

# Remote Monitoring System of the Operational Status in a Distributed Optimal Lighting Control System

Hisao IMAMIYA\* , Mitsunori MIKI\*\* and Masato YOSHIMI\*\*

(Received July 12, 2011)

We constructed a remote monitoring 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. In the experiment at an actual office some problems occurred. Since the lighting system adopts the distributed optimal control, we need to check the operating status. By using the proposed remote monitoring system, we can check the operating status and respond quickly to any kind of trouble.

**Key words** : Optimization, Lighting Control, Office Environment, Energy saving, Remote monitoring

**キーワード** : 最適化, 照明制御, オフィス環境, 省エネルギー, リモート監視

## 照明の分散最適制御システムにおける動作状況のリモート監視システム

今宮久夫, 三木光範, 吉見真聡

### 1. まえがき

近年, オフィスワーカーを取り巻く環境(オフィス環境)におけるオフィスワーカーの知的生産性や創造性の向上を求める声が高まってきており, オフィス環境を改善することで, 知的生産性が向上するという報告がなされている<sup>1, 2, 3)</sup>. 特に, オフィス環境の1つである光環境と知的生産性との関係についての研究は広く行われており, 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明らかになっている<sup>4)</sup>.

このような背景から, 我々は個別に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照明の分散最適制御システム(知的照明システム)の研究開発を行っている<sup>5, 6)</sup>. 知的照明システムでは, オフィスワーカーが机上のパソコンから目標とする明るさ(目標照度)を設定し, 机上に照度センサを設置することで, 電源配線に依存することなく, 個々のオフィスワーカーの目標照度を提供する. これまで知的照明システムは我々の研究室にて, その有効性が検証されてきた<sup>5)</sup>. 現在では, 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を行っている<sup>7)</sup>.

\* Graduate School of Engineering, Doshisha University, Kyoto  
Telephone:+81-774-65-6924 E-mail:himamiya@mikilab.doshisha.ac.jp

\*\* Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto  
Telephone:+81-774-65-6930,6780,Fax:+81-774-65-6716 E-mail:mmiki,myoshimi@mail.doshisha.ac.jp

この実証実験において、照明が異常に高い光度で点灯することや、各オフィスワークの机の上に置かれた照度センサのデータが正しく取得できないなどのトラブルが生じることがあった。これらにより、オフィスワークに不快感を与えてしまうことが考えられるため、知的照明システムにトラブルが生じた場合には、迅速な対応が求められる。この対策として、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、これらの情報を基に動作状況の確認およびトラブル対応を行っていた。これらの情報は、実オフィスに設置した知的照明システムのシステム制御用 PC に蓄積されており、トラブル発生時にこのデータを確認することで、システムにおける問題を把握することができる。しかしながら、実オフィスにおいて、そのデータを解析できる人がいないため、実際にはシステムにトラブルが生じた場合、同志社大学から実験担当者を派遣し解析を行っていた。そのため、トラブル対応に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のリモート監視システムを提案し、知的照明システムのシステム制御用 PC に蓄積されている詳細な時系列データの取得を行う。そして、詳細な時系列データから実証実験で報告されたトラブルを基にログデータから検出し、システム開発担当者にメールで報告することにより、トラブルに対して迅速な対応を行うことを可能にする。

## 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概要

知的照明システムは、複数の照明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。そのため、オフィスワークがいない場所や照度が高すぎる場所などの必要のない照明は点灯させることなく、省エネルギーな点灯パターンを実現することが

可能である。Fig. 1 に知的照明システムで得られた点灯パターンを示す。

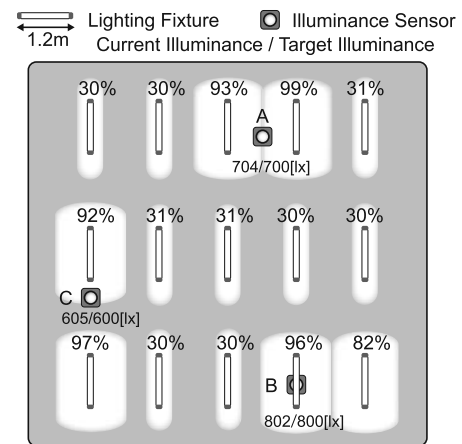


Fig. 1. Lighting pattern resulting in the Intelligent Lighting System.

