

Suggestion of the Load Reduction Technique of the Control Computer in the Cloud Type Intelligent Lighting System

Shinya DAINAKA^{**}, Mitsunori MIKI^{*}, Sota NAKAHARA^{**}, Atsuki TONOMURA^{**}, Hiroto AIDA^{*}

(Received July 11, 2016)

We research and develop an intelligent lighting system to improve office workers comfort and to reduce the power consumption. We have introduced the intelligent lighting system to realize individual lighting environments into real office environments. The effectiveness of the results of field trials was found in the future, intelligent lighting system is assumed to be introduced in a large office. When introducing large-scale, cost of and the maintenance and management introduced remains current configuration mentioned as a problem. Cloud intelligent lighting system control computer to cloud there has been studied. In this study, to verify the effect of the increase in the number of control area in the cloud-based intelligent lighting system has on the control PC. In addition, based on the verification results, we propose a method of controlling the cloud-based intelligent lighting system in a large-scale environment.

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

キーワード : 照明制御, 最適化, オフィス, 省エネルギー

クラウド型知的照明システムにおける制御コンピュータの負荷削減手法の提案

提中 慎哉, 三木 光範, 中原 蒼太, 外村 篤紀, 間 博人

1. まえがき

近年, オフィスにおいて執務者の知的生産性, 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^{2,3)}, 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ことが明らかになっている⁴⁾. 特に執務者の仕事内容や好みなどによって求められる光の明るさ(照度)は様々である⁵⁾. 一方, コストの低減や環境への配慮等の観点から消費エネル

ギーの削減を目指す取り組みが進んでいる. 特に, オフィスビルをはじめとする民生業務部門におけるエネルギー消費量は年々増加しており, 照明によるエネルギー消費量は全体の約 20 % を占めていることから, 照明の電力消費削減が必要であると考えられる. これらの背景から, 著者らは個々の執務者の要求に応じた照度を提供する知的照明システムを提案している⁶⁾. オフィスにおいて知的照明システムを用いることで, 執務者がそれぞれに合った光環境のもとで執務をする

* Faculty of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto, Japan

Telephone:+81-774-65-6930, Fax:+81-774-65-6716, E-mail:mmiki,haida@mail.doshisha.ac.jp

** Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto, Japan

Telephone:+81-774-65-6924, E-mail:sdainaka,snakahara,atonomura@mikilab.doshisha.ac.jp

ことができ、快適性向上やストレス削減といった効果が期待される。知的照明システムは既にその有効性が認められ、東京都内の複数の実オフィスで実証実験が行われている⁷⁻¹⁰⁾。実証実験の結果から知的照明システムの有効性が認められ、今後はオフィスビル1棟、もしくはオフィスの1フロア全体に導入を検討している。

現在の実証実験で用いられている制御方法は1エリアに1台の制御コンピュータが必要なため、エリア数の増加に伴って、制御コンピュータの台数が増加する。そのため、初期コストおよび保守・管理におけるコストが増加することが課題であった。この課題の解決手法として、1台のコンピュータで複数エリアを制御するクラウド型知的照明システムを検討している。しかし、現在の知的照明システムの制御アルゴリズムを用いて、複数エリアを制御した際の負荷の検証は行われていない。

そこで、本研究ではクラウド型知的照明システムにおける制御エリア数の増加が制御コンピュータに与える影響を検証する。そして、その検証結果をもとに、大規模環境におけるクラウド型知的照明システムの制御コンピュータの負荷削減手法の提案を行う。

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、任意の場所に執務者が要求する明るさ（目標照度）を提供する照明制御システムであり、複数の照明器具、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する。Fig.1に知的照明システムの構成を示す。

Fig.1に示すように、知的照明システムを構成する各ハードウェアをネットワークに接続することにより、制御コンピュータが各照度センサからの照度・目標照度を取得できる。これらの情報から、最適化手法に基づいて制御コンピュータが照明の明るさ（光度）を制御することにより、執務者の目標照度を実現する。そして、必要のない照明の明るさを抑えることにより、

