

シリーズ (CR 企業の米国特許技術) : 上巻

ケミカルリサイクル企業主要12社の 米国特許技術と最新動向

混合廃プラ (PE/PP/PS) の熱分解法ケミカルリサイクル (CR) により、石油化学原料用の熱分解油 (ナフサなど) を製造する企業の最新動向 (新工場建設計画など) と主要 12 社の米国特許技術を調査した。近年、熱分解法 CR 技術は注目され、2019 年以来プロセス特許や装置特許の出願が増加している。主要 12 社の米国特許は合計 72 件であった。そして、米国特許技術と公表情報と合わせて各社の固有技術を推定した。また、熱分解法の課題であるスケールアップの難しさを解析した。

2025 年 10 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

まとめ

- ◆混合廃プラ（PE/PP/PS）原料の熱分解法ケミカルリサイクル（CR）工場（熱分解油工場）の廃プラ処理能力は、世界で既設が 35 万トン/年、建設中と実現性の高い建設計画が 83 万トン/年で、合計 118 万トン/年と推定した。欧州では、順調に熱分解油工場数と処理能力が増加している。米国は遅れ気味であるが、新たな大型計画が発表された。日本も工業化と開発が進んでいる。 （4-10 頁）
- ◆熱分解油工場のプロセスフローの概要と技術課題について解説した。 （11-12 頁）
- ◆世界の熱分解油メーカー主要 12 社について、公表資料による各社プロセスの特徴について一覧表にまとめた。主要 12 社とは Quantafuel、Plastic Energy、Licella と Mura Technology (Licella から技術導入)、BlueAlp、Pryme、LyondellBasell、OMV、ExxonMobil、Honeywell UOP、Alterra Energy、Nexus Circular、New Hope Energy/Lummus である。 （13-14 頁）
- ◆熱分解油メーカー主要 12 社の熱分解法 CR 技術に関する米国特許検索を行い、合計 72 件が抽出された。2019 年以降に出願数が増加し、毎年 10 件程度になっている。企業別では、LyondellBasell の 19 件と ExxonMobil の 13 件が多い。 （15-16 頁）
- ◆米国特許技術と公表情報より、熱分解法 CR の要素技術を抽出した。要素技術の項目としては、廃プラ中の残存 PVC の対策、触媒の使用、溶媒や超臨界水の使用、2 軸押出機の使用、押出機後に設置された加熱装置の使用、熱分解炉の形状と構造、チャー対策、プロセスの運転方法（連続、セミバッチ、バッチ）、熱分解ベーパー凝縮物の熱分解炉への循環、熱分解炉中のポリマー熱分解液の外部循環（加熱）などである。それぞれの項目について、各社の固有技術をリストアップした。 （16-22 頁）
- ◆熱分解油工場のスケールアップについて検討した。図 2 に示すように、Pryme を除き、スケールが大きくなるにつれて、生産性が急速に低下する。熱分解反応は大きな吸熱反応で、しかもメルトポリマーは高粘度で熱伝導率が低いため、スケールアップしていくと熱分解は反応律速でなく、伝熱律速になるためである。なお、Pryme は、建設時の 2023 年には 20m³ の熱分解炉 1 基で廃プラ処理能力 4 万トン/年と発表して

いたが、稼働後の生産量が上がらず、2024 年に廃プラ処理能力を 2.6 万トン/年に下方修正した。このため、図 2 のように単位体積当たりの生産性も大幅に低下した。

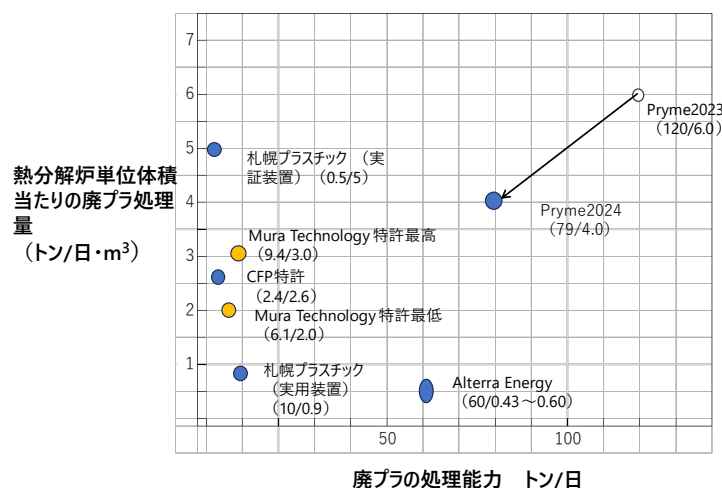


図 2 熱分解油工場(パイロット)の廃プラ処理能力と熱分解炉単位体積当たりの処理量

具体的には、熱分解炉のジャケット温度を上げて熱分解温度を高くしようとする、伝熱が悪いのでジャケットと内部のポリマー熱分解液に大きな温度差が生じる。高温ジャケットで加熱された熱分解炉壁面のポリマー熱分解液は、過度に熱分解されチャー（コークス）を生成する。このため、多くの熱分解油メーカーが速度的には有利な高温分解（450～500℃）を避けて、400～420℃のより低い温度で熱分解を長時間行っている。チャーの生成・成長の防止策として、攪拌機や摩擦ブレードで炉壁面のチャーとポリマーを掻き取る方法が出願されている。また、熱供給対策としては、①2 軸押出機を使って、短時間に廃プラを高温メルトポリマーに変換し、熱分解炉での加熱負担を減らす（例は Pryme）、②押出機—熱交換器—熱分解炉の構成で、熱分解炉入り口のメルトポリマー温度を上げる（例は BlueAlp）、③溶媒を使用して粘度を下げ、混合性、熱伝導性を改善する（例は OMV と ExxonMobil）、④超臨界水を用いて、熱伝導性と粘度を改善する（例は Licella と Mura Technology）、⑤熱分解炉中のポリマー熱分解液を外部循環して、かつ再加熱して熱分解炉に戻す（例は BlueAlp など）方法が出願されている。

(23-29 頁)

目 次

はじめに	1
用語・略語	2
1. 混合廃プラの熱分解法 CR の事業化状況	4
1.1 世界の熱分解油工場の混合廃プラ(PE/PP/PS)処理能力	4
1.2 日本の混合廃プラと廃タイヤの CR 技術の事業化と開発	10
2. 混合廃プラの熱分解法 CR プロセスの概要と課題	11
2.1 混合廃プラの熱分解法 CR プロセスの概要	11
2.2 混合廃プラの熱分解法 CR プロセスの技術課題	12
3. 熱分解油メーカー主要 12 社の公表資料によるプロセスの特徴	13
4. 熱分解油メーカー主要 12 社の米国特許と公開情報の総合的解析	15
4.1 熱分解油メーカー主要 12 社の米国特許の検索結果	15
4.2 熱分解油メーカー主要 12 社の固有要素技術	16
4.3 熱分解法 CR のスケールアップが難しい理由と対策	23
おわりに	30
謝辞	31
参考文献	31

〔中巻〕 欧州ケミカルリサイクル企業 6 社の米国特許と技術

1. Quantafuel (デンマーク)
 2. Plastic Energy (イギリス)
 3. Licella (オーストラリア) と Mura Technology (イギリス)
 4. BlueAlp (オランダ)
 5. Pryme (オランダ)
 6. LyondellBasell (欧州と米国にある石油化学企業)
- (参考) 札幌プラスチック

〔下巻〕 米国などケミカルリサイクル企業 6 社の米国特許と技術

1. OMV (オーストリア)
 2. ExxonMobil (米国・テキサス州 Baytown)
 3. Honeywell UOP (米国・イリノイ州 Chicago)
 4. Alterra Energy (米国・オハイオ州 Akron)
 5. Nexus Circular (米国・ジョージア州 Atlanta)
 6. New Hope Energy/Lummus (米国・テキサス州 Tyler)
- (参考) 環境エネルギー

はじめに

(1) 本シリーズ(CR企業の米国特許技術、上巻、中巻、下巻)について

過去5年間、ケミカルリサイクル(CR)の事業化状況をウォッチ¹してきた。各種CRの内、混合廃プラ(PE/PP/PS)の熱分解法(油化法)が最も注目されるCR(欧米ではAdvanced Recyclingということが多い)である。

今回、これに焦点を当て、米国特許情報と公表資料より世界の熱分解油メーカー主要12社のプロセスを推定した。主要12社は、欧州のQuantafuel(デンマーク)、Plastic Energy(イギリス)、Licella(オーストラリア)とMura Technology(イギリス)²、BlueAlp(オランダ)、Pryme(オランダ)、LyondellBasell(欧州と米国にある石油化学企業)、OMV(オーストリア)と、米国のExxonMobil(米国・テキサス州Baytown)、Honeywell UOP(米国・イリノイ州Chicago)、Alterra Energy(米国・オハイオ州Akron)、Nexus Circular(米国・ジョージア州Atlanta)、New Hope Energy/Lummus(米国・テキサス州Tyler)である。また、参考に日本のCFP³、環境エネルギー(出光興産と共同で工場建設中)、札幌プラスチック⁴を取り上げた。

特許は、検索しやすく明細書の著作権問題が少ない米国特許(USP)に絞り、一部国際特許出願(PCT)などで補強した。

PO(ポリオレフィン:PE、PPなど)の熱分解技術は1990年代から研究され、過去に多くの文献、特許が発表されている。今回調査した米国特許は、そういう先行技術がある中で出願された特許なので、先行技術に対する差異と優位性を明確にする必要があり、自ずと実際の工業化プロセスを反映しているものと考えた。

また、石油化学企業大手のExxonMobil、OMV、LyondellBasellは、自ら熱分解法CR技術を開発して、稼働中または建設中である。特許明細書からこれらリーディングカンパニーの開発プロセスを知ることは興味のあるところである。また、プロセスのスケー

