

2023年11月7日
第44回 廃棄物処理施設技術管理者
中央研究集会



UYAMA
Laboratory

プラスチックの熱分解・油化技術の 現状と今後の動向



宇山 浩
大阪大学大学院工学研究科
uyama@chem.eng.osaka-u.ac.jp





1

高分子(ポリマー) プラスチック・繊維

高分子(ポリマー)



プラスチックの意味・語源
形を作ることができる

樹脂(合成樹脂)
cf 天然樹脂



松脂(ロジン)

プラスチックの特徴 ー金属、セラミックスと比較してー

- ① **軽量** 比重: プラスチック~1、アルミ2.7、ガラス2~6、鉄7.8
- ② **成形が容易** 成形温度: 150~300°C(多くのプラスチック)
- ③ **透明・着色が容易** ※一部のプラスチック
- ④ **柔らかさ・伸び・しなやかさ** ※一部のプラスチック
- ⑤ **低製造エネルギー** プラスチック10、ガラス40、鉄50、アルミ80 (×10⁷ J/kg)
- ⑥ **低強度・低耐久性・低耐候性**



2

高分子科学・技術の歴史

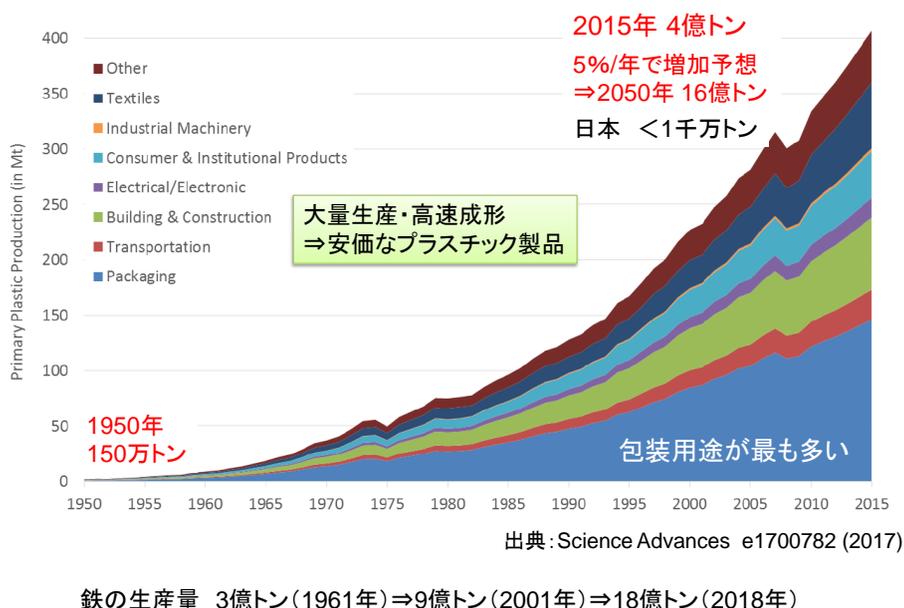
- 古代 亜麻の繊維織物、パピルス紙(古代エジプト)
- 1851年 C. Goodyear (米) エボナイト(天然ゴム加硫)工業化
- 1868年 J. W. Hyatt (米) セルロイド(世界初のプラスチック)、象牙代替品
- 1907年 L. H. Baekeland (米) ベークライト(フェノール樹脂)工業化
- 1926年 H. Staudinger (独) 高分子説提唱
- 1930年 米・独 ポリスチレン工業化
- 1939年 ICI社 (英) 高圧法ポリエチレン工業化
- 1941年 W. H. Carothers / DuPont社 (米) ナイロン(人工繊維)工業化
- 1953年 K. Ziegler (独) ポリエチレン低圧重合触媒
- 1954年 G. Natta (伊) 立体規則性ポリプロピレン、1957年工業化

