

スポーツ照明において生じる 影の定量評価に関する基礎的検討

内田 暁*・高橋賢一郎**・大谷義彦*

Fundamental examination of quantitative evaluation of shadow under sports lighting

*Akira UCHIDA**, *Ken-Ichiro TAKAHASHI*** and *Yoshihiko OHTANI**

In this paper, fundamental and quantitative evaluation and examination of the shadow caused in place of sports lighting, by using reduced scale model to have imitated tennis court, are described.

The results obtained by this study are as follows:

- (1) State of shadow can be examined quantitatively by images of shadow factor obtained from two photographs taken by CCD camera, scene with shadow and scene without shadow.
- (2) It has been cleared that the maximum of the shadow factor and the change in the range of the shadow decreases regardless of the position of the shadow caster when height and the number of light sources increase, and the aiming point is provided far away from the center of the court.

キーワード：スポーツ照明，影，CCD カメラ，画像，定量評価

1. 緒 言

近年、競技場や TV でのスポーツ観戦や、余暇としてスポーツを楽しむ機会が増えており、夜間、野外で行われるスポーツに果たす照明の役割は大きいものと考えられる。しかしながら、フィールド上に競技者の影が目立つ場合があり、時には見苦しく感じることもあるため、なるべくこのような影は和らげる必要がある。この影の問題について、CIE (国際照明委員会) でも取り上げられるようになってきたが¹⁾、実用的な設計資料がないのが現状である。

一方、著者らの一人は、広範囲の輝度 (階調) 分布を簡易に測定できる CCD カメラと、影の状態を定量的に表すことのできる影の深さ²⁾を利用し、影の状態を簡易に、かつ定量的に測定また検討できることを報告してい

る^{3),4)}。この方法は、様々な場面における影の評価に応用できるが、スポーツ競技においてフィールド上に生じる影の評価もその一つであると考えられる。

そこで、スポーツ照明において影を考慮した照明設計の一助となるデータを得ることを目的とし、夜間の照明されたスポーツフィールドを想定した縮尺模型を用いて競技者を模擬した遮光物体によって生じる影の場면을、CCD カメラと画像処理装置によって取り込み、特に光源の数、高さ、エイミングポイントに着目し、これらを種々変化させた場合の、影の状態の基礎的かつ定量的な評価と検討を試みたので報告する。

2. 実験の概要

2.1 実験装置

実験装置の概要を Fig.1 に示す。反射を防ぐために、

*日本大学生産工学部電気電子工学科

**栗原工業(株)

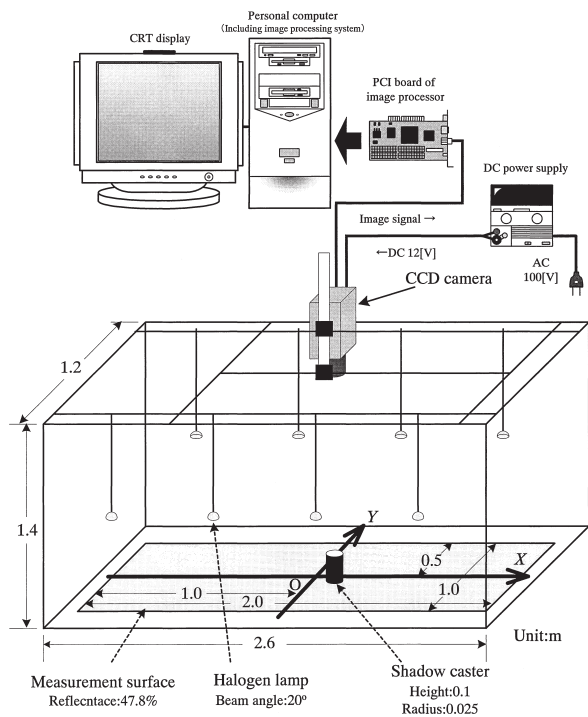


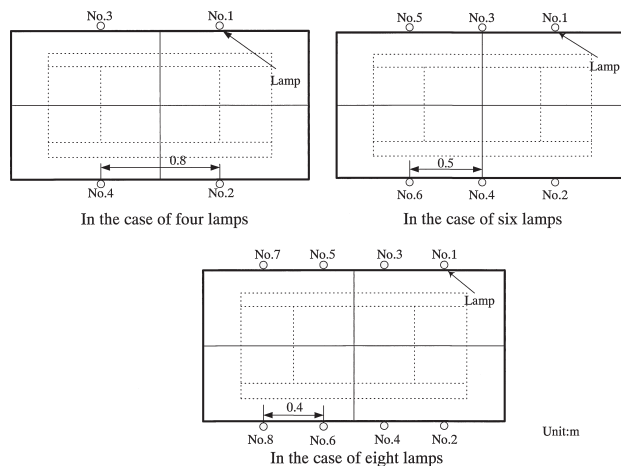
Fig.1 Schematic of experimental equipment

つや消し黒色塗料を施した鉄製のフレームで骨組みを作製した。測定面は幅 2.0 m、奥行き 1.0 m であり、反射率が 47.8% の拡散性の塗料が施されている。なお、測定面中心を原点 O とした X 軸, Y 軸を設定した。光源は、投光器に見立てたビーム角の開きが 20° の配光を持つハロゲン電球 (松下電器産業株式会社製: JR 12 V 35 WKM/3) を用い、フレームに取り付けた。

