

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300168

研究課題名（和文）リアルタイムコミュニケーション可能なアクティブBCIシステムの研究

研究課題名（英文）Active BCI system that enables real time communication

研究代表者

伊良皆 啓治（IRAMINA KEIJI）

九州大学・システム情報科学研究院・教授

研究者番号：0211758

研究成果の概要（和文）：

新発想のブレインコンピュータインタフェース（BCI）として、脳神経細胞の興奮特性を外部刺激により一時的に変化させる事で脳波成分を抽出し易くするアクティブ BCI を提案した。非侵襲的外部刺激として反復経頭蓋磁気刺激(rTMS) や経頭蓋直流電流刺激 (tDCS) を用いた。低周波 rTMS や tDCS の陰極刺激では脳波成分の抑制が、tDCS の陽極刺激では興奮が確認され、ABC I 実現への手掛かりが得られた。

研究成果の概要（英文）：In this study, a new technique of brain computer interface(BCI) was proposed. This technique is combined an EEG measurement and transcranial stimulation to a brain which can change excitability of the neuron temporally as to extract EEG future. Repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) or transcranial direct current stimulation (tDCS) was used. We investigated effects of these stimulation on the neuronal activity. Low frequency rTMS or the cathodal stimulation of tDCS has inhibited the neuronal activity and the anodal stimulation of tDCS has excited the neuronal activity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,100,000	1,830,000	7,930,000
2010年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2011年度	2,800,000	840,000	3,640,000
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、医用生体工学・生体材料学

キーワード：ブレインコンピュータインタフェース、脳波、経頭蓋磁気刺激、事象関連脱同期、事象関連同期、経頭蓋直流電気刺激、事象関連電位

## 1. 研究開始当初の背景

ブレインコンピュータインターフェイス（BCI）とは、ヒトの思考や行動を脳波や脳血流の情報から読み取り、その情報を用いてコンピュータ操作や機械の制御を行うものである。具体的には、手足の動作を用いずに

考えただけで電動車椅子の制御を可能とする手法であり、一切の筋肉を動かすことができなくなった筋萎縮性側索硬化症（ALS）患者に対する外部とのコミュニケーションの手段としてなど、障害者の支援機器として用いられる。また、障害者でなくとも、コンピ

ュータや機械のヒトに優しいインターフェイスへの応用も考えられる。

脳内の情報を読み取るため脳活動を測定する方法には、頭部を開頭し、何らかのセンサーを脳内に埋め込む侵襲的手法と頭の外から信号をとる非侵襲的手法に分けられる。侵襲的な方法は主に大脳に直接電極を埋めこむか、脳表面に電極を張りつける等の方法がある。脳内に電極を埋め込む方法は、導電率の低い頭蓋の影響を受けにくく、神経の活動をダイレクトに測定でき高精度なデータを得ることができる。このような方法は、米国では盛んに研究されており、運動野に埋め込んだ電極で人工の義手を操作するといったことも行われている。しかし、侵襲的な手法では被験者への負担が大きく、日本国内では倫理上の問題も生じるため、脳神経疾患の治療に用いるなど明確な理由がないと行うのが難しいというのが現状である。一方、非侵襲的な手法は、頭蓋を開けることなく外部から脳の信号を取りだすため、被験者にかかる負担が小さく、一般に受け入れられやすい。

非侵襲的脳機能計測法としては、fMRI、脳磁図(MEG)、脳波(EEG)、近赤外分光計測法(NIRS)がある。これらは、時間分解能、空間分解能にそれぞれ特徴を持っており、装置の大きさや操作性も大きく異なる。fMRIやMEGは、脳活動を求めるには優れているが、装置が大掛かりとなり、被験者は測定中拘束されるため、特殊な用途のBCI以外には用いることができない。NIRSはこの中では一番簡便に脳活動を得ることができるが、測定対象が血流組成であり時間分解能の点で問題がある。そこで、比較的簡便に脳活動を測定でき、かつ高い時間分解能を持った脳波を用いてBCIを実現することが試みられてきた。

脳波を用いたBCIの歴史は20年近くに及ぶが、最近の脳機能計測技術の進歩により脳機能に関する理解が深まり、また新たな信号処理手法が開発されたことなどによって、ここ数年急速に進歩した。しかし、脳波は頭皮上に付けた電極から電気信号を測ることから、電気伝導率の低い頭蓋骨の信号に与える影響が避けられず、頭蓋骨の影響がない脳内電極埋め込み法に比べ信号が1/10程度に減衰し、信号抽出精度が上がらないこと、そこから生じる脳波現象の不確実性、更に脳波処理の計算に時間がかかるため高速な制御が難しいといった問題があった。これを解決するためのアプローチとして信号処理手法の改良を行うのが一般的である。

