

# 瞳孔径と覚醒水準に及ぼす青色パルス光の影響

## Effects of blue pulsed light on pupil diameter and arousal level

キーワード: 非視覚的作用、パルス光、瞳孔径、覚醒水準

人間生活工学研究室: 落合 志文

### ■ Abstract

The LED lighting is popularizing today and some products are able to regulate color temperature with different kind of LED chips. Blue light was reported to induce non-image forming effects such as pupillary miosis and arousal acting photoreceptor, ipRGCs. In this study, experiments were carried out on pupil diameter and arousal level using blue and white LED devices to reveal effects on different modulation of intensity.

As a result, it was found that blue pulsed light induces pupillary miosis more intensely than blue fixed light although they were equal in visual perception. However, although effect of pulsed light on arousal level was not appeared in this study, the result is expected to apply to new lighting design.

### ■ 背景

#### LED(発光ダイオード)照明

LED照明は蛍光灯に続く「第4世代のあかり」として期待され、その市場は年数%規模で拡大を続けると見込まれている<sup>1)</sup>。市販されているLED照明の中には、色温度の異なる複数のLED素子を搭載し、その輝度バランスを制御することで調色を可能にした製品も発売されている<sup>2)</sup>。LEDの輝度制御は電圧制御による方法の他、パルス光を利用するPWM制御も用いられている。

#### 光による非視覚的作用

網膜には ipRGC (内因性光感受性網膜神経節細胞) と呼ばれる波長 480nm (青色光帯域) 付近にピーク感度を有する光受容器が存在し<sup>3)</sup>、それが関与する生理作用は非視覚的作用と呼ばれている<sup>4)</sup>。非視覚的作用に関する研究として、日中の青色単波長光曝露によって縮瞳と覚醒が誘発されることが報告されている<sup>5)</sup>。

### ■ 目的

本研究は、青色LEDと白色LEDを交互に配置した光源(図1)を用いて実験を行い、輝度制御方法の違い(定常光またはパルス光)が瞳孔径や覚醒水準に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

### ■ 方法

#### 被験者

十分な説明と同意の上で、色覚正常で健康な男性7名(平均22±0.7歳)が被験者として実験に参加した。

#### 実験環境

室温26°C、相対湿度50%に設定した暗室内の実験ブースにおいて実験を行った(図2)。

#### 曝露光

基準光の光源としてハロゲンランプ(相関色温度:3100K)、刺激光の光源として青色LED(ピーク波長:467nm)及び白色LED(相関色温度:3000K)を用いた。網膜位置における刺激光の放射照度は、12  $\mu\text{w}/\text{cm}^2$  に設定した。

#### 実験条件

実験条件として、異なる刺激光4条件を設定した(表1)。パルス光条件であるP10条件については、青色LED(パルス幅:100  $\mu\text{s}$ )、白色LED(パルス幅:900  $\mu\text{s}$ )を交互に点灯させた。

### 実験手順

実験は、基準光下で安静(6分間)、 $\alpha$ 波減衰テスト(6分間)、安静(3分間)、続いて刺激光下で安静(9分間)、 $\alpha$ 波減衰テスト(6分間)と進化した(図4)。なお、実験は日中の同一時刻帯に実施し、実験条件の実施順序はカウンターバランスをとった。

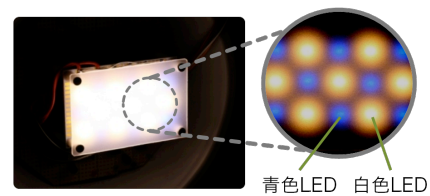


図1 刺激光光源

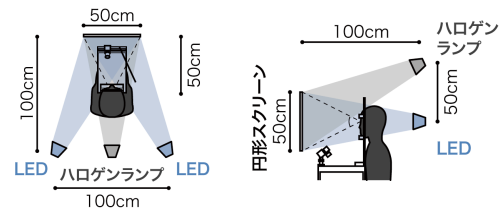


図2 実験ブース

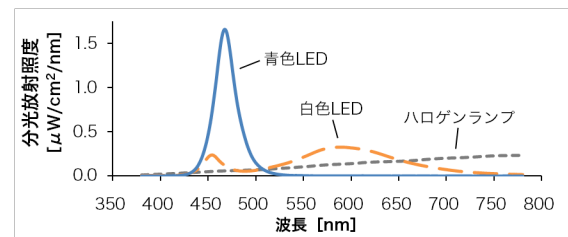


図3 分光分布

表1 実験条件(刺激光)

