

照明の分散最適制御システムにおける動作状況の可視化システム

三木 光範^{*1} 今宮 久夫^{*2} 吉見 真聡^{*1}

The visualization system of the operational status in a distributed optimal lighting control system

Mitsunori Miki^{*1}, Hisao Imamiya^{*2} and Masato Yoshimi^{*1}

Abstract

We constructed a visualization system of the operational status in a distributed optimal lighting control system introduced to an actual office. The lighting system reduces electric power by providing required illuminance for each office worker. Since the lighting system adopts the distributed optimal control, we need to check the operating status. By using proposed the visualization system, we can evaluate the lighting system.

Keywords : Optimization, Lighting Control, Office Environmen, Energy saving, Operational status visualization

1. はじめに

近年、オフィスビルにおけるエネルギー削減は、極めて重要な課題となっている^[1]。また、オフィスにおける光環境がオフィスワークの知的生産性に影響を与えることが示唆されている^{[2]~[5]}。

このような背景から、我々は個別に明るさ（照度）を提供することで、知的生産性の向上と消費電力の削減を実現する知的照明システムの研究を行っている^[6]。現在、知的照明システムは実用化に向けて東京都内の実オフィスにおいて実証実験が行われている。

実証実験では、各オフィスワークにおける目標照度への収束状況、各照明の光度分布、および消費電力などを分析し、知的照明システムにおける制御アルゴリズムの性能評価を行うことが重要である。そのため、知的照明システムでは詳細な時系列データとして、ユーザの操作情報とセンサ情報をテキストデータで出力し、これらの情報を基に動作状況の確認を行っている。しかしながら、膨大な情報から動作状況の確認を行うのは容易ではなく、かなりの時間を費やしているのが現状であった。

そこで本研究では、実オフィスに導入した照明の分散最適制御システムにおける動作状況を遠隔地から確認を行うことができる可視化システムを構築し、知的照明システムにおける動作状況を容易に確認することを可能にする。

2. 知的照明システムの運用とその課題

2.1 知的照明システムの運用

知的照明システムは、複数の照明器具と複数の照度センサをネットワークに接続することで構成される。知的照明システムでは、オフィスワークが机上のパソコンから目標照度を設定するだけで、照明や照度センサの位置情報を必要とすることなく、自動的に有効な照明を判断し、任意の場所に任意の照度を提供することができる。目標照度は、各オフィスワークが所持する照度センサごとに設定される。すなわち、照度センサ付近の明るさが目標照度となるように各照明器具の制御を行う。

これまで知的照明システムは同志社大学の実験室において、その有効性が検証されてきた^[7]。しかし、実際のオフィスでは照明の数や照度センサの数もはるかに多い。そのため、知的照明システムの実用化に向けて、東京都内における実オフィスに導入し、実証実験を行っている^[8]。

実オフィスに導入した知的照明システムは、動作状況の解析のためにユーザの操作情報とセンサ情報を出力している。これらを、ログデータと呼ぶ。実証実験には、詳細な時系列データが必要になる。そのため、以下のログデータを1分毎に出力している。

1. ログデータの出力年月日時分
2. 各照明における白色の点灯光度
3. 各照明における電球色の点灯光度
4. 各オフィスワークの目標照度
5. 各照度センサの現在照度

オフィスワーク1人につき照度センサが1台設置されているため、目標照度および現在照度は、オフィス

*1: 同志社大学 理工学部

*2: 同志社大学大学院 工学研究科

*1: Graduate School of Engineering, Doshisha Univ.

*2: Department of Science and Engineering, Doshisha Univ.

