

オフィス内フレームを用いた知的照明システムの構築

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^{†††}

Construction of Intelligent Lighting System Using In-office Frames

Mariko SUZUKI[†], Mitsunori MIKI^{††}, Shingo TANAKA^{†,†††}, Masato YOSHIMI^{††},
Akihiko NAKAGAWA^{†††}, Atsuko SAITOU^{†††}, and Maiko FUKUDA^{†††}

あらまし 我々は、オフィスの光環境に着目し、個々のオフィスワーカーの要求に応じた光の明るさを提供する知的照明システムの研究を行っている。このシステムの実用化に向けて、コクヨ株式会社にオフィス内フレームを用いた知的照明システムを導入した。この場所は、ミーティング、ディスカッション等に用いる特別な執務エリアであり、知的照明システムとして、フレームシステムに昼光色、温白色およびアンバー色の3種類から成るLED照明器具を用い、照度と色温度が制御できるようにした。システムの検証として、照度および色温度の実現性を調べたところ、照度については、約100秒で収束し、色温度については外光の影響が少ない箇所においては、目標色温度との差が40K以内の色温度を提供した。

キーワード 照明システム、省エネルギー、オフィス環境、照度、色温度

1. まえがき

近年、オフィスにおいて、オフィスワーカーの知的生産性、創造性、および快適性の向上に注目が集まっている[1]。オフィス環境が知的生産性に及ぼす影響に関する研究は既に多く行われており、オフィス環境を改善することにより、知的生産性が向上すると報告されている[2]~[4]。オフィス環境の中でも照明環境に着目した研究では、オフィスワーカーの仕事内容や好みなどによって求められる光の明るさは異なるという研究結果も報告されている[5]。これからのオフィスでは、働く人々の生産性向上やストレスの軽減などを目的とし、仕事内容や個人の好みなどに応じたオフィス環境の創造が必要と考えられる。

そこで近年、照明システムにおいても使用者の要求に対応する点灯パターンを実現するためのシステムが研究されている。例えばセルフコントロールシステム[6]がその一つである。このシステムの特徴は、照明器具に組み込まれた照度センサが照明にあたる反射光をセンスし、それに応じて調光可能な照明器具の光放射量を制御するもので、センシングエリア内の机上面照度を一定に保つ機能を有する。しかし、このようなシステムはエリアごとの照度を制御する手法を用いており、各個人に希望照度を提供することが困難である。

このような背景から、我々は個々のオフィスワーカーの要求に応じた光の明るさを提供する知的照明システムの研究を行っている[7]。知的照明システムは、ユーザが照度センサに目標照度を設定し、机の上に照度センサを設置するだけでその照度を実現することができる。オフィスにおいて知的照明システムを用いた場合、各執務者がそれぞれに合わせた光環境の元で執務をすることができ、快適性向上や、ストレス軽減といった効果が期待される。また、必要な場所に必要な明るさを提供するため、平均照度が下がり、大幅な省エネルギー性を実現することが可能である。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[7]。しかし、研究室と比べて実際のオフィ

[†] 同志社大学大学院 工学研究科, 京田辺市
Graduate School of Engineering, Doshisha Univ., Kyotanabe-shi, 610-0321 Japan

^{††} 同志社大学 理工学部, 京田辺市
Department of Science and Engineering, Doshisha Univ.,
Kyotanabe-shi, 610-0321 Japan

^{†††} 現在, (株) 野村総合研究所

^{†††} コクヨ株式会社 RDIセンター, 東京都
RDI center, Kokuyo Co., Ltd, 1-8-35 Kounan Minato-ku,
Tokyo 108-8710 Japan

スではユーザの年齢層が広く、照明やユーザの数も多い、また、これまでは最大1ヶ月間の実験しか行っておらず、さらに長期的な検証が必要であると考えられる。一方、コクヨ株式会社では省エネルギーオフィスの構築を行い、エコオフィス実証実験を目指している。以上のことから、コクヨ株式会社に知的照明システムを導入することが2008年夏ごろに計画された。その後、同志社大学とコクヨ株式会社にて基本設計が行われ、2008年11月に完成した。構築した知的照明システムは、天井照明を用いるものではなく、オフィス内フレームに取り付けた照明を用いた。このような知的照明システムは、天井照明を変更することなく設定することができるため、既存のビルに知的照明システムを導入する方法として、設置工事が簡単になるという特徴を持つ。本論文ではそのシステムの詳細について述べる。

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必要な場所に必要の照度および色温度を最小限のエネルギーで提供するシステムである。知的照明システムは複数の照明機器と複数の移動可能な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。照明器具には学習判断をする制御装置を備え、これにより各照明機器が自律的に動作可能となる。知的照明システムの構成を図1に示す。ここで、照度とは、光によって照らされている任意の場所の明るさを表し、単位はルクス [lx] を用いる。また、色温度とは、完全黒体がある温度で熱された際に放射される光の色を表しており、単位はケルビン [K] を用いる。