- 紀元前9000年前頃～ 銅器の利用
- 紀元前3500年前頃～ 青銅器の利用
- 紀元前3000年前頃～ 鉄器の利用

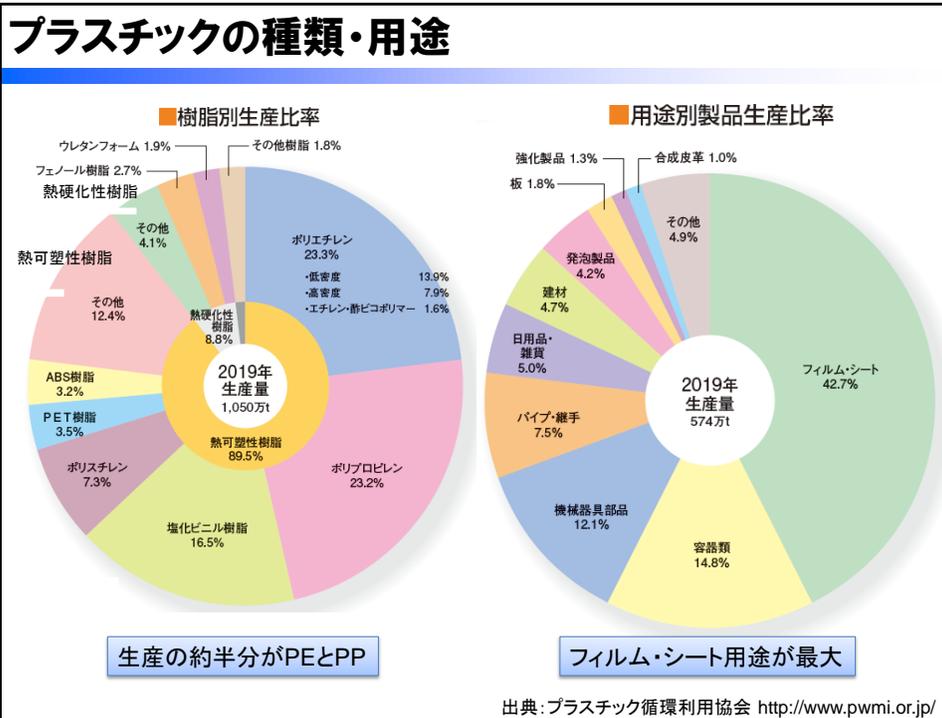


3

プラスチックの生産量の推移



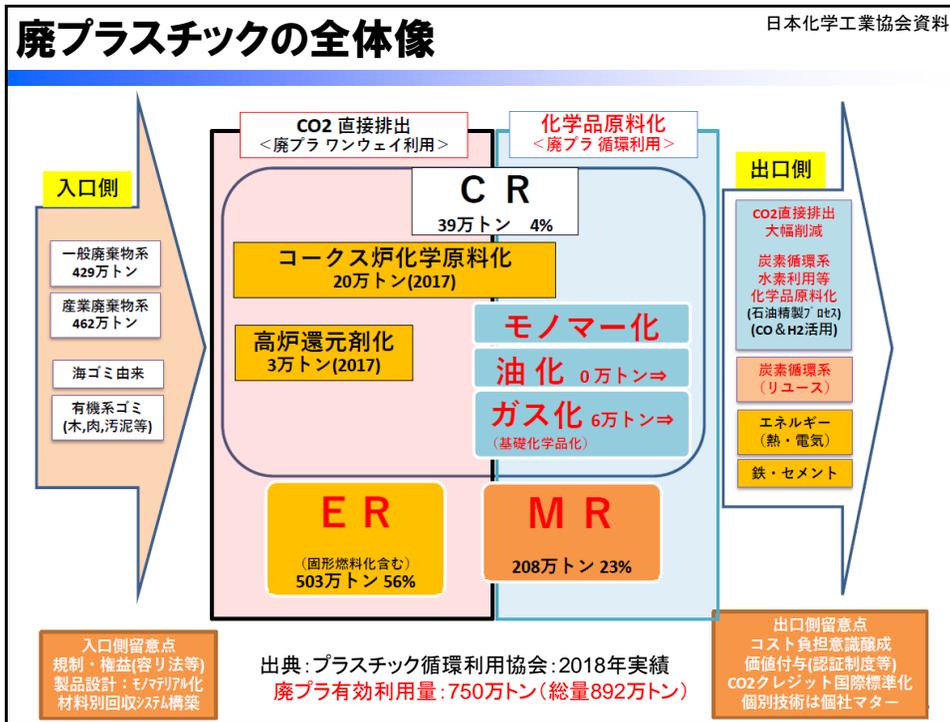
4



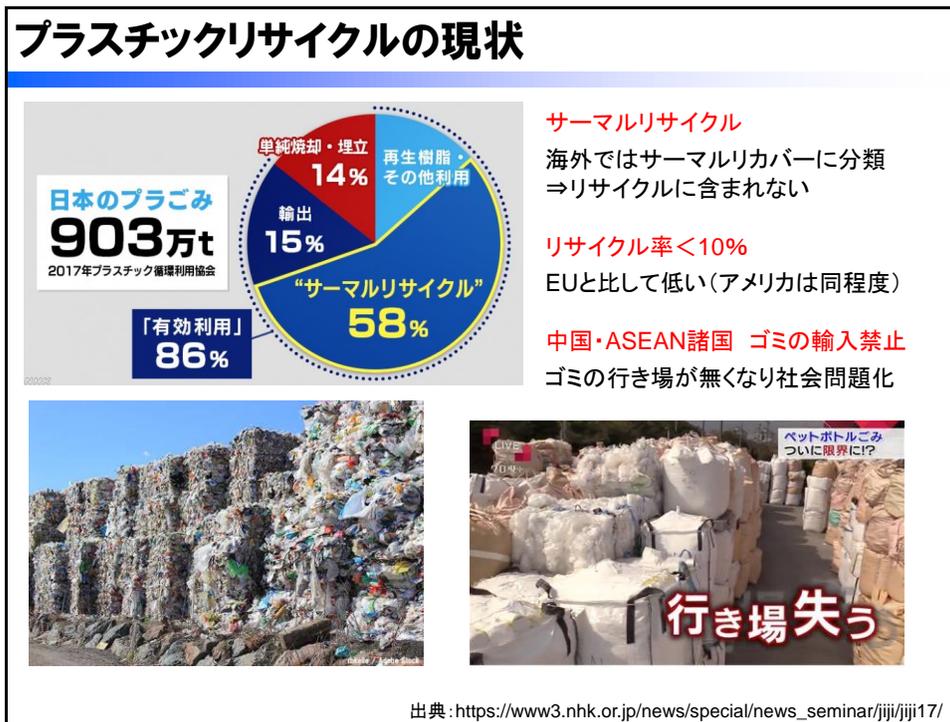
5



6



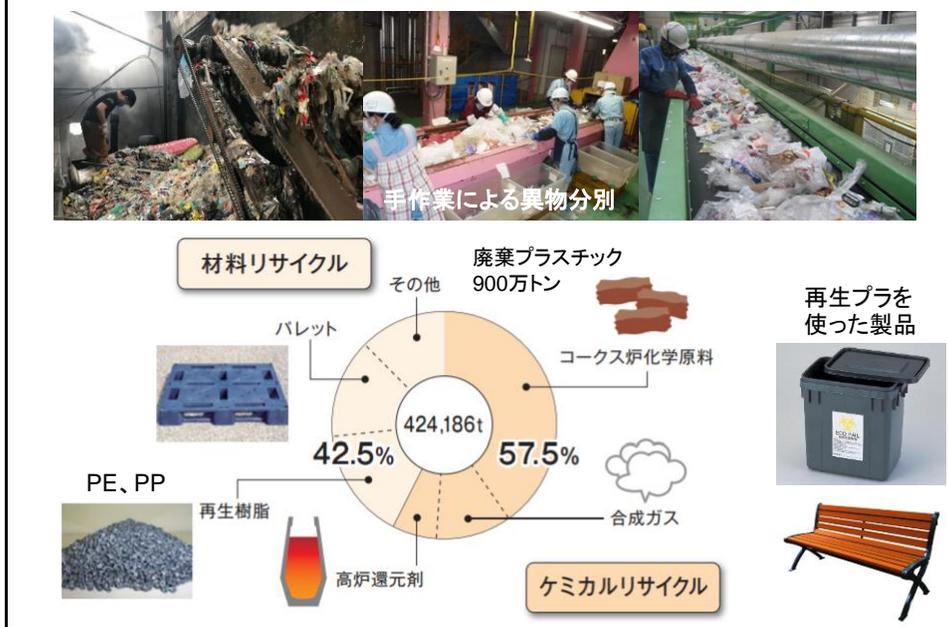
7



8

プラスチックリサイクルの現状

出典: 日本容器包装リサイクル協会
 年次レポート2019



9

プラスチックリサイクルが難しい理由

✓ 同じ材質の収集が必要



ポリスチレン or PET



PE or PP



食品包材多層シート

ポリカーボネート/ABSアロイ



GFRP(ガラス繊維補強プラスチック)



✓ アロイ(ブレンド)、複合化での利用

✓ 汚れたプラスチックごみ

✓ コスト(vs新品プラ製品)

✓ 性能劣化(vs新品プラ製品)

✓ 添加剤(可塑剤、酸化防止剤など)



10

食品用包装材料

包装材料の設計

5層構造

