成形手法検討    |          |      |             |
| ①-(2) 反応器開発          | 反応器シミュレーション   |             |          |      |             |
|                      |               | 反応器性能試験（ラボ） |          |      |             |
| ② 実ガス試験および既設設備との統合検討 | 計画・機器設計       |             |          |      |             |
|                      |               |             | 製作・輸送・据付 |      |             |
|                      |               |             |          |      | 運転・評価<br>解体 |



## 4.進捗状況 (1)低級オレフィン合成触媒開発

### 触媒合成スケールアップ

- ✓ ラボで開発した触媒レシピを基に触媒製造のスケールアップを検討し、工程の最適化、機器選定を行い**10kgスケールにて触媒合成**できることを確認した

ラボスケール試作

**10kgスケール試作  
(NEDO研究)**

① 原料溶液調製

② 沈殿工程



③ 固液分離



④ 乾燥・焼成



### 触媒成形検討

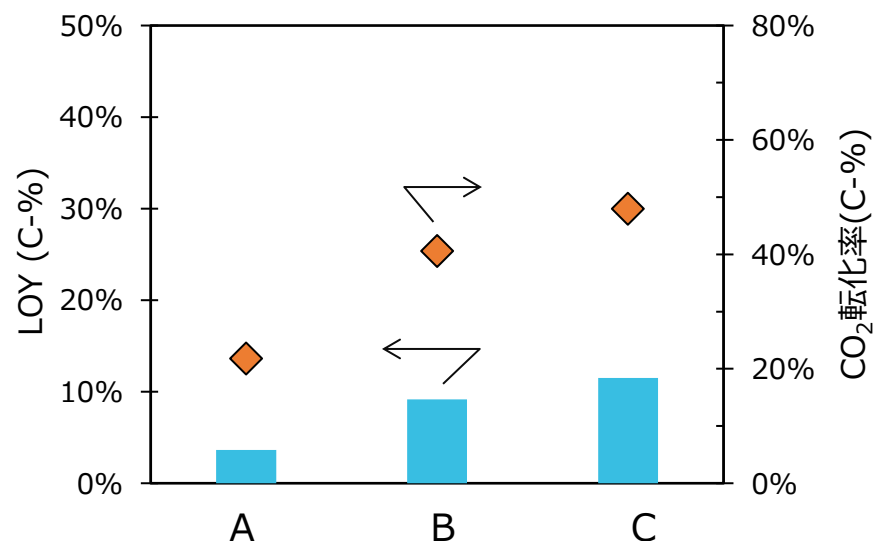
- ✓ 成形触媒について、反応に必要な活性化処理条件を検討し、最適活性化条件を策定した



成形触媒外観

### 成形触媒を用いたラボ試験による性能試験（一例）

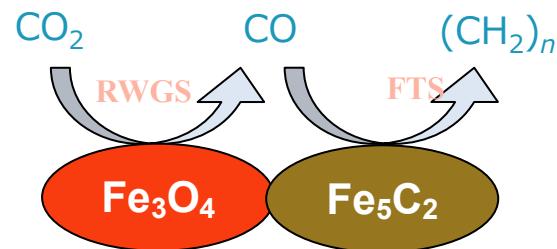
| 成形条件                               | A            | B            | C            |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| 触媒充填密度<br>(g-cat/cm <sup>3</sup> ) | 高<br>(0.838) | 低<br>(0.263) | 低<br>(0.277) |
| 助触媒状態                              | 低分散          |              | 高分散          |



# 低級オレフィン合成触媒 性能試験

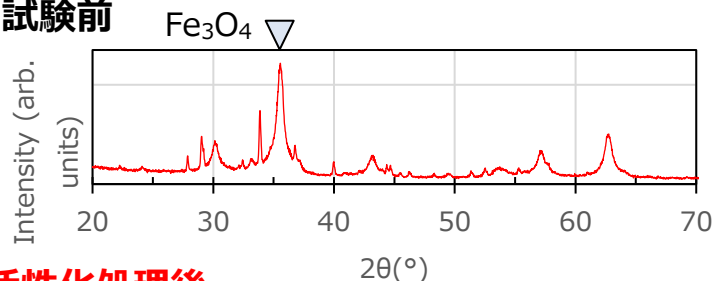
## 触媒活性化

- ✓ ラボ試験装置を用いて触媒活性化条件を決定。反応の活性種である酸化鉄 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) とカーバイド相 ( $\text{Fe}_5\text{C}_2$ ) の最適生成条件を確定