各ユーザは照度センサに「照度をある値以上にする」という照度制約条件を設定するだけで、各照明が自律的な光度変化を繰り返し、ユーザの要求照度を実現する。また、知的照明システムでは、照明や照度センサの位置情報を必要とせず、照度センサから送られる照度データを基に照明が照度センサに及ぼす影響度を学習する。これより、各ユーザの目標照度を素早く実現することができる。

2.2 照度制御アルゴリズム

知的照明システムの最も有効な照明制御アルゴリズムとして、回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム(ANA/RC)が提案されている。ANA/RCとは、汎用の最適化手法である確率的山登り法をベースに、照

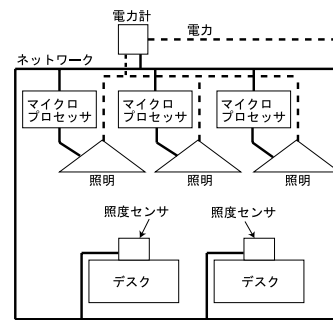


図1 知的照明システムの構成
Fig.1 Configuration of the intelligent lighting system

明制御用に改良したものである。ANA/RCでは、回帰係数を用いて照明の照度センサに対する影響度を学習し、状況に応じて光度を変化させることで、最適な光度へと素早く変化させることができる。

2.2.1 回帰分析を用いた影響度推定

知的照明システムの目的は個別照度を提供し、かつ省電力な状態を素早く実現することである。このため、照明が照度センサの照度値に与える影響度を知ることが重要となる。本システムでは照明が照度センサに与える影響度を推定するために、回帰分析を用いる。回帰分析とは、説明変数 x を変化させたときに観測値 y がどのように変化するかという2変数間の因果関係を分析する手法である。因果関係は説明変数 x と観測値 y の関係を式1で示す回帰式で近似することで求める。

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i \quad (1)$$

知的照明システムでは光度値の1回の探索における光度変化量を x 、照度変化量を y として回帰分析を行う。図2-(a)に示す環境にて、照明A,BおよびCの照度センサAに対する回帰係数の履歴を図2-(b)に示す。図2-(b)より、照度センサに近くなるほど回帰係数の値が高くなっていることがわかる。これにより、回帰係数を用いることで影響度が推定できることがわかる。

2.2.2 最適化問題としての定式化

知的照明システムの目的は各ユーザの希望する照度を實現し、消費電力を最小にすることである。このため、各照明は自身の光度を最適化する最適化問題として捉える。そこで、各照明は自身の光度を設計変数とし、ユーザの目標照度という制約条件の下、消費電力

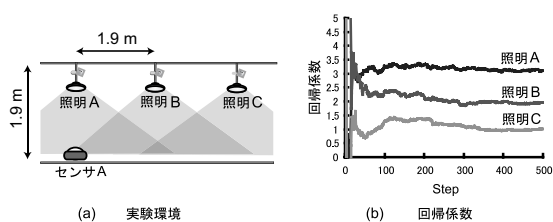


図 2 回帰係数の履歴

Fig. 2 History of the regression coefficient

を最小化する最適化問題を解く。そのための目的関数を式 2 のように設定する。

$$f = P + w \sum_{j=1}^n g_j \quad (2)$$

$$g_j = \begin{cases} 0 & 0 \leq (Lc_j - Lt_j) \\ (Lc_j - Lt_j)^2 & (Lc_j - Lt_j) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

P : amount of electric power, w : weighting factor, Lc : current illuminance, Lt : target illuminance

目的関数は消費電力量 P と照度制約 g からなる。照度制約 g は現在照度を目標照度以上にすることから、式 3 のように与える。また、重み w を変化させることで電力と照度の優先度を変化させることができる。なお、知的照明システムでは基本的に照度を優先する。

2.2.3 制御アルゴリズムの流れ

ANA/RC は汎用最適化手法である確率的山登り法をベースとしたアルゴリズムを用いている。さらに本アルゴリズムでは各照度センサに対する照明の影響度推定を行い、状況に応じて効率よく光度を変化させる。以下に ANA/RC の流れを示す。

- (1) 各照明は初期光度で点灯する。
- (2) 各照度センサは照度情報 (現在照度, 目標照度) を、電力計は消費電力量をネットワークに送信する。
- (3) 各照明は項目 2 の情報を取得し、現在光度における目的関数の評価を行う。
- (4) 影響度と照度情報を基に光度変化の範囲である近傍を決定する。
- (5) 近傍内に次光度をランダムに生成し、照明をその光度で点灯させる。
- (6) 各照度センサは照度情報を、電力計は消費電力量をネットワークに送信する。
- (7) 各照明は項目 6 の情報を取得し、次光度にお

