

# 仮想ディフェンダーシミュレータによる サッカーのフェイント個人練習システム

増田 稜<sup>1,a)</sup> 山本 景子<sup>1,b)</sup> 倉本 到<sup>2,c)</sup> 辻野 嘉宏<sup>1,d)</sup>

**概要:** サッカーでディフェンダーを抜くためにはフェイントが重要である。フェイントを完全に習得するためには個人練習だけではなく対人練習が必要である。対人練習により、1) 様々なディフェンダーに対する経験を得ることができ、2) ボールを奪われないようにコントロールする技術が習得できる。しかし、このような対人練習を行うためには多くの練習相手が必要である。そこで本稿では、これらを個人でできるようにするために、仮想ディフェンダーのシミュレータを用いた個人練習システムを提案する。この仮想ディフェンダーは、1) に対応するためにオフenseに抜かれないように動き、またこの反応速度をユーザが調整できる。そして2) に対応するためにユーザのボールを奪う可能性があるなら奪おうとする。仮想ディフェンダーのボール奪取確率モデルを検証するため、2D シミュレータによる評価を行った。その結果、モデルはユーザの評価とほぼ一致していることがわかった。そこでこのモデルを使い、3D 仮想ディフェンダーシミュレータを実装し有効性の検証を行った。その結果、フェイント技術の向上はわずかであったが、システムを実際の練習に使えると思うとの回答が得られた。

**キーワード:** VR, サッカー, スポーツ, トレーニング, シミュレータ

## Personal Feint Training System using Virtual Defender in Soccer

RYO MASUDA<sup>1,a)</sup> KEIKO YAMAMOTO<sup>1,b)</sup> ITARU KURAMOTO<sup>2,c)</sup> YOSHIHIRO TSUJINO<sup>1,d)</sup>

**Abstract:** Feint is important to dribble past a defender in soccer, and both individual training and group training is necessary to improve feint skill. Through the group training, 1) players can get experiences with various defenders, 2) players can improve skills to control a ball so as not to be robbed from a defender. In order to do the group training, many cooperators are needed. In this paper, we propose a personal feint training system with a virtual defender. The virtual defender moves according to the movement of the user and a ball to avoid getting dribbled past by the user, also the reaction speed of the virtual defender can be changed when it tries to rob the ball. We evaluated the 2D simulator of the virtual defender in order to verify the stochastic model when it robs the ball. The result indicates that the model matches the result of participants' evaluation. Based on the model, we implemented a 3D virtual defender simulator. As the result of the evaluation using the system, the skills of participants became slightly higher through using the system. As the results of the questionnaire, all participants answered that they thought the system can be useful for improving feint skill.

**Keywords:** VR, soccer, sports, training, simulator

<sup>1</sup> 京都工芸繊維大学  
Kyoto Institute Technology, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto  
606-8585, Japan

<sup>2</sup> 大阪大学  
Osaka University, 1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka  
560-8531, Japan

a) masuda@hit.is.kit.ac.jp

b) kei@kit.ac.jp

## 1. はじめに

日本は1998年にワールドカップに出場してから、サッ

c) kuramoto@irl.sys.es.osaka-u.ac.jp

d) tsujino@kit.ac.jp

カー教育が発展し、日本は世界の国と戦えるようになってきている。日本のサッカースタイルはチームワークで戦うものである。しかし世界一になるためにはチームワークだけでは限界があり、個人の力の上達が必要不可欠である [1]。この個人の力には選手の個人技が含まれる。個人技とは、蹴る技術やボールをトラップする技術などの基礎的な技術を構築したものを指す。本研究ではその中でも、1対1の状況になった時にドリブルで相手を抜くことができる技術に着目する。

サッカーでそもそも点を入れるためには、ボールをゴールまでできるだけ早く運ぶ必要がある。ボールを運ぶ方法には、1人でドリブルをして運ぶ方法と、11人の選手で「パス」を繰り返しボールを運ぶ方法がある。このパスをできるだけ多く用いる方がボールを運ぶ効率が良いため、ドリブルよりも推奨されている。しかしある一定のところからゴールに近づくためにはパスだけでは難しい。なぜなら守備をする人はパスのことだけを気にしてシュートを打たれない距離を保ちながらパスを回させるように守備し、攻める側がミスをするのを待てば良いからである。

パスだけでゴールに近づけなくなった時、有効な手段として「ドリブル」がある。ドリブルで守備をしている人を抜くと、その近づけなかった一定の距離が打ち破れるため得点のチャンスに繋がる可能性が高い。またドリブルという選択肢があることで、守備をする人はドリブルの可能性を考えながら守らなければならなくなり、パスが通りやすくなるというメリットもある。つまり攻撃の幅が広がり連携が行いやすくなる。特に1対1の勝負で、守備をする人を抜くことは大きな得点のチャンスを作ることに繋がる。このような個人の力の中でも1対1で守備をしている人を抜く個人技はチーム力を上げる大事な要素である。しかし先述したように日本人はその個人技の能力が低いと言われている。

