

大規模照度分布計測システムの構築および 実オフィス環境に導入した分散最適制御照明システムにおける照度分布の評価

三木 光範^{*1} ○笠原 佳浩^{*2}
吉見 真聡^{*3} 吉井 拓郎^{*2}

キーワード：大規模計測 照度分布 照明制御 最適化 オフィス環境

1. はじめに

オフィスにおける照度の分布は、計算機シミュレーションや数点の計測点からの推測により求められることが多い。しかしながら、計算機シミュレーションでは、什器や備品による影響および照明器具ごとに異なるランプの劣化や反射板の汚れによる光束の変化を、シミュレーション結果に反映させることは容易ではない。また、数点の計測点から推測する手法では、広い面積のオフィスにおいて詳細な照度分布を求めるためには、多くの照度計測点が必要であり、そのすべてを計測することは容易ではない。また、これまでの手法では同時に複数の計測点を計測することが困難であるため、時々刻々と変化する照度分布を計測することは困難であった。これらのことより、著者らは多数の照度センサを用いて同時に照度を測定することで照度分布を求める照度分布計測システムを開発した¹⁾。

一方、著者らは、オフィスの照明環境改善を目的とした知的照明システムを提案している^{2),3),4)}。知的照明システムはネットワークに接続されたマイクロプロセッサ搭載の照明器具、照度センサ、および電力計から構成される。知的照明システムでは、各ワーカが自身の照度センサに希望する照度（目標照度）を設定することで、その値を満たしかつ電力が最小となる点灯パターンを最適化手法を用いて実現することができる。このため、照度センサを設置した場所の照度制約は満たされており、各ワーカが選好した照度で快適な執務を行うことができている。しかしながら、照度センサが設置されている周囲の場所（以下、ワークエリア）の照度、および照度センサが設置されていない場所の照度については、これまで検討されていなかった。

そこで、本研究では、照度分布計測システムを用いて行った、知的照明システムにより提供される照度の評価結果について述べる。

2. 照度分布計測システム

オフィスにおける照度の分布は、数台の照度センサを用いての計測、もしくは計算機シミュレーションで求められることが多く、計算精度の検証例等も報告されている⁵⁾。しかし、数台の照度センサを用いての計測では、照度センサ数があまりにも少なく、また、計算機シミュレーションでの計測では、季節や天候により変化する外光の影響や、短時間で変化する直射日光の影響、あるいは照明器具毎に異なるランプの劣化や汚れに対応できず、正確な照度評価を行うことは容易でない。そこで、多数の照度センサから得られた照度データをリアルタイムに照度分布として可視化する照度分布計測システムを開発した（図1）。

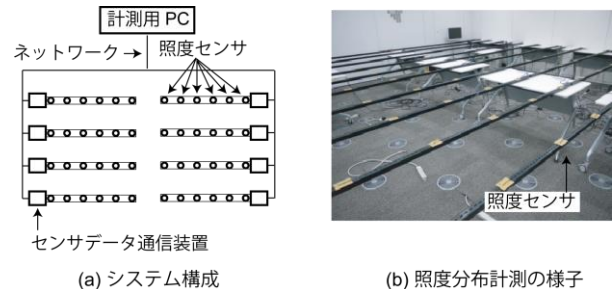


図1 照度分布計測システム

本研究で提案する照度分布計測システムは、複数の照度測定モジュールから構成されている。この照度測定モジュールは照度センサ、およびセンサデータ通信装置からなる。図1-(a)におけるセンサデータ通信装置では、照度センサで計測された照度値のA/D変換機能、および照度値を計測用PCへ送信するための通信機能が必要となる。

照度分布計測システムでは、照度センサにPanasonic電工製のNaPiCa照度センサを使用している。これは、NaPiCa照度センサが安価であり、照度に比例した高い出力電流が得られ、人間の視感度に近い感度特性を持つという3つの特徴を有しているためである⁶⁾。

照度分布計測システムにおいては、多数の照度センサを使用するため、安価な照度センサを用いる必要がある。さらに、NaPiCa 照度センサでは、高い出力電流が得られるため、図2の回路を作成することにより容易に出力電圧を取得することができる。

