

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 6 日現在

機関番号：32422
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2014～2016
 課題番号：26330289
 研究課題名(和文)複合生体信号計測に基づく人間のリラクゼーション評価と癒しサウンド生成システム構築

 研究課題名(英文)Evaluation of Human Relaxation Based on Multi-biological Signal Measurement and Construction of Healing Sound Generation System

 研究代表者
 前田 陽一郎(Maeda, Yoichiro)

 ものつくり大学・技能工芸学部・教授

 研究者番号：40278586

 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の1年目では、まず脳波の周波数パワー含有率からリラックス度を算出する手法と生成サウンドのリラクゼーション効果の評価についての研究を行った。次に、ユーザの脳波を解析することでリラクゼーションサウンドを生成するよう大規模カオスのパラメータをチューニングするシステムを構築した。

さらに本研究の2年目では、ファジィ推論により心拍変動の心拍間隔(RR1)に基づいたリラックス度を判定するシステムを構築することを試みた。本研究の最終年度では、脳波と心拍以外の生体情報として発汗情報を用いてリアルタイムに人間の累積リラックス度の推定を試み、リラクゼーションサウンド生成システムの検証実験を行った。

研究成果の概要(英文)：In the first year of this research, the calculation method of relaxation degree from the frequency power content ratio of brain wave and the evaluation for the relaxation effect of generated sounds were developed. Next, a system for tuning the parameters of network of chaotic elements to generate relaxation sounds analyzing brain wave information has been developed.

Furthermore, in the second year of this research, the author tried to construct a system to judge the degree of relaxation based on the R-R interval of heartbeat by using fuzzy reasoning. In the last year of this research, the author tried to construct an estimation method of human relaxation degree using sweat information as the biological information except brain waves and the heartbeat, and performed the relaxation sound generation experiment.

研究分野：総合領域

キーワード：ファジィ理論 ヒューマンコンピュータインタラクション リラクゼーション 生体信号計測 サウンド生成

1 研究開始当初の背景

研究代表者らはこれまでに脳波計測によるリラクゼーション度推定手法に関する研究を行ってきた。ここでは、波、波、波の各周波数帯のパワー含有率を求め、人間のリラクゼーション度合いを検出できる。しかしながら、脳波による生体情報だけでは正確な人間の癒しの度合いが把握できないと考えたため、脳波以外の生体情報も利用することを本研究では目指した。

さらに研究代表者らは、インタラクティブサウンドに関する研究として、ICAS(Interactive Chaotic Amusement System) という多様な視覚的、聴覚的アミューズメント効果を与えるカオス理論を用いたサウンド生成システムの開発を進めてきた。ICAS は、カオス要素を複数結合させた大規模カオスにより同期性や非同期性を制御し、音高・音長・音量に変化を与えることで、多様な音を生成できる。

本研究では、この ICAS の大規模カオスのパラメータを生体信号(脳波・心拍・発汗など)を用いてチューニングすることにより、人間が心地良いと感じるリラクゼーションサウンドを生成するシステムの構築を目指した。

2 研究の目的

本研究では、人間のリラックス傾向を定量評価し、自律的に癒し効果を与えるシステムの構築を目指す。研究代表者がこれまで開発してきた大規模カオス(大域結合写像:GCM)に基づくサウンド生成システム(ICAS)を用いて、脳波とともに発汗、心拍、皮膚電位等の多様な生体信号をリアルタイム計測し、それらをもとに、総合的にリラックス度をファジィ推論により推定し、その値をバイオフィードバックにより自律的に癒し効果を増大させる方向に生成サウンドをオートチューニングさせるシステムを構築することを当初の目標とした。

本システムを構築するため、大別して以下の3つの研究課題を3年間で順次行い、最終的に感性評価を行うのが当初の計画である。

- (1) マルチ生体信号計測による人間のリラクゼーション度の推定手法の開発
- (2) リラクゼーション度に基づく ICAS サウンド生成のための自律的チューニング手法の開発
- (3) 上記の手法を統合したリラクゼーション実験におけるバイオフィードバック評価

3 研究の方法

以下では、実際に行った研究である、脳波情報に基づくリラクゼーションサウンド生成、心拍情報に基づくリラクゼーションサウンド生成、発汗情報に基づくリラクゼーションサウンド生成、について順次説明する。

