

# VRヘッドセットを用いたサッカー審判体験システム

## An Experience System of Soccer Referee using VR Head Set

秋山英久<sup>1\*</sup> 田中雄大<sup>1</sup> 齋藤涼太<sup>1</sup> 荒牧重登<sup>1</sup>  
Hidehisa Akiyama<sup>1</sup>, Yudai Tanaka<sup>1</sup>, Ryota Saitou<sup>1</sup>, Shigeto Aramaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 福岡大学  
<sup>1</sup> Fukuoka University

**Abstract:** The analysis of sports data has become increasingly popular in order to strengthen teams and players themselves. On the other hand, referees also have an important role to play in the fairness of the game. This paper proposes an experience system in order to provide a low-cost practice environment for soccer referees. The system assumes not only a practice environment but also a data collection system for soccer referees. In the experiment, we collect behavioral data from subjects and analyze them based on some evaluation criteria.

## 1 はじめに

スポーツにおいて公平かつスムーズに試合を実行するためには、選手だけでなく、審判も重要な役割を持つ。審判の行動データの収集と分析を進めることは、審判の育成や自動化に繋がると期待できる。審判の育成に関しては、審判の練習環境の不足も問題となっている。特にサッカーのようなチームスポーツにおいて、審判の練習環境を提供することは容易ではない。結果として、審判として十分な練習機会を得られないまま、大きな試合に臨むことになるかもしれない。

本研究では、これらの問題を解決するために、Virtual Reality デバイスとサッカーシミュレータを用いることで、サッカーの審判体験とデータ収集を行うシステムを開発した。このシステムは、審判にとっての練習環境を低コストで提供することも想定している。本稿では、Virtual Reality デバイスとしてヘッドマウントディスプレイ型のデバイスを使用し、サッカーシミュレーション環境としてRoboCupサッカーシミュレータを用いた。開発したシステムを用いて被験者実験を行い、行動データの分析を行う。

## 2 関連研究

スポーツデータの分析では、個々の選手の能力やチームの強さを高めることを想定した取り組みが多い [6, 1]。このような試みは特にプロサッカーの試合データ分析

で盛んであり、様々な分析対象と手法が提案されている [7, 8, 9]。

一方で、スポーツでは審判も重要な役割を持つ。審判は、選手以上にその競技を理解し、選手とともに試合へ参加し、そして、選手と協働して試合を進行しなければならない。より良い審判を育成することはスポーツにおいて重要な課題であり、審判に関するデータ収集と分析の試みが進められている [2, 3, 12]。

スポーツデータの可視化と分析を効率良く行う手法として、Virtual Reality (VR) 環境は一つの有望なアプローチである。田尻らはVR環境を用いた学習の実用性と有効性について述べている [11]。空間認識能力の習得に関しては、その習得度合いに個人差が現れるとされているが、VR環境で空間認識を疑似体験することで、学習者の個人差を小さくすることができると期待されている [5, 10]。

近年はヘッドマウント型ディスプレイを用いた没入型のVR環境が安価で利用可能になっている。本研究では、ヘッドマウント型ディスプレイを用いたサッカー審判体験システムを開発する。

## 3 サッカー審判体験システム

### 3.1 システム概要

本研究で開発したサッカー審判体験システムでは、使用者が装着するデバイスとして、ヘッドセット型のVirtual Reality デバイス（以下、VRヘッドセットと呼ぶ）とゲームパッドを用いる。システム使用者は、シミュレータが実行する試合を仮想フィールド上の審判

\*連絡先： 福岡大学工学部  
〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1  
E-mail: akym@fukuoka-u.ac.jp

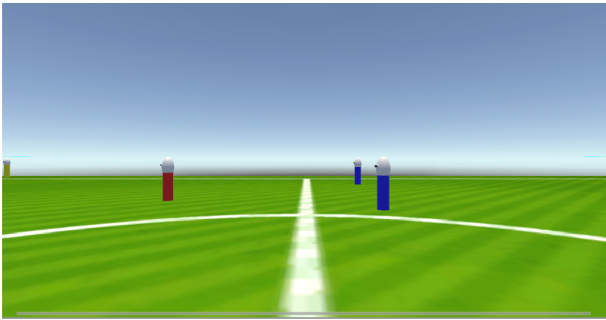


図 1: VR ヘッドセット装着者に表示される画面の例.



図 2: 本稿のシステムで使用する VR ヘッドセット.

