

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：20106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00277

研究課題名(和文)筋電図・脳波同時計測によるPseudo-Haptic生起条件に関する検討

研究課題名(英文)Study on occurrence condition of Pseudo-Haptic by simultaneous measurement of EMG and EEG

研究代表者

青木 広宙 (Aoki, Hirooki)

公立千歳科学技術大学・理工学部・准教授

研究者番号：60380193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：筋電図計と脳波計を用いて、比較的広域な部位のPseudo-Haptics生起に起因する生理反応に基づく評価を加え、また、Pseudo-Haptics知覚の精度評価として、心理物理学的手法を取り入れ、これらの生理信号との比較により、Pseudo-Hapticsの生起条件の定量的評価について検討した。抵抗を感じるような振動の付与によるPseudo-Haptics提示に伴い、筋活動量が増加するとともに、脳波中の波・波の割合が増加する傾向が見られた。これは、Pseudo-Hapticsの生起に伴うストレス・緊張といった精神状態の変化を、捉えることができたことを示唆するものと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Pseudo-Haptics(疑似力触覚)と呼ばれる錯覚現象を利用することで、モータなどの機械的な外部動力を使用せずに、人に力を感じさせることができる。このとき、条件によっては筋活動量が増加する現象が確認されており、この現象を利用することで、シンプルで安全な新しいエクササイズシステムの開発が期待できる。本研究は、筋活動が活性化する現象が起きる条件について特定するための方法を、検討するためのものである。

研究成果の概要(英文)：Using electromyography and electroencephalography, we evaluated the physiological response caused by the occurrence of Pseudo-Haptics in a relatively wide area. In addition, we used a psychophysical method to evaluate the accuracy of Pseudo-Haptics perception, and compared it with these physiological signals to investigate the quantitative evaluation of the occurrence condition of Pseudo-Haptics. With the presentation of Pseudo-Haptics by imparting resistance-sensitive perturbation, the muscle activity increased and the proportion of and waves in the EEG tended to increase. The results suggest that we could capture the changes in mental state such as stress and tension associated with the occurrence of Pseudo-Haptics.

研究分野：画像工学

キーワード：疑似力触覚 タブフェース 筋電図計測 脳波計測 心理物理学 仮想現実 モーションキャプチャ ヒューマンイン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自己運動と同期する視覚運動刺激の速度変化を与えることで擬似的な力覚が生じる錯覚現象は、**Pseudo-Haptics** (疑似力触覚) と呼ばれている。

身近な例としては、マウスを操作する際、マウス操作する腕の動き (自己運動) に対して同期しているマウスポインタ (視覚運動刺激) の移動速度が急に遅くなることで、マウスを持つ手に抵抗力を感じる事が知られている。

ヴァーチャルリアリティの分野では、力触覚を付与するためにアクチュエータなどの接触型のデバイスを用いずに、モーションキャプチャデバイスとの連動した視覚情報提示により **Pseudo-Haptics** を生起させる手法について議論が行われるようになってきている。

例えば、Yoshikawa ら(2011)は、カメラの前でバネを押す身振りをする画面内のバネを押すことができるシステムにおいて、反発力を変えると画面内のバネが押される動きが遅くなり、その情報が掌に反映されることでバネの反発が強まったように感じられることを報告している。従来の **Pseudo-Haptics** 研究においては、**Pseudo-Haptics** が生起する部位が、指先や掌などの局所的部位に限定されている。

他の先行研究 (A. Lécuyer ら(2000), A. Pusch ら(2008)等) においても、**Pseudo-Haptics** は指先や掌など体の狭い部位においてのみ生起されることが示されている。大きな体動を伴い比較的広域な部位への **Pseudo-Haptics** 生起に関する検討は少なく、2014 年になって G. Jáuregui らにより、ダンベル挙げの動きによる **Pseudo-Haptics** が腕部において生起していることの報告がなされている。

