

The Visualization System of the Operational Status in a Intelligent Lighting System Introduced into an Actual Office

Hisao IMAMIYA^{*}, Mitsunori MIKI^{**}, Keiko Ono^{***} and Yoshihiro KASAHARA^{*}

(Received January 6, 2012)

We constructed a visualization system of the operational status in the intelligent lighting system we introduced into an actual office. The intelligent lighting system reduces electric power by providing required illuminance for each office worker. In the experiment at an actual office, some troubles occurred. Since the intelligent lighting system adopts the distributed optimal control, we need to check the operating status. With this visualization system, we can evaluate the intelligent lighting system, by checking the convergence status of illuminance, electric power, etc. In addition, we can discover the failure of lights and illuminance sensors, and respond quickly to any kind of trouble.

Key words : optimization, lighting control, office environment, energy saving, visualization

キーワード : 最適化, 照明制御, オフィス環境, 省エネルギー, 可視化

実オフィスに導入した知的照明システムにおける動作状況の可視化システム

今宮久夫, 三木光範, 小野景子, 笠原佳浩

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^{1, 2, 3}。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⁴。

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知的照明システムの研究開発を行っている^{5, 6}。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, 個々にオフィスワーカーの目標照度を提供す

^{*} Graduate School of Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone:+81-774-65-6924 E-mail:himamiya,ykasahara@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@mail.doshisha.ac.jp

^{***} Department of Electronics and Informatics, Ryukoku University, Kyoto

Telephone:+81-775-43-7495 E-mail:kono@rins.ryukoku.ac.jp

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⁵⁾．現在では，実用化に向けて東京都内および福岡県内の実オフィスにおいて実証実験を行っている^{7, 8)}．

知的照明システムは，従来の均一な照度を提供する照明システムとは異なり，各照明がそれぞれ異なる明るさ（光度）で点灯し，各オフィスワークの目標照度を提供する．このため，実証実験では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．また，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，知的照明システムにトラブルが生じた場合には，オフィスワークに不快感を与えないために迅速な対応が求められる．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，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，同志社大学からシステム開発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知的照明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る可視化システムを構築し，知的照明システムの評価を行うとともに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 に同志社大学の実験室における知的照明システムで得られた点灯パターンを示す．なお，フロアの面積は $90 [m^2]$ である．

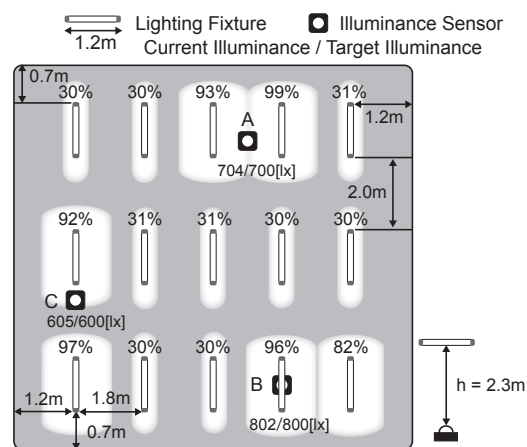


Fig. 1. Lighting pattern resulting in the Intelligent Lighting System.

Fig. 1 では，一般的な調光機能のない照明を点灯させたときの消費電力を 100[%] とした場合の比率 [%] を示した．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、東京都内および福岡県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. The Intelligent Lighting System introduced into an actual office.

Company	Building	Lighting	Sensor	Area [m ²]
Mitsubishi Estate Co.,Ltd.	Otemachi Building	12	15	50
Mitsubishi Estate Co.,Ltd.	Otemachi Building	26	24	200
Mitsubishi Estate Co.,Ltd.	Marunouchi Building	26	13	80
MORI Building Co.,Ltd.	Roppongi Hills Mori Tower	35	27	130
Mitsubishi Electric Co.,Ltd.	Tokyo Building	30	42	110
Kyudenko Co.,Ltd.	Headquarters Building (Hakata)	36	25	170

Table 1 に示したように、現在、東京都内および福岡県内における 6ヶ所の実オフィスに導入し、既存の照明シス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^{7, 8, 9)}。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 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。各導入先企業における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。

