



# マイクを利用した模擬刀と身体の接触判定システムの提案

Proposal of a Contact Judgment System between a Simulated Sword and a Body using a Microphone

前田裕作<sup>1)</sup>, 佐藤神威<sup>2)</sup>, 櫻井翔<sup>1)</sup>, 広田光一<sup>1)</sup>, 野嶋琢也<sup>1)</sup>

Yusaku MAEDA, Kamui SATO, Sho SAKURAI, Koichi HIROTA, and Takuya NOJIMA

1) 電気通信大学 大学院情報理工学研究科情報学専攻

2) 電気通信大学 情報理工学域 I 類 (〒182-0035 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

{maeda\_yusaku, Sato\_Kamui, sho, hiroya}@vogue.is.ucc.ac.jp, tnojima@nojilab.org)

**概要:** スポーツにおいて身体運動能力はプレイヤー間の差の要因となる。Augmented Sports はスポーツとゲーム技術を融合し、身体運動能力によらず楽しめるように拡張したスポーツの形態である。著者らは剣術競技にバーチャルパラメータ (VP) を導入し、身体運動能力をバーチャルに補えるようにした競技 Parablade を提案した。本研究では剣術競技における VP の付与がユーザの戦術に及ぼす影響を調査するとともに、VP を実際の競技で運用するうえで必要となる、マイクを用いた模擬刀による身体への衝突判定技術の開発を行った。この技術により模擬刀が相手身体にあたったかどうかを判定し、VP にもとづくパラメータ更新が行われる。実験の結果、適切な VP の付与はユーザの攻撃間隔を変化させたとともに、マイクを用いた接触判定手法が実現可能であることを確認した。

**キーワード:** 人間拡張, Augmented Sports, Parablade

## 1. はじめに

剣道やフェンシングをはじめとした剣術競技では、有効部位への一撃に対して判定をとる試合ルールや間合いを読みあう駆け引きが特徴となっている[1][2]。一方で体格による的の大小や、試合における瞬間的な動作・判断は身体能力や経験に頼るところが大きく、体格差・身体能力差・経験量によるプレイヤー間の差が大きくなりがちである。もちろんこのことは、トレーニングなどを通じてその差を埋める努力に繋がる、スポーツの魅力の一部とも言うことができる。しかし、例えば大人と子供のような圧倒的な体格差を前にしては、競技へのモチベーションすら失わせかねない。スポーツにおける身体運動能力差による悪影響を低減する研究分野として、Augmented Sports が存在する。Augmented Sports は既存スポーツを VR/AR 技術やデジタルゲーム技術と融合し、バーチャルパラメータ (VP) の付与などを通じて身体能力差を補い、身体能力や体格差によらず楽しめるように拡張したスポーツの形態である[3]。

本研究では剣術競技を Augmented Sports として拡張した競技「Parablade」を提案する。VP の導入によりプレイヤーの身体運動能力を補うとともに、いままでの競技では導入されなかった打撃部位や打撃の強さといった要素を試合に反映する。VP により、1 回の打撃の攻撃力やダメージ量を調整し、物理的な身体運動能力以上に相手側へのダ

メージを与え、プレイヤー間の身体運動能力差の溝を埋めることを狙う。ただし Augmented Sports における VP は、実際の競技中のイベントを実時間で反映させる高速な実時間処理が必要である。また VP の更新計算は暗算で実行できるほどに簡単ではないため、現実の競技中のイベントを計算機に取り込むための接触判定技術の開発が必要になる。今回われわれは、センサとしてマイクの検出範囲の広さと脱着の容易さに注目し、マイクを用いた接触判定技術の開発を試みた。またこの技術は、剣術競技における審判の自動化、ヒューマンエラーの防止にも貢献すると期待される。本研究では Parablade の提案に際し、剣術競技におけるパラメータの付与がユーザの戦術に及ぼす影響を調査するとともに、基礎技術としてマイクを用いた模擬刀の高速接触判定技術の開発を行う。

## 2. 先行研究

Augmented Sports の先行研究として、Kadri Rebane らはドッジボールに VP を付与することで Augmented Sports として拡張した、Augmented Dodgeball[3]を提案している。Augmented Dodgeball では HP (体力)、ATK (攻撃力)、DEF (防御力) の 3 つの VP が設定されたロールが用意され、各プレイヤーは自分に合ったロールを選択することで身体能力のバーチャルな増強を可能にしている。

