

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

- ◇ 石油産業に対し、エネルギーの安定供給と脱炭素化を両立させる社会的要請が、今後ますます強くなると予想されている。
 - ◇ 石油産業のカーボンニュートラルへの転換を実現するため、以下の3つのステージを想定してCO₂削減技術とその効果等を検討した。
 - ・ステージ1：製油所での石油精製における各種技術等によるCO₂削減
 - ・ステージ2：脱炭素化燃料製造への転換によるトータルでのCO₂削減
 - ・ステージ3：様々な脱炭素化エネルギーを供給することによるCO₂削減
 - ◇ ステージ2トランジション段階では、CO₂削減効果が大きい「共処理（Co-Processing）」技術による製油所転換に向けてサプライチェーン全体の課題を洗い出し、「トランジション先導モデル」※として今後取り組むべき技術課題を明確にした。
 - ◇ 検討の結果、「原料サプライチェーンの課題」、「脱炭素化燃料製造技術の課題」、「制度面の課題」などが明らかになり、それらに対する取り組みや課題解決の必要性を示した。
- ※「トランジション先導モデル」とは、今後の製油所転換を促進するため、カーボンニュートラルに向けた各種トランジション技術を先導する実証モデルの仮称

1. はじめに

世界的に地球温暖化による気候変動が深刻化しており、エネルギー供給の一翼を担う石油産業においても2050年カーボンニュートラル社会に向けた取り組みが求められている。一方、エネルギーは日常生活や経済活動を支えている必需品であることから、欠かすことなく安定的に供給する必要がある。そのため、石油産業では現在の原油処理による

石油製品の供給から、将来のカーボンニュートラルエネルギー供給までのトランジション過程においても、エネルギーの安定供給と脱炭素化を長期にわたり常に両立しなければならない。

このような状況に鑑み、本検討では2030年のトランジションおよびその延長線上の2050年のカーボンニュートラルに向けて、製油所の転換シナリオを作成し、実現に向けて取り組むべき様々な課題を明確にした。

2. 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

石油産業においては、カーボンニュートラル社会に向けた対応として、水素などの新たなカーボンニュートラルエネルギーの供給とともに、現在液体燃料の主たる製造拠点である製油所

1. はじめに

2. 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
3. 製油所転換に向けて取り組む技術開発：「トランジション先導モデル」
4. 検討の方向性
5. まとめ

の転換が重要となる。特に製油所では、液体燃料の供給安定性を確保しながら、段階的に原油処理量を削減し、原料自体を脱炭素化原料に切り替えていくことが求められる。ここでは転換シナリオを考えるため、3つのステージに分けて検討した。まずステージ1として、製油所における石油精製時のCO₂削減（Scope 1, 2）の対策について検討した。次にステージ2として、原油処理を継続しながら、廃食油等からの脱炭素化燃料の製造を増加させていくトランジション段階を想定し、精製時だけではなく燃料の使用時も含めたトータルでのCO₂削減効果（Scope 1, 2, 3）について検討した。最後のステージ3では石油産業のカーボンニュートラル社会における将来像をイメージし、ステージ1、2における結果を踏まえて製油所の転換シナリオを考察した。

検討にあたっては、日本の全国の製油所を一つの製油所と仮定した製油所モデルを作成し、ステージ1、ステージ2について、そのモデルによるシミュレーションにより、CO₂削減効果の試算を行った。その結果、先ずは、ステージ1として、製油所自体のCO₂排出量（Scope 1, 2）の削減効果が数十%レベルと高い対策はグリーン水素（CO₂フリー水素）やCCSの導入であった（表1）。

