

## 植物由来 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

## Influence of Gamma Irradiation on Tribological Properties of Plant-Derived Polyamide 1010

工学院大院・工（学）\*森野 麻衣子 工学院大・工（非）穂積 瑠海 （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\*, Ruka Hotsumi\*\*, Yosuke Nishitani\*\*, Tatsuya Kitagawa\*\*\*, Shinya Kikutani\*\*\*

\*Graduate School of Engineering, Kogakuin University, \*\* Kogakuin University, \*\*\*STARLITE Co., Ltd.

## 1. 緒言

近年、環境問題の観点から高分子トライボマテリアル分野において、再生可能な有機資源由来のバイオマスプラスチックの適用が期待されており、特に 100%植物由来原料のバイオマスプラスチックであるポリ乳酸（PLA）や植物由来ポリアミド（PA）などが高く注目されている。その中でも植物由来 PA1010 は環境性能が高いだけでなく、非可食植物由来原料を用いているため食料との競合もなく、また非生分解性であるため耐久性が必要とされる機能製品に適用できる。さらには、エンジニアリングプラスチック（エンブラ）の 1 種であること、および結晶性プラスチックであることから、他のバイオマスプラスチックに比べて耐熱性や機械的性質が高く、高分子トライボマテリアルへの適用が期待されるバイオマスプラスチックである。ただし、石油などの化石資源由来エンブラである PA66 やポリオキシメチレン（POM）などと比較して植物由来 PA1010 の耐摩耗性をはじめとしたトライボロジー的性質は低いと、何らかしらの改質が必要である。筆者らの研究室では、これまでに天然繊維の一種である麻繊維との複合化や他種ポリマーとのポリマーブレンド化などの手法を用いることにより、機械的およびトライボロジー的性質を改質できることを報告してきた<sup>1-3)</sup>。しかしながら、実用化のためにはさらなるトライボロジー的性質の高性能化が必要であり、その一環として、本研究ではガンマ線照射による植物由来 PA1010 のトライボロジー的性質の改質を試みる。ガンマ線照射によるトライボロジー的性質の改質については、人工関節用途などに用いられる超高分子量ポリエチレン（UHMWPE）を中心に検討しており、ガンマ線照射により架橋が進行し、耐摩耗性をはじめとした各種物性が改質されることが数多く報告されている<sup>4-6)</sup>。一方、PA1010 に対するガンマ線照射の影響は、熱的性質<sup>7)</sup>や結晶構造<sup>8)</sup>などの報告はあるものの、筆者らの知る限りでは、トライボロジー的性質に関する検討例は見当たらない。本研究では、植物由来 PA の耐摩耗性向上を目的に、植物由来 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 PA1010（ポリプラ・エボニック（株）、VESTAMID Terra DS16）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。一方、架橋助剤としてトリアリルイソシアヌレート系助剤（TAIC、三菱ケミカル（株）、タイク M-60）を用いた。ただし、TAIC の添加量は 1 wt.%とした。各種材料の成形は、密閉樹脂容器内で PA1010 と TAIC をドライブレンドした後、真空乾燥機にて 80℃ x 12 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℃, 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℃ x 12 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した。ただし、ガンマ線照射量は 0 および 20 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℃ x 2 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 x 30 x 2.5 mm）を、金属相手材としては機械構造用炭素鋼（S45C）のリング（ $\phi 20 \times \phi 25.6$  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（ $Ra = 0.4 \mu\text{m}$ ）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. 実験結果および考察

植物由来 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 PA1010（100%）および PA1010/TAIC の摩擦係数  $\mu$  を示す。ただし、 $\mu$  は定常状態のすべり距離  $L = 400 \sim 600 \text{ m}$  間の平均値から算出した。PA1010 の  $\mu$  はガンマ線を照射することにより顕著に低下する。一方、PA1010/TAIC の  $\mu$  もガンマ線照射により低下するものの、PA1010 と比較して低下率は小さい。次に、Fig. 2 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 PA1010（100%）および PA1010/TAIC の比摩耗量  $V_s$  を示す。ただし、 $V_s$  は試験前後の質量差を用いて算出した。PA1010 および PA1010/TAIC の  $V_s$  はともにガンマ線照射に伴い大きく低下する。 $V_s$  の低下率については、ガンマ線照射量 0 kGy 基準とした場合、PA1010（100%）では 70% に対して、PA1010/TAIC では 86% を示す。したがって、植物由来 PA1010 の摩擦摩耗特性においてガンマ線照

