

# 単一電極脳波センサーを利用した LED 制御装置の製作

松本 圭司、阿部 直也★

Fabrication of LED control system using single channel dry EEG sensor

Keiji Matsumoto and Naoya Abe★

## Abstract

In recent years, people living in modern societies feel strong amounts of stress from various factors on a daily basis which causes a variety of diseases in their futures. Thus, it is important that solutions for the purpose of reducing those stresses are considered. One of the methods to reduce stress is to create a more comfortable environment for the various spaces we occupy in daily life. However, it is difficult to define what makes a comfortable environment for each individual because of differing preferences resulting from many attributes. Therefore, it is proposed that a system that can evaluate the physiological state of a person by automatically gathering that person's physical data and then adjusting the environment to best suit that person's needs be realized; i.e. if body temperature, blood pressure, heart rate, brainwaves, etc., are measured, the information obtained can be employed to realize a comfortable environment for any person even if their feelings or conditions change during their time in that space. In this study, a system which gathers the brainwaves of a test subject and evaluates it to control and adjust LED light to create a comfortable environment is designed and fabricated. It is possible to create a comfortable environment using biological information.

**Key words :** Electroencephalogram(EEG), brainwave, control

## 1. はじめに

現代社会において、人々は快適で豊かな生活を送ることができている。しかし同時に、日常的な心理ストレスにより苦痛受けることも少なくない。適度なストレスは日々の生活に活力を与えるものとなり、あまり問題にならない。しかし、それが過度に重くなり限界を超えるような場合、ストレスは様々な疾患の原因となることが、近年分かっている。2011年の厚生労働省の発表によると、精神疾患に分類される患者数は約320万人とされており、うつ病などの著しい増加が見られる[1]。精神的ストレスは、これらの大きな原因の1つと考えられている。体内の免疫機能は、さまざまな病気が悪化するのを防ぐ役割を担っているが、ストレスによって免疫機能が低下し、その結果、感染に対する防御力が低下することになる。このため、薬で症状が一時的に緩和できても完治せず、根本的な治療のためには、原因となっているストレスを解決することが必要である。日々の心理ストレスを緩和する方法の1つは、快適な生活空間の演出である[2-3]。くつろげる空間を演出するために、様々な工学的技術やデザインが用いられている。しかし快適だと感じる感覚は、肉体的、生理的状态および心理状態などにより変化する。また、あらゆる人にとって快適である空間を作り出すことは容易ではない。部屋のような空間がシステムとして周辺装置を制御する機能を有し、人の状態を認識して最適な空間を演出することができれば、解決策の1つとなるであろう[4]。

生体信号の監視や記録は医療診断の重要な部分であり、ストレスは生体信号によって指示され解釈されることが可能であることが分かっている。一般的な診断信号には、Electroencephalogram (EEG)、Electrocardiogram (ECG)、Electromyography (EMG)、HeartRateVariability (HRV)、Magnetoencephalography (MEG)などがあるが、ストレスに直接関係する要素であるリラックス状態の判断にはEEGの利用が研究されている[5]。EEGを用いて人の状態や振る舞いを認識し周辺装置を制御するシステムが実現すれば、慢性的なストレスを緩和する可能性があるばかりでなく、運動障害で苦しむ人々の生活の質の向上を可能にする。

本研究では、EEGを利用して人の状態を認識し、それに応じた最適な空間を演出する装置の開発を行う。被験者の状態を推定するために、単一電極の脳波センサーから出力されるEEGを使い、被験者の状態に応じた暗室の照度を制御する装置の設計・製作を行った。

## 2. EEG

脳波とは、脳から出る数十 $\mu\text{V}$ 程度の微弱な電気信号を記録したものであり、 $\delta$ 波、 $\theta$ 波、 $\alpha$ 波、 $\beta$ 波という四つの周波数帯域に分類される (Fig.1, Table.1)。これらの周波数成分は、現在の人の状態に伴って刻々と変化してゆく。 $\delta$ 波と $\theta$ 波は睡眠に関係し、深い睡眠のときには $\delta$ 波、浅い睡眠のときには $\theta$ 波が観測される[6]。リラックスした状態では $\alpha$ 波、緊張しているときには $\beta$ 波が多く現れる。 $\alpha$ 波を基準とし、これよりも低い周波数帯域に分類される波形は徐波、高い周波数帯域のものは速波と呼ばれる。近年、脳波は医療の臨床検査のみならず、生理学、心理学および工学領域における研究テーマとして注目されている。一般的な脳波の測定には、ニューロン（神経細胞）の活動により発せられる電気信号を頭皮上の電極を介して記録する非侵襲的方法のEEGが利用されている。電極の配置は、10-20電極法によって頭皮を10%もしくは20%の等間隔で区切り、頭部の19ヶ所に記録電極、耳朶に基準電極を設置する。

