

# ケミカルリサイクルの最新動向

(2023年1月～2024年3月)

混合廃プラ（PE/PP/PS）の熱分解法ケミカルリサイクル（CR）に関する約1年間のトピックスを中心にまとめた。2024年3月末現在、世界の熱分解油メーカー20社と石油化学企業延べ26社がCR事業に参入している。世界の廃プラ処理能力は計画を含め175万トンに達する。欧州は順調に工場建設が進んでいるが、米国は当初計画より遅れて、2024～25年に完成する工場はゼロである。ベンチャーのPrymeがオランダに新工場（4万トン/年）を完成させた。CR事業のバリューチェーンの構築が多数発表された。

2024年5月



株式会社 旭リサーチセンター

シニアリサーチャー 府川伊三郎

主幹研究員 下田晃義

## まとめ

- ◆CR はバージン並みの再生材品質が得られやすく、また EU の容器包装プラスチック規制やユーザーからの再生プラスチック供給要請に対応しやすい。 (3 頁)
- ◆CR の中では、混合廃プラ (PE/PP/PS) を無酸素条件で熱分解してナフサなどの石油化学原料を得る熱分解法 CR が中心である。石油化学企業延べ 26 社と熱分解油メーカー 20 社が提携して熱分解法 CR 工場の建設が進んでおり、世界の混合廃プラ処理能力は計画を含め総計約 175 万トン/年に達した。 (4-5 頁)
- ◆欧州では順調に熱分解油工場が拡大している。Plastic Energy が 4 工場を増やしつつあり、また Mura Technology の本工場が稼働を開始した。新たに Pryme がオランダ・Rotterdam に 4 万トン/年 (熱分解炉 1 基) の工場の稼働を開始した。LyondellBasell はドイツ・Wesseling に自社技術による新工場を建設する最終投資決定を行った。 (6-9 頁)
- ◆米国は、ExxonMobil の自社技術工場が稼働開始した。ただし、その他の熱分解油メーカーの新增設計画が具体化せず、2024~25 年に完成する工場はゼロである。 (10-13 頁)
- ◆日本と韓国で工場建設が開始され、マレーシアとオーストラリアで建設計画が具体化した。2024 年には三菱ケミカルの鹿島 CR 工場が完成する予定である。 (13-14 頁)
- ◆熱分解油メーカーと石油化学企業の提携関係情報をアップデートした。 (15-16 頁)
- ◆各社の技術開発情報をアップデートした。そこには、Pryme の新技術、ExxonMobil と OMV の溶媒を使用する熱分解法技術などの新情報が含まれる。 (17-19 頁)
- ◆熱分解法の課題とその対策を再整理した。 (20-21 頁)
- ◆CR のバリューチェーン (廃プラの収集・選別・前処理/熱分解/精製・アップグレード/ナフサクラッキング/プラスチック製造/プラスチック加工/最終製品) を構築する企業の発表が増加した。世界の 14 の実例を取り上げた。 (21-27 頁)
- ◆石油化学企業 24 社の最新のトピックスを集約した。 (27-35 頁)
- ◆熱分解油メーカー 20 社の最新のトピックスを集約した。 (35-44 頁)
- ◆PureCycle Technologies による PP の溶媒ベース精製法工場 (オハイオ州、4.8 万トン/年) が完成し、稼働を開始した。立ち上がり段階で、稼働率はまだ低い。 (45-46 頁)

# 目 次

はじめに.....	1
用語・略語（順不同）.....	1
1. ケミカルリサイクル（CR）とは.....	3
2. 混合廃プラの熱分解法ケミカルリサイクル（CR）の最新トピックス.....	4
2.1 石油化学企業と熱分解油メーカーによる熱分解油工場の建設状況.....	5
2.2 欧州の状況（表 3、図 2、3）.....	6
2.3 米国の状況.....	10
2.4 日本、韓国、東南アジア、オーストラリアの状況.....	13
2.5 熱分解油メーカーと石油化学企業の提携.....	15
2.6 熱分解法の技術情報のアップデート.....	17
2.7 熱分解法の課題と対策.....	20
2.8 熱分解法 CR のバリューチェーン（またはサプライチェーン）.....	21
2.9 石油化学企業各社の最近のニュース.....	27
欧州：(1)BASF (2)Dow (3)LyondellBasell (4)Sabic (5)Ineos (6)Borealis (7)OMV (8)Neste Oyj (9)Versalis (10)Shell (11)TotalEnergies (12)ExxonMobil	
米国：(13)TotalEnergies (14)ExxonMobil (15)Shell (16)Chevron Phillips Chemical (17)Dow (18)Braskem (19)LyondellBasell	
日本：(20)三菱ケミカル (21)出光興産	
韓国：(22)LG Chemical (23)GS Caltex (24)SK Geo Centric	
2.10 熱分解油メーカー各社の最近のニュース.....	35
(1)Quantafuel (2)Plastic Energy (3)Mura Technology (4)Licella (5)Fuenix Ecology Group (6)ARCUS Greencycling Technologies (7)Indaver (8)Valoregen (9)Renasci NV (10)BlueAlp (11)Pryme (12)Brightmark Energy (13)Encina Development Group (14)Honeywell UOP (15)Alterra Energy (16)Nexus Circular (17)New Hope Energy/Lummus (18)Braven Environmental (19)環境エネルギー (20)Itero	
3. PureCycle Technologies の PP 溶媒ベース精製法.....	45
おわりに.....	47
参考文献.....	48

## はじめに

本レポートは、2023年7月に発行したARCレポート「世界で建設が進むケミカルリサイクルプラントの動向」（参考文献(1)）の続編で、主に2023年1月から2024年3月までのトピックスをまとめたものである。

今回は、混合廃プラ（PE/PP/PS）の熱分解法を中心に<sup>1</sup>、工場建設計画、事業参入した石油化学企業と熱分解油メーカーの状況と提携関係、技術開発、課題と対策についての情報をアップデートした。

また、新たに混合廃プラ（PE/PP/PS）の熱分解法CRのバリューチェーン構築に向けた企業の取り組みを集約した。廃プラの回収・選別から熱分解を経て、最終のプラスチック加工製品までのサプライチェーンである。熱分解法に限らずCR全体について、原料の廃プラの確保が最大の課題になっている。

2023年度の最大のトピックスは、新たに登場した熱分解油技術ベンチャーのPryme（オランダ）である。既に処理能力4万トン/年の工場を稼働しているということで、驚きである。その他の技術開発のトピックスを紹介する。

一方、米国では環境擁護団体から熱分解油メーカーの新設・既設の工場の稼働率が低く、また環境上の問題があると指摘されている。これについても紹介する。

本レポートの後半には、混合廃プラ（PE/PP/PS）の熱分解法CRに取り組む石油化学企業24社と熱分解油メーカー20社のトピックスを集約した。

## 用語・略語（順不同）

- ・メカニカルリサイクル（Mechanical Recycling（略：MR））：粉砕、洗浄、造粒により機械的に廃プラをリサイクルする方法。マテリアルリサイクルと同じ意味。
- ・ケミカルリサイクル（Chemical Recycling（略：CR））：ポリマーを化学反応で分解して、モノマーや化学品にするリサイクル方法。Advanced Recyclingともいう。CRの手

---

<sup>1</sup> 2023年度に大型工場が稼働を開始した溶媒ベース精製法についても簡単に触れた。

法としては、解重合法、熱分解法（油化法）、ガス化法、コークス炉化学原料化法、高炉還元剤法などがある。

- ・リサイクラー（Recycler）：廃プラの再生処理により再生材を製造する企業。
- ・再生材：本レポートでは再生プラスチックの意味で使用。
- ・廃プラ（廃プラスチック）：使用済みプラスチック、プラスチック廃棄物と同じ意味。
- ・CRの設備能力：廃プラの処理能力。別に、熱分解油の生産能力を意味する場合もある。
- ・熱分解油メーカー：本レポートでは熱分解油製造企業と熱分解技術を持つ企業の総称。
- ・アップグレーディング（upgrading）：石油については、「品質の悪い石油を品質の良い付加価値の高い石油に変える操作をいう。石油精製において、残油などの重質成分を分解して、軽油、灯油、A重油などの付加価値の高い軽質製品にすることを特にアップグレーディングとよぶ」<sup>2</sup>。CRの熱分解油についても、重質成分をFCCや水素化分解によりナフサなどの軽質留分にすることをアップグレーディングと呼ぶ。
- ・FCC（流動接触分解）：「反応温度は430～550℃、圧力は移動層式で約2kg/cm<sup>2</sup>、流動層式で0.7～1.1kg/cm<sup>2</sup>程度である。再生温度は550～660℃である。最近ではゼオライト触媒が主流であるが、シリカアルミナ触媒も使用される。反応生成物の収率の一例は原料油に対して大体ガソリン30～60vol%、B-B留分5～10vol%、C3以下のガス5～10wt%、分解軽油20～50vol%、コークス5～10wt%程度である」<sup>3</sup>。  
通常、製油所には大規模なFCC設備が備わっている。
- ・水素化分解：「水素化分解とは、炭化水素を高温・高圧下、水素気流の中で触媒を用いて分解し、より軽質の炭化水素に転化させることである。」<sup>4</sup>
- ・オフテイク契約：供給者と購入者の間で、供給者が提供する予定の商品・サービスの全部または一部を購入または販売するための取り決め（長期供給契約の場合が多い）。
- ・PE/PP/PS：PE（ポリエチレン）、PP（ポリプロピレン）、PS（ポリスチレン）からなる混合廃プラの場合に使用する。

---

<sup>2</sup> 出所：JOGMEC 資料 (<https://oilgas-info.jogmec.go.jp/termlist/1000201/1000217.html>) に基づき作成。

<sup>3</sup> 出所：JOGMEC 資料 (<https://oilgas-info.jogmec.go.jp/termlist/1001027/1001092.html>) に基づき作成。

<sup>4</sup> 出所：JOGMEC <https://oilgas-info.jogmec.go.jp/termlist/1000971/1000980.html>

## 1. ケミカルリサイクル（CR）とは

プラスチックのリサイクルには、メカニカルリサイクル（MR）とケミカルリサイクル（CR）があり、その中間的なものとして溶媒ベース精製法がある。

CRの中では、資源循環のクローズドループを形成できる熱分解法と解重合法が注目され、工場建設が世界的に進められている。

CRが注目されている理由としては、次が挙げられる。

①現在、EUの容器包装廃プラに関する各種規制をクリアする必要があるが、MRだけでは数量的に達成困難なことが明らかになり、CRで量的に補完する必要がある。MRしにくい軟質廃プラや汚染された廃プラもCRはリサイクルできる。

EUの容器包装廃プラに関する各種規制としては、リサイクル率目標（2030年に55%以上）、ボトルの再生材含有量規制（2030年に30%以上）、プラスチック税（実施中、0.8ユーロ/kg）などがある（参考文献（2）13頁参照）。

2030年には、EUの規制が世界標準になる可能性がある（参考文献（2）5頁参照）。

②EUの廃プラの埋め立て規制（2035年までに埋め立て比率を10%以下にする）をクリアする必要がある。また国際的に廃プラ輸出が大幅に制限されたので国内で廃プラを処理しなければならなくなった。欧米ではそれらの解決策として廃プラの焼却ではなく、CRが選択されている。廃プラ処理の大部分が焼却され、埋め立てが少ない日本とは状況が異なる。

③循環経済への移行を重視する消費財ブランドメーカー（P&G、Unilever、Coca-Colaなど）から石油化学企業に再生プラスチックの供給要請があり、これに応える必要がある。

④CRは着色や汚染がある廃プラを原料にしても、熱分解油やモノマーの段階で精製ができるのでバージン並みの再生プラスチックが得られる。また、再生プラスチックを食品用の容器包装に使用できる。

⑤CRは原理的に繰り返しリサイクルが可能である。

⑥CRはMRと異なり、石油化学企業が自ら主導的に進めることができる。

## 2. 混合廃プラの熱分解法ケミカルリサイクル(CR)の最新トピックス

現在 CR の中で最も注目されているのは、混合廃プラの熱分解法（油化法とも呼ばれる、英語は「Pyrolysis of mixed waste plastics」）である。

混合廃プラの熱分解法では、まず、①混合廃プラ（PE/PP/PS）<sup>5</sup>を「無酸素条件下」で熱分解して熱分解油（ナフサなど）を製造、次いで②再生ナフサをバージンナフサと混合してナフサクラッキングしてエチレン、プロピレン、ベンゼンなどを製造、③それらを原料に PE、PP、PS を製造する。これにより、クローズドループが形成される（図 1）。

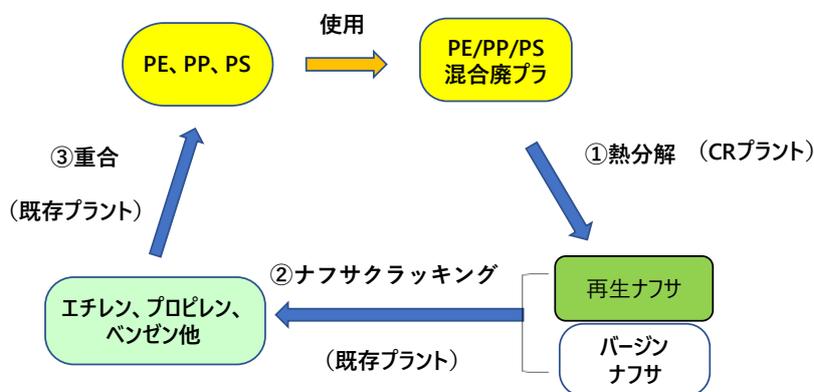


図 1 混合廃プラの熱分解・ナフサクラッキング・重合によるリサイクル(クローズドループ)

出所：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

熱分解法の原料の混合廃プラ（PE/PP/PS）は、分別することなく処理できることがメリットである。ただ、少量含まれる PVC と PET は熱分解反応の障害となることがあるので、事前に選別されることが多い。

この熱分解法 CR については、バージンナフサと再生ナフサの混合使用においても、マスバランス方式により必要な製品に再生材含有量を配分できる。マスバランス方式は CR にとって大きなメリットであり、CR を強く推進する力となっている（参考文献(2)19 頁参照）。マスバランス方式は ISCC(International Sustainability & Carbon Certification) や RSB など国際的に認証される。

<sup>5</sup> 混合廃プラ(PE/PP/PS)は、PE、PP、PS からなる混合廃プラを意味する。容器包装廃プラの大部分を占める。

## 2.1 石油化学企業と熱分解油メーカーによる熱分解油工場の建設状況

2022 年末に集計した地域別の熱分解油工場の年間処理能力推移を表 1 に示す。これは各社の発表を積み上げたもので、世界の年間処理能力の総計は 184 万トンであった。

表 1 混合廃プラ(PE/PP/PS)の熱分解油工場の年間処理能力推移(2022 年末)

	完成済み	2023～2024年 完成見込み	2025年以降 完成見込み	総計
欧州	10万トン	20万トン	52万トン	82万トン
米国	14万トン	57万トン	15万トン	86万トン
日本	0	2万トン	2万トン	4万トン
韓国	0	0	12万トン	12万トン
総計	24万トン	79万トン	81万トン	184万トン

出所：ARC リポート（参考文献（1））。

表 2 に、2024 年 3 月末に同様の集計をしたものを示す。こちらは発表後数年以上経過し、具体的展開がないものは集計に入れなかった。また、2025 年以降に完成見込みの 10 万トン/年を超える大規模の計画（例：30 万トン/年）については、仮に 10 万トン/年として集計した。

欧州は確実に熱分解油工場が増加して総計 97 万トンになる。一方、米国は 2024～2025 年に完成見込みの工場がなく、2026 年以降も計画が少ないため、総計 50 万トンにとどまった。世界の総計は 175 万トン/年である。

表 2 混合廃プラ(PE/PP/PS)の熱分解油工場の年間処理能力推移(2024 年 3 月末)

