AIST
Create the Future, Collaborate Together

2026年10月21日（水）３Ｒ先進事例発表会

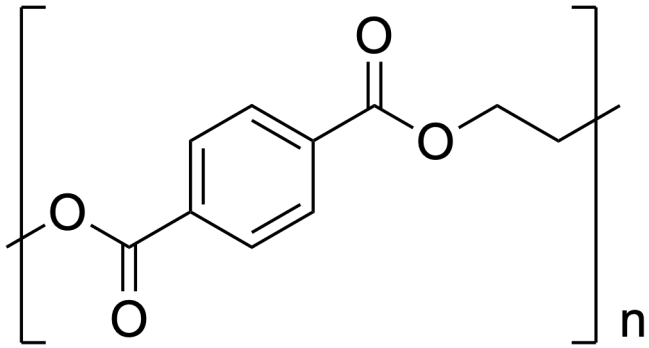
[研究報文]

低温分解を鍵とするPET複合材料のケミカルリサイクルの開発

田中 真司
産業技術総合研究所 材料・化学領域
サーキュラーテクノロジー実装研究センター
プラスチックケミカルリサイクル研究チーム



PETの生産量とケミカルリサイクルについて





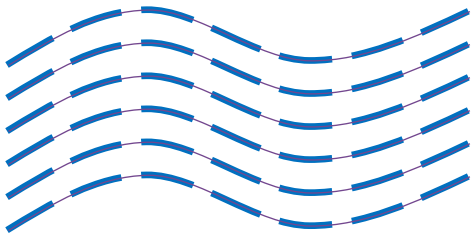



ポリエチレンテレフタレート (PET)

用途：PETボトル、包装用フィルム、
ポリエステル繊維

PETボトル等の樹脂用途：約 2,000万トン/年[1]
ポリエステル繊維用途：約 6,000万トン/年[2]
国内　廃PETボトル 65.2万トン/年 回収率 91.9% リサイクル率85.1%[3]

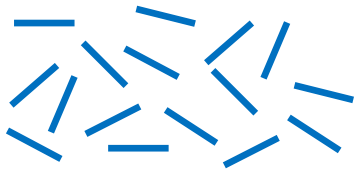
ケミカルリサイクル法



廃棄されたPET

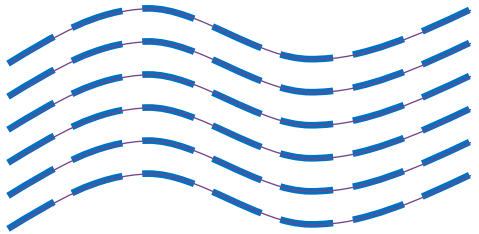
解重合

高温プロセス
(200 °C以上)



モノマー

精製、再重合

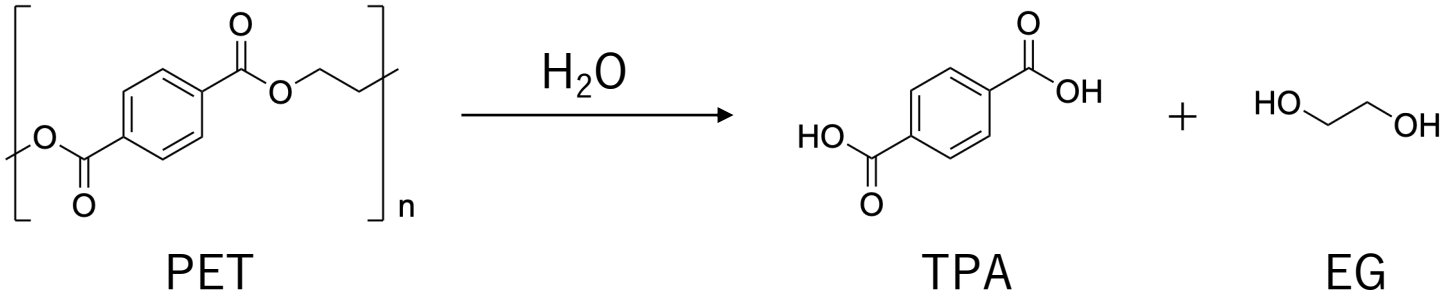


リサイクルPET

[1] 府川伊三郎 ARCリポート「リサイクルが進むPET樹脂は循環経済が実現するか」 2020年
[2] 日本化学繊維協会 「内外の化繊工業の動向」 2022年
[3] PETボトルリサイクル推進協議会 年次報告書 2025年

