

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12742

研究課題名（和文）光周波数帯域制御による不随意機能の生体制御技術の確立 -薬を使わない治療法の提案-

研究課題名（英文）Development of a Technology for Biological Control of Involuntary Functions by Controlling the Optical Frequency Bandwidth -Proposal for a Drug-Free Therapy-

研究代表者

浅野 裕俊（Asano, Hirotoshi）

工学院大学・情報学部（情報工学部）・准教授

研究者番号：70453488

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、体温を制御・調整する方法論の確立を目指し、日中活動時の睡眠介入効果を生理量から適切に評価するために、通常とは異なる帯域幅を持つ特殊な青色LED光を曝露した際の生理心理学的な影響を評価した。照明等を通じて間接的に介入すれば生体信号の乱れを未然に修正できる可能性がある。実験の結果、狭帯域光の方が睡眠に悪影響を及ぼさない光であることが交感神経系活動指標の一つである皮膚温度変動から確認され、波長帯域幅を変更することで生理状態が変化することが示された。本結果から、狭帯域制御による青色LEDを使用することにより、体温を適切に制御・調整し、睡眠介入を行える可能性を示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

不規則な生活習慣や過度なストレスは不随意機能を正常な状態から逸脱させ、不眠症や自律神経失調などの症状を引き起こす。特に睡眠不足による一時的な覚醒度の低下は、病気や交通事故の原因となり得る。照明等を通じて本技術で間接的に介入すれば、生活空間におけるヒトの生体信号の乱れを未然に修正できる可能性がある。本研究では覚醒度に及ぼす影響を測るため青色LEDを用いている。普段生活で使用されている照明機器や電子情報機器から発せられる色彩は、青色光とそれ以外の波長の光を組み合わせることで表現しているため、狭帯域光の青色光とそれ以外の波長の光を組み合わせる使用することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to develop a methodology to control and regulate body temperature and to properly evaluate the effects of sleep intervention during daytime activities from physiological quantities, this study evaluated the physiological and psychological effects of exposure to a special blue LED light with a different bandwidth than normal. Indirect intervention through lighting or other means may be able to correct disturbances in biological signals before they occur. The experimental results confirmed from skin temperature fluctuation, one of the indicators of sympathetic nervous system activity, that narrow-band light has less adverse effects on sleep, indicating that physiological conditions can be altered by changing the wavelength bandwidth. These results suggest that the use of blue LEDs with narrow bandwidth control may be able to appropriately control and regulate body temperature and provide sleep intervention.

研究分野：生体情報工学

キーワード：皮膚温度 生体制御 交感神経活動 睡眠

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

超高齢化社会を迎えた日本の医療費を社会保障費で恒久的に賄い続けることは難しく、ゆえに、日本では国民自身に健康管理を徹底させることで医療費の拡大を抑制しようとしている。しかしながら、この施策は自己管理が前提であり、職場環境や生活習慣が多様化・複雑化した日本社会において、国民一人一人に管理を促すだけでは難しい。しかも、身体の不調は生体内で非常に緩やかな変化を経て意識表出するため、極めて気づきづらい。これまで我々は生体内の予兆を捉える生理評価実験や日中活動時の睡眠変動を調整するバイオフィードバックを開発し、その可能性を明らかにしてきたが、当該手法は計測前の運動制限や接触負荷などの諸制約条件により実質的な運用を妨げていた。

2. 研究の目的

本研究では、有彩色光周波数帯域制御による体温の生体制御技術を開発し、日中活動時の睡眠変動を調整する手法を提案する。具体的には、睡眠変動に影響すると考えられる光周波数帯域幅を調整した特殊な有彩色光がヒトの覚醒度に及ぼす影響について生理心理学的に評価する。

3. 研究の方法

図1に実験システムを示す。本実験は実験前と後に行うRASアンケートとセンサの装着を除き暗室内で行った。暗室内の室温は $25.0\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ とし、室内は無風とする。本実験では、独自に調整した2種類の有彩色光(広帯域光、狭帯域光)を用いた。また、サーカディアンリズムの影響による結果の偏りをなくすため、実験参加者には前日に十分な睡眠をとってもらった。また、実験開始2時間前からのカフェイン摂取を禁止とした。実験を実施する時間帯は14:00から15:30までに制限した。図2に実験スケジュールを示す。実験参加者には、脳波、心拍、皮膚温度の計測センサを装着後、暗室内の椅子に着座してもらい、その後、特殊なLEDを10分間見つめてもらい、実験参加者の生理心理状態を測定機器及びアンケートを用いて計測した。

