

グラウンド照明用環境配慮型投光器の光学設計

Optical Design for Environment-Conscious Floodlights for Ground Lighting

西村 唯史* ・ 村上 忠史** ・ 山内 哲** ・ 河野 裕光***
Tadashi Nishimura Tadashi Murakami Satoru Yamauchi Hiromitsu Kawano

グラウンドの照明に使用する投光器の光学設計において、樋状の反射鏡のコーナ部に放物面の一部を設けることにより、周辺への漏れ光を十分に抑制しながら照明率の低下を防いだ投光器を開発した。従来の投光器のように、軸対称の反射鏡の光軸上にランプを配置する光学系では、漏れ光抑制のためにルーバを設置すると照明率が大きく低下する。一方、樋状の反射鏡にランプを水平に配置し、反射鏡自体で上方光を少なくした上で、必要最小限のルーバを付加する手段が有効である。しかし、単純な樋状の反射鏡では、水平方向の光の制御が難しく、所要の光軸光度を得にくい。そこで、樋状の反射鏡と側面板とのコーナ部分に放物面の一部を設け、光を光軸に集めることによって所要の光軸光度を確保し、グラウンド内外ともに良好な照明環境を実現できるようになった。

A floodlight, which adequately suppresses spill light into the vicinity of grounds and maintains its utilization factor, has been developed. This was made possible by providing a paraboloidal section on the corner of the gutter-shaped reflector in the optical design of floodlights to be used for ground lighting. If louvers are provided on conventional floodlights, which are equipped with an optical system where a lamp is located on an optical axis of the axisymmetric reflector to suppress spill light, then the utilization factor will be significantly reduced. On the other hand, the means to add the minimum number of required louvers to a floodlight, whose lamp is arranged horizontally relative to its gutter-shaped reflector and the reflector reduces light directing upward, will be effective. However, it is difficult to control the horizontally directed light and obtain the required axial light intensity with a simple gutter-shaped reflector. Therefore, a paraboloidal section was provided on the corners of the gutter-shaped reflector and side plates in order to focus the light on the axis. Consequently, the required axial light intensity has been secured and a good lighting environment has been achieved both inside and outside the grounds.

1. ま え が き

近年、都市における夜間活動の増大に伴ない、道路照明、建物のライトアップ、グラウンドの夜間照明などが増え続けている。これに伴って、これらの夜間照明施設からの漏れ光が住宅や交通機関などに対して悪影響を及ぼす光害が発生するケースも多くなってきている。

これに対し環境省は、夜間照明を適正化し良好な照明環境の実現を図るために、ガイドライン¹⁾やマニュアル²⁾を発行し、屋外照明計画の重要な指針として定着させつつある。とくに、街路灯や道路灯は、周囲環境に応じて上方光束比(ランプ光束のうち水平より上方へ向かう光束の比率)

が制限され、一定の成果を上げている。しかし、グラウンド照明などに使用される投光器については、設置条件が多様であるため、一義的な制限値を設定することが難しく、十分な対策がとられていないのが現状である。

従来からよく用いられた投光器の光害対策に、ルーバを設置する方法がある(図1)。しかし、この方法では漏れ光の抑制効果が十分でない上に、照明率(効率)も同時に低下するため、ルーバなしの場合と同じ設計照度を維持するには台数を増やす必要があり、イニシャルコストに加えて電気代やランプ交換費などのランニングコストが増加する欠点があった。

そこで今回、上記の問題点を解決するため、光漏れの原

* 照明事業本部 中央照明エンジニアリング総合部 Central Lighting Engineering Division, Lighting Manufacturing Business Unit

** 照明事業本部 照明R&Dセンター Research & Development Center, Lighting Manufacturing Business Unit

*** 照明事業本部 施設・屋外照明事業部 Industrial & Exterior Lighting Division, Lighting Manufacturing Business Unit



図1 ルーバ付き投光器



図2 環境配慮型投光器「アウルビーム」

因となる上方向の光を反射板によって下方向に制御し、グラウンドへの有効な光を極力維持するような環境配慮型投光器「アウルビーム」(図2)を開発した³⁾。本稿では、その光学系を中心に報告する。

