

自律分散制御に基づく知的照明システム

(非会員) 朝山 絵美 (同志社大学大学院) (非会員) 三木 光範 (同志社大学)
(非会員) 廣安 知之 (同志社大学) (非会員) 米澤 基 (同志社大学大学院)

Intelligent Lighting System based on Autonomous Distributed Control

NON-MEMBER EMI ASAYAMA(DOSHISHA UNIVERSITY, GRADUATE SCHOOL),
NON-MEMBER MITSUNORI MIKI(DOSHISHA UNIVERSITY),
NON-MEMBER TOMOYUKI HIROYASU(DOSHISHA UNIVERSITY) AND
NON-MEMBER MOTOI YONEZAWA(DOSHISHA UNIVERSITY,
GRADUATE SCHOOL)

ABSTRACT

In recent years, various types of equipment have become more intelligent. An intelligent lighting system which provides required illuminance at an appropriate location is proposed. In this research, a new algorithm is proposed. For rapid convergence it uses the correlation coefficient between the illuminance at a given location and the luminance of each light. We actually construct an autonomous distributed experiment system and verification tests were conducted using the proposed control method. The results showed that the various illuminance sensors converged to the preset target illuminance. We also confirmed that the algorithm can respond adaptively to environmental changes and it is effective to energy saving.

KEYWORDS : Intelligent lighting system, autonomous distributed control, illuminance control, optimization design, correlation coefficient

1. はじめに

近年、電子デバイス技術や情報処理技術の発展に伴い、電化製品、自動車、飛行機など様々なシステムにおいて、使用者や環境に合わせてシステムが自身の動作や管理を自律的に制御し、人間の負荷を軽減する知的化¹⁾²⁾が行われている。

このような中、照明システムの知的化が遅れていた。現在の一般的な照明システムは、点灯パターンが電源配線およびスイッチに依存し、使用者の望む点灯パターンを実現できない場合がある。また、照明に明るさを変化させる機能がないため、必要以上の明るさを提供しがちであり、使用電力量が非常に多い。オフィスビルなどでは、消費される電力量の30%以上が照明用電力で占められているのが現状である³⁾。しかしながら近年、照明システムにおいても、使用者の様々な要求に対応する点灯パターンの実現や、使用電力量の削減といった観点から知的化が進み始めている。例え

ばセルフコントロールシステム⁴⁾がその一つである。このシステムの特徴は、照明に併設される照度センサが、環境からの反射光や昼光をセンスし、これに応じて調光可能な照明器具の光放射量を制御するもので、センスするエリア内の机上面照度を一定に保つ機能を有する。これにより設計時に意図した以上の光出力を抑え、省電力を図ることができる。また、このようなシステムを実際にオフィスビルに導入し、電力削減効果が得られたことも報告されている⁵⁾。しかし、このようなシステムは、固定式の照度センサを用いて照明を区分ごとに制御する方法を用いており、任意の場所に任意の照度を提供することが困難である。また、照明システムを制御する集中制御機構を有しており、耐故障性に優れていないうえに、施工時の設定が非常に複雑となる。

このような問題を解決する新たな照明システムとして、著者らは知的照明システムと名付けた自律分散制御^{8),9)}方式の照明システムを提案してきた⁷⁾。知的照

明システムは、複数の知的照明機器と複数の移動可能な照度センサおよび電力計から構成される。知的照明機器とは調光可能な照明と照明制御装置からなる。このシステムには集中制御機構は存在せず、各知的照明機器が自律的に動作することによってシステムを制御する。知的照明システムは自律分散制御型のシステムであるため、システムの耐故障性が高く大規模なビルにおいてもシステムの高い信頼性が得られる。また、ビル照明の設計および施工時に照明器具や照度センサに識別番号や配置情報などの設定が不要になるという優れた特長を有している。さらに、移動可能な照度センサを用いることで、任意の場所に任意の明るさを提供することも可能である。