ける目的関数の評価を行う。

(8) 照明の光度変化量および照度センサの照度変化量の相関係数を計算する。

(9) 目的関数の評価値が改良された場合は次光度を受取り、そうでない場合は元の光度に戻す。

(10) 項目 2~9 を光度値の 1 回の探索とし、繰り返す。

以上の動作を繰り返すことで、各照明は各照度センサに対する影響度を学習しつつ、各ユーザの目標照度を提供し、かつ省エネルギーな状態を実現する。なお、1 回の探索に必要な時間は約 1 秒である。上記の繰り返しの際に項目 5 ではなく項目 2 に戻って再度目的関数の評価を行う理由は、環境の変化に対応するためである。

2.2.4 近傍設計

一般的な確率的山登り法のアルゴリズムではランダムに光度を変化させながら目的関数を最小化する。そして、そのとき用いる次光度生成の範囲である近傍は各変数において一定である。しかしながら、このような一定の近傍を用いると探索の繰り返し数が多くなり照度の収束が遅くなる。このため、ANA/RC では次光度生成の範囲である近傍を適応的に決定する。すなわち、ある照明の光度を増加させる必要があるときには増光傾向の近傍を用いる。一方ある照明の光度を減光させる必要があるときには減光傾向の近傍を用いる。ANA/RC では図 3 に示すように (A) 減光傾向、(B) 中立および (C) 増光傾向の 3 種類の近傍を用いる。なお、図 3 で示した数値は照明の最大点灯光度を 100% とした際の光度変化量である。

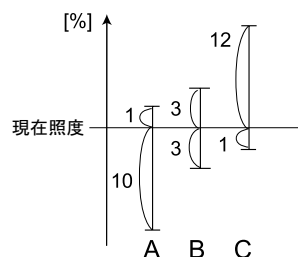


図 3 3種類の近傍

Fig. 3 Three types of the neighborhood

2.3 色温度の制御

知的照明システムでは、色温度の中でも代表される指標の一つである色温度の制御を行う。色温度とは、完全黒体がある温度で熱された際に放射される光の色

を表しており、色温度が低いと赤みがかった光となり、高いと青っぽくなる。これまでの研究によって、異なる色温度の光源を用いることで、各色温度の間の色温度を擬似的に実現できることがわかっている [8]。色温度の制御手法としては 2 種類の手法がある。一つ目は色温度を測定可能な色彩照度計を用いて色温度をフィードバックしながら制御する手法である。二つ目は異なる色温度の照明の点灯比率を制御する手法である。前者の手法を用いた場合はユーザの作業面の色温度をシステムにフィードバックし、制御を行うため目標色温度を精度良く実現することができるが、色彩照度計は高価なものが多く、各ユーザが所持するにはコストが高くなってしまふ。一方、後者の点灯比率による色温度制御は、2 種類の照明の点灯比率を制御するだけであるため、前者の手法に比べると精度は低くなる。

3. 構築したシステム

3.1 システムの要件

上記で説明したように知的照明システムは照度と色温度を設定することができる。コクヨ株式会社との議論を行った結果、知的照明システムの実用化に向けて以下のような要件が上げられた。

- (1) 天井照明ではなくフレームシステムに取り付ける照明で実現すること
- (2) 通常の執務スペースではなく、ミーティング、ディスカッションあるいはインタビューなどに用いる特別な執務エリアとすること
- (3) 多様なワークスタイルに対応させるため、照度と色温度を制御し、特定の点灯パターンを実現できるようにすること
- (4) オフィスでの複数の業務活動に利用するため、エリアを分割できるようにすること
- (5) 実験の解析ができるようにログを取得すること

以下にこれを実現するための詳細について述べる。

3.2 広範囲の色温度の実現

色温度の制御手法として、異なる色温度の照明の点灯比率を制御する手法を用いる。しかしこの手法では、各照明の色温度の間の値しか実現することができないことから、広範囲の色温度を実現する際は、高い色温度の照明と低い色温度の照明を用いる必要がある。汎用的に用いられている照明である蛍光灯照明の最低色温度は 2800 K 程度である。また、蛍光灯器具では一般的な調光範囲は 25 から 100 % までの物が多く、

特別に広い調光範囲のものでも最大点灯光度の 10 数 % である。そのため、蛍光灯照明では複数の照明を使用する際に、細かく色温度を設定することができない場合がある。そこで、本システムでは低い色温度を実現でき、0~100 % の範囲で明るさを制御可能な照明として LED 照明を用いる。広範囲の色温度を実現するため、色温度が 6100 K の昼光色照明、3400 K の温白色照明および色温度は測定できないが 2000 K 相当であるアンバー色照明を用いる。予備実験にて、6000 K と 2000 K の照明を点灯させた際に、ユーザに不快感を与えることがわかった。そこで、本システムでは 3400 K 以上を実現する場合は昼光色と温白色を用い、3400 K 以下を実現する場合は温白色とアンバー色を用いる。各照明の光度比率と実現色温度の関係を表 1 に示す。

