

Integration of BACnet and Intelligent Lighting System

Mitsunori MIKI^{*}, Takeshi TANIGUCHI^{**}, Hisanori IKEGAMI^{**}, Takuma YOSHIDA^{**},
Shohei MATSUSHITA^{**}, Keigo MACHIDA^{**} and Hiroto AIDA^{*}

(Received January 20, 2014)

We are doing research on the improvement of office environment. By improving the office environment, it can be expected effects such as stress reduction and improvement of intellectual productivity of office user. Therefore, we have conducted studies by focusing on light office environments, it has been proposed a distributed controlled illumination system (Hereinafter, intelligent lighting system) for implementing individual illuminance. Was implemented by the lighting pattern of the optimal illumination intensity required by the office's intelligent lighting system can be expected to effect energy savings. Intelligent lighting such a system is a system to be configured to connect a network of its own power meter intelligent lighting system control computer, lighting, and the illuminance sensor. Therefore, the running cost of the control of the system and maintenance of equipment and the initial cost at the time of introduction is required. Therefore, it is intended to reduce the running costs and initial costs that are required to introduce intelligent lighting system, we propose the intelligent lighting system constructed with the BACnet.

Key words : BACnet, lighting control, illuminance

キーワード : BACnet, 照明制御, 照度

知的照明システムと BACnet 環境の統合

三木光範, 谷口武, 池上久典, 吉田拓馬, 松下昌平, 町田啓悟, 間博人

1. まえがき

近年, オフィスビルの照明が執務者に及ぼす影響に関する研究が広く行われている。多くのオフィスにおいて, 各執務者は同じ光環境の中で執務を行っている。しかし, 各執務者には異なった好みの照明環境があり, 好みの環境で執務を行うことで知的生産性, 創造性,

および快適性が向上すると考えられている¹⁻³⁾。

一方, 省エネルギー性の向上も広く検討されており, オフィスビルにおいても省エネルギーを目指す取り組みが推進されている。オフィスビルにおける照明の消費電力はビル全体の約 20 % を占めているが, 執務者が求める明るさよりも明るく点灯している場合や不要な場所で点灯している場合が多い。そこで, このような

^{*} Department of Science and Engineering, Doshisha University, Kyoto

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

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

Telephone: +81-774-65-6924, E-mail: ttaniguchi, hikegami, tyoshida, smatsushita, kmachida@mikilab.doshisha.ac.jp

照明環境を改善することで照明の消費電力を削減し、省エネルギーに貢献することができる⁴⁻⁶⁾。

このような背景から、著者らは照明環境に着目し、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た。また、本システムは執務者の要求する照度を最小限の電力で実現することが可能であり、照明の消費電力を削減できる⁷⁾。知的照明システムは、東京都内および福岡の実オフィスでの検証実験により、知的照明システムを導入した場合と一般の照明器具を用いた場合を比較した結果、50%の消費電力の削減を確認した⁸⁾。

検証実験により知的照明システムの有効性を実証しているため、今後は、システムの導入と運用について検討する必要があると考えられる。知的照明システムは、調光可能な照明、照度センサ、制御コンピュータ、および電力計を独自のネットワークに接続して構成されるシステムである。このシステム構成では、導入する際に制御コンピュータや独自のネットワークを用意する必要があるため、それらの導入と保守にコストがかかる。知的照明システムの導入と保守のコストを削減することで、知的照明システムの普及に期待ができる。そこで、近年、導入と保守のコストを削減するためにオフィスビルへの普及が拡大しているBACnetを用いて知的照明システムを構築した。BACnetとは、オフィスビルのネットワーク標準規格であり、ビル内の様々なベンダシステムを相互的に接続可能とする。相互的に接続可能になることで、集中管理制御により総合的にシステム管理を行い、合理的なビル管理を実現する。BACnetで照明を制御しているビルに知的照明システムを導入することが可能になれば、知的照明システムを総合的に管理することが可能となるため、必要な制御コンピュータを削減可能となる。また、BACnetを用いるため独自のネットワークで知的照明システムを構築する必要もない。つまり、知的照明システムの導入と保守にかかるコストを削減することが可能となる。

そこで、本研究ではBACnetで照明を制御しているオフィスビルに導入可能なBACnet型知的照明システ

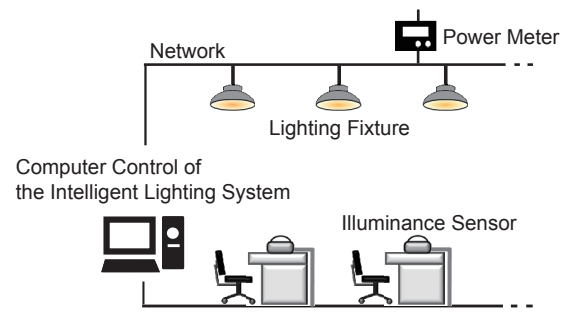


Fig. 1. Configuration of the intelligent lighting system.

