Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-05-29

圧力センサ付きスティックを用いた聴覚フィードバックによるフィールドホッケーのプッシュ上達支援システム

岩本，宗大
大西，鮎美
寺田，努
塚本，昌彦

(Citation)
情報処理学会論文誌,63(10):1574-1582

(Issue Date)
2022-10-15

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(Rights)
ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。
Notice for the use of this material The copyright of this material is retained by th…

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100492843

情報処理学会論文誌 Vol.63 No.10 1574–1582 (Oct. 2022)

圧力センサ付きスティックを用いた聴覚フィードバックによるフィールドホッケーのプッシュ上達支援システム

岩本 宗大[1,a)] 大西 鮎美[1,b)] 寺田 努[1,c)] 塚本 昌彦[1,d)]

受付日 2022年2月5日, 採録日 2022年7月6日

概要：フィールドホッケーは，スティックと硬球を使って行う世界的に人気のあるスポーツである．フィールドホッケーの動作の中で，チームメイトへのパスとして最も基本的で一般的に使われる動作のうちの1つにプッシュという動作がある．プッシュ動作中，スティックにボールが接触してからリリースされるまでスティックがボールと接触している距離が長いと強くて速いプッシュを打てる．しかし，初心者が自分でスティックの接触点を知覚することは難しい．本研究では，プッシュの技術向上のためにスティックにボールが接触する位置の移動経路をリアルタイムに聴覚フィードバックするシステムを提案する．提案システムは，圧力センサの接触位置に応じてピッチの異なるフィードバック音を圧電スピーカによりリアルタイムで発生させる．2カ月間行った評価実験の結果，スティック上のボールの移動経路の平均距離は，聴覚フィードバックを行ったほうが，行わなかった場合よりも有意に長くなった．これにより，提案システムによる聴覚フィードバックの有効性を確認した．

キーワード：フィールドホッケー，センシング，ユビキタスコンピューティング，フィードバック

Push Practice Support System for Field Hockey with Auditory Feedback Using a Stick with Pressure Sensors

Munehiro Iwamoto[1,a)] Ayumi Ohnishi[1,b)] Tsutomu Terada[1,c)] Masahiko Tsukamoto[1,d)]

Received: February 5, 2022, Accepted: July 6, 2022

Abstract: Field hockey is a popular global sport played with a stick and hard ball, in which stick manipulation is difficult. In field hockey, a push pass is the most basic and common pass to teammates. For the best push pass, the stick should stay in contact with the ball for a long time until it is released for the pass. However, it is difficult for beginners to perceive the contact point of the stick by themselves. This study proposed a system to enable the user to hear the movement path of the contact position of the ball on the stick to improve the push pass technique. In the proposed system, eight pressure sensors are placed on a hockey stick. The system detects the contact path of the ball, and feedback sounds with different pitches depending on the contact positions of the piezoelectric speaker are produced in real time. According to the evaluation experiment conducted over two months, the average distance of the movement path of the ball on the stick was significantly longer when the auditory feedback was provided than when it was not provided. This result confirms the effectiveness of auditory feedback utilizing the proposed system.

Keywords: field hockey, sensor, ubiquitous computing, feedback

1. 背景

フィールドホッケーは，スティックと硬球を使って行うイギリス発祥の11人制のチームスポーツである．オリンピックの正式種目にもなっている世界的に人気のスポーツで，ヨーロッパにはプロリーグも存在する．

[1] 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe, Hyogo 657–8501, Japan
[a)] munehiro-iwamoto@stu.kobe-u.ac.jp
[b)] ohnishi@eedept.kobe-u.ac.jp
[c)] tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp
[d)] tuka@kobe-u.ac.jp

© 2022 Information Processing Society of Japan

フィールドホッケーでは，スティックを使った基本動作が難しく，初心者が上達するまでには時間がかかることから，指導者や経験者が初心者に的確なアドバイスをする必要がある．しかしながら，日本など指導者が非常に少ない国もあり，幼少期からフィールドホッケーを始める人が少ない．そのため，高校や大学の部活のチームはほとんどが初心者で構成されていることから，十分な指導を行えないチームも数多く存在する．

フィールドホッケーの基本動作の中の 1 つにプッシュと呼ばれる動作がある．プッシュはスティックにボールをつけたまま押し出す動きにより，ボールを地面に沿って浮かさずに打ち出す動作で，正確さの求められるパスを打つときに用いる [1]．ゴルフのようにスイングするヒットという打ち方と比較してボールを打ち出すまでの動作時間が長く，味方へ正確なパスを送ることができる．プッシュは主に，ドリブルしながら放たれる動きながらのプッシュと，トラップ直後のパスなど，ボールがほとんど静止している場面でのプッシュの 2 つの場面での使用が想定される．止まったボールのプッシュができなければ当然，ドリブルで動きながらプッシュすることはできないことから，初心者はまず最初に静止したボールをプッシュする練習から始めることが一般的である．

強いプッシュを打ち出すには図 1 のようにボールとスティックの接触を保ちながら，ボールをスティックの根本から先へ向かうように押し出す動作が理想とされるが，初心者は自分ではボールの接触位置がどこであったのかを把握することは難しい．また，第三者からも詳細なスティック上のボールの接触位置の移動経路は分からないため，ボールの移動経路が把握できず，それが上達への第一の障壁となっている．

