

# ビデオシースルー型 HMD を用いた Augmented Air Hockey の提案

知念佑太<sup>†1</sup> 栗原恒弥<sup>†1,†2</sup> 野嶋琢也<sup>†1</sup>

本研究では、エアホッケーを VR 技術により拡張した、Augmented Air Hockey について述べる。エアホッケーは打ち合うパックのスピード感が魅力の一つであるが、それ故に小さな子どもや高齢者にはプレイが難しい場合が多い。その対策として、エアホッケーのパックスピードを落とすという方法が考えられる。この場合、小さな子供や高齢者はプレイしやすくなる可能性が高いが、一方で従来のプレイヤーから見たときのエアホッケーの魅力が減退することになりかねない。そこで本研究では、ビデオシースルー型の HMD を用いて、様々な視覚的エフェクトをエアホッケー盤面上に適用することで、スピードに代わる新たな楽しみを創出し、プレイヤー層の拡大を狙う。

## A study on Augmented Air Hockey using video-see-through HMD

YUTA CHINEN<sup>†1</sup> TSUNEYA KURIHARA<sup>†1†2</sup> TAKUYA NOJIMA<sup>†1</sup>

In this research, we describe Augmented Air Hockey, which is an extension of air hockey based on VR technology. One of the attractive point of air hockey is the speed of the puck. However, because of its speed, it makes difficult to play for young children and elderly people who are tend to have less physical ability. To comply with this issue, reducing the puck's speed is considered to be a solution. Unfortunately, reducing the puck's speed may harm air hockey's attractiveness to usual players. Thus, in this research, we apply various visual effects on the air hockey to create novel enjoyment, instead of reduced puck's speed, by using video see-through HMD.

### 1. はじめに

2014年に文部科学省が策定したスポーツ基本計画[1]では、政策目標として「ライフステージに応じたスポーツ活動を推進するため、国民の誰もが、それぞれの体力や年齢、技術、興味・目的に応じて、いつでも、どこでも、いつまでも安全にスポーツに親しむことができる生涯スポーツ社会を実現に向けた環境の整備を推進する」ことを掲げている。しかし身体能力の低い子どもや高齢者が、大人と同等のレベルでスポーツを楽しむことは難しい。そこで子どもや高齢者であっても楽しめるスポーツとして、身体能力に応じてルールや使用する道具などを簡易化したニュースポーツが提案されている。

「ニュースポーツ」は、「軽スポーツ」や「レクリエーションスポーツ」などとも呼ばれており、勝敗にこだわらずに楽しさを追及したスポーツである。1990年に開催された文部省主催の第1回生涯スポーツコンベンションでは、ニュースポーツを「スポーツの原点に戻り、楽しさの追求を最も重要に考える、日本古来の勝利至上主義に相対する新しい理念を持ったスポーツ」と定義している。ニュースポ

ーツでは、既存スポーツの運動速度や運動量を抑え、子どもや高齢者であっても容易にプレイできるような工夫がなされている。たとえば卓球を簡易化したラージボール[2]は、ボールの空気抵抗を上げることで球速を抑えたスポーツである。通常のボールでは直径が40mm、重さが2.7gであるのに対し、ラージボールでは直径44mm、重さ2.20-2.40gのボールを使用している。また、ネットの高さを15.25cmから17.25cmに変更し、回転のかりにくいラバーのみを使用するため、通常の卓球に比べてラリーを長く続けることができるという特長がある。このような工夫を通じて、プレイの安全性を向上させ、子供の体力向上や高齢者の健康維持、さらには世代間の交流に活用されている。前出の通りニュースポーツ創造活動は古いものの、2014年の文科省資料にも掲載されるなど、その活動は継続して支持されている。さらに2015年よりゆるスポーツ協会[3]が発足し、年齢・性別・運動神経を問わず誰でも楽しめるスポーツの普及、創造活動が活発化している。

新しいスポーツの創造に際して、従来はボールの素材やサイズを変える、ルールを変えるといった手段が多く採用されてきた。これに対して、情報技術、ロボット技術、ゲーム技術、VR技術などを積極的に取り入れることによって、スポーツ創造手段の大幅な拡大を狙った取り組みも行われている。例えばTAMA[4]やHoverBall[5]といったボールは、いずれもボール内部に空中での移動機構が組み込まれる、あるいは移動機構そのものがボールという構成にな

<sup>†1</sup> 電気通信大学  
University of Electro-Communications

<sup>†2</sup> (株)日立製作所  
Hitachi Ltd.

っている。この種のボールを使用することは、投げたボールの軌道への介入を可能とし[6]、アニメやビデオゲーム等と言われる「魔球」のような効果を実現することが可能と考えられる。また melap 社の HADO[7]では、手を振りかざすジェスチャでエネルギー弾を発出することが可能となっている。プレイヤーは AR ゴーグルを装着することで、エネルギー弾発出の様子を見ながらプレイすることができるようになっている。このような多様な技術の導入は、単純にスポーツ創造の幅を広げると言うことに止まるものではない。様々な技術を組み合わせることで、プレイヤーや観客にとって、物理法則を超越したかのように感じさせるスポーツを創造することすら可能となるのである。このように、情報技術、ロボット技術、ゲーム技術、VR 技術などを持ちいて創造された新たなスポーツを、Augmented Sports と呼ぶ。本研究ではこの考え方をを用いて、エアホッケーの Augmented Sports 化に取り組む。

エアホッケーとは、パックを相手ゴールに入れて得点を競うというシンプルなルールを擁するゲームである。ゲームセンターやボウリング場に設置されており、幅広い世代に親しまれる娯楽的スポーツであると言うことができる。しかしながらパックスピードはかなり高速であり、子供や高齢者など身体能力がやや劣るプレイヤーにとっては難易度の高いスポーツとなっていることも否めない。しかし何らかの方法でパックスピードを低減させると、身体能力がやや劣るプレイヤーがプレイできる可能性は高くなるが、スピード感がなくなるため、プレイの楽しみという点には望ましくない影響を及ぼす可能性が考えられる。

