

2023年度 JPECフォーラム

製油所脱炭素化に関する共処理技術調査

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
製造プロセス技術部

目次

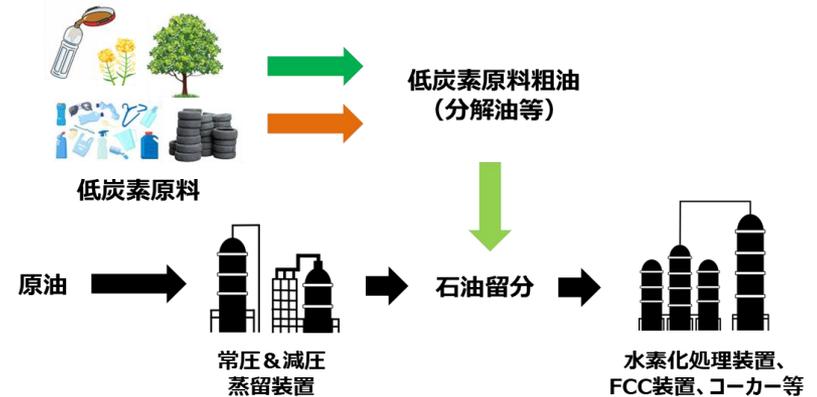
1. 背景、目的
2. 共処理技術の最新状況
3. 共処理実施時のCO2排出量削減効果
4. 共処理実施時の経済性
5. まとめ

石油製品の供給拠点である製油所（石油精製事業者）は、国内の石油需要の減少、アジア諸国の石油コンビナートとの国際競争の激化に加え、世界的な脱炭素化の潮流といった事業環境の変化に直面している。その中で、国内の石油精製事業者が、石油精製事業を継続しつつ、カーボンニュートラルに向けて二酸化炭素排出量削減に資するような技術の開発を後押し、国内の燃料安定供給と共に、国内製油所の脱炭素化を実現することが重要である。

本調査は、「製油所脱炭素化に関わる共処理技術」として製油所アセットを活用した共処理技術の状況や共処理実施時の経済性及びGHG削減効果を調査、内容を整理・共有化することを目的とする。

2. 共処理技術の最新状況

共処理 (Co-processing) :
製油所で原油処理を行いつつ、HVO等の
バイオマス原料 (低炭素原料) を、
減圧軽油等と混合処理し、
バイオ燃料配合燃料を製造するプロセス



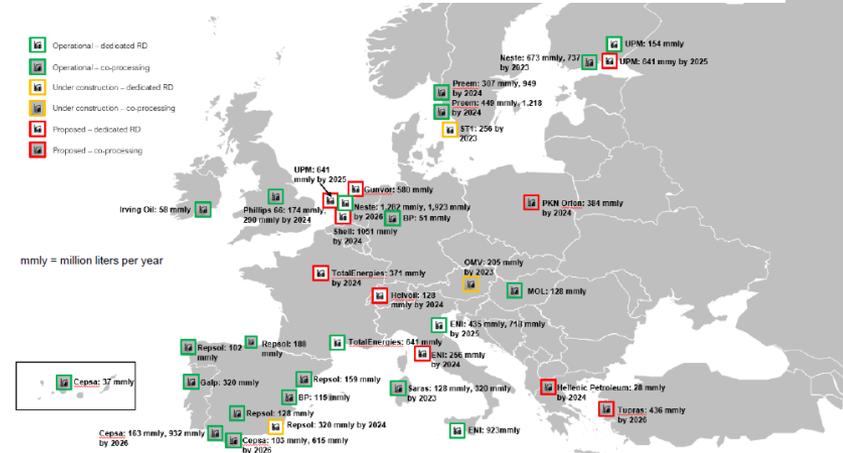
◆ 世界中で40程度の製油所で、欧米中心にHVO製造を中心に、単独処理とともにCo-processing (共処理) が実施されている。

欧州等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(タレント))	
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	

出所：各種資料をもとにJPEC作成)