PETの解重合法

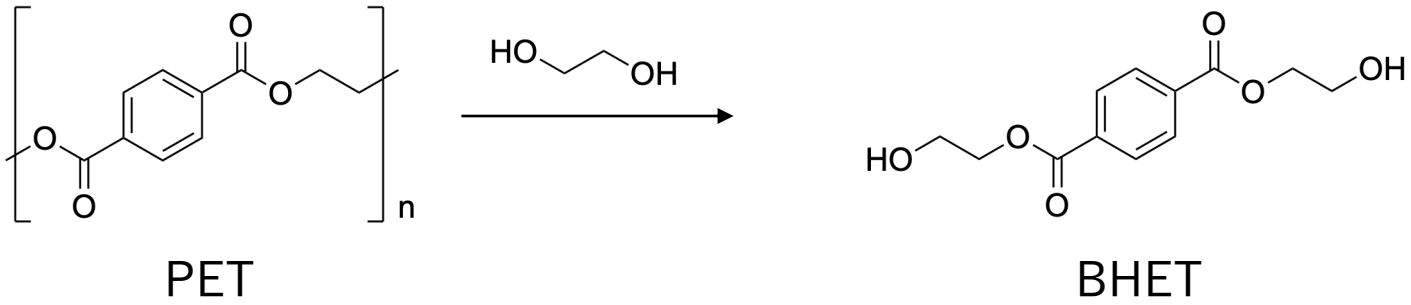
加水分解法



・TPAはPET製造の原料となる

・低溶解度、不揮発性のため精製が困難

グリコリシス法

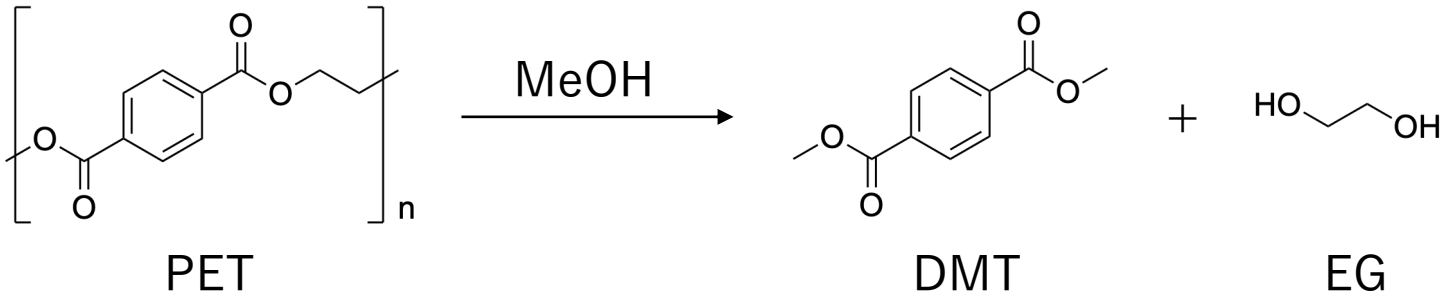


・BHETはPET製造の原料となる

・オリゴマーの混合により精製が困難

・PET以外には再生不可

メタノリシス法



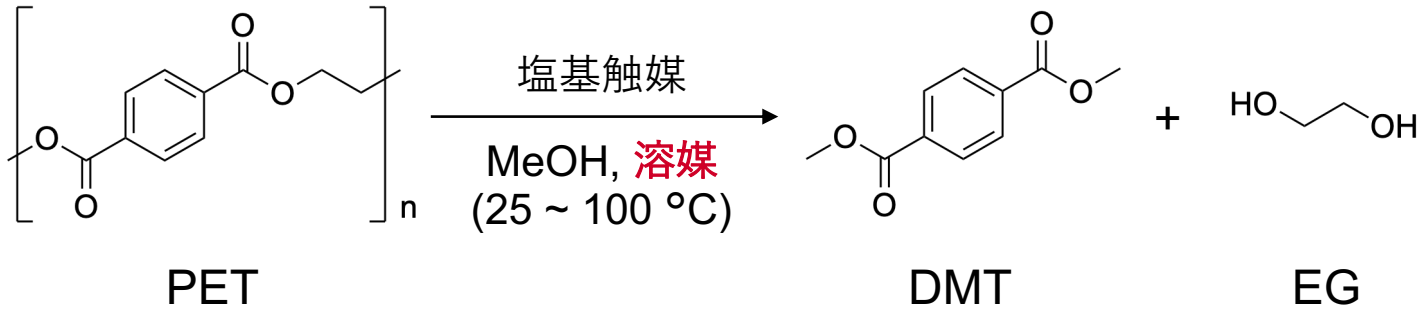
・DMTはPET製造の原料となる

・DMTは精製が容易

→ 不純物を多く含むPET廃棄物への適用可

低温メタノリシス（アルコリシス）法

溶媒膨潤メタノリシス法



PET　　DMT　　EG

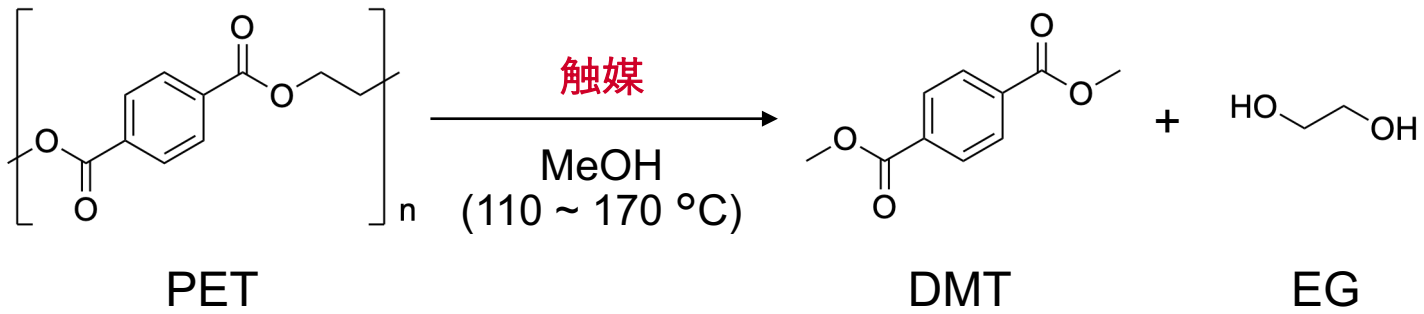
CH_2Cl_2: Loop Industries (P2025-63425Aなど)
韓国化学研究院 (*Green Chem.* **2021**)

DMSO: Loop Industries (P2025-63425Aなど)

CH_3CN: チンタオアミノマテリアルズ (P2025-505320Aなど)

Toluene: バース大 (*Green Chem.* **2020**)
ロックペイント (P7539733)

触媒の改良



PET　　DMT　　EG

