

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：32608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02112

研究課題名（和文）3Dプリンティングによる衣服の新規製造技術の開発

研究課題名（英文）Novel Manufacturing Technology based on 3D Printed Clothing

研究代表者

村瀬 浩貴（Murase, Hiroki）

共立女子大学・家政学部・教授

研究者番号：60525509

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では3Dプリンティングの技術を応用し、新規な衣服作製技術を開発することを目的とした。綿糸などの糸を一筆書きのように配列させて平面を充填し、その表面に3Dプリンティングで薄い樹脂パターンを描画して布状体を作製し、この布状体をパーツとして構成した新規な衣服の作製に成功した。また、衣服が円筒状の形態であることを鑑みて円筒座標系で造形する新規な3Dプリンタを開発した。この新規3Dプリンタで衣服状の造形物を作製する技術を検討し、単純なスカート状の構造を造形することに成功した。本研究で作製した衣服は、1着の服が連続した1本の糸で構成される点がポイントであり、リサイクル性に優れる特徴を有する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、「環境負荷の小さい技術を用いて自宅で服を作る」という新しい衣生活の実現に向けた基礎技術に関連する。この技術が完成すると、アパレル産業が抱える高い環境負荷と労働問題を一気に解決できる可能性がある。同時に、アジア諸国に生産を過剰に依存している欧米・日本のアパレル産業構造を根底から変革し、日本の繊維産業の復権につながる「破壊的創造(Disruptive Innovation)になりうる可能性を秘めている。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to apply 3D printing technology to develop a novel garment-making technology. A flat surface was filled by arranging cotton or other yarns in a stroke-like arrangement, and a thin resin pattern was drawn on the surface using 3D printing to create a fabric-like material, and a novel garment composed of these fabric-like materials as parts was successfully produced. In addition, a new 3D printer was developed that uses a cylindrical coordinate system for modelling since our conventional garment has a cylindrical form. The technique for fabricating garment-like objects with this new 3D printer was investigated, and a simple skirt-like structure was successfully fabricated. The key point of the garment fabricated in this study is that each garment is composed of one continuous yarn, which is a feature that makes it highly recyclable.

研究分野：被服材料学

キーワード：3D printing Additive Manufacturing textile SDGs

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の意義は、以下の産業・環境・未来社会の課題に関するものである。

(1) 日本におけるアパレル製品の自給率はわずか2%弱となってしまった。産業界の利益優先主義の結果と思えるが、産業構造を根底から変える革新的な生産技術を生み出すことができなかつた学术界にも責任がある。従来型の効率化研究は、生産の国内回帰をもたらす作用を持たなかつたことは現状を見れば明らかである。全く異なる発想の転換が必要と考えた。

(2) 繊維・アパレル産業が地球環境に多大なる負荷を与えていることが憂慮されている。また、海洋流出マイクロプラスチックの発生源として、洗濯時の脱落繊維が多くの割合を占めるといふ指摘がある。この問題解決を目指した研究が行われているが、対処療法的であるため効果は限定的である。抜本的な解決策が必要な喫緊の課題である。

(3) 生体情報センサーを実装した服（スマートウェア）の研究は欧米を中心に活況である。残念ながら日本の研究開発は遅れている。スマートウェアの応用を加速させ、次世代ヘルスケアや、発光デバイスを利用した非言語コミュニケーション技術を開発してゆくことは、サイバー空間とフィジカル空間が高度に融合した Society5.0 の衣生活を創造するものと考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では3Dプリンティングの技術を応用し、繊維とプラスチックを複合化させた衣服の作製技術を開発することを目的とする。3Dプリンティングは、ファッションやアートの分野でも使用が拡大している<sup>1)</sup>。しかし、これまで3Dプリンティングで作られてきた布は、硬質な樹脂製で肌触りも悪く快適な衣服とは言い難い。報告者は、上記の課題を解決できる新規な方法を着想した。その概念図を図1に示す。

重要なポイントは、綿糸などの糸を平行に配列し、3Dプリンタを用いて隣接する糸間を連結するように薄い樹脂層のパターンを形成して布状構造体を得る点である。本技術の社会実装が実現した場合に期待できる効果を図1に列記した。人類の衣生活を根底から変えることができる技術であり、日本のアパレル産業を復活させるために必要な技術と考えている。

