

現場生産性向上を図る高機能プラスチック製品の開発（第8報）

－リサイクルプラスチックの物性向上技術の開発（2）－ 足立隆浩*

Development of advanced feature plastics to improve productivity (VIII) - Development of technology for improving properties of recycled plastics (II) - ADACHI Takahiro*

現場生産性の向上、および使用済み容器包装プラスチック等から再生されたリサイクル材の用途拡大を目指し、各種物性の改善に取り組んでいる。今年度は主に流動性向上を目的に、リサイクルペレットの処理手法と熔融粘度への影響を評価した。まず、リサイクルペレットの再加熱混練による熔融粘度への影響を把握し、リサイクルペレットの均一混合や加工性についての基礎的な知見を得た。また、ステアリン酸系金属石鹸を滑剤として添加することで、流動性向上効果があることを確認した。

1. はじめに

2022年4月1日、「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律（プラスチック資源循環法）」が施行された。この法律においては、プラスチック製品の使用の合理化のみならず、その製品の再商品化・再資源化を促進することが明記されている¹⁾。また世界的にも「プラスチック汚染に関する法的拘束力のある国際文書（条約）の策定に向けた政府間交渉委員会」が設立される等²⁾、益々国際的な対策が求められている。これらの背景からもプラスチック業界では、プラスチックリサイクルがこれまで以上に喫緊の課題となっている。

そこで本研究では、現場生産性の向上とリサイクル材の用途拡大を目指し、リサイクル材料の大きな課題である、加工時における流動性や、強度や伸び等の各種物性の低下に対する改善を目指し研究を行う。前報では、一般家庭ゴミとして分別回収された使用済み容器包装プラスチック等から作製したリサイクルペレット(以下、RP)について、RPの主成分であるポリプロピレン(PP)とポリエチレン(PE)に着目し、その新材との物性の比較を行い、RPは新材と比較して流動性や伸びが低下していることを確認した³⁾。本年度は、主にRPの流動性を新材同等程度へ向上させることを目的に検討を行った。

2. 実験

2.1 材料

実験に使用する材料として、株式会社岐阜リサイクルセンターより提供いただいたRPを使用した。

2.2 評価方法

流動性の評価は、熔融粘度で行った。測定は、キャピラリーレオメータ（株）東洋精機製作所製、PMD-C）を使用し、200℃にて押出速度を10, 20, 50, 100 mm/minとして、各条件での熔融粘度を測定した。

2.3 洗浄による熔融粘度への影響

RPに含まれる樹脂成分以外の不純物の影響を究明するため、酸や有機溶剤による洗浄を目的にRPの処理を行った。手順は、攪拌子を入れた110 mlのスクリーン管瓶にRPを15gとり、各種の処理液をそれぞれ50 ml加え、マグネチックスターラーにて攪拌しつつ約50時間浸漬した。次に処理後のRPを、蒸留水、エタノール、ヘキサン順に洗浄して処理液を洗い落とし、80℃の乾燥炉において約50時間加熱した。そして、加熱後のRPを2.2のとおり熔融粘度にて評価した。

処理液は、蒸留水、塩酸、硝酸、酢酸、エタノール、オクタノール、ヘキサン、オクタン、デカン、ドデカンを用いた。

2.4 再加熱混練による熔融粘度への影響

RPのリサイクル製品への最適な活用条件を検討するため、RPの再加熱混練条件の熔融粘度への影響を評価した。手順は、Brabender社製 PL2000 混練機を使用し、バッチ式にてRP 30 gを30 rpmにおいて30分間混練した。得られた混練サンプルを切断により小片化し、2.2のとおり熔融粘度を評価した。

混練温度は、180℃、200℃、220℃、240℃、260℃とした。

2.5 滑剤による熔融粘度への影響

RPへ滑剤を添加することによる、熔融粘度への影響を評価した。

滑剤は「内部滑剤」と「外部滑剤」に分類され、内部滑剤はプラスチック分子同士の摩擦を低下させる作用を、外部滑剤はプラスチックと接する加工機表面との摩擦を低下させる作用をもつ。また、滑剤によってはこれらの内部・外部の双方の作用を同時に持つものもある。

