

フィールドホッケーにおける 圧力センサ付スティックを用いた 技術向上支援システムの設計と実装

岩本宗大¹ 大西鮎美¹ 寺田 努¹ 塚本昌彦¹

概要: フィールドホッケーはイングランド発祥のスティックと硬球を用いて行われる球技であり, スティック操作が難しい. また, 幼少期の競技人口が少ないため, 初心者に対して適切なアドバイスができる指導者が少ない. そこで本論文では, フィールドホッケー初心者のヒット, プッシュ技術向上のために圧力センサによる2種類の打点可視化システムを提案した. ヒット技術を習得していない競技経験者と未経験者それぞれ1名ずつを対象としたヒット技術向上の評価実験では, 未経験者の打点が経験者と比較してフィードバック時に芯に近づいたことから, 未経験者に対してフィードバックが有効である可能性を示した. また, 競技未経験者5名を対象としたプッシュ技術向上の評価実験では, 5名全員がフィードバックを行ったときの方が高い圧力値を得られたことから, フィードバックによって強いプッシュを打ち出すことができたことを示した. また, 一部の被験者に対してフィードバックによりプッシュ動作中のスティック上のボールの接触位置の移動経路において改善がみられた.

1. はじめに

フィールドホッケーはイングランド発祥のスティックと硬球を用いて行われる11人制の球技であり, スティック操作が難しい競技である. 男子は1908年, 女子も1980年よりオリンピックの正式種目となるほど世界的に人気のあるスポーツであり, ヨーロッパなどではプロリーグも存在する[1]. フィールドホッケーはスティックを用いた基本動作が難しく初心者は上達に時間がかかるため手厚い指導が必要であるが, 日本では幼少期の競技人口が少ないことから高校や大学の部活動などではほとんどが初心者で構成されたチームも多く[2], その場合初心者に対して的確なアドバイスができる指導者や先輩が少ないといった問題がある.

フィールドホッケーの基本動作は大きくドリブル, ヒット, プッシュの3つに分けられ, 初心者の動作習得には多くの時間を要する. ドリブルはボールをスティックの平らな面のみを使用して運ぶ動作である. 高度なスティック操作技術を必要とするだけでなく, 低姿勢で素早い動きが必要であるため[3], 下半身の筋力も必要である. ヒットはゴルフのようにスティックを握りスイングすることでボールを打つ動作[4]で, ロングパスやシュートなど短い動作時間で強いボールを打ちたいときに行う. 男子選手の場合,

シュートを打った際の球速が200 km/sを超えることもある. しかし, 芯からずれると狙った場所に打つことや強いボールを打つことは難しく, 不正確なボールとなることが多い. 打球を安定させるには芯に確実に当てることが必要であり, 正確に芯に当てられるようになるには多くの時間を要する[5]. さらに, 芯に当たっているかどうかは初心者が自分で判断することはできず, 第三者が判断することも難しい. そのため指導者は打点に応じた指導ができず, スイングのフォームに関する指導しかすることができない. したがって, 打点がわかれば芯からのずれに応じてスイング軌道やスティックの向きを修正することができるため, ヒット技術が向上するのではないかと考えられる.

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, ボールをグラウンド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行う[4]. ヒット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. 強いプッシュを打ち出すには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打ち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だったのか判断することはできない. また, 第三者からも詳しいスティック上のボールの移動経路がわからない. したがって, ボールの接触移動がわかればスティック

¹ 神戸大学大学院工学研究科

クの使い方がわかり強いプッシュを打ち出せるようになると考えられる。しかし、フィールドホッケー初心者に対するヒット、プッシュ動作習得のための研究はほとんど行われていないため、初心者が効率よく技術向上を目指すことは困難である。

そこで本研究では、3つの基本動作のうちパスやシュートに必要なヒットとプッシュに着目し、フィールドホッケー初心者のヒットおよび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時の打点と打面上におけるボールの移動経路を可視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簡単に芯からどれだけ打点が離れているかを確認でき、微妙な打点の違いやスティックの扱い方がわかるためヒット、プッシュ技術向上が期待できる。ドリブルについては、ある程度スティック操作の技術が必要でプッシュやヒットよりも難しく、プッシュ、ヒットとは大きく動作が異なることから本研究では取り扱わないこととする。

本論文は以下のように構成されている。2章で関連研究を紹介し、3章でヒット技術向上のための提案システムについて述べる。4章でプッシュ技術向上のための提案システムについて述べ、5章で提案システムと実験結果について議論し、6章で本論文をまとめる。

