

全館 L E D 照明を用いた大阪大学フォトニクスセンターでの 太陽光併用照明制御システム

山本 剛^{*1} 清水 亨^{*1} 中島 幸市^{*1} 高見 浩志^{*1}

Lighting control system utilizing sun and LED light at all-LED Photonics Center Osaka University

Takeshi Yamamoto^{*1}, Toru Shimizu^{*1}, Koichi Nakajima^{*1}, and Koji Takami^{*1}

Abstract - The all-LED photonics center building has been established by Photonics Center Osaka University, as a research and development center of the Photonics-based Eco-Life Technology to perform verification and experiment. The technology is an integration of environment, energy, and health-care fields by leveraging the light. In this paper, we report on the lighting control system IDEC has installed in the facility, which combines LED lighting and sunlight to achieve Photonics-based Eco-Life.

Keywords: LED, Luminaires, Light, sunlight and Photonics-based Eco-Life

1. はじめに

フォトニクス技術は、20 世紀を支えたエレクトロニクス技術を継いで、21 世紀の科学と産業と社会を担う技術として、いま脚光を浴びている。大阪大学フォトニクスセンターでは、大阪大学の有する光科学・先端技術分野の世界屈指の高いポテンシャルを基盤として、産学協働により産業イノベーションを目指すフォトニクス先端融合研究拠点と、環境エネルギー健康技術開発をすすめる光エコライフ技術開発拠点の事業を推進している。

同センターでは、光科学分野の技術を活用して、環境、エネルギー分野、ヘルスケア分野などの融合課題に取り組んで、人と環境にやさしい光エコライフ技術の実用化産業化共同研究施設を光エコライフ技術開発拠点として、吹田キャンパス内に鉄筋 5 層 4,900 平米のフォトニクスセンタービルを 2011 年 4 月に竣工した^[1]。この施設は、建物全体を用いた大規模な光エコライフ技術の実証・実験を目的に、全館に省エネルギーに優れた高効率な L E D 照明を導入した。

単に照明の L E D 化だけでなく、人の快適性の向上や省エネルギー性を高める調光機能を可能にする制御システムを実装している。この制御システムは、世界初の I D E C 全館 L E D 照明建屋やコンビニエンスストアで 2008 年より、感性評価する視覚実験および色温度の調整による快適性実験に基づき、I D E C が調光制御システムの実証実験を行なってきた^[2-6]。本施設では、さらなる省エネルギーの試みとして、照明においても自然エネルギーの有効活用ができる室内内部にまで太陽光を導光する光ダクト装置を設置した。

本稿では、快適な光エコライフを実現する照明の実証実験を目的に I D E C による L E D 照明と室内に導光される太陽光を併用して調光制御を行なうシステムについて紹介する。

2. フォトニクスセンタービルの様子

図 1 は、全館に L E D 照明を導入したフォトニクスセ



図 1 フォトニクスセンタービルの外観写真
Fig.1 Photograph of photonics center building.



(a) 駐車場

(b) 廊下

図 2 駐車場と廊下の様子

Fig.2 Photograph of Ellipse and Pentagon.

^{*1}: I D E C 株式会社
^{*1}: IDEC CORPORATION



図3 クリーンルームのLED照明の様子
Fig.3 Photograph of clean room with LED lighting

ンタービルの外観である。駐車場、廊下には、図2でわかるようにダウンライト型のLED照明を採用し、人検知による照明のON/OFF制御を行なっている。図3に示すようにクリーンルームもLED照明化されている。事務室、研究室に設置している主照明は、温白色と白色のLEDモジュール各8個を交互に配置して、明るさだけでなく色温度も調光できることを特徴とするLED照明である。

3. 太陽光の導光

図4に太陽光を室内に導光する構造を示す。屋上に設置したトップライトより太陽光を採光して、高反射率のアルミ鏡面のダクトで光を反射させて室内天井部まで送って、照明として使う。図5が採光口となるトップライトの外観で、図6でわかるように、室内の放光部は、設置している照明とほぼ同じ形状にして、照明配列に対角

