

Reduction of the Number of Lighting Control for Power Saving Improvement of Wireless Illuminance Sensor on an Intelligent Lighting System

Mitsunori MIKI^{*}, Shohei MATSUSHITA^{**}, Hisanori IKEGAMI^{**}, Hiromitsu NAKABAYASHI^{**},
Keigo MACHIDA^{**}, Takeshi TANIGUCHI^{**} and Hiroto AIDA^{*}

(Received January 20, 2014)

We research and develop intelligent lighting systems for realizing individual illuminance for each person in the office. In the intelligent lighting system, the illumination sensors get the illumination per second and send information to the illuminance lighting control for PC. Therefore, a problem occurs in the battery life when controlling the intelligent lighting system using a wireless illumination sensor. In this paper, in order to solve the problems of the battery life time issues occurring when control is performed by using a wireless illumination sensor in intelligent lighting system, by reducing the number of lighting control in the intelligent lighting system, the illumination number of acquisitions of the illuminance sensor cut.

Key words : lighting control, optimization, office, energy saving, illuminance simulation

キーワード : 照明制御, 最適化, オフィス, 省エネルギー, 照度シミュレーション

知的照明システムにおける無線照度センサの省電力性向上のための 照明制御回数の削減

三木 光範, 松下 昌平, 池上 久典, 中林 弘光, 町田 啓悟, 谷口 武, 間 博人

1. まえがき

近年, オフィスにおける執務者の知的生産性, 創造性, および快適性の向上に注目が集まっている^{1,2)}. Boyce らの研究により, 執務に最適な明るさ (照度) を個人ごとに提供することは, 照明環境改善の観点から有効であることが明らかにされている³⁾.

一方, オフィスにおける照明の消費電力は大きな割合を占めており, 照明の明るさ (光度) を制御するこ

とでオフィスにおける消費電力を削減する方法が提案されている⁴⁻⁶⁾. これらの提案手法では, 照度センサにより得られる情報から, 特定のエリアの照明を制御し, 必要以上の光度を抑制することで照明の消費電力を削減している. しかしながら, これらの提案手法は特定のエリアに均一な照度を提供するものであり, 各執務者の好み, 体調, 執務内容等にあわせた照度を提

^{*} 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: smatsushita, hikegami, hnakabayashi, ttaniguchi@mikilab.doshisha.ac.jp

供することが容易でない。

このような背景から、著者らはオフィスにおける照明環境の改善と消費電力の削減のために分散制御照明システム（以下知的照明システム）の研究を行っている^{7,8)}。知的照明システムは、執務者がそれぞれに合った光環境のもとで執務を行うことができ、快適性の向上や、ストレスの軽減といった効果が期待される。また、必要な場所に必要な照度を提供するため、部屋全体としての平均照度が下がり、高い省電力性を実現することが可能である。

知的照明システムは既にその有効性が認められ、東京都内の複数の実オフィスで実証実験を行われており⁹⁻¹²⁾、実オフィスにおいて、必要な場所に必要な照度を提供することに成功し、高い省電力性を実現した¹²⁾。実証実験を行っているオフィスの1つである二子玉川ライズ・オフィスカタリストBAではワイヤレス照度センサを用いて照度情報を取得し、照明を制御している。ワイヤレス照度センサを用いることで、照度センサ数の増減およびオフィス内のレイアウト変更などに柔軟に対応できるなどといったメリットがある。しかしながら、ワイヤレス照度センサはバッテリー駆動であり、照明制御用PCと頻繁に通信を行う従来の知的照明システムでは、バッテリーの持続時間に問題がある。

本稿では、この問題を解決するために、照明の光度制御回数を削減する新たな手法を提案する。知的照明システムでは、照明の光度変化による照度の変化を取得し、フィードバック制御を行っているため、照明の光度制御回数を削減することで、照度センサの照度取得回数および照明制御用PCとの通信回数を削減することが可能となる。照度センサの照度取得回数および照明制御用PCとの通信回数を削減することでバッテリー持続時間を増加することが可能となる。

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各執務者が要求する照度および色温度を実現するシステムである。知的照明システムの構成を Fig. 1 に示す。知的照明シ

