

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：13904
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2013～2016
課題番号：25330169
研究課題名(和文) 定常状態視覚誘発電位を利用した認知状態推移の研究

研究課題名(英文) Perceptual transition using SSVEP

研究代表者
南 哲人 (Minami, Tetsuto)
豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・准教授

研究者番号：70415842
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、これまで申請者が進めてきた、脳波による情報理解の「あいまいさ」に関する研究をさらに発展させ、定常状態視覚誘発電位を利用して、認知状態推移をとらえることを目的とした。具体的には、隠し絵知覚において、「分からない」ときから「分かる」に認知状態移行したときのSSVEPの変調を調べるとともに、知覚闘争現象において、SSVEP周波数を利用して、見えの推移を追跡し、知覚闘争現象自体の脳内メカニズムを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to further develop our previous research on "ambiguity" of information comprehension and to capture the transition of the cognitive state using the steady state visual evoked potential. Specifically, in the hidden picture perception, we examine the modulation of SSVEP during the perceptual transition from "unknown" to "understand", and in the perceptual rivalry, using the SSVEP frequency to track the perceptual state, we clarified the mechanism of perceptual rivalry.

研究分野：認知神経科学

キーワード：ひらめき 認知状態推移 知覚闘争 SSVEP 脳波

1. 研究開始当初の背景

これまで、申請者は、日本学術振興会科学研究費補助金、若手研究 B「脳波・経頭蓋電気刺激を用いた「ひらめき」時における因果ネットワーク解析」で、脳内におけるグローバルな同期現象を利用して、同じ視覚刺激（例えば、情報を極端に減らした二値化画像：隠し絵）を見た場合の認知的な揺らぎを単一試行の脳波から判別できることを示し、さらに、隠し絵知覚における脳波測定により、答えが理解できたときの脳内ネットワークの因果関係を、部分有向コヒーレンス(partial directed coherence：PDC)解析を用いて明らかにし、従来の位相同期解析などでは得られなかった方向性を持った領域間結合を示した。これら一連の研究により、「ひらめき」時における認知状態推移が明らかになった。

2. 研究の目的

これらの研究は、「ひらめき」時における認知状態の基礎研究としては、非常に有効であると考えているが、ブレインマシンインターフェースなど実社会における応用を考えると、信号の SN 比など厳しい側面もある。そこで、本研究では、定常状態視覚誘発電位 (Steady state visually evoked potential：SSVEP) を利用して、認知状態推移をとらえる研究を行う。認知状態推移の対象としては、これまで行ってきた隠し絵知覚に加えて、知覚闘争現象を取り上げる。知覚闘争現象は、1つの図形の観察において複数の見えが意識に昇るもので、脳の柔軟性を理解する上でも重要な知覚現象である。一般的に、知覚闘争においては、刺激の定常的な観察が必要となるため、脳波の定常的な変化を安定してとらえられる定常状態視覚誘発電位は有効と考えられる。定常状態視覚誘発電位は、特定の周波数で点滅する視覚刺激によって誘発される視覚脳波の一種である(Regan, 1966)。たとえば、8Hzの周波数で振動する視覚刺激を見ている脳の後頭部の脳波の周波数成分においては、8Hzの信号が高まるという現象が起こる。この SSVEP は、他の脳波誘発成分に比べて、SN 比が高く、安定して記録できることが知られている。近年、そのノイズの少なさと頑強性が着目されて、SSVEP に関する基礎研究および応用研究が増えてきている。これまで、SSVEP は注意 (Muller et al., 2003)、動機 (Moratti and Keil, 2005, 2009)、感情的な内容 (Keil et al., 2003; Kemp et al., 2002)、親近性 (Kaspar et al., 2010) などによって変調されていることが報告されてきている。また、応用研究としては、SSVEP を用いて、LED-QWERTY キーボードを入力させた事例 (Hwang et al., 2012) や 4 択の選択をさせた事例 (Zhang et al., 2012) など数多く報告されている。このことから、SSVEP の変調に関して、基礎研究及び応用研究を進めることは非常に重要であると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 隠し絵知覚における脳内ダイナミクス