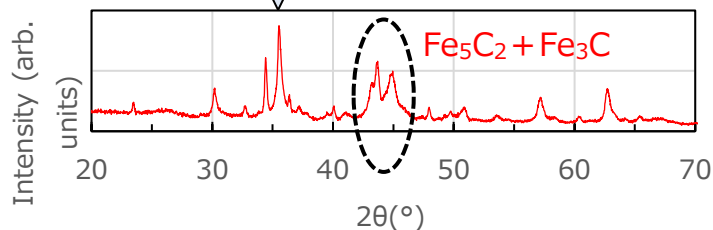


活性化による触媒反応のイメージ

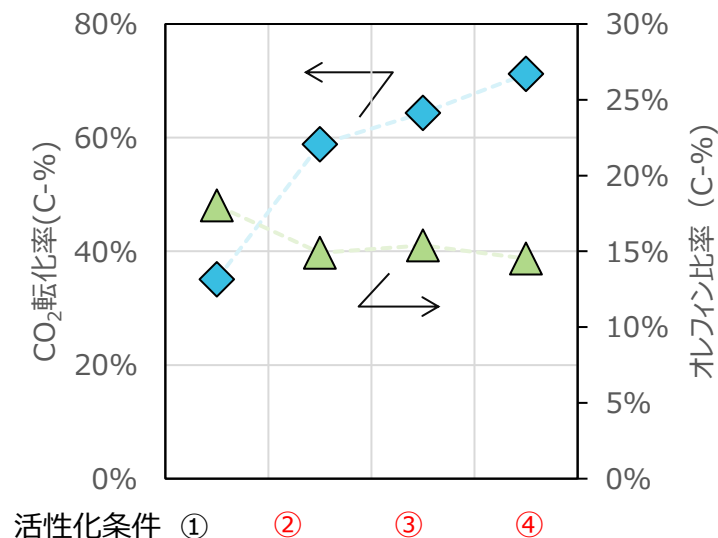
## 試験前



## 活性化処理後



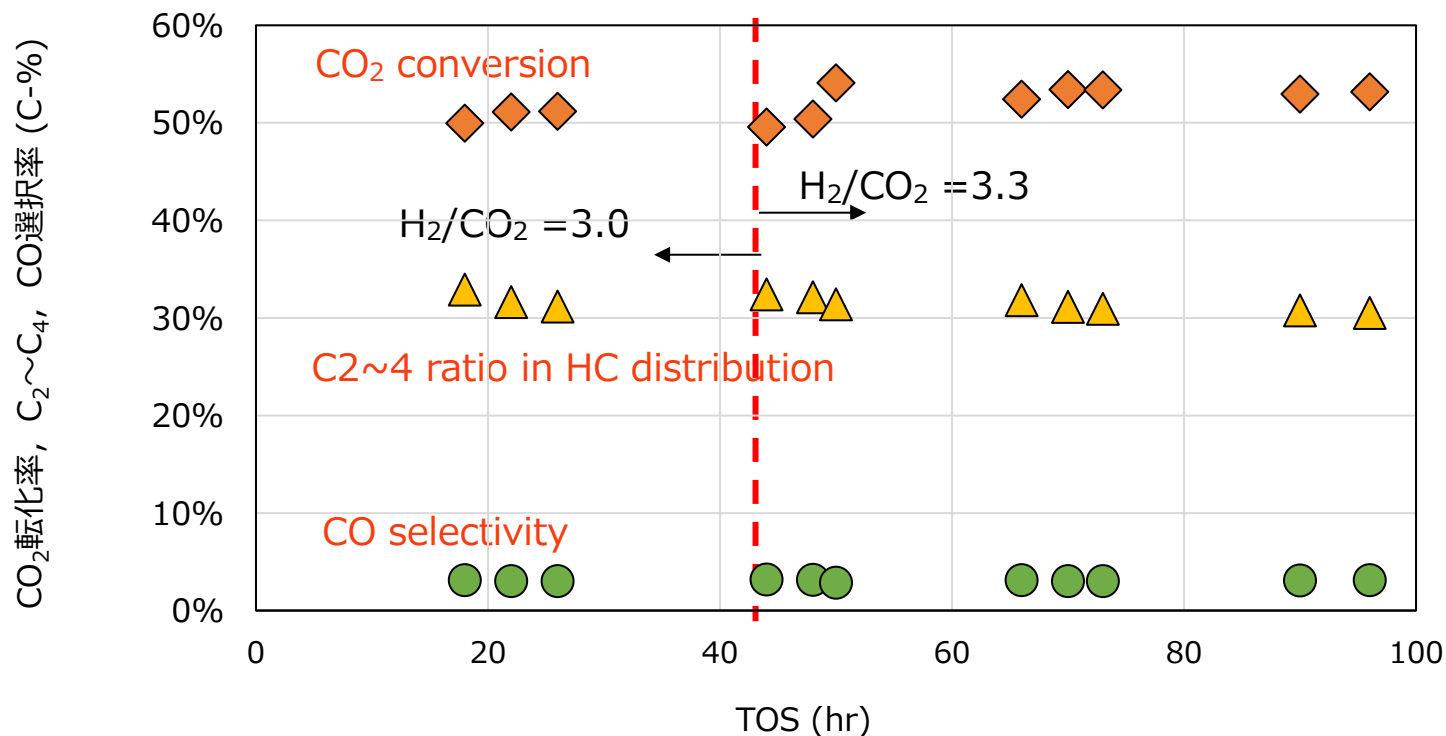
## 成形触媒を用いたラボ試験による性能試験（一例）





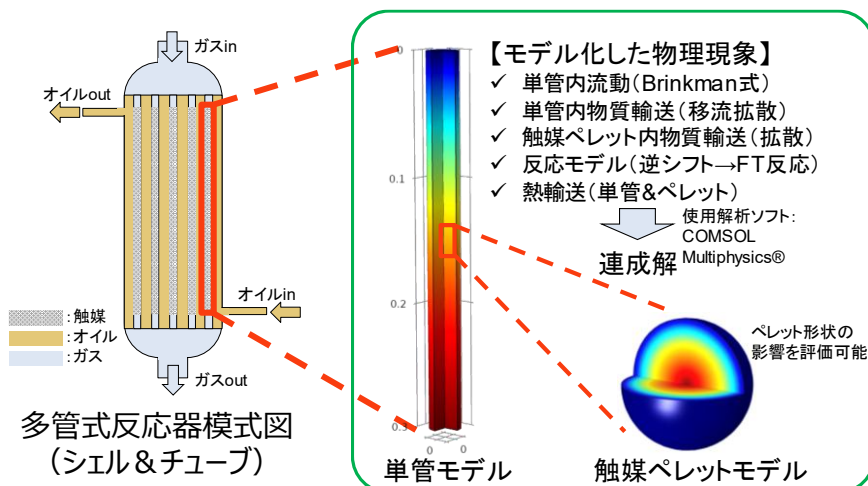
## 低級オレフィン合成触媒 性能試験 – 安定性確認 –

✓ 成形触媒を用いた触媒性能安定性試験にて、CO<sub>2</sub>転化率、選択率ともに安定した性能を確認



