

マテリアルリサイクルにおける機械的物性再生技術の開発

佐川洋行、西田裕紀

Development of mechanical property regeneration technology for material recycling

SAGAWA Hiroyuki, NISHIDA Hironori

The mechanical properties of recycled plastic products are often lower than those of virgin plastic, especially in terms of breaking strain. In this study, we evaluated the change in properties of virgin pellets by remixing them in a twin-screw extruder based on the idea of improving the properties of virgin plastic in advance. The results showed that mechanical properties including fracture strain tended to improve by optimizing the extrusion conditions, indicating that the technique of remixing in advance is effective. It was also suggested that this technique is also effective for recycled pellets.

キーワード：マテリアルリサイクル、二軸押出機、リサイクルプラスチック

1 緒 言

プラスチックリサイクルの手法の1つである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、環境負荷低減に有効であることが知られている¹⁾。しかし、この数年間のマテリアルリサイクルによる処理比率は全体の約20%で推移しており、一向に増加する傾向が見られない。この主な要因は、マテリアルリサイクルされたプラスチック製品の機械的物性が、バージンプラスチックと比較して低下していることであり、特に破断ひずみについては大きく低下している²⁾。

この課題を解決するため、バージンペレットの物性をあらかじめ向上しておくという考えのもと、市販のバージンペレットを再混練すると破断ひずみが向上すると報告されている³⁾。

そこで本研究では、バージンペレットを再混練するという手法の押出条件を最適化し、その技術が一般家庭から排出される容器や包装を原料としたリサイクルペレットにも有効であるか評価した。

2 実験方法

2.1 試料作製条件

本研究ではPP樹脂を対象とし、プライムポリマー(株)製J-700GPを用いた。試験に使用するペレットを作製するため、バージンペレットを二軸混練押出機(株)日本製鋼所TEX30を用いて再混練した。再混練は表1に示す押出条件で行った。その後、作製したペレットを射出成形機(株)日本製鋼所J80ADS-110Uを用いて、ダンベル試験片(JIS K7161)に成形した。

表1 押出条件

No.	フィーダー回転数 [rpm]	スクリュ回転数 [rpm]
1	94	93
2		185
3		277
4	50	93
5		185
6		277
7	19	93
8		185
9		277

2.2 各種測定

引張試験は、万能試験機((株)島津製作所AG100KNE)を用いて、引張速度50mm/min、つかみ具間距離115mmで行った。破断ひずみはクロスヘッドの移動距離をつかみ具間距離で除したものを使用した。

MFRは、メルトフローインデックステスター((株)安田精機製作所No. 7053)を用いて、試験温度230℃、負荷荷重2.16kgで行った。

分子量測定は、高温GPC(東ソー(株)HLC-8321GPC/HT)を用いて溶離液にオルトジクロロベンゼン(ODCB)を使用し、測定温度は145℃とした。

アイゾット衝撃試験は、アイゾット衝撃試験機((株)安田精機製作所No. 258)を用いて、ハンマーは1Jのものを使用した。試験片はノッチ加工を行った。

荷重たわみ温度測定は、自動ヒートディストーションテスタ((株)安田精機製作所No. 148)を用い、試験片に加える曲げ応力は1.8MPaとした。

3 結果及び考察

3.1 押出条件による破断ひずみへの影響

図1に二軸押出機のフィーダー回転数とシリンダ内の樹脂滞留時間の関係を示す。フィーダー回転数が低い時は、フィーダー回転数によって滞留時間が大幅に減少し、フィーダー回転数の増加とともに滞留時間の減少量は小さくなった。また、スクリュ回転数による滞留時間の変化は小さいため、樹脂の滞留時間はフィーダー回転数が支配的であると考えられる。