そこで，ボール接触位置の移動経路が分かればスティックの扱い方の改善点が分かり強いプッシュを打ち出せるようになると考え，本研究ではフィールドホッケー初心者のプッシュ技術向上のためにボールをスティックで打ったときの打面上におけるボールの接触位置の移動経路を可聴化するシステムを提案する．これにより，フィールドホッケー初心者でもボールの接触位置の違いが知覚でき，音を参考にスティックの動かし方を修正できるため，プッシュ技術の向上が期待できる．

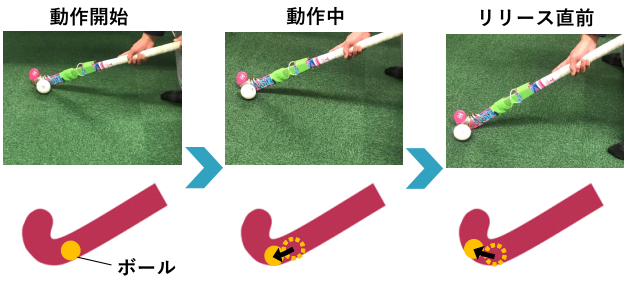


図 1 プッシュ動作時のボール移動

Fig. 1 The trajectory of the ball on the stick during a push pass.

本研究の貢献は以下の 2 つである．

- フィールドホッケーにおいて，ボールがスティックに接触した際のボールの移動経路を可聴化するシステムを提案，実装した．
- 初心者を対象とした 2 カ月間の評価実験から，提案システムによる聴覚フィードバックで，スティック上におけるボールの移動距離が有意に長くなることを確認した．

本論文では以降，2 章で関連研究を紹介し，3 章で提案システムについて述べる．4 章では評価実験について説明し，5 章では提案システムについて議論し，最後に 6 章で本論文をまとめる．

2. 関連研究

2.1 センシングを活用したスポーツの技術習得支援

スポーツのスキルアップを支援するためのセンシング技術の活用についての研究は多くあり，様々なセンシング・フィードバックシステムが提案されている．

Ghasemzadeh らは，ゴルフのスイングトレーニングにボディセンサネットワークを活用するシステムを提案した [2]．この研究では，プレイヤの上半身とゴルフクラブにセンサノードを設置し，スイング中のそれぞれの加速度や角速度をモニタリングする．このシステムは，ゴルフスイングの 4 つの主要セグメント（テイクアウェイ，バックスイング，ダウンスイング，フォロースルー）において，プレイヤが正しいスイングを身につけるための支援に活用できる．実験の結果，手首の回転角度がゴルフスイングの質に影響することが示された．

ゴルフとフィールドホッケーは，クラブやスティックといった道具を振るという点で似ているため，ゴルフで活用されている手法をフィールドホッケーに応用できる可能性がある．しかし，フィールドホッケーは動きながら行うスポーツであるため，ゴルフのように静止した状態で測定することはできない．

Elvitigala らは，スクワットやデッドリフトを行う際に正しい姿勢を維持できるよう，足裏の圧力中心（CoP）をフィードバックするインソール型のデバイス GymSoles を提案している [3]．評価実験では GymSoles を用いてリアルタイムに CoP を視覚または振動触覚でフィードバックすることにより，姿勢が改善されることを確認した．このように，視覚と振動触覚のフィードバックを活用することは，初心者のスポーツ上達に効果的である．

Okugawa らは，初心者のペダリングスキルを向上させるために，聴覚フィードバックを活用した自転車競技のペダリングトレーニングシステムを提案している [4]．このシステムは，ペダルのクランクが 1/4 回転するごとにフィー

© 2022 Information Processing Society of Japan

ドバック音を発生させる．ユーザはこのフィードバック音と BMG のテンポが一定になるようにペダルを回すことで，ペダリングの角速度を一定に保つことができる．4 週間の実験の結果，システムによるトレーニングを受けた被験者のペダリング角速度のばらつきが従来のシステムに比べて大幅に減少することが確認された．このように，聴覚フィードバックもまた初心者のスポーツの上達に効果的である．

道具を使うスポーツでは，視覚と聴覚のフィードバックを活用した上達支援や初心者と上級者の違いを検出し，初心者の上達をサポートする研究が行われている．そこで，スティックを用いたフィールドホッケーにおいても，同様にセンシング技術やフィードバックシステムを活用することで初心者の上達を支援可能ではないかと考えた．よって，本研究で提案するシステムでもプッシュ技術の上達のために，センシング技術を活用してスティック打面上におけるボールの接触位置の変化が知覚できるような即応性の高いフィードバックを採用する．

2.2 フィールドホッケーのセンシング技術

フィールドホッケーの研究では，フィールドホッケーに適した体型や肺活量などを把握する生理学的な研究 [5] や，試合中の選手の動きを分析する GPS 計測 [6]，血液科学による疲労分析 [7] など科学的な分析による様々な練習支援方法が提案されている．また，ドリブルにおけるスプリントトレーニングの有用性に関する研究のように練習方法そのものの有用性を測定する研究もある [8]．