このような高度な照明システムを実現するには、ハードウェアの充実に加え、それらを制御するアルゴリズムが非常に重要となる。そこで、照明制御アルゴリズムとして相関係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient: ANA/CC) を提案する。この制御アルゴリズムは、汎用最適化手法である確率的山登り法 (Stochastic Hill Climbing: SHC) をベースとしたアルゴリズムであり、相関により照明と照度センサの位置関係を把握することができる。本研究では、知的照明システム の概念に基づき、動作実験システムを構築し、制御アルゴリズムの有効性の検討を行う。

2. 知的照明システムとは

知的照明システムとは、複数の照明器具をネットワークに接続し、それぞれの照明器具の協調動作によってユーザの要求を満たすシステムである。以下に知的照明システムの構成要素、特長、制御の流れについて述べる。

2.1 知的照明システムの構成要素

知的照明システムは、複数の知的照明機器と複数の移動可能な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る。知的照明機器とは、光度の調節(調光)が可能な照明とその明るさを制御する装置(照明制御装置)からなる。すなわち、各照明機器にそれぞれ制御装置が搭載されていることになり、そのため自律分散型のシステムとして動作することが可能である。図1に知的照明システムの構成を示す。

2.2 知的照明システムの特長

2.2.1 自律分散制御

知的照明システムは自律分散制御の概念に基づいて制御を行う。すなわち全体を統括して制御する要素が

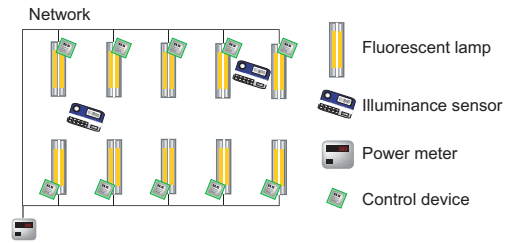


図1 知的照明システムの構成

Fig.1 Composition of intelligent lighting system (The figure is looked at from the top of a room)

存在せず、個々の照明が共通のデータから自律的に学習動作を行うことによって、各場所の照度制御を行う。集中管理機構を持たないため、システムの耐故障性が高く大規模なビルにおいてもシステムの高い信頼性が得られる。また、照明器具および照度センサの追加が容易であり、さらにはビル照明の設計、および施工時に各照明器具や各照度センサに識別番号や配置情報などの設定が不要になるなど優れた特長を有している。

2.2.2 自律的な照度コントロール

現在の多くの照明システムでは、配線により決められた点灯パターンしか実現できない。しかし、知的照明システムでは、照明の配線に依存しない任意の点灯パターンを実現するのみならず、各照明器具を任意の光度で点灯させることが可能である。また、照度センサを用い、ユーザが目標照度を設定するだけで、照明や照度センサの位置情報を必要とすることなく、自動的に有効な照明を判断し、適切な場所に適切な照度を提供することができる。ユーザの様々な要求に対応できるだけでなく、不必要な照明を点灯させないため、省電力を実現できる。図2に自律的な照度コントロールの概念図を示す。

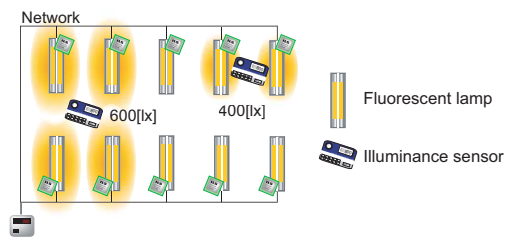


図2 照度コントロール

Fig.2 Illuminance control

2.3 知的照明システムの制御

知的照明システムでは自律分散制御アルゴリズムを用いてシステムの制御を行う。すなわち、集中管理機構なしに各知的照明機器が自律的に光度の調節を行う。以下に制御の流れについて説明する。また、その際に

