

(様式 5)

2021 年 12 月 16 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 電子情報工学 専攻 (major) 2019 年度入学 (Admission year) 学籍番号 19834306 氏名 中屋敷 弘晟 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	近藤敏之
論文題目 (Title)	把持運動中の脳波解析による事象関連脱同期の生成機序に関する研究
論文要旨 (2000 字程度) (Abstract (400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese) 脳卒中などの脳血管疾患により身体機能に麻痺などの障害を負った方のために、近年、脳活動で機器を操作することが可能なブレイン・コンピュータ・インタフェース(BCI)の研究が盛んにおこなわれている。なかでも事象関連脱同期(ERD)は、運動や運動想起にともなって感覚運動野付近で生じる脳波特徴量であり、例えば麻痺した右手を動かしたいと考えたときに、ERD と同期させて外骨格型ロボットなどにより他動的に右手を動かすことで、効果的なりハビリテーションが可能になると期待されている。しかしながら、ERD には、その発現量に個人差が大きいことや、運動想起で発現させるには十分な訓練を要するなどの問題があり、ERD を利用した BCI システムの識別精度は必ずしも高くない。このため、計測機器や信号解析手法の改善、ならびに ERD の生成機序を解明使用するための基礎研究が取り組まれている。本論文では ERD の生成機序解明を目的とする、どのような条件で ERD が発生するのかを明らかにするため、様々な把持運動条件中の下で EEG 計測実験を行った。 まず、これまでの研究から、運動速度を増加させるほど ERD が強くなることや、筋力発揮量により脳深部の信号や脳の血流量が変化することが示されていた。そこで一つ目の実験では、手の姿勢の変化が ERD を生成すること、筋力発揮も ERD に影響するという仮説をたて、ハンドグリップなどを用いた 4 種類の運動負荷と、維持および 1/3 Hz・1 Hz のペースで握る 3 種類の運動速度を組み合わせた 12 の把持運動条件のもとで ERD の発現を調べた。その結果、運動負荷による ERD への影響は見られないこと、維持している間は ERD が減少することが確認された。把持の維持中は筋力発揮が継続して行われているにも関わらず ERD が弱まったことから、ERD は姿勢の変化により発生している可能性が示唆された。この結果は、一定の筋力発揮を行っている間には ERD が発生するという先	

行研究と矛盾するが、同実験では筋力発揮量を参加者に提示し、目標値に合わせるよう指示していたことが本実験との相違であった。

このことから二つ目の実験では、目標の変化に対して姿勢や力を調節する際に ERD が発生するという仮説をもとに、参加者ごとの最大発揮力を基準とした 3 段階の運動負荷と、筋力発揮量の視覚フィードバックの有無を組み合わせた 6 条件での把持を維持する運動を行い ERD への影響を調査した。その結果、負荷は運動野ではなく体性感覚野の ERD へのみ影響を与えること、運動の維持中においては視覚フィードバックがある時に ERD が発生する傾向が見られた。この視覚フィードバックを与えることで参加者は力の調節が可能となることから、手の姿勢・目標の更新が ERD の発生に関与している可能性が示唆された。しかしながら、この実験条件では、フィードバックの有無により視覚刺激も異なる。脳波は視覚刺激により影響をうけるため、この結果は刺激の違いによる影響を否定できない。

そこで三つ目の実験では、視覚刺激ではなく視覚フィードバックの提示による力の調節により ERD が発生するという仮説を基に、視覚刺激と視覚フィードバックを比較可能な 4 条件での把持の維持中における ERD を調査した。その結果、視覚フィードバックと類似した、しかし無関係な視覚刺激を与えた場合と比べ、視覚フィードバックを与えた場合に ERD が強く発生することが確認された。この傾向は、 μ 波帯(8-13 Hz)の中でも高い周波数帯域(11-13 Hz)にみられた。

これらの筋力発揮量が ERD に影響しないこと、力の発揮ではなく調節時に ERD が強まるという結果から、筋肉の制御信号を生成している運動指令の生成ではなく、運動の目標を定める運動計画に関する脳活動が ERD の生成に深く関係している可能性が示唆された。この知見は、ERD による運動分類の性能向上に加え、制御する際の ERD が発生しやすい運動手法を提示することにより ERD 型 BCI システムの操作性能の向上につながると期待される。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

Event-related desynchronization (ERD) is an electroencephalogram (EEG) feature that occurs around the sensorimotor cortex with motor execution and motor imagery. ERD is enable us to detect human motor intention and it can be used as the inputs for brain-computer interface (BCI), however the mechanism of ERD generation has not been clarified. In this paper, for the purpose of elucidating the generation mechanism of ERD, we investigated the tendency of ERD generation under various grasping movement conditions.

First, we hypothesized that changes in hand posture and muscle strength affect ERD. Twelve movement conditions were performed by combining four types of motor loads using hand grips and three types of motor speeds for maintenance and periodic movement. As a result, it was confirmed that there is no effect on ERD due to the motor load, and that ERD decreases during maintenance. This suggests that ERD might be caused by a change in hand posture. On the other hand, in a previous study that instructed participants to regulate their target values by presenting their strength exertion, ERD was observed while they were being maintained.

Therefore, in the second experiment, we hypothesized that ERD occurs when regulating posture and force with respect to an instructed target. We conducted an experiment to maintain grip under six conditions, which is a combination of three stages of motor load based on maximum voluntary force (MVF) and the presence or absence of visual feedback of muscle exertion. As a result, it was found that the load affects the ERD of the somatosensory area, and that ERD occurs with visual feedback during grasping. This suggests that the update of hand posture and goals might be involved in ERD. However, since EEG were affected by visual stimuli, the effect of difference in visual stimuli cannot be denied.

Due to this, in the third experiment, based on the hypothesis that ERD is generated by regulating the force by presenting visual feedback, we investigated ERD during grasping under four conditions where visual stimulus and visual feedback can be compared. As a result, it was confirmed that ERD occurs more strongly on visual force feedback than visual stimulus only.

These findings suggest that the generation of ERD would be deeply related to the brain activities related to the motor planning that sets the goal of motion, not the generation of the motor commands that generates the control signal of the muscle.