

生理学的指標を用いた消防隊員の緊張度に関する研究

舘岡 俊樹*, 山室 直輝*, 宮尾 賢*, 佐々木 航*

概要

消防隊員であっても火災に出場すると緊張したという経験は珍しくない。火災現場で発生した火災により、消防隊員は過度の精神的緊張を感じる事が予想されるが、火災現場における消防隊員の緊張を調査するためには、実際の火災を用いて火災現場を再現した状況をつくり、消防隊員の緊張を定量化する必要がある。そこで本研究は、脳波を始めとする緊張状態を評価する各種生理学的指標を用いて、火災現場を想定した火災等が消防隊員の精神的緊張に与える影響を定量化することを目的とした。

本研究の結果、脳波、自律神経、心拍数等のいずれの測定項目も安静時より AFT の火災目視時及び燃焼実験棟の火災目視時の値が高くなり、生理学的にみると火災を見慣れている消防隊員でも、火炎を確認することによって精神的に緊張することが分かった。

1 はじめに

消防隊員であって、火災に出場すると緊張したという経験は珍しくない。スポーツの世界では、緊張や興奮のレベルが高すぎても低すぎてもパフォーマンスが低下すると言われている¹⁾。消防の場面において、火災現場で発生する火煙による視界不良や熱気により、消防隊員は過度の精神的緊張を感じる事が予想される。

火災性状、消防装備についての研究は多数行われているが、火炎を用いて火災現場を再現した消防隊員の緊張についての研究は、著者の知る限り報告例はない。当庁の先行研究では、災害を知らせる出場ベルが消防職員にどの程度生理的・心理的に緊張を与えるかを測定した研究²⁾や、火炎を用いずに室内温度を火災環境に近づけ、屋内で消防活動を模した活動を行い消防隊員の生理的・心理的变化を検証した事例³⁾がある。しかし、火災現場での消防隊員の緊張を知るためには、実際の火炎を用いて火災現場を再現した状況をつくり、各種測定機器を用いて消防隊員の緊張を定量化する必要がある。

緊張状態を評価する手法の一つとして脳波を測定する方法がある。脳波は脳の活動状態を簡易に計測する手法であり、その信号成分は音・光などの外的刺激や意思・状態などの内的要因によって変化し、人間の内部状態を強く反映している⁴⁾。火災現場では上記のような外的な要因が多く、人間の内部状態である緊張を評価するために脳波計を用いることは有効であると考えら

れる。

そこで本研究は、脳波計を始めとする緊張状態を評価する各種測定機器を用いて、火災現場を想定した火炎等が消防隊員の精神的緊張に与える影響を定量化することを目的とする。

2 方法

(1) 概要

各測定機器を装着した被験者の脳波、自律神経、心拍数及び主観的緊張度を測定し、安静時及び火炎目視時の各測定項目を比較した。なお、脳波計を装着したまま、消防活動（運動）を行うと、脳波の測定結果にノイズが発生したため、全測定について座位静止状態で測定を行った。消防活動時と座位安静時の脳波の測定結果のグラフを図1と図2に示す。

