

プラスチック再生利用に関する技術の高度化研究

齋田 真吾^{*1} 田中 大策^{*1} 中西 太郎^{*1} 野見山 加寿子^{*1} 津山 圭太^{*2} 横地 佳彦^{*2}

Research to Advance Technology for Plastic Recycling

Shingo Saita, Daisaku Tanaka, Taro Nakanishi, Kazuko Nomiyama, Keita Tsuyama and Yoshihiko Yokochi

マテリアルリサイクルは、環境負荷が小さく、二酸化炭素削減効果も大きいため、有効なリサイクル方法の一つである。しかし、マテリアルリサイクルによって得られた再生プラスチックは、未使用のバージン材と比較して機械的物性が低下する傾向にあり、プラスチックの資源循環における課題の一つといわれている。本研究では、マテリアルリサイクルにおける熔融混練が物性に及ぼす影響を評価するために、異なる条件下で作製されたプラスチックシートの機械的物性について比較を行った。高温での熔融混練では分子鎖切断に伴う平均分子量の低下が大きいことから、物性低下の抑制を図るためには、温度等の条件を最適に制御する必要があることが明らかになった。

1 はじめに

プラスチックは、軽量で加工性や量産性に優れることから、日常生活でもゴミ袋や雑貨をはじめ機械部品など非常に多くのものに使用されている。近年では、焼却に伴う二酸化炭素排出の観点からプラスチックの使用量を減らす取り組み等が進められているが、プラスチックを一切使わない選択は難しいのが実情である。

国内では、2019年5月に「プラスチック資源循環戦略」¹⁾が策定され、これに基づき、2020年7月にはレジ袋の有料化が開始されるなど、身近なところでも具体的な取り組みが浸透してきている。一方、海外では、欧州委員会が2023年7月に現行の使用済み自動車指令を大幅に改定する「車両設計および廃自動車の管理に関する循環性要件規則案」を公表した。同規則案では、自動車の循環性の観点から、使用されるプラスチックの25%以上を再生プラスチックとすることや、新たに販売される車両に部品の取り外し等に関するデジタル情報を備えた「循環車両パスポート」を付けることなどが盛り込まれた。循環型社会の構築に向けて、使用済みプラスチックを粉砕し、再ペレット化するなどして再生利用するマテリアルリサイクルの促進は一層重要な取り組みになってきている。しかし、使用済プラスチックから再生したリサイクル材は、未使用のバージン材と比較して、機械的物性が低下することがあり、課題の一つとされている²⁾。著者らは、既報³⁾におい

てポリプロピレン系成形端材を粉砕して得られたフレーク（粉砕物）を用いて押出成形でシートを作製し、物性の低下が著しく抑制できたことを報告している。本研究では、異なる熔融混練条件下で作製されたプラスチックシートの機械的物性について比較を行うことで、熔融混練がプラスチックの物性に及ぼす影響と物性低下の要因について検討を行った。

2 実験方法

2-1 材料

材料は、西日本モダンパッケージ(株)にて真空成形後に成形品をトリミングすることで発生するポリプロピレン(PP)系端材を用いた。なお、本研究では、PPと添加剤の配合割合が異なる2種類のPP系端材（PP-A、PP-B）を用いた。

2-2 端材の粉砕

パワーカッターで投入口の大きさ以下に切断した端材をカッティングミル（ヴァーダー・サイエンティフィック(株)製、SM300）にて粉砕し、フレークを得た。

2-3 シート作製

試験用混練機（(株)東洋精機製作所製、ラボプラストミル4M150：ミキサータイプR60）を用い、表1に示す条件にて各端材の粉砕物を混練した。得られた混練物を、熱プレス（(株)東洋精機製作所製、MP-SCH）を使用してシート化した。フレーク約15 gをフッ素樹脂製シートに挟み、220℃に設定した熱プレスにて、加圧をせずに2分間加熱し、次に2 MPaにて2分間加圧

*1 化学繊維研究所

*2 西日本モダンパッケージ株式会社

を行い、最後に5 MPaで8分間加圧したのち、熱プレスから取り出し、室温で十分に冷却してからサンプルのシートを取り出した。シートの作製概略を図1に示す。

表1 各シートの作製条件

試料 No.	端材 種別	混練条件		
		ミキサー 温度(℃)	スクリュ 回転速度 (rpm)	混練時間 (分)
1	PP-A	190	70	5
2	PP-A	230	70	5
3	PP-B	190	70	5
4	PP-B	230	70	5

