

# LED を用いたアリーナのスポーツ照明と，その設置例

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\*\*\*\*\*

(平成28年10月31日受付)

## Sports lighting of an arena using LED, and an installation example

Takeshi TANAKA, Masao KOCHI, Atsushi IKEDA, Hideo KUZUHARA  
Mitsukazu MATSUSHITA, Go HIRONOBU and Shinnya KURISU

(Received Oct. 31, 2016)

### 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 example 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<sup>2</sup>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。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。<sup>1)</sup>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。<sup>2)</sup>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

\* 広島工業大学(Hiroshima Institute of Technology)

\*\* (有)ハイランド(Hiland)

\*\*\* エクセル(株)EXCEL Inc.)

\*\*\*\* 一般財団法人広島県バレーボール協会(Hiroshima Prefecture Volleyball Society)

\*\*\*\*\* 東洋紡STC(株)TOYOBO STC Co. Ltd)

\*\*\*\*\* (株)中電工(Chudenko, Co. Ltd)

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、グレアに対する評価基準が異なっても良いと考えられる。<sup>2)</sup>

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、LED を用いたアリーナのスポーツ照明と、その設置例、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. 眩しさとは

### 2.1 はじめに

今回の結論に導いた最大要因となる眩しさとは何か。どのようなものが、どの程度眩しいのか。ここで大きな疑問点に直面した。

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、直接見るという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た。

基礎実験にはいくつかの NPO 法人のご協力もあり、被験者、実験の場所などの確保は比較的容易に達成できた。また、実際の実験で参加される一般被験者には、EIA 勧告による 50 万 cd/m<sup>2</sup> 以上の光源を使用しないこととし、安全性に留意した。

実験の内容は以下の 4 つの実験を行い、眩しさの感覚的領域を抽出し、スポーツ環境における照明器具のあり方を見出そうとするものである。

実験 1. 眩しさを感じる輝度領域

実験 2. 眩しさの我慢限界における輝度領域

実験 3. 短時間光源直視における周辺状況の認識

実験 4. 高輝度光源直視時点における発光面の形状認識

### 2.2 眩しさにおける基礎実験

実験 1. 眩しさを感じる輝度領域

測定光源、測定距離を明確化し、被験者は年齢、各所属

からなる 4 つのグループ構成とした。(Table.1) 測定環境は明室、暗室とし、被験者には、予めゴーグルを装着した状態となる。

Table. 1 被験者 4 グループ構成

年齢	性別	所属	人数
35～54 歳	女性のみ	PTA 会員	32 名
19～21 歳	男女混合	屋外運動 運動部所属	15 名
32～57 歳	男女混合	照明器具製作現場関連	13 名
19～23 歳	男女混合	事務関係作業員	13 名

目視時間は 2 秒と規定し、開始指示でゴーグルを外し、終了指示でゴーグルを再び装着する。被験者は口頭申告で「直後に眩しい」または「眩しくない」の二択とした。

結果として、多少の差はあるものの眩しいと感じる光源輝度に関しては近似傾向が見られた。約 30,000cd/m<sup>2</sup> で眩しさを感じ始め、約 60,000cd/m<sup>2</sup> までに被験者の 80% 以上が眩しさを感じている。この範囲内に一般的に眩しさを感じる輝度数値が存在していると考えられる。(Fig. 1)

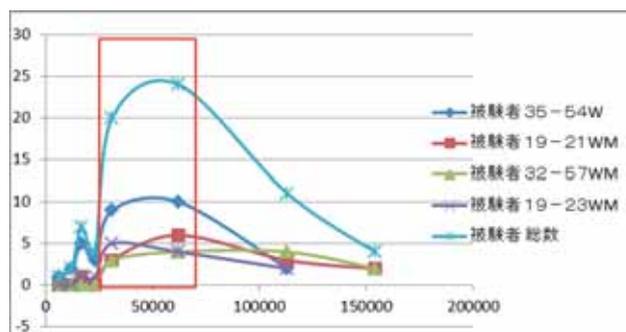


Fig. 1 眩しさを感じる輝度と被験者測定結果 明室

但し、この範囲は相当ばらつきがあり、統計はとっていないが、年齢による差も見受けられるため、この数値を持って眩しさであるという数値の定義は不可能なようであった。また、明室、暗室に関わらず眩しさの傾向は基本的に一致しており、環境にはそれほど左右されないようである。(Fig. 2)