- OPP (印刷)
- ポリエチレン
- PET
- ポリエチレン
- CPP (AL蒸着)

表基材
 要求性能: 内容物保護・情報提供
 特性: 強靱性・印刷適性・光沢
 ⇒ **OPPフィルム**

中間材
 要求性能: 内容物保護・品質保持
 特性: 強靱性・ガスバリア性・遮光性
 ⇒ **AL蒸着PETフィルム**

シーラント
 要求性能: 封緘・易開封
 特性: ヒートシール性・イージーピール性
 ⇒ **CPPフィルム**

ハムスキンパック

層名	特性
PA (ふた材)	強度
EVOH	酸素バリア性
EVAC	防湿性
アイオノマー	シール性
EVAC	シール性、突き刺し耐久性
PP (底材)	透明性
PET	剛性、保香性
EVAC	防湿性
PA	強度
EVOH	酸素バリア性
EVAC	シール性、突き刺し耐久性
アイオノマー	シール性

出典: 食品用プラスチック容器包装の利点 日本プラスチック工業連盟

11

心臓産業

回収の**静脈産業**と創出の**動脈産業**との間でプラスチックを蘇らせ、循環させる重要な役割の担い手

01 原料に使用できる分別 (分別・回収/中間処理)

02 材料に使用できる原料化 (マテリアル・リサイクル)

03 製品が求める性能の材料化 (コンパウンド)