## 2. 研究の目的

本研究ではこれまでにないまったく新しい発想のBCIシステムとして、ターゲットとする脳波がより大きな信号を発生させたり減衰させたりするように神経細胞の興奮特

性を一時的に変化させる手法を提案した。これをアクティブBCI(ABCI)と呼ぶ。脳神経の興奮特性を一時的に変化させる方法として、反復経頭蓋磁気刺激(repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, rTMS)や経頭蓋直流電流刺激(transcranial Direct Current Stimulation, tDCS)を用いる。

経頭蓋磁気刺激(TMS)は頭部にあてたコイルに瞬間的に大電流を流すことによりパルス磁場を発生させ、脳内に誘導された渦電流によって脳神経を非侵襲で痛みなく刺激する手法である。TMSは扱いが比較的簡単で副作用が非常に少なく、脳・神経研究に応用されている。連続的な磁気刺激(rTMS)を一定時間脳神経に与えることによって、シナプスの興奮特性を一時的に抑制させたり促進させたりすることが可能である。

rTMSと同じような効果を与えるものとして、経頭蓋直流電流刺激(tDCS)が報告されている(Paulus, 2004)。これは頭皮上に付けたアノード(負極)とカソード(正極)の2つの電極間に1mA程度の電流を流すことにより、通電後一時的にシナプスの可塑性が変化し、rTMSと同じような効果が現れる現象である。これらの手法と脳波計測を併用することにより、一時的に神経の興奮特性を変化させ、ターゲットとする脳波を強調することができれば、従来のBCIに比べて脳波信号の特徴抽出精度を飛躍的に高めたBCIシステムが構築できると考えられる。

## 3. 研究の方法

本研究の柱としては、基礎実験、信号処理・解析ソフト開発、システム構築の3つからなる。基礎実験では、脳神経の興奮特性を変えるのに用いるrTMSやtDCSの刺激条件と脳神経の興奮特性の関連性を調べる。ソフト開発では、BCIの手法に関して、脳波の変動がある中でも信号が抽出できるように適応型にし、さらに新しいパターン認識の手法を導入し、信号の特徴抽出精度の向上を目指すソフトウェアを開発する。最終的に、実際にシステムとして組み込みABCIのプロトタイプを試作し従来の手法と比較検討を行い、更なる高効率のBCIを目指すことである。

これらの研究要素に関して3年間で研究を行い、リアルタイムコミュニケーション可能なシステムの開発を行うため次の5点を研究課題とした。

- (1) rTMSによる中枢神経系の興奮特性を調べる。特に、BCIで用いることを考えている運動関連領野および視覚関連領野における神経の興奮特性の変化が生じる刺激条件、持続時間を明らかにする。
- (2) tDCSによる中枢神経系の興奮特性を調べる。特に、BCIで用いることを考えている体性感覚野における高周波成分脳波に

与える影響を調べる。

- (3) TMS、および tDCS が神経の興奮特性をどのように変化させるか調べるために、脳内に誘導される誘導電流をシミュレーションにより求める。
- (4) TMS が脳活動に与える影響を評価するために、TMS 時の脳波同時計測を考え、その際に問題となる TMS によるアーチファクト除去の手法を確立する。
- (5) 従来の BCI における信号特徴抽出法の向上を行う。脳の活動は非定常性であり、常に同じ信号特徴抽出手法を用いることができるとは限らない。従って、刻々と変化していく脳波に応じて、信号抽出のクライテリアを変化させる適応型の信号処理法の研究を行い、常に変化していく脳波の中から必要な信号だけを抽出する適応型の処理法を開発する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 視覚関連領域における TMS の影響評価

① 経頭蓋磁気刺激時の神経興奮特性の変化を調べるため、多義図形の知覚交替に与える影響を調べた。客観的には同一の図形でありながら、知覚的には二つあるいはそれ以上の形が成立する図形を多義図形と呼ぶ。多義図形を見ていると、知覚される図形が時々切替わるのが自覚されこれを知覚交替と呼ぶ。視覚交替時間に及ぼす TMS の影響を調べた結果、右頭頂小葉に磁気刺激を 1 Hz 240 回与えた場合には、視覚交替の時間が優位に長くなり、1 Hz 60 回、および 0.25 Hz 60 回では、短くなり、刺激の回数によって知覚交替の時間が変化した。このことは、反復経頭蓋磁気刺激の刺激回数や周波数が神経の興奮特性を変化させることを示唆するものである。

