ケミカルリサイクルを基盤とするスーパーエンジニアリングプラスチックの機能付与

岡山大学学術研究院先鋭研究領域（異分野基礎） 教授 西原 康師
産業技術総合研究所 サーキュラーテクノロジー実装研究センター 上級主任研究員 南 安規

優れた性能を持つスーパーエンプラPEEKは安定性が高く，ケミカルリサイクルが困難

PEEK分子構造の主鎖を自在に切断する技術を開発し，再原料化と機能化を実現

本法を用いてPEEK表面に光触媒機能を発現しました．新材料の開発を拓く成果と期待

すべてのプラスチック材料のリサイクルに向けて

■ 2018年　G7海洋プラスチック憲章

「2040年までにすべてのプラをリサイクルする目標」

■ 2019年　国際化学サミット（CS3）

「持続可能なプラスチックのための科学」

■ EU　ELV（End-of-Life Vehicles）指令

→ 2023年 ELV規則案

循環デザイン，リサイクル材使用，スマートな回収
よりよい処理，生産者責任，対象拡大

■ 日本のプラスチック資源循環戦略

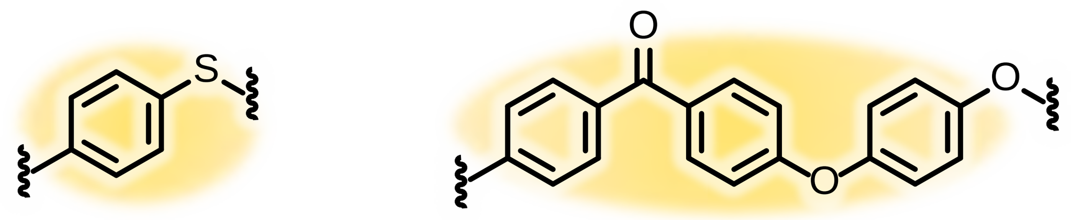
「2035年 すべての使用済みプラスチックをリユース・リサイクル」

資源循環という国際イノベーションに向けた取り組み
→　我が国が先導するには？

プラスチック リサイクル技術の 革新が必須

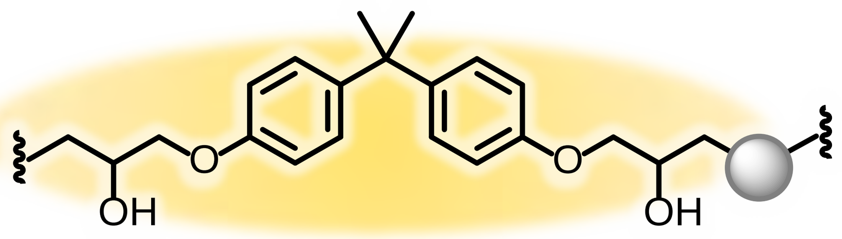
高安定プラスチックの ケミカルリサイクルに挑戦

スーパーエンジニアリングプラスチック



PPS（～10万トン / 年）　PEEK（～7000トン / 年）

エポキシ樹脂



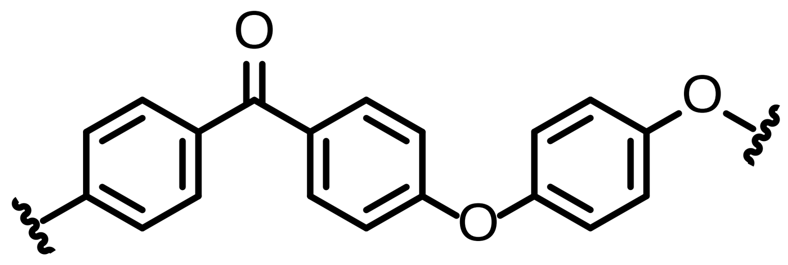
市場規模
120億米ドル
（2024）

小生産量だが産業に必須
ケミカルリサイクルが困難

全ての縮合系プラのケミカルリサイクルを実現

✓ 現行プラスチックの産業寿命の撤廃
✓ 機能性プラスチックの持続的開発に貢献

ポリエーテルエーテルケトンに着目 ― 抜群の耐熱性を持つ高安定樹脂 ―



ポリエーテルエーテルケトン (PEEK)

