

# スマートフォンを照度センサとして用いる知的照明システム

桑島 奨<sup>1,a)</sup> 三木 光範<sup>2,b)</sup> 山口 浩平<sup>1</sup> 東 陽平<sup>1,†1</sup> 間 博人<sup>2</sup>

受付日 2015年11月19日, 採録日 2016年5月17日

**概要:** 著者らは, 各執務者が要求する個々の明るさ(照度)を最小の消費電力で実現する知的照明システムの研究を行っている. 知的照明システムでは, 照度制御のために照度センサを用いているが, これにスマートフォンの内蔵照度センサを利用することが考えられる. これにより, システム導入時のコスト削減や保守性の向上等が実現できる. そこで本研究では, スマートフォンの内蔵照度センサを用いた知的照明システムについて検討した. スマートフォンの内蔵照度センサに関する性能検証実験から, 内蔵照度センサは分解能が低く, 実際の照度値との相違があることを確認した. これらをふまえ, スマートフォンの内蔵照度センサに対する各照明の影響度合いの推定手法と実際の照度値との相違を解決する取得値の補正手法を提案する. 構築したシステムの有効性を示す検証実験では, スマートフォンを用いた場合でも個別照度制御が可能であることを確認した.

**キーワード:** 照明制御, 照度, 最適化, スマートフォン, 位置推定

## An Intelligent Lighting System Using a Smartphone as an Illuminance Sensor

SHO KUWAJIMA<sup>1,a)</sup> MITSUNORI MIKI<sup>2,b)</sup> KOHEI YAMAGUCHI<sup>1</sup> YOHEI AZUMA<sup>1,†1</sup> HIROTO AIDA<sup>2</sup>

Received: November 19, 2015, Accepted: May 17, 2016

**Abstract:** The authors have engaged in research of an Intelligent Lighting Systems which realize the individual brightness (illuminance) levels required by workers with minimum power consumption. As the Intelligent Lighting Systems use the illuminance sensors for illuminance control, the smartphones with a built-in illuminance sensor may be used for this purpose. This can reduce the initial cost for introducing the Intelligent Lighting System as well as realize easier maintenance. From this background, in this study, we examined the possibilities of the Intelligent Lighting System using built-in illuminance sensors in the smartphones. The performance verification experiments concerning smartphone's built-in illuminance sensors showed that their resolutions are so low that their measurements differ from the true values. Based on this result, we propose the methods to estimate the level of influence by each lighting fixture and to solve the discrepancy between their illuminance measurements and the true values. In a verification experiment to confirm the effectiveness of the constructed system, we showed that individual illuminance control is approximate in the use of the smartphones.

**Keywords:** lighting control, illuminance, optimization, smartphone, position estimation

### 1. まえがき

近年, 省エネルギー性の向上が広く検討されており, オフィスビルにおいても省エネルギーを目指す取り組みが推進されている. オフィスビルにおける照明の消費電力はビル全体のおよそ20%を占めており [1], 照明環境を改善することで消費電力を大きく削減し省エネルギーに貢献することができる [2], [3]. 一方, オフィス照明が執務者に及ぼす影響に関する研究も広く行われている. 照明環境の評価指

<sup>1</sup> 同志社大学理工学研究科  
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto 610-0394, Japan

<sup>2</sup> 同志社大学理工学部  
Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto 610-0394, Japan

<sup>†1</sup> 現在, 株式会社野村総合研究所  
Presently with Nomura Research Institute, Ltd.

a) skuwajima@mikilab.doshisha.ac.jp

b) mmiki@mail.doshisha.ac.jp

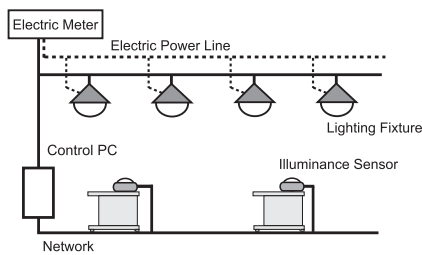


図 1 知的照明システムの構成

Fig. 1 The construction of an Intelligent Lighting System.

標としては照度，輝度，色温度等があり，これらを改善することで生産性を向上させることができる [2], [4]. なかでも，執務に最適な明るさ（照度）を個人ごとに実現することはオフィス環境の改善に有効であると報告されている [5].

このような背景から，著者らは照明環境に着目し，個々の執務者の要求に応じた照度を省電力で実現する知的照明システムを提案した [6]. 知的照明システムは，すでにその有効性が認められ東京都内および福岡の実オフィスにおいて検証実験が行われてきた [7], [8], [9]. これらの検証実験では，一般的なオフィスの机上面照度である 750 lx よりも低い照度を選好する執務者が多く，それらの照度を満たした結果として消費電力の削減が確認できた [7], [8].

知的照明システムでは，各執務者の机上面に照度センサを 1 台ずつ設置し，それらから計測された照度値をもとに最適化手法により照明の明るさ（光度）を制御する．この照度センサとして現在は高価な受注生産品を用いているが，これに近年普及しているスマートフォンを用いることが考えられる．これにより，知的照明システムの導入時におけるコスト削減や保守性の向上が期待できる．

スマートフォンを知的照明システムの照度センサとして利用する方法としては，スマートフォンに内蔵される照度センサを用いることや外部デバイスを併用すること等のアプローチが考えられる．この中で，本研究ではスマートフォンにあらかじめ搭載されている内蔵照度センサを知的照明システムの制御に用いる手法について検討を行う．スマートフォンに内蔵される照度センサに関する研究 [10], [11], [12] は行われているものの，照明制御に応用したものはない．また，これらの研究では複数機種間での性能検証も行われておらず検証が必要である．そこで，本研究では複数機種のスマートフォンに内蔵される照度センサの性能を検証し，スマートフォンを照度センサとして用いる知的照明システムについての検討を行う．

## 2. 知的照明システム

### 2.1 知的照明システムの構成

知的照明システムは，照度センサが設置されている場所に要求された照度（目標照度）を最小限の消費電力で実現するシステムである [6]. このシステムは，図 1 に示すよ

うに照明器具，制御装置，照度センサ，電力計およびそれらをつなぐネットワークから構成される．

制御装置は照度センサから得られる照度情報および電力計から得られる消費電力情報を基に最適化手法を用いて執務者に感知されない範囲 [13] で照明の光度を変化させる．この光度変化を繰り返すことで，執務者の要求する照度を省電力で実現する．なお，この照明のちらつきを抑えるために適用する執務者に感知されない照明の光度変化域（最小知覚変動比）は執務者の作業内容によって変化することが考えられる [13]. そのため，本研究ではこの変化域を全執務者の作業内容を考慮した範囲である現在光度の ±7% とした．

### 2.2 照度制御アルゴリズム

知的照明システムでは，Simulated Annealing (SA) を基盤とした適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient : ANA/RC) を用いて，設計変数を各照明の光度，制約条件を各照度センサの目標照度とし，目的関数を照明全体の消費電力とする最適化問題を各照明ごとに自律分散的に解く [14], [16], [17]. すなわち，探索ごとに各照明の光度を執務者に感知されない範囲（最小知覚変動比：7% [13]）でランダムに変化させ，最適な点灯パターンの探索を行う．適応的近傍アルゴリズム (ANA/RC) では，各照度センサに対する各照明の影響度合い（照度/光度影響度と称す）を解探索中の照度変化と光度変化に関する回帰分析により推定し，その照度/光度影響度に応じてランダムな光度変化に方向性を持たせる [15], [16], [17]. これにより，各照度センサに対して影響の強い照明は各執務者が要求する照度を最小限の消費電力で実現することを目的とし，その他の照明は消費電力の最小化のみを目的として動作する．

