

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12222

研究課題名(和文) 多人数が脳波で参加する仮想ライブ体験システムにおける一体感の実現

研究課題名(英文) Realization of a sense of unity in a virtual live concert system which multiple people attend via electroencephalography

研究代表者

堀江 亮太 (Horie, Ryota)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：60327690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ライブ体験システムにおいて、演者と複数の観客の相互作用から生じる一体感を実現する手法として、研究代表者らにより、複数の視聴者から簡易脳波計で脳波を測定し、精神的な盛り上がりに伴い増加する  $\beta/\alpha$  比を算出し、 $\beta/\alpha$  比に応じて視覚効果をライブ映像に生成し、視覚効果を視聴者全員が共有することで、一体感を感じられるライブ体験システムが開発された。

本研究では、10人や50人程の多人数が同時参加する同ライブ体験システムを開発し、ライブ視聴実験を行い、多人数が同時参加するときの一体感が実現することを示した。また、複数視聴者の  $\beta/\alpha$  比の変動の個人差によらず、視覚効果を安定に生成する有効な手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の学術的意義は、多人数が脳波で参加可能な仮想ライブ体験システムを開発したこと、同システムによるライブ視聴で、脳波で生成された視覚効果の共有による一体感の向上を示したこと、多人数視聴者の  $\beta/\alpha$  比に生じる集団現象を楽曲構造を反映した時間的変動などの現象として示したこと、 $\beta/\alpha$  比の変動の個人差によらず視覚効果を安定に生成する手法を開発したこと、ライブ視聴システムの諸要素を検討したことである。社会的意義は、研究で得られた知見が、ライブエンターテインメントにおけるバリアフリー化、ライブ会場不足解消、オンラインライブの発展に活かされることで、クオリティオブライフの向上に貢献することである。

研究成果の概要(英文)：The research representative developed a live concert experience system in which electroencephalography(EEG) signals of multiple audiences are measured by compact EEG recorders, increasing of  $\beta/\alpha$  ratio according to mental excitement is calculated, visual effects are generated in the live concert, the visual effects are shared by the audiences, and the audiences feel a sense of unity.

In this study, we developed live concert experience systems in which a large number of people (10 or 50) can participate at the same time, conducted live viewing experiments, and showed that the system realize a sense of unity when many people participate simultaneously. We also developed effective methods to generate the visual effects stably regardless of individual differences in the variation of  $\beta/\alpha$  ratio among multiple people.

研究分野：システム工学、情報通信工学、生体医工学

キーワード：脳波 仮想ライブ体験システム 一体感 脳波VRライブ ブレイン コンピュータ・インターフェース

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景：没入型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の登場により、自宅にいながら没入感のあるライブを視聴することが可能となっており、ライブ会場不足や、ライブ会場のバリアフリー化の遅れの解決が期待されていた。しかし、従来のライブ体験システムでは、受動的視聴が多く、「演者と複数の観客の相互作用から生じる一体感」が得られにくいという問題があった。ライブ体験システムにおいて「演者と複数の観客の相互作用から生じる一体感」を実現する手法の確立が必要であった。

(2) 学術的背景：そこで、研究代表者らは、複数の視聴者から簡易脳波計で脳波を測定し、精神的な盛り上がりに伴って増加する  $\beta/\alpha$  比を算出し、 $\beta/\alpha$  比が閾値を超えたときに視覚効果をライブ映像に生成し、生成された視覚効果を視聴者全員が共有して視聴することで、一体感を感じられるライブ体験システムを開発した。

先行研究では、仮想ライブ体験システムにおいて「視聴者の精神的盛り上がりに応じて、演者のキャラクターから演出効果を受け取ることが一体感を得るための要素になる」という仮定のもと、単一の視聴者から簡易脳波計で脳波を測定し、精神的な盛り上がりに伴って増加する  $\beta/\alpha$  比 (脳波の  $\alpha$  波帯 [8-13Hz] と  $\beta$  波帯 [14-19Hz] のパワースペクトルの比) を算出し、 $\beta/\alpha$  比が複数の閾値を超えたときに星、ハート、桜吹雪といった視覚効果がライブ映像に生成される「脳波参加型ライブ体験システム」が開発された。ライブ視聴実験により、 $\beta/\alpha$  比の上昇により視覚効果が生成されることが確認され、主観評価では「盛り上がりを感じたタイミングで視覚効果が現れていた」という傾向が報告された [引用文献①など]

