

天然繊維の高性能化を目指した連続処理プロセスの開発

松本 紘宜*** 竹村 兼一* 加藤木 秀章*** 高木 均** 藤井 透**

Development of Continuous Treatment Process for Improving the Performance of Natural Fiber

Koki MATSUMOTO** Kenichi TAKEMURA* Hideaki KATO** Hitoshi TAKAGI*** Toru FUJII***

1. 緒言

高強度の天然繊維を強化繊維に用い、生分解性のバイオマスプラスチックを樹脂マトリックスに用いたグリーンコンポジットは、ガラス繊維強化プラスチック (GFRP) の代替する可能性を秘めたカーボンニュートラルな材料として注目を集め続けている。これまでに筆者らは天然繊維を紡績加工した燃糸を生分解性樹脂であるポリ乳酸 (PLA) に複合化させたフィラメントの成形プロセスを開発してきた^[1]。燃糸は連続強化繊維として用いることができるため、高強度のグリーンコンポジットの作製が可能であり、3D プリンティングによる複雑形状の成形も可能となる。

しかしながら、未だ天然繊維の主成分であるセルロースの機械的特性 (強度が 2-5 GPa, 結晶弾性率 138 GPa^[2]) を十分に引き出せずにいる状況にある。燃糸を構成する単一要素を素繊維と呼び、セルロース・ヘミセルロース・リグニンから構成されているため、一種の複合材料とも捉えることができる。ナノレベルの組織構造の観点から、素繊維の力学特性は素繊維の細胞壁中のセルロースが占める割合や、セルロースナノファイバー (CNF) の配向角、セルロースの結晶構造に大きく依存することが分かっている^[3]。そこで、配向角を引張方向に配列させることを目的に、繊維に繰返し引張負荷を与えることで、引張強さおよびヤング率を向上させることができることが報告されている^[2]。さらには、15%の高濃度アルカリ処理によるマーセル化と引張負荷を組み合わせることで、繊維の引張強さと破断ひずみが増加することも報告されている^[4]。

よって、天然繊維はこれらの処理を組み合わせることによって機械的特性を向上させることができ、グリーンコンポジットの機械的特性のさらなる向上が見込める。工業的にはこれらの処理を連続的に行う必要がある。そこで、我々が開発した 3D プリンティング用グリーンコンポジットフィラメント製造装置^[1]に引張負荷処理とアルカリ処理を導入し、天然繊維およびグリーンコンポジットの機械的特性の向上を目指した。本報告では本研究で開発した装置と得られた結果について報告する。

2. 材料および実験装置

2. 1. 材料

強化繊維として、ジュート糸 (番手 7/1, トスコ株式会社) を用いた。マトリックスには、PLA (TERRAMAC, TE-2000, ユニチカ株式会社) を用いた。

2. 2. 装置

装置の詳細については既報^[1]を参照されたい。実験装置には、図 1 に示すフィラメント製造装置を用い、図中の④の位置にアルカリ処理と繊維の中和処理を行えるユニットを配置し、糸を搬送しながらアルカリ処理と中和処理ができるようになっている。なお、本ユニットは、PLA 樹脂に搬送される前の位置に配置され、⑥の赤外線ヒーターによって糸に含まれる水分除去できる装置構成になっている。本研究に限っては、天然繊維中に含まれる水分は PLA 樹脂の加水分解を引き起こす可能性があるために、燃糸へのアルカリ処理・中和処理後に、処理後の燃糸を真空乾燥機内で十分に乾燥させた (80 °C, 24 時間以上)。アルカリ処理中に作用する糸の張力は③の張力計で計測できるようになっており、本研究で作用させた張力は 8.0 N (燃糸の破断荷重に対して約 2%) となっている。