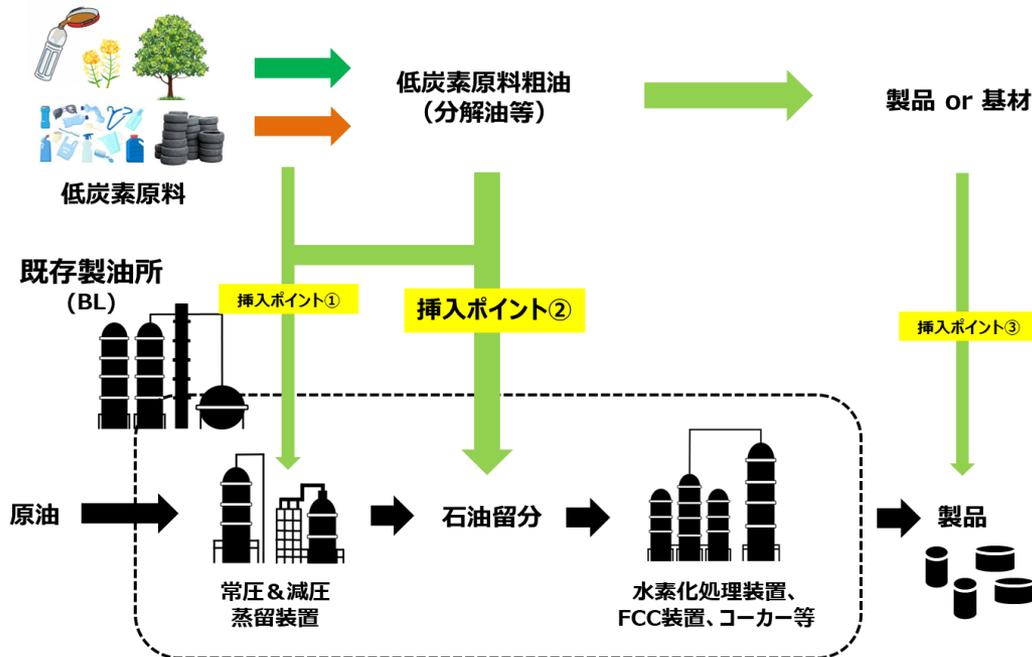
欧州におけるHVOの製造能力 (共処理 & 単独処理)



出所：STRATASADVISORS(Fuels for the future2023)

2. 共処理技術の最新状況

- ◆ 脂質を原料にして水素化処理装置を中心に、木質系バイオマス原料については、研究段階で一部FCC装置でトライアルが行われ、継続的な開発がなされている。最近では、SAF製造に関して、Co-processingの普及が進んでいる。



Testing: ASTM D1655 Status

Additional recent activity on co-processing routes

- **ASTM Task Force** formed to increase Lipids co-processing feedstock blend from 5% to 30%
- **ASTM Task Force** formed to co-process pyrolysis oil from used tires
 - Phillips66 Led Task Force Meeting Oct 21
- **ASTM Task Force** formed to co-process hydroprocessed biomass
 - ExxonMobil generating data to support a second ballot

出所：FAA(アメリカ連邦航空局)の研究開発諮問機関(Research, Engineering, and Development Advisory Committee ; REDAC)の The Environment and Energy (E&E) Subcommittee資料 (Maech.22.2022)より抜粋