そこで本研究では、エアホッケーを Augmented Sports 化することによって、パックスピードが低速でありながらも楽しむことが出来る、ひいては子供も高齢者も共にプレイを楽しめるようなエアホッケー、Augmented Air Hockey の開発を目指す。

## 2. 関連研究

既に述べたように、これまでも新しいスポーツの創造に関する取り組みは行われてきた。例えばラグビーを簡易化したタッチラグビー[8]では、タックルの代わりに相手選手の体に触れるというルールを採用している。タックルを行わないため、従来のラグビーよりも安全性に優れていると考えられる。また、子どもの遊びである鬼ごっこについて、ルールを整備してスポーツ化した、スポーツ鬼ごっこがある[9]。特別な道具が不要で気軽にプレイできるばかりでなく、ルールが適切に管理共有されているため、子どもの遊びを原点としながらも、全国大会などの大規模な試合を容易に実現可能となっている。ただしこれらのスポーツ創造に際しては、特に情報技術などは活用されていない。

一方、スポーツ創造の多様性拡大という価値を鑑み、情

報技術を活用したスポーツ創造も試みられている。提案されている。例えば Ohshima らはバーチャルなパックを利用したエアホッケー、AR2 Hockey を提案した[10]。プレイヤーは HMD を通じて視覚的に提示されるバーチャルなパックを、実際のマレットを利用して打ち合う。また Baudisch らは、物理的なボールを使わずにプレイするバスケットボールを提案した[11]。このバスケットボールでは AR2 Hockey と同様、物理的なボールの代わりにバーチャルなボールを使用してバスケットボール様のスポーツをプレイする。いずれも物理的な道具を使わずにプレイするため、物理的制約が少なく、ビデオゲームなどで活用されている特殊効果の利用に道を開くと期待されている。一方で触覚情報に欠けるという問題がある。これに対して Kadri らは、実際のボールを使いつつドッジボールをプレイし、そこに対してビデオゲームの概念を導入する、Augmented Dodgeball を提案している[12]。Augmented Dodgeball ではプレイヤーに RPG で見られる攻撃力や生命力といったバーチャルなパラメータと役割を設定し、ボールを投げて相手にぶつけることで、バーチャルな生命力を削るというゲームになっている。すなわち、本来の身体能力と、バーチャルなパラメータをあわせたものが、その人の強さとなるよう設計されている。このドッジボールは、プレイヤーの物理的身体能力差を低減し、誰しもうれしくするようにする目的で設計されている。またこの方式の場合、AR2 Hockey などと異なり、触覚的な情報を確保したまま、ビデオゲームなどで活用されている特殊効果の活用が可能になると期待される。

## 3. Augmented Air Hockey の提案

### 3.1 エアホッケーの概要

エアホッケーはフィールドスポーツのホッケーをモチーフとして、1972 年に Brunswick 社によって提案された。ルールに囲われたエアホッケー専用のテーブルを挟んでプレイヤーが立つ。プレイヤーは共にマレットと呼ばれる器具を手に持ち、テーブル盤面上にあるパックを打ち合う(図 1)。



図 1 左:マレット, 右:パック  
Figure 1 Left: Striker, Right: Puck

そしてテーブルを挟んで向かい側にある相手ゴールにパックを入れて得点を競う競技である。盤面上には複数の小さな穴が開いており、盤面裏側に取り付けてあるエアファンにより、盤面から空気が吹き出している。この空気圧によりパックを浮上させることで、パック・盤面間の摩擦が低減し、パックの高速移動が可能となっている。この

ように、エアホッケーはルールがシンプルであるため親しみやすく、パックの高速移動によるスピード感のあるゲーム展開が魅力の競技である。

エアホッケーはゲームセンターやボウリング場などに設置されていることが多く、日本ではエアホッケーは遊戯として認識されがちである。しかし、海外では 1978 年に United States Air-Table Hockey Association (USAA) が、2015 年には Air Hockey Players Association (AHPA) が設立され、1978 年から毎年世界大会が行われるなど、一つのスポーツとしても確立している。

### 3.2 子供・高齢者によるエアホッケープレイに関する問題

ニュースポーツが速度や運動量を抑えている理由として、子どもや高齢者の身体能力が低いことが要因であると考えられる。文部科学省の体力・運動能力調査によると、体力水準が、男性の場合は 6 歳から 17 歳まで、女性の場合は 6 歳から 14 歳まで著しい向上傾向を示している。また、体力水準は 20 歳から 40 歳までは男女共に比較的緩やかに低下しているが、40 歳代後半からは男女共に急激に低下している[13]。

エアホッケーにおいて必要な身体能力として、高速で移動するパックに対応する「敏捷性」、早い速度でパックを打ち出す「瞬発力」が必要になると考えられる。「敏捷性」指標である反復横とび、「瞬発力」の指標である立ち幅跳びも、前述の体力水準と同等の傾向を示していることが、同資料から読み取れる。またエアホッケーでは、高速で移動するパックを捉えるための動体視力も必要であると考えられる。一般的に視力と呼ばれる静止視力は 5 歳で成人と同等の視力になり、50 歳代までほぼ一定である。それに対し動体視力は、男女共に 15 歳までは著しく成長するが、その後加齢に伴い低下する傾向がある[14]。エアホッケーは高速で移動するパックを目で捉え、素早く反応し、打ち返す動作が求められるスポーツであるため、身体能力、動体視力が低い子どもや高齢者はエアホッケーをプレイするのは難しいといえる。