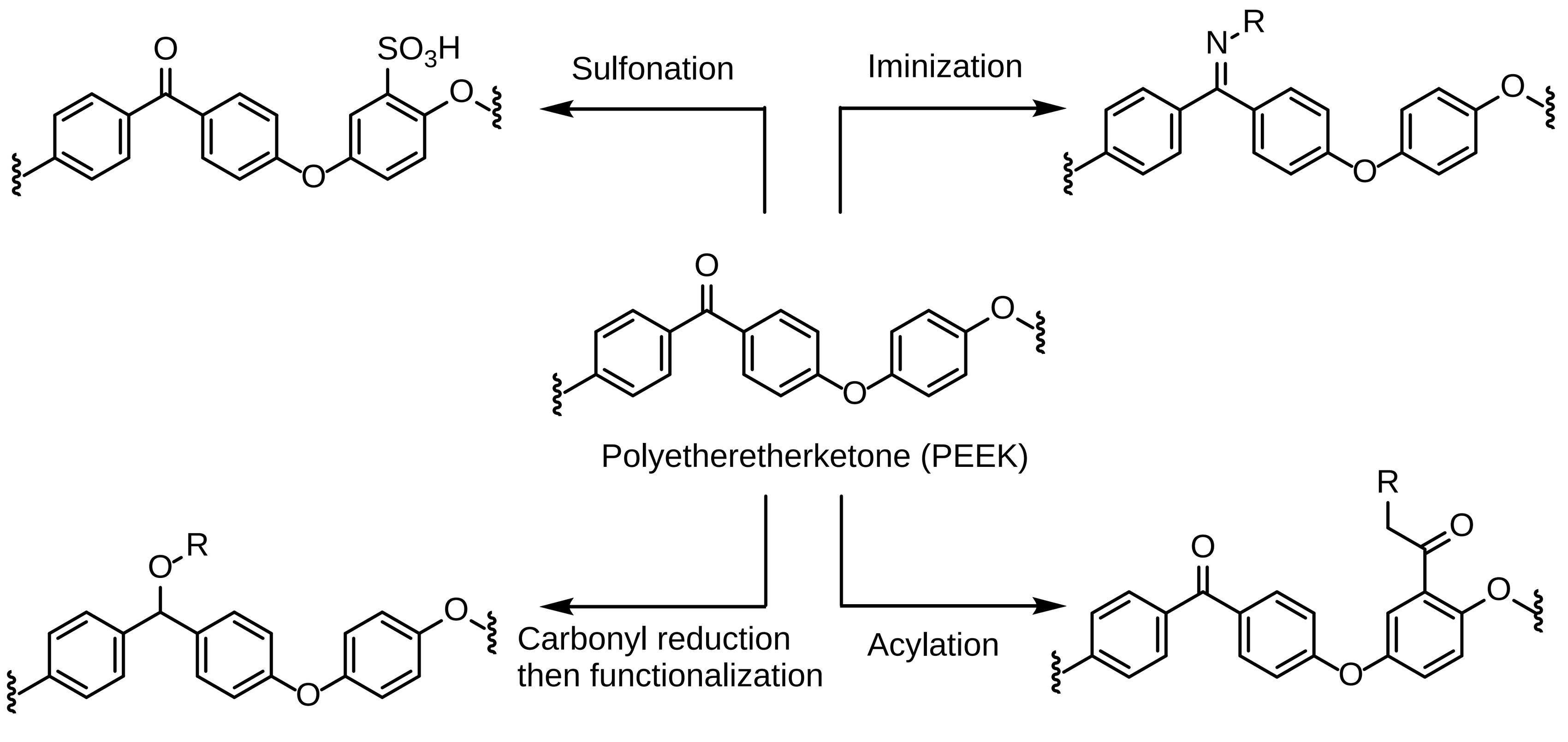
抜群の耐熱性、高温特性
連続使用温度約240 ~ 250 ℃
炭素繊維強化グレードでは30%で315 ℃
生産量(2016)　7,900 t, 10000 円 / kg

