

博士学位請求論文 審査要旨

主査 機械工学専攻 西谷要介

論文題目：植物由来ポリアミドの機械的およびトライボロジー的性質の高性能化に関する研究

学位申請者：森野 麻衣子 氏（工学研究科 機械工学専攻 博士後期課程 AD21004）

審査要旨

プラスチックは石油をはじめとした化石燃料資源を原料としているため、その化石資源の枯渇、地球温暖化、さらには海洋プラスチックごみなどの多くの環境問題が存在している。これらの環境問題の解決および持続型社会を構築していくためには、非化石燃料資源かつ再生可能資源である植物（バイオマス）を原料とし、かつ実際の工業製品に適用可能な性能を有する高性能なバイオマスプラスチックの開発が強く求められている。

これらの課題を解決するため、本論文では、実際の工業製品に適用可能な性能を有するバイオマスプラスチックをベースとした高性能機械しゅう動部材（トライボマテリアル）の創製を目的に、植物由来ポリアミド（PA）の機械的およびトライボロジー的性質の高性能化について実験的に研究したものである。具体的には、植物由来 PA1010 を例にとり、材料設計的手法と成形加工的手法を用いて、PA1010 の機械的およびトライボロジー的性質の高性能化を実験的に検討した結果を、8つの章にまとめたものである。

第1章では、本論文の背景、研究、目的および論文の概要が記述されている。

第2章では、材料設計的手法の一つとして、新規の繊維表面処理技術の確立を目的に、PA1010 に強化繊維としてヘンプ麻繊維（HF）を複合化した HF/PA1010 バイオマス複合材料の機械的およびトライボロジー的性質に及ぼすエポキシ樹脂を用いた繊維表面処理の影響について実験的に検討した。ヘンプ麻（HF）にアルカリ処理およびウレイドシランカップリング剤による処理を施した後に、エポキシ樹脂処理を組合わせた繊維表面処理を施すことで、繊維/樹脂間の界面接着性がより強固になり、その結果、HF/PA1010 バイオマス複合材料の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明らかにした。

第3章では、各種天然繊維強化 PA1010 バイオマス複合材料の機械的およびトライボロジー的性質に及ぼす繊維種の影響について検討した。具体的には、HF の他、マニラ麻、リネン麻、ジュート麻、ラミー麻、およびサイザル麻繊維の6種類を用いた。6種類の麻繊維ともエポキシ樹脂を用いた表面処理を施すことにより強度、弾性率および比摩耗量などが向上すること、特にラミー麻にエポキシ樹脂を用いた表面処理を施すことにより、機械的およびトライボロジー的性質ともに、バランス良く高性能化できることを明らかにした。

第4章では、異なる材料設計的手法として、マトリックス樹脂となる植物由来 PA1010 の高性能化について、 γ 線照射による改質を検討した。PA1010 に対して γ 線照射および架橋助剤としてトリアリルシアヌレート（TAIC）を併用することにより、架橋構造の形成などの材料内部構造変化が生じ、PA1010 の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明らかにした。

第5章では、第4章の結果をもとに、 γ 線照射植物由来 PA1010 の機械的およびトライボロジー的性質に及ぼす架橋助剤添加量の影響について検討した。 γ 線照射 PA1010 は TAIC 添加量の増加に伴い機械的性質が向上すること、また耐摩耗性については TAIC 添加量が 2 wt.%において最も改質できることを明らかにした。

第6章では、成形加工的手法を用いた高性能化を目的に、HF/PA1010 バイオマス複合材料の各種物性に及ぼす二軸押出機のスクリュ構成の影響について検討した。具体的には、混練性能を向上させるためにニーディングディスクなどの混練用スクリュエレメントを増加させたスクリュ構成と一般的なスクリュ構成で調整した系について比較評価した。その結果、混練用スクリュエレメントを増加させたスクリュ構成を用いることで HF/PA1010 バイオマス複合材料の機械的およびトライボロジー的性質が改質できることを示した。

第7章では、第2章から第6章までに得られた知見をもとに、機械的およびトライボロジー的性質を最もバランス良く性能向上できる材料配合設計および成形加工の手法を組み合わせることで、 γ 線照射麻繊維強化 PA1010 バイオマス複合材料の機械的およびトライボロジー的性質の高性能化について実験的に検討した。具体的にはラミー麻繊維強化、エポキシ樹脂を用いた表面処理、 γ 線照射、TAIC 添加量 2 wt.%, および改良スクリュを組み合わせ調整したバイオマス複合材料を成形し、同バイオマス複合材料の機械的およびトライボロジー的性質を検討した。その結果、これまでに調整したバイオマス複合材料の中で最も機械的性質が上昇し、かつ比摩耗量は最も低下すること、特に、石油由来の POM と比較し、同バイオマス材料は 1.3 倍以上の強度や弾性率などの機械的性質、また同等程度の摩耗特性を示すことを明らかにした。