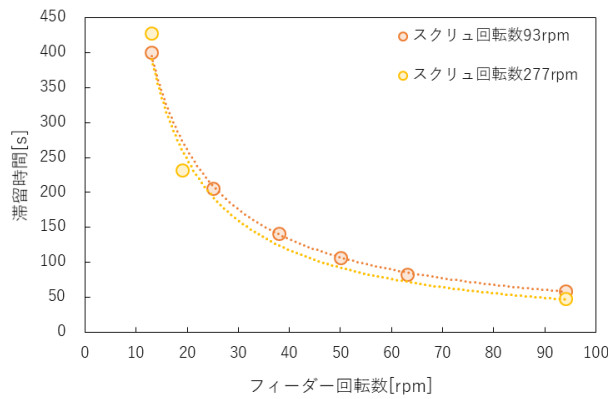


図1 押出条件と樹脂滞留時間の関係

表1に示す各押出条件で再混練した後に成形したダブル片を用いて破断ひずみを測定した。破断ひずみの評価は破断した点を破断ひずみと定義した。その結果を図2に示す。フィーダー回転数を下げてシリンダ内の樹脂の滞留時間を長くすると破断ひずみが増加する傾向を示した。また、シリンダ内の滞留時間が比較的長くなるフィーダー回転数 19rpm では、スクリュ回転数が破断ひずみに与える影響が大きくなり、スクリュ回転数を上げると破断ひずみが増加する傾向を示した。つまり、フィーダー回転数を下げてシリンダ内の樹脂の滞留時間を長くし、スクリュ回転数を上げて樹脂に負荷を与えることにより破断ひずみが増加する結果となった。

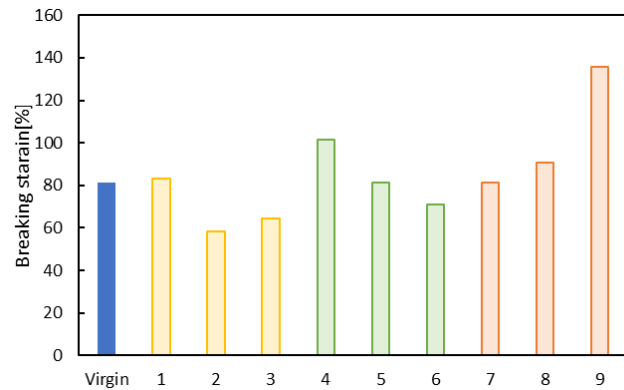


図2 押出条件と破断ひずみの関係

3.2 MFR 及び分子量と破断ひずみの関係

図3に押出条件と MFR の関係を示す。高いフィーダー回転数では、スクリュ回転数が増加しても MFR の値に変化は見られなかったが、フィーダー回転数を 19rpm まで下げると、スクリュ回転数の増加に伴い MFR の値が上昇し、スクリュ回転数と MFR の値に正の相関があった。フィーダー回転数及びスクリュ回転数の組み合わせにより MFR の値を変化させられることから、押出条件は樹脂の流動性に大きく影響することが考えられる。