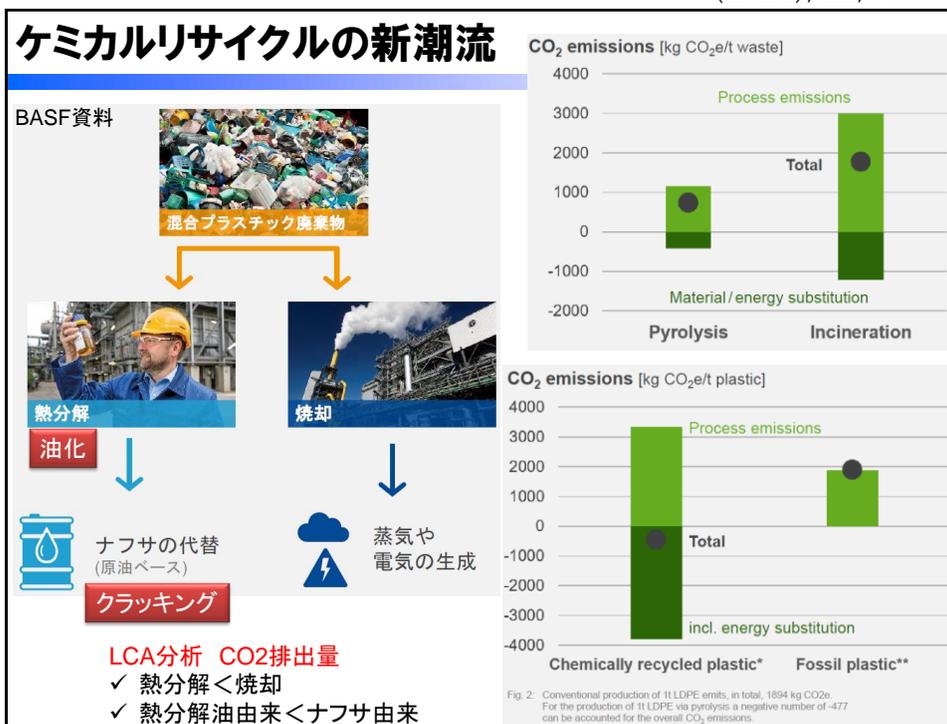
04 ニーズに応える製品創り (成型)

資源循環設計

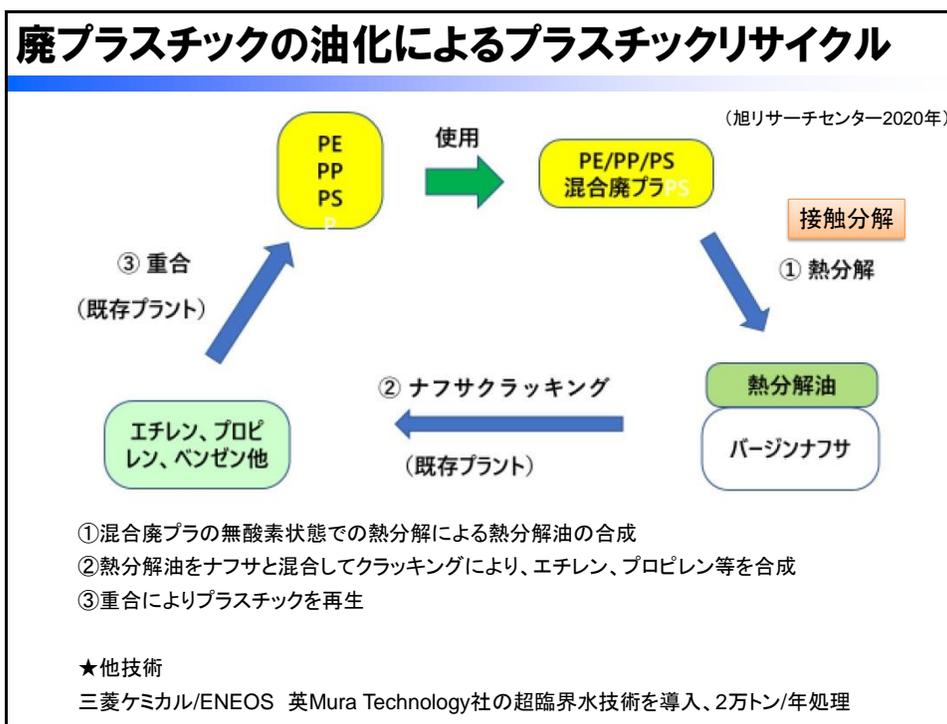
- ✓用途から組み立てる資源循環
- ✓サプライチェーンが、モノづくりリサイクラーと連携して取り組む資源循環

