

# サッカーのボールタッチと視覚的探索行動の練習を同時に行うシステム

福島 敦<sup>1,a)</sup> 土田修平<sup>1,b)</sup> 寺田 努<sup>1,c)</sup> 塚本昌彦<sup>1,d)</sup>

**概要:** サッカーの試合では、11人のプレーヤからなる2つのチームが対戦しているため、プレーヤはボールを持っているかどうかに関わらず、周りの状況を常に把握しなければならない。このような状況では、味方や敵のプレーヤの位置を探す「視覚的探索行動」が重要になる。しかし、ボールを持っている間の視覚的探索行動についての研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、ボールを持っている間の視覚的探索行動を鍛えるために、ボールタッチの練習と視覚的探索行動の練習を同時に行うシステムを提案する。評価実験では、システムを用いて練習するグループと、システムを用いずに練習するグループに分けて、視覚的探索行動の能力の向上について比較した。その結果、システムを使用する方が、視覚的探索行動の能力が有意に向上することがわかった。

## 1. 研究の背景と目的

サッカーの試合状況は11人の選手からなる二つのチームの絶え間ない動きにより変化し続ける。そのため試合において、選手はボールを保持した状態で周辺状況を瞬時に把握しなければならない。Jordetら [1]によると、周辺状況を把握する回数が多くなるとパスの精度が向上することがわかっている。以上を踏まえると、周辺状況を把握する能力を鍛えることで、プレーヤのパフォーマンスの向上が期待できる。

周辺状況を把握するには、積極的に首を振って敵、味方の位置や空いているスペースなどを探そうとする「視覚的探索行動」、「視覚的探索行動」を通して得た情報を解釈し、数秒後の状況をイメージする「予測」、「予測」した状況に応じてパス、ドリブル、シュートなどを選択する「意思決定」の3種類の能力が必要である [3]。このうち視覚的探索行動を鍛えると頭を動かす頻度が高くなり、状況に応じた迅速な意思決定が促される [4]。したがって周辺状況を把握するには、視覚的探索行動を鍛えることが重要であると考えられるので、まず「視覚的探索行動」に着目する。

視覚的探索行動は、ボールを保持する前とボール保持中の2種類の状況に分けられる。ボールを保持する前の視覚的探索行動に関する研究は近年盛んに行われている [1, 5]

一方で、ボールを保持しているときの視覚的探索行動に関する研究はあまり行われていない。ボール保持中は、保持する前と比較してボールを注視する時間が長くなるため、視覚的探索行動がおろそかになると考えられる。そのためボールを保持すると同時に視覚的探索行動を鍛える練習が必要である。

そこで本研究では、デュアルタスクの状況下でサッカーのボールタッチと視覚的探索行動の練習を鍛えるシステムを提案する。視覚的探索行動を促す周囲の刺激としてプレーヤの周囲にLEDテープを配置する。プレーヤは所定の枠内でボールタッチをしながらボールから目線を切り、首を振ってランダムに光るLEDを目で追う。これにより、プレーヤのボール保持中の首振りによる視覚的探索行動の能力向上が期待できる。提案システムの有効性を評価するために、提案システムを用いて練習するグループと提案システムを用いずに練習するグループを比較して評価する。

## 2. 関連研究

### 2.1 視覚的探索行動に影響する空間的な制約に関する研究

Jordetら [1,2]の研究をもとにThomasら [6]はパフォーマンスを決定する要因は主にピッチの位置、プレーの位置、プレーのフェーズなどの制約にあるとし、空間的な制約と選手のボールの保持状況に基づいて選手の視覚的探索行動の違いの判断を調査し、ボールの保持状況に関わらず、空間的な制約が厳しければ厳しいほど視覚的探索行動の回数が増加することを明らかにした。Yiannakiら [7]はサッカーとフットサルの空間的、時間的な制約が選手に与える