¹ 参考文献(1)~(6)参照。

² LicellaはMura Technologyに超臨界水熱分解技術をライセンスした。

³ 10頁参照。

⁴ 参考文献(7)参照。

ルアップが可能と表明している Pryme と BlueAlp の技術を解析することも興味のあるところである。

(2) 本リポート(上巻)について

まず世界の混合廃プラ（PE/PP/PS）の熱分解法工場（以下、熱分解油工場）の稼働状況および建設計画の最新動向をまとめた。これについては、主要 12 社にこだわらず世界の最新動向をまとめた。

次に、熱分解油メーカー主要 12 社の公表ベースによる熱分解技術の特徴をまとめた。

そして、シリーズの中巻と下巻の内容について、上巻で 2 つの切り口でまとめた。一つは熱分解法プロセス技術の要素技術を洗い出し、それぞれの要素技術について、主要 12 社が持つ固有技術をリストアップした。もう一つは、熱分解技術の大きな課題の一つであるスケールアップの困難性についてその理由と原因と対策を考察した。

用語・略語

- ・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。欧米では Advanced Recycling ということが多い。CR の手法としては、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。
- ・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 プラントの設備能力：一般には廃プラの処理能力で表す。また、熱分解油（オイル）の生産能力で表す場合もある。
- ・熱分解炉 (Pyrolysis furnace) : 熱分解リアクター (Pyrolysis reactor)、リアクター (Reactor) と同じ意味である。
- ・ポリマー熱分解液：熱分解炉中にあるポリマーとポリマー分解物の混合物。
- ・熱分解物ベーパー (vapor) : 熱分解炉で廃プラが分解されて排出されるガスのこと。

- ・熱分解ガス：熱分解物ベーパーを冷却凝縮させても室温では気体のもの（メタン、エタンなど）。
- ・チャー（カーボンブラック、コーク、炭素など）：熱分解で生成する炭素系副産物。
- ・コンタクター、還流塔、部分凝縮塔（Partial condenser）は、いずれも低沸点成分（製品になる成分）と高沸点成分（熱分解炉に戻し再分解させる）を分ける設備を指す。
- ・ロータリーキルン（Rotary Kiln）：供給装置を使って原料を炉内に供給し、攪拌させながら原料を均一に熱処理する円筒回転加熱炉である。
- ・アップグレーディング（Upgrading）：FCC や水素化分解により、熱分解油の重質成分を軽質化して、ナフサなどの軽質留分にすること。
- ・FCC（流動接触分解）：重質油原料から、ガソリン、ガソリン原料、軽油などを製造する設備。JOGMEC（独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構）によれば、「反応温度は 430～550℃、圧力は移動層式で約 2kg/cm²、流動層式で 0.7～1.1kg/cm² 程度である。触媒再生温度は 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（C4 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」⁵。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」⁶。
- ・プラスチックの略号

PE：ポリエチレン、PP：ポリプロピレン、PS：ポリスチレン

混合廃プラ（PE/PP/PS）：PE、PP、PS からなる混合廃プラのことで、熱分解に適する。

PO：ポリオレフィン（PE、PP などの総称）、PVC：ポリ塩化ビニル

PET：ポリエチレンテレフタレート、PA：ポリアミド（ナイロン）

⁵ 出所:JOGMEC 資料(<https://oilgas-info.jogmec.go.jp/termlist/1001027/1001092.html>)に基づき作成。

⁶ 出所:JOGMEC 資料(<https://oilgas-info.jogmec.go.jp/termlist/1000971/1000980.html>)に基づき作成。

1. 混合廃プラの熱分解法CRの事業化状況

1.1 世界の熱分解油工場の混合廃プラ(PE/PP/PS)処理能力

(1) 世界の熱分解油工場の廃プラ処理能力の総計

地域別の熱分解油工場の年間廃プラ処理能力（処理能力と略す）を表 1 に示す。表 2 と表 3 をベースに作成したものである。欧州は着実に熱分解油工場が増加して総計 56.8 万トン/年になる。一方、米国は既設と新工場計画のいずれもが欧州より少なく、総計 42.1 万トン/年にとどまる。世界の総計は 118 万トン/年である。

なお、集計は表 2、表 3 をベースにしたが、10 万トン/年以上の計画については、集計数字に与える影響が大きいため、一律 10 万トン/年と仮定して集計した。また、米国の New Hope Energy/Lummus のテキサス州 Gulf Coast・31 万トン/年計画は、同社テキサス州 Tyler 工場火災事故のため、実現性が薄いと考え、集計に入れなかった。

表 1 熱分解油工場の混合廃プラ(PE/PP/PS)処理能力推移(単位:万トン/年)

地域	完成済み	2025年後半以降 稼働見込み	総計	熱分解油 メーカー	石油化学 企業
欧州	20.2	36.6	56.8	16社	14社
米国	12.1	30	42.1	5社	7社
日本	2.9	2.3	5.2	3社	5社
韓国	0	8.6	8.6	2社	2社
マレーシア	0	3.3	3.3	1社	1社
オーストラリア	0	2	2	1社	1社
総計	35.2	82.8	118	28社	30社

出所:表2と表3をベースにして、2025年7月に旭リサーチセンター作成。

(2) 世界の個別熱分解油工場とその処理能力

表 2 に、世界の稼働中（もしくは工場完成）の熱分解油工場を集約した。

また、表 3 に建設中を含め実現性の高い建設予定の熱分解油工場を集約した。

表 2 世界の稼働中(もしくは工場完成)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	提携石油化学メーカーの例	万トン/年	稼働年	備考
Quantafuel	デンマーク	BASF	1.6	2022年末	QuantafuelはVirdor資本に
Plastic Energy	スペイン	TotalEnergies	0.5	2017	セミバッチ、 反応蒸留（コンタクター）方式
	スペイン	TotalEnergies	0.5	2014	
	フランス	ExxonMobil	3.3	2023	
Plastic Energy・Sabic合弁	オランダ	Sabic	2	2024	
Mura Technology	イギリス	Dow	2	2023	超臨界水熱分解プロセス
Pryme	オランダ	Shell	4→2.6	2023	2軸押出機使用急速加熱・高温熱分解稼働後、処理能力を下方修正
Fuenix Ecogy	オランダ	Dow	2→0	～2022	Fuenix EcogyはSulzer資本になる。 2025年7月破産の報道
Arcus	ドイツ	BASF	0.4	2022	
Renasci	ベルギー	Borealis（出資）	2.5	2020	押出機と熱分解炉の間の熱交換器で加熱、スケラブル
BlueAlp		Shell（出資）			
Indaver	ベルギー	TotalEnergies	2.6	2024	2軸押出機使用急速加熱、POとPSの併用CRプラント
OMV	オーストリア	OMV、Borealis	1.6	2025	溶媒使用の自社技術、2025年3月稼働開始
Versalis	イタリア	Versalis（ENI）	0.6	2025	自社技術、2025年6月稼働開始
ExxonMobil	米国・テキサス州	ExxonMobil	3.6	2022	溶媒使用の自社技術 2025年6月倍増工事完了
			3.6	2025	
Alterra Energy	米国・オハイオ州	Neste	2	2022	60トン/日、ロータリーキルン型熱分解炉（3m×20m）
Nexus Circular	米国・ジョージア州	Braskem、Shell	1.7	不明	50トン/日
New Hope Energy /Lummus	米国・テキサス州	TotalEnergies	5→0	2018	150トン/日、反応器デザインに固有技術、2024年夏の火災でプラント停止報道
Braven	米国・NC州	CPCChem	1.2	不明	
CFP	岡山県笠岡市	旭化成（アドバンス）・三井化学	0.9	2024	CFP技術、2024年3月0.3万トン、2024年11月0.6万トン
ENEOSと三菱ケミカル/ Mura Technology技術	茨城県鹿島地区	ENEOSと三菱ケミカル	2	2025	2025年7月竣工式開催

出所：各社発表などを基に2025年7月に旭リサーチセンター作成

（注）最新情報（2025年7月11日）：広東東粵化学科技（中国広東省）は混合廃プラのCR工場（20万トン/年）が稼働したことを発表した。独自開発の「CPDCC（Catalytic Pyrolysis Deep Catalytic Cracking）技術で、重層接触分解（DCC）技術を廃プラの熱分解に応用したものである。

出所：<https://www.hcpect.com/news/1599.html>、
<https://recyclinginside.com/recycling-technology/size-reduction/harden-powers-dongyue-chemicals-pioneering-one-step-plastic-recycling/>

