

リスク評価に寄与する
マイクロプラスチック生成の機構・速度の解明
および
標準マイクロプラスチックの調製

金沢大学 比江嶋 祐介

【共同研究者】 黒田真一(群馬大), 栗山卓(九州大),
水口仁志(徳島大), 松葉豪(山形大), 香西博明(関東学院大),
五十嵐敏郎(住化エンバイロメンタルサイエンス社)

本研究の目的と3つのサブテーマ

- マイクロプラスチック(MP)生成の機構・速度の解明

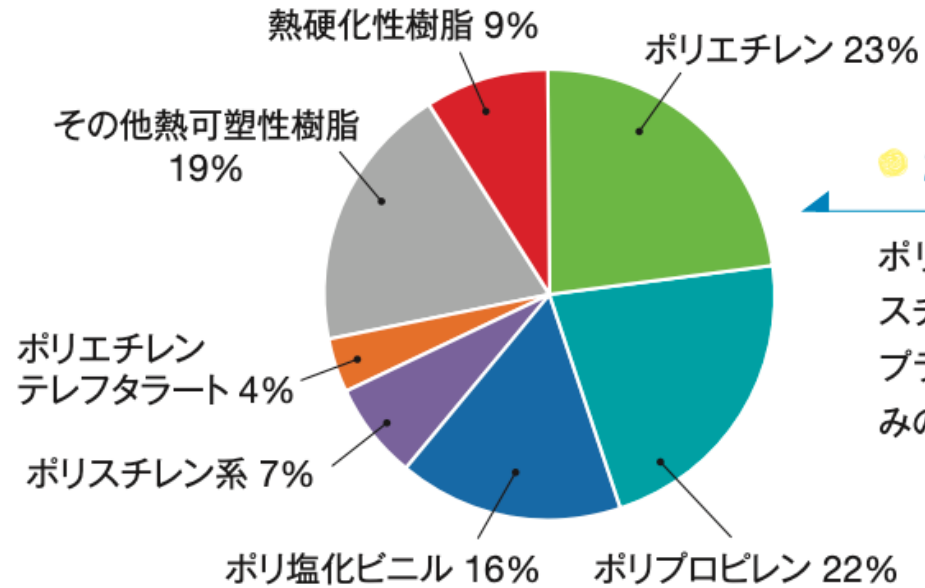
サブテーマ1: 自然環境下でのMP生成挙動の解明

サブテーマ2: 人工的劣化によるMP生成速度の推定

- 標準マイクロプラスチックの調製

サブテーマ3: ジェットミルを用いる模擬MPの調製

プラスチックの種類と用途



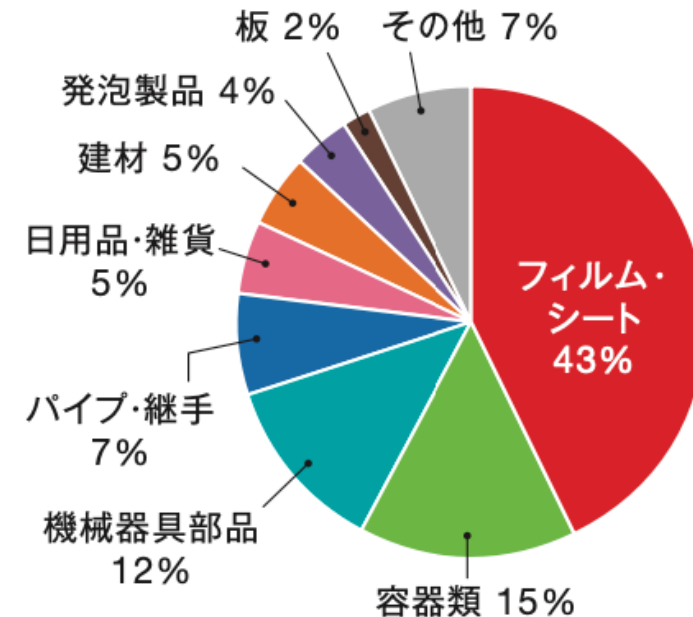
2018年種類別生産比率

ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリスチレンは生産量が多く、安価で身近な材料のため汎用プラスチックと呼ばれています。ペットボトルでおなじみのポリエチレンテレフタレートがそれに続きます。

ポリエチレン (PE)
ポリプロピレン (PP)
ポリ塩化ビニル (PVC)
ポリスチレン (PS)

