

製油所の脱炭素化研究開発
中間評価報告書

2023 年 8 月

製油所の脱炭素化研究開発
評価検討会

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省研究開発評価指針」（令和4年10月改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している「次世代燃料安定供給のためのトランジション促進事業」のサブテーマとして実施している「製油所の脱炭素化研究開発」は、国内の石油精製事業者が、石油精製事業を継続しつつ、カーボンニュートラルに向けて二酸化炭素排出量削減に資するような技術の開発を後押しすることで、国内の燃料安定供給とともに、国内製油所の脱炭素化を実現するため、2021年度より実施しているものである。

今般、省外の有識者から構成される製油所の脱炭素化研究開発 中間評価検討会において、個別事業の進捗状況や目標達成状況の評価結果を踏まえて将来像（目的・ビジョン）を実現するための重要性や想定される社会インパクトの評価を行うため、経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準を踏まえて中間評価を行った。本評価報告書はその評価結果として取りまとめたものである。

【本中間評価検討会 委員構成】

座長 増田 隆夫	北海道大学 理事・副学長
鎌田 博之	株式会社 IHI 技術開発本部 技術企画部 企画推進グループ 主幹
酒井 奨	一般財団法人エネルギー総合工学研究所 プロジェクト試験研究部 炭素循環エネルギーグループ 副主席研究員
関根 泰	早稲田大学 先進理工・応用化学 教授

【本研究開発評価に係る省内関係者】

事業担当課長 資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料供給基盤整備課長 永井 岳彦
評価担当部署 産業技術環境局 研究開発課 技術評価調整官 大隅 一聡

【本中間評価の審議経過】

第1回評価検討会（2023年7月19日）

・事業概要の説明及び質疑応答

第2回評価検討会（2023年8月3日）

・評価及び対処方針の確認

目次

はじめに	1
事業情報	3
第1章 評価	7
1. 評点法による評価結果	8
2. 評価	9
第2章 問題点・改善点に対する対処方針	15
第3章 評価対象事業に係る資料	20

【事業情報】

事業名	製油所の脱炭素化研究開発						
担当部署	資源エネルギー庁 資源・燃料部 燃料供給基盤整備課						
事業期間	2021 年 ～ 2025 年 評価時期：事前（2020 年）、中間（2023 年）、終了時（2025 年）						
予算額	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	事業総額	執行総額
	6 億円	6 億円	5 億円	—	—	17 億円 （2021 年度～2023 年度までの総額）	17 億円 （2021 年度～2023 年度までの総額）
上位施策 及び KPI	○第 6 次エネルギー基本計画（令和 3 年 10 月） 「既存の燃料インフラや、これまで培ったネットワーク・人材を活かして、石油精製業が、バイオ燃料、水素、合成燃料等の新たな燃料供給にチャレンジするための構造改革やイノベーションを後押しする。また、クリーンな石油精製プロセスに向けて、省エネルギー対策を一層進めるとともに、CO₂フリー水素の活用など、製油所の脱炭素化の取組を促進する。」						
事業目的	石油製品は、今後も重要なエネルギー源としての役割があり、引き続き国内における安定供給を確保する必要がある。しかしながら、石油製品の供給拠点である製油所（石油精製事業者）は、国内の石油需要の減少、アジア諸国の石油コンビナートとの国際競争の激化に加え、世界的な脱炭素化の潮流といった事業環境の変化に直面している。 本事業は、国内の石油精製事業者が、石油精製事業を継続しつつ、カーボンニュートラルに向けて二酸化炭素排出量削減に資するような技術の開発を後押しすることで、国内の燃料安定供給とともに、国内製油所の脱炭素化を実現することを目的とする。 この目的を達成するために、下記項目の研究開発を実施する。 ① 製油所の操業の最適化による CO₂ 低減 ② 石油精製と廃プラスチック、バイオマス等の共処理技術（Co-Processing 技術）の向上による CO₂ 低減						
事業内容	① 製油所の操業最適化による CO₂ 低減（製油所のエネルギー消費量の削減） ② 共処理技術（Co-Processing 技術）の向上による CO₂ 低減（原油代替としての低炭素原料の利活用）						

アウトカム指標		アウトカム目標	達成状況
短期目標 2030 年度	国内平均の製油所の主要プロセスの大幅な省エネ稼働	CO2 低減 400 万 t/年	—
中期目標 2035 年度	低炭素原料を活用し、製品の脱炭素化を行う	40%の低炭素原料を Co-Processing 処理する技術の確立	—
アウトプット指標		アウトプット目標	達成状況
中間目標 2023 年度	①-1：処理原油成分リアルタイム予測技術開発 1)原油の基本情報を整備およびデータベース化し、製油所で活用可能とする。 2)原油/留分の性状を予測する基本技術構築	1)データベース登録数（累計） 原油 18 種類 2)原油一般性状予測 AI モデルの開発（進捗率で評価） 原油/留分性状 147 項目のうち 70% 以上が、AI モデル予測値と実測値の誤差が試験法の再現許容差内であること	達成 1)18 種類 2)80%
	①-2：CDU の最適化制御技術開発 製油所の省エネ/高効率化に資する操業最適化のさらなる高度化に関する技術開発を行う	1)CDU 最適化制御高度化の要件定義および RTO 改造仕様の決定（進捗率で評価）	達成 1)100%
	①-3：ファウリング抑制技術開発 製油所の省エネ/高効率化に資する操業最適化のさらなる高度化に関する技術開発を行う	1)ファウリング解析モデルのプロトタイプの構築（進捗率で評価）	今年度中に達成見込み 1)60%
	②-1：Co-Processing 基盤技術開発 低炭素原料の基本情報を整備およびデータベース化し、製油所で活用可能とする。	1)データベース登録数（累計） 低炭素原料 12 種類	達成 1)20 種類
	②-2：Co-Processing 技術開発 製油所で低炭素原料を共処理することを可能とする技術開発を行う。	1)反応ルート、触媒劣化/被毒機構を踏まえた Co-Processing 用水素化分解触媒システムの確立（進捗率で評価）	今年度中に達成見込み 1)70%

最終目標 2025 年度	処理原油成分リアルタイム予測技術開発 1)原油の基本情報を整備およびデータベース化し、製油所で活用可能とする。 2)原油/留分の性状を予測する基本技術構築 CDU の最適化制御技術開発 製油所の省エネ/高効率化に資する操業最適化のさらなる高度化に関する技術開発を行う。	データベース登録数（累計） 1)原油 35 種類 2)原油成分予測 AI モデルの開発 予測成分のうち 70%以上が、AI モデル予測値と実測値の誤差が±10%に収まる 技術開発レベル TRL2→5 1)RTO 改造効果がシミュレーションレベルで検証	— —
	ファウリング抑制技術開発 製油所の省エネ/高効率化に資する操業最適化のさらなる高度化に関する技術開発を行う。	技術開発レベル TRL2→5 1)ファウリング解析モデルの構築	—
	Co-Processing 基盤技術開発 低炭素原料の基本情報をデータベース化し、製油所で活用可能とする。	データベース登録数（累計） 1)低炭素原料 20 種類	—
	Co-Processing 技術開発 製油所で低炭素原料を共処理することを可能とする技術開発を行う。	技術開発レベル TRL2→4 1)RFCC における共処理を対象とし、原料組成および反応条件から生成物収率を予測する機械学習モデルの構築 2)原料の分子成分情報から各原料毎のファウリング挙動が推定可能なプロトタイプモデルの構築	—
マネジメント	① ステアリング会議 JPEC 関係部署が集まり PJ 全般のマネジメントを行う。 ② 技術検討会 技術開発の手法や進捗について確認する。 ③ 製油所脱炭素化技術専門員会 有識者が客観的立場で、技術開発の評価・助言を行う。		
プロジェクトリーダー	(一財)石油エネルギー技術センター 製造プロセス技術部部長 秋本 淳		

実施体制	資源エネルギー庁 → (一財)石油エネルギー技術センター (JPEC) [定額補助 (10/10)] → 石油精製事業者・大学等[委託等]	
	研究開発項目① 製油所の操業最適化による CO2 低減 (製油所のエネルギー消費量の削減)	[委託] コスモ HD、東京農工大、産総研等 [共同研究] 明治大 (会計上の契約なし)
	研究開発項目② 共処理技術 (Co-Processing 技術) の向上による CO2 低減 (原油代替としての低炭素原料の利活用)	[委託] ENEOS、千葉大、産総研等

第 1 章 評価

1. 評点法による評価結果

評価項目・評価基準	各委員の評価				評点
1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋					
(1) 事業の目的・位置づけ	A	A	B	A	2.8
(2) アウトカム達成まで道筋	A	B	A	A	2.8
(3) 知的財産・標準化戦略	B	A	A	A	2.8
2. 目標及び達成状況					
(1) アウトカム目標及び達成見込み	B	A	B	A	2.5
(2) アウトプット目標及び達成状況	A	A	A	A	3.0
3. マネジメント					
(1) 実施体制	A	A	A	B	2.8
(2) 受益者負担の考え方	A	A	A	A	3.0
(3) 研究開発計画	A	A	A	A	3.0

《判定基準》

- A：評価基準に適合し、非常に優れている。（3点）
 B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。（2点）
 C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。（1点）
 D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。（0点）

（注）評点は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算・平均して算出。

2. 評価

本項では、評価検討会の総意としての評価結果を枠内に掲載している。なお、「(参考) 外部評価者の評価コメント」に、各評価検討会委員の指摘事項を参考として列記している。

(1) 意義・アウトカム（社会実装）までの道筋

人々の社会・経済活動の骨幹を担う製油所において、将来のカーボンニュートラル社会の実現には大幅な CO2 排出量削減が求められるところ、前事業で構築したペトリオミクスを活用した現行のプロセスのエネルギー消費量削減と Co-processing による未利用資源の原料化に取り組んでいる。資源を海外に依存している我が国として早急に構築すべきプロセス開発である。また、2030 年、2035 年における CO2 削減・導入目標が定量的に設定されており、ロードマップも妥当であることから、社会課題の解決に貢献するものと期待される。

他方、EV 化が進められている状況において、現行の石油精製プロセスにおいて処理する原油量を減らすだけでは対応が難しいことから、プロセスフローを修正する際に柔軟に対応できる Feasibility が高いプロセスの検討、製油所の操業最適化による CO2 低減におけるモデル製油所などの設定に基づく技術開発と製油所での検討のシームレス化、共処理技術における 2035 年の目標達成に向けた低炭素原料の導入の種類、調達先、ボリューム、時期などのイメージの提示および標準化に関するロードマップの策定に加え、常圧蒸留装置に焦点を当てた理由、Co-Processing の CO2 削減貢献度のポテンシャルなどの概算結果の明示が課題。

(2) 目標及び達成状況

ファウリング、Co-Processing は日本の有為な技術であり、環境に配慮した現行プロセスの高度化に繋がる、世界最高レベルの意欲的で野心的な目標が掲げられており、極めて順調な目標の達成状況からもわかる通り、目標達成に意欲的である。各サブテーマについても着実にデータが蓄積されており、貴重な知見が収集されている。ぜひ目標に向けて前倒ししながら進めてほしい。

他方、共処理で用いる廃プラスチックは再生可能な資源では無いことから、環境へのインパクト低減等の新たな指標（欧米から生み出された指標とは異なる）の提案を期待する。また、実際に入手できる低炭素原料の種類とボリュームを考慮した上でアウトカム目標を達成してほしい。その際、国内製油所特有の課題も目標に反映してほしい。さらに、製油所の省エネルギー化を進めることによる CO2 削減量 400 万トンの根拠および Co-Processing において、CO2 削減に対し、どの程度のインパクトを持つのかを明確にした上で、CO2 削減効果、技術的優位性、経済的優位性など、前向きに更新されるような項目があれば、積極的に公表すべき。

(3) マネジメント

常に第三者の目が入るような会議体（製油所脱炭素化技術専門委員会、検討会、研究会など）が設置されるなど、常に評価やアドバイスが得られるバランス良い体制になっており、組織は機能的に構成されている。また、国内製油所全体で活用できる共通基盤的技術であることから、補助率は適切と思われる、ステージゲート方式によりプロジェクト継続の可否や変更に対応できる計画となっている。

他方、仮に期間内に全ての項目が達成できない場合に、その項目をどの様にフォローアップするかを検討したうえで、エンジニアリングの観点からコメント、アドバイス、提案できる企業もしくは研究者や、AI やビッグデータ処理などに経験のあるユニコーンなどを交えて議論を進めるべき。

(参考) 外部評価者の評価コメント

(1) 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

【肯定的意見】

- 前事業で構築したペトロリオミクスを活用して、現行のプロセスのエネルギー消費量削減に向けた取組である。更に、Co-processing による未利用資源の原料化に取り組んでいる。資源を海外に依存している我が国として早急に構築すべきプロセス開発である。
- 国の 2050 年カーボンニュートラルの目標のもと、①製油所操業最適化による CO2 削減、②コプロによる製品の低 CO2 化において、それぞれ 2030 年、2035 年における CO2 削減・導入目標が定量的に設定されており、社会課題の解決に貢献するものと期待される。
エネルギー供給構造高度化法 3 次、4 次告示の方向性を踏まえての、製油所の省エネ化、脱炭素化に資する取り組みとなっている。
- ①、②のテーマ毎に、具体的な検討項目が、ロードマップが、時間軸を含めて具体的に設定されている。
- オープンとクローズの領域が明確に分けられている。
また標準化戦略として、候補原料のデータベース化、懸念物質のリストアップ、前処理技術の調査を踏まえた受入れ基準策定となっており、道筋が明確。受入基準策定と共に、必要前処理技術を明確にして頂きたい。
データベースやシミュレーション技術の石油会社への公開、使用して貰うための仕組み作りが実装に向けて非常に重要と理解しました。既に試験的に石油会社に公開され、仕組み作りを意識して開発を進められている。
- 人々の社会・経済活動の骨幹を担う製油所においても、将来のカーボンニュートラル社会の実現には大幅な CO2 排出量削減が求められる。本事業で目指す製油所のプロセスの最適化(省エネルギー化)と原料の低炭素化 (co-production 化) は、既存のインフラを最大限有効利用しながら CO2 を削減できる最良の方法と言える。
- 各検討項目に対して、2026 年からの製油所への適用試験と 2030 年代の本格稼働に向けて、細かく目標設定が定められている。ぜひとも計画どおりに事業を進められ、事業後の自立化に期待したい。
- JPEC 殿のペトロリオミクス技術を駆使した標準化戦略などは、国際標準化を制定する上で日本が主導できる可能性を大いに秘める。そのための戦略は、しっかり事業計画の中で練りこまれており、成果が大いに期待できる。
- 妥当な設定であり問題ない。