3.1 脳波解析に基づくリラクゼーションサウンド生成

本研究では、ICASによる生成サウンドを聞いている被験者の脳波を簡易脳波計で計測し、リラクゼーションの度合を算出する。これに先立ち、まず脳波の波、波、波の帯域に対する全帯域中に含まれる割合を求める。つまり各帯域のパワーの総和を求め、全体のパワーの総和に対する割合を相対的な数値 G_θ 、 G_α 、 G_β として表わし、脳波パワー含有率と呼ぶ。

この脳波パワー含有率を用いてリラックス度 R を式(1)により推定する。この R が大きくなるほどリラックス傾向が強いと仮定する。式中の k_θ 、 k_α 、 k_β は各脳波パワー含有率の重み係数であり、事前実験によりあらかじめ被験者ごとに求めておく。

$$R = \frac{k_\theta G_\theta + k_\alpha G_\alpha}{k_\theta G_\theta + k_\alpha G_\alpha + k_\beta G_\beta} \quad (1)$$

R : リラックス度 (0 R 1)

G_θ 、 G_α 、 G_β : 脳波パワー含有率

k_θ 、 k_α 、 k_β : 脳波パワー含有率の重み係数

一般にリラックス状態とされるのは浅い睡眠時に多く現れる波と安静時に多く現れる波が比較的割合が高く、ストレス状態では集中時に多く現れる波の割合が高くなると考えられる。図1にストレス傾向とリラックス傾向を示す三次元状態図における脳波パワー含有率の傾向を示す。予測される傾向として、ストレス傾向では波と波に対して波が多く検出されるため、 G_β の割合が比較的高くなると考えられる。またリラックス傾向では、波に対して波と波が多く検出されるため、 G_θ と G_α の割合が高くなると考えられる。この三次元状態図では、 G_θ 、 G_α 、 G_β の座標軸の先端を結ぶ三角形の平面上は $G_\theta + G_\alpha + G_\beta = 1$

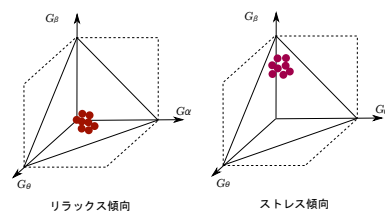


図1: 脳波パワー含有率によるリラックス傾向

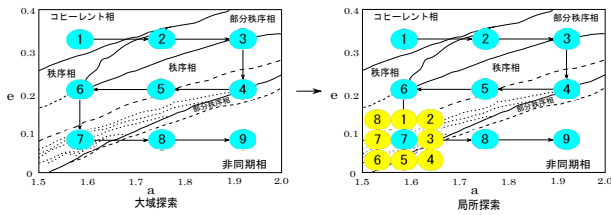


図 2: GCM パラメータのチューニング

で表され、脳波分布は必ずこの平面上に乗る。

本研究では、リラクゼーションサウンドを生成するために、式 (1) によりリラックス度 R を算出し、GCM パラメータのチューニングを自動で行う。この際、リラックス度 R の平均値が高くなった GCM パラメータの周辺でさらにサウンド出力を行う。まず図 2 の GCM 相図上で格子状に等分割に設定した 9 つの状態 (水色の点) にて被験者に番号順にサウンドを提示し、リラックス度 R の平均値が一番高くなった状態 (図例では 7 番) に移動する (大域探索)。さらにこの状態を中心に周辺 8 近傍の状態 (黄色の点) にて被験者に番号順にサウンドを提示し、リラックス度 R が一番高くなった状態に移動する (局所探索)。局所探索は a と e とともに同一の状態が 3 回続いたら、それを収束状態とした。

3.2 心拍情報に基づくリラクゼーションサウンド生成

心拍変動から得られる指標はさまざまである。本研究では、時系列解析で得られる心拍間隔 (RRI) に関する様々な指標を使用した。また、比較的大きな波である呼吸変動によって心拍指標が大きく変動するのを避けるため RRI のデータ数は 20 個とした。本手法では、リラックス評価指標として以下の 4 つのデータを用いた。括弧内はファジィラベルに用いたものである。

(1) $SDNN$ (Deviation)

RRI の標準偏差。概ね値はストレス状態で低く、リラックス状態で高くなる。

(2) $RRI_{max} - RRI_{min}$ (Margin)