日本プラスチック有効利用組合資料

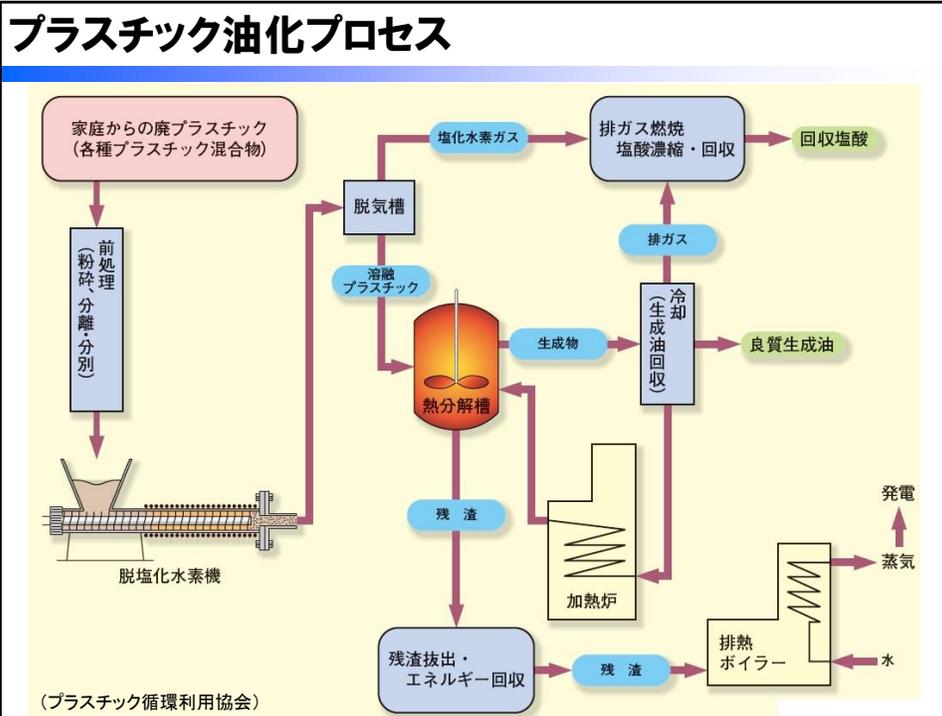
12



13



14



15

熱分解油—ナフサクラッキング法の実証・計画

大手化学メーカー (ナフサクラッカー)、「プロジェクト名」	提携先・熱分解油メーカー (工場所在地)	大手化学メーカーのナフサクラッカー所在地と実施内容
BASF 「ChemCycling™ プロジェクト」	Recenso (ドイツ)	ドイツ・Ludwigshafenのナフサクラッカーで実証
	Quantafuel (デンマーク)	ドイツ・Ludwigshafenのナフサクラッカーで実用化を計画
SABIC 「TRUCIRCLE™ Solutions」	Plastic Energy (スペイン)	オランダ・Geleenのナフサクラッカーで実施の計画 (Plastic EnergyはGeleenに2万トン/年の熱分解油工場建設中)
OMV 石油精製会社 「OMV ReOil project」	Borealis (オーストリア) ポリオレフィン製造、メカニカルリサイクル事業	オーストリア・Schwechatの石油精製プラントで計画(現在パイロット研究中)、熱分解油を石油精製プラントに戻すリサイクル、Borealisの工場はOMV工場に隣接
LyondellBasell	Neste (フィンランド)	ドイツ・Wesselingのナフサクラッカーで数千トン生産：PPとLDPEを併産、植物油廃棄物由来のDiesel油を原料とするのでバイオ含量が30%以上のPPとLDPEが得られた
DOW	Fuenix Ecogy Group (オランダ)	オランダ・Terneuzenのナフサクラッカーで実施の計画 100%再生材プラスチックの生産を計画
Shell	Nexus Fuels (米国)	米国・ルイジアナ州のナフサクラッカーで少量テスト済み
Versalis (Eniグループ) 「Hoop™」	Servizi di Ricerche e Sviluppo(S.R.S.) (イタリア)	初期的計画の段階、S.R.S.は熱分解技術のエンジニアリング会社。イタリア・Mantovaで6,000トン/年の熱分解油プラント建設の計画。

(旭リサーチセンター2020年)