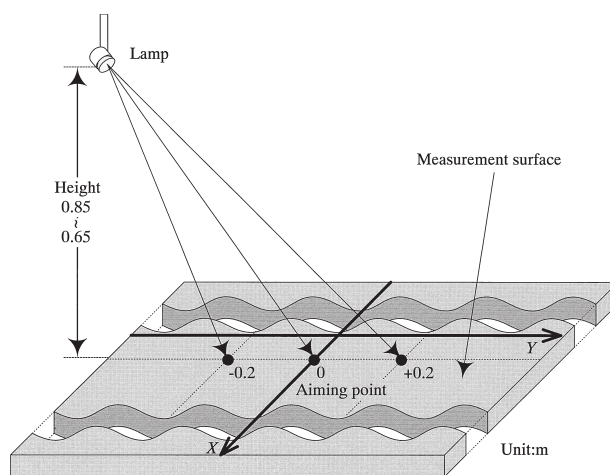
光源の設置条件を Fig. 2(a), (b) に示す。光源の数は 4 灯, 6 灯, 8 灯とし, Fig. 2(a) に示すような等間隔の配置とした。光源の高さは 0.65 m, 0.75 m, 0.85 m の 3 通りとした。光源のエイミングポイントは, Fig. 2(b) に示すように X 軸上, すなわち光源の中心を Y 軸に対して平行に X 軸へ向けた場合を 0 とし, 光源から見て測定面の奥行き方向の寸法の半分未満となる X 軸の手前 0.2 m の位置へ光源を向けた場合を -0.2 m, 測定面の奥行き方向の寸法の半分よりも大きくなる X 軸の奥 0.2 m の位置へ光源を向けた場合を +0.2 m とした。

測定面上に競技者の影を生じさせるため, つや消し黒色塗料を施した半径 0.025 m, 高さ 0.1 m の円柱状の遮光物体を設置した。なお今回は基礎的検討ということで, 簡単な形状の遮光物体で反射率のない状態とした。測定面上の遮光物体の位置を Fig. 3 に示す。競技者は常に動いていることを考慮し, X 軸方向に 0.15 m から 0.75 m まで 0.30 m 間隔に, Y 軸方向に 0 m から 0.30 m まで 0.15 m 間隔に移動させた。

遮光物体の真上の位置に CCD カメラ (ソニー株式会社製: SSC-M 350) を設置し, 影の状態を撮影する。撮



(a) Number of lamp



(b) Height aiming point of lamp

Fig. 2 Setting of lamp

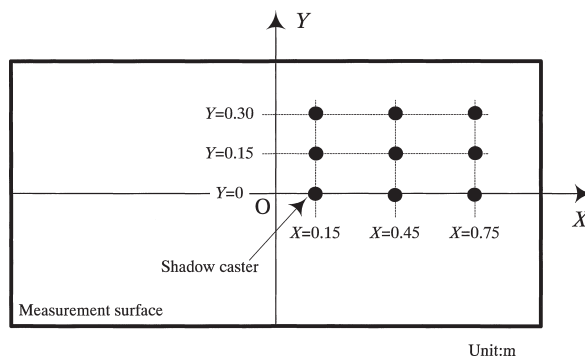
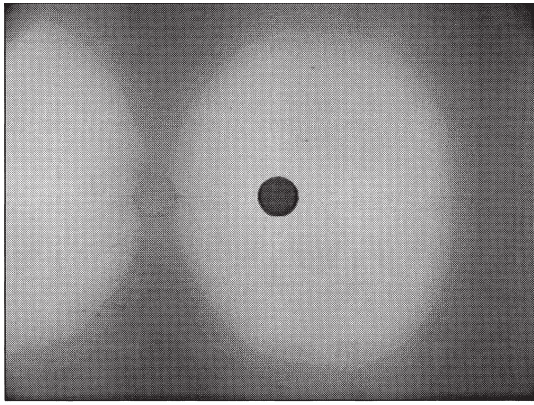


Fig. 3 Position of shadow caster

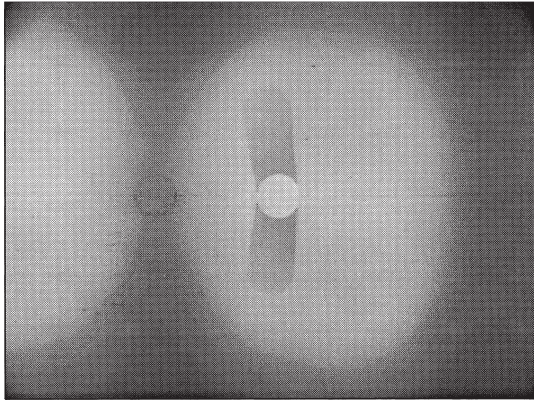
影された画像は画像処理装置によって取り込まれ, パーソナルコンピュータ上で表示ならびに処理することができる。

2.2 測定手順

前節で述べたように, CCD カメラを用いて遮光物体によって測定面上に生じた影の状態を撮影する。撮影された画像の一例を Fig. 4 に示す。(a) は影のないときの画