本提案では Augmented Dodgeball で提案される 3 つの VP

に加えて、攻撃の間隔に作用する VP である AGI を導入することで剣術競技に適した Augmented Sports 化を図る。剣術競技における接触判定技術として、SASSEN[4]が挙げられる。この競技では圧力センサを内蔵した剣である SASSEN 刀によって接触を検出している。ただし接触物が身体か否か、どの身体部位かを検出することはできない。また、e-コンバット[5]では防具に圧力センサを組み込むことで打撃部位や強さを検出している。しかし検出範囲は圧力センサで覆われた部分に限られ、全身への適用は動きやすさに影響を及ぼす。本研究ではマイクの検出範囲の広さと脱着の容易さに注目し、打撃音を識別することで全身を覆わずとも打撃の有無と打撃部位が判定できる、マイクを用いた接触判定技術の実装を目指す。

### 3. Parablade

Parablade は VP を導入することで身体能力のバーチャルな増強を可能にした、Augmented Sports 化された剣術競技である。VP の効果により身体能力差を縮小し、初心者も経験者も同時に楽しむことができるような競技の実現を狙う。また剣での打撃部位や打撃の強さなどの要素をダメージ計算に反映させ、単純な打撃の成否にとどまらない、真剣の試合で想定される要素を取り入れることも企図している。

#### 3.1 VP の導入

Parablade では HP/ATK/DEF/AGI の 4 つのパラメータを導入し、相手の HP を 0 にすると勝利となる HP 制を導入する。プレイヤーはスキルポイント (SP) を有し、SP を割り振ることで各パラメータを調整できる。これにより、プレイヤーは身体能力や戦術に合ったバーチャルな身体拡張が可能となる。SP の割り振りによる VP の調整後、VP の値に応じてプレイヤーのキャラクタータイプが決定される。攻撃/防御/スピード/バランスの 4 つのタイプから構成され、バランスタイプを除く異なるタイプ間においてタイプ相性を設定し、タイプ相性によるダメージボーナスとして試合に反映する。例えば、攻撃タイプからスピードタイプへの攻撃ではダメージボーナスが大きくなり、攻撃タイプから防御タイプへの攻撃はダメージボーナスが小さくなる。

#### 3.2 ダメージの発生条件

プレイヤーへのダメージの発生条件は通常ダメージ、部位ダメージ倍率、出血ダメージの 3 つからなる。通常ダメージは相手に攻撃を当てることで発生し、3.3 で述べるダメージ計算式に従ったダメージが与えられる。部位ダメージ倍率では身体部位ごとに異なるダメージ倍率が設定されており、打撃部位に応じた倍率がダメージ計算式に反映される。頭や首など致命傷になる部位ほど倍率が高く、足や腕では倍率を低く設定する。出血ダメージは通常ダメージで一定以上のダメージを与えたときに発生し、一定の間隔でダメージが発生し続ける。

### 3.3 ダメージ計算式

通常ダメージにおけるダメージ計算式は式 (1) として表される。式 (1) の各パラメータや定数は、HP を 200 とした際に三撃以上を必要とするように設定することで、VP の影響が反映されるようにしている。 $D$  は発生したダメージ、 $p$  は打撃の強さ ( $0.5 \leq p \leq 1.0$ )、 $db_{type}$  はタイプ相性によるダメージボーナス ( $0.75 \leq db_{type} \leq 1.5$ )、 $db_{body}$  は部位ダメージ倍率 ( $0.9 \leq db_{body} \leq 1.5$ ) である。また、プレイヤーの VP を参照する項として  $P_{ATK}$  は攻撃側プレイヤーの ATK の値 ( $20 \leq P_{ATK} \leq 125$ )、 $P_{DEF}$  は防御側プレイヤーの DEF の値 ( $20 \leq P_{DEF} \leq 75$ ) である。

$$D = \left(15 + \frac{P_{ATK}}{5}\right) \times p \times db_{body} \times \left(1 - \frac{P_{DEF}}{100}\right) \times db_{type} \quad (1)$$

ダメージ計算の例として、 $P_{ATK} = 50, P_{DEF} = 20, p = 1.0, db_{type} = 1.0, db_{body} = 1.5$  の場合、ダメージ  $D$  は式 (2) として表され、 $D = 30$  として 30 ダメージが発生する。

$$D = \left(15 + \frac{50}{5}\right) \times 1.0 \times 1.5 \times \left(1 - \frac{20}{100}\right) \times 1.0 = 30 \quad (2)$$