本研究は東京消防庁調査研究倫理審査会の承認を得て実施した。

(2) 測定期間

令和6年12月19日から令和7年1月20日

(3) 被験者

東京消防庁職員健康管理規程による就業区分が「W1」（通常勤務可）に属する消防職員のうち、本研究を実施するにあたり同意を得られた職員3名を被験者とした。

*安全技術課

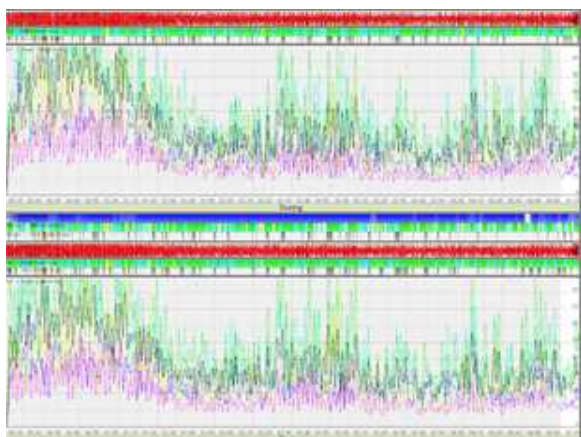


図1 消防活動時に測定した脳波



図2 座位安静時に測定

の環境は、気温 4℃から 11℃、湿度 51%から 78%であった。

エ 火炎と被験者の距離

AFT の火炎目視時、燃焼実験棟の火炎目視時の火炎と被験者の距離は 4 mとし、被験者が熱さを感じた時は、安全のため適宜火炎から離れてよいこととした。



写真1 運動学実験室



写真2 AFT

(4) 場所

本測定は以下の場所で行った。AFT とは、Advanced Fire-fighting Training といい、ガスを燃焼させることで擬似的な火炎を再現できる施設であり、燃焼させるガスの量を調節することで、火炎の大きさを制御できる。

ア 東京消防庁 幡ヶ谷庁舎 2階 運動学実験室(写真1)

イ 東京消防庁 AFT (写真2)

ウ 東京消防庁 燃焼実験棟(写真3)

(5) 環境

ア 安静時(運動学実験室)

安静時の測定は、室温 20℃、湿度 31%で測定を行った。

イ AFT の火炎目視時

AFT の火炎目視時の測定では、図3(a)の配置で測定を行った。測定時の環境は気温 9℃から 10℃、湿度 32%から 37%であった。

ウ 燃焼実験棟の火炎目視時

燃焼実験棟の火炎目視時の測定では、図3(b)の配置で測定を行った。測定時(複数の日で実施)

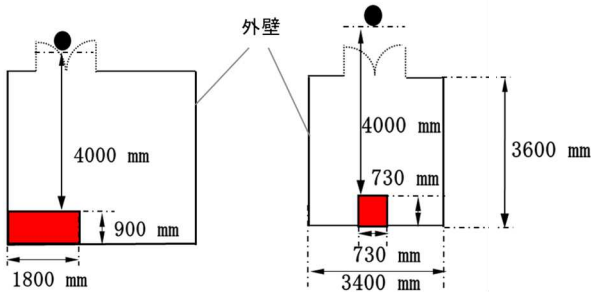


写真3 燃焼実験棟

(6) 服装

安静時の測定は、執務服のみとした。AFT 及び 燃焼実験棟の火炎目視時は、完全着装（防火衣上下、防火帽、呼吸器、ケブラー、長靴）とした。

- : 被験者
- : 火炎



(a) AFT (b) 燃焼実験棟

図3 AFT、燃焼実験棟測定位置(平面図)

(7) 測定の流れ

ア 安静時

安静時の測定は表 1 のとおりとし、各火炎目視時の測定の流れから、火炎の目視を除いたものとした。測定時間 1 分から 5 分までの間は、座位安静（リラックス）とし、その後、自律神経、脳波及び主観的な緊張度の測定を行った。

表 1 安静時の各測定項目と測定時間

安静時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
測定時間[分]															
座位安静															
自律神経測定															
脳波測定															
主観的緊張度測定															
心拍数測定															

イ AFT の火炎目視時

AFT の火炎目視時の測定は表 2 のとおりとした。測定時に各測定項目の値を安定させるため、測定時間 1 分から 5 分までの間は、測定位置直近で座位安静（リラックス）させた。その後、自律神経の測定を行い、7 分の段階で測定位置に移動し、再び座位の状態での火炎の目視を行った。その後 13 分から各測定を行った。

なお、火災現場の状況により近づけるため、被験者が火炎を目視している間、被験者の周囲に 2 名配置し、火災現場におけるポンプ隊長及びポンプ隊員の活動を模擬させた（写真 4）。

表 2 AFT の火炎目視時の各測定項目と測定時間

AFTの火炎目視時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
測定時間[分]															
座位安静															
火炎を目視															
活動内容指示															
自律神経測定															
脳波測定															
主観的緊張度測定															
心拍数測定															



写真 4 測定の様子 (AFT)

ウ 燃焼実験棟の火炎目視時

燃焼実験棟の火炎目視時の測定は、表 3 のとおりとした。本測定時の流れは、AFT と同様である（写真 5）。燃焼実験棟の火炎の大きさは、燃焼実験棟の排気処理能力を勘案して、消火器の技術上の規格を定める省令（昭和三九年自治省令第二七号）の能力単位測定で使用される第二模型（1 単位クリブ）の 0.5 単位とした。また、着火剤として危険物第四類第一石油類の n-ヘプタン 300ml を用いた。