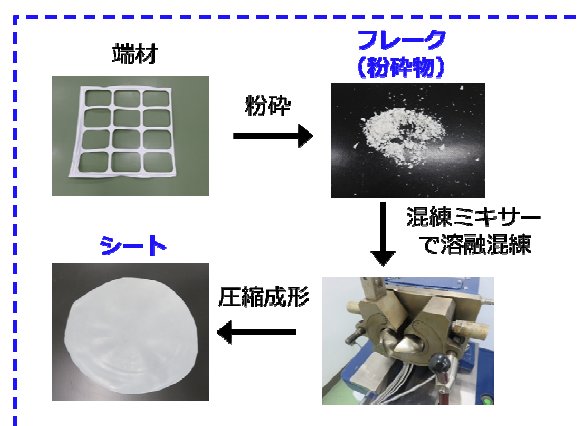


図1 シートの作製概略

2-4 引張特性評価

各シートからダンベル型5号の形状に打ち抜いた試験片を、万能試験機（島津製作所（株）製、AG-50kNXplus）を用い、クロスヘッド速度 50 mm/min にて引張試験を行い、破断点応力及び破断点呼びひずみを求めた。ここで、破断点応力は、試験片が破断したときの最大荷重を断面積で割った値を指し、破断点呼びひずみは、つかみ具間距離の破断に至る増加量を初めのつかみ具間距離で除した値を指す。試験回数は各シートとも5回行い、物性値は平均値を採用した。

2-5 流動特性評価(MFR)

熱可塑性樹脂の溶融時の流動性を表す指標であるメルトマスフローレイト（MFR）は、メルトフローレート試験機（（株）東洋精機製作所製、G-02）を用い、試験温度 230 ℃、負荷荷重 2.16 kg にて行った。試料は、各シートを3 mm角以下に細かくしたものをを用いた。また、未混練のフレークの測定については、端材を粉

砕したものをそのまま用いた。

3 結果と考察

3-1 引張特性評価結果

PP-A及びPP-Bシートの引張試験結果を各々図2及び図3に示す。PP-A及びPP-Bともに、190 ℃で混練して得られたシートと比較して230 ℃で混練して得られたシートの方が破断応力や破断点呼びひずみが小さくなる傾向にあり、大幅に機械的物性が低下することが明らかになった。また、試料1は既報²⁾で報告しているものと同種のPP-Aであり、既報において粉砕物を溶融混練せずに圧縮成形によりシート化したものと同程度の機械的物性が得られていることから、190 ℃での溶融混練は物性低下が比較的小さいと考えられる。

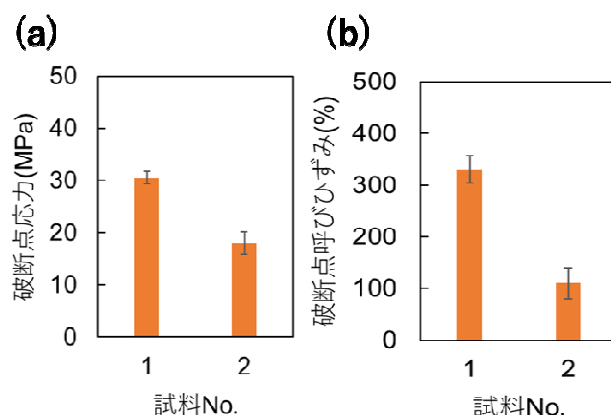


図2 引張試験結果 (PP-A)

(a) 破断応力, (b) 破断点呼びひずみ

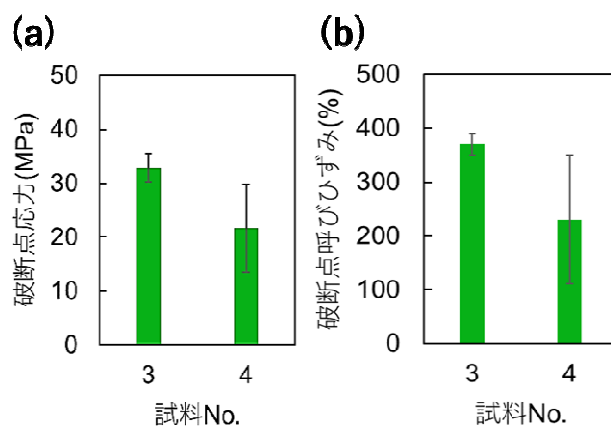


図3 引張試験結果 (PP-B)

