

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の実現精度

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。

この課題を解決するため、本研究では平面プリズムとリニアフレネルレンズを用いる。これら 2 種類の器材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する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 配光方向の変更に用いた器材

執務者の個別照度を高い精度で実現するため、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。この手法ではレンズやプリズムを照明に設置するだけで配光方向を変更でき、容易に導入することが可能である。

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。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、蒲鉾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。これらの器材を組み合わせると配光方向を変化させる。

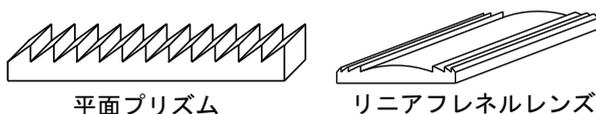


Fig. 1 平面プリズムとリニアフレネルレンズの形状

2.2 配光方向を変化させる手法と位置

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

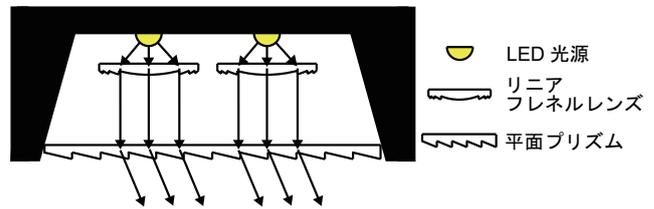


Fig. 2 平面プリズムとリニアフレネルレンズの配置

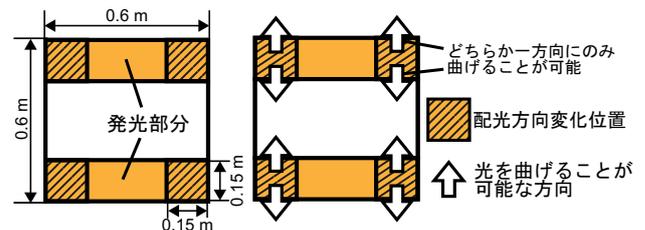


Fig. 3 照明の分割

や屈折ができないためである。次に Fig. 2 に示すように、前節で述べたリニアフレネルレンズを LED 光源の直下に設置し、その下側に平面プリズムを設置する。このように設置することで、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。

次に配光方向を変化させる位置について述べる。配光方向を変化させる位置として Fig. 3 に示すように照明の発光部分を 6 分割し、照明四隅の分割面を配光方向を変化させる位置（配光方向変化位置）とした。配光方向変化位置では、Fig. 3 の矢印が示す 2 方向と平面プリズムとリニアフレネルレンズを設置しない場合の 3 通りの配光方向が実現可能である。配光方向変化位置は照明 1 灯に 4 箇所設けたため、照明 1 灯での実現可能な配光方向は 3 の 4 乗通りとなる。このようにすることで、オフィスレイアウトに合わせた配光方向の変更が可能である。

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

提案手法を用いて Fig. 4 に示すシミュレーション環境で、最適な配光方向と照明光度を求める。配光方向を変化させない標準手法と配光方向を変化させる提案手法で、知的照明システムのシミュレーションを 50 回行い、提案手法の有効性を検証した。Fig. 4 に示す環境は、標準的なオフィスで用いられる対向島型の座席配置をも

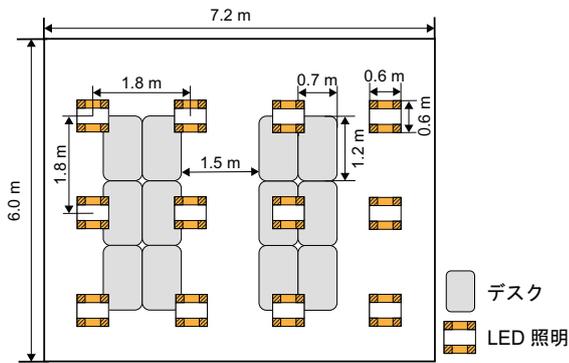


Fig. 4 構築した模擬オフィスのフロア図

とに構築した．また，執務者は12名を想定し，低照度（300 lx），中照度（500 lx），高照度（700 lx）を希望する執務者をランダムに配席させ目標照度に設定した．

