

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：12103
研究種目：挑戦的研究(萌芽)
研究期間：2018～2021
課題番号：18K18625
研究課題名(和文) 視覚障害者のスポーツ競技支援のための音響学的研究と訓練用アプリケーションの開発

研究課題名(英文) Acoustical study and development of training applications to assist visually impaired athletes in parasports

研究代表者
坂尻 正次(Sakajiri, Masatsugu)

筑波技術大学・保健科学部・教授

研究者番号：70412963
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,700,000円

研究成果の概要(和文)：視覚障害スポーツを到来音の距離に基づき、遠距離(ゴールボール、ブラインドサッカー)、近距離(サウンドテーブルテニス(STT))、密接距離(ブラインドクライミング)と分類の上、競技力を高める要因調査・訓練システム開発を行った。特に、音響バーチャルリアリティ技術に基づいたゴールボールとSTTの訓練システムは、競技者のボール到来方向・距離の定位能力を高められた。さらに、晴眼者における聴覚活用に関して、バレーボールでは競技年数、野球においてはポジションの違いを見出した。また、COVID-19流行に伴う無観客試合の増加という社会情勢を踏まえ、観客の有無による競技者・観戦者の臨場感の違いを報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の意義は、視覚障害の有無によらず、様々な競技における聴覚活用の状況に加え、心理的影響に至る知見を生み出したことにある。特に、視覚障害スポーツにおいては、従来では経験的に獲得された聴覚活用について、熟達者と初心者の違いを述べつつ、熟達者ほど気にする状況を学習するシステムに落とし込めた。また、晴眼者においても経験年数や守備位置などの違いによって、聴覚情報を活用した競技力の向上の可能性を示せた。これらの結果は、日常生活を超えたスポーツという状況下で向上する知覚能力の解明に資するものであり、これらの能力を獲得する過程の解明に繋がる知見としても、学術的・社会的に意義深いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have investigated the factors that enhance athletic performance and developed a training system for visually impaired athletes by classifying the sports into three categories based on the distance of sound arrival: long distance (goalball, blind soccer), short distance (sound table tennis (STT)), and close distance (blind climbing). Particularly, the goalball and STT training systems based on acoustic virtual reality technology improved the localization ability of the ball's direction and distance of arrival in visually impaired people. In addition, we found differences in the auditory performance of sighted players in terms of the number of years of competition in volleyball games and the position of the players in baseball games. Furthermore, we reported differences in the sense of reality in competitors and spectators depending on the presence or absence of spectators, considering the social situation of the increase in the number of crowdless games due to the COVID-19 pandemic.

研究分野：福祉工学

キーワード：アダプティブスポーツ 視覚障害 スポーツ聴覚 音響バーチャルリアリティ(VR) 聴覚訓練・聴覚利用 ゴールボール サウンドテーブルテニス バレーボール

1. 研究開始当初の背景

感覚機能・身体機能に障害を持つ者の治療体操として始まった「障害者スポーツ」も、パラリンピックなど国際的な大会の発展に応じて普及が進み、競技性の向上や、社会的な注目の高まりが起きている[1,2]。日本国内でも、2020年の東京オリンピック・パラリンピック（開催は2021年）を控え、障害のある者がスポーツを楽しむ環境が整備されつつある[3]。実際に、代表者が所属する筑波技術大学の保健科学部では、在籍する視覚障害学生あるいは卒業生の中に視覚障害者向けのスポーツ競技に携わっている学生が増加している。本学部は、視覚障害の学生のみを受け入れる唯一の国立大学機関であるため、彼らのスポーツ支援の必要性もパラリンピック開催の機運に伴い高まっている。

視覚障害者向けのスポーツ競技には、ゴールボールやサウンドテーブルテニスなどの球技の他、柔道などの格闘技、ブラインドクライミングなどの個人競技も含まれる。特に球技においては、鈴や金属球を入った専用球から発せられる音を手がかりに、球の位置を予測する必要がある。また、他の競技においても、聴覚情報を用いることで他者に先んじた状況把握ができるため、競技力向上には聴覚による環境・状況知覚能力が欠かせない。しかし、彼らが知覚し状況判断するための音響学的特徴については未解明な点が多く、競技者は経験を頼りに技能向上を図るしかなかった。