2. 目標配光

図3に標準的なグラウンド照明における投光器と住宅の位置関係を示す。投光器は、競技者に対するグレア(まぶしさ)を抑えるために、グラウンドの中心線から見た仰角が約20°以上になる高さに設置される。さらに、中心付近の明るさを確保するために、投光器の光軸(最大光度の位置)は、グラウンドの中心付近まで向けられることが多い。この場合、光軸から上方15°よりも上側の光が、周辺への漏れ光になる。したがって、漏れ光を抑制するには、光軸から上方15°の光度に一定の規制値を設定する必要がある。

CIE(国際照明委員会)は、屋外照明設備による障害光の規制ガイド⁴⁾を発行し、居住者へのグレアを抑制するために、住宅の方向に向かう光の光度を表1のように規制している。この値は、住宅の方向を向く照明器具個々に適用される。グラウンド照明の利用時間帯はおおむね17時~21時であり、立地条件は郊外の住宅地が多いことを考慮して、今回は規制時間帯以外・環境区域E3(郊外)の10000 cd以下を目標値とした。

表1 CIEの光度の規制値

	環境区域			
	E1: 自然	E2: 田園	E3: 郊外	E4: 都市
規制時間帯以外 (cd)	2,500	7,500	10,000	25,000
規制時間帯(深夜)(cd)	0*	500	1,000	2,500

*公共(道路)の照明の場合は、500 cdまで許容される。

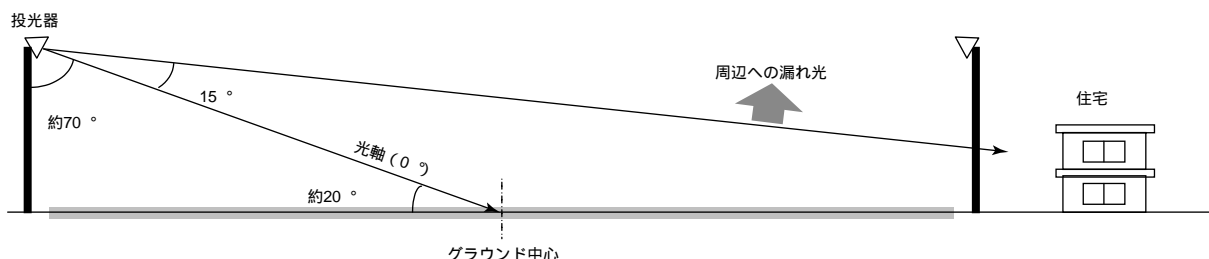


図3 グラウンド照明における投光器と住宅の位置関係

一方、上記の規制値を達成するために器具効率まで低下させてしまうと、使用台数の増加につながり省エネルギーに反するため、器具効率に何らかの歯止めを設定する必要がある。ただし、器具効率は、ランプから出た光のうち器具の外に出てくる光の割合であり、グラウンドへの入射光だけでなく周辺への漏れ光も含んでいるため、パラメータとしては適切でない。そこで、グラウンドへの入射光と比較的相関の高い光軸光度をパラメータとし、従来の丸型投光器(ルーバなし)と同等の値である1500 cd/1000 lm以上を目標値とした。

3. 光学設計

3.1 光学シミュレーションシステム

今回の光学設計では、後に述べるように光学形状が複雑になるので、3次元モデルをベースとする光学シミュレーションシステム ASAP^{*1)}を使用した。このシステムでは光路追跡法を用いた光学系の配光および効率計算が可能であり、光学設計から照明計算までを容易に行うことができ、実際のグラウンドからの漏れ光計算や所要器具台数を確認しながら光学設計を進めることができる。

また、反射鏡の3次元モデルを用いて、構造解析、熱解析、成形性解析、干渉チェックなどの光学系以外のCAEをコンカレントに行うことによって、開発期間の短縮にも寄与している。

3.2 基本光学設計方針

図1の従来型投光器のように、軸対称反射鏡の光軸上にランプを配置した場合には、漏れ光抑制のためのルーバを取り付けたときの器具効率低下が著しい。器具効率低下の主要因であるルーバの数を削減するためには、ランプを横置きにして主反射鏡自体で上方光を少なくする手法が考えられるが、一般的な板金加工で成形可能な形状では、目標の光軸光度1500 cd/1000 lm以上を実現するためには反射鏡が大きくなってしまう。そこで、複雑な形状も成形可能なアルミダイカスト製の反射鏡を使用し、漏れ光抑制設計をベースに主ビーム光度を向上させる光学形状を検討した。

