

「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

2021年11月19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

本日ご説明する委託事業， 補助事業について

【経済産業省からの直執行事業】

「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費」
(一般財団法人石油エネルギー技術センター)

【経済産業省からの間接執行事業】

「高効率な石油精製技術に係る
研究開発支援事業費補助金」
(ENEOS株式会社[5テーマ]の内[2テーマ])
(出光興産株式会社[2テーマ]の内[1テーマ])
(一般財団法人石油エネルギー技術センター[事業管理])

I. 全体概要説明

- ご説明 8分
- 質疑応答 5分

II. 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費

- ご説明 20分
- 質疑応答 15分

III. 高効率な石油精製技術に係る研究開発支援事業費補助金

- ご説明 25分
- 質疑応答 17分

I. 全体概要説明

- ご説明 8分
- 質疑応答 5分

Ⅱ. 高効率な石油精製技術の基礎となる石油の構造分析・反応解析に係る研究開発委託費

- ご説明 20分
- 質疑応答 15分

Ⅲ. 高効率な石油精製技術に係る研究開発支援事業費補助金

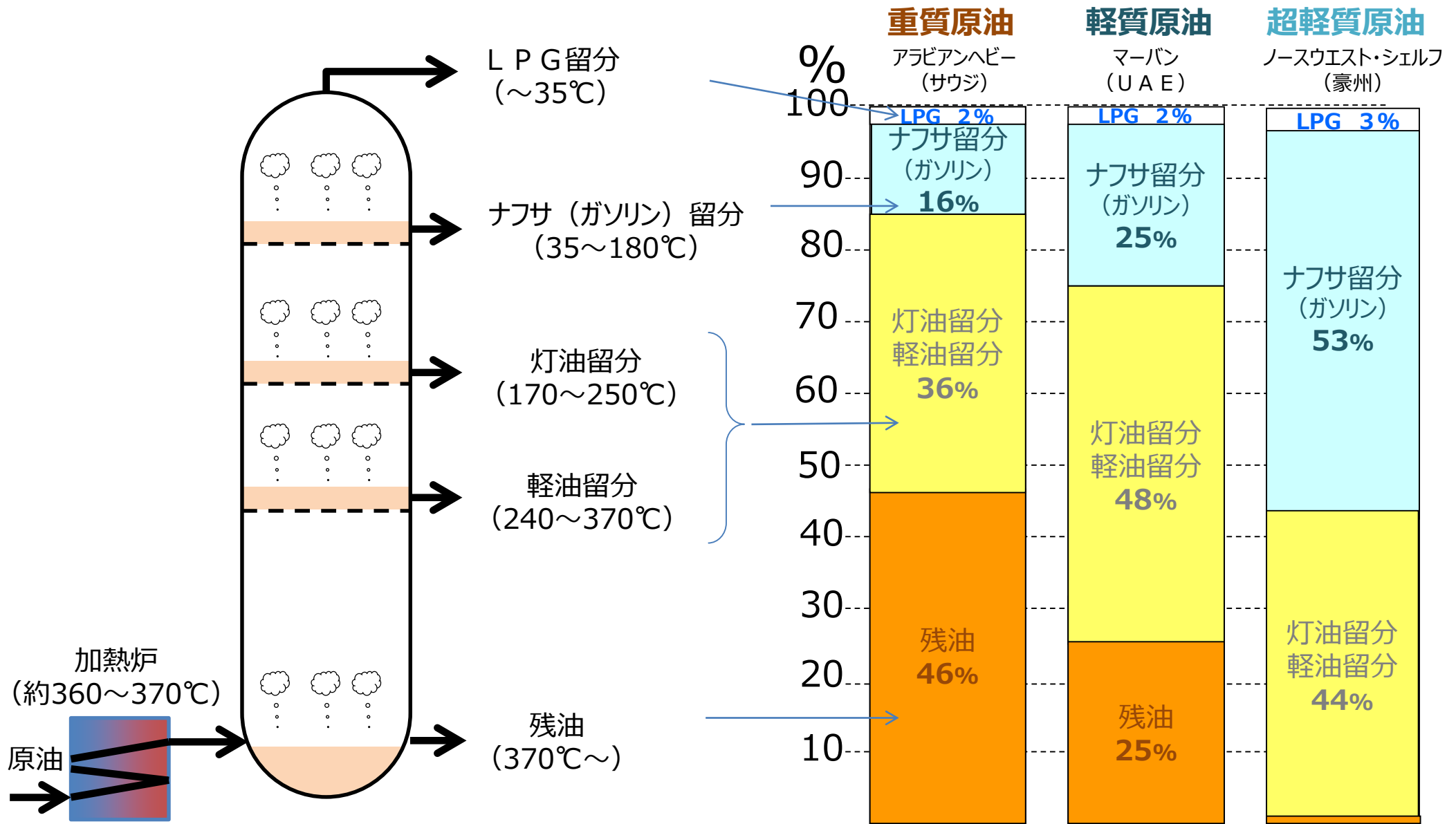
- ご説明 25分
- 質疑応答 17分

1. 事業の概要

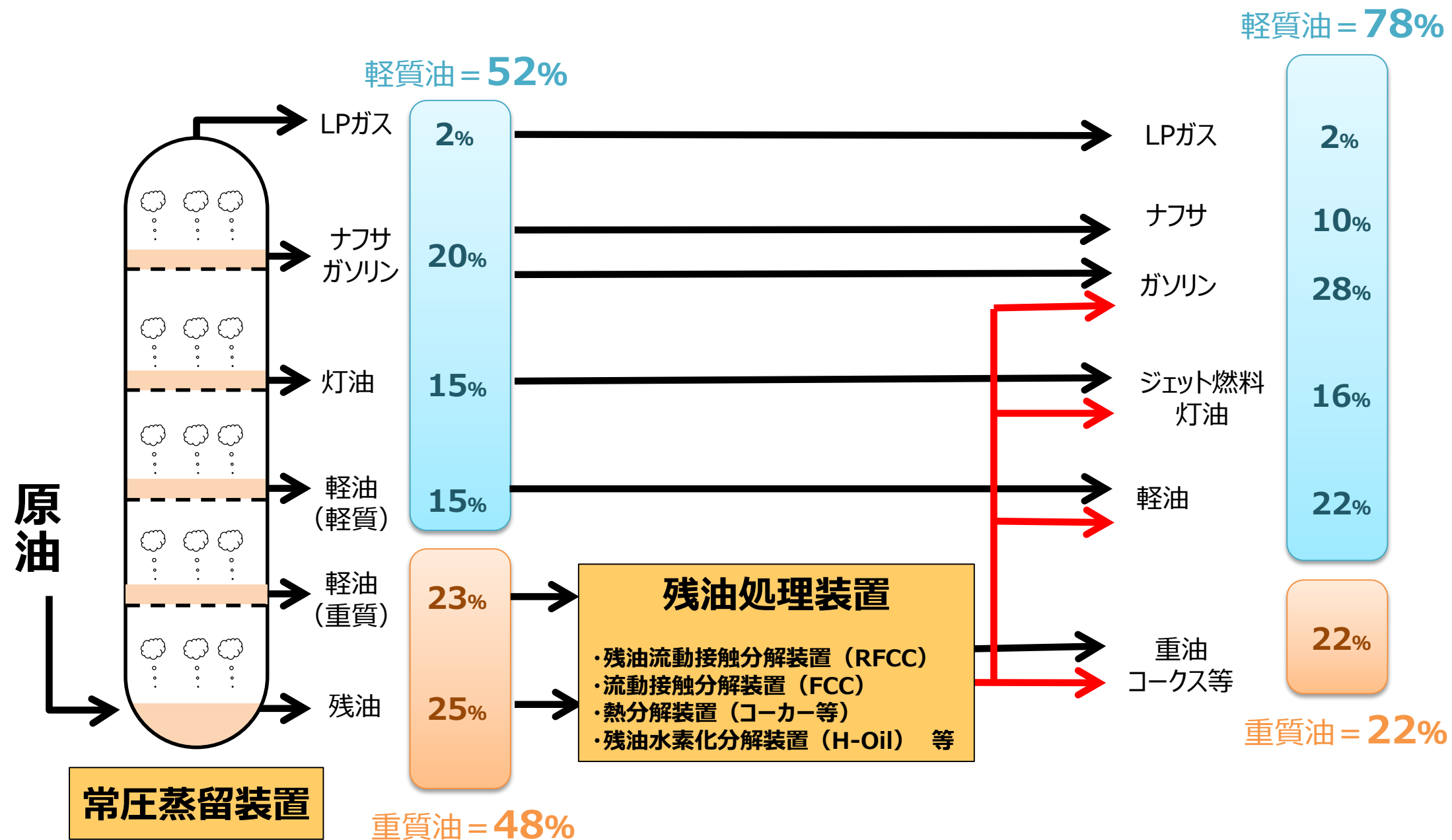
事業の目的	省エネの進展等による国内石油需要の減少、アジア新興国における大型・輸外型製油所の台頭による国際競争の激化など、我が国石油精製業を取り巻く事業環境は厳しくなっている。こうした中、将来にわたり石油の安定供給を確保していくためには、コストの安い原油等から高付加価値の製品を生産すること（石油のノーブル・ユース）や精製設備の稼働を長期間安定させること（稼働信頼性の向上）など石油製品を効率的に生産する能力を高めることで、原油の有効利用や調達原油の多角化（中東依存度の低減）を図る必要がある。 そのために、従来、組成が未解明のために処理が困難であった重質油について、分子レベルで組成を科学的に解明し、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



(補足説明)石油精製プロセスとは？（常圧蒸留装置・残油処理装置の仕組み）

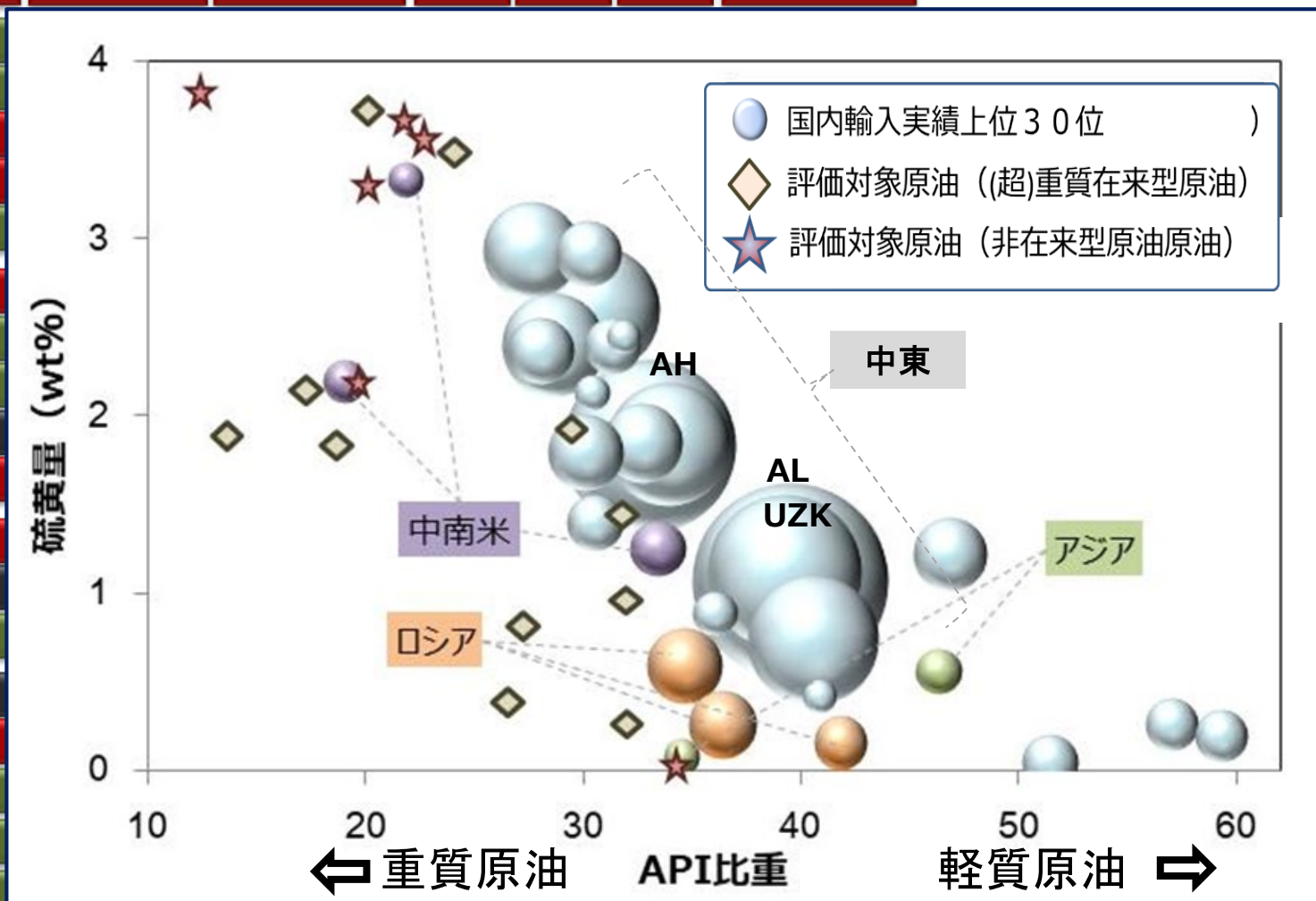


2. 本事業の政策的位置づけ／背景について

- ・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



2. 本事業の政策的位置づけ／背景について

- ・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)

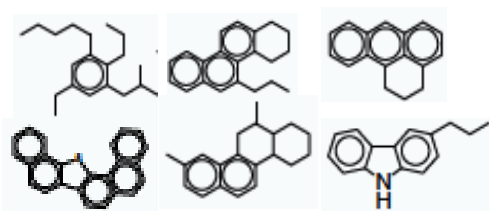
分子情報の詳細構造分析をもとにして分子反応モデリング、アスファルテン凝集挙動解析等の基盤技術開発を行う。

超高分解能質量分析装置
による詳細分析

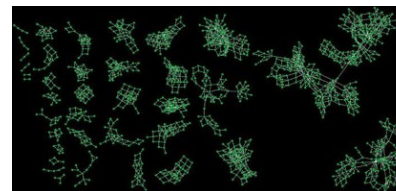


ペトロリオミクス技術

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



2. 本事業の政策的位置づけ／背景について

•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)。		

4. 当省（国）が実施することの必要性

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	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	J P E C
	アスファルテン凝集制御技術開発	J P E C
	革新的石油精製技術のシーズ発掘	【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」	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」	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」	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

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） 基盤技術開発

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）

石油のノーブルユース

稼働信頼性向上

実用化
技術開発
補助率：
2/3

a)ブタンの脱水素によるブタジエン製造技術の開発

ENEOS【1301】

b)先進的膜分離による高付加価値品回収技術開発

ENEOS【1302】

実証
技術開発
補助率：
1/2

c)RDS/RFCC全体最適処理技術開発

出光興産【1303】

e)非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析

ENEOS【1305】

f)重質残渣油のRFCC原料化のためのRDS触媒システム開発

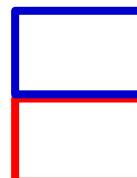
ENEOS【1306】

d)劣質原油処理における腐食機構の解明と対策

出光興産【1304】

g)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【1307】



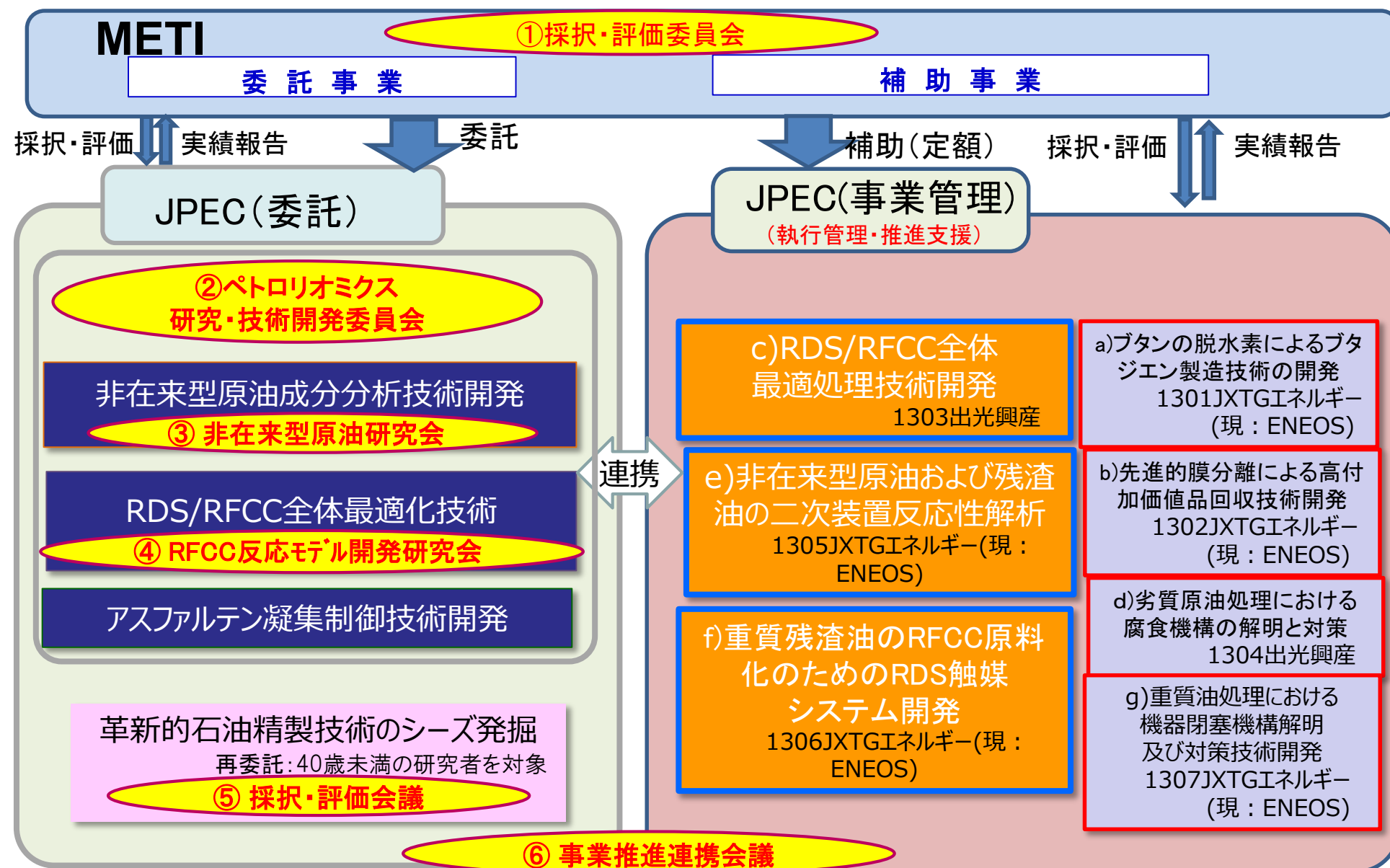
H28～R2年度で実施したテーマ（本日ご報告）

H28～H30年度で実施したテーマ

6. 委託事業と補助事業に連携について

報告書：6－3．研究開発の実施・マネジメント体制等

各研究会および事業推進連携会議で石油各社と情報共有し、委託・補助の連携強化を行った。
ペトロリオミクス技術全体について研究・技術開発委員会では有識者に助言をいただいた。