表 3 世界の 2025 年後半以降に稼働見込みの熱分解油工場（稼働年は発表時のもの）

熱分解油メーカーまたは熱分解技術保有企業	工場	提携石油化学メーカーの例	万トン/年	稼働年	備考
Plastic Energy	フランス	TotalEnergies	1.5	2025	2023年7月発表（着工済み）
Plastic Energy	スペイン	TotalEnergies	3.3	2025	2022年1月発表
LyondellBasell	ドイツ	LyondellBasell	5	2026	触媒使用の自社技術、2024年9月に着工の式典開催
Itero	オランダ	不明	2.7	2025	2024年11月発表（建設の承認）
Biotrend Energy /Honeywell（ライセンス）	トルコ	不明	6	2025	Biotrendは廃棄物管理会社 2023年4月発表、3万トン2系列
Recupero Etico Sostenibile (RES) /BlueAlp技術	イタリア	Shell	2	2026	RESは廃棄物管理会社（2024年5月発表）
Xycle	オランダ	Dow	2.1	2026	2025年中に熱分解装置10基設置
OMV	オーストリア	OMV、Borealis	20	未発表	2025年3月発表
MOL/Lummus技術	ハンガリー	MOL	4	未発表	2024年7月契約締結を発表
New Hope Energy/Lummus	米国・テキサス州	TotalEnergies	31	2025	2022年5月発表（31万トン、テキサス州・Gulf Coast）
Braven	米国・テキサス州	CPChem BASF	25	未発表	1.45億ドル投資、CPChemと2024年10月、BASFと2025年3月オフテイク契約
ExxonMobil	米国・テキサス州	ExxonMobil	15.4	2026	2億ドル投資、テキサス州のBaytownに2系列新設とBeaumont新工場
LyondellBasell	米国・テキサス州	LyondellBasell	10	未定	2026年にFID（最終投資決定）の予定であったが、2025年8月にFID延期の情報
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）	千葉県市原市	出光興産	2	2025	FCC廃触媒（ゼオライト）使用の環境エネルギー技術、建設中
CFP	岡山県笠岡市	旭化成（アドバンス）・三井化学	0.3	2025	第3系列
LG Chemical/ Mura Technology技術	韓国	LG Chemical	2	2025	着工（2023年3月発表）、2025年完成見込み
SK Geo Centric/ Plastic Energy技術	韓国	SK Geo Centric	6.6より縮小	2025	着工（2023年12月発表）規模縮小（2024年5月発表）
Petronas (PCG) / Plastic Energy技術	マレーシア	Petronas (PCG)	3.3	2026	FID（最終投資決定、2023年10月発表）
ARV (Licella、Amcore、Mondelēz)	オーストラリア	Melbourneの石化メーカー	2	未定	2023年8月発表、Licellaの Cat-HTR™超臨界水熱分解技術

出所：各社発表などを基に2025年7月に旭リサーチセンター作成。

i. 表 2（稼働工場）の最近のトピックスは以下の通りである。

①Pryme は稼働工場のネームプレート処理能力を下方修正（4 万トン/年から 2.6 万トン/年、2025 年 5 月発表：25 頁の(3)参照）。

②Fuenix Ecogy が裁判所から破産宣告を受けたとの報道（2025 年 7 月 15 日）⁷。

③OMV が新工場（1.6 万トン/年）の稼働開始と次期計画を発表（2025 年 3 月）⁸。

OMV は成功裏に新工場の稼働を開始し、次期計画（20 万トン/年）を発表した。

④Versalis がイタリア新工場の稼働開始を発表（2025 年 6 月）⁹。

⑤ExxonMobil がテキサス州 Baytown 工場の能力倍増工事完了を発表（2025 年 6 月）¹⁰。

処理能力を 3.6 万トン/年から 7.2 万トン/年に倍増した。

⑥ENEOS と三菱ケミカルが熱分解油新工場の竣工式を開催（2025 年 7 月）。

⑦New Hope Energy/Lummus のテキサス工場で 2024 年夏に火災が発生し工場停止¹¹。

2025 年 7 月現在、同社の正式な発表は見当たらず、同社のウェブサイト（ホームページ）は削除されていたが、2025 年 7 月現在「再作成中」になっている。

ii. 表 3（建設中、建設予定工場）の最近のトピックスは、以下の通りである。

①Plastic Energy の TotalEnergies と提携のフランス新工場は完成間近。

②LyondellBasell はドイツに新工場建設中で、2026 年完成見込み。

③Itero は新工場建設（オランダ・Geleen）の進捗状況を発表（2025 年 5 月）¹²。

Geleen の Brightlands Chemelot Campus に 2.7 万トン/年の廃プラから 2.0 万トン/年の熱分解油をつくる工場を建設する準備を進めていて、2025 年中には管轄官庁から許可が出るとみている。EU の 500 万ユーロの資金を獲得している。

⁷ <https://www.sustainableplastics.com/news/chemical-recycler-fuenix-ecogy-goes-bankrupt>

⁸ <https://www.omv.com/en/media/insights/2025/omv-starts-up-new-reoil-plant>
<https://www.omv.com/en/media/press-releases/2025/250318-omv-unveils-innovative-reoil-plant-to-transform-end-of-life-plastics-into-circular-feedstocks>
<https://www.omv.com/en/media/press-releases/2025/250312-omv-premieres-eu-funding-of-eur-81-6-mn-for-its-industrial-reoil-plant>

⁹ <https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2025/06/versalis-hoop-demo-plant-chemical-recycling-plastics.html>

¹⁰ <https://corporate.exxonmobil.com/locations/united-states/baytown/newsroom/2025/doubling-down-on-double-capacity#We%E2%80%99reinvested in advanced recycling>

¹¹ <https://news.oilandgaswatch.org/template/brief/despite-big-growth-plans-chemical-plastics-recycling-plant-in-east-texas-unexpectedly-stops-operating>

¹² <https://www.itero-tech.com/news/a-day-in-the-life-at-brightlands-chemelot-with-our-head-of-operations>

④RES（イタリア、廃棄物処理企業）はBlueAlp 技術で新工場建設を発表（2024 年 5 月発表）。

BlueAlp 技術¹³を採用した新工場（イタリアの Pettoranello）の処理能力は 2 万トン/年、現在建設中で 2026 年中ごろ完成予定である。2025 年 2 月に Shell と熱分解油 1.5 万トン/年のオフテイク契約を締結した¹⁴。

⑤Xycle（オランダ）はロッテルダム新工場の着工を発表（2025 年 6 月）¹⁵。

Xycle（熱分解油製造の新規参入企業）は 2025 年中に熱分解炉 10 基を設置することを発表。Xycle には Dow や ING、Invest-NL、Polestar Capital、Vopak などが投資している。また、Xycle は Dow とオフテイク契約を締結した。Xycle は、オランダ・インド系のエンジニアリング会社である Teknow の一部門として、2008 年に熱分解技術の開発を開始した。2012 年以降、インドで小規模設備を運転し、さらに、2018 年以降にオランダの試験設備で 35 種類以上の廃プラについて試験した。

⑥OMV は次期計画として、20 万トン/年の工場を建設することを発表（2025 年 3 月）¹⁶。

次期計画では、稼働開始した新工場（1.6 万トン/年）と同じ工場サイト（ウィーン近郊の Schwechat）に 20 万トン/年の工場を建設する。既に、EU より 8,160 万ユーロのイノベーションファンドを獲得している。FID はまだである。

⑦MOL（ハンガリー）はLummus 技術で処理能力 4 万トン/年の工場を建設するために、Lummus と契約した¹⁷。

⑧New Hope Energy/Lummus のテキサス州 31 万トン/年計画は、同社 Tyler 工場火災事故の影響でペンディングになる可能性が高い。

¹³ <https://www.bluealp.nl/newsroom/>
<https://www.plasticstoday.com/packaging/advanced-recycling-bluealp-talks-technology-trends-and-traction>

¹⁴ <https://www.sustainableplastics.com/news/shell-res-enter-pyrolysis-oil-offtake-agreement-bluealp-plant-italy>

¹⁵ <https://xyclegroup.com/dow-ing-invest-nl-polestar-capital-and-vopak-fund-first-plant-of-rotterdam-based-chemical-recycling-company-xycle/>

¹⁶ <https://www.omv.com/en/media/press-releases/2025/250312-omv-premieres-eu-funding-of-eur-81-6-mn-for-its-industrial-reoil-plant>

¹⁷ <https://www.recyclingtoday.com/news/mol-hungary-pyrolysis-chemical-plastic-recycling-lummus/>

⑨Braven（米国）のテキサス州 Texarkana 工場建設計画（2025 年 2 月発表、1.45 億ドルの投資）¹⁸。

フル稼働時に 25 万トン/年の廃プラを処理する計画である。CPChem が 2024 年 10 月に、BASF が 2025 年 3 月にそれぞれ長期供給契約を締結した¹⁹。

⑩LyondellBasell（米国）は、2024 年 11 月自社技術で新工場建設計画を発表²⁰。

処理能力 10 万トン/年をテキサス州 Houston の自社石油精製工場に建設する。既存の水素化処理設備を利用する。2026 年に FID（最終投資決定）の予定である。2025 年 8 月 8 日の化学工業日報の記事によれば、2026 年の FID は延期された。

⑪ExxonMobil（米国）は Baytown（第 3、第 4 系列）と Beaumont 新工場建設計画（2024 年 11 月と 2025 年 6 月発表）²¹。

合計処理能力は 15.4 万トン/年、投資額は 2 億ドルで、2026 年完成見込み。

⑫LG Chem（韓国）の Mura Technology 技術による工場は着工しており、2025 年に完成の見込み²²。

⑬SK Geo Centric（韓国）は CR 全体計画の見直しで規模縮小の報道（2024 年 5 月）²³。

混合廃プラの熱分解工場（Plastic Energy 技術）、PP の溶媒精製工場（Pure Cycle 技術）、PET の解重合工場（Loop Industries 技術）の 3 つの工場を同じサイト内で、同時着工したが、その後見直しが行われ、PP 溶媒精製工場と PET 解重合工場はペンディングになった。混合廃プラの熱分解工場も規模が縮小される見込みである。

¹⁸ <https://gov.texas.gov/news/post/governor-abbott-announces-new-braven-environmental-facility-in-texarkana>（2025 年 2 月）、
<https://oilandgaswatch.org/facility/6661>

¹⁹ <https://www.einpresswire.com/article/755027180/braven-environmental-and-chevron-phillips-chemical-enter-into-long-term-pyrolysis-feedstock-agreement>
<https://www.basf.com/us/en/media/news-releases/2025/03/P-US-25-06>

²⁰ <https://www.icis.com/explore/resources/news/2024/11/01/11046565/lyondellbasell-may-make-2026-fid-on-us-chemical-recycling-plant/>

²¹ https://corporate.exxonmobil.com/news/news-releases/2024/1121_exxonmobil-invests-200m-to-expand-advanced-recycling-in-texas
<https://corporate.exxonmobil.com/locations/united-states/baytown/newsroom/2025/doubling-down-on-double-capacity#We%E2%80%99reinvested%20in%20advanced%20recycling>