ドリブルで相手を抜くためには、守備をしている選手を騙す「フェイント (2.で詳述)」の習得が重要である。しかしこのフェイントを習得するためには多くの練習プロセスが必要であり、このプロセスは1人ではできない対人練習も含まれている。したがって、現状では協力者がいないと1対1で相手をドリブルで勝つためのフェイントを習得することはできない。またチームメンバーが集まって行う全体練習ではチーム力を高める連携をメインにした練習が多いため、フェイントの練習をする時間は少なくなりやすく、また全体練習以外の時間で協力者を探すのは難しい。そこで本論文では、協力者がいなくてもいつでもフェイントを1人で習得できるシステムを提案する。

## 2. フェイントにおける個人練習の重要性

### 2.1 フェイント動作の流れ

本稿では点を入れるために攻撃している側のチームを

「オフェンス」と呼び、その中でボールを保持している人を「ボール保持者」と呼ぶ。逆に相手の攻撃を抑えるために守備をしている側のチームを「ディフェンス」と呼び、ディフェンスしている選手を「ディフェンダー」と呼ぶ。試合においてボール保持者は点を決めるためにボールをゴールに近づけようとし、ディフェンダーはそれを阻止し、可能ならばボールを奪おうとする。この試合中のドリブル対決を以降「1対1」と呼ぶ。また1対1の結果、ボール保持者がディフェンダーよりもゴールに近づくことを「抜く」と呼ぶ。

1対1において相手を抜くために必要な技術は二種類ある。一つ目は思い通りにボールを操る技術である。これは個人練習によって身につけることができる技術である。二つ目は相手を「釣る」技術である。「釣る」というのはボール保持者がディフェンダーに対し、自身の抜く行為を妨害させないために、何らかの動作をするように見せかけ騙すことで、ディフェンダーが本来取らなければならない行動を取らせないようにすることである。この時の「釣る」ための一連の動作群が「フェイント」である。

この「フェイント」を用いてボール保持者がディフェンダーを抜くまでの一般的な動作の流れを以下に示す。

- (1) ボールを取られる直前の空間までディフェンダーにドリブルで近づく
- (2) フェイントを行ってディフェンダーを騙し、自身が抜きたい方向と逆の方向へディフェンダーを動かす
- (3) (2)の間に、逆の方向へボールを運ぶ

もし(2)でボール保持者の釣りの動作がうまくいかず、ディフェンダーが釣られた状態からすぐに復帰し、ボール保持者を妨害をする行動ができてしまうと、ディフェンダーを抜くことはできなくなる。つまりこの復帰のための時間（以降、復帰時間）がディフェンダーの釣られにくさと言え、フェイントにおいて(2)の「釣り動作」が最も重要である。フェイントの分析をした松下ら [2] もディフェンダーを釣り、バランスを崩すことがフェイントの成功率を上げるために重要だと述べている。

### 2.2 フェイント習得における問題点

フェイントの習得は、まずフェイントの映像を見ながらその動作を理解し、イメージトレーニングをすることから始まる。これをフェイントの映像を見ずに一連の流れを想像できるまで繰り返した後、フェイントの動作確認を実際に体を動かしながら行う。ボールを使って思い通りにボールを操れるようになれば、対人でフェイントを試す。このプロセスの中で最も大事なものは対人練習である。なぜなら試合での成功度は対人練習量で決まるからである。にも関わらず動作確認までのプロセスは1人でできるが、対人練習はディフェンダー役の人がいなければ練習できない。個人練習だけでは、試合中の1対1でフェイントを使っても

ディフェンダーを抜くことはできない可能性が高くなる。これは個人練習で想定した通りにディフェンダーが動くとは限らないからである。ディフェンダーを思い通り操るためには、フェイントの重要部分である釣り動作の質を高める必要がある。釣り動作の質を高めるには、基本動作のコツを掴んだりすることや、想定よりもディフェンダーを釣ることができなかった時の修正方法を学ぶことが重要である。また同じディフェンダーと同じフェイントを複数回練習するとディフェンダー役は守り方を学習してしまい、本来の試合と同じ環境での1対1ができなくなるため、複数人で複数回行い経験を積む必要がある。

この時、ボール保持者のフェイントの技術力とディフェンダーの技術力が同じぐらいであるほうが練習効果が高い。なぜならディフェンダーの技術力がボール保持者のフェイントの技術力よりも高すぎるとディフェンダーはフェイントに釣られないためそもそも抜くことができず練習にならない可能性があり、逆にディフェンダーの技術力がフェイントの技術力よりも低すぎるとボール保持者はディフェンダーを簡単に抜けてしまうためやはり練習にならない。