### 3.3 エアホッケーの Augmented Sports 化

エアホッケーは、パックが高速で移動し素早い動作が求められるため、子どもや高齢者がプレイするのはやや難しい。そこで単純な対策として、パックスピードに制限を設けることが考えられる。しかしながらその制限は同時に、競技の難易度を著しく低下させ、エアホッケーの楽しさを減少させることにつながると考えられる。そこで本研究ではエアホッケーの Augmented Sports 化により、パックスピードを落としつつも、エアホッケーに新たな楽しみを提供し、子どもも高齢者もともに楽しめるようにすることを試みる。本研究ではエアホッケーのパックに対して、現実に

は実現不能な特殊効果の適用を提案する。具体的には Diminished Reality(減損現実)の考えを応用した、パックを背景と同化して消去する、パックを突然複数個に増やす、パックの大きさを変化させる、の三つの効果を実装した。次章ではこれらの特殊効果に関して、それを実現するためのシステムと実現方法について述べる。

## 4. システム構成

Augmented Air Hockey の実現にあたり、まずプレイ中のパックの位置が測定できる必要がある。そして測定されたパックの位置に応じた、視覚効果の適用が求められる。本章ではこれらの機能を実現するためのシステム構成に関して、詳細に述べる。

### 4.1 Over Head Camera によるパック座標取得

パックの座標と速度を計測するためにエアホッケー台上部にフレームレートが 60fps で動作する USB カメラ (CEJH-15001) を設置した (図 2)。また、ホッケー台の位置を検出するためにホッケー台レール上に 4 つのマーカを取り付けた(図 3)。パック座標、速度計測までの流れを以下に示す。まずカメラでレール上の 4 つのマーカを用いて、ホッケー台の位置を検出する。このとき、盤面の大きさが 192cm×100cm であるため、盤面左上の頂点の座標を (0,0)、右下の頂点の座標を (192,100) とした。そして、パックの位置をカラートラッキングにより検出し、3 点移動平均フィルタを適用したものを座標とした。また、速度は 50ms 毎の座標の移動距離から算出した (図 3)。

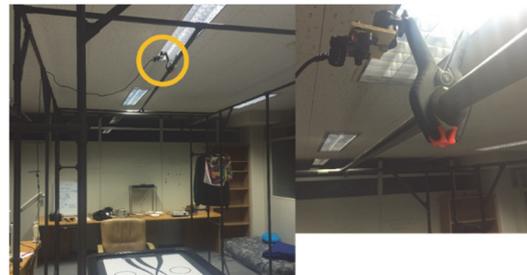


図 2 ホッケー台上に設置されたカメラ

Figure 2 An overhead camera above the air hockey table

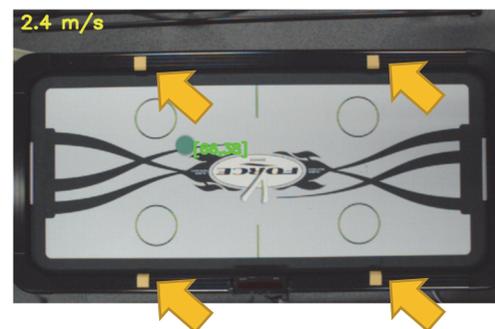


図 3 マーカー(太矢印)、位置速度計測の様子

Figure 3 Markers(Bold arrows), position and motion data

## 4.2 ビデオシースルー型 HMD による視覚的エフェクト

ビデオシースルー型 HMD を用いてエアホッケー盤面上に様々な視覚的エフェクトを適用する。提案システムでは互いにプレイヤーが HMD を装着した状態でエアホッケーを行う(図 4)。ビデオシースルー型の HMD には Oculus VR 社製の Oculus Rift に Wizapply 社製の Ovrvision を取り付けたものを使用した(図 5)。HMD 前面のステレオカメラから取得した画像に対し、適切な画像処理を加えた上で HMD を通じて提示することで、視覚エフェクトを実現する。画面解像度は 1280×800 であった。



図 4 Augmented Air Hockey のプレイの様子

Figure 4 Playing the augmented air hockey



図 5 ビデオシースルー型 HMD (Oculus Rift+Ovr vision)

Figure 5 Video see-through HMD(Oculus Rift+Ovr vision)

## 4.3 視覚エフェクトの提案

Augmented Air Hockey の実現に際して、本研究ではパックに対して複数の視覚エフェクトを実際に開発した三つの視覚エフェクトについて、詳細を述べる。開発した視覚エフェクトは、パックが背景と同化して見えなくなる、パックが複数に増える、パックが大きくなる、の三つである。

### 4.3.1 背景と同化するエフェクト

パックをカラートラッキングし、検出したパックの領域からマスク画像を生成する。その際、パックを確実に領域内に入れるために OpenCV(2.4.10)の関数である cv::dilate により構造要素を 7×7 とし画像の拡大を行った。生成したマスク画像を欠損領域とし、欠損領域周辺の画素で修復を行う偏微分方程式による Telea[15]の手法を用いてパックの除去を行い背景と同化させた(図 6)。

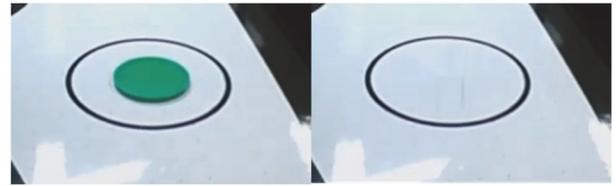


図 6 背景と同化するエフェクト

Figure 6 Camouflage effect

### 4.3.2 複数に増えるエフェクト

4.3.1 と同様に生成したマスク画像を用いてパックのコピーを行う。コピーされたパックは、所定のピクセル数  $p_{shift}$  だけ、プレイヤー視点で横方向に移動して表示される。すなわち、オリジナルのパック映像に加えて、 $p_{shift}$  だけ離れた場所に、もう一つパック映像が表示されることとなる(図 7)。 $p_{shift}$  の算出は以下の手順にて実施される。盤面の長手方向を Y 軸とし、Over Head Camera により得られた Y 軸パック座標を  $y_p$  とする。そして求めるピクセル数を  $p_{shift}$ 、最大のピクセル数を  $p_{max}$  とする ( $p_{shift} \leq p_{max}$ )。ここでは簡単のため、Y 軸原点側に着座したプレイヤーに対してパックが進行する状況について説明する。エフェクトを実行した瞬間のパックの座標を  $y_{p0}$ 、現在の座標を  $y_{pc}$  とすると、 $p_{shift}$  は以下の式により定められる。

