

## 在離席管理機構を組み込んだ照明の分散最適制御システム

三木 光範\*1 ○松谷 和樹\*2

キーワード：照明制御 最適化 オフィス環境 在席管理

### 1. はじめに

近年、オフィスにおける、オフィスワーカーの快適性および知的生産性の向上に注目が集まっている。オフィス環境を改善することにより、知的生産性が向上すると報告されている<sup>1)</sup>。また、オフィス環境のうち、特に光環境に着目した研究では、執務に最適な照度を個人ごとに提供することがオフィス環境の改善に有効であることが明らかとなっている<sup>2)</sup>。執務に最適な照度を個別に提供することは、タスク照明を利用することで実現できる<sup>3)</sup>が、現在のオフィスにおける照明は、フロアに均一な明るさを提供する天井照明が一般的であり、タスク照明の導入にコストがかかることから好まれていない。そのため、天井照明のみを用いて、個々に最適な明るさを提供する照明制御システムが必要となる。

また、電子デバイスや情報処理技術の発展に伴い、電化製品、自動車、飛行機などの様々なシステムにおいて、ユーザや環境に合わせてシステムが状況を自律的に判断して制御し、人間の負荷を軽減する知的化が行われているが、照明システムに関しては、システムの知的化が遅れている。

このような背景から、著者らは任意の場所に任意の明るさを提供し、かつ照明の省エネルギー性を実現する知的照明システムの研究・開発を行っている<sup>4)</sup>。知的照明システムの有用性の検証のために、知的照明システムを実オフィスに導入したところ、個別分散照度、および省エネルギー性の実現の観点から良好な結果が得られた<sup>5)</sup>。知的照明システムは、執務者が退席している際には明るさが不要だと判断し、不必要な明るさを抑えることが可能である。現在、実オフィスに導入しているシステムでは、在席状態は執務者がウェブ上のユーザインタフェースから変更する。しかしながら、現状では、執務者によって在席状態が適切に変更されておらず、不必要な明るさが提供されるといった事案が発生している。そこで、執務者の在席状態を自動的に管理することで、この問題の解決を考える。また、在席状態を自動的に管理する方法として、座席上の圧力を計測することで、執務者の在離席をセンシングできる着座センサを用いる。本稿では、在席状態を管理する知的照明システムの構築を行い、着座センサの導入によりどの程度省エネルギー性が向上するかを検証し、報告する。

### 2. 知的照明システム

知的照明システムとは、各照明が自律的に照明の明るさである光度を変化させることで、各執務者が要求する照度（目標照度）を満たし、かつ、不必要な明るさを抑えることで省エネルギーを実現する照明制御システムである。

知的照明システムは、複数の調光可能な照明機器、照明機器に組み込まれたマイクロプロセッサ、複数の照度センサ、および電力計から構成される（図1）。各照明にはマイクロプロセッサが搭載されており、各照明が独立して光度制御を行う自律分散型のシステムとして稼働することが可能である。執務者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、執務者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。

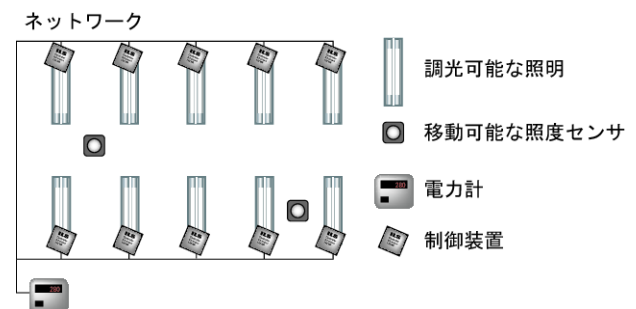


図1. 知的照明システム構成図

### 3. 知的照明システムの実オフィスへの導入

我々は、知的照明システムの有用性の検証を目的とし、六本木ヒルズ森タワー、東京ビルディング、新丸の内ビルディング、および大手町ビルディングなどの実オフィス空間に知的照明システムの導入を行ってきた。

知的照明システムは、システムの制御形態として分散制御方式と集中制御方式の双方を用いることができる。導入したシステムは、集中制御方式を採用し、1台のコンピュータですべての照明器具を制御するため、1台のコンピュータが知的照明システムの制御に用いる各照明の光度情報や照度センサの照度情報などのすべての情報を管理している。また、知的照明システムは、照明がセンサに及ぼ

す影響の度合いを照明自身の光度変化量とセンサの照度変化量から推定することができるが、オフィスにおいて執務者の席が固定されている状況であるため、各照明の照度センサに対する影響度はあらかじめ設定したものをを用いている。