以上の要件があるにもかかわらず、サッカーの全体練習ではチームワークを上げるための練習が多く、1対1の練習をする時間は少ない。そのため新しいフェイントを習得するための対人練習をする時間が取れず、全体練習以外の時間にディフェンダー役の協力者を頼む必要があるが、協力者を複数人見つけるのは難しい。

## 2.3 関連研究

VR(Virtual Reality)技術を用いたサッカーのトレーニングシステムとして、Schaeffbauerら[3]はサッカーの通常の練習では天候に左右されることや練習時間に制約があること、技術向上のためのフィードバックが得られないことを問題として挙げ、これらを解決する方法として、キッカーの足跡を取得し、ボールに入れたセンサで衝撃や回転を読み取り、ボールの軌道をシミュレートしたものを仮想空間で表示するシステムを提案している。

サッカーだけではなく他のスポーツにおいてもVR技術を用いたトレーニングシステムはある。Huangら[4]は、アメリカンフットボールにおいてクォータバックというポジションの人が正しい人にパスを送ることができるよう瞬間的な判断をつける練習システムを提案している。またCovaciら[5]は、バスケットボールのフリースローの練習のためのVRシステムを提案している。初心者プロのパフォーマンスに近づくよう、ボールの軌道を仮想空間で表示し、わかりやすくイメージが付きやすい情報を提供することで、学習効果を高めるのが目的である。

これらのように、スポーツのトレーニングシステムとして協力者、場所、模倣の難しさの3点の問題を解決するためにVR技術を用いた研究は多数あるが、どの研究もユー

ザが移動しない練習に限定されている。本研究のように常に動き回るフェイントを対象にした研究はなく、こうした条件の下、問題解決を試みることは行なわれていない。

## 3. 提案システム

### 3.1 概要

2.2で述べた問題を解決する方法として、人間と同様の動きや反応をシミュレートする仮想ディフェンダーによりフェイント習得を支援するシステムを提案する。仮想ディフェンダーは人間の全身像を持ち、ディフェンダー役の協力者の代わりにその役を担う。ユーザは自分の体を動かし現実世界のボールを操ることで、ユーザが装着したHMD(Head Mounted Display)に立体表示された仮想ディフェンダーと1対1の練習ができる。センサにより、ユーザとボールの位置と速度、またユーザの足の動きの加速度を計測することで、様々なフェイントに対応する。

提案システムの全体像を図1に示す。仮想ディフェンダーの実現に必要な要素は以下の3項目である。

- 仮想ディフェンダーはボール保持者とボールの動きに合わせて動く

ボール保持者とボールの動きに追従して、シュートを打たない最短距離かつ抜かれない最長距離を保ちながら仮想ディフェンダーは動く。ボール保持者とボールの現在の位置と速度、加速度から次のボール保持者とボール位置を予測して動く。人間は力を加えることによって加速度を制御し、位置を調整するため、仮想ディフェンダーの動きはボール保持者とボールの動きに対して2次遅れになる。

- 仮想ディフェンダーはボールを奪おうとする

抜かれないように動くだけではディフェンダーとは言えない。ボール保持者に抜かれずボールを奪える可能性があるなら、ディフェンダーはボールを奪おうとする。しかし、仮想ディフェンダーは実体がないため現実世界のボールを奪うことは物理的に不可能である。そこでディフェンダーがボールを奪う確率をボール保持者-ボール-ディフェンダーの3者の距離で定義し、ボールを奪う行為をシミュレーションする。なお、抜けたかどうかをボール保持者が知るために、システムは仮想ディフェンダーが抜かれたもしくはボールを奪ったことをボール保持者に伝える。

- 仮想ディフェンダーの動く速度、反応速度、ボールを奪う能力は調整できる

フェイント習得のためには様々な能力の高さを持つディフェンダーが存在することが望ましい。このディフェンダーの能力はボール保持者の基本動作とボールの動きに対する2次遅れの反応によって表現する。これは、騙された状態から本来取らなければならない行動がとれるまでの復帰時間であるため、この復帰時間

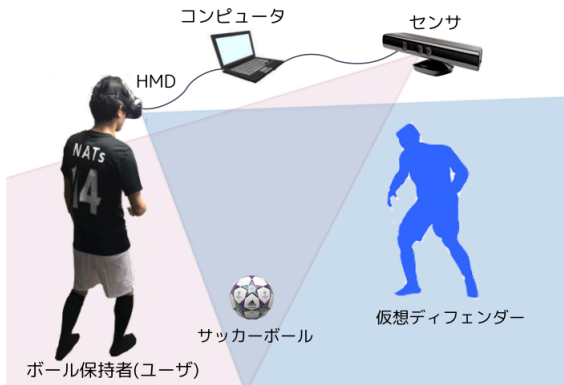


図 1 提案システムの全体像

を調整することによって、ディフェンダーの守備能力の差を表現する。

### 3.2 仮想ディフェンダーの設計

3.1で述べた仮想ディフェンダーの具体的な設計について述べる。以降特に断りが無い限り、仮想ディフェンダーを単に「ディフェンダー」と呼ぶ。ディフェンダーの動きのうち最も重要なディフェンダーの位置のみについて考察するため、以降ではディフェンダーの姿勢や足の位置は扱わない。

