

Fri. Oct 28, 2022

Room-D

Petroleomics

[2D17-2D22] Petroleomics

Chair:Shigeki Nagamatsu(JEPLAN, Inc.)

3:15 PM - 4:45 PM Room-D (12D Conf. room)

[2D17] Development of technologies to reduce CO2 emissions from refineries

○Hiroshi Kato¹, Kiyoshi Sase¹, Teruo Suzuki¹, Kotaro Matsumoto¹, Keita Katano¹ (1. Japan Petroleum Energy Center)

3:15 PM - 3:30 PM

[2D18] Development of machine-learning model to predict crude oil molecular information for CDU real-time optimization (Part 1)

○Jumpei Yoshizuka¹, Hiroaki Taniwaki¹, Masumi Hashimoto², Kotaro Matsumoto², Hiroshi Kato², Hiromasa Kaneko³ (1. Meiji University Department of Applied Chemistry, Graduate School of Science and Technology, 2. Japan Petroleum Energy Center (JPEC) Advanced Technology and Research Institute Petroleomics Technology Laboratory, 3. Meiji University Department of Applied Chemistry, School of Science and Technology)

3:30 PM - 3:45 PM

[2D19] Improving accuracy of estimated distillation curve with FT-ICR MS data

○Keita Katano¹, Teruo Suzuki¹, Kotaro Matsumoto¹, Hiroshi Kato¹ (1. Japan Petroleum Energy Center)

3:45 PM - 4:00 PM

[2D20] Development of model for analysis of fouling in heat exchanger by co-processing of renewable feeds (part1)

○Kiyoshi Sase¹, Teruo Suzuki¹, Hiroshi Kato¹ (1. Japan Petroleum Energy Center Advanced Technology and Research Institute Petroleomics Technology Laboratory)

4:00 PM - 4:15 PM

[2D21] Average molecular structure analysis of fouling deposits in crude oil refineries

○Eri Fumoto¹, Toshihiro Kakinuma¹, Shinya Sato¹, Masato Morimoto¹, Toshimasa Takanohashi¹ (1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

4:15 PM - 4:30 PM

[2D22] Hierarchical structure analysis of foulant using scattering methods

○Takeshi Morita¹, Eri Fumoto², Masato Morimoto², Ryuzo Tanaka^{3,4}, Teruo Suzuki⁴ (1. Chiba University, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 3. Idemitsu Kosan Co., Ltd., 4. Japan Petroleum Energy Center)

4:30 PM - 4:45 PM

Petroleomics

[2D17-2D22] Petroleomics

Chair: Shigeki Nagamatsu (JEPLAN, Inc.)

Fri. Oct 28, 2022 3:15 PM - 4:45 PM Room-D (12D Conf. room)

[2D17] Development of technologies to reduce CO₂ emissions from refineries

○ Hiroshi Kato¹, Kiyoshi Sase¹, Teruo Suzuki¹, Kotaro Matsumoto¹, Keita Katano¹ (1. Japan Petroleum Energy Center)

3:15 PM - 3:30 PM

[2D18] Development of machine-learning model to predict crude oil molecular information for CDU real-time optimization (Part 1)

○ Jumpei Yoshizuka¹, Hiroaki Taniwaki¹, Masumi Hashimoto², Kotaro Matsumoto², Hiroshi Kato², Hiromasa Kaneko³ (1. Meiji University Department of Applied Chemistry, Graduate School of Science and Technology, 2. Japan Petroleum Energy Center (JPEC) Advanced Technology and Research Institute Petroleomics Technology Laboratory, 3. Meiji University Department of Applied Chemistry, School of Science and Technology)

3:30 PM - 3:45 PM

[2D19] Improving accuracy of estimated distillation curve with FT-ICR MS data

○ Keita Katano¹, Teruo Suzuki¹, Kotaro Matsumoto¹, Hiroshi Kato¹ (1. Japan Petroleum Energy Center)

3:45 PM - 4:00 PM

[2D20] Development of model for analysis of fouling in heat exchanger by co-processing of renewable feeds (part1)

○ Kiyoshi Sase¹, Teruo Suzuki¹, Hiroshi Kato¹ (1. Japan Petroleum Energy Center Advanced Technology and Research Institute Petroleomics Technology Laboratory)

