

平成 21 年 3 月 26 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2005～2008

課題番号：17500348

研究課題名(和文) ファントムセンセーションと仮現運動の
センサフュージョンを用いた情報伝達の研究研究課題名(英文) A study on information transmission by using
sensor fusion of phantom sensation and apparent movement

研究代表者

内田 雅文 (UCHIDA MASAFUMI)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号： 00245341

研究成果の概要：

携帯電話などのバイブレーション機能が普及したことにより、触覚へ情報が提示されるという感覚を日常的に体験しているが、触覚への情報提示技術は情報伝達量の観点において十分ではなく、携帯性・利便性にも課題がある。本研究では、少数の触刺激素子で伝達情報量を確保するため、触覚における2種類の錯覚、ファントムセンセーションと仮現運動を同時に生起させ、これを統合的に知覚させることにより情報伝達する技術を確立した。触刺激素子間の仮現運動、ファントムセンセーション像と触刺激素子間の仮現運動、そしてファントムセンセーション間の仮現運動という3種類の仮現運動を利用して触覚へ情報を伝える技術である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,100,000	0	3,100,000
2006年度	300,000	0	300,000
2007年度	200,000	60,000	260,000
2008年度	100,000	30,000	130,000
年度			
総計	3,700,000	90,000	3,790,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード： 触覚，ファントムセンセーション，仮現運動，センサフュージョン，
触刺激，事象関連脳電位

1. 研究開始当初の背景

携帯電話のバイブレーション機能が普及したことで、触覚へ情報が提示されるという感覚が身近で体験するようになった。しかしながら、触覚への情報提示技術としての触覚ディスプレイの現状は、携帯性・利便性において十分な性能を備えていない。従来、触覚ディスプレイはその多くが触刺激素子アレイを採用し、伝達情報量の向上には触刺激素子の高密度実装化が図られてきた。一方、本

研究では、少数の触刺激素子の中で伝達情報量を如何に確保するかをテーマにしている。そもそも触覚は空間的な広がりを持った感覚であり、ファントムセンセーションや仮現運動は共に、その空間的な広がりに関連した錯覚である。したがって、この錯覚を情報提示に利用できれば、触刺激素子アレイに依らなくとも伝達情報量を上げられる可能性がある。

触覚ディスプレイの触刺激素子アレイ研

究は国内外で枚挙に暇がない。古くはオブタコンや触覚テレビ、最近でも触刺激素子の高密度実装化に関するニュースの通りである。一方、本研究は少数の触刺激素子の中でファントムセンセーションと仮現運動を生起させ、情報を提示する点において従来の研究とは視点が異なっている。ファントムセンセーションや仮現運動は、その現象自体の研究は成されているものの、それらのセンサフュージョンに関する研究はこれまでなかった。バーチャルリアリティ研究における触覚ディスプレイは、実際の触感をディスプレイ上に模擬・再現する点において本研究とは本質的に異なる。

本研究の基本的な方法論は、脳波計測に基づく情報伝達性能の評価・推定である。注目する脳波は事象関連電位であるが、事象関連電位研究の分野において、被験者への提示刺激にファントムセンセーションや仮現運動を用いた例はこれまでなかった。また、ERPに基づく心理反応の評価・推定、いわゆる脳波理解の観点において従来の研究を整理すると、Brain-Computer Interface 研究における脳波の単一試行解析が本研究に重要な知見を与えている。しかしながら、脳波の単一試行解析自体、未だ発展途上の技術であり、この点において有効な方法の精査が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、触覚における2種類の錯覚、ファントムセンセーションと仮現運動を同時に生起させ、統合して知覚させるファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンに伝達情報を織り込むことによって、触覚ディスプレイで情報表現するときの自由度を従来手法の約3倍にまで向上させることを目的とする。本研究の特色は、ファントムセンセーションと仮現運動という2種類の錯覚を統合し、知覚させるセンサフュージョンにある。仮現運動は通常、2つの触刺激素子間において1つの知覚像の直線運動として知覚されるが、本研究では、ファントムセンセーションの知覚像（ファントム像）と触刺激素子間の仮現運動、ならびにファントム像とファントム像の間の仮現運動の生起方法を見出している。この場合の仮現運動は、知覚像の折線的・曲線的な運動としても知覚されうる。そして、このファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンの中に伝達したい情報を、トポロジカルな性質を保持したまま織り込むところが、本研究の独創的な点になる。ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンによる情報伝達手法を用いると、情報表現の自由度が向上した分、少ない触刺激素子で必要な伝達情報量が確保できるように

