

令和元年6月17日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06432

研究課題名(和文)照明の個別分散制御における個別制約条件の解消

研究課題名(英文) A new method for the relaxation of the multiple constraints in the optimum control for the distributed control of lighting fixtures in offices.

研究代表者

三木 光範 (Miki, Mitsunori)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：90150755

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：(1)狭い配光角を持つ調光・調色LED照明を数多く天井に配置し、それによって隣接する執務者が大きく異なる選好照度や選好色温度を要求した場合でも、実現できる照度や色温度の誤差はどの程度まで減少させることができるのかを明らかにした。
(2)オフィスで執務者が選好する照度と色温度の範囲を被検者実験により求める。これである程度の広さを持つ範囲が分かれば、隣接する執務者が互いに満足できる実現照度と実現色温度を提供できる新たな最適化アルゴリズムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

(1)学術的意義：最適化における制約条件の緩和をいかに行うかに関する知見を得たことである。すなわち、最適化における制約条件が厳しいと解が得られない場合も多い。その場合、どのように制約条件を緩和するのかに関して、本研究は一つの新たなアプローチを与えた。
(2)社会的意義：オフィスにおいて各執務者に個別の照度と色温度を提供する個別分散制御型の照明システム(的照明システム)の需要は今後増えてくると思われる。なぜなら、いまオフィスでは個人にとって最適な照明、空調、音響環境が求められているからである。ウエルビーイングオフィスを目指して、本研究はそれらにソリューションを与えることができる。

研究成果の概要(英文)：(1) A new intelligent lighting system is proposed. The conventional system uses the conventional lighting fixtures which is most widely used in many offices in Japan have very wide beam angle (110 deg.). In that cases, the realized illuminances and color temperatures on the desks are sometimes different from the required illuminances and color temperatures. This research uses the lighting fixtures which have narrow beam angle, and the differences between the required lighting environments and the realized ones are minimized.
(2) A new intelligent lighting control method is proposed. The conventional system uses specific values for required illuminances and color temperatures, but office workers have a certain ranges for the required values. Therefore, we developed a new optimization algorithm to maximize the satisfaction level of the workers to the lighting environment.

研究分野：システム工学

キーワード：照明 制御 最適化 知的化 省エネルギー 調光 調色 快適性

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 申請代表者(三木光範)が研究・開発した「知的照明」は、オフィスにおいて、従来の均一な照度と均一な色温度という照明環境が執務に最適では無いことを示すため、天井照明を個別にコンピュータ制御することでオフィスにおける執務者各個人が選好する照度と色温度を個別に提供する個別分散制御システム(知的照明システムと名付けた)を発明し、すでに文部科学省の学術フロンティア事業、知的クラスタ推進事業でのコア研究プロジェクトとして大きな成果を挙げ、その後、独立行政法人 NEDO 技術開発機構の研究プロジェクトに引き継がれ、事前調査、先導研究、そして実証研究に至った。すでに東京都内 8 箇所および福岡 1 箇所での実オフィスでの実証実験を行い、2013 年 5 月竣工の三菱地所株式会社の茅場町グリーンビルに実用化第 1 号として導入された。こうして現在、知的照明は次世代照明の中で最も注目されている技術の一つである。

(2) 知的照明システムはこれまでのオフィスの照明基準をまったく変える革新的なシステムであるが、用いている照明器具は、従来の照明環境、すなわち、均一な照度と色温度を提供する目的で製作されたものであり、照明の配光角が広い。このため、従来型の照明器具を使うと、照明の光が広く拡散するという物理的特性のため、オフィスにおいて隣接する執務者が大きく異なる照度(例えば 300 ルクスと 700 ルクス)や、大きく異なる色温度(たとえば 3000 ケルビンと 5000 ケルビン)を選好すると、物理的にそれらを満足することは不可能であった。これを解決するには配光角が狭い照明を用いる必要があるが、その研究は行っていなかった。もちろん、世界でも誰も行ってこなかった研究である。また、従来は人の選好照度を一つの値で指定していたが、人の選好照度にはある程度の幅があると思われ、それを考慮することで隣接する執務者の満足度を最適化することができると思われた。

2. 研究の目的

本研究は、最適化をオフィス照明の個別分散制御という実問題に応用する際の競合解消を解決する新たな手法を提案し、確立することを目的としている。この手法が確立すれば、一般的な多くの実問題における複雑な最適化に関する競合解消の効果的な手法として有用となる。

本研究は、情報通信技術を用いて照明という建築設備を人工知能技術の一つである進化的自律分散最適化手法により制御する新たな手法を提供することで、スマートハウスやスマートビルなどにおける情報通信技術の導入を加速する目的も持っている。ICT 技術×進化的最適化手法×人の認知メカニズムの組合せで得られる照明の新たな価値を社会に提供することが目的である。

