

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  
Japan Petroleum Energy Center (JPEC)

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）



## 目次

はじめに

エグゼクティブサマリー（用語説明含む）

### 1. カーボンニュートラルに向けた社会動向変化

1. 1 我が国におけるカーボンニュートラル宣言後の動き
  - (1) グリーン成長戦略の策定とグリーンイノベーション基金の設立
  - (2) 第6次エネルギー基本計画
  - (3) コロナ禍回復とロシア・ウクライナ侵攻によるエネルギー安定供給への課題
1. 2 石油連盟のビジョンと石油分野トランジション・ファイナンスロードマップ
  - (1) 石油連盟における動き
  - (2) 石油分野トランジション・ファイナンスロードマップ
  - (3) 石油関連技術に関する技術ロードマップまとめ
1. 3 JPECにおける現在の取り組み
  - (1) 合成燃料の検討
  - (2) 水素エネルギーの利活用に関する検討
  - (3) プラスチック資源循環に関する検討
  - (4) 共処理技術（Co-processing）の検討

### 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

2. 1 検討の経緯と目的
2. 2. カーボンニュートラル社会に向けた転換シナリオ：3つのステージでの検討
  - (1) ステージ1：製油所CO<sub>2</sub>削減策（Scope1,2）の検討
  - (2) ステージ2：脱炭素化燃料製造転換によるCO<sub>2</sub>削減策（Scope1,2,3）の検討
  - (3) 中間整理：ステージ1, 2の結果からのシナリオ方向性
  - (4) ステージ3：カーボンニュートラルエネルギー製造（将来ビジョン）の検討
2. 3 製油所転換シナリオのまとめ

### 3. 製油所転換に向けて取り組みうる技術開発：トランジション先導モデル

3. 1 製油所転換促進プロジェクト「トランジション先導モデル」の提案
3. 2 トランジション先導モデルの課題整理
  - (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開発
  - (3) 製油所での脱炭素化燃料製造の実証
3. 3 まとめ

（メンバーリスト）：本報告書作成に当たりご協力をいただいたJPEC内研究会メンバー

## 付録

付録 1：脱炭素化原料のポテンシャル

付録 2：ステージ 1, 2 の製油所モデルにおける前提条件：我が国の製油所生産量

付録 3：我が国の液体燃料の将来需要想定

付録 4：マスバランス方式について

付録 5：CORSIA 動向：持続可能な航空燃料（SAF）と低炭素航空燃料（LCAF）

付録 6：設備・投資コスト調査

参考資料：JPEC 第 3 回カーボンニュートラル情報報告会資料

「製油所脱炭素化に資するカーボン資源循環型原料の国内賦存量調査」

## はじめに

石油エネルギー技術センター（JPEC）では 2017～2018 年度にかけて石油業界の協力のもと、将来製油所のビジョンを検討し、その成果として「次世代石油エネルギービジョン」を 2020 年 10 月に発刊した。報告書では当時の社会情勢を勘案し石油産業の技術、特に製油所の将来の技術的方向性について「カーボン循環型燃料・ケミカルハブ」、「柔軟生産石化シフト（日本版 COTC）」、「デジタルデータ利活用（デジタル SSRC 構想）」を提案した。

この時期 2020 年 10 月に菅首相（当時）より「2050 年カーボンニュートラル宣言」が出された。この「2050 年カーボンニュートラル宣言」は、それまでの 2050 年 GHG 排出 80%削減から世界の潮流である 2050 年 GHG 排出 100%削減、すなわちカーボンニュートラル達成を目標とした大きな変革を目指す内容となっている。実際にその後、グリーンイノベーション基金に代表されるように、政府の研究開発投資の拡大、さらには企業においても ESG 投資の重要性の認識など、2050 年カーボンニュートラル達成に向けた動きが一気に加速することとなった。

その一方で近年は世界各国で新型コロナの蔓延とその回復やインフレの加速、さらにはウクライナ情勢によりエネルギーや農作物などの不足の懸念など、社会や経済情勢が大きく変化してきている。特にエネルギー産業、石油産業においてはエネルギー需給の先行きの不透明感が増しており、エネルギー安全保障や安定供給の重要性が強調されている状況でもある。

このような社会環境・情勢が大きく変化し、カーボンニュートラルとエネルギー安全保障の重要性が求められている中で、JPEC において「次世代石油エネルギービジョン」の見直しを行うこととした。本報告書では 2050 年のカーボンニュートラル化に向けて、現状からトランジションを経てカーボンニュートラルに至る過程および取り組むべき課題を検討・提案を行う。そして、製油所の将来の技術的方向性とそこに求められる技術開発要素について転換シナリオとして検討した内容を報告する。

## エグゼクティブサマリー

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。一方でエネルギーは生活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長期にわたるトランジション過程においても、エネルギーの脱炭素化と安定供給を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、必要となる技術を明確にした。そして、これを基に製油所転換に向けて取り組みうる技術開発について検討した。

石油産業における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、現在主たる液体燃料の製造拠点である製油所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に図 1 に示す通り、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、製油所自体の CO<sub>2</sub>削減 (Scope1, 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使用時も含めたトータルでの CO<sub>2</sub>削減効果 (Scope1, 2, 3) について検討した。最後のステージ 3 では石油産業としてのカーボンニュートラル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。

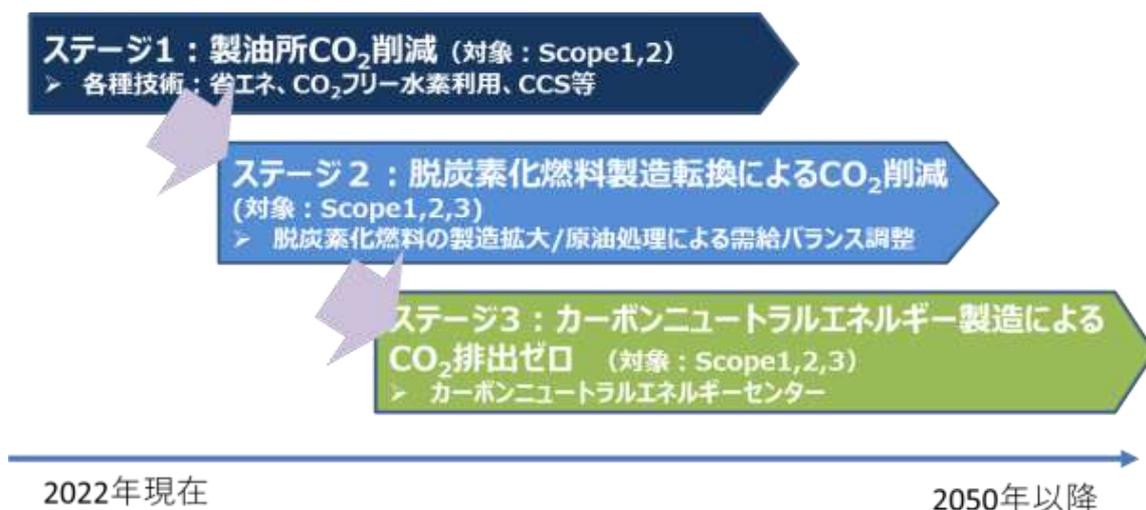


図 1 カーボンニュートラル社会に向けた製油所の 3つのステージ

検討にあたっては日本の製油所を一つ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ともそのモデルによるシミュレーションにより、CO<sub>2</sub>削減効果の試算を行った。その結果、ステージ1として、製油所自体のCO<sub>2</sub>排出量（Scope1, 2）の削減効果が数十%レベルと高い技術はグリーン水素（CO<sub>2</sub>フリー水素）利用やCCSであった。これらの技術の本格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46%削減達成（Scope1, 2）はかなり困難と考えられた。一方、ステージ2として、脱炭素化燃料を製造した場合のCO<sub>2</sub>削減効果を調べると、製造時の水素消費量増加に伴い自社排出分CO<sub>2</sub>量（Scope1, 2）は増加するものの、精製・使用時トータルでのCO<sub>2</sub>排出量（Scope1, 2, 3）としては大幅削減が可能であることがわかった。このことからカーボンニュートラル社会を目指す上で石油産業としてはステージ2での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CO<sub>2</sub>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良いと考えられる。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。

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。また液体燃料の製造を継続する製油所は、カーボン循環型燃料・製品ハブとしてバイオマス・廃棄物、廃プラ再生油を原料とする脱炭素化燃料や回収CO<sub>2</sub>からの合成燃料などを製造するハブへと転換し、脱炭素化燃料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重要な役割を持つと考えられる。（図2）

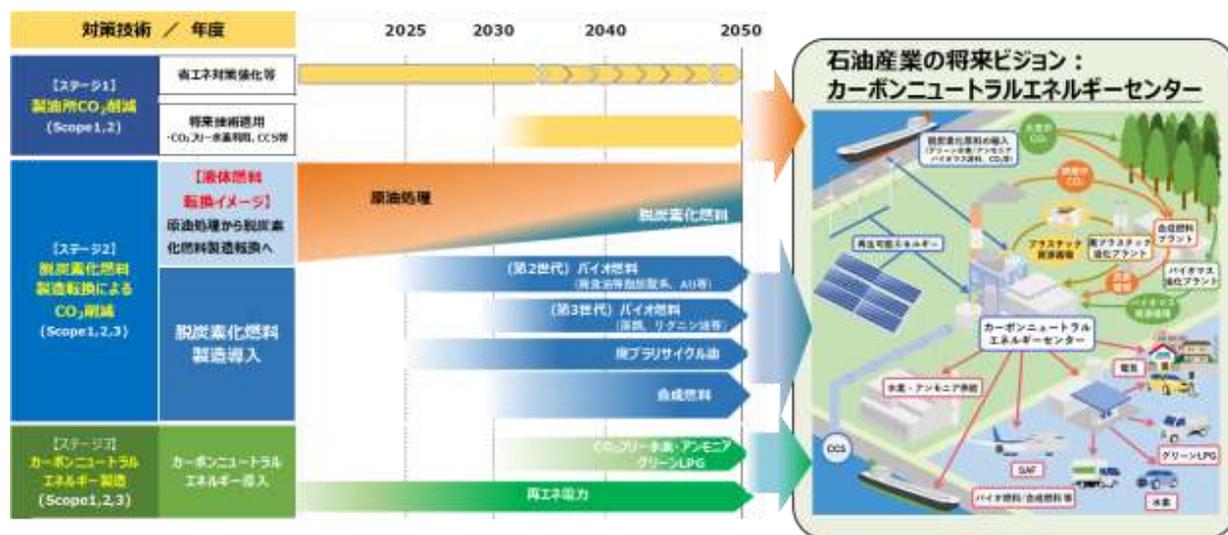


図2 製油所転換シナリオと対応技術の時間軸イメージ

これらの検討結果を基にJPEC内研究会等で有識者と製油所転換の進め方について議論を行った。そこでは脱炭素化燃料製造に際して製油所処理の具体的なイメージの共有化、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議論された。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」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、関係団体と議論しながら具体的イメージを共有化しながら進め、原料確保から製品供給までのサプライチェーン全体での具体的課題を洗いだし、先行的に課題検討を行うことで脱炭素化燃料製造を目指す製油所転換を促進することにある。具体的には図3に示す内容を検討する。



### 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

なお脱炭素化燃料製造における製油所処理技術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対応した原料の多様化に対しても製品品質の確保がしやすい可能性がある。一方で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に対して、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。このことは逆に石油産業の共通課題として技術的に取り組む要素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1に示す。

表1 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 <sub>2</sub> 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	ライセンサーやエング会社のサポート 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、ライセンサーやエング会社で のサポートが可能	専用装置の技術開発が行われてお り、ライセンサーやエング会社での 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

なお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)の国際的規制化が先行しているが、この SAF 製造において共処理を活用しやすくするための動きがみられる。例えばジェット燃料における共処理比率は ASTM 規格 (D1655) において上限 5%と定められているが、それを 30%に引き上げることなどの検討が進められている。さらには ISCC 等の認証制度によるマスバランス方式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。(付録4, 5 参照) これらのことも共処理が今後に向けた技術として検討に値すると考えられる。

以上、これらトランジション先導モデルの実施に向けては多くの課題があるが、それぞれの課題を整理すると以下の通りである。

#### 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) CO<sub>2</sub>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. 脱炭素化燃料製造技術の課題

- (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) CO<sub>2</sub>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

JPEC では現在の取り組みをさらに進めるとともに、上記「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」については今後の取り組むべき技術課題と考える。また「制度面の課題」については関連する機関と連携し、情報を提供するなどの取り組みを進める所存である。

### 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）



## 用語解説

- **カーボンニュートラル**

温室効果ガス（GHG）の排出と吸収・除去をバランスさせ、正味でゼロとなる状態（資源エネルギー庁資料を参考）

- **脱炭素化**

エネルギー転換、産業、民生、運輸等の各部門からの CO<sub>2</sub> を排出しないための方策・施策を指す。本報告書では主に製油所における燃料製造時の CO<sub>2</sub> を排出しないための方策、および燃料の燃焼による正味での CO<sub>2</sub> を排出しないための方策を意味する。

- **脱炭素化燃料**

脱炭素化した製品としての燃料。具体的には CO<sub>2</sub> を排出しない方法で製造した水素、アンモニア、あるいは炭化水素燃料利用であってもバイオマス・廃棄物系燃料、合成燃料（回収 CO<sub>2</sub> と CO<sub>2</sub> フリー水素を原料とした製造など）のように CO<sub>2</sub> やカーボン資源を循環的に利用することで実質的に CO<sub>2</sub> を増加させない燃料（正味で CO<sub>2</sub> を排出しない）を指す。炭化水素系液体燃料については石化原料も含む。

なお、ライフサイクルで見ると現状 CO<sub>2</sub> 排出ゼロになっていないものがほとんどである。また従来の化石由来の燃料よりも正味での CO<sub>2</sub> 排出量が少ない燃料として「低炭素燃料」、あるいは「脱炭素燃料」という用語もあるが、これらを含め本報告書では「脱炭素化燃料」の用語で統一する。

- **脱炭素化原料**

本報告書では廃プラスチック再生油、バイオマス由来油、合成燃料等のカーボン資源循環型燃料などを製造する際に用いる原料を指す。製品化のための製油所内の工程があるものを「脱炭素化原料」とし、製品を示す用語「脱炭素化燃料」とは区別する。

## 1. カーボンニュートラルに向けた社会動向変化

2020年10月菅首相(当時)が、それまでの2050年温暖化効果ガス(GHG)排出量80%削減の長期目標を変更し、2050年までにカーボンニュートラル(GHG排出量の正味ゼロ)の達成を目指すとの新たな目標が示された。この目標強化の背景には、世界的に気候変動問題への関心の高まる中で世界各国・各地域での2050年カーボンニュートラル宣言が相次いだことが挙げられる。特にEUが2019年12月に2050年気候中立(カーボンニュートラル)に向けた政策イニシアティブである欧州グリーンディールを公表してからは、先進国での2050年カーボンニュートラルの流れが本格化したといえる。またESG投資と呼ばれる環境(Environment)・社会(Social)・ガバナンス(Governance)要素も考慮した「サステナブル」な企業への投資額が年々増加し、2020年時点で35兆3,010億ドル、全体投資総額の35%を占めるようになった<sup>1</sup>。このことはこれまで「コスト」と考えられてきた気候変動などの環境課題への対応が「投資」に変わってきたことを示しており、このような投資家の投資対象の変化も要因となっている。

以上のように直近2年程度の間世界におけるカーボンニュートラルに向けた社会動向が急激に変化している。一方でエネルギー安定供給という観点では新型コロナ回復による世界的なエネルギー需要増とそれに伴うエネルギー価格の上昇、それを追い打ちするようなロシアによるウクライナ侵攻など地政学的問題も絡んだものとなっている。第1章ではこれら最近の動向として、カーボンニュートラルとして我が国の政府施策・石油業界・JPECの対応状況、さらにはエネルギー供給面から石油・天然ガス価格動向についての概観を示す。

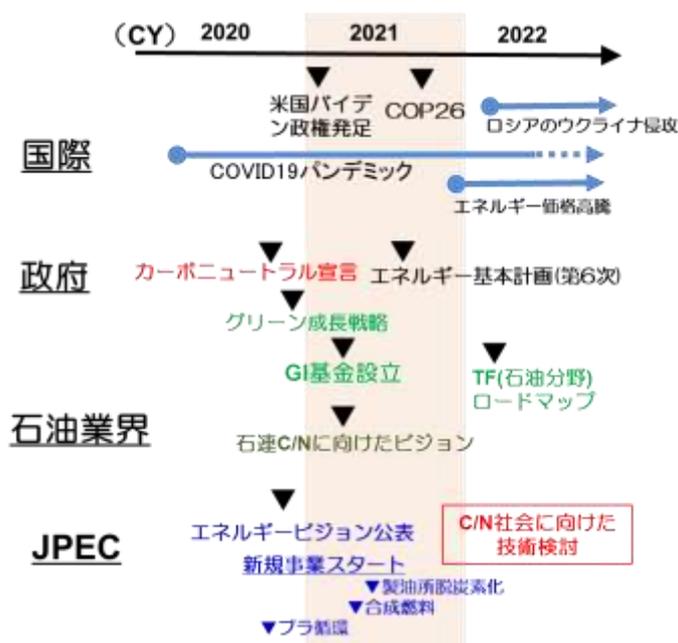


図 1-1 2050年カーボンニュートラル宣言後の社会動向

<sup>1</sup> <https://sustainablejapan.jp/2021/07/15/gsir-gsia-2020/64065>

## 1. 1 我が国におけるカーボンニュートラル宣言後の動き

### (1) グリーン成長戦略の策定とグリーンイノベーション基金の設立

2020年10月の2050年カーボンニュートラル宣言後、経済産業省が中心となり同年12月には関連省庁連携で「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が公表された(2021年6月に改訂版公表)。このグリーン成長戦略はカーボンニュートラルを産業政策として「経済と環境の好循環」を結びつけたものである。この戦略では、GHG排出の8割を占めるエネルギー分野を中心に14分野を取り上げ、あらゆる政策を総動員することでイノベーションを実現するとしており、このために研究開発投資以外にも税制、金融、規制改革・標準化、国際連携などを進めるとしている。

#### (成長が期待される14分野)

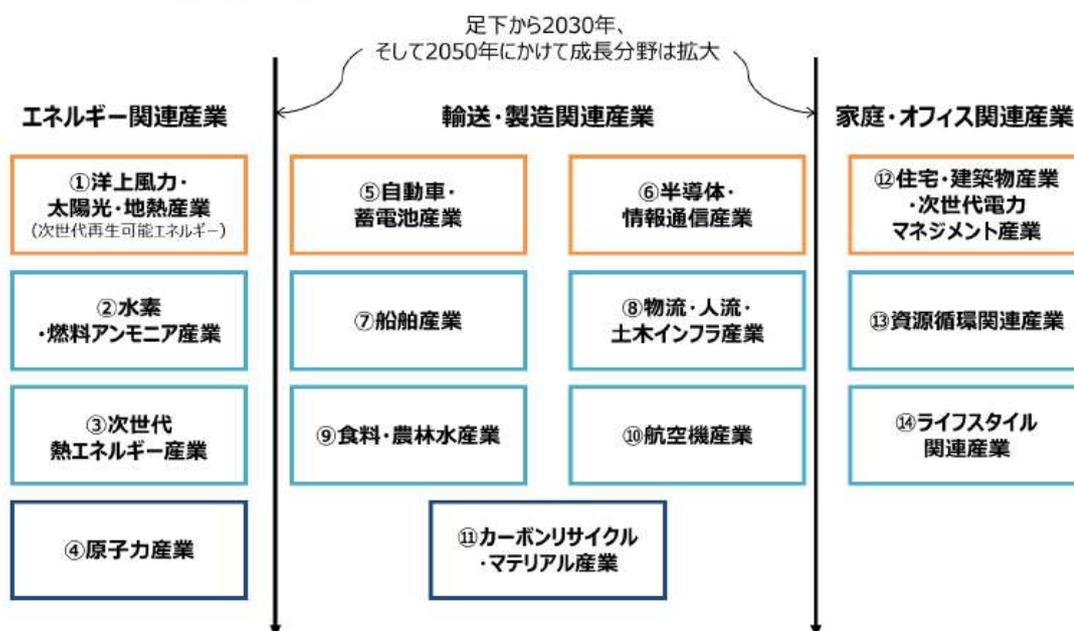


図 1-2 グリーン成長戦略における14分野(経産省資料より)

#### (研究開発の方向性・予算等)

カーボンニュートラル達成に向けた技術的な大きな道筋としては①電力部門の脱炭素化を大前提として各部門での電化の促進、②非電力部門で電化が困難な技術(製鉄、化学等)に対しては水素、アンモニア、CCUS/カーボンリサイクルなどによるカーボンフリー・低炭素燃料での対応、さらに①、②で削減しきれないGHG排出量を③ネガティブエミッション技術(炭素除去技術)により対応するとしている。またこの実現に向けて、政府による研究開発投資としてグリーンイノベーション基金(詳細は後述)が設立されるとともに、税制策として税額控除またな特別償却を認めた投資促進税制の創設、研究開発税制の拡充など

が行われている。

### **(金融面からの対応：トランジション・ファイナンス)**

トランジション・ファイナンスは長期的な戦略に則った GHG 削減の取り組みに対して資金供給する考え方であり、その仕組みや評価基準が重要となる。ただ EU タクソノミーに代表される「グリーン」な活動か、否かという二元論的な評価だけでは企業の低炭素移行の取り組みが評価されない可能性が懸念される。このため 2021 年 5 月に我が国として、国際資本市場協会 (ICMA) の「クライメート・トランジション・ファイナンス・ハンドブック」という国際原則 (2020 年 12 月公表) を踏まえて、基本指針を策定した。これにより企業が「トランジション・ボンド/ローン」等とラベリング (名付け) による資金調達を可能にした指針となることが期待されている。また特に一足飛びで脱炭素化ができない多排出産業 (鉄鋼、化学、製紙・パルプ、セメント、電力、ガス、石油等) に対して分野別ロードマップも策定を行っている。さらに経済産業省ではトランジション・ファイナンス普及のため、モデル事例としてトランジション・ファイナンスモデル事業、利子補給制度を設置している。

### **(規制改革・標準化)**

国内規制・制度の整備として①新技術の需要を創出するような規制の強化、②新技術を想定していない不合理な規制の緩和などに加え、③国際標準化等に積極的に取り組むとしている。規制改革例としては、水素、洋上風力、自動車・蓄電池などが挙げられている。またカーボンニュートラル化に向けた技術の経済的競争力を支えるためにカーボンプライシングの手法も検討されており、クレジット取引 (排出権取引、自主的なクレジット取引)、炭素税、国境調整措置※1 などが投資促進の観点も含めて議論されている。

※1：カーボンリーケージ防止や公平な競争条件確保の観点から他国との競争上の不公平を防止のための措置であり、輸入品に対して負担金を科す仕組み。EU では 2023 年 1 月より導入予定。

### **(グリーンイノベーション基金の設立)**

カーボンニュートラルに向けた研究開発投資資金として令和 2 年度第 3 次補正予算 (2021 年 1 月成立) で 2 兆円 (10 年間) のグリーンイノベーション基金 (GI 基金) が NEDO に造成されることになった。この基金は企業の野心的な挑戦を後押しすることを目的としており、2021 年度より産業構造審議会・グリーンイノベーション部会においてプロジェクトの具体的な内容の審議・検討が行われ、2022 年 10 月時点で 14 分野から 19 プロジェクトが実施・検討中の状況にある。(表 1-1 参照) また 2023 年度からは「製造分野における熱プロセスの脱炭素化」が追加される予定となっている。

表 1-1 グリーンイノベーション基金プロジェクト（2022年11月時点）

プロジェクト	主な目標（概要）	予算規模（億円）
①洋上風力発電の低コスト化	2030年までに①着床式洋上風力発電の発電コスト8～9円/kWhを見通せる技術、②浮体式洋上風力を国際競争力のあるコスト水準で商用化する技術	1,195
②次世代型太陽電池の開発	2030年度までに発電コスト14円/kWh以下を達成	498
③大規模水素サプライチェーンの構築	①(a)水素供給コスト30円/Nm <sup>3</sup> @2030年達成のための海上輸送技術、(b)20円/Nm <sup>3</sup> 以下@2050年の基盤整備、革新的水素輸送技術確立、②水素ガスタービン発電技術（混焼、専焼）を実現するための技術	3,000
④再エネ等由来の電力を活用した水電解による水素製造	①2030年までに(a)アルカリ型水電解装置の設備コスト5.2万円/kW、(b)PEM型水電解装置の設備コスト6.5万円/kWを見通せる技術、②2025年までに水電解装置の性能評価基盤を整備	700
⑤製鉄プロセスにおける水素活用	2030年までに、①CO <sub>2</sub> 排出を50%以上削減する高炉水素還元技術の確立、②CO <sub>2</sub> 排出を50%以上削減する直接水素還元技術の確立	1,935
⑥燃料アンモニアサプライチェーンの構築	①アンモニアの供給コストの低減に必要な技術（2030年10円台後半/Nm <sup>3</sup> の実現に必要な技術）、②アンモニアの発電利用における高湿焼化・専焼化(2050年国内導入量3000万トン/年に必要な技術の確立)	688
⑦CO <sub>2</sub> 等を用いたプラスチック原料製造技術開発	2030年までに、①CO <sub>2</sub> フリー熱源でナフサを熱分解するバーナー及び炉を開発、②廃プラスチック・ゴム等から基礎化学品の製造技術、③ポリカーボネートやポリウレタン等の機能性向上とホスゲン等の有毒原料を不要にする、④アルコール類からの化学品製造技術として変換効率10%以上の光触媒を開発と実証、及び水素とCO <sub>2</sub> からアルコール類等を経由したエチレン、プロピレン等の基礎化学品の製造	1,262
⑧CO <sub>2</sub> 等を用いた燃料製造技術開発	①合成燃料：2030年までにパイロットスケール・液体燃料収率80%、②持続可能な航空燃料（SAF）：AT技術、液体燃料収率50%以上、製造コスト100円台/L、③合成メタン：2030年度までにエネルギー変換効率60%以上、④グリーンLPG：2030年度までに生成率50%	1,153
⑨CO <sub>2</sub> を用いたコンクリート等製造技術開発	①コンクリート分野：CO <sub>2</sub> 削減量310～350kg/m <sup>3</sup> 、既存製品とコスト同等以下、②セメント分野：石灰石由来CO <sub>2</sub> を全量近く回収するCO <sub>2</sub> 回収型セメント製造プロセス、回収CO <sub>2</sub> の炭酸塩の活用技術開発	568
⑩CO <sub>2</sub> の分離回収等技術開発	低圧・低濃度ガス（大気圧、CO <sub>2</sub> 濃度10%以下）に対して、2030年CO <sub>2</sub> 分離回収コスト2,000円台/t CO <sub>2</sub> 以下	382
⑪廃棄物・資源循環分野におけるカーボンニュートラル実現	準備中	
⑫次世代蓄電池・次世代モーターの開発	①蓄電池：エネルギー密度現行2倍以上（700～800Wh/L）の蓄電池・材料開発、低炭素製造プロセス、②蓄電池リサイクル：回収技術リチウム70%、ニッケル95%、コバルト95%、③モータシステム：システム平均効率85%、小型・軽量化・パワー向上（システム出力密度3.0kW/kg）	1,510
⑬電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション	①自動運転ソフトウェアの省エネ化：70%消費電力削減、②自動運転センサーシステムの省エネ化：70%消費電力削減、③自動運転に対応する電動車両シミュレーションモデルの開発：90%以上の精度、性能検証期間半減	420
⑭スマートモビリティ社会の構築（商用車の電動化の推進）	①バス・タクシー・トラック等の業態別やEV/FCV等の動力別に異なるケースで、エネルギーコスト・CO <sub>2</sub> 排出最小化と運輸効率最大化に向けた運行管理のためのシミュレーションシステムを構築・検証、②複数の業態別事業からデータ収集し、社会全体の最適化シミュレーションシステムを構築・検証。充電・充てんインフラの最適配置やエネルギーシステムへの負荷抑制を目指す	1,130
⑮次世代デジタルインフラの構築	①次世代グリーンパワー半導体（SiC、GaN等）：Siパワー半導体と同等コスト実現化に向けた低コスト化、②次世代グリーンデータセンター（光電融合技術の導入）：データセンターの40%以上の省エネ化	1,410
【追加】IoTセンシングプラットフォーム構築	未定	
⑯次世代航空機の開発	①水素航空機向けエンジン燃焼器、液化水素燃料貯蔵タンク等の水素航空機の成立に不可欠なコア技術についてTRL6以上、②2035年以降の中小型航空機の主翼等の重要構造部材について、(a)既存の部材（金属合金）から約30%の軽量化（既存の複合材部材と比較すると約10%の軽量化）、(b)複雑形状・一体成型に対応するための強度向上（設計許容値を1.1倍～1.2倍）、③両立の上、TRL6以上の確立	211
【追加】電動航空機の開発	未定	
⑰次世代船舶の開発	①水素燃料エンジン、燃料タンク・燃料供給システムの開発、2030年までに水素燃料船の実証運航を完了（TRL8以上）、②アンモニア燃料エンジン、燃料タンク・燃料供給システムの開発及び船用アンモニア燃料供給体制の構築により、2028年までに商業運航、③2026年までにLNG燃料船のメタンスリップ削減率60%以上を実現（TRL8以上）	350
⑱食料・農林水産業のCO <sub>2</sub> 等削減・吸収技術の開発	①高機能バイオ炭等の供給・利用技術の確立：農作物収量が2割程度向上、②高層建築物等の木造化に資する等方性大断面部材の開発、③ブルカーボンを推進するための海藻バンク整備技術の開発：基盤ブロックと海藻移植用カートリッジの軽量化（従来の1/4程度）	159
⑲バイオものづくり技術によるカーボンサイクル推進	CO <sub>2</sub> を直接原料とするバイオものづくりでの有用微生物開発期間1/10に短縮、CO <sub>2</sub> を原料に物質生産可能な商用株を開発、製品の製造コストを代替製品の1.2倍以下へと低減を目指す。①微生物等設計プラットフォーム技術の高度化、②微生物等の開発・改良、③微生物等による製造技術の開発・実証等を推進し、	1,767