ムの構築を行い、その有効性について検証する。

2. 知的照明システム

2.1 知的照明システムの概要と構成

知的照明システムとは、各執務者にとって最適な照度と色温度を提供し、各執務者の知的生産性、創造性、および快適性の向上に期待ができる照明制御システムである。また、各執務者によって最適な照度を、消費電力が最小限になるような最適な点灯パターンで実現するため、省エネルギー性の向上も可能である。さらに、各執務者が要求する照明環境を実現する結果として、照明の消費電力を削減することも可能である。これは、多くの執務者は一般的なオフィスの照明環境が明るすぎると感じており、一般のオフィスよりも明るさを抑えた照明環境を選考するためである⁸⁾。

次に、知的照明システムの構成について記述する。知的照明システムは、知的照明システム制御コンピュータ、照明、照度センサ、電力計、および独自のネットワークで構成されるシステムである。それぞれの執務者は、それぞれ好みの目標照度を設定することができ、知的照明システムはそれぞれの目標照度を満たすように各照明を制御する。そこで、現在の照度が目標照度を満たしているか調べるために、各執務者の机上面に照度センサを設置する必要がある。知的照明システムのネットワーク構成図を、Fig. 1に示す。

Fig. 1のように、知的照明システムは、知的照明システム制御コンピュータ、調光が可能な複数の照明、複数の照度センサ、および電力計を独自のネットワー

ク上に接続することで構築しているシステムである。知的照明システムの制御コンピュータは、各執務者の机上面に置かれた照度センサから照度情報を取得し、目標照度を満たすようにそれぞれの照明の光度を制御する。このとき、照明が変化していることを執務者が気づかないように、各照明の光度を人には感知できない範囲⁹⁾で制御する。

2.2 知的照明システムの照明制御アルゴリズム

ここでは、知的照明システムのアルゴリズムについて述べる。知的照明システムでは、Simulated Annealing(SA)をもとにした適応的近傍アルゴリズム (Adaptive Neighborhood Algorithm using Regression Coefficient:ANA/RC)を用いる¹⁰⁾。ANA/RCを用いて、設計変数を各照明の光度、制約条件を各照度センサの目標照度とし、目的関数を照明全体の消費電力と照度ペナルティとする最適化問題を各照明ごとに自律分散的に解く。照度ペナルティとは、照度センサから取得した照度が目標照度を満たしていないときのペナルティを指す。ANA/RCでは、各照度センサに対する各照明の影響度合い(照度/光度影響度と称す)を最適解を求める中で、照度変化と光度変化に関する回帰分析により推定する。以下にANA/RCの制御の流れを示す。

- (1) 各照度センサの目標照度を設定
- (2) 各照明を初期点灯光度で点灯
- (3) 照度センサと電力計から照度と電力を取得
- (4) 目的関数(後述)に基づき、評価値を計算
- (5) 照度/光度影響度に応じて各照明の次光度を生成し、生成した次光度で点灯
- (6) 照度センサと電力計から照度と電力を取得
- (7) 項目(5)における点灯状況の評価値を計算
- (8) 各照明の光度変化量と各照度センサの照度変化量から回帰分析を行い照度/光度影響度を推定

- (9) 目的関数に基づく評価値が改善された照明は次光度を受理し、改善されない照明は次光度生成前の光度に戻す

- (10) 項目(3)に戻る

各照明の目的関数は式(1)で表される。

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

$$P = \sum_{i=1}^m L_i$$

$$g_j = \begin{cases} 0 & (Ic_j - It_j) \geq 0 \\ R_j(Ic_j - It_j)^2 & (Ic_j - It_j) < 0 \end{cases}$$

$$R_j = \begin{cases} r_j & r_j \geq T \\ 0 & r_j < T \end{cases}$$

n : 照度センサの数, m : 照明の数

w : 重み, P : 消費電力量, Ic : 現在の照度

It : 目標照度, L : 光度, r : 照度/光度影響度係数,

T : 閾値

式(1)に示すように、目的関数 f は消費電力量 P と制約条件 g からなる。制約条件 g は現在照度が目標照度を上回る場合は0となり、満たさない場合は現在照度と目標照度の差を2乗した値となる。ただし、光度変化と照度変化に関する回帰係数が閾値 T 未満の場合、その照度センサに対してその照明は影響を与えないと考え、その照明の影響 R_j を0とする。これにより、光度変化と照度変化に関する回帰係数の高い、すなわち照度センサに強い影響を及ぼす照明の光度を最適化する。また制約条件 g には重み w を乗算しており、重み w の設定によって目標照度への収束か、省エネルギー性を優先するかを決めることができる。

