

ドローンを用いたスポーツ施設の照明の測定

田中 武*・栗栖 慎也**・甲斐 健***・山崎 勇****
織田 浩二***・崎 将智*****・植月 唯夫*****

(平成29年10月31日受付)

Measurement of lighting of sports facilities using drone

Takeshi TANAKA, Shinya KURISU, Ken KAI, Isamu YAMASAKI, Koji ODA,
Masanori SAKI and Tadao UETSUKI

(Received Oct. 31, 2017)

Abstract

In recent years, sports lighting of physical education facilities has changed from mercury lamps to LED lighting. The LED lighting has excellent ON/OFF and energy saving characteristics, and has become convenient to use. In sporting events, such as, volleyball, etc., athletes may face up to the ceiling and thus the source of illumination. Constant measures are needed to protect the eyes of these athletes. In this study, we describe the change from mercury lamps to LED lighting in the Kawasaki gymnasium. We investigated to reduction of glare when seen directly by humans in the gymnasium using a high intensity light source such as LED. In addition, we show three examples of the installed LED lighting in the arena. And finally, show a measurement data of three-dimensional brightness of the arena using a drone.

Key Words: sport environment, glare, light emitting diode, gymnasium, lighting, drone, three-dimensional brightness measurement

1 はじめに

現在では照明光源は急速に発光ダイオード (Light Emitting Diode: LED) への道をたどっており、中には最高輝度が1千万 cd/m^2 を超える光源までが出現している。この光源の眩しさは従来の光源と比較してもかなり大きく、社会問題になりつつある。また従来の水銀灯などでは発光面積が単一で、かつ小さいため、眩しさに関しては、議論されていない。体育館などのスポーツ照明が、水銀灯から、LED 光源に変わると、高輝度化と発光面積の増大により、

不快グレアを検討する必要があるが出てくる。既存の室内照明に対する各種指標を LED 照明に適用可能かどうかを判定している¹⁾。不快グレア指標の UGR は適用範囲の大きさの均一輝度光源については LED でも適用可能とするが、UGR は光源の輝度分布を反映しておらず、輝度分布に関する適用範囲の明確化が必要とし、輝度分布を反映する新たな指標が必要である²⁾。また、同じ行為に対する照明でも、とにかく、照明が存在することに価値がある環境レベルと、電力供給や照明器具が充分にある様な環境レベルでは、光や照明に対する価値観そのものが異なることもあり、グレア

* 広島工業大学工学部電子情報工学科

** 株式会社中電工技術本部技術センター

*** 株式会社デジコム

**** 広島工業大学専門学校土木工学科

***** 津山工学高等専門学校総合理工学科

に対する評価基準が異なっても良いと考えられる²⁾。

体育館のスポーツ照明として、LED 光源を用い、1) 照明用光源のLED 素子単体が見えない状態にする。2) 実際の直下照度を低下させない。ことで、体育館内の照度分布の達成、眩しさの低減や、省エネルギー動作等を実現できた³⁾。また、国体、ワールドカップ、オリンピックに利用する体育館には、天井が高くなり、一般に高照度照明が必要になってくる。発光素子の高輝度部分である素子としての発光を抑制し、面発光にしていき、必要な単位面積当たりの輝度を抑制する必要がある。

本報告では、照明の眩しさ、体育館照明の実測評価事例、さらにドローンを用いたアリーナ内の三次元輝度の測定について報告する。

2 眩しさについて

現在、眩しさの規格として UGR, GI 値などの規格は存在しているが、直接見るといような現象に対しては規定されていない。また、その明るさ（以後は輝度）に対して範囲が限定されており、判断する上でこれらの指標を用いるには望ましくないと伺える。そこで実際に LED 光源を用いて、何が、どの程度眩しいのか、眩しさは誰でも共通か、などの基礎実験を行い、それらの結果から眩しさの状況を見出すこととし、形状認識とその領域輝度の眩しさ影響グラフを図1に示す⁴⁾。