2. 関連研究

2.1 センシング技術を用いたスポーツ支援に関する研究

センシング技術を用いたスポーツ支援に関する研究は数多く行われている。その中でもゴルフの研究は数多く行われている。ゴルフスイングに対してセンシング技術を用いた研究として、穂刈らは、手、腕、腰、肩に加速度センサを装着し、ドライバースイング中の身体それぞれの回転運動を計測するシステムを提案した[6]。実験により、コック運動、ロール運動、ねじれ運動の定量化を実現し、初心者と経験者との差を定量的に比較できることを示した。さらに穂刈らは、その後の研究で身体のねじれ運動に加えて、光センサとハイスピードカメラを利用することでスイングスピードとボールの初速を計測しゴルフの平均スコアを推定するシステムを提案した[7]。22名のアマチュアゴルファに対してドライバースイングの諸運動により平均スコアを算出したところ、ニューラルネットワークを用いて推定された平均スコアと実際の平均スコアの差は約3%となった。このように、ゴルフの研究ではセンサを用いたセンシング・フィードバックシステムが確立されている。ゴルフとフィールドホッケーはそれぞれクラブ、スティックといった道具をスイングする点で非常に類似していることから、ゴルフで行われている研究をフィールドホッケーに利用できる可能性があるが、フィールドホッケーは動きながら競技するスポーツであるため、ゴルフとは違い静止状態で計測できるわけではない。

ゴルフ以外にも、テニスやバドミントンなど道具を使って競技するスポーツで、数多くのセンシング技術を用いた研究が行われている。増田らは、テニスにおいて初心者がコーチ無しでも上達できるシステムを作成するため加速度センサ、角速度センサを用いたウェアラブルセンサとアドバイ画面によるフィードバックシステムを提案した[8]。実験により、振り切り、手打ち、スイングスピード、足の停止、ボールの凝視、テイクバックの6つの課題において、初心者に対して正しいアドバイスを送る判定が行えることを示した。また、邵らは小型9軸ワイヤレスモーションセンサを用いて、異なる競技レベルのバドミントンプレイヤーが実際にバドミントンコートでシャトルを打ち合う際、双方のラケットの加速度を計測するシステムを提案した[9]。実験により、上級者は初心者、中級者と比べて動き出しが早いことがわかり、上達するためには予測能力を鍛える必要があるということがわかった。このようにフィールドホッケーと同じように道具を用いたスポーツにおいて、視覚情報によるフィードバックを用いた上達支援や、初心者と上級者との違いを検出し初心者の上達のための必要なスキルを調べる研究が行われている。したがって、スティックを使用するフィールドホッケーに対しても同様に、センシング技術とフィードバックシステムを用いた初心者の上達支援を行うことができると考えられる。

2.2 フィールドホッケーに関する研究

フィールドホッケーに関する研究として、生理学によるフィールドホッケーに適した体型や肺活量の調査[10]やGPS計測による選手の試合中の動きの解析[11]、血液科学に基づく疲労度分析[12]など科学的分析によるさまざまな方法の練習支援が提案されている。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ついての研究[13]といった練習方法自体の有用性を測った研究も存在する。加えて、センシング技術を用いたフィールドホッケーの研究も行われている。

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測り、比較することでヒット練習の有用性を調べることを提案した[14]。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[15]。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わかり、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 [16]。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、スキル上達のための初心者に向けた研究は行われていない。

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装着し、シュートで使われるドラッグフリックを打つ時のボールの位置と力の加わり方を調べるシステムを提案した [17]。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非常に重要であることがわかった。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できないと考えられるが、プッシュ動作に対して圧力センサを用いることは有効であると考えられる。また、ボールの位置を調べるという点においてヒット動作における打点検知に圧力センサを用いることは有効であると考えられる。よって本研究では、フィールドホッケーのヒット、プッシュ動作における打点、およびスティック上のボールの軌道計測のためにスティックの先端に装着するセンサとして、圧力センサを用いる。

3. ヒット技術向上のための打点可視化システム

本章では、ヒット技術向上のための打点可視化システムの構成と、提案システムを用いた打点フィードバックによりヒット動作時に打点が芯に近づくかを調べるために行った実験とその結果、考察を述べる。

3.1 機能設計

ヒット技術を向上させるシステムを設計するにあたり、

- 対象者のレベル
- 現状の把握か矯正
- フィードバック時間 (タイミング) のパターン

を考える必要がある。対象者のレベルは全く競技を経験したことのない初心者、少しだけ経験したことのある初心者及び中級者、競技歴の長い上級者が考えられるが、フィールドホッケーは 1 章でも述べたように、初心者の上達において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。ヒットにおける上級者と初心者との大きな違いは打点であり、スティックの芯に打点を近づけることが上達につながるため、提案システムでは打点が芯に近づかせるような支援を行う。

ヒット技術を向上させるために、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。本論文で対象とする初心者は、自分自身の打点が芯からどれだけ離れているかを認識するのが難しい。しかし、打点がわかれば芯からのずれに応じてスイング軌道やスティックの向きを修正することができるため、まず打点を把握させることが打点改善に有効と考え、どの打点で打ったかという現状をユーザ自身に把握させる。

フィードバックの種類は、視覚、音声、触覚によるものが考えられるが、渡邊らはテニスにおける中級者と上級者の重心移動の違いを可視化し現状の違いを伝え上達の支援をした [18] とあるように、ユーザ自身の現状を把握させるためにそのときの打点をフィードバックするのには、そのまま視覚的に打点を提示するのが有効と考え、視覚フィードバックを採用する。

