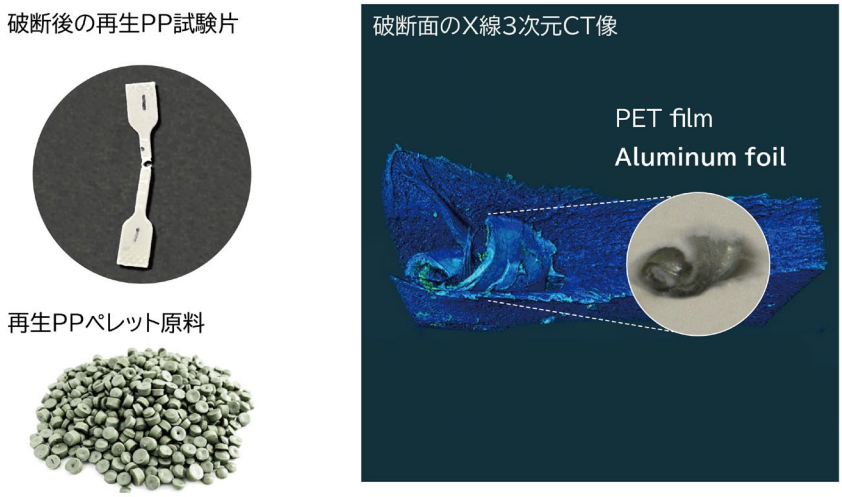
放射光で可視化した再生ポリプロピレン内部の異物

―アルミ泊・PET フィルムが機械特性に与える影響―

概要

ポリプロピレン（PP）は家庭用容器や包装に広く用いられていますが、一般廃棄物由来の再生 PP では、引張特性、特に破断伸びが著しく低下し、大きなばらつきを示すことが課題となっています。

そこで、京都大学化学研究所の小川紘樹准教授、柴﨑和樹助教、竹中幹人教授、ならびに東北大学、富山環境整備株式会社からなる研究グループは、大型放射光研究施設 SPring-8 を活用した放射光 X 線コンピュータ断層撮影（CT）および X 線回折（XRD）解析などを組み合わせて再生 PP の破断を評価しました。その結果、再生 PP 中に残留するアルミ箔およびポリエチレンテレフタレート（PET）フィルムといった比較的大きな異物が混入することで、極端な破断特性低下を引き起こす主要因となることを明らかにしました。本研究は、一般廃棄物由来 PP の機械的不安定性の本質を構造的に示すとともに、高信頼性を有するポストコンシューマーPP 材料の開発や、より高度な選別・精製プロセス設計への展開が期待される成果になります。本研究成果は、2026 年 1 月 2 日に米国の国際学術誌 「ACS Sustainable Resource Management」 にオンライン掲載されてます。



本研究で使用した一般廃棄物由来の再生ポリプロピレン（PP）では、
内部に混入したポリエチレンテレフタレート（PET）フィルムやアルミ箔が大きいほど、
材料の破断伸びが著しく低下する。

1．背景

ポリプロピレン（PP）[注 1]は、機械的特性、熱安定性、耐薬品性のバランスに優れており、家庭用容器や包装を中心に広く使用されている代表的な熱可塑性プラスチックです。近年、持続可能性への関心の高まりを背景に、使用済み PP を再資源化し、材料サプライチェーンへ再導入するマテリアルリサイクルが注目されています。しかし、日本におけるマテリアルリサイクル率は 2023 年時点で約 22%にとどまっており、特に一般廃棄物由来のポストコンシューマーリサイクル（PCR）PP[注 2]では、機械特性の低下やばらつきが大きな課題となっています。PCR-PP には、異種プラスチックや着色剤、金属、無機物などの異物が混在することが多く、これらが材料の構造的不均一性や機械的不安定性を引き起こす要因であると考えられています(図 1)。これまで、分子量低下や非相溶成分の影響に関する研究は数多く報告されてきましたが、特定の異物が破壊挙動や極端な物性低下に果たす役割を構造的に示した直接的な証拠は限られています。そのため、再生 PP の信頼性向上には、異物と破断挙動の関係を高分解能な構造解析によって明らかにすることが不可欠です。

図1. 再生ポリプロピレンの原料とペレット

2．研究手法・成果

再生ポリプロピレン（rPP）[注 3]試験片の機械的特性を評価するため、室温下で引張試験を行いました。その結果、破断伸びに大きなばらつきが確認され、試料の約半数が降伏点付近で早期破断することが明らかとなりました(図 2)。この要因を明らかにするため、破断面を中心に大型放射光施設 SPring-8[注 4]を用いた放射光 X 線 CT[注 5]およびマイクロビーム X 線回折測定[注 6]を実施し、さらに FT-IR 分析[注 7]を組み合わせて評価しました。その結果、再生 PP 中に残留するアルミ箔および PET フィルム[注 8]といった比較的大きな異物が、局所的な構造不均一性を生み、応力集中を引き起こす主要因であることを明らかにしました(図 3)。本研究は、一般廃棄物由来再生 PP の機械的不安定性の本質を構造的観点から示す成果です。