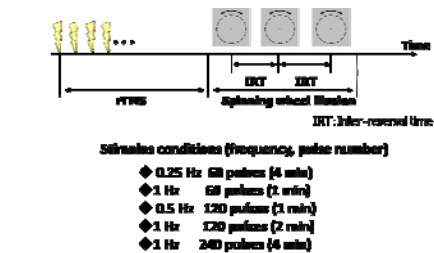


図1 知覚交替を用いた rTMS 評価実験のタイムシーケンス

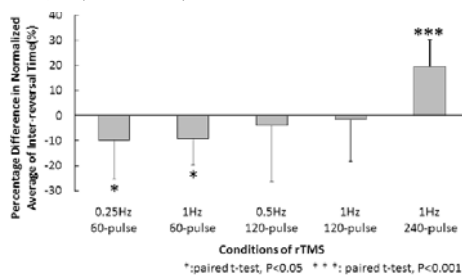


図2 各刺激条件下での知覚交替時間の変化

② rTMS や tDCS が脳波に与える影響を調べるため、それぞれの刺激を運動野に与えた際のイメージにおけるミュール波の事象関連脱同期 (ERD) の刺激前後の変化を調べた。その結果、rTMS の刺激強度が運動閾値の 110% の場合、および 1mA、10 分間の tDCS の陰極刺激では ERD が減少し、tDCS の 1mA、10 分間の陽極刺激では ERD が増加する現象が見られた。これらのことは、rTMS や tDCS が神経の興奮特性を変化させることを示すものであり、rTMS、あるいは tDCS を BCI とうまく組み合わせることにより効率のよい BCI の実現が可能であることを示すものである。

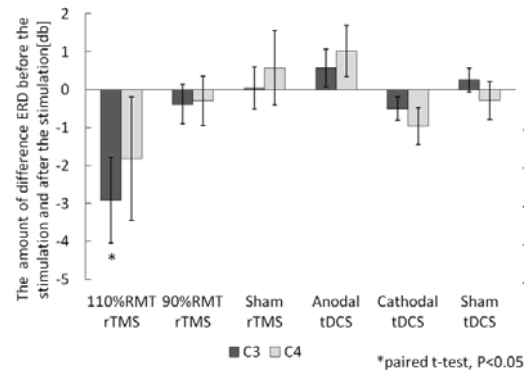


図3 イメージ時のミュール波の ERD に及ぼす影響

##### (2) tDCS による中枢神経系の興奮特性

1 ~ 2 ミリアンペアの弱い直流経頭蓋電気刺激 (tDCS) は皮質内の興奮性を長期的に変化させる効果がある。この影響を定量的に調べるため、tDCS を運動野に与えた際の体性感覚誘発電位およびその高周波成分である HFO の刺激前後の変化を求めた。本研究では、まず脳波の高周波成分による分析方法を提案し、電気刺激前後の HFO の変化を調べた。その結果、その影響は電気刺激のアノード刺激とカソード刺激で反転することがわかった。すなわち、神経興奮特性を変化させる経頭蓋磁気刺激、あるいは経頭蓋電気刺激を BCI とうまく組み合わせることにより、効率のよい BCI の実現が可能である。

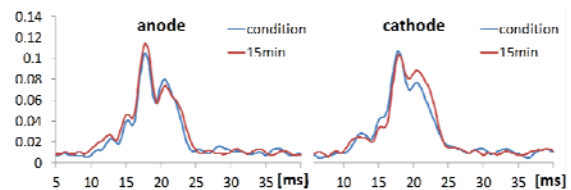


図4 tDCS から 15 分後の HFO の出現の変化  
左: 陽極刺激 右: 陰極刺激

(3) 脳溝モデルを用いた TMS による神経興奮特性の変化

経頭蓋磁気刺激における神経の興奮メカニズムを調べるため、脳の解剖構造、神経軸索を考慮したモデルを用いて、刺激時の渦電流をシミュレーションより計算する方法を開発した。これにより、神経興奮の位置や神経興奮のための刺激条件が詳細に求めることが出来るようになった。