視点で観察しつつ、仮想フィールド上で審判としての移動行動を実行する。

本稿で実装したシステムでは、体験する対象を主審とする。実際のサッカーでは、主審以外に副審として線審を複数配置する場合がある。本システムでは、自動で移動する線審を仮想空間内に配置する。

### 3.1.1 VR ヘッドセット

VR ヘッドセット内部の画面には、審判視点での仮想フィールドの状態が表示される。図 1 は、本システム使用者に表示される画面の例である。図にはサッカーフィールドに加えて審判の視界内に存在する選手オブジェクトが表示されている。選手オブジェクトと同様に、審判の体となるオブジェクトを仮想空間に作成しており、審判オブジェクトの頭の位置にカメラオブジェクトが設置される。このカメラオブジェクトが仮想空間内での装着者の視点であり、カメラの方向が仮想空間内での視野方向となる。実際に VR ヘッドセットを装着して画面を観ると、視覚的には自分の周囲に仮想空間が広がっているように認識される。これによって、仮想空間に没入した感覚でサッカーフィールドを観察することができる。

本システムでは、VR ヘッドセットとして VIVE 社の VIVE Pro (図 2) を使用し、プログラム開発はゲームエンジンである Unity を用いて行う。VIVE Pro はヘッドセット本体にジャイロスコープを内蔵しており、装着者の頭の姿勢をリアルタイムに検出可能である。

### 3.1.2 サッカーシミュレータ

本システムが担うのは審判視点の画面表示と審判の操作部分のみであり、サッカーのシミュレーション自体は別のシミュレーションシステムを用いる。本稿では、バックエンドのサッカーシミュレータとして RoboCup サッカーシミュレータ [4] を用いる。RoboCup サッカーシミュレータは、人間サッカーとほぼ同等のルールで 11 対 11 のサッカーを実現するシミュレーションシステムである。シミュレーションの空間は連続であるが、時間モデルは離散時間である。1 シミュレーションサイクルは 0.1 秒であり、各選手はシミュレーションサイクルごとに行動を決定し、物体の状態もシミュレーションサイクルごとに更新される。

RoboCup サッカーシミュレータには自動審判機能が既に組み込まれているが、本稿のシステムを接続して審判として介入可能とすることを想定している。ただし、現在の本システムの実装ではシミュレーション内容をリアルタイムに追従できず、シミュレータが記録したログファイルを再生することしかできない。そのため、現時点では、システム使用者は審判視点で試合を観察するのみであり、審判として試合に干渉することはできない。

### 3.1.3 審判の移動

現実の人間のサッカーでは、審判は試合中に自発的にフィールド上を移動している。より現実に近い体験を得るためには、我々のシステムでも審判が仮想フィールド上を自由に移動できる必要がある。本稿では、仮想フィールド上での審判の移動をゲームパッドで行い、ゲームパッドのスティックを傾けることで審判を任意の方向へ移動可能とする仕様とした。審判の運動モデルは簡略化し、移動スピードを一定とする。

### 3.1.4 審判の視野方向の変更

審判は仮想空間内のカメラを視野として持っており、VR ヘッドセット装着者はカメラが捉える範囲の物体しか認識できない。そのため、周囲の状況をより正確に認識するには、カメラの方向を変えることで視野方向を変更し、能動的に周囲の情報を収集しなければならない。本システムでは、装着者の頭の向きを仮想空間内でのカメラの方向へ反映し、審判の視野方向の変更として扱う。装着車の頭の向きは VIVE Pro によって測定可能である。VIVE Pro は装着者の視線を検出することはできないため、装着者の頭の向きを装着者が注目する方向とする。

### 3.1.5 審判の状態記録

本システムは仮想フィールド上の審判の状態を自動的に記録する。仮想フィールド上での審判の位置座標、視野方向、ゲームパッドでの操作内容を試合時間と同期させて記録する。ボールや選手の位置情報をシミュレーションログから取得できるため、ある時点の審判の行動に対応した仮想フィールドの状態を容易に取り出すことができる。

### 3.1.6 自動線審

現在の本稿のシステムでは主審の体験を想定しており、線審は自動で移動するオブジェクトを仮想フィールド上に2体配置する。ただし、線審オブジェクトは各チームの陣地に対応させて1体ずつ配置し、それぞれが異なるサイドラインを担当する。各線審オブジェクトは、各チームのオフサイドラインの移動に合わせて、フィールドの担当陣地側のサイドラインに沿って移動する。

