

NEDO VIPワークショップ
2023年6月21日@JA共済ビル9階

複合素材プラスチックのケミカルリサイクル

(国研) 産業技術総合研究所
触媒化学融合研究センター

田中 真司

1. 研究の背景：廃プラスチック技術の現状

プラスチック廃棄量
824万t

ケミカルリサイクル
29万t

モノマー化・油化・ガス化
製鉄高炉還元剤

マテリアルリサイクル
177万t

PETボトルtoボトル
衣類繊維、文具雑貨、洗剤
ボトル、物流容器、建材、
路盤材、車両部材

エネルギーリカバリー
510万t

固形燃料RPF
セメント原燃料
ゴミ焼却助燃材

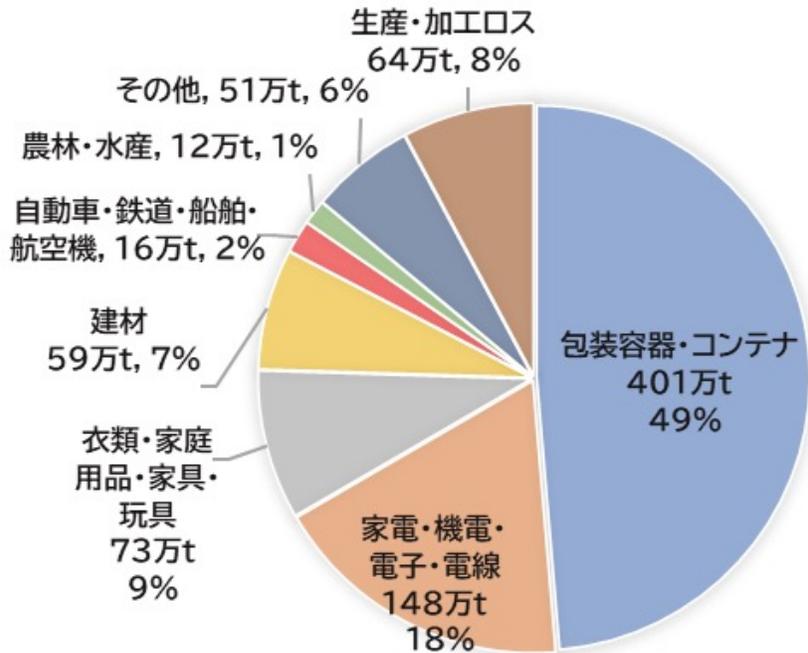
焼却・埋立処分（未利用資源）
108万t

EU定義
リサイクル率
25%

日本定義
リサイクル率
86%

EUの定義ではエネルギー
リカバリーはリサイクル
に含めない

分野別の内訳



出典: プラスチックリサイクルの基礎知識 2022
(プラスチック循環利用協会)

1. 研究の背景：廃プラスチック技術の現状

欧米・国内の法規制によるマイルストーン設定

日本：プラスチック資源循環戦略
EU：欧州プラスチック戦略

2025 EU プラスチック容器包装のリサイクル率50%

2030 日本 プラスチック容器包装のリサイクル率60%

EU プラスチック容器包装の再生材含有率 30%以上

EU 上市されるすべてのプラ容器包装はリユース・リサイクル可能なもの

EU EUで発生する使用済みプラスチックの50%以上をリサイクル

2035 日本 すべての使用済みプラスチックをリユースまたはリサイクル

2030年にEUの定義が世界標準となり、再生材含有率30%以上規制が実現した場合、サーマルリサイクルを減らし、マテリアルリサイクルを約10万トン、ケミカルリサイクルを約80万トン拡充させる必要がある*。