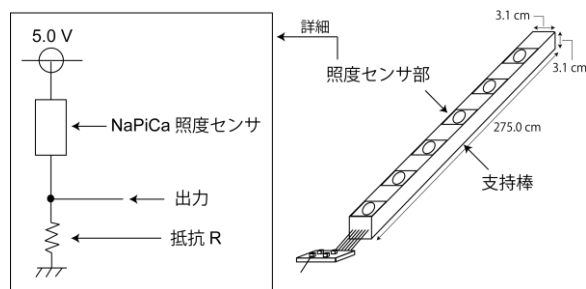


図2 照度センサ部

照度センサの設置間隔については、オフィスの一般的なグリッド照明の間隔が 180 cm であること、また、照度は滑らかに変化することから、照度センサの設置間隔は 90 cm 以下であればよい。しかし、照度分布計測システムでは、より多様な照明配置に対応するため、照度センサの設置間隔を 50 cm とした。

また、照度分布計測システムでは、センサデータ通信装置として 8 bit マイクロプロセッサ (PIC18F67J60) を使用している。このマイクロプロセッサの性能を表1に示す。

表1 PIC18F67J60 の性能⁷⁾

Program Memory Type	Flash
Program Memory (KB)	128
CPU Speed (MIPS)	10.5
RAM Bytes	3.808
ADC	11ch, 10-bit
Ethernet	10BASE-T

このマイクロプロセッサは、11ch の A/D コンバータを備えている。また、IEEE802.3 準拠 10BASE-T 対応の Ethernet コントローラを内蔵しているため、TCP/IP を用いた通信が可能である。これは、照度分布計測システムにおいて、接続する照度測定機器の最大個数が限定されないこ

と、およびデータの通信に関して高い信頼性が確保されるという利点を持っている。また、これにより、広さが異なる種々のオフィスにおいて照度分布を計測する際の照度センサ数の変化に容易に対応することが可能となる。センサデータ通信装置を図3に示す。

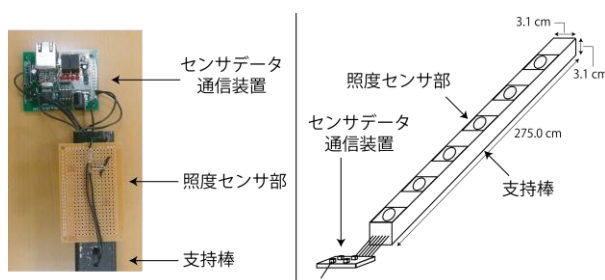


図3 センサデータ通信装置部

3. 知的照明システム

知的照明システムは、コンピュータ制御が可能な複数の照明器具、照度センサ、および電力計をネットワークで接続することにより構成される。知的照明システムでは、各照明は照度センサからの照度情報、および電力計からの電力情報を基に、自律分散型のアルゴリズムに基づいて光度を変化させる。この光度変化を繰り返すことにより、目標とされる照度を満たし、かつ電力が最小となる点灯パターンへの収束を行っている。

現在、知的照明システムは複数のオフィスにおいて実用化に向けた検証実験が行われている²⁾。そして実証実験より、知的照明システムは各照度センサが設置されている点においては、ワーカの要求照度を満たしていることが分かっている。本研究では、各ワーカのワークエリアでの照度の検証、および照度センサが設置されていない場所の照度の検証を行う。

4. エコツェリアにおける照度分布計測

実オフィス環境における知的照明システムの評価を行うため、照度分布計測システムを用いて照度分布計測を行った。計測場所は、2章で述べた新丸の内ビルディング内の「エコツェリア」である。本計測では、照度分布計測用に 204 台の照度センサを 50 cm 間隔に設置した。実オフィスでは、机と机の間にローパーティションがあり、照度

分布計測システムを机上に配置することが困難である。そのため、遮蔽物がない床面から 125 cm の位置に照度センサを配置した。以降、この床面から 125 cm の高さにおける照度について述べる。計測環境を図 4 に、計測風景を図 5 にそれぞれ示す。

