

# 成形加工的手法を用いたガンマ線照射天然繊維/植物由来 PA1010 バイオマス複合材料の トライボロジー的性質の改質

## Modification of Tribological Properties of Gamma-Irradiated Natural Fiber/Plant-Derived Polyamide 1010 Biomass Composites using Polymer Processing Methods.

工学院大・工（正）\*森野 麻衣子 （非）古澤 蘭 （正）西谷 要介

スターライト工業（非）北川 達也 （非）菊谷 慎哉

Maiko Morino\*, Ran Furusawa\*, Yosuke Nishitani\*, Tatsuya Kitagawa\*\*, Shinya Kikutani\*\*

\*Kogakuin University, \*\* STARLITE Co., Ltd.

### 1. 緒言

近年、持続可能な社会を形成していくためにバイオマスプラスチックの開発がより一層進められている。そのなかでも、植物由来ポリアミド 1010 (PA1010) は 100%植物由来かつ非可食原料から生成されるため環境負荷が低いこと、また他のバイオマスプラスチックと比べて高強度・高耐熱性を有していることから、機械しゅう動部材（トライボマテリアル）への適用が期待されている<sup>1)</sup>。しかしながら、植物由来 PA1010 の機械的およびトライボロジー的性質は、実際のトライボマテリアルとして適用されるための要求に達していないため、更なる高性能化が必要である。高性能化の手法としては、複合材料化をはじめとする材料設計的手法や成形加工の手法などが挙げられる。筆者らはこれまでに材料設計の手法として植物由来 PA1010 およびその複合材料に対する電離放射線（ガンマ線）照射による改質効果についても検討してきた<sup>2)</sup>。一方、成形加工の手法として天然繊維と PA1010 を複合化するために二軸押出機を用いた熔融混練法において、二軸押出機中のスクリュ構成を工夫することにより機械的性質をはじめとした各種物性の高性能化が図れることは知られている<sup>3)</sup>。しかしながらバイオマスプラスチック系複合材料に対する成形加工の手法を用いたトライボロジー的性質の高性能化<sup>4)</sup>についてはまだまだ十分検討できていない課題がある。本研究では、植物由来ポリアミドのトライボロジー的性質の高性能化を目的とし、成形加工の手法を用いたガンマ線照射ラミー麻繊維強化植物由来 PA1010 バイオマス複合材料のトライボロジー的性質の改質について実験的に検討した結果を報告する。

### 2. 実験方法

母材として植物由来ポリアミド 1010 (PA1010, ポリプラ・エボニック (株), VESTAMID Terra DS16) を用い、強化繊維として天然繊維の一種であるラミー麻繊維 (RF, (株) 生川商店,  $\phi = 10 \sim 40 \mu\text{m}$ ) および架橋助剤としてトリアリルイソシアヌレート (60 wt.% 含浸させた珪酸カルシウム (TAIC, 三菱ケミカル (株), タイク M-60) を用いた。RF は予め 5 mm に切断し、3 種類の繊維表面処理: (1) 亜塩素酸ナトリウム ( $\text{NaClO}_2$ , 5 wt.% 水溶液) によるアルカリ処理, (2) ウレイドシランカップリング剤 (A-1160, 1 wt.% 水溶液) による処理および (3) エポキシ樹脂 (ビスフェノール A 型, 1 wt.% メチルエチルケトン溶液) 処理を組合せたもの施した<sup>5)</sup>。RF の充填量  $V_f$  は 20 vol.% 一定とした。RF/PA1010 バイオマス複合材料の成形は、密閉した樹脂容器内でドライブレンドした後、二軸押出機 ((株) 日本製鋼所, TEX30HSS) による熔融混練 (シリンダ温度: 220 °C, スクリュ回転数: 85 rpm) および射出成形機 (日精樹脂工業 (株), NEX30IV-2EG) を用いた射出成形 (シリンダ温度: 220 °C, 射出率: 13 cm<sup>3</sup>/s, 金型温度: 40 °C) により成形した。二軸混練押出機による熔融混練においては 2 種類のスクリュ構成: 現行スクリュ (sc1), および混練用スクリュエレメントを追加して混練力を向上させた改良スクリュ (sc2) を用いて調整した。スクリュ構成の詳細は別報<sup>4)</sup>に記載しているため、本報では省略する。射出成形後の試験片については、ガンマ線 (コバルト-60, 25kGy) を大気中室温下にて照射した。トライボロジー的性質は、リングオンプレート型すべり摩耗試験機 (ORIENTEC (株), EFM-III-EN) を用いて、一定荷重一定速度および室温環境下におけるすべり摩耗試験にて評価した。試験条件は荷重  $P=140 \text{ N}$ , すべり速度  $v=0.2 \text{ m/s}$ , およびすべり距離  $L=600 \text{ m}$  とした。また、相手材として機械構造用炭素鋼 (S45C) を用いた。