この値はデータ範囲中の最大値から最小値を引いたものであり、データの広がりを観測できる。

(3) RRI_{av} (Average)

RRI 平均値 (以下 RRI_{av}) は体感から得られる指標。

(4) $rMSSD$ (Gradient)

RRI の差の自乗平均平方根であり、こちらもリラックス状態で高く、ストレス状態で低くなる。

ここでは、入力を前述の心拍変動の各指標、出力を

表 1: ファジィルールマップ

		SA			MA			LA			
		SG	MG	LG	SG	MG	LG	SG	MG	LG	
SDNN	RRI_{max}	SM	LS	MS	SS	MS	SS	SN	LS	SN	N
	RRI_{min}	MM	MS	SS	SN	SS	SN	N	SN	N	RN
MD	RRI_{av}	LM	SS	SN	N	SN	N	RN	N	RN	SR
	$rMSSD$	SM	MS	SS	SN	SS	SN	N	SN	N	RN
LD	RRI_{av}	MM	SS	SN	N	SN	N	RN	N	RN	SR
	$rMSSD$	SM	LS	SN	N	SN	N	RN	N	RN	SR
		LM	N	RN	SR	RN	SR	MR	SR	MR	LR

リラックス度とした表 1 のファジィルールを用いて推論を行うことにより各指標から総合的に判断し、リラックス状態・通常状態・ストレス状態を推定する手法を提案した。実験により得られたデータと経験値より、観測点と直前 19 点における RRI データよりいくつかの生理指標を抽出し、リラックス度 R を推定するファジィルールの作成を行った。ファジィラベルの説明は紙面の都合上割愛する。どの指標も基本的に大きければリラックス状態、小さければストレス状態であるため、表中では右下に行くほどリラックス度が高い。

3.3 発汗情報に基づくリラクゼーションサウンド生成

本研究では、まず発汗を計測し、皮膚コンダクタンス水準 (SCL) と皮膚コンダクタンス反応 (SCR) を解析してリラックス度 r_t を以下の式で推定した。5 秒間の r_t の総和を累積リラックス度 R_t とし、この R_t が大きいほどリラックスしていると仮定する。式 (2) はリラックスしている度合い、式 (3) はストレスしている度合いをそれぞれ求めるルールである。

$$IF SCR_t \leq 0 \ \& \ SCL_t \leq SCL_{t-1} \ THEN \ r_{t+1} \quad r_{t+1} \quad (2)$$

$$IF SCR_t > 0 \ \& \ SCL_t > SCL_{t-1} \ THEN \ r_{t+1} \quad r_{t-1} \quad (3)$$

r_t : 時刻 t におけるリラックス度 ($-100 \leq r_t \leq 100$)

SCR_t : 時刻 t における皮膚コンダクタンス反応

SCL_t : 時刻 t における皮膚コンダクタンス水準

R_t : r_t の 5 秒間の総和 (累積リラックス度)

発汗計測では、被験者に取り付けた発汗計より発汗情報の解析を行い SCL、SCR を出力する。この SCL、SCR を使って被験者の累積リラックス度 R を算出し、一連の処理をサウンド生成が終了するまで繰り返す。

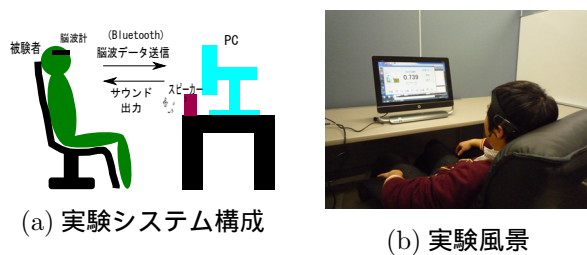


図 3: 実験システム

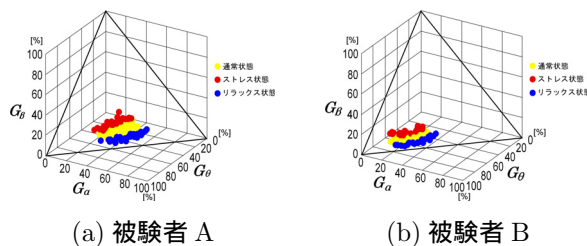


図 4: 被験者ごとの脳波パワー含有率

4 研究成果

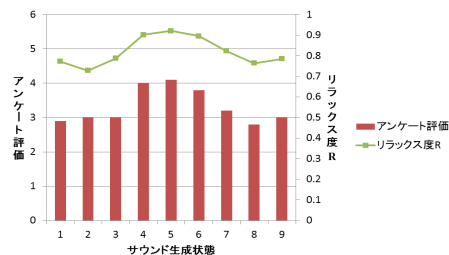
ここでは、前章で説明を行った各研究について実験を行った結果を研究成果として報告する。