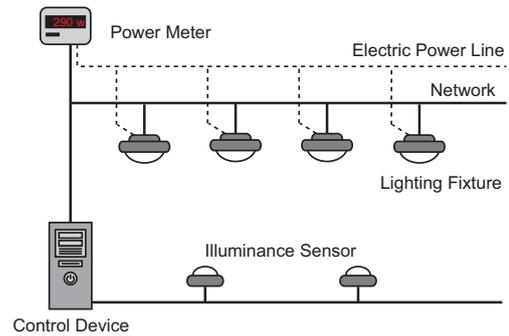


Fig. 1. Configuration of Intelligent Lighting System.

テムは、制御装置、照明器具、照度センサ、および電力計を1つのネットワークに接続することで構成されている。制御装置は、各照度センサから得られる照度情報、電力計から得られる消費電力情報を基に現在の点灯パターンを評価し、各照明を制御する。そして、照明全体で目標照度を実現しながら、消費電力の最小化を行う。

2.2 知的照明システムの制御アルゴリズム

知的照明システムの有効な制御アルゴリズムとして、回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC) を提案している^{7,13)}。ANA/RCとは、汎用的最適化手法である確率的山登り法をベースに、Simulated Annealing(SA)を照明制御用に改良したアルゴリズムである。各照明が各照度センサに及ぼす影響度合いに応じて光度を適切に変化させることで、最適な点灯パターンを探索する。

照明の光度と照度センサから得られる照度の関係には強い因果関係があり、逐点法を用いることにより式(1)で表すことができる。

$$I = \frac{L}{A \times \cos \theta} \oint_{S_e} \frac{dS_e \cos \theta \cos \delta}{p^2} \quad (1)$$

I : 照度 [lx], L : 光度 [cd], S_e : 光源面

A : 光源面の面積 [m^2], p : 光源との距離 [m]

θ : 光源面と受照点との仰角 [rad]

δ : 光源と被照面との仰角 [rad]

式 (1) より照明の光度と照度センサより得られる照度には比例関係があることがわかる。また、式 (1) の光度を除いた値は照明環境に依存する値であり、照明環境に変化が無い限り定数と見なすことが可能である。以下、この定数を影響度係数と定義し、式 (2) の R で表すこととする。

$$I = R \times L \quad (2)$$

I : 照度 [lx], L : 光度 [cd], R : 影響度係数 [lx/cd]

ANA/RC では、照明の光度をランダムに変更し、その際の光度変化量と照度変化量から最小二乗法を用いて回帰分析を行い、影響度係数を推定している。

次に知的照明システムにおける制御の流れを示す。

1. 各照度センサに目標照度を設定し、各照明を初期光度で点灯させる
2. 各照度センサから照度情報、電力センサから消費電力情報を取得する
3. 取得した照度情報および消費電力情報に基づいて目的関数を評価する
4. 照明が各照度センサに及ぼす影響度合いに基づいて適切な近傍を決定する
5. 近傍内で次光度をランダムに生成し、照明をその光度で点灯させる
6. 各照度センサから照度情報、電力センサから消費電力情報を取得する
7. 取得した照度情報および消費電力情報に基づいて目的関数を評価する
8. 照明の光度変化量、および照度センサの照度変化量を基に回帰係数を算出する
9. 目的関数値が改善された場合、次光度を採用する。そうでなければ以前の光度に戻す

以上の (2) から (9) を繰り返すことで、各執務者の要求する目標照度を満たし、かつ省エネルギー性が考

慮された点灯パターンを実現する。なお、上述の (2) から (9) を最適解探索の 1 ステップとし、1 回の探索に要する時間は約 2 秒である。制御に用いる目的関数を式 (3) に示す。各照明ごとに光度を最適化する必要があるため、目的関数は各照明ごとに設定する。

$$f = P + w \times \sum_{j=1}^n g_j \quad (3)$$

$$P = \sum_{i=1}^m L_i$$

$$g_j = \begin{cases} 0 & (Ic_j - It_j) \geq 0 \\ R_j \times (Ic_j - It_j)^2 & (Ic_j - It_j) < 0 \end{cases}$$

$$R_j = \begin{cases} r_j & r_j \geq T \\ 0 & r_j < T \end{cases}$$

n : 照度センサの数, m : 照明の数, w : 重み

P : 消費電力 [W], Ic : 現在照度 [lx], It : 目標照度 [lx]