フィードバックのタイミングは、ヒットの動作中にリアルタイムでユーザの状態を知らせる方法と、動作後にその動作の結果を提示する方法が考えられる。本研究では、寺井らが野球のバッティング技術において動作後の映像フィードバックが有効だったことを示した [19] ことから、また、動作中に情報量を増やすより初心者はボールを見ることに集中したほうがいいと考えたことから、フィードバックは動作後にその都度行うこととする。

3.2 システム構成

提案システムの構成を図 1 に示す。ユーザがヒットを行った際の打点検知には、圧力センサを用いた。ヒット動作における打点検知デバイスには、図 2(a) に示すようにフィールドホッケーの一般的なヒット動作における打面をほぼ網羅するように 8 つの圧力センサが配置されている。提案システムでは、この 8 つのセンサ値がマイコンを通じて PC に送信され、PC ではその値に基づいて図 2(b) に示す 12 の領域のうちどの領域にボールが接触したのかを検出し、画面上に打点として提示する。打点の検知について、上下に隣接する 2 つの圧力センサがボールとの接触を検知した場合には、2 つのセンサが重なっている部分にボールが当たったと判定する。なお、図 2(b) における 10 番の位置がスティックの芯であり、この図では打点が 2 番であった場合の提示画面を示している。被験者はフィードバック画面を見ることで自らの打点を知ることができ、芯に当てやすくなることが期待できる。

提案デバイスでは、フィールドホッケースティックに Gryphon 社のタプーピンク SAMURAI(ヘッド形状: オーバーサイズマキシ, サイズ: 37.5 インチ)[20], 圧力センサは Interlink 社の FSR402[21], マイコンは Arduino 社の Arduino Nano[22] 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。

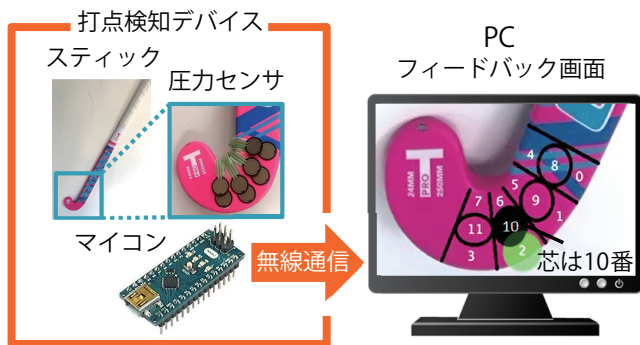


図 1 ヒット技術向上のための打点可視化システムの構成



図 2 ヒット技術向上システム



図 3 ヒット実験の様子

3.3 評価実験

フィードバックによって打点が芯に近づくかを検証するための実験を行った。被験者はヒット技術を習得できていない2名で、被験者 A は 20 代男性 (競技歴: 6 ヶ月), 被験者 B は 20 代女性 (競技歴: なし) であった。被験者はシステムによるフィードバック有り, 無しでそれぞれヒットを 10 回ずつ行い, そのときの打点を記録した。実験順序の影響を考慮し, 被験者 A はフィードバック有りから無しの順に, 被験者 B はフィードバック無しから有りの順に施行した。実験場所は屋外の土グラウンドであった。ボールは硬球を用い, 静止している状態のボールに対してヒットを行った。実験の様子を図 3 に示す。

3.4 結果と考察

実験の結果, 被験者 A は図 4 のような打点分布であった。フィードバック無しときは芯である 10 番に 1 回だけ当たり, 他は芯の周囲の点に当たった。フィードバック

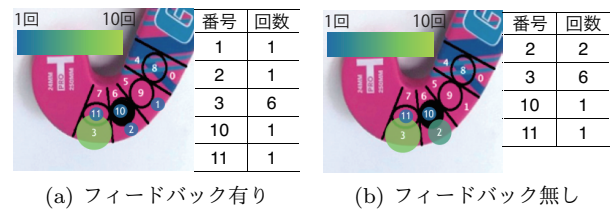


図 4 被験者 A (競技歴 6 ヶ月) の実験結果

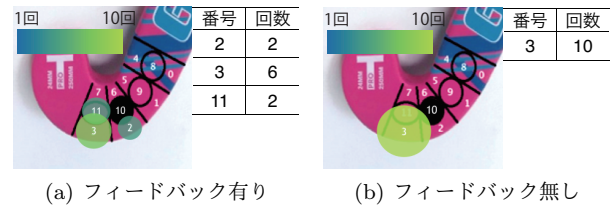


図 5 被験者 B (初心者) の実験結果

有りのときも同じような結果を示した。また, 被験者 B は図 5 のような打点分布であり, フィードバック無しときはすべて同じ点に当たっていたのに対し, フィードバック有りのときは, 芯には当たらなかったが, より芯に近い点に当たった。

