

射出成形におけるランナーの工程内リサイクルに関する研究

大森 和宏* 男澤 嶺* 益子 朱音* 渡辺 克人** 八丁 佳功**
池添 亮*** 太田 好和*** 小橋川 浩*** 谷越 健太***

Study on In-Process Recycling of Runner in Injection Molding
OMORI Kazuhiro, OTOKOZAWA Ryo, MASHIKO Akane, WATANABE Katsuto, HATCHO Yoshinaru,
IKEZOE Makoto, OTA Yoshikazu, KOBASHIKAWA Hiroshi and KOSHITANI Kenta

様々な射出成形条件で成形したランナーから圧縮成形により作製した試験片を用いて引張試験を行い、射出成形条件におけるランナーの劣化要因を調査した。バージン材とランナーを比較すると、ランナーでは引張りひずみの低下が起こり、シリンダ温度が低く、射出速度が速いほどひずみの低下が顕著に現れた。保圧、金型温度は影響がなかった。低温・高速及び高温・低速の射出成形条件で作製したランナーを、リサイクル率 50%で射出成形した場合、バージン材と比較し、引張強さは同等であったが、シャルピー衝撃強さ及び引張弾性率は若干増加した。

Key words: 射出成形, ランナー, リサイクル

1 はじめに

近年の環境問題やプラスチック材料価格の高騰により、プラスチックのマテリアルリサイクルの重要性が高まっている。プラスチック成形の主流である射出成形では、生産時に金型の流路内で樹脂が固化されてきたランナーが排出されることから、粉碎したランナーを一定量バージン材と混合して製品を製造する工程内リサイクルが行われている。しかし、一度成形工程を経たランナーは、熱や流れの影響により劣化していると言われており、成形不良や破壊等のトラブルが発生することがあるため、一般的にランナー粉碎材のリサイクル率は30wt%が上限とされていることが多い。

成形工程におけるプラスチックの劣化要因としては、熱等の影響による分子鎖切断や酸化による化学劣化が主流とされてきたが、近年の研究で、成形に伴うせん断等による内部構造変化等による物理劣化要因の影響が大きいことが報告された¹⁾。射出成形工程では、金型内を流れる熔融樹脂の、厚さ方向における流速分布によりせん断応力が生じていることが知られており²⁾、ランナーはこの影響を受け劣化していると考えられる。ランナーの射出成形工程内リサイクルにおける高品質化やリサイクル率向上のためには、各射出成形条件でのランナーの劣化状況の把握や、リサイクル成形品の物性の調査

が重要である。一方、ランナーの工程内リサイクルに関する先行研究はあるものの、物理劣化に着目して行われた研究事例は少なく^{3)~5)}、ランナーの物理劣化を評価したデータや、リサイクル射出成形の適切な条件等に関する情報が求められている。

そこで本研究では、各射出成形条件で成形したランナーの劣化状況を調べ、ランナーの劣化要因を明らかにする。また、ランナーの射出成形工程内リサイクルを行い、射出成形条件の物性に対する影響を検討したので報告する。

2 研究の方法

2.1 ランナーの劣化評価

ランナー粉碎材は、ポリプロピレン (PP) バージン材 (サンアロマー(株)製 PM600A) を用いて表 1 の成形条件で射出成形 (ダンベル試験片: 日精樹脂工業(株)製 NEX 80IV-9EG, 製品: 東洋機械金属(株)製 Si-180-6S) した後、成形品を除去し、プラスチックカッティングミル (大阪ケミカル(株)製) を用いてスプルーごと粉碎することで作製した。また、比較のため、ペレットを直接粉碎し、バージン粉碎材を作製した。

各粉碎材は、ミニテストプレス (株) 東洋精機製作所製) を用いて 180℃で 5 分間熔融させ、90℃~120℃に加熱した熱板で挟んで 5 分間保持し等温結晶化させた後、室温まで空冷し、100mm×100mm×t0.5mm のシートとした。そのシートから、試験片打抜機 (高分子計器(株)製) を用

