



# スポーツ番組における選手の四肢の動きの様子を伝える触覚デバイスの検討

Haptic device to convey the movements of athletes' limbs in sports programs

東真希子, 高橋正樹, 佐野雅規, 半田拓也

Makiko AZUMA, Masaki TAKAHASHI, Masanori SANNO and Takuya HANDA

日本放送協会 放送技術研究所 (〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11, azuma.m-ia@nhk.or.jp)

**概要** : テレビの映像や音に含まれる様々な情報, 例えば各種スポーツ競技の球の方向や技の種類などの情報を, あらゆるユーザーに向けて触覚を介して直感的に伝えるために, キューブ型やリストバンド型の触覚デバイスを開発してきた. 今回, これまでに表現できなかった人の四肢の動きに伴う運動の様子を伝えるため, 4つの偏芯回転子とリニア振動アクチュエータを搭載した球状の触覚デバイスを試作した. また, 本デバイスで触覚刺激を提示した際にユーザーの前腕に生じる微細な動きの計測から運動の様子への伝達可能性を検討した.

**キーワード** : 触覚インターフェース, ユニバーサルサービス, スポーツ

## 1. はじめに

各種スポーツ競技映像における球の方向や技の種類などの情報を視聴覚障がい者はじめ, あらゆるユーザーに直感的に伝えることを目指して, 触覚刺激の提示により情報を伝達するデバイスと制御システムの研究開発を進めている. これまでに, 立方体の各面が独立して振動できる機構を有し, 与える情報の種類によって振動させる面を適切に変えて情報を伝えるキューブ型触覚デバイス[1], 手の自由度を制限せず, 長時間のコンテンツを楽しむ際にもユーザーの体への負担が少ない, 4つの振動アクチュエータを有するリストバンド型触覚デバイス[2], 方向と衝撃を伝えるボール型デバイス[3]を開発してきた. これらは起きたイベント(プレーヤーの技やボールが打たれたタイミング, 飛んだ方向など)の情報を記号的に伝えるほかに, 人の受けた衝撃の変化など競技の進行状況や迫力を触覚で感じられるものであったが, 腕の動く速さや身体の動きのキレなど, 人の身体の動きの様子を伝えるものではなかった. そのため, 適したスポーツ種目が球技や道具を使った種目に限定されており, 人の身体の動きの様子が競技の進行の理解や迫力を感じる上で重要となる, 柔道や体操, 水泳, フェンシングといった競技の伝達には課題があった.

スポーツにおける人の身体の動きを触覚提示する技術としては, 選手の動きをユーザーが選手目線で追体験できるもの[4]や理想的なフォームの習得を目的としたもの[5]があるが, どちらも選手の動きを一人称視点で体験するものであり, 競技の進行を理解するための提示技術ではない.

今回, 人の身体の動きが競技の進行状況を理解する上で

重要となる上記のようなスポーツについても触覚による情報提示を可能にすべく, 四肢の動きによる運動の様子を伝えるための触覚デバイスを試作した. また, 本デバイスによる触覚刺激の提示で運動の様子が伝えられる可能性について基礎実験で検討した. 本デバイスで触覚刺激を提示した際にユーザーの前腕がどのように動くかを調べるため, ジャイロセンサーを搭載したアームバンド型ウェアラブルデバイスを用いて前腕の角速度を計測した.

## 2. 四肢の動きの様子を伝える球状触覚デバイス

### 2.1 システム構成

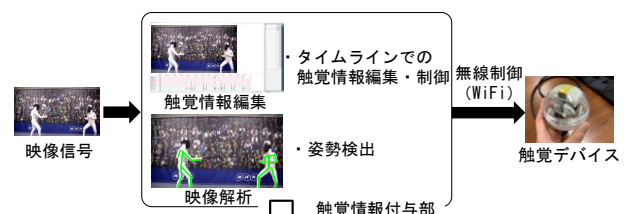


図 1: システム構成概要

システム構成の概要を図 1 に示す. まず, 触覚情報を付与する対象の映像信号を用意し, PC 上で, 以下の 2 通りの手法で触覚情報を付与する. 1つは既開発の触覚エディタ(触覚情報編集ソフト) [6]を用いて, 映像のタイムライン上で触覚情報を編集する方法, もう 1つは映像解析によって触覚情報を自動で付与する方法である. この付与内容に従って, PC から触覚デバイスを制御する. 触覚デバイ

