The Science and Engineering Review of Doshisha University, Vol. 55, No. 1 April 2014

Energy Saving of an Intelligent Lighting System with Presence Management using IC Cards

Mitsunori MIKI*, Hisanori IKEGAMI**, Shohei MATSUSHITA**, Yohei AZUMA**, Keigo MACHIDA**, Shohei FUJIMOTO**, Yuki KURANO** and Hiroto AIDA*

(Received January 20, 2014)

The Intelligent Lighting System can provide individual illuminance environment each worker desires, and it also can save energy. In addition, when many users leave their desk, this system turn off the unnecessary lighting. As a result, it can achieve high energy saving. Traditionally, worker enter presence information using Web UI. However, in validation experiments in an office, as only some worker enter presence information, unnecessary lights keep lighting. As improvement of entry presence information, we proposed the Intelligent Lighting System that incorporates the input of presence information using IC card. When worker occupy the seat, they set their IC card on IC card reader. Then, this system provides the necessary illuminance at the requested location. On the other hand, when worker leave their desks, they remove their IC card from IC card reader.As a result of verification, it was confirmed that this system achieves the improvement of entry presence information, and shows the higher energy saving compared with traditional system.

Key words : intelligent lighting system，office

キーワード： 知的照明システム，オフィス

ICカードによる在席管理を導入した知的照明システムの省エネルギー性能

三 木 光 範，池 上 久 典，松 下 昌 平，東 陽 平，町 田 啓 悟，藤 本 祥 平，藏 野 裕 己，間 博 人

1. 序論

地球温暖化防止が世界の重要な課題として取り上げられ，我が国においてもエネルギー使用量を大幅に削減することは，緊急の課題として取り組まれている．特に，業務用ビルの消費エネルギーは年々増加しており，この部門における省エネルギーは，国全体にとってエネルギーの大きな削減につながる．オフィスビルにおいては，照明に用いる電力コストがビル全体の約20 %を占めており，照明に対する省エネルギー対策は重要な課題である．

また，オフィス環境がオフィスワーカの生産性に及ぼす影響に関する研究が広く行なわれており，オフィ

* Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto
Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:mmiki@mail.doshisha.ac.jp
** Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto
Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:hikegami@mikilab.doshisha.ac.jp

ス環境を改善することで，ワーカの生産性が向上することが報告されている [1,2]．特に，オフィス環境のうち照明環境に着目した研究では，執務に最適な明るさ（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言及されている [3]．このように執務に最適な明るさを個人ごとに提供することは，タスク照明を用いることで容易に実現可能である．しかしながら，現在のオフィスでは，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，タスク照明を採用することは容易ではない．この為，既存の天井照明を用いて，個人ごとに最適な明るさを提供する照明システムが必要となる．

このような課題を解決する照明システムとして，筆者らは知的照明システムと名付けた照明システムの研究開発に取り組んでいる [4,5]．知的照明システムは, 任意の場所に任意の明るさを提供することで，ワーカの知的生産性の向上や消費電力量の削減を実現するシステムである．知的照明システムは，マイクロプロセッサが組み込まれた複数の調光可能な照明器具，複数の照度センサ，および電力計を，ネットワークに接続することで構成される．各照明はネットワークに流れる照度情報および電力量に関する情報を基に，自律分散最適化アルゴリズムを用いて，目標照度を実現しつつ低消費電力となる最適な点灯パターンを実現する．

これまで，任意の場所に任意の明るさを提供することで，高い省エネルギー性を実現する知的照明システムの有効性が実験室において確認されていた [5]．実用化にむけて実オフィスに導入したところ，一部のユーザのみが在席・離席情報の入力を行っているという状況であることがわかった．実際はユーザが不在であるにもかかわらず, 不必要な照明が点灯しているために, 知的照明システムの省エネルギー性が低下しており，何らかの方法で在席離席センシングを行う必要があった．本稿では，オフィスの社員証に多く使用される非接触 IC カードを用いて，在席・離席情報の入力を実現する知的照明システムを提案する．IC カードによる在離席検知を行うことで，WebUI を用いる在離席判定を採用した知的照明システムよりも省エネルギー性能が向上することを示す．

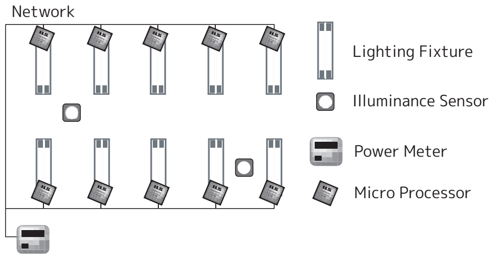


Fig. 1.　Configuration of the intelligent lighting system.