## (2) 第6次エネルギー基本計画

2021年4月の米国主催気候サミットにおいて、菅総理(当時)が2030年度の新たなGHG削減目標として、46%削減(2013年比)さらに50%に向けた挑戦という新たな方針を示した。これは2050年カーボンニュートラル目標との整合性を考慮した上でそれまでの目標であった2030年GHG排出削減率26%を強化するものである。これを受けた形で2030年省エネ量目標値などの見直し等が行われ、同年7月に第6次エネルギー基本計画が公表された。2030年GHG排出削減目標46%の達成は、省エネルギー対策の徹底によるエネルギー効率の更なる改善、および再生可能電力、水素・アンモニア発電、原子力発電の非化石発電量増加(総発電量の59%目標)により対応するとしている。なお2013年GHG排出量は1,408百万t-CO<sub>2</sub>であり、2030年GHG排出量は760百万t-CO<sub>2</sub>が目標となる。この値はコロナ禍前の2019年GHG排出量(1,166百万t-CO<sub>2</sub>)を基準とするとGHG削減率は35%である。

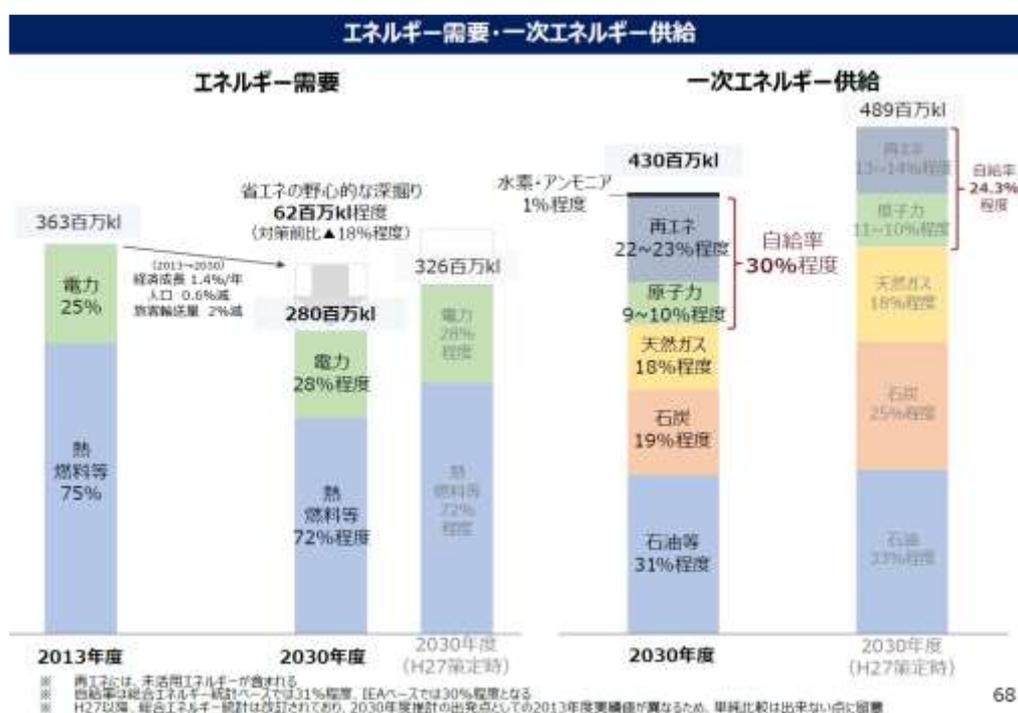


図 1-3 エネルギー需要・一次エネルギー供給 (第6次エネルギー基本計画)

電力需要・電源構成

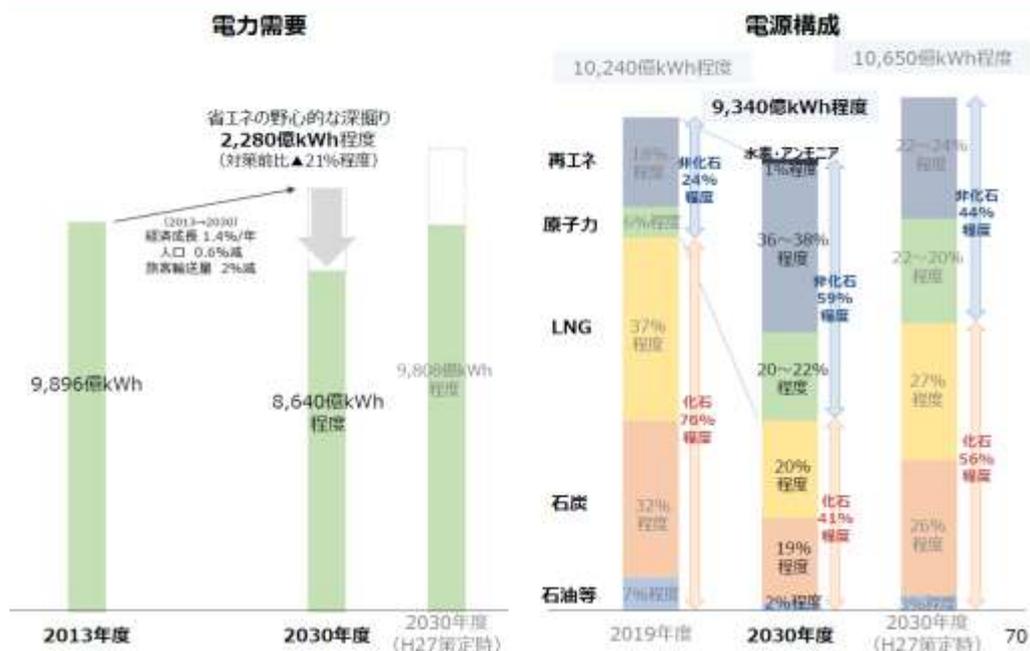


図 1-4 電力需要・電力構成 (第 6 次エネルギー基本計画)

図 1-3 (左) はエネルギー需要を示しており、対策前比 (2030 年度の人口減などの変化を考慮した基準値) で 18%程度の省エネ (総省エネ量として 6,200 万 kL) を目指すとしている。なおこの値は前回策定時 (H27) よりも 1,200 万 kL 程度の上積みした値となっている。エネルギー効率の改善率でみると、2012 年~2030 年間で 40%程度の改善率 (2012 年比) とした野心的な目標であり、過去大幅な改善があった石油危機後 (1970 年~1990 年) を上回るレベルとなっている。また従来電化拡大を前提に増加するとしていた電力需要については図 1-4 に示す通り、対策前比 21%削減するとし、加えて再生可能電力比率を 36%から 59%に増加させることが目標となっている。なお前回策定時には含まれていない水素・アンモニア発電割合について 1%程度が追加となっている。これは JERA (東京電力と中部電力の火力部門が統合した会社 (2015 年 4 月設立)) が 2050 年ゼロエミッションに向けた対応の一環として 2030 年に石炭火力にグリーンな燃料としてアンモニア混焼 (20%目標) を導入し、発電時の CO<sub>2</sub> 削減を目指すとした目標を受けたものとなっている。

### (3) コロナ禍回復とロシア・ウクライナ侵攻によるエネルギー安定供給への課題

カーボンニュートラルに向けた対応の一方でエネルギー供給については2021年頃からコロナ禍回復による需要増大、それに伴うエネルギー価格上昇がみられるようになってきた。



図 1-5 石油価格推移 ([https://ecodb.net/commodity/group\\_oil.html](https://ecodb.net/commodity/group_oil.html) より JPEC 作成)

図 1-5 に示す通り、石油価格については 2020 年前半に大幅な落ち込みが認められたが、その後 OPEC プラスによる減産合意等で持ち直してきており、コロナ禍回復により石油価格は上昇を続けている状況にある。特にロシアによるウクライナ侵攻後はそれを追い打ちするような状況となっている。米国バイデン政権は発足直後の 2020 年 1 月に環境問題の観点から国有地・水域での石油・ガス鉱区のリース権・掘削許可を一時停止していたが、その後の米国内のガソリン等のエネルギー価格の高騰を受けたことから、エネルギー政策を転換し、2021 年 4 月に停止解除、新規開発再開が許可されている。



図 1-6 天然ガス価格推移 ([https://ecodb.net/commodity/group\\_ngas.html](https://ecodb.net/commodity/group_ngas.html) より JPEC 作成)

図 1-6 に示す通り、天然ガスについては比較的安定した価格状況であったが、ロシアのウクライナ侵攻後はロシア産天然ガスに依存するドイツなどの欧州諸国においてロシア産天然ガスの禁止、ロシア側による供給減等の措置による欧州での天然ガス価格の急騰が起きており、その影響は LNG 市場、ひいては我が国の天然ガス価格の上昇を招いている。

これらの化石資源供給の不安定化、価格高騰は再生可能などへのエネルギー転換への追い風となる可能性がある一方で、現状においては我が国のみならず世界的な経済の混乱を招く事態となっている。エネルギーシステムの転換は一朝一夕での対応はできず、エネルギーインフラへの投資やサプライチェーンの構築など、継続的かつ長期的な対応が必要となる。特に資源に乏しい我が国においては「カーボンニュートラル」と「エネルギー供給安定性」の両立に向けた課題解決が極めて難しく、その課題を克服していくさまざまな対策を実施していく必要があるといえる。

## 1. 2 石油連盟のビジョンと石油分野トランジション・ファイナンス ロードマップ

### (1) 石油連盟における動き

石油連盟では、2020年10月に政府が発表したカーボンニュートラル宣言をふまえ、2021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）」を策定し、2022年12月に改定版を公表している（図1-7）。

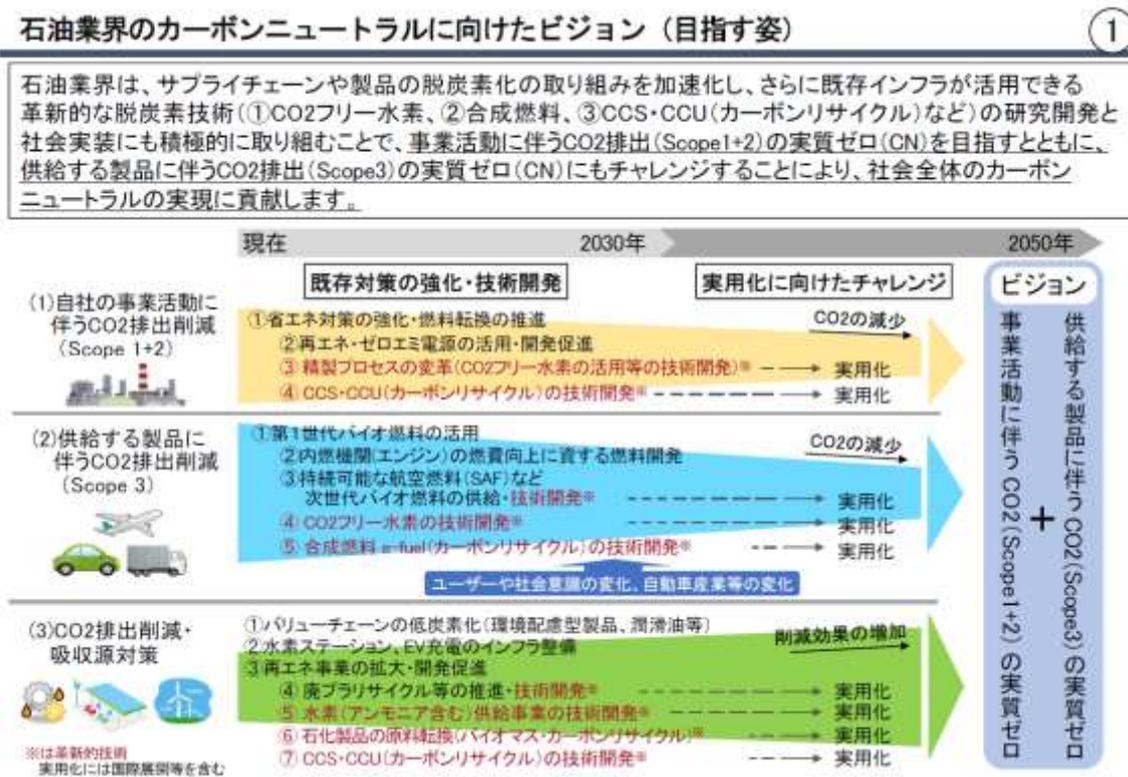


図1-7 石油業界のカーボンニュートラルに向けたビジョン（目指す姿）概要

このビジョンは、事業活動に伴うCO<sub>2</sub>排出量（サプライチェーン排出量におけるScope 1, 2）について「カーボンニュートラル」を目指すとともに、供給する製品に伴うCO<sub>2</sub>排出と（Scope3）の実質ゼロ（CN）にもチャレンジすることにより、社会全体のカーボンニュートラルの実現に貢献するとしたものである。また図1-8に示す通り、現在の燃料や化学原料の太宗を占める石油製品は、2050年に向けて、合成燃料 e-fuel（カーボンリサイクル）や、CO<sub>2</sub>フリー水素、バイオマス由来燃料などの「カーボンニュートラルな製品」など、革新的技術を通じてシフトしていくとしている。また図1-9は社会全体のカーボンニュートラル実現に向けた挑戦のイメージを示す。

## 革新的技術開発のアクションプラン

(2022年7月版) ②

石油業界は、カーボンニュートラルの実現に向け、これまで培ったアセット・人材・産業界のネットワークを生かして、CO2フリー水素、合成燃料、CCU(カーボンリサイクル)などの「革新的技術開発」に挑戦します。

対策No.	技術開発分野	年度										これまでの主な進捗 (石油各社・業界の取組)			
		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029		2030	2050	
(2)②	内燃機関(エンジン)の燃費向上に資する燃料開発	研究開発	研究開発	実証事業	実証事業										石運一自工会の業界共同研究(AOIプロジェクト)を推進中
(2)③	持続可能な航空燃料(SAF)など次世代バイオ燃料の供給・技術開発														1つのPJ(プロジェクト)がGI基金事業に選定 SAFを中心とした取組みの本格化
(1)③ (2)④ (3)⑤	CO2フリー水素の技術開発(アンモニア含む)														5つのPJがGI基金事業に選定(水素サプライチェーン構築、燃料アンモニア製造技術開発など) 社会実装を含む実用化に向けたチャレンジ
(2)⑤	合成燃料e-fuel(カーボンリサイクル)の技術開発														1つのPJがGI基金事業に選定
(3)④	廃プラリサイクル等の推進・技術開発														1つのPJがGI基金事業に選定 未利用廃プラからの化学品製造プロセス等に着手
(3)⑥	石化製品の原料転換(バイオマス・カーボンリサイクル)														未利用バイオマスの石化原料化など
(1)④ (3)⑦	CCS・CCU(カーボンリサイクル)の技術開発 ※CCU(炭酸塩プロセス)等														産廃中のカルシウム等を用いた加速炭酸塩化プロセスの研究開発中

※GI基金:グリーン・イノベーション基金

(注)1. 対策No.は、ビジョンの3つの分野(1)~(3)で取り上げている技術に割り振られた番号に相当します。

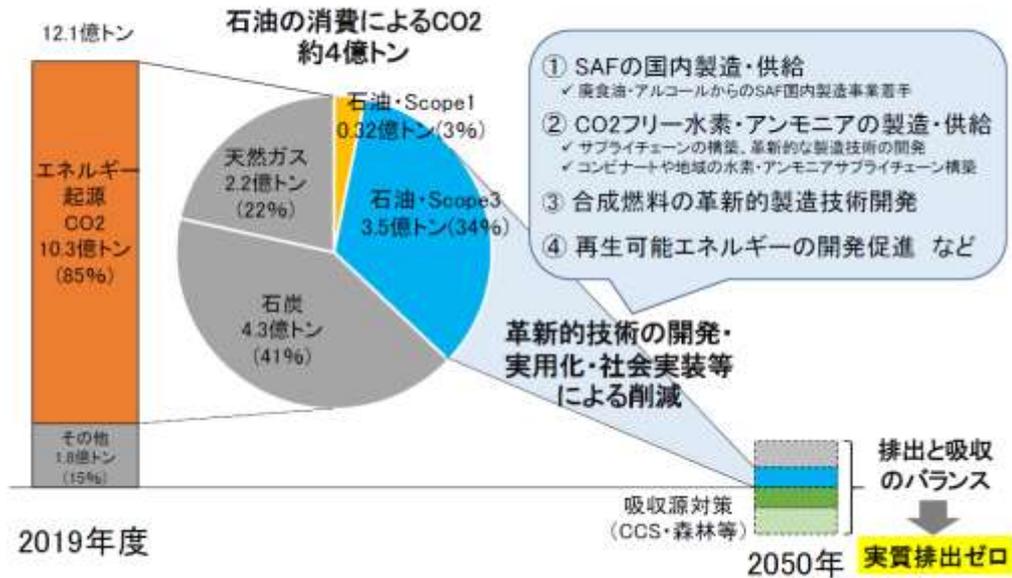
2. 研究開発・実証事業の期間は、複数のPJが存在する場合、代表的な事例(例:最も早期に実証事業が終了すると見込まれるもの)を提示しています。

➡ こうした取組みは、事業化までに多額の費用を要する案件も含まれるため、政府に強力な支援措置をお願いして参ります。

図1-8 石油業界における革新的技術開発のアクションプラン

## 【参考1】カーボンニュートラルに向けた挑戦のイメージ

③



注1 2019年度の排出量及び内訳は、環境省および温室効果ガスインベントリオフィスの燃料種別排出量(国内の排出量)から作成。

原油と石油製品の排出分から、製油所のCO2排出量(石油分)を控除し、石油のScope3排出量とした

2 石油のScope1排出量は製油所のCO2排出量から購入電力によるCO2排出量等を控除した数値

図1-9 カーボンニュートラルに向けた挑戦のイメージ

また 2022 年 10 月には石油業界として「カーボンニュートラル (CN) 燃料の導入・普及に向けた提言について」を公表した。図 1-10 に示す通り、2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた経済社会全体の変革 (グリーントランスフォーメーション (GX)) への積極的取り組みを表明するとともに政府に対して、①GX に向けたグランドデザインの提示、②カーボンニュートラル燃料の社会実装に向けた技術開発やサプライチェーンの構築に向けた強力かつ大胆な支援措置、③安定・安価な再生可能エネルギーの普及拡大や原子力の最大限の活用等による電力の安定供給確保を求めるとしている。

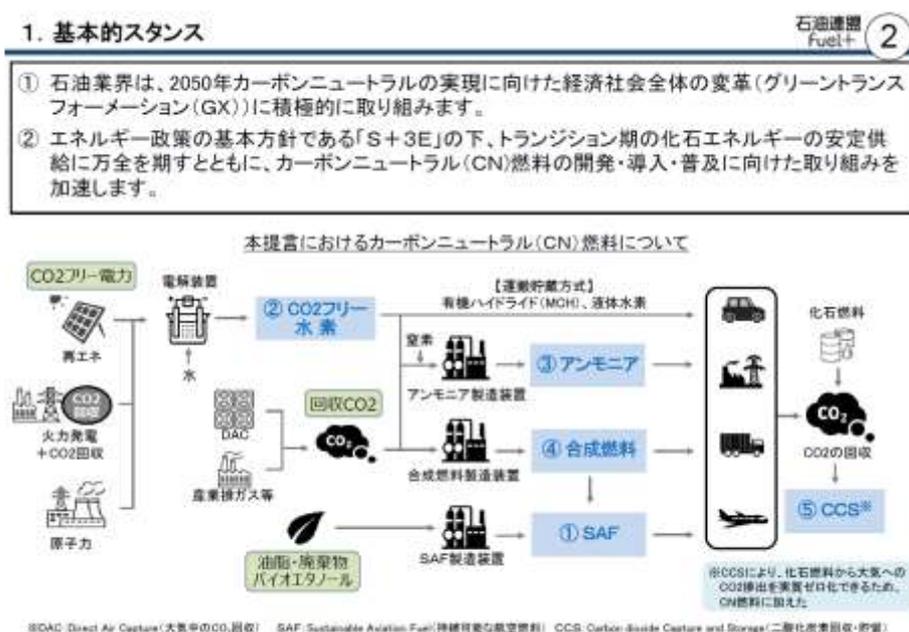


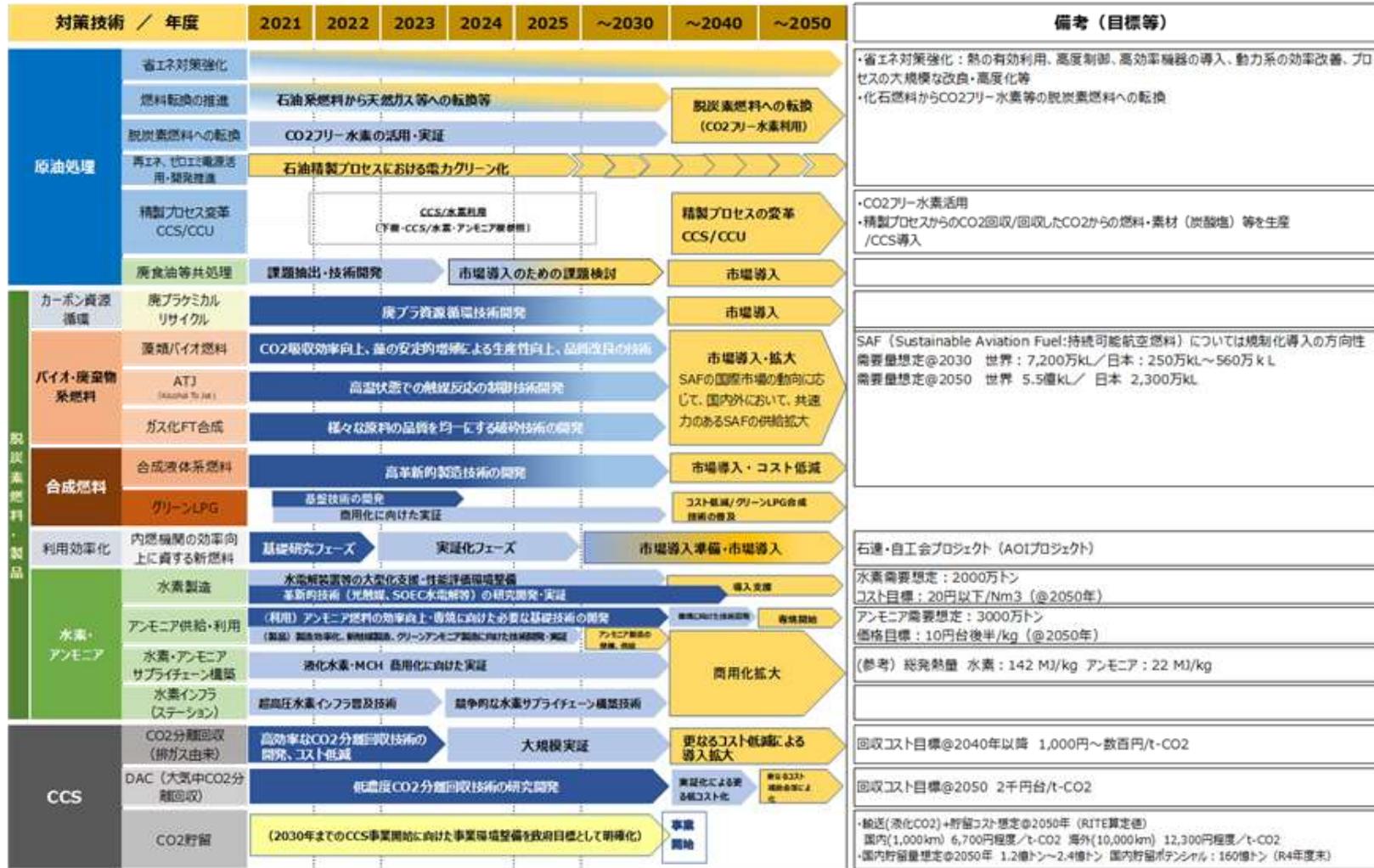
図 1-10 カーボンニュートラル (CN) 燃料の導入・普及に向けた提言

## (2) 石油分野トランジション・ファイナンス ロードマップ

2050 年カーボンニュートラルの実現に向けては、鉄鋼、化学、製紙・パルプ、セメント、電力、ガス、石油等の CO<sub>2</sub> 多排出産業が着実に脱炭素化に向かうための移行 (トランジション) の取組への資金供給を促進していくことが重要となる。経済産業省ではその金融・投資の観点より具体的な移行の方向性を示すためにロードマップを策定している。これにより、石油企業が行う資金調達において、脱炭素化に向けた移行の戦略・取組がトランジション・ファイナンスとして適格かどうかを判断する際の一助となることが期待されている。ここでは 2030 年や 2040 年を見据えたトランジション期間においては、研究開発のみならず、省エネ等も含めた製油所の脱炭素化を進めていくことが重要としている。図 1-11 に技術ロードマップを示す。カーボンニュートラルに向けた技術の方向性として「原油処理」「脱炭素化燃料・製品」の技術を挙げており、これら技術への取り組みの重要性が示されている。



● カーボンニュートラルを実現するための各種技術について検討が実施されており、石油関連・その周辺技術をピックアップ



METI資料(グリーン成長戦略、石油分野「トランジションファイナンスロードマップ」)等よりPEC作成

■ 研究開発フェーズ ■ 実証化フェーズ ■ 市場導入・商用化

図 1-12 石油関連技術に関する技術ロードマップまとめ

### 1. 3 JPECにおける現在の取り組み

JPEC で取り組んでいるカーボンニュートラルに向けた技術開発項目について以下に記す。

#### (1) 合成燃料の検討

CO<sub>2</sub> 有効利用技術の一つであるカーボンリサイクル液体合成燃料技術について、再エネ由来電力を利用した水との共電解による合成ガス製造と液体化石燃料に最も親和性が高い FT (フィッシャー・トロプシュ) 合成をベースとする一貫製造プロセス技術開発を開始している。また将来の輸送用燃料としての利用拡大のために、燃料性状や燃焼性の特徴を把握し将来エンジン技術との組合せ等による性能向上のための利用技術研究も開始している。

#### (2) 水素エネルギーの利活用に関する検討

石油産業は、燃料の高品質化に対応するために大量の水素製造能力を製油所に有している。また、自動車用燃料の供給においては、災害に強いガソリンスタンドと、それをつなぐ流通インフラを全国に配備している。これら石油産業の設備やインフラ等を活用し、我が国のエネルギー政策で掲げる石油エネルギーの有効利用や運輸用燃料の多様化、世界に先駆けた水素エネルギーの生産から利用までの水素社会の実現が重要となる。このため、超高圧水素技術を活用した低コスト水素供給インフラ構築に向けた研究を実施し、ステーション整備・運営コストの低減につながる規制の見直しや技術基準制定を行っている。

水素については、その利用における技術課題を着実に検討している一方で政府が想定している 2030 年、2050 年における水素消費量という需要側のイメージが見えていないことが課題といえる。

#### (3) プラスチック資源循環に関する検討

世界的に大きな問題となっている廃プラスチックについて、石油精製プロセスを利用して大規模に資源循環するための新規技術開発事業を開始している。

本事業では、汚染や異種プラスチック混合のため、マテリアルリサイクルに適さない廃プラスチック (ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン等) を対象に、基礎化学品 (オレフィン、BTX 等) に転換できる革新的なケミカルリサイクルプロセスを構築するために必要な要素技術を開発する。

#### (4) 共処理技術 (Co-processing) の検討

社会的な CO<sub>2</sub> 削減の要求により、日本国内においても 2020 年度に「2050 年カーボンニュートラル」、2021 年度に「2030 年度温室効果ガス 46%削減と 50%への挑戦」の新たな削減目標の設定がなされており、これに対応して、製油所に対してもグリーン化の対応

が求められている。製油所のグリーン化においては、現時点では以下の2点について検討が進められている。

- ・ 製油所の操業の最適化によるCO<sub>2</sub>低減
- ・ 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CO<sub>2</sub>低減

製油所の操業最適化については既に進められているが、さらなる効率化のためには、高度制御技術やファウリング防止の革新的技術が必要になる。また石油精製と廃プラスチック、バイオマス等の共処理技術については確立されていない状況である。この課題解決のためには新たな技術として、従来の経験に基づいた製油所のオペレーションから、原油/原料油の成分情報を基にしたデータの高度解析による予測技術と制御技術に変革していくことがポイントになる。わが国は原油成分分析（特に重質留分）において最先端技術を有しており、成分情報に基づいた運転制御技術、反応予測技術、ファウリング防止技術を開発し、安定供給と環境負荷低減を実現する。

本事業では以下の技術開発の検討を進めている。

- ① 原油・原料油リアルタイム成分分析（省エネ、製品低炭素化）
- ② CDU 最適化（省エネ）
- ③ ファウリング制御技術（省エネ、製品低炭素化）
- ④ 石化成分製造最適化（製品低炭素化）

2021年度の成果は、①に関しては、原油及び留分の一般性状を予測するAIプロトタイプモデルを作成し、新規6原油と、脱炭素化原料11種の燃料評価を実施した。②に関しては、センサーの製作や通信検証、既存のRTO（制御最適化システム）に必要なデータ要件などの確認を行った。③に関してはファウリング解析のメカニズムに関する調査とファウリング物質評価法の予備検討等を行った。④に関しては①で評価した脱炭素化原料の評価を実施して、前処理が必要な成分を決定した。

## 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

### 2.1 検討の経緯と目的

JPEC ではこれまで、海外からの最新情報と石油業界の専門家からの意見を踏まえながら、将来ビジョン、およびそのロードマップを継続的に作成・公表してきた。令和2年度に「次世代石油エネルギービジョン」を発行し、これに基づき、前章で紹介したプラスチック循環、合成燃料、製油所の脱炭素化等の事業を開始している。一方で、1章で述べたように国内外動向の急変、我が国のエネルギー政策におけるカーボンニュートラルに向けたさまざまな政策および研究開発投資が打ち出されている状況にある。