2.3 知的照明システムの課題点

知的照明システムの有効性は実オフィスでの検証実験でも実証されているが、本システムの導入や運用については課題点がある。本システムを導入するには、フロアやテナント毎に、新たに知的照明システム制御コンピュータや独自のネットワークを用意する必要がある。

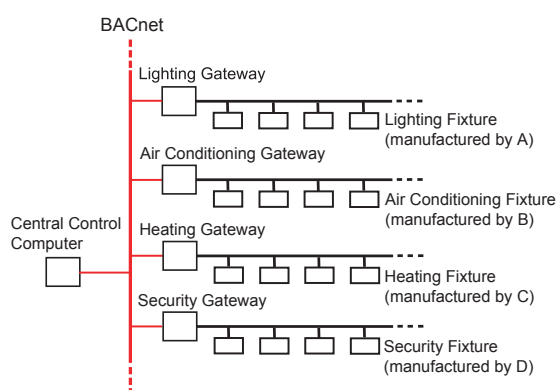


Fig. 2. Centralized Management control of the system using BACnet.

あり、導入にはコストがかかる。また、本システムを運用するために、知的照明システム制御コンピュータの保守が必要となるので、運用にもコストがかかる。そのような課題点を解決するために知的照明システムの新たなシステム構成を提案する必要がある。そこで、知的照明システムの導入と運用のコスト削減を目的とし、BACnetを用いた知的照明システムを提案する。

3. BACnet

BACnetは、オフィスビルに備わっているネットワークのための通信規格であり、ASHRAE, ANSI, ISOなどにおいて標準規格とされている。BACnetは、一般的な通信プロトコルとは違い、対象のデータまでもオブジェクトという形で規定し、BACnetに接続される制御装置をオブジェクトの集合体として標準化している。そのように規定することで、相互接続性を確保することが可能となり、異なるベンダで構築されたシステムを相互的に接続できる。

BACnetにより、ビル内のシステムを相互接続可能とすることで、Fig. 2に示すように様々なベンダのシステムを集中管理制御により総合的に制御可能となる。合理的なビル管理ができることから、近年、BACnetを用い、ビル内のシステムを集中管理制御しているオフィスビルが増加している。

4. BACnet型知的照明システム

4.1 BACnet型知的照明システム開発の目的

BACnetで照明を制御しているオフィスビルに導入可能なBACnet型知的照明システムには以下の3つの利点を持たせることが可能になる。1つ目は、知的照明システムの導入と保守のコストを削減できる点である。これは、BACnetによる集中管理制御により知的照明システムを総合的に制御することが可能になるため、フロアやテナント毎に制御コンピュータが必要でなくなるためである。また、BACnetを用いてシステムを構成できるため、独自のネットワークでシステムを構成する必要もない。これらにより、導入に必要なコストを削減できる。また、導入する機器や制御する機器の削減ができることで、知的照明システムを運用するための保守に必要であるコストも削減できる。

2つ目は、オフィスビル内の知的照明システムの運用を総合的に行うことが可能となる点である。これは、ビルの各オフィスで稼動している知的照明システムを、知的照明システム専用の集中管理制御によりまとめて制御可能になるためである。そのため、異なったテナントやフロアの知的照明システムであっても総合的に管理、制御可能となり、システムの運用が容易になる。

3つ目は、照明だけではなく、空調やブラインドと協調して制御を行うことで、さらなる執務空間の最適化を実現することが可能になる点である。これは、システムの相互接続により、照明だけではなく、空調、ブラインドなどと協調して制御することが可能なためである。

近年、BACnetでビル内のシステムを制御しているビルが増加している背景と、以上3つの利点から、著者らはBACnetで照明を制御しているオフィスビルに導入可能なBACnet型知的照明システムの開発を行った。

4.2 BACnet型知的照明システムの概要と構成

BACnet型知的照明システムとは、BACnet通信プロトコルを用いた知的照明システムである。従来の知的照明システムでは、知的照明システム制御コンピュー

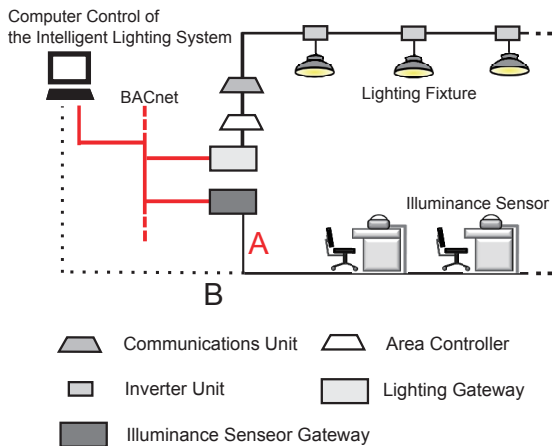


Fig. 3. BACnet type intelligent lighting system configuration.