表 1 色温度
Table 1 Color Temperature

色温度 (K)	昼光色 (%)	温白色 (%)	アンバー (%)
6000	100	0	0
5500	88	12	0
5000	67	33	0
4500	50	50	0
4000	17	83	0
3500	20	60	20
3000	0	75	25
2500	0	50	50
2000	0	0	100

蛍光灯照明は調光制御を行う場合、日本では標準的な規格があり、PWM 信号の duty 比を変化させることで調光を行う。しかし、LED 照明の調光信号の規格は統一されておらず、照明器具によって PWM 信号か、またはデジタル信号 (DMX または RS485) のどちらかで制御する場合が多い。ここでは、より正確に制御が可能なデジタル信号 (RS485) にて制御する。本システムでは、LED の各色を 8 ビット (256 階調) で制御できるようにした。これはディスプレイの階調と同様であり、十分な調節が可能である。

3.3 ハードウェア構成

前章で述べたように、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どちらもとることができる。現時点では、照明器具に組み込む分散制御用のマイクロプロセッサがなく、分散制御するためには照明 1 台ずつマイクロコンピュータを用いているため、コストが大きくなる。本実験で用いたシステムでは、コスト面の問題から集中制御型のシステム構成を採用した。知的照明システムの構成は照明器

具、照度センサ、システム制御装置および電力計からなる。電力計に関しては、リアルタイムに電力情報を取得できる機器は市販されているが、データの送出頻度が1分ごとなど、知的照明システムのスペックとあわなかったため、消費電力量と比例関係にある照明の光度を基に推定する。事前に実験によって求めておいた、照明の光度と消費電力量の関係を基に、各照明の光度から消費電力量を求め、照明の台数分消費電力を加算することで、全体の消費電力量の推定が可能となる。電力計以外の構成要素について以下に示す。

● フレームシステム

本システムは高さ2.2m、横幅3.7m、奥行き11.1mのフレームシステムに知的照明システムを構築する。フレームシステムは、パーティションによって3つのエリアに区切ることが可能である。フレーム内には24台の照明および6台の照度センサを設置する。なお、照明の台数については最大照度1000lxかつ個別に照度を変更できるだけの照明数を予備実験によって検討した結果である。また、照度センサの台数について、従来の知的照明システムでは照度センサは一人一台所持するが、フレームシステムは主に会議スペースとして用いられるため、本システムでは一人一台ではなく、1エリアに2台設置する。照度センサはエリア内を自由に動かすことが可能である。

● 照明器具

前節で述べたように照明器具にはLED照明を用いる。LED照明は特注の照明器具(ミヤチ製)を用いる。使用する照明器具を図4に示す。照明器具には昼光色、温白色、アンバー色の3種類のLEDを用いる。昼光色に用いたLEDは光度の高いLEDで他は普通のLEDである。机上面にて最大1000lxを実現するために、今回は昼光色を多く使用する。照明の光度の制御は、シリアル通信(RS485)を用いて行う。

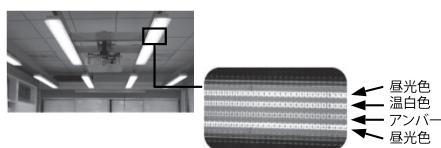


図4 コクヨ株式会社で用いた照明器具
Fig.4 The light used in the office of Kokuyo Co., Ltd.

● 照度センサ

照度センサは有線照度センサと無線照度センサの2種類がある。有線照度センサはノイズのない正確な

データを高速で取得できる。無線照度センサはデータにノイズがはいる可能性があり、高速にデータを取得できず、さらに電池交換も必要である。本システムでは、フレームシステム内のみで照度センサを用いるため、持ち運び可能な無線照度センサを用いる必要がないことから、有線照度センサを用いる。有線照度センサは”ANA-F11”(東京光電製)を用いる。使用する照度センサを図5に示す。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、システム制御装置に取り込む。A/D変換器(タートル工業製)は12bitの分解能を持つ機器を用いる。



図5 コクヨ株式会社で用いた照度センサ
Fig.5 The sensor used in the office of Kokuyo Co., Ltd.

