

世界初全館 LED 建屋における調光制御の 人間工学的評価と効果

河合 誠^{*1}, 清水 亨^{*1}, 井上 武士^{*1}, 中島 幸市^{*1}

Ergonomic Evaluation and Positive Effect of Dimming Control in the World's first all-LED illuminated building

Makoto Kawai^{*1}, Toru Shimizu^{*1}, Takeshi Inoue^{*1}, Koichi Nakajima^{*1}

Abstract - Since the completion of IDEC's new all-LED building in March 2008, we have continuously performed sensibility evaluation of our original LED lighting technology in the building. We have also performed verification of color temperature control by adjusting the light of white and warm white LED modules separately, and further performed sensing verification using human detection sensor and illuminance sensor. In this paper, we report on the ergonomic study of the all-LED lighting building and the comfortableness of office spaces with various evaluation data.

Keywords: LED, Luminaires, Light, Color temperature, Ergonomy

1. はじめに

IDEC では、2008 年 3 月に、世界で初めて全館 LED 照明の建屋を、新大阪駅近郊の公園緑地に隣接した土地に竣工した。この建屋は、テクノロジー・イノベーション・ビルと位置づけており、LED 照明等を活用する等の新しい試みにより、地球環境課題解決等に積極的に取り組み、新たな制御技術を開発し、社会的に実証していくことを目的に建設されている。既に竣工後、2 年半近く経過したが、LED 照明のもとで働く社員にとって、良好なオフィス環境として継続的に使用されている。

元々 IDEC は制御機器メーカーとして、LED 等の光学デバイスを活用した表示技術開発を 1970 年代から推進し、1981 年に産業分野の省エネを目的とした LED 表示機器を開発し、様々な製造現場の省エネ化に大きく貢献してきた^[1-6]。その後も、フォトニクス技術の開発を行ってきており、高輝度 LED 照明技術は、その延長線上で開発されたものである。

CO2 削減に貢献することは IDEC の社会的責任であると考え、このような、実証実験の場としてのテクノロジー・イノベーション・ビルにおいて、被験者が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を行い、必要とされる調光機能について評価してきた^[7-9]。

今回は、これまでの評価を元にその調光機能を実現する制御システムを開発し、この建屋に実装して、調光制御による人の快適性の向上や省エネルギー効果について、検証を行った結果を報告する。

2. IDEC 全館 LED 照明建屋の様子

図 1 に我々の実証実験の場でもある全館 LED 建屋の概

観写真を示す。ここでは 2,517 m² の敷地面積に LED チップ数に換算して約 250,000 チップの LED を照明に利用しており、2008 年 3 月竣工後、翌月から各部屋の照度の測定や、LED 照明に対する感覚調査等のアンケートを、来訪者にも行っている。図 2 に 2 階オフィスの照明の様子を示す。主照明は口の字型のシステム天井用 LED 照明を採用しており、我々が市松照明と呼称する、温白色と白色の LED モジュールを交互に市松模様に配置した構造を特徴とする LED 照明である^[7-9]。



図 1 全館 LED 照明の建屋の外観写真
Fig.1 Photograph of all-LED



図 2 2 階オフィスの LED 照明の様子
Fig.2 Photograph of the office with LED lighting

*1: IDEC 株式会社

*1: IDEC CORPORATION

3. IDEC が目指している調光システム

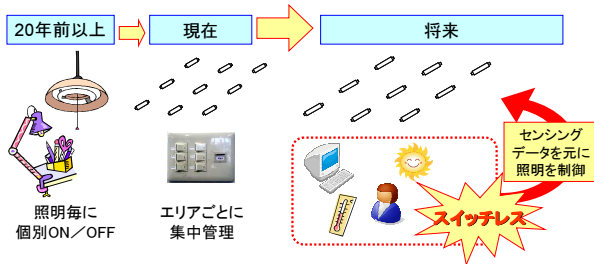


図3 IDEC の目指す調光システム
Fig.3 Dimming system IDEC aims to achieve

	(第一世代)	(第二世代)	(第三世代)
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
システム構成	707SW	タッチパネル+PLC	PC+タッチパネル+PLC+人感・照度センサ
スイッチ操作	必要	必要	不要
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 ・スケジュール制御 ・ブロック制御 ・手動ON/OFF

図4 調光システムの種類
Fig.4 Dimming system types

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3に示すような調光機能は勿論なく、唯一の制御と言え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動でスイッチの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。