L : 光度 [cd], r : 回帰係数 [lx/cd], T : 閾値

式 (3) に示すように、目的関数 f は消費電力 P と制約条件 g からなる。制約条件 g は、現在照度 Ic が目標照度 It を満たさない場合に加算される値であり、現在照度と目標照度の差を 2 乗した値となる。ただし、光度変化と照度変化に関する回帰係数が閾値 T 未満の場合、その照度センサに対してその照明は影響を与えないと考え、その照明の影響 R_j を 0 とする。これにより、回帰係数の高い、すなわち照度センサに強い影響を及ぼす照明の光度を最適化する。また制約条件 g には重み w を乗算する。重み w の設定によって目標照度への取束を優先するか、省エネルギー性を優先するかを決めることが可能である。

2.3 ワイヤレス照度センサのバッテリー持続時間に対する課題

知的照明システムは既にその有効性が認められ、東京都内複数の実オフィスで実証実験が行われている。実証実験を行っているオフィスの 1 つである二子玉川ライズ・オフィス カタリスト BA ではワイヤレス照度センサを用いて照度情報を取得し、照明を制御して

いる。ワイヤレス照度センサを用いることで、照度センサ数の増減およびオフィス内のレイアウト変更などに柔軟に対応できるなどといったメリットがある。しかしながら、ワイヤレス照度センサはバッテリー駆動であり、照明制御用 PC と頻繁に通信を行う従来の知的照明システムでは、バッテリーの持続時間に問題がある。

本稿では、この問題を解決するために、照明の光度制御回数を削減する新たな手法を提案する。知的照明システムでは、照明の光度変化による照度の変化を取得し、フィードバック制御を行っているため、照明の光度制御回数を削減することで、照度センサの照度取得回数および照明制御用 PC との通信回数を削減することが可能となる。照度センサの照度取得回数および照明制御用 PC との通信回数を削減することでバッテリー持続時間を増加することが可能となる。

3. 知的照明システムにおける照明制御回数の削減

3.1 提案手法の概要

知的照明システムの制御の流れについては 2.2 節で述べた。知的照明システムでは、式 (3) のように、消費電力 P と制約条件 g からなる目的関数を評価することで、最適な点灯パターンを探索する。しかし、消費電力を扱うためには電力センサから電力情報を、制約条件を扱うためには各照度センサから照度情報を得る必要があり、最適解探索 1 ステップごとに電力センサおよび各照度センサと通信を行う必要がある。

そこで本稿では、電力情報および照度情報を各照明の光度から推定することで、計算機上で最適化を繰り返し、各執務者の目標照度を実現する最適な点灯パターンを探索する。そして、計算機上で探索した最適な点灯パターンを照明に反映することで、照明制御回数を大幅に短縮しながら、各執務者の目標照度を実現する手法を提案する。

従来の知的照明システムの制御では、各執務者の目標照度を実現するまでに、1 ステップ 2 秒の最適化を 20 回から 50 回程度繰り返しており、1 ステップ中で照明の光度を 2 度変化させている。それに対し提案手法では、最適な点灯パターンを計算機上で探索し、そ

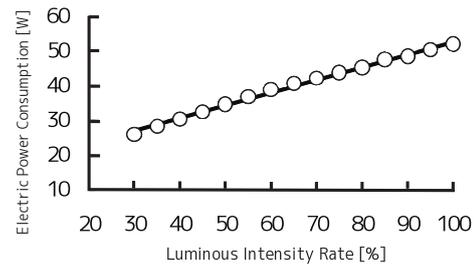


Fig. 2. Relation of Luminosity and Electric-power Consumption.