## 3.2 審判の評価方法

審判の行動を分析するために、記録された審判の状態を用いて、審判としての妥当性を評価する。本システムを用いて仮想審判として行動した結果に対して、いくつかの評価指標に基づいて審判としての評価を行う機能を実装した。本稿では、評価指標として以下の4項目を設定する。これらはすべて、サッカー審判として明らかに妥当ではない状態であり、審判としての行動を失敗したとみなせる状態である。

1. 選手との接触 ( $c_1$ )
2. ボールとの接触 ( $c_2$ )
3. パスコースの妨害 ( $c_3$ )
4. 主審と線審でボールを挟めていない ( $c_4$ )

$c_i$  をそれぞれの状態が試合中に発生した回数とする。各状態が発生したかどうかは試合のシミュレーションサイクルごとに自動的に検出する。全項目が罰則対象となる状態であるため、これらの値は負の評価値として扱うべきである。本稿では式1を審判の評価値  $V_r$  とする:

$$V_r = - \sum c_i \quad (1)$$

各項目の詳細な定義を以下で説明する。

### 3.2.1 選手との接触

RoboCup サッカーシミュレータ上の選手は、半径  $0.3m$  の円としてモデル化されている。本システムで表示する仮想空間上では、シミュレータ上の大きさよりも拡大し、半径  $0.5m$  の円柱として選手オブジェクトの3次元モデルを作成した。同様に、審判オブジェクトも半径  $0.5m$  の円柱として3次元モデル化する。このモデルに基づいて、Unity の衝突判定機能によって審判と選手の接触判定を行う。

審判と選手のいずれも、行動時に体が傾くことはなく常に直立しており、常に地面に接しているものとする。いずれも円柱モデルであるため、地面平面上での審判と選手の中心位置の距離が  $1.0m$  以下の場合に衝突判定が発生し、審判は選手と接触したとみなされる。審判と選手の接触判定は、シミュレーションサイクルごとにすべての選手に対して行う。

### 3.2.2 ボールとの接触

選手との接触判定と同様に、Unity による衝突判定によって審判とボールの接触判定を行う。RoboCup サッカーシミュレータではボールは半径  $0.085m$  の円としてモデル化されているが、本システムでは半径  $0.5m$  の球として3次元モデルを作成した。シミュレータの仕様上ボールが空中を飛ぶことは無いため、ボールは常に地面に接しているものとする。よって、地面平面上での審判とボールの中心位置の距離が  $1.0m$  以下の場合に衝突判定が発生し、審判はボールと接触したとみなされる。審判とボールの接触判定は、シミュレーションサイクルごとに行う。

### 3.2.3 パスコースの妨害

審判が選手間のパスコースを妨害しているかどうかを判定し、罰則として評価に反映する。選手がボールをキック可能な状態である場合に、他の味方選手へのパスコース上に審判が位置していればパスコース妨害と判定する。ボールを持つ選手と他の味方選手とを結ぶ平面上の線分を考え、その線分と審判との平面上の距離が  $1.0m$  以下の場合に審判がパスコース上に位置していると判定する。パスコースの妨害判定は、シミュレーションサイクルごとに行う。

### 3.2.4 主審と線審でボールを挟めていない

審判が1人だけであれば、ボールが審判の死角に位置してしまう場合がある。より正確な判定を行うために、現実のプロサッカーの試合では主審に加えて2人の線審が配置され、3人の審判からボールに対する死角

が同時に発生しないようにすることが求められる。通常は、いずれかの線審とボールを挟む位置に移動することが主審には求められる。

本システムでは2体の自動線審を追加しており、システム使用者は主審として振る舞うことを想定している。よって、システム使用者は、いずれかの線審の位置に合わせてボールを挟めるように移動する必要がある。主審の位置を  $R$ 、線審の位置を  $L$ 、ボールの位置を  $B$  とすると、ボールを中心とした角度  $\angle RBL$  が  $90^\circ$  以下の場合に、本システムでは主審とその線審でボールを挟めていないと判定する。この角度判定を2体の線審に対して行い、いずれの線審ともボールを挟めていない場合に主審の位置が妥当ではないと判定する。この主審位置の妥当性判定は、シミュレーションサイクルごとに行う。

## 4 実験

実装したシステムを用いて被験者実験を行う。複数の被験者にシステムを使用してもらい、被験者に対して審判としての評価を行うとともに、その行動内容のログを収集して分析を行う。