この方法では「演者と複数の観客の相互作用から生じる一体感」を感じる体験は得られにくい。そのため、同システムを複数の視聴者が同時視聴する「脳波を用いた複数人同時参加型仮想ライブ体験システム」が開発された。複数の視聴者から簡易脳波計で脳波を測定し、 $\beta/\alpha$  比を算出し、 $\beta/\alpha$  比が閾値を超えたときに視覚効果をライブ映像に生成し、生成された視覚効果を視聴者全員が共有して視聴する。視聴者ごとに  $\beta/\alpha$  比が閾値を超えたときに視覚効果を生成し、全視聴者で共有し視聴する「クライアント型」と、全視聴者の  $\beta/\alpha$  比の平均値が閾値を超えたときに視覚効果を生成する「サーバ型」が提案された。3人一組のライブ視聴実験により、どちらも脳波に基づく視覚効果が生成され全視聴者に共有されることが確認された。「クライアント型」では、他のユーザと視覚効果を共有しない従来のシステムと比較して「一体感」の主観評価が上回り、一名の使用者が生成した視覚効果を見ることで他の視聴者も視覚効果を生成する「精神的な盛り上がり」の伝播が示唆された。「サーバ型」でも、 $\beta/\alpha$  比の増加のタイミングが揃って視覚効果が生成されたときには一体感や達成感を感じる感想が得られた [引用文献②]。

この複数人同時参加型仮想ライブ体験システムを大域結合写像で数理モデル化しシミュレーションする研究では、「ライブの楽曲進行により各視聴者の  $\beta/\alpha$  比が増加し視覚効果が生成され、その視覚効果が視聴者間で共有されることで、各視聴者  $\beta/\alpha$  比が増加し視覚効果が生成される」というポジティブフィードバック構造によって、「クライアント型」、「サーバ型」ともに、多人数視聴者 (50人) の  $\beta/\alpha$  比の変動に集団現象として同期が生じることが示された。この集団的ダイナミクスが、ライブ会場における「演者と複数の観客の間に形成される一体感」を生み出す数理的構造であると論じられた [引用文献③]。

(3) 学術的な問い：以上の背景から以下の学術的問いが考えられた。

問い1：上記の数理モデル研究が予測する、多人数が参加するライブ体験システムにおける多人数視聴者の  $\beta/\alpha$  比に生じる集団現象 (同期) と、それによる「演者と複数の観客の間に形成される一体感」の実現が、実際に生じるか。これを実験的に検証する必要がある。

問い2：複数視聴者の  $\beta/\alpha$  比の変動には個人差があるため、「クライアント型」では複数視聴者間で視覚効果の生成に偏りが生じる問題があり、「サーバ型」では複数視聴者間で  $\beta/\alpha$  比が増加するタイミングが揃いにくい問題がある [引用文献②]。これを解決し、視覚効果を安定に生成する手法は何か。有効な手法を開発し、検証する必要がある。

## 2. 研究の目的

先行研究では3人一組が同時参加するシステムを開発したが、本研究では、多人数が同時参加するライブ体験システムを開発し、多人数 (10人~50人) が同時参加するときの一体感の実現について調査する。具体的には以下の通りである。

上記問い1に対して：多人数が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムを開発し、ライブ視聴実験を実施し、脳波データの解析により多人数視聴者の  $\beta/\alpha$  比に生じる集団現象を分析し、主観評価により「演者と複数の観客の間に形成される一体感」の実現について調べる。

上記問い2に対して：複数視聴者の  $\beta/\alpha$  比の変動の個人差によらず、視覚効果を安定に生成する有効な手法を開発し、検証する。数理モデルで手法の安定性を予測した後に、実験的に検証する。

