

# Verification of the Effects of Circadian Lighting on People by Wall Lighting

Yuka KAWAI\*\* , Mitsunori MIKI\* , Ayaka NAKAMOTO\* , Hirotaka YONEDA\*\* , Erina MAKIHARA\*

(Received January 28, 2020)

Disruption of the worker's biological rhythm contributes to a decrease in the productivity and concentration of the worker. A circadian light system (hereafter, circadian light) that changes the color temperature of the ceiling light every time has been proposed to improve the disturbance of the biological rhythm. Circadian light not only improves the comfort and concentration of the worker when working, but also improves the disturbance of the biological rhythm of the worker. However, general office ceiling light, which cannot change color temperature and illuminance, is widely used, so introducing circadian light requires large-scale construction and is not easy. In this study, we propose a method to reproduce circadian light using wall lighting that can be installed at low cost and that can easily change the atmosphere of the room. As a result of the experiment, comfort and concentration improved when the circadian wall lighting was turned on. It was also found that the subject's preferred color temperature decreased from noon to evening.

**Key words :** Circadian light, wall light, comfort, concentration

キーワード : サーカディアン照明, 壁面照明, 快適性, 集中度

## 壁面照明によるサーカディアン照明が人に与える影響の検証

川合 由夏, 三木 光範, 中本 絢景, 米田 浩崇, 槇原 絵里奈

### 1. はじめに

執務者の生体リズムの乱れは、執務者の生産性や集中度の低下を助長する。この生体リズムの乱れを改善するために、天井照明の色温度を時間ごとに変更するサーカディアン照明システム<sup>1)</sup>(以下、サーカディアン照明)が提案されている。サーカディアン照明は、執務者の作業時における快適性や集中度を向上させるだけでなく、執務者の生体リズムの乱れを改善する。それにより夜間の深い睡眠を促し、疲労回復やストレスの

軽減に効果がある<sup>2)</sup>。特に生体リズムの調整が弱体化している高齢者に対しサーカディアン照明の有効性が実証されている<sup>3)</sup>。しかし、一般的なオフィスの天井照明には色温度や照度を変更できない照明が広く用いられているため、サーカディアン照明を導入するには大掛かりな工事が必要であり容易でない。また、サーカディアン照明本体の値段が高く、天井照明をサーカディアン照明に変更することにはコストがかかる。

そこで本研究では安価で設置ができ、部屋の雰囲気

\* Faculty of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:mmiki@mail.doshisha.ac.jp

\*\* Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-90-4214-9852, Fax:+81-790-45-0043, E-mail:ykawai@mikilab.doshisha.ac.jp

を容易に変更可能である壁面照明を用いてサーカディアン照明を再現する手法を提案する。これを以下、サーカディアン壁面照明と呼ぶ。サーカディアン壁面照明は太陽の色温度に基づき、朝から正午にかけて色温度を上げていく。そして、正午を最も高い色温度にする。その後、正午から夕方にかけて色温度を下げていく。このサーカディアン壁面照明が壁面照明一定点灯時と比較して、被験者の快適性と集中度にどの程度影響を与えるのかを検証する。

また、正午から夕方にかけて色温度を上げるサーカディアン照明（以下、逆サーカディアン壁面照明）において被験者の快適性と集中度にどの程度影響を与えるのかを検証する。サーカディアン壁面照明と逆サーカディアン壁面照明を比較して、被験者の快適性と集中度にどの程度影響を与えるのかを検証する。

## 2. サーカディアン照明

### 2.1 サーカディアンリズム

人間は地球の自転周期に合った約 24 時間のリズムで生活している。このリズムは昼は覚醒、夜は睡眠というサイクルの繰り返しであり、サーカディアンリズムと呼ばれる。このリズムによって人間の体は自動的に体温やホルモン分泌を調整している。そのため、覚醒の時間に眠ろうとする場合十分な睡眠を得ることができない。反対に、睡眠の時間に活動しようとする場合仕事のパフォーマンスは低下する。そのため、作業の生産性向上にはサーカディアンリズムと生活時間の同調が必要不可欠である。