<sup>1</sup> 神戸大学工学研究科

a) 2940.a24@gmail.com

b) t.sway.tmpp@gmail.com

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

d) tuka@kobe-u.ac.jp



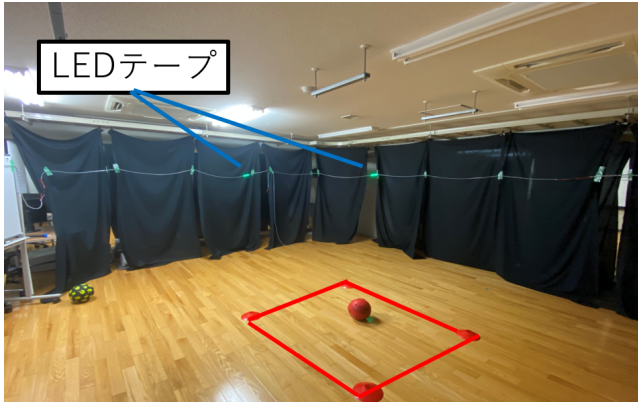


図 2 提案システム (180°~360° 範囲)

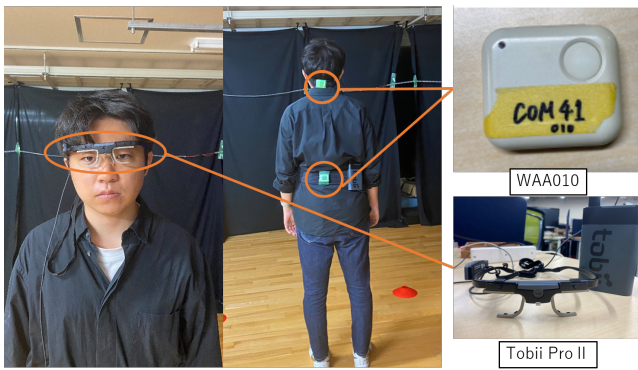


図 3 測定デバイス

構成される。Yiannaki ら [7] の実験結果を参考に、空間的な制約が厳しいかつ、運動強度の高いボールタッチ練習を行う環境を設定するために、プレーヤーに 1 辺が 1.5 m の赤の四角形内で 1 分間に 60 タッチのテンポでボールタッチ練習を行わせる。

また、視覚的探索行動を促すための周囲の刺激としてプレーヤーの周囲 360 度の範囲に、地面から 1.7 m の高さ、長さ 5 m の LED テープを 4 つ直列接続したものを図 1 のように配置する。1 秒間隔でランダムに LED が光るプログラムを Windows OS 上で Arduino IDE を用いて作成し、シリアル通信させることで LED テープに接続している Arduino Uno を制御する。

## 4. 予備実験

### 4.1 概要

実装したシステムを評価する際、視覚的探索行動を促しているかどうかを検出する必要がある。そこで視覚的探索行動を検出する二つのデバイスの妥当性と、システムの改善点を確認するための予備実験を行った。被験者はサッカー歴 4 年以上の 20 代男性 4 名である。被験者は図 3 のように背中と頭部の 2 箇所に 9 軸モーションセンサ (WAA-010)、TobiiPro グラス 2 を頭部に装着して図 1 に示す環境でボールタッチ練習を行う。被験者はサッカー

歴 12 年の 20 代男性 4 名である。提案システムを用いてボールタッチ練習をする「システムあり」のグループと提案システムを用いずにボールタッチ練習をする「システムなし」のグループの間で、視覚的探索行動により発見した LED の個数に差があるかを評価した。システムありのグループ、システムなしのグループともに 1 週間のうち練習を 2 回行い、2 回目の練習終了後すぐに評価テストを行う一連の流れを 2 週間行う。システムありの練習では、1 分間に 60 タッチのテンポでボールタッチをしながら 30 秒間ランダムに光る LED を目で追う試行を計 5 回行う。システムなしの練習では、同じテンポでボールタッチをしながら 30 秒間周囲を見渡すように首を振る試行を計 5 回行う。評価テストでは、ボールタッチをしながら 30 秒間で LED を見つけた個数を被験者に数えさせる試行を計 5 回行い、数えることができた LED の平均個数と首振りの頻度を計測した。