4:00 PM - 4:15 PM

[2D21] Average molecular structure analysis of fouling deposits in crude oil refineries

○ Eri Fumoto¹, Toshihiro Kakinuma¹, Shinya Sato¹, Masato Morimoto¹, Toshimasa Takanohashi¹ (1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

4:15 PM - 4:30 PM

[2D22] Hierarchical structure analysis of foulant using scattering methods

○ Takeshi Morita¹, Eri Fumoto², Masato Morimoto², Ryuzo Tanaka^{3,4}, Teruo Suzuki⁴ (1. Chiba University, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 3. Idemitsu Kosan Co., Ltd., 4. Japan Petroleum Energy Center)

4:30 PM - 4:45 PM

製油所の脱炭素化に向けた技術開発

(JPEC) ○加藤 洋、佐瀬 潔、鈴木昭雄、松本幸太郎、片野恵太

1. 緒言

石油産業を取り巻く環境は、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、地球温暖化問題への関心の高まりによる脱炭素化の流れの加速により年々厳しさを増している。今後も製油所が石油製品や石油化学品原料を安定的に供給していくためには、製油所操業の更なる最適化により事業活動に伴う CO2 排出量を削減するとともに、製油所生産品の低炭素化を実現することにより低炭素排出型製油所への転換を進めていくことが必要である。

製油所操業の最適化は従来から取り組みが進められているが、更なる最適化を実現するためにはエネルギー消費量の多い装置をより高いレベルで最適化することや、長期連続運転時の省エネ阻害要因となっている熱交換器のファウリング低減に資する革新的技術が必要である。一方、製油所生産品の低炭素化については、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石油系基材の混合処理(コプロセッシング)技術の導入が始まっており(表 1)、今後、コプロセッシング技術による輸送用燃料製造が拡大することが予想される。

表 1 欧米製油所での Co-Processing 実施例¹⁾

国	石油会社	製油所
スウェーデン	Preem	Göteborg製油所
スペイン	Cepsa	Tenerife製油所
		La Rabida製油所
		San Roque製油所
	Repsol	—
ポルトガル	Galp	Sines製油所
アイルランド	Irving Oil	Whitegate製油所
英国	Phillips 66	Humber製油所
米国	Marathon Petroleum	Martinez製油所* (2018年、Tesoroから買収)

また、コプロセッシングで使用される低炭素原料としては、今後、廃プラスチック再生油等多様な原料の利用が予想されるが、原料多様化や今後加速が予想される輸送用燃料の需要減に伴う石油製品の需要構造変化に対応可能なコプロセッシング型製油所(図 1)の実現に必要な技術はまだ確立されていない。

そこで、JPEC では、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、製油所の脱炭素化に資する基盤技術開発を行っている。本発表では本技術開発の概要について紹介する。

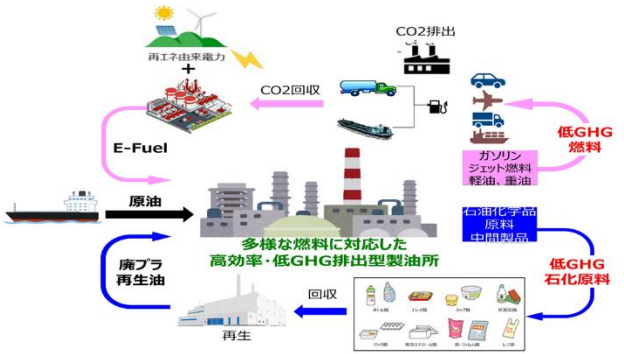


図 1 コプロセッシング型製油所イメージ

2. 製油所の脱炭素化技術開発

本技術開発では、製油所装置群の中でエネルギー消費量が最も多い装置の 1 つである常圧蒸留装置(CDU)のエネルギーロスを低減するため、原油の成分情報や機械学習技術の活用により、CDU 運転制御の更なる高度化及び CDU 熱交換器におけるファウリング低減に資する基盤技術開発の開発を行っている。また、石油製品需要の変化や多様な低炭素原料の利用拡大に対応するため、各種低炭素原料の評価を行うとともに、原料特性を踏まえたコプロセッシングによる石化原料製造技術開発、及びコプロセッシング時のファウリング挙動解析技術の開発を行っている。(図 2)