申請者は、これまで三次元画像センサを用いた生体信号計測やモーションキャプチャをベースにしたエクササイズ支援システムに関する研究開発に取り組んできた。これまで、「登る」ような大きな動作を呈する状態で **Pseudo-Haptics** を生起させ、腕や脚など比較的広い部位の筋活動を増加できることを明らかにしている。

研究開始当初は、多くの人を楽しみながらエクササイズができるようなエンターテインメント性を持つようなシステムとして、計測システムを試作し、**Pseudo-Haptics** を生起するための摂動 (アバターのスピード、画面の色やエフェクト等の視覚運動刺激) の変化による筋活動への影響に関する検討を行った。

2. 研究の目的

筋電図計を用いた筋活動量計測により、比較的広域な体の部位に **Pseudo-Haptics** が生起される可能性が示唆されたが、**Pseudo-Haptics** の生起の程度についての定量的な評価を、筋電図計測のみで行うことは難しいものと考えられた。そこで、本研究においては、脳波計を導入し、比較的広域な部位の **Pseudo-Haptics** 生起に起因する脳生理反応に基づく評価を加えることを目的とする。また、**Pseudo-Haptics** 生起時における感覚の強さの評価として、心理物理学的手法を取り入れ、生理信号との比較により、**Pseudo-Haptics** の生起条件に関する定量的評価を行うことの可能性について検討することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究においては、**Pseudo-Haptics** 生起の際に被験者が感じる擬似的な力触覚の程度の定量化を行うために、筋電図・脳波の生理信号計測と心理物理学の両面からアプローチによる検討を行う。

「登る」、「泳ぐ」といった大きな体動を伴う動作を行う際に、腕部や脚部などの先行研究と比較して広域な部位に **Pseudo-Haptics** を生起させ、**Pseudo-Haptics** 生起の際に被験者が感じる力触覚の程度の定量化を目指す。

Pseudo-Haptics 提示システムを開発し、被験者に以下のタスクを課し、「登る」あるいは「泳ぐ」動作時の **Pseudo-Haptics** の生起に関する検討を行う。

- (1) 被験者が手先を上から下 (前から後) へ動かした場合に画面上のアバターが上方に移動する (あるいは画面の背景がスクロールする)
- (2) タスク開始からの経過時間が画面に表示され、被験者は可能な限り短い時間でタスクを完了することが、予め指示される
- (3) 試行の途中で、手先の移動量に対するアバターの移動速度 (あるいは背景の移動速度) の比率を制御することで、被験者に視覚刺激を与え、**Pseudo-Haptics** を提示する

筋電図計測には、申請者が所有するロジカルプロダクト社製のワイアレス筋電図計を用いる。また、脳波計測には、ワイアレス脳波計 (Brain Rhythm 社製 BR8 PLUS / Unicorn BI 社製 Unicorn Hybrid Black) を用いる。**Pseudo-Haptics** を提示するための画像表示デバイスとしては、汎用の長短焦点プロジェクター (RICOH 社製 PJ WX4152) とヴァーチャルリアリティ (VR) システム (Oculus 社製 Rift) を用いる。

液晶モニターによる **Pseudo-Haptics** 提示においては、二次元コンピュータグラフィクス (CG) によるアバターの表示が行われる。この際、被験者の動きは Microsoft 社製 Kinect のモーションキャプチャ機能を用いて取得され、画面上のアバターの動きに反映される (図 1)。表 1 に示すような **Pseudo-Haptics** を提示するための摂動ファクターの違いによる検討を行う。すなわち、**Pseudo-Haptics** を生起するために視覚運動刺激等を制御することで、筋活動および脳波への影響を調べる。

VR システムによる提示においては、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) に三次元 CG による VR 空間を表示する (図 2)。アバターとして、Oculus Touch コントローラによって座標取得された被験者の手が表示される。

