

導電性／強磁性を併せ持つ毛状の入力インタフェースの提案

鎌田 航誠* 高橋 治輝† 塚田 浩二*

概要. 本研究では、安価な熱溶解積層方式の3Dプリンタで造形可能な細かい毛の集合体（毛構造）の拡張について提案する。これまで、導電性／強磁性を備える材料で造形した毛構造を使って、毛の触感を活用したタッチセンサや触覚フィードバックが可能なブラシを提案し、毛構造に入力機能やアクチュエーション機能を付与できることを示した。本研究では、デュアルヘッド3Dプリンタを使ってこれらの材料を同時に使用することで、導電性と強磁性の両方の性質を組み合わせた拡張が可能になり、毛構造をインタラクション研究に活用可能になった。本稿では、タッチパッドに手指の接触位置や撫でる方向を入力できる毛状インタフェースと、導電性と強磁性の両方の性質を利用することでタッチパッド入力中に毛先が変形する筆を製作した。

1 はじめに

近年、3Dプリンタの造形技術の進歩により、低価格の3Dプリンタで数ミリメートル単位の細かい形状や複雑な構造の立体物を造形可能となった。その一例として、直径1 mm以下の細長い毛のような構造（毛構造）を造形する手法が提案されている。[2][1]。また、これまでの調査[4]から、毛構造の造形を導電性／磁性材料を用いて行うことで、毛構造を静電容量方式を使ったセンシングや磁力を使ったアクチュエーションにも毛構造を活用することが可能である。

本稿では、こうした造形材料の性質を組み合わせ、細かい毛の集合体を用いたインタラクション手法の構築を目的とする。著者らはこれまでに、導電性材料のみを用いたタッチセンシング可能な毛構造、磁性材料のみを用いた磁石に引き寄せられる動きが可能な毛構造を提案しているが、その拡張としてデュアルヘッド3Dプリンタを用いて導電性／強磁性の両者の特性を組み合わせた毛構造を構築する。本研究では、導電性と磁性材料を組み合わせた2種類の応用例を提案する。一つは、タッチパネル上に磁石で装着できる毛構造入力装置（図1a）、もう一つは導電性ペンの周囲に磁性の毛構造を配置して、筆記時に周囲の毛がペン先に引き寄せられる入力装置（図1b）である。

2 関連研究

毛構造を使った触覚提示やセンシングについての先行研究として、梅津ら[3]は、形状記憶合金をフレ

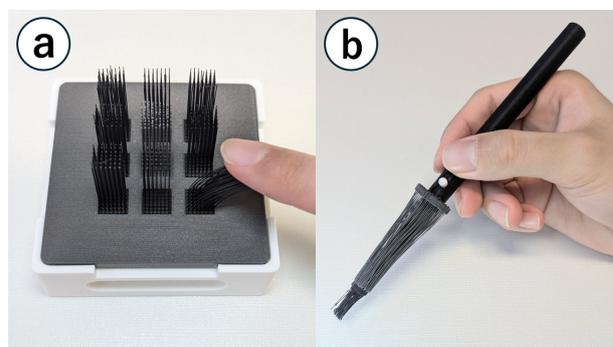


図 1. 導電性／強磁性を組み合わせた製作例

キシブルチューブで覆い、光センサを組み込むことで、光量によって曲がり具合が変わる直径3 mmの毛を作製した。この毛を複数本合わせてLCD上に置くことで、複数の毛をLCDの画面映像の光によって制御することなどができる。中嶋ら[6]は、半透明のプラスチック光ファイバーと赤外線による接触検出技術を用いて、毛状のマルチタッチディスプレイを提案している。光ファイバーが配置されている隙間から赤外線ライトを照射し、接触による赤外線の反射によってタッチ部分を検出する。プロジェクタを使い、光ファイバーの束を発光させることで、視覚的なフィードバックを行う。遠藤ら[5]は、3Dプリンタを使用して毛と毛根を造形し、食用のアガーを固めた弾性体に毛を埋め込むことによって、生物の毛と皮膚を模したものを作製した。毛根の下部からカメラで撮影し、弾性体による光弾性の変化を観測することで、微細な毛のタッチ検出を行うことができる。本研究では、導電性／強磁性材料を組み合わせ、毛構造を造形することで、素材の性質を活用したインタラクション手法を構築する。

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 公立はこだて未来大学

† 立命館大学

3 実装

本研究では、熱溶解積層方式のデュアルヘッド3Dプリンタ (Sovol SV04)¹と導電性PLAフィラメント (Proto-pasta CDP)²／磁鉄PLAフィラメント (Proto-pasta MIPLA)³を用いた。この3DプリンタはX軸に2つのエクストルーダが搭載されているIDEX (Independent Dual EXtruder) 方式のマシンであり、それぞれを交互に切り替えたり、同時に動かして造形を行う事ができる。スライサーソフトからモデルのSTLデータに対し、造形に使用するエクストルーダを割り当てることで2種類の材料で毛構造を造形した。ノズルはいずれも0.4mm径のものを使用した。

