

天井照度センサを用いた知的照明システム

穠西 克弥
Katsuya AKINISHI

1 はじめに

我々の研究室では、オフィスにおける快適性や知的生産性の向上、さらに省エネルギー化を目的とする知的照明システムの研究・開発を行っている。知的照明システムは机上面の照度を基に照明制御を行うが、外光の影響を考慮するには机上面に照度センサを設置する必要がある。しかし、机上面に設置した照度センサでは、書類や棚が遮蔽物となり、正確な机上面の照度が測定できない場合がある。そこで、本研究では天井面に設置した照度センサ（天井照度センサ¹⁾）を用いて外光を測定し、執務者の机上面における照度を推定する。天井照度センサを用いることで、遮蔽物の影響が少ない照度測定が可能となり、安定したシステムの動作が期待できる。本発表では、複数の天井照度センサを用いて外光照度分布を推定する手法と、窓と同数の天井照度センサを用いて外光照度を推定する手法について述べる。

2 天井照度センサ

2.1 天井照度センサの概要

本研究では、安定した照度測定を行うために天井照度センサを利用する。先進ビルや工場では、昼光利用を様々な形で行っており²⁾、その中で天井照度センサの導入が進んでいる。多くの場合、窓の付近に天井照度センサは設置されており、昼光を検知するために用いられている。天井照度センサは鉛直下向きに円状に広がる検知範囲を有しており、検知範囲内の床や物体からの反射光を測定する。一般的な利用例としては、外光を取り入れた上でセンサ直下の制御範囲が一定の明るさになるように、周囲の照明を減光することで、照明による消費電力を抑えている。

2.2 天井照度センサ直下の机上面照度の推定

天井照度センサを知的照明システムの照明制御に利用するためには、天井照度センサの測定値から各机上面照度を推定する必要がある。窓がある環境において式 (1) のように机上面の照度は、照明による照度と外光による照度の和からなる。

$$L_c = L_a + L_e \tag{1}$$

L_c : 机上面の照度
 L_a : 照明による照度
 L_e : 外光による照度

ここで照明による照度は、様々な方法で求めることが可能である。その中でも照度/光度影響係数を用いる手法では、事前計測によって各照明の光度と机上面の照度が線形関係として求まることが分かっている。このことから照

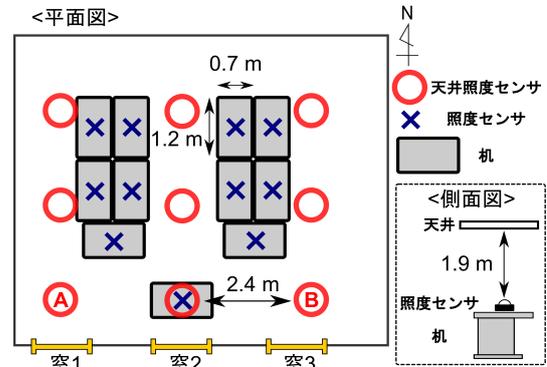


Fig.1 実験環境

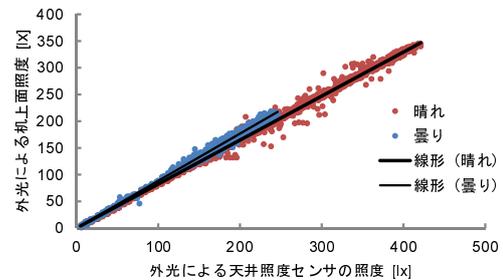


Fig.2 外光による天井照度センサの測定値と机上面照度の関係

明による照度は、照明の光度から照度/光度影響係数を用いることで推定可能である。そのため、照明による照度は、照度センサを用いなくても推定が可能である。しかし、外光による照度は、季節、天候、時刻の影響を強く受ける。そのために、照度センサを用いて外光による照度を測定する必要がある。本研究では、天井照度センサを用いて外光照度を推定する手法を提案する。

天井照度センサの基礎実験として、Fig. 1の実験環境において、照明消灯下で窓からの外光を1日を通して測定した。また、部屋のレイアウトは一般的なオフィスを模しており、窓の内側にはブラインドを外向き45°で設置している。外光照度測定は晴天の日と雨の日の2日間行った。その結果、天候・時刻に拘らず、天井照度センサの測定値とその直下の机上面照度の関係は線形関係であった。この関係式を基にして、天井照度センサを用いて外光照度を推定する2種類の手法を提案する。

3 複数の天井照度センサを用いて外光照度分布を推定する知的照明システム (手法1)

