

平面プリズムを用いた照明の分散制御とオフィスにおける個別照度実現精度

神田 章博
Akihiro KANDA

1 はじめに

我々は、オフィスにおける執務の快適性向上を目的とした知的照明システムの研究を行っている。知的照明システムでは、執務者が個別に要求する照度（個別照度）を実現できるように照明を調光し、最適な明るさで照明を点灯させる。しかし、使用する照明の配光特性と設置間隔およびオフィスレイアウトの関係により、全ての執務者が要求する個別照度を同時に実現できないことがある。また、近年オフィスの形態は多様化しており、様々なオフィスレイアウトに対応した照明環境が要求される。

この課題を解決するため、本研究では平面プリズムを用いる。平面プリズムを用いることで照明の配光方向を部分的に変化させ、必要な場所に光を集めることで執務者の個別照度を高い精度で実現しつつ、様々なオフィスレイアウトにも対応可能な新たな知的照明システムを提案する。

2 平面プリズムを用いた配光方向の変化

2.1 概要

執務者の個別照度を高い精度で実現するため、本研究では照明の配光方向に着目した。配光方向を変化させ、低照度を希望する執務者を照らす照明の光を、高照度を希望する執務者へ配分することで、個別照度の提供精度を向上させる。本稿では平面プリズムとリニアフレネルレンズを使用し、照明の配光方向を変化させる手法を提案する。なお、プリズムやレンズを使用する理由は設置済み照明へ容易に導入できることを前提としているためである。

Fig. 1 に平面プリズムとリニアフレネルレンズの形状を示す。以後本稿では、平面プリズムとリニアフレネルレンズを総称して変角レンズと表記する。平面プリズムとは、アクリル板の表面上に微細なプリズム状の溝を施したもので、入射光を一定方向に曲げる働きをする。リニアフレネルレンズとは、円筒状の形をしたレンズをフレネルレンズ形状にしたもので、光源から出た光を直線状に集光する働きをする。変角レンズを設置し配光方向を変化させた環境下において知的照明システムの取束実験を行うことで、個別照度の実現精度について検証を行う。

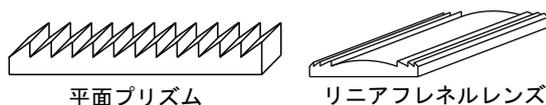


Fig.1 平面プリズムとリニアフレネルレンズの形状

2.2 配光方向を変化させる手法

1 章でも述べたように近年オフィスの形態は多様化している。多様なオフィスレイアウトに対応するため、本研究

では Fig. 2 に示すように照明を 6 分割し、照明四隅の分割面を配光方向を変更可能な位置とした。照明四隅の分割面に変角レンズを設置することで配光方向を変化させ、オフィスレイアウトに合わせた配光方向の提供を実現する。

配光方向を変化させる手順として、まず照明に設置されている拡散板を取り外す。拡散板は照明光を様々な方向に拡散するため、設置した状態ではレンズによる集光や屈折ができないためである。次に変角レンズの設置方法を述べる。Fig. 3 に示すように、LED 光源の直下にリニアフレネルレンズを、その下に平面プリズムを設置する。リニアフレネルレンズの設置には、光を集光し平面プリズムへの入射角を小さくする目的がある。入射角を小さくすることで反射の影響を抑え、配光方向の変更を容易にする。次に配光方向を変化させた場合における光の進行方向について述べる。LED 光源から放射された光は、直下に設置したリニアフレネルレンズにより集光され、平面プリズムに入射する。平面プリズムは入射光を屈折させ、結果として配光方向が変化する。次に変化可能な配光方向について述べる。変角レンズ設置位置の配光方向は、Fig. 2 の矢印が示す 2 方向と変角レンズを設置しない場合の 3 通りである。変角レンズ設置位置は照明 1 灯に 4 箇所存在するため照明 1 灯での提供可能な配光方向は 3 の 4 乗通り存在する。

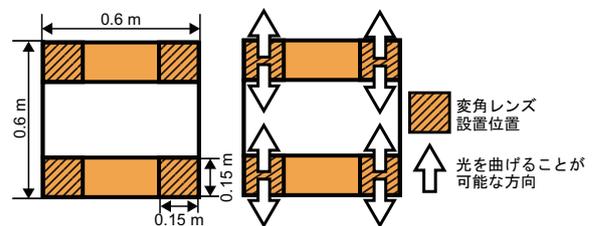


Fig.2 照明の分割

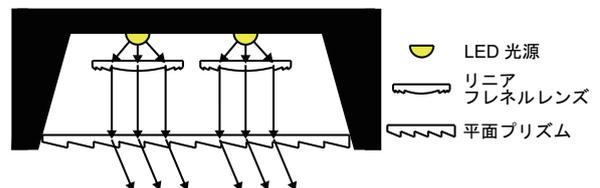


Fig.3 平面プリズムとリニアフレネルレンズの配置

3 提案手法における個別照度実現精度の検証

3.1 シミュレーション概要

提案手法を用いた環境下において知的照明システムの照度取束シミュレーションを Fig. 4 に示すシミュレーション環境で行う。Fig. 4 に示す環境は、標準的なオフィスで