上記の状況に鑑み、JPEC でもこれまで検討してきた内容について、我が国の政策動向を踏まえて、石油産業および製油所の将来ビジョンやシナリオを検討し、次なる事業のための技術開発課題の抽出、提案が必要との認識にいたった。このため以下の目的で検討することとした。

#### 【目的】

カーボンニュートラル時代を見据えて、令和2年度のビジョンを再考するとともに JPEC の将来事業になりうる技術開発課題について、以下を考慮して進める。

- ① 我が国のカーボンニュートラルへの貢献策としてその意義やビジョンが社会に受け入れられ、かつ政府の積極的な事業化支援が可能になるものとする。
- ② 石油産業のカーボンニュートラル転換に資する技術開発課題や必要な規制緩和に向けた対策内容、我が国の特徴・特色（地域性含む）を考慮した内容とする。

なお令和3年度、4年度に JPEC 内に組織している戦略企画研究会および高度利用技術研究会において、カーボンニュートラルに向けた製油所の転換の姿を議論しており、それらの議論も踏まえたものである。

## 2. 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：3つのステージでの検討

化石燃料を中心としたエネルギー供給の状況から、カーボンニュートラル社会を作り上げるためには、社会構造のパラダイムシフトが必要であり、インフラの構築や制度設計など技術以外の変革も必要とする。そのため技術が確立できれば一足飛びにカーボンニュートラル社会が構築できるわけではない。つまり現在の石油精製の状況から変化し、カーボンニュートラル社会を構築するまでの過程も含めた全体を表し、それぞれの状況で求められる技術が必要となる。このため、図2-1 に示す通り、現在の原油処理の状況からカーボンニュートラルの社会に向けて3つのステージに分けて検討を行う。

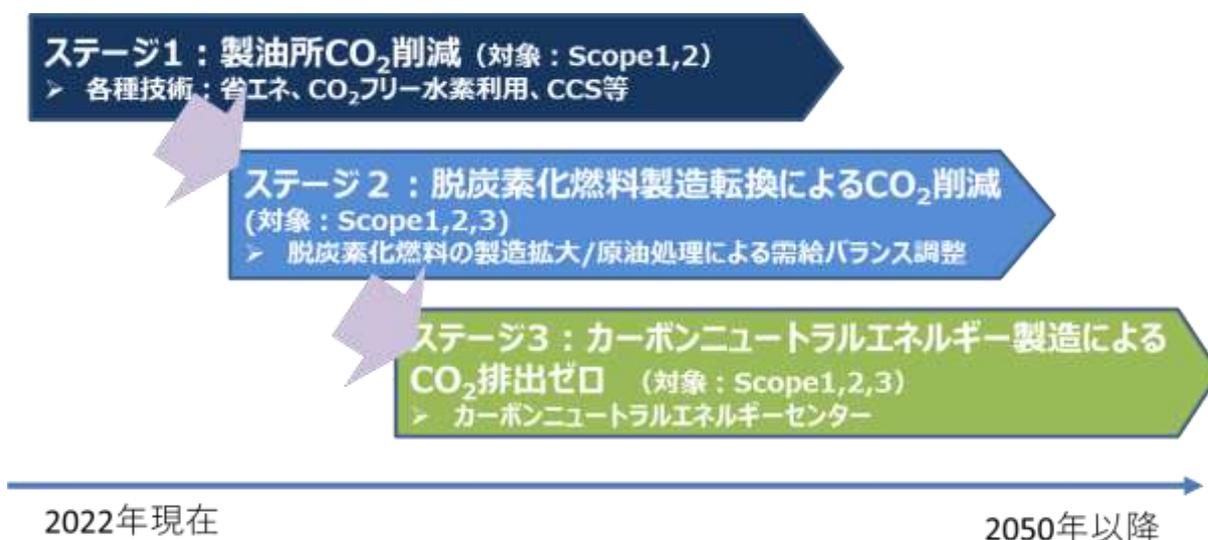


図2-1 カーボンニュートラルの社会に向けた検討における3つのステージ

まず初めにステージ1として、製油所自体のCO<sub>2</sub>削減策 (Scope 1, 2) に着目し、製油所での原油処理の高効率化、省エネ等および将来技術としてグリーン水素やCCS導入による各種技術のCO<sub>2</sub>削減効果について検討した。ここでは原油からの石油精製を想定し、製造段階での各種対策技術におけるCO<sub>2</sub>削減効果 (Scope 1, 2) を評価し、それら技術の削減ポテンシャルを定量的に評価することが目的となる。

次にステージ2では、カーボンニュートラル社会へ向けたトランジション段階として、脱炭素化燃料を製造しつつ、需給バランスを原油処理で調整した場合の製品利用時も含めたCO<sub>2</sub>削減効果を調べた。このため脱炭素化燃料製造のサプライチェーン全体としてScope 1, 2, 3におけるCO<sub>2</sub>削減効果を評価した。またステージ1, 2の結果より製油所転換シナリオの方向性についてまとめを行っている。

ステージ3では石油産業としてのカーボンニュートラル製造によりCO<sub>2</sub>排出ゼロの将来像を想定し、ステージ1, 2の結果も踏まえて、製油所の転換シナリオのイメージを示す。

### (1) ステージ1：製油所 CO<sub>2</sub>削減策 (Scope1,2) の検討

ステージ1として、製油所での原油処理の高効率化、省エネ、さらにはグリーン水素利用やCCS等によるCO<sub>2</sub>削減効果を検討した。ステージ1における課題検討を行うために、日本の製油所を一つと仮定した製油所モデルを作成し、製造時のCO<sub>2</sub>排出量をシミュレーションにより定量的に評価した。

製油所モデルによるシミュレーション計算結果を図2-2に示す。

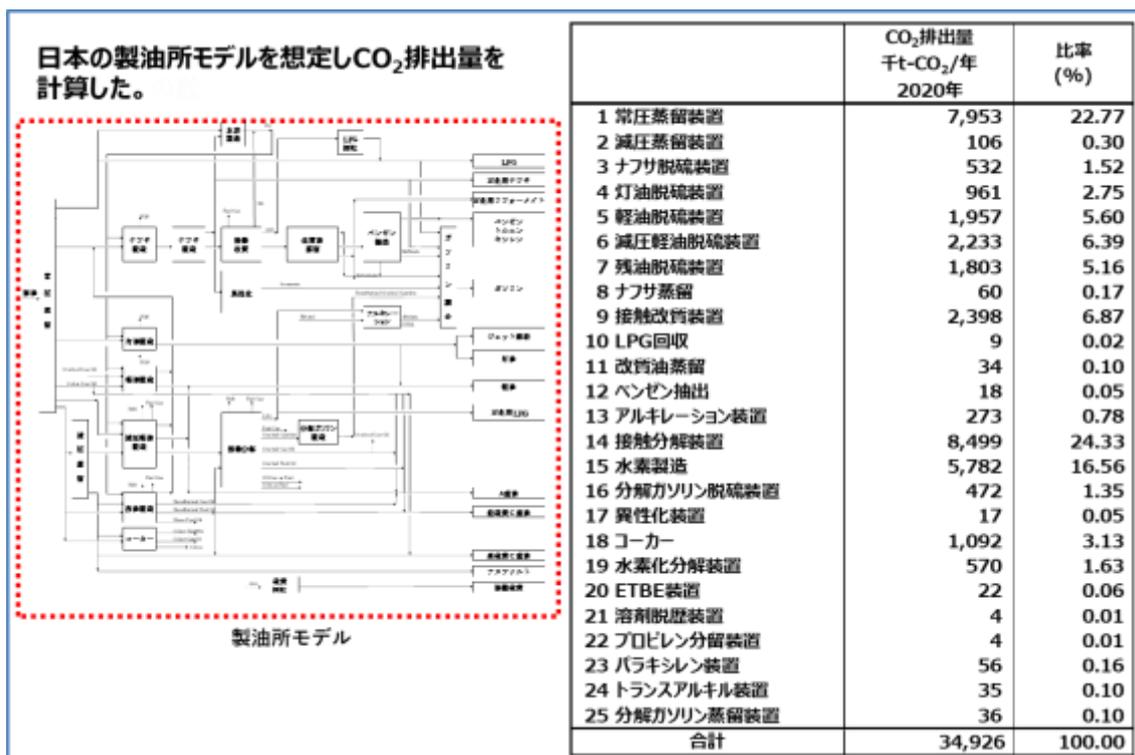


図2-2 製油所モデルの概略とCO<sub>2</sub>排出量計算結果

これは2019年度の調査時に2020年を想定して製油所から製造時に排出されるCO<sub>2</sub>を計算したものである。CO<sub>2</sub>排出量は34,926千トンと計算され実際の2019年のCO<sub>2</sub>排出量34,400千トンと比べてもほぼ同じレベル\*と考えられる。

\*:実際の2020年CO<sub>2</sub>排出量は、コロナの影響を受けたために石油生産量が大幅に減少した結果、30,870千トンと減少している。しかしながら、2019年調査時に推定した石油製品の生産量は、ほぼ実際の2019年石油製品生産量と同量であることから2020年想定時のCO<sub>2</sub>排出量は、実際の2019年のCO<sub>2</sub>排出量34,400千トンと比べてもほぼ同じレベルであり、製油所モデルの妥当性が証明されたものと考えている。

図2-2の計算結果を見ると、CO<sub>2</sub>を多く排出している装置は、常圧蒸留装置、接触分解装置、水素製造装置であり、これら3つの装置で全体の6割以上のCO<sub>2</sub>を排出しているこ

とが分り、CO<sub>2</sub>を削減する方法を考える上での対象とする装置の狙いどころを示していると言える。

次に、この製油所モデルに、高効率化や省エネ技術等の個別対策を導入したときのCO<sub>2</sub>削減効果について見積もった。個別対策の評価項目は、5つの切り口すなわち、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、⑥CCS導入からそれぞれ選定した。想定した具体的対策内容は以下の通り。

- ① エネルギー効率向上については、製油所全体の省エネルギーが、3%改善されたケース(①-A)、常圧蒸留装置周りの熱交換器の汚れの改善により、常圧蒸留装置の省エネルギーが25%改善された理想的なケース(①-B)、FCC装置で生じるコークス生成を制御することにより省エネルギー10%改善されたケース(①-C)の3ケースを想定した。
- ② 燃料の低炭素化については、製油所内で用いる用役であるスチームや電気を発生するために使用される製油所ガスや重油を中心とした燃料を、100%燃焼時のCO<sub>2</sub>排出量がより少ないLNGに置き換えた場合を想定した。
- ③ 再生電力への転換については、製油所内で用いる電気のみを100%外部からの再生可能電力に置き換えたケース(③-A)、電気だけでなく、用役全体を電気に置き換えた(製油所全体を電気で稼働させる極端な事例)ケース(③-B)を想定した。
- ④ グリーン水素導入については、水素製造装置から副生物として生成するCO<sub>2</sub>量が多いために対策の1つとして選択した。さらにその対策を行うために、実現性がより近いグリーン水素輸入を選定し、100%水素製造装置から製造される水素を置き換えた場合を想定した。
- ⑤ CCS導入については、プロセス中のCO<sub>2</sub>濃度が高い水素製造時に分離されるCO<sub>2</sub>のみ回収するケース(⑤-A)、水素製造時に分離されるCO<sub>2</sub>だけでなく、その他のプロセスの燃焼ガスを回収、回収率10%のケース(⑤-B)、回収率50%のケース(⑤-C)の3ケースを想定した。

なお、個別の対策を実施するためには、\*に示したように余った燃料ガスをどうする等様々な課題を解決する必要があるが、今回は、単にCO<sub>2</sub>削減量のみを計算した。

(設備費等は付録5参照)

結果を表2-1に示す。①のエネルギー効率改善は現実性のある取組みと考えられるが、削減効果は数%程度である。2030年度の政府目標である46%削減(2013年度比)の達成を目指すとする、前提(付録2:付表2-1参照)とした2030年時の石油製品生産量減が23%(2013年比)で、CO<sub>2</sub>削減率も同じ割合での削減を仮定しても残り23%相当のCO<sub>2</sub>削減が必要になり、これだけでは大きく不足していることがわかる。このため政府目標を達成

するには④～⑤の様なグリーン水素導入、CCS などの案件も考慮する必要があることがわかる。

表 2-1 個別対策毎の CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>削減率比較<sup>※1</sup>

個別対策項目		CO <sub>2</sub> 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 <sup>※2</sup>	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% <sup>※2</sup>	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 <sub>2</sub> のみ回収	10	CCS導入	・投資コスト ・低濃度CO <sub>2</sub> 回収技術
⑤-B	水素製造時に分離されるCO <sub>2</sub> +燃焼排ガスからCO <sub>2</sub> を10%回収	19		
⑤-C	水素製造時に分離されるCO <sub>2</sub> +燃焼排ガスからCO <sub>2</sub> 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

以上まとめると、製油所自社 CO<sub>2</sub>排出分 (Scope1,2) について、省エネや常圧蒸留装置の熱交換器汚れ対策などの技術について着実に進めていくことは大切であるが、製油所対策のみで 2030 年 46%CO<sub>2</sub> 削減を達成するためには数十%の大幅削減を可能とするグリーン水素や CCS 等の将来技術による対策が必要となる。これら技術は本格的導入時期が 2030 年以降とされることから、2030 年に向けた主たる対応にはなりえないことがわかる。このため 2030 年までに実現可能な対策技術は限られたものになる。

## (2) ステージ2：脱炭素化燃料製造転換によるCO<sub>2</sub>削減策（Scope1,2,3）の検討

ステージ2では製油所のトランジション段階として2030年時の各種液体燃料の需要量を想定し、脱炭素化原料を処理することで部分的に脱炭素化燃料を製造しつつ、需給バランスを原油処理で調整する場合を評価している。またCO<sub>2</sub>削減効果については使用時も含めた評価（Scope1, 2, 3）となっている。なお脱炭素化燃料製造は、調達した原料を必要に応じて油化し、不純物除去等の前処理をした脱炭素化原料を用いて、製油所で水素化処理等の方法で精製し、品質調整を行うことで製品化される。製油所での処理方法は二つあり、専用装置を用いて原料を単独処理する方法と原油と混合し既設装置を用いて処理する共処理の方法がある。二つの方法を比較すると、水素消費増加量は脱炭素化原料の特性に依存するため、同じ量となり、結果として水素製造時のCO<sub>2</sub>増加量も同じになる。ステージ2のモデル計算上の仮定は共処理での取り扱いで評価しているが、CO<sub>2</sub>削減については単独処理でも共処理でも同じ結果となる。このことからステージ2での検討は単独処理、共処理に関わらない結論となる。

2030年の需給想定\*での原油処理のみのベースケースと、脱炭素化原料を一部処理した場合について前項の製油所モデルを用いてCO<sub>2</sub>排出量の比較を実施した。（※：2030年石油製品生産量想定：2,442千BPD（詳細は付録2参照））また脱炭素化原料として現時点では廃プラスチック再生油、バイオマス由来油、合成燃料を想定している。図2-3に脱炭素化原料を示す。なお下図には示していないが、脱炭素化原料として木屑等からのリグニン利用も検討されている。リグニンは化学構造等も複雑で前処理技術等についても開発途上といえるが、賦存量が多く、今後期待できるバイオマス系脱炭素化原料である（付録1付表1-1参照）。

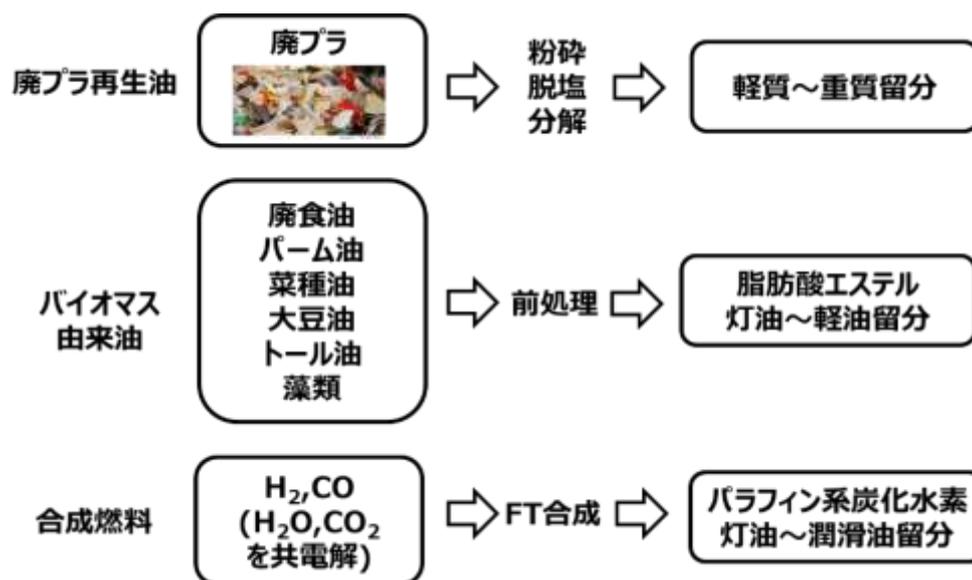


図 2-3 脱炭素化原料例

表 2-2 には脱炭素化原料の分析結果を示す。脱炭素化原料は原油とは異なり、炭化水素以外にもさまざまな高濃度成分・組成を持つことがわかる。塩素は腐食要因、窒素分は触媒被毒要因となる。また脂肪酸等の含酸素化合物は腐食や重合による閉塞要因、高濃度のオレフィンも重合による閉塞要因となることから、これらの対策技術は別途検討する必要がある。

表 2-2 脱炭素化原料の分析結果

**各種脱炭素原料の分析結果**  
 ・将来の原料多様化を想定し、バーム油、廃食油、廃プラ熱分解油など、各種原料を調達した。  
 ・含酸素系化合物・塩素（腐食要因）、窒素分（触媒被毒）の濃度を把握した。

低炭素基材	確認された要除去物質				
	脂肪酸 (重量%)	酸素分 (重量%)	窒素分 (ppm)	塩素分 (ppm)	オレフィン分 (Vol.%)
廃 プラ 再生 油	PE+PP熱分解油				59.3
	PE+PP+ポリスチレン(PS)熱分解油				46.0
	ABS+PE熱分解油		16000		
	コンビニゴミ分離プラスチック熱分解油		470	160	41.1
	EP油(EP: Ecology Plastic)				48.8
	PVC+3p熱分解油				250 44.9
バ イ オ マ ス	バーム油	92.7	12	44.5	
	廃食油	89.9	11.7		
	FAME	91	11.2		
	CPO熱分解油分留油 (CPO: Crude Palm Oil)		2.4	180	
	合成燃料(GTL)				

なおこのモデル計算の検討では比較的信頼できるプロセスデータが存在する植物油（あるいは非可食原料である廃食油）を原料として想定した。また、製油所での水素化処理においては既存の製油所アセットの軽油脱硫装置を活用し、装置フィードに対して40重量%の共処理による脱炭素化燃料製造を想定し、2030年燃料油需給想定を満たすようにモデル計算を行った。結果については、原油処理のみと一部を脱炭素化燃料製造した場合について、製造段階のCO<sub>2</sub>排出量、および製品でのCO<sub>2</sub>削減量を定量的に比較することで、サプライチェーン全体（Scope 1, 2, 3）での比較を行った。なお廃食油40重量%の共処理比率は海外で計画されている共処理比率の最大割合に相当する。また最初に説明した通り、専用装置を用いた単独処理でも本結果と同様な結果が得られることを付記する。

図 2-4 に製造プロセスの概略を示す。軽油脱硫装置を用いて共処理により脱炭素化燃料を製造すると想定し、そのモデル計算に必要なプロセスデータは Neste 社バイオディーゼル燃料製造プロセスである“NExBTL プロセス”を参照した。植物油・廃食油は脂肪酸エステル（グリセリド）で構成されており、水素化処理により脱酸素反応で水が生成することから多量の水素が必要になる。

- 反応の特徴；脂肪酸エステル（グリセリド）の水素化処理による脱酸素反応



※多量の水素が必要（炭化水素 1 分子に対し、4分子の水素が必要）

- 共処理の位置；

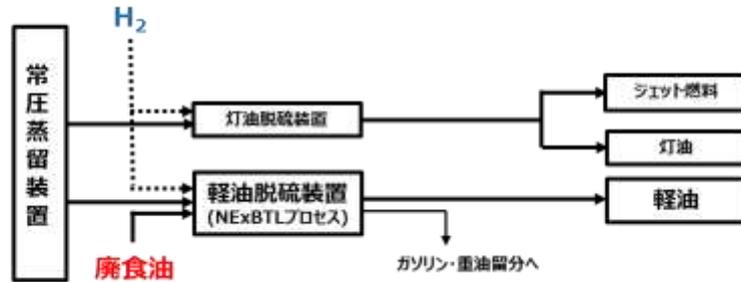
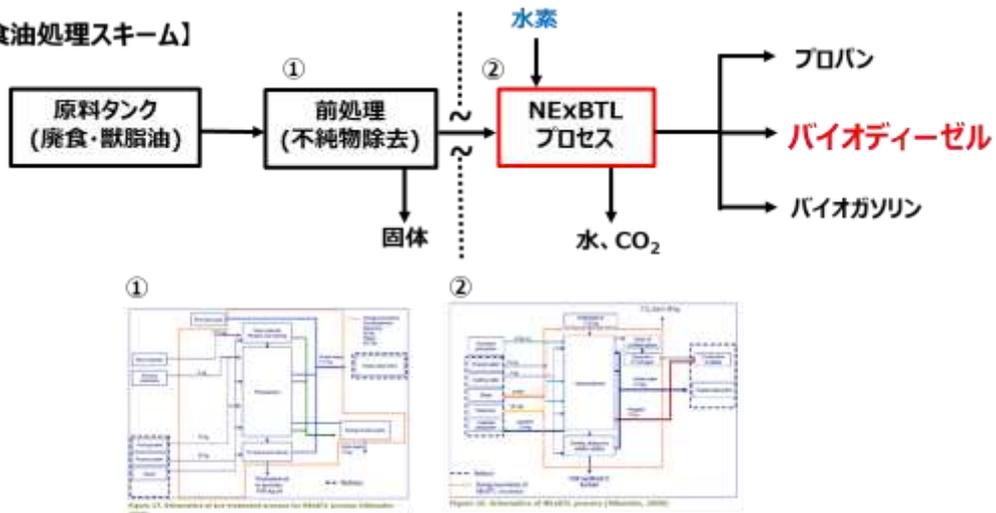


図 2-4 植物油・廃食油からの脱炭素化燃料製造概要（共処理）

また、廃食油においては回収に加え、図 2-5 で示すような前処理（不純物除去等）が必要になるが、今回のモデル計算ではそれらの技術やエネルギー消費・CO<sub>2</sub>排出を考慮していない。このためここでは廃食油の燃焼による CO<sub>2</sub> 排出量はゼロ（カーボンニュートラル）と仮定した計算結果となっている。

【廃食油処理スキーム】



出所；DECARBONISATION OPTIONS FOR THE DUTCH BIOFUELS INDUSTRY

図 2-5 廃食油処理スキームと“NExBTL プロセス”

2030 年製油所 CO<sub>2</sub> 排出量は原油処理のみの場合は 34 百万トン-CO<sub>2</sub> となっている。水素消費量に関する比較結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 水素消費量計算結果

項目	単位 ; 億Nm <sup>3</sup> /年		
	ベース(原油)	ケース(廃食油共処理)	HPU能力 (@2019)
HPU 水素量	53	120	80

廃食油 40 重量%処理においては必要となる水素製造装置 (HPU) による水素製造量はベースが 53 億 Nm<sup>3</sup> に対して、120 億 Nm<sup>3</sup> と約 2.3 倍になる。2019 年時の国内の HPU 能力が 80 億 Nm<sup>3</sup> であることを考えると今回想定した原料処理量の場合は HPU 増設など、何らかの水素確保の対策が必要になる。

また、表 2-4 に CO<sub>2</sub> 排出量の比較結果を示す。

表 2-4 CO<sub>2</sub> 排出量計算結果

項目	単位 ; 百万ton-CO <sub>2</sub> /年		
	ベース(原油)	ケース(廃食油共処理)	増減量
Scope1,2 (自社)	34	40	6
Scope3 (下流)	378	336	▲42
Scope1,2,3 (全体)	412	376	▲36

Scope 1, 2 については、廃食油を原料とした脱炭素化燃料製造により、CO<sub>2</sub> 排出量が、ベースケースより、6 百万トン増加した。これは、主に廃食油である脂肪酸エステル (グリセリド) の脱酸素反応に必要な大量の水素を必要があり (表 2-4 参照)、その水素を製造する過程で発生する CO<sub>2</sub> によるものである。一方、Scope 3 については、元来、廃食油の燃焼に伴う CO<sub>2</sub> をゼロとカウントすると 42 百万トン減少し、Scope 1, 2, 3 全体としては、日本全体の製油所が排出する Scope 1, 2 にあたる CO<sub>2</sub> 排出量と 36 百万トン減少する結果となった。なお 36 百万トンの削減量は先のステージ 1 での製油所 CO<sub>2</sub> 排出の全量よりも多く、表 2-1 での削減率で表記すると 106% に相当する。

以上より、廃食油を用いた脱炭素化燃料製造においては、大量の水素を必要とすることから、脱炭素化燃料製造量の拡大時においては水素消費の増加に対応した対策が必要となる。さらには製造時の CO<sub>2</sub> 増加を抑える対策 (水素製造装置の導入に伴う副生 CO<sub>2</sub> を分離・回収・貯蔵・活用する CCS、CCUS 等の検討など) はステージ 1 と同様、別途検討が必要と

なる。

また、今回の試算に用いた廃食油は 1,800 万トンと日本の廃食油の潜在量 40 万トンを遥かに上回っており、絶対的に量が不足している。

以上、ステージ 2 での結果をまとめると、以下のようになる。

- 脱炭素化燃料製造において精製時・使用時の CO<sub>2</sub> 排出量 (Scope1, 2, 3) の削減効果は大きい
- 廃食油 1,800 万トンを原料とした脱炭素化燃料製造における CO<sub>2</sub> 削減量は、ステージ 1 で検討した製油所 CO<sub>2</sub> 排出全量とほぼ同程度となる。
- 課題として製造時の水素使用量の増加対応、それに伴う製造時の CO<sub>2</sub> 排出量増加、脱炭素化原料量の確保等が挙げられる。

### (3) 中間整理：ステージ1, 2の結果からのシナリオ方向性

ステージ1およびステージ2の結果より以下のことが言える。

- ステージ1 (Scope1,2) での CO<sub>2</sub> 削減は将来技術であるグリーン水素 (CO<sub>2</sub> フリー水素) 利用や CCS などの導入が大幅削減において効果的
- ステージ2 (Scope1,2,3) での CO<sub>2</sub> 削減効果が大きい
- 以上のことから、脱炭素化燃料製造がカーボンニュートラル社会に向けた対策として効果的であり、そのための技術開発が必要となる。また製油所 CO<sub>2</sub> 削減策は CO<sub>2</sub> フリー水素、CCS 導入が可能になった時点での対応が社会全体としても費用対効果の面からも有効となる。

図 2-6 にステージ1, 2における製油所の対策技術の時間軸イメージを示す。この図は製油所が脱炭素化燃料製造のハブに転換する際において、現在から 2050 年頃までの導入すべき技術の視点からまとめたものである。なおこの図には技術導入時期のみであり、必要となる技術開発の時間軸については記載していない。

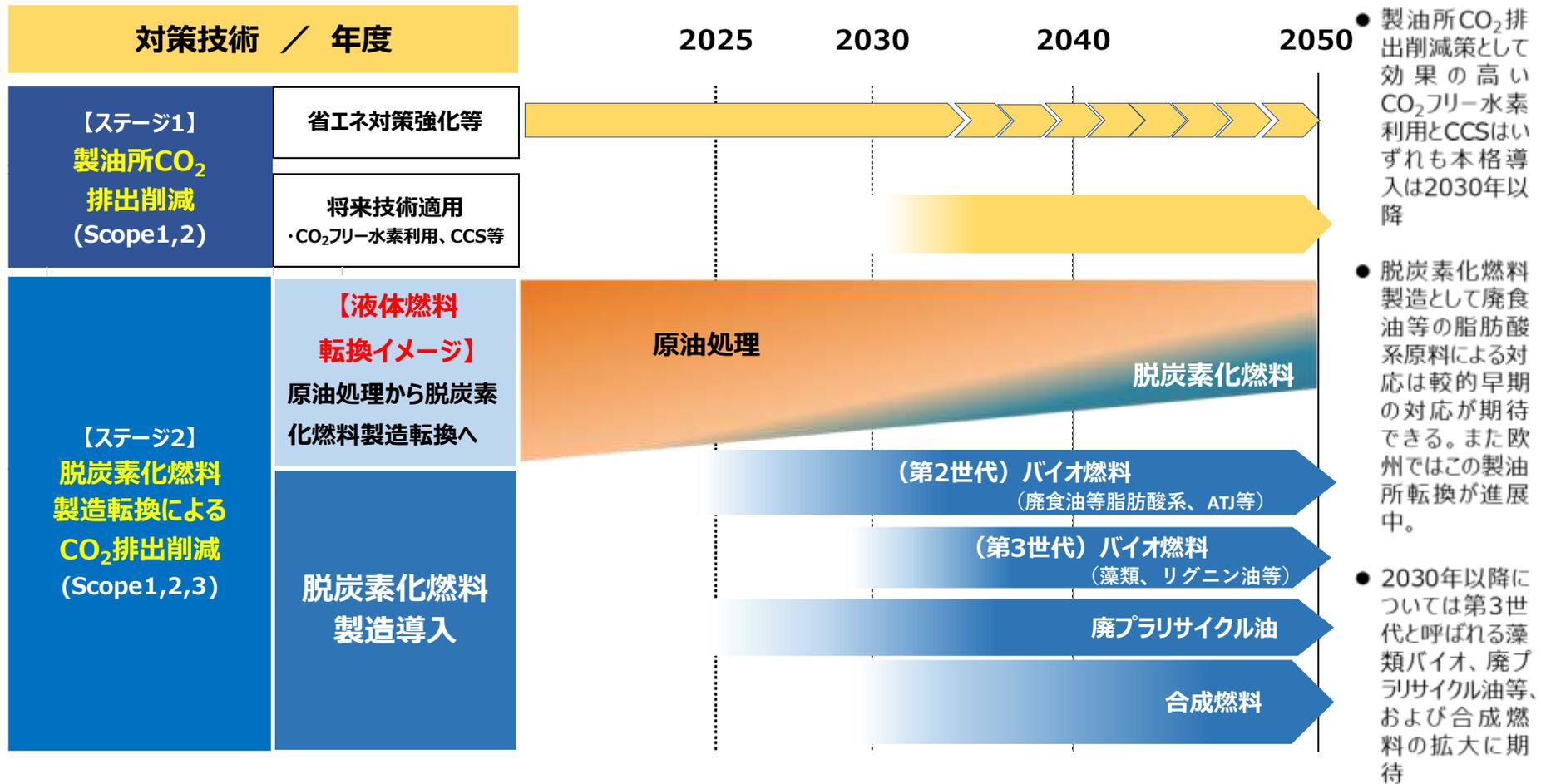


図 2-6 ステージ 1, 2 における製油所の対策技術の時間軸イメージ

### (カーボン資源循環型燃料・製品ハブ)

令和 2 年「次世代石油エネルギービジョン」において将来製油所像としてカーボン循環型燃料・製品ハブを提案した。これはステージ 2 における液体燃料製造を継続する製油所における最終イメージと一致することから、ここではこの「カーボン資源循環型燃料・製品ハブ」についてイメージの具体化を検討した。