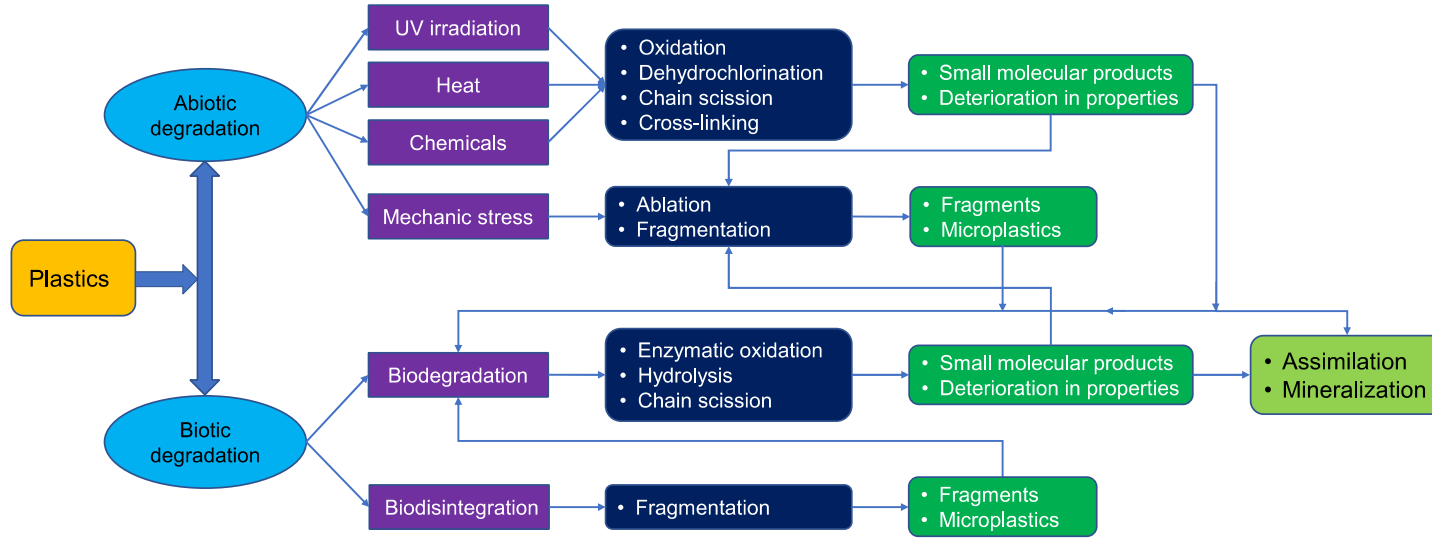
2018年用途別生産比率

フィルム・シートは43%を占め、農業用、包装用、ラミネート、土木・建築用に使われます。容器類には清涼飲料用、化粧品用、シャンプー用等の容器、灯油缶などのほかコンテナ、パレット等の輸送用容器があります。



プラスチックの劣化とMP生成

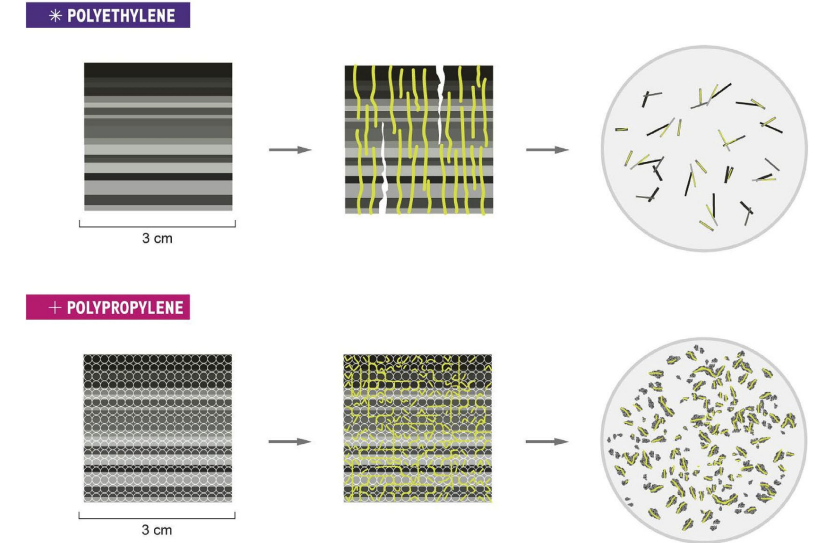
プラスチックの劣化と生成物



K.Zhang et al., Environ. Pollut. **274**, 116554 (2021).

→ プラスチックは様々な要因で劣化し、一部はMPとなる。

クラック形成による微細化



F.Julienne et al., Polym. Degrad. Stab. **170**, 109012 (2019).

B.Pinlova and B. Nowack, Chemosphere **352**, 141305 (2024).

→ 「割れる」ことでMP生成することが示唆

- マイクロプラスチック(MP)生成の機構・速度の解明

 - サブテーマ1: 自然環境下でのMP生成挙動の解明

 - サブテーマ2: 人工的劣化によるMP生成速度の推定

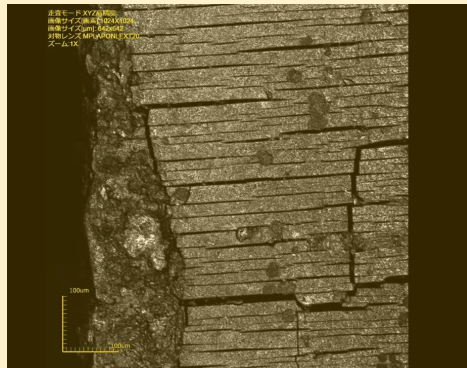
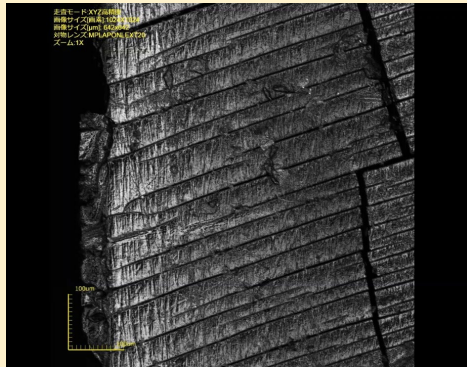
- 標準マイクロプラスチックの調製