一方で、彼ら競技者が練習を行うための環境も現状では限られている。特に、球技における専用コート・設備の普及は、費用の側面から普及が遅れている。一方で、Oculus Riftの登場以来、Virtual Reality (VR) 技術が再評価され、没入型環境の普及がこれまでにない規模で進んでいる。VR技術における聴覚提示方法も存在し、研究代表者・分担者らは、この手法を用いて全盲者における聴覚による環境知覚についての音響学的要因について調査してきた[4,5]。類似のスキームを用いることで、練習環境を用意せずとも簡易的に競技を模擬した聴覚訓練が容易化できると考えられる。実際に、ゴールボールの訓練支援システムを試作・評価し、投球音の定位精度・速度について訓練効果を確認した[6]。しかし、この際は、訓練効果に寄与した音響学的特徴については分析していなかった。

以上の経緯から、視覚障害者スポーツの競技力向上のためには、各スポーツでの音源・音像定位などに寄与する音響学的特徴を詳細に分析し、その点を考慮した訓練システムを構築する必要があると考えた。また、本システムの訓練効果を高めるための要素についても明らかにすべきだと着想した。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、視覚障害者スポーツの訓練を支援する音響 VR システムを開発の上、実環境に寄らない訓練の効率化要素を解明すること(図1の左図)を、目的とする。特に、視覚障害者スポーツを音響学的観点から次の3課題に分類(図1右図)し、支援方法を検討する。

- 1) 遠距離(数10m以下)からの到来音の知覚訓練(ゴールボールを一例とする)。
- 2) 近距離(約5m以下)における到来音の知覚訓練(サウンドテーブルテニスを一例とする)。
- 3) 密接距離(約1m以下)における到来音の知覚訓練(ブラインドクライミングを一例とする)。

具体的には、聴覚で補助的に環境知覚し物体接触などを触覚・体性感覚で知覚する訓練。

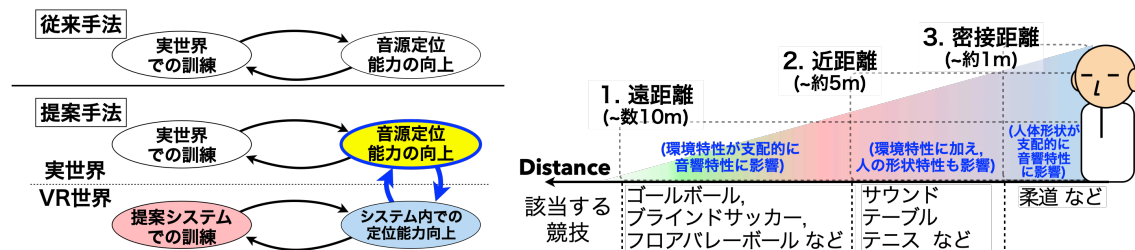


図1: (左図) 従来法と本申請での提案手法および検討対象, (右図) 検討対象の分類

3. 研究の方法

本研究計画の実施スキームを図2に示す。前述した3つの課題に対し、a. 各スポーツ経験者へのインタビュー調査と聴覚利用状況・方法の抽出, b. その状況/環境の再現と收音(ダミーヘッドマイクロフォンを用いたバイノーラル録音)・分析・加工, c. 訓練システムの構築, d. システム評価および改良要素の抽出とい

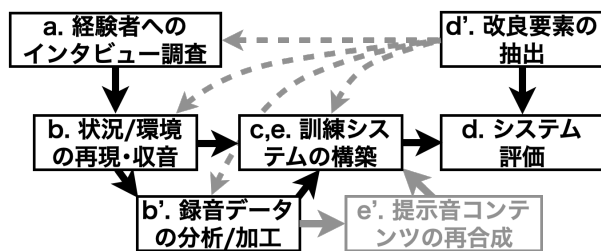


図2: 本研究の実施スキーム

う流れで研究を実施する。

また、d. で得られた改良要素 (d') を基に、e. 訓練システムを改良する。この際、b' . 録音データの分析・加工 (周波数・残響特性などの変調操作) を再度行い、e' . 提示音コンテンツの再合成の上、訓練システムに反映する。

