

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提案と実装

岩本宗大* 大西鮎美* 寺田 努* 塚本昌彦*

概要. フィールドホッケーは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が、日本では指導者が少ない。また、初心者はスティック上のボールの位置を自己把握できない。本研究では、フィールドホッケーの基本動作であるプッシュ技術を向上させるために、スティック上のボールの接触位置の移動経路を可視化、可聴化するシステムを提案、実装した。提案システムでは、プッシュ動作時にボールが通る軌道上に圧力センサを配置し、ボールとの接触判定を行ってスティック上のボールの移動経路を検出し、移動経路情報を可視化・可聴化してユーザに提示する。評価実験の結果、視覚フィードバックを与えたときには有意にボールの移動距離が長くなったため、提案システムを用いた視覚フィードバックの有効性を確認できた。聴覚フィードバックでは、フィードバックの有無で移動経路に顕著な変化はみられなかった。

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。

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。しかし、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が多く[1]、初心者に対して的確なアドバイスができる指導者や経験者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の中の一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。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。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わからないため、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わかればスティックの扱い方の改善点がわかり強いプッシュを打ち出せるようになると



図 1. プッシュ動作時のボール移動

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時の打面上におけるボールの接触位置の移動経路を可視化、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微妙な接触位置の違いやスティックの扱い方がわかるためプッシュ技術向上が期待できる。

本研究の貢献は以下の2つである。

- フィールドホッケーのスティック打面上のボールの移動経路を可視化・可聴化するシステムを提案、実装した。
- 初心者に対して行った評価実験から視覚フィードバック手法が有意にスティック上のボールの移動を増加させることを確認した。

以下、2章では関連研究について述べ、3章では提案システムについて紹介する。4章では実験結果について議論し、5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上達支援

センシング技術を用いたスポーツ上達支援に関する研究は数多く行われており、様々なセンシング・フィードバックシステムが考案されている。ゴルフスイングをセンシングする研究として、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 [2]。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用いて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 [3]。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から得られる情報を用い、誤差 3 % で平均スコアが推定できた。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類似していることから、ゴルフで行われている手法は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。

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環境の構築のためにウェアラブルモーションセンサとアドバイス画面によるフィードバックシステムを提案した [4]。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 [5]。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のセンシング

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た [6]。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 [7]。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 [8]。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 [9]。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。よって本研究では、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して検知する。

3 提案システム

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の接触位置の移動経路を可視化、可聴化するシステムについて述べる。

3.1 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、

- 対象者のレベル
- 現状の把握か矯正
- フィードバック方法と提示タイミング

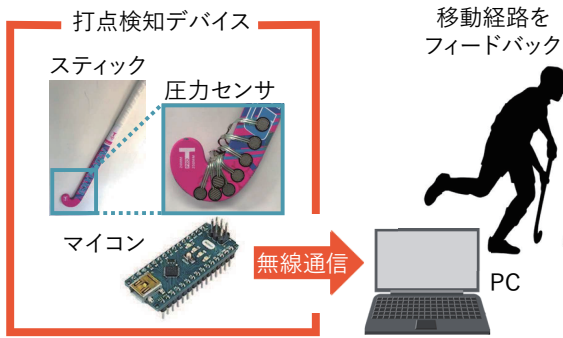


図 2. 提案システムの構成



図 3. 圧力センサの配置

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、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。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。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わかればスティックの軌道や向きを修正することができるため、まず接触位置を把握させることが改善に有効と考え、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。本研究ではボールの移動経路をユーザに提示するため、触覚より一度に提示できる情報量の多い視覚と聴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。視覚フィードバックでは提示画面を見ながらプッシュ動作を行うことは困難であることから、動作後にその都度移動経路を提示する。聴覚フィードバックではスティック上をボールが移動している感覚をつかみやすいようにプッシュ動作によりボールがスティックに触れているときに打点ごとに異なる音が鳴るリアルタイムフィードバックを行う。