(a) Image including no shadow



(b) Image including shadow

Fig. 4 Examples of images photographed by CCD camera

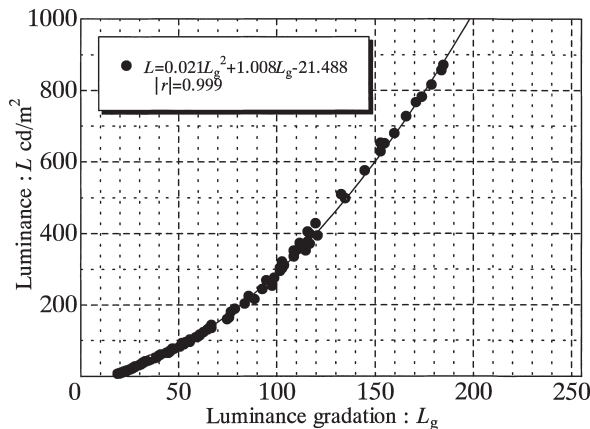


Fig. 5 Characteristic of luminance to luminance gradation

像, (b)は影のあるときの画像である。なお, (a)の画像中央部には, 画像処理により遮光物体を切り取るための黒い紙が貼付してある。

撮影された画像から得られるデータは8ビット256段

階の輝度階調であるため, 輝度階調を輝度に変換する必要がある。そこで, 実験に用いる CCD カメラの輝度階調と輝度の関係を測定し, Fig. 5 に示すような輝度階調-輝度特性を得た。なお CCD カメラの絞りは4, 焦点距離は14 mm である。輝度階調と輝度との間に相関関係が見られ, 最小二乗法により式(1)を導出した。

$$L = 0.021L_g^2 + 1.008L_g + 21.488 \text{ cd/m}^2 \quad (|r|=0.999) \quad (1)$$

ここで, L は輝度, L_g は輝度階調である。

次に, 撮影された画像から影の深さ²⁾を用いて, 影の深さの画像を作成する。

影の深さ S は, 同じ点における影のないときの照度を E_0 , 影のあるときの照度を E_s とすると, 以下の式で表される²⁾。

$$S = \frac{E_0 - E_s}{E_s} \quad (2)$$

式(2)より, 影の深さは照度によって算出されるが, CCD カメラから得られる値は輝度階調, すなわち輝度に比例した値である。よって, 影の深さを輝度によって算出する必要がある。

測定面が均等拡散であると仮定すると, 測定面の同じ点における照度 E と輝度 L との関係は, 測定面の反射率 ρ を用いて, 式(3)で表される⁵⁾。

$$E = \frac{\pi L}{\rho} \quad (3)$$

ここで, 同じ点における影のないときの輝度を L_0 , 影のあるときの輝度を L_s とし, 式(3)の E を E_0 または E_s , L を L_0 または L_s に置き換え, それぞれ式(2)に代入することで, 輝度による影の深さを求めることができる^{3), 4)}。

$$S = \frac{E_0 - E_s}{E_s} = \frac{\frac{\pi L_0}{\rho} - \frac{\pi L_s}{\rho}}{\frac{\pi L_0}{\rho}} = \frac{L_0 - L_s}{L_s} \quad (4)$$

式(4)を用いるためには, 前述したように測定面が均等拡散であることが望まれる。そこで, 均等拡散性の確認を行うため, 測定面上の同じ点における照度と反射輝度から, 式(5)で算出される反射特性関数 ρ'_ϕ ⁶⁾の手法により, 測定面の反射(指向)特性を測定した。

$$\rho'_\phi = \frac{L'_\phi \times \cos \phi'}{E_\phi} \quad (5)$$

ここで, ϕ は入射角, ϕ' は反射角, E_ϕ は入射角 ϕ における水平面照度, L'_ϕ は反射角 ϕ' における輝度である。

測定面の反射(指向)特性を Fig. 6 に示す。測定面に対する入射光が $-60^\circ \sim -75^\circ$ ならびに $60^\circ \sim 75^\circ$ の範囲で, 理論値から外れた値, すなわち正反射成分が生じている。しかし, 影の状態を撮影する際に遮光物体の真上から撮影すること, また CCD カメラで用いるレンズの開き角が $\pm 30^\circ$ 以内⁷⁾であることを考慮し, 撮影範囲はほ