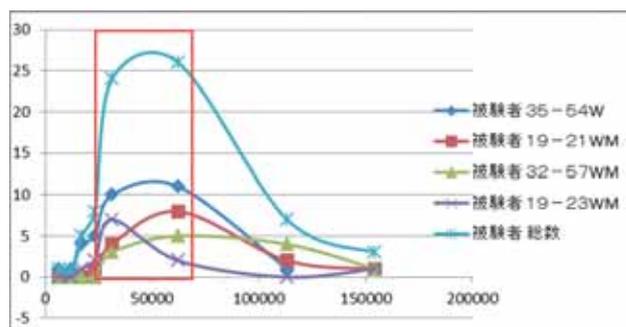


Fig. 2 眩しさを感じる輝度と被験者測定結果 暗室

実験方法 被験者は開始指示でゴーグルを外し、終了指示でゴーグルを再び装着。

測定光源 LED マルチチップ 250W 天井灯

測定環境 明室，暗室

測定距離 5 m

目視時間 2 秒間

## 実験 2 . 眩しさの我慢限界における輝度領域

実験 1 と同一条件にて実験を行った。

明室，暗室では多少の差があるものの，我慢できないと感じる輝度領域は，実験 1 で行った眩しさを感じる輝度領域とは異なる結果となった。

約 60,000cd/m<sup>2</sup> ~ 150,000cd/m<sup>2</sup> の範囲で我慢できないグループと 200,000cd/m<sup>2</sup> まで我慢できるグループの 2 グループに分離した。それぞれのグループには特徴が見られ，前者は普段の日常生活では高輝度光源を見ていない集団であり，後者は普段から太陽，LED 照明器具等の高輝度光源に見慣れている集団となった。言い換えれば，日常生活空間での生活環境における違いが，眩しさの我慢限界に直接的に影響してくることがわかった。( Fig. 3, Fig. 4 )

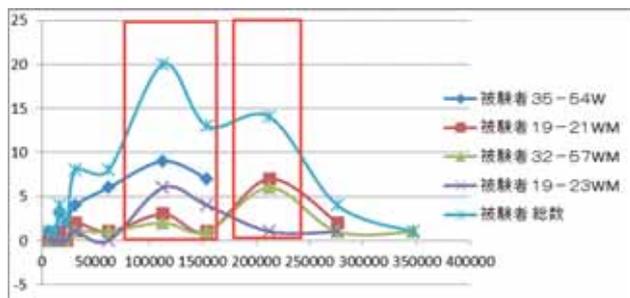


Fig. 3 眩しさの我慢限界における輝度と被験者測定結果 明室

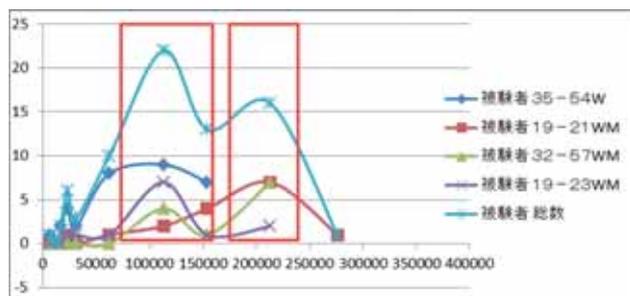


Fig. 4 眩しさの我慢限界における輝度と被験者測定結果 暗室

このことから，スポーツ環境における照明を検討する際は，主要利用者の日常生活での生活環境を考慮しなくてはならないことが判明してくる。では，環境照度を下げ，眩しさのみを軽減すれば良いのかとなると，この定義ではただ暗くなってしまいう可能性があり，別の問題点として浮上すると推測される。

スポーツ環境照明は，眩しさを越えた輝度領域の判断の

みならず，我慢できる許容範囲内に留めることを検討し，主要利用者に適応した環境を構築していくことが必要だと考えられる。

人間の行動は通常，眩しいものを見たとき，視線を逸らす，目を細める等の回避行動を取る。この回避行動を常識的だと考え，スポーツ実施者を対象に眩しいと感じる光源を直視した際に短時間での状況認識を判断する実験を行った。この実験は，スポーツ等の実施中に眩しいものを見たときに果たしてどのように周囲を認識しているかを確認するための実験ともなる。実験時の光源 ( Fig. 5 )，色紙，被験者における位置関係を Fig. 6 に示す。また，測定環境の照度を Table 2 に示す。