さまざまな環境下で高い安定性を実現

✓ 抜群の耐熱性　✓ 高い機械強度
✓ 強固な主鎖結合　✓ 耐薬品性
✓ 難溶性 or 不溶性　✓ 良好な耐放射線性

PEEKのケミカルリサイクルは不可能とされていた

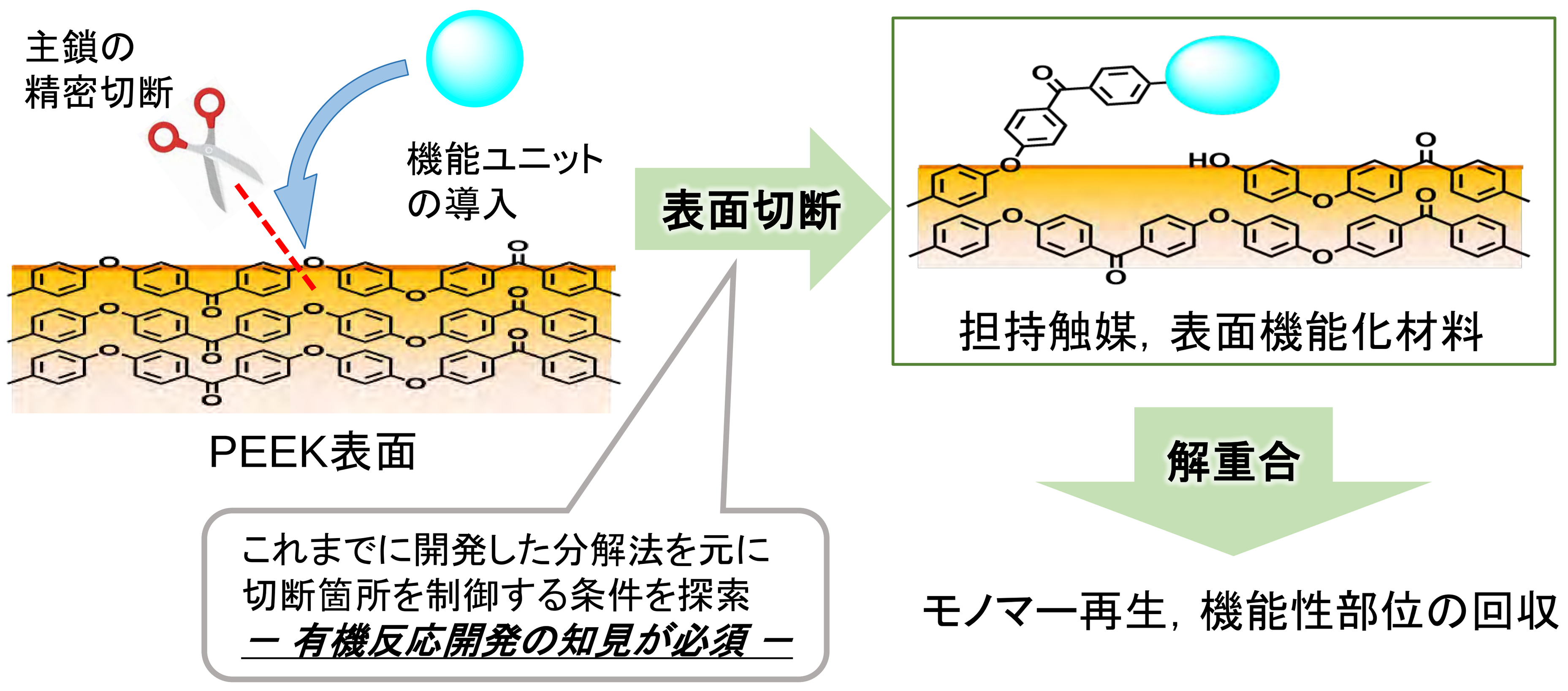
主鎖構造の化学的変換による方法論が多く開発



リサイクル性を兼ね備えた新たな化学機能化法は？

