

ゴルフスイング学習システムにおける筋肉活動情報可視化手法の提案

高橋 拓也* Chen-Chieh Liao* 小池 英樹*

概要. ゴルフの上達において適切なスイングフォームを会得することは重要である。既存の研究ではスイング軌道や姿勢の可視化システムを提案している。しかし、スイング時の筋肉情報をどのようにユーザーに提供するかについては議論されていない。本論文では、熟練者のスイング時の筋肉活動情報を取り入れた視覚的フィードバックシステムを提案する。学習者の足元に熟練者のスイング情報と筋肉活動情報をリアルタイムに可視化することで、練習中にスイングの分析や修正が可能なアプリケーションを実装した。

1 はじめに

ゴルフにおいて、熟練者の動作を模倣することは技能向上のために重要である。スポーツトレーニングにおいて情報の視覚化、フィードバックは練習効率をあげる [4] ことが知られており、様々なトレーニングシステムが提案されている。

Wozniak ら [6] は、ユーザーの足と肘にマルチモーダルなフィードバックを提供して体の認識を向上させるデバイスを開発した。田中ら [5] は聴覚および触覚フィードバックを別々または同時に提供するウェアラブルデバイスを開発した。ゴルフの視覚的フィードバックの研究として、Liao ら [3] はプロジェクタを用いてスイング軌道、クラブ軌道、フェースの向き、シャフトのロール角を床に投影してスイング中に分析、修正ができるシステムを提案した。Geisen ら [1] は XR 環境におけるパット練習のフィードバックシステムを提案した。池田らの Virtual Shadow [2] は計測したユーザーと熟練者の姿勢を、仮想的な影として床にリアルタイムに投影したが、外見による姿勢変化のみが学習者に提供され、体の筋肉操作をどのように改善するかについては議論されていない。

本研究では、熟練者のスイング時の筋肉活動を計測し、既存の姿勢可視化モデルに筋肉情報を付与して床に投影するシステムを提案する (図 2)。学習者と熟練者のモーションを動的にマッチングし、筋電位データを色の変化によってモデルに表示する。本システムの特徴は、ユーザー自身は筋電系を装着することなく理想的な筋活動を把握できることである。

2 提案手法

本論文では、ゴルフスイングトレーニングにおける筋肉情報の視覚的フィードバックを行うことを目指す。提案システムが満たすべき要件は以下である。

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.

* 東京工業大学

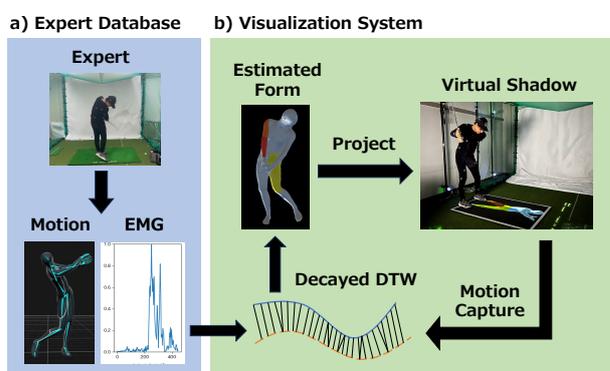


図 1. 提案システムの概要: a) 熟練者のデータベース作成, b) 学習者へのフィードバックシステム

- ゴルフ熟練者のスイング動作をモーションキャプチャと筋電位計を用いて計測し、3D モデルにその動きと筋活動をマッピングする。
- スイング中に学習者のモーションと事前に収録された熟練者のモーションを比較して学習者のスイング姿勢に近い熟練者の姿勢をリアルタイムに投影する。
- 投影するモデルに筋肉情報を付与し、学習者が直感的にスイングを修正できるようなガイドを提示する。

3 システム実装

本論文で提案するフィードバックシステムの概要を図 1 に示す。

3.1 熟練者のスイング収録

お手本となる熟練者のモデルの作成にはモーションキャプチャシステム (OptiTrack¹) と筋電位計 (Trigno Avanti Sensor²) を用いて、熟練者 (20 代男性, 最高スコア 69, 平均スコア 80) のスイングを収

¹ <https://www.optitrack.jp/>

² <https://delsys.com/trigno-avanti/>



図 2. 提案システムの動作例. 本システムでは熟練者のスイング姿勢と筋肉活動情報をリアルタイムに仮想的な影として床に投影する.

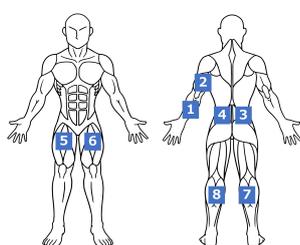


図 3. 筋電位計の割り当て図 表 1. 筋電位計の割り当て表

番号	対象筋肉
1	左前腕伸筋群
2	左上腕三頭筋
3	右脊柱起立筋
4	左脊柱起立筋
5	右大腿四頭筋
6	左大腿四頭筋
7	右腓腹筋
8	左腓腹筋

対して、筋肉が活性化したか判断する閾値を設ける. この閾値について、8つの筋肉データそれぞれについて正規化を行い、k-近傍法を用いて時系列データを「筋肉静止群 (筋肉が弛緩している状態)」と「筋肉活動群 (筋肉が緊張している状態)」にクラスタリングする. 「筋肉静止群」の最大値と「筋肉活動群」の最小値の中間値を各筋電位における閾値とする. 筋肉の活性化状態は黄色 (最小値) から赤色 (最大値) のグラデーションによって表現する (図 2). これにより、学習者は自身と熟練者のスイング姿勢と筋肉情報を容易に把握できる.