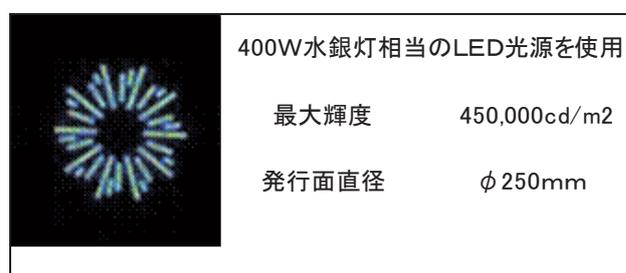


Fig. 5 測定対象光源

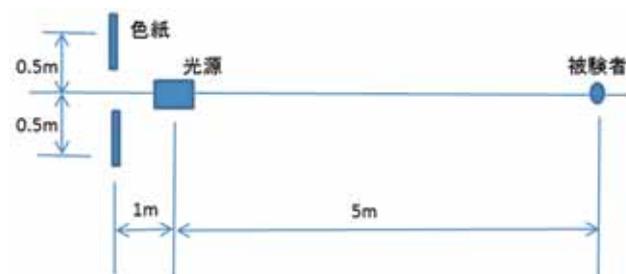


Fig. 6 実験時の光源，色紙，被験者における位置関係

Table. 2 測定環境の照度

( lux : 照度値 )

測定環境	被験者実験位置	色紙設置位置
明室	250 lux	160 lux
暗室	8 lux	3 lux

実験方法は，光源背面に 500mm 角の各種色紙を張り替えて，その色が確認できたかを判断する。光源から被験者迄の距離は 5 m とし，測定環境は暗室，明室で同一被験者がそれぞれの色，白色，黄色，緑色，赤色，青色の計 5 色に対して実験を行った。被験者は全て野外スポーツクラブに参加している男女である。実験 1，2 と同様にゴーグルを装着し，目視時間は 2 秒と規定し，開始指示でゴーグルを外し，終了指示でゴーグルを再び装着する。

退室後，光源背面の左右にあった色紙の色について質問を行い，その確認状態を検査した。

実験結果では、室内環境に関わらず、高輝度光源周囲に存在する状況変化には、全体的に反応する確率が小さく、そのほとんどが被験者は認識していない結果となった。(Table.3)

Table. 3 測定結果 (%:認識率)

測定環境	白	黄色	緑	赤	青
明室	14.8%	14.8%	11.1%	3.7%	3.7%
暗室	11.1%	14.8%	7.4%	7.4%	0.0%

この実験により、従来の眩しさにおける規格にある背景輝度の概念とは異なった状況を確認した。

実験方法 光源背面に1m角の各種色紙を張り替えその色の確認ができたかを判断。被験者は開始指示でゴーグルを外し、終了指示でゴーグルを再び装着。退室後、光源左右の色紙の色について質問を行いその確認状態を検査。測定は、暗室、明室で同一被験者がそれぞれの色に対して行う。

被験者 28-49歳 男子12名 女子15名  
 全員野外スポーツクラブに参加  
 測定環境 明室、暗室  
 測定距離 5m  
 目視時間 2秒間  
 色紙サイズ 500mm×500mm

通常的生活空間では照明光源は比較的に低輝度であるため、人間の視野における調整範囲内で光源形状を認識している。しかし、高輝度光源を見た際には、どのような形状を認識しているのか。これは巷の文献やデータでは見当たらない。そこで実験を実施するのだが、此れまでの通り目視時間が2秒間の短時間では、実験3で行った結果のように形状認識を確認することが困難なため、認識するまでには著者自身が観察しても4~5秒程度の目視が必要になる。

この実験では被験者対象を著者及び社内希望者に留めた。一部、50万cd/m<sup>2</sup>以上の高輝度光源では著者自身のみの観察とした。

実験方法は、光源から被験者迄の測定距離3mで4~5秒間直視し、形状認識した時点で光源の出力をオフにした。続いて認識した形状とサンプリングした計測画像の2値化画像の比較を行い、近似形状像を検出した。それぞれ光源形状の異なる4種類の高輝度光源を用意し、反復確認作業を実施した。

実験結果から、形状認識は30%~10%程度の2値化と近似してくることが判明した。同時に光源形状内における最大輝度の位置は特定することは困難であり、判断できな

い状態であった。この判断できない状態とは、高輝度光源を直視した際、視覚的に飽和状態となり、光源内部の輝度分布は認識されず、形状認識に留まっている状態だと推測される。(Fig.7)