各機器間で送受信される情報を図 3 に示す。

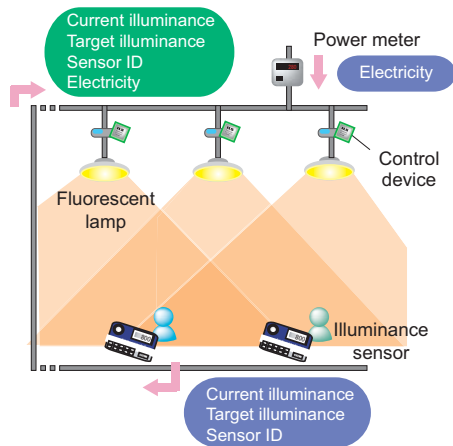


図 3 知的照明システムの構成

Fig. 3 Configuration of the intelligent lighting system

- (1) 複数の知的照明機器，照度センサ，および電力計を配置し，1 つのネットワークに接続する．
- (2) 各照度センサに「照度をある値以上にする」という照度制約条件を与える．
- (3) 知的照明システムを起動させる．
 - (a) 各照明が初期光度で点灯する．
 - (b) 各照度センサが現在の照度を感知し，ネットワークにセンサ ID，目標照度と共に現在の照度を送信する．電力計はその時点の使用電力量をネットワークに送信する．
 - (c) 照明制御装置はそれらの情報を受信し，搭載されている照明制御アルゴリズムに基づき次光度を決定する．
 - (d) 照明制御装置は次光度情報を光度を調節する信号（調光信号）に変換して照明器具器に送信する．調光信号を受信した照明は指定の光度で点灯する．
 - (e) (b)～(d) を繰り返す．

以上の流れにより，各知的照明機器は他の知的照明機器の情報を得ることなく，知的照明システム全体で照度の制約条件を満たしつつ，使用電力量の最小化を行う．

上記 (c) の照明制御アルゴリズムは，この知的照明システムにおいて非常に重要である．照明制御アルゴリズムによって，目標とする状態への収束速度や，精度は大きく左右される．現在，照明制御アルゴリズムとして相関係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient : ANA/CC) が提案されており，そ

の有効性が確認されている^{10),11)}．次章に，ANA/CC について詳しく述べる．

3. 相関係数を用いた適応的近傍アルゴリズム

前章で述べたように，自律的な照度コントロールを実現するには，照明制御装置に搭載される制御アルゴリズムが非常に重要となる．本章では，照明と照度センサの位置関係をそれらの相関から動的に把握し，効果的な探索を行う ANA/CC について詳細を述べる．

3.1 相関係数を用いた適応的近傍アルゴリズムの概要

本アルゴリズムは，照明と照度センサの相関係数に基づいて次光度を生成する範囲を動的に決定する近傍を組込んでいる．このアルゴリズムのフローチャートを図 4 に示す．以下にこのアルゴリズムの流れを説明する．

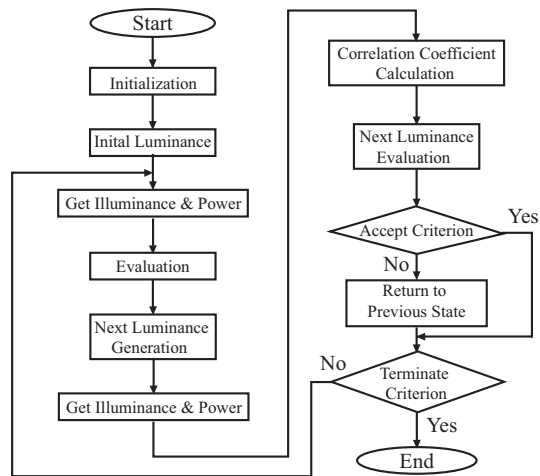


図 4 相関係数を用いた適応的近傍アルゴリズム

Fig. 4 Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient

- (1) 初期光度などの初期パラメータを設定する．
- (2) 各照明を初期光度で点灯させる．
- (3) 各照度センサのセンサ情報（センサ ID，現在の照度，および目標照度），および電力計の使用電力量を入手し，それらから目的関数値を計算する．
- (4) 相関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．）
- (5) (4) で決定した近傍内に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) 再び各照度センサのセンサ情報，および電力計の使用電力量を入手する．

- (7) 入手したセンサ情報と次光度から相関係数を計算する．
- (8) センサ情報と使用電力量から次光度の目的関数値を計算する．
- (9) 目的関数値が良好になっている場合、その光度を確定し (3) へ戻る．
- (10) (8) で目的関数値が改悪した場合、与えた光度変化量をキャンセルし、(3) 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、無駄のない動作で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と考えられる．なお、(9)、(10)において(4)ではなく(3)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するためである．

次に本アルゴリズムの目的関数について述べる．知的照明システムにおける自律的照度コントロールの目的は、各照度センサに与える目標照度を満たしつつ、照明システムの使用電力量を最小化することである．すなわち、これらを目的関数に定式化する．本アルゴリズムに用いる目的関数を式 1 に示す．なお、この目的関数値は各知的照明機器にそれぞれ与えられるものであり、各知的照明機器がこの目的関数の最小化を行うことで、システム全体の最適化を図ることができる．

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

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

$$g_j = \begin{cases} 0 & (Lc_j - Lt_j) \geq 0 \\ R_j(Lc_j - Lt_j)^2 & (Lc_j - Lt_j) < 0 \end{cases}$$

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

n : number of illuminance sensors

m : number of lighting fixtures

w : weight, r : coefficient correlation

P : electricity usage amount

Lc : current illuminance

Lt : target illuminance, Cd : luminance

本アルゴリズムは、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 は電力 P と、現在の照度 Lc と目標照度 Lt の照度差を表す g_j からなる．電力 P には各照明の光度 Cd の和を用いる．これは光度と電力に線形関係がある蛍光灯の電源電圧特性による． g_j は照度差が負であった場合にのみ加算される．すなわち現在の照度が目標照度を下回っていた場

合、急速に増光することになる．本目的関数では、 g_j に、照度センサ j に対する相関係数を乗算する．また相関が閾値以下の場合には 0 を乗算する．すなわち、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が低ければ目的関数値は増加しない．これにより、相関の高い照度センサ、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と考えられる．また、 g_j には重み w を乗算し、この w の値により、目標照度を満足することを優先するか、電力の最小化を優先するか決定する．

3.2 ANA/CC の詳細

3.2.1 照明と照度センサの相関係数

相関係数があるとは 2 つ以上の現象がセットになって同時に変化することを指す¹²⁾．照明制御アルゴリズムにおいて、目標照度を満たしかつ省電力である良好な状態へと短時間で収束するには、照明が各照度センサとの位置関係を把握することが効果的である．そこで、その位置関係を自律的かつ動的に把握するために、照明と各照度センサの相関係数を用いる．

各照明と各照度センサの相関の算出に用いるデータは光度の変化量と照度の変化量である．図 4 に示したように ANA/CC では、探索 1 回につき 2 度の照度取込みを行う．このときに光度および照度情報を保存しておき、その変化量から相関係数を算出する．すなわち、相関係数を算出するために、現在光度と次光度の差、および現在光度の時点での照度と次光度の時点での照度の差をデータとする．

図 5 に示すような環境を用いて相関係数の算出方法について詳しく述べる．この環境での各照明と各照度センサとの、相関係数の履歴は図 6 のようになる．図 6 の縦軸は相関係数、横軸は探索回数である．図 6-a は、照明 1 の各照度センサに対する相関を示したもので、照明 1 の真下にある照度センサ A の相関が高く、離れた位置にある照度センサ B の相関は低くなっている．図 6-b より、照明 2 では照明 1 とは逆に照度センサ B の相関が高く、照度センサ A の相関が低くなる．そして、図 6-c より、照明 3 では両照度センサに対しての相関が低いことがわかる．このように、照明に近い照度センサに対する相関は高く、遠い照度センサに対する相関は低くなることから、照明と照度センサの位置関係を相関係数より類推可能である．位置関係が把握できれば効果的な探索を実現できると考えられる．これは、近くに照度センサがない照明は光度を下げ、近くに照度センサのある照明はその照度センサの目標照度を満たすよう動作すれば良い．ANA/CC ではこ

