

(様式第5号)

小角 X 線散乱によるリサイクルおよびバージンプラスチックの 構造解析

Structural analysis of recycled plastics and virgin plastics by small-angle X-ray scattering.

中野 涼子

Ryoko Nakano

福岡大学工学部

Faculty of engineering Fukuoka University

- ※1 先端創生利用（長期タイプ）課題は、実施課題名の末尾に期を表す（Ⅰ）、（Ⅱ）、（Ⅲ）を追記してください。
- ※2 利用情報の公開が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後2年以内に研究成果公開（論文（査読付）の発表又は研究センターの研究成果公報で公表）が必要です（トライアル利用を除く）。
- ※3 実験に参加された機関を全てご記載ください。
- ※4 共著者には実験参加者をご記載ください（各実験参加機関より1人以上）。

1. 概要（注：結論を含めて下さい）

プラスチックのマテリアルリサイクルが進展しない大きな要因として、力学物性の低下が上げられる。従来この原因は化学劣化であると考えられてきた。しかしながら最近の我々の研究により、化学劣化していないリサイクルプラスチックにおいても力学物性が低下していることが明らかとなった。またプレス成形条件により、この力学物性が大きく改善できることも明らかとなった。これらの結果は、リサイクルプラスチックの力学物性の低下は化学劣化ではなく構造的な物理劣化であることを示している。

本研究は様々なプレス成形を行ったバージンプラスチックおよびリサイクルプラスチックの内部構造を X 線小角散乱により調べ、力学物性との関係を検討する目的で行った。その結果、力学物性により内部構造に違いがあることが明らかとなった。

(English)

The main factor of not progressing the material recycling is the degradation of mechanical properties of recycled plastics. Conventionally, the reason for this has been considered to be a chemical degradation. However, according to our recent study revealed that the mechanical properties of not chemically degraded plastics also decrease much. These results indicate that the main reason of the degradation of mechanical properties of recycled plastics is physical degradation.

The purpose of this study is to investigate the relations between the inner structures and mechanical properties of virgin and recycled plastics those were made by various hot press conditions.

The results of this study clearly showed that there is a relation between inner structure and mechanical property.

2. 背景と目的

我が国のプラスチック樹脂生産量は、1,159 万トンであり、廃プラスチックとして排出される量は 952 万トンである。その中でも、有効利用されている廃プラスチックの量は 718 万トンに留まっている。有効利用の仕方は、サーマルリサイクル、マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルに分けられるが、サーマルリサイクルが約 7 割を占めている。しかし、環境的な視点から見ると、このリサイ

クル方法は最終手段として考慮するのが適当である。一方、ケミカルリサイクルはコストの問題から課題が残る手法である。従って、化学変化を伴わずに再利用するマテリアルリサイクルを繰り返し行い、資源を循環させる必要がある。しかしながら、リサイクルプラスチックはバージンプラスチックと比較して、物性値が劣ることが知られている。従来、この原因は化学劣化によるものだと考えられてきたが、最近我々は、プレコンシューマリサイクルポリプロピレン（Pre-consumer Recycled Polypropylene : Pre-RPP）が分子物性的に化学劣化していないにも関わらず、薄膜の力学物性が大きく劣ることを見出した。このことは、リサイクルプラスチックの物性低下の原因が化学劣化ではなく物理劣化による内部構造変化であることを示している。

実際に上述した Pre-RPP を異なる熱プレス条件で成形した薄膜は、その原材料であるバージンポリプロピレン（Virgin Polypropylene : VPP）の示す物性に漸近する場合があることが、最近の我々の研究で明らかになっている。従って、リサイクルプロセスを最適化することにより、リサイクルプラスチックがバージンプラスチックと同程度の性質を示すことが出来るような高度利用技術を開発することも可能であると考えられる。

本研究は X 線小角散乱により、様々な熱プレス条件で成形した試料の内部構造を評価し、力学特性との関係を調べることを目標として執り行った。

3. 実験内容（試料、実験方法、解析方法の説明）

実験に用いたバージンポリプロピレン(Virgin Polypropylene : VPP)は、射出成形・透明グレード品である。またプレコンシューマリサイクルポリプロピレン(Pre-consumer Recycled Polypropylene : Pre-RPP)は、VPPを用いて試験片などを射出成形した際に派生したランナーなどの副生成物から作成したものである。これらVPPとPre-RPPのペレットを種々の条件で熱プレスし、徐冷および氷水で急冷させて、薄膜を作成した。Fig.1に実際に作成した試料例を示す。