表1 個別対策毎のCO₂削減比較

評価項目：①エネルギー効率向上、②燃料の低炭素化、③再生電力への転換、
④グリーン水素導入、⑤CCS導入

個別対策毎のCO₂削減率比較^{※1}

個別対策項目		CO ₂ 削減率 (%)	分類	実現上の課題
ベース		0	-	
①-A	製油所全体の省エネルギー(全体の省エネ3%)	2	エネルギー効率	・効果<コスト ・運転制約の緩和見直し (要安全確認)
①-B	常圧蒸留装置周りの汚れ制御(常圧蒸留装置の省エネ25%)	5		
①-C	FCCのコークス制御(FCC装置の省エネ10%)	3		
②	100%LNG ^{※2}	4	燃料の低炭素化	・効果<コスト
③-A	電力のみ再生可能電力100% ^{※2}	3	再生可能電力	・効果<コスト ・電源安定化
③-B	燃料も含め全て再生可能電力100%	56		
④	再生可能電力による電解水素製造またはグリーン水素輸入100%	17	グリーン水素導入	・投資コスト ・輸送コスト
⑤-A	水素製造時に分離されるCO ₂ のみ回収	10	CCS導入	・投資コスト ・低濃度CO ₂ 回収技術
⑤-B	水素製造時に分離されるCO ₂ +燃焼排ガスからCO ₂ を10%回収	19		
⑤-C	水素製造時に分離されるCO ₂ +燃焼排ガスからCO ₂ を50%回収	56		

※1：個々の対策における削減率は、理想的な数値(技術的困難さや設備投資等の経済性は考慮せず)

※2：製油所ガスの対応要

これらのCO₂削減効果が高い対策に係る技術の本格的な普及は、現状の計画によると2030年以降と考えられ、石油産業において政府目標の2030年温室効果ガス46%削減達成（Scope 1,2）は、かなり困難と考えられた。そこで、トランジション段階のステージ2において脱炭素化に向けて一歩踏み出すために、「共処理」技術を導入した場合の効果を検討した。バイオマス等の脱炭素化原料の「共処理」により脱炭素化燃料を製造した場合のCO₂削減効果は、自社排出CO₂量（Scope 1,2）は脱炭素化燃料製造時の水素消費量増加に伴い増加するものの、

精製段階及び燃料使用時トータルの CO₂ 排出量 (Scope 1,2,3) としては大幅削減が可能であることが分かった (表 2)。

このことから、カーボンニュートラル社会を目指す上でステージ 2 での「共処理」技術による脱炭素化燃料製造の対応を先行させ、ステージ 1 での製油所 CO₂ 削減への対応は、大幅な削減技術が導入可能となる時期に実施することが適切であると考えられる。この対応は費用対効果の面のみならず、社会全体のカーボンニュートラル化からも効率的・効果的と考えられる。

表 2 CO₂ 排出量計算結果

単位；百万 ton-CO₂/年

項目	原油処理 (ベース)	廃食油共処理ケース	増減量
Scope 1,2 (自社)	34	40	6
Scope 3 (下流)	378	336	▲42
Scope 1,2,3 (全体)	412	376	▲36

また、ステージ 3 では石油産業の将来ビジョンとして、液体燃料以外にも水素や再生可能電気など、様々な脱炭素エネルギーを供給するカーボンニュートラルエネルギーセンターへの転換を想定した。液体燃料の製造を継続する製油所は、バイオマス・廃棄物、廃プラ再生油を原料とする脱炭素化燃料や、回収 CO₂ からの合成燃料などを製造するカーボン循環型燃料・製品のハブへと転換し、脱炭素化燃料の製造を拡大することで、石油産業のカーボンニュートラル化において引き続き重要な役割を担うと考えられる (図 2)。