各照明の目的関数は式 (1) で表される．

$$f_i = P + \omega \times \sum_{j=1}^n g_{ij} \quad (1)$$

$$g_{ij} = \begin{cases} 0 & (I_{c_j} - I_{t_j}) \geq 0 \\ R_{ij} \times (I_{c_j} - I_{t_j})^2 & (I_{c_j} - I_{t_j}) < 0 \end{cases}$$

$$R_{ij} = \begin{cases} r_{ij} & r_{ij} \geq T \\ 0 & r_{ij} < T \end{cases}$$

$i$  : 照明番号,  $j$  : センサ番号,  $P$  : 消費電力 [W]

$\omega$  : 重み [W/lx<sup>2</sup>],  $I_c$  : 現在照度 [lx],  $I_t$  : 目標照度 [lx]

$r$  : 照度/光度影響度 (回帰係数),  $T$  : 閾値

式 (1) に示す目的関数は消費電力  $P$  と照度制約  $g_{ij}$  から構成され，各照明ごとに計算する．各照度センサの目標照度  $I_{t_j}$  を制約条件としたペナルティ関数  $g_{ij}$  は照度/光度影響度  $r_{ij}$  により変化し，照度/光度影響度  $r_{ij}$  が大きい照明だけペナルティ関数  $g_{ij}$  を重要視するように動作する．ま

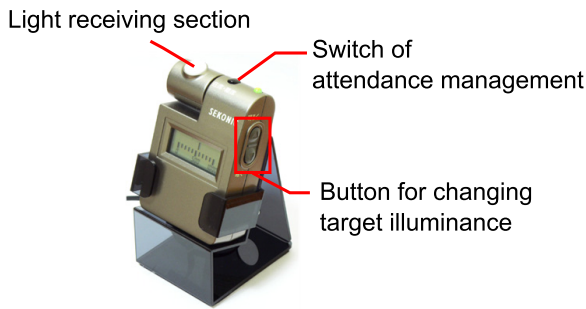


図 2 知的照明システム専用の照度センサ

Fig. 2 The exclusive illuminance sensor for the Intelligent Lighting System.

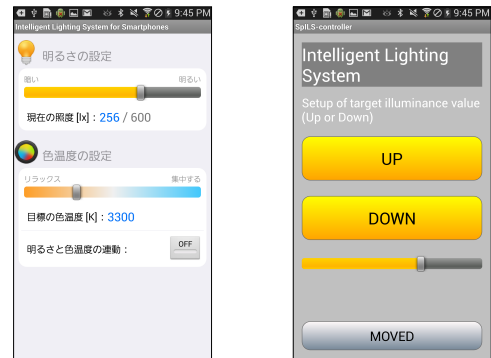
た、照度/光度影響度  $r_{ij}$  に閾値  $T$  を設けることで、照度センサに影響のある照明を特定し、照度センサから遠い照明は消費電力  $P$  の最小化のみを目的として動作する。なお、閾値  $T$  は予備実験の結果を基にシステムを導入する環境において各執務者に対して 750 lx 以上の照度が提供可能となる値を設定する。本研究における閾値  $T$  の扱いについては 4.1 節で後述する。

### 2.3 知的照明システムにおける照度センサ

知的照明システムで用いている照度センサは大きく分けて有線方式と無線方式がある。有線照度センサは PoE による電源供給が可能であるが、オフィスではケーブルを床下に敷設する必要がある。このため、照度センサの位置が変化する環境では実用的ではない。一方、無線照度センサはケーブルが不要であるためノンテリトリアルオフィスにおける執務者の移動やレイアウト変更等で照度センサの移動が頻繁に起こりうるオフィスにおいては有用な照度センサであるが、電池の交換や充電等の配慮が必要となる。図 2 は、東京のオフィスビルに導入した知的照明システムで用いている最新の有線式照度センサである。この照度センサでは照度計測の機能だけでなく、知的照明システムの制御で必要となる選好照度の設定や執務者の在席管理の機能を 1 つのデバイスで実現しており、知的照明システムにおけるユーザビリティの向上に貢献している [18]。しかしながら、このような知的照明システム専用の照度センサは受注生産品のため高価であり、これが知的照明システムの普及を遅らせる 1 つの要因となっている。

一方で、近年ではスマートフォンやタブレット端末（以下、スマートフォン）が普及しており、これを知的照明システムの照度センサとして用いることが考えられる。これにより、知的照明システムの導入時におけるコスト削減や保守性の向上が期待できる。スマートフォンを知的照明システムの照度センサとして用いる方法としては、以下の 3 つのアプローチが考えられる。

- (1) スマートフォンに内蔵される照度センサを利用する。



(a) Method to input at absolute value (b) Method to input at relative value

図 3 2 種類のスマートフォン用の操作画面例

Fig. 3 Two types of concepts of operation screen for the smartphones.

- (2) スマートフォンに照度取得用のデバイスを装着する。
- (3) スマートフォンと通信可能な照度センサを併用する。

本研究では項目 (1) のスマートフォンにあらかじめ搭載されている照度センサを知的照明システムの制御に用いる手法について検討を行う。なお、項目 (2) および (3) に関しては 6 章で考察する。

スマートフォンに内蔵される照度センサ（以下、内蔵照度センサ）に関する研究はすでに行われており、スマートフォンの内蔵照度センサは精度が低く一般的な照度センサとは異なる特性を持っていることが報告されている [10], [11], [12]。この特性に関しては、内蔵照度センサは画面輝度の調整が主目的であり高い精度を必要としないことや、一般的な照度計とは異なり受光部が端末内部に設置されていることが要因であると考えられる。また、これらの研究では単一機種において内蔵照度センサの性能検証が行われているものの、内蔵照度センサを照明制御に応用したものや複数機種間での性能検証を行ったものはなく検証の余地がある。そこで、本研究では複数機種のスマートフォンにおいて性能検証を行い、スマートフォンを照度センサとして用いた知的照明システムの制御手法について検討する。

## 3. スマートフォンの内蔵照度センサ

### 3.1 スマートフォンを用いることによる利点

近年、高性能・多機能な携帯電話として Android OS 搭載端末や iPhone といったスマートフォンが普及している。スマートフォンには画面輝度を調節するために照度センサが内蔵されているため、スマートフォンは知的照明システムの照度センサとして利用できる可能性がある。また、照度センサとしての役割だけでなく、以下のような点も従来の照度センサと比較した場合の利点としてあげられる。

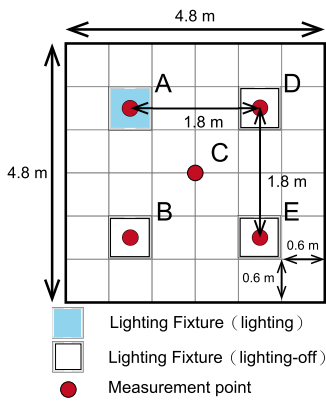


図 4 性能検証実験の環境 (平面図)

Fig. 4 Experimental environment for performance verification (top view).

