

2023年度 JPECフォーラム

# ファウリング抑制技術開発

2023年5月10日

ペトロリオミクス技術研究室

—禁無断転載・複製 ©JPEC 2023—

- 1、ファウリング抑制技術開発の概要
- 2、AIによるCDU熱交換器ファウリング予測モデルの検討内容紹介
- 3、ファウリング解析モデルの検討内容紹介

## 【技術開発目的】

- ・CDUの原油予熱系熱交換器のファウリング物質は長期連続運転における省エネの阻害要因
  - ・熱交換器におけるファウリング物質の生成挙動が明らかになっていない
- ⇒**熱交換器の汚れを解析・予測する技術**を開発し、製油所の更なる省エネ実現、Co-Processingの推進に資する基盤技術を開発する

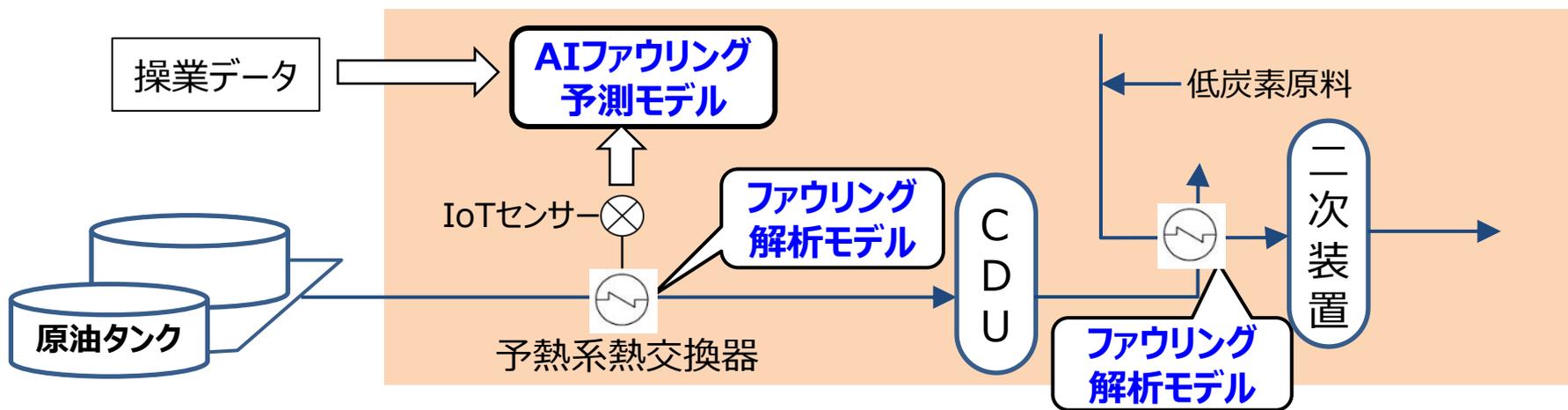
## 【技術開発項目】

### テーマ1：AIによるCDU熱交換器ファウリング予測モデル

操業データからCDU熱交換器のファウリング状態を予測するモデルの開発

### テーマ2：ファウリング解析モデル開発

- ・CDU、及びCo-Processingを行う二次装置の熱交換器におけるファウリング物質の生成挙動が解析可能なモデルの開発
- ・ファウリング物質の評価技術（組成分析、凝集状態評価）



- 1、ファウリング抑制技術開発の概要
- 2、AIによるCDU熱交換器ファウリング予測モデルの検討内容紹介
- 3、ファウリング解析モデルの検討内容紹介

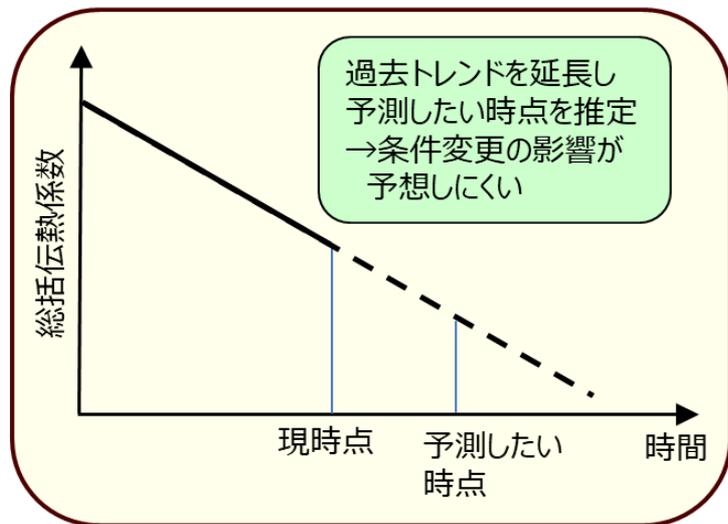
## 【目的】

CDU長期連続運転における省エネの阻害要因となっている熱交換器のファウリングを抑制するため、装置運転データ（説明変数）から熱交換器内のファウリング状態をAIにより予測する技術を開発すること。