一般的にサーカディアンリズムは 24 時間より少し長い地球の自転周期とのずれが生じる。しかし光を用いることで周期のずれを元に戻すことができる<sup>4)</sup>。一日の太陽の色温度は午前中から正午にかけて高くなり、正午から夕方に向けて低くなる。

### 2.2 サーカディアン照明の概要

サーカディアン照明とは、サーカディアンリズムに基づいて時間ごとに色温度が変化する天井照明である。サーカディアン照明は、覚醒感を持続させるために午前中から正午にかけて色温度を上げる。また、集中度を高めるために正午から夕方にかけて徐々に低照度・

低色温度となる光を実現する。オフィスなどの執務空間にサーカディアン照明を導入することで2つの効果を得る。1つ目は、日中の覚醒水準が高まることによる生産性の向上である。2つ目は、夜間における十分な睡眠が確保できることによる疲労回復やストレスの軽減である。また長期的な視点に立てば、従業員の健康促進から病欠率の減少に繋がり、就業満足度の引き上げにも寄与すると考えられる。

### 2.3 サーカディアン照明の課題

一般的なオフィスの天井照明では、調光調色できない照明が広く使われているため照明の照度や色温度を変更することが容易でない。また、オフィスにサーカディアン照明を導入するためには設備投資として多大なコストがかかる。そのため導入されている企業は少なく、サーカディアンリズムに基づいた照明が執務者に提供されない問題がある。

そこで我々は色温度可変型の壁面照明を用いて、執務者のサーカディアンリズムに配慮した照明を再現する。サーカディアン壁面照明を用いることで、サーカディアン照明導入の課題である経済的な問題を解決できる。

## 3. サーカディアン壁面照明

### 3.1 壁面照明

壁面照明とはダウンライトやスポットライト、ウォールウォッシャーを用いて、壁に向け光を照射し、壁面全体を明るくする照明である。壁面照明の光は壁に反射し間接的に届くため、人に直接届かない。そのため、光源の光が人の目に直接入らず、目への刺激が少ない。壁面照明は壁面を明るくすることで、部屋全体としての明るさを向上させる。また、壁面に陰影をつくることで空間にメリハリを出し、空間の印象を変化させる。壁面照明は天井照明と比較すると小さい消費電力で空間全体の明るさを向上させるため、省エネルギー効果が高い。そのほかにも壁面照明のもたらす効果にはリラククス効果や部屋を広く感じさせる効果などがあり、快適性を向上させる。このため現在多くのオフィスや美術館、博物館で用いられている。

### 3.2 サーカディアン壁面照明の概要

一般的なオフィスの天井照明では色温度や照度を変更できないものが広く用いられているため、サーカディアン照明を導入することは容易でない。また、天井照明をサーカディアン照明に変更するにはコストがかかるという課題が挙げられる。そこで我々は設置が容易で安価な壁面照明を用いてサーカディアン照明を再現する照明システムを提案する。

サーカディアン壁面照明が壁面照明一定点灯時やほかの点灯パターンと比較して、どの程度快適性や集中度を向上させることができるか、またそのときの被験者が選好する色温度はどの程度であるかを検証するために、被験者実験を行う。

## 4. サーカディアン壁面照明が快適性と集中度に与える影響の検証

### 4.1 実験目的

本実験では、サーカディアン壁面照明がディスプレイ作業時に被験者の快適性と集中度に与える影響を検証する。そのため、サーカディアン壁面照明点灯時、壁面照明一定点灯時および逆サーカディアン壁面照明点灯時の3パターンの照明環境において、被験者の作業時における快適性と集中度を比較する。また、一定時間ごとに被験者の選好色温度を検証する。これらの検証により、サーカディアン壁面照明の有効性を示す。

