

知的照明システムにおける配光角が狭い照明を用いた照度提供精度の向上

富岡 亮登

Ryoto TOMIOKA

1 はじめに

近年のオフィス環境の研究により、オフィス環境の改善が執務者の知的生産性の向上につながると報告されている¹⁾。著者らは、執務者の知的生産性の向上と照明の消費電力削減を目標として、最小限の電力で各執務者が要求する明るさ(照度)を個別に提供する知的照明システムの研究を行っている。オフィスでは一般的に、配光角が広い照明を用いて室内を均一な明るさにする。しかし、そこに知的照明システムを導入すると、照明の配光角とデスクレイアウトの関係上、各執務者に要求する照度を提供できない場合がある。本研究では、知的照明システムに用いる照明の配光角および設置間隔をそれぞれ変更した際、執務者に提供する照度の精度がどの程度向上するかを検証した。

2 知的照明システム

2.1 知的照明システムの概要

知的照明システムは天井照明を個別に制御して明るさを変更し、各執務者が要求する照度(以下、目標照度)を最小限の電力で提供する。システムは、ネットワークに接続された制御コンピュータ、照明器具と照明制御装置、机上面の照度を測定する複数の照度センサおよび電力計から構成される。最適化問題のアルゴリズムである Simulated Annealing に基づき、著者らが提案した照明制御アルゴリズム²⁾により照明を制御する。この照明制御では、各照度センサの照度値と電力による照明点灯パターンの定量的な評価と微小な照明の明るさの変更を1ステップとし、これを繰り返すことにより最適な照明点灯パターンを実現する。

2.2 実オフィスに導入する際の課題

日本のオフィスでは標準的なデスクレイアウトとして対向島型レイアウトが広く用いられている。また、JISでは標準的な執務用デスクを、作業面が1.2 m×0.7 m、床から机上面までの高さが0.7 m程度であるものと規定している。これらの条件を満たすよう、Fig. 1のような模擬オフィス環境を想定する。この環境下で配光角が広い一般的な照明を点灯すると、鉛直下方向の1/2の照度が得られる範囲は直径約4 mとなる。すなわち、1台の照明が複数のデスク上の照度センサに大きく影響を与える。このような原因により、標準的なオフィス環境に知

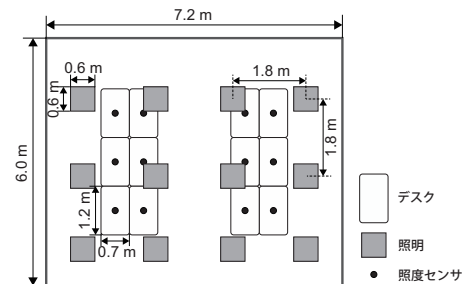


Fig. 1 標準的な小規模オフィスの対向島型レイアウト

的照明システムを導入した際、隣接する執務者との目標照度の差が大きいと、各執務者に目標照度を提供することができない場合が生じる。そこで、本研究では、照明の配光角と設置間隔を変更することにより、執務者にどの程度の精度で目標照度を提供できるかを検証した。

3 複数の照明環境下における個別照度実現精度の検証

3.1 検証実験の概要

知的照明システムにより、各執務者に目標照度を提供する場合、目標照度を実現する精度の指標として、個別照度実現精度評価指標を式(1)のように定式化する。

$$E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{h} \sum_{t=0}^h (\Delta L)^2 \right)} \quad (1)$$

$$\Delta L = \begin{cases} 0 & Lt_{t,j} \leq Lc_{t,j} \leq Lt_j + La \\ Lt_{t,j} - Lc_{t,j} & \text{otherwise} \end{cases}$$

E : 個別照度実現精度評価指標 [lx],

n : 照度センサ台数, j : 照度センサ番号,

t : 評価するステップ番号, h : 遡るステップ数,

Lc : 現在照度 [lx], Lt : 目標照度 [lx]

La : 許容照度上限値 [lx]

本実験では、各センサの照度が目標照度から+50 lx以内になるまで知的照明システムを動作させ、動作後の各照度センサの照度値を用いて式(1)の E を計算した。なお、全ての目標照度を実現できない場合は、照明点灯パターンの評価値が改善されなくなるまでシステムを動作させた。実験の環境はデスクレイアウトを Fig.1と同じ環境とし、照明の配光角を変更するために Table 1に示す照明器具を用いた。照明 A は一般的なオフィスで用いられる配光角が広い照明であり、B は広い配光角を

Table 1 実験で使用した照明器具の一覧

| | 配光角 | 型番 | 光束 [lm] |
|---|------|-------------------------|---------|
| A | 110° | EL-G6004MM ¹ | 3430 |
| B | 49° | EL-D2023 ¹ | 2220 |
| C | 32° | LZD-91821 ² | 1380 |
| D | 30° | EL-D2022 ¹ | 2140 |
| E | 26° | LZD-91820 ² | 1300 |

持つダウンライト，C～E は狭い配光角を持つダウンライトである．照明の設置間隔は，標準的なオフィスのグリッド天井の1グリッドが0.6 m 間隔であることから，0.6 m, 1.2 m, 1.8 m とした．設置間隔を1.2 m, 1.8 m とした場合，照明とデスクの相対位置の関係により個別照度実現精度が変わると考えられる．そこでデスクに対する照明の相対位置を0.6 m 間隔でずらし，各位置関係で実験を行った．

実環境での照明環境の変更には相当の時間を要するため，ここでは照明を点光源とみなし，照度計算の一般的な手法である逐点法³⁾によるシミュレーションで実験を行った．Fig.1 の模擬オフィスを実環境に構築し，照明をランダムな明るさで点灯させた際の照度センサの照度値と，シミュレーションによる照度値を比較すると，100 回の試行で最大誤差が31 lx，平均誤差が5.4 lx となった．この誤差は個別照度実現精度の値に影響を与えないため，シミュレーションにより実験を行うことができる．

3.2 検証結果と考察

Table 2 に各条件で算出した個別照度実現精度を示す．式(1)の E は目標照度と現在照度の2乗誤差に基づくため，数値が小さいほど照度実現精度が高いことを示す．広い配光角を持つ照明 A を一般的な設置間隔である1.8 m で設置した環境では，Fig.2 のセンサ1や9のように目標照度が提供されない場合が生じた．また，設置間隔を1.8 m より小さくしても，個別照度実現精度は変化しなかった．

一方，配光角の狭い照明 C, D, E を0.6 m 間隔で設置した場合， E はほぼ0となった．このとき，Fig.3 のセンサ4, 5のように隣接する執務者が大きく異なる目標照

Table 2 実験により求めた個別照度実現精度評価指標

| 照明 (配光角) | 個別照度実現精度評価指標 (E) [lx] | | |
|-------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | 0.6 m | 1.2 m | 1.8 m |
| A (110°) | 125 | 72.4 / 74.7 | 73.7 / 92.9 |
| B (49°) | 41.9 | 46.0 / 53.1 | 219 / 268 |
| C (32°) | 1.13 | 80.9 / 87.6 | 326 / 396 |
| D (30°) | 1.41 | 65.0 / 68.9 | 315 / 366 |
| E (26°) | 1.28 | 118 / 143 | 358 / 408 |

(最小/最大)

¹Mitsubishi Electric Lighting Co., Ltd.

²Daiko Electric Co.,Ltd.

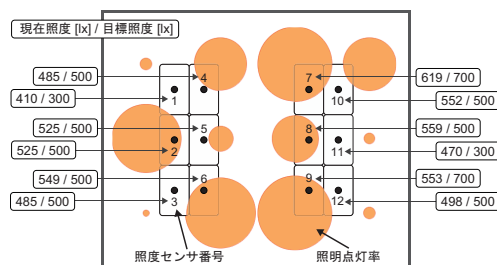


Fig. 2 照度と点灯パターン例 (照明 A, 1.8 m 間隔)

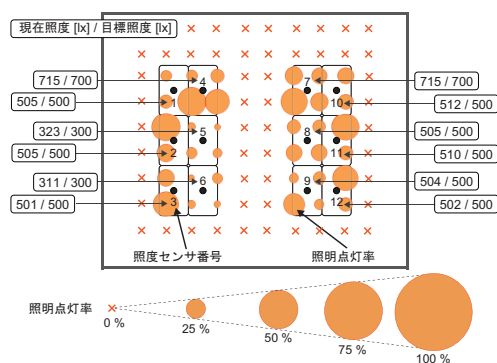


Fig. 3 照度と点灯パターン例 (照明 E, 0.6 m 間隔)

度を設定しても，全ての執務者に目標照度を提供することができた．これは，配光角の狭い照明を用いることにより，各照度センサに影響を与える照明の台数が減少したからである．さらに，Fig.3 では点灯率が0%の照明が複数見られる．これらの照明は天井に設置する必要が無いため，予めシミュレーションを行うことで設置台数を削減することができる．

ダウンライトの中では広い配光角をもつ照明 B については，1.2 m 間隔で設置した際に，照明 A を1.8 m 間隔で設置した際よりも高い精度で目標照度を提供できた．照明 B を1.2 m より狭い0.6 m 間隔で設置しても個別照度実現精度はそれほど向上しなかったため，照明の配光角に最適な設置間隔をシミュレーションで決定する必要があるといえる．知的照明システムを実オフィスに導入する前に，本研究で提案した手法で検証を行うことにより，個別照度実現精度の高い知的照明システムを構築できる．これにより知的照明システムの普及を進めることができると考えている．

参考文献

- 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，pp.2053-2056 (2005)．
- M. Miki, T. Hiroyasu, and K. Imazato. : Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness, IEEE ICS, vol.1, pp.520-525 (2004)．
- 松下進：よくわかる最新照明の基本と仕組み 照明計画の意味と役割を基礎から学ぶ 住空間と光環境，秀和システム，東京 (2008)．