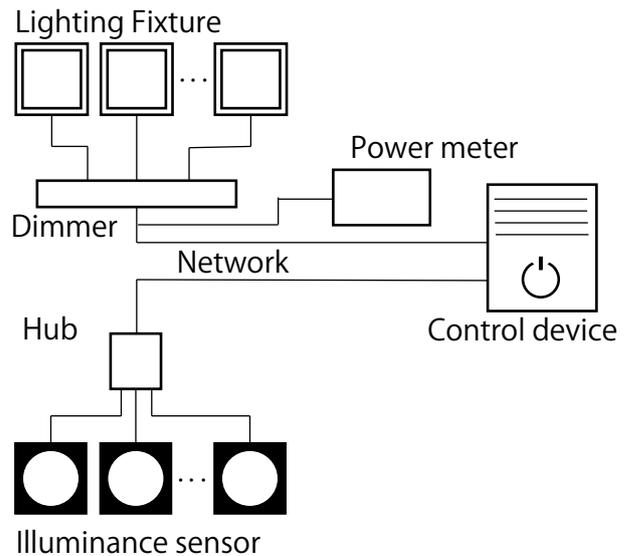


Fig. 1. Configuration of intelligent lighting system.

消費電力量の削減を図る。

2.2 知的照明システムの制御

著者らは、様々な知的照明システムの制御アルゴリズムを用いて実証実験を行っている。知的照明システムの制御アルゴリズムは大きく2つに分けることができる。

1つ目は、“ANA/RC”¹¹⁾という照明の点灯パターンの最適化に山登り法を基礎とした照明制御アルゴリズムである。ANA/RCは各照明が照度センサに与える影響の大きさ（以下、照度/光度影響度係数）を考慮し、各照明光度を適切に変化させる手法である。ANA/RCでは照度/光度影響度係数を動的に学習するため、各照明光度を微小変化させた際の光度変化量と照度変化量に基づいた回帰分析を行う。

2つ目は、各執務者の目標照度を素早く実現することができる手法（以下、シミュレーション手法）を用いた照明制御アルゴリズムである¹²⁾。この手法では、知的照明システムを導入する際、照明を1灯ずつ点灯・消灯させることで事前に照度/光度影響度係数を計測することが必要となる。その照度/光度影響度係数を用いることで、制御コンピュータ内で正確なシミュレーション環境を構築することができる。そして、シミュレーション環境で各執務者の要求する照度を満たす点灯パターンを高速に導出し、実環境に反映するた

め、各執務者の目標照度の実現が早い。

本研究で用いる制御アルゴリズムは、各執務者の目標照度を素早く実現することができるシミュレーション手法を用いる。

2.3 多くのエリアに知的照明システムを導入する際の課題

著者らは、最も大規模なオフィスビル環境として、1フロアにつき照明台数が1000台、照度センサ台数が600台が存在し、この照明と照度センサが複数のエリアに分かれ、そのフロアが複数ある環境を想定している。ここでのエリアとは、パーティションで区切られた空間や部屋のことである。

現在、実証実験で用いている知的照明システムでは、制御コンピュータ1台に対して1エリアの制御のみ行っている。そのため、現在の知的照明システムの構成で、大規模オフィスに導入すると初期導入コストや運用・保守にかかるコストが増大してしまう。そこで、1台の制御コンピュータで複数エリアを制御するクラウド型知的照明システムを用いて、課題の解決を図る。

3. クラウド型知的照明システム

3.1 クラウド型知的照明システムの概要

クラウド型知的照明システムとは、1台の制御コンピュータで複数エリアを制御するシステムである。クラウド型知的照明システムの機器構成を Fig.2 に示す。

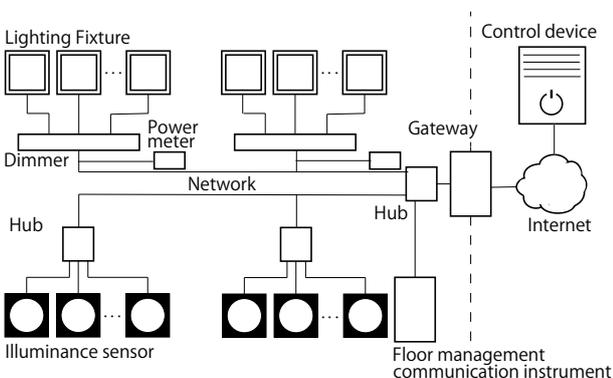


Fig. 2. Figure of constitution of the cloud-type intelligent lighting system.

Fig.2 のフロア制御およびクラウドデータ通信機(以下、フロア管理通信機)は、制御コンピュータの要求に応じて、照度センサから照度値の取得や照明の調光制御を行う機器である。このフロア管理通信機は各フロアに設置するものである。また、Fig.2 の制御コンピュータは、フロア管理通信機から各エリアに設置した照度センサの照度を取得し、執務者が設定した目標照度を満たすよう各照明の光度を決定する処理を行う。この処理を次光度決定処理と呼び、次光度決定を行うプロセスを各エリアごとに立ち上げ、複数エリアの同時制御を行う。次光度の決定が終了後、フロア管理通信機に照明の次光度を送信する。次光度を受け取ったフロア管理通信機は、調光を行う。制御コンピュータがフロア管理通信機から照度を受け取り、次光度をフロア管理通信機に送信するまでの時間を多くのエリアを同時制御するため、60 s 間隔とする。

3.2 クラウド型知的照明システムの制御

次に、制御コンピュータにおける処理のフローを以下に示す。

1. 初期化パラメータ(初期光度、目標照度、照度/光度影響度係数など)を設定する
2. フロア管理通信機に各照明の光度データを送信し、各照明器具を点灯させる
3. フロア管理通信機に照度値取得要求を行い、各照度センサの照度値を取得する
4. 現在光度における目的関数値を計算する
5. 各照明の回帰係数に基づき適切な次光度生成範囲(近傍)を決定する
6. 各照明ごとに、(5)の近傍内に次光度をランダムに生成し、次光度を決定する
7. 照度/光度影響度係数を用いて各照度センサの照度値を推定する
8. (6)で決定した光度における目的関数値を計算する

9. (8) の目的関数値が (4) の目的関数値よりも悪化した場合、その光度を棄却し、以前の光度に戻す
10. (4) から (9) を指定回数繰り返し、終了時の次光度をフロア管理通信機に送信し、照明を点灯させる
11. 一定時間待機し、(3) に戻る

なお、CPU の最大使用率を抑えるため、(3) から (10) の処理は各フロアごとに制御を行う。

3.3 クラウド型知的照明システムの検討事項

現在のクラウド型知的照明システムでは、各エリアごとに次光度決定プロセスを立ち上げている。そのため制御対象のエリア数が増加するとプロセス数も増加し、制御コンピュータの負荷が大きくなることが考えられる。そこで、エリア数の増加が制御コンピュータに与える影響の検証を行う。

4. エリア数の増加に対する制御コンピュータの負荷検証

4.1 検証環境

クラウド型知的照明システムにおいて、エリア数の増加に伴う制御コンピュータの負荷の検証を行う。検証に用いる環境は、シミュレーション手法を用いて実証実験を行った新丸の内ビルディング・エコツェリアの環境を 1 エリアとして想定した。Fig.3 にエコツェリアの照明と照度センサの配置図を示す。

著者らは Fig.3 に示すエコツェリアが 1 フロアに 40 エリア（照明 960 台、照度センサ 520 台）存在し、そのフロアが複数あるオフィスビルへの導入を想定した。フロア数を増加させ、CPU の最大使用率が 100 % になり、安定制御できなくなるまで検証を行う。Fig.4 に想定した検証環境を示す。また、本検証で用いた制御 PC とフロア管理通信機の詳細を Table.1 に示す。