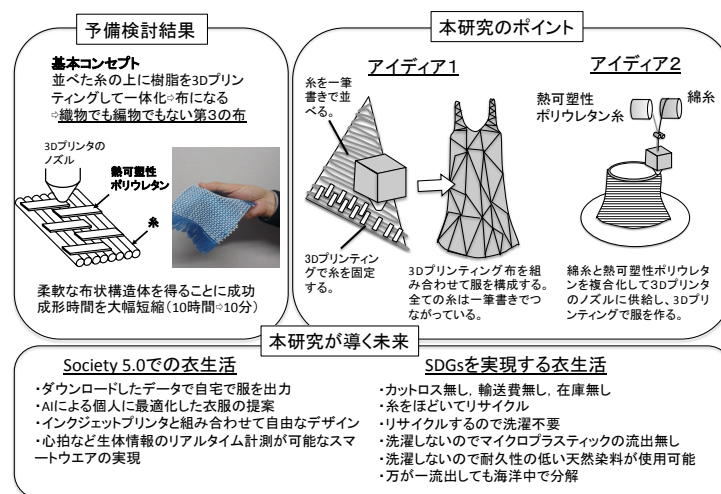


図1. 本研究のポイントと期待できる効果

## 3. 研究の方法

図1に示した2つのアイデアの実現性を検証した。2つのアイデアに関する実施事項を以下に示す。2つのアイデアに共通する重要なポイントは1つの服が1本の糸で出来ていることである。樹脂を溶剤などで除去すると糸が回収できてリサイクルすることができる。

**アイデア1**：綿糸などの1本の糸を一筆書きのように配列させて平面を充填し、その表面に3Dプリンティングで薄い樹脂パターンを描画して布状構造体を得る。服の形状を多角形に分割し、上記の布状構造体をピースとして服を構成する。この時、各ピースは頂点で糸を共有しており、1つの服が1本の糸でできている。配置した糸の上に樹脂を3Dプリンティングするのは既

存の3Dプリンタで可能である。

アイデア2：3Dプリンタのノズルに綿糸と熱可塑性ポリウレタン（TPU）糸を供給し、ノズルから吐出した糸を3Dプリンティングの技術で積層して服を造形する。この際に、ノズルの熱で溶融したTPUは接着剤として機能して糸間を接合する。本アイデアの検証のために、既存の3Dプリンタを改造してノズル内に2本の糸を供給する機構を開発した。

#### 4. 研究成果

##### (1)アイデア1の検証

3Dプリンタには、LULZBOT TAZ5(Fargo Additive Manufacturing Equipment 3D, 米国)を用いた。この装置は、いわゆる Fused Deposition Modeling(FDM)に分類される3Dプリンタである。糸の上にプリントする樹脂として熱可塑性ポリウレタン(TPU)を選択した。用いたのは、NinjaFlex® (Fenner Dries, Inc., 米国)である。フィラメント径は3mmである。糸は、綿糸を用いた。子供用ワンピースを参考に、1着の服を18のパーツに分解した。それぞれのパーツの実寸大の平面図をコピー用紙上にプリントアウトし、紙面にスプレーのりを吹きかけ、綿糸をパーツの形に合わせて並べた。連続した1本の糸で各パーツを構成した。パーツの形に糸を配置した表面に、糸と直交する方向に幅1mm・厚さ0.5mmでストライプ状にTPUをプリントした(図2左a)。