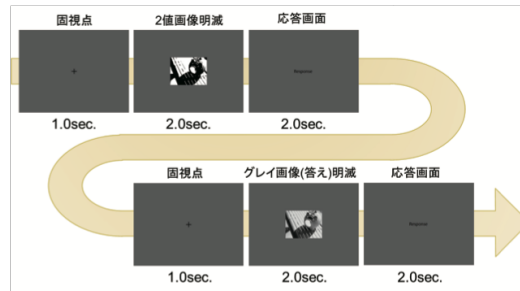


図 1：SSVEP を用いた隠し絵実験

先行研究によって、親しみのある画像と親しみのない画像を提示したときの SSVEP の振幅は差があること (Kaspar et al, 2010)からも、SSVEP により隠し絵における「ひらめき」がとらえられると考えられる。実験は、隠し絵とその本来のモノクロ画像を実験手順に従って刺激提示周波数 (7.5Hz, 12Hz) で提示を行った。被験者は、提示された刺激に対して、応答時間内にわかったかどうかを応答する。解析としては、グレイ画像を見た時の、「分からない」から「分かる」と最初から分かっている、つまり「分かる」-「分かる」と応答した場合の SSVEP を比較することにより、認知状態の遷移が SSVEP の振幅の差に現れるかどうかを調べた。

さらに、二値画像からその答えであるグレースケール画像にモーフィングしていくことで、画像の曖昧性を時間変化させて、理解度の時間推移が SSVEP に及ぼす影響を調べた。実験では、本来の画像情報を劣化させることで画像情報を曖昧にした二値画像と答えとなるグレースケール画像を順に呈示することで、画像理解度の遷移を誘発させた。さらに刺激を 7.5H の明滅頻度で呈示させることによって SSVEP を誘発させた。そのときの脳波を計測するとともに、被験者には画像への理解度を応答することをタスクとして課した。計測した脳波データは、画像への理解度遷移の状態毎に分類し、Wavelet によって時間周波数解析を行うことで、7.5Hz の SSVEP を抽出した。なお、画像理解度は二値画像呈示後と答えの呈示後の被験者の応答を基に 3 条件 (NN：終始対象が捉えられなかった、NR：刺激呈示中に理解できた、RR：事前の提示の時点で捉えられていた)とした。その結果、7.5Hz SSVEP が画像理解度を反映し、その振幅が変調されることを示した。それと共に、画像理解度の遷移についても SSVEP の時間推移に現れることを示した。また、理解度を分離する上で重要な SSVEP の特徴量について Support Vector Machine を用いて調べた。

(2) 知覚交替における脳内ダイナミクス

知覚闘争中の神経処理の理解は神経科学において重要なテーマのひとつである。本研究では、曖昧性画像であるネッカーキューブを用いて、知覚闘争中の神経ダイナミクスを調

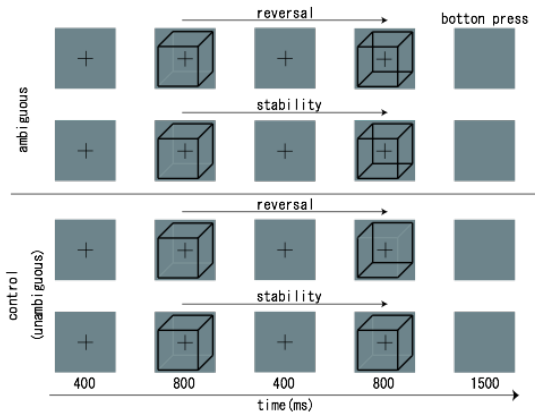


図 2：提案した刺激提示方法

査した。具体的には、ネッカーキューブを用いて、ヒトの知覚が2つの図形の間で自発的に切り替わる瞬間の活動を脳波から調査した。自発的な知覚変化は本来、それがいつ発生するか予測することが困難である。しかし、本研究では、正確な知覚変化のタイミングを得るための手続きを提案した(図2参照)。具体的には、使用する刺激の一部に双安定画像ではなく、一意に知覚が定まる刺激を利用することで、被験者内の知覚変化の瞬間を同定した。そのため、従来研究より、正確な知覚変化の振動活動を捉えることができると考えられる。そして、ERP解析に加え、ニューロン活動に密接に関係している脳波の振動活動に着目した。