センシング技術を用いたフィールドホッケーの研究として，Tremayne らは，フィールドホッケーのスティックに加速度センサを装着し，スイングに関する練習を数週間課した前と後のスイング時のスイングスピードを比較することでヒット練習の有用性を調べた [9]．実験により，スイングスピード向上のために有用な練習と成果の得られない練習があることを示した．Thiela らは，1 回のスイングにかかる時間を計測するため，スティックに加速度センサを装着し，初心者と経験者のスイング時間を比較した [10]．その結果，初心者と経験者ではスイングの時間に大きな差があることが分かり，スイング時間の違いで提案する練習メニューを変えられるようになった．Meulman らは，フィールドホッケーの上級者向けに応用動作であるドラッグフリックのトレーニング装置を作成し，ドラッグフリックの上達と床反力計を用いて足にかかる負担を調査した．実験の結果，トレーニング装置を使うことでボールのスピードが上昇し足にかかる負担も軽減されたことからトレーニング装置がドラッグフリック上達と身体への負担軽減に役立つことを示した [11]．このように，フィールドホッケーに関しては，加速度センサを用いて選手の技術レベルの差を測る研究や上級者向けのトレーニングツールによる上達支援の研究は行われているものの，初心者を対象としたセンシングによるスキル上達に関する研究は筆者らが知る限り行われていない．

Jennings らは，フィールドホッケーのスティックの先端に加速度センサ，ボールが通るスティック上の軌道に沿って圧力センサを設置し，シュートで使われるドラッグフリックを打つときのボールの位置と力の加わり方を調べた [12]．その結果，ボールの位置とスティックにかかる圧力はドラッグフリックをする際に重要であることが分かった．このドラッグフリック動作はプッシュの応用的動作であるため，初心者がプッシュを学ぶ際にそのまま適応することはできないものの，プッシュ動作に対しても圧力センサを用いることは有効であると考えられる．本研究で提案するシステムは，フィールドホッケーのプッシュ動作におけるスティック上のボールの移動経路をスティックの打面上に圧力センサを配置することで検出する．

3. システム設計

本章では，プッシュの技術を向上させるために，スティックの打球面におけるボールの接触経路を可聴化する提案システムについて説明する．

3.1 機能設計

プッシュの技術を向上させるためのシステムを設計するにあたって，以下の要素を考慮する必要がある．

- 対象ユーザのレベル
- フィードバックの目的
- フィードバック方法
- 提示のタイミング

対象者のレベルはまったく競技を経験したことのない初心者，競技歴が短い初心者，中級者，上級者が考えられるが，フィールドホッケーでは，1 章でも述べたように初心者の上達に課題がみられることから，本論文では初心者を対象としたシステムを設計する．

プッシュ技術を向上させるためのユーザへのフィードバックは，ユーザ自身の現状を把握させるものと，矯正を促すものの 2 パターンが考えられる．プッシュはスティックにボールをつけたまま押し出す動きにより，ボールを地面に沿って打ち出す動作であり，強いプッシュを打ち出すためには図 1 に示すように，打つ際にスティック打面上でのボールの移動経路を長くして，身体全体の力をボールに伝える必要がある．しかし，本論文で対象とする初心者は，自分自身で接触位置の移動経路を認識するのが難しい．初心者であってもスティック打面上におけるボールとの接触位置の移動経路が分かればスティックの軌道や向きを修正できるため，まず接触位置を把握させることが改善に有効と考え，提案システムではどのように接触位置を移動させながらプッシュを打ち出しているのかという現状をユーザ

© 2022 Information Processing Society of Japan

自身に把握させる．

フィードバックの種類は，一般に視覚，聴覚，触覚によるものが考えられる．本研究ではスティック打面上におけるボールの接触位置の変化が知覚できるように，状態の推移のような複数の状態が知覚できる情報量が多いフィードバックを採用する．触覚フィードバックでは，ボールの移動経路のような複数の状態を提示された振動から判別することが難しく，またプッシュを打つ際に起こる本来の振動を知覚することは重要と考え，フィードバックの種類という観点では，触覚ではなく一度に提示できる情報量の多い視覚や聴覚フィードバックが適切だと考えられる．

動作の情報をユーザにフィードバックするタイミングは2種類考えられる．1つは，打撃の動作中にリアルタイムでユーザに知らせるものであり，もう1つは動作後にその結果を提示するものである．本研究ではスティック打面上におけるボールの接触位置の変化が知覚でき，プッシュ動作と接触位置の対応付けが可能となるような即応性が高いフィードバックを採用する．筆者らは過去の研究でフィールドホッケーの技術上達のための視覚フィードバックシステムを開発したが [13]，視覚フィードバックではユーザが画面を見ながらボールを打つことは困難であり，即応性の高いフィードバックが難しいことから，本研究では聴覚フィードバックを採用することとした．本研究で提案するシステムで行う聴覚フィードバックでは，プッシュ動作時にボールがスティックに触れる各ポイントで異なる音を流すことで，ボールがスティック上を移動する感覚をリアルタイムに把握しやすくする．