* 栃木県産業技術センター 材料技術部

** 県南技術支援センター

*** 株式会社サカエ工業

表1 ランナー成形条件

No	成形品	シリンダ温度 (°C)	射出速度 (mm/sec)	保圧 (MPa)	金型温度 (°C)
1	ダンベル	190	10	17	40
2	ダンベル	210	10	17	40
3	ダンベル	230	10	17	40
4	ダンベル	210	100	17	40
5	ダンベル	210	1	17	40
6	ダンベル	210	10	36	40
7	ダンベル	210	10	17	80
8	製品	230	5~20	78	制御なし

表2 一次射出成形条件

No	成形品	シリンダ温度 (°C)	射出速度 (mm/sec)	保圧 (MPa)	金型温度 (°C)
9	ダンベル	230	5	17	40
10	ダンベル	190	100	17	40

表3 二次射出成形条件

No	ランナー粉砕材の成形条件	シリンダ温度 (°C)	射出速度 (mm/sec)	背圧 (MPa)	クッション量 (mm)
11	No. 9	230	5	9	3
12	No. 10	190	100	9	5
13	No. 10	230	5	9	48
14	No. 10	230	5	18	7
15	No. 10	230	5	4.5	3
16	No. 10	230	5	9	3

いて小型ダンベル試験片を作製し、万能材料試験機（株式会社島津製作所製 AG-50KNI M2）を用いて、試験速度 10mm/min で引張試験を行った。

2.2 ランナーの工程内リサイクル

PP バージン材（サンアロマー株式会社製 PM600A）を用いて表 2 の成形条件でダンベル試験片を一次射出成形した後、成形品を除去し、粉砕機（日本化工株式会社製 SA-24）を用いてスプルーごとランナーを粉砕し、バージン材と重量比 1 : 1 で混合後、表 3 の成形条件で二次射出成形を行った。得られたランナーについては再度粉砕し、二次射出成形条件と同じ条件で三次射出成形を行った。

各射出成形で得られたダンベル試験片を用いて、引張試験及びシャルピー衝撃試験を行った。引張試験は、万能材料試験機（株式会社島津製作所製 AG-M1）を用い、引張弾性率は試験速度 0.5mm/min で、引張強さは試験速度 10mm/min で測定した。シャルピー衝撃強さは、衝撃試験機（株式会社東洋精機製作所製 IT）で、ひょう量 2J のハンマーを用いて測定した。結晶構造評価は、X 線回折装置（株式会社リガク製 RINT RAPID）を用いて、透過法で測定を行った。

3 結果及び考察

3.1 ランナーの劣化評価

ランナーの劣化評価を行うため、バージン材を用いて

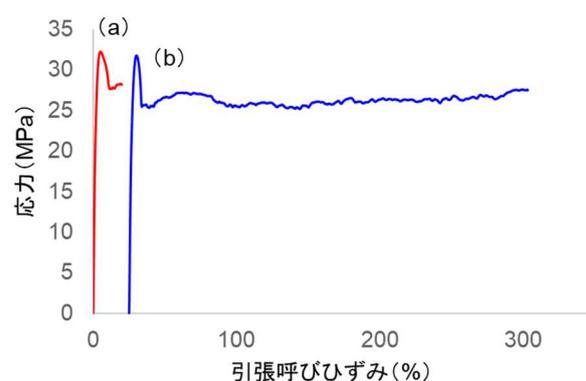


図1 各等温結晶化温度で作製したバージン試験片の引張試験結果；(a) 120°C，(b) 110°C。

等温結晶化温度について検討した。図 1 に 110°C 及び 120°C で等温結晶化して作製したシートの引張試験結果を示す。等温結晶化温度 110°C で成形した試験片では、降伏後大きく伸びたのに対し、120°C 以上で成形した試験片では低ひずみで破断した。先行研究において、リサイクル材の物理劣化現象として伸びの低下が確認されていることから⁶⁾、以降の実験では等温結晶化温度を 110°C とした。