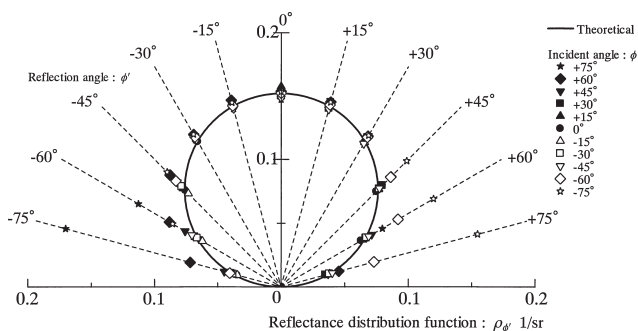


Fig. 6 Reflectance distribution on measurement surface

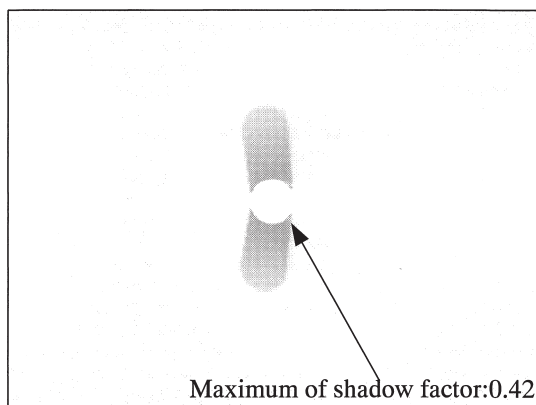


Fig. 7 Image of shadow factor

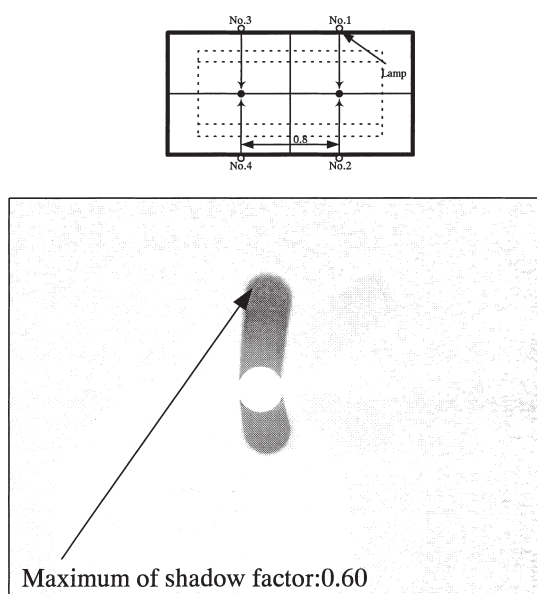
ほぼ均等拡散性であるとみなした。

Fig. 7 に, Fig. 4 の画像を用いて, 式(4)の処理を行った結果である, 影の深さの画像を示す。なお, 影の深さの画像を作成する際, 画像にノイズが含まれる場合があるので, メディアンフィルタ⁸⁾を用いてノイズの除去を行った。

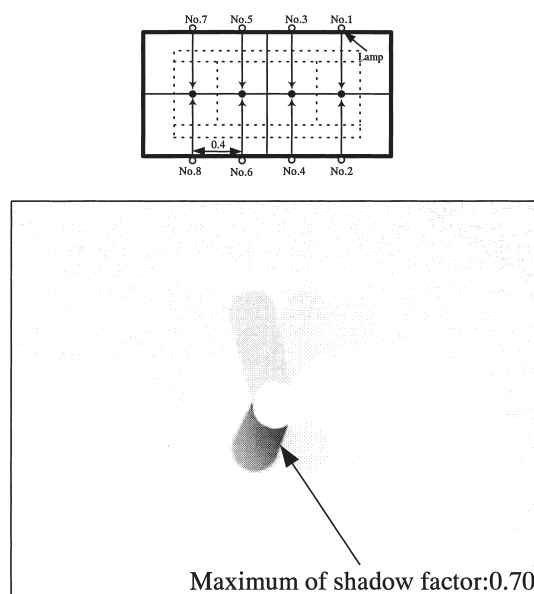
3. 結果と検討

結果の一例として, 遮光物体を $X=0.45$ m, $Y=0.15$ m に設置し, 光源の高さを 0.75 m, エイミングポイントを 0 m とした場合の, 影の深さの画像を Fig. 8(a), (b) に示す。(a) は光源の数が 4, (b) は 8 の場合である。光源の数が増えることで影の状態も変化しており, また影の特性として, Fig. 8 に示した影の深さの画像における影の深さの最大値, すなわち階調が最小となる画素を算出したところ, 光源の数が 4 から 8 へと増加することで, 0.60 から 0.70 と増加していることがわかる。このような影の深さの最大値により, 影の生じている程度を知ることができるものと考えられる。

Fig. 8(a), (b) に示した影の深さの画像から作成した, 影の深さが 0.1 以上の範囲を Fig. 9(a), (b) に示す。(a) は光源の数が 4, (b) は 8 の場合である。なお, 影の深さを 0.1 以上としたのは, Moon が述べた「もし影を避け得ない場合でも, 照度の変化は 10% 以下を限度とすべきである」⁹⁾ との言葉に基づいている。影の範囲の割合として, 撮影範囲の全画素数に対する影の深さが 0.1 以上の画素