● システム制御装置

システム制御装置は汎用PCに必要な制御用のソフトウェアを組み込んだものである。

上記に示す機器を用いてシステムを構築する。システム構成図を図6、照明および照度センサの配置図を図7にそれぞれ示す。なお、図7はフレームシステムを上から見た図である。制御PCはファイヤーウォールを通して社内ネットワークに接続されており、ユーザが照明を制御する際は、個人PCから社内ネットワークを介して制御PCにアクセスすることが可能である。

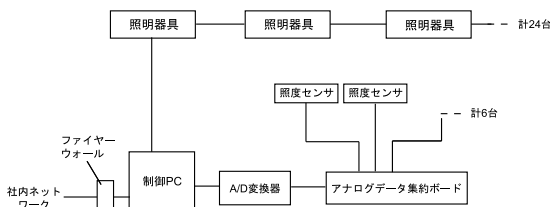


図6 システム構成図
Fig.6 Configuration of hardware

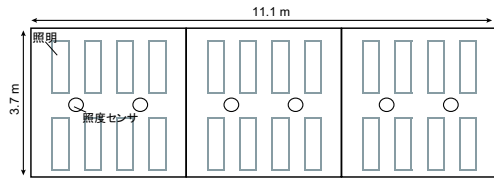


図 7 照度センサ配置図
Fig. 7 Layout of lights and sensors

3.4 ソフトウェア構成

本システムは調光制御ソフトウェアとユーザインタフェースソフトウェアおよび照度取得ソフトウェアで構成される。なお、ユーザインタフェースはウェブ仕様であり、ユーザはPCにソフトをインストールすることなく、サーバにアクセスすることで照明の設定が可能である。調光制御ソフトウェアは、ユーザの設定情報を基に、制御アルゴリズムを用いて点灯光度を決定し、照明に調光信号を送る機能、および点灯光度情報と色温度情報をハードディスク (HD) に書き込む機能を有する。ユーザインタフェースソフトウェアはUI画面上でユーザが設定した情報をHDに書き込む機能、およびHDから照度情報、光度情報、および色温度情報を取得し、画面に表示する機能を有する。照度取得ソフトウェアは照度センサから現在の照度をリアルタイムに取得し、HDに書き込む機能を有する。各ソフトウェアの関係図を図8に示す。図中の矢印は情報の流れを表しており、以下に詳細を示す。

- (1) ユーザ設定情報 (照明の制御手法, 設定光度, 設定色温度, 目標照度)
- (2) 現在照度, 光度, 色温度
- (3) 現在照度
- (4) ユーザ設定情報および現在照度
- (5) 光度, 色温度
- (6) 調光信号

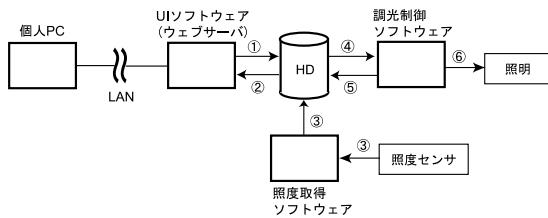


図 8 ソフトウェア関係図
Fig. 8 Software

3.5 ユーザインタフェース

3.5.1 ユーザ認証

社内ネットワーク上での利用を想定しているため、ブラウザから操作可能なウェブアプリ形式とする。また、ユーザ毎の操作ログの取得および複数のユーザによる同エリアの同時利用防止のため、初期表示画面ではユーザ認証を行う。図9に示したように、初期表示画面において、右下のエリアに社員番号を入力することで、データベースを用いた認証が行われ、ユーザインタフェースの操作が可能になる。

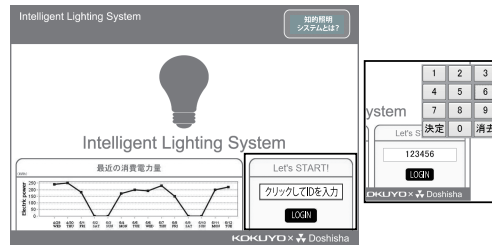


図 9 ユーザ認証画面
Fig. 9 User authentication screen

3.5.2 照度制御

照度制御を行うユーザインタフェースに求められるのは、各照度センサの現在照度の確認および目標照度の設定が可能であることである。これを実現するため、図10のようなユーザインタフェースを作成した。

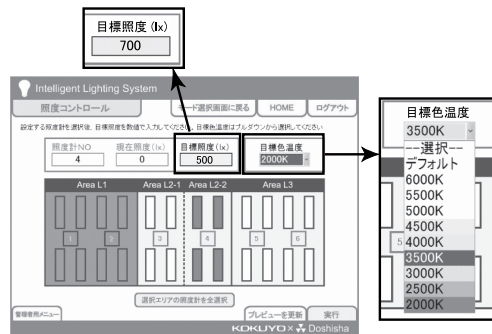


図 10 照度制御画面
Fig. 10 Illuminance control screen

照度センサを選択し、目標照度値を入力する方法として、画面上にテンキーを表示し、目標照度を入力可能にした。これにより各エリアに設置されたタッチパネルディスプレイによる操作が可能になる。一方、照明の色温度については、色彩照度センサを用いた制御ではなく、照明に直接色温度を設定する方法とする。