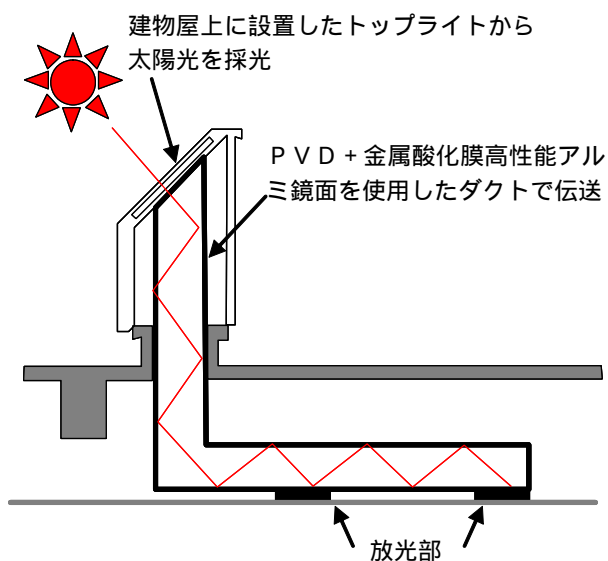


図4 光ダクトの構造
Fig.4 Light duct structure

線上に設けている。光ダクトの導光部は、500mm角の筒状で、高さが約3mで長さが約4mの形状で、2つの放光部を持つ構造のものが取り付けられている。晴天時の放光部の光出力は、4300lm以上と照明と同等になる。

4. IDECが目指している調光システム

普段何気なく使用している照明も日々進化しており、20年前とではかなり様相が異なっている。図7に示すような調光機能は勿論なく、唯一の制御と言えば照明器具個々から吊り下げられた紐によるスイッチをON/OFFする程度であった。勿論、機器間の連動性等もない。

現在の照明は、部屋の入口付近にブロック毎に配置された集合スイッチがあり、人が使用状況に応じて手でスイッチのON/OFFを行っているのが一般的である。人感、照度、時計情報を元に調光制御する製品等も多く存在しており、用途に応じて普及しつつあるが、人の操作を前提にしている場合が殆どである。

照明制御の一部にでも人の操作要素が含まれている場合は、省エネシステムとしては限界があると思われる。本来人間は、間違い、忘れ、横着をし、周りに流され易い生き物である。ましてや電気代を会社が支払うオフィ



図5 トップライトの外観
Fig.5 Photograph of top light



図6 放光部の様子
Fig 6 Photograph of emitting light from duct



図7 IDECの目指す調光システム
Fig.7 Dimming system IDEC aims to achieve

表1 調光システムの種類
Table.1 Dimming system types

	(第一世代)	(第二世代)	(第三世代)	(第四世代)
制御方式	手動	手動調光システム	センシング自動調光システム	センシング自動調光システム+光ダクト
システム構成	3075W	3075W+PLC	PC+センサー+PLC+人感・温度センサー	センシング自動調光システム+光ダクト
スイッチ操作	必要	必要	不要	不要
太陽光の取込み	なし	なし	大開口の窓	太陽光の導光
省エネ効果	*	★	★★	★★★
機能	・ON/OFF	・ON/OFF ・リニア調光 ・ステップ調光	・自動調光制御 ・人感調光制御 (存在検知) ・パッシブセンサ ・スケジュール制御 ・ブロック制御 ・手動ON/OFF	・自動調光制御 ・人感調光制御 (存在検知) ・パッシブセンサ ・無線タグ ・スケジュール制御 ・ブロック制御 ・手動ON/OFF ・外光取込

ス環境では、個人の省エネ意識の度合いに依存され、こまめな入り切り操作を期待する方が間違いと言える。

われわれの目指すLED照明調光システムとは、不確定な人の操作を殆ど取り除き、複数のセンシング情報を元にシーケンス制御を行うシステムである。つまり、人が操作するON/OFFスイッチのないスイッチレス制御こそが、IDECの考える次世代照明の制御である。