- タッチパネルを用いたユーザインタフェース
- 汎用品を用いたシステム構成による保守性の向上および導入コストの削減
- ワイヤレス環境の実現
- USB 接続による給電
- 内蔵照度センサ以外のセンサを用いた付加的な制御

従来の知的照明システムでは提供する知的照明システムの機能に合わせて専用の照度センサの開発や照度センサとは別に PC の Web ブラウザから目標照度等の設定を行うユーザインタフェースの提供を行っていた。これに対して、スマートフォンでは照度センサとしての機能および知的照明システムを制御するためのユーザインタフェースを一括したアプリケーションとして提供可能である。また、導入する環境や知的照明システムの機能の変化に合わせたユーザインタフェースの仕様変更も容易である。

スマートフォン用操作画面の一例を図 3 に示す。図 3 の (a) は、各ユーザが選好する照度および色温度を絶対値で指定するタイプのものである。一方で、照度の指定は個人が選好する照度を設定する 1 つの方法であり、執務者が本質的に要求するのは絶対値としての照度とは異なる場合があることから、図 3 の (b) に示すような現在の照度より明るくするか、あるいは暗くするかのどちらかを選択するような相対的に目標照度を設定するタイプを提供することもできる。このように、ユーザの好みやシステムの特性に合わせたユーザインタフェースを実現でき、システムの改修容易性および利用者の快適性の向上にも貢献できると考えられる。

以上の機能を外部デバイスを用いずに実現できるため、スマートフォンは知的照明システムの照度センサとして有効であると考えられる。しかし、スマートフォンに内蔵された照度センサは画面輝度の調節を主目的としているため、知的照明システムの照度センサとして利用するためには、その動作に関して検証が必要となる。

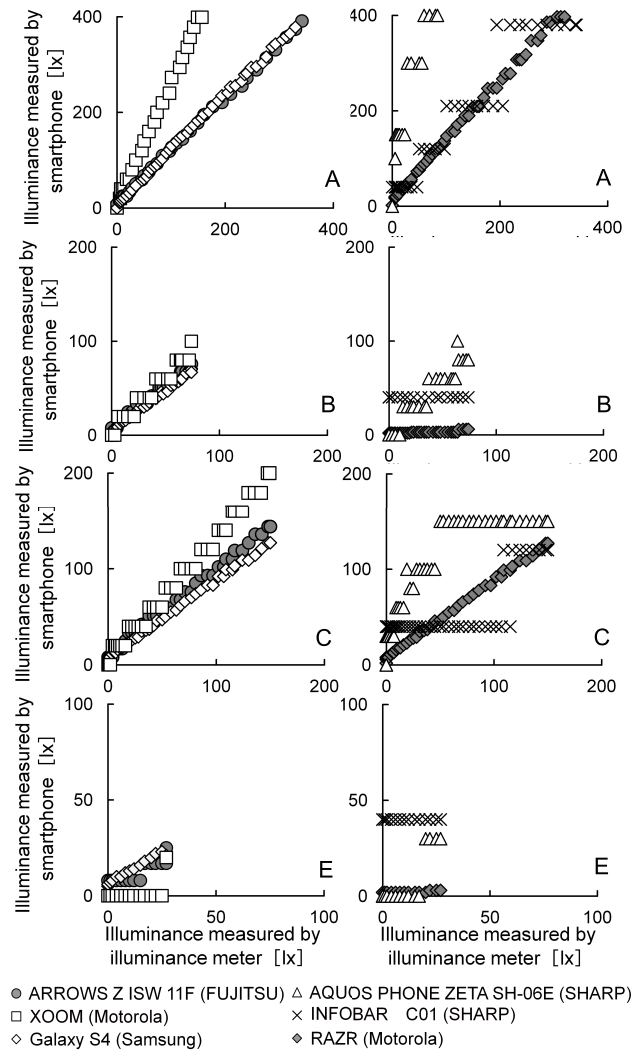


図 5 スマートフォンの内蔵照度センサから得られた値

Fig. 5 The values from the illuminance sensor built in to the smartphone.

表 1 スマートフォンの内蔵照度センサの分解能

Table 1 The resolution of the illuminance sensor built in to the smartphone.

Smartphone's model	Resolution [lx]
ARROWS Z ISW 11F	7 - 8
Galaxy S4	1 - 15
RAZR	1 - 16
XOOM	12 - 22
AQUOS PHONE ZETA SH-06E	50 - 500
INFOBAR C01	80 - 170

### 3.2 スマートフォンに内蔵される照度センサの性能検証実験

スマートフォンに内蔵された照度センサの性能を調べるため照度計の計測照度値との比較実験を行った。この実験では、図 4 に示す地点 A の直上の照明を 1 灯だけ点灯し、照度計とスマートフォン (タブレット含む) を図 4 の地点 A~E において机上面に設置した。机上面の高さは、一般

的なオフィスで採用されている床面から 70 cm とした。また、実験に用いた照明器具は 256 段階で調光可能であり、この各段階における各地点の明るさを内蔵照度センサおよび照度計を用いてスマートフォンの機種ごとに計測した。計測には、照度計として ANA-F11（東京光電製：JIS C 1609-1:2006 一般形 A 級に準拠）を用い、スマートフォンは表 1 の左欄に示す 6 機種を用いた。

6 機種の内蔵照度センサから得られた値と照度計での計測値との比較を図 5 に示す。また、この検証実験から得られた各内蔵照度センサの分解能を表 1 に示す。図 5 の横軸は照度計の計測値、縦軸は各内蔵照度センサから得られた値を示しており、地点 A は縦軸・横軸ともに 400 lx まで、地点 B および C は 200 lx まで、地点 E では 100 lx までをプロットした。なお、この図では見やすさのため、プロット数を減らして示した。また、地点 D については地点 B と同様の結果が得られたため省略した。

図 5 および表 1 から、ARROWS Z, XOOM および Galaxy S4 の内蔵照度センサから得られた値は比較的分解能が高く照度計の計測値との間に線形性も確認できた。ただし、地点 A（照明鉛直直下）における XOOM の内蔵照度センサから得られた値は照度計に比べて大きな値であった。一方、AQUOS および INFOBAR から得られた値は照度計の計測値と比較して相違が大きく、また分解能も低かった。RAZR に関しては、地点 A および C においては高い精度で照度を取得できることを確認したが、地点 C より遠い計測点では照度変化を計測することができなことが分かった。

以上より、内蔵照度センサの精度が低く知的照明システムの照度センサとしては使用できない機種がある一方で、照度センサとしての性能が高く、内蔵照度センサから得られる値と照度計の計測値との間に線形性がある機種が複数存在することを確認した。ただし、一般的に知的照明システムで要求される最小の個別照度は 300 lx [7], [8], [17], [19] であり、このとき制御される最大の照度変化量（最小知覚変動比：7% [13]）は 21 lx となるため、知的照明システムに利用可能なスマートフォンは分解能が 20 lx 程度より優れた機種に限る。また、内蔵照度センサから得られる値は照度計の計測値と異なり、XOOM のように照明との距離によっても実際の照度との倍率が大きく変化する機種が存在することから、これが内蔵照度センサを用いた知的照明システムの制御に及ぼす影響について検討する。

### 3.3 スマートフォンの内蔵照度センサの性能に関する検討

3.2 節で述べたように、スマートフォンの内蔵照度センサには知的照明システムで利用できる可能性が高い機種とそうではない機種があることが分かった。また、利用可能性が高い機種に関しても、照度計と比較して低分解能である点および取得値が実際の照度と異なる点の大きく 2 つの

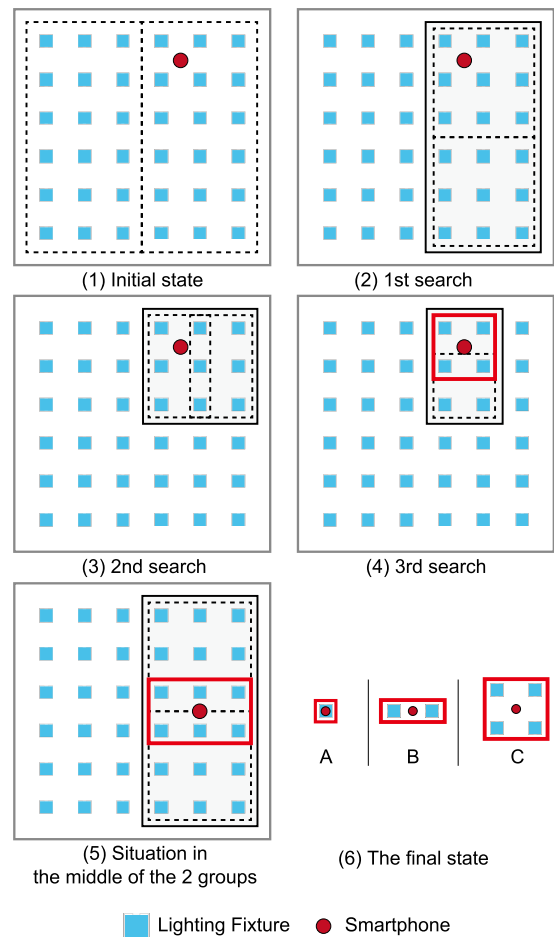


図 6 提案する位置推定手法の概念図

Fig. 6 The concept of proposal position estimation.