照明に色温度を指定する方法として、1灯もしくは複数の照明を選択して設定できることが望ましいが、最小エリアにおける照度センサは1台、照明は4灯であるため、各照度センサに周囲4灯の照明を対応付ける。図10に示したように、目標色温度の一覧から色温度を選択することで、各照度センサの周囲4灯の照明に色温度を設定することができる。目標色温度の一覧は、3.2節で示した表1を用いている。

3.5.3 光度制御

光度制御を行うユーザインタフェースに求められるのは、各照明の現在光度および現在色温度が参照可能であり、光度および色温度の設定が可能であることである。これを実現するため、図11のようなユーザインタフェースを作成した。

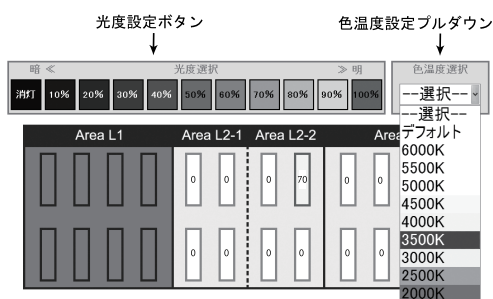


図 11 光度制御画面

Fig. 11 Luminance control screen

任意の照明を指定し、任意の明るさを設定可能にするため、1灯もしくは複数の照明を選択し、光度および色温度を設定する方法とした。光度は10%間隔で設定可能であり、設定可能な色温度一覧は3.2節で示した表1を用いている。

3.6 フレームシステムへの適用

構築したシステムの外観を図12に示す。従来、知的照明システムを導入する場合は、天井照明の取替え工事などが必要である。そのため、工事費が必要であったり、テナントビルの場合は天井照明の取替えはビルオーナーの承諾を得る必要があるなど既存のビルへの導入は容易ではない。しかし、フレームシステムに適用することにより、大幅な設備工事なしに知的照明システムの導入が可能となった。また、フレームシステムでは照明器具の交換が容易であるため、試作した照明を用いることができる。さらに、天井照明とは独立した電源配線のため、消費電力の測定が容易である。

パーティションを用いることでサブ空間を作ること

ができ、互いに干渉することなく制御することが容易であり、フレームシステムと知的照明システムの親和性は高い。



図 12 システムの外観

Fig. 12 The office of Kokuyo Co., Ltd.

4. システムの検証

今まで同志社大学の研究室でしか実験を行なっていなかった、知的照明システムを実際のオフィスにおいて実現できるのかを検証する。また、天井照明ではなく、フレームシステムに取り付けた、特殊な照明器具を用いて、どの程度の照度収束および色温度の実現が可能であるか検証する。

照度の実現性を検証する実験として、構築したシステムが、目標照度を途中で変更した際にも対応し、正しく照度収束を行なうことができるか検証する実験(実験A)、2台のセンサに異なる目標値を設定した際に、それぞれの目標値に正しく収束を行なうことができるのか検証する実験(実験B)を行なった。実験Aでの目標値は、実現可能な範囲から任意に選択した。実験Bでの目標値は、2つの目標値が比較的大きな照度差となるよう、実現可能な範囲から任意に選択した。色温度の実現性を検証する実験として、要求した色温度が実現できるのかを検証する実験(実験C)を行なった。ここで設定した目標色温度は、外光色温度との差が比較的大きな色温度を実現可能な範囲から選択した。

4.1 照度の実現性

構築した知的照明システムが、要求照度を実現できるかどうか検証を行うため、実験Aおよび実験Bを行なった。実験環境および知的照明システムを点灯させていないときの外光の照度および色温度を図13に

示す。実験 A では照度センサ 1 の目標照度を 500 lx に設定し、230 秒目に 300 lx に変更した。また、実験 B では照度センサ 1、および 2 の目標照度をそれぞれ 300, 700 lx に設定した。実験 A の結果得られた照度履歴を図 14 に、実験 B の結果得られた照度履歴を図 15 に示す。

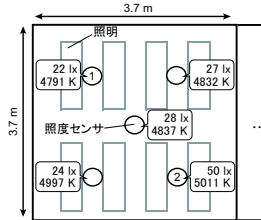


図 13 実験 A, B および C の実験環境 (天井図)
Fig. 13 Experiment environment for experiment A, B and C (Top view)