2.　知的照明システム

2.1　知的照明システムの概要

知的照明システムは，任意の場所にユーザが要求する明るさ（照度）を提供する照明制御システムである．調光が可能な複数の照明機器と複数の照度センサ，および電力計を一つのネットワークに接続することで構成される．Fig. 1 に知的照明システムの構成を示す．

各照明機器にそれぞれ制御装置が搭載されており，制御装置が各照度センサからの照度情報，および電力計から消費電力情報を取得できる．知的照明システムは，要求照度を満たす最適な点灯パターンを実現するために，この問題を最適化問題として定義する．照度情報および消費電力量情報をフィードバックしながら，進化的アルゴリズムに基づく最適化手法を用いて，制御装置が照明の明るさ（光度）を制御する．これにより，ユーザが要求する明るさを実現し，不必要な明るさを抑えることで，消費電力量の削減を図る．

2.2　目的関数

知的照明システムは，照度センサを設置した場所の照度を目標とする照度以上にし，照明が使用する電力量を最小になるように照明の光度を各照明が自律的に求める．これらを目的関数として定式化する必要がある．目的関数を eq.(1) に示す．

$$f_i = P + w \times \sum_{j=1}^{n} g_{ij} \tag{1}$$

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

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

i : 照明 ID, j : センサ ID, w : 重み $[W/lx^2]$, P : 消費電力量 $[W]$, Ic : 現在の照度 $[lx]$
It : 目標照度 $[lx]$, T : 閾値, r_{ij} : 照明 i に対する照度センサ j の回帰係数

eq.(1) に示すように目的関数 f_i は，消費電力量 P，および照度センサ j の目標照度に関する制約を表すペナルティ項 g_{ij} からなる．ペナルティ項 g_{ij} には，現在照度と目標照度との差を用いており，目標照度が満たされない場合にのみペナルティを掛けている．これにより，目標照度と現在照度が離れるほど，目的関数値が大きく増加する．また，各照明の光度変化量と照度センサで測定された照度変化量から算出した回帰係数がある程度小さい（閾値 T 未満）場合には 0 を乗算する．つまり，回帰係数の低い照度センサが目標を満たさない場合には，目的関数値が増加しない．ゆえに，回帰係数の高い，すなわちその照明が影響を与える照度センサにのみ最適化の対象を絞ることができる．これにより，目標照度を満たす精度が向上する．

また，g_{ij} には重み w を乗算し，この w の値により，目標照度の制約条件または，消費電力量の最小化のどちらを優先するかを決定する．

2.3　照明制御アルゴリズム

著書らは照明制御アルゴリズムとして，確率的山登り法 (Stochastic Hill Climbing : SHC) を基に照明制御用に回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient : ANA/RC) [6] を提案した．ANA/RC では，各照明の光度変化量と照度センサで測定された照度変化量から算出した回帰係数を用いて，照明の光度が各照度センサの照度に影響を与える度合い（以下，影響度とする）を学習し，状況に応じた近傍設計に基づく光度変化をさせることで，最適な光度へと素早く変化させることができる．回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズムのフローチャートを Fig. 2 に示し，以下に本アルゴリズムの流れを説明する．