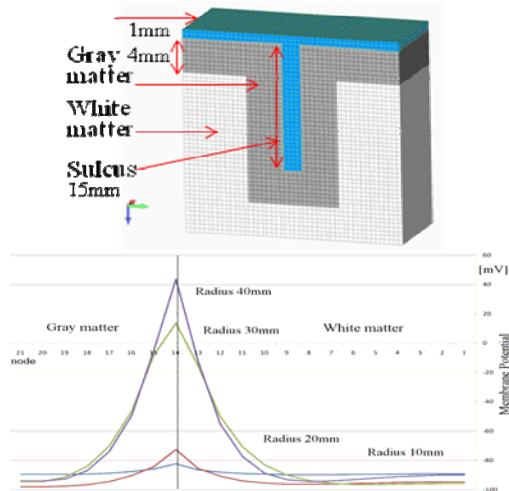


図 5 脳溝モデル(上)中に配した神経軸索モデルの膜電位の TMS 条件による変化(下)

(4) 磁気刺激、脳波の同時計測時のアーチファクト除去法

また、経頭蓋磁気刺激時の脳波計測に関して、磁気刺激によるアーチファクトが、大きな問題となっているが、誘導されるアーチファクトを、改良した等価電気回路モデルにより算出したアーチファクト成分を用いて差分を取ることでより除去性能を高めることが出来た。

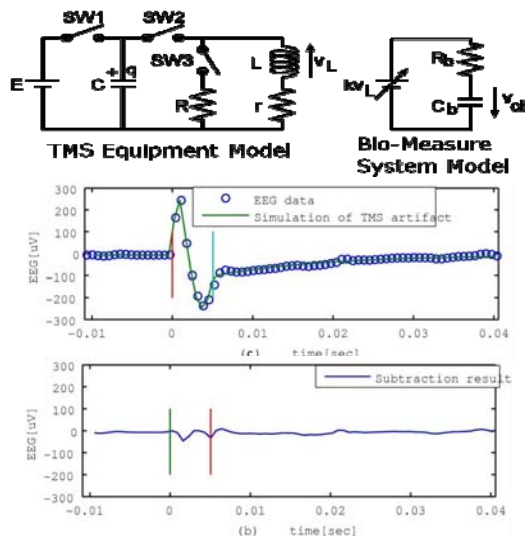


図 6 アーチファクトモデル(上)によるフィッティング(中)と除去(下)

(5) ERD、ERS の新しい解析法

BCI で重要な技術はヒトの思考と相関が高い脳波特徴の発見とその特徴を抽出する解析手法であるが、本研究では、事象関連同期、事象関連脱同期における evoked 成分と induced 成分の時間的特徴を利用することを考え、この2つの成分を分離する解析手法の提案を行い、その有用性を検討した結果、evoked 成分と induced 成分を明瞭に抽出することができ、事象関連同期、事象関連脱同期の時間的特徴を捉えることに有用であることがわかった。

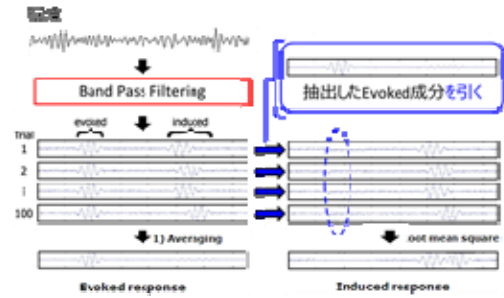


図 7 本研究で提案した事象関連脱同期 (ERD) から Induced 成分の抽出方法

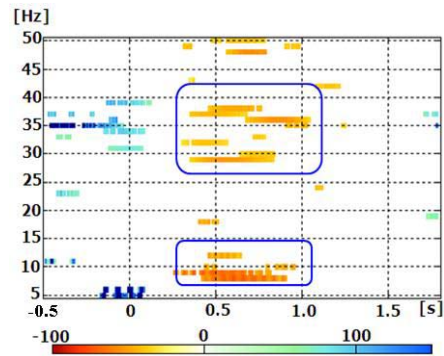


図 8 CPT タスク実行時における Induced response Induced 成分

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 35 件)

- ① T. Torii, A. Sato, M. Iwahashi, and K. Iramina, Effects of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation on event-related potential P300, 査読有, Journal of Applied Physics, 111, 07B319, 2012, DOI: [10.1063/1.3676204](https://doi.org/10.1063/1.3676204)
- ② T. Ikuno, Y. Katayama, K. Iramina, Selection and removal of artifacts in EEG based on independent components, 査読有, Proceedings of Biomedical Engineering



