

## 「製油所の脱炭素化研究開発事業(\*)の研究成果について」

(\*)正式な事業名は「石油供給構造高度化事業費補助金(次世代燃料安定供給のためのトランジション促進事業)」

### ／製油所の脱炭素化研究開発事業」

- ◇ 社会的なCO<sub>2</sub>削減要求の高まりを踏まえ、石油産業に対しては、エネルギーの脱炭素化と安定供給の両立が求められている。
- ◇ JPEC では、製油所の脱炭素化を実現するため、「ペトロリオミクス技術等により得られる処理原油の成分情報やAI技術を活用した製油所操業の更なる最適化」、及び「バイオマスや廃プラスチック由来の原料を基材として柔軟かつ最適に利用し、需要に応じた石油製品の生産」の実現に資する基盤技術開発を経済産業省資源エネルギー庁の補助事業として実施している。
- ◇ 本稿では、本事業で取り組んでいる主要テーマの概要、及びこれまでに得られた研究開発成果を紹介する。

### 1. はじめに

石油を取り巻く環境は、需要構造の変化や中東依存度の高さによる地政学的リスクに加え、地球温暖化問題の深刻化に伴い脱炭素化の流れが加速しており、年々厳しさを増している。

製油所の地球温暖化対策については、様々な取り組みがなされているが、海外

の製油所では、輸送用燃料の低炭素化を図るためバイオマス由来の原料油と原油由来の燃料基材の混合処理(Co-Processing)技術の導入が始まっており、今後導入する製油所が増えていくことが予想される。

また、プラスチックの海洋汚染問題への対応として、プラスチックを原料に戻し再利用するプラスチック循環も検討されており、Co-Processing原料としてはバイオマス由来の原料油だけでなく、廃プラスチック再生油等多様な低炭素原料の利用が想定される。

このような背景から、今後も我が国の製油所がエネルギーや石油製品を安定的に供給していくためには、操業の更なる最適化によりCO<sub>2</sub>排出量を削減するとともに、製油所生産品の脱炭素化を進め、低炭素排出型製油所への転換を図っていくことが必要であると考えられる。

そこで、JPECでは、2021年度から経済産業省資源エネルギー庁の補助事業として「製油所の脱炭素化研究開発事業」を実施しており、ペトロリオミクス技術等による原油/低炭素原料の詳細な成分情報やAI技術の活用により製油所の脱炭素化実現に資する基盤技術開発を行っている。本稿では、本事業の主要技術開発テーマの概要と研究開発の進捗状況を紹

1. はじめに
2. 製油所操業最適化によるCO<sub>2</sub>低減
  - (1) CDU最適化制御の高度化技術開発
  - (2) 熱交換器のファウリング抑制技術開発
3. Co-Processing技術開発
4. おわりに

介する。



図 1. 将来の製油所のイメージ

## 2. 製油所操業最適化によるCO2低減

本テーマでは、製油所装置群の中で CO2 排出量が多い装置の 1 つである常圧蒸留装置 (CDU) の省エネを実現するため、分子成分情報の活用による CDU 最適化制御の高度化、及び熱交換器のファウリング抑制に資する技術開発を行っている。

### 2. 1 CDU 最適化制御の高度化技術開発

原油は、輸入時期等が違っても同一原油名でも性状が異なることがあるが、原油評価には時間を要するため、CDU での処理に合わせてタイムリーに原油評価結果を更新することは困難である。このため、CDU の最適化制御のために行うシミュレーションでは、過去の原油評価結果が使用されていることが多く、ここに運転最適化の余地 (=省エネの余地) があると思われる。

そこで、本研究では、CDU で処理する原油の成分・性状を迅速に予測する AI 技術、及び予測結果をリアルタイム最適化制御システム (RTO : Real-Time Optimizer) で活用する技術を開発することにより、CDU の更なる運転最適化を実現し、CDU からの CO<sub>2</sub> 排出量削減を目指している。具体的には、以下の 4 つの技術開発を行っている。

- (1) 輸入原油の一般性状・成分データ予測技術 (AI モデル①)
- (2) CDU での処理原油の一般性状・成分データリアルタイム予測技術 (AI モデル②)
- (3) (2)で開発した AI モデルの予測結果が利用可能な CDU 最適化制御技術
- (4) AI モデル作成に必要な原油データベース (DB)