カーボン資源循環型燃料・製品ハブは、バイオ系燃料や廃プラスチック油、合成燃料などを中心に液体系燃料を製造するハブとなる製油所の絵姿である。図 2-7 にイメージ図を示す。

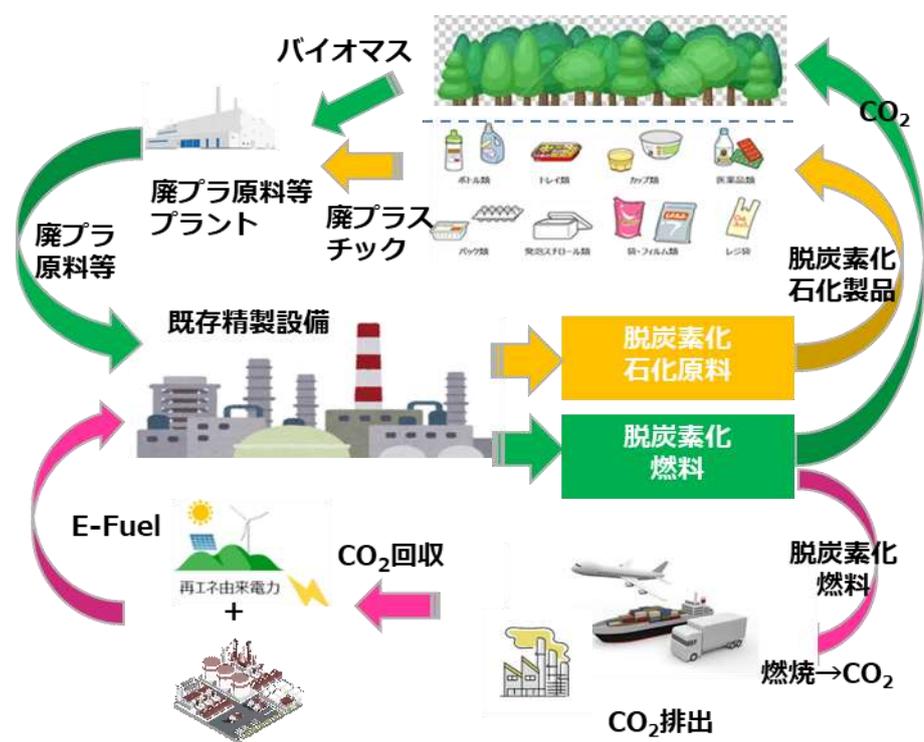


図 2-7 カーボン資源循環型燃料・製品ハブ イメージ図

これは製油所が、バイオマス、廃プラスチックや大気中 CO<sub>2</sub> からの燃料や石化原料を製造するカーボン資源循環の拠点やハブとして機能することを想定しており、既存の製油所のアセットを活用することができる。例えば水素製造装置、水素化処理装置、触媒分解装置などは活用することが可能になる。一方で原料や・再エネ量が十分ではないため現状では国内の需要をすべて賄うことはできない。このようにカーボン資源循環型燃料・製品ハブの課題は、量的拡大のために、脱炭素化原料の多様化や輸入を含む合成燃料製造への拡大も視野に入れる必要がある。図 2-8 にカーボン資源循環型燃料・製品ハブを想定した場合の検討が必要な技術項目を示す。

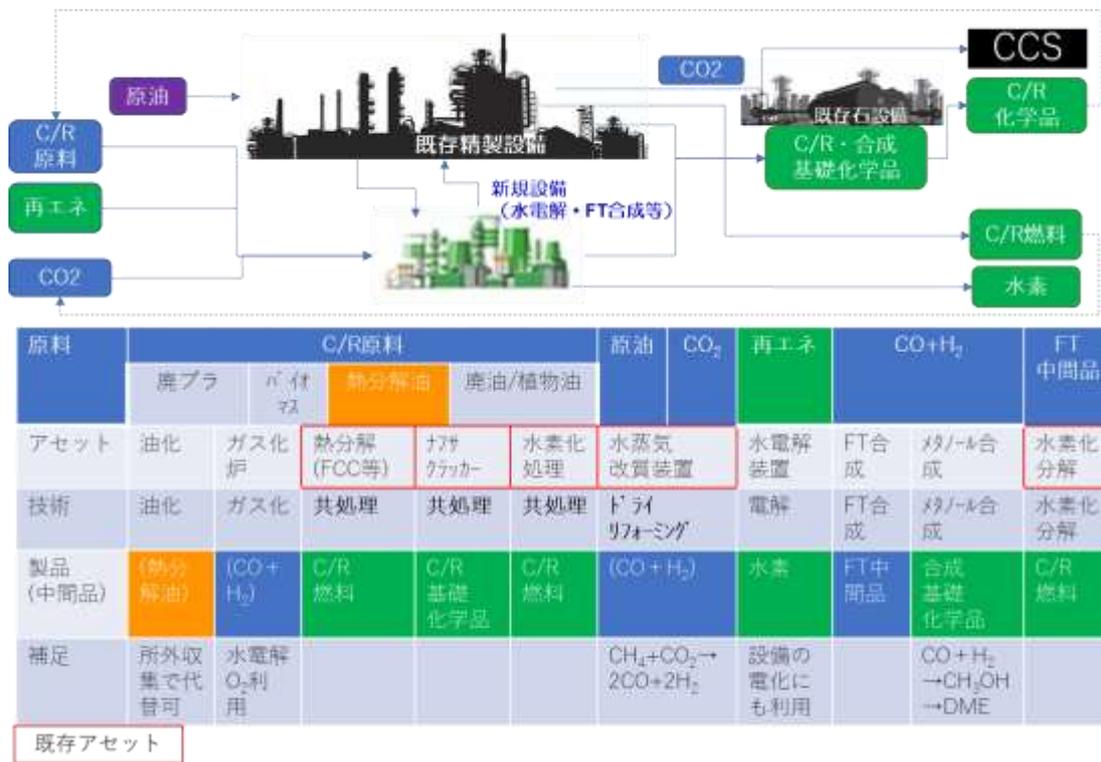


図 2-8 カーボン資源循環型燃料・製品ハブ 技術項目

#### (4) ステージ3：カーボンニュートラルエネルギー製造（将来ビジョン）の検討

カーボンニュートラル社会における石油産業の将来像を想定することは今後の技術開発を提案する上で必要になる。エネルギー産業の一翼を担う石油産業においてもその転換が始まっており、我が国のみならず海外の事例においても再生可能電力などの従来とは異なるカーボンニュートラルエネルギーの取り込みが拡大する動きがある。一方で今後とも必要とされる炭化水素系液体燃料についてもバイオマス・廃棄物等を原料とし、水素化処理による脱炭素化燃料製造、さらには回収CO<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>フリー水素（グリーン水素、ブルー水素）を用いた化学反応（FT合成等）による液体燃料製造により正味でCO<sub>2</sub>を排出しない液体合成燃料製造の研究開発が進められている。このように石油産業においても多様なカーボンニュートラルエネルギーの取り扱いを進める動きと液体燃料の製造販売を継続しながら徐々にカーボンニュートラルの液体燃料、ここでは脱炭素化燃料の製造に転換する動きがある。このような状況を想定し、石油産業全体として多様なカーボンニュートラルエネルギー源を取り扱うセンター化へと転換することをイメージした。図2-9にカーボンニュートラルエネルギーセンターのイメージ図を示す。



図2-9 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

また各ステージとの関係を図 2-10 に示す。

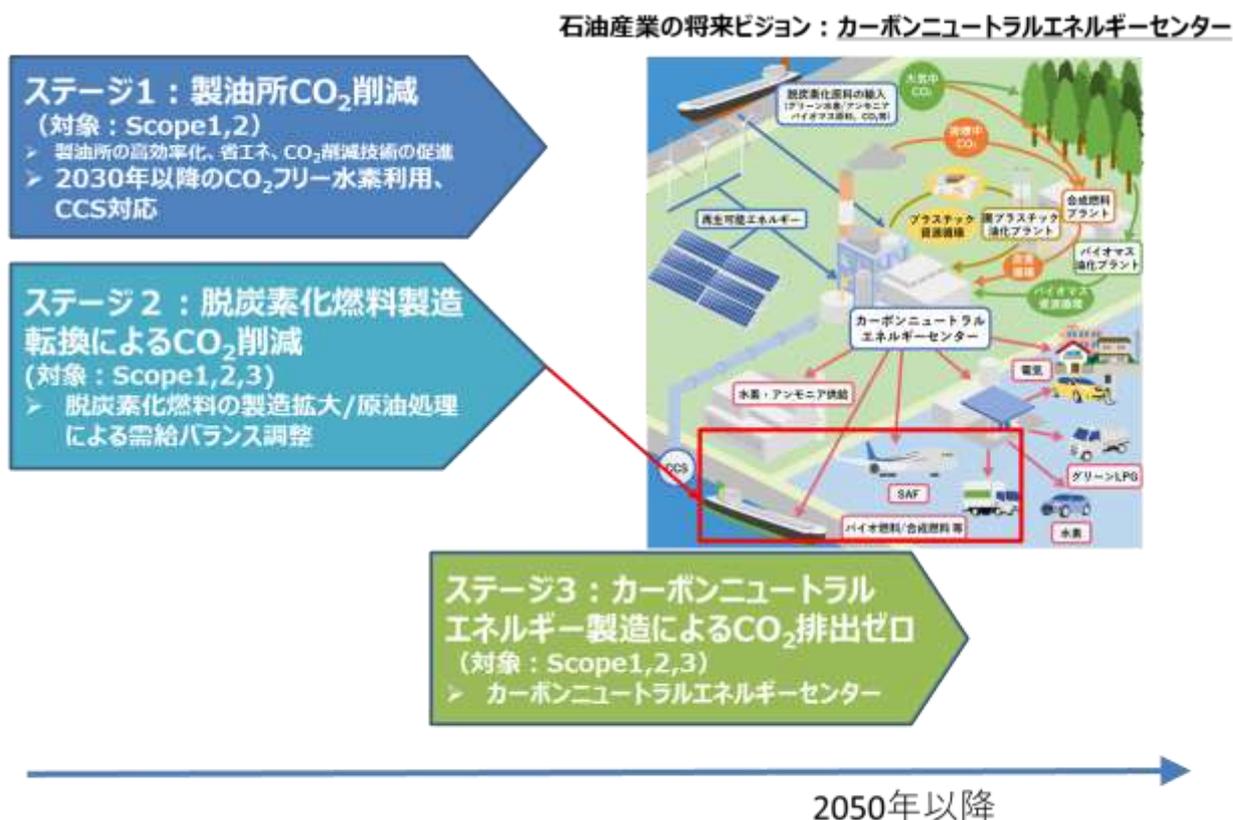


図 2-10 各ステージにおけるカーボンニュートラルエネルギーセンターとの関係

上図のようにカーボンニュートラルエネルギーセンターを石油産業全体における転換イメージとすると先に示したカーボン資源循環型燃料・製品ハブはその中において液体燃料製造に関する製油所転換イメージと位置付けられる（図 2-10 中の赤枠に示す製品の供給ハブ）。なお、2050 年時点においても付録 3 に示す通り、液体燃料として 3,200 万 kL～10,600 万 kL（石化原料などの非エネルギー利用除き）が必要であり、原油処理も相当量残るとの推定もある。このことからステージ 2 での脱炭素化燃料製造拡大と原油処理による需給バランス調整を中心とした製油所転換シナリオは石油産業のカーボンニュートラル化に向けた主要な役割を持つと考えられる。

## 2.3 製油所転換シナリオのまとめ

製油所は、液体燃料の脱炭素化と需要量減に対応して、その廃止を含めてカーボンニュートラルエネルギーを製造する多様な形でのハブへ転換し、その結果、石油産業は多様なカーボンニュートラルエネルギー源を供給するセンター化へと転換することになる。図 2-11 にその転換イメージを示す。また液体燃料製造を継続する製油所においては脱炭素化燃料製造を進展させるための技術開発を行い、トランジション段階として可能な限り早期の脱炭素化燃料製造開始を目指すとともにエネルギー安定供給の観点から原油処理による需給バランス調整を継続する。さらに製油所自体の主たる CO<sub>2</sub> 削減策は CO<sub>2</sub> フリー水素利用や CCS の導入が可能になる 2030 年以降の時期に対応することが大幅な CO<sub>2</sub> 削減と高い費用対効果が期待できる。このような製油所転換シナリオは社会のカーボンニュートラル化にとってより効果的な転換シナリオとなる。

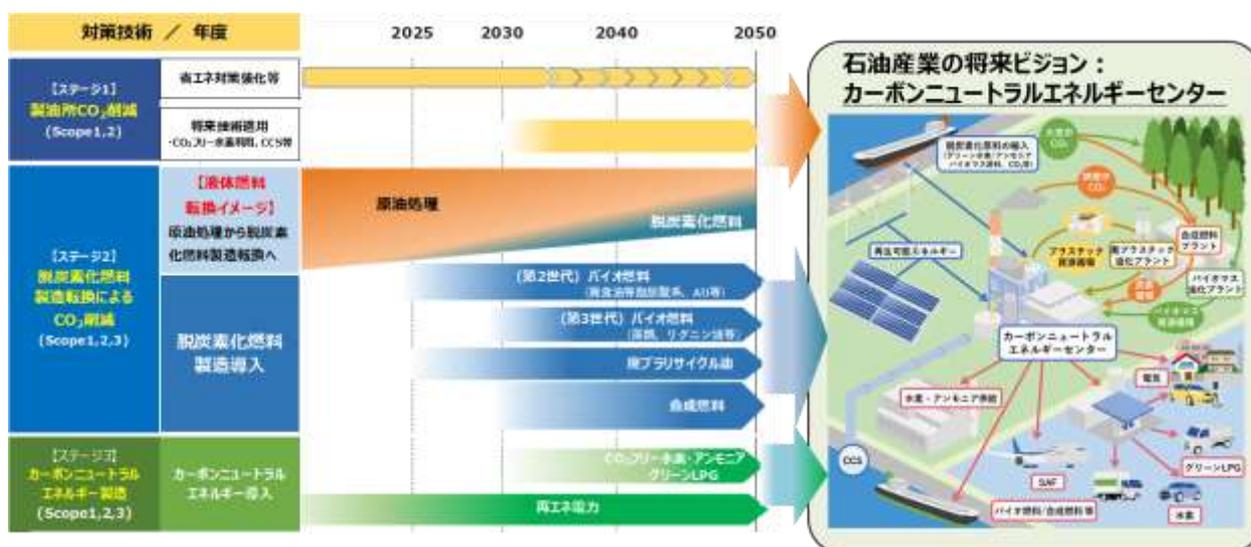


図 2-11 製油所転換シナリオ：カーボンニュートラルエネルギーセンターに向けて

製油所転換シナリオにおいて必要となる技術を検討し、そのまとめを表 2-5 に示す。

表 2-5 製油所転換シナリオにおいて必要となる技術

※赤字はJPECで既に取り組んでいる事業

		分類	技術課題大項目	技術課題小項目例	引用	
製油所CO <sub>2</sub> 削減	①-1	原油処理	省エネ対策強化	さらなる重質油アップグレーディングの促進、高効率重質油処理技術の開発	R2ビジョン	
			省エネ対策強化	製油所運転の効率化（ファウリング制御技術開発）、廃熱利用、中間タンク削減、原油選択の最適化	R2ビジョン	
	利用効率化	内燃機関の効率向上に資する新燃料		石連ロードマップ		
	①-2	原油処理	脱炭素燃料への転換	石油精製プロセスへのCO <sub>2</sub> フリー水素の導入実証	グリーン成長戦略/石連	
	①-2 ①-3	原油処理	再エネ、ゼロエミ電源活用・開発推進	燃焼設備に合わせた製造設備の開発	グリーン成長戦略/R2ビジョン	
②	原油処理	信頼性向上技術	定修期間低減、信頼性向上	R2ビジョン		
脱炭素化燃料製造 転換によるCO <sub>2</sub> 削減	③-1	バイオ・ 廃棄物系燃料	藻類バイオ燃料	CO <sub>2</sub> の吸収効率向上させた藻類を安定的に増殖させる技術	グリーン成長戦略	
			ATJ (Alcohol To Jet)	触媒反応の制御	グリーン成長戦略/高度利用	
			ガス化FT合成	様々な原料の品質の均一化	グリーン成長戦略	
	③-2	合成燃料	合成液体系燃料	逆シフト + FT合成プロセスの研究開発	グリーン成長戦略/石連	
		原油処理	精製プロセス変革 (CCS/CCU)	炭酸塩プロセス	石連ロードマップ	
	③-2	原油処理	廃食用油等共処理	廃プラ・バイオマス資源を原料とする技術開発	グリーン成長戦略/石連/高度利用/R2ビジョン	
		カーボン 資源循環	廃プラケミカル リサイクル	廃プラ・廃ゴムからの化学品製造技術	グリーン成長戦略/石連/R2ビジョン	
	③-3	原油処理	精製プロセス変革 (CCS/CCU)	ドライリフォーミング、エタノール・DME合成	グリーン成長戦略/高度利用技術研究会追加	
			CCS	CO <sub>2</sub> 分離回収	高効率なCO <sub>2</sub> 分離回収技術	グリーン成長戦略/石連/R2ビジョン
				DAC	大気からの直接回収技術の研究開発	グリーン成長戦略/石連/R2ビジョン
		CO <sub>2</sub> 貯留		グリーン成長戦略		
カーボンニュートラルエネルギー製造による CO <sub>2</sub> 排出ゼロ	⑤-3	水素・アンモニア	合成燃料	グリーンLPG	触媒等の実証試験に必要な基盤技術の開発	グリーン成長戦略
			水素製造 アンモニア 供給・利用	水素製造	革新技術（光触媒、SOFC水電解、高温熱源利用）	グリーン成長戦略
				アンモニア 供給・利用		グリーン成長戦略
				サプライチーエン 構築	大型化に向けた技術開発（液体水素/有機ハイドライド）	グリーン成長戦略/R2ビジョン
	水素インフラ		大型水素ステーション開発・実証、新技術導入加速、障壁の緩和・撤廃	グリーン成長戦略/R2ビジョン		

また図 2-12 に脱炭素化燃料の製造におけるプロセスの概要を示す。バイオマス系と非バイオ系では製造プロセスも大きく異なることから、将来に向けては幅広い技術検討が必要になることがわかる。

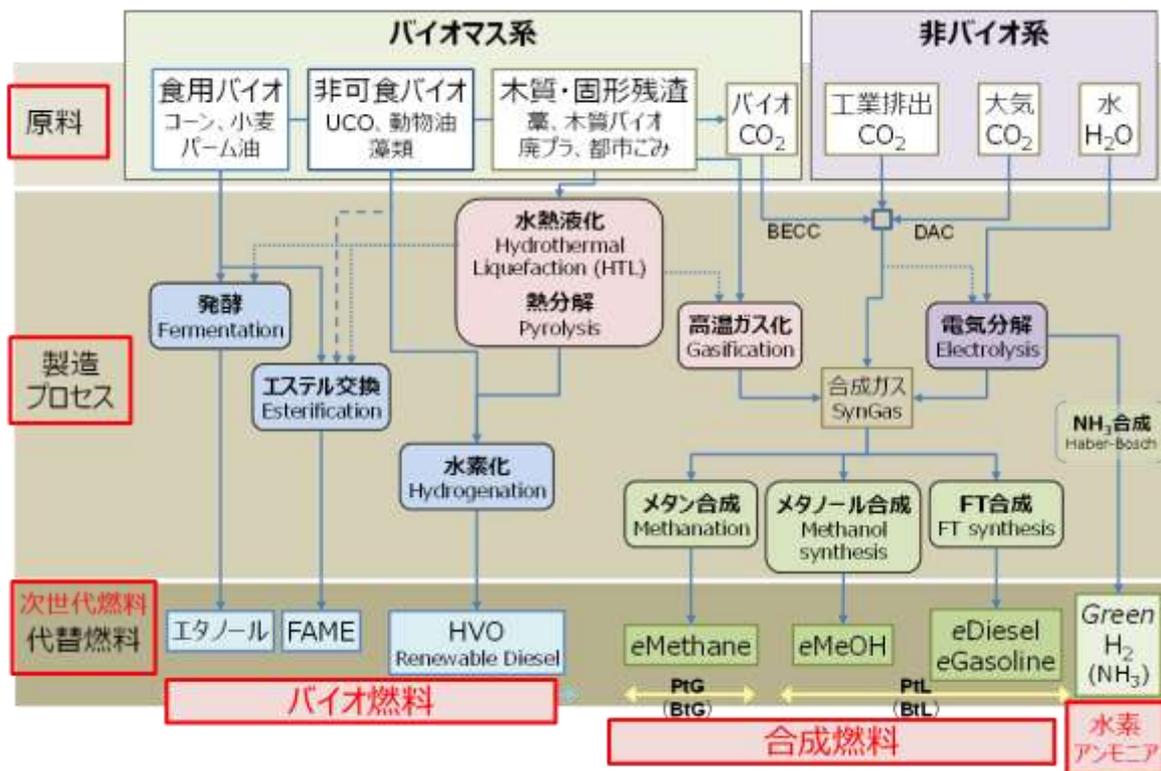


図 2-12 脱炭素化燃料製造における製造プロセス

(2030 年に向けた石油産業 CO<sub>2</sub> 削減策：脱炭素化燃料製造を例として)

我が国の 2030 年 GHG 削減目標である 46%削減(2013 年度比)について、産業界の多くは自社排出量 (Scope1, 2) についての 46%減の目標を立てている。この削減率を我が国の製油所 CO<sub>2</sub> 排出量に当てはめると、2030 年度 2,177 万トンの排出量になる (2013 年度 CO<sub>2</sub> 排出量: 4,033 万トン (石油連盟調べ))。すなわち 2030 年度時での CO<sub>2</sub> 削減量として 1,855 万トンが必要となる。製油所モデル試算結果をベースとすると 2030 年石油製品生産量は 22.8%減少し、それによる CO<sub>2</sub> 削減量は 672 万トンと見積もっている。このため、残り 1,183 万トン削減への対応策が必要となる。しかしこれまでの検討結果から製油所内の省エネ技術による対応は数十万~最大でも百万トンレベルである。また現状の技術ロードマップによる 2030 年時点では、CO<sub>2</sub> フリー水素利用や CCUS による本格的対応が緒についたばかりで、大幅な削減対策になるかは不確実な状況にある。このため脱炭素化燃料製造による CO<sub>2</sub> 削減効果 (Scope3) での対策も考慮して試算を行った。

表 2-4 に示した通り、脱炭素化原料 1,800 万トン进行处理した場合、サプライチェーン全体 (Scope1, 2, 3) での CO<sub>2</sub> 削減量が 36 百万トンであった。処理量と CO<sub>2</sub> 削減量が概ね比例すると仮定した場合、脱炭素化原料量として 594 万トン进行处理し、脱炭素化燃料を製造

することで、Scope1, 2（自社分）は200万トン増加するもののScope3（下流）で1,400万トン弱の削減が見込まれる。その結果、Scope1, 2, 3のサプライチェーン全体で1,180万トンのCO<sub>2</sub>削減量となる。表2-6にまとめを示す。

表2-6 脱炭素化原料594万トン処理時のCO<sub>2</sub>削減効果

単位；万ton-CO <sub>2</sub> /年			
項目	ベース(原油)	脱炭素化燃料製造 (共処理率13.3%)	増減量
Scope1,2 (自社)	3,361	3,563	202
Scope3 (下流)	37,800	36,414	▲1,386
Scope1,2,3 (全体)	41,161	39,977	▲1,184

脱炭素化原料の確保・上流サプライチェーンの構築などの大きな課題はあるものの、2030年時のみならず、カーボンニュートラルに向けては脱炭素化燃料確保やその製造、投資等は避けて通れない。石油産業の削減目標をScope1, 2, 3のサプライチェーン排出全体での評価を可とするならば、脱炭素化燃料製造の開始とその拡大によりScope3でのCO<sub>2</sub>削減策は持続的かつ費用対効果が高い可能性があることがわかる。

### 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

#### 3. 1 製油所転換促進プロジェクト「トランジション先導モデル」の提案

前章における結果を基に JPEC 内の戦略企画研究会・高度利用技術研究会等で石油産業の有識者と製油所転換の進め方について議論を行った。その結果、以下のような意見が出された。

- 脱炭素化燃料を製造するに際し、製油所処理の具体的なイメージを共有する
- 必要となる個別技術を明確化して、技術開発を進める
- 製油所転換を考える上で、調達できる脱炭素化原料量が不十分
- 原料の確保から製品供給までのサプライチェーン全体で課題を明確し、解決する必要がある。
- 製油所転換に向けて実証試験を行うなど、まず第一歩を踏み出すことが必要

以上の議論を受けて、IPEC において製油所転換を促進するプロジェクトとして「トランジション先導モデル」を提案し、それを進めるための検討を行うことにした。具体的には以下の3つの実施に向けた検討を行う。

##### (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

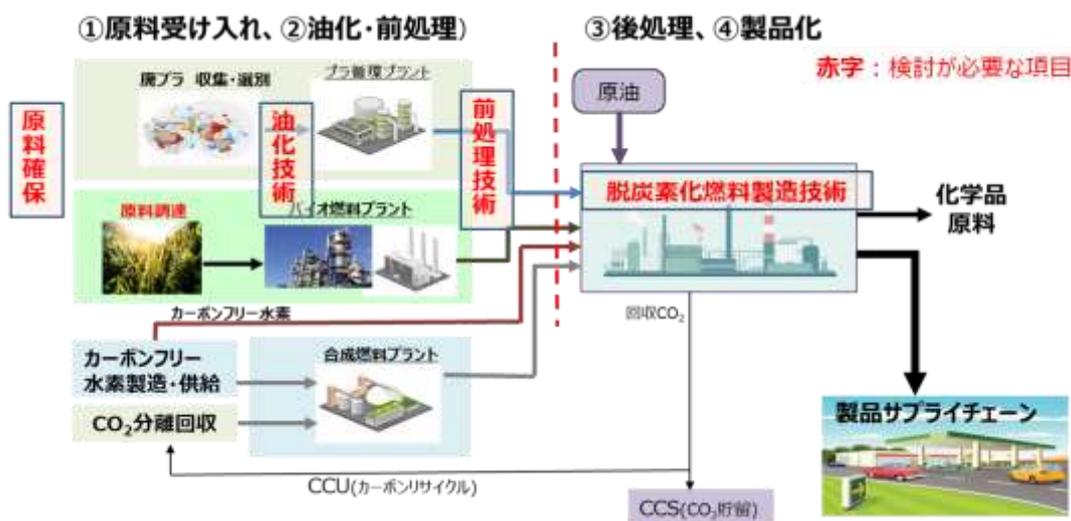


図 3-1 トランジション先導モデルの課題

### 3. 2 トランジション先導モデルの課題整理

#### (1) 脱炭素化原料の確保に関する調査

我が国においては持続可能な航空燃料（SAF）の調達が脱炭素化燃料製造において優先的な課題となる。図3-2は SAF の国内必要量と現時点での供給予定量を示したものである。現状、SAF の必要量（見込み）に対して2030年段階でも国内供給量は不足している。このため、廃食油等の脂肪酸系、バイオエタノール（ATJ）などの第2世代原料に加え、リグニン油などの処理の難しい第3世代原料利用が必要となる。また廃プラリサイクル油についても多様な廃プラスチックが混合された原料の処理が必要となる。

