

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：34701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330317

研究課題名(和文)感性BMI (Brain-Machine Interface) に関する研究

研究課題名(英文)Research on Kansei-BMI (Brain-Machine Interface)

研究代表者

武田 昌一 (Shoichi, Takeda)

高野山大学・文学部・客員教授

研究者番号：10245293

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：人間の感性情報を脳情報として抽出し、機械が感性に応じた応答を行う新しいタイプのBMI (Brain-Machine Interface) を提案した。たとえば、感性情報の一つとして「感情」を脳情報として抽出し、これを制御パラメータとするBMI が確立すれば、言語障害者が自分の感情を相手に伝えたいときにアバター(自分そっくりロボットや自分の動画)を使って感情を伝えられるようになる。本研究期間では、このような「感性BMI」を構築するための基礎的な知見を、感情音声の認知・合成、音楽・視覚認知、小倉百人一首競技かるたを例とした究極の精神的・肉体的活動時の脳の反応、などの分野で蓄積してきた。

研究成果の概要(英文)：A new type of BMI (Brain-Machine Interface) has been proposed, which extracts a human's kansei (pathos or affective) information as his/her brain information and the machine responds depending on the kansei. For example, if "emotion" can be extracted as brain information and a BMI system is established using this brain information as control parameters, a person with speaking disabilities, if he/she wishes, can transmit his/her emotions through his/her avatar, i.e., a robot or an animated person. During the research period, our group has accumulated basic knowledge for constructing the "kansei BMI" in the following areas: cognition and synthesis of emotional speech, cognition of music or visual contents, brain responses during ultimate spiritual and physical activities taking the Hyakunin-Isshu karuta (card) game as an example, etc.

研究分野：情報学

キーワード：感性BMI 近赤外分光法イメージング装置 感情 脳の情報処理 音楽 画像 小倉百人一首 コンパートメントシステム

## 1. 研究開始当初の背景

近年、脳機能計測装置や計測技術の進展に伴い、医療の現場のみでなく、様々な分野で脳研究が盛んになってきた。その中には、(1) 様々な視聴覚刺激に対して脳がどのように反応してどのような情報処理をしていくかを解明する研究から、最近では(2)脳からの情報を指令として義手やコンピュータを制御するいわゆる BMI (Brain-Machine Interface) あるいは BCI (Brain-Computer Interface) の研究も盛んになり始めている [1]-[3]。

筆者らはこれまで感性情報解明研究の一環として、前者(1)の研究を主として脳波計を用いて行ってきた。

更に、「動き」が伴う、人間の知性、感性、運動など総合的に働かせる場面での脳の反応が計測できれば、芸術やスポーツなど、人類の高度な精神活動の根源を解明する道が開けるという考え方で、これまで筆者らは、人間の感性の問題を深く掘り下げ、本質に迫ることを目指した研究を行ってきた[4]。動きに対して雑音の影響を受けにくい光脳機能イメージング装置(脳血流を測定する装置、以下“fNIRS”と略称)を導入し、これまでに音楽行為時の脳の情報処理過程[5]や、小倉百人一首かるた競技時の選手の脳の情報処理過程[6]を解明する研究を遂行し、数多くの成果を創出してきた[4]。

感性情報処理の他の重要な応用分野として、筆者らは「音声合成」の研究も行ってきた。音声は話者の感情の表出手段のひとつでもある。したがって、感情を付加した音声によるコミュニケーションは、より人にやさしいインタフェースの応用開発には不可欠である。そこで筆者らは、種々の強さの感情を自由自在に変化させて表現することが可能な日本語音声規則合成システムを開発した[7]。

## 2. 研究の目的

本研究では、これまで行ってきた研究の成果に更に積み上げを行い、成果内容を洗練させるとともに、研究成果の集大成を見える形にして、なおかつ有益な応用実現形態を示すことを目標とする。具体的には、これまでの感性に関する研究の成果は、冒頭(2)の BMI という形でデモンストレーションをすることが出来ると考え、この形で種々の応用が可能であることを明らかにする。

たとえば、感性情報の一つとして「感情」を伝える BMI が確立すれば、言語障害者が自分の感情を相手に伝えたいときにアバター(自分そっくりロボットや自分の動画)を使って感情を伝えられるようになる。そのときに、これまでに開発してきた感情音声合成方式がロボットの口として有用な技術となる。