【問題点・改善点】

- EV 化が進められている状況において、現行の石油精製プロセスにおいて処理する原油量を減らすだけでは対応が難しくなり、プロセスフローを修正する事が必要になると予想される。そのようなプロセスに移行する際に、柔軟に対応できる実現可能性が高いプロセスも平行して検討いただく事を望む。

- ①、②ともに 2026 年以降の各製油所での適用検討が実装のための重要なステップと理解している。モデル製油所などを設定して、技術開発と製油所での検討がシームレスに繋がるよう進めて頂けると良いと思います。
共処理技術に関して 2035 年の目標達成に向けて、低炭素原料の導入の種類、調達先、ボリューム、時期などのイメージが提示されると、社会全体に本取り組みがより効果的に伝わると思います。標準化についてもロードマップとして示されていると尚良いかと思います。
- 次項の「2.目標及び達成状況」の内容に重なるが、本事業が社会実装された場合、カーボンニュートラルにどのくらい貢献しそうか（CO2 削減量としてどのくらいを見込めそうか）という観点から、なぜ常圧蒸留装置に焦点を当てたか？コプロセッシングの CO2 削減貢献度はどのくらいのポテンシャルがあるか？などを概算結果でも良いので明示しながら本事業の意義をアピールされると良い。
- 各製油所への技術適用は失敗と成功の連続になると思われ、そこから多くの事を学べる。製油所との協議の場を少しでも多く持ち、計画（2026 年以降）よりも前倒しで適用できるような気持ちで実施されると良い。
- 国際標準化に対して日本主導の切り札になるよう技術醸成して頂きたい。

（２） 目標及び達成状況

【肯定的意見】

- アウトプットの設定は適切と判断します。加えて、ファウリングの検討は、プロセスの定修までの期間を長くする事や、常圧蒸留塔の最適操作などにより、省エネルギー化が図られ、石油精製の 10 %の CO2 排出量削減に繋がる。Co-processing も含めて日本の有為な技術であり、環境に配慮した現行プロセスの高度化に繋がる。
- アウトカム目標として①最適化においては、国内製油所の CO2 排出量 3,000 万トンに対して 10% 以上 CO2 削減、②共処理技術では現時点で世界最高レベルの意欲的な目標が掲げられている。
- アウトプット目標として①、②ともに具体的にブレイクダウンされた数値目標が設定されている。各サブテーマについて、着実にデータが蓄積されており、AI モデル、機器開発、共処理基盤技術向けの貴重な知見が収集されている。
積極的に論文、学会発表が行われており、国内製油所全体で活用できる共通基盤技術として認識されていると思われる。
- 世界最高水準のエネルギー効率指標と、世界最高レベルの原料代替基準（共処理装置への供給量）を基に設定された野心的な目標は評価すべきと考える。
- 目標の達成状況は極めて順調であり、今後に実施される検討項目についても TRL 評価を軸にししっかりと分析され、目標達成に意欲的なのが分かる。論文、成果発表、特許出願なども精力的に実施されている。
- ぜひ目標に向けて前倒ししながら進めてほしい。

【問題点・改善点】

- 廃プラスチックは再生可能な資源では無いため、廃食油、木質分解油、トール油の様なカーボンニュートラルの観点で不利ですが、収集可能な資源です。その優位性を示すために環境へのインパクト低減等の新たな指標（欧米から生み出された指標とは異なる）を提案されることを期待します。また、廃棄物ですと自治体間で運搬できないため、何らかの形で粗製品（低品位分解油）にして、運搬する必要があります。それを集めて精製プロセスの原料にする工程が必要だと思います。この当たりの社会システムを考慮した全体像を描いて頂きたいと思います。
加えて、廃棄物は一年を通じて安定していません。そのため、精製プロセスに導入する前に、性状変化が無視小になるように前工程で処理する必要があります。その当たりについても次回に説明頂ければと思います。
- 低炭素原料の種類により、受入れ易いもの、難しいものがあると想定される。前処理のし易さとも関係すると思われるが、実際に入手できる原料の種類、ボリュームについても考慮した上で目標を達成して頂きたい。
- 国内製油所特有の課題があれば、目標に反映して頂けると良いと思います。
- 製油所の省エネルギー化を進めることで年間 400 万トンの CO2 が削減できる見込みであるが、その数値に対して各検討課題（①-1～3）がどの程度貢献しているのか（各検討項目の CO2 削減効果）が分かりにくいいため、400 万トンの根拠が弱い。コプロセッシングについても同様に、40%の原料代替がどの位の（CO2 削減に対する）インパクトを持つのかが見えにくい。これらを上手く説明できれば、目標の設定根拠、費用対効果、経済性・環境性のインパクト、国際競争力など、もっと全面的に技術アピールできるはず。
- 順調に事業が推移されていることで、CO2 削減効果や技術的な優位性、経済的優位性など、前向きに更新されるような項目があれば、ぜひともアピールして頂きたい。

（３） マネジメント

【肯定的意見】

- 技術専門委員会も含めて、組織は機能的に構成されています。
- 実施責任者である JPEC のもと石油会社、大学・産総研の専門家含めたバランス良い体制となっている。また製油所脱炭素化技術専門委員会が設置され、専門的見地からもアドバイス頂ける態勢である。
- 国内製油所全体で活用できる共通基盤の技術であることから、補助率は適切と思われる。
- ステアリング会議、技術検討会が適切に設定されている。ステージゲート方式によりプロジェクト継続の可否や変更に対応できる計画となっている。
- 研究開発の内容や進捗、計画に対し、常に第三者の目が入るような会議体（委員会、検討会、研究会など）が設置されており、常に評価やアドバイスが得られる体制になっている。情報管理にも細心の注意が払われ、オープン・クローズ戦略のメリハリもある。引き続き同じベクトルを持つ者どうしの活発な意見交換ができる場を多く持ち、効率的で画期的な成果を上げて頂きたい。
- 提案されているプロセスの省エネ化や原料の代替アプローチ（コプロセッシング）は、商用機に適用するには未だ確立した技術とは言い難く、研究開発・実証研究としてデータの蓄積が必要と考えるため、現在の受益者負担のシステムで良いと考える。

- 常に第三者の意見が取り入れられる状況にあり、研究計画に対する check 体制も整っている。引き続き本マネジメント体制を維持して頂きたい。

【問題点・改善点】

- 期間内に全ての項目が達成できない場合に、達成できない項目についてはどの様にフォローアップするかを検討頂きたい。
- 2026 年以降は製油所への適用を考えているため、エンジニアリングの観点からコメント、アドバイス、提案できる企業もしくは研究者を交えて議論を進めて頂きたい。
- ビッグデータハンドリングなどに経験のあるユニコーンなどをぜひ加えて加速してほしい。

第2章 問題点・改善点に対する対処方針

(1) 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

問題点・改善点	対処方針・見解
EV 化が進められている状況において、現行の石油精製プロセスにおいて処理する原油量を減らすだけでは対応が難しくなり、プロセスフローを修正する事が必要になってくると予想される。その様なプロセスに移行する際に、柔軟に対応できる実現可能性が高いプロセスも平行して検討すべき。	製油所の共処理技術は、現在の石油精製のアセットをフル活用しながら、原油を低炭素原料に置き換えられるプロセスであり、柔軟に対応できる実現可能性が高いプロセスの一つであると考えている。 具体的には以下の検討を行う。 共処理技術は、低炭素原料の導入比率が低い時（おおむね 5～10% 以下）にはプロセスフローを修正することなく対応可能であるが、アウトカム目標に設定したように低炭素原料の導入比率を高くする場合はプロセスフローの修正が必要になると考えている。 一つ目は発熱が大きくなるので冷却プロセスの追加である。共処理技術開発の中で発熱も評価していくために、低炭素原料の成分把握や多成分の反応試験などに着手している。 二つ目に、水素化処理により水素消費量が多くなるため、製油所で製造する水素が不足することが考えられ、水素消費を抑えるための共処理技術検討も必要になると考えている。 それぞれ大きなテーマとなるため、まずは事業期間内で低炭素原料の成分情報把握や反応解析などの検討を始める。
製油所の操業最適化による CO₂ 低減のテーマに関しては、モデル製油所などを設定して、技術開発と製油所での検討がシームレスに繋がるよう進めるべき。	製油所の操業最適化については、CDU 制御最適化など製油所の実機に適用することを想定し石油会社とともに技術開発を進めている。 共処理技術については製油所に実装されていないので、技術的な完成を目指し具体的な実証に向けて石油会社と議論を進め、2030 年のモデル製油所の導入に向けて引き続き議論を進めたい。 （参考資料 1）
共処理技術に関しては、2035 年の目標達成に向けて、低炭素原料の導入の種類や調達先、ボリューム、時期などのイメージを提示すべき。	昨年度の本事業において、低炭素原料の賦存量調査を行って検討したところ（参考資料 2）、まず始めに、海外で検討が進む廃食油やトール油などの低炭素原料の共処理を行うことを想定している。さらには 2035 年の目標達成に向けて、現状

	では使われていないリグニンや間伐材などの活用も検討しており、低炭素原料の種類や調達先を増やす観点から、これらの技術動向を継続的に調べていく。
標準化に関するロードマップを策定すべき。	本事業内で、低炭素原料品質の標準化に関する海外動向を調査するとともに、石油精製設備で共処理できる低炭素原料の性状について、石油会社やエンジニアリング会社と議論し、製油所受け入れ基準（案）の設定を行う。 一方で標準化に向けたロードマップとして、海外との協調や枠組みなどについては検討を継続したい。
共処理技術に関して、①なぜ常圧蒸留装置に焦点を当てたか？②Co-ProcessingのCO2削減貢献度はどのくらいのポテンシャルがあるか？さらには水素化による水素消費量などの概算結果を明示すべき。	① 共処理技術については低炭素原料が比較的軽油留分に近いと想定されているため、二次装置の処理を想定している。低炭素原料と付加価値の低い重質油から高付加価値の石化原料や燃料基材を製造するため、水素化分解、FCC/RFCC、コーカー等を想定しているが、目的に合わせて効果的なプロセスとなるように検討する。 ② 共処理により低炭素原料から燃料を製造した場合、燃料使用時のScope3のCO2が大きく削減される。軽油脱硫装置の40%を低炭素原料とした場合、Scope1,2,3トータルで3600万tCO2/年と大きな削減効果が見積もられた。なお今回仮定したプロセスでは水素消費量は80億Nm3/年増加すると見積もられ、水素消費を抑える前処理やプロセスが必要と考える。 (参考資料3)

(2) 目標及び達成状況

問題点・改善点	対処方針・見解
共処理で用いる廃プラスチックは再生可能な資源では無いため、環境へのインパクト低減等の新たな指標（欧米から生み出された指標とは異なる）を提案すべき。	国内において、廃プラスチックの利活用は経産省の資源自立経済や環境省の循環型社会形成計画など様々な視点で議論がされている。また海外において、例えばICAOではリサイクルできないプラ

	スチック再生油との共処理により製造された航空燃料も SAF として認めるなどの動きもある。 環境インパクト低減等の指標検討に向けて、まずは、これら国内外の動向について調査を行う。
低炭素原料について、実際に入手できる原料の種類やボリュームについても考慮すべき。	現在入手できる低炭素原料の種類と量、及び将来のポテンシャルについては調査を行っているところ（参考資料2）。今後も情報収集を行うとともに、入手可能なものについては性状等の評価を行っていく。 なお廃プラスチックの単純焼却と熱回収焼却から排出される CO2 は 1600 万 t/年と見積もられている（資源エネルギー庁 HP より）。
製油所の省エネルギー化を進めることによる CO2 削減量の 400 万トンの根拠および Co-Processing において、CO2 削減に対しどの程度のインパクトを持つのかを明確にすべき。	事業開始時、世界最先端の製油所は、国内の製油所より効率が 11%程度高い状況だったので、国内製油所においても同程度の効率化を図ることにより、CO2 排出量も世界最先端レベルに押し上げることを目標とした。事業開始時の国内製油所からの CO2 排出量は 3700 万 t であったことから、効率向上による CO2 削減量を 400 万 t と見積もった。 Co-Processing のインパクトについては前述の通り。
400 万トン CO2 を削減することのインパクトを説明してほしい。	石油業界ではカーボンニュートラル行動計画フェーズ II で、2030 年に向けて国内の事業活動において原油換算 100 万 KL 分/約 270 万 tCO2 の削減を掲げている。これに対し本事業アウトカムの 400 万 tCO2/年の CO2 削減目標は非常に大きく、製油所から排出する CO2 を約 10%以上削減することに相当する。2030 年に向けた安定供給と CO2 の低減の観点からは大きなインパクトと考える。 さらに 2035 年に向けて世界で最も高比率で低炭素原料を処理する 40% Co-Processing 技術の確立を目指しており、Scope1,2,3 合わせて 3600 万 tCO2 の削減を可能とする技術になる。 エネルギーの安定供給とカーボンニュートラル社会の実現に向けて、トランジション期における非常に重要な技術になると考えている。

