

## 欧米での製油所を活用したバイオ燃料製造の取り組み動向

総務部調査情報グループ

### 1. はじめに

欧米では、GHG 排出量の大幅削減政策の下、バイオ燃料の混合義務化等再生可能エネルギー利用促進政策が進められている。一方、欧米では輸送用燃料の需要減退の流れが続くと見通しの中、製油所の操業環境は益々厳しくなっている。

そのため、輸送用燃料の要であるガソリンや軽油の需要を支えつつ、製油所を活用したバイオ燃料製造のプロジェクトが欧米で展開されている。

バイオ燃料に関しては、コーンやサトウキビ由来エタノール、パーム油、大豆油等の植物油をメチルエステルした FAME (Fatty acid methyl ester) と呼ばれる第一世代バイオ燃料が普及している。さらに GHG 削減効果やサステナビリティに優れる次世代バイオ燃料として、セルロース系エタノール、水素化植物油 HVO 等の再生可能ディーゼル (Renewable Diesel, RD) や藻類由来ジェット燃料等の供給拡大が欧米での中長期的な政策目標となっている。

今夏のバイオ燃料関連報道では、特に、米国の製油所に関わる報道が目立った。

表 1 最近の製油所でのバイオ燃料製造に関する報道

公表日	国名	石油会社	発表概要
2020年7月20日	米国	Marathon Petroleum	ノースダコタ州Dickinson製油所(19千b/d)の再生可能ディーゼル製造転換に向け、原料の前処理工場としてオハイオ州のDuonix Beatrice社の買収。
2020年7月29日	オーストリア	OMV	2025年に向けSchwechat製油所(192千b/d)でのバイオマス等資源による製品製造方針をあらためて発表。
2020年8月3日	スペイン	Repsol	Puertollano製油所(150千b/d)でのバイオ由来ジェット燃料の1号バッチ製造。
2020年8月3日	米国	Marathon Petroleum	加州Martinez製油所(161千b/d)原料処理停止、再生可能ディーゼル製造専用工場への転換を検討。ニューメキシコ州Gallup製油所(26千b/d)もバイオリファイナリーへ転換を検討。
2020年8月5日	米国	CVR Energy	オクラホマ州Wynnewood製油所製油所 (74.5千b/d)での再生可能ディーゼル製造設備に100Mドル投資。
2020年8月6日	米国	BP	ワシントン州Cherry Point製油所(250千b/d)でのco-processingによる再生可能ディーゼル製造の取組計画継続を表明。
2020年8月11日	米国	ExxonMobil	Global Clean Energy HD所有の操業停止加州Bakersfield製油所(70千b/d)跡で製造する再生可能ディーゼルのオフテーク契約 (5年間、40万KL/年) で合意。
2020年8月12日	米国	Phillips 66	サンフランシスコRodeo製油所(120千b/d)を世界最大の再生可能ディーゼル・ジェット製造基地に変換、同時にSanta Maria 製油所(45千b/d)の操業停止。 (ワシントン州Ferndale製油所(105千b/d)のバイオプロジェクトは2020年1月にキャンセル発表)
2020年9月14日	フィンランド	Neste	自国内の2製油所のうち、Naantali製油所を閉鎖し、Porvoo製油所に生産機能を統合、co-processingも導入し再生可能製品の製造を計画。

出所：各社報道をもとにJPEC作成

1. はじめに
2. 欧米製油所でのバイオ燃料製造
2-1. 欧州
2-2. 米国
3. 製油所における次世代バイオ燃料製造技術
3-1. 技術ステージ
3-2. バイオ原料の水素化処理プロセス
3-3. バイオ原料のコプロセスング (co-processing)
3-4. バイオ原料油の特性と要件
3-5. Co-processing 製品中のバイオ比率の定量課題
4. おわりに

