

LED投光器を備えた野球場で起こるボール消失現象の評価技術

Technology to Evaluate Ball Disappearance Phenomenon at Baseball Stadiums with LED Lighting

東 洋邦 佐々木 淳 秦 由季

■HIGASHI Hirokuni

■SASAKI Jun

■HATA Yuki

野球場の照明設備は、これまでHID（高輝度放電）ランプの投光器を用いた照明設計が主流であったが、近年、LED（発光ダイオード）の高効率化と大光量化によって、LED投光器への置換えが進んでいる。その一方で、LED投光器を備えた照明柱を設置した野球場では、ボールが照明の発光面に重なると消えて見えなくなるボール消失現象が起こると言われ、選手や野球場関係者に不安感を与えている。

東芝ライテック（株）は、実際の野球場でのフィールド実験や照明が制御できる環境での室内実験により、ボール消失現象に影響を与える照明要因を明らかにするとともに、ボール消失現象を評価できる指標を開発した。今回得られた評価指標を用いることで、ボール消失現象に配慮した野球場の照明設計が可能になった。

In the field of lighting fixtures at baseball stadiums, the replacement of conventional high-intensity discharge (HID) floodlights by light-emitting diode (LED) floodlights, which offer both high luminous efficiency and high light intensity, has been progressing in recent years. In stadiums with LED lighting, however, the phenomenon of ball disappearance sometimes occurs when a ball's trajectory overlaps with the light-emission zone of the LED floodlights.

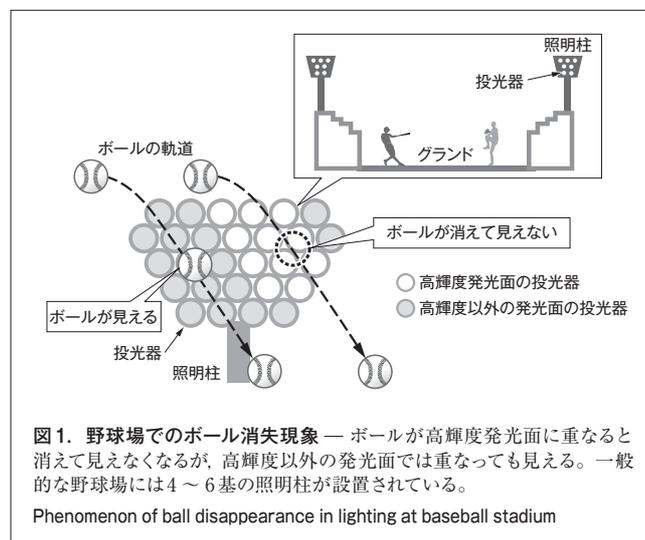
To address the concerns of players and personnel over the possible occurrence of this phenomenon at stadiums with LED lighting, Toshiba Lighting & Technology Corporation has conducted studies to clarify the factors of lighting that cause ball disappearance through experiments including field tests at baseball stadiums and indoor tests under a controlled lighting environment, and developed a technology to evaluate this phenomenon. This technology is expected to contribute to lighting design to reduce the phenomenon of ball disappearance at baseball stadiums illuminated by LED lighting.

1 まえがき

東京オリンピック・パラリンピック競技大会が開催される2020年が近づくと、スポーツ競技に対する関心が高まっている。また、大型スタジアムの野球場では、省エネ化の取組みとして、投光器を複数台備えた照明柱で、投光器のLED化が進められている。しかし、LED投光器を備えた照明柱を設置した野球場では、ボール消失現象という、ボールが輝度の高い発光面に重なると消えて見えなくなる現象（図1）が起こると話題にされ、選手や野球場関係者に不安感を与えている。

ボール消失現象は、減能グレア^(注1)の一種であるが、スポーツ施設の照明設計に関するJIS（日本工業規格）の規定には、グレアを不快グレアの評価指標GR（グレア評価値）で評価することしか記載されていないため⁽¹⁾、ボール消失現象については評価できない。

そこで、東芝ライテック（株）は、実際の野球場でのフィールド実験や照明が制御できる環境での室内実験により、ボール消失現象に影響を与える照明要因を明らかにし、ボール消失現象を評価できる指標を開発した。ここでは、実施した実験