²² <https://sustainabilitymag.com/articles/lg-chem-chemical-recycling-completing-closed-loop-solution>

²³ <https://www.kedglobal.com/waste-management/newsView/ked2024050200>（2025 年 6 月検索）

1.2 日本の混合廃プラと廃タイヤのCR技術の事業化と開発

表4に上記の事業化と開発の状況をまとめた。この中で、CFPが無触媒熱分解の自社技術で岡山ケミカルリサイクル工場を建設・稼働したことが注目される。その特徴は、①特許技術（低温固化しない廃プラ熱分解油（流動温度0℃以下、従来品は20℃前後）製造技術）、②オフガスの有効利用（製造時に発生するオフガスは熱分解炉のバーナー燃料に使用）、③熱分解炉に残ったチャー残渣を安全に取り出すことが可能なこと、また残渣の自動抜出により、昇温、降温の必要がなく効率的な連続運転が可能なことの3点である。

表4 日本の混合廃プラと廃タイヤのCR技術の事業化と開発

主たる事業者	その他主要関係者	工場、パイロット、ベンチ	廃プラ処理能力	技術	原料	技術の特徴
CFPグループ	（提携） ・旭化成（アドバンス） ・三井化学	プラント稼働中 （岡山ケミカルリサイクル工場：岡山県笠岡市）	3千トン/年 （2024年初）、 6千トン/年 （2024年末）	自社技術	混合廃プラ	無触媒熱分解技術。低温固化しない熱分解油、オフガスの有効利用、温度を下げずに熱分解炉よりチャーの自動抜出を特徴とする。3千トン/年の増設計画あり。
ENEOS・三菱ケミカル共同事業体		工場（茨城県・鹿島地区）、2025年7月竣工式	2万トン/年	Mura Technologyからのライセンス	混合廃プラ	超臨界水熱分解技術。
出光興産（ケミカルリサイクル・ジャパン）	環境エネルギー（共同事業者）	工場建設中（千葉県市原市）、2025年完成予定	2万トン/年	環境エネルギー技術	混合廃プラ	使用済みFCC触媒（ゼオライトやシリカアルミナ）を使った熱分解反応。触媒は使い捨てで、触媒再生不要か。
住友化学	丸善石化（共同事業者）	GI基金事業（注1）	事業期間 2021～2030年度	室蘭工大の研究をベースに自社技術開発中	混合廃プラ	2段法、熱分解で軽質炭化水素をつくり、それを接触分解（ゼオライト触媒）し、エチレン、プロピレン、C4などを直接製造。触媒はリサイクル。
ブリヂストン	ENEOS（共同事業者）	GI基金事業（注1）	事業期間 2021～2030年度	自社技術開発	廃タイヤ	ブリヂストンが熱分解を担当。ENEOSが熱分解油の精製・軽質化と化学品製造（ブタジエンなど）を担当。
レゾナック		GI基金事業（注1）	研究期間 2024～2032年度	自社技術開発	混合廃プラ	マイクロ波加熱等のケミカルリサイクルにより、直接基礎化学品（低級オレフィン・BTX等）を製造する。
NEDOプロジェクト（注2）	松方早稲田大学教授（PL）、JPEC、コスモ石油ほか	NEDOプロジェクト（注2）は2024年度で終了	研究期間 2019～2024年度	独自技術	混合廃プラ	溶媒と触媒を使用した熱分解反応。触媒はゼオライトを使用。触媒は再生リサイクル。

注1) NEDO 「グリーンイノベーション基金事業／CO₂等を用いたプラスチック原料製造技術開発」

注2) NEDO 「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」

出所：各種資料より旭リサーチセンター作成。CFPは<https://www.cfp-eco.com/biz/yuka/>参照。

NEDO資料は、注1は、<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/development-plastic-raw-material-manufacturing/> 注2は、https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100179.htmlを参照。

2. 混合廃プラの熱分解法CRプロセスの概要と課題

2.1 混合廃プラの熱分解法CRプロセスの概要

混合廃プラの熱分解法 CR のプロセスフローを図 1 に示す。

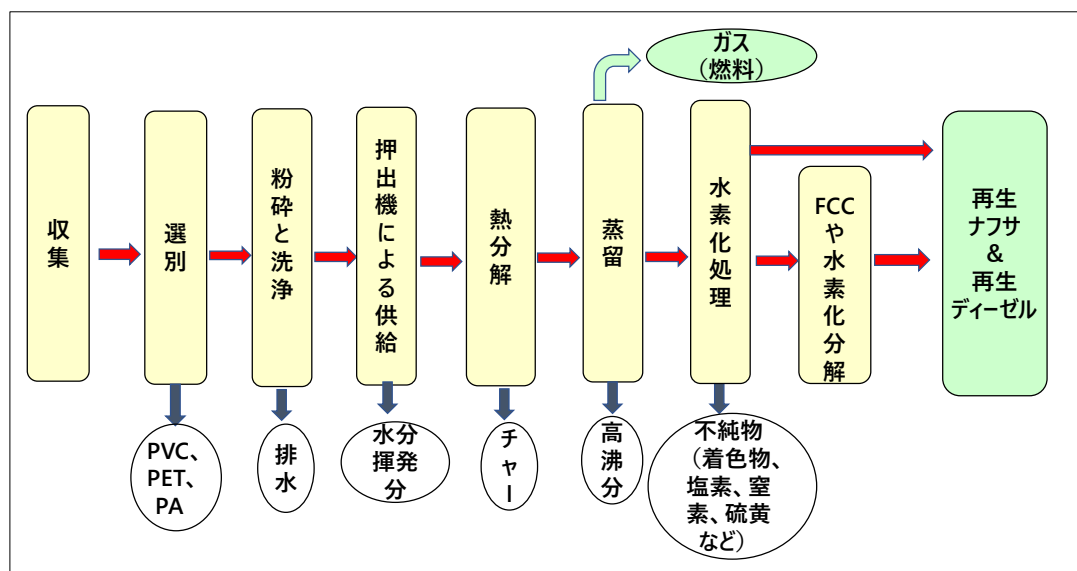


図 1 混合廃プラ(PE/PP/PS)の熱分解法 CR のプロセスフロー

出所：各種資料より旭リサーチセンターが作成。

まず廃プラの収集である。プラスチックの分別収集により家庭からの一般廃プラ、あるいは産業廃プラを収集する。廃プラの主成分は PO（PE と PP）と PS であり、熱分解法に適したプラスチックである。廃プラ中の PET、PVC、PA は熱分解法に適さないもので、選別して除去する。選別方法としては、水中での浮沈による比重差選別法や、光学の識別法（NIR）などが用いられる。

選別された混合廃プラは機械的に粉碎され、界面活性剤水溶液などを使用して洗浄する。洗浄後、水を切り乾燥する。押出機などで廃プラを圧縮しながら所定温度に加熱して熔融させた廃プラ（メルトポリマー）を熱分解炉に供給する。熱分解は無酸素条件下で、温度は通常 400～500℃で行う。熱分解時に副生成物としてチャーが生成する。チャーは熱分解炉から連続的に取り出すか、あるいはある程度たまった時に熱分解反応を停止してバッチ的に取り出す。

熱分解生成物はベーパー状で熱分解炉より取り出す。熱分解生成物には、常温でガス（メタン、合成ガスなど）、オイル（ナフサ、ディーゼルなど）、ワックスなどが含まれている。

精留でそれぞれの成分に分離する。ガス成分（メタン、合成ガスなど）はプロセスの燃料に使用されることが多い。オイル成分は水素化処理により、含まれている塩素、硫黄、窒素含有不純物を、それぞれ塩化水素（HCl）、硫化水素（H₂S）、アンモニア（NH₃）に転化して除去する。

また、ディーゼル以上の高沸点分は、石油精製工場に通常備えられている FCC 装置により、触媒分解して軽質化する（ナフサ留分を増やす）アップグレーディングをすることが多い。このようにして製造された再生ナフサや再生ディーゼルは、石油化学原料として使用される。

2.2 混合廃プラの熱分解法CRプロセスの技術課題

以下のように、混合廃プラの熱分解法 CR プロセスの技術課題は多い。

- ①選別後も混合廃プラに少量残存する PVC、PET、PA などが、熱分解に悪影響を与える。
- ②熱分解生成物中のナフサ成分が 15～26%と低い。
- ③チャーが生成する。チャーは熱分解炉壁面に付着したり、熱分解ベーパーとともに飛散し、凝縮系や精製系を汚染し詰まりの原因になる。また製品の品質に悪影響を与える。
- ④スケールアップが難しく、処理能力が 2 万トン/年程度で、廃プラ処理量からすると小さすぎる。
- ⑤単位処理能力当たりの設備費が高く、エネルギー消費量も高い。

3. 熱分解油メーカー主要12社の公表資料によるプロセスの特徴

世界の熱分解油メーカー主要 12 社と札幌プラスチックについて、公表資料によるプロセスの特徴を表 5 に示す。参考文献(1)をベースに作成した。

主要 12 社は、欧州の Quantafuel、Plastic Energy、Mura Technology、BlueAlp、Pryme、LyondellBasell、OMV と、米国の ExxonMobil、Honeywell UOP、Alterra Energy、Nexus Circular、New Hope Energy/Lummus である。Licella は省略し、札幌プラスチックを参考に追加した。

札幌プラスチックは 2001～2011 年に 1.5 万トン/年の工場を札幌で稼働していた。

なお、Honeywell UOP はパイロット研究をベースに自社技術を開発して、既に数社にライセンスしている。ただし、工場の建設はまだない。

表 5 の項目としては、企業名、プロセスの名称（商標）、プラント所在地、廃プラの年間処理能力、（使用できる）廃プラの種類、熱分解条件（触媒の有無、温度・圧力、連続/バッチ、熱分解炉の構造、プロセスの特徴、アップグレーディング）、反応成績（得られるナフサ、ディーゼルなどの製品収率など）である。

