

神奈川工科大学

先進 e スポーツ研究センター

研究報告

第 5 号

2025 年度

研究推進機構

## 目次

- ・e スポーツにおける音響工学の体系化：操作音解析と  
聴覚認知トレーニングによる競技力向上支援の検討

上田麻理，塩川茂樹

- ・e スポーツコンテンツ配信に適したルーティングプロトコル

塩川茂樹

## e スポーツにおける音響工学の体系化：操作音解析と 聴覚認知トレーニングによる競技力向上支援の検討

研究者名：上田麻理, 塩川茂樹

### 1. 研究の目的

本研究の目的は、e スポーツ競技における「音」の多角的な役割を科学的に解明し、プレイヤーの能力向上と状態管理を支援する音響工学的な基盤を構築することである。現在の e スポーツシーンでは、視覚情報や通信速度といった要素に注目が集まりがちであるが、聴覚情報は「空間把握」「状況判断」「心理的同調」において極めて重要な役割を果たしている。本年度は、以下の 2 つのアプローチを主軸として研究を展開した。第一に、プレイヤーが発する物理的な音、すなわち「コントローラの操作音」に着目し、これを非侵襲的なバイオメトリクス指標として活用する手法の確立である。第二に、競技シーンで不可欠とされる「足音」等の微細な音情報を、戦場のような過酷な騒音下(マスキング環境)で正確に聞き分け、判断するための学術的トレーニングプログラムの開発である。これらを通じて、感性情報処理と実戦的スキルの両面から「e スポーツ音響学」の学問的輪郭を明示することを目指した。

### 2. 研究の必要性及び従来の研究

e スポーツにおけるプレイヤーの状態推定に関する従来の研究は、心拍数、皮膚導電率、視線追従(アイトラッキング)などの生理指標、あるいはゲーム内の操作ログを用いたものが主流であった。しかし、生理指標の計測にはウェアラブルデバイスの装着が必要であり、これは競技者の自然なパフォーマンスを阻害する要因となり得る。また、操作ログはゲームタイトルごとに仕様が異なり、汎用性に欠けるという課題があった。これに対し、「音」を用いたアプローチは、マイク 1 本で計測可能であり、競技者に物理的な接触を強いないため、極めて高い非侵襲性を持つ。操作音にはプレイヤーの「打鍵の強さ(物理的エネルギー)」「リズム(時間的構造)」「迷い(遅延)」が直接的に反映される。また、聴覚トレーニングに関しては、従来は「経験」という言葉で片付けられていた領域であるが、音響工学的なフィルタリングや周波数特性の理解を背景とした、計画的なプログラムの必要性が高まっている。

### 3. 期待される効果

本研究の期待される効果を以下に示す。

- 競技パフォーマンスの客観的評価: 経験や勘に頼らず、音響データに基づいた客観的な調子(コンディション)の可視化。
- 効率的な教育プログラムの確立: 初心者が上級者の聴覚的注目ポイントを短期間で学習できるトレーニング手法の提供。
- メンタルヘルスへの貢献: 操作音の「乱れ」を検知することで、バーンアウトや過度なストレスの早期発見とケアへの繋ぎ込み。
- 音響ユニバーサルデザインの推進: 聴覚特性の個人差を考慮した、より幅広い層が楽しめるゲーム音響環境の設計指針。

### 4. 研究の経過及び結果・評価

#### 4.1 コントローラ操作音による状態推定モデル(Applied Sciences 成果)

本サブプロジェクトでは、対戦格闘ゲーム『大乱闘スマッシュブラザーズ SPECIAL』を対象に、熟練度および心理状態が操作音に与える影響を定量化した。実験では、熟練プレイヤー(大会上位進出者等)と初心者を対象に、操作音の最大音圧レベル( $L_{\max}$ )および等価騒音レベル( $L_{Aeq}$ )を解析した。