前向きに成果が得られた項目があれば、積極的に公表すべき。	研究成果については、学会や論文等の発表を年間10件程度行うことを目標として活動しているが、より良い成果の発信の仕方についても追求していく。
------------------------------	---

(3) マネジメント

問題点・改善点	対処方針・見解
仮に、期間内に全ての項目が達成できない場合、その項目をどの様にフォローアップするかを検討すべき。	まずは、目標未達とならないようにしっかり管理を進めていくが、仮に目標未達となったテーマが発生した場合は、技術の社会実装に向けた次の取組につながるように、①なぜ目標未達となったのか、②目標達成に向けた課題は何か、③課題の解決策は想定できているかなどについてまとめ、技術の社会実装に向けた次の取組につなげる。
エンジニアリングの観点から、企業もしくは研究者からコメント、アドバイスを受けながら検討を進めるべき。	製油所脱炭素化技術専門委員会において、エンジニアリング会社や大学の有識者の方に委員に就任いただいております。定期的に助言を頂きながら研究を進めている。引き続き、このスキームを活用していきたい。
AIやビッグデータ処理などに経験のあるユニコーンなどを加え、取り組みを加速すべき。	研究で抽出された課題に応じて、適切な連携先を選定し、研究を推進することとしたい。

第3章 評価対象事業に係る資料

2023年7月19日
資源エネルギー庁
資源・燃料部
燃料供給基盤整備課

1

事業名	製油所の脱炭素化研究開発						
事業期間	2021年～2025年（5年間） 評価時期：事前（2020年）、 中間（2023年） 、終了時（2025年）						
予算額	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	全期間の 執行総額	全期間の 事業総額
	6億円	6億円	5億円	-	-	17億円 (2021年度～2023 年度までの総額)	17億円 (2021年度～2023 年度までの総額)
実施体制	資源エネルギー庁 → (一財)石油エネルギー技術センター [定額補助] → 石油精製事業者・大学等[委託等]						
事業目的	石油製品は、今後も重要なエネルギー源としての役割があり、引き続き国内における安定供給を確保する必要がある。しかしながら、石油製品の供給拠点である製油所（石油精製事業者）は、国内の石油需要の減少、アジア諸国の石油コンビナートとの国際競争の激化に加え、世界的な脱炭素化の潮流といった事業環境の変化に直面している。 本事業は、国内の石油精製事業者が、石油精製事業を継続しつつ、カーボンニュートラルに向けて二酸化炭素排出量削減に資するような技術の開発を後押しすることで、国内の燃料安定供給とともに、国内製油所の脱炭素化を実現することを目的とする。 この目的を達成するために、下記項目の研究開発を実施する。 ① 製油所の操業の最適化によるCO2低減 ② 石油精製と廃プラスチック、バイオマス等の共処理技術（Co-Processing技術）の向上によるCO2低減						

評価項目 1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

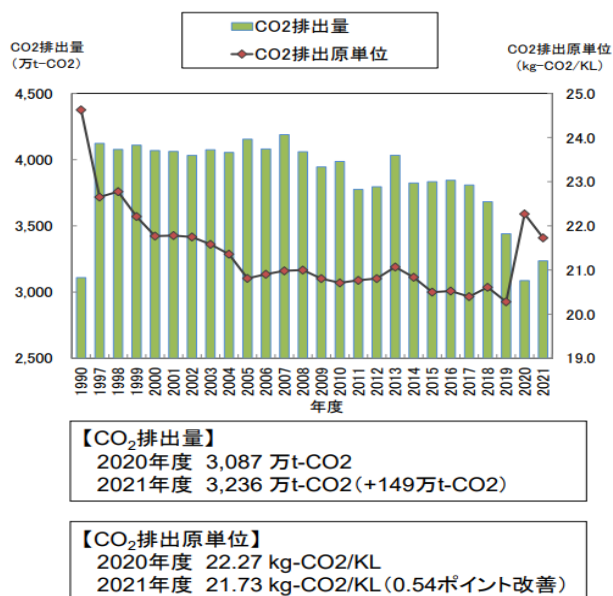
1-1-1. 社会課題と将来像

評価項目 1

3

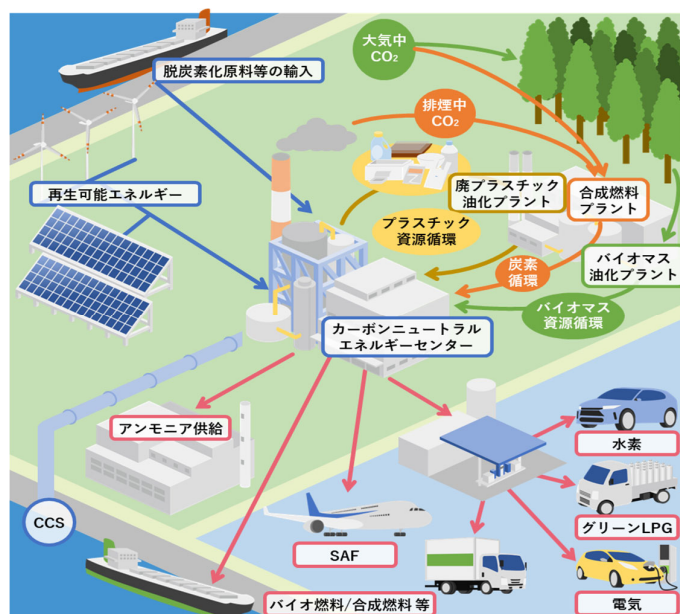
- **我が国の製油所は**、主に化石燃料である原油を原料として精製し、ガソリンなどの燃料や化学製品を生産するが、そのプロセスにおいて多大なエネルギーを消費し、**年間3,000万トン以上のCO2を排出**。
- **2050年に向けた将来の製油所は**、既存設備の活用に加えて、必要な精製プロセスの改造なども図りながら、CO2フリー水素、回収CO2、**廃プラスチック、バイオマスなども原料として活用**した「カーボンニュートラルな燃料・化学製品」などを製造する拠点に転換していくことが必要。

＜国内製油所のCO2排出の推移＞



(出典) 2022年度第1回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 地球環境小委員会 資源・エネルギーワーキンググループ 資料5-1 石油連盟説明資料

＜石油産業の将来ビジョン：カーボンニュートラルエネルギーセンター（イメージ図）＞

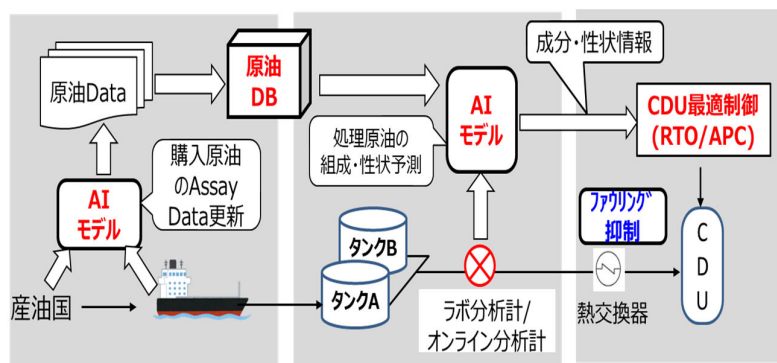


(出典) カーボンニュートラル社会に向けた製油所転換シナリオ検討 報告書 (令和5年3月, 一般財団法人石油エネルギー技術センター)

- 石油を取り巻く環境は地球温暖化問題への関心の高まりにより、脱炭素化の流れが加速。
- 日本の製油所がエネルギーや石油化学製品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、製品の脱炭素化を進めることが重要。**
- 製油所の脱炭素化においては、以下の2点が求められる。
 - ① 製油所の操業の最適化によるCO2低減
 - ② 石油精製と廃プラスチック、バイオマス等の共処理技術（Co-Processing技術）の向上によるCO2低減

＜製油所の操業の最適化＞

- ◆ これまで困難であった重質油の詳細組成構造解析と、反応シミュレーションモデル等を組み合わせた「ペトロリオミクス技術」を活用することで、装置稼働の効率を高め、省エネ性を高める（≒CO2排出量を低減させる）ことが可能。



＜共処理技術（Co-Processing技術）＞

- ◆ 海外では、輸送用燃料の脱炭素化を図るためバイオマス由来の原料油と従来の石油系基材を共処理（Co-Processing）する技術の導入が始まっている。
- ◆ また、カーボン循環の観点からプラスチックのケミカルリサイクル技術にも注目が集まっている。



1-1-2. 本事業の意義（社会的価値・経済的価値）②

事前評価時からの変更点

【2020年度（令和2年度）】

「AIを活用した石油精製プロセス最適化のための技術開発」事前評価

- 既存の製油所設備を最大限に活用しつつ、エネルギー/化学品の急な需給バランス変動にも迅速に対応できる供給柔軟性を確保し、ひいては製油所をエネルギー/素材転換拠点に構造変革することによって、エネルギー安定供給と石化品供給の両立を図る。
- 世界的に原油成分をベースとした石油精製プロセスの革新が進められつつあり、日本は原油成分分析（特に重質留分）において最先端技術を有している。この成分分析技術とデジタル技術を融合し、製油所の上流から下流までの全操業情報と個別プロセスの全稼働情報をリアルタイムに連結することによって、エネルギー安定供給と石化品供給比率増加の両立のためのAI技術を開発。

【2020年10月26日】

カーボンニュートラル宣言

- 菅前内閣総理大臣は2020年10月26日の所信表明演説において、我が国が2050年にカーボンニュートラル（温室効果ガスの排出と吸収でネットゼロを意味する概念）を目指すことを宣言。2021年4月の気候変動サミットにおいて、温室効果ガスを2030年度に2013年度比で46%削減することを目標とすることを発表。
- 2021年11月2日のCOP26世界リーダーズ・サミットにおいて、岸田総理大臣は、以下のとおりスピーチ。
「2050年カーボンニュートラル。日本は、これを、新たに策定した長期戦略の下、実現していきます。2030年度に、温室効果ガスを、2013年度比で46%削減することを目指し、さらに50%の高見に向け挑戦を続けていくことを約束します。」



【2021年度（令和3年度）】

「製油所のグリーン化研究開発」として事業開始

- カーボンニュートラル宣言などを踏まえ、様々な分野で脱炭素に向けた取組や技術革新の必要性が増大。
- 他方、石油製品は、今後も重要なエネルギー源としての役割があり、引き続き国内における安定供給を確保していくことが求められる。
- このため、本事業の目的を「AI等の技術を活用して、燃料の安定供給の拠点である製油所の脱炭素化に向けた技術を確認させることで、石油精製業全体のCO2排出量を削減していくこと」に変更した上で、事業開始。

【2022年度（令和4年度）】

「製油所の脱炭素化研究開発」に名称変更

- カーボンニュートラルを宣言する国・地域が増加し、排出削減と経済成長をともに実現するGXに向けた長期的かつ大規模な投資競争が激化。
- GXに向けた取組の成否が、企業・国家の競争力に直結する時代に入入。

＜カーボンニュートラルの実現に向けた政府・石油業界の動向＞

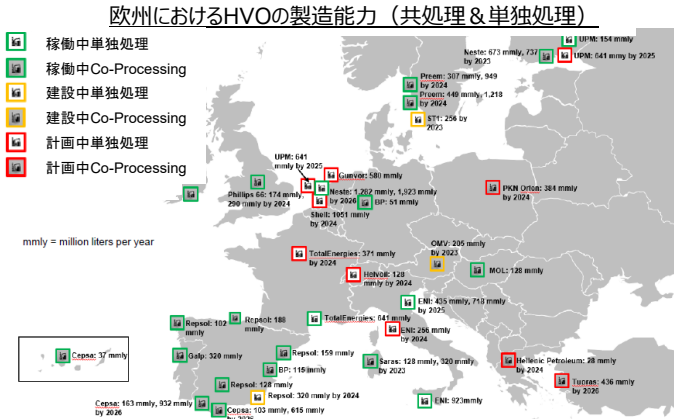
- ✓ カーボンニュートラル宣言以降、「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（令和3年6月18日、関係行政機関策定）が策定。
- ✓ 令和2年度第3次補正予算においては、グリーン成長戦略において実行計画を策定している重点分野のうち、特に政策効果が大きく、社会実装までを見据えて長期間の取組が必要な領域にて、具体的な目標とその達成に向けた取り組みへのコミットメントを示す企業等を対象として、10年間、研究開発・実証から社会実装までを継続して支援する2兆円規模の「グリーンイノベーション基金」が造成。
- ✓ 令和3年10月には、「第6次エネルギー基本計画」が策定され、2050年カーボンニュートラルに向けた長期展望と、それを踏まえた2030年に向けた政策対応として、今後のエネルギー政策の進むべき道筋が示される。石油連盟では同年3月に新たなビジョンとして「石油業界のカーボンニュートラルに向けたビジョン（目指す姿）」が策定され、翌年に改定版を公表するなどカーボンニュートラルに向けた業界の動きを活発化。
- ✓ 昨年（令和4年）2月のロシアによるウクライナ侵略以降、エネルギー安定供給の確保が世界的に大きな課題となる中、GX（グリーン・トランスフォーメーション）を通じて脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の3つを同時に実現するべく、GX実行会議や各省における審議会等での議論を踏まえ、「GX実現に向けた基本方針」を取りまとめ、今年（令和5年）2月に閣議決定。
- ✓ 今年（令和5年）5月には、カーボンプライシングという制度や、脱炭素社会に必要な技術開発のための投資支援などを定めた脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律案（GX推進法）が成立。