以上の結果より, 競技経験者の被験者 A はフィードバックにより打点が芯に近づいたとはいえなかったが, 競技経験者でない被験者 B はフィードバックによって打点が芯に近づいた可能性がある。被験者 A の打点が芯に近づかなかった点に関しては, 被験者のフォームに間違った癖がついているため細かなスティックコントロールができないという被験者側の問題と, システムの打点識別粒度が粗いため少し打点が芯に近づいていたとしても打点が変わっていないこととして認識してしまうというシステム側の問題が考えられる。また, 提案デバイスが普段使用しているスティックよりも重いため振りにくかったという意見も得られた。被験者 B については, フィードバックを受けた際に打点を芯に近づけようと試行錯誤する動作がみられたが, フィードバック無しから有りの順で実験を行っており, フィードバック無しの状態で 10 回のヒット動作をしたことでヒット技術が向上した可能性もあるため, データ収集を重ねる必要がある。

4. プッシュ技術向上のための打面上の接触位置の移動とプッシュの強さ可視化システム

プッシュ技術向上のためにスティック打面上におけるボールとの接触位置の移動とボールがリリースされる時の押し出しの強さを可視化するシステムについて述べる。本章ではシステムの構成と提案システムを用いたボール移動フィードバックによりプッシュ動作が技術的に向上するか調べるために行った実験とその結果, 考察について述べる。

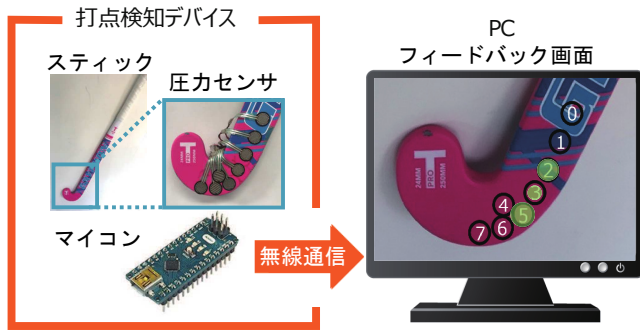


図 6 プッシュ技術向上のための提案システムの構成

4.1 機能設計

プッシュ技術を向上させるシステムを設計するにあたり、ヒット時と同様に初心者を対象とした設計を行う。また、プッシュ技術についても接触位置の移動経路と押し出しの強さが初心者と上級者との差異に大きくかかわっていることから、ヒット時と同様に初心者に対して正しいプッシュ動作を認識させるため、プッシュ動作後に視覚的にフィードバックを行い、現状の把握をさせる方法を実装して評価した。

4.2 システム構成

プッシュ動作技術向上のための提案システムの構成を図 6 に示す。プッシュ時のスティックとのボール接触位置はヒット時と大きく異なるため、ヒット時のセンサ配置とは違い、図 7(a) のようにプッシュ動作時にボールが通るとされる軌道上に 8 つの圧力センサを配置する。その後ヒット時と同様に、8 つのセンサ値がマイコンを通じて PC に送信される。その値に基づき図 7(b) に示す圧力センサの設置場所に応じた 8 つの領域に接触した領域を検出し、画面上にボールが通った接触位置の履歴とリリース時の圧力センサ値を提示する。

強いプッシュを押し出すためには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。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であるため、図 8 に示すように、ボールがスティックの先端へと移動しながら離されることが強いプッシュを出すことにつながる。本システムにおける圧力検知領域に当てはめて理想的なプッシュについて述べると、図 7(b) における 7 番に触れるまでボールが移動してしまうとボールをリリースしようとする前にスティックの先端から外側へボールが離れてしまうことがあるため、0-3 番で接触し始め 4-6 番でボールを押し出すことが強いプッシュを打ち出すことにつながる。

フィードバック画面では、図 7(b) のようにプッシュ時にボールの通ったスティック上の接触位置の履歴と圧力センサ値の大きさを提示する。被験者はフィードバック画面を見ることでスティックのどの部分からボールを接触させ始



図 7 プッシュ技術向上システム



図 8 プッシュ動作

めどこでどれくらいの力でボールを押し出したかを知覚することができるため、強いプッシュを押し出せるようになることが期待できる。

提案デバイスでは、フィールドホッケースティックに Gryphon 社のタブーピンク SAMURAI(ヘッド形状: オーバーサイズマキシ, サイズ: 37.5 インチ)[20], 圧力センサは Interlink 社の FSR402[21], マイコンは Arduino 社の Arduino Nano[22] を用いた。センサのサンプリング周波数は 20 Hz である。

4.3 評価実験

フィードバックによってボールをスティックの先端へ移動させながら強くプッシュを打ち出せるようになるかどうかを検証するための実験を行った。被験者はプッシュ技術を習得できていない男性 5 名で、全員初心者であった(被験者 C, D, E, F, G)。被験者は約 3 分間のプッシュ練習を行った後、システムによるフィードバック無し、有り、無しの順でそれぞれプッシュを 10 回ずつ行い、そのときのボールのスティック上の移動経路とプッシュ動作によりボールが押し出される際の圧力センサ値を記録した。さらに、実験後に「フィードバックにより上達したと感じたか」、「フィードバックはわかりやすかったか」の 2 項目について「わかりやすかった(感じた)」が 5、「わかりにくかった(感じなかった)」が 1 の 5 段階のアンケート調査を実施した。また、比較対象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 H としてフィードバック無し 1 回のみで 10 回プッシュ動作を行わせ、その際のボールの移動経路とボールが押し出される際の圧力センサ値を記録した。実験場所は室内スタジオであり、図 9 の環境で実験を行った。使用したボールは、Daito Baseball のサン