## 2. 欧米製油所でのバイオ燃料製造

### 2-1. 欧州

ガソリン車よりもディーゼル車が普及している欧州では、バイオ燃料の混合義務化については、第一世代バイオ燃料である FAME 混合軽油が主流であったが、今後は配合量の制約を受けることになる。代わって、エンジンへの影響が少なく、サステナビリティに優れ、製油所の水素化精製装置を利用して製造できる再生可能ディーゼルの生産が増加している。

再生可能ディーゼルには、植物油を水素化処理した HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) や廃食油、獣脂の廃棄物系油脂原料の水素化品があり、欧州域内だけでなく世界的な原料調達により製造が可能となる (表 2)。

中でも Neste は、早くから HVO 製造に着手し、自国製油所だけでなく、原料集約拠点のオランダ・ロッテルダムやシンガポールに専用の水素化精製装置を新設し、現時点は、世界で最大の HVO 供給者として欧州だけでなく、米国や豪州に供給を始めている。

表 2 欧州の HVO 製造製油所一覧

国	石油会社	参加製油所	HVO生産能力 (千トン/年)
フランス	Total	La Mede製油所	500
スペイン	BP	Castellon製油所	80
	Cepsa	San Roque製油所	43
		La Rabida製油所	43
イタリア	ENI	Porto Marghera製油所	314
		Gela製油所	600
ポルトガル	Galp	Sines製油所	72
オランダ	Neste	Rotterdam製油所	1,000
フィンランド	Neste	Porvoo製油所	580
	UPM	Lappeenranta製油所	100
スウェーデン	PREEM	Göteborg製油所	800
	ST1	Göteborg製油所	200

出所：欧州委員会<sup>1</sup>

### 2-2. 米国

米国では、ガソリンや軽油へのバイオ燃料配合の義務化を進めてきたものの、ガソリンは軽油需要の 2 倍、石油製品需要の半分を占めることから、自国のコーンエタノールをエネルギー燃料としてガソリンに配合する政策に重点が置かれてきた。そのため、FAME 生産はエタノールの 2% 程度であり、さらに次世代バイオ燃料の製造はベンチャーでわずかに生産されている状況である。

加州は、連邦に先駆けて独自に導入した気候変動対策のひとつとして、2010 年に施行となった低炭素燃料基準 (LCFS) 規制により、石油製品の製造や販売を手掛ける会社はバイオ燃料の供給・調達が必須となっている。

<sup>1</sup> <https://www.biofit-h2020.eu/biofit-industry-map/>

製油所の装置構成を見た場合、バイオエタノール製造は発酵プロセスであり、製油所の既存設備の活用は難しく、また FAME 製造も化学品製造プロセスのため製油所での対応が難しい。しかし、植物油や廃食油等油脂の水素化プロセスは、製油所の水素化精製装置を活用することができ、加州に市場を持つ石油会社は再生可能ディーゼルの製造に照準をあてている（表 3）。

表 3 加州市場に向けた製油所での再生可能ディーゼル製造に関する最近の報道

石油会社	製油所	備考
Global Clean Energy	加州Bakerfield製油所	2020年5月公表
HollyFrontier	ワイオミング州Cheyenne 製油所	2020年6月公表
	ニューメキシコ州Navajo製油所	2019年10月公表 バイオ原料前処理装置新設
CVR Energy	オクラホマ州Wynnewood製油所	2020年8月公表
Marathon Petroleum	ノースダコタ州Dickinson製油所	2020年7月公表 2020年末までに転換完了
World Energy	加州Paramount製油所	稼働中(2018年3月Delek US Holdingsから買収)

出所：各社報道をもとに JPEC 作成

加州市場に再生可能ディーゼルの供給を行う石油会社として、Valero Energy は、同州ではなく、ルイジアナ州の子会社 Diamond Green Diesel 社にて油脂調達と水素化処理を行う体制を取っている。

また、Global Clean Energy は加州に所有する Bakerfield 製油所（閉鎖中）の一部を再稼働して再生可能ディーゼルを製造するとし、ExxonMobil と 5 年間のオフテイク契約を本年 8 月に締結した。

