

# Intelligent Lighting System using Visible-Light Communication Technology

Emi ASAYAMA\* Mitsunori MIKI\*\* and Tomoyuki HIROYASU\*\*

(Received October 31, 2006)

In recent years, various types of equipment have become more intelligent. In this research, we propose an intelligent lighting system using visible-light communication technology for direct communication between lighting fixtures and illuminance sensors in order to provide the necessary illuminance to a desired location. We actually constructed an experiment simulator based on this concept and verified the effectiveness of the newly developed control method. Verification tests were conducted using an optimization algorithm specialized for lighting control, and the results showed that the various illuminance sensors converged to the preset target illuminance in a very short time. We also confirmed that the system can respond adaptively to the movement of illuminance sensors.

**Key words** : intelligent, lighting systems, autonomous distributed control, energy saving, intelligent system, visible-light communication, fluorescent lamps, coefficient correlation

キーワード : 知的照明システム, 自律分散制御, 可視光通信

## 知的照明システムへの可視光通信技術導入に関する検討

朝山 絵美・三木 光範・廣安 知之

### 1. はじめに

近年, 情報処理技術の発展に伴い, 使用者や環境に合わせて自身のシステム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なシステムの開発が多数行われている<sup>1)</sup>. しかし, 我々の生活に不可欠な照明システムにおいてはあまり知的化が進んでいない.

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, 近年オフィスでは液晶ディスプレイを見ながら仕事をすることが多く, この場合には必要以上の明るさとなり, 使用電力量が多くなる. オフィスビルなどでは, 消費される

電気量の30%以上が照明用電力で占められているのが現状である<sup>2)</sup>.

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がその一つである<sup>3)</sup>. このシステムの特徴は, 照明に内蔵された照度センサが, 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,

\* Graduate Student, Department of Knowledge Engineering and Computer Sciences, Doshisha University, Kyoto  
Telephone:+81-774-65-6716, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:asayama@mikilab.doshisha.ac.jp

\*\* Department of Knowledge Engineering and Computer Sciences, Doshisha University, Kyoto  
Telephone:+81-774-65-6930, E-mail:mmiki@mail.doshisha.ac.jp, tomo@is.doshisha.ac.jp

電力削減効果が得られたことも報告されている<sup>4)5)6)</sup>。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上に、施工時の設定が複雑となる。

一方で、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呼ばれる照明システムの研究開発を行っている<sup>7)</sup>。知的照明システムは、任意な場所に適切な照度を自律分散的な制御によって提供するものである。知的照明システム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 (Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient: ANA/CC) をすでに提案した<sup>8)</sup>。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、これにより、ユーザが設定した目標照度を満たし、かつ省電力な状態へと1分程度で収束できる。

しかし、ANA/CCには2つの問題が存在する。一つは、照度センサの配置場所によっては相関が正しく取れない問題が存在し、また大規模環境下においてはさらにその問題が如実となるという点、もう一つは照度センサを移動した際に、相関係数を計算するために瞬時的な対応ができないという点である。そこで当問題の解決策として、照明と照度センサの位置関係を把握するために、知的照明システムに通信技術を導入することを考える。

本研究では、知的照明システムに新たに可視光通信技術 (Visible Light Communication: VLC)<sup>9)</sup> を導入する際の可能性の検討を行う。

## 2. 知的照明システム

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<sup>7)</sup>。以下に知的照明システムの構成要素、特長、および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。Fig. 1 に知的照明システムの構成を示す。

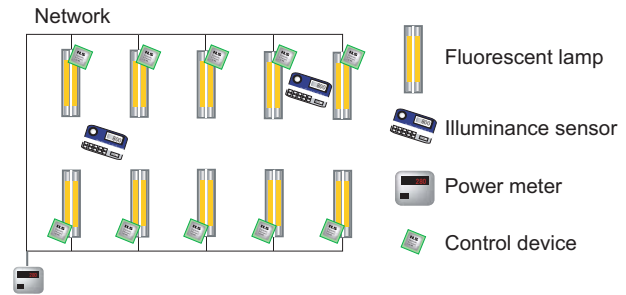


Fig. 1: Composition of intelligent lighting system (This figure is looked at from the top of a room)

## 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という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す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可能な上、不必要な照明を点灯させることがなく、省電力を実現できる。Fig. 2 に照度コントロールの概念図を示す。