7. 事業アウトカム

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。

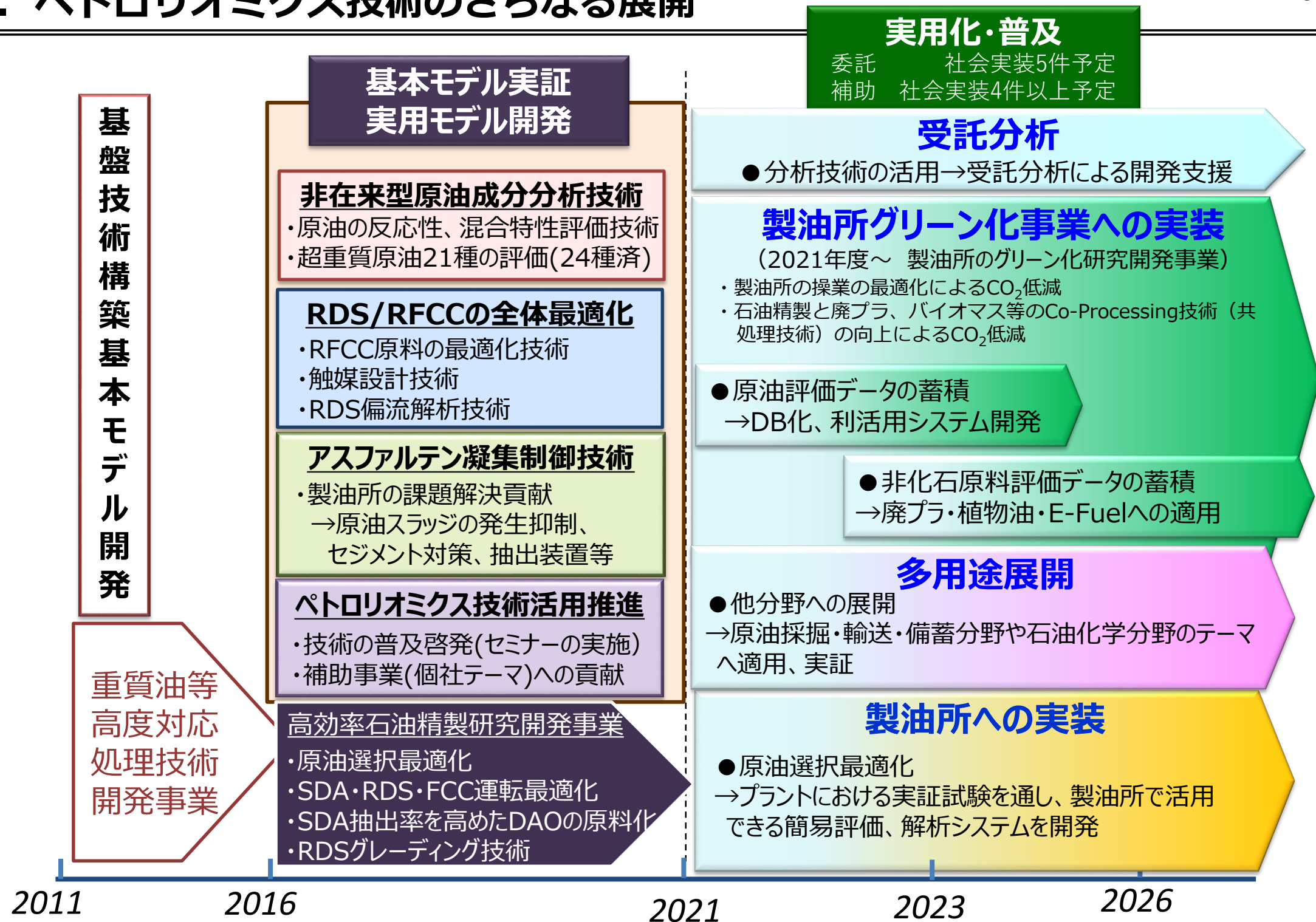
➤ e)1305 非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析

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



9. 費用対効果

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。

10. 知財や研究開発データの取扱い

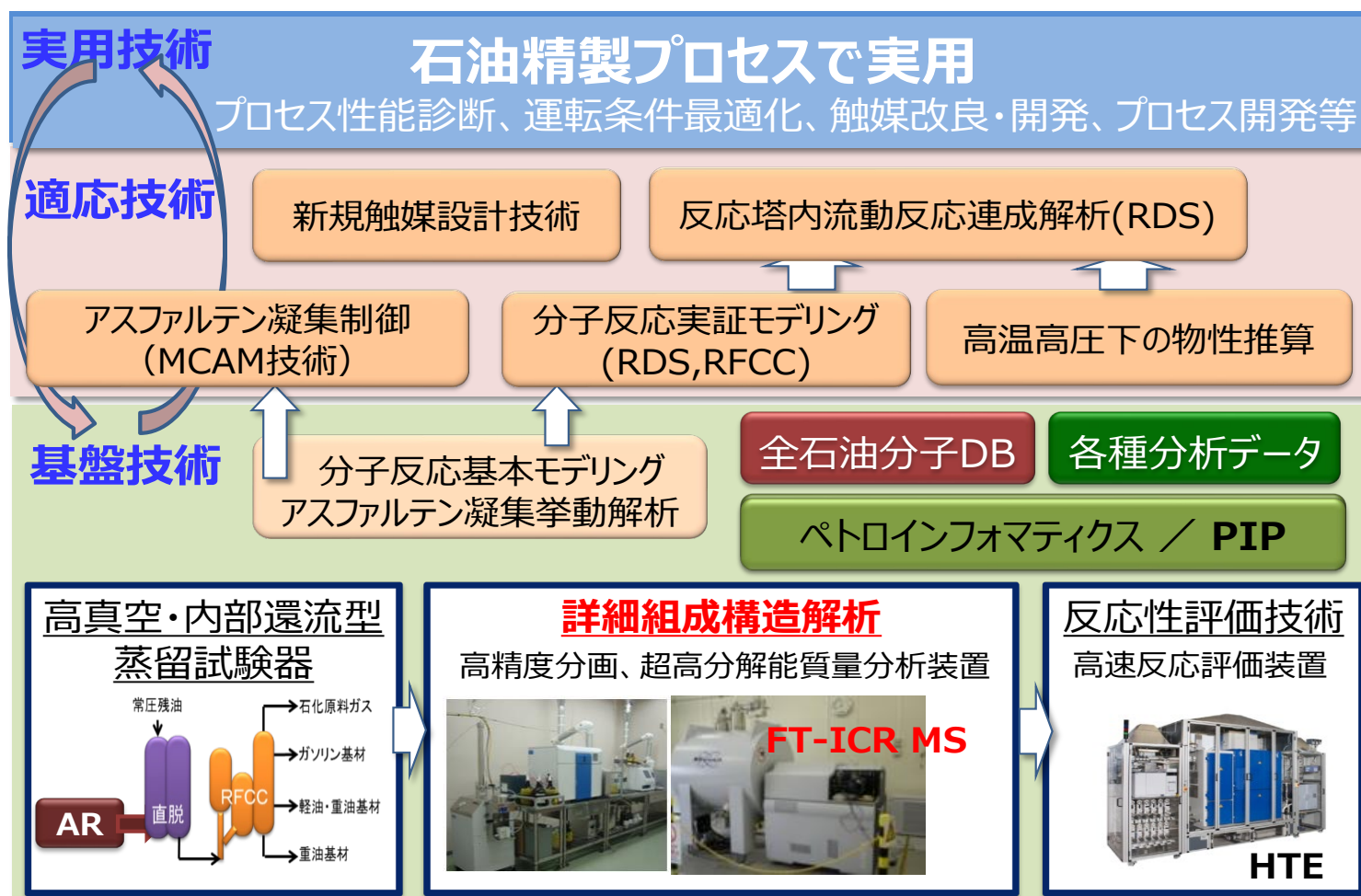
JPECでは特許出願に関する基本方針を定め、この方針に従い石油会社等と「知財情報連絡会」を開催し特許出願を進めた。

＜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)



11. 論文発表、特許出願等

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>

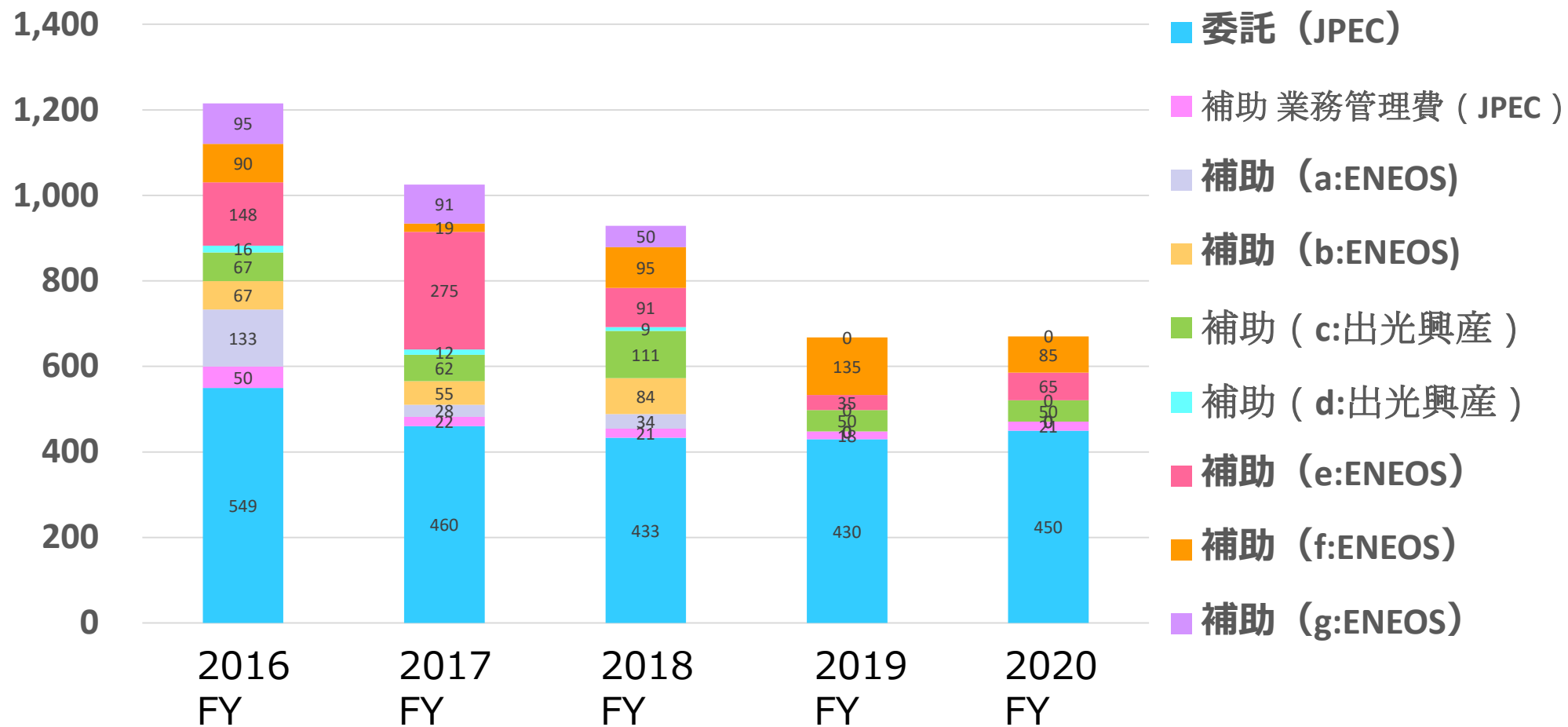
- ・ 査読付き論文数（共研先含む）は9件
（2021年4月以降投稿分がこの他に2件）
- ・ 研究成果の受賞歴
2020年度石油学会論文賞受賞
2019年度日本エネルギー学会進歩賞
第30回日本エネルギー学会大会ポスター発表賞受賞
- ・ 特許は2021年度中に国内出願を3件程度追加予定。

12. 資金配分

(単位：百万円)

研究開発項目	2016FY	2017FY	2018FY	2019FY	2020FY	合計
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）	549（委託）	460（委託）	433（委託）	430（委託）	450（委託）	2,322（委託）
②高効率な石油精製技術に係る研究開発支援事業（補助） 業務管理費	50（補助）	22（補助）	21（補助）	18（補助）	21（補助）	132（補助）
・石油精製実用化技術開発事業 a)「ブタンの脱水素によるブタジエン製造技術の開発」	133（補助）	28（補助）	34（補助）			195（補助）
b)「先進的膜分離による高付加価値品回収技術開発」	67（補助）	55（補助）	84（補助）			206（補助）
・石油精製実証技術開発事業 c)「RDS／RFCC全体最適処理技術開発」	67（補助）	62（補助）	111（補助）	50（補助）	50（補助）	340（補助）
d)「劣質原油処理における腐食機構の解明と対策」	16（補助）	12（補助）	9（補助）			36（補助）
e)「非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析」	148（補助）	275（補助）	91（補助）	35（補助）	65（補助）	615（補助）
f)「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」	90（補助）	19（補助）	95（補助）	135（補助）	85（補助）	425（補助）
g)「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」	95（補助）	91（補助）	50（補助）			236（補助）
計	1,215	1,025	925	668	670	4,508

単位 百万円



報告内容とスケジュール

I. 全体概要説明

- ご説明 8分
- 質疑応答 5分

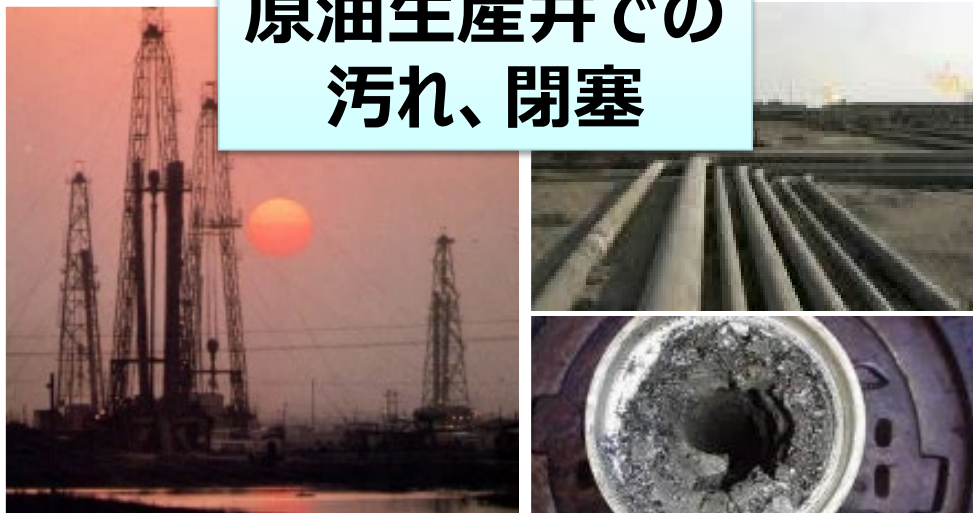
II. 高効率な石油精製技術の基礎となる石油の構造分析・反応解析に係る研究開発委託費

