

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06126

研究課題名(和文) 積層造形に向けた高精度・高強度なセルロースナノファイバー構造物の設計製作法

研究課題名(英文) Design and Fabrication Method of High-Precision and High-Strength Structures with Cellulose Nanofiber for Additive Manufacturing

研究代表者

舘野 寿丈 (Tateno, Toshitake)

明治大学・理工学部・専任教授

研究者番号：30236559

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：セルロースナノファイバー(CNF)は、環境にやさしい生物由来の材料であるほか機械的な特性にも優れている。また、積層造形は従来の製造法と根本的に異なる性質を持ち、環境負荷を減らす物体構造や製作法の実現に繋がる。本研究ではCNF材料による積層造形を想定した部品設計・製作方法について研究した。まず製作法としては、CNF材料の強度を有効に利用するため、連続繊維とした上で積層造形する方法を提案し、そのプロセスとしての、CNF連続繊維の製作、複合材料のAM、曲面積層について実験を含めた研究を行った。設計法としては、連続繊維を含むユニットセル構造を提案し、強度・剛性を予測できるシミュレータを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境に配慮したものづくりへの世界的な要求が高まる中、本研究で扱うCNF材料を用いた積層造形は素材と製作の両方の観点から有益であり、社会的意義が大きい。また、CNFは木材からの生産が可能であり、森林の多い本国の産業活性化にもつながる。

学術的にも、本研究で扱った連続繊維を用いた積層造形は最先端の技術であるうえ、その連続繊維にCNFなど環境にやさしい材料を用いた研究例は世界的にもほとんど無く、新規性が高い。設計支援ソフトウェアの研究においても本研究で提案された積層造形の特徴を捉えた強度シミュレーションは新たな着想であり、学術的な価値が高い。

研究成果の概要(英文)：Cellulose Nano Fiber (CNF) is not only an environmentally conscious material derived from organisms but also has good performance in mechanical properties. On the other hand, Additive Manufacturing (AM) is a fabrication method that is fundamentally different from conventional manufacturing methods and has a possibility to realize environmental conscious object structures and fabrication methods. In this study, design and fabrication methods for AM using CNF material were considered. First, as a study on fabrication, AM method using continuous fiber like a string was proposed to effectively derive the strength of CNF material. For realizing the present method, studies on fabrication of CNF continuous fiber, AM using composite material, curved surface deposition were conducted with physical experiments using prototypes. Second, as a study on design, a design support software that simulates stiffness and strength of structures fabricated by the present method was proposed and implemented.

研究分野：設計工学

キーワード：設計工学 機械工作・生産工学 構造・機能材料 アディティブマニュファクチャリング 積層造形
セルロースナノファイバー

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

積層造形 (Additive Manufacturing, AM) の方法にはいくつかのタイプがあり、その一つである材料押し出しによる方法は、基材となる樹脂にフィラーを混合することで材料に種々の特性を持たせて任意の形状を実現できるという特長を持つ。その混合物としてセルロースナノファイバーに着目した。セルロースナノファイバー (CNF) は強度に優れ、しかも森林などの生物由来の材料なので環境適合性が高い。しかし、AM での製作には2点の課題がある。一点目は造形精度である。AM では造形箇所集中して付加された材料が固化されることで残留応力が残り、全体の形状変形につながる。CNF 水溶液を含む材料であっても同様であり、CNF が乾燥する時に収縮して変形する。二点目は強度である。AM は層を重ねることで立体を製作するので、層内の造形には連続性があるのに対し、各層の造形には時間的なずれを生じるので、層間の強度劣化につながる。水平面の層では積層方向が一定なので、積層方向の引張荷重に弱い。すなわち、CNF を含む材料での AM が実現できれば、工学的な有用性が期待される、造形の精度と強度の課題について解決が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、機械的特性、環境対応いづれにも優れた CNF 材料による AM に向けた構造物設計製作法の確立を目的としている。