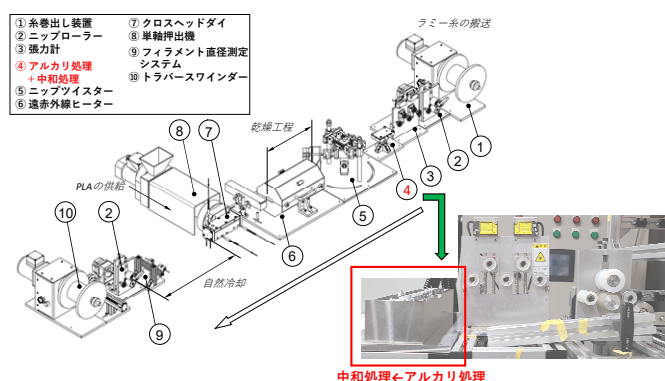


図 1. フィラメント製造装置とアルカリ処理ユニットの配置位置

また、アルカリ処理と中和処理 (酢酸水溶液による) ユニットの詳細について図 2 に示す。少量のアルカリ水溶液および酢酸水溶液で処理が行うことができ、小型アイボルトに糸を引掛け、糸経路の長さをできるだけ確保 (ここでは 610 mm) することで処理時間を確保できるように工夫した。なお、処理時間は糸の搬送速度で決定さ

*教授 機械工学科
Professor, Dept. of Mechanical Engineering
**客員教授 工学研究所
Guest Professor, Research Institute for Engineering
***客員研究員 工学研究所
Guest Researcher, Research Institute for Engineering

れ、糸の搬送速度は 18.3 mm/s であり、アルカリ処理および中和処理時間はそれぞれ約 33 秒の処理時間となる。

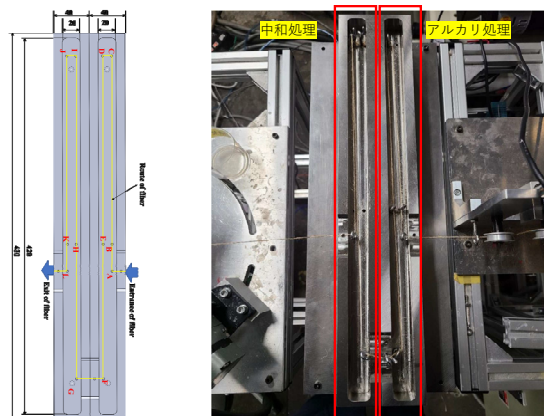


図 2. アルカリ処理と中和処理ユニットの詳細

3. 非連続処理下における引張負荷とアルカリ処理の効果

予備実験として、本研究で使用したジュートの撚糸の機械的特性に対して引張負荷とアルカリ処理が与える影響について調査を行った。NaOH の濃度を 1-5% で調製し、処理時間を 10 分、4.9 N の荷重を負荷させた。本研究結果（図 3）では、NaOH の濃度の増加に伴い、引張強さとヤング率は低下し、破断ひずみは NaOH の濃度の影響は見られないものの、未処理と比較して増加することが分かった。これらの傾向は既報の傾向^[2]と一致する。一方引張負荷を施した場合においては、いずれの機械的特性も、アルカリ処理を施した撚糸に対して増加傾向にあることが判明し、引張負荷下で処理が重要であることが分かる。今後は湿潤下での引張処理も検討を進めていく。

