

配光角の狭い照明を用いた照度・色温度実現精度が高い知的照明システムの構築

富岡 亮登

Ryoto TOMIOKA

1 はじめに

日本の多くのオフィスでは、執務エリアを均一に高照度・高色温度 (700 lx, 5000 K) で照らす照明環境が広く採用されている。しかし、執務形態が多様化している現代においては、執務者の好み・気分や業務形態に応じて最適な照度・色温度を個別に提供することが望ましいといえる¹⁾。本研究では、知的照明システムにより執務者に対して個別に照度および色温度を提供する際、照明の物理特性によって照度・色温度がどの程度の精度で提供できるかについて検証する。

2 知的照明システムにおける物理的制約

一般的なオフィスでは、天井照明として光が広範囲に広がるベースライト照明を用いる。しかし、知的照明システムにベースライトを使用した場合、点灯パターンの最適化を行っても全ての執務者の目標照度・色温度を実現できない場合がある。

照明の光の広がり方は、光源の直下照度の 1/2 の照度になる点と光源中心を結んだ線と、光源中心の鉛直方向線とのなす角度を 2 倍にした角度である 1/2 照度角で表現することができる。汎用ベースライトの 1/2 照度角は 100°~120° であるが、JIS 基準を参考に机上面から天井までの長さを 1.9 m と考えた場合、照明直下を中心に直径 4 m~6 m の円の内部で 1/2 以上の照度が提供される。上記のような照明環境に加え、日本のオフィスで広く使われている執務機の机上面サイズが 120 cm×70 cm であることから、照明 1 灯の光度変化が 6 台以上のデスクの机上面照度に大きく影響を与える。以上のような照明およびデスクの物理的特性により、知的照明システムによる照度・色温度に制約が生じる。

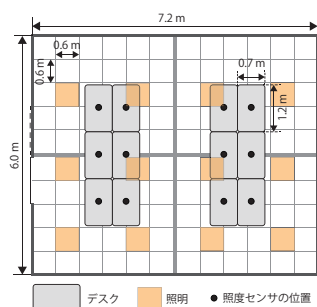


Fig.1 小規模模擬オフィス環境の平面図

3 狭角照明による照度・色温度実現精度の向上

標準的なオフィス環境において、各執務者に希望する照度および色温度を高い精度で提供するためには配光角の狭い照明を用いることが望ましい。照度・色温度の実現精度は照明の配光角によって変化するが、複数の種類の照明器

具を実環境に導入して実験するには相当の時間を要するため、本研究では Fig. 1 に示す小規模模擬オフィス環境を想定し、照度・色温度の実現精度を検証する。

照度と色温度は別の指標であるため、ここでは式 (1)~式 (3) に示す照度平均誤差率、色温度平均誤差率、照度・色温度平均誤差率の 3 つの指標を定義し、各執務者に提供される照度・色温度の誤差範囲を定量化する。

$$E_I = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{Ie_j}{It_j} \times 100 \quad (1)$$

$$E_T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{Te_j}{Tt_j} \times 100 \quad (2)$$

$$E = \frac{w_1 E_I + w_2 E_T}{w_1 + w_2} \quad (3)$$

E_I : 照度平均誤差率 [%], E_T : 色温度平均誤差率 [%],

E : 照度・色温度平均誤差率 [%],

n : 照度センサの数, j : センサ番号,

Ie : 提供された照度の誤差 [lx], It : 目標照度 [lx],

Te : 提供された色温度の誤差 [K], Tt : 目標色温度 [K],

w_1, w_2 : 加重平均の重み

色温度の数値の差を色の違いとよく比例させる指標として逆色温度 (ミレッド) がある。ミレッドは色温度の逆数に 1,000,000 を乗じた指標である。色温度の誤差を示すには、色の違いが線形に表現できるミレッドを利用するのが一般的であるが、誤差率を計算する上では、ミレッドの逆数、すなわち色温度を用いて計算することで、誤差率の数値が色の違いと比例することになる。したがって、色温度平均誤差率の計算には色温度を用いる。

照度・色温度平均誤差率 E は、照度平均誤差率 E_I と色温度平均誤差率 E_T の加重平均である。これは、執務者が照度と色温度のどちらを優先的に要求するかによって比率を変更する必要があるためである。

4 照度・色温度実現精度の検証実験

4.1 実験概要

配光角が異なる照明を知的照明システムに用いた際の照度・色温度の実現精度を検証する実験を Fig. 1 の小規模模擬オフィス環境で行った。照明制御アルゴリズムには、色

Table1 使用した照明

	照度角 [deg]	型番	タイプ
広角	110	EL-G6004MM	ベースライト
中角	49	EL-D2023	ダウンライト
狭角	26	LZD-91820	ダウンライト

温度を照明の昼白色色温度・電球色色温度に分離する数値計画法を用いた。使用した照明器具は、Table 1 に示す配光角の異なる 3 つの照明である。これらの照明器具の配光データを用いて逐点法により照度演算を行うことにより、照明環境のシミュレーション環境を構築した。

また、照明の設置間隔は一般的なグリッド天井システムの 1 グリッドの辺の長さである 0.6 m を基準に、1.8 m, 1.2 m, 0.6 m とした。設置間隔が 1.2 m, 1.8 m の場合、照明とデスクの相対位置関係が照度・色温度の実現精度に影響を与えるため、Fig. 2 に示すようにデスクを移動し、それぞれの相対位置関係について実験を行った。

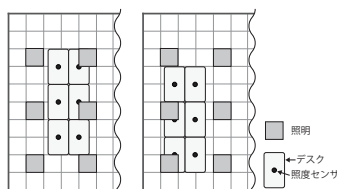


Fig.2 デスクと照明の相対位置関係

このシミュレーション環境において、12 席全てに執務者が着席していると想定し、300 lx, 500 lx, 700 lx の目標照度および 3000 K, 3500 K, 4000 K, 4500 K, 5000 K の目標色温度をランダムに設定した。このようなランダムな目標照度・色温度の設定パターンを 100 パターン作成し、それぞれのパターンにおいて知的照明システムを動作させ、照明光度が収束後に照度平均誤差率 E_I 、色温度平均誤差率 E_T を算出する。更にそれぞれのパターンの E_I および E_T を平均することで、照明の配光角および設置間隔の組み合わせ毎の E_I および E_T を算出した。

4.2 実験結果

Table 2 に照度平均誤差率と照度最大誤差を、Table 3 に色温度平均誤差率と逆色温度最大誤差を示す。なお、2 章で述べた理由から、色温度に関しては逆色温度で最大誤差を示す。また、表中の-で示す部分は、一部の机上面に 100 lx 以上の照度を提供できない照明配光角と設置間隔の組み合わせであるため、平均誤差率は計算していない。

Table2 照度平均誤差率と照度最大誤差

配光角	平均誤差率 [%]			最大誤差 [lx]		
	0.6	1.2	1.8	0.6	1.2	1.8
110°	12.1	12.7	12.8	187	223	189
49°	3.5	6.5	-	59	84	-
26°	2.1	-	-	14	-	-

※列見出しの数値は照明の設置間隔 [m]

Table3 色温度平均誤差率と逆色温度最大誤差

配光角	平均誤差率 [%]			最大誤差 [M]		
	0.6	1.2	1.8	0.6	1.2	1.8
110°	8.3	8.4	8.0	80	88	83
49°	1.4	4.5	-	26	38	-
26°	0.3	-	-	3	-	-

Table4 照度・色温度平均誤差率 ($w_1 = 1, w_2 = 1$)

配光角	照度・色温度平均誤差率 [%]		
	0.6	1.2	1.8
110°	10.2	10.6	10.4
49°	2.4	5.5	-
26°	1.2	-	-

照度、色温度の平均誤差率とも、最も配光角が狭い狭角照明において最小となった。照度および色温度の丁度可知差異（標準の刺激からはっきりと区別できる刺激の最小差異）は 5 % 程度であることが報告されている²⁾。26° および 49° の照明を 0.6 m 間隔で設置した環境では、平均誤差率を見るとこの丁度可知差異を満たしている。Table 4 に $w_1 = 1, w_2 = 1$ とした照度・色温度平均誤差率を示す。本検証実験を行った段階では w_1 および w_2 の比率については考察しておらず、固定値とした。

4.3 考察

本研究では、配光角の異なる複数種類の照明を用いてシミュレーションにより、照度・色温度実現精度を比較したとともに、狭角型照明を用いた知的照明システムでは丁度可知差異以下の照度・色温度を提供できることを明らかにした。しかし、配光角が狭い照明を用いると机上面の照度および色温度に関する均斉度が低下する問題があげられる。照度および色温度の均斉度は数値シミュレーションでも算出が可能であるが、オフィスに導入するにあたっては執務者が快適に執務を行えるかが重要である。そのためダウンライトを用いた実環境で被験者実験を行い、狭角型照明を用いたシステムの有効性を検証する必要がある。

5 今後の研究方針

実環境において本稿のシミュレーション条件と同条件で知的照明システムを構築・運用し、理論上の照度・色温度平均誤差率を実現できるかを検証する必要がある。また、前章で述べたように、色温度に関する均斉度と執務者の快適性に関して検証を行う必要がある。色温度に関して、執務者が高い均斉度を要求する結果が得られた場合は、加重平均による照度・色温度平均誤差率の重み w_1, w_2 を変更することを考える。

参考文献

- 1) 小林弘造, 北村規明, 田辺新一, 西原直枝, 清田修, 岡卓史, "コールセンターの室内環境が知的生産性に与える影響", 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集平成 17 年 (3), pp.2053-2056 (2005).
- 2) Priest, Irwin G., "Measurement of the color temperature of the more efficient artificial light sources by the method of rotary dispersion", Scientific Papers of the Bureau of Standards, Vol. 18, p. 221-234