- EUのFit for 55などCO2低減に向けた取り組みが進んでおり、メジャー石油会社でも共処理技術（Co-Processing）を活用した製油所が増えている。
- ICAO（国際民間航空機関）で、SAF製造において共処理技術の適用の取り組みが進んでいる。

◆ EUにおいては、約40か所の製油所で共処理技術を活用してバイオディーゼル中心に生産されている。

欧州等における低炭素燃料製造における製油所の対応	
共処理で対応する製油所例	単独処理で対応する製油所例
Preem（スウェーデン） Exxon Mobil（オランダ） Bp（スペイン、アメリカ） Phillips 66（イギリス） Total Energy（フランス） Eni（イタリア（タラント）） Litvinov Refinery（チェコ） OMV Petrom（ルーマニア） Galp（ポルトガル） Cepsa, Repsol（スペイン） ・・・他	Neste（フィンランド） Eni（イタリア（ベニス）） Eni（イタリア（シチリア）） ・・・他

（各種公開資料をもとにJPEC作成）



（出典）STRATASADVISORS(Fuels for the future2023)

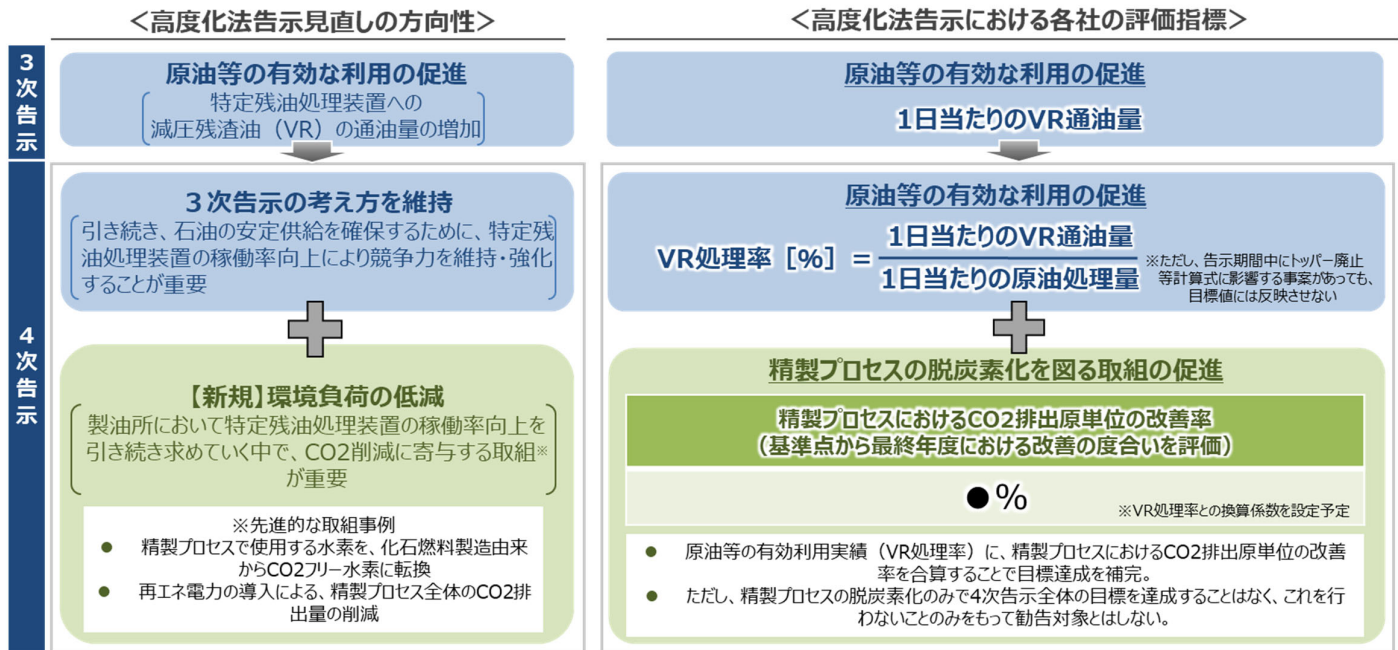
◆ SAF製造について、Co-Processingで混合可能な原料種の拡大および5%混合上限を30%へ拡大を取り組んでいる。

SAF製造プロセス ICAO(国際民間航空機関) HPよりJPEC抜粋および作成

ASTM D1655 Annex A1	既存製油所設備によるエステルや脂肪酸の水素化処理	脂肪、油脂、獣脂と石油のCo-Processing
	既存製油所設備によるFT燃料の水素化処理	FT燃料と石油のCo-Processing
	バイオマス水素化処理	バイオマス油と石油のCo-Processing
検討中	リサイクルできないプラスチックの熱分解油	リサイクルできないプラスチック熱分解油のCo-Processing
	使用済みタイヤの熱分解油	タイヤ熱分解油のCo-Processing

- 今後も、様々な需要構造等の変化に対応しながら石油の安定供給を確保するためには、引き続き、製油所の稼働を維持しつつ、生産性を高めていくことが必要。
- 合わせて、精製プロセスにおいても、エネルギー供給構造高度化法の改正により、環境負荷の低減に配慮した取組が求められていることから、精製プロセスにおける脱炭素化に向けた取組実績に応じて評価する指標を策定。

＜原油等の有効な利用に関する石油精製業者の判断の基準（3次告示の概要と4次告示の方向性）＞



1-1-4. 事業の全体構成

製油所の脱炭素化研究開発

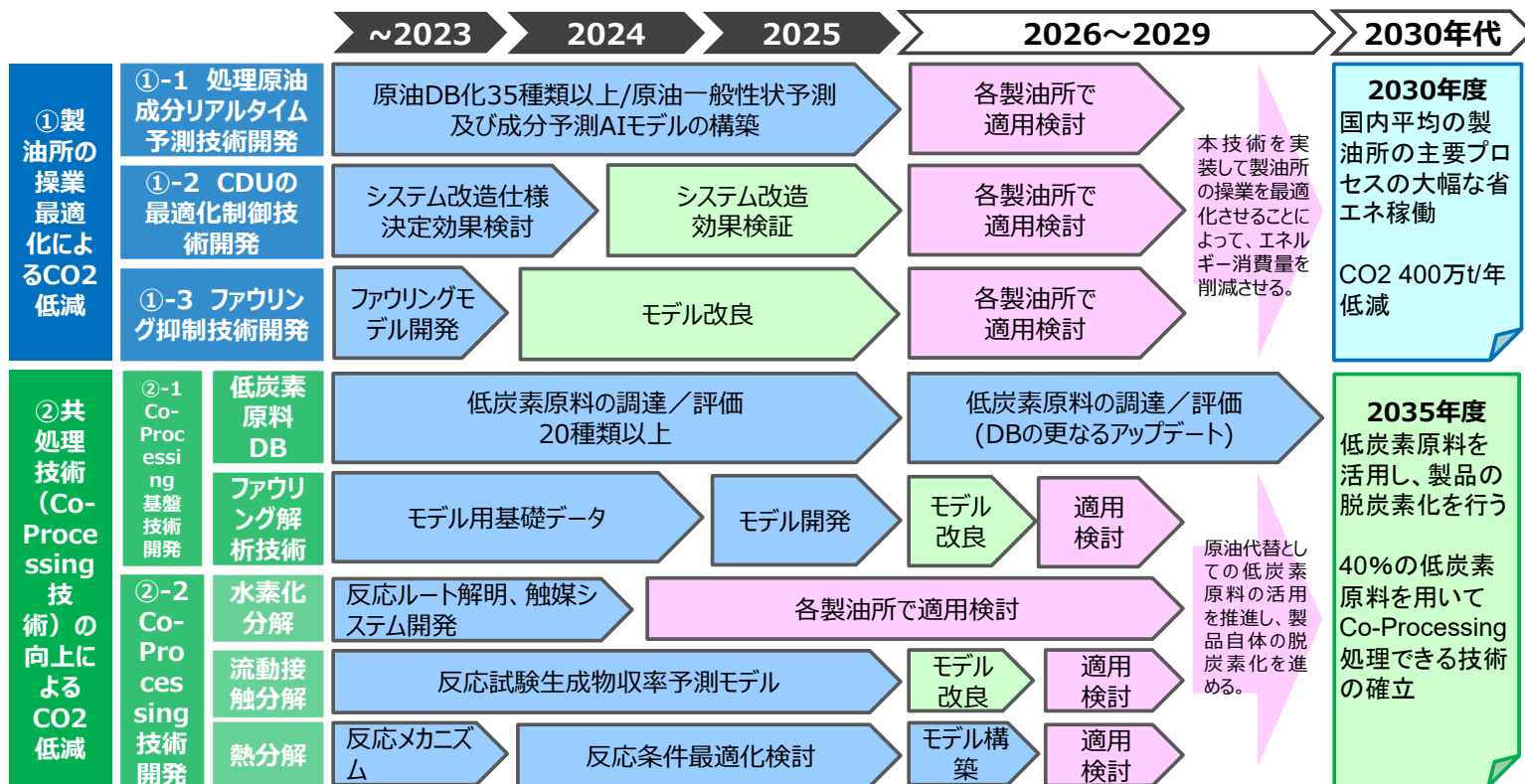
①製油所の操業最適化によるCO2低減（製油所のエネルギー消費量の削減）

- ①-1 処理原油成分リアルタイム予測技術開発（原油DB構築、原油一般性状予測および成分予測AIモデル開発）
- ①-2 分子成分情報活用による常圧蒸留装置（CDU）の最適化制御技術開発
- ①-3 ファウリング抑制技術開発

②共処理技術（Co-Processing技術）の向上によるCO2低減（原油代替としての低炭素原料の利活用）

- ②-1 Co-Processing基盤技術開発
 - i) 低炭素原料DB構築
 - ii) 分子成分情報活用ファウリング解析技術開発
- ②-2 Co-Processing技術開発

- AIモデル開発や原油DBなどの基盤技術を技術開発に展開する。開発した技術は研究成果利用システムで各社で活用可能とする。
- 石油精製の省エネ技術については早期に完成させ、製油所への普及促進を図る。
- 低炭素原料のCo-processing処理については完成した技術から導入を進める。



1-3-1. オープン・クローズ戦略

- 省エネ技術の基礎となる原油の成分情報データベースについて、現在のJPECの技術は世界的にもトップレベルと評価されている。
- 欧州では低炭素原料の導入を先行して進められており、規制規格化が進んでいる。
- これらを踏まえ、以下のオープン・クローズ戦略を策定している。

＜JPECのオープン・クローズ戦略＞

1. 脱炭素化の戦略についてはオープンにして海外と協調して行う。

Concawe（Conservation of Clean Air and Water in Europe、欧州石油精製技術調査機関）や欧州石連など海外機関との連携を活用し、脱炭素化戦略を共有する。

2. 技術・ノウハウについてはクローズとして、国内の製油所の競争力を高める。

JPECでは特許出願に関する基本方針に従い特許出願を進め、国内石油会社等と「知財情報連絡会」を開催し、取扱いについて検討する（原則として、JPECが特許出願を一元的に実施・管理する）。これにより開発した技術を国内製油所各社が共通して活用できる仕組みを構築する。

JPECで開発した基盤技術として、原油・低炭素原料データベースやシミュレーション技術等を、国内製油所に広く使用してもらうための公開方法を検討している。※次スライド参照

＜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

1-3-1. オープン・クローズ戦略

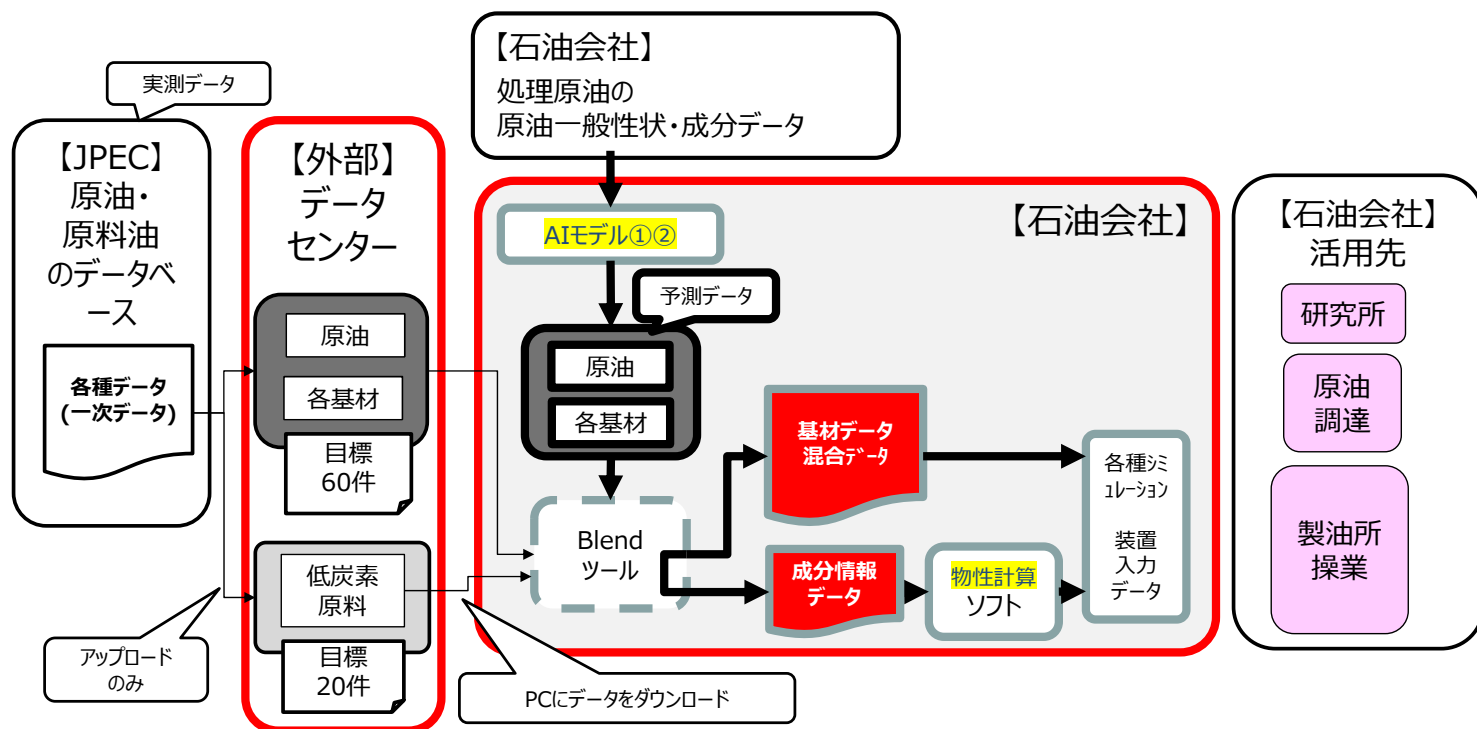
(参考) 原油・低炭素原料データベースやシミュレーション技術等

評価項目 1

12

- 令和4年度は、サンプルを提供いただいた会社に原油や低炭素原料のデータベースを試験的に公開。
- 令和5年度以降は、石油会社にシミュレーションシステムを提供し、処理状況や処理結果を評価するとともに改良を実施。