4.2 制御コンピュータの負荷検証および考察

制御するエリア数の増加に対する制御コンピュータにかかる負荷の検証を行った。本検証では、実際のオ

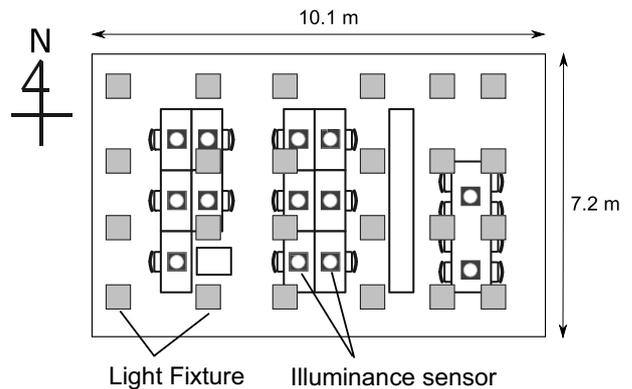


Fig. 3. Figure of placement of the illumination sensor and lighting fixture of Ecozzeria.

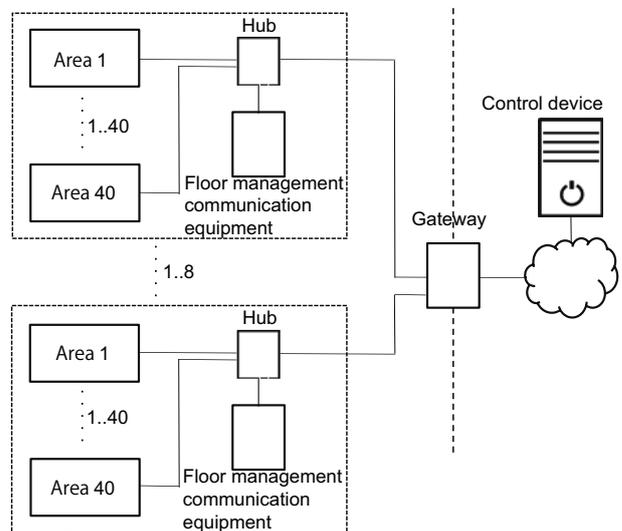


Fig. 4. Inspection environment.

フィスの 1 日を想定し、12 時間の制御を行った。また、実証実験の結果から目標照度の変更頻度が少ないことを確認したため、1 エリアで 2 回目標照度の変更が行われることを想定した。検証結果を Table2 に示す。

Table2 では、それぞれのフロア数における CPU の最大使用率、メモリの最大使用率、スワップ領域の最大使用率が示されている。Table2 により、フロア数の増加に伴って、CPU の最大使用率、メモリの最大使用率、スワップ領域の最大使用率が上昇することがわかる。2 フロアを同時制御した際、CPU の最大使用率が 100 % になり、制御遅延が発生した。2 フロアを同時制御すると最大メモリ使用率が限界に達して、

Table 1. Detail of the control computer.

| | Control PC | Floor communication equipment |
|--------|------------------|-------------------------------|
| CPU | Intel Core 2 Duo | ARM1176JZF-S (770 Mhz) |
| Memory | 2GB | 512MB |

Table 2. Load of the control computer.

| | Max CPU | Max Memory | Max Swap |
|---------|---------|------------|----------|
| 1 Floor | 85.9 % | 66.8 % | 0 % |
| 2 Floor | 100 % | 92.1 % | 29.1 % |

スワップ領域が使用された。そして、スワップ処理に CPU のリソースが使用され、CPU 使用率が限界に達した (スラッシング)。CPU 使用率が限界に達すると次光度決定プロセスに遅延が発生するため、安定制御が困難になる。ここで安定制御とは、CPU 最大使用率が 100 % にならないことを指す。この検証結果より、安定制御可能なフロア数は 1 フロアまでであることがわかる。そこで、本研究では、同時に安定制御可能エリア数を増加させるため、制御コンピュータのメモリ使用率、CPU 使用率の削減手法を提案する。