	完成済み	2024～25年 完成見込み	2026年以降 完成見込み	総計	石油化学 企業	熱分解油 メーカー
欧州	14.7万トン	14.3万トン	68.3万トン	97.3万トン	12社	12社
米国	13.5万トン	0	36.3万トン	49.8万トン	7社	7社
日本	0	4万トン	0	4万トン	2社	1社
韓国	0	8.6万トン	0	8.6万トン	3社	0社
その他	0	0	15.3万トン	15.3万トン	2社	(2社)
総計	28.2万トン	26.9万トン	119.9万トン	175.0万トン	26社	20社

出所：表 3～5 に基づいて、旭リサーチセンター作成。

## 2.2 欧州の状況（表3、図2、3）

表3 欧州における熱分解油工場の現有設備と建設計画（2024年3月末現在）

稼働中の熱分解油工場 合計処理能力 14.7万トン/年					
熱分解油メーカーまたは熱分解技術保有企業	工場所在地	提携石油化学メーカー	処理能力万トン/年	稼働年	備考
Quantafuel	デンマーク・Skive	BASF	1.6	2022末	QuantafuelはVirdor資本に
Plastic Energy	スペイン・Almeria	TotalEnergies	0.5	2,015	
Plastic Energy	スペイン・Seville	TotalEnergies	0.5	2,017	
Mura Technology	イギリス・Teesside	Dow	(液体) 2	2023	2023年10月試運転開始
Pryme	オランダ・Rotterdam	Shell	4	2023	
Fuenix Ecogy	オランダ・Weert	Dow	2	~2022	Fuenix EcogyはSulzer資本に
ARCUS	ドイツ・Frankfurt	BASF	0.4	2022	
Renasci	ベルギー・Ostend	Borealis	2	2020	BorealisはRenasciに出資。
BlueAlp	ベルギー・Ostend	Shell	1.7	2020	ShellはBlueAlpに出資
2024~25年稼働予定の熱分解油工場 合計処理能力 14.3万トン/年 (稼働年は発表時のもの)					
Plastic Energy	フランス・Le Havre	ExxonMobil	3.3	2023	ExxonMobilプラントに隣接
Plastic Energy・Sabic	オランダ・Geleen	Sabic	2	2024	まもなく完成
Plastic Energy・TotalE.	フランス・Grandpuits	TotalEnergies	1.5	不明	2023.7発表
Indaver	ベルギー・Antwerp	TotalEnergies	2.6	2024	建設中
OMV	オーストリア・Schwechat	OMV	1.6	2024~25	S.R.S.と共同開発、建設中
Versalis (ENIグループ)	イタリア・Mantua	Versalis	0.6	2025	Versalisの自社技術
Itero	オランダ・Sittard-Geleen	不明	2.7	2025	2024.1発表
2026年以降稼働と推定される熱分解油工場 合計処理能力 68.3万トン/年 (稼働年は発表時のもの)					
BlueAlp・Shell合弁	オランダ2工場	Shell	3	2023	2022.10発表
Plastic Energy	スペイン・Seville	TotalEnergies	3.3	2025	2022.1発表
LyondellBasell	ドイツ・Wesseling	LyondellBasell	5	2025	自社技術、FID (2023.11)
Honeywell (ライセンス)	トルコ・Izmir 地域	Biotrend Energy	6	2025	2023.4発表
Mura Technology	イギリス・Teesside	Dowほか	6	未定	
Plastic Energy	ドイツ・Köln	Ineos	10	2026末	2022.10 (MOU) 発表
Mura Technology	ドイツ・Böhlen	Dow	12	2025	2023年予定のFIDはまだ発表されていない
Quantafuel	イギリス・Sunderland		10	2025	2024.2同社ウェブ
ARCUS	ドイツ・Frankfurt	BASF	10	未定	
Valoregen	フランス・Damazan	Dow	未定	未定	MR&CRのハイブリッド工場。MR中心、将来7万トン
Alterra	オランダ・Vlissingen	NesteとRavago合弁	未定	未定	2021.10発表
Honeywell & Sacyr	スペイン・Andalucía	TotalEnergies	3	2023	2021.11発表
粗（クルード）熱分解油を複数のメーカーから集めて精製・アップグレードする専用プラント					
Shell	オランダ・Moerdijk	BlueAlp, Pryme	5	2024	2023.9発表
Neste	フィンランド・Porvoo	Mura Technology	15	2025	2023.6発表

注：黄色地は実現の確度が高いもの（筆者見解）。

出所：各社発表などに基づいて旭リサーチセンターが作成（2024年3月末現在）。



稼働中の熱分解油工場	
熱分解油メーカーまたは熱分解技術保有企業	工場所在地
Quantafuel	デンマーク・Skive (スキーブ)
Plastic Energy	スペイン・Almeria (アルメリア)
Plastic Energy	スペイン・Seville (セビリア)
Mura Technology	イギリス・Teesside (ティーズサイド)
Pryme	オランダ・Rotterdam (ロッテルダム)
Fuenix Ecology	オランダ・Weert (ヴェールト)
ARCUS	ドイツ・Frankfurt (フランクフルト)
Renasci	ベルギー・Ostend (オーステンデ)
BlueAlp	ベルギー・Ostend (オーステンデ)
2024~25年稼働予定の熱分解油工場	
Plastic Energy	フランス・Le Havre (ル・アーブル)
Plastic Energy・Sabic	オランダ・Geleen (ヘレーン)
Plastic Energy・TotalE.	フランス・Grandpuits (グランピュイ)
Indaver	ベルギー・Antwerp (アントワープ)
OMV	オーストリア・Schwechat : (シュヴェヒャート) ウィーン空港隣接
Versalis (ENIグループ)	イタリア・Mantua (マントヴァ)
Itero	オランダ・Sittard-Geleen
2026年以降稼働と推定される熱分解油工場	
BlueAlp・Shell合併	オランダ2工場
Plastic Energy	スペイン・Seville (セビリア)
LyondellBasell	ドイツ・Wesseling (ヴェッセリング)
Honeywell (ライセンス)	トルコ・Izmir 地域
Mura Technology	イギリス・Teesside (ティーズサイド)
Plastic Energy	ドイツ・Köln (ケルン) : Ineosのcomplex所在地
Mura Technology	ドイツ・Böhlen (ベーレン) : Dowのcomplex 所在地
Quantafuel	イギリス・Sunderland (サンダーランド)
ARCUS	ドイツ・Frankfurt (フランクフルト)
精製・アップグレードする専用プラント	
Shell	オランダ・Moerdijk (ムールダイク) : ロッテルダム近郊
Neste	フィンランド・Porvoo (ポルヴオー) : ヘルシンキ近郊 (50Km)

図 2 欧州の CR 工場の立地(上)

図 3 欧州の CR 工場の立地(拡大図)(下)

出所：右の表は表 3 の抜粋である。図 2、3 の出所は各種資料より旭リサーチセンター作成。

## (1) 概要

- ①欧州は着実に熱分解油工場の処理能力が拡大している。これは、Plastic Energy の工場が着実に増えていること、Mura Technology (Mura と略す) の Teesside 工場が 2023 年に稼働開始し、今後 Mura 技術による新增設が進むことがまず挙げられる。
- ②BlueAlp (ベルギー工場) と Shell、Renasci (ベルギー工場) と Borealis の間で資本関係を含めた強固な関係が構築されている。また、Indaver はベルギーに工場建設中であり、Itero のオランダ工場建設もある。
- ③自社技術開発中の石油化学企業では、Lyondellbasell がドイツ新工場建設の最終投資決定を発表し、OMV はオーストリア工場建設中、Versalis (ENI グループ) もイタリアにデモ工場を建設中である。
- ④欧州のトピックスは、新たに登場した熱分解油技術開発ベンチャーの Pryme である。新工場をオランダ・Rotterdam に建設して、2023 年第 3 四半期から稼働を開始している。熱分解炉 1 基で、4 万トン/年の廃プラを処理し、3 万トン/年のオイル (熱分解油) を生産する工場である。コスト競争力のあるプロセスと推定され、非常に注目される (次頁に詳細説明)。
- ⑤粗 (クルード) 熱分解油を集めて精製・アップグレードする精製専用工場の建設計画が、Shell (オランダ、5 万トン/年) と Neste (フィンランド、当初 15 万トン/年) から 2023 年に発表された。複数の熱分解油メーカーから集めた粗熱分解油を精製し、複数の石油化学企業に石油化学原料として供給する計画であろう (Shell は Pryme、BlueAlp などから、Neste は Mura などから粗熱分解油を入手か)。  
Neste はこれまで使用済み植物油 (Used Cooking Oil など) を大規模に収集し、これを水素化処理して HVO (水素化処理植物油) を製造するビジネスモデルで成功しており、世界トップの HVO (再生ディーゼル油) や SAF の製造メーカーになっている。
- ⑥熱分解油メーカーの Quantafuel (フィンランド) は、イギリスの大手リサイクラーの Viridor によって完全に買収された。現在、Quantafuel は熱分解油工場をイギリス・Sunderland に建設する計画している。同じく、熱分解油メーカーの Fuenix Ecogy (オーストリア) の過半の株式を、Sulzer (スイスのエンジニアリング会社) が取得した。

## (2) Pryme(オランダ・Rotterdam、熱分解技術開発ベンチャー)<sup>6</sup>

2021年にオスロでIPOしたベンチャーで、反応器設計に長い経験を持つチームである。

2021年末にオランダ・Rotterdam工場(Pryme Oneと呼んでいる)の建設開始、2023年第3四半期に試運転開始、2024年1月19日に最初の熱分解油生産に成功した<sup>7</sup>。投資額は6,900万ユーロである。廃プラ処理能力4万トン/年、熱分解油(オイル)生産能力3万トン/年である。熱分解炉1基でこの処理(生産)能力を出せるのが最大の特徴である。

Prymeの発表資料によれば、Prymeは3万トンオイル/年(熱分解炉1基)に対し、競合のBluAlpは1.7万トンオイル/年(同4基)、Quantafuelは1.6万トンオイル/年(同4基)、Plastic Energyは1.1万トンオイル/年(同6基)である。

技術のポイントは、廃プラを押し出機で短時間(30秒)に20℃から300℃に急速昇温して水分と揮発分を除去しながら熱分解炉に5トン/時で供給することと、熱分解炉のコア温度設定とその温度コントロールにある。熱分解炉は容積20m<sup>3</sup>で電気加熱(600℃まで加熱可能)、無酸素条件で熱分解を行う。これにより効率的な分解を行い、廃プラの転化率は100%になる(熱分解でできた灰分中に有機物が含まれていない)。塩素などの不純物を除去するプロセスが含まれている。プロセスの経済性についても発表している。

Rotterdam工場で製造された熱分解油はShellに供給する。

次期計画として、Pryme Twoを発表している。これは熱分解炉3基でオイル生産能力9万トン/年である。オイルは複数の石油化学企業に供給する方針である。現在、パートナーと立地を検討中で、2026年稼働を目指している。

なお、2023年5月にLyondellBasellがPrymeに出資している<sup>8</sup>。

---

<sup>6</sup> <https://pryme-cleantech.com/>  
<https://pryme-cleantech.com/investors-relations> その中の下の方に記載されている会社報告書(Company reports)にある「Investor presentation Q3 2023」などを参照。

<sup>7</sup> <https://uk.marketscreener.com/quote/stock/PRYME-N-V-119018998/news/Pryme-N-V-produces-first-oil-45782132/>

<sup>8</sup> <https://www.lyondellbasell.com/en/news-events/corporate--financial-news/infinity-recycling-invest-nl-and-lyondellbasell-invest-in-pryme-to-accelerate-the-advanced-recycling-of-plastic-waste/>

## 2.3 米国の状況

表4に米国の状況を示す。

表4 米国における稼働中の熱分解油工場と建設計画(2024年3月末現在)

稼働中の熱分解油工場 合計処理能力 13.5万トン/年					
熱分解油メーカーまたは熱分解技術保有企業	プラント所在地	提携石油化学企業	処理能力万トン/年	稼働年	備考
ExxonMobil	米国・テキサス州・Baytown	ExxonMobil	3.6	2022年末	Exxonmobil自社技術
Alterra Energy	米国・オハイオ州・Akron	Nesteほか	2	2022	60トン/日
Nexus Circular	米国・ジョージア州・Atlanta	Braskem、Shellほか	1.7		50トン/日
New Hope Energy/Lummus	米国・テキサス州・Tyler	TotalEnergiesほか	5	2018	150トン/日
Braven	米国・ノースカロライナ州・Zebulon	CPChem	1.2		
2024～25年稼働予定の熱分解油工場 なし					
2026年以降に稼働予定の熱分解油工場 合計処理能力 36.3万トン/年					
熱分解油メーカーまたは熱分解技術保有企業	プラント所在地	提携石油化学企業	処理能力万トン/年	発表時の稼働予定年	備考
Encina (ベンゼン供給)	米国・ペンシルバニア州・Point. Township	Covestro (TDI、MDI、PU) AmSty (Stモノマー)	建設取りやめ発表 (2024.4.18)	2027年末	発表廃プラ処理40万トン、BTX20万トン (2024.1)
New Hope Energy/Lummus	米国・テキサス州・Gulf coast	TotalEnergies	10	2025	発表 (31万トン、2022.5)、TotalEnergiesのTexasプラントで、New Hope Energyのオイルをテスト (2024.1)
Nexus Circular	米国・ジョージア州、または・イリノイ州	候補：Shell、CPChem、Braskem、LyondellBasell	10	未定	2022.7および2023.1発表 (11～12万トン)
Freepoint Eco Systems (Alterra Energy技術)	米国・メキシコ湾湾岸	Shell	10	未定	2023.2発表 (19.2万トン、Alterra Energyがライセンス)
Plastic Energy	米国・テキサス州	TotalEnergies	3.3	2024	2021.10発表、Freepointと連携
Honeywell/Avangarad (リサイクラー) 合併	米国・テキサス州・Waller (Avangarad plant site)	不明	3	2023	2022.1発表
Plastic Energy	カナダ・オンタリオ州・Sarnia	Nova Chemical	未定	未定	2023.6発表 (FS検討)
その他 集計に入れていないもの					
Brightmark Energy	米国・インディアナ州・Ashley	燃料用途主体	10	完成済み	部分的なテスト運転が続く
Freepoint Eco Systems	米国・オハイオ州・Hebron	不明	9	2024	計画が遅れている。建設状況や技術内容が不明

注：黄色地は実現の確度が高いもの (筆者見解)。

出所：各社発表などに基づいて旭リサーチセンターが作成 (2024年3月末現在)。

## (1) 概況

- ①ExxonMobil が自社技術を工業化して、2022 年末に稼働を開始したことが大きなトピックスである。熱分解反応に炭化水素溶媒を使用することが大きな特徴である。同社は、このプロセスを世界の自社工場に展開すると表明している。まだ具体的発表はない。
- ②新規プロジェクトとしては、Encina による 45 万トン/年の廃プラを処理して、20 万トン/年の BTX（またはベンゼン）を生産する大型工場の建設が注目される。当初計画より、2 年程度遅れているが、同社は現在地元政府への申請など建設準備を進めている。ゼオライト触媒を用いた一段の流動層熱分解で、BTX を製造する技術である。Covestro とベンゼンのオフテイク契約締結を 2024 年 1 月に締結した。
- しかし、ごく最近、2024 年 4 月 18 日に同社は建設プロジェクトの取りやめを発表した（41 頁(13)参照）。
- ③既存大手熱分解油メーカー 4 社の Alterra Energy (Alterra と略す)、New Hope Energy /Lummus、Next Circular、Braven は、2022 年 5 月～2023 年 3 月にかけて新增設計画とそれに関する石油化学企業とのオフテイク契約締結を複数発表した。しかし、計画はまだ具体化されておらず、その他の熱分解油メーカーの計画も遅れているため、2024～25 年に完成予定の熱分解油工場は米国はゼロである（表 2、4）。
- 2023 年 4 月以降は、TotalEnergies が New Hope Energy の熱分解油をクラッカーに投入してテストをしたという発表<sup>9</sup>があったが、新規の工場建設計画の発表はなかった。