※SAF向けCo-processingで認められている含有量は、現状5%。

2. 共処理技術の最新状況

- ◆ 共処理を行う際の既存アセットに対する課題は、共処理する原料油の性状（構造・組成、酸素含有量、遊離酸、不純物、水分量等）に大きく依存する。

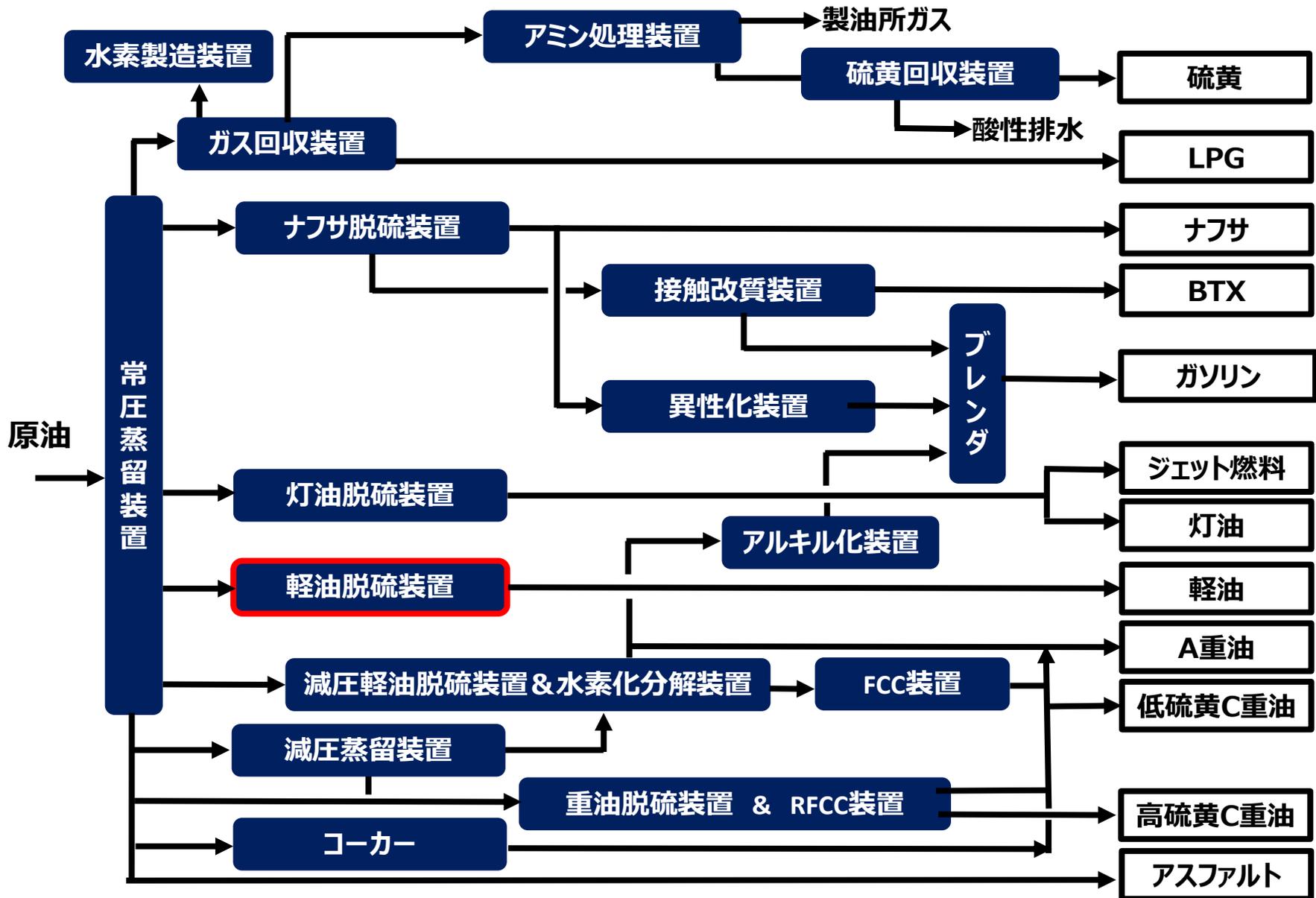
油種(bio-oils)	バイオ原料油の特徴	製油所での処理
植物油 (Vegetable oils) 獣脂 (Tallow) 廃食油 (Used cooking Oil,UCO)	トリグリセリドと遊離脂肪酸 脂肪酸の鎖長に関してある程度の不均一性があるが、化学的には均一 軽油留分範囲の炭素化合物 酸素11%、Haff/C比 1.8 廃油には、酸性度に影響する遊離脂肪酸が占めるが、汚染物質も含む 金属や無機化合物を含む	酸素の除去 熱分解または接触分解による低分子化 水素精製処理等のアップグレーディング バイオジェット燃料製造には低温流動性を改善するための異性化 分解生成物の分留
熱分解油 (pyrolysis bio-oils)	最大400種類の成分 酸素含有量40%以上 リグニンの分解によるさまざまな芳香族種 高水分含有量 (> 20%) 触媒熱分解や部分水素化熱分解の前処理品は熱分解のみよりも低酸素含有量 (18~24wt%)	酸素の除去 重質分分解 芳香族化合物の水素化分解 アップグレード油の分留
水熱液化油 (HTL-biooils)	低酸素含有量 (範囲: 6~18%) 低水分含有量 (<10%)	酸素の除去 熱分解または接触分解 芳香族化合物の水素化分解
フィッシャー・トロプシュ (FT) 液体	高温FTでは、ガソリンに適したより低分子量を生成 低温FTは、ディーゼル範囲の長鎖分子を生成	分留が必要 分解異性化が必要な場合あり