### 4.2 視覚的探索行動の測定デバイス

図 3 に示している予備実験で用いた視覚的探索行動を検出する二つのデバイスについて説明する。一つ目は装着型アイトラッキングデバイスである Tobii Pro グラス 2 を使用する。Tobii Pro グラス 2 は、ボールから目線がどの程度外れているか、首を振ることによって LED の光を認識できているかを確認するために用いる。二つ目は、地磁気を計測できるセンサである WAA-010 を使用する。頭部と背中計 2 箇所に装着し、2 つのセンサによって求められる方位の差から、首振りの回転角と頻度を計測する。また首振りの回転角  $f$  は、頭部の方位を  $\theta_h$ 、身体方位を  $\theta_b$  として以下の式で導出する。

$$f = \theta_h - \theta_b \quad (1)$$

頭部と背中それぞれの方位は、WAA-010 で測定した 3 軸加速度のセンサ値  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ , 3 軸地磁気のセンサ値  $G_x$ ,  $G_y$ ,  $G_z$  を用いて以下の式で算出する。

roll 角は、

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{a_y}{a_z}\right) \quad (2)$$

で表す。pitch 角は、

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{-a_x}{a_y \sin \phi + a_z \cos \phi}\right) \quad (3)$$

で表せる。以上の 2 式から方位  $\theta$  を導出する式は、

$$\theta = \tan^{-1} A \quad (4)$$

ただし、

$$A = \frac{(G_z - G_{z_0}) \sin \phi - (G_y - G_{y_0}) \cos \phi}{(G_x - G_{x_0}) \cos \psi + (G_y - G_{y_0}) \sin \psi \sin \phi + (G_z - G_{z_0}) \sin \psi \cos \phi}$$

である。



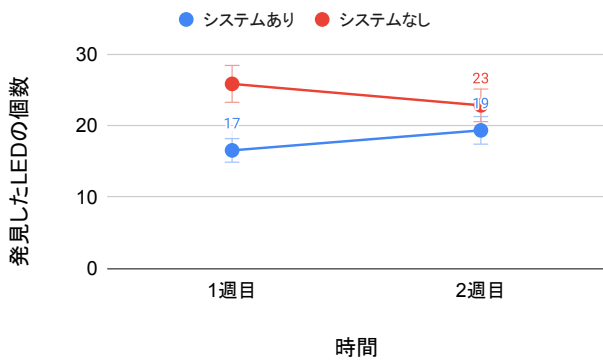


図 4 予備実験で計測した LED の個数

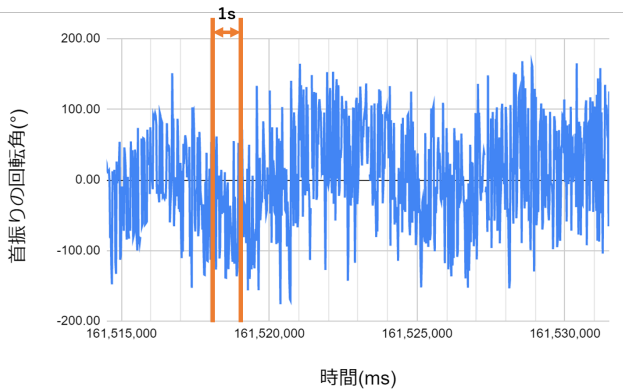
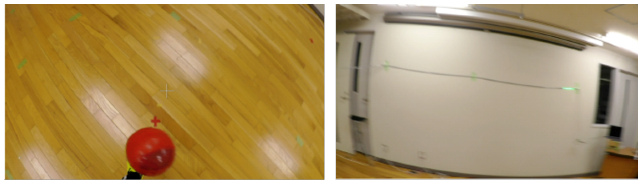