### 4.1 実験設定

10名の被験者に対してデータ収集と分析を行う。すべての被験者は20歳代の男子大学生である。ただし、半数の5名は実際の間人サッカーで審判の経験を持つ。被験者は、本システムの評価項目について事前に説明を受けてから実験に臨む。今回の実験では審判は試合に干渉せず、再生される試合を審判視点で観察するだけであるため、全ての被験者に対して同一の試合を再生する。審判の初期位置はフィールド中央付近のボールに干渉しない位置とし、試合の再生開始後は被験者が任意に移動行動を可能とする。

被験者からのデータ収集時間は試合再生開始から約3分間とし、シミュレーション上は1800サイクル分の試合再生を行う。RoboCupサッカーシミュレータでは1サイクル0.1秒で6000サイクルを1試合としており、本来であればロスタイムを含めると1試合は10分強である。しかし、VRヘッドセットを装着した状態での長時間の集中が困難であり、経過時間とともに審判としての行動に影響が発生したため、データを収集する時間を短縮した。

### 4.2 実験結果

表1に各被験者の評価結果を示す。被験者E1からE5は人間サッカーでの審判の経験を持ち、N1からN5

表 1: 各被験者の評価値

被験者 ID	評価値 ( $V_r$ )
E1	-63
E2	-68
E3	-60
E4	-108
E5	-63
N1	-145
N2	-102
N3	-107
N4	-70
N5	-139

は未経験者である。

図3, 4, 5, 6は評価項目ごとの結果である。選手との接触とボールとの接触を比較すると、選手と接触する頻度の方がより高いことが分かる。被験者は選手よりもボールにより注目していると推定され、特に、実際に審判の経験を有する被験者はボール接触の罰則に対してより良い結果を示している。選手との接触回数については全被験者でばらつきが大きく、平均的には経験の有無による違いは観られなかった。パスコースの妨害回数については、審判経験者のほうが平均的には良い結果を示しているものの、大きな違いは観られない。審判経験の有無がもっとも大きく現れたのは、線審とボールを挟む位置取りに関する評価項目である。

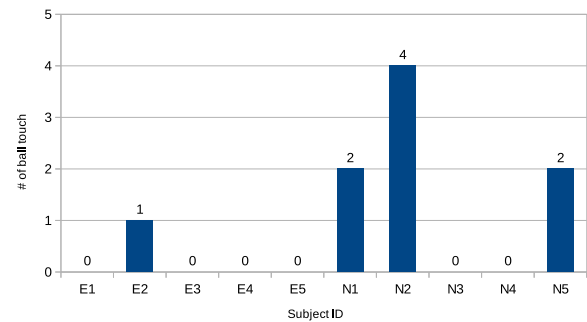


図 3: 各被験者のボールとの接触回数。

被験者に対する評価値と以下の2つの値との関係を調査した。

- 被験者が視界からボールを外した回数。
- ボールの移動距離に対する審判の移動距離の割合。

ボールの移動距離と審判の移動距離の関係については、先行研究として小林らの報告がある [12]。小林らは、良いパフォーマンスを示す審判の移動距離はボールの移動距離に対して45%程度であることを、実際のサッカーの試合データより示している。

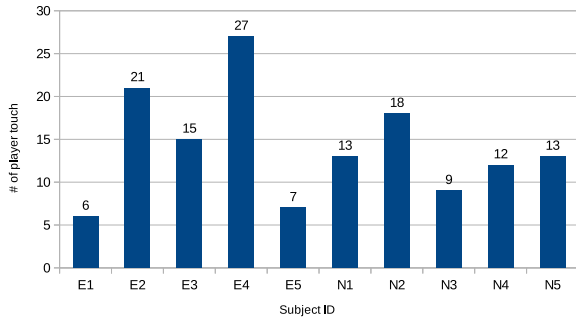


図 4: 各被験者の選手との接触回数.

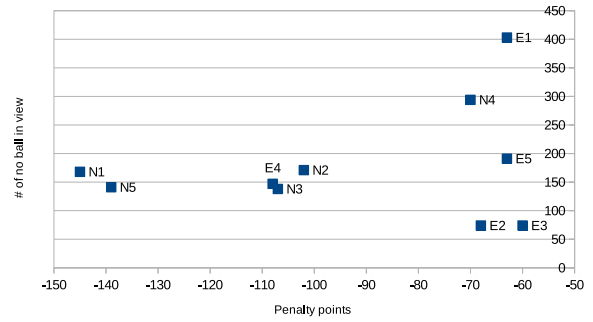


図 7: 各被験者の評価値とボールを視界から外した回数.