さらに、加州の燃料規制の動きは、北米西海岸のカナダ・ビクトリア州にも波及しており、バンクーバー近郊にある Parkland 社 Burnaby 製油所（元 Chevron 所有）では、再生可能ディーゼルの製造準備を進めている。

### 3. 製油所における次世代バイオ燃料製造技術

#### 3-1. 技術ステージ

次世代バイオ燃料製造は、バイオマス原料種によりプロセス技術に課題があるため、3つの技術ステージに整理できる。

##### (1) 実用化ステージ

製油所の製造水素を活用し、植物油等油脂の水素化処理を行う技術は 2000 年代から研究が始まった。

Neste 等、既に商業レベルの技術展開が進んでいる。原油処理を停止し、二次装置だけを稼働して、バイオ燃料専用工場に転換した事例もある。

##### (2) 導入普及ステージ

製油所での原油処理を行いつつ、バイオ原料を二次装置（水素化処理装置、流動接触分解装置（FCC））に投入して鉱油と混合処理し、バイオ燃料配合燃料を製造する co-processing と呼ばれる事例が欧米で普及しつつある。

##### (3) 研究開発ステージ

バイオ燃料の需要拡大を狙うため、油脂だけでなく木質系や有機廃棄物系のバイオマスから輸送用燃

料を製造する研究が注目されている。製油所装置への投入原料（バイオ原油<sup>2</sup>）とするために、2つの前処理法、熱分解法（Pyrolysis）と水熱液化法（Hydrothermal liquefaction, HTL）について2010年代から欧米で研究が行われている。

### 3-2. バイオ原料の水素化処理プロセス

植物油等油脂を水素化処理して再生可能ディーゼルを製造するプロセスは、既に実用化が図られており、製油所外の水素化処理装置を新設するケースと製油所内の脱硫用水素製造装置を改造して転用するケースがある。

製油所の水素化処理プロセスライセンスとして実績のある UOP 等、欧米エンジニアリング企業がバイオ燃料分野にもビジネス展開を図っている（表4）。

表4 HVO 製造プロセスライセンス

ライセンサー	プロセス名
UOP/Eni (米国/イタリア)	Ecofining
Haldor Topsoe (デンマーク)	HydroFlex
Neste (フィンランド)	NextBTL
Axens (フランス)	Vegan

出所：各社報道をもとに JPEC 作成

### 3-3. バイオ原料のコプロセッシング (co-processing)

製油所の GHG 削減対策につながるとして、欧米での導入が進んでいる（図1）。

製油所の水素化処理装置や FCC を利用し、VGO 留分等とバイオ由来原料の co-processing によるドロップインバイオ燃料の製造は、専用の反応塔を新設するよりも投資額を抑えつつ、バイオ原料の調達量に合わせたフレキシブルな運転ができるという長所がある。

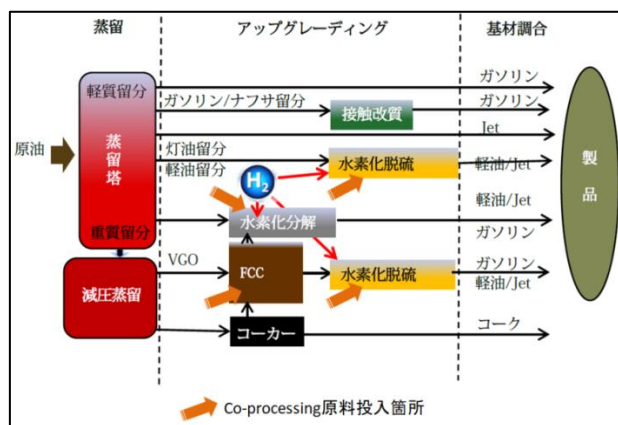


図1 Co-processing による燃料製造フロー

出所：DECHEMA 等資料<sup>3</sup> をもとに JPEC 作成

<sup>2</sup> bio-oil または bio-crude と呼ばれ、用語の使い方は統一されていない。

<sup>3</sup> “Position paper Advanced alternative liquid fuels”

