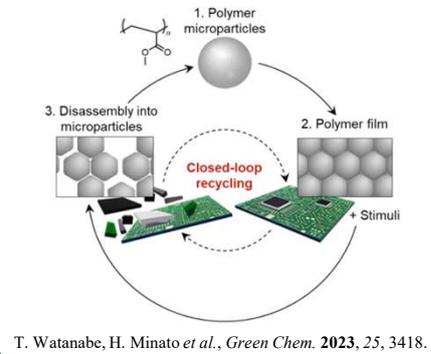


微粒子から成るプラスチック材料の循環技術

学術大学院環境生命自然科学学域 環境高分子材料講座

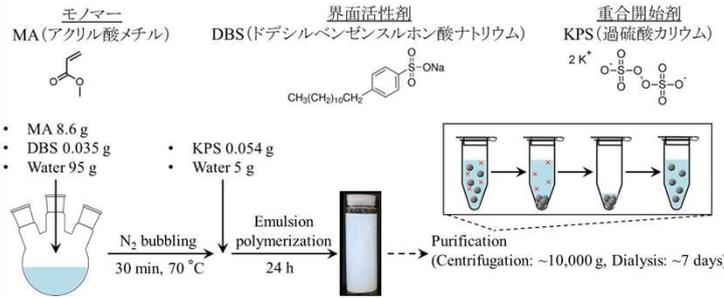
西澤佑一朗、鈴木大介

「微粒子の循環」による資源循環

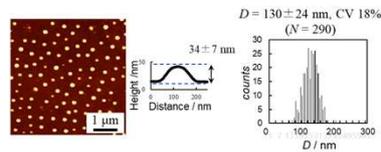


1. 高分子微粒子の合成・評価

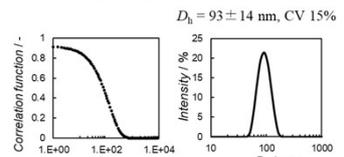
水系(ソープフリー)乳化重合により、サイズの揃った微粒子を合成



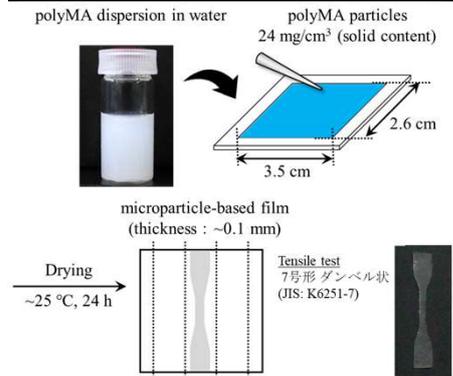
原子間力顕微鏡(AFM)観察



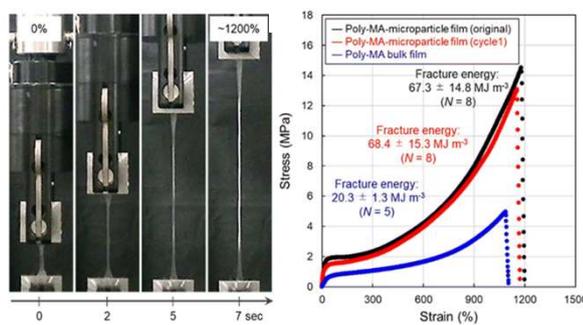
動的光散乱法(DLS)評価



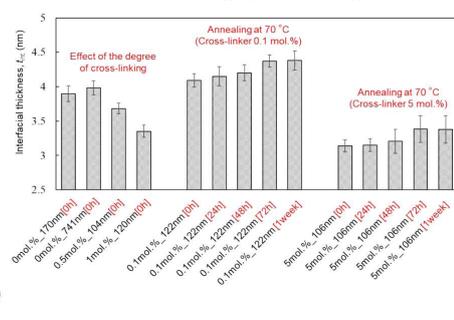