4.1 脳波情報に基づくリラックスサウンド生成実験

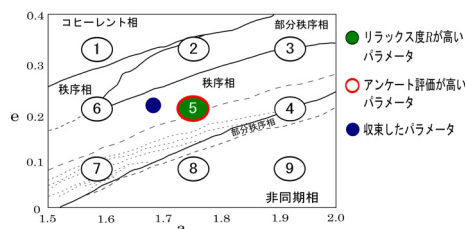
実験システム構成と実験風景を図 3 に示す。被験者にはリクライニングチェアに座って、簡易脳波計 (ZMP 製頭部電位センサ: 本研究室所有) を装着してもらい、安静状態とサウンド聴取状態で脳波計測を行った。この脳波計はスピーカー内蔵の PC に脳波データを Bluetooth で送信する。外部からの刺激を排除するため、被験者に対して実験を安静閉眼状態でを行い、周辺は防音のためパーティションで区切った。

20 代前半の男子学生 6 名に協力してもらい、通常時とリラクゼーションサウンド聴取時の脳波データを計測した。計測したデータからリラックス度 R の推定を行い、リラクゼーションサウンドを聴取することでリラックス度 R が増加するかどうかを検証した。

まず被験者にはリクライニングチェアに座り、脳波計を装着してもらう。最初に安静閉眼状態 (基準状態) の脳波データを取得するために、先に 1 分程度の休憩をとってから脳波データを 5 分間取得する。そのときの脳波からリラックス度 R の判定を行う。次に 5 分間休憩をとった後、リクライニングチェアに座ってもらい、サウンドを聴きながら脳波計から脳波データを 5 分間取得する。その際サウンドを生成し、リラックス度 R が高くなるように自動的に GCM パラメータ



(a) アンケート評価とリラックス度 R



(b) アンケートと GCM パラメータチューニング結果

図 5: 実験結果 (被験者 A)

をチューニングする。

被験者に対して、実験後に GCM パラメータの各番号におけるサウンドの評価と感想について SD 法を用いた 5 段階の評価アンケート (5 件法) を行った。本研究では実験の合い間にアンケート形式で紙面にて回答してもらった。紙面の都合上、6 名の各状態で得られた脳波データのうち被験者 A, B のみのパワー含有率を図 4 に示す。

さらに、サウンド生成実験結果とアンケート評価の比較を行った。紙面の都合上、被験者 A のみのアンケート評価とリラックス度 R および GCM パラメータチューニング結果の比較を図 5 に示す。アンケート評価とリラックス度 R の比較では、アンケートにおいて最も評価が高い状態のとき、リラックス度 R においても最も高くなる結果となった。また、アンケート評価とチューニング結果の比較についても同様に、アンケートにおいて最も評価が高い状態とチューニングしたサウンドの状態はほぼ同じ状態であることがわかった。

4.2 心拍情報に基づくリラックスサウンド生成実験

本実験で生体アンプとして、ポリメイトミニ (ニホンサンテック社製 Polymate mini: 本課題研究にて購入) を用いて計測を行った。ポリメイトミニでは、電極を用いて 8ch とアナログ入力 1ch を取得でき、Bluetooth 通信により PC とデータのやり取りが可能である。サウンド生成用として、ICAS により生成されたサウンドを再生するための十分な音量を出力可能なスピーカ

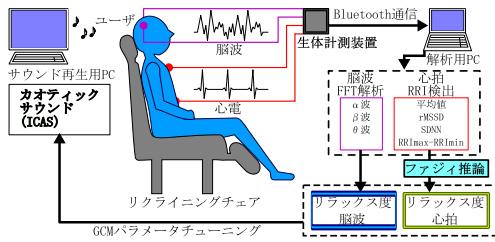


図 6: 実験環境

を搭載した PC を用いた。さらに、ポリメイトミニと Bluetooth によって通信を行う計測用 PC にはポリメイトミニ専用のデータ解析ソフトがインストールされており、脳波データの解析が可能である。