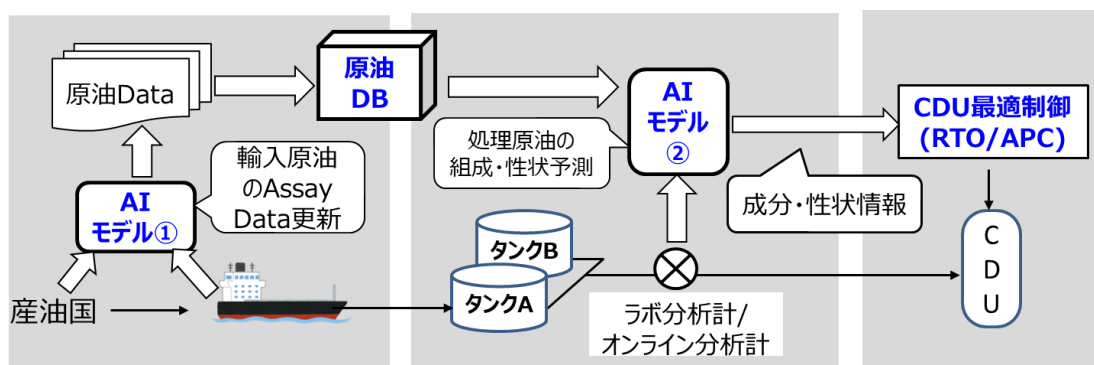


図 2. CDU 最適化制御の高度化技術開発

本稿では、輸入原油の一般性状・成分データ予測技術の開発状況を紹介します。本開発では、

製油所に荷揚げされた原油（単品）及びその留分の一般性状と成分データ（合計約 150 項目）について、どの製油所でも簡易かつ迅速に得られる機器分析結果から予測する AI モデルの開発を行っている。

その一例として、原油名/産油国名/機器分析データ（密度、硫黄分、動粘度、FT-IR データ等）を説明変数（原因となる変数）として原油/留分の流動点を予測した結果を図 3 に示す。

縦軸・横軸の単位：℃  
R<sup>2</sup> : 0.981  
RMSE : 4.54  
JIS 室間再現精度 : 5℃

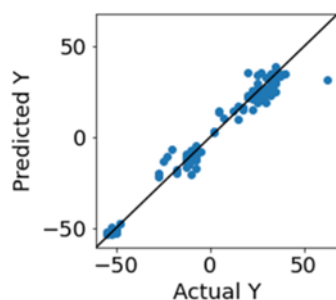


図 3. 原油/留分の流動点予測結果

今回の結果より、限られた機器分析データから開発中の AI モデルにより流動点を精度よく予測出来る見通しが得られた。また、その他の一般性状についても、多くの項目は AI モデルにより R<sup>2</sup> > 0.7（一般的に R<sup>2</sup> ≥ 0.5 であれば精度良好）で予測出来る見込みである。

今後は、AI モデルで使用する説明変数の数を減らしながら予測精度を向上させる開発に取り組むと共に、本 AI モデルをベースに CDU で処理する原油の一般性状・成分データをリアルタイムで予測可能な技術の開発を進めていく予定である。

## 2. 2 CDU 熱交換器のファウリング抑制技術開発

CDU の原油予熱系熱交換器におけるファウリングは、CDU の長期連続運転における省エネ阻害要因となっているが、その生成機構は十分解明されていない。また、ファウリングが原油処理の間にどのように進んでいくか予測する技術も確立されていない。そこで、本事業では、①ファウリング物質の生成機構に基づいたファウリング挙動解析技術（ファウリング解析モデル）、②AI 技術を活用したファウリング予測技術、の開発を行っている。

本稿では、この中からファウリング挙動解析技術の開発状況を紹介する。本開発では、ペトロリオミクス技術等を用いたファウリング物質の組成分析と凝集挙動解析、及び製油所の熱交換器をスケールダウンした試験用熱交換器（図 4）による実験結果等からファウリング物質の生成機構を解明し、分子成分情報を活用したファウリング解析モデルの開発に取り組んでいる。本モデルにより原油種の違いによるファウリング物質析出挙動の違い等を解析可能とすることを目指している。