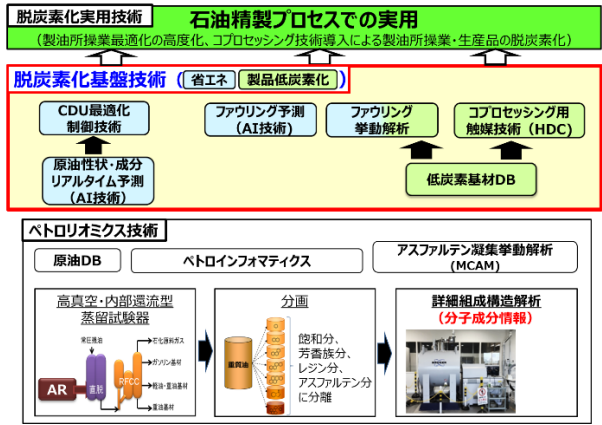


図 2 製油所脱炭素化技術開発体系

謝辞

本研究は経済産業省・資源エネルギー庁の補助事業の一環として実施された。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

1) JPEC レポート No.201004, 2020 年 10 月

機械学習に基づく処理原油成分情報のリアルタイム予測モデルの開発（その1）

(明治大*・JPEC**)○吉塚 淳平*、谷脇寛明*、橋本益美**、松本幸太郎**、加藤 洋**、金子弘昌*

1. 緒言

原油には一般的な原油および原油留分の性状や留分得率を記載したアッセイデータが存在し、原油調達や製油所の処理計画に利用されている。しかし、原油種によっては採取時期により季節変動や年次変動が見られるため、アッセイデータと原油性状に差異があり、アッセイデータを更新するためには原油の蒸留から各留分の性状評価を含めると数か月程度の時間と労力が必要である。そこで、原油調達時(製油所処理前)にアッセイデータおよび簡易的な分析データから機械学習を用いて原油・留分一般性状を予測する AI モデル①と、常圧蒸留装置入口のオンライン分析計データから処理混合原油・留分の組成(成分情報)および一般性状を予測する AI モデル②の検討を行っている(図 1)。

本発表では限られた原油性状から予測する AI モデル①-1 について、線形および非線形の回帰分析手法を用いてモデル構築を検討した結果を報告する。

2. 実験：原油一般性状予測モデルの検討

モデル構築では、教師データとして記載率の高い項目から採取年、産油国および原油名称の 3 項目と原油組成と関係性の深い密度、硫黄分、動粘度 (20℃, 30℃, 50℃) および残炭の合計 9 項目、予測する対象は留分の密度や Yield といった留分性状とした。回帰分析手法は線形手法 7 種類、非線形手法 16 種類を用いた(表 1)。モデルの評価指標は決定係数(R²)と Root Mean Square Error(RMSE)を用いた。

3. 結果・考察

過去のアッセイデータを用いて、簡易的に分析可能な限られた原油性状から、現状の原油性状にアッセイデータをアップデートする AI モデル①-1 を構築した。外部データに対する予測を繰り返すダブルクロスバリデーションによりモデルの予測精度を評価したところ、回帰分析手法として GBDT を用いた Gravity (g/cm³ at 15℃)の予測精度は R² = 0.99、RMSE = 0.013 であり、良好な予測精度をもつモデルを構築できることを確認した(図 2)。

4. まとめ

原油調達時におけるアッセイデータおよび分析データから受入れ原油の性状を予測する AI モデルの検討を行った。今後はサンプルの追加やデータセットを精査したデータの取捨選択および特徴量選択による予測精度の向上が考えられる。