問題点が存在することを確認した。

最初に、内蔵照度センサの分解能について考察する。実験に用いたいずれのスマートフォンの内蔵照度センサも照度計と比較して分解能が低いことが分かった。一方、2.2 節で述べたように、知的照明システムでは照明の光度変化量とそれにとまう照度センサの照度変化量の回帰分析から照度センサに対する各照明の照度/光度影響度を推定し、その値を照度制御アルゴリズムで用いる。このとき、照明の光度は執務者に感知されない程度 [13] で変化させるため、分解能の低い照度センサを用いると微小な光度変化に対して取得照度値が変化しない場合がある。このような場合は、2.2 節で述べた照度/光度影響度を正しく推定できないため、最適な点灯パターンへの収束は容易ではない。そこで、内蔵照度センサに対応する新たな照度/光度影響度の推定手法が必要になる。

次に、内蔵照度センサから得られる値と実際の照度との相違について考察する。知的照明システムでは、各照度センサに対して各執務者の要求する明るさを、目標照度値として設定し、それらの目標照度値を満たすよう各照明の光度を制御する。しかしながら、内蔵照度センサを用いる場合、実際の照度と相違があるため、この相違を解決する手

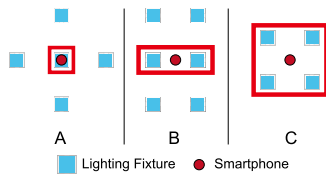


図 7 スマートフォンに影響がある照明群  
Fig. 7 The lightings close to smartphone.

法が必要になる。

以上が知的照明システムにスマートフォンの内蔵照度センサを用いる場合の課題と考えられる。

#### 4. スマートフォンの内蔵照度センサを用いる個別照度制御手法

##### 4.1 位置推定手法に基づく照度/光度影響度の決定

3.3 節で述べた課題の1つである照度/光度影響度の新しい推定手法について述べる。本手法は、スマートフォンの概略的な設置位置を推定することで、照度/光度影響度を決定する手法である。室内におけるスマートフォンの位置推定に関しては、携帯端末のGPSを用いると位置測量に誤差が生じることから、スマートフォンに内蔵された各種センサを用いた手法が多数報告されている [20], [21]。また、これらの推定精度を向上させるために無線LANの電波強度を利用した技術 [22] もあり、内蔵センサ以外の外部デバイスを併用することも容易である。このように、スマートフォンを利用した室内位置推定に関しては利用目的に合わせて様々な手法が検討されている。本研究では知的照明システムにおいて照度制御を行う際に照明の光度を変化させることから、照明の光度変化を位置推定に利用した手法を提案する。

3.2 節より、スマートフォンの内蔵照度センサは分解能が低いものの、照明の光度を一定値以上増光すれば出力値が上昇することを確認した。そのため、二分探索を応用し、スマートフォンの位置を推定する。この制御における概念図は、図 6 のとおりである。なお、この図の (1)~(4) は探索の基本的な流れを示している。以下に、位置推定における制御の流れを示す。

- 1) 初期状態から室内の照明を 2 つのグループに分割する。
- 2) 執務者に感知されない程度で、かつ、内蔵照度センサの分解能より大きい照度変化が生じるような光度（現在光度の 7% [13]）を決定し、分割したグループごとに照明の光度を一律に変化させる。
- 3) 項目 2) による照度値の変化をスマートフォンが計測する。
- 4) 項目 3) で計測した照度値の変化率がより大きかったグループを選択し、そのグループを再び 2 つのグループに分割する。

5) 項目 2) に戻る。

ただし、図 6 (3) のように照明配列が奇数列の場合は、中心列を 2 つのグループのいずれにも所属するものとして制御する。また、スマートフォンが 2 つのグループの中間近くに設置されている場合、内蔵照度センサから得られる値の変化率に大きな差が生じない可能性がある。このような場合は、図 6 (5) のように 2 つのグループの隣り合う端を組み合わせたグループを新たに生成し、探索を行う。

内蔵照度センサに大きな影響を与える照明はその付近の 4 灯程度であるため、探索範囲を 2 行 × 2 列の範囲まで絞ることができれば探索終了とする。絞り込みの結果は、図 6 (6) に示すパターン A~C に分類できる。パターン A は 1 灯の照明直下付近、パターン B は 2 灯の照明の中間付近、パターン C は 4 灯の照明の中心付近にスマートフォンを設置した場合である。なお、パターン A および B に関しては絞り込みの結果が 4 灯に満たないため、図 7 のように近傍にある照明を含めてスマートフォンに近い照明と定義する。絞り込み結果が 2 行 × 1 列となるグループは、パターン B と同様に扱う。

なお、新たな執務者が制御環境内で執務を開始する場合、あるいは執務者が執務場所を移動した場合には、それらの執務者が新たな執務場所へ移動後に、スマートフォンの操作画面上にある移動完了ボタンを押すことで、上述の位置推定を開始する。このとき、移動完了ボタンを押した時点での照明の点灯状態を初期状態として設定し位置推定を行う。ただし、この位置推定のための照明制御が行われる間は、知的照明システムとしての個別照度制御からは一時的に外れる。しかし、位置推定時の照明の光度は執務者に感知されない程度で変化するため、執務者の個別照度環境は実質的に保持される。

次に位置推定の結果をもとに照度/光度影響度を決定する。その方法としては、位置推定により決定した図 7 に示す近傍照明の光度を 1 灯ずつ順に変化させ、そのときの照明の光度変化率とスマートフォンが取得する値の変化率から照度/光度影響度の決定を行う。このとき、図 7 に示す近傍照明以外の照明は影響がないものとして扱う。これにより、2.2 節で述べたアルゴリズムを用いて知的照明システムの制御を行うことが可能である。また、本研究では 2.2 節で示した式 (1) の閾値  $T$  の値を予備実験の結果を基に 0.06 とした。なお、上述した位置推定を適用できるのは 3.2 節で述べた制約と同様、20 lx 程度より優れた分解能の内蔵照度センサを搭載した端末に限る。

##### 4.2 スマートフォンの内蔵照度センサの取得値と実照度との相違の補正

本節では、内蔵照度センサで得られる値と実際の照度値との相違に対する解決手法を述べる。本研究では、スマートフォンの内蔵照度センサから得られる値に対して補正式

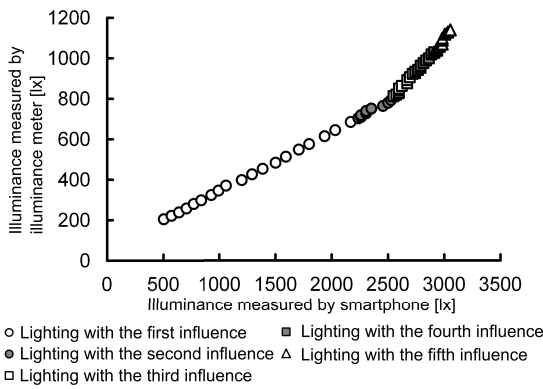


図 8 照明直下における XOOM の取得値キャリブレーション結果 (図 7-A)

Fig. 8 The calibration result of the measured of XOOM (Fig. 7-A).