表1に、われわれが考える調光システムの制御方式についての変遷を示す。第一世代では、スイッチによる単純なON/OFFのみの手動制御を行った。第二世代では、人が状況によって操作し明るさを自由に変更できる手動調光システムを、そして第三世代では、各種センサ情報によるシーケンス処理にて、環境に応じた調光を全て自動で行うセンシング自動調光システムを構築して、実証実験を行った^[6]。

一方、自然エネルギーを活用した省エネルギー手段として、照明では、太陽光を窓際だけでなく、室内内部で利用する光ダクトのような装置の導入も行なわれている。太陽光とLED照明では、その光質が異なるため、調光制御の人間工学的評価も重要である。われわれは、第四世代として、室内全体で太陽光とLED照明を併用した環境での調光システムを定義し、最上階に光ダクトが設

置された大阪大学フォトリクスセンタービルで、新たなセンシング自動調光システムの実証実験を行なうべく、システムを構築した。

5. 自動調光システム

5.1 調光システム概要

全館LED化により省エネを実現させ、大きな脚光と反響を呼んだIDECのLED照明建屋も竣工当初は単純なON/OFF制御しか出来なかった。LEDは長寿命、省エネ、ノイズレス、虫が寄らないなど良いこと尽くめのようなのだが、しかし実際にオフィスのLED照明環境下で仕事をしているIDEC従業員に対する2009年のアンケート結果に、「目がチカチカする」や、「明るすぎる」、「ちょっと暗く感じる」などネガティブな意見もあった^[4]。アンケート結果とともに、時間帯や場所における照度分布データ等を精査するとばらつきがあり、それがアンケート結果に影響していると考え、2010年に調光エリアを細分化して制御する手段として、第三世代のセンシング調光制御方式としてシステムを開発し導入した^[6]。このシステム運用により、更なる快適性や効率性の向上と共に、さらなる省エネルギー効果も得られた^[6]。

大阪大学フォトリクスセンタービルには、第3章で紹介した光ダクトが設置されており、エリアを細分化した調光制御が必要となる。

また、第三世代では、通常業務を行なう事務所エリアでのこまめな自動消灯を行なう機能として、照明ブロック毎に細分化して人感センサを配置し、一定時間に人検知がない場合、照明をOFFする制御を実装した。

一般的な人感センサの性能として、パッシブセンサと呼ばれる、人の放出する赤外線を受信し、周囲と人体の温度差と検知エリア内の温度位置変動により人を検出するセンサとアクティブセンサと呼ばれる、送信部より赤外線を出力し、受信部にて受ける出力をさえぎられることでその出力変化にて通過を検出するセンサがある。使



図8 研究室の調光制御機器
Fig.8 Dimming control equipments.

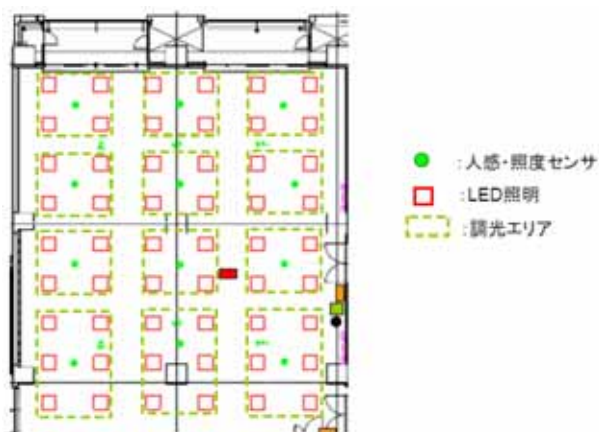


図9 研究室の調光エリア
Fig.9 Dimming control area

用用途ごとにセンサが選定されるが、室内に使用されるセンサとしてはエリアに対して面で検知できるパッシブセンサが一般に使用されており、われわれのシステムもこのパッシブセンサを採用した。

第三世代のI D E C 建屋での実験では、一定時間経過するとデスク業務をしている人のエリアのセンサが人を検知せず、照明が消灯していくという問題が発生した。パッシブセンサは人の動きによる対象エリアの温度変化で人検知を行なうため、事務仕事を行なっている際、人が余り動かないと温度変化がなく、その間センサが検知を行なえないことが要因で発生した問題であった。アクティブセンサを取り付けることで問題解決に当たることが検討したが、広範囲のエリアに対しての導入は多数のセンサ送信部、受信部の設置が必要となるため現実的ではなく、人検知からの点灯時間を長くすることで運用している。

