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

福田吉人[*1]　柿崎晶子[*1]　高見浩志[*1]　平川貴大[*1]
中島幸市[*1]　清水　亨[*1]　山本　剛[*1]　錦朋範[*1]

Study on the sensibility evaluation of the world's first all-LED illuminated building and the comfortableness depending on color temperatures

Yoshito Fukuta[*1], Akiko Kakizaki[*1], Koji Takami[*1], Takahiro Hirakawa[*1],
Nakajima Koichi[*1], Shimizu Toru[*1], Yamamoto Takeshi[*1] and Tomonori Nishiki[*1]

Abstract – Since the completion of IDEC's new building in March 2008, we have been continuing sensibility evaluation on the application of IDEC's original LED technology to the lighting technology. In addition we have started the verification of the office to enhance the comfort by controlling the color temperature of light for the system ceiling which consists of white and warm white LED modules arranged in a checkerboard pattern. This report discusses the verification of ergonomic assessment and examines comfortable work environment by color temperature based on evaluation data..

Keywords: LED, Luminaires, Light, Color temperature

1.　はじめに

地球温暖化防止対策として二酸化炭素の排出量を削減するために従来の蛍光灯や白熱球に替わる新しい照明光源として白色 LED 照明が注目されており、今後は高輝度化や高効率化により広く普及していくことが予想される。しかし、これとともに白色 LED によって照明された空間にいる人への不快感やストレスなどが問題となっていくことが懸念されている。

これまでに LED のように小さく一定間隔で複数の光源が配列されている照明器具が天井に設置されているような室内環境が人体に与える影響について詳細な研究は行われていない。我々は独自の様々なフォトニクス技術の開発を行ってきており[1]　2008 年 3 月には照明用に応用実証することを目的に、全ての照明器具に LED を採用した新建屋を竣工し、以来、実証実験の場として感性評価を行いつづけている。そこでこの全館 LED 照明建屋を利用した、被験者が感性評価する視覚実験および色温度をコントロールすることによる快適性実験についてその結果を報告する。

2.　全館 LED 照明建屋における感性評価

2.1　実証実験の実施環境

図 1 は実証実験の場である全館 LED 照明建屋の夜間の外観である。図 1 からわかるように、建物内部だけでなく、駐車場照明やガーデンライトも LED 照明化している。

2,517 ㎡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 6 日竣工後、翌月から照度の測定とアンケート調査を行い続けている。[2] [3] 照度測定は 1 階、2 階の各階合わせて 15 箇所の測定地点を定め、原則毎日 4 回、就業日の定刻に測定を行っている。

1 階は駐車場とショールームになっており、2 階がオフィスとなっている。図 2 は 2 階オフィスの照明の様子で、2.2 節で紹介するロの字型の LED システム天井用照明器具を採用している。この建屋で勤務している者は、通常この 2 階オフィスで業務を行っており、後で結果を報告するアンケートのうち在籍者の回答は、ここで勤務している者から得た結果である。

図 1　全館 LED 照明建屋の外観写真
Fig.1 Photograph of all-LED illuminated building

*1: IDEC 株式会社
*1: IDEC Corporation

図 2 LED 照明を用いたオフィスの写真
Fig.2 Photograph of the office with LED lighting

2.2 実証実験に使用する照明器具

オフィスの主照明に採用しているロの字型の LED システム天井用照明器具を紹介する。図 3 は、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の様に配置した構造を特徴とする LED システム天井用照明器具である。

この照明器具は、図 4 の発光スペクトルに示す様に色温度 3300K の温白色 LED と色温度 6000K の白色 LED を交互に配置することで、中間色である色温度 4500K の昼光色の自然で目に優しい色合いを実現している。

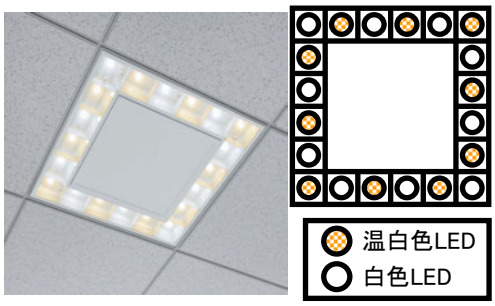

図 3 システム天井用照明の写真と概略図
Fig.3 Photograph and schematic diagram of LED lighting equipment