## (2) 米国における CR の推進と批判

- ①ACC（米国化学工業協会）の州政府と連邦政府・議会への CR 認定の働きかけ
- 2022 年 5 月 15 日の ACS の C&EN<sup>10</sup>によれば、米国 18 州が CR (Advanced Recycling) を推進する法案を成立させた（図 4 の青色の州）。その後 6 州で法案が成立し、合計 24 州になった（ニューハンプシャー州 (NH)、ミズーリ州 (MO)、ミシガン州 (MI)、ユ

<sup>9</sup> 2024 年 1 月 31 日発表:本レポート 32 頁の(13)TotalEnergies の項参照。

<sup>10</sup> <https://cen.acs.org/environment/recycling/plastic-recycling-chemical-advanced-fuel-pyrolysis-state-laws/100/i17>

タ州 (UT)、カンザス州 (KS)、インディアナ州 (IN、2023 年 4 月法案成立) の順で 6 州で法案が成立した)。図 5 は稼働中の大型 CR 工場の立地である。



図4 CR 推進法案が通過した 18 州(青色地)プラス 6 州



図 5 稼働中の大型 CR 工場の立地

図 4、5 の出所：ACS の C&EN (脚注 10) を基に旭リサーチセンター作成。

熱分解法の ExxonMobil (テキサス州)、New Hope Energy (テキサス州)、Nexus Circular (ジョージア州)、Alterra (オハイオ州)、Brightmark (インディアナ州)、溶媒精製法の PureCycle Technology (PureCycle と略す、オハイオ州)、PET の CR の Eastman Chemical (Eastman と略す、テネシー州) の工場は、いずれも推進する法案が通過している州にある(図 5)。熱分解法の Braven のノースカロライナ州はまだ法案が通過していない(図 5)。

これら法案では CR は製造施設として取り扱い、廃棄物処理設備とはみなさない。製造施設は廃棄物処理設備より、排ガスや排水の規制が緩い場合がある。また、製造設備の方が、政府の経済的支援を受けやすい場合がある。

これに対し、環境団体の Beyond Plastics の代表、Safer States のアドバイザー、NRDC (Natural Resources Defense Council) の研究者らは、「CR はエネルギー多消費型なので、上記の CR 推進の立法化は悪い方向である。NRDC の調査によれば、7 つの既存 CR 工場がエネルギー多消費型で汚染物質を発生している。また、CR により燃料を製造することについて上記の法律を適用すべきではない」との趣旨を述べている<sup>11</sup>。

## ②米国の CR (Advanced Recyclig) 事業の批判記事

2023 年 11 月 2 日の ACS の C&EN の記事<sup>12</sup>：(環境)擁護団体の Beyond Plastics と International Pollutants Elimination Network (IPEN) による詳細な報告書によると、「プラスチックの CR は大量の有毒廃棄物を生み出し、気候変動の一因となり、増大するプラスチック廃棄物問題に対する持続可能な解決策ではない。既存のリサイクル工場は稼働率が低く、環境的にも問題がある」という。

これに対して、ACC (米国化学工業協会) は Beyond Plastics/IPEN の報告書を「誤解を招く」かつ「虚偽」であると反発し、ACC の担当者はこの報告書は新しいデータを無視していると述べた。

## 2.4 日本、韓国、東南アジア、オーストラリアの状況

表 5 に日本、韓国、マレーシア、インドネシア、オーストラリアの熱分解油工場建設の状況を示す。トピックスは、まず日本の三菱ケミカルによるアジア最初の大規模熱分解油工場 (鹿島) の建設である。2024 年に完成する予定である。また、韓国の LG ケミカルと SK Geo Centric が着工し、Plastic Energy と PCG (Petronas:マレーシア) の計画に最終投資決定がなされたことが注目される。一方、オーストラリアの Licella らは、

---

<sup>11</sup> <https://cen.acs.org/environment/recycling/plastic-recycling-chemical-advanced-fuel-pyrolysis-state-laws/100/i17> (脚注 10 と同じ)

アイオワ、オハイオ、テキサス州は熱分解法による燃料製造も CR に含めている。

<sup>12</sup> <https://cen.acs.org/environment/recycling/Chemical-recycling-wont-fix-plastic/101/web/2023/11>

Advanced Recycling Victoria 社を設立し、Melbourne に熱分解油工場を建設することを 2023 年 8 月に発表した。また、G20 Bali サミットの際に、ExxonMobil、PT Indomobil Prima Energi (IPE)、Plastic Energy は共同してインドネシアに大規模 CR 工場を建設することに関する事前評価をすることで合意した。処理能力 10 万トン/年で 2025 年稼働を見込んでいる（2022 年 11 月 13 日発表<sup>13</sup>）。

インドの Reliance Industries は、熱分解油を原料とする再生 PE と再生 PP の販売を発表した。既存の熱分解油メーカーから入手したオイルを原料に試作したもので、Reliance 自身は連続の触媒熱分解プロセスを開発し、スケールアップを検討している（2023 年 12 月 29 日発表<sup>14</sup>）。

表 5 日本、韓国、東南アジア、オーストラリアにおける稼働中の熱分解油工場と建設計画

稼働中の熱分解油工場 なし					
2024～25年稼働予定の熱分解油工場 合計処理能力 12.6万トン/年					
熱分解油メーカーまたは熱分解技術保有企業	工場所在地	提携石油化学メーカー	処理能力万トン/年	稼働予定年	備考
三菱ケミカル・ENEOS Mura-KBR (ライセンス)	日本・茨城県・鹿島	三菱ケミカル・ENEOS	2	2024	
ケミカルリサイクル・ジャパン (環境エネルギーと出光興産の合弁会社)	日本・千葉県・市原市	出光興産	2	2025年度	正式投資決定
LG Chemical Mura-KBR (ライセンス)	韓国・South Chungcheong・Dangjin	LG Chemical	2	2024	着工 (2023.3)
SK Geo Centric Plastic Energy (ライセンス)	韓国・Ulsan	SK Geo Centric	6.6	2025年末	着工 (2023.11)
2026年以降の稼働と推定される熱分解油工場 合計処理能力 15.3万トン/年					
Plastic Energy	マレーシア・ジョホール州・Pengerang	PCGC (Petronas)	3.3	2026年前半	FID (2023.10)
Advanced Recycling Victoria (Licella技術、オーストラリア)	オーストラリア・Melbourne	LyondellBasell	2	2025	Arcor、Mondelēzが投資 (2023.8発表)
ExxonMobil、PT Indomobil Prima Energi (IPE)、Plastic Energy (インドネシア)			10	2025年末	2022.11発表
Mura-KBR	韓国	GS Caltex	未定	未定	

注：黄色地は実現の確度が高いもの（筆者見解）。

出所：各社発表などに基づいて旭リサーチセンターが作成（2024年3月末現在）。

<sup>13</sup> <https://www.chemicalrecycling.eu/news/exxonmobil-pt-indomobil-prima-energi-and-plastic-energy-collaborate-to-accelerate-plastic-recycling-in-indonesia/>

<sup>14</sup> <https://rilstaticasset.akamaized.net/sites/default/files/2023-12/Reliance-Industries-Becomes-First-in-India-to-Use-Chemical-Recycling-for-Circular-Polymers.pdf>

## 2.5 熱分解油メーカーと石油化学企業の提携

熱分解油メーカーと石油化学企業の提携関係を模式的に図6に示す。ポイントは以下の通りである。

- ①提携の中心は、Plastic Energy と Mura の2社である。Plastic Energy は石油化学企業と提携しながら、自ら投資して複数の工場を建設しているのが特徴である。
- ②熱分解油メーカーはライセンスに積極的である。Plastic Energy (ライセンス先：SK Geo Centric)、Mura (同：三菱ケミカル、LG Chemical、GS Caltex)、Alterra (同：Neste)、Honeywell (同：米国、韓国、中国、トルコの企業)、OMV などである。Mura は2万トン/年の自社本工場がスタートする前からライセンスを行っている。
- ③資本提携しているのは、Borealis と Renasci、Shell と BlueAlp、Braskem と Nexus Circular である。Plastic Energy と TotalEnergies、Mura と Dow も戦略的提携をしている。
- ④オフテイク契約が米国の既存4社 (Alterra、New Hope Energy、Nexus Circular、Braven) 中心に複数結ばれている。いわゆる青田買いであり、重複しているところもあり最終的にどう具体化するかはわからない。

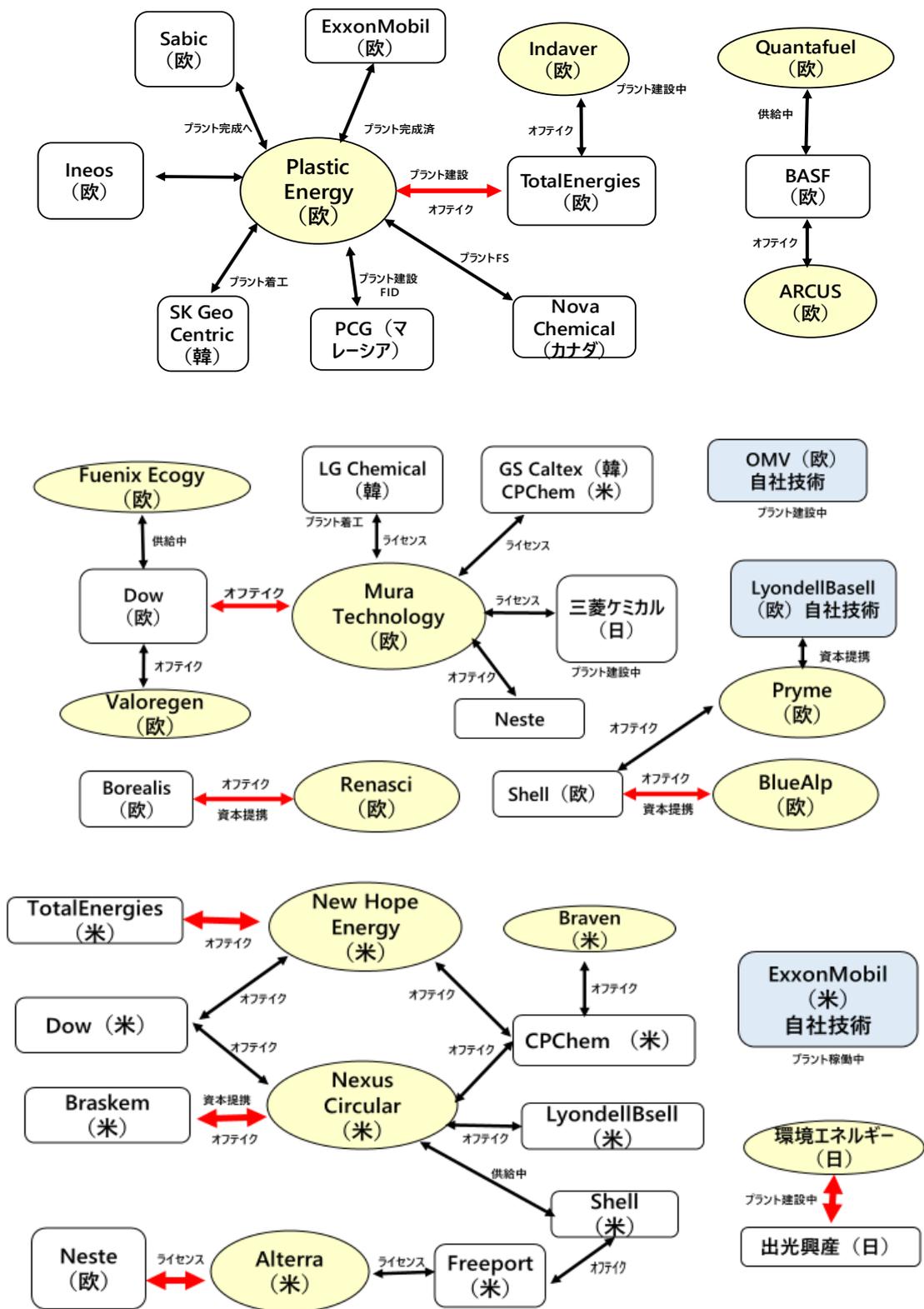


図 6 熱分解法 CR に関する石油化学企業と熱分解油メーカーの提携

注：□は石油化学企業、楕円は熱分解油メーカーを示す。赤色矢印は重要な提携を示す。  
 出所：本レポートのデータより、旭リサーチセンターが作成。

## 2.6 熱分解法の技術情報のアップデート

各社の熱分解技術情報を充実・アップデートしたものを表 7、8 に示す。以下のような重要な追加、訂正点が含まれている。

- ①Pryme と OMV: 両社の技術情報を新たに記載した。OMV は熱分解反応に炭化水素溶媒を使用している<sup>15</sup>。そして、熱分解油の高沸点留分の一部を熱分解炉にリサイクルして再度分解する。
- ②ExxonMobil: 熱分解反応に炭化水素溶媒を使用している（同社のウェブサイトの動画で紹介されている）<sup>16</sup>。
- ③Indaver: 廃プラ供給用押出機に ZSK 二軸押出機を使用することが同社技術の 1 つのポイントである。
- ④Plastic Energy: 熱分解はセミバッチ<sup>17</sup>で、熱分解で発生するガスを syn gas（合成ガス：CO と H<sub>2</sub> の混合ガス）と記載されている<sup>18</sup>。
- ⑤Encina: Encina の流動層 Catalytic reforming 反応は 1 段か 2 段か不明であったが、1 段と明記した同社資料があった。
- ⑥Honeywell: 同社資料に、重質留分は FCC に送るとの記述があったので追加した。
- ⑦LyondellBasell: これまで、LyondellBasell はゼオライト触媒（ZSM-5）使用と記載してきたが確証がなく、同社は触媒を幅広くテストしているようなので、単に触媒使用と記載した。なお、触媒を使用していることは同社資料に明記されている。
- ⑧Valoregen: 表 7 には記載していないが、Valoregen はゼオライト触媒を使用した熱分解法 CR を開発中である（39 頁（8）参照）。

---

<sup>15</sup> <https://www.omv.com/en/blog/plastic2plastic-reoil-completes-the-circle-in-plastics-recycling>  
<https://www.omv.com/en/recycling-technologies>  
<https://www.omv.com/en/news/omv-transforms-plastic-waste-into-crude-oil>

<sup>16</sup> <https://corporate.exxonmobil.com/what-we-do/materials-for-modern-living/advanced-recycling-for-plastics>

<sup>17</sup> <https://www.basf.com/jp/ja/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling/dialog-forum-chemical-recycling.html>

上記 URL 内の「Download of Presentations」の Presentation by Carlos Monreal, Plastic Energy: Practical examples-Pyrolysis plants。

熱分解は反応蒸留方式を使用しているため、比較的低温生成物は連続的に反応系から取り出されるが、チャーなどは熱分解炉にたまるので、定期的に反応を止めてそれらを取り出しているものと推定される。

<sup>18</sup> 参照先は脚注 17 と同じ。脱気して、無酸素状態で熱分解反応をするが、一部混入した酸素や廃プラ分子中の酸素と生成メタンガスが反応して、合成ガスができるものと推定される。