#### 3.2.1 ディフェンダーの位置

ディフェンダーの位置はボール保持者とボールの位置によって以下のように決定する。

- ゴールとボール保持者を結んだ線と平行方向の動き  
ディフェンダーは、ボール保持者とある一定の距離を保とうとする。この一定の距離を「間合い」と呼ぶ。間合いがあまりに小さいとディフェンダーはボール保持者に抜かれやすくなるが、あまりに遠いとボールを奪えないため、ディフェンダーは常に間合いを適切に保とうと動く。
- ゴールとボール保持者を結んだ線と垂直方向の動き  
ディフェンダーは、ボール保持者とボールの動きに対してシュートを打たれず抜かれないようにするために、ボール保持者とゴールの間に入るように動く。ディフェンダーはボール保持者とボールの位置と速度から次の位置を予測して動く。

このとき、ボール保持者とボールの位置は、実際のボール保持者の位置及び実際のボールの位置をセンサを用いてリアルタイムに取得するものとする。

#### 3.2.2 ディフェンダーの状態

ディフェンダーは以下の3種類の状態をとる。

- (1) 抜かれた状態
- (2) ボールを奪取した、もしくはボールをクリア（ディフェンダーがボールを大きく蹴りだすこと）した状態
- (3) 抜かれていないがボールも奪取できていない、かつ、

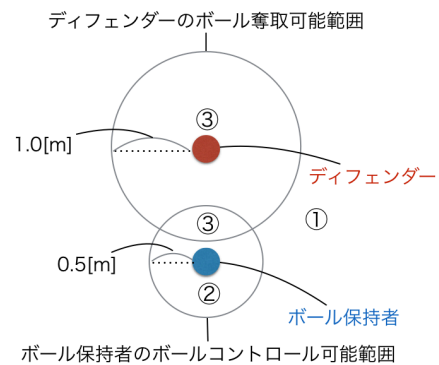


図 2 「ボール奪取可能範囲」と「ボールコントロール可能範囲」

ボールをクリアすることもできていない状態

この3種類の状態は、ボール、ボール保持者、ディフェンダー3者の位置関係に基づいて判別される。判別には以下に示すディフェンダーの「ボール奪取可能範囲」とボール保持者の「ボールコントロール可能範囲」を考え、ボールがどの範囲内にあるかで場合分けを行う。ディフェンダーの「ボール奪取可能範囲」と「ボール保持者のボールコントロール可能範囲」の概念図を図2に、各状況でどのようにディフェンダーの状態が変化するかを表1に示す。

#### ● ボール奪取可能範囲

ディフェンダーがボールを奪うことが可能な範囲である。日本人男性の平均の足の長さが0.7[m]であるため、足を伸ばして届く範囲として、ボール奪取可能範囲を半径1.0[m]の円と定める。またディフェンダーの向きや速度、加速度によってこの範囲の形状や位置を変える。

#### ● ボールコントロール可能範囲

ボール保持者がボールをコントロールすることが可能な範囲である。ボールのコントロールでは一般にボールを奪うよりも細かい動きが要求されるため、この範囲はボール奪取可能範囲よりも狭い。そこで足裏でボールをコントロールできる範囲として、ボールコントロール可能範囲を半径0.5[m]の円と定める。またボール保持者の向きや速度、加速度によってこの形状や位置を変える。

この2種類の範囲を基に、先述のディフェンダーの状態を変化させる方法について以下で詳述する。

#### (1) 抜かれた状態

ボール保持者のボールコントロール可能範囲内かつディフェンダーのボール奪取可能範囲外にボールがある状況で、以下の二つの条件を同時に満たす時、ボール保持者がディフェンダーを抜いた、つまりボール保持者は1対1でのフェイントに成功したと定義する。ディフェンダーとボール保持者の基本状態を図3、ディ