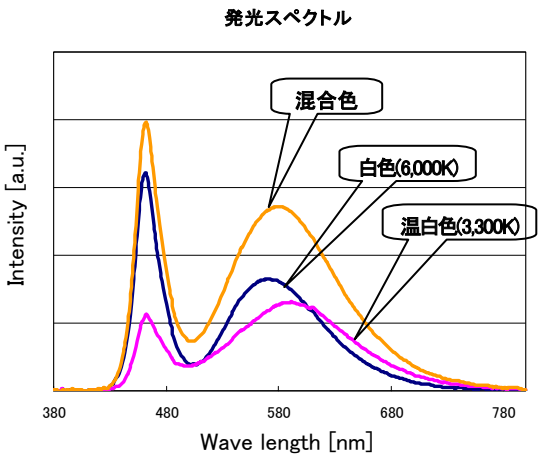

図 4 LED の発光スペクトル
Fig.4 Emission spectrum of LED's

2.3 LED 照明に対する感性評価の結果

来館した見学者と在籍者の両方に、LED 照明の人間工学的観点に基づく解析を目的として、この建屋の LED 照明に関するアンケートを行った。表 1 はアンケートを実施した人数と回答時期の評価条件である。表 2 は、実施したアンケートの項目の一部を抜き出したものである。

2009 年 5 月現在で、見学者 440 名、在籍者 42 名からアンケート回答を得ている。

図 5 のアンケート結果(1)は、「LED 照明の明るさは蛍光灯照明に比べて明るく感じますか？」という質問に対する回答結果である。5 点満点の採点形式で「明るく感じる」側の 5 点と 4 点の割合が、見学者 55.3%、在籍者 57.1%と共に高く、室内への均一照明度合いや、市松照明に対する印象等も同様に好印象の点数の割合の方が高い結果を得た。

一方、見学者と在籍者のアンケート結果に差が出た項目もある。

図 6 のアンケート結果(2)は、「LED 照明はまぶしく感じますか？」という質問に対する回答結果である。図 5 のアンケートと同じく 5 点満点の採点形式で、見学者の回答の分布が中間である 3 点の 32%をピークとして山なりの傾向を示している事に対し、在籍者の回答の分布は二極化しており、ピークが 5 点の 28.6%と 2 点の 28.6%に分かれる結果となった。

表 1 評価条件
Table1 Evaluation condition

	人数	回答時期
在籍者	42	在籍後 1 ヶ月
見学者	440	初見

表 2 アンケート項目
Table2 Questionnaire items

人数	アンケート項目
1	LED 照明の明るさは蛍光灯照明に比べて明るく感じますか？
2	LED 照明はまぶしく感じますか？
3	LED 照明の明るさは白熱球照明に比べて明るく感じますか？
4	室内に均一に照明されていると感じますか？
5	当館の LED 照明は白色と温白色を交互に配置していますが、印象は良いですか？

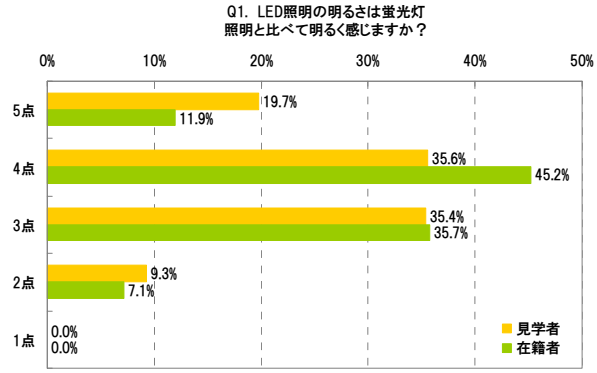

図 5 アンケート結果（1）

Fig.5 Result of the questionnaire (1)

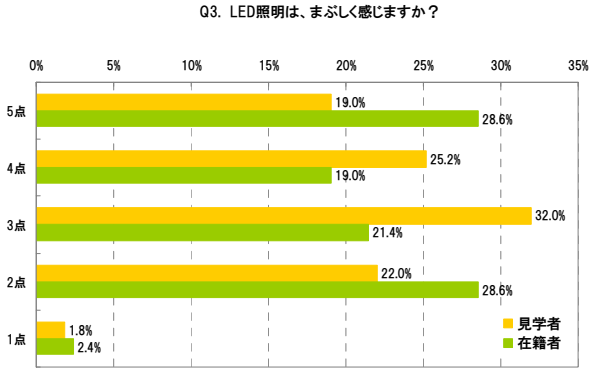

図 6 アンケート結果（2）

Fig.6 Result of the questionnaire (2)