TBD: Eastman Chemical (P2023-506948Aなど)

$La(acac)_3$: 東京農工大 (*Chem Commun.* **2022**)

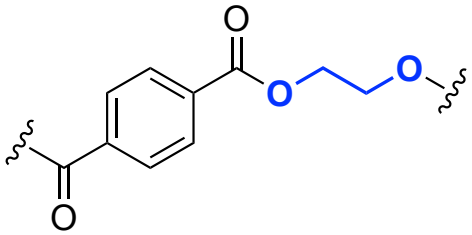
$CpTiCl_3$ (EtOH): 東京都立大 (*Catalysts* **2023**)

CaO (EtOH): チュラロンコン大・東京都立大 (*J. Mater. Cycles Waste Manag.* **2024**)

$Ti_4(OMe)_2(OPh)_{14}$: 理研・華南理工大 (*ACIE* **2025**)

Zn complex: アーヘン工科大 (*Adv. Sci.* **2026**)

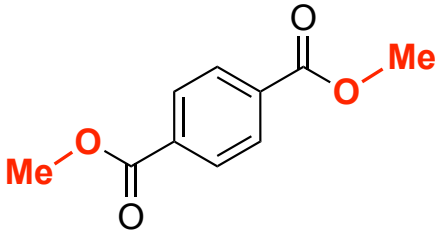
PETを低温で効率良く解重合するための反応アイデア



PET (部分構造)

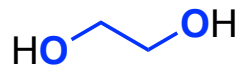
+ 2 MeOH

平衡反応



テレフタル酸ジメチル
(DMT)

+

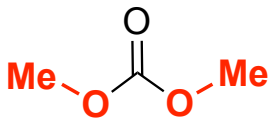


エチレングリコール



エチレングリコール

+



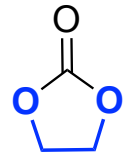
炭酸ジメチル
(DMC)