このような感性 BMI を実現するための基礎的な感性情報の特徴を実証的に明らかにすることが本研究期間における目標である。

## 3. 研究の方法

### 3.1 概要

4 年計画で研究を遂行していく。研究は、(a) 感性情報の特徴を明らかにする部分と、(b) それらの特徴を用いて BMI プロトタイプモデルを提案する部分、に分けられる。前者(a)は更に、(1)音声合成分野、(2)音楽・視覚認知分野、(3)小倉百人一首競技かるたを例とした究極の精神的・肉体的活動時の脳の反応、に分けられる。また、後者(b)は、(4) 新型感性コミュニケーション方法の開発、(5) 全体の総括(感性 BMI プロトタイプモデルの提案)に分けられる。

### 3.2 個々の研究テーマ

具体的な研究テーマは以下の通りであった。

#### (1) 音声合成分野

- 感情音声の認知・合成 -

感情音声合成：人間が発声した感情音声をお手本に感情音声データを精密解析し、種々の感情音声を合成する方式を開発し、感性 BMI システム構築の一要素とする。  
感情音声発声時の脳活動：感情音声発声時の fNIRS 反応データを収集し、解析を行い、感情音声の特徴を明らかにする。  
障害者の感情音声認知：認知症者と失語症者による感情音声判断の特徴を解析し、結果を学会に投稿して論文化する。

#### (2) 音楽・視覚認知分野

音楽聴取時とイメージ形成時の脳活動：fNIRS、脳波実験を通じて過去の記憶・情景との関係を明らかにし、個人利用を目的とした音楽の印象に適した画像を選定する脳の情報処理をモデル化する。  
音楽と視覚刺激の同期、動きパターンの違いによる印象の違いの比較：心理実験の結果を解析してまとめ、学会に投稿して論文化する。更に fNIRS 実験を行い、その結果を心理実験結果と比較する。  
音楽と言語に共通するリズム単位の検証とリズムの同調：音楽リズムの同調における評価パラメータとしてのフットの特徴抽出を行い、その妥当性を検証する。  
音楽演奏時の脳の反応：これまでの fNIRS 実験結果をまとめて学会に投稿し、論文化する。更に、fNIRS データの BMI への応用可能性を検討する(たとえば、音楽療法への応用)。

#### (3) 究極の精神的・肉体的活動時の脳の反応

- 小倉百人一首競技かるたを例として -

かるた競技時の脳の情報処理：これまで行ってきた fNIRS 実験は前頭前野のみであったが、更に聴覚野、視覚野などの反応についても調べ、データを解析してかるた競技時の脳の情報処理過程を推定する。

かるた競技時の取るべき札(出札)認識、取る動作の速度計測：これまでに行ってきた、和歌の読み認識の実験結果データ

を解析し、読まれた音のどの部分を手がかりに認識しているのかを精密に計測し、更にビデオ解析により札を取るまでの時間を計測する。そして更に、上記の結果と併せてかるた競技時の脳の情報処理過程を推定する。

- (4) 新型感性コミュニケーション方法の開発  
 障害者対象：障害者を対象とした脳・神経系の情報を用いた感性コミュニケーション方法の基礎検討を行う。  
 非言語コミュニケーション：言語を持たない幼児・ペットを対象とした、脳情報を用いた感性コミュニケーション方法を提案し、BMI プロトタイプモデルの評価法の検討を行う。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 研究成果の概要

前章で述べた研究テーマの下で4年間行ってきた研究成果を要約して図1に示す。

筆者らは、本研究期間中に行ってきた研究成果を、学会誌論文、学会発表、テレビ報道などで数多く発表してきた。図1に示すように、得られた成果は感性BMIシステム構築のための基礎データとしての知見が中心である。これらの知見は大きく分類すると、(1)感性抽出アルゴリズムを開発するための視聴覚刺激に対する脳の反応や心理実験解析結果、(2)得られた感性をコンピュータなど機械を使って表現・表出する方式開発のため

の基礎データとしての脳の反応や心理実験解析結果、となる。

なお、感性BMIシステムそのものは、構築する上で様々な課題が発生し、時間をかけて構築していくべきであることがわかった。そのため、今後本科研費研究終了後もシステム構築の研究は続行していきたいと考えている。