これらをまとめると具体的には次の二つの目的となる。

(1) 狭い配光角を持つ調光・調色 LED 照明を数多く天井に配置し、それによって隣接する執務者が大きく異なる選好照度や選好色温度を要求した場合でも、実現できる照度や色温度の誤差はどの程度まで減少させることができるのかを明らかにする。また、照明の配光角と天井に設置する間隔の最適な設置パターンを明らかにする。

(2) オフィスで執務者が選好する照度と色温度の範囲を被検者実験により求める。これである程度の広さを持つ範囲が分かれば、隣接する執務者が互いに満足できる実現照度と実現色温度を提供できる新たな最適化アルゴリズムを構築する。また、被検者実験で選好照度と選好色温度の範囲を求めることは執務者に負担をかけるため、実用的な観点から、短時間で容易に各執務者の選好照度と選好色温度を求める方法を確立する。

3. 研究の方法

(1) 従来のオフィス照明器具の配光角(1/2 ビーム角、以後同じ)は約 110 度である。これに対して、配光角が 49 度と 26 度のダウンライトを用いて知的照明システムのシミュレーション環境を構築した。また、オフィス環境として、標準的なデスク(幅 120cm、奥行き 80cm)を対向島型配置で 6 脚ずつ、2 島を設け、合計 12 名の執務者のオフィス環境をシミュレーション環境として構築した。その上で、12 名の執務者に、選好照度を 300 ルクス、500 ルクス、および 700 ルクスをランダムに設定し、選好色温度を 3500 ケルビンから 5500 ケルビンまでの値の範囲でランダムに設定した。この環境で知的照明システムを動作させ、実現照度と目標照度の誤差、および実現色温度と目標色温度の誤差を検証する。この設定を 100 回変化させ、その結果の平均値を基に照明の配光角と設置間隔の最適値を求めた。

なお、デスクと照明の位置関係は図 1 に示すようなレイアウトとした。ただし、このほかに、デスクの位置と照明の位置関係がまったく異なるレイアウトも想定した。これら二つのレイアウトで各 100 回の選好照度と選好色温度がランダムなシミュレーションを行った。

(2) 従来の知的照明システムでは、執務者が希望する、あるいは要求する照度を目標照度として単一の数値で取り扱っていた。このため、隣接する執務者が 300 ルクスと 700 ルクスのように、目標照度に大きな差があると広い配光角を持つ従来の一般的な照明器具ではそれが物理的に実現できなかった。

しかしながら、各執務者が希望する照度にはある程度の幅があると考え、まずその幅がどの程度あるのかを被検者実験で明らかにした。これは、照度を 10 種類変え、色温度を 5 種類変えた、合計 50 種類の照明環境を準備し、被検者に各照明環境で執務を依頼し、その後、その照明

環境の満足度を5段階で回答させる。

その後、上記の結果から、サポートベクターマシンを用いて各被検者の照度と色温度の満足度分布図を作成する。知的照明システムの制御においては、最適制御における従来の目的関数は消費電力と各執務者位置での目標照度と実現照度の誤差の二乗和を合計したものであったが、新たな目的関数として、消費電力と各執務者の満足度の和を合計したものにす。これで全体の満足度が最大になり、かつ、消費電力が最小となる点灯パターンが得られる。

4. 研究成果

(1) 図2には、シミュレーションの一例を示す。12名の執務者が大きく異なる照度を要求した場合でも実現照度はその要求に応じて各照明は光度を最適化できることが分かった。また、図3は別のシミュレーション結果の一例であり、狭い配光角を持つ照明が多数設置された場合でも実際に点灯している照明は数が少なく、広い配光角を持つ場合と比較して消費電力はほとんど増加しないことも明らかとなった。

図4は設置間隔を0.6, 1.2, 1.8mと変化させた場合の配光角が異なる照明を用いた時の目標照度と実現照度の差を各条件下で100回のシミュレーションを行った調べた結果である。この結果から次のことが分かる。

(1) 広い配光角を持つ照明では設置間隔を変えても照度誤差はいずれも大きく、設置間隔は従来通り1.8mが良いことが分かった。また、中程度と狭い配光角を持つ照明では設置間隔が1.8mの場合には照度誤差は極めて大きくなるため、2種類の設置間隔だけの結果となるが、中程度の配光角の照明を狭い間隔で設置しても意味が無いこと、そして、狭い配光角を持つ照明では設置間隔が0.6mの場合、照度誤差はほぼゼロになることが分かった。