また実験参加者の主観情報を得るため、サウンド生成ごとにアンケートに回答してもらった。本実験では、リラックス「できた」～「できなかった」を 7 段階でチェックをつけてもらった。実験は周囲の環境による影響を考慮するため、パーティションで区切られた場所でサウンド生成用 PC にて ICAS によって生成されたサウンド聴取と、同時に心電・脳波の測定を行った。実験参加者はアンケート回答時以外は閉眼状態とした。実験環境を図 6 に示す。

初めに、本提案手法のリラックス度評価の有効性を検証するため、被験者の心臓上部の皮膚（計測電極）および左わき腹（接地電極）に電極を取り付けて心電位の計測を行った。RRI の計測は、計測データとして得られた心電位より R 波を検出し、その R 波の間隔を RRI とした。本実験で使用した生体アンプのデータ分解能は 500[data/sec] であるため、計測される RRI データは 2ms 間隔となる。

これらのデータに表 1 のファジィルールと調節を行った前件部をもつファジィ推論を適用した実験結果を図 7 に示す。グラフ中、赤、青、緑のエリアはそれぞれストレス状態、リラックス状態、通常状態を表している。ここでは、青いエリアと緑のエリアでファジィ推論結果が比較的高く、赤いエリアで比較的低い値を示しており、概ね主観評価に合うように推論結果が出力されているのが分かる。

次に、20 代の男子大学生 3 名（被験者 A,B,C）に協力をしてもらい、本手法を用いたリラクゼーションサウンド生成実験を行った。実験結果の一例として図 2 の GCM パラメータ 1 ～ 9 での被験者 B の脳波より算出したリラックス度 R (以下 R_{bw}) と心拍より算出したリラックス度 R (以下 R_{hb}) およびアンケート評価結果を図 8(a) に、 R_{bw} の最大値・ R_{hb} の最大値・

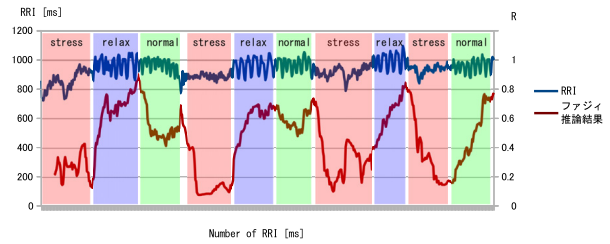


図 7: 実験結果 (RRI とファジィ推論結果)

アンケート結果の最大値を相図上に記載したものを図 8(b) 示す。

R_{bw} と R_{hb} について、アンケート結果との相関係数より、被験者によってリラックスが表れやすい指標が異なると考えられるが、今回の実験では、脳波のほうが心拍より優れた性能を示した。

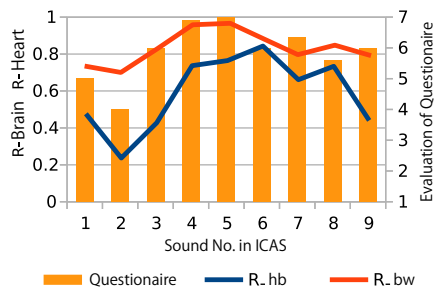
4.3 発汗情報に基づくリラックスサウンド生成実験

本実験は被験者に対して与える刺激を変化させ、各状態の発汗を皮膚電気活動測定装置により計測を行う。計測条件は意識集中（ストレス）、通常（ノーマル）、音楽聴取（リラックス）の 3 種類とする。音楽聴取では被験者に与える刺激としてヒーリングミュージック（波潜在能力開発：ヒーリング系作業用 BGM）を使用し、意識集中では計算問題を解答させた。通常に関しては刺激を与えない状態での計測とした。

