

氏 名	めもん あにん MEMON ANIN
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 甲 第 7 1 2 号
学位授与の日付	平成 26 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端フアイバ科学専攻
学 位 論 文 題 目	Pultrusion moldings for continuous natural fiber reinforced thermoplastic composites (連続天然繊維強化熱可塑性複合材料の引抜成形に関する研究)
審 査 委 員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 准教授 横山敦士 岐阜大学工学部機械システム工学科教授 *仲井朝美 Rajamangala 大学 Dean of Faculty of Engineering *Sommai PIVSA-ART

論文内容の要旨

再生可能な資源から生成される天然繊維を複合材料の強化材として利用することは環境負荷低減に有効であり、また、優れた力学的特性を有するため近年注目を浴びている。ジュート繊維は軽量性、力学的特性、低コスト、環境負荷低減といった点で優れた天然繊維である。また、絹繊維は高強度、高剛性、高靱性を有する天然繊維である。ジュート繊維、絹繊維ともに連続繊維として利用可能であり、連続繊維強化複合材料の強化材として適している。天然繊維に対して、リサイクル可能な熱可塑性樹脂、とくに、植物由来樹脂を組み合わせることにより、100%バイオマス由来の複合材料（グリーンコンポジット）が実現可能となる。本研究では、材料の視点から循環型社会を実現させるため、グリーンコンポジットのハイサイクル成形技術の確立を最終目標とする。

連続天然繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の成形手法として引抜成形技術に着目した。引抜成形は同一断面形状を有する複合材料の連続成形に適している。また、量産性、コスト性にも優れている。熱可塑性樹脂複合材料の引抜成形においては、連続性を有する強化繊維と樹脂から成る中間材料を金型内に引き込み、加熱された金型内で熔融・含浸・固化することで複合材料が成形される。引抜成形においては一般的に一方向材料が用いられる。しかし、一方向材料で作製された複合材料は異方性を有する。本研究では、組物技術を用いることで組角度や繊維量を変化させ複合材料の異方性を制御した。引抜成形と組物技術を組み合わせることで、要求性能に応じて異方性度合を設計可能とし、力学的特性を改善させることができる。組物複合材料の引抜成形に関する設計概念は①材料設計、②構造設計、③成形設計の 3 種類に分類される。材料設計には、連続性を有する強化繊維と樹脂から成る中間材料に関する繊維体積含有率、繊維配置、界面設計などが含まれる。構造設計には組角度、繊維束間の隙間、充填率など組物構造の設計が含まれる。成形設計には成形時間、引抜速度、引取力などの成形条件の最適化が含まれる。そこで、本論文では組物技術を用いた連続天然繊維強化熱可塑性複合材料の引抜成形の設計パラメータについて検討した。

ジュート繊維また絹繊維を強化材、ポリ乳酸（PLA）樹脂をマトリックスとして円筒組物を作製し、引抜成形を行い複合材料を作製した。組物は組糸と呼ばれる互いに交差しながら連続して配向する多数本の繊維束からなる。また、その長手方向には中央糸と呼ばれる繊維束を挿入することができる。長手方向に対する組糸の配向角度は組角度と呼ばれる。重要な構造設計パラメータとして組角度、繊維束間の隙間、充填率が挙げられる。組糸に天然繊維を用いるだけでは引抜力に対して十分な強度が得られないため、中央糸にガラス繊維を用いた。また、熱可塑性樹脂は高い熔融粘度を有するため、強化繊維と樹脂の含浸特性が悪い。そこで、組物複合材料を作製するために混織糸やマイクロブレードディッドヤーン（MBY）など含浸特性に優れる中間材料を採用した。

組糸にジュート繊維または絹繊維、中央糸にガラス繊維を用いた熱可塑性組物複合材料を作製し、各設計パラメータについて検討した。その結果、含浸特性および力学的特性は充填率の増加に伴い増加することがわかった。成形温度は含浸特性に影響を及ぼし、成形温度が高くなると含浸特性が向上し、それに伴い曲げ弾性率も向上した。しかし、成形温度が高くなりすぎると天然繊維が熱劣化し曲げ強度は減少した。また、流動性に優れる中間材料を用いることで引抜速度について検討した。ジュート紡績糸および PLA 樹脂からなる複合材料は紡績糸を用いているため含浸距離が長く、含浸を十分におこなうため長い成形時間を要し、遅い引抜速度が適切であるとわかった。その一方、絹連続繊維および PLA 樹脂繊維からなる混織糸を用いた場合は、繊維束周りでマクロ流動が生じ含浸特性を向上させるため、速い引抜速度が適していることがわかった。しかし引抜速度が速すぎると引抜成形時に複合材料内の空気が十分に脱泡されず、複合材料内部にボイドが生じた。

本研究で検討した引抜成形に関する設計指針は、組物技術を用いた連続天然繊維強化複合材料を経済的に実行可能な製品にするための知見として有用である。

論文審査の結果の要旨

天然繊維強化複合材は、多くの工業生産分野、特に自動車産業分野において非常に有望な材料であると考えられている。天然繊維に対して、リサイクル可能な植物由来樹脂を組み合わせることにより、100%バイオマス由来の複合材料（グリーンコンポジット）が実現可能となる。本論文では、材料の視点から循環型社会を、成形の視点から省エネルギー社会を実現することを最終目標とし、グリーンコンポジットのハイサイクル成形技術の確立を目的とした。ハイサイクル成形手法として金型を加熱・冷却せず、加熱金型および冷却金型内を、材料を連続的に引き抜くことで成形が可能な連続成形法である引抜成形法に着目した。含浸特性および力学的特性に優れた成形品を高サイクルで成形するため、「中間材料設計」「構造設計」「成形設計」の3つの観点から設計をおこなっている点に特長がある。

これらの研究成果により、グリーンコンポジットのハイサイクル成形に関わる設計指針が構築されたことは、工業的に意義がある。さらに、これまで有機・無機繊維に対してのみ適用が可能であった引抜成形法を天然繊維に対して適用可能としたことは、100%バイオマス由来の複合材料と高速成形加工技術の組み合わせを可能とするものであり、環境負荷軽減という観点からも評価できる。

本論文の内容は次の 5 報に報告されている。

1. **Fabrication and Mechanical Properties of Jute Spun Yarn/PLA Unidirection Composite by Compression Molding**
Anin Memon, Asami Nakai
Energy Procedia 34, pp.830-838 (2013)
2. **FABRICATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF UNIDIRECTIONAL COMPOSITE OF SILK FIBER/PLA BY COMPRESSION MOLDING**
A. Memon and A. Nakai
Proceedings of the 19th international conference on composites materials, pp.3195-3203 (2013)
3. **STRUCTURE AND PROCESSING DESIGN OF JUTE SPUN YARN/PLA BRAIDED COMPOSITE BY PULTRUSION MOLDING**
Anin MEMON, Asami NAKAI
SPE-ANTEC Technical Papers, 59, 1259974 (2012)
4. **The Processing Design of Jute Spun Yarn/PLA Braided Composite by Pultrusion Molding**
Anin Memon and Asami Nakai
Advances in Mechanical Engineering, Article ID 816513 (2013)
5. **Mechanical Properties of Jute Spun Yarn/PLA Tubular Braided Composite by Pultrusion Molding**
Anin Memon, Asami Nakai
Energy Procedia 34, pp.818-829 (2013)

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。