Table.1 脳波の周波数による分類

種類	周波数 (Hz)
デルタ波 ( $\delta$ wave)	0.5~4
シータ波 ( $\theta$ wave)	4~8
アルファ波 ( $\alpha$ wave)	8.0~13
ベータ波 ( $\beta$ wave)	13~40

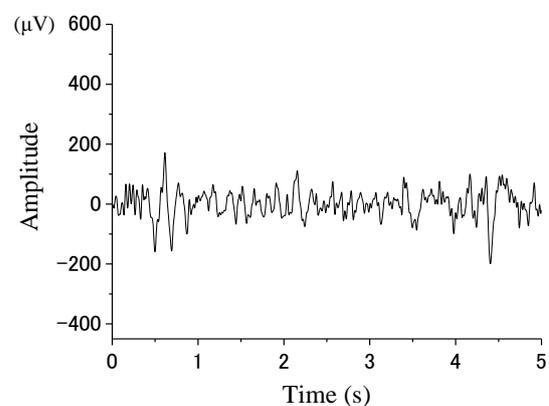


Fig.1 時間領域における脳波波形

3. 実験内容

3-1 脳波センサー

本実験では、脳波の測定センサーとして NeuroSky 社の B3-Band を用いた。このセンサーは、額と耳に 2 つの電極を持ち、2 点の電位差から脳波を測定する。前記したような複雑な電極を持たないため、装着しているときの負荷が少なく、リラックスした状態で測定を行うことができる上、脱着も容易であるため、本実験に適していると考えられる。PC とのデータ通信には、Bluetooth (2.0) を用いる。

B3-Band は、脳波波形の他に脳波の周波数別強度を測定することが出来る。この脳波強度は  $\delta$  波、 $\theta$  波、low- $\alpha$  波 (7.5-9.25Hz)、high- $\alpha$  波 (10-11.75Hz)、low- $\beta$  波 (13-16.75Hz)、high- $\beta$  波 (18-29.75Hz)、low- $\gamma$  波 (31-39.75Hz)、mid- $\gamma$  波 (41-49.75Hz) に分けて出力される [7-8]。また、脳波波形や脳波強度のデータを元に算出され、それぞれ  $\beta$  波および  $\alpha$  波に関係しているとされている Attention、Meditation と呼ばれるデータを利用することもできる。

3-2 製作した制御装置

Fig.2 に製作した LED 制御装置の構成を示す。脳波センサーによって採取された EEG は、一秒毎にマイクロコンピュータへ送信される。マイクロコンピュータは、受信した EEG を解析して現在の被験者の状態を判断し、被験者の状態に応じて LED を制御するための信号を調光回路に出力する [9]。調光回路はこの信号にしたがって暗室内の照度を制御する (Fig.3)。本実験では室内に設置した LED を被験者の状態に合わせて制御するため、専用の暗室を製作した。Fig.4 (1) に製作した暗室の外観を示す。暗室の大きさは縦 2.0(m)、横 1.2(m)、高さ 2.1(m) であり、暗室の天井には、制御対象となる LED を設置した。LED には Power LED (EdiPowerII, 16-24W, EPSW-VF55) という高輝度タイプを使い、これらを 4 つ設置することで暗室内の照度を 0(lx) から最大 530(lx) (暗室中心、床上 0.8m) まで調光可能となるようにした。一般的な教室の照度が 300~750(lx) であることから、実験を行うには十分な照度であると判断した。外部からの光を遮断するために、暗室の周囲を遮光カーテンで覆った。Fig.4 (2) に製作した制御装置の外観、Fig.5 に設計した制御回路を示す。製作した制御装置は Bluetooth モジュールとマイコンおよび調光回路から構成される。詳細な制御信号を監視するために、脳波センサーによって得られた EEG をマイクロコンピュータへ送信すると同時に PC へも送信し、採取された EEG および LED 制御信号を可視化できるようにした。1 つ当たり最大 24W の電力を消費する LED を使い、100V の交流電圧を変圧器により 24V に降圧した後直流に整流し電源として使用した。また、トランジスタのエミッタ電圧をオペアンプにフィードバックすることで、電流の変動を抑え、LED を一定の照度で点灯させるようにした。

3-3 実験手順

まず被験者の状態を活動状態とリラックス状態の 2 つに分類し、それぞれの状態に応じて暗室内の照度を制御する実験を行った。まず被験者は脳波センサーを装着して暗室に入る。測定開始後、被験者は活動状態 (work) とリラックス状態 (rest) を交互に 1 分ずつ行い、これらを 2 回繰り返して行う (計 4 分)。簡単な加減演算を行うことを活動状態と仮定し、目を閉じて椅子に座り安静にしている状態をリラックス状態と仮定した。活動状態下では LED を読書が可能な程度の適度な照度で点灯させ、リラックス状態の場合は消灯するようにした。

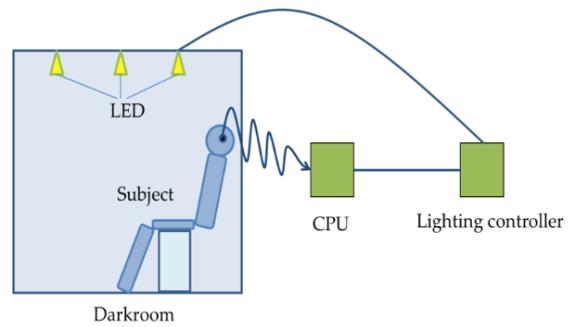


Fig.2 製作した LED 制御装置の構成

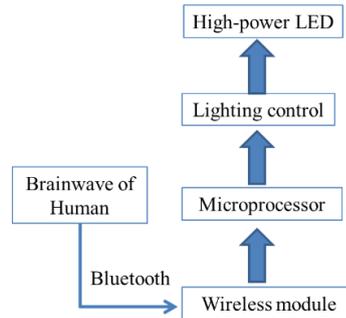


Fig.3 LED 制御装置の処理



(1) (2)

Fig.4 製作した暗室 (1)、制御回路の外観 (2)

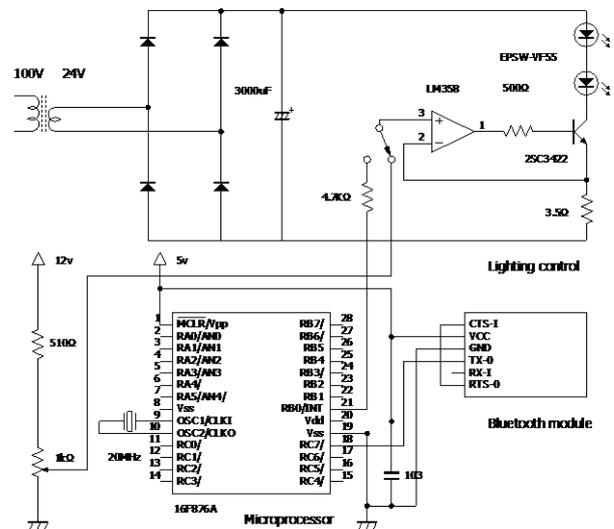


Fig.5 製作した制御回路

3-4 Meditation

本実験では被験者の状態を表すデータとして Meditation 値に着目した。前述したように、Meditation は脳波強度のデータを元に算出され、被験者の  $\alpha$  波に関係しているとされている [7]。まずこの値について調べた。被験者を様々な状態にして測定した Meditation 値とその時の  $\alpha$  波の強度の関係を Fig.6 に示す。このグラフから、Meditation 値が高いときには  $\alpha$  波の強度も比較的高い値を示していることが分かるが、2 つの波形は単純な比例関係にあるわけではない。そこで  $\alpha$  波だけでなく、徐波と呼ばれる  $\delta$  波、 $\theta$  波を含めて計算した値を用いることにした。徐波は一般に、睡眠時に発生する脳波と言われているが、そうでない場合にも徐波が現れることがあった。さらに徐波が現れた場合には Meditation 値は比較的低い値を示す傾向にあったことから、徐波に対する  $\alpha$  波の強度と Meditation との関係を調べた (Fig.7)。グラフから、Meditation 値が高くなるにつれ、徐波に対する  $\alpha$  波の強度が強くなっていることが分かる。 $\alpha$  波と徐波の強度が同じになるのは縦軸が 1 のところである。徐波に対する  $\alpha$  波強度が 1 以上となる場合、Meditation 値はおおよそ 70 (%)以上と比較的高い値を示している。その他の脳波である  $\beta$  波については、あまり顕著な変化が確認できなかったため今回の測定では考慮しなかった。複数名の被験者に対して同様の調査を行なったところ、Fig.7 と同じ傾向が確認されたが、被験者ごとの脳波強度には大きなばらつきが現れた。さらに、同じ被験者に対する複数回の測定においてもばらつきが現れた。そこで本実験では、まず、比較的个人差の少なかった Meditation を用いて室内環境の制御を行った。

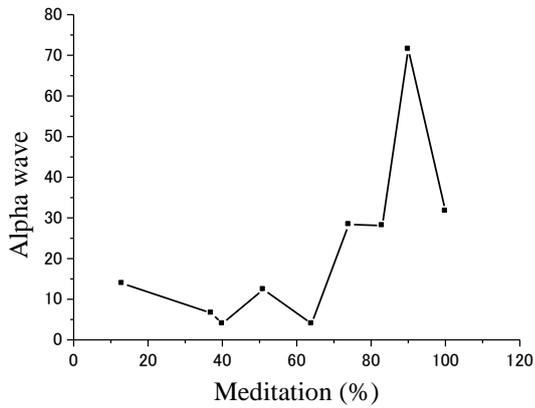


Fig.6  $\alpha$  波と Meditation の関係

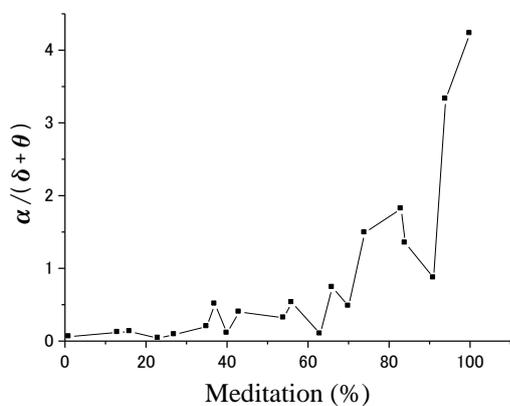


Fig.7 徐波に対する  $\alpha$  波と Meditation

4. 実験結果

はじめに被験者の状態と Meditation 値との関係を調べた。この結果を Fig.8 に示す。Fig.8 は被験者が暗室内で活動状態、リラックス状態を交互に行ったとき (各 1 分  $\times$  2 回) の Meditation 値である。被験者が活動状態にある場合とリラックス状態にある場合では、値に大きく差があることが分かる。同様の測定を他 4 名の被験者に対して行った。個人差は視られたが、全ての被験者に対して活動状態とリラックス状態の間に明らかな差が現れたため、2 値ではあるがこの値を用いて現在の状態を把握できる可能性があることが分かった。

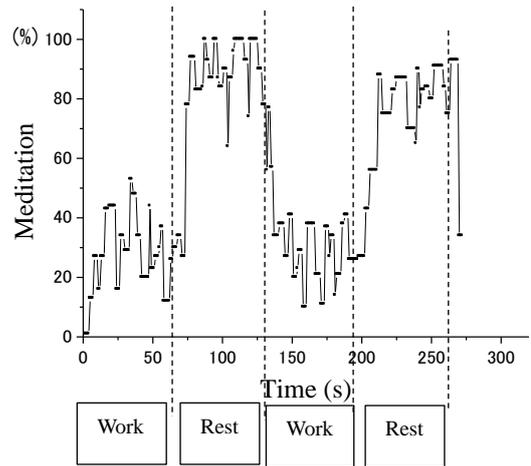


Fig.8 被験者の状態と EEG

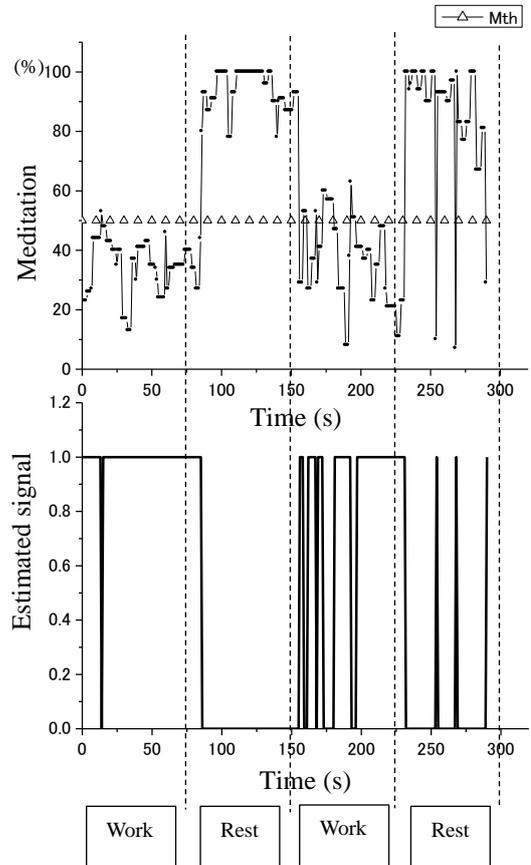


Fig.9 単一閾値による被験者の状態の判断  
(1) Meditation、(2) 状態判断の信号

次に被験者の状態を判断し、暗室内の照明を制御する方法について検討した。本実験では 2 値での制御を行うため、被験者が活動状態にあると判断した場合は読書をするのに十分と考えられる 500 (lx)程度で LED を点灯し、リラックス状態のときは消灯するように設定した。本実験で利用した Meditation 値は 0~100 (%)の範囲で表されるため、その中間値である 50 (%)を閾値  $M_{th}$  に設定して実験を行った。Fig.9 (1)は被験者の状態に対する Meditation 値、Fig.9 (2)は被験者の状態を判断した信号の値を示す。Fig.9 (2)の 1.0 は点灯、0.0 は消灯を表している。被験者の状態の変化に対し EEG は即座に応答しないため、10 秒程度の応答の遅れが確認できる。0~150 秒間の活動状態およびリラックス状態では、15 秒付近を除けばおおよそ正確な判断が出来ている。しかし、150~200 秒の間では、閾値として設定した 50 付近で Meditation 値が上下に変動しているため、被験者は活動状態であるにも関わらず、点灯・消灯を繰り返しており、被験者の状態を適切に判断できていない。そこで単一閾値ではなくヒステリシスをを用いて判断することを検討した。

Table.2 (1) 被験者の状態に対する Meditation の最大値と最小値 (2) それぞれの状態の平均値

Subject	Work		Rest	
	Max	Min	Max	Min
A	44	0	100	50
B	69	0	100	47
C	69	8	100	26
D	53	0	100	34

	Maximum in work state	Minimum in rest state
Average	57.3	39.3

Table.2 (1) は 4 名の被験者の各状態に対する Meditation 値を表している。表中の Max および Min は、それぞれ各被験者の活動状態とリラックス状態における信号の最大値と最小値である。また Table.2 (2) はそれぞれ被験者の活動状態における最大値、リラックス状態における最小値の平均値を表している。この結果から、リラックス状態の平均値 39.3 から活動状態の平均値 57.3 までの範囲では 2 つの状態が交錯しており、判断が難しい場合が多いと考え閾値にヒステリシスを設定した。ヒステリシスによる判断方法とは、現在の信号だけでなく、それ以前の状態を考慮して行うものである。

Fig.10 (1)は、Fig.9 (1)に対しヒステリシスを設定したものであり、Fig.10 (2) はヒステリシスを用いて再度処理を実行した場合の波形を示している。LED が消灯する場合の閾値を Table.2 (2)の結果から  $M_H=60$ 、点灯する場合の閾値をおなじく Table.2 (2)の結果から  $M_L=40$  として状態を判断した。Fig.10 (2)の結果を見ると、Fig.9 (2) で誤った判断をしていたものが改善されていることが分かる。15 付近では正常な判断ができており、150 から 200 までの間においても誤認識が改善されていることが分かる。

次に、活動状態における Meditation 値の最大値とリラックス状態での最小値に着目し、 $M_H=70$ 、 $M_L=30$  としてヒステリシスを再設定し処理を行った。Fig.11 にこの処理を実行した場合の波形を示す。この結果から、Fig.9 (2)に見られた誤認識の多くが正常に判断できていることが分かる。250~275 (s)間に見られる誤認識は、大きな Meditation 値の変化が起きていることから、測定上の何らかのエラーであると考えられるため、ヒステリシスによる処理に加え、この対策を考えてゆかなければならない。

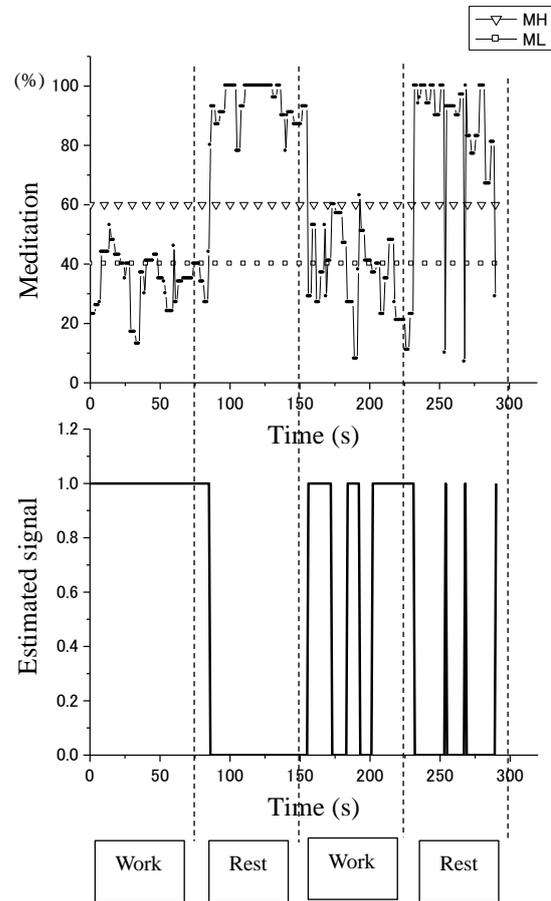


Fig.10 ヒステリシス法による被験者の状態の判断 (MH=60, HL=40) (1) Meditation, (2) 状態判断の信号

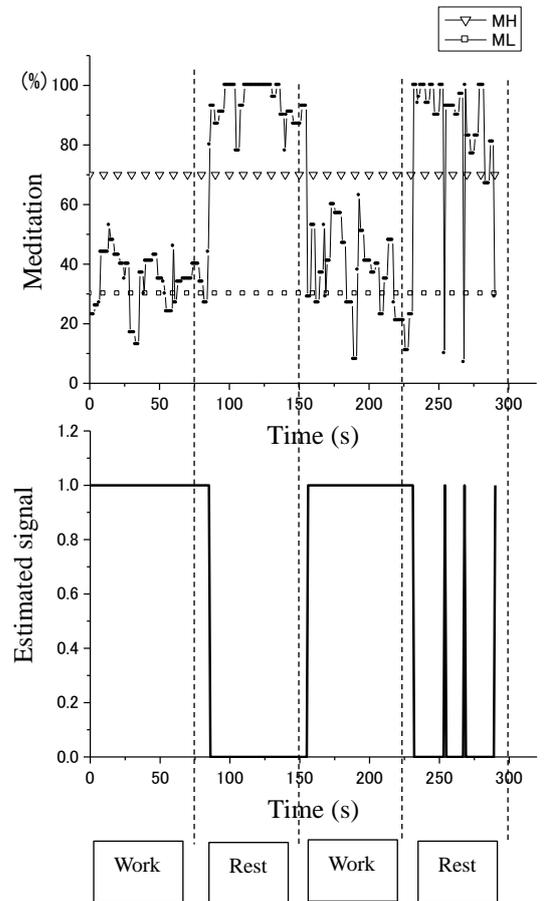


Fig.11 ヒステリシス法による被験者の状態の判断 (MH=70, HL=30) (1) Meditation, (2) 状態判断の信号

再現性を確認するために、3 種の閾値に対してそれぞれ 10 回ずつ測定を行い、エラー率を求め比較した。Table.3 (1) に各閾値における生成信号のエラー率、Table.3 (2) に各閾値で得られたデータのエラー率の平均値を示す。ヒステリシスを設定した 2 つの処理の最大値はそれぞれ 18.6(%)、18.6(%)である。またエラー率の平均値はそれぞれ、8.0(%)、9.1(%)となっており閾値による大きな変化は見られなかった。しかし単一の閾値で判断した場合の最大値は 23.2(%)、平均値は 11.2(%)となっており、ヒステリシスの有無によるエラー率に大きな違いが確認された。これはヒステリシス無しのデータで観測されるエラーは、Meditation 値が被験者の状態に対して絶えず変動していることに起因するものであると考えられる。これらの結果から、被験者の EEG に対しヒステリシス法を用いて LED を制御する信号生成の方法の有用性を確認した。

Table.3 (1) 各閾値に対するエラー率、(2) エラー率の平均値

	Error rate (%)		
	Uni threshold	Hysteresis	
Data Number	$M_{th}=50$	$M_H=60$ $M_L=40$	$M_H=70$ $M_L=30$
1	8.3	6.6	7.9
2	4.3	5.4	8.2
3	3.9	2.9	6.4
4	11.9	6.8	6.8
5	20.6	18.6	18.6
6	13.5	11.9	13.7
7	5.6	2.8	4.4
8	13.1	7.7	7.3
9	7.4	3.7	2.8
10	23.2	13.9	14.8

Average of Error rate (%)		
Uni threshold	Hysteresis	
$M_{th}=50$	$M_H=60$ $M_L=40$	$M_H=70$ $M_L=30$
11.2	8.0	9.1