多管型熱交換器（長さ：約1200mm、内径：約110mm）



図 4. 試験用熱交換器装置の外観

ファウリング物質は、図 5 に示す 3つの過程を経て形成されると考えているが、ファウリングの原因物質としては高次凝集アスファルテン (As) 等の有機物、鉄さび等の無機物が考えられる。

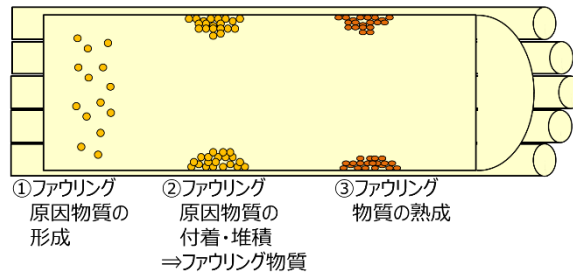
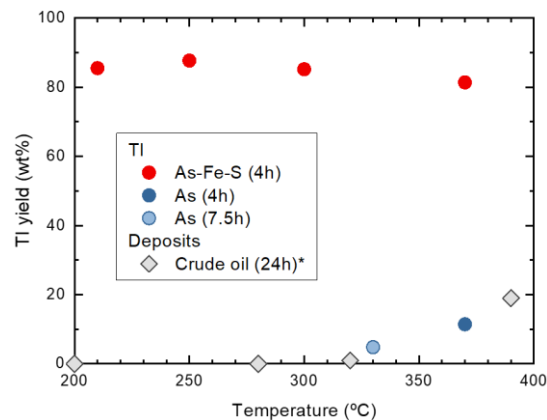


図 5 ファウリング物質の生成過程

そこで、模擬的なファウリング物質を種々の条件で作成し、原油中の有機物/無機物がファウリング物質の形成にどのような役割を果たしているか検討を行っている。これまでの検討から、原油予熱系熱交換器の原油側の通油温度 (200~250℃程度) におけるファウリング物質の形成には硫化鉄が重要な役割を果たしていることが分かってきた。(図 6 赤丸)

今後は、ファウリング物質の生成機構に関する検討を更に進めるとともに、試験用熱交換器での評価を進め、その結果をファウリング解析モデルの開発に反映していく予定である。



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

図 6 原料基準のトルエン不溶分 (TI) 収率

### 3. Co-Processing 技術開発

「1. はじめに」で述べた通り、欧米等の製油所では、燃料油由来の CO<sub>2</sub> 排出量削減のため、バイオマス由来の原料油と石油系基材を Co-Processing する技術の導入が始まっている。しかし、現状は、バイオマス由来の原料油の混合比率は 5~10%程度と低いことに加え、廃プラスチック再生油等も含めた多様な原料に対応出来る技術はまだ確立されていない。

そこで、JPEC では、廃プラスチック再生油やバイオマス由来の原料油等の各種低炭素原料の活用を促進し、生産品の脱炭素化を実現するため、以下の技術開発を行っている。

- (1) 低炭素原料（バイオマス原料由来の原料油、廃プラスチック再生油等）の DB 構築
- (2) 今後も堅調な需要増が見込まれる石化原料の Co-Processing による製造技術開発
- (3) Co-Processing を行う二次装置の熱交換器ファウリング解析モデル開発

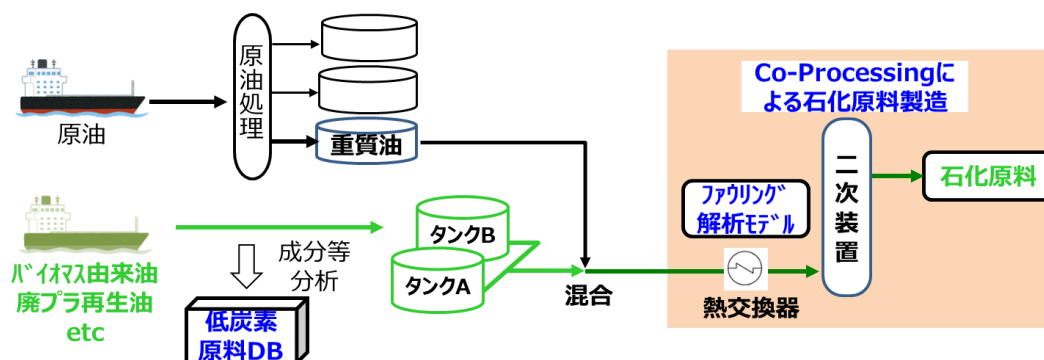


図 7. Co-Processing 技術開発

本稿では、低炭素原料の DB 構築状況について紹介する。Co-Processing 原料として使用する低炭素原料は多様な原料・製造法により生産される。そのため、原油やその留分には含まれていない成分が少量存在する可能性があり、それらが触媒劣化や装置腐食を促進することが懸念されることから、低炭素原料の性状・成分を正確に把握することが必要である。