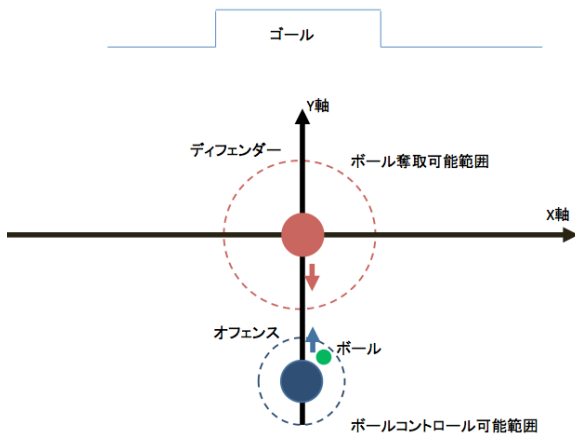


図 3 ディフェンダーとボール保持者の基本状態

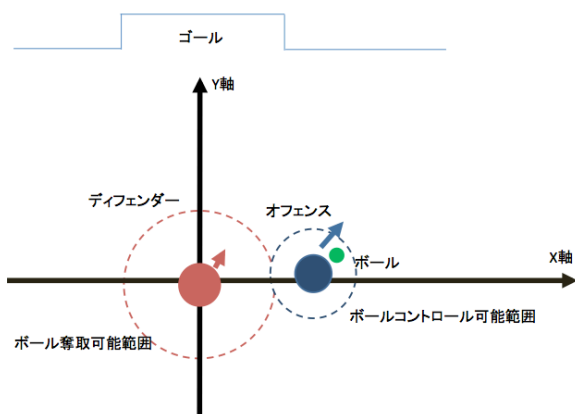


図 4 ディフェンダーが抜かれた状態

フェンダーが抜かれた状態を図 4 に示す。

(a) 位置関係：ディフェンダーよりボール保持者がゴール側に近い

ゴールとディフェンダーを結んだ直線に垂直なディフェンダーの位置を通る直線よりゴールに近い側にボール保持者がいる時。

(b) 速度：ディフェンダーがボール保持者に追いつけない

ディフェンダーのゴール方向への速度よりボール保持者とボールのゴール方向への速度の方が速い時。

(2) ディフェンダーがボールを奪取した、もしくはボールをクリア状態

ディフェンダーがボールを奪取した、もしくはボールをクリアした状態は、ボール保持者のボールコントロール可能範囲外かつディフェンダーのボール奪取可能範囲外にボールがあり、さらにディフェンダーのボール方向への速度がボール保持者のボール方向への速度より早いときに成立する。この場合、ボール保持者は 1 対 1 でのフェイントに失敗したことになる。

### 3.2.3 ディフェンダーのボール奪取確率

ディフェンダーがボール保持者に抜かれておらず、かつ

表 1 ディフェンダーの状態を変化させる要因

ボール位置	ディフェンダーのボール奪取可能範囲外	ディフェンダーのボール奪取可能範囲内
ボール保持者のボールコントロール可能範囲外	ボールをクリアされた可能性がある (図 2 中 ①)	ディフェンダーはボールを奪える可能性がある →奪ったかどうかの判定 (図 2 中 ③)
ボール保持者のボールコントロール可能範囲内	ボールコントロールできておりディフェンダーにボールを取られていない →抜けたかどうかの判定 (図 2 中 ②)	

ボールを奪えてない状態の時、ディフェンダーはボールを奪う可能性がある。しかし、ディフェンダーは仮想空間上の存在であるため実体はなく、実体であるボールを物理的に奪うことは不可能である。そこでボール奪取確率に基づき生成される、シミュレーションの結果をもってボールを奪ったかどうかを決定する。

ボール奪取確率はボールとディフェンダー間の距離（以降、ボール-ディフェンダー間距離）とボールとボール保持者間の距離（以降、ボール-ボール保持者間距離）の比から求める。これはフェイントの成功率はボールディフェンダー間距離が重要であると言われているからである [2]。このボール-ディフェンダー間距離が大きいほどディフェンダーのボール奪取確率は低くなり、逆にボール-ボール保持者間距離が大きいほど、ボール保持者はボールをコントロールすることが難しくなるため、ボール奪取確率は高くなると考えられる。なお、ボール-ディフェンダー間距離とボール-ボール保持者間距離が等しい時にディフェンダーのボール奪取確率は、両方のボールに対する立ち位置が一致するため、50[%] であるとする。

## 4. 検証：2D ディフェンダーシミュレータの確率モデル

### 4.1 概要

ここでは、ディフェンダーのボール奪取確率のモデルの正しさを検証する。そのためにまず、プロトタイプとして 2D シミュレータを実装する。この 2D シミュレータはフィールドを真上から俯瞰したものであり、ボール保持者やディフェンダー、ボールを全て円で表す。なお、ボール保持者の足の動きなどは考慮しない。

3.2.1 で述べたように、2D シミュレータで考えるパラメータは、ボール保持者とディフェンダー、ボールの位置と速度、加速度である。この実装では釣りが身体動作によって行われるフェイントは対象外とし、ボールコントロール

動作によって行われるフェイントをのみを対象とする。そのため2Dシミュレータにおけるディフェンダーの動きはボールの位置のみに依存する。つまりディフェンダーは、フェイントを構成する基本動作のボールコントロール動作にのみ反応し、身体動作には反応しない。またこの2Dシミュレータではボールの位置のみによってボールを奪う確率を求めるため、ボール保持者とディフェンダーの間合いは考えず、ディフェンダーはゴールに対して平行の方向にのみ移動する。実装にはUnity5.3.1\*1を用いる。

