

Evaluation of Illuminance Convergence in the Intelligent Lighting System Based on the Measured Illuminance Distribution

Yoshihiro KASAHARA^{*}, Mitsunori MIKI^{**}, Keiko ONO^{***} and Hisao IMAMIYA^{*}

(Received January 6, 2012)

There have been various studies on illuminance evaluation in offices, but due to the difficulty of measurement by using many illuminance sensors, few examples of measurement of illuminance distribution in offices exist until present. Therefore, we structured a system which visualizes the illuminance data obtained from more than 160 illuminance sensors as real-time illuminance distribution. On the other hand, we proposed an Intelligent Lighting System which can provide different illuminance by a worker's work content and preference. Illuminance distribution evaluation is important for the Intelligent Lighting System since it provides different illuminances to each worker. In this study, we mention evaluation of illuminance provided by Intelligent Lighting System by using the illuminance distribution measurement system.

Key words : optimization , lighting control , office environment , energy saving , illuminance distribution

キーワード : 最適化, 照明制御, オフィス環境, 省エネルギー, 照度分布

実測照度分布を基にした知的照明システムにおける照度収束の評価

笠原佳浩, 三木光範, 小野景子, 今宮久夫

1. まえがき

現存するオフィスの照度分布を正確に求めることは、照度環境の改善にとって重要である。現在、照度分布は計算機シミュレーションで求められることが多く、数多くの照度計算法が提案されており、照度計算精度の検証例等も報告されている^{1), 2)}。しかしながら、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ない。そのため、現存するオフィスにおける照度分布は、数点の計測点から室内全体の照度分布を推測する手法が用いられてきた^{3), 4)}。数点の計測点から推測する手法では、什器や備品による影響、および照明器具ごとに異

^{*} Graduate School of Engineering, Doshisha University, Kyoto

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

^{**} Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6930,6780,Fax:+81-774-65-6716 E-mail:mmiki,myoshimi@mail.doshisha.ac.jp

^{***} Department of Electronics and Informatics, Ryukoku University, Kyoto

Telephone:+81-077-543-7495 E-mail:kono@rins.ryukoku.ac.jp

なるランプの劣化や反射板の汚れによる光束の変化を含めた照度分布を求めることが可能である。しかし、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、これまでの手法では、そのすべてを計測することは容易でない。そのため、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する必要がある。

一方、近年、オフィス環境がオフィスワーカーの知的生産性に及ぼす影響に関する研究が広く行われており、オフィス環境を改善することにより、知的生産性が向上すると報告されている^{5), 6), 7)}。このような背景から、著者らは、個別照度の実現と省エネルギー性の向上を目的とした知的照明システムを提案している⁸⁾。知的照明システムでは、各ワーカーのデスクに設置した照度センサを用いて制御を行っている。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、各ワーカーが選好した照度で快適な執務を行うことができている^{9), 10)}。しかしながら、室内全体の照度の分布、および机上面における照度センサを設置した場所の周辺の照度について、これまで詳細な評価はしていなかった。

そこで本研究では、多数の照度センサを用いて同時に照度を測定する照度分布計測システムの構築を行う。また、構築した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おける室内全体の照度の分布、およびワークエリアの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

本研究で提案する照度分布計測システムは、オフィス環境における照度の分布計測を目的としたシステムである。照度分布計測システムは、複数の照度測定機器から構成されている。この照度測定機器は照度センサ、およびセンサデータ通信装置からなる。Fig. 1 に照度分布測定システムの構成を示す。

Fig. 1 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

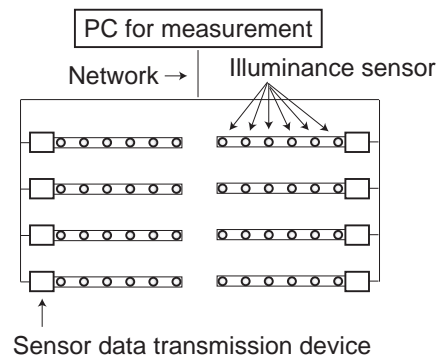


Fig. 1. Illuminance distribution measuring system.