(a) Number of lamps is 4



(b) Number of lamps is 8

Fig. 8 Image of shadow factor

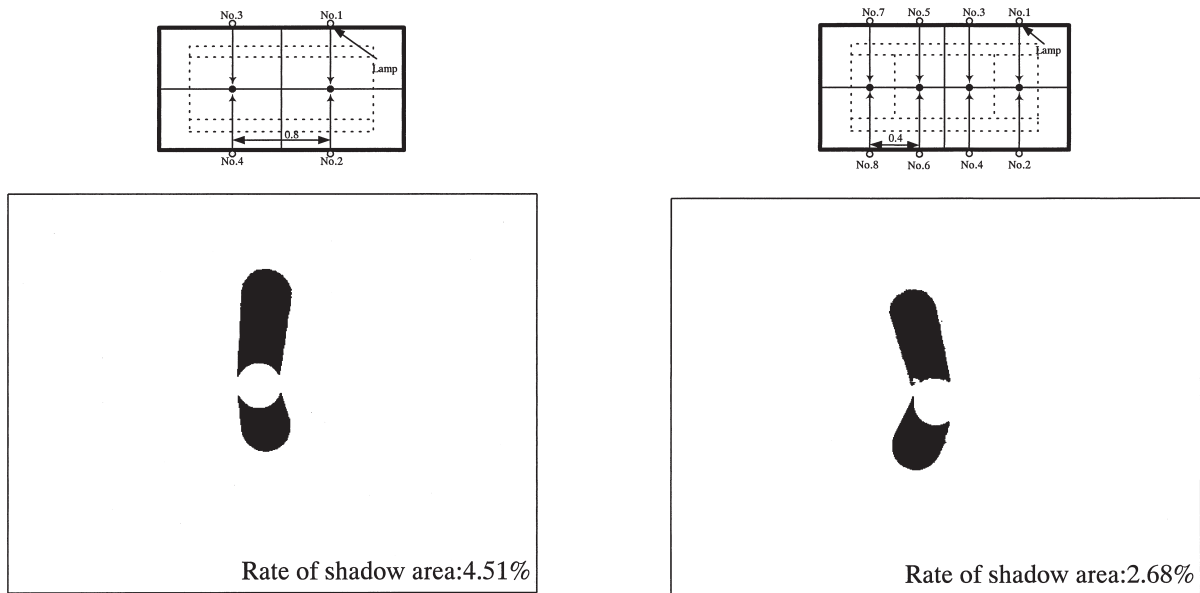


Fig.9 Image of area by shadow factor above 0.1

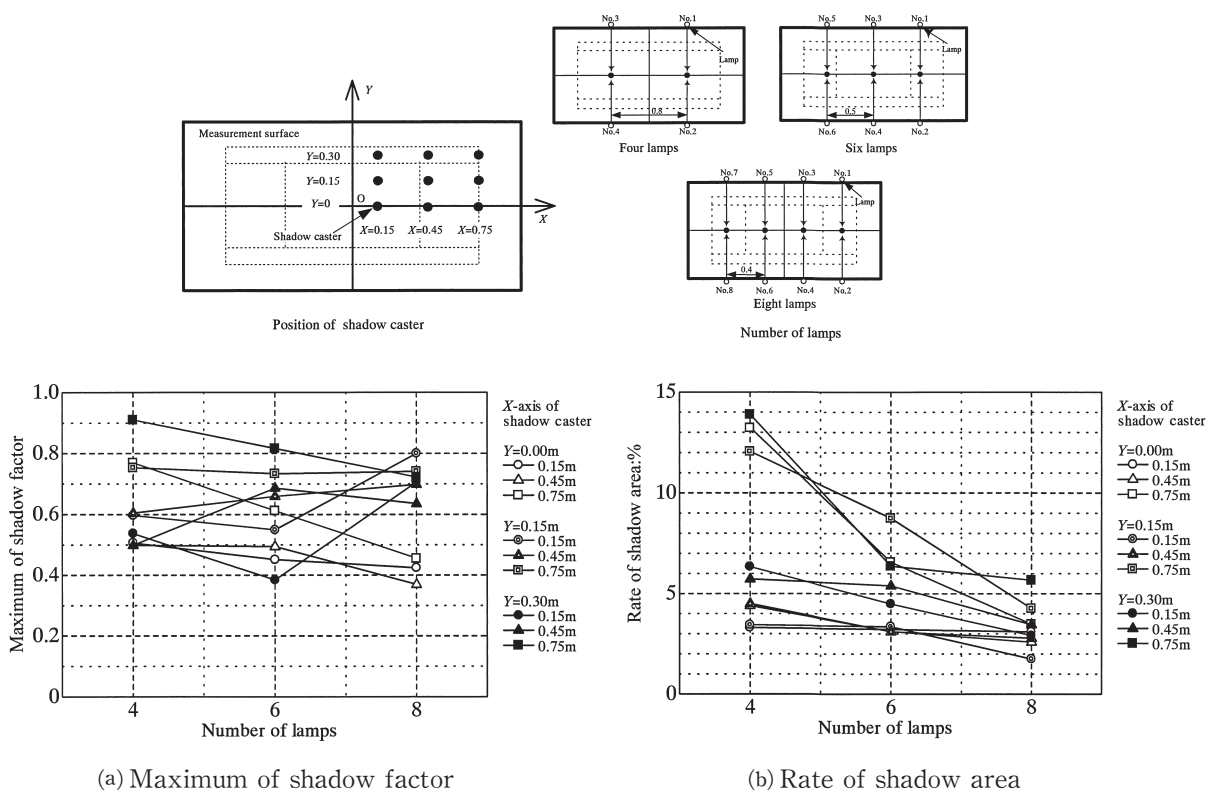


Fig.10 Characteristics of shadow to number of lamps

の総和の割合を算出したところ、光源の数が増加することで4.51%から2.68%と減少していることがわかる。このような影の範囲の割合により、邪魔となる影の範囲の程度を知ることができるものと考えられる。