なり、結果として携帯性・利便性に優れた触覚ディスプレイの開発が見込まれる。更に、この技術を従来の触覚ディスプレイに応用すれば、例えば故障した触刺激素子の機能補完など、触覚ディスプレイの耐故障性の向上にも繋がる。

3. 研究の方法

本研究計画における実験システムは、分解能16ビット8チャンネルD/A変換器搭載のパーソナルコンピュータをベースとするファンクションジェネレータと、触覚へ情報を提示する最大8個の触刺激素子(PZT振動子、ボイスコイルモータ、ゲル電極)から構築する。ファンクションジェネレータは、2つの周期成分からなる矩形波電圧信号をチャンネルごとに出力して最大8個の触刺激素子をそれぞれ駆動し、最大8本の変調振動刺激(および電気刺激)の諸パラメータ(振幅、周期、位相差など)をパラレルに制御する機能を担うものとする。また、矩形波電圧信号出力と同時に、脳波計測システム(生体アンプ+A/D変換器+パーソナルコンピュータ)へ脳波計測開始のトリガ信号を送出する。加えて、被験者へ向け、最大8個の触刺激素子から伝達される情報の弁別に関する作業課題をディスプレイに映し出し、その遂行状況をGraphical User Interfaceを介して記録する機能も設ける。脳波計測システムは、ファンクションジェネレータから受信するトリガ信号とともに継続的に脳波を計測、HDDに記録する。脳波計測は、事象関連電位研究の分野で一般的な聴性弁別パラダイムを参考に、ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンにより伝達される情報の触性弁別パラダイムを独自に設計して行うことにする。脳波は、Referenceを両耳(A1, A2)とする基準導出法に従い、国際10-20法におけるFz, Cs, Pzより導出する。サンプリング周波数、低域・高域遮断周波数については、従来の方法を踏襲する。本実験では、PZT振動子、ボイスコイルモータ、ゲル電極を使用する特徴から、これら触刺激素子からの漏れ電流の脳波への混入を防ぐ策を講じなければならない。また、PZT振動子、ボイスコイルモータについては、これらが発する振動音も遮断する必要がある。

脳波解析は、トリガ信号立ち上がり時刻の前後1秒(計2秒間)の脳波をその対象とする。2秒間の脳波データより単一試行波形が1本得られる。前半1秒間の脳波は、その計測の有効性の検証に使用し、後半1秒間の脳波は、いわゆる事象関連電位であり、その一成分であるP300波の発現度合を解析的に定量化する。P300波は、提示刺激に同期した心理反応(刺激弁別など)に関連する生体反応である。研究ではP300波の発現

度合を、触刺激素子より伝達される情報が被験者へ伝わっているか否かを評価するための指標として利用する。通常、P300波は単一試行波形30～50本の加算平均波形より特徴付けられるが、本研究のテーマは情報の伝達、すなわちコミュニケーションであるから、情報伝達の評価はリアルタイムに行いたい。そこで本研究では、P300波を1本の単一試行波形から特徴付けるため、事象関連電位の単一試行解析について精査し、有効かつ効率的な方法を特定する。