結果や、その結果を基に開発した評価方法の特長などについて述べる。

2 ボール消失現象に関する実験

これまで、減能グレアに関する研究は数多く行われてきたが⁽²⁾、一般に照明設計は発光面を直接見ることを前提としていない

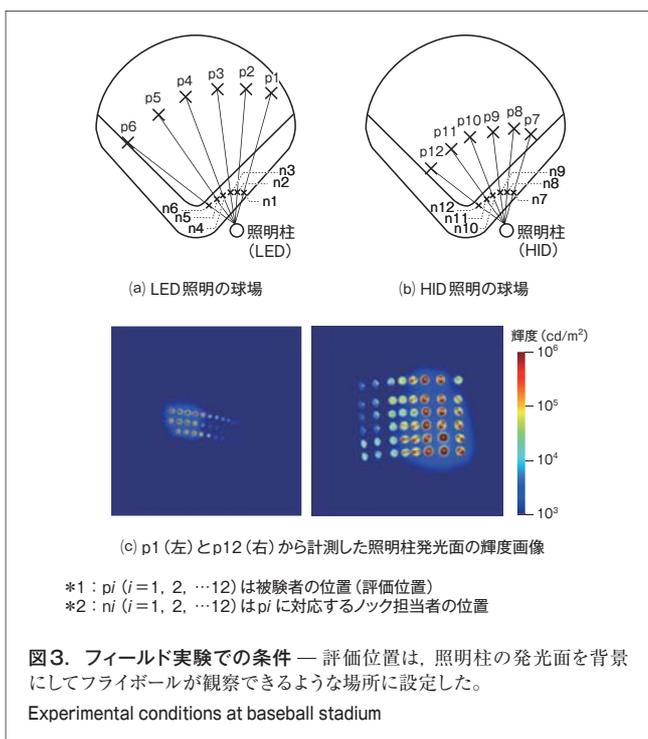
(注1) グレアは、視野内のまぶしい光により、視認性の低下や不快感などが引き起こされる視覚現象。減能グレアは視認性の低下に、不快グレアは不快感に関するグレアである。

ため周辺視野を対象にしてきた。ボール消失現象は、発光面とボールが重なったときに起こる、中心視野の減能グレアであるため、報告例が少ない。

当社は、ボール消失現象にもっとも影響があると考えられる発光面の輝度に着目し、これらの関係を明らかにするために、2種類の被験者実験を行った。

2.1 フィールド実験⁽³⁾

発光面でボール消失現象が起こるおよそのしきい値輝度を把握するために、野球選手を被験者として、当社製LED投光器の照明柱と当社製HID投光器の照明柱が設置されている二つの球場で夜間に実験を行った。ノック担当者によって打ち上げられたフライボールを、被験者が照明柱の発光面を背景にして追跡し、“消えて見えない”と“消えずに見える”の2択で評価した(図2)。また、評価位置は図3に示す12か所とし、各位置で20回試行した。

