

2023年度 JPECフォーラム

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
～製油所転換に向けた技術開発～

2023年5月10日

一般財団法人石油エネルギー技術センター

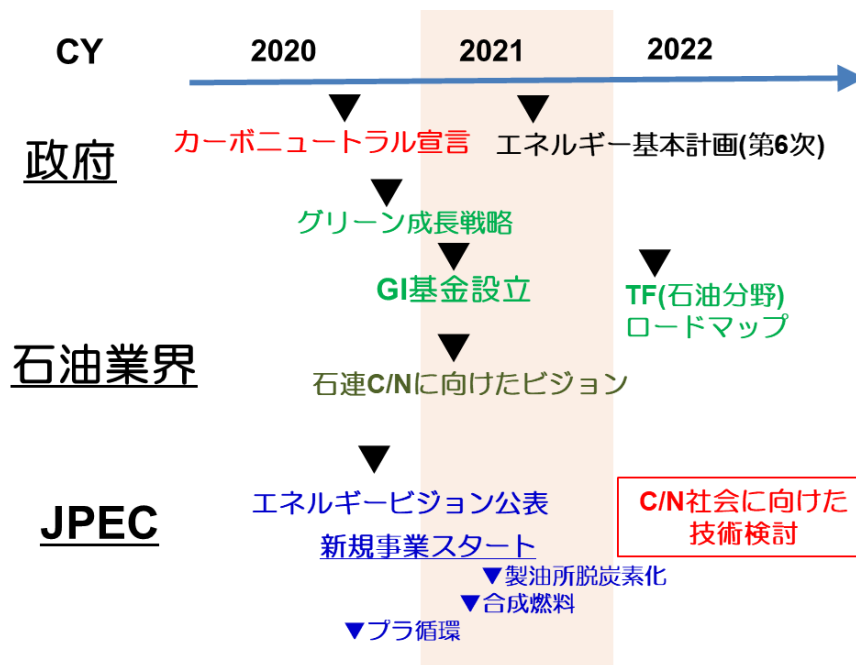
— 禁無断転載・複製 ©JPEC 2023 —

● 製油所転換シナリオ作成と取り組みうる技術開発の提案

世界的に地球温暖化による気候変動が深刻化しており、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、常にエネルギーの脱炭素化と安定供給を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。



製油所転換シナリオ検討

- **カーボンニュートラル社会に向けた転換シナリオを考えるために以下3つのステージで検討する。**
 - ステージ1：製油所自体のCO₂削減策として、適用可能な技術をリストアップし、CO₂削減効果（Scope 1, 2）と課題を検討
 - ステージ2：製油所での脱炭素化燃料製造拡大と原油による需給バランス調整が必要なトランジション段階の対策について、使用時も含むCO₂削減効果（Scope 1, 2, 3）と課題を検討
 - ステージ3：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の結果も踏まえて、製油所の転換シナリオを考察する