3.1 導電性と強磁性を組み合わせたマトリクス毛構造

毛の触感を感じることができる入力インターフェースを作るために、図2のように、毛構造をマトリクス状に配置したものを設計した。土台部分と中心の毛構造を磁性材料、周囲の8つの毛構造を導電性材料で3Dプリントしている。磁性材料は磁力によって引き寄せられる性質を付与することはできるが、導電性は付与することはできない。そのため、導電性の毛構造の付け根部分は磁性材料の土台によって分割され、電気的に繋がっていない状態にしている。このようにすることで、8ヶ所の接点でそれぞれ接触検知が可能になる。これを静電容量タッチパッド (M5Core2) 上に置くことによって、接触している位置や毛を撫でた方向を検出する。さらに、指先や導電性のタッチペンに磁石を取り付けることで、中心の強磁性の毛の部分で触覚フィードバックを起こすことができる。そのため、毛構造の中心位置を手指の感覚で把握しながら、周囲の導電性部分に触れて、ジョイスティックのような感覚で操作することができる。マトリクス状の毛構造とタッチパッドは専用のケースを設計して固定した (図3)。ケースの周囲には磁石が埋め込まれており、磁石と強磁性の土台の間にはたらく引力によって、タッチパッドから毛構造の土台が浮いてしまうことを防止している。この入力インターフェースによって、毛の触感を感じながら画面スクロールや3DCGの回転操作等が可能になる。さらに、毛構造の密度を一部分だけ変更することで、毛をスワイプする方向によって触感の変化を起こすこともできると考える。

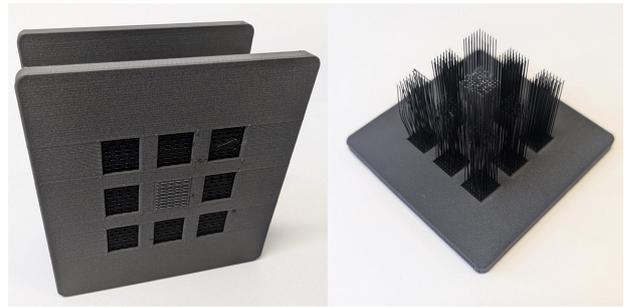


図2. 導電性／強磁性のマトリクス毛構造

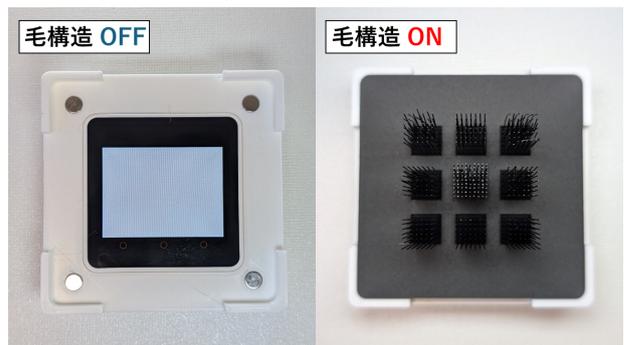


図3. M5Core2とマトリクス毛構造を固定するケース

3.2 導電性と強磁性を組み合わせたペン型入力デバイス

図4のように、筆部分を磁性材料、軸を導電性材料で造形したブラシを作製した。このブラシはタッチパッドへの入力などに使用でき、軸をスライドさせることで、導電性の筆先が露出し入力できる状態になる。導電性の軸の中には棒状の磁石が埋め込まれており、軸をスライドして強磁性の毛がある部分に近づくことで毛は軸に引き寄せられ、筆を濡らして描くときの窄んでいるような形状を表現することができる。現在は、手で軸をスライドさせて固定させているが、タッチ画面に筆先を押し付けた圧力によって軸をスライドさせる機構も実装可能である。

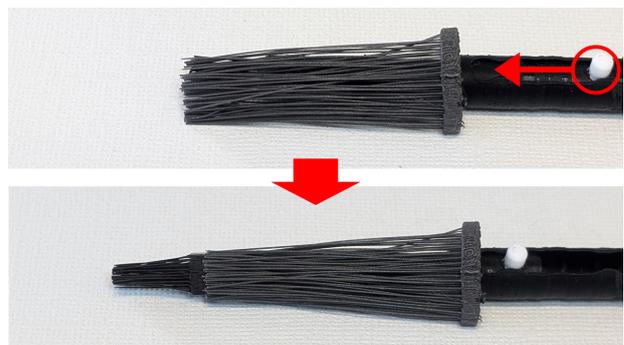


図4. 軸のスライドで毛先が細くなる筆

¹ <https://www.sovol3d.com/products/sv04>

² <https://www.proto-pasta.com/collections/all/products/conductive-pla>

³ <https://www.proto-pasta.com/collections/all/products/magnetic-iron-pla>

参考文献

- [1] G. Laput, X. Chen, and C. Harrison. 3D printed hair: Fused deposition modeling of soft strands, fibers, and bristles. In *Proceedings of the 28th annual ACM symposium on user interface software & technology*, pp. 593–597, 2015.
- [2] H. Takahashi and J. Kim. Designing a Hairy Haptic Display using 3D Printed Hairs and Perforated Plates. In *Adjunct Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 1–3, 2022.
- [3] S. Umezu, M. Ohkubo, Y. Ooide, and T. Nojima. Hairlytop interface: A basic tool for active interfacing. In *Adjunct Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 95–96, 2014.
- [4] 鎌田航誠, 高橋治輝, 塚田浩二. 導電性・強磁性・及び土台の可撓性を持つ毛構造の造形手法の提案. In *In Proceeding of WISS2023*. 日本ソフトウェア科学会, 2023.
- [5] 原田雅文, 佐藤俊樹 遠藤暁友. PhotoelasticHair: 皮膚を通したセンシングが可能な埋め込み式毛状センサ. In *In Proceeding of WISS2023*. 日本ソフトウェア科学会, 2023.
- [6] 中島康祐, 伊藤雄一, 築谷喬之, 藤田和之, 高嶋和毅, 岸野文郎. FuSA 2 Touch Display: 大画面毛状マルチタッチディスプレイ. *情報処理学会論文誌*, 53(3):1069–1081, 2012.