スはマイクロコンピューターモジュールを有しており、このマイクロコンピューターモジュールが PC からの制御信号を無線 LAN (Wi-Fi) で受信し、信号内容にしたがって触覚デバイスが有する各アクチュエータを制御する。

## 2.2 デバイス詳細

開発した触覚デバイスを図 2 に示す。デバイスは直径 74mm の球状、重さ約 138g であり、成人が片手でも負担なく把持できるサイズとした。また、ユーザーの手の大きさや競技の種類によってはデバイスを両手で包むことが好ましいケースも想定され、かつ汎用性も担保できるように形状を球状としている。球状筐体の中には DC モーター (FA-130RA-2270, マブチモーター株式会社製[7]) の回転軸に偏芯板が装着された 4 つの偏芯回転子と音声信号の入力で振動触感を提示するリニア振動アクチュエータ (以下、振動子: ハプティックリアクタ, アルプスアルパイン社製[8]) が 1 つ内蔵されている。4 つの偏芯回転子は図 3 のように、上段と下段に 2 つの偏芯回転子が点対象に配置されており、上段と下段の配置を  $90^\circ$  ずらしている。この偏芯回転子 1 つを四肢の 1 本に対応させ、動きの様子を伝える。例えば、偏芯回転子①を正転、偏芯回転子②を逆転で回転させると、水泳のクロールの腕の動きを再現するイメージである。今回上段と下段を  $90^\circ$  ずらしたのは、よりコンパクトに実装するためであるが、今後、ずらさずに配置した場合とどちらが良いかは検討予定である。

また、内蔵した振動子は、例えばクロールで腕が水に入ったときに、水に入ったかのような振動触感を出すことで、より何が起きたかをわかりやすくすることを狙っている。駆動回路には無線マイクロコンピューターモジュール (ESP32-DevKitC, Espressif Systems 社製[9]) と偏芯回転子制御用のデュアルモータドライバ (TB6612FNG, Pololu 社製[10]) 2 個、そして振動子に入力する音声信号を増幅するためのアンプボード (MAX98357A 搭載 D 級アンプボード, Adafruit 社製[11]) を使用した。無線マイクロコンピューターモジュールとモータドライバにはいずれも 3.3V の駆動電圧をバッテリーから供給する。また、モータ駆動用電圧としても同等の電圧を供給している。

今回は、パブリックビューイングなどで一般の方が使用することを想定し、デバイスの落下の恐れがないように、デバイスの駆動回路とバッテリーは体験者が着用するベストのファスナーポケットに内蔵し、そこから制御線を一本にまとめたケーブルが出るようにした (図 2 右)。

## 3. 基礎実験

### 3.1 方法

本デバイスによる触覚刺激の提示で運動の様子が伝えられるかの評価に向けた基礎実験として、はじめに本デバイスの偏芯回転子により提示される触覚刺激により、ユーザーの前腕にどのような動きが生じているかを計測することにした。具体的には、偏芯回転子を回転させて触覚刺激を提示したときの、デバイスを右手で把持した際に自身

の右前腕に生じる動きを、アームバンド型ウェアラブルデバイス Myo[12]を用いて計測した (図 4)。Myo は 3 軸加速度センサ, 3 軸磁力センサ, 3 軸ジャイロスコープセンサを含む高感度 9 軸 IMU (Inertial Measurement Unit) と 8 チャンネルの筋電センサを搭載したジェスチャーコントローラである。