16

熱分解油メーカー						(旭リサーチセンター2020年)
熱分解油メーカー (所在地)	提携ナフ サクラ カー	生産能力	熱分解油収率	「プロセス名」 反応条件	備考	
Recenso (ドイツ)	BASF	大規模パイロット建設中 (BASF支援)	「CTC : Catalytic TriboChemical Conversion 触媒・摩擦的化学変換」、分解温度400°C		農業廃棄物の処理も可能	
Quantafuel (ドイツ)	BASF	建設中 (2020年稼働) 能力18,000トン/年、製品1,500万リ/年 (デンマーク)	コアは触媒技術、廃プラ100wt%(1トン) に対して、軽質油16wt%(160kg)、ディーゼル56wt%(560kg)、重質油8wt%(80kg)、灰分 (カーボン) 10wt%(100kg)		BASFと共同でプラント建設中	
Plastic Energy (イギリス)	SABIC	スペイン2工場で総生産能力は7,000トン/年、オランダ新設工場の生産能力は2万トン/年 (建設中)	製品名 : TACOIL 1トンの廃プラから850Lの熱分解油	プロセス名 : TAC (Thermal Anaerobic Conversion)	別にアジアに10工場の建設予定 (マレーシア、インドネシア5工場)	
Cynar Plc (イギリス)		20トン/日 (アイルランド) 休止	廃プラ1トン当たり、ガソリン200L、ディーゼル700L、ケロシン100L、合成ガス16ガロン、残留炭素5%	熱分解炉の上部にコンタクター (蒸留装置) 設置、触媒は使用しない	Plastic Energyに技術ライセンス	
Neste Oyj (フィンランド)	Lyondell -Basell	Renewable Diesel (Hydrotreated Vegetable Oil) 生産能力 300万トン/年	Renewable Dieselの原料は植物油廃棄物や残渣	自ら一般廃プラの熱分解法の開発に取り組み廃プラ20万トン/年の処理プラント建設を計画		
Recycling Technologies Ltd.		(イギリス) 7,000トン/年 (計画中)	プロセス名 : RT7000, Thermal Cracker (高温の粒子状熱媒体を含む流動層タイプ)、商品名 : Plaxx®		Neste が1,000万ユーロを投資支援	

17

熱分解油メーカー						(旭リサーチセンター2020年)
Fuenix Ecogy Group (オランダ)	DOW	ナフサ、パラフィン、LPGを製造する。1kgの廃プラから、半分の二酸化炭素排出量で70%の再生プラ製造		「Fuenix Ecogy®ハイブリッド技術」、現在技術のスケールアップ中		
Nexus Fuels (米国)	Shell	50トン/日の商業プラント (ジョージア州)		50トン/日のパイロットを建設中 (Shellと共同のNorco Pilot Project)		
RES Polyflow (米国、オハイオ州)		4系列の熱分解油プラント建設中、処理能力は10万トン/年 (インディアナ州)	ナフサ、distillate (中間留分)、パラフィンワックス	デモンストレーションプラントをオハイオ州にもっている	親会社はBrightmark Energy	
Brightmark Energy (米国)		(サンフランシスコ) 10億ドル規模の廃プラ処理設備 (熱分解油) 建設用地の検討	当面、ディーゼル、ナフサ、ワックスとして販売。将来はナフサクラッカーへの販売に集中したい			
Plastic2Oil		(米国、カリフォルニア州)	米国に3工場、ナフサ、No.2燃料 (ディーゼルほか)、No.6燃料 (重油) 廃プラ1トンから燃料1,000Lが得られる			
Klean Industries		(カナダ、バンクーバー)	旧札幌プラスチックリサイクルの熱分解技術 (IPを含む) を取得し、それをベースに活動している			
旧札幌プラスチックリサイクル (日本、札幌市)		1万5000トン/年 (2系列)	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%	熱分解炉 (熱分解温度400°C) がロータリーキルン型 (コーキング防止用のセラミックボール入り)、無触媒	2001年~2011年稼働	

18

油化技術のまとめと課題

- ✓生産能力
 - ・数千トン/年～数万トン/年(計画)
 - ・競争力強化には10万トン/年の規模が必要
- ✓熱分解油収率とナフサ収率
 - ・廃プラ1トン当たり、熱分解油850L程度
 - ・熱分解油のナフサ留分～20%
- ✓技術のポイント
 - ・熱分解炉の設計と運転条件
 - ・触媒の有無 ※触媒は主にゼオライト系
 - ・分解物の精製技術

(旭リサーチセンター2020年)

