

# 離席時の消灯を実現する知的照明システム

## Intelligent Lighting Systems with an Additional Energy-Saving Mechanism

三木 光範\*<sup>1</sup>

Mitsunori Miki

米本 洋幸\*<sup>2</sup>

Hiroyuki Yonemoto

廣安 知之\*<sup>3</sup>

Tomoyuki Hiroyasu

吉見 真聡\*<sup>1</sup>

Masato Yoshimi

\*<sup>1</sup>同志社大学 理工学部

Department of Science and Engineering, Doshisha University

\*<sup>2</sup>同志社大学 大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, Doshisha University

\*<sup>3</sup>同志社大学 生命医科学部

Department of Life and Medical Sciences, Doshisha University

In our previous researches, we have proposed an intelligent lighting system which provides the necessary illuminance to desired locations, and contributes to energy saving. When an user is absent, the intelligent lighting system keeps on lighting with a minimum luminance. The minimum luminance of a fluorescent light use a electric power. In this research, we propose an additional energy-saving mechanism for the intelligent lighting system. As a result, this mechanism achieved the energy-saving.

### 1. はじめに

一般的なオフィスでは照明および建築設計分野の観点から均一な光環境を実現する照明設計がなされている。そのため、これまで照明制御を行い各個人が好む光環境を実現することはなかった。しかし、個人によって好む光環境は様々であり、快適な光環境を提供することで各個人の仕事の効率化が期待される。また、オフィスビルにおいては、照明に用いる電力コストがビル全体の約 20% をしていることから、照明制御による電力削減も考えられる [1]。そこで、我々は任意の場所に任意の明るさを提供し、省エネルギーを実現する知的照明システムの研究を行っている。ユーザが要求する明るさを実現し、省エネルギーを実現できることが確認されている [2]。しかし、知的照明システムでは、ユーザの移動など、環境の動的な変化に対応するために、照明は消灯を行わず最小の明るさで点灯を継続していた。本研究では、知的照明システムのさらなる省エネルギー性の向上を目的とし、ユーザが要求する明るさを実現しつつ、明るさを必要としない場所の照明を消灯させる知的照明システムの制御手法を提案する。本稿では、提案システムを構築し、その有効性を示す。

### 2. 知的照明システム

#### 2.1 概要

知的照明システムは、任意の場所に任意の明るさを提供し、省エネルギーを実現するシステムである。知的照明システムは照明、制御装置、照度センサおよび電力計をネットワークに接続することで構成される。ユーザは照度センサを机上面に設置し、照度センサに目標照度を設定する。そうすることで、各照明は、ユーザが要求する明るさを実現するために、明るさをランダムに変化させ、それを繰り返すことで最適な点灯パターンを実現する。照明は照明自身の光度変化量とセンサの照度変化量から、センサに対する影響を把握し、素早くユーザの要求の明るさを実現する。

連絡先: 米本 洋幸, 同志社大学 大学院工学研究科 情報工学専攻, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6924, hyonemoto@mikilab.doshisha.ac.jp

#### 2.2 照明制御アルゴリズム

照明制御アルゴリズムとして、確率的山登り法 (Stochastic Hill Climbing : SHC) を基に照明制御用に相関を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient : ANA/CC) [3] などをこれまで、提案してきた。相関を用いた適応的近傍アルゴリズムのフローチャートを図 1 に示し、以下に照明制御アルゴリズムの流れを説明する。