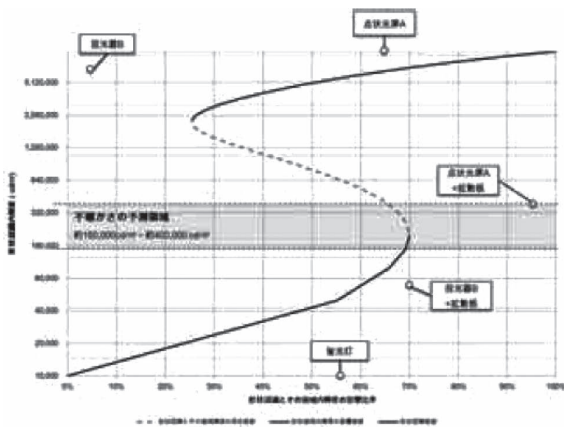


図1 形状認識とその領域輝度の眩しさ影響グラフ

また、通常の蛍光灯では、輝度影響を受けることなく形状認識の領域に推移している。各高輝度光源は拡散板を設置することで不確かさの予測領域近辺または不確かさの予測領域以下に収まることが確認できた。そこで、光源の直視グレア評価法として、光源の輝度と視野角内の面積比から直視グレア (HGR) 式、

$$HGR = \ln \{ (\ln (\text{面積比} \times 10^3)) / (6 \times M\% \text{輝度平均値}^2) \} / N$$

M と N は定数。

を提案した⁴⁾。

3 体育館照明の実測評価事例⁵⁾

3.1. はじめに

川崎市体育館の照明のLED化について述べ、その後、その体育館中でのスポーツを実施しているときの、LED光源などの高輝度光源を、直接人間が見た場合の眩しさの低減について検討した。

3.2. 川崎市体育館の照明のLED化

神奈川県川崎市にある体育館照明を従来の水銀灯（図2）からLED（図3）へ変更された。



図2 水銀ランプで照明された川崎体育館



図3 LEDで照明された川崎体育館

体育館照明用電力の省エネルギーという観点では極めて優れている。ここではその例として神奈川県川崎市で行われたLEDへの変更に伴う問題点解決に関して述べる。

該当体育館は上記のような水銀灯光源設置の体育館で、省エネルギー化のためにLED光源に変更したものである。

上の図が設置後の状態となっているとともに
計測機器 RISA-DCJ 社
一眼レフデジタルカメラ Nikon D200
輝度調整済み

絞り	F5.6
シャッターコントロール	1/15
焦点距離	18 mm
ISO 感度	ISO400

当初指定の照度（500 LUX 以上）（表 1）は達成した。

表 1 LED 照明施工前後での照度

施工前 Lux	施工後 Lux
669	643
683	648
678	650
667	635
634	654
625	640
659	645

今回の体育館の照明光源を水銀ランプから、LED に付け替える業務に関する条件は

1. 省エネ効果が規定条件を満たすものあること
2. 照度条件を満たすものであること

である。この件に関しては、設置した LED 光源で達成しており、基本的設置条件を満足していた。

3.3. 体育館照明の LED 化による、光源を直視した場合の眩しさ

体育館の天井を偶然見た体育館使用者から、眩しいとのクレームが出てきた。さらに、体育館の床面に映る照明用光源の LED 素子が、特定のスポーツを行う利用者から体育館の床面がちらついて気が散ってしまい、集中してスポーツを行うことができないとの指摘が出てきた。

不快グレアに関しては、対象となる GR 値では等価光幕輝度からの計算式を用いるので、今回、クレームの出た問題、すなわち、照明用光源を直視した条件は規定されておらず、対応できない状態である。

この問題に関しては、基本的な対応する方針がなく、担当者が、現地で工夫しながら対応している状態である。今回の案件に対して取った対策を述べる。

3.3.1 照明用光源の輝度、照度などの光源特性

照明用 LED 光源を点灯し その輝度分布の計測 直下照度の計測を行った。広いスペースを確保できないため 計測距離を 3m と決め、以後すべての計測をこの距離で行いその検証データを基にシミュレーションを行い 実際の設定条件に適合する方法を見つけることを試みた。

体育館照明用 LED 光源の輝度画像を図 4 に示す。その光源のデータを表 2 に示す。

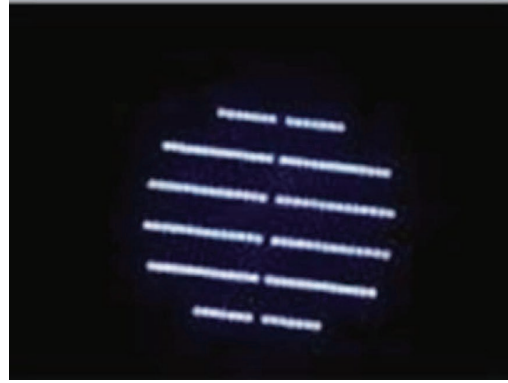



図 4 体育館照明用 LED 光源の輝度画像

表 2 体育館照明用 LED 光源のデータ

直下照度 (Lux)	823 (100%)
1/2配光角度 (°)	119
1/2照度角 (°)	65
全光束 (Lm)	27,829 (100%)
輝度分布	
最大輝度 cd/m ²	4,229,738 (100%)
平均輝度 cd/m ² (1/e ² 0v)	2,227,945 (100%)