表5 世界熱分解油メーカー12社と札幌プラスチックの熱分解法CR技術

企業名 (プロセス名)	プラント 所在地	年間処理 能力 (万 トン)	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		精製・アップグ レーディング
Quantafuel	デンマーク・Skive	1.6	BASF、 Virdor (株主)	LDPE, HDPE, PP, PS	なし	380～460℃ (好ましくは、420℃)、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/Al2O3) 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%、 成分 (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)	スペイン、フランス、 オランダ	計6.3	Sabic、 ExxonMobil (フ ランス)、 TotalEnergies	PE, PP, PS ラミネートも可能。	なし	セミバッチプロセス	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：72-75%の TACOIL (熱分解油) は石化産業に販売、18%の syngasは 電力用に使用、約 8～10%のチャーは建設用に販売。		
Mura Technology (HydroPRS)	イギリス・Teesside	2	Dow、 数社にライセンス	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℃、22MPa、 バッチ (反応時間30分)	・超臨界水熱分解 ・通常の熱分解よりナフサ収率が高 い。	提携先の KBR技術を 使用。	LCA計算ベース：プロセスガス11%、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)。	
BlueAlp	ベルギー・Ostend	2.5	Shell	PVCの使用可。	なし	slow-crackings, gradual heating、連続プロセス	7.5万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。		
Pryme	オランダ・ Rotterdam	2.6	LyondellBasell (投資)、Shell		廃プラを押出機で高速加熱 (20℃→ 350℃、30秒) で、水分と揮発分を除去して 熱分解炉にフィード。	槽型熱分解炉 (20m3、電気ヒーター) 1基でオイル 生産能力1.7万トン/年で、コスト競争力が高い。		熱分解炉1基で廃プラ処理能力が2.6万トン/年で、オイル生産能力が1.7万 トン/年である。		
LyondellBasell (MoRe Tec)	ドイツ・Wesseling	5 (2026)	LyondellBasell		触媒使用	連続プロセス	槽型攪拌機付き熱分 解炉 (KIT)			
OMV (ReOil)	オーストリア・ Schwechat	1.6	OMV、Borealis		なし	連続、400～450℃、 管型 (チューブ型) 熱分解炉		溶媒使用、生成物の高沸分 は一部熱分解炉に循環。	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。	
ExxonMobil (Exxtend)	米国 (Baytown)	7.2	ExxonMobil		なし	連続プロセス		溶媒使用		
Honeywell UOP (Upcycle Process)	米国 (Chicago)	パイロット	数社にライセンス		なし	連続プロセスで、 「moderate」な熱分解条件。	「vertical cylinder」 型熱分解炉	重い留分はFCC処理に、市販 の吸着剤で不純物除去。	廃プラ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	Nestleにライセンス	PE, PP, PSがよい。 PVC、PET、PAは除去。		常圧、400～550℃、連続プロセ ス。	ロータリーキルン型熱分 解炉 (3×20m)	塩素除去剤使 用		
Nexus Circular	米国 (Atlanta)	1.7	Braskem、Shell、 CPCChem、	PE, PP, PS PVCとPAは選ける。	なし	常圧プロセス			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。
New Hope Energy/Lummus	米国 (Tyler)	5(火災停 止中)	TotalEnergies	PE, PP, PS		固有の廃プラ処理技術	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。
札幌プラスチック	日本 (札幌) 2001～11年稼働	1.5 (2系列)	PVCを300～330℃で事前分解し、分解物の HClを回収。		なし	400℃、セミバッチプロセス	ロータリーキルン型、 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%。

出所：各社発表資料を基に旭リサーチセンター作成 (2025年7月作成)。

4. 熱分解油メーカー主要12社の米国特許と公開情報の総合的解析

4.1 熱分解油メーカー主要12社の米国特許の検索結果

各社の「最も早い出願日」ベースの特許出願件数の年次推移を表6に示す。合計の出願件数は72件である。2018年までは全体で年間2件程度の出願であったが、2019年より顕著に増加し年間10件程度になった。EUの「サーキュラーエコノミーのためのプラスチック戦略」が2018年1月に発表され、2018年12月にはBASFがCRを小規模工場で実証したことを発表したことと対応する。

企業別では、自社技術開発のLyondellBasell（19件）とExxonMobil（13件）の2社の出願が多い。Plastic Energy、LicellaとMura Technology、Honeywell UOP、Alterra Energy、New Hope Energy/Lummusは5～7件であった。BlueAlpは4件であった。OMVとPrymeは予想外に少なく2件であった。Quantafuelは1件であった。

表6の各社の米国特許検索結果は、次の基準でまとめた。

- ①出願番号が同一の公開特許と登録特許は勿論、それらの分割特許、継続特許、一部継続特許を含めてまとめて1件でカウントした。米国特許は分割特許、継続特許、一部継続特許が多い。
- ②「最も早い出願日」を出願日とした。特許明細書に記載のある米国のProvisional filing date（仮出願日）、優先権主張日、出願日の中で最も早いものを表に記載した。各社の特許検索結果は、「最も早い出願日」順にナンバリング（No.1～）した。

表 6 各社の特許出願数の年次推移

企業名	プラント 所在地	年間処理 能力	特許出願年別のUSPなどの出願件数																
			2007～ 9	2010	11	12	13	14	15	16	17	18	19	2020	21	22	23	合計	
Quantafuel	デンマーク・Skive	1.6万トン										1						1	
Plastic Energy	オランダ・Geleen (一例)	2万トン	1					1				1	1		1	1		6	
Licella	オーストラリア	計画中	2	2			1											5	
Mura Technology	イギリス・ Teesside	2万トン							1			1						2	
BlueAlp	ベルギー・Ostend	2.5万トン							1				1			2		4	
Pryme	オランダ・ Rotterdam	2.6万トン												2				2	
LyondellBasell	ドイツ・ Wesseling (2026年)	5万トン (2026年)											3	4	5	5	2	19	
OMV	オーストリア・ Schwechat	1.6万トン			1										1			2	
ExxonMobil	米国 (Baytown)	7.2万トン											3	3	1	4	2	13	
Honeywell UOP	米国 (Chicago)	パイロット												3	3		1	7	
Alterra Energy	米国 (Akron)	2万トン				3									2			5	
Nexus Circular	米国 (Atlanta)	1.7万トン															1	1	
New Hope Energy/Lummus	米国 (Tyler)	5万トン(火災 で停止中)						1							1	3		5	
合計			3	2	1	3	1	2	1	1	0	2	9	12	14	15	6	72	

出所: 検索結果より旭リサーチセンター作成。

4.2 熱分解油メーカー主要12社の固有要素技術

表題は「熱分解油メーカー主要 12 社の固有要素技術」であるが、実際には、まず熱分解法要素技術をリストアップし、それぞれの要素技術について固有技術を持っている企業名をリストアップした。

企業の持つ固有技術については、次の 3 つに分類した。

- A. 公表資料と特許情報の両方に記載のあるもの（企業名を赤字にした）
- B. 公表資料にだけ記載のあるもの（企業名を黒字にした）
- C. 特許情報にだけ記載のあるもの（企業名を青字にした）

(1) 混合廃プラ(PE/PP/PS)中の異物ポリマー(PVC、PET)対策

選別の段階で、多くの異物ポリマーは除去されるが、どうしても少量ないし微量の残存は避けられない。

①残存 PVC 対策：特に PVC は熱分解温度がポリオレフィンより低く、分解して腐食性の塩化水素（HCl）ガスを発生するため問題が多い。

a. 対策のうち、多くの熱分解油メーカーが採用しているのは中和剤の添加である。

中和剤としては CaCO_3 、 CaO 、 Ca(OH)_2 などである。塩化水素と反応して CaCl_2 が生成する。なお、 CaCl_2 が熱分解炉やコンデンサーなどに付着する。塩素中和剤を使用しているのは **Alterra Energy**、**Quantafuel**、**Honeywell UOP**、**New Hope Energy/Lummus**、**環境エネルギー**などである。

b. 別の対策として、廃プラ供給用押出機で分解して発生する HCl ガスを押出機のベントから除去する方法である。**Pryme**、**Mura Technology**、**BlueAlp** が採用している。ただし、ベントから脱気すると熱分解炉から熱分解ガスが逆流する危険性があるので、安全上の対策が必要である。

c. 混合廃プラの熱分解の前に PVC を熱分解する方法は、以前に**札幌プラスチック**が押出機タイプの PVC 熱分解炉を工業化したが、設備費が高く適当な方法ではないとされる。一方、**Honeywell UOP** は PVC 分解用のメルトリアクターを特許出願しているが、実用化されるかどうかはわからない。

②混合廃プラ中の残存 PET 対策

現在、日本では、PO に PET をラミネートした容器包装が増加しており、リサイクルの妨げになっている。

札幌プラスチックは PET の熱分解物であるテレフタル酸や安息香酸が配管に付着して閉塞の問題を生じることや、安息香酸が極めて装置腐食性が強いことが大きな問題であったことを参考文献(7)に記載している。

主要 12 社の米国特許には、PET 対策に関するものは見当たらない。**CFP** が熱分解で生成したテレフタル酸の回収・分離法について日本特許を出願している（出願人：リサイクルエナジー、特許第 7005042）。

(2) 触媒の使用

ナフサ成分の収率アップや熱分解速度のアップのために、熱分解反応に触媒の使用が試みられてきたが、これまで工業的に成功した例はない。現在工業的に触媒を使用することを表明しているのは、**LyondellBasell** と **環境エネルギー（出光興産）** の 2 社である。両社とも現在工場建設中で、稼働開始が注目される。

環境エネルギーは、石油精製の FCC（接触分解）の使用済み触媒を使用することを公表している。その触媒は使い捨てであろうから、触媒再生は不要となる。一般に、熱分解用触媒はコーキングなどにより劣化するので、触媒の再生（焼成など）が必要となる。触媒の再生が不要なのは大きなメリットである。