以後、Fig.8、Fig.9にそれぞれ示すような、影の深さの最大値と、影の範囲の割合に着目し、影の特性の定量的な評価を行うこととした。

3.1 光源の数を変化させた場合

Fig.10(a)、(b)に、光源の高さを0.75m、光源のエイミングポイントを0mとした場合の、遮光物体の位置をパラメータとした、光源の数に対する影の特性を示す。(a)は影の深さの最大値特性、(b)は影の範囲の割合特性である。

Fig.10(a)より、光源の数の増加に従い、一部を除き、

影の深さの最大値は小さくなる。遮光物体の位置が $X=0.15\text{ m}$, $Y=0.15\text{ m}$ の場合、 $X=0.15\text{ m}$, $Y=0.30\text{ m}$ の場合においては、光源の数が8灯であるときに影の深さの最大値が大きくなるが、これは光源 No.3 によってできた影の影響であると考えられる。 $X=0.45\text{ m}$, $Y=0.15\text{ m}$ の場合も同様に、光源の数が8灯であるときに影の深さの最大値が大きくなるが、これは光源 No.1 と No.3 によってできた影の影響であると考えられる。また、遮光物体の移動によって変化する値の幅は、光源の数が4灯の場合で0.50から0.91までの0.41、光源の数が6灯の場合で0.38から0.82までの0.44、光源の数が8灯の場合で0.37から0.80までの0.43であり、ほとんど変化しない。

Fig. 10 (b)より、光源の数の増加に従い、全ての遮光物体の位置について、影の範囲の割合が小さくなる。すなわち、影は光源の数ほど生じるが、それぞれの光源によって薄めあうことが示されている。また、遮光物体の位置によって変化する値の幅は、光源の数が4灯の場合で、3.31%から13.89%までの10.58%、光源の数が6灯の場合で3.10%から8.75%までの5.65%、光源の数が8灯の場合で1.75%から5.56%までの3.81%であり、光源の数が増加することで変化する値の幅が小さくなる。

3.2 光源の高さを変化させた場合

Fig. 11 (a), (b)に、光源のエイミングポイントを0 mとした場合の、遮光物体の位置をパラメータとした、光源の高さに対する影の特性を示す。(a)は影の深さの最

大値特性、(b)は影の範囲の割合特性である。なお、光源の数は前節で影の深さの最大値、影の範囲の割合の値が共に低くなる8としている。

Fig. 11 (a)より、遮光物体が $Y=0.00\text{ m}$ の場合は、光源の高さに関わらず約0.4から0.5とほぼ一定の値であるのに対し、遮光物体が $Y=0.15\text{ m}$, 0.30 m の場合は、光源の高さが高くなるに従って、値が約0.8から0.6まで小さくなる。これは、光源と測定面の距離が離れることによって、影のないときの輝度が小さくなるためと考えられる。また、遮光物体の移動によって変化する値の幅は、光源の高さが0.65 mの場合で0.35から0.86まで0.51、光源の高さが0.75 mの場合で0.37から0.80まで0.43、光源の高さが0.85 mの場合で0.44から0.69まで0.25となり、光源の高さが高くなると変化する値の幅が小さくなる。

Fig. 11 (b)より、光源の高さに関わらず、影の範囲はほとんど変化しない。これは、光源と遮光球、被照面との幾何学的関係から、光源の高さが低いと影の面積は大きくなるが、他の光源によって影が薄まることで影の面積が減少し、逆に光源の高さが高いと影の面積が減少するため、結果として光源の高さに依存しないものと考えられる。また、遮光物体の移動によって変化する値の幅は、光源の高さが0.65 mの場合で1.44%から6.42%まで4.98%、光源の高さが0.75 mの場合で1.75%から5.56%まで3.81%、光源の高さが0.85 mの場合で2.64%から6.02%まで3.38%であり、光源の高さが高く