### 3. 実験結果および考察

成形加工の手法を用いたガンマ線照射ラミー麻繊維強化植物由来 PA1010 バイオマス複合材料のトライボロジー的性質の改質について論じる。Figure1 にガンマ線照射ラミー麻繊維強化植物由来 PA1010 バイオマス複合材料 (RF/PA1010/TAIC) の比摩耗量  $V_s$  を示す。 $V_s$  は試験前後の質量差より算出した摩耗量を用いた。RF/PA1010/TAIC バイオマス複合材料の  $V_s$  は、現行スクリュ (sc1) と比較して改良スクリュ (sc2) を用いて調整した系の  $V_s$  は低い値を示し、現行スクリュ (sc1) にガンマ線照射した系よりも改良スクリュ (sc2) の効果が高い。次に、すべり摩耗試験後のしゅう動面を SEM にて観察した結果を Fig. 2 に示す。ただし、Fig. 2(a)に現行スクリュ (sc1) で調整した系 (sc1\_0kGy), Fig. 2(b)に(a)にガンマ線照射 (25kGy) した系 (sc1\_25kGy), Fig. 2(c)に改良スクリュ (sc2) で調整した系 (sc2\_0kGy) および Fig. 2(d)に(c)にガンマ線照射 (25kGy) した系 (sc2\_25kGy) の結果を示す。スクリュ構成を変更 (sc1→sc2) することにより、滑らかなしゅう動面を形成しており、繊維/樹脂間の段差が比較的少ないしゅう

動面を示す。特にガンマ線照射系 (sc1\_25kGy および sc2\_25kGy) においてはしゅう動面の違いが顕著に出ていることがわかる。これらは成形加工の手法により繊維分散性が変化したためと考える。

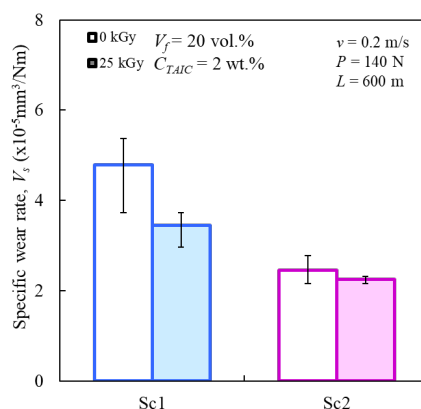


Fig. 1 Specific wear rate of various gamma-irradiated RF/PA1010/TAIC biomass composites

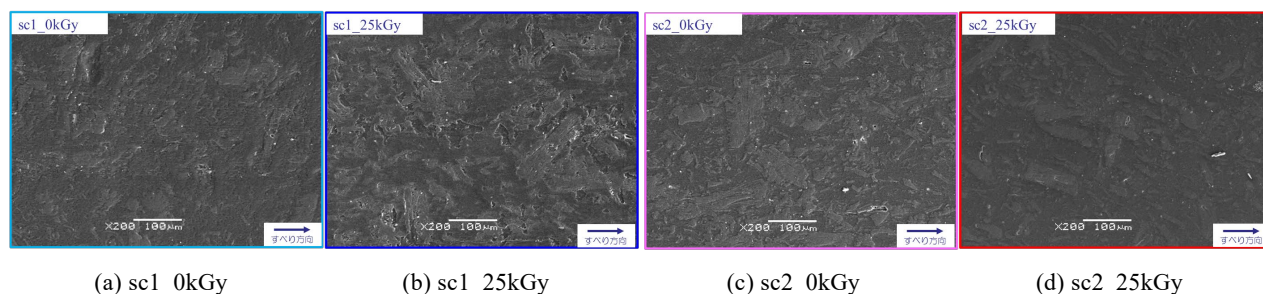


Fig. 2 SEM photographs of worn surface of various gamma-irradiated RF/PA1010/TAIC biomass composites:  
(a) sc1\_0kGy, (b) sc1\_25kGy, (c) sc2\_0kGy and (d) sc2\_25kGy

#### 4. 結言

本研究では、植物由来ポリアミドのトライボロジー的性質の高性能化を目的とし、成形加工の手法を用いたガンマ線照射ラミー麻繊維強化植物由来 PA1010 バイオマス複合材料のトライボロジー的性質の改質について実験的に検討した結果、スクリュ構成の変更によって RF/PA1010 バイオマス複合材料のトライボロジー的性質である摩耗特性を大きく改質できることがわかった。これらの結果から成形加工の手法によりトライボロジー的性質の高性能化に有効的であることが示唆される。

#### 謝辞

本研究で用いた熔融混練に用いた二軸押出機用スクリュエレメントは (株) 日本製鋼所様から提供を受けたものであり、関係者各位のご支援に感謝致します。

#### 文献

- 1) R. Paul, K. Gouda & S. Bhowmik: Effect of Different Constraint on Tribological Behaviour of Natural Fibre/Filler Reinforced Polymeric Composites: a Review, *Silicon*, 13, (2021) 2785.
- 2) 西谷・森野：バイオマスポリアミドしゅう動材のトライボロジー，*トライボロジスト*，70, (2025) 344.
- 3) M. Feldmann, H.-P. Heim & J.-C. Zarges: Influence of the process parameters on the mechanical properties of engineering biocomposites using a twin-screw extruder, *Compos. A – Appl. Sci. Manuf.*, 83, (2016) 113.
- 4) 森野・向田・西谷：麻繊維/植物由来 PA1010 複合材料の物性に及ぼす二軸押出機のスクリュ構成の影響，*材料技術*，42, (2024) 2.
- 5) M. Morino, T. Kajiyama & Y. Nishitani: Influence of Epoxy Resin Treatment on the Mechanical and Tribological Properties of Hemp-Fiber-Reinforced Plant-Derived Polyamide 1010 Biomass Composites, *Molecules*, 26, (2021) 1228.