PEEKの主鎖を自在に切断，再原料化と機能化できる技術を開発し，安定プラスチックの新たなライフサイクルを提示

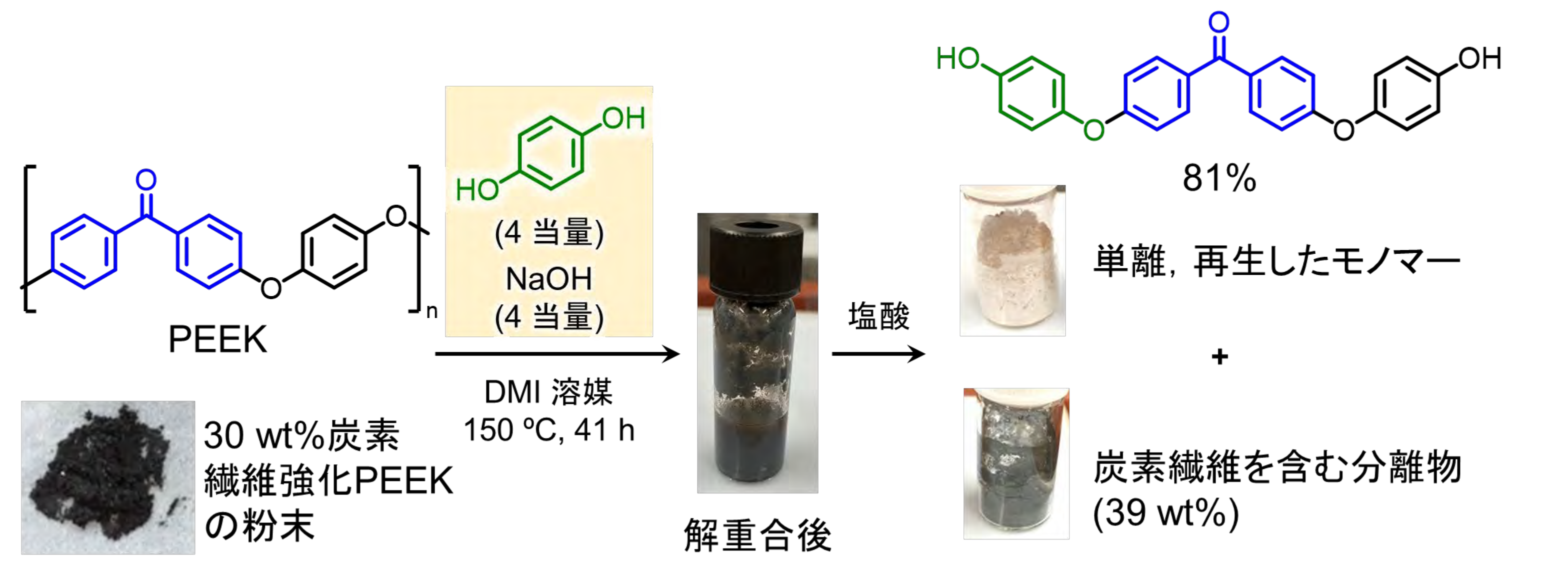
本研究の目的
スーパーエンプラのケミカルリサイクルを基盤とする新材料開発の提示



ケミカルリサイクルの原理をもと，
再生可能な新材料開発の突破口を切り開く

Minami, et al. *Submitting.* 特願：2025-122522, 2025-122523.