3.2　システム構成

提案システムの構成を**図 2** に示す．提案デバイスでは**図 3** のようにプッシュ動作時にボールが通るとされるスティック上の経路に8つの圧力センサを配置する．8つのセンサ値がマイコンで音データとして変換された後，圧電スピーカに送信され，その値に基づき音が鳴ることで，ユーザはボールの移動経路のフィードバックを受ける．センサの配置について，実際のプッシュ動作時のボールの動きを分析した結果，0，1，2番から動き出したボールは，スティックの縁に沿って移動するのではなく，一度スティックの中心である4番を経由してから5，6，7番のある先端に向かっていくことが多い．4番のセンサがないと，詳細な移動経路のデータが得られないことから，スティック打面の中心に4番の圧力センサを配置した．なお，フィールドホッケーのスティックは，片面が平面，片面が曲面になっているが，ルール上，平らである片面でしかボールを扱わないため，スティックの平らな片面のみにセンサを配置した．提案デバイスでは，スティックに Gryphon 社のタブーピンク SAMURAI（ヘッド形状：オーバサイズマキシ，サイズ：37.5 インチ），圧力センサは Interlink 社の FSR402，マイコンは Arduino 社の Arduino Nano を用いた．圧力センサのサンプリング周波数は 20 Hz である．提案デバイスの重さは，プッシュ動作をする際のスイングに影響するほど重くなく，また圧力センサも十分に薄く，打球感覚は変わらないため，本研究で提案するスティックはホッケースティックとして妥当であることを実際のホッケープレーヤによるレビューから確認している．

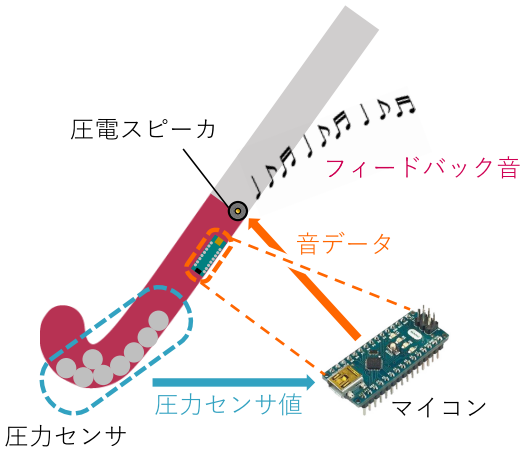


図 2　システム構成図
Fig. 2　Configuration of the proposed system.

3.2.1　接触経路の検出方法

スティックとボールの接触はスティック上の圧力センサ値から判定する．接触判定では，センサ値が閾値を超えたときに接触とする．この接触判定をスティック上の各センサに対して行うことで，8つのセンサとボールの接触の有無から移動経路が検出できる．なお，今回は空気抵抗などによるノイズを除去するため閾値を0から255まであるセンサ値のうちの2とした．提案システムではこの閾値を超えたときにボールとの接触を認識し，フィードバックを行う．押し出しが強くコントロールの良い理想的なプッシュは，本システムの圧力検知領域では図3における0–3番で接触し始め，4–6番でボールを押し出す動作であり，合計3つ程度の圧力センサと接触することである．7番までにボールが移動してしまうと，リリース前にスティック先端から外側へボールが離れてしまい，狙った位置に飛ばないことがあるため，6番までにボールが離れることが望ましい．

図 3　圧力センサの配置図
Fig. 3　Pressure sensor placement.

© 2022 Information Processing Society of Japan

図 4 提案デバイス
Fig. 4 Audible feedback device.

表 1 センサ番号と音階の関係
Table 1 Musical scales of each pressure sensors.

センサ番号	0	1	2	3	4	5	6	7
音階	C2	C3	C4*	C5	C6	C7	C8	C9

* C4 = 262 Hz

3.2.2 聴覚フィードバック方法

提案システムによる聴覚フィードバック機能では，**図 4** に示すようにスティック上に圧電スピーカを設置し，ボールの接触位置に応じて異なる音程の音をリアルタイムに発し，接触位置をフィードバックする．筆者らが行った音高の設定に関する事前調査の結果，音は高さが十分に異なれば，ユーザはスイング中に個々の音の違いを判別できることが分かった．そこで，フィールドホッケー経験者である第 1 著者が，1 音ずつ音を上げていくなどのいくつかのパターンで実際にプッシュを打って一番識別しやすかったパターンを採用することとした．検討の結果，**表 1** に示すように，図 3 における 0 番では低い音（C2），7 番で高い音（C9）が鳴るというように，数字が大きくなると 1 オクターブ高い音が鳴るような音高のパターンに決定した．このようにリアルタイムに音を流すことで，ユーザはボールの接触位置と音の対応関係からスティック上のボールの位置を瞬時に把握し，その動きを知覚する．接触位置と音との対応関係が分かると，スティックの操作性が向上し，スティック上のボールの移動経路が長くなり速いプッシュを打ち出すことができると考えられる．

4. 実験

4.1 予備調査

上手く打ったときに期待どおりに移動経路が長くなることを確認するため，予備調査としてフィールドホッケー経験者 1 名（競技歴 3 年半）を経験者としてフィードバックなしで 10 回プッシュ動作を行わせ，その際のボールの移動経路を記録した．結果を**図 5** に示す．グラフの縦軸はボールが通ったスティック上のセンサの番号を示しておりボールがリリースされた点で線が途切れている．図中では，10 回分のデータを色分けして示している．なお，見やすくするために各データを少しずらし重ならないように表記している．スティック上の移動経路に関して，経験者は