体育館でスポーツを行う人から提起された問題点について検討した。検討する目標として、

- 1) 照明用光源の LED 素子単体が見えない状態にする。
- 2) 実際の直下照度を低下させない。とした。

最初に通常の市販の拡散板（乳半タイプ）を用いた。光源の眩しさは無くなった、しかし直下照度が 385 Lux (46.8%) になり、仕様（500 Lux 以上）を達成できなくなった。

3 種類の拡散板データ数値と感覚実験による結果、及び以前に行った LED パネルのムラに関する実験結果から、同一光源内においては、直線的な輝度成分値が存在した場合には、人間の視覚において、その特性である微分効果の影響を受けやすいということもあり、今回はムラの少ない拡散板を選択し、シミュレーションを行ったところ指定数値の 500 Lux をはるかに超える数値が表示された⁴⁾。

また実際に水銀灯と今回の LED 灯との交換作業においての結果として、初期目的であった、省エネルギー性、照度の確保という目標を達成した。実際に設置しても設置基準より照度数値が高いため実際には光源の電流値を落として

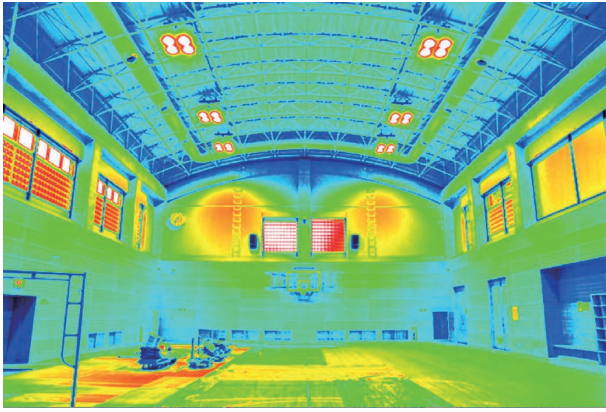


図5 LED化の施行前の水銀灯点灯時の輝度分布

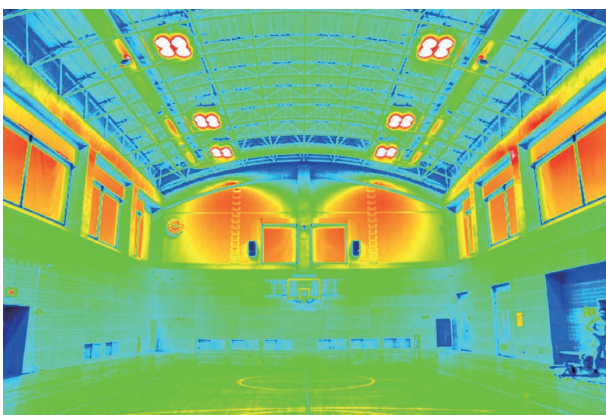


図6 LED化の施行後のLED点灯時の輝度分布

使用している。

最後に、LED化の施行前の水銀灯点灯時（図5）、施工後のLED点灯時（図6）の輝度分布を示す。眩しき対策を含めた今回のLED化により、体育館内の照度分布の達成、眩しさの低減や、省エネルギー動作等を実現できた。

4. LED照明の輝度測定へのドローンの応用

4.1. 鶴学園広島工業大学高等学校におけるドローン飛行⁶⁾

高輝度LED照明をスポーツ施設に設置し、LED照明環境の評価や関連技術の開発を行い、その後、上記の評価法や技術の教育環境を整備するために、広島工業大学高等学校の鶴学園50thメモリアルスポーツセンター内で、照明の輝度特性を測定できる仕様のドローンの飛行を試みた。

4.2. (株)中電工所有の体育館におけるドローン飛行

直視輝度を測定する機材を載せて、アリーナ内をドローンが安定飛行できる技術が習得できたので、照明用光源の眩しさを数値化する一手法として、輝度計測装置を用い、(株)中電工所有の体育館（広島市内）にて3次元輝度測定を試みた。3次元での測定を実現するために、屋外用照明の計測への拡張性を考慮して、ドローンを用いた。以下に

