

氏名	森本 康平
学位(専攻分野)	博士(学術)
学位記番号	博 1 2 1 7 号
学位授与の日付	令和 8 年 3 月 23 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 デザイン学専攻
学位論文題目	籾殻と米粉ペーストを活用した積層造形技術に関する研究— 地域農業に接続した生態的プロセスに寄り添うものづくりの 提案—
審査委員	(主査) 准教授 津田 和俊 教授 水野 大二郎 教授 木谷 庸二

論文内容の要旨

本論文は、農産廃棄物である籾殻の有効活用および生分解性を有する持続可能なプロダクト製造の実現を目的とし、籾殻と米粉ペーストを材料押出式 3D プリンタの材料として活用する技術を探求した。

第 1 章～第 3 章では、本研究の背景を整理した。新潟をはじめとする稲作地域において大量に排出される籾殻は、煙や臭気の問題から野焼きが制限されつつあり、その処理は農家にとって大きな課題となっている。また、籾殻は嵩が高く保管・運搬にかかるコストが大きいため、有効利用の障壁となっている。近年、ガス化システムをはじめとする籾殻の活用技術の開発が進む一方、導入には多額の設備投資を要し、広範な普及には至っていない。このため、中小規模の稲作地域においても導入可能な小規模設備により、籾殻を地域内で有効利用する方法の確立が求められている。

一方、3D プリンタをはじめとするデジタルファブリケーション技術の発展により、小規模設備でも多様な製造が可能となる技術基盤が整いつつある。そこで、籾殻を 3D プリンタの材料として活用できれば、低コストの設備投資により多様なプロダクトを生産でき、籾殻の有効活用に向けた新たな展開が期待できるとともに、農業を基盤とした地域循環型のものづくりの提案につながると考えた。研究の初期段階では、新潟県内の農家および行政へのヒヤリングを通じて、現状の籾殻発生量や処理のフローについて把握した。

第 4 章【査読付き論文をもとに構成】では、籾殻の有効活用に関する既往研究の調査として、文献調査を通して籾殻を用いた材料開発に関する研究動向について概観したのち、デジタルファブリケーション領域で活用可能な材料開発に関する原著論文を詳細にレビューし、現状の技術的到達点と課題を明らかにした。

第 5 章【参考論文(査読なし)をもとに構成】では、予備実験として、粘土材料を用いた基礎実験により、材料押出型 3D プリンタの挙動に関する知見を取得し、第 6 章では、籾殻材料を用いた造形実験に向けた出力環境の構築をおこなった。

第 7 章【査読付き論文をもとに構成】では、籾殻の積層造形におけるバインダーとして稲作地

域で容易に入手可能な米粉に着目し、粳穀と米粉ペーストの混合材料を用いた積層造形技術の確立に向けた実験を実施した。はじめに、加熱時間を変化させた米粉ペーストと粉碎時間の異なる粳穀を用いた複数のペースト材料を作製し、それぞれのテクスチャー特性を測定した。さらに、3D プリンタによる積層造形を実施し、乾燥後の収縮率の測定および造形物表面の観察をおこなった。その結果、粒径が大きい粳穀を用いた場合、ペースト材料のかたさは増す一方で、凝集性、付着性およびガム性は低下する傾向が見られ、粒径の小さい粳穀パウダーの方が 3D プリントに適することが示された。造形物の乾燥後の外観に関しても、粒径の小さい粳穀を使用した方が亀裂が少なく、表面品質において優位であることが確認された。

第 8 章では、米粉ペーストの加熱時間と粳穀の混合比率が異なる複数のサンプルを用いて 3 点曲げ試験を実施した結果、同一の粳穀混合比率においては、加熱時間が長い米粉ペーストを用いた方が高い曲げ強度を示した。また、いずれの米粉ペーストにおいても、粳穀比率が低いほど曲げ強度は高く、粳穀の混合による強度低下が確認された。これらの結果、加熱時間が短い米粉ペーストは、かたさの初期値が低く、吐出可能範囲内でより多くの粳穀を混合できる一方で、強度の最大値も低く、粳穀の混合によりさらに強度低下が進むため、強度面においては不利であることが示された。

第 9 章では、粳穀構造体の表面物性の改善を目的に、菌糸体を用いた表面被覆に関する追加検討をおこなった。既往研究では菌糸体をペースト材料に事前混合する手法が主流であるが、本研究では造形後の粳穀構造体に菌糸を成長させる手法を試み、その成立可能性を確認した。菌糸体の育成条件の確立や強度・耐久性評価などの課題は残るものの、生物の物質生成能力を利用した自然と調和するものづくりの可能性が示唆された。

第 10 章～第 11 章では、プロトタイプ制作および本技術により実現され得る仮説的なシナリオを提示し、インタビュー調査によって対象者の価値観や行動に与える影響を分析した。逐語データをオープンコーディングし、サブカテゴリ化およびテーマ統合を行った結果、参加者の経験は「制約・不完全さ・限界の意味づけ」「循環の中での自己定位」「行動・関与・責任の再編」「自然・社会・ネットワークの再認識」という四つのテーマに整理された。分析から、生産量や生産速度といった制約が、循環のスケールを体感的に理解する契機となり、自己を循環の一部として位置づける認識を通じて行動への納得感を形成していることが示された。これらの結果は、農業的なスケール感に基づく素材利用が、人々の世界理解や行動のあり方を再編する可能性を示唆している。

第 12 章では、本研究を通じて、粳穀を 3D プリンタ材料として活用する可能性が明確となり、今後の材料調整や造形条件の最適化の指針となる有用な知見が得られたことを確認した。また、地域循環を基盤とした素材開発の有効性と、人々の行動変容にも寄与しうる社会的意義を示し、持続可能なものづくりの新たな方向性を提示する成果となった。

論文審査の結果の要旨

申請者は自身が筆頭著者の査読付き論文（フルペーパー）2本を採択・掲載されており、本学博士後期課程デザイン学専攻における要件を充足させていることを確認した。書誌情報は以下の通りである。

著者：Morimoto, K., Tsuda, K., & Mizuno, D.

題目：Literature Review on the Utilization of Rice Husks: Focus on Application of Materials for Digital Fabrication

掲載先：Materials, 16(16), 5597 (13 pages), 2023. <https://doi.org/10.3390/ma16165597>

著者：森本康平, 津田和俊

題目：粃殻と米粉ペーストを用いた積層造形技術における材料特性および造形品質の評価。

掲載先：The Journal of 4D and Functional Fabrication, No.4, pp. 21-30, 2025.

<https://doi.org/10.34498/4dff.4.21>

また、以下の参考論文（査読なし）1本の掲載も確認した。

著者：森本康平

題目：粘土3Dプリンティングにおける材料物性と造形品質の関係に関する研究

掲載先：長岡造形大学研究紀要, 20号, pp.77-84, 2023. <https://nagaoka-id.repo.nii.ac.jp/records/361>

本論文の新規性は、粃殻と米粉ペーストを用いた積層造形を実現するために、材料作製条件が造形物の乾燥後の収縮率、外観品質、および強度に及ぼす影響を分析し、今後の材料作製条件の最適化に向けた指針となる有用な知見を提供した点にある。申請者は筆頭著者としてバイオマテリアル研究、デジタルファブリケーション研究を横断する学術誌に査読付き論文2本を発表しており、博士後期課程修了要件を充足している。国内外における農業系バイオマス資源利用、サーキュラーデザイン研究に貢献するものと認められることから、審査員全員が一致して博士（学術）に相応しいと判断した。