図 2: (左) 球状触覚デバイス外観 (右) 実装の様子

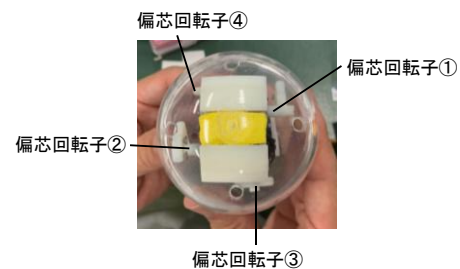


図 3: 球状触覚デバイス内上段の偏芯回転子の配置

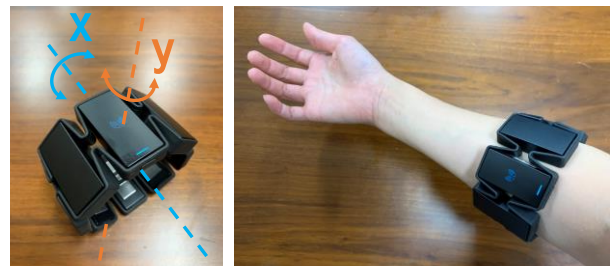


図 4: Myo 装着の様子

### 3.1.1 提示刺激

提示刺激は大きくわけて 2 つ用意した。1 つは図 5 に示す通り、(1)デバイスの把持の仕方を  $90^\circ$  ごとに回転させて変えた 4 パターン (A, B, C, D) を用意し、各把持パターンで偏芯回転子①~④を順番に「1 秒間駆動電圧 0.7V で回転させた後 5 秒間停止する」という動作を 3 セット繰り返す刺激である。回転方向は正転 (cw) で固定とした。もう 1 つは、(2)偏芯回転子①と②を交互に 1 秒ずつ駆動電圧 0.7V で回転させる動作を 5 セット繰り返す刺激で、図 6 に示す通り、偏芯回転子①と②の回転方向が正転 (cw) のときと逆転 (ccw) のときの組み合わせで 4 パターン (cw-cw, cw-ccw, ccw-cw, ccw-ccw) の動作を用意した。

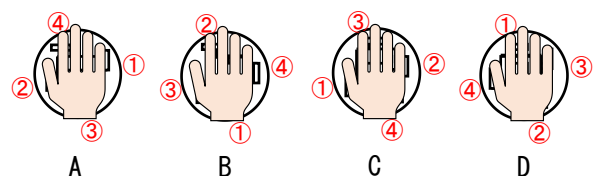
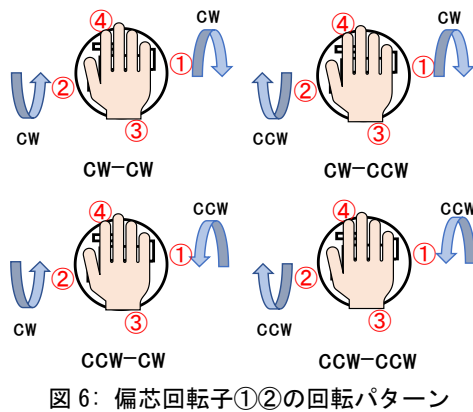


図 5: 球状デバイスの把持パターン



なお、把持の仕方は(1)におけるパターン A で固定とした。提示刺激(1)は把持の仕方の影響や各偏芯回転子で提示される刺激の差を測ることを目的とし、提示刺激(2)は水泳のクロールを伝えることを想定した刺激である。

### 3.2 結果

提示刺激(1)(2)での結果をそれぞれ図 7, 8 に示す。提示刺激(1)において、それぞれの把持パターンで前腕の roll に相当する回転成分 (x 軸中心の回転成分) の角速度の絶対値が最大になったときの偏芯回転子とその値に注目すると、A が④のときで 19.9(deg/s)、B が②で 19.4(deg/s)、C が③で 16.4(deg/s)、D が①で 18.9(deg/s)であった。提示刺激(2)においては、回転パターンが ccw-cw と ccw-ccw の比較では目立った差異が観測されなかったが、その他のパターンでの比較では x 軸と y 軸を中心とした回転の動きに差異がみられた。