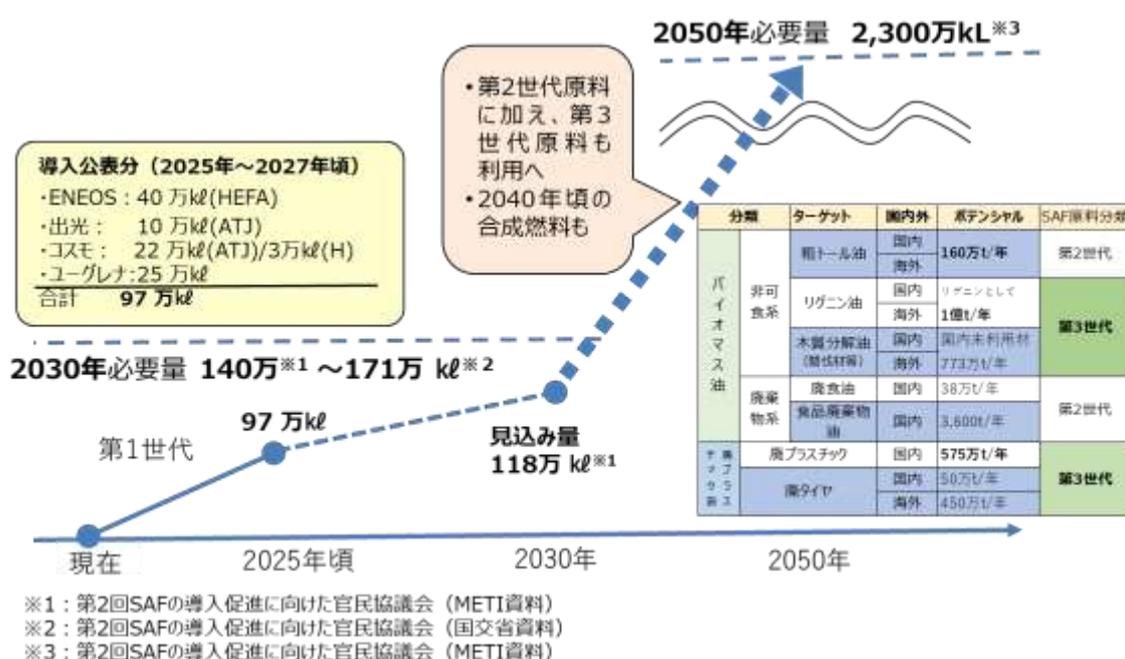


図3-2 SAF国内必要量（見込み）と現時点の供給量

このような脱炭素化原料について今後入手可能になると考えられる原料の賦存量を調査するとともにサプライチェーンを構築するために必要となる調査を実施することが重要となる。

## (2) 脱炭素化燃料製造の技術開発

### ● 油化技術

SAF 原料を例にとると第 1 世代は菜種油、パーム油、ひまわり油、大豆油のバージンオイルの植物油脂に対して、第 2 世代は廃食油、蒸留コーン油、粗トール油、アシッドオイル、パームオイル廃油などの廃油や油脂類、第 3 世代：農業残差などの固体バイオマス廃棄物、間接的土地利用変化による GHG 排出の少ないものとして大型海藻、微細藻類、輪作作物としてひまし油など、さらにはカーボン循環として廃プラ、廃タイヤが挙げられており<sup>2</sup>、第 1 世代原料から第 2、第 3 世代になるほど処理が困難になる。表 3-1 にこれら原料の油化技術例を示す。

表 3-1 SAF 原料における第 2 世代、第 3 世代のターゲットと油化技術例

SAF原料分類	分類	ターゲット	油化技術
第2世代	非可食系	粗トール油	エステル化
	廃棄物系	廃食油	遊離酸除去 (油収集)
食品廃棄物油			
第3世代	非可食系	リグニン油	熱分解、加溶媒熱分解等
		木質分解油 (間伐材等)	熱分解、水熱分解等
	廃プラスチック油	廃プラスチック	熱分解、加溶媒熱分解等
		廃タイヤ	熱分解

### ● 前処理技術

前述の原料において、実際に製油所で処理する際に悪影響を及ぼす遊離酸や不純物（ハロゲン、アルカリ、金属、P、N、重合前駆体など）など微量成分を除去するための前処理も重要となる。例えば廃プラスチック油においては塩素が含まれ、触媒被毒作用があるためその除去が必要となるが、そのための細孔構造を最適化し、高表面積の金属酸化物を開発するなどの事例がある<sup>3</sup>。

<sup>2</sup> 2022 年 ERTC TOPSOE 資料「IS SUSTAINABLE AVIATION FUEL READY FOR TAKE-OFF?」 Mikala Grubb

<sup>3</sup> 2022 年 ERTC ALBEMARE 資料「Co-processing waste plastic oils into conventional hydrotreaters.」 Stefano Melis



図 3-3 前処理イメージ

脱炭素化原料量の前処理技術を検討する上では JPEC で開発したペトロリオミクス技術によるペトロ分析の活用も可能と考えられる。現状は図 3-4 に示すように原油等の成分や性状分析を中心とした詳細解析法であるが、脱炭素化原料のサンプルについてもこの技術をさらに発展させることで、その特徴的な性状などをデータベース化していくことも重要になる。

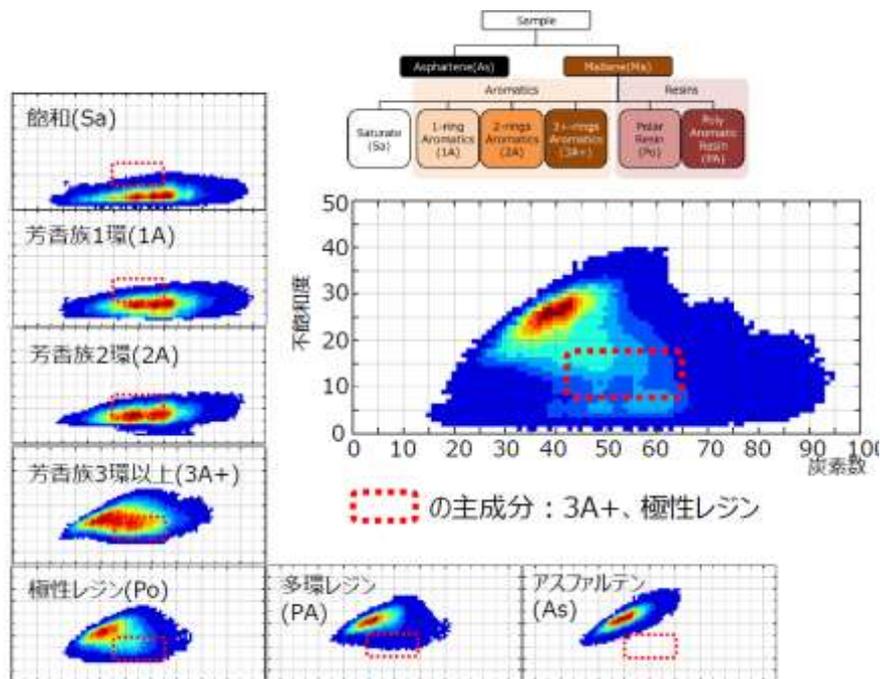


図 3-4 ペトロ分析技術例（原油活用例）

- 製油所処理技術

脱炭素化燃料製造における製油所処理技術としては専用装置による「単独処理」と既設装置を利用した原油との「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

要な技術となる。図 3-5 に共処理と専用装置による単独処理との違いを模式的に示す。

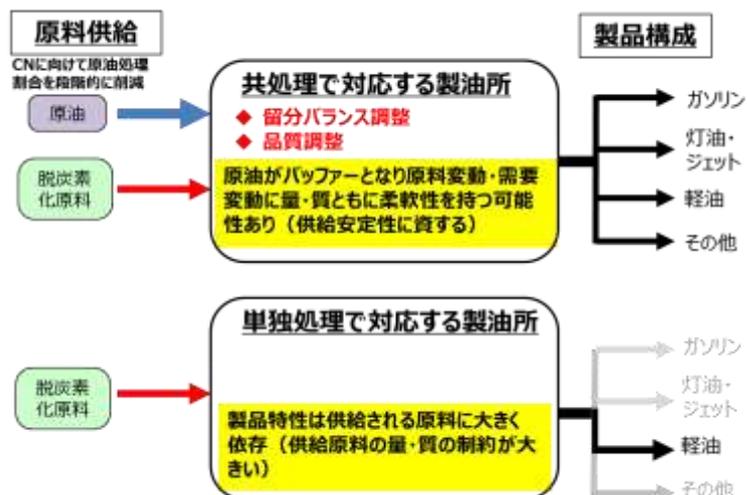


図 3-5 共処理と単独処理の比較

共処理は脱炭素化原料を原油に混合し、それを既存装置で処理する方法である。この方法は、2030 年に向けて脱炭素化燃料を製造する場合、既存アセットを利用でき、導入におけるコストや早期対応が可能になる。また原油がバッファーになるため供給原料の量的・質的変動を緩和し、量的・質的な需要変動に対応しやすい可能性もある。表 3-2 に共処理と単独処理（改造と新設）の特徴比較を示す。

表 3-2 共処理と単独処理（改造、新設）との特徴比較

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 <sub>2</sub> 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		ライセンサーやエンジ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、ライセンサーやエンジ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、ライセンサーやエンジ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

共処理で考えられる利点はトランジション段階における脱炭素化原料の量的変動に柔軟に対応できる可能性や脱炭素化原料の多様化が進み、質的な変化に対しても製品品質の調

整も柔軟に対応可能と考えられる。一方で共処理の課題として、技術開発が必要な点が挙げられる。これは逆に JPEC として技術的に取り組む要素あることを意味している。また脱炭素化原料の前処理等の技術開発は共処理でも単独処理でも同様に必要となる。

以上を踏まえて、トランジション先導モデルの脱炭素化燃料製造における製油所処理の検討においては共処理を中心に検討することとした。なおそれ以外の共処理の検討すべき理由としては以下のことが挙げられる。

- 欧州においても、脱炭素化燃料、特に SAF+製造等に共処理技術を利用する動きが加速している。特にこれに向けた ASTM 規格変更（共処理混合率 30%）や ISCC 等の認証制度確立（マスバランス方式）が進展しており、共処理がより活用しやすい状況<sup>※2</sup>となってきた。
- 共処理技術はライセンサーやエンジ会社のサポートがあっても製油所側がリスクを負う可能性があり、JPEC として技術的に取り組む要素がある。

※1：SAF:持続可能な航空燃料（SAF：Sustainable Aviation Fuel）は、再生可能又は廃棄物を原料とするジェット燃料であり、ライフサイクルでの CO<sub>2</sub> 削減効果（現時点では 10%以上）と持続可能性の基準を満たす必要がある。

※2：ASTM 規格により現状共処理比率上限 5%、かつ脱炭素化原料の種類も限定されているが、この上限を 30%に拡大、さらに原料の種類も増やすことが検討されている。また ISCC PLUS 認証によるマスバランス方式も活用されており、バイオマスなどの脱炭素化原料の持つ CO<sub>2</sub>削減量を特定の最終製品（例えば全量を SAF になど）に割り当てることができる有効な認証制度となる。

参考までに欧州の製油所における脱炭素化燃料製造の状況を見ると図 3-6 に示すよう共処理で対応する製油所が多くみられる。技術的には Neste に代表されるバイオ系原料の単独処理技術 NExBTL プロセスが有名ではあるが、欧州においても共処理で対応する製油所が多いことはカーボンニュートラルに向けた製油所転換として合理的な手段と考えていることの証左と言えよう。

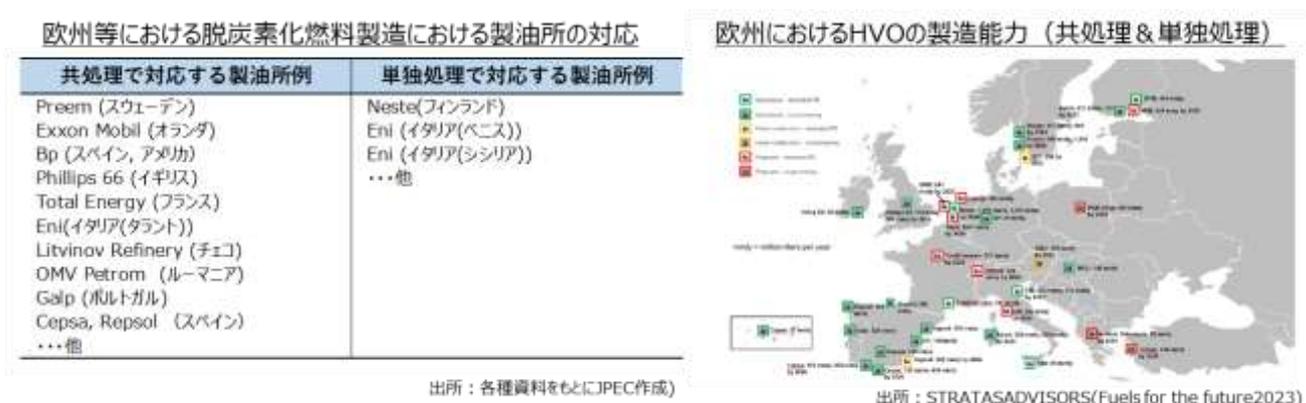


図 3-6 欧州における脱炭素化燃料製造の製油所対応と製造能力（共処理・単独処理）

また、現状における原料の共処理比率は5%程度であるが、欧州では今後の対策技術として40%程度までの混合処理も考えられている。共処理における脱炭素化原料の混合処理の制約は、腐食、スラッジ、コークである。またサプライチェーンを含めた検討を実施しているが、油化技術と前処理を製油所外で行い、後処理、製品化を製油所で行うケースと油化技術、前処理など脱炭素化燃料製造のサプライチェーンすべてを製油所に対応しているケースとに分かれている。

以上のことから多種多様な脱炭素化原料の量的確保とともに、製油所における共処理比率を上げていくことも今後の重要課題となる。多種多様な脱炭素化原料を利用しつつ、需要に合わせた柔軟で効率的な生産を行うことは従来の原油処理技術に加えて、原料から装置オペレーション条件、製品得率を最適化する技術が求められる。前述のペトロリオミクス技術によるデータベース化された成分情報からデジタル技術を用いて、多種多様な脱炭素化原料においても全体の製造最適化を実現する技術開発を進めることも重要となる。(図3-7参照)

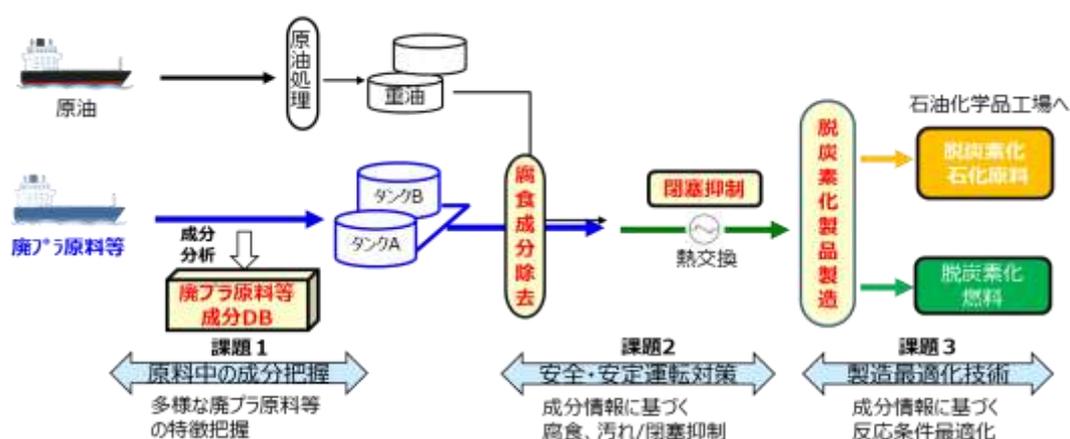


図3-7 ペトロ分析技術を用いた製造条件最適化・制御技術

さらにはシミュレーション技術を発展させて製油所デジタルツインとしての技術プラットフォームを構築することで将来の製油所技術検討を拡大することも可能と考える。

(3) 製油所での脱炭素化燃料製造の実証

脱炭素化燃料製造としてバイオマス・廃棄物、廃プラ等からの脱炭素化原料による共処理技術について、サプライチェーン構築の視点も考慮した製油所転換として、「トランジション先導モデル」の実証を進める。これによりさらに具体的なボトルネックとなる課題を洗い出し、さらにその技術開発の具体化とその解決を進めることを目的とする。

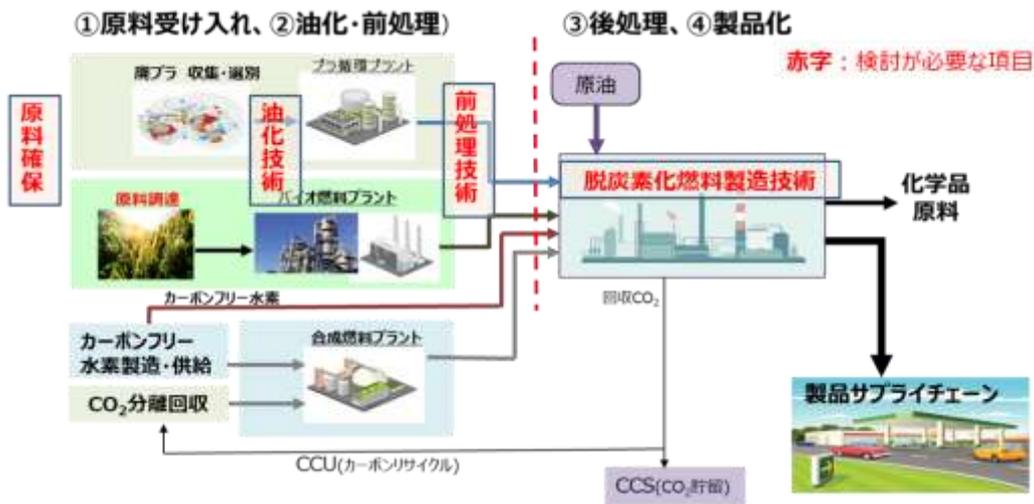


図 3-8 トランジション先導モデル実証に向けて

### 3.3 まとめ

トランジション先導モデルの実施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
  - a. 難処理原料の前処理技術の開発
    - ・バイオ系：セルロース、リグニン系等
    - ・廃プラ系：腐食性・難分解性（PVC、PET等）
  - b. 合成燃料の確保
    - ・CO<sub>2</sub>回収（CCS,DAC）
    - ・電解合成技術の開発
- (2) CO<sub>2</sub>フリー水素の確保
  - a.再エネ電力の確保、電気分解技術開発によるグリーン水素確保
  - b.海外水素サプライチェーン構築
  - c.水素供給に関わる規制緩和
- (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
  - a. 分子構造解析技術
  - b.シミュレーション技術（デジタルツイン技術）
- (2) 安全・安定生産阻害要因対策
  - a. 腐食性
  - b. 発熱対策
  - c. 水分、湿潤対策
- (3) 運転管理上の影響把握
  - a. プロセス上対応可能な受入れ規格
  - b.非製品ガス、分解ナフサ等税制面に影響のある得率への影響

#### 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) CO<sub>2</sub>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

これら課題のうち、「原料サプライチェーンの課題」「脱炭素化燃料製造の課題」については技術開発として、現在の取り組みをさらに進めるとともに、未実施の項目については今後の取り組み課題になると考える。また「制度面の課題」については関連する機関と連携し、情報を提供するなどの取り組みを進める。

(メンバーリスト)：本報告書作成に当たりご協力をいただいた JPEC 内研究会メンバー  
(敬称略)

**【戦略企画研究会】**

(R4 年度)

- ・ 井上 昌泰 ENEOS(株) 経営企画部 政策・渉外室
- ・ 中山 慶祐 ENEOS(株) 中央技術研究所 技術戦略室 副室長
- ・ 山田 洋大 出光興産(株) 製造技術部 CNX・設備企画課 担当マネージャー
- ・ 佐々木 里香 コスモ石油(株) 研究部 グループ長
- ・ 小野 森彦 石油連盟 理事 企画総務部長

**【高度利用技術研究会】**

(R3 年度)

- ・ 田中 祐一 ENEOS(株) 技術計画部 副部長
- ・ 大宮司 理晴 ENEOS(株) 製造部 プロセス技術グループ  
チーフスペシャリスト
- ・ 窪田 俊 ENEOS(株) 中央技術研究所 燃料・化学品研究所  
デジタル化技術グループ 担当マネージャー
- ・ 長尾 郁也 出光興産(株) 生産技術センター次長
- ・ 藤本 倫生 出光興産(株) 製造技術部 新規事業企画課長
- ・ 川島 幸典 コスモ石油(株) 製造技術部 技術センター 技術センター長
- ・ 応戸 義宏 コスモ石油(株) 製造技術部 技術センター 担当グループ長
- ・ 石田 貴嗣 コスモ石油(株) 研究部 研究企画グループ

(R4 年度)

- ・ 舩澤 慧 ENEOS(株) 製造部 プロセス技術グループ
- ・ 前田 拓 ENEOS(株) 中央技術研究所 燃料・化学品研究所  
デジタル化技術グループ
- ・ 長尾 郁也 出光興産(株) 生産技術センター次長
- ・ 近藤 洋 出光興産(株) 製造技術部 CNX・設備企画課 課長
- ・ 応戸 義宏 コスモ石油(株) 製造技術部 技術センター 担当グループ長
- ・ 石田 貴嗣 コスモ石油(株) 研究部 研究企画グループ

# 付録

付録 1：脱炭素化原料のポテンシャル

付録 2：ステージ 1， 2 の製油所モデルにおける前提条件：我が国の製油所生産量

付録 3：我が国の液体燃料の将来需要想定

付録 4：マスバランス方式について

付録 5：CORSIA 動向：持続可能な航空燃料（SAF）と低炭素航空燃料（LCAF）

付録 6：設備・投資コスト調査

## 付録1：脱炭素化原料のポテンシャル

JPEC では脱炭素化原料として国内で活用できる原料として、バイオ燃料、プラスチック燃料について調査を行った。その結果を付表 1-1 に示す。(詳細は巻末の参考資料「製油所脱炭素化に資するカーボン資源循環型原料の国内賦存量調査」参照)

「製油所脱炭素化に資するカーボン資源循環型原料」の調査結果からは、価格と供給可能数量から、非可食バイオマス系では①トール油が、廃棄物系では②廃食油 (UCO) が、そして③廃プラ (含廃タイヤ) 油が候補として有力であることと、加えて、将来は現在研究開発中のリグニン油も候補となりうるということがわかった。

- ① バイオマス系非可食油では、トール油について欧州で実績がある。一方国産ではすでに発電用などで活用されているため、トール油の入手は困難である。海外産トール油についてはまだ未使用のものもあり、将来は数万 t/年の輸入可能性があると考ええる。現在研究開発中のリグニン油はさらに大きなポテンシャルを持つ。またヤトロファ油のような食用には適さず油類を多く含有するバイオ系も活用できると考える。
- ② バイオマス系廃棄物油では国産廃食油は燃料として実績があり数万 t/年が輸出されている現状なので、今後脱炭素化原料として活用できる可能性がある。
- ③ プラスチック新法の施行で廃プラスチックを取り巻く環境が大きく変化した。この状況変化を受け、大手化学会社による大規模プラント建設が複数発表されており、廃プラ (含廃タイヤ) 油が将来有力な候補となりうる。

以下バイオマス系非可食油、バイオマス系廃棄物油、廃プラスチック油についての詳細を記載する。

付表 1-1 候補となる脱炭素化原料

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	—	湘環境エネルギー	燃料用(HiCOP技術)	
				自家消費中	×	湘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	湘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>

**付録2**：ステージ1，2の製油所モデルにおける前提条件：我が国の製油所生産量

Nexant 調査報告書（2019年度調査および2021年度調査）での2030年、2050年の我が国における製油所生産量の想定は付表2-1の値（黄色部）を用いている（上表（元表）の単位は千バレル/日、下表は上表を千kL/年に換算）。

付表2-1 製油所生産量の実績と予測（油種別）

Thousand barrels per day	Forecast			Actual		Forecast		
	2013	2019	2020	2020	2022	2030	2040	2050
<b>Production</b>								
LPG	144	122	129	96	108	105	96	94
Naphtha	168	97	101	63	72	80	71	70
Gasoline	936	858	852	744	797	764	614	516
Kero/Jet Fuel	565	512	517	352	423	447	405	399
Diesel/Gas Oil	979	927	933	742	811	835	761	750
Residual Fuel	372	236	227	236	245	211	166	160
<b>Total</b>	<b>3,164</b>	<b>2,752</b>	<b>2,758</b>	<b>2,232</b>	<b>2,457</b>	<b>2,442</b>	<b>2,113</b>	<b>1,990</b>
	2019年度調査			2021年度調査				

日本製油所生産量

千kL/年（上表より換算）

生産量	予測			実績		予測		
	2013	2019	2020	2020	2022	2030	2040	2050
LPG	8	7,053	7,460	5,582	6,286	6,075	5,557	5,483
Naphtha	9,770	5,628	5,846	3,665	4,207	4,657	4,120	4,043
Gasoline	54,325	49,797	49,453	43,147	46,228	44,307	35,609	29,959
Kero/Jet Fuel	32,760	29,728	30,029	20,421	24,558	25,943	23,526	23,181
Diesel/Gas Oil	56,804	53,790	54,118	43,046	47,061	48,481	44,165	43,549
Residual Fuel	21,601	13,678	13,170	13,689	14,218	12,220	9,631	9,261
<b>合計</b>	<b>183,626</b>	<b>159,674</b>	<b>160,076</b>	<b>129,549</b>	<b>142,558</b>	<b>141,684</b>	<b>122,609</b>	<b>115,476</b>
	100%	87%	87%	71%	78%	77%	67%	63%

上部単位：千バレル/日、下部単位：千kL/年

ステージ1では2019年度調査における2020年度の生産量予測値を用いている。この値にはコロナ禍前の調査のためその需要減影響が含まれておらず、実績値とは乖離がある。なお2013年を基準とすると2030年度生産量は23%減（77%）であり、2022年度予測値（78%）とほとんど同程度の予測値となっている。なおこれらの予測値はベースケースであり、今後の削減対策の展開によりさらに低減する可能性がある。

### 付録3：我が国の液体燃料の将来需要想定

付録2ではNexantによる将来製油所生産量の想定値を示した。一方で我が国における将来の液体燃料の需要想定はいくつか存在しており、ここではそれらをまとめた。

#### (1) JPEC 試算（経済産業省委員会等での情報より）

##### (a) 前提

我が国における2030年時点および2050年時点での液体燃料の需要について、以下のカーボンニュートラル達成を前提とした経済産業省の委員会等の資料・情報をベースにJPECで試算を行った。

- ◆ 2030年：第6次エネルギー基本計画の目標値
- ◆ 2050年：RITE（(公財)地球環境産業技術研究機構）・2050年シナリオ（参考ケース）

※におけるモデル計算値

なお液体燃料の値には石油化学原料などの非エネルギー利用は別途想定している。

なお需要想定に用いた資料からは非エネルギー利用として、2019年：38百万石油換算kL、2030年：35百万石油換算kL、2050年：21百万石油換算kL（2050年）の需要が想定されている

##### (b) 結果

- ◆ 2030年燃料油需要（液体燃料需要）

2030年のエネルギー需要量は石油換算で430百万kL、このうち石油については31%程度としている。

$$430 \text{ 百万 kL} \times 31\% = \underline{133 \text{ 百万 kL}}$$

このうち、非エネルギー利用を2019年と同等程度の35百万kLとすると差し引きで約90百万kL

- ◆ 2050年燃料油需要（液体燃料需要）

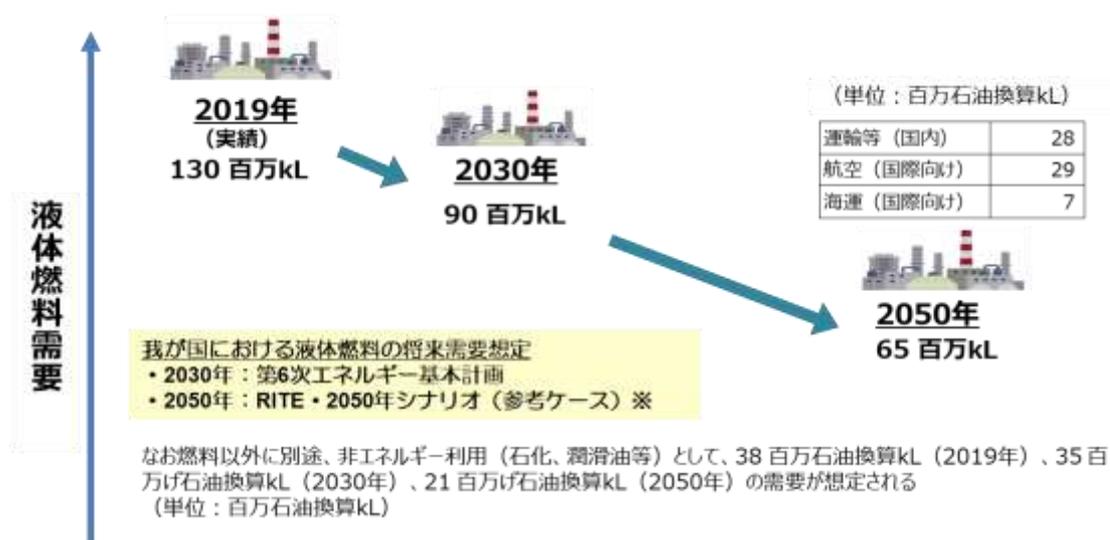
2050年について、RITE2050年参考シナリオによるモデル計算では、液体燃料の国内需要量は運輸を中心に24百万石油換算トンと試算している。その内訳は石油系燃料10百万トン、合成燃料8百万トン、バイオ燃料6百万トンである。また国際エネルギーモデルでは、国内製造・供給分であっても国際用途のジェット燃料、船用燃料については、定義上、国内需要には含まれていない。この国際用途の液体燃料は石油換算トンで、ジェット燃料25百万トン、船用6百万トンがとされる。なお、日本における2050年石油輸入量は43百万トンとなっており、上記のジェット・船用燃料は石油系燃料を想定している。（非エネルギー利用の石油需要量は別途18百万トンを想定）

以上の液体燃料の合計値55百万トンに重量から体積への換算係数として1.175を用

いて計算すると 約 65 百万 kL となる。

(c) まとめ

- 2019 年の燃料需要量は 130 百万トンであることから 2050 年時点の液体燃料の需要は 2019 年のほぼ半分程度と見積もられる。2050 年での液体燃料需要は電化・水素直接利用等が困難な航空・長距離トラック(重量車)・国際海運の輸送用燃料と考えられている。
- 液体燃料需要構成の多くはジェット燃料、ディーゼル燃料となることから、残存するガソリン車等への対応は必要になるものの、その需要の中心は灯軽油留分と推定される
- 2050 年カーボンフリーに向けた液体燃料の原料内訳についてはバイオ・廃棄物系、カーボン資源循環系、合成燃料等が考えられるが、RITE モデル試算では DACSS (DAC + CCS) の想定により、2050 年時点でも石油系液体燃料とカーボンオフセットの組み合わせが主体となっている。このため原油処理の相当量は残るとの試算結果になっている (RITE におけるシナリオでは液体燃料の 7 割程度※)。もちろん、モデル計算では前提条件次第であり、2050 年におけるバイオ燃料、合成燃料の実際の割合がどれだけのになるかは技術開発、政策、原料供給性等のコスト以外の要因も大きい。
- とはいえ我が国において 2050 年時点で 65 百万石 kL の液体燃料を何らかの原料を用いて製造・供給する必要性はかわらないため、バイオ・廃棄物系、カーボン資源循環系、合成燃料等の燃料技術開発、さらにはエネルギー供給安定性も考慮した需要供給が必要となる。