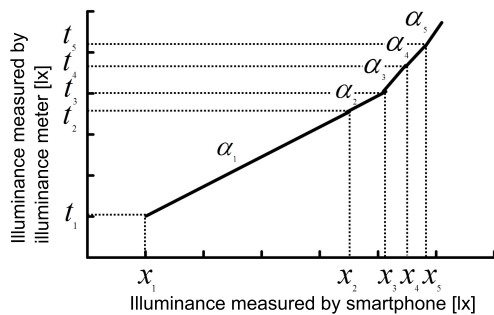


図 9 補正式生成の概念図 (図 7-A)

Fig. 9 The concept of generating a calibration formula (Fig. 7-A).

を適用することで誤差を最小化することを考える。3.2 節で述べたように、スマートフォンの内蔵照度センサは従来の照度センサと比べて性能が低いことが分かっている。内蔵照度センサの取得値の差異を補正するためには、内蔵照度センサの取得値の相異および指向性を考慮する必要がある。そのため、本手法では以下の手順で補正式の生成を行う。

- 1) 図 7 の 3 パターンについて、各計測点にスマートフォンおよび照度計を設置する。
- 2) 図 7 で示した各近傍照明を 1 灯ずつ点灯し、スマートフォンに対する各照明の影響度合いを測定する。
- 3) 各照明を消灯後、図 7 で示した近傍照明のみを最小点灯光度で調光する。
- 4) 項目 3) で点灯した照明について、項目 2) で測定した影響度が高いものから順に最小点灯光度から最大点灯光度まで段階的に増光し、調光段階ごとの照度を計測する。
- 5) 項目 4) の計測結果を基に補正式を生成する。

図 8 は、図 7 のパターン A における XOOM の計測値を上述の方法で計測した結果である。3.2 節より、スマートフォンの内蔵照度センサは照明との距離によって取得値

の実照度に対する誤差倍率が異なるが、スマートフォンが照度変化を感知できる距離ならば、距離に関係なく内蔵照度センサの取得値は実際の照度と線形関係にある。また、図 8 の結果から、上述した方法で内蔵照度センサの値を計測した場合であっても、照明 1 灯 1 灯から影響される取得値の変化は区間ごとでは線形であるといえる。このため、図 9 に示すように照度センサの近傍と判定される照明台数 (照明直下: 5, 2 灯間: 6, 4 灯間: 4) と同数に補正式の区間を分割し、スマートフォンの取得値に応じて補正式を変更させることを考える。このとき、区間  $i$  の始点の座標を  $(x_i, y_i)$  とし、区間  $i$  における補正式の傾きを  $\alpha_i$  とすると、提案する補正式は式 (2) で定式化できる。

$$Lx_{Calibration} = \alpha_i \times (Lx_{raw} - x_i \times r) + y_i \times r \quad (2)$$

$$i = \begin{cases} k & x_k \times r \leq Lx_{raw} < x_{k+1} \times r, k < n \\ n & x_n \times r \leq Lx_{raw} \end{cases}$$

$$r = Cd_{Using} \div Cd_{Calibration} \quad (3)$$

$i$ : 区間番号,  $n$ : 補正式の生成に用いた照明台数

$\alpha_i$ : 区間  $i$  における補正式の傾き,  $(x_i, y_i)$ : 区間  $i$  の始点

$Lx_{Calibration}$ : 補正後の照度値 [lx]

$Lx_{raw}$ : スマートフォンの取得値 [lx]

$r$ : 導入環境と補正式生成環境における最大点灯光度比率

$Cd_{Using}$ : 導入環境における最大点灯光度 [cd]

$Cd_{Calibration}$ : 補正式生成時の最大点灯光度 [cd]

式 (2) に示す補正式はスマートフォンの取得値  $Lx_{raw}$  によって補正式の傾きが  $\alpha_1$  から  $\alpha_n$  のいずれかに変化する。上述した補正式は指向性を考慮して照明を 1 灯ずつ増光しているため、利用する照明の性能 (最大点灯光度) によって各区間の始点が変わることが考えられる。そのため、補正式生成時に用いた照明の最大点灯光度  $Cd_{Calibration}$  と導入環境で利用する照明の最大点灯光度  $Cd_{Using}$  との比で表される  $r$  を各区間始点の  $(x_i, y_i)$  に掛け合わせることで照明器具への依存を解消する。これにより、照明の器具にかかわらず式 (2) を用いることで、スマートフォンの課題を解決することが可能であると考えられる。なお、補正式は各機種につき図 7 に示す 3 パターンにおいて、上述した手法を用いた実験をあらかじめ行うことで求める。

補正式の適用方法は以下の 2 つの方法が考えられる。1 つは、生成した補正式を制御サーバ側で管理し、スマートフォンから取得値、目標照度および機種情報をサーバ側で受信する方法である。サーバ側では、4.1 節で述べた照度/光度影響度の決定手法により推定された設置位置および受信した情報を基にして補正式を適用し取得値を補正する。もう一方は、スマートフォンに各機種に応じたアプリケーションをインストールし、図 7 の 3 パターンの補正式を用いてスマートフォン側で取得値を補正し、3 種類の補正值および目標照度をサーバ側に送信する方法である。制御

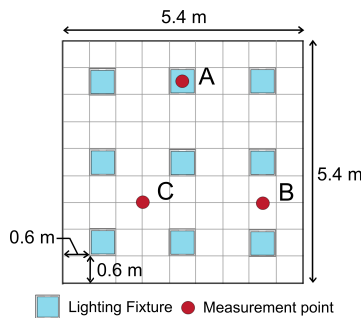


図 10 実験環境 (平面図)

Fig. 10 Experimental environment (top view).

表 2 目標照度値の設定

Table 2 Setup of the target illuminance values.

	Model	First target [lx]	Second target [lx]
A	XOOM	700	400
B	ARROWS Z	500	500
C	Galaxy S4	400	700

サーバでは受信した補正值のうち、4.1 節で述べた照度/光度影響度の決定手法によって推定した位置に適したものを選択して制御に用いる。なお、本稿の検証実験では前者の手法により補正式の管理を行っているが、両者ともに知的照明システムとしては同等の制御が可能であると考え。

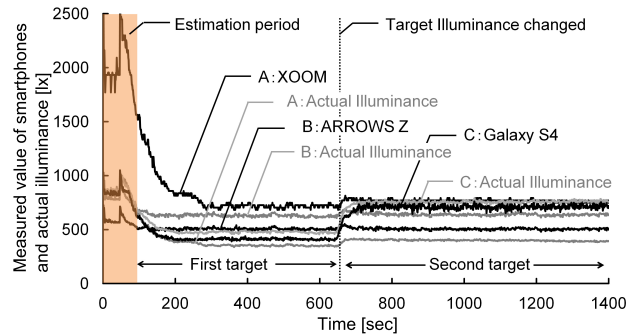
また、本提案手法ではあらかじめスマートフォンの内蔵照度センサの性能を検証し、補正式を算出していることが前提となる。そのため、検証を行っていない機種に関しては、絶対値を用いた制御が容易ではないため、3.1 節の図 3 の (b) に示した現在の照度より明るくするか暗くするかを選択するような汎用的なアプリケーションを一時的にインストールして利用する。