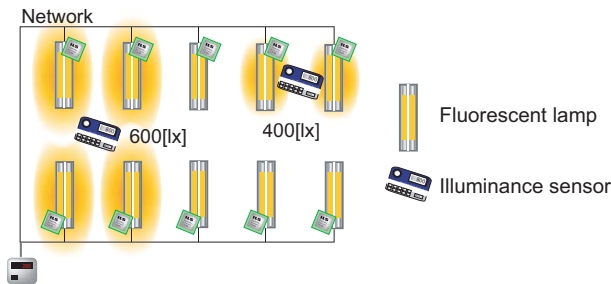


Fig. 2: Illuminance control

### 2.3 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が自律的に光度の調節を行う。ネットワークに流れる照度情報に基づき、各制御装置が最適化アルゴリズムを用い自律的に制御することによって最適な点灯パターンを実現している。

現在用いられている照明制御アルゴリズムは、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)<sup>8)</sup> と呼ばれており、確率的山登り法 (Stochastic Hill Climbing: SHC) という汎用最適化手法をベースに照明制御用に相関係数に基づく近傍設計を組み込んでいる。

相関関係があるとは、二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。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させるには、照明と照度センサの位置関係の把握が効果的である。その位置関係を自律的に学習する方法として有効なのが、照明と照度センサの相関関係である。Fig. 3の左に示す位置関係において、相関を計算しながらSHCで探索を行った場合、相関係数の履歴は右図のようになる。横軸は探索回数である。照明1は照度センサとの相関が高く、照明2および3は低くなる。この情報を次光度生成時に利用することにより、最適な点灯パターンを実現している。

相関係数を用いて照明と照度センサの位置関係を把握することで、目標照度を満たし、かつ省電力な状態へと1分程度で収束できる。しかし、暗い場所の照度を上げたいときなど、必要に応じて短時間で収束してほしいこともある。このような場合に、高速な収束を実現するために、知的照明システムに可視光通信技術を導入することを検討する。

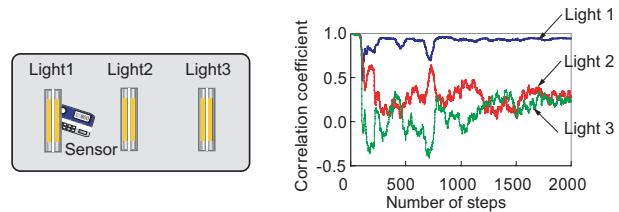


Fig. 3: Correlation of luminance and illuminance

## 3. 可視光通信技術を導入した際の可能性の検討

### 3.1 可視光通信技術

近年、新しい通信技術として、可視光を用いて通信を行う可視光通信技術が注目を浴びている。赤外線通信などの既存の通信技術に対し、以下のような特長がある。

- 照明に用いられている電力をそのまま通信に利用できるため、簡易な設備でワイヤレスな通信環境を構築できる。
- 電波法の制約がないため、電波の使用が制限されている場所でも使用することができる。
- 可視光によって通信を行うため、送受信を目視で確認できセキュリティ等に優れている。

可視光を放射する素子としては、可視光LED、可視光レーザ、有機EL、蛍光灯などが存在する。本システムにおいては、その中でもオフィス等で照明として利用されている蛍光灯を素子として、可視光通信技術の導入を検討する<sup>10)</sup>。

### 3.2 提案システムの概要

本研究では、蛍光灯による可視光通信技術を導入した知的照明システムを提案する。現在の知的照明システムでは、ネットワークに接続された照明と移動可能な照度センサ、制御装置および電力計から構成されている。各制御装置には制御アルゴリズムが搭載されており、ネットワークに流れる照度情報に応じて自律的に照明を制御することで最適な点灯パターンを実現する。提案システムでは、新たに照度センサに光受信器を、照明に電気信号を光に変換するデバイスを接続する。Fig. 4に本システムの構成を示す。

本システムでは、各照明に照明を識別するための照明IDをデジタル情報として与え、直接照明と照度センサが通信を行う。それにより、照明IDの取得の有無で各々の照明と照度センサの位置関係を瞬時に把握することができる。従来のシステムに比べ、位置関