Pseudo-Haptics 生起に関しては、視覚刺激の大きさの違いを感知できるか心理物理学的手法である恒常法を用いて評価する。

表 1 摂動ファクター

| 登る | 泳ぐ |
|---------------------------|---|
| プレイヤーとアバターの動きのスケール比 | プレイヤーとアバターの動きのスケール比 |
| 重力の大きさ | 流れの大きさ |
| 障害物の種類 (風, 雨, 虫, 木の实, 樹液) | 障害物の種類 (上流から濁流, 上流から魚群, 下流から濁流, 下流から魚群) |
| 障害物の発生タイミング | 障害物の発生タイミング |
| 障害物の継続時間 | 障害物の継続時間 |
| | 追跡者の有無, 種類 (下流から鮫/大蛇) |

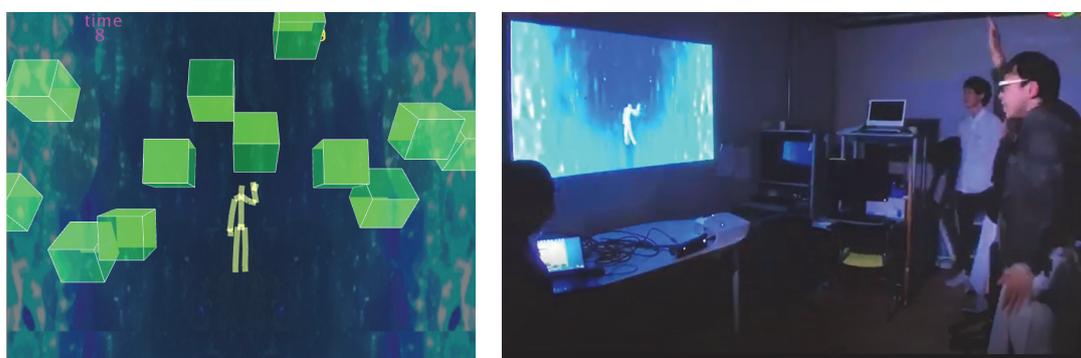


図 1 二次元 CG による Pseudo-Haptics 提示システムの画面

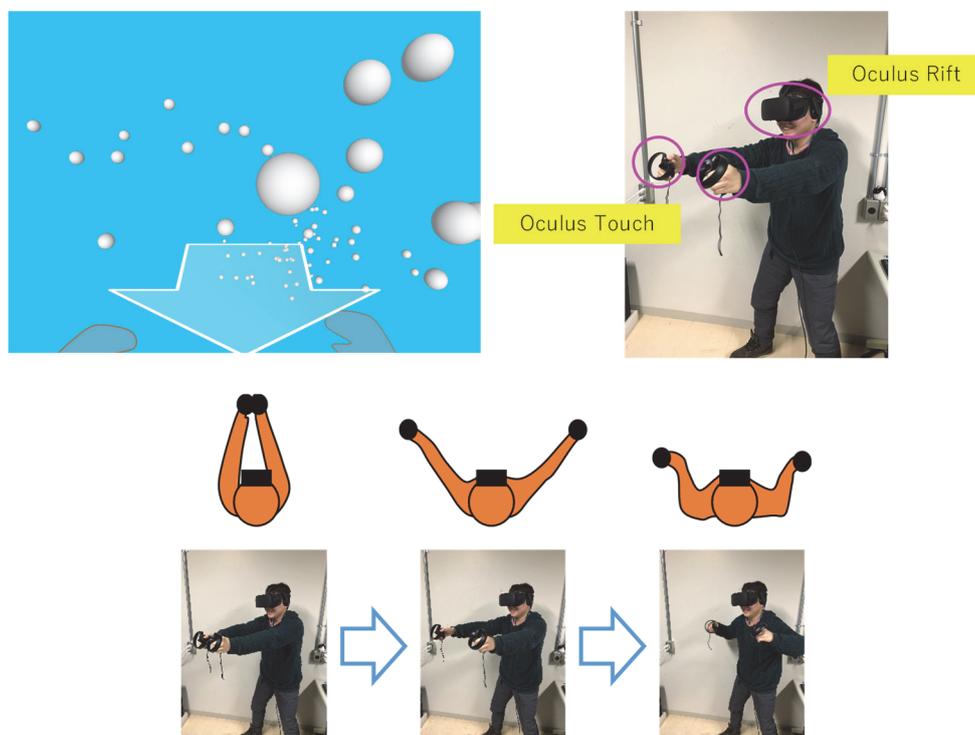


図 2 三次元 CG による Pseudo-Haptics 提示システムの画面

4. 研究成果

20代男性9名を対象として、実験を行った。実験実施にあたっては、学内倫理委員会の承認を得て、また、被験者には文書による同意を得ている。

前述の振動ファクターに関する検証の一例として、VRシステムにおける背景スクロールの制御がPseudo-Haptics生起時の知覚精度に与える影響について調べた実験について紹介する。この実験では、図3に示すように、順方向と逆方向の背景のスクロール量を制御可能とする提示システムを開発し、5通りのパターンでスクロール量を制御することで検討を行った。

- パターン1 泳ぐような動作による背景のスクロール量を変化させる