のような動作を実現するために、算出した相関係数を次光度を生成する範囲である近傍の決定に用いる。

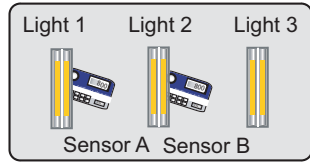


図 5 光度と照度の相関

Fig. 5 Correlation of luminance and illuminance

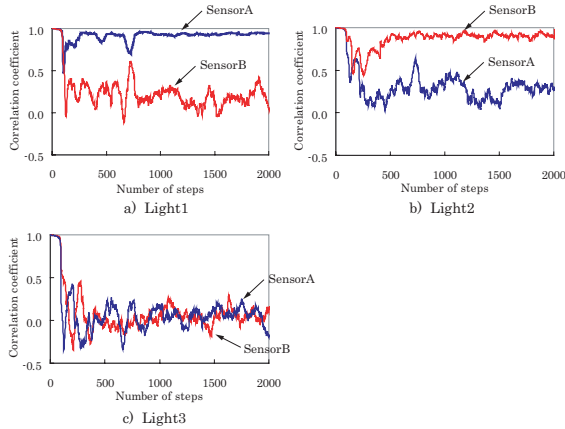


図 6 光度と照度の相関

Fig. 6 Correlation of luminance and illuminance

3.2.2 近傍決定のしくみ

ANA/CC には次光度生成に用いる近傍が図 7 に示すように 3 種類ある。図中の数字は各近傍の相対的な割合を示す。近傍 A は現在の光度から光度を下げることを重視した近傍である。近傍 B は上下均等に次光度を生成し、光度の調整を行うことを目的とした近傍である。近傍 C は近傍 A とは逆に光度を上昇させることを重視した近傍である。なお、これら近傍の上下幅の割合は実験的に求めた値である。実際の光度の変化量は、パラメータとして設定する。近傍 A を光度の下降のみの近傍（上方 0% 下方 10%）としなかった理由は、すべての照度センサに対する相関が低い照明が最小点灯光度で点灯している時にも、その照明が光度を変化させ続けることで、環境変化時に効果的に相関の算出を可能にするためである。また、下降のみといった極端な近傍設定を行うと、解精度が劣化することがあるため、それを抑止することも考慮した。近傍 C における下方 3% もこれらと同等の理由である。さらに近傍 C では、上方が 8% ではなく 17% になっているが、これは居住者の感覚を考慮した結果である。すな

わち居住者の感覚としては、明るさの必要のない場所が暗くなるまでに時間を要するのは構わないが、明るさの必要な場所が明るくなるために要する時間は短いことが望まれる。また、17% 以外にも複数の値を設定し、実験を行ったところ、17% より高い値でも照度の上昇に要する時間には差が見られなかったため 17% とした。

本アルゴリズムでは図 7 に示す 3 種類の近傍から、相関係数を用いて適応的に 1 つ選択し、その範囲に乱数を用いて次光度を生成する。この近傍選択は以下の手順で行う。

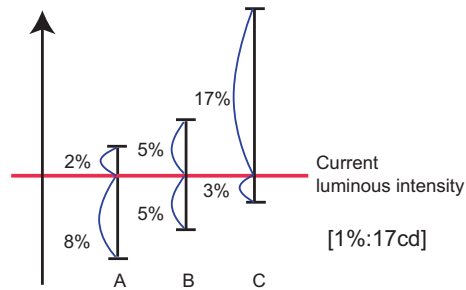


図 7 次光度生成に用いる近傍

Fig. 7 Three neighborhood ranges for generating next luminance

- (1) 相関係数を用いて各照度センサに対して適切な近傍を判断する。
- (2) 複数の照度センサに対して影響があり、各照度センサに対して異なった近傍が設定された場合は、近傍の優先度に基づいて近傍を一意に決定する。なお、近傍の優先度は近傍 C, B, A の順に高いものとする。