図 9 プッシュ実験の様子

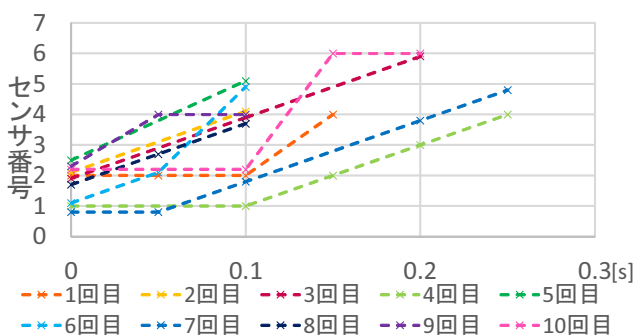


図 10 経験者 H の実験結果

ドボール (質量: 150 g, 直径: 48 mm)[23] である。

4.4 結果と考察

4.4.1 スティック打面上のボールの移動について

プッシュ実験におけるスティック上のボールの移動経路の結果を図 10, 図 11 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ボールがスティック上を移動せずに押し出されているデータは赤の実線で示し、スティック上を移動し押し出されたデータは点線で示す。なお、見やすくするために各グラフが重ならないようにグラフを少しずらして表記している。スティック上の移動経路に関して、経験者 H は図 10 に示すように、ほとんど全ての動作においてスティックの先端 (センサ番号 4, 5, 6 番) にボールが移動しながらプッシュ動作を行っており、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ことがわかる。まず、初心者の被験者は経験者と異なり、プッシュ動作の中でボールがスティックとの接触位置を変えことなくリリースされる結果が多く見られた。例えば、図 11(a), 図 11(b), 図 11(c) の被験者 C, D, E に赤線で示されるように、ボールが最初から最後まで同じセンサに接触し続けた後にリリースされていることが分かる。このような結果は、被験者が理想的なプッシュ動作を行っていないことを

示している。

しかし、被験者 D に関してはフィードバックを行うと赤線に示されるように、スティック上のボール移動を伴わないままリリースされたプッシュ動作が 4 回から 0 回に減り、ボールが先端に向かって移動する結果が得られた。したがって、フィードバックの有用性が確認できた。フィードバック有りの図 11(b)(ii) から、被験者 D の結果は全てのプッシュ動作でボールが大きく移動しながらリリースされており、この点に関して被験者 C, E とは異なっている。このことから、フィードバックは被験者 D にとって理想的なプッシュ動作の習得に役立っていると考えられる。

一方で、被験者 C, E に関しては図 11(a)(ii), 図 11(c)(ii) に示すように被験者 C は赤線が 4 本から 4 本に、被験者 E は 3 本から 4 本になり 2 人とも赤線が減らず、フィードバックによって理想的なプッシュ動作に近づいてはいなかった。また、被験者 C は最後に行ったフィードバック無し 2 回目に、スティック上の移動を伴わないままリリースされたプッシュ動作の回数が減り、ボールが先端に向かって移動してリリースされた理想的なプッシュ動作が行えることがわかる。つまり、フィードバックを行ったときより上達していることがうかがえる。これは、フィードバックに関係なく試行回数が増えたことにより練習量が増え、上達した可能性が考えられる。このことから被験者 C, E にとってはフィードバックがプッシュ技術の上達支援になったとは考えられなかった。

被験者 C, D, E と異なり、被験者 F, G は最初のフィードバック無し 1 回目の施行からプッシュ動作を正しく行っていた。図 11(d)(i), 図 11(e)(i) に示されるように、ボールがスティック上を移動せずにリリースされたことを示す赤線がなく、ボールが大きく移動しながらリリースされていることがわかる。しかしながら、フィードバック有りの図 11(d)(ii), 図 11(e)(ii) に示すように 7 番までボールが移動してボールがリリースされていることが多く、そのうち何回かスティックの外にボールが抜けてしまうことがあった。これは、被験者 F, G がフィードバックによってボールを大きく動かそうと強く意識していたためと考えられる。したがって、被験者 F, G にとってはボールが大きく移動しながらリリースされた点においてフィードバックが影響していると考えられるが、フィードバックによってプッシュ動作が上達したとは一概にはいえなかった。

以上の結果より、被験者 D はシステムのフィードバックによってプッシュが上達したといえるが、被験者 C, E についてはフィードバックシステムの有用性を示すことはできなかった。また、被験者 F, G はボールを大きく動かすという点で役に立ったと考えられるが、上達しているかどうかの点では有用性は示すことはできなかった。