図 5 首振りの回転角



ボールを見ている時

ボールから目線を切った時

図 6 TobiiPro グラス 2 の視線映像

ただし、本システムでは Windows 用 WAA-010 専用データ受信ソフトウェア「AccelViewerHybridII」(ワイヤレステクノロジー社提供)を使用してセンサ値を取得する。その際、ソフトウェア内でセンサをキャリブレーションするため、オフセット量である  $G_{x_0}, G_{y_0}, G_{z_0}$  の値を 0 として計算する。

### 4.3 結果

各週の 2 回目の練習後に行った評価テストで計測した、LED を見つけた個数の推移を図 4 に示す。システムあり、システムなし間で目立った差がなく、システムあり、システムなしのグループともに 30 秒間で LED を見つけた平均個数が 20 個ほどになっている。Thomas ら [12] によると、プレーヤが 90 度首を振るのにかかる時間を 1 秒としている。したがって、本実験の結果から首振り一回あたり平均

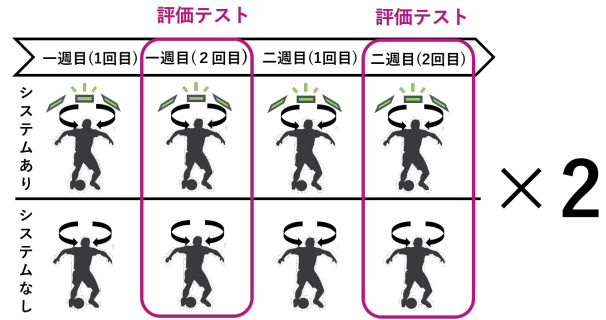


図 7 評価実験の流れ

1 個 LED を見つけることができる仕様になっているため、LED の点灯間隔やパターンの変更を検討する必要があることがわかった。そこで、点灯間隔を 1 秒としてランダムに 3 色 (赤, 緑, 青) 光る仕様に変更した。これによりプレーヤに各試行で見つける色を指定することができ、より探索行動を促すことが可能になった。また、30 秒間の運動強度が高く、被験者からしんどいとの意見があったため、1 分間に 60 タッチのテンポでボールタッチをしながら 20 秒間で光る LED を目で追うことにした。

(1) 式を用いて首振りの回転角を導出した結果を図 5 に示す。プレーヤが一回首を振るのにかかる時間を 1 秒とすると、図 5 より首振りの回転角が約  $50^\circ$  ~ 約  $-90^\circ$  で推移していることがわかる。よってこの手法で首振りを検出できているといえる。また、Tobii Pro グラス 2 の視線映像を図 6 に示す。ボールを見ているときと、ボールから目線を切ったときの違いが確認でき、視覚的探索行動を検出できるとわかる。

以上の結果から図 3 に示す二つのデバイスで視覚的探索行動を検出できることがわかり、システムの改善につなげることができた。

## 5. 評価実験

### 5.1 概要

提案システムを用いてボール保持中の視覚的探索行動の能力を向上させる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 20 代男性 10 名 (サッカー歴 5 年以上 6 名, 初心者 4 名) である。提案システムを用いてボールタッチ練習をするシステムありのグループ 5 名, 提案システムを用いずにボールタッチ練習をするシステムなしのグループ 5 名の 2 つに分かれて、グループ間で視覚的探索行動の能力向上に差があるかを評価した。図 7 のように、システムあり、なしともに 1 週間のうち練習を 2 回行い、2 回目の練習終了後すぐに評価テストを行う流れを計 4 週間行う。システムありの練習では、1 分間に 60 タッチのテンポでボールタッチをしながら 20 秒間ランダムに光る LED を目で追う試行を計 5 回行う。システムなしの練習では、同じテンポでボールタッチをしながら 20 秒間周