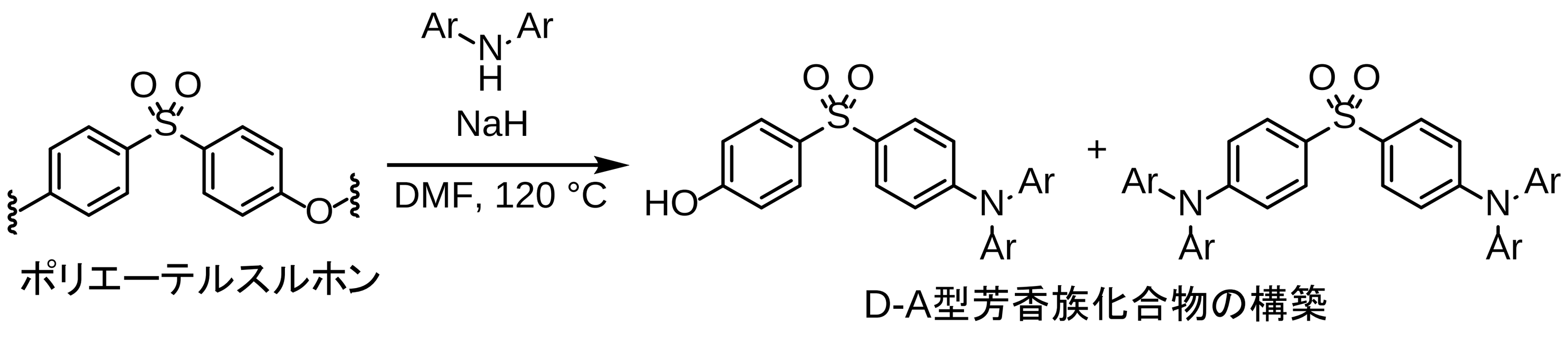
発表者のこれまでの成果
スーパーエンプラ，エポキシ樹脂の化学分解法の開発



反応後の塩酸処理，ろ過による洗浄操作により，モノマーを単離可能．
回収モノマーを用いてPEEKの再生にも成功

Minami, et al. *ChemSusChem* **2025**, e202401778. Patent：PCT/JP2024/ 27626.

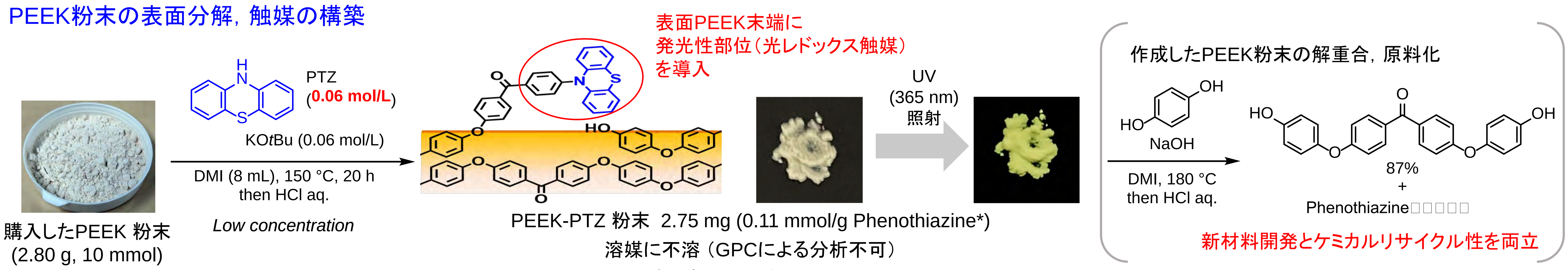
発表者の成果をもとにした応用研究



Dufaud, Raynaud, Monteil. *Polym. Chem.* **2025**, *16*, 1139.