2. 共処理技術の最新状況

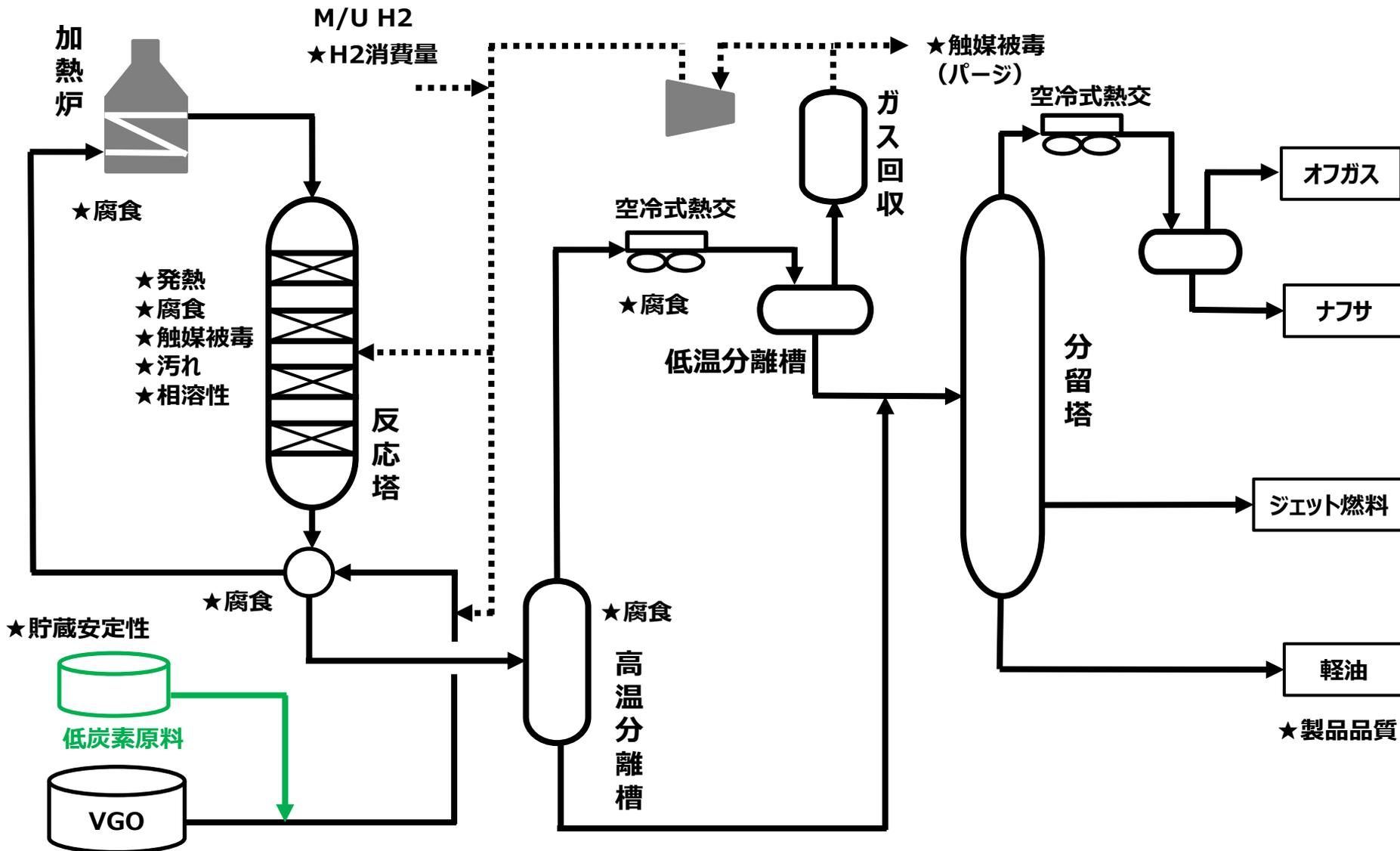
◆原料油の性状による装置課題・対応等をまとめた。原料油の性状により装置課題も異なり、腐食、汚れ、触媒被毒等の課題が生じ、特に原料の前処理が重要になる。共処理の原料混合比率は、現状5%程度だが、大幅な増加（40%程度）が考えられている。