我々の目指す調光システムとは、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。

図4に、我々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する事ができる手

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いき実証を行った。

4. 自動調光システム

4.1 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 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 環境下で仕事をしている従業員に対して去年行ったアンケートを見ると、蛍光灯と遜色無く快適であるとのコメントが多数を占めるが、「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、ネガティブな意見が含まれていることも事実として見逃せない。



図5 オフィスの調光制御機器
Fig.5 Dimming control equipment in office

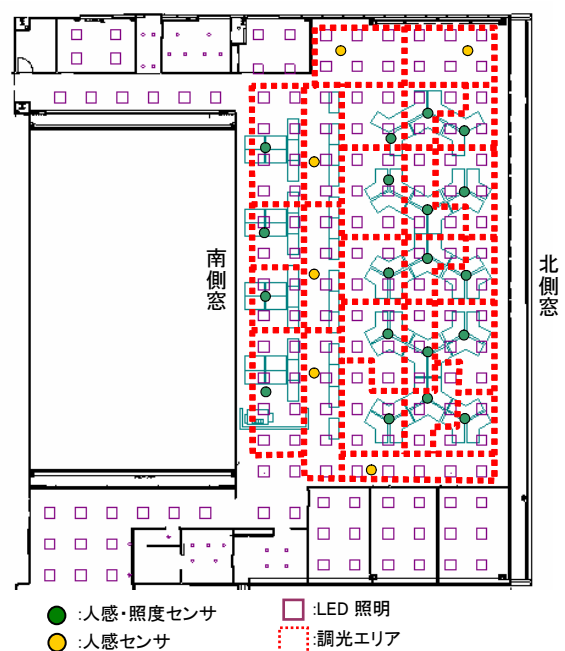


図6 オフィスの調光エリア
Fig.6 Dimming control area in office



図7 調光制御の概略
Fig.7 Dimming control outline

このアンケート結果や事務所全体での時間帯における照度分布データ等を精査し、考察すると、デスクの窓からの距離によって、また天気や時間帯に応じて照度分布にかなりのばらつきがあり、この事で「明るすぎる」や「暗く感じる」等の意見が生じているものと考えられた。この状況を改善する為には、事務所全体の一括調光ではなく、調光エリアを細分化することによって、事務所全体の照度を一定にさせる必要があるとの結論が得られた。またこの事によって、更なる快適性や効率性の向上と共に、より省エネ効果も得られ、二酸化炭素排出量の削減に繋がると考えられる^[9]。今回は、調光エリアを細分化して制御する手段として、図5に示す制御機器構成で、第三世代の制御方式としてシステムを開発した。

図6に実際の事務所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7に個々の機能イメージを図示する。

人感調光とは、人感センサによって人の有無を検出し、人を検出した際にはセンサが紐付いている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事務所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^{[9],[10]}。

各種センサは事務所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、事務所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構成を図8に示す。

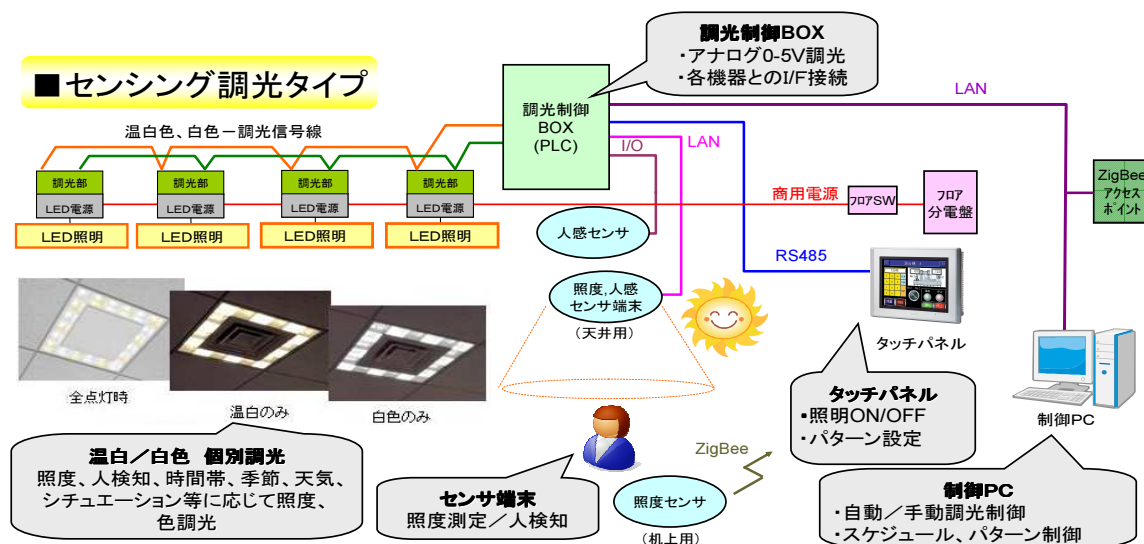


図8 センシング自動調光システム構成図
Fig.8 Sensing auto-dimming system configuration

4.2 調光システムの結果と考察

まず、今回の自動調光システムにて、省エネ効果を確認するために、手動、手動調光、センシング自動調光時における電力比較を行った。

比較条件として、手動時は全点灯(100%出力)の状態で行い、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。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。各モードにて丸 1 日経過した際の電力量の測定結果を図 9 に示す。

手動での電力量を 100%とすると、手動調光では 80%となり、自動調光では 65%となった。手動と自動調光を比較すると 35%の電力量が削減されており、天候や季節による外光の影響によって多少前後する事が考えられるが、センシングによる自動調光制御は、大幅な省エネが図られる事が実証され、地球環境に大いに貢献できるシステムであると言える。

またセンシングによる自動調光システムによって人に与える感じ方を確認する為に、実際にオフィスで業務を行っている在籍者にアンケートを行った。アンケートの内容は「LED 照明はまぶしく感じますか?」という以前行ったものと同じ内容である。このアンケート結果を図 10 に示す。LED 照明の調光をしていない昨年の結果では、「丁度良い」が約 21%であるのに対して、自動調光システムを導入した後では「丁度良い」が倍以上の約 58%まで増加している。

次に外光の影響が強い場所において、実際の照度分布データを調光前と調光後で比較してみた。

図 11 に昨年測定した調光無し状態における各時間帯の照度分布を示す。これはオフィスの南側窓の傍にある机上上面を測定したものだが、晴れと曇りの日では約 2700lx の差が出ている。図 12 には、センシング自動調光システムを行った後での同じ測定ポイントにおける照度分布データを示している。こちらでも晴れと曇りの日では 1500lx の差があるが、調光していない場合に比べると差が少なくなっている。外光の影響が強い場所なので差を縮められる限界はあるが、かなり差を縮める結果となっている。また雨と曇りの日の差においては、調光を行っていない場合は 500lx もあるのに対し、センシング自動調光時ではほぼ差がない結果となっている。一日を通した照度変化においても、センシング自動調光後のグラフに対し、調光無し時のグラフは僅かだが右肩下がりであり、通日の照度においてはバラツキがある。これらの実測値を見ても、センシング自動調光システムを導入後は照度変化の差が少なくなっており、システムとしての効果があると考えられる。