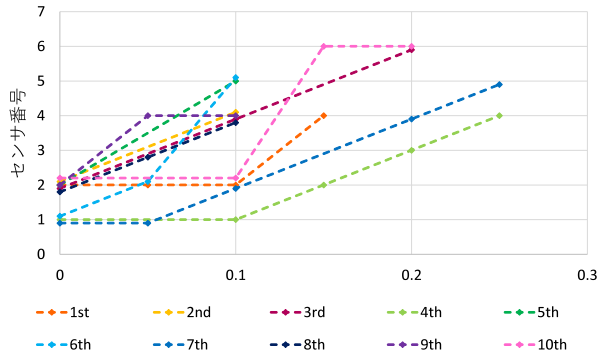


図 5 経験者のボールの移動経路
Fig. 5 The contact path of the ball when played by experienced players.

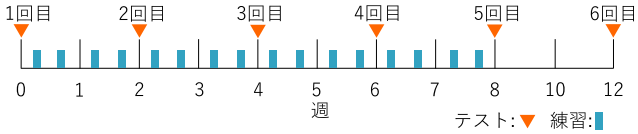


図 6 実験スケジュール
Fig. 6 Experimental procedure.

ほぼすべての試行においてスティックの先端（センサ番号 4，5，6 番）にボールを移動しながらプッシュ動作ができており，スティックの押し出す力を上手くボールに伝えられている．また，ボールがあたり始めたときのセンサ番号とリリースされたときのセンサ番号の差を移動距離とし，その合計を試行回数で割った値を平均移動距離とすると経験者の平均移動距離は 3.0 であった．このように経験者だと想定どおりにスティック上の理想的な移動経路が検出できていることを確かめた．

4.2 評価実験

提案システムを用いて初心者プレイヤがプッシュ練習を行った際に，提案システムがスティックとボールの接触距離を伸ばすことができるかどうかを確認するための評価実験を行った．被験者は，プッシュ動作を習得していない初心者の男性 7 名と女性 1 名である．被験者は，聴覚フィードバックありのグループ X（被験者 A，B，C，D）と聴覚フィードバックなしのグループ Y（被験者 E，F，G，H）に分かれ，2 カ月間実験に参加した．

評価実験では，まずすべての被験者に対して最初のテスト前に 5 分間のプッシュ動作のレクチャーを行った．レクチャーでは，スティックの持ち方やプッシュの打ち方，良いプッシュはボールが速く正確であること，またそれを実現するためにはスティック打面とボールの接触時間が長い方が良いことを教えた．また，**図 6** に示すように，グループ X はフィードバックありで週 2 回のプッシュ練習を，グループ Y はフィードバックなしで週 2 回のプッシュ練習を行った．週 2 回の練習について，フィードバックのあるグループ X には初回の練習開始時にのみ，スティック上

© 2022 Information Processing Society of Japan

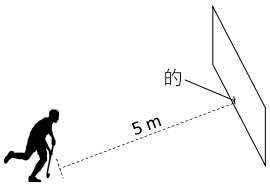


図 7 実験の模式図
Fig. 7 Schematic diagram of the experiment.

図 8 実験の様子
Fig. 8 A snapshot of the experiment.

のボールの移動が長いことを意味する 3 音程度のフィードバック音が連なって鳴ることが適切であることを伝えた．練習中は両グループとも，**図 7** のように 5 m の距離から目標に向かって 1 回の練習につきプッシュを 20 回行った．また，20 回のプッシュ練習中および，2 回目の練習以降は，両グループともに，プッシュに関する説明は何も受けず，プッシュを繰り返した．練習の様子を**図 8** に示す．距離の設定に関して，フィールドホッケーの練習では，初心者がプッシュ練習を始めるときに向かい合ってパスを打つ距離が約 5 m で，そこから上達度とともに距離を離していく．また，この 5 m という距離は方向をある程度決めて打つための目安であり，5 m の地点でボールが止まるように打つわけではないため，方向を決めて打つ距離としては妥当であると考え設定した．

両グループともに，初回練習前と 2 週間ごとにフィードバックなしでテストを行い，上達度を測定した．テストでは，練習と同じく図 7 のように目標に向かってプッシュを 5 回行った．明るさ，風などの条件が一致するように室内で実験を行い，室内フローリングの保護のため，実際にプレーする人工芝に近い環境である畳を敷いて練習を行った．実験で用いた評価指標は，以下の 3 つである．

- スティック上のボールの移動距離
- 的に到達するまでの時間
- 的の中心からの距離

的に到達するまでの時間（以下，到達時間）はビデオカメラの時間（30 fps）から算出した．的の中心からの距離はプッシュの正確さ（以下，精度）を表し，この精度はメジャーで測定した．また，システムからの離脱の評価を行うため，初回のテストから約 2 カ月後に行われる 5 回目のテストが終わってからさらに 1 カ月後に，8 名全員に対してフィードバックなしで同様のテストを 1 回行った．なお，フィールドホッケーは利き手に関係なく同じスイングでプレーするため，利き手については考慮しなかった．使用したボールは，Daito Baseball のサンドボール（質量：150 g，直径：48 mm）である．

