

「高効率な石油精製技術の基礎となる石油の構造分析・反応解析等に係る研究開発委託・補助事業」 終了時評価 補足説明資料

2022年3月1日

経済産業省 資源エネルギー庁
資源・燃料部 石油精製備蓄課

I 事業の概要

II 評価検討会の評価

事業の目的

省エネの進展等による国内石油需要の減少、アジア新興国における大型・輸外型製油所の台頭による国際競争の激化など、我が国石油精製業を取り巻く事業環境は厳しくなっている。こうした中、将来にわたり石油の安定供給を確保していくためには、コストの安い原油等から高付加価値の製品を生産すること（石油のノーブル・ユース）や精製設備の稼働を長期間安定させること（稼働信頼性の向上）など石油製品を効率的に生産する能力を高めることで、原油の有効利用や調達原油の多角化（中東依存度の低減）を図る必要がある。

そのために、従来、組成が未解明のために処理が困難であった重質油について、分子レベルで組成を科学的に解明し、石油精製プロセスにおける化学反応を解析・予測するための技術（ペトロリオミクス技術）を活用し、付加価値の高い石油製品や石油化学製品を効率的に生産する基盤的な研究開発を推進する。

類 型

複数課題プログラム / 研究開発課題（プロジェクト） / 研究資金制度

実施期間

2016年度～2020年度（5年間）

会計区分

一般会計 / エネルギー対策特別会計

評価時期

事前評価：2015年度、中間評価：2018年度、終了時評価：2021年度

実施形態

国 → JPEC（委託）、国 → JPEC（補助 実用化2/3、実証1/2） → 出光、ENEOS

プロジェクト
リーダー等

【委託】一般財団法人石油エネルギー技術センター 技術企画部 秋本 淳
【補助】各補助事業者と事業連携推進会議で連携

執行額
(百万円)

2016FY

2017FY

2018FY

2019FY

2020FY

総執行額

総予算額

1,215

1,025

929

668

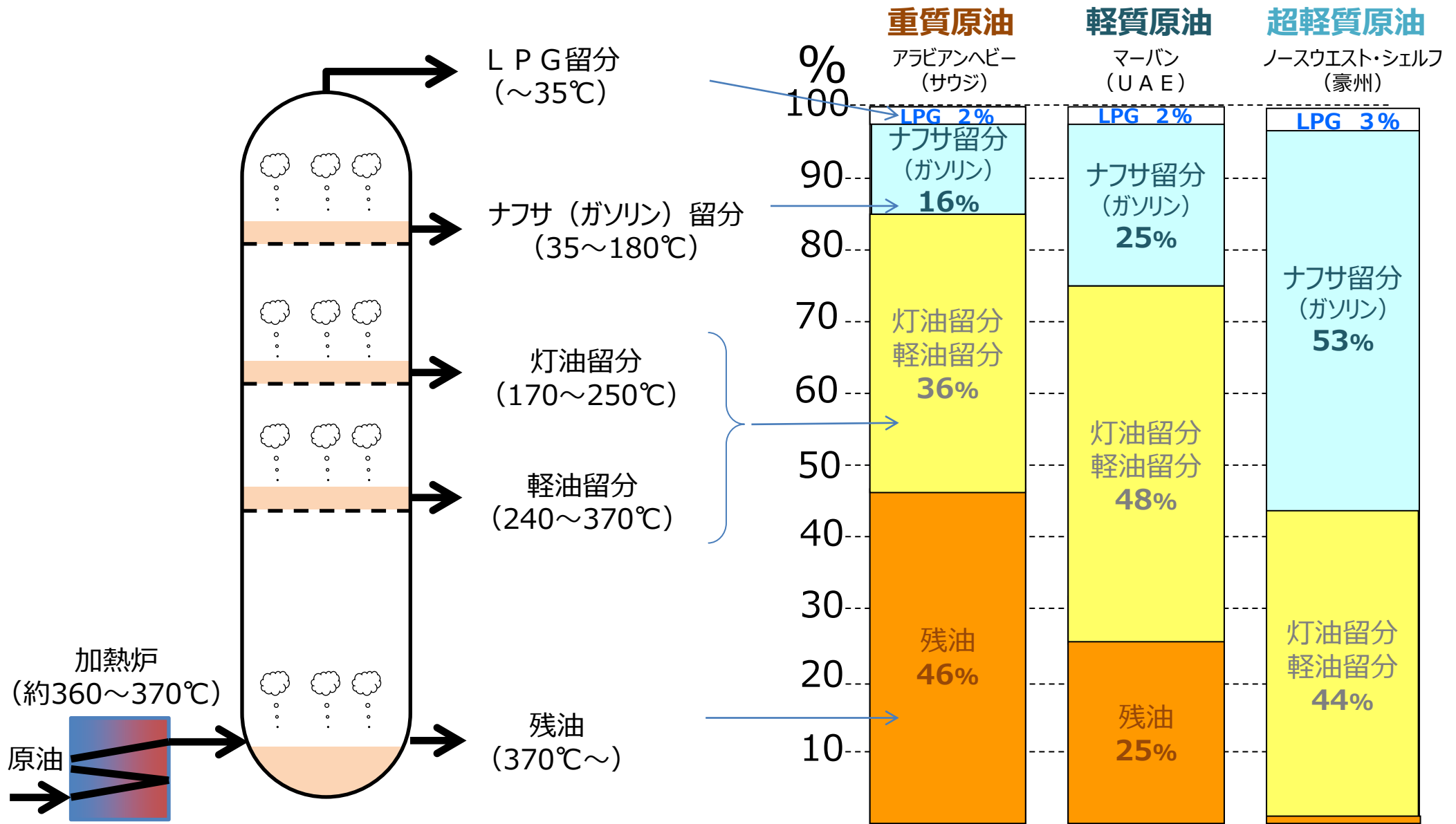
670

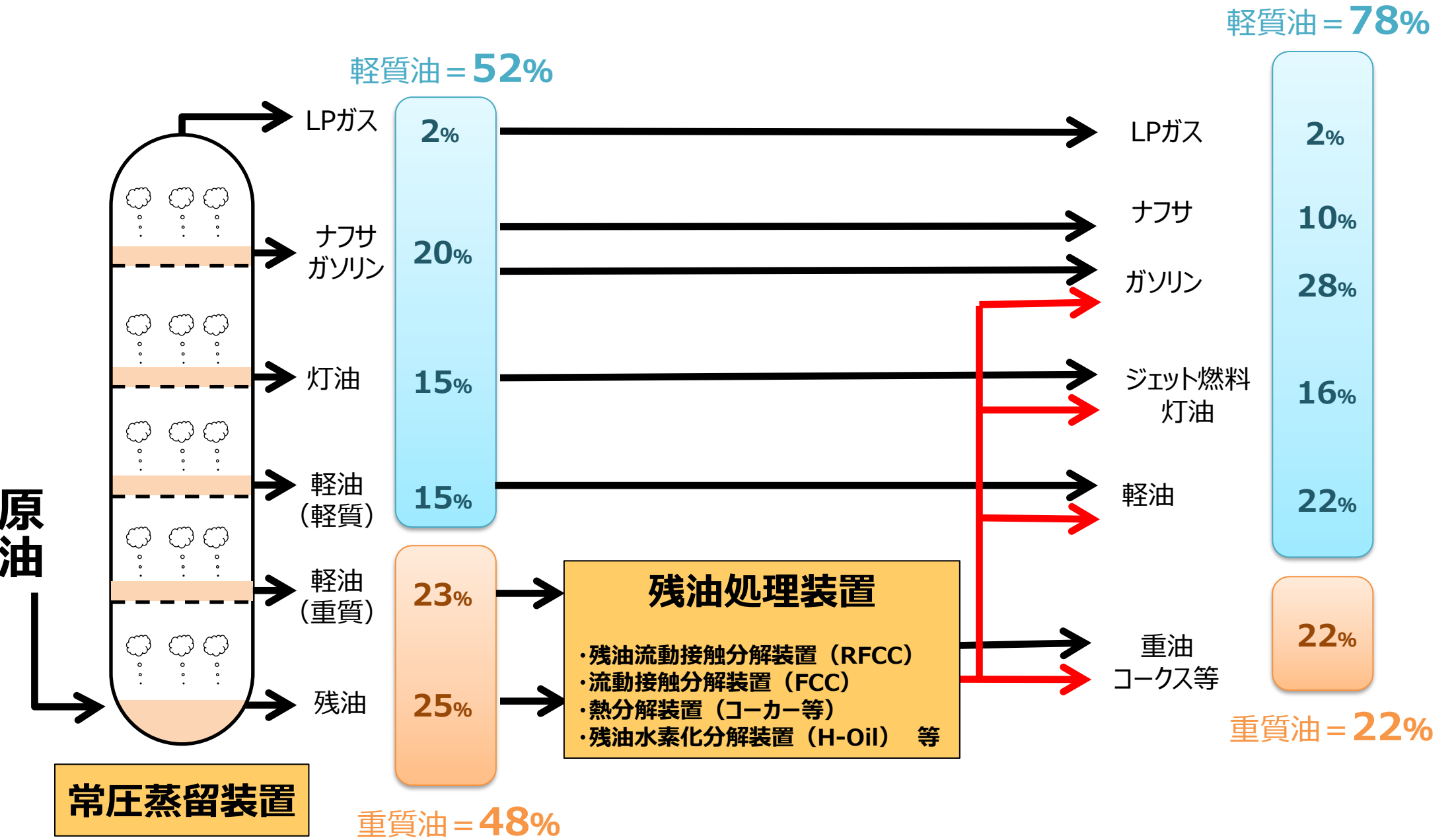
4,508

4,610

(補足説明) 原油から得られる製品得率

- 常圧蒸留装置（トッパー）からの留分得率は、原油種の選択（重質・軽質・超軽質）による。
⇒重質原油は残油分が多く、軽質になればなるほど残油分が少ない。
- 最終製品の得率は、製油所の残油処理能力等（脱硫・分解・改質装置）の大小による。