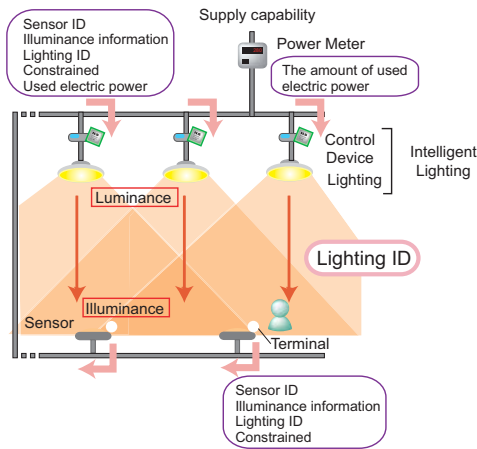


Fig. 4: Configuration of the intelligent lighting system with VLC

系の把握に時間を要さないため目標照度への収束が早くなると考えられる。

### 3.3 可視光通信導入に関する検討

知的照明システムに可視光通信を導入する方法として2つ挙げられる。一つは可視光通信による照明IDの取得によってのみ位置関係を把握する方法であり、一つは可視光通信による照明IDの取得と従来アルゴリズムであるANA/CCで用いる相関係数の双方を同時に用いる方法である。

前者は、照明と照度センサの位置関係把握をハードウェアにのみ依存してしまう。本システムでは、蛍光灯の点灯光度によって可視光通信の到達可能範囲が変化してしまうため、場所によっては照度センサの目標照度を満たせない場合がある。一方後者は、ハードウェアによる欠点を相関係数を随時求めることによってソフトウェアで補うことができるため、本システムにより適していると考えられる。したがって、本システムでは後者の方法で可視光通信を導入することとした。

### 3.4 制御アルゴリズム

本システムにおける制御アルゴリズムは、ANA/CCを基として、可視光通信を組み込んだものである。以後これを相関係数および可視光通信を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Correlation Coefficient with Visible-Light Communication: ANA/CC+VLC) と呼ぶ。可視光通信は照明と照度センサの位置関係を概略的に把握するために用いる。本アルゴリズムの流れを Fig. 5 に示し、以下に説明する。

1. 初期光度や目標照度などの初期パラメータを設定

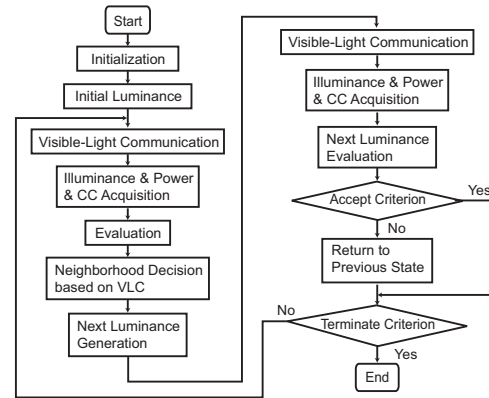


Fig. 5: ANA/CC+VLC

し、各照明を初期光度で点灯させる。

2. 可視光通信によって照明 ID を送信する。
3. 各照明は、各照度センサ情報 (照度センサ ID, 現在照度, 目標照度, 受信した照明 ID) および電力計の使用電力量を取得し、目的関数値を計算する。
4. センサ情報に基づき適切な近傍を決定する。
5. 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、センサ情報および電力量を取得し、次光度における目的関数値を計算する。
7. 目的関数値が改善されている場合、その光度を確定しステップ 2 へ戻る。
8. ステップ 6 で目的関数値が悪化した場合は、光度変化をキャンセルし、ステップ 2 へ戻る。

なお、ステップ 7, 8 においてステップ 2 に戻る理由は、外光などの環境の変化に対応させるためである。

### 3.5 目的関数

知的照明システムの自律的な照明コントロールにおける目的は、照度を各照度センサの目標照度に近づけることと、電力の最小化である。本アルゴリズムで用いる目的関数を式 (1) に示す。なお、この目的関数は各制御装置にそれぞれ与えられるものであり、各照明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が行われる。

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

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

$$g_j = \begin{cases} R_j(Lc_j - Lt_j) & (Lc_j - Lt_j) \geq 50 \\ 0 & 0 \leq (Lc_j - Lt_j) < 50 \\ R_j(Lc_j - Lt_j)^2 & (Lc_j - Lt_j) < 0 \end{cases}$$

$$R_j = \begin{cases} v_j + r_j & r_j \geq \text{threshold} \\ 0 & r_j < \text{threshold} \end{cases}$$

$$v_j = \begin{cases} 0.5 & \text{the lighting ID is acquired} \\ 0 & \text{the lighting ID is not acquired} \end{cases}$$