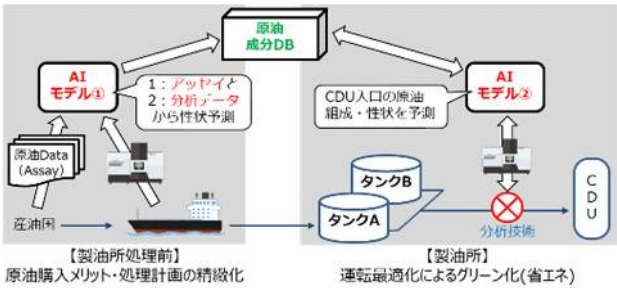


図 1 原油一般性状予測技術開発の概要

表 1 検討に用いた回帰分析手法

線形手法	Ordinary Least Squares (OLS)、Partial Least Squares Regression (PLS)、Ridge Regression (RR)、Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO)、Elastic Net (EN)、Linear Support Vector Regression (LSVR)、Gaussian Process Regression (GPR_0)、
非線形手法	Support Vector Regression (NLSVR)、Decision Tree (DT)、Random Forests (RF)、Gaussian Process Regression (GPR_1～GPR_10)、Gradient Boosting Decision Tree (GBDT)、eXtreme Gradient Boosting(XGB)、Light Gradient Boosting Model (LGBM)

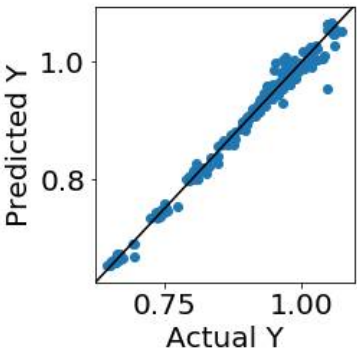


図 2 原油留分性状(Gravity)の予測結果

謝辞

本研究は経済産業省・資源エネルギー庁の補助事業の一環として実施された。ここに記し、謝意を表する。

FT-ICR MS による蒸留性状推定精度の改善検討

(JPEC) ○片野恵太、鈴木昭雄、松本幸太郎、加藤 洋

1. 緒言

常圧蒸留装置(CDU)は製油所装置群の中で最もCO₂排出量が多い装置の1つである。JPEC では CDU 処理原油の成分等を AI でリアルタイムに予測する技術を開発するとともに、成分情報から推算された処理原油の蒸留性状等を活用することで CDU 最適化制御を高度化し、CDU からの CO₂ 排出量の削減を目指している。これまでの検討から、成分情報から原油の蒸留性状を精度よく予測するには、常圧残油(AR)の予測精度の改善が必要であることが分かっている¹⁾。そこで、フーリエ変換イオンサイクロトロン共鳴質量分析計(FT-ICR MS)により得られる AR の成分情報から推定した蒸留性状を GC 蒸留(ASTM D7169)と同等レベルとするデータ処理方法を開発したので報告する。

2. 実験

AR を溶媒抽出とカラムクロマトグラフィーで飽和分(Sa)、3種の芳香族分(1A, 2A, 3A+)、極性・多環レジン(Po, PA)、アスファルテン(As)に分画した後、FT-ICR MS(solariX 12T, ブルカー・ジャパン社製)で測定した²⁾。測定結果は、JPEC が独自に開発した分析結果解析システム(MATLAB)により各ピークへ分子式を網羅的に帰属し、分子式から推算した沸点³⁾に基づいて AR の蒸留性状を推定した。この結果を AR の蒸留性状測定法として広く用いられている GC 蒸留法(ASTM D7169)の結果と比較し、FT-ICR MS の蒸留性状補正法を検討した。

3. 結果及び考察

図 1 に AR の各分画物の分子分布を示す。MATLAB により各ピークに分子式を帰属した結果、各分画物で 2305~18399 のピークが検出された。図 2(a)に分子式帰属を基に推定した AR の蒸留性状を示す。FT-ICR MS 測定結果から推定した蒸留性状を GC 蒸留の結果(図 2(d))と比較すると大幅に乖離していることが分かった。そこで、GC 蒸留結果を基準とした AR 組成割合の補正法を検討した。

AR 全体の組成を GC 蒸留結果と一致するよう補正した場合、各分画物の蒸留性状の違いから分画物の重量割合が測定値と乖離することが分かった。そこで、重量割合を維持したまま分画物ごとに補正倍率を調整した結果、GC 蒸留結果との誤差は 1wt%以内とすることが出来た(図 2(b))。さらに、20 種類以上の AR から求めた平均倍率での補正結果(図 2(c))は、個別の GC 蒸留結果を基準に補正した場合(図 2(b))と同様の精度となっており、本手法