### 4.2 実験環境

被験者実験を行った環境を Fig. 1 に示す。実験室には壁面照明として Philips Hue シングルランプ 8 灯を使用した。また、天井照明は三菱電機製調光調色 LED 照明 12 灯を使用した。本実験で使用する机は幅 1.2 m、奥行 0.70 m、高さ 0.72 m である。机の配置として、被験者がディスプレイ作業時に壁面全体が見渡せるよう壁面と机を十分に離れた。天井照明を実験に使用した机の照度、色温度が、500 lx、4000 K になるように調光および調色した。

壁面照明を用いてサーカディアン照明を実現するためには、壁面照明の色温度を変化させる必要がある。Philips Hue は調光調色可能な多形式の API が公開されており、その中でも REST API を用いて制御を行

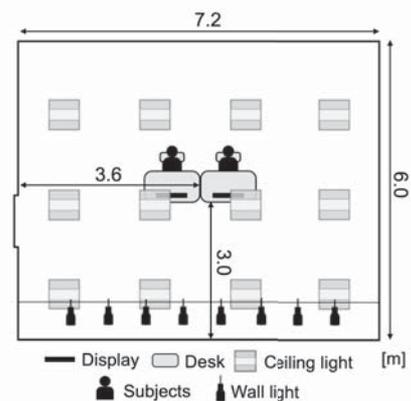


Fig. 1. Experimental environment.

う。制御システムは Node.js を用いて実装した。これは、実験者側のインターフェース、被験者側のインターフェースおよびサーバー機能の全てを一元に開発できるためである。Node.js を実行するサーバーからは時刻に応じて Philips Hue のブリッジにリクエストを送信し、色温度の変更を行う。

### 4.3 実験手順

本実験は、1 グループ 2 名、計 6 名に対して行う。被験者は机上面照度が 500 lx の環境でサーカディアン壁面照明点灯時と壁面照明一定点灯時および逆サーカディアン壁面照明点灯時それぞれ 12 時から 18 時まで 6 時間ディスプレイ作業を行う。作業をディスプレイ作業としたのは、紙面作業では目線が下になり、壁面照明が視野に入りにくく、壁面照明の色温度の変化による効果が薄れる恐れがあるためである。サーカディアン壁面照明点灯時の実験開始時における色温度は 6500 K、実験終了時における色温度は 2500 K とする。壁面照明一定点灯時の色温度は、3600 K とする。これは、実験の中間時刻の 15 時におけるサーカディアン壁面照明の色温度である。また、逆サーカディアン壁面照明は、正午から夕方にかけて色温度を上げるサーカディアン照明のことである。逆サーカディアン壁面照明点灯時の実験開始時における色温度は 2500 K、実験終了時における色温度は 6500 K とする。サーカディアン壁面照明および逆サーカディアン壁面照明では、10 分おきに色温度が変化する。サーカディアン壁面照明では 36 回に分けて色温度を 4000 K 下げる。

Table 1. Color temperature change of circadian wall light.

Time	Color temperature
12:00	6500 K
13:00	5100 K
14:00	4200 K
15:00	3600 K
16:00	3100 K
17:00	2700 K
18:00	2500 K

逆サーカディアン壁面照明では 36 回に分けて色温度を 4000 K 上げる。

実験は以下の手順で行う。被験者は実験開始時刻である 12 時に適した壁面照明の色温度を選択する。選択できる壁面照明の色温度は、Philips Hue シングルランプで実現できる 2000 K から 6500 K の範囲内から 8 段階である。壁面照明の色温度を選択する 12 時時点、13 時時点、14 時時点、15 時時点、16 時時点、17 時時点、18 時時点の色温度に Philips Hue シングルランプで実現できる最低色温度である 2000 K を含めた 8 段階である。被験者が壁面照明の色温度を選択した後、サーカディアン壁面照明に戻す。その後ディスプレイ作業を行う。1 時間のディスプレイ作業後、被験者は作業の快適性と集中度について評価を行う。評価は、7 段階 SD 法を用いた主観的評価である。また、主観的評価と同時にその時刻に適した壁面照明の色温度を選択する。被験者が壁面照明の色温度を選択した後、サーカディアン壁面照明の点灯パターンにする。この手順を実験終了時刻である 18 時まで 1 時間ごとに行う。本実験は実験時間が長いため、1 時間以内であれば退出可能とした。

