



陶芸における身体動作の特徴抽出を目的とした FMG システム ～ハードウェアの基礎検討～

FMG System for Feature Extraction of Body Movement in Ceramics
～Basic Study of Hardware～

三堀二知加¹⁾, 堀江新¹⁾, 南澤孝太¹⁾

Nichika Mitsubori, 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, mitsubori, a.horie, kouta@kmd.keio.ac.jp)

概要: 身体動作の特徴抽出において筋活動計測が用いられており、その際には EMG を用いることが一般的である。しかし、装着の複雑さや発汗による皮膚インピーダンスの変化が計測に影響を与えることから、使用シーンが限定的である。FMG を用いた筋活動計測は装着が容易であり、発汗や接触の影響を受けづらいことが報告されている。本研究では陶芸の技能に着目し、FMG によって筋活動の計測を行うシステムを開発し、実際の現場での運用を行った。

キーワード: 身体動作, 特徴抽出, 筋活動計測, FMG, 陶芸

1. はじめに

伝統技能の伝承にデジタルテクノロジーが活用され始めている。これまで、伝統技能は徒弟制による技能の伝承が行われてきているが、人手不足によってその伝承形態は限界を迎えつつある。この課題に対し、熟練者の技能をデジタル的に保存する取り組みが行われている。特に筋活動の計測は、熟練者の身体の動かし方を計測する手法として活用されている。

筋活動を計測するために様々な手法が提案されてきた。近赤外分光法 (NIRS: Near-Infrared Spectroscopy) は非侵襲的な手法であり、血流量の変化をリアルタイムで計測を可能とする。しかし、NIRS は深部組織の計測には限界があり、表層の血流量変化しか捉えることができないため、特定の状況では精度が低下する可能性がある [1]。超音波イメージングは高解像度で筋組織や腱の動きを視覚化することが可能な手法であるが、装置の大型化や計測位置の厳密な設定が求められるため、実用性に制約がある [2]。一般に広く用いられている Electro Myography (EMG) は装着の複雑さや発汗や接触による皮膚インピーダンスの変化が課題である特に伝統技能は筋活動計測に対して理想的な環境での計測が困難である場合がある [3]。

Force Myography (FMG) を用いた筋活動計測は、近年注目されている筋活動計測の手法であり、他手法と比較して装着が容易であるうえ、発汗や接触の影響を受けづらいため安定した計測が行うことが可能である [3]。これまでに FMG はジェスチャー認識を主な目的として前腕部や手首部、大腿部などの部位に適用されてきた。一方で、陶芸を含め、伝統技能の現場において運用された事例はない。装着

の容易さなどの特徴はデバイスの認知的透明性を高め、熟練者の技術を邪魔しない筋活動計測手法として期待できる。

本研究では陶芸の技能に着目し、熟練者が現場で使用することを想定した FMG のハードウェア構成を検討する。実際の陶房は泥水がはねたり、室内の温度が高く汗をかきやすい環境であることに加え、陶芸家への負荷を最小限に保つために素早く装着し計測を開始できる状態である必要がある。このような設計要件を満たす FMG デバイスのハードウェア構成を検討、開発した (図 1)。そして実際に陶房において計測を行った。