2. 微粒子フィルムの作製・力学特性評価



一軸伸長試験による力学特性評価



アニーリングと隣接粒子間の相互貫入



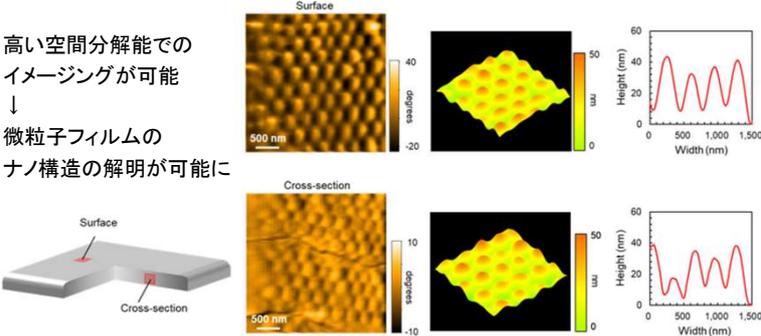
乾燥させるだけで自立した微粒子フィルムを形成

単成分で強靱な微粒子フィルムを獲得

アニール時間増加に伴い貫入が増加

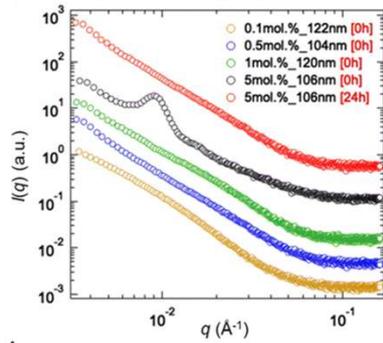
3. 微粒子フィルムのナノ構造評価: 強靱性のメカニズム解明

高速原子間力顕微鏡(HS-AFM)観察



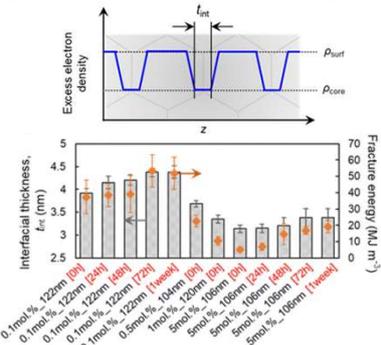
フィルム内でpMA微粒子が規則的に配列

小角X線散乱による評価

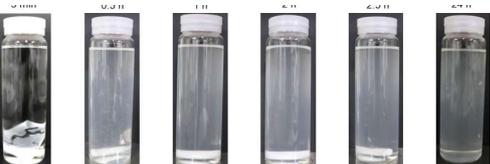
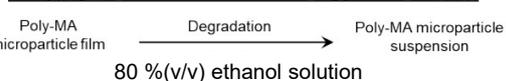