成形触媒を用いたラボ試験による安定性確認試験（一例）

## (2) 反応器開発 –シミュレーションによる反応器開発–



### シミュレーションを活用した反応器開発

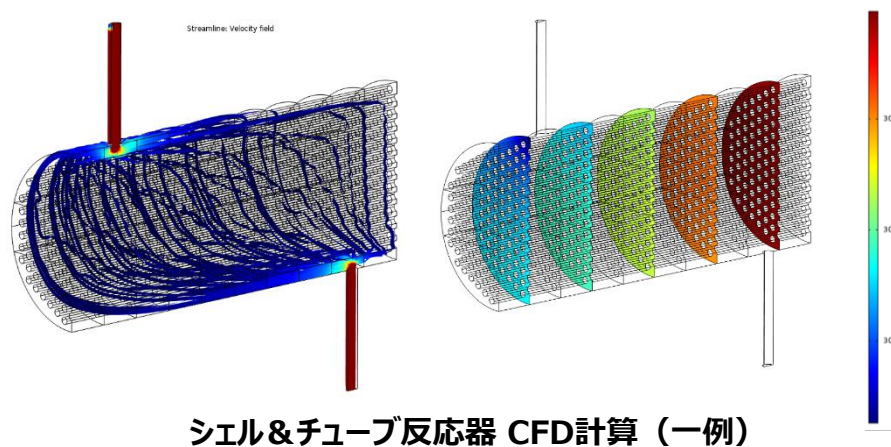
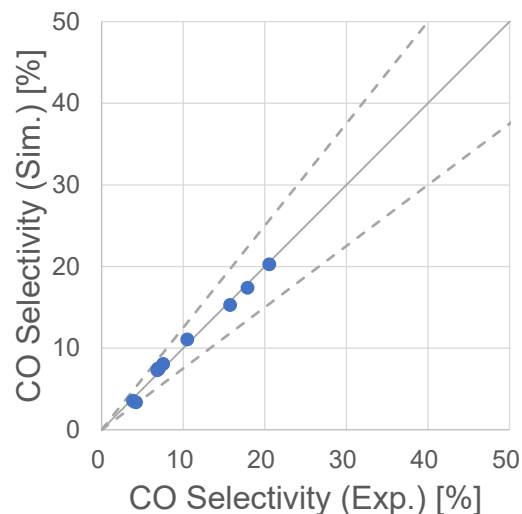
- ✓ シェル&チューブ型リアクターを対象
- ✓ 反応速度解析による反応管内の温度分布, ガス組成のシミュレーションを行い, 実験結果との良い相関を確認

