

人感センサを用いた照明制御システムと 知的照明システムの消費電力削減効果の比較

小野林 功昇

Katsunori ONOBAYASHI

1 はじめに

近年、東日本大震災を契機とする電力供給不足が大きな問題となり、オフィスビルにおける省エネルギーならびに節電が求められている。オフィスにおける消費電力量のうち、照明が占める消費電力量の割合は約 40% である¹⁾。そこで、人感センサを用いた照明制御システムを導入したオフィスが年々増加している。一方で、我々は任意の場所に任意の明るさを提供する照明制御システム（以下、知的照明システム）の研究・開発を行っている²⁾。

そこで本稿では、現在普及している人感センサを用いた照明制御システムと知的照明システムにおける消費電力削減効果の比較を行い、知的照明システムの有効性をシミュレーションにより検証する。

2 人感センサを用いた照明制御システム

実オフィスへの導入例として、住友商事ビルや鹿島 KI ビル等が挙げられる。これらのオフィスでは、赤外線により人の検知を行っている。そこで、導入事例をもとに、人感センサの配置が 3.6 m 四方に 1 つ、検知範囲が地面から高さ 0.9 m、半径 3.0 m となるような対象環境にした。在席の場合は、執務者の机上面が最小照度〔750 lx〕の明るさを満たすような照明の明るさ（以下、光度）〔750 cd〕で点灯する。

3 知的照明システム

3.1 知的照明システムの概要

知的照明システムは、複数の調光可能な照明機器、マイクロプロセッサ、複数の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する。知的照明システムの構成図を Fig. 1 に示す。Fig. 1 に示すように各照明にはマイクロプロセッサが搭載され、各照明が独立して照明制御を行うことが可能である。知的照明システムでは、照度センサから照度情報、および電力計から消費電力を取得する。取得した情報を基に、各照明に設置した制御装置が最適手法を用いて自律的に光度を執務者が認知しない幅で変化させる。これを繰り返し各執務者が要求する照度（以下、目標照度）を満たすことで、執務者の知的生産性、快適性の向上を図る。

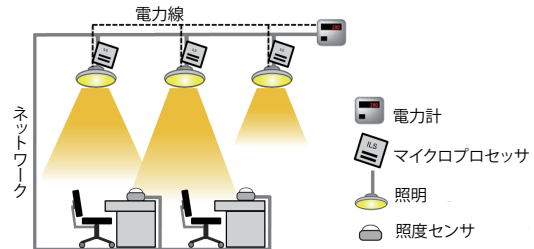


Fig. 1 知的照明システム構成図

3.2 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、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)³⁾を用いている。式 (1) に示す目的関数の設計変数を照明の点灯光度とする。目的関数は消費電力と照度ペナルティの項からなり、現在照度が目標照度以下のとき照度ペナルティを付加する。

$$f = P + \omega \times \sum_{i=1}^n g_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1)$$

$$g_i = \begin{cases} 0 & (Ic_i - It_i) \geq 0 \\ R_i \times (Ic_i - It_i)^2 & (Ic_i - It_i) < 0 \end{cases}$$

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

f :目的関数, n :照度センサの数, ω :重み

L_t :目標照度 [lx], L :光度 [cd], T :閾値

P :消費電力 [W], Ic :現在の照度 [lx] m :照明の数

r_i :照明に対する照度センサ i の回帰係数
(照度/光度影響度係数)

適応的近傍アルゴリズム (ANA/RC) では、各照度センサの照度変化量と各照明の光度変化量をもとに回帰分析を行う。算出した回帰係数は各照明が各照度センサに及ぼす影響度合い（以下、照度/光度影響度係数）である。この照度/光度影響度係数をもとに決められた近傍を割り当てランダムな光度変化に方向性を持たせる。今回は、シミュレーション環境のため照度センサと照明の直線距離に閾値を設け、ある照度センサに影響を与える照明を近くの照明に絞ることにした。

予備実験により消費電力と照明の点灯光度は、線形関係であることが確認できたため、今回はその結果をもとに消費電力を算出した。

4 消費電力の比較

4.1 シミュレーション概要

人感センサを用いた照明システムと知的照明システムの消費電力削減効果をシミュレーションにより検証した。その際、1日における執務者数の変動を模擬するために出社時間帯、就業時間帯および退社時間帯を設け、時間帯における様々な執務形態を想定した。各時間帯においてそれぞれ3通りの執務形態を想定し計27通りの執務形態の検証を行った。

