

重質油等高度対応処理技術開発 プロジェクト終了時評価 補足資料

平成29年3月23日
資源エネルギー庁資源・燃料部
石油精製備蓄課

目 次

- 1． 事業の概要
- 2． 事業アウトカム
- 3． 事業アウトプット
- 4． 当省（国）が実施することの必要性
- 5． 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ
- 6． 研究開発の実施・マネジメント体制等
- 7． 費用対効果
- 8． 外部有識者の評価等
- 9． 提言及び提言に対する対処方針

1. 事業の概要

概 要	原油の重質化，需要の白油化，国内需要の減少など，今後の石油を巡る厳しい内外環境の中で，我が国が中長期的にも持続的に石油の安定供給を維持するためには，残渣油やより重質な原油を効率的に精製できる体制を早急に整え，石油の有効利用を最大限進める必要がある。このような課題に対応するための基盤技術開発（委託事業）と実証技術開発（補助事業）を推進し，我が国の石油の安定供給を確保する。
実施期間	平成 23 年度～平成 27 年度 （5 年間）
実施形態	国からの直執行（（一財）石油エネルギー技術センターへの委託・補助事業）
予算総額	67.3 億円 平成23年 平成24年 平成25年 平成26年 平成27年 基盤技術開発（委託）：4.7億円 6.8億円 6.7億円 6.8億円 5.3億円 実証技術開発（補助）：7.4億円 7.2億円 8.5億円 7.4億円 6.5億円
実 施 者	一般財団法人 石油エネルギー技術センター
プロジェクト リーダー	技術企画部長 上小澤 哲人

高速反応評価技術

実験データ

詳細組成
構造解析技術

組成構造解析



反応解析
分子反応モデル化

分子反応
モデリング技術

ペトロリオミクス技術

直脱触媒反応場設計
制御技術開発

戦略的活用技術の確立

分子反応モデル構築
触媒システム設計

ペトロリオミクス技術の確立により、脱硫や
分解反応の性能向上や劣化抑制等の
石油精製プロセスの高度化を実現

基盤技術開発（委託事業）

- ①重質油の詳細組成構造解析技術の開発
- ②分子反応モデリング技術の開発
- ③ペトロインフォマティクスの構築
- ④アスファルテン凝集挙動解析技術の確立

実証技術開発（補助事業）

重質油脱硫・分解プロセス技術

- ①高度前処理・水素化処理による重質油分解プロセス技術開発
- ②触媒劣化機構解明による難反応性原料の最適処理技術開発
- ③超重質油処理のための高度残油分解プロセス技術開発
- ④先進的超重質油改質(SPH)プロセスの開発
- ⑤分解軽油等新規アップグレーディングプロセスの開発

重質油脱硫・分解ユーティリティ技術

- ①省エネルギー型水素精製プロセス開発
- ②高効率水素発生プロセス開発

2. 事業アウトカム

	事業アウトカム指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値 (計画)	達成状況 (実績値・達成)	原因分析 (未達成の場合)
基盤技術開発	石油精製プロセス改良等における当該技術の活用事例件数 (当該技術開発は、重質油を分子レベルで分析・解析する技術を起点として、関連の基盤技術、適応技術を体系的に開発する。よって、アウトカム指標は、開発技術の体系的な活用により石油精製プロセスの高度化等に貢献した件数とする。)	(事業開始時) 10 件	—	—
		(中間評価時) 10 件	9 件	一部の反応解析が未達
		(事業終了時) 10 件	10 件	達成
		(事業目的達成時) 10 件	10 件	達成
実証技術開発	事業期間中に開発された技術を製油所に実装し、成果の実証を行う。 定量目標：3件の製油所実証 (当該技術は、既存製油所技術の改良から新規プロセス開発と多岐にわたり、技術完成までの期間が異なる。そこで、本事業中の成果としては実証到達までの期間が短い案件3件を選定し、これを定量目標と定めた。)	(事業開始時) 0 件	—	—
		(中間評価時) 累計 2 件	2 件	達成
		(事業終了時) 累計 3 件	3 件	達成
		(事業目的達成時) 累計 3 件	3 件	達成

3. 事業アウトプット

(共通指標)