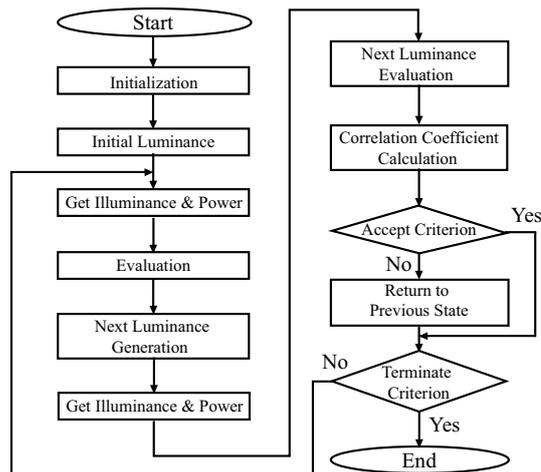


図 1: 照明制御アルゴリズム

- A1 初期光度などの初期パラメータを設定する
- A2 初期光度で点灯する
- A3 各照度センサのセンサ情報 (センサ ID, 現在の照度, 目標照度), および電力計の消費電力費を取得し, それらの情報を用いて目的関数値を計算する
- A4 センサ情報, 相関係数に基づき適切な近傍を決定する (近傍とは次光度を生成する為に用いる範囲である)
- A5 項目 A4 で決定した近傍内に次光度をランダムに生成し, 照明はその光度で点灯する
- A6 再び各照度センサのセンサ情報, および電力計の消費電力量を取得し, それらの情報を用いて次光度で点灯した状態での目的関数値を計算する
- A7 照度変化量と光度変化量を用いて相関係数を計算する

A8 目的関数値が改良した場合、その光度を確定し、項目 A3 へ戻る  
 A9 項目 A7 で目的関数値が改悪した場合、前の光度で再度点灯し、  
 項目 A3 へ戻る

以上の動作により、照明と照度センサの位置関係を把握し、目標照度を満たすとともに省電力な状態へと速やかに収束する。なお、項目 A8 および項目 A9 において項目 A4 ではなく項目 A3 に戻る理由は、照度センサの移動や外光の入射といった環境の変化に対応させるためである。

### 3. 目的関数

知的照明システムでは、照度センサを設置した場所の照度を目標とする照度以上にし、照明が使用する電力量を最小化することを目的としている。これらを定式化すると式 1 となる。

$$f = P + w \sum_{i=1}^n g_i \quad (1)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (Lc_i - Lt_i) \geq 0 \\ R_i(Lc_i - Lt_i)^2 & (Lc_i - Lt_i) < 0 \end{cases}$$

$$R_i = \begin{cases} r_i & r_i \geq \text{Threshold} \\ 0 & r_i < \text{Threshold} \end{cases}$$

$n$ : 照度センサの数  $w$ : 重み

$P$ : 消費電力量  $Lc$ : 現在光度  $Lt$ : 目標照度

$r$ : 相関係数  $\text{Threshold}$ : 閾値

設計変数を照明の光度とし、式 1 の  $f$  の最小化を目的とする。 $f$  は消費電力量  $P$  と、現在の照度  $Lc$  と目標照度  $Lt$  の照度差を表す  $g_i$  からなる。 $g_i$  は現在の照度が目標照度を下回った場合のみ加算される。本目的関数では、 $g_i$  に、照度センサ  $i$  に対する相関係数を乗算する。また相関係数が閾値以下の場合には 0 を乗算する。つまり、照度センサが目標照度を満たさない場合でも、その照度センサに対する相関係数が低ければ目的関数値は増加しない。これにより、相関係数が高い照度センサ、すなわち近くに位置する照度センサに最適化の対象を絞ることができ、目標照度を満たす精度が向上する。また、 $g_i$  には重み  $w$  を乗算し、この  $w$  の値により、目標照度を満たすことを優先するか、電力消費の最小化を優先するかの決定を行う。なお、知的照明システムでは基本的に照度を優先させる。