さらに、曖昧性画像であるネッカーキューブが複数個組み合わせられたネッカーラティスを用いて、知覚闘争中の神経ダイナミクスを調査した。知覚闘争中の神経活動を調査するため、定常状態視覚誘発電位(SSVEP)と呼ばれる脳活動および手続きを利用した。

4. 研究成果

(1) 隠し絵知覚における脳内ダイナミクス

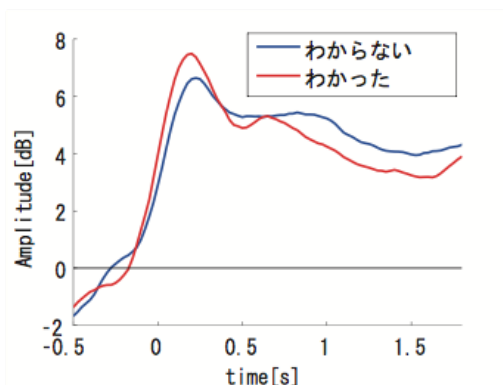


図 3：二値画像に対する SSVEP

7.5Hz の SSVEP を抽出し、強く SSVEP が現れるとされる後頭において、認識状態の違いによる SSVEP の振幅に有意な差(図3参照)が生じているか t 検定を行い、検討した。二値画像の呈示でわかった場合とわから

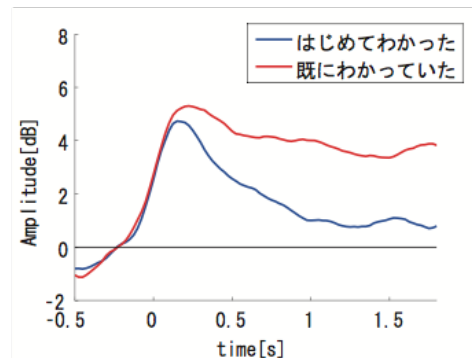


図 4：答え画像に対する SSVEP

なかった場合の 7.5Hz 帯 SSVEP 振幅の比較を行った結果について示す。わかった場合に比べ、わからなかった場合に振幅が強まる傾向があることがわかった ($p = 0.08$)。また、信号源解析の結果、わからない場合、呈示後 600-700msec 間に下前頭回や中前頭回の活動が活発化した。

答えの呈示で初めて物体を認識できた場合と二値化画像の呈示で認識できた後に答えが呈示された場合の 7.5Hz 帯 SSVEP 振幅の比較を行った結果について示す(図4参照)。答えの呈示で初めてわかった場合、すでにわかっていた場合に比べ、振幅が減衰した ($p < 0.0001$)。同様に、信号源において、すでにわかっていた場合に比べ、呈示後 500-1900msec 間に上後頭回や中後頭回、中側頭回、楔部の活動が抑制された。

7.5Hz で明滅された二値画像が正確に認識できない場合、SSVEP の活動は二値画像を認識できる場合よりも強く現れ、中前頭回と呼ばれるワーキングメモリアクセスアクセスと関連がある脳部位が活性化した。つまり、二値画像を認識できない状態では、記憶探索処理の促進によって中前頭回の活動が活性化することで、メモリ探索と関わりのあるシータ帯活動が強く誘発され、その結果、7.5Hz 帯の SSVEP が増幅されたと考えられる。

また、既に呈示された二値画像を認識できた後に答えとなるグレースケール画像が呈示された場合、SSVEP と中前頭回の活動は活発化する一方、答え画像によってはじめて物体を認識した場合、それらの活動は抑制される。それに加えて、中後頭回、上後頭回、中側頭回、楔部の活動も減衰した。これまでの研究で、後頭頭頂における 6-8Hz の活動減衰は、物体に対する意味解析活動の活性化を示すことが示唆されており、答え画像による SSVEP の減衰は、答え画像と二値画像間で発生する意味結合による記憶参照を反映していると考えられる。以上より、7.5Hz 帯 SSVEP が認識状態の違いを反映することを示唆し、ヒトの理解度の抽出に利用できる可能性を示した。