4. 研究成果

2節で列挙した 3 つの課題についての成果に加え、研究期間中の試行錯誤を通じて新たに検討することとした課題 4) 晴眼者における競技時の聴覚活用についても報告する。

1) 遠距離 (数 10 m 以下) からの到来音の訓練システム開発のための音響環境計測

本課題では、ゴールボールとブラインドサッカーを取り上げた。

ゴールボールにおいては、まず本研究に先駆けて開発したゴールボールの音訓練システムに用いた音源の分析から始めた。この音源は、ダミーヘッドマイクで録音されたボールの接近音である。また、これらの接近音に対しては、ゴールボール競技経験者が自身のどちらを通過するかを判定した結果が付随している。分析結果より、自身の右側から左側、左側から右側にボールが移動するケースで判定が多少困難になることがわかった (図 3)。次に、本研究に先駆けて開発したゴールボールの音訓練システムの改良を目的に、試合中の具体的な状況ごとに手がかりにされうる聴覚情報についてのアンケート調査を実施した。対象は強化指定を受けている選手・そうでない選手である。結果より、強化指定を受けている選手の方が、よりボールの軌道予測に聴覚情報を用いている一方で、そうでない選手は味方の位置などの把握の際に聴覚情報を用いると分かった。その上で、競技状況を模擬して收音を行った後、聴覚情報を基に様々なボール軌道を判断するための音響 VR 環境を改良し、ボールの通過方向・その際の自身からの距離を学習できるように構築した。本システムを用いた結果、学習回数が増すほど、ボールの通過方向・距離の判断における正答率が向上した (図 4)。

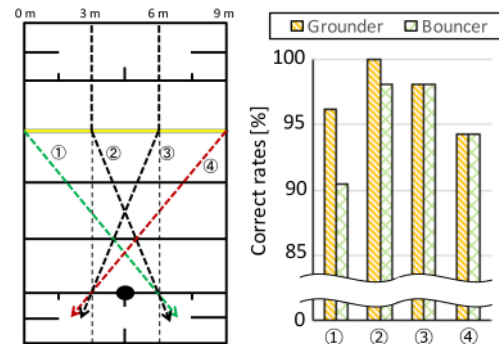


図 3: 左図: 正解率が低い投球音の軌跡, 右図: 左図①~④の軌跡の場合での正解率

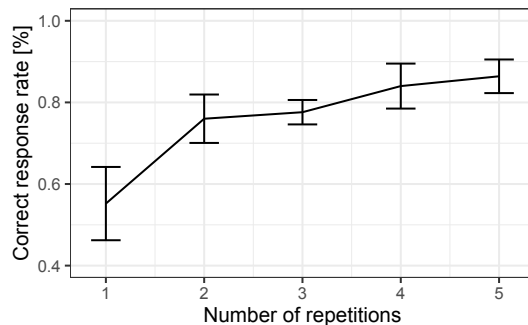


図 4: 学習回数ごとの聴覚情報を基にしたボール通過方向・距離判断の正答率

ブラインドサッカーにおいては、まず日本代表チーム選手における聴力検査を実施し、単純な聴力では晴眼者と変わらないことを示した。また、競技環境の音響計測を行い訓練システム開発のための基礎データを得た。次に、ボールをパスする際における音響特性を求めた。結果よりこの際の音レベル変化を元にすることで、ボール位置の推定に距離知覚能力が関わる可能性があると分かったため、ブラインドサッカー競技者を想定した聴能練習支援システムを試作した。以上を踏まえつつ、ブラインドサッカー競技中の選手の行動などの分析を行った上で、さらなる訓練要素の抽出・検討を実施した。