ダメージによる HP の減少は、攻撃を受ける前の HP を  $HP_{before}$ 、攻撃を受けた後の HP を  $HP_{after}$  とおくと、式 (3) として表される。 $HP_{after}$  について  $HP_{after} \leq 0$  となったときに敗北となる。

$$HP_{after} = HP_{before} - D \quad (3)$$

## 4. VP の付与がユーザの戦術に及ぼす影響調査

### 4.1 実験目的

剣術競技を Augmented Sports として拡張した競技 Parablade において、設定したルールが破綻しないか検証を行った。同時に、Augmented Sports における VP の付与がユーザの戦術行動に及ぼす影響について調査を行った。

### 4.2 実験内容

実験は被験者 2 人 1 組で行い、被験者 2 人にそれぞれ VP を割り振った状態で剣術競技を行ってもらった。今回使用した VP の割り振りは攻撃タイプ、防御タイプ、スピードタイプの 3 種類に分かれている。これはプログラム上でのシミュレーションを元にタイプ間で 3 すくみの相性 (攻撃>防御>スピード>攻撃) を形成するように設定した。被験者ペアにすべての組み合わせとなる 9 条件について試合を行ってもらった。VP の割り振りは各試合前に被験者に提示した。このとき、もう一方の被験者から見えないように提示を行った。試合は実験者の目測で判定を行い、どちらか一方の HP が 0 を下回ることで終了とした。また、試合内容は動画として記録を行い、この動画を元に被験者の攻撃間隔、攻撃部位、試合時間を測定した。本実験では、

4 組計 8 名(男性ペア 3 組, 男女ペア 1 組, 22-29 歳)について実験を行った。

### 4.3 実験手順

まず剣術競技と使用する SASSEN 刀, および導入する VP についての説明を行った。次に, Augmented Sports として拡張前の剣術競技の体験を行った。終了後, 休憩をはさんで本番を行った。本番では試合前に使用する VP の割り振りを相手プレイヤーから見えないように被験者に提示した後, どちらか一方の被験者の HP が 0 を下回るまで試合を行った。試合後は両被験者の呼吸が整うまで休憩をとり, 全 9 試合をランダムな順で行った。

### 4.4 実験結果と考察

各タイプの勝率を表 1 に示す。表 1 は行方向(A)のタイプについて列方向(B)のタイプと戦った際の勝率を表している。タイプ間の相性について, 3 すくみの相性となることを想定していたが十分な再現には至らなかった。中でも防御タイプがどのタイプにも不利な状況になった。これは, 被験者にとって攻撃を受ける行為に対する心理的負担が大きかった可能性が考えられる。実験では攻撃を受けた被験者は相手から距離を取る行動をとることが多く, 防御タイプの戦術として想定していたカウンター攻撃の傾向は見られなかった。実競技において 3 すくみの相性を形成するためには, プレイヤーに対して防御力が上がっていることを示すフィードバックを行い, 攻撃を受けることに対する負担を減らすことが必要であると言える。また, 被験者の攻撃間隔を図 1 に示す。タイプを要因とする 1 元配置分散分析の結果 1%水準で有意であり, shaffer 法で多重比較した結果, 攻撃タイプと防御タイプ, 攻撃タイプとスピードタイプの組み合わせにおいて 5%水準で有意差が見られた。3 つのタイプのうち, 攻撃の間隔に関する AGI パラメータはスピードタイプのみ異なる値を設定していた。そのため, スピードタイプは他のタイプと比較して攻撃間隔が短くなることを想定していたが, 防御タイプとスピードタイプの間には有意差が見られなかった。これは AGI パラメータによる影響の他に, 防御タイプでは DEF パラメータが上昇することで相手の攻撃を防ぐ意識が薄れ, 攻撃頻度が増加したことが考えられる。一方, 攻撃タイプと防御タイプの攻撃間隔に有意差が見られたことについては, ATK パラメータを上昇させたことにより, 相手に確実に攻撃を通そうとするユーザ行動を起こしていることが想定される。このように, VP の付与はプレイヤーの行動に影響を及ぼす可能性があることが示された。