$n$ : number of illuminance sensors

$m$ : number of lighting fixtures

$w$ : weight,  $v$ : ID acquisition state

$r$ : 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。 $f$ は現在の照度 $Lc$ と目標照度 $Lt$ の照度差を表す $g(i)$ と電力 $P$ からなる。 $g(i)$ 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た場合、急速に増光することになる。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ランプの電源電圧特性による。この $P$ には重み $w$ を乗算する。この $w$ の値により、目標照度最適化を優先するか、電力の最小化を優先するかが決まる。なお、式(1)中の $R$ は照明IDの取得の有無およびANA/CCにおける相関係数で判断しており、また現在照度が目標照度を大きく上回るのを防ぐために制約をかけている。

### 3.6 近傍の決定方法

本アルゴリズムで次光度生成に用いる近傍は、Fig. 6に示すように3種類存在する。Fig. 6中の数値は各近傍の相対的な割合を示しており、これらは以前に実験的に求められた値である。

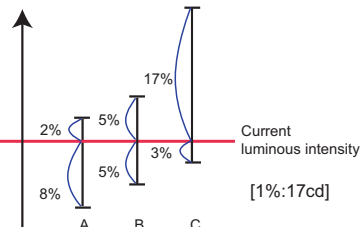


Fig. 6: Three neighborhood ranges

Aは現在の光度から減光させることを重視した近傍であり、Bは光度の調節を行うために上下均等な幅で次光度を生成するための近傍である。また、CはAとは逆に現在の光度から増光させることを重視した近傍である。

これらの3つの近傍の中から、以下に示す近傍の選択基準に従って適切な近傍を決定する。 $i$ は照度センサの番号であり、 $R$ は式(1)中に示すように求められる。

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

$Lc$ : current illuminance

$Lt$ : target illuminance

$i$ : sensor number

## 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Fig. 7に示す。

蛍光灯ランプにはインバータ制御可能な蛍光灯ランプ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。

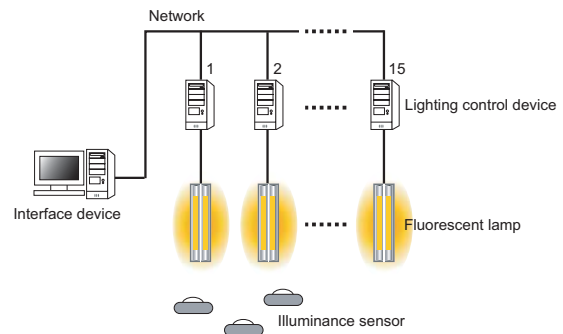


Fig. 7: Configuration of experimental system

### 4.2 可視光通信到達範囲に関する検討

可視光通信を行うことのできる装置が未完成のため、通信部分はシミュレータで模擬している。可視光通信は光の届く範囲にしか通信を行うことができない。よって、光の届く範囲を求める必要がある。また知的照明システムでは蛍光灯がランダムに光度を変化させているため、蛍光灯の点灯光度によって可視光通信の到達範囲が変化する。本実験では、逐点法<sup>11)</sup>により任意の照度を求めることで、可視光通信の到達範囲を定めることにした。部屋の中心にある照明 8 を 100%、30% 点灯したときの照度の等高線を Fig. 8, Fig. 9 にそれぞれ示す。本実験では、50[lx] 以上の任意の点において可視光通信が到達すると仮定して実験を行った。

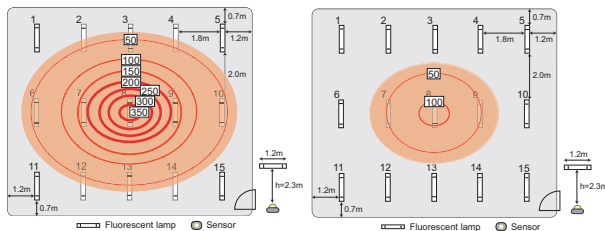


Fig. 8: Visible-light communication when light 8 bright up at 100%  
 Fig. 9: Visible-light communication when Light 8 bright up at 30%

### 4.3 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+VLC および ANA/CC を実装し、以下に示す 2 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、従来のアルゴリズムである ANA/CC との性能比較をし、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+VLC および ANA/CC のパラメータは Table 1 の通りである。

Table 1: Parameter of experiment

|                                | ANA/CC    | ANA/CC+VLC |
|--------------------------------|-----------|------------|
| Number of fluorescent lamps    |           | 15         |
| Number of illuminance sensors  |           | 3          |
| Maximum luminous [%]           |           | 100        |
| Minimum luminous [%]           |           | 30         |
| Initial liminance [%]          |           | 100        |
| weight( $w$ )                  | 1.0       | 0.5        |
| Number of data for CC          | 50        | 50         |
| Threshold value of CC          | 0.5 - 0.3 | 0.5 - 0.3  |
| Threshold value of illuminance | -         | 50         |
| Infrared angle                 | -         | 50         |