図 1: 実際に作成したハードウェア

2. 提案手法

本章では陶芸技能の抽出のための筋活動計測を行うためのハードウェアについて述べる。

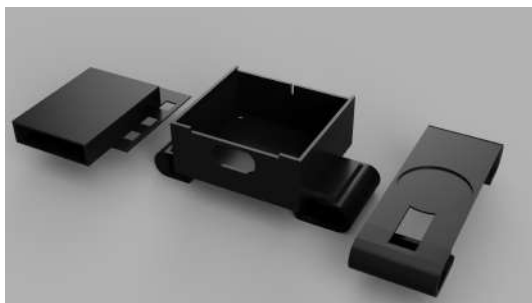


図 2: 作成したパーツの 3D データ

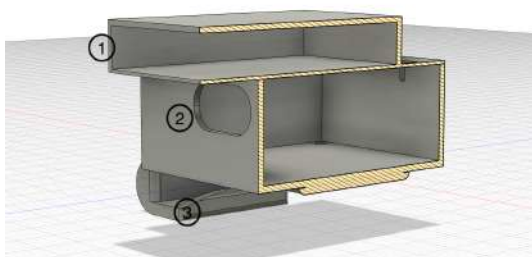


図 3: ハードウェアの断面図 (1) バッテリーカバー (2) マイコンボックス (3) スライド機構

2.1 設計要件

陶芸が実際に行われる陶房には、計測の外乱になり得る要素が複数存在する。例えば、陶房には釜があるため、室内の温度は極めて高温に達する陶芸の作業中は水に手を浸すことがあるほか、高温な室内での作業となるため発汗が無視できず、水分によってデータが変化するような手法は使用することができない。さらに、陶芸家が本来のパフォーマンスを発揮するために、過度な装着の負荷をかけることが必要である。筋活動計測においてはいずれの手法においてもセンサ位置の調整が必要となるが、その調整を簡単に行える必要がある。

2.2 ハードウェア

開発した FMG センサデバイスには ESP32S3 が搭載されたマイコンと、8ch の FSR センサアレイがアームバンドに搭載されている。FSR センサからはマイコンにスター接続されており、位置調整を可能にするために配線の長さには余裕をもたせつつ、配線をアームバンドに沿わせることによって配線が操作中に邪魔にならないよう配慮した。アームバンドの全長は BOA® フィットシステムによって調整可能であり、腕部の太さが異なるユーザーに対しても柔軟に対応可能である。また、UDP 通信による無線での通信を行うことで、配線による装着負荷を低減することを目指した。FMG を活用した研究の先行事例において 8ch での実績がある [4] ため、本デバイスにおいても 8ch での実装を行った。

図 2 に作成したハードウェアの 3D データ、図 3 に今回作成したハードウェアの断面図を示す。図より 1 はバッテリーの保護及び落下防止、またマイコンボックスのカバーとしての役割を果たしている。2 はマイコンを収納するボックスであり、陶芸中に汚れないようにすることを目的として



図 4: FMG センサ



図 5: FMG の取り付け図

いる。3 はスライドさせるための機構であり、バンド上での位置を変更できる。図 4 に FMG センサの一例を示す。全 8 個あるセンサはシリコンシールにより直接的な接触を保護されている他、腕の太さの個人差によるセンサの位置のズレを軽減するため、それぞれに位置調整用のスライドする機構を搭載している。

図 5 に実際に装着した図を示す。前腕骨の尺骨と肘関節の付け根には計測すべき筋肉が存在しないため、マイコン格納部が配置される。

2.3 システム構成

前述した FMG センサデバイスを活用した計測システムを構築した。図 6 にシステム構成図を示す。システムには FMG センサデバイス、ルーター、PC が含まれている。FMG センサデバイスからは UDP 通信によってルーターを通じて PC に 12bit 8ch のデータが 240Hz にて送信される。PC では TouchDesigner によって受け取ったデータを処理し、タ

タイムスタンプとともに CSV データとして保存される。

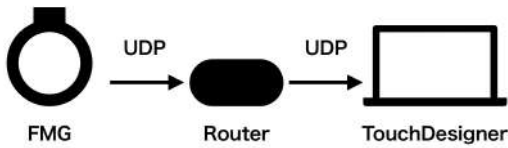


図 6: システム構成図

3. フィールドワーク

フィールドワークは 2024 年 6 月に沖縄県那覇市に陶房を構える壺屋焼窯元育陶園にて行われた。まずはじめに筆者は陶芸職人の作業現場を観察した。職人は作業を分担しており、ベテランの職人は正確に素早く土を変形させ、多くの陶器の成形を行っていた。また、職人によって硬さの違う土を使っているほか、陶芸を行う体勢も異なり、各々が職人としての技術を確立しているように感じた。

次に筆者が陶芸体験を行なった。図 7 に示す陶芸用粘土を中央に固定するための土殺しという作業では、粘土を押し上げる工程と押し下げる行程に分かれており、押し上げる際(図 7a)は土を上へ逃すように中心に押し、押し下げる時は下へ逃すように中心に押す(図 7b)。職人が行っていた土殺しを観察した際の印象と比較して、土は固く、強い力をタイミング良く加える必要があることを体験した。