右辺に偏る

2 MeOH

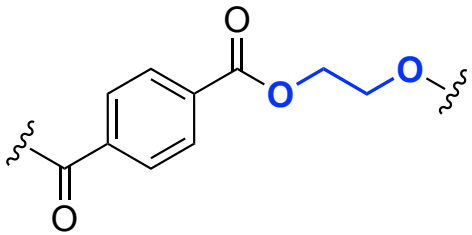
メタノール

+



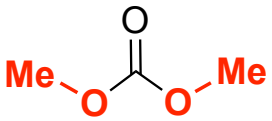
炭酸エチレン
(EC)

上の二つの化学反応式を足し合わせると…



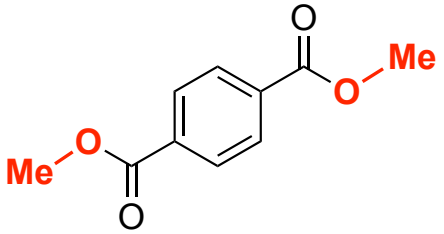
PET (部分構造)

+



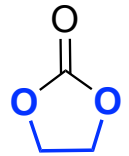
DMC

右辺に偏る



DMT

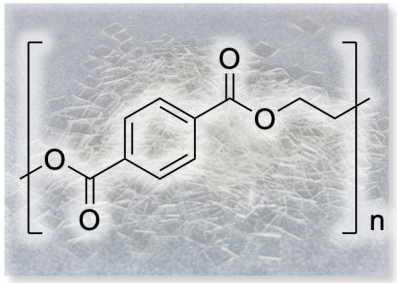
+



EC

炭酸ジメチルを促進剤とする低温メタノリシス

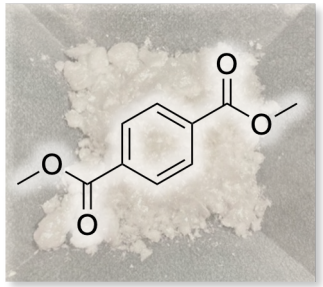
PETボトルの低温解重合



ボトル由来PET

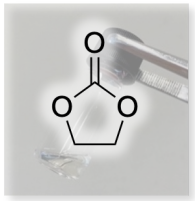
LiOMe (5 mol%)

DMC/MeOH
室温~50 °C, 3 h



DMT
収率 ＞90%

＋



炭酸エチレン
(EC)
収率 ＞80%

Tanaka, S. et al. *Green Chem.* **2021**, *23*, 9412-9416. (**産総研プレスリリース** 2021年11月8日)

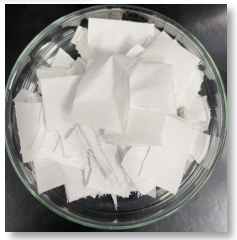
PET繊維の低温解重合



PET/染料



PET/PU



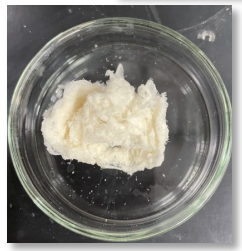
PET/綿

NaOMe (cat.)

DMC/MeOH
50 °C



DMT



回収PU

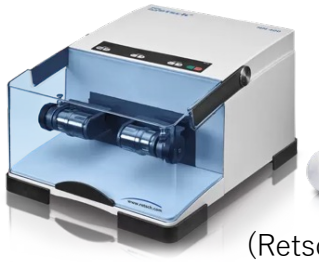


回収綿

PET以外の繊維を未反応で回収できる

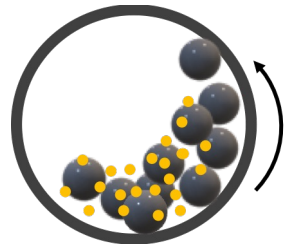
Tanaka, S. et al. *ACS Materials Au* **2024**, *4*, 335-345. (**産総研論文賞2025年**)

メカノケミカル法による反応促進





(Retsch websiteより)



Ball-milling



反応前

NaOMe (cat.)

DMC/MeOH
室温, 15分
ボールミル処理



反応後

蒸留精製



DMT

溶媒量60%削減
反応時間短縮

Tanaka, S. et al.
ACS Sustain. Chem. Eng. **2025**, *13*, 16303-16312.