表 3 燃焼実験棟の火炎目視時の各測定項目と測定時間

燃焼実験棟の火炎目視時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
測定時間[分]															
座位安静															
火炎を目視															
活動内容指示															
自律神経測定															
脳波測定															
主観的緊張度測定															
心拍数測定															



写真5 測定の様子（燃焼実験棟）

(8) 測定項目

ア 脳波（β波）

脳波の測定は、脳波計アルファテック7（脳力開発研究所製、写真6）を用いた。本研究では、表4のように脳波の中でも緊張や焦燥感等の大脳の活動状態を反映するβ波について、全脳波に占めるβ波の割合を算出した

データ分析の際は、5分間の右脳β波の割合を平均したものをを用いた。



写真6 脳波計

表4 脳波の種類と特徴⁵⁾

β波(15~26Hz)	緊張感や焦燥感、不安やイライラなどの大脳の活動状態を反映する脳波
ファストα波(12~14Hz)	一生懸命に集中した状態で、リラックスしておらず、あまりゆとりがない時の脳波
ミッドα波(9~11Hz)	リラックスした集中状態で頭が冴えている時の脳波。
スローα波(7~8Hz)	無意識集中、急速集中など、意識が低下したまどろみの状態の脳波。
θ波(4~6Hz)	浅い睡眠状態で、意識がかなり低下している時の脳波。

イ 自律神経系

自律神経測定センサ（VM302、株式会社疲労科学研究所、写真7）を用いて、交感神経と副交感神経のバランス（LF/HF）を測定した。2分間の測定を行い、測定のタイミングは、一回目は6分から7分まで、二回目は13分から14分までと

した。



写真7 自律神経測定センサ

ウ 主観的な緊張度

主観的な緊張度は、VAS法（VAS:Visual Analog Scale法）を用いた。

VAS法は記録用紙に図4のような水平100mmの直線が予め記されており、この直線の左端を「全く感じない」、右端を「耐えられない」とし、測定時に被験者が感じた緊張の程度を直線上に印を記させるものである。被験者が記した印の位置について、左端からの距離（mm）を求め、主観的な緊張度の値（0~100）として用いた。

記録するタイミングは、脳波測定開始直前、脳波測定終了直後の計2回とした。データ分析の際は、脳波測定後から脳波測定前を引いた値を用いた。

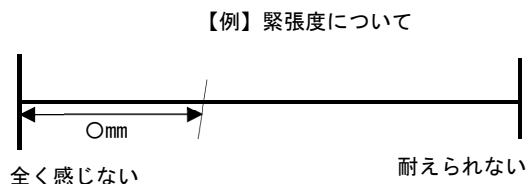


図4 Visual Analogue Scale法

エ 心拍数

心拍数は、心拍数計RS800及び測定器H10（共にポラール社製、写真8）を使用した。測定器を取り付けたバンドを被験者の胸部に装着し、測定した。データ分析の際は、安静時は8分から12分間の平均値、AFT及び燃焼実験棟の火炎目視時は、各火炎を目視している期間の平均値を用いた。

(9) 測定中止基準

- 以下のア～エのいずれかの条件を満たした場合は、安全のため測定を中止することとした。
- ア 被験者から実験継続が困難であると自己申告があった場合
 - イ 測定者が被験者の実験継続が困難であると中止を判断した場合
 - ウ 深部温度が38.5℃に到達した場合
 - エ 以下の3つの項目のうち2つ以上の項目が

該当した場合。

- (a) 深部温度が 38.0℃に到達した場合
- (b) 心拍数が次の式で算出される値を超えた場合： $206.9 - (0.67 \times \text{年齢})$
- (c) 主観的緊張度の値が 80mm を超えた場合



写真8 心拍数計

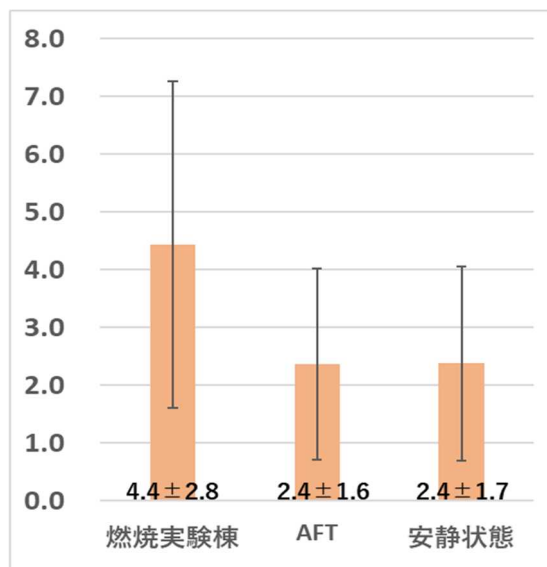


図6 自律神経(LF/HF)

3 結果

各条件（燃烧実験棟の火炎目視時、AFTの火炎目視時及び安静時）の測定結果（平均値±標準偏差）をグラフに示す。

(1) 脳波（β波）

全脳波に占めるβ波の割合の結果を各条件別に図5に示す。結果として、燃烧実験棟の火炎目視時のβ波の値が最も高い結果となり、安静時、AFTの火炎目視時は、ほぼ同じ値となった。

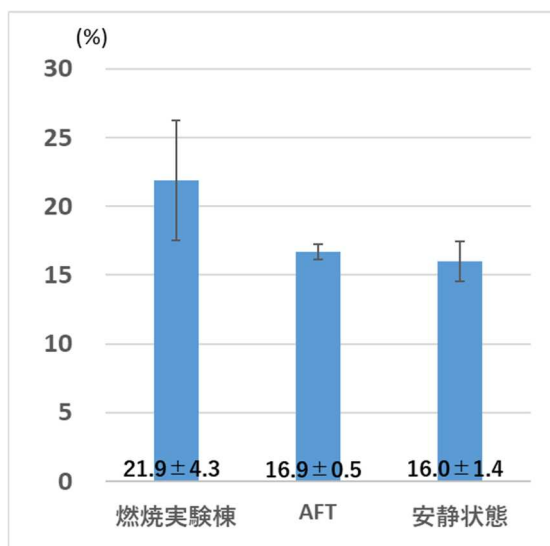


図5 全脳波に占めるβ波の割合

(2) 自律神経系

交感神経と副交感神経のバランス（LF/HF）の結果を各条件別に図6に示す。結果として、燃烧実験棟の火炎目視時が、最も高い結果となり、安静時、AFTの火炎目視時は、ほぼ同じ値となった。