なる。次に照度センサ、およびセンサデータ通信装置について述べる。

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。NaPiCa 照度センサは、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有している¹¹⁾。照度分布計測システムでは、多数の照度センサを使用するため、比較的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、簡易な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。また、照度の測定においては、人間が視覚として感じる明るさと近い感度特性を持っていることが重要となるが、NaPiCa 照度センサは、人間の視感度に近い感度特性を持っている。照度分布計測システムにおける照度センサ部を Fig. 2 に示す。

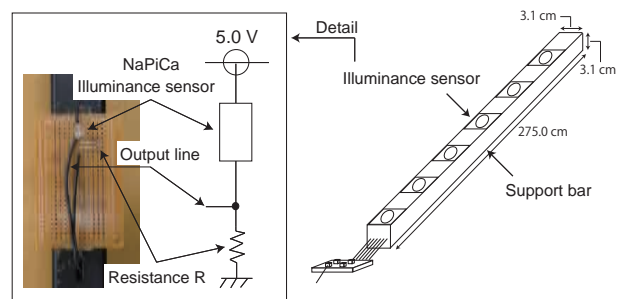


Fig. 2. Illuminance sensor.

NaPiCa 照度センサでは、Fig. 2 で示した抵抗 R の値により照度測定範囲が異なる。JIS においてオフィスに必要な照度として 750 lx が推奨されていること、

実際のオフィスでは照度値が 1,000 lx を超えることを考慮し、照度分布計測システムでは 1,200 lx まで測定可能な 820 を使用する。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、本システムでは、より多様な照明配置にも対応するため、照度センサの設置間隔を 50 cm とした。

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 8bit マイクロプロセッサ (PIC18F67J60) を使用している。マイクロプロセッサの性能を Table 1 に示す。

Table 1. Composing microprocessor¹²⁾.

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 通信が可能である。本システムにおけるセンサデータ通信装置を Fig. 3 に示す。

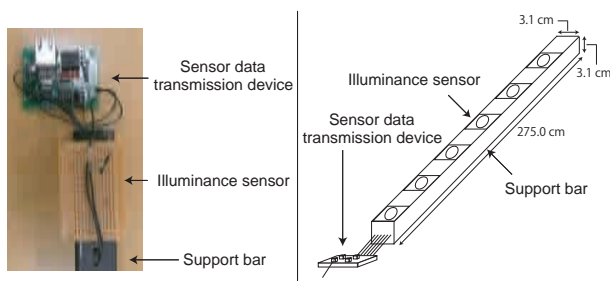


Fig. 3. Sensor data transmission device.

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。この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^{9, 10)}。

三菱地所株式会社が保有する新丸の内ビルディング (東京都千代田区) 内の次世代低炭素型技術実証オフィス「エコツェリア」(以下、エコツェリア) もその内のひとつである。エコツェリアでは、10 m × 9 m のフロアに 11 名のオフィスワーカーが執務を行っている。各ワーカーには固定の座席が与えられており、それぞれのデスクに照度センサを 1 台ずつ設置した。また、併設されているミーティングスペースには照度センサを 2 台設置した。エコツェリアにおける照度の収束状況を Fig. 4 に示す。

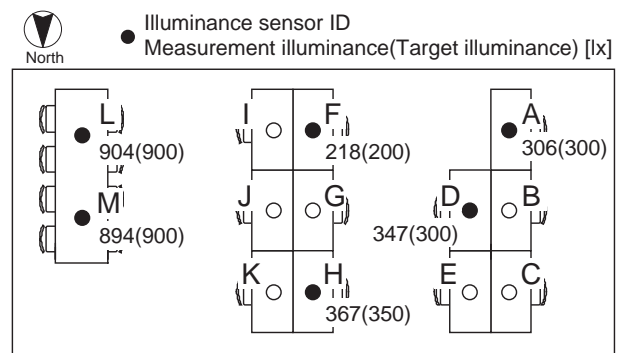


Fig. 4. An example of illuminance convergence in Ecozzeria.