検証実験の結果、目標照度の実現において良好な結果が得られた。また、おおよそ 50% の消費電力が削減できており、省エネルギー性の観点からも良好な結果が得られた。一方で、課題も存在する。知的照明システムは、執務者が離席している場合は、該当執務者の目標照度を 0 lx として扱うことで、不必要な明るさを抑制することが可能である。また、各照明は、自身の明るさが不要と判断すれば、消灯する仕組みとなっている。執務者の在席状態は、執務者自身がウェブ上のユーザインタフェースにアクセスし、在席状態を切り替えることで変更される。

しかしながら、導入システムにおいて、各執務者の在席状態の切り替えが適切に行われていない現状が分かった。図 2 に、知的照明システムを導入した東京ビルディングにおける、ある 1 日の在席者数の推移を示す。

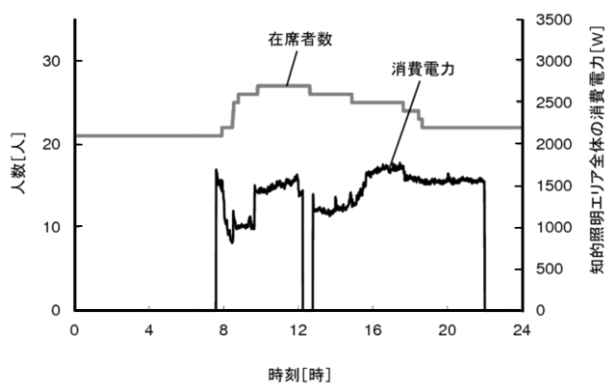


図 2. WebUI を用いた際の在席者数および知的照明エリアの消費電力量（照明 30 台）の推移

図 2 より、全執務者 42 名のうち 20 名程度の被験者は、時間帯に拘わらず常に在席状態となっており、また、全体の 1 割程度の執務者しか在席状態の変更を行っていないことが分かる。22 時頃に照明が切られていることから、適切に在離席情報に変更されていれば、就業時間である 17 時から 22 時にかけて徐々に消費電力が下がると考えられる。しかしながら、在離席情報の変更を行わない執務者がいるために、実際には 17 時以降も必要以上の電力が消費されている。

すなわち、実際には執務者が離席しているにも拘らず、不必要な明るさが提供されており、また、照明の適切な消灯が行えないという状況が発生している。こういった状況は、省エネルギーの観点から改善すべきであり、執務者の在席・離席状態を正しく把握することは重要であるといえる。

在席状態の変更が行われない原因として、在席状態の変更に手間がかかることが挙げられる。そこで、執務者の在席状態を自動的にセンスする着座センサを用いることで、これらの問題を解決することを考える。

#### 4. 在席の管理

##### 4. 1. 着座センサの試作

在席状態を判断するためには、座席に人が座っているかを判断する必要がある。システムの構築にあたり、座席上の圧力感知することにより在席状態を判断する圧力感知方式の着座センサを用いる。本方式では、座席上に圧力センサを設置するだけでよいため、導入が容易であり、執務者にとって負担にならない点で優れていると考えられる。

本実験で使用する着座センサを試作した（株式会社プロビデント製）。着座センサは、圧力を感知するセンサ（図 3）、データを送信するデータ送信端末（図 4）、およびデータを受信するコーディネータから構成される。圧力センサは、圧力により電気抵抗が変化する感圧伝導性エラストマーセンサを用いる。



図 3. 圧力センサ



図 4. データ送信端末

データ送信端末は、圧力センサにより計測された電気抵抗を 0 から 1021 の圧力値に数値化し、データ送信端末自身が持つ固有のアドレスを付加し、30 秒毎コーディネータに対しデータを無線通信により送信する。なお、データ送信端末-コーディネータ間の通信は、省電力性に優れた無線通信規格である Zigbee に準拠する。

##### 4. 2. 在離席判断

着座センサは 30 秒毎に圧力センサにかかる圧力値および着座センサ固有のアドレスを制御マシンへと送信する。

制御 PC に受信された圧力値およびアドレスは受信時間とともに記録する。

一定以上の圧力値の場合は、在席と判断し、一定以下の圧力値は離席と判断する。その際の閾値は 900 とした。予備実験により、圧力センサ上に人が座っていない場合においては、1000 以上の値が出力され、人が座っている場合は最大でも 100 程度の値しか出力されないことからこの値を閾値とした。

ある一定時間以上、執務者の離席状態が続いた場合、システムは執務者が離席していると判断し、その執務者の目標照度を 0 lx として扱う。また、離席状態の際に在席情報

が得られた際は、執務者が在席状態になったと判断し、目標照度をもとの目標照度へと戻す。離席状態がある一定時間以上続いた場合のみ、執務者が離席したと判断した理由は、一時的な離席を離席としないためである。一方、在席情報が着座センサより得られた場合、ただちに在席状態へ変更する理由は、執務者が離席状態から在席状態になった際に、照度センサに提供される照度が低いと考えられるため、迅速に照度を上げる必要があるためである。