表6 欧州の代表的企業の熱分解法CR技術

企業名 (プロセス名)	プラント 所在地	年間処理 能力	主たる提携石油 化学企業ほか	原料廃プラ	熱分解条件				反応成績
					触媒	熱分解温度・圧力・連続/バッチ	熱分解炉構造	特徴	
Quantafuel	デンマーク・ Skive	1.6万トン	BASF、 Viridor (株 主)	LDPE, HDPE, PP, PS	なし	380~460°C (好ましくは、420°C)、1bar、 塩素とイオウ除去剤 (無機物) の添加	水素化処理触媒 (Cu- Mn/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) に特徴:	・原料廃プラ100%に対して、軽質油16%、ディーゼル56%、重質 油8wt%、灰分 (70%カーボン) 10wt% ・概念実証: 稼働率は90%、熱分解油の全体収率は68%	
Plastic Energy (TAC)	オランダ・ Geleen	2万トン	Sabir, TotalEnergies	PE, PP, PS, ラミネートも可能	なし	セミバッチ	反応蒸留 (コンタクター使用)	・1トンの廃プラから850リットルの熱分解油 ・収率と用途: 収率72-75%の TACOIL (熱分解油) は石化産 業に販売、収率18%のsyngasは 電力用に使用、収率約 8~ 10%のチャーは建設用に販売	
Mura Technology (HydroPRS)	イギリス・ Teesside	2万トン	Dow	PE, PP, PS, PET フレキシブルな多 層フィルムも処理 可能	アルカリ	水の超臨界: 374°C, 22MPa バッチ (反応時間30分)	超臨界水分解 (通常の熱分解より 収率が高い)	提携先の KBR技術使 用	LCA計算ベース: プロセsgas11%、ナフサ26%、蒸留ガスオイル 25%、重質ガスオイル24%、重質ワックス残渣13% (2023年3月 2日発表)
Indaver (P2C)	ベルギー・ Antwerp	2.6万トン	TotalEnergies				ZSK2軸押出機で、短時間で廃プラを 溶融物にして熱分解炉に供給	Sulzerの分離 技術	PS解重合とPOの熱分解の併産プラントか
Pryme	オランダ・ Rotterdam	廃プラ4万トン Oil 3万トン (1系列)	LyondellBasell (投資)、Shell		廃プラを押出機で高速加熱 (20°C→ 350°C, 30秒) で、水分と揮発分を除去し て熱分解炉に供給		構型熱分解炉 (20立方m、電気ヒーター) 1基で 3万トン/年の処理能力 (コスト競争力が高い)		
BlueAlp	ベルギー・ Ostend	1.7万トン	Shell	PVC使用可	なし	slow-cracking, gradual heating	5万トンまでスケールアップ可能	ShellのMoerdijk製油所で精製。 精製品はShellのMoerdijkとRhinelandのクラッカーに供給	
LyondellBasell (MoREtec)	ドイツ・ Wesseling	5万トン (2026年)	自社技術		触媒使用	連続	構型攪拌機付き熱 分解炉		
OMV (ReOil®)	オーストリア・ Schwechat	1.6万トン (~ 2025年)	自社技術		なし	連続、400~450°C			パイロット: 100kg/時の廃プラから、100L/時のクルード熱分解油が 得られる

注: 黄色地は特徴のある点。

出所: 各社発表資料を基に旭リサーチセンター作成 (2024年3月末作成)。

表7 米国、日本の代表的企業の熱分解法OR技術

企業名 (プロセス名)	プラント 所在地	年間処理能力	主たる提携石油 化学企業ほか	原料廃材	熱分解条件				反応成績
					触媒	熱分解温度・圧力・連続/バッチ	熱分解炉構造	特徴	
ExxonMobil (Exxtend)	米国 (Baytown)	3.5万吨	自社技術		なし	連続、熱分解炉排出粗熱分解液の一部を熱分解炉 へリサイクルが	熱分解炉構造	炭化水素溶解 使用 自社	
Encina (PFCC)	米国 (Point Township)	BTX 20万吨 ン (2027年 末)	Covestroや AmStyにアロマ 供給		触媒 使用	流動層 catalytic reforming (一段反応)		一段の流動層 catalytic reforming	(注) Point Townshipプラント計画は取りやめになった (2024 年4月18日発表)
Honeywell (Upcycle Process)	米国 (Chicago)	パイロット	数社にライセンス		なし	連続 「moderate」な熱分解条件	「vertical cylinders」 型熱分解炉	重い留分はFCCに 市販の吸着剤で不純物除去	廃材がクラッカー原料に転換されるのは80~90%である
Alterra Energy	米国 (Akron)	2万吨	Neste	PE, PP, PSが望 ましい。PVC、 PET、PAは除去		常圧、400~550°C、連続	回転円筒型傾斜 熱分解炉 (3× 20m)	塩素除去剤使 用	
New Hope Energy/Lummus	米国 (Tyler)	5万吨	TotalEnergies	PE, PP, PS		固有の廃材処理技術	反応器デザインに固 有技術	水素化技術	精製処理される炭化水素70%、アスファルトライク材料5%、ガス 成分25%である
Nexus Circular	米国 (Atlanta)	1.7万吨	Braskem, Shell, CPCChem	PE, PP, PS PVCとPAは避ける	なし			後処理が 不要	収率が標準的な熱分解法工場より20%以上高い
環境エネルギー (HICOP技術)	日本 (福山)	2万吨 (2025年)	出光興産		使用済みFCC 触媒	420°C、常圧、連続	横型反応器		フッ素分の少ない炭化水素が高収率で得られる (~90%)。ナ フサ成分が多い。
札幌プラスチック	日本 (札幌) 2001~11年稼 働	1.5万吨 (2系列)	ENEOS	PE, PP, PSが望 ましい。PVC, PET があっても処理可 能	なし	①PVCを事前分解 (300~ 330°C) し、分解物からHCl回収 ②熱分解: 400°C、連続	ローターキルン型、 セラミックボール使 用		軽質油31.0%、中質油4.5%、重質油26.5%、オフガス19.5%、 油化残渣17.5%、塩酸1.0%

注：黄色地は特徴のある点。 出所：各社発表資料を基に旭リサーチセンター作成 (2024年3月末作成)。

## 2.7 熱分解法の課題と対策

熱分解油製造フロー（図7）に従って、熱分解法の課題と対策をまとめた。

なお、表6～8の各社の取り組みは、それらの参考になるだろう。

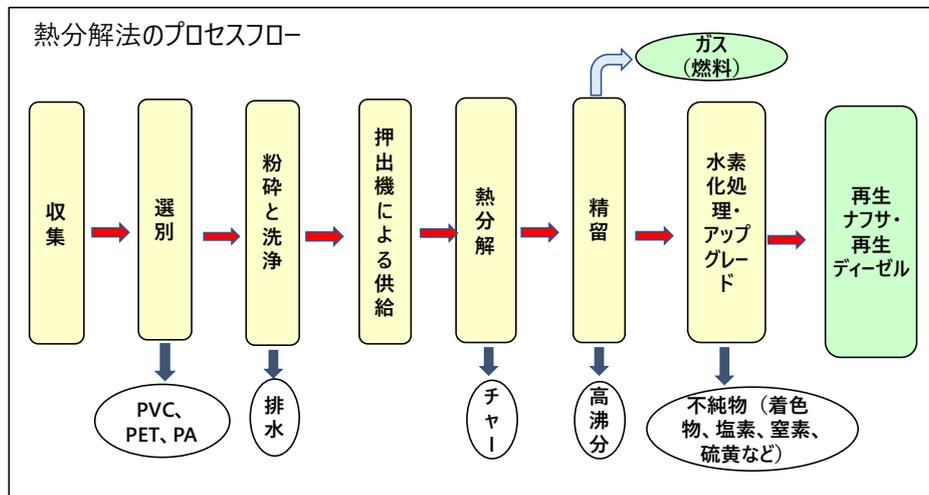


図7 混合廃プラ(PE/PP/PS)の熱分解法のプロセスフロー

出所：各種資料より旭リサーチセンター作成。

### (1) 収集：原料廃プラはどこから何を持ってくるか？

非常に重要なポイントである。表8のバリューチェーンの廃プラの種類とソースの項の各社の取り組みを参照。収集・選別のシステムと施設の構築には大きな投資が必要。

### (2) 選別：原料廃プラ中のPVCとPETをどうするか？

表6、7の原料廃プラの項参照。

### (3) 熱分解：熱分解炉でのプラスチックの高速昇温は可能か？

表6、7参照、この中で Indaver と Pryme の廃プラ供給押出機による高速昇温技術が注目される。また、Mura と Licella の超臨界水分解法や、ExxonMobil と OMV の溶媒使用法も均一に高速昇温するための有効な方法だろう。

### (4) 熱分解：低いナフサ収率をアップするには？

通常、熱分解油はナフサ、ディーゼル、重油、ワックス、チャー（カーボン）<sup>19</sup>を含む。

<sup>19</sup> チャー（カーボン）の精製は厄介な問題である。熱分解炉から取り出す必要がある。生成量は5～8%である（表6、7の反応成績の項を参照）。

- ①触媒を使用して、ナフサ収率をアップする：表 6、7 の触媒の有無参照。
- ②Plastic Energy は反応蒸留方式で、熱分解油の炭素数分布をシャープにしている。
- ③熱分解油をアップグレード（FCC や水素化分解）により軽質化する。このために、熱分解油メーカーと石油精製企業との提携例は多い。表 6、7 の精製・アップグレーディングの項、および用語・略語（2 頁）参照。
- ④既存のナフサクラッカー設備を改良して、ナフサだけでなくガスオイル（ディーゼル）もクラッキングできるようにする。経済性はナフサを用いた方がよいといわれる。

**(5)コスト高の問題を克服できるか？**

- ①スケールアップによるコストダウンを図る。Pryme の反応器 1 基で 4 万トン/年の廃プラ処理能力（オイル製造能力は 3 万トン/年）は注目される（9 頁（2）参照）。
- ②エネルギーコスト削減：通常、熱分解反応で発生するガスは工場の燃料に使用して、外部エネルギーの使用量を減らしている。

**(6)熱分解油の品質：既存のナフサと同等の品質（ドロップインプロダクト）にできるか？**

（既存製品の不純物スペック（塩素、硫黄、窒素含有量など）をクリアできるか？）

熱分解油（ナフサなど）の精製処理、特に水素添加による不純物除去（塩素、硫黄、窒素は水素化処理により、塩化水素、硫化水素、アンモニアに変換される）と熱分解油中の不飽和結合の飽和化が必須である。水素化処理は石油精製会社が技術と設備を保有しているので、それを利用する例が多い。

**2.8 熱分解法CRのバリューチェーン（またはサプライチェーン）**

熱分解法 CR を実現するためには、熱分解油製造の前後のバリューチェーンが重要である。その構成を図 8 に示す。



図 8 熱分解法 CR のバリューチェーン

注：UG はアップグレーディングの略。

出所：旭リサーチセンター作成。

世界的にバリューチェーン構築の動きが活発である。表 8 に、最近発表されたバリューチェーン構築の取り組みを 14 件まとめた。

### (1) 実際に熱分解に使用される廃プラ

CR に使用される廃プラは一般に軟質の Post Consumer が中心で、Post Industrial もある。欧州ではプラスチックを分別収集したものから MR しやすいもの（主として硬質のボトルや容器）を選別した残りの廃プラ（主として軟質廃プラ）が CR の原料になる。

米国では MRF (Material Recovery Facility: 金属・ガラス、紙、プラスチックなどの混合廃棄物を一括収集・選別する施設) で、まずフィルム類が選別され、次いで PET、PE、PP のボトル (容器) を MR 用に分離した残りのプラスチックが CR の原料になる。

### (2) 熱分解油メーカー (and/or 石油化学企業) による廃棄物管理会社との提携

世界的に廃プラの収集・選別のシステムやインフラは整っておらず、思うように廃プラは集まらないのが現状である。従って、熱分解油メーカーにとっては原料廃プラの確保は最重要事項である。

廃棄物管理会社との単なる提携にとどまらず、踏み込んで廃棄物管理会社と共同で廃プラの収集、選別、前処理の会社を設立する例が 3 件報告されている。

① **2023 年 10 月 31 日発表**<sup>20, 21</sup>: OMV は Interzero (独自の全自動選別技術と欧州最大の選別処理能力を持つ企業) と合弁会社を設立し、欧州最大級の CR 用選別施設をドイツ南部の Walldürn に建設・運営する投資決定をした。処理能力 26 万トン/年、投資額 1.7 億ユーロ、2026 年完成予定である。大規模な計画である (表 8 の①)。

② **2024 年 2 月 26 日発表**<sup>22</sup>: 23 Oaks Investments と LyondellBasell の合弁会社である Source One Plastics がプラスチック廃棄物の分別・リサイクル施設 (ドイツ・Eicklingen、処理能力 7 万トン/年) で操業を開始した。混合プラスチック包装や軟

<sup>20</sup> この頁以降、主として 2023 年 4 月以降のものは日付を赤字で示した。それ以前のプレスリリースの出所 (URL) は省略した。参考文献(1)ARC リポート「世界で建設が進むケミカルリサイクルプラントの動向」を参照。

<sup>21</sup> <https://www.omv.com/en/news/omv-and-interzero-establish-joint-venture-to-build-and-operate-europe-s-largest-sorting-facility-for-chemical-recycling>

<sup>22</sup> <https://www.lyondellbasell.com/en/news-events/products--technology-news/source-one-plastics-starts-operations-at-plastic-waste-sorting-and-recycling-facility/>

表 8 熱分解法 CR のバリューチェーン(サプライチェーン)

番号	廃プラ管理会社 (収集、選別、前処理の施設)	熱分解油メーカー	精製・アップグレード企業	ナフサクラッキング	プラスチックメーカー (商標)	ブランドメーカー
①	OMVとInterzeroはドイツ南部に26万トン/年の選別施設建設、1.7億ユーロ、2026年完成 (2023年10月発表)	OMV (石油精製会社、オーストリア・Schwechat、1.6万トン/年、2024~25年稼働)		OMV (オーストリア・Schwechat)	Borealis (オーストリア・Schwechat) 「Borcycle™ C」	
②	23 Oaks InvestmentsとLyondellBasellの合併の Source One Plasticsが、廃プラ分別・リサイクル施設 (ドイツ・Eicklingen (処理能力7万トン/年)) の操業開始 (2024年2月発表)	LyondellBasell (自社技術) (5万トン/年、2025年稼働、ドイツ・Wesseling)		LyondellBasell (ドイツ・Wesseling)	LyondellBasell 「CirculenRevive」	
③	* 現在ExxonMobilは、Cyclx International (PSCグループ) の収集・選別新施設 (テキサス州・Baytown) より廃プラの供給を受ける。 * Cyclx International, ExxonMobil, LyondellBasellの3社は共同で、CR&MR用の原料廃プラ選別・供給施設をテキサス州・Houstonに建設 (13.5万トン、1.35億ドル、2025年稼働見込み) (2023年12月発表)	ExxonMobil (テキサス州・Baytown、自社技術) 3.6万トン/年、2022年未稼働		ExxonMobil (テキサス州・Baytown)	Sealed Air (フィルム)、Amcor (包材メーカー)、Ahold Delhaize (スーパーなど)	
		未定		LyondellBasell (テキサス州・Channelview)	LyondellBasell 「CirculenRevive」	
④	TotalEnergiesとPlastic Energyは、Paprec (廃プラフィルム管理企業) と提携 (2023年3月発表)	Plastic EnergyとTotalEnergiesの合併 (フランス・Grandupits)	TotalEnergies (フランス・Grandupits)	TotalEnergies		
⑤	SabicとPlastic Energyの合併会社は、Simer (選別企業) とLandbell (収集企業) と提携 (2023年7月発表)	Plastic EnergyとSabic の合併 (オランダ・Geleen、2万トン/年、まもなく稼働)	Sabic (オランダ・Geleen) hydrotreater新設	Sabic (オランダ・Geleen)	Sabic 「TRUCIRCLE™」	Taghleef Industries (二軸延伸PPフィルム)、Mars (包装されたスナック菓子)
⑥	Versalisは、National Consortium for the Collection, Recycling and Recovery of Plastic Packaging (Corepla) と連携 (2023年10月)	Versalis (イタリア・Mantua) (6,000トン/年、2024年稼働見込み)	Eni (イタリア)	Versalis		
⑦	MRF (マテリアルリカバリー施設) で選別された廃プラを使用、取り扱いはRavago (リサイクル、流通、再販企業)	Alterra (オハイオ州・Akron)				
⑧	三菱ケミカルは、産業廃棄物管理会社のリファインパスと提携	三菱ケミカルとENEOS (鹿島、2万トン/年、2024年度稼働、Muraライセンス)		三菱ケミカルとENEOS (鹿島)		
⑨	出光興産は、リサイクラーの市川環境ホールディングス (現、テラレムグループ) や前田産業と提携	「ケミカルリサイクル・ジャパン」：出光興産と環境エネルギーの合併 (千葉、2万トン/年、2025年末稼働)		出光興産 (市原)		
⑩	IndaverはヨーグルトメーカーとPSリサイクルで提携 (2023年11月発表) Indaverはベルギーの大手廃棄物管理会社	Indaver PS解重合設備 (ベルギー・Antwerp)	スチレンの精製 (Sulzer技術)	Trinseo (ベルギー・Tessenderlo)		
		Indaver 熱分解設備 (ベルギー・Antwerp)	(熱分解油精製)	INEOS Styrolution TotalEnergies (ベルギー・Antwerp)		
⑪		Advanced Recycling Victoria (Licella技術、オーストラリア・Melbourne、2万トン/年、2025年稼働、AmcorとMondelēz出資)。精製はViva Energy Australia		LyondellBasell (オーストラリア・Melbourne)	Amcor (包装材料メーカー) と Mondelēz (食品メーカー)	
⑫		SK Geo Centric (韓国・Ulsan 6.6万トン/年、2025年末稼働見込み) (Plastic Energyライセンス)	SK Geo Centric (韓国・Ulsan、10万トン/年)	SK Geo Centric (韓国・Ulsan)	Amcorとアジア地区の再生材供給契約 (MOU) 2023年10月発表	
⑬		BlueAlp (オランダ)	Shell (オランダ・Moerdijk) : 5万トン/年、2024年稼働	Shell	Shell	
		Pryme (オランダ)	その他熱分解油メーカー	Shell (プロピレン)	Braskem (PP)	
⑭	Ravago (リサイクル、流通、再販企業)	Neste (未定)	Neste (フィンランド・Porvoo) : 15万トン/年、2025年稼働	複数企業	複数企業	
		その他熱分解油メーカー		複数企業	複数企業	