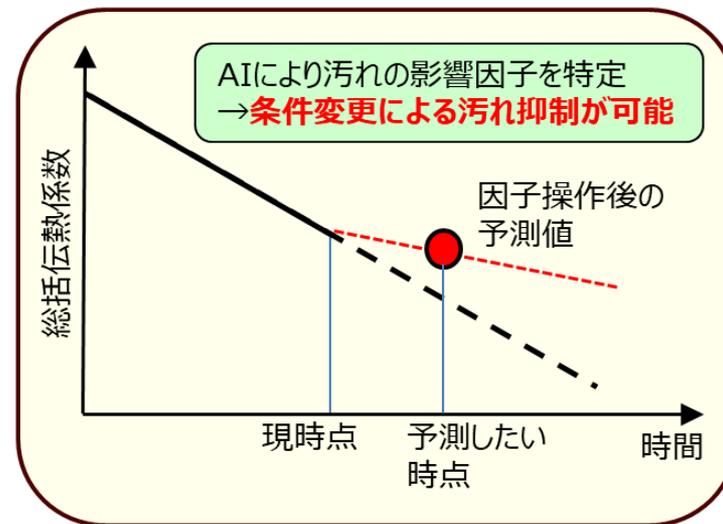
## 【技術開発コンセプト】

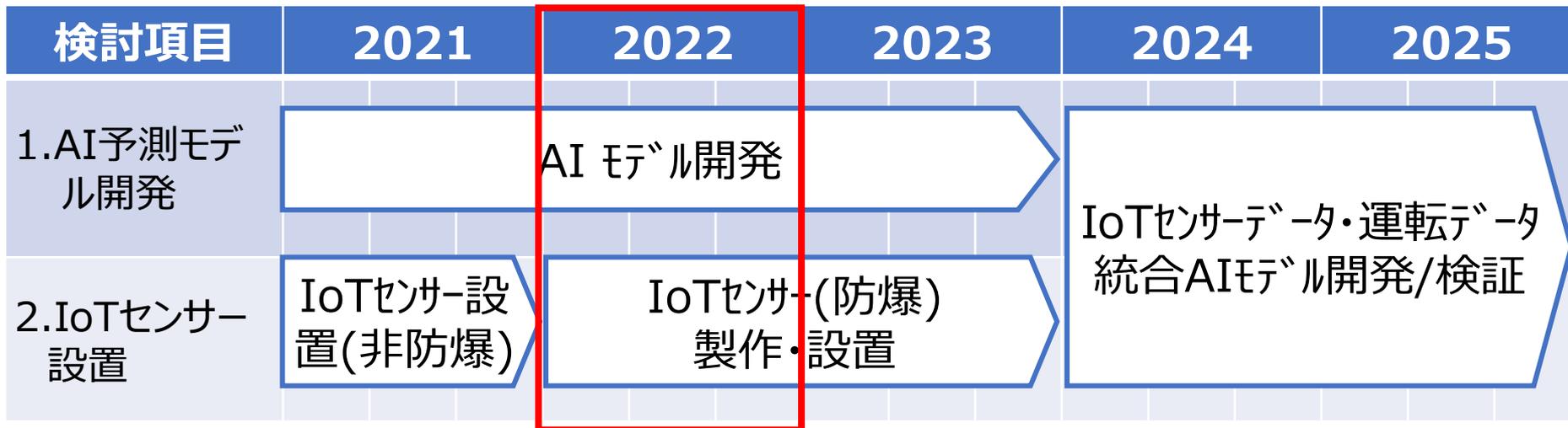
- ・運転条件を設定することにより、予測したい将来（例：半年後）における熱交換器のファウリング状態（総括伝熱係数）が予測可能なAIモデルを開発する。
- ・装置運転データの中からファウリングの進行に影響度の高い因子（説明変数）を抽出する。
- ・ファウリングの進行に影響度の高い因子をどのように変化させれば省エネが実現出来るか試算可能なモデルとする。

現状の予測



技術開発後の予測





開発目標	R4年度の計画	主な成果
IoTセンサー等から収集された操業データから熱交換器の汚れ状態を予測するAIモデルを開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・R3年度に開発したAIモデルの改良</li> <li>・製油所熱交換器用のIoTセンサー（防爆仕様）製作</li> </ul>	<p>運転データを操作変数、制御変数等に区分し、汚れを予測するモデルに改良。</p> <p>今後、操作変数等の中からファウリングに影響する因子を抽出し、モデルを改良する予定</p>