* 「2030年の日本のプラスチック」
府川伊三郎 ARCレポート 2023年4月

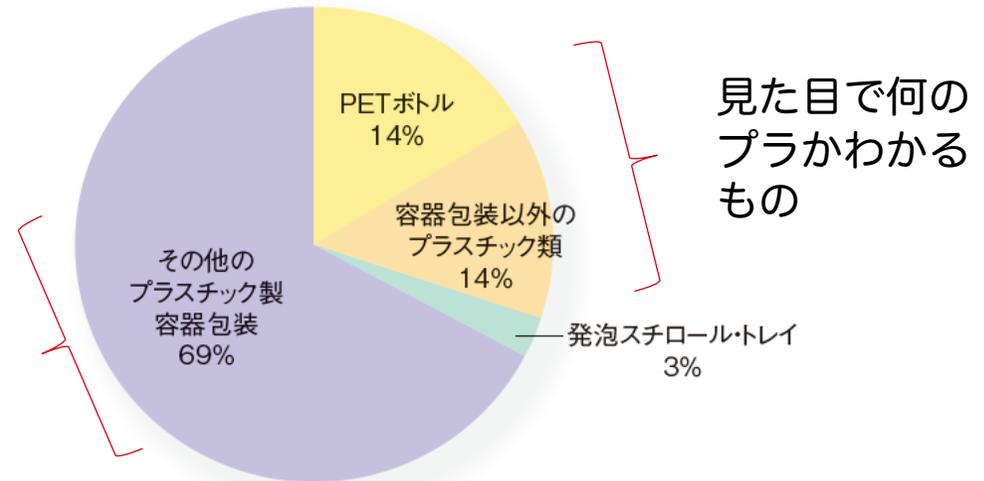
●プラスチックごみを分けてみたら

	形状	用途・内容物	樹脂の種類	
ボトル・チューブ	飲料用ボトル	清涼飲料 乳飲料	ジュース・コーラ、飲料水、お茶、アルコール飲料 ヨーグルト、牛乳	PET ポリスチレン、PET、ポリエチレン
	食材・調味料ボトル		てんぷら・サラダ油、醤油、みりん、ソース	PET、ポリエチレン、ポリプロピレン
	調味料チューブ		マヨネーズ、ケチャップ、ドレッシング、練わさび・辛子	複合素材
	日用品ボトル・チューブ		トイレタリー用品、園芸用品・カー用品 液体洗剤、柔軟仕上げ剤、練歯磨、化粧品、 シャンプー、リンス、漂白剤、ボディークリーナー	PET 複合素材 ポリエチレン、ポリプロピレン
パック類およびカップ類	食料品パック (発泡・非発泡パック)		マーガリン、豆腐、納豆、果物、野菜、加工食品、 惣菜、弁当	発泡 ポリスチレン 非発泡 ポリスチレン、ポリプロピレン、 PET
	食料品カップ (発泡・非発泡カップ)		味噌、卵豆腐、味噌汁、ヨーグルト、ラーメン、 焼きそば、ゼリー、プリン、デザート	発泡 ポリスチレン 非発泡 ポリスチレン、ポリプロピレン PET、ポリエチレン 複合素材
	カップおよびコップの蓋			ポリスチレン、PET、ポリプロピレン、 ポリエチレン 複合素材
くぼみシート	トレイ (発泡・非発泡トレイ)		肉、魚、刺身、スライスハム、野菜、加工食品	発泡 ポリスチレン 非発泡 ポリスチレン、 ポリプロピレン、PET
	くぼみシート		薬品(錠剤)、魚肉加工品、ロースハム、ベーコン、 カレールウ、家庭用工具、歯ブラシ、化粧品	ポリエチレン、ポリプロピレン、 PET、ポリスチレン、塩化ビニル樹脂
	卵パック			PET、ポリスチレン
袋	大・中袋、無地袋		米、園芸用袋、魚、果物、菓子、冷凍食品、 ラーメン、レトルト食品、漬物、佃煮、味噌、 パン、干物、クリーニング袋	ポリエチレン、ポリプロピレン、 PET 複合素材
	レジ袋			ポリエチレン
	ごみ袋			ポリエチレン
	小袋		うずら卵、生姜、梅漬、調味料、ラーメンスープ、 和菓子、飴、ウェハース、チョコレート	ポリプロピレン、ポリエチレン、 複合素材、PET
キャップ			飲料、食料品、日用品、その他プラボトル用	ポリプロピレン、ポリエチレン
ラップフィルム	ラップ			塩化ビニリデン樹脂、塩化ビニル樹脂、 ポリエチレン
	フィルム		豆腐、カレールウ、バラ、和菓子、チーズ、 冷凍食品、たらこ、ソーセージ、冷凍麺	ポリプロピレン、ポリエチレン、 複合素材
	ラベル		ボトル、カップ	ポリスチレン、ポリエチレン、 PET、ポリプロピレン
ケミカル			洗剤の箱・蓋、食品、下着、コンパクト、 化粧水箱、除湿剤、除臭剤	ポリプロピレン、ポリスチレン、 ポリエチレン、塩化ビニル樹脂
その他			ウレタンスポンジ、発泡品、ネット、エアキャップ	ポリスチレン、ポリエチレン
その他			籠、把手、マルチバック、ざる、移植ポット	ポリエチレン、PET、ポリプロピレン、 塩化ビニル樹脂、ポリスチレン