	F0	F10	P10	F100	
刺激光種別	定常光	定常光	パルス光	定常光	
放射照度	青	0.0	1.2	12.0	12.0
[ $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ ]	白	12.0	10.8	12.0	0.0

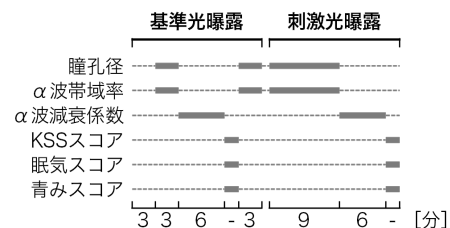


図4 実験プロトコル

## 指標及び解析

アイマークレコーダ (EMR-8B, ナックイメージテクノロジー) を用いて瞳孔径 (左眼)、生体信号集録・解析システム (MP150 システム, BIOPAC Systems) を用いて脳波 (Fz, Cz, Pz 部位) を測定した。また、主観評価項目として、KSS (Kwansei-gakuin Sleepiness Scale) によって覚醒水準の指標である KSS スコア、VAS (Visual Analog Scale) によって眠気スコア及び刺激光に関する青みスコアを測定した。

瞳孔径の測定結果から刺激光曝露による変化量、脳波の測定結果から覚醒水準の指標として  $\alpha$  波帯域率 ( $\alpha / (\alpha + \beta)$ ) 及び  $\alpha$  波減衰係数 (AAC) の変化量を算出した。主観評価項目については、刺激光に関する指標は測定値、その他の指標はその変化量を算出した。それぞれの指標について、KaleidaGraph 4.0 (Synergy Software) を用いて反復測定一元配置分散分析と多重比較検定 (Holm の方法及び 0% 条件をコントロール群とした Dunnett の方法) を行った。

## ■結果

### 瞳孔径

瞳孔径の結果より、F100 条件は、有意に最も縮瞳することが認められた。また、P10 条件は、F0 条件や F10 条件と比較し有意に縮瞳することが認められた (図 5)。

### $\alpha$ 波帯域率

$\alpha$  波帯域率 (Pz 部位) の結果より、F100 条件は、覚醒水準が最も高い傾向が認められた (図 6)。なお、Fz、Cz 部位については、有意な主効果は認められなかった。

### $\alpha$ 波減衰係数 (AAC)

$\alpha$  波減衰係数 (AAC) については、いずれの測定部位においても有意な主効果は認められなかった。

### KSS スコア

KSS スコアについては、有意な主効果は認められなかった。

### 眠気スコア

眠気スコアについては、有意な主効果は認められなかった。

### 青みスコア

青みスコアの結果より、F100 条件は青み知覚量が有意に大きいことが認められた。その一方で、F0 条件、F10 条件、P10 条件間では、青み知覚量に有意差は認められなかった (図 7)。

## ■考察

瞳孔径の結果より、F0 条件や F10 条件と比較して P10 条件は縮瞳を強く誘発することが確認された。しかし、青みスコアの結果からは、上述の 3 条件間で青み知覚量に有意差は認められなかった。以上の結果から、パルス光条件である P10 条件は、青み知覚量が同等である定常光条件と比較して縮瞳を強く誘発することが示された。

非視覚的経路における光受容器である ipRGC について、桿体や錐体と比較して、網膜における分布密度が低いものの、単一光子に対する活動電位が大きく、応答が数秒間持続するという性質が報告されている<sup>6)</sup>。このような性質から、定常光と比較して高強度で瞬間的に点灯するパルス光の方が縮瞳を強く誘発した可能性が考えられる。以降、同様の生理現象をパルス光の効果とする。