	事業アウトプット指標 (妥当性・設定理由・根拠等)	目標値 (計画)	達成状況 (実績値・達成度)	原因分析 (未達成の場合)
基盤技術開発	発表件数、特許件数 (当該技術開発は、重質油を分子レベルで分析・解析する技術を起点として、関連の基盤技術、適応技術を体系的に開発する。よって、これらの個別あるいは組合せによる活用形態ごとの発表件数と特許件数とする)	(事業開始時) 累積 0 件	—	—
		(中間評価時) 累積 43 件	47 件	達成
		(事業終了時) 累積 121 件	153 件	達成
実証技術開発	事業（技術開発）の進捗を特許出願件数や発表件数を指標として、管理する。 (権利確保可能な技術は特許出願にて、それ以外は発表等により、開発の進展を数値で表す。)	(事業開始時) 累積 0 件	—	—
		(中間評価時) 累積 27 件	26 件	特許出願件数が想定(5件/5テーマ)を下回った。(2件/5テーマ)
		(事業終了時) 累積 52 件	64 件	達成 *特許出願件数 (10件/5テーマ)

個別要素技術のアウトプット指標・目標値及び達成状況

< 基盤技術開発（委託事業） >

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析 （未達時）
(1)重質油の詳細組成構造解析技術 ①分離前処理技術の開発	①-1重質油を分子量及び物性の違いで30分画出来る詳細分離方法を確立	①-1重質油を極性、分子量、芳香族環数の3種類の分離モードの組み合わせにより、回収率95%以上を確保の上、30分画できる技術を確立	達成
	①-2金属含有化合物を高濃度に濃縮する技術を確立	①-2金属含有化合物を30倍に濃縮する技術を確立	
②詳細組成分析法の開発	②-1減圧残油相当までの重質油に含まれる化合物を芳香環、ヘテロ環、含金属化合物別解析技術を確立	②-1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)を用い、数万以上の成分を分子式レベルで短時間に分析する手法を確立	
	②-2アスファルテンの構造を解析する技術を確立	②-2分子中のコア構造解析手法（CID FT-ICR MS）を確立し、重質油分子中に含まれるコア構造、側鎖、架橋の構造属性を同定する技術を確立	
③可視化ツールの開発	③新規分子記述法に基づき、基本骨格の相違を表現できる可視化ツールを開発	③超多成分複雑系である重質油の構造情報の理解を容易にするため、DBE（不飽和度）プロット図、コア構造分布図などを実用化	

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析 （未達時）
(2)分子反応モデリング技術 ①分解系軽油ブレンド処理に対応する軽油超深脱モデルの開発 ②各種重質油ブレンド処理に対応する直脱モデルの開発 ③触媒活性劣化モデルの開発	①高速反応評価装置を活用して、直留軽油／分解軽油混合油の超深度脱硫を分子反応として解析し、生成油組成を高精度に推定する反応モデルを確立 ②高速反応評価装置を活用して、様々な重質油の直接脱硫を分子反応として解析し、生成油組成を高精度に推定する反応モデルを確立 ③上記反応モデルに連動した触媒寿命低下を引き起こすコーキング現象を分子レベルで定式化したモデルを確立	①軽油の一般性状から分子組成を推定し、水素化反応速度に基づく反応モデリング技術を確立し、水素化生成油中のナフテノベンゼン収率の推定を実用レベルで確認 ②重質油の構造属性情報（コア、架橋、側鎖）単位で直接脱硫反応（RDS）のモデリング技術を確立し、RDS触媒3種の組み合わせ系で反応シミュレーションに適用できることを確認 ③触媒堆積コーク分からコーク前駆体を抽出し、コーク化がナフテン環生成と脱水素反応による芳香環の多環化が主要因であることを解明するモデルを確立	達成

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析 （未達時）
(3)ペトロインフォマティクス ①新規ツールの開発 ②データベースシステムの開発 ③統合化技術の開発	①-1重質油中の各化合物、反応生成物の情報を基に、物性及び反応性に基づくランピング技術を確立 ①-2ランピングされた化合物群に対するバルクの物性推算技術を確立 ②-1石油分子の構造と物性のデータベースを構築 ②-2各要素技術で開発された技術とデータベースを連動させるシステムを構築 ③各要素技術をPIPで活用するための新規化学記述式の具体化と変換方法の構築及び石油成分を包括的に表現するための手法を開発	①-1流動解析に実用するため、モル平均による分子量、炭素数、元素比、DBE値等により物性値のランピング技術を開発 ②-2気液平衡常数、表面張力等につき分子レベルの物性推算値からランピング化合物についての値の推算技術を開発 ②-1全石油分子から2500万の代表構造を選定、JACDによる構造情報と物性値を含むデータベース(ComCat)を構築し、実用上の網羅性と物性値の取扱いを実現 ②-2ComCatとJ-Noteの二つのデータベースによりペトロリオミクスの全情報を蓄積し、開発された要素技術をJACDを使って有機的に連結活用することを可能としたペトロリオミクス情報の統合システムであるPIP(Petro-informatics Platform)を構築 ③石油分子の構造情報を、コア(環構造)、架橋、側鎖の組合せで表記する新規化学式(JACD)を創出し、複雑な構造の高分子化合物を含め、全石油分子の構造属性での表記を実現し、ペトロインフォマティクスを体系的に構築	達成