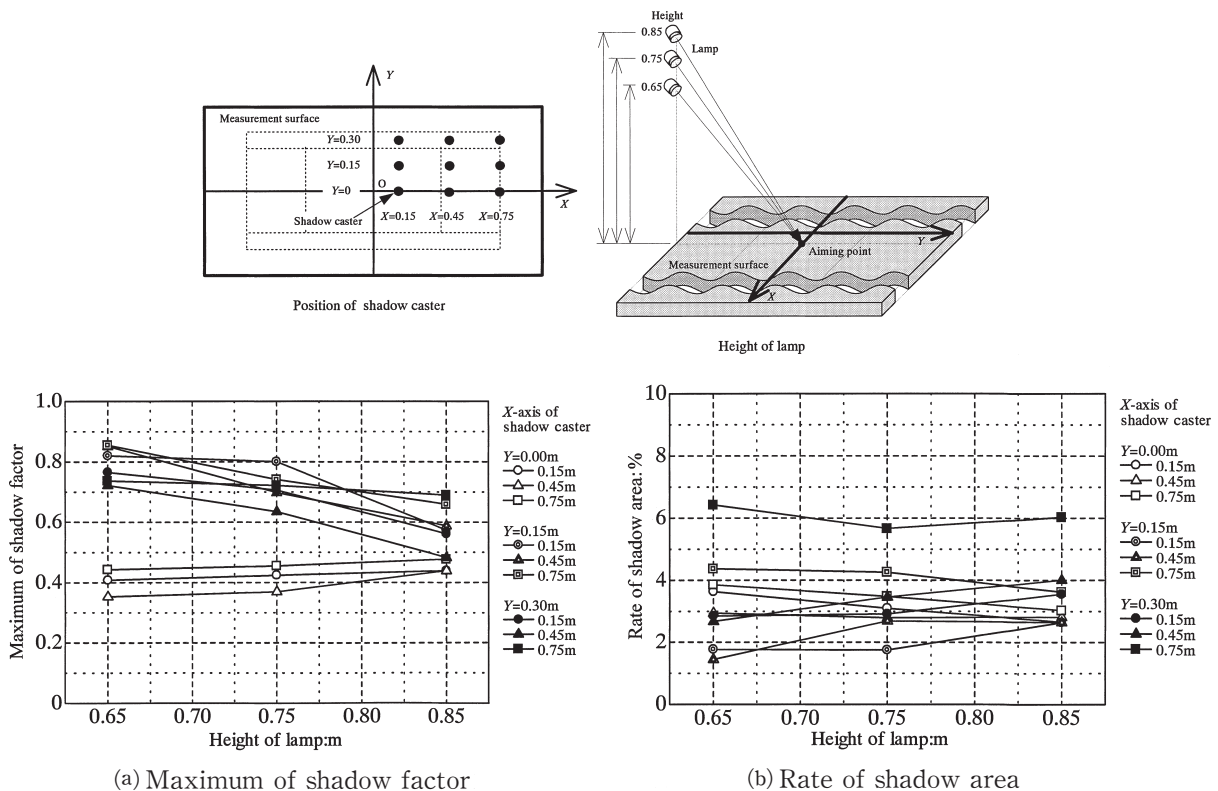


Fig. 11 Characteristics of shadow to height of lamps

なると変化する値の幅が小さくなる。

3.3 光源のエイミングポイントを変化させた場合

Fig.12(a), (b)に, 光源の高さを0.75 m, 光源の数を8灯とした場合の, 遮光物体の位置をパラメータとした, 光源のエイミングポイントに対する影の特性を示す。(a)は影の深さの最大値特性, (b)は影の範囲の割合特性である。

Fig.12(a)より, 遮光物体が $Y=0$ m の場合, エイミングポイントが $+0.2$ m で, 影の深さの最大値は約0.7から0.8の大きい値となる。これは, エイミングポイントが光源から離れた位置であり, 測定面上の光源に近い位置がビーム角から外れるためと考えられる。遮光物体が $Y=0.15$ m, 0.30 m の場合, エイミングポイントが 0 m で, 影の深さの最大値は小さくなる。これは, 光源 No.1や光源 No.3による影を, 光源 No.2や光源 No.4によって和らげる効果が大いことを示している。また, 遮光物体の移動によって変化する値の幅は, エイミングポイントが -0.2 m の場合で0.29から0.93まで0.64, エイミングポイントが 0 m の場合で0.37から0.80まで0.43, エイミングポイントが $+0.2$ m の場合で0.69から0.87まで0.18となり, エイミングポイントが -0.2 m から $+0.2$ m まで移動するに従い, 変化する値の幅が小さくなる。

Fig.12(b)より, エイミングポイントが -0.2 m の場合で, すべての遮光物体の位置において影の範囲の割合が小さくなる。これは, 光源と遮光物体の幾何学的な関

係と考えられる。また, 遮光物体の移動によって変化する値の幅は, エイミングポイントが -0.2 m の場合で0.68%から4.88%まで4.20%, エイミングポイントが 0 m の場合で1.75%から5.56%まで3.81%, エイミングポイントが $+0.2$ m の場合で2.88%から5.06%まで2.18%であり, エイミングポイントが -0.2 m から $+0.2$ m まで移動するに従い, 変化する値の幅が小さくなる。

4. 結言

スポーツ照明において生じる影の基礎的かつ定量的な評価と検討を, CCDカメラから得た画像と影の深さをを用いて行った。

その結果, 本論で述べた手法により, 影の状態を定量的に表すことのできる影の深さの画像を得ることができた。すなわち影の特性として, 影の深さの最大値や影の生じる範囲を抽出し, 影の定量的な検討が可能となる。

また上記の手法を用い, スポーツフィールドを想定した縮尺模型を用いた影の評価および検討として, 光源の数, 高さ, エイミングポイントを変化させた場合について試みたところ, 以下のことが明らかとなった。

- ① 光源の数が增加することで, 影の深さの最大値, 影の範囲の割合は減少する傾向にあり, また影の範囲の割合が変化する値の範囲を小さくできる。
- ② 光源の高さが高くなることで, 影の範囲の割合はほとんど変化しないものの, 影の深さの最大値を減