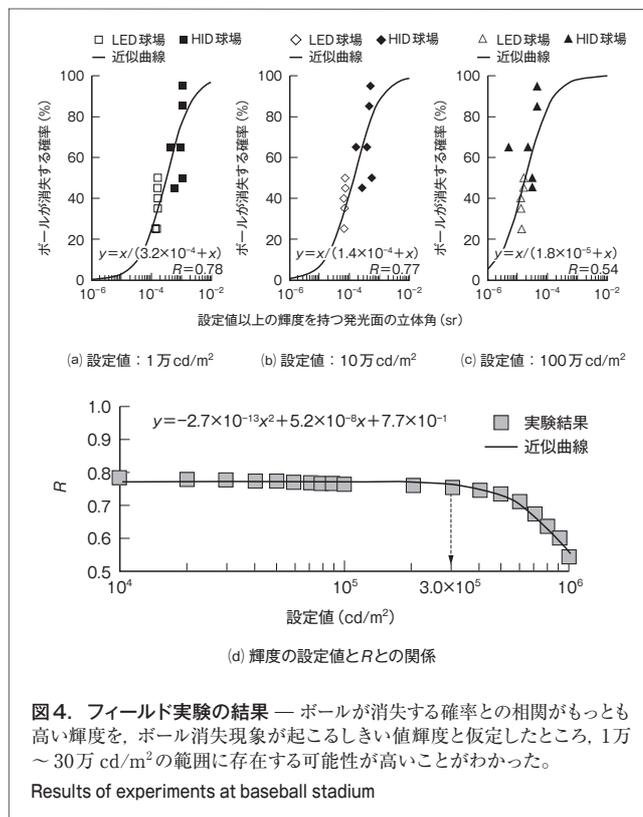


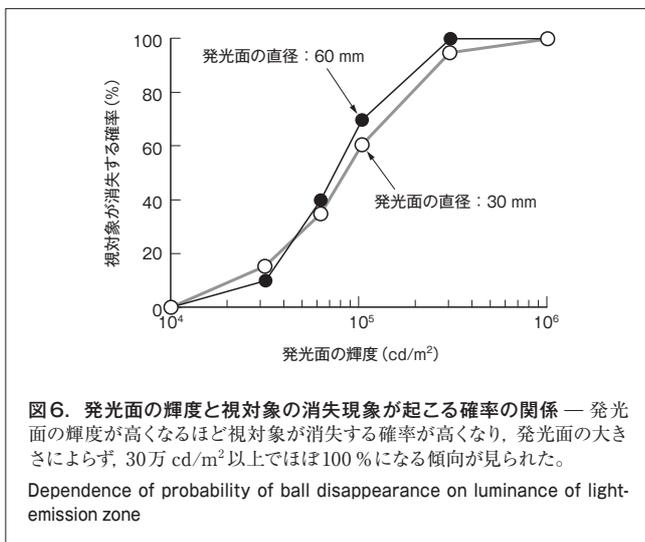
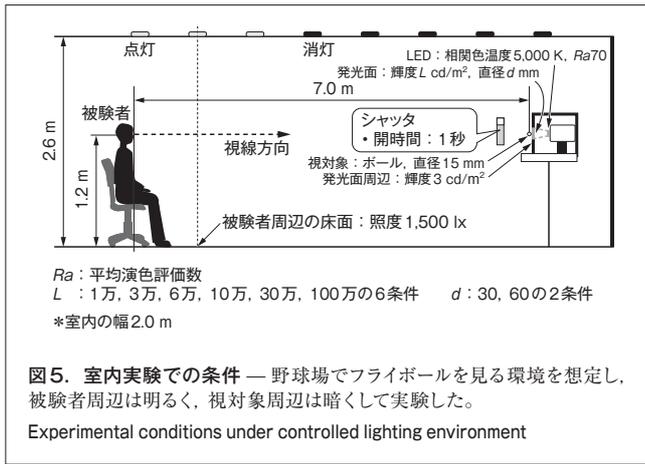
ある値の輝度を設定し、それ以上の輝度を持つ発光面の大きさ(被験者から発光面を見込んだ立体角に相当)とボールが消失する確率の相関がもっとも高ければ、その値はボール消失現象が起こるしきい値輝度であるという仮説を立て、評価結果の分析を行った。設定値以上の輝度を持つ発光面の立体角と、各評価位置における結果との関係を示した例が図4(a), (b), (c)である。縦軸のボールが消失する確率は、消えて見えないと回答した回数を全試行回数の20で除した値である。一般に、主観評価と物理量との関係はS形状になることから、S字曲線となる非線形関数で近似した。

図4(a), (b)では、設定値以上の輝度を持つ発光面の立体角が大きいほどボールが消失する確率は高くなる傾向を示し、相関係数 R は0.8に近い値であった。一方、図4(c)では、 R が低くなる傾向を示した。図4(a), (b), (c)以外の輝度に対しても R を求めたところ、設定値が1万~30万 cd/m^2 まではほぼ同じ値で、その後は徐々に減少する傾向を示した(図4(d))。このことから、少なくともボール消失現象が起こるしきい値輝度は、1万~30万 cd/m^2 の範囲に存在する可能性が高いと言える。

2.2 室内実験⁽⁴⁾

フィールド実験結果として得られた、しきい値輝度が存在する可能性が高い1万~30万 cd/m^2 において、ボール消失現象と発光面の輝度との関係を明らかにするため、室内に照明が制御できる環境を構築し、被験者20名に対して実験を行った(図5)。