5. プロセス停止手法を用いたクラウド型知的照明システムの構成および検証

5.1 プロセス停止手法の概要

標準的な手法を用いる知的照明システムでは、光度を照明に反映させた後、次の次光度決定処理までの時間は知的照明制御プロセスをスリープしている。しかし、プロセスのスリープでは、スリープ中も各プロセスがメモリを占有し、メモリの使用率に影響を与える。そこで、解決手法として、次の次光度決定処理までのスリープの間にプロセスを停止させ、次の次光度決定処理が開始する時刻にプロセスを起動させる手法 (以下、プロセス停止手法) を提案する。本手法では、次光度決定処理後、各プロセスはスリープするのではなく、次の次光度決定処理開始時刻にプロセスが起動するように設定して、プロセスを停止する。そして、次光度決定処理開始時刻に到達すると、プロセスを再び

起動させ、次光度決定処理を行う。以下にプロセス停止手法を用いた制御フローを示す。

1. 初期化パラメータ (初期光度, 目標照度, 照度/光度影響度係数など) を設定する
2. フロア管理通信機に各照明の光度データを送信し, 各照明器具を点灯させる
3. フロア管理通信機に照度値取得要求を行い, 各照度センサの照度値を取得する
4. 3.2 節で示した (4) から (10) に示した処理を行う
5. 一定時間プロセスを停止する
6. プロセスを立ち上げ, (3) に戻る

本手法によって、標準的な手法では次光度決定処理のスリープ時にも確保していたメモリを開放することができるため、メモリの負荷を削減することができ、同時に制御可能なエリア数を増やすことができると考えられる。

5.2 プロセス停止手法を用いた実規模を想定した環境での負荷検証

4 章で想定した環境と同じ環境を想定し、プロセス停止手法を用いて負荷検証を行った。プロセス停止手法を用いた時の CPU の最大使用率、メモリの最大使用率、スワップ領域の最大使用率を Fig.5 に示す。

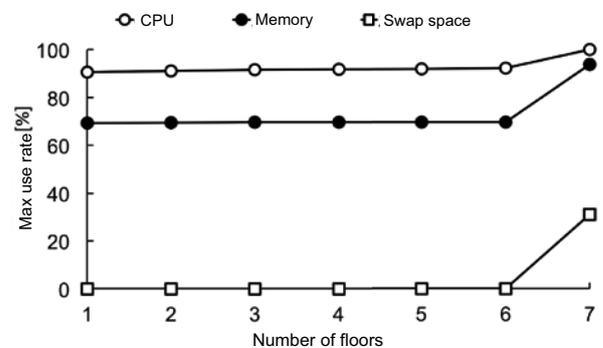


Fig. 5. Load of the control computer when using the process suspension method.

Fig.5 よりプロセス停止手法を用いることで6フロアまで安定制御できることが確認できる。また、1から6フロアまでメモリの最大使用率に大きな変化がないことが確認できる。これは、調光制御を行っていないフロアのプロセスが停止しているためである。一方、7フロアでメモリの最大使用率が増加していることが確認できる。本検証では、調光間隔は、60 sとしている。60 s間に6フロアを各フロアごとに調光できたが、7フロアを制御する際、60 s間に各フロアごとに調光するには時間が足らず、同時に2フロアの次光度決定処理の制御を行ったためであると考えられる。そのため、7フロアを制御した際、CPUの最大使用率が100%に到達し、安定制御が困難となった。それは、メモリの使用率が限界に到達し、スワップ処理が行われたためであると考えられる。

また、Table3に標準的な手法とプロセス停止手法を比較するため、制御コンピュータのCPUとメモリの最大使用率を示す。

Table 3. Comparison of the standard method and process suspension method.

| | CPU | Memory |
|----------------------------------|--------|--------|
| CPU usagerate of standerd method | 85.9 % | 66.8 % |
| CPU usagerate of proposal method | 90.5 % | 68.3 % |