## 5. 検証実験

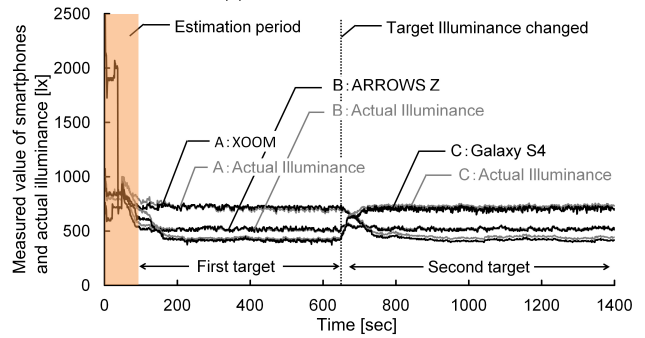
### 5.1 実験概要および環境について

スマートフォンを用いて提案手法を組み込んだ知的照明システムについて検証実験を行った。実験では、外光の入らない室内において 3 機種 of スマートフォンおよび照明器具 9 台を図 10 のように配置し、各端末を床面から 70 cm の高さの机上面に設置した。スマートフォンには、Samsung 社製 Galaxy S4、Motorola 社製 XOOM、富士通社製 ARROWS Z を用いた。また、照明器具には 20% から 100% まで調光可能な Panasonic 社製 LED (最大点灯光度: 1,480 cd) を用いた。ここでは、照明器具の設置間隔を一般的なオフィスで採用されている 1.8 m 間隔とした。

この実験環境において、各地点に設置する端末および端末に設定する目標照度は表 2 に示すとおりである。各端末は位置探索完了後から 600 秒後に目標照度を変更する。また、各地点における実際の照度を計測するために各スマートフォンの横に照度計 ANA-F11 を設置した。各照明の初



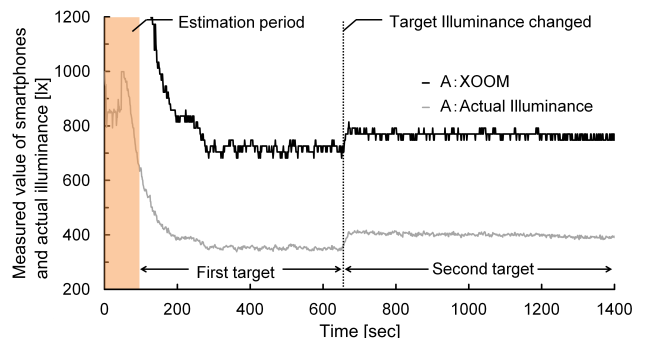
(a) non-calibration method



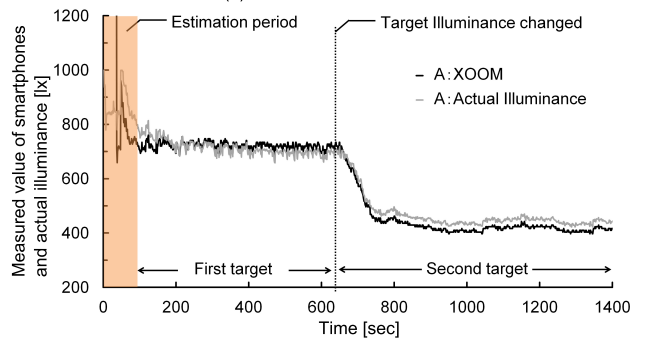
(b) proposed calibration method

図 11 照度履歴

Fig. 11 The history of illuminance data.



(a) non-calibration method



(b) proposed calibration method

図 12 照度履歴 (A: 拡大図)

Fig. 12 The history of illuminance data (A: Enlarged view).

期点灯光度は 100% に設定した。この条件下で、各端末は設置位置および各照明の影響度合いの推定ならびに適用する補正式の決定を行い、照明の最適な点灯パターンの探索を開始する。



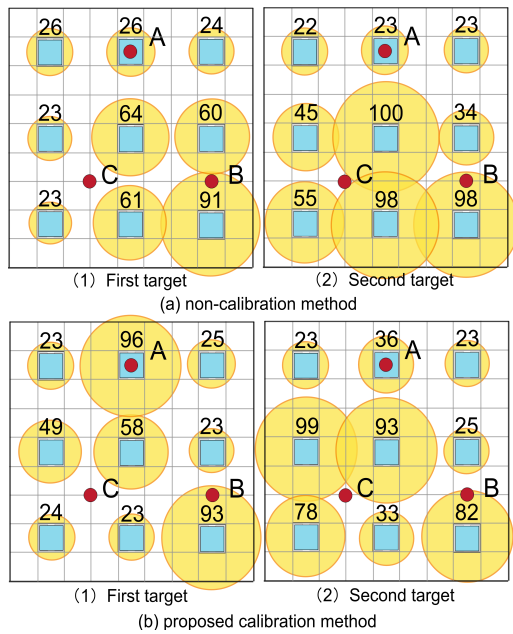


図 13 照明の点灯状況

Fig. 13 The status of lightings.

表 3 各端末の取得値と実際の照度の差異

Table 3 Discrepancy between the measured value of a smartphone and the actual illuminance.

		non-calibration	calibration
A	average error [lx]	416	26.5
	relative error [%]	102	4.55
B	average error [lx]	133	10.7
	relative error [%]	20.7	2.02
C	average error [lx]	55.5	26.4
	relative error [%]	8.58	4.28

5.2 実験結果

検証実験の結果を図 11, 図 12, 図 13 および表 3 に示す。ここでは、最初の推定期間 (図 11 の Estimation period) で初期状態から二分探索により内蔵照度センサに対する各照明の影響度合いを決定し、初期目標照度 (表 2 の First target) への収束を開始してから 600 秒後に 2 台の端末の目標照度を変更した (表 2 の Second target)。図 11 (a) は補正手法を用いない場合の照度収束実験について、各端末から得られた値および実際の照度の時間的な変化を示した図である。この図から、3 機種 of 端末は実験開始約 90 秒で位置推定および照度/光度影響度の設定を完了した。しかし、すべての端末において取得値と実際の照度には差異があり、照度は一定値に安定するものの各端末が要求する照度には収束しないことを確認した。また、照度が安定するまでに 190 秒程度の時間を要することが分かった。

次に、提案した補正手法を用いて照度収束実験したときの各端末から得られた値および実際の照度の時間的な変化を図 11 (b) に示す。この図から、3 機種 of 端末は実験開始

約 90 秒で位置推定および照度/光度影響度の設定を完了し、その 70 秒後には各内蔵照度センサから得られた値が表 2 に示す目標照度値へ収束することを確認した。また、端末 A および C の目標照度の変更 (表 2 の Second target illuminance) を、各端末の位置探索完了から 600 秒後に行った。図 11 (b) より、目標照度の変更にもなって各端末の取得値および実際の照度は約 70 秒で目標照度に収束し、その後適切な値で安定していることが分かる。これにより、スマートフォンを用いた場合においても目標照度の変更に対応できることを確認した。

ここで、図 11 (a) および (b) において、見やすさのために地点 A の XOOM に関してのみの取得値と実際の照度値の時間的な変化を図 12 (a) および (b) にそれぞれ示す。なお、この図では縦軸に示す範囲を 200 lx から 1,200 lx までとした。また、図 11 (a) および (b) の 600 秒時点および 1,200 秒時点における各照明の点灯状況をそれぞれ図 13 (a)-1 および (a)-2, ならびに (b)-1 および (b)-2 に示す。この図は最大点灯光度を 100% としたときの各照明の点灯比率を表したもので、円の大きさは光度を示している。図 12 (a) では、上述したように XOOM の取得値と実際の照度の間に大きな誤差があることを確認した。また、目標照度変更点において XOOM の目標照度は 700 lx から 400 lx に引き下げられたにもかかわらず、取得値と実際の照度がともに上昇していることが分かる。これは、図 13 (a)-2 より、XOOM が設置されている地点 A においては周りの照明が減光しているものの、地点 C の目標照度変更にもなってその周辺の照明が強くと点灯したことで地点 A に必要以上の明るさが提供されたことが原因であると考えられる。これにより、スマートフォンの機種によっては取得値と実際の照度に大きな差異があることにより目標照度の変更に対応できない場合があることが分かった。