付図 3-1 液体燃料需要

※：<https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/202106analysisadver.pdf>

## (2) IEEJ Outlook(2023)より

日本エネルギー経済研究所 (IEEJ) による IEEJ Outlook (2023) 報告書において、2030年、2050年のエネルギー需要想定としてフォアキャスト型モデルを用いた値を公表している。この推定値としては、リファレンスケースと技術進展ケースの2つのケースでの石油需要が推定されている。

付表 3-1 IEEJ 日本のエネルギー消費量 (実績・推定)

### 技術進展ケース

### リファレンスケース

単位：Mtoe

一次エネルギー消費		(石油換算100万トン[Mtoe])						
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
合計 <sup>1)</sup>	437	516	500	385	390	335	288	
石炭	77	97	115	102	79	56	31	
石油	249	253	201	148	124	89	60	
天然ガス	44	66	86	92	74	63	35	
原子力	53	84	75	10	64	59	58	
水力	7.6	7.2	7.2	6.8	8.0	8.5	8.7	
地熱	1.6	3.1	2.4	2.7	6.5	11	16	
太陽光・風力等	1.2	0.9	1.1	7.7	12	21	33	
バイオマス・廃棄物	4.2	5.0	11	15	21	23	24	
水素	-	-	-	-	1.4	5.7	23	
最終エネルギー消費		(Mtoe)						
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
合計	291	336	314	263	250	210	176	
産業	108	103	92	75	73	63	53	
運輸	72	89	79	62	50	33	23	
民生・農業他	78	108	109	96	93	82	68	
非エネルギー消費	33	36	35	30	33	32	32	
石炭	27	21	23	19	17	13	9.3	
石油	181	206	166	133	116	83	59	
天然ガス	14	21	29	27	26	20	12	
電力	66	84	89	78	84	87	85	
熱	0.2	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	
水素	-	-	-	-	-	1.2	3.9	
再生可能	3.8	4.1	6.1	6.3	6.4	6.1	6.2	

一次エネルギー消費		(石油換算100万トン[Mtoe])						
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
合計 <sup>1)</sup>	437	516	500	385	392	363	335	
石炭	77	97	115	102	91	80	67	
石油	249	253	201	148	133	110	94	
天然ガス	44	66	86	92	87	88	83	
原子力	53	84	75	10	41	37	37	
水力	7.6	7.2	7.2	6.8	7.9	8.2	8.4	
地熱	1.6	3.1	2.4	2.7	5.3	8.4	11	
太陽光・風力等	1.2	0.9	1.1	7.7	9.2	12	16	
バイオマス・廃棄物	4.2	5.0	11	15	18	19	20	
水素	-	-	-	-	-	-	-	
最終エネルギー消費		(Mtoe)						
	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
合計	291	336	314	263	259	237	218	
産業	108	103	92	75	75	69	63	
運輸	72	89	79	62	54	42	36	
民生・農業他	78	108	109	96	97	93	88	
非エネルギー消費	33	36	35	30	33	32	32	
石炭	27	21	23	19	18	16	14	
石油	181	206	166	133	123	102	88	
天然ガス	14	21	29	27	27	25	23	
電力	66	84	89	78	83	87	88	
熱	0.2	0.5	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	
水素	-	-	-	-	-	-	-	
再生可能	3.8	4.1	6.1	6.3	6.6	6.2	5.8	

出典：日本エネルギー経済研究所 IEEJ Outlook(2023)

石油の最終エネルギー消費量は技術進展ケースの場合、2020年、2030年、2050年で133、116、59 Mtoe (百万石油換算トン) となる。仮に非エネルギー利用のすべてが石油として、この利用分を差し引くと、103、83、27 Mtoe となる。(リファレンスケースの場合は、それぞれ133、123、88 Mtoe、および103、90、56 Mtoe)

なお、付録 2, 3 に示した通り、将来の液体燃料 (石油系燃料含む) 生産量・需要量について、さまざまな推定値がある。これらは前提・仮定等が異なり、同列で比較することは必

ずしも妥当とは言えないが、将来どの程度の液体燃料が必要になるかを最大・最小の幅としてとらえ、将来の製油所の絵姿を考察していく上の参考とすることは重要な視点と考えられる。付表3-2にそのまとめを示す。なお Nexant、IEEJ の値はフォアキャスト型推定のため、必ずしも 2050 年カーボンニュートラル達成を前提としていない。また IEEJ の値は石油需要量（重量）を体積換算したものである。

付表 3-2 各文献における 2030 年、2050 年の液体燃料需要想定

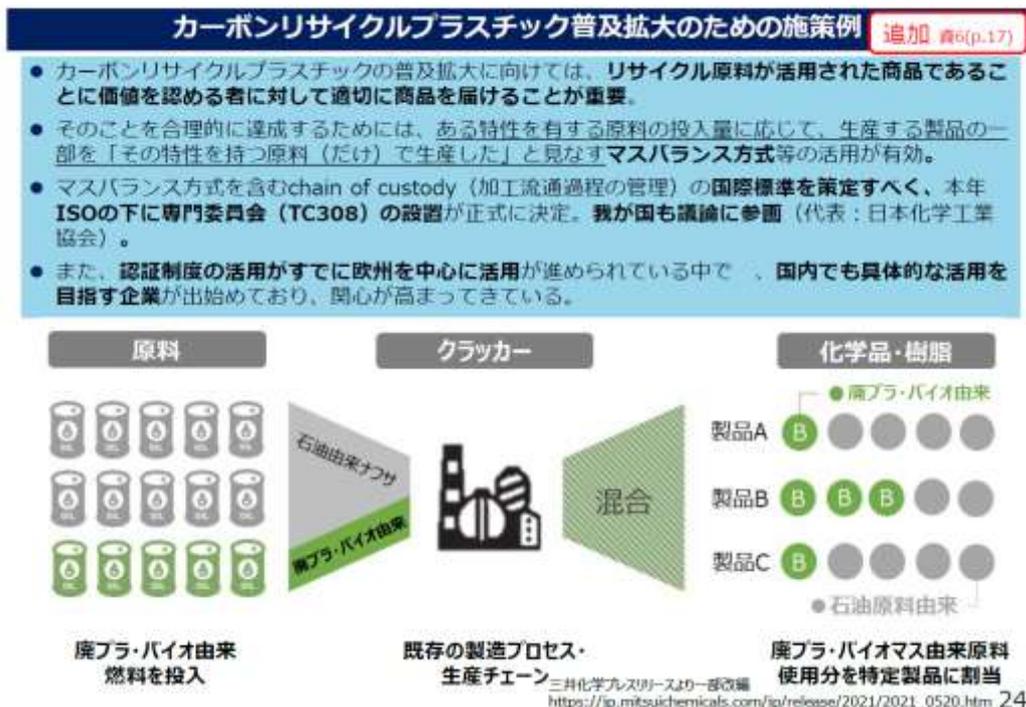
単位：万kL

引用元	2013年	2019年	2020年	2030年	2050年	備考
Nexant (ベースケース)	16,549	14,699	12,395	13,095	10,595	LPG、ナフサ除き（生産量）
JPEC試算 (METI資料より)		13,000		9,000	6,500	液体燃料・非エネルギー利用除き / 第6次エネルギー基本計画(2030年)・RITE2050シナリオ(2050年)
IEEJ 【技術進展】		12,100		9,700	3,200	石油需要・非エネルギー利用除き 重量から体積への換算係数1.175
IEEJ 【リファレンス】		12,100		10,600	6,600	石油需要・非エネルギー利用除き 重量から体積への換算係数1.175

液体燃料の将来需要量は、2030 年は 9,000 万～13,000 万 kL、2050 年においては 3,200 万～10,600 万 kL と幅があるものの、電化が困難とされる重量車（長距離トラック）、航空機、船用などを中心に相当量の液体燃料需要が残ることが推定されている。またガソリン乗用車などは電気自動車（EV）や水素燃料車（FCV）などへの転換が推定されているが、2050 年以降においてもガソリン車が残ると考えられ、トランジションを考える上では液体燃料全体量のみならず油種別（ガソリン、灯油/ジェット、軽油等）の需要量推移の推定も重要になってくるものと考えられる。

**付録4：マスバランス方式について**

マスバランス方式とは、製品を原料から加工し流通させるプロセスにおいて、ある特性を持った原料とそうでない原料が混合される場合に、特性を持った原料の投入量に応じて、生産する製品の一部にその特性を割り当てる手法(認証による方法)であり、化学業界ではカーボンリサイクル原料やバイオ由来原料の価値を製品に割り当てる方法として進展している(例：三井化学、BASF など)



出典：第6回 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会 エネルギー構造転換分野ワーキンググループ 資料5 カーボンリサイクル関連プロジェクト(化学品分野)の研究開発・社会実装の方向性(2021年9月13日)

[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/energy\\_structure/pdf/006\\_05\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/006_05_00.pdf)

なお、三井化学では ISCC PLUS 認証と呼ばれる ISCC (International Sustainability and Carbon Certification) が展開するバイオマスやリサイクル原材料の持続可能性認証プログラムを利用している。

出典：三井化学プレスリリース

[https://jp.mitsuichemicals.com/sites/default/files/media/document/211124\\_1.pdf](https://jp.mitsuichemicals.com/sites/default/files/media/document/211124_1.pdf)

## 付録5：CORISIA 動向：持続可能な航空燃料（SAF）と低炭素航空燃料（LCAF）

### ● 持続可能な航空燃料（SAF）

持続可能な航空燃料（SAF：Sustainable Aviation Fuel）は、持続可能性の基準を満たす、再生可能又は廃棄物を原料とするジェット燃料<sup>1)</sup>である（バイオマスだけでなく、化石由来の廃プラスチックなども原料になり得る）。SAF は国際民間航空機関（ICAO）によって開発された CORSIA（Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation：国際民間航空のためのカーボンオフセットおよび削減スキーム）の適格燃料として認証される必要がある。CORISIA 適格燃料は、付図 5-1 に示すようにライフサイクルベースで低い炭素排出量であること、また持続可能性基準を満たす必要がある。なおこの適格燃料としての持続可能性基準について、2024 年 1 月以降は GHG 削減の永続性、水、土壌、大気など 12 項目が追加されることになっている<sup>2)</sup>。

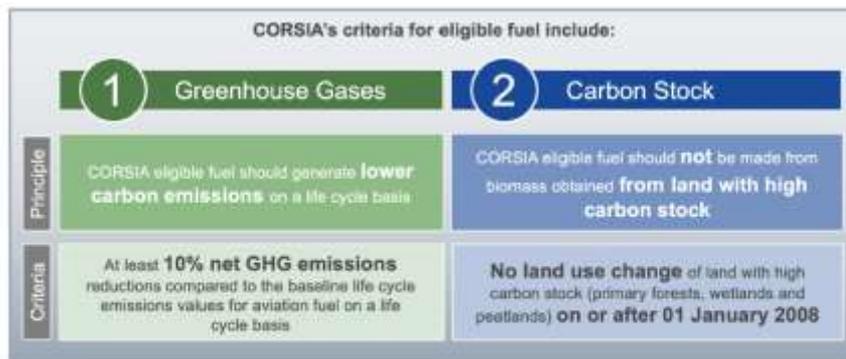


Figure 3. Source: ICAO (2019). <https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2020/04/Bildschirmfoto-2020-04-27-um-12.41.54.png>

付図 5-1 CORSIA 適格燃料としての基準<sup>3)</sup>

国内の 2030 年時点の SAF 導入目標は我が国の航空会社による燃料使用量の 10%を SAF に置き換えることであり、250 万～560 万 kL が必要とされている。

一方でジェット燃料規格については ASTM D1655 で国際規格として規定されており、2009 年にはバイオマスを含む非石油系ジェット燃料として ASTM D7566 が規定されている。この規格は SAF の原料と製造方法の組合せにより Annex に分類され、Annex 毎に従来燃料との混合上限比率を規定したものとなっている。混合比率（現状最大 50%）、及び混合後のスペックが D7566 の規定に合致すれば、ASTM D1655（航空機燃料の国際規格）に適合したと見なせる。SAF については 100%SAF 利用についても検討中である。

原油との共処理に関する規格は ASTM D1655 において、原料としては油脂類、FT 合成油が、混合上限 5%が現状認められているが、それを緩和する動きがある。具体的には共処理に関する ASTM タスクフォースとして上限 5%を 30%に拡大すること、原料種拡大としてリサイクルタイヤの熱分解油の利用、水素化処理されたバイオマスなどへの適用が検討

されている<sup>4)</sup>。この動きは SAF 製造において共処理技術を適用する範囲を拡大できる意味で期待が大きいことを示している。また ISCC<sup>※1</sup>では共処理に関する認証のガイダンス<sup>5)</sup>を発行しており、共処理における脱炭素化原料のトレースに関する考え方・方法論を示しており、マスバランス方式等も認められている。マスバランス方式については付録4で説明しているが、この認証方式により処理した脱炭素化原料量に相当するカーボンオフセット分を特定の油種、すなわちジェット燃料に配分し、SAF として販売できることになる。実際の SAF への適用例として Air bp は BP のカステリヨン製油所（スペイン）でバイオマス系原料を共処理により製造したジェット燃料について ISCC PLUS<sup>※2</sup>の認証により SAF を販売したことを公表している<sup>6)</sup>。このことは水素化処理でジェット・灯油留分が主体となる油脂類（パーム核油やヤシ油など）の利用に限定されることなく、軽油留分が主体となる大多数の油脂類（パーム油、大豆油、菜種油など）も SAF 原料として区別せずに利用できることになる。

#### ● 低炭素航空燃料（LCAF）

2022 年 11 月の ICAO 会議で CORSIA 適格燃料として低炭素航空燃料（LCAF: Lower Carbon Aviation Fuel）の持続可能性基準が新たに認められた。これは化石由来の燃料であり、従来の航空燃料のベースライン 89 g CO<sub>2</sub>/MJ と比較してライフサイクルで 10%以上の CO<sub>2</sub> 排出量を製造段階およびサプライチェーンでの削減策により対応したものと定められている。技術としては上流におけるフレア削減、下流（製油所）におけるグリーン水素利用、再生可能エネルギー利用、CCS 等が考えられている<sup>7)</sup>。これは本報告書におけるステージ 1での対応での対策で製造したものが LCAF として認められる可能性があることを意味している。なお CORSIA 持続可能性基準に合致した LCAF であっても持続可能な燃料としては考えられていないことは留意が必要である。

※1：ISCC：持続可能性カーボン認証 International Sustainability and Carbon Certification の略で、持続可能かつ追跡可能で、森林破壊のないサプライチェーンを実現し、それを認証するためのシステム。様々な種類のバイオマス、生物由来の廃棄物および残渣、非生物由来（化石ベース）の再生可能な材料および再生炭素ベースの材料のサプライチェーンが対象

※2：ISCC PLUS：持続可能性カーボン認証で EU 域外の製品が対象。バイオ燃料や製品だけでなく、リサイクル原料や製品も対象。RED II など指令が適用されないため自由度があり、持続可能性の要求事項を追加できるスキームとして、持続可能性を標榜する企業が自社の優位性を示せる認証として注目されている。（以下 Web 参照）

<https://www.bureauveritas.jp/magazine/220810/001>

(参考文献)

- 1) 「持続可能な航空燃料 (SAF) について (令和 4 年 6 月 2 7 日 環境省環境再生・資源循環局資料) <https://www.env.go.jp/content/000044157.pdf>
- 2) CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels, Third Edition  
[https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA\\_Eligible\\_Fuels/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202022.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2005%20-%20Sustainability%20Criteria%20-%20November%202022.pdf)
- 3) ISCC HP CORSIA について  
<https://www.iscc-system.org/about/sustainable-aviation-fuels/corsia/>
- 4) “New Sustainable Aviation Fuels (SAF) technology pathways under development”  
[https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022\\_Art49.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Art49.pdf)
- 5) ISCC 203-01 GUIDANCE FOR THE CERTIFICATION OF CO-PROCESSING (Version 1.1)  
[https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2017/02/ISCC-Guidance-Document-203-01\\_Co-processing-requirements.pdf](https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2017/02/ISCC-Guidance-Document-203-01_Co-processing-requirements.pdf)
- 6) Air bp announces NetJets Europe first to purchase its ISCC PLUS certified sustainable aviation fuel (Release date: 12 July 2021)  
<https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/press-releases/Airbp-announces-netjets-europe-first-to-purchase-iscc-plus-saf.html>
- 7) Lower Carbon Aviation Fuels: contributing to the energy transition  
[https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022\\_Art54.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Art54.pdf)

## 付録6：設備・投資コスト調査

### 1. 原油処理段階での CO<sub>2</sub>削減策に関する設備費コスト

ステージ1として、製油所での原油処理の高効率化、省エネ等による CO<sub>2</sub>削減効果を検討し、モデル製油所を用いて、高効率化や省エネ技術等の個別対策を導入したときの CO<sub>2</sub>削減効果について見積もっている。個別対策の評価項目は、5つの切り口、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導入からそれぞれ個別対策を選定して CO<sub>2</sub>削減率を求めている。ここでは、CO<sub>2</sub>削減策に関する設備費コストに関して調査した結果を、付表6-1に示す。以下、個々の削減策に必要な設備費について報告する。

付表6-1

個別対策項目	CO <sub>2</sub> 削減率 (%)	分類	限界削減費用 (円/t-CO <sub>2</sub> )	備考
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	-	
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*	4	燃料の低炭素化	98,000>	【受入基地のみ新設ケース】140円/\$ 必要LNG量：573万t/年
③-A 電力のみ再生可能電力100%*	3	再生可能電力	-	
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	50,000円>	【液体水素タンク&パイプライン新設】 必要水素量：55万t/年
⑤-A 水素製造時に分離されるCO <sub>2</sub> のみ回収	10	CCS導入	6,186円**	【参考】 将来目標 * CO <sub>2</sub> 分離・回収：～1,000円/t-CO <sub>2</sub> * CO <sub>2</sub> 貯留：国内(1,000km) 6,700円程度/t-CO <sub>2</sub> 海外(10,000km) 12,300円程度/t-CO <sub>2</sub> [RITE算定値]
⑤-B 水素製造時に分離されるCO <sub>2</sub> +燃焼排ガスからCO <sub>2</sub> を10%回収	19		6,186円**>	
⑤-C 水素製造時に分離されるCO <sub>2</sub> +燃焼排ガスからCO <sub>2</sub> を50%回収	56			

\*：製油所ガスの対応要

\*\*：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)

#### ①エネルギー効率向上；

エネルギー効率向上については、運転操作の最適化、効率化等大きな設備投資は伴わないと推定される。

#### ②燃料の低炭素化；

燃料の低炭素化については、製油所で燃料として使用される燃料ガスを100%LNGに置き換えるケースを想定した。製油所ガスを全量LNGに交換するために必要なLNG量は573万t/年\*になる。新たにLNG基地を作るとすると、約14億\$\*\*(LNG 1tあたり245\$の基地コスト\*\*\*)になり、限界削減費用は、約700\$/t-CO<sub>2</sub>となる。

\*100%燃料転換に必要なLNG量：2020年度燃料熱量(LHV)は、313,187TJ/年であり、

LNG 54.70MJ/kgとして、必要なLNG量は  $313,187 \times 10^{12} / 54.70 \times 10^6 = 573$  万トン/年

\*\*約14億\$；5,730,000t\*245\$/t

③再生電力への転換；

再生電力への転換も外部から再生可能電力を購入すると仮定、大きな設備投資は伴わないと推定される。

④グリーン水素導入；

グリーン水素の導入については、海外から輸入するケースを想定した。必要な素量は、58万t/年(64億Nm<sup>3</sup>/年・・・本値は文献値より推算)であり、タンクとして9基、パイプライン10kmとして約3,524億円で限界削減費用は、50,000円/t-CO<sub>2</sub>となる。

<グリーン水素導入に伴う設備コストの推算>

前提；水素タンク 384億円/基\*・・・0.36万トン/タンク1基、貯蔵容量：20日分  
 パイプライン 1.45億円/km\*・・・輸送量 34万トン/年(気体水素)、10km

【水素受入基地】

水素タンク 約 3,500億円(384\*9；55/365\*20/0.36=8.4≒9基)

パイプライン 約 24億円(55/34\*1.45\*10) (バースは、除外)

◆(3,500+24)億円/705万t ≒ 5万/t-CO<sub>2</sub>

\* 出所：IEA G20 Hydrogen report

(参考) 水素・アンモニア設備のコストイメージ

設備		液化水素	MCH	アンモニア	
受入基地	パイプライン	耐用年数	40年	-	40年
		輸送量(年間)	34万トン(気体水素)	80万トン(水素換算)	24万トン(水素換算)
		CAPEX(kmあたり)	1.45億円	2.78億円	0.66億円
	タンク	容量	0.36万トン(H <sub>2</sub> )	6.16万トン(トルエン)	5.67万トン(NH <sub>3</sub> )
		基数	20日分の貯蔵容量による		
		タンク1基あたりのCAPEX	384億円	42億円	116億円

出典) IEA G20 Hydrogen report: Assumptions

※費用は1ドル=120円で換算。21

推察した。

いて

<水素製造時に分離される CO<sub>2</sub> のみ回収>

- ・ 苫小牧 CCS 大規模実証試験総括報告書より、年間 100 万 t 実用化モデル

**実用化モデルのコスト試算**

- 苫小牧の実証データを基に、水素製造、アンモニア製造、IGCC（石炭ガス化複合発電）のCCSに適用できる年間20万t規模（本事業の設備規模）の実用化モデルのコストを試算し、さらに年間100万t規模（実用化で想定される規模）にスケールアップした実用化モデルのコストを試算。
- 100万t実用化モデルでのCCSコストは6,186円/t-CO<sub>2</sub>（Captured）、7,261円/t-CO<sub>2</sub>（Avoided）となった。

設備構成	設備コスト		運転コスト		合計	
	円/t	%	円/t	%	円/t	%
分離・回収	335	3.0	1,860	16.7	2,195	19.7
CO <sub>2</sub> 圧縮	385	3.4	2,174	19.5	2,559	22.9
共通設備	132	1.2	698	6.2	818	7.4
圧入井・貯留	922	8.3	4,635	41.7	5,557	50.0
合計	1,774	15.9	9,355	84.1	11,129	100.0
CCSコスト (円/t-CO <sub>2</sub> )	20万t (実用化モデルにおけるイメージ)	100万t (実用化モデルにおけるイメージ)				
1) 分離・回収/圧入						
設備コスト	852	590				
運転コスト	4,720	4,079				
合計	5,572	4,669				
2) 圧入井・貯留						
設備コスト	922	368				
運転コスト	4,635	1,148				
合計	5,557	1,517				
3) 総合計						
Captured	11,129	6,186				
Avoided	13,328	7,261				
4) CO <sub>2</sub> 排出係数 (分離・回収/圧入設備から排出されたCO <sub>2</sub> t数) ÷ (分離・回収/圧入したCO <sub>2</sub> t数)						
t-CO <sub>2</sub> /t-CO <sub>2</sub>	0.165	0.148				

<水素製造時に分離される CO<sub>2</sub>+燃焼排ガスから CO<sub>2</sub>を 10% or 50%回収>

- ・ CO<sub>2</sub>濃度 10%以下の低圧・低濃度ガス分離・回収の 2030 年開発目標（「CO<sub>2</sub> の分離回収等技術開発」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画より）

2. 目標

・ プロセス

- 研究開発の目標
  - 低圧・低濃度ガス（天然ガス CO<sub>2</sub>濃度 10%以下）に対して、2030 年 3,000 円/t以下の CO<sub>2</sub>分離回収コストを実現するための技術開発

① 目標設定の考え方

CO<sub>2</sub>分離回収コストは、CO<sub>2</sub>濃度の比較的高い燃焼ガス（天然ガス CO<sub>2</sub>濃度 12~14%程度）に比べて、濃度の大幅な低下で 8,000 円/t以下の CO<sub>2</sub> 程度、精製技術に集約されたプロセスでは 3,000~4,000 円/t以下の CO<sub>2</sub> 回収が期待されている（Global CCS Institute「Global Status of cost targeting climate change 2019」）。2,000 円/t以下の CO<sub>2</sub> 分離回収は、10%以下の CO<sub>2</sub>濃度の回収技術の商業化に必要と見られる。低圧・低濃度ガスからの CO<sub>2</sub>分離回収コストを削減して、2030 年、濃度の低下に伴って分離回収コストを削減し、天然ガス・小規模の回収を行う、適切な技術方式を選定することが、実現可能な目標と見られる。

② 目標達成の評価方法

本実証試験の準備が完了時点で、既得化設備で想定される濃度で 20+CO<sub>2</sub> 濃度の CO<sub>2</sub> 分離回収コストを試算し、目標達成度を評価する。なお、当該コスト削減目標は、CO<sub>2</sub> 分離回収に係る技術開発<sup>1)</sup>、設備の集約化、CAE（本プロセスのシミュレーション）の進捗を踏まえ設定する。

③ 目標の達成性

上記 CO<sub>2</sub>分離回収コストは、Global CCS Institute「Global Status of cost targeting climate change 2019」に示された 2030 年達成の CO<sub>2</sub> 分離回収コスト（高濃度燃焼ガス）と同程度であるが、本プロセスの燃焼ガス CO<sub>2</sub>濃度が 10%以下であるため、目標 CO<sub>2</sub>濃度達成は必要と見られる。①の目標設定は、CO<sub>2</sub>分離回収設備の進捗状況や、低圧・低濃度ガスからの CO<sub>2</sub>分離回収コストを削減することによって達成可能と見られる。

<sup>1)</sup> 本プロセスの CO<sub>2</sub>分離回収技術の開発は、2020 年 12 月 1 日現在、2030 年 3,000 円/t以下の CO<sub>2</sub>分離回収コストを達成する技術の開発が目標と見られる。2020 年 12 月 1 日現在、2030 年 3,000 円/t以下の CO<sub>2</sub>分離回収コストを達成する技術の開発が目標と見られる。2020 年 12 月 1 日現在、2030 年 3,000 円/t以下の CO<sub>2</sub>分離回収コストを達成する技術の開発が目標と見られる。2020 年 12 月 1 日現在、2030 年 3,000 円/t以下の CO<sub>2</sub>分離回収コストを達成する技術の開発が目標と見られる。



## 2. 共処理(co-processing)に関する投資について

共処理の設備コストに関する具体的な数値に関する情報はほとんど得られていない。これは、共処理に関連する対象設備が不明確であることに因ると推察される。しかしながら、水素化植物油(HVO)専用装置に関しては、付表6-2に示したように報道・文献情報が得られる。それによると、HVO1tあたり、500~750\$の設備費(50万トン/年で350~525億円、140円/\$)を必要としている。

付表6-2

No.	対象製油所等	設備投資額	形態	時期	備考
1	La Mede (Total)	660€/t	専用 (改造)	2015	◆HVO製造能力：50万t/年(9,600b/d) ※330M€(2022年Concawe訪問時聴取) ※安価(Neste or Valero)
2	St Charles (Valero)	576\$/t	専用 (拡張)	2018	◆HVO製造能力：→18,000bpd(33万t増) ※190M\$
3	St Charles (Valero)	786\$/t	専用 (拡張)	2021	◆HVO製造能力：18,000→44,000bpd(約140万t増) 1100M\$(848M€) ※全長8kmパイプラインを2本建設；原料貯蔵施設 & 施設
4	Schwechat (OMV)	1,544\$/t	共処理 (改造)	2023	◆原油処理能力：240,000bpd ◆原料：植物油、廃食油等16万t(247M\$)
5	Vertex Refining Alabama LLC	123~137\$/t	専用 (改造)		◆既設水素化分解ユニット改造、ディーゼル製造 ◆製造能力：8,000~10,000b/d(当初) →14,000b/d(73万トン/年) 90~100M\$ ◆原料：大豆・トウモロコシ・廃植物油、牛脂等
6	Cherry Point (BP)	287\$/t	共処理 (拡張)	2022	◆HVO製造能力：→7,100bpd(約15.7万t増) ◆原料：植物油、獣脂 45M\$
7	UPM Lappeenranta	1,346€/t	専用 (新設)		◆ディーゼル製造能力：13万トン/年(175M€) ◆原料：トール油
8	Port Arther (Total)	約500\$/t	共処理 (改造)	-	◆原油処理能力：240,000b/d ※想定
9	Daesan (Total)	約750\$/t	共処理 (改造)	-	◆原油処理能力：240,000b/d ※想定
10	Grandpuits (Total)	約750\$/t	専用 (改造)	2024	◆原油処理能力：101,000b/d ◆HVO・SAF等製造能力：40万t/年

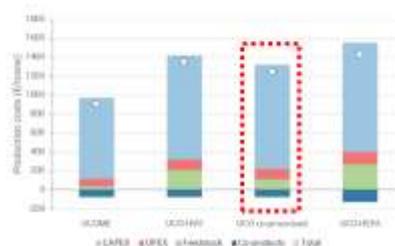
各種報道等を元に JPEC 作成

共処理の設備費について述べている文献として、欧州廃棄物先進バイオ燃料協会(ewaba)、廃棄物燃料中小企業協会(MVAK)による報告書(Conversion efficiencies of fuel pathways for Used Cooking Oil)があり、廃食油を用いたバイオ燃料の中で最も環境に貢献できるもの方法について述べている。この中においては、共処理の設備費は、新設のHVO専用装置の約半分との見積もりがなされている。

また、同報告中には前処理に関する設備コストにも触れられており、前処理装置の設備コストとして4M€(前処理能力：90百万L(UCO)/年≒9万t/年)としている。前処理の内容は、リン酸と活性白土による処理である。参考としてUCO-coprocessingのトン当たりの製造コスト(CAPEX 償却期間10年、利益率8%)を、以下に示す。

UCO-coprocessed製造コスト(専用装置[グラスルーツ]) ;

項目	€/t
原料費	1,080
CAPEX	89
OPEX	102
副生物	▲83
合計	1,187



【前提】

- 1)設備コスト；HVO製造装置600M€(50万t/年)、前処理装置4M€(90MI/年)
- 2)原料コスト；UCO840€/t、原単位0.76(0.98\*0.778)
- 3)用役コスト；電気0.18€/kWh、蒸気0.005€/MJ、水素1,200€/t、触媒
- 4)副生物；プロパン、ナフサ、燃料ガス

- ※共処理装置に関する設備コスト；300M€(50万t/年)---推定値(HVOの半分)
- ※共処理の前処理装置に関する設備コスト；4M€(前処理能力：90百万L(UCO)/年)

◆出所；Conversion efficiencies of fuel pathways for Used Cooking Oil(2021.2.5)

その他に UOP や Shell は、ホームページにおいて、共処理時の注意点とともに 5～10%程度の共処理では、既存設備の余裕次第(特に水素製造装置)ではあるが、設備投資は最小限としている。

バイオリファイナリー既設設備改造費用の検討；

◆既存ディーゼル水素化ユニットにおけるCo-processingの適合性について(UOP)

技術的な課題		詳細事項
1	水素化処理能力量の把握と制限	—
2	再生可能原料への柔軟性と前処理	—
3	ボトルネックの特定と解消	※酸性ガスおよび酸性水の処理
		※反応熱の増加
		※触媒性能
		※必要水素量
		※塩化物および遊離酸による腐食
		※曇り点劣化等の製品品質

◆Co-processing処理量に伴う変更点等(UOP)

Co-processing 処理量 (%)		>5%	<5%
1	変更箇所	多くのプロセス変更	最小限のプロセス変更
2	設備投資	設備投資増	設備投資小
3	必要設備	2段階脱漏/異性化要	脱漏
4	航空燃料生産	共生産不可	共生産承認

出所：UOPホームページ(co-processing)を元にJPEC作成

**10%程度は、設備投資なしで可能(Shell)**

※設備能力の余裕次第

■注意点；水素消費、反応熱、腐食・汚れ、触媒活性、製品品質

出所；Shell ホームページを元に JPEC 作成

木質バイオマス(木屑)系バイオオイルの製造法については、急速熱分解(Fast pyrolysis)による方法が一般的であるが、製品性状が、酸性度(pH；2~3)・酸素含有率(50%)・水分量ともに高く、石油留分に不溶のため、そのままの状態では共処理の原料としての使用はかなり制限される。そのため、共処理の実績が少なく(FCC 装置中心)、又、FCC 装置においても原料投入箇所を別々にする等の工夫がなされている。また、製品性状自体の改良も行われており、水熱液化法(Hydrothermal liquefaction)などの技術が開発中であるが、製造プロセスには、相応の設備費が必要となる。

JPEC 第三回カーボンニュートラル情報報告会

## 製油所脱炭素化に資する カーボン資源循環型原料の国内賦存量調査

主催:一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)  
日時:2022年10月4日(火)  
Teamsによるウェビナー(web視聴によるセミナー)  
10:00~10:10 開催挨拶 JPEC  
10:10~11:30 報告 カワサキテクノロジーサーチ  
11:30~11:50 質疑応答および意見交換

報告者:(有)カワサキテクノロジーサーチ  
〒541-0047大阪市中央区淡路町4-3-8TAIRINビル6階

202201004 KTR

1

## 調査内容

### 3. 実施内容

#### (1) 調査課題

以下の調査内容に関して、国内で調達可能な量と、性状、また、製油所で処理できるように液体化する技術により得られる精製後の量と性状を推定すること。

#### (2) 調査内容

- 国内で調達<sup>\*1</sup>できる、以下の原料の流通量と性状に関して調査する。
  - 可食/非可食のバイオ原料
  - 廃棄物系バイオマス・廃油(廃食油、獣脂含む)
  - 廃プラスチック(産廃、一般廃棄物含む)
- 上記原料を油化するための分解・精製する技術
- 上記原料を分解・精製して得られる油の流通量と性状<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 国内で精製するより安価かつ量的に十分であれば輸入品も対象とする。

<sup>\*2</sup> 実証段階の技術は、精製される油分の量と性状を推算する。  
また、分解・精製油のサンプルが入手可能な場合は、弊センターがサンプルを入手するために必要な情報を提供すること。

#### (3) 調査の実施方法

- 前述の調査について、調査実施方法を実施計画書として提案することとし、調査を行う前に弊センターと協議の上、内容の確認を行う。

出典:JPEC殿調査仕様書

202201004 KTR

4

## まとめ 1/2



「製油所脱炭素化に資するカーボン資源循環型原料」を調査した結果、価格と供給可能数量から、非可食バイオマス系では①トール油が、廃棄物系では②廃食油(UCO)が、そして③廃プラ(含廃タイヤ)油が候補として有力であることと、加えて、将来は現在研究開発中のリグニン油も候補となりうるということがわかった。

①欧州で実績があるトール油は、国産トール油が入手困難であることがわかり、海外産トール油の輸入を検討中。将来は数万t/年の輸入可能性がありうる。現在研究開発中のリグニン油はさらに大きなポテンシャルを持つ。

②国産廃食油は燃料として実績があり、数万t/年が輸出されている現状なので、可能性有り。

③今年に入り、経済産業省の指摘と、プラスチック新法の施行で廃プラスチックを取り巻く環境が大きく変化した。過去に技術蓄積があることに加え、新しい技術も開発された。この状況変化を受け、大手化学会社による大規模プラント建設が複数発表されており、将来有力な候補となりうる。

202201004 KTR

5

## まとめ 2/2



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	粗トール油	国内	160万t/年	自家消費中	×	製紙各社自産中	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770万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	—	榊環境エネルギー	燃料用(HICOP技術)
				自家消費中	×	榊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	榊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のある輸入品である

(※)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>

202201004 KTR

6

# Agenda



## 1. 植物系(可食/非可食)のバイオ原料

- 1) トール油
- 2) ヤトロファ油
- 3) リグニン油、その他

## 2. 廃棄物系バイオマス・廃油(含廃食油・獣脂)

- 1) 廃食油(UCO)
- 2) 食品廃棄物油

## 3. 廃プラスチック油(産廃&一廃)

- 1) 廃プラスチックをめぐる状況の変化
- 2) 廃プラスチック油
- 3) 廃タイヤ分解油

202201004 KTR

8

## 1. 植物系 2. 廃棄物のバイオ原料のまとめ

分類	What1 (原料)	When	Where	Who	How (精製・分解法)	What2 (精製・分解油)	精製油の 入手可否
1 植物系	海外産 粗トール油 160万t/y	現在	国内	ハリマ化成	精留	トール油脂脂肪酸(TOFA) ※ハインケル用途製品化	×
			海外	UPM SUNPINE	分留+水素化	バイオナフサ またはバイオディーゼル燃料	×
	間伐材等	将来	国内	太陽石油/日揮	急速熱分解 (詳細未公開)	原油に近い組成	×
			海外	Vertoro社(蘭)等	加溶剤熱分解法	SAF 航空燃料 (Sustainable aviation fuel) 船舶用 重油(HFO)代替等	×
1 + 2	藻類油 + 廃食油	将来	国内	ユーグレナ	水素化	SAF BHD (Bio Hydrofined Diesel) 第2世代バイオディーゼル燃料	×
2 廃棄物系	廃食油	現在	国内	全油連	不純物のみ除去 (水など)	油脂 (トリグリセリド+遊離脂肪酸)	○
	廃食油 植物油 (ヤトロファ油等)	現在	国内	京都府等	メチルエステル化 (アルカリ+メタノール)	FAME(Fatty acid methyl ester)	×
		将来	国内	BDFテクノロジー	超臨界法 (超臨界メタノール)	第1世代バイオディーゼル燃料	or (開発段階)
		過去	国内	ENEOS/トヨタ/日野 自動車/東京都	水素化	BHD	×
	有機廃液	現在	国内	サニックス	非公開	A重油代替用	○

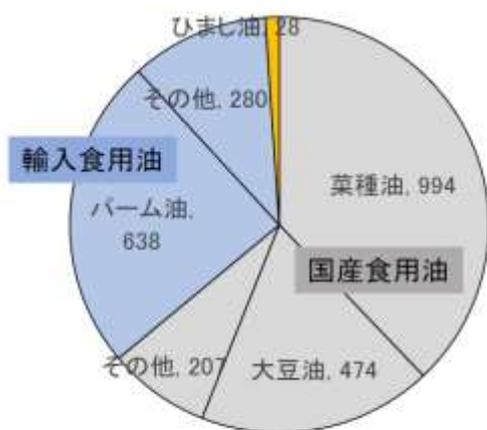
202201004 KTR

9

# 植物油流通量

植物由来非可食油の流通は輸入ひまし油(28千t)のみ

植物油流通量(2021年国内・2,621千t)



調査ターゲット

非可食植物油	輸入	粗トール油
	輸入	ヤトロファ油
非可食植物油	国産	粗リグニン油
	国産	木質分解油

下記のデータよりKTR作成  
出典: 日本植物油協会HP(2022/9/29閲覧)  
[https://www.aji.or.jp/Niso/seisaku/seisan10\\_01.html](https://www.aji.or.jp/Niso/seisaku/seisan10_01.html)

202201004 KTR

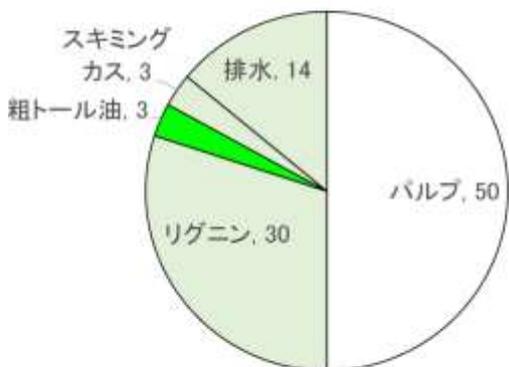
10

# 粗トール油とは



製紙の副産物

ウッドチップから得られるもの(%)



パルプ		製紙に利用
黒液	リグニン	製紙時の燃料
	粗トール油	
	スキミングカス	
	排水→濃縮	



注: 数字は目安(原料木の種類や産地によって前後)

粗トール油(CTO)

出典: Stora Enso(フィンランドの林産企業)HP  
<https://www.storaenso.com/en/products/bio-based-chemicals/tall-oil>

CTOからのバイオ軽油

出典: UPM(フィンランドの林産企業)HP  
<https://www.upm.org/forestry/47194-095cb11406eb00e44a2712a059888ee42.pdf>

202201004 KTR

12

# 粗トール油の用途の日本と欧州の違い KTR

欧州では粗トール油を取り出してバイオ軽油やバイオナフサに

日本	パルプ		製紙に利用	欧州の例	パルプ		製紙に利用
	黒液	粗トール油	製紙時の燃料		製紙時の燃料	黒液	粗トール油(製品化)
リグニン							
スキミングガス							
排水→濃縮							

Crude Tall Oil (CTO) – a residue of pulp making process as raw material



出典: UPM(フィンランドの林産企業)HP(2022/9/29閲覧)  
<https://www.fap.org/forestry/47194-096cb11406eb00e44a2712a059f80ee49.pdf> 13  
 202201004 KTR

# 粗トール油からバイオナフサへのプロセス(欧州) KTR

水添後、蒸留

## UPM renewable diesel and naphtha production process

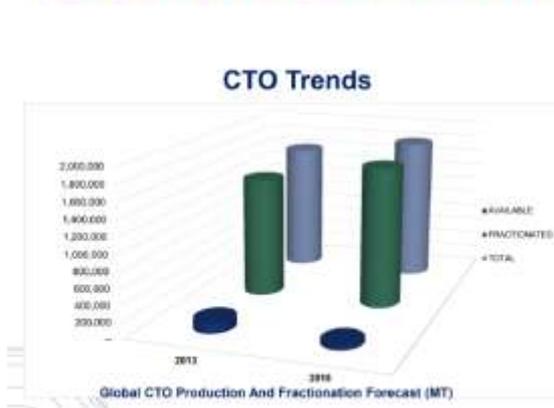


出典: UPM(フィンランドの林産企業)HP(2022/9/29閲覧)  
<https://www.upmbiofuels.com/about-upm-biofuels/upm-lappeenranta-biorefinery/> 14  
 202201004 KTR

# 粗トール油の生産量と価格



全世界で約160万t/年、€410/t(2018年) 重油価格と連動性有り



Estimated Black Liquor World production (FAOSTAT, 2001).



Commodity	Price	Reference
CTO	410 €/ton	(Polkolanen, 2018)
DCTO	1.3 * CTO	*
Electricity	33 €/MWh	(Nord Pool AS, 2018)
HFO	380 €/ton	(Polkolanen, 2018)

\* K. Ukkonen, personal communication, 9 April 2018.

1€ = 130円として約53円/Kg

出典 : TALL OIL DEPITCHING IN KRAFT PULP MILL  
2018, Aalto university school of chemical engineering

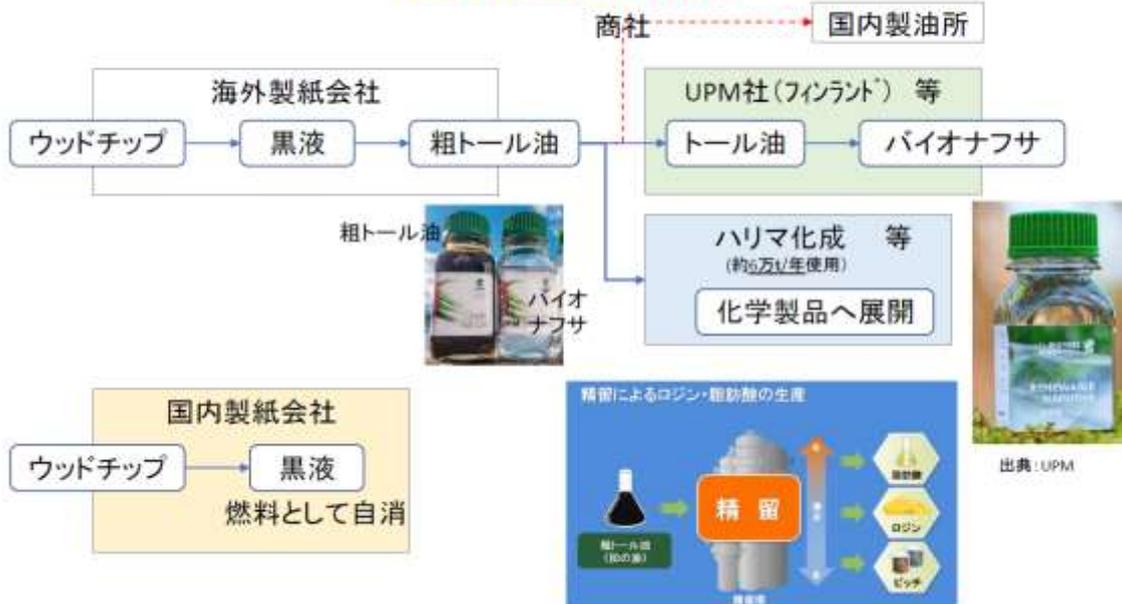
202201004 KTR

15

# 国内へ粗トール油を調達可能なルート



三井物産に取材済



202201004 KTR

16

## 分画と水添の有無

化学産業	粗 トール油	トール脂肪酸 (TOFA)	塗料配合用、燃料添加剤等		
		トールロジン (TOR)	製紙用サイズ剤、粘着剤原料等		
		蒸留トール油 (DTO)	金属加工油、溶剤等		
		ピッチ	アスファルト添加剤等		

出典：日本油脂工業HP (2022/9/29閲覧) <http://schipka.com/contents12.html>  
 出典：パルマ化成HP (2022/9/29閲覧) <https://www.palma.co.jp/products/paper/sizing.html>  
 出典：クレイトンHP (2022/9/29閲覧) [https://kronen.com/jp/innovation/talof\\_oil](https://kronen.com/jp/innovation/talof_oil)  
 出典：PASAND HP (2022/9/29閲覧) <https://www.pasandgroup.com/fatty-acids.html>  
 出典：Forchem HP (2022/9/29閲覧) <https://www.forchem.com/products/tall-oil-resin-tar/>

The term "tall" originated from the Swedish term for pine trees. Crude Tall Oil consist of a mixture of fatty acids, resins and rosin with esters, alcohols and decarboxylated resin and fatty acid molecules.

For the chemical industry CTO is processed in a bio-refinery into different fractions. In principle 4 fractions are sold commercially: tall oil fatty acid (TOFA), tall oil resin (TOR), distilled tall oil (DTO) and pitch. Fractions with decarboxylated fatty acids and resins together with esters and alcohols are considered by-products or bio-fractions.

Refineries that produce feedstock for the biodiesel producers have a simpler configuration. The CTO is not split in the traditional fractions. Only pitch and part of the resin fractions are removed. The feedstock for biofuel contain fatty acids, resin and bio-fractions. This material is shipped to the fuel producer that hydrotreats the feedstock into drop-in biodiesel or SAF.

出典：DMT (オランダ)HP (2022/9/29閲覧) <https://dutchmountaintrading.com/tall-oil/>

202201004 KTR

# ヤトロファ油とは

## 食糧と競合しない油糧作物からの植物油



ヤトロファ油

原料となる植物	ヤトロファ(ナンヨウアブラギリ) トウダイグサ科の落葉低木樹
分布	熱帯・亜熱帯(南米、アフリカ、インド等)に広く分布。荒地・やせた土地でも成長、干ばつや病気に強い。
種子の収量	3年生苗で5t/ha、5年生苗で10~15t/ha
バイオ燃料の収量	3年生苗で1.75t/ha、5年生苗で3.5~4.2t/ha (大豆の約5倍、菜種の約3倍)
ヤトロファ油	有毒成分(クルシン)を含む。種子を搾油して粗油を得る。精製油をディーゼル発電用の燃料とする。

出典：国際緑化センター (2022/9/29閲覧) [https://ipro.or.jp/bfpro/sanspin/sanspin\\_02/1869/](https://ipro.or.jp/bfpro/sanspin/sanspin_02/1869/)  
 出典：NPOグリーンホープ (2022/9/29閲覧) <https://www.green-hope.jp/activities/jatropha.html>

202201004 KTR

# ヤトロファ油の性状



脂肪酸はオレイン酸、リノール酸、パルミチン酸が主成分

表1 ヤトロファ油の化学性状

パラメーター	単位	数値
酸価 (Acid Value)	mg KOH/g oil	38.2
けん化値 (Saponification Value) (Lodin Value)	mg KOH/g oil	195
脂肪酸 (Fatty Acid)	%	
パルミチン酸 (Palmitic Acid)		14.2
ステアリン酸 (Stearic Acid)		6.9
オレイン酸 (Oleic Acid)		43.1
リノール酸 (Linoleic Acid)		34.3
その他 (Other)		1.4

出典:IEEJ:2008年11月掲載

油脂	脂肪酸 (%)											出典	
	C8:0	C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0 C22:0		C20:1 C22:1
	87.9%値	57.9%値	79.9%値	25.2%値	6.4%値	6.4%値	27.7%値	6.6%値	9.1%値	9.1%値	7.7%値		2.4%値
菜籽油				1	29		4.5	44.5	11				1)
ヤシ油	5-9	4-10	44-51	13-18	7-10		1-4	5-9	1-3				
パーム核油	2-4	3-7	45-52	14-19	6-9	0-1	1-3	10-15	1-2		1-2		
パーム油				1-6	32-47		1-6	40-52	2-11				2)
だいず油				0.3	7-11	0-1	3-6	22-34	50-60	2-10	5-10		
なたね油 <sup>※1</sup>					2-6	5.2	1-2	10-15	50-20	5-10	0.9	50-60	
キャノーラ油 <sup>※1</sup>					4	0.3	2	62-66	18-20	7-10	2		3)
あまに油				0.2	5-9		0-1	3-29	8-29	45-67			2)
ヤトロファ油				0-0.5	12-17		5-6	37-45	19-40				

出典

※1 なたね油は、原料をセイヨウアブラナとしたものを指す。国内流通のなたね油は品種改良のキャノーラ種から抽出される。

- Performance and emission of diesel engine fuelled by waste cooking oil methyl ester derived from palm olein using hydrodynamic cavitation, Clean Techn Environ Policy, DOI 10.1007/s10098-015-0957-2
- 財団法人 油脂工業会館 (2022/8/23閲覧) (参考資料) Minor oil crops.FAO Agricultural Services Bulletin
- 財団法人 日本油脂検査協会 (2022/9/22閲覧)

20

# ヤトロファ粗油の精製 → ヤトロファ油



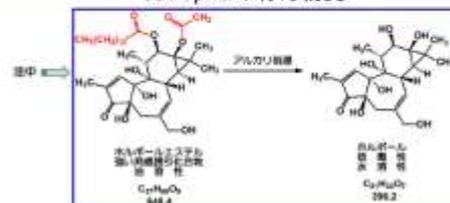
アルカリ触媒法もしくは超臨界法によるFAME化、  
油中有毒成分もアルカリ処理で水溶化



出典:グリーンテックソリューション

出典:Jatropha:救世主それとも凡人?  
(東京大学名誉教授 飯山健司氏)

Jatrophaの有毒物質

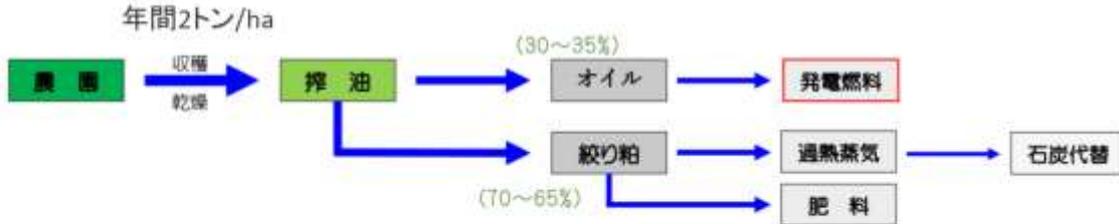


202201004 KTR

# ヤトロファ油全世界生産量

KTR

年間約54万t(推定)



作付面積を約90万haと推定  
 $90万Ha \times 2t/ha \times 0.3(30\%) = 54万t$

出典: [経済産業省](#) (2022/8/22閲覧)

国内へ輸入する動きは2000年代活発であったが、現時点で量を伴う情報はなし

202201004 KTR

22

# ヤトロファ油の輸入の動き

KTR

日本植物燃料(NBF)と商船三井が共同で実証事業化

企業	事業参入・投資情報
日本植物燃料	モザンビーク国で組合を組織、ヤトロファの栽培・搾油精製・燃料販売を行う(出典: <a href="#">NBF HP</a> )
商船三井	モザンビーク国に国代表と駐在員事務局を設置しており、自動車運搬船やFSRUとLNG燃料発電船による海運・海洋事業を展開

**実証内容**

村の中長期的で総合的な発展に必要な基礎インフラを提供しながら、農作物や農業資機材の売買記録を蓄積することで、村の生活レベルの変化を定量的に把握し、新たな与信提供や日本製の農業資機材販売、日本への生産物輸出に貢献しうるかを実証する。(引用: NBFプレスリリース)

(参考) 主な海外の動き

企業・国	事業参入・投資情報
Jatropha JOil Singapore (シンガポール)	ガーナのヤトロファプランテーションで、持続可能性認証ゴールドスタンダード( <a href="#">Gold Standard</a> )を獲得(出典: <a href="#">Joil_press</a> )
メルセデスベンツ(独))	二億ドルをヤトロファ事業に投資(出典: <a href="#">ベンツプレスリリース</a> )

202201004 KTR

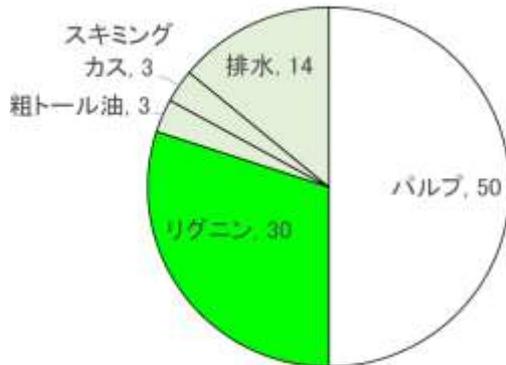
23

# リグニン油とは

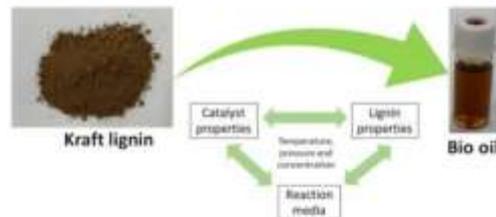


## 製紙の副産物

ウッドチップから得られるもの(%)



パルプ	製紙に利用
リグニン	製紙時の燃料
粗トルール油	
スキミングカス	
排水→濃縮	



注: 数字は目安(原料木の種類や産地によって前後)

出典: A.C.Garcia et., al. Clean Technol. 2(4),513-528(2020)  
<https://www.mdpi.com/2521-8797/2/4/32>

202201004 KTR

25

# 新規バイオマス候補

## リグニンと木質が研究開発中

リグニンのポテンシャル: 世界のパルプ・製紙工場からのリグニン廃棄物1億t/年

出典: NEDO海外レポート(デラウェア大学) (2022/9/14閲覧) <https://www.nedo.go.jp/content/100945927.pdf>

海外	リグニン油	Vertoro社(オランダ) (加溶剤熱分解法)	助成金獲得	リグニンから粗リグニン油
		RenFuel社(スウェーデン)	特許取得	リグニンから船舶燃料油 リグニンから航空燃料油
		Bloom Biorenewables社(スイス)	開発中	リグニンから重油(Bio-HFO)
国内	木質分解油	Alder Fuels(米)	2024年開始	Enviva社(米)と提携、木質資源(枝等)から航空燃料
		太陽石油/日揮	2021/11	未利用森林資源の分解油化によるバイオ原油の製造検討開始

出典: Vertoro社HP (2022/9/14閲覧) <https://vertoro.com/announcements/>

出典: Maersk社HP (2022/9/14閲覧) <https://www.maersk.com/news/articles/2021/10/14/maersk-invests-in-vertoro-to-develop-green-lignin-marine-fuels>

出典: RenFuel社HP (2022/9/14閲覧) <https://renfuel.se/>

出典: Bloom Biorenewables社HP (2022/9/14閲覧) <https://www.bloombiorenewables.com/technology>

出典: Enviva社HP (2022/9/14閲覧) <https://www.envivabioenergy.com/alders-fuels-and-enviva-partner-to-further-scale-and-commercialize-sustainable-aviation-fuel-supply-chain/>

出典: 太陽石油HP (2022/9/26閲覧) [https://www.taiyooil.net/news/2021/post\\_59.html](https://www.taiyooil.net/news/2021/post_59.html)

リグニンは現在製紙工場のボイラー燃料として使用されているが、黒液からリグニンを単離して回収ボイラーの負担を下げパルプ生産量を増やすことを検討

出典: 藤田英孝, 日本エネルギー学会誌, 96, 508-510 (2017).