最適な配光方向の決定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．配光方向の決定は最適化問題であり，式(1)に示す目的関数が最小となる配光方向を探索する．まず，配光方向を変化させずに照明光度の最適化を行い，得られた光度値をもとに目的関数を計算し値を保持する．次に，1か所の配光方向変化位置の配光方向をランダムに変更する．再び照明光度の最適化を行い，目的関数値を求める．1ステップ前の照明光度の最適化における目的関数値と比較を行い，目的関数値が改善していた場合のみ，変更した配光方向を受理する．この一連の流れを繰り返し，最適な配光方向を決定する．

$$f = P + w \sum_{i=1}^n (Lp_i - Lt_i)^2 \quad (1)$$

P : 消費電力 [W], Lp : 提供照度 [lx], Lt : 目標照度 [lx]
 w : 重み, n : 執務者数, i : 執務者番号

3.2 シミュレーションの結果と考察

3.1節で述べたシミュレーション条件のもと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．Fig. 5に示す結果は，提案手法におけるシミュレーション結果の一例である．円の大きさは照明の点灯率，デスクの色は執務者の目標照度，矢印は配光方向を示す．また，特徴的であった3名の執務者の標準手法と提案手法における照度誤差を示す．照度誤差とは，提供照度と目標照度の照度差である．目標照度700 lxの執務者Aは照度誤差が標準手法では84 lxであったが提案手法では0 lxとなり目標照度の実現精度が大きく向上した．目標照度300 lxの執務者Bにおいても同様に116 lxから78 lxへ低下した．目標照度500 lxの執務者Cも56 lxから23 lxへと低下し，Fig. 5に示すシミュレーション結果の一例では12名すべての執務者において提案手法を用いることで照度誤差が低下した．また，執務者Aの照度誤差が執務者B,Cに比べ大きく低

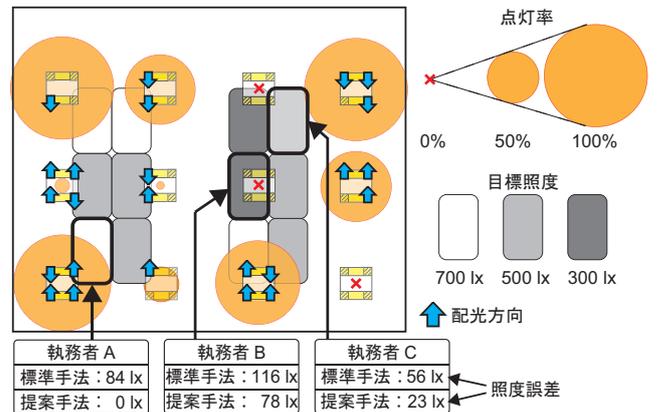


Fig. 5 シミュレーション結果の一例

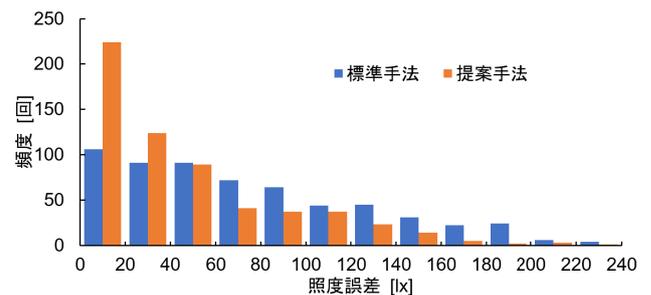


Fig. 6 照度誤差分布

下した要因として，照明の点灯率が挙げられる．執務者Aは目標照度が700 lxであるため，設定地点近辺の照明の点灯率が高くなる．照明の点灯率が高いほど配光方向変更による照明近辺の照度変化が大きくなり照度誤差が300 lx, 500 lxを希望する執務者B,Cに比べ大きく低下したと考えられる．このことから，提案手法は高照度を希望する執務者に対してより有効であると言える．

次にシミュレーション50回分の標準手法と提案手法における照度誤差の分布をFig. 6に示す．横軸は照度誤差，縦軸は発生頻度を示している．Fig. 6から照度誤差が0-20 lx間の照度誤差の発生頻度は標準手法に比べ2倍以上を示し，目標照度を提供可能な執務者が増加したと言える．一方，照度誤差60 lx以上の発生頻度は標準手法に比べ約半分となり，目標照度を満たせない執務者についても大きく減少した．このことから提案手法を用いることで個別照度実現精度は向上したと言える．

4 結論

オフィス照明に平面プリズムとリニアフレネルレンズを組み合わせて設置することで，配光方向を変化させる手法を確立した．さらに，オフィスレイアウトに適した配光方向を決定することで各執務者が希望する目標照度を，配光方向を変化させない標準手法に比べ高い精度で実現できる結果を示した．このことにより，提案手法を用いることでオフィスに設置済みの照明を用いて個別照度実現精度の向上が可能であることを示した．