が GC 蒸留結果の無い AR に対しても適用できることが確認できた。

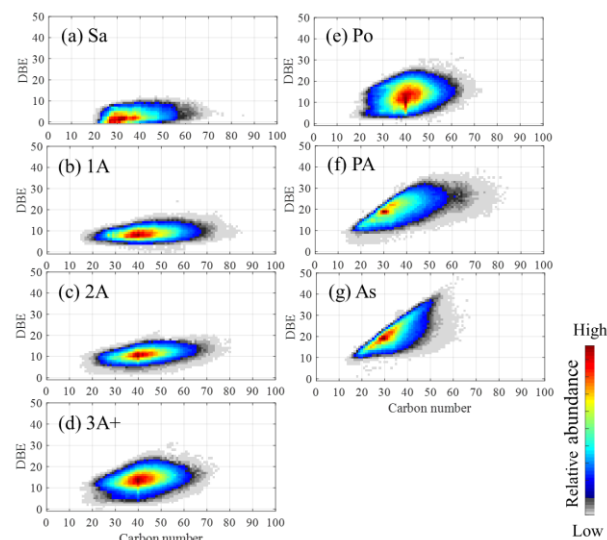


図 1 分画物の分子分布

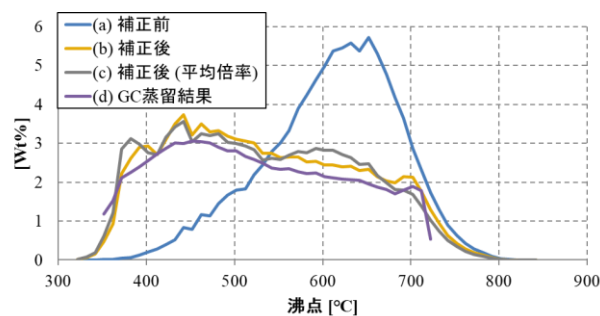


図 2 補正前後の推定蒸留性状の変化

4. まとめ

AR 向けに蒸留性状の推定精度を高めるデータ処理法を開発した。本法により FT-ICR MS の測定結果から GC 蒸留と同様の精度で蒸留性状を推定することが出来た。

5. 謝辞

本研究は経済産業省・資源エネルギー庁の補助事業「製油所の脱炭素化研究開発事業」の一環として実施された。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 令和元年度 高効率な石油精製技術に係る研究開発事業(委託事業)成果報告書(2019)。
- 2) Katano, K. et al., *Energy Fuels*, 35, 13687–13699 (2021)
- 3) 平成 30 年度 高効率な石油精製技術に係る研究開発事業(委託事業)成果報告書(2018)。

コプロセッシングにおける熱交換器ファウリング解析モデルの開発（その1）

(JPEC) ○^{さ せ き よ し}佐瀬 潔、^{す ず き て る お}鈴木昭雄、^{か と う ひ ろ し}加藤 洋

1. 緒言

世界的に脱炭素化の流れが加速しており、製油所においても生産品の低炭素化を実現するため、今後、石油系基材と低炭素基材(バイオマス由来油、廃プラスチック再生油等)の共処理(コプロセッシング)技術の導入拡大が見込まれる。(図1)

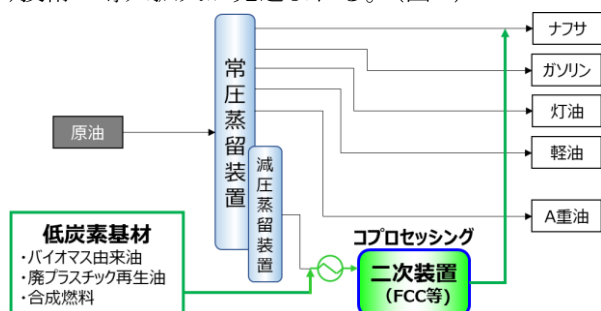


図1：コプロセッシング技術の導入イメージ

熱交換器における汚れ(ファウリング)は製油所の省エネ阻害要因となっており、脱炭素化を実現する上で汚れの抑制は重要であるが、コプロセッシング時のファウリング挙動に関する知見は少なく、低炭素基材の成分情報等を活用してファウリング挙動を解析するモデルが開発できればコプロセッシング時のファウリング抑制に大きく寄与することが期待できる。そこで本発表では、モデル開発に必要な情報を得るために実施した低炭素基材のファウリング挙動の評価結果について報告する。