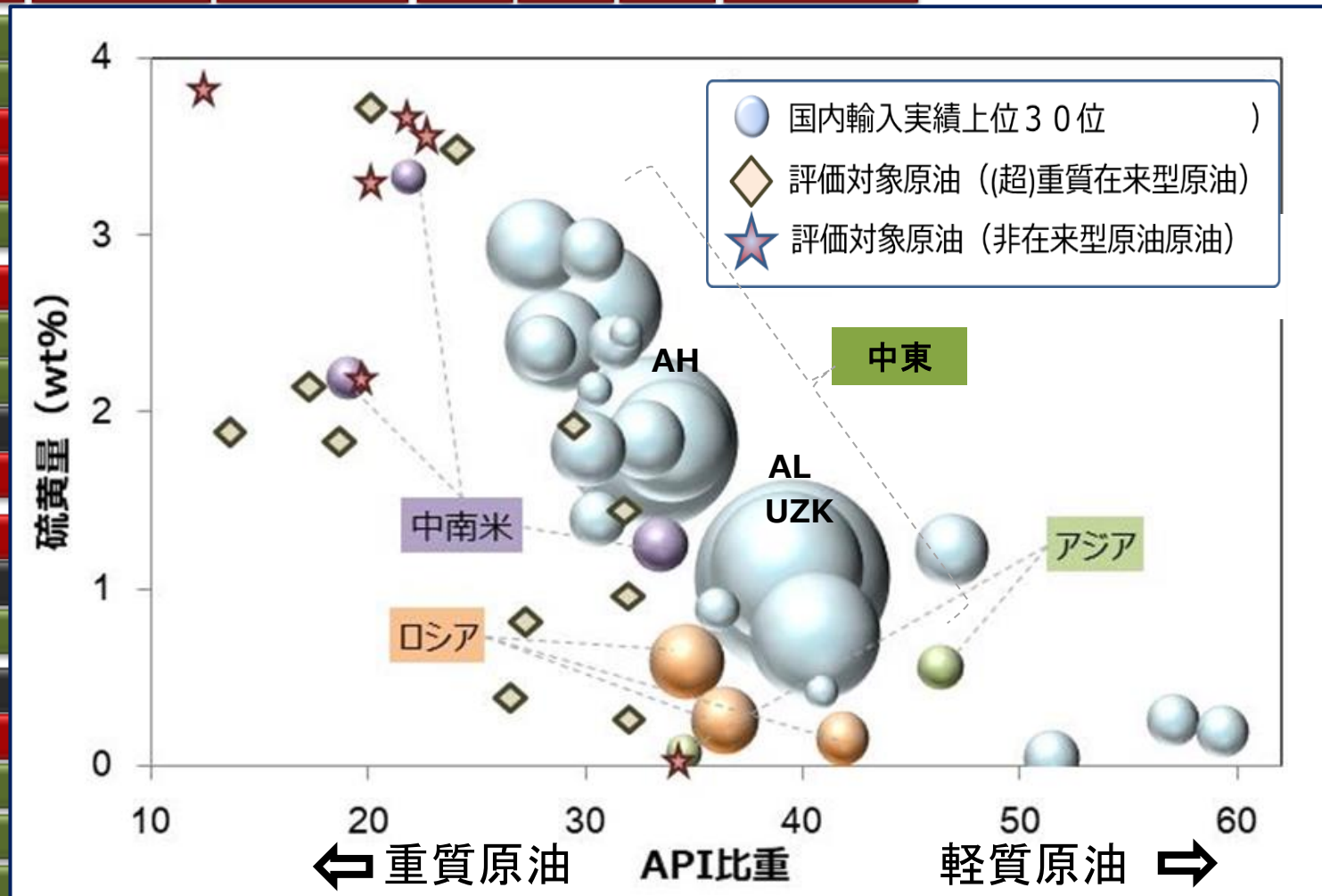


2. 本事業の政策的位置づけ／背景について

- ・エネルギーセキュリティの観点から中東依存度を下げていくこと、および国際競争力の強化が課題となる。
- ・中東系原油に比べて重質・超重質・非在来型原油の精製処理を可能とする。
コストの安い原油等から高付加価値の製品を生産する。（石油のノーブル・ユース）
精製設備の稼働を長期間安定させる。（稼働信頼性の向上）

原油名	産油国	原油タイプ	API	S	N	2017年輸入量
① Maya	メキシコ	超重質	21.8	3.33	0.35	80万kL
② Arabian Heavy	サウジアラビア	在来型重質	27.6	2.94	0.14	743万 kL
③ Lloyd blend	カナダ	非在来型	12.4	3.50	0.31	実績なし

④ Lula
⑤ Peregrino
⑥ Albian Heavy Synthetic
⑦ Premium Albian Synthetic
⑧ Napo
⑨ Access Western Blend
⑩ Al Rayyan
⑪ Iracema
⑫ Arabian Light
⑬ Mars
⑭ Kearn
⑮ Upper Zakum
⑯ Castila Blend
⑰ Mubarras
⑱ Fort Hill
⑲ Oguendjo
⑳ Mares Blend
㉑ Johan Sverdrup



- ・従来は重質分は比重等の代表値で表し、経験に基づいた精製を行ってきた。
- ・ペトロリオミクス技術を開発し、重質留分まで詳細構造解析を行うことができるようになった。
- ・本事業ではペトロリオミクス技術を活用し、未利用の重質油から付加価値の高い石油製品や石油化学製品を効率的に生産する研究開発を行う。

実用化、実証技術開発(補助事業)

プロセス性能診断、運転条件最適化、触媒改良・開発、プロセス開発等を行う。



基盤技術開発(委託事業)

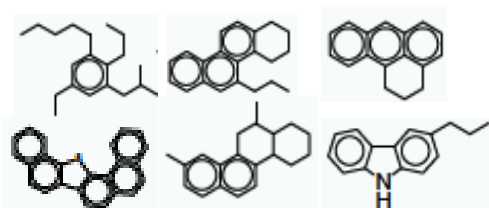
分子情報の詳細構造分析をもとにして分子反応モデリング、アスファルテン凝集挙動解析等の基盤技術開発を行う。

超高分解能質量分析装置
による詳細分析

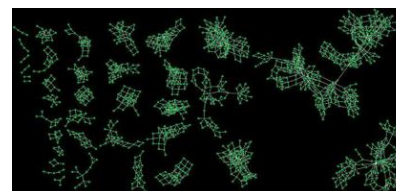


ペトロリオミクス技術

高度なアルゴリズムにより
分子構造を解析



反応を高精度にシミュレート



- 日本は石油資源に乏しくその大宗を海外からの輸入に頼るため、国内外の状況の変化に大きな影響を受けやすい。特に原油の90%近くを中東から輸入しており、**エネルギーセキュリティの観点から中東依存度を下げる**ことが課題になっている。

一方で、省エネの進展等による国内石油需要の減少、アジア新興国における大型・輸出型製油所の台頭による**国際競争の激化**など、我が国石油精製業を取り巻く事業環境は厳しくなっている。将来にわたり石油の安定供給を確保していくためには、**コストの安い原油等から高付加価値の製品を生産すること（石油のノーブル・ユース）**や**精製設備の稼働を長期間安定させること（稼働信頼性の向上）**などにより、石油製品を効率的に生産する能力を高める必要がある。

以上のように厳しい事業環境の中で石油エネルギーを安定供給するためには、原油の有効利用や調達原油の多角化（中東依存度の低減）を進め競争力を強化することが求められている。

- そのために、従来、組成が未解明のために処理が困難であった重質油について、**組成を分子レベルで科学的に解明し、石油精製プロセスにおける化学反応を解析・予測するための技術（ペトロリオミクス技術）**を活用し、付加価値の高い石油製品や石油化学製品を効率的に生産する研究開発を推進する。

JPECペトロリオミクス技術は、海外の研究機関等から連携等を打診されている。

EU/USA	中東	アジア
CONCAWE/FuelEurope JPECとは年1回以上の会合を行い、ペトロは毎回注目を受けている。	サウジアラムコ (Saudi) 2018/11の日本-サウジ合同セミナー(石油学会主催)でのJPECペトロの紹介に興味を持ち、2019/1にR&Dセンター3名が訪問。共同研究の可能性を言及している。	SINOPEC (中国) JPECは日中韓シンポを通じ、ペトロを含めて毎年情報交換を実施。 Molecular-level Smart Refineryの概念を掲げ、技術開発を実施中。
ExxonMobil “Molecular Management”というペトロ的手法で先行。不定期で情報交換実施。	2019/9、日本でサウジアラムコの石油精製技術シンポジウム開催実施(JCCP)。	中国石油大学(北京)で、「分子エンジニアリングセンター」の開所式挙行(2018/9)。教授10名、総勢100名超で体制はJPECペトロ研を凌駕。
TOTAL (フランス) 2018/9、2019/6にペトロ研見学。 C2MC (Complex Matrices Molecular Characterization)というコンソーシアム。 JPECは反応解析、凝集制御などでリード。	2020/2、日本-サウジ合同セミナー(石油学会主催、コロナのためWeb開催)で技術紹介実施。	
ENI (イタリア) 2018/10にJPECにて、ENI社技術セミナーを実施(参加者約50名)。 スラリー床の残油水素化分解プロセス(EST)を自社開発。ペトロの分子反応モデル解析に着目し、興味を示す。	ADNOC (UAE) JCCP海外技術協力事業において、ペトロ技術に興味を示す。 ペトロ研究室の見学は複数回実施済み。	PTT (タイ) JPECとの技術交流会を開催。 IoT活用に積極的であり、ペトロ技術にも興味を示す。
PetroPhase 2019 (国際会議) 石油・重質油物性を専門に取り扱う唯一の国際技術会議。第20回を、日本で初めて開催(2019/6@金沢)。世界20か国から209名が参加。JPECペトロ関連で計8件発表(内2件はペトロ研)。		