2) 近距離 (約 5 m 以下) における到来音の訓練システムの開発

本課題ではサウンドテーブルテニス (STT) を取り上げた。まず、前述したダミーヘッドマイクでサーブをレシーブする際のボールの到来音を計測 (図 5) し、ランダム提示する訓練システムを開発した。このシステムでは、自身の左右いずれに到来するか、レシーブすべきか見送るべきかを判定してもらうものである。STT 経験者において、このシステムを繰り返して使ってもらった結果、左右の判定およびボールをレシーブすべきかの判定能力が向上することがわかった。VR 空間での音源定位訓練結果が、実空間での音源定位能力の向上に寄与するという報告があるため、本システムによる訓練によって STT における音源定位能力の向上の可能性が示された。

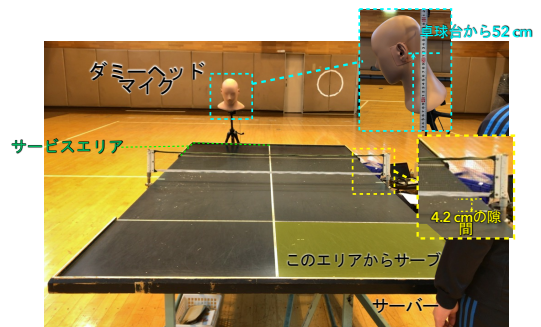


図 5: パイノーラル録音の様子

3) 密接距離(約 1 m 以下)における訓練システムの開発

本課題ではブラインドクライミングを取り上げた。最初に競技者にインタビューを行った結果、登攀コースが音で伝えられるため、わかりにくいケースがあると分かった。このため、点図ディスプレイと力覚提示システムを組合せた登攀コースの教示システム Hold-through (図 6) を開発した。その上で、ブラインドクライミングの経験者にて、本教示システムの効果について検討してもらった。この結果、点字を触読できない競技者では従来の音声での教示を好む一方で、点字が読める競技者では、音声での事前教示システムよりも本システムを好むとの結果が得られた。

4) 晴眼者における競技時の聴覚活用

晴眼者においても聴覚情報を活用して競技力を高めている可能性が、本研究計画の準備段階に判明したため、新たにこの課題に取り組んだ。

まず、バレーボール競技における聴覚利用に関してアンケート調査を行った。結果より、競技年数が長い者ほど、自軍におけるサブ・スパイクのレシーブ(レセプションおよびディグ)の際の発生音を有意に頼りにしてボールの方向を判断する点が示唆された。次に競技形式での行動実験を、プレーに関わる人数を変えつつ実施した。結果より、人数が多くなるほど、聴覚情報がより使われうる可能性があることを示した。

次に、野球・サッカー・テニスにおいて同様の聴覚情報の利用状況の他、アンビエントサウンド(観客の声など)が気にされるかを調査した。結果より、野球やテニスにおいて、サッカーよりもアンビエントサウンドが概して気にされた。さらに、野球においては、守備位置ごとの有意な差が確認され、投手よりも内野手が音情報を気にしている点が示された。次に、野球における守備側が聞く音について詳細に調査をするため、打球音に関する音響分析を実施した。まず、打者側方で収録された打球音の分析を行った。結果より、250 Hz 以下の周波数帯域の音の大きさが、打球方向や指導者視点での評価などで有意に異なることが分かった。次に、内野手・外野手の守備位置や打球種の違いによる音響分析を行った。現段階では、フライ・ゴロとで支配的な周波数帯域が異なることが分かっており、守備位置の違いについての分析をさらに進めている段階である。

最後に、COVID-19 感染流行に伴って無観客試合が増加した社会的背景を踏まえ、観客の有無による競技者・観戦者における音の臨場感に関して検討を行った。具体的には、観客の有無に伴う臨場感の違いについて、野球を想定したアンケート調査を実施した。結果より、無観客試合は競技者における競技意欲は有意に低い一方で、試合への意識は大きくないと示唆された。また、観戦者においては、観客がいることで得点に直接繋がるプレーや、得点阻止に繋がるプレーの臨場感が高まることが示唆された。