## 4. 離席時の消灯を実現する知的照明システム

### 4.1 システムの概要

従来のシステムでは、各照明と各照度センサ間の相関を推定するために、常に照明の光度を変化させる必要があった。そのため、ユーザが明るさを必要としない場所においても照明は最小点灯光度で点灯し続けていた。このため、無駄な電力を消費していると言える。そこで、ユーザの離席に伴い、必要となくなった照明を消灯させる手法ならびにユーザの在席に応じてユーザの要求を満たすのに必要とする照明を点灯させる制御手法を提案する。提案システムでは、照明と各照度センサ間に予備実験で求めた影響度ランクを用いる。オフィスなど照度センサが一般的に固定された場所などにおいては、照度センサに強く影響を与える照明が限定されるため、各照度センサに影響を与える照明の影響度ランクを事前にシステムに把握させておくことができる。この影響度ランクを用いることにより、消灯および点灯制御が可能となる。

### 4.2 影響度ランクの決定手法

本システムにおいて、消灯および点灯を実現する際に照明と照度センサ間の影響度ランクを用いる。照明と各照度センサ間の影響度ランクを求める手法を以下に示す。

1. 全照明を消灯させる
2. 照明一灯を最大点灯光度で点灯させる
3. 項目 2 における各照度センサの照度値を取得し、照明を消灯させる
4. 全照明に関して項目 2 と項目 3 を繰り返す
5. 各照明は各照度センサに与える影響度を把握する

各照度センサに関して、影響をもつ照明がそれぞれ最大光度で点灯を行った際に、机上面照度 750 lx を実現することが出来るように、各照明は各照度センサ間に影響度ランクをもつ。この机上面照度 750 lx というのは、オフィスにおける作業面の推奨照度を意味する [4]。

### 4.3 消灯および点灯制御アルゴリズム

消灯および点灯制御アルゴリズムは、2.2 節の照明制御アルゴリズムにおける項目 A8 または、項目 A9 の次光度が決定した後に行う。図 2 に消灯および点灯制御のフローチャートを示し、以下に説明する。

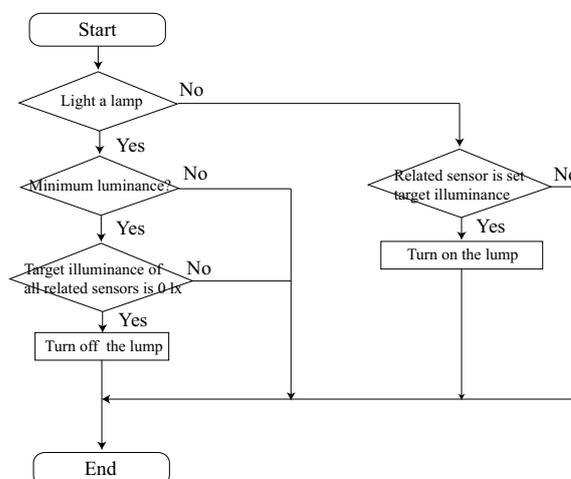


図 2: 提案アルゴリズム

- B1 ある一台の照明が点灯している場合、項目 B2 へ移行し、消灯している場合、項目 B3 へ移行する
- B2 最小点灯光度で点灯している場合、項目 B3 へ移行する。該当しない場合、消灯制御を終了し、項目 A3 へ移行する
- B3 影響度ランクをもつ全ての照度センサの目標照度が 0 lx の場合、消灯を行い、消灯制御を抜ける。該当しない場合は、その照明はそのまま点灯を継続する。消灯制御を終了し、項目 A3 へ移行する
- B4 影響度ランクをもつ照度センサに 0 lx 以外の目標照度が設定されている場合、その照明は最小点灯光度で点灯する。該当しない場合、その照明は消灯を継続する。項目 A3 へ移行する

項目 B2 において、最小点灯光度で点灯している照明に限定する理由は、照度センサの目標照度を満たす上で必要でないためである、最適化された結果、その照明は最小点灯光度で点灯することから、照明の近辺にある照度センサの目標照度を満たす上で、比較的影響を与えない照明であると言えるためである。また、項目 B4 で照明を点灯させる際に、最小点灯光度で点灯させる理由は、照明が点灯することによるユーザの不快感を抑えるためである。