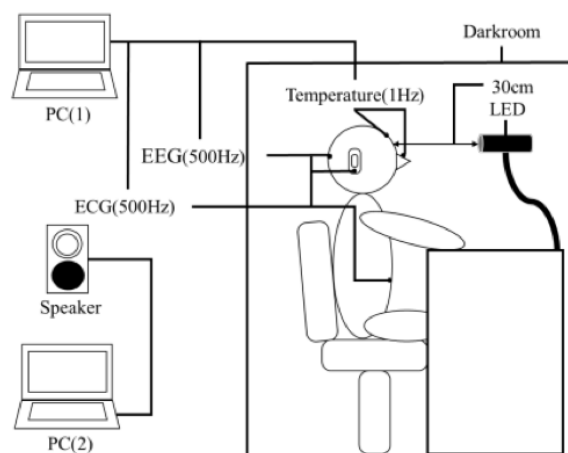


図1 実験システム

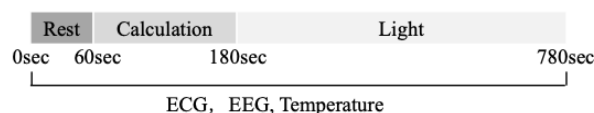


図2 実験スケジュール

4. 研究成果

本実験では、狭帯域光の方が睡眠に悪影響を及ぼさない光であることが交感神経系活動指標の一つである鼻部皮膚温度から確認された。波長帯域幅を変更することでヒトの生理状態が変化することが示された。また、本実験の結果は青色 LED が人間のサーカディアンリズムに大きな影響を与える可能性があることを示した。人間のサーカディアンリズムへの影響を減らすためにも狭帯域の光は有効になると考えられる。以下、具体的な実験結果について記載する。

図 3 は色彩印象アンケートの結果である。縦軸はスケールを表し、数値が高いほど、明るさや活発さのレベルが低く、強く鮮やかでない印象に対応する。横軸は分析された要因である。どの要因にも顕著な不一致は見られなかった。マン・ホイットニーの u 検定で群間差を評価したところ、広帯域光と狭帯域光の間では、どの要因においても有意な差は見られなかった。その結果、この実験で使用された帯域幅の異なる 2 種類の青色 LED は、同様の色の印象を喚起すると考えられた。図 4 は、RAS による心理アセスメントの結果を示したものである。縦軸は実験前後で観察された変化の度合いを表している。図に示されているように、狭帯域光は、眠気の顕著な増加、全身活動の低下、注意集中困難の上昇と関連しており、覚醒度の低下を示している。広帯域光では、リラックス感、緊張感が低下し、意欲が低下した。しかし、リラックスの値も広帯域光によって減少したことから、明確な相関関係は認められなかったと推察される。一般に、緊張度は覚醒度が低いほど低下すると考えられるが、広帯域光でも狭帯域光より程度は低いものの、覚醒度が低下したことから、過度の眠気がない場合に緊張度が低下することが示唆された。他の因子の値の変化はわずかであることから、心理的リラックスの度合いに対する光の影響は無視できると考えられる。図 5 に α 波含有率の結果を示す。縦軸は照射直前と照射後 1 分ごとの α 波含有量の差、横軸は実験開始からの時間を示す。 α 波含有率は広帯域光よりも狭帯域光の方が常に高く、10 分後と 13 分後に顕著な傾向が見られた。図 6 は、HF 含有量に関する知見を示したものである。縦軸は HF のパワースペクトル密度の変化を表し、横軸は実験開始からの経過時間を表す。実験開始後 9 分目までは、各灯で一貫したパターンが観察された。しかし、10 分目からは、広帯域光と狭帯域光の間で傾向が異なり、10 分目には顕著な格差が観察された。図 7 は、鼻鼓膜差温に関する所見を示している。縦軸は、実験開始直後の鼻腔皮膚温と額温の差から得られた、光照射後の差の変化を示す。横軸は実験開始からの経過時間。60 秒から 180 秒までは、計算課題に対応した体温の低下が観察された。その後、広帯域光に比べて狭帯域光で顕著な上昇が見られたものの、各光で温度が上昇する傾向が見られ、この顕著な傾向は 520 秒以降で顕著になり、570 秒以降で有意差が観察された。次に生理心理指標結果について検証する。最初に、眠気とリラックスに関する結果を評価する。心理学的指標である RAS 眠気は、どちらの光でも、特に狭帯域光で高まった。一方、RAS リラックス、緊張、意欲低下は狭帯域光では変化がなかったが、広帯域光では緊張が緩和された。 α 波含有率の生理学的指標は、狭帯域光で計算課題の終了に向かって上昇する軌跡を示し、眠気とリラックスの増加を示した。HF 含量は、どちらのタイプの光でも全般的に減少パターンを示し、眠気の抑制を示唆した。鼻前頭部差温はすべての光条件において上昇する傾向があり、眠気とリラックスが増加する傾向を示唆した。この傾向は、帯域幅にもよるが、狭帯域光でより顕著であった。当初、HF 含有量を除くすべての指標で一貫したパターンが観察され、心理学的指標と生理学的指標の間に相関関係がある可能性が示された。さらに、心理学的および生理学的測定では、狭帯域光で覚醒度が低下する傾向が見られ、広帯域光に比べて眠気がより促進されることが示唆された。狭帯域光で観察された覚醒度の低下は、メラノプシンを発現する網膜神経節細胞を活性化する広帯域光特有の波長域に起因すると考えられる。光刺激は錐体細胞、桿体細胞、特にメラノプシンを発現する網膜神経節細胞に影響を与え、その感