(3) 心拍数

心拍数の結果を各条件別に図7に示す。結果として、燃烧実験棟の火炎目視時、AFTの火炎目視時、安静時の順に心拍数が高い結果となった。

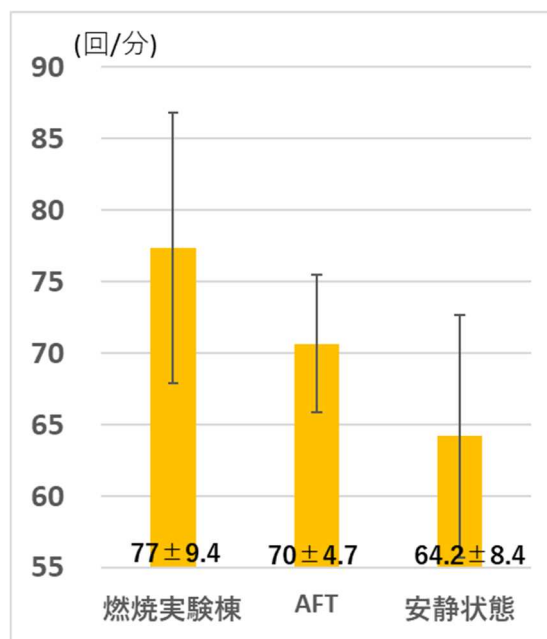


図7 心拍数

(4) 主観的緊張度

主観的緊張度の結果を各条件別に図8に示す。結果として、燃烧実験棟の火炎目視時、AFTの火炎目視時、安静時の順に値が高い結果となった。

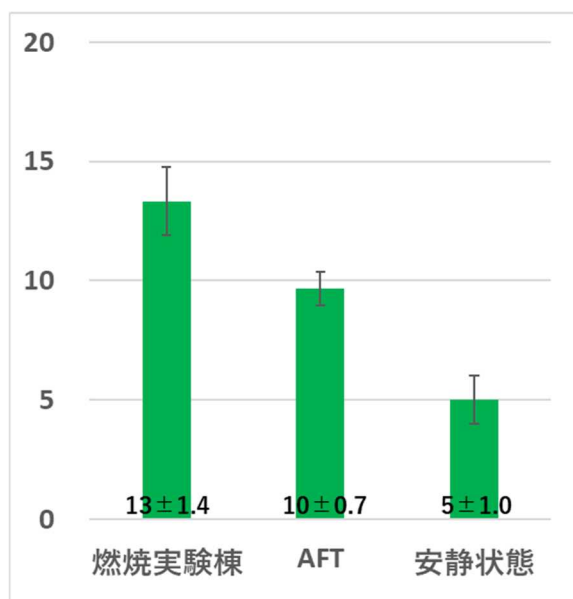


図8 主観的緊張度

4 考察

(1) 脳波について

本研究において、緊張を定量的に評価するために、脳波計を頭部に装着しβ波を測定した。また、より安定した（ノイズの少ない）脳波を取得するために座位静止状態での測定を行った。

本研究の結果、燃焼実験棟の火炎目視時のβ波の値が最も高い結果となった。本結果となった理由として、①燃焼実験棟の火炎は制御不能であったこと、②燃焼実験棟の火炎から煙・臭気や木材の燃焼音が発生したためと考えられる。

AFTの火炎は、ガスを燃焼させているため、火炎が制御可能である。一方、燃焼実験棟の火炎は、木材を自然燃焼させているため、燃焼速度に緩急が発生し、急に燃焼速度が速くなる場合もあるため、被験者は恐怖心から緊張を感じた可能性がある。

また、燃焼実験棟の火炎とAFTの火炎を比較すると、燃焼実験棟の火炎は煙、煙の臭気及び木材の燃焼音（破裂音等）が多く発生する。一般的に、音や匂いは脳波の影響を与えるといわれている^{6) 7)}。本研究においては、木材を燃焼させた際に発生した煙、臭気、木材の燃焼音の影響で、視覚、嗅覚、聴覚が亢進され、被験者の感覚を亢進させた可能性があり、燃焼実験棟の火炎目視時のβ波の値が最も高い結果となったと考えられる。今後、煙（視覚）、煙の臭い（嗅覚）、燃焼音（聴覚）の各要因について実験を行い、緊張が高まるかどうか調べていく必要がある。

なお、本報告書をとおして、「火炎を目視」という用語を使用しているが、火炎により視覚以外にも脳が刺激を受けている可能性があるため、

「火炎を確認」という用語が正しいと考えられる。

(2) 自律神経について

本研究では、自律神経の状態から緊張度を評価するためにLF/HFを測定した。LF/HFは、交感神経（LF）と副交感神経（HF）の全体のバランスを表し、数値が高いほど緊張していることを表している⁸⁾。

本研究の結果、燃焼実験棟の火炎目視時のLF/HFは、安静時及びAFTの火炎目視時より高くなった。この結果から、安静状態時、AFTの火炎を目視時と比較すると、燃焼実験棟の火炎目視時の方が緊張していると考えられる。このような結果になった理由として、脳波の考察と同様な理由が考えられる。

(3) 心拍数について

本研究では、心拍数から緊張度を評価した。一般的に、人間は緊張すると心拍数が上昇するといわれている⁹⁾。

本研究の結果、燃焼実験棟の火炎目視時の心拍数は、AFTの火炎目視時より高くなり、さらには安静時より10(回/分)以上高い結果となった。つまり、本研究においては、心拍数からみると、燃焼実験棟の火炎目視時の方がより緊張している可能性があるということが分かった。その理由として、脳波の考察であげた煙、臭気、燃焼音の存在が考えられる。

しかし、本研究において、AFTの火炎目視時及び燃焼実験棟の火炎目視時は、座位安静の位置から実験位置まで3m程移動する必要があった。一方、安静時は、座位安静から起立せずにそのまま心拍数の測定を行った。つまり、AFT及び燃焼実験棟の火炎目視時の心拍数は、起立動作及び測定位置までの移動による運動負荷を反映した可能性も考えられ、今後実験を行う際には実験手法に注意していく必要がある。