次に、図 12 (b) より、提案手法を用いることで取得値と実際の照度との誤差を最小限に抑え、図 12 (b) では適切に制御できていなかった照度を正常に制御できていることを確認した。また、図 13 (b) から、目標照度の変更前および変更後においてもスマートフォンに対して影響が強い照明が強くと点灯し、各端末の目標照度を満たすのに必要のない照明は最小点灯光度で点灯していることが分かる。この点灯状況で目標照度への収束を実現したことから、各照明の制御に提案したスマートフォンの位置推定および補正手法が有効であったことが確認できた。

図 11 (a) および (b) における影響度推定完了後の各端末の取得値と実際の照度との平均誤差および相対誤差を表 3 に示す。表 3 より、補正手法を用いない場合ではすべての端末で平均誤差が 50 lx を超え、適切な制御は容易でないことが分かる。一方で、提案した補正手法を用いた場合では、すべての端末において平均誤差を 50 lx 以内に抑えることが可能であることを確認した。

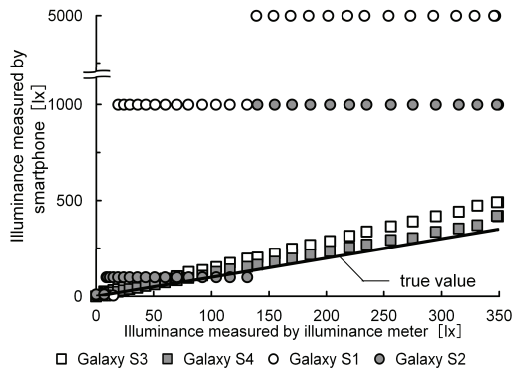


図 14 照明直下における GALAXY 系統の内蔵照度センサから得られる値

Fig. 14 The values from the illuminance sensor built in to the smartphone of the GALAXY series under the lighting fixture.

表 4 GALAXY 系統の内蔵照度センサの分解能

Table 4 The resolution of built-in illumination sensor of the GALAXY series.

Smartphone's model (Release date)	Resolution [lx]
Galaxy S (October 28, 2010)	995 – 4,000
Galaxy S2 (June 23, 2011)	90 – 900
Galaxy S3 (June 28, 2012)	2 – 20
Galaxy S4 (April 26, 2013)	1 – 15

以上より、提案手法を用いることでスマートフォンを照度センサとして用いた際にも、目標照度の変更に対応でき、適切な個別照度制御を実現できることを確認した。

### 5.3 スマートフォンの内蔵照度センサにおける動向検証

知的照明システムおよび 4.1 節で提案した照度/光度影響度の決定手法では、照明の光度を人の目には感知できない程度で変化させる。そのため、スマートフォンを知的照明システムの照度センサとして利用する際には、計測できる最小の照度変化幅が 20 lx 程度以下の分解能を有する内蔵照度センサをスマートフォンが搭載している必要がある。しかしながら、3.2 節で示したように、スマートフォンの中には比較的分解能が高く、内蔵照度センサから得られる値と照度計の取得値が線形関係にある機種が存在するものの、内蔵照度センサの分解能が低い機種や、取得値に含まれる誤差の大きい機種が存在することを確認した。このように、スマートフォンに内蔵される照度センサは、最新の機種であっても精度が低い場合がある。

図 14 は、Samsung 社から発売されている GALAXY シリーズの各世代に内蔵される照度センサから得られる値と照度計の計測値を比較したものである。この計測実験では 256 段階で調光可能な照明 1 灯を用いて、この照明の鉛直直下における机上面（床面から 70 cm の高さ）での各端末と照度計の計測値を調光段階ごとに計測した。この図は、

横軸は照度計の計測値、縦軸は各内蔵照度センサから得られた値を示しており、黒の実線で表した直線は照度の真値を表している。なお、この図では見やすさのため、プロット数を減らして示した。また、この実験での GALAXY シリーズにおける世代別の内蔵照度センサの分解能を表 4 に示す。図 14 および表 4 より、Galaxy S1 および Galaxy S2 は内蔵照度センサの分解能が非常に低く、取得する値は実際の照度と大きく異なることが分かる。一方で、Galaxy S3 および Galaxy S4 に内蔵される照度センサの分解能は高く、取得する値は実際の照度値と近いことが確認できた。この結果より、スマートフォンの中にはモデルが新しくなるにつれ、内蔵照度センサの精度が向上している機種も存在する。

以上のことから、知的照明システムの照度センサとして利用可能なスマートフォンは、今後も年度ごとに少なくとも 1 機種は存在し、さらに精度の高い内蔵照度センサを搭載した機種が発売される可能性がある。

## 6. スマートフォンの内蔵照度センサ以外の照度センサについて

本研究では知的照明システムの導入コストの低減と保守性の向上を目的とし、執務者が個人所有するスマートフォンを照度センサとして利用することをコンセプトとした手法の検討を行った。提案した手法では比較的精度の高い照度センサを搭載したスマートフォンに限り、スマートフォンの内蔵照度センサが持つ特性を考慮した照明制御手法を適用することで、知的照明システムとして適切な制御を実現した。しかしながら、実オフィスにおいては様々な機種のスマートフォンが利用されることが想定されるため精度が低い内蔵照度センサを持つスマートフォンに対する制御手法の検討が必要となる。

本研究では低精度の内蔵照度センサに対しては提案手法を適用することができないものの、スマートフォン専用の照度取得デバイスを装着することで、これらのスマートフォンを知的照明システムに利用することが可能である。これらのデバイスに関しては、イヤホンジャックに接続することで照度情報を取得するタイプ [23] やスマートフォンのカメラに装着し画像解析を行うことで照度計測を行うタイプ [24] があり、内蔵照度センサと比較して高い精度を持つことを確認した。

また、スマートフォン以外にも napica 照度素子を利用した知的照明システムの研究を行っている [25]。この研究では知的照明システムとしての制御を napica 照度素子を用いた安価な自作照度センサで実現した。しかしながら、実オフィスに導入する際は照度センサを保護するための専用ケースならびに、目標照度変更や在席管理の操作を行うための知的照明システム専用のハードウェアが必要となる。

そのほかにも、bluetooth によりスマートフォンと通信

可能な照度センサ [26] が低価格で販売されており、知的照明システムにおける照度センサの選択肢の1つと考えられる。このような照度センサに関しては、スマートフォンを介することで3.1節で述べたような知的照明システムの制御を行うためのアプリケーションを提供することが可能である。一方で、napica 照度端子を用いた照度センサと同様に照度センサを保護するための専用ケースが必要となる。

上述したような照度センサを専用ケースに内蔵させる場合、これらの照度センサの多くでは受光部がケース内部に設置されるため、スマートフォンの内蔵照度センサと同様の構成となることが考えられる。検証実験の結果、これらの照度センサは実際の照度と線形関係にあるものの、取得値と実際の照度との間には差異があることが分かった。また、受光部がケース内部に設置されるため、照明との距離によって取得値の実際の照度に対する倍率に変化し、スマートフォンと同様の特性が見られた。