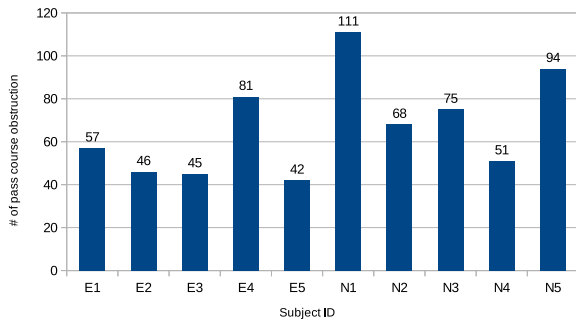


図 5: 各被験者のパスコース妨害回数.

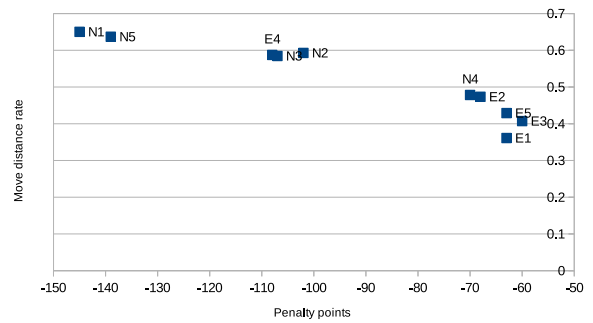


図 8: 各被験者の評価値とボールに対する移動距離の割合.

図 7 は、各被験者の評価値と視界からボールを外した回数をプロットしたものである。これらの相関係数は 0.244 となり、強い相関は観られなかった。一方、図 8 は、各被験者の評価値と移動距離の割合との関係をプロットしたものである。これらの相関係数は  $-0.942$  となり、強い負の相関が観られた。

### 4.3 考察

今回の実験結果からは、審判の経験を持つ被験者は、平均的には未経験の被験者よりも高い評価を得ている。そして、有経験者は、より妥当な位置取りができてい

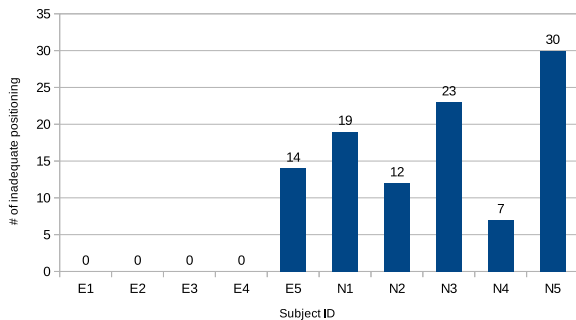


図 6: 各被験者が線審とボールを挟めていなかった回数.

ることが分かる。図 9 と図 10 は、最良評価の被験者と最低評価の被験者の移動位置を平面上にそれぞれプロットしたものである。グラフの原点は仮想サッカーフィールドの中央である。これらのプロット図から、失敗が少ない審判は移動範囲が比較的小さく、フィールドの中央付近でより多くの時間を過ごしていることが分かる。これはボールの移動に追従しすぎていないことを意味し、図 8 の結果と一致する。

ボールを視界から外した回数と評価値との間には、強い相関は観られなかった。しかしながら、視野方向変更の意図が被験者によって異なる可能性がある。例えば、失敗が少なかった被験者は、周囲の状況を確認することを意図して視野方向を頻繁に変更していたと予想される。より多くのデータを収集し、各被験者が何に注目していたかをより詳細に分析する必要があるだろう。

## 5 まとめ

本稿では、VR ヘッドセットデバイスを用いたサッカー審判体験システムを開発した。開発したシステムを用いた被験者実験を行い、仮想空間上での審判の行動データの収集と分析を行った。実験結果から、審判

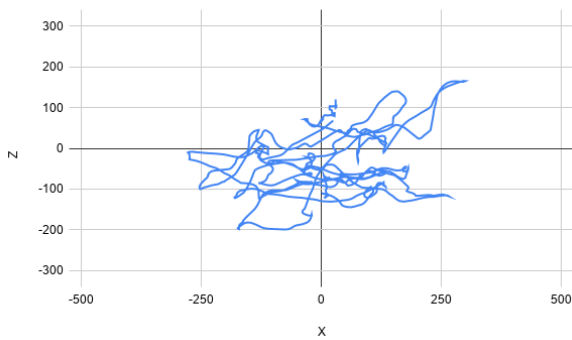


図 9: 評価値がもっとも高かった被験者の移動位置プロット図.