本事業では、製油所の生産性を高める上で有効な取組である石油のノーブル・ユース（コストの安い原油等から高付加価値の製品を生産すること）、稼働信頼性の向上（精製設備の稼働を長期間安定させること）を実現するため、化学製品を効率的に生産する技術や、低廉な重質原油を用いて石油製品を効率的かつ安定的に生産する技術のうち、大きな効果が見込めるものの技術的な難易度が高い技術の開発を行う。本事業を通じて確立される新たな生産手段が国内の各製油所に横展開されることにより、原油の有効利用や調達原油の多角化（中東依存度の低減）が可能となり、石油の安定供給が図られる。

本事業は、原油の有効利用や調達原油の多角化につながるため、石油の安定供給の観点から、国として推進することが望ましい。本事業で開発する技術は、国内石油精製業の技術基盤の底上げを図るものであるが、開発の技術的難易度が高いために投資回収リスクが高く、また、原油の多角化、重質油分解能力の向上は、民間企業にとっては、原油市場の動向次第（軽質油が安価な場合など）では、経済性を確保出来ないため、自発的な投資が進みにくい。このため、国の助成措置により企業の取組を促す必要がある。

研究開発項目		実施者
①高効率な石油精製技術の基礎となる石油の構造分析・反応解析等に係る研究開発（委託）	非在来型原油成分分析技術開発 達成	J P E C
	R D S（直接脱硫装置）及びR F C C（残油接触分解装置）の全体最適化技術開発 達成	J P E C
	アスファルテン凝集制御技術開発 達成	J P E C
	革新的石油精製技術のシーズ発掘 一部達成	【第1期】 ・東京大学・東北大学 ・東京工業大学・静岡大学 ・鳥取大学・北九州市立大学 【第2期】 ・東京工業大学・早稲田大学 ・信州大学・鳥取大学 ・北九州市立大学
②高効率な石油精製技術の基礎となる石油の構造分析・反応解析等に係る研究開発（補助）	(a)1301 石油精製実用化技術開発事業＊ 「ブタンの脱水素によるブタジエン製造技術の開発」	ENEOS株式会社
	(b)1302 石油精製実用化技術開発事業＊ 「先進的膜分離による高付加価値品回収技術開発」	ENEOS株式会社
	(c)1303 石油精製実証技術開発事業 「R D S／R F C C全体最適処理技術開発」 達成	出光興産株式会社
	(d)1304 石油精製実証技術開発事業＊ 「劣質原油処理における腐食機構の解明と対策」	出光興産株式会社
	(e)1305 石油精製実証技術開発事業 「非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析」 達成	ENEOS株式会社
	(f)1306 石油精製実証技術開発事業 「重質残渣油のR F C C原料化のためのR D S触媒システム開発」 達成	ENEOS株式会社
	(g)1307 石油精製実証技術開発事業＊ 「重質油処理における機器閉塞機構解明及び対策技術開発」	ENEOS株式会社

（＊H28-H30年度実施分で今回の評価対象外、その他はH28-R2年度実施）

6. 委託事業の結果を活用した補助事業の成果について

従来は重質油の分子構造が不明なこともあり、試行錯誤的な開発を行っていたが、ペトロ技術を核として理論的な解析ができたことにより、短期の製油所実装化に貢献した

委託事業と補助事業者との主な連携事例

		2016	2017	2018	2019	2020	事業連携推進会議や 技術委員会で連携
開発技術 の活用	補助事業	分析結果提供 試験的なデータ解析		補助事業成果への貢献			
	一般受託			補助事業者以外への展開			
テーマ名	ペトロリオミクス技術適用課題		成果事例				
c)RDS/RFCC 全体最適処理 技術開発 (出光)	①CFD活用触媒グレーディング技術開発 ②RFCCでの分解向上のためのRDS システム開発 ③RFCC原料(RDS生成油)性状に対応 したRFCC反応制御技術開発		① ペトロリオミクスの流動反応連成技術 を適用するこ とでガード層の固化偏流状態を解析 ② ペトロリオミクス技術 を用いた 反応解析 により、 RFCC分解反応性に優れたRDS生成油製造と RDS触媒活性低下の抑制を両立する RDS触媒 システムの開発に貢献 ③RDS生成油中の 分子サイズ分布 を ペトロリオミクス技 術により把握 し、分布に適したRFCC触媒の選定に貢 献。 開発触媒は製油所実装済み				CFD： 数値流体力学 (シミュレー ション) RFCC： 残油接触分 RDS： 重油直接脱
e)非在来型原油 および残渣油の 二次装置 反応性解析 (ENEOS)	①非在来型超重質原油および当該原油 から得られる残渣油等の二次処理装置 での反応性評価 ②原料組成等に起因する反応性等の違い の定量的な把握による非在来型原油等 の利用拡大の実現		RDS分子反応モデルを自社製油所に合うよう カスタマイ ズ し、RDSの反応性評価に活用。 また、 ペトロリオミクス技術 を用いた 反応解析 により 減圧残渣溶剤脱れき装置生成油の収率・性状予測モ デルを構築。 → 原油選択範囲の拡大を実現し、収益改善に貢献				
f)重質残渣油の RFCC原料化の ためのRDS触媒 システム開発 (ENEOS)	減圧蒸留装置の残渣油(VR)をRFCCで 高付加価値化出来るようなRDS触媒 システムの開発		ペトロリオミクス技術による 反応解析結果 を用いてRDS における 反応予測シミュレーター構築 。 →同シミュレーターも活用して開発した RDS触媒システ ムの実機での運用開始				

①高効率な石油精製技術の基礎となる石油の構造分析・反応解析等に係る研究開発（委託：基盤技術）

重質・超重質・非在来型原油の精製処理を技術的に可能とした。

- ・国内製油所で精製実績のなかった**非在来型原油21種について、精製を可能にした。**
- ・**重質原油と軽質原油の組み合わせを15件確立。**

②高効率な石油精製技術の基礎となる石油の構造分析・反応解析等に係る研究開発（補助：実用化、実証技術開発）

➤ c)1303 RDS／RFCC全体最適処理技術開発

重油直接脱硫（RDS）/重油流動接触分解（RFCC）を最適化し、最大活用・最大効率運転することにより石油のノーブルユースを達成。

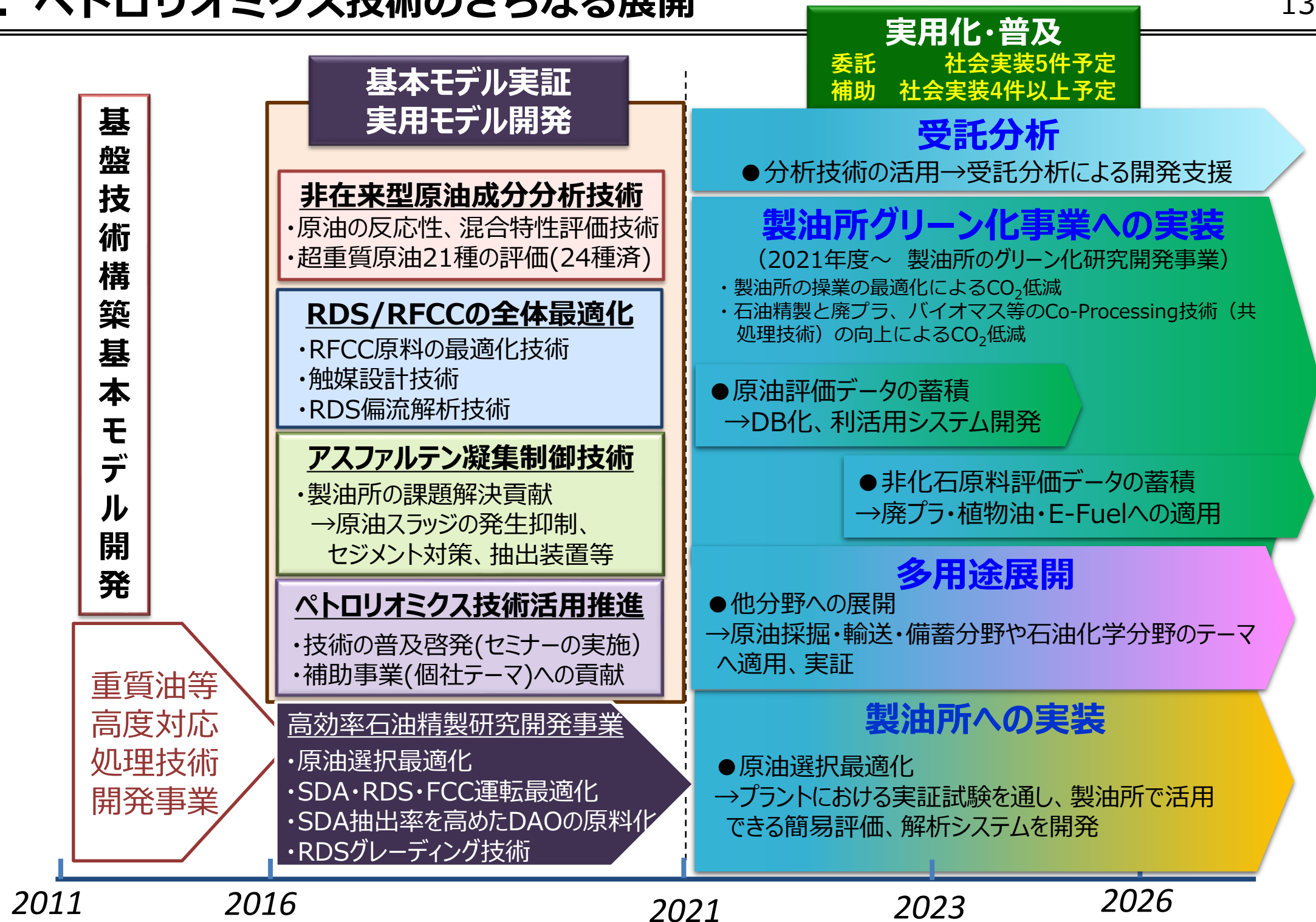
➤ e)1305 非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析

