

Proposal of Outside Light Illumination Estimation Method Using the Illuminance Sensor Installed on the Ceiling

Yuki SHIMIZU** , Mitsunori MIKI* , Yuki SAKAKIBARA** and Hiroto AIDA*

(Received April 18, 2014)

In the office building, cost of power used for lighting account for approximately 20% of the whole building, improvement of energy saving of lighting in offices is desired. For achieving energy conservation, we conducted a study that focused on the light utilization noon in this paper. By estimating the distribution of brightness to be given to the room with the sunlight, it is a method of saving energy lower the intensity of illumination by the window. Further, with the use of ceiling illuminance sensor is introduced proceeds to advanced building, can be implemented without requiring additional cost. In this report, we have developed a technique that uses the ceiling illuminance sensor, to estimate the distribution of the brightness of the light of the sun has on the room in this study. The pre-measured the brightness of the light of the sun has on the room, to create a model equation of the illuminance distribution. Then, by fitting the model equation illuminance on desk surface that was estimated using the ceiling illuminance sensor, it was possible to estimate the external light distribution in the room.

Key words : ceiling illuminance sensor, daylight, illuminance, daylight illuminance distribution

キーワード : 天井照度センサ, 外光, 照度, 外光照度分布

天井に設置した照度センサを用いた外光照度推定手法の提案

清水 祐希, 三木 光範, 榊原 佑樹, 間 博人

1. はじめに

オフィスビルにおいて、照明に用いられる電力コストがビル全体の約 20% を占めており¹⁾、照明に対する省エネルギー性の向上は重要な課題となっている。その中でも、昼の時間帯に窓側の照明の明るさ(光度)を下げる昼光利用の研究に注目が集まっている²⁾。

また、我々の研究室では各執務者の希望する明るさを提供する知的照明システムの研究を行っている。知的照明システムは、マイクロプロセッサを搭載した複数の調光可能な照明器具、複数の照度センサ、電力計をネット

ワークに接続して構成されている。机上面の照度を基にシステムを動作しているため、机上面に照度センサを設置する必要がある。

ただし、天井照明以外に光源のない部屋では照度センサを用いずに、照度シミュレーションに基づいて各照明の光度から特定の位置の照度を計算により求めることが可能である³⁾。照度シミュレーションは外光がないことを条件としているため、外光がある部屋では照度シミュレーションを用いて照度の推定を行うことができない。しかし、外光が特定の位置にどの程度の明るさを与えて

* Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone: +81-774-65-6930, Fax: +81-774-65-6716, E-mail: mmiki, haida@mail.doshisha.ac.jp,

** Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone: +81-774-65-6924, E-mail: yshimizu, ysakakibara@mikilab.doshisha.ac.jp

いるのかを推定可能であれば、外光のある部屋でも照度シミュレーションによって照度の推定が可能である。また、現在の知的照明システムでは照度センサを執務者の机上面に置くことによって、机上面における照度を測定し動作している。しかし、実証実験の結果より、照度センサの受光部が遮蔽物の影に隠れていることや、書類で覆われていることがあり、本来の机上面照度が計測できないことが課題として挙げられている。そこで、これらの問題を解決するために障害物の影響を受けることのない天井に照度センサを設置し、天井照度から机上面における外光照度を推定する手法の提案を行う。

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、任意の場所にユーザが要求する明るさ（目標照度）を提供することで、執務者の知的生産性・快適性向上を図るシステムである。複数の照明器具、照度センサ、および電力センサをネットワークに接続することで構成される。Fig. 1 に知的照明システムの構成を示す。

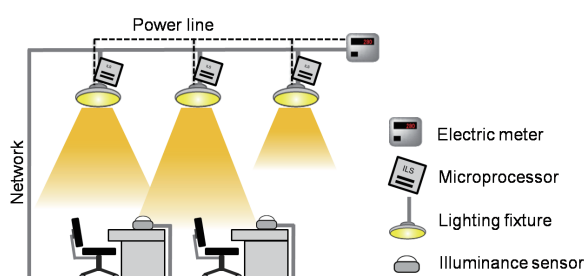


Fig. 1. Configuration of intelligent lighting system.