#### 4.2 ディフェンダーが抜かれたかどうかの判定

3.2.2の(1)より、ディフェンダーが抜かれたかどうかは、以下の2式が同時に満足されるかどうかで判別する。

$$p_y^o > 0 \quad (1)$$

$$v_y^d < v_y^o \quad (2)$$

$p_y^o$ : ボール保持者の  $y$  方向の位置…3.2.2の(a)に対応  
 $v_y^d$ : ディフェンダーの  $y$  方向の速度…3.2.2の(b)に対応  
 $v_y^o$ : ボール保持者の  $y$  方向の速度…3.2.2の(b)に対応

#### 4.3 ディフェンダーにボールをクリアされたかどうかの判定

3.2.2の(2)より、ボールをクリアされたかどうかの判定は、以下の式(3)が満足されるかどうかで判別する。

$$(v_x^{db})^2 + (v_y^{db})^2 > (v_x^{ob})^2 + (v_y^{ob})^2 \quad (3)$$

$v_x^{db}$ : ディフェンダーのボール方向への速度の  $x$  成分  
 $v_y^{db}$ : ディフェンダーのボール方向への速度の  $y$  成分  
 $v_x^{ob}$ : ボール保持者のボール方向への速度の  $x$  成分  
 $v_y^{ob}$ : ボール保持者のボール方向への速度の  $y$  成分

#### 4.4 確率モデルの考案

3.2.3より、ディフェンダーのボール奪取確率は、以下の式(4)と式(5)により求められる。ボール奪取確率がこのようになった理由は、3.2.3で述べたように、ボール-ディフェンダー間距離とボール-ボール保持者間距離が等しい時にディフェンダーのボール奪取確率が50%となること、また50%付近では急激に確率が変わりやすく、ボール-ディフェンダー間距離がボール-ボール保持者間距離より短くなると確率は急激に下がり、反対に長くなると確率は急激に上がると考えられることからである。

- $d_{db} \geq d_{ob}$  の時

$$P = \frac{8d_{ob}^4}{(d_{ob} + d_{db})^4} \quad (4)$$

- $d_{db} < d_{ob}$  の時

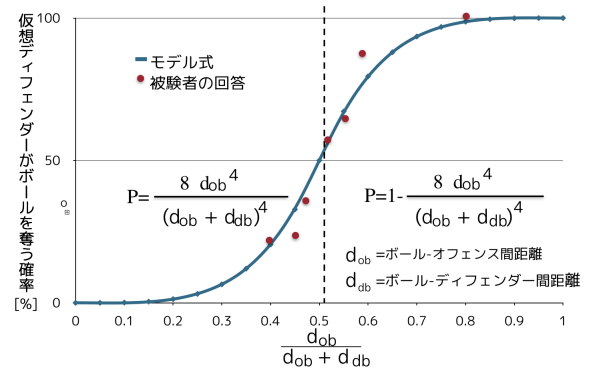


図5 仮想ディフェンダーのボール奪取確率モデル

$$P = 1 - \frac{8(d_{ob})^4}{(d_{ob} + d_{db})^4} \quad (5)$$

$d^{ob}$ : ボール保持者とボールの距離

$d^{db}$ : ディフェンダーとボールの距離

#### 4.5 確率モデルの検証結果

4.4で述べたディフェンダーのボール奪取確率モデルとサッカー経験者の感覚がどれくらい合致しているのか調査するため、2Dシミュレータを用い検証を行った。その結果を図5に示す。青の線がモデルにより算出したディフェンダーのボール奪取確率であり、赤の点が被験者の回答の平均である。結果、モデルは被験者の主観とほぼ一致していることが分かった。

### 5. 実験：1人称視点の3Dシミュレータシステムの学習効果

#### 5.1 概要

3.で述べた3D仮想ディフェンダーシミュレータにフェイントの学習効果があるのか調査するために、4.で検証した確率モデルを用いたVRシステムを実装する。実装にはUnity2017.1.2を用いる。

#### 5.2 プロトタイプ

4.5で述べたように、ディフェンダーのボール奪取確率はサッカー経験者の感覚とほぼ一致することがわかったため、この確率モデルを用い、3D仮想ディフェンダーを実装する。Ovrvision\*2で読み込んだ現実世界の映像とUnityで作成した円柱で表示した仮想ディフェンダーのシミュレーション映像を重畳したものをHMD(HTC Vive\*3)に提示する。現実世界のボール保持者の位置はHTC Viveの赤外線センサで読み取り、ボールの位置は天井から吊るしたwebカメラの映像をOpenCV\*4を用いてカラートラッキングし、Unityで処理している。被験者のHMDに提示