今回は大阪大学のフォトニクスセンタービルへの導入に当たり、アクティブセンサを用いる方法より少ないコストで、かつこのシステムにさらに利便性を高めるため、人の動きに左右されず、人の検知をさせることができる無線タグを使い、人が存在するときに確実に検知するシステムとした。

無線タグによる人の存在検知や太陽光の室内導光に対応するシステムとして、図8に示す制御機器構想で、第四世代のLED照明調光制御方式としてシステムを開発した。

図9に実際の研究室のエリア分けした状態を示す。制御機器としては、外部情報（人感、照度、温度）を取り込むセンサ、コントロールを行う制御部、並びに各種のパラメータ設定などを行う操作部（HMI）から構成される。制御方法としては、主に人感センサによる照明のON/OFF 制御(人感調光)や、照度センサによる明るさの自

動調整(明るさ調光)、並びに時間帯に応じた色温度変化(色温度調光)の3つの制御を行うことが出来る。図10に個々の機能イメージを図示する。

人感調光とは、人感センサ及び、無線タグによって人の有無を検出し、人を検出した際にはセンサ及びタグが紐付いているLED照明を指定出力で点灯させ、設定時間経過しても人感センサがONしなかった場合及びタグが検知しなかった場合は、消灯又は該当するLED照明の出力を低下させる事が出来る。この事により、人のミスによる切り忘れの防止も可能となる。

明るさ調光とは、照度センサによって外光の影響及び光ダクトによる外光も含めた現在の天井照度を取り込み、設定された時間帯におけるパラメータと比較する事によって紐付いたLED照明の明るさを調節する事が可能となる。この事により、天気の状態に左右されず、常に一定の照度を保つことが出来る。

色温度調光とは、色温度3300Kの温白色LEDと、色温度6000Kの白色LEDの出力を個別に制御する事によって研究室全体又は一部の色温度を任意に変化させる事が出来る。温白色LEDと白色LEDがともに同じ出力の場合は、中間色4500Kとなり自然で目に優しい色合いを実現している。また温白色LEDの出力比率を強くした場合は暖かさが感じられ、白色LEDの出力比率を強くした場合は涼しさを感じる事が出来るため、季節や時間帯で様々な空間を演出することが出来る^[4-6]。

各種センサは研究室に多数配置されており、該当範囲を任意に設定する事で、個々に制御する事が出来、研究室全体を均一照度に保つ事が可能となる。そしてこれらの情報を制御PCにて管理し、PLC (Programmable Logic Controller) に通知することによって、手動制御や、自動調光制御等を行う事が可能となる。今回用いたセンシング自動調光システム+光ダクト構成を図11に示す。