1. 初期光度で点灯する
2. 各照度センサのセンサ情報（センサ ID，現在の照度，目標照度），および電力計の消費電力量を取得し，それらの情報を用いて目的関数値を計算する
3. センサ情報，回帰係数に基づき適切な近傍を決定する（近傍とは次光度を生成する為に用いる範囲である．2.5 節にて詳しく述べる．）
4. 項目 3 で決定した近傍内に次光度をランダムに生成し，照明はその光度で点灯する
5. 再び各照度センサのセンサ情報，および電力計の消費電力量を取得し，それらの情報を用いて次光度で点灯した状態での目的関数値を計算する
6. 照明の光度変化量と照度センサの照度変化量を用いて回帰係数を計算する
7. 目的関数値が改良した場合，その光度を確定する
8. 項目 5 で目的関数値が改悪した場合，前の光度で再度点灯する
9. 照明が最小点灯光度であり，影響があるすべての照度センサに目標照度が要求されていない場合，消灯を行い，項目 2 へ戻る
10. 照明が消灯しており，消灯時に影響があった照度センサに 0 lx でない目標照度が要求された場合，最小点灯光度で点灯を行い，項目 2 へ戻る

以上の動作により，照明と照度センサの概略的な位置関係を把握し，照度センサから遠い位置にある照明は，光度を抑えることで，目標照度を満たすとともに省電力な状態へと速やかに収束する．また，ユーザが離席しており，明るさが不必要な場所に位置する照明は消灯を行うことで，さらに高い省エネルギー性を実現する．

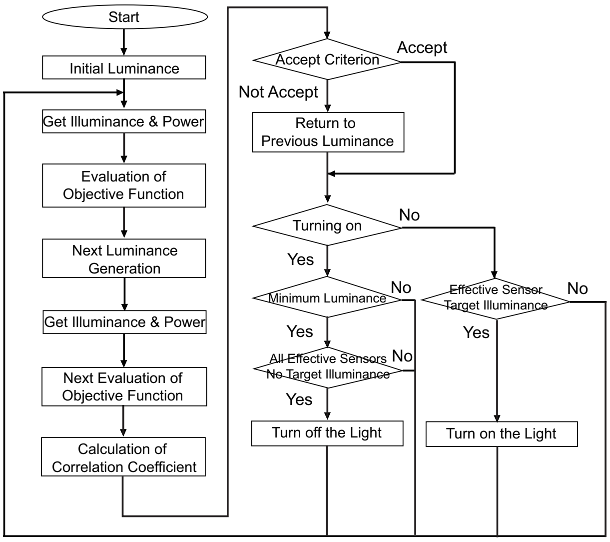


Fig. 2.　Control algorithm.

2.4　回帰分析による影響度把握

知的照明システムは個別照度環境を提供することで，省電力な状態を素早く実現する．このため，照明が照度センサに及ぼす影響度を把握することは重要である．なぜなら，影響度を把握することで，照明が大きな影響を与える照度センサにのみ，最適化の対象を絞ることができるためである．

ANA/RC では，回帰分析を用いて照明が照度センサに及ぼす影響度を把握する．回帰分析は，説明変数を変化させた際に観測値がどのように変化するかという 2 変数間の因果関係を定式化する手法である．この因果関係は，eq.(2) に示す説明変数 x_i と観測値 y_j の関係式により明示できる．

$$y_j \quad = \quad r_{ij} \times x_i + \beta \tag{2}$$

y：観測値, x：説明変数, r：回帰係数 β：定数項

eq.(2) に示すように，回帰係数 r_{ij} の大きさによって因果関係が数値化される．ANA/RC では探索の 1 試行における照明の光度変化量を説明変数 x_i，照度センサの照度変化量を観測値 y_j として回帰分析を行う．回帰分析の手法には最小二乗法を用いる．以上の処理により，照明が照度センサに及ぼす影響度を回帰係数として数値化することが可能となる．

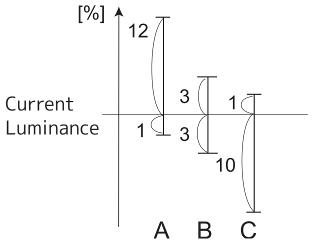


Fig. 3.　Design of luminous intensity change rate.