## 5. まとめ

本実験では、生体信号として EEG を使い、被験者の状態に応じて暗室内に設置した LED を制御する装置の製作を行った。数名の被験者に対して測定を行った結果、活動状態とリラックス状態の Meditation 値に明らかな差が現れ、この信号を用いて現在の状態を把握することが可能であることが分かった。単一の閾値を設定した場合のエラー率の平均値は 11.2%であり、ヒステリシスを設定した場合のエラー率はそれぞれ 8.0 (%)、9.1 (%)であったことから、ヒステリシス法を用いて LED 制御信号を生成する方法が有効であることを確認した。

本実験では活動状態、リラックス状態という 2 状態の判断は可能であったが、より多くの段階で状態を判断するようになりたい。そこで Meditation の代わりに様々な EEG のパラメータを用いて被験者の状態を定義する実験を進めてゆく。更に、多くの被験者の状態を正確に把握する方法を検討し室内環境を制御する装置の開発を進めてゆく。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省. 精神疾患の患者数 (医療機関に受診する患者の疾病別内訳) . <http://www.mhlw.go.jp/kokoro/speciality/data.html>
- [2] J.Watada, M.Takagi, N.Yubazaki, and H.Hirano, "Realization of comfortable space using brainwave signals", Proc.IMEchE 2006, Vol.220, pp.667-673, 2006.
- [3] Zalili.B.Musa, J.Watada, H.Hirano, "Building a Comfortable Space Fitting to Human Behaviors Through Biopsy Information", IC-MED, Vol.2, No.2, pp141-151, 2007.
- [4] N.Abe and K.Matsumoto, "Lighting control system using brainwave signals", Proc. ISTS 2013, pp.24-25, Nov, 2013.
- [5] 山越憲一, "無侵襲、無拘束、そして無意識計測へ", 精密工学会誌, Vol.62, No.11, pp.1525-1529, 1996.
- [6] 市川忠彦, 「脳波の旅への誘い 第 2 版」, 星和出版
- [7] NeuroSky, Brain Wave Signal (EEG) of NeuroSky.
- [8] NeuroSky, MindSet Communications Protocol.
- [9] T.Karvinen, K.Karvinen, "Make a Mind-Controlled Arduino Robot", Maker Media Inc, 2011.

(2015 年 10 月 2 日 受理)