LyondellBasell は触媒を使用することを明言しているが、中身は公表していない。同社は金属酸化物、メソポーラスシリカ、ヘテロポリ酸、シリカアルミナ、ゼオライトなどの触媒について多数特許出願しているが、最近の出願特許ではゼオライトが好ましく、ゼオライトの中では Y 型ゼオライトや ZSM-5 ゼオライトが好ましいと記載している。

以前、同社は自らの特許に、ゼオライト触媒を実廃プラ（real plastic waste：混合廃プラ）に使用すると、熱分解中に突然触媒が失活することがあり、予想がつかないので実用には使えないと記載していた。ところが、最近の特許ではゼオライトの共触媒として Ca(OH)_2 、シリカアルミナ、 Zn(HP04)_2 などを併用すると、実廃プラが持つ触媒毒の影響を低減できるとしている。

なお、ゼオライト触媒は定期的に再生が必要と考えられるが、同社特許には触媒の寿命や再生についての記載は見当たらない。

(3) 溶媒使用

ExxonMobil と **OMV** が採用している。溶媒を使用するとポリマー熱分解液の粘度が低下し、均一混合性や温度均一性が改善される。このため、熱供給はしやすくなり、チャーも発生しにくくなるので、スケールアップはしやすくなる。ただし、溶媒の分離・精製コストがかかる。OMV は、高沸点の非芳香族系炭化水素を使用しているので、熱分解時に溶媒の熱分解も併発するものと推定されるが、公表資料・特許情報ともにその記載

はない。一方、ExxonMobil は全芳香族溶媒を使用しているので、混合廃プラの熱分解温度では当該溶媒は熱分解しないと考えられる。

(4) 超臨界水使用

Licella と **Mura Technology** が採用している。超臨界水を使用するとポリマー熱分解液の粘度が低下し、均一混合性や温度の均一性が改善される。超臨界水熱分解は高温、高圧の条件になるのでバッチ的に行い、熱分解終了後に降圧して、熱分解物を取り出す。

(5) 押出機と加熱装置

① 1 軸押出機と 2 軸押出機

廃プラの供給と加熱のために、通常は 1 軸押出機が使用されるが、**Pryme** と **Indaver**（表 2 参照）は 2 軸押出機を採用して、急速加熱を図っている。押出機で廃プラを急速に高温加熱することにより、熱分解炉での加熱（熱供給）負担を軽減しようとしている。

② 押出機—加熱装置（熱交換器）—熱分解炉

BlueAlp と **OMV** は加熱装置を使用して、できるだけ高温で廃プラ原料を熱分解炉に供給することにより、熱分解炉での加熱（熱供給）負担を軽減しようとしている。

(6) 熱分解炉の形状と構造

① ロータリーキルン（3 頁の用語参照）：**札幌プラスチック** と **Alterra Energy** が採用している。**Alterra Energy** は、ロータリーキルンを複数ゾーン（例えば、3～4 ゾーン）に仕切り、順次温度を上げる方法の特許を複数出願している。

② ダブルリボン型攪拌機付き槽型熱分解炉：**Plastic Energy** が出願している。ダブルリボン型攪拌機で熱分解炉壁面のポリマー熱分解液やチャーを掻き取る。

③ 攪拌機付き槽型熱分解炉（CSTR）2 槽シリーズ：**LyondellBasell** が出願している。

第 1 熱分解炉で生成した熱分解ベーパーを凝縮器でガスと液体に分離し、その液体を第

- 2 熱分解炉で熱分解する。2 槽にすることにより熱分解率を上げることができる。フレッシュな触媒は、不純物が少ない第2熱分解炉に供給することが好ましいとしている。
- ④攪拌機なし槽型熱分解炉：BlueAlp は分離コーンとタンジェンシャルフィード（接線方向供給）方式を組み合わせた特殊熱分解炉を出願している。また、Honeywell UOP もタンジェンシャルフィードの特殊熱分解炉を出願している。熱分解炉内部表面にタンジェンシャルフィードすることにより、薄膜状での熱分解が可能となる。
- ⑤横型熱分解炉：Pryme は熱分解炉壁面のポリマーやチャーを掻き取る特殊攪拌機を有する横型熱分解炉を出願している（Pryme はもともと攪拌機の設計の会社である）。LyondellBasell が当初 KIT（カールスルーエ工科大学）から導入したのは、スクリー攪拌機付きの横型熱分解炉である。
- ⑥特殊形状熱分解炉：Honeywell UOP は垂直シリンダーで二重円筒型熱分解炉の特許を出願している。また、New Hope Energy/Lummus は固有デザインで、垂直二段熱分解炉を出願している。
- ⑦流動層型熱分解炉：ExxonMobil は流動層型熱分解炉の特許を出願している。また、溶媒使用の熱分解を開示した重要特許のクレームの 1 つでは、熱分解炉は流動層型に限定されている。
- ⑧チューブリアクター型熱分解炉：OMV は熱伝導性に優れるチューブリアクター型熱分解炉をウェブサイトで図示している。

(7) 熱分解炉のチャー対策

- ①発生防止策：熱分解温度を 400～420℃程度に低く抑える。ジャケット温度はできるだけ低くする。
- ②発生した時の対処法：熱分解炉壁面のポリマーとチャーの掻き取り：Pryme（攪拌機、添加剤（CaCO₃））、Plastic Energy（（ブレード付き）特殊攪拌機）、New Hope Energy/Lummus（掻き取り型特殊攪拌機）。
- ③チャー拔出装置：Plastic Energy（チャーを乾燥してバッチ的に拔出）、BlueAlp（熱分解炉底部から抜き出したポリマー熱分解液をサイクロンにかけて、チャーと

- 液体に分離する)、LyondellBasell (熱分解炉底部からポリマー熱分解液を連続抜き出した後、2段階の加熱蒸発によりチャーを乾燥分離)、OMV (フィルターで分離)。
- ④熱分解炉で生成したチャーがそれ以降の回収・精製系に混入して汚染することの防止：Plastic Energy はコンタクターで、KIT はフィルターで防止している。

(8) プロセスの運転方法

- ①連続運転：BlueAlp、Pryme、LyondellBasell、OMV、ExxonMobil、Honeywell UOP、Alterra Energy、New Hope Energy/Lummus。
- ②セミバッチ運転：札幌プラスチック、Plastic Energy、Pryme。
- ③バッチ運転：Licella と Mura Technology は超臨界水条件で、クローズドのバッチ熱分解となる。New Hope Energy/Lummus はバッチ運転の特許を出願している。

(9) 熱分解ペーパーの一部循環

- ①コンタクター (反応蒸留)：Plastic Energy、BlueAlp、Honeywell UOP が使用している。反応蒸留で、熱分解ペーパーの内の高沸点成分は凝縮させて、熱分解炉に戻し、再度熱分解する。これにより、ワックス分を減らし、ナフサやディーゼル分を増やす。
- ②凝縮器で凝縮した熱分解油の循環：BlueAlp、OMV、ExxonMobil、Honeywell UOP が採用または出願している。

(10) 熱分解炉中のポリマー熱分解液の外部循環

BlueAlp、OMV、Honeywell UOP、ExxonMobil が特許出願している重要技術である。特許の中で、BlueAlp、Honeywell UOP の両社は、外部循環するポリマー熱分解液の加熱について、その重要性を強調している (外部循環ラインに熱交換器を設けて加熱することにより、熱分解炉のジャケット加熱の負荷を軽減することができる)。外部循環されるポリマー熱分解液は高粘度であり、また熱交換器で加熱すると熱分解ガスが発生するので、安全上、高度なエンジニアリング技術が必要になるであろう。

「各社の熱分解プロセスの固有要素技術」を表7にまとめた。各要素技術について類

似の開発を行っている企業名を知る上で、便利な索引になると考えた。

表 7 各社の熱分解プロセスの固有要素技術

(1)廃プラ中の PVC 対策	
・HCl 中和剤添加	Alterra、Quantafuel、Honeywell、New Hope、環境エネルギー
・押出機で PVC 分解・HCl 除去	Pryme、Mura Technology、BlueAlp
・事前に熱分解	札幌プラスチック(押出機タイプ)、Honeywell (メルトリアクター)
・廃プラ中の PET 対策	札幌プラスチック、CFP
(2)触媒の使用	
LyondellBasell、環境エネルギー (出光興産)	
(3)溶媒使用	
ExxonMobil、OMV	
(4)超臨界水使用	
Licella、Mura Technology	
(5)押出機と加熱装置	
・2 軸押出機の使用 (急速加熱)	Pryme、Indaver
・押出機の後に加熱装置設置	BlueAlp、OMV
(6)熱分解炉の形状と構造	
・ロータリーキルン	札幌プラスチック、Alterra、Alterra (3～4 ゾーン)
・攪拌機付き槽型炉 (CSTR) 2 槽シリーズ	LyondellBasell
・槽型反応器/特殊攪拌機	Plastic Energy
・槽型反応器/攪拌機なし	BlueAlp(分離コーン)、BlueAlp と Honeywell (タンジェンシャルフィード)
・横型反応器	Pryme(特殊攪拌機)、LyondellBasell (KIT: スクリュー攪拌機)
・その他反応器	Honeywell (垂直シリンダー、二重円筒型)、New Hope (固有デザイン、垂直二段熱分解炉)、ExxonMobil (流動層)、OMV (チューブ)
(7)熱分解炉のチャー対策	
・発生防止、掻き取り	Pryme(攪拌機、添加剤 (CaCO ₃))、Plastic Energy(特殊攪拌機)、New Hope (特殊攪拌機)
・チャー拔出装置	Plastic Energy (乾燥後バッチ拔出)、BlueAlp (サイクロン)、LyondellBasell (2 段濃縮)、OMV (フィルター)
(8)プロセスの運転方法	
・連続運転	BlueAlp、Pryme、LyondellBasell、OMV、ExxonMobil、Honeywell、Alterra、New Hope
・セミバッチ運転	札幌プラスチック、Plastic Energy、Pryme
・バッチ運転	Licella、Mura Technology、New Hope
(9)熱分解ベーパーの一部循環	
・コンタクター (反応蒸留)	Plastic Energy、BlueAlp、Honeywell
・凝縮器からの熱分解油のリサイクル	BlueAlp、OMV、ExxonMobil、Honeywell
(10)炉中のポリマー熱分解液の外部循環	
BlueAlp、OMV、Honeywell、ExxonMobil	
・このうち、特に循環ポリマー熱分解液の加熱を強調しているのは BlueAlp と Honeywell。	
(注)赤字は公表資料と特許情報が対応、黒字は公表資料のみの記載、青字は特許情報のみの記載記載。	