実験方法 光源画像をサンプリング

光源を4-5秒直視 画像としての認識ができたら中止  
 認識した光源形状記憶とサンプリング画像n%2値化画像の比較で近似状態像を検出

4種類の光源で 反復確認作業

測定環境 暗室  
 測定距離 3m  
 目視時間 4~5秒間

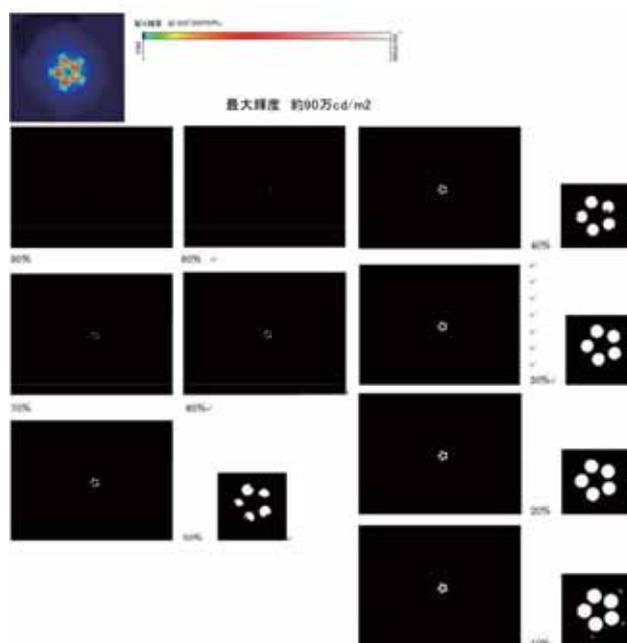


Fig. 7 光源画像と2値化抽出画像の測定例

### 2.3 眩しさの推移

これまでの基礎実験過程で得られた結果を基に、眩しさを感じる光源と被験者の関係を考察する。

被験者が直視した高輝度光源の眩しさは暗室、明室によって左右されるのではない結果となった。

従来の規格にある眩しさを感じる指標の定義は実験過程でバラつきが生じたが、我慢限界の範囲に着目すると、眩しさの我慢限界は日常生活の生活環境によって左右されるものであり、実験と被験者の所属関係において一致する関係性が見られた。これらの結果からスポーツ環境の照明は、主要利用者の観点で考慮する必要があることが判明した。

高輝度光源の周辺環境の認識、形状認識及び最大輝度の特定では、スポーツ実施者のほとんどが周辺環境の色味を認識することができなかった。また、高輝度光源を直視した際、視覚的に飽和状態となり、光源内部の輝度分布は認

識されず、形状認識に留まっている状態が想定され、最大輝度の特定は得られなかった。

これらの結果からスポーツ等の実施中や眩しいものをとらえたときの回避行動時、視野内の状況における直接観察する眩しさの度合いは、背景を認識することはできず、ある程度の焦点に絞られることが想定される。また、低輝度光源では形状認識はできるが、高輝度光源の場合は、形状認識する上で飽和状態となることから、これまでの基礎実験結果を踏まえて、2値化における形状認識とその領域の輝度を抽出し、眩しさによる影響度合いによる傾向をシミュレートした。ここで用いられるY値は、形状領域内の輝度値を示している。X値は、形状認識とその領域内の輝度の関係を百分率で表現した。仮に形状認識が小さくから大きく、その領域輝度が低輝度から高輝度とした一定推移の場合、互いに影響されることなく描かれるが、双方が反転し推移することでS字カーブのような傾向となる。これは直下型のLED光源とその眩しさ対策を施すため、拡散板を設置した状況が想定される。直下型のLED素子が露出した状態では、対象光源の輝度は高いが、形状認識とする領域は小さい。一方、拡散板を設置することで全体輝度を低下し、形状認識が広がる。確かなのは高輝度の場合は、回避行動を取るか否かの時点では、形状認識する前に輝度の眩しさに影響される。反対に低輝度では輝度の影響は少なく形状認識に影響される点にある。その間となると、双方の影響を受けながら結びつくであろうと想定される。形状認識から輝度に影響され始める境を分岐点とし、想定として床面照度のある程度確保する領域を不確かさの領域とすると、形状認識の領域輝度が約150,000cd/m<sup>2</sup>～400,000cd/m<sup>2</sup>あたりが目安となる。(Fig. 8)そこに50万cd/m<sup>2</sup>を超える各光源を実測し、拡散板を設置することでどの程度軽減されるのかシミュレート上に配置した。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る。(Table.4)また、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。