- ご説明 20分
- 質疑応答 15分

III. 高効率な石油精製技術に係る研究開発支援事業費補助金

- ご説明 25分
- 質疑応答 17分

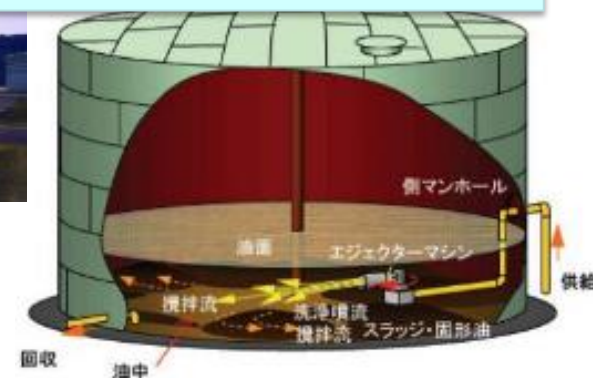
原油生産井での 汚れ、閉塞



<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

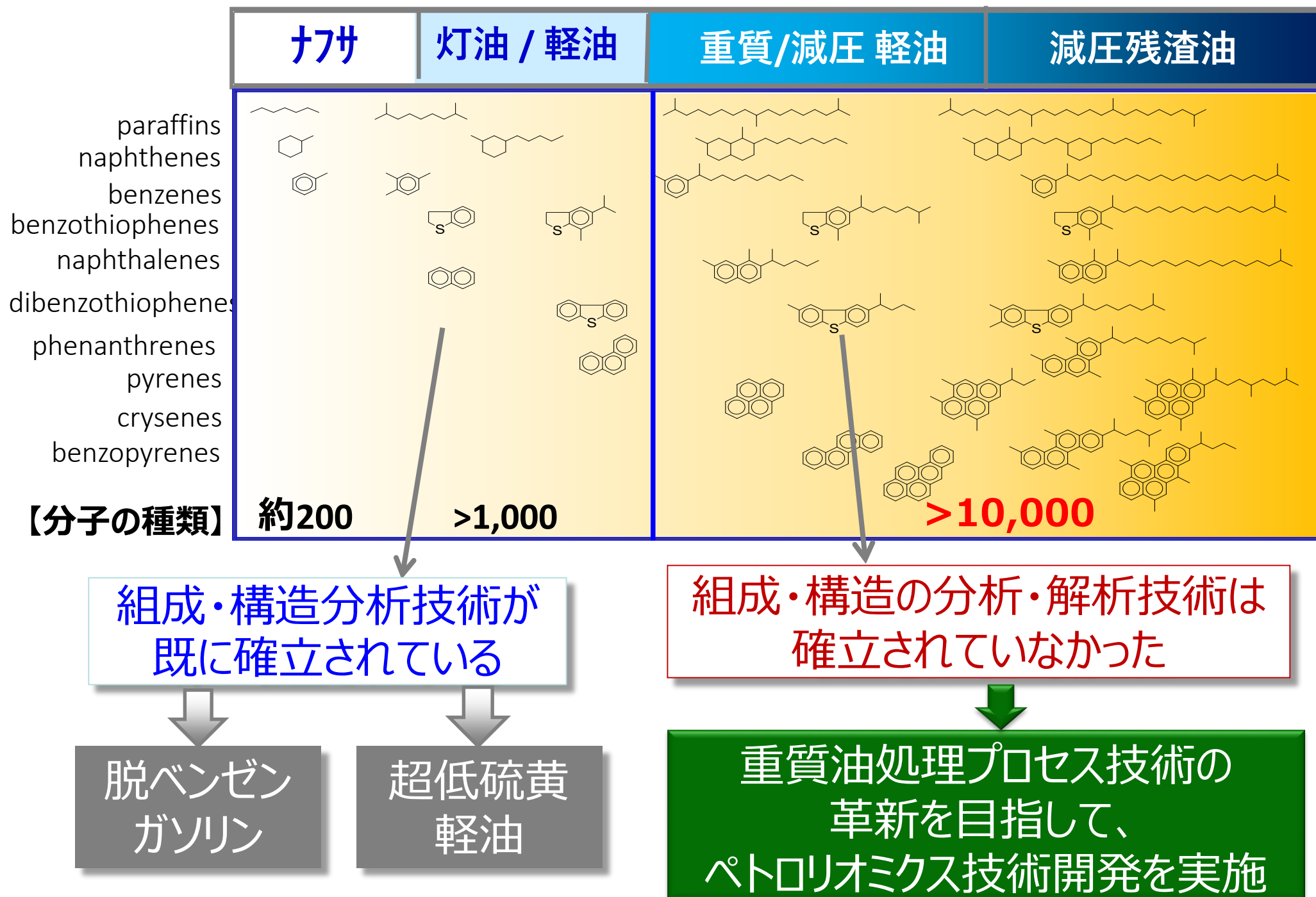


<https://www.chiyoda-corp.com/recruit/graduate/project/world.html>

- ・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



ペトロリオミクス技術開発の目的

(1) 本事業は、石油精製に関する技術開発を推進することにより、

- ・我が国のエネルギー安定供給に貢献すること、
- ・我が国の製油所が、海外に展開可能な国際競争力をもつこと

を目的として、我が国製油所の抱える主要課題である

- ①原油コスト低減を目指した「**非在来型原油・超重質原油処理**」に向け、
- ②原油一単位あたりの高付加価値製品の得率向上を目指した
「**石油のノーブルユース**」や、
- ③製油所高稼働を支える「**設備の稼働信頼性の向上**」

に資する開発リスクの高い基盤的な技術を開発すること。

(2) 石油精製に係る若手研究者の育成を目的に

- ④「**革新的石油精製技術のシーズ発掘**」

を実施すること。

非在来型原油・ 超重質原油 処理

非在来型原油成分分析技術開発

- 重質原油の評価に適した新規蒸留法の開発
- 原油混合時のスラッジ析出挙動評価手法開発
- 未利用原油の二次装置(RDS)での反応性評価手法開発
- 未利用原油の精製に必要な原油評価データ取得

石油の ノーブルユース

RDS/RFCC全体最適化技術

- RFCC得率予測モデル開発(好適な原料条件明確化)
- RDS触媒設計技術開発 (RFCCに好適な原料実現)
- RDS偏流解析モデル開発 (RDS安定運転への貢献)
- RDS触媒劣化モデル開発 (RDS装置運転最適化)

設備の稼働 信頼性の向上

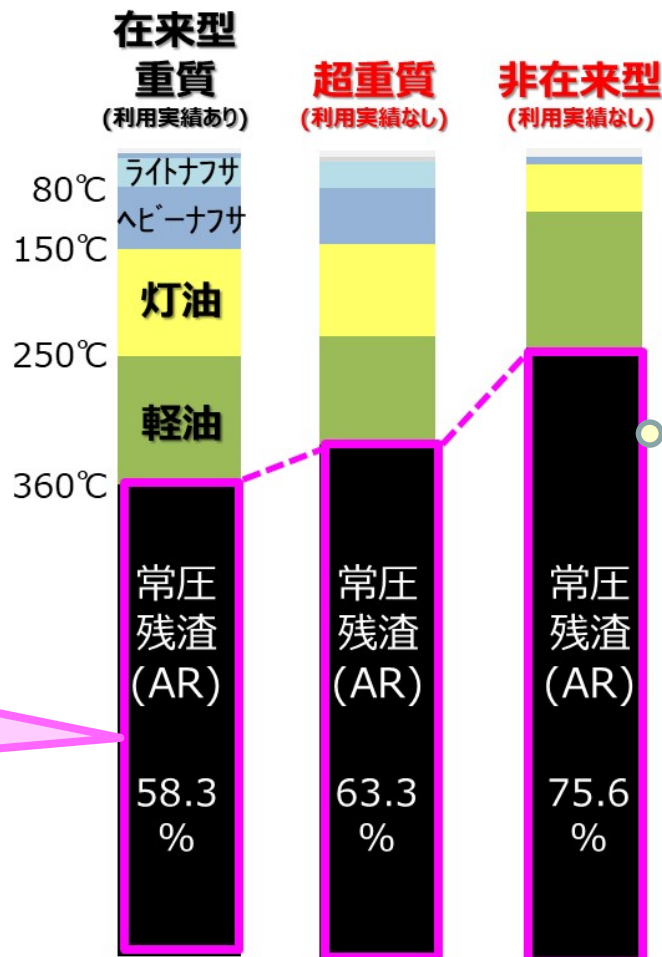
アスファルテン凝集制御技術開発

- 減圧残油水素化装置のセジメント予測
- 減圧残油溶剤脱れき装置抽出物予測

非在来型原油 超重質原油 処理

非在来型原油成分分析技術開発の狙い

- 非在来型原油や超重質原油等、処理経験のない原油を処理するには、
①製品得率 & 品質、②原油混合に起因するスラッジ発生の有無、
③二次装置での反応性(プロセス適合性)等の情報の事前入手が不可欠
- これらの評価に必要な技術開発を行い、原油DBを構築する

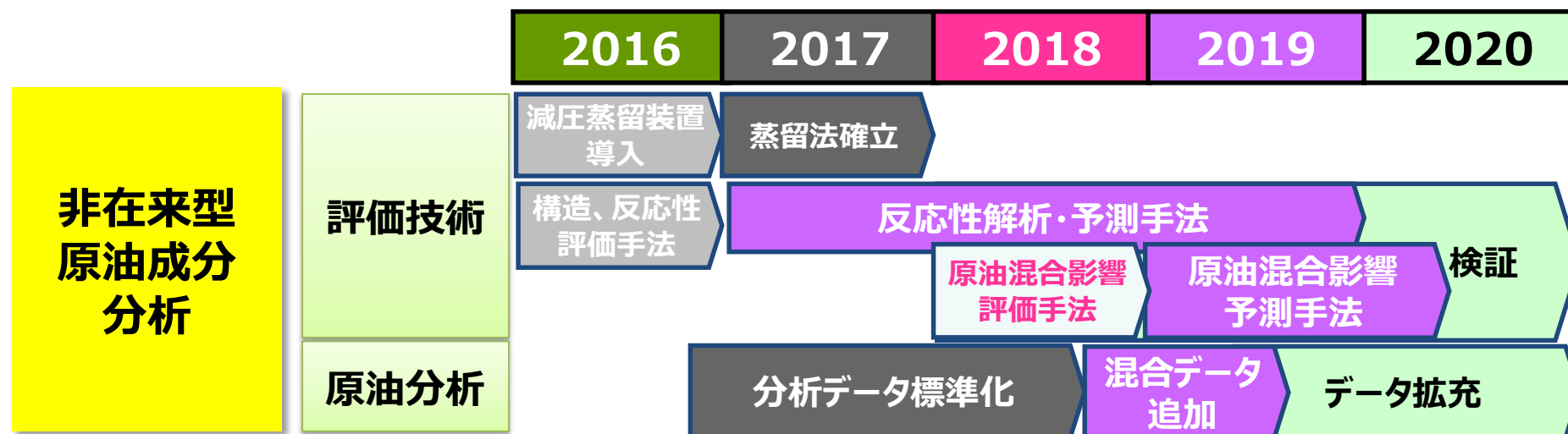


重質原油ほど
重質留分
の比率大

未利用原油を活用するには比率
の高い重質留分の二次装置での
反応性や他原油との混合可否
の考察に資する情報が不可欠

＜必要な技術＞

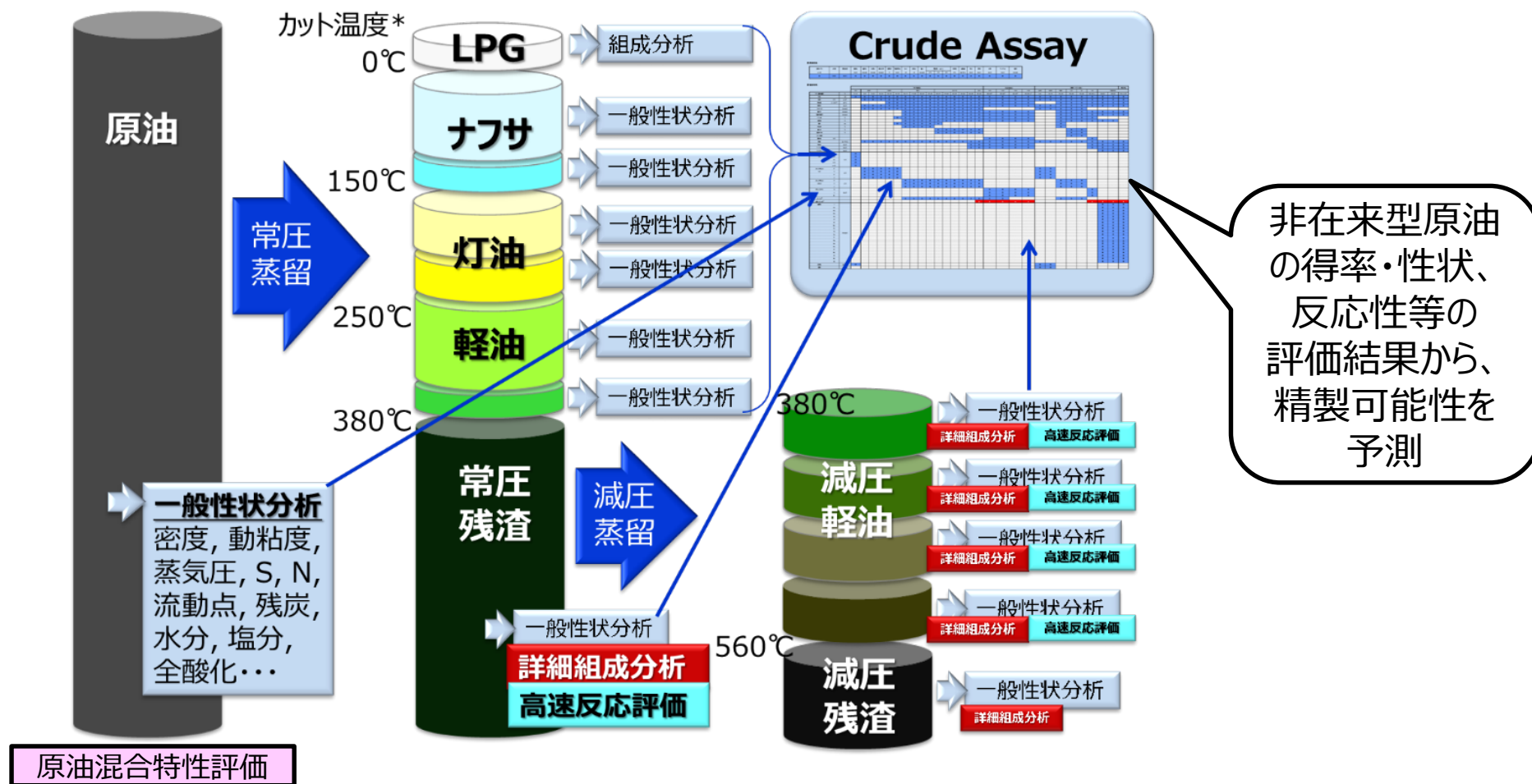
- ・ より高沸点な留分の採取・精密な蒸留法
(→新規蒸留法の開発)
- ・ 高沸点留分の詳細組成構造解析
(分子組成データの取得)
- ・ 分子組成データ活用による原油混合特性、
重質留分の反応性の予測技術



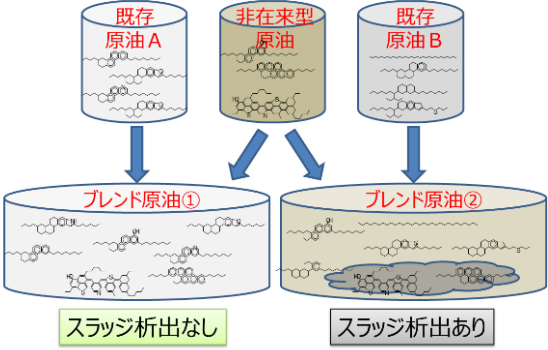
最終目標	達成状況
①高沸点留分蒸留技術 (超)重質原油に適した減圧蒸留法の確立	①達成： 最高留出温度が従来法より40℃高い新規減圧蒸留法を開発。これにより、超重質原油等の重質留分の構造組成や反応性を評価するための基盤技術を確立
②原油混合特性予測 多成分系凝集モデル(MCAM)による原油混合時のスラッジ析出量予測技術の確立	②達成： MCAMにより、超重質原油と軽質原油混合時のスラッジ析出量を原油の成分情報から予測する技術を開発。予測精度は原油調達可否判断に資するレベル
③常圧残油反応性予測 非在来型原油等の常圧残油の二次装置(RDS)での反応性(脱硫・脱窒素率)予測法の構築	③達成： 分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

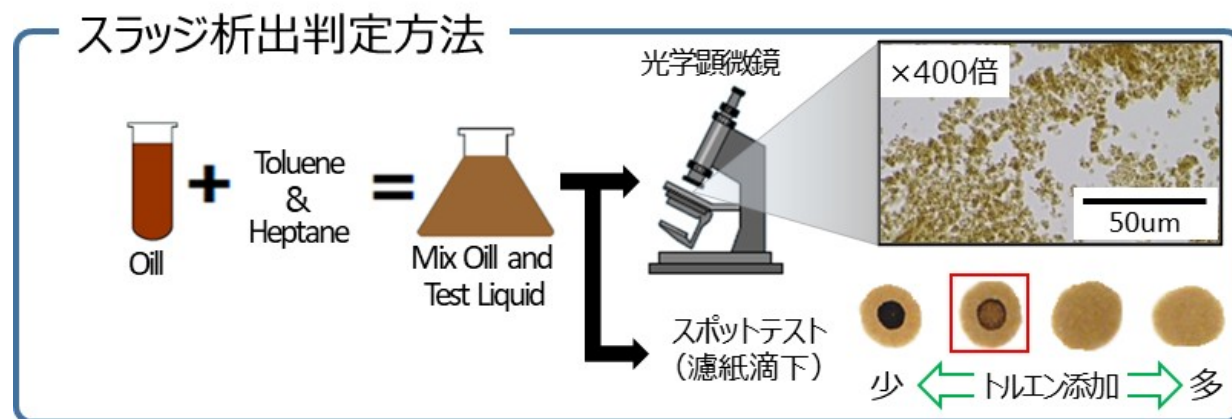
事業アウトカム指標	目標値 (計画)	達成状況	
令和2年度までに、国内製油所で精製実績のなかった非在来型原油21種について、精製を可能にする	21原油	21原油 ・ 達成	石油各社とも協議の上、原油調達方針を決め、21種類の原油を選定。処理実績のない原油の製油所処理に必要な評価データを取得し、石油会社に提供した。