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

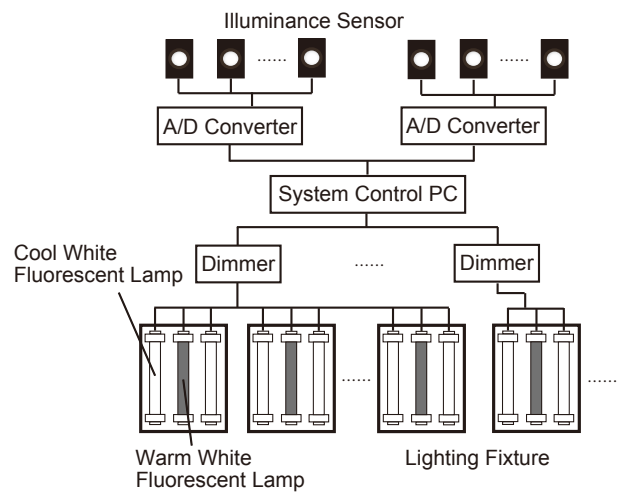


Fig. 2. The Intelligent Lighting System configuration introduced to Otemachi.

こで、各照明の光度をシステム制御用 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、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、各オフィスワーク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物理量で、単位は lx (ルクス) で

Table 2. Using lighting and illuminance sensor.

Building	Lighting Fixture	Sensor
Otemachi Building	Mitsubishi Fluorescent Lamp Cool and Warm White	Delta OHM
Marunouchi Building	SHARP LED Cool and Warm White Mitsubishi Electric LED Cool and Warm White	Sekonic
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
Hakata Building	SHARP LED Cool and Warm White Mitsubishi Electric LED Cool and Warm White Panasonic LED Cool and Warm White Panasonic Fluorescent Lamp Cool and Warm White	Sekonic

ある¹⁰⁾。

2.3 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、各オフィスワーク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が極めて重要であり、従来の照明システムにおける動作状況の確認と異なる。また、実証実験は実オフィスで行っているため、トラブルが生じた場合は、オフィスワークに不快感を与えないよう迅速な対応が求められる。これらにより、知的照明システムでは詳細な時系列データとして、ユーザー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。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、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、知的照明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、フロアにおける照明、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、各オフィスワークの目標照度を提供する場合、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、実際のオフィスにおける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、

