



陶芸技能の伝承に向けた触覚提示システムの応用可能性の検討

Exploration of the Potential Applications of a Haptic Feedback System
for the Skill Transfer of Pottery Skills

朱宇凡¹⁾, 堀江新¹⁾, 南澤孝太¹⁾

Yufan ZHU, Arata HORIE, and Kouta Minamizawa

1) 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

(〒 223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1, hsu-zhu, a.horie, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: 伝統工芸の職人の技能は身体知となっており、形式知化が難しいためその伝承方法が課題となっている。本研究は、職人の筋肉活動を計測し、感覚情報を直接に触覚によって提示することで、陶芸初心者に対して熟練者の技能への理解を深める技能伝承システムを提案する。提案したシステムを陶芸専門家や一般ユーザーに使用してもらい、システムのユーザー体験の評価に基づき、システムの陶芸技能伝承における応用可能性を論ずる。

キーワード: 触覚提示、触覚共有、陶芸、技能伝承

1. はじめに

陶芸は、技術と芸術的表現が融合する伝統工芸である。その制作過程には、粘土の選択、ろくろや手びねりによる成形、窯での高温焼成が含まれる。この過程では、芸術的創造性だけでなく、素材特性への深い理解と熟練した運動技能が要求される [1]。この複雑な技術体系と素材に対する理解には、徒弟制という特殊な知識伝達メカニズムが必要とされてきた。徒弟制は独特な学習環境を提供し、これらの複雑な身体知 (Embodied Knowledge) が長期的な実践を通じて伝承されることを可能にしてきた [2]。

しかし、この身体化された知識を伝達する際には多くの課題がある。例えば、手の中での土の感触や適切な力加減などは、言語や単純な実演だけでは正確に伝えることが困難な体験である [3][4]。したがって、身体知を伝達する際に、従来の方法の限界を克服し、より直感的に伝える方法が必要であると考えられる。

近年、身体化認知理論の観点から工芸、特に陶芸技能の学習に関する研究が多く行われている。Brinck ら [5] が行った身体化認知理論の視点からのクラフト思考 (Craft Thinking) 研究では、工芸的思考が触覚の統合処理に由来し、これが環境 (素材自体を含む) からのフィードバック、および運動感覚に依存していることが指摘されている。このことから、これらの感覚システムを活用する触覚提示のような手法の応用が、従来の技能伝承方法では難しかった身体知の伝達に対して、新たな可能性を開くと示唆される。

そこで、本研究では、他者の身体知に対する学習者の理解を深めることを目的とし、触覚に基づくクロスモーダルな提示手法を提案する。これは探索的研究であり、触覚、運動感覚、視覚、聴覚を組み合わせ、特に職人の筋肉活動に

対応する回転の皮膚せん断刺激を利用することで、陶芸プロセスにおける熟練者の身体知をいかに学習者がより良く理解できるかに焦点を当てる。実際の陶芸家である壺屋焼窯元育陶園の方々に協力してもらい、陶芸技能の伝承と学習における触覚フィードバックの役割と潜在的な効果について専門家の見解を得た。これにより、提案システムが陶芸技能の伝承と学習を支援できる可能性を検討する。

2. 関連研究

2.1 陶芸技能における筋活動計測

陶芸技能の計測評価は、この無形文化遺産を保護し継承する上で極めて重要である。研究者たちは、EMG センサー、モーションキャプチャーシステムなど、多様な方法を用いて陶芸制作過程における微細な動きや筋肉活動を捉えている [6][7]。これらの方法により、動作特性の定量的分析、異なる制作スタイル間の差異の識別、そして制作過程全体の長時間にわたる客観的記録が可能となった。

これらの計測方法は陶芸技能の定量的分析に参考となるデータを提供しているものの、まだこれらのデータを利用者の身体感覚を通じて感知でき、直観的な学習指導に変換する方法は確立されていない。

2.2 触覚提示による運動技能学習支援

陶芸技能の習得は複雑なプロセスであり、多面的な能力の発達を伴うものである。陶芸の創作は芸術表現と運動技能の融合として捉えることができる [4]。したがって、陶芸技能の伝承と教育を考慮する際、力の制御技能の学習も考慮すべき要素となる。

力の制御技能や運動技能 (Motor Skill) の学習において、研究者たちは様々な手法を用いてユーザーの学習を支援している。Morris ら [9] は実験を通じて、触覚フィードバック