注：樹脂の種類は主に使用されているもの

■プラスチックごみの中身 (比率)

(3頁■ごみステーションに排出されたごみ組成分析
(湿重量比率) 中のプラスチック類の内訳)



(四捨五入による端数処理の関係で、合計値が合わない場合がある)

「複合素材」

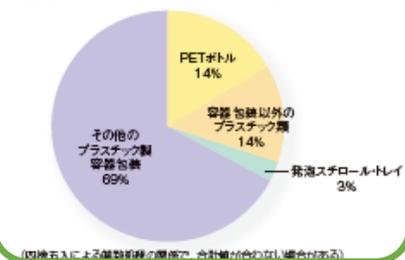
何のプラかわからないものの混ざり = 「その他」と推測

見た目では何のプラかわかるもの

「ラミネートフィルム (多層性フィルム) は…(中略)…ケミカルあるいはサーマルリサイクルを進めていくことが望ましい…」

■プラスチックごみの中身 (比率)

(3頁■ごみステーションに排出されたごみ組成分析
(湿重量比率) 中のプラスチック類の内訳)



出典：環境省 容器包装廃棄物の使用・排出実態調査 (令和3年度)

近年、容器包装の高機能化が進み、ラミネートフィルム (多層性フィルム) が多くの製品に使われるようになってきました。ラミネートフィルムは、様々な性質を有するフィルム状の多種類の樹脂を層状に重ねあわせたもので、個々の樹脂の利点を活用し、あるいは欠点を補いあうことができます。例えば、水分や酸素を通さない層、紫外線を遮断する層、耐熱性のある層などをうまく組み合わせれば、内容物の劣化・腐敗を遅らせるフィルムをつくることができます。ラミネートフィルムは、期待される機能を十分に発現させるためにあえてフィルム状の樹脂を密着させているのであって、マテリアルリサイクルにはそもそもむいていません。ケミカルあるいはサーマルによるリサイクルを進めていくことが望ましいといえます。

複合素材 (多層性フィルム・混紡化学繊維など) への有効なリサイクル法開発が急務

出典:プラスチックリサイクルの基礎知識 2022
(プラスチック循環利用協会)

1. 研究の背景：進行中の国プロジェクト

NEDO 革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発

事業期間：2020年度～2024年度、2023年度予算：10.3億円
PL: 松方 正彦 (早稲田大学)