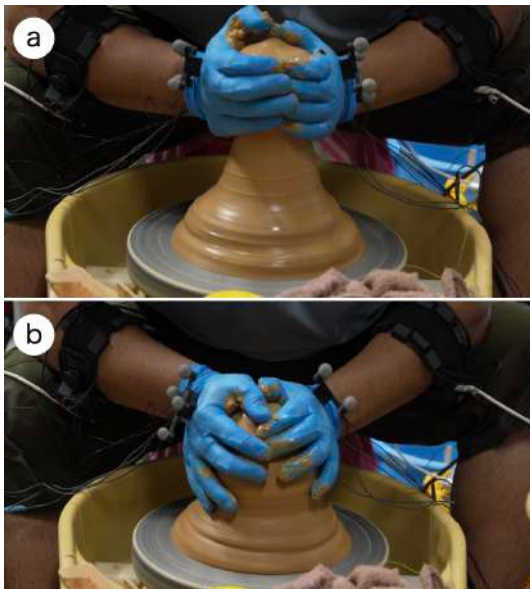


図 7: 土殺しの様子 (a) 押し上げ (b) 押し下げ

続いて、製作した FMG デバイスを用いた陶芸動作の計測を行った。図 8 に計測の様子を示す。職人の上腕部に FMG デバイスを装着し、実際に陶芸を行った際の筋活動を計測した。映像等も同時に収録し、職人に一度拍手をしてもらい、その瞬間の最も力の入ったピーク値と拍手の音がしたタイミングにてタイムスタンプを合わせられるようにした。



図 8: FMG を装着した陶芸家

4. 結果

装着面に関してはスライド機構が機能し、職人の太い腕にも規則的にセンサを配置することができた。さらにカバーにより陶芸の泥や汗などの影響による測定エラーが起きず、安定した計測が行えた。また、計測には無線通信が可能であることからマイコンにバッテリーを搭載していたが、長時間の計測においては途中でバッテリーが切れてしまうことがわかった。これに対する現場での対応として有線でモバイルバッテリーを接続することによって対応を行った。陶芸家の方より、肘付近にデバイスを装着することによる陶芸を行う体勢が変わってしまうという意見が挙がった。

5. 考察

フィールドワークを通じて、陶芸の動作、特に土殺しの工程においては、視覚情報だけでは伝達できない力の感覚が多分に含まれることが明らかになった。視覚的に伝達可能な情報は物体が変形・変位するものであり、内力に相当する素材との力のやりとりは可視化されないものである。陶芸の技能を伝承する際にも、このような力の情報を伝達することができれば、技能伝承を促進することにつながると考えられる。

開発した FMG デバイスを用いることで陶芸の現場での職人の筋活動計測が実現できることが示唆された。現場での通信は安定しており、パケットのロスも限定的であったため、分析に十分なデータを収集することができた。また、センサを個人個人に合わせて配置できるスライド方式は、繊細な調整は可能であるものの、装着の準備にやや時間がかかってしまうことも明らかになった。そのため、あらかじめ職人の腕の太さを計測しておき、センサ配置をプリセットしておくような設計が必要だと考えられる。

実際に計測データによって技能の抽出ができていのかは今後詳しく分析する必要があるが、現場ではオンタイムで記録が進行し、職人に対して大きな負担をかけずに計測を遂行することができた。一方で現場で FMG を用いる際には、職人の動きの邪魔にならないよう完全に無線であることが望ましく、長時間使用できるバッテリーを積む必要がある。

6. おわりに

本研究では陶芸の技能に着目し、FMG によって現場での実装を行いそのハードウェアの有用性を検討した。開発した FMG デバイスは 8ch のセンサ構成であり、Wifi を利用した UDP 通信を行うデバイスである。ハードウェアは正しく機能し、陶芸の技能計測において実用可能性が確認された。フィールドワークではいくつかの提案手法に関する改善点を確認することができた。今後はデータの分析を行った後、バッテリーの変更やセンサ配置のプリセットが可能な設計に取り組む予定である。

謝辞 本研究は、JST ムーンショット研究開発プログラム (JPMJMS2013) 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] Hamaoka, Takafumi, and Kevin K. McCully. "Review

of early development of near-infrared spectroscopy and recent advancement of studies on muscle oxygenation and oxidative metabolism." *The journal of physiological sciences* 69 (2019): 799-811.

- [2] Löfstedt, Tommy, et al. "Dynamic ultrasound imaging—A multivariate approach for the analysis and comparison of time-dependent musculoskeletal movements." *BMC medical imaging* 12 (2012): 1-10.
- [3] Zheng, Zhuo, et al. "A review of EMG-, FMG-, and EIT-based biosensors and relevant human-machine interactivities and biomedical applications." *Biosensors* 12.7 (2022): 516.
- [4] Luisa, Bozzano G. *Gene activity in early development*. Elsevier, 2012.