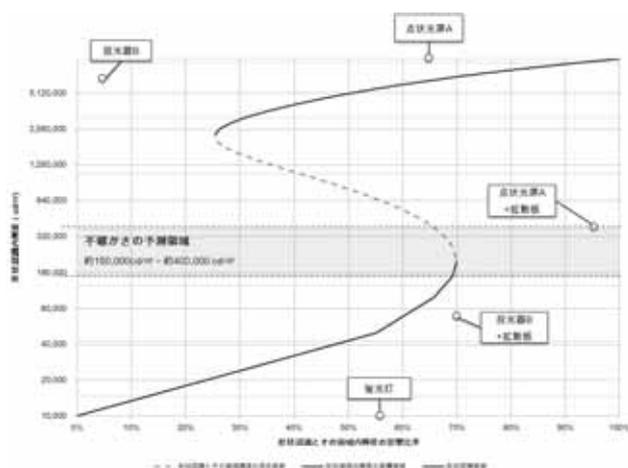


Fig. 8 形状認識とその領域輝度の眩しさ影響グラフ

### 3. 川崎市体育館の照明のLED化

#### 3.1 はじめに

神奈川県川崎市にある体育館照明を従来の水銀灯 (Fig. 9 参照) から LED (Fig. 10 参照) へ変更された。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。



Fig. 9 水銀灯で照明されている川崎体育館

Table. 4 各種光源の形状認識とその領域輝度における眩しさの影響

項目	点状光源 A	点状光源 A+ 拡散板	投光器 B	投光器 B+ 拡散板	蛍光灯
形状認識内輝度 (cd/ m <sup>2</sup> )	11,260,000	451,500	6,566,100	74,200	10,000
眩しさ影響比率	67.73%	96.50%	6.41%	70.79%	56.75%
想定影響要因	輝度影響	混在影響	輝度影響	形状認識影響	形状認識影響



Fig. 10 LED ランプで照明されている川崎体育館

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	18mm
ISO 感度	ISO400

当初指定の照度（500LUX 以上）( Table 5 参照 ) は達成した。

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。

Table. 5 施工前後での照明の照度

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

### 3.2 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も、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、対応が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 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 3 m 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。

Fig. 11 に、体育館照明用 LED 光源の輝度画像を示す。Table 6 に、光源のデータを示す。

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。（Table7 参照）光源の眩しさは無くなった。

しかし直下照度が 385Lux( 46.8% ) になり、仕様( 500Lux 以上 ) を達成できなくなった。



Fig. 11 LED 光源の輝度イメージ

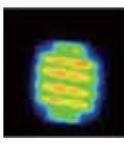
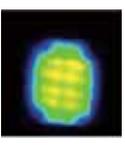
Table. 6 LED 光源の照度，および輝度

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 <sup>2</sup>	4,229,738 (100%)
平均輝度 cd/m <sup>2</sup> (1/e <sup>2</sup> 0v)	2,227,945 (100%)

Table. 7 拡散パネルを用いた LED 光源の照度，および輝度

直下照度(Lux)	385 (46.8%)
1/2 配光角度(°)	151
1/2 照度角(°)	72
全光束(Lm)	16,909 (60.8%)
輝度分布	
最大輝度 cd/m <sup>2</sup>	76,643 (1.8%)
平均輝度 cd/m <sup>2</sup> (1/e <sup>2</sup> 0v)	49,382 (2.2%)

Table. 8 三種の拡散パネルを用いた LED 光源の照度，および輝度

	(a)	(b)	(c)
直下照度 (Lux)	511 (62.1%)	704 (85.5%)	697 (84.7%)
1/2 配光角度 (°)	150	117	119
1/2 照度角 (°)	64	62	61
全光束 (Lm)	19,677 (70.7%)	23,473 (84.2%)	23,030 (82.8%)
輝度分布			
最大輝度 cd/m <sup>2</sup>	103,478 (2.5%)	195,705 (4.6%)	162,003 (3.8%)
平均輝度 cd/m <sup>2</sup> (1/e <sup>2</sup> 0v)	64,054 (2.9%)	116,522 (5.2%)	105,814 (4.8%)

