

Comparison of Power Consumption Reduce Effect of Intelligent Lighting System and Lighting Control System by Using Motion Sensor

Katsunori ONOBAYASHI^{**}, Mitsunori MIKI^{*}, Yuki SAKAKIBARA^{**} Hisanori IKEGAMI^{**}
and Hiroto AIDA^{*}

(Received April 18, 2014)

Offices in recent years introduced a lighting control system in accordance with the person detecting sensor is increased. Lighting control system as compared to the uniform illumination of conventional, using the human sensor, since the illumination is linking the human sensor only turns illumination control of the area unit of is possible. However, in that it is not the area units is performed individually dimming control that satisfies (hereinafter, target illumination) the brightness of the light by each office's desires, it may be possible to reduce the power consumption. In this study, a system for individually controlling the office each user a lighting control system using a human detection sensor (hereinafter, intelligent lighting system), the related power consumption performing comparative experiments. Make a comparison experiment by simulation, the verification to show the usefulness of the energy saving of power consumption in office introduced intelligent lighting system, the office patterns various simulates the environment of the real office that for the Simulation results assume, simulations were performed, there is utility in office all forms here for intelligent lighting system, the energy saving compared with the lighting control system using the human sensor was found.

Key words : energy conservation, lighting system, motion sensor

キーワード : 省エネルギー, 照明制御, 人感センサ

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, 三木光範, 榊原佑樹, 池上久典, 間博人

1. まえがき

2011 年 3 月 11 日, 東日本大震災が発生した。そのなかで, 地震に伴う複数の発電所の停止や送変電設

備の被害が発生し, 近年, 東日本大震災を契機とする電力供給不足が叫ばれている。そこで, 企業は大幅な節電対策が求められており, オフィスビルにおける省

* Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone: +81-774-65-6930, Fax: +81-774-65-6716, E-mail: mmiki, haida@mail.doshisha.ac.jp

** Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone: +81-774-65-6924, E-mail: hnakabayashi, hikegami, smatsushita, skuwajima@mikilab.doshisha.ac.jp

エネルギー・節電が大きな課題となっている。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 % であり¹⁾、執務者にとって不要な照明を消灯、あるいは減光することで省エネルギー性を実現し、オフィス全体の消費電力削減に繋がると考えられる。そのためオフィスビルでは、執務者にとって不要な照明を消灯制御するため、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。人感センサを用いた照明制御システムは、人が不在のエリアの照明を消灯することにより、省エネルギー性を実現している。

一方で、我々は任意の場所に任意の明るさを提供し、かつ執務者にとって不要な照明を消灯、あるいは減光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⁾。知的照明システムは執務者が仕事内容や好みなどによって希望する光の明るさ（以下、目標照度）を照度センサに設定し、制御 PC から情報を受け取り、調光制御を行うことで、目標照度を最小限の消費電力で実現することができる。そのことに加え、実オフィスに知的照明システムを導入することにより、各執務者が会議や談話等のそれぞれの執務環境に合わせた光環境を提供することができ、快適性や知的生産性向上が期待される³⁾。また、実際に知的照明システムを実オフィスに導入した実証実験のデータにより、JIS 規格が定めたオフィスの照度より低い目標照度を要求する執務者が多いことが分かった⁴⁾。そのため、必要な場所に必要な照度を提供することが可能な知的照明システムを導入することで、高い省エネルギー性を実現することが可能であるという結果が得られた^{5,6)}。

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。その際、オフィスにおける様々な執務形態を想定するため、複数の執務パターンを想定したシミュレーション環境で実験を行う。

2. 人感センサの概要

人感センサは、人間の動きを検知する感知器であり、人や物などが感知範囲の中で動くとその動きを検知し、信号を送る。人感センサは、赤外線、超音波、可視光などを用いることで人を検知する。検知方法として、周囲の温度と温度差のあるものが検知範囲内で動いた際、その温度変化を検知する。一般的には、赤外線を用いて人の検知を行うことが多いため、赤外線による人感センサを想定し、今回のシミュレーション実験を行った。