研究開発成果(事業アウトカム②)

事業アウトカム指標	目標値 (計画)	達成状況	
令和2年度までに、国内製油所に適する重質原油と軽質原油の組み合わせを15件確立する。 	15件	21件 ・ 達成	- 重質原油と軽質原油を混合した際の相溶性(=スラッジ析出の有無)を実験的に評価する手法を決定 - 国内製油所に適する組み合わせ(*)を21件見出した (*)国内製油所で処理している平均的な原油と同等以上(API34以上、硫黄分1.9wt%未満、スラッジ析出なし)となる組合せ

【原油相溶性評価試験(Wiehe法)概要】



【スラッジが発生しない組合せ例】

※軽質原油比率20vol%

軽質原油	重質原油	混合原油		
		API	硫黄分 (wt%)	スラッジ析出
WTI	Arabian Heavy	38.7	0.8	あり
	Lloyd	35.8	0.9	なし
	Lula	38.7	0.2	なし
	FortHill	37.9	0.8	あり

石油の ノーブル ユース

RDS/RFCC全体最適化技術の狙い

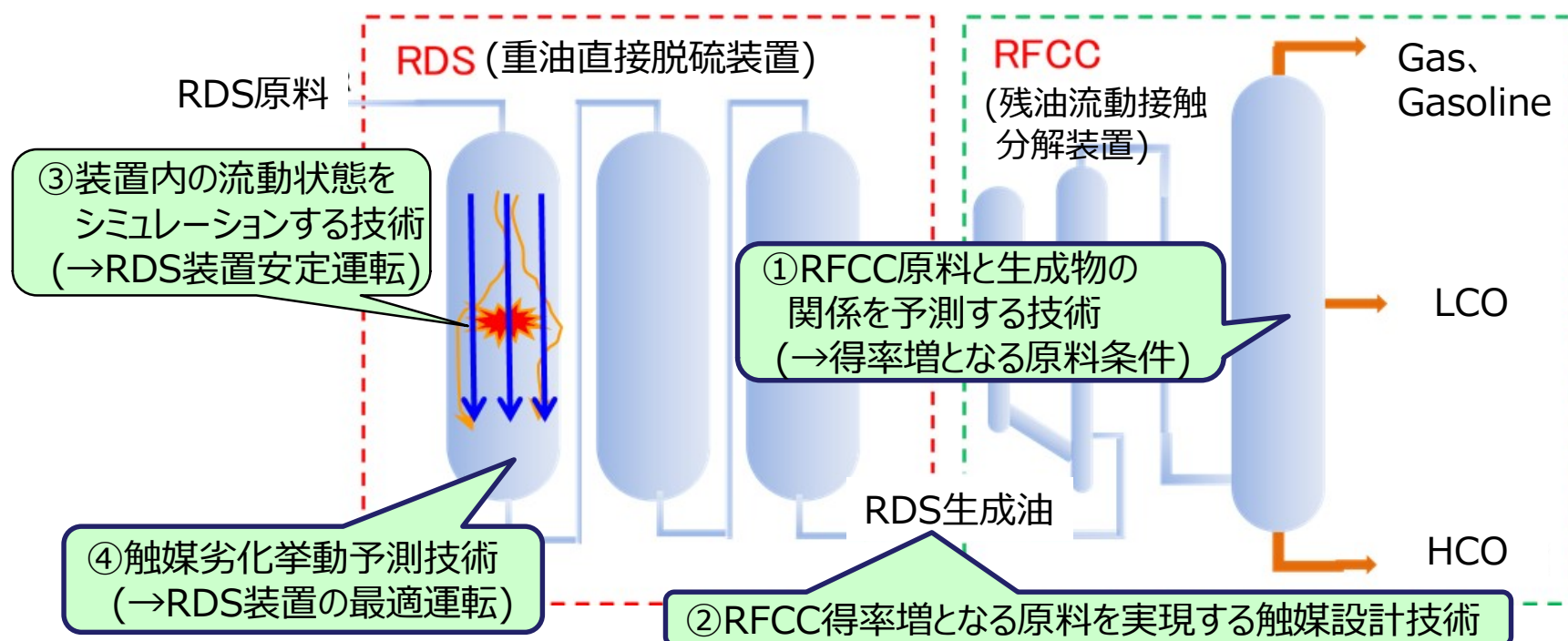
非在来型原油や未処理の重質原油等进行处理する場合においても、「石油のノーブルユース」の高度な実現は重要

⇒ノーブルユースの要となるRFCCの更なるパフォーマンス向上のため、RDSとRFCCを一体と考え、各装置のパフォーマンスを向上する

<設定テーマ>

- ①RFCC得率予測モデル開発
- ③RDS偏流解析モデル開発

- ②RDS触媒設計技術開発
- ④RDS触媒劣化予測技術開発



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

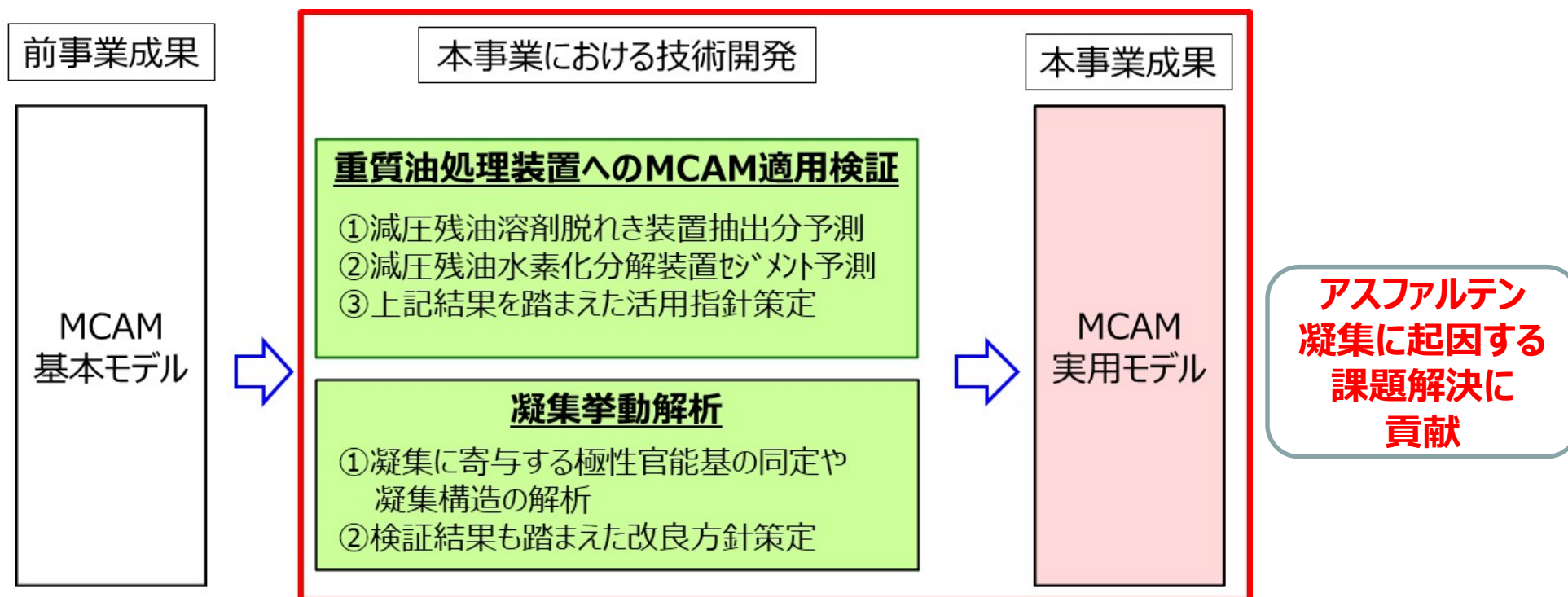
研究開発成果(事業アウトプット) ③アスファルテン凝集制御技術

設備の稼働
信頼性の向上

アスファルテン凝集制御技術開発の狙い

- ・原油中のアスファルテンは製油所の様々な問題の主要因の1つ
 - ・原油が重質化するほどアスファルテン起因の問題が起きる確率UP
 - ・アスファルテンは挙動が複雑であり、定量的に予測する手法はない
- ⇒重質油処理装置を安定的に運転するため、アスファルテンを含む重質成分の析出・溶解挙動を定量的に予測する手法を確立する

MCAM(*)検証を通じて重質油処理装置に適用出来るツールに仕上げる&汎用性拡大に向けた改良点抽出



(*)MCAM:多成分凝集モデル(Multi-Component Aggregation Model)

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 アスファルテン分子 ナノ凝集体 高次凝集体 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

35

第1期(平成28年度～平成30年度)採択テーマ(参考)

提案テーマ	分野	提案者	研究概要
液体金属触媒による未利用オフガス化学転換	触媒	東京工業大学 荻原助教 (現在:埼玉大准教授)	メタン、エタン等の混合ガスを低級オレフィンと芳香族化合物に転換する触媒の開発
硫化物触媒の格子 S^{2-} のレドックス機能を活用した低級アルカンの選択脱水素プロセス創生		静岡大学 渡部助教 (現在:准教授)	製油所内のプロパン、ブタンをプロピレン、ブタジエンに転換する硫化物触媒の開発
LPガスの脱水素によるブタジエン合成のためのゼオライト触媒の開発	触媒	北九州市立大学 今井准教授	LPガスを低級オレフィンとブタジエンに転換する脱水素用ゼオライト触媒を開発する
減圧軽油(VGO)の多面的高度利用プロセスの開発	触媒	鳥取大学 菅沼助教 (現在:講師)	減圧軽油(VGO)を、直鎖アルカンとアルキルベンゼンに転換する部分核水添、開環触媒システムを開発する
簡易型プロセス監視・制御シミュレータを用いたノンテクニカルスキル実践訓練手法の開発	安全	東北大学 狩川准教授	航空、原子力、海運、医療分野で注目されているヒューマン・ファクターという概念を製油所の業務に適用し、ヒューマンエラー防止に必要なスキル要素の訓練手法を開発し、有効性を評価する。
石油精製工場におけるビッグデータを活用した安全かつ効率的なプラント管理手法の確立	プロセス	東京大学 金子助教	精製所の運転データ等のビッグデータを収取して、製品性状を推定するソフトセンサーを開発し、このソフトセンサー技術を活用した異常検知モデルも構築する。 (H29年度継続中止、明治大学に異動)

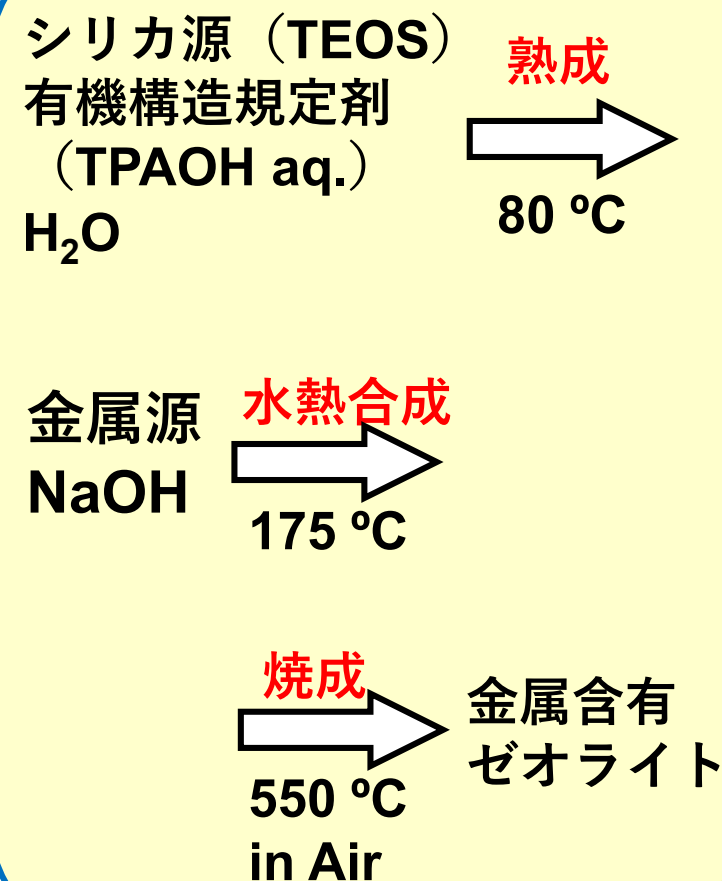
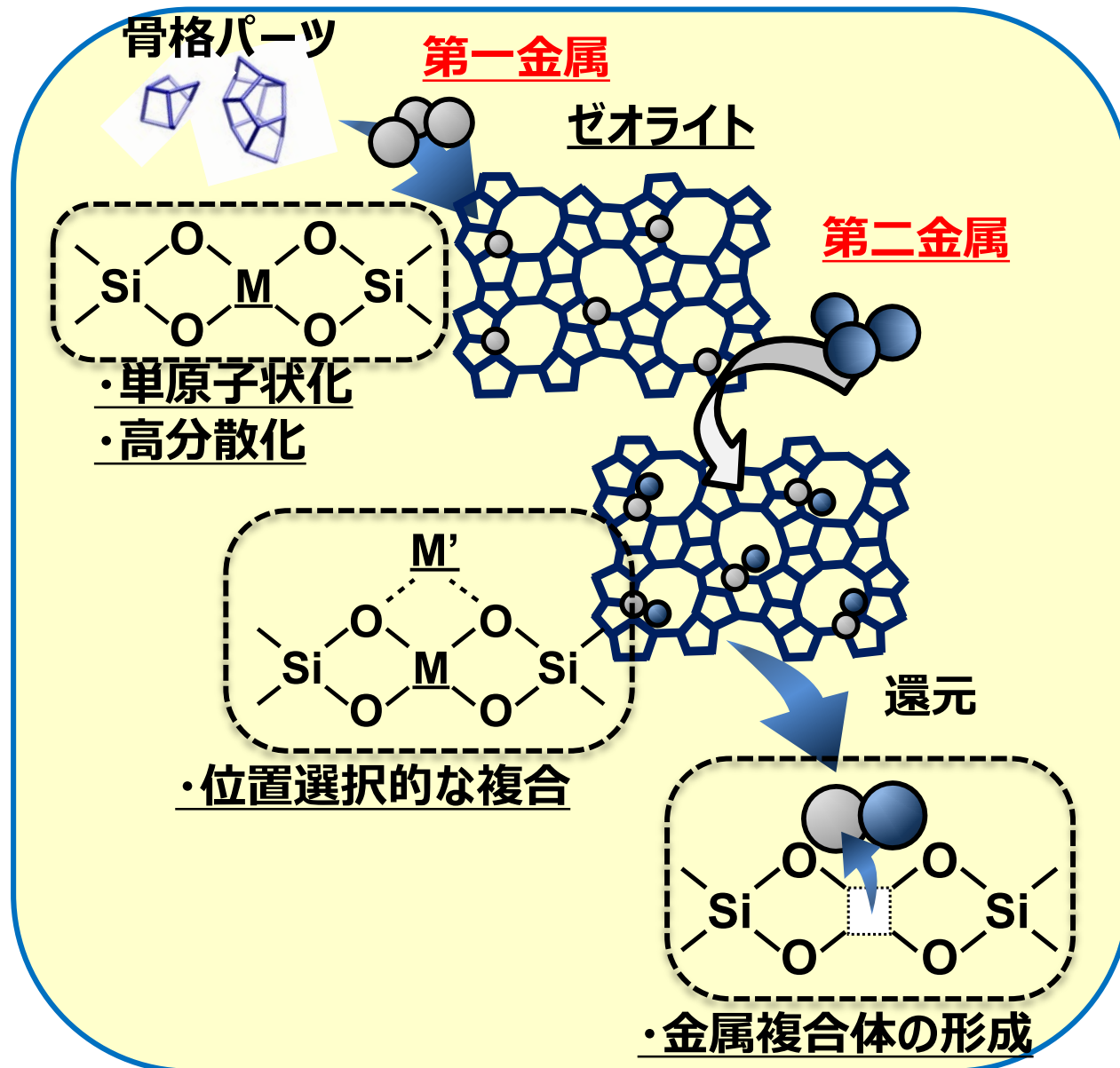
研究開発成果(事業アウトプット) ④革新的石油精製技術のシーズ発掘