[https://dechema.de/en/Alternative\\_Brenn\\_und\\_Kraftstoffe-path-123211.124930.20051805.html](https://dechema.de/en/Alternative_Brenn_und_Kraftstoffe-path-123211.124930.20051805.html)

欧州では米国に先行して運転実績があり、水素化精製装置を使った co-processing の比率は、HVO 生産の 10 数%と推算<sup>4</sup>されているものの、co-processing は製油所内部の情報のため、原料種や運転条件等に関する各社の情報公開は限られている（表 5）。

表 5 欧米で co-processing 運転実績のある製油所

国	石油会社	製油所
スウェーデン	Preem	Göteborg製油所
スペイン	Cepsa	Tenerife製油所
		La Rabida製油所
	Repsol	—
ポルトガル	Galp	Sines製油所
アイルランド	Irving Oil	Whitegate製油所
英国	Phillips 66	Humber製油所
米国	Marathon Petroleum	Martinez製油所* (2018年、Tesoroから買収)

\* : 2020年8月、同製油所の閉鎖を公表

出所：各社報道をもとに JPEC 作成

今後の co-processing 計画では、輸送用バイオ燃料導入義務化が進む北米西海岸の製油所での実施が注目される（表 6）。

表 6 欧米で co-processing 運転準備中又は検討中の製油所

地域	国	石油会社	製油所	備考
欧州	スウェーデン	Neste	Porvoo製油所	—
	オーストリア	OMV	Schwechat製油所	—
	ギリシャ	Hellenic Petroleum	Aspropyrgos製油所	—
	スウェーデン	Preem	Lysekil製油所	熱分解油製造プラントを外部に新設。2021年末稼働予定
	ポーランド	PKN ORLEN	非公表	—
北米	米国	PBF Energy	加州Martinez製油所 (2019年Shellから買収)	FCCでのco-processing予定
		BP	ワシントン州Cherry Point製油所	—
		Chevron	加州El Segundo製油所	FCCでのco-processing予定
	カナダ	Parkland Fuels	ビクトリア州Burnaby製油所 (2017年Chevronから買収)	—

出所：各社報道をもとに JPEC 作成

<sup>4</sup> <https://www.greenea.com/wp-content/uploads/2017/02/HVO-new-article-2017-1.pdf>

Co-processing の研究は 2000 年代に入ってから欧米で多く行われた。

米国では、エネルギー省に属する国立研究所 (The National Renewable Energy Laboratory, NREL 等) が中心となり、ブラジルとの二国間共同研究として、Petrobras 製油所でのパイロットプラントによるバイオ原油製造法と水素化精製装置及び FCC での実証を 2015 年に終了している。

これまでの co-processing の研究事例のレビューでは、原料種が異なった時の製品留分得率の変動が何に起因しているか、一貫性のある説明ができていないとの指摘もあるなど、解明すべき技術課題は依然残っている。

加えて、性状安定性、貯蔵安定性、バイオ原料中のアルカリ金属等の不純物 (水素化精製触媒の劣化を引き起こす) の対策が必要となる。また、バイオ燃料は通常、鉱油由来製品より高価なため、油価が下落した時の製造コスト対策も必要となる。

このような状況を踏まえ、米国 NREL では、あらたにパイロットプラントを建設し 2016 年 10 月からプロジェクトを進めている。また、EU の Horizon2020 研究プロジェクトでも産学による共同研究が進められている。

Co-processing 用バイオ原油の製造法研究として、3-1(3)で述べた 2 つの技術について以下に略記する。

#### (1) 熱分解法 (Pyrolysis)

バイオマスを無酸素下で、毎秒 100℃以上で高速加熱 (450~600℃) の後、熱分解蒸気を急速凝縮すると、熱分解油を 60~75%の収率で得られる。

熱分解油は、従来の熱および発電用途 (ボイラー、炉、タービンなどの固定ユニット) が一般的であったが、あらたに、低炭素の輸送用液体バイオ燃料の製造原料となるバイオ原油としての利活用が検討されている。