\*2 Shinobiya.com Co., Ltd, webカメラ <http://ovrvision.com/>

\*3 HTC社, HTC Vive <https://www.vive.com/jp/>

\*4 インテル社, コンピュータビジョン向けライブラリ <https://opencv.org/>

\*1 ユニティ・テクノロジーズ社, 統合開発環境内蔵ゲームエンジン <https://unity3d.com/jp>



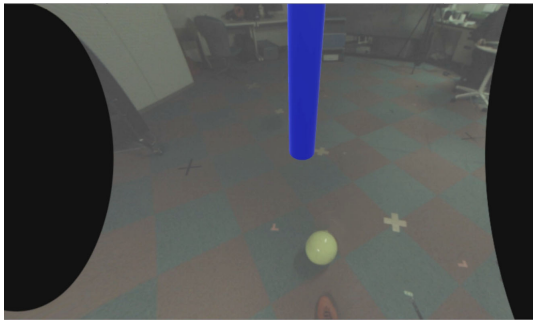


図 6 被験者の HMD に提示される映像



図 7 ボールのカラートラッキングの様子

される映像を図 6 に、ボールのカラートラッキングの様子を図 7 に示す。

### 5.3 被験者

被験者は指定した通りにボールをコントロールことができ、ドリブルをすることができるサッカー経験者 5 人である。具体的には、1メートル間隔においた 5 個のマークをジグザクにドリブルし 3 往復を 80 秒以内にできる人である。

### 5.4 方法

まず HMD に慣れるため、装着した状態でウォーキング、ランニング、ボールタッチをさせる。そしてフェイントの技の一つであるダブルタッチを仮想ディフェンダーを相手にダブルタッチの練習を 20 回行う。その後アンケートに答えさせる。以下に実験の手順を示す。

- (1) 実験の説明を行う
- (2) HMD を装着させる
- (3) 右左上下を見させる
- (4) 壁沿いを時計回りに 1 周、反時計回りに 1 周部屋を歩かせる
- (5) 壁沿いを時計回りに 1 周、反時計回りに 1 週部屋を走らせる
- (6) マーカーを縦一列に 5 個置き、ボールなしでジグザグ動きを 1 往復させる
- (7) ボールをもってジグザグドリブルを 3 往復させる
- (8) 仮想ディフェンダーと 1 対 1 をし、ダブルタッチの

練習をさせる。向かい合った時からフェイントが終わるまでの間、ディフェンダーがボールを奪う確率を 60[fps] で計算する。フェイントが終わったら次の試行の参考にさせるため、ディフェンダーがボールを奪う確率の最大値を被験者に提示する

- (9) (8) を 20 回繰り返させる
- (10) アンケートに回答させる。アンケートの内容を以下に示す。
  - (a) 気持ち悪くなりましたか  
(0: いいえ/1: はい)
  - (b) 恐怖心はありましたか  
(0: いいえ/1: はい)
  - (c) システムで練習をする前のダブルタッチのレベルを教えてください  
(0: 試したことがない/1: ディフェンダーがいなかったらできる/2: 試合で使ったことがある)
  - (d) システムの練習によってどの程度習得できたと感じましたか  
(0: よくできなかった/1: できなかった/2: できた/3: よくできた)
  - (e) フェイントの練習としてこのシステムは使えると思いましたが  
(0: 使えない/1: あまり使えない/2: 少し使える/3: 使える)

システムの有効性は、(8) のシステム利用の過程で仮想ディフェンダーがボールを奪う確率がどれぐらい下がったかとアンケートにより検証する。

### 5.5 結果と考察

全被験者の試行毎のディフェンダーのボール奪取最大確率の変化を表 2 に示す。単位は%で、「ミス」はボールをコントロールできずクリアされてしまった場合やダブルタッチを最後までできなかった場合である。「最初の 3 回の平均」はミスを除く最初の 3 回のディフェンダーがボールを奪う最大確率の平均値を示す。「最初の 3 回の平均値」と「最後の 3 回の平均値」を比較すると、全ての被験者において仮想ディフェンダーがボールを奪う確率は全員下がっており、平均で約 2%下がっている。このことから提案システムを使用することでフェイントが上達した可能性がある。

次にアンケートの結果を表 3 に示す。(a) 気持ち悪くなりましたかと、(b) 恐怖心はありましたかの質問に対し、全員が 0 (いいえ) と回答した。VR 酔いや環境への抵抗はないことがわかる。また (d) システムの練習によってどの程度習得できたと感じましたかと、(e) フェイントの練習としてこのシステムは使えると思いましたがかの質問に対し、全員がシステムに対し好意的な評価をした。これらのことから、本システムを実際の練習に用いることができる可能性がある。

表 2 全被験者の試行毎のディフェンダーがボールを奪う最大確率 [%]