第8章では、本研究を総括した。

本論文は、バイオマスプラスチックの機械的およびトライボロジー的性質の高性能化について系統的かつ多角的に研究したものであり、材料配合設計的手法および成形加工の手法を用いることで、植物由来 PA の機械的およびトライボロジー的性質を高性能化できることを明らかにしたものである。本研究で得られた知見は、植物由来 PA1010 だけでなく様々なバイオマスプラスチックおよびそれらをベースとした複合材料の創製はもちろんのこと、各種高分子複合材料の高性能化にも必要な設計指針に成り得るものである。

以上のことから、本論文は博士(工学)の学位請求論文として高い価値があり、合格と判断できる。

以上

令和6年2月1日

論文所見

九州大学大学院 梶原 稔尚 印



論文題目：植物由来ポリアミドの機械的およびトライボロジー的性質の高性能化
に関する研究

学位申請者：森野 麻衣子 氏（工学研究科機械工学専攻博士後期課程 AD21004）

本論文は、非化石燃料でかつ再生可能な資源であるバイオプラスチックを用いて、実際の工業製品に適用可能な性能を有する機械摺動部材の創製を目指したものである。具体的には、植物由来ポリアミドの複合材料について、その機械的・トライボロジー的性質の高機能化を材料設計の手法と成形加工の手法から検討した成果をまとめている。

第一章では、本研究の背景、関連する既往の研究、研究の目的と位置づけを述べ、本論文の構成を説明している。

第二章では、強化繊維としてのヘンプ麻繊維と植物由来ポリアミドの複合化に対してエポキシ樹脂を用いた繊維表面処理を行い、複合材料の熔融粘弾性、熱的・機械的およびトライボロジー的性質に及ぼす繊維表面処理の影響を実験的に検討している。その結果、アルカリ処理、シランカップリング剤による処理およびエポキシ樹脂処理を組合わせた繊維表面処理を施すことで、繊維／樹脂間の界面相互作用がより強固になり、機械的・トライボロジー的性質を改質できることを明らかにしている。

第三章では、ヘンプ麻繊維以外の天然繊維として、6種類の麻繊維を用い、第二章で効果のあった表面処理の適用性を検証している。各種麻繊維との複合材料の機械的・トライボロジー的性質は測定項目や繊維種により改質効果が異なること、本表面処理がすべての麻繊維に対しても機械的・トライボロジー的性質を向上させること、特に苧麻繊維ではこれらの性質をバランス良く高性能化できることを明らかにしている。

第四章では、植物由来ポリアミドの機械的・トライボロジー的性質に及ぼすガンマ線照射量の影響、効率よい架橋構造形成のための架橋助剤添加の効果について検討している。その結果、ガンマ線照射と架橋助剤添加を併用することにより、材料内部構造の変化から融点、結晶化度、ガラス転移温度および架橋密度が変化し、機械的・トライボロジー的性質を改質できることを明らかにしている。

第五章では、ガンマ線照射植物由来ポリアミドの機械的・トライボロジー的性質に及ぼす架橋助剤添加量の影響について検討している。その結果、架橋助剤添加量に対して、材料の内部構造、熱的・機械的物性の変化、トライボロジー的性質の変化を明らかにし、最もバランス良く機械的・トライボロジー的性能の向上が図れる材料配合設計を明らかにしている。

第六章では、高性能化を目的に、ヘンプ麻繊維／植物由来ポリアミド複合材料の各種物性に及ぼす二軸押出機のスクリュ構成の影響について検討している。混練性能を向上

させるために混練用スクリュエメントを増加させたスクリュ構成と一般的なスクリュ構成で混練した複合材料の各種物性を比較した結果、スクリュ構成の変更により複合材料内部の繊維分散状態が変化することを示し、混練用スクリュエメントを増加させたスクリュ構成を用いることで複合材料の機械的・トライボロジー的性質が改質できることを明らかにしている。

第七章では、各章で得られた機械的・トライボロジー的性質を最もバランス良く性能向上できた条件、すなわち表面処理技術（第二章）、麻繊維の種類（第三章）、ガンマ線照射量（第四章）、架橋助剤添加量（第五章）、二軸押出機のスクリュ構成（第六章）を組み合わせ作製した複合材料が、これまで調整した材料の中で最も高性能を示したのみならず、実際の工業プロセスで摺動部材として使用されている石油由来のポリアセタール樹脂と比較して、1.3倍以上の強度や弾性率などの機械的性質、同等程度の摩耗特性を示すことを明らかにしている。

第八章では、本研究を総括している。

以上、本論文は植物由来ポリアミド／天然繊維充填複合材料について、材料設計的手法と成形加工的手法を用いて、機械的・トライボロジー的性質の改質を体系的に調査するとともに、実際の工業プロセスで摺動部材として使用されている石油由来の材料と同等あるいはそれ以上の物性を実現したもので、博士学位論文及び発表会の内容は博士(工学)の学位に相応しいと判断できる。