ステージ1：製油所CO₂削減（対象：Scope 1, 2）

- 各種技術：省エネ、CO₂フリー水素利用、CCS等

ステージ2：脱炭素化燃料製造転換によるCO₂削減（対象：Scope 1, 2, 3）

- 脱炭素化燃料の製造拡大/原油処理による需給バランス調整

ステージ3：カーボンニュートラルエネルギー製造によるCO₂排出ゼロ（対象：Scope 1, 2, 3）

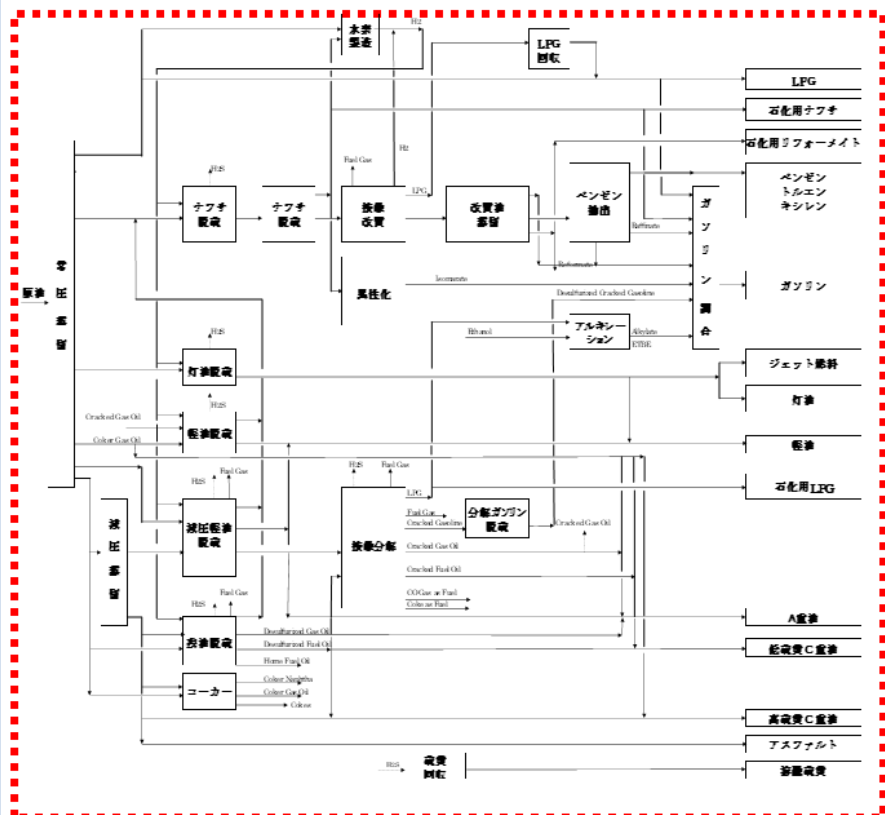
- カーボンニュートラルエネルギーセンター

2022年現在

2050年以降

ステージ 1、2 における検討方法概略：製油所モデルによる計算

日本の製油所モデルを想定しCO₂排出量を計算した。



製油所モデル

製油所CO₂排出量計算値：35百万トン

2020年生産量想定はNexant調査

	CO ₂ 排出量 千t-CO ₂ /年 2020年	比率 (%)
1 常圧蒸留装置	7,953	22.77
2 減圧蒸留装置	106	0.30
3 ナフサ脱硫装置	532	1.52
4 灯油脱硫装置	961	2.75
5 軽油脱硫装置	1,957	5.60
6 減圧軽油脱硫装置	2,233	6.39
7 残油脱硫装置	1,803	5.16
8 ナフサ蒸留	60	0.17
9 接触改質装置	2,398	6.87
10 LPG回収	9	0.02
11 改質油蒸留	34	0.10
12 ベンゼン抽出	18	0.05
13 アルキレーション装置	273	0.78
14 接触分解装置	8,499	24.33
15 水素製造	5,782	16.56
16 分解ガソリン脱硫装置	472	1.35
17 異性化装置	17	0.05
18 コーカー	1,092	3.13
19 水素化分解装置	570	1.63
20 ETBE装置	22	0.06
21 溶剤脱歴装置	4	0.01
22 プロピレン分留装置	4	0.01
23 パラキシレン装置	56	0.16
24 トランスアルキル装置	35	0.10
25 分解ガソリン蒸留装置	36	0.10
合計	34,926	100.00

◆ ステージ1 (Scope1, 2) でのCO₂削減に課題あり

- 製油所自社CO₂排出分 (Scope1, 2) について、数十%の大幅削減を達成するためにはグリーン水素やCCS等の対策が必要。しかし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

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

個別対策毎のCO₂削減率比較^{※1}

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

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

※2：製油所ガスの対応要

将来技術による対応

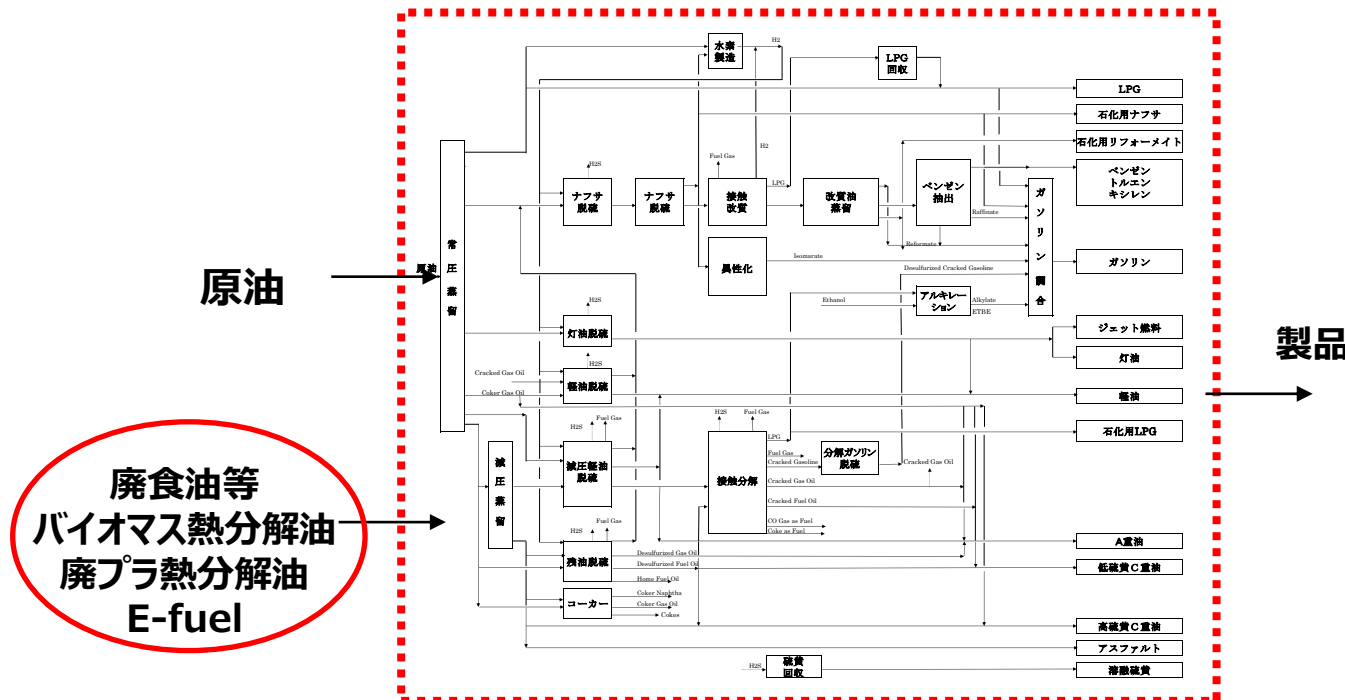
- 2030年時点を想定し、CO₂削減に向けて製油所で脱炭素化原料を部分的に処理し、脱炭素化燃料を製造したときのScope1,2,3のCO₂排出量への影響を検討した