#### 4.4 作業時における快適性と集中度の評価の比較結果および考察

サーカディアン壁面照明点灯時と壁面照明一定点灯時および逆サーカディアン壁面照明点灯時における被験者 6 名の快適性に関する評価の平均を Fig. 2 に示

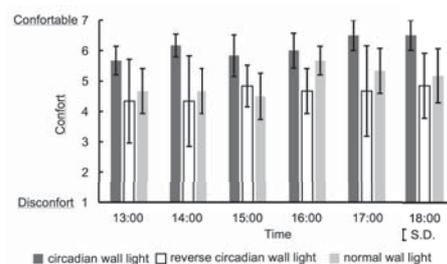


Fig. 2. Average of subjective evaluation of 6 subjects for comfort.

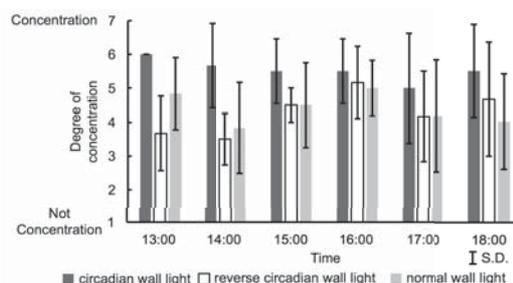


Fig. 3. Average of subjective evaluation for the degree of concentration of 6 subjects.

す。Fig. 2 の結果より、壁面照明一定点灯時および逆サーカディアン壁面照明点灯時と比較しサーカディアン壁面照明点灯時では快適性が向上する。一方、逆サーカディアン壁面照明では、壁面照明一定点灯時より快適性が下がることが分かった。被験者へのヒアリングにより、太陽の色温度に合わせて時間ごとに色温度が下がることで室内外の色温度の差が小さく違和感を感じないため、快適性が向上することが分かった。

サーカディアン壁面照明点灯時と壁面照明一定点灯時および逆サーカディアン壁面照明点灯時における各被験者の集中度に関する評価を Fig. 3 に示す。Fig. 3 の結果より、壁面照明一定点灯時および逆サーカディアン壁面照明点灯時と比較しサーカディアン壁面照明点灯時では集中度が向上した。

#### 5. 選好色温度の比較結果および考察

サーカディアン壁面照明点灯時において被験者 6 名が 1 時間ごとに選好した壁面照明の色温度の平均を Fig.4 に示す。Fig.4 より、被験者の選好する色温度はサーカディアン壁面照明とほぼ同じ色温度で、夕方に

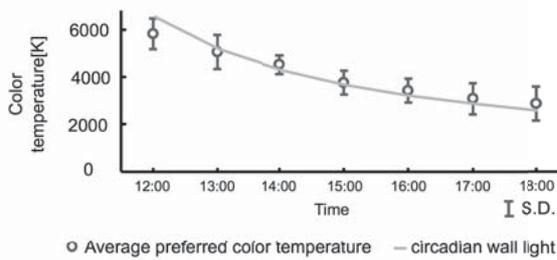


Fig. 4. Average of preferred color temperature of 6 subjects (when circadian wall light is on).