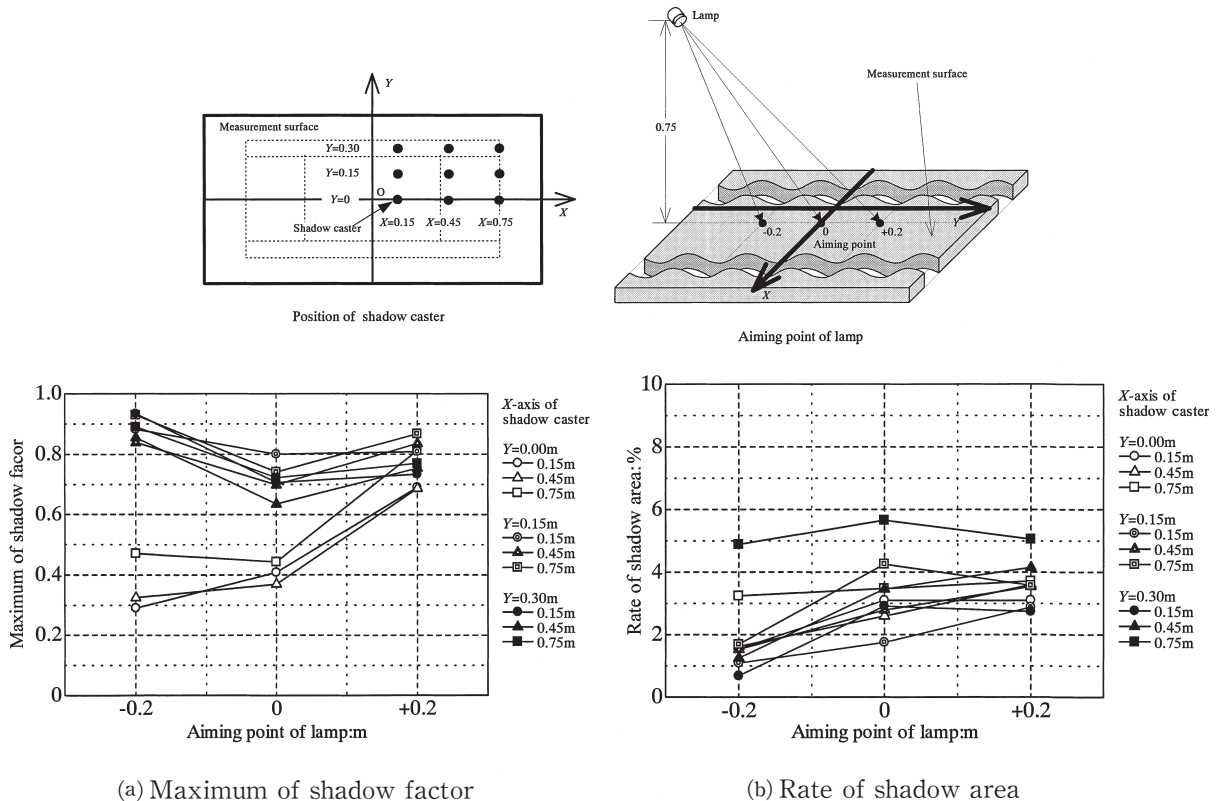


Fig.12 Characteristics of shadow to aiming point of lamps

小さくすることができ、影の深さの最大値、影の範囲の割合の変化する値の範囲を小さくできる。

- ③ 光源のエイミングポイントを変化させた場合、測定面の奥行き方向の寸法の半分未満に設定すると、影の範囲の割合の値を小さくすることができる。一方、測定面の奥行き方向の寸法の半分より大きく設定すると、影の深さの最大値や影の範囲の割合の値が変化する値の範囲を小さくすることができる。

今回は、フィールド上に生じる影のみを取り扱ったが、今後は撮影方向を含めた測定方法の改良はもちろんのこと、輝度分布との対応、スポーツ照明基準との対応についての検討を行い、実際の照明設計に役立つデータを揃える必要があるものと考えられる。

なお、本研究の一部は平成14年度日本大学学術研究助成金（奨励研究）によるものである。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 川上ほか：スポーツ照明における影の評価の研究—TV観戦の場合—, 照明学会誌, 84-5 (2000) pp.267-272
- 2) Norden, K. : Shadow and Diffusion in Illuminating Engineering, Sir Isaac Sons, Ltd., London (1948) pp.3-5
- 3) 大谷ほか：画像処理装置による照明評価の一方法について, 日本大学生産工学部研究報告, 第25巻, 第2号 (1992) pp.55-63
- 4) Ohtani, Y. et al. : On a Measurement of the Shadow Factor by the Use of a Digital Image Processing System (Part 1. Fundamental Experiments), Proceedings of the 2nd Pacific Basin Lighting Conference (1993) pp.32-37
- 5) (株)照明学会編：照明工学 (新版), オーム社 (1997) p.8
- 6) 松浦ほか：建築材料の偏光を用いた反射指向特性の測定, 建築学会計画系論文集, 第388号 (1988) pp.15-21
- 7) ソニー(株)編：SONY 業務用／教育用機器 総合カタログ (1999) pp.34-35
- 8) 村上：画像処理工学, 東京電機大学出版局 (1996) p.62
- 9) Moon, P. : Scientific Basis of Illuminating Engineering, Dover Publications, Inc., New York (1936) pp.507-514

(H 15. 6. 4 受理)