Fig. 1 では、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を削減しているかを表している。Fig. 1 に示した点灯パターンは、3 台の照度センサにそれぞれ目標照度を設定した場合に、その目標照度を満たし、最小消費電力になる点灯パターンである。この 3 台の照度センサにおける目標照度の場合、約 50[%] 程度の消費電力の削減を実現している。

### 2.2 実オフィスへの導入

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。実験室では、照明 15 台の環境下において異なる 3ヶ所にユーザの目標照度を提供できることを明らかにした。しかしながら、実際のオフィスでは照明の台数や照度センサの台数もはるかに多い。このため、知的照明システムの実用化に向けて、東京都内のオフィスに導入し、実証実験を行っている。Table 1 に実オフィスに導入した知的照明システムを示す。

Table 1 に示したように、現在、東京都内における 5ヶ所の実オフィスに導入しており、既存の照明シス

Table 1. The Intelligent Lighting System introduced to an actual office.

Company	Building	Lighting	Sensor
Mitsubishi Estate Co.,Ltd.	Otemachi Building	12	15
Mitsubishi Estate Co.,Ltd.	Otemachi Building	26	24
Mitsubishi Estate Co.,Ltd.	Marunouchi Building	26	13
MORI Co.,Ltd.	Roppongi Hills Mori Tower	35	27
Mitsubishi Electric Co.,Ltd.	Tokyo Building	30	42

テムと知的照明システムにおける消費電力を比較し、評価を行っている<sup>7)</sup>。Fig. 2に大手町ビルに導入した知的照明システムの構成を示す。

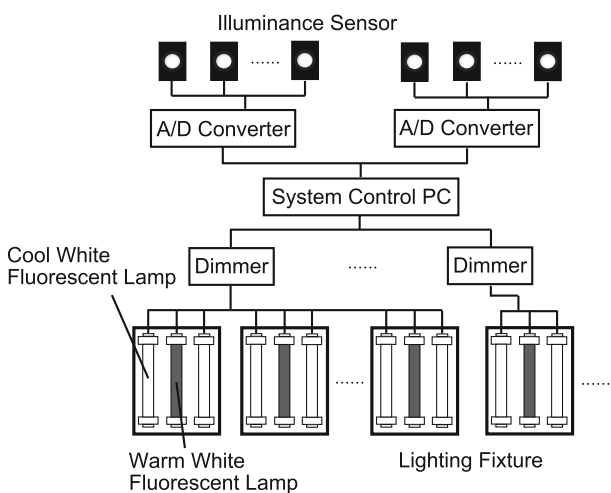


Fig. 2. The composition for Intelligent Lighting System introduced to Otemachi.

Fig. 2に示したシステム構成は、大手町ビルに導入した知的照明システムの構成である。各企業に導入した知的照明システムの構成は、基本的にはFig. 2と同じだが、用いている照明および照度センサが異なる。Table 2に導入した知的照明システムで使用している照明および照度センサを示す。

Table 2. Using lighting and illuminance sensor.

Building	Lighting Fixture	Sensor
Otemachi Building	Mitsubishi Fluorescent Lamp Cool and Warm White	Tokyo Kodan
Marunouchi Building	SHARP LED Cool and Warm White	Delta
	Mitsubishi Electric LED Cool and Warm White	OHM
Roppongi Hills Mori Tower	Panasonic Electric Works Fluorescent Lamp Cool and Warm White	Delta OHM
Tokyo Building	Mitsubishi Electric LED Cool and Warm White	Delta OHM

日本では、PWM (Pulse Width Modulation) 方式により照明の光度を制御することが一般的である。そこで、各照明の光度をPCで制御するために、各照明を試作した調光インタフェースに接続した。この調光インタフェースは、PWM方式に基づいて、パルス波のDuty比を256段階に変化させて、各照明へ送信する。つまり、Duty比に応じて光度を変化させることができる。システム制御用PCと調光インタフェースを接続することで、システム制御用PCから各照明の光度を制御することが可能となる。調光インタフェースはチャンネルごとに独立してDuty比を変化させることができるため、各照明の光度を個別に制御することが可能である。

また、知的照明システムの制御には、各照度センサの照度情報が必要となる。これは、各オフィスワーカ

の机の上に設置した照度センサごとに目標照度を設定し、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の制御を行うためである。そこで、各照度センサをシステム制御用 PC に接続した。ただし、使用した照度センサからの照度情報はアナログ信号で出力されるため、A/D 変換器を介してデジタル信号に変換した後にシステム制御用 PC に送信する。

なお、光度は光源からある方向へ放射された単位立体当たりの光束を表す心理的な物理量で、単位は cd (カンデラ) である。それに対して、照度は単位面積当たりに入射する光束を表す心理的な物理量で、単位は lx (ルクス) である<sup>8)</sup>。

### 2.3 知的照明システムの運用における課題

実証実験では、執務に必要な書類などが障害物となり照度センサが正しい照度情報を取得できないトラブルが報告された。知的照明システムは、照度センサ付近の明るさが目標照度となるように制御を行うため、執務において明るさが最も必要となる机の上に照度センサを設置する。しかし、机の上には執務に必要な書類などがある場合が多く、それらが障害になることで、実際よりも 70[%] から 90[%] 程度低い照度情報を取得するトラブルがたびたび発生した。また、システム制御用 PC と照度センサ間におけるネットワークの接続不良、システム制御用 PC のハングアップなども生じることがあった。