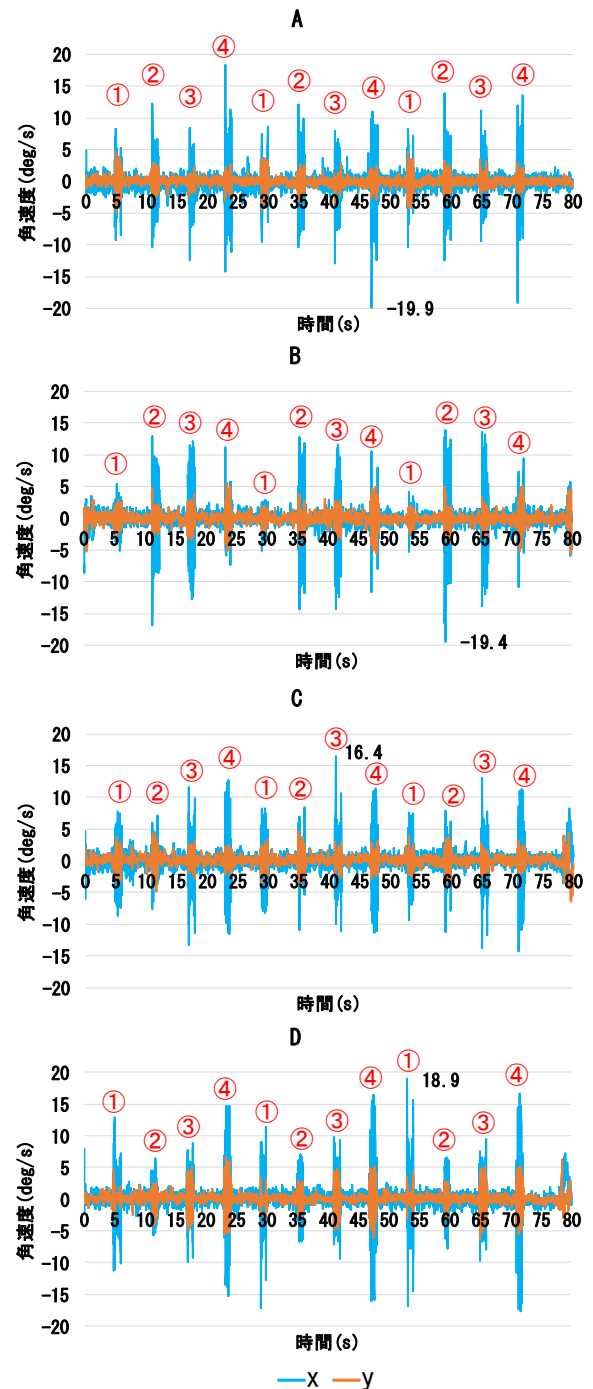
### 3.3 考察

提示刺激(1)の結果から、デバイスを把持した手の人差し指又は親指の最も近くにある偏芯回転子が回転したときに、x 軸中心の回転、すなわち前腕を捻る方向の動きが大きくなる傾向がみられた。ただしパターン C では手首に最も近い偏芯回転子が回転したときにも動きが大きかった。今後、追加実験の上、偏芯回転子の位置による触覚刺激の感じたかの違いを明らかにし、その特徴から伝えたい刺激に合わせて刺激提示の方法を調整する必要がある。

提示刺激(2)の結果から、左右の偏芯回転子を交互に駆動していることが主に前腕の x 軸中心の回転に反映されていることがわかった。小指に近い偏芯回転子①が正転のとき (cw-cw, cw-ccw) は、親指に近い偏芯回転子②が回転したときに x 軸中心の回転方向の動きが大きくなっているが、偏芯回転子①が逆転のとき (ccw-cw, ccw-ccw) は偏芯回転子①が回転したときも②が回転したときもどちらも x 軸方向の動きが大きくなった。また、偏芯回転子①が正転、偏芯回転子②が逆転のとき (cw-ccw) は、偏芯回転子①が回転したときに y 軸中心の回転方向の動きが他の条件と比較して大きかった。

これらの結果から、本球状デバイスでの偏芯回転子による触覚刺激の提示において、偏芯回転子の位置や回転方向

によって、動きの様子の違いを伝達できる可能性が示唆されたと考える。例えば左右の偏芯回転子の駆動タイミングや速度を制御することで、泳ぎのペース (ピッチ) や手を回すペースを表現できる可能性がある。提示刺激(2)では主観的にクロールのような動きとして感じる事ができた。今後実施予定の主観評価結果との相関関係の分析により、本デバイスが被写体の身体の動きの様子を表現できる能力をはかり、人が偏芯回転子の動きから運動の様子を知覚するメカニズムについて検討したい。また、今回は偏芯回転子の位相を制御しなかったが、今後は位相も含めた制御を検討する。