タ、照度センサ、照明、および電力計を1つの独自ネットワークで接続して構成していた。一方、BACnet 型知的照明システムは、Fig. 3 に示すように、知的照明システム制御コンピュータ、照度センサ、照明、および電力計を BACnet に別々に接続して構成するシステムである。そのため、既に BACnet で照明を制御しているビルにおいて、知的照明システム制御コンピュータ、照度センサ、照明、および電力計を1つのネットワークに接続し直す必要がない。また、知的照明システム中央制御コンピュータにより、ビル内で稼働する複数の知的照明システムを総合的に監視、制御可能となる。このように、BACnet を用いて知的照明システムを構築することでシステム運用のコストが削減できる。

なお、Fig. 3 の分岐 A, B は、それぞれ本来の BACnet のシステム構成と本論文でのシステム構成を示している。分岐 A は、照明と同じように照度センサも BACnet を介したシステム構成であり、分岐 B は、照度センサからの情報を BACnet を介さずに取得するシステム構成である。本論文で用いた照度センサは BACnet に接続する環境が整っていないため、分岐 B のシステム構成で知的照明システムを構成した。

本論文では、三菱電機株式会社製の BACnet 通信対応の送受信機器と LED 照明を用いてシステムの構築を行った。本実験で用いた実際の BACnet 対応の送受信機、LED 照明との接続の様子を Fig. 4 に示す。

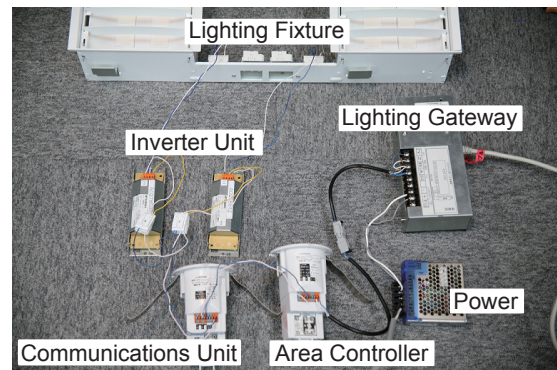


Fig. 4. BACnet corresponding signal transceiver of Mitsubishi electric corporation.

5. BACnet 型知的照明システムの導入における検証実験

5.1 実験概要

BACnet を用いて構築した BACnet 型知的照明システムの動作について検証する。BACnet 型知的照明システムが正常に動作すれば、BACnet を用いて照明を制御しているオフィスビルに知的照明システムを導入することが可能になる。その結果、知的照明システムの導入、保守のコストを削減することが可能となる。そこで、動作を検証するために BACnet 型知的照明システムを開発し、目標照度へ収束できるのか検証する。

実験環境は、調光可能な三菱電機株式会社製 LED 照明 9 台と照度センサ 3 台を用いる。LED 照明に対する照度センサの配置図、および各照明の目標照度を Fig. 5 に示す。

Fig. 5 に示すように、照度センサ A, B, および C の目標照度は、それぞれ、300, 500, 700 lx とする。また、本論文で用いる照度センサは BACnet に対応していないため、照度センサにおいては BACnet を介さず、中央制御コンピュータに測定結果を直接送信するシステム構成とする。

5.2 照度収束実験

BACnet を用いて構築した BACnet 型知的照明システムの動作について検証するために、目標照度収束実験を行った。照明と照度センサの位置、およびそれぞれの目標照度は Fig. 5 の通りである。Fig. 6 に、LED

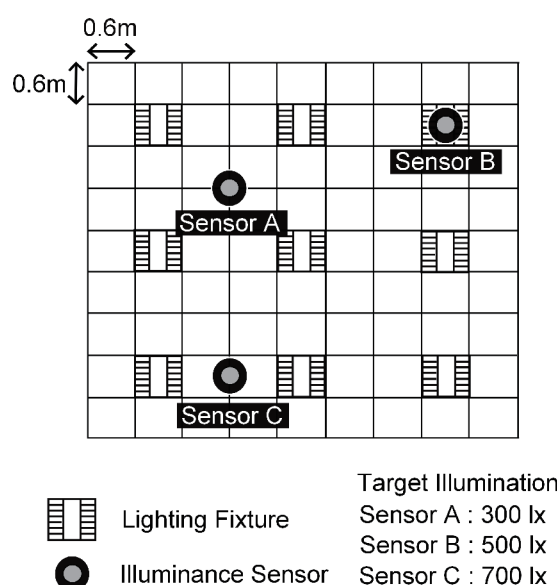


Fig. 5. Illuminance sensor layout plan and LED lighting.

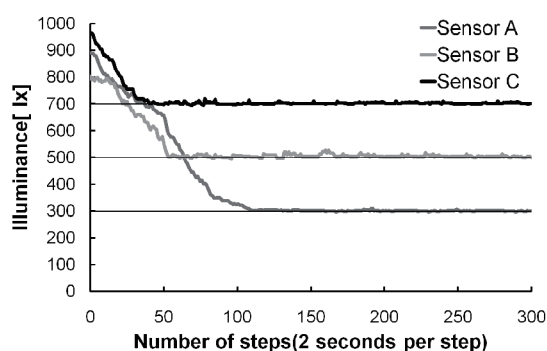


Fig. 6. Illumination convergence of BACnet type intelligent lighting system.

照明を用いたBACnet型知的照明システムの目標照度収束実験の結果を示す。

Fig. 6に示すように、全ての照度センサで取得した照度がそれぞれの目標照度に収束していることがわかる。

実験結果から、BACnet型知的照明システムを用いて目標照度を満たすことが可能であることがわかる。このことから、BACnetを用いて知的照明システムを構成することが可能であると言える。つまり、BACnetを用いてシステムを制御しているオフィスビルに知的照明システムを導入することが可能になるため、知的

照明システムのインシャルコストとランニングコストの削減に期待ができる。

6. むすび

BACnetを用いて知的照明システムの構築を行い、動作を検証した。検証実験により、BACnet型知的照明システムの有効性を示した。BACnetを用いて知的照明システムを構築可能となることで、従来では導入に必要であった、インシャルコストとランニングコストを削減することにも期待ができる。そのため、大規模環境であっても、知的照明システムの導入や運用が容易になり、システムの普及に期待ができる。

この研究は三菱電気株式会社の補助を受けて実施した。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) P. Boyce, N. Eklund, N. Simpson, "Individual Lighting Control Task Performance, Mood, and Illuminance", J. of the Illuminating Engineering Society, pp.131-142(2000).
- 2) O. Seppanen, W. J. Fisk, "A Model to Estimate the Cost-Effectiveness of Improving Office Work through Indoor Environmental Control", Proceedings of ASHRAE(2005).
- 3) M. J. Mendell, G. A. Heath, "Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in Schools Influence Student Performance? A Critical Review of the Literature", Indoor Air, **15**[1], pp.27-52(2005).
- 4) F. Rubinstein, M. Siminovitch, R. Verderber, "Fifty Percent Energy Saving with Automatic Lighting Controls", IEEE Industry Applications Society, **29**, pp.768-773(1993).
- 5) P. J. Littlefair, "Predicting Lighting Energy Use Under Daylight Linked Lighting Controls", Building Research and Information, **26**[4], pp.208-220(1998).
- 6) D. H. W. Li, J. c. Lam, "An Investigation of Daylighting Performance and Energy Saving in a Daylight Corridor", Energy and Buildings, **35**[4], pp.365-373(2003).
- 7) M. Miki, K. Imazato, M. Yonezawa, "Intelligent Lighting Control Using Correlation Coefficient Between Luminance and illuminance", Proc. IASTED

Intelligent Systems and Control, **497**[078], pp.31-36(2005).

- 8) M. Miki, T. Hiroyasu, K. Imazato, “Proposal for an Intelligent Lighting System, and Verification of Non-control Method Effectiveness”, Proc. IEEE CIS, pp.520-525(2004).
- 9) T.Shikakura,H.Morikawa, Y.Nakamura, “Research on the Perception of Lighting Fluctuation in a Luminous Offices Environment”, Journal of the Illuminating Engineering Institute of Japan, **85**[5], pp.346-351(2001).
- 10) S. Tanaka,M. Miki,T. Hiroyasu,M. Yoshikata, “An Evolutional Optimization Algorithm to Provide Individual Illuminance in Workplaces”, Proc IEEE Int Conf Syst Man Cybern, **2**, pp.941-947(2009).