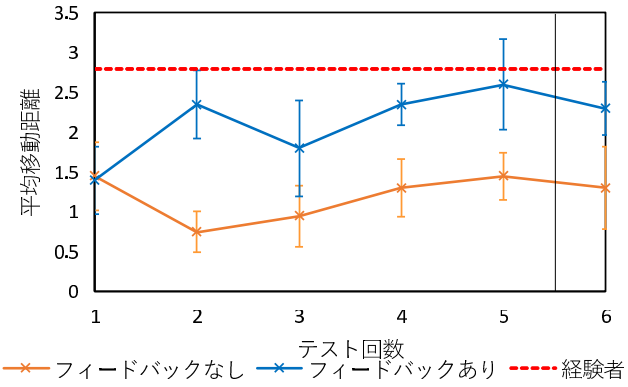


図 9 スティック上のボールの移動距離
Fig. 9 Average moving distance of push passes.

表 2 スティック上のボールの平均移動距離
Table 2 Average moving distance of each participant.

方法	被験者	テスト回数（回目）					
		1	2	3	4	5	6
FB 有	A	1.8	2.4	2.4	2.6	2.6	2.2
	B	0.8	2.2	1.2	2.2	1.8	1.8
	C	1.8	3.0	2.4	2.6	3.4	2.6
	D	1.2	1.8	1.2	2.0	2.6	2.6
FB 無	E	1.2	0.6	1.4	1.4	1.8	1.0
	F	1.2	1.2	0.4	1.2	1.0	1.0
	G	1.2	0.6	1.2	1.8	1.4	1.0
	H	2.2	0.6	0.8	0.8	1.6	2.2

4.3 結果

スティック上のボールの移動についての結果を**図 9** に示す．また，被験者ごとの結果を**表 2** に示す．表 1 に示すように，聴覚フィードバックなしのグループ Y は，1 回目のテストと比較してボールがスティック上を移動する平均移動距離はあまり変化しなかったが，フィードバックありのグループ X では 1 回目のテストと比較して平均距離が長くなっていることが分かった．したがって，聴覚フィードバックは，被験者が理想的なプッシュ動作を習得するのに役立つと思われる．また，フィードバックを行ったグループ X の 4 人の棒の平均移動距離の最初と 5 回目の結果の差と，フィードバックを行わなかった Y グループの 4 人の棒の平均移動距離の最初と 5 回目の結果の差について t 検定を行ったところ，**図 10** に示すように，両グループは有意差を示した（$t(5) = 3.79$，$p < 0.05$）．効果量 d は便宜上大きいと判断される [14]．検出力（$1 - \beta$）は十分である．平均値の差の 95%信頼区間は 0.405–1.995 であり，実

© 2022 Information Processing Society of Japan

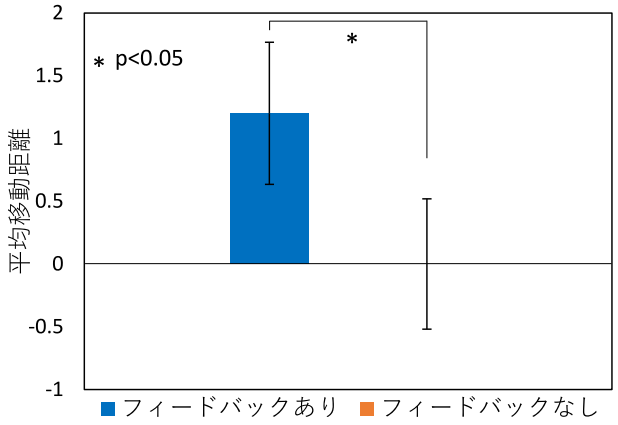


図 10 1 回目と 5 回目のテストにおけるスティック上のボールの移動距離の差

Fig. 10 The difference of the average moving distance between first test and final test.

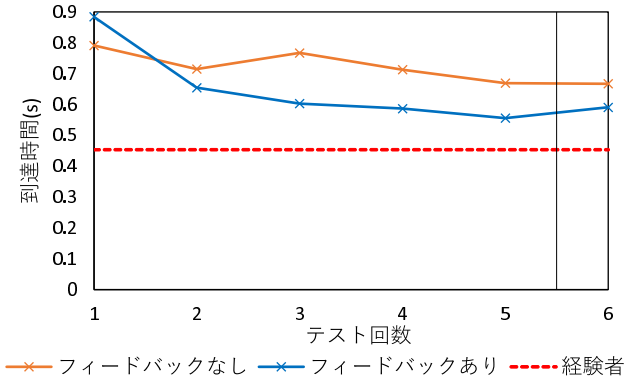


図 11 平均到達時間

Fig. 11 Time of push passes.

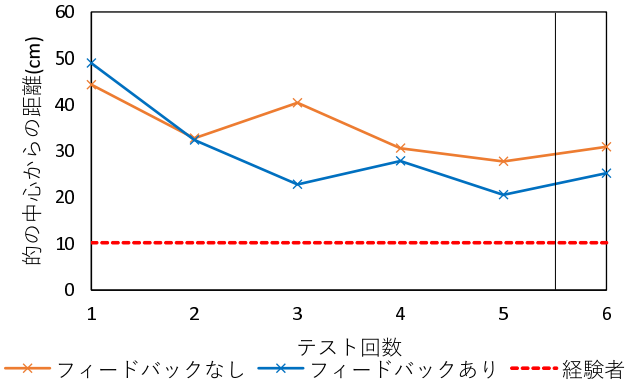


図 12 的の中心からの平均距離

Fig. 12 Accuracy of push passes.