原料	性状	装置	処理制約；課題	対応等
脂質 植物油 獣脂	構造・組成 酸素含有量	水素化処理 (HC含) FCC	※腐食；遊離酸、ハロゲン、炭酸	・前処理、エステル化、パージ ・材質変更
廃食用油 トール油			※触媒被毒(劣化)；アルカリ、金属、CO、局所加熱	・前処理、触媒改良
バイオクルード	遊離酸 (TAN)		※汚れ；重合前駆体	・前処理
FPO HPO CPO HTL	不純物 ハロゲン アルカリ、金属 P,N 重合前駆体		※相溶性；含水量、酸素含有量	・分離、脱酸素
リグニン油	水分量		※混合比率；発熱	・分散投入等
			※下流処理；酸性ガス、硫黄回収	・処理水増、装置改造
廃プラスチック			※貯蔵安定性；	・低温保管、前処理
廃タイヤ FT油			※製品規格；低温流動性、芳香族	・水素化分解等

2. 共処理技術の最新状況

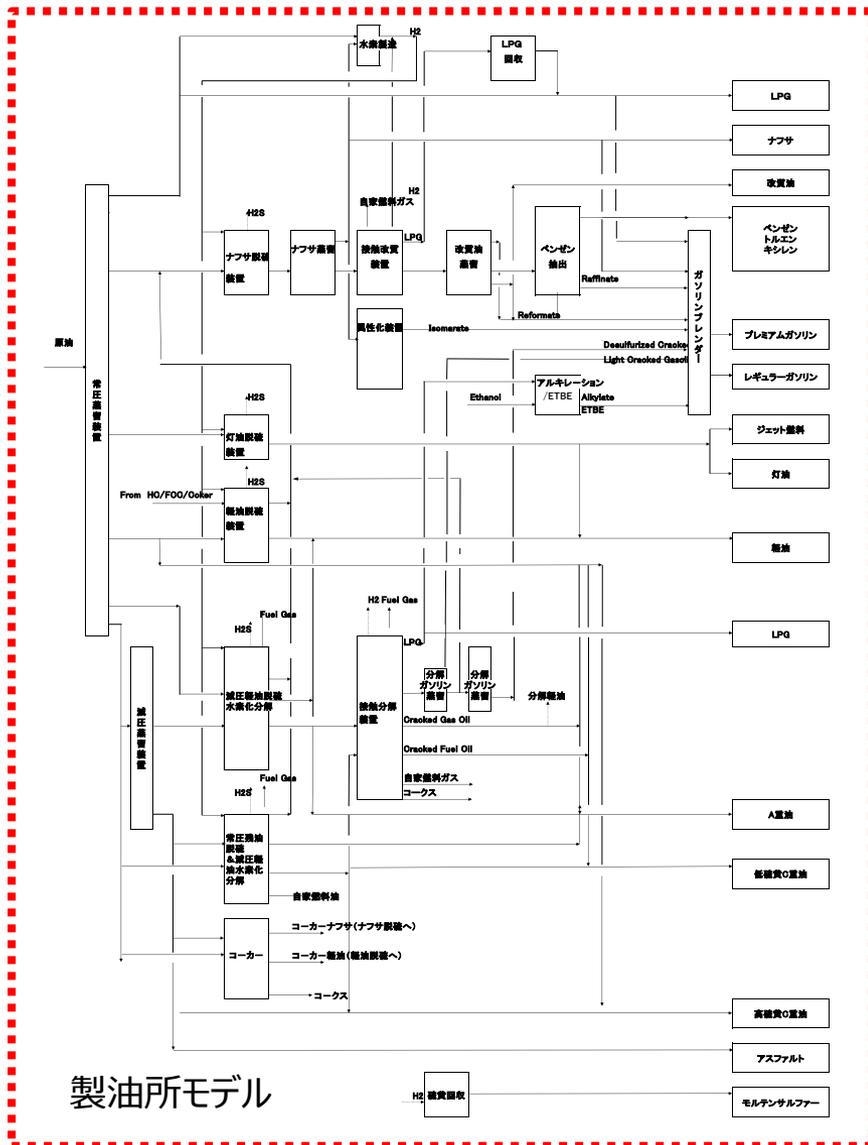


2. 共処理技術の最新状況



3. 共処理実施時のCO2排出量削減効果

◆ 接触分解、常圧蒸留、水素製造装置からのCO2排出量が多い（約6割）。