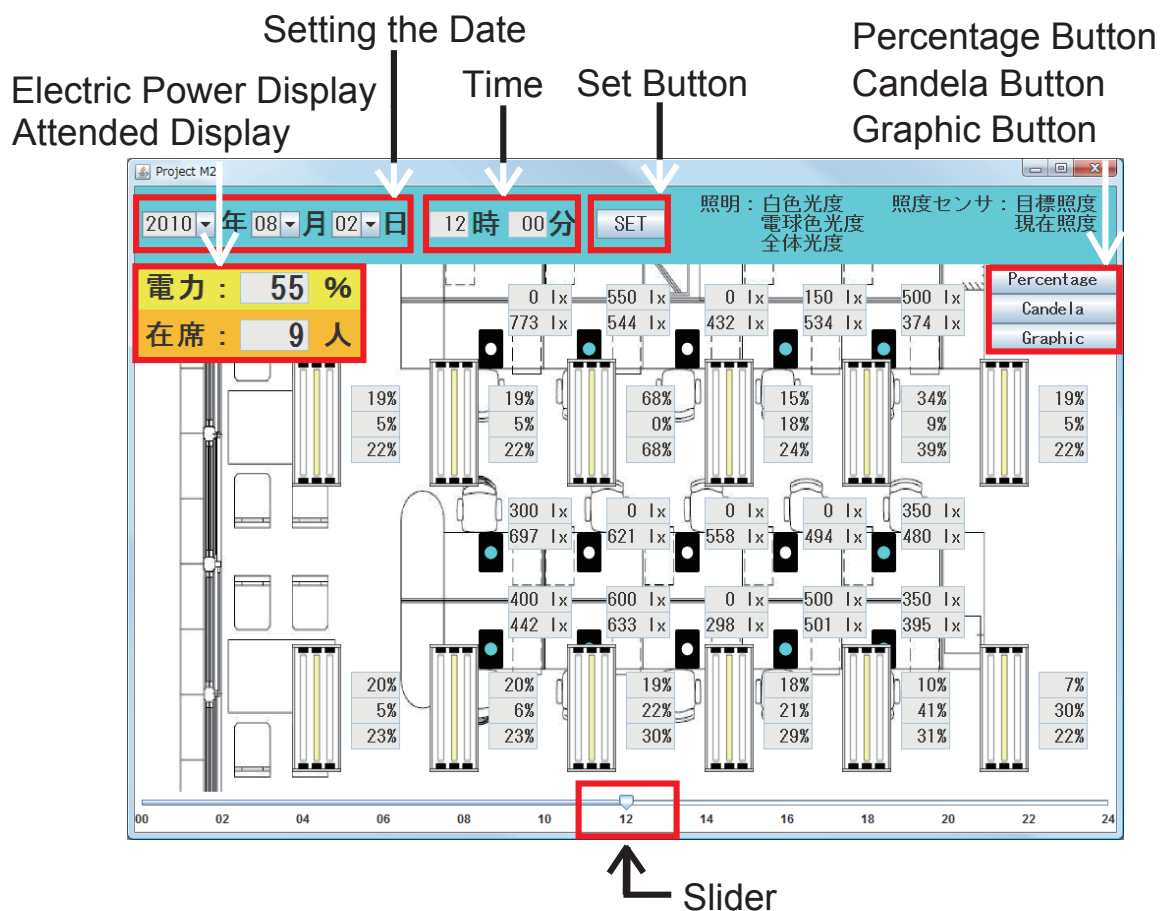


Fig. 3. The visualization system of the operational status.

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、システム開発担当者はイラストから用い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。

なお、実証実験では詳細な時系列データとして、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. 各オフィスの目標照度
5. 各照度センサの現在照度

オフィスの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。ここでの光度は、照明直下方向の光度のことである。Fig. 3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、Fig. 3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。なお、フロアの面積は50[m²]である。

Fig. 3における年月日の設定と「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消費電力を算

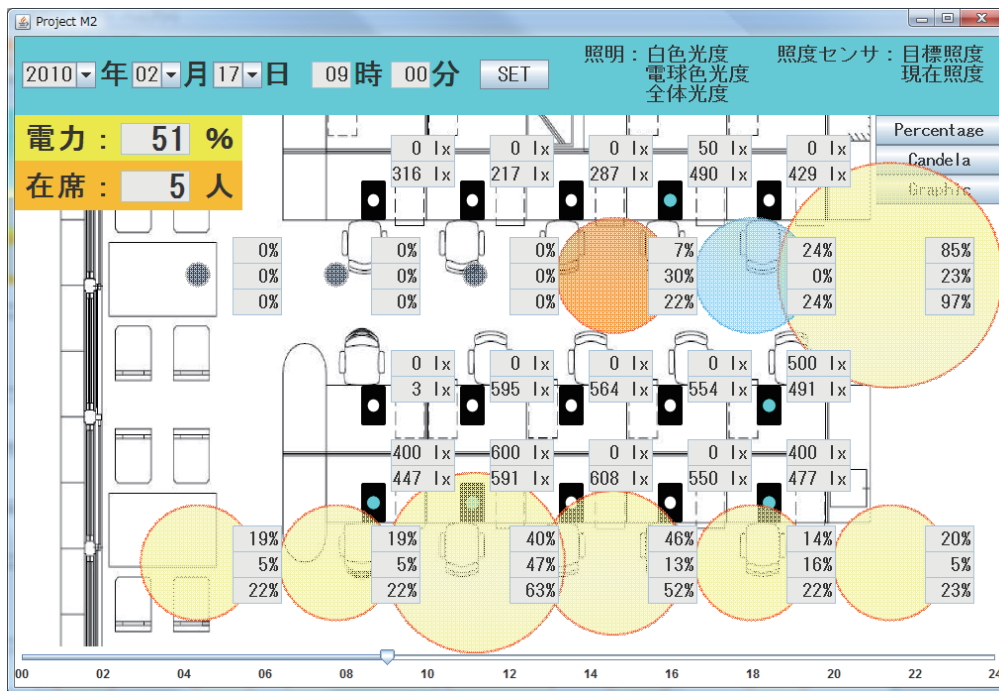


Fig. 5. The visualization of luminance.

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．知的照明システムにおける動作状況の確認を行う際にシステム開発担当者が最も入手したい情報は，各照明における光度と各照度センサにおける照度の値であると考えられる．Fig. 4 に光度と照度の可視化を示す．ここでの白色光度における値は，白色蛍光灯 1 管の値を表示している．そのため，実際の白色光度における値は 2 倍したものとなる．

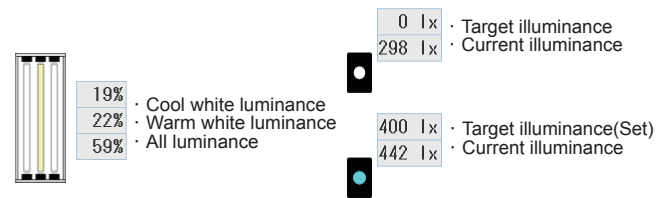


Fig. 4. The visualization of luminance and illumination.

Fig. 4 に示したように，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り，照度センサの目標照度が設定されている場合は，視覚的に確認することが可能となっている．光度については，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．全体光度とは，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を確認できる．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．Fig. 5 に光度における可視化の一例を示す．

Fig. 5 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と表している．なお，左上の照明3台は消灯していることを表している．Fig. 5 から，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．Fig. 3 および 5 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．これらの可視化は Fig. 3 のスライダを動かすことで，任意の時間における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

前節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，各照度センサ，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，次節で述べる．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．また，1日の履歴を確認することで，故障を発見することが容易になり，故障の状況を診断し，解決策を検討することが可能になる．Fig. 6 に正常動作の照度センサ，Fig. 7 にトラブルが起きている照度センサの履歴を示す．縦軸は照度 [lx]，横軸は時刻 [h] である．

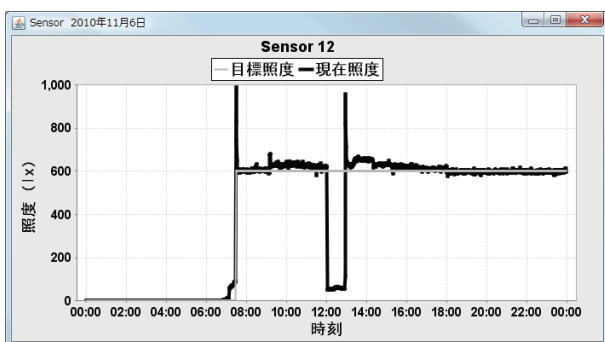


Fig. 6. The illuminance sensor in normal operation.

Fig. 6 および 7 から，現在照度はオフィスワーカーが設定した目標照度にほぼ一致していることが確認できる．なお，急激に現在照度が上がっている部分がある．

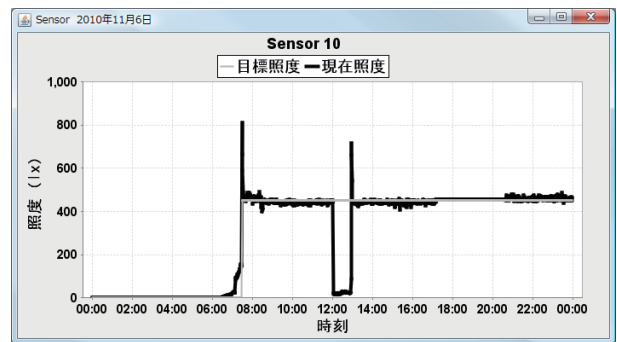


Fig. 7. The illuminance sensor in abnormal operation.

その理由は，知的照明システムは電源投入時に100[%]点灯して，その後，目標照度に収束するためである．また，急激に照度が下がっている部分がある．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．Fig. 6 および 7 のオフィスワーカーは，昼休みに照明が消灯された時間帯を除いて，目標照度に近い照度を実現していることが確認できる．また，目標照度が0時まで設定されていることから，この照度センサを所有するオフィスワーカーが残業していることが確認できる．現在照度に関しては，Fig. 6 では小刻みに変動している．しかし，Fig. 7 では一定の時間帯がある．この時間帯では，何らかの原因により，現在照度が取得されていないことが確認できる．このように，ログデータのグラフ化を行うことで，各オフィスワーカーにおける照度の収束状況を容易に確認することができる．照度履歴を分析することで，システムのトラブルを発見することが可能になる．

また，光度履歴の確認として，ある日における照明の光度履歴を Fig. 8 に示す．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．

Fig. 8 のように，知的照明システムにおける照明は，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，各照明の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

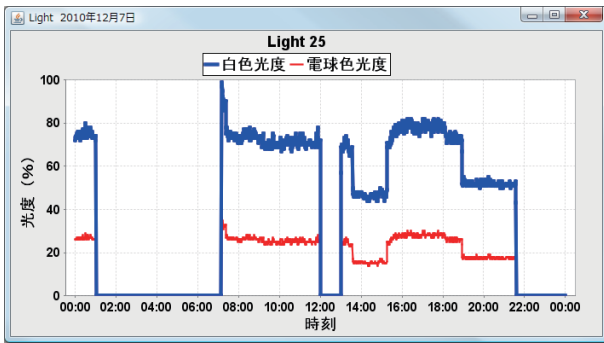


Fig. 8. Transition of the luminance in lighting.