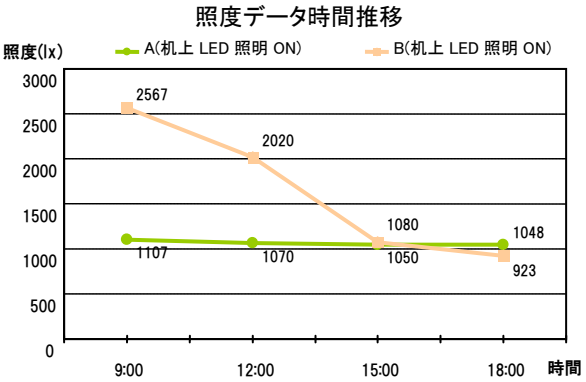

図 7 異なる測定ポイントにおける照度の変化

Fig.7 Changes in the illumination of the different measurement points

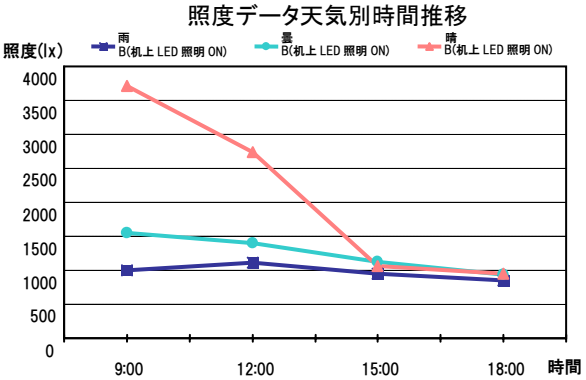

図 8 測定ポイント B の天候が異なる時の照度の変化

Fig.8 Changes of the measurement point B in the illumination of the different weather

2.4 感性評価の結果の考察

見学者と在籍者のアンケート結果に差が出た「LED 照明はまぶしく感じますか？」という質問の結果について考察を行った。

図 7 は、建屋内の照度測定ポイントのうち、窓から少し離れた測定ポイント A と、その近傍で吹抜け南窓側に面した測定ポイント B の照度の時間推移を示すグラフである。グラフの値は照明を点灯させた状態で、机の上の照度を 2008 年 4 月～2009 年 3 月の約 1 年間測定し続けたその平均値である。明らかに測定ポイント A は、時間帯によってほとんど照度が変化しない安定した照度が得られている事に対し、測定ポイント B では、時間帯により大きく照度が変化していることがわかる。

図 8 は、図 7 と同期間で測定した測定ポイント B の天気別の平均値の時間推移を示すグラフである。晴れの日と曇・雨の日の照度差が大きく、9:00 時点では、2000 lx 以上の差があり、測定ポイント B の照度は天候による外光の変化に大きく影響されていることが分かる。このように外光の影響を受けて天候や時間帯によっては、照度が大きく変化する場所があることが明らかとなった。

LED 照明自体は、当初、オフィスの中心付近で 800 lx 程度の照度が得られるように設定したが、実際に測定すると、就業時の大半の時間帯で外光の影響を受けて 1,000 lx を超える比較的明るすぎる照度になっている場所が多い事や、測定地点 B の様に時間や日により照度が大きく変化する場所があることが確認できた。

このことから、「LED 照明はまぶしく感じますか？」という質問結果については、初見で第一印象に基づきアンケートに回答する見学者に対して、在籍者は、各々の在籍場所による照度や照度変化の違いが大きく起因して、感性評価の結果が二極化したと推測できる。