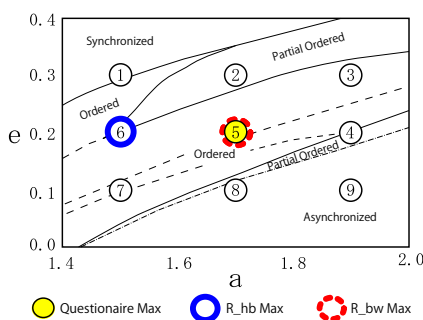
実験で使用した計測機器は、生体計測用のアンプとしてワイヤレス生体計測装置（ポリメイトミニ）を用いた。さらに発汗情報計測用として、皮膚電気活動測定装置（ニホンサンテック社製 EDA ユニット：本課題研究にて購入）を用いた。EDA ユニットは皮膚電気活動の測定ユニットである。これをポリメイトミニの外部入力に接続して、皮膚コンダクタンス水準 (SCL) と皮膚コンダクタンス反応 (SCR) を通電法により同時に測定することができる。

事前実験（図 9 参照）により、発汗計測が特にストレス検出に適しているということと、累積リラックス度 R がリラックス状態推定に有効であることが確認された。この実験は 20 代前半の男子学生 2 人に協力してもらい、意識集中（ストレス）、通常時（ノーマル）、音楽聴取（リラックス）の 3 種類の状態での発汗を計測した。実験結果より、リラックス傾向と判定された箇所（青い区間）とストレス傾向と判定された箇所（赤い区間）が被験者のアンケート結果とほぼ一致したことがわかった。

図 10 に各被験者の GCM パラメータチューニング



(a) アンケート評価とリラックス度 R



(b) GCM パラメータチューニング結果

図 8: 実験結果 (被験者 B)

結果を示す。累積リラックス度 R の検証実験と違い、より多くのデータを取るために 20 代前半の男子学生 5 人 (検証実験の被験者 A、B を含む) に協力してもらい実験を行った。リラクゼーションサウンドとして生成された GCM パラメータは 5 名の被験者がほとんど部分秩序相の周辺に現れることも確認された。

5 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

学会発表 (計 6 件)

- [1] 前田陽一郎, 村中慎吾, 佐々木真人, "大規模カオスに基づくサウンド生成システムによる人間に与える心地良さの分析," 第 30 回ファジィシステムシンポジウム, CD-ROM, pp.43-50 (2014.9)
- [2] Yoichiro Maeda, "Interactive Sound Generation for Relaxation Based on Heartbeat and Brain Wave," Proc. of 2015 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Istanbul, F-15342 (2015.8)

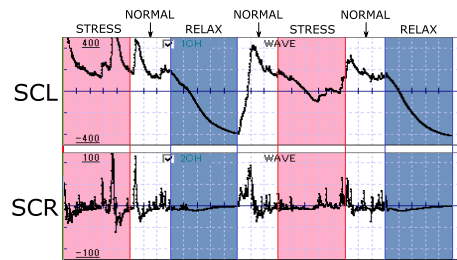


図 9: 実験結果 (被験者 A)

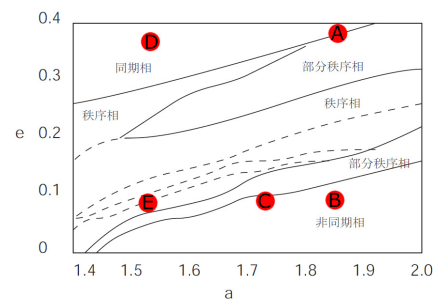


図 10: GCM パラメータチューニング結果

- [3] 前田陽一郎, "心拍情報に基づくリラクゼーションサウンド生成手法," 第 31 回ファジィシステムシンポジウム, CD-ROM, pp.29-34 (2015.9)
- [4] 前田陽一郎, "インタラクティブサウンド生成システムへの生体情報の適用," 日本知能情報ファジィ学会人間共生システム研究部会 第 20 回 HSS 研究会, HSS-20-2 (2016.2)
- [5] Yoichiro Maeda, "Analysis of Human Comfort by 1/f Fluctuation for Chaotic Sound Generation System," Proc. of IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI 2016), Vancouver, pp.1702-1707 (2016.7)
- [6] 寺本裕貴, 前田陽一郎, "発汗情報を用いたリラクゼーションサウンド生成システム," 日本知能情報ファジィ学会人間共生システム研究部会 第 4 回人間共生システムデザインコンテスト, HSS-22-5 (2017.3)

6 研究組織

- (1) 研究代表者 前田 陽一郎 (YOICHIRO MAEDA)
ものづくり大学・技能工芸学部・教授
研究者番号: 4 0 2 7 8 5 8 6