Fig. 4 において、白い照度センサは各デスクのワーカーが離席していることを表している。Fig. 4 より、すべての知的照明システム制御用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¹³⁾ から、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．このことより，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る．しかしながら室内全体の照度の分布，およびワークエリアの照度について，これまで詳細な評価はしてこなかった．そのため，オフィス内の詳細な照度分布を計測することにより，これらの照度の評価を行う必要がある．

4. 照度分布計測

4.1 計測概要

知的照明システムにおける室内全体の照度の分布，およびワークエリアの照度について評価を行うため，照度分布計測を行う．照度分布計測環境を Fig. 5 および Fig. 6 に，照度分布計測風景を Fig. 7 にそれぞれ示す．

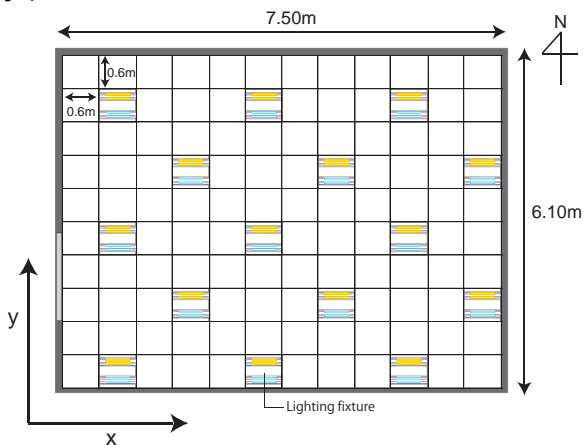


Fig. 5. Configuration of lightings.

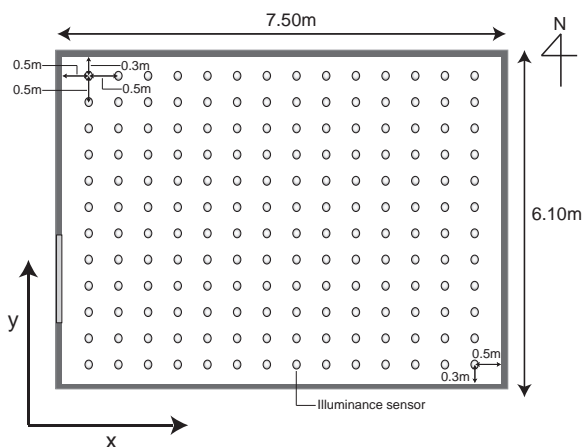


Fig. 6. Configuration of illuminance sensors.

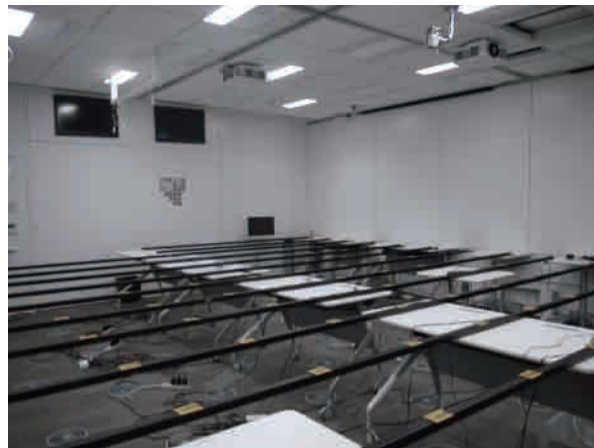


Fig. 7. Experimental scenery.

Fig. 5 に示した通り，照度分布計測には縦 6.1 m，横 7.5 m の同志社大学にある実験室を使用する．実験室の壁の色は白色であり，照明は 15 台設置されている．照明器具には Panasonic 製の昼白色ツイン蛍光灯 (FHP32EN) および電球色ツイン蛍光灯 (FHP32EL) が用いられている．本実験室では，昼白色蛍光灯および電球色蛍光灯の点灯比率を調節することで，任意の色温度を実現することが可能であるが，今回の照度分布計測においては，一般的なオフィス環境を対象とするため，昼白色蛍光灯のみを用いた．また，Fig. 6 に示した通り，本計測では，照度分布計測システムを用いて 168 台の照度センサを床面から 70 cm の高さに設置した．なお，床面から 70 cm の高さは一般的なオフィスにおけるデスクの高さである¹⁴⁾．