 - サブテーマ3: ジェットミルを用いる模擬MPの調製

屋外暴露および促進暴露によるPPの外観変化

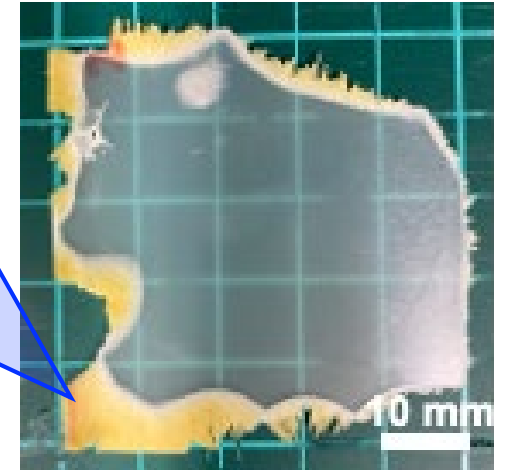
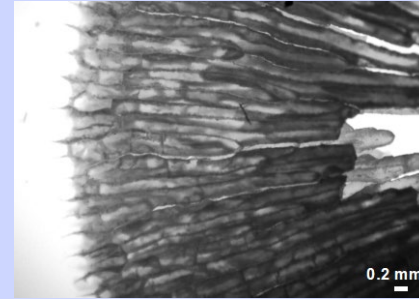
屋外暴露(銚子試験場, 1 year)

レーザー顕微鏡観察

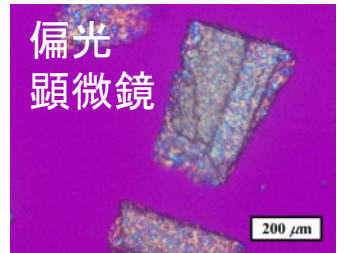
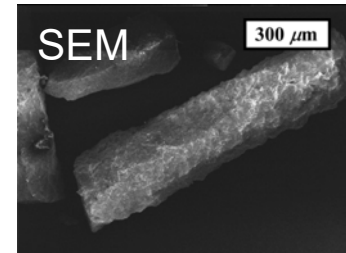


促進暴露(130°C, 93 days)

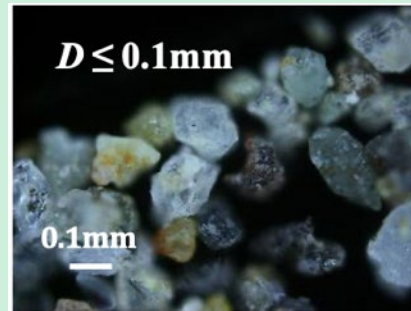
光学顕微鏡観察



崩落した微細粉



荒川にて回収したMP



平行クラック形成 → MP生成

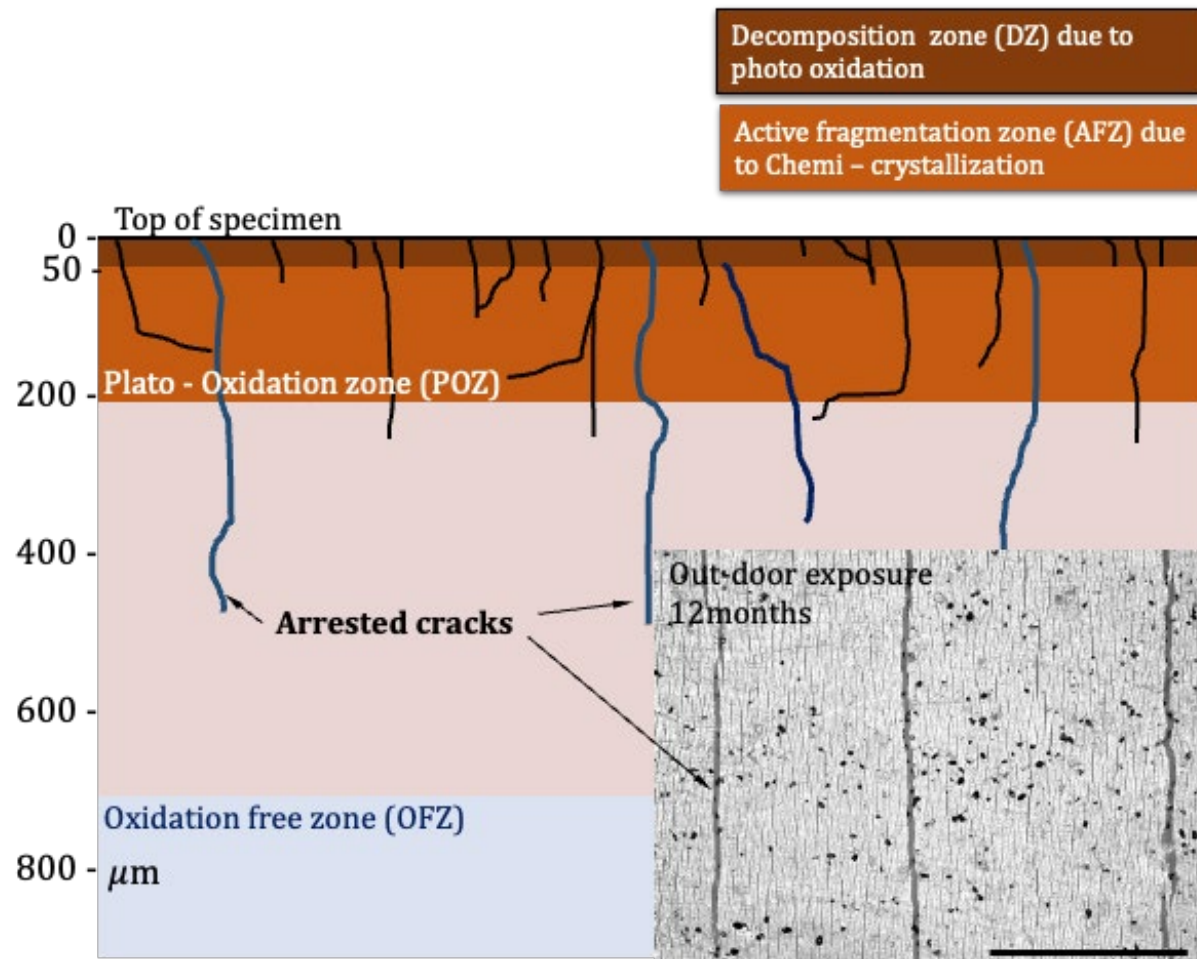
流動方向

撮影方向

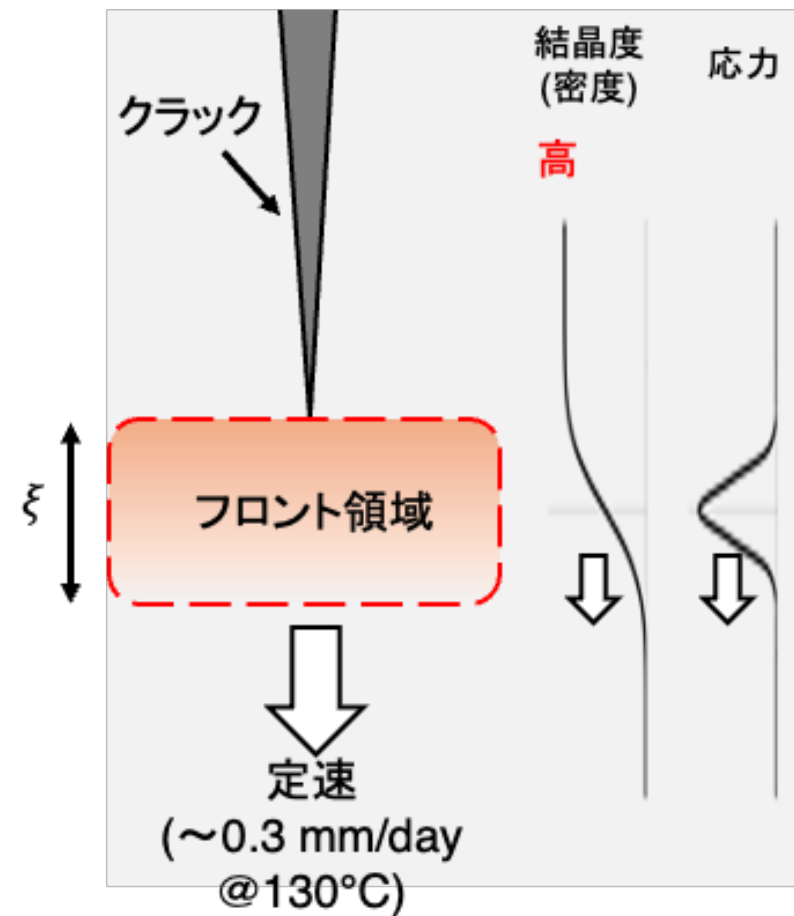
流動方向に垂直にクラック形成

PPの微細化によるMP生成機構

屋外暴露における風化層の形成



促進暴露における収縮クラックの1次元伝播

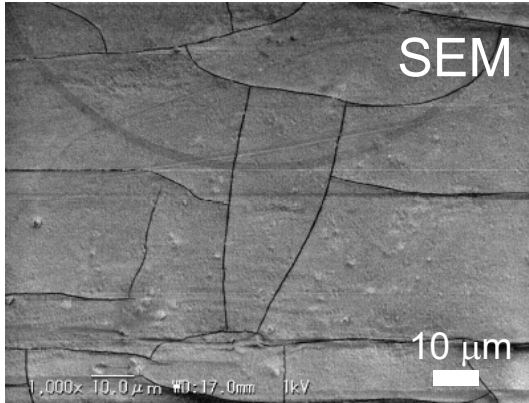


結晶度の増大 \rightarrow 体積収縮 \rightarrow クラック形成 \rightarrow 表面からの剥離によりMP生成

屋外暴露および促進暴露によるPETの外観観察

屋外暴露(宮古島試験場)

1 year



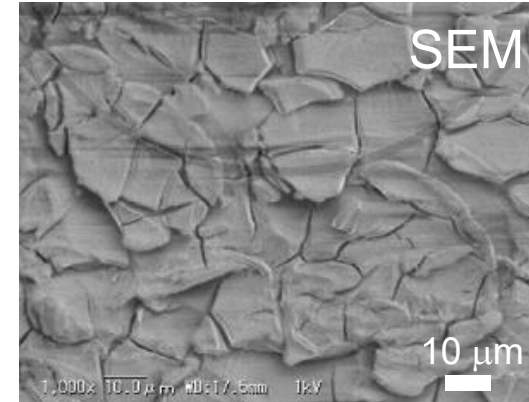
2 years



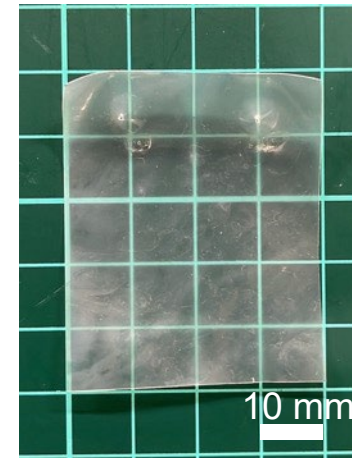
表面クラック形成
→ MP生成の可能性

促進暴露

キセノンウェザーメーター 60W
BP63°C, (雨あり), 7000 h(≒ 290 days)



80°C (乾燥雰囲気) 180 days



主に加水分解により、
クラック形成するが、
PPよりもMP生成しづらい

- マイクロプラスチック(MP)生成の機構・速度の解明

サブテーマ1: 自然環境下でのMP生成挙動の解明

サブテーマ2: 人工的劣化によるMP生成速度の推定

- **標準マイクロプラスチックの調製**

サブテーマ3: ジェットミルを用いる模擬MPの調製

1. ジェットミル処理による微粒化LDPEの調製

低密度ポリエチレン (Sigma-Aldrich LDPE, melt index 25g / 10min @190°C 2.16kg) ペレット 粒径約5mm



ブレード型ジェットミル処理

押込み圧：1.4 MPa
処理量：120 g/hr



平均粒径 約100 μm に微細化するが、ひげ状突起あり



ノーマル型ジェットミル処理

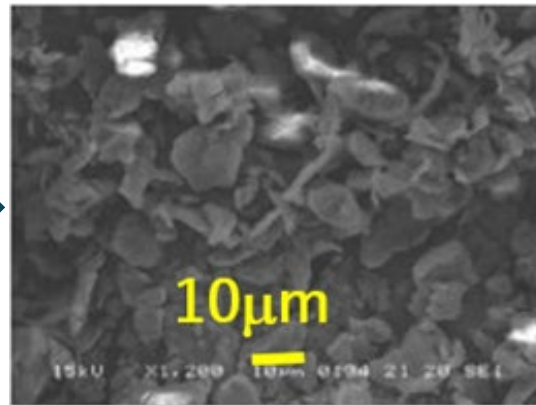
押込み圧：1.4 MPa
粉碎圧：1.2 MPa
処理量：120 g/hr



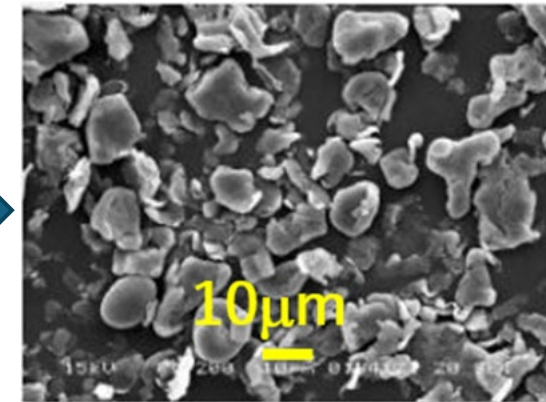
平均粒径 約100 μm の平滑表面微粒子化

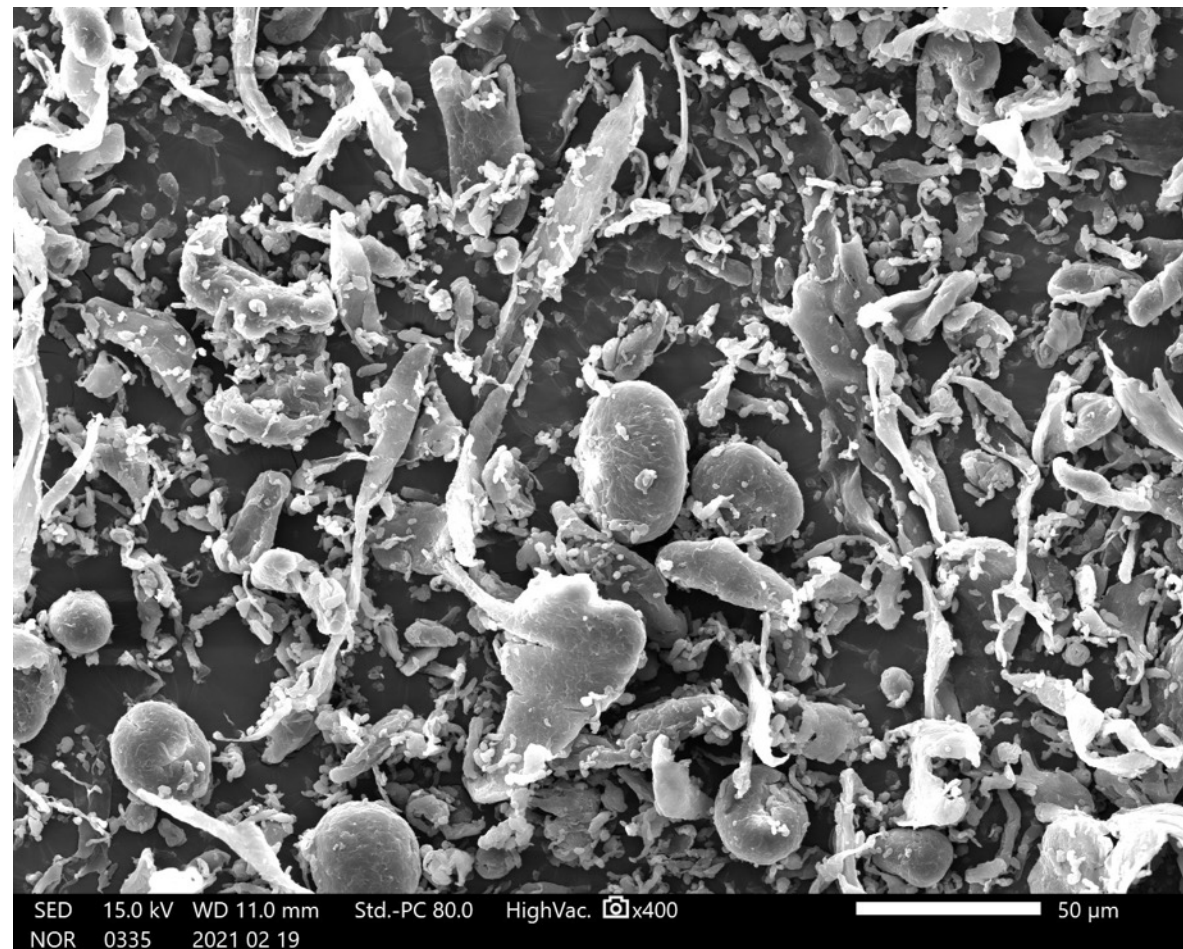
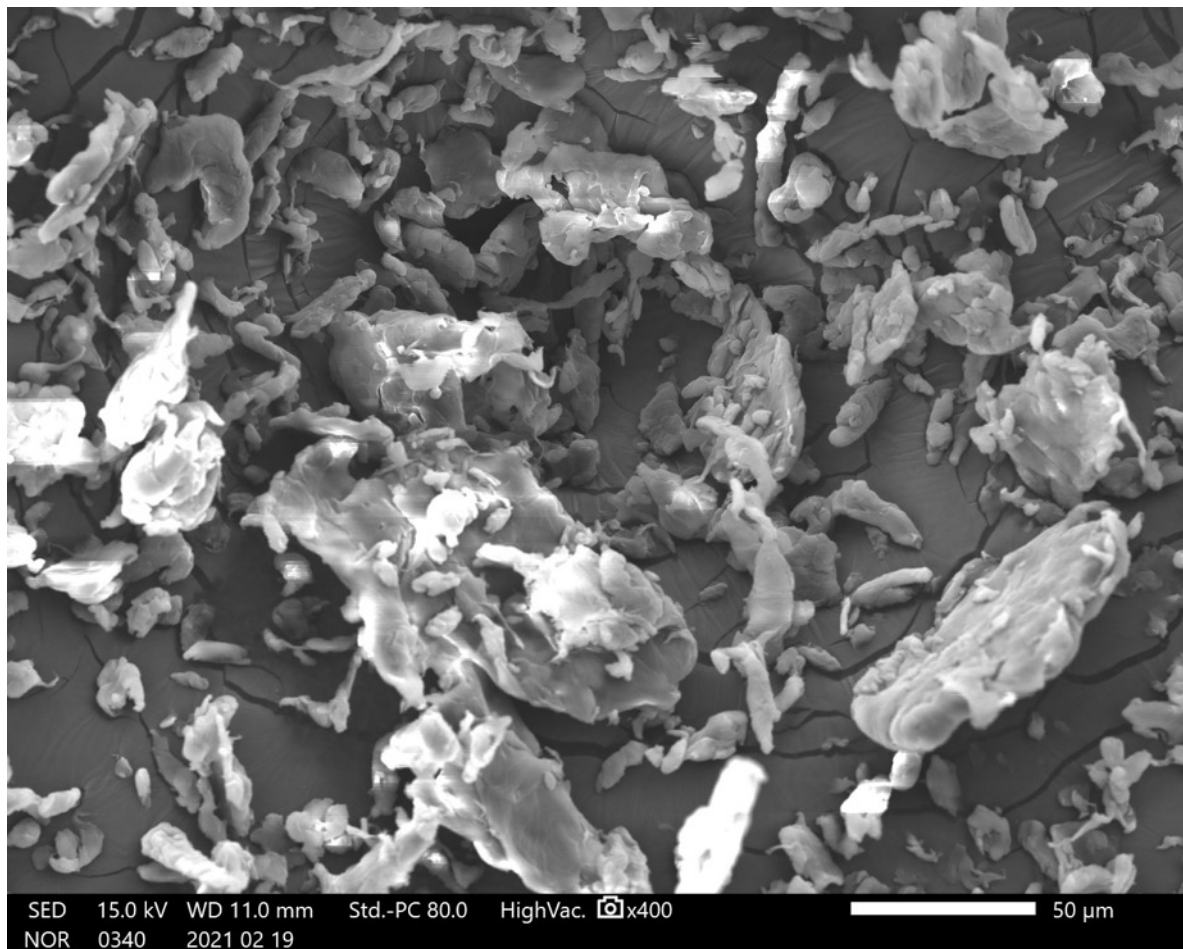


ブレード型
ジェットミル



ノーマル型
ジェットミル



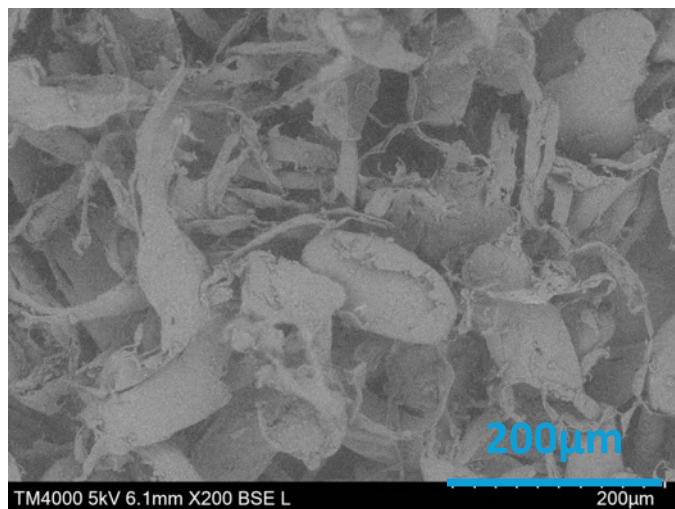


PP ブレード型ジェットミル処理

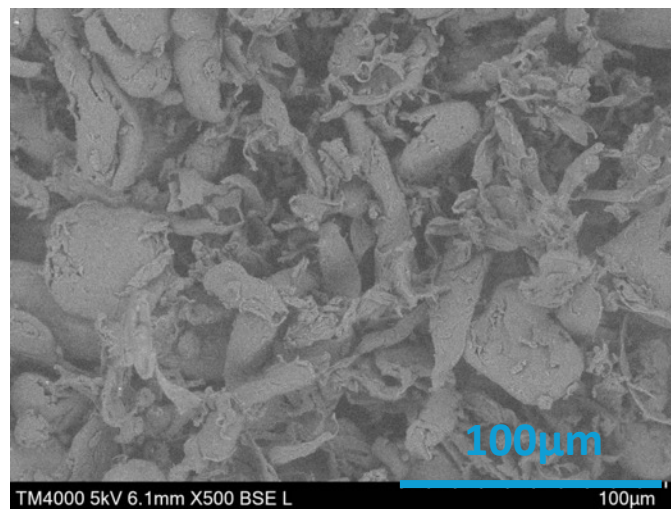
LDPE ブレード型ジェットミル処理
+ ノーマル型ジェットミル処理

PPに比してLDPEは短繊維状・針状の微粉碎物が多くなる傾向が認められた。

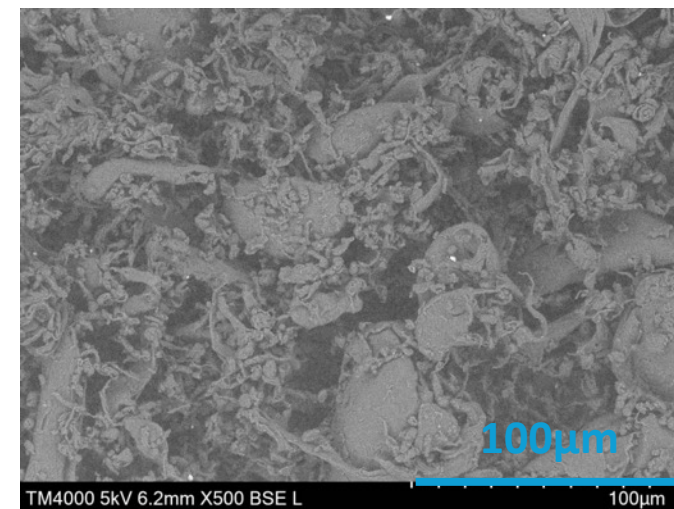
精密分級回収粉体のSEM像



100μm 狙い品のSEM像



30μm 狙い品のSEM像



10μm 狙い品のSEM像

狙い通りに球形に近い微粉碎物も確認できるが、短繊維状あるいは針状の微粉碎物が多量に混入していることが分かる。LDPEの可塑性の高さが原因で、ブレード型ジェットミル処理において細長く引きちぎられた微粉碎物が生じることに加えて、篩分級において繊維状・針状粉体の断面径によって小さい粒子として分級され、その長さによって大きな粒子に分級されるために、このような結果になったと考えられる。分級前の微粉碎の段階で、繊維状・針状の微粉碎物の生成量を低減させることが今後の課題である。

3. 微粒化LDPEの表面酸化

微粒化プラスチックの表面を均一に酸化処理するためには、湿式の紫外線照射処理が適している。LDPE粉体の表面光酸化の実験例を次に示す。

【実験】

[試薬・装置]

イオン交換水 350 mL
アセトン（試薬特級） 60 mL
エタノール（試薬特級） 350 mL

LDPE粉体 4 g

高圧水銀灯（Riko 400W）

Riko 光化学反応装置（4つ口フラスコ）

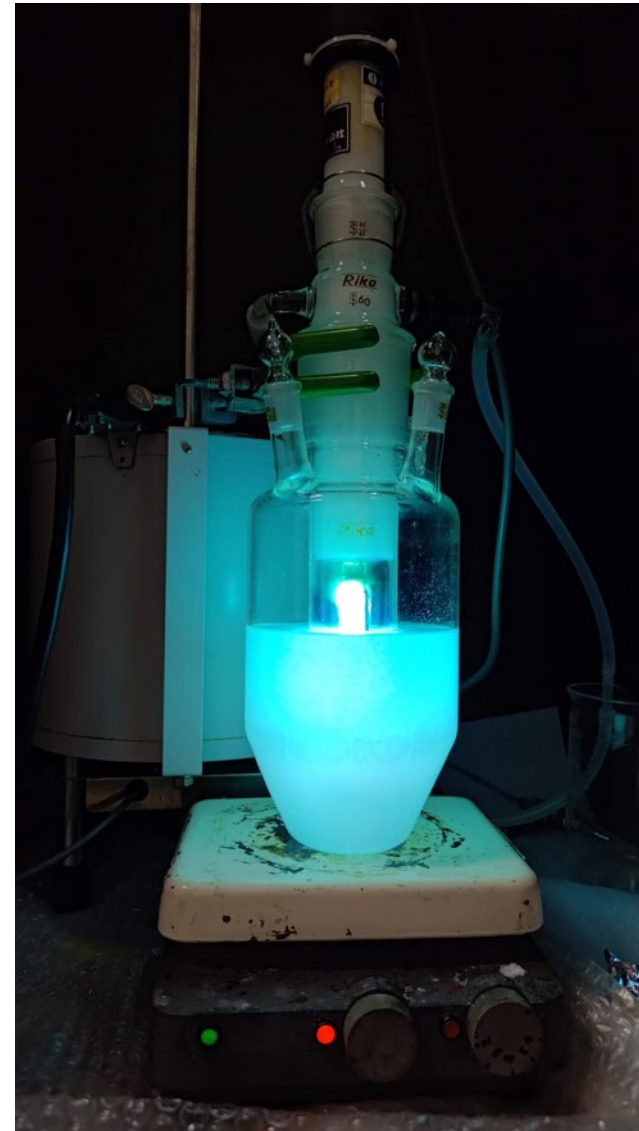
マグネチックスターラー回転ダイヤル #5

室温

[操作]

LDPE粉体にアセトン，エタノール，水，各溶媒を順次添加し、各々の段階で攪拌＋ホモジナイズ5分を行った後にUV点灯。

所定時間攪拌しながらUV照射（粉体量，溶媒組成，照射時間によって、表面酸化の程度を制御）



↓ UV照射により
親水化して沈降