注：New Hope は New Hope Energy/Lummus のこと。Alterra は Alterra Energy のこと。Honeywell は Honeywell UOP のこと。

出所：本レポート内容から旭リサーチセンター作成。

4.3 熱分解法CRのスケールアップが難しい理由と対策

(1) 熱分解法CRの技術課題

繰り返しになるが、熱分解法 CR には以下のような技術課題がある。

- ①選別後も混合廃プラに少量残存する PVC、PET、PA などが、熱分解に悪影響を与える。
- ②熱分解生成物中のナフサ成分が 15～26%と低い。
- ③チャーが生成する。チャーは熱分解炉壁面に付着したり、熱分解ベーパーとともに飛散し、凝縮系や精製系を汚染し詰まりの原因になる。また製品の品質に悪影響を与える。
- ④スケールアップが難しく、処理能力が 2 万トン/年程度で、廃プラ処理量からすると小さすぎる。
- ⑤単位処理能力当たりの設備費が高く、エネルギー消費量が高い。

(2) 熱分解法CRのスケールアップデータ

表 8 に示す 5 社の公表情報と特許情報から、熱分解炉の体積と廃プラ処理能力（処理能力と略す）に関するデータが得られた。図 2 にそのデータを図示した。Pryme を除いて、スケールが大きくなるにつれて、生産性（熱分解炉の単位体積当たりの処理能力）が急速に落ちることがわかる。

札幌プラスチックは、実証機（パイロットレベル）と実用機について、それぞれの体積と処理能力のデータを公表している（参考文献(7)参照）。表 8 と図 2 に示すように、スケールアップした実用機の実証機に比べはるかに低い。

Mura Technology の米国特許（US 11, 339, 330）の実施例には、詳細な熱分解炉のサイズと熱分解条件が記載されている。1 バッチの所要時間を 80 分～120 分と仮定し、その他の熱分解条件から処理能力を推定した。図 2 ではその最高値と最低値を示した。

CFP の日本特許（出願人：リサイクルエナジー、特許第 7005042 と第 7145524）より、熱分解炉の体積と廃プラ処理能力のデータを推定し、熱分解炉は 1 基と仮定した。

Alterra Energyについては、工場のロータリーキルンのサイズが工場見学記事に記載されている。処理能力は同社の公表データである。

表 8 熱分解油工場(パイロット)の体積当たりの廃プラ処理能力の比較

熱分解油メーカー	熱分解炉や熱分解条件	熱分解炉体積	廃プラ処理能力		体積当たりの廃プラ処理量
		単位：m3	単位：トン/日		単位：トン/日・m3
札幌プラスチック	実証機（ロータリーキルン）	0.1	定格	0.5	定格 5
札幌プラスチック	実用機（ロータリーキルン）	11.4	定格	10	定格 0.9
Mura Technology の特許実施例から推定（パイロット規模）	・直径0.3m、高さ14mの管型炉3本 ・熱分解時間は30分、熱分解時のポリマーのスラリー濃度は17%、1バッチの所要時間：80～120分と仮定	3	6.1～9.4 (3.0m3×0.17トン/ m3×24時間/1.3～2 時間)		2.0～3.0
CFP特許実施例	熱分解炉1基と仮定	0.94	2.4		2.6
Alterra Energy	ロータリーキルン1基と仮定、ロータリーキルンのサイズは3m×20mと発表されている。サイズを内径とすると、体積は140m3、外径とすると体積は100m3。	100～140	60		0.43～0.60
Pryme	2軸押出機（急速加熱）—特殊攪拌機付き横型熱分解炉	20	2023年	120	2023年 6.0
			2024年	79	2024年 4.0

出所：各社発表資料や特許資料に基づいて旭リサーチセンター作成。

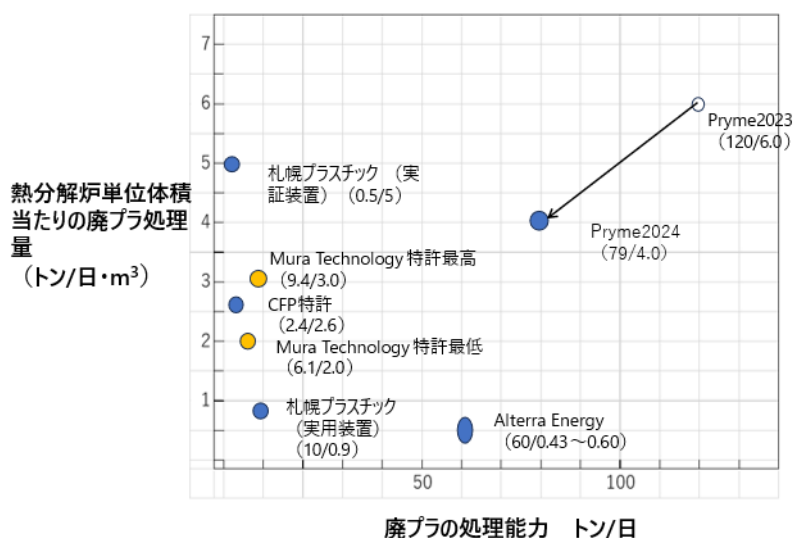


図 2 熱分解油工場(パイロット)の廃プラ処理能力と熱分解炉単位体積当たりの処理量

出所：表8のデータを基に旭リサーチセンターが作成。

(3) 革新的高生産性に挑戦のPrymeの現状

Pryme は、2023 年発表のネームプレート処理能力を、工場稼働後の 2024 年に大幅に下方修正した。それを表 8 と図 2 に示した。なお、トン/日の処理能力は、年間 330 日稼働として、年間処理能力から計算した。

表 9 の左欄は Pryme が 2023 年に発表したもので、反応器 1 基当たりの熱分解油（オイル）生産能力が、Pryme は 3 万トン/年で、BlueAlp の 0.42 万トン/年、Quantafuel の 0.4 万トン/年、Plastic Energy の 0.18 万トン/年よりもはるかに大きい。

しかし、工場稼働後、2024 年 1 月に新工場の熱分解油の生産が始まったが、稼働率は極めて低く、2024 年は 40 回の生産ランで、600 トンの廃プラから、341 トンのオイルを生産するにとどまった。2024 年版アニュアルレポートでは、プロセスの限界がわかってきたことから、ネームプレートの廃プラ処理能力を当初の 4 万トン/年から 2.6 万トン/年に大幅に下方修正し、ネームプレートのオイル生産能力も 3 万トンから 1.7 万トン/年に下方修正した。その結果を表 9 の右欄に示す。なお、右欄では比較対象の BlueAlp の熱分解炉の基数は不明となっている。

表 9 Pryme 発表の熱分解油メーカーのオイル生産能力と熱分解炉 1 基当たりの生産能力

熱分解油メーカー	Prymeの 2023年Investor Presentation		Pryme の2024年アニュアルレポート		参考
	オイル生産能力 (万トン/年) (熱分解炉の基数)	1基当たりのオイル 生産能力 (万トン/年)	オイル生産能力 (万トン/年) (熱分解炉の基数)	1基当たりのオイル 生産能力 (万トン/年)	
Pryme	3 (1基)	3	1.7 (1基)	1.7	2軸押出機—攪拌機付き横型熱分解炉
Plastic Energy	1.1 (6基)	0.18	1.1 (6基)	0.18	攪拌機付き縦型熱分解炉 (上部にコンタクター (反応蒸留))、セミバッチ
Quantafuel	1.6 (4基)	0.4	1.6 (4基)	0.4	380～460℃ (好ましくは、420℃)、1bar
BlueAlp	1.7 (4基)	0.42	1.7 (記載なし)	—	2軸押出機—熱交換器—熱分解炉、ポリマー熱分解液の外部循環・加熱

出所：Prymeの2023年11月のInvestor Presentationと2024年アニュアルレポート(2025年5月発表)：

<https://pryme-cleantech.com/investors-relations>

なお、同社発表によれば、新工場の低稼働の原因としては、①押出機の真空システムの問題、②熱分解炉のメカニカルとシーリングの問題、③コンデンサーシステムのファウリングの問題があり、熱分解油の品質改善の課題もあるという。

2025 年の製造目標は、Q1：200 トン（1 月に故障があり工場停止。再開して 3 月 11 日～31 日運転で 154 トン）、Q2：up to 250 トン、Q3：1,500～2,500 トン、Q4：3,000～4,000 トンとなっている²⁴。

今後、運転が進むにつれてネームプレート生産能力のさらなる下方修正の可能性がある。

(4) スケールアップが難しい本質的原因

熱分解反応は大きな吸熱反応で、しかもメルトポリマーは高粘度で熱伝導率が低い。したがって、規模が大きくなっていくと、熱分解は反応律速でなく伝熱律速になる。

例えば、円筒型熱分解炉の長さや直径を 2 倍にすると、体積は $2 \times 2 \times 2 = 8$ 倍になるが、表面積は $2 \times 2 = 4$ 倍にしかない。単位体積当たりの表面積（伝熱面積）が半分になってしまう。したがって、スケールアップしていくと、この問題は深刻になる（24 頁の図 2 を参照）。