実験手順は、Brabender社製 PL2000 混練機を使用し、バッチ式にてRP 30 gと滑剤 0.3 g (RPに対し1 wt%)を200℃、30 rpmにおいて30分間混練した。得られた混練サンプルを切断により小片化し、2.2のとおり溶

* 化学部

融粘度を評価した。

滑剤には、ステアリン酸、ステアリン酸マグネシウム、ステアリン酸カルシウム、ステアリン酸亜鉛、12-ヒドロキシステアリン酸、ステアリン酸アミド、オレイン酸アミド、エルカ酸アミド、固体パラフィンをそれぞれ1種類ずつ使用した⁴⁾⁵⁾。

3. 結果及び考察

3.1 洗浄による熔融粘度への影響

表1に、各溶液で処理したRPの熔融粘度を示す。また、対照として浸漬攪拌処理せず、蒸留水、エタノール、ヘキサンでの洗浄、および80℃で約50時間の乾燥のみ行ったRPを「洗浄ブランク」とした。また、図1は押し出し速度100mm/minにおける粘度値を比較したものである。

今回使用した処理液の中では、硝酸を使用した際に粘度低下効果が確認できた。一方で硝酸同様に強酸である塩酸、および弱酸である酢酸では粘度低下効果は見られなかった。また、硝酸処理による粘度低下効果は確認できたものの、この処理によりペレットの主成分であるPP、PE分子鎖への影響も考えられるため、硝酸処理後のペレットについて別途機械的な物性評価が必要であると考えられる。

また、有機溶媒による処理では、いずれも明確な粘度低下効果は確認できなかった。それどころか、ヘキサン、オクタン、デカンといった比較的短鎖鎖であるアルカンで処理すると粘度が上昇してしまうという結果となった。比較的小さなアルカン分子がペレット主鎖分子間にもぐりこむような形となり、流動性を阻害し粘度が上昇したのではないかと推測している。

3.2 再加熱混練による熔融粘度への影響

表2に、RPを各温度で混練した後のサンプルについての熔融粘度を示す。また対照として、再加熱混練処理しないままのRPを「混練なし」とした。また、図2は各押し出し速度における粘度測定値を混練温度別にプロットしたものである。

今回検討した再加熱混練温度域では、その温度が上昇するとほぼ比例的に加熱後サンプルの熔融粘度が低下することが確認された。混練温度による大幅な熔融粘度の増加や低下はなく、温度上昇に伴ってほぼ比例的に粘度が変化していることから、この温度領域においてRPを構成する主成分の大きな構造変化は少ないと考えられる。このことは、RPの均一混合や加工性についての基礎的な知見として活用できると思われる。

3.3 滑剤による熔融粘度への影響

表3に、滑剤をRPに混練した後のサンプルについての熔融粘度を示す。また対照として滑剤を添加せずRPのみを2.5の条件で200℃にて混練したサンプルを「リサイクル材のみ」とした。また図3は押し出し速度100mm/minにおける熔融粘度を比較したものである。

表1 各処理液での洗浄によるリサイクルペレットの熔融粘度への影響

押し出し速度 (mm/min)	10	20	50	100
洗浄ブランク	667	451	265	172
蒸留水	667	449	266	172
塩酸	670	461	268	174
硝酸	612	417	247	161
酢酸	696	470	279	179
エタノール	650	447	265	172
オクタノール	658	450	269	173
ヘキサン	723	492	288	186
オクタン	710	478	286	184
デカン	724	480	285	183
ドデカン	673	461	269	171