<シミュレーションシステムの公開イメージ>



1-3-2. 標準化戦略①

評価項目 1

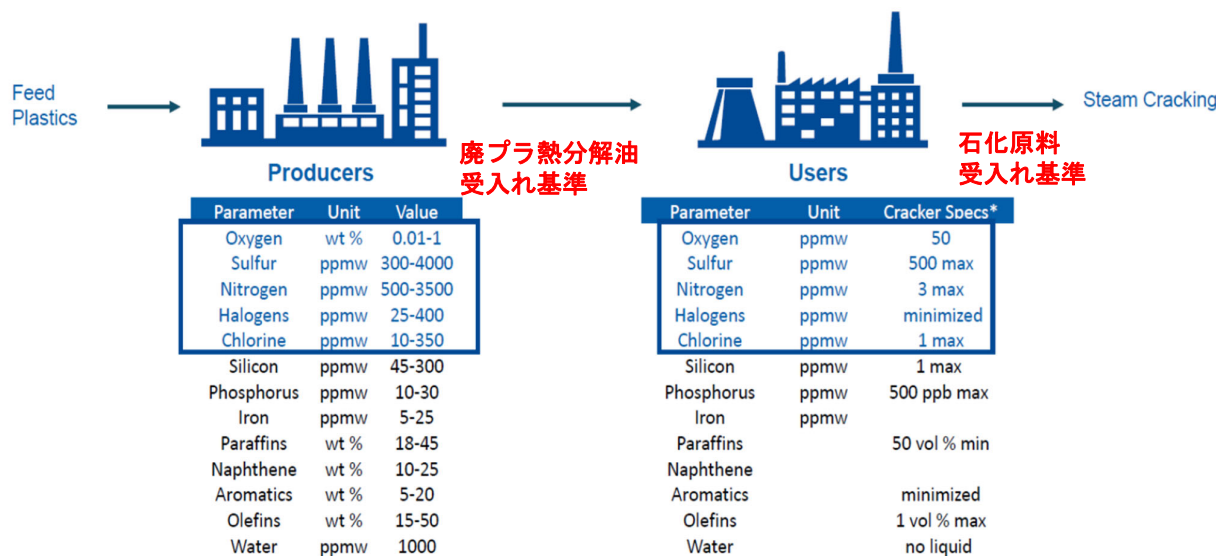
13

- 標準化戦略として、先行する欧州でのサプライチェーン構築のための原料・燃料の標準化動向を調査し、国内企業・関係団体や欧州石連等と連携しながら標準化戦略を検討する。

海外先行事例：BASF プラスチックの資源循環システム“ChemCycling”

・ケミカルリサイクルを行うための製油所での廃プラ分解油受入と石化設備受入れ基準を設定

<海外先行事例：廃プラ熱分解油および石化原料の受入れ基準>



(出典) European Refining Technology Conference2022, Manish Mehta, BASF

海外では、炭素資源循環に向けた標準化が推進されている

- 標準化戦略として、本事業での低炭素原料のデータベースを整備する中で、懸念物質をリストアップするとともに、その前処理技術の調査を実施する。
- 懸念物質の前処理技術の調査を踏まえて、低炭素原料の石油業界での受け入れ基準を検討する。

＜低炭素原料の一般性状比較＞

試験項目	単位	廃プラ油 (PVC含有)	廃食油	木質 分解油	トール油 (松脂精製油)
酸価	mgKOH/g	0.04	0.54	80.1	200
水分	質量ppm	151	192	29.6%	0.1
酸素	質量%	0.1	11.2	44.8	11.4
塩素	質量ppm	116	3	<0.01	0.01
窒素	質量ppm	36	14	350	43
残炭分	質量%	—	—	25.1	0.11

腐食懸念物質：酸価、酸素、水分、塩素等

⇒腐食懸念物質は配管等の汚れや閉塞等の汚れ原因物質を生成

触媒劣化懸念物質：酸素、窒素、残炭分等

⇒触媒性能の低下は反応温度上昇や交換頻度上昇による経済性悪化

評価項目 2. 目標及び達成見込み

アウトカム指標		アウトカム目標	達成見込み
短期目標 2030年度	国内平均の製油所の主要プロセスの大幅な省エネ稼働	CO2低減 400万t/年	— (現在は予測不可能であるが、達成に向けて取組を継続する。)
中期目標 2035年度	低炭素原料を活用し、製品の脱炭素化を行う	40%の低炭素原料をCo-Processing処理する技術の確立	— (現在は予測不可能であるが、達成に向けて取組を継続する。)
(設定理由・根拠) - 需要に合わせた生産を行うため、中間製品の貯蔵など装置稼働を効率化することができる。製油所の効率化指標としてはソロモン社のエネルギー効率指標 (EII) が使われており、国内平均の製油所を世界的にも最高水準 (2020年現在のEIIを-10) を目指す。これは過去10年間の製油所の省エネに匹敵する規模となるCO2約400万t/年削減に相当する。 - カーボンニュートラルに向けてCo-Processing処理技術の確立を行う。原油に対する低炭素原料の比率を世界最高レベルの共処理装置入口フィードに対して40%まで可能な製油所を作る技術を確立する。 (計測方法) - CO2排出量を石油連盟のカーボンニュートラル行動計画フォローアップなどで公表している。例えば2022年度の報告では2021年度CO2排出量は3236万tと報告されている。 - 脱炭素燃料については、石油連盟の2022年改訂の「カーボンニュートラルに向けたビジョン (目指す姿)」でも「供給する製品に伴うCO2排出 (Scope3) の実質ゼロ (CN) にもチャレンジする」としている。 - 一方、現状ではSAF等でも脱炭素燃料の供給が行われていないため統計資料などが公表されていないが、第三者等によって脱炭素燃料供給量や脱炭素燃料比率などの数値データの整備が期待される。			

費用対効果

- 本事業に要する国費総額見込みは、約30億円 (6億円×5年と仮定) を見込んでいる。
- ①製油所の操業最適化の技術開発は、その技術が製油所に実装された際に見込まれる年間CO2低減量は400万t (アウトカム) であり、現在の国内製油所のCO2排出量からみて、10%程度のCO2低減効果があると考えられる。
- ②共処理技術 (Co-Processing技術) の向上のための技術開発において掲げている「40%の低炭素原料をCo-Processing処理する技術」という目標 (アウトカム) は野心的な目標設定をしており、供給する製品に伴うCO2排出削減 (Scope 3) に寄与するものと考えられる。

2-2-1. アウトプット目標及び達成見込み①

評価項目 2

18

アウトプット指標		アウトプット目標	達成見込み
中間目標 2023年度	①-1：処理原油成分リアルタイム予測技術開発 1)原油の基本情報を整備およびデータベース化し、製油所で活用可能とする。 2)原油/留分の性状を予測する基本技術構築	1)データベース登録数（累計） 原油18種類 2)原油一般性状予測AIモデルの開発（進捗率で評価） 原油/留分性状147項目のうち70%以上が、AIモデル予測値と実測値の誤差が試験法の再現許容差内であること	達成 1)18種類 2)80%
	①-2：CDUの最適化制御技術開発 製油所の省エネ/高効率化に資する操業最適化のさらなる高度化に関する技術開発を行う	1)CDU最適化制御高度化の要件定義およびRTO改造仕様の決定（進捗率で評価）	達成 1)100%
	①-3：ファウリング抑制技術開発 製油所の省エネ/高効率化に資する操業最適化のさらなる高度化に関する技術開発を行う	1)ファウリング解析モデルのプロトタイプ構築（進捗率で評価）	今年度中に達成の見込み 1)60%
	②-1：Co-Processing基盤技術開発 低炭素原料の基本情報を整備およびデータベース化し、製油所で活用可能とする。	1)データベース登録数（累計） 低炭素原料12種類	達成 1)20種類
	②-2：Co-Processing技術開発 製油所で低炭素原料を共処理することを可能とする技術開発を行う	1)反応ルート、触媒劣化/被毒機構を踏まえたCo-Processing用水素化分解触媒システムの確立（進捗率で評価）	今年度中に達成の見込み 1)70%
最終目標 2025年度	処理原油成分リアルタイム予測技術開発 1)原油の基本情報を整備およびデータベース化し、製油所で活用可能とする。 2)原油/留分の性状を予測する基本技術構築	データベース登録数（累計） 1)原油35種類 2) 原油成分予測AIモデルの開発 予測成分のうち70%以上が、AIモデル予測値と実測値の誤差が±10%に収まる	—
	CDUの最適化制御技術開発 製油所の省エネ/高効率化に資する操業最適化のさらなる高度化に関する技術開発を行う	技術開発レベル TRL2→5 1)RTO改造効果がシミュレーションレベルで検証	—
	ファウリング抑制技術開発 製油所の省エネ/高効率化に資する操業最適化のさらなる高度化に関する技術開発を行う	技術開発レベル TRL2→5 1)ファウリング解析モデルの構築	—
	Co-Processing基盤技術開発 低炭素原料の基本情報をデータベース化し、製油所で活用可能とする。	データベース登録数（累計） 1)低炭素原料20種類	—
	Co-Processing技術開発 製油所で低炭素原料を共処理することを可能とする技術開発を行う	技術開発レベル TRL2→4 1) RFCCにおける共処理を対象とし、原料組成および反応条件から生成物収率を予測する機械学習モデルの構築 2)原料の分子成分情報から各原料毎のファウリング挙動が推定可能なプロトタイプモデルの構築	—

2-2-1. アウトプット目標及び達成見込み②

評価項目 2

19

（アウトプット目標の設定理由・根拠）

処理原油成分リアルタイム予測技術開発

- 1)本事業で開発する技術の基礎となる原油及び低炭素原料の成分情報に関するデータベースを構築する。国内製油所で使用している原油をほぼすべてデータベース化することを図る。
- 2)原油/留分の一般性状196項目のうち、AI予測検討が可能なデータが揃っている項目147項目であった。一般性状、成分とも、設定した項目の70%以上が目標精度以内で予測出来れば、CDU最適化制御に対して重要度の高い項目はカバーされると見込まれ、収益性改善と省エネの実現に寄与できるとして設定した。

CDUの最適化制御技術開発

CDUは製油所装置群の中で最もCO2排出量の多い装置の1つであることから、CDUの省エネを実現する技術を開発する。CDU制御を最適化することで操業の高効率化、省エネを実現する。

ファウリング抑制技術開発

CDU熱交換器のファウリングを抑制することで熱交換効率を向上し、高効率化および省エネを実現する。本事業終了時において製油所実証可能なTRL5のレベルを設定する。

Co-Processing基盤技術開発

低炭素原料については国内および海外で入手可能なサンプル数を見積もり設定した。

Co-Processing技術開発

低炭素原料と付加価値の低い重質油を共処理し、今後需要が堅調に伸びていくことが予想される石化製品の原料を水素化分解、共熱分解、接触分解反応により生産する技術を開発する。本事業終了時においてできた技術から石油会社で活用するためのシステム構築を完成する。

（未達成の原因分析と今後の見通し）

第一四半期の現段階では予定通り進捗しており、このまま進捗すれば年度末までには達成する見込み。

（計測方法）

毎年採択評価を行い技術進捗状況について、第3者の確認、評価を受ける。

説明変数

21年度
Step1

原油名、産油国、
密度、Vis、残炭、
S分

各Laboで同一試験法で測定可

機械学習
(一般性状予測AIモデル)



22年度
Step2

IRスペクトル

Step3

原油名、産油国、
密度、Vis、残炭、
S分
+
IRスペクトル

目的変数

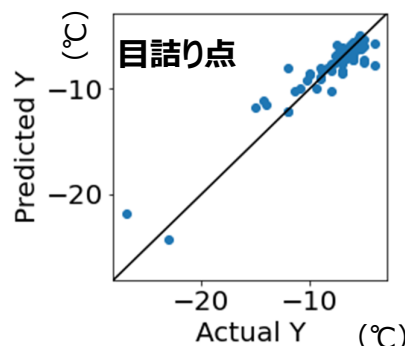
原油・留分一般性状

項目	性状
1	密度
2	Vis
3	残炭
4	S分
5	...
196	...

