

Development of a lighting system with variable illuminance and color temperature, and preferred illuminance and color temperature for works

Yuka TANIGUCHI,* Mitsunori MIKI** and Masato YOSHIMI**

(Received October 17, 2011)

The improvement of the lighting environment in offices leads to the improvement of intellectual productivity. We constructed a system that provides individual illuminance and color temperature preferred by workers, and we carried an experiment to clarify the favorite illuminance and color temperature in the office. From this experiment, it is found that each person's favorite lighting environment was different each other and it changed by health condition and time in a day. We consider that creative works are improved when workers are provided with the their preferred lighting environment.

Key words : Intelligent lighting system , preferred illuminance , preferred color temprature

キーワード : 知的照明システム , 選好照度 , 選好色温度

照度・色温度可変型照明システムの構築と 執務における最適な照度および色温度

谷口 由佳 , 三木 光範 , 吉見 真聡

1. はじめに

近年オフィス環境への関心が高まり、オフィスにおける光環境の改善は知的生産性の向上に繋がることが報告されている^{1),2)}。その中でも人間の生体リズムに応じて光環境を変えることで仕事の能率を向上させることが報告されている^{3),4)}。光環境には照度および色温度という指標がある。照度とは光によって照らされている任意の場所の明るさで、単位はlx(ルクス)である。また、色温度とは光の色を定量的な数値で表現する尺度で単位はK(ケルビン)である。照明の色温度を低くすることで、くつろぎが感じられ、反対に高くす

ることで爽やかさが感じられることが報告されている⁵⁾。現在、日本では一般的なオフィスにおける机上面照度基準は750 lx以上に設定されており、部屋全体に均一の明るさを提供し、ワーカの好みや作業内容は考慮されていない。照度については個人によって選好が異なり、また高照度、低照度のみを好む被験者や、さまざまな照度を選好する被験者がいることが分かっている⁴⁾。そこで、照度だけでなく色温度についても個人によって選好は異なるのではないかと考えられる。また、色温度を変化させることによって知的生産性や作業効率の向上を図ることができるのではないかと考えられる。

* Graduate School of Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6921, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:ytaniguchi@mikilab.doshisha.ac.jp

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

Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6796, E-mail:mmiki,myoshimi@mail.doshisha.ac.jp

本研究では、創造的業務において各個人が最適であると感じる照度および色温度を明らかにする。ここで、創造的業務とは単純作業ではなく、研究を実施する上での企画、設計およびプログラミング開発などである。これらの業務は主としてパソコンを用いて行われている。各個人が執務を遂行する上で最適であると感じる照度および色温度を明らかにし、体調や時間帯によって個人の選好照度および選好色温度に変化があるかについて明らかにする。まず始めに、ユーザが要求した照度および色温度を実現するシステムの構築を行う。構築したシステムを用いて、個人が好む照度および色温度に関する実験を行う。この結果から、体調や時間帯による個人が好む照度および色温度の変化について明らかにする。

2. 照度および色温度が人に与える影響

照度とは光によって照らされている任意の場所の明るさで、単位はlx(ルクス)である。また、光度とはある方向における光の強さのことで、単位はcd(カンデラ)である。

色温度とは、光の色を定量的な数値で表現する尺度である。これは、照明による光の色と同じスペクトルの光を完全黒体が放射する際のその黒体の温度 K(ケルビン)を用いて光の色を表す。色温度が低いほど赤みがかかった色で、反対に色温度が高いと青白い色となる。照明の色温度を低くすることで、くつろぎが感じられ、反対に高くすることで爽やかさが感じられるということが報告されている⁶⁾。そのため、暖かみのある雰囲気や落ち着いた雰囲気を作りたい場合は低色温度の照明を用い、涼しくさわやかな雰囲気を作りたい場合は高色温度の照明を用いるといった用途がある。しかしながら、日本のオフィスでは4500 K~5000 Kの高色温度の照明が一般的である。照明の照度を高くするとワーカの覚醒レベルが高く保たれ、作業効率は向上することが報告されている^{3),4)}。このことから、オフィスの休憩時間中のみ低照度にするなどの照明制御法の研究が行われている。その効果として作業効率の向上が期待できると考えられている。さらに、人間の生体リズムに応じて光環境を変えることで仕事の効率を向上させることが報告されている^{3),4)}。また、先