参考文献

- [1] L. Guttmann, "Textbook of Sport for the Disabled," HM&M Publishers, 1976.
- [2] JR Gold, et al., "Access for all: the rise of the Paralympic Games," J. R. Soc. Promot. Health, 127(3):133-141, 2007.
- [3] 文部科学省, 障害者スポーツに関する基礎データ集, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sports/027/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2015/06/15/1358884_09.pdf
- [4] T. Miura, T. Ifukube, S. Furukawa, "Contribution of acoustical characteristics to auditory perception of silent object," Proc. IEEE SMC, pp:1074-1079, 2011.
- [5] T. Miura, Y. Ebihara, M. Sakajiri, T. Ifukube, "Perceptions of sounding or silent objects' existence by visually impaired people in their daily life," NTUT Education of Disabilities, 10:9-15, 2012.
- [6] 坂尻 正次, 三浦 貴大, 大西 淳児, 曾我 晋平, 松尾 政輝, 小野 東, "ゴールボールにおける投球音の定位能力を訓練するアプリケーションの開発," 音講論(秋), 2017.

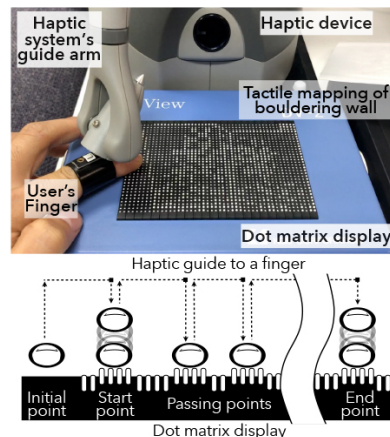


図 5: 登攀コースの教示システム Hold-through

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 三浦 貴大, 松尾 政輝, 坂尻 正次, 大西 淳児 | 4. 巻 197 |
| 2. 論文標題 ゴールボールにおける投球音の定位能力を訓練するアプリケーション | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 音響技術 | 6. 最初と最後の頁 36-41 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------|
| 1. 著者名 三浦 貴大, 上田 麻理 | 4. 巻 197 |
| 2. 論文標題 バレーボール競技の聴覚情報利用 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 音響技術 | 6. 最初と最後の頁 42-46 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Takahiro Miura, Katsumi Takahashi, Mari Ueda | 4. 巻 42 |
| 2. 論文標題 Acoustic cues in playing volleyball: Effects of the player's characteristics to listen to sounds carefully during the game | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Acoustical Science and Technology | 6. 最初と最後の頁 146 ~ 149 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1250/ast.42.146 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Takahiro Miura, Masaya Fujito, Masaki Matsuo, Masatsugu Sakajiri, Junji Onishi, Tsukasa Ono | 4. 巻 10897 |
| 2. 論文標題 AcouSTTic: A training application of aural sense on sound table tennis (STT) | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science | 6. 最初と最後の頁 3--11 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-94274-2_1 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 二村 亮平, 三浦 貴大, 高橋勝美, 田中 哲雄, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 球技の聴覚情報利用に関する基礎的検討 -競技者に対するWebアンケート調査 |
| 3. 学会等名 日本音響学会 2020年秋季研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 二村 亮平, 三浦 貴大, 中村 健太郎, 春日 秀雄, 新田 晃司, 高橋 勝美, 田中 哲雄, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 球技の聴覚情報利用に関する基礎的検討その2 -試合時の観客有無による競技者・観戦者の音による臨場感- |
| 3. 学会等名 日本音響学会 2021年春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 依田 裕雅, 磯川 昇汰, 新田 晃司, 三浦 貴大, 中村 健太郎, 春日 秀雄, 田中 哲雄, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 OpenPoseによる野球の動作解析と音響解析 |
| 3. 学会等名 日本音響学会 2021年春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takahiro Miura, Sho Aita, Tadahiro Sakai, Toshihiro Shimizu, Takuya Handa, Masatsugu Sakajiri, Junji Onishi |
| 2. 発表標題 Hold-through: Run-through of the holds on the bouldering wall through haptic/tactile guides for blind climbers |