$$p_{shift} = p_{max} - p_{max} \times \frac{y_{pc}}{y_{p0}}$$

エフェクトを実行した瞬間 ( $y_{pc} = y_{p0}$ ) はコピーされたパックと現実のパックは完全に同じ位置に表示されるが、パックがプレイヤーにもっとも近づいた時 ( $y_{pc} = 0$ ) に、もっとも大きく離れるようになっている。

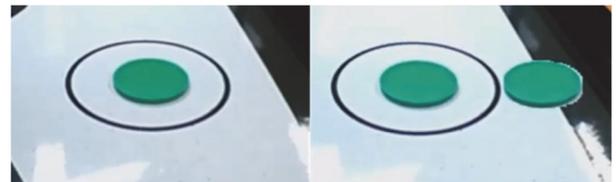


図 7 複数に増えるエフェクト

Figure 7 Split effect

### 4.3.3 大きくなるエフェクト

4.3.2 と同様にパックのコピーを行い、コピーしたパックを囲う最小の矩形を切り取る。切り取った矩形の縦と横の長さをパックの拡大率に応じて拡大し、それを元のパックを重畳表示することでパックを大きくする(図 8)。

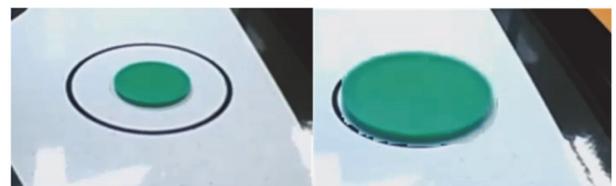


図 8 大きくなるエフェクト

Figure 8 Enlargement effect

#### 4.4 エフェクト選択可能なマレットの開発

前述のエフェクトは、エアホッケーをプレイしている最中にプレイヤーが任意のタイミングで選択・実行できなければならない。そこでエフェクト選択機能を有するマレットを開発した(図 9)。3Dプリンタによりエアホッケーのマレットと同サイズのマレットを作成、その表面にボタンを配置した。作成したマレット内部には、マイクロコントローラ (Arduino Uno)、Bluetooth モジュール (Bluetooth Mate) が実装され、タクトスイッチの押下情報をエフェクト管理 PC に伝達している。

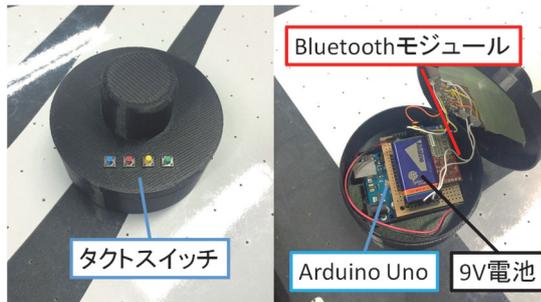


図 9 エフェクト選択可能なマレット  
Figure 9 Command-input-enabled striker

### 5. 評価実験

本章では、Augmented Air Hockey のシステム評価、視覚的エフェクトの評価に関する実験と、その結果について述べる。

#### 5.1 レイテンシの計測

ビデオスルー型の HMD は、カメラやコンピュータの処理によりレイテンシが発生する。そしてレイテンシは、装着者の運動に影響を及ぼす恐れがある。そこで本システムのレイテンシの計測を行った。

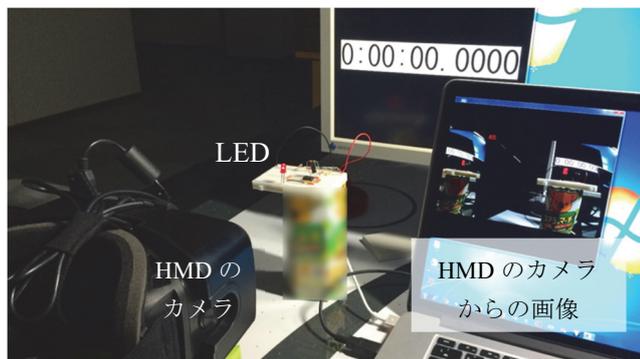


図 10 レイテンシ計測の様子(ハイスピードカメラより)  
Figure 10 Overview of latency measurement experiment  
(captured from the high-speed camera)

1 秒間隔で点滅させた LED を HMD のカメラで撮影し、その映像を外部ディスプレイに表示させる。同時に全体の

様子をハイスピードカメラで撮影し、実際の LED と HMD のカメラを通して見える LED の光るタイミングの差からレイテンシを計測した (図 10)。視覚的エフェクトである「背景と同化する」、「複数に増える」、「大きくなる」の 3 種類に、エフェクトを適用していない「通常時」を加えた計 4 種類の状態について計測を行った。それぞれ 10 回ずつ計測を行い、平均を算出した。結果を表 1 に示す。

表 1 レイテンシ計測結果[ms]

Table 1 The result of latency measurement[ms]

	左カメラ	右カメラ
通常	90.1	90.7
背景と同化	105.1	103.4
複数に増える	101.7	103.4
大きくなる	106.7	101.9

#### 5.2 視覚的エフェクトの難易度に関する評価

本実験では、エフェクトを適用していない「通常時」と「背景と同化する」、「複数に増える」、「大きくなる」の 4 種類の状態において、パックを正確に返球するうえでの難易度を評価した。実験の実施に先立ち、まず常に同じ条件でパックが運動している状況を構築する必要があることから、パックシューターを開発した。