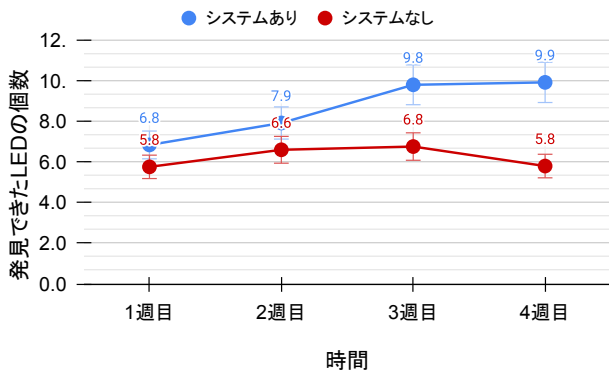


図 8 1 週目から 4 週目にかけて発見できた LED の平均個数の推移

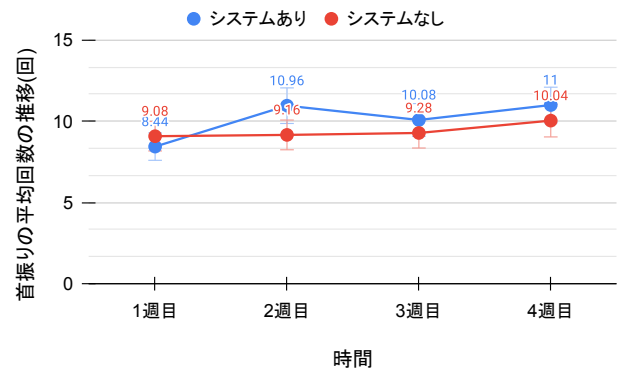


図 10 1 週目から 4 週目にかけての平均首振り回数の推移

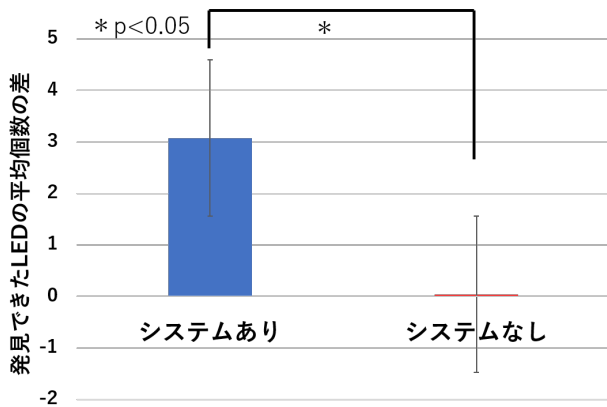


図 9 1 週目と 4 週目の評価テストで発見した平均 LED 個数の差

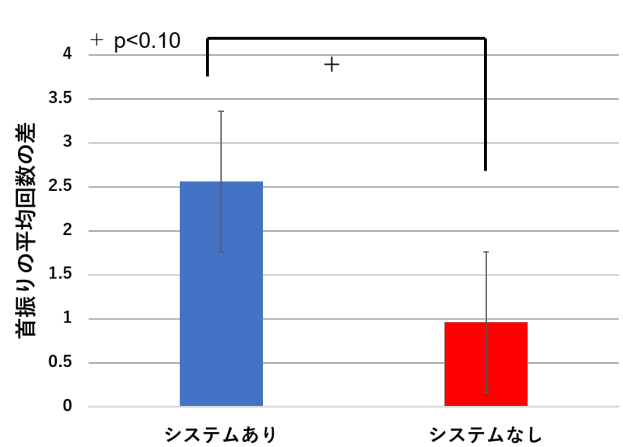


図 11 1 週目と 4 週目の評価テストでの平均首振り回数の差

囲を見渡すように首を振る試行を計 5 回行う。評価テストでは、ボールタッチをしながら 20 秒間で LED を見つけた個数を被験者に数えさせる試行を計 5 回行い、数えることができた LED の平均個数と首振りの頻度を計測した。また、各試行で被験者に見つけてもらう LED(赤、青、緑)のうち一色を指定し、LED の光を目で追うだけでなく、色を確認させるようにした。評価テストでは、各試行で見つけることができた LED の個数を数えさせた。また、その際の首振りの回数を WAA-010 で測定し、20 秒間で発見できた LED の個数と首振りの回数を評価指標として用いた。

