

創造的業務における最適な照度および色温度

正会員 三木 光範 (同志社大学) 非会員 谷口 由佳 (同志社大学院) 非会員 吉見 真聡 (同志社大学)

Effect of Preferred Illuminance and Color Temperature on Creative Works/Intellectual Productivity

Member Mitsunori Miki (Doshisha University), Non-Member Yuka Taniguchi (Doshisha University)
and Non-Member Masato Yoshimi (Doshisha University)

ABSTRACT

Improving the lighting environment in offices leads higher levels of intellectual productivity.

We constructed a system that provides the individual illuminance and color temperature preferred by workers, and we carried an experiment to clarify which illuminance and color temperature in the office were preferred.

The result of this experiment show that each person's favorite lighting environment was different and it changed with their state of health and time of day.

We consider that creative works improved when workers were provided with a lighting environment they preferred.

KEYWORDS : intelligent lighting system, preferred illuminance, preferred color temperature

1. まえがき

近年オフィス環境への関心が高まり、オフィスにおける環境の改善は知的生産性の向上に繋がるという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⁾。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⁾。また、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⁸⁾⁻¹⁰⁾。

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¹⁰⁾。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。しかしながら現在、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、色温度に関しても 5000 K の昼白色蛍光灯が使用している場合が多い。部屋全体に均一の明るさおよび色合いを提供し、ワーカの好みや作業内容は考慮されていない。

そこで本研究では、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。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照度および色温度の好み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い、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、執務に最適な照度および色温度について検討を行う。

2. 色温度および照度が人に与える影響

完全黒体を加熱するとその温度により、特定の色が放射される。その完全黒体の温度をその光の色温度と呼び、単位は K (ケルビン) である。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⁸⁾⁻¹⁰⁾。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。蛍光灯は日本工業規格によって「昼光色 (5700 ~7100 K)」、「昼白色 (4600 ~5500 K)」、「白色 (3800 ~4500 K)」、「温白色 (3250 ~3800 K)」および「電球色 (2600 ~3250 K)」の 5 種類に区別されている。日本の一般的なオフィスでは色温度 5000 K の昼白色蛍光灯が使用されている場合が多い。また、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⁾。我々の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、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実現する。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。この点灯比率に関して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 PC 1 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 (HIOKI 製) を用いる。図 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。

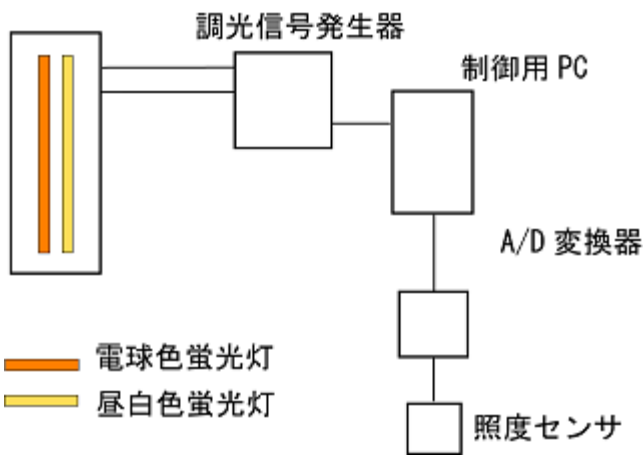


図 1 システムの構成

Fig. 1 Construction of the system.