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析 （未達時）
(4)アスファルテン 凝集挙動解析 技術の確立	・アスファルテンの凝集度を定量的に予測できるモデルを開発すると共に、本モデルと直脱モデルを連成し解析する事で、最適な凝集緩和方法を提示する手法を確立	・重質油を構成する超多成分の溶解/凝集/析出挙動を定量的に予測できるモデル（MCAM）を開発 ・本モデルによってAR（常圧蒸留残油）に各種添加剤を加えた時の凝集緩和効果を予測を実現	達成

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析（未達時）
(5) 基盤技術を実証技術開発に活用するための新規要素技術 ① 直脱触媒反応場設計技術開発 ② 先導的新規要素技術開発	①-1 直脱触媒の性能向上の指針を提示 ①-2 反応器内の固化偏流等を可視化するシミュレータを構築 ② 次世代製油所に求められる新規技術開発の探求	①-1 CCR（残留炭素分）生成に寄与する分子を同定（7～9環芳香族）し、この化合物の水素化促進の触媒特性を解析 直脱触媒のメタル化合物は特定できたが、生成油中のメタル量が微量のため反応追跡ができず、脱メタル反応の機構解析が一部未完 ①-2 市販の流動解析シミュレータのパラメータを、直脱反応搭を模したコールドフローモデル実験等から適用し、内部流体の物性値はペトロリオミクスによる分析値を与えることで、固化偏流等を可視化する基本モデルを構築 ②-1 装置構成(コンフィグレーション)最適化ツールの開発 新規開発技術をメリット／コストの点から評価できる装置構成最適化ツールを構築し、芳香族化合物の脱アルキル化触媒及び脱窒素性能に優れた脱硫触媒の開発の定量的効果を評価 ②-2 アルキル多環芳香族の脱アルキル化触媒の開発 アルキル多環芳香族から長鎖アルキル基を分解せずに切断する新規触媒（実験室レベル）を開発	① ほぼ達成 ※脱メタル反応解析は一部未完 ② 達成

< 実証技術開発 ; 補助事業 >

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析 （未達時）
（6）重質油脱硫・分解プロセス技術（平成23年度～平成27年度） ① 高度前処理・水素化処理による重質油分解プロセス技術 ② 触媒劣化機構解明による難反応性原料の最適処理技術 ③ 超重質油処理のための高度残油分解プロセス技術	① 重質な減圧残油（API 10 ～ 20）および更に重質な超重質油（API 10 以下）を処理できる精製プロセス技術を確立して、高硫黄重油総生産量の30%以上を低減 ② 難反応性原料を処理した際の触媒劣化機構を分子レベルで解明し、得られた知見を活用して、急速な触媒活性低下を抑制する難反応性原料等の最適処理指針を提案 ③ 製品収率と品質を維持しつつ超重質油処理によって生じる新たなエネルギー増加抑制を可能とする高度水素化処理および接触分解処理の組み合わせ技術を開発 接触分解装置の分解軽油を原料とし、石化原料生産時に従来比2倍以上の高オクタン価留分（BTX）生産技術を開発	① 目標達成のために(a)高度前処理技術(b)RDS技術改良(c)RFCC技術改良を行い、減圧残油および超重質油を10%増処理（＝高硫黄重油生産量30%削減）できる精製プロセス技術を確立して、製油所に導入し、技術を実証 ② 難反応性原料を処理した際の触媒劣化機構として芳香族分とN分のコーク生成・成長機構の違いを明らかにし、この違いを利用した難反応性原料等の最適処理指針を提案 ③ 目標達成する技術として(a)高度水素化処理技術（触媒改良・反応条件の最適化）(b)難反応性油接触分解技術（触媒改良）(c)高オクタン価留分生産技術（触媒改良）を確立 (b)技術は製油所装置に導入し、技術を実証	達成