スーパーエンプラPEEKの表面分解による光レドックス触媒の導入と評価

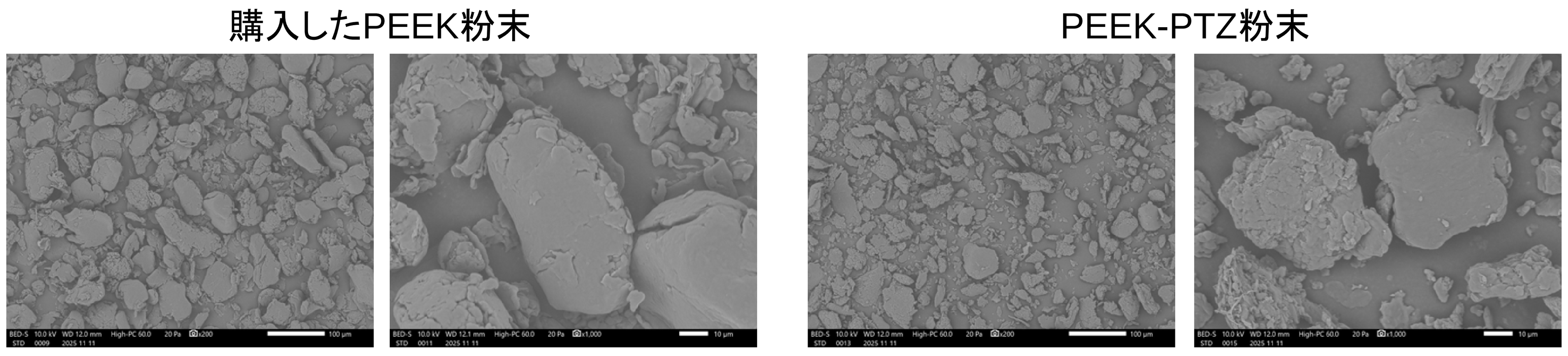
PEEK粉末の表面分解，触媒の構築



PEEK-PTZ 粉末 2.75 mg (0.11 mmol/g Phenothiazine*)
溶媒に不溶（GPCによる分析不可）
元素分析により導入量を評価

新材料開発とケミカルリサイクル性を両立

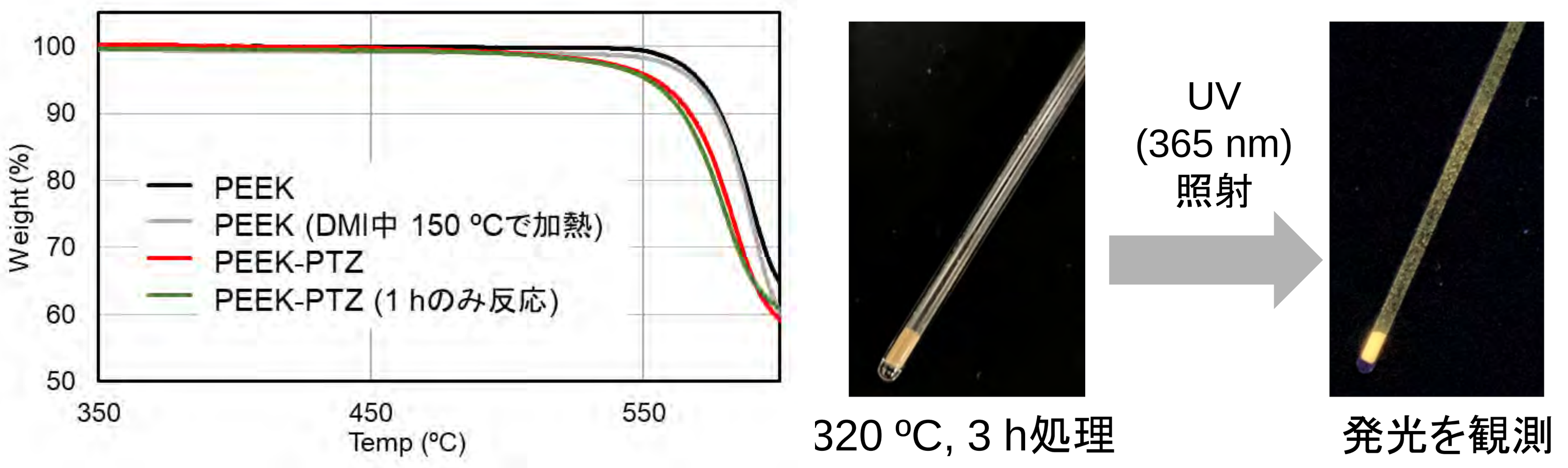
SEMによる観察



200倍　1000倍　200倍　1000倍

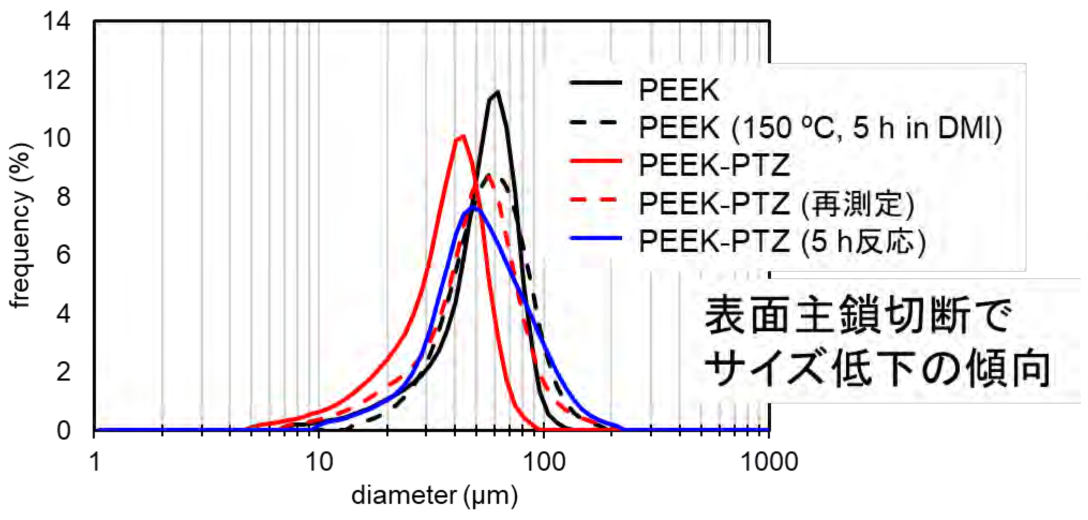