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

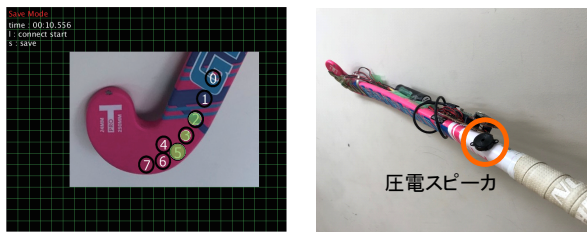
では図3のようにプッシュ動作時にボールが通るとされるスティック上の軌跡に8つの圧力センサを配置する。8つのセンサ値がマイコンを通じてPCに送信され、その値に基づきユーザはボールの移動経路のフィードバックを受ける。提案デバイスでは、スティックにGryphon社のタブーピンクSAMURAI(ヘッド形状: オーバーサイズマキシ, サイズ: 37.5インチ), 圧力センサはInterlink社のFSR402, マイコンはArduino社のArduino Nanoを用いた。センサのサンプリング周波数は20Hzである。

接触位置の経路移動の検出方法

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雑圧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。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となる。7番まで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。

視覚フィードバック手法

視覚フィードバックでは、プッシュ動作後にボールが通った接触位置の移動経路とリリース時の圧力値を図4(a)のようにPCの画面上に提示する。例えば、図3における2, 3, 5番にボールが触れてボールが押し出された際、図4(a)のように接触したスティック上の位置に色がついて表示される。ユーザは自身がスティック上のどの位置からボールを接触させ始めどの位置でどれくらいの力でボールを押し出したかを目視で把握することができるため、移動経路が長くなることが期待できる。



(a) 視覚フィードバック (b) 聴覚フィードバック

図 4. フィードバック方法

聴覚フィードバック手法

聴覚フィードバックでは、リアルタイムでボールの接触した位置に応じて図4(b)のように装着した圧電スピーカにより異なった音程の音を鳴らし、ユーザーに接触位置のフィードバックを行う。音の音階は、ボールが接触した位置が0番では低い音(C4)が鳴るように、7番では高い音(C5)が鳴るように、番号が大きくなるにつれて一音ずつ高い音になるように設定した。リアルタイムに音が鳴るため、ユーザーは接触位置と音の対応からスティック上のボールの位置やその移動の感覚がつかみやすくなると考えた。これによりスティックの扱い方が上達し、移動経路が長くなることが期待される。

4 実験

4.1 予備調査

上手く打ったときに期待通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無しで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、経験者はほぼ全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)にボールが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、ボールが当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通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プッシュを行った際に移動経路が長くなるかを確かめるため、図6のように評

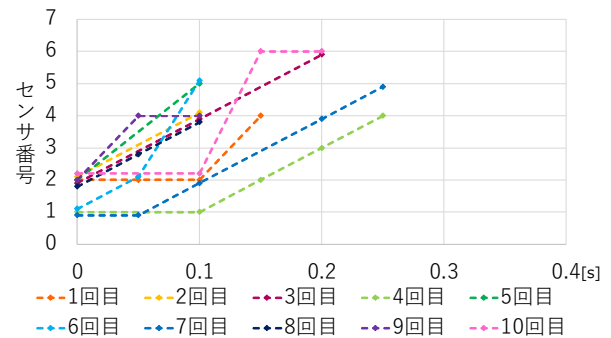


図 5. 経験者のボールの移動経路



図 6. 実験の様子

価実験を行った。被験者はプッシュ技術を習得できていない初心者の男性3名、女性1名である(被験者A, B, C, D)。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及び平均移動距離を記録し、評価を行った。フィードバック無しの2回目はシステムの機能利用をやめた後でも上達が維持されているかどうかを調べ、システムからの離脱可能性を評価するために行う。実験順序の影響を考慮するため被験者A, Bは先に視覚フィードバックの実験を、被験者C, Dは先に聴覚フィードバックの実験を行った。また、フィールドホッケーは利き手にかかわらず持ち方、スイングが同じであるため、利き手に関する議論は行わない。使用したボールは、Daito Baseballのサンドボール(質量: 150g, 直径: 48mm)である。