3. 研究の方法

研究開始当初には、CNF 材料を AM で利用する方法として、CNF と水溶性樹脂との混合物を材料とし、超音波援用押し出しにより立体形状を製作することを想定していた。しかし研究開始後に、CNF 連続繊維と熱可塑性樹脂との複合材料を用いた押し出し型 AM で製作する新たな方法を発想した。この方法であれば、CNF をあらかじめ乾燥した連続繊維として造形するので、造形後に水分を取り除くことによる形状収縮を回避することができる。樹脂を溶解させる熱による形状変形を生ずるが、水分を除くことによる収縮率に比べて格段に小さく、さらに構造物をユニットセル構造としてその構造の工夫によって低減させる方法も有効に利用できる。また強度に関しても、連続繊維では層内での造形を一筆書きのように連続して行うことで、切れ目が無く、CNF 連続繊維の強度を十分に生かすことができる。層間強度についても、層の形状を曲面にする曲面積層を採用することで連続繊維の強度を活かせる。これらの提案手法について、それぞれに実験装置を作成、および評価実験を実施し、高精度・高強度を実現する構造物設計製作法を目指す。

4. 研究成果

(1) CNF 連続繊維の製作

CNF 材料を紐状の連続繊維として製作するための方法として、エレクトロスピンニング法 (電界紡糸法) に着目した。図1に試作した実験装置の外観を示す。CNF と水溶性の樹脂であるポリビニルアルコール (PVA) を混合した水溶液をシリンジから押し出す。シリンジの針の先端と捕集ドラムとの間に 20kV 程度の電圧を加えると、帯電した溶液が微細な糸となって針先から捕集ドラムに向かって飛ぶ。ドラムを回転させながら行えば、ドラムの周囲に糸が堆積し、不織布状になる。これを撚ることで、連続繊維を製作できる。図2に製作された不織布を示し、それを撚って作られた紐状の試験片を図3に示す。試験片の引張試験結果から、CNF の濃度による強度向上への効果は若干であったが、剛性を高くする効果が顕著にみられた。そして、CNF 材料を強化材として利用するには、さらに高濃度の CNF 溶液を連続繊維にする新たな工夫が必要であること、さらに長尺な連続繊維を作る方法が必要であることが分かった。

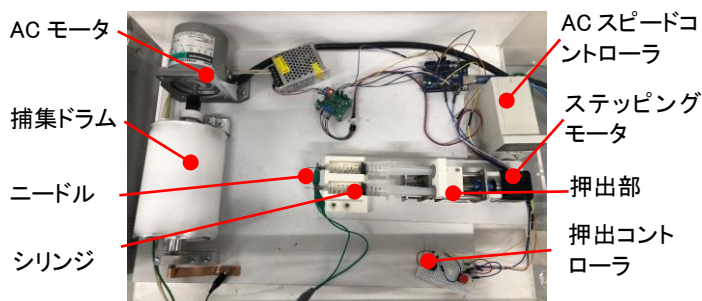


図1 電界紡糸法の実験装置



図2 製作された不織布



図3 紐状に撚られた試験片

(2) 天然繊維と生分解性樹脂との複合材料 AM

生分解性の性質を持ちながらセルロースを含む天然繊維の強度を十分に生かす造形手法として、天然繊維の連続繊維と熱可塑性の生分解性樹脂との複合材料を、押し出し型 AM として製作する新たな方法を提案し、試作装置を開発した。製作の方法は、2段階のプロセスとした。第一段階では、紐状の天然繊維と熱可塑性樹脂を一つのノズルから引き出してフィラメントを製作

する。第二段階では、そのフィラメントをいわゆる熱溶解積層法の要領で押し出して立体形状を製作する。図4にフィラメント作製装置の外観を示し、図5に第一段階で製作されたフィラメントの例を示す。図5のフィラメントは、天然繊維である麻撚糸と、生分解性樹脂であるポリ乳酸との複合材料として製作されたものである。この複合材料フィラメントを押し出して立体形状を造形する装置を図6に示し、天然繊維である綿糸と生分解性樹脂を使ってコイル状の製作された製作物を図7に示す。このように、紐状の天然繊維であれば、生分解性樹脂との複合材料として部品製作を可能にする技術を実現した。