二値画像から答えへモーフィングさせることで対象への知覚難易度を徐々に変化させた。これにより、理解度の遷移を誘発させる。そ

して、ノイズが画像の上で 7.5Hz で明滅することで 7.5Hz SSVEP を誘発させたその結果、理解度が遷移した場合のみ SSVEP が二値画像呈示時と答え画像呈示時で振幅の減衰が生じた。二値画像呈示時では、画像理解度が低い場合に比べて画像理解度が高い場合の SSVEP 振幅は低下し、答え画像呈示時についても同様の結果となった。しかし、理解度が低い場合から理解度が高い場合に遷移した場合に SSVEP の時間推移が変調される結果となった。加えて、理解度を分離する上で重要な SSVEP の特徴量に関して機械学習を用いて調べた。その結果、後頭で生じる SSVEP における、理解度を分離するための時間窓毎の重みにより、理解度が刺激呈示時に時間的に遷移していることを示した。これらの結果は、画像理解度をリアルタイムに推定する新しい Brain-Computer Interface への応用が期待できる。

(2) 知覚交替における脳内ダイナミクス

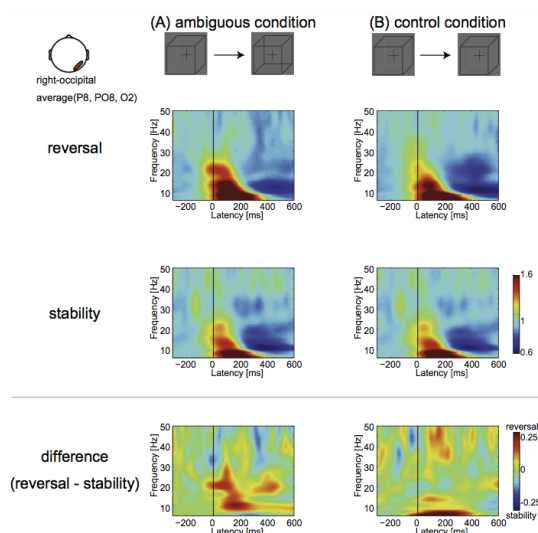


図 5：各条件における時間周波数解析結果

ERP 解析における統計解析の結果、control 条件時にのみ、後頭領域 PO7、PO8 チャンネルの N1 成分、PO8 チャンネルの RN 成分に知覚変化の活動の影響が反映された。さらに、頭頂領域 Cz では後期 ERP として LPP に知覚変化の影響が反映された。一方、ambiguous 条件では、これらの ERP 成分に知覚反転と知覚保持の間の活動の差は見られなかった。また、自発的な知覚の変化 (Ambiguous) と単なる図形の変化 (Control) の瞬間の脳活動について時間周波数解析を用いて比較した。実験の結果、自発的な知覚変化は、知覚変化後すぐ、右後頭部においてベータ帯 (12-20Hz の周波数活動) が活性化した。一方、単なる図形の変化ではベータ帯の活性化は見られなかった。

さらに、SSVEP を用いて知覚交替実験の結果、知覚交替前の -3 ~ -0.5 秒の闘争条件およびコントロール条件の活動を比較したところ、広範囲の前頭および後頭領域において有意差

が認められた。前頭および後頭領域の知覚交替への関与は fMRI を使用した研究において報告されており、前頭と後頭の間で情報の交換を行うネットワークが形成されている可能性が考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

論文 (英語)

- Higashi H*, Minami T, Nakauchi S. Fluctuation of event-related potentials on transition states. *Frontiers in Human Neuroscience* 2017, 27, 75.
- Nakajima K, Minami T*, Nakauchi S. Interaction between facial expression and color. *Scientific Reports* 2017, 7, 41019.
- Minami T*, Nakajima K, Linda C, Nakauchi S. The effects of facial color and inversion on the N170 ERP component. *Neuroscience*, 2015 Dec 17;311:341-8.
- Nakajima K, Minami T*, Nakauchi S. Effects of facial color on the subliminal processing of fearful faces. *Neuroscience*, 2015 Dec 17;311:341-8.
- Yokota Y, Minami T*, Naruse Y, Nakauchi S. Neural processes in pseudo perceptual rivalry: An ERP and time-frequency approach. *Neuroscience*, 2014 Jun 20;271:35-44.
- Nakajima K, Minami T*, Tanabe HC, Sadato N, Nakauchi S. Facial color processing in the face-selective regions: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 2014 Sep;35(9):4958-64. [PubMed]
- Minami T*, Noritake Y, Nakauchi S. Decreased beta-band activity is correlated with disambiguation of hidden figures. *Neuropsychologia*, 2014 Apr;56:9-16.
- Kongthong N, Minami T*, Nakauchi S. Gamma oscillations distinguish mere exposure from other likability effects. *Neuropsychologia* 2014 Feb;54:129-38.
- Kongthong N, Minami T*, Nakauchi S. Semantic processing in subliminal face stimuli: An EEG and tDCS study. *Neurosci Lett* 2013; 544:141-6. [PubMed]