従って、人間工学的観点からも在籍者の快適性を向上させるには場所に応じた部分調光や時間調光の必要性が高いと考える。

3. 色温度を変化させた時の感性評価

3.1 色温度の調整方法

第 2 章では、照度や色温度を調整しない環境下で行った LED 照明に対する感性評価の結果を報告し、調光機能の必要性について述べた。

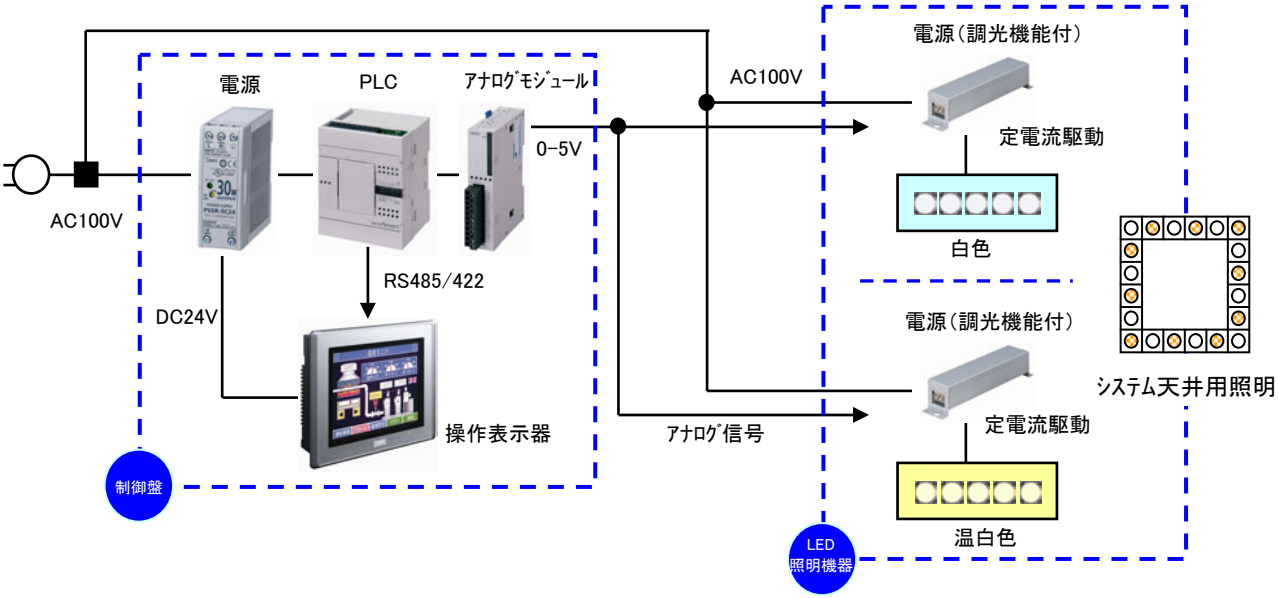

図 9 色温度を調整する為のシステム構成図

Fig.9 Block diagram for controlling the color temperature

更に、ただ明るさを調整するだけでなく、より快適性を追及するために、色温度を調整することも視野に入れる必要があるとの認識も得た。

そこで、調光機能を独立に制御できるようにして、より快適性を追求すべく色温度を変化させた時の感性評価を行った。

色温度を調整するための器具には、2.2 節で紹介したものと同じシステム天井用照明を用いた。交互に配置した色温度の異なる温白色と白色の LED モジュールに流れる電流値を別々に制御し、温白色 LED と白色 LED の発光率のバランスを変えることで、色温度の調整を行った。

図 9 は、色温度の調整を行うためのシステム構成図である。PLC(Programmable Logic Controller)、操作表示器や電源を用いシステムを構成しており、PLC からの調光用のアナログ信号を LED 用定電流電源に送ることで、LED に流れる電流を 0～100%の間で調整可能となっており、利用者はタッチパネル式の操作表示器を操作することにより最適な照度や色温度に調光することが可能である。

このような色温度を調整できるようにしたシステムを建屋 2 階の会議室に導入した。

図 10 は、温白色 LED に流れる電流を 100%にし白色 LED に流れる電流を 0%にして色温度 3500K にした時と、その逆に温白色 LED を 0%にして白色 LED を 74%にして色温度 6200K にした時の写真である。

3.2 感性評価の方法

3.1 節で紹介したシステムを導入した会議室内の色温度を 3500K、4000K、5000K、6200K の 4 段階に区切り、会議室利用者のべ 27 人を対象にアンケートを行った。

感性評価時の会議室の照度は、屋内作業場の照度基準について記された JIS Z 9125[4]より、事務所の会議室の照明設計基準とされている 500 lx に調整した。

a. 3500K　　b. 6200K

図 10 色温度の異なる会議室の様子

Fig.10 Photograph of the meeting room in a different color temperature

表 3 色温度と LED 電流の対比表

Table3 Comparison of color temperature and LED current

色温度 [K]	温白色 LED 電流 [%]	白色 LED 電流 [%]
3500	100	0
4000	70	19
5000	30	47
6200	0	74

表 4 色温度変化に対するアンケート項目

Table4 Questionnaire items for changed color temperature

	アンケート項目
1	室内の気温は、どう感じましたか？ 暖かい 5⇔1 涼しい
2	眠さは感じましたか？ 眠い 5⇔1 眠くない
3	疲労感は感じましたか？ 疲れた 5⇔1 疲れなかった
4	緊張感は感じましたか？ 緊張した 5⇔1 緊張しなかった
5	業務に集中できましたか？ 集中できた 5⇔1 集中できなかった
6	LED 照明は眩しく感じましたか？ まぶしい 5⇔1 まぶしくない
7	明るさはどう感じましたか？ 明るい 5⇔1 暗い
8	照明に対する好感度 良い 5⇔1 悪い

表 3 は、色温度と LED に流した電流の対比表である。

表 4 は、実施したアンケートの項目である。回答は、5 点満点の採点形式とした。

3.3 感性評価の結果

図 11 は、「室内の気温は、どう感じましたか？」と「照明に対する好感度」についての回答を比較したグラフである。このグラフから暖かみを感じる色温度のほうが好感度も高いことが分かる。このグラフは、回答結果の平均点を比較したものであるが点数の内訳を見ても 4000K,5000K と 6200K の回答には好感度の低い 1 点と 2 点の回答があったが、3500K にはなかった。このことから色温度が低い照明の方が、利用者になじみ深い印象を与えやすいのではと考えられる。

図 12 は、「眠さは感じましたか？」と「業務に集中できましたか？」についての回答を比較したグラフである。4000K の時が、あまり眠気も感じず業務に集中できていることが分かる。6200K の時は、一番眠気を感じていないにもかかわらず、一番集中できなかったという回答結果が得られ、利用者にとって刺激が強く落ち着かない色温度だったのではないかと考えられる。

図 13 は、「疲労感は感じましたか？」と「緊張感は感じましたか？」についての回答を比較したグラフである。疲労感と緊張感はほぼ比例しており、色温度が高い方が疲労感と緊張感を利用者は感じていることが分かる。このことから、緊張感を演出する必要がある場合は、色温度を高くし、長時間にわたって行う作業の場合は、疲労感を感じにくい低い色温度が向いていると考えられる。

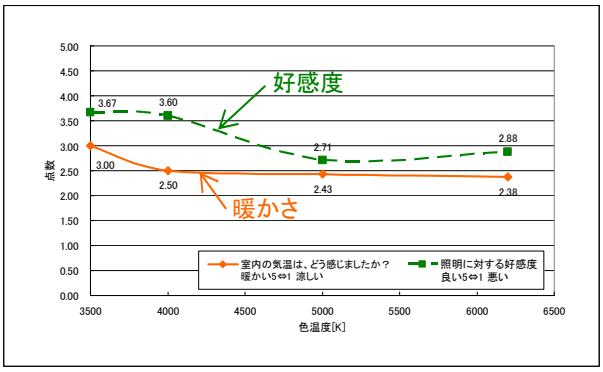

図 11 色温度と点数値との関係（1）

Fig.11 Relationship between color temperature and evaluation value (1)

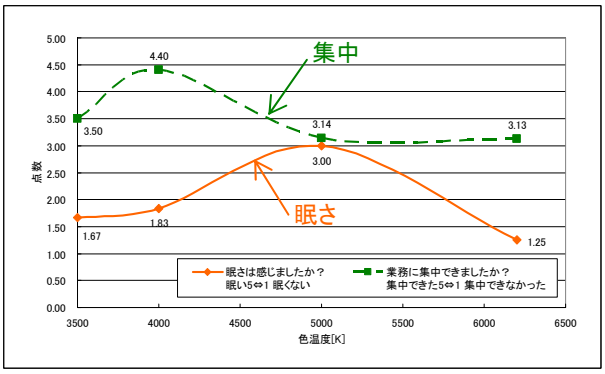

図 12 色温度と点数値との関係（2）

Fig.12 Relationship between color temperature and evaluation value (2)