質的に最小差で 1 ポイント近い差は生じない．また，両群の分散比の検定の結果，有意ではないことが確認された（$F(3,3) = 0.5$，$p = 0.583$，two-tailed test）．

また，**図 11**，**図 12** に示すように，フィードバックありのグループ X の方がフィードバックなしのグループ Y よりも時間および精度が向上していることが確認された．個々の結果についても，**表 3**，**表 4** に示すように，フィードバックなしのグループと比べてフィードバックありの方

表 3 平均到達時間 [s]

Table 3 Average time of push passes (second).

方法	被験者	テスト回数（回目）					
		1	2	3	4	5	6
FB 有	A	0.76	0.67	0.58	0.55	0.58	0.60
	B	0.64	0.73	0.61	0.63	0.55	0.64
	C	1.59	0.66	0.65	0.63	0.60	0.60
	D	0.54	0.55	0.57	0.54	0.50	0.52
FB 無	E	0.79	0.73	0.85	0.77	0.80	0.75
	F	0.54	0.74	0.74	0.66	0.64	0.70
	G	0.56	0.65	0.63	0.62	0.54	0.51
	H	1.27	0.74	0.85	0.79	0.70	0.71

表 4 的の中心からの平均距離 [cm]

Table 4 Average accuracy of push passes (cm).

方法	被験者	テスト回数（回目）					
		1	2	3	4	5	6
FB 有	A	55.0	38.2	17.6	45.0	25.0	29.2
	B	32.2	14.8	20.8	17.0	22.8	23.0
	C	48.2	39.6	24.6	21.0	14.0	6.0
	D	60.4	36.8	28.2	28.4	20.4	42.6
FB 無	E	36.6	20.4	28.8	15.4	23.4	14.0
	F	60.4	51.6	38.8	32.2	31.0	18.0
	G	34.8	16.6	51.6	35.8	29.4	50.8
	H	45.4	42.4	42.4	39.0	27.2	40.8

が上達度が高いことがうかがえる．したがって，ボールがスティック上を移動する距離を長くすることで，より正確なプッシュが可能になると考えられる．

システムからの離脱の評価については，図 10 のテスト 6 回目に示されるように，1 カ月前の 5 回目のテストと比べてスティック上のボールの移動距離がほとんど変わらなかった．したがって，システムを 2 カ月間使えばフィードバックの効果が維持されると期待できる．

5. 議論

本論文では，プッシュにおけるボールの移動距離を増加させるシステムを提案し，その有効性を確認した．スティック上のボールの移動距離の長さはプッシュの上達に必要な要素の 1 つであり，移動距離を伸ばすためにスピードが落ちたり，パスの精度が落ちたりしては上達したとはいえない．しかし，提案システムを使用したグループでは，ボールとスティックの接触距離が有意に長くなり，スピードと精度が低下していなかった．したがって，本システムは初心者のプッシュ技術を向上させたと結論づけられる．移動経路が長くなった後の次の段階の練習では，スイングのさらなる高速化，下半身の体重移動，重心の落下といった要

© 2022 Information Processing Society of Japan

素に着目し，スティックの押し出す力を効率良くボールに伝達するための補助を行うことがあげられるため，他の要素もフィードバックできるようなシステム開発を目指す．

今回は5mという比較的近い距離でのプッシュ実験を行ったが，実際のフィールドホッケーの試合では選手が40〜50m離れた味方にプッシュするケースも多く，近距離のパスの実験だけでは不十分である可能性がある．そこで，今後はよりリアルな環境で実験を行い，精度やボールスピードを評価することで，ユーザのレベルアップを支援することを試みる．

なお，本システムはリアルタイムでのフィードバックのみで，過去の記録と比較するためのログは表示されない．ログ機能があれば，ユーザは過去の成績と自分の上達度を定量的に比較できるため，システムの有用性が高まり，練習へのモチベーションが向上すると考えられる．今後は，PC上で過去の成績と比較できる機能の追加を検討する．

6. まとめ

本論文では，フィールドホッケーの基本動作であるプッシュの技術向上のため，スティック上のボールの接触位置の移動経路を可聴化するシステムを提案し，実装した．提案システムでは，プッシュ動作中のスティック上におけるボールの接触位置に圧力センサを配置し，スティック上のボールの接触経路を検出する．検出されたボールの移動経路は，マイコンを通じてスティックに取り付けた圧電スピーカへとデータが送られ，接触した圧力センサの位置によって異なる音程の音としてリアルタイムにフィードバックされる．2カ月間の評価実験により，フィードバックがあったほうがスティック上のボールの移動距離が有意に長くなり，提案システムを活用した聴覚フィードバックの有効性が確認された．

謝辞 本研究の一部は，JST CREST（JPMJCR18A3），国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の支援によるものである．ここに記して謝意を示す．