眩しくはないが暗いという状態になってしまった。次に、新たに開発された、いくつかの拡散板を、LED 光源の前に設置して、照度を測定した。(Table 8) LED 光源など、高輝度な発光体を用いた照明用光源を直視した場合の眩しさの問題に関しては、規定されているものがないと思われる。

各種グレア数式では室内条件や等価光幕輝度を用いているので、直接光源を見る、または、その反射光を見る場合、すなわち、LED 光源を用いた人間の眩しさについて、理論的なアプローチや、数値計算を用いたアプローチには、適用が難しい。

### 3.4 照明用光源の眩しさの感覚的な実験

照明用光源の眩しさに関する規定が見つからないので、複数参加者の協力を得て眩しさに関する、いくつかの感覚実験を行い、そのデータを基に今回の眩しさの問題の解決を試みた。

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、Table 8(c)サンプルを選択し、シミュレーションを行ったところ指定数値の500Lux.をはるかに超える数値が表示された。

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使用している。

最後に、LED化の施行前の水銀灯点灯時(Fig. 12)、施工後のLED点灯時(Fig. 13)の輝度分布を示す。眩しさ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。



Fig. 12 水銀灯を用いた場合の輝度分布イメージ

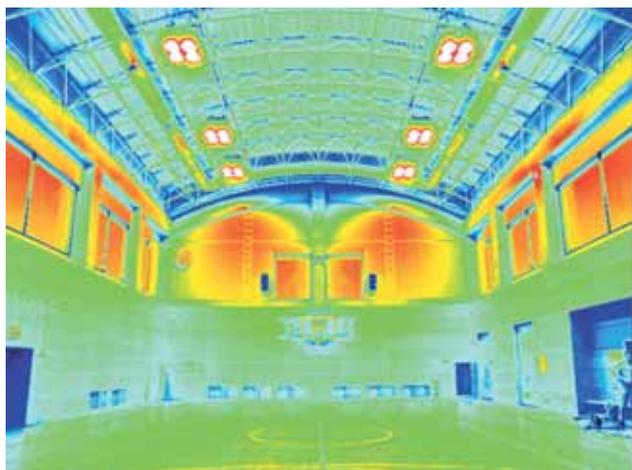


Fig. 13 LED光源を用いた場合の輝度分布イメージ

#### 4. スポーツ照明施行例

##### 4.1 川崎市立高津中学校体育館

【計測場所及び計測日時】

計測日時：

施工前 2016年4月28日(木)

施工後 2016年4月28日(木)

計測場所：〒213-0011 川崎市高津区久本3-11-2



Fig. 14 川崎市立高津中学校 施工前



Fig. 15 川崎市立高津中学校 施工後

H・GR計測

計測機器 E ONE SHOT Glare (ハイランド製)

指標 H・GR値

計測方法 H・GR計測

・ 高さ1.5m

直視グレア

H・GR	輝度 cd/m <sup>2</sup>
施工前 20	130,246
施工後 16	57,511

##### 4.2 鬼北総合公園体育館

計測日時：

施工前 2015年11月11日(火)

施工後 2016年1月14日(木)

計測場所：〒798-1333 愛媛県北宇和郡鬼北町永野市1290-1

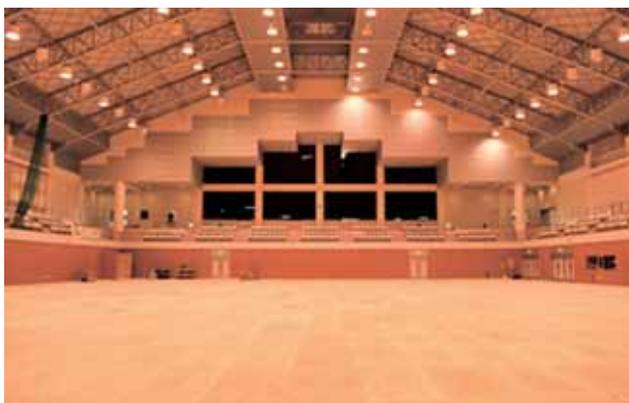


Fig. 16 鬼北総合公園体育館施工前



Fig. 17 鬼北総合公園体育館施工後

H・GR計測

計測機器 E ONE SHOT Glare (ハイランド製)