PETボトルを用いたラボスケール実験検討



使用済みPETボトル

ハサミで切る
石鹸水で洗う
乾燥





粉砕機で
パウダー化



反応の様子



一定温度で
撹拌



うまく反応
すると



均一な
溶液へ

炭酸ジメチルの効果の検証

PET粉末 (100 mg)



粉砕



LiO^{t}Bu (10 mol%)
MeOH (0.5 mL)
65 °C, 5 h

21% + 26%

LiO^{t}Bu (10 mol%)
MeOH (0.5 mL)
THF (1.5 mL)
65 °C, 5 h

49% + 57%

LiO^{t}Bu (10 mol%)
MeOH (0.5 mL)
DMC (1.5 mL)
65 °C, 5 h

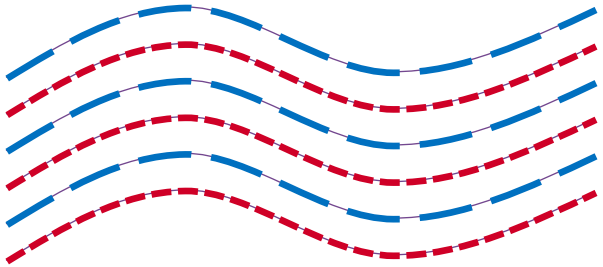
DMC

88% + 16% + 73%

エチレングリコールはDMCで捕捉され、
DMT収率は向上する。

複合PET材料のリサイクルへの展開

従来の方法

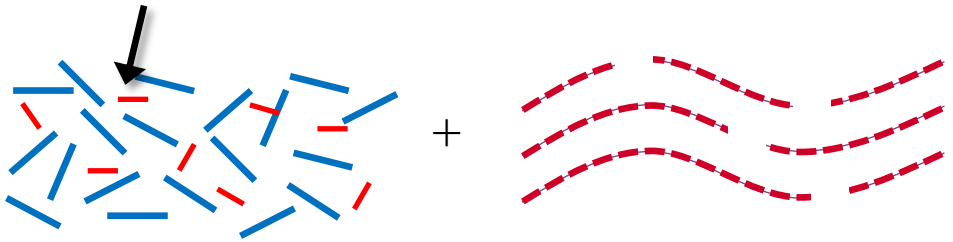


複合PET材料

解重合

高温

不純物のコンタミ → モノマー精製が困難

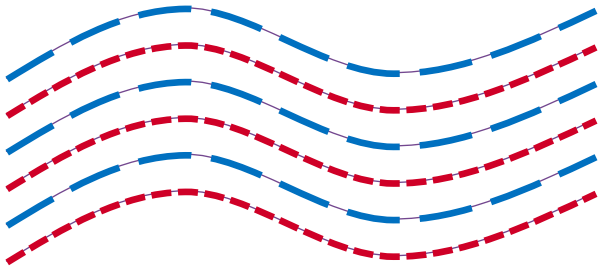


他のポリマー
由来分解物

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**

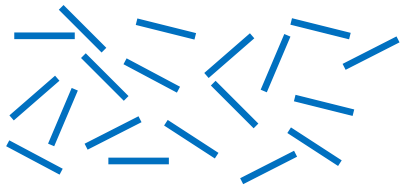
提案したいケミカルリサイクル法のコンセプト



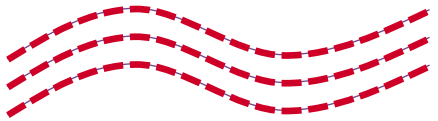
複合PET材料

解重合

温和な条件



PET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**

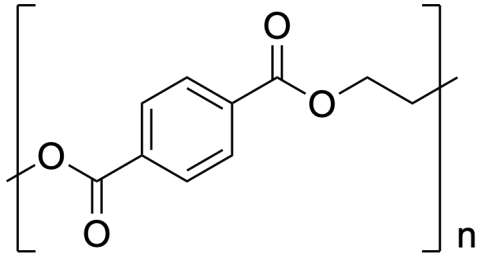


**高分子量を維持
マテリアル
リサイクルが容易**

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

ポリエステル複合繊維への適用：ポリウレタン

伸縮性生地 (PET88% PU12%)



PET/PU 88/12, 10 g

NaOMe
(0.16 g, 6 mol%)

MeOH (6.5 mL)
DMC (50 mL)
50 ° C, 1 h

ろ過

PU (0.98 g) + colorless solid (0.3 g)