Fig. 1 に示すように、知的照明システムを構成する各ハードウェアをネットワークに接続することにより、制御 PC が各照度センサからの照度情報および電力センサからの消費電力情報を取得できる。これらの情報から、最適化手法に基づいて制御 PC が照明の明るさ（光度）を制御する。そして、ユーザが要求する明るさを実現すると共に、ユーザから遠い照明の明るさを抑え、消費電力量の削減を図る。このようにして、照度センサの付近の明るさが目標照度となるように各照明器具の制御を行う。

2.2 知的照明システムの制御アルゴリズム

知的照明システムにおける制御は、Simulated Annealing (SA) を照明制御用に改良した適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient : ANA/RC) を用いる^{4,5)}。

これは、各照明の光度変化量と照度センサの照度変化量を回帰分析により学習し、影響度合いに応じて光度を適切に変化させることで目標照度を実現できる。

2.3 机上面に照度センサを設置しない照明制御アルゴリズム

机上面照度 L_c は式 (1) のように照明による照度 (照明照度) と外光による照度 (外光照度) の和で求められる。

$$L_c = L_a + L_e \quad (1)$$

L_a : 照明による照度

L_e : 外光による照度

机上面に照度センサを設置せずに照明による照度を求める手法として、数理計画法を用いた照明制御アルゴリズムがある。

外光による照度がない部屋では照度/光度影響度係数という各照明光度が机上面に与える影響度を用いることによって、照明による照度を求めることができるため、照度シミュレーションを用いて、机上面に照度センサを置くことなく、執務者の希望する照度を個別に提供することが可能となっている。

しかし外光がある場合シミュレーションによって個別照度を提供することはできない。そこで、天井に照度センサを設置し、外光による照度を推定することにより、外光のある部屋でも机上面に照度センサを置くことなく、執務者に個別照度を提供できる。

3. 知的照明システムの実用化に向けた課題

3.1 照明の光度変化量と照度センサの照度変化量

知的照明システムは、実験室における検証実験により、有用性を検証してきた^{4,5)}。今後は、システムの実用化に向けて実環境における有効性を検証する必要があることから、三菱地所株式会社エコツツェリア、ライズ・オフィスカタリスト BA 等、複数のオフィスビルにプロト

タイプシステムを導入し、実証実験を行なっている。また、2013年の5月には東京の日本橋にある、茅場町グリーンビルディングに実用化第一号として導入された、知的照明システムの導入状況の一例を Fig. 2 に示す。

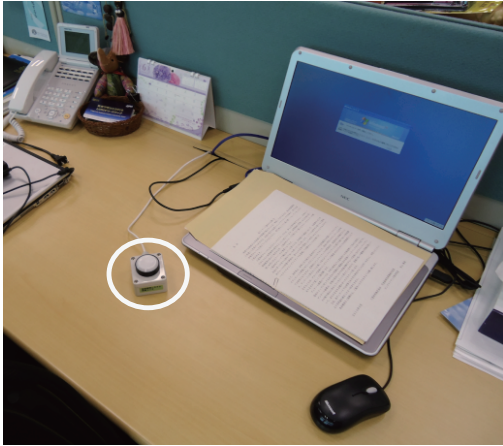


Fig. 2. Adoption of intelligent lighting system.

知的照明システムでは、上記に示した通り机上面に照度センサを設置する必要がある。しかし、実証実験により執務者は机上面に照度センサを設置しないことや、照度センサの受光部が書類等により隠れ、本来の机上面照度を取得できていないことが課題として挙げられる。これらの状況を Fig. 3 に示す。

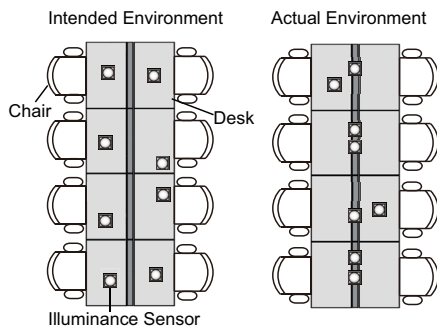


Fig. 3. Installation conditions of the illuminance sensor in a real environment.