Fig. 1のように、天井照度センサ9台をグリッド状に設置する。2.2節で示した関係を基に、外光照度を推定する

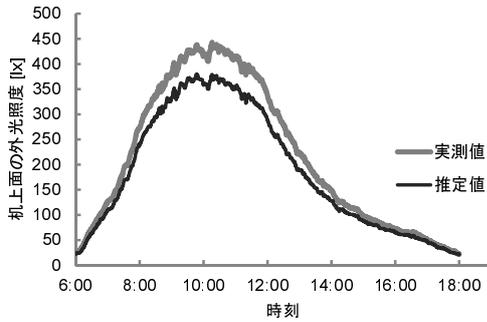


Fig.3 外光照度の実測値と推定値の時間推移（手法 1）

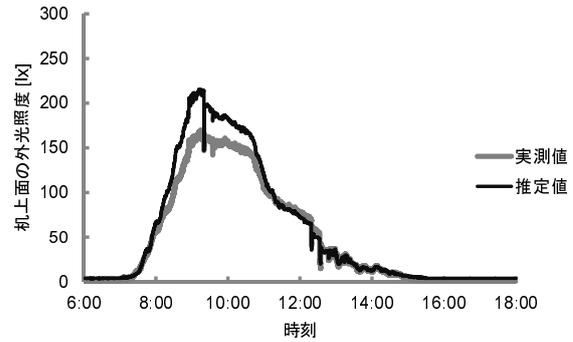


Fig.4 外光照度の実測値と推定値の時間推移（手法 2）

手順は、

1. 天井照度センサの測定値から近似式を用いてその直下の机上面照度を推定する
2. 室内の外光照度分布をモデル式として定式化する
3. 9 台の天井照度センサの直下の推定値とその座標を用いて回帰分析を行って係数を定める
4. 任意の地点の座標をモデル式に代入してその地点の照度を推定する

のようになる。9カ所の推定した外光照度を基にして、最小二乗法を用いて式(2)のような式の係数を求め、その時点における外光照度分布を推定する。また、あらかじめ外光照度を測定して、式(2)の式を求める必要があり、部屋のレイアウトによって変化する。

$$z = \beta_0 + \beta_1 y^3 + \beta_2 x^2 y^4 + \beta_3 x^3 y + \beta_4 xy \quad (2)$$

x, y : 室内の位置座標, z : その位置における外光照度

天井照度センサが照度を測定した際、外光照度分布を求めることで、任意の時点において机上面の外光照度が推定可能となる。外光照度を推定した結果を Fig. 3 に示す。

4 窓と同数の天井照度センサを用いて外光照度を推定する知的照明システム（手法 2）

天井照度センサと窓が同数以上の場合に外光照度が推定可能である手法について述べる。今回は Fig. 1 の天井照度センサ A, B を用いて、窓 1, 3 のみが開いている環境で外光を推定する。あらかじめ、窓 1 からの外光を、天井照度センサ A, B と執務者の机上面の照度センサを用いて測定する。その結果、天井照度センサ A, B の測定値と机上面の照度センサの測定値には線形関係があった。同様の手順を窓 3 についても行う。そして、外光推定する窓 2 面の環境において、窓 1 による机上面の外光照度を天井照度センサ A から推定する。同様に窓 3 による机上面の外光照度を天井照度センサ B から推定する。窓 1, 3 による外光照度を加算することで、複数窓のときの机上面における外光照度が求まる。外光照度を推定した結果を Fig. 4 に示す。

5 提案手法における課題

天井照度センサを用いて外光照度を推定する手法を 2 種類提案した。この手法を用いて知的照明システムを動作させた際に、外光照度の推定誤差が含まれるため、机上面に照度センサを設置する場合と比較して、目標照度との誤差が大きくなると予想できる。よって、知的照明システムにおける目標照度の実現精度を向上させるためには、外光照度をより正確に推定する必要がある。また、提案したシステムには現状では、対応できない状況が存在する。実験環境は実際のオフィスを模しているため、窓から入る外光はブラインドを介して入射している。ブラインドの角度を変更した場合には、天井照度センサの測定値とその直下の机上面の高さの照度の関係は異なる線形関係式となる。そのため、システム導入時と異なるブラインドの角度の場合には、提案手法の推定精度は大きく落ちてしまう。また、天井照度センサと机上面の高さの照度の関係は、部屋のレイアウトによって変化するため、部屋の大幅なレイアウト変更に対応できない。したがって、提案手法では、部屋のレイアウト変更を行った場合には、再度照度/光度影響度係数を求め直すだけでなく、外光照度を測定して関係式を求め直す必要がある。

6 今後の展望

外光照度の推定において、ブラインドの角度による影響を考慮するために、ブラインドの角度を変化させたときの、天井照度センサの測定値とその直下の机上面の高さの照度の関係を測定する必要がある。また、外光照度を求める際に、太陽の位置や部屋の窓の向きなどをあらかじめシステムに組み込むことで、推定精度の向上が見込まれる。

参考文献

- 1) Mitsubishi 三菱照明制御器 照度センサ 型名 ms2901. https://dl.mitsubishielectric.co.jp/dl/ldg/wink/ssl/wink_doc/m_contents/wink/SHO_IB/62174011.pdf.
- 2) 川瀬貴晴, 吉岡陽介. 執務空間快適性に関する概念拡張の動向と昼光利用サーカディアン照明システムについて (特集快適・安心空間のための知的センシング). システム制御情報学会誌 50(10), pp. 376-381, 2006.10.