3. 人感センサを用いた照明制御システムの導入事例

今回、住友商事ビルや東芝が用いている人感センサをもとに人感センサの配置を 3.6 m 四方に 1 つとし、検知範囲を地面から高さ 0.9 m、半径 3.0 m とした。その図を Fig. 1 に示す。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光度（750 cd）で点灯する。

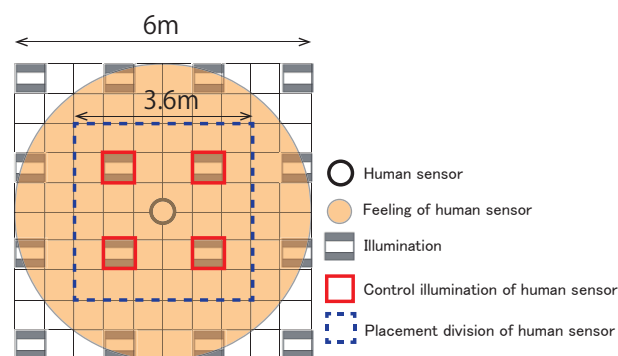


Fig. 1. Placement division of human sensor.

4. 知的照明システム

4.1 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. 2 に示す。なお、Fig.

2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。つまり、自律分散であるため各照明を独立して調光することが可能である。知的照明システムでは、照度センサから照度情報、および電力計からの消費電力量を基に、各照明に設置した制御装置が最適化手法を用いて各照明が自律的に照明の明るさ（以下、光度）を執務者が認知しない変化幅で変化させる。このことにより、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。また、執務者が要求する目標照度を最適な点灯パターン（以下、最適光度）で照明を制御することで消費電力量の最小化を実現することが可能である。

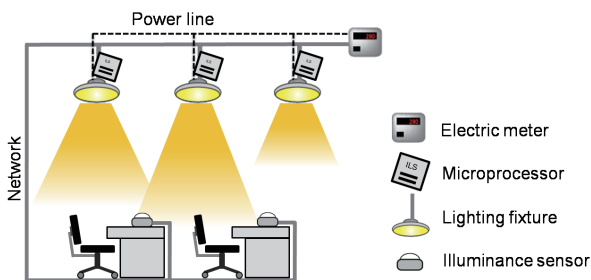


Fig. 2. Figure of intellectual lighting system constitution.

4.2 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)⁷⁾を用いている。SAは、現在の解から近傍の範囲内で近傍解を生成し、目的関数の改善が見られれば近傍解を受理するといった局所探索法の代表的な手法である。知的照明システムで用いる目的関数を式(1)に示す。この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量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時照度ペナルティを付加する。

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⁸⁾。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。これにより、迅速に目標照度を実現し、かつ消費電力量を最小とすることができる。

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

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

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

f : 目的関数 P : 消費電力 w : 重み

n : 照度センサの数 m : 照明の数

Lc : 現在照度 Lt : 目標照度 T : 閾値

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)

知的照明システムは、式(1)の目的関数の最小化を目的とする。目的関数は消費電力と照度に関するペナルティ項に重みを乗算したものと和からなる。目的関数の重みの値により、目標照度への収束精度向上または消費電力の削減を優先するかを決定することが可能である。また、照度/光度影響度係数に閾値を設けることで、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ができる⁹⁾。これにより、照度センサから遠い照明は消費電力の最小化のみを目的として制御する。今回は、シミュレーション環境のため照度/光度影響度係数は用いず、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。

4.3 照明制御システム

ANA/RCの制御アルゴリズムの流れについて以下に示す。

- (1) 各センサの目標照度を設定し、各照明が初期点灯光度で点灯

- (2) 現在光度による照度情報および消費電力を取得
- (3) 現在光度における目的関数を算出
- (4) 各照明に適切な光度生成範囲を決定
- (5) 近傍内から次光度をランダムに生成
- (6) 生成した光度で各照明を点灯
- (7) 次光度における照度情報および消費電力を取得
- (8) 次光度状態における目的関数を算出
- (9) 目的関数が良好になっている場合、その光度を確定し Step2 へ戻る
- (10) Step8 で目的関数が改悪した場合、その光度を確定