| 3. 学会等名 Proceedings of the 2019 IEEE World Haptics Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takahiro Miura, Atsushi Katagiri, Ken-ichiro Yabu, Masaki Matsuo, Masatsugu Sakajiri, Tohru Ifukube |
| 2. 発表標題 Tactule: Tactile display modules utilizing multilayer-bimorph piezoelectric vibrators -Their applications in tactile game controllers (TactCon)- |
| 3. 学会等名 Proceedings of the 2019 IEEE World Haptics Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 サントス英二泉, 三浦貴大, 福永克己, 上田麻理 |
| 2. 発表標題 ブラインドサッカーにおける聴覚知覚能力の向上に関する研究 |
| 3. 学会等名 日本音響学会2020春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 岸田 陸空, 上田 麻理, 三浦 貴大 |
| 2. 発表標題 バレーボール競技の聴覚情報利用に関する基礎的検討その1 |
| 3. 学会等名 日本音響学会2018秋季研究発表会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 三浦 貴大, 曾我 晋平, 藤戸 雅也, 松尾 政輝, 坂尻 正次, 大西 淳児, 小野 束 |
| 2. 発表標題 音響VR技術を用いた視覚障害者スポーツの聴覚訓練支援: ゴールボールとサウンドテーブルテニス为例にして |
| 3. 学会等名 第44回(2018年)感覚代行シンポジウム |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 石田 卓也, 福永 克己, 三浦 貴大, 牧野 康一, 大鶴 徹, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 ブラインドサッカー競技での聴覚活用に関する基礎的検討 |
| 3. 学会等名 日本音響学会2019春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 岸田 陸空, 三浦 貴大, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 バレーボール競技の聴覚情報利用に関する基礎的検討その2 -プレーごとの音響特性と評価- |
| 3. 学会等名 日本音響学会2019春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 渡邊 道治, 三浦 貴大, 坂尻 正次, 大西 淳児 |
| 2. 発表標題 ゴールボールの競技状況を網羅的に聴覚訓練するアプリケーションの提案 |
| 3. 学会等名 第31回ライフサポート学会フロンティア講演会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高橋 隼人, 山口 雄大, 三浦 貴大, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 バレーボール競技におけるポジションごとの聴覚利用状況の検討 -聴覚遮断を用いたミニゲームによるプレーの違い- |
| 3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 福永 克己 |
| 2. 発表標題 東京パラリンピック 2020におけるブラインドサッカー日本代表の軌跡 |
| 3. 学会等名 日本音響学会2022年春季研究発表会（招待講演） |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 磯川 昇次, 新田 晃司, 三浦 貴大, 春日 秀雄, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 野球中継動画における打球音の音響的特徴と印象評価 |
| 3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 二村 亮平, 新田 晃司, 三浦 貴大, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 野球競技における打球音の音響学的特徴 -守備位置ごとの違い- |
| 3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高橋 隼人, 三浦 貴大, 上田 麻理 |
| 2. 発表標題 バレーボール競技における聴覚情報の利用に関する実験的検討 ~聴覚遮断によるプレーへの影響~ |
| 3. 学会等名 日本音響学会2021年秋季研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 三浦 貴大 |
| 2. 発表標題 視覚障害者が音で見る世界と人間拡張への応用 |
| 3. 学会等名 HCGシンポジウム2021 (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

上記で列挙した成果に加えて、以下の査読付き国際学会プロシーディングが採択されている。
 Michiharu Watanabe, Takahiro Miura, Masaki Matsuo, Masatsugu Sakajiri, Junji Onishi, GoalBaural-II: An Acoustic Virtual Reality Training Application for Goalball Players to Recognize Various Game Conditions, Lecture Notes in Computer Science 13342, 10 pages, 2022.

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|---|----|
| 研究分担者 | 大西 淳児 (Onishi Junji) (30396238) | 筑波技術大学・保健科学部・教授 (12103) | |
| 研究分担者 | 福永 克己 (Fukunaga Yoshiki) (50455945) | 筑波技術大学・保健科学部・講師 (12103) | |
| 研究分担者 | 上田 麻理 (Ueda Mari) (70786409) | 神奈川工科大学・情報学部・准教授 (32714) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 三浦 貴大 (Miura Takahiro) (80637075) | 国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |