

令和 6 年 6 月 1 7 日現在

機関番号：3 4 3 1 5

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：2 2 K 2 1 2 2 2

研究課題名（和文）心の状態計測を目指した日常生活下での脳信号源の位置計測に関する研究

研究課題名（英文）A study on location measurement of brain signal source in daily life for measurement of mind state

研究代表者

坂上 友介（Sakaue, Yusuke）

立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構（BKC）・助教

研究者番号：8 0 7 7 2 3 6 8

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000 円

研究成果の概要（和文）：心の状態は心身の健康状態に大きく影響するため、日常的に計測・評価することが重要であるが、客観的な評価方法は確立されていない。本研究では心の状態は脳の活動状態であることに着目し、心の状態計測を最終目標に日常生活下で取得した脳波を用いた脳活動位置（脳信号源位置）計測システムを開発した。このシステムは、代表者が本研究に先立って開発した分圧抵抗スイッチング電極による生体内電気信号の信号源位置推定技術を用いた。以前の方法では心の状態のように時々刻々と変化する脳活動の脳信号源位置を計測することは困難であった。本研究ではこの問題を解決した新しい計測回路を実現し、日常生活下に適用可能な計測システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した計測システムを用いることで、客観的な評価方法が確立されていないヒトの心の状態を脳活動から評価することが可能となる。心の状態は、ヒトの心身の健康状態に大きく関連していることから、健康状態の維持・増進に貢献することが期待できる。また、本研究で開発した計測システムは日常生活環境における脳活動の詳細な観察を可能とするため、脳科学分野の幅広い躍進への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：As the mind state greatly affects mental and physical health, it is important to measure and evaluate it on a daily life, but no objective evaluation method has been established. In this study, it was focused on that the mind state is on basis of brain electrical activity, i.e., brain signal source, and its location measurement system using electroencephalograms acquired in daily life was developed. Ultimate goal of this study is measuring the mind state using brain signal source location. The signal source location estimation technology using a switching voltage divider electrode, which was developed prior to this study was used. In previous methods, it was difficult to measure the brain signal source location constantly changes according to the brain activity such as the mind state. In this study, a novel measurement circuit that solved this problem was realized, and a measurement system that can be applied in daily life was developed.

研究分野：生体医工学

キーワード：脳活動 イメージング 脳波 信号源位置 日常生活

## 1．研究開始当初の背景

近年、健康管理を目的とするウェアラブル機器の開発が盛んであり、心拍数や呼吸、体温といった様々な生体信号の日常生活下での計測が可能である。また、コロナ禍や社会システムの DX 化によって、個人を取り巻く社会環境が急速に変化している中、これまで以上に「心の健康」が注目されている。そのため、ウェアラブル機器を用いて、日常生活下で計測した生体信号から「心の健康」を評価する方法が検討されている。例えば、腕時計型心拍計で計測した心拍数を用いたストレス評価といった取り組みが実施されているが、「心の健康」に必要な心の状態の客観的な評価方法は確立されていない。心の状態とは脳の活動状態であることから、日常生活下における脳活動位置の計測によって、心の状態の客観的な評価が可能と考えられる。

脳活動位置の計測方法は複数存在するが、脳科学研究や脳疾患の診断に広く活用される磁気共鳴機能画像法(Functional magnetic resonance imaging; f-MRI)、陽電子放出断層撮影(Positron Emission Tomography; PET)、単一光子放射断層撮影(Single Photon Emission Computed Tomography; SPECT)や脳磁図(magnetoencephalography; MEG)は大掛かりな設備や身体拘束が必要であり、日常生活下での計測に適さない。また身体の拘束、騒音、狭所での計測が必要であり、研究対象者の負担が大きく、計測自体が心の状態に悪影響を及ぼす恐れがある。対して、近赤外分光法(Near-infrared spectroscopy; NIRS)は、大掛かりな設備が不要であり、日常生活下での計測に適する。また研究対象者の負担も小さく、計測自体が心の状態に及ぼす悪影響は小さいと考えられるが、脳表層での計測に留まり心の状態に寄与する脳深部の活動位置の計測は難しい。頭皮に貼付された電極で計測できる脳波(Electroencephalography; EEG)は、NIRS と同じ利点があるが、空間分解能が低く、脳の活動位置を明確に示すことが困難である。すなわち、EEG の空間分解能を向上することができれば、日常生活下での脳活動位置計測が可能となり、それによって心の状態の客観的な評価が可能になると考えられる。