なお、本実験は神戸大学大学院工学研究科における人を直接の対象とする研究倫理審査委員会の承認(承認番号 04-32)を得て実施した。

## 5.2 結果

1 週目から 4 週目にかけてシステムあり・なしが発見できた LED の平均個数の推移を図 8 に示す。横軸は実験期間、縦軸はシステムあり・なしのグループそれぞれが 20 秒間で発見できた LED の平均個数の推移を示している。またエラーバーは、各グループの被験者が発見できた LED の平均個数の標準誤差を示している。図 8 より、システムありのほうがシステムなしに比べて、見つけることができた LED の個数が増えていることがわかる。したがって、

提案システムを用いた練習は視覚的探索行動の能力の向上に有効であると考えられる。また、1 週目と 4 週目に行った評価テストで発見できた平均の LED の個数の差を図 9 に示す。縦軸はシステムあり・なしのグループそれぞれが 20 秒間で発見できた LED の平均個数の差を示している。またエラーバーは、各グループの被験者が発見できた LED の平均個数の差の標準誤差を示している。システムありの方が、システムなしに比べて 1 週目と 4 週目の発見できた LED の個数の差が大きい。また、システムありの 5 名と、システムなし 5 名の 1 週目と 4 週目の評価テストで発見できた平均 LED の個数の差に対して t 検定を行ったところ、有意差がみられた ( $t(6)=2.72, p<0.05$ )。

次に 1 週目から 4 週目にかけてシステムあり・なしの首振りの平均回数の推移を図 10 に示す。横軸は実験期間、縦軸はシステムあり・なしのグループそれぞれが 20 秒間で行った首振りの平均回数の推移を示している。またエラーバーは、各グループの被験者が行った首振りの回数の標準誤差を示している。システムありのほうがシステムなしに比べて、首振りの回数が増加していることがわかる。したがって、提案システムを用いた練習は視覚的探索行動の能力の向上に有効であると考えられる。また、1 週目と 4 週目に行った評価テストで計測した首振りの頻度の回数の差

を図 11 に示す。縦軸はシステムあり・なしのグループそれぞれが 20 秒間で行った首振りの平均回数の差を示している。またエラーバーは、各グループの被験者の首振りの平均回数の差の標準誤差を示している。システムありの方が、システムなしに比べて 1 週目と 4 週目の首振りの回数の差が大きい。また、システムありの 5 名と、システムなし 5 名の 1 週目と 4 週目の評価テストで計測した首振りの頻度の回数の差に対して t 検定を行ったところ、有意傾向がみられた ( $t(7) = 1.92, p < 0.10$ )

したがって、提案システムを用いてボール保持中の視覚的探索行動の能力を向上することができたかを確認するための評価実験を行った結果、提案システムを用いずにボールタッチ練習をするグループに比べて、視覚的探索行動の能力が有意に向上することがわかった。

## 6. 議論

評価実験の結果、システムを用いて練習したグループの方が視覚的探索行動の能力が有意に向上した。しかし、被験者から提案システムと評価方法が似ているのではという指摘を受けた。今回は、先行研究 [11] に示されているサッカーのスキルと探索的行動を明確に評価できる Footbonaut というシステムを参考にした。しかし提案システムと評価実験の両方で LED テープを用いているため、提案システムを用いて練習したグループのほうが LED を見つけるという試行に慣れている可能性がある。また実験後のアンケートで、被験者の周囲 360° に LED テープを配置することで、実際の試合状況に近づけて視覚的探索行動を鍛えることができたという意見があった。一方で、より実際の試合に近づけるなら近距離と遠距離を同時に探索できるようなシステムを実装すべきという意見があった。したがって、より実際の試合状況に近い環境を構築し、視覚的探索行動の能力の向上を図るシステムの構築を目指す。