4.2 シミュレーション内容

32名の執務者がいる実オフィスを想定したシミュレーション環境を Fig. 2 に示す。また、1日における執務者数の変動により、消費電力が変化すると考えられるため、様々な執務形態を想定する。そこで、Fig. 3 に一日の執務形態の概念図を示した。T_M から T_A を出社時間帯、T_A から T_L を就業時間帯、T_L から T_N を退社時間帯とした。出社時間帯、在席率および退社時間帯はそれぞれ Table. 1 に示すような3通りを想定し、計27通りの執務形態の検証実験を行った。また、12時から13時の1時間は昼食の時間とし、全照明を消灯するようにした。

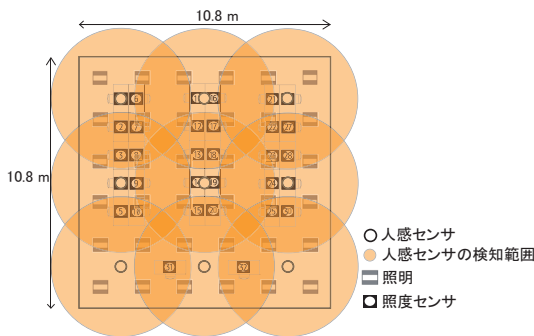


Fig. 2 実験環境

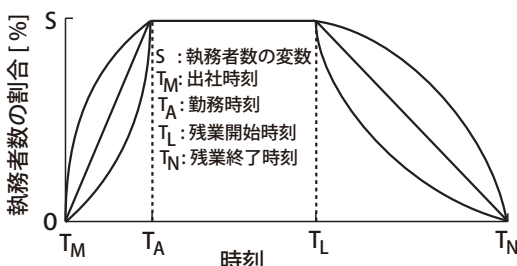


Fig. 3 執務形態の概念図

Table 1 時間帯別執務形態

出社時間帯 (T _M から T _A)	就業時間帯 (T _A から T _L)	退社時間帯 (T _L から T _N)
出社率が山形	在席率が30%	退社率が山形
出社率が線形	在席率が60%	退社率が線形
出社率が谷形	在席率が90%	退社率が谷形

4.3 シミュレーション結果

Fig. 3 に示した執務形態についてそれぞれ土曜日と日曜日を除いた1ヶ月間を想定し、試行回数は20日間とした。その際、1日の執務形態において、T_M を8時、T_A を9時、T_L を18時および T_N を24時とした。

すべての執務形態における人感センサを用いた照明制御システムと知的照明システムの20日間の平均消費電力を Fig. 4 に示す。横軸は、出社時間帯および退社時間帯における執務形態の山型を1、線形を2、谷型を3とし、就業時間帯における在席率の30%を1、60%を2、90%を3とした。

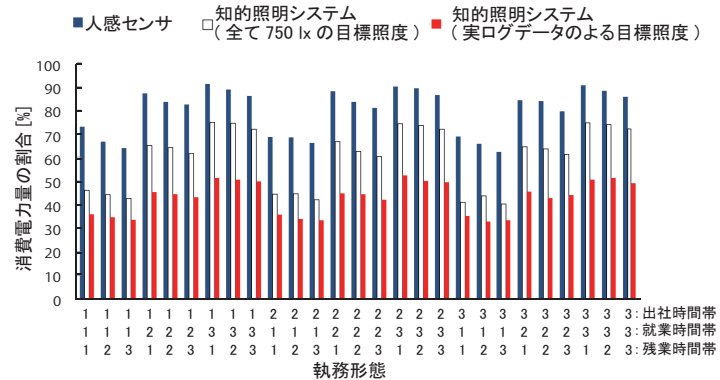


Fig. 4 20日間における平均消費電力

Fig. 4 に示すように、知的照明システムは想定したすべての在席率変化において人感センサを用いた照明制御システムより消費電力削減効果に対して有効であると言える。また、最大で43.1%、少なくとも29.0%以上の消費電力削減効果があった。このことから、特に執務者の在席率が60%、つまり執務者がいる程度離席している執務形態において最も有効な消費電力削減効果があると言える。

5 結論

以上の結果から知的照明システムは、想定した多くの執務形態で人感センサを用いた照明制御システムより高い消費電力削減効果を得ることが分かった。そのため、オフィスには人感センサを用いた照明制御システムを導入するより知的照明システムを導入した方が消費電力削減効果に有効的であると言える。

参考文献

- 1) オフィスビルのエネルギー消費の特徴. 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コンソーシアム. 人口知能学会, Vol. 22, No. 3, pp. 399-410, 2007.
- 3) 米澤基小野景子. 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, Vol. 130, No. 5, pp. 750-757, 2010.