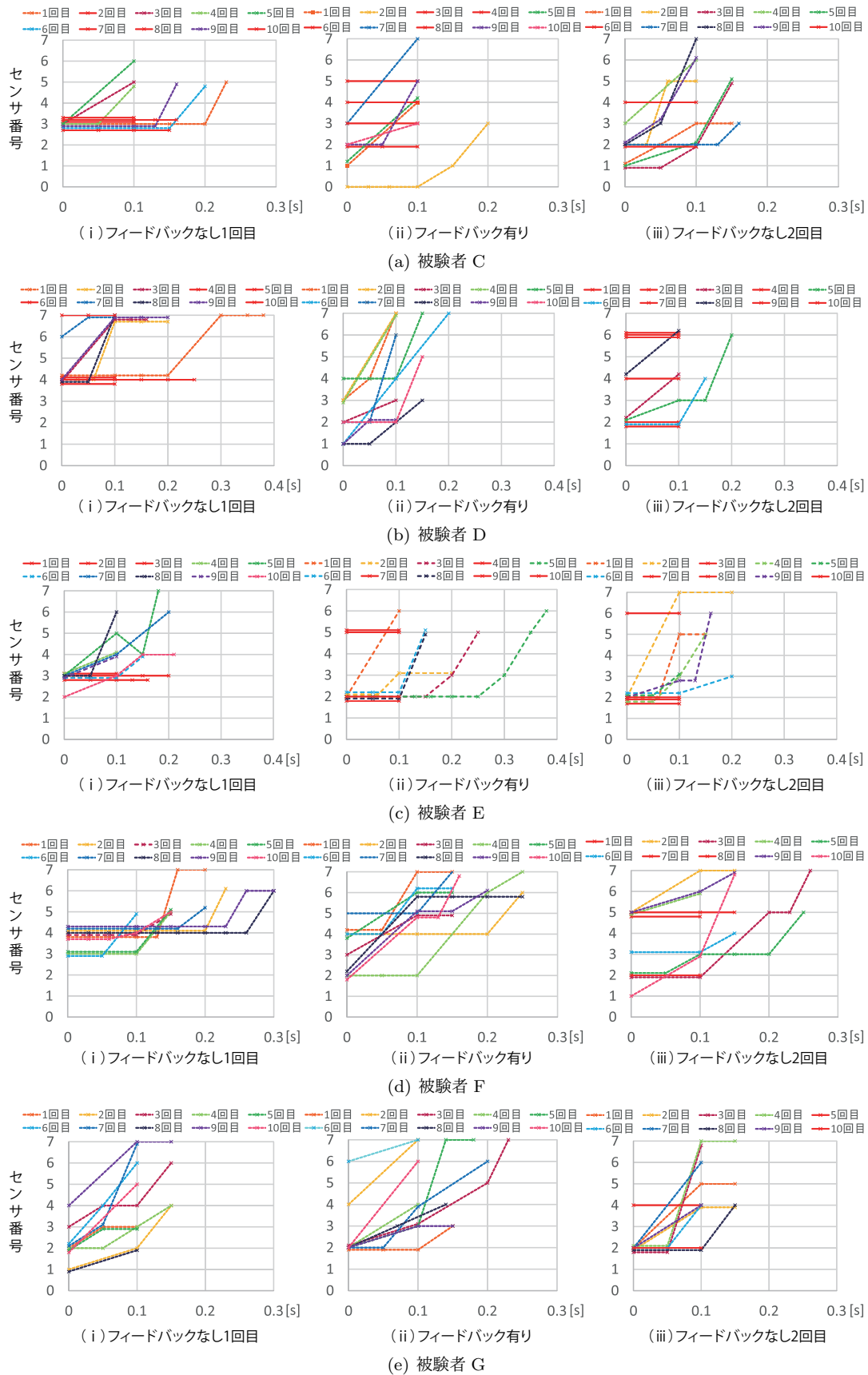


図 11 実験結果

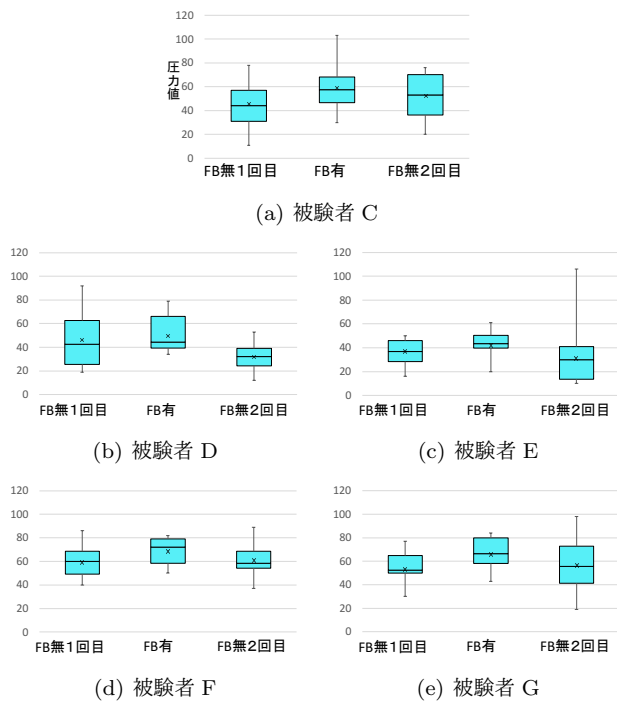


図 12 圧力センサ値四分位範囲

4.4.2 リリース時のボールの押し出しの強さについて

ボールが押し出される時の圧力センサ値を図 12 に示す。フィードバック無し有りそれぞれの分散値が大きかったこと、1 回の実験に時間がかかり十分な被験者数を集められなかったことからフィードバック無し 1 回目、フィードバック有り、フィードバック無し 2 回目を条件とし、各条件で 10 回ずつの動作を平均した値を被験者 1 人分の標本として被験者内一要因分散分析を行った結果、有意差が見られた ($F(2, 8) = 8.46, p < 0.05$)。さらに、Bonferroni 法を用いて多重比較を行ったところ、フィードバック有りのときの圧力センサ値がフィードバック無し 1 回目とフィードバック無し 2 回目それぞれの圧力センサ値より有意に大きかった ($MSe = 20.75, p < 0.05$)。したがって、フィードバック無し時と比較してフィードバック有りの方が圧力センサ値の高い傾向が得られたことから、フィードバック有りのときに最も安定して強いボールを出せていることがわかる。

フィードバック有りの場合にプッシュ動作によりボールが離れる直前の圧力センサ値が高かった理由は、フィードバック無しの場合とは違い 1 回の動作が終わる度に圧力センサ値を知覚することができるためだと考えられる。知覚することでより強くボール出そうする意識が生じ、圧力センサ値が高くなった可能性がある。

以上より、強いプッシュを打ち出すという点ではこのシステムによるフィードバックの提示は有効であると考えられる。

4.4.3 アンケート調査の結果

実験後に実施したアンケートによると、表 1 に示すように、「フィードバックにより上達したと感じたか」の質問

表 1 アンケート結果

質問 (1: わかりにくい – 5: わかりやすい)	C	D	E	F	G
フィードバックは わかりやすかったか	5	5	5	5	5
フィードバックにより 上達したと感じたか	4	4	5	4	5

は 5 人全員が 5 段階評価の 5 (感じた) を回答し、「フィードバックはわかりやすかったか」の質問も 5 人全員が 4 (ややわかりやすかった) または 5 (わかりやすかった) と回答した。アンケート調査の結果から、初心者に対して本フィードバックシステムは上達を感じさせ、わかりやすくフィードバックを提示できていると考えられる。

5. 議論