19

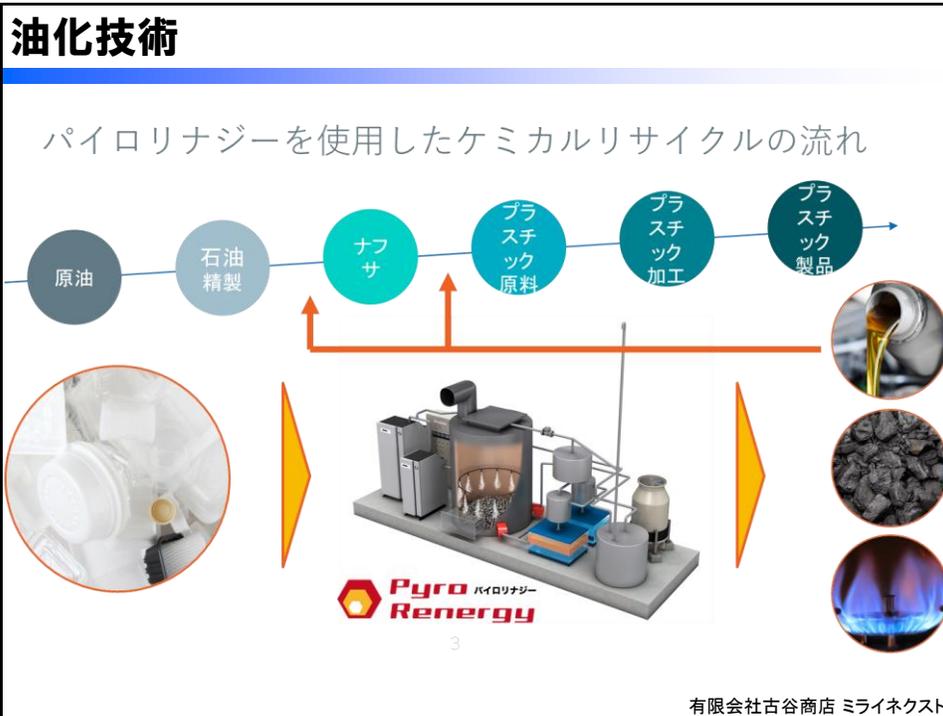
ケミカルリサイクル技術の比較

	単位	PET解重合法	熱分解法	ガス化法	コークス炉化学原料 化法	高炉還元剤法
処理能力	千トン/年	30	15	60	40	30
投資額	億円	80	50	80	30	40
廃プラ入札単価 (委託処理費)	(円/kg廃プラ)	38	74	74	74	74
再生処理コスト	(円/kg廃プラ)	▲140～160	▲130～160	▲65～80	▲45～65	▲55～70
(内設備関連コスト)	(円/kg廃プラ)	(▲59.1)	(▲73.9)	(▲29.6)	(▲16.7)	(▲29.6)
再生品平均販売単価	(円/kg廃プラ)	P	S	G	C	K: コークス代替分
(再生品の品目)		(PET樹脂ペレット)	(熱分解油・オフガス・ 油化残渣)	(合成ガス)	(コークス・オイル・ ガス)	(コークス代替)
利益(損益)	(円/kg廃プラ)	38+P-(140～160)	74+S-(130～160)	74+G-(65～80)	74+C-(45～65)	74+K-(55～70)

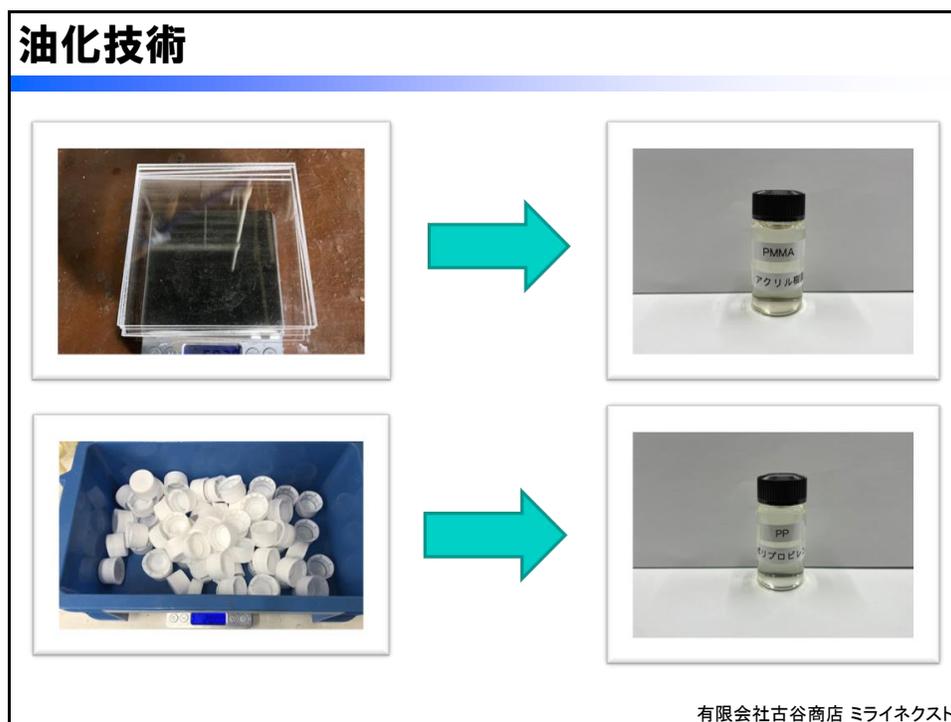
高いPET解重合法と熱分解法の再生処理コスト
 ⇒処理能力の割に高い設備費、単独工場を前提

(旭リサーチセンター2020年)

20



21



22

油化技術 株式会社プレスト

NEDO助成事業 廃プラスチック小型油化装置の概要

本装置の特徴

- 小型で処理能力大
- 電気ヒータによる加熱方式を採用
- 残渣を連続的に排出
- 究極の小型化が実現

装置の仕様

- 処理能力: 10~100Kg/h (ドライ)
- 運転温度: 200℃~550℃
- 水分: max 10%
- 高比重: 0.1~0.8
- 主要材質: SUS316TP