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析 （未達時）
④ 先進的超重質油改質(SPH)プロセス ⑤ 分解軽油等新規アップグレーディングプロセス	④ 常圧残油または減圧残油を水素化分解して、高収率で高度に脱硫・脱窒素された軽質な油を得ることができる経済的に優れた新規スラリー床水素化分解（SPH：Slurry Phase Hydrocracking）プロセス技術を確立（数値目標：残渣分解率95wt%以上、液収率85wt%以上、ナフサ及び中間留分の収率60wt%以上） ⑤ 分解軽油等の低品位留分から、外部からの水素を導入することなくBTXを選択的に製造可能な全く新しい革新的転換技術を開発（目標値：BTX収率35%）	④ SPHの課題であった「性能向上」「連続運転阻害要因の排除」「経済性の向上」について開発を行い、特に性能目標達成のために、触媒量、リサイクル法、反応温度等を最適化することにより、競合プロセスと同等以上の性能目標値を達成 ⑤ 水素前処理シミュレータの構築による原料の適切な前処理、流動床で使用可能な高活性触媒の開発等により、目標のBTX収率35%を達成 プロセスのスケールアップに伴う流動特性の把握を完了	達成

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析 （未達時）
（7）重質油脱硫・分解ユーティリティ技術（平成26年度～平成27年度） ① 省エネルギー型水素精製プロセス	(a) 膜寿命予測シミュレーターを開発 （目標：予測寿命16,000時間以上） (b) 100本以上の分離膜を取り付け可能な熱交換器一体型分離膜モジュールを開発（目標：透過流量200Nm³/h級） (c) 低濃度水素精製システムを提案 （目標：濃度30%水素から50%以上回収） (d) 水素中不純物分析システムを開発 （目標：不純物濃度ppbレベル）	(a) 開発シミュレーターで初期から水素透過量は低下するが16,000h後も水素透過能を維持できることを確認 (b) 開発モジュール全体で200Nm³/h以上の水素透過ポテンシャルを持つことを確認 (c) PSAオフガス中の低濃度水素（純度約30%）から50%以上水素を回収できるポテンシャルがあることを確認 (d) 開発分析システムで水素中のppbレベルの微量不純物を分析可能であることを確認	達成

個別要素技術	アウトプット指標・目標値	達成状況（実績値・達成度）	原因分析 （未達時）
② 高効率水素発生プロセス	(a) ラボスケールの1,000倍程度の規模を有する小規模装置を用いた、大規模装置設計に必要なエンジニアリングデータ採取の完了 (b) 開発触媒（転化率$\geq 90\%$、触媒寿命≥ 1年）の商業規模での量産化技術確立 ※転化率 = $\frac{[\text{TOL濃度}]}{([\text{MCH濃度}] + [\text{TOL濃度}])}$, 1年$\approx 8,000\text{h}$	(a)設計・製作を行った小規模水素発生装置の基準設計条件にて運転を行い、設計通りの性能が得られることを確認 反応器温度、反応器圧力を変えた時の挙動を把握できた。負荷変動時の追従性について評価を行い、100 % $\Rightarrow$ 50%, 50 % $\Rightarrow$ 100 %の負荷変動共に0.1 h以内で安定化することを確認 大規模水素発生装置の設計に必要なエンジニアリングデータの採取を完了 (b) 脱水素触媒の製造工程簡略化検討、Pt回収技術検討、脱水素触媒の強度に関する耐久評価検討を実施し、脱水素触媒の量産化技術を確立 触媒コーキング影響評価、Pt凝集影響評価を基に、劣化シミュレータのチューニングを実施し、単管反応器による耐久試験と劣化シミュレータで算出した転化率が良く一致することを確認 本シミュレータを用いて8,000 h後の転化率試算結果は92.8 %であり、目標である8,000 h、転化率90 %以上を達成見込み	達成