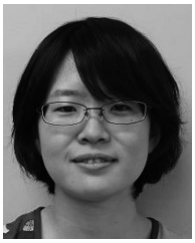
参考文献

[1] International Hockey Federation: Rules of Hockey, available from ⟨http://fih.ch/inside-fih/our-official-documents/rules-of-hockey⟩.
[2] Ghasemzadeh, H., Loseu, V., Guenterberg, E. and Jafari, R.: Sport Training Using Body Sensor Networks: A Statistical Approach to Measure Wrist Rotation for Golf swing, *Proc. 4th International Conference on Body Area Networks*, No.2, pp.1–8 (Apr. 2009).
[3] Elvitigala, D.S., Matthies, D.J.C., David, L., Weerasinghe, C. and Nanayakkara, S.: GymSoles: Improving Squats and Dead-Lifts by Visualizing the User's Center of Pressure, *Proc. 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No.174, pp.1–12 (May 2019).
[4] Okugawa, R., Murao, K., Terada, T. and Tsukamoto, M.: Training System of Bicycle Pedaling using Auditory Feedback, *Proc. 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, No.17, pp.1–4 (Nov. 2015).
[5] Reilly, T. and A. Borrie: Physiology Applied to Field Hockey, *Journal of the Sports Medicine*, Vol.14, No.1, pp.10–16 (July 1992).
[6] Gabbett, T.J.: GPS Analysis of Elite Women's Field Hockey Training and Competition, *Journal of the Strength and Conditioning Research*, Vol.24, No.5, pp.1321–1324 (May 2014).
[7] Ghosh, A.K., Goswami, A., Mazumdar, P. and Mathur, D.N.: Heart Rate and Blood Lactate Response in Field Hockey Players, *Indian Journal of the Medical Research*, Vol.94, pp.351–356 (Oct. 1991).
[8] Lemmink, K.A.P.M., Elferink-Gemser, M.T. and Visscher, C.: Evaluation of the Reliability of Two Field Hockey Specific Sprint and Dribble Tests in Your Field Hockey Players, *British Journal of the Sports Medicine*, Vol.38, No.2, pp.138–142 (Apr. 2004).
[9] Tremayne, M., Thiel, D.V. and Nottle, S.: Accelerometer Measures of Field Hockey Skills Development, *Journal of the Sports Technology*, Vol.4, No.3–4, pp.122–127 (Aug. 2011).
[10] Thiela, D.V., Tremaynea, M. and James, D.A.: Monitoring Stick Speed and Ball Control in Field Hockey Drills Using a Stick-Mounted Inertial Accelerometer, *Journal of the Procedia Engineering*, Vol.34, pp.574–579 (Mar. 2012).
[11] Meulmana, H.N., Berger, M.A.M., Zande, M.V., Kok, P.M., Ottevanger, E.J.C. and Crucq, M.B.: Development of a Tool for Training the Drag Flick Penalty Corner in Field Hockey, *Journal of the Procedia Engineering*, Vol.34, pp.508–513 (Mar. 2012).
[12] Jenningsa, M.J., Blanchonettea, I., Lucasa, S.R., Morganb, S.W., Helmera, R.J.N. and Yangc, C.: Instrumentation of a Field Hockey Stick to Detect Stick and Ball Interaction during a Drag Flick, *Journal of the Procedia Engineering*, Vol.2, No.2, pp.2979–2984 (June 2010).
[13] 岩本宗大，大西鮎美，寺田 努，塚本昌彦：視覚・聴覚フィードバックによるフィールドホッケーのプッシュ練習支援システムの設計と実装，第28回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ（WISS 2020），No.5, pp.127–132 (Dec. 2020).
[14] Cohen, J.: A Power Primer, *Psychological Bulletin*, Vol.112, No.1, pp.155–159 (1992).

岩本 宗大

2020年神戸大学工学部電気電子工学科卒業．同年同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程前期課程，現在に至る．

© 2022 Information Processing Society of Japan



大西 鮎美 （正会員）

2014 年神戸大学工学部電気電子工学科卒業．2016 年東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻修士課程修了．2019 年神戸大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程後期課程修了．同年神戸大学大学院工学研究科特命助教，2020 年同助教．博士（工学）．ウェアラブルコンピューティング，ユビキタスコンピューティングの研究に従事．

寺田 努 （正会員）

1974 年生．1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業．1999 年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了．2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学．同年大阪大学サイバーメディアセンター助手．2005 年同講師．2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授，2018 年同教授，現在に至る．2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事．博士（工学）．アクティブデータベース，ウェアラブルコンピューティング，ユビキタスコンピューティングの研究に従事．IEEE，電子情報通信学会，日本データベース学会，ヒューマンインタフェース学会の各会員．

塚本 昌彦 （正会員）

1964 年生．1987 年京都大学工学部数理工学科卒業．1989 年同大学大学院工学研究科修士課程修了．同年シャープ（株）入社．1995 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師．1996 年同専攻助教授．2002 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授．2004 年神戸大学大学院工学研究科教授，現在に至る．2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事長を兼務．博士（工学）．ウェアラブルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの研究に従事．ACM，IEEE 等 8 学会の会員．

© 2022 Information Processing Society of Japan