[学会発表] (計 29 件)

- Ryu, S., Higashi, H., Tanaka, T., Nakauchi, S., Minami, T., Spatial smoothing of canonical correlation analysis for steady-state visual evoked potential based brain machine interface, *Engineering of*

- medicine and Biology Society (EMBC2016, Orland, USA),(2016/8/16-20:8/17;Poster)
2. Nihei, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Pupillary response to face-like processing, The European Conference on Visual Perception (ECVP2016, Barcelona, Spain), p.58, (2016/8/28-9/1:9/1;Poster)
 3. Nakakoga, S., Nihei, Y., Nakauchi, S., Minami, T., Pupillary response reflects the effect of facial color on expression, The European Conference on Visual Perception (ECVP2016, Barcelona, Spain), p.57, (2016/8/28-9/1:9/1;Poster)
 4. Suzuki, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Pupil response is moderated by the recognition state in the hidden images, 20th annual meeting of the Association for the Scientific Study of Consciousness (ASSC 20), Buenos Aires, Argentinean, June, 14-18, 2016, (poster)
 5. Suzuki, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Mismatch between perception and neural response in glare illusion, Vision Sciences Society 2016 Annual Meeting (VSS 2016), Florida, USA, May, 12-20, poster
 6. 中古賀理, 二瓶裕司, 中内茂樹, 南哲人, 顔色が低解像度顔刺激における表情認知に及ぼす影響 ~眼球運動による解析~, 第 39 回日本神経科学大会, (2016/7/20-22;7/20; パシフィコ横浜; ポスター)
 7. 龍進吾, 東広志, 中内茂樹, 南哲人, 電極配置情報を利用した正準相関分析による定常状態視覚誘発電位の識別, 第 39 回日本神経科学大会, (2016/7/20-22;7/22; パシフィコ横浜; ポスター)
 8. 二瓶裕司, 南哲人, 中内茂樹, 顔らしさ処理における瞳孔径応答, 日本視覚学会 2016 年夏季大会, p.117 (2016/8/17-19:8/17; 朱鷺メッセ:新潟コンベンションセンター; ポスター)
 9. 中古賀理, 二瓶裕司, 中内茂樹, 南哲人, 低解像度顔刺激の表情認知における顔色の役割, 日本視覚学会 2016 年夏季大会, p.117 (2016/8/17-19:8/17; 朱鷺メッセ:新潟コンベンションセンター; ポスター)
 10. 竹林優樹, 南哲人, 中内茂樹, 顔モーフ刺激が定常状態視覚誘発電位に与える影響, 日本視覚学会 2016 年夏季大会, pp.117-118 (2016/8/17-19:8/17; 朱鷺メッセ:新潟コンベンションセンター; ポスター)
 11. Sasaki, G., Minami, T., Nakauchi, S., SSVEP modulation is caused by UFOV performance, Annual Conference on Clinical Neurophysiology and NeuroImaging 2015 - Joint Meeting of ECNS, ISNIP and ISBET (Munich, Germany), (2015/09/10, poster)
 12. Nakajima, K., Minami, T., Nakauchi, S., Face and background colour effect on facial expression perception., European Conference on Visual Perception (ECVP2015, Liverpool, England), (2015/8/23-27, poster)
 13. Nihei, Y., Minami, T., Nakauchi, S., An optimum stimulation method in SSVEP-Based researches and BCIs., European Conference on Visual Perception (ECVP2015, Liverpool, England), (2015/8/23-27, poster)
 14. Suzuki, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Investigation of brightness perception with glare illusion by SSVEP., European Conference on Visual Perception (ECVP2015, Liverpool, England), (2015/8/23-27, poster)
 15. Shinkai, T., Minami, T., Nakauchi, S., Influence of crossing hemifields in Multiple Object Tracking., European Conference on Visual Perception (ECVP2015, Liverpool, England), (2015/8/23-27, poster)
 16. 新海崇紘, 南哲人, 中内茂樹, 定常状態視覚誘発電位による複数移動対象への注意状態の推定, 第 17 回日本感性工学会大会 (2015/09/1, 口頭発表)
 17. 佐々木豪介, 南哲人, 中内茂樹, 有効視野性能の定常状態視覚誘発電位への反映, 第 38 回日本神経科学大会 (2015/07/28 - 07/31, ポスター)
 18. 竹林優樹, 南哲人, 中内茂樹, ヒトの顔情報処理における顔色と表情の影響 ~定常状態視覚誘発電位による解析~, 第 38 回日本神経科学大会 (2015/07/28 - 07/31, ポスター)
 19. 鈴木雄太, 南哲人, 中内茂樹, グレア錯視による明るさ増強効果が脳活動へ及ぼす影響, 第 38 回日本神経科学大会 (2015/07/28 - 07/31, ポスター)
 20. Nihei, Y., Minami, T., Nakauchi, S., Brain activity related to the judgment of the face-likeness: Correlation between EEG and face-like evaluation, International Conference of Global Network for Innovative Technology(Ignite2014, Penang, Malaysia), pp.(2014/12/15-16, oral)
 21. Azuma, K., Minami, T., Nakauchi, S., SSVEP is modulated by dynamical