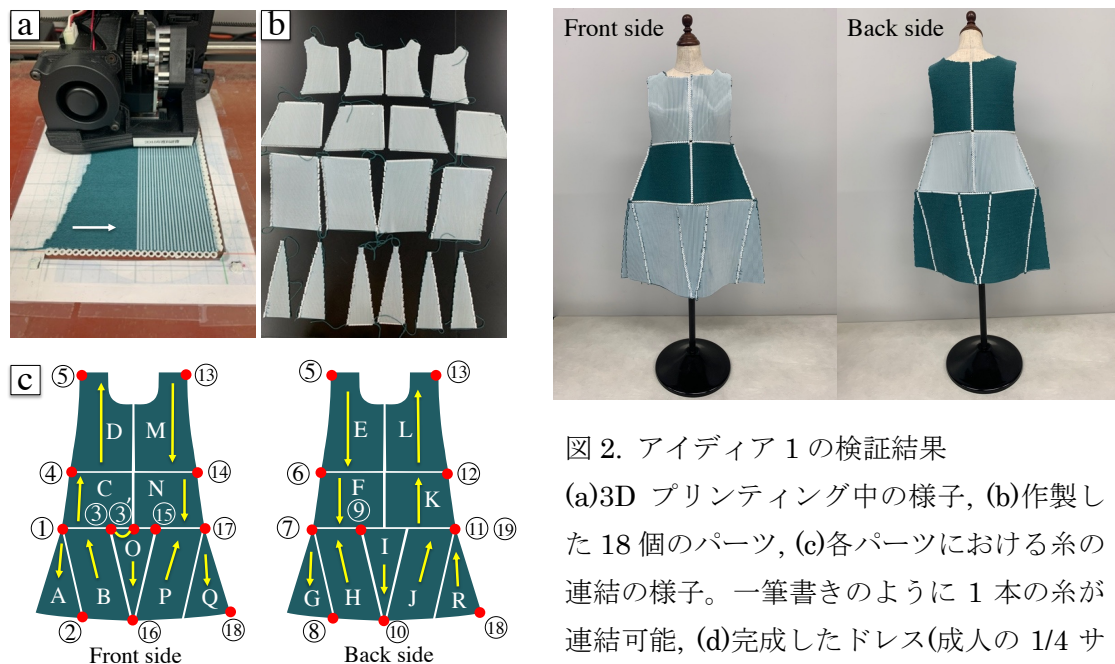


図2. アイデア1の検証結果

(a)3Dプリンティング中の様子, (b)作製した18個のパーツ, (c)各パーツにおける糸の連結の様子。一筆書きのように1本の糸が連結可能, (d)完成したドレス(成人の1/4サイズ)

18個のパーツは、相互に連結できるように端部に接合構造を3Dプリンタで造形した。図2右が18個のパーツを連結してワンピースに組み上げた結果である。この連結時に各パーツを構成する糸の端部を相互に結ぶと、1着のワンピースを構成する糸が「一筆書き」のように1本となる(図2左c)。図2右のワンピースでは、実際に全ての糸を連結・連続化することに成功している。このことは、衣服のリサイクル時に有利になると考えている。つまり、DMAc(ジメチルアセトアミド)などの極性溶媒でTPUを溶解させると糸を回収して再利用することが可能となる。糸の回収と再利用という本技術のリサイクル性への可能性を示せたと考えている。一方、布としての耐久性や接合部分の強度など改善すべき課題も明らかとなってきた。今後は、実寸大



での試作およびこれらの課題について検討してゆく。本結果を繊維学会のオープンアクセスジャーナルに投稿し掲載された<sup>2)</sup>。

## (2) アイディア2の検証

FDM(Fused Deposition Modeling)形式での装置開発を検討した。従来の3Dプリンタでは樹脂吐出部や造形ステージが直交座標系、つまり相互に直交するX,Y,Z軸上を移動する形式のものが多い。本研究では、造形ステージを回転させることにより回転座標上に造形する3Dプリンタを試作した。最終的な目標は、着用することのできる衣服形状で造形することだが、まずは単純なモデルとして人体を単純な円筒に見立てて、回転対称な円筒状に造形することを検討した。市販の綿糸をノズル近傍に供給し、熱可塑性エラストマーをノズルから吐き出させて糸間を接着しながらの造形方法を検討した。これにより糸を一筆書きのように配置可能となる。

図3Aに開発した装置の外観を示す。回転テーブルと、樹脂エクストルーダーを水平・垂直方向に移動する機構を備える。樹脂の吐出ノズルの近傍に綿糸をガイドチューブで導き、回転テーブル上に糸を一筆書きのように積層しながら、同時に樹脂で糸間を接着することにより造形した(図3B)。今回、単純な円筒状の構造ならば、一本の糸による「一筆書き」的な造形が可能であることが確認できた(図3C)。また、樹脂吐出ノズルと糸ガイドの位置関係について検討した。造形の進行方向に対して糸ガイドの設置位置(図3D,E)に応じて造形結果が大きく変化することを実験で確認することができた。今後は、衣服製造に最適な樹脂・糸複合方法の探索を引き続き行い、本技術の高度化を検討してゆく。

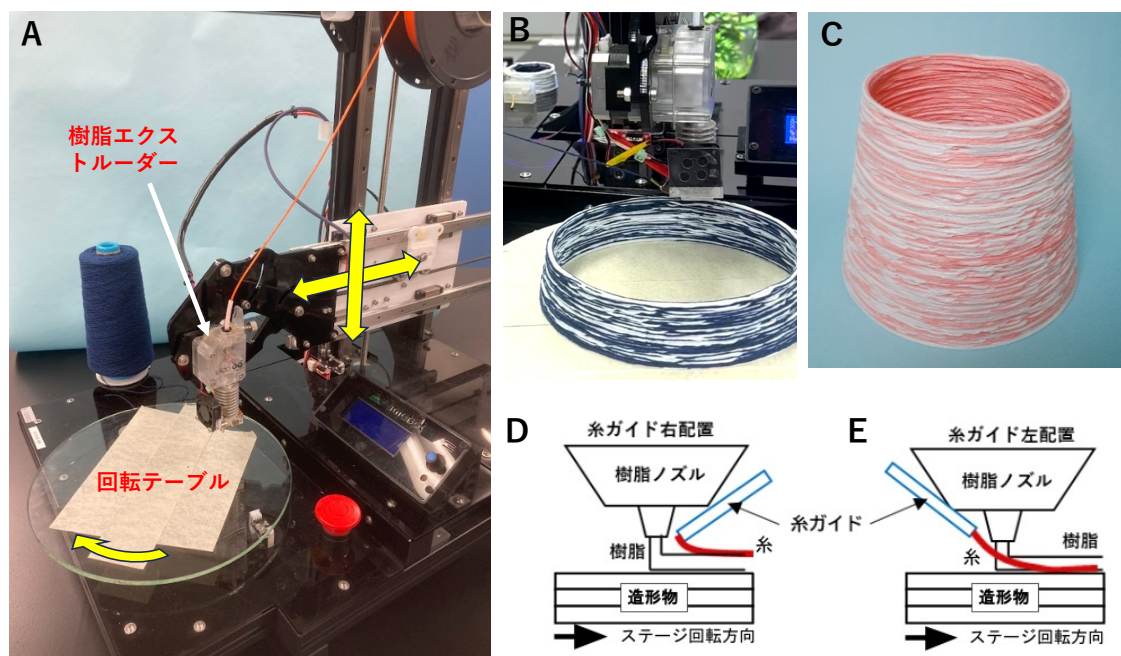


図3. アイディア2の検証のために開発した回転ステージ型3Dプリンタ

(A)装置の外観, (B)造形中の様子, (C)綿糸と樹脂を複合した造形物, (D,E)検討した糸ガイド配置

## (3) スマートウェアの検討

本研究の実施期間中に新型コロナウイルス感染症の流行という予期できない事象が発生した。この感染症流行によってマスク着用が常態化した。その弊害として表情の視認性低下に起因するコミュニケーションの阻害もしくは質的低下の発生が指摘されている。研究分担者である

古川は、この問題の解消を目指した研究を行った。表情筋の収縮を検出するセンサーをマスク内側に設置し、その信号を利用して喜怒哀楽を表現した多色発光を行う LED デバイスを内蔵したスマートアクセサリーを開発した<sup>3)</sup>。マスク着用時でも可能な非言語コミュニケーションの新しい可能性を提示することに成功した。

#### 引用文献

- 1) Danit Pereg, 2015, [https://www.ted.com/talks/danit\\_peleg\\_forget\\_shopping\\_soon\\_you\\_ll\\_download\\_your\\_new\\_clothes/transcript](https://www.ted.com/talks/danit_peleg_forget_shopping_soon_you_ll_download_your_new_clothes/transcript)
- 2) Hiroki Murase, Saya Murata, Kanako Kumaoka, Novel Additive Manufactured Clothing with Potential for Comfort and Recyclability, J. Fib. Sci. Tech., 78(11), 184-193 (2022).
- 3) Junko Ishiuchi, Sakiho Kai, Hiroki Murase, Osamu Masuda, Takao Furukawa, Design and Development of a Smart Fashion Accessory -Communicating Positive Facial Expressions Hidden by Face Masks-, Int. J. Affect. Eng., 22(1), 35-46 (2023).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Murase Hiroki, Murata Saya, Kumaoka Kanako	4. 巻 78
2. 論文標題 Novel Additive Manufactured Clothing with Potential for Comfort and Recyclability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Fiber Science and Technology	6. 最初と最後の頁 184 ~ 193
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2115/fiberst.2022-0023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Junko Ishiuchi, Sakiho Kai, Hiroki Murase, Osamu Masuda, Takao Furukawa	4. 巻 22
2. 論文標題 Design and Development of a Smart Fashion Accessory -Communicating Positive Facial Expressions Hidden by Face Masks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Affective Engineering	6. 最初と最後の頁 35-46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5057//ijae.IJAE-D-21-00023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 村瀬 浩貴	4. 巻 29
2. 論文標題 Additive Manufacturingを用いた生物模倣材料の開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 共立女子大学・共立女子短期大学 総合文化研究所紀要	6. 最初と最後の頁 33-41
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村瀬浩貴, 田中りら, 君島里歩
2. 発表標題 2成分複合フィラメントを用いたAdditive Manufacturing
3. 学会等名 繊維学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村田沙弥、村瀬浩貴
2. 発表標題 Additive Manufacturingを応用した被服作製
3. 学会等名 繊維学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村瀬浩貴、村田沙弥、熊岡加奈子、安藤美沙子
2. 発表標題 3Dプリンタを用いた衣服作製の検討
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会 年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村瀬浩貴
2. 発表標題 付加製造技術による衣服制作の試み
3. 学会等名 日本付加製造学会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村瀬浩貴
2. 発表標題 3Dプリンタ - で服を作る試みについて
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会 第50回 消費科学講座（招待講演）
4. 発表年 2024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
研究 分担 者	古川 貴雄  (Furukawa Takao)  (70262699)	共立女子大学・家政学部・教授    (32608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------