注：黄色地は設備投資を伴ったものあるいは伴うもの。緑色は精製・アップグレード専用工場を中心とするバリューチェーン。

出所：各社発表に基づいて旭リサーチセンターが作成。

質ポリオレフィン材料などほとんどが焼却処分される廃プラを選別して、CR原料を取り出す（表8の②）。

新工場では、革新的な乾式処理法を採用し、従来技術と比較してエネルギー消費量を最大30%削減する。また、微細なプラスチック粉塵の発生と環境への放出を最小限に抑えるように設計されている。Eicklingenで処理された廃プラは、LyondellBasellがドイツ・Wesselingに建設する大規模CR工場の原料の一部となる。

③2023年12月7日発表<sup>23</sup>:Cyclyx International (Cyclyxと略す。Agilyx、ExxonMobil、LyondellBasell合弁の廃プラ収集・選別のためのコンソーシアム<sup>24</sup>)は、CR&MR用の原料廃プラ供給施設（3億ポンド/年（13.5万トン/年））をテキサス州・Houstonに建設する最終投資決定をした。投資額は1.35億ドル（ExxonMobilとLyondellBasellがCyclyxに出資）、稼働は2025年中頃の見込みである。収集した廃プラを種類別に選別する施設である（表8の③）。

会社設立までいかないが、廃プラ管理会社との提携例としては下記のTotalEnergies、Sabic、Versalisの3件がある。

④2023年3月15日発表<sup>25</sup>:TotalEnergiesとPaprecはプラスチックフィルムのCRバリューチェーン構築のための長期協業契約を締結した。収集には、Citeo（フランスの包装材料担当組織）が協力する。使用済みプラスチックフィルムはTotalEnergiesがGrandpuitsに建設中のCR工場に供給される（表8の④）。

⑤2023年7月11日発表<sup>26</sup>:SabicとPlastic Energyの合弁会社は、Siemer（廃プラ選別企業で、2.5万トン/年の選別・前処理施設を最近完成）およびLandbell（収集企業で、Siemerに廃プラを供給）と提携し、熱分解原料の廃プラ確保を目指す（表8の⑤）。

---

<sup>23</sup> <https://10to90.com/news-post/cylyx-reaches-investment-milestone-for-its-first-circularity-center>

<sup>24</sup> Cyclyx :使用済みプラスチックのリサイクル性アップのためのコンソーシアム。  
<https://10to90.com/cylyx>

<sup>25</sup> <https://totalenergies.com/media/news/press-releases/grandpuits-zero-crude-platform-totalenergies-and-paprec-develop-first>

<sup>26</sup> <https://plasticenergy.com/sabic-plastic-energy-advanced-recycling-unit-joins-forces-with-siemer-and-landbell-to-drive-towards-plastics-closed-loop/>

⑥2023年10月31日のニュース<sup>27</sup>:Versalis は2020年以來、National Consortium for the Collection、Recycling and Recovery of Plastic Packaging (Corepla) と連携して、廃プラ原料確保に動いている(表8の⑥)。

その他、Alterra(表8の⑦)、三菱ケミカル(表8の⑧)、出光興産(表8の⑨)も廃棄物管理企業と提携している。Indaverは自らが廃棄物管理会社である(表8の⑩)。

### (3) 精製とアップグレーディング

熱分解でつくられた粗(クルード)熱分解油は、その後に水素化処理(21頁(6)参照)とアップグレーディング(用語・略語2頁参照)される。石油化学企業は、それらの技術を持つ石油精製会社と提携する例が多い<sup>28</sup>。

Shell(オランダ、5万トン/年)とNeste(フィンランド、当初15万トン/年)が精製・アップグレードの専用工場の建設を2023年に発表した(表8の⑬と⑭)。

複数の熱分解油メーカーから集めた粗熱分解油を精製し、複数の石油化学企業に石油化学原料として供給する計画である(ShellはPryme、BlueAlpなどから、NesteはMuraなどから粗熱分解油を入手か)。Shellは精製品をBraskemに供給し、Braskemは再生PPを製造する契約が発表された(2024年1月16日発表<sup>29</sup>)。

### (4) 再生プラスチックの製造

精製・アップグレーディング工程を経て得られた精製ナフサなどは、石油系ナフサと混合してクラッキングして、エチレンやプロピレンなどのモノマーを得る。そして、モノマーを重合して、PE、PP、PSなどを製造する。プラスチックメーカーはこれらの再生材に特別のブランド名(例、LyondellBasellの「CirculenRevive」)を付ける。

### (5) プラスチック加工品と最終製品まで含んだバリューチェーンの実証テストと工業化

①オーストラリアでの取り組み:Amcor、Mondelēz International など

2021年3月15日に発表:2021年にLyondellBasell(オーストラリア)、Licella、

<sup>27</sup> <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/103123-austrias-omv-italys-versalis-announce-chemical-recycling-plans-for-plastics#article>

<sup>28</sup> 石油精製企業のExxonMobil、Shell、TotalEnergies、出光興産、OMV、SK Geo Centric(表8の⑫、親会社が石油精製企業)などは自社にその技術や設備を持つ強みがある。

<sup>29</sup> <https://www.shell.com/business-customers/chemicals/media-releases/2024-media-releases/shell-chemicals-braskem-collaborate-circular-polypropylene.html>

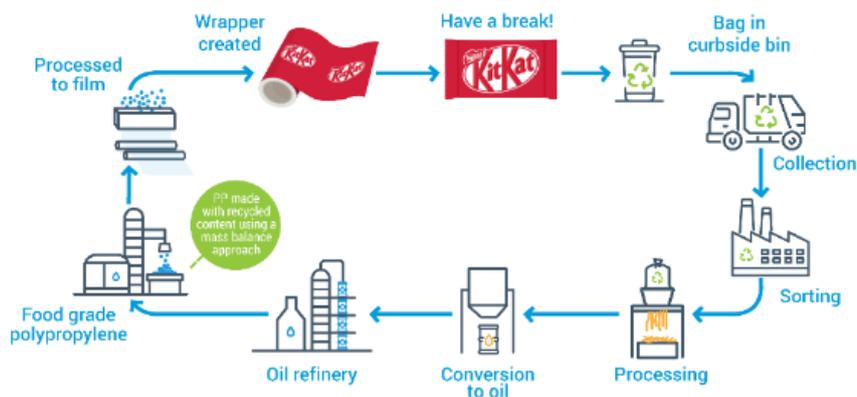


図 9 KitKat 包装のクローズドループ(バリューチェーン)

出所：LyondellBasell（オーストラリア、脚注 30、31）

Amcor らは KitKat 包装材のクローズドループの実証テストに成功している（図 9）。

2024 年 2 月 5 日発表<sup>30</sup>：Amcor（包装材料メーカー）は、Cadbury Australia のチョコレート包装材用に約 1,000 トンの再生材を確保し、再生材含有量 50%の包装材を製造する。Cadbury を配下に持つ Mondelez International（食品メーカー）は Amcor とともに Licella に投資して、オーストラリア初の軟質プラスチックの CR 工場の建設を計画し、Advanced Recycling Victoria（ARV）社を設立した（表 8 の⑩）。

## ②米国での取り組み

2023 年 5 月 2 日発表<sup>31</sup>：ExxonMobil、Cyclyx、Sealed Air、Ahold Delhaize USA は CR 製品の食品包装用途の拡大を目指したパイロットテストを行った（表 8 の③）。

Ahold Delhaize USA ブランドの Food Lion（スーパーマーケット）は、店舗でリサイクルのために廃プラを収集した。Cyclyx は、Food Lion の店舗から回収された包装材廃棄物を選別・前処理して、Baytown にある ExxonMobil の CR 工場に配送した。そこで ExxonMobil は Exxtend テクノロジーを使用して、廃プラをリサイクルし、マスバランス方式を通じて認証された循環型 PE を製造した。

<sup>30</sup> <https://www.amcor.com/media/news/amcor-supports-cadbury-move-to-50-percent-recycled-plastic>

<sup>31</sup> <https://www.packaginginsights.com/news/us-advanced-recycling-collaboration-looks-to-scale-up-food-contact-production-after-trial.html>

Sealed Air は、認証された循環型 PE 樹脂を食品グレードの柔軟なフィルムに変換し、このパイロットテストでは、厳選された Nature's Promise の新鮮な家禽の包装に使用された。その後、包装材は顧客が購入した店舗に返され、循環型経済の一例が示されることになった。

### ③欧州での取り組み

2022 年 10 月 19 日発表<sup>32</sup> : Sabic は、Landbell (回収) –Hündgen Entsorgung (選別) –Plastic Energy (熱分解) –Sabic (プラスチック製造) –Taghleef Industries (BOPP (二軸延伸 PP) フィルム) –SIT グループ (印刷されたフィルム) –Mars (包装されたスナックバー菓子 : KIND®) のクローズドループ (バリューチェーン) を実証した (表 8 の④)。Sabic は衛生製品のクローズドループについても発表 (2022 年 10 月 17 日)<sup>33</sup>。

## 2.9 石油化学企業各社の最近のニュース

### (1) BASF(ドイツ)

BASF は Quantafuel (デンマーク・Skive) から熱分解油の供給を受けて、ドイツ・Ludwigshafen のナフサクラッカーに投入している。

2022 年 9 月 5 日発表 : BASF は、新たに ARCUS Greencycling Technologies (ドイツ) と熱分解油の製造と供給 (熱分解油 Max10 万トン/年を想定) について契約を締結した。

### (2) Dow(オランダ、ドイツ)

2022 年 7 月 21 日発表 : Dow と Mura は共同して 2030 年までに欧州と米国で総計 60 万トン/年の工場を建設すること、Dow がそのキーオフテイカーになることに合意した。

2022 年 7 月 21 日発表 : Dow は Valoregen と提携して、フランスにハイブリッド(MR&CR) リサイクルサイトを建設する (39 頁 (8) 参照)。

2022 年 9 月 14 日発表 : Dow と Mura は 12 万トン/年の工場を Dow の工場サイト (ドイ

---

<sup>32</sup> <https://www.sabic.com/en/news/37440-mars-sabic-and-landbell-partner-in-closed-loop-initiative-for-kind-snack-bar-packaging-based-on-certified-circular-pp>

<sup>33</sup> <https://www.sabic.com/en/news/37439-sabic-drylock-and-plastik-group-partner-for-absorbent-hygiene-applications-with-circular-certified-polymers>

ツ・Böhlen (Leipzig 近郊) に建設する。稼働は 2025 年の見込みである。2023 年末の予定であった最終投資決定はこれまでのところ発表されていない。

### (3) LyondellBasell(ドイツ)

カールスルーエ工科大学 (KIT) の熱分解炉設計と自社の触媒研究を基に、自社技術 (「MoReTec」) を開発し、イタリアにパイロットを建設し運転中である。パイロットは既に小規模工場にスケールアップしている。

**2023 年 11 月 20 日発表<sup>34</sup>** : 処理能力 5 万トン/年(1 系列)の「MoReTec」本工場をドイツ・Wesseling に建設する計画の最終投資決定をした。2025 年末に完成見込み。

**2023 年 12 月 19 日発表<sup>35</sup>** : LyondellBasell は Wesseling 工場建設に対して、4,000 万ユーロ (4,360 万ドル) の EU Innovation Fund を受け取った。

**2024 年 2 月 26 日発表<sup>36</sup>** : 23 Oaks Investments との合弁会社が Eicklingen で分別・リサイクル施設の操業を開始した (22 頁②参照)。Eicklingen で処理されたプラスチック廃棄物は、LyondellBasell がドイツ・Wesseling に建設する CR 工場の原料のとなる。

### (4) Sabic(オランダ)

2021 年 1 月 21 日発表:Sabic は Plastic Energy と合弁会社を設立し、オランダ Geleen に 2 万トン/年の熱分解油工場を建設する。

2022 年 10 月 17 日発表 : 衛生用品のクローズドループを実証した (27 頁③参照)。

2022 年 10 月 19 日発表 : 回収・選別から熱分解を経て菓子包装に至るクローズドループ (バリューチェーン) を実証した (27 頁③参照)。

**2023 年 7 月 11 日発表** : Sabic と Plastic Energy の合弁会社は、Siemer (選別の会社で、2.5 万トン/年の選別工場を最近完成) および Landbell (収集の会社で、Simer に廃プラを供給) と提携し、熱分解油原料の廃プラ確保を目指す (24 頁⑤参照)。

**2023 年 11 月 23 日 YouTube (Plastic Energy)<sup>37</sup>**: Geleen 工場 (熱分解と Sabic の Hydrotreater)

---

<sup>34</sup> <https://www.lyondellbasell.com/en/news-events/corporate--financial-news/lyondellbasell-to-build-industrial-scale-advanced-recycling-plant-in-germany/>

<sup>35</sup> <https://ecoplasticsinpackaging.com/investments/lyondellbasells-moretec-plant-selected-for-e40m-grant/>

<sup>36</sup> <https://www.lyondellbasell.com/en/news-events/products--technology-news/source-one-plastics-starts-operations-at-plastic-waste-sorting-and-recycling-facility/>

<sup>37</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=a-Ah1zlGAjo> <https://www.youtube.com/watch?v=L-J1bPsAxbA>

