

## 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に及ぼすガンマ線照射の影響

### Influence of Gamma Irradiation on Tribological Properties of Ramie Fiber Reinforced Plant-Derived Polyamide 1010 Biomass Composites

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、地球環境問題の解決策の一つとして、再生可能な有機資源由来のバイオマスプラスチックが高い注目を集めている<sup>1)</sup>。特に 100%植物由来原料のバイオマスプラスチックかつエンジニアリングプラスチックである植物由来ポリアミド 1010 (PA1010) は、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。しかしながら、PA1010 をトライボマテリアルとして利用するためには、機械的およびトライボロジー的性質が十分ではないため、更なる高性能化が必要である。ポリアミドをはじめとしたプラスチックの高性能化手法としては、様々な手法が挙げられるものの、本検討においては天然繊維を用いた複合化、および成形後のガンマ線照射による改質に着目した。筆者らはこれまでに植物由来 PA1010 に天然繊維であるラミー麻繊維を複合化することにより摩擦摩耗特性が改善すること<sup>2)</sup>および植物由来 PA1010 もしくは植物由来 PA1010 にトリアリルイソシアヌレート（TAIC）を 60 wt.%含浸させた珪酸カルシウムから成る架橋助剤（TAIC）を添加した成形品へのガンマ線照射によって、材料内部構造（結晶部および非晶部の変化、架橋構造形成など）が変化するため、機械的およびトライボロジー的性質が向上すること<sup>3)</sup>を明らかにしてきた。これら 2つの手法を組み合わせることで更なる高性能化が期待できると考えられる。また、ガンマ線照射が天然繊維強化プラスチック系複合材料の物性に及ぼす影響に関する報告は、Vasco ら<sup>4)</sup>のサイザル麻繊維/ポリウレタン（PU）系複合材料および Lenfeld ら<sup>5)</sup>のセルロース繊維/ポリ乳酸（PLA）およびセルロース繊維/ポリ（3-ヒドロキシブチレート/3-ヒドロキシバレレート）共重合体（PHBV）系複合材料などが報告されているものの、これらは機械的性質に及ぼす影響を検討したものであり、トライボロジー的性質に及ぼす影響を検討した報告は、筆者らの知る限りでは見当たらないのが現状である。本研究では、植物由来ポリアミド 1010 (PA1010) の高性能化を目的とし、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に及ぼすガンマ線照射の影響について実験的に検討した結果を報告する。

#### 2. 実験方法

本研究では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), 強化繊維としてラミー麻繊維（RF, 生川商店（株）,  $\phi = 10\text{--}40\ \mu\text{m}$ ）, および架橋助剤としてトリアリルイソシアヌレート（TAIC, 三菱ケミカル（株）, タイク M-60）を用いた。植物由来 PA1010 はトウゴマから得られるひまし油を原料として生成されたセバシン酸およびデカメチレンジアミンを重合した 100%植物由来材料である。RF は予め 5 mm に切断し、繊維表面処理として亜塩素酸ナトリウム（ $\text{NaClO}_2$ ）水溶液（5 wt.%）によるアルカリ処理後に、ウレイドシランカップリング剤を用いたシラン処理（1 wt.%）を施した。RF 充填量  $V_f$  は 20 vol.%一定とし、PA1010 と TAIC の比率は 100/0, 98/2, 90/10 wt.%とした。各種複合材料の成形は、密閉樹脂容器内で PA1010, RF および TAIC をドライブレンドした後、真空乾燥機にて  $80^\circ\text{C} \times 12\text{ h}$  乾燥した試料を二軸押出機（（株）日本製鋼所, TEX30HSS）を用いた熔融混練（ $220^\circ\text{C}$ , 85 rpm）により射出成形用ペレットを調製した。その後、ペレットを再び真空乾燥（ $80^\circ\text{C} \times 12\text{ h}$ ）させ、射出成形機（日精樹脂工業（株）, NEX30IV-2EG）を用いて射出成形した。その後、射出成形で得られた試験片に対してガンマ線（コバルト-60）を大気中室温下にて照射（（株）コーガアイソトープ）した。ただし、ガンマ線照射量は  $25\ \text{kGy}$  とした。ガンマ線照射後、生成したフリーラジカルを除去するために、除湿機および箱型乾燥炉を用いて熱処理（ $100^\circ\text{C} \times 2\text{ h}$ ）を施し、評価サンプルとした。トライボロジー的性質の評価は、リングオンプレート型すべり摩耗試験機（オリエンテック（株）, EFM-III-E）を用いたすべり摩耗試験により実施した。樹脂試験片は平板（ $30 \times 30 \times 2.5\ \text{mm}$ ）を、金属相手材としては機械構造用炭素鋼（S45C）のリング（ $\phi 20 \times \phi 25.6\ \text{mm}$ ）を使用した。なお、試験前の試験片の表面状態を一定とするために、表面仕上げ（ $R_a = 0.4\ \mu\text{m}$ ）を行った。試験条件は、すべり速度  $v = 0.2\ \text{m/s}$ , 垂直荷重  $P = 140\ \text{N}$ （面圧  $p = 0.7\ \text{MPa}$ ）, およびすべり距離  $L = 600\ \text{m}$  である。

#### 3. 実験結果と考察

ラミー麻繊維強化植物由来 PA1010 バイオマス複合材料（RF/PA1010）のトライボロジー的性質に及ぼすガンマ線照射の影響について論じる。Figure 1 に一定荷重および一定速度下におけるすべり摩耗試験から求めたガンマ線照射