- change of object recognition state, Association for the Scientific Study of Consciousness(ASSC18, Brisbane, Australia), p.66 (2014/7/16-19, Poster)
22. Shinkai, T., Minami, T., Nakauchi, S., Extraction of the covert divided attention by steady-state visual evoked potential, Association for the Scientific Study of Consciousness(ASSC18, Brisbane, Australia), p.67 (2014/7/16-19, Poster)
23. 新海崇紘, 南 哲人, 中内茂樹, 定常状態視覚誘発電位による複数移動対象の追跡, 第 37 回日本神経科学学会, p.420(2014/9/11-13:9/12;パシフィコ横浜;ポスター)
24. 二瓶裕司, 南 哲人, 中内茂樹, 顔らしさ判断を反映する脳活動:脳波と顔らしさ評定値の相関, 第 37 回日本神経科学学会, p.442(2014/9/11-13:9/13;パシフィコ横浜;ポスター)
25. Nakajima, K., Minami, T., Nakauchi, S., The relationship between expression and colour on the face perception, **36th European Conference on Visual Perception**(ECVP2013, Bremen, Germany), Perception, Vol.42 (Supplement), p.192 (2013/8/25-29, Poster)
26. Minami, T., Noritake, Y., Nakauchi, S., Oscillatory brain activity correlates with disambiguation of hidden figures, International Conference on Basic and Clinical Multimodal Imaging(Geneva, Switzerland), (2013/9/5-8, Poster)
27. Azuma, K., Minami, T., Nakauchi, S., Steady state visually evoked potential is modulated by the difference of recognition condition, International Conference on Basic and Clinical Multimodal Imaging(Geneva, Switzerland), (2013/9/5-8, Poster)
28. 東和樹, 南哲人, 中内茂樹, 定常状態視覚誘発電位による物体認識の調査, Neuro2013, pp.181 (2013/6/20-23:6/20;国立京都国際会館;ポスター)
29. 中島加恵, 南哲人, 中内茂樹, モーフ表情判別に顔の色情報が寄与する, Neuro2013, pp.333 (2013/6/20-23:6/22;国立京都国際会館;ポスター)

〔図書〕 (計 1 件)

今後の超高齢化社会に求められる生活支援 (医療・福祉・介護・リハビリ) ロボット技術, 情報機構

〔産業財産権〕
○出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等
<https://www.tut.ac.jp/university/faculty/eiris/573.html>
<https://sites.google.com/site/minamicnt/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

南 哲人 (Tetsuto Minami)
豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端
融合研究所・准教授
研究者番号：70415842