蒸留

DMC, MeOH

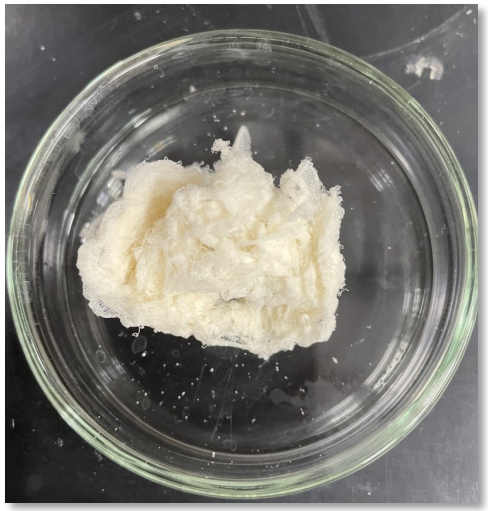
H_2O, 冷EtOAc
で洗浄

Cat, EC,
EG etc.

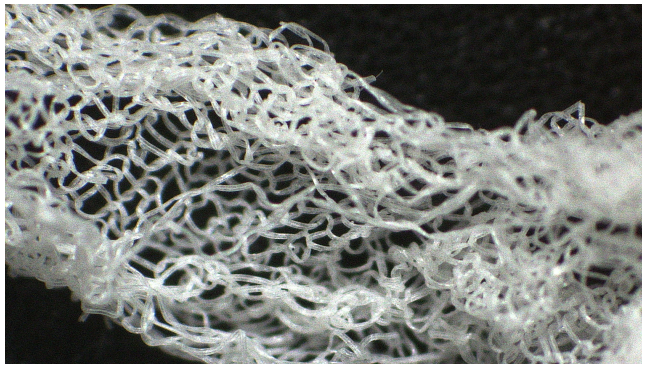
DMT
(7.2 g, 80%)



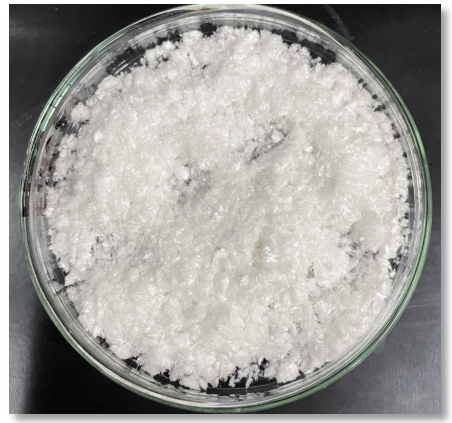
伸縮性生地
(PET88%/PU12%)