回数	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
1	ミス	97	99	99	88
2	99	ミス	ミス	99	95
3	97	ミス	99	99	99
4	ミス	96	ミス	ミス	99
5	89	87	ミス	96	99
6	98	97	ミス	ミス	99
7	98	ミス	ミス	ミス	99
8	98	80	99	99	99
9	96	ミス	ミス	ミス	99
10	ミス	ミス	98	99	99
11	99	97	ミス	99	92
12	ミス	99	ミス	98	97
13	98	78	98	99	ミス
14	93	99	99	95	96
15	75	89	96	97	99
16	90	ミス	99	99	97
17	86	77	ミス	ミス	89
18	82	91	98	94	94
19	94	93	99	99	86
20	92	90	98	99	98
平均	93	91	98	98	96
最初の3回の平均値	95	93	99	99	94
最後の3回の平均値	89	91	98	97	93
ミスの回数	4	6	9	5	1

表 3 アンケート結果

質問項目	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
(a)	0	0	0	0	0
(b)	0	0	0	0	0
(c)	2	1	2	1	2
(d)	2	2	2	2	2
(e)	2	2	2	2	2

質問項目

- (a) 気持ち悪くなりましたか (0: いいえ/1: はい)
- (b) 恐怖心はありましたか (0: いいえ/1: はい)
- (c) システムで練習をする前のダブルタッチのレベルを教えてください  
(0: 試したことがない/1: ディフェンダーがいなかったらできる/2: 試合で使ったことがある)
- (d) システムの練習によってどの程度習得できたと感じましたか  
(0: よくできなかった/1: できなかった/2: できた/3: よくできた)
- (e) フェイントの練習としてこのシステムは使えると思いませんか  
(0: 使えない/1: あまり使えない/2: 少し使える/3: 使える)

但し、本実験の結果は、システムを使った練習によりフェイントが上達したというよりもシステムの環境に慣れただけでディフェンダーがボールを奪う確率が下がった可能性もある。本実験の被験者は全員「ダブルタッチのフェイントをディフェンダーがいなかったらできる」もしくは「ダブルタッチを試合で使ったことがある」人だったが、被験者 B, C, D は試行回数の前半でミスが多かった。その原因を練習が全て終わった後にインタビューすると「最初HMDの重さが気になり視界も悪く練習に集中できなかったが徐々に慣れた」という回答が得られた。本実験ではシステムを使ってダブルタッチのフェイントを練習をする前に、HMDの重さや視界になれるためのプロセスを入れていたが、やや不十分だった可能性がある。そのため、HMDに慣れるための時間を増やした上で再検証する必要がある。

## 6. おわりに

本稿では、フェイント習得のプロセスを明らかにし、協力者がいない状況において個人でフェイントを習得するための仮想ディフェンダーシミュレータを提案した。このシステムを実現するために、まずプロトタイプとして2Dシミュレータを実現した。この2Dシミュレータにおける仮

想ディフェンダーはボールの動きのみに反応するもので、ボールの加速度から位置を予測し、2次遅れで反応する。またディフェンダーのボールを奪う行為をシミュレーションするために、ボールを奪う確率を定めた。この確率はボール-ディフェンダー間距離とボール-ボール保持者間の比によって決まる。

このディフェンダーのボールを奪う確率がサッカー経験者の感覚とどれくらい合致しているかを調べる実験を行った。その結果、2Dシミュレータのボールを奪う確率はサッカー経験者の感覚とほぼ一致することがわかった。

これを元に3D仮想ディフェンダーを作成し、システムの有効性の検証を行った。その結果、システムで練習することにより、フェイント中のディフェンダーがボールを奪う最大確率は低くなり、フェイントが上達する可能性があることが分かった。しかし、この結果はHMDへの慣れによる効果である可能性もあるため、追加検証を行う必要がある。アンケートの結果は被験者全員が本システムを練習に使えると思う回答したことから、実際の練習で使用させることにより学習効果を再検証することが残された課題である。

謝辞 本研究の一部はJSPS科研費JP15H02769の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] youtube, “W杯出場決定後の記者会見”, <[https://www.youtube.com/watch?v=0zS\\_leYWLcg](https://www.youtube.com/watch?v=0zS_leYWLcg)>
- [2] 松下 健二, 高藤 順, “世界の一流サッカー選手にみられるフェイント技術に関する一考察”, <<http://hdl.handle.net/10132/716>>
- [3] Alyssa Schaeffbauer, Cole Meyers, Aaron Stout, “A Virtual Training System Based on Computer Sensing and Football Kicking Dynamics Using Real-Time Wireless Feedback”, SCSC’13, July 07-10, 2013, Toronto, Ontario, Canada. Society for Modeling & Simulation International 2013. ISBN: 978-1-62748-276-9
- [4] Yazhou Huang, Lloyd Churches, Brendan Reilly, “A Case Study on Virtual Reality American Football Training”, VRIC’15, April 08-10, 2015, Laval, France. Copyright 2015 ACM. ISBN 978-1-4503-3313-9/15/04
- [5] Alexandra Covaci, Anne-Helene Olivier, Franck Multon, “Visual Perspective and Feedback Guidance for VR Free-Throw Training”, IEEE Comput Graph Appl. 2015 Sep-Oct;35(5):55-65. doi: 10.1109/MCG.2015.95