2.5　近傍設計

ANA/RC では，解の探索過程において局所最適解に陥らないために，すべての照明において同一の近傍を用いているのではなく，状況に応じて複数の近傍を使い分けている．具体的には，Fig. 3 に示すように，現在の光度値の −1% から 12% までの範囲で次光度を生成する増光近傍（A），−3% から 3% までの中立近傍（B），および −10% から 1% までの減光近傍（C）の 3 種類の近傍を用いている．なお，これらの近傍幅は構築する環境に応じて適切な値となるようにチューニングする必要があり，構築する環境ごとに予備実験が必要である．

以上の 3 種類の近傍を，eq.(3) に基づいて決定する．

$$N_{ij} \quad = \quad \begin{cases} A & r_{ij} \geq T \ and \ Ic_i < It_j \\ B & r_{ij} \geq T \ and \ Ic_i \geq It_j \\ C & r_{ij} < T \end{cases} \tag{3}$$

N_{ij}：照度センサ j による照明 i の近傍
T：閾値, A：増光近傍，B：中立近傍，C：減光近傍
r_{ij}：照明 i に対する照度センサ j の回帰係数
Ic：現在照度, It：目標照度

eq.(3) に示すように，2.4 節で述べた回帰係数が近傍決定において重要なパラメータとなる．なぜなら照明が照度センサに及ぼす影響度を回帰係数が表しているためである．照度センサが目標照度を満たしていない場合，その照度センサに与える影響が大きい照明に増光近傍を設定し，照明が増光しやすくする．逆に，全ての照度センサに対して与える影響が小さい照明には減光近傍を設定することで，照明が減光しやすくし，消費電力量の削減を図る．以上の近傍設計によって，

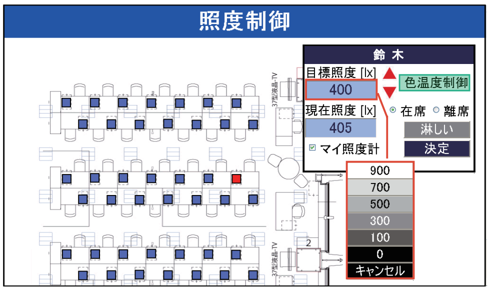


Fig. 4.　User interface of the intelligent lighting system (screen shot).

局所最適解に陥りにくくなるだけではなく，迅速に目標照度を実現することが可能となる．閾値 T は eq.(1) のものと同じ値である．

なお，照明は各照度センサに対して，独立して近傍決定を行う．つまり，1 つの照明器具につき，照度センサごとに異なる近傍が定まる．これらのうち，最も増光傾向の高い近傍を，その照明器具の近傍とする．すなわち，増光近傍（A），中立近傍（B），減光近傍（C）の順に近傍の優先順位が高い．

2.6　Web ユーザインターフェース

知的照明システムでは，目標照度の設定ならびに，在席・離席情報の入力を各ユーザが Web ユーザインターフェース（以下，Web UI とする）を用いて行う．Fig. 4 に知的照明システムのユーザインターフェースを示す．

各ユーザは自席に着席時に，Fig. 4 の座席位置を表示したユーザインターフェースにアクセスすることで座席配置図が表示される．その中から，自席を選択することで，選択した座席が赤色となると同時に，個人ごとのページが表示される．表示された個人ページから目標照度や在席情報の入力を行う．目標照度の設定は，目標照度設定欄をクリックすることで 200 lx 毎に設定することが可能である．また，微調整を行う場合は，目標照度設定欄横のボタンをクリックすることで，50 lx 毎の設定も可能である．在席・離席ボタンにチェックを入れることで，在席・離席情報の入力を行う．在席ボタンにチェックを入れると，入力された目標照度が設定される．また，離席ボタンにチェックを入れると，目標照度 0 lx が設定される．

実オフィスによる検証実験を行ったところ，早朝や深夜の時間帯に在席情報の入力を行われていないことより，ほとんどのユーザは常に在席状態のままであった．また，2010 年 10 月の 1 ヶ月間（土・日・祝日は除く）の平均で，Web UI を用いて在席入力のみを行ったユーザは 5 名，離席入力のみを行ったユーザは 4.65 名，在席・離席の両方の入力を行ったユーザは 3.85 名であった．このことより，全ユーザの約 1 割のみしか在席・離席に応じて，在席状態の入力を行っていないことがわかった．

実際はユーザが離席や退社によって，不在となり明るさが不要となった場所においても，不必要な照明が点灯していると言える．そういったことから，省エネルギーの観点から改善するべきであり，ユーザの在席・離席情報の入力状況の改善は重要な課題である．