##### 5.2.1 パックシューターの開発

本実験の実施に際しては、常に同じ速度でパックを打ち出し、実験条件を統制する必要がある。このことを実現するために、直流安定化電源 (AD-8723D) とコイル (RS-540SH) を用いたパックシューターの開発を行った。

安定化電源とは、負荷の変動により出力電圧および出力電流が変化せず、常に一定の値になるように制御された電源回路である。これにより、安定化電源に直接つないだコイルに一定値の電流を流すことで、コイルを常に等速で回転させることが可能である。今回使用した安定化電源は電圧を 0-30V、電流を 0-1.5V の間で設定することができる。

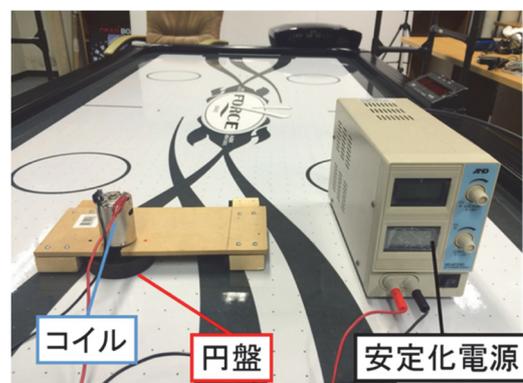


図 11 パックシューター  
Figure 11 Puck striker

パックシューターは、先端に円盤を取り付けたコイルを動かさないよう台に固定し、コイルと安定化電源をつなげて作成した(図 11)。台には壁が設けてあり、回転した円盤と壁の間に手前からパックを入れることで、打ち出す仕組みになっている。また円盤と台の壁には、スポンジを装着することで摩擦力を増加させた。

パックを正確に一定速度で打ち出すことが可能であるか、パックシューターの性能評価実験を行った(図 12)。エアホッケー台にメジャーを設置し、パックシューターから 1.5m 離れた場所に目印を貼り付けた。打ち出したパックを高速カメラで撮影し、目印に到達するまでの時間を計測した後、移動速度を算出した。1.10A, 1.20A, 1.30A, 1.40A, 1.50A の 5 種類の電流値で測定を行った。それぞれの値で 10 回ずつ計測し、パック速度の平均値とその標準偏差を求めた。実験結果を表 2 に示す。実験結果から、電流値の上昇に伴いパック速度が増していくことがわかった。これにより、様々な速度で実験を行うことが可能である。また、標準偏差はすべての値において十分に小さいため、パックを常に一定速度で打ち出すことが可能であると言ってよいと考えられる。

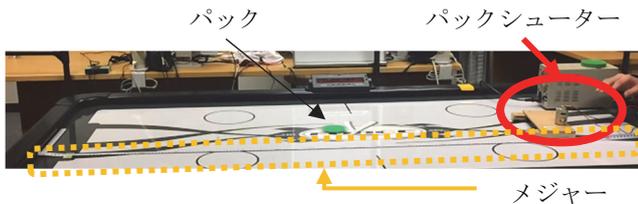


図 12 パックシューター実験の様子

Figure 12 Overview of evaluation experiment for puck striker

表 2 パックシューターの電流とパック速度

Table 2 The relationship between the amount of electric currency and the speed of the puck from the striker

電流 [A]	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
平均値 [m/s]	2.18	3.02	3.81	4.55	5.10
標準偏差	0.033	0.038	0.038	0.045	0.031

### 5.2.2 返球難易度の評価

視覚的エフェクトの有無および種類に毎に、パックを指定された場所に返球できる確率を調査した。指定された場所に正しく返球できれば、難易度が低く、出来なければ難易度が高いと判断するものとした。

### 5.2.3 実験方法および結果

エアホッケー台の盤面を 3 等分したエリアを、それぞれ左から順に A, B, C とした(図 13)。実験参加者には指定されたエリアへ打ち出したパックを返球してもらい、その成功率を調査した。

健康な 20 代の男女 6 人を実験参加者とし、以下の 5 つ

の条件で実験を行った

- 1 何も装着しない状態
- 2 HMD を装着した状態
- 3 HMD を装着し、パックが「背景と同化する」エフェクトを適用した状態
- 4 HMD を装着し、パックが「複数に増える」エフェクトを適用した状態
- 5 HMD を装着し、パックが「大きくなる」エフェクトを適用した状態

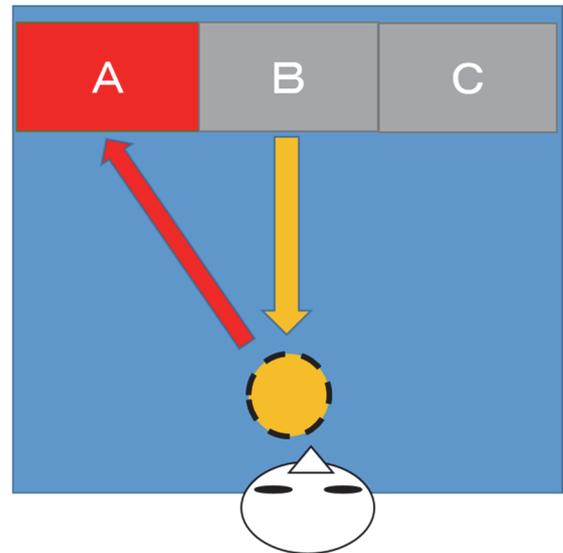


図 13 返球難易度評価実験の概略

Figure 13 Overview of difficulty evaluation

まず、実験参加者には何も装着しない状態で計測を行った。ランダムに指定した A, B, C のエリアへの返球を 10 回繰り返す、その成功率を計測した。なお、本実験実施結果から、パックを高速 (4m/s) で打ち出した際の成功率が有意に低くなることが判明した(図 14 の“高速”と“未装着”)。HMD を装着した場合、特に視覚的エフェクトを適用しなくとも、高速に運動するパックの返球が難しくなると考えられることから、以降の実験では低速 (2m/s) のみで実験を行った。