$$k_{WGS} \exp\left(-\frac{E_{WGS}}{RT}\right) \left(C_{CO_2} C_{H_2} - \frac{C_{CO} C_{H_2O}}{K_{WGS}}\right)$$

$$k_{FT} \exp\left(-\frac{E_{FT}}{RT}\right) C_{CO} C_{H_2}$$

- ✓ シェル側についてCFD計算を行い, オイル流れとチューブの冷却性能の関係を確認して装置設計に反映

### 触媒性能 反応速度解析 (CO選択率を一例として)

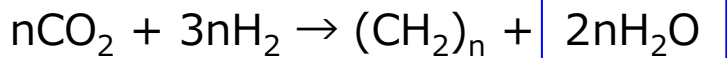
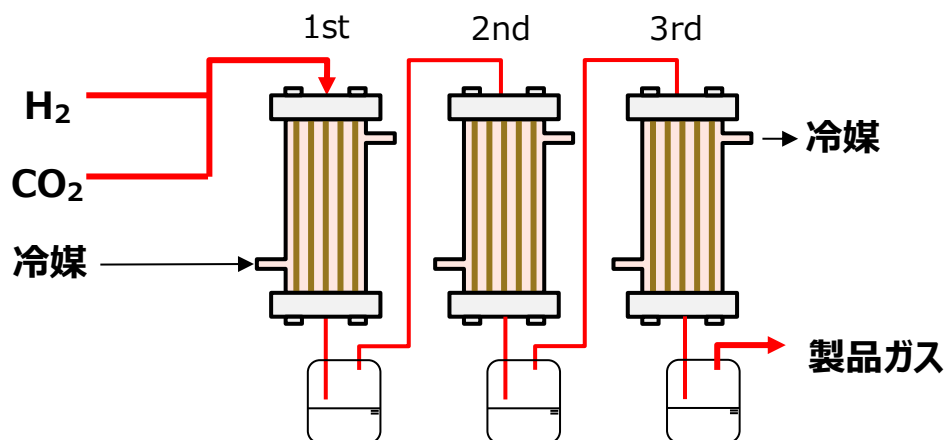