行研究より生体リズムだけでなく、ワーカによって好みの照度が異なることや作業内容によって適切な光環境が異なることが報告されている。

そこで本研究では、創造的業務を行う際に、各個人が最適であると感じる照度および色温度を明らかにする。そのために、個人が要求する照度および色温度を自動で提供する照度および色温度可変型システムを構築する。そして、構築したシステムを用いて、各個人が執務に最適であると感じる照度および色温度を自由に選択でき、その環境を提供することで各個人の選好照度および選好色温度を明らかにする。また、時間帯や体調その他の状況によって各個人が好む光環境にどのような特徴を見出せるか検討する。なお、創造的業務とは単純作業ではなく、研究を実施する上での企画、設計およびプログラミング開発などとする。なお、これらは主としてパソコンを用いて行われる。

3. 照度および色温度可変型システムの構築

3.1 システムの概要

各個人が要求する照度および色温度を実現する照明システムの構築を行う。

本システムでは、色温度 4600 K の昼白色蛍光灯および色温度 3000 K の電球色蛍光灯の光度を調節することで、ユーザが要求した照度および色温度を実現する。照度は、照度センサのデータをもとに昼白色蛍光灯および電球色蛍光灯の合計光度を増減させることで制御する。高色温度および低色温度の光源の点灯比率を変化させることで中間の色温度を実現する。この点灯比率は色彩照度計を用いた予備実験から求める。

3.2 システムの構成

本システムでは調光可能な Panasonic の昼白色蛍光灯 (FHF32EX-N-H) および東芝の電球色蛍光灯 (FHF32EX-L-H) を各 1 灯、制御用 PC1 台、調光信号発生器 1 台、A/D 変換器 1 台、および照度センサ 1 台を用いる。Fig.1 にシステムの構成図を示す。なお、これらの蛍光灯の調光範囲は 20~100%である。

制御用 PC は調光信号発生器に命令を送信することで 2 種類の蛍光灯を調光する。各照度センサは A/D 変換器を介して、制御用 PC に接続する。制御用 PC はデジタル化された照度データを取得する。

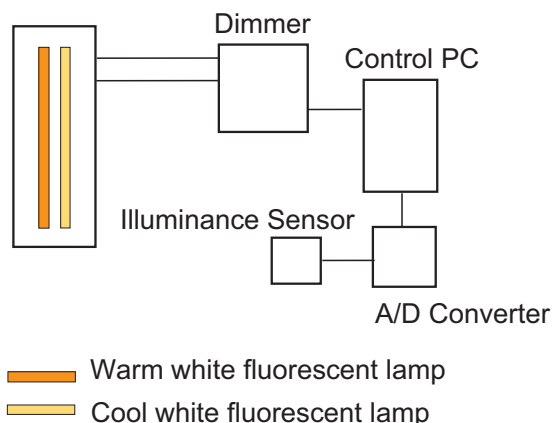


Fig. 1. Construction of the system.

3.3 色温度の制御方法

ユーザが要求する色温度は2種類の異なる光源の光度の比率を変化させることで実現する。そこで、この比率と色温度の関係を調べるため、次のような実験を行った。実験環境は Fig.2 および Fig.3 に示すように幅 3.5 m × 長さ 5.9 m × 高さ 2.5 m の空間とした。この空間に光源として色温度 3000 K の電球色蛍光灯と色温度 4600 K の昼白色蛍光灯をそれぞれ 1 灯ずつを 1 組とし、合計 10 組を設置した。1 組の照明器具が一人のユーザの照明環境となる。要求できる照度は 250 ~ 850 lx の範囲を 50 lx ごと、色温度は 3000 ~ 4600 K の範囲を 200 K ごとに選択できる。それぞれの照明の中心から 1.7 m 下に色彩照度計 (コニカミノルタ製) を設置し、色温度を測定した。なお、色温度は近くの照明の影響を受けて値が変化しやすいという性質を考慮して、机の前方および両側にロールカーンを設置した。