回収したPU



回収したPUの
顕微鏡写真

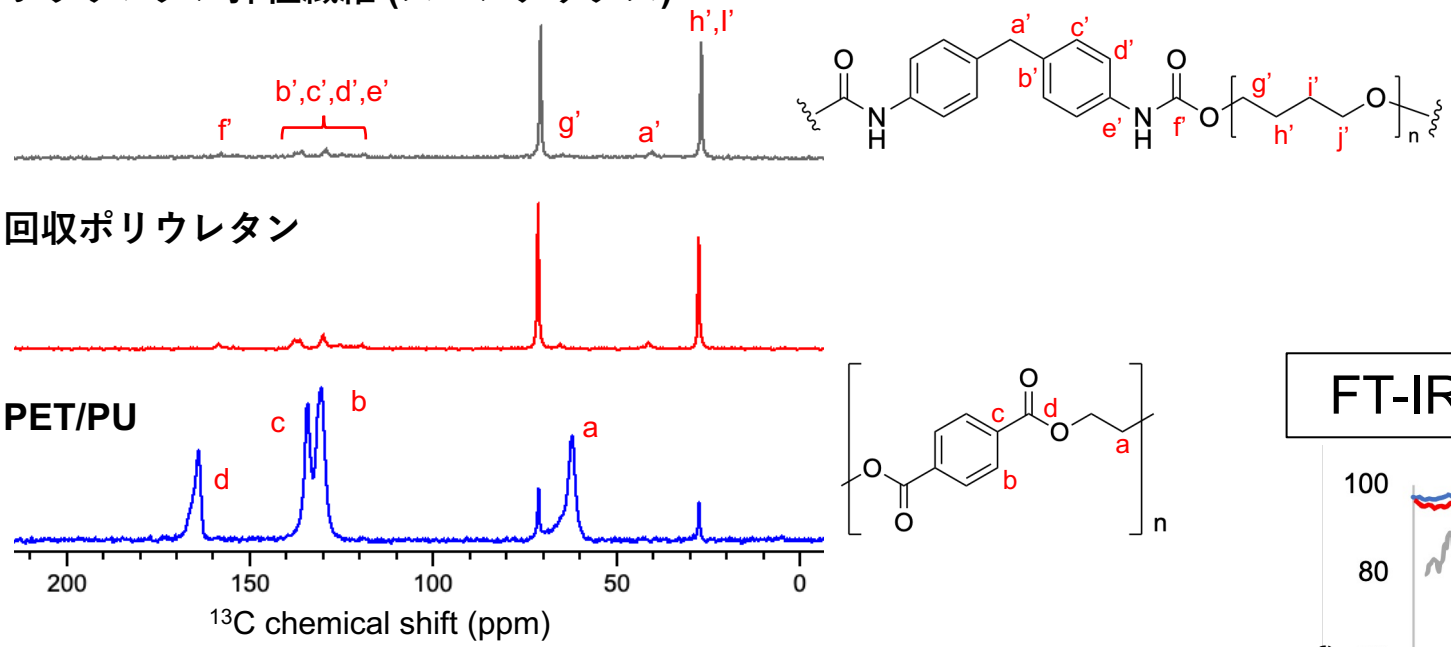


DMT

回収したポリウレタンの構造解析

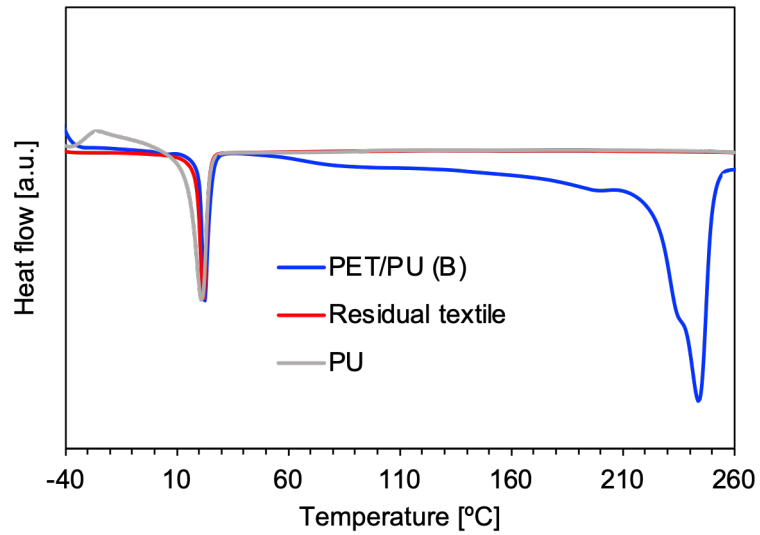
固体^{13}C NMR (CPMAS)

ポリウレタン弾性繊維 (スパンデックス)