### 3. 研究の方法

研究開始当初は、以下の方法での調査を計画した。

- (1) 10 人程が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムの開発：研究代表者らは、これまで3 人一組が参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムを開発した。これを拡張し、集団的振る舞いが調べられる10 人程が参加できるシステムを開発する。
- (2) 10 人程が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムにおける一体感の調査：10 人程が参加するライブ視聴実験を実施し、脳波データの解析により、10 人程の視聴者の  $\beta/\alpha$  比に生じる集団現象を分析し、主観評価により「演者と複数の観客の間に形成される一体感」の実現について調べる。
- (3) 視覚効果を安定に生成する手法の開発：複数視聴者の  $\beta/\alpha$  比の変動の個人差によらず、視覚効果を安定に生成する有効な手法を開発、検証する。視覚効果生成の安定性を、数理モデルで予測をした後に、視聴実験を実施し、検証する。（なお、当初の計画では、10 人程が参加する検証実験を計画していたが、研究期間中に新型コロナウイルス状況禍となり、その間は感染予防対策のもとで人数を制限した検証実験を行った。）
- (4) 50 人程が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムの開発：実応用に向けて、複数視聴者の  $\beta/\alpha$  比の変動の個人差によらず視覚効果を安定に生成する手法を用いて、ネットワーク通信を介して50 人程が参加できるシステムを開発する。
- (5) 50 人程が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムにおける一体感の調査：50 人程がネットワーク通信を介して仮想ライブを体験する実地検証実験を行い、脳波データの解析により、50 人程の視聴者の  $\beta/\alpha$  比に生じる集団現象を分析し、主観評価により「演者と複数の観客の間に形成される一体感」の実現について調べる。

### 4. 研究成果

上記の調査方法および関連する調査で得られた研究成果を記す。

- (1) 10 人程が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムの開発：

研究代表者らは、3 人一組が脳波で参加する仮想ライブ体験システムを開発していたが[引用文献②]、視覚効果を発生させる機能の実装から、発生させられる視覚効果の種類に限りがあるため、同時視聴人数が限定されていた。このため、このシステムを拡張し、旧システムから実装を一新し、10 人が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムを開発した。

完成したシステムの動作確認実験を実施し、システムが問題無く動作することを確認した。これにより、参加者の脳波の集団的振る舞いが調べられる、10 人が参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムの実験実施が可能となった。さらに、開発したシステムは、研究代表者らが提案する「クライアント型」や「サーバ型」といった各種のライブ構造 [引用文献③] を柔軟に実現し、また、視覚効果を安定に生成する手法の開発や、50 人が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムの開発にも、汎用的に拡張できるものである。

以下に開発したシステムの詳細を述べる。開発したシステムは、簡易脳波計および VRHMD、クライアント PC をそれぞれユーザ数である 10 人分と、加えて、1 台のサーバ PC で構成される。ユーザは簡易脳波計と HMD を同時に装着し、仮想ライブ体験プログラムにて、仮想ライブ映像を視聴する。簡易脳波計で計測された脳波信号は、クライアント PC 上の  $\beta/\alpha$  比算出プログラムに Bluetooth を用いて送信される。 $\beta/\alpha$  比算出プログラムは、受信した脳波信号をもとに  $\beta/\alpha$  比（脳波の  $\alpha$  波帯 [8-13Hz] と  $\beta$  波帯 [14-19Hz] の振幅スペクトルの比を用いた）を算出し、同 PC 上のクライアント用データ処理プログラムに TCP/IP で送信する。クライアント用データ処理プログラムでは、受信した  $\beta/\alpha$  比に対応する視覚効果生成コマンドを算出する。その後、算出された視覚効果生成コマンドは、 $\beta/\alpha$  比とともに、サーバ PC 上のサーバ用データ処理プログラムに TCP/IP で送信される。サーバ用データ処理プログラムは、受信したデータを同 PC 上のサーバ用ライブプログラムに TCP/IP で送信する。サーバ用ライブプログラムでは、受信したデータから視覚効果生成コマンドを判別し、そのコマンドに対応する視覚効果生成命令を、全クライアント PC 上のライブプログラムに一斉送信する。命令を受信した全 PC 上のライブプログラムは直ちに視覚効果を生成し、仮想ライブの映像に反映する。以上の処理より、ユーザの脳波情報に基づいて生成された視覚効果を、全ユーザに共有することができる。

- (2) 10 人程が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムにおける一体感の調査：

上記の仮想ライブ体験システムを開発した際に得た「クライアント型」の予備実験のデータ（10 人×2 組）を用いて、視聴者の  $\beta/\alpha$  比に生じる集団現象と主観評価の分析を行った。