本研究ではフィールドホッケーを全く経験したことのない初心者を対象としたシステムの設計を行ったが、フィールドホッケーを経験したことのある初心者は間違ったフォームのくせがついてしまい視覚情報によるフィードバックだけでは打点を改善できない可能性があることがわかった。よって、高校や大学での部活動における初心者を対象とした調査を行う必要がある。フィールドホッケーを経験したことのない初心者だけでなく、経験したことのある初心者や中級者を対象としたシステムの設計を今後検討したい。

システムによる補助からの離脱について、3 章と 4 章で述べた 2 種類の提案システムは、どちらも練習時の利用を想定している。現在のホッケーのルールでは、公式戦では改造スティックの使用は禁止されているため、公式戦時には提案システムを使用できない。よって、システムを用いて練習した後にフィードバックなしでも効果がどの程度持続されるかを調査する必要がある。3 章で述べたヒット技術向上システムは、評価の際にシステムを使用した後、フィードバック無しでの検証を行っておらず、被験者を増やしてシステムでの練習の後に離脱が可能かを確認すべきである。4 章で述べたプッシュ技術向上システムは、移動経路を長くするという点ではフィードバック無し 2 回目でもほとんどの被験者において打面上の移動を伴ったプッシュ動作がフィードバックありのときと比べて少なくなっていたことから、システムの離脱はできていなかった。また、強いプッシュを打ち出すという点でもすべての被験者においてフィードバック有りのときと比べてフィードバック無し 2 回目の圧力センサ値の平均値が大きく下がっていたことから、被験者はシステムによる補助から離脱できてはいなかった。しかし、練習回数を増やすことで動作が改善された状態が持続される可能性がある。したがって、今後長期の実験を行い、改良することで離脱可能なシステムを目指す。

フィードバック方法として、本論文では打点を提示するのに最も適していると考えて可視化を採用したが可聴化、振動など様々な方法が考えられることから、それらについても調査し最も有効なフィードバック方法を選定する。また、フィードバックのタイミングについても、今回はヒット後、プッシュ後とそれぞれ動作後に画面上で可視化した打点をフィードバックしたが、音などによる即時フィードバックと比較して上達にどちらが有効であるのかについても調査する必要があると考える。

6. まとめ

本研究では、フィールドホッケーの基本動作であるヒットおよびプッシュのスキルを向上させるために圧力センサによる打点可視化システムを2つ提案した。一つ目は、ヒット技術向上のためにボールをスティックで打った時の打点を可視化するシステムである。このシステムではスティックに圧力センサを取り付け12の領域に分けて打点を可視化しユーザに提示する。ヒット技術を習得していない競技経験者と未経験者それぞれ1名ずつを対象としたヒット技術向上における評価実験では、未経験者の打点が経験者と比較してフィードバック時に芯に近づいたことから、未経験者に対してフィードバック方法が有効である可能性を示した。