3.3 漏れ光を抑制する光学設計

今回の場合、光軸から上方15°の目標光度値が10000 cd

以下であるので、光束 154000 lm の 1.5 kW メタルハライドランプの使用を想定すると 65 cd / 1000 lm であり、最大光度値からの光度値の減衰勾配が急峻である。そのため、実際の器具ではランプの位置ずれの影響や器具内の散乱光などによってシミュレーション値より 50 cd / 1000 lm 程度の増加は容易に起こり得る。したがって、初期設計上では、光軸上方 15° の光度値はゼロをねらいとした。

漏れ光を抑制する光学設計では、一般には発光部からの光が指定の方向に到達しないように幾何学的形状決定を行う。今回は、ランプバルブの表面における鏡面反射も考慮して、図4に示すように光軸上方 15° の方向からは、ランプバルブからの光も遮蔽するようにルーバの設計を行った。また、反射鏡の散乱反射による漏れ光を低減させ、かつ器具効率も上げるため、反射鏡の表面処理は高耐熱のアルミ蒸着処理を採用している。

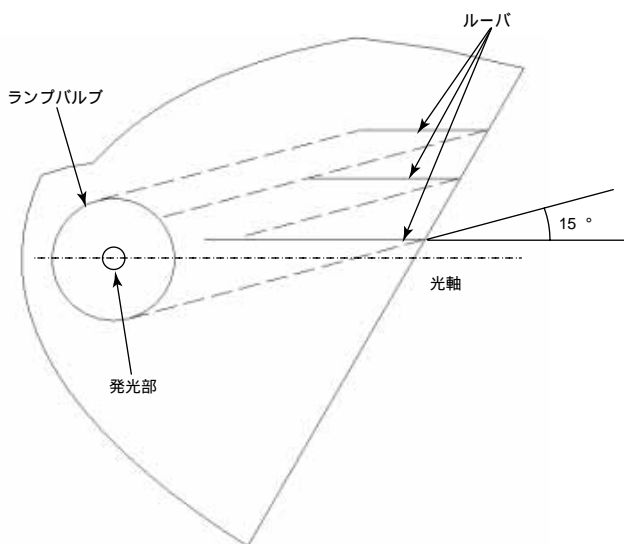


図4 主反射鏡の断面図

3.4 光軸光度の向上設計

次に、図4の断面形状の反射鏡では、光軸光度は 1000 cd / 1000 lm 程度しか達成できないので、反射鏡を大きくせずに、光軸光度を増加させる手法について述べる。

図5には反射鏡をほぼ光軸正面から見た図を示すが、一般的な板金によるいわゆる樋状の反射鏡では、同図領域Aの部分にのみランプの発光部の反射像が存在し、この部分しか中心光度には寄与しない。今回の設計では側面板Bとコーナ部分CとDに、放物面鏡の一部を配置することによって、この部分からも光軸方向へ光を供給している。以上の結果得られた配光を図6に示す。

図7は、従来の樋状反射鏡と今回開発した反射鏡の光軸正面の照度分布を比較したものである。20 m × 20 m の平面に向かって距離 20 m の位置から照射した場合の照度分布を表している。今回開発した反射鏡では光軸上方への漏れ光カットが急峻に実現されており、光軸正面近傍の照度