図 2 に、バージン材とランナー（成形条件：No. 2）の引張試験結果を示す。既報の結果と同様に、バージン材と比較し、ランナーは試験片の伸びが著しく低下した。

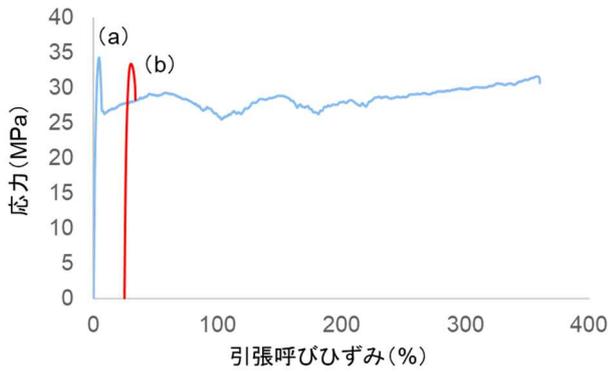


図2 バージン材(a)及びランナー粉砕材(b)から作製した試験片の引張試験結果.

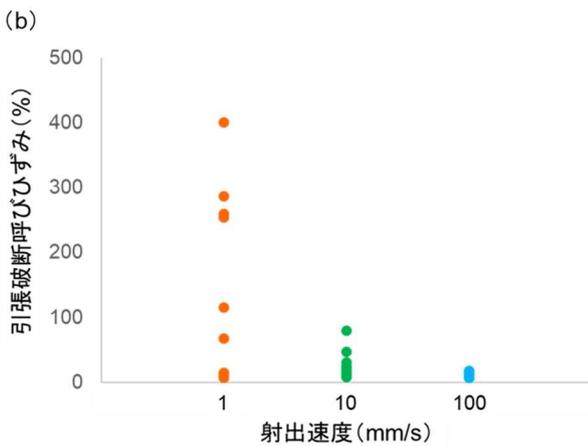
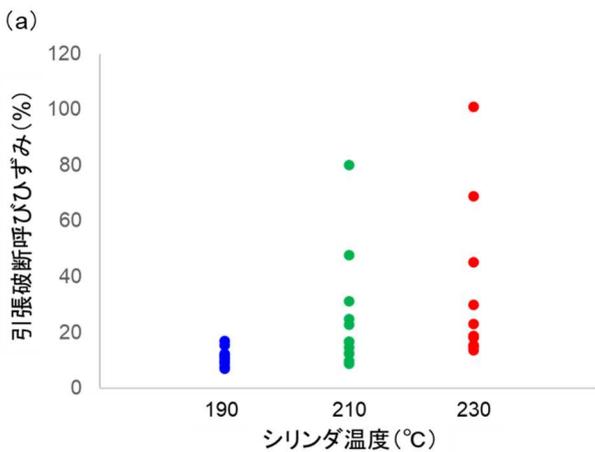