検討対象項目：196

AI予測が適用可能な項目、
精度の見極め

- 教師データに「検出限界以下」が多い49項目を除外し、147項目について検討実施。
- 説明変数を見直す(左図 Step1⇒Step3)ことにより予測精度向上。147項目のうち80%は誤差平均が試験法再現許容差内。一方、原油以外の要因が影響する項目(例Fe)等、一部予測が難しい項目が存在することも判明。
- CDU最適化制御技術開発とも連携してモデルの改良検討を行い、23年度末迄に一般性状予測AIモデルの開発完了予定



モデル	決定係数	二乗平均 平方根誤差
Step1	0.656	4.7
Step2	0.734	2.0
Step3	0.860	1.4

※JIS室間再現許容差：4℃

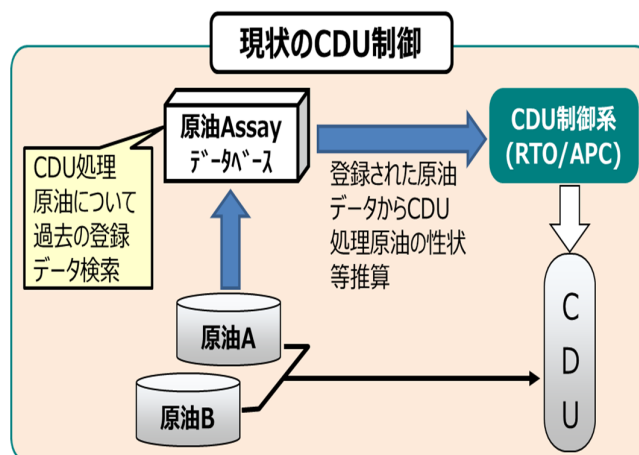
20

<補足> ①-2 : CDUの最適化制御技術開発

【技術開発の背景】

- ①同じ原油でもロットにより性状は異なるが、原油評価に時間を要するため、常圧蒸留装置(CDU)の制御では、**同一原油の過去の評価結果**が用いられることが多い
- ②CDUでは複数の原油が混合処理されているが、制御には**各原油の混合比率から計算された性状**が用いられており、実際の性状が反映されているケースは少ない。

CDU処理原油性状をリアルタイムに把握し、制御系で活用出来れば省エネが実現出来る可能性有



【主な進捗状況】

①CDU最適化制御の高度化に必要な性状データ（要件定義）

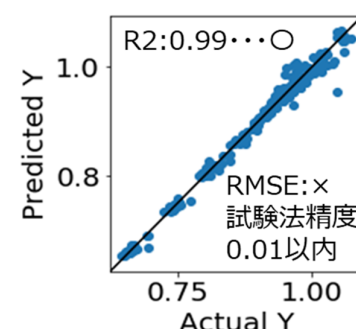
- ・収率、密度、凝固点、くもり点、残炭分の5項目
- ・これら5項目の値を0～1000℃の範囲で25℃刻みで提供すること

AIモデル開発側で重点的に精度改善検討中

②CDU制御系改造検討

AIモデルと製油所データシステム間のデータ受渡法、及びCDU制御系に①に記載したデータを取り込むために必要となるRTO(Real Time Optimization)の改造仕様を決定。今後、AIモデルの予測精度を踏まえRTO改造効果を評価予定

原油/留分密度のAI予測状況



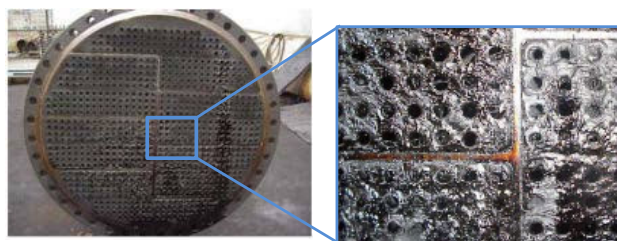
21

【常圧蒸留装置(CDU)原油熱交換器におけるファウリング(汚れ)の原因物質】

- ① 高次凝集アスファルテン(As)
- ② コーク前駆体(熱によりAsが縮重合)
- ③ 無機物 (鉄錆・硫化鉄)
- ④ 有機成分・無機成分の複合体



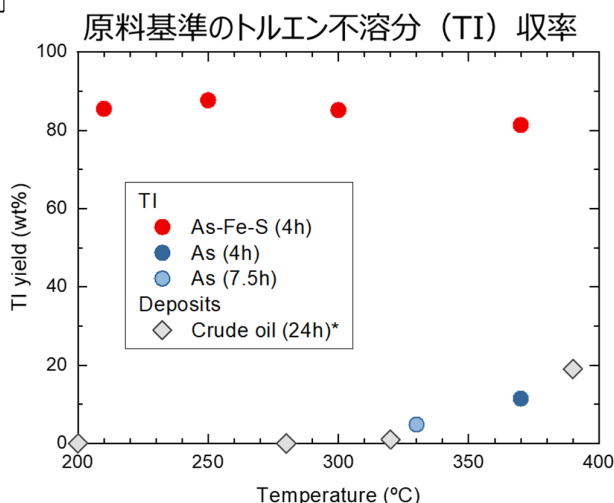
原油中の有機物・無機物がファウリング物質生成で果たす役割、及びファウリング物質生成初期の状態把握に向け、模擬ファウリング物質を種々の条件で作成。



ファウリングによる熱交換器の閉塞

【検討状況】

- ・Asのみから作成した模擬ファウリング物質は370℃ではトルエン不溶解分(TI;ファウリング物質)の回収率は10%
- ・鉄と硫黄をAsに混ぜると210℃でTI回収率80%以上
⇒CDU原油熱交換器と同程度の低い温度でファウリング物質が生成することを確認。(これまで報告事例なし)
- ・今回の結果も踏まえ、ファウリング物質の生成機構について更に検討を進めていく予定



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

22

<補足> ②-1 : Co-Processing基盤技術開発①

低炭素原料(バイオマス由来油、廃プラ再生油)20種類の一般性状分析実施した結果、前処理または装置腐食対策をしないと製油所では使用出来ない原料があることを確認。

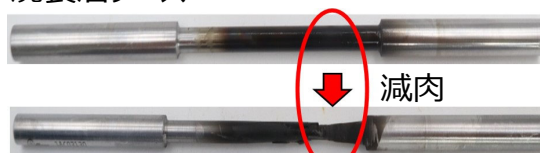
試験項目名	単位	PE・PP 熱分解油	PVC+3P 熱分解油	FAME (脂肪酸 メチルエステル)	HVO (水素化 植物油)	木質 分解油	トール油
密度(15℃)	g/cm ³	0.7785	0.8022	0.8845	0.7805	1.2240	0.9060
動粘度(30℃)	mm ² /s	1.661	1.824	5.704	3.741	200	23
酸価	mgKOH/g	0.02	0.04	0.54	0.02	80.1	200
水分	質量ppm	52	151	192	8	29.6質量%	0.1
170℃の不溶解分	質量%	-	-	-	-	44.1	0.1未満
Cl	質量ppm	1.1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



【腐食事例】

トール油のHLPS試験を行ったところ、汚れの急激な進行と共に装置で極端な減肉発生。
⇒トール油を使用するためには前処理(エステル化)、などの対策を施すことが必要

廃食油ケース

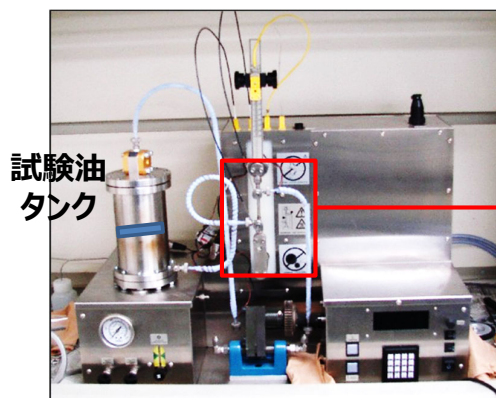


トール油ケース

減肉

23

● **試験装置** HLPS(Hot Liquid Process Simulator)試験装置を用い、低炭素原料の汚れ挙動を評価



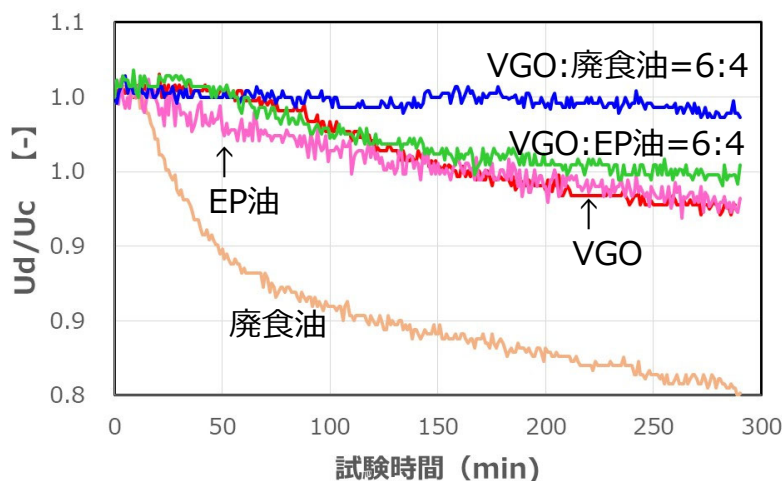
【HLPS試験装置】



ヒーターロッドに汚れが蓄積すると流体出口温度が低下
→汚れやすい流体ほど低下幅が大きい

● 試験結果例

- ・廃食油は減圧軽油(VGO)よりも急速に汚れが進行。廃プラ油(EP油)はVGOと同程度に汚れが進行。
- ・一方、廃食油とVGOを6:4に混合すると単独ケースより汚れの進行が大幅に抑制。EP油もVGOと混合すると若干汚れの進行が抑制された。
- ・今後、各種の低炭素原料の汚れ挙動を評価し、汚れが進行しにくい条件を検討予定



24

<補足> ②-2 : Co-Processing技術開発

【検討例】

ベンチ装置で水素化分解装置(HDC)によるCo-processing反応評価試験実施

使用原料：減圧軽油(VGO)60%：パーム油熱分解油40%

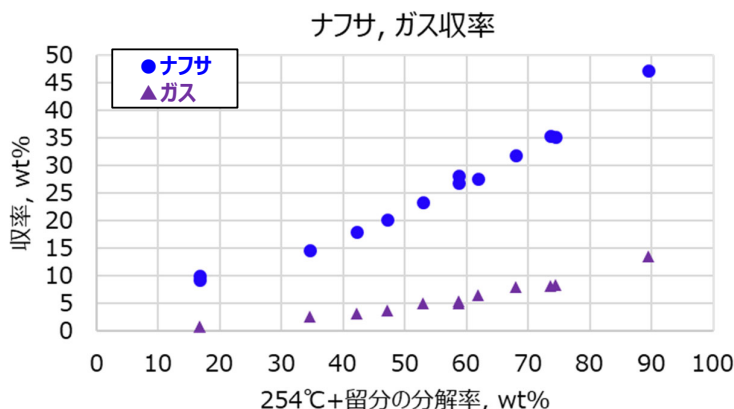
触媒比率：前処理触媒：分解触媒 = 1 : 5

反応条件：圧力10MPa,触媒層温度370~410℃,LHSV(触媒層Total)0.3~1.5h⁻¹,水素油比6,000scf/b

【結果】

- ① Co-ProcessingによりVGO側の脱硫・脱窒素反応(前処理反応)が阻害される現象は少なくとも反応初期段階では見られない
- ② パーム油熱分解油の脱酸素や脱塩素は、HDC前処理触媒反応において問題なく進行
- ③ 温度やLHSVのコントロールにより、分解率を上げる(≒反応シビリティを上げる)程、目的生産物であるナフサ収率が増えることを確認。(但し、ガス収率も増えるため要注意)

	初期活性	Co-Processingの影響 (VGO単独対比)
前処理部	(VGO)脱硫活性	影響なし
	(VGO)脱窒素活性	影響なし
	脱酸素活性	生成油酸素 < 0.1wt%
	脱塩素活性	生成油塩素 : 0
	水素消費量	計算中
分解部	分解活性	影響なし



ナフサ：C5-C9 灯油：C9-C14 ※C14(ノルマル体)の沸点：254℃

25

※累計表示

年度	論文数	発表	国内特許出願	国外特許出願	PCT出願
2022年度	-	11件	2 件	-	-
2023年度	査読付き論文 1件	12件 (見込み)	3件 (見込み)		

【論文リスト】

番号	件名	公表先	公表時期
1	Development of a Novel Petroleomics Data Processing Method	Journal of the Japan Petroleum Institute	2023年7月