##### 4.2 主要な研究成果

ここでは、本科研費研究期間中に創出した主要な個々の研究成果の2,3の例を紹介する。

##### (1) 音楽・視覚認知分野

##### 音楽と視覚刺激の同期、動きパターンの違いによる印象の違いの比較[8]

芸術の世界において「間」の重要性についてしばしば語られるが、音楽に合わせて手をたたくという行為においても「間」は重要な概念である。手拍子を、いわゆる「ノリの良い」状態で叩いている現象を分析すると、単に打点と打点との間が時間的に正確であるということ以上に、緊張や弛緩の繰り返し、或いは力の溜めと解放といった概念が働いていることがわかる。

本研究においては、この現象に着目し、拍の打点では音楽と同期するが、拍と次の拍に至るまでの「間の」動きに質的な違い(等速・等加速)をもうけたアニメーションを作成し、各刺激に関して被験者が持った音楽と動き

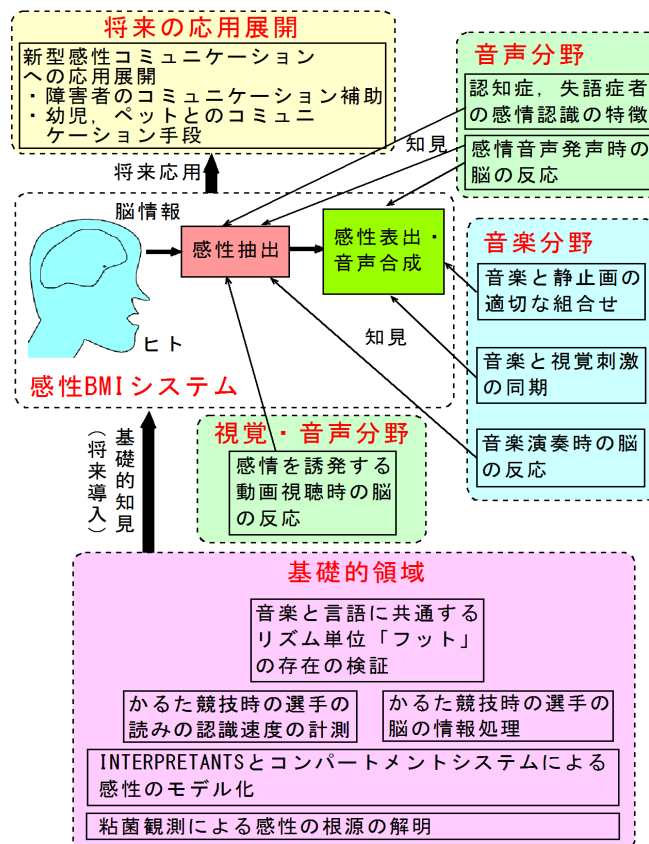


図1 研究成果の要約図

の調和感の評価について検討した。すなわち加速と減速という動き情報を付加したアニメーションと、ダイナミクスを感じさせにくい単調なアニメーションでは、どちらが音楽と調和しているというプラスの評価を受けるのか、これを明らかにすることにより、音楽情動メカニズムにおける動き情報の、要因としての重要性について検討を試みた。

印象評価実験の結果、等加速で動くアニメーションは等速で動くアニメーションに比べ、有意水準 0.05 で有意に音楽と調和していると評価されることが明らかになった。

## (2) かるた競技時の選手の読みの認識速度の計測[9]

競技かるた選手の間で「熟達した競技かるた選手は決まり字（取るべき札（出札）と確定できる最初の字）の前に来る音素の微妙な違いによって、次に何の字が来るか予測できる」と言われている。このことが正しいか否かを、聴取実験と音声波形・サウンドスペクトログラム視察によるラベリングを組み合わせ、選手が出札を認識する時刻を 20ms の精度で計測する手法を考案し用いることにより検証した。

まず、決まり字先頭時刻を基準として計測した出札認識時刻を「出札認識時間」と定義してその統計的特徴を調べた。その結果、26 首を対象として計測した出札認識時間のヒストグラムの観察より、決まり字先頭音素境界時刻より手前（認識時間が負の値）で認識する場合が全体の約 26% 起こっていることが明らかになった。

更に、この認識結果を基に、出札認識タイミングの熟達度依存性および札（音素）依存性について調べた結果、(1) かるた選手の熟達度が高い（上級）ほど早いという傾向は見られない、(2) 札（音素）によって異なる、すなわち札によって取りやすい札と取りにくい札がある傾向が見られる、ことがわかった。