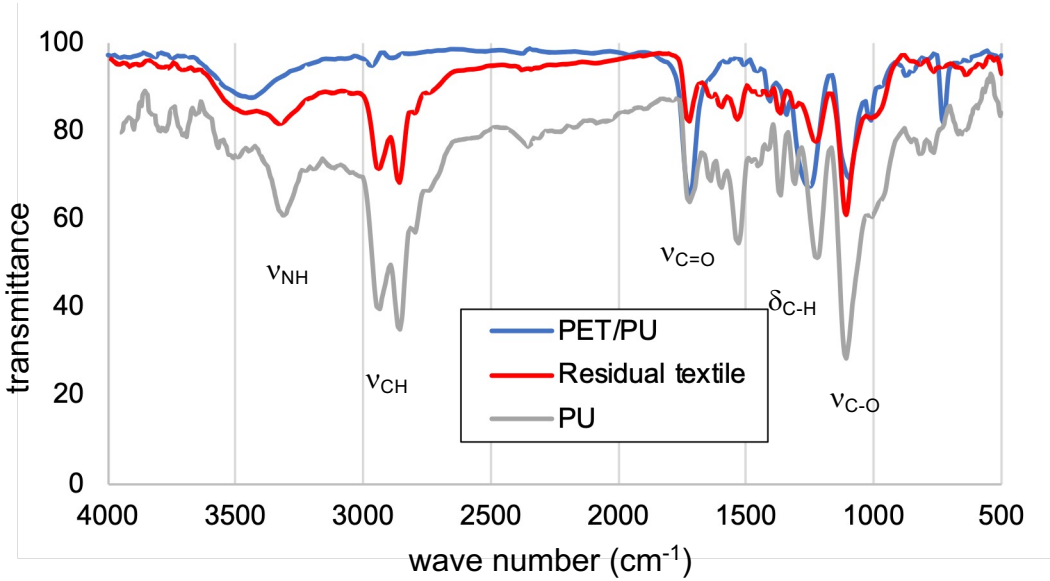


回収ポリウレタンは、MDI-poly(THF)タイプのポリウレタン (スパンデックス) に一致

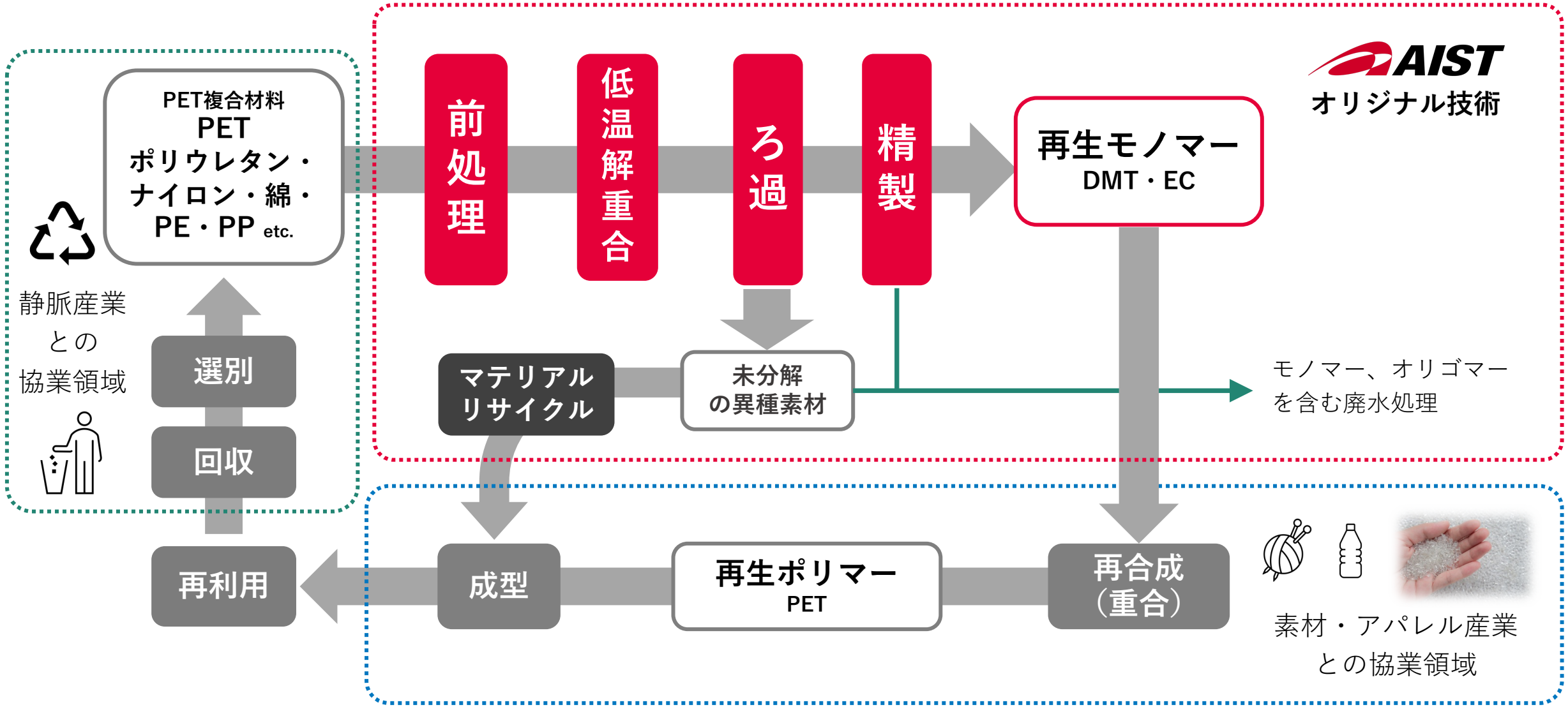
DSC



FT-IR



産総研オリジナル技術をコアとするプラスチック資源循環



大石佑子、田中真司 「PETケミカルリサイクルを核とした資源循環エコシステムの構築」環境管理 2026年 3月