2. 試験方法

ファウリング評価はHLPS(Hot Liquid Process Simulator)試験装置(図2)を用いて実施した。

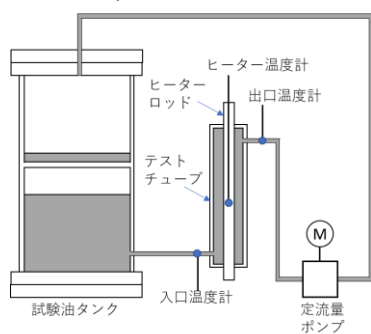


図2：HLPS 試験装置概略

タンク内の試験油は定流量ポンプにより、中央にヒーターロッドを設置したテストチューブ内に送られる。テストチューブ入口・出口およびヒーターロッド内には温度計が設置されており、汚れが進行するとヒーターからの伝熱効率が低下し、出

口温度が低下することから、温度・流量及び試験油の物性値から伝熱効率の指標である総括伝熱係数(U_d)を算出し、初期値(U_c)からの変化を求めた。

試験油は、FAME(脂肪酸メチルエステル)、廃ポリエチレン(PE)と廃ポリプロピレン(PP)混合物の熱分解油、及び比較例として減圧蒸留装置残油を用いた。また、試験温度はコプロセッシングの実施が想定される二次装置の運転温度を参考に 345°C とした。

3. 結果及び考察

総括伝熱係数の経時変化の比較を図3に示す。FAME、減圧蒸留装置残油、PE+PP熱分解油の順に汚れが進みやすいことがわかった。

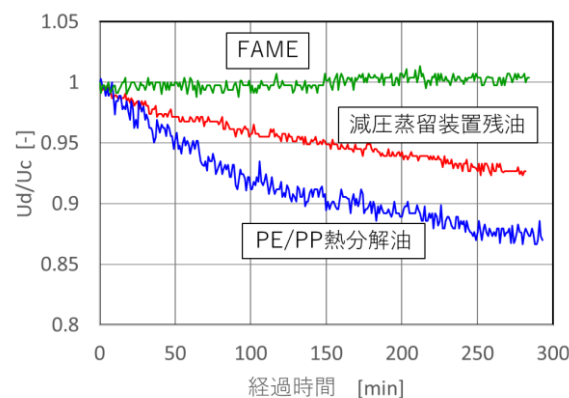


図3：各試験油総括伝熱係数の経時変化

PE+PP熱分解油は、約50%含まれるオレフィンが熱交換器内で重合・付着しファウリングが進行したと考えられる。一方、FAMEは約80%含まれる不飽和脂肪酸が高分子量化してファウリングが進行すると予想したが、ファウリングは進行しなかった。この違いは含有成分の差が一因と考えているが、今後検討を行う予定である。

4. まとめ

低炭素基材のファウリング挙動はその種類により大きく異なることが分かった。今後、他の低炭素基材の評価を進め、ファウリング解析モデルの開発に必要な反応メカニズムの検討を行っていく。

謝辞

本研究は経済産業省・資源エネルギー庁の補助事業の一環として実施された。ここに記し、謝意を表する。

石油精製装置付着物の平均分子構造解析

(産総研) ○ 麓 恵里・柿沼 敏弘・佐藤 信也・森本 正人・鷹 賢 利公

1. 緒言

石油精製装置熱交換器の付着物汚れは、熱効率の低下や装置トラブルを引き起こす要因となっている。汚れ予測や洗浄手法の最適化のためには、付着物汚れを把握する必要がある。原油熱交換器の付着物には有機物、硫化鉄、硫黄等が含まれる^{1,2)}。有機物の詳細分析を実施するため、トルエン不溶分 (TI)、アスファルテン (As)、マルテンヘン分画し、昨年の函館大会では主に As の分析結果を報告した²⁾。本発表では、汚れの主成分である TI の分析を行い、分子構造を解析した結果を報告する。

2. 実験

2.1. 試料 石油精製装置の原油熱交換器 (A-1, B-1, B-2, C-1, D-1) から回収された付着物を用いた。付着物から TI を回収した後、硫化鉄等を除去するために CS₂, HCl 処理を実施し、以下の分析を実施した。CS₂ 処理後に HCl 処理した場合 (TI-CsHc) と、HCl 処理後に CS₂ 処理した場合 (TI-HcCs) で分析値に大きな差はないことを予め確認した。