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。

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探るため、次のような実験を行った。実験環境は図 2 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がある。そのため、隣にある照明の影響を受けないように机の前方および両側に白いロールカーテンを設置した。

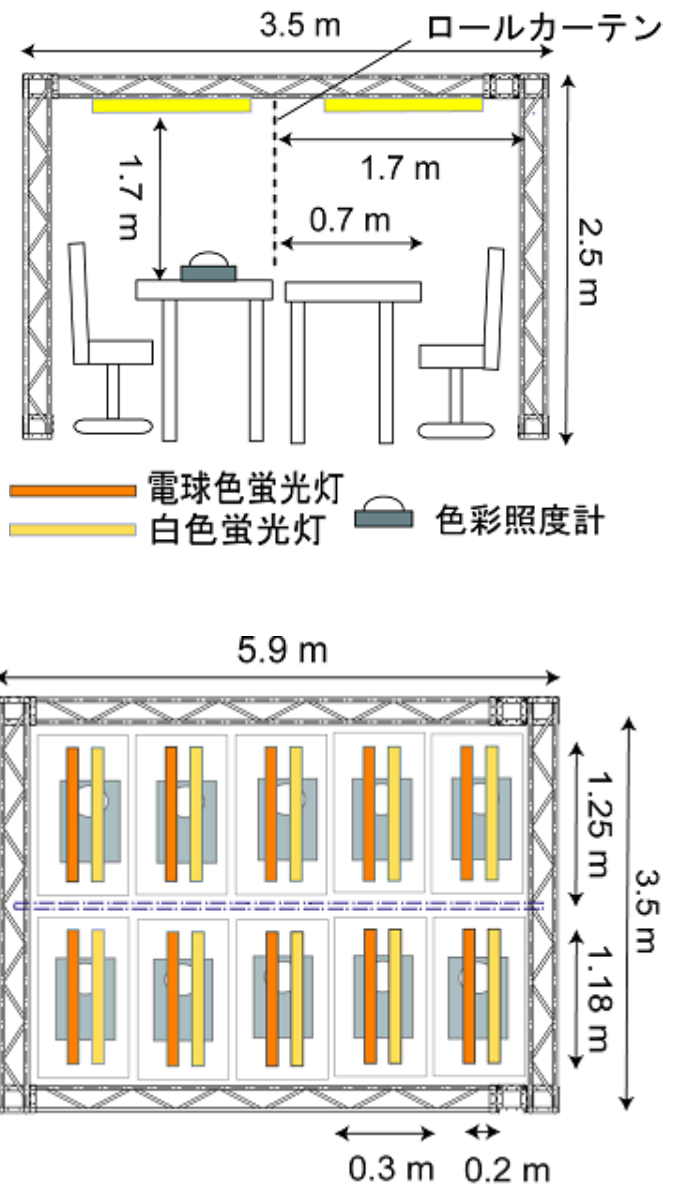


図 2 実験環境

Fig. 2 Experimental environment.

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。その点灯比率を表 1 に示す。

表 1 昼白色蛍光灯および電球色蛍光灯の点灯比率

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

色温度(K)	昼白色蛍光灯(%)	電球色蛍光灯(%)
3000	0	100
3400	33	67
3600	47	53
3800	57	43
4000	69	31
4200	80	20
4600	100	0

表 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。なお、蛍光灯の調光範囲が 20 ~ 100 % であるため、3200 K および 4400 K を実現することができない。そのため、今回の実験ではこの値は選択できないこととする。

3.4 システムのアルゴリズム

本システムは、表 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。

以下に具体的な処理の流れについて説明する。

- 1 (1) 照明を目標色温度に応じた点灯比率で点灯させる
- 2 (2) 照度センサから現在照度を取得する
- 3 (3) 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
- 4 最大点灯光度の 3 %の割合で光度を上げ, 反対に 50 lx 以上
- 5 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
- 6 (4) 現在照度が目標照度の±50 lx の範囲内であれば, 最大点灯
- 7 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
- 8 け, (3)に戻る

9
10 なお(3)および(4)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

11 ことで, 要求する照度を実現する. また, 目標色温度を変更する際は,

12 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

13 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

14 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,

15 色彩照度計を用いずに, 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

21 **図2**に示した実験空間を用いて, 被験者 10 名(年齢 21~24 歳)

22 に対して均一照度および均一色温度実験を行った. 今回の実験では

23 視環境も多いに関係すると思われるが, 実際のオフィスでは視環境

24 を考慮することは難しい. そのため, 被験者が普段, 執務を行っている

25 空間で実験を行った. その際の実験風景を**図3**に示す. 実験期間中,

26 被験者は創造的業務を行う. 均一照度実験では 400, 600 および 800 lx

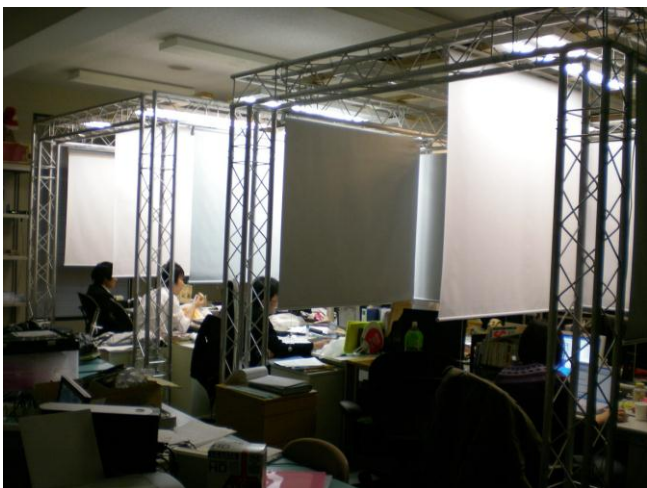
27 の照度をそれぞれ一日ずつ提供し, 色温度を 3000~

28 4600 K の範囲を 200 K ごとに選択可能とする(3200 K および

29 4400 K は省く). 均一色温度実験では 3000, 3800, 4000 および

30 4600 K の色温度をそれぞれ一日ずつ提供し, 照度は 250~850 lx

31 の範囲で 50 lx ごとに選択可能とする.



32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44 **図3 実験風景**

45
46 **Fig.3 Experimental situation.**

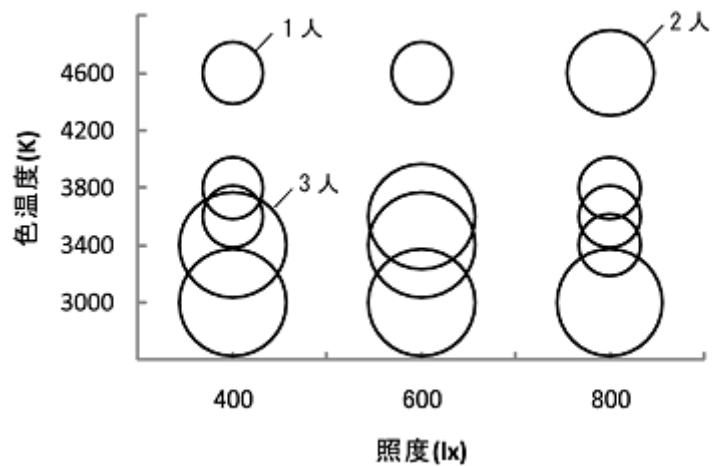
4.2 実験結果

47 **図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

48 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.

49 プロットの面積が大きいほどその値を選択した頻度が高いことを

50 示している.



51
52
53
54 **図4 均一照度実験 (円の面積がその値を選択した人数を表す)**

Fig.4 Experimental result of uniform of illuminance. (The area of the circle represents the number of persons who selected the values)

図4より, 面積の大きな円が低色温度付近にかたまっていることから比較的

低色温度を好む人が多いことが分かった. しかし, 一部の被験者の中には高

色温度を好む人もいることが分かった.

色温度 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**図5**に示す.

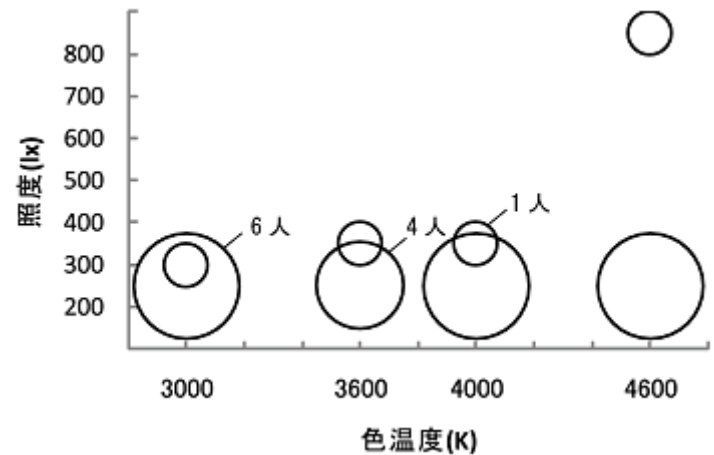


図5 均一色温度実験 (円の面積がその値を選択した人数を表す)

Fig.5 Experimental result of uniform of color temperature. (The area of the circle represents the number of persons who selected the values)

図5より, 一人以外が低照度を選択しているため, 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.

5. 選好照度および選好色温度実験

5.1 実験概要

図2に示した実執務空間に構築したシステムを用いて, 被験者 10 名(年齢 21~24 歳)が 2 週間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. 実験期間中, 被験者は創造的業務を行う. 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. 被験者は照度および色温度共に選択可能で, 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(3200 K および 4400 K は省く). 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.

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**図6**に示す.

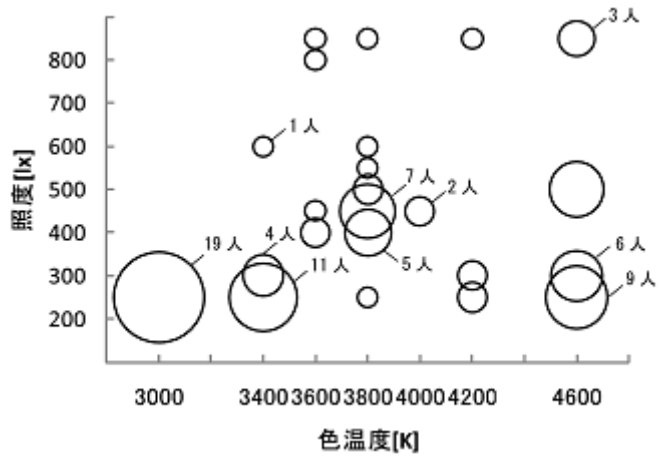


図6 選好照度および選好色温度の分布（円の面積がその値を選択した人数を表す）

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

図6より、面積の大きな円が250~500 lxの範囲に分布していることから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、3000 Kおよび3400 Kを選択し、高照度を選択している人がいないことから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

(1)のように回答した被験者Aの一日の照度および色温度の目標値履歴を図7に示す。

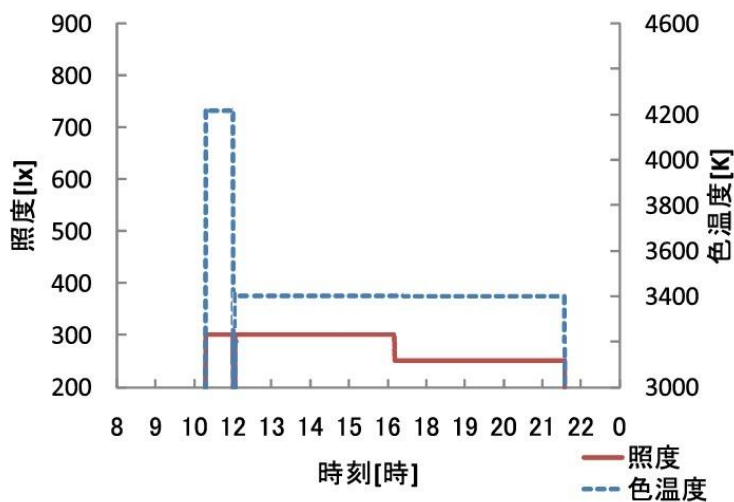
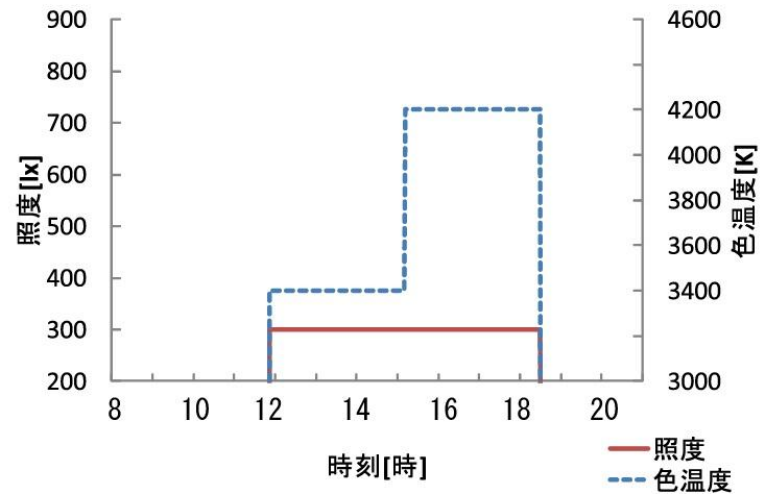


図7 被験者Aの目標値履歴

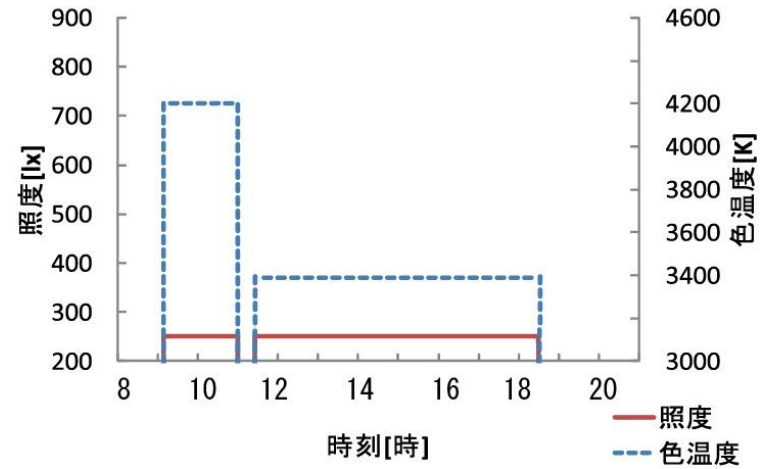
Fig.7 The change of the target values due to the subject A.

図7より、被験者Aは一日の中で照度の選好が300 lxから250 lxに変化している。また、色温度の選好も4200 Kから3400 Kに変化している。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がいることが分かった。

アンケート結果(2)について、体調が良いと答えた日、悪いと答えた日があった被験者Bの照度および色温度履歴二日分を図8に示す。



(a) 体調が良いと答えた日



(b) 体調が悪いと答えた日

図8 被験者Bの目標値の一日内変化

Fig.8 The change of the target values due to the subject B.

図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、図8(b)より、体調が悪いときは3400 Kの低色温度を選択していることがわかった。また、図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は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照度は色温度の選好に関わらず低照度(250~500 lx)であった。また、低色温度を選択した人が高照度を好ま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、中には高色温度を選好する人もおり、個人によって選好色温度は異なることが分かった。

また、体調、時間帯によっても選好照度および選好色温度は変化するということが分かった。以上の結果より、創造的業務を行う際は比較的照度で低色温度が向いていると考えられる。しかしながら、照明には気分を変える、体調への影響もあることから、個人が自由に選択できる光環境を実現する必要があると考えられる。以上のことより、低照度および低色温度を基本とし、そこから個人が体調や時間、作業内容によって自由に光環境を選択できる空間にすることが望ましいと云える。そう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) Seppanen, William J. Fisk : A Model to Estimate the Cost-Effectiveness of Improving Office Work through Indoor Environmental Control, Proceedings of ASHRAE(2005).
 - (2) M. J. Mendell and G. A. Heath : Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature, Indoor Air, 15-1, pp.27-52(2005).
 - (3) Fumiaki Obayashi, Misa Kawauchi, Masaaki Terano, Kazuhiro Tomita, Yoko Hattori, Hiroshi Shimoda, Hirotake Ishii and Hidekazu Yoshikawa : Development of an Illumination Control Method to Improve Office Productivity, 12th International Conference on Human-Computer Interaction, 9-2, 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(2000).
 - (5) Nadeen Abbas, Dinesh Kumar and 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) Miki M, Hiroyasu T, Imazato K, Yonezawa M: Intelligent Lighting Control using Correlation Coefficient between Luminance and Illuminance, Proc IASTED Intelligent Systems and Control, 497-078, pp.31-36(2005).
 - (7) Kruithof, A. A : Tubular luminescence lamps for general illumination, Philips Tech. Review, Vol.6, pp.65-96(1941).
 - (8) 石田享子, 井上容子 : 壁面色彩とランプの色温度のくつろぎに求められる明るさへの影響 / 光天井の場合, 日本建築学会環境系論文集, No. 606, pp.9-14(2006).
 - (9) 石田享子, 井上容子 : くつろぎ空間に求める雰囲気と明るさに関する研究 第2報 -壁面の色とランプの色温度について- 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.13-16(2001).
 - (10) 中村肇, 唐沢宜典, 桑田正, 柏木秀巳, 前田功, 横山光雄, 鈴木峰雄, 宮田真理 : 照度・色温度が空間雰囲気に及ぼす影響, 照明学会全国大会講演論文集 29, 265(1996).
 - (11) 垣鏑直, 室恵子, 堀越哲美 : 心理・生理反応から評価した好みの色温度と室温の組み合わせに関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, No.528, pp.67-73(2000).
 - (12) 三木光範 : 知的照明システムと知的オフィス環境コンソーシアム, 人工知能学会誌, 22-3, pp.399-410(2007).
 - (13) 三木光範, 廣安知之, 富島千歳 : 照度・色温度可変型照明システムを用いた実執務空間における最適な光環境, 第8回情報科学フォーラム講演論文集, pp.493-494 (2008).
- (受付日 2011年6月30日/採録日 2012年5月10日)



三木 光範 (正会員)

同志社大学大学院
〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷1-3
1950年2月16日生まれ。1978年大阪市立大学大学院工学研究科博士課程了, 工博。大阪市立工業研究所研究員, 金沢工業大学助教授を経て1987年大阪府立大学工学部航空宇宙工学科助教授, 1994年同志社大学工学部教授。IEEE, 情報処理学会, 人工知能学会, システム制御情報学会, 日本機械学会, 計算工学会等各会員。超並列計算研究会代表。経済産業省産業技術審議委員など歴任。知的オフィス環境コンソーシアム会長。NEDO 技術開発機構「省エネルギー照明システムの研究開発」プロジェクトリーダー。



谷口 由佳 (非会員)

同志社大学大学院工学研究科
〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷1-3
1987年6月9日生まれ。2010年同志社大学工学部インテリジェント情報工学科卒。同年, 同大学院工学研究科修士課程入学。オフィスの視環境の改善を目指し, 色温度を用いた新たなオフィスの光環境についての研究に従事。



吉見 真聡 (非会員)

同志社大学理工学部
〒610-0394 京都府京田辺市多々羅都谷1-3
1981年5月1日生まれ。2004年慶応大学理工学部情報工学卒。2009年同大学院理工学研究所開放環境科学専攻後期博士課程了。博士(工学)。2006年度より日本学術振興会特別研究員(DC1)。現在, 同志社大学理工学部助教。リコンフィギャラブルシステム, 並列処理, 知的システムの研究に従事。人工知能学会会員。