## 5. 実オフィスにおける提案システムの有用性検証実験

### 5. 1. 実験概要

現在、知的照明システムの実証実験を行っている東京ビルディング三菱電機株式会社本社オフィスへ着座センサを導入し、照明の消費電力量がどの程度削減できるかを検証する。実験は2011年1月29日より開始した。

東京ビルの知的照明フロアでは、LED照明30台、照度センサが各席に1台ずつ、合計42台設置されている。今回の実験では照度センサを設置している42席のうち、10席に着座センサを設置した。

着座センサを設置していない場所の執務者は、在席状態は従来通り、Webユーザインタフェースを用いて変更してもらった。実験環境の平面図を図5に示す。枠で囲われた席に着座センサを設置した。枠内の数字は着座センサの識別用番号を表す。また、照明右の数字は照明番号を表す。着座センサは図6のように執務者の座席に設置した。圧力を感知する圧力センサ部は座席の前部に配置し、センサからの情報を送信するデータ送信端末は、マジックテープで座席の肘掛け下部に固定した。

また、本実験では5分以上、執務者の離席状態が続いた場合、執務者が離席していると判断した。

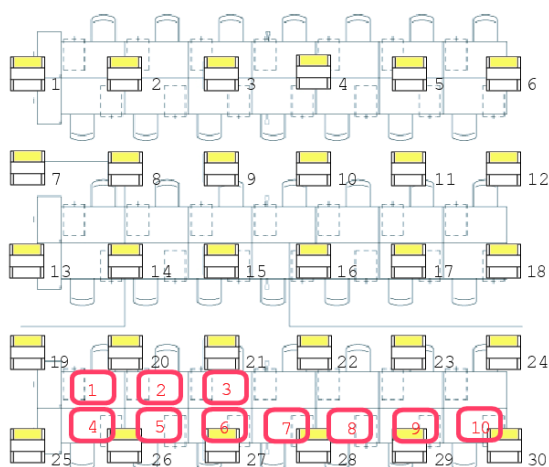


図5. 実験環境（平面図）



図6. 着座センサの設置状況

### 5. 2. 執務者の在席状態と照明の光度の推移

実験結果の一例として、2011年2月9日における、照明26および30の光度履歴をそれぞれ図7、図8に示す。なお、左縦軸は照明の光度値[cd]、横軸は時間[時]を表している。また、グラフ上には照明が影響を与える照度センサを所有する執務者の在席状態を示す。

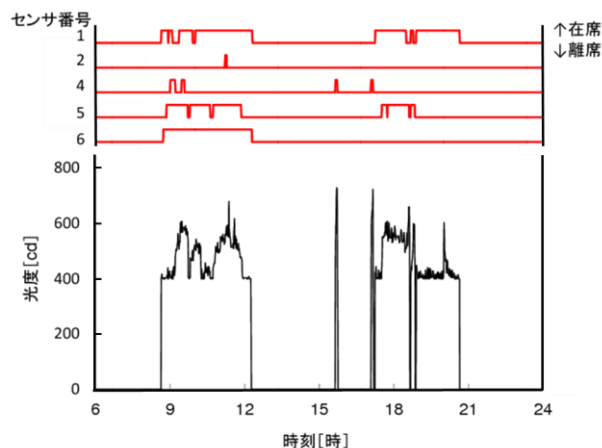


図7. 照明26光度履歴およびセンサ1, 2, 4, 5, 6の在席状態（2011年2月9日）

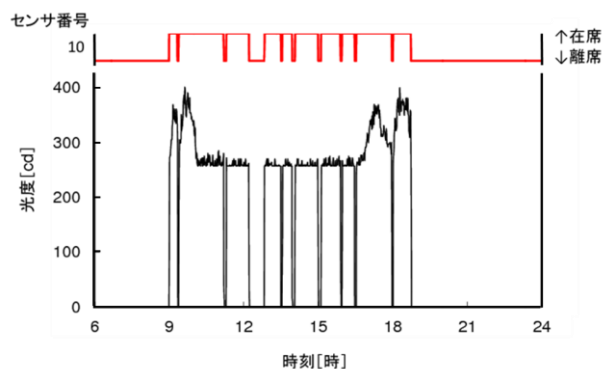


図8. 照明30光度履歴およびセンサ10の在席状態（2011年2月9日）

図7では、照明26に近い着座センサ1, 2, 4, 5および6の執務者がすべて離席している場合は、照明26が消灯していることが分かる。また、図8においても、照明30は、着座センサ10を利用する執務者が離席している際に、消灯していることが分かる。このように在席状態を自動的にセンシングするところで、適切に不必要な明かりを抑えることができていることが分かる。