【発表リスト】

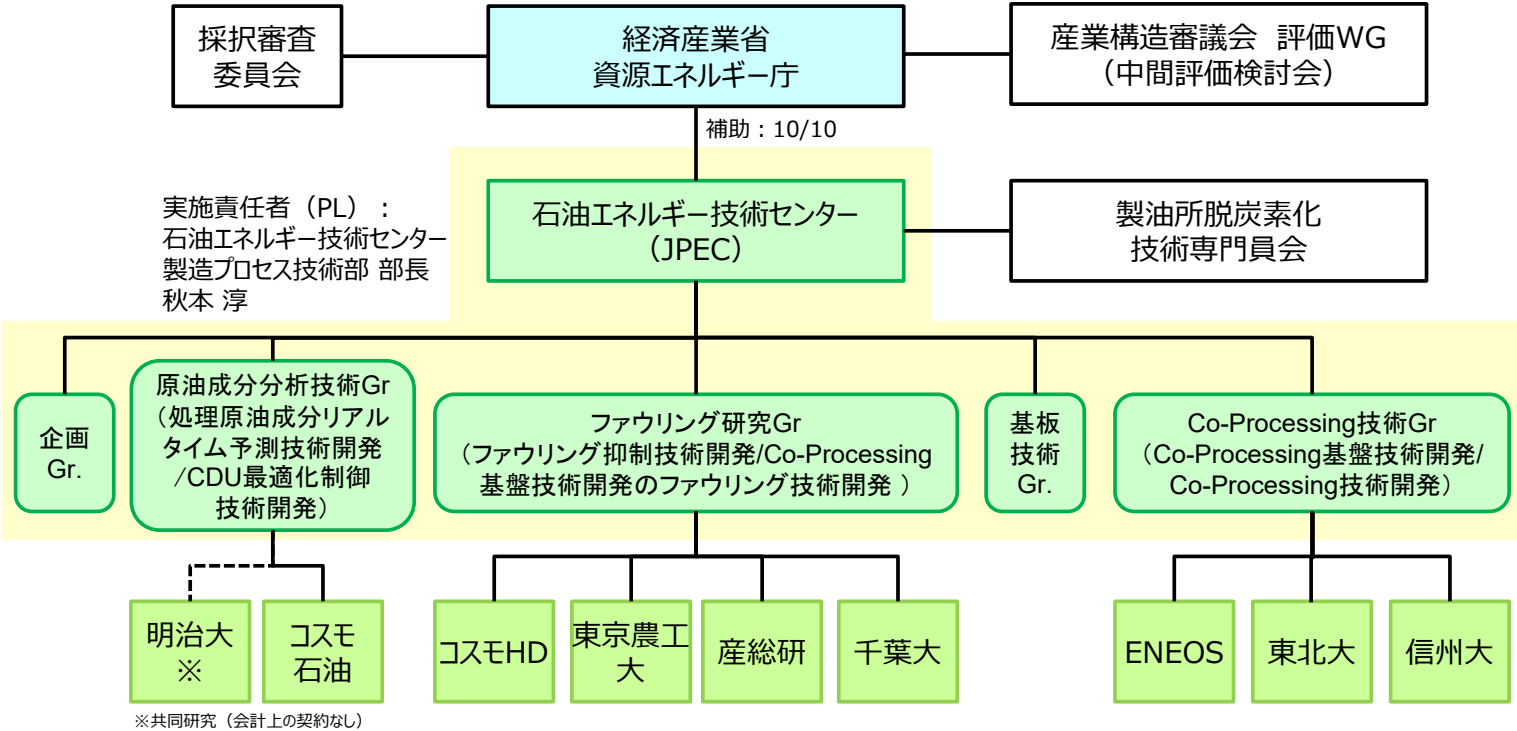
番号	件名	公表先	公表時期
1	アスファルテン加熱によるファウリング物質の調整と詳細分析	第 5 9 回石炭科学会	2022年10月
2	製油所の脱炭素化に向けた技術開発	第 5 2 回石油・石油化学討論会 長野大会	2022年10月
3	コプロセッシングにおける熱交換器ファウリング解析モデルの開発	第 5 2 回石油・石油化学討論会 長野大会	2022年10月
4	機会学習に基づく処理原油成分情報のリアルタイム予測モデルの開発	第 5 2 回石油・石油化学討論会 長野大会	2022年10月
5	FT-ICR-MSによる蒸留性状推定精度の改善検討	第 5 2 回石油・石油化学討論会 長野大会	2022年10月
6	散乱法によるファウリング物質の高次階層構造の検討	第 5 2 回石油・石油化学討論会 長野大会	2022年10月
7	処理原油・原料油成分リアルタイム予測技術開発	2 0 2 1 年度JPECフォーラム	2022年5月
8	分子成分情報活用CDU最適化制御技術開発	2 0 2 1 年度JPECフォーラム	2022年5月
9	石化成分製造最適化技術開発	2 0 2 1 年度JPECフォーラム	2022年5月
10	ファウリング制御技術開発	2 0 2 1 年度JPECフォーラム	2022年5月
11	AIを活用したBigデータ解析による汚れ予測モデル開	2 0 2 1 年度JPECフォーラム	2022年5月

【国内特許出願リスト】

番号	件名	出願番号	出願日
1	原油アッセイを作成する方法	2023-046055	2023年3月
2	石油重質留分の得率及び物性値の推定方法	2023-042901	2023年3月

評価項目 3. マネジメント

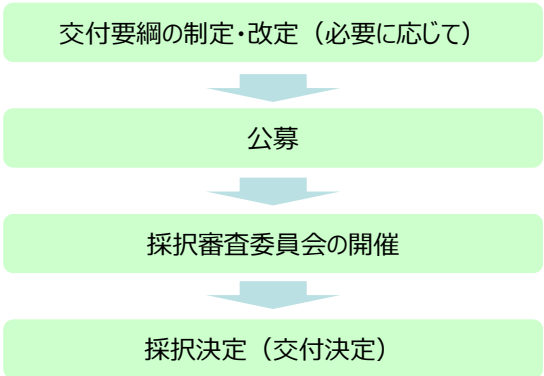
- JPECから石油各社や大学と連携して研究開発を進めている。
- 本研究開発事業が効率かつ効果的に推進されるように、研究開発の進捗管理や方向性についての確認、研究開発に対する助言をいただくことを目的とした「製油所脱炭素化技術専門委員会」を設置している。



3-1-2. 個別事業の採択プロセス

- 本事業は、経済産業省 資源エネルギー庁による直接執行を行っている。
(通常は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) による研究開発マネジメントの下で研究開発事業を推進していく体制が構築されることが多いが、本研究開発分野はNEDOの所掌業務領域の範囲外となるため、資源エネルギー庁による直接執行体制としている。)
- 資源エネルギー庁は、毎年度、採択審査委員会による外部有識者の評価結果を踏まえ、毎年度の補助金交付決定を行っている。
- 資源エネルギー庁職員は、JPECが設置・運営している「製油所脱炭素化技術専門委員会」に出席し、実施者による研究開発の進捗状況の把握に努めている。

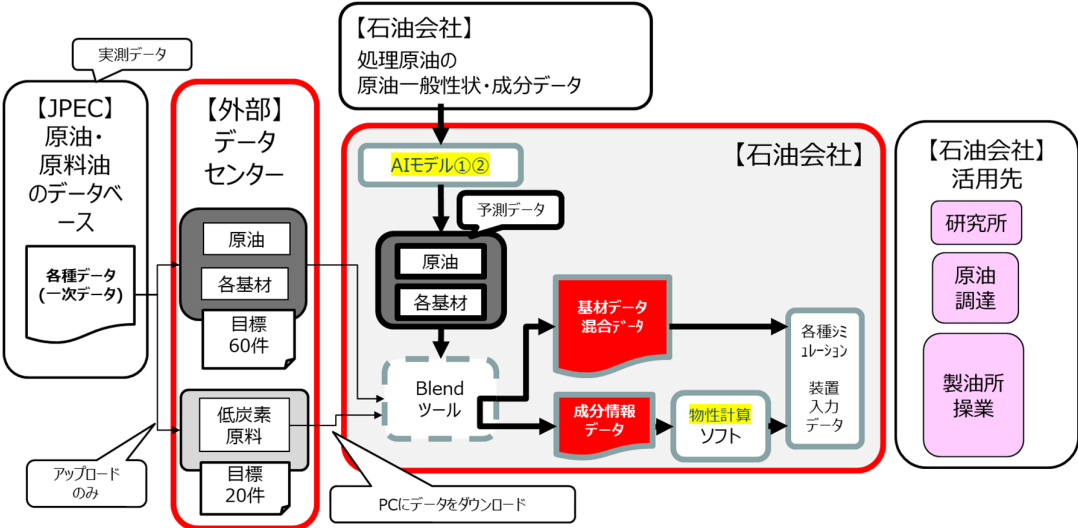
<毎年度の採択プロセス>



<製油所脱炭素化技術専門委員会の開催実績 (令和4年度)>

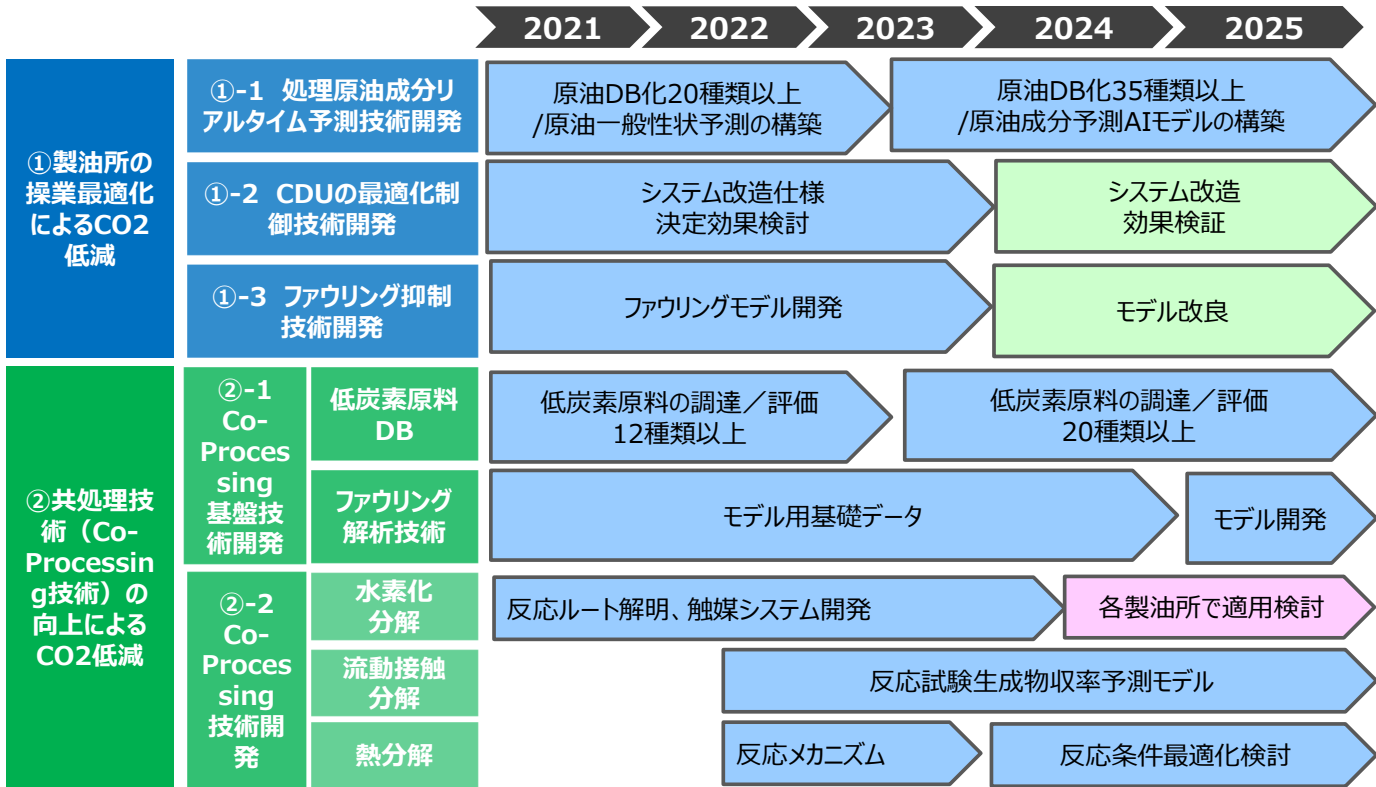
- 第1回
2022年7月8日 (金)
2022年度新規テーマの進め方の説明・審議
- 第2回
2022年12月20日 (火)
2022年度事業進捗状況の報告と討議
- 第3回
2023年2月21日 (火)
2022年度事業の進捗報告及び2023年度計画説明・審議

- 補助事業であるためJPECがデータ管理を行う。
- 秘匿すべき情報は秘密保持契約などで関係者外に情報が漏れないように管理する。
- オープン・クローズ戦略に従って秘匿するデータと開示するデータを管理する。
 - ①脱炭素化の戦略についてはオープンにして海外と協調を行う。
 - ②技術、ノウハウについてはクローズとして国内の製油所の競争力を高める。
 - － 特許については開発した技術を国内石油各社に共通して活用できる仕組みを構築する。
 - － JPECで開発した基盤技術（データベース、予測シミュレーション）を国内石油会社に広く使用してもらうための公開方法を検討している。



3-3-1. 研究開発計画

- 技術専門委員会において、俯瞰的な技術開発全体の方向性について、助言をもらい、必要に応じて研究開発計画を修正することとしている。
- これら進捗状況や計画修正については、毎年度、採択審査委員会において評価を受ける。



- 本事業は、
 - ①国内製油所における共通基盤的な研究開発であること
 - ②研究開発に大学等の研究機関の知見・ノウハウ等を用いることが想定されることから、補助率は定額補助（10/10）を設定している。
- 補助金は、①人件費、②事業費（設備費、材料・物品費、旅費、外注費等）、③委託費を対象としており、対象として認められない経費については、実施者において負担することとしている。