上記の動作を繰り返すことで、各照明は自律的に照度を変化させ、執務者の目標照度を満たしつつ、消費電力を最小化するような点灯パターンを実現する。

4.4 消費電力の計算方法

目的関数の算出には、消費電力を用いている。予備実験により消費電力と照明の点灯光度には、Fig. 3 の関係式があることが確認できた。この関係式は線形であるため、消費電力の算出にはこの関係式を用いた。これは蛍光灯の電源電圧特性上、光度と電力が線形関係にあるためである。実際に SHARP 社製の LED 照明を使用し予備実験を行った。その際、消費電力を算出するために照明の点灯光度と消費電力の関係を検証した。実測値に基づいて得られた点灯光度と消費電力を Fig. 3 に示す。その結果をもとに消費電力を算出した。

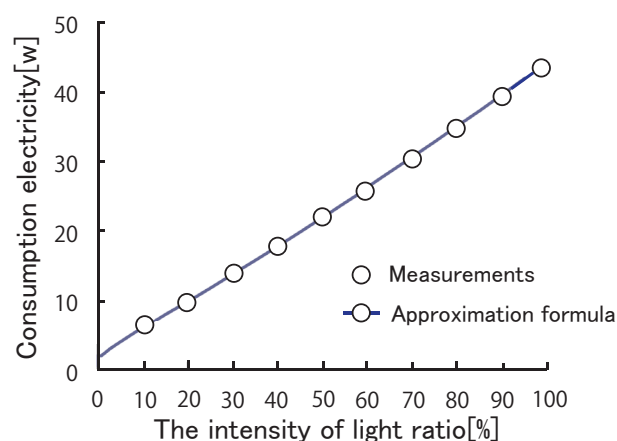


Fig. 3. Relations of the intensity of light and the electricity.

5. 人感センサを用いた照明システムと知的照明システムにおける消費電力の比較実験

5.1 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勤時間帯、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実験を行った。なお、人感センサが感知するエリア内全てが不在である場合、隣接エリアの在席者に視覚ストレスを感じさせないようにするため、そのエリアの調光制御を25%にする。その状態が5分続くと消灯制御を行う。

5.2 シミュレーション環境

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。シミュレーション環境は、32名の執務者がいる実オフィス環境を想定し、シミュレーション環境を構築した。シミュレーション環境を Fig. 4 に示す。本シミュレーションでは、実オフィス環境を模擬し 10.8 m × 10.8 m の空間で調光可能な白色蛍光灯 36 灯を用いる。人感センサの場合は、人感センサ 9 台を設置し、知的照明システムの場合は、照度センサ 32 台を設置した執務環境を模擬した。

Table 1. Work form according to the time.

Attendance time(T_M-T_A)	Operation time(T_A-T_L)	Leaving the office time(T_L-T_N)
An attendance rate is a chevron	Living-in-seat rate is 30%	A leaving the office rate is a chevron
An attendance rate is linear	Living-in-seat rate is 60%	A leaving the office rate is linear
An attendance rate is valley form	Living-in-seat rate is 90%	A leaving the office rate is valley form

また、1日における執務者数の変動により、照明制御に影響が生じ、消費電力が変化すると考えられるため、様々な執務パターンを想定する。そこで、Fig. 5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。Fig. 5に示すように出社時間帯と退社時間帯における出社率と退社率は山型、線形および谷型の3通りを想定した。

なお、コアタイムにおける在席率の変化は、Table 1に示すような在席率となるような3通りを想定した。このとき、12時から13時の1時間は昼食の時間とし、消灯制御を行うようにした。