粒子表面の高分子鎖が深く絡まり合うことが強靱化の要因の1つ

破断エネルギーと隣接微粒子間の相互貫入(特性界面厚み)の相関

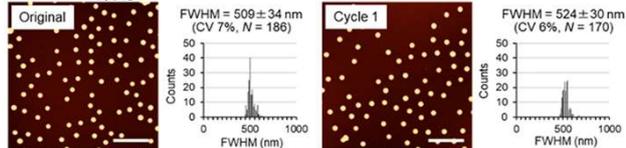


4. 微粒子フィルムの分解・再利用

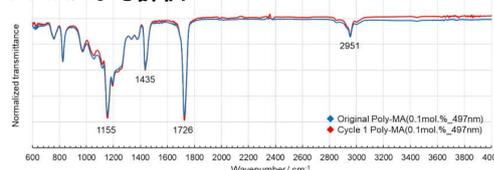


良溶媒に浸すだけで高効率(~99%)で微粒子単位まで分解可能

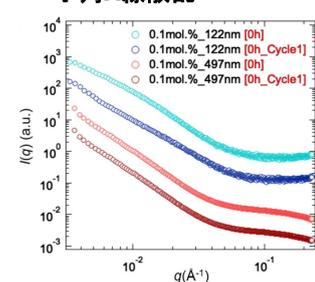
AFM観察



FT-IRによる評価



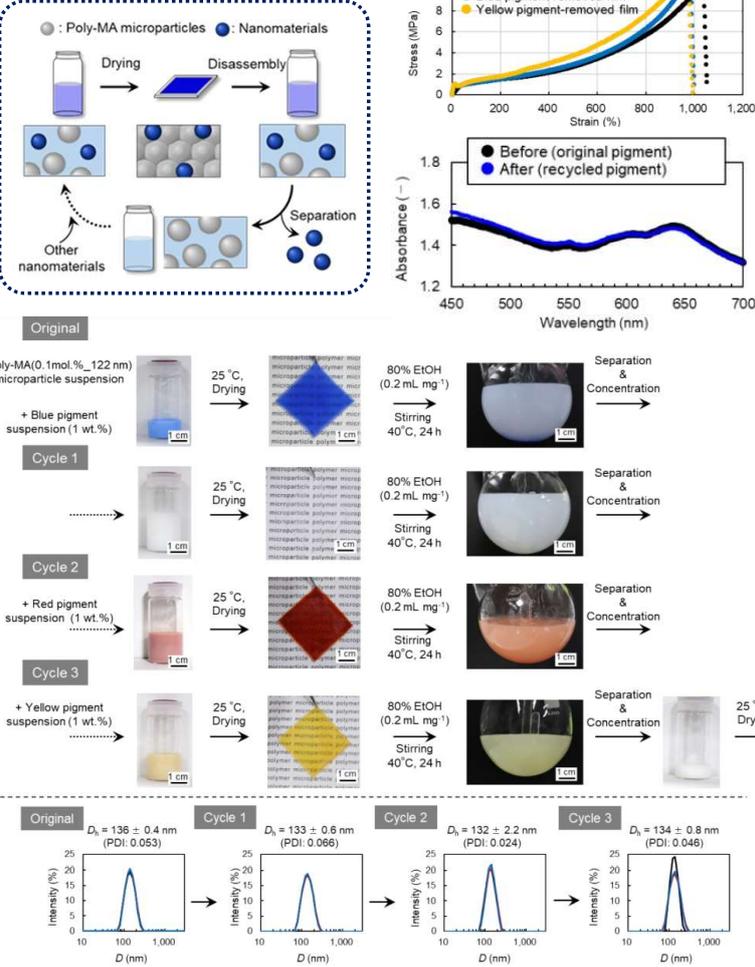
小角X線散乱



劣化しない分解プロセスであることを確認

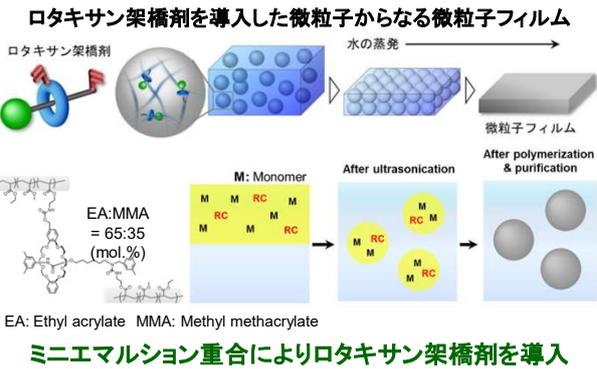
仮説: 微粒子の循環を活用することで、添加物を含む機能性微粒子フィルムも同様にマテリアルリサイクルが可能になるのでは？

5. 無機顔料の資源循環



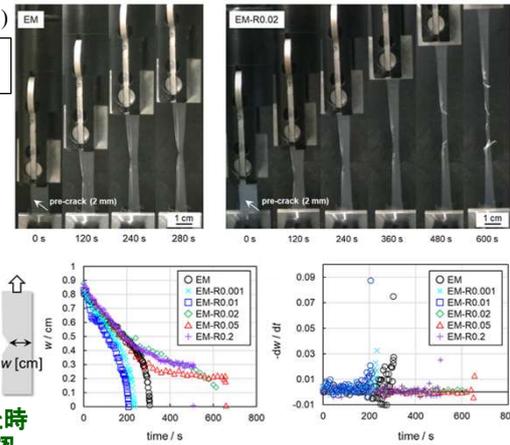
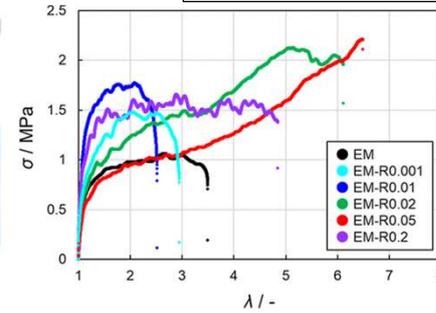
顔料と高分子微粒子を劣化なく分離することが可能

7. さらなる資源循環の実現に向けた化学種の拡張 (Y. Sasaki et al., Langmuir 2023, 39, 9262.)