このような事例によって、知的照明システムが正常に動作しなくなった場合、オフィスワークに不快感を与えてしまうことが考えられる。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出力している。これらを、ログデータと呼ぶ。このログデータを基に、動作状況の確認およびトラブル対応を行っている。このログデータは実オフィスに設置した知的照明システムのシステム制御用 PC に蓄積されており、トラブル発生時にこのデータを確認することでシステムにおける問題を把握することができる。しかしながら、実オフィスにおいて、ログデータを解析できる人がいないため、実際に

はシステムにトラブルが生じた場合、同志社大学から実験担当者を派遣し解析を行っていた。そのため、トラブル対応に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のリモート監視システムを提案する。以下、構築したリモート監視システムを本システムと呼ぶ。

## 3. 動作状況のリモート監視システムの提案

### 3.1 ログデータ

東京都内の実オフィスに導入している知的照明システムは、動作状況の確認および評価のためにユーザの操作情報とセンサ情報などのログデータを出力している。知的照明システムでは、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の制御を行うため、照度センサの現在照度が重要になる。このセンサ情報を基に各オフィスワークの目標照度への収束状況の確認を行う必要があり、その場合の知的照明システムにおける消費電力の削減効果の検証も重要である。また、実オフィスに導入しているため、トラブルが生じた際は迅速な対応が求められる。

以上の観点より、照明の分散最適制御システムにおける動作状況の確認は必要不可欠である。そのため、実証実験では詳細な時系列データが必要になり、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、オフィスワークのデスクの台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、照明の台数だけ出力されている。なお、ここでの光度は、照明直下方向の光度のことである。

この 5 種類のログデータが 1 分毎に出力され、1 日毎に新たなファイルが作成される。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。消費電力に関しては、リアルタイムに電力情報をネットワークで取得できる機器が入手できなかったため、機器を用いず各照明の光度の合計値を基に推定している。各照明の光度の合計値から消費電力を推定するにあたり、鉛直下方向の光度と消費電力の関係を検証する実験を行った。Fig. 3に三菱電機製LEDの光度と消費電力の関係を示す。縦軸は消費電力[W]、横軸は光度[cd]である。

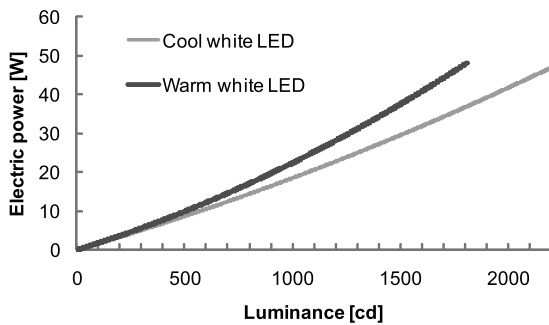


Fig. 3. Relation between luminance and electric power.

Fig. 3に示したように、光度と消費電力は一次式で近似できる関係にあることが確認できる。そこで、知的照明システムでは一次の近似式を用いて光度の合計値から消費電力を推定する。

### 3.2 ログデータの取得方法

東京都内の実オフィスに導入した知的照明システムのログデータを取得するためには、システム制御用PCにアクセスする必要がある。しかし、導入先企業のセキュリティの関係で直接アクセスすることはできない。そのため、社内ネットワークとは別の外部ネットワークが必要となる。そこで、社内ネットワークとは別にグローバルIPをもつ独立回線を新たに設置したリモートシステムをシステム制御用PCに接続した。また、独立回線を新たに設けることができない場合、PHS端末を用いることで外部からのアクセスを可能にする。このリモートシステムを介してシステム制御用PCにアクセスを行うことで、ログデータの取得を

行うことができる。また、同志社大学からシステム制御用PCの遠隔操作を行うことが可能になり、ソフトウェアトラブルに関しては、同志社大学から対応することが可能になる。Fig. 4および5に各ネットワーク構成を示す。

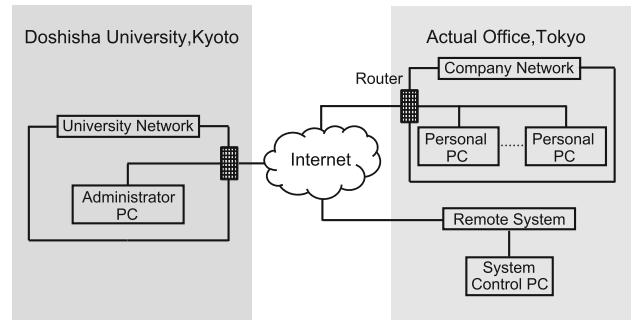


Fig. 4. The network composition for the global IP.