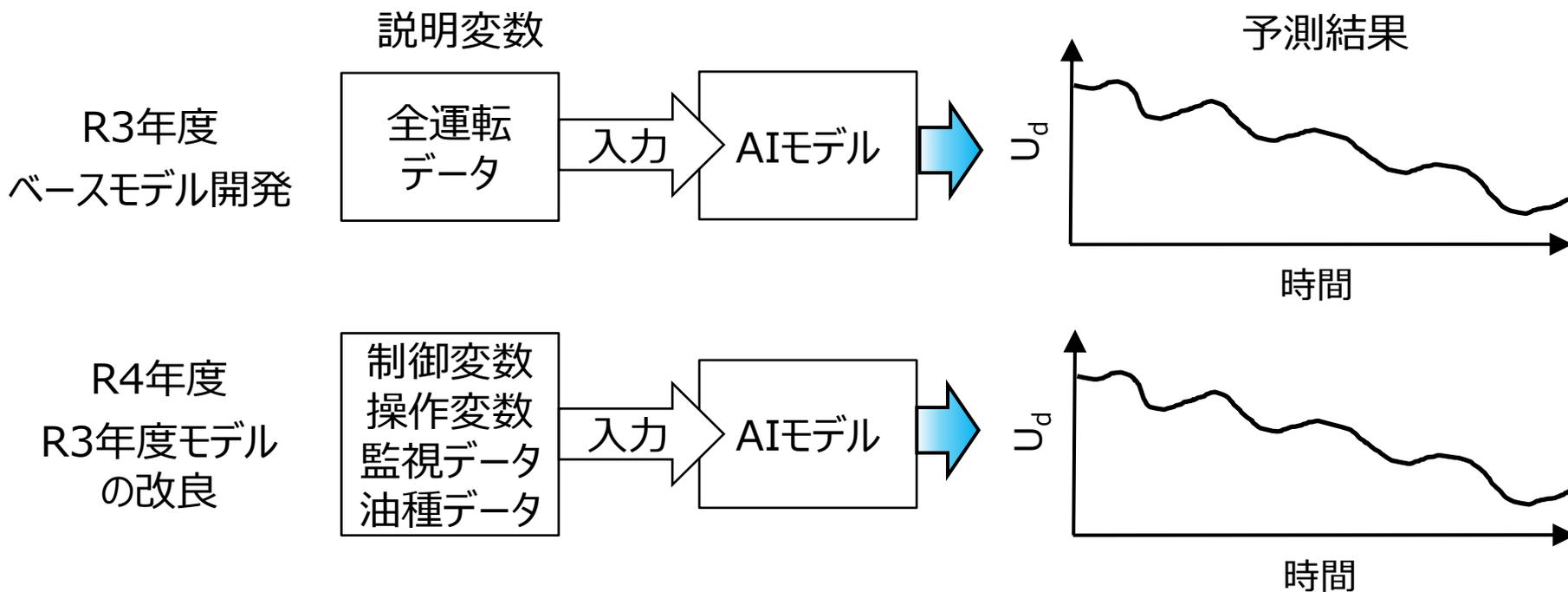
# 令和4年度の検討内容

## ＜最終目標＞

生産量、原油種、運転条件等を与えた時にCDU熱交換器のファウリング状態がどのように変化するか推定可能なモデルを開発すること。

## ＜令和4年度の検討内容＞

ファウリングに影響する運転因子の抽出に向けた第一段階として、全運転データを制御変数/操作変数/監視データに分類し、これらを説明変数とした時にファウリング状態を推定出来るか検討を行った。また、油種の影響についても検討を行った。



- CDU運転データ（248点）を以下のように分類
  - 制御変数（目標値となるよう調整する変数） 56
  - 操作変数（制御変数を調整するため操作する変数） 48
  - 監視データ（操作を行わず、状態を監視するデータ） 144
- 油種別処理量(31油種)を加えた4種類の説明変数の組み合わせに対するPLSモデルを構築し、予測精度を比較した。

番号	操作変数	制御変数	監視データ	油種別処理量	平均絶対誤差【℃】
R3年度	○	○	○		0.433
R4-1			○		0.668
R4-2	○				2.120
R4-3		○			2.630
R4-4	○	○			1.080
R4-5	○			○	1.890
R4-6		○		○	1.940
R4-7	○	○		○	0.987

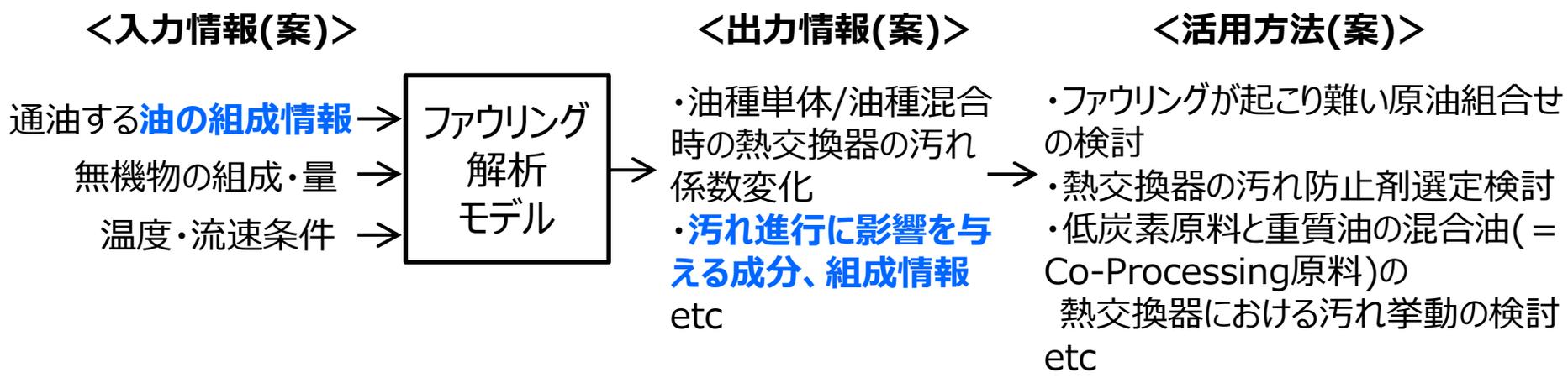
- CDUデータの中では、監視データを入力変数とした場合が最も精度が高かった。
- 操作変数と制御変数は、単独よりも両者を組合わせた場合、または油種別処理量と組合わせた時の方が精度は高かった。