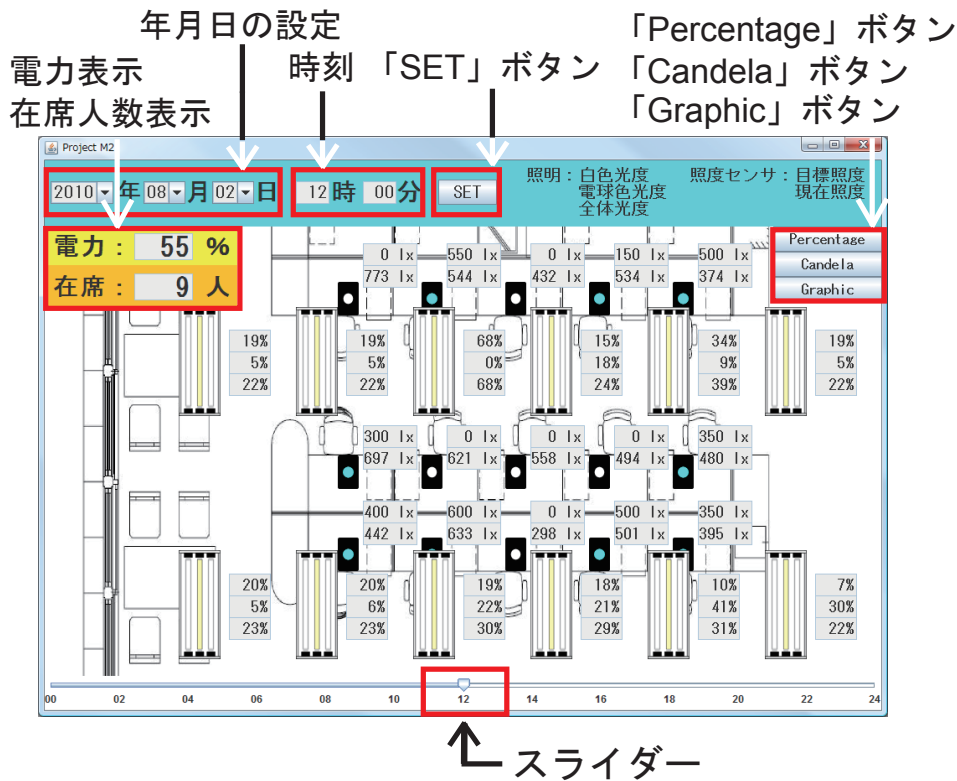


図1 動作状況の可視化システム

Fig. 1 The visualization system of the operational status.

ワーカのデスクの数だけ出力されている。また、白色光度および電球色光度は、照明の台数分だけ出力されている。なお、ここでの光度は、照明器具直下方向の光度のことである。このログデータを利用することで、システムの動作状況を確認することが可能である。

2.2 知的照明システムの運用における課題

現在のオフィスビルにおける一般的な照明システムは、一定のエリアを均一な照度にすることを目的としており調光機能がない。そのため、点灯パターンが電源配線および壁スイッチに依存し、全ての照明が一定の光度で点灯する。また、調光機能がある場合でも、エリア内の机上面の明るさを保つことを目的としており、セグメント単位でしか制御することができない。つまり、従来の照明システムでは、エリアおよびセグメント単位の照明が点灯または消灯しているかの確認のみであり、動作状況の確認は容易である。

一方、知的照明システムは、電源配線および壁スイッチに依存することなく、各照明がそれぞれ異なる光度で点灯し、各オフィスワーカの目標照度を提供する。そのため、目標照度への収束状況、各照明の光度分布、および消費電力の確認など極めて重要であり、従来の照明システムにおける動作状況の確認と異なる。これらのことから、知的照明システムでは詳細な時系列データとして、ユーザの操作情報とセンサ情報を出力している。このログデータを基に、動作状況の確認

を行っている。しかしながら、膨大な情報から動作状況の確認を行うのは容易ではなく、かなりの時間を費やしているのが現状であった。そこで、照明の分散最適制御システムにおける動作状況を遠隔地から確認を行うことができる可視化システムを構築する。

3. 動作状況の可視化システムの提案

3.1 詳細な動作状況の確認

知的照明システムの動作状況を詳細に確認するためには、フロアにおいての照明、照度センサ、および窓の位置関係が重要になる。これは、各照明が各照度センサに与える影響度、外光が各照度センサに与える影響度を把握するためである。知的照明システムでは、各オフィスワーカの目標照度を提供する際、外光も利用することで照明の必要以上の点灯を抑えている。そのため、照明、照度センサ、および窓の位置関係は重要である。これらの位置関係を把握するために、実際のオフィスの平面図を用いて視覚化を行った。視覚化を行うことで、実オフィスの照明、照度センサ、および窓の位置関係が容易に確認できる。また、照明および照度センサの視覚化においては、各導入先企業で用いている照明および照度センサが異なるため、それぞれイラストを作成している。そのため、管理者はイラストから使用している照明および照度センサを判断することが可能である。これらの位置関係を明確にした

上で、ログデータの可視化を行う。図1に動作状況の可視化システムを示す。知的照明システムの実証実験は、六本木ヒルズ森タワーおよび東京ビルなどで大規模な実証実験が行われているが、図1に示す動作状況の可視化システムは、大手町ビルに導入した比較的小規模な実証実験の知的照明システムである。

図1の年月日の設定と「SET」ボタンにより、動作状況の確認を行いたい年月日の設定を行うことができる。知的照明システム全体の消費電力は、各照明の白色光度および電球色光度を基に電力を算出し表示している。消費電力を表示することで、知的照明システムの消費電力の削減効果を確認することができる。また、目標照度を設定しているオフィスワークの人数を在席人数として表示している。在席人数を表示することで、照度を要求しているオフィスワークの人数を確認することができる。