単位：Pa・s

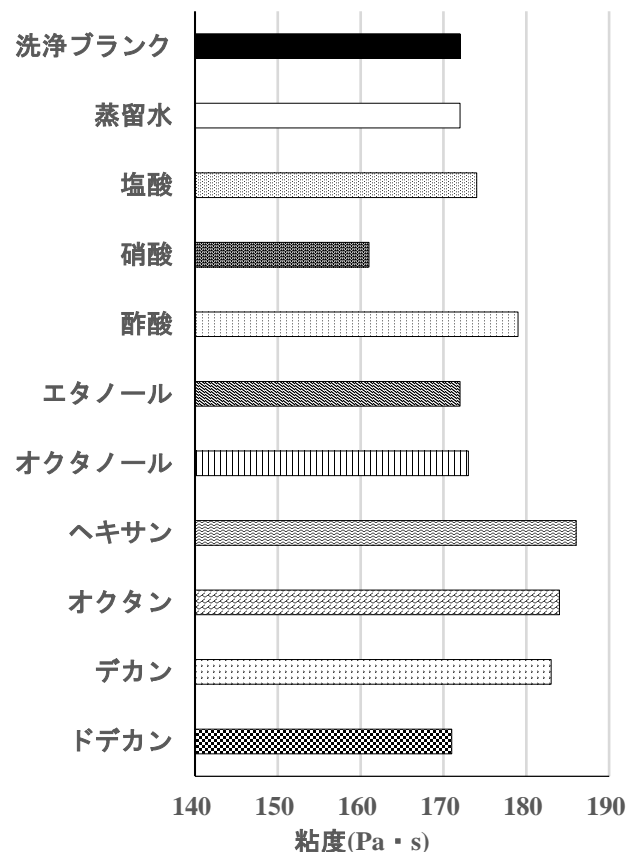


図1 各溶液での処理後のリサイクルペレットの押し出し速度 100mm/min における熔融粘度の比較

表2 混練温度による
リサイクルペレットの熔融粘度への影響

押出速度 (mm/min)	10	20	50	100
混練なし	743	502	302	187
180°C	521	357	213	141
200°C	429	307	183	122
220°C	385	273	169	118
240°C	310	222	144	99
260°C	243	187	126	85

単位：Pa・s

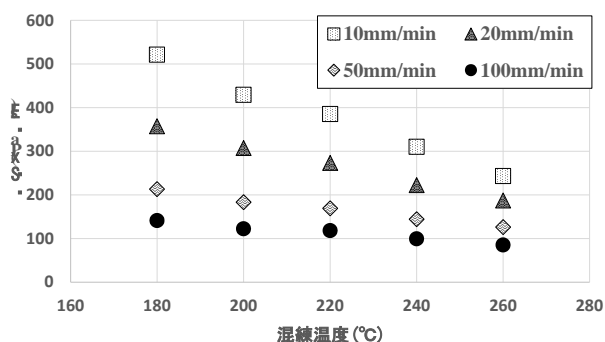


図2 各押し出し速度における混練温度別の熔融粘度

今回使用した滑剤には、固体パラフィンを除いていずれも一定の熔融粘度低下効果が認められた。この中でも、ステアリン酸およびステアリン酸系の金属石鹸はいずれも熔融粘度低下の効果があったが、特にステアリン酸亜鉛において大きな効果が確認できた。

ステアリン酸亜鉛は、外部滑剤として作用すると言われている⁵⁾。一方で、今回の検討では効果がみられなかった固体パラフィンも外部滑剤として作用すると言われている。また、ステアリン酸亜鉛ほどでは無かったものの、一定の熔融粘度低下効果を確認できたステアリン酸カルシウム等は、内部滑剤として作用すると言われている。また、木質高充填複合プラスチックに12-ステアリン酸カルシウム等を添加することで流動性が向上することも報告されている⁶⁾。以上のことから、内部・外部的な作用に関わらず、対象の素材により滑剤を適宜選定する必要があると思われる。また、内部滑剤と外部滑剤を適切な選択および配合で使用することで、さらに流動性向上へ繋がるとも言われている⁵⁾。今後は、より良い滑剤、およびその組み合わせの探索、さらに添加量の低減を目指して検討を進めていく予定である。また、滑剤添加による機械的な物性への影響についても検討を行う必要がある。