この実験環境で昼白色蛍光灯および電球色蛍光灯を種々の比率で点灯させ、色温度を測定した。その点灯比率を Table.1 に示す。

Table.1 の測定結果を基に、昼白色蛍光灯および電球色蛍光灯の点灯比率を変化させることで色温度を実現する。

3.4 システムのアルゴリズム

本システムは、Table.1 を基に 2 種類の蛍光灯の点灯比率を変えることでユーザが要求する照度および色温度を実現する。

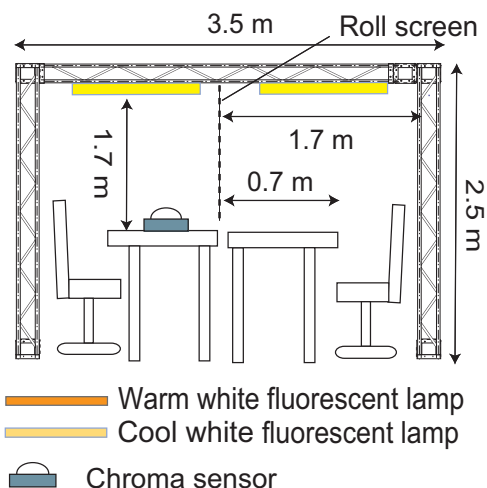


Fig. 2. Experimental environment1.

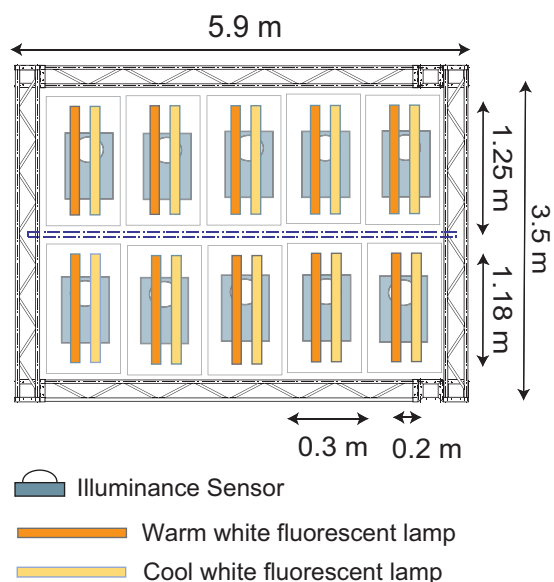


Fig. 3. Experimental environment2.

以下に具体的な処理の流れについて説明する。

- (1) 照明を目標色温度に応じた点灯比率で点灯させる
- (2) ユーザが選択した目標照度および目標色温度を取得する
- (3) 照度センサから現在照度を取得する
- (4) 現在照度が目標照度に対して 50 lx 以上不足している場合は最大点灯光度の 3% の割合で光度を上

Table 1. Lighting ratio of Warm white fluorescent lamp and Cool white fluorescent lamp.

| Color temperature [K] | Cool white fluorescent lamp[%] | Warm white fluorescent lamp[%] |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 3000 | 0 | 100 |
| 3400 | 33 | 67 |
| 3600 | 47 | 53 |
| 3800 | 57 | 43 |
| 4000 | 69 | 31 |
| 4200 | 80 | 20 |
| 4600 | 100 | 0 |

げ、反対に 50 lx 以上となった場合は最大点灯光度の 3%の割合で光度を下げる

- (5) 現在照度が目標照度の ± 50 lx の範囲内であれば、最大点灯高度の 1%の割合で光度を上下させることで、目標値に近付け、(2) に戻る
- (6) 上記以外の場合は光度を変更せずに (4) に戻る

なお (4) および (5) では、目標色温度に応じた点灯比率を保持したまま、昼白色蛍光灯および電球色蛍光灯の光度を増減させることで、要求する照度を実現する。また、目標色温度の変更は、2 種類の蛍光灯の合計光度を変化させず、その点灯比率のみを変えることで実現する。以上の動作により、ユーザが要求する色温度および照度を実現する。このため、実際の被験者実験において、色彩照度計を用いず、照度センサのみを用いて照度の制御を行う。