2.2. 分析および解析 元素組成は、CHNS 元素分析および蛍光エックス線 (XRF) により測定した。レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析 (LDI/TOF/MS) により数平均分子量 (Mn) を算出した。赤外分光分析 (IR) スペクトルを測定し、芳香族炭素割合 (fa)、平均側鎖長 ((CH₃+CH₂)/CH₃)、末端メチル基/芳香族炭素比 (γ CH₃/Ca) を推算³⁾した。これらの分析値を用いて、Brown-Ladner 法に基づいて平均分子構造解析⁴⁾を行った。

3. 結果と考察

TI の HCl, CS₂ 処理を実施した結果、鉄、硫黄、炭素等の含有量が減少した。HCl 処理により硫化鉄が、CS₂ 処理により硫黄や軽質炭化水素の一部が除去されたと考えられる。Table 1 は処理前後の H/C 比を示す。処理後に H/C 比が減少したことから、硫化鉄に結合していた水と軽質炭化水素が除去されたと考えられる。処理後の試料の H/C 比は文献値¹⁾と同程度であった。

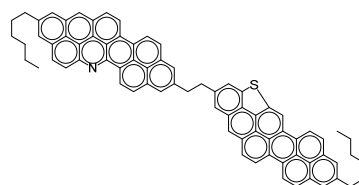
処理後の試料の分析値を用いて、平均分子構造解析を実施した (Fig. 1)。硫黄には有機物硫黄や硫化鉄の硫黄があるため、石油系アスファルテンと同程度の硫黄量と仮定した。酸素分析を実施していないので、酸素官能基は組み込んでいない。図より、採取した熱交換器によって、芳香環数異なる分子モデルであった。

熱交換器によって最高温度が異なり、温度が高い熱交換器で平均分子モデルの芳香環数が多い傾向がみられた。

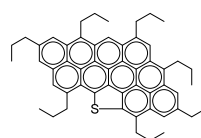
Table 1 H/C atomic ratio of samples before and after treatment with HCl and CS₂.

	H/C [mol/mol]				
	A-1	B-1	B-2	C-1	D-1
TI	1.2	2.3	2.4	1.1	1.4
TI-HcCs	0.73	1.0	1.1	0.84	1.3
TI-CsHc					

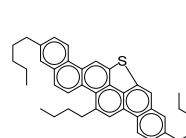
A-1-TI-HcCs



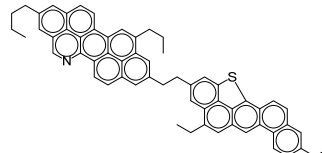
B-1-TI-CsHc



B-2-TI-CsHc



C-1-TI-CsHc



D-1-TI-CsHc

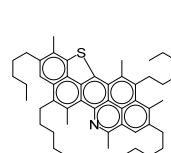


Fig. 1 Average molecular models of samples after treatment with HCl and CS₂.

謝辞 本研究は公益社団法人化学工学会の高度生産システム検討委員会の支援を受けた。

- 1) Chew, J., *et al.*, "Crude Oil Fouling," ed. by Coletti, F., *et al.*, Gulf Professional Publishing, Boston (2015), p. 95-178.
- 2) 麓恵里, *et al.*, "第 51 回石油・石油化学討論会," 石油学会, 函館 (2021), p. 1E17.
- 3) 佐藤信也, *et al.*, "第 58 回石炭科学会議," (2021), p. 32-33.
- 4) 佐藤信也, ペトロテック, **33**, 581-588 (2010).