まず、(1) について説明する。適切な近傍の判断には相関係数、相関係数の閾値、および各照度センサの照度情報を用いる。また、本アルゴリズムでは、相関係数の閾値に最大値と最小値を設けてその範囲内で可変とし、照度センサ毎に調節する。これは、影響があると判断される照明を増やすために可変としている。相関係数の閾値の最大を 0.5、最小を 0.3 とし、目標照度を 10 回下回った際に閾値を 0.5 から 0.3 に変更するように設定している。これは照度センサの位置によって適切な相関係数の閾値が異なると推測されるためである。以下にその判断基準を示す。 i は照度センサの番号、 r は相関係数、 L_t は目標照度、そして L_c は現在の照度を示す。

$$\begin{cases} A & r_i < \text{threshold} \\ B & r_i \geq \text{threshold and } Lt_i \leq Lc_i \\ C & r_i \geq \text{threshold and } Lt_i > Lc_i \end{cases}$$

Lc : current illuminance
 Lt : target illuminance
 i : sensor number

相関係数が閾値より低い場合は、近傍 A を設定する．相関係数が閾値より高い、現在の照度が目標照度より上回っている場合は、近傍 B を設定する．相関係数が閾値より高い、現在の照度が目標照度より下回っている場合は、近傍 C を設定する．

各知的照明機器がすべての照度センサに対して上記の基準を適用し適切な近傍を判断する．影響のある照度センサが 1 つの場合には (1) のみで近傍選択を行い、影響している照度センサが複数ある場合は (2) の操作に移る．(2) に示す優先度を用いて近傍決定を行うことにより、近くに照度センサがある場合にはその照度センサに適した動作が、照度センサがない場合には短時間での減光が期待される．

4. 動作実験

4.1 動作実験システムの構成

動作実験システムのハードウェア構成は、インバータ制御可能な蛍光灯 15 灯、照明制御装置 15 台、複数の移動可能な照度センサおよびインタフェース用の PC1 台から構成される．なお、本システムでは使用電力量を計測する電力計は含まない．使用電力量には各照明の光度の和を用いる．動作実験システムの構成を図 8 に示す．

蛍光灯ランプにはインバータ制御可能な蛍光灯 FSA42001F(松下電工) を、照度センサには 3423 ルクスハイテスタ(日置電機)を用いる．この蛍光灯ランプはデジタル信号の Duty 比により光度が変化し、Duty 比が光度と線形比例する．

4.2 動作実験による提案システムの有効性の検討

照明制御装置に搭載する制御アルゴリズムとして、ANA/CC を実装し、以下に示す 3 つの実験環境において動作実験を行う．また目標照度を満たしつつ省電力な状態が得られるか検証を行い、提案アルゴリズムの有効性の検証を行う．実験に用いた ANA/CC のパラメータは表 1 の通りである．

4.2.1 実験 1 [環境に変化なし]

実験環境を図 9 に示す．設置する照度センサの目標照度はセンサ 1 を 750[lx]、センサ 2 を 650[lx]、およびセンサ 3 を 550[lx] とする．

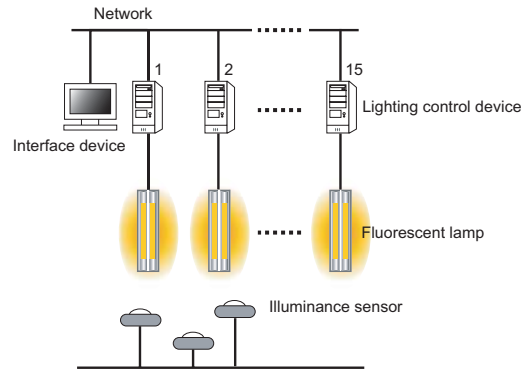


図 8 動作実験システムの構成

Fig. 8 Configuration of experimental system

表 1 パラメータ

Table 1 Experiment parameters

Number of fluorescent lamps	15
Number of illuminance sensors	3
Target illuminance[lx]	750,650,550
Maximum luminance[cd(%)]	1700(100)
Minimum luminance[cd(%)]	510(30)
Initial luminance[cd(%)]	1700(100)
Weight : w	10.0
Maximum threshold value for ANA/CC	0.5
Minimum threshold value for ANA/CC	0.3
Number of data	50