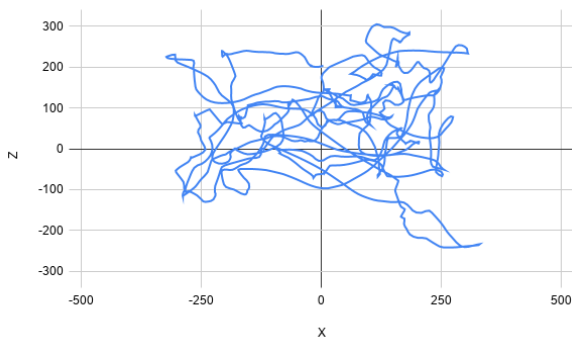


図 10: 評価値がもっとも低かった被験者の移動位置プロット図.

の経験を有する被験者は、未経験の被験者に比べて位置取り行動での失敗が少ないことが示唆された。

現在のシステムでは、審判としての判定に必要な情報を観察できていたどうかを評価できていない。この評価指標を反映するために、システム使用者がリアルタイムに試合に参加して、審判として判定を下すことができる機能を追加する必要がある。人間が下した判定と自動審判が下した判定を比較することで、審判の評価精度を高めることができる。その結果を用いて、審判視点での移動行動をより詳細に分析することが今後の課題である。

## 参考文献

- [1] Brooks, J., Kerr, M., Guttag, J., “Developing a data-driven player ranking in soccer using predictive model weights”, Proc. of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 2016.
- [2] Downward, P., Jones, M., “Effects of crowd size on referee decisions: Analysis of the FA Cup”, Journal of Sports Sciences, 25(14), pp.1541–1545, 2007.
- [3] Hancock, D. J., Ste-Marie, D. M., “Gaze behaviors and decision making accuracy of higher- and lower-level ice hockey referees” Psychology of Sport and Exercise, 14(1), pp.66–71, 2013.
- [4] Itsuki Noda, Hitoshi Matsubara, Kazuo Hiraki, Ian Frank : “Soccer server: A tool for research on multiagent systems”, *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 12, No. 2-3, pp. 233–250 (1998)
- [5] Dan Mikami, Kosuke Takahashi, Naoki Saijo, Mariko Isogawa, Toshitaka Kimura, and Hideaki Kimata, “Virtual Reality-based Sports Training System and Its Application to Baseball”, NTT Technical Review, vol.16, no.3, 2018.
- [6] Hughes, M., Bartlett, R., The use of performance indicators in performance analysis, Journal of Sports Sciences, 20(10), pp.739–754, 2002.
- [7] H. Sarmiento, R. Marcelino, M. T. Anguera, J. Campaniço, N. Matos, and J. C. Leitão: “Match analysis in football: a systematic review”, Journal Sports Science, vol. 32, no. 20, pp. 1831–1843, 2014.
- [8] Shaw, L., Glickman, M.: “Dynamic analysis of team strategy in professional football”. Barça Sports Analytics Summit, pp.1–13, 2019.
- [9] B. Spencer, M. Hawkey, and S. Robertson: “Using contextual player movement and spatial control to analyse player passing trends in football”, Barça Sport. Analytics summit, pp. 1–12, 2019.
- [10] 権藤聡志, 樽川香澄, 井上智雄, 岡田謙一: “スポーツの試合を再現した仮想空間を複数視点で提示する戦略分析支援システムの提案”, 情報処理学会研究報告, vol.2013-DCC-3, no.1, pp.1–5, 2013.
- [11] 田尻圭佑, 瀬戸崎典夫: “HMD を用いた 3 次元ジェスチャ操作による没入型天体教材の開発”, 日本教育工学会論文誌 40 巻, Suppl. 号, pp.193–196, 2016.
- [12] 小林久幸, 瀬戸進, 宮村茂紀, 川合悟, 瀬戸就一: “サッカーの級別主審の移動距離とボールの移動距離に関する研究”, 日本体育学会大会号, 44B 巻, p.726, 1993.