建設の状況を紹介。工場完成は間近である。

#### (5) Ineos(ドイツ)

2021年12月17日発表：Ineosはイギリス・Grangemouth工場でPlastic Energyの熱分解油のテストを行った<sup>38</sup>。

2022年10月31日発表：IneosはPlastic Energyとドイツ・Kölnに熱分解油を10万トン/年生産する工場を建設することで合意した(MOU：基本合意書)。KölnにはIneosのクラッカーがある。稼働は2026年末を目標にしている。既に、IneosはKölnのクラッカーでIneosの熱分解油をクラッカーに入れるテストを行った。

現在のところ、このプロジェクトの具体化の発表はない。

#### (6) Borealis(オーストリア)

2021年6月16日発表：Borealisは熱分解油メーカーのRenasci NV(Renasciと略す)と独占的供給契約を締結した。

2023年1月12日発表<sup>39</sup>：BorealisはRenasciに追加投資して、持ち株比率が50.01%となり、過半を占めた。

#### (7) OMV(オーストリア、Borealisと連携)

2022年発表<sup>40</sup>：OMV(石油会社)のサステナビリティレポート2022によれば、2021年に1.6万トン/年工場(ReOil<sup>®</sup> 2000と命名)を建設する最終投資決定をした(2024年3月現在、建設中である)。熱分解油は、refinery's steam crackerでモノマーに変換し、モノマーをBorealisが重合してポリオレフィン(Borcycle<sup>™</sup> C)をつくる。

なお、OMVはBorealisの主要株主である。

**2023年10月10日発表<sup>41</sup>**：OMVとWood(コンサルティング会社)は提携して、ReOil<sup>®</sup> Technologyを他社にライセンスをするライセンスビジネスで協業する。

---

<sup>38</sup> <https://www.ineos.com/news/ineos-group/ineos-and-petroineos-at-grangemouth-partner-with-plastic-energy-in-an-important-breakthrough-in-the-recycling-of-plastic/>

<sup>39</sup> <https://www.borealisgroup.com/news/borealis-acquires-a-majority-stake-in-renasci-signalling-on-going-commitment-to-leading-the-transformation-to-a-circular-economy>

<sup>40</sup> <https://reports.omv.com/en/sustainability-report/2022/focus-areas/natural-resources-management/circular-economy/chemical-recycling.html>

<sup>41</sup> <https://www.hydrocarbonprocessing.com/news/2023/10/omv-and-wood-collaborate-on-reoil-technology-licensing/>

**2023年10月31日発表**：OMVはInterzero（選別企業）と合弁会社を設立し、欧州最大級のCR用選別工場をドイツ南部のWalldürnに建設・運営するための投資決定をした。処理能力26万トン/年、投資額1.7億ユーロ、2026年完成予定である（22頁①参照）。

#### **(8) Neste Oyj (Nesteと略す、フィンランド)**

Nesteは現在使用済み植物油よりRenewable Diesel (HVO)を製造しているが、新たな原料ソースとして、廃プラからの熱分解油に注目している。

2022年6月27日発表：Nesteは、Alterraの技術に関する欧州のライセンス権を取得した。それ以前の2021年10月にNesteとRavagoは合弁会社を設立し、Alterra技術を使ってオランダのVlissingenに熱分解油工場を建設する計画を発表したが具体化していない。

**2023年11月8日発表（2024年4月8日更新）**<sup>42</sup>：インタビューで、「Nesteは原料廃プラが変動しても問題なく処理できる熱分解技術を必要としてきた。その技術をまさに開発している会社はAlterraであることを発見した。」と述べた。

2023年1月20日発表<sup>43</sup>：Nesteの「PULSE」プロジェクトは、EUから1.35億ユーロのイノベーションファンドを獲得した。40万トン/年の処理能力を目指す。「PULSE」は、熱分解油を既存の石油精製工場に投入する前に処理する技術で、水素化処理による塩素不純物の除去とアップグレーディングが含まれる。

**2023年6月15日発表**<sup>44</sup>：15万トン/年の新処理工場（フィンランド・Porvoo）の建設を決定した。投資額は1.11億ユーロで2025年前半完成の見込みである。

**2023年12月20日発表**<sup>45</sup>：Porvoo製油所を使って、粗熱分解油の一連の精製処理テストを実施し、累積処理量は2023年にこれまでの2倍（6,000トン）に達した。

---

<sup>42</sup> <https://www.neste.com/news-and-insights/plastics/plastic-waste-to-chemical-recycling>

<sup>43</sup> <https://www.neste.com/releases-and-news/innovation/neste-and-cinea-sign-eu-innovation-funds-grant-agreement-chemical-recycling-project-pulse>

<sup>44</sup> <https://www.neste.com/news/neste-decides-to-invest-in-liquefied-waste-plastic-upgrading-unit-at-its-porvoo-refinery>

<sup>45</sup> <https://www.neste.com/news/neste-doubled-the-amount-of-waste-plastic-processed-during-2023>

## (9) Versalis (Eniグループ、イタリア)

2023年9月1日発表<sup>46</sup>: Versalisは同社の熱分解プロセス(Hoop®)と Technip Energiesの Pure. rOil™ and Pure. rGas™の精製技術を統合して、実用化を目指す。

2023年10月31日のニュース<sup>47</sup>: Versalisは2020年以来、廃プラ包装材の管理コンソーシアムである Corepla と連携して、廃プラ原料確保に動いている (25頁⑥参照)。

2023年10月31日発表<sup>48</sup>: イタリア・Mantuaに6,000トン/年(2024年末稼働見込み)のデモ工場を建設する。S.R.S.(エンジニアリング会社)との共同開発である。

## (10) Shell(オランダ)

BlueAlp(オランダ)との提携を深めている<sup>49</sup>。シンガポールへの展開も考えている(40頁(10)参照)。

2022年7月13日発表<sup>50</sup>: Shellはオランダ・Moerdijkの石油精製工場に、熱分解油のアップグレーディング設備(upgrader plant)を設置する(2024年稼働、生産能力5万トン/年)。発表の注: Shellは2021年9月にBlueAlpと資本提携、熱分解油工場の合弁会社をつくる予定。2021年11月にEnergy and Chemicals Park Singaporeに5万トン/年のupgrader plantを建設する最終投資決定をした(2023年稼働見込み)。

## (11) TotalEnergies(フランス)

2022年1月11日発表<sup>51</sup>: Plastic Energyとの合弁会社によるフランス・パリ近郊のGrandpuits工場(1.5万トン/年、2023年稼働)に続き、スペイン・SevilleにPlastic Energyと共同で3.3万トン/年の工場を建設する。2025年に稼働の見込みである。Sevilleには、Plastic Energyの既設の熱分解油工場がある。

---

<sup>46</sup> <https://versalis.eni.com/en-IT/news/press-release/2023/technip-energies-and-versalis-join-forces-to-integrate-plastic-waste-recycling-technologies.html>

<sup>47</sup> <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/energy-transition/103123-austrias-omv-italys-versalis-announce-chemical-recycling-plans-for-plastics#article>

<sup>48</sup> <https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2023/10/pr-versalis-mantua-hoop-31-10-2023.html>

<sup>49</sup> <https://www.bluealp.nl/2022/10/04/shell-invests/>

<sup>50</sup> <https://www.shell.com/business-customers/chemicals/media-releases/2022-media-releases/shell-chemicals-park-moerdijk-accelerates-transition-to-become-net-zero-emissions-and-more-sustainable-chemicals.html>

<sup>51</sup> <https://totalenergies.com/media/news/press-releases/plastic-energy-and-totalenergies-sign-agreement-advanced-recycling>

2022年2月17日発表：TotalEnergies は Honeywell と戦略的合意を締結した。合意により、Honeywell・Sacyr 合弁のスペイン工場（3万トン/年、2023年に稼働の見込み）から熱分解油が TotalEnergies に供給される。

2022年10月13日発表：TotalEnergies は Indaver と契約し、Indaver のアントワープ工場から熱分解油が TotalEnergies に供給されることになった（38頁（7）参照）。

**2023年3月15日発表**：TotalEnergies と Paprec はプラスチックフィルムのCRバリューチェーン構築のための長期協業契約を締結した。使用済みプラスチックフィルムは将来の TotalEnergies の Grandpuits CR 工場に供給される。CR工場は TotalEnergies（60%）と Plastic Energy（40%）により建設され、処理能力15,000トン/年で2024年稼働の予定である。（24頁④参照）

#### **(12) ExxonMobil(欧州)**

2021年3月25日発表：Plastic Energy は ExxonMobil と共同で熱分解油工場を建設する。処理能力は2.5万トン/年、立地はフランスの ExxonMobil の Notre Dame de Gravenchon petrochemical complex 隣接地の Le Havre である。

2021年10月19日発表<sup>52</sup>：Plastic Energy は上記工場建設の最終投資決定をした。稼働は2023年の見込みである。

Le Havre 工場は建設中もしくは稼働中である。

#### **(13) TotalEnergies(米国)**

2022年5月18日発表：New Hope Energy/Lummus が処理能力31万トン/年の熱分解油工場（2025年稼働見込み）を建設し、製造した石油化学原料（熱分解油）10万トン/年を TotalEnergies が購入する。

**2024年1月31日記事<sup>53</sup>**：TotalEnergies は、テキサス州・Port Arther の BASF's and TotalEnergies' Petrochemicals (BTP) facility で New Hope Energy の熱分解油を使っ

---

<sup>52</sup> [https://plasticenergy.com/plastic-energy-announces\\_fid\\_and\\_start\\_of\\_construction\\_works\\_for\\_advanced\\_recycling\\_plant\\_in\\_france/](https://plasticenergy.com/plastic-energy-announces_fid_and_start_of_construction_works_for_advanced_recycling_plant_in_france/)

<sup>53</sup> <https://www.prnewswire.com/news-releases/totalenergies-converts-feedstocks-from-plastic-waste-into-circular-polymers-at-texas-plant-302048353.html>

て、再生プラスチックを製造した。なお、この BTP 工場は、2023 年 9 月 5 日の火事で一時休止した<sup>54</sup>。

(参考)2023 年 10 月 3 日発表<sup>55</sup>:Borealis と TotalEnergies の JV である Baystar は、テキサス州・Pasadena に現在の生産能力の 2 倍以上となる、年間 625,000 トンの新しい Borstar®PE 工場を立ち上げた。PE 工場拡張とエタンクラッカーの拡張のために 14 億ドルを投資した（米国では、まだ PE の大増産がある点では、日本とだいぶ状況が異なる（筆者））。

#### (14) ExxonMobil(米国)

2022 年 12 月 23 日記事<sup>56</sup> : ExxonMobil は自社技術を開発し、テキサス州 Baytown の自社石油コンビナート内で 3.6 万トン/年の熱分解油工場の稼働を開始した。

2023 年 6 月 28 日発表<sup>57</sup> : Kent (エンジニアリング会社) は ExxonMobil の CR 工場の FEED (基本設計) 業務を請け負うことになった。ExxonMobil はこの CR 技術を、同社の工場のある Baytown、Beaumont (テキサス州)、Baton Rouge (ルイジアナ州)、Joliet (イリノイ州)、Sarnia (カナダ)、Rotterdam (オランダ)、Notre Dame de Gravenchon (フランス)、Antwerp (ベルギー)、シンガポールに展開する予定である。

#### (15) Shell(米国)

Nexus Fuels (現 Nexus Circular) から継続的に熱分解油の供給を受けている。

#### (16) Chevron Phillips Chemical(CPCChemと略す、米国)

2023 年 2 月 7 日発表<sup>58</sup> : Nexus Circular とのオフテイク契約を強化した。

#### (17) Dow(米国)

2022 年 1 月 19 日発表 : Dow は New Hope Energy の既設工場 (5 万トン/年) から熱分解油の供給を受けるオフテイク契約を締結した。

---

<sup>54</sup> <https://www.plasticsnews.com/materials/texas-basf-totalenergies-site-remains-closed-following-fire>

<sup>55</sup> <https://www.borealisgroup.com/news/united-states-borealis-and-totalenergies-start-up-baystar-jv-polyethylene-unit>

<sup>56</sup> <https://www.chemanager-online.com/en/news/exxonmobil-starts-advanced-recycling-plant>

<sup>57</sup> <https://kentplc.com/news-insights/kent-wins-feed-contract-for-exxonmobils-large-scale-plastic-waste-advanced-recycling-program> および ExxonMobil のウェブサイト。

<sup>58</sup> <https://www.cpchem.com/media-events/news/news-release/chevron-phillips-chemical-deepens-collaboration-with-nexus-circular>

2022年7月21日発表：DowとNexus Circularはテキサス州・Dallasに2.6万トン/年の熱分解油工場を建設する（LOI：意思表明書）。

#### (18) Braskem(米国)

Nexus Circularと提携関係を深めている<sup>59</sup>（42頁（16）参照）。

#### (19) LyondellBasell(米国)

2023年2月16日発表<sup>60</sup>：Nexus Circularより、2.4万トン/年の長期供給契約を締結した。

#### (20) 三菱ケミカル(日本)

三菱ケミカルはMuraより超臨界水熱分解技術「HydroPRS」のライセンスを受けた（2021年6月16日発表）。三菱ケミカルはENEOSと共同で、CR工場を鹿島コンビナートに建設する（2021年6月16日発表）。工場は、2024年夏に稼働の予定である（日刊工業新聞、**2023年10月27日**）。同社は廃プラの調達について、産業廃棄物管理会社のリファインバースと提携した（2021年7月21日発表）。

#### (21) 出光興産(日本)

**2023年4月20日発表**<sup>61</sup>：正式に熱分解油工場の投資を決定した。廃プラ処理能力は2万トン/年で、稼働は2025年度の見込みである。廃プラの調達については、リサイクラーの市川環境ホールディングス（現、テラレムグループ）や前田産業と提携した。

#### (22) LG Chemical(韓国)

2022年1月18日発表：同社はMuraより「HydroPRS」技術のライセンスを取得した。

**2023年3月30日記事**<sup>62</sup>：同社は、韓国のDangjin、South Chungcheongで起工式を行った。処理能力2.5万トン/年（オイル2.0万トン/年）、2024年稼働予定である。

#### (23) GS Caltex(Chevron系、韓国)

2022年10月18日発表：GS CaltexはMura-KBRより「HydroPRS」技術のライセンスを

---

<sup>59</sup> <https://nexuscircular.com/braskem-and-nexus-circular-strengthen-relationship-through-a-long-term-contract-for-circular-plastic-feedstocks-from-new-advanced-recycling-facility/>

<sup>60</sup> <https://www.lyondellbasell.com/en/news-events/corporate--financial-news/lyondellbasell-secures-advanced-recycled-feedstock-with-nexus-circular/>

<sup>61</sup> <https://www.idemitsu.com/jp/news/2023/230420.html>

<sup>62</sup> [https://www.lgchem.com/company/information-center/press-release/news-detail-9250?lang=en\\_GLOBAL](https://www.lgchem.com/company/information-center/press-release/news-detail-9250?lang=en_GLOBAL)

取得した。

#### (24) SK Geo Centric(韓国)

2022年11月2日記事:同社は韓国・蔚山の工場サイトに、蔚山 Advanced Recycle Cluster (ARC) の用地 (21.5 万m<sup>2</sup>) を確保した。ここに 2023 年 9 月より 3 つの CR 工場を建設する予定である。1 つ目は、Loop をパートナーとする PET の解重合法工場である (処理能力 9.4 万トン/年)。2 つ目は PureCycle をパートナーとする溶媒ベース精製法による精製 PP 再生材製造工場 (処理能力 6 万トン/年) である。3 つ目は、熱分解油工場である。

2022年11月2日発表:Plastic Energy をパートナーとして熱分解油工場 (処理能力 6.6 万トン/年、2025 年末に稼働の見込み) を建設する。なお、熱分解油の後処理・精製工程は SK Geo Centric の独自技術で 10 万トン/年の工場を同時に建設する。