覚醒作用については、F100 条件で覚醒作用が強い傾向が認められたものの、残念ながらパルス光の効果は確認できなかった。しかし、青色光曝露による縮瞳作用と覚醒作用は、非視覚的経路という一部が共通する応答経路によるものと考えられるため<sup>5)</sup>、覚醒作用についてもパルス光の効果が存在する可能性がある。高色温度照明は覚醒作用を有することが報告されているが<sup>7)</sup>、覚醒作用においてもパルス光の効果は証明されれば、覚醒作用を有する低色温度照明が実現する可能性がある。これは、オフィス空間等の照明デザインの自由度向上に貢献することが期待される。

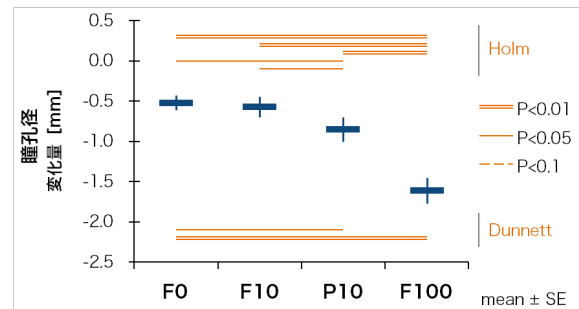


図 5 瞳孔径

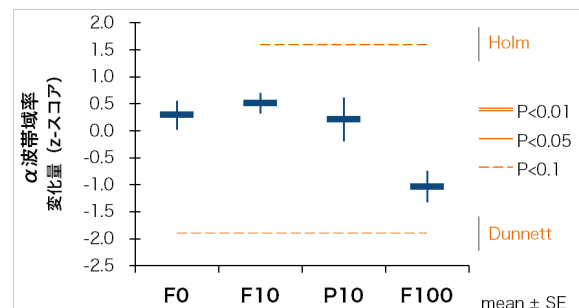


図 6  $\alpha$  波帯域率 (Pz 部位)

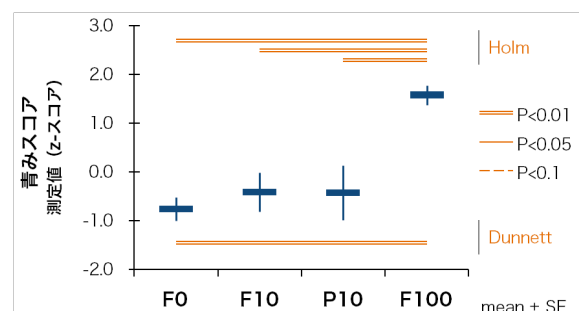


図 7 青みスコア

## ■まとめ

青色 LED と白色 LED を交互に配置した光源を用いて実験を行い、輝度制御方法の違い (定常光またはパルス光) が瞳孔径や覚醒水準に及ぼす影響について研究を行った。

その結果、定常光と比較した場合、視覚的な青み知覚量は同等でもパルス光の方が縮瞳を強く誘発することが確認された。このパルス光の効果は、ipRGC の性質によって生じるものと考えられる。

## ■参考文献

- 1) 小紫ら: 総論 LED 照明の現状と将来, 照明学会誌 94 (4), 220-223 (2010)
- 2) シャープ株式会社: LED | サポート・お問い合わせ, [http://www.sharp.co.jp/support/led\\_lighting/](http://www.sharp.co.jp/support/led_lighting/) (2011)
- 3) Berson et al.: Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock, Science 295, 1070-1073 (2002)
- 4) 人工環境デザインハンドブック編集委員会: 人工環境デザインハンドブック, 丸善 (2007)
- 5) 李ら: 単波長の光曝露に対する生理反応, 日本生理人類学会誌 13 (2), 75-83 (2008)
- 6) Michael et al.: Photon capture and signalling by melanopsin retinal ganglion cells, Nature 457, 281-287 (2009)
- 7) 金井ら: 室内照明の色温度が作業中の覚醒度に与える影響, 日本生理人類学会誌 5 (特別号 2), 14-15 (2000)