3.　IC カードによる在席管理を導入した知的照明システム

3.1　在席管理の必要性

前章で述べたように，実オフィスにおいて在席・離席情報の入力を適切に行われていないために，実際はユーザが不在であるにもかかわらず，不必要な照明が点灯した状態のままであり，知的照明システムの省エネルギー性が低下している．そこで，我々は在席・離席情報の入力を向上させる方法として，ユーザの着席や離席を判断する着座センサを，株式会社プロビデントと共同で試作を行った．着座センサは，ユーザの座席に設置し，圧力値の変化で在席・離席の判断を行う．Fig. 5 に着座センサを示す．試作した着座センサを実オフィスに導入し，検証を行った．ユーザの在席・離席に応じて，在席・離席情報の入力を適切に行えることを確認した．さらに，着座センサにより在席管理を行うことで，不在となったユーザの照度センサにのみ影響がある照明が消灯し，省エネルギー性の向上も確認した [7]．

しかし，着座センサは試作品であるため，コスト面から導入への敷居は高い．また，着座センサはユーザ

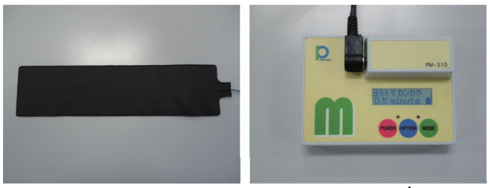


Fig. 5.　Seat sensor.

の在席・離席情報の入力を行うことは可能であるが，どのユーザが着席しているかを把握することはできない．このため，固定席のオフィスでは問題ないが，ユーザの座席が決まっていないノンテリトリアルオフィスの場合，各ユーザの着席位置に，そのユーザの任意の目標照度を設定することは困難である．

そこで，オフィスの社員証に多く使用される傾向にある非接触 IC カード（以下，IC カードとする）を用いて，ユーザの在席・離席情報の入力を導入した知的照明システムを提案する．

3.2　システムの概要

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と集中制御の両方を取ることができる．現時点では，コストの問題から集中制御型のシステムの構成を取る．そのため，本システムは照明器具，照度センサ，システム制御装置，電力計および IC カードリーダをネットワークに接続することで構成する．IC カードリーダは，照度センサと併設し，照度センサと IC カードリーダの対応は事前に把握を行うものとする．また，各ユーザは，固有の ID を割り当てられた IC カードを保持する．社員証などの IC カードの約 9 割が FeliCa* を採用していることより，今回のシステムは FeliCa を対象とする．

システム制御装置は，ユーザ情報テーブルと照度センサテーブルから構成されるデータベースを持っている．ユーザ情報テーブルは IC カードに割当てられた固有の ID（ユーザ ID）を主キーとし，氏名，目標照度の項目からなる．また，照度センサテーブルはセンサ ID を主キーとし，ユーザ ID，在席・離席情報の項目からなる．次節に制御の流れを示す．

3.3　制御の流れ

各ユーザが着席時に机上の IC カードリーダに IC カードを置くことで，システム制御装置はネットワークに送信されたユーザ ID と着席座席情報（センサ ID）を受け取る．受け取った情報を基に，照度センサテーブルの該当するセンサ ID にユーザ ID と在席情報を登録する．一方，離席時に各ユーザが IC カードを IC カードリーダから取り除くことで，離席座席に関する情報をネットワークに送信する．その情報をシステム制御装置が判断し，照度センサテーブルの該当するセンサ ID に離席情報を登録する．

IC カードが IC カードリーダ上にあるかの有無の判断について述べる．本システムの IC カードリーダが，一定期間ごとに IC カードの有無を検索（以下，Polling とする）を行なう．IC カードリーダに IC カードが置かれていた場合，Polling のレスポンスデータとして，製造 ID（以下，IDm とする）を取得する．一方，置かれていない場合，Polling のレスポンスデータが取得されない．これを基に，IC カードの有無を判断する．また，IC カードが置かれていた場合に取得される IDm は，カード製造時に一度だけ設定され，設定後の変更は無い．また，設定値はすべて製品ごとに規定される．このため，この IDm をユーザ ID として使用することは問題がないと考える．