## 5. 動作実験による離席時の消灯を実現する知的照明システムの検証

### 5.1 実験概要

離席時に消灯を実現する知的照明システムの有効性を確認するために、動作実験を行う。従来の知的照明システムとの省電力の比較を行うことで、提案システムの有効性を検証する。実験環境は、図3に示す実執務環境において、昼白色照明10灯および照度センサ10台を図4に示すように配置する。同一条件で、従来の知的照明システムと提案システムの比較を行うために、各ユーザの目標照度は図4に示すように一定とし、ユーザの在席と離席を模擬する。また、外光のない時間帯に実験を行い、オフィスを想定したユーザの在席者数推移を図5に示すように変化させる。図5は横軸に時間、縦軸に人数を示す。図5に示す在席者数の推移ならびに目標照度は、予備実験により得られたデータを基に決定した。また、消灯および点灯制御時に用いる各照明と各照度センサ間の影響度ランクも予備実験により決定した。

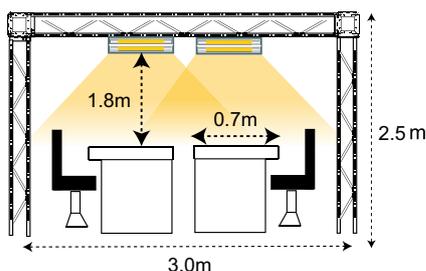


図3: 実験環境 1

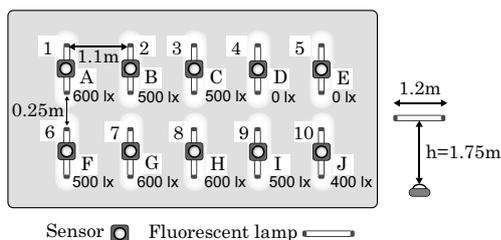


図4: 実験環境 2

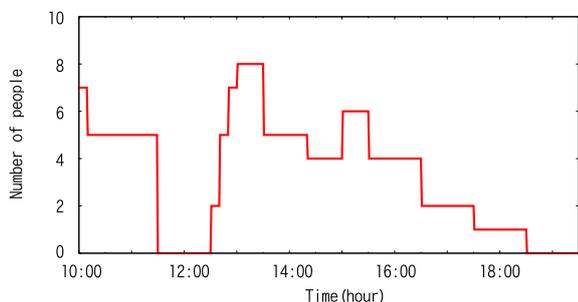
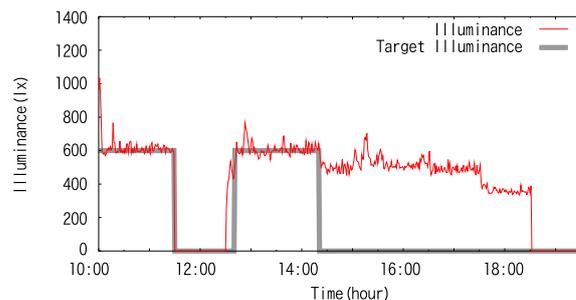


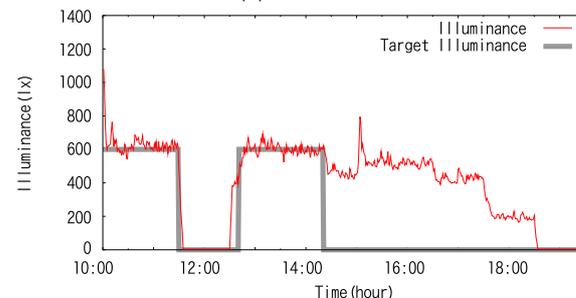
図5: 在席者数の推移

### 5.2 照度収束の検証

提案システムの照度収束の状況を検証を行う。従来システムと提案システムにおける Sensor H の照度と目標照度の履歴を、図6に示す。図6の横軸は時間、縦軸は照度を示す。また、図7に定常状態における各照度センサの照度および各照明の光度 [%] を示す。図6より、各照度センサに目標照度を設定した際は、提案システムにおいても従来システムと同様の精度で目標照度を満たしていることがわかる。図6の(b)では、14:15に