(5) すぐ考えられる対策と起こり得る問題

熱分解炉のジャケット温度を上げて、熱分解温度を高くする。そうすると、伝熱が悪いので、ジャケットと炉内の温度に大きな温度差が生じる。そして、ジャケットに接する熱分解炉壁面などでチャーの発生が増加する。チャーは伝熱を妨げ、詰まりの原因となり、また製品収率や製品の品質に悪影響を与える。

なお、チャーの生成を抑えるようにした工業プロセスでも、チャーは熱分解生成物中の約 10% を占める。

²⁴ Pryme の 2024 年アニュアルレポート(2025 年 5 月発表)と 2025 年第 1 四半期報告。
<https://pryme-cleantech.com/investors-relations>

(6)熱分解温度を下げる方向にシフト

「ポリオレフィンの熱分解は通常約 500℃で行われ、触媒を使用すると約 400℃に 100℃下げられる」と、よく教科書的に書かれている。ところが、無触媒熱分解油メーカーの熱分解温度を調べると、400～420℃と低いものが多い（表 10）。これは、スケールアップして伝熱が追い付かないことや、チャーが増加するため温度を上げられないからである。生産性は落ちるが、やむを得ず 400～420℃で運転しているのであろう。

表 10 熱分解油メーカーの熱分解温度

- 札幌プラスチック（ロータリーキルン）：①炉内温度は 460℃で、原料を投入開始すると360℃まで急低下。②原料を投入しながらの熱分解時間は13時間。温度は360℃から徐々に上がり 400℃に上昇する。③原料投入を停止して、炉内物質を焼き締めして（4時間かけて、400℃から 460℃まで上げる）熱分解を進める。④攪拌を停止して、炉内残存物質（チャーなど）を1時間にわたって排出する。（文献）
- CFP : 380～400℃（熱媒温度600～650℃）、滞留時間3.6時間（特許）
- Quantafuel : 380～460℃（好ましくは420℃）（公表）、420℃・1bar（特許）
- Plastic Energy : 札幌プラスチックと同様なセミバッチ重合方式で、最初の連続フィード時の温度は390～410℃（特許）
- BlueAlp : ～400℃（特許）
- Pryme : 420℃で解重合し、未分解ポリマーがたまったらバッチに切り替え、昇温し、最終500℃まで上げる（特許）
- OMV（溶媒法） : 400～450℃（公表）
- Honeywell UOP : 380～450℃（特許）
- Alterra Energy（ロータリーキルン）：①400～550℃（公表）、②ロータリーキルンの第1セクション（400～425℃）、第2セクション（450～475℃）、第3セクション（500～525℃）（特許）
- New Hope Energy /Lummus : 2段重合（攪拌薄膜重合（420～490℃、滞留時間2～10分）⇒攪拌タンク重合（440～490℃、滞留時間 20～60分）（特許）
- ExxonMobil（溶媒法） : 550℃、滞留時間5～10秒、流動床熱分解炉、転化率 20%（特許）

注：表中の（特許）は特許実施例の意味である。

出所：各社の特許やウェブサイトより旭リサーチセンター作成。

(7) 様々なチャー対策と熱供給対策

① チャー対策

- a. 攪拌機や摩擦ブレードで壁面のポリマーとチャーを掻き取る。掻き取られて底部にたまるチャーなどの固体は反応炉から抜き出す。例は Plastic Energy、Pryme、New Hope Energy/Lummus。
- b. チャー生成を抑制する効果のある触媒を使用する。例は LyondellBasell。
- c. チャーの抜出技術についても多くの特許出願がある。

② 熱供給対策

- a. 2 軸押出機を使って、短時間に押出機出口のメルトポリマー温度を上げ、熱分解炉での加熱負担を減らし、熱分解温度を上げられるようにする（例は Pryme と Indaver）。押出機で発生する水蒸気、揮発分、PVC 分解ガス（HCl）は、押出機ベント設備で除去する。現在、この方法が注目されるが、チャーの生成を抑えることができるかがポイントである。
- b. 1 軸押出機—熱交換器を使って熱分解炉入り口のメルトポリマー温度を上げる（例は BlueAlp）。
- c. 溶媒を使用して粘度を下げ、混合性、熱伝導性を改善する（例は ExxonMobil と OMV）。
- d. 超臨界水を用いて、熱伝導性と粘度を改善する（例は Licella と Mura Technology）。
- e. 熱分解炉中の熱分解液をリサイクルして再加熱して熱分解炉に戻す（例は BlueAlp、OMV、Honeywell UOP）。また、部分凝縮器の下部の熱分解液を再加熱して熱分解炉に戻す方法もある（例は BlueAlp、OMV、ExxonMobil、Honeywell UOP）。いずれも熱分解液に溶媒のような働きをさせる。
- f. 薄膜熱分解炉の使用（例は New Hope Energy/Lummus）。

(8) 今後のスケールアップの方向は

熱分解炉を単純にスケールアップしていくと、熱分解炉の生産性は低下していく。熱の供給方法の改善とチャーの生成抑制によるスケールアップの実現に、Pryme、BlueAlp、ExxonMobil、OMV などの熱分解油メーカーが挑戦している。半面、熱分解炉の生産性向上対策のために、付帯設備費や用役費が過度に高くなる場合もあるので、考慮が必要である。

一方、熱分解炉 1 基の処理能力は 3 千トン/年程度に抑え、熱分解炉の数を増やして（ナンバリングで）、処理能力を出す考えもあるであろう。Plastic Energy、CFP、Xycle などはその戦略だろう。この場合、焼却炉と同じように熱分解炉を全国に多数配置し、得られた熱分解油は地域ごとに石油精製工場に集めて、精製やアップグレーディングすることが効率的である。嵩比重の低い廃プラの輸送距離を短縮できるメリットがある。

熱供給律速問題解決とともに、チャーの生成抑制も重要である。チャーの生成メカニズムの解析や、チャー生成を促進する要因の解明が必要であろう。熱分解炉中の残存空気（酸素）や酸素含有不純物（酸素含有プラスチック、紙などのセルロース類）の影響もチェックする必要があると考えられる。

おわりに

(1) 混合廃プラの熱分解油工場の建設は、世界的に進められている。しかし、すべての計画が順調ではなく、延期、取りやめも少なくない。現在、投資決定をためらわせている原因の一つは、EU プラスチック規制の中で CR の位置づけがまだ明確になっていないことにある。特に、CR における再生材含有量の計算方法（マスバランス方式）が未定である。また、自動車廃プラの ELV 規制について、EU 理事会と欧州議会の意見に相当の隔たりがあり、2025 年 7 月現在では合意の方向が見えないことにある。

もう一つの原因は、欧州のリサイクル業界の不況が続き、倒産が相次いでいることである。本レポートでは Fuenix Ecogy の倒産を記載したが、PET ボトルの CR 業界では Ionika が倒産した。MR リサイクラーの倒産も多い。競合するバージンプラスチックの価格が低下し、また安価な再生品が欧州以外から流入し、欧州の再生品事業を圧迫して、リサイクル市場がシュリンクしているという。これらの厳しい状況を、プラスチック リサイクラーズ ヨーロッパ（PRE）は、過去 2 年間訴え続けている。

(2) 今回、熱分解油メーカー主要 12 社について、米国特許を調査し、公表資料では知ることができなかった多くの知見を得ることができた。本上巻では熱分解プロセスの要素技術とスケールアップ技術の 2 つの切り口で解析し、特許調査結果（中巻と下巻）に先立って概要のまとめを試みた。技術の専門家でない方にも興味を持ってもらえるのではないかと考えた。

まとめの成果として、①要素技術のリストアップと各要素技術の各社の固有技術の一覧表作成、②熱分解法のスケールアップにおいては熱供給律速とチャー生成が重要な制約要因であることを明確にして、その観点から熱分解油メーカーの対応を理解できたことが挙げられる。

主要熱分解油メーカーの米国特許出願状況と内容については本シリーズの中巻（欧州ケミカルリサイクル企業 6 社）と下巻（欧州 1 社と米国 5 社のケミカルリサイクル企業）で詳細に紹介するので、是非ご覧ください。

謝辞

知的財産に関して貴重なアドバイスとコメントをいただいた旭化成知的財産部の糸井陽平氏に深く感謝いたします。

参考文献

(1)～(4)はARC リポート：https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/

(1)は府川伊三郎、下田晃義、(2)～(4)は府川伊三郎

(1)ケミカルリサイクルの最新動向（2023年1月～2024年3月） 2024年5月

https://arc.asahi-kasei.co.jp/report/arc_report/pdf/rs-1069.pdf

(2)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

(3)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

(4)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-1047.pdf

(5)府川伊三郎 「プラスチックリサイクル（MR&CR）の技術と産業化」

PETROTECH（石油学会情報誌） 2025年4月号（第48巻）191-203頁

(6)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）

(7)福島正明、伊部英紀、若井慶治、杉山英一、安部裕宣、呉倍莉、北川希代彦、鶴賀重徳、

志村勝美、小野栄一 「外熱式ロータリーキルンを使用した容器包装廃プラスチックの

熱分解技術の開発」 廃棄物資源循環学会論文誌，Vol. 22，No. 2，pp. 114-126，2011

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjsmcwm/22/2/22_2_114/_pdf/-char/ja

<本リポートのキーワード>

プラスチックケミカルリサイクル、米国特許、熱分解プロセスと装置、PE、PP、PS、混合廃プラの熱分解、熱分解油メーカー

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

このリポートの担当

シニアリサーチャー 府川 伊三郎

お問い合わせ先：03-6699-3095

E-mail：fukawa.ig@om.asahi-kasei.co.jp