## 5. 接触判定技術の開発

接触判定システムの構成は図 2 (a)のようになっている。図 2 (b)に示す SASSEN 刀による武器側の判定と, 図 2 (c)に示すマイクユニット (PMU) による防具側の判定の 2 つからなる。武器側では SASSEN 刀を基本デバイスとして用い, 圧力センサから打撃の有無と強さを検出する。防具側では 2 つのマイクと 1 つのマイクロコントローラ

表 1: 各タイプ間の勝率

	B	攻撃	防御	スピード
A				
攻撃			62.5%	100%
防御		37.5%		25%
スピード		0%	75%	

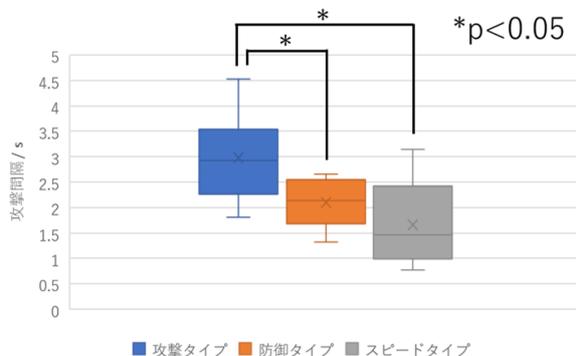


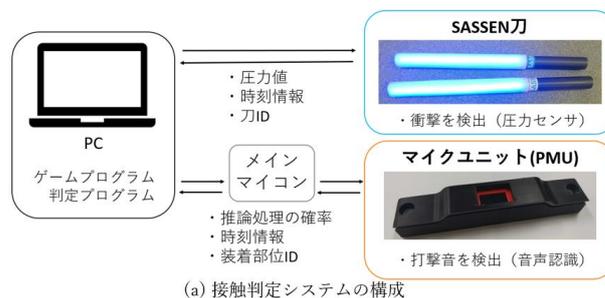
図 1: 各タイプにおける被験者の攻撃間隔

から構成されるマイクユニット (PMU) を作成し, 打撃音を音声認識として識別することで打撃の有無と打撃部位の特定を行う。PC 上のプログラムで武器側/防具側の双方から打撃が確認されたときプレイヤーへの接触として判定する。

## 6. PMU における打撃音の音声認識

### 6.1 音声認識の学習手法

PMU における打撃音の音声認識のモデル構造は 2 次元畳み込みニューラルネットワークとして, 2 次元畳み込み層, 全結合層, 出力層から構成される。音声データの前処理として 1 秒間の生音声データに窓サイズを 30ms, 窓間隔を 20ms の窓関数を適用した FFT を実行し, 幅 43, 高さ 49 のスペクトログラムを生成した。学



(a) 接触判定システムの構成



(b) SASSEN 刀



(c) マイクユニット (PMU)

図 2: 接触判定技術の構成

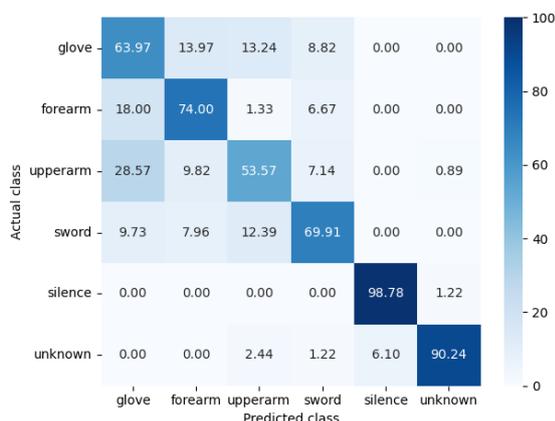


図 3：打撃音の分類精度

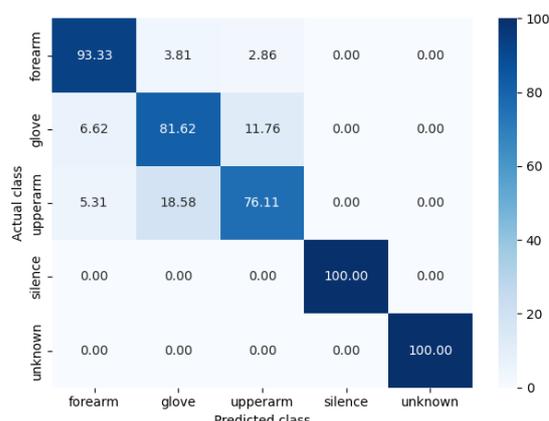


図 4：再学習後における打撃音の分類精度

習に用いる音声データは、訓練データと検証データとテストデータを 8:1:1 の割合として分割を行い、学習率は初めの 12000 回は 0.001、終わりの 3000 回は 0.0001 として設定し、合計 15000 回の学習ループを実行した。