第2期（平成31-令和2年度）採択テーマ

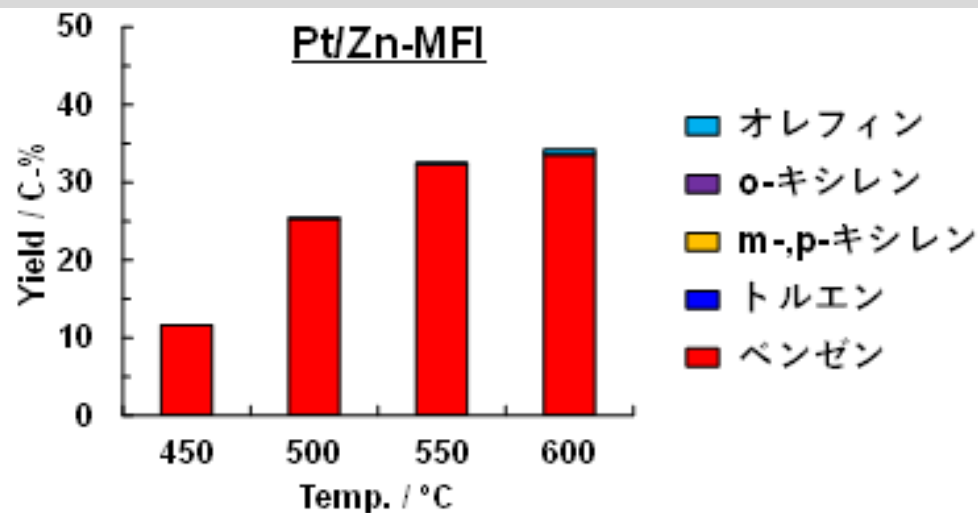
提案テーマ	分野	提案者	達成状況
触媒活性点を制御した金属担持ゼオライト触媒によるナフサ接触分解の超低温化	触媒	東京工業大学 藤墳助教	達成 金属と固体酸点を近接配置する触媒開発から、ナフサ留分からプロピレンやC4オレフィンを450℃以下で既存のナフサ分解プロセスと同等の低級オレフィン生産量(空時収率: 10 g-olefin/g-cat h)を達成。
電場触媒反応を用いた低温高選択的ブタン脱水素プロセスの開発	触媒	早稲田大学 比護研究員講師	未達 触媒層に電場を印加し、n - ブタン脱水素を試み、選択的に C4 オレフィン類を生成プロセス開発を実施し、400 ℃以下で1, 3-ブタジエ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。

・新規固体触媒開発

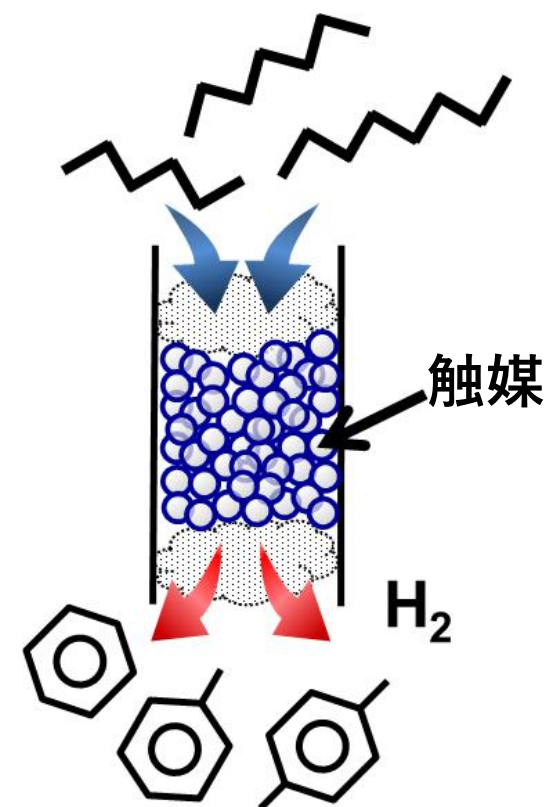
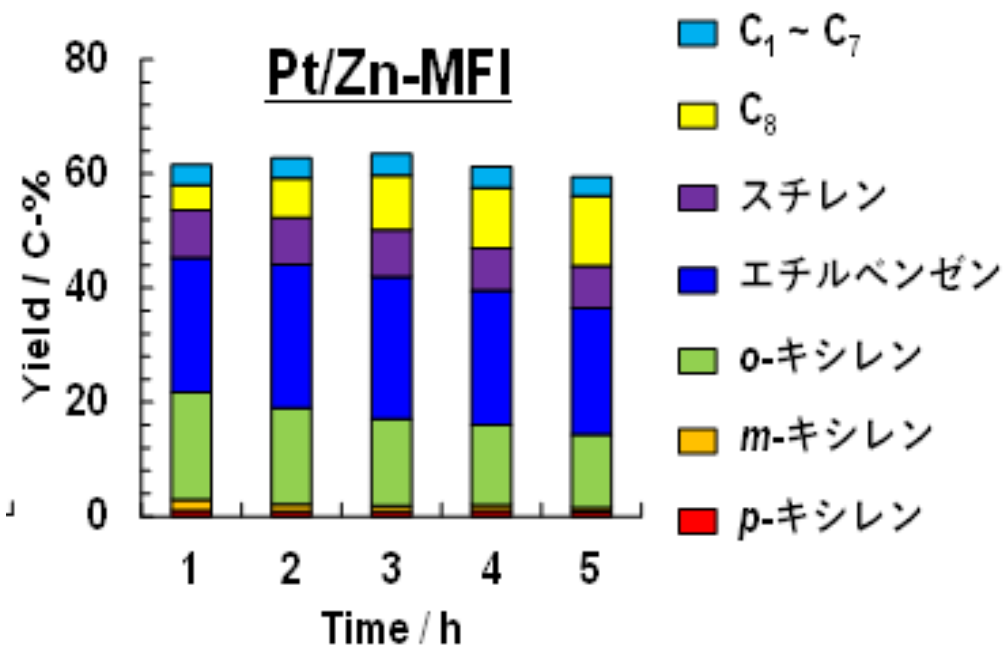
熟成と水熱合成の組合せからゼオライトへの導入金属量増
及び異種金属同時導入に成功



- Pt/Zn-MFI触媒でn-ヘキサンを選択率約100%でベンゼンを生成



- Pt/Zn-MFI触媒でn-オクタンから環化生成物を収率約50%、キシレン収率約20%を達成



実用化

各社の技術・知見と融合し、各社のニーズに合致したモデル・触媒を開発し、プロセスに実装

石油会社での活用

反応予測モデル
(補助事業)

反応モデル
開発

触媒開発
(補助事業)

触媒開発

他分野展開

資源開発分野等
アスファルテン等の
重質成分に起因
する課題解決に貢献

製油所グリーン化対応

ペトロリオミクス技術と
デジタル技術を組合わせ、
GHG排出量削減に資する
技術を開発

適応技術開発

重質油の成分情報を使いこなすための各種ツールを開発

適応技術(JPEC)

非在来型原油
成分分析技術

RDS/RFCC
全体最適化技術

アスファルテン
凝集制御技術

共通基盤技術開発

ペトロリオミクス技術の出発点となる重質油の成分分析技術、重質原油利用のための原油DB等構築

共通基盤技術(JPEC)

全石油分子データベース

構造式-沸点、密度、粘度、エンタルピー等

原油データベース

原油種、構造-組成、一般性状、反応性

蒸留試験

詳細組成構造解析
分画（高速分離技術）、分析(FT-ICR-MS)

反応評価試験

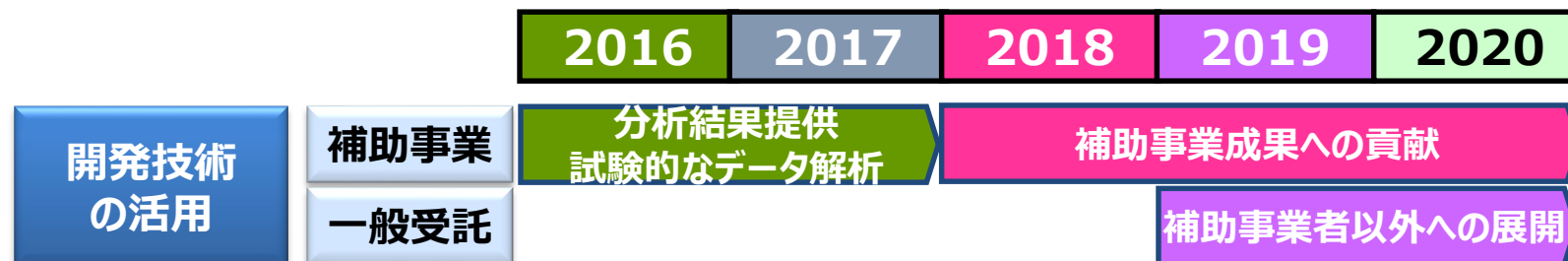
原油、重質油

委託事業と補助事業者との主な連携事例



テーマ名	ペトロリオミクス技術適用課題	成果事例
RDS/RFCC 全体最適処理 技術開発 (出光1303)	①RFCCでの分解向上のためのRDS システム開発 ②RFCC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 ②RDS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
非在来型原油 および残渣油の 二次装置 反応性解析 (ENEOS1305)	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 により減圧残渣油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
重質残渣油の RFCC原料化のためのRDS触媒 システム開発 (ENEOS1306)	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

研究開発成果(成果の活用状況) ②補助事業者以外



- 2019年度から補助事業者以外からの分析受託開始。
実績：2019年度38件、2020年度67件
- アスファルテン凝集、セジメント析出関連の研究課題での依頼が中心

	分析事例(依頼元の狙い)
石油精製分野	直脱生成油の分析(セジメント生成要因検討)
石油資源開発分野	原油の重質留分の組成分析(原油生産井での課題解決)
石油備蓄分野	石油備蓄タンクに堆積するセジメントを構成する分子の構造、極性成分、アスファルテン分等の分析(石油備蓄タンクに堆積するセジメント低減)
その他	
①素材メーカー	石炭系ピッチの分析
②大学等	廃プラ油評価

- 分析・解析結果は、現象の本質理解に繋がりうる分子レベルの情報が得られる技術として高い評価を頂いており、今後も分析受託を通じて各社の技術課題解決に貢献していくとともに、その中で技術を磨き、より多くの分野で使って頂ける技術へと発展させて行く予定