(2) 狭い配光角を持つ照明器具を用いることで、目標照度はほぼ完全に満たされるため、知的照明システムでは狭い配光角を持つ照明を用いることが性能向上に重要である。一方、照明の設置台数に関しては、レイアウトが決まると常に消灯する照明器具があるため、それらを別の部屋で使う、あるいは最小限の照明をレイアウトに応じて移動させることで、狭い配光角の照明台数を1/3程度に減少させることができることが分かった。なお、システム天井では照明の移動は容易である。

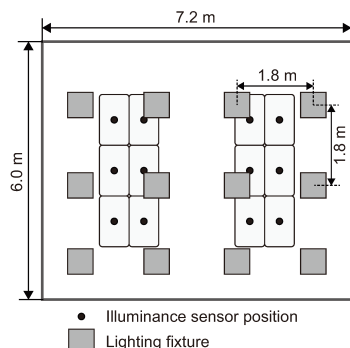


図1 オフィスレイアウト

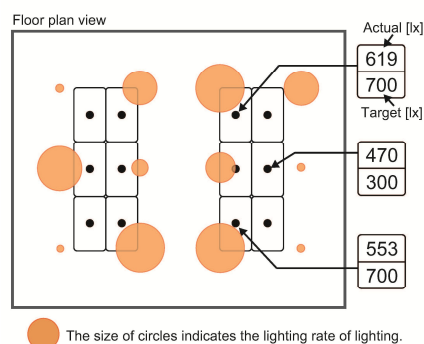


図2 照明の最適点灯パターンの一例

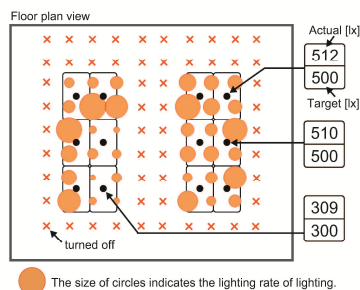


図3 照明の最適点灯パターンの一例

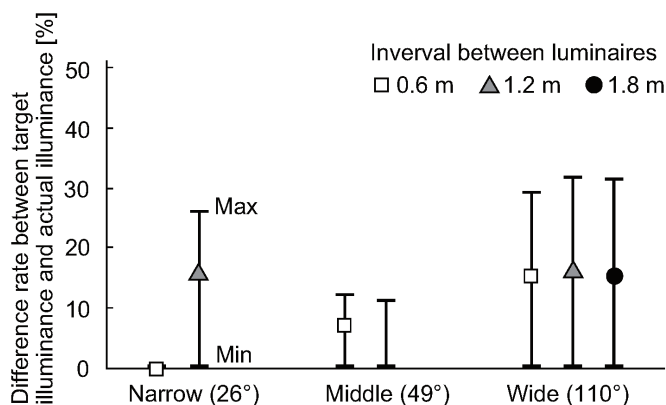


図4 天井照明の配光角と設置間隔に対する目標照度の誤差

(2) 図5は、照度を10種類、色温度を5種類に変化させ、合計50種類の照明環境において、被検者に5段階での満足度を回答する被検者実験の結果の一例である。すなわち、この被検者の要求照度は800ルクス、色温度は5000ケルビンであったが、より広い照度-色温度領域で満足度が高いことが分かった。

この結果を基にサポートベクターマシンを用いて照度-色温度分布図上に満足度の分類領域

を作成したものが図6である。これら各被検者の満足度分布関数を用いて知的照明システムの照度と色温度の最適制御を行う。この結果、全員の満足度は図7に示すように向上した。すなわち、従来の制御方式では合計満足度の最大値は3.65であったが、提案した新たな手法では最大値は4.0に増加した。特に、満足度が低い領域が大幅に減少していることも分かった。

これらの結果から、知的照明システムの最適化アルゴリズムにおける目的関数に、目標照度や目標色温度などの誤差の二乗和を用いるのではなく、各人の満足度を最大化する制御方法が有用であることを示すことができた。