- パターン2 泳ぐような動作による背景のスクロール量を変化させ、一定のスクロール量で逆進行方向に押し戻される
- パターン3 泳ぐような動作による背景のスクロール量に比例した量で進行逆方向に押し戻される
- パターン4 泳ぐような動作によって背景のスクロール量を変化させず一定とし、逆進行方向に押し戻される量を変化させる
- パターン5 泳ぐような動作による背景のスクロール量に反比例した量で進行逆方向に押し戻される

パターン2およびパターン3では、対向する水の流れを表現することで、押し戻されるような感覚を生むことを目指している。パターン2では、対向する水の流れを、一定のスクロール量で背景が逆進行方向に押し戻される形で表現している。パターン3では、背景が逆進行方向に押し戻されるが、泳ぐ動作に比例して押し戻される背景のスクロール量を決定している。泳ぐ動作で、腕に前から後ろに動かしている時間帯は、進行方向に背景がスクロールし、それ以外では逆方向にスクロールする。パターン4では、対抗する水の流れによる逆進行方向への背景スクロールのみでPseudo-Hapticsを生起させるべく、逆進行方向に押し戻されるスクロール量を10段階に変化させる。パターン5では、パターン3と異なり、泳ぐ動作に反比例して押し戻される背景のスクロール量を決定している。泳ぐような動作において、腕に前から後ろに動かしている時間帯は、進行方向に背景がスクロールし、それ以外の時間帯は押し戻される方向にスクロールする。

以上の5パターンで実験を行い、知覚の精度について調べる。ここで言う精度とは、心理物理学における精度のことであり、本実験では、質問に対し各背景のスクロール量の差を正しく知覚できた回数を、各背景のスクロール量についての試行回数で割ったものである。精度に関するグラフを、シグモイド関数に近似し、各パターンにおける結果で比較した結果を図4に示す