バイオ原油と鉱油との co-processing では、水素化精製処理装置を利用した場合は軽油留分、FCC を利用した場合はガソリン留分やバイオ LPG が主に生成される。

熱分解法プロセスの開発は、石油精製プロセスをライセンスしているエンジニアリング会社をパートナーとして事業化を推進している。

表 7 熱分解法プロセスライセンサー

ライセンサー	パートナー	プロセス
Ensyn Technologies (カナダ)	UOP (米国)	急速熱分解
Anellotech (米国)	Axens (フランス)	触媒熱分解
GTI (米国)	Shell Catalysts & Technologies (英国)	IH2 プロセス (水素化熱分 解/水素転換統合型)
BTG (オランダ)	TechnipFMC (英国)	急速熱分解

出所: 各種資料をもとに JPEC 作成

#### (2) 水熱液化法 (Hydrothermal liquefaction, HTL)

この技術は、反応温度 250~550℃、圧力 5~25MPa の亜臨界から超臨界領域で、反応時間 20~60 分のバイオマス液化反応である。生成するバイオ原油は、熱分解バイオ原油の約 2 倍のエネルギー密度

と原油に近い発熱量を有し、水熱液化法に必要なエネルギーも熱分解法より少ないことを優位点としている。しかし、熱分解法よりも技術課題が多いことから大型装置の建設には至っていない。

北欧や北米での研究事例が多いが、いずれもパイロット研究レベルであり、ライセンスとして活動が盛んな企業は豪欧米の5社である(表8)。

地域のバイオマス資源に応じた技術開発を行っており、Steeper Energy や Bio2Oil は豊富な森林資源を活用するプロセスを開発している。

Genifuel や Eni は、食品廃棄物等バイオ系都市廃棄物からのバイオ原油製造を狙っている。

表8 水熱液化法プロセスライセンス

ライセンス	プロセス名
Licella (豪州)	Cat HTR process
Steeper Energy (カナダ)	Hydrofraction
Genifuel (米国)	HTP process
Eni (イタリア)	W2F process
Bio2Oil (デンマーク)	—

出所：各種資料をもとにJPEC作成

### 3-4. バイオ原料油の特性と要件

国際エネルギー機関 (International Energy Agency, IEA) 内に設けられている Bioenergy Task39 では、co-processing 技術について調査を行っており、製油所の装置に投入するバイオ原料油を4つに分類(油脂、熱分解油、水熱液化油、フィッシャー・トロップシュ (FT) 液体) し、それらの特徴について整理している(表9)。

表9 製油所プロセス向けバイオ原料油の特徴と要件

油種	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 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%酸素、Heff/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 熱分解または接触分解 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 bio-oils)	低酸素含有量 (範囲：6~18%) 低水分含有量 (<10%)	酸素除去 重質分の分解 芳香族の水素化分解
フィッシャー・ トロップシュ (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

出所：IEA Bioenergy Task 39<sup>5</sup>

<sup>5</sup> <https://www.ieabioenergy.com/publications/new-publication-drop-in-biofuels-the-key-role-that-co-processing-will-play-in-its-production/>

また、原油と各バイオ原料油の元素構成の比較を表 10 に示した。

表 10 原油とバイオ原料油の元素構成比較

元素	原油	水熱液化油	植物油(大豆油)	急速熱分解油	触媒急速熱分解油
C, wt%	83~86	81.4	77.6	55~65	72
H, wt%	11~14	8.7	11.7	5~7	6.4
O, wt%	<1	9.8	10.4	28~40	21.5
S, wt%	<4	0.01	0.0006	<0.05	—
N, wt%	<1	0.095	0.0011	<0.4	0.02

出所：IEA Bioenergy Task 39

FT 合成法以外によるバイオ中間体は酸素含有量が多いことが特徴であり、この酸素原子の除去プロセスが必要となる。

さらに、熱分解法でも、加熱の速度や温度により生成物の組成に大きな変化をもたらすことがわかっている。

このように、バイオ由来の原料は通常の原油処理とは異なる技術対応が求められることとなり、co-processing を行う製油所では運転ノウハウも含め技術蓄積が必要となる。