3つの触刺激素子を用いたファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンによる情報提示に関する具体的な実験方法は以下の通りである。被験者の身体3部位（左手親指・人差指・小指の先端指腹部）に触刺激素子をそれぞれ装着し、各触刺激素子が三角形の頂点に置かれるよう、手形状を保持・固定する。各触刺激素子の変調振動刺激（および電気刺激）諸パラメータは、パーソナルコンピュータからD/A変換ボードを介して制御・調整する。パラメータ調整の結果、変調振動刺激（および電気刺激）間である一定の条件が成立すると、3触刺激素子の三角形領域内で、ファントム像や仮現運動が生起するようになる。変調振動刺激（および電気刺激）の立ち上がりのタイミングを考慮しながら諸パラメータを動的に調整すると、ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンが再現できる。すなわち、ファントム像-PZT振動子間の仮現運動やファントム像間の仮現運動が生起するわけであるが、ファントム像の生起する位置は三角形領域内では自由度があるので、この場合の仮現運動は、知覚像の運動が折線的にも、曲線的にも知覚しうる。

単一触刺激素子によって2次元情報を提示する場合は、伝達情報の符号化が必須であった。一方、本実験で扱うファントムセンセーションや仮現運動は共に空間次元での知覚現象であり、したがって2次元情報は符号化せずに、情報のトポロジカルな性質が保持されたまま伝達されることになる。パラメータ調整によると、3触刺激素子から変調振動は提示されていても、ファントム像が生起する状況としない状況、仮現運動が生起する状況としない状況をそれぞれ作り出すことができる。同様にして、ファントム像や仮現運動は生起していても、センサフュージョンになる状況とならない状況も設定することが可能である。これらの組み合わせの一方を、事象関連電位研究で言うところの標的的刺激に、もう一方を非標的的刺激に対応させて、一定の割合をもってランダム順に被験者へ提示する。このときの脳波を脳波計測システムによって継続的に記録すると、非標的的刺激時に比べて標的的刺激時の脳波にはP300波

がより大きく発現し、また、刺激の弁別が困難であると、P300波の発現は抑えられる。この特徴を利用し、P300波の発現度合を定量化することによって、ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンの基礎的な特性を計測し、その知覚性能を評価する。

以上の実験は、ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンを単なる刺激と位置付け、従来の方法をほぼ踏襲した形で脳波計測および解析を行う形になっている。これを発展させ、ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンを伝達情報と関連付け、情報としての伝達性能を評価するための改良を加える。すなわち、ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンにより伝達される情報の触覚情報弁別パラダイムを設計する。更に、このパラダイムに基づき、ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンの情報伝達性能の評価実験を重ね、触刺激素子間の仮現運動、ファントム像-PZT振動子間の仮現運動、そしてファントム像間の仮現運動という3つの仮現運動を利用する情報伝達技術を確立する。

4. 研究成果

(1)平成17年度

ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンの知覚・認知状況を生体反応（事象関連脳電位および心理的応答）から推定するための実験システムを構築した。本システムは、生体アンプ、A/D変換器、パーソナルコンピュータ、D/A変換器および触刺激素子から構成され、EEGデータ群の周波数解析とトポグラフィ機能を開発、付加して、刺激提示と生体反応の計測を制御することができる。触刺激素子には、絶縁処理を施したPZT振動子が使用できるほか、ゲル電極による電気刺激にも対応しており、振動刺激よりも鋭敏な触感覚として刺激提示できる。また、最大8個の触刺激素子を平行に駆動・制御することが可能である。予備実験として仮現運動認知に関する弁別パラダイムを設計し、光トポグラフィ法により、その認知過程の評価を試みているが、本実験システムは、刺激提示から生体反応までの一連の処理過程をEEGトポグラフィにより捕捉することが可能である。触刺激として変調振動を被験者へ提示し、触刺激に対する事象関連脳電位を計測、オフラインで触刺激の弁別反応を定量評価する方法を考案した。また、2点刺激弁別課題なる新たな弁別課題を考案し、加算平均解析を用いて2つの触刺激に対する事象関連脳電位の特徴抽出を行うと共に、単一試行解析により触刺激に対する学習効果の検討も行った。ファントムセンセーシ

ョンと仮現運動のセンサフュージョンによる情報の提示に関しては、3つの触刺激素子を用いたベクトル情報の伝達実験を行った。この実験からベクトルの方向および大きさに関する情報の伝達に関して、3つの触刺激素子では、およそ数ビットの伝達情報量が確保され、方向ならば0.1(rad)、大きさならば2(cm)を一単位とすれば、ベクトル情報が十分に伝達できることを確認した。