録する (図 1(a)). 収録のフレームレートは 240fps とする. スイングの種類としてフルショット, ハーフショット, スティンガーショットを採用し, それぞれ 5 回分のスイングを収録する. 筋電位計 8 つを図 3, 表 1 に示す筋肉部位に割り当てる. モーションキャプチャと筋電位計のデータは Delsys Trigger³を用いて同期する.

3.2 スイングフォームのマッチング

学習者と事前に収録した熟練者のスイングを同期させるため, スイングフォームの動的なマッチングが必要である. Virtual Shadow[2] を参考にし, 動的計画法によるマッチング手法を用いて両者のモーションデータを照合する. 学習者のスイング姿勢から推定された最も近い熟練者のスイング姿勢をリアルタイムに表示する (図 1(b)).

3.3 熟練者の筋肉活動状態の可視化

熟練者の筋肉情報を学習者に提示する手法として, プロジェクタによる床への仮想影の投影 [2] を用いる. 図 3 に示すように, 学習者のスイング姿勢に近い熟練者のスイング姿勢のモデルがリアルタイムに更新される. その際にそれぞれの筋肉部位が緊張している場合, モデルの対応する部位の色が変化することで熟練者の筋肉情報を学習者に伝える.

3.1 節で収録された前処理済みの筋電位データに

4 考察

提案システムでは, あらかじめ記録した熟練者の実際の筋肉活動情報を可視化することで, 学習者が理想的な筋活動を把握することが可能となった. また, 既存の Virtual Shadow[2] にある学習者と熟練者のフォームの差分表示を提案システムに導入することで外見と内部の両方からフィードバックを得られると考えられる.

今後は, 姿勢情報から筋活動を推定できるシステム (BOB⁴, OpenSIM⁵等) を用いることで, 実際に計測された熟練者の筋活動と推定されたユーザの筋活動を視覚的に比較できるようにしたい.

5 まとめ

本論文では, ゴルフのスイングフォームの上達を支援するシステムとして, 熟練者の筋肉情報を可視化する手法を提案した. 提案システムではモーションキャプチャシステムと筋電位計を用いて熟練者の動きを計測し, プロジェクタを用いてリアルタイムに投影した. 普段視認できない情報をリアルタイムに得られることで, スイングフォームの修正がより効果的になると考えられる.

³ <https://delsys.com/trigger-module/>

⁴ <https://www.wavefront.co.jp/BoB/>

⁵ <https://simtk.org/projects/opensim>

謝辞

本研究はJST CREST JPMJCR17A3およびJST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2012 の支援を受けている。

参考文献

- [1] M. Geisen, A. Nicklas, T. Baumgartner, and S. Klatt. Extended Reality as a training approach for visual real-time feedback in golf. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, pp. 1–11, 2023.
- [2] A. Ikeda, Y. Tanaka, D.-H. Hwang, H. Kon, and H. Koike. Golf Training System Using Sonification and Virtual Shadow. In *ACM SIGGRAPH 2019 Emerging Technologies*, SIGGRAPH '19, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [3] C.-C. Liao, H. Kikuchi, D.-H. Hwang, and H. Koike. Virtual Club Shadow: A Real-time Projection of Golf Club Trajectory. In *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 816–820, 2022.
- [4] T. Lin, R. Singh, Y. Yang, C. Nobre, J. Beyer, M. A. Smith, and H. Pfister. Towards an Understanding of Situated AR Visualization for Basketball Free-Throw Training. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [5] Y. Tanaka, T. Nakamura, and H. Koike. Posture-based Golf Swing Instruction using Multi-modal Feedback. *Journal of Information Processing*, 30:107–117, 2022.
- [6] M. P. Woźniak, J. Dominiak, M. Pieprzowski, P. Ładoński, K. Grudzień, L. Lischke, A. Romanowski, and P. W. Woźniak. Subtleec: Augmenting Posture Awareness for Beginner Golfers. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, 4(ISS), nov 2020.

未来ビジョン

本論文では、筋電位計を用いてゴルフ熟練者のスイング時の筋肉情報を可視化し、学習者に視覚的なフィードバックを与えるシステムを提案した。提案システムでは、事前に収録された熟練者のモーションデータと筋電位データを学習者のスイング姿勢に合わせて動的に表示している。

将来の展望として直感的に自身の修正点を把握し、初心者からプロ競技選手まで幅広いレベル層の人が自身の技能レベルに沿った最適なサポートを受けられる統合型アプリケーションを開発することを目標としている。

本システムは視覚的なフィードバックだけが提供されているが、マルチモーダルなフィードバックが有効であり、検証する必要があると考える。従来の聴覚や触覚フィードバックだけでなく最新のウェアラブル技術や XR 技術を用

いれば、屋内環境下だけでなくコース上での練習にも技能支援システムを取り入れられる可能性がある。そのため、実際のコース上での問題を解消するシステム開発にも取り組みたい。

また、実験の手法も検討する必要がある。被験者がスイングを行うときモーションスーツを着ることで高精度なモデルが撮れるが、実用性や簡便性に欠ける難点がある。この問題を解決するために、マーカーレスのモーションキャプチャカメラを使う方法が考えられる。さらに、巨大なモーションキャプチャ設備の代わりに一般のスマホカメラで解析できるようにし、一般のゴルフユーザに広く使われるアプリケーションの開発を行うことで、本研究で得られた知見を社会に実用的に示せる可能性が大きくなると考えている。老若男女が楽しめるゴルフをより多くの人に、より深く楽しんでもらい、継続できるような環境を整えるのが本研究の最終目標だと位置付けている。