**精度改善に向けた検討を行うとともに、必要な予測精度について今後検討する**

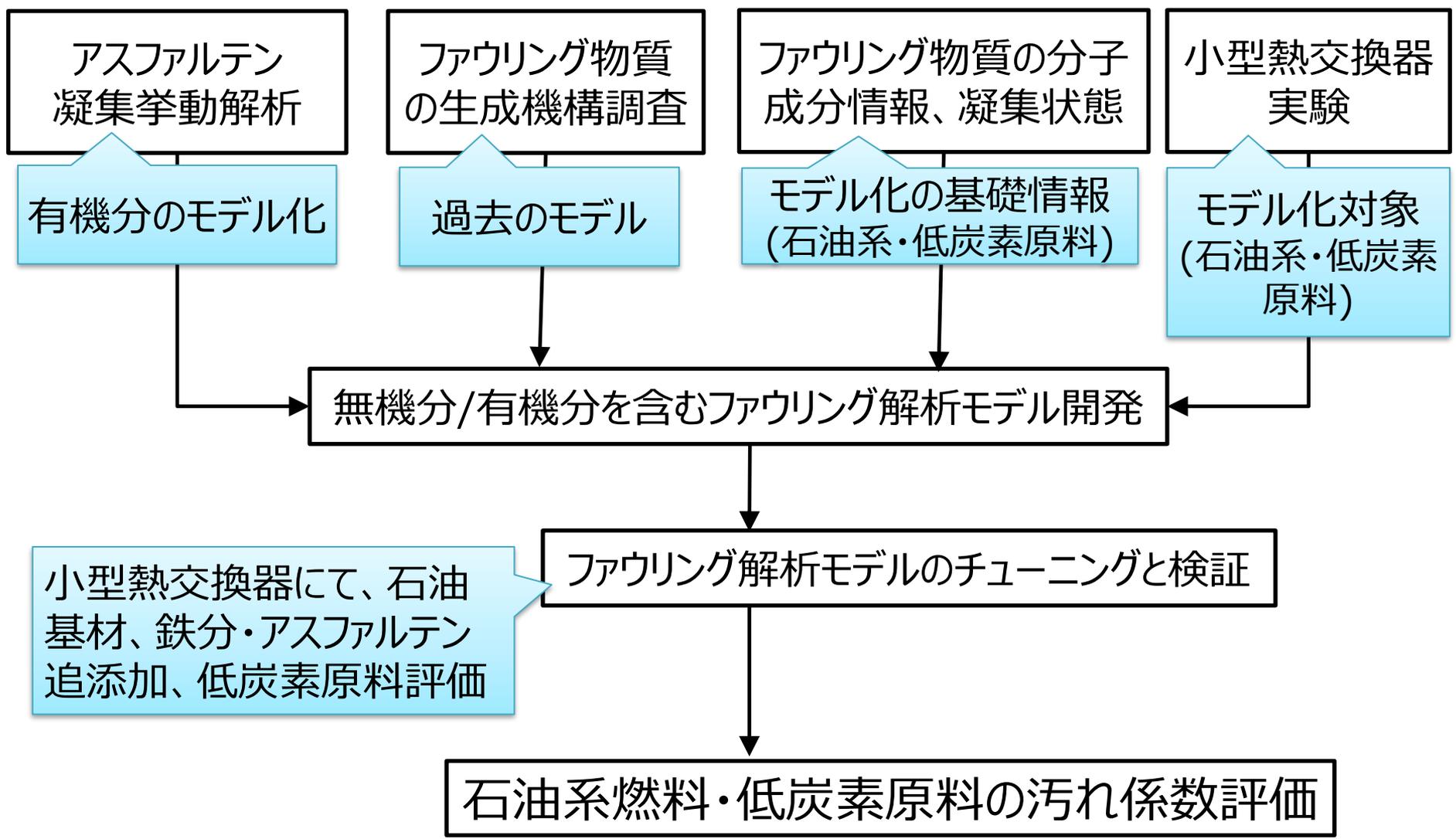
- 1、ファウリング抑制技術開発の概要
- 2、AIによるCDU熱交換器ファウリング予測モデルの検討内容紹介
- 3、ファウリング解析モデルの検討内容紹介

- ファウリング物質の組成や凝集挙動の分析結果等からファウリング物質の生成機構を解明すること
- ファウリング物質の生成機構に基づき、原油や低炭素原料の成分情報等からCDUやCo-Processingを行う二次装置の熱交換器におけるファウリング挙動が解析可能なモデルを開発すること