適用可能な非在来型原油を増やし、国内のエネルギーセキュリティ向上に寄与。

➤ f)1306 重質残渣油のRFCC原料化のためのRDS触媒システム開発

溶剤脱れき装置（SDA）の抽出率を高め、重質残渣油からより多くのRFCC原料を得た。RFCC原料で高付加価値することにより、重質油留分のノーブルユースが図られた。

8. ペトロリオミクス技術のさらなる展開



本事業は、委託費として2016年度から2020年度までの5年間で2,322百万円を投入した。本事業では石油製品を効率的に生産するための基盤的な技術開発を行うことで、調達原油の多角化を図るとともに、我が国の石油精製業の国際競争力を強化し、石油製品の生産基盤を国内に維持することにより、石油の安定的かつ安価な供給の確保に寄与する。本事業で開発したペトロリオミクス技術が原油の調達から国内製油所の重質油処理に展開された場合、処理原油の重質化が進み、**調達原油のAPI比重は1程度下がると試算され、原油調達で380億円/年程度の効果が期待される。**

また補助事業においても、各社で本事業の成果を生かして実装が進められており、効果が出てきている。

I 事業の概要

II 評価検討会の評価

	氏名	所属、役職
座長	小野崎 正樹	エネルギー総合工学研究所 研究顧問
委員	関根 泰	早稲田大学理工学術院先進理工学部応用化学科 教授
	巽 孝夫	I N P E X テクニカルコンサルタント
	増田 隆夫	北海道大学 理事・副学長
	室井 高城	アイシーラボ 代表

2. 審議経過

● 第1回 評価検討会（2021年11月19日）

（公開）

開会

1. 研究開発評価に係る委員会等の公開について
2. 評価の方法について
3. プロジェクトの概要について
4. 今後の評価の進め方について

閉会

● 評価委員からの評価コメントの提出（2021年11月19日～12月3日）

● 第2回 評価検討会（2022年2月3日）

（公開）

開会

1. 第1回評価検討会議事録の確認について
2. 技術評価報告書（案）について
3. その他

閉会

3. 総合評価

中質、重質原油の処理を増やすことができる技術開発であり、原油調達多様性を拡大可能とするエネルギーセキュリティの観点より、超重質原油を処理できる技術を今回の対象として研究開発することが我国として必要なものである。重質油を取り扱うシステムはFoulingなど多くの解決すべき課題が多いが、第一期、第二期を通して、これら課題を着実に解決している。また、原油の評価結果を用いて、採取原油の収率、各プロセスの原料性状、反応因子に関してデータベースをまとめたことや、アスファルテン凝集に影響する分子を明らかにし、最適原油の混合を明らかにしたことは評価できる。

一方、本研究開発は今日のエネルギーセキュリティと石油精製のコストダウンに直結しており、喫緊の課題なので短期集中的に促進することが望ましい。また、触媒充填物の最適化や脱硫触媒の設計や開発は、個社の研究開発テーマとも捉えられるため、システムを構成する各ユニットの成果を統合したシステム全体の提案があれば、本事業として更に高い成果が得られると考えられる。