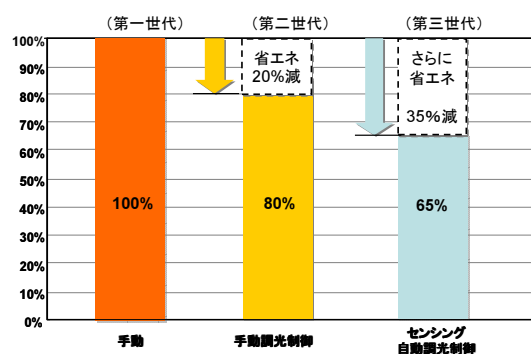


図 9 電力比較

Fig.9 Power consumption comparison

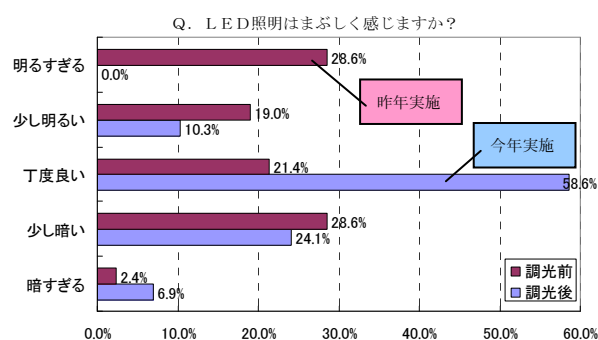


図 10 アンケート結果

Fig.10 Result of the questionnaire

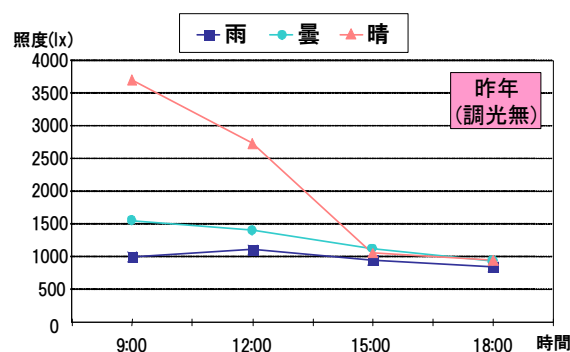


図 11 調光無し時における照度分布

Fig.11 Illuminance in office without dimming control

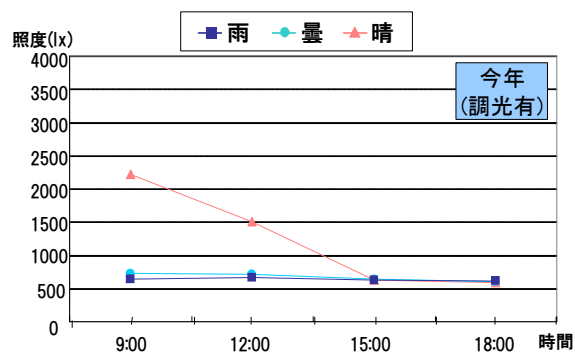


図 12 調光有り時における照度分布

Fig.12 Illuminance in office by dimming control

今回、システムを開発して、全館 LED 照明建屋で実証実験したセンシング自動調光システムは、事務所における照度分布をバラツキなく一定に制御することができているので、「丁度良い」という回答が約 2.5 倍に増えていると考えられ、人に対する快適性の向上について効果があることが確認できた。

但しグラフを見ても分かるように、自動調光後は机上照度平均が 600lx 程度になっており、天気の違いによる事務所内の照度バラツキは軽減されたが、天気の良い日は外と事務所内の照度差が大きくなっており、この事が「暗すぎる」とアンケートに回答している比率が上がっている要因の 1 つと考えられる。

5. 外光の影響がない場所における調光制御

5.1 調光システム概要

これまでは事務所におけるセンシング自動調光システムについて述べてきたが、窓際においては外光の影響が強く、様々な調光制御を行ったとしても気づかないことが多いということも分かってきた。具体的には、窓際の照明出力をわざと内側の照明出力よりも大幅に暗く設定し、アンケートにて「窓際部の照度を落としていることに対して気づきましたか？」との設問を行ったが、気づ

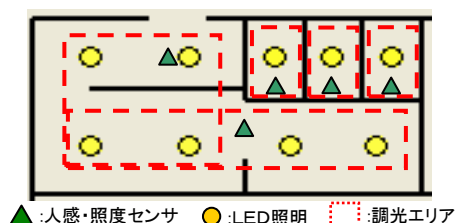


図 13 トイレの調光エリア
Fig.13 Dimming control area in the restroom

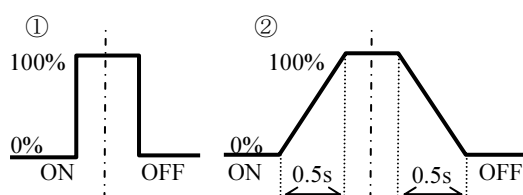


図 14 トイレの ON/OFF パターン
Fig.14 ON/OFF curve in the restroom



(a) 一部点灯 (b) 全点灯

図 15 トイレの様子
Fig.15 Photograph of the restroom

かなかったと回答した人が大半だった。

LED 照明出力を変化させる際にも、図 14 の②に示している立上り／立下り角度等を色々変化させていたのだが、事務所内は外光の影響が大きく殆ど違いを認識する事が出来ない状態だという事が分かった。

そこで、外光の影響に左右されず、人が使用する頻度も高い、また最近ではエコに関連して照明の ON/OFF に対する意識が特に高いトイレに着目し、調光制御の変化の違いに関する感じ方の調査を行った。