そこで、JPEC では、原料や製造法の違いを考慮してこれまでに 20 種類の原料を入手し、性状分析を実施した。その結果の一例を表 1 に示すが、廃プラスチック再生油やバイオマス由来の原料油の中には腐食成分が多く含まれているものが存在しており（黄色のハイライト項目）、これらを利用するためには製油所で受け入れる前に腐食成分を低減する、もしくは製油所側で装置等の材質を耐腐食性の高いものに変更する等の対応が必要であることが分かった。今後も低炭素原料の入手・評価を継続し、DB の拡充を図っていく予定である。

表 1. 低炭素原料の評価結果例

| 試験項目名    | 単位                 | PE・PP<br>熱分解油 | PVC+3P<br>熱分解油 | FAME<br>(脂肪酸<br>メチルエステル) | HVO<br>(水素化<br>植物油) | 木質<br>分解油 | トール油   |
|----------|--------------------|---------------|----------------|--------------------------|---------------------|-----------|--------|
| 密度(15℃)  | g/cm <sup>3</sup>  | 0.7785        | 0.8022         | 0.8845                   | 0.7805              | 1.2240    | 0.9060 |
| 動粘度(30℃) | mm <sup>2</sup> /s | 1.661         | 1.824          | 5.704                    | 3.741               | 200       | 23     |
| 酸価       | mgKOH/g            | 0.02          | 0.04           | 0.54                     | 0.02                | 80.1      | 200    |
| 水分       | 質量ppm              | 52            | 151            | 192                      | 8                   | 29.6質量%   | 0.1    |
| API不溶解分  | 質量%                | -             | -              | -                        | -                   | 44.1      | 0.1未満  |
| Cl       | 質量ppm              | 1.1           | 115.9          | 3                        | 50 未満               | 0.01未満    | 0.01   |
| 無機塩素分    | 質量ppm              | 1 未満          | 47             | 1 未満                     | 1 未満                | 50未満      | 50未満   |

#### 4. おわりに

地球温暖化問題の深刻化に伴い、脱炭素化の流れは今後益々加速していくことが予想されることから、石油産業においてもカーボンニュートラル社会の実現に向けた取組みを強化していくことが必要である。

一方、石油産業は、原油処理によるエネルギーの安定供給という社会的な使命を担っている。このため、カーボンニュートラル社会が実現するまでの長期に亘る移行期において、エネルギーの安定供給と脱炭素化を両立していくことが求められることから、製油所の省エネを着実に進めていくとともに、今後は **Co-Processing** 技術の導入により製油所生産品の脱炭素化を進めていくことが重要と考えられる。

JPEC は、わが国が優位性を持つペトロリオミクス技術等により得られる原油や低炭素原料の成分情報に加え、AI 技術を活用し、製油所操業におけるエネルギー効率の最大化や **Co-Processing** 実現に資する技術開発を進め、地球温暖化問題に対応した製油所への転換の促進に貢献していきたいと考えている。

現在開発中の製油所の脱炭素化技術をより実用的な技術に仕上げていくためには、ユーザーとなる石油関連産業の皆様からご意見・ご要望を頂きながら技術開発を進めていくことが重要と考えている。今後も JPEC レポート等を活用し定期的に技術開発内容や成果を紹介していくので、本技術開発の進捗にご注目頂きたい。

(お問い合わせ先)

一般財団法人石油エネルギー技術センター

石油基盤技術研究所 (ペトロリオミクス技術研究室)

[jrepo-5@pecj.or.jp](mailto:jrepo-5@pecj.or.jp)

本事業は、一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC) が資源エネルギー庁の補助事業として実施しているものです。無断転載、複製を禁止します。

Copyright 2024 Japan Petroleum Energy Center all rights reserved