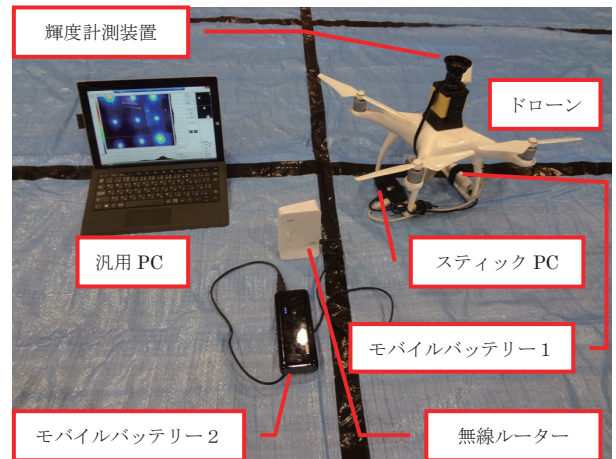


図7 ドローンを用いたLED照明の輝度測定系



図8 ドローンを用いたLED照明の輝度測定風景

測定系を示す。ドローンには輝度計測装置を鉛直方向に取り付け、スティックPCとモバイルバッテリーを搭載した。輝度計測装置で得られた測定結果をスティックPC内の専用ソフトウェアでリアルタイムに可視化しており、リモートデスクトップ機能を用いて地上のパソコンから測定データの保存ができるシステムとなっている。

【測定系】(図22(図20に測定に用いるルータを追加))

- ・輝度計測装置 ((有)ハイランド社製 ACE-100)
- ・ドローン (DJI社製 Phantom4)
- ・スティックPC (マウスコンピューター社製 NH-1)
- ・汎用PC
- ・モバイルバッテリー1 (ANKER社製 Astro E1 A1211)
- ・モバイルバッテリー2 (ANKER社製 Astro E5 A1208)
- ・無線ルーター (NEC社製 PA-WF300HP2)