4.2 均一光度環境における計測結果

一般的なオフィスの照度分布を調べるため，均一光度環境における照度分布計測を行った．均一光度環境とは，4.1 節で述べた昼白色ツイン蛍光灯 15 灯の点灯光度を 100 % とすることで，一般的なオフィスを再現した環境である．照度分布計測結果を Fig. 8 に示す．

Fig. 8 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おり，最低照度は 526 lx，最高照度は 974 lx，平均照度は 778 lx であった．また，東および南側の壁際では照度が約 200 lx 程度増加している．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．

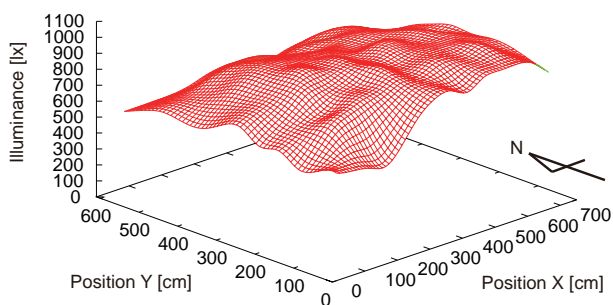


Fig. 8. Illuminance distribution (Uniform luminance).

以上の結果より，照明を均一な光度で点灯させた環境においても，照明の配置や壁からの反射の影響により，照度は 200 lx 程度の差が出ることを確認できた．

4.3 知的照明システム環境における計測結果

知的照明システムでは，各ワークのデスクに設置した照度センサを用いて制御を行っている．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，各ワーク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，机上面における照度センサを設置した場所の周囲（以下，ワークエリア）の照度について，これまで詳細な検討はしてこなかった．そこで，ワークエリアにおける照度の評価を行うため，4.1 節で述べた計測環境において照度分布計測を行った．Fig. 9 に，本計測における知的照明システム制御用照度センサの配置図を示す．

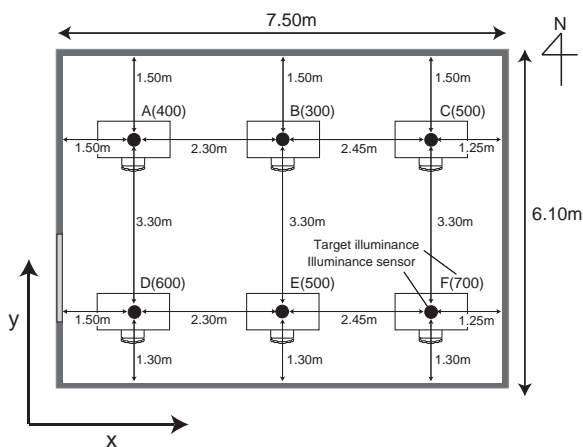


Fig. 9. Illuminance sensors for the intelligent lighting system.

Fig. 9 に示した通り，本実験では知的照明システム制御用照度センサを A 点から F 点に設置する．また，それぞれの目標照度は A : 400 lx , B : 300 lx , C : 500 lx , D : 600 lx , E : 500 lx , および F : 700 lx とした．照度収束状態における各照度センサの目標照度および測定照度を Table 2 に，照度分布の計測結果を Fig. 10 にそれぞれ示す．

Table 2. Target illuminance and measurement illuminance of the illuminance sensors.

Illuminance sensor	Target	Measurement
A	400	402
B	300	346
C	500	524
D	600	579
E	500	480
F	700	695

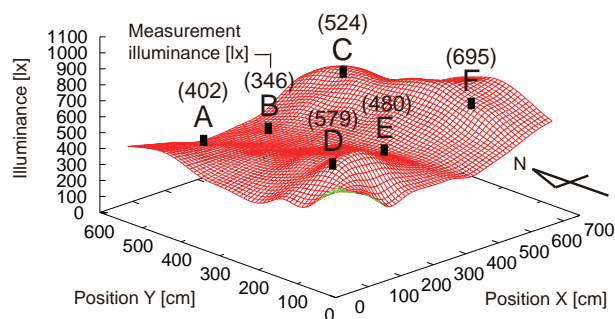


Fig. 10. Illuminance distribution (Using the intelligent lighting system).