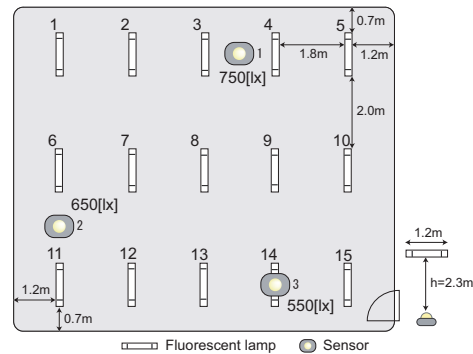


図 9 実験環境 1

Fig. 9 Experimental environment (exp1)

ANA/CC の各センサの照度履歴を図 10 に示す．グラフの縦軸は照度、横軸は探索回数であり、実験環境において探索回数 1 ステップは約 0.7 秒に相当する．図 10 中の 3 本の帯は各照度センサの目標照度収束状態を示している．人間の目には認識できない照度範囲は、目標照度の 0.92 ~ 1.06 倍と報告されている¹³⁾．よってこの範囲内の照度は目標照度収束状態とみなしている．

図 10 より、実験開始後、各照度センサ 1, 2, およ

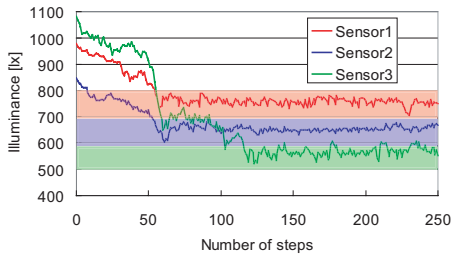


図 10 照度履歴 (ANA/CC)
Fig. 10 Illuminance history of ANA/CC

び 3 はそれぞれ探索回数 56 (約 42 秒に相当), 54, および 104 回で目標照度に収束していることがわかる。目標照度状態に到達した後, すべての照度センサは安定して目標照度を満たしている。

4.2.2 実験 2 [照度センサの移動]

図 11 のように, 探索回数 500 ステップ目でセンサ 3 を移動させる。

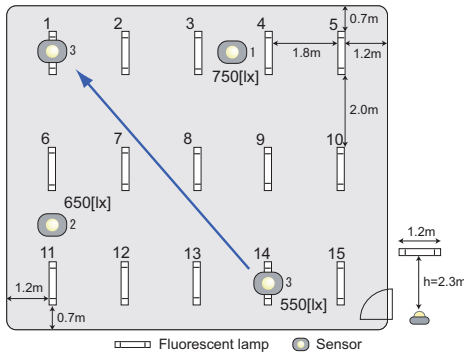


図 11 実験環境 2
Fig. 11 Experimental environment (exp2)

実験 2 における照度履歴を図 12 に示す。グラフの縦軸は照度, 横軸は探索回数である。

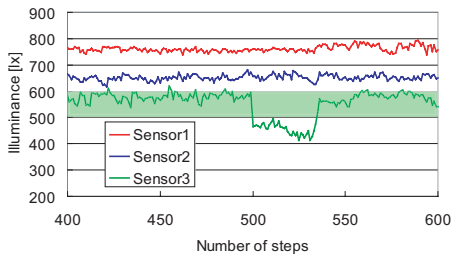


図 12 照度履歴 (ANA/CC)
Fig. 12 Illuminance history of ANA/CC

図 12 より, センサ 3 の移動後, センサ 3 は探索回数 35 回で目標照度に収束していることがわかる。

続いて, 実験 2 における使用電力量履歴を図 13 に示す。グラフの縦軸はすべての照明を最大点灯させたときの使用電力量を 100%としたときの割合を示しており, 横軸は探索回数である。

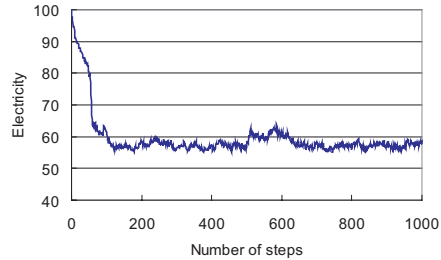


図 13 使用電力量履歴 (ANA/CC)
Fig. 13 Electricity history of ANA/CC

図 13 より, 電力最小化が行われていることがわかる。また, 実験 2 におけるセンサ 3 移動直前とその後約 500 回の探索で得られた照明の光度状態を図 14 および図 15 に示す。