引裂試験

EM-R-X (X: ロタキサン架橋剤仕込み量 (mol.%))



特定の量のロタキサン架橋剤を導入した時のみ、亀裂の進展が遅延することを確認

まとめ

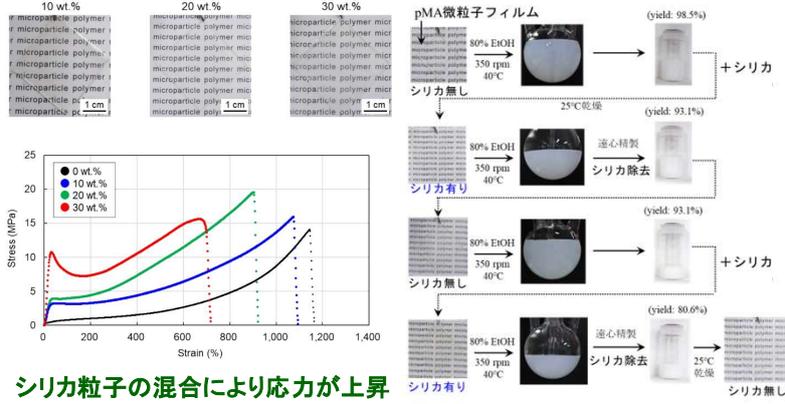
- ・高分子微粒子から成るフィルムを形成することで、微粒子フィルムの強靱性と優れた分解性の両立が可能であることを発見。
- ・微粒子と様々な機能性材料を組み合わせることで、強靱性や機能性を付与したうえで、リサイクル性も持ち合わせる材料になることが期待。
- ・高分子微粒子を活用することで、世界的な課題である資源の枯渇や高分子材料廃棄物の増加などの深刻な課題を打破できる可能性を見出した。

異なる化学種でも微粒子単位での分解が可能

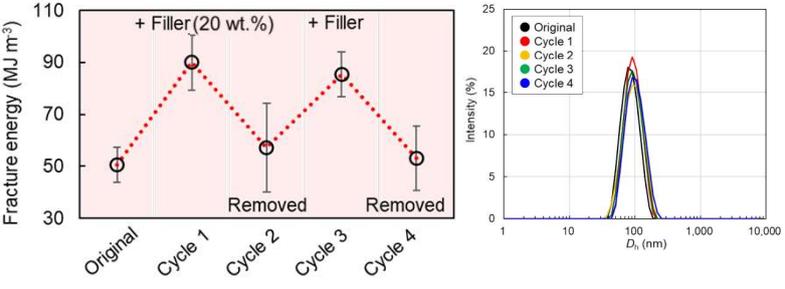
6. シリカフィラーによるさらなる強靱化と資源循環

シリカ粒子の混合量と力学特性の関係

シリカ粒子混合フィルムの循環



循環過程の力学特性と流体力学的直径 (D_n)



	Fracture energy (MJ m ⁻²)	Young's modulus (MPa)	Fracture strain (%)	Fracture stress (MPa)
Original	50.6 ± 6.7	4.2 ± 0.4	1,171.9 ± 33.9	15.2 ± 1.8
Cycle1	90.1 ± 10.8	23.8 ± 5.6	975.0 ± 107.7	18.4 ± 1.2
Cycle2	57.1 ± 17.1	3.1 ± 1.5	1,065.0 ± 109.2	15.6 ± 3.9
Cycle3	85.4 ± 8.5	11.3 ± 2.3	957.5 ± 71.8	21.5 ± 1.4
Cycle4	53.0 ± 12.4	4.3 ± 1.5	1,128.6 ± 149.6	14.7 ± 1.0

力学特性を維持した微粒子フィルムの循環を達成