二つ目は、プッシュ技術向上のためのスティック上におけるボールとの接触位置の移動とリリース時の圧力センサ値を可視化するシステムである。このシステムではプッシュ動作時にボールが通るとされる軌道上に圧力センサを配置することで、スティック上のボールの軌道とボールが押し出されるとききの圧力センサ値を可視化しユーザに提示する。実験の結果、フィードバックにより被験者全員が強いプッシュを打ち出すことができ、一部の被験者に対してプッシュ動作中のスティック上のボールの移動における改善がみられた。プッシュ実験後のアンケート調査では、全ての被験者がフィードバックシステムによりプッシュ動作が上達したと感じられたと回答した。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR18A3)および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表す。

参考文献

- [1] 公益社団法人日本ホッケー協会: ホッケーの歴史, <https://www.hockey.or.jp/rules/hockey/history/>.
- [2] 久保和之, 柳 承辰, 守能信次: マイナー競技種目への社会化: 実業団ホッケー選手に着目して, 中京大学体育学論叢, Vol. 38, No. 2, pp. 37–43 (Mar. 1997).
- [3] T. Reilly and A. Seaton: Physiological Strain Unique to Field Hockey, *Journal of the Sports Medicine and Physical Fitness*, Vol. 30, No. 2, pp. 142–146 (June 1990).
- [4] International Hockey Federation: Rules of Hockey, <http://fih.ch/inside-fih/our-official-documents/rules-of-hockey>.
- [5] 楠原慶子: ホッケーの動作特性, 東京女子大学紀要論集, Vol. 42, No. 1, pp. 101–113 (Sep. 1991).
- [6] 穂苅真樹, 土岐 仁, 鳴尾丈司, 蘆田浩規: ゴルフクラブスイング時の身体回転運動の計測とスキル評価, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 72, No. 715, pp. 850–856 (Mar. 2006).
- [7] 穂苅真樹, 渡辺嘉二郎: ドライバースイングとゴルフスキル—ニューラルネットワークを用いた平均スコア推定—, スポーツ産業学研究, Vol. 9, No. 2, pp. 35–45 (Sep. 1999).
- [8] 増田大輝, 田坂和之, 大岸智彦, 小花貞夫: ウェアラブルセンサを用いたテニス上達支援システムにおけるスウィングフォーム分析手法の改善と評価, 研究報告モバイルコンピュータビジョンとバーベイスシステム(MBL), Vol. 14, pp. 1–8 (Nov. 2015).
- [9] 邵建雄, 張 禎, 金謙 樹, 藤巻裕昌, 湯 海鵬: バドミントンのストロークにおける予測に関する研究, バイオメカニズム学会誌, Vol. 43, No. 2, pp. 134–139 (June 2019).
- [10] T. Reilly and A. Borrie: Physiology Applied to Field Hockey, *Journal of the Sports Medicine*, Vol. 14, No. 1, pp. 10–16 (July 1992).
- [11] T. J. Gabbett: 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).
- [12] A. K. Ghosh, A. Goswami, P. Mazumdar, and D. N. Mathur: Heart Rate and Blood Lactate Response in Field Hockey Players, *Indian Journal of the Medical Research*, Vol. 94, pp. 351–356 (Oct. 1991).
- [13] K. A. P. M. Lemmink, M. T. Elferink-Gemser, and C. Visscher: 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).
- [14] M. Tremayne, D. V. Thiel, and S. Nottle: Accelerometer Measures of Field Hockey Skills Development, *Journal of the Sports Technology*, Vol. 4, No. 3–4, pp. 122–127 (Aug. 2011).
- [15] D. V. Thiel, M. Tremayne, and D. A. James: 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).
- [16] H. N. Meulmana, M. A. M. Berger, M. V. Zande, P. M. Kok, E. J. C. Ottevanger, and M. B. Crucq: 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).
- [17] M. J. Jenningsa, I. Blanchonettea, S. R. Lucasa, S. W. Morganb, R. J. N. Helmera, and C. Yangc: 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).
- [18] 渡邊俊綱, 梅澤俊二, 向井智彦: テニスサーブにおける身体特徴量の実時間可視化システムの検討, 研究報告コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学(CG), Vol. 2017, No. 16, pp. 1–2 (Mar. 2017).
- [19] 寺井宏文, 立 正伸: 映像フィードバックを用いた練習がバッティング技術に与える影響, スポーツパフォーマンス研究, Vol. 3, pp. 138–152 (Dec. 2011).
- [20] GRYPHON: Taboo Pink SAMURAI, <https://www.gryphonhockey.com/stick-taboo-striker-range>.
- [21] Interlink Electronics, Inc.: FSR 402, <https://www>.

interlinkelectronics.com/fsr-402.

- [22] Arduino Holdings: Arduino Nano Every-Pack, <https://store.arduino.cc/usa/nano-every-pack>.
- [23] DAITO BASEBALL: サンドボール 150g, <https://www.daitobaseball.com/productdetails.php?id=1652>.