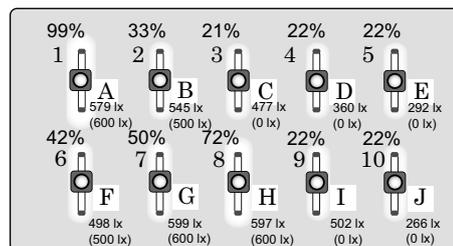


(a) ANA/CC



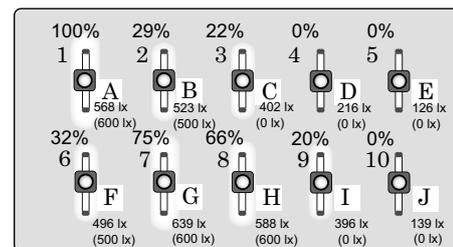
(b) ANA/CC with an Additional Energy-Saving Mechanism

図6: 照度履歴 (Sensor H)



Sensor ◯ Fluorescent lamp ⇨

(a) ANA/CC



Sensor ◯ Fluorescent lamp ⇨

(b) ANA/CC with an Additional Energy-Saving Mechanism

図7: 定常状態

ユーザ離席しているが、Sensor H が取得している照度値は 0 lx になっていない。これは、Sensor H の周りの照明が点灯しており、その影響により、0 lx 以上の照度値を取得しているといえる。図 6 の (b) での 18:30 以降は、取得照度値が 0 lx となっており、すべての照明が消灯したといえる。また、図 7 より、従来システムと提案システムのどちらの場合においても、各照度センサに関して、目標照度を満たしていることが分かる。しかしながら、図 7 の (a) では、離席しているユーザ C, D, E, I, J の直上照明が最小点灯光度付近で点灯しているのに対して、図 7 の (b) では、離席しているユーザ D, E, J の直上照明が消灯を行っていることがわかる。一方で、提案システムにおいて、離席しているユーザ C やユーザ I の直上にあたる照明 3 や照明 9 が消灯を行わない理由として、照明 3 や照明 9 と影響度ランクを持つ照度センサに目標照度が設定されているためである。このことより、ユーザの要求する明るさを提供しつつ、照明が消灯を行うことでさらなる省エネルギーが実現できると考える。

### 5.3 離席パターンによる省エネルギー性の検証

離席パターンによる省エネルギー性について検証する。図 8 にユーザの在席率 60%における定常状態の各照度センサの照度、各照明の光度 [%] および定常状態での電力率を示す。電力率は、机上面照度 750 lx を満たす点灯状態での電力量を 100%とする。この 750 lx を満たす点灯状態は、予備実験により決定した。図 8 よりどちらの離席パターンでも各ユーザの目標照度を

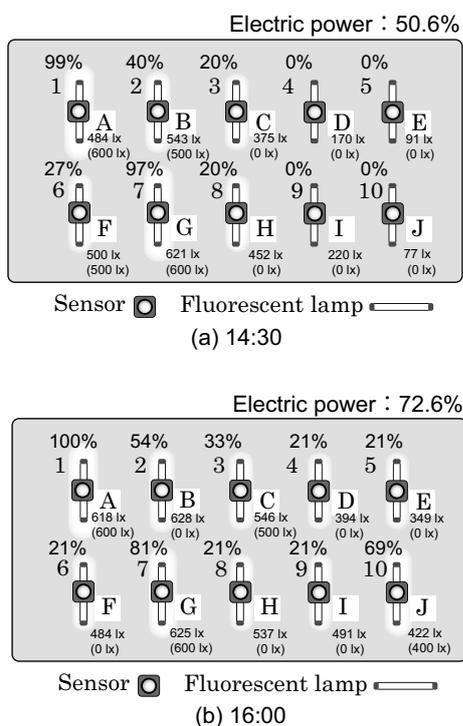


図 8: 定常状態 (在席率 40%)