- ①  $\beta/\alpha$  比に生じる集団現象の分析：実験データから、 $\beta/\alpha$  比が個人、実験集団、実験条件によって差があることが示された。先行研究の数理モデル研究が予想した多人数視聴者の  $\beta/\alpha$  比に生じる集団現象（同期）は、 $\beta/\alpha$  比に対する時系列データの因果関係分析では顕著な傾向は定量的に示されなかった。いっぽうで、 $\beta/\alpha$  比のデータには、楽曲構造を反映した時間的変動や、楽曲構造の一部で  $\beta/\alpha$  比が集団的に減少する現象が示された。
- ② 主観評価：視覚効果を共有しない視聴と比較して、視覚効果を共有した視聴では、盛り上がりを感じたタイミングでの視覚効果の発生、面白さ、盛り上がり、時間を忘れるほどの没入感、一体感、ライブの良さ、などの評価項目において評価が高くなることが示された。
- (3) 視覚効果を安定に生成する手法の開発：

以下の手法を開発し、検証実験を行い評価した。

- ① 数視聴者の $\beta/\alpha$ 比の変動の個人差によらずに視覚効果を安定に生成する有効な手法：「クライアント型」を含む仮想ライブ体験システムにおいて、複数視聴者間で視覚効果生成の閾値を調整する手法として、ユーザの $\beta/\alpha$ 比のデータに基づいて視覚効果生成に用いる $\beta/\alpha$ 比の閾値を適応的に調整する手法を考案し、上記予備実験のデータを用いて検証し、実装し、検証実験（4人）を行った。調整手法を用いない場合に比べて、提案手法では安定して多くの視覚効果が生成される傾向が示された。
- ② 複合現実を用いたライブ体験システムにおいても、①と同様の閾値調整手法を開発し、実装し、検証実験（10人）を行った。提案手法により多くの視覚効果が生成される傾向が示された。
- ③ 楽曲進行などに伴う感情曲線に基づいて視覚効果生成に用いる閾値を調整する手法：「サーバ型」において、楽曲進行などに伴う感情曲線に基づいて視覚効果生成に用いる閾値を調整する手法を考案し、上記予備実験のデータを用いた検証をし、実装し、検証実験（3人×2組）を行った。提案手法では、楽曲の進行に伴って視覚効果の生成頻度を制御できる可能性が示された。
- ④ 「サーバ型」において時間窓内における $\beta/\alpha$ 比の最大値を視聴者間で平均する手法：「サーバ型」において、時間窓内における $\beta/\alpha$ 比の最大値を視聴者間で平均することで $\beta/\alpha$ 比上昇タイミングの個人差を緩和する手法を考案し、実装し、検証実験（6人）を行った。提案手法では、視覚効果の生成回数を増加させる可能性が示された。
- ⑤ 50人程が参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムのシミュレーション：実際のVRライブの実施条件に近づけた数理モデル（微分方程式モデル）を提案し、数値実験を行った。50人が参加するライブで安定して適量の視覚効果を生成するためには、「分散サーバ型」において時間窓内の最大値平均（上記④）を用いることが最適であると示唆された。
- (4) ライブ体験システムの諸要素の検討：  
ライブ体験システムにおける以下の諸要素を検討した。  
(視覚効果について)- ① 効果的な視覚効果の形と色の検証を行った。アンケート調査（17名）を実施し、視覚効果に適した色と形を選定した。  
(通信遅延について)- ② 視聴者がオンラインで参加する状況における通信遅延の影響を低減する方法を検討した。リカレントニューラルネットワークを用いて $\beta/\alpha$ 比の変化を予測する手法を考案し、上記予備実験のデータを用いて検証した。- ③  $\beta/\alpha$ 比による視覚効果生成の体感への通信遅延の影響を調べるため、人工的に遅延を発生させ、検証実験（10人）を行った。最大1秒までの通信遅延を伴って視覚効果が生成される仮想ライブの視聴では、通信遅延を伴わないライブ視聴と比べて、視聴者は視覚効果の生成に違和感を感じるが、ライブの楽しさには影響がない可能性が示された。  
(ライブ視聴形態について)- ④ 仮想ライブ体験システムにおける観客視点の導入を考案し、実装し、検証実験（3人×2組）を行った。提案システムでは、観客の視点を導入することによる一体感の向上が示唆された。- ⑤ 仮想ライブ体験システムをオンラインで視聴する検証実験（4人）を実施し、評価した。オンライン参加でも、精神的盛り上がりを得ることは可能であるが、対面参加と比べて精神的盛り上がり小さいことが示唆された。- ⑥ 「クライアント型」と「サーバ型」を融合した仮想ライブ体験システムを考案し、実装し、検証実験（5人×2組）を行った。提案システムでは、視聴者がより他者の存在を感じる可能性が示唆された。- ⑦ ソーシャルVRサービスにおいて脳波状態を共有するシステムを考案し、実装し、検証実験（5人）を行った。提案システムでは、視覚効果を生成、共有することでユーザの体験が向上することが示唆された。また、提案システムにおいて、 $\beta/\alpha$ 比の値と視覚効果生成の関係を選択的に調整する手法を考案し、実装した。  
(複合現実について)- ⑧ 複合現実を用いたライブ視聴に適した視聴環境について、映像視聴による評価実験（11人）を行った。視聴者の場所は暗く、演者の場所は明るい状況が適していることが示唆された。- ⑨ 複合現実グラスでライブを視聴するシステムを開発し、ライブ視聴実験（12人）を行った。ライブ視聴の評価が、現実空間におけるライブの表示に綿密に関係することが示唆された。  
(演者について)- ⑩ 演者が $\beta/\alpha$ 比に基づき視覚効果を生成するシステムを開発し、検証実験（演者3人および6人）を行った。視覚効果による演出のないライブと比べて、提案システムでは面白さ・楽しさ、臨場感、盛り上がりが向上することが示唆された。- ⑪ 演者と視聴者が $\beta/\alpha$ 比に基づき視覚効果を生成し共有するシステムを開発し、検証実験（演者1人と視聴者3人×2回、演者1人と視聴者4人×2回、予備実験8人）を行った。演者と視聴者が脳波で生成する視覚効果を共有することで、一体感をはじめとした評価が向上することが示された。
- (5) 50人程が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムの開発：  
50台の簡易脳波計から信号を受信し、視覚効果を生成、共有する仮想ライブ体験システムを開発した。実験で使用する簡易脳波計を検討した。ハードウェアとしてマイコンを用いて実装を