ログデータの可視化を行う手段として、画像、グラフ、および表などが挙げられる。知的照明システムの動作状況の確認を行う際に管理者が最も入手したい情報は、各照明の光度と各照度センサの照度の値であると考えられる。そのため、図1に示したように、詳細なログデータを表示している。ここでの白色光度の値は、白色蛍光灯1管の値を表示している。従って、実際の白色蛍光灯の値は2倍したものとなる。

照度センサについては、目標照度および現在照度を表示することで、収束状況の確認が容易になる。また、白色光度および電球色光度を可視化することで、各照明の点灯比率を確認することが可能である。全体光度は、白色光度と電球色光度の総和である。全体光度を表示することで、1台の照明がどの程度の割合で点灯しているか確認することができる。光度に関しては、「Percentage」と「Candela」の単位切り換えを行うことが可能である。また、「Graphic」により照明の点灯状況を視覚的に確認することが可能である。図2に光度の可視化を示す。

図2では、各照明がどの程度の明るさで点灯しているかを円の大きさで表している。なお、左上の照明3台は消灯していることを表している。図2から確認できる通り、各照明が異なる光度で点灯し、必要以上の点灯を抑えていることが分かる。図1および2に示したこれらの可視化は、知的照明システムにおける制御アルゴリズムの性能評価においても有効である。これらのログデータを図1のスライダーを動かすことで、任意の時間の状況を確認することができる。

3.2 光度および照度履歴の確認

前項で述べた機能を使うことで、動作状況を1分毎に確認することが可能になった。しかし、1日の動作状況を確認することは容易ではない。そこで、各照明、

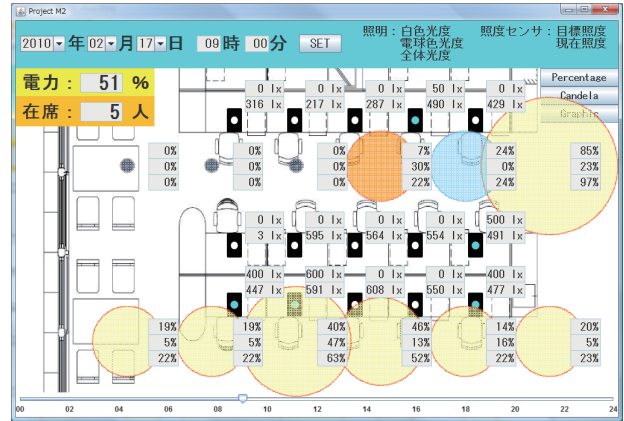


図2 光度の可視化

Fig. 2 The visualization of luminance.

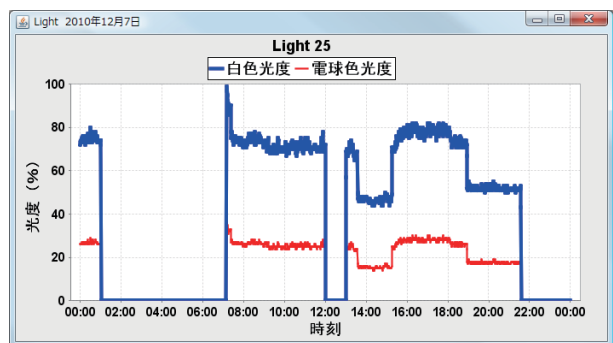


図3 照明の光度履歴

Fig. 3 Transition of the luminance in lighting.

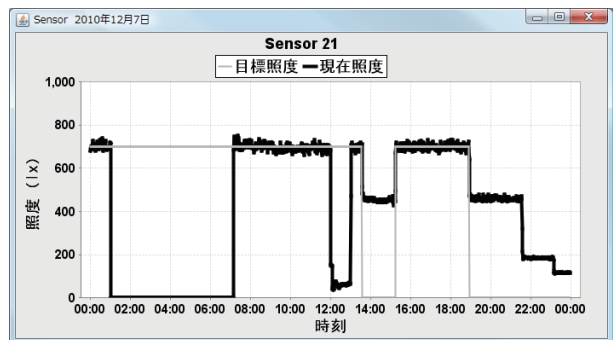


図4 照度センサの照度履歴

Fig. 4 Transition of the illuminance in sensor.

照度センサ、および電力を選択することで、光度履歴、照度履歴、および消費電力の遷移を表示する機能を追加した。消費電力に関しては、次項で述べる。グラフ化することにより、1日の動作状況を確認ことができ、各照明の光度分布、各照度センサの収束状況、および消費電力の確認などが容易になる。図3にある日の照明の光度履歴を示す。縦軸が光度 [%]、横軸が時刻 [h] を表す。なお、光度の単位 [%] は照明の最大点灯光度を 100 とした場合の相対値である。

図3に示したように、知的照明システムにおける照

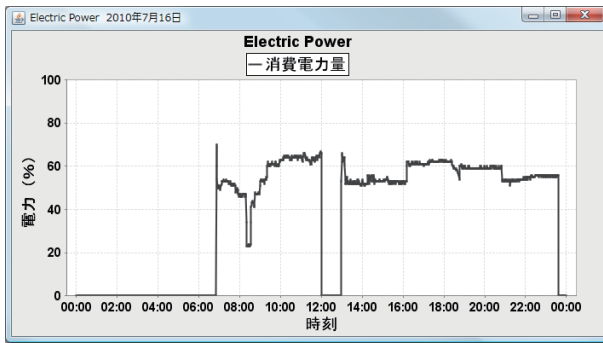


図5 消費電力の遷移
Fig. 5 Transition of the electric power.