1フロアを制御した際の負荷で比較する理由として、標準的な手法で安定制御できたフロア数が1フロアまでなためである。Table3より、プロセス停止手法のCPUの最大使用率は、標準的な手法に比べて5%程度負荷が大きいことが確認できる。プロセス停止手法では、調光制御を行う際、制御コンピュータ内でプロセスの立ち上げが必要なためであると考えられる。

また、1フロアの制御時の際、プロセス停止手法を用いた際のメモリの最大使用率は、標準的な手法に比べて1.5%程度負荷が大きいことが確認できる。それは、プロセスを立ち上げるためのプロセスが必要であるため、負荷が高くなったためと考えられる。

標準的な手法では1フロアまでしか安定制御できな

いことに対して、プロセス停止手法を用いることで、6フロアまで安定制御でき、安定制御できるフロア数が5フロア増加した。この結果から、プロセス停止手法を用いることで、メモリの使用率の削減に対して有効であることを確認した。

6. むすび

本研究ではクラウド型知的システムにおけるエリア数の増加に伴う制御コンピュータの負荷検証を行った。標準的な手法では1フロアまでしか安定制御できないことを確認した。そこで、クラウド型知的照明システムの制御コンピュータの負荷するプロセス停止手法を提案した。プロセス停止手法は、制御していないエリアのプロセスを停止することでメモリ使用率を削減する。調光制御を行う際、プロセスの立ち上げが必要となるため、CPUの使用率は増加したが、調光制御していないエリアのプロセスは停止しているため、メモリの最大使用率を削減することができ、制御できるフロア数が6フロア増加した。これより、提案手法の有効性を確認することができた。

参考文献

- 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論文集, **2006**[1322], 151-156(2006)
- 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, 2053-2056 (2005).
- 4) 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, **568**, 33-39 (2003).
- 5) P.R. Boyce, N. H. Eklund, and S. N. Simpson, “Individual Lighting Control : Task Performance, Mood, Illuminance”, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, **29**[1], 131-142 (2000).

- 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, **22**[3], 399-410 (2007).
- 7) 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, “オフィス内フレームを用いた知的照明システムの構築 (オフィスインフォメーションシステム, e-ビジネスモデリング, 特集学生論文)”, 電子情報通信学会論文誌 D, 情報・システム, **95**[3], 549-558 (2012) .
- 8) 小野景子, 三木光範, 吉見真聡, 西本龍生, 近江哲也, 足立宏, 秋田雅俊, 笠原佳浩, “LED 照明を用いた知的照明システムの実オフィスへの導入”, 電気学会論文誌 A, 基礎・材料・共通部門誌 = *The transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan. A, A publication of Fundamentals and Materials Society*, **131**[5], 321-327, DOI : 10.1541/ieejfms.131.321 (2011).
- 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執務者が要求する照度を提供する知的照明システムの構築 (情報・システム基礎)”, 電子情報通信学会論文誌 D, 情報・システム, **94**[4], 637-645 (2011).
- 10) 大学法人同志社大学, 株式会社三井物産戦略研究所, “平成 20 年度 - 平成 22 年度成果報告書エネルギー使用合理化技術戦略的開発/エネルギー有効利用基盤技術先端研究開発/自律分散最適化アルゴリズムを用いた省エネ型照明システムの研究開発”, 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, 20110000000875(2011).
- 11) S. Tanaka, M. Miki, T. Hiroyasu and M. Yoshikata, “An Evolutional Optimization Algorithm to Provide Individual Illuminance in Workplaces”, *Proc IEEE SMC*, 941-947(2009).
- 12) S. Matsushita, S. Kuwazima, M. Miki, H. Ikegami, and H. Aida. “Reducing the Number of times Lighting Control is Required to Reach Illuminance Convergence in the Intelligent Lighting System”, *In Proc ICAI*, 535-541(2014).