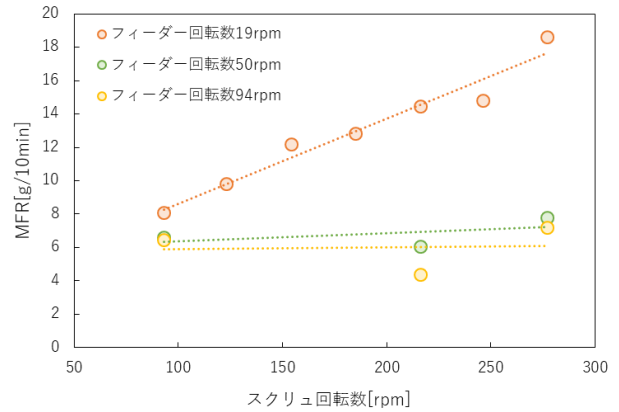


図3 押出条件と MFR の関係

図4に MFR と重量平均分子量の関係を示す。MFR が増加すると重量平均分子量が低下する傾向を示した。また、

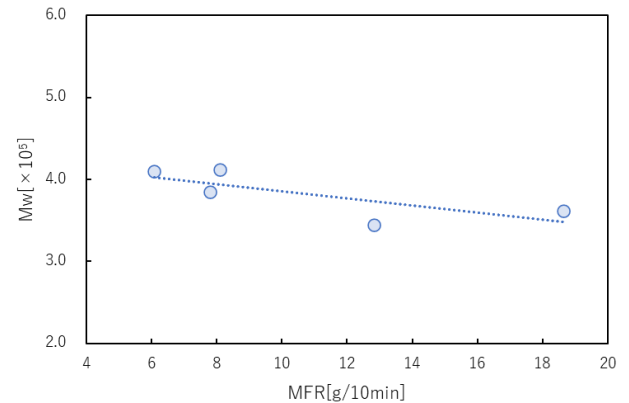


図4 MFR と重量平均分子量との関係

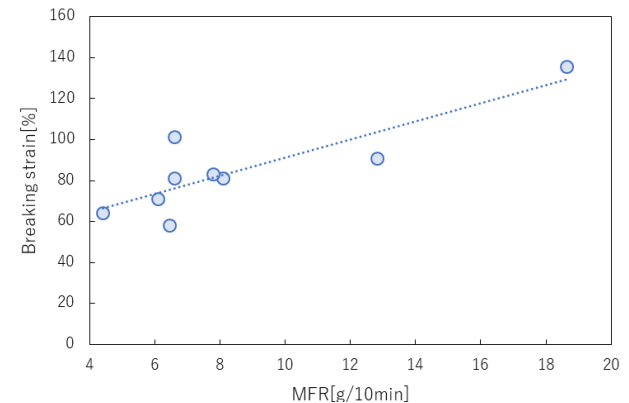


図5 MFR と破断ひずみの関係

図5に示すMFRと破断ひずみの関係から、MFRが上昇すると破断ひずみが増加する傾向を示した。つまり、バージンペレットを再混練することにより、MFRは増加、分子量は低下することで破断ひずみは増加したと考えられる。一般に、分子量が低下すると機械的物性は低下するとされているが⁴⁾、本研究においては異なる結果となったため、今後は様々な観点からの分析を実施予定である。

3.3 押出条件による各種物性への影響

押出条件が各種物性へ及ぼす影響について検討した結果を図6に示す。結果はバージンペレットの値を基に標準化し、レーダーチャート様式で比較した。押出条件はフィーダー回転数を19rpmに固定し、スクリュ回転数を93、185、277rpmとした。図6の結果から、スクリュ回転数を上げて再混練すると物性は低下することなく、同等、もしくは向上する結果となった。この結果から、物性を向上させる技術として、最適化した押出条件でバージンペレットを再混練する手法は有効であると示された。

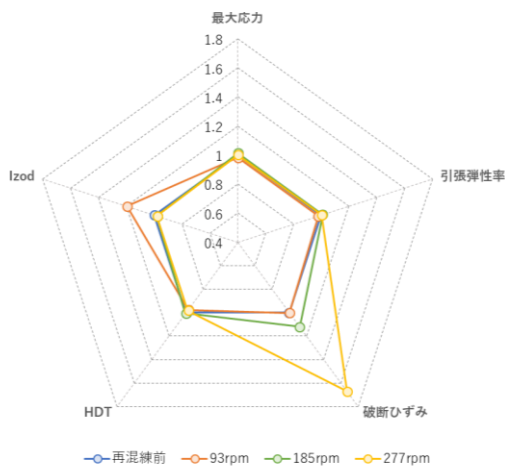


図6 バージンペレットでの押出条件と各種物性の関係

3.4 リサイクルペレットへの展開

バージンペレットを再混練することにより物性が向上したことから、リサイクルペレットでも同様の傾向が得られるか検討した。今回使用したリサイクルペレットは一般家庭から排出される容器や包装を分別・造粒したものを使用した。リサイクルペレットの組成比は事前にFT-IRで測定した結果、PP:PE(8:2)であった。

3.5 押出条件による破断ひずみへの影響

リサイクルペレットをフィーダー回転数19rpmに固定し、スクリュ回転数を93、185、277rpmの押出条件で再混練した。その後、得られたペレットを使用して引張試験を行った。図7に引張試験の応力ひずみ曲線を示す。バージンペレットは降伏した後、一定の応力を示したま

ま破断に至るが、リサイクルペレットは降伏した後、応力が低下し続け、最終的に破断しなかった。これは、図8に示す試験後の試験片の様子からもバージンペレットとは異なる伸び方をしている。以上のことから、リサイクルペレットの破断ひずみの評価は降伏を示した後に見られる変曲点を破断ひずみと定義した。