実環境では Fig. 3 の右図のような場合がおこるため、各執務者が望む個別照度を実現することが容易でなくなる。

4. 天井照度センサ

4.1 天井照度センサの概要

天井照度センサは様々な先進ビルにおいて導入されている。これは、外光を検知し不要な照明の消灯や光度を下げることを目的として導入されている。例として、2013年に竣工された茅場町グリーンビルディングでは、エリアごとや照明ごとに天井照度センサが設置されている。これらの天井照度センサの仕様は直下のエリアに検知面がありその範囲の平均の照度を取得するものである。天井照度センサの仕様の一例を Fig. 4 に示す。

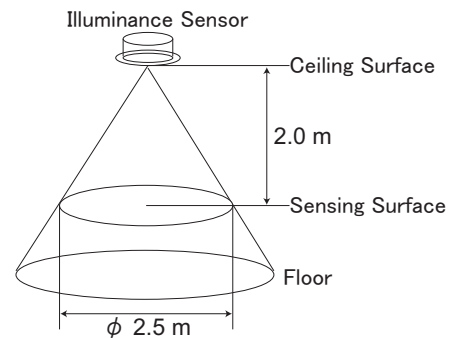


Fig. 4. Specification of ceiling illuminance sensor⁶⁾.

4.2 天井照度とその直下の机上面照度の関係

提案手法では、室内の外光分布を求めユーザの指定する場所の外光照度を推定する必要がある。これまでに、外光分布を求める手法は数多く研究されており、これらの手法では太陽の位置や雲量、窓材料の透過率等から外光分布を求めることが可能である⁷⁾。しかし、これらの手法はブラインドのない状態を想定していたり、ブラインドを想定した場合にはブラインドによる影響を細かく与える必要がある。また、リアルタイムな天候の変化による外光照度の変化を求めることができない。

本研究では照度センサを天井に取り付けてその直下の机上面の照度を推定し、その値をモデル式にあてはめることで、執務者の机上面の外光照度を推定する。そのための基礎実験として、外光を一日測定し、外光が天井照度センサと直下の机上面の高さに設置した照度センサに与えた照度を Fig. 5 に示す。

Fig. 5 より、外光による天井照度と直下の机上面の高さの照度には線形関係があることを確認した。そのため、机上面照度を推定する際には式 (2) のように、天井照

度が机上面照度と同じ値になるように補正係数 α を用いる。

$$L_d = L_c * \alpha \quad (2)$$

L_d :机上面の高さにおける照度

L_c :天井面における照度 α :補正係数

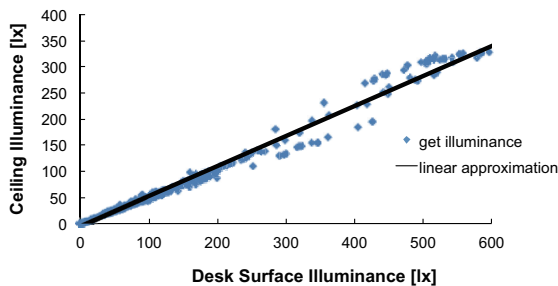


Fig. 5. Relationship of the desk surface illumination and its immediate ceiling illuminance due to external light.

5. 天井照度センサを用いた机上面照度の推定

5.1 推定手法

天井照度から任意の机上面の高さの照度を推定する手法を提案する。そのためには前節で求めた天井照度センサから直下の机上面の照度を求める近似式が必要になる。そこで、本実験では照度センサを天井面に 20 台、直下の机上面の高さに 20 台を設置して、20 通りの近似式の作成を行った。また、窓の幅は 1.2 m、ブラインドは外部視野の確保と採光を両立するため角度を外向き 45° ⁸⁾ として外光を測定した。

測定した天井照度と直下の机上面の高さの照度から、天井照度センサごとの式 (2) における補正係数を求める。

その各天井照度センサから直下の机上面照度を求める近似式は事前に測定済みであるとする。本実験では 2013 年の 12 月 1 日の一日を通して外光を測定し、その結果から各照度センサの近似式を作成した。

また、外光分布を求める手法としてモデル式を用いた。これは、事前に様々な天候や時間帯の外光測定データを基に、室内における外光分布モデル式の導出を行ったものである。多くのモデル式を試行錯誤し、室内の外光分