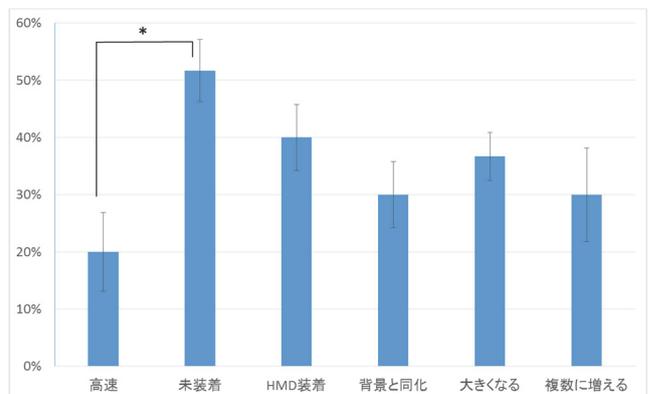


図 14 返球難易度評価実験の結果

Figure 14 Result of difficulty evaluation

次に、HMDを装着してもらい、ランダムに2-5の4種類の条件を適用し、ランダムに指定したA, B, Cのエリアへの返球を、それぞれの条件で10回ずつ行い、その成功率を計測した。また、実験参加者側のレールからエリアまでの距離は100cmとした。本実験の結果を図14に示す。

### 5.3 ユーザ評価

本システムを実際に体験してもらい、アンケートによるユーザ評価を行った。参加者にはHMDを装着してもらい、「背景と同化する」、「複数が増える」、「大きくなる」の3種類の視覚的エフェクトをランダムに適用し、Augmented Air Hockeyを体験してもらった(図15)。アンケートには以下の6つの質問を記載し、回答してもらった。

質問1 通常のエアホッケーが1プレイ100円としたとき、Augmented Air Hockeyはいくら払ってプレイしたいですか。(プレイしたくない場合は0円)

質問2 Augmented Air Hockeyは1プレイどれくらいの長さが適切だと思いますか。

質問3 「背景と同化したパック」は通常時と比べて打ちにくいですか。

質問4 「複数に増えたパック」は通常時と比べて打ちにくいですか。

質問5 「大きくなったパック」は通常時と比べて打ちにくいですか。

質問6 Augmented Air Hockeyに戦略性はありましたか。

質問1, 質問2は数字を記入してもらい、質問3~質問6についてはそれぞれ「とてもそう思う」、「そう思う」、「どちらともいえない」、「思わない」、「全く思わない」の5段階で評価してもらった。集計に際しては、「とてもそう思う」を5とし、「全く思わない」を1とした。本評価は、2015年9月9日~11日に芝浦工業大学豊洲キャンパスにて開催された、第20回日本バーチャルリアリティ学会大会のデモ展示中に実施された。期間中にAugmented Air Hockeyのデモ展示を体験した、10代から50代までの男女54人より回答を得ることが出来た。体験時間は2-5分間であった。

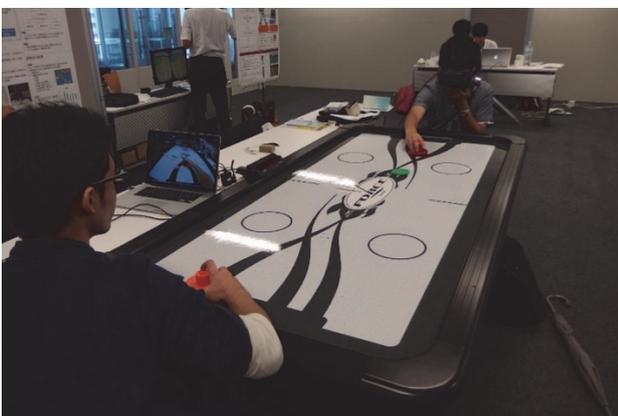


図15 ユーザ評価の様子  
Figure 15 Overview of user study

質問1および質問2の結果をそれぞれ図16および図17に示す。質問1の平均値は182.96(±14.34)円、中央値は150円(ただし500円とした回答を異常値とみなし排除)であった。質問2の平均値は5.00(±0.48)分、中央値は4分(ただし15分とした回答を異常値とみなし排除)であった。

質問3~質問5の結果をそれぞれ図18~図20に示す。また、各質問における回答の平均値・中央値を表3に示す。

最後に質問6の結果を図21に示す。質問6の結果の平均値は3.69(±0.12)、中央値は4であった。

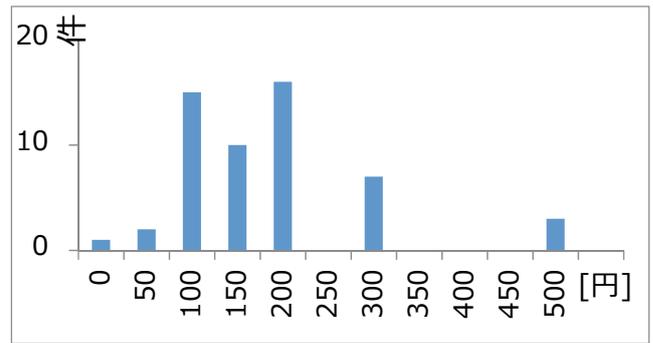


図16 質問1(適正金額)に関する評価結果  
Figure 16 Result of Q1  
(Estimation of appropriate price for one play)