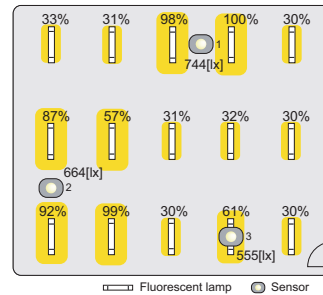


図 14 点灯光度 (センサ移動前)
Fig. 14 Luminance before moving sensor

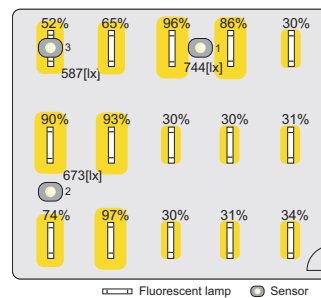


図 15 点灯光度 (定常状態)
Fig. 15 Luminance at Conclusion state

定常状態における各照度センサの照度は 744, 673, および 587[lx] となり, ほぼ目標照度に収束している. 図 14 および図 15 を比較すると, 照度センサ 3 が移動した先にある照明 1 が光度を上げ, 照明 14 および 15 は, どの照度センサにも影響がなくなったため光度が下がる. これらの実験結果より, 照度センサの移動に対応できることがわかる.

5. おわりに

本研究では, 移動可能な照度センサの情報をもとに, 自律的に任意の場所に任意の照度を与えることができ, かつ省電力を実現する知的照明システムの提案を行った. また, 自律的な照度コントロールを行う自律分散型の制御アルゴリズムとして, 相関係数を用いた適応的近傍アルゴリズムを開発した. 実環境を模倣して数値実験を行ったところ, 様々な環境において適切な解探索を行うことが確かめられた. また単純な確率的山登り法と比較して, 省電力の点で非常に優れた性能を示した. これらのことから本研究で開発した ANA/CC は知的照明システムの制御アルゴリズムとして非常に有効であると考えられる.

参 考 文 献

- 1) M.Miki, T.Kawaoka : Design of Intelligent Artifacts:A Fundamental Aspects, Proc.JSME Inter-national Symposium on Optimization and Innovative Design(OPID97) (1997-9).
- 2) 三木光範 : 進化する人工物, オーム社 (1999).
- 3) 佃和吉, 五島成夫, 山本一喜 : ネットワーク式自律照明制御型照明器具, 松下電工技報 (2001).
- 4) 鶴岡伸一ほか : センサを応用した省エネ照明システムの開発, 電気設備学会全国大会, pp.37-38 (1997).
- 5) 森本康司, 太田正明 : オフィスにおける照明設備の省エネ制御, 東芝レビュー, Vol.59, No.10, pp.22-26 (2004).
- 6) 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).
- 7) 今里和弘, 三木光範, 廣安知之, 池田聡 : 知的照明システムの提案および制御方式の有効性の検証, 日本機曾学会 第 14 回設計工学・システム部門講演会 講演論文集, No.04-38, pp.55-58 (2004).
- 8) 森欣司, 宮本捷二, 井原廣一 : 自律分散概念の提案, 電気学会論文誌 C, Vol.104, No.12 (1987).
- 9) 伊藤正美 : 自律分散システム研究の課題と将来, 計測と制御, Vol.32, No.10 (1993).
- 10) Miki M, Hiroyasu T, Imazato K : Intelligent Lighting Control using Correlation Coefficient between Luminance and Illuminance, IASTED ISC, No.497-078 (2005).
- 11) 三木光範, 廣安知之, 今里和弘 : 知的照明システムのための適応的近傍アルゴリズム, 第 56 回 MPS 研究会, No.MPS-56-13 (2005).
- 12) 鳥居泰彦 : はじめての統計学, 日本経済新聞社 (1994).
- 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変動知覚に関する研究, J.Illum.Engng.Inst.Jpn, Vol.85, No.5, pp.346-351 (2001).