### 4.3.1 実験 1 [環境に変化なし]

実験環境を Fig. 10 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。

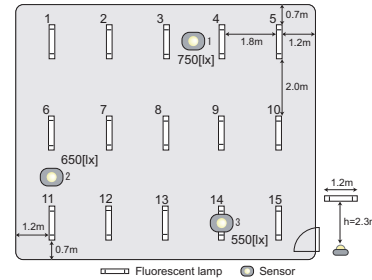


Fig. 10: Experimental environment ( exp1 )

ANA/CC+VLC および ANA/CC の各センサの照度履歴を Fig. 11, および Fig. 12 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。Fig. 11, および Fig. 12 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。なお、人間の目には認識できない照度変化範囲は、照度の 0.92 ~ 1.06 倍と報告されている<sup>12)</sup>。よってそれぞれの照度センサの目標照度に対して、この範囲内の照度を目標照度収束状態とみなしている。

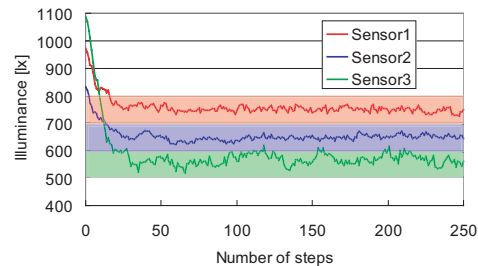


Fig. 11: Illuminance history of ANA/CC+VLC

Fig. 11 より、実験開始後、各照度センサ 1, 2, および 3 はそれぞれ探索回数 17 (約 13 秒に相当)、17, および 30 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。

従来アルゴリズム ANA/CC においては、Fig. 12 より、実験開始後、各照度センサ 1, 2, および 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。提案アルゴリズム ANA/CC+VLC と ANA/CC の比較におい

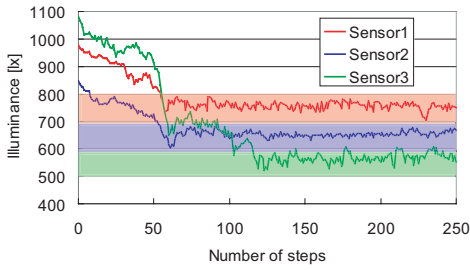


Fig. 12: Illuminance history of ANA/CC

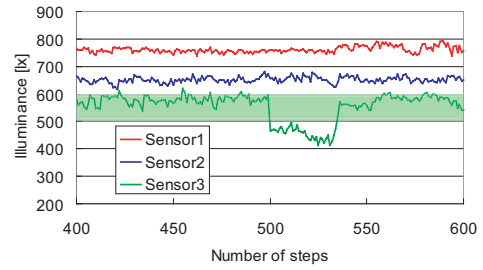


Fig. 15: Illuminance history of ANA/CC

ては、ANA/IRC はシステム全体の収束速度を見ても ANA/CC とほぼ同等の結果が得られていることがわかる。

#### 4.3.2 実験 2 [照度センサの移動]

Fig. 13 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。

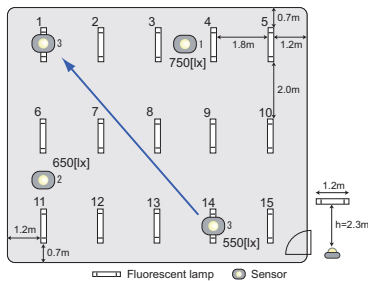


Fig. 13: Experimental environment (exp2)

実験 2 における照度履歴を Fig. 14, および Fig. 15 に示す。グラフの縦軸は照度, 横軸は探索回数である。

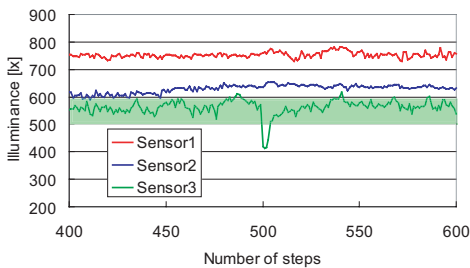


Fig. 14: Illuminance history of ANA/CC+VLC

Fig. 14 より、センサ 3 の移動後、センサ 3 は探索回数 4 回で目標照度に収束していることがわかる。

また、ANA/CC との比較では、Fig. 15 より、探索回数 35 回でセンサ 3 は目標照度に収束しているため、提案システムは約 3 倍収束が早いことがわかる。