した。マイコンを用いることにより、多人数が参加するライブ体験システムの安価な実装と、実験時の簡易な操作を実現した。開発したシステムでは、簡易脳波計で計測された脳波信号はマイコンにBluetoothを用いて送信する。マイコンは $\beta/\alpha$ 比を計算し、 $\beta/\alpha$ 比をサーバPCへTCP/IPで送信する。サーバPCは受信した $\beta/\alpha$ 比に対応する視覚効果生成コマンドを算出し、視覚効果生成コマンドをライブプログラムにTCP/IPで送信する。

また、ソフトウェアとして、ライブ視聴や市販のVRHMDの多様化に対応して、テザー型VRHMD、スタンドアロン型VRHMD、タブレット端末などの多様なデバイスでの視聴を可能とするシステムを開発した。

(6) 50人程が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムにおける一体感の調査：

無人での動作確認実験を実施し、開発したライブ視聴システムが50台の脳波計からの信号を同時に受信し、動作することを確認した。一つの場所で50台を動作させると電波干渉が理由と考えられる接続不良が生じたが、その中でも短時間ではあるが50台の接続を確認した。なお、開発したシステムは、視聴者が同一箇所に集まらない場合や、ネットワーク通信を介した視聴では、50人での視聴を可能にすると考えられる。また、14人の視聴者が、テザー型VRHMD、スタンドアロン型VRHMD、大型モニタの視聴に分かれて同時視聴し、「分散サーバ型」により視覚効果を生じ、共有する実験を実施した。実験の様子を図1に示す。主観評価により「複数の観客の間に形成される一体感」が得られることと、ライブ開始までの時間を短くすべきことが示された。なお、この実験では、複数視聴者の $\beta/\alpha$ 比の変動の個人差によらず視覚効果を安定に生成する手法は用いなかった。



図1 複数人同時参加型仮想ライブ体験システムの同時視聴実験の様子：(左) シアターによる視聴、(中央) テザー型VRHMDによる視聴、(右) スタンドアロン型VRHMDのパススルー機能による視聴（「ユニティちゃんライブステージ！-Candy Rock Star-」を使用 ©Unity Technologies Japan/UCL）