	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

3. 共処理実施時のCO2排出量削減効果

◆製油所モデルにおいて、低炭素原料として廃食油を原料にして共処理を実施した場合の、CO2排出量の削減効果の検討を行った。

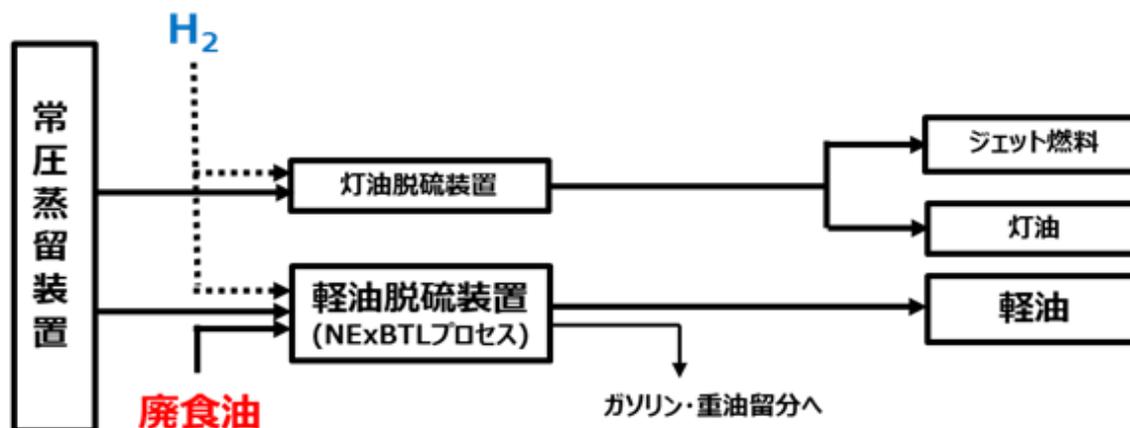
具体的には、軽脱硫装置を用い、プロセスデータは、既に多くの商業実績を有するNeste社バイオディーゼル燃料製造プロセスである“NExBTLプロセス”を参照し、共処理比率は、現状、海外で計画されている共処理比率の最大割合を想定して、装置フィードに対して40重量%とした。

- 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；



3. 共処理実施時のCO2排出量削減効果

◆ 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”を示す。
不純物除去を行う前処理工程は、検討から除外した。