散乱法によるファウリング物質の 高次階層構造の検討

(千葉大*・産総研**・出光興産***・JPEC****)

○森田 剛*・麓 恵里**・森本 正人**・田中 隆三***,****・鈴木 昭雄****

1. 緒言

交通、化学、輸送、電源等の現代社会において不可欠な基盤産業である製油において、熱交換を伴うプロセスは必須であるとともに、脱硫等の環境技術を実施する上でも欠かすことができない。一方で、熱交換装置における汚れ付着（ファウリング）に起因するエネルギー損失は膨大であり、製油所の操業を高度に最適化し、省エネルギーを達成できれば大きな二酸化炭素低減へとつながる。また、新燃料（バイオ燃料、廃プラスチック油、合成燃料等）との共処理技術の開発は、循環型社会の構築に向けての重要な取り組みであり、多角的な観点から二酸化炭素排出の低減へとつながるものと期待される。

本研究では、ファウリング物質による熱交換の効率低下を防ぐ新しい技術開発について、ナノサイズからサブミクロの大凝集までの高次階層凝集構造解析を基礎としたファウラント構造の検討について、散乱法を主として行い、この構造情報を、ファウリング制御技術の基盤情報とすることを目的としている。

2. 実験

熱交換装置のシェルとチューブ部分において付着物として採取されたファウラント物質試料に対して、小角X線散乱測定と透過電子顕微鏡観察を実施した。また、有機無機複合体がファウラント物質の構成要素であると考えられるため、アスファルテンの凝集分散挙動の検討の観点から、アスファルテンのトルエン溶液に対して、ラマン散乱測定を実施した。小角X線散乱測定は、実空間での広範な構造情報を得るため放射光光源を用いて行われ、高エネルギー加速器研究機構のPhoton Factoryに設置のBL-6Aで実施された。また、透過電子顕微鏡観察は、局所的な結晶性の評価も行うため高分解能透過電子顕微鏡観察として行われ、電解放出形の透過電子顕微鏡(JEM-2100F)に超高分解能CCDカメラを併用して実施された。

3. 結果および考察

小角X線散乱による結果は、定性的には、小角部に極めて強いシグナルが観測された。このことから、凝集様態としては極めて強い状態であって、メズスケール以上のマイクロメーターやサブミクロン程度の粒子が存在していると思われた[1]。このため、観測手法としては、ナノから巨大粒子までを階層的に観測

するため、小角から極小角[2]、もしくは、広角散乱も併用した評価が必須と思われた。得られた小角散乱シグナルを一次元化したデータの解釈としては、観測範囲全体に渡って強く立ち上がっており、power lawの関係が確認され、さらに小角部、つまり、より大きなサイズに相当する散乱体や凝集体が系中に存在していると考えられた。

透過電子顕微鏡では、図1のように、結晶性の微粒子(例えば、右図中矢印部分)周囲を、非結晶性の物質が覆っている構造様態と解釈された。また、透過電子顕微鏡の場合、像にコントラストが生じる要素として、「Zコントラスト(電子を多く持つ重元素が電子線を透過しにくい)」と「回折コントラスト(回折現象により下側に電子線が進まず結果暗く見える)」が考えられ、結晶性の部分は暗く観測され、これは今回の場合Zコントラストによるものと考えられ、鉄や硫黄などが含まれ、炭素元素中心の部分より暗く見えていると考えられた。

アスファルテンに対するラマン散乱測定により、芳香族部分に由来する非強凝集性と多体凝集性の割合に関する情報が得られた。

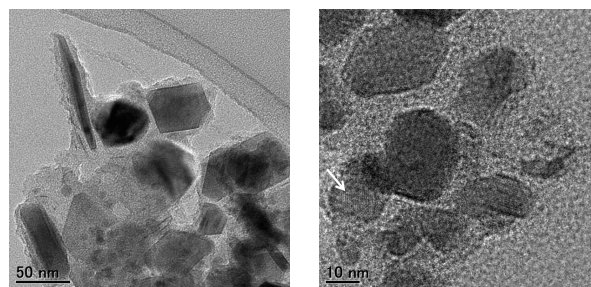


図1 熱交換装置のシェル部分から採取したファウリング物質の高分解透過電子顕微鏡写真（左図）Zコントラストが高いと思われる部分の周りに有機体の凝集が確認できた。（右図）Zコントラストの高い部分に高結晶性の格子像が確認された。

謝辞

本研究は経済産業省の補助事業「製油所の脱炭素化研究開発事業」として一般財団法人石油エネルギー技術センターが実施している研究開発事業の一環として行われた。ここに記し、謝意を表する。

1. 森田 剛, えねるみくす, **98**, 659-664 (2019).
2. 森田 剛, 森本 正人, 田中 隆三, SPring-8 産業利用課題実施報告書 (BL19B2, 課題番号 2019B1892).