解析の結果、熟練者は初心者と比較して、意図的なインパクトを与える操作において有意に高い音圧を発生させていることが確認された。また、プレイ前に実施した心理尺度質問紙(TMD: Total Mood Disturbance)のスコアと操作音の特性に相関が見られた。特筆すべきは、特定の感情状態(緊張や疲労)において、操作の「キレ」が音響波形上のアタック成分の変化として現れる点である。この成果は、国際学術誌 *Applied Sciences* (15 巻, 719 号)に掲載され、e スポーツにおける音響特徴量の有用性を世界に示した。

Table 1: 熟練度別操作音特性の比較 (抜粋)

| 指標                      | 熟練者 (Expert)   | 初心者 (Novice)    | 有意差 (p-value) |
|-------------------------|----------------|-----------------|---------------|
| 最大音圧レベル $L_{\max}$ [dB] | $78.4 \pm 3.2$ | $69.1 \pm 4.5$  | $p < 0.01$    |
| 操作間隔の標準偏差 [ms]          | $12.5 \pm 2.1$ | $45.8 \pm 12.3$ | $p < 0.05$    |

## 4.2 騒音下聴覚トレーニングシステムの構築(日本音響学会 成果)

FPS ゲーム『VALORANT』をターゲットとし、銃声、爆発音、アビリティ使用音などが混在する過酷な音響環境下で、極めて微小な「敵の足音」を聞き分ける能力の向上を目的とした。従来、このような訓練は実戦を繰り返すしかなかったが、本研究では JavaScript および HTML5 を用いた専用のウェブベース・トレーニングプラットフォームを試作した。このシステムの特徴は、ミリ秒単位での応答時間計測と、回答直後の即時フィードバック機能である。実験の結果、短期間(3セッション)のトレーニングであっても、正答率が統計的に有意に向上することが確認された。日本音響学会 2026 年春季研究発表会での報告では、この能力向上が単なる「慣れ」ではなく、音響的な手がかりの抽出能力そのものが強化された可能性が議論された。

## 5. 今後の計画

次年度は、これまでの知見をさらに統合し、「リアルタイム・パフォーマンス支援」に注力する。

- ・ 機械学習による自動状態診断

現在のバッチ処理による音声解析を、リアルタイム・ストリーミング処理へと移行させる。ディープラーニングを用いることで、特定のプレイヤー個別の「調子の波」を自動学習し、試合中に「集中力の低下」や「過度な緊張」を警告するアルゴリズムを開発する。

- ・ 聴覚トレーニングの商用・競技用展開

試作したトレーニングシステムを、学内の e スポーツ部や提携するプロチームへ展開し、長期間のトレーニングが実際のゲーム内ランク (Rank) 向上にどの程度寄与するかを検証する。また、VR/AR 技術と連携し、より没入感のある音響空間での空間定位トレーニングへの拡張を目指す。

- ・ 異分野融合の推進

心理学、体育学、計算機科学の専門家と連携し、音響データだけでなく、ゲーム内のカメラワークやマウス操作の加速度データを統合した、マルチモーダルなプレイヤー分析基盤の構築を計画している。

## 6. 研究成果の発表

<学術論文(査読あり)>

・ Hiratsuka, Y., Kuga, K., Miura, T., Tanaka, T., and Ueda, M., "Sounds and Natures Do Often Agree: Prediction of Esports Players' Performance in Fighting Games Based on the Operating Sounds of Game Controllers", Applied Sciences, Vol. 15, No. 2, 719, 2025. doi:10.3390/app15020719

<学会発表(国内)>

・ 越水 瑛怜, 三浦 貴大, 塩川 茂樹, 上田 麻理, "FPS ゲームにおける聴覚情報活用に関する検討その 6 -騒音下における聴覚トレーニングの実践-", 日本音響学会 2026 年春季研究発

表会, 2026 年 3 月.