### 5. 3. 省エネルギー効果の検証

前節より、着座センサを用いることで、在席状態を自動でセンズでき、その在席情報を基に照明が適切に制御できることが分かった。本節では、どの程度消費電力が削減できたかを検証する。

着座センサを導入した席に設置された照度センサのみに対して影響を持つ照明19, 25, 26, 27および30の照明5台の9時から12時, 13時から18時における合計消費電力量を比較する。導入前は、1月11日から1月21日, 導入後は、2月8日から2月21日までのうちそれぞれ休日のデータを除いた9日間のデータを用いた。

着座センサ導入前の電力履歴を図9, 導入後の電力履歴を図10にそれぞれ示す。ただし、縦軸は5台の照明の消費電力量[Wh], 横軸は日付をそれぞれ示す。

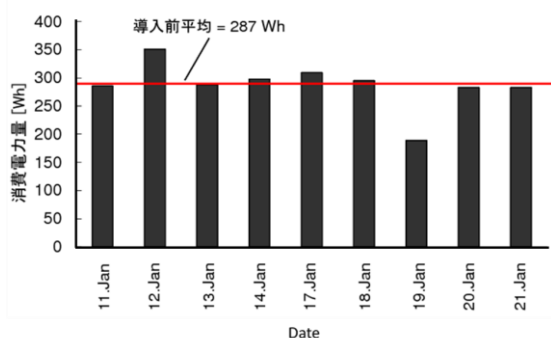


図9. 着座センサ導入前の消費電力量(照明5台, 9-12, 13-18時まで)

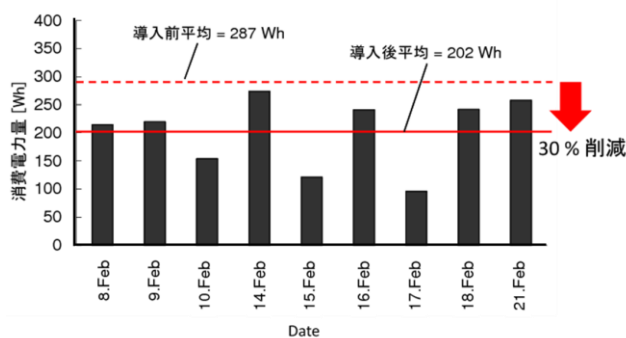


図10. 着座センサ導入後の消費電力量(照明5台, 9-12, 13-18時まで)

図9, 10より、着座センサ導入後の電力履歴の方が全体として低く推移していることが分かる。導入前の消費電力量の平均は287 Wh, 導入後の消費電力量の平均は202 Wh程度となった。導入後ではすべての日において導入前の平均消費電力量を下回っており、着座センサを導入することで、着座センサを導入したエリアの照明の消費電力量を導入前の7割程度まで削減することができた。

### 6. まとめ

本研究では、在席管理機構を組み込んだ知的照明システムの提案を行った。現在、著者らが実オフィス導入しているシステムでは、在席状態の変更は、執務者が自席の個人PCからユーザインタフェースを操作することで行われている。しかしながら、この操作は手間がかかるために、在席状態の変更は正確に行われていない。すなわち、実際には執務者が退席している場合でも、在席として扱われることがあり、不必要な明るさが提供されていた。

そこで、在席状態を自動的に判断する方法として、座席上の執務者の在・不在を判断する着座センサを用いて、在席管理機構を組み込んだ知的照明システムを構築し、実オフィスにて検証実験を行った。実験結果より、正確に在席を管理することで、目標照度を0 lxに変更することができ、不必要な明るさを抑えることが可能であることが分かった。また、着座センサを設置したエリアの照明に関して、導入前後の消費電力量を比較すると、消費電力量を3割程度削減することができた。

### [参考文献]

- 1) 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, 2006
- 2) Peter R. Boyce, Neil H. Eklund, S. Noel Simpson, Individual Lighting Control: Task Performance Mood, and Illuminance, JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, 2000, pp.131-142.
- 3) K. Yamakawa, K. Watabe, M. Inamura, H. Takeda. A Study on the Practical Use of a Task and Ambient Lighting System in an Office. Journal of light and visual environment 24(2), pp. 15-18, 2000
- 4) M. Miki, T. Hiroyasu, and K. Imazato. Proposal for an Intelligent Lighting System, and Verification of Control Method Effectiveness. Proc CIS, vol.1 pp. 520-525, 2004.
- 5) Y. Kasahara, M. Miki, M. Yoshimi, "Preliminary Evaluation of the Intelligent Lighting System with Distributed Control Modules", Proc. ISDA2011, pp. 283-288, 2011

\*1 同志社大学理工学部 教授 工博

\*2 同志社大学 大学院生