度は特徴的な青色光の波長 490nm でピークに達する。その結果、この波長域を減衰させることで、メラノプシン発現網膜神経節細胞への影響が減少して覚醒度が低下したと考えられる。しかし、HF 含量の低下はすべての光条件において明らかであり、心理的緊張の低下も狭帯域光に対して広帯域光で観察された。これは、実験プロトコルが被験者の入眠を禁止し、それによって脈波の HF に反映される心理的緊張が高まる一方で、眠気が増して α 波が多く発生し、生理的・心理的な眠気が誘発されたことに起因すると考えられる。

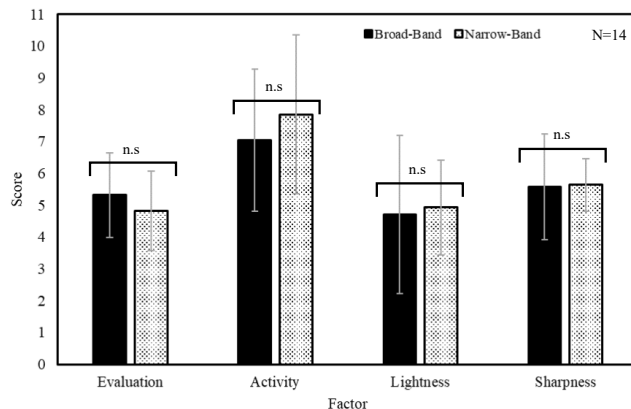


図 3 色印象アンケート

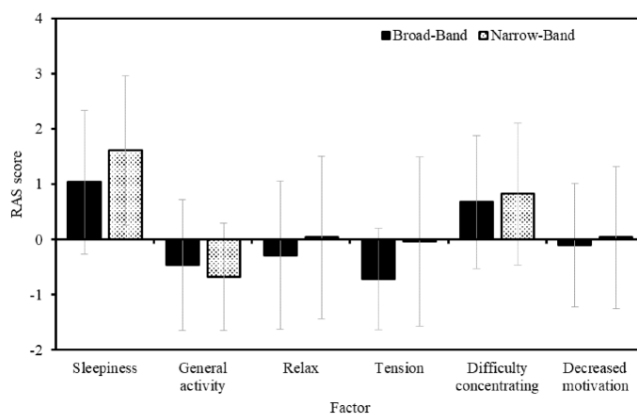


図 4 RAS アンケート

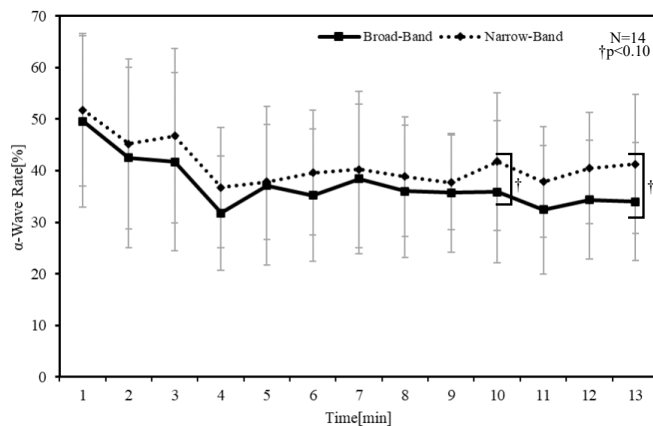


図 5 α 波含有率

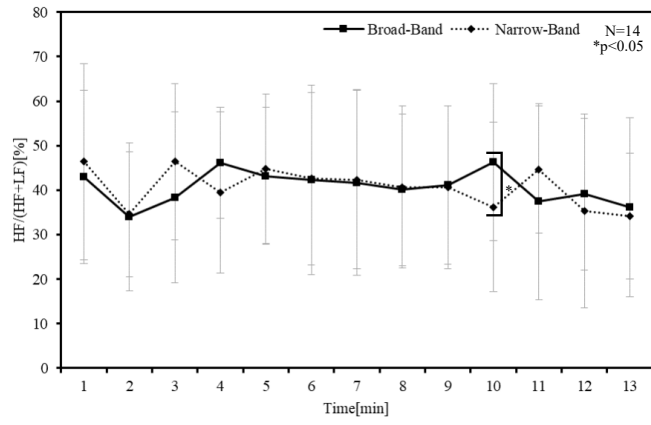


図6 HF含有量

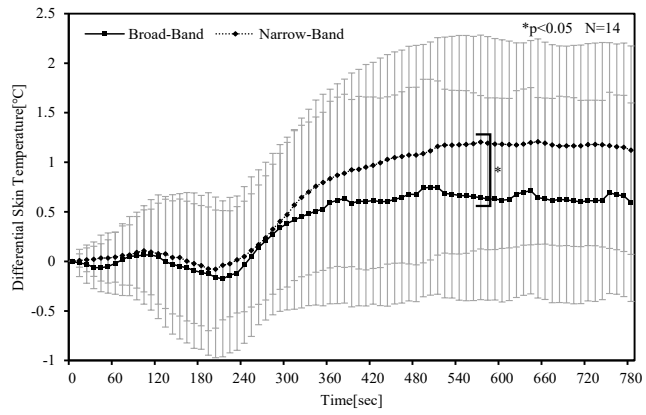


図7 鼻部皮膚温度の時系列変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

| | |
|--|------------------------|
| 1. 著者名 Yoshihiro Oka, Sayyidatul Nur Afiqah binti Abd Ghafar, Wataru Yoshida, Yuichi Tanji, Hirotoshi Asano | 4. 巻 141 |
| 2. 論文標題 Estimation of Subjective Arousal Level with Convolutional Neural Networks During LED Light Exposure | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials | 6. 最初と最後の頁 504, 505 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.141.504 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|------------------------|
| 1. 著者名 梅本 拓登, 浅野 裕俊 | 4. 巻 141 |
| 2. 論文標題 機械学習による顔面熱画像からの部位検出 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 電気学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 582, 583 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejeiss.141.582 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|------------------------|
| 1. 著者名 磯本 諒平, 小園 凌太, 南雲 健人, 野澤 昭雄, 丹治 裕一, 浅野 裕俊 | 4. 巻 141 |