以上のことをふまえた計27通りの執務形態の検証実験を行った。

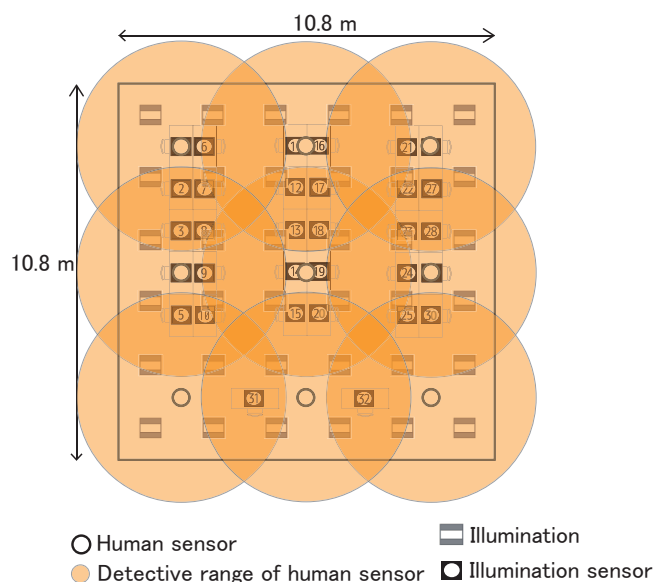


Fig. 4. Experiment environment.

5.3 シミュレーション結果

Fig. 5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、20日間のシミュ

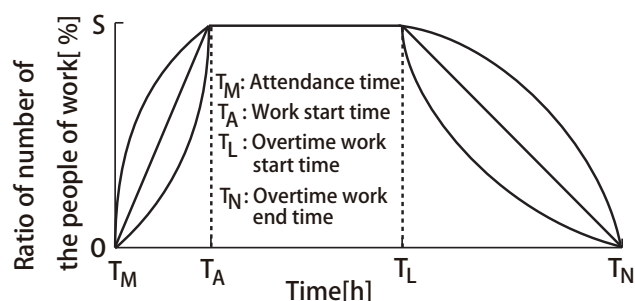


Fig. 5. Duty pattern.

レーションを試行した。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。

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ある執務形態における20日間の平均消費電力をFig. 6に示す。Fig. 6は、出社時間および退社時間における執務形態が線形であり、在席率によ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との消費電力削減効果の図である。

次に知的照明システムと人感センサを用いた照明制御システムの一日の消費電力をFig. 7に示す。Fig. 7は、出社時間および退社時間における執務形態が線形であり、在席率によ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との消費電力削減効果におけるある1日の消費電力の割合の推移である。

Fig. 6に示すように、知的照明システムは、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

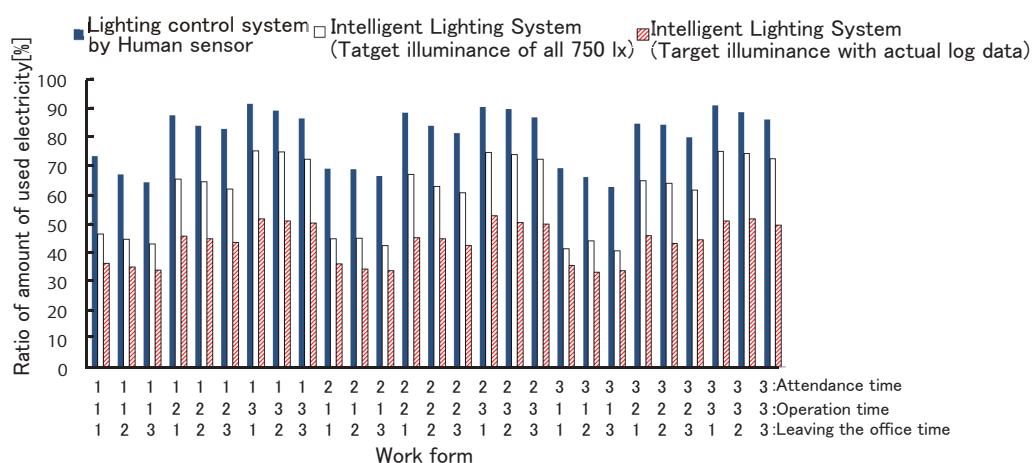


Fig. 6. Mean consumption electricity in 20 days.