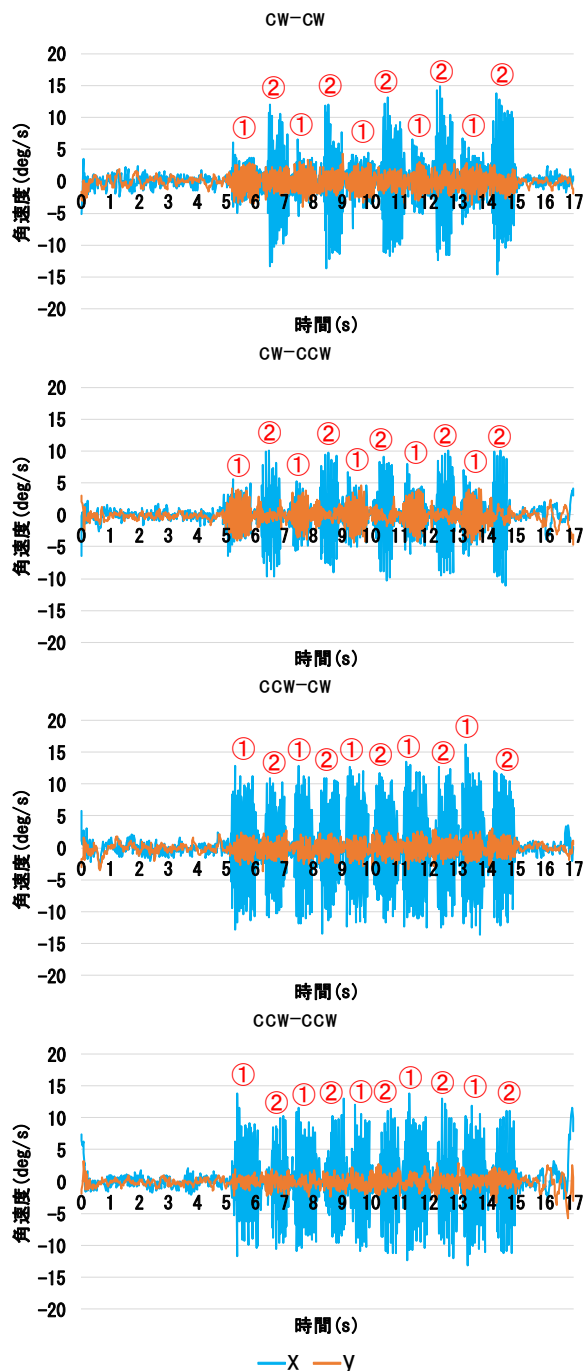


図 8: 提示刺激(2)での結果

#### 4. まとめ

人の身体の動きが競技の進行状況を理解する上で重要となるスポーツにおいて触覚による情報提示を可能にするため、人を含んだ生き物の四肢の運動の様子を伝えるための球状触覚デバイスを開発した。デバイスには4つの偏芯回転子を内蔵し、それを四肢に相当させ、運動の様子を伝える設計とした。また、運動の様子が伝わるかどうかの評価に向けた予備検討として、本デバイスによる触覚刺激の提示で、ユーザーの前腕がどのように動くかを計測

した。実験の結果、回転させる偏芯回転子の位置や回転方向を変えることで、ユーザーの前腕が異なる動きをする傾向があり、本デバイスによって四肢の運動の様子を伝えられる可能性が示唆された。

今後は実際のスポーツコンテンツを対象に、コンテンツ内容を理解するために必要な運動の様子が伝わるかを評価し、偏芯回転子と本デバイスに内蔵した振動子による振動触覚刺激も同時に提示することで、よりわかりやすい触覚刺激の提示を検討したい。

#### 参考文献

- [1] 東真希子, 半田拓也, 清水俊宏, 近藤悟: 触覚による情報伝達のための振動キューブの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第22回大会論文集, 2D2-02, 2017.
- [2] 東真希子, 半田拓也, 清水俊宏, 近藤悟: 触覚による情報伝達のためのリストバンド型ハプティックデバイスの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第23回大会論文集, 21A-4, 2018.
- [3] 半田拓也, 東真希子, 清水俊宏, 近藤悟: スポーツ中継を能動的に楽しむためのボール型ハプティックインターフェースの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第23回大会論文集, 21A-5, 2018.
- [4] 水品友佑, フェルナンドチャリス, 南澤孝太, 館暉: Interactive Instant Replay: 身体運動にカップリングされた映像と触覚提示によるスポーツ体験共有システム, 日本バーチャルリアリティ学会誌, 日本バーチャルリアリティ学会第19回大会論文集, pp. 298-299, 2014.
- [5] 龍野 翔, 早川 智彦, 石川 正俊: ボウリング投球動作を対象とした電気刺激によるスポーツスキル習得支援システムの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 22, No. 4, pp. 447-455, 2007.
- [6] 東真希子, 半田拓也, 高橋正樹, 清水俊宏: 編集機能付き触覚情報提示システムの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第24回大会論文集, 6A-04, 2019.
- [7] FA-130RA-2270, マブチモーター株式会社: <https://product.mabuchi-motor.co.jp/detail.html?id=9>
- [8] ハプティックリアクタ, アルプスアルパイン社: <https://tech.alpsalpine.com/prod/j/html/haptic/>
- [9] ESP32-DevKitC, Espressif Systems 社: <https://www.espressif.com/en/products/devkits/esp32-dev-kit/overview>
- [10] TB6612FNG デュアルモータドライバ, Pololu 社: <https://www.pololu.com/product/713>
- [11] MAX98357A 搭載 D 級アンプボード, Adafruit 社: <https://www.adafruit.com/product/3006>
- [12] Myo: <https://support.getmyo.com/hc/en-us>