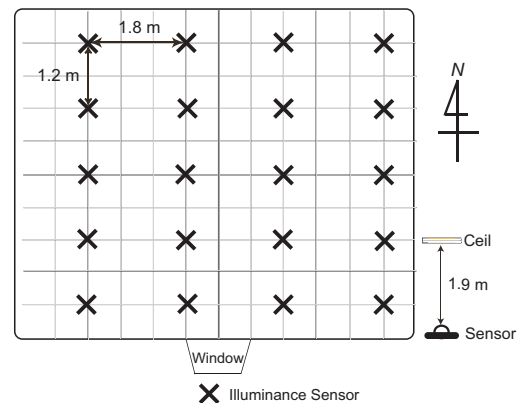


Fig. 6. External light measurement environment (plan view).

布に最もよくあてはまるモデル式を算出した。本実験環境下で用いるモデル式を式 (3) に示す。なお、ここで示す式 (3) は、Fig. 6 の照度センサの配置を基に決定したモデル式である。

$$z = \beta_0 + \beta_1 x^3 y + \beta_2 x^3 + \beta_3 x^2 y^2 + \beta_4 x^2 + \beta_5 x y + \beta_6 y^2 + \beta_7 y \quad (3)$$

x, y :部屋の位置座標, z :その位置における外光照度

照度センサが設置されている場所の外光照度から、最小二乗法を用いて式 (3) に示す係数を決定し、任意の位置の外光照度を推定する。このモデル式を用いることで、外光照度を高精度で推定することができると考えた。

本手法を用いて外光を推定する手順を下記に示す。

1. 天井照度から補正式によって机上面照度を推定する。
2. 得られた推定照度を基にモデル式の係数を決定する。
3. 外光照度を取得する任意の地点の照度を求める。

この 1 ~ 3 を外光測定中は繰り返し行う。

5.2 外光照度の実測

提案手法を用いて推定した照度値と実測値との誤差を検証するため、外光計測実験を行った。実験は 2013 年の 12 月 15 日、晴れのち曇りの日の朝 7 時から 17 時まで合計 10 時間、オフィスを模擬した実環境にシステムを構築し、測定実験を行った。

実験は天井に照度センサを 20 台、執務者数を 9 名とし各机の中心に照度センサを配置して行った。実験環境を Fig. 7 に示す。

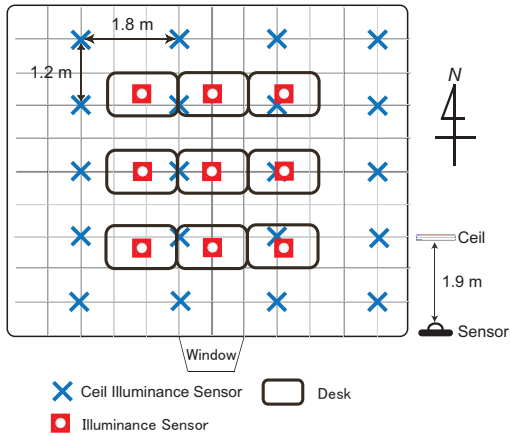


Fig. 7. External light acquisition environment.

5.3 実験結果および考察

執務者の机上面における実際の照度値と推定された照度値のうち、一日を通じて照度が最も高かったセンサの照度履歴を Fig. 8 に最も精度が悪かったセンサの照度履歴を Fig. 9 に示す。また、照度が高かったセンサと推定精度の悪かったセンサの場所を Fig. 10 に示す。

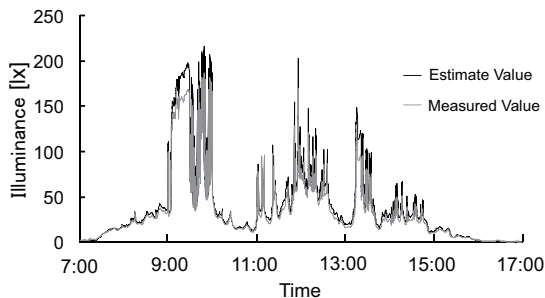


Fig. 8. Illuminance sensor was high throughout the day.