クが力の制御技能の学習効果を顕著に高めることを実証した。彼らの研究は、視覚フィードバックのみの場合と比較して、触覚フィードバックを加えることで学習者がより速く、より正確に目標とする力の制御技能を習得できることを示している。

さらに、Horie ら [10] は、Force Myograph と回転の皮膚せん断刺激を組み合わせたウェアラブルデバイスを提案した。このデバイスは筋活動を検出すると同時に、サーボモーターの回転によってユーザーの皮膚を伸展させ、リアルタイムで直観的なフィードバックを提供する。このシステムは、ウェアラブルでモジュール化された設計と、筋肉活動計測と触覚提示の組み合わせにより、従来の運動技能学習に使用されていた接地型触覚デバイスと比較して、持ち運びが容易であり、ユーザーの手の操作に影響を与えない。これにより、使用シーンがさらに多様化し、陶芸における筋肉活動計測のような特定の作業にも対応可能と思われる。

3. 提案手法

3.1 コンセプト

伝統的な陶芸学習過程において、力の度合いや力を入れるタイミングなど、言語化が困難な主観的な身体感覚の伝達を目指し、記録/再生モデルを設計した(図1)。このモデルは、陶芸家の制作過程における筋肉活動データを計測、記録し、計算処理を通じて知覚可能な触覚提示に変換する。刺激の強度に応じて、ユーザーは触覚フィードバックを通じて、陶芸の異なるプロセスにおける筋肉活動の動態をユーザーに知覚させる。

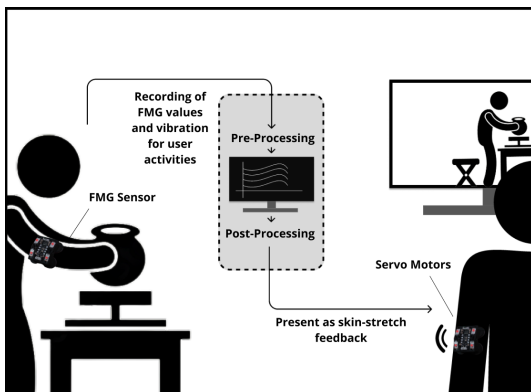


図 1: コンセプト概要

3.2 システム

運動技能学習に有効性を示された FMG (ForceMyography) と回転の皮膚せん断刺激の組み合わせ [10] を基にして、システムを構築した(図2)。FMG センサーは皮膚に直接接触する必要がなく、水と粘土を扱う陶芸のような湿潤環境での使用に適している。また、センサーの装着位置を柔軟に調整できるため、作業中の動きや環境に応じた最適な配置が可能である。本研究では、FMG と回転の皮膚せん断刺激をそれぞれ四チャンネルに統合したデバイスを用いて、初期的な計測と触覚提示強度の調整を行う。そして、装

着時の快適性に優れた四チャンネル回転モータを装着した FEEL TECH Wear[11] を使用し、触覚提示を提供する。



図 2: システム構成 (A)FMG と回転の皮膚せん断刺激を統合した計測・調整用デバイス (B) 計測・調整用デバイスを装着する様子 (C) 刺激提示用デバイスを装着する様子

また、TouchDesigner(Derivative Inc.) を用いて制御プログラムを開発した(図3)。このシステムでは、記録されたデータを線形変換によってユーザーの手首に装着されたサーボモーターの回転角度にマッピングし、触覚提示を提供する。同時に、筋活動データ記録時に撮影された陶芸制作の映像と音声を組み合わせることで、ユーザーにマルチモーダルな体験を提供する。