# マルチステージリアクターによる性能向上検討

## マルチステージリアクター

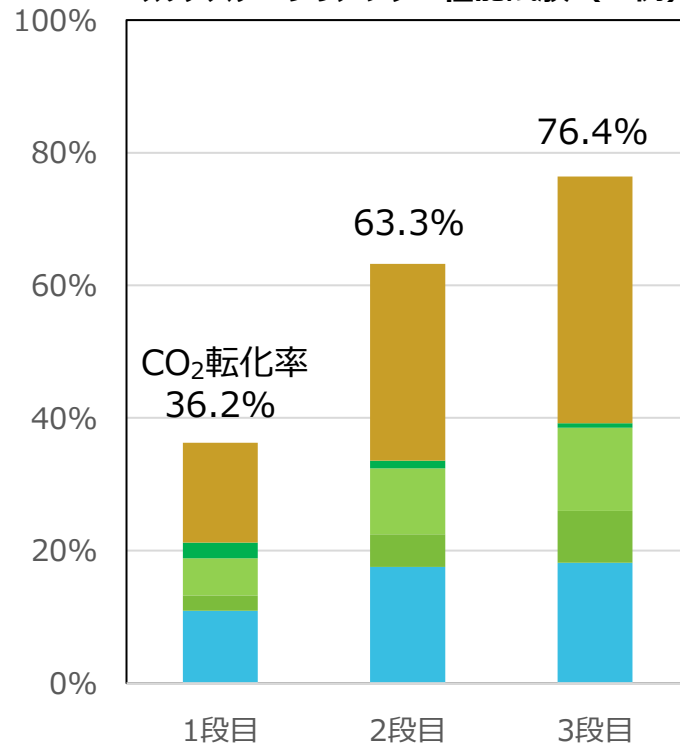
- ✓ ラボ試験装置（水素量 ～12 Nm<sup>3</sup>/day, CO<sub>2</sub> ～8 kg/d）によるマルチステージ効果の確認を実施
- ✓ マルチステージリアクターにより、1パスでのCO<sub>2</sub>転化率の向上の効果を確認

⇒ 実ガス試験設備においてもマルチステージリアクターを採用



生成水を系外に除去することで、平衡を生成系側にシフトさせて反応を促進

マルチステージリアクター性能試験（一例）



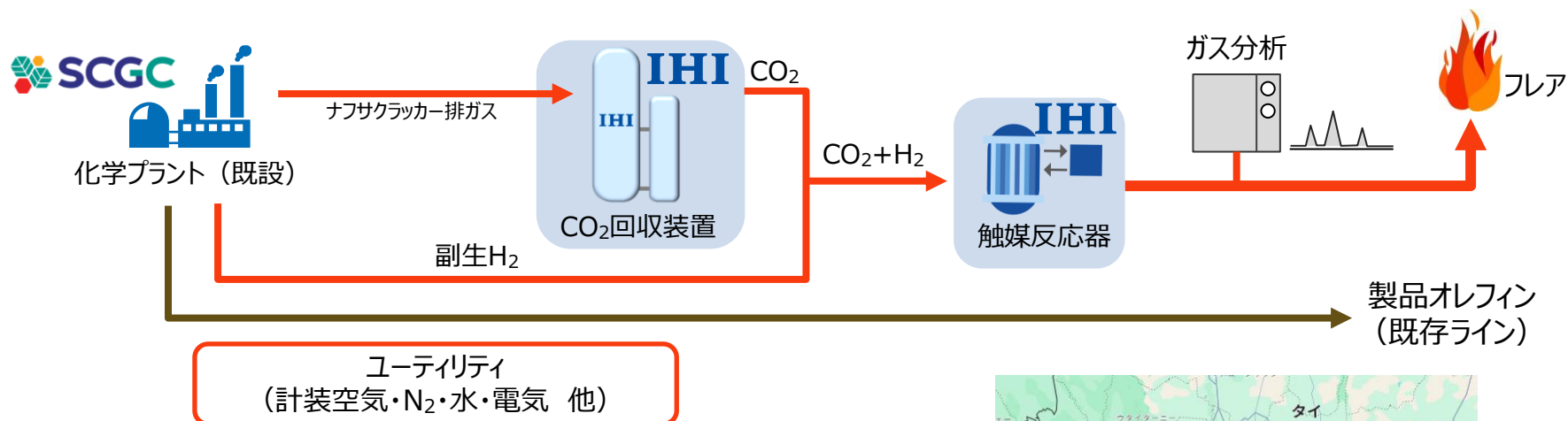
- C2～4 オレフィン
- C2～4 パラフィン
- メタン
- CO
- 未検出成分(C5+)