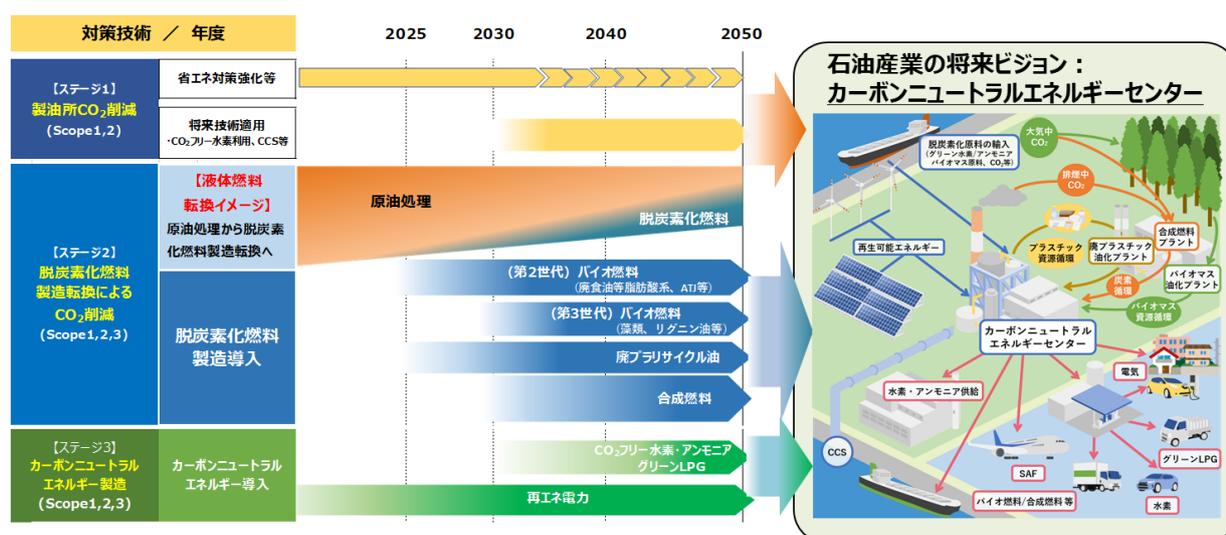


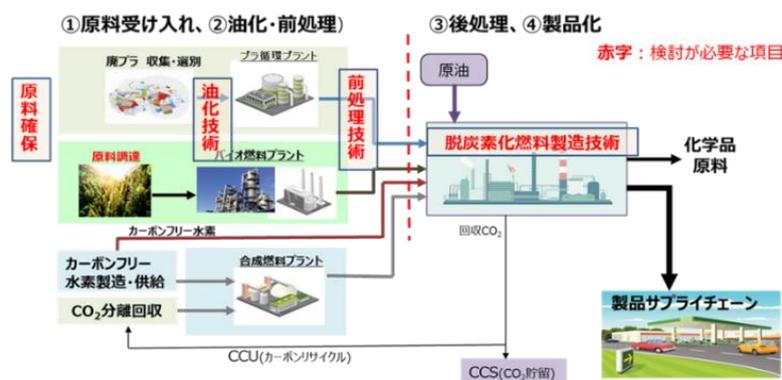
図 2 製油所転換シナリオと対応する技術の時間軸イメージ

3. 製油所転換に向けて取り組もうる技術開発：「トランジション先導モデル」

上記の検討結果を基に、JPEC 内研究会等で有識者と製油所転換の進め方について意見交換を実施した。研究会では、脱炭素化燃料の製造に際して製油所における処理の具体的イメージの共有化、必要となる個別技術の明確化と技術開発の必要性、さらには調達できる脱炭素化原料を含めたサプライチェーン全体での課題等の明確化などが挙げられ、それらを進展させるための製油所転換に向けた実証試験の実施など、まず第一歩を踏み出すことの重要性が確認された。

これらの意見を踏まえて、今後の製油所転換を促進するためのプロジェクトとして「トランジション先導モデル」による検討を提案することとした。この「トランジション先導モデル」の目的は、石油各社、関係団体と意見交換しながら具体的イメージを共有化し、原料確保から製品供給までのサプライチェーン全体における具体的な課題を洗い出し、先行的に課題の検討を行うことで脱炭素化燃料の製造を目指す製油所転換を促進することにある。具体的には、以下の3点に関して検討することになった（図3）。