4. 当省（国）が実施することの必要性

- 石油は我が国の国民生活や経済活動を支える重要なエネルギー源であり、平時・有事を問わず低廉かつ安定的な国内供給を確保する事が重要。他方、石油の安定供給を担う我が国石油精製業が引き続きその役割を果たしていくためには、国内需要の減少、原油の重質化、需要の白油化など石油精製業を取り巻く事業環境の変化に適切に対応しながら、原油の有効利用を図っていくことが不可欠。
- そのため、経済産業省では、「エネルギー供給構造高度化法」に基づく告示において、石油精製事業者に対して、重質油の分解能力を向上する措置及び、これに必要な技術開発の推進を求めてきたところ。また、国として「エネルギー基本計画（平成26年4月）」や「科学技術イノベーション総合戦略（平成25年6月）」において、重質油処理の技術開発を通じて石油の有効利用を促進すると位置づけ。
- 本事業は、製油所における重質油分解プロセスに用いる触媒の高効率化・長寿命化や分解装置改良等に活用される世界最先端のペトロリオミクス技術の基盤技術及び応用技術の開発・実証を行うもの。本事業で対象とする技術は、事業化までに長期の開発期間を要し、また、高い開発リスクを伴うものであることから、民間企業による実施は困難。このため、国が主導的に実施するもの。

5. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

16

2011

2016

2021

2026～

事業アウトカム：

【基盤技術開発】石油精製プロセス改良等における当該技術の活用事例件数：**10件**「目標達成」

【実証技術開発】事業期間中に開発された技術を製油所で実証：**3件**「目標達成」

重質油等高度対応処理技術開発

特許出願件数：12件

基盤技術開発

(1)詳細組成構造解析技術

・技術確立し重質油の分析で実用中 **アウトカム：4件**

(2)分子反応モデリング技術

・軽油系プロセスは実用中
・重油直脱は基本形を構築 **2件**

(3)ペトロインフォマティクス技術

・石油成分の表記の新規化学式を確立し要素技術の連携活用手法を構築
・全石油分子DBを構築
・PIP基本フレームを構築

(4)アスファルテン凝集制御技術

・アスファルテン凝集状態の解析技術確立
・多成分系凝集制御基本モデルを構築 **4件**

(5)直脱触媒反応場設計制御技術

・新規触媒設計基本モデル構築
・反応塔内の流動反応連成シミュレーション(RDS-CFDK)基本モデル構築

実証技術開発

(6)重質油脱硫・分解プロセス技術

・高硫黄重油生産量30%以上削減する技術確立 **3件**

(7)重質油脱硫・分解ユーティリティ技術

・水素精製プロセスの構築

石油精製高付加価値化等技術開発

ペトロリオミクス技術の実用化に向けた応用研究

非在来型原油分析

RDS/RFCC全体最適化

アスファルテン凝集制御技術開発

製油所への実装

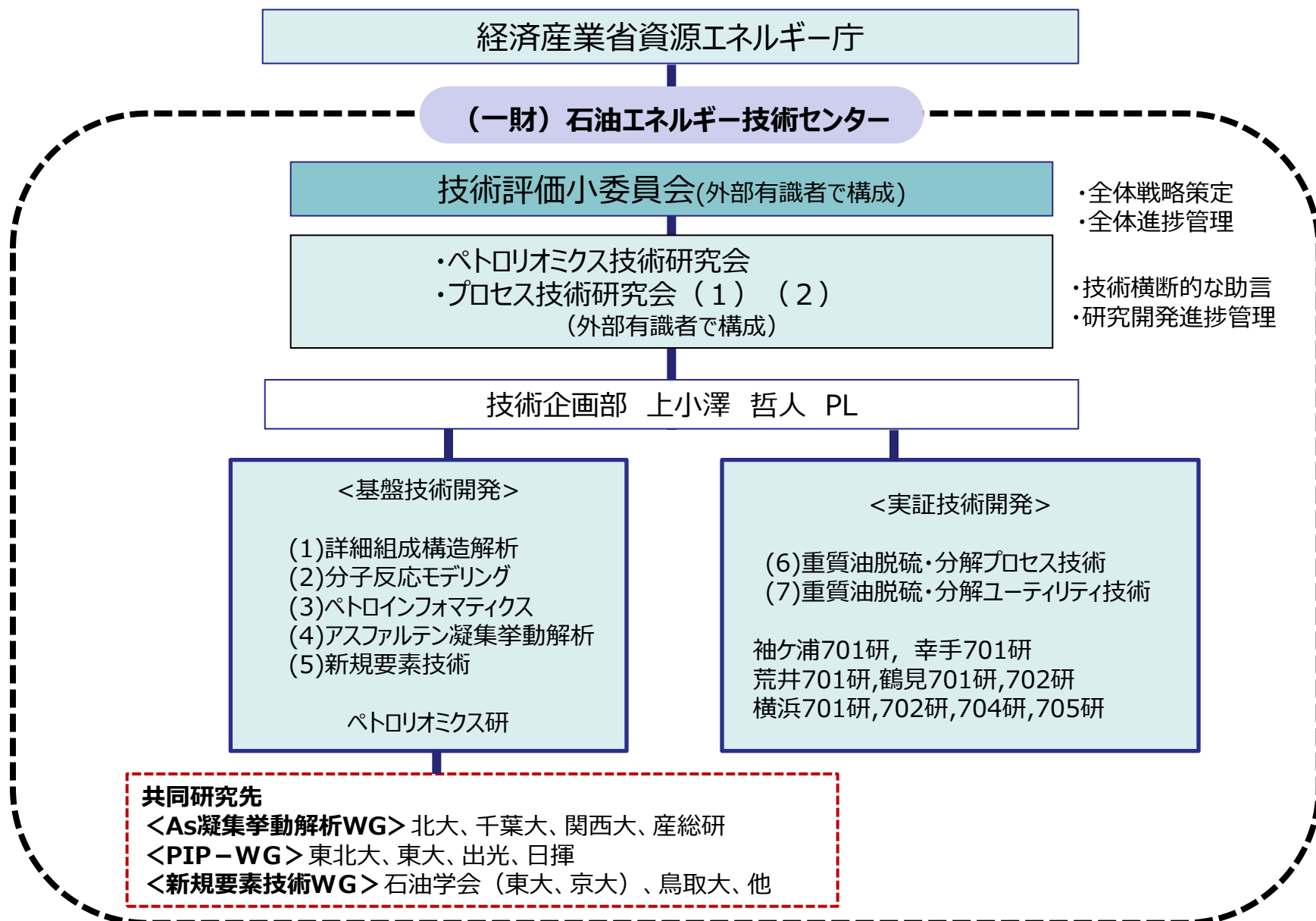
●製油所における実証 プラントまたは実機による実証試験を実施

●技術開発項目を統合したPIPを構築し、精製プロセスの共通情報基盤化

製油所実証運転による技術完成度の向上

製油所への実装

6. 研究開発の実施・マネジメント体制等



7. 費用対効果

- 本事業は、委託費と補助金で構成され、平成23年度から平成27年度の5年間で、合計67.3億円を投入。
- 本事業では、実証により、有望であるものの技術的障壁の高い重質油分解技術を確立すると共に、科学的知見を基に重油処理プロセスの性能向上や高付加価値製品の効率的な生産を実現するためのペトロリオミクス技術の活用に向けた基盤技術を確立した。本技術により重質油を含む多様な原油の処理が可能となり、製油所の生産性向上に寄与することから、我が国のエネルギー安定供給に大きく貢献。
- 基盤技術開発のペトロリオミクス技術が確立し、実証技術開発における各実証技術が国内全製油所に展開された場合、処理原油の重質化が進み、API度は1程度下がると試算され、2030年で550～2,070億円/年の効果が期待。