力学特性評価のための引張試験のための試料は、これらプレスして得た薄膜をJIS K7113 2(1/3)号試験片形状に打ち抜くことにより得た。引張試験は26°C、42%RHの条件下で、チャック間距離30mm、伸張速度5mm/minで行った。この引張試験により、破断伸び、伸長破壊エネルギー値を得た。

X線小角散乱用の試料もこれらプレスして得られた薄膜を所定の厚みまで重ね合わせることで作成した。

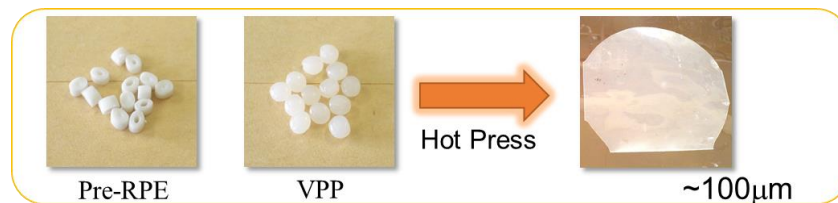


Fig.1 Schematic Image of Hot Pressed Sample

4. 実験結果と考察

試料 (VPP サンプルを 210°C 2 分でプレス成形し 73°C で真空乾燥後、徐冷(SC)および急冷(Q)したもの)について、測定を実施した。

結果を Fig.2 に示す。

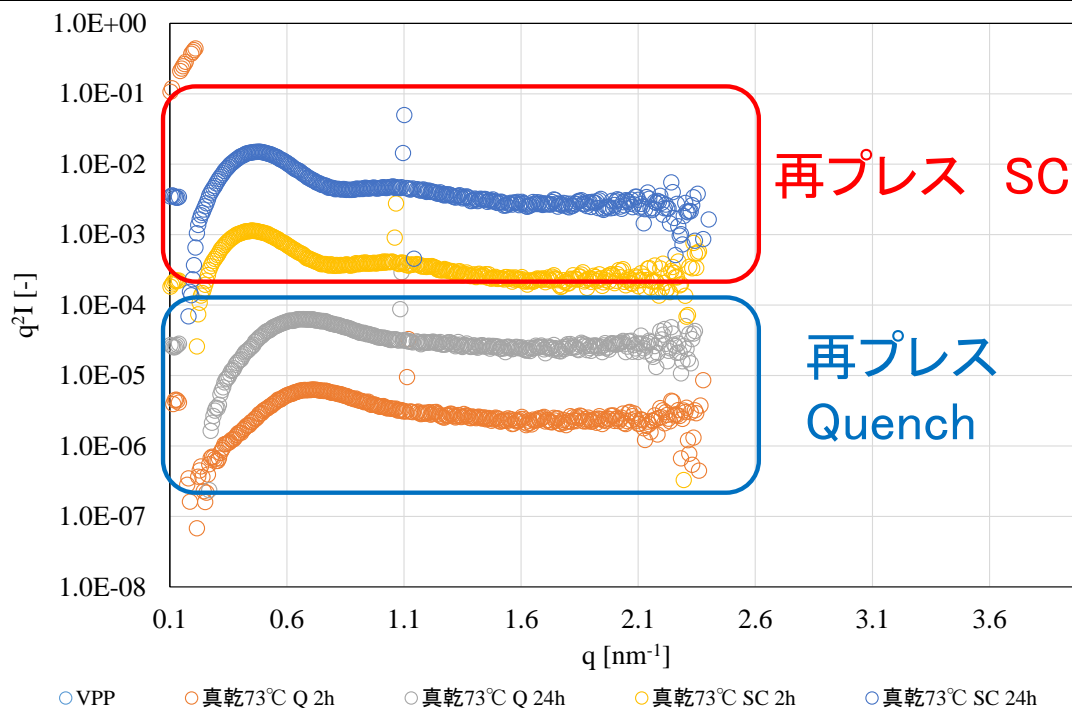


Fig.2 SAXS 分析結果
(VPP210°C2分、真空乾燥@73°C、徐冷(SC)および急冷(Q)、カメラ長：~1000mm)