明は、常に光度が増減をしていることが確認できる。これは、各照明が人間に感知できない範囲で光度を増減させ、光度変化量と各照度センサの照度変化量から概略的に位置関係を把握しているためである。この照明における光度が適切な変化をしているかの確認として、図3に示した照明直下における照度センサの照度履歴を図4に示す。縦軸が照度 [lx]、横軸が時刻 [h] を表す。

図4に示したように、目標照度の700[lx]が設定されている時間帯は、現在照度が700[lx]に収束していることが分かる。12時から13時の時間帯は、目標照度に関わらず、現在照度が100[lx]以下の値を示している。これは、昼休みであり、全ての照明がスイッチにより消灯されているためである。また、目標照度が0[lx]になりオフィスワークが離席した時間帯では、図3および4から、照明の光度が減光し、現在照度が低い値になっていることが確認できる。これらのことから、知的照明システムの照明が適切な光度で点灯し、必要以上の点灯を抑えていることが分かる。なお、目標照度が設定されていない時間帯において、図3に示した照明の白色光度が50[%]、電球色光度が20[%]程度で点灯しているのは、隣接するオフィスワークの目標照度が400[lx]に設定されており、その目標照度を満たすために点灯していたと考えられる。

3.3 消費電力の確認

前項で述べたように、消費電力における削減効果の確認として、消費電力を表示する機能を追加した。この機能により、知的照明システムが既存の照明システムと比較して、どの程度の消費電力の削減を実現しているのか確認することができる。ある日の消費電力の遷移を図5に示す。なお、図5は、大手町ビルに導入した知的照明システムの消費電力の遷移である。縦軸が消費電力 [%]、横軸が時刻 [h] である。

図5に示した消費電力は、一般的な調光機能のない照明を点灯させた場合の消費電力を100[%]とした場合の比率 [%] である。すなわち、知的照明システムを

用いることで、一般の照明システムを使用した場合に対して、どの程度の消費電力の削減を実現しているかを表している。図5に示すように、一般の照明システムを利用した場合と比較して、平均40[%]程度の消費電力の削減が行われていることが確認できる。このように、1日における消費電力の遷移を表示することで、知的照明システムにおける消費電力の削減効果を容易に確認することが可能である。

3.4 可視化システムの運用とその効果

本システムを用いることにより、実オフィスに導入した照明の分散最適制御システムにおける動作状況を遠隔地から詳細に確認することができ、各照度センサにおける目標照度への収束状況、各照明の光度分布、および消費電力の削減効果など知的照明システムの評価を容易に行うことが可能になった。

このことから、本システムの有効性は極めて高いと考えられる。

4. まとめ

本研究では、実オフィスに導入した照明の分散最適制御システムにおける動作状況の可視化システムを構築した。この可視化システムを用いることで、遠隔地から動作状況の確認が容易になり、各照度センサにおける目標照度への収束状況、各照明の光度分布、消費電力の削減効果など知的照明システムにおける制御アルゴリズムの性能評価を行うことが可能になった。

参考文献

- [1] ECCJ 省エネルギーセンター。
http://www.eccj.or.jp/office_bldg/01.html
- [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 No.568, pp.33-39, 2003.6.
- [3] 橋本哲, 寺野真明, 杉浦敏浩, 中村政治, 川瀬貴晴, 近藤靖史. 室内環境の改善によるプロダクティビティ向上に関する調査研究. 空気調和・衛生工学会論文集 No.93, pp67-76, 2004.4.
- [4] 小林弘造, 北村規明, 田辺新一, 西原直枝, 清田修, 岡卓史. コールセンターの室内環境が知的生産性に与える影響. 空気調和・衛生工学会学術講演大会論文集, pp2053-2056, 2005.9.
- [5] 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.
- [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, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007
- [7] Imazato K, Miki M, Hiroyasu T. Proposal for an Intelligent Lighting System, and Verification of Control Method Effectiveness. Proc IEEE CIS, pp.520-525, 2004.
- [8] 三菱地所株式会社-照度・色温度可変型照明制御「知的照明システム」の実用実験を開始,
<http://www.mec.co.jp/j/news/pdf/mec090331.pdf>