- International Conference (BMEiCON) 2011, 2012, 266-268,  
DOI: [10.1109/BMEiCon.2012.6172067](https://doi.org/10.1109/BMEiCon.2012.6172067)
- ③ M. Xu, J. Lauwereyns, K. Iramina, Dissociation of category versus item priming in face processing: an event-related potential study, 査読有, Cognitive Neurodynamics, 2012, 1-13,  
[doi:10.1007/s11571-011-9185-6](https://doi.org/10.1007/s11571-011-9185-6)
- ④ K. Iramina, Y. Katayama, Y. Kamei, Evaluation system for minor nervous dysfunction by pronation and supination of forearm using wireless acceleration and angular velocity sensors, 査読有, Proceedings of 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2011, 7364 -7367  
DOI: [10.1109/IEMBS.2011.6091841](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6091841)
- ⑤ K. Nojima, G. Sheng, Y. Katayama, K. Iramina, Relationship between pulse number of rTMS and inter reversal time of perceptual reversal, 査読有, Proceedings of 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2011, 8106 – 8109  
DOI: [10.1109/IEMBS.2011.6091999](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6091999)
- ⑥ Y. Katayama, K. Iramina, Fitting and Eliminating to the TMS Induced Artifact on the Measured EEG by the Equivalent Circuit Simulation Improved Performance, 査読有, IFMBE proceedings 5th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2011, 35, 2011, 519-522  
DOI: [10.1007/978-3-642-21729-6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-21729-6)
- ⑦ 片山 喜規, 森 友樹, 津山 靖智, 伊良皆 啓治, シミュレーションによる経頭蓋磁気刺激の最適なコイル条件の決定, 査読有, 日本生体磁気学会誌, 22, 2011, 53-57  
<http://mol.medicalonline.jp/library/archive/search?jo=cs1bioma&vo=22&nu=2>
- ⑧ D. Nomura, Y. Katayama, K. Iramina, The long-lasting effect caused by direct current for somatosensory evoked potentials and high frequency oscillations, 査読有, Proceedings of 2010 IEEE Region 10 Conference, 2010, 369-372  
DOI: [10.1109/TENCON.2010.5686656](https://doi.org/10.1109/TENCON.2010.5686656)
- ⑨ K. Nojima, G. Sheng, Y. Katayama, K. Iramina, Time change of perceptual reversal of ambiguous figures by rTMS, 査読有, Proceedings of 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010, 6759-6582  
DOI: [10.1109/IEMBS.2010.5627115](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5627115)
- ⑩ N. A Zilber, Y. Katayama, K. Iramina, Wintermantel Erich, Efficiency test of filtering methods for the removal of transcranial magnetic stimulation artifacts on human electroencephalography with artificially transcranial magnetic stimulation-corrupted signals, 査読有, Journal of Applied Physics, 107, 9, 2010, 09B305 - 09B305-3  
DOI: [10.1063/1.3357345](https://doi.org/10.1063/1.3357345)
- ⑪ K. Nojima, G. Sheng, Y. Katayama, S. Ueno, K. Iramina, Effect of the stimulus frequency and pulse number of rTMS on the inter-reversal time of perceptual reversal on the right SPL, 査読有, Journal of Applied Physics, 2010, 107, 09B320 1-3  
DOI: [10.1063/1.3357987](https://doi.org/10.1063/1.3357987)
- ⑫ K. Iramina, Effect of Transcranial Magnetic Stimulation(TMS) on Visual Search Task, 査読有, International J. of Applied Biomedical Engineering, Vol.2, No.2, 2009, 1-8  
<http://www.ijabme.org/File/vol2no2/P01R.pdf>
- ⑬ Y. Katayama, K. Iramina, Equivalent Circuit Simulation of the Induced Artifacts Resulted From Transcranial Magnetic Stimulation on Human Electroencephalography, 査読有, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, 2009, 4833-4836  
DOI: [10.1109/TMAG.2009.2025599](https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2025599)
- ⑭ S. Tsuyama, Y. Katayama, A. Hyodo, S. Ueno, K. Iramina, Effects of Coil Parameters on the Stimulated Area by Transcranial Magnetic Stimulation, 査読有, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 45, 2009, 4845-4848  
DOI: [10.1109/TMAG.2009.2023619](https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2023619)
- ⑮ A. Hyodo, S. Ueno, K. Iramina, Influence of Coil Current Configuration in Magnetic Stimulation of a Nerve Fiber in Inhomogeneous and Anisotropic Conducting Media, 査読有, Proceedings of 31th Annual International IEEE EMBS Conference, 2009, 6501-6504  
DOI: [10.1109/IEMBS.2009.5333594](https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5333594)
- ⑯ T. Hayami, K. Iramina, A. Hyodo, X. Chen, and K. Sunagawa, Detection of a diabetic sural nerve from the magnetic field after electric stimulation, 査読有, J. Appl. Phys., Vol. 105, 2009, 07B315  
DOI: [10.1063/1.3075984](https://doi.org/10.1063/1.3075984)
- ⑰ A. Hyodo, T. Hayami, S. Tsuyama, K. Iramina, S. Ueno, Effects of stimulus parameters and tissue inhomogeneity on nerve excitation processes in magnetic stimulation of the brain, 査読有, J. Appl.