表面に大きな損傷は見られない

熱分解試験

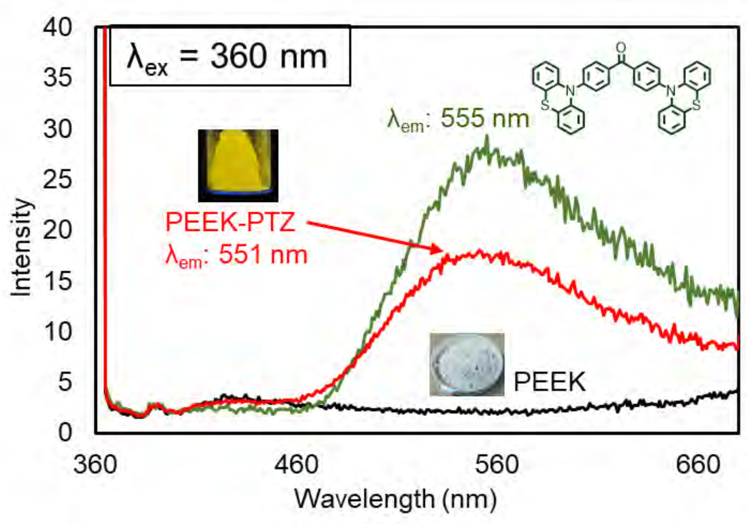


320 °C, 3 h処理　発光を観測

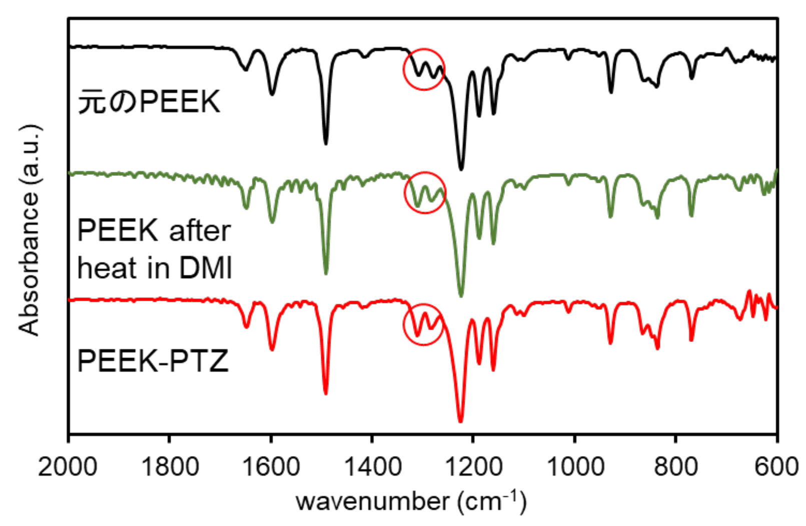
粒子径分布測定



固体発光スペクトルの測定



ATR-FTIR による解析



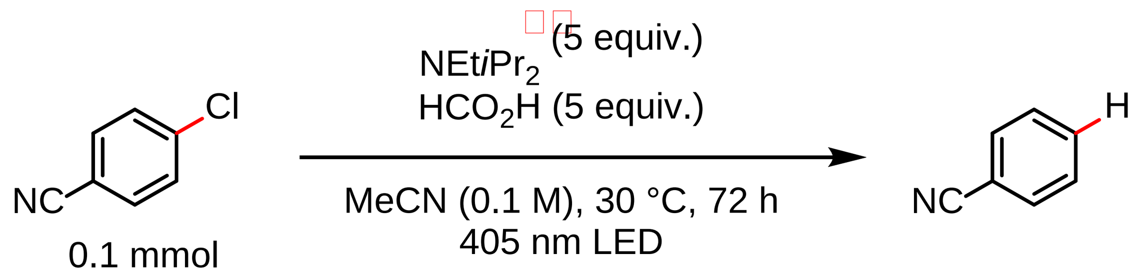
Degree of crystallinity*
1305 cm^{-1} / 1280 cm^{-1}

Polymer Bulletin **1984**, *11*, 433.