Table 2 より，すべての知的照明システム制御用照度センサに関して目標照度が満たされている．また Fig. 10 より，知的照明システム制御用照度センサを設置した場所には個別の照度が提供されており，照度センサが設置されていない場所の照度は低くなっていることが確認できる．知的照明システムでは照度センサが設置されていない場所の照度を低くすることにより，省エネルギー性向上を図っている．しかしながら，Fig. 10 における D 点および E 点間では照度が高い．これは，D 点および E 点の目標照度をそれぞれ異なる

る照明で満たすのではなく、D点およびE点の中央に位置する照明で満たすことにより、全体としてより省エネルギー性が実現されるためである。このように、多数の照度センサに目標照度が設定された複雑な状況においても、知的照明システムでは、省エネルギー性を考慮した最適な点灯パターンが実現される。次に、ワークエリアにおける照度分布について述べる。Fig. 11にC点の周囲の照度分布を示す。なお、照度センサが設置された周囲とは、照度センサ設置点を中心として、x軸方向±550mm、y軸方向±350mmの範囲とした。これは、日本における標準的なオフィスの机上面の大きさが1100mm(W)×700mm(D)であるためである¹⁴⁾。

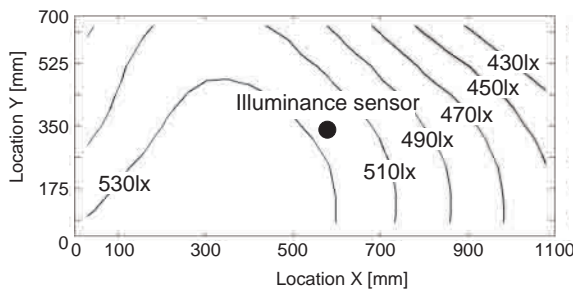


Fig. 11. Work area (Desk C).

Fig. 11より、C点のワークエリアにおける照度の変化は約100lxであり、均斉度は0.875であった。Table 3にすべてのワークエリアにおける均斉度を示す。

Table 3. Balance rate of the work area.

Work area	Balance rate
A	0.925
B	0.942
C	0.875
D	0.892
E	0.947
F	0.842

Table 3より、すべての照度センサ設置点のワークエリアにおける均斉度は0.8以上であった。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¹⁵⁾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。

以上の結果より、ワークエリアにおける照度は、CIEの基準から執務に適した環境であることが示された。

5. おわりに

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おける照度の評価結果について述べた。室内全体の照度分布に関しては、照度センサが設置されていない場所の照度は低くなることを確認した。ワークエリアの照度に関しては、CIEの基準から執務に適した環境であることを確認した。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 菊池卓郎, 井川憲男, All Sky Model-L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, Vol.73, No.629, pp.865-871, 2008.
- 3) 鹿島昭一, 安富重文, 喜多村義矩, 田代健次郎, 五十嵐直治, 一般事務室の実態調査に基づく照明環境評価, 日本建築学会計画系論文報告集, No.365, pp.30-39, 1986.
- 4) 望月悦子, 日本のオフィス建築における光環境の実態調査, 照明学会誌, Vol.93, No.12, pp.149-152, 2009.
- 5) 大林史明, 富田和宏, 服部瑤子, 河内美佐, 下田宏, 石井裕剛, 寺野真明, 吉川榮和, オフィスワークの生産性改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験的評価, ヒューマンインターフェースシンポジウム, Vol.1, No.1322, pp.151-156, 2006.
- 6) 西原直枝, 田辺新一, 中程度の高湿環境下における知的生産性に関する被験者実験, 日本建築学会環境系論文集, Vol.568, pp.33-39, 2003.
- 7) Peter R. Boyce, Neil H. Eklund, S. Noel Simpson, Individual Lighting Control: Task Performance Mood, and Illuminance, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, pp.131-142, 2000.
- 8) 三木光範, 知的照明システムと知的オフィス環境コンソーシアム, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) Panasonic 電工株式会社 制御機器本部: 照度センサ NaPiCa.
- 12) 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.
- 13) 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, No.5, pp.346-351, 2001.
- 14) JIS S 1010:1978 Standard Size of Writing Desks for Office
- 15) CIE:Lighting of Indoor Work Places, CIE S 008/E-2001, p.4, 2001.