3-3-2. 進捗管理

	役割
JPEC部長 (補佐：上席主任研究員)	●プロジェクトの全体統括 ●「ステアリング会議」等で関係部署が集まり予算執行状況、知財、技術進捗等、プロジェクト全般のマネージメントを行う。 ●「技術検討会」等で技術開発の進捗状況を確認、指示を行う。 ●技術専門委員会を開催し、外部有識者の技術開発に関する助言に従い、計画修正や研究開発の方向性の判断を行う。
JPEC室長	●各テーマの目標達成に向けて、技術開発のマネージメントを実施する。 ●製造プロセス技術部長からの依頼に応じて、主任研究員への指導等を行う。
JPEC主任研究員	●室長の指示を受け目標達成に向けた実行、および各担当者の指導を行う。
委員 (外部有識者)	●委員会等にて、テーマ毎の研究目標と達成度、実用化の見込みを確認し、目標達成に向けた評価や助言を行う。 ●部長、室長からの依頼に応じて各テーマへの助言等を行う。

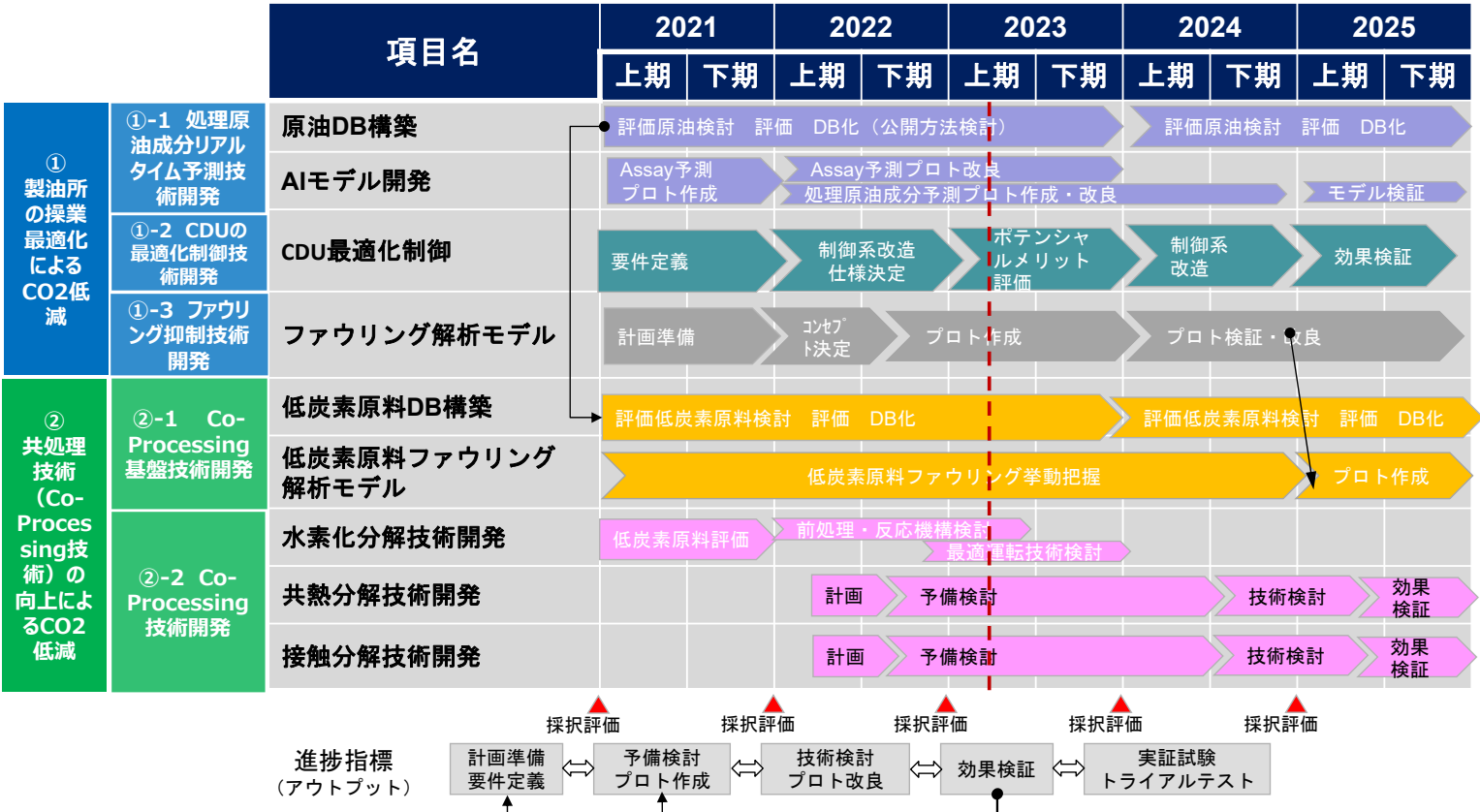
技術開発をより確実なものとするだけでなく、石油産業全体に広く使われる技術となるように、以下の会議で進捗管理を実施。

- ①ステアリング会議
JPEC関係部署が集まりPJ全般のマネージメントを行う
- ②技術検討会
技術開発の手法や進捗について確認する
- ③製油所脱炭素化技術専門委員会
有識者が客観的立場で、技術開発の評価・助言を行う
- ④各種研究会
石油産業の各社と広く連携し、実務遂行を検討する

	2022年度											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
大日程	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
			原油原料油研究会	技術専門委員会		原油原料油研究会			技術専門委員会	原油原料油研究会	技術専門委員会	採択評価

★ ステアリング会議、技術検討会

- 現在、順調に進捗しているが、今後、進捗管理の結果、研究開発の進捗が著しく遅れたりアウトプット達成が大幅に困難と認められる場合は、プロジェクト継続の可否や内容の変更を柔軟に検討する。



前回評価時の指摘事項と対処状況

前回評価時（2020年度（令和2年度） 事前評価）の問題点・改善すべき点	
（目標設定について）	本事業の最終的なビジネスモデルのイメージ、達成時期を明確化した上で、本事業の位置付け具体的な研究開発目標（アウトプット目標）を明示していただきたい。
（実用化に向けた制度設計について）	AI予測技術の高精度化のためには大量の良質なデータが不可欠である。そのため、石油元売り各社からAIベンダーへのデータの提供方法や構築したシステムの活用方法等の制度設計について、競争領域と協調領域の整理を含めて、事前に十分検討した上で事業を進めていただきたい。
【対処状況】	
（目標設定について）	本事業はカーボンニュートラルに向けたトランジションと安定供給を両立するための技術開発と位置付けている。カーボンニュートラル社会実現に向けた技術ロードマップを考慮し、省エネについては2030年、脱炭素燃料については2035年に普及することを想定し、TRLとしてアウトプットを設定した。
（実用化に向けた制度設計について）	AIベンダーへのデータ提供方法としては実用化の制度設計に関して、AIモデル作成に必要な原油については提供会社を秘匿した上で石油元売り会社から提供して貰い、JPECが分析を行ったうえでAI作成ベンダーにデータ提供してきた。また、システムの活用方法としては、データベースや性状予測など基本技術はトライアルとして公開することを開始した。ユーザーの意見をフィードバックしながら実装に向けて修正していく。

中間評価コメントに対する補足説明 参考資料 1

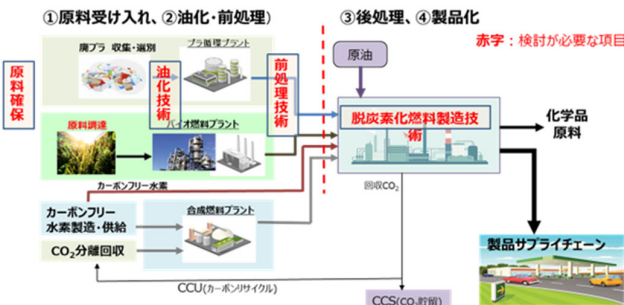
- 製油所の操業最適化によるCO₂低減のテーマに関しては、モデル製油所などを設定して、技術開発と製油所での検討がシームレスに繋がるよう進めるべき。

操業最適化については、CDU制御最適化など製油所に適用することを想定し石油会社とともに技術開発を進めている。Co-Processing技術についても石油会社と議論を開始しており、実証に向けて引き続き議論を進めたい。

JPECでは製油所転換の進め方について石油各社と議論し「カーボンニュートラル社会に向けた製油所転換シナリオの検討」としてレポートを発表した。製油所の転換に向けて以下の項目を実施する必要がある。引き続き実証に向けて議論を進めていく。



1. 脱炭素化原料の確保に関する調査
 - 脱炭素化原料の賦存量
 - サプライチェーンの構築
2. 脱炭素化燃料製造の技術開発
 - 油化技術
 - 前処理技術
 - 製油所処理技術
3. 製油所での脱炭素化燃料製造の実証



中間評価コメントに対する補足説明 参考資料 2

- 共処理技術に関しては、2035年の目標達成に向けて、低炭素原料の導入の種類や調達先、ボリューム、時期などのイメージを提示すべき

以前の調査の中で低炭素燃料の賦存量調査を行った。これらをベースとして2035年目標達成に向けて調達先、ボリューム、時期などの具体的イメージは今後検討する。

分類	ターゲット	国内外	ポテンシャル	位置づけ	現在入手性	具体例	備考	
バイオマス油	非可食系	粗トール油	国内	160万t/年	自家消費中	×	製紙各社自消中	国産は入手困難
			海外		外販中	輸入検討中	三井物産	輸入検討中
		リグニン油	国内	リグニンとして1億t/年(※)	研究	×	大学等	
			海外		デモプラント	将来可能性	Vertoro(蘭)等	燃料用
	木質分解油(間伐材等)	国内	国内未利用材が773万t/年	検討中	×	太陽石油	日揮と共同検討	
		海外		開発中	×	Alder Fuels(米)等	燃料用	
	廃棄物系	廃食油	国内	38万t/年	販売中	サンプル交渉中	吉岡製油	工業原料、輸出等
		食品廃棄物油	国内	3,600t/年	販売中	サンプル交渉中	サニックス	燃料用
廃プラスチック油	廃プラスチック	国内	575万t/年	実証試験機	—	㈱環境エネルギー	燃料用(HiCOP技術)	
				自家消費中	×	㈱CFP	発電燃料用	
				テスト機	サンプル交渉中	北浜化学	燃料用	
				計画中	×	ENEOS	三菱ケミカルとMura社技術	
				計画中	×	出光興産	㈱環境エネルギーと共同	
				検討中	×	三井化学	BASF(独)と協業	
				ライセンス開始	×	日揮	熱分解方式技術	
	廃タイヤ	国内	50万t/年	研究中	×	ENEOS	ブリヂストンと共同研究	
		海外	450万t/年	販売中	検討中	Pyrum(独)等	BASF(独)で実績	

注: 調査対象は国内産及び国内よりも安価かつ量的に十分な可能性がある輸入品である
(※) 世界のパルプ・製紙工場からのリグニン廃棄物が1億t/年 出典: NEDO海外レポート(デラウェア大学) <https://www.nedo.go.jp/content/100945927.pdf>

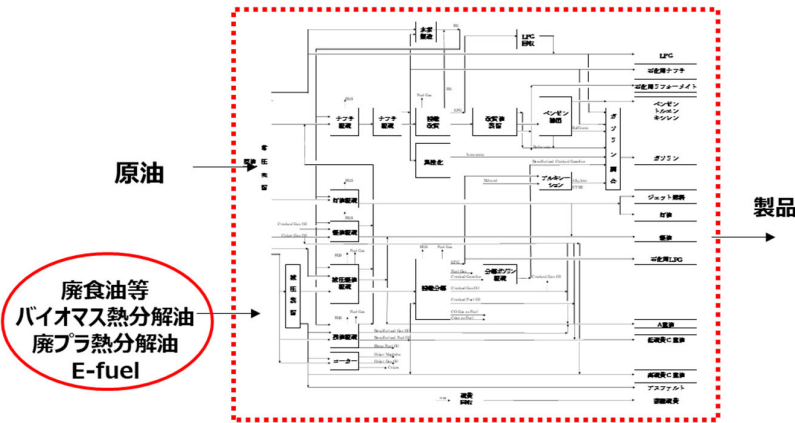
中間評価コメントに対する補足説明 参考資料 3

- 共処理技術に関して②コプロセッシングのCO2削減貢献度はどのくらいのポテンシャルがあるか？などの概算結果を明示すべき。

軽油脱硫装置の40%を低炭素原料とした場合、3600万tCO2/年の削減と見積もられた。これは現在製油所から排出されるCO2量に相当する。

- 2030年時点を想定し、共処理により脱炭素化燃料を製造したときのScope1,2,3のCO2排出量への影響を検討した。日本の製油所を統合したモデルを作成しシミュレーションを行った。
 - 原油処理ベースケース（2030年：Nexant需要想定）
 - 廃食油共処理ケース ※軽油脱硫装置のフィード量の40%相当を想定した

【製油所モデル】



中間評価コメントに対する補足説明 参考資料 3

- ◆ 廃食油共処理ではScope1, 2, 3 トータルでのCO2削減効果は大きい
- 製造時の水素消費量増加に伴うCO2排出量（Scope1, 2）は増加。
- 製造時・使用時トータルでのCO2排出量（Scope1, 2, 3）は大幅削減が可能（製造CO2排出量と同程度）
 - 製造時の精製工程CO2増加量(Scope1,2)：6百万トン増
 - 使用時の製品燃焼によるCO2削減量(Scope3)：42百万トン減
 - 全体CO2増加量(Scope 1, 2, 3)：36百万トン減

単位；百万ton-CO2/年

項目	ベース(原油)	ケース(廃食油共処理)	増減量
Scope1,2 (製造時)	34	40	6
Scope3 (使用時)	378	336	▲42
Scope1,2,3 (全体)	412	376	▲36

- ◆ 課題として製造時の水素使用量の増加対応（仮定したプロセスでは水素消費が80億Nm3/年増加）、それに伴う製造時のCO2増加、脱炭素化原料量の確保等が挙げられる