報告内容とスケジュール

I. 全体概要説明

- ご説明 8分
- 質疑応答 5分

II. 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費

- ご説明 20分
- 質疑応答 15分

III. 高効率な石油精製技術に係る研究開発支援事業費補助金

- ご説明 25分
- 質疑応答 17分

1303 RDS／RFCC全体最適処理技術開発

1305 非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析

1306 重質残渣油のRFCC原料化のためのRDS触媒システム開発

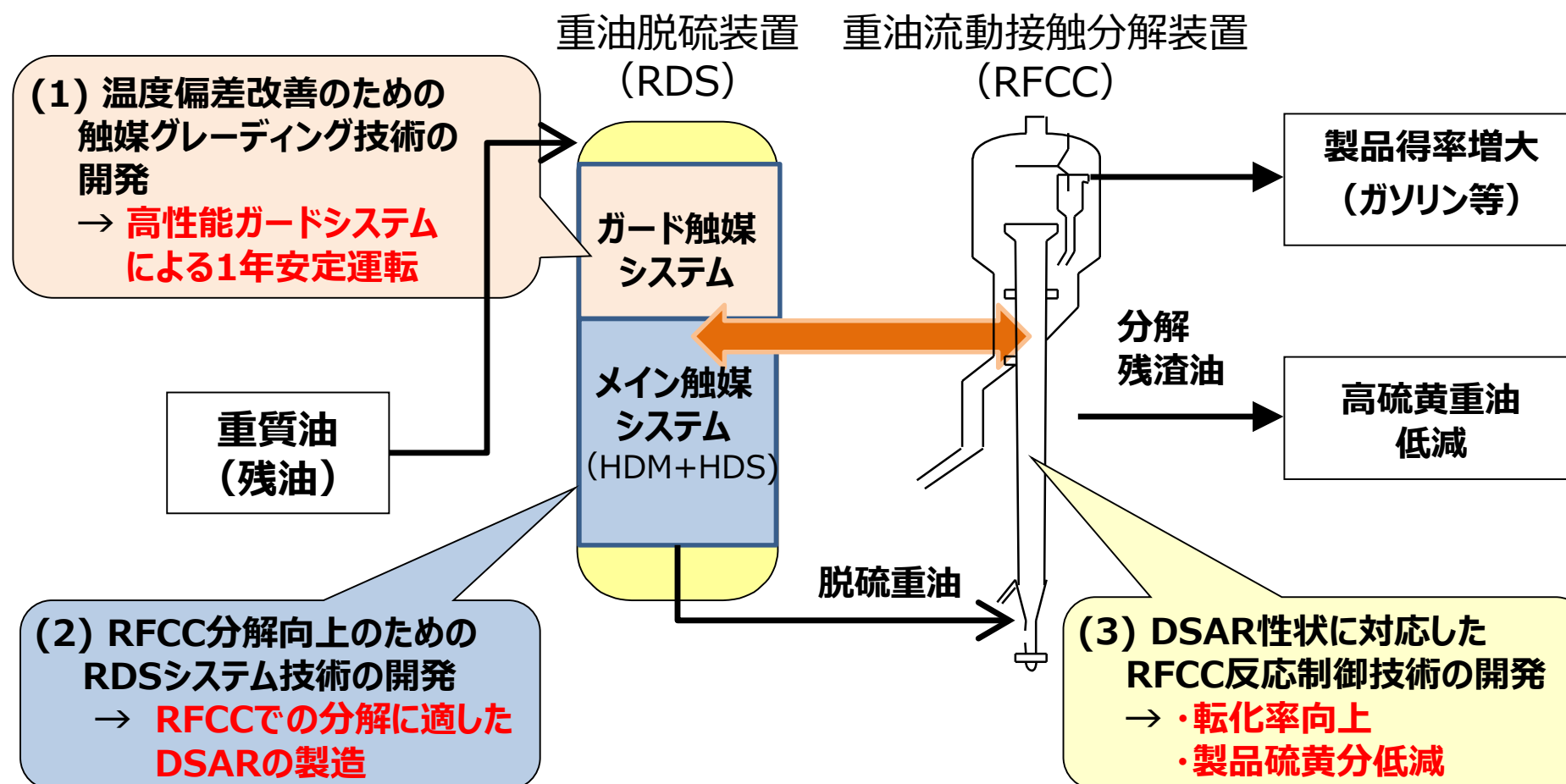
1303 RDS／RFCC全体最適処理技術開発

1305 非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析

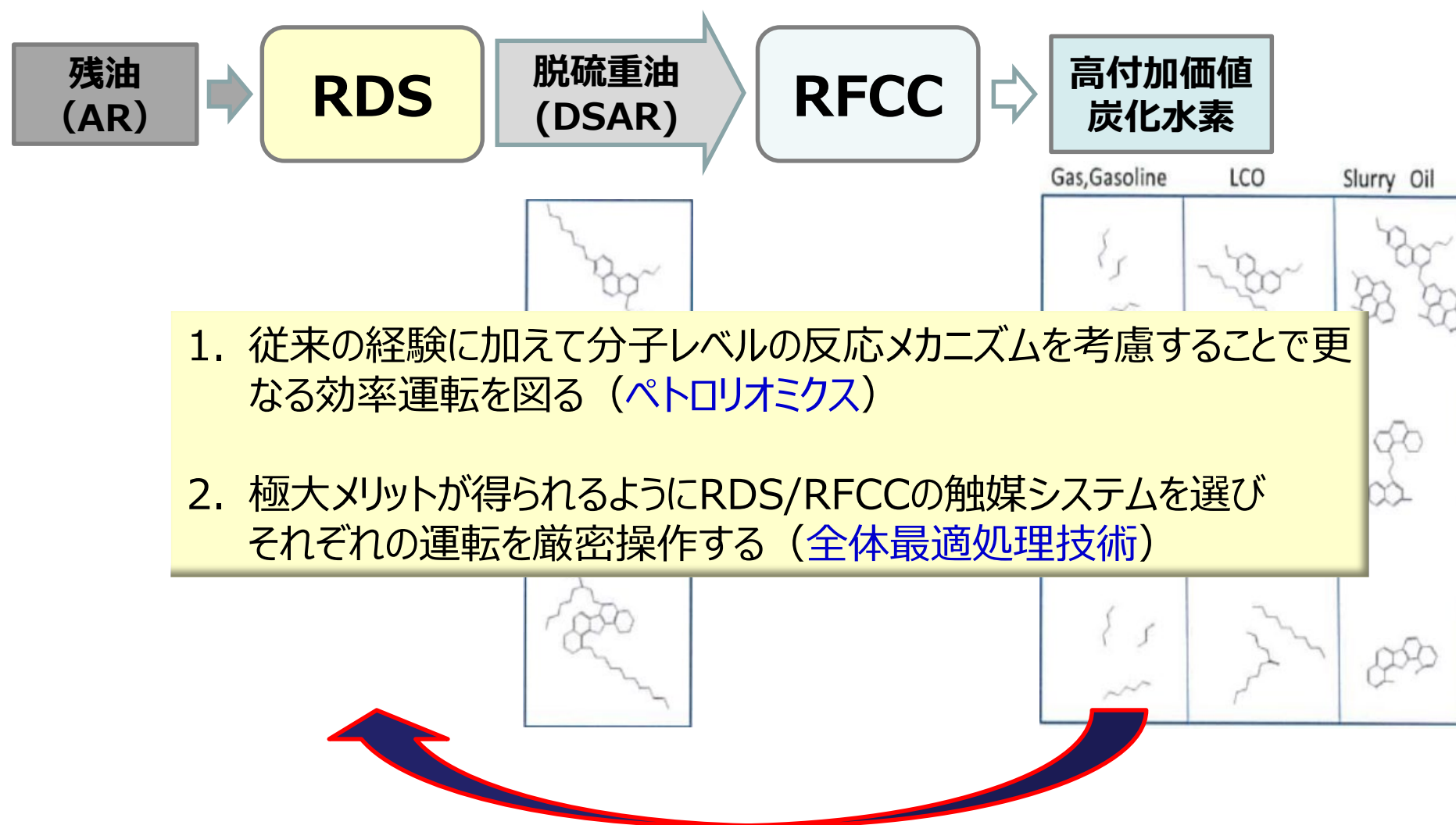
1306 重質残渣油のRFCC原料化のためのRDS触媒システム開発

1. 背景・目的

RDS/RFCC装置の最大活用・最大効率運転により
石油の更なるノーブルユースを実現する



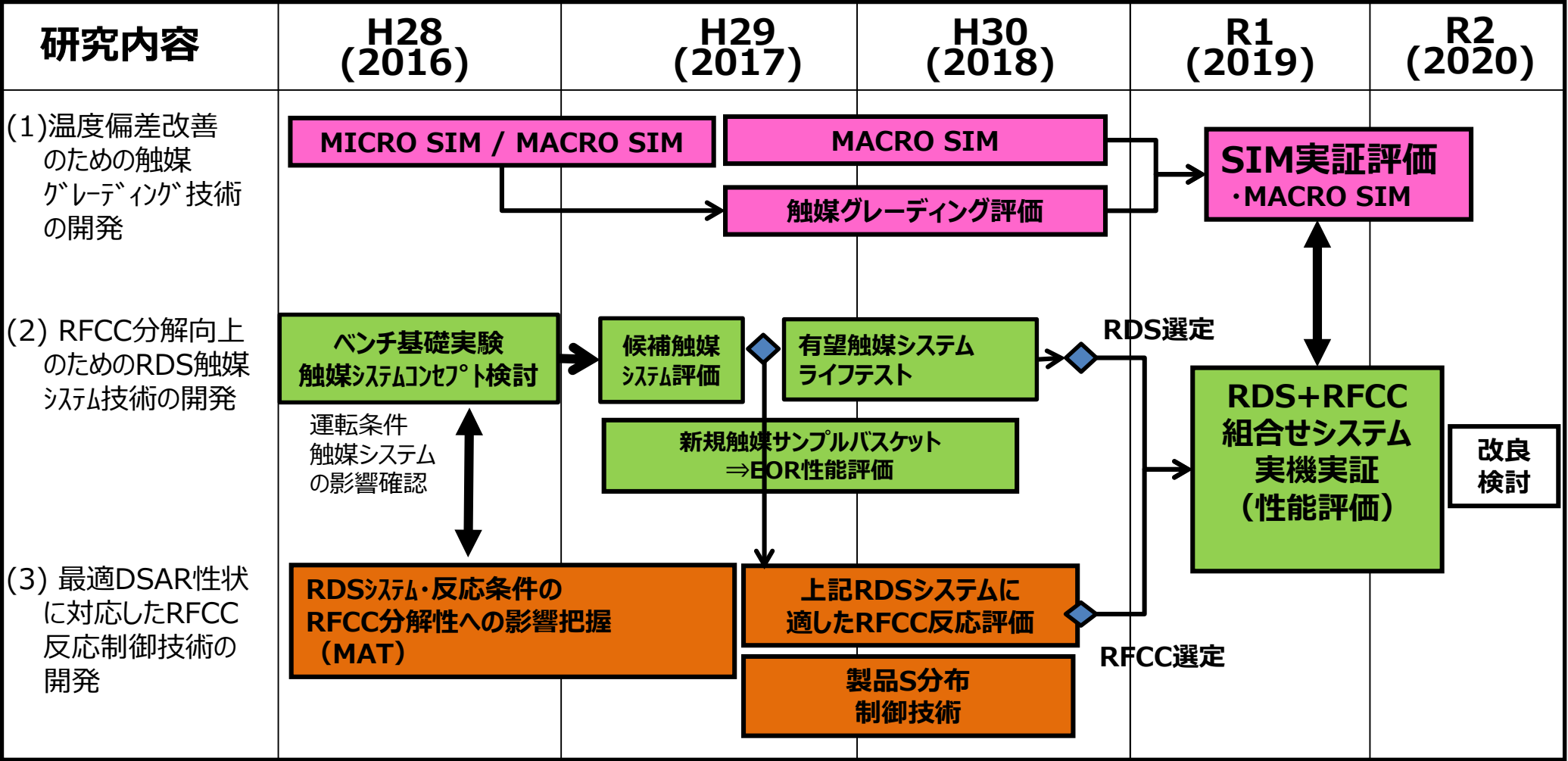
DSARの分子組成でRDSとRFCCを連成し全体最適を実現する



目標

- ①RDSガード触媒層水平 ΔT 20℃以下維持
- ②実機RFCCにて有効成分液収率（ゲイン）0.3vol%以上向上

2. 開発計画



3. 結果 3.1 触媒グレーディング技術の開発

開発方針

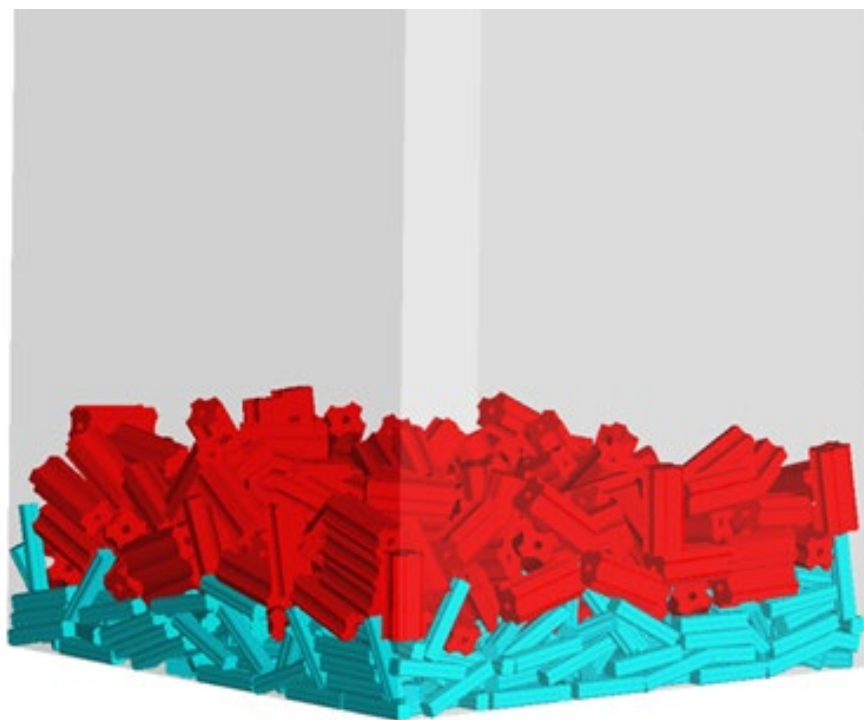
目的に応じた2種類の流動解析モデルを開発し、両方を活用する

ミクロSIM	マクロSIM
触媒形状と流動の関係解明 (触媒グレーディング評価) → 運転前の対応	偏流時の反応状態予測 (時間的な進展評価) → 運転時の対応

3.1 触媒グレーディング技術の開発

ミクロSIMモデル

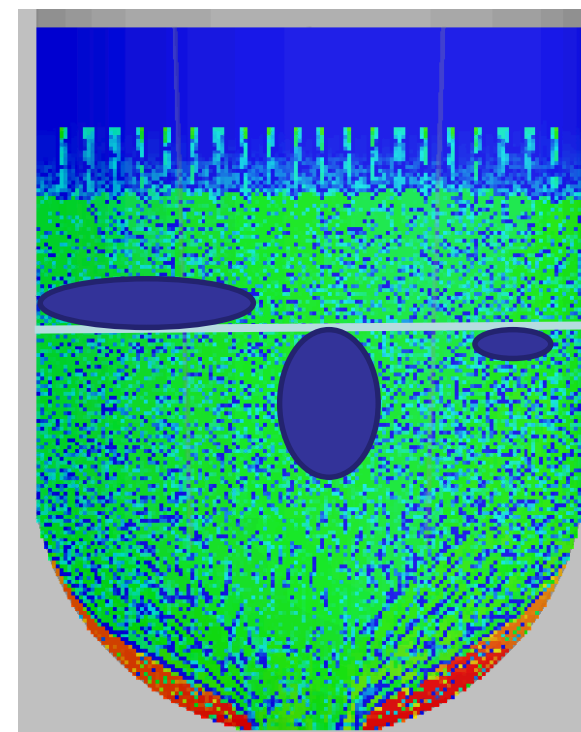
MPS (Moving Particle Semi-implicit)
+
DEM (Discrete Element Method)



個々の触媒形状まで精緻に再現

マクロSIMモデル

VOF (Volume of Fluid)
+
DEM (Discrete Element Method)



反応塔全体の流動状態を再現

3.1 触媒グレーディング技術の開発

CFDモデル開発	① 粒子法（MPS）と離散要素法（DEM）を組み合わせ、触媒形状まで精緻に表現できるモデル（ミクロSIM）を開発した。 ② 流体体積法（VOF）とDEMのカップリングにより、触媒層全体の流動状態・温度分布・圧力分布を表現できるモデル（マクロSIM）を開発した。
モデル検証	③ ミズーリ工科大学にてγ線CT実験を行い、微粒子補足挙動を実験的に明らかにし、ミクロSIMの健全性を検証した。 ④ ミクロSIMを用いた解析により、流動やスケール補足に対する触媒形状（キャビティー型等の新規形状も含む）の影響が調べられることを確認した。
モデル活用	⑤ ミクロSIMを活用して選定したガード触媒システムを含むRDS実装置を、ΔT（10℃以下）、ΔPとも問題無く1年間安定運転できた。 ⑥ マクロSIMを用いた解析により、触媒層内の固化・偏流・ホットスポットの状況と運転パフォーマンスを対応付けた。

3.2 RDS触媒システム技術の開発

RDS触媒システムの開発方針

- これまでの結果から、RDSでシビアに反応した深脱DSARがRFCCの分解反応性に優れ、1・2環アロマがFG収率の向上に寄与していることが分った
- しかし、単純にRDSを高過酷度運転すると、コークによる触媒の劣化が促進されて急速に活性が低下し、1年間の安定運転が達成できなくなる



RFCC反応化学を踏まえた新規な開発コンセプト

- RFCCで分解反応に大きく寄与する軽質成分（1A、2A）は、RDSでシビアに水素化・脱硫を行う
- RFCCでコークとなり燃焼される重質成分（PA、As）は、RDSではできるだけ反応させずにスルーして、RDS触媒のコーク劣化を回避する

ペトロリオミクスを活用し分子レベルで反応を制御する！

3.2 RDS触媒システム技術の開発

開発コンセプト考案	① ベンチ実験によりシビアに水添したDSARがRFCCの分解性に優れていることを見出した。 ② 分解に寄与する軽質分を深脱し、シビアな反応で触媒劣化を促進するボトムはスルーする新たな触媒コンセプトを考案した。
触媒システム構築	③ コンセプトに基づき、RFCCの分解性とRDSの劣化抑制を両立できる触媒システムを構築した。
実機実証	④ その触媒システムを実装置に充填して運転し、全期間を通じて運転データは良好なパフォーマンスを示すことを確認した。 ⑤ 実機運転データと併せて、ベンチ原料油・生成油のペトリオミクス解析により、開発コンセプトの実現性と優位性を確認した。

3.3 RFCC反応制御技術の開発

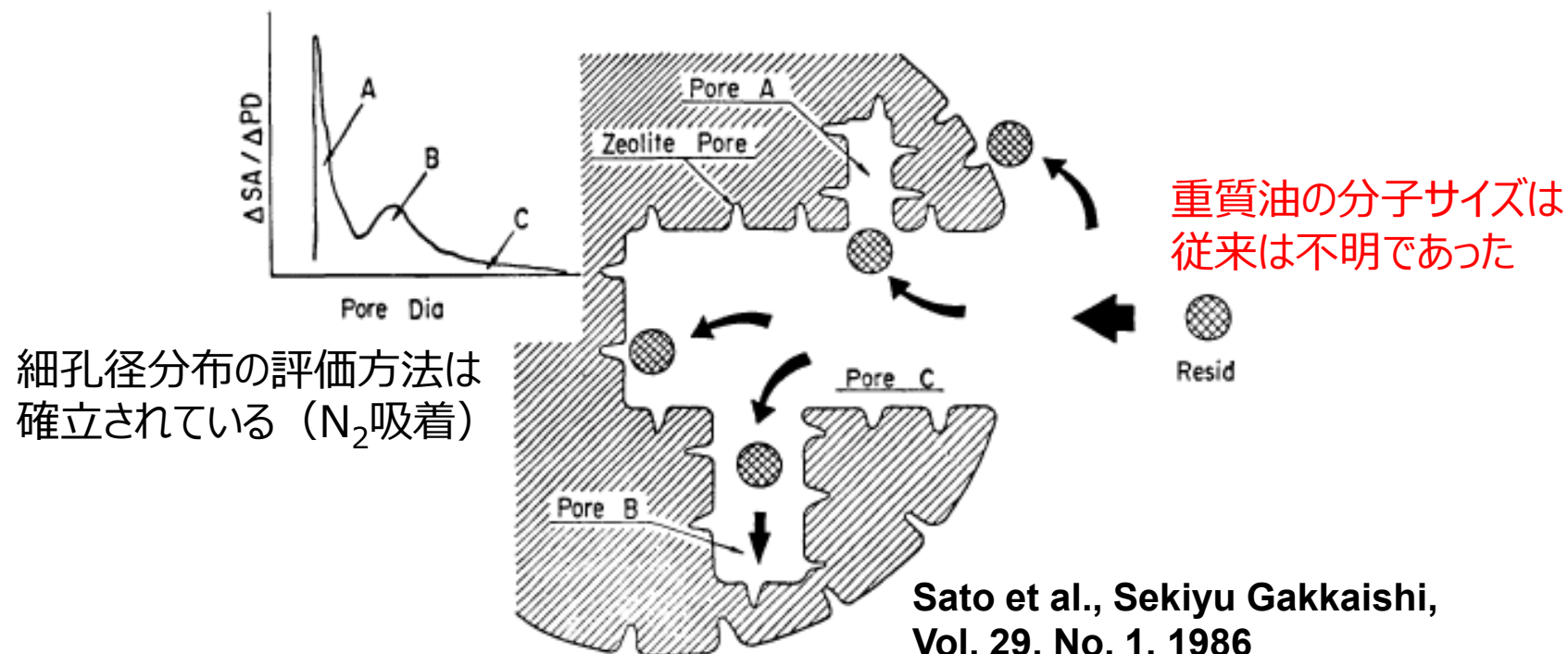
RFCC触媒システムの開発方針

- 従来不明であったDSARの分子サイズを詳細組成構造解析の結果から推定できる可能性がある。



- DSARの分子サイズ分布にマッチした細孔径分布を有する触媒を選定する

ペトロリオミクスを活用し分子レベルで反応を制御する！



3.3 RFCC反応制御技術の開発

触媒選択	① JPECによる詳細組成構造解析結果（JACD情報）に基づき、DSARの分子サイズを実測評価する方法を考案し、DSARに含まれる全ての分子（約10万）について主骨格の大きさを算出した。 ② DSARの分子サイズに適合する細孔分布を持ち、RDSボトムスルーに対応できる（耐メタル性、コーク選択性）RFCC触媒を選択した。
実機実証	③ 実機運転によりパフォーマンスを確認して、その優位性を検証した。
更なる改良	④ 更なる全体最適を目指して、RFCC触媒の活性点制御を行い、実装置運転得率において過分解を抑えてガソリンの選択性を向上した。

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。

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ミクロ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（ミクロ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

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	目標達成状況
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

1303 RDS／RFCC全体最適処理技術開発

1305 非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析

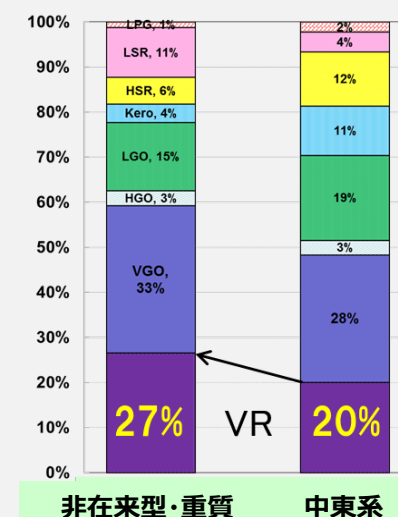
1306 重質残渣油のRFCC原料化のためのRDS触媒システム開発

目的：非在来・重質原油の評価方法の確立による、石油の高付加価値化(ノーブルユース)の推進**【非在来型原油・重質原油の特徴】**

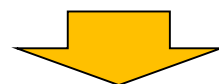
- ① 低付加価値留分が多い
- ② 中東系原油の減圧残渣（VR）とは質が異なる
 - ・窒素分、硫黄分
 - ・重質アスファルテン分
 - ・メタル分

⇒ 2次処理装置での反応性や選択性が悪化

原油中の留分構成(例)