(2)平成18年度

前年度までに開発したファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンの知覚・認知状況を事象関連脳電位および心理的反応から推定するための実験システムをベースに、変調振動刺激弁別特性、仮現運動・ファントムセンセーションの知覚特性に関する実験データの蓄積とその解析・評価を行った。特に18年度は、ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンと伝達情報とを関連付け、その情報伝達精度について検討を行ってきた。ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョンを利用し、ベクトル情報を伝達手法や、ベクトル刺激と点刺激の弁別という情報伝達を前提とした新たな刺激弁別パラダイムを考案するとともに、事象関連脳電位との関連性についても検討を行った。更に振動刺激素子間の仮現運動、ファントムセンセーション像・振動刺激素子間の仮現運動、そしてファントムセンセーション像間の仮現運動という3種類の仮現運動を利用する情報伝達のアプリケーションについて検討し、その1つとして変調振動刺激を用いた本人認証システムを考案して特許出願(特願2006-123779)を行った。この認証システムは、従来のシステムが採用している登録情報(認証キー)、その多くが(生体認証も含めて)視覚情報であることに着目し、これを触覚情報で代替したものである。単純なシステム構成でありながら、視覚的な情報の漏洩を防止し、更に登録情報(認証キー)の可変性を実現している点に特徴がある。

(3)平成19年度

本研究では触覚における2つの錯覚、仮現運動とファントムセンセーションを利用し、このセンサフュージョンを用いて情報を伝達する技術の開発を行っている。前年度(平成18年度)から、それまでの研究成果を踏まえ、提示刺激と伝達情報とを関連付けたアプリケーションについて検討を始めている。平成19年度は、振動刺激素子間の仮現運動、ファントムセンセーション像・振動刺激素子間の仮現運動、そしてファントムセンセーション像間の仮現運動という「3種類の仮現運動を利用する触覚ディスプレイ」を提案し、本研究課題の最大の目標が達成された。この触覚ディスプレイは触刺激素子3つを使ってベ

クトル情報を伝えるもので、将来的には携帯性に優れた触覚ディスプレイの実現に繋がる技術と考えており、携帯型ナビゲーションシステム等への応用が期待できる。前年度提案した「変調振動刺激を用いた本人認証システム」は、従来の認証システムが視覚情報ベースなのに対し、これを触覚情報ベースへ完全に置き換えてしまった点に特徴があった。平成19年度、本研究ではこのシステムの性能評価を更に進めている。前年度は触刺激に振動を利用していたが、これを触刺激に電気刺激を利用するシステムに切り替え、幅広い年齢層を対象に評価試験を実施した。

(4)平成20年度(最終年度)

携帯電話などのバイブレーション機能が普及したことにより、触覚へ情報が提示されるという感覚が日常的に体験できるようになった。その一方で、触覚への情報提示技術、触覚ディスプレイは、その情報伝達量だけでなく、携帯性・利便性にも課題がある。従来、触覚ディスプレイはその多くが触刺激素子アレイを採用し、伝達情報量の向上には触刺激素子の高密度実装化が図られてきた。本研究では、少数の触刺激素子の中で伝達情報量を如何に確保するかを主要なテーマとし、触覚における2種類の錯覚、ファントムセンセーションと仮現運動を同時に生起させ、統合して知覚させる(ファントムセンセーションと仮現運動のセンサフュージョン)ことにより、伝達情報を触刺激で表現する技術を確立した。平成20年度は、前年度までの研究成果を踏まえ、触刺激素子間の仮現運動、ファントムセンセーション像と触刺激素子間の仮現運動、そしてファントムセンセーション間の仮現運動を、それぞれ3つの触刺激素子で構成された触覚ディスプレイ上に生起させる技術を利用して、その1アプリケーションとしての本人認証システムを構築、その評価試験を行い、有効性を確認した。さらに実用化に向けての課題として、個人差、学習効果およびユーザの年齢層の問題が明らかとなった。