4. 評点結果

○ 各評価委員の評点の平均を算出する評点法を実施。

【評価項目の判定基準】

○ 1.～6.各評価項目

3点：極めて妥当

2点：妥当

1点：概ね妥当

0点：妥当でない

○ 7. 総合評価

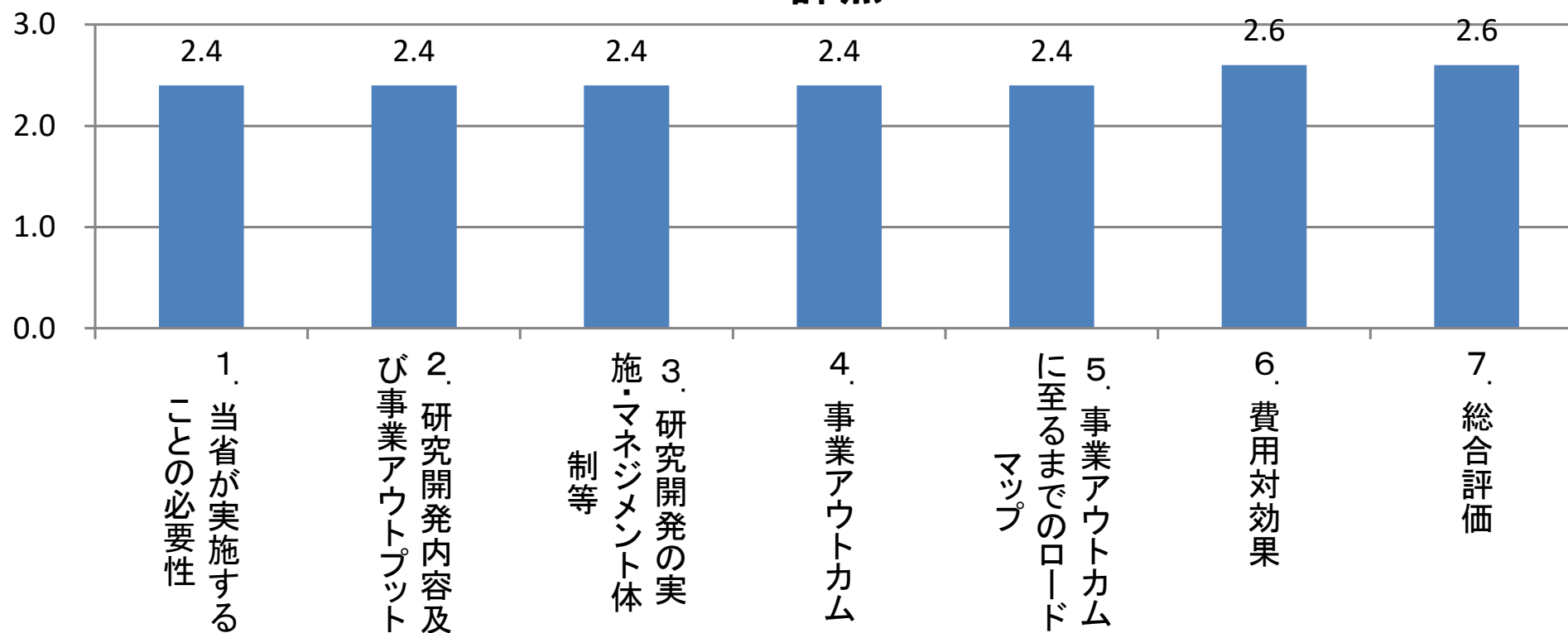
3点：実施された事業は、優れていた。

2点：実施された事業は、良かった。

1点：実施された事業は、不十分なところがあった。

0点：実施された事業は、極めて不十分なところがあった。

評点

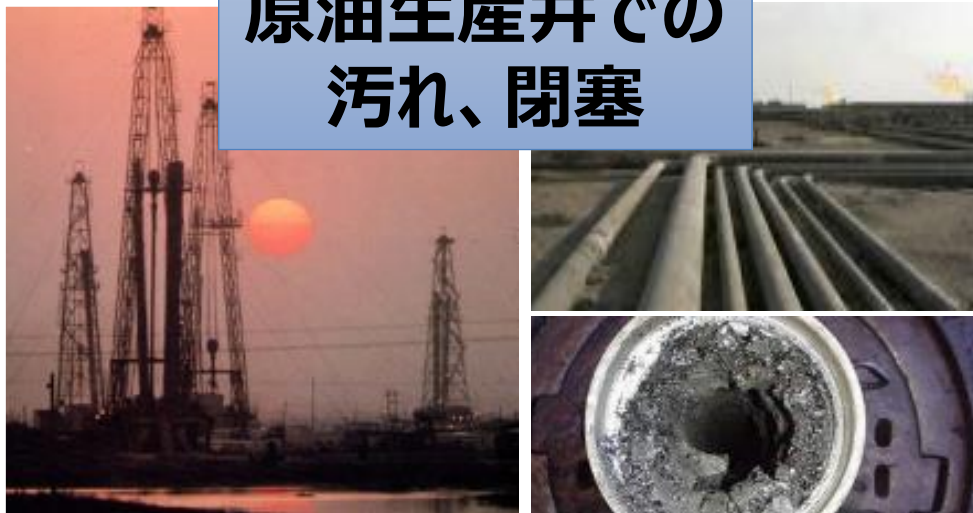


5. 提言及び対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言	対処方針
○ 今後、世界的なグリーンイノベーションの流れの中で、エネルギー需要が世界的に変化する兆しがあり、原油の処理量が大幅に低減することが予想される。これに符合する石油精製の役割がCO2フリー燃料の供給へと変化していき、石油精製システム内の物質収支の見直しを考える時期になってきている。一方で資源の賦存の制約を鑑みると、化石資源高効率利用は重要なトピックであり、引き続き個社がこの知見を生かして調達などに反映させてくれることを期待している。 ○ また、本技術開発のコアとなる超重質油への取り組みである非在来型原油成分分析技術や重油直接脱硫（RDS）/重油流動接触分解（RFCC）の全体最適化等は現在計画されている「製油所のグリーン化研究開発事業」にも寄与されることが期待できる。 ○ 本事業を踏まえて、今後、重質油のみならず、ペトロリオミクス技術を用いてバイオ燃料や廃プラ熱分解油の石油精製設備での混合使用に役立てる方向で研究を続けて欲しい。ペトロリオミクス技術を有効に利用する技術を開発して欲しい。	○ 世界のグリーンイノベーションの流れを踏まえて、今後減少していくと考えられる原油処理量に対して、ペトロリオミクス技術を活用し、コプロセッシング技術の活用や、今回開発した技術を用いて製油所内における精製プロセスの高効率化を行う。 ○ グリーン化の動きに応じて、本事業を通じた技術開発および実際の製油所でのグリーン化へ貢献することを考えて行く。また、補助事業の中でも、ペトロリオミクス技術と処理プロセスの脱硫、流動接触分解やアスファルテン凝集制御技術開発等上記の技術開発およびその活用について支援を行っていく。 ○ 重質油についても、今回開発した技術を用いることで、製油所内だけでなく、様々な場面で活用されることになっていく。その中に、バイオ燃料や廃プラ熱分解油との混合や、他燃料との最適な組み合わせを行うことで、今後のグリーン化に合わせた原油の有効な利用を考えて行く。

補足資料

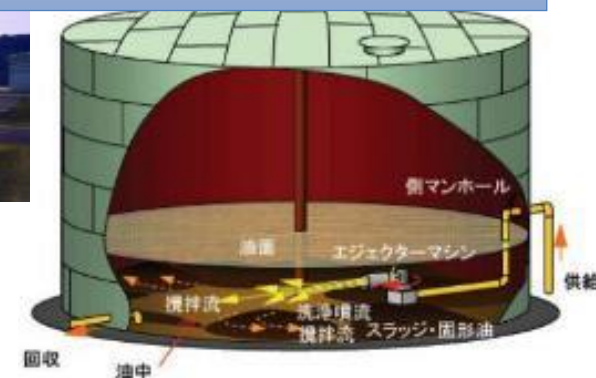
原油生産井での 汚れ、閉塞



<http://blogs.yahoo.co.jp/koudookan/29469384.html>

<http://www.bakerhughes.com/products-and-services/production/upstream-chemicals/flow-assurance-services/asphaltene-paraffin-control-ppds>