- ①. 脱炭素化原料の確保に関する調査
- ②. 脱炭素化燃料製造の技術調査
- ③. 製油所での脱炭素化燃料製造の実証



- 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**

図3 トランジション先導モデルで検討が必要な項目

4. 検討の方向性

脱炭素化燃料の製油所での処理方法としては、専用装置による「単独処理」と、既設装置を利用し原油との混合処理による「共処理」が考えられる。どちらもカーボンニュートラルに向

けた重要な技術として検討されている。本提案の「トランジション先導モデル」の検討では、脱炭素化燃料の製造として「共処理」を中心に検討する。「共処理」の利点は2030年に向けて脱炭素化燃料を製造する場合、製油所の既存アセットが利用でき、導入におけるコスト抑制や早期対応が可能になることが挙げられる。また、トランジション段階における脱炭素化原料の量的変化にも柔軟に対応でき、また今後の脱炭素化燃料の増加に伴い原料が多様化した場合でも、製品の品質を確保し易い可能性がある。一方、技術開発としては、既にライセンスがある専用装置による「単独処理」と異なり、「共処理」の場合、製油所側での対応技術が必要と考えられる。このことは、石油産業として取り組む技術的な共通課題があることを意味する。以上のことから、「トランジション先導モデル」においては「共処理」を中心に検討することとした。「共処理」と「単独処理」の技術的な比較を表3に示す。

表3 「共処理」と「単独処理（改造・新設での専用装置）」との比較

項目	装置 共処理 (Co-Processing) (既存アセット利用)	単独処理 (製油所装置改造・専用装置)	単独処理 (新設・専用装置)
●設備投資	低い	中程度	高い
●導入リードタイム	短い	少し必要	かなり必要
●原料の製品へのトレース	混合処理のため難しい ⇒マスバランス方式等の認証制度の活用の可能性	100%処理のため容易	100%処理のため容易
●CO ₂ 削減効果	大きい	大きい	大きい
●原料に関する検討課題	原料確保、油化技術、前処理はいずれも共通課題		
●全製品の安定供給性	単一製油所で需給調整対応※1	製油所のグループ連携による需給調整対応	製油所のグループ連携による需給調整対応
●原料多様化への対応	原料の質的变化の対策において影響緩和効果も期待できる※1	原料の質的变化に対策が必要	原料の質的变化に対策が必要
●技術開発の必要性	ライセンスやエンジン会社のサポートに限界があり、製油所側での対応も必要	改造に関する技術開発が行われており、ライセンスやエンジン会社でのサポートが可能	専用装置の技術開発が行われており、ライセンスやエンジン会社での全面的なサポートが可能

※1：共処理する原油を量的・質的バッファーにした対応が可能のため

液体燃料の脱炭素化については、持続可能な航空燃料（SAF：Sustainable Aviation Fuel）の国際的な標準化が先行している。このSAF製造に関しては「共処理」を活用しやすくするため、ジェット燃料における「共処理」の比率について、ASTM規格（D1655）において定められている上限5%を30%に引き上げることなどの検討が進められている。さらに、ISCC等の認証制度によるマスバランス方式（入りと出の量などでバランスさせる）を用いることで、脱炭素化原料処理によるカーボンオフセット分をSAFなどの特定油種に全量割り当てすることも可能になっている。これらのことから、「共処理」が今後に向けた技術課題として検討に値すると考えられる。

「トランジション先導モデル」の検討に向けては多くの課題があるが、大きくは「原料サプライチェーンの課題」、「脱炭素化燃料製造の課題」、「制度面の課題」が挙げられた。それぞれの課題の内容は以下の通り。