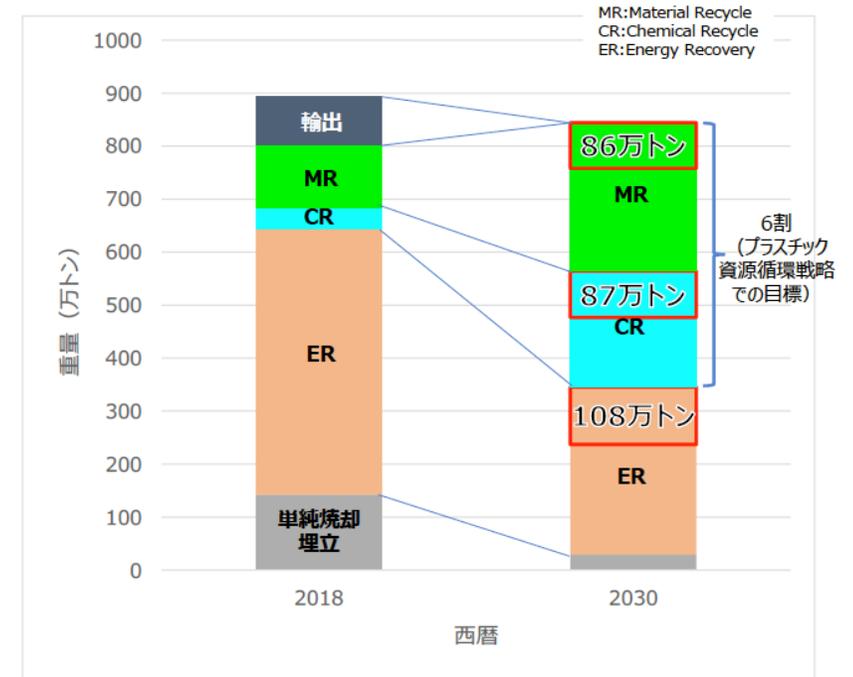
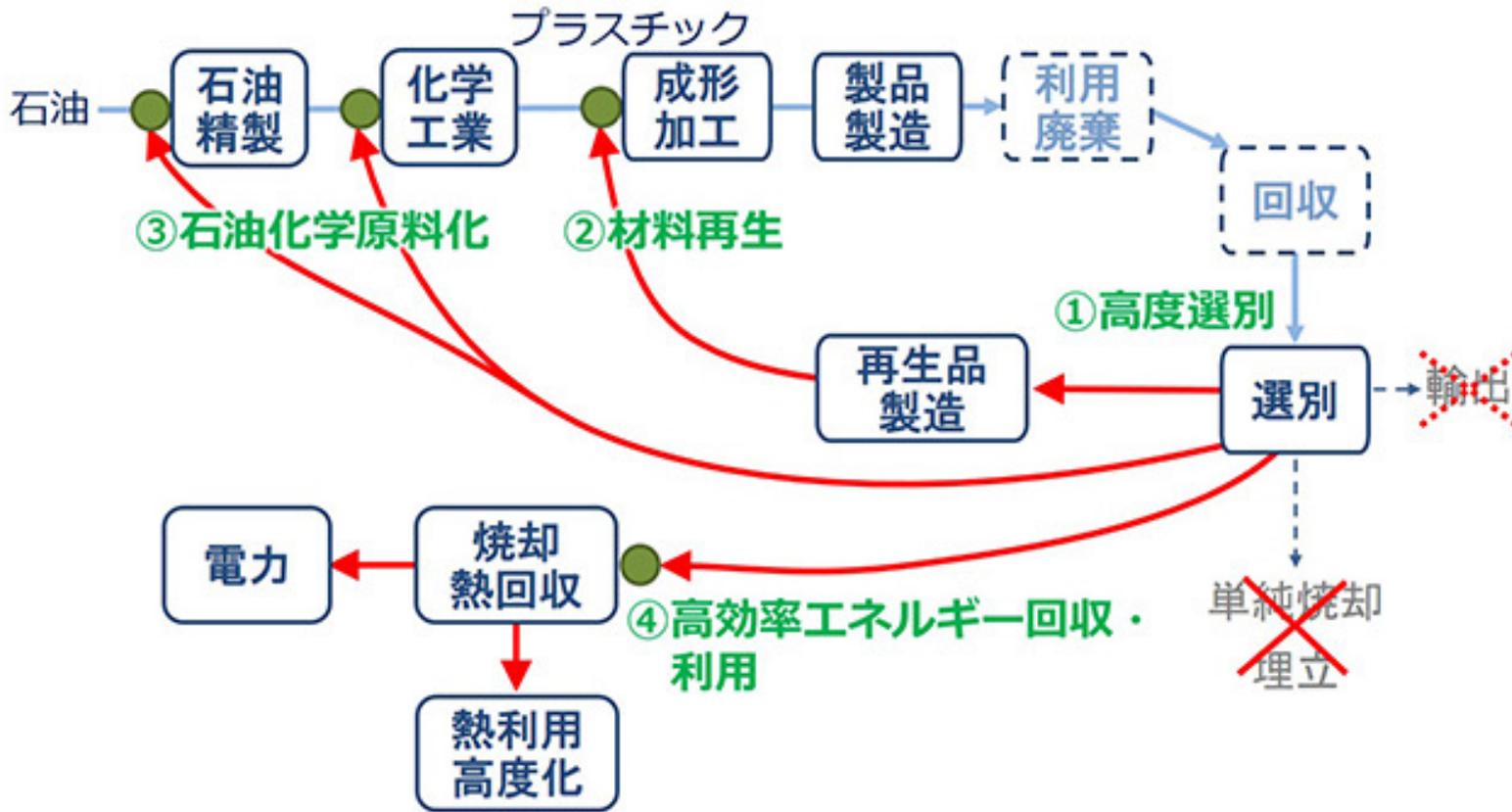