認として, Fig. 8 に示した照明直下における照度センサの照度履歴を Fig. 9 に示す. 縦軸が照度 [lx], 横軸が時刻 [h] である.

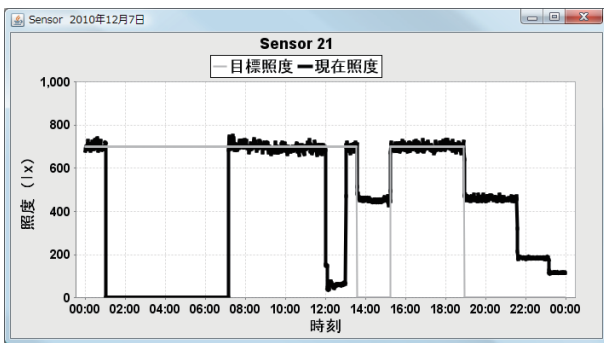


Fig. 9. Transition of the illuminance in sensor.

Fig. 9 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時の時間帯において, 目標照度が実現できない理由は先ほど述べた通りである. 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, Fig. 8 および 9 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, Fig. 8 に示した照明の白色光度が 50[%], 電球色光度が 20[%] 程度になっているのは, 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

前節で述べたように, 省エネルギー効果の確認として, 消費電力を表示する機能を追加した. 消費電力に関しては, 光度と一次式で近似できる関係にあることから, 知的照明システムでは光度の合計値から消費電力を推定する. 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. ある日における消費電力の遷移を Fig. 10 に示す. なお, Fig. 10 は, 大手町ビルに導入した知的照明システムにおける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.

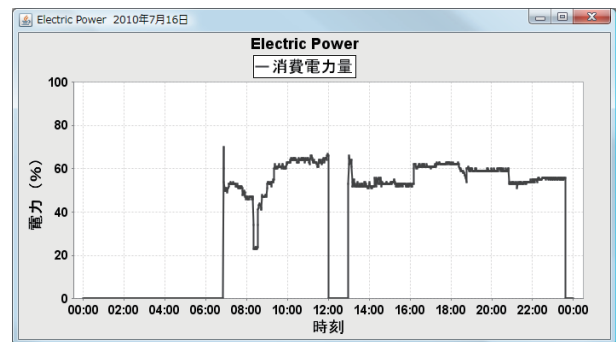


Fig. 10. Transition of the electric power.

Fig. 10 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ときの消費電力を 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. Fig. 10 に示したように, 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え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, 知的照明システムの省エネルギー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知的照明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，および消費電力の確認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．また，トラブルが生じた場合，動作状況を詳細に確認することができるため，迅速なトラブル対応を行えることが可能になった．

現在，本システムを用いて，実オフィスにおける長期の動作実験を通して得られたログデータを基に知的照明システムの評価を行っている．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. むすび

本研究では，実オフィスに導入した知的照明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，消費電力の確認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することが確認できた．また，詳細な動作状況を確認することで，トラブルに対して迅速な対応を行うことが可能になった．

今後は，知的照明システムの評価において，効果的な可視化および機能の追加を検討することが重要である．また，実オフィスにおける長期の動作実験を通して得られたログデータの解析を行うことによって，各オフィスワークが好む照度の検討や長期的な省エネルギー効果の検証を行うことが重要であると考えられる．

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) 三菱地所株式会社-LED 知的照明システム・輻射空調を世界で初めて複合導入した「次世代低炭素型技術実証オフィス」を設置，
http://www.ecozzeria.jp/information/release_ecozzeria_renewal.pdf
- 9) 三木光範，加來史也，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．電気学会論文誌，D Vol.J94-D No.4, pp.637-645, 2011
- 10) 照明学会．大学課程 照明工学 (新版)．オーム社，1997.