(7) その他の基礎的な検証：

ライブ視聴時の脳波測定について基礎的な検証を行った。

- ① ライブ体験システムに用いる脳波指標の検証について、楽曲視聴中の脳波のデータベースを用いて、振幅変動を予想する手法の開発と検証を行った。短期間の脳波の振幅変動が予想できることが示唆された。
- ② 額部の単一電極で測定した脳波から感情を推定する手法の開発と検証を行った。提案する推定手法の有効性が示された。
- ③ 仮想ライブ視聴システムと多電極脳波計の同時測定実験系を開発し、同時測定実験を実施した（4人）。安定した同時計測が課題となった。

(8) 結果のまとめ

以上、多人数が同時参加するライブ体験システムを開発し、多人数が同時参加するときの一体感の実現について調査した。10人や50人が脳波で参加する複数人同時参加型仮想ライブ体験システムを開発した。10人が参加するライブ視聴実験では、先行研究の数理モデル研究が予想した多人数視聴者の $\beta/\alpha$ 比に生じる集団現象（同期）は定量的には示されなかったが、楽曲構造を反映した時間的変動や、楽曲構造の一部で $\beta/\alpha$ 比が集団的に減少する現象が示された。10人や14人が参加するライブ視聴実験や、ライブの諸要素を検討する実験では、脳波で生成された視覚効果を共有することで、一体感が向上することが示された。また、複数視聴者の $\beta/\alpha$ 比の変動の個人差によらず、視覚効果を安定に生成する手法を開発し、その有効性を確認した。国内外で他に報告がほとんどない研究成果である。50人が参加する視聴実験を実施することが継続的な課題であり、視聴者の $\beta/\alpha$ 比に生じる集団現象が定量的に示されることが展望である。

<引用文献>

- ① Ryota Horie, Minami Wada, Eri Watanabe, Participation in a virtual reality concert via brainwave and heartbeat, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 585, Advances in Affective and Pleasurable Design, WonJoon Chung, Cliff Sungsoo Shin Eds., Springer International Publishing AG, Basel, 2017, 276-284
- ② 小林将平、堀江亮太、脳波を用いた複数人同時参加型仮想ライブ体験システム、信学技報、vol. 118, no. 257・MBE2018-27、2018、1-6
- ③ 堀江亮太、小林将平、生体情報を用いた複数人同時参加型仮想ライブ体験システムで生じる集団現象の動的システムモデリング、信学技報、vol. 118, no. 257・MBE2018-28、2018、7-12

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2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 1件）

1. 著者名 Angel Munoz-Gonzalez, Ryota Horie	4. 巻 8 (1)
2. 論文標題 EEG Signal Power Prediction Using DEAP Dataset	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Bioinformatics and Neuroscience (JBINS)	6. 最初と最後の頁 370-380
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 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Angel Munoz-Gonzalez, Shohei Kobayashi, Ryota Horie	4. 巻 VOL. 52
2. 論文標題 A Multiplayer VR Live Concert With Information Exchange Through Feedback Modulated by EEG Signals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Human-Machine Systems	6. 最初と最後の頁 248-255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THMS.2021.3134555	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14件（うち招待講演 0件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Angel Munoz-Gonzalez, Ryota Horie
2. 発表標題 Threshold Adjustment of Beta-Alpha Ratio of EEG Signal for Generation of Visual Effects in a VR Live Concert
3. 学会等名 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井手康太, 堀江亮太
2. 発表標題 演者と観客の脳波状態が提示されるVRライブストリーミングシステムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会, MEとバイオサイバネティクス研究会 (MBE), 2021年11月26日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Munoz Gonzalez Angel, Kobayashi Shohei, Horie Ryota
2. 発表標題 Implementation of a Virtual Reality Live Concert Experience Systems Attended by 10 People via Brainwaves
3. 学会等名 電子情報通信学会2021年総合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井手康太, 堀江亮太
2. 発表標題 仮想現実空間でのジャグリングにおいて演者が行う操作の説明が観客へ与える影響
3. 学会等名 エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菰田有希乃, 堀江亮太
2. 発表標題 脳波を用いた仮想現実ライブ体験システムにおける時間窓を用いたサーバ型視覚効果生成手法
3. 学会等名 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティックス研究会 (MBE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kota Ide, Ryota Horie
2. 発表標題 Enhancing the Sense of Unity With Performers in VR Space by Mutual Presentation of Electroencephalogram Information
3. 学会等名 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Angel Munoz-Gonzalez, Ryota Horie
2. 発表標題 EEG Signal Power Prediction Using DEAP Dataset
3. 学会等名 2022 7th International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Science (ICIIBMS) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kota Ide, Ryota Horie
2. 発表標題 Improving a Sense of Unity via Brain Waves in a Virtual Concert Where Performances in Real Space are Watched in a Virtual Space
3. 学会等名 the 32nd International Conference on Artificial Reality and Telexistence & the 27th Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICAT-EGVE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 門田光揮, 井手康太, 堀江亮太
2. 発表標題 ソーシャルVRにおいて脳波状態を共有するシステムの開発
3. 学会等名 電子情報通信学会 2023年総合大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横場孝輝, 堀江亮太
2. 発表標題 複合現実グラスと簡易脳波計を用いた脳波ライブ体験システムの開発
3. 学会等名 電気学会, 2023年8月25日光・量子デバイス研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菰田有希乃, 堀江亮太
2. 発表標題 脳波を用いた50人同時参加型仮想現実ライブの動的システムモデリングによる実施条件の検証
3. 学会等名 電子情報通信学会, MEとバイオサイバネティクス研究会 (MBE), 2024-01-NC-MBE-NLP-MICT
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 王浩然, 峰岸優太, 堀江亮太
2. 発表標題 仮想現実ライブ鑑賞時に簡易脳波計と多チャンネル脳波計で同時計測した脳波信号の分析
3. 学会等名 電子情報通信学会, MEとバイオサイバネティクス研究会 (MBE), 2024-01-NC-MBE-NLP-MICT
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kouki Yokoba, Horie Ryota
2. 発表標題 Threshold Adjustment of Beta-Alpha Ratio of EEG Signal in a Mixed Reality Live Concert
3. 学会等名 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2024), poster presentation (in press) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Shion Nakagawa, Kengen Koshino, Michihiro Kubo, Ryota Horie
2. 発表標題 A Demonstration Experiment Toward Practical Application of a Multi-Device, Multiplayer EEG Live Concert
3. 学会等名 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2024), poster presentation (in press) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