の結果を実環境の照明に反映するため、各執務者の目標照度を実現するまでに要する照明の光度制御回数を大幅に削減することが可能である。

なお提案手法では、照度情報の推定に照度シミュレーションを用いる。計算機による照度シミュレーションでは、照明の劣化や壁の反射光の変化などによる外乱、および外光の影響などを考慮することは困難である。そこで本手法では、照度シミュレーションにより算出した照度（以下、推定照度）と実際に照度センサから得られた照度（以下、実測照度）の差異からフィードバック制御を行うことで、各執務者の目標照度を実現する。

3.2 目的関数の定式化

本提案手法では、電力情報および照度情報を各照明の光度から推定することで、計算機上で最適化を繰り返し、各執務者の目標照度を実現する最適な点灯パターンを探索する。

消費電力 P を各照明の光度で定式化するために、照明鉛直下方向と消費電力の関係を検証する予備実験を行った。実験には LED 照明（シャープ製）を用いた。結果を Fig. 2 に示す。縦軸は消費電力 [W]、横軸は最大点灯光度に対する光度の割合 [%] である。なお、測定は 5% 刻みで行った。最大点灯時の鉛直下方向の光度は 1200 cd である。また、Fig. 2 中の直線は回帰直線である。

Fig. 2 から、光度と消費電力は 1 次式で近似可能な関係にあることがわかる。すなわち、複数の照明器具

から構成される知的照明システムでは、消費電力は式(4)のように表すことができる。

$$P = \sum_{i=1}^n P_i \quad (4)$$

$$P_i = f(L_i) = \alpha L_i + \beta \quad (5)$$

P : 消費電力 [W], α : 係数 [W/cd]

β : 定数 [W], L : 照明の光度 [cd], n : 照明台数

式(4)における係数 α および定数項 β は照明機種ごとに固有の値である。そのため、使用する照明機種ごとに主係数 α および定数項 β を求める予備実験が必要となる。ただし、目的関数は大小の評価が可能な精度であれば良い。実験省略のため、定数 β を省略した式(6)を用いる。

$$P_i = f(L_i) \doteq \alpha L_i \quad (6)$$

P : 消費電力 [W], L : 照明の光度 [cd], α : 定数

式(6)を用いることで、消費電力 P を照明の光度で表現することが可能となった。

次に制約条件 g を照明の光度で定式化する方法について述べる。制約条件 g は現在照度と目標照度の差に影響度係数を乗算することで求めることができる。目標照度は各執務者が設定する定数であるため、制約条件 g を定式化するためには、照明の光度から現在照度を計算する必要がある。2.2節で述べたように、照明の光度と照度センサから得られる照度の関係式は式(2)で表すことができる。式(2)を用いて照度シミュレーションを行うことで、制約条件 g を照明の光度で表現することが可能となった。

このように、消費電力 P および制約条件 g を照明の光度で定式化したことにより、電力センサおよび照度センサとの通信を行うことなく、目的関数を計算機上で評価することが可能となった。

3.3 影響度係数を用いた照度シミュレーション

提案手法では、照度シミュレーションにより任意の点灯パターンにおける現在照度を推定し、その値を用

いて制約条件を満たすように最適化を繰り返す。そのため、シミュレートした照度が高精度であればあるほど、照度センサから得られた実測照度との誤差が小さくなり、より最適な点灯パターンを実現することが可能となる。任意の点灯パターンにおける、任意の位置の照度シミュレーション手法については、これまで逐点法や光束法、モンテカルロ法を用いた照度計算など様々な手法が研究されている。しかし、これらの手法で精度を高める際には、照明器具の光束、保守率、配光曲線および部屋の壁の反射など、様々なパラメータを設定する必要があり、実環境でこれらのパラメータを得ることは容易ではない。

そこで本手法では、条件を限定することで、より簡易な手法で精度の高い照度シミュレーションを行う。一般的なオフィスは、固定席であることが多く、執務者の移動が発生することは稀であるため、本稿では、照度センサの設置位置は固定された机上面であると考えられる。つまり、任意の位置における照度シミュレーションではなく、特定の位置における照度シミュレーションを行う。2.2節で述べたように、照明環境に変化が無い場合、影響度係数 R は定数とみなすことができる。そのため本手法では、実験環境における各執務者の位置に照度センサを配置し、照明を1灯ずつ点灯・消灯して影響度係数を実測し、この影響度係数を用いて照度シミュレーションを行う。このように照度センサの位置を既知とし、事前に実測した影響度係数を用いて照度シミュレーションを行うことで、前述した様々なパラメータの設定を考慮すること無く、各執務者の位置における照度を高精度でシミュレートすることが可能となる。