- Phys.,Vol. 105, 2009, 07B304  
DOI: [10.1063/1.3068460](https://doi.org/10.1063/1.3068460)
- ⑱ M. Iwahashi, Y. Koyama, A. Hyodo, T. Hayami, S. Ueno, K. Iramina, Measurements of evoked electroencephalograph by transcranial magnetic stimulation applied to motor cortex and posterior parietal cortex, 査読有, J. Appl. Phys.,Vol. 105, 2009, 07B321  
DOI: [10.1063/1.3070623](https://doi.org/10.1063/1.3070623)
- ⑲ K. Iramina, S. Ge, A. Hyodo, T. Hayami, S. Ueno, Disturbance of visual search by stimulating to posterior parietal cortex in the brain using transcranial magnetic stimulation, 査読有, J. Appl. Phys.,Vol. 105, 2009, 07B302  
DOI: [10.1063/1.3061845](https://doi.org/10.1063/1.3061845)
- ⑳ A. Hyodo, T. Hayami, S. Tsuyama, K. Iramina, S. Ueno, Effects of stimulus inhomogeneity on nerve excitation processes in magnetic stimulation of the brain, 査読有, J. Appl. Phys.,Vol. 105, 2009, 07B304  
DOI: [10.1063/1.3068460](https://doi.org/10.1063/1.3068460)

[学会発表] (計 38 件)

- ① T. Torii, A. Sato, M. Iwahashi, K. Iramina, Effects of Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Event Related Potential P300, 56th Conference on Magnetism and Magnetic Materials, 2011.11.03.
- ② K. Yoshinori, K. Iramina, Development of Element Technology of Transcranial Magnetic Stimulation for Noninvasive Therapy, 第30回日本磁気学会学術講演会, 2011.09.28.
- ③ K. Iramina, Y. Kamei, Y. Katayama, Evaluation System for Minor Nervous Dysfunction by Pronation and Supination of Forearm using Wireless Acceleration and Angular Velocity Sensors, 33rd International Conference of the IEEE Engineering in medicine and Biology Society, 2011.09.03
- ④ Y. Katayama, K. Iramina, Fitting and Eliminating to the TMS Induced Artifact on the Measured EEG by the Equivalent Circuit Simulation Improved Performance, 5th Kualalumpur Internationa Conference on biomedical Engineering /8th Asian Pacific Conference on Medical and Biological Engineering ,2011.06.23.
- ⑤ K. Iramina, Measurement and Control of Human Brain Dynamics -Toward Applying BCI Technology-, The 6th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics, 2010.10.08
- ⑥ Y. Katayama, K. Iramina, Equivalent Circuit

Simulation of the Induced Artifacts Resulted from TMS on EEG, 11th International Congress of IUPESM World Congress 2009, 2009.09.09

- ⑦ K. Iramina, The Understanding of Human Brain Dynamics by Transcranial Magnetic Stimulation, The 2nd Biomedical Engineering International Conference, 2009.08.13.
- ⑧ Y. Katayama, K. Iramina, Equivalent circuit simulation of the induce artifacts resulted from transcranial magnetic stimulation on human electroencephalography, IEEE International Magnetic Conference 2009, 2009.05.06

[図書] (計 0 件)

[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: なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊良皆 啓治 (IRAMINA KEIJI)

九州大学・大学院システム情報科学研究  
院・教授

研究者番号: 20211758

### (2) 研究分担者

早見 武人 (HAYAMI TAKEHITO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・講師  
研究者番号: 60364113

片山 喜規 (KATAYAMA YOSHINORI)

九州大学・大学院システム情報科学研究  
院・助教

研究者番号: 00214338

### (3) 連携研究者

なし