マルチステージリアクター： GI基金事業『製造プロセスにおけるCO<sub>2</sub>回収技術の設計・実証』の装置を貸与契約により使用



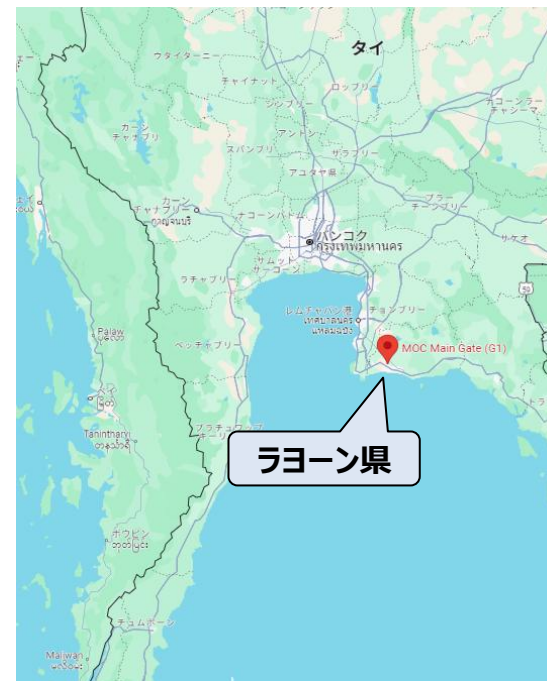
### (3) 実ガス試験およびオレフィン合成設備

- ✓ タイ化学会社SCGケミカル（SCGC社）オレフィン製造プラント内に設置
- ✓ ナフサクラッカー排ガスのCO<sub>2</sub>および副生水素の供給受け実ガスを使ったCO<sub>2</sub>回収，低級オレフィン合成試験実施



#### 実ガス試験向け装置諸元

| 項目                         | 単位                           | 数 値       |
|----------------------------|------------------------------|-----------|
| ナフサクラッカー排ガス注入量             | kg/h                         | 42.3      |
| オレフィン装置CO <sub>2</sub> 注入量 | kg/h (mol-C/h)               | 4.2 (93)  |
| 副生水素注入量                    | kg/h (mol-H <sub>2</sub> /h) | 0.6 (282) |
| 低級オレフィン製造量                 | kg/h (mol-C/h)               | 0.3 (19)  |
| 設置エリアサイズ                   | m                            | 25×13     |
| 消費電気量                      | kW                           | 101       |







## 実ガス試験およびオレフィン合成設備

輸送状況



低級オレフィン合成設備（現地設置）





## 5. これまでの成果と今後の技術課題

| 研究項目               | 成果                                                                                                                  | 今後の技術課題                                                  |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| オレフィン合成触媒開発        | ✓ IHIが開発した触媒レシピを基に、反応器に実装が可能な、スケールアップ合成、ペレット化の手法を確立                                                                 | ✓ 触媒性能の更なる向上<br><br>✓ 長期安定性の検証<br><br>✓ 設備のスケールアップに向けた検討 |
| 反応器開発              | ✓ シミュレーションを活用し、低級オレフィン合成に適したシェル&チューブ型リアクタを開発<br><br>✓ マルチステージリアクターにより、1パスでのCO <sub>2</sub> 転化率、低級オレフィン収率を向上できることを確認 |                                                          |
| 実ガス試験および既設設備との統合検討 | ✓ ナフサクラッカー排ガスからのCO <sub>2</sub> 回収、低級オレフィン合成実ガス試験設備の設計、据え付け完了<br><br>✓ コミッショニングを経て、実ガス試験に着手                         |                                                          |



ご清聴，有難うございました！