また、高精度な照度シミュレーションを行うことにより、実測照度と推定照度に誤差があった場合、その誤差を外光照度とみなすことができ、照明の消灯せずに外光照度を算出することが可能となる。

3.4 提案手法の制御の流れ

提案手法における制御の流れを以下に示す。

1. 各照度センサに目標照度を設定し、各照明を初期光度で点灯させる

2. 各照度センサから照度情報を取得する
3. 照度シミュレーションにより現在照度を推定する
4. 実測照度と推定照度の差から、各照度センサ位置における外光照度を推定する
5. 各照度センサに設定された目標照度から外光照度を減算する
6. step.5 で算出した値を計算機上で用いる目標照度とする
7. 現在光度における消費電力を算出する
8. 照度シミュレーションにより現在光度における各照度センサの照度を推定する
9. step6, 7, 8 を基に、計算機上で目的関数を評価する
10. 照明が各照度センサに及ぼす影響度合いに基づいて適切な近傍を決定する
11. 近傍内で次光度をランダムに生成する
12. 生成した次光度における消費電力を算出する
13. 照度シミュレーションにより次光度における各照度センサの照度を推定する
14. step6, 12, 13 を基に、計算機上で目的関数を評価する
15. 目的関数値が改善された場合、次光度を採用する。そうでなければ以前の光度に戻す
16. step7 から step15 の最適化を計算機上で繰り返すことで、最適な点灯パターンを探索する
17. 探索した点灯パターンを実環境の照明に反映する
18. 反映した点灯パターンにおける実測照度と推定照度の差から、各照度センサ位置における外光照度を更新する
19. 実測照度と目標照度の差が 50 lx 以下になるまで、step5 から step18 を繰り返す

20. 実測照度と目標照度の差が 50 lx 以下になった場合、照明の光度制御を停止し、以後一定の間隔で照度を取得する
21. 実測照度と目標照度の差が 50 lx 以上になった場合、step5 に戻る

提案手法における制御では、実測照度と目標照度の差が 50 lx の場合に照明の光度制御を停止している。これは、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¹⁴⁾から、実測照度と目標照度の差が 50 lx の場合、目標照度を実現していると考えられるからである。

このように制御を行うことで、各執務者の目標照度を実現している間は照明の光度制御を行う必要がなくなり、従来の知的照明システムの制御と比べ、光度制御回数を大幅に削減することが可能となる。

提案手法では、実測照度と推定照度の差を外光照度(以下、推定外光照度)とし、step5 のように、目標照度から推定外光照度を減算した値を用いて最適化を行うことで、実際の外光照度(以下、実測外光照度)にも対応した最適な点灯パターンを探索する。また提案手法では、外光照度が変更する場合を考慮し、照明の光度制御を停止後も、照度センサは一定の間隔で照度を取得している。しかし、外光照度は緩やかに変化すると考えられるため、頻繁に 50 lx 以上の照度変化が起こることは稀であると考えられる。そのため、1 回 2 秒の探索中に 2 度の照度取得を行っている従来の知的照明システムの制御と比べると、照度取得回数においても大幅な削減が期待できる。

4. 有効性検証実験

4.1 実験概要および実験環境

従来の知的照明システムと提案手法で照度取束実験を行う。そして、照度履歴、光度制御回数を従来手法と比較し、提案手法の有効性を検証する。比較の際、従来手法と提案手法で条件を等しくするため、外光のない環境で実験を行う。また、外光のある環境での照度取束実験を行い、提案手法が外光の変化に対応可能か検証する。

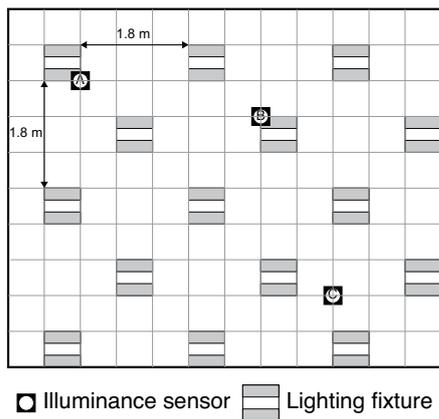


Fig. 3. Experiment environment.