以下の2ケースのCO₂排出量を試算し比較することで脱炭素化燃料製造の効果を評価

- 原油処理ベースケース（2030年：Nexant需要想定）
- 廃食油処理ケース ※軽油脱硫装置のフィード量の40%相当を想定した。

（廃食油処理量1,800万トンに相当し、廃食油だけでは国内で調達できない。後述参照）

【製油所モデル】



転換シナリオ検討 3つのステージ：ステージ2

◆ ステージ2 (Scope1, 2, 3) でのCO₂削減効果は大きい

- 製造時の水素消費量増加に伴うCO₂排出量 (Scope1, 2) は増加。精製・使用時トータルでのCO₂排出量 (Scope1, 2, 3) は大幅削減が可能

- 精製工程CO₂増加量(Scope1,2) : 6百万トン増
- 製品燃焼によるCO₂削減量(Scope3) : 42百万トン減
- 全体CO₂増加量(Scope 1, 2, 3) : 36百万トン減※1

単位 ; 百万ton-CO₂/年

項目	ベース(原油)	ケース(廃食油共処理)	増減量
Scope1,2 (自社)	34	40	6
Scope3 (下流)	378	336	▲42
Scope1,2,3 (全体)	412	376	▲36※1

※1 : ステージ1での個別対策毎のCO₂削減率と比較すると106%削減に相当

- ◆ ステージ2の検討 (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Scope 1, 2, 3のCO₂削減効果は、ステージ1における製油所CO₂排出全量と同程度

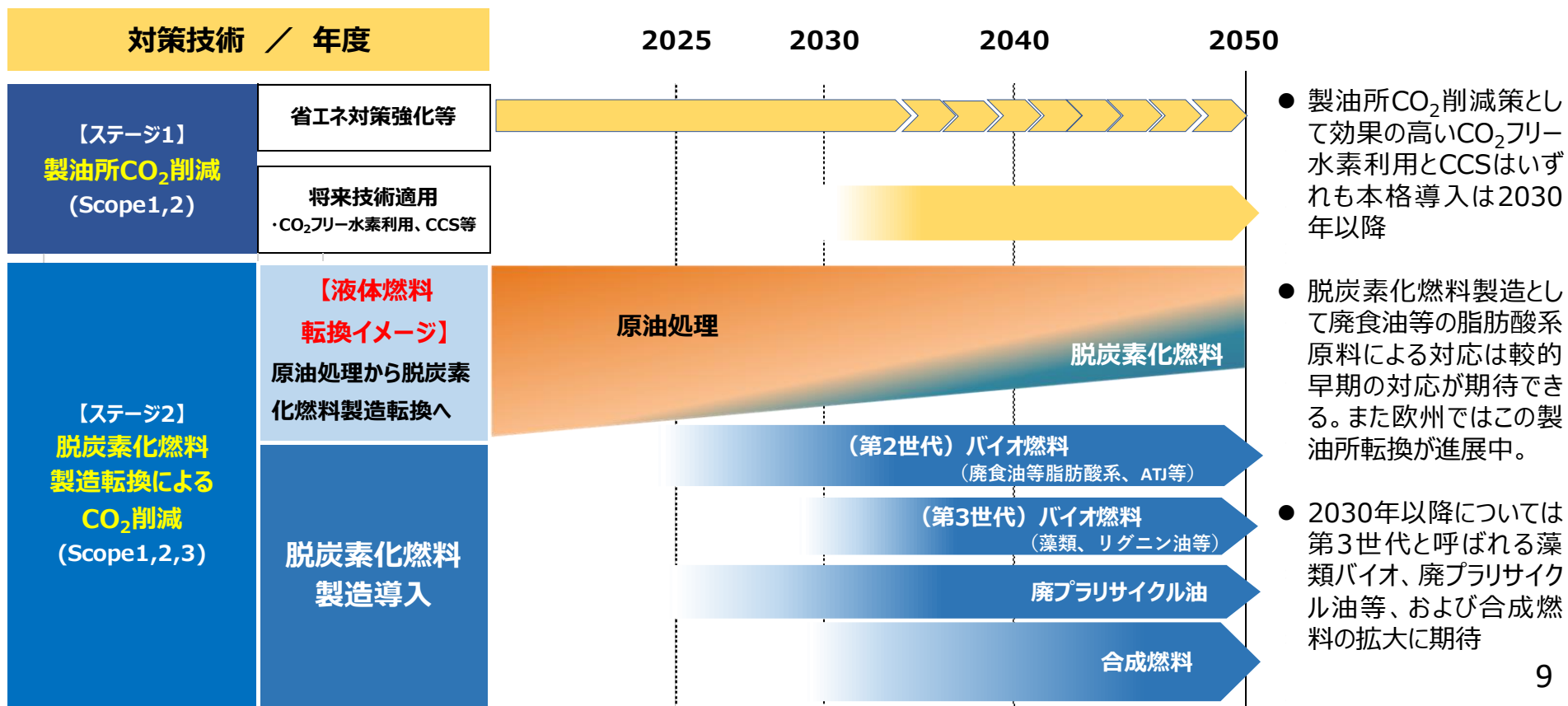
⇒ 脱炭素化燃料製造によるCO₂削減効果は大きい

- ◆ 課題として精製時の水素使用量の増加対応、それに伴う精製時のCO₂増加、脱炭素化原料量の確保等が挙げられる

ステージ1, 2からのシナリオ方向性まとめ

- ステージ1 (Scope1,2) でのCO₂削減は将来技術であるCO₂フリー水素利用やCCSの導入が大幅削減策として効果あり
- ステージ2 (Scope1,2,3) でのCO₂削減効果大きい
- 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。また製油所CO₂削減策はCO₂フリー水素、CCS導入が可能になった時点での対応が費用対効果の観点から有効

図 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 (まとめ)



転換シナリオ 3つのステージ：ステージ3

- ◆ ステージ3では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カーボンニュートラルエネルギーセンターを想定
- ◆ その中で脱炭素化燃料製造を中心とした製油所転換は石油産業のカーボンニュートラル化の主要な役割となる

ステージ1：製油所CO₂削減

(対象：Scope1,2)

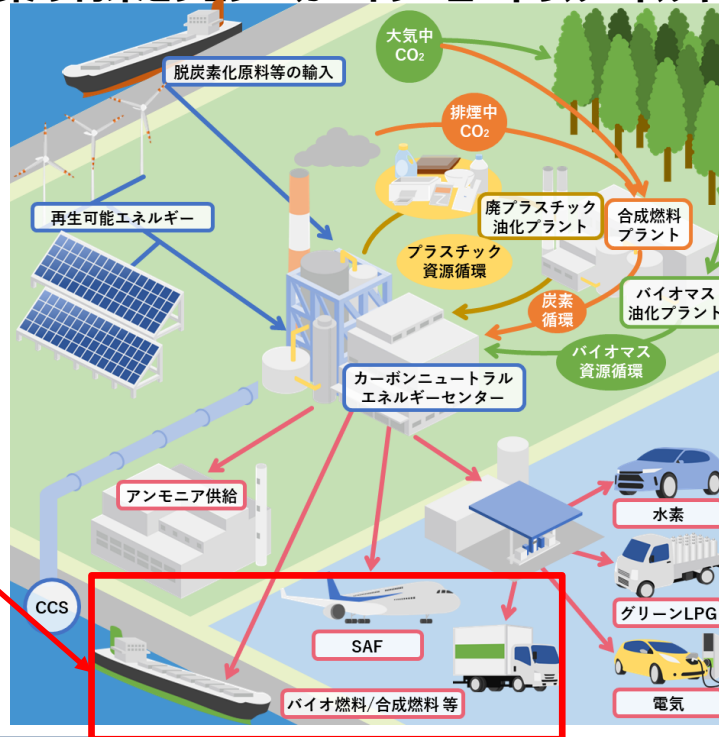
- 製油所の高効率化、省エネ、CO₂削減技術の促進
- 2030年以降のCO₂フリー水素利用、CCS対応

ステージ2：脱炭素化燃料製造 転換によるCO₂削減

(対象：Scope1,2,3)