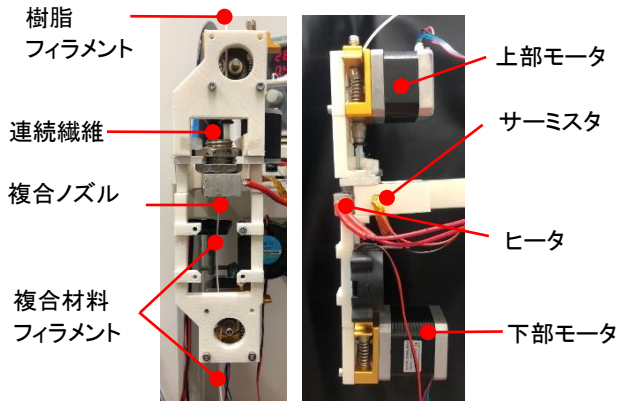


図4 複合材料フィラメント製作装置

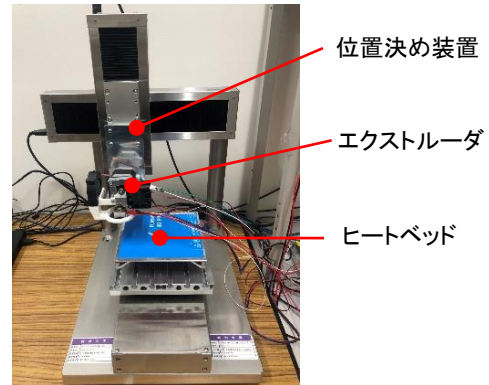


図6 押し出し型 AM

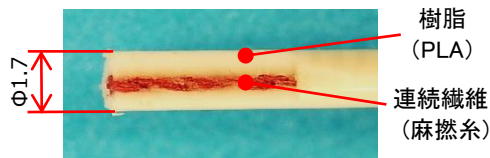


図5 複合材料フィラメント

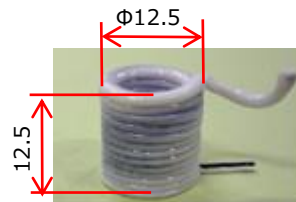


図7 円筒状の製作物例

(3) ユニットセルによる設計法

天然繊維と樹脂との複合材料による押し出し型 AM での造形を高精度で実現する方法として、ユニットセルによる設計法を提案した。

中空部分を含むユニットセル構造を利用することで、造形中の変形を少なくすることができ、かつ、一筆書きのような造形パスにより製作することで、配置された連続繊維の方向に対し高い引張強度・剛性が実現できることを確認した。製作物の例を図8に示す。