### 3-5. Co-processing 製品中のバイオ比率の定量課題

加州大気資源局（CARB）が定期的で開催する LCFS 会議<sup>6</sup>では、2017 年 2 月にディスカッション・ペーパー“Co-processing of Low Carbon Feedstocks in Petroleum Refineries”<sup>7</sup>をとりまとめ、製油所に導入する際の課題として、バイオ起源炭素の認証法に関する論点を盛り込んでいる。

加州 LCFS は、バイオ起源炭素の定量法として放射性同位体である炭素 14（<sup>14</sup>C）測定<sup>8</sup>による分析法を導入済みである。鉱油とバイオ原油の混合処理による製品中のバイオ比率の特定は、米国連邦の RIN 規制にもかかわってくるものであるが、連邦としての分析法の統一は行われていない。

欧州でもバイオ燃料の配合率の定量法について議論が行われており、本年 6 月に開催された欧州委員会主催ワークショップでは、co-processing によるバイオ燃料が EU 加盟国間で流通が拡大することに備え、現在は加盟国独自に行っている分析法を EU で統一できるかの議論を行ったが、意見は一致しなかった<sup>9</sup>。引き続き検討が行われることとなっている。

## 4. おわりに

欧米の製油所で進められているバイオ燃料製造は、製油所で蓄積された技術とアセットを最大限に活用し、投資を抑えつつ、製油所と燃料製品の GHG 削減対策に生かす技術として事業展開が進んでいる。

<sup>6</sup> [https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs\\_meetings/lcfs\\_meetings.htm](https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs_meetings/lcfs_meetings.htm)

<sup>7</sup> [https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs\\_meetings/020717\\_staffdiscussionpaper.pdf](https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/lcfs_meetings/020717_staffdiscussionpaper.pdf)

<sup>8</sup> 加速器質量分析装置（AMS）を用いてバイオマス製品中のバイオマス由来炭素 <sup>14</sup>C 濃度を測定する。<sup>14</sup>C は、地表では <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C ≒ 10<sup>-12</sup> 比で存在し、半減期が 5730 年。遺跡の年代測定に用いる方法と同様。

<sup>9</sup> REDII Stakeholder meeting（2020 年 6 月 19 日）に関するヒアリング



エネルギーの有効利用の観点から、幅広いバイオマス資源の利用による付加価値品への転換技術として、製油所での **co-processing** は注目技術のひとつである。

しかし、バイオマス資源は国や地域により多種に亘るため、投入するバイオ原料の装置や運転条件への影響が最小限となるような対応が求められる。

バイオマス資源をバイオ原油に変換する技術は、欧米で学術研究が多く報告されているが、技術的に克服すべき課題が依然残っており、限られた企業が事業化を目指している状況である。欧米政府共にこの分野への研究支援を行っており、低炭素燃料製造技術の研究テーマの一つとして、その動向をウォッチすることは重要と考える。

JPEC では、石油産業における気候変動対策を踏まえたエネルギー転換戦略動向調査として、欧米で行われている多様なバイオマス資源を利用した製油所施設での燃料製造について、我が国での石油産業の在り方の検討の参考材料として引き続き調査を行っていく。

#### 【参考資料】

2020 年度 JPEC フォーラム発表資料「GHG 排出量削減効果が期待される次世代液体燃料の製造スキームや将来見通しの調査(バイオ燃料)」 <http://web02.pecj.or.jp/japanese/jpecforum/2020/pdf/jf007.pdf>

(問い合わせ先)

一般財団法人石油エネルギー技術センター 総務部 調査情報グループ [pisap@pecj.or.jp](mailto:pisap@pecj.or.jp)

本調査は、一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC) が資源エネルギー庁からの委託により実施しているものです。無断転載、複製を禁止します。

Copyright 2020 Japan Petroleum Energy Center all rights reserved