- ・反応性や選択性に悪影響を及ぼす物質の構造を特定
- ・2次処理装置に与える影響度を評価し、明確化



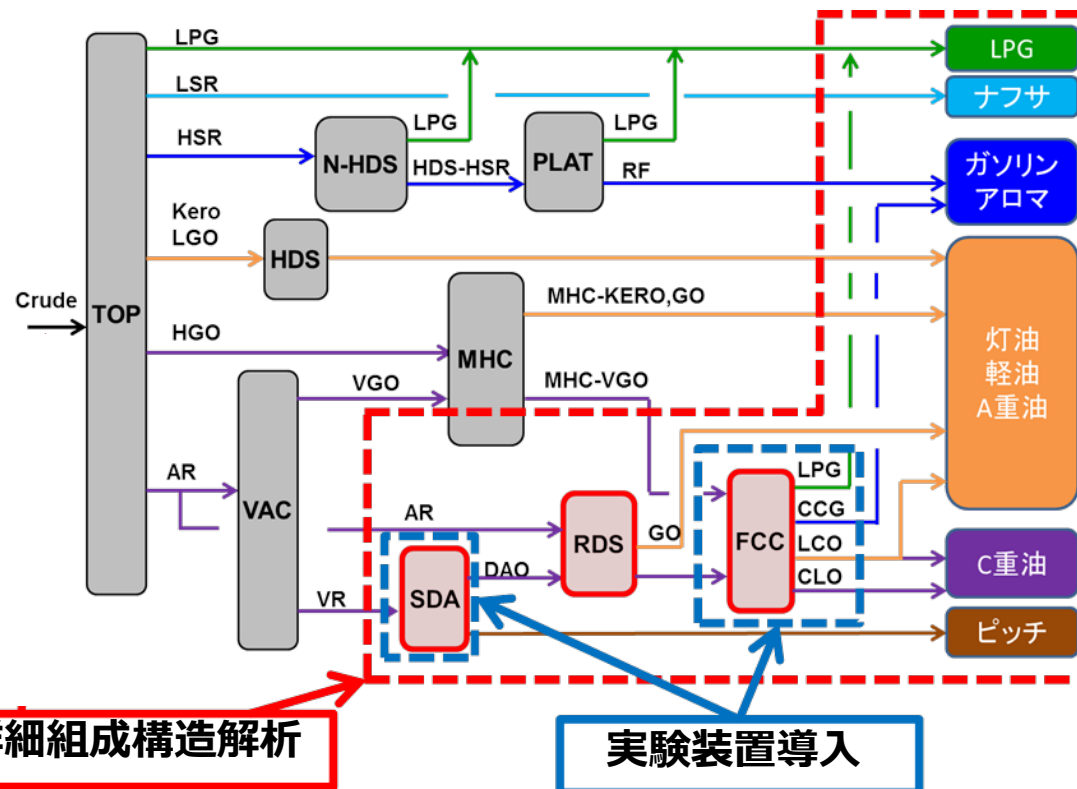
- ・より価値の高い非在来型原油・重質原油の選択が可能
- ・化学品・燃料油の生産量を最大化



石油のノーブルユースを推進し、製油所の国際競争力を強化

手段：非在来型・重質原油由来の残渣油の2次装置における反応・得率の評価

- ・非在来型・重質原油および当該原油から得られる残渣油について、以下を実施
 - ・2次処理装置(SDA, RDS, FCC)*での反応性評価
 - ・原料油・生成油の詳細組成構造解析(JPEC基盤研の協力)
- ・原料組成・性状に起因するプロセス挙動・反応性・製品性状を定量的に評価
⇒ 原油ごとのデータベース化により、高精度な原油価値評価を実現

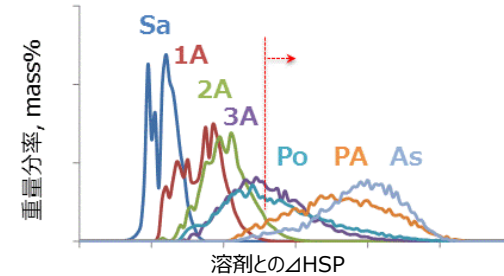
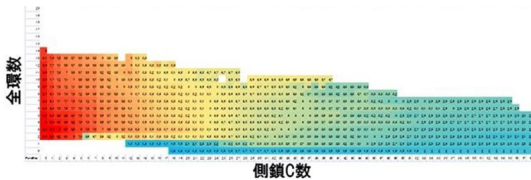


2次処理装置 *

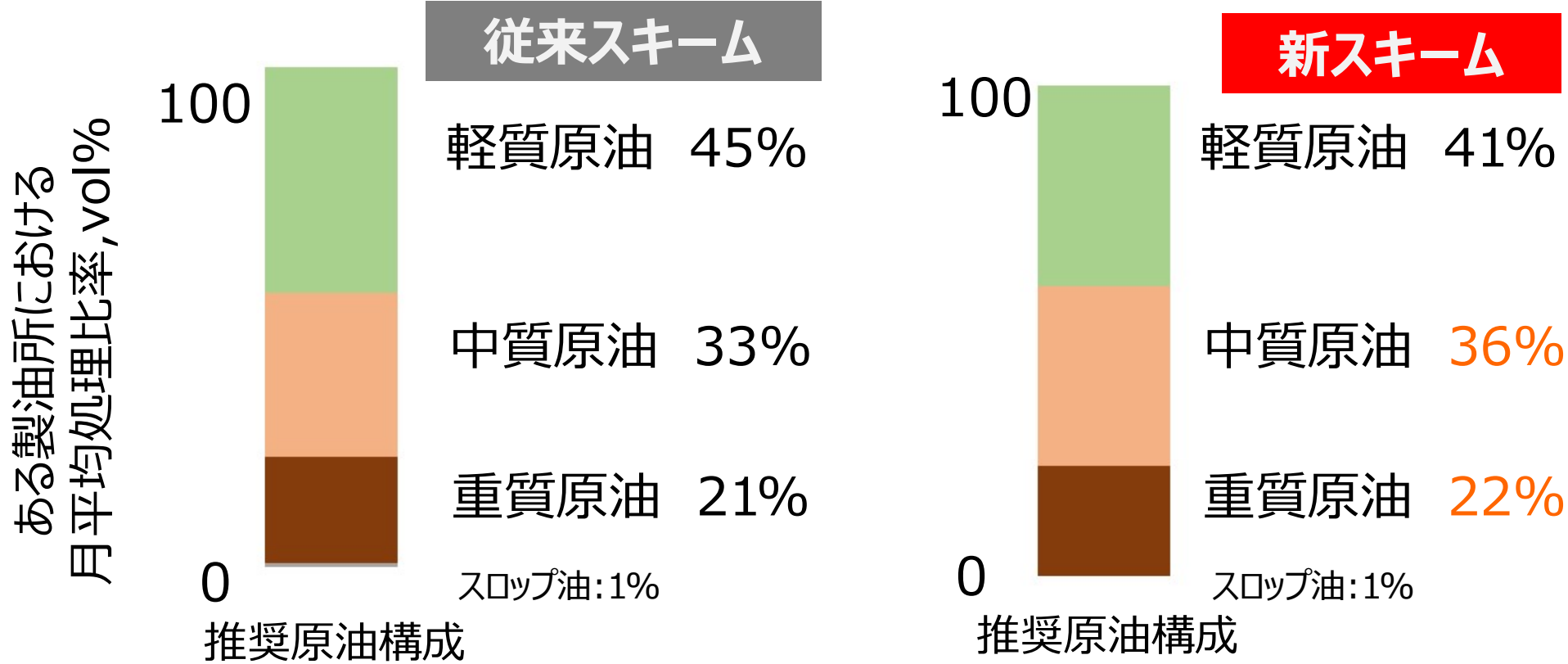
- ・SDA（溶剤脱れき装置）
原料と溶剤を混合し、抽出操作により、脱れき油（DAO）とピッチに分離する装置
- ・RDS（残油直接脱硫装置）
原料の不純物（硫黄等）を水素化反応により除去する装置
- ・FCC（接触分解装置）
原料と触媒を接触させ、軽質油（ガソリン等に）分解する装置

実施概要：新規設立した実験装置での評価により原油データベースを構築し、評価方法を確立

検討項目	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
(1)SDA実験装置	設計	製作			
(2)FCC実験装置	設計	製作			
(3)原油選定・採取					
(4)実験装置での評価	SDA/RDS/FCC				
(5)詳細組成構造解析					
(6)反応器モデリング・カスタマイズ		RDS	SDA	FCC	(検証)
(7)データベース構築			3(通算)	5(通算)	7(通算)



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

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った

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

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	目標達成状況
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

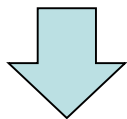
1303 RDS／RFCC全体最適処理技術開発

1305 非在来型原油および残渣油の2次装置反応性解析

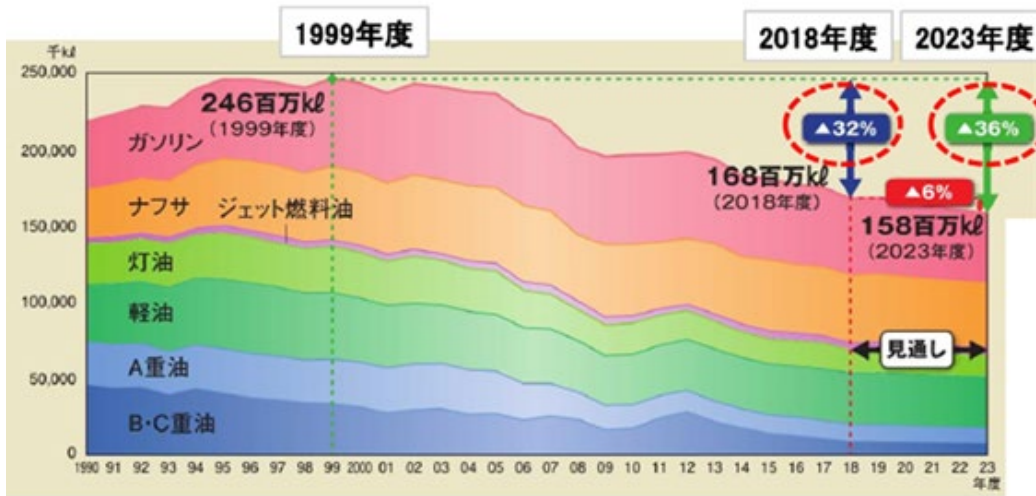
1306 重質残渣油のRFCC原料化のためのRDS触媒システム開発

背景：需要衰退の重質留分の高付加価値化が望まれている

- ・石油製品（特に、重油留分）の需要減退
- ・非在来型（超重質原油）の処理ニーズ

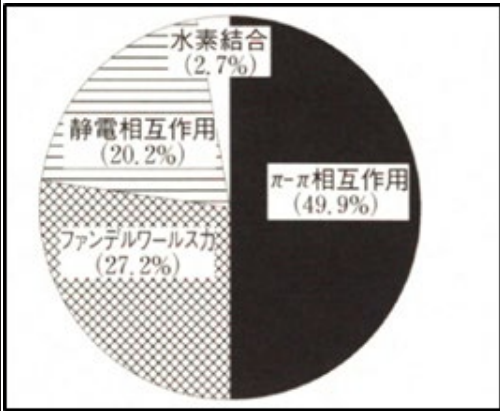
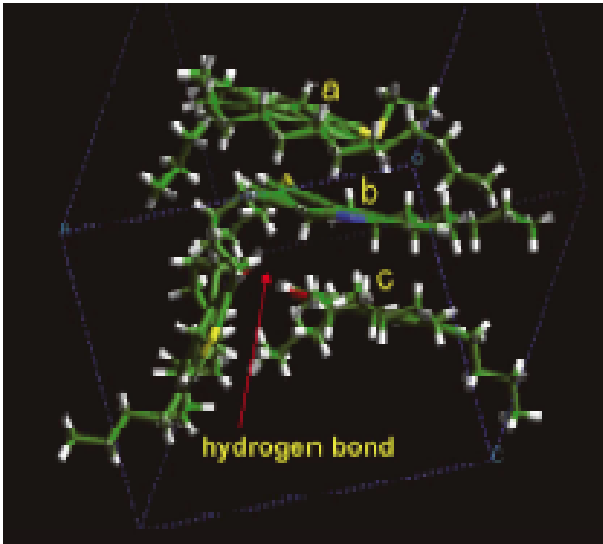


重質留分の高付加価値化
（ノーブルユース化）
技術開発が急務



国内石油製品の需要（出典：石油連盟）

ペトロリオミクス事業での成果
アスファルテン凝集緩和技術により、
重油脱硫（RDS）触媒の劣化抑制



アスファルテンモデル構造と結合寄与率（鷹觜他, J.Jpn. Ptrol., 56, 61(2013)）

直接アスファルテンを取り除く
↓
本質的に有効かつ効率的な技術

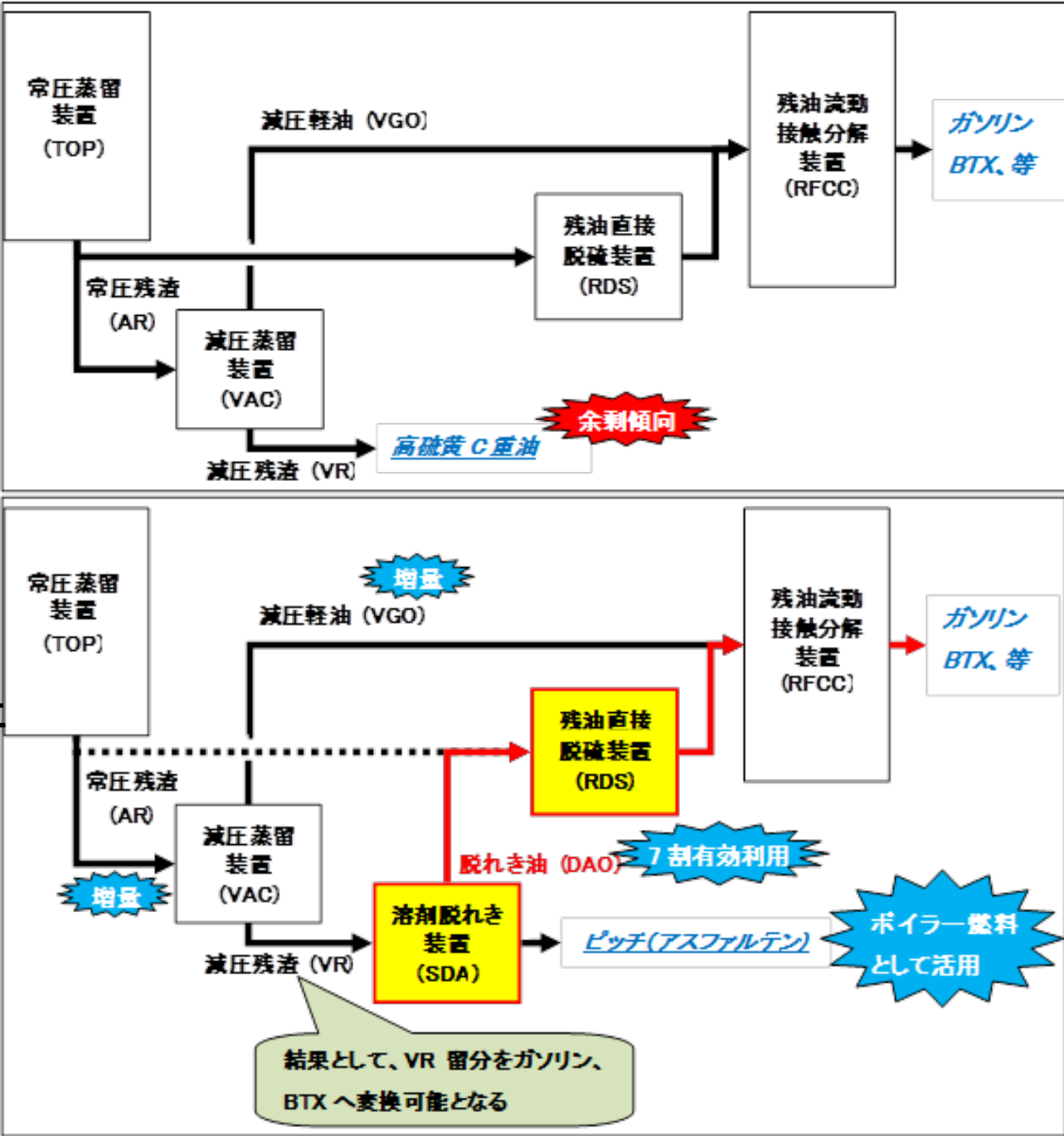
溶剤脱れき（SDA）に着目

研究概要：減圧残渣を接触分解で高付加価値化できるような残油脱硫触媒システムを構築する

従来の重質留分処理
減圧残渣 (VR)：将来余剰感のある高硫黄C重油になっていた



技術開発後
減圧残渣 (VR)：SDA処理により、7割がRDS装置を経て、RFCCの原料に変換され、ガソリンや石化原料を製造できる。
超重質油原油の処理も可能となる。原油選択の多様化が図れる。



研究開発目標：当初目標の達成に目途がたったことから、より難易度の高い目標へ計画変更した**【研究開始時の目標】**

DAOをRDS装置で処理する際、**SDA抽出率を50から70%**に高めた場合においても、1年間の継続処理が可能となる新たな**DAO処理用RDS触媒システムを構築**する。
加えて、RDS生成油中**窒素分を300ppm低減^{*)}**する。

【計画変更後の追加目標】

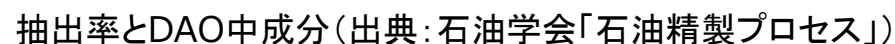
SDA抽出率を**80%**まで高めることに対応可能な新たなDAO処理用触媒システムを開発する。