4. 均一照度および均一色温度実験

4.1 実験概要

Fig.2 および Fig.3 に示した実験空間を用いて、被験者 10 名（年齢 21 ~ 24 歳）に対して均一照度および均一色温度実験を行った。均一照度実験では照度を 400, 600 および 800 lx とし、色温度を 3000 ~ 4600 K の範囲を 200 K ごとに選択可能とする。均一色温度実験では色温度を 3000, 3800, 4000 および 4600 K とし、照度は 250 ~ 850 lx の範囲で 50 lx ごとに選択可能とする。

4.2 実験結果

Fig.4 は均一照度実験の結果を示したものである。被験者が一日の中で最も長く選択した値である最頻値をプロットしたものである。

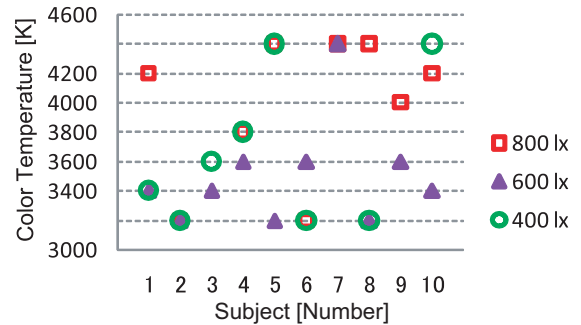


Fig. 4. Experimental result of uniform illuminance.

Fig.4 より、比較的低色温度を好む人が多いことが分かったが、一部の被験者の中には高色温度を好む人もいた。色温度実験を 2800, 3800, 4000 および 4600 K とする均一色温度実験を行い、被験者が選択した最頻値をプロットした結果を Fig.5 に示す。

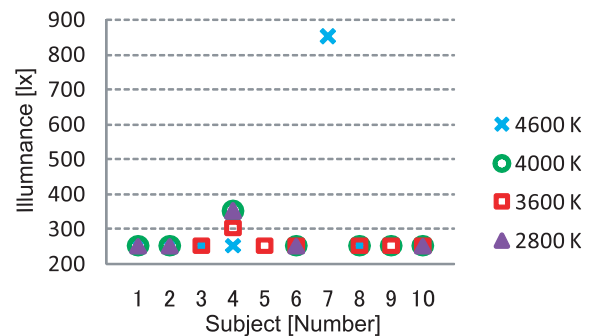


Fig. 5. Experimental result of uniform of color temperature.

Fig.5 より、低色温度、高色温度にかかわらず低照度を好む人が多いことがわかった。

均一照度実験および均一色温度実験を行った際に得られたアンケートのコメントをそれぞれ示す。

1. 均一照度実験

- 今日の照明はまぶしかった (400 lx)
- こんなに明るくなくてもよかった (600 lx)
- 高い照度のときは白色 (昼白色) が多い方がよい感じた (800 lx)
- 照度が高すぎてしんどかった (800 lx)
- 明るすぎるため、時間感覚がなくなった、まぶしいため長時間作業していると目が疲れた (800 lx)

2. 均一色温度実験

- 電球色はちょっと暑く感じた (3000 K)
- 今日ぐらいの色温度が作業がしやすいと感じた (3000 K)
- もう少し色温度が低いほうが好きだと思った (3600 K)
- 今日の色温度は集中し、かつ落ち着いて作業するにはちょうど良いぐらいだと思った (4000 K)
- 結構パソコンの文章を読んだりもしましたが、白色系では想像力が弱まる気がした (4600 K)

以上のコメントより、照度が高すぎたと回答した人が多かったことが分かる。また各個人によって適切だと感じる色温度は異なることが分かった。

5. 選好照度および選好色温度実験

5.1 実験概要

実執務空間に構築したシステムを用いて、被験者 10 名が 2 か月程度照度および色温度を自由に選択できる実験を行った。被験者が好む照度を選好照度、色温度を選好色温度という。被験者が要求できる目標照度は 250 ~ 850 lx の範囲を 50 lx ごとに、目標色温度は 3000 ~ 4600 K の範囲を 200 K ごとに選択可能とする。また、目標値を変更した際は変更した理由を、帰宅の際には一日の感想やコメントをアンケートに記入する。実験環境は Fig.2 および Fig.3 に示した通りである。

5.2 実験結果

照度および色温度の両方を選択可能とした 14 日間における全被験者の目標照度および目標色温度の結果を Fig.6 に示す。

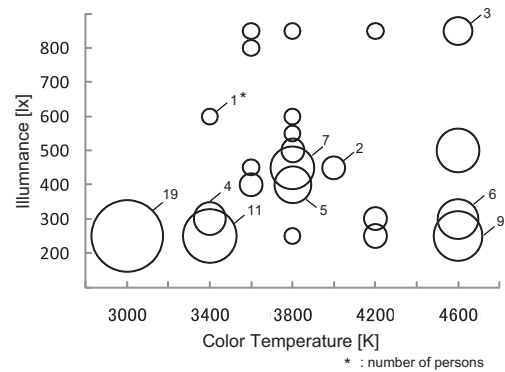


Fig. 6. Distribution of the preferred illuminance and color temperature (The area of the circle represents the number of persons who selected the values).

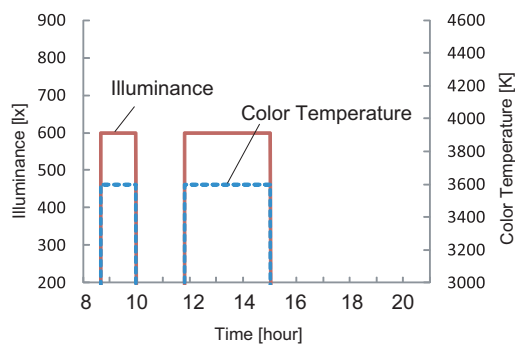
Fig.6 より、色温度の好みに関係なく低照度を好む傾向があることが分かる。また、低色温度を好む人で高照度を選好する人はいないことが分かった。

アンケートのコメントには以下のようなものがあった。

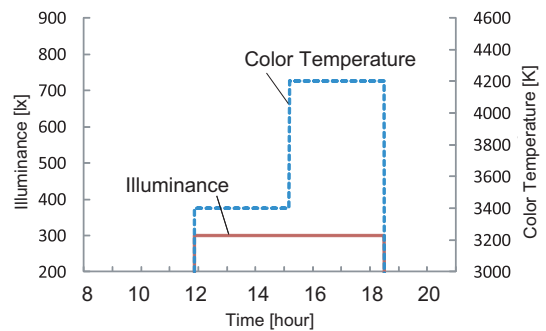
1. 気分転換のために目標照度および目標色温度を変更した
2. 体調の悪い時は低色温度がよいが、良い時は高色温度の方が集中できると感じた
3. 昼白色蛍光灯のみの点灯は気分が悪くなるように感じた

アンケート結果 (1) について、ある被験者の照度および色温度履歴 2 日分を Fig.7 に示す。

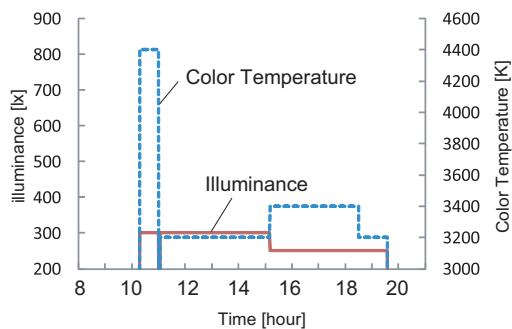
Fig.7(a) より、ある被験者は一日の中で、照度および色温度の選好は変化していない。一方、Fig.7(b) より、ある被験者は一日の中で照度および色温度の選好が変化している。これらの結果から、時間によって照度と色温度の選好が変化する人と、しない人がいることが分かった。



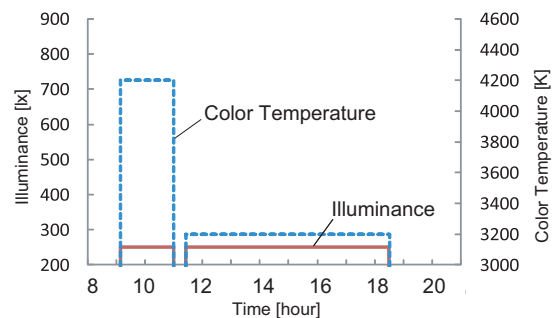
(a) In case where the target values a not changed



(a) A day in good health



(b) In case where the values a changed



(b) A day in bad health

Fig. 7. The change of the target values in a day.

アンケート結果(2)について、ある被験者が体調が良いと答えた日、悪いと答えた日の照度および色温度履歴を Fig.8 に示す。

Fig.8(a) より、体調が良いときは 4200 K の高色温度を選択している。一方、Fig.8(b) より、体調が悪いときは 3200 K の低照度を選択していることがわかった。また、Fig.8 より、体調のよいときおよび悪いときの両方で被験者は一日の中で色温度の選好が変化している。

以上の結果より、時間および体調によって選好する照度および色温度が異なることが観測された。

6. むすび

本研究では、照明の照度および色温度を個人の要求に合わせて設定できるシステムを構築し、個人が執務に最適であると感じる照度および色温度を調べた。また、時間帯や体調が照度および色温度の選好にどのような影響を与えるかについても検討を行った。その結果、創造的業務において執務に最適であると感じる

Fig. 8. The change of the target values due to the health condition.

照度は比較的低照度 (250 ~ 500 lx) であった。また、低色温度で高照度を好む人がいないことも分かった。選好色温度については、低色温度を好む人が多いが、個人によって選好色温度は異なる。また、体調、時間帯、およびに執務内容によっても選好が異なることが分かった。以上の結果より、創造的業務を行う際は個人の選好に合わせた光環境を実現することで作業効率および快適性の向上が実現できると考えられる。

参 考 文 献

- 1) Olli Seppanen, William J. Fisk: A Model to Estimate the Cost-Effectiveness of Improving Office Work through Indoor Environmental Control, Proceedings of ASHRAE, 2005
- 2) Mark J. Mendell, G. A. Heath: Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature, Indoor Air, Vol.15, No.1, pp.27-52, 2005
- 3) Fumiaki Obayashi, Misa Kawauchi, Masaaki Terano, Kazuhiro Tomita, Yoko Hattori, Hiroshi Shimoda, Hirotake Ishii, Hidekazu Yoshikawa: Development of an Illumination Control Method to Improve Office Productivity, 12th International Conference on Human-Computer Interaction, Vol.9, No.2, pp.939-947, 2007
- 4) Peter R. Boyce , Neil H. Eklund , S. Noel Simpson: Individual Lighting Control: Task Performance, Mood, and Illuminance, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, pp.131-142, Winter 2000
- 5) Nadeen Abbas, Dinesh Kumar, Neil Mclachlan: The Psychological and Physiological Effects of Light and Colour on Space Users, Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, pp.1228-1231, 2005
- 6) Kyoko Ishida, Youko Inoue: Effect of the wall color and the correlated color temperature of lamp on the illuminance for the relaxation -In case if Illuminance ceiling- J. Environ. Eng., AIJ, No.606, 9-14, Aug., 2006(in Japanese)
- 7) Mitsunori Miki: An Intelligent Lighting System and the Consortium for Smart Office Environment, Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007 (in Japanese)
- 8) Mitsunori Miki, Tomoyuki Hiroyasu, Kazuhiro Imazato, Motoi Yonezawa: Intelligent Lighting Control using Correlation Coefficient between Luminance and Illuminance, Proc IASTED Intelligent Systems and Control, Vol.497, No.078, pp.31-36, 2005
- 9) Arie Andries Kruithof: Tubular luminescence lamps for general illumination, Philips Tech.Review, Vol.6, pp.65-96, 1941