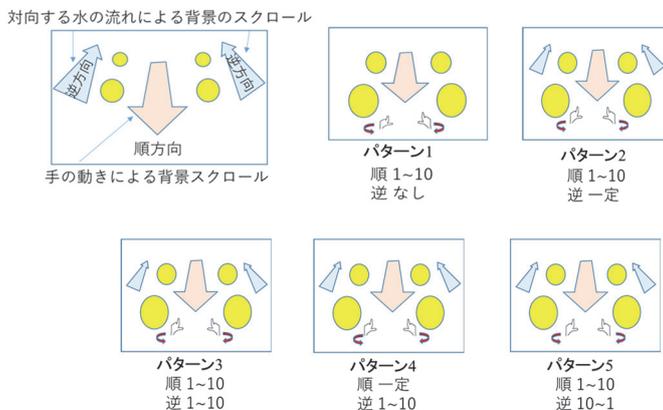


図3 振動パターン

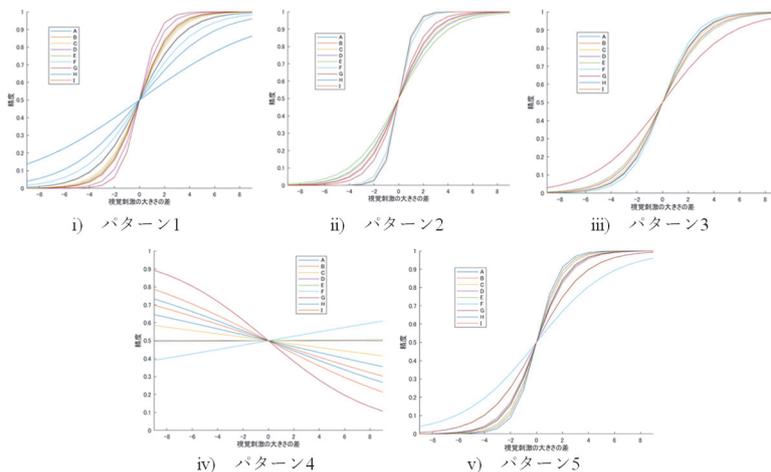


図4 知覚精度 (パターン2において全員の精度が高いことがわかる)

以上の結果は、進行方向に背景がスクロール量を制御することで、制御量の違いが、Pseudo-Haptics の生起における知覚の違いに関与していることがわかった。進行方向に対する方向にスクロールさせることで水の流れを表現したとき、流れに押し戻される感覚を生むことができ、その感覚が泳ぐような動作をしているときのリアリティを増進させる働きがある可能性が示唆された。また、泳ぐような動作をしたときの進行方向へのスクロール量を一定とし、対向する水の流れの大きさを表す逆進行方向へのスクロール量を変化することで、Pseudo-Haptics を生起させようと試みたが、難しいことがわかった。

この実験においては、脳波計と筋電図計による同時計測が行われたが、ランダムに変化するよう制御されたスクロール量と、脳波あるいは筋電図との間になにかしらの関係性は見いだせなかった。一方、いずれの被験者についても知覚精度が高い傾向が見られた摂動パターン2において、スクロール量を漸減させるように制御した場合は、図5に例示するように、スクロール量の減少とともに筋活動の増加が見られ、また、スクロール量が減少する区間における脳波においては、β波とγ波の割合が大きく増加する傾向が見られた。

β波はストレスを感じる時に増加すると言われており、また、γ波も緊張や興奮に関係すると言われていたことから、進行を妨げる方向に摂動を与えることによるPseudo-Haptics 提示に伴い、被験者がストレスを受けたり、緊張・興奮している状態になったりした可能性があるものと考えられた。この傾向は、個人差があるものの、9人中7人に見られたことから、Pseudo-Haptics の生起に伴う感情・精神状態の変化を捉えることができた可能性があるものと考えている。

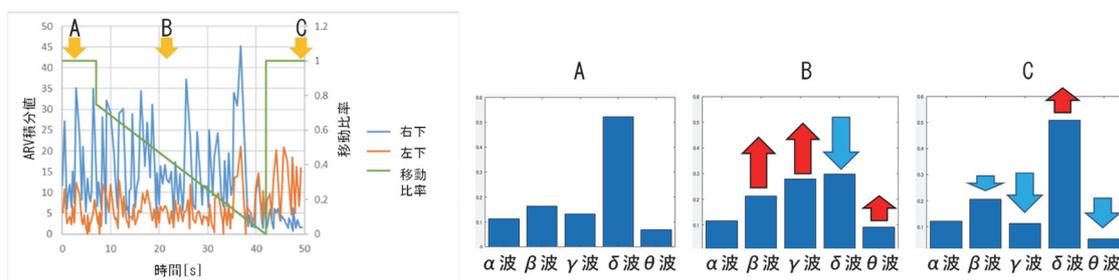


図5 筋電図計と脳波計による同時計測

一方で、本研究においては、計測系の構築に時間が掛かってしまったことが原因で、多くの課題が残された。特に、脳波計測は、体動の影響を受けやすく、Pseudo-Haptics 提示方法についても、何度も方針を変えざるを得なかった。より大きな体動を伴うようなタスクについて検討を行う予定であったが、頭部の移動が少ない体動に限定されることとなった。また、筋電図と同様、脳波は、ノイズと信号の分離が難しく、信号の瞬間的な変化として感覚の変化を高感度で捉えることは、非常に困難であるものと考えられた。このため、タスクを十分に単純化する必要があることがわかった。