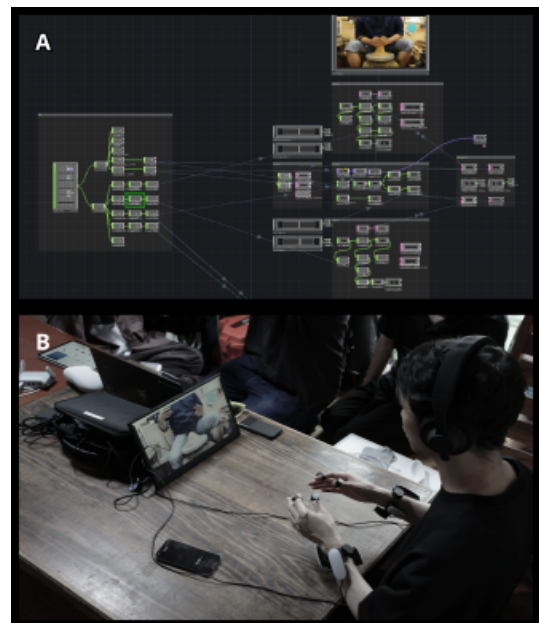


図 3: (A) 制御システム (B) システム実装

4. フィールドワーク

4.1 筋肉活動の計測

沖縄の陶芸工房である育陶園において、前述の FMG センサーを統合したデバイスを使用し陶芸技能における筋活

動の初期計測を実施した(図4)。この計測は、陶芸制作プロセスの主要な二段階、すなわち土殺しと造形段階に分けて行われた。各工程において、前腕屈筋群の筋活動を計測した。陶芸制作過程において、これらの筋肉は土の成形に重要な役割を果たしている [8]。



図 4: 陶芸における筋肉活動の計測

4.2 パイロットテスト

記録した筋活動データを線形変換によってサーボモーターの回転角度にマッピングし、これに対応する陶芸制作の映像と音声を組み合わせてマルチモーダルな体験を構成した。このシステムを用いて、陶芸経験の異なる複数の参加者を対象にパイロットテストを実施した。

テストでは、参加者にシステムを装着させ、再生モードでの体験を行わせた。再生モードにおいては、事前に記録された熟練陶芸家の筋活動データによる回転の皮膚せん断刺激、およびそれに対応する視聴覚情報が提示され、被験者はこれにあわせて動作を行った。各参加者に対し、回転の皮膚せん断刺激の有無を変数として2回の試行を実施した。第1試行では回転の皮膚せん断刺激なし、第2試行では回転の皮膚せん断刺激の条件下でテストを行った。



図 5: パイロットテストの様子

4.3 ユーザーによるフィードバック

テスト後、参加者にはシステムの使用感、触覚フィードバックの分かりやすさ、陶芸技能の理解への貢献度などについて、半構造化インタビューを実施した。その結果、陶芸初心者の参加者は、回転による皮膚せん断刺激を伴う体験

により、力を入れるタイミングをより理解できたことが確認された。特に、土殺し段階での動きの変化とそれに対応する力の変化をより理解できたという意見が多かった。一方、熟練者および経験者の参加者からは以下のような意見が得られた。

悟氏は、「力を入れ方の方を感じましたね。グッと入れるときにグッと刺激が来るっていう。入れた状態から、入れたのをずっとキープしながら土をどんどん上に上げたり下に下げるので、そのときに上げて緩めるときの感覚が出るなという感じがします」と述べた。

若菜氏は、「私は自分も土殺しはできるので、感覚が元々頭に入っているという中で、触ったときにここに何かあるという感じはすごく分かりました。ただ違和感があるというか、ここに刺激があるときにはことは違う違和感があって、何だろうこの刺激という感じがしたので、抑えているというかそういう感覚では自分は捉えられなかったかなという感じでした。ただここはフワッと何かあるかも。もう少し力が入ったら掴んでいる感覚も感じるのかなみたいな、そんな雰囲気、イメージみたいですかね」と述べた。

このように、特定の段階において、実際に陶芸制作を行う際に経験する「力を入れ方」と似た感覚を得られたとの意見が多くみられた。この感覚は、特に「土殺し」の段階で最も顕著であった。しかし、参加者の経験の有無にかかわらず、初心者と熟練者の両方が、この刺激が時折違和感を生じさせることを指摘している。

4.4 考察

提案する手法によって、陶芸における身体動作を伝達できる可能性が示唆されている。土殺しの段階では、材料と持続的に接触し、力を加えて材料の形を変える必要がある。その際、このシステムは回転の皮膚せん断刺激を通じて、動作変化に伴う力の大きさやタイミングの変化をユーザーに伝えることができたことがユーザーのフィードバックから示唆されている。

体験中の違和感は主に、突然に力を抜いた際に発生したことがわかった。土殺しの過程では、力を徐々に加えるが、力を抜くことが瞬間的に起こることが多い。本研究で採用したセンサ値からせん断刺激への変換は単純な線形関数によって刺激の制御量にマッピングしている。しかし、力の立ち上がりや立ち下りの主観的な運動強度と、せん断変形の変形量の立ち上がりや立ち下りによる知覚強度との関係は線形とは限らない。したがって、センサの値が大きくなる際と小さくなる際で異なる制御則が必要である可能性がある。