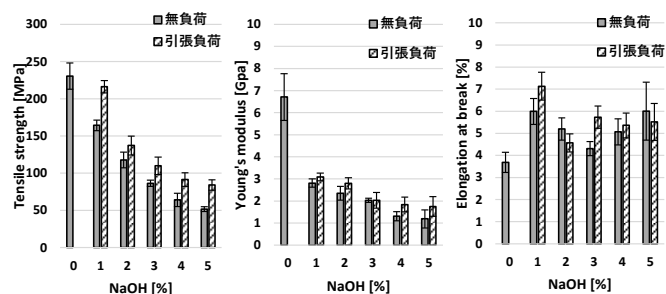


図 3. 非連続処理によるジュート糸の機械的特性

ジュート糸の引張強さを向上させるには、引張負荷させる荷重値やその回数を適切に設定する必要がある一方で、アルカリ処理はセルロースの結晶構造を変化させるとともに、樹脂/繊維の界面の接着性を向上させる可能性も秘めている。そこで、撚糸内部への PLA 樹脂の含浸性を向上させることを目的に、エマルジョンタイプの PLA (LANDY PL-1005, ミヨシ油脂株式会社製) を処理後の撚糸に含浸させ、熱板プレスによりコンポジット化を行った。その複合材料の機械的特性の結果を図 4 に示す。各種処理によって撚糸の機械的性質が低下したにもかかわらず、破断ひずみを低下させずにジュート糸/PLA 複合材料の引張強さを向上させることができる可能性が示された。これらはアルカリ処理による繊維と樹脂間の界面接着性の向上による結果であると推察される。

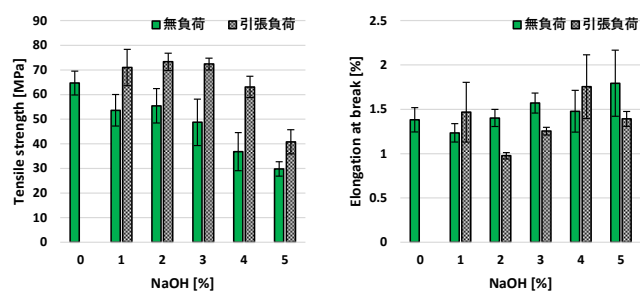


図 4. 非連続処理によるジュート糸/PLA の機械的特性

4. 連続処理下における引張負荷とアルカリ処理の効果

フィラメント製造装置において、同様の処理を連続的にを行い、各種処理の有効性を検討した。なお、本装置は糸の搬送速度の変化に伴い処理時間も異なるため、糸の搬送を停止させ、同様に張力 8.0 N 作用させて 10 分間処理を実施する実験も行った (NaOH 2%)。図 5 に示すように、連続処理では、大幅な機械的性質の向上（引張強さ 3% 増、破断ひずみ 9%）が認められなかったものの、10 分間処理では引張強さと破断ひずみはそれぞれ 8%, 16% の改善が見られた。つまり、連続処理下における処理時間を適切に調整できればフィラメントの機械的性質を向上できる可能性があることが分かった。

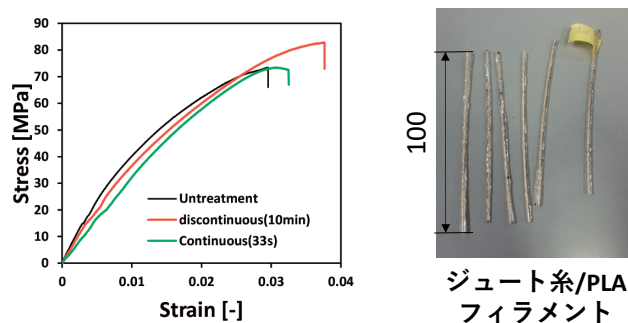


図 5. 連続処理によるジュート糸/PLA フィラメントの機械的特性

5. おわりに

本研究では新たに連続的にアルカリ処理と引張負荷処理を行いながらグリーンコンポジットのフィラメントを作製する装置を作製した。各処理によりグリーンコンポジットの機械的性質を向上できる可能性があることが分かった。引き続き様々な処理を適応することにより、グリーンコンポジットの高性能化を目指したいと考えている。

参考文献

- [1] 松本紘宜, 竹村兼一, 喜多村竜太, 加藤木秀章, 高木均, 田中達也, ナノ繊維添加繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の創製プロセスに関する研究, 神奈川大学工学研究, (5), 65-59 (2022).
- [2] 土井貴文, 伊藤昌弘, 加治岳士, 中村理恵, 合田公一, 大木順司, 繰返し引張負荷によるラミー麻繊維及びラミー麻糸グリーンコンポジットの特性改善, 日本複合材料学会誌, 35 (2), 56-63 (2009).
- [3] 西野孝, セルロースの構造と力学的極限, 材料, 57(1), 97-103 (2008).
- [4] K. Goda *et al.*, Improvement of plant based natural fibers for toughening green composites, Composite Part A, 37(12), 2213-2220 (2006).