最後に、本研究においては、当初予定していなかった検討事項として、視線計測を導入することを試みていることを追記したい(図6)。しかしながら、計測系の構築は完了したものの、COVID-19の流行により、被験者を募っての実験を継続することが困難となり、上述の脳波計測・筋電図計測を含めて、十分な被験者数による検討を行うことが行なうことができなかった。

しかし、前述の知覚精度に関する実験で、高い精度を示した被験者と低い精度を示した被験者との間には、視線の導線に差異が現れた。精度の高い被験者においては、視野中の目印となる物体(図6で言えば球体)の軌跡を追跡するように、視線が移動しており、他方、精度の低い被験者はそのような目印を目で追うような頻度が少ない。視線計測は、Pseudo-Haptics 生起のしやすさの個人差について検討する上で、有用なツールとなることが期待されるものと考えられた。引き続き、他の生理信号の同時計測とあわせて検討を進める予定である。

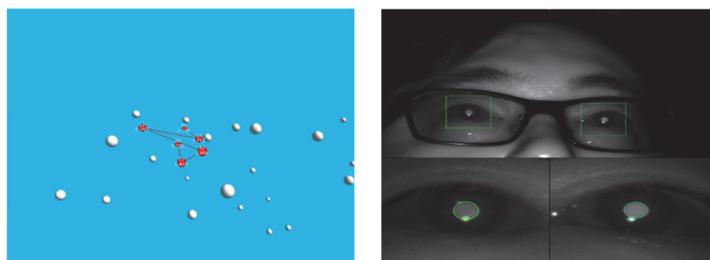


図6 視線計測システム

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 0件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 青木広宙 | 4. 巻 138 |
| 2. 論文標題 筋電図計測による疑似力触覚発生時の筋活動に関する検討 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 電気学会論文誌C | 6. 最初と最後の頁 1094-1099 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.138.1094 | 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 Hirooki Aoki | 4. 巻 102 |
| 2. 論文標題 Study on muscle activity during pseudo haptics occurrence by electromyogram measurement | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Electrical Engineering in Japan | 6. 最初と最後の頁 63-69 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecj.12152 | 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7件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hirooki Aoki |
| 2. 発表標題 Muscle Activity Resulting from Pseudo-haptic Occurrences |
| 3. 学会等名 12th France-Japan and 10th Europe-Asia Congress on Mechatronics (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hirooki Aoki |
| 2. 発表標題 Occurrence of Pseudo-Haptics by Swimming in a Virtual Reality Environment |
| 3. 学会等名 IEEE VR2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hirooki Aoki |
| 2. 発表標題 Application of Range Imaging for Measurement of Biological Signals |
| 3. 学会等名 2019 International Conference for Leading and Young Computer Scientists (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 青木広宙 |
| 2. 発表標題 疑似力触覚生起中の筋活動に関する検討 |
| 3. 学会等名 第22回知能メカトロニクスワークショップ |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 青木広宙 |
| 2. 発表標題 Depth Sensor Applications: Haptic User Interface and Non-contact Biosignal Measurement |
| 3. 学会等名 2018 International Conference for Leading and Young Computer Scientists (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 青木広宙 |
| 2. 発表標題 マーカレスモーションキャプチャを用いた疑似力触覚提示システム |
| 3. 学会等名 ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2019) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hirooki Aoki |
| 2. 発表標題 Application of Pseudo Haptics Display System for Health Promotion |
| 3. 学会等名 2019 International Conference for Top and Emerging Computer Scientists (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
| | | | |