続いて、実験 2 における使用電力量履歴を Fig. 16 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。

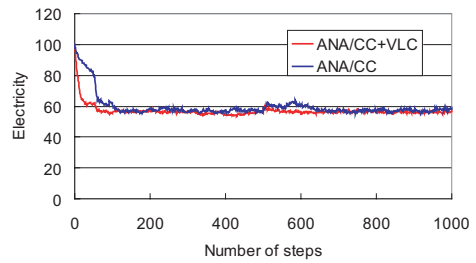


Fig. 16: Electricity history

Fig. 16 より、ANA/CC+VLC は ANA/CC とほぼ同等で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 Fig. 17 および Fig. 18 に示す。

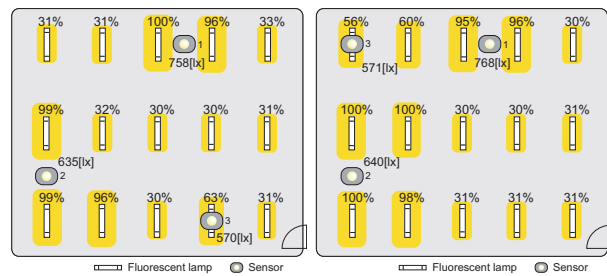


Fig. 17: Before movement Fig. 18: Conclusion state

定常状態における各照度センサの照度は 758, 635, および 570 [lx] となり、ほぼ目標照度に収束している。Fig. 17 および Fig. 18 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. まとめ

従来の知的照明システムに搭載されている制御アルゴリズム、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) は、各照明が自身の光度変化量と照度センサの照度変化量により相関係数を算出し、各照度センサとの相関の高い照明を強く、相関の低い照明を弱く点灯することで、目標照度を満たし、かつ省電力な点灯パターンへの収束を実現する。しかし、相関係数の算出に多少時間を要するため、照度センサの移動など環境が変化した場合、収束までに1分程度を要する。

そこで本研究では、赤外線通信を用いて照明と照度センサの概略的な位置情報を取得し、その照度センサの情報を基に照明の制御を行う「可視光通信を用いた知的照明システム」を提案した。また、照明制御アルゴリズムとして、相関係数および可視光通信を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Infrared Communication : ANA/CC+VLC) を提案し、それに基づき動作実験システムを構築した。そして動作実験により照明制御アルゴリズム ANA/CC+VLC の有効性の検討を行った。

本研究で開発した可視光通信を用いた知的照明システムは、移動などの環境変化に素早く対応し、目標照度を満たし、かつ省電力な点灯パターンへの収束を示しており、従来の知的照明システムのさらなる高機能化を達成した。

## 参 考 文 献

- 1) M.Miki, T.Kawaoka. Design of intelligent artifacts:a fundamental aspects. *Proc.JSME International Symposium on Optimization and Innovative Design(OPID97)*, 1997.
- 2) LAM JC, CHAN ALS. Energy audits and surveys of air-conditioned buildings. *Proceeding of Australian and New Zealand Architectural Science of Association Conference, University of Canberra, Australia*, pp. 49-54, 1995.
- 3) 他鶴岡伸一. 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.
- 4) P.J.Littlefair. Predicting lighting energy use under daylight linked lighting controls. *Building Research and Information*, Vol. 26, No. 4, pp. 208-220.
- 5) AI.Slater, WT.Bordass, TA.Heasman. People and lighting controls. *BRE information paper IP 6/96, Garston: CRC*.
- 6) LI.DHW, JC.Lam. An investigation of daylighting performance and energy saving in a daylighted corridor. *Energy and Buildings*.
- 7) 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.
- 8) Miki M, Hiroyasu T, Imazato K, Yonezawa M. Intelligent lighting control using correlation coefficient between luminance and illuminance. *Proc IASTED Intelligent Systems and Control*, Vol. 497, No. 078, pp. 31-36, 2005.
- 9) Toshihiko Komine, Masao Nakagawa. Integrated system of white led visible-light communication and power-line communication. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 49, No. 1, pp. 71-79, 2003.
- 10) Deron K.Jackson, Tiffany K.Buffaloe, Steven B.Leeb. Fiat lux : A fluorescent lamp digital transceiver. *IEEE Transactions on industry applications*, Vol. 34, No. 3, pp. 625-630, 1998.
- 11) 逐点法による照度計算. 岩崎電気株式会社. <http://www.iwasaki.co.jp/kouza/212/index.html>.
- 12) 中村芳樹鹿倉智明. 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.