以上により、本研究課題4年計画の最終年度として、ファントムセンセーションと仮現運動のファントムセンセーションを利用した情報伝達技術を総括した。

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)

[雑誌論文](計10件)

Young-il Park and Masafumi Uchida, System of Personal Identification by Using Tactile Stimuli, Journal of the Artificial Life and Robotics, vol.13 no.1 pp.209-213 (2008) 査読有

朴永鎰, 水野統太, 内田雅文, ニューラルネットワークによる触刺激提示情報の改善方法, IEEJ Trans. EIS, vol.128 no.12 pp.1861-1862 (2008) 査読有

朴永鎰, 内田雅文, 触刺激を用いた個人識別システム, IEEJ Trans. EIS, vol.127 no.10 pp.1811-1812 (2007) 査読有

上田真太郎, 内田雅文, 野澤昭雄, 井出英人, Phantom sensation と仮現運動を併用した触覚ディスプレイ, IEEJ Trans. FM, vol.127 no.6 pp.277-284 (2007) 査読有

水野統太, 野澤昭雄, 内田雅文, 井出英人, 変調振動刺激に対する学習および忘却特性, IEEJ Trans. EIS, vol.127 no.3 pp.299-304 (2007) 査読有

水野統太, 野澤昭雄, 内田雅文, 井出英人, 事象関連脳電位に基づく変調振動によるベクトル刺激と点刺激の弁別閾特性, IEEJ Trans. EIS, vol.126 no.10 pp.1261-1262 (2006) 査読有

Naoko Mori, Masafumi Uchida, Akio Nozawa and Hideto Ide, Estimation of Frequency Differential Limen to Modulated Vibratory Stimuli, IEEJ Trans. FM, vol.126 no.6 pp.464-469 (2006) 査読有

Reiko Ohira, Masahumi Uchida, Akio Nozawa and Hideto Ide, The Single-trial Analysis of P300 and the Difference Threshold of Modulated Vibration, IEEJ Trans. FM, vol.126 no.6 pp.478-483 (2006) 査読有

野澤昭雄, 森那緒子, 内田雅文, 田中久弥, 井出英人, ERP を用いた変調振動刺激に対する弁別反応の効率的な評価, 感性工学研究論文集 感性工学 013, vol.6 no.1 pp.85-88 (2005) 査読有

内田雅文, 野澤昭雄, 井出英人, 検定技法を用いた ERP の単一試行解析と変調振動刺激の弁別評価, IEEJ Trans. EIS, vol.125 no.3 pp.407-412 (2005) 査読有

[学会発表](計23件)

(1)国際会議(7件)

Young-il Park, Koji Kawahara and Masafumi Uchida, Characteristic Extraction of EMG with the Apparent Movement, Proceedings of the SICE Annual Conference 2008, 3A05-1 CD-ROM (2008) 2008年8月22日 Tokyo

Young-il Park and Masafumi Uchida, A Tactile Display by Using Phantom Sensation with an Apparent Movement Based on Electro-stimulation, Proceedings of the International

Conference on Electrical Engineering, P-131 CD-ROM (2008) 2008年7月8日 Okinawa

Young-il Park and Masafumi Uchida, System of Personal Identification by Using Tactile Stimuli, Proceedings of the Thirteenth International Symposium on ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS, GS5-7 CD-ROM (2008) 2008年1月31日 Oita

Hong Chen, Masafumi Uchida, Kazumi Odaka and Yoshimasa Kimura, Transformation caused by external stimulations during the handwriting process, SICE (Proceedings of ISBPE / 22nd BPES), pp.207-208 (2008) 2008年1月14日 China

M.Nishizawa, M.Uchida, K.Odaka and Y.Kimura, Integrative Measurement System of Handwriting Process, SICE (Proceedings of ISBPE / 22nd BPES), pp.191-194 (2008) 2008年1月14日 China

Young-il Park and Masafumi Uchida, Personal Identification System Based on Tactile Stimuli, KIEE, IEEJ, CSEE and HKIE (Proc. of the International Conference on Electrical Engineering, ICEE 2007), ICEE-523 CD-ROM (2007) 2007年7月10日 Hongkong