202201004 KTR

26

## 藻類バイオマス油

### ユーグレナ社バイオマス燃料の実証プラントを稼働



202201004 KTR

出典:JRTT(2022/8/26閲覧) 27

## Agenda

1. 植物系(可食/非可食)のバイオ原料
  - 1) トール油
  - 2) ヤトロファ油
  - 3) リグニン油、その他
2. 廃棄物系バイオマス・廃油(含廃食油・獣脂)
  - 1) 廃食油(UCO)
  - 2) 食品廃棄物油
3. 廃プラスチック油(産廃&一廃)
  - 1) 廃プラスチックをめぐる状況の変化
  - 2) 廃プラスチック油
  - 3) 廃タイヤ分解油

202201004 KTR

28

# 廃食油(UCO)、食品廃棄物油とは

## 業務用の廃食油に妙味

廃棄物系 バイオマス・廃油	植物油	廃棄物	廃食油	非可食	廃天ぷら油
			食品廃棄物	非可食	ドレッシング、マヨネーズ等 (≒食品廃棄物の一部)
	獣脂		可食	牛脂、乳脂等	



出典: 理研農研HP(2022/9/29閲覧)  
<https://rkennosan.sagan.jp/s80494.html>



出典: G2 HP(2022/9/29閲覧)  
<https://g2-jp.com/process/>



出典: オイルプラントナトリHP(2022/9/29閲覧)<http://www.opnatori.co.jp/publics/index/13/>

202201004 KTR

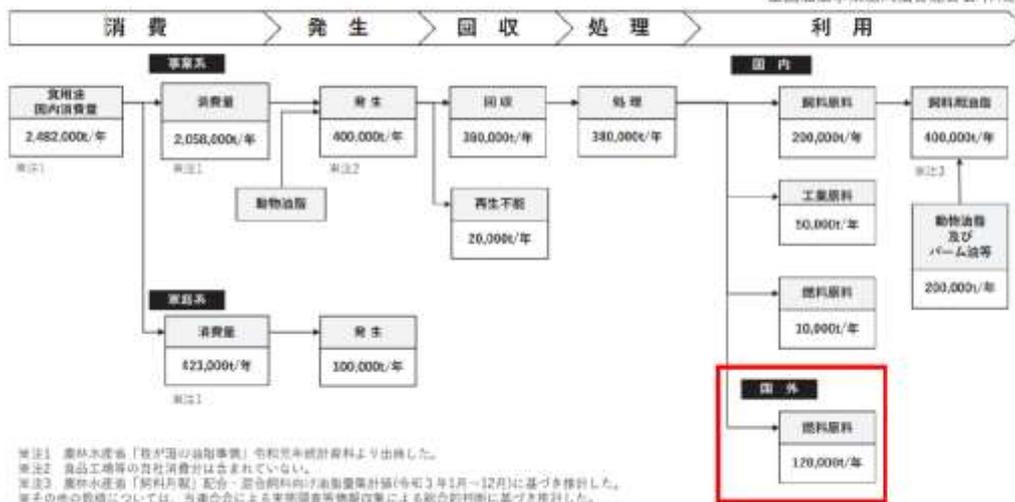
29

# 廃食油UCO (Used Cooking Oil) の発生量と再利用量KTR

## 40万t/y発生⇒処理後、12万tは国外へ

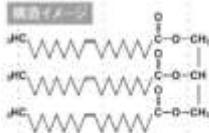
UCオイルのリサイクルの流れ図(令和3年度版)

令和4年4月  
全国油事事業協同組合連合会作成



202201004 KTR

30



## UCOの精製法まとめ

KTR

メチルエステル化でFAME生成が主流

KTR調べ

	精製法1 (FAME:Fatty acid methyl ester)	精製法2 (BHD:Bio Hydrofined Diesel)
反応	アルカリ触媒下 エステル交換反応	水素化反応(触媒下)
生成物	FAME 	炭化水素 
メリット	簡易な条件(常温常圧)で 反応するため地方自治体単位のスケールで取組みやすい	不飽和脂肪酸や芳香族などを含まない軽油相当に精製
デメリット	不飽和脂肪酸を含むため劣化しやすい 触媒の除去 アルカリ石鹼の処理が必要	高温高压条件でエネルギー消費大・水を大量に消費 FAMEより高コスト
参入企業や採用実績	京都市	共同PJ(ENEOS/トヨタ/日野自動車/東京都)、ユーグレナ社

202201004 KTR

31

## UCO由来バイオ燃料の性状

KTR

軽油相当

表 京都市廃食用油燃料化施設で製造した燃料の性状分析結果

燃料用  
(発電、ジェット燃料、ボイラー燃料、バイオディーゼル燃料ほか)

エステル交換により油類製品化されたUCO油は利用先の指定品質に合わせて精製され、燃料として、廃油ボイラー燃料およびBDF(Bio Diesel Fuel:バイオディーゼル燃料)などの再生可能エネルギーとして有効利用されています。また、再生可能エネルギー原料として海外へ輸出されています。

分類	項目	単位	規格の暫定規格	平均値
燃料性状	密度 (15℃)	g/mL	0.86~0.90	0.88
	動粘度 (40℃)	mm <sup>2</sup> /s	3.5~5.0	4.61
	流動点	℃	-7.5以下	-6.6
	目詰まり点	℃	-5以下	-6
	10%残留炭素	%	0.30以下	1.16
	セタン価	-	51以上	51.4
	水分	ppm	500以下	158
	引火点	℃	100以上	172
	硫黄分	ppm	10以下	3
	BDFに特有な性状	モノグリセリド	wt%	0.8以下
ジグリセリド		wt%	0.2以下	0.16
トリグリセリド		wt%	0.2以下	0.03
遊離グリセリン		wt%	0.02以下	0.006
全グリセリン量		wt%	0.25以下	0.22
メタノール		wt%	0.2以下	0.012
アルカリ金属類		mg/kg	5以下	2.6
酸価		mg-KOH/g	0.5以下	0.16
ヨウ素価	g/100g	120以下	113	

出典) 中村一夫「廃食用油のディーゼル燃料への循環利用に関する研究」

202201004 KTR

出典: 環境省 (2022/8/23閲覧)

32

# 吉岡製油(有) (全油連組合員様)



## 廃食油をmax19t/日処理中

原料	廃食油(埼玉県を中心に、関東地域1都8県から回収)
技術	廃食油→クーラーで水分除去→搾油(固形分除去)→遠心分離
製品	主に、飼料原料や工業用インク原料、石鹼、燃料として使用
現状	廃食油のリサイクル:最大19.1トン/日(埼玉本社・第一工場) (狭山台・第二工場は詳細HP上では不明)

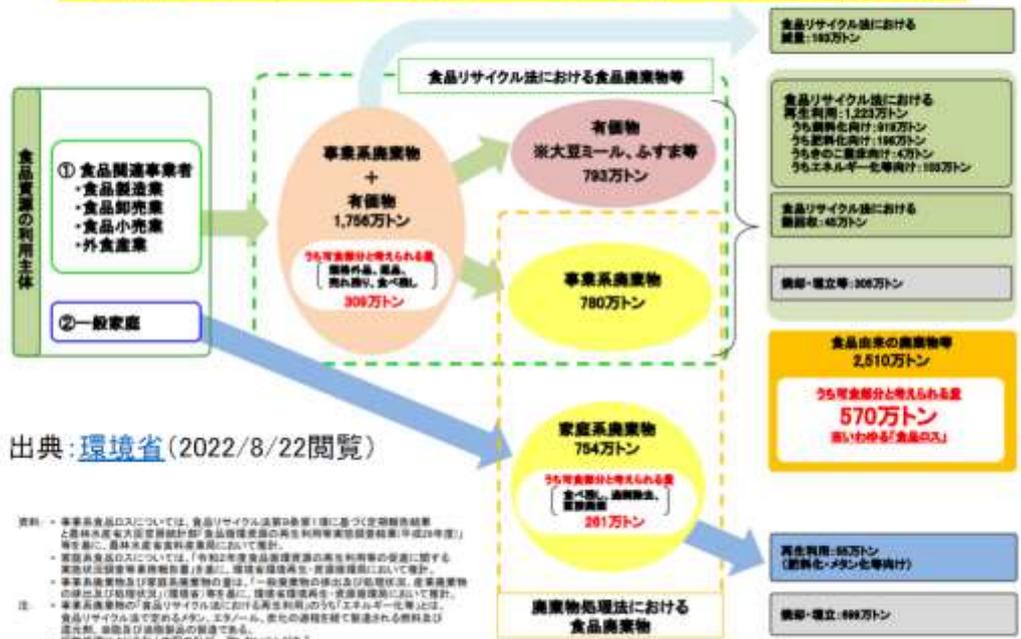
- 1 廃食油回収車から回収した廃食油を回収します。
- 2 入荷した廃食油を原料タンクへ投入し、加熱槽へ送り、50℃で入荷した廃食油は予熱タンクへふるり処理を行った後、原料槽へ送ります。
- 3 加熱槽で加熱した廃食油をろ過しやすくなるために沈降させます。
- 4 フィルタープレス機で固形分を抽出し、油を抽出します。
- 5 遠心分離機で細かい固形分を除去させ、油を抽出します。
- 6 高圧ジェットを吹き、洗浄します。また、飼料原料や工業用インク原料、石鹼、燃料として回収されています。油の残量も、飼料原料などに活用されています。

202201004 KTR

出典：吉岡製油 HP 33

## 食品廃棄物油(ドレッシング・マヨネーズ等)とは KTR

### 食品リサイクル法に則り、主に飼料肥料へ 全量把握困難



出典：環境省(2022/8/22閲覧)

資料：・事業系食品ロスについては、食品リサイクル法第2条第1項に基づく定期報告結果と農林水産省大田官房統計部「食品廃棄物の再生利用等実態調査結果(平成29年度)」等に基づき、農林水産省資料室等において集計。  
 ・家庭系食品ロスについては、「令和2年度食品廃棄物の再生利用等実態調査に関する実施状況調査報告書(第2巻)」に基づき、環境省環境再生・資源循環局において集計。  
 ・事業系廃棄物及び家庭系廃棄物の量は、「一般廃棄物の排出及び処理状況、産業廃棄物の排出及び処理状況」(環境省)等を基に、環境省環境再生・資源循環局において集計。  
 注：・事業系廃棄物の「食品リサイクル法における再生利用」のうち「エネルギー化等」は、食品リサイクル法で定められるメタン、エネルギー、炭化の過程を経て製造される燃料及び電力類、炭酸ガス等の再生資源の製造である。  
 ・焼却処理により発生した汚泥の計が一括して示している。

202201004 KTR

# (株)サニックス



## 廃棄物系

原料	食品廃棄物(15,000t/月)。食品廃棄物は賞味期限切れのドレッシング等芳香族系
技術	未公開
製品	バイオマス油(300t/月)→蒸気ボイラーのA重油代替用(重油より安価)。販売先は山口県と大分県
現状	5t/日、150~200t/月販売。工場は北九州だが最も遠くは御前崎のタンクからも回収

出典: サニックス取材

**サニックス 再生油Bio (バイオ)**

産廃廃棄物から製造した、環境にやさしい再生燃料

重油の代替燃料

「再生油(Bio)」は、動植物性由来の油を原料とする、カーボニューラルな燃料です。原料油から得る残渣(高濃度脂肪)から油分のみを分離回収することで、低濃度の残渣油として処理可能な、再生燃料を製造しました。

環境にやさしい  
低濃度脂肪の回収  
高濃度脂肪の回収  
残渣油の回収

CO2削減  
90%削減  
従来の重油に比べ

バイオマス油の製造工程

1. 原料の供給  
2. 原料の供給  
3. 原料の供給  
4. 原料の供給

バイオマス油の特性

原料	20,000t/月
原料の供給	15,000t/月
原料の供給	5,000t/月
原料の供給	5,000t/月
原料の供給	5,000t/月

202201004 KTR

# Agenda



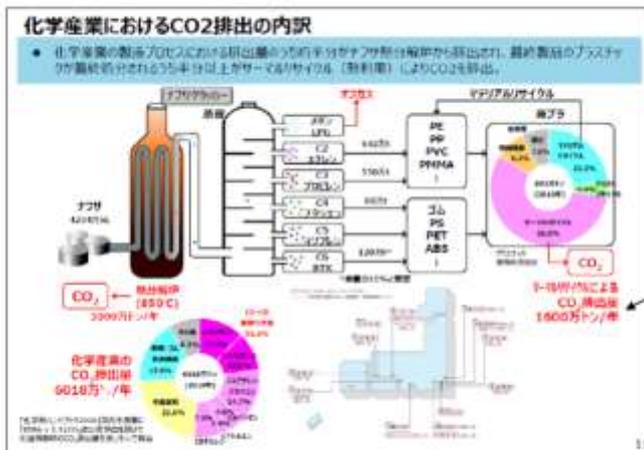
1. 植物系(可食/非可食)のバイオ原料
  - 1) トール油
  - 2) ヤトロファ油
  - 3) リグニン油、その他
2. 廃棄物系バイオマス・廃油(含廃食油・獣脂)
  - 1) 廃食油(UCO)
  - 2) 食品廃棄物油
3. 廃プラスチック油(産廃&一廃)
  - 1) 廃プラスチックをめぐる状況の変化
  - 2) 廃プラスチック油
  - 3) 廃タイヤ分解油

202201004 KTR

# 化学産業へのCO2削減要請

## ①ナフサ分解炉の熱源と、②廃プラのサーマルリサイクルが課題

ナフサ分解炉の熱源(オフガス)	3,099万t/年	アンモニア化、電化(欧州)
プラスチックのサーマルリサイクル	1,600万t/年	リサイクル、バイオマス化



出典: 経済産業省製造産業局素材産業課長 吉村一様講演資料(令和4/5/11)

202201004 KTR

38

参考

## ナフサ分解炉の熱源(オフガス)

### アンモニア化でCO2削減

**アンモニア専焼**  
 2022年2月18日、三井化学、丸善石油化学、東洋エンジニアリング、双日マシナリーが、ナフサ分解炉におけるアンモニア燃料実用化に向けた実証事業開始を発表。NEDOが公募した実証事業に採択。  
 実証期間: 2021年度から2030年度。最終年度には実証を完了し、社会実装していくことを目指す。  
 出典: 三井化学 [https://jp.mitsuichemicals.com/jp/release/2022/2022\\_0218.htm](https://jp.mitsuichemicals.com/jp/release/2022/2022_0218.htm) (2022/5/23閲覧)

### カーボンリサイクルプラスチック原料製造技術の工程表 (詳細版)

	現状	2025年	2030年	2040年	2050年
1. ナフサ分解炉の高度化	・オフガス燃焼によるナフサ分解	・アンモニアバーナー、炉開発 (TRL4)	・1万トン級テスト炉実証 既存炉等での実証 (TRL7)	・ナフサ分解炉の更新に合わせて、熱源をCN化	・全てのナフサ分解炉に適用

出典: 経済産業省製造産業局2021/7/15(カーボンリサイクル関連プロジェクト(化学品分野)の研究開発・社会実装の方向性) [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/steem\\_innovation/energy\\_structure/pdf/004\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/steem_innovation/energy_structure/pdf/004_04_00.pdf) (2022/5/23閲覧)

**混焼**  
 2021年6月25日、出光興産とIHIIは、既存ナフサ分解炉等でのアンモニア混焼実証を検討することを発表  
 出典: 出光興産 <https://www.idemitsu.com/jp/news/2021/210625.html> (2022/5/23閲覧)

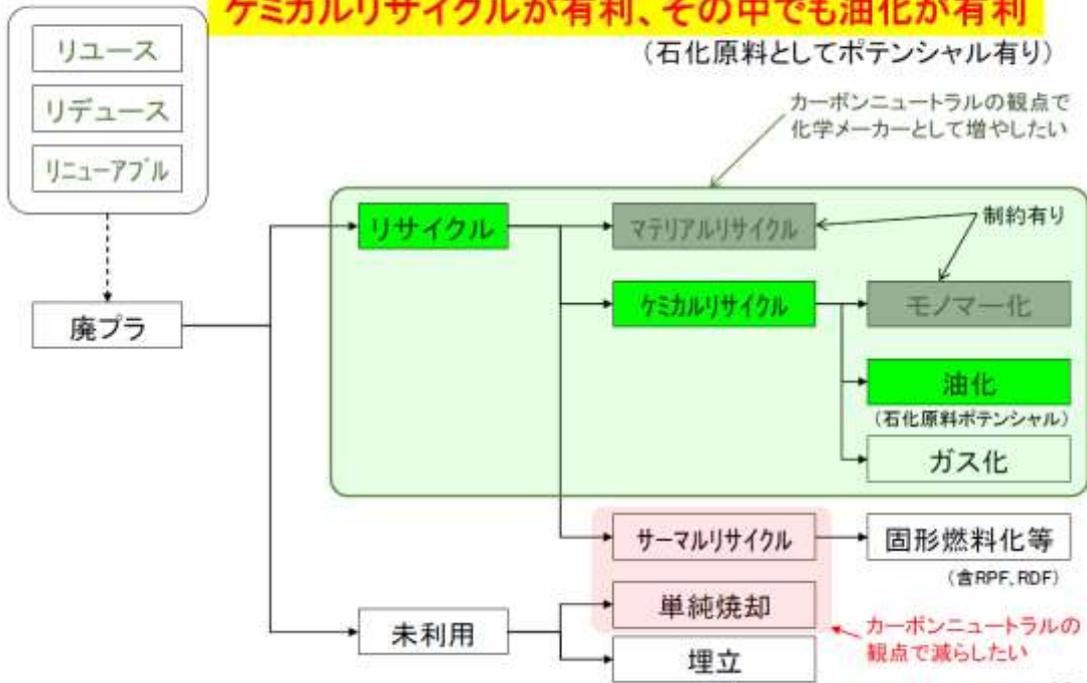
202201004 KTR

39

# 廃プラのサーマルリサイクルで発生するCO2対策として **KTR**

**ケミカルリサイクルが有利、その中でも油化が有利**

(石化原料としてポテンシャル有り)



202201004 KTR

40

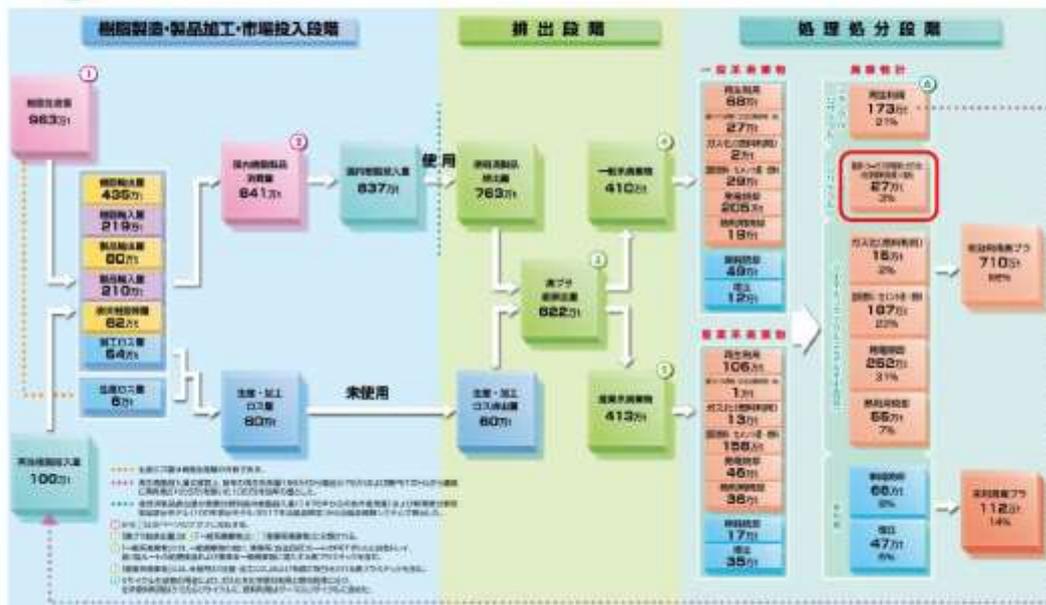
量的視点

## プラスチックのマテリアルフロー

**KTR**



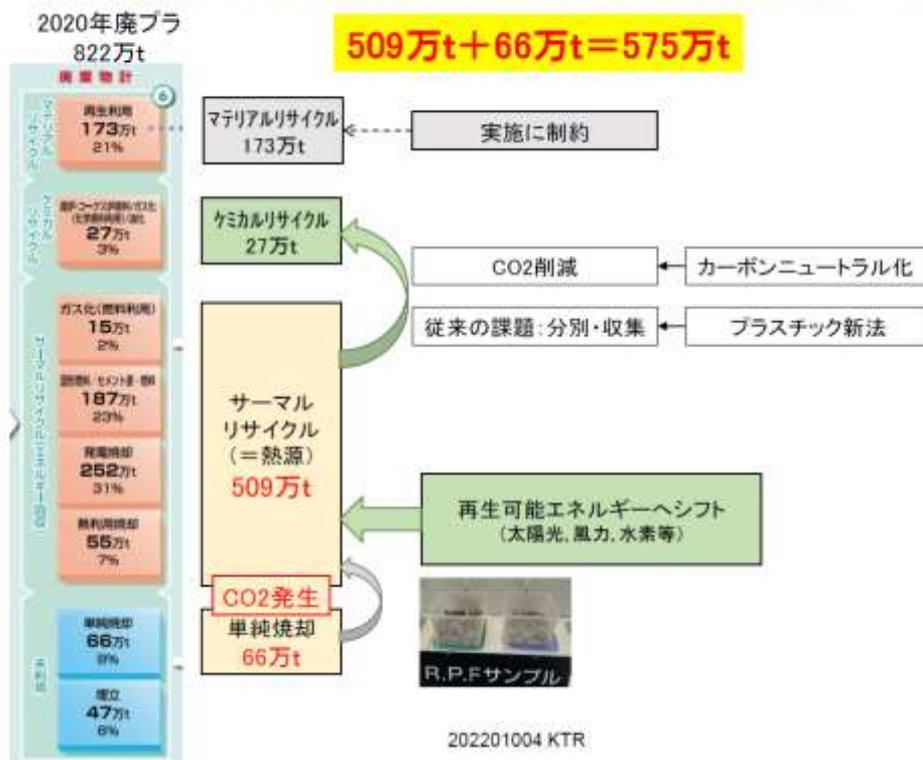
2020年 プラスチックのマテリアルフロー図 (プラスチック製品 廃棄物 再資源化フロー図) 一般社団法人 プラスチック管理利用協会



出典: プラスチック管理利用協会 (2022/8/24閲覧) <https://www.pwmi.or.jp/pdf/parf2.pdf>

202201004 KTR

41



## 石化原料として廃プラ油化に注目する理由

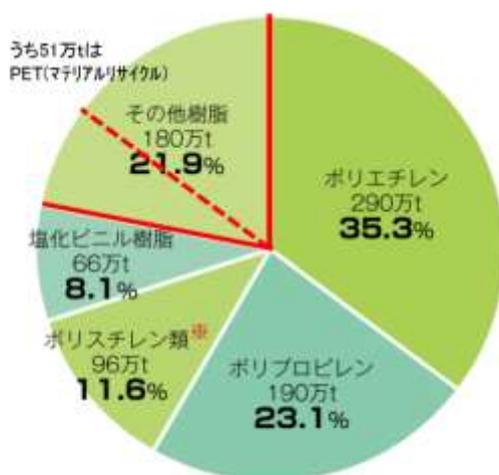
**潜在量(ポテンシャル)が多い**



## 廃プラ油化の対象樹脂

主にポリエチレン、PP、ポリスチレン。塩ビが課題

廃プラ総排出量(822万t)の内訳  
2020年 [樹脂別内訳] 合計77.8%



出典: プラスチック循環利用協会HP (2022/8/24閲覧) <https://www.pvemi.or.jp/pdf/pamf2.pdf>

202201004 KTR

45

## 廃プラ油化の技術

基本的原理は、石油精製での分解に類似(ただし、塩ビに考慮)

熱分解	新潟プラスチック油化センター ①最初に低温で塩ビ分解→塩素除去 ②次に、高温で熱分解
接触分解	HiCOP方式: ゼオライト(石油精製でのFCCの廃触媒活用) 出典: 東芝他 (2022/8/24閲覧) <a href="http://eica.jp/search/browse.php?file=a_16_2_22.pdf&amp;id=948">http://eica.jp/search/browse.php?file=a_16_2_22.pdf&amp;id=948</a>  具体例: (引用)ポリエチレン(PE)、ポリプロピレン(PP)、ポリスチレン(PS)、などと若干のポリエチレンテレフタレート(PET)、ポリ塩化ビニル(PVC)等が混入している廃プラスチックを、予め350~500°Cに加熱された反応器内のFCC触媒中に投入し接触分解する。分解し難い直鎖分子のポリエチレンであっても低温で分解されるため、ワックス分がほとんど生成せず、低流動点の油分を得ることができる。PVC等の樹脂が数%程度混入しても、独立した脱塩素工程を必要とせず、生成する塩化水素は触媒に混合したCa化合物と反応して塩化カルシウムが生成されるため生成油中の残留塩素は100ppm程度にまで除去される。 出典: 北九州産業学術推進機構 (2022/8/24閲覧) <a href="https://pldb.inpit.go.jp/pldb/html/HTML/R/2008/002/L2008002428.pdf">https://pldb.inpit.go.jp/pldb/html/HTML/R/2008/002/L2008002428.pdf</a>

202201004 KTR

46



サンプル

## 得られる熱分解廃プラ油サンプルの具体例



### 廃プラ油化装置を製造販売する北浜化学

原料	PP、ポリエチレン(PETボトルのキャップ)、ポリスチレン等。塩ビやPETはNG
技術	熱分解
製品	200リッター釜で能力200kg/日。6t/月
現状	販売実績は10台
経緯	ライメックスからケミカルリサイクル装置の開発依頼を受けて開発

出典: 北浜化学取材



出典: 北浜化学(2022/8/24閲覧) <https://www.kchemi.co.jp/>

ライメックス: TBM社の製品で、炭酸カルシウム等の無機物を50%以上含むプラスチック

202201004 KTR

49

実現のポイント

## 従来の課題



### 効率的な分別・回収ルート

PETボトルの例	<p>一般廃棄物 (家庭系)</p>	一般家庭が分別、自治体が回収
	<p>産業廃棄物 (事業系)</p>	事業者(メーカー)が分別・回収



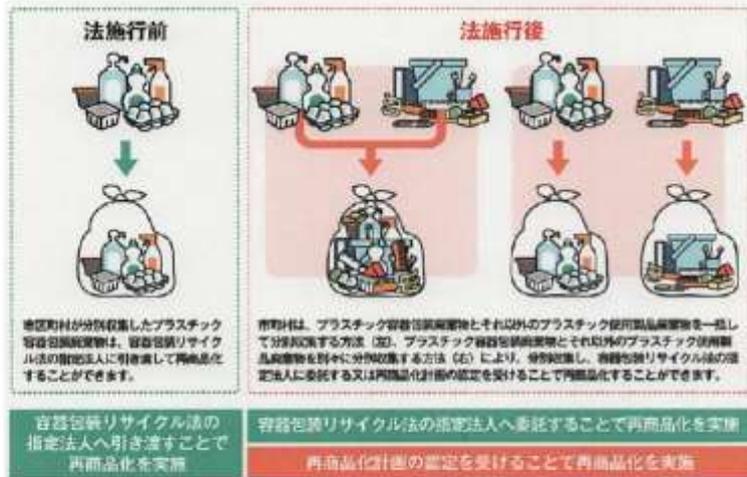
出典: 横浜市HP(2022/9/30閲覧) <https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/suimai-kurashi/gomi-recycle/gomi/tentakaiyuu.html>

202201004 KTR

50

## 規制緩和(2022/4プラスチック新法施行)1/2

市町村が(容リ法対象外の廃プラも含めて)再商品化可能に



出典: 環境省環境再生・資源循環局 江藤文香様2022/8/16講演資料

プラスチック新法の内容のうち、本講演に關係する部分のみをご説明

202201004 KTR

## 規制緩和(2022/4プラスチック新法施行)2/2

製造・販売業者も認定を受ければ、自分で自主回収・資源化可能に

### 4. 製造・販売事業者等による自主回収・再資源化事業

- プラスチック使用製品の製造・販売事業者等が作成した自主回収・再資源化事業計画について、主務大臣が認定する仕組みを創設。主務大臣の認定を受けた事業者は、廃棄物処理法に基づく量の許可が不要となる。



出典: 環境省HP(2022/9/22閲覧) <https://plastic-circulation.env.go.jp/wp-content/themes/forestic/assets/pdf/seidokosetsumeidouga.pdf>

202201004 KTR



具体的な原料候補(産廃)

## 廃タイヤ分解油(1/2)

ポテンシャル国内約50万t/年(天然ゴム約30万t/年+合成ゴム約21万t/年)

廃タイヤ (2019年・国内)	発生量	約96百万本/年(約1,026千t/年)
	処分方法	ほとんどがサーマルリサイクル(燃料)

出典: 日本自動車タイヤ協会HP(2022/9/22閲覧) [https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/riangyo\\_gijutsu/hakibutsu\\_recycle/jidosha\\_wg/pdf/048\\_s04\\_08.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/riangyo_gijutsu/hakibutsu_recycle/jidosha_wg/pdf/048_s04_08.pdf)  
 出典: ENEOS HP(2022/9/22閲覧) [https://www.eneos.co.jp/newsrelease/20220218\\_02\\_01\\_1170836.pdf](https://www.eneos.co.jp/newsrelease/20220218_02_01_1170836.pdf)



出典: グッドイヤーHP(2022/9/22閲覧) <https://www.godyear.co.jp/knowledge/teammaterial.html>

出典: ENEOS HP(2022/9/22閲覧)

202201004 KTR [https://www.eneos.co.jp/newsrelease/20220218\\_02\\_01\\_1170836.pdf](https://www.eneos.co.jp/newsrelease/20220218_02_01_1170836.pdf) 56

具体的な原料候補(産廃)

## 廃タイヤ分解油(2/2)

国内外でさまざまなアプローチ

ブリヂストン	2022/4米LanzaTech社と廃タイヤを微生物によってブタジエンに変換する研究開始	油化ではなくアルコール発酵による
BASF(独)	日本で廃プラ、廃タイヤを熱分解油にすることを検討中	出典: 化学工業日報2021/2/25
Pyrum Innovations(独)	廃タイヤの熱分解工場(1万t/年)を稼働中。2ライン増設中	独BASF社が1,600万ユーロを投資。ベンツ社の車両部品へ
New Energy (ハンガリー)	廃タイヤから熱分解油を製造中	独BASF社が熱分解油を4,000t/年購入、石化プラントに導入中
Enviro Systems (スウェーデン)	廃タイヤからカーボンブラック、熱分解油、ガス、鉄を回収する技術を開発	仏ミシュランが20%出資。チリに廃タイヤリサイクル工場を建設中
九州ウェストエナジー(株)	廃タイヤから重油相当油、カーボンブラック等を回収する設備を販売	注) 他に、(株)プラスワンエナジー等

出典: ブリヂストンHP(2022/9/14閲覧) <https://www.bridgestone.co.jp/corporate/news/2022041501.html>  
 出典: BASF社HP(2022/9/22閲覧) <https://www.basf.com/jp/ia/media/news-releases/global/2020/09/p-20-311.html>  
 出典: Pyrum社HP(2022/9/22閲覧) [https://www.pyrum.net/en/about-us/news/news-detail/news/vom-aktuell-zum-tuegriff-pyrum-basf-und-mercedes-benz-schliessen-wertstoffkreislauf/tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D:News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=P5770d19d022c7b18c68ee193527484](https://www.pyrum.net/en/about-us/news/news-detail/news/vom-aktuell-zum-tuegriff-pyrum-basf-und-mercedes-benz-schliessen-wertstoffkreislauf/tx_news_pi1%5Bcontroller%5D:News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=P5770d19d022c7b18c68ee193527484)  
 出典: New Energy Kft. 社HP(2022/9/22閲覧) <https://newenergy.hu/>  
 出典: BASF社HP(2022/9/22閲覧) <https://www.basf.com/jp/ia/media/news-releases/global/2020/09/p-20-287.html>  
 出典: ミシュラン社HP(2022/9/22閲覧) <https://www.michelin.com/en/press-releases/michelin-and-enviro-partner-to-develop-an-innovative-technology-to-transform-used-tires-into-raw-materials/>  
 出典: ミシュラン社HP(2022/9/22閲覧) <https://www.michelin.com/en/press-releases/michelin-launches-construction-of-its-first-tire-recycling-plant-in-the-world/>  
 出典: 九州ウェストエナジーHP(2022/9/22閲覧) <https://www.kwte.co.jp/service/tyre.htm>

202201004 KTR

57

本調査は経済産業省の補助事業として一般財団法人石油エネルギー技術センターが実施している研究開発事業の一環として行われた。ここに記し、謝意を表す。

**Thank You**