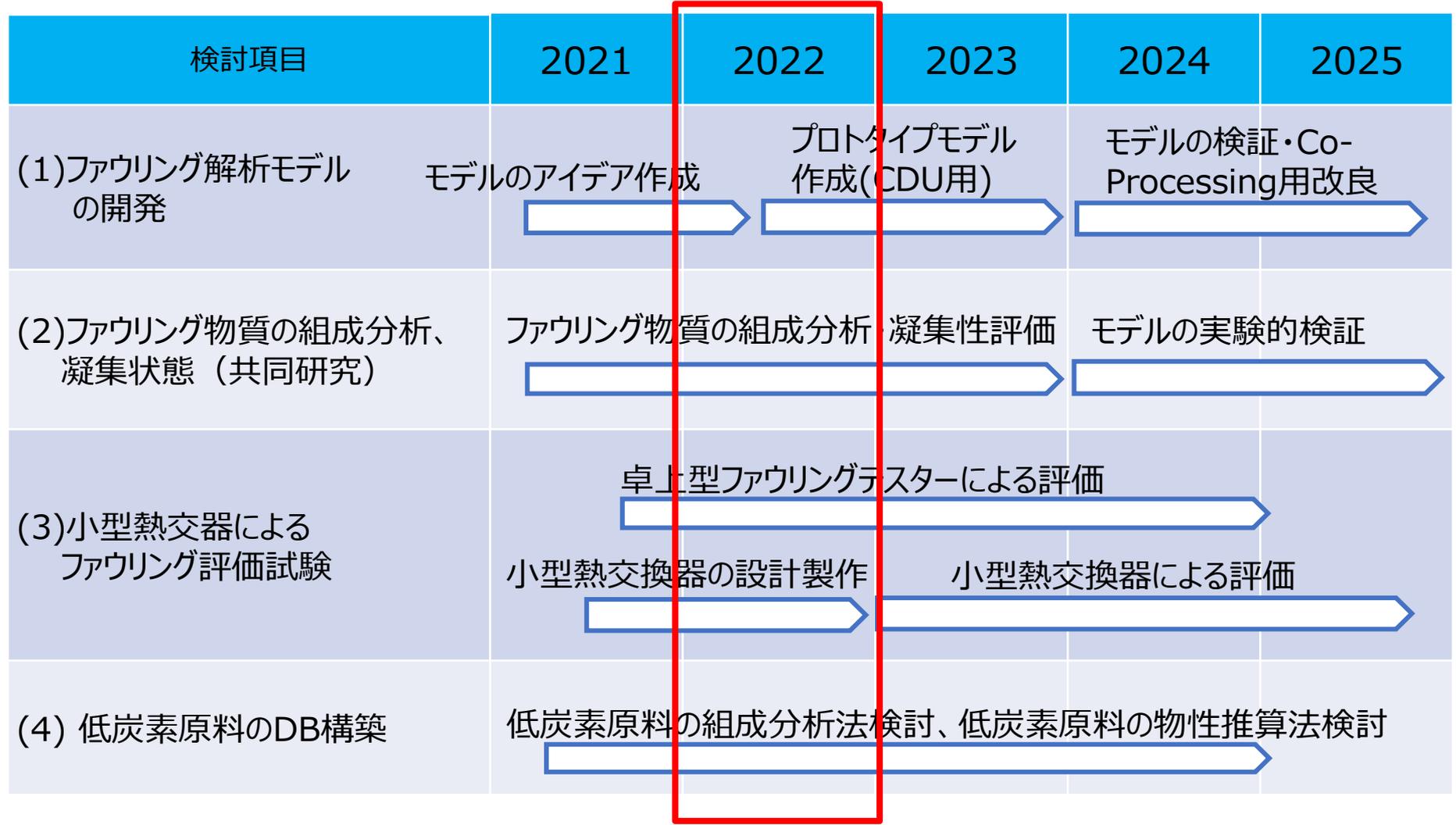
## ファウリング解析モデルのイメージ



# ②ファウリング解析モデル開発の流れ



# ③ 開発スケジュール

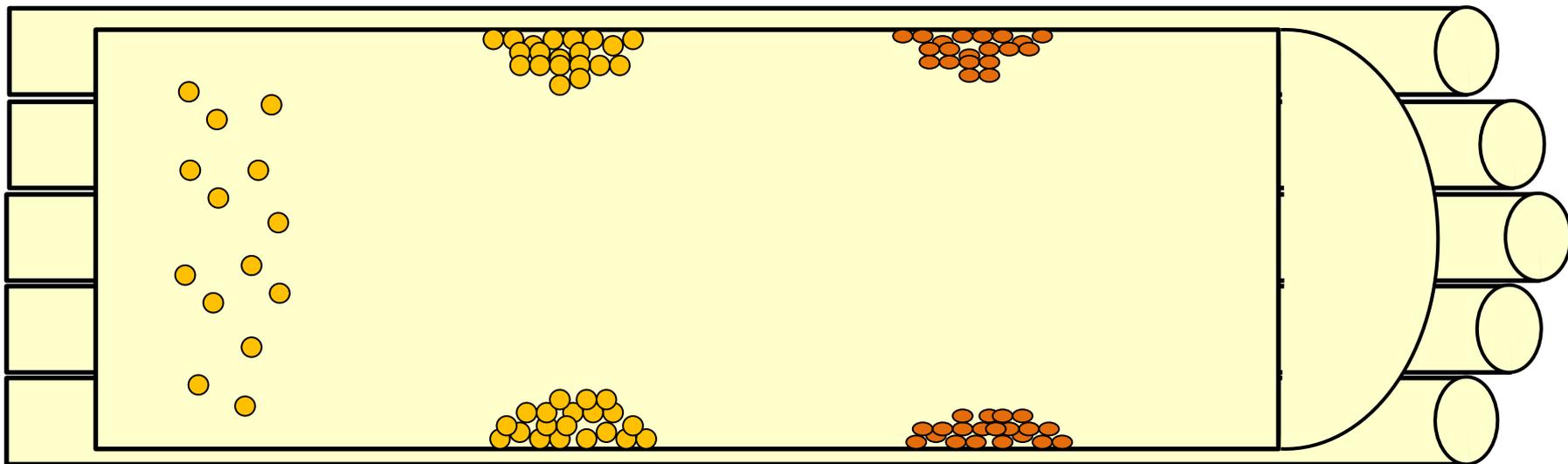


## ④ 昨年度の主な成果

課題	主な実施項目	主な成果
解析モデルの 開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファウリング物質生成機構を基にした解析モデルの発案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解析モデルの基礎となるファウリング物質生成機構のモデルコンセプトの立案</li> <li>・原油・重質油分由来のファウリング原因物質の生成モデルを作成</li> </ul>
ファウリング物質 の組成分析、 凝集状態 (共同研究)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファウリング物質の分子組成と凝集状態の評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファウリング物質の溶剤分画物の平均分子構造を作成、小角X線散乱法による評価実施</li> <li>・<u>硫化鉄共存によりファウリング物質の生成温度が大幅に低下することを見出す</u></li> </ul>
小型熱交換器 による評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基材評価</li> <li>・小型熱交換器試験の予備検討</li> <li>・小型熱交換器の製作完了</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原油と低炭素原料12種類、その混合油5種類の評価完了</li> <li>・<u>基材の組合せによってファウリングが抑制されるケースがあり</u></li> <li>・小型熱交換器の設計・製作・試運転完了</li> </ul>
低炭素原料の DB構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・低炭素原料の物性値のDB化準備</li> <li>・重質系低炭素原料の測定法等の課題抽出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中質な低炭素原料の構成分子の分布範囲を把握し、所有システムにて分子物性値を計算</li> <li>・重質なバイオマス系試料のFT-ICR MS分析法にてイオン化法と帰属方法について検討し課題を抽出</li> </ul>