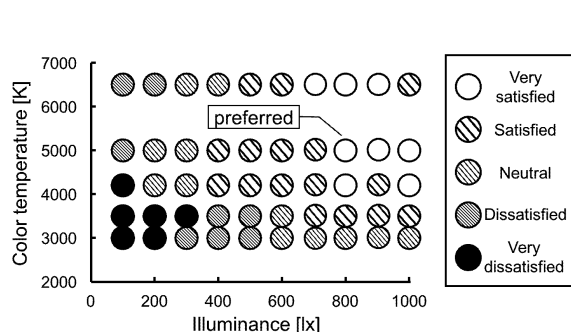


図5 ある被検者の照度-色温度に対する満足度

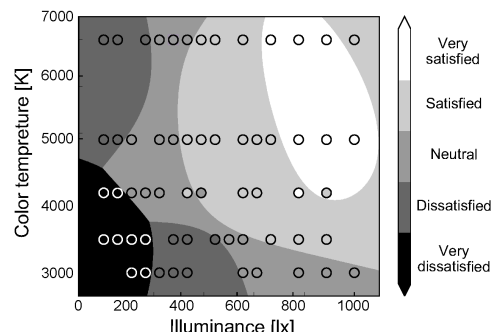


図6 ある被検者のサポートベクターマシンによる分類結果

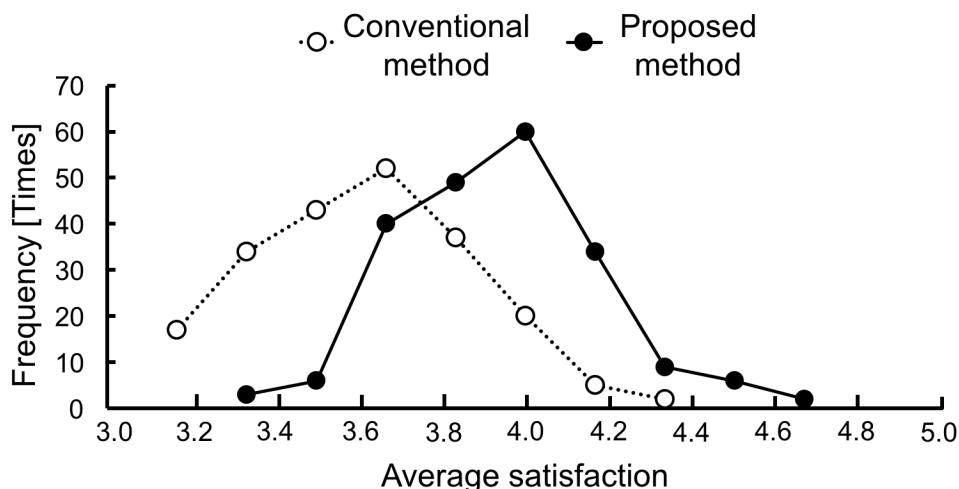


図7 満足度最大化制御による知的照明システムの全員の満足度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

外村篤紀、三木光範、田村聡明、富岡亮登、間 博、照明と照度センサの遠近関係を動的に分類することで 照度収束および消費電力収束を高速化する知的照明システム 照明学会論文誌, 査読有、103巻、2号、2019、pp. 75-83

S. Tamura, M. Miki, T. Yamashita, R. Tomioka, A Method to Simultaneously Realize Arbitrary Illuminance and Chromaticity by Using Mathematical Programming, Proc. of The 11th Asia Lighting Conference, 査読有、2018、pp. 259-262

T. Yamashita, M. Miki, Y. Honda, R. Tomioka, A Beacon Portable Type Intelligent Lighting System to Improve Energy Saving Performance of Intelligent Lighting System, Proc. of The 11th Asia Lighting Conference, 査読有、2018、pp. 259-262

R. Tomioka, M. Miki, Y. Honda, S. Tamura, Improvement of Illuminance and Color Temperature Providing Performance in Intelligent Lighting Systems Using Cut-Off Luminaires with Narrow Luminous Intensity Distribution, The 11th Asia Lighting Conference - The LED age: Challenge from Asia, 査読有、Proc. of The 11th Asia Lighting Conference, pp. 423-426

〔学会発表〕(計3件)

森本 陸、三木光範、富岡亮登、那須大晃、間 博人、異なる配光角の照明を組み合わせさせた知的照明システムの有効性の検証、電子情報通信学会 電子通信エネルギー技術研究会 (EE),

家電・民生技術委員会 (IEE-HCA) 信学技報 EE2018-3、2018、pp. 13-18、2018、pp. 423-426
坂東 航, 三木光範, 那須大晃, 富岡亮登, 間 博人, 執務者の照度・色温度に対する満足度を考慮した照明の個別分散制御手法、人工知能学会 第 32 回全国大会 (JSAI2018)、2018 年度人工知能学会全国大会 (第 32 回) 論文集、2018 1M3-01
那須大晃, 三木光範, 中村誠司、機械学習を用いた照度に対する満足度計測方法の提案、2018 年度第 40 回照明学会東京支部大会、第 40 回照明学会東京支部大会講演論文集、2018、pp. 36-37

〔図書〕(計 0 件)〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://mikilab.doshisha.ac.jp/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：無し

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8 桁)：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：富岡 亮登、那須 大晃

ローマ字氏名：Tomioka Ryoto, Nasu Hiroaki

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。