みたしていることがわかる。しかしながら、図 8 の (a) では、消灯している照明が 4 灯あるのに対して、図 8 の (b) では、消灯している照明がないことがわかる。これは、図 8 の (a) では離席したユーザがまとまっていたのに対して、図 8 の (b) では、離席したユーザがまばらであったことがあげられる。これにより、図 8(a) の離席パターンでは、72.6%の電力率なのに

対して、図 8(b) の離席パターンでは、50.6%となった。同離席率であった場合でも、離席パターンにより、省エネルギー性に影響があることがわかった。

### 5.4 省エネルギー性の検証

提案システムの省エネルギー性の検証を行う。提案システムと従来システムの電力量推移の履歴を図 9 に示す。図 9 の横軸は時間、縦軸は電力率を示す。図 9 より消費電力量は従来の

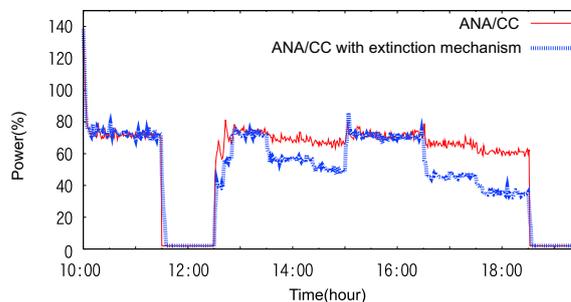


図 9: 電力量履歴

知的照明システムと比較して、一日の合計で約 13%の削減が可能となった。図 9 の 15:00 から 16:30 までは、提案システムと従来システムで消費電力量に差は見られなかった。これは、上記の時間帯では消灯した照明がなかったために、提案システムと従来システムの電力推移が同様になったと考えられる。しかし、提案システムを用いることで、さらなる省エネルギーを実現でき、提案システムが有効であることがわかった。

## 6. まとめ

本報告では、知的照明システムのさらなる省エネルギー性の向上を目的とし、ユーザが明るさを必要としない場所の照明を消灯させる知的照明システムの制御手法を提案した。これまでの知的照明システムでは、環境の動的な変化に対応するために照明の消灯を行うことは困難であり、ユーザが明るさを必要としな場所においても最小点灯光度で点灯を行っていた。しかし、蛍光灯照明では、最小点灯光度は 20~30%であり、点灯しているだけでも比較的電力を消費していた。そのため、さらなる省エネルギーを実現するための制御手法を提案した。オフィスなど照度センサが一般的に固定された場所において、照度センサに強く影響を与える照明が限定される。そのため、各照度センサに影響を与える照明を事前にシステムに把握させておくことで消灯および点灯制御を可能とする。動作実験にて、提案システムと従来システムの比較を行った。各照明は事前に影響のある照度センサを把握することで、ユーザの在席、離席に応じて、消灯および点灯を実現できた。また、ユーザの離席により、照明は消灯を実現しつつ、照明が消灯した影響を受けことなく、従来のシステム同様に目標照度を実現できた。従来システムよりもさらなる省エネルギーを実現できた。

### 参考文献

- [1] 財団法人 省エネルギーセンター: <http://www.eccj.or.jp/office.bldg/01.html>.
- [2] 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誌, Vol. 22, No. 3, pp. 399-410, may 2007
- [3] M.Miki, K.Imazato, and M.Yonezawa: Intelligent lighting control using correlation coefficient between luminance and illuminance. Proc. IASTED Intelligent Systems and Control, Vol. 497, No. 078, pp. 31-36, 2005.
- [4] オーム社, 照明ハンドブック, 照明学会, 第 2 版, pp.270-271, 2003.