図3 各成形条件と引張破断呼びひずみの関係；
(a)シリンダ温度（射出速度：10mm/min），
(b)射出速度（シリンダ温度：210℃）。

以上より、この圧縮成形・等温結晶化条件でランナーの物理劣化を評価することが可能であることが示された。

各成形条件と引張破断呼びひずみの関係のグラフを図3に示す。本結果は、引張破断呼びひずみのばらつきが大きかったため、n=10で試験を行った全結果を図示し

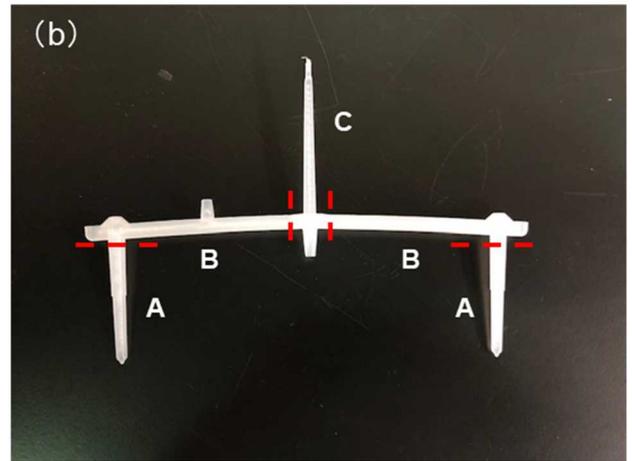
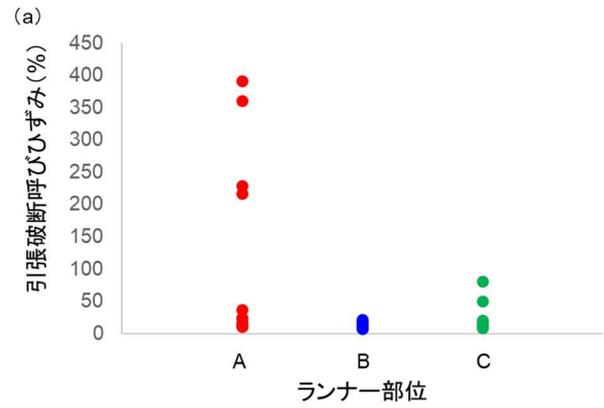


図4 (a)ランナー部位と引張破断呼びひずみの関係及び(b)ランナーの写真

ている。ランナー成形時のシリンダ温度が低いほど、また射出速度が早いほど、試験片の伸びが低下する傾向が見られた。シリンダ温度が低く、射出速度が速いほど、ランナーが受けるせん断応力が高くなり、劣化が進んだと考えられる。なお、保圧及び金型温度の影響は、本研究の範囲内では見られなかった。

また、ランナーの劣化状況の詳細な影響を検討するため、No.8(表1)のランナーを各部位ごとに分割し、引張試験を行った。結果を図4に示す。ここで、図4(b)の「C」がスプルー、「A」の先端がゲートであり、射出された熔融樹脂はC→B→Aの順に流れている。評価したランナーの中では、「B」の引張破断呼びひずみが明らかに低く、「A」は高いものが多かった。図3の実験で得られた結果から考察すると、「B」は直線部分であり熔融樹脂が流れやすいため射出速度の影響を受けやすかったのに対し、「A」はゲートが狭いために熔融樹脂が滞留し、射出速度の影響を受けにくかったことが考えられる。この結果から、ランナーの形状や部位により劣化状況が異なることが明らかになった。加えて、射出成形品は厚さ方向にスキン層、せん断層、コア層が形成されていること

が知られており、各層が受けるせん断応力が異なることから劣化状況は厚さ方向で異なることが推察される。図3や図4の結果ではばらつきが大きかった原因は、ランナー部位や厚さ方向で劣化状況が異なることによるのではないかと考えている。