(4) 主観的な緊張度について

本研究では、生理学的な指標である脳波、自律神経、心拍数とは別に、主観的な緊張度を測定した。本研究の結果、燃焼実験棟の火炎目視時の主観的緊張度がAFTの火炎目視時及び安静時より高くなり、生理学的指標と同じ結果となった。このことから、本研究で採用した生理学的指標については、消防活動時の緊張度を評価する指標として誤っていないと考えられる。

5 まとめ

本研究の結果、脳波、自律神経、心拍数、主観的な緊張度のいずれの測定項目も安静時よりAFTの火炎目視時及び燃焼実験棟の火炎目視時

の値が高くなった。

このことから、生理学的にみると、火炎を見慣れている消防隊員でも、火炎を確認することによって精神的緊張することが分かった。

6 今後の課題

(1) 燃焼実験の回数制限について

本研究で燃焼実験棟の火炎目視時の測定を行う場合、燃焼に使用するクリブの準備が必要であり、また再測定を行う場合には燃焼実験棟内の温度が低下するまでの時間が必要になり、実験回数を多くするのが困難であった。一回の実験で複数人同時測定が可能な脳波計を導入する等が望ましいと考えられる。

(2) 熱流束の測定について

本研究において、AFTの火炎目視時と燃焼実験棟の火炎目視時では、火炎と被験者の距離を同じにして実験を行った。しかし、距離が同じであっても、熱流束の違いにより被験者が感じる温度が異なる可能性がある。今後、同様の実験を行う際に、実験手法について再度検討する必要がある。

(3) 精神的緊張と消防活動能力の関係について

本研究では、火炎が消防隊員の精神的緊張に与える影響を調査することを目的とした。しかし、実際の消防活動では、火炎による精神的緊張が消防活動能力にどのように影響を与えるかが重要である。

本研究においては、身体的な動きによりノイズが発生したことで、消防活動中の脳波を測定することは困難であり、消防活動能力に精神的緊張が与える影響を評価することは出来なかった。先行研究では、歩行中でも脳活動を測定しているものもあり¹⁰⁾、またVR等を活用することにより、身体的な動きを伴わずに消防活動能力を評価できる手法も考えられる。今後、精神的緊張が消防活動能力に与える影響を評価する手法について検討を行い、消防活動能力を最も発揮できる精神的な緊張度を明らかにすることで、将来的に精神的な緊張度をコントロールできる訓練手法の開発に繋げていく必要があると考える。

7 おわりに

本研究の実施にあたり、東京理科大学の柳田信也教授にはお忙しい中、多くの貴重な知見を賜り、深く感謝いたします。そして、本研究の趣旨に賛同し、調査にご協力いただいた職員の皆様に心より御礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 日本スポーツ心理学会：スポーツメンタルトレーニング教本 三訂版、pp.109-113、大修館書店、2016
- 2) 手柴英喜ほか3名：出場ベル等の音が消防職員に及ぼす心理的・生理的影響に関する研究について、消防科学セーフティレポート第29号、平成4年
- 3) 火災室内の検索救助活動時における消防隊員の生理的・心理的变化に係る検証、消防科学セーフティレポート第45号、平成20年
- 4) 福田修ほか2名：ニューラルネットワークによる時系列脳波パターンの識別、信学論誌(D-II)、J80-D-II、7、pp.1896-1903(1997-7)
- 5) 脳波測定器 アルファテック(Alphatec) ニューロフィードバック装置、<http://www.nouhasokutei.jp> (参照20250320)
- 6) 田原靖彦ほか1名：快・不快音環境が脳波特性に及ぼす影響、騒音制御、vol.37、No.2、pp.117-123、2013
- 7) 古賀良彦：脳波の現場と今後の展望、臨床検査、Vol157、No.10、pp.1070-1076、2013
- 8) 株式会社疲労科学研究所測定結果の見方、<https://www.fatigue.co.jp/mikata.html> (参照20250320)
- 9) 山地啓司：こころとからだを知る心拍数、第1版、pp.271-288、杏林書院、2013 スポーツトレーニングの基礎理論、西東社、pp140、2012
- 10) 成瀬康ほか：ウェアラブル脳波計によるポータブルな脳波実験系の構築、日本神経回路学会誌、Vol.23、No.3、2016