8. 外部有識者の評価等

8-1. 評価検討会

評価検討会名称

重質油等高度対応処理技術開発終了時評価検討会

座長

小野崎 正樹
一般財団法人エネルギー総合工学研究所 理事

委員

小林 康
東洋エンジニアリング株式会社エンジニアリング本部プロセスシステムエンジニアリング部 担当部長

里川 重夫
学校法人成蹊学園成蹊大学理工学部物質生命理工学科教授

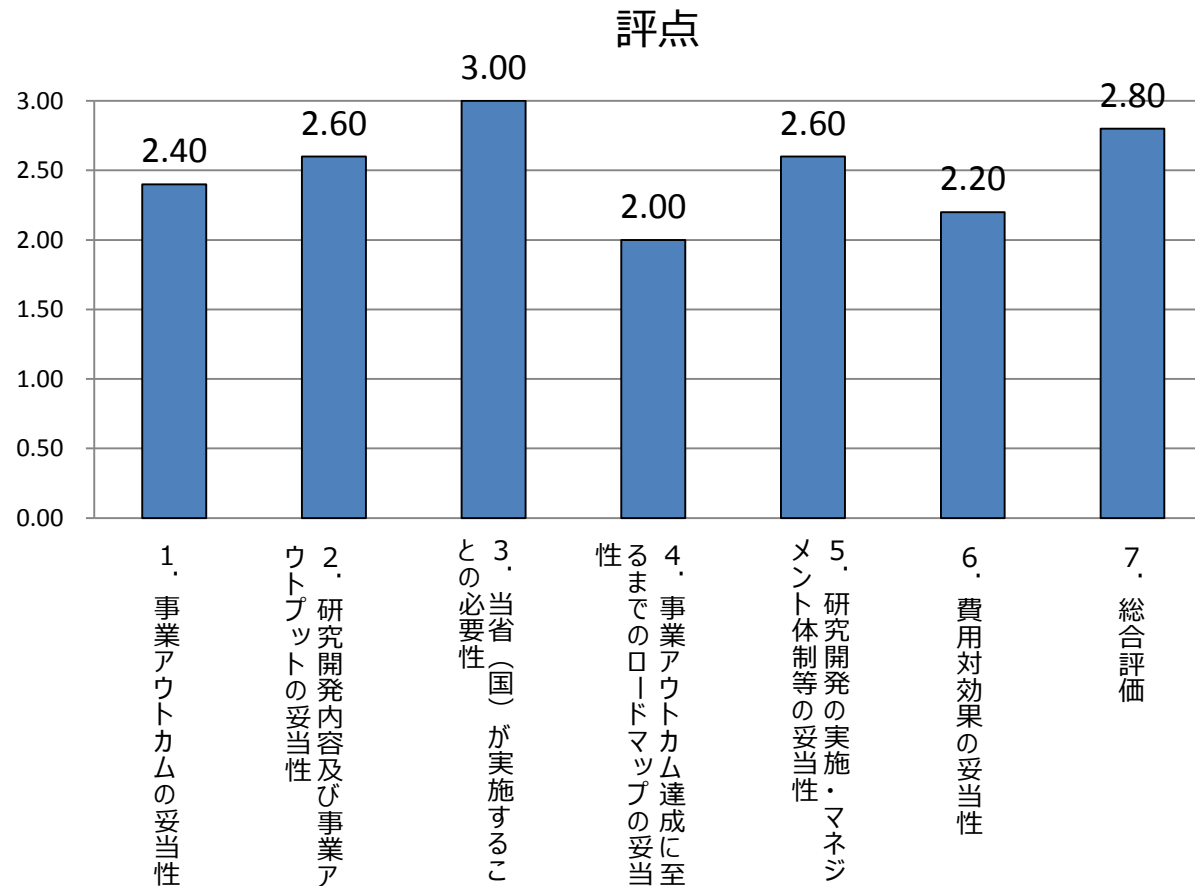
関根 泰
学校法人早稲田大学先進理工学部応用化学科 教授

辻 裕一
学校法人東京電機大学 工学部 機械工学科 教授

評価検討会委員

8-2. 総合評価

○「経済産業省技術評価指針」に基づき、プロジェクト中間or終了時評価において、評点法による評価を実施した。



【評価項目の判定基準】

評価項目 1.～6.

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。

9. 提言及び提言に対する対処方針

今後の研究開発の方向等に関する提言

- ペトリオミクス技術は、石油の物性や特性を把握する手法を大きく変えるものであり、本事業既存の技術体系を画期的に進歩させる可能性の片鱗が見えたに過ぎない。
今後、継続して技術開発を進めるうえで、重質油を活用するために必要なデータの収集や整理、モデルの構築といった基礎的な研究開発と、重質油の脱硫・分解プロセス技術の連携を高め、重質油(重質原油、残渣油)処理プロセスの更なる改良や新規開発を進めていく必要がある。
- 成果であるデータ、モデルを関係者で共有化する仕組み（知財の管理・取扱い・標準化などの方法）を構築することや、本事業で購入した分析装置やマイクロリアクターの活用に取り組んでほしい。
- ロードマップのゴールである製油所への実装に向けて、実証運転を含め、継続的な取り組みが必要である。まずは、2016年以降(～2030年)のロードマップを明確にしてほしい。

提言に対する対処方針

- 本事業で得られたデータ、モデルを関係者で共有化する仕組み（知財の管理・取扱い・標準化などの方法）を構築するとともに、本事業で購入した分析装置やマイクロリアクターなども活用した次期研究開発を実施していく。
- 2016年以降(～2030年)のロードマップについて、実装に向けて明確な道筋を示しつつ策定する。