図 廃プラスチックリサイクル処理量増加のイメージ

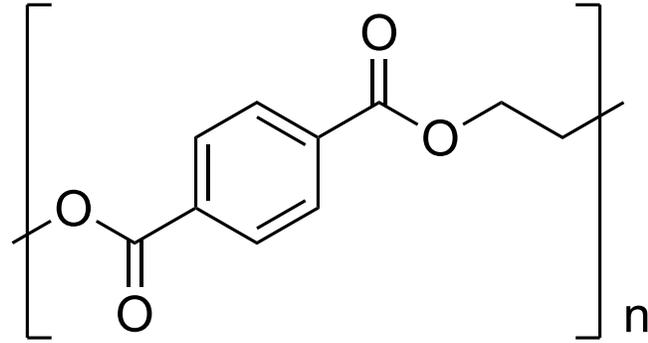
出典: NEDO革新プラPJ 中間評価資料 (2022年)

事業の目標

マテリアルリサイクルを86万トン増
ケミカルリサイクルを87万トン増

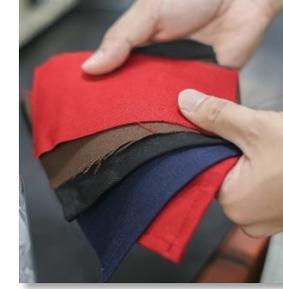
技術課題：不純物のコンタミ

2. 技術シーズについて



ポリエチレンテレフタレート (PET)

用途：PETボトル、包装用フィルム、
ポリエステル繊維

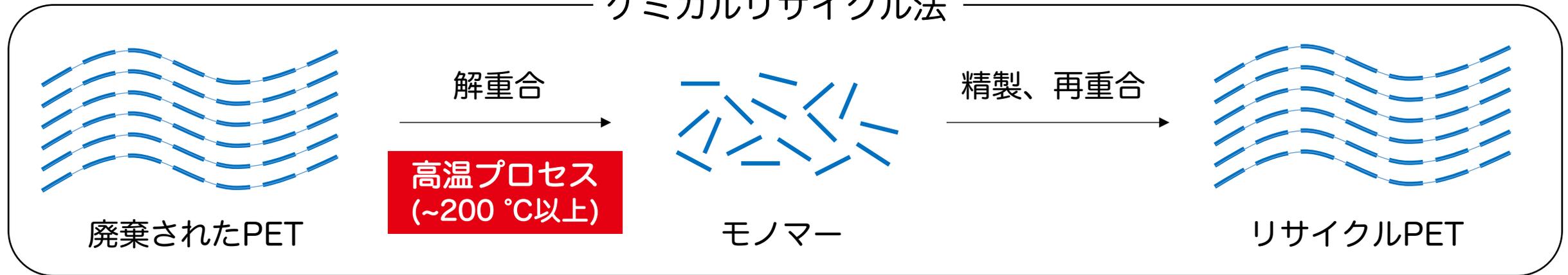


PETの世界生産量

PETボトル等の樹脂用途：約2000万トン / 年*

ポリエステル繊維用途：約6000万トン / 年**

ケミカルリサイクル法

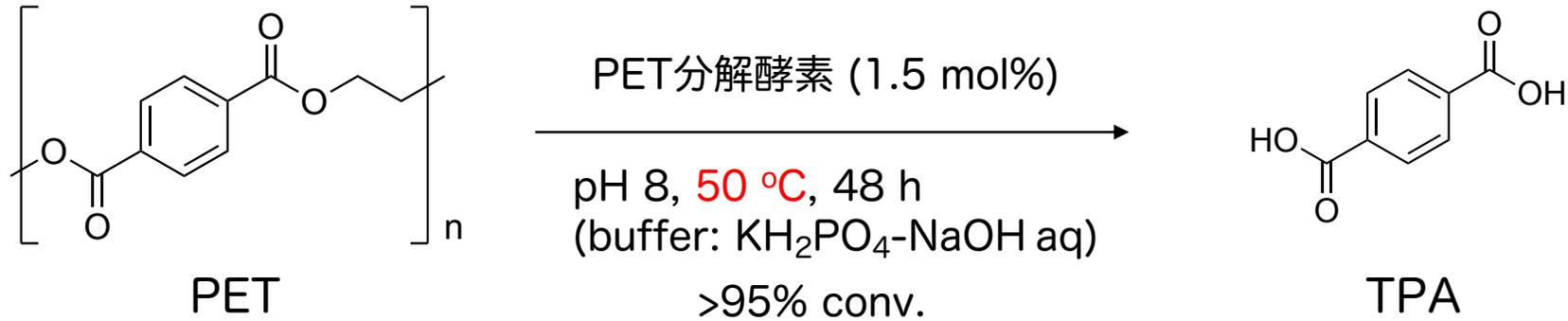


*府川伊三郎 ARCレポート「リサイクルが進むPET樹脂は循環経済が実現するか」 2020年

**日本化学繊維協会「内外の化繊工業の動向」 2022年

2. 技術シーズについて：低温分解法 国外技術

PET分解酵素を用いる方法 (Carbios社、テキサス大など)

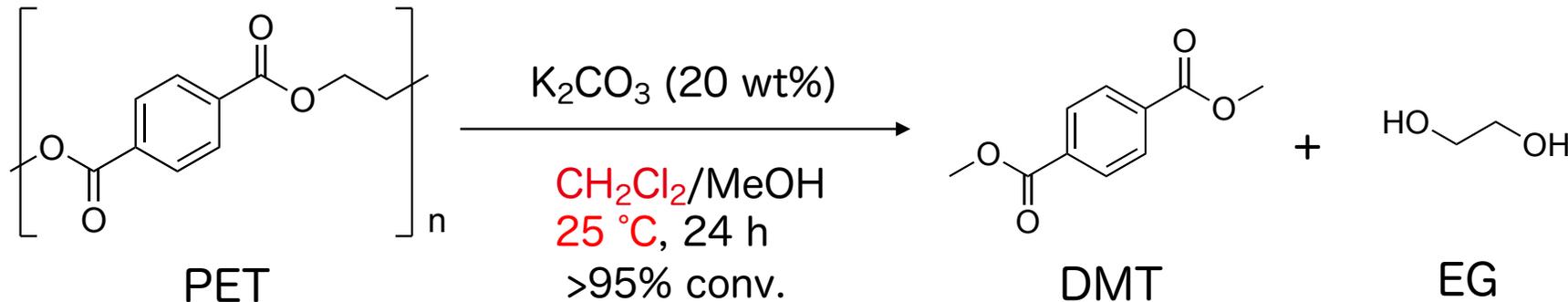


Alper, H. S. et al. *Nature* 2022, 604, 662.

酵素分解法は
結晶性PET (繊維など) に
対する反応速度が極度に遅い

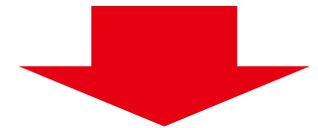
→ 事前に熱処理等で非晶比率
を増やす必要性

溶媒膨潤メタノリシス法 (Loop Industries社, 韓国化学研究院 など)



Pham, D. D. et al. *Green Chem.* 2021, 23, 511.

ハロゲン系溶媒は毒性・反応
装置への悪影響が懸念される



日本発の反応温度低減
新技術への期待

2. 技術シーズについて：ベンチマーク

企業等	(株) JEPLAN	帝人フロンティア (株)	Loop Industries	産総研 (申請者)
解重合方法	グリコリシス法	グリコリシス法	メタノリシス法	炭酸ジメチル法
反応温度	~200 °C	~200 °C	50~60 °C	室温~50°C
回収モノマーの種類	テレフタル酸ビスヒドロキシエチル (BHET)	テレフタル酸ビスヒドロキシエチル (BHET)	テレフタル酸ジメチル (DMT)	テレフタル酸ジメチル (DMT)
特長、欠点	高温での解重合のため 高エネルギー消費	高温での解重合のため 高エネルギー消費	比較的低温での解重合 ハロゲン溶媒による 毒性が懸念	常温での解重合 炭酸ジメチル (DMC) に よる反応促進
現在の状況	プラント稼働中 (樹脂2万t/y 繊維1000t/y)	ベンチプラントにて 実証試験中	プラント建設予定	本研究計画達成後に 社会実装へ