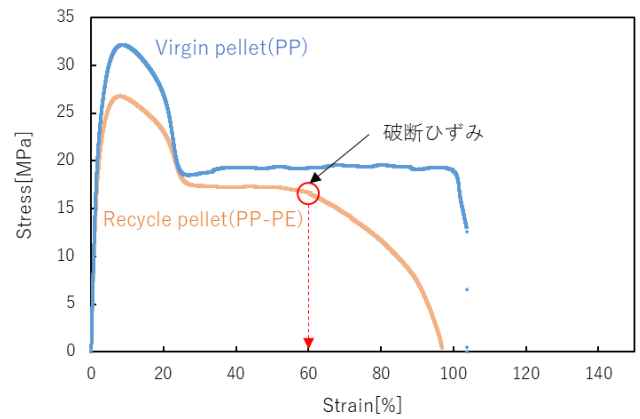


図7 応力ひずみ曲線

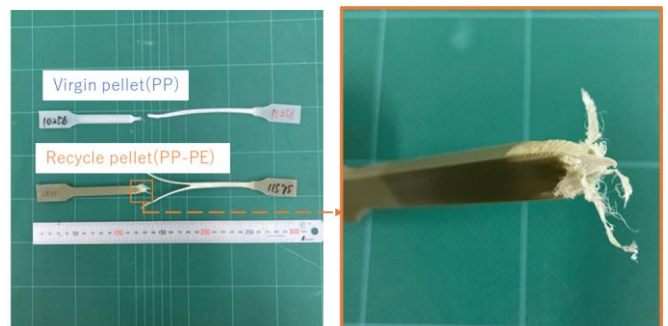


図8 引張試験後の試験片

図9にスクリュ回転数と破断ひずみの関係を示す。この結果からスクリュ回転数を上げると破断ひずみが増加する傾向を示した。この結果はバージンペレットと同様の結果であり、最適化した押出条件で再混練するとリサイクルペレットにおいても破断ひずみが増加することが確認できた。

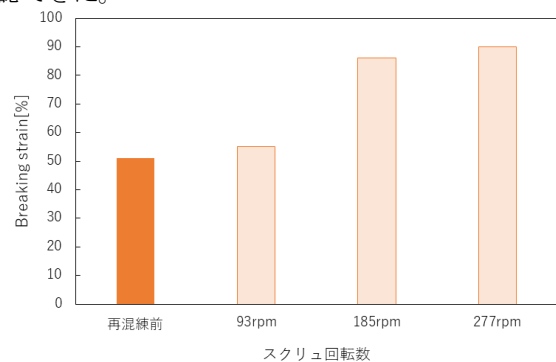


図9 スクリュ回転数と破断ひずみの関係

3.6 押出条件による各種物性への影響

押出条件が各種物性へ及ぼす影響について検討した結果を図 10 に示す。結果は、再混練する前のリサイクルペレットの値を基準として標準化しレーダーチャート様式で比較した。押出条件はフィーダー回転数を 19rpm に固定し、スクリュ回転数を 93、185、277rpm とした。図 10 の結果から全ての物性において再混練する前のリサイクルペレットから大きく低下することはなく、同等もしくは向上し、バージンペレットと同様の傾向が確認できた。このことから、最適化した押出条件で再混練する手法はリサイクルペレットでも有効であることが示された。

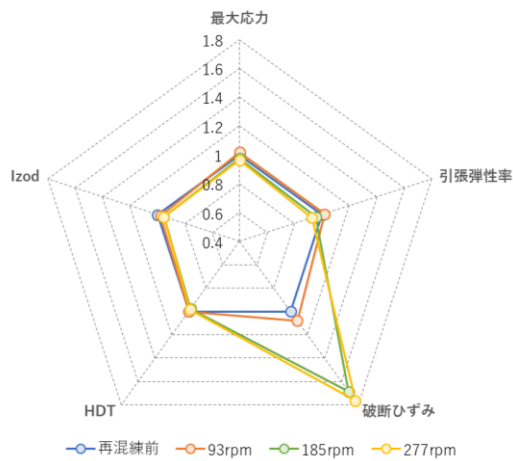


図 10 リサイクルペレットでの押出条件と各種物性の関係

4 結 言

本研究では、バージンペレットで再混練する際の押出条件の違いによる物性の変化を評価した。その結果、フィーダー回転数を下げ、スクリュ回転数を上げることで破断ひずみが増加することが示された。さらに、破断ひずみ以外の物性においても向上し、最適化した押出条件で再混練する技術は有効であることが示された。また、この技術はリサイクルペレットにおいても有効であり、最適化した条件で再混練することで物性を低下させず破断ひずみを増加することが示された。ただ、この結果が得られた要因は明らかとなっていないため、今後は様々な観点からの分析を実施予定である。

5 謝 辞

試料を提供していただいた(株)広島企業様に深く感謝いたします。

6 文 献

- 1) 一般社団法人プラスチック循環利用協会：プラスチックリサイクルの基礎知識(2020)
- 2) 廃棄物資源循環学会誌 29(2018), 116
- 3) プラスチックエージ 68(6), (2022), 35
- 4) 長野県工技センター研報 2(2007), M54