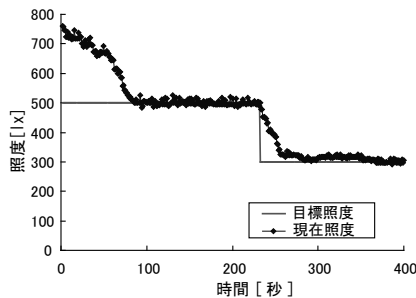


図 14 実験 A における照度履歴
Fig. 14 History of illuminance on experiment A

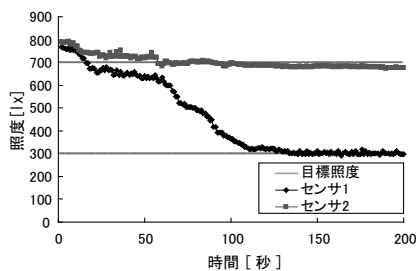


図 15 実験 B における照度履歴
Fig. 15 History of illuminance on experiment B

実験 A では、図 14 より、約 100 秒で目標照度に収束し、また、目標照度を途中で変更した際にも対応していることがわかる。実験 B では、図 15 より、各センサの目標照度の差が大きく離れているにもかかわらず、約 110 秒でそれぞれの目標照度に収束した。ここで、

照度収束にかかった時間が 100 秒程度となっているのは、本システムで用いたアルゴリズムにおいて、1 回の解探索にかかる時間が約 1 秒であり、目標値に収束するまでにかかる探索回数が約 100~120 回であるためである。この時間を早くすることは可能であるが、外光が入った際や人がセンサを横切った際に発生する短時間の照度変化に対して、照明が対応するようになる。それによって、照明の光度が短時間に大きく変化するため、利用者に不快感が生じる可能性が考えられる。また、建築デザイナーからは、もう少し長い時間の変化に対応するほうがよいとの意見もあり、ここでは、収束にかける時間は 100 秒を基準とした。これまでの実験結果においても、この時間は適切であることがわかっている [7]。よって、今回構築したシステムは、どちらの実験に対しても、適切な速度で照度収束を行なった。

4.2 色温度の実現性

要求した色温度を実現できているかの検証する実験 (実験 C) を行った。実験環境および知的照明システムを点灯させていないときの外光の照度および色温度は図 13 と同様である。色温度の測定には色彩照度計センサ "CL-200A" (コニカミノルタ製) を用いた。実験 C では、全ての照明の色温度を 2500 K、光度を 20% に設定する。実験の結果得られた照度および色温度分布を図 16 に示す。

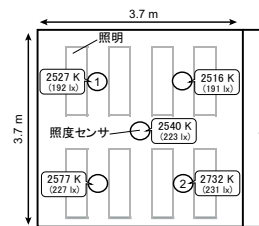


図 16 実験 C における照度および色温度分布 (天井図)
Fig. 16 Distribution of Illuminance and color temperature on experiment C (Top view)

図 16 より、実験 C では、約 5000K の外光の影響を受けた測定位置では、目標色温度との差が大きくなり、影響を強く受けた右下および左下の測定位置では、目標色温度との差が、それぞれ約 230 K および約 80 K であった。その他の位置では、目標色温度との差は 40K 以内であった。今回構築したシステムでは、色温度は事前に設定したデータベースを読み出すことによって制御を行なっているため、外光の影響を受け

る。色温度制御をフィードバック制御にすることは可能であり、既に、目標色温度への収束が可能なシステムも開発しているが、センサとして用いる色彩照度計は非常に高価であり、実オフィスに導入することは用意ではない。よって、今後、色温度のフィードバックを行なうためには、安価な色温度センサの開発が必要である。

5. むすび

知的照明システムは、ユーザが照度センサに目標照度を設定し、机の上に照度センサを設置するだけでその照度を実現することができる。また、照度および色温度を自由に変更することができるため、ミーティングやその他の執務において、最適な光環境を提供することができる。このシステムの実用化に向けて、コクヨ株式会社にオフィス内フレームを用いた知的照明システムを導入した。

構築した知的照明システムは、コクヨ株式会社のオフィス内に設置したフレームシステムを用い、ミーティングやディスカッション等に用いる特別な執務エリアにおいて、照度と色温度が制御可能なシステムである。広範囲の色温度を実現するために、白色、電球色およびアンバー色の3種類から成るLED照明を用いた。また、照度センサには、有線照度センサを用いた。ソフトウェアは、照度取得ソフトウェア、ユーザインタフェースソフトウェアおよび調光制御ソフトウェアから成る。ユーザインタフェースはウェブ仕様であり、ユーザインタフェース上で照度、光度および色温度を制御することができる。システムの検証として、照度および色温度の実現性を調べたところ、要求した照度は約100秒で実現することができ、途中で目標照度の変更した場合にも対応できた。2カ所に異なる目標照度を設定した場合も約100秒で両方の目標照度を実現することができた。色温度は、外光が強くない位置では、目標色温度との差は40K以内であった。約5000Kの外光の影響を受けた測定位置では、目標色温度との差が大きくなった。

文 献

- [1] 経済産業省:「クリエイティブ・オフィス推進運動実行委員会」の開催について,<http://www.meti.go.jp/press/20070615008/20070615008.html>.
- [2] 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性改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の