**2023年11月15日発表<sup>63</sup>**: SK Geo Centric は 11 月 15 日、世界初の廃プラスチックリサイクル複合施設である蔚山 ARC の起工式を開催した。総投資額は 1 兆 8,000 億ウォン (14 億米ドル)、敷地面積は 21.5 万 m<sup>2</sup> で、国際標準サッカー場 22 面分に相当する。蔚山 ARC は 2025 年末までに完成する予定である。

## 2.10 熱分解油メーカー各社の最近のニュース

熱分解油の技術開発と製造に携わる熱分解油メーカー19社について、各社のトピックスを記載した。

### (1) Quantafuel(本社はノルウェー、BASFの提携先)

BASF の支援を得て、デンマークの Skive に工場を建設し、2020 年頃に稼働した。それ以来、BASF に熱分解油を供給している。2022 年 3 月 28 日の概念実証では、2 ラインで 60 トン/日 (1.6 万トン/年相当)、稼働率 90%、熱分解油の全体収率は 68% である。

---

<sup>63</sup> <https://eng.sk.com/news/sk-geo-centric-breaks-ground-on-worlds-first-plastic-recycling-complex>

2024年2月8日発表<sup>64</sup>：Viridor（イギリスのリサイクラー）は Quantafuel の全所有権を取得した。なお、現在、Quantafuel はイギリスの Sunderland に処理能力 10 万トン/年の熱分解油工場を建設する計画を検討している<sup>65</sup>。

## (2) Plastic Energy (イギリス、SabicやIneosなどの提携先)

Plastic Energy は 2011 年に設立されたロンドンに本社がある会社である。熱分解油工場をスペインに 2 ヶ所、Almeria（2015 年稼働）と Seville（2017 年稼働）に持っており、生産能力はそれぞれ 5,000 トン/年である。

熱分解技術は「TAC」（Thermal Anaerobic Conversion：無酸素条件下の熱分解）と呼び、製品の熱分解油は「TACOIL」（Thermal Anaerobic Conversion Oil）と呼んでいる。技術はイギリスの Cynar からライセンスを受けたものである（Cynar プロセス）。

現在、オランダの Geleen 近郊に建設中の Sabic との合弁会社の熱分解油工場（生産能力は 2 万トン/年）がまもなく完成する。

その他、複数の工場建設やライセンスをしている（6 頁表 3 参照）。この中で、Ineos（ドイツ）との工場建設計画はまだ最終投資決定が発表されていない。

2023年6月28日発表<sup>66</sup>：カナダの Nova Chemicals と工場建設の FS を開始した。

2023年8月30日<sup>67</sup>：イギリスにパイロット研究施設を設置した。

2023年10月9日発表<sup>68</sup>：マレーシアの PCG（PETRONAS Chemicals Group Berhad）は工場建設の最終投資決定をした。Plastic Energy の技術を採用する。処理能力 3.3 万トン/年、稼働開始は 2026 年前半の見込みである。

## (3) Mura Technology (Muraと略す、イギリス、超臨界水熱分解技術)

Mura は廃プラの超臨界水熱分解技術（「HydroPRS」：Hydro Plastic Recycling Solution）を有している。基本技術は、Licella からのライセンス導入である。

---

<sup>64</sup> <https://www.viridor.co.uk/news-and-insights/viridor-takes-full-ownership-of-quantafuel-as/>

<sup>65</sup> <https://www.quantafuel.com/sunderland>（2024年2月25日ウェブにアプローチ）

<sup>66</sup> <https://plasticenergy.com/nova-chemicals-and-plastic-energy-launch-feasibility-study-on-advanced-recycling-plant-to-further-canadian-circularity-aspirations/>

<sup>67</sup> <https://plasticenergy.com/plastic-energy-commissions-new-pilot-plant-at-research-and-development-labs-in-the-uk/>

<sup>68</sup> <https://plasticenergy.com/pcg-to-construct-asias-largest-advanced-chemical-recycling-plant/>

米国の Dow、エンジニアリング会社大手の KBR、ドイツの工業用プラスチックメーカーの Igus GmbH、韓国の LG Chemical といった世界的企業が提携や出資を行っている。KBR は「HydroPRS」のエンジニアリングについて独占的ライセンス権を取得している。これまでに、Dow、三菱ケミカル、LG Chemical、GS Caltex (Chevron 系、韓国) にライセンスしている。

2021 年 3 月 25 日発表:Mura はイギリスの Teesside で最初の工場の建設に着工した。

**2023 年 10 月 26 日発表<sup>69</sup>**: Teesside 工場は建設が完了し、2023 年 10 月に試運転を開始した。

なお、稼働後、Dow は Mura より熱分解油の供給を受ける契約になっている。また、Teesside 工場は 8 万トン/年 (4 ライン) の計画で、最初の 2 万トン/年のラインが今回最初に稼働したことになる。

**2024 年 3 月 7 日発表<sup>70</sup>**: Mura と Neste はオフテイク契約を締結した。Teesside 工場で作られる熱分解油を Neste に供給する。2024 年中頃から供給スタート。

(4) Licella (オーストラリア、超臨界水熱分解技術の開発ベンチャーで、Mura に技術ライセンス)

**2023 年 8 月 10 日発表<sup>71</sup>**: Licella と Amcor (容器包装メーカー)、Mondelēz (食品加工メーカー) の 3 社はメルボルンに建設するオーストラリア初の軟質プラスチックの熱分解油工場について協業し、そのために、Advanced Recycling Victoria (ARV) 社を設立した (処理能力は当初は約 2 万トン/年、将来的には 12 万トン/年、2025 年稼働見込み)。

**2024 年 2 月 5 日発表<sup>72</sup>**: Amcor は ARV を通じて、Cadbury Australia のチョコレート包装材料用に約 1,000 トンの再生材を供給する。Mondelēz International は Cadbury を配下に持つ。

(5) Fuenix Ecogy Group (Fuenix Ecogy と略す、オランダ)

Dow に熱分解油を 2 万トン/年供給する契約をしている。

---

<sup>69</sup> <https://muratechnology.com/news/mura-technology-opens-doors-to-worlds-first-commercial-scale-hydroprs-advanced-plastic-recycling-site-in-teesside-uk/>

<sup>70</sup> <https://muratechnology.com/news/mura-technology-signs-offtake-agreement-with-neste/>

<sup>71</sup> <https://www.amcor.com/media/news/amcor-mondelez-licella-partner-to-promote-circular-economy>

<sup>72</sup> <https://www.amcor.com/media/news/amcor-supports-cadbury-move-to-50-percent-recycled-plastic>

2023年2月17日発表<sup>73</sup> : Sulzer は Fuenix Ecology を買収した。Sulzer は、固有の分離技術を有するスイスのエンジニアリング会社で、いくつかの CR リサイクル工場の建設の一部（精製工程など）を担当している。

#### (6)ARCUS Greencycling Technologies(ARCUSと略す、ドイツ)

ARCUS は、2016 年にドイツ・Ludwigsburg で設立されたリサイクル技術のスタートアップである。ARCUS は PE、PP、PS をはじめとして、扱いが難しい PVC、ABS、PET も処理する熱分解プロセスの開発に成功した。4,000 トンの廃プラから、2,500 トンの ARCUS Liquids（オイル）が得られる<sup>74</sup>。

2023年6月19日発表<sup>75</sup> : ARCUS はフランクフルトにある Industriepark Höchst に 4,000 トン/年のセミコマーシャル工場を建設し、2022年4月に操業を開始した。2021年末に ARCUS はこのプロセスで「Lothar Späth Award 2021」を受賞し、そのイノベーション部門では Klatte 氏と 5 人の同僚および共同研究先の Karlsruher Institute for Technology（KIT：熱分解設備技術などを有する）が共同で受賞した。

2022年9月6日記事 : BASF と ARCUS は混合廃棄物からの熱分解油の生産と供給について契約を締結した。契約では供給量は 10 万トン/年まで増えることを想定している。

#### (7)Indaver(ベルギー、大手廃棄物管理会社)

Indaver はベルギーの廃棄物管理会社で、2021年に売上高 6.5 億ユーロ、従業員約 1,900 人の大企業である。年間 500 万トンの廃プラを管理・処理している。

同社は、Flemish Universities（フランドル地方の複数の大学）が開発した解重合・精製技術を基に「P2C プロセス」を開発した。

2022年10月13日発表<sup>76</sup> : ベルギー・Antwerp で混合廃プラの熱分解油工場を建設中（2024年に稼働の見込み）で、TotalEnergies とオフテイク契約を締結した。さらに、同じ場所で PS の解重合法工場を建設する予定（3 万トン/年、2024年に稼働の見込み、

---

<sup>73</sup> <https://www.sulzer.com/en/shared/news/230217-sulzer-acquires-stake-in-fuenix-ecogy>

<sup>74</sup> <https://www.arcus-greencycling.com>

<sup>75</sup> <https://arcus-greencycling.com/umweltschonend-ludwigsburger-start-up-arcus-macht-aus-abfall-kunststoff>

<sup>76</sup> <https://polymers.totalenergies.com/latest-news/totalenergies-and-indaver-sign-offtake-agreement-chemical-feedstock-advanced>  
<https://indaver.com/services/plastics2chemicals>

Sulzer の分離技術を採用) である。Indaver のウェブサイトによれば、アントワーププロジェクトは全体で 6.5 万トン/年の処理能力で、1 億ユーロの投資と記されている。

**2023 年 7 月 12 日記事<sup>77</sup>** : Indaver は建設中の熱分解油工場に、廃プラを熱分解炉に連続供給するために、エネルギー効率の高い Coperion 社の ZSK (同方向) 二軸スクリュウ押出機を設置する。この押出機は、「P2C プロセス」において中心的な機能を担っている。毎時最大 3.7 トンのスループットで押出機のプロセスセクションを通過させて、廃プラを熱分解炉に供給する。押出機の二軸スクリュウは、集中的なせん断力と分散力を利用して、非常に短い時間で大量の機械的エネルギーを廃プラの流れに導入する。わずか 30 秒で、圧縮された原料廃プラは、最高 350°C の均質な溶融物に変換される。

**2023 年 11 月 7 日発表<sup>78</sup>** : Fost Plus と Indaver は PS 製ヨーグルトポットとトレイの CR について提携することを発表した。Indaver は、2024 年に 2.6 万トン/年の CR 工場 (廃 PS と廃 PO) を稼働させる。

#### (8) Valoregen (フランス、スタートアップ(リサイクラー))

2022 年 7 月 21 日発表<sup>79</sup> : Valoregen は Dow と提携して、フランス・Damazan にハイブリッド (MR&CR) リサイクルサイト (廃プラ処理能力は最終的に 7 万トン/年、2023 年第 1 四半期末に MR 工場が稼働見込み) を建設する。Dow は、Damazen の新工場で生産される熱分解油の主たるオフテイカーとなる。

**2023 年 7 月 19 日発表<sup>80</sup>** : 創設者兼社長である Thierry Perez によれば、「Valoregen は、特許化された独自の R-LowGen 技術をベースとして軟質廃プラの CR 企業になることを目指している。当社の破壊的新技术は、触媒 (ゼオライト) を用いた等温転化 (コンバージョン) の原理に基づいている。ゼオライトの主要サプライヤーである Zeolyst International との提携は、当社にとって CR の技術レベルと経済性を向上させる大きな機会を提供する」。

---

<sup>77</sup> <https://www.coperion.com/en/news-media/newsroom/2023/zsk-extruder-for-chemical-recycling>

<sup>78</sup> <https://indaver.com/news/single/samenwerking-tussen-fost-plus-en-indaver-voor-de-chemische-recyclage-van-yoghurtpotjes-en-schuimschaaltjes>

<sup>79</sup> <https://corporate.dow.com/en-us/news/press-releases/dow-and-valoregen-collaborate-to-build-largest-hybrid-recycling-site-in-france.html>

<sup>80</sup> <https://www.businesswire.com/news/home/20230719766860/en/>

#### (9) Renasci NV (Renasciと略す、ベルギー、リサイクラー)

Renasci の Smart Chain Processing (「SCP」) プロセスを使用した旗艦工場はベルギー・Ostend にある。旗艦工場の建設は 2019 年第 1 四半期にスタートし、2020 年 9 月から稼働、2021 年第 1 四半期以降フル稼働である。廃プラ類 (混合廃プラと RDF) の処理能力は 2 万トン/年にまで増加することが見込まれている<sup>81</sup>。

「SCP」プロセスでは、混合廃プラから MR に利用できるものを選別・分離後、残ったものをすべて第 2 ステップで CR することにより熱分解油 (再生材原料) や軽質分 (燃料) を回収する。

2023 年 1 月 12 日発表<sup>82</sup>: Borealis は Renasci に追加投資して、持ち株比率が 50.01% となりマジョリティを取得した。Borealis はベルギーに PP や PE の工場を持っている。

#### (10) BlueAlp (オランダ・Eindhoven、熱分解技術開発企業)

ウェブサイトによれば、2020 年に Renasci & Den Hartog とともに、最初の商業工場のプロトタイプ (処理能力 1.7 万トン/年) を立ち上げた。工場は、Renasci の旗艦工場と同じベルギーの Ostend にある。

2022 年 10 月 4 日発表: Shell は BlueAlp と提携契約を締結し、BlueAlp の 21.25% の株式を取得した。BlueAlp の熱分解油は、Shell の欧州とアジアの工場に供給される。Shell は熱分解油の純度アップのために自社の石油精製の固有技術を使用する。また、契約に基づき、Shell と BlueAlp は合弁会社を設立し、2 つの新工場をオランダに建設する。処理能力は 3 万トン/年以上で、2023 年に稼働の見込みである。得られる熱分解油はすべて、Shell の Moerdijk と Rhineland にあるクラッカーに供給される。別に、Shell はアジアで 2 工場を建設し、熱分解油を Shell Energy と Chemicals Park Singapore に供給することを考えている。

#### (11) Pryme (オランダ・Rotterdam、熱分解技術開発ベンチャー)

9 頁 (2) 参照。

---

<sup>81</sup> <https://www.renasci.be/en>  
<https://www.renasci.be/en/technology>

<sup>82</sup> <https://www.borealisgroup.com/news/borealis-acquires-a-majority-stake-in-renasci-signalling-on-going-commitment-to-leading-the-transformation-to-a-circular-economy>

## (12) Brightmark Energy (Brightmarkと略す、米国・サンフランシスコ)

Brightmark は 4 ラインの熱分解油工場をインディアナ州・Ashley に建設した。廃プラの処理能力は 10 万トン/年で、建設費は 2.6 億ドルである。燃料油生産を目的にした工場である。なお、工場は完成したが本格稼働には至らず、部分的なテスト的運転が続いているといわれる。

## (13) Encina Development Group (Encinaと略す、米国・テキサス州、リサイクラー)

2022 年 4 月 16 日記事および 9 月 12 日発表：Encina はテキサス州・San Antonio にプラスチック流動触媒接触分解（「PFCC」：Plastic Fluid Catalytic Cracking）の小規模設備を有する。そして、最初の大型工場をペンシルバニア州 Point Township に建設する。廃プラ処理能力は 45 万トン/年で、アロマ（ベンゼン、トルエン、キシレンなど）などの化学品を 20 万トン/年生産する。投資額は 11 億ドルである。2024 年着工で、2027 年の見込みである。熱分解油を触媒反応でアロマに転換する 1 段階プロセス<sup>83</sup>(using an integrated single-stage catalytic conversion process) と記されている。

2024 年 1 月 17 日発表<sup>84</sup>：Covestro と Encina は長期供給契約を締結した。Encina は Covestro に 2027 年末から MDI、TDI、PC の原料になる CR 再生材（ベンゼンなど）を供給する。

2024 年 4 月 18 日発表<sup>85</sup>：Encina は Point Township に建設予定の CR プラントについてレビューして、建設プロジェクトを取りやめることを決定した。サウジアラビアと東南アジアでのプラント建設については検討を続ける。