23

バイオプラスチック

生分解性プラ

バイオプラスチック

生分解性プラスチック

バイオマスプラスチック

出口機能

入口原料

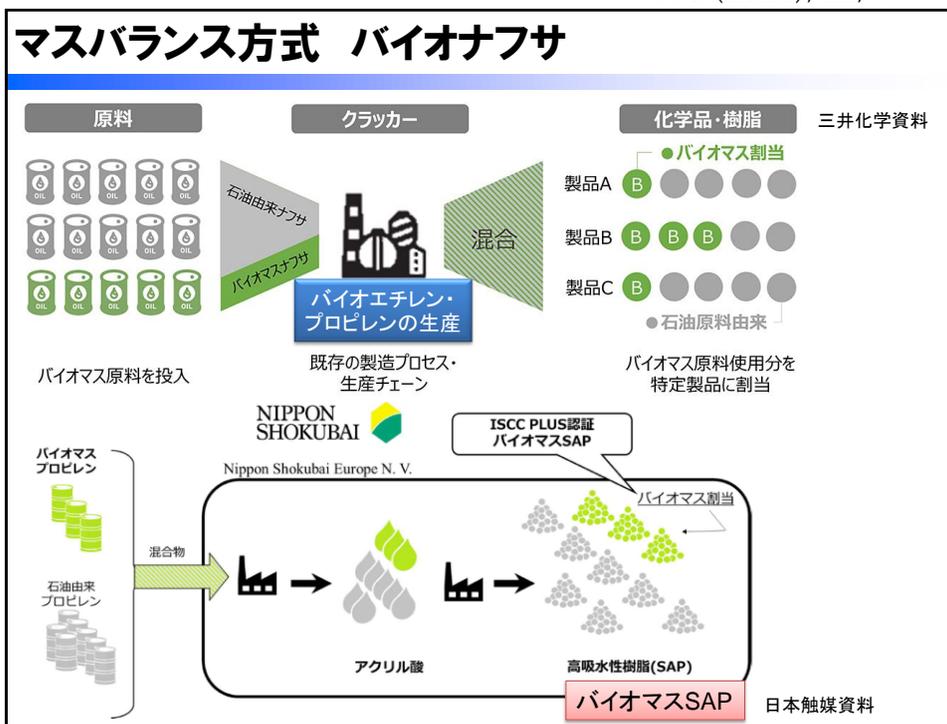
解決に貢献

- ✓ 3R(リデュース、リユース、リサイクル)問題
- ✓ 枯渇性資源問題
- ✓ 地球温暖化問題
- ✓ 海洋プラスチック問題

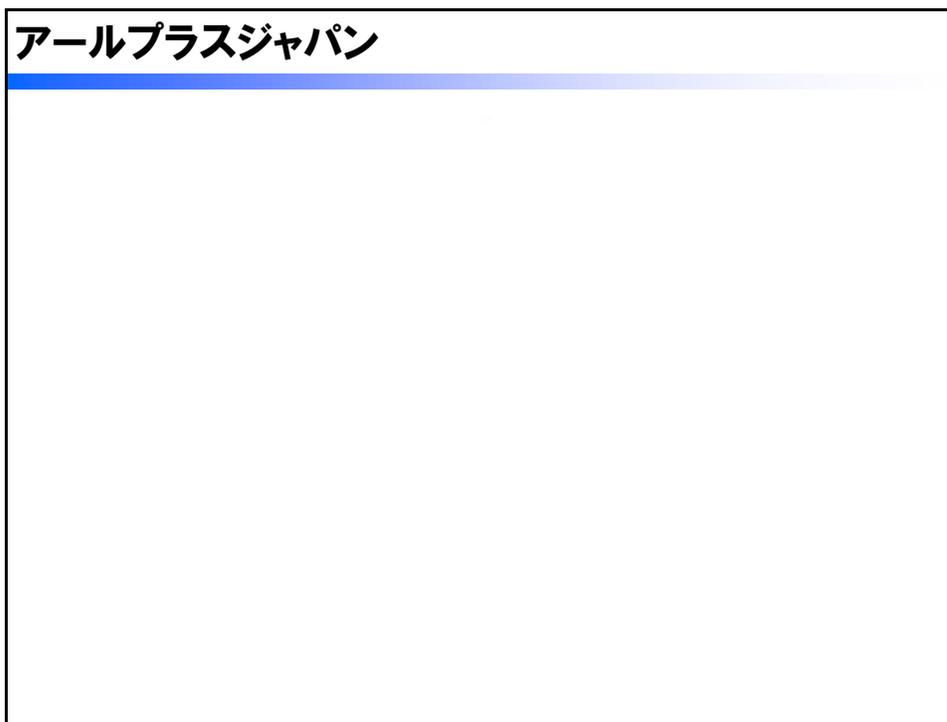
サーキュラー
エコノミー

	バイオマス資源	石油資源
生分解性	ポリ乳酸、 微生物産生ポリエステル	ポリカプロラクトン、 芳香族/脂肪族ポリエステル
非生分解性	バイオPE、バイオPET、 バイオナイロン	汎用プラスチック (PE、PP、PET)

24



25



26