実験環境を Fig. 3 に示す. Fig. 3 に示すように, 実験では照明を 15 灯, 照度センサを 3 台用いる. 照度センサの目標照度はセンサ A から順に, それぞれ 400 lx, 500 lx, および 700 lx とした. なお, 照明と照度センサ間の鉛直距離は 1.9 m である. 外光のある環境で照度収束実験を行うときは, 外光として, 実験の途中でセンサ C に対してランプを 200 lx で点灯した.

なお, 提案手法において, 照明の光度制御 1 回に要する時間は, 計算機上での最適化繰り返し回数および計算機のスペックに依存する. 本稿では, 従来手法との比較を容易にするため, 照明の光度制御 1 回に要する時間, つまり計算機上で最適化を繰り返す時間が 30 秒になるように設定した.

4.2 外光のない環境における照度収束実験

外光がない環境における, 従来手法の照度履歴を Fig. 4 に, 提案手法の照度履歴を Fig. 5 に示す. 横軸は照明の光度制御回数, 縦軸は照度を表す. なお, 従来手法では最適解の探索 1 ステップに 2 秒を要し, 照明の光度制御および照度センサからの照度取得を 1 ステップに 2 回行っているのに対し, 提案手法では 30 秒に 1 回の頻度で照明の光度変化および照度センサからの照度取得を行っている.

Fig. 4 および Fig. 5 より, 提案手法は従来手法と比べ, 各執務者の目標照度を実現するまでに要する照明の光度制御回数を大幅に削減していることがわかる.

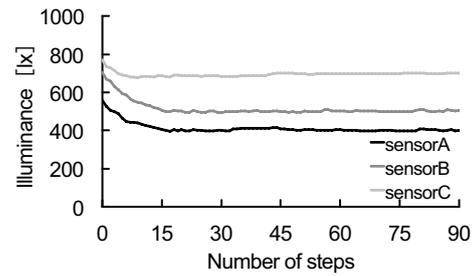


Fig. 4. Illuminance history (conventional method).

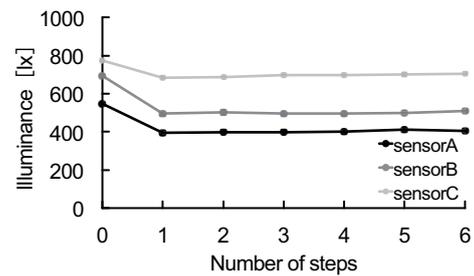


Fig. 5. Illuminance history (proposal method).

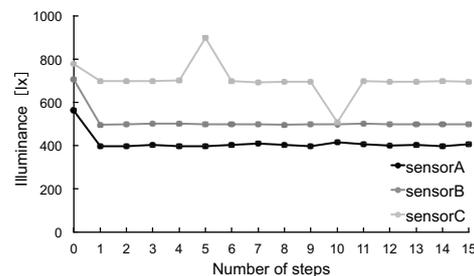


Fig. 6. Illuminance history (proposal method).

以上の結果より, 提案手法は従来手法と比べ, 目標照度を実現するまでに要する照明の光度制御回数を大幅に削減可能であることを示した.

4.3 外光のある環境における照度収束実験

外光のある環境における提案手法の照度履歴を Fig. 6 に示す. 横軸は時間, 縦軸は照度を表す. なお, 照明の光度制御および照度センサからの照度取得は 30 秒に 1 回行っている. 外光として, 実験開始後 150 秒時点で照度センサ C に対してランプを 200 lx 程度で点灯し, 実験開始後 300 秒時点でランプを消灯した.