原油タンク内での スラッジ堆積



http://www.nissink.co.jp/img/p3_4_01.jpg

分解プロセスでの 重質油の処理制約

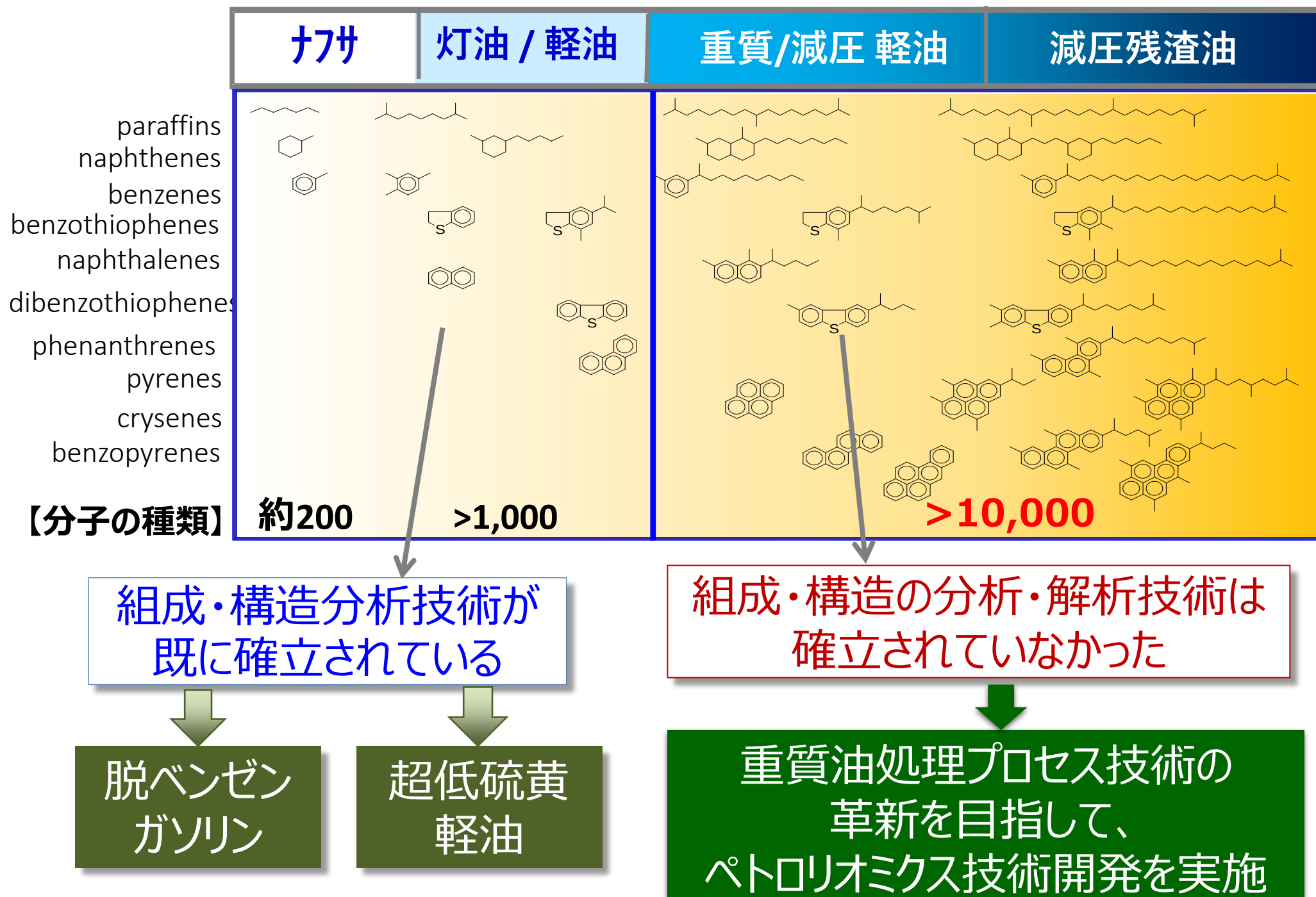


<https://www.chiyoda-corp.com/recruit/graduate/project/world.html>

- ・反応解析、流動解析が難しく、パフォーマンス管理が経験則
- ・触媒の急激な活性低下、反応器等での詰まり物発生
→装置稼働制約あり（最悪は稼働停止）



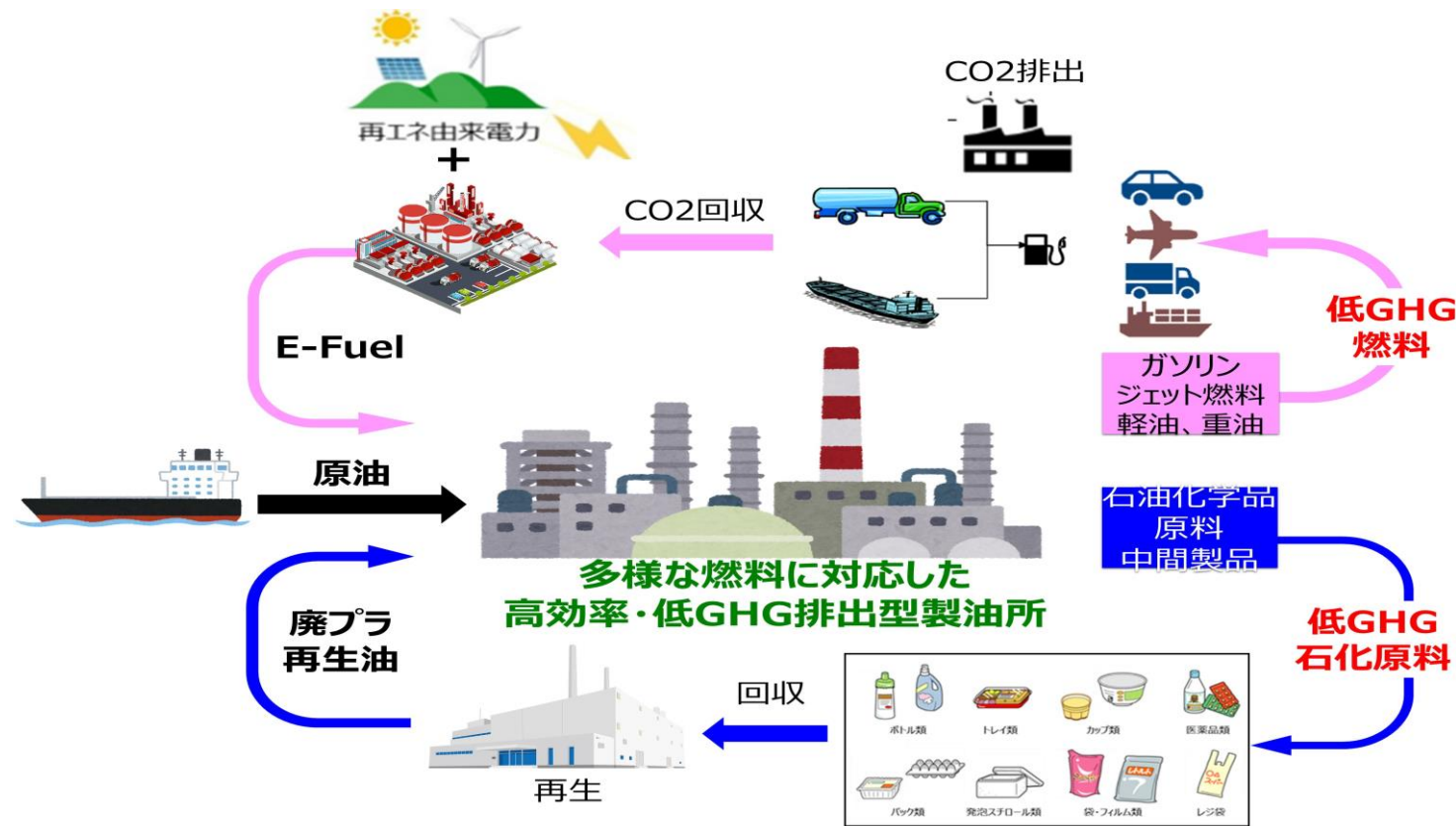
(超)重質原油の利用(ノーブルース)が進まない



製油所脱炭素化技術開発事業の狙い

Co-Processing

- ①石油留分と新燃料(合成燃料、バイオ燃料、廃プラ再生油等)のCo-Processing技術は確立されていないことから、**分子レベルの成分情報を活用し、Co-Processingをより高度に実現**に資する基盤技術を開発する
- ②**ターゲット**は、Co-Processingによる**石化原料生産用触媒システム開発**及び**Co-Processing時の熱交換器におけるファウリング挙動の解明**



要望に関しては脱炭素化技術開発事業の計画に取込み済み

3.4 全体最適処理結果の評価

実装置での全体パフォーマンス確認

		RDS/RFCC 従来システム※1	RDS実証システム ※2 RFCC実証触媒2
分解ガス	vol.%	Base	-0.1
C3	vol.%	Base	-1.0
C4	vol.%	Base	+0.1
分解ガソリン(~195℃)	vol.%	Base	+3.3
分解軽油(195~360℃)	vol.%	Base	-0.5
分解残油(360~℃)	vol.%	Base	-1.5
コーク	wt.%	Base	-0.2
トータルゲイン	vol.%	Base	+0.3

※1 研究開発開始時の触媒システム

※2 RDSの余寿命を使ってS0.05%分シビアに水素化

- RDS、RFCC両システムの優位性を引き出す運転により、トータルゲインの向上と中間留分選択性の向上を実現した。
- ガードシステムによる安定運転と併せて開発目標の達成を確認した。

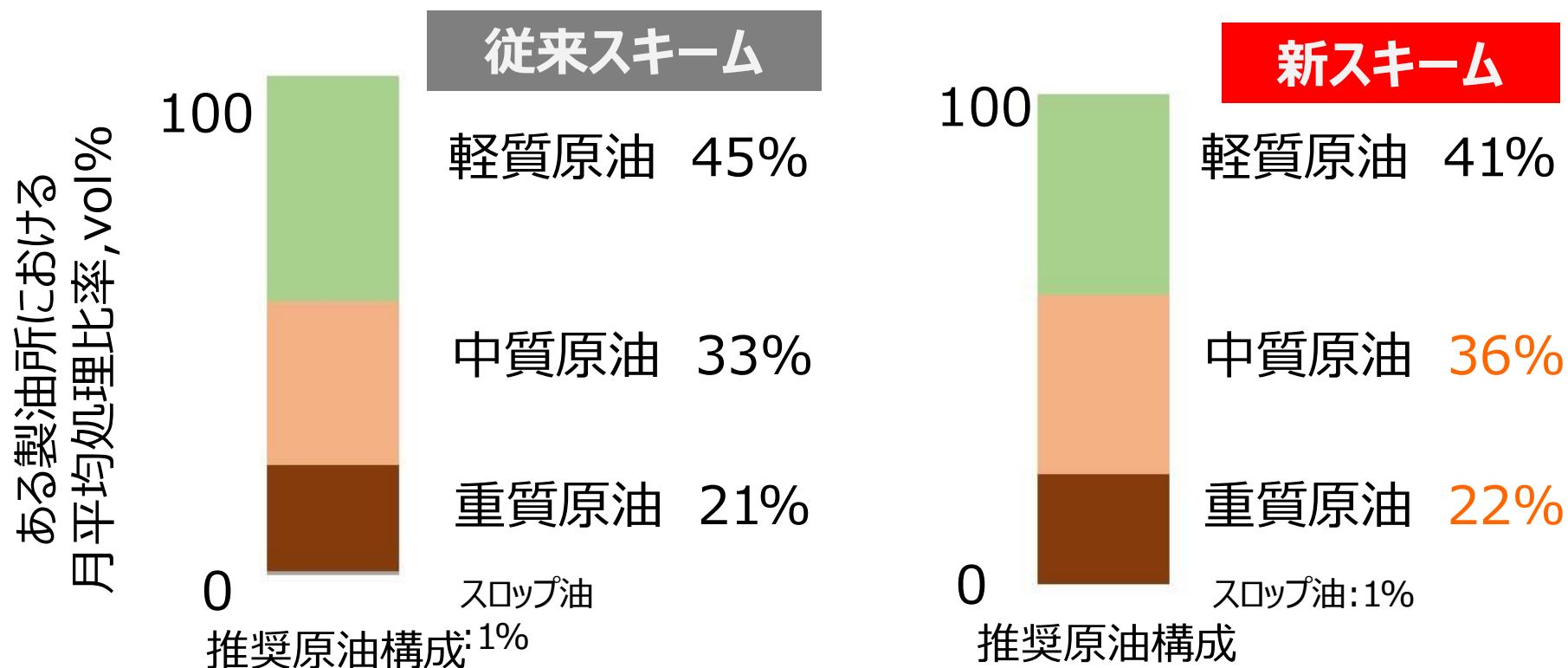
事業アウトカム

事業目的を踏まえたアウトカムの内容

重油直接脱硫（RDS）装置にて、更なる重質処理運転促進を狙い、RDS装置前段部（ガード）での偏流を大きく低減し、重油直接脱硫（RDS）装置と重油流動接触分解（RFCC）装置の組合せにおいて、常圧残油（AR）を原料にした際のRFCCによるガソリンや軽油留分等、高付加価値燃料油への転換効率を向上する。これにより、日本の製油所に多い重質油処理プロセスであるRDS/RFCCの最大活用・最大効率運転を図り、石油のノーブルユースを達成し、国際競争力の強化に資する。

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2020年度	① RDSガード触媒層のグレーディング技術を開発し、重質油処理時に水平 ΔT 20℃以下を維持して、1年以上の安定運転を実現する。 ② ペトリオミクス技術を活用してDSARの詳細組成を把握し、それを軸にRDSとRFCCを連成することで全体最適を実現し、実機RFCCにおいて有効成分液収率（ゲイン）を0.3vol%以上向上させる。	① 固化・偏流・ホットスポットを回避するため、その前兆となる水平 ΔT の上昇を抑え込むことを目標とした。 ② RDS/RFCC全体の収益性は、装置の安定運転を前提としてRFCCプロダクトで決まるため、個別装置最適化の範囲を十分超えることを目標とした。	達成済み

成果の活用例: 構築したプロセス挙動モデルを活用して、実際の原油選択スキームに反映



装置での処理可能な範囲を正確に見極め、より重質な原油を選択

原油選択の最適化と競争力強化に寄与

従来スキームでは使用していない中質原油や重質原油をペトロの技術を活かして、調達に活用し、新しいスキームでの処理が出来た一例。

事業アウトカム: 適用可能な非在来型原油種を増加させることで達成、今後更なる改良を目指す

アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
非在来型原油 および残渣油の 2次装置 反応性解析	平成32年度までに、製油所の二次処理装置において適用可能な非在来型原油の油種を10種にする。	非在来型原油の適用数を増加することで、製油所の経済性や生産性が向上し、国内のエネルギーセキュリティ向上に寄与する。	達成

事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

本研究終了

検討項目	2016~2018 年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度~
非在来型原油の 適用拡大/ 原油選択最適化	非在来原油適用拡大			新規原油選択手法 実運用		
	6油種	8油種	10油種	検証・改善手法検討		

本事業により、評価原油以外の広範囲な原油についても評価・適用・最大限の活用が可能となり、当初の目標であった「石油のノーブルユース」を一層促進することが可能となった

実証化まとめ：開発したDAO特化RDS触媒システムの適用により、実装置での有効性を示した

- ・ 開発成果確認のため、RDSとRFCCの運転条件に近い運転結果を比較した。
- ・ 目標（RDS生成油中窒素分300ppm低減）を大幅に超える、660ppmの改善を達成した。
- ・ RFCCの転化率としても、1.9%の改善となった。

【技術開発前後のRDS生成油性状およびRFCC反応性比較】

		技術開発前 代表値	技術開発後 代表値	
RDS原料硫黄の濃度	wt%	Base	+1.0	← 原料重質化 (硫黄濃度増)
RDS生成油				
脱硫率	%	83	87	← 脱硫率UP
脱メタル率	%	78	81	← 脱メタル率UP
窒素濃度変化分	wtppm	Base	▼660	← RFCC反応性を抑制する 窒素低減
RFCC反応性				
転化率	%	Base	+1.9	← 転化率UP
ガソリン収率	%	Base	+1.6	← ガソリン収率UP