このため、これらの照度センサを利用する際にも本研究で提案した手法は有効であると考えられる。

## 7. 結論

本研究では知的照明システムにおける実オフィス導入時に問題となっている照度センサの導入コストおよび保守性に着目し、これを解決する手法としてスマートフォンを照度センサとして用いる照明制御手法について検討を行った。そして、スマートフォンの内蔵照度センサに関する性能検証の結果を基に、スマートフォンを知的照明システムの照度センサとして用いるための照度/光度影響度の推定手法およびスマートフォンの取得照度データ補正手法の提案を行った。検証実験では、スマートフォンの内蔵照度センサを用いた場合でもスマートフォンの取得値の差異を改善し、実際の照度と同等の値で制御が可能であることを検証した。これにより、提案手法を用いることで知的照明システムで用いる照度センサをスマートフォンで代用することが可能である。ただし、知的照明システムに利用可能なスマートフォンは分解能が20lx程度より優れた機種に限る。

なお、スマートフォンの位置推定および照度/光度影響度推定の高速化手法、ならびに分解能が20lx程度より劣る機種および未検証の機種に対する制御手法等については今後の検討課題である。

**謝辞** この研究はNEDO（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）研究開発プロジェクト名「エネルギー使用合理化技術戦略的開発」研究開発フェーズ：先導研究フェーズ研究開発課題名：「知的照明システムの研究開発」の補助を受けて実施した。ここに謝意を表す。

## 参考文献

[1] 財団法人省エネルギーセンター：オフィスビルにおける照明の消費エネルギー比率，入手先 (<http://www.eccc.or.jp/>)

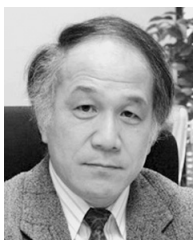
- jp/office\_bldg/01.html) (参照 2013-05-12).
- [2] 森本康司，太田正明：オフィスにおける照明設備の省エネ制御，東芝レビュー，Vol.59, No.10, pp.22-26 (2004) (オンライン)，入手先 ([http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2004/10/59\\_10pdf/a06.pdf](http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2004/10/59_10pdf/a06.pdf)).
- [3] 下田 宏，大林士明：オフィスビルの省エネルギーとプロダクティビティ照明，電気学会論文誌 C，Vol.128, No.1, pp.2-5 (2008).
- [4] 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：オフィスワークのプロダクティビティ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 2006，Vol.1, No.1322, pp.151-156 (2006).
- [5] Boyce, P.R., Eklund, N.H. and Simpson, S.N.: Individual Lighting Control: Task Performance, Mood and Illuminance, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Vol.29, No.1, pp.131-142 (2000).
- [6] 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 (2007).
- [7] 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，Vol.131, No.5, pp.321-327 (2011).
- [8] 三木光範，加來史也，廣安知之，吉見真聡，田中新語，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，電気学会論文誌 D，Vol.J94-D, No.4, pp.637-645 (2011).
- [9] 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，独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (2011).
- [10] 松田裕貴，新井イスマイル：スマートフォン搭載照度センサの集合知による網羅的な街灯情報収集システムの開発，情報処理学会論文誌，Vol.55, No.2, pp.750-760 (2014).
- [11] 松田裕貴，新井イスマイル，荒川 豊，安本慶一：スマートフォン搭載照度センサの個体差に対応した夜道における街灯照度推定値校正手法の提案，情報処理学会論文誌，Vol.57, No.2, pp.520-531 (2016).
- [12] 村上洋平，大槻知明：スマートフォンを用いたデッドレコニングにおける照度センサを利用した推定位置補正，信学技報，Vol.113, No.399, ASN2013-121, pp.17-22 (2014).
- [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] Miki, M., Hiroyasu, T. and Imazato, K.: Proposal for an intelligent lighting system and verification of control method effectiveness, *Proc. IEEE CIS*, pp.520-525 (2004).
- [15] 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 C (電子・情報・システム部門誌)，Vol.130, No.5, pp.750-757 (2010).
- [16] Tanaka, S., Miki, M., Hiroyasu, T. and Yoshikata, M.: An Evolutional Optimization Algorithm to Provide Individual Illuminance in Workplaces, *Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, Vol.2, pp.941-947 (2009).
- [17] 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，Vol.J95-D, No.3, pp.549-555 (2012).
- [18] 町田啓悟，三木光範，松下昌平，市野 博，間 博人：知的照明システムにおける照度センサの多機能化，情報処

- 理学会第 77 回全国大会 (2015).
- [19] 三木光範, 松下昌平, 桑島 奨, 間 博人, 雛元昌一郎, 水取寛満: 茅場町グリーンビルディングに導入した知的照明システムと稼働ログデータ解析結果, 第 37 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.49-54 (2014).
  - [20] 鈴木惇也, 秋山征己, 田中 博, 五百蔵重典: スマートフォン内蔵センサを用いた歩行位置推定に関する基本実験と評価, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-MBL-64, No.10, pp.1-7 (2012).
  - [21] 北川 択, 新井イスマイル: スマートフォン内蔵ジャイロセンサによる屋内方位推定精度向上, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-UBI-37, No.11, pp.1-8 (2013).
  - [22] 窪澤駿平, 杉本真佐樹, 小島 実: スマートフォン上での無線 LAN を用いた屋内位置推定手法, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.283, pp.49-54 (2012).
  - [23] Lumu Labs: Lumu, available from (<https://lumu.eu/>) (accessed 2016-02-01).
  - [24] Extrasensory Devices: Luxi For All, available from (<http://www.esdevices.com/collections/all/products/luxi>) (accessed 2016-02-01).
  - [25] 奥西亮賀, 間 博人, 三木光範, 本谷 陽, 谷口総一郎: 無線センサネットワークを用いた知的照明システムの基本的検証, 情報処理学会研究報告, Vol.2013-UBI-39, No.3, pp.1-8 (2013).
  - [26] 有限会社浅草ギ研: BLE 照度センサー, 入手先 (<http://www.robotsfx.com/robot/BLECAST.BL.html>) (参照 2016-02-01).



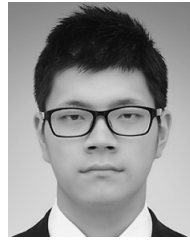
桑島 奨 (学生会員)

1990 年生. 2014 年同志社大学工学部インテリジェント情報工学科卒業. 同年同志社大学大学院理工学研究科修士課程入学. 知的照明システムにおけるアルゴリズムの改良等の研究に従事.



三木 光範 (正会員)

1950 年生. 1978 年大阪市立大学院工学研究科博士課程修了, 工学博士. 大阪市立工業研究所研究員, 金沢工業大学助教授を経て, 1987 年大阪府立大学工学部航空宇宙学助教授, 1994 年同志社大学工学部教授. 研究分野はシステム工学, 最適化, 並列処理等, 最近は並列処理と最適化を組み合わせた技術をオフィス照明の分野に展開し, 知的照明システムを研究・開発している. IEEE, 米国航空宇宙学会, 人工知能学会, システム制御情報学会, 日本機械学会, 計算工学会等各会員. 超並列計算研究会代表. 経済産業省産業技術審議委員等歴任. 知的オフィス環境コンソーシアム会長.



山口 浩平

1992 年生. 2015 年同志社大学工学部インテリジェント情報工学科卒業. 同年同志社大学大学院理工学研究科修士課程入学. 知的照明システムにおける新たな制御アルゴリズムの研究に従事.



東 陽平

研究に従事.

1989 年生. 2012 年同志社大学工学部インテリジェント情報工学科卒業. 2014 年同志社大学大学院理工学研究科修了. 同年株式会社野村総合研究所入社. 大学院時代に知的照明システムにおける新たな制御アルゴリズム等の



間 博人 (正会員)

測自動制御学会各会員.

1978 年生. 2010 年慶応義塾大学博士 (政策・メディア) 取得. 2013 年同志社大学工学部インテリジェント情報工学科助教. センサネットワーク, ユビキタスコンピューティング, 通信プロトコル等の研究に従事. IEEE, 計