RF/PA1010/TAIC バイオマス複合材料の摩擦係数 $\mu$ と TAIC 添加量  $C_{TAIC}$  の関係を示す。ただし、各種バイオマス複合材料の $\mu$ は定常状態を示したすべり距離  $L=400\sim600$  m 間の平均値から算出した。 $C_{TAIC}$  の増加に伴い RF/PA1010/TAIC バイオマス複合材料の $\mu$ は、未照射系 (0kGy) においては低下するのに対し、ガンマ線照射系 (25kGy) は上昇する傾向を示し、どちらの系においても、 $\mu=0.70\sim0.85$ 程度の値を示す。次に、一定荷重および一定速度下におけるすべり摩擦試験から求めたガンマ線照射 RF/PA1010/TAIC バイオマス複合材料の比摩耗量  $V_s$  と TAIC 添加量  $C_{TAIC}$  の関係を Fig. 2 に示す。ただし、 $V_s$ は試験前後の質量差を用いて算出した。ガンマ線を照射することによって RF/PA1010/TAIC バイオマス複合材料の  $V_s$ は低下する。また、TAIC の添加量の影響としては未照射系 (0kGy) においては  $C_{TAIC}$  の増加に伴い RF/PA1010/TAIC バイオマス複合材料の  $V_s$ は単調に低下する。一方で、ガンマ線照射系 (25kGy) では  $C_{TAIC}=2$  wt.% で極小値を示し、未照射系 (0kGy) とは異なる傾向を示す。これらの結果から、RF/PA1010 バイオマス複合材料の比摩耗量  $V_s$  においてガンマ線照射による改質効果があると認められる。今後は RF/PA1010 バイオマス複合材料内部構造 (架橋構造など) や各種物性の関係を明らかにするとともに、摩擦摩耗メカニズムを明確にするために試験片しゅう動面、摩耗粉、および相手材表面などを観察していく予定である。

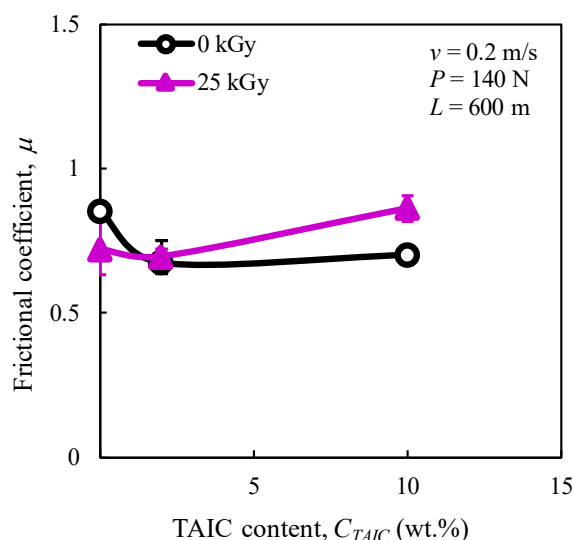


Fig. 1 Relationship between frictional coefficient and TAIC content of gamma-irradiated RF/PA1010/TAIC biomass composites

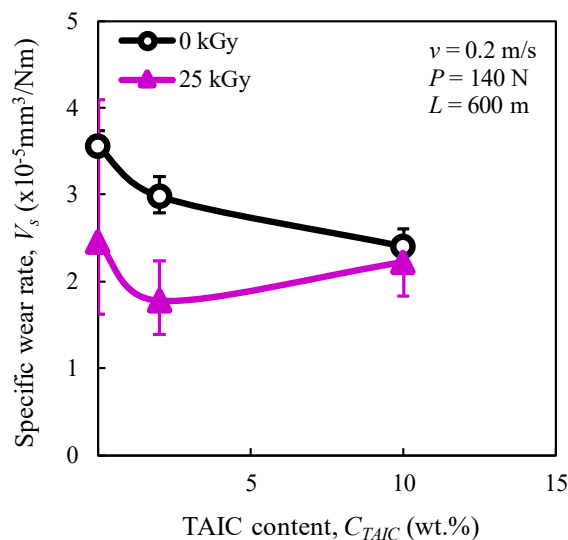


Fig. 2 Relationship between specific wear rate and TAIC content of gamma-irradiated RF/PA1010/TAIC biomass composites

#### 4. 結言

本研究では、植物由来ポリアミド 1010 (PA1010) の高性能化を目的とし、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ック的性質に及ぼすガンマ線照射の影響について実験的に検討した結果、ガンマ線照射および架橋助剤 (TAIC) 添加によって摩擦特性を改善できることがわかった。特に、ガンマ線照射系 RF/PA1010 バイオマス複合材料の比摩耗量は TAIC 添加量  $C_{TAIC}=2$  wt.% で極小値を示すことがわかった。

#### 文献

- 1) O. Faruk, A. K. Bledzki, H.-P. Fink & M. Sain: Progress report on natural fiber reinforced composites, *Macromolecular Materials and Engineering*, 299, 1 (2014) 9.
- 2) Y. Nishitani, N. Sugawara, K. Kawasaki & T. Kajiyama: Tribological properties of ureidosilane treated natural fiber reinforced plant-derived polyamide 1010 biomass composites, *AIP Conference Proceedings*, 2139, (2019) 120001.
- 3) M. Morino, Y. Nishitani, T. Kitagawa & S. Kikutani: Thermal, Mechanical and Tribological Properties of Gamma-Irradiated Plant-Derived Polyamide 1010, *Polymers*, 15, (2023) 3111.
- 4) M.C. Vasco, S.C. Neto, E.M. Nascimento & E. Azevedo: Gamma radiation effect on sisal/polyurethane composites without coupling agents, *Polimeros*, 27, 2 (2017) 165.
- 5) P. Lenfeld, P. Brdlik, M. Borůvka, L. Běhálek & J. Habr: Effect of Radiation Crosslinking and Surface Modification of Cellulose Fibers on Properties and Characterization of Biopolymer Composites, *Polymers*, 12, (2020) 3006.