| 2. 論文標題 鼻部皮膚温度を利用した眠気抑制のためのドライバーの眠気推定 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 電気学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 506, 507 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejfms.141.506 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Minobu Takahashi, Hirotoshi Asano |
| 2. 発表標題 Effects of Thermal Stimulation to Neck Skin on Sympathetic Nervous Activity and Arousal Level of Drivers |
| 3. 学会等名 The Twenty-Eighth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2023（国際学会） |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 吉原雅人、浅野裕俊 |
| 2. 発表標題 赤外線サーモグラフィーを用いた顔部位の推定 |
| 3. 学会等名 電気・電子・情報関係学会 四国支部連合大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 岡慶寛, SAYYIDATUL NUR AFIAH BINTI ABD GHAFAR, 吉田航, 丹治裕一, 浅野 裕俊 |
| 2. 発表標題 CNNによるLED光暴露時の主観的覚醒度の判定 |
| 3. 学会等名 電気学会計測研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T.Umemoto, K.Fujimoto, H.Asano |
| 2. 発表標題 An attempt to generate pseudo-thermal images using an Adversary generation network |
| 3. 学会等名 Proceedings of the 26th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Shun Kamiko, Hirotoshi Asano |
| 2. 発表標題 Physiological and Psychological Evaluation during Exposure to Blue Light with Different Bandwidths |
| 3. 学会等名 Proceedings of the 29th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会) |
| 4. 発表年 2024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 |
|---------|---------|
|---------|---------|