照度計 IM-5M Topcon

指標 H・GR値

計測方法 H・GR計測

・ 高さ1.5m

直視グレア

	H・GR	輝度 cd/m <sup>2</sup>
施工前	11	33,721
施工後	17	74,326

4.3 盈進学園高等学校体育館

【計測場所及び計測日時】

計測日時：

施工前 2016年5月10日(火)

施工後 2016年6月28日(月)

計測場所：〒720-0013 広島県福山市千田町大字千田 487-4



Fig. 18 盈進学園高等学校体育館施工前



Fig. 19 盈進学園高等学校体育館施工後

H・GR 計測

計測機器	E ONE SHOT Glare (ハイランド製)
指標	H・GR 値
計測方法	H・GR 計測
・	高さ 1.5m

直視グレア

	H・GR	輝度 cd/m <sup>2</sup>
施工前(水銀灯)	14	48,033
施工後(LED400W)	17	69,799

5. LED 照明の輝度測定へのドローンの応用

5.1 鶴学園広島工業大学高等学校におけるドローン飛行<sup>(4)</sup>

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。

(Fig. 20 測定機材, Fig. 21 飛行風景)



Fig. 20 広島工業大学高等学校のアリーナの直視輝度を測定する機材(左から制御用パソコン, ドローンコントロール装置, ドローン)



Fig. 21 広島工業大学高等学校のアリーナの直視輝度を測定する機材を載せて飛行するドローン

Fig. 21 に示すように、直視輝度を測定する機材を載せて、アリーナ内を安定飛行する技術を習得した。

5.2 (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】( Fig. 22 ( Fig. 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 )

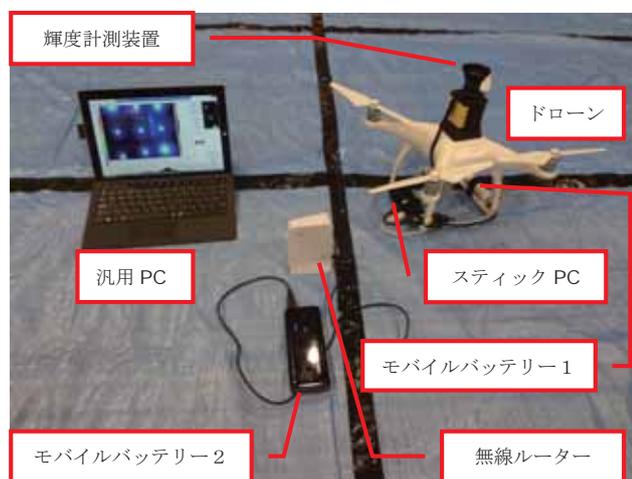


Fig. 22 ドローンを用いた LED 照明の輝度測定系

測定風景 ( Fig. 23 ), 得られた測定結果の一例 ( Fig. 24 および Table 9 を以下に示す。



Fig. 23 ドローンを用いた LED 照明の輝度測定風景

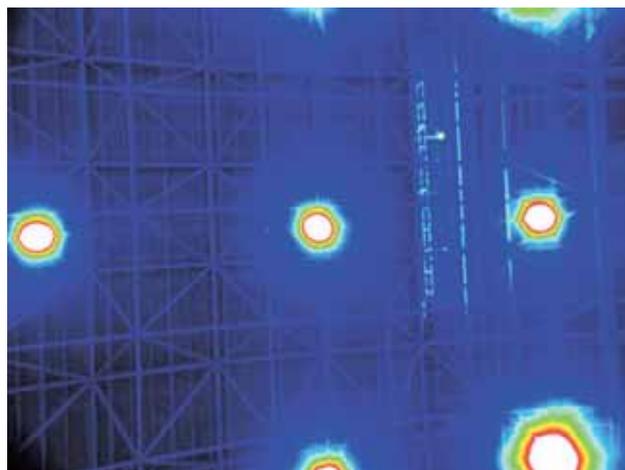


Fig. 24 地上 3 m における LED 照明

Table. 9 地上 3 m における LED 照明の輝度測定結果

最大輝度	318.12 [ cd/m <sup>2</sup> ]
最小輝度	5.49 [ cd/m <sup>2</sup> ]
平均輝度	32.79 [ cd/m <sup>2</sup> ]
最大 / 最小	57.95
318.12 [ cd/m <sup>2</sup> ] 以上を 除いた平均輝度	29.73 [ cd/m <sup>2</sup> ]

## 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/m<sup>2</sup> 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た。

## 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 ( 玉田康荘 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議会 ( <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) 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.