## 6.2 データセットの収集

音声認識の学習に用いるデータセットは SASSEN 刀による打撃音を録音することで作成した。各音声ファイルはサンプリング周波数 44.1kHz、サンプルサイズ 2bytes、ステレオ形式からなる 1 秒間の wav ファイルとして保存した。PMU を改造した録音装置を前腕に装着した状態で小手/前腕/上腕/剣への打撃の 4 パターンと、無音状態、その他の音を合わせた計 6 パターンについて合計 109.4 分間の録音を行った。

## 6.3 分類精度

学習結果を図 3 に示す。学習における分類精度は 72.9% であり、分類器としての精度は低かった。特に身体への接触となる小手/上腕/前腕への打撃では他の身体部位の打撃との誤分類が多くみられ、音声認識による部位判定では打撃音に加えて他の音声情報を追加するような工夫が必要であると考えられる。

## 6.4 音源情報の追加

分類精度向上の工夫として、SASSEN 刀の先端にスピーカを設置し、10kHz の音を再生させ続けることで打撃の強さによらない音源情報を追加した。この状態で小手/前腕/上腕への打撃と無音状態、その他の 5 パターンについて合計 89 分間の録音を行い、再度学習を行った。

## 6.5 再学習による分類精度

再学習の結果を図 4 に示す。平均分類精度は 88.1% であり、分類精度の向上が見られた。録音装置装着部位である前腕における分類精度は 93.33%、小手/上腕を録音装置隣接部位として 1 つにまとめた際の分類精度は 93.98% にもおよび、装着部位と隣接部位を分ける簡易的な部位判定として実現可能性が見られた。PMU は各部位に装着を想定しており、装着部位ごとに学習を行っていくことで全身を対象とした接触判定が実現できると考えられる。

## 7. まとめ

本研究では、剣術競技を Augmented Sports として拡張した競技「Parablude」の提案を行った。Augmented Sports 化に伴う VP の付与がユーザの行動に及ぼす影響を調査した結果、VP の付与はユーザの攻撃間隔を変化させ、戦術性に影響を及ぼす可能性があることが示された。また、基礎技術としてマイクを用いた模擬刀の高速接触判定技術の開発を行い、PMU による打撃部位判定の実現可能性が見られた。

今後は VP の調整を繰り返すことで適切なタイプ相性を形成する。また、PMU による部位判定の改善と全身への適応を行うとともに SASSEN 刀とあわせた接触判定システムの開発を行う。そして、競技におけるダメージ処理や VP の管理を行うゲームプログラムを作成し、Parablude のシステムを作成する。

## 8. 謝辞

本研究の遂行にあたって、全日本 SASSEN 協会の本村隆馬氏、鋤先星汰氏に多大なご協力をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 笹川スポーツ財団. 剣道. [https://www.ssf.or.jp/ssf\\_eyes/dictionary/kendo.html](https://www.ssf.or.jp/ssf_eyes/dictionary/kendo.html) (visited 2023/07/20)
- [2] 笹川スポーツ財団. フェンシング. [https://www.ssf.or.jp/ssf\\_eyes/dictionary/faencing.html](https://www.ssf.or.jp/ssf_eyes/dictionary/faencing.html) (visited 2023/07/20)
- [3] Kadri Rebane, Takahiro Kai, Naoki Endo, Tomonari Imai, Takuya Nojima, Yohei Yanase. Insights of the augmented dodgeball game design and play test. AH '17: Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference. 2017. Article No.12. Pages 1–10
- [4] 一般社団法人 全日本サッセン協会. LED・圧力/加速度センサー付き SASSEN ver.3. [https://sassen.jp/digital\\_sword\\_ver3/](https://sassen.jp/digital_sword_ver3/) (visited 2023/07/20)
- [5] 超人スポーツ協会. e-コンバット 交陣. <https://superhuman-sports.org/sports/kozin.php> (visited 2023/07/20)