さらに、その強度・剛性は連続繊維の向きに依存するため、設計された部品がどれほどの強度・剛性を有するか予測するシミュレータの開発も行った。

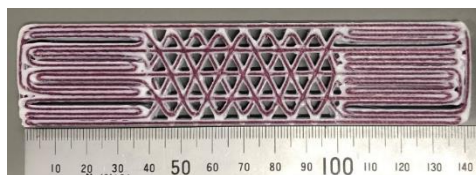


図8 複合材料 AM によるユニットセル製作物例

(4) 曲面積層法

AM は層間の接着強度が問題となるので、層を曲面にすることで、積層方向を一定でなくし、層間を剥がれにくくすることができる。

採用する曲面の方法は複数考えられるが、その一つとして、層を円筒形状とする積層装置を開発した。

単材料での製作物の例を図10に示す。曲げ強度を評価した結果、平面での積層に比べ、変形に強く、靱性の向上が確認された。

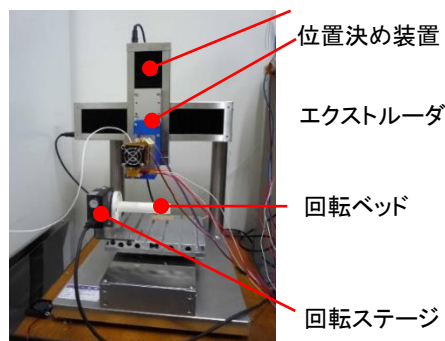


図9 曲面積層装置

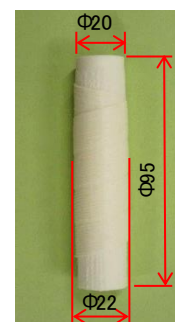


図10 製作物例

5. まとめ

CNF 材料を用いて物体を高精度・高強度に AM で実現するための設計製作方法として、天然繊維と生分解性樹脂との複合材料の押し出し型 AM を提案し、CNF 連続繊維の製作、複合材料の AM、ユニットセルの設計法、曲面積層のそれぞれの領域で成果を得た。CNF 連続繊維を長尺で製作し、CNF 材料の製作方法として一連のプロセスを統合して実現することが今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 館野寿丈, 藤沢太一, 竹内健仁
2. 発表標題 セルロースナノファイバー複合材料のアディティブマニュファクチャリング
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神保康紀, 館野寿丈
2. 発表標題 CFRP-AMIによる三角形構造の剛性異方性の設計と製作
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神保康紀, 館野寿丈
2. 発表標題 AMで製作されたCFRP構造に適した効率的な剛性シミュレーション
3. 学会等名 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuta Yaguchi, Kenji Takeuchi, Tadashi Waragai and Toshitake Tateno
2. 発表標題 Durability evaluation of additive manufactured biodegradable composite reinforced by natural fiber in various conditions reproducing usage environment
3. 学会等名 EcoDesign 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東野啓, 館野寿丈
2. 発表標題 AMによるサンドイッチパネル構造コアパネルの内部構造最適化に関する研究
3. 学会等名 日本設計工学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitake Tateno, Koki Jimbo and Mitsuhiro Kosaka
2. 発表標題 WINDING DEPOSITION METHOD OF ADDITIVE MANUFACTURING FOR FABRICATION OF FUNCTIONAL CYLINDRICAL PARTS
3. 学会等名 International Conference on Mechanics and Materials in Design (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koki Jimbo, Tomohiro Tanaka and Toshitake Tateno
2. 発表標題 DESIGN OF CFRP INFILL STRUCTURE FABRICATED BY ADDITIVE MANUFACTURING FOR CONTROLLING ANISOTROPY OF MECHANICAL PROPERTIES
3. 学会等名 International Conference on Mechanics and Materials in Design (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitake Tateno, Kenji Takeuchi, Yuta Yaguchi
2. 発表標題 WIRE REINFORCED COMPOSITE MATERIAL FOR ADDITIVE MANUFACTURING
3. 学会等名 Solid Mechanics Conference (SolMech2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomohiro Tanaka, Toshitake Tateno, Tomohisa Kojima
2. 発表標題 EFFECT OF FIBER ORIENTATION ON MECHANICAL PROPERTY OF CFRP FABRICATED BY AM
3. 学会等名 Solid Mechanics Conference (SolMech2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koki Jimbo, Toshitake Tateno
2. 発表標題 Finite Element Method for Composite Material Structures fabricated by AM
3. 学会等名 International Conference on Precision Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 舘野寿丈, 竹内健仁, 矢口雄大
2. 発表標題 セルロースナノファイバー生分解性材料のアディティブマニュファクチャリング
3. 学会等名 エコデザイン・プロダクツ&サービス2018シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹内健仁, 舘野寿丈
2. 発表標題 多様な繊維を複合押出できるアディティブマニュファクチャリング -繊維による任意剛性の発現-
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toshitake Tateno, Koki Jinbo, Haruki Mizokami
2. 発表標題 Design of Cell-based Compliant Mechanism in Consideration of Multi-Material Additive Manufacturing
3. 学会等名 International Conference on Design Engineering and Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Momoko Kimura, Toshitake Tateno
2. 発表標題 Design of Compliant Mechanism Fabricated by Additive Manufacturing with Different Strength Materials
3. 学会等名 International Conference on Design Engineering and Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Haruki Mizokami, Toshitake Tateno
2. 発表標題 Stiffness design optimization of multi-material structure for additive manufacturing by using genetic algorithms
3. 学会等名 International Conference on Design and Concurrent Engineering and Manufacturing Systems Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----