Fig. 9 より、最大でも 36 lx 程度の誤差で外光が推定可能であることがわかった。

6. 結論

本稿では天井照度と机上面照度には線形の関係があることを確認し、天井照度から直下の机上面の高さにおける照度を求める補正式を作成することで、直下の机上面

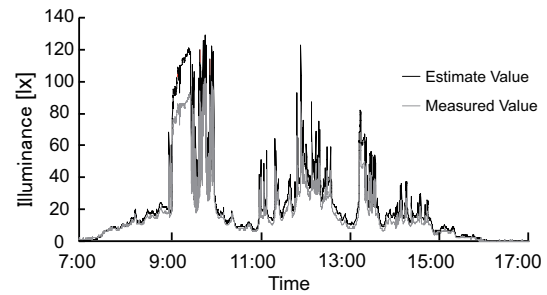


Fig. 9. Sensor was bad estimation accuracy.

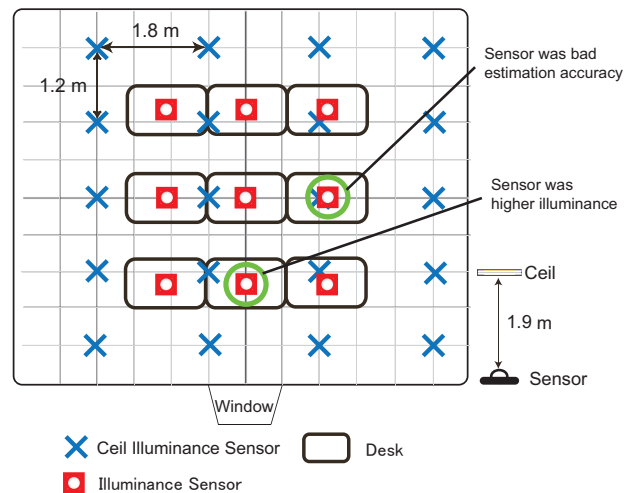


Fig. 10. Location of the sensor was bad estimation accuracy and the sensor illumination intensity was higher.

照度を推定できることがわかった。そのため、事前に天井照度と直下の机上面の照度との補正式を作成すれば、任意の地点の外光照度を推定可能であると考えた。

作成した補正式によって求めた天井照度センサの直下の机上面の照度値を外光分布のモデル式にあてはめることによって、任意の位置の机上面における外光の推定が可能であることがわかった。これより、天井照度センサにより外光による照度を求められることがわかった。そのため、机上面に照度センサを置くことなく外光のある部屋において知的照明システムの動作が可能であると考えられる。今後は提案手法と知的照明システムを組み合わせ、ユーザが指定した場所に任意の照度を提供するシステムの開発を行いたい。

本研究の一部は、同志社大学理工学研究所研究助成金の助成を受けて行われた。

参 考 文 献

- 1) 環境庁編, 環境・循環型社会・生物多様性白書, 平成 22 年度版, <http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h22/index.html>, (参照 2013-12-10) .
- 2) 斎藤満, “自然光利用と建築・設備計画 (特集:自然光利用)”, 照明学会誌, **82**[9], 733-738 (1998) .
- 3) 三木光範, 善裕樹, 吉見真聡, “数理計画法を用いて外光のない執務空間における個別照度環境を実現する照明制御システム”, 情報科学技術フォーラム講演論文集, **11**[1], 75-76 (2012).
- 4) S. Tanaka, M. Miki, T. Hiroyasu, M. Yoshikata, “An Evolutional Optimization Algorithm to Provide Individual Illuminance in Workplaces”, Proc IEEE Int Conf Syst Man Cybern, **2**, 941-947 (2009).
- 5) 小野景子, 三木光範, 吉見真聡, 西本龍生, 近江哲也, 足立宏, 秋田雅俊, 笠原佳浩, “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”, 電気学会論文誌, **130**[5], 750-757 (2010).
- 6) 三菱電機, 照度センサ ms2901 取扱説明書, <http://www17.mitsubishielectric.co.jp/wink/SOIB/62174011.pdf>, (参照 2013-12-19).
- 7) 菊池卓郎, 井川憲男, “All sky model-1を導入した昼光照明計算プログラムの性能検証”, 日本建築学会環境系論文集, **73**[629], 865-871 (2008) .
- 8) ニチベイ, ブラインドによる省エネ効果, http://www.nichi-bei.co.jp/jsp/environment/use/documents/leaflet_business.pdf, (参照 2013-12-19).