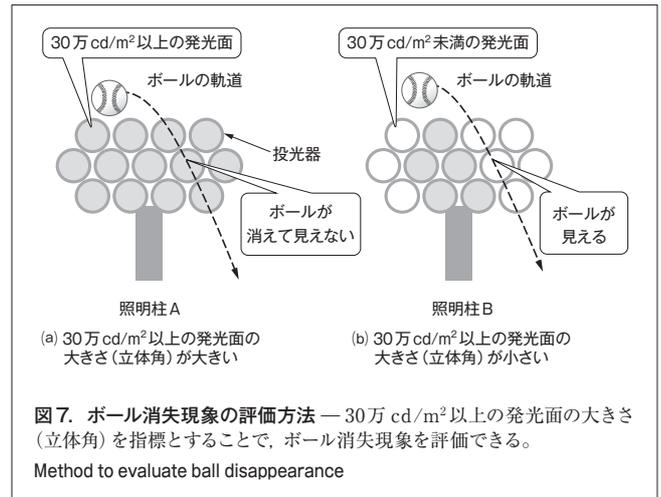


被験者は、正面にあるシャッターを固視し、シャッターが1秒間開いたときに、発光面を背景に提示された視対象が“見えた”か“見えなかった”かの2択で評価した。発光面の平均輝度 (cd/m^2) は、背面からのLEDの出力を変えることで調節し、1万、3万、6万、10万、30万、及び100万の6条件とした。また、発光面の大きさは、直径 (mm) が30及び60の2条件とした。

結果を図6に示す。視対象が消失する確率は、発光面の大きさによらず、平均輝度が1万 cd/m^2 のときに0%で、3万～10万 cd/m^2 にかけて徐々に高くなり、30万 cd/m^2 以上ではほぼ100%になる傾向が見られた。

3 ボール消失現象の評価指標

評価指標としては、野球などでの捕球ミスにつながるボール消失現象を確実に評価できるものが望ましい。2章で述べた実験結果から、ほぼ100%の確率でボールが消失する30万 cd/m^2 をしきい値輝度とすれば、確実にボール消失現象を評価できると考えられる。



3.1 指標を用いた評価方法

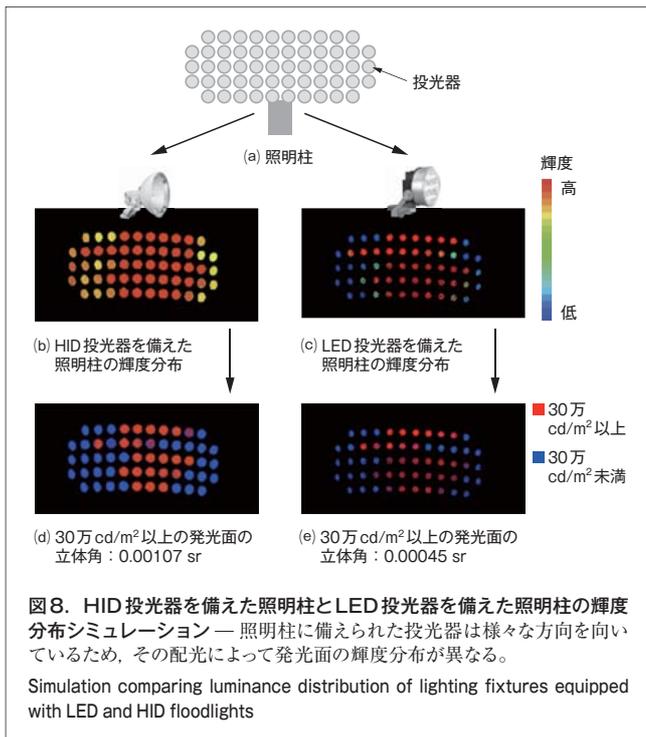
指標を用いてボール消失現象を評価する方法を、図7で説明する。全てが30万 cd/m^2 以上の発光面である投光器を備えた照明柱Aと、一部だけ30万 cd/m^2 以上の発光面である投光器を備えた照明柱Bがあるとすると、Aでは、ボールがどの部分を通過しても消えて見えなくなるが、Bでは、ボールの軌道によっては見えることがある。つまり、AのほうがBよりもボール消失現象が起こる確率が高いと言える。したがって、30万 cd/m^2 以上の発光面の大きさ、すなわち立体角を指標として用いれば、AとBでのボール消失現象の起こりやすさを比較できる。

3.2 HID投光器と当社製LED投光器の比較

30万 cd/m^2 以上の発光面の立体角を指標にして、HID投光器を備えた照明柱での評価と、狙った場所以外への照明ロスを抑制した配光が特長の、当社製LED投光器を備えた照明柱での評価を比較した。

それぞれの照明柱における発光面の輝度分布シミュレーションを行い、30万 cd/m^2 以上の発光面を抽出したものを図8に示す。シミュレーションでは、それぞれ同じビーム角を持つメタルハライドランプ1.5 kW相当の投光器として計算した。HID投光器を設置した照明柱では、発光面全体で高い輝度になっているが、当社製LED投光器を備えた照明柱では、高い輝度の発光面が中央部分に集中していることがわかった(図8(b), (c))。またこのとき、30万 cd/m^2 以上の発光面の立体角は、HID投光器を備えた照明柱が0.00107 srで、当社製LED投光器を備えた照明柱が0.00045 srであった(図8(d), (e))。したがって、当社製LED投光器を設置した照明柱のほうが、HID投光器を設置した照明柱よりもボール消失現象が起こりにくいと考えられる。