(株) JEPLAN BRING Technology™

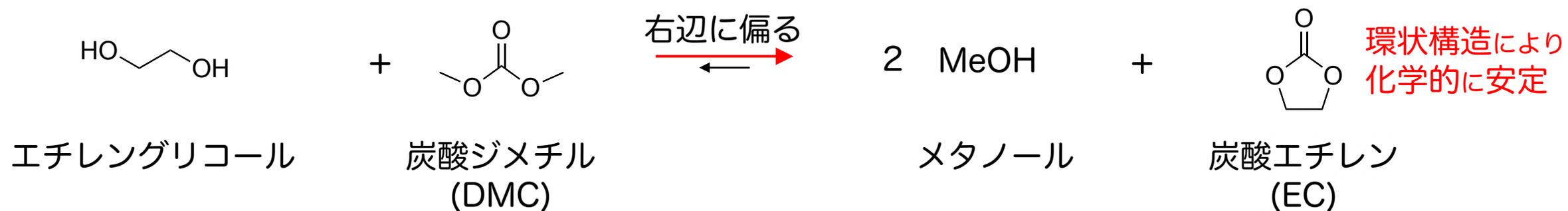
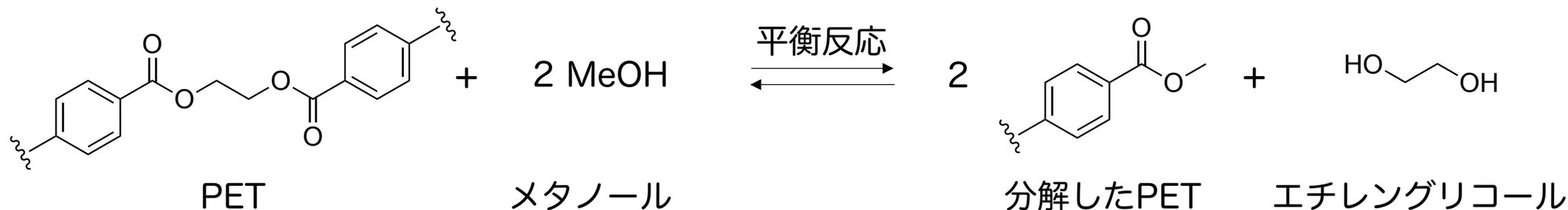
JEPLANが商業稼働中
ただし、リサイクルに使用する
使用済み繊維の割合には改善
の余地がある*

様々なPET材料に広く適用
できる
ケミカルリサイクル法は
未開拓

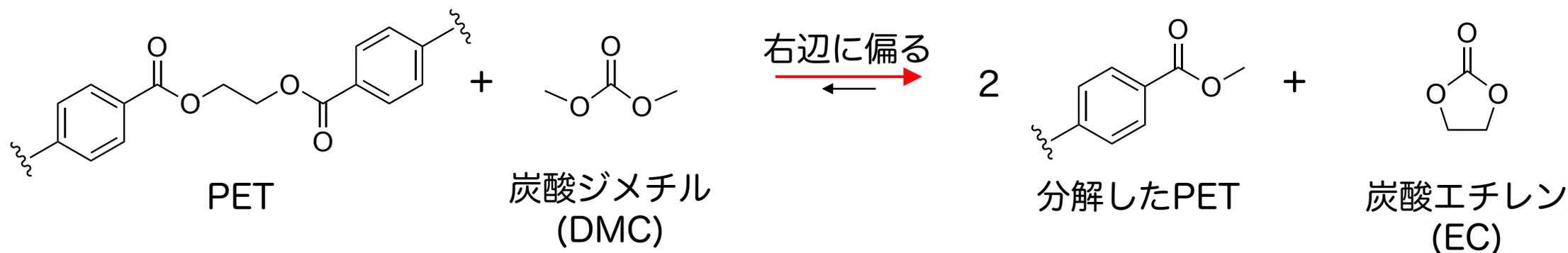
*高尾正樹「プラスチックのケミカルリサイクル技術」2021年

PETを効率良く解重合するための反応アイデア

Dimethyl Carbonate-aided Methanolysis (DCAM)