本研究の内容を2件のセミナーで発表した。  
・堀江亮太、「生体情報で世界をつなげるライブ」の実現を目指して、港区×芝浦工業大学オープンイノベーション創出セミナー・交流会2020、2020年11月27日  
・堀江亮太、「生体情報で世界をつなげるライブ」の実現を目指して～未来のライブの可能性～、芝浦工業大学公開講座、2022年3月5日

本研究を含む研究代表者らの研究について2件の取材を受けた。  
・Unity Japan、「未来のエンタメは「脳波×ゲームエンジン」が変わる!?(BCI研究者・堀江亮太さんインタビュー)」、Unity Japan - note、2022年4月14日 [https://note.com/unityjapan/n/n6ca815cfee37?magazine\\_key=m4163ef831001](https://note.com/unityjapan/n/n6ca815cfee37?magazine_key=m4163ef831001)  
・BSフジ ガリレオX 第309回「ブレイン・マシン・インターフェース研究最前線 脳の活動を読み取り機械を動かす」、本放送：2024年2月25日朝08:28～08:58、再放送：2024年3月3日朝08:28～08:58

本研究を含む研究代表者らの研究について、研究代表者の本務先大学の広報動画2件で紹介した。  
・【SIT Lab Vol.15】脳波で操作を当たり前(情報通信工学科 堀江亮太教授)、2021年10月22日、<https://www.youtube.com/watch?v=dQ51C7xn0zU>  
・脳波と情報通信技術の組合せ ブレイン コンピュータ・インターフェースの可能性って?(情報通信工学科 堀江亮太 教授)【SIT Lab スピンオフ企画!先生、何の研究してるんですか?】、2023年2月21日、[https://www.youtube.com/watch?v=m53u8wcq\\_74](https://www.youtube.com/watch?v=m53u8wcq_74)

本研究の内容について、1件のパネルディスカッションと1件の解説論文でごく簡単に紹介した。  
・バーチャル学会2022, オーガナイズドセッション「VR×ニューロテック」、2022年12月17日、<https://www.youtube.com/watch?v=QZAYe1tMJrg>  
・堀江亮太、「頭皮脳波を用いたブレイン-コンピュータ・インターフェース技術の展開」、電気学会論文誌C, 2023年143巻4号 p. 379-382, DOI:10.1541/ieejieiss.143.379

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------