3．波及効果、今後の予定

本研究の結果は、再生ポリプロピレン（PP）の信頼性向上には、異物の種類の選別に加え、特にサイズの大きな異物の混入を抑制することが極めて重要であることを示しています。異物サイズが大きくなるにつれて破断ひずみが指数関数的に低下する一方、異物が十分に小さい場合には、母材の延性を大きく損なわずに機械的特性を維持できる可能性が示されました。

図2. 再生ポリプロピレン試験片の引張破断前後

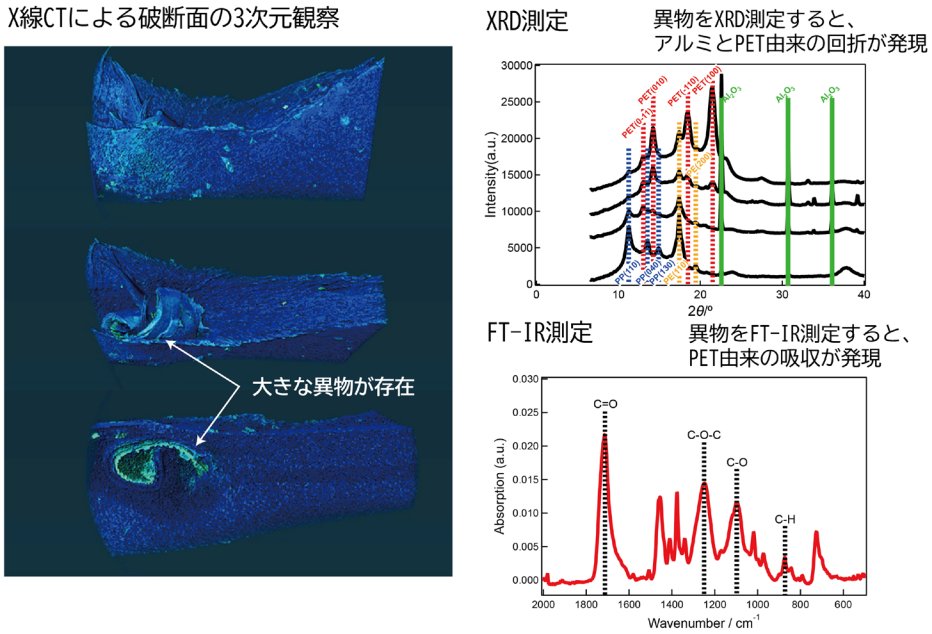


図3. 破断後の再生ポリプロピレン試験片の破断面評価結果

一方で、再生 PP 中には本研究で対象としたアルミ箔や PET フィルム以外の異物が混入する可能性もあり、それらが大きなサイズで存在した場合の影響については、今後の検討が必要です。今後は、より高分解能な観察手法と統計的に十分な試料数を用いて、小さな異物を含む多様な異物の影響を体系的に評価する予定です。さらに、選別工程やペレット化工程におけるフィルター条件の最適化指針を示すことで、高品質なポストコンシューマーPP 材料の実用化に貢献することが期待されます。

4．研究プロジェクトについて

本研究は、内閣府 総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）が推進する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 3 期課題「サーキュラーエコノミーシステムの構築」の一環として実施されました。

＜用語解説＞

[注 1]ポリプロピレン（PP）:軽量で機械的特性、耐熱性、耐薬品性に優れた熱可塑性プラスチックで、家庭用

容器や包装材などに広く使用されている。
[注 2]ポストコンシューマーリサイクル（PCR）:消費者が使用した後に排出された製品を回収・再生するリサイクル方法。
[注 3]再生ポリプロピレン（再生 PP）:使用後に回収されたポリプロピレン製品を再処理して得られる材料。
[注 4] SPring-8 :兵庫県にある世界最高水準の大型放射光研究施設。
[注 5]放射光 X 線 CT（X 線コンピュータ断層撮影）:高輝度な放射光 X 線を用いて、材料内部の三次元構造を非破壊で可視化する技術。
[注 6] X 線回折（XRD）:X 線の回折現象を利用して、材料の結晶構造や配向状態を解析する手法。
[注 7] FT-IR（フーリエ変換赤外分光法）: 赤外線の吸収スペクトルを測定することで、材料に含まれる分子構造や化学成分を同定する分析手法。
[注 8] PET フィルム:ポリエチレンテレフタレート（PET）から作られる薄膜状のプラスチック材料で、食品包装材やラミネート包装、ラベルなどに広く使用されている。

＜論文タイトルと著者＞

タイトル：PET/Aluminum Inclusions as Critical Defects in Recycled Polypropylene Derived from Municipal Waste: Synchrotron-Based Visualization and Fracture Analysis（一般廃棄物由来再生ポリプロピレン中の PET・アルミニウム異物の放射光可視化と破壊解析）

著　　者：Hiroki Ogawa*†, Kazuki Shibasaki, Takahiko Kawai, Naoto Tobita, Haruki Kubo, Poei Yano, Daisuke Kan, Kenichi Niihara, Asami Imai, Mikihito Takenaka and Keiichi Shirasu

掲 載 誌：ACS Sustainable Resource Management. DOI：https://doi.org/10.1021/acssusresmgt.5c00526.