## 2．研究の目的

代表者は頭皮に貼付した電極で取得された EEG から脳活動位置を示す脳信号源の位置推定を最終目標に、分圧抵抗スイッチング電極による生体内電気信号の信号源位置推定に関する研究に取り組んできた。この方法は、図 1 のように生体を電圧源  $V_b$  と生体インピーダンス  $R_b$  から成る等価回路でモデル化し、信号電極とグラウンド電極の間に分圧抵抗  $R_g$  とその接続状態を切り換えるスイッチを配置する。スイッチが OFF ( $R_g$  が接続されていない状態) で計測される電圧  $V_{out}$  は式 1)、スイッチが ON ( $R_g$  が接続されている状態) では、 $R_b$  と  $R_g$  で抵抗の分圧則が成立するため、計測される電圧  $V'_{out}$  は  $V_{out}$  から  $R_b$  と  $R_g$  に依存して減衰する式 2) となる。そのため、スイッチの ON / OFF を切り換えることで、1 個の信号電極から  $V_b$  と式 3) に示す  $R_b$  を同時に取得できる。 $R_b$  は信号源と電極間の距離に依存するため、任意の信号電極を中心とする曲面の交点として信号源位置を推定できる。これまでの研究で、事象関連脳電位や心電図の R 波といった繰り返し性のある生体信号を対象として分圧抵抗スイッチング電極による信号源位置の妥当性が明らかとなっている。本手法を日常生活下での EEG 計測に適用することで、日常生活下での脳信号源の位置計測が可能となる。本研究の目的は、脳の活動位置である脳信号源の位置から、日常生活下で心の状態を客観的に評価することを目指して、脳波を用いた脳信号源の位置計測を実施することである。

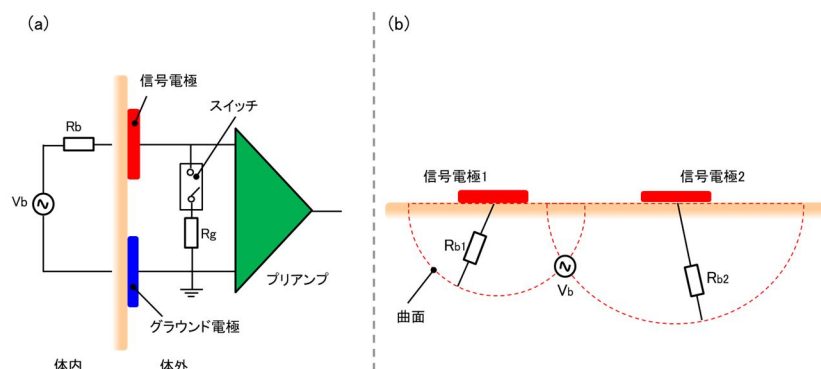


図 1. 分圧抵抗スイッチング電極の等価回路モデル(a)と推定方法の一例(b)

$$V_{out} = V_b \quad 1)$$

$$V'_{out} = \frac{R_g}{R_b + R_g} V_b \quad 2)$$

$$R_b = \left( \frac{V'_{out}}{V_{out}} - 1 \right) R_g \quad 3)$$

### 3. 研究の方法

研究の目的を達成するために大きく 2 つの研究開発を実施した。

#### (1) 分圧抵抗の最適なスイッチング方法の開発

分圧抵抗スイッチング電極で心の状態を示す脳活動位置を計測するためには、事象関連脳電位のような繰り返し性のある EEG ではなく、時々刻々と変化する EEG に対して、脳活動が同じ、すなわち脳信号源が同じ場所にあるとみなせるほど、短時間にスイッチの ON/OFF を切り換える必要がある。このような高速スイッチングを実現するためには、スイッチを切り換えた際に生じるスパイクノイズを低減させる必要があった。そのため、スパイクノイズが生じる原因を明らかにし、その影響を低減させた。具体的にはスパイクノイズの発生原因の一つがスイッチング素子、並びに回路構成に生じる寄生容量であることを明らかとし、最適なスイッチング素子とスイッチング回路による新しいスイッチング方法を開発した。