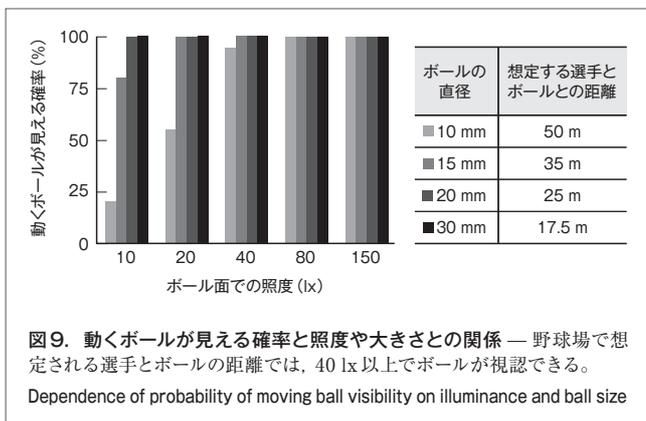
今回開発した指標と評価方法を用いて照明設計を行えば、ボール消失現象が起こりにくい快適な競技環境を提供することができる。



4 発光面に重ならない領域での見え方

野球でフライボールを捕球する場合、照明柱の発光面ではなく、夜空を背景にしてボールを見ることもある。そこで、ボールが発光面に重ならない領域での見え方についても、ここで簡単に述べる。

ボールの視認性に関するJISの推奨照度は、グラウンド面付近を対象にしていて⁽¹⁾、フライボールのように高い位置に飛んだときの視認性に関する規定はない。そこで、夜空を背景にして動くボールを見るのに必要な照度に関する実験を行った。図5と類似の照明環境と視力1.0以上の被験者20名で、反射率90%の動くボールに対する視認性評価を行った(図9)。ボールのサイズとボール面での照度を変数として見えるかどうかを評価したところ、40 lx以上の照度があれば、選手とボ-



ールとの想定距離が50 m離れていても見えることがわかった。また、一般の照明柱の高さに近い35 mの想定距離では、20 lx以上の照度で見えることがわかった。

一般に、LED投光器はHID投光器より指向性が強く、これを備えた照明柱ではフライボールが見えにくいと言われている。しかし、視認性に関しては、野球場の規模にもよるが、ボール面での照度が40 lx以上であれば見えると考えられる。

5 あとがき

スポーツ施設の照明器具は、遠い位置からグラウンド面に光を照射するため、照明器具の発光面輝度が高くなる。一方、その発光面がまぶしいからと輝度を下げると、JISが規定するグラウンド面の照度⁽¹⁾が確保できないおそれがある。そのため、視線がグラウンド面だけでなく様々な方向に向く野球場では、ボールの見え方を妨げにくくするために、30万 cd/m²以上の発光面の立体角を小さくする照明設計が重要と考えられる。

今後、野球場ではLED投光器が主流になっていくと予想されるが、快適に競技ができる照明環境を実現するには、高い輝度を持つ発光面の立体角を小さくできるLED投光器、例えば照明率の高い当社製LED投光器など、を用いた設計が有効である。

文 献

- (1) JIS Z 9127:2011. スポーツ照明基準.
- (2) Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). CIE Collection on Glare 2002. Austria, CIE, 2002, 146/147:2002, 25p.
- (3) 東 洋邦 他. 高輝度発光面がボールの消失現象に与える影響. 照明学会誌. 100, 6, 2016, p.234 - 237.
- (4) 東 洋邦. "ボールの消失現象と発光面の輝度との関係". 第49回照明学会全国大会講演論文集. 照明学会, 東京, 2016-08, 照明学会, 2016, 06-01.



東 洋邦 HIGASHI Hirokuni

東芝ライテック(株) 技術・品質統括部 研究開発センター。
照明環境の設計・評価技術の研究に従事。照明学会, 日本照明委員会, 日本視覚学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



佐々木 淳 SASAKI Jun

東芝ライテック(株) システム事業部 システム技術部。
光学設計技術の研究に従事。照明学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.



秦 由季 HATA Yuki

東芝ライテック(株) 技術・品質統括部 研究開発センター。
照明環境の設計・評価技術の研究に従事。日本建築学会会員。
Toshiba Lighting & Technology Corp.