I. 原料サプライチェーンの課題

(1) カーボンニュートラルに資する原料確保

- (2) CO₂フリー水素の確保
- (3) 燃料製造サイドの受入れ規格の検討

II. 脱炭素化燃料製造の課題

- (1) 原料の変化に対し、製品の品質や留分バランスを調整する技術
- (2) 安全・安定生産阻害要因対策
- (3) 運転管理上の影響把握

III. 制度面の課題

- (1) 脱炭素化製品としての単独処理、単独供給が求められるのか、化石燃料との混合を許容しマスバランス方式が採用できるのかどうか
- (2) コスト増（原料、製造、輸送・販売）に対する制度面での措置
- (3) CO₂削減貢献度に対する評価制度
- (4) 設備の改造・新設時の規制緩和
- (5) 水素供給に関わる規制緩和

5. まとめ

JPECでは、課題解決に向けて、上記「原料サプライチェーンの課題」および「脱炭素化燃料製造の課題」について引き続き取り組むとともに、「制度面の課題」については、関係機関と連携し、関連する情報提供などを進める所存である。

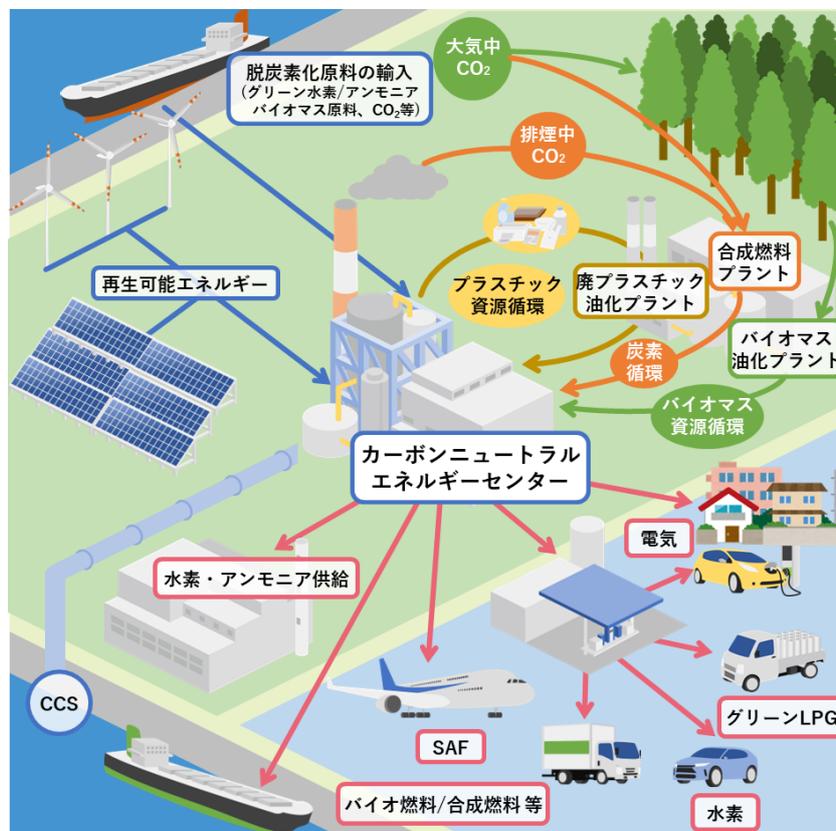


図4 石油産業の将来ビジョン：カーボンニュートラルエネルギーセンター（イメージ図）

本検討の詳細は下記リンク先の「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」の報告書にその詳細が記されているので、ご参照いただきたい。

https://www.pecj.or.jp/wp-content/uploads/2023/04/refinery_conversion_scenario.pdf

(問い合わせ先) 一般財団法人石油エネルギー技術センター

技術企画部・製造プロセス技術部 jrepo-2@pecj.or.jp

本資料の一部は、経済産業省・資源エネルギー庁の補助事業「製油所の脱炭素化研究開発事業」の調査結果によるものです。

無断転載、複製を禁止します。

Copyright 2023 Japan Petroleum Energy Center all rights reserved