# (1) 解析モデルの開発 ファウリング物質生成機構案検討

## ファウリング物質の生成過程

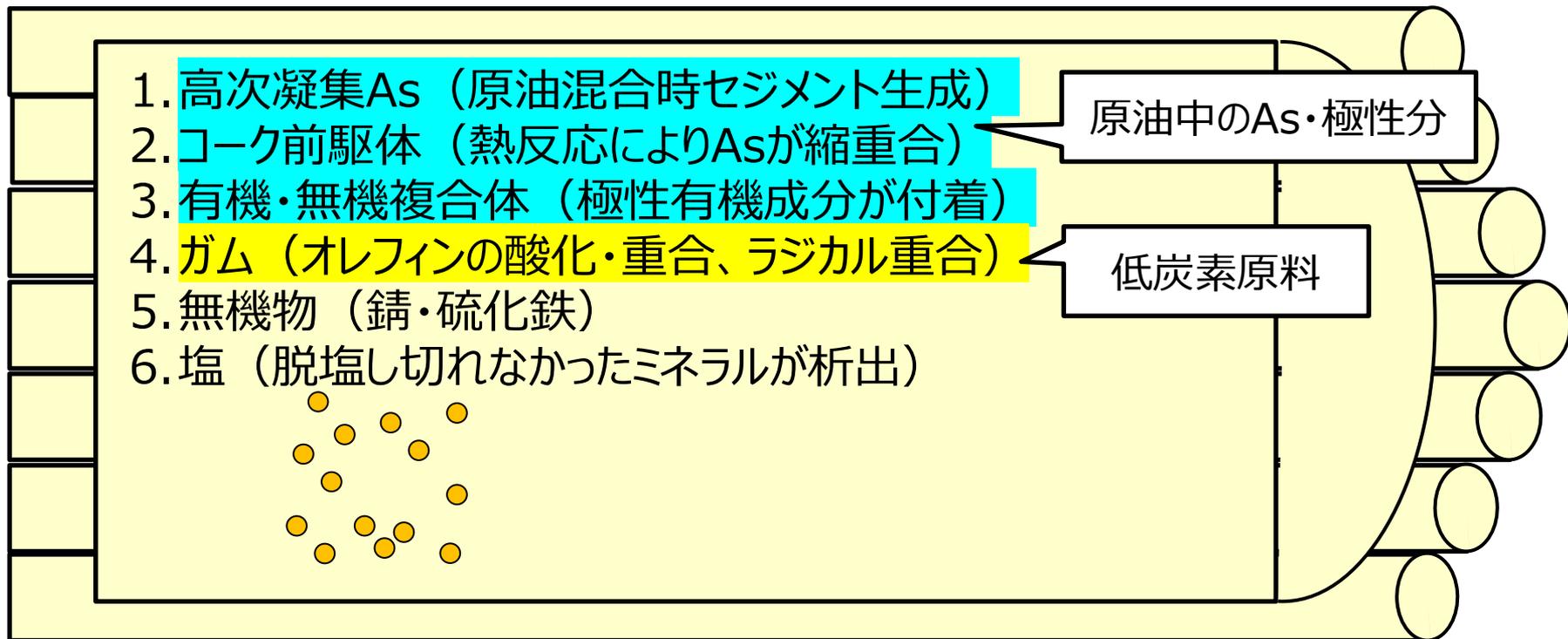


①ファウリング  
原因物質の  
形成

②ファウリング  
原因物質の  
付着・堆積  
⇒ファウリング物質

③ファウリング  
物質の熟成

## ①ファウリング原因物質



溶解できなくなった有機物や無機物が流体の中で析出・分散

### 今後解明したい項目

- ・無機物と有機物の相互作用
- ・無機物と有機物を含めた凝集体構造

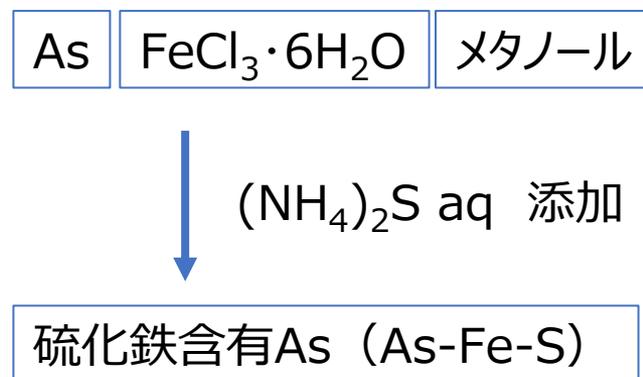
特に原油予熱系熱交換器の原油側温度帯(200～270℃)での情報がファウリング物質生成機構検討で重要

## 【実施内容】

原油中に含まれる有機物と無機物がファウリング物質生成にどのような役割を果たしているか、及びファウリング物質が生成初期でどのような状態であるかの把握に向け、模擬ファウリング物質を種々の条件で作成した。