事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ：実機適用により石油製品のノーブルユース化を図る

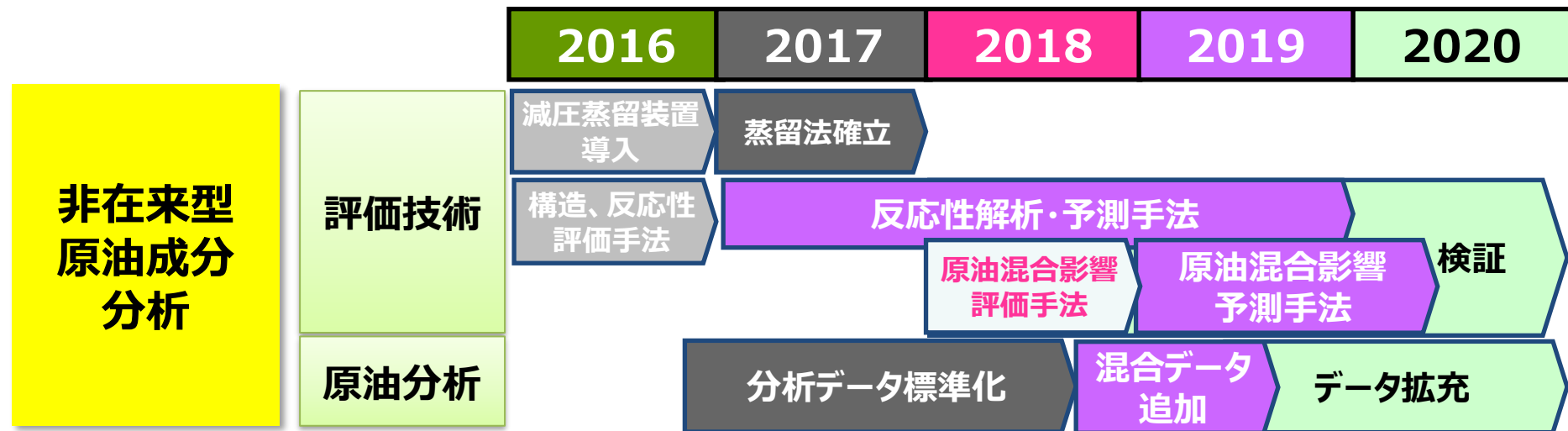
アウトカム目標		目標の設定理由	目標達成の見込み
2020年度	SDA抽出率70%のDAOを用いたRFCC原料化	従来50%程度だったSDA抽出率を70%まで引き上げ、DAOをRDSで処理してRFCC原料にすることにより、VR留分の大幅な削減を見込む。	本事業において、脱メタル触媒システムが重要であることを見出し、かつ脱窒素選択性の高い触媒を採用することで、DAO処理に特化した触媒システムを構築し、 <u>2020年度から実機運用を開始している。</u>
2023年度	SDA抽出率80%のDAOを用いたRFCC原料化	本事業の研究成果により、SDA抽出率70%の実用化のめどが立った。そこでさらなるメリットを目指し、抽出率80%のDAO処理技術を設定した。これにより、抽出率70%時に対して、1.5倍のVR処理が可能となる。	本事業で得た知見を基にした触媒システムの改良に加え、原油選択や運転条件の見直しなどのプロセス検討により、 <u>達成の見込みである。</u>

本研究終了



検討項目	2016~2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度~
SDA抽出率70%のDAOを用いたRFCC原料化	触媒システム検討	実機検証	実運用			
SDA抽出率80%のDAOを用いたRFCC原料化	触媒システム検討			プロセス条件検討	実機検証	実運用

研究開発成果(事業アウトプット) ①非在来型原油成分分析技術開発 31



最終目標	達成状況
①高沸点留分蒸留技術 (超)重質原油に適した減圧蒸留法の確立	①達成： 最高留出温度が従来法より40℃高い新規減圧蒸留法を開発。これにより、超重質原油等の重質留分の構造組成や反応性を評価するための基盤技術を確立
②原油混合特性予測 多成分系凝集モデル(MCAM)による原油混合時のスラッジ析出量予測技術の確立	②達成： MCAMにより、超重質原油と軽質原油混合時のスラッジ析出量を原油の成分情報から予測する技術を開発。予測精度は原油調達可否判断に資するレベル
③常圧残油反応性予測 非在来型原油等の常圧残油の二次装置(RDS)での反応性(脱硫・脱窒素率)予測法の構築	③達成： 分子反応モデルを用いて非在来型原油の脱硫率及び脱窒素率を実測値との絶対誤差10%以内で予測する手法を開発。予測精度は原油調達可否判断に資するレベル

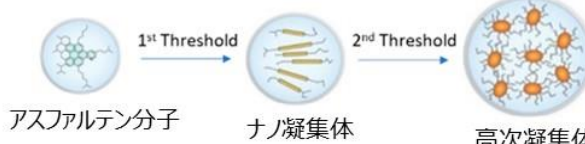
研究開発成果(事業アウトプット) ②RDS/RFCC全体最適化技術開発



最終目標	達成状況
①RFCC得率予測モデル ・RFCC得率予測モデルの構築 ・RFCCに好適な原料条件明確化	①達成 ：RFCCの反応挙動を解析し汎用性のあるRFCC得率予測モデルを開発。 また、RFCC得率向上には原料油(RDS生成油)中の分子の側鎖を極力切断しない、多環芳香族を極力減らす等、RDSに求める条件を明らかにした
②RDS触媒設計技術 RFCCに好適なRDS生成油を実現する触媒設計技術の確立	②達成 ：多環芳香族低減により原料中の残炭を減らすRDS触媒がRFCCにとって好適であることを確認。また、RDS生成油の詳細組成結果と統計的手法を組合せることで触媒組成を従来より効率的に決定する手法を開発。
③RDS偏流解析モデル 実機の偏流現象が再現可能なRDS偏流解析モデルの構築	③達成 ：RDS反応モデル等を用いてRDSの偏流現象を解析出来る技術を開発。従来技術では再現出来なかった実機の現象を再現出来るようになった
④RDS触媒劣化予測モデル 原料油の成分情報から触媒劣化度を予測する手法の開発	④達成 ：RDS原料油・生成油の詳細組成構造解析結果より、触媒劣化を最も良く表す物質として硫黄を含むコア構造を選定。分子反応モデリングを用いてコアの反応性変化からRDS装置の触媒劣化状態を予測する手法を開発

研究開発成果(事業アウトプット) ③アスファルテン凝集制御技術



最終目標	達成状況
①MCAM検証 a)減圧残油水素化分解装置、減圧残油溶剤脱れき装置での検証により、高温・高圧プロセスに適用出来ることを検証 b)上記検証結果を踏まえた活用指針の策定 ②凝集挙動解析 a)凝集・析出に影響する部分構造の明確化 b)MCAMの汎用性向上に向けた改良点の抽出	①達成 ：以下の結果より高温・高圧プロセスへの適用は可能 a)-1 減圧残油水素化分解装置のセジメント予測 セジメント生成に関与する成分、及びセジメント量を概ね予測出来ることを確認 a)-2 減圧残油溶剤脱れき装置による抽出物予測 溶剤脱れきによる抽出油の成分分布、抽出率を概ね予測出来ることを確認 b) MCAMは「トルエン不溶解分がない試料に適用。セジメントのようにトルエン不溶解分を含む試料に適用する場合は適切な補正因子を導入する」等の指針を定めた ②達成 a) As凝集に寄与する高極性がフェノール、カルボン酸等の官能基に起因すること、及びAs凝集体にはナノ凝集とは緩和挙動が異なる高次凝集相が存在していることを確認  b) MCAMを石油精製プラントの熱交換器で問題となっている汚れ現象の解明等に適用するためには、高極性官能基を取り込み等の改良が必要であることが分かった。

研究開発成果(事業アウトプット) ④革新的石油精製技術のシーズ発掘

第2期（平成31-令和2年度）採択テーマ

提案テーマ	分野	提案者	達成状況
触媒活性点を制御した金属担持ゼオライト触媒によるナフサ接触分解の超低温化	触媒	東京工業大学 藤墳助教	達成 金属と固体酸点を近接配置する触媒開発から、ナフサ留分からプロピレンやC4オレフィンを450℃以下で既存のナフサ分解プロセスと同等の低級オレフィン生産量(空時収率: 10 g-olefin/g-cat h)を達成。
電場触媒反応を用いた低温高選択的ブタン脱水素プロセスの開発	触媒	早稲田大学 比護研究員講師	未達 触媒層に電場を印加し、n - ブタン脱水素を試み、選択的に C4 オレフィン類を生成プロセス開発を実施し、400 ℃以下で1, 3-ブタジエンを生成することを明示。当初目的の収率30%は達成できず、1%以下に留まったが、コロナ渦中の研究中断かつ高い目標値もあり一定の成果は収めた。
成分間での水素授受を考慮したRFCC反応モデルの構築	触媒 (プロセス)	信州大学 嶋田講師	達成 多環芳香族の分解に対する水素移行反応モデルを構築するとともに、触媒の種類による反応機構を検討し、従来、多環芳香族は難分解性と考えられてきたが、パラフィンやナフテン、芳香環側鎖等の水素供与体との混合接触分解により、3環芳香族及び4環芳香族の分解が進行することを明示。
減圧軽油（VG0）の革新的変換プロセスの開発	触媒	鳥取大学 菅沼講師	達成 VG0中の多環芳香族の脱アルキル化や脱水素から長鎖アルカンとやアルキルベンゼンを生成するプロセス開発で、シリカモノレイヤー触媒でアルキル多環芳香族の脱アルキル化をほぼ100%達成した。また、ナフタレンの部分水素化はアルミナ担持触媒、テトラリン転換反応ではBEAゼオライト担持モリブデン触媒で高活性を達成。
金属複合体を包含するゼオライト触媒によるアルカンから芳香族炭化水素への選択的変換	触媒	北九州市立大学 今井准教授	達成 熟成と水熱合成から、ゼオライトへの導入金属量増加および異種金属の同時導入触媒を開発。これら触媒からアルカンから芳香族（ベンゼン、トルエン、キシレン）を生成検討を行い、n-ヘキサンを100%近い選択率でベンゼン生成やn-オクタンからo-キシレン、エチルベンゼン、スチレンの生成を合わせて約50%収率で達成。