図より、再プレス後の冷却条件の違いによってピークの傾向が異なることが見出された。この急冷(Q)について本学にて XRD 測定を行った結果を Fig.3 に示す。

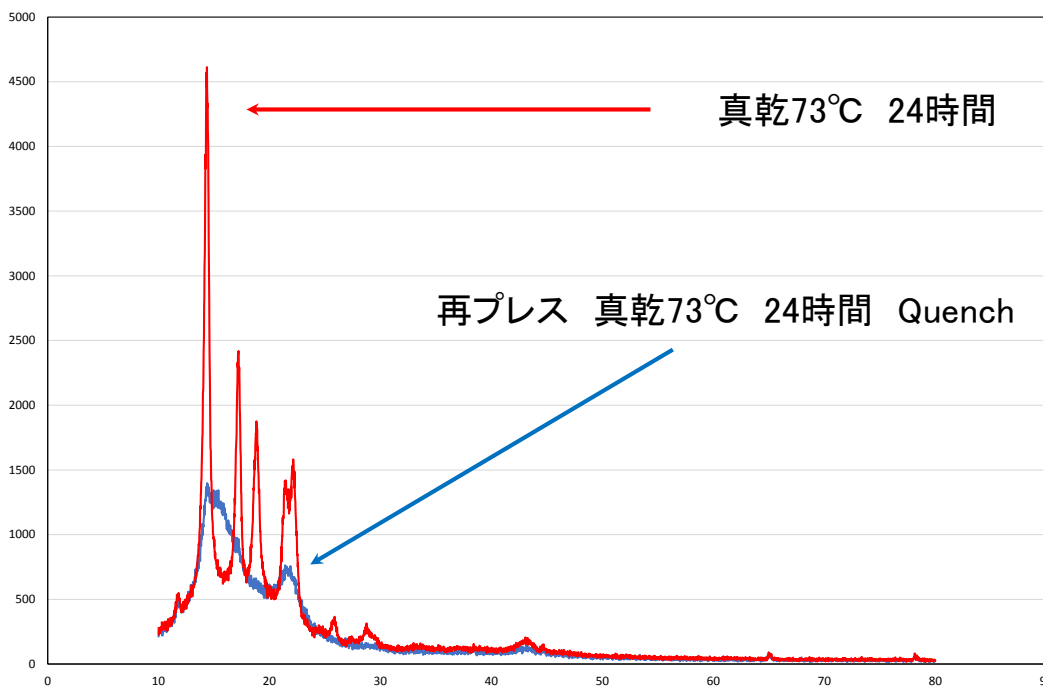


Fig.3 XRD 分析結果(VPP210°C2分、真空乾燥@73°C、急冷(Q))

急冷(Q)サンプルの分析の結果、(110)由来のピークと(111)由来のピークを確認した。徐冷(SC)サンプルの測定はまだできていないものの、サンプルの有する結晶構造の同定が可能であるため、冷却条件の違いによる結晶の形成について考察が可能と推察される。

5. 今後の課題

今回の測定で用いたサンプルの測定によって、冷却条件の違いによる結晶形態の同定が期待できる結果となった。しかし、真空乾燥条件の時間変数に関する検討が十分ではない。そのため、冷却条件を徐冷(SC)と急冷(Q)の2つに固定し、真空乾燥条件を振った条件でサンプルを作成し、各々の測定

を実施する必要がある。この測定によって、定性的であった力学物性の回復現象について、結晶構造の観点から新たな考察が可能であると期待できる。

また、実際の市場回収品であるポストコンシューマプラスチックに関しても同様の取り組みが効果を発揮するかなどの検討が必要である

6. 参考文献

7. 論文発表・特許 (注：本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

「プレコンシューマリサイクルポリプロピレンの高度再生技術」, 富永亜矢, 関口博史, 中野涼子, 八尾滋, 高取永一 高分子論文集, 受理.

「リサイクル高密度ポリエチレンの材料特性の平均分子量依存性」, 高取永一, 志村尚俊, 八尾滋, 進藤善夫 日本レオロジー学会, 受理.

「リサイクルポリマーブレンド系の UV 劣化特性について」, 八尾滋, 富永亜矢, 関口博史, 高取永一 日本レオロジー学会誌, 受理.

"Inner structure and mechanical properties of recycled polypropylene. ", Shigeru Yao, Aya Tominaga, Youhei Fujikawa, Hiroshi Sekiguchi, and Eiichi Takatori, Nihon Reoroji Gakkaishi(J. Soc. Rheol, Japan), 41(3), 173-178 (2013).

8. キーワード (注：試料及び実験方法を特定する用語を 2～3)

リサイクルプラスチック、熱プレス、物理劣化、化学劣化

9. 研究成果公開について (注：※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください(2017年度実施課題は2019年度末が期限となります)。

長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

① 論文(査読付)発表の報告

(報告時期： 2018年 10月(予定))