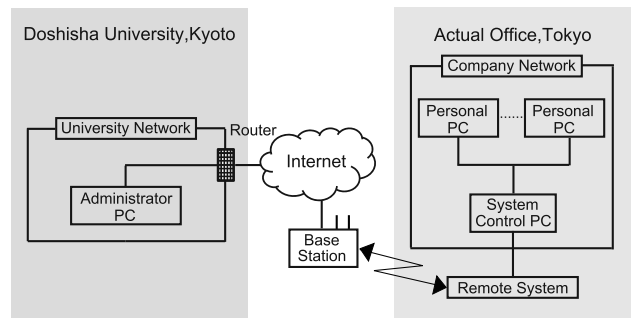


Fig. 5. The network composition for the PHS.

各オフィスワークに関しては、目標照度を設定する際にシステム制御用PCにアクセスする必要がある。Fig. 4に示したグローバルIPでのネットワーク構成の場合、各オフィスワークは外部ネットワークからシステム制御用PCにアクセスを行う。一方、Fig. 5に示したPHS端末でのネットワーク構成の場合、システム制御用PCは社内ネットワーク内にある。そのため、各オフィスワークは社内ネットワークからアクセスを行う。

### 3.3 動作状況のリモート監視システム

実証実験では、障害物による実際よりも低い照度情報の取得、システム制御用PCと照度センサ間におけ

るネットワークの接続不良、およびシステム制御用 PC のハングアップが生じることがあった。これらにより、知的照明システムは正常に動作しなくなる。このため、これらの状況を検出することが必要である。

上記の3つのトラブルは、ログデータにおいて次の条件を調べることで検出することができる。

1. 現在照度が一定の照度センサ
2. 現在照度が 50[lx] 以下の照度センサ
3. ログデータの欠落日時

センサ部分に書類などが被さった場合、50[lx] 以下になることが多かった。また、システム制御用 PC と照度センサ間におけるネットワークの接続不良が生じた場合、照度センサの照度情報は一定になる。システム制御用 PC のハングアップにおいては、ログデータの欠落が生じる。そのため、前述のトラブルを検出することが可能である。

本システムでは、各照度センサにおける照度情報が 10 分以上 50[lx] 以下の場合、照度センサ ID、最小照度、および最大照度の検出を行う。また、各照度センサにおける照度情報が 10 分以上一定の場合、照度センサ ID と照度情報の検出を行う。ログデータにおいては、1 分毎に確認を行い欠落があった場合、その年月日時分の検出を行う。なお、すべての検出結果はテキストファイルで出力される。このテキストファイルを用いて、知的照明システムの関係者にメールで報告を行う。検出結果のメール報告は、WSH(Windows Scripting Host) を用いて行う。WSH を用いることで、検出結果のテキストファイルを引用して本文を作成し、Outlook から送信することが可能である。また、導入先における知的照明システムの消費電力の削減効果として、消費電力の報告も行う。Fig. 6 にリモート監視システムにおけるネットワーク構成を示す。

Fig. 6 に示したネットワークを介して、トラブルが検出された場合は、知的照明システムの関係者にメールで報告を行う。本システムは、タイマ設定を行い実行することで、ログデータからのトラブル検出および検出結果のメール報告をすべて自動で行うことができ、

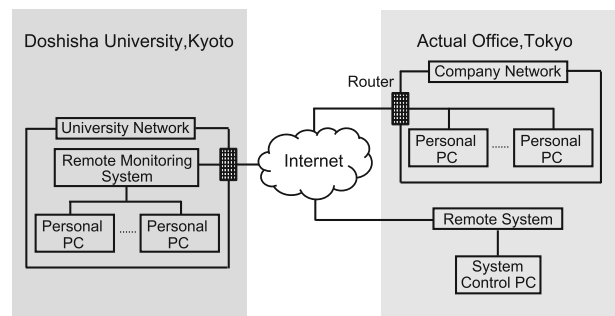


Fig. 6. The network composition for the remote monitoring system.

実証実験を行っている知的照明システムにおける動作状況を監視することが可能になる。

#### 4. むすび

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リモート監視システムを提案した。本システムを用いることで、実オフィスに導入した知的照明システムの動作状況を監視することが可能である。そのため、トラブルに対して迅速な対応を行うことができると考えられる。

今後も実証実験において、報告されたトラブルを基にログデータから検出を行うことが重要である。また、本システムの連続稼働させることで動作検証を行う必要がある。

#### 参考文献

- 1) 西原直枝, 田辺新一. 中程度の高湿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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.

- 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, Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007
- 6) 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.
- 7) 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>
- 8) 照明学会. 大学課程 照明工学 (新版). オーム社, 1997.