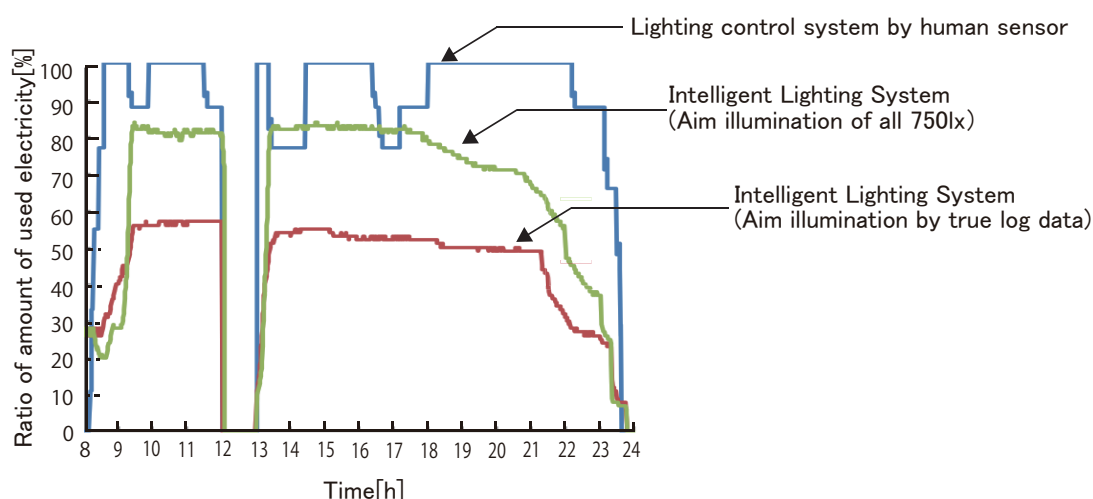


Fig. 7. An example of the ratio change of the consumption electricity in 1st.

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、人感センサを用いた照明システムより知的照明システムの方が最大で約 42.3 %，最小でも 29.0%の消費電力削減効果があった。最大時の執務状態は，出社時間帯が線形，就業時間帯が 60%および残業時間帯が山型の時であり，最小時の執務状態は，出社時間帯が山型，就業時間帯が 90%および残業時間帯が山型の時であった。

5.4 考察

Fig. 7 に示すように，退社時間帯を過ぎても人感センサを用いた照明制御システムは，エリア制御のため，まとまった人が帰宅しないと消費電力が下がっていかないことが考えられる。一方，知的照明システム

は，退社時間帯を過ぎると徐々に消費電力が下がっていき，照明を個別制御する知的照明システムが消費電力削減効果に有効であると言える。このことより 1 日の消費電力の割合において人感センサを用いた照明制御システムと同様の照度を実現する知的照明システムの方が，人感センサを用いた照明制御システムより消費電力が少なく，消費電力削減効果に対して有効であると言える。

また，Fig.6 に示すことからすべての執務形態において，人感センサによる照明制御よりも知的照明システムの方が省電力であることが分かった。特に，人感センサを用いた照明制御システムにおけるオフィスの照明が全点灯する最小執務者数の場合，消費電力削減

減効果が著しく高かった。

いた推定”，情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集，
5[1]，481-482(2012)。

6. 結 論

知的照明システムは，全ての執務形態において，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性があつた。そのため，知的照明システムは，人感センサを用いた照明制御に比べ省電力で稼動することが分かった。

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) 理工学研究報告書テンプレートファイル三木光範，“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，**22**[3]，399-410(2007).
- 3) 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，“オフィスワークの生産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，**53**[2]，447-450(2006).
- 4) 三木光範，加来史也，廣安知之，吉見真聡，田中慎吾，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”，電子情報通信学会論文誌，**94**[4]，637-645(2012).
- 5) 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).
- 6) 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，**95**[3]，549-558(2012).
- 7) 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，**130**[5]，750-757(2010).
- 8) 池田聡，三木光範，廣安知之，“照明と照度センサ間の影響度をデータベース化する個別分散最適制御照明システム”，情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集，**2011**[1]，395-396(2011).
- 9) 宮崎昇幸，三木光範，吉見真聡，善裕樹，“分散制御照明システムにおける照度センサ位置の数理計画法を用