- の開発と実験的評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006, (2006)
- [3] 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)
 - [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, pp.2053-2056, (2005.9)
 - [5] Peter R. Boyce, Neil H. Eklund, S. Noel Simpson: Individual Lighting Control: Task Performance, Mood, Illuminance, IJES, pp.131-142, (2000)
 - [6] 鶴岡伸一, 田中和徳, 川並尚, 長崎文彦: センサを応用した省エネ照明システムの開発, 電気設備学会全国大会, pp.33-38, (1997)
 - [7] 三木 光範: 知的照明システムと知的オフィス環境コンソシアム, 人工知能学会誌, Vol.22, No.3, pp399-410, (2007)
 - [8] 芦辺麻衣子, 三木光範, 廣安知之: 知的照明システムにおける照度と色温度の個別分散制御, 情報処理学会研究報告, pp.69-72, (2008)

(平成 xx 年 xx 月 xx 日受付)



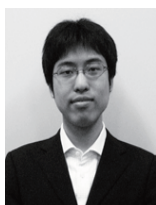
鈴木真理子

2010 同志社大・工・インテリジェント情報工学卒。同年、同大大学院工学研究科修士課程入学。オフィスの視環境の改善を目指し、色光を用いた新たなオフィスの光環境についての研究に従事。



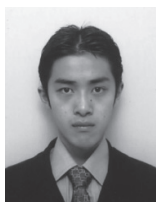
三木 光範

現在、同志社大学大学院。1978 大阪市立大学大学院工学研究科博士課程了, 工博。大阪市立工業研究所研究員, 金沢工業大学助教授を経て 1987 大阪府立大学工学部航空宇宙工学科助教授, 1994 同志社大学工学部教授。研究分野はシステム工学, 最適化, 並列処理など, 最近は並列処理と最適化を組み合わせた技術をオフィス照明の分野に展開し, 知的照明システムを研究・開発している。著書は「工学問題を解決する適応化・知能化・最適化法」(技法堂出版), 「進化する人工物」(オーム社) 等多数。IEEE, 情報処理学会, 人工知能学会, システム制御情報学会, 日本機械学会, 計算工学会等各会員。超並列計算研究会代表。経済産業省産業技術審議委員など歴任。知的オフィス環境コンソシアム会長。NEDO 技術開発機構「省エネルギー照明システムの研究開発」プロジェクトリーダー。



田中 慎吾

2009 同志社大学大学院工学研究科情報工学専攻前期課程了, 修士(工学), 知的照明システムにおける新たな制御アルゴリズム等の研究に従事。



吉見 真聡 (正員)

2004 慶大・理工・情報工学卒, 2009 同大大学院理工学研究所開放環境科学専攻後期博士課程了, 博士(工学), 2006 年度より日本学術振興会特別研究員(DC1), 現在, 同志社大学理工学部助教, リンフィギュラブルシステム, 並列処理, 知的システムの研究に従事, 人工知能学会会員。



中川 明彦

現在, コクヨ株式会社 RDI センター副センター長, 1981 年甲南大学法学部卒, 通販事業, CSR 推進部門を経て 2007 年 RDI センタースマートワークソリューション事業開発部長就任, 「生産性とアウトプットの質を高める」という新しい事業ドメインでの新規事業開発に従事, 今回の知的照明システムのハード部分を担当, 現在, ポスタルスクウェア株式会社代表取締役。



齋藤 敦子

現在, コクヨ株式会社 RDI センター主幹研究員, 1991 年多摩美術大学立体デザイン科卒, 近未来のワークスタイルとワークプレイスの調査研究, コンセプト開発に従事, ワークプレイス戦略情報誌 WORK-SIGHT 編集長, 日本ファシリティマネジメント協会「知的生産性とワークプレイス研究部会」部会長, 日本オフィス学会会員。



福田麻衣子

現在, コクヨ株式会社 RDI センターエコワークスタイルラボ, 1999 年武蔵野美術大学工芸工業デザイン学科卒, オフィス設計事務所を経て 2007 年コクヨ入社, 低環境負荷なワークスタイル実現に向けたワーカーの意識と行動を変えるデザインと研究に従事, 知的照明システムのインターフェイス開発。

Abstract We focus on office lighting environment and conduct a study of Intelligent Lighting System that provides light brightness in accordance with an individual office workers' needs. For purpose of commercialization of this system, Intelligent Lighting System using in-office frame was introduced at Kokuyo Co., Ltd. This place is a special work area used for meetings and discussions, etc. In system verification of operability of illuminance and color temperature, illuminance was converged in approximately 100 seconds and color temperature of which difference from target color temperature was within 40Kelvin was provided in areas with little impact of outer light.

Key words Smart lighting system, Energy saving, Office environment ,Illuminance, Color temperature