4.3 結果と考察

プッシュ実験におけるスティック上のボールの接触位置の移動経路の結果を表1に、被験者Aの具体的なボールの移動経路を図7, 図8に示す。初心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に当たった位置から移動せずリリースされる結果が多くみられた。以下、個々の結果を議論する。

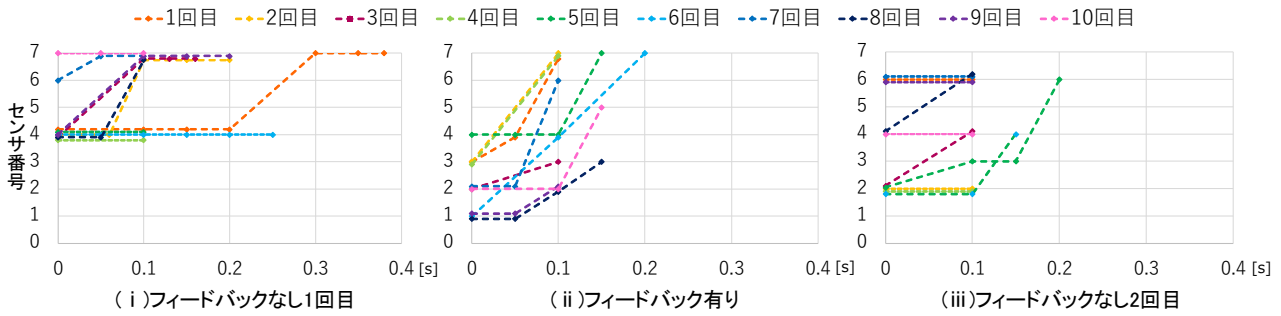


図 7. 被験者 A の視覚フィードバック実験結果

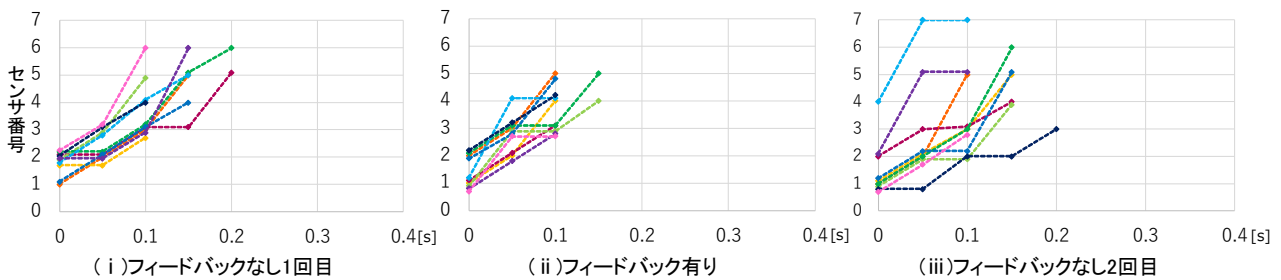


図 8. 被験者 A の聴覚フィードバック実験結果

表 1. 平均移動距離

方法	提示の有無	A	B	C	D
視覚	無し 1 回目	1.7	1.8	3.7	1.4
	有り	3.2	3.1	3.8	1.6
	無し 2 回目	1.0	2.0	3.5	1.3
聴覚	無し 1 回目	3.1	1.8	3.4	1.7
	有り	2.9	2.4	3.8	1.9
	無し 2 回目	3.2	1.8	3.8	1.2

視覚フィードバック

視覚フィードバックについて、表 1 に示すように、フィードバックのないときの平均移動距離が短くなっているのに対し、フィードバック有りのときの平均移動距離が長くなっていることから視覚フィードバックは被験者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。また、これら平均移動距離をそれぞれ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、被験者それぞれの平均移動距離を標本として被験者内一要因分散分析を行った結果、有意差がみられた ($F(2, 6) = 4.31, p < 0.05$)。さらに、LSD 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移動距離がフィードバック無し 2 回目の移動距離より有意に大きかった ($MSe = 0.246, p < 0.05$)。詳細なグラフをみると、被験者 A はフィードバック