### 4.3 研究成果のまとめ

2014 年度から 2017 年度までの 4 年間行ってきた科研費研究成果の概要について述べ、2, 3 の例を紹介した。得られた成果のほとんどが、感性 BMI を構築するための基礎的な知見であり、主要な成果をまとめると以下の通りである。

- (1) 感情音声発生時に脳が強く反応する部位等に関する知見を得た。
- (2) 健常高齢者、認知症者、失語症者の中で感情音声判断に違いがあることが明らかになった。
- (3) 感情を誘発する動画視聴時に脳が反応することを確認し、反応の強い部位等に関する知見を得た。
- (4) 音楽に適した画像の選定に関する概念モデルを提案した。
- (5) 音楽を聴くときにそれに同期する動き情報が音楽に対する情動に影響を与えるこ

とを示した。

- (6) 音楽演奏終了後に余韻の影響が脳活動に現れる場合があることを示した。
- (7) 音楽と言語に共通するリズム単位「フット」の存在を検証する研究の一環として、音声サンプルのモーラ持続時間長を観察したところ、「短 - 長 - 短 - 長・・・」と 2 モーラ単位のリズムが見られることを見出した。
- (8) 小倉百人一首かるた競技において、出札を認識する速度は選手の実力（級）に依存しないこと、札によって取りやすい札と取りにくい札があることが明らかになった。
- (9) INTERPRETANT とコンパートメントシステムによる感性のモデルを提案した。

上記のような数多くの知見は得られたが、今回それと共にこれらの諸知見を盛り込んで、感性 BMI プロトタイプを実現するには種々の問題を解決しなければならないことも明らかになった。その一つが、長年かけて開発してきた感情音声合成プログラムの言語形式が古く、プロトタイプシステム構築のための最新の言語と整合を取るために難航したことであった。しかし最近になって、この問題も解決を見てシステム構築の見通しが立つに至った。

今後は、その他の諸問題も解決して、感性 BMI プロトタイプの実現を目指したい。

近年このような BMI の研究として、知覚的、運動的 BMI の例[10]は数多く見られるが、感性情報を伝達する BMI の例はほとんど見られない。このように、感性 BMI の研究が進展すれば、これまでは夢であったような「自分の感情的、感性的思い」を伝える広汎な応用が期待できる。この技術の実現は、健常者から身障者まで、あらゆる人の QOL 向上に資する点に大きな意義がある。

### < 引用文献 >

J. P. Donoghue, "Bridging the Brain to the World: A Perspective on Neural Interface Systems," *Neuron* 60, pp.511-521 (2008).

S. Kim *et al.*, "Neural control of computer cursor velocity by decoding motor cortical spiking activity in humans with tetraplegia," *Journal of Neural Eng.* vol. 5, pp.455-476 (2008).

W. Truccolo *et al.*, "Primary Motor Cortex Tuning to Intended Movement Kinematics in Humans with Tetraplegia," *Journal of Neuroscience* 28(5), pp.1163-1178 (2008).

武田昌一編、平成 21~24 年度（2009~2012 年度）科学研究費補助金基盤研究 (C) (一般) 研究成果報告書「音声、音楽刺激に誘発される感性の能動的特性に関する生理学と音響学の融合研究」課題番

号 21500209 (研究代表者: 武田昌一), p.111 (2013).

廣瀬百合子, 山本佐代子, 藤井正子, 大山玄, 井上正雄, 武田昌一, “近赤外分光法による「音楽ドリル」実施時の前頭葉機能について 高次脳機能障害リハビリテーションのためのソルフェージュ課題「音楽ドリル」の検証,” 日本音楽療法学会学術大会抄録 (2007).

武田昌一, 長谷川優, 平井祥之, 小杉年範, 津久井勤, 山本誠一, “百人一首かるた選手の競技時の脳の情報処理に関する研究,” 近畿大学生物理工学部紀要 No.24, pp.33-43 (2009).

S. Takeda, Y. Kabuta, T. Inoue, and M. Hatoko, “Proposal of a Japanese-Speech-Synthesis Method with Dimensional Representation of Emotions Based on Prosody as well as Voice-Quality Conversion,” International Journal of Affective Engineering Vol.12 No.2, Special Issue on KEER 2012, pp.79-88 (2013).

中西里果, 山本佐代子, 桐生昭吾, 武田昌一, “音楽と感情の相関における動き情報の役割 緊張と弛緩の交代に着目して,” 日本感性工学会論文誌 Vol.16 No.5, pp.425-429 (2017).