想定される対向島型の座席配置を参考にしている。

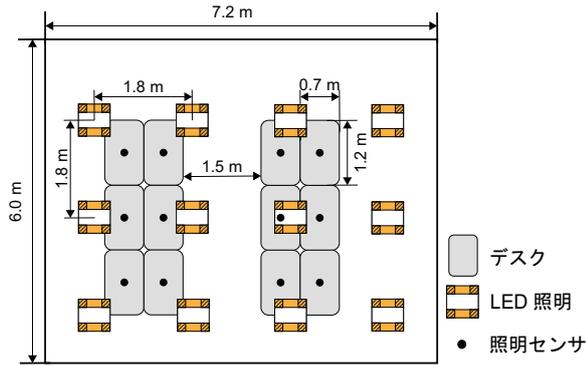


Fig.4 シミュレーション環境

シミュレーション環境における目標照度の設定方法には、低照度 (300 lx), 中照度 (500 lx), 高照度 (700 lx) を希望する執務者が存在すると仮定し、ランダムに配席させる方法を用いる。また、最適な配光方向を決定するアルゴリズムには確率的山登り法をベースとしたアルゴリズムを用いる¹⁾。このアルゴリズムでは、まず配光方向を変化させずに照度収束シミュレーションを行い、最終的に得た目的関数値を保持する。次に、配光方向を変化させる変角レンズ設置位置と配光方向をランダムに決定する。そして、照度収束シミュレーションを行い、目的関数値を求める。1ステップ前の照度収束シミュレーションにおける目的関数値と比較を行い、目的関数が改善していた場合のみ、決定した配光方向を受理する。この一連の流れを繰り返すことにより、最適な配光方向が決定される。

3.2 個別照度実現精度の評価指標

知的照明システムにおいて、各執務者が要求する目標照度がどの程度実現されているかを評価する指標として、本研究では目標照度実現数、平均照度誤差率、最大照度誤差の3つの評価指標を用いる。なお、本稿では、提供照度が目標照度の $\pm 8\%$ 以内に収束している場合、目標照度を実現していると定義する。これは、視覚機能上 $\pm 8\%$ 程度の照度変動は感知できないためである²⁾。次に、評価指標について述べる。まず、目標照度実現数とは、目標照度を実現している照度センサ台数のことである。平均照度誤差率とは、式(1)で算出される値であり、各照度センサにおける目標照度と提供照度の誤差の割合を平均した評価指標である。最大照度誤差とは、全ての照度センサにおける目標照度と提供照度の誤差の最大値である。この3種類の評価指標を用いて、提案手法が変角レンズを用いない標準手法より有用であるかを評価する。

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Lp_i - Lt_i|}{Lt_i} \quad (1)$$

E : 平均照度誤差率

n : 照度センサ台数, i : 照度センサ番号

Lp : 提供照度 [lx], Lt : 目標照度 [lx]

3.3 シミュレーションの結果と考察

3.1節で述べた目標照度の設定方法を用いて目標照度を設定し、標準手法と提案手法において、知的照明システムのシミュレーションを行った。本シミュレーションでは目標照度をランダムに設定しているため、シミュレーション結果が毎回異なる値を示す。そのため、シミュレーションを50回行い平均を求めることで全体の傾向を探った。なお、標準手法と提案手法での目標照度値は同じ値に設定した。シミュレーション結果から算出した個別照度実現精度の評価指標をTable 1に示す。目標照度実現数と平均照度誤差率はシミュレーション50回分の平均を、最大照度誤差については、シミュレーション50回分の最大値を示す。

Table1 評価指標の比較

	標準手法	提案手法
目標照度実現数	4.4/12	8.5/12
平均照度誤差率	16.1 %	9.3 %
最大照度誤差	253 lx	166 lx

Table 1に示すように、平均照度誤差率は標準手法に比べ6.8ポイント低下し9.3%という結果であった。これは高照度 (700 lx) を選択した執務者で考えた場合、標準手法では平均113 lxの照度誤差になるのに対し、提案手法では平均65 lxの照度誤差となる。この結果から標準手法に比べ個別照度の提供精度は向上していると言える。また、目標照度実現数も標準手法の4.4から8.5と約2倍の実現精度となり、提案手法の有効性を示している。最大照度誤差は標準手法の253 lxに比べ34ポイント低下し166 lxという結果を得た。最大照度誤差は、低照度 (300 lx) を希望する執務者と高照度 (700 lx) を希望する執務者が隣接する場合に生じる。最大照度誤差の結果から、本シミュレーションにおいては300 lxと700 lxを希望する執務者が隣接した場合においても、460 lxと540 lx程度の照度を実現可能であることが示せた。これらの結果から、提案手法が標準手法より有効であることを示すことができ、個別照度実現精度は向上したと結論付けられる。

4 今後の展望

配光方向を変化させるに際し、本研究では拡散板を取り外し検証を行った。しかし、影が多重になることや照明ムラが生じることなど拡散板を取り外したことによるデメリットもある。拡散方向、拡散率は拡散板によってさまざまであり、ある一定の方向のみに光を拡散させることが可能な拡散板も存在する。提案手法の優位性を向上させるため、拡散板を設置した状態で配光方向を変化させる手法の確立を目指す。

参考文献

- 1) 小野景子, 三木光範, 米澤基, "知的照明システムのための自律分散最適化アルゴリズム," The institute of electrical engineers of japan,(2010).
- 2) 鹿倉智明, 森川宏之, 中村芳樹, "オフィス照明環境における明るさの変動知覚に関する研究," 照明学会誌, (2001) .