^{*)} RFCC転化率+1%向上に相当

【研究開発完成時の効果】

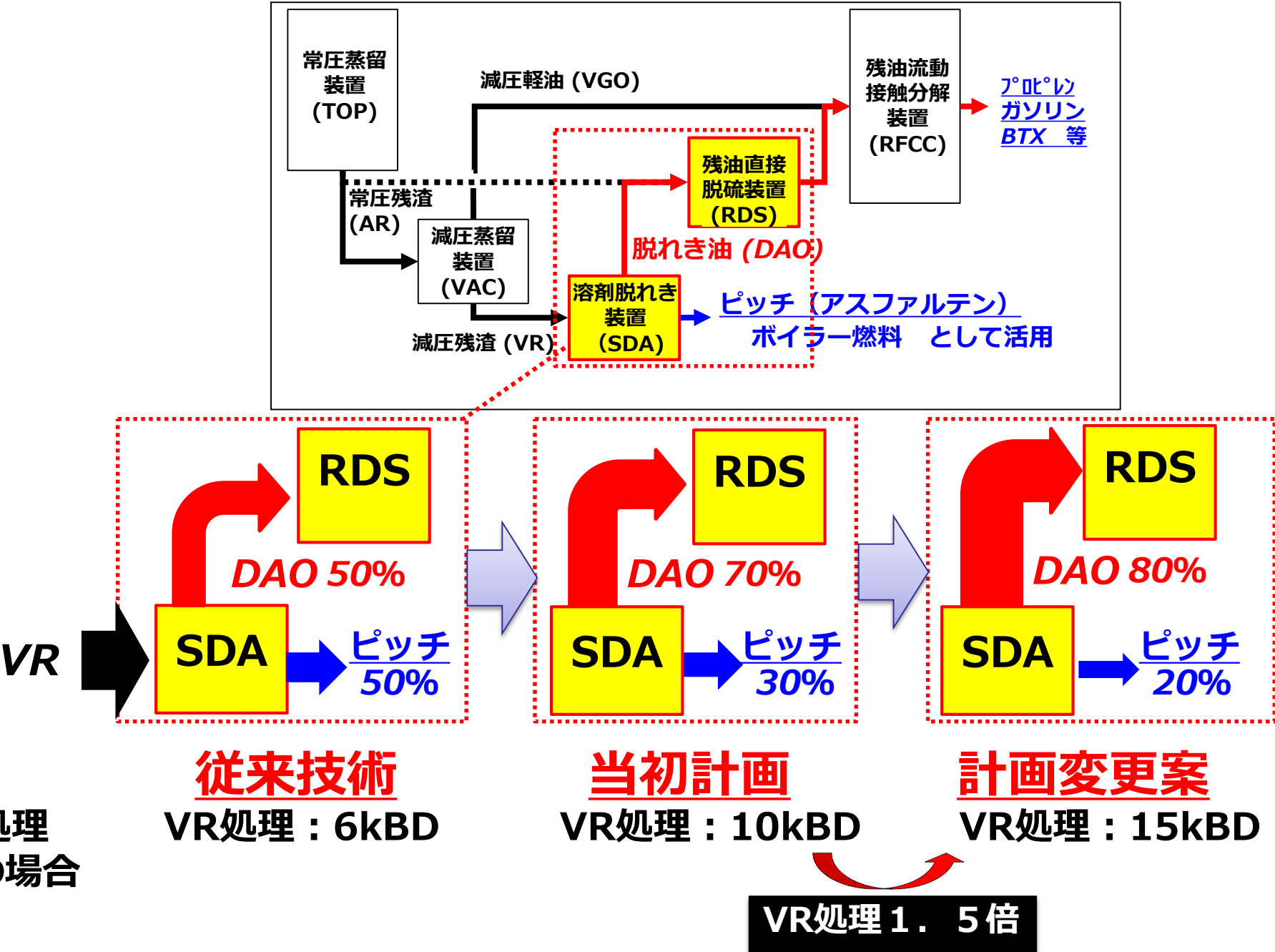
- ・石油留分の有効活用が図られる。
- ・原油選択の多様化が可能となる。
- ・超重質原油の処理も可能となる。

(2020年度より)



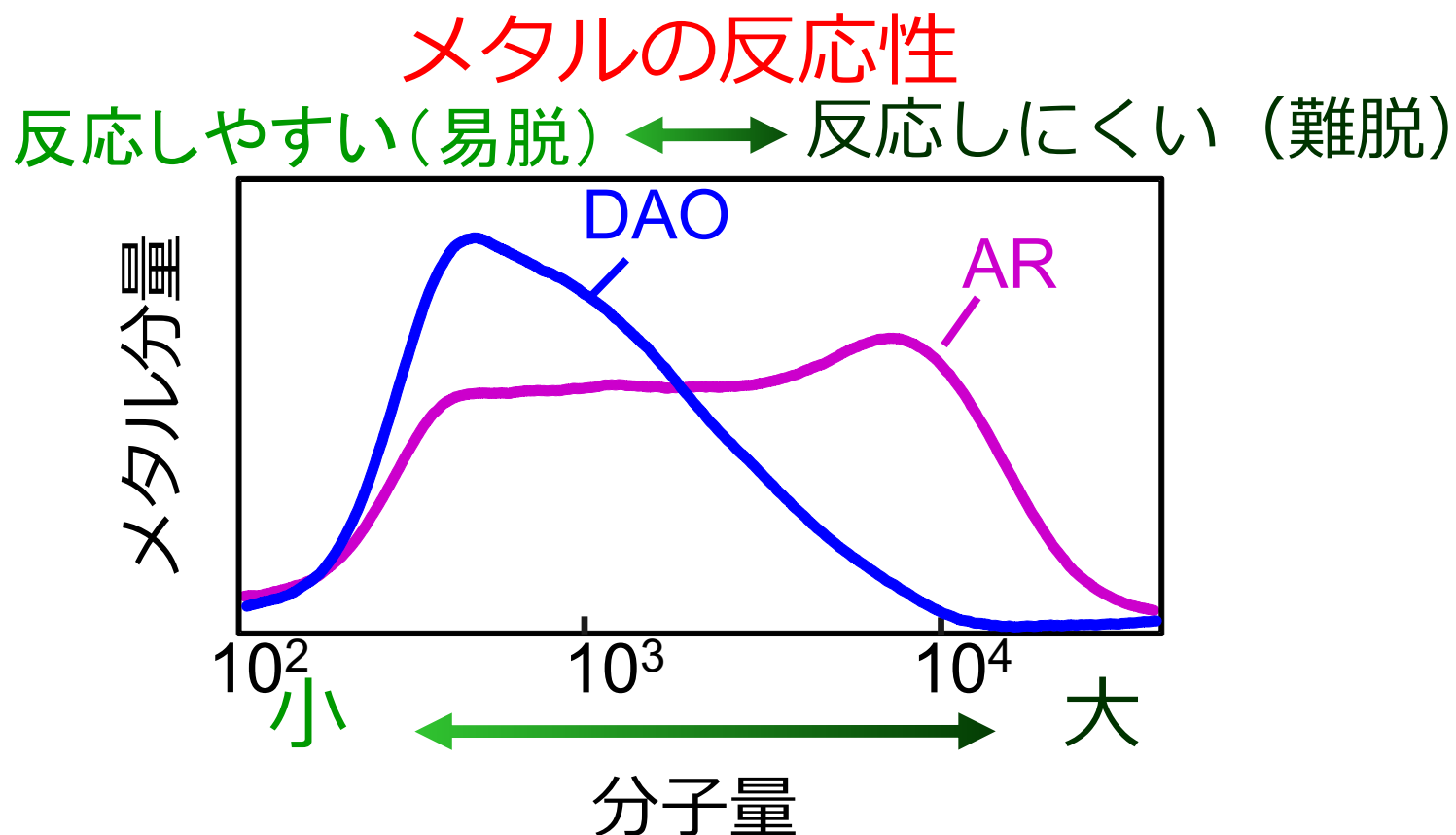
DAO深絞りにより、重金属分が激増し、処理難易度は非常に高まる

計画変更の効果：抽出率向上により、残油処理量を格段に増大できる



研究計画：脱メタル部・脱硫部それぞれ触媒システムを構築し、実機装置で実証化を実施した

	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度 (令和元年)	平成32年度 (令和2年)
1. 脱メタル性能の向上					
(1) メタル詳細分析					
(2) 劣化機構解明					
(3) 触媒機能明確化					
(4) システム評価・多塔反応装置建設					
(5) 実証化検討					
2. 脱硫性能の向上					
(1) 残炭・窒素分の詳細分析					
(2) 劣化機構解明					
(3) 触媒機能明確化					
(4) 多塔反応装置による触媒評価					
(5) システム評価					
(6) ACE-MAT評価					
(7) 実証化検討					
3. 80%抽出率DAOの処理技術の確立					
(1) 少量DAOの評価技術の確立				計画追加	
(2) SDA抽出率80%時の課題明確化				計画追加	
(3) 80%抽出率DAOを用いた迅速評価					計画追加

開発方針（１）：原料油の詳細解析により、触媒劣化対策の方針を見出した**劣化原因考察：メタル分子量分布と反応性**

AR： 易脱と難脱が双方存在

DAO： 大部分が易脱（巨大分子＝難脱は脱れき済）

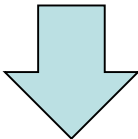
原料油の反応性に合わせた触媒の適用が必要である

開発方針（２）：DAOの反応性を考慮したRDS触媒システムの考え方を設定した

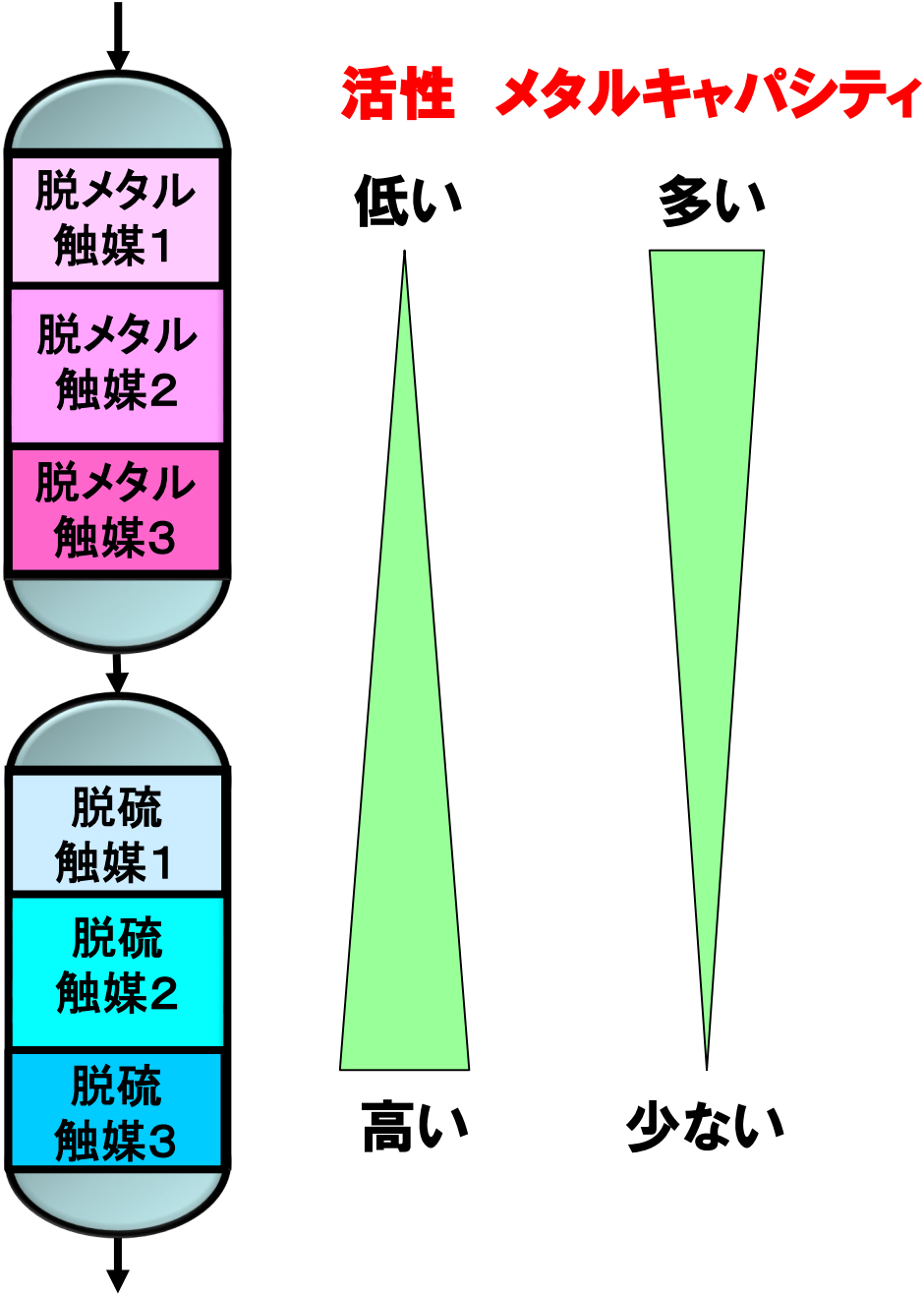
RDS触媒のグレーディング
原料の反応性に対して、

- ・触媒の活性
- ・触媒のメタルキャパシティ

を考慮し、設計される



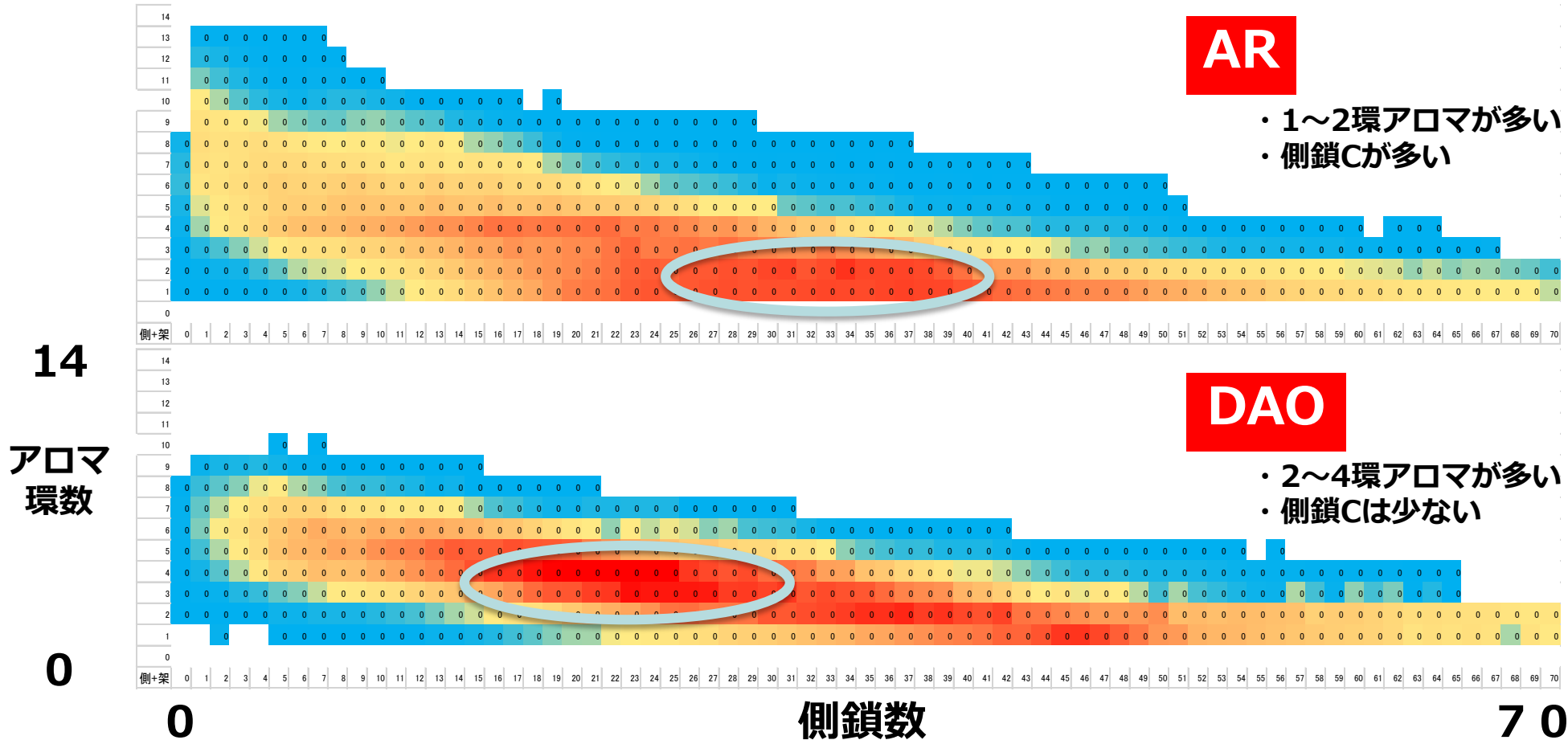
高反応性の原料油に対し、
過剰に高活性な触媒
（低メタルキャパシティ）
を使用すると触媒が失活する



研究連携：JPECデータを活用して反応予測シミュレーターのパラメーターを設定した

JPECペトロリオミクス研究室において、FT-ICR-MS測定

芳香環構造で整理



【DAOの特徴】

- ①核水添のしやすさ：1環<<2環<3環≒4環
- ②側鎖が少ない方が、立体障害が少なく、反応性高い
→反応予測シミュレーターの構築に活用できた。

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の運転条件が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

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

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

以上