併せて、従来の分圧抵抗スイッチング電極による信号源位置の計測技術では活用できてない信号の周波数特性を利用した新しい計測方法を開発した。具体的には、 $R_g$  ではなく、コンデンサ  $C_g$  を接続することで、 $R_b$  と  $C_g$  による高域遮断フィルタが形成されることを見出し、スイッチが OFF ( $C_g$  が接続されない状態) と、スイッチが ON ( $C_g$  が接続されている状態) で計測される電圧の周波数特性から  $R_g$  を算出する新しい計測方法を開発した。

#### (2) 日常生活下で利用できる脳信号源の位置計測システムの開発

上記(1)で開発した  $R_g$ 、もしくは  $C_g$  を用いた新しい分圧抵抗スイッチング電極を搭載した脳信号源の位置計測システムを開発した。本システムは、分圧抵抗スイッチング電極、分圧抵抗スイッチング電極で取得した EEG を増幅、フィルタリングする計測回路、計測回路で得られた電圧をコンピュータに取り込むための AD コンバータ、取り込まれた電圧の処理と分圧抵抗スイッチング電極の接続状態の制御を行うシングルボードコンピュータ、計測結果を記録するメモリ、充電式バッテリー、計測結果を表示するモニターで構成されている。本システムのサンプリング周波数、AD 変換の分解能は 10 kHz と 12 bit であり、増幅率は 80 dB まで調整可能である。本システムには 6 個の信号電極と 1 個のグラウンド電極を頭皮上に貼付することで、脳信号源位置を計測できる。

本システムで脳信号源が計測できることは手掌の把持課題中の EEG を計測し、その脳信号源位置を計測した。加えて、日常生活下で取得した情動(快/不快)刺激中の EEG を計測し、その脳信号源位置を計測した。

### 4. 研究成果

本研究の目的を達成するための研究開発の結果として、下記の研究成果を得た。

#### (1) 分圧抵抗の最適なスイッチング方法の開発

最適なスイッチング素子とスイッチング回路とすることで、図 2(a)に示すようにスパイクノイズの低減を達成した。その結果、従来の分圧抵抗スイッチング電極よりも短時間である 2.0 msec 間隔でのスイッチの切り換えを実現し、理論通りのスイッチ ON ( $R_g$  が接続された状態) で EEG が減衰することを確認した。併せて、 $R_b$  と  $C_g$  で形成される高域遮断フィルタによって、計測電圧が減衰し、その周波数特性による  $R_b$  の算出を実現した。本研究成果の一部は国際会議 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society で発表した。また、論文投稿の準備中である。

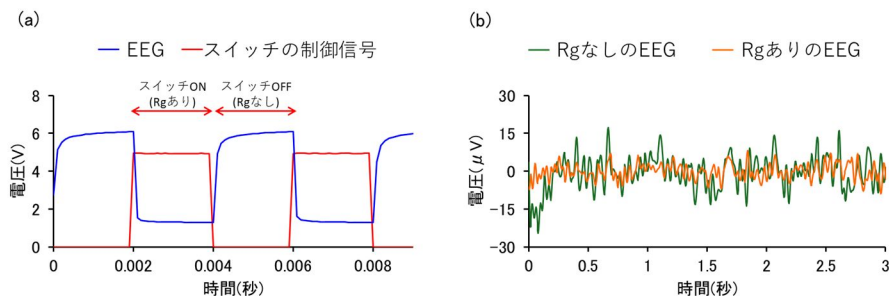


図 2. 計測された EEG の典型波形; (a) スwitching 時の拡大波形、(b) 課題中の全体波形

#### (2) 日常生活下で利用できる脳信号源の位置計測システムの開発

開発した脳信号源の位置計測システムを用いて、手掌の把持課題中の EEG から算出した脳信号源位置は一次運動野の手指領域であった。このことから、本システムで脳信号源位置を計測できることを示した。加えて、日常生活下で取得した情動刺激中の脳信号源位置から心の状態を客観的に評価できる可能性を示した。本研究成果に関して、論文投稿の準備中である。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1 . 発表者名 Yusuke Sakaue, Koei Kawamura, Naruhiro Shiozawa
2 . 発表標題 Internal Resistance Measurement of the Human Brain Using a Switching Capacitor Electrode
3 . 学会等名 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4 . 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------