武田昌一, 長谷川優, 津久井勤, 桐生昭吾, “小倉百人一首競技かるた選手の出札認識タイミングの聴取実験による検討,” 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J99-A, No.7, pp.226-234 (2016).

<http://www.cns.atr.jp/bri/res/bmi/> 歩行運動のための BMI (ブレイン・マシン・インタフェース), 2013 年 10 月 24 日

#### 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)

[雑誌論文](計 3 3 件)

吉田友敬, 原 史恵, 梅原綾花, 棚橋紀幸, 田添詩奈, 行村 涼, 武田昌一, “音楽と音声に共通するリズム要素の単音列音声における検証,” 情報処理学会研究報告 Vol.2018-MUS-118 No.28 / Vol.2018-SLP-120 No.28, pp.1-6, 筑波山 江戸屋旅館 (2018).

中西里果, 山本佐代子, 桐生昭吾, 武田昌一, “音楽と感情の相関における動き情報の役割 緊張と弛緩の交代に着目して,” 日本感性工学会論文誌 Vol.16 No.5, pp.425-429 (2017).

DOI: 10.5057/jjske.TJSKE-D-16-00100 Aruga, M., “Reconsideration of the Functions to Explain a Kind of New Information Amount and a Functional Model of Neural and Brain System

Taking Account of the Philosophical Existence and the Hyperfunction,” DEStech Transactions on SOCIAL SCIENCE, EDUCATION and HUMAN SCIENCE, International Conference on Advanced Education and Management Science (AEMS 2017), pp.166-171 (2017).

森 真幸, 長谷川 優, 森本一彦, 藤吉圭二, 武田昌一, 桐生昭吾, “観光案内アプリケーションにおける利用者の感性に合わせて変化する情報提示法～高野山観光案内アプリケーションを例として～,” 電子情報通信学会技術研究報告 CQ2017-36, pp.43-48, 神戸大学 (2017).

武田昌一, 桐生昭吾, 森 真幸, “感性 BMI の提案とその応用展開の構想,” 第 18 回日本感性工学会大会予稿集 A56, pp.1-6, 日本女子大学 (2016).

武田昌一, 桐生昭吾, 森 真幸, “あつらえ型「高野山ナビ」の提案,” 第 7 回高野文化圏研究会シンポジウム 高野山とデジタルアーカイブ これまでと今後の課題, 高野山大学 (2016).

武田昌一, 長谷川優, 津久井勤, 桐生昭吾, “小倉百人一首競技かるた選手の出札認識タイミングの聴取実験による検討,” 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J99-A, No.7, pp.226-234 (2016).

有賀正浩, “コンパートメントシステム構造に基づく INTERPRETANTS に関する Fuzzy グラフモデルの拡張について,” 21 世紀科学と人間研究教育協会発行 第 7, 8 回 21 世紀科学と人間シンポジウム論文誌(合冊版)内 第 8 回 21 世紀科学と人間シンポジウム論文誌 (第 8 巻), pp.1-8 (2016).

有賀正浩, “Fuzzy グラフを考慮した INTERPRETANTS のコンパートメントシステム構造に関する考察,” 21 世紀科学と人間研究教育協会発行 第 7, 8 回 21 世紀科学と人間シンポジウム論文誌(合冊版)内 第 7 回 21 世紀科学と人間シンポジウム論文誌 (第 7 巻), pp.1-9 (2016).

武田昌一, 長谷川 優, 津久井 勤, 桐生昭吾, “小倉百人一首競技かるた選手の出札認識タイミングの聴取実験による計測と音響的手がかりの推定,” 電子情報通信学会技術研究報告 CQ2014-111, pp.141-146, 芝浦工業大学 豊洲キャンパス (2015).

武田昌一, 長谷川 優, 津久井 勤, 桐生昭吾, “小倉百人一首競技かるた選手の出札認識タイミングの聴取実験による計測,” 第 16 回日本感性工学会大会予稿集 C45, pp.1-7, 中央大学 (2014).

[学会発表](計 1 0 件)

有賀正浩, “情報システム要素適用超関

数の拡張,” 第25回日本人間工学会システム大会抄録集, pp.1-2, 早稲田大学西早稲田キャンパス (2017).

有賀正浩, “脳機能モデルに於ける関数表現に関する再考察,” 平成28年度第24回日本人間工学会看護人間工学会抄録集, p.1, 愛知県立大学守山キャンパス (2016).