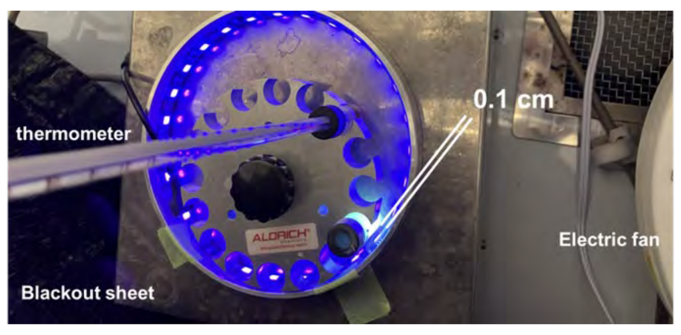
溶媒アニーリングが進行，
表面の結晶性が向上
→ 表面反応性に影響

PEEK-PTZは元のPEEKとしての安定性，性質をほぼ維持したまま，新たに構築された*N*-aryl-PTZの光物性を獲得

スーパーエンプラPEEKの表面分解による光レドックス触媒の導入

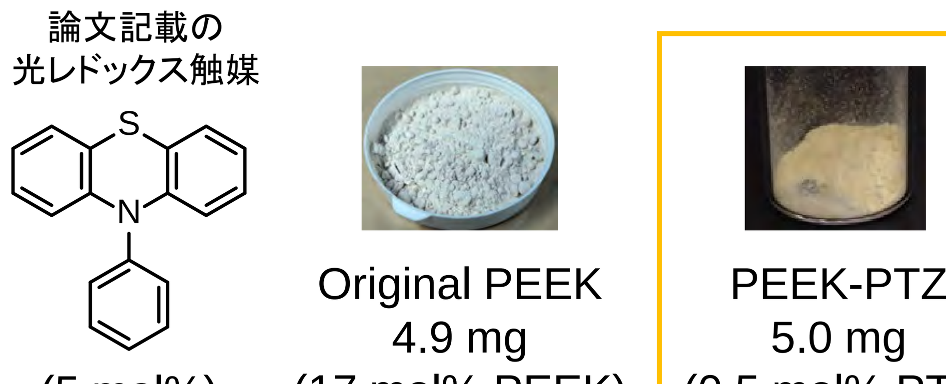


参考 PTH触媒を使用した還元反応
Chem. Commun. **2015**, *51*, 11705.



Aldrichから
購入したLED

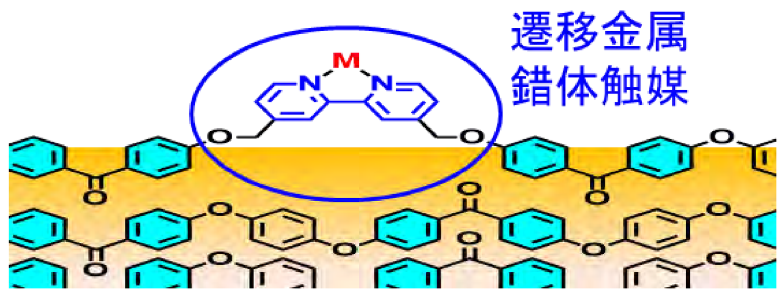
系外から照射



	触媒なし	論文記載の光レドックス触媒 (5 mol%)	Original PEEK 4.9 mg (17 mol% PEEK)	PEEK-PTZ 5.0 mg (0.5 mol% PTZ)
Yield	0%	89%	3%	90% (Ave. of 4 exp.)

PEEK表面に導入した官能基が，触媒として機能することを立証

さまざまな触媒を導入
活性検証を実施



例： 遷移金属錯体触媒の構築

触媒以外にもさまざまな機能化を実現し，プラスチック材料の持続的開発，ライフサイクルの新提案に貢献