以上より、射出成形におけるランナーの劣化要因は、シリンダ温度と射出速度であることが明らかになった。また、ランナー形状にも影響があり、ランナーの部位ご

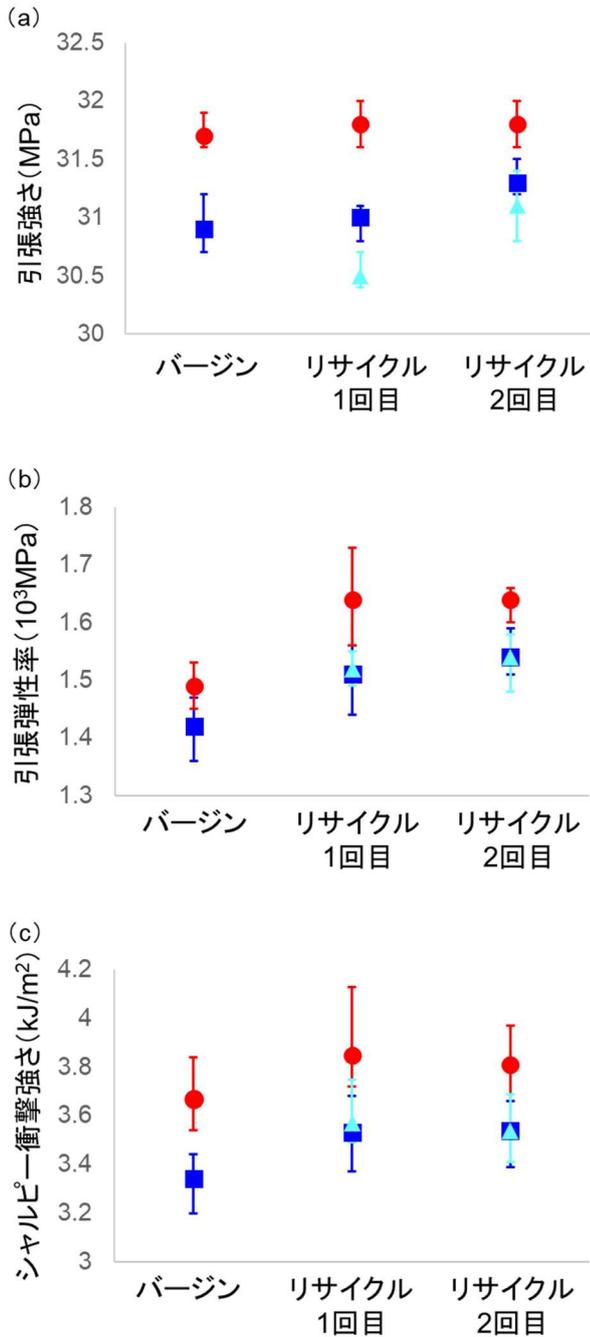


図5 一次成形品（バージン）及び二次・三次成形品（リサイクル）の試験片の物性；
(a)引張強さ，(b)引張弾性率，(c)シヤルピー衝撃強さ。
成形条件：■No. 9・No. 11，●No. 10，No. 12，▲No. 16。

とに劣化状況が異なることが示された。

3. 2 ランナーの工程内リサイクル

表2及び表3の条件で成形した一次成形品（バージン）及び二次（リサイクル1回目）・三次（リサイクル2回目）成形品の試験片の各物性を図5に示す。バージン材から成形したNo. 9, No. 10を比較すると、全ての物性値でNo. 10の方が高くなった。No. 9及びNo. 10の試験片の二次元X線回折像を図6に示す。両者とも、アーチ状の回折像が見られるが、No. 10は赤道方向の回折スポットが若干濃く現れている。No. 10はシリンダ温度が低く、射出速度が速い射出成形条件であったため高いせん断応力を受け、No. 9と比較し高度に分子配向した結果物性が高くなったと考えられる。

No. 9, No. 10のランナー粉砕材をそれぞれ同条件でリサイクルした試験片（No. 11, No. 12）は、バージン材（No. 9, No. 10）と比較して、引張強さは変わらなかったが、弾性率及びシャルピー衝撃強さが高くなった。また、

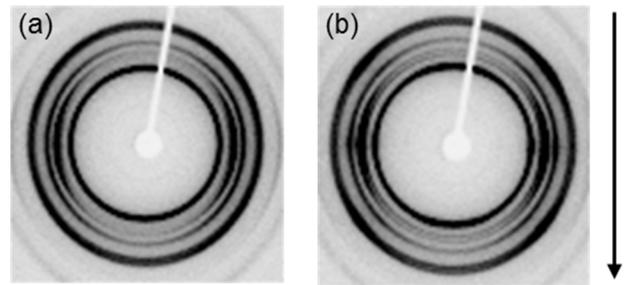


図6 一次成形品（バージン）の二次元X線回折像；(a)No. 9，(b)No. 10，矢印は樹脂の流れ方向を示す。

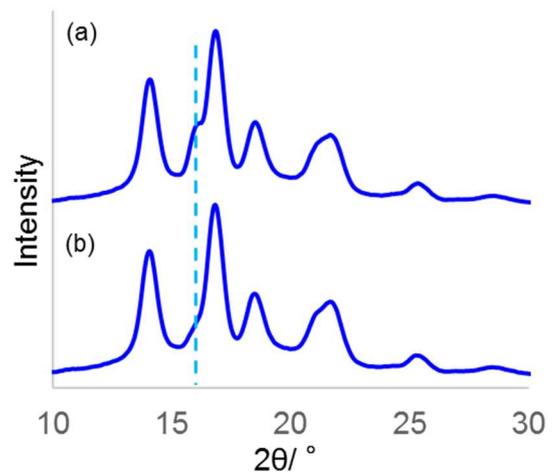


図7 一次成形品（バージン）及び二次成形品（リサイクル1回目）試験片のX線回折パターン。データは、二次元X線回折像を一次元に圧縮；
(a)No. 9，(b)No. 11。