## 【模擬ファウリング物質の調製方法】

① アスファルテンに硫化鉄を化学的に混合



② ①で作成した混合物を以下の条件で加熱

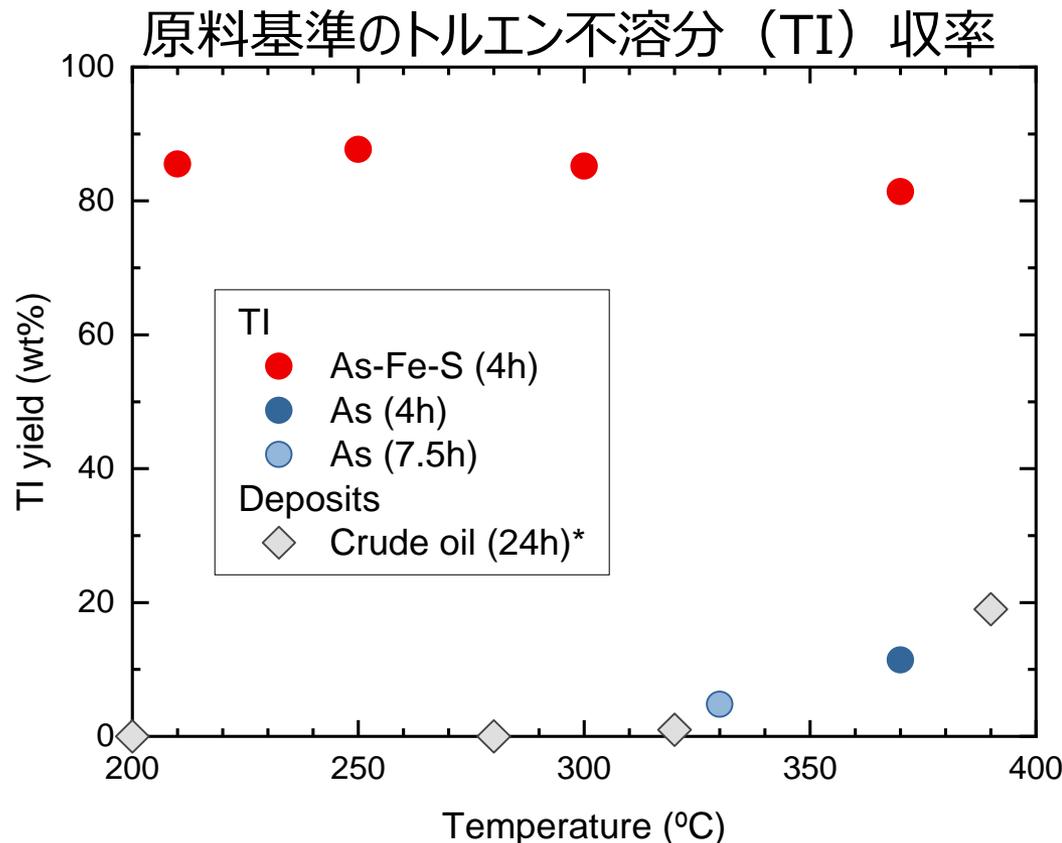
加熱試験条件

- 到達温度：210, 250, 330, 370℃
- 昇温速度：10℃/min
- 加熱時間：0.5, 1, 4, 7.5 h
- N<sub>2</sub>雰囲気

# 有機物と無機物の相互作用に関する予備検討

## 【結果】

- Asのみの加熱では370℃でもトルエン不溶解分(TI)回収率10%
  - FeとSが存在すると、210℃で80%以上のTI回収率
- CDU熱交換器と同程度の低い温度でファウリング物質が生成することを確認  
本結果はこれまでに報告事例がなく、今回の結果も踏まえ、ファウリング物質の生成機構について更に検討を進めていく予定



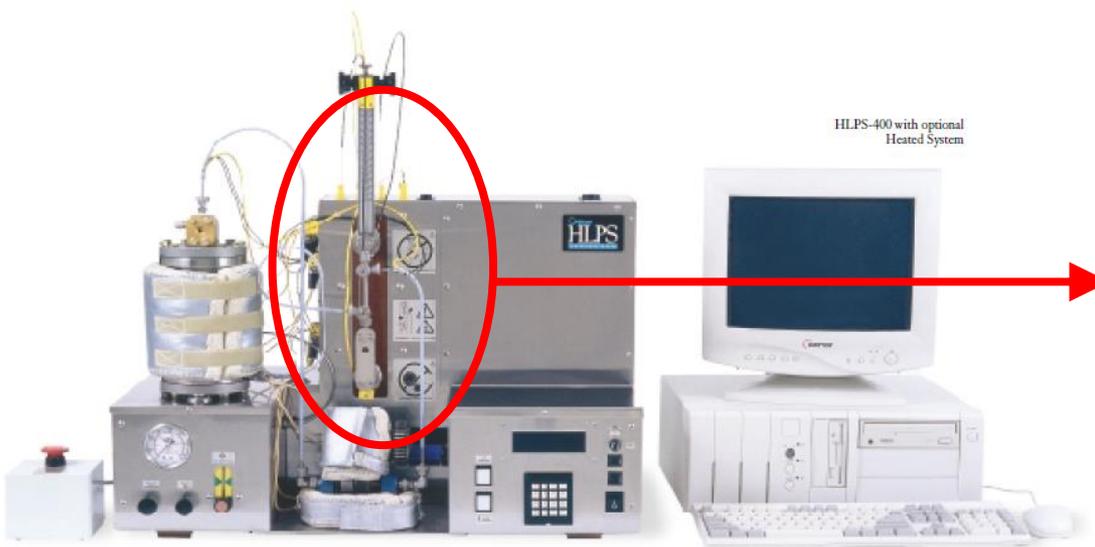
\* : Crittenden, B. D., *et al.*, "Crude Oil Fouling," ed. by Coletti, F., *et al.*, Gulf Professional Publishing, Boston (2015), p.51-94.