Fig. 6 から, 5 ステップ時点, および 10 ステップ時

点で照度センサ C の取得照度が大きく変化していることがわかる。本稿では、従来手法との比較を容易にするため、照明の光度制御 1 回に要する時間を 30 秒としているため、5 ステップ時点は照度収束実験開始後 150 秒時点、10 ステップ時点は照度収束実験開始後 300 秒時点を表している。つまり、Fig. 6 において、照度センサ C の取得照度が大きく変化したのは、ランプによる外光の影響であることが分かる。しかし、外光の影響で目標照度から大きく外れた照度を取得した次の光度制御時に瞬時に目標照度を実現していることがわかる。

以上の結果より、本提案手法は外光のある環境においても有効であることを示した。

5. むすび

本研究では、計算機上で探索した最適な点灯パターンを照明に反映することで、従来の知的照明システムと比べ、照明の光度制御回数を削減する手法を提案した。本提案手法を用いて照度収束実験を行ったところ、従来手法と比べ、照明の光度制御回数を大幅に削減することを確認した。照明制御回数を削減したことで、各照度センサから得られる照度を用いてフィードバック制御を行う回数も大幅に削減することが可能となった。この結果から、提案手法を用いることで、照度センサの照度取得回数および照明制御用 PC との通信回数を削減することが可能となり、照度センサのバッテリー持続時間の向上が期待される。

一方、提案手法では影響度係数を用いた照度シミュレーションを行い、計算機上で最適化を繰り返している。そのため、影響度係数の値が正確でない場合、最適な点灯パターンを探索できない可能性が生じる。そこで今後の展望としては、稼働ログデータから影響度係数を推定することで、常に最新の影響度係数を用いて照度シミュレーションを行うことを考えている。

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) Olli Seppanen, William J.Fisk, "A Model to Estimate the Cost-Effectiveness of Improving Office Work through Indoor Environmental Control", Proceedings of ASHRAE, (2005).
- 2) M.J.Mendell and G.A.Heath, "Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature", *Indoor Air*, **15**[1], 27-52 (2005).
- 3) Peter R.Boyce, Neil H.Eklund and S.Noel Simpson, "Individual Lighting Control: Task Performance, Mood, and Illuminance", *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 131-142 (2000).
- 4) Francis Rubinstein, Michael Siminovitch and Rudolph Verderber, "Fifty percent energy saving with automatic lighting controls", *IEEE Industry Applications Society*, **29**, 768-773 (1993).
- 5) P.J.Littlefair, "Predicting lighting energy use under daylight linked lighting controls", *Building Research and Information*, **26**[4], 208-220 (1998).
- 6) D.H.W.Li and J.C.Lam, "An investigation of daylighting performance and energy saving in a daylight corridor", *Energy and Buildings*, **35**[4], 365-373 (2003).
- 7) M.Miki, T.Hiroyasu and K.Imazato, "Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness", *Proc. IEEE CIS*, **1**, 520-525 (2004).
- 8) M.Miki, K.Imazato and M.Yonezawa, "Intelligent lighting control using correlation coefficient between luminance and illuminance", *Proc.IASTED Intelligent Systems and Control*, **497**[078], 31-36 (2005).
- 9) 鈴木 真理子, 三木 光範, 田中 慎吾, 吉見 真聡, 中川 明彦, 齋藤 敦子, 福田 麻衣子, "オフィス内フレームを用いた知的照明システムの構築", *電子情報通信学会論文誌.D, 情報・システム*, **95**[3], 549-558 (2012).
- 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. A, 基礎・材料・共通部門誌 = The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. A, A publication of Fundamentals and Materials Society*, **131**[5], 321-327 (2011).
- 11) 三木 光範, 加來 史也, 廣安 知之, 吉見 真聡, 田中 慎吾, 谷澤 淳一, 西本 龍生, "実オフィス環境における任意の

場所にユーザが要求する照度を提供する知的照明システムの構築”, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, **94**[4], 637-645 (2011).

- 12) 大学法人同志社大学, 株式会社三井物産戦略研究所, “平成 20 年度～平成 22 年度成果報告書エネルギー使用合理化技術戦略的開発/エネルギー有効利用基盤技術先導研究開発/自律分散最適化アルゴリズムを用いた省エネ型照明システムの研究開発”, Technical Report 20110000000875, (2011).
- 13) 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).
- 14) T.Shikakura, H.Morikawa and Y.Nakamura, “Research on the Perception of Lighting Fluctuation in a Luminous Offices Environment”, Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, **85**[5], 346-351 (2001).