図10 調光制御の概略
Fig.10 Dimming control outlines

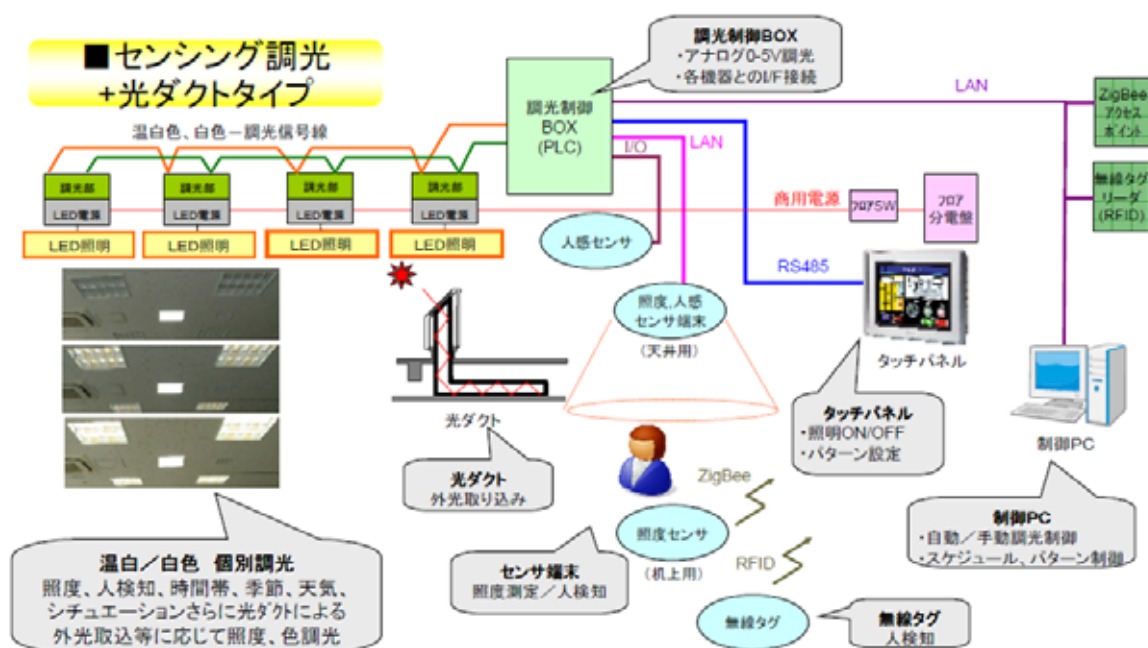


図 11 センシング自動調光システム
Fig.11 Sensing auto-dimming system configuration

5.2 太陽光併用調光システムの効果と課題

これまで、IDEC の LED 照明建屋にて行なった調光制御実験による第一世代～第三世代の電力比較^[6]と第四世代の予測を図 1 2 に示す。太陽光の利用が有効となる晴天日において、照明を 12 時間使用した場合のとして比較している。

照明の明るさ設定として、第一世代の手動時は全点灯(100%出力)の状態で行い、第二世代の手動調光時では机上照度が600~700lx程度の照度になるように時間帯に応じて出力設定し、電力測定を行った。第三世代の自動調光時においては、机上照度が約600~700lx程度になるようにパラメータを設定し、人感センサによって人がいない場所では該当エリアが消灯するように設定した。光ダクトによる太陽光を併用した第四世代では、自動調光時

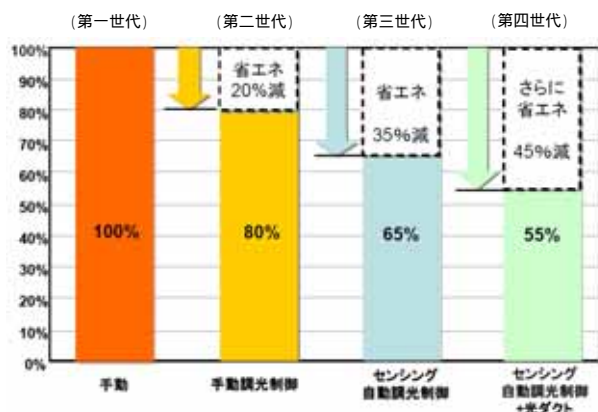


図 12 電力比較
Fig.12 Power consumption comparison

と同じ設定で運用した場合、晴天時の光ダクトからの放光部の出力のシミュレーション結果より、第一世代に比べて、45%の照明電力の削減があると予測される。

今回のシステムでは、太陽光の採光を積極的にこなうことから、調光制御の入力データとなる照度は、天候や季節によっての変化がかなりあると考えられる。それに対応して、より効率のよい調光制御システムとするために、今後、各天候、季節における光ダクト放光部からの影響エリアのデータ収集を行っていく計画である。

また、窓からの太陽光と光ダクトを經由した太陽光の光質の違いについても検証を行い、視感的な快適性に対応する調光方法の検討が課題である。

5.3 無線タグによる存在検知システム

IDECのLED照明建屋にて行なった第三世代の調光制御実験において、前述のとおり人検知に関する課題を解決させるためフォトリクスセンサには無線タグシステムを導入した。