なるにつれて下がることが分かる。しかしながら、被験者が選好した色温度は、サーカディアン壁面照明点灯中に選好した値であり、そのときのサーカディアン壁面照明の色温度に影響を受けている可能性がある。そのため、逆サーカディアン壁面照明を提示したときの選好色温度を調べる必要がある。

逆サーカディアン壁面照明点灯時において被験者6名が1時間ごとに選好した壁面照明の色温度の平均を Fig.5 に示す。Fig.5 より、逆サーカディアン壁面照明条件下においても、被験者の選好する色温度は夕方になるにつれて低くなる傾向がある。

壁面照明一定点灯時において被験者6名が1時間ごとに選好した壁面照明の色温度の平均を Fig.6 に示す。Fig. 6 より、壁面照明一定点灯時においても被験者6名が選好した色温度は時間ごとに低くなった。

これらの結果より、正午は昼食後の眠気を覚ますためや集中度を増加させるために高色温度を好み、夕方は屋外の照度が下がるため低色温度を好むと考えられる。また、Fig.4, 5 および 6 より、その時刻の壁面照明の色温度に左右されることなく、被験者の選好色温度は低くなるのが明らかになり、時刻によって人の選好色温度が無関係に下がると分かった。

## 6. 結論

本実験では、壁面照明一定点灯時および逆サーカディアン壁面照明点灯時と比較し、サーカディアン壁面照明が被験者の快適性と集中度に与える影響の検証および被験者の選好色温度の検証を行った。被験者実験を行った結果、壁面照明一定点灯時および逆サーカディ

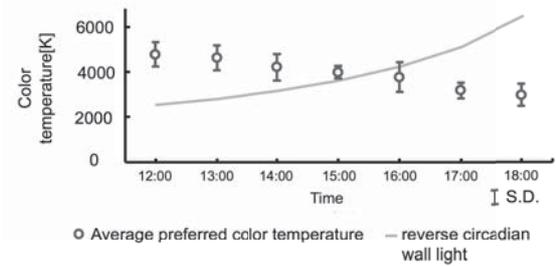


Fig. 5. Average of preferred color temperature of 6 subjects (when reverse circadian wall light is on).

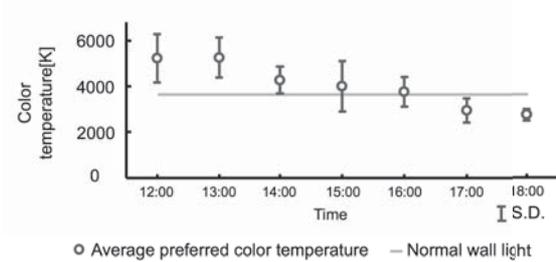


Fig. 6. Average of preferred color temperature of 6 subjects (when normal wall light is on).

アン壁面照明点灯時より、サーカディアン壁面照明点灯時では被験者の作業時における快適性と集中度が向上した。これにより、壁面照明の色温度は時刻によって午後は色温度が下がる方が快適であるといえる。集中度も同様に色温度は時刻によって午後は色温度が下がるほうが良いといえる。

また、被験者の選好する色温度は正午から夕方になるにつれて低くなる傾向がある。これにより、被験者はサーカディアン照明と同様の色温度を好むといえる。また、選好色温度は壁面照明の色温度に左右されることなく、夕方になるにつれて低下した。なお、被験者実験の結果、睡眠時間が長い被験者は実験開始時刻の12時に覚醒作用のある高色温度の照明を好まないことが分かった。また、睡眠時間の短い被験者は実験開始時刻の12時に覚醒作用のある高色温度の照明を好むことが分かった。また、昼食後には眠気を感じる被験者も多く、集中度を高めるために高色温度の照明を好むことが分かった。

## 参考文献

- 1) 藪哲郎, “人間の体内時計を調整する照明システム”, 電気学会誌, **121**[7], 430-433 (2001).
- 2) 吉岡 陽介, 宗方 淳, 川瀬 貴晴, “休憩空間での昼光曝露が執務空間での覚醒水準と作業成績に及ぼす影響”, 日本建築学会計画系論文集, **80**[718], 2815-2822 (2015) .
- 3) 久米功人, 川瀬貴晴, 吉岡陽介, 大林史明, 関川智, “昼光利用サーカディアン照明が人体に及ぼす影響”, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2006, **3**, 2221-2224 (2006).
- 4) 西村唯史, “生体リズムを考慮した照明制御”, 電気設備学会誌, **33**[1], 34-36 (2013).