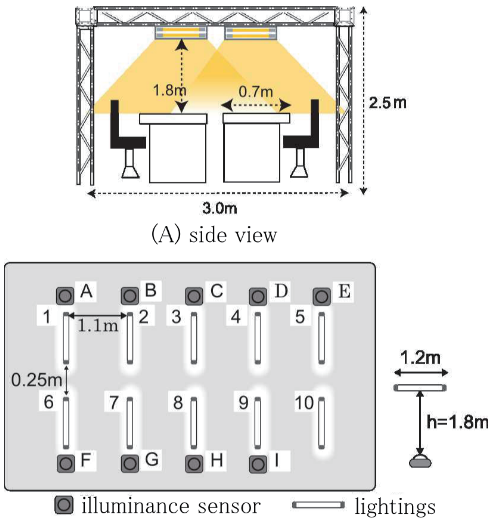
このように，制御を行なうことで，着席時は着席座席位置の在席情報を在席とし，任意の目標照度を設定を行う．また，離席時は離席座席位置の在席情報を離席とし，目標照度 0 lx の設定を行う．

3.4　IC カードによる在席管理の特徴

IC カードによる在席管理を導入した知的照明システムの大きな特徴は，ノンテリトリアルオフィスのようなユーザ選択座席に対応することが可能であるという点である．

本システムは，ユーザが IC カードを着席座席に設置されている IC カードリーダに置くことで，IC カード固有の ID と着席座席情報をネットワークに送信する．これにより，システムは自動的にユーザが，どの

* FeliCa は，ソニー株式会社の登録商標である．



(A) side view

(B) top view

Fig. 6.　Experiment Environment.

Fig. 7.　Illuminance sensor and IC card reader.

座席にいるのかを把握することが可能である．

4.　IC カードによる在席管理を導入した知的照明システムの有効性評価

4.1　在席・離席状況の検証

4.1.1　実験概要

提案システムの有効性を検証するために，Web UI による在席・離席情報の入力を行う知的照明システムとの在席管理の実現度合いの比較を行う．実験は，大学における学生居室に仮設天井を設け，Fig. 6 (A) および (B) に示す環境を構築し，昼白色照明 10 灯および照度センサ 9 台を用いて行う．提案システムの実験時は，各照度センサと併設して，IC カードリーダを設置した．IC カードリーダと照度センサの設置状況を Fig. 7 に示す．

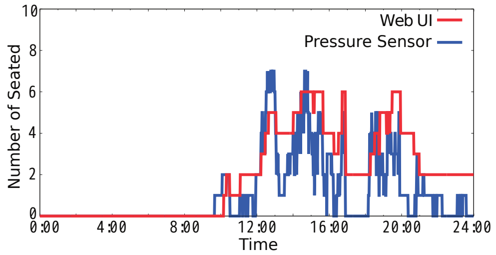


Fig. 8.　History of seated people (Web UI).

また，実際にユーザが在席か離席かの検証を行うために，各ユーザの座席に着座センサを設置した．Fig. 6 (B) には，蛍光灯及び照度センサの位置関係を示しており，図中の蛍光灯横の番号は蛍光灯番号を，照度センサ横のアルファベットはセンサの識別名ならびに被験者名を表す．

2011 年 9 月 5 日から同年 10 月 4 日の期間に，IC カードを用いた在席管理を導入した知的照明システムの実験を行い，2011 年 10 月 5 日から 11 月 4 日の期間に，Web UI を用いて在席管理を実現する知的照明システムの実験を行った．両システムにおいて，在席管理の実現度合いを検証する．つまり，着座センサで得られたユーザの在席・離席状況と比較し，どの程度在席・離席の情報が正確に入力されていたかの検討を行う．

4.1.2　実験結果および考察

Web UI を用いて在席管理を行った場合のある一日の在席情報入力者数の履歴を Fig. 8 に，IC カードを用いて在席管理を行った場合のある一日の在席情報入力者数の履歴を Fig. 9 に示す．Fig. 8 ならびに Fig. 9 の横軸は時間，縦軸は在席者数を示す．また，Table 1 に，各インターフェースにおける帰宅時の離席情報入力率を示す．Table 2 に，各実験期間における各インターフェースと着座センサの在席情報入力状況の一致度を示す．