(a) 破断応力, (b) 破断点呼びひずみ

3-2 流動特性評価結果

流動特性評価の結果を図4及び図5に示す。190℃の温度条件下で混練した試料1及び試料3は、未混練のフレークで得られたMFR値と比較的近い値が得られた。それに対して230℃の温度条件下で混練した試料2及び試料4については、いずれもMFRが大幅に上昇していることが確認された。MFR値は、ポリマーの平均分子量と相関があると考えられている⁴⁾。ポリマーの平均分子量の低下に伴い熔融時の流動性は大きくなることから、MFR値は増加する傾向にある。そのため、今回の流動特性評価結果は、230℃の温度条件下での混練は平均分子量の低下を引き起こしていると考えられる。

以上のことから、破断応力や破断点呼びひずみといった引張特性の大幅な低下は、230℃での混練により分子鎖の切断が起こり、平均分子量が低下したことが

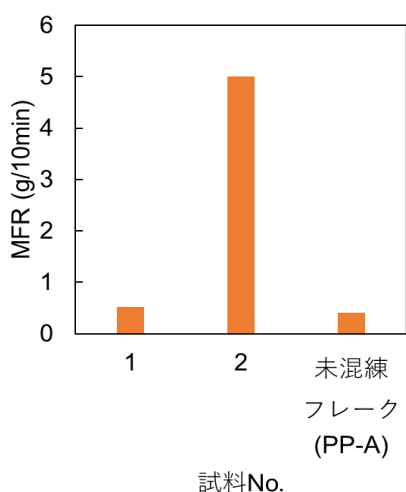


図4 流動特性試験結果 (PP-A)

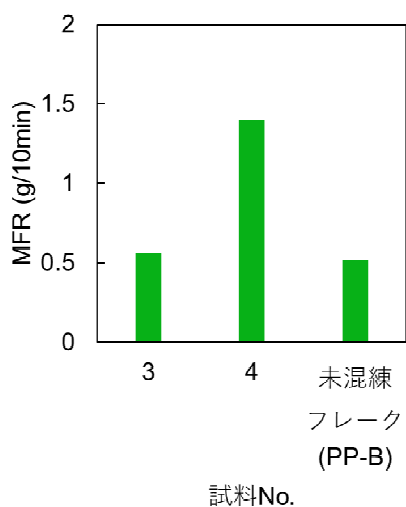


図5 流動特性試験結果 (PP-B)

主要要因であると考えられる。一方で、190℃での熔融混練では、分子鎖切断に伴う平均分子量の低下は限定的であり、機械的物性の低下は比較的小さいと見込まれる。

また、未混練のフレークのMFR値は各々PP-Aで0.41 g/10min, PP-Bで0.52 g/10minと同程度であるにもかかわらず、温度230℃でスクリュ回転速度70 rpmの同条件で熔融混練を行った後のMFR値はPP-Aで5.0 g/10min, PP-Bで1.4 g/10minと大幅な差が見られた点は非常に興味深い。このMFR値の大幅な差を生じた要因を解明するためには、酸化防止剤の添加量なども含め、配合組成との関係などについて詳細な検討が今後必要であると考えられる。

4 まとめ

本研究では、異なる温度で熔融混練した試料を用い、熔融混練がプラスチックの機械的物性に及ぼす影響と機械的物性低下の要因について検討を行った。190℃で混練して得られたシートと比較して、230℃で混練して得られたシートの方が破断応力や破断点呼びひずみが小さくなる傾向にあることが明らかになった。MFR値の測定結果において、190℃で熔融混練した試料と比較して230℃で熔融混練した試料のほうがMFR値が大きくなっていることから、機械的物性の低下要因は分子鎖の切断による平均分子量の低下であると推測される。今後は、分子鎖の切断を抑制する酸化防止剤の活用や混練時の温度とスクリュ回転速度の最適化など、物性低下抑制に有効な手法に関する検討を進める。

5 文献

- 1) 環境省：プラスチック資源循環戦略，環境省(2019) (オンライン) <https://www.env.go.jp/press/files/jp/111747.pdf> (参照2024-03-31)
- 2) 高取永一：日本ゴム協会誌，87巻，pp. 441-446，(2014)
- 3) 齋田真吾ら：福岡県工業技術センター研究報告書，No. 33，pp. 10-12 (2023)
- 4) 小川俊夫：材料システム，5巻，pp. 17-26，(1986)