## 7. まとめ

本論文では、サッカーにおける周辺状況の把握の重要性から、デュアルタスクの状況下でサッカーのボールタッチと視覚的探索行動の練習を鍛えるシステムを実装し、評価した。この提案システムを用いて練習したグループと提案システムを用いずに練習したグループでそれぞれ評価実験を行った。実験の結果、システムを用いて練習したグループの方が、発見できた LED の個数と首振りの頻度の回数がともに増加し、有意に向上することがわかった。また実装したシステムの改善点として評価方法と提案手法が似ていることが考えられる。そのため今後は提案システムを改良して LED テープを使用せずに、実際の試合を想定して探索的行動の対象物を選手の映像にして、ボール保持中の近距離と遠距離の視覚的探索行動を同時に鍛えるシステムの設計と実装の検討を行う。

## 謝辞

本研究の一部は、JSTCREST(JPMJCR16E1,JPMJCR18A3)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] G. Jordet, K. M. Aksum, D. N. Pedersen, and A. Walvekar: Scanning, Contextual Factors, and Association With Performance in English Premier League Footballers: An Investigation Across a Season, *Journal of Frontiers in Psychology*, Vol. 11 (2020).
- [2] G. Jordet, J. Bloomfield, and J. Heijmerikx: The Hidden Foundation of Field Vision in English Premier League(EPL)Soccer Players, *Proc. of the 7nd International Conference on MIT Sloan Sports Analytics* (2013).
- [3] 中川 昭: ボールゲームにおける状況判断のための基本概念の検討, *体育学研究*, Vol. 28, No. 4, pp. 287–297 (1984).
- [4] T. B. McGuckian, M. H. Cole, D. Chalkley, G. Jordet, and G. J. Pepping: Visual Exploration When Surrounded by Affordances: Frequency of Head Movements Is Predictive of Response Speed, *Journal of Ecological Psychology*, Vol. 31, No. 1, pp. 30–48 (2019).
- [5] D. Eldridge, C. Pulling, and M. Robins: Visual Exploratory Activity and Resultant Behavioural Analysis of Youth Midfield Soccer Players, *Journal of Human Sport and Exercise*, Vol. 8, No. 3, pp. 560–577 (2013).
- [6] T. McGuckian, M. Cole, D. Chalkley, G. Jordet, and G. J. Pepping: Constraints on Visual Exploration of Youth Football Players during 11v11 Match-Play: The Influence of Playing Role, Pitch Position and Phase of Play, *Journal of Sports Sciences*, Vol. 38, No. 6, pp. 658–668 (2020).
- [7] C. Yiannaki, C. Carling, D. Collins: Long-Term Practice with Domain-Specific Task Constraints Influences Perceptual Skills, *Journal of Frontiers in Psychology*, Vol. 9 (2018).
- [8] 今村 律子, 乾 眞寛, 徳島 了, 花沢 明俊, 坂元 瑞貴, 山本 勝昭, 磯貝 浩久: 広域視野範囲におけるサッカー選手の視覚情報処理, *バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌*, Vol. 16, No. 1, pp. 105–116 (2014).
- [9] D. Chalkley, J. B. Shepherd, T. B. McGuckian, and G. J. Pepping: Development and Validation of a Sensor-Based Algorithm for Detecting the Visual Exploratory Actions, *Journal of IEEE Sensors Letters*, Vol. 2, No. 2 (2018).
- [10] T. McGuckian, D. Chalkley, J. B. Shepherd, and G. J. Pepping: Giving Inertial Sensor Data Context for Communication in Applied Settings: An Example of Visual Exploration in Football, *Proc. of the 12th Conference of the International Sports Engineering Association*, Vol. 2, No. 6 (2018).
- [11] A. Beavan, J. Fransen, J. Spielmann, and J. Mayer: The Footbonaut as a New Football-specific Skills Test: Reproducibility and Age-Related Differences in Highly Trained Youth Players, *Journal of Science and Medicine in Football*, Vol. 3, No. 3, pp. 177–182 (2018).
- [12] T. McGuckian, M. Cole, G. Jordet, and D. Chalkley: Don't Turn Blind! The Relationship Between Exploration Before Ball Possession and On-Ball Performance in Association Football, *Journal of Frontiers in Psychology*, Vol. 9 (2018).