Fig. 8 より，Web UI を用いて在席管理を行った場合は，ユーザが不在な深夜の時間帯において在席入力が維持された状態であるユーザがいることがわかる．また，在席や離席に応じて，ユーザが在席情報の入力を正確に行っていないことがわかる．一方，Fig. 9 より，

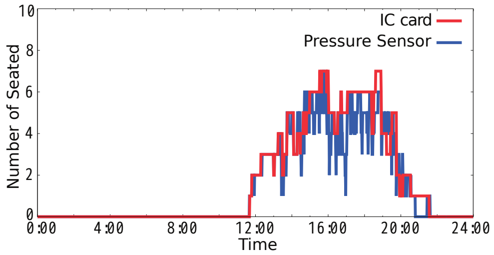


Fig. 9.　History of seated people（IC card）.

Table 1.　Input rate on going home.

	IC card[%]	Web UI[%]
User A	91.7	42.9
User B	100.0	64.0
User C	100.0	84.6
User D	100.0	93.8
User E	100.0	100.0
User F	100.0	93.3
User G	100.0	57.1
User H	100.0	93.8
User I	100.0	100.0

IC カードを用いて在席管理を行った場合では，ユーザが不在な時間帯において，在席情報の入力者数は 0 名であり，帰宅時に離席情報の入力が正確に行われていることが分かる．また Table 1 より，特に IC カードを用いて在席管理を行うことにより，帰宅時の離席情報の入力を改善できたと言える．

また，Table 2 より，ほとんどのユーザにおいて，IC カードによる在席管理を行った場合のほうが，Web UI による管理と比べ，着座センサとの一致度が高く，ユーザの在席・離席に応じた情報入力が行われ，在席管理の向上を実現できたことがわかる．ユーザ F が Web UI 利用時の方が一致率高かったことならびに，ユーザ D やユーザ H が IC カード使用時と Web UI 使用時で差が大きく出なかった理由として，研究室滞在時間が短かったことが原因として考える．

これらの結果から，在席・離席情報の入力に IC カードを用いることは，在席管理の向上に有効であると言える．

Table 2.　Concordance rate for seat sensor.

	IC card[%]	Web UI[%]
User A	85.5	48.1
User B	92.2	59.8
User C	95.4	71.0
User D	94.5	89.0
User E	85.5	77.7
User F	79.1	82.5
User G	91.0	57.0
User H	89.9	85.5
User I	94.7	81.5

4.2　省エネルギー性の検証

4.2.1　実験概要

IC カードによる在席管理を導入した知的照明システムによる省エネルギー性の検証を行う．Fig. 6 の環境を模擬し，4.1 節の実験で得た在席情報の履歴を基に，在席・離席のスケジュールを与え，シミュレーション実験を行う．実験で用いた在席・離席スケジュールは，Fig. 8 ならびに Fig. 9 である．着座センサを使用した場合と比べ，どの程度消費電力量に差が生じるかを基に，IC カードによる在席管理と Web UI による在席管理を行なった場合の省エネルギー性能の比較を行う．

また，目標照度は，実験期間内に各ユーザが設定時間の長かったものを採用した．ユーザ A，B，C，E，H および I は 500 lx，ユーザ D は 400 lx，ユーザ G は 300 lx，ユーザ F は 250 lx とした．

4.2.2　実験結果および考察

Web UI による在席管理を行った場合の消費電力量の推移を Fig. 10 に示し，IC カードによる在席管理を行った場合の消費電力量の推移を Fig. 11 に示す．Fig. 10 ならびに，Fig. 11 の横軸は時間，縦軸は消費電力量を百分率で示す．オフィスでは，机上面照度 750 lx を満たすと定められているため [8]，これを実現する

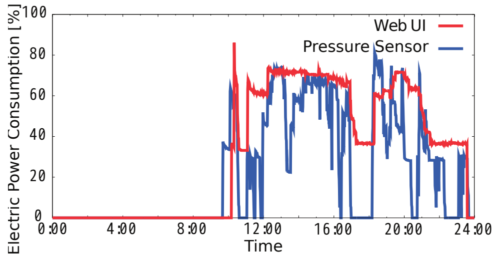


Fig. 10.　History of electric power consumption（Web UI）.