No. 10 のランナー粉砕材を, No. 9 の成形条件で射出成形した場合 (No. 16), No. 11 とほぼ同等の物性値となった。結果は記載していないが, 背圧 (No. 14~16), クッション量 (No. 13, No. 16) の違いによる明確な影響は見られなかった。以上の結果は, リサイクル率 50% の成形品の物性は, バージン材を射出成形した際に起こるランナーの劣化の影響よりも, リサイクル材を射出成形した際のシリンダ温度・射出速度の影響を強く受けることを示していると考えられる。

バージン・リサイクル成形品の比較のため, 各試料の X 線回折パターンを確認すると, No. 9 (図 7 (a)) と比較し No. 11 (図 7 (b)), 13~No. 16 の方が β 晶由来のピークが小さくなっていた (図 7 (a), (b) の破線) が, 他のピーク強度に大きな違いはなく, この結果だけではシャルピー衝撃強さと引張弾性率の両方が上昇したことは説明できない。他方, 成形履歴を受けた材料ではメソ構造に変化が現れるとの報告があり^{1), 5), 7)}, 本研究においても長周期的な構造の変化がバージン・リサイクルの物性変化の原因なのではないかと推察している。

ランナーは一次射出成形によりせん断応力を受け物理劣化していることが本研究結果で示されているが, 射出成形したリサイクル成形品で物性低下がなかった原因は, 射出成形工程では熔融樹脂が金型内で急冷されるためと考えられる⁶⁾。一般的な PP の射出成形条件からは外れるが, 金型温度が 110°C 近くであるならば, 図 2 で示したとおり物性値に影響が出る可能性がある。図 1 の実験を別のグレードの PP バージン材で行った場合, 本研究で用いた PM600A よりも低い等温結晶化温度で伸びの低下が見られており, また図 2 と同様のランナー劣化が確認されている。ランナーのリサイクルを行う場合は, 材料の種類やグレード, 金型ごとにリサイクル成形品の品質確認が必要になるとと思われる。

4 おわりに

様々な射出成形条件で作製したランナーから圧縮成形により作製した試験片を用いて引張試験を行い, 射出成形条件におけるランナーの劣化要因を推定した。また, 低温・高速及び高温・低速の射出成形条件で作製したランナーを, リサイクル率 50% で射出成形し, 物性評価し, 以下の知見を得た。

- 1) バージン材と比較し, ランナーのリサイクル材は引張破断伸びが低下し, 射出成形時のシリンダ温度が低いほど, また射出速度が早いほど, 引張破断伸びの低下が顕著であった。
- 2) ランナーの部位ごとに引張破断伸びの低下が異なることが明らかになった。
- 3) リサイクル率 50% のリサイクル成形品の引張強さは, バージン材とほぼ変わらなかった。シャルピー衝撃強さ及び引張弾性率は, バージン材と比較し, 若干上昇した。

参考文献

- 1) 八尾滋, パントンパチャ: “高分子”, 69 (11), 575, (2020)
- 2) 瀬戸雅宏, 田中克, 佐藤和人, 山部昌: “成形加工”, 14 (10), 671, (2002)
- 3) 飯島義彦, 小松崎和久, 安藤亮, 飯村修志, 石渡恭之, 小島均: “茨城県工業技術センター研究報告”, (43), (2014)
- 4) 安藤亮, 飯島義彦, 千葉頭一郎, 飯村修志: “茨城県工業技術センター研究報告”, (44), (2015)
- 5) 安藤亮, 谷萩雄一郎, 千葉頭一郎, 飯村修志: “茨城県工業技術センター研究報告”, (45), (2016)
- 6) 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”, 70 (12), 712, (2013)
- 7) 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”, 74 (3), 225, (2017)