## (14) Honeywell UOP (Honeywellと略す、米国・イリノイ州・シカゴ)

Honeywell はグローバルなエンジニアリング会社である。

---

<sup>83</sup> <https://encinapointtownship.com/>  
<https://encinapointtownship.com/facility-technology/>（2023 年検索）

<sup>84</sup> <https://www.encina.com/covestro-and-encina-reach-an-agreement-for-a-long-term-supply-of-circular-raw-materials/>

<sup>85</sup> <https://encinapointtownship.com/>

2023年2月7日記事<sup>86</sup>：同社の熱分解技術「UpCycle Process Technology」は3万トン/年が標準工場規模である。まず、Sacyr（スペインベースのグローバルなエンジニアリング会社）と合弁で標準工場をスペインに建設する計画を発表したが、遅れている。

（注：同社の熱分解技術「UpCycle Process Technology」は、米国、韓国、中国の企業にライセンスされた。しかし、これらの国での工場建設は具体化していない。）

**2023年4月3日発表<sup>87</sup>**：Biotrend Energy（トルコ、廃棄物管理会社）にライセンスした。新設工場の処理能力は6万トン/年（2ライン）、2025年に稼働の見込みである。

#### **(15) Alterra Energy (Alterraと略す、米国・オハイオ州、スタートアップ)**

オハイオ州アクロンに60トン/日（2万トン/年相当）の連続プロセスの工場が2022年に稼働した（2022年12月30日C&EN）。同社のビジネスモデルは熱分解技術のライセンスである。NesteがAlterraの熱分解油技術に関する欧州のライセンス権を取得する（2022年6月27日発表）（30頁（8）参照）。

2023年2月14日発表：Alterraは、メキシコ湾岸地域に19.2万トン/年のプラスチックリサイクル施設を建設する予定のFreepoint Eco-Systems Holdings LLCとライセンス契約を締結した。この施設は年間28.8万トン/年まで処理能力を高めることができ、世界最大の高度リサイクル工場の1つになる。得られた熱分解油は契約により独占的にShellに供給される<sup>88</sup>。

#### **(16) Nexus Circular (米国・ジョージア州・アトランタ、旧Nexus Fuels)**

Nexus Circularはアトランタに熱分解油工場（処理能力1.5万トン/年）を持っている。ウェブサイトによれば、同社のオフテイクパートナーはShell、CPChem、Braskem、LyondellBasellの4社である。

2021年3月28日発表：Nexus CircularはShellに最初の熱分解油の出荷をした。

---

<sup>86</sup> <https://www.sustainableplastics.com/news/honeywells-chemical-recycling-process-produces-high-quality-feedstock>

<sup>87</sup> <https://pmt.honeywell.com/us/en/about-pmt/newsroom/press-release/2023/04/biotrend-energy-to-build-the-first-commercial-scale-advanced-plastics-recycling-facility-using-honeywell-upcycle-process-technology>

<sup>88</sup> <https://alterraenergy.com/news/alterra-to-license-technology-to-freepoint-for-its-gulf-coast-advanced-plastics-recycling-facility/>

2022年7月11日発表：Nexus Circular と Braskem はイリノイ州・シカゴ近郊に建設予定の熱分解油工場で生産された熱分解油を Braskem に供給する契約（MOU：基本合意書）を締結した。新工場の処理能力は3万トン/年で、直ちに12万トン/年にスケールアップできる。

2022年7月21日発表：Nexus Circular と Dow はテキサス州・Dallas に2.6万トン/年の熱分解油工場を建設する（LOI：意思表明書）。

2023年1月3日発表：Nexus Circular は1.5億ドルの資金を調達した。調達先はCox Enterprises である。Nexus Circular は、2.5億ポンド（11万トン）/年以上の規模の工場を建設する予定である。

2023年1月23日発表：Nexus Circular と Braskem は、新しい熱分解油工場からの再生原料に関する10年間の正式なオフテイク契約を締結した。既に、2022年1月に、Braskem は Nexus Circular に対して戦略的投資を完了している。

2023年2月8日発表：Nexus Circular と CPChem はオフテイク契約を結び提携関係を強化した。新工場から熱分解油の供給を受けることになった。

2023年2月16日発表：Nexus Circular と LyondellBasell はオフテイク契約に調印した。契約により、LyondellBasell は約2.4万トン/年の再生原料（熱分解油）の供給を受ける。2023年に建設が開始される Nexus Circular の新しい熱分解油工場から供給される。LyondellBasell は再生原料をテキサス州・Channelview に送り、そこでブランド名「*Circulen Revive*」の再生プラスチックを製造する。

#### **(17) New Hope Energy (米国・テキサス州)/Lummus (米国)**

New Hope Energy は、Johnny Combs、Karende 夫妻が2013年に設立した熱分解技術のスタートアップで、2018年にテキサス州・Tyler に150トン/日（5万トン/年相当）の工場をつくった。New Hope Energy は Tyler 工場の拡張を検討している。

2020年10月14日発表：New Hope Energy と Lummus（Green Circle 部門）は提携し、Lummus は独占的ライセンス権を取得した。

2022年5月18日発表：New Hope Energy はテキサス州・Tyler に混合廃プラ処理能力 31 万トン/年の工場（2025 年稼働）を建設し、TotalEnergies はそこから生産される熱分解油（再生原料）10 万トンを購入して、テキサスの自社工場で再生プラを製造。

2022年5月24日発表：New Hope Energy は、S&B と既存熱分解油工場の拡張工事の EPC を複数年担当する契約を締結した。拡張により処理能力が 420 トン/日増え、Tyler 工場は処理能力が 3 億ポンド/年（13.5 万トン/年）以上の規模になる。

**2024年1月31日発表<sup>89</sup>**：TotalEnergies は、テキサス州・Port Arthur の BASF's and TotalEnergies' Petrochemicals (BTP) facility で New Hope Energy の熱分解油をナフサクラッカーに投入するテストを初めて行い、再生プラスチックを製造した。

#### (18) Braven Environmental LLC (Bravenと略す、米国・ノースカロライナ州・Zebulon)

1 ラインの設備で、毎年平均 1.2 万トンの廃プラを処理して、約 210 万ガロンの「Braven PyChem™」を製造している<sup>90</sup>。2021年6月17日発表：Braven は、CPCChem と熱分解油由来原料の供給に関してオフテイク契約を締結した。

#### (19) 環境エネルギー（日本・広島県福山市）

熱分解技術のスタートアップで、使用済み FCC 触媒を使用することが特徴である。

**2023年4月20日発表<sup>91</sup>**：出光興産と環境エネルギーは合弁会社「ケミカルリサイクルジャパン株式会社」を設立し、2025 年度に廃プラスチック油化事業の商業運転開始を目指す。

#### (20) Itero (イギリスの熱分解技術開発ベンチャー)

**2024年1月8日発表<sup>92</sup>**：Itero はオランダの Sittard-Geleen に処理能力 2.7 万トン/年でオイル、ワックス、ガスを生産する工場を建設する。2025 年下期に稼働の見込み。Itero は 500 万ユーロの EU の Just Transition Fund を獲得した<sup>93</sup>。

---

<sup>89</sup> <https://corporate.totalenergies.us/news/totalenergies-converts-feedstocks-plastic-waste-circular-polymers-texas-plant>

<sup>90</sup> <https://bravenenvironmental.com/>

<sup>91</sup> <https://www.kankyo-energy.jp/>

<sup>92</sup> <https://www.itero-tech.com/news/itero-brightlands-chemelot-campus>

<sup>93</sup> <https://www.itero-tech.com/news/just-transition-fund-announcement>

### 3. PureCycle TechnologiesのPP溶媒ベース精製法

PureCycle Technologies (PureCycle と略す、米国) は「溶媒ベース精製法による色、におい、異物のない精製 PP 再生材」の事業化を進めている。特許実施例によれば、溶媒は n-ブタン、温度は約 175°C、圧力は約 16MPa で、超臨界条件下での相分離現象を利用して PP 以外の物質を分離する方法である。

オハイオ州・Ironton に最初の工場（生産能力 4.8 万トン/年）を建設し、最終段階として工場に KraussMaffei の押出機が納入され、工場はほぼ完成した（2022 年 12 月 19 日発表<sup>94</sup>）。

**2023 年 5 月 1 日記事<sup>95</sup>** : PureCycle は、Ironton の PP 精製工場の建設を完了した。同社は、現場の独立した建設モニターである Leidos Engineering LLC に、正式な完成証明書を提出した。

**2023 年 11 月 15 日記事<sup>96</sup>** : PureCycle は Ironton 工場から、Formerra（北米の正規代理店）と Milliken（添加材メーカー）に最初の精製 PP の商業製品を出荷した。

**2023 年 12 月 18 日記事<sup>97</sup>** : PureCycle は、Ironton 工場がシャットダウンにより、生産目標（30 日間で 2,019 トンの再生 PP ペレットを製造）を達成することができなかった。このため、PureCycle の株式は下落して、午前中に 35% 下落し、約 3 ドルで取引された。

シャットダウンの主な問題は、ブロックバルブの漏れとメカニカルシールの故障である。同社は、故障はコア技術とは無関係と強調している。

**2024 年 3 月 5 日発表<sup>98</sup>** : Ironton 工場の稼働率を上げるべく、連産品 2（co-product 2 : ポリエチレン）の分離工程の改造をしている。2023 年第 4 四半期のペレット生産量は、シャットダウンと計画停電のため 20 万ポンド（90 トン）にとどまった。計画停電中に

---

<sup>94</sup> <https://ir.purecycle.com/news-events/press-releases/detail/63/kraussmaffei-delivers-final-extruder-for-purecycles>

<sup>95</sup> <https://www.recyclingtoday.com/news/purecycle-mechanical-completion-facility-ironton-ohio/>

<sup>96</sup> <https://www.ptonline.com/news/purecycle-begins-making-commercial-shipments-of-postindustrial-pp>

<sup>97</sup> <https://www.icis.com/explore/resources/news/2023/12/18/10954673/us-purecycle-to-miss-output-goal-on-shutdown-at-r-pp-plant/>

<sup>98</sup> <https://ir.purecycle.com/news-events/press-releases/detail/94/purecycle-technologies-fourth-quarter-and-fiscal-year>

押出機のスクリーンチェンジャーの修理を行い、2024年の1～2月の生産量は100万ポンド（450トン）まで上昇した（それでも非常に低い稼働率である。筆者見解）。

**2024年3月6日発表<sup>99</sup>**：Ironton工場の製造について、①全工程8,000ポンド/時（3.6トン/時）を達成、②100%PCR原料での運転に成功、③連産品2（co-product2）の分離が生産速度の律速、④溶液の使用量は設計よりも顕著に低いと述べている。その他、Ironton工場の立ち上げの状況についても詳しく記載されている。

次期新工場建設計画の状況としては、①テキサス州・Augusta工場はCAPEX（資本的支出）削減が課題、②ベルギー・Antwerp工場は承認（PureCycleとPort of Antwerp-BrugesはPP精製工場の立地として、AntwerpのNextGen Districtに決定）<sup>100</sup>、③韓国・Ulsan工場（SK Geo Centric）は原料テスト中、CAPEX削減が課題、④日本工場（三井物産）は原料テスト中で、また工場建設場所の最終決定中である。

以上のように、新規な大型プラントを稼働させることはいかに大変なことか、また時間がかかることがわかる。ネームプレート処理能力を安定して出すには1年はかかるであろう。

---

<sup>99</sup> [https://dl1o3yog0oux5.cloudfront.net/\\_77353844cd24b5b0b8978f44a8312d23/purecycletech/db/1159/10740/pdf/PCT+4Q23+Corporate+Update+FINAL+3.5.24.pdf](https://dl1o3yog0oux5.cloudfront.net/_77353844cd24b5b0b8978f44a8312d23/purecycletech/db/1159/10740/pdf/PCT+4Q23+Corporate+Update+FINAL+3.5.24.pdf)

<sup>100</sup> <https://www.purecycle.com/blog/purecycle-port-of-antwerp-bruges-announce-nextgen-district-as-location-for-purecycles-first-plastic-recycling-plant-in-europe>

## おわりに

欧州は CR 工場の建設が順調に進んでいる。一方、米国は当初計画より遅れて、2024～25 年に完成する工場はゼロである。さらに、Encina が建設プロジェクトを取りやめることを 2024 年 4 月に発表した。当面、米国の CR に関する業界動向、政府動向（州政府と EPA などの連邦政府）、CR に批判的な団体の動向を注視する必要がある。アジアは CR 工場建設が日本と韓国だけでなく東南アジアに広がってきた。オーストラリアでの建設計画もある。

CR は難しい技術であり、工業技術は未完成である。コスト的にも環境的にも優れた工業技術を完成させるためには、引き続き研究開発が重要である。そういう状況の中で、Pryme の二軸押出・熱分解炉技術、ExxonMobil と OMV の溶媒使用技術、LyondellBasell の触媒使用技術、Indaver の廃プラ押出技術などの新技術登場は心強い。

また、年間廃プラ処理能力は当初 2 万トン規模のものが多かったが、それでは廃プラの発生量からすると規模が小さすぎるし、またコストダウンのためにもスケールアップが必須である。Pryme (4 万トン) や ExxonMobil (3.5 万トン)、PureCycle (4.8 万トン)、Eastman の PET 化学的解重合法 (10 万トン) など大規模工場がこの 1、2 年間で稼働を開始した。

一方、米国の Brightmark (10 万トン) の工場は依然として部分的なテスト運転にとどまり、米国の熱分解油メーカー 4 社の稼働率も高くないといわれる。

技術完成には時間がかかるが、CR は社会、企業、国が期待するやらねばならない事業のため、関係者は辛抱強く技術が確立されるのを待つ度量が必要である。また、各企業は技術競争だけでなく、クロスライセンスなど技術共有により問題解決を早める仕組みを考えるべきだろう。早期に稼働率を上げて、採算の合う産業になることが期待される。

CR の事業化に当たっては、バリューチェーンの構築も重要である。特に、CR 用原料の確保が重要で、廃プラの収集・選別の体制とインフラの強化が喫緊の課題である。熱分解油工場を建設する企業が、同時に原料廃プラの確保に大きな投資をする事例が目立った。

## 参考文献

(1) ～ (3) は ARC リポート (府川伊三郎)

(1) 世界で建設が進むケミカルリサイクルプラントの動向 2023年7月

[https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc\\_report/pdf/rs-1063.pdf](https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1063.pdf)

(2) 2030年の日本のプラスチック(リサイクルとバイオマスプラスチック) 2023年4月

[https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc\\_report/pdf/rs-1062.pdf](https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1062.pdf)

(3) プラスチックのケミカルリサイクルとその技術開発(上)、(下) 2020年5月

[https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc\\_report/pdf/rs-1046.pdf](https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1046.pdf)

[https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc\\_report/pdf/rs-1047.pdf](https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1047.pdf)

(4) 府川伊三郎 「触媒を利用したプラスチックケミカルリサイクルの開発・工業化の動向」 触媒 Vol.65 No.2 120頁 (2023)

(5) 府川伊三郎 「進む欧米のケミカルリサイクルと日本の対応」

石油学会大阪大会(第53回石油・石油化学討論会)講演要旨集 2F10 2023年10月27日

<https://confit.atlas.jp/guide/event-img/jpi2023f/2room-f10/public/pdf?type=in>

<本レポートのキーワード>

プラスチックケミカルリサイクル、解重合、熱分解、PE、PP、PS、混合廃プラの熱分解、熱分解油、バリューチェーン

(注) 本レポートは、ARCのWEBサイト (<https://arc.asahi-kasei.co.jp/>) から検索できます。

このレポートの担当

シニアリサーチャー 府川伊三郎

主幹研究員 下田晃義

E-mail [fukawa.ig@om.asahi-kasei.co.jp](mailto:fukawa.ig@om.asahi-kasei.co.jp)

<https://arc.asahi-kasei.co.jp/contact/>