射による改質効果が認められ、また TAIC の併用により、特に耐摩耗性の向上が認められることがわかる。これらはガンマ線照射により PA1010 の架橋が進むとともに材料内部構造が変化するためと考えられる。今後は材料内部構造や各種物性について検討するとともに、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。

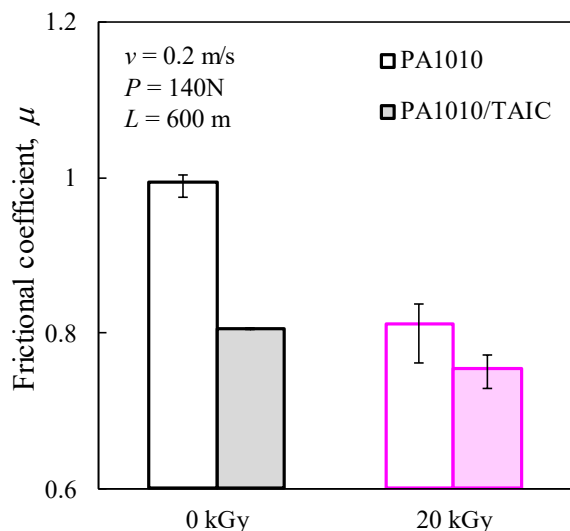


Fig. 1 Frictional coefficient of PA1010 and PA1010/TAIC.

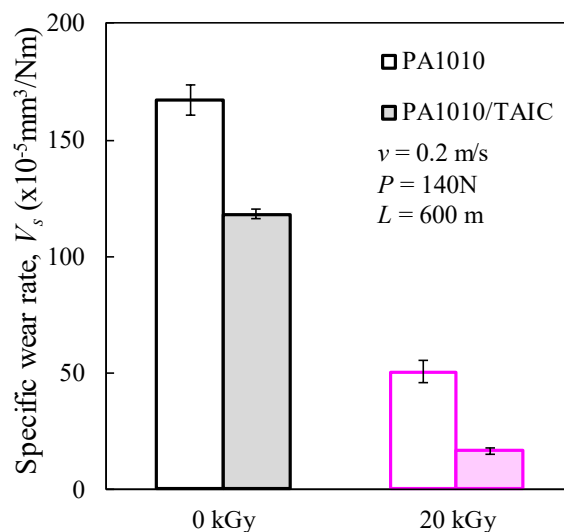


Fig. 2 Specific wear rate of PA1010 and PA1010/TAIC.

#### 4. 結言

本研究では、植物由来ポリアミドの耐摩耗性向上を目的とし、植物由来ポリアミド 1010 (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実験的に検討した結果、PA1010 にガンマ線を照射することで、低摩擦化および低摩耗化を示すことがわかった。また、架橋助剤を併用することで更なるトライボロジー的性質の改善が図れることがわかった。

#### 文献

- 1) Y. Nishitani, T. Kajiya & T. Yamanaka: Effect of Silane Coupling Agent on Tribological Properties of Hemp Fiber-Reinforced Plant-Derived Polyamide 1010 Biomass Composites, *Materials*, 10, (2017) 1040.
- 2) 向田・西谷・山中・梶山・北野：3 成分系植物由来複合材料（麻繊維/ポリアミド 1010/TPE）の機械的およびトライボロジー的性質に及ぼす植物由来 TPE の種類の影響，*材料試験技術*，61, 1 (2016) 3-11.
- 3) M. Morino, T. Kajiya & 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.
- 4) 大西・辻・花立・水越：抜去した人工関節のトライボロジー的考察，*トライボロジスト*，36, 12 (1991) 928-934.
- 5) F.-W. Shen, H. A. Mckellop & R. Salovey: Irradiation of Chemically Crosslinked Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene, *J. Polym. Sci., Pt. B, Polym. Phys.*, 34, (1996) 1063-1077.
- 6) 澤野・村上・澤江：人工関節用超高分子量ポリエチレンの摩耗に及ぼす  $\gamma$  線照射量の影響，*日本機械学会論文集 (C 編)*，71, 705 (2005) 1760-1765.
- 7) J. Feng, L. Zhang & D. Chen: Characterisation of gamma-irradiated crystalline polymer—III. Thermal behaviour of gamma-irradiated polyamide 1010, *Radiat. Phys. Chem.*, 38, (1991) 105-112.
- 8) B. Li, L. Zhang, Y. Liu & L. Qi: Investigation of irradiated PA1010 containing heterogeneous nuclei, *Radiat. Phys. Chem.*, 48, (1996) 289-291.