(その他、センター関連の発表多数)

＜外部資金獲得状況＞

- ・文部科学省 科学研究費助成事業 基盤研究(C) (JP22K02296) 「e スポーツにおける音響情報活用とプレイヤー状態推定の高度化」
- ・文部科学省 科学研究費助成事業 若手研究 (JP24K21471) 「操作音バイオメトリクスによる次世代 e スポーツコーチング基盤の構築」

#### 7.4 その他

- ・産業技術総合研究所(AIST)人間拡張研究センターとの共同研究
- ・株式会社 ZETT とのスポーツ工学・音響分野における連携協力
- ・ミネベアミツミ電機他との共同研究(NDA 締結済み, 現在共同研究契約手続き中)

## e スポーツコンテンツ配信に適したルーティングプロトコル

研究者名：塩川茂樹

### 5. 研究の目的

ネットワーク技術は e スポーツにおいて競技コンテンツ送受信を担う重要な要素である。競技コンテンツは競技の公平性を担保できるように各競技者へ提供されなければならない。しかしながら、現在のネットワーク環境では、遅延や時刻同期等の問題から十分な公平性が担保されないという課題がある。例えば世界規模のオンライン競技では、コンテンツを提供するサーバの所在地により、競技前に優劣がつくという不公平が生じることが分かっている。特に有線・無線混在ネットワーク環境で行う e スポーツ競技では無線ネットワーク環境に対する性能要求が厳しくなる。そこでネットワークプロトコルの性能を向上させることで、e スポーツ用コンテンツ配信に関する問題解決を図ることである。そのための手段として情報指向型ネットワークルーティングプロトコルおよび耐遅延・障害ネットワークに着目する。

### 6. 研究の必要性及び従来の研究

e スポーツでの活用に限らず、情報指向型ネットワークの研究は盛んにおこなわれ、モバイル環境であるモバイルアドホックネットワーク (MANET) に適用した研究も多く行われるようになってきている。MANET とは、複数の移動体無線端末が自律分散的に構成するネットワークである。MANET では、ノードとしてスマートフォンや携帯ゲーム機等の小型の移動体無線端末を想定するケースが多いため、利用できる電力が限られているケースが多い。一般的な情報指向型ネットワークでは、制御パケットの送信にブロードキャスト送信を繰り返すフラッディングを用いる。また耐遅延・障害ネットワークでは情報転送相手を効率よく選ぶための制御パケットが必要となる。従ってこれらの制御パケットによりネットワーク負荷および消費電力が大きくなることが解決すべき課題となる。

### 7. 期待される効果

ネットワーク負荷および消費電力を軽減できるルーティングプロトコルを開発することで、定常的な電源供給ができない屋外等での e スポーツ競技実施の可能性が広がることが期待される。

### 8. 研究の経過及び結果・評価

情報指向型ネットワークルーティングではコンテンツの要求があった場合に、いかに効率よくそのコンテンツを持っている端末 (プロバイダ) を探すかが重要である。そこで昨年度までに、複数の端末から分割されたコンテンツ送信を行う手法、分割されたコンテンツの

キャッシュを許可することでコンテンツ要求に迅速に対応できるプロトコル，そしてコンテンツ要求開始時からコンテンツを全て取得するまでの時間およびそれに伴う消費電力を削減する手法を提案した．

今年度はキャッシュの判断に機会学習を活用する手法を提案した．具体的にはネットワーク負荷，遅延，コンテンツ取得率等の特徴量を基に，ロジスティック回帰モデルによる学習結果からコンテンツのキャッシュをするべきか判断する．キャッシュ可否を判断するためのハイパーパラメータを適切に設定することで，キャッシュ効率が向上することを示した．

## 5．今後の計画

今後は提案アルゴリズムの課題である，所望コンテンツを保持する端末が周辺に存在しない場合のオーバーヘッドを解消する手法について検討する．

## 6．研究成果の発表

- [1] Yuichi Sakata and Shigeki Shiokawa, “Cache control using machine learning in information-centric wireless multi-hop networks”, NCSP 2026