無しの時は図 7 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試行や移動距離の少ない試行が多くみられた。しかし、フィードバックを行うと移動距離の大きいボールが先端に向かって移動しており、この傾向はほかの被験者にもみられた。また、フィードバック無しではボールが 4-6 番接触し始めることが多かったのに対して、フィードバック有りでは 1-3 番で接触し始めることが多く、しかるべき場所にボールが当たっていることがわかる。したがって、視覚フィードバックが移動距離の増加に寄与することが確認できた。しかし、フィードバック無し 2 回目での試行では移動経路が再び短くなってしまっておりフィードバックの効果が維持できていなかったことがわかる。その理由としては、今回の 10 回というフィードバック有り試行の回数が上達が定着するほど長くなかったことが考えられるため、今後は長期の実験を行いフィードバックがある状態の練習回数を増やし、繰り返しシステムを利用することでフィードバック無しの際でも上達が見られるようになるかを評価し、離脱可能なシステムを目指す。

聴覚フィードバック

聴覚フィードバックについて、表 1 に示すようにフィードバック有りのときに最も移動距離の長いプッシュを行っていたが、フィードバックなしのときと比べて大きな変化はみられなかった。視覚フィードバック時と同様に被験者内一要因分散分析を行った結果、有意差はみられなかった。実際に、図 8 のよ

うに接触位置の移動経路についてはフィードバック無しと有りで見えた変化はみられず、すべての動作においてスティック上のボールの移動が伴っていた。また、聴覚フィードバックから先に行った被験者 C, D についてもフィードバックの有無で大きな変化はみられなかったことから聴覚フィードバックは初心者ユーザにとってあまり有用でない可能性がある。

4.4 議論

検定の結果からシステム利用中の効果としては、視覚フィードバックが効果があることがわかった。一方、フィードバックの効果はフィードバックなし 2 回目には維持されなかった。しかし、これはフィードバック有りの試行回数が少ないために実際に上達するまでには至らなかった可能性があることから、今後はフィードバック有りの回数を増やし評価を行う。

被験者 C のボールの移動経路は経験者と同様全体的に 3 以上と長かったが、ボールが押し出されるスピードは比較的遅かった。本研究ではボールの移動経路を長くする提示手法を提案しその有効性を確かめたが、移動経路の長さはプッシュの上達に必要な要素のひとつで、かつ第一段階である。移動経路が長くなった後にはさらにスイングを速くすることや下半身の体重移動、重心を落とすことの要素に着目し、スティックによる押す力をボールに効率的に伝えることができるように支援することが望ましい。

聴覚フィードバックについて、フィードバックによりスティック上のボールの移動経路が長くならなかった理由として、出力される音階の幅が全体で 1 オクターブと狭すぎたために当たった位置と場所が対応付けできなかったのではないかと考えられる。プッシュ自体が約 0.2 秒ほどで完了する動作であるため音の違いがはっきり聞こえるよう音階の幅を広げると効果が出る可能性がある。

5 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プッシュ技術を向上させるために、スティック上のボールの接触位置の移動経路を可視化、可聴化するシステムを提案、実装した。提案システムでは、プッシュ動作時にボールが通る軌道上に圧力センサを配置し、スティック上のボールの移動経路を検出する。移動経路の視覚フィードバックでは、検出したボールの移動経路および接触の強さを PC 画面上に表示し、ユーザは打った後に画面上で経路を確認する。聴覚フィードバックでは、スティックに搭載した圧電スピーカでリアルタイムに当たった位置に応じて異なった音程の音を出力する。実験の結果、視覚フィードバックを与えたときには有意にボールの移動距離が長くなったため、提案システムを用いた視覚フィードバックの有効性を確認できた。聴覚

フィードバックでは移動経路に大きな変化はみられなかった。

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] 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).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] 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イ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ティングとパーベシブシステム (MBL), Vol. 14, pp. 1-8 (Nov. 2015).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] D. V. Thiela, 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).
- [8] 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).
- [9] 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).