長谷川 優, 武田昌一, 小濱 剛, 吉田 久, “個人利用を目的とした音楽の印象に適した画像の選定: 設計システムの改良,” 第18回日本感性工学会大会予稿集 A33, pp.1-3, 東京女子大学 (2016).

有賀正浩, “コンパートメントシステム要素と超関数,” 日本人間工学会第24回システム大会抄録集, pp.1-3, 早稲田大学西早稲田キャンパス (2016).

服部佑菜, 武田昌一, 桐生昭吾, “感情受容時における脳の情報処理の脳血流測定による推測,” 第11回日本感性工学会春季大会予稿集 G7-6, pp.1-3, 神戸国際会議場 (2016).

長谷川 優, 武田昌一, 小濱 剛, 吉田 久, “個人利用を目的とした音楽の印象に適した画像の選定: システム設計とテスト運用,” 第11回日本感性工学会春季大会予稿集 G6-7, pp.1-3, 神戸国際会議場 (2016).

長谷川 優, 武田昌一, 小濱 剛, 吉田 久, “個人利用を目的とした音楽に適した画像の選定に関する概念モデル,” 生体医学シンポジウム 2015 講演予稿集 1P-38, p.1, 岡山国際交流センター (2015).

長谷川 優, 武田昌一, 小濱 剛, 吉田 久, “個人の音楽嗜好に着目した音楽に適した画像の選定に関するフィルタ設計,” 第17回日本感性工学会大会予稿集 F32, pp.1-2, 文化学園大学 (2015).

長谷川 優, 武田昌一, 小濱 剛, 吉田 久, “パーソナルユースを目的とした音楽に適した画像の選定に関する概念モデル,” 第10回日本感性工学会春季大会予稿集 (CD-ROM), pp.1-3, 京都女子大学 (2015).

津久井勤, 森田真央, 小林好真, 栗田太作, 灰田宗孝, “競技かるたにおける初心者と上級者の fNIRS の反応の比較,” 第17回日本光脳機能イメージング学会研究発表会 05 (2014).

#### 〔図書〕(計4件)

武田昌一(編), 平成26~29年度(2014~2017年度)科学研究費補助金 基盤研究(C)(一般)平成26~29年度(2014~2017年度)成果報告書「感性 BMI (Brain-Machine Interface) に関する研究」課題番号 26330317 (研究代表者: 武田昌一), p.87 (2018).

#### 〔その他〕(計3件)

##### 報道関係情報

テレビ報道: 日本テレビ番組「真相報道バンキシャ!」で, 競技かるたにおいて朗詠される和歌の読みの認識力測定を楠木永世クイーンを被験者として行った実験デモに出演, 2017年1月8日(日)午後6:00-6:50.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

武田 昌一 (TAKEDA, Shoichi)  
高野山大学・文学部・客員教授  
研究者番号: 10245293

##### (2) 研究分担者

桐生 昭吾 (KIRYU, Shogo)  
東京都市大学・工学部・教授  
研究者番号: 00356908

##### (3) 連携研究者

山本 誠一 (YAMAMOTO, Seiichi)  
同志社大学・理工学部・教授  
研究者番号: 20374100

有賀 正浩 (ARUGA, Masahiro)  
埼玉工業大学・先端科学研究所  
・非常勤講師  
研究者番号: 30138630

吉田 友敬 (YOSHIDA, Tomoyoshi)  
名古屋文理大学・情報文化学部・教授  
研究者番号: 60367852

森本 一彦 (MORIMOTO, Kazuhiko)  
高野山大学・文学部・准教授  
研究者番号: 20536578

藤吉 圭二 (FUJIYOSHI, Keiji)  
追手門学院大学・社会学部・教授  
研究者番号: 70309532

森 真幸 (MORI, Masayuki)  
京都工芸繊維大学・情報科学センター  
・助教  
研究者番号: 90528267

##### (4) 研究協力者

津久井 勤 (TSUKUI, Tsutomu)  
灰田 宗孝 (HAIDA, Munetaka)  
加藤 修一 (KATO, Shuichi)  
伊藤 憲治 (ITO, Kenji)  
山本 佐代子 (YAMAMOTO, Sayoko)  
中西 里果 (NAKANISHI, Rika)  
長谷川 優 (HASEGAWA, Yu)  
轟 真紀子 (TSURU, Makiko)  
他3名