測定風景(図7)、得られた測定結果の一例(図9から図13)を以下に示す。

図9から図13までの結果をみると、輝度の最大値は、地上0mから4mまで318 cd/m²でほぼ一定である。平均輝

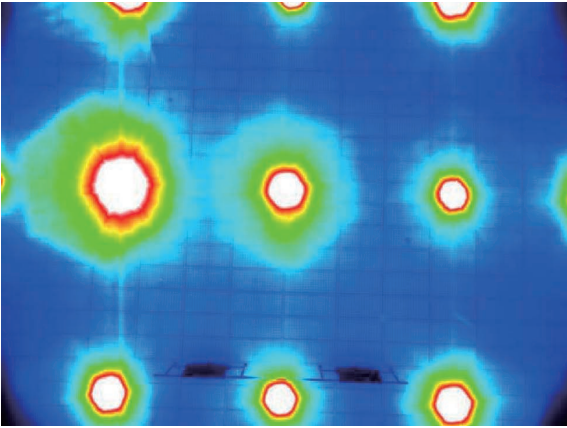


図9 地上0m ドローン輝度測定 ドローン輝度測定 ドローン輝度測定

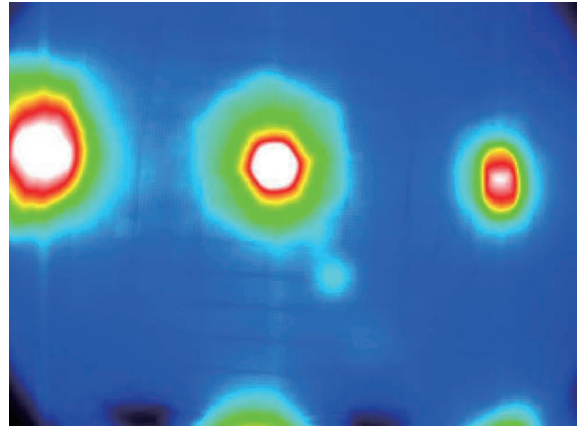


図12 地上3m ドローン輝度測定 ドローン輝度測定 ドローン輝度測定

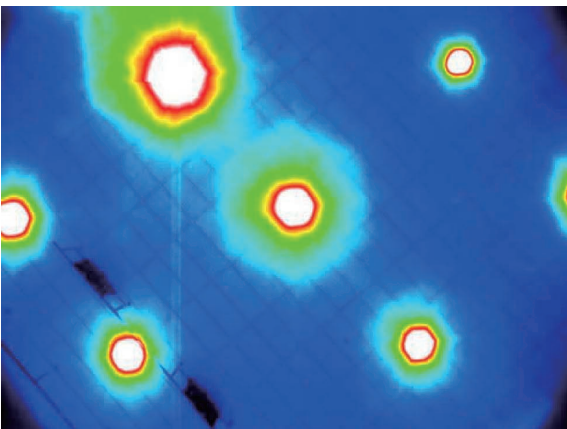


図10 地上1m ドローン輝度測定 ドローン輝度測定 ドローン輝度測定

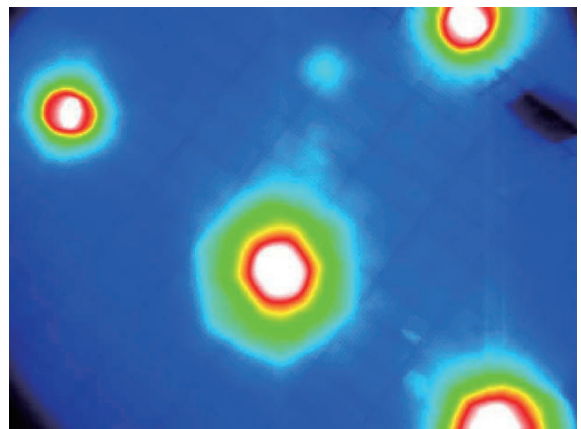


図13 地上4m ドローン輝度測定 ドローン輝度測定 ドローン輝度測定

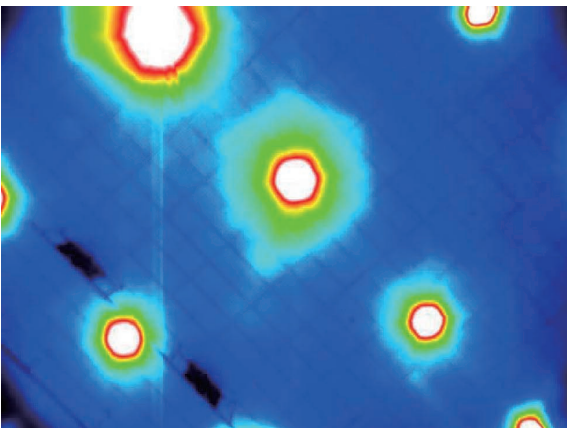


図11 地上2m ドローン輝度測定 ドローン輝度測定 ドローン輝度測定

度は、地上0mで84.88 cd/m²から4mで75.40 cd/m²と測定位置が高くなるにつれて減少していることが明らかになった。

6. おわりに

現在では照明光源は急速にLEDへの道をたどっており、

中には最高輝度が1千万cd/m²を超える光源までが出現している。体育館のスポーツ照明として、LED光源を用い、
1) 照明用光源のLED素子単体が見えない状態にする。
2) 実際の直下照度を低下させない。ことで、体育館内の照度分布の達成、眩しさの低減や、省エネルギー動作等を実現できた。また、その設置例を紹介した。ドローンを用いた測定により、アリーナ内の三次元輝度特性の測定でき、輝度の最大値は高さによらず、ほぼ一定であるが、平均輝度は、測定位置が高くなるにつれて減少することが明らかになった。

今後は、最大輝度と平均輝度がスポーツ選手に与える影響などを、実際にLED照明を設置されたアリーナ利用者にヒアリングするなどさらに詳細に検討していきたいと思えます。

謝 辞

体育館スポーツ照明の直視輝度の3次元測定にご協力頂いた、鶴学園広島工業大学高等学校（玉田康莊 校長）に謝意を表します。また、体育館のスポーツ照明の実施例に

関する測定データ等を提供して頂きました財団法人スポーツ環境総合技術推進協会 (<http://www.segtpm.com>) に謝意を表します。

文 献

- (1) 国際照明委員会技術委員会 (CIE TC-3-50), "Lighting quality measures for interior lighting with LED lighting systems" テクニカルレポート, Draft3.0
- (2) 原直也, "LED 照明のグレア評価法の国際標準化に向けて", 照学誌, pp. 349-353 (2012).
- (3) Takeshi Tanaka, Koji Mukai, Masayuki Yamauchi, Masao Kochi, Atsushi Ikeda, Hideo Kuzuhara, Koichi Matsushita, Go Hironobu, A study in a sports lighting environment using LED lighting and diffusion plates, ELECTROTECHNICA & ELECTRONICA E + E, 50 5, 6), pp. 30-35 (2015)
- (4) 田中 武, 高地 正夫, 池田 篤志, 葛原 秀男, 松下 光一, 呉 浩廷, 栗栖 慎也, "LED を用いたアリーナのスポーツ照明と, その設置例", 広島工業大学紀要研究編第51巻 (2017) 231-241
- (5) 照明学会, LED スポーツ照明の直視グレアに関する研究調査委員会報告書2016年3月
- (6) 広島工業大学, 知の商店街, プロジェクト研究センターのご紹介, 2016, p. 5.