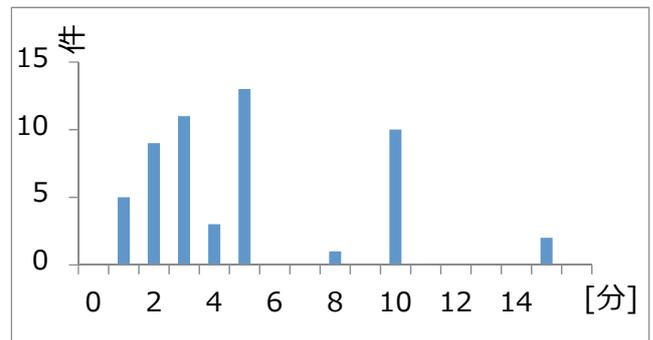


図17 質問2(プレイ時間)に関する評価結果  
Figure 17 Result of Q2(Estimation of appropriate play time)

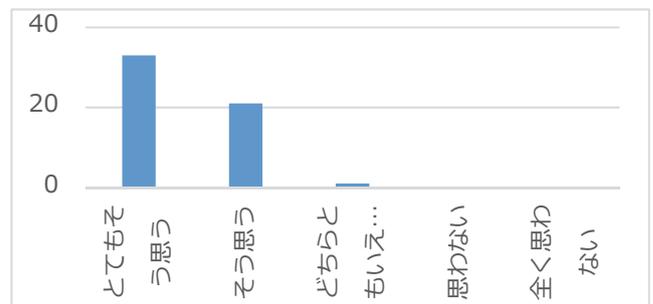


図18 質問3(「背景と同化」の打ちにくさ)の結果  
Figure 18 Result of Q3(Difficulty level of the case camouflage)

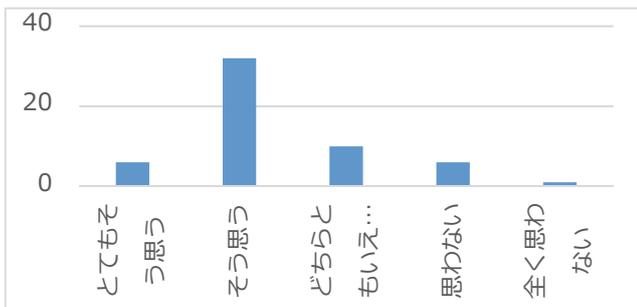


図 19 質問 4 (「複数に増える」の打ちにくさ) の結果  
Figure 19 Result of Q4(Difficulty level of the case split)

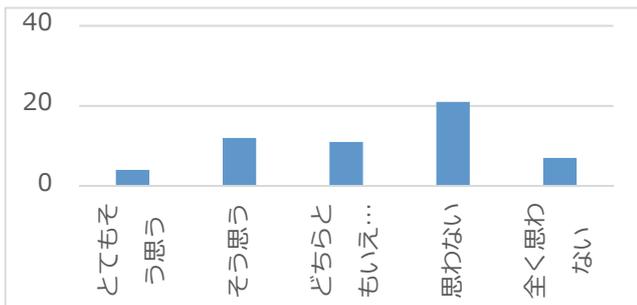


図 20 質問 5 (「大きくなる」の打ちにくさ) の結果  
Figure 20 Result of Q5(Difficulty level of the case enlargement)

表 3 各視覚的エフェクトのユーザ評価結果

Table 3 Result of user evaluation of each visual effects

	質問 3(背景と同化)	質問 4(複数に増える)	質問 5(大きくなる)
平均値	4.58 (±0.07)	3.65 (±0.11)	2.72 (±0.16)
中央値	5	4	2

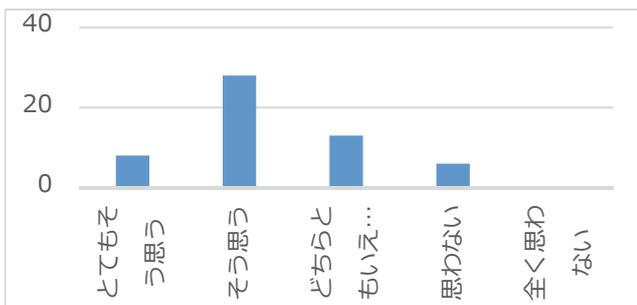


図 21 質問 6 (戦略性があるか) の結果  
Figure 21 Result of Q6(Existence of strategic characteristic)

## 6. 考察

5.1 節の実験結果から、開発した Augmented Air Hockey には 0.1 秒程度のレイテンシがあることがわかった。従来のエアホッケーはパックスピードが速いため、素早い動作が要求される。その場合には、レイテンシがプレイヤーに強い不快感やパフォーマンス低下を発生させるおそれがある。しかし、Augmented Air Hockey は子どもや高齢者であって

も楽しめるよう、パックスピードを緩めている。そのため、従来のエアホッケーよりも大きなレイテンシが、許容される可能性は高い。この点に関して 5.2.3 節の実験結果を踏まえて考察する。図 14 の結果を見ると、パックが低速な場合、HMD を装着しない条件での返球成功率が 50%程度であるのに対し、HMD を装着した条件での返球成功率が 40%程度であり、大きな差は見られない。パックスピードを抑えたことで、HMD によるレイテンシが許容される環境になっているものと考えられる。

続いて HMD を装着した状態で、視覚的エフェクトを適用の有無による返球成功率について考察する。図 14 の結果からは、視覚的エフェクトの有無・種類による返球成功率に有意な差は見られなかった。しかし 5.3 節のユーザ評価により得られた結果である表 3 をみると、体感としては「背景と同化」の条件がもっとも難しいと感じている様子が窺われる。続いて「複数に増える」「大きくなる」の順で難しく感じられている様子が見て取れる。本研究で提案する視覚的エフェクトは、パックを打ち返す難しさに対して有意な影響は認められなかったものの、プレイヤーに対しては異なる難しさを感じさせることができている可能性が高い。特に「背景と同化する」の場合、ほぼ全てのユーザが打ちにくいと感じており、効果的なエフェクトとして期待される。