本システムの無線タグシステムは、RFIDリーダーより人に持たせた無線タグを受信して、予め登録された人が、リーダーの検出エリア内にいることを検出するシステムである。無線通信は、315MHz 帯特定小電力無線で、最大通信距離が20mのものを使用している。

今回のシステムでは、研究室使用者に無線タグを所持させて、研究室への入退室を管理し、図 13 に示すように使用者の使用エリアを無線タグの ID に対応付けて事前に登録しておくことで、利用者の入室が確認された後、使用エリアのみの照明制御機能を稼働させるシステムとした。

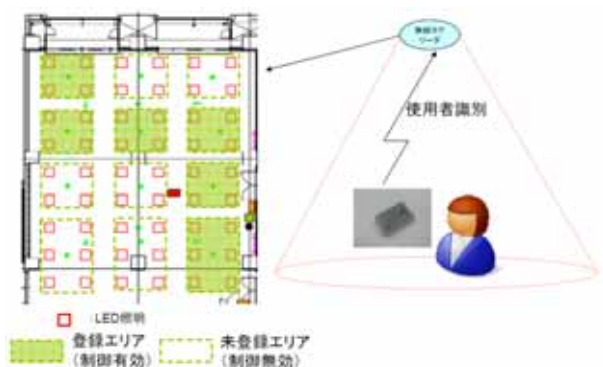


図 1 3 無線タグシステム
Fig.13 Wireless Tag system

このシステムにより、第三世代で課題としていた通常業務エリアで、人がほとんど動かない状態により人感センサーが検知なくなるといった課題が解決できる。室内の利用者数だけ無線タグを用意する必要あるが、無線タグシステムは物や人の管理用途で、今後を利用拡大が予測されており、将来的なコストダウンが見込まれる。

また、人が通過するだけで何も作業をしないエリアに対する無駄な照明の点灯も起こらないので、さらなる省エネルギーの効果も期待できる。

6. まとめ

本稿では、全館をLED照明とし、太陽光を室内まで導光する光ダクトを設置した大阪大学のフォトニクスセンタービルに導入した太陽光を併用したLED照明のセンシング自動調光システムについて述べてきた。

晴天時の光ダクト放光部から出力シミュレーションから、太陽光の可能な限り室内に取り込むことで、照明電力のさらなる省エネルギー効果があることがわかった。

われわれは、照明のLED化を単に省エネルギーの観点だけでなく、人間工学的な感性の点からも研究開発に取り組んでおり、今後は、実証実験を進め、太陽光とLED照明がある環境下での人の快適性を評価し、快適な光エコライフを実現するために、最適な自動調光システムやの研究に取り組んでいく所存である。

謝辞

本稿で述べた照明制御システムの導入にあたり、大阪大学フォトニクスセンター殿には、全館へのLED照明や光ダクト装置の設置など実証実験環境を整備に関して、多大なるご協力をいただきました。ここに厚く感謝の意を表するとともに、産学イノベーションを目指し、積極的に企業との協働を推進されますことに、心より敬意を表します。

参考文献

[1] 岩崎 裕：大阪大学フォトニクスセンターが目指す

もの；OPTRONICS No.341，pp.76-80 (2010)

- [2] 錦 朋範：世界初全館 LED 照明建屋の構築と現状；LED 2009 - 最新技術と市場動向 - ,pp.114-123 (2008)
- [3] 錦 朋範, 他：世界初全館 LED 照明建屋の光学特性と感性評価に対する考察；OPTICS & PHOTONICS JAPAN 2008 IN TSUKUBA 講演予稿集,pp.70-71 (2008)
- [4] 福田 吉人, 他：世界初全館 LED 照明建屋の感性評価と色温度に対する快適性の考察；ヒューマン・インタフェース学会,ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009 発表
- [5] 河合 誠, 他：LED 照明の設置によるコンビニエンスストアにおける人間工学特性の評価と効果；ヒューマン・インタフェース学会,ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009 発表
- [6] 河合 誠, 他：世界初全館 LED 建屋における調光制御の人間工学評価と効果；ヒューマン・インタフェース学会,ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010 発表