- 脱炭素化燃料の製造拡大/原油処理による需給バランス調整

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

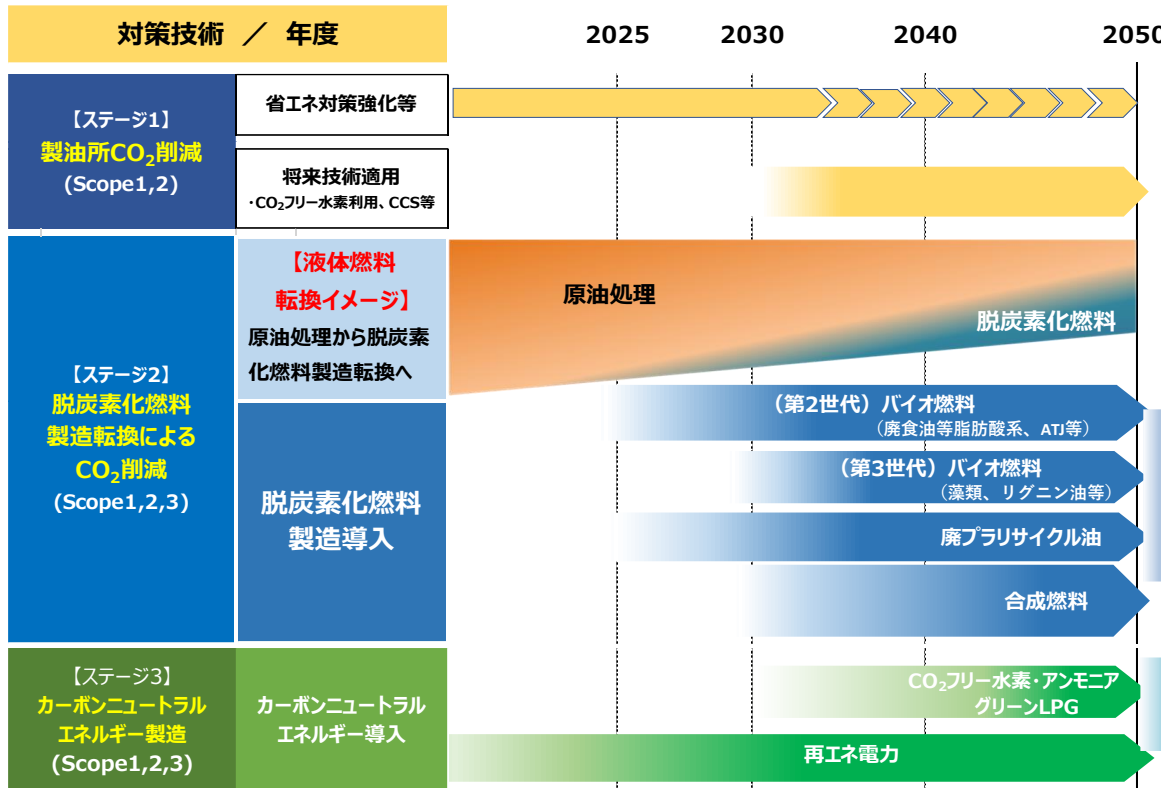


ステージ3：カーボンニュートラル エネルギー製造によるCO₂排出ゼロ

(対象：Scope1,2,3)

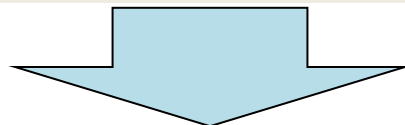
- カーボンニュートラルエネルギーセンター

- ◆ 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製造のハブへ転換（カーボンニュートラルエネルギーセンターへ）
 - ◆ 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の技術開発を行い、早期の脱炭素化燃料製造開始と拡大を目指す。製油所自体のCO₂削減は大幅な削減効果を持つCO₂フリー水素利用やCCSの導入が可能になる時期に対応
- ⇒ 費用対効果のみならず、社会全体のカーボンニュートラル化にとっても有効かつ効果的



製油所転換に向けて取り組みうる 技術開発

- 戦略企画研究会・高度利用技術研究会等で製油所転換の進め方について議論
 - 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



● 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」を進めることを提案する

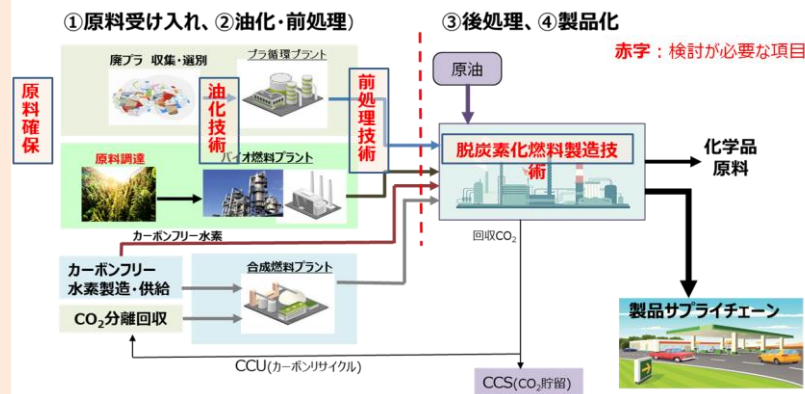
1. 脱炭素化原料の確保に関する調査

- 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

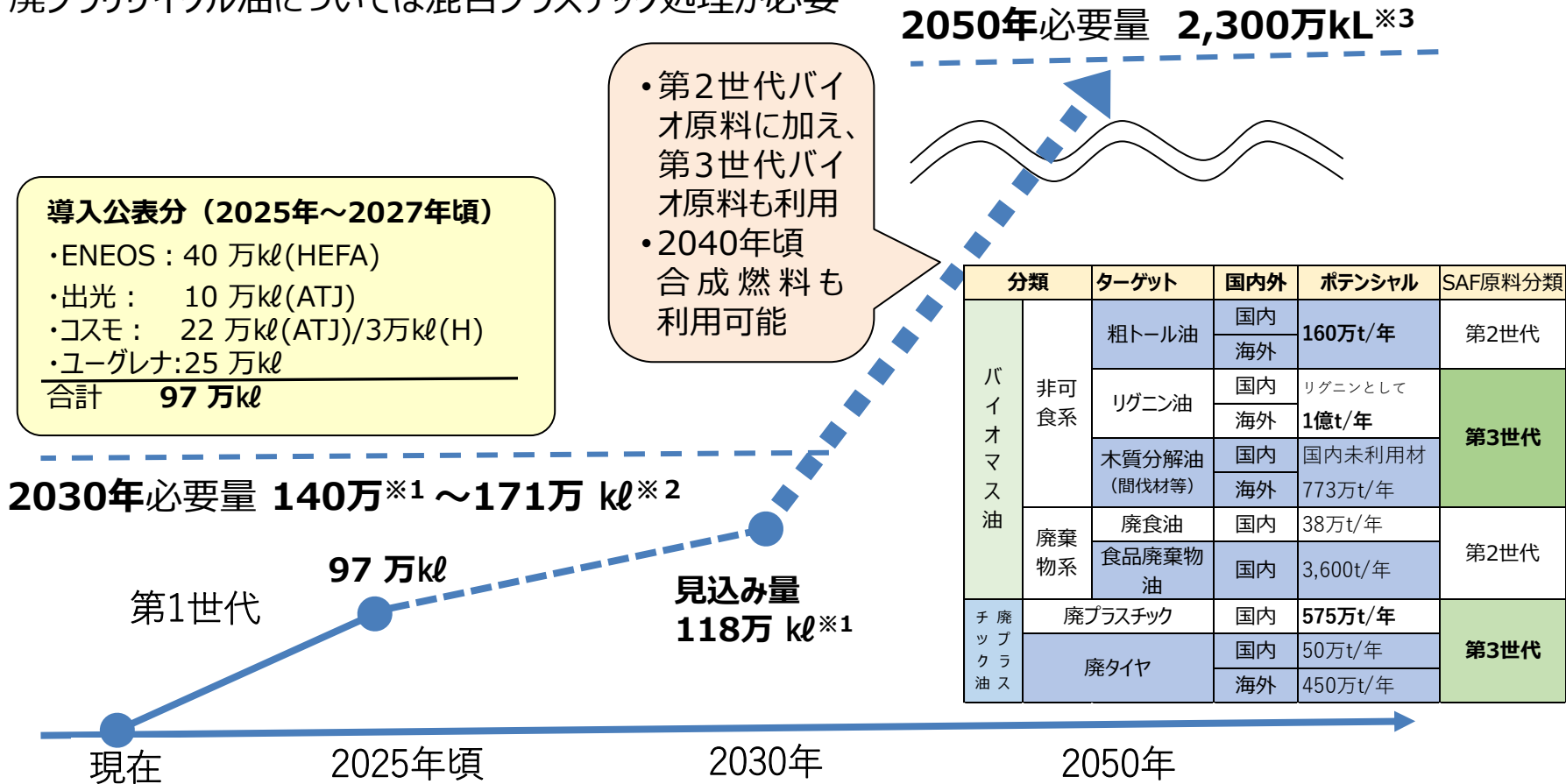
3. 製油所での脱炭素化燃料製造の実証



1.脱炭素化原料の確保

◆ 持続可能な航空燃料（SAF）の国内需要量推定

- 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
- 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
- 廃プラスチック油については混合プラスチック処理が必要



※1：第2回SAFの導入促進に向けた官民協議会（METI資料）

※2：第2回SAFの導入促進に向けた官民協議会（国交省資料）

※3：第2回SAFの導入促進に向けた官民協議会（METI資料）

2.脱炭素燃料製造の技術開発：油化技術

- 第1世代脱炭素化原料から第2、第3世代になるほど、処理が困難となる。

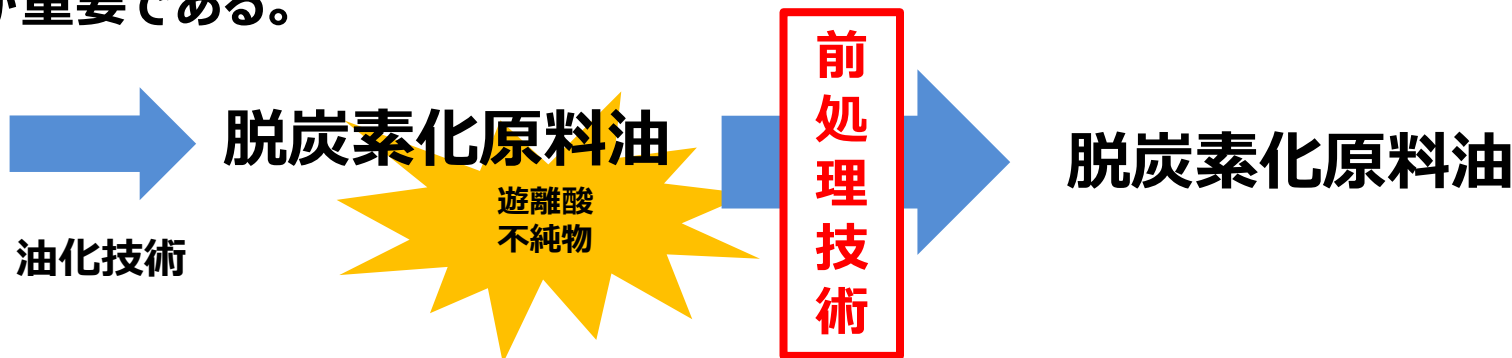
SAF原料分類	分類	ターゲット	油化技術	
第2世代	非可食系	粗トール油	エステル化	
	廃棄物系	廃食油	遊離酸除去 (油収集)	
食品廃棄物油				
第3世代	非可食系	リグニン油	熱分解、加溶媒熱分解等	
		木質分解油 (間伐材等)	熱分解、水熱分解等	
	廃プラスチック油	廃プラスチック		熱分解、加溶媒熱分解等
		廃タイヤ		熱分解

SAF原料分類 (TOPSOE (2022年ETRC資料より))

第1世代：バージンオイル / **第2世代**：廃食油、油脂 / **第3世代**：固体バイオマス廃棄物、低間接的土地利用変化、輪作作物等 (藻類、ひまし油)、カーボン循環 (廃プラ、廃タイヤ)

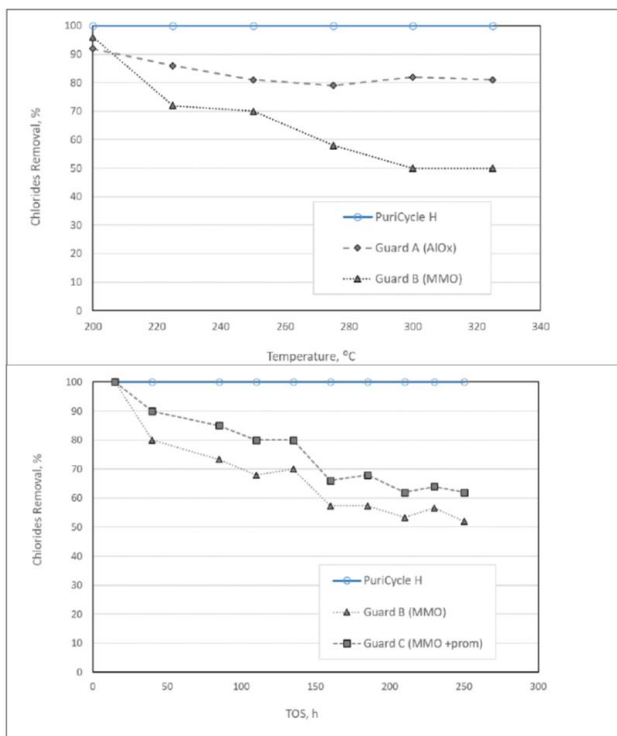
2. 脱炭素燃料製造の技術開発：前処理技術

- 製油所の装置や稼働に悪影響を及ぼす遊離酸や不純物を除去するために前処理が重要である。



不純物；ハロゲン、アルカリ、金属、P、N、重合前駆体

例：脱塩素触媒



Conditions
Commercial waste plastics PyOil
Chlorides Inlet ~ 80 ppmw
T = 200-330 °C
P = 50 barg Argon

Alkali Alumina Chloride Guards
Mixed Oxide Chloride Guards

従来品
 ・脱塩素吸着剤は改質や異性化では広く使用
 ・アルミナや複合酸化物をアルカリでプロモート
 ・廃プラ油の脱塩素は従来の吸着剤に対しては低活性

Conditions
Commercial waste plastics PyOil
Chlorides Inlet ~ 150 ppmw
T = 250 °C
P = 50 barg Argon

開発品 (PuriCycleH)
 ・廃プラ熱分解油の脱塩素用に設計
 ・細孔構造を最適化した高表面積の金属酸化物
 ・最も処理困難な有機塩素を効率的に除去
 ・再生プロセス不要

出所；BASF(ERTC2022)

2.脱炭素化燃料製造の技術開発：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**」がある。どちらもカーボンニュートラルに向けた重要な技術
- 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

◆ **技術的理由**：共処理の方が早期導入や製品供給や品質の安定化に資する可能性が高いなどの利点がある。その一方で既存アセットによる混合処理率向上など、各社共通となる技術課題として取り組むべき開発要素がある。なお原料の前処理技術等は共通（下表参照）

表 共処理と単独処理（改造・新設）比較

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

- ◆ **その他理由**：SAF製造において共処理技術が活用しやすい状況になってきている
- ASTM規格変更へ：現状の5%混合上限を30%へ。また混合可能な原料種の拡大
 - ISCC等の認証制度によりマスバランス方式を利用可能に→SAFなどの特定の製品に得られたカーボンオフセット全量を割り当て可能

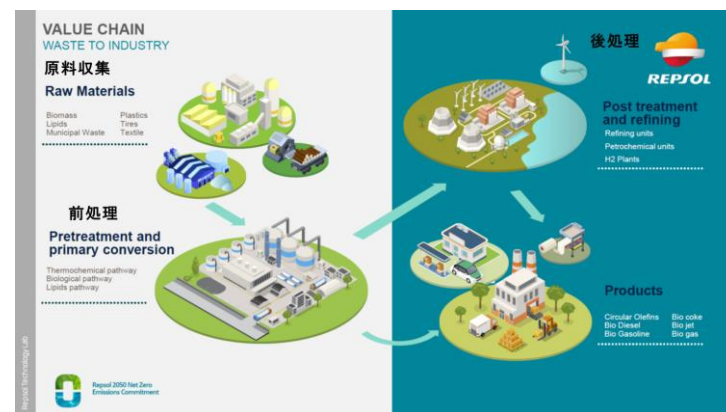
(参考) 共処理に関する海外動向 (欧州)

- 欧州で脱炭素化燃料製造において共処理で対応する製油所が多くみられる (下表)。現状における原料の混合比率は5%程度。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。
- 欧州での製油所での対応において、大きくは以下の2ケース。いずれにおいてもサプライチェーンを含めた課題として考える必要がある。
 - Case 1 : 原料受け入れ、前処理を別会社で行い、後処理、製品化を製油所で行う。
 - Case 2 : 原料受け入れ、前処理、後処理、製品化までのすべてを製油所で行う。

欧州における脱炭素化燃料製造における製油所の対応

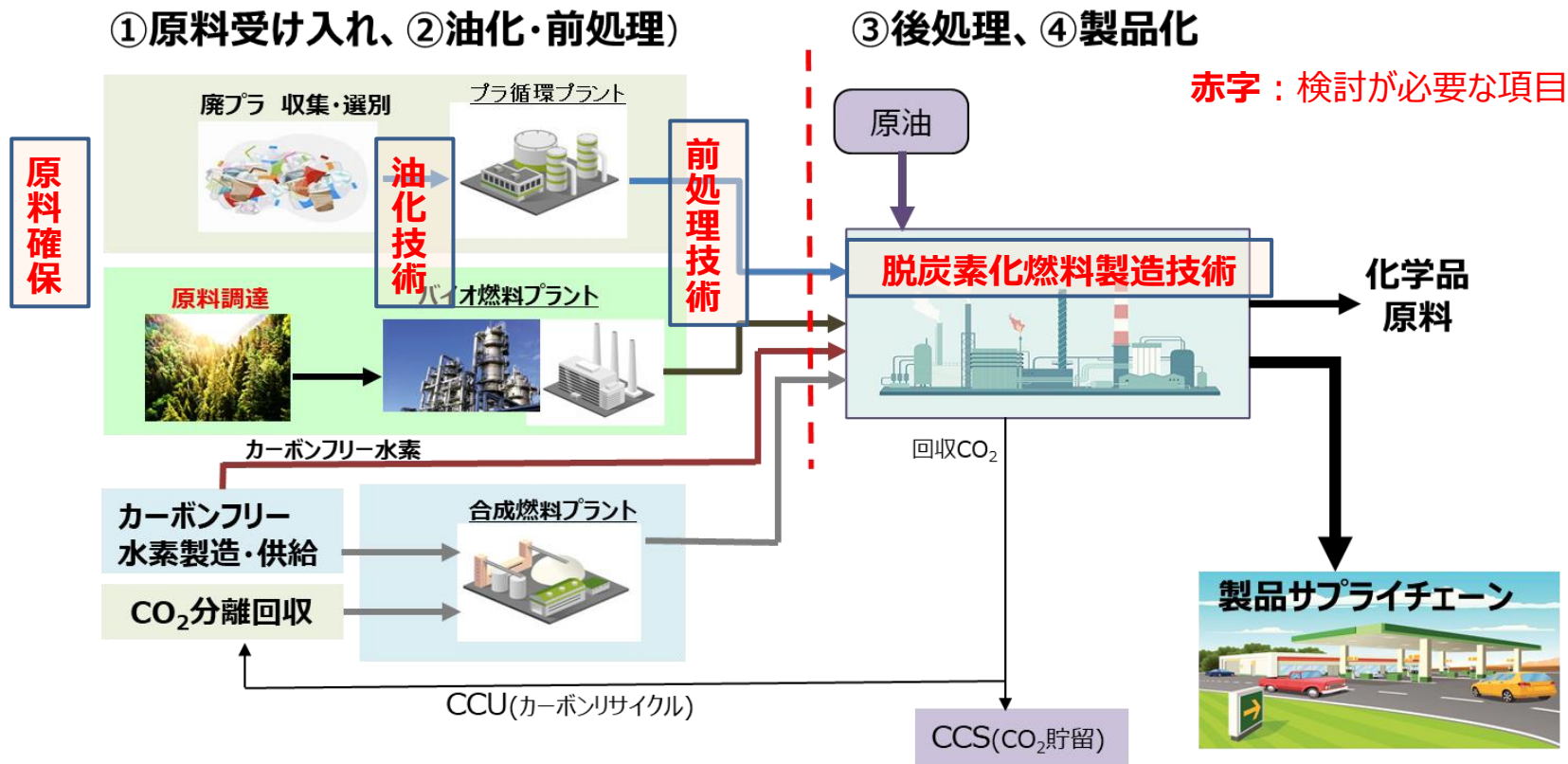
共処理で対応する製油所例	単独処理で対応する製油所例
Preem (スウェーデン)	Neste(フィンランド)
Exxon Mobil (オランダ)	Eni (イタリア(ベニス))
Bp (スペイン, アメリカ)	Eni (イタリア(シシリア))
Phillips 66 (イギリス)	・・・他
Total Energy (フランス)	
Eni(イタリア(タラント))	
Litvinov Refinery (チェコ)	
OMV Petrom (ルーマニア)	
Galp (ポルトガル)	
Cepsa, Repsol (スペイン)	
・・・他	

Repsol社の例 (Case1)



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、廃プラ等を原料とした「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を進める。



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

1. 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
 - ・CO₂回収（CCS,DAC）
 - ・電解合成技術の開発
- (2) CO₂フリー水素の確保
 - ・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
 - ・海外水素サプライチェーン構築
 - ・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
- (4) 原料・製品貯蔵施設の対応
 - タンク設置（あるいは転用）コスト、
 - オペレーション複雑化への対応等

2. 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
 - 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

3. 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) CO₂削減貢献度に対する評価制度
- (4) 設備の改造・新設時の規制緩和
- (5) 水素供給に関わる規制緩和