今回のパイロットテストでは、第二人称視点のビデオを使用したため、左右手の視覚情報と触覚情報の対応が直感的ではなく、一部の参加者は理解に時間がかかったと述べている。悟氏からは鏡像のほうが違和感があると指摘され、陶芸初心者である体験者からは正像の方が違和感があると指摘されている。したがって、体験するユーザーの習熟度に応じて視覚的な提示の手法を変える必要がある可能性がある。また、今後は主観映像の収録を行い、主観映像とと

もに体験可能なシステムを構築する。

5. おわりに

本研究では、陶芸技能の伝承を目的とした触覚提示システムを開発し、その応用可能性を検討した。FMGセンサーと回転の皮膚せん断刺激技術を組み合わせたシステムを構築し、熟練陶芸家の筋肉活動を計測・提示することで、言語化が難しい身体知の伝達を試みた。

パイロットテストの結果、本システムは特に初心者に対して、力の入れ方やタイミングの理解を促進する可能性が示唆された。また、熟練者からも、実際の陶芸制作時に近い「力の入れ方」を感じられたとの評価を得た。一方で、素材との直接的な接触感覚の欠如や、力を抜く際の感覚再現の不十分さなど、改善すべき点も明らかになった。

今後の課題として、センサーのチャンネル数増加による詳細な筋肉活動の捕捉、Spatial video などの主観映像の実装、実際の素材を使ってリアルなフィードバックを提供すること、そして長期的な学習効果の検証が挙げられる。これらの改善を通じて、本システムが陶芸技能の効果的な伝承ツールとして発展することが期待される。

さらに、本研究で得られた知見は、陶芸に限らず、他の伝統工芸や身体技能を要する分野への応用可能性も示唆している。触覚を介した身体知の伝達という新たなアプローチが、幅広い分野における技能伝承の課題解決に貢献することを期待する。

謝辞 本研究は、壺屋焼窯元育陶園の職人・スタッフの皆様のご協力のもと実施されました。ここに感謝の意を表します。本研究は、JST ムーンショット研究開発プログラム (JP-MJMS2013) の支援のもと実施された。触覚伝送技術については株式会社 commissure の技術提供を受けた。

参考文献

- [1] Groth, Camilla, and Michael Kimmel. Dynamic affordances in human-material “dialogues”. *Craft and Design Practice from an Embodied Perspective*. Routledge 17-29, 2024.
- [2] Wallaert-Pêtre, Hélène. “Learning how to make the right pots: apprenticeship strategies and material culture, a case study in handmade pottery from Cameroon.” *Journal of Anthropological Research* 57.4 (2001): 471-493.
- [3] Polanyi, Michael (1958). *Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy*. Chicago: University of Chicago Press. Edited by Mary Jo Nye.
- [4] Sennett, Richard. *The craftsman*. Yale University Press, 2008.
- [5] Brinck, Ingar. “Craft Thinking: A relational approach to making and design.” *Craft and Design Practice from an Embodied Perspective*. Routledge, 2024. 30-39.
- [6] Soewardi, Hartomo, and Amalia Azka Rahmayani. “Analysis of Muscle Contraction on Pottery Manufacturing Process Using Electromyography (EMG).” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 105. No. 1. IOP Publishing, 2016.
- [7] Bernal Cubias, Guillermo Roman. *Learning from master’s muscles: EMG-based bio-feedback tool for augmenting manual fabrication and crafting*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 2014.
- [8] Ververidis, Dimitrios, et al. “Pottery gestures style comparison by exploiting Myo sensor and forearm anatomy.” *Proceedings of the 3rd International Symposium on Movement and Computing*. 2016.
- [9] Morris, Dan, et al. “Haptic feedback enhances force skill learning.” *Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems (WHC’07)*. IEEE, 2007.
- [10] Horie, Arata, Yunao Zheng, and Masahiko Inami. “A Wearable System Integrating Force Myography and Skin Stretch Feedback toward Force Skill Learning.” *2023 IEEE World Haptics Conference (WHC)*. IEEE, 2023.
- [11] Umehara, Rodan, et al. “FEELTECH Wear: Enhancing Mixed Reality Experience with Wrist to Finger Haptic Attribution.” *Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference Emerging Technologies*. 2024.