4. まとめ

研究開発の成果（事業アウトプット）

研究開発項目	最終目標（2020年度）	成果・意義	達成状況
RDS/RFCC全体最適 処理技術開発	① 流動やスケールの捕捉に対する触媒形状やサイズの影響を解析できるマイクロSIMと、リアクター全体の流動状態をシミュレーションできるマクロSIMの二つのCFDモデルを開発し、それらを用いて触媒グレーディング技術を開発する。 ② ペトリオミクス技術を活用してDSARの詳細組成を把握し、それを軸にRDSとRFCCを連成して反応を解析することで、RDS/RFCCトータルで最大活用・最大効率運転を可能とする触媒システムを構築する。	① 2種類のCFDモデル（マイクロSIM・マクロSIM）を開発することで従来は困難であった複雑な気液固3相流の流動解析シミュレーションを実現した。これにより触媒形状やグレーディングの影響を解析とリアクター全体の流動状態の把握を可能とし、固化・偏流・ホットスポットを回避した安定運転に繋がった。 ② ペトリオミクスを活用した詳細組成構造解析により、RFCCで分解し易いDSARの製造とRDSの触媒劣化抑制を両立するための組成制御方法を見出すと共に、DSARの分子サイズ分布を踏まえたRFCC触媒とすることで、RDS/RFCC全体最適処理技術を確立し、RDS触媒寿命の維持とRFCC反応性の向上を果たした。	達成

まとめ: 各項目の開発目標を達成し、原油選択への活用によるメリット創出に繋がた

項目	成果	判定
①原油選定・採取	・一連の評価に活用可能な各原油の 選定・採取 を完了	達成
②実験装置での評価 (SDA)	・実験装置の安定稼働を達成し、標準条件を決定 ・種々の抽出条件および原油（通算7種類）のSDA評価を完了	達成
②実験装置での評価 (RDS)	・SDA実験装置の抽出油であるDAOのRDS評価を完了 ・DAOのRDS反応性が 原料重質度と抽出深度 で整理できることを確認	達成
②実験装置での評価 (FCC)	・実験装置の安定稼働を達成し、標準条件を決定 ・種々のDS-DAOを評価し、原料性状とFCC反応性の関係を確認	達成
③詳細組成構造解析	・SDA/RDS/FCCプロセスそれぞれの原料油・生成油の解析を実施（JPEC基盤研殿によるご協力） ・各プロセス挙動を 分子レベルで把握	達成
④反応モデリング・ カスタマイズ	・上記実験からSDA/RDS/FCCプロセスの 収率・性状予測モデルを構築	達成
⑤データベース構築	・SDA/RDS/FCCの原料・生成油の一般性状および反応性の影響因子を抽出 ・通算原油7種類の データベースを構築	達成

事業アウトプット: 原油データベースを作成することで、当初の目標を達成				
研究開発項目	最終目標（2020年度）	成果・意義	達成状況	未達の原因分析/ 今後の見通し
非在来型原油 および残渣油の 2次装置反応性 解析	非在来型原油を含む原油 (7原油)の2次処理装置での 反応性評価データベース作成	当初の目標どおり、 データベース作成を完了した。 これにより、製油所での原油選択 のバリエーションを増すことができ、 原油選択の改善による 競争力強化が見込まれる。	達成	今後の見通し： 原油選択スキームの 改善

■ データベース（一部抜粋）

原油の収率						RDS原料の性状										RDS反応性因子									
試験項目	Naph	Kero	LGO	HGO	AR	密度	密度	動粘度	動粘度	残留炭素分	元素分析	元素分析	CHNS	CHNS	CHNS	CHNS	クロマト分析	クロマト分析	クロマト分析	クロマト分析	FT-ICR-MS	反応性			
測定項目	-145℃	-260℃	-360℃	-380℃	380℃-	15℃	70℃	40℃	100℃	-	Ni	V	C	H	N	S	飽和分	芳香族分	樹脂分	アスファルテン分	-	RDS			SDA
単位	質量%	質量%	質量%	質量%	質量%	g/cm3	g/cm3	mm2/s	mm2/s	質量%	質量ppm	質量ppm	質量%	質量%	質量%	質量%	質量%	質量%	質量%	質量%	-	S1	N_5R	N_6R	-
原油A	13.9	22.0	16.1	3.7	44.3	0.9723	0.9346	969	44.9	9.66	11	43	84.9	11.6	0.2	3.5	46.0	39.6	11.5	2.9	○	4.48	3.04	1.37	
原油B	10.0	6.9	16.1	3.5	63.4	1.0140	0.9767	774000	1360	19.6	84	360	87.1	10.1	0.4	2.3	34.8	32.1	19.7	13.4	○	4.16	2.48	0.74	
原油C	10.3	18.4	11.7	2.7	57.0	0.9944	0.9569	4930	133	14.1	26	85	84.4	10.7	0.2	4.6	35.0	41.0	16.0	8.0	○	4.24	1.19	0.70	
原油D	12.7	16.5	18.2	2.8	49.8	0.9883	0.9508	6980	135	12.7	39	110	83.8	12.4	0.3	3.4	38.5	37.3	19.9	4.3	○	4.35	1.91	1.11	
原油E	16.2	18.6	18.6	3.5	43.2	0.9347	0.8966	543	30.6	4.81	8	11	86.7	12.1	0.2	0.9	61.2	26.7	11.7	0.4	○	4.74	3.07	1.35	

原油およびSDA・RDS・FCCの各プロセスにおける
原料性状・収率・反応性因子に関する 7 原油からなるデータベースを構築

非在来型原油10種類を製油所に適用可能な原油選定対象とすることに成功

まとめ：事業目標（当初案）を達成し、計画変更後目標に対しても対処案の提案ができた

当初目標	結果	判定
最適脱メタル触媒システムの実機適用により、SDA抽出率70%時、1年間の継続処理が可能となる新たなDAO処理用触媒システムを構築する。	実機RDS装置にて、計画よりも低温（高性能）で、1年間の継続処理が可能となった。	達成
DAO処理に適した脱硫触媒層の性能向上により、実機にてRDS生成油中窒素分を300ppm低減する。	RDS生成油中窒素分の低減量は660ppmに達する。 これにより、RFCC転化率も1.9%の向上となった。	達成
追加目標（計画変更後）	結果	判定
SDA抽出率を80%まで高めることに対応可能な新たなDAO処理用触媒システムを開発する。 - 迅速な詳細組成解析法確立 - 必要機能の提案	- 分析技術を確立した。 - 触媒システム見直しに加え、Rx温度差調整、原油軽質化対応（$\Delta API:0.3$）または運転期間短縮（250日）またはRx増設（15%分）で運転可能の見込み。	達成

事業アウトプット（研究開発の成果）：DAO処理に特化したRDS触媒システムを構築した

研究開発項目	最終目標 (2021年度)	成果・意義	達成 状況
脱メタル触媒システムの構築	構築した脱メタル触媒システムでの1年運転（実機による検証を含む）	SDA抽出率70%におけるDAOの処理に特化した脱メタル触媒システムを構築し、実機RDS装置へ適用することで、1年間安定運転可能であることを検証した。	達成
脱硫触媒システムの構築	構築した脱硫触媒システムでの1年運転（実機による検証を含む）	SDA抽出率70%におけるDAOの処理に特化した脱硫触媒システムを構築し、実機RDS装置へ適用することで、1年間暗転運転可能であり、かつ実機RFCCにおける性能向上を検証した。	達成
80%抽出率DAOの処理技術確立	SDAの抽出率を80%まで上げて処理可能なRDS処理用触媒システムを開発する。	SDA抽出率80%におけるDAOを処理するために必要な触媒性能を数値化し、触媒システムの見直しに加え、各種プロセス条件の見直しにより、運転可能となる条件を設定できた。	達成

知財や研究開発データの取扱い

JPECでは特許出願に関する基本方針を定め、この方針に従い石油会社等と「知財情報連絡会」を開催し特許出願を進めた。

＜特許出願に関する基本方針(概要)＞

(1) JPECは出願すべき発明の選択と出願を迅速に行う

(2) JPECは知財価値を事業参加会社や共同研究者等に積極的に正しく伝える

(3) JPECは出願特許の権利化を企業と共同で行う(単独では行わない)

年度	論文数	国内特許出願	国外特許出願	PCT出願	国際標準への寄与	プロトタイプの実成
2016年度 ～ 2020年	139件	19件	1件	1件	—	—
～2021年 度	1件	5件	3件	3件	—	—

＜補足＞

- ・ 査読付き論文数(共研先含む)は9件
(2021年4月以降投稿分がこの他に2件)
- ・ 研究成果の受賞歴
 - 2020年度石油学会論文賞受賞
 - 2019年度日本エネルギー学会進歩賞
 - 第30回日本エネルギー学会大会ポスター発表賞受賞
- ・ 特許は2021年度中に国内出願を3件程度追加予定。