表3 滑剤による
リサイクルペレットの熔融粘度への影響

押出速度 (mm/min)	10	20	50	100
リサイクル材のみ	429	307	183	122
ステアリン酸	352	250	160	106
ステアリン酸マグネシウム	341	249	154	105
ステアリン酸カルシウム	339	248	155	105
ステアリン酸亜鉛	250	187	121	81
12-ヒドロキシステアリン酸	361	262	170	115
ステアリン酸アミド	355	253	157	107
オレイン酸アミド	354	253	159	107
エルカ酸アミド	374	269	165	111
固体パラフィン	435	306	183	122

単位：Pa・s

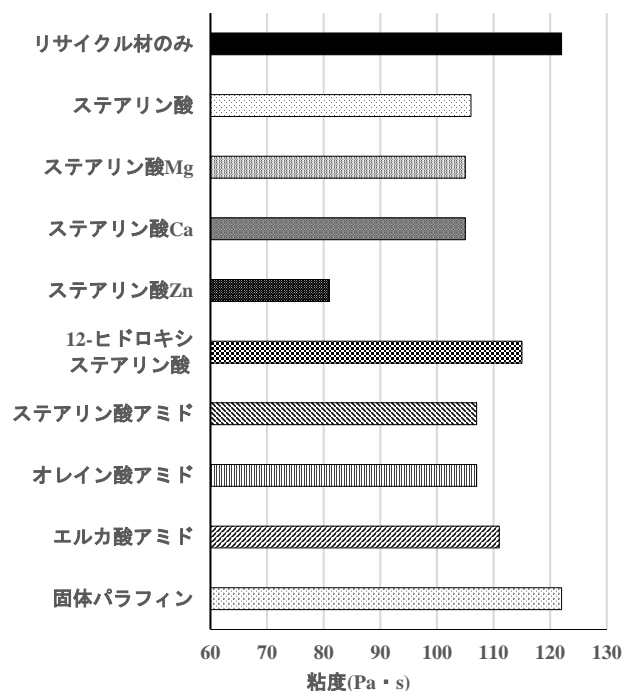


図3 各滑剤を混練添加したリサイクル材の押し出し速度 100mm/min における熔融粘度の比較

4. まとめ

使用済み容器包装プラスチック等から再生されたりリサイクル材について、今年度は主に流動性の向上を目的に各種の処理を行い、効果について溶融粘度測定により評価した。

RP中の不純物等の洗浄を目的とした検討では、溶媒として硝酸を用いた場合に粘度低下効果が確認できた。その一方で、有機溶媒、特に短鎖アルカン溶媒により洗浄を行うとかわって粘度が増加してしまった。

RPの再加熱混練による溶融粘度への影響の検討では、RPの均一混合や加工性についての基礎的な知見を得られた。

RPへの滑剤の添加による検討では、特にステアリン酸亜鉛を添加した際に粘度低下効果が高いことが確認された。またそれ以外のステアリン酸系滑剤やアミド系滑剤を使用した場合も粘度低下効果があることを確認した。

【謝 辞】

本研究を実施するにあたり、リサイクル材料を提供いただきました株式会社岐阜リサイクルセンター様に心より御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 環境省「プラスチック資源循環」ホームページ,
<https://plastic-circulation.env.go.jp/>
- 2) プラスチック汚染に関する法的拘束力のある国際文書(条約)の策定に向けた第一回政府間交渉委員会の結果概要(経済産業省),
<https://www.meti.go.jp/press/2022/12/20221205008/20221205008.html>, 2022/12/5
- 3) 足立, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp49-50, 2022
- 4) 大阪市立工業研究所ほか, プラスチック読本, プラスチックス・エージ, pp222-223, 2002
- 5) 皆川源信, プラスチック添加剤活用ノート, 工業調査会, pp101-106, 1996
- 6) 海老原ら, 千葉県産業支援技術研究所研究報告 No.10, pp10-13, 2012