# (3) 低炭素原料のファウリング評価

令和4年度は、低炭素原料、及び低炭素原料とVGOの混合油（Co-processing原料想定）を中心に汚れ評価試験実施

試験装置：HLPS（Hot Liquid Process Simulator）装置

試験条件：流量 1cc/分 流体温度 350℃(二次装置の熱交換器相当)



【HLPS試験機】

出口側温度計  
挿入口

流体入口

入口側温度計  
挿入口



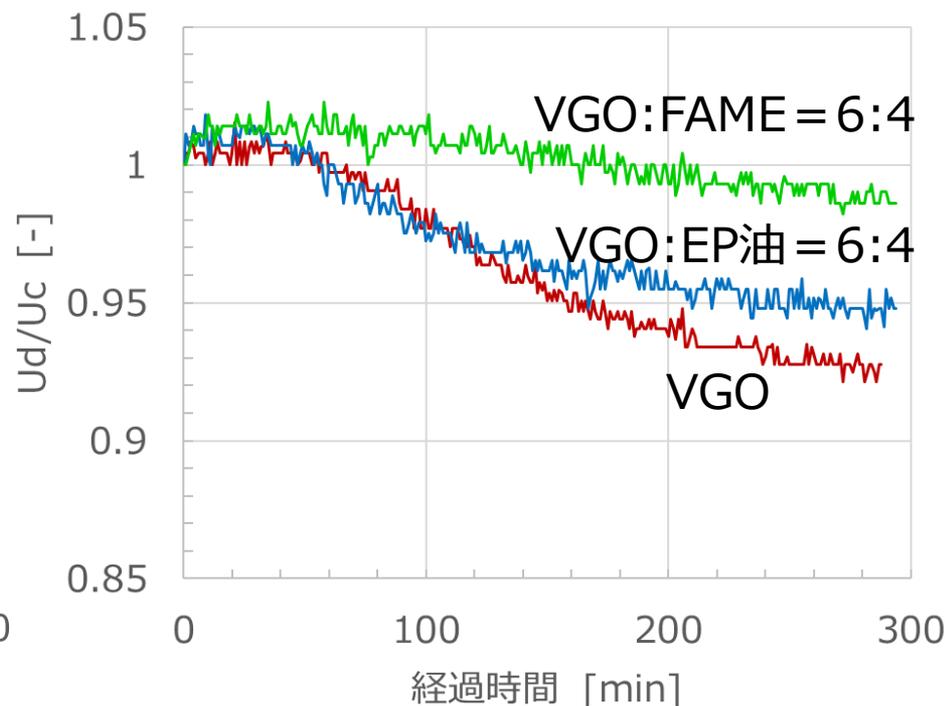
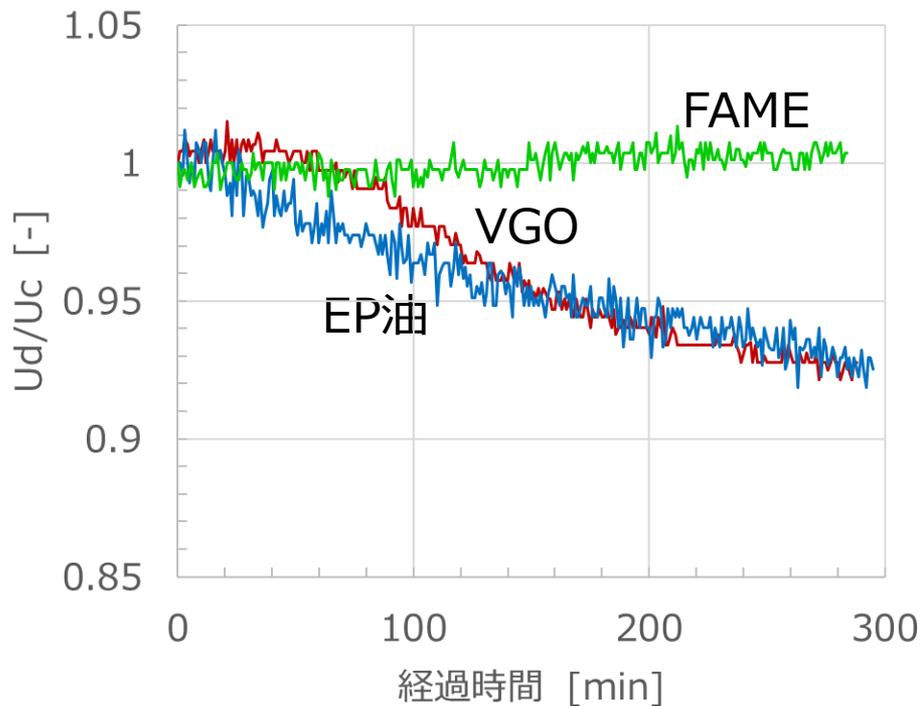
ヒーター  
ロッド

流体出口

【測定部】

検討目的は、低炭素原料のファウリング挙動、および、低炭素原料と石油系基材の混合時の影響の把握

Ud : 汚れた状態の総括伝熱係数    Uc : 汚れのない状態の総括伝熱係数



低炭素原料の種類によりファウリング挙動が異なるケースあり  
石油系基材と低炭素原料の組合せによりファウリングが抑制された  
(抑制される機構や組合せは今後検討予定)

## 謝辞

本研究は経済産業省・資源エネルギー庁の  
補助事業として実施されました。  
ここに記して、謝意を表します。