Young-il Park and Masafumi Uchida, Identification of Individuals by Using Stimulation Stimuli, KIEE, IEEJ, CSEE and HKIE (Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering, ICEE2006), PS3-EC-10 CD-ROM (2006) 2006年7月11日 Korea

(2)国内口頭発表(16件)

朴永鎰, 内田雅文, 電気刺激による触覚情報の判別特性, 電気学会計測研究会資料, IM-07-44~53 pp.25-28 (2007) 2007年12月21日 東京

西村憲人, 朴永鎰, 内田雅文, ERP 計測を用いた振動刺激弁別の推定, 電気学会計測研究会資料, IM-07-44~53 pp.19-23 (2007) 2007年12月21日 東京

川原幸司, 朴永鎰, 内田雅文, 仮現運動に伴うEMGの特徴抽出, 電気学会計測研究会資料, IM-07-44~53 pp.15-18 (2007) 2007年12月21日 東京

陳宏, 内田雅文, 小高和己, 木村義政, 驚愕刺激による手書き文字の変形の定量的評価, 電気学会計測研究会資料, IM-07-44~53 pp.9-13 (2007) 2007年12月21日 東京

朴永鎰, 内田雅文, 電気刺激で構成された触刺激情報の判別特性, 電気学会計測研究会資料, IM-07-23 pp.7-10 (2007) 2007年9月7日

水野統太, 内田雅文, 井出英人, 振動刺激によるナビゲーション情報の認知評価, IEICE Technical Report, MBE2006-142 pp.41-44 (2007) 2007年3月16日 東京

上田真太郎, 内田雅文, 触覚の仮現運動認知に関する光トポグラフィ法による評価, 電子情報通信学会, MBE2005-118 pp.45-48 (2006) 2006年1月20日 熊本

西澤光之, 内田雅文, 表面筋電位多チャンネル計測による手書き文字の変形解析, 電気学会計測研究会資料, IM-06-36 ~ 44 pp.13-16 (2006) 2006年10月20日 東京

後藤智次, 内田雅文, 2点刺激に対するERPの多チャンネル解析, 電気学会計測研究会資料, IM-06-36 ~ 44 pp.9-12 (2006) 2006年10月20日 東京

朴永鎰, 内田雅文, 触刺激を用いた個人識別システム, 電気学会計測研究会資料, IM-06-36 ~ 44 pp.1-4 (2006) 2006年10月20日 東京

西澤光之, 内田雅文, 文字手書き過程の統合的な計測システム, 電気学会計測研究会資料, IM-05-64 ~ 71 pp.35-38 (2005) 2005年12月16日 東京

大平麗子, 内田雅文, 2点刺激に伴うERPの単一試行解析, 電気学会計測研究会資料, IM-05-64 ~ 71 pp.31-34 (2005) 2005年12月16日 東京

野口敦史, 毛塚修一, 野澤昭雄, 内田雅文, 井出英人, 変調振動触覚ディスプレイの図形識別に関する学習・忘却特性, 電気学会計測研究会資料, IM-05-64 ~ 71 pp.27-30 (2005) 2005年12月16日 東京

大平麗子, 内田雅文, 触覚の変調振動弁別に関する一考察, IEICE Technical Report, MBE2005-87 pp.9-12 (2005) 2005年11月17日 仙台

上田真太郎, 内田雅文, Phantom Sensationと仮現運動による触覚ディスプレイ, 電気学会計測研究会資料, IM-05-43 ~ 57 pp.53-58 (2005) 2005年10月7日 佐賀

上田真太郎, 内田雅文, 変調振動を用いた触覚ディスプレイ, 日本生体医工学会誌生体医工学, p.206 (2005) 2005年4月26日 茨城

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 触刺激を用いた個人認証システム

発明者: 内田雅文・朴永鎰

権利者:

種類:

番号: 特願 2006-123779

出願年月日: 平成 18年 4月 27日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 雅文 (UCHIDA MASAFUMI)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号: 00245341

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし