

複数の異なる照明を組み合わせた知的照明システムの 個別照度実現精度・机上面均斉度・消費電力の検証

森本 陸

Riku MORIMOTO

1 はじめに

我々の研究室ではオフィスの照明環境に着目し、執務者ごとに照度を提供する知的照明システムの研究を行ってきた。しかし、知的照明システムにおいて隣接する執務者が大きく異なる照度を要求した場合、照明の物理的特性によりそれらの照度を実現できないことがある。そのような場合に対して、我々は知的照明システムに狭い配光角を持つ照明を狭い設置間隔で用いることで、執務者が要求する照度の実現精度（以下、個別照度実現精度）が向上することを明らかにした。しかし、狭い配光角を持つ照明を知的照明システムに用いた場合、個別照度実現精度は向上するが、机上面の照度分布（以下、机上面均斉度）が不均一になる可能性がある。そこで本研究では、個別照度実現精度と机上面均斉度の向上を目的とした新たな知的照明システムを提案する。

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の明るさを個別に変更し、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。知的照明システムは、ネットワークに接続された制御装置、電力計と照明器具および複数の照度センサから構成される。知的照明システムの制御アルゴリズムは、汎用的最適化問題のアルゴリズムである確率的山登り法を照明制御に適応させたものを用いる。この照明制御では、各照度センサの照度値と消費電力による照明点灯パターンの評価と人が知覚できない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 狭い配光角を持つ照明を用いた知的照明システム

一般的なオフィスの天井照明は、オフィス全体に均一な照度を提供できる配光角の広い照明が使用される。また、デスクは 1.2 m×0.7 m のものが使用され、デスクレイアウトは執務者間の距離が近い対向島型が採用されている。このようなオフィスでは、1 つの照明の光が複数の執務者のデスクに影響を及ぼす。そのため、隣接する執務者に 300 lx と 700 lx といった大きく異なる照度を提供することは容易ではない。

そこで著者らは、一般的なシステム天井に 0.6 m 間

隔で設置した配光角の狭い照明を知的照明システム（以下、狭角型知的照明システム）用いることで、隣接する執務者が大きく異なる目標照度を設定した場合でも、各執務者に個別の照度を実現可能なことを明らかにした。

2.3 狭角型知的照明システムの課題

狭角型知的照明システムでは、用いる照明の配光角が狭いため、1 つの照明の光が局所的にデスクを照射し、机上面均斉度が低下してしまう。このように、知的照明システムに配光角が狭い照明を個別照度実現精度は向上するが、机上面均斉度は低下する。一方で、配光角が広い照明を用いた場合、個別照度実現精度は低下するが、机上面均斉度は向上する。そこで本研究では、照明の配光角に着目し、同一環境内で配光角が異なる照明を用いることで、個別照度実現精度と机上面均斉度の向上が可能な配光角混在型知的照明システムを提案する。

3 配光角混在型知的照明システム

3.1 提案手法の照明制御アルゴリズム

配光角が狭い照明は、机上面均斉度を低下させる。そのため照明の配光角の変更は、標準的な知的照明システムの制御を行った結果、各照度センサの現在の照度が目標照度を満たしていない場合に開始する。以下に、照明の配光角の最適化を行うための制御アルゴリズムを示す。

- (1) 現在の各照明の光度および配光角から、後述する目的関数の式 (1) に基づき、各照度センサの照度値、各デスクの机上面均斉度および消費電力の合計から目的関数値を計算する。
- (2) 照明 1 灯の配光角を 30 度、45 度あるいは 60 度のいずれかにランダムに変更し、その照明の光度を人が知覚できない範囲でランダムに変更する。
- (3) 変更後の各照明の光度および配光角から、目的関数の式 (1) に基づき、各照度センサの照度値、各デスクの机上面均斉度および消費電力の合計から目的関数値を計算する。
- (4) 目的関数の評価値が改良された場合は変更後の照明の光度および配光角を受取り、そうでない場合は変更前の照明の光度および配光角に戻し、項目 (1) に戻る。

以上の項目を最適な照明点灯パターン探索の1ステップとし、この処理を繰り返すことで、消費電力を抑えつつ、目標照度を提供する最適な照明点灯パターンおよび机上面均斉度が向上する各照明の配光角を導出する。

3.2 提案手法の目的関数

提案手法における目的関数を式(1)のように定式化する。提案手法は式(1)が最小となるように動作することで照明の光度と配光角を最適化し、目標照度を満たしつつ、高い机上面均斉度と省エネルギー性を実現する。

$$f_i = P + w_1 \sum_{i=1}^m (I_{C_i} - I_{T_i})^2 + w_2 \sum_{j=1}^n (1 - U_j) \quad (1)$$

$$U_j = E_{min_j} / E_{a_j} \quad (2)$$

m : 照度センサ台数, n : デスク台数,
 i : 照度センサ番号, j : デスク番号,
 w_1 : 重み(照度差), w_2 : 重み(机上面均斉度),
 P : 消費電力 [W], I_{C_i} : 現在照度 [lx],
 I_T : 目標照度 [lx], U_j : 机上面均斉度,
 E_{min} : 机上面最小照度 [lx], E_a : 机上面平均照度 [lx]

なお、机上面均斉度 U_j は、0 から 1.0 の値を取り、値が大きいほど机上面均斉度が高いとされる。そのため、1 から U_j を差し引くことで、机上面均斉度の値が低いときに大きくペナルティが加算されるよう、式(1)の3項目のような机上面均斉度のペナルティ項を用いた。

4 シミュレーションによる提案手法の有効性検証実験

4.1 検証実験の概要

標準的な知的照明システムと提案手法である配光角混在型知的照明システムで、3つの評価指標の結果を比較して、提案手法の有効性を検証する。

本実験でシミュレーションに用いる模擬オフィスレイアウトを Fig. 1 に示す。模擬オフィスには、ダウンライト照明を 0.6 m 間隔で天井に 88 台設置した。また、デスクは JIS 規格において一般的なオフィスで用いることが推奨されている 1.2 m × 0.7 m のデスクを使用した。

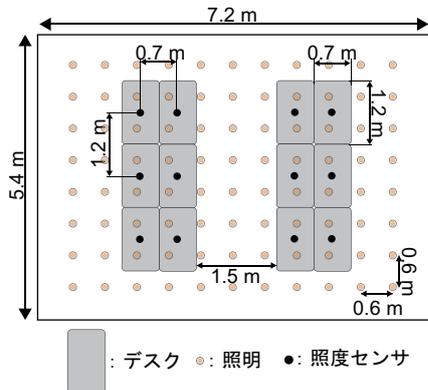


Fig. 1 模擬オフィスのレイアウト

Fig. 1 で示した模擬オフィスレイアウトにおいて、低照度 (300 lx) と中照度 (500 lx) と高照度 (700 lx) を選好する執務者をランダムに 12 席に配置し、目標照度パターンを決定する。この目標照度の組み合わせをランダムに 50 通り作成する。

本実験での評価指標は、個別照度実現精度、机上面均斉度実現数および消費電力割合の 3 つを用いる。個別照度実現精度の算出は式(3)に示す式を用いる。この値が大きいほど、目標照度に対して正確に照度を実現できていることを表す。机上面均斉度実現数は、JIS で定義されている式(2)を用いて、下限値である 0.7 を上回るデスク数の合計を算出する。この値が大きいほど、机上面均斉度を満足しているデスク数が多いことを表す。また、消費電力割合は全照明を最大光度で点灯したときを 100% と定義し、現在の照明の光度の合計が最大光度点灯時の何% となるかを算出する。この値が小さいほど消費電力割合が少なく、省エネルギー性が高いことを表す。

$$A = 100 - \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|I_{T_i} - I_{C_i}|}{I_{T_i}} \quad (3)$$

A : 個別照度実現精度 [%]

n : センサ台数, i : 照度センサ番号

I_C : 提供照度 [lx], I_T : 目標照度 [lx]

4.2 検証実験の結果および考察

Fig. 1 に示した環境で、4.1 節で述べた方法でシミュレーションより求めた評価指標の結果を表 1 に示す。

Table 1 各評価指標のシミュレーション結果

	30 度	45 度	60 度	混在型
個別照度実現精度 [%]	99.9	87.3	79.1	93.1
机上面均斉度実現数 [台]	5.5	8.0	11.3	11.2
消費電力割合 [%]	42.1	37.3	35.0	38.3

表 1 から、人間が知覚可能な照度差の基準は ± 7% 程度であるとされており、配光角が 45 度および 60 度の照明を用いたときこの値を満たすことはできなかったが、配光角混在型知的照明システムでは個別照度実現精度が 93.1% となり、照度差の基準を満たすことを可能とした。また、机上面均斉度実現数に関しては、配光角が 30 度の照明を用いたとき、平均 5.5 台と半数以上のデスクで机上面均斉度の下限値を満たしていないが、配光角混在型知的照明システムは平均 11.2 台のデスクで、JIS の下限値である 0.7 を上回る結果を示した。さらに、消費電力割合に関しても 4 割程度となっており、十分な消費電力の削減を可能とした。これらの結果から、高い個別照度実現精度、机上面均斉度および省エネルギー性が実現可能な配光角混在型知的照明システムは、配光角が一定の照明を用いた標準的な知的照明システムよりも有効であると結論付ける。