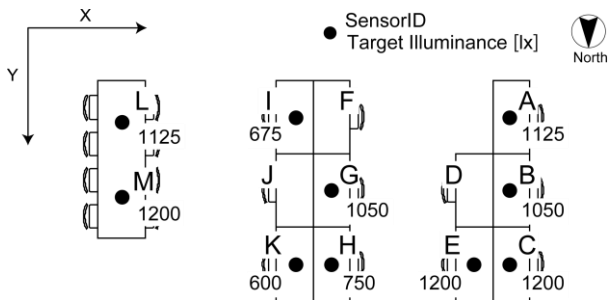


図 4 計測環境

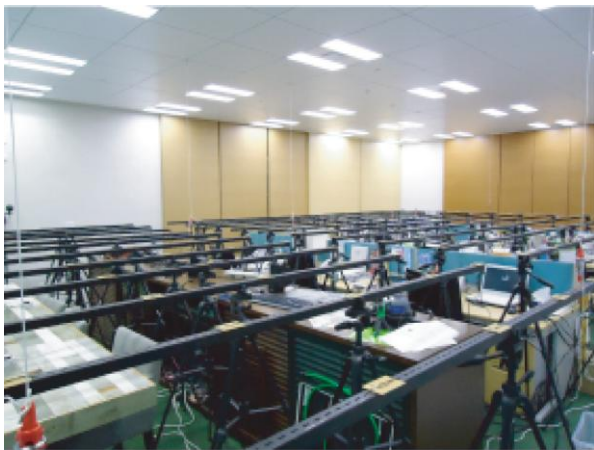


図 5 計測風景

本計測では、調光制御を用いない照明環境として、均一光度環境における照度分布計測実験、および知的照明システム環境における照度分布計測実験の 2 項目を行った。この内、均一光度環境における照度分布計測では、全照明の点灯光度を床面から 125 cm の位置で照度が約 1000 lx となるような均一光度に設定した。この照度は机上面において約 750 lx である。また、知的照明システム環境における照度分布計測では、知的照明システムの制御用に 10 台の照度センサを、デスク A から J に設置した。以降、これらの照度センサを、それぞれ照度センサ A から J とする。また、各照度センサの目標照度は図 4 の通りである。均一光度環境における照度分布計測結果を図 6 に示す。

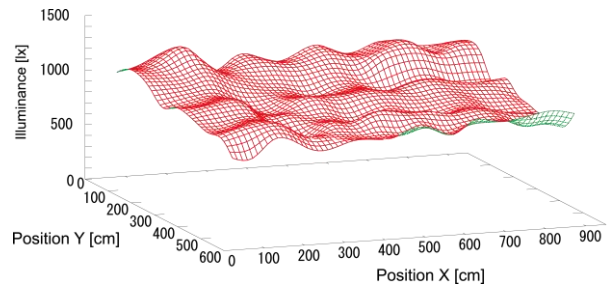


図 6 照度分布計測結果 (均一光度環境)

図 6 より、均一光度環境における照度分布は、全体としてほぼ均一な照度環境であるが、照明器具直下では照度が高くなっている。また、南側の壁際では照度が約 300 lx 程度増加していることが分かる。これは、壁際に照明が配置されているため、壁からの反射の影響であると考えられる。

知的照明システム環境における各照度センサの目標照度および測定照度を表 2 に、照度分布計測結果を図 7 にそれぞれ示す。

表 2 各照度センサの目標照度および測定照度

照度センサ	目標照度	測定照度
A	1125	1169
B	1050	1195
C	1200	1249
E	1200	1240
G	1050	1004
H	750	781
I	675	695
K	600	708
L	1125	1174
M	1200	1193