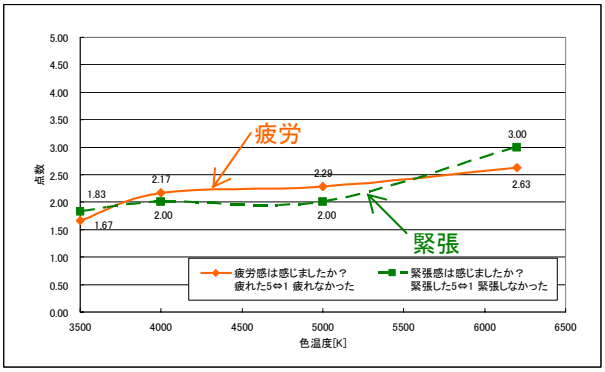

図 13 色温度と点数値との関係（3）

Fig.13 Relationship between color temperature and evaluation value (3)

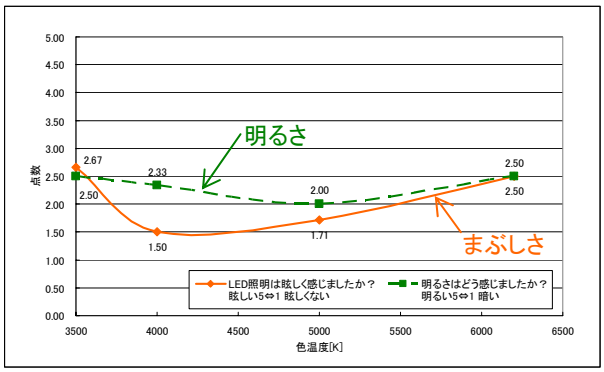

図 14 色温度と点数値との関係（4）

Fig.14 Relationship between color temperature and evaluation value (4)

図 14 は、「LED 照明は眩しく感じましたか？」と「明るさはどう感じましたか？」についての回答を比較したグラフである。眩しさと明るさの感じ方は、似たような傾向が見られる。3500K と 6200K の時に眩しさと明るさを最も感じており、色温度が極端な方が利用者は、同じ照度でもより明るく感じていることがわかる。

3.4 感性評価の結果の考察

色温度に対する感性評価の結果、色温度が利用者に様々な影響を与えることが分かった。

本報告は、LED 照明使用環境下での評価結果であるが、色温度が低い方が暖かみを感じるといった結果は、従来の蛍光灯や白熱球から受ける印象と変わらなかったことに対して、色温度が高くなると集中しにくくなることがあるということは、従来の蛍光灯や白熱球から受ける印象とは異なり、興味深い結果となった。

今回、調査した結果からも、休み時間などリラックスしたい時は色温度を低く設定したり、逆に昼下がりの打合せ時など緊張感を演出したい時などは色温度を高くする、あるいは、長時間作業を行うような時は、疲労感や眩しさを感じず、集中しやすい 4000K～5000K に設定する等というように、時と場合により色温度を調整することで、快適性や仕事の効率の向上に繋がる可能性を見出すことが出来た。

今後もデータ収集を継続し、LED 照明の色温度を変化させた時の人に与える影響度の分析を深めることで、更なる快適性向上のための発見が得られるのではないかと考える。

4. まとめ

2 章、3 章の感性評価の結果より、求められる照度や色温度は、時刻、天候、場所、作業内容や個人差等様々な条件により異なり、このことから、明るさや色温度の調光機能の必要性が確認できた。

更に、場所や個人差も考慮しフロア全体の調光ではなく、部分調光を行いより細かに調整することで、さらなる快適性や効率性の向上とともに、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る。

今後は、実際に様々な照明環境を試行していく中で、最適照度の分析を省エネの観点からも進めて行き、明るさや色温度の調光との組合せにより、快適性の向上と省エネが両立した最適な照明環境を追い求めていく所存である。

5. 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] 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] JIS Z 9125：2007；屋内作業場の照明基準

謝辞

感性評価を行うにあたり、全館 LED 照明建屋「IDEC SALES OFFICE」をご来館いただいた方々には、アンケートにご協力いただきました。快くアンケートにご協力いただいたご来館者の皆様に深く感謝いたします。