上の二つの化学反応を足し合わせると…



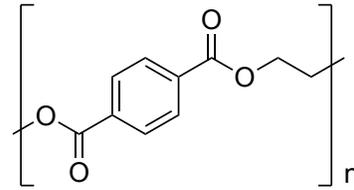
2. 技術シーズについて：技術の詳細



PETボトル



PETフレーク

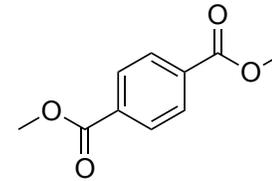


PET flake

アルカリ金属触媒

DMC/MeOH

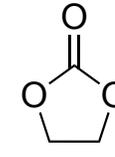
50 °C, 5 h



DMT

収率 >90%

+



EC



DMT

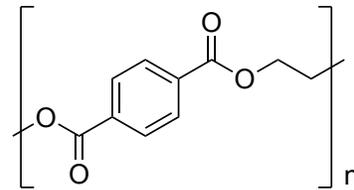
PETモノマーとして再利用



検査用白衣 (PET100%)



ポリエステル繊維

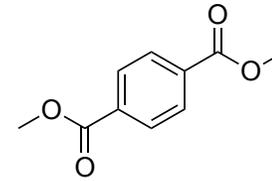


PET textile

アルカリ金属触媒

DMC/MeOH

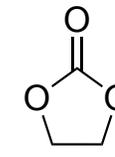
50 °C, 2 h



DMT

収率 >90%

+



EC



EC

Liイオン電池用電解液として活用
or
EGに戻してモノマーへ



エプロン (着色PET)



お菓子の包装 (含PET多層フィルム)

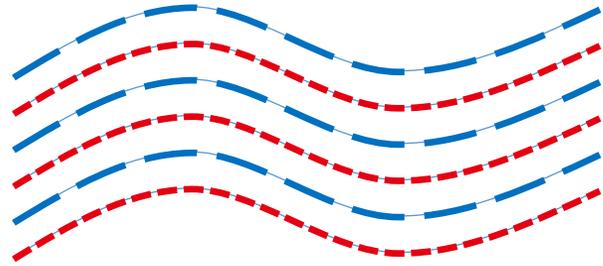


機能性繊維 (PET/ポリウレタンほか)



3. 研究計画について

従来の方法

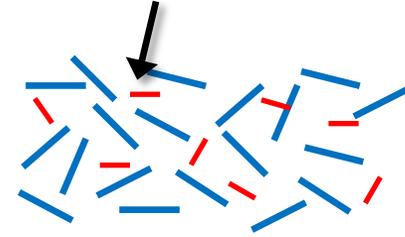


複合素材プラスチック

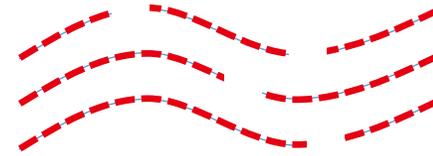
解重合

高温

不純物のコンタミ → モノマー精製が困難



+



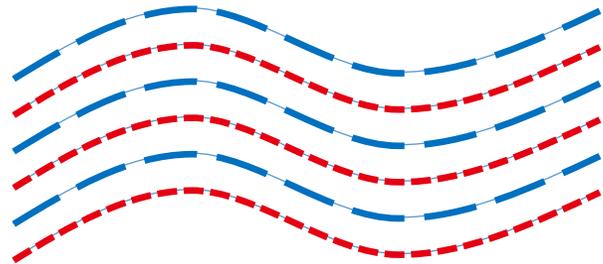
分子鎖の切断による分子量低下



マテリアル
リサイクルは困難

他のプラスチック
由来分解物

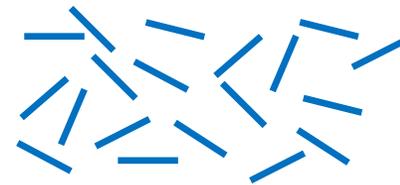
提案したいケミカルリサイクル法のコンセプト



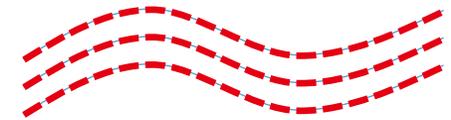
複合素材プラスチック

解重合

温和な条件



+



狙ったプラのみを解重合
モノマーを簡便に単離可能
ケミカルリサイクルへ

高分子量を維持
マテリアル
リサイクルが容易

ケミカルリサイクル・マテリアルリサイクルの双方の適用範囲を拡張する