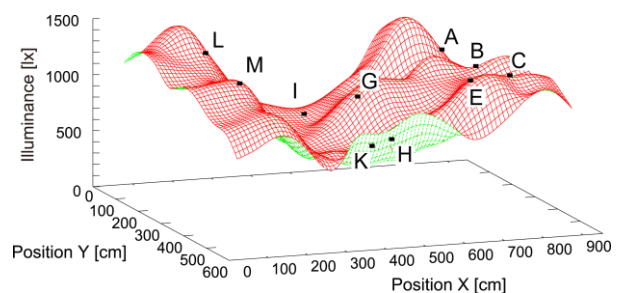


図 7 照度分布計測結果 (知的照明システム環境)

表2より、ほぼすべての照度センサに関して、目標照度と測定照度の差は50 lx以内である。オフィス環境において、人間が認知できる照度差は50 lx程度であること⁸⁾から、ほぼすべての照度センサに関して目標照度が満たされていると考えられる。しかしながら、照度センサBおよびHでは目標照度値と測定照度値の照度差が50 lx以上であった。これは、近傍に高い目標照度値が設定された照度センサが存在するためである。照度センサBの目標照度は1050 lxであるが、周囲に設置されている照度センサAの目標照度が1125 lx、照度センサCの目標照度が1200 lxである。照度センサBおよびHにおける照度差は、これらの目標照度を満たす要求から生じたものである。

図7より、照度センサを設置したデスクには、それぞれ必要な照度が提供されており、照度センサのない場所では全体的に低い照度となっていることが確認できる。

次に、ワークエリアにおける照度分布について述べる。なお、ここでのワークエリアとは、各ワーカに与えられているデスクのことを指す。ワークエリアにおける照度分布として、特にデスク内の照度変化が大きかった、デスクGの照度分布を図8に示す。

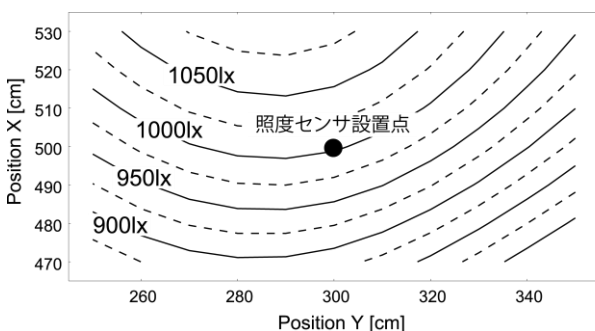


図8 デスクGの照度分布

図8より、デスクG内における照度変化は約300 lxであり、均斉度は0.73であった。また、他の全てのワークエリアについても均斉度は0.7以上であった。これは、CIEにより推奨されているワークエリアの均斉度が0.7以上であることを考えると、知的照明システムにより提供されるワークエリアの照度環境は執務に適した環境であるといえる。

5. おわりに

知的照明システムでは、照度センサが設置されている場所は要求された照度となっており、照度センサが設置されていない場所では照度が低くなっていた。さらに、ワークエリアにおける照度の変化は、CIEの基準から執務に適した環境であることが示された。

[参考文献]

- 1) Miki M, Kasahara Y, Hiroyasu T, Yoshimi M, Construction of illuminance distribution measurement system and evaluation of illuminance convergence in intelligent lighting system, Proc IEEE SENSORS, pp.2431-2434, 2010.
- 2) Miki M, Hiroyasu T, Imazato K, Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness, Proc IEEE CIS, pp. 520 - 525, 2004
- 3) 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, 電気学会論文誌, Vol.130, No.5, pp.750-757, 2010.
- 4) 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, LED照明を用いた知的照明システムの実オフィスへの導入, 電気学会論文誌, Vol.131, No.5, pp.321-327, 2011.
- 5) 永田忠彦, 田辺智彦, モンテカルロ法応用の室内照度の計算, 日本建築学会計画系論文集, Vol.487, pp.43-49, 1996.
- 6) Panasonic 電工株式会社 制御機器本部: 照度センサ NaPiCa
- 7) 共立電子産業株式会社: PICイーサネット対応CPUボード取り扱い説明書
- 8) 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, Vol.85, pp.346-351, 2001

*1 同志社大学理工学部 教授 工博

*2 同志社大学 大学院生

*3 同志社大学理工学部 助教 工博