続いて 5.3 節の Augmented Air Hockey のユーザ評価結果について考察する。まず質問 1、Augmented Air Hockey にいくら払ってプレイするかという質問に対して、ほとんどのユーザが既存のエアホッケーよりも高い値段でプレイしたいと答えている (図 16)。結果の標準偏差も非常に低かったことも踏まえて、ほとんどのユーザが Augmented Air Hockey を肯定的に捉えている様子が窺われる。また質問 6 の戦略性の有無に関して、図 21 の結果から、ほとんどの参加者が、Augmented Air Hockey に戦略性があると感じている様子が見て取れる。低減したスピード感に代わり、戦略性という楽しさが提供できている可能性が窺われる。ただし本ユーザ評価は、特定領域専門家集団に対して行われた質問の結果である。この集団は提案技術領域に対して好意的なことが多く、バイアスがかかっている可能性が高い。より正確な評価のため、一般的なユーザを対象とした評価実験の実施が必要と考えられる。

## 7. 結論

本研究では娯楽的スポーツの一つであるエアホッケーを、情報技術により Augmented Sports 化した Augmented Air Hockey を開発した。従来のエアホッケーは、スピード感が楽しみの要素の一つであったが、パックスピードが速すぎることで、子どもや高齢者にとって難しいゲームとなっていた。そこで Augmented Air Hockey では、まずパックスピ

ードを落とし、子どもや高齢者に対してもプレイを容易にしている。しかしバックスピードが落ちることで、楽しみの要素が減るといった問題がある。これに対してビデオシーヌルー型 HMD を用いて視覚的なエフェクトを適用することで、スピード感に代わる難易度や戦略性といった楽しみの付与を試みた。そして最終的に結果として子どもから高齢者まで、幅広い世代の人が共に楽しむことのできる新たなエアホッケーの実現を目標としている。

提案する Augmented Air Hockey に関して、システムのレイテンシ測定、視覚的エフェクトによる難易度評価、そしてユーザ評価の 3 種類の評価実験を行った。実験の結果、システムには 0.1 秒程度のレイテンシがあるものの、プレイに対して大きな問題を及ぼすものではないことを確認した。また 3 種類の視覚的エフェクトによるプレイ難易度への影響は大きな違いは確認されなかったが、主観的な難易度に関しては違いが確認された。とくにバックが「背景と同化」して見えなくなるエフェクトについて、プレイヤーはもっとも難しいと感じている様子が窺われた。

ただし本研究で実施したユーザ評価は、年齢層やバックグラウンドが偏っているため、特にユーザ評価結果の解釈には慎重さが要求される。今後はより正確な評価のために、多様なユーザによる評価実験を実施していく。

## 参考文献

- [1] 文部科学省: スポーツ基本計画, [http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/sports/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2012/04/02/1319359\\_3\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/_icsFiles/afieldfile/2012/04/02/1319359_3_1.pdf) (Visited 2017/7/24)
- [2] Nittaku: ラージボール, <http://www.nittaku.com/largeball/>, (Visited: 2017/7/24)
- [3] 世界ゆるスポーツ協会, <http://yurusports.com/> (Visited 2017/7/24)
- [4] Tomoya Ohta, Shumpei Yamakawa, Takashi Ichikawa and Takuya Nojima, “TAMA: development of trajectory changeable ball for future entertainment,” in *Proceedings of the Augmented Human(AH)*, 2014, Article No. 50.
- [5] Kei Nitta, Keita Higuchi and Jun Rekimoto, “HoverBall: augmented sports with a flying ball,” in *Proceedings of the Augmented Human(AH)*, 2014, Article No.13.
- [6] Kei Nitta, Keita Higuchi, Yuichi Tadokoro and Jun Rekimoto, “Shepherd pass: ability tuning for augmented sports using ball-shaped quadcopter,” in *Proceedings of the Advances in Computer Entertainment Technology Conference(ACE)*, 2015, Article No. 11.
- [7] mleap 社 HADO <http://mleap.com/> (Visited 2017/7/24)
- [8] ジャパンタッチ協会, <https://www.japantouch.jp/>, (Visited 2017/7/24)
- [9] 一般社団法人鬼ごっこ協会, <http://www.onigokko.or.jp/>, (Visited 2017/7/24)
- [10] Toshikazu Ohshima and Kiyohide Satoh and Hiroyuki Yamamoto and Hideyuki Tamura, “AR<sup>2</sup> Hockey: A Case Study of Collaborative Augmented Reality”, in *Proceedings of VRAIS* (1998), pp.258-295.
- [11] Patrick Baudisch, Henning Pohl, Stefanie Reinicke, Emilia Wittmers, Patrick Lühne, Marius Knaust, Sven Köhler, Patrick Schmidt, and Christian Holz, “Imaginary reality gaming: ball games without a ball”, in *Proceedings of UIST*, (2013), 405-410.
- [12] Kadri Rebane, Takahiro Kai, Naoki Endo, Tomonari Imai, Takuya Nojima, and Yohei Yanase, “Insights of the augmented dodgeball game design and play test”, in *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference (AH '17)*, (2017), Article 12.
- [13] 文部科学省: 体力・運動能力調査, [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/toukei/chousa04/tairyoku/1261241.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chousa04/tairyoku/1261241.htm), (Visited 2017/7/24)
- [14] Hisao Ishigaki and Masaru Miyao, “Implications for Dynamic Visual Acuity with Changes in Age and Sex”, in *Perceptual and Motor Skills*, 1994, 78, 2: 363-369.
- [15] Alexandru Telea, “An Image Inpainting Technique Based on the Fast Marching Method,” *J. Graph. Tools*, vol. 9, no. 1, pp. 25-36, 2004.