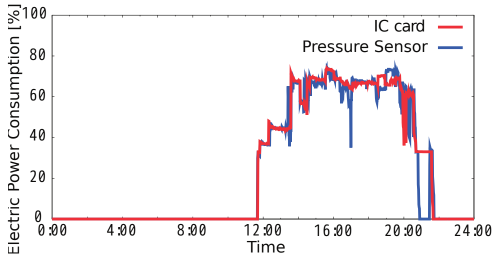


Fig. 11.　History of electric power consumption（IC card）.

点灯状態での消費電力量を 100 %とした.

Fig. 8 ならびに Fig. 10 より，Web UI による在席管理を行った場合，ユーザの在席・離席に対応して正しく在席情報の入力が行われていない．これにより，17 時頃から 18 時頃の実際は，ユーザが不在である時間帯であっても，2 名のユーザが在席情報を入力したままであるために，照明が消灯することなく，35 %程度の消費電力量を消費していることがわかる．この結果，着座センサによる在席管理を想定した場合と比較し，省エネルギー性が約 31 %低下していることがわかった.

一方で，Fig. 9 ならびに Fig. 11 より，IC カードを用いた在席管理を行なった場合，ユーザの在席・離席に対応して比較的正しく情報入力が行なわれている．そのため，消費電力量の推移は，着座センサにによる在席管理を想定した場合と酷似した推移を行なっていることがわかる．結果，着座センサによる在席管理を想定した場合と比較し，省エネルギー性が約 5 %の低下で収まることがわかった.

この結果から，IC カードによる在席管理を導入することで，従来の Web UI による在席管理を行なった場合と比較して，約 26 %の省エネルギー性向上があることがわかった.

5.　結論

これまで，任意の場所に任意の明るさを提供することで，高い省エネルギー性を実現する知的照明システムの有効性が実験室において確認されていた．実用化にむけて実オフィスでの検証が必要であり，実際にシステムの導入を行なった．その結果，一部のユーザのみが在席・離席情報の入力を行っているという現状であることがわかった．そのため，実際はユーザが不在であるにもかかわらず，不必要な照明が点灯しているために，知的照明システムの省エネルギー性が低下していた.

そこで，従来は在席・離席情報の入力を Web UI を用いて行なっていたが，それに代わりオフィスの社員証に多く使用される非接触 IC カードを用いて，在席・離席情報の入力を実現する知的照明システムを提案した．実験システムを構築し，検証実験を行い，提案システムの有効性について検討を行った．以下に，本研究により得られた結論を示す.

- 在席・離席情報の入力を IC カードにすることで，従来システムに比べて，ユーザの在席・離席に応じた情報入力の向上を確認した.
- 検証実験で得た在席・離席スケジュールを基に，省エネルギー性のシミュレーションを行い，提案システムにより省エネルギー性が向上することを確認した.

これによって，ユーザの在席・離席情報の入力を改善することで，知的照明システムの高い省エネルギー性を発揮することが可能になる.

本研究の一部は，同志社大学理工学研究所研究助成金の助成を受けて行われた.

参 考 文 献

1) 大林史明, 冨田和宏, 服部瑶子, 河内美佐, 下田宏, 石井裕剛, 寺野真明, 吉川榮和, “オフィスワーカ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, [1322],151-156(2006).

2) 西原直枝, 田辺新一, “中程度の高温環境下における知的生産性に関する被験者実験”, 日本建築学会環境系論文集, [568],33-39(2003).

3) Peter R. Boyce, Neil H. Eklund, S. Noel Simpson, “Individual Lighting Control: Task Performance”, Mood and Illuminance JOURNAL of the Illuminating Engineering Society, 131-142(2000).

4) M.Miki, T.Hiroyasu, K.Imazato, “Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness”, Proc. CIS, 520-525(2004).

5) 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”, 人工知能学会誌, **22**[3],399-410(2007).

6) S.Tanaka, M.Miki, T.Hiroyasu, M.Yoshikata, “An Evolutional Optimization Algorithm to Provide Individual Illuminance in Workplaces”, Proc IEEE Int Conf Syst Man Cybern, **2**,941-947(2009).

7) 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”, No.20110000000875(2011).

8) オーム社, 照明学会, “照明ハンドブック”, (2003).