※前処理工程；クエン酸、リン酸 (50-75%)による塩除去工程、活性白土やシリカによる吸着除去処理工程

【廃食油処理スキーム】

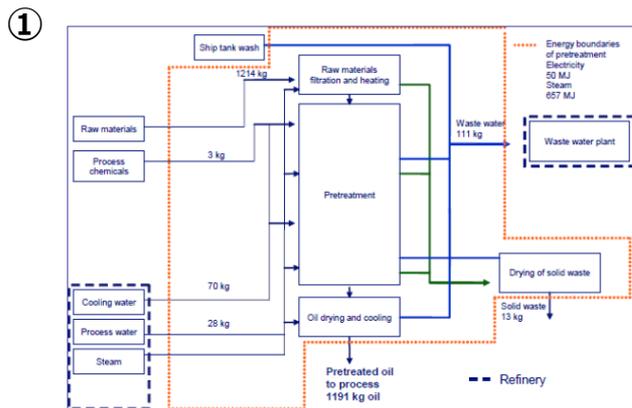
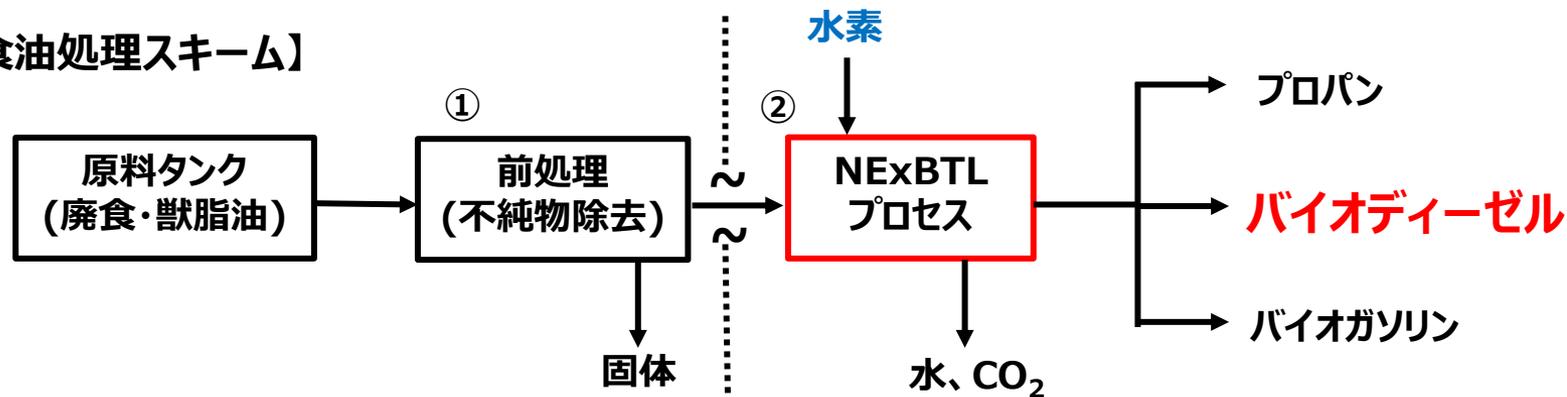


Figure 17. Schematics of pre-treatment process for NExBTL process (Nikander, 2008)

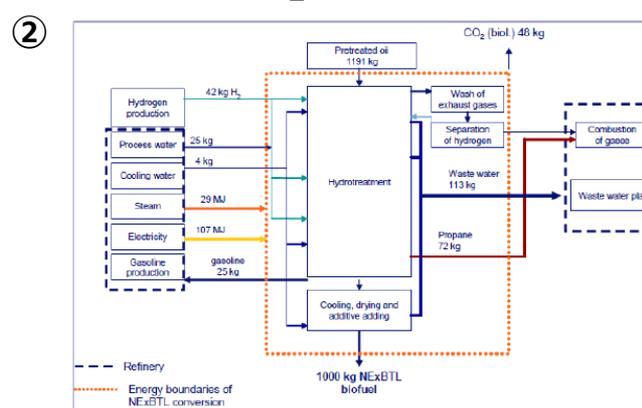


Figure 18. Schematics of NExBTL process (Nikander, 2008)

3. 共処理実施時のCO2排出量削減効果

単位；百万t-CO₂/年

◆主に製造時（精製工程）、
廃食油の共処理により水素消費
量が増加し、それに伴い製油所か
らのCO2排出量（Scope1,2）
が増加*することが判明した。

しかしながら、製造・燃料使用
時トータルでのCO2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。

*各装置毎のCO2排出量の増
減を比較すると、常圧蒸留装置
をはじめとしていくつかの装置の用
役負荷が低減され、CO2排出量
が減少しているにもかかわらず、水
素製造装置からのCO2排出量の
増加がその量を、はるかに大きく上
回っている。

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

2030年	CO ₂ 排出量 千t-CO ₂ /年 原油ベース	CO ₂ 排出量 千t-CO ₂ /年 廃食油共処理 (40%)	CO ₂ 削減量 千t-CO ₂ /年	CO ₂ 削減率 (%)
1 常圧蒸留装置	6,808	6,226	▲ 582	91
2 減圧蒸留装置	105	95	▲ 10	90
3 ナフサ脱硫装置	390	392	2	101
4 灯油脱硫装置	639	643	4	101
5 軽油脱硫装置	1,972	2,294	322	116
6 減圧軽油脱硫装置	1,980	1,811	▲ 169	91
7 残油脱硫装置	2,134	2,134	0	100
8 ナフサ蒸留	45	45	0	100
9 接触改質装置	2,371	2,386	15	101
10 LPG回収	8	8	▲ 1	93
11 改質油蒸留	36	36	0	101
12 ベンゼン抽出	16	19	3	119
13 アルキレーション装置	233	196	▲ 37	84
14 接触分解装置	8,854	8,646	▲ 208	98
15 水素製造	5,990	13,546	7,555	226
16 分解ガソリン脱硫装置	132	187	55	141
17 異性化装置	16	16	0	100
18 コーカ-	1,212	1,212	0	100
19 水素化分解装置	545	306	▲ 239	56
20 ETBE装置	0	0	0	100
21 溶剤脱脂装置	5	5	0	100
22 プロピレン分留装置	4	4	0	100
23 パラキシレン装置	54	54	0	100
24 トランスアルキル装置	31	35	4	115
25 分解ガソリン蒸留装置	34	37	3	108
合計	33,613	40,332	6,718	120

4. 共処理実施時の経済性

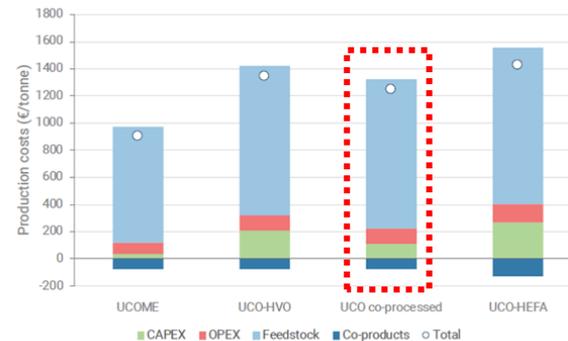
◆共処理（co-processing）に関する投資について、共処理の設備コストに関する具体的な数値に関する情報はほとんど得られない。これは、共処理に関連して改造や追加する設備の範囲が、製油所毎に異なるなど不明確なところが主因と思われる。

* 共処理の設備費を、新設のHVO専用装置の約半分と仮定した場合もある。

UCO Co-processed製造コスト；

UCO co-processedコスト

項目	コスト(€/t)
原料	1,080
OPEX	89
CAPEX	102
副産物	83
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)

4. 共処理実施時の経済性

◆共処理時の処理量に伴う変更点として、5～10%程度の共処理比率では、既存設備の余裕次第(特に水素製造装置)ではあるが、設備投資は最小限に抑えられるとしている。共処理に関しては、製油所アセットを活用する設備投資費の低さから今後も導入が普及するものと予想される。

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

今年度調査した項目	分かったこと
1. 共処理技術の最新状況	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 欧米を中心に共処理技術を活用したりニューアブルディーゼル燃料（以下、RD）、持続可能な航空燃料の製造の動きが活発である。 ➤ 製油所アセットを活用した共処理技術としては、水素化処理装置（含水素化分解装置）による植物油、獣脂、廃食油等の脂質を原料としたドロップイン燃料の製造が中心である。一方、FCC装置では、バイオガソリン、バイオナフサを目的とした脂質を原料とした製造が実施されている。
2. 共処理実施時のCO2排出量削減効果	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 「廃食油を共処理したケース」に示すように、主に製造時（精製工程）、廃食油の共処理により水素消費量が増加し、それに伴い製油所からの排出分CO2量（Scope1,2）が増加することが判明した。しかしながら、製造・燃料使用時トータルでのCO2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。
3. 共処理実施時の経済性	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 共処理に関連する設備費に関しては、公開された情報は非常に少ない。 ➤ 具体的な数値の情報が得にくのは、共処理に関連して改造や追加する設備の範囲が、製油所毎に異なるなど不明確なところが主因と思われる。一方で、共処理比率が、5～10%程度までは、設備投資額が少なくなるとの情報もある。

謝辞

本研究は経済産業省・資源エネルギー庁の
補助事業として実施されました。
ここに記して、謝意を表します。