まずトイレの調光エリアを図 13 に示す。人感センサを細分化した各エリアに取付け、現在は、個々のセンサ状態に応じて個別に該当する LED 照明を ON/OFF 制御することで省エネを図っている。その際、トイレに入ってまず気がつくのが照明の ON/OFF 制御である。一般的な人感センサでは、図 14 の①のようにパッと点灯してパッ消灯する制御をよく見かける。センシング自動調光システムでは、この ON/OFF パターンも任意に変更できるシステムがある為、今回は ON/OFF パターンを図 14 の①、②の 2 種類で行うことによって、人に対してどのように影響するのかの調査を行った。

5.2 ON/OFF パターン変化による結果と考察

「①と②のパターン制御のどちらが良いか？」との質問に対して②が良いと回答した人は約 70%であり、②の制御パターンの方が良いという結果になった。また、「どのように感じるか？」というアンケートも同時に行った。②はなだらかに点灯／消灯するため「高級感がある」、「優しい感じで良い」などの意見があり、それに対し①は、「突然、点灯／消灯するとびっくりする」、「突然消灯すると、外光も入らないため暗くて安心できない。」などの意見が多かった。逆に①に対して「よくある点灯／消灯方式なので違和感がない。」「シャープでちょうどよい。」や、「点灯はパッと点灯し、消灯はなだらかに消える方がよい。」との意見も少数だがあり、人によって様々な感じていることが分かった。

また、以前は複数ある人感センサのいずれかが反応すると、全体を同一条件で制御していたのだが、現在は人感センサ単位で個別に制御しており、この違いに関してどう感じるかもアンケートを取ってみた。

アンケート結果で共通して言えることは、「トイレ内に人がいるにも関わらず(一部のみ)消灯すると不快に感じる」や、「突然消灯することに不安感がある」、という消灯する事に関する意見が多かった。調光エリアを細分化することによって、トイレのような狭いエリアに対して明暗の差があると、かなり不快に感じる人が多いこともアンケートによって明らかになった。

図 15 に一部のみ点灯している状態と全点灯している状態の違いを写真で示す。この写真を見ても分かるように、このトイレは外光の影響が殆ど無く、消灯してしま

うとその部分がかなり暗くなり、場所に慣れている人でも不安感を与えてしまう状況となっている。よって、初めての人の場合はより一層の不安感を与える事は明白であり、細分化する場合も場所と状況を考慮する必要がある事が明らかになった。

6. まとめ

本稿では、我々の全館 LED 照明建屋に導入して、実証実験を行ったセンシング自動調光システムの効果について述べてきた。

調光を行っていない前回の結果に対し、我々が実験した自動調光システムによって、単に LED 照明を使用する以上に照明の電力に対する更なる省エネルギー効果があることが実証できた。また、第 4 章で述べているように、人に対する快適性の向上についても効果があることが確認できた。

第 5 章で述べたように、LED 照明の単純な ON/OFF についても、その切り替え時間を調整することで、快適性を改善できることが明らかになった。

人が気にならないような繊細な調光、また安心できる空間を演出するために、また設備費用がエネルギーの削減効果に見合うシステムとするために、今後も実験、実証を行い、最適化な自動調光制御システムの研究に取り組んでいく所存である。

謝辞

快適性の評価を行うにあたり、全館 LED 照明建屋「IDEC SALES OFFICE」にて従事している社員の皆様には様々な実験やアンケートに快くご協力して頂き、深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 間宮 勝 他：青色 LED 励起による波長変換表示技術の開発；計測自動制御学会ヒューマン・インタフェース部会，第 13 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集，pp.493-500 (1996)
- [2] 馬野 勝三，他：安全性の向上並びに省エネルギー化を実現する高輝度・多色 LED 表示技術の開発；IDEC REVIEW 1999, IDEC 株式会社
- [3] 馬野 勝三，他：HMI 環境における安全性向上のための高輝度 LED 表示技術の開発；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 1999 発表
- [4] 三輪 高仁，他：波長変換技術を用いた表示灯の高効率化と色彩明確化による HMI 環境での安全性向上；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 2001 発表

- [5] 尾畑 哲史，他：安全性と使いやすさを向上した高輝度，省エネルギー LED 集合表示灯の開発；IDEC REVIEW 2002, IDEC 株式会社
- [6] 池田 昌順，他：LED 照明による工作機械の操作安全性の飛躍的向上；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
- [7] 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)
- [8] 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)
- [9] 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
- [10] 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