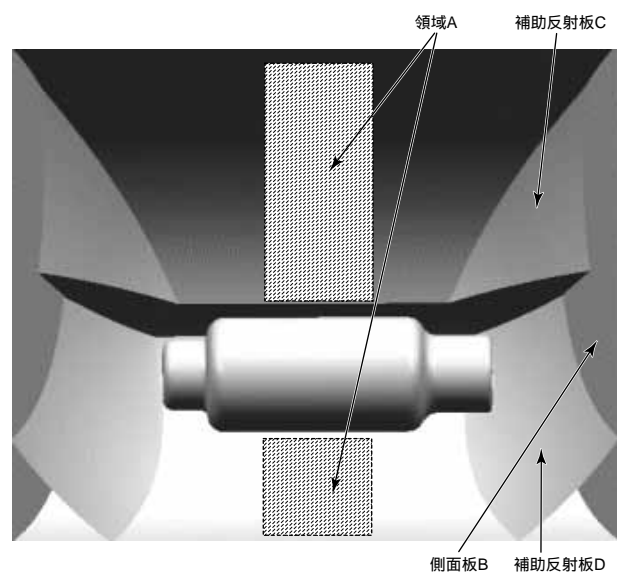


図5 光軸光度増加のための補助反射鏡

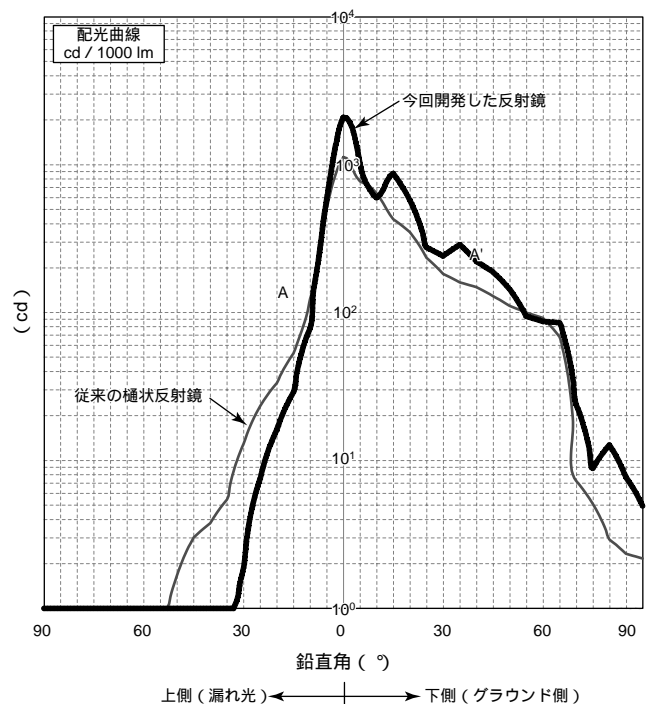


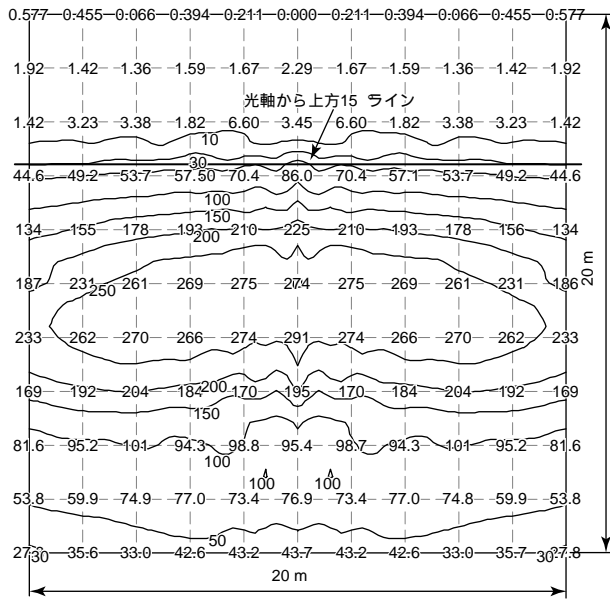
図6 器具の実測配光図

向上は、グラウンド照明率の向上すなわち器具台数削減に寄与することができる。

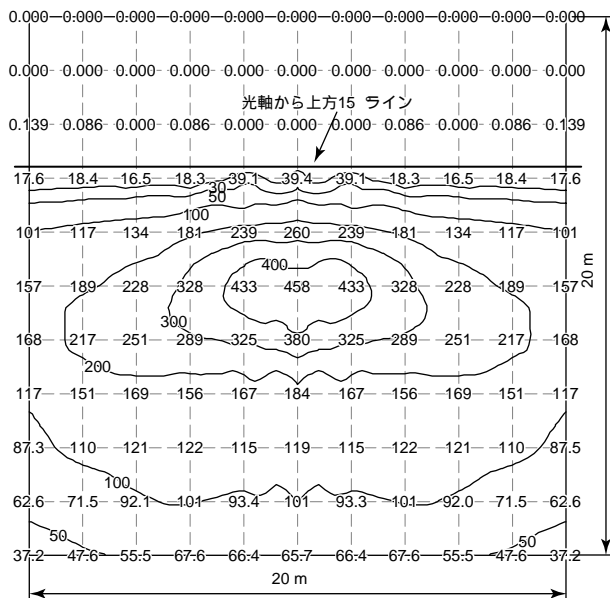
4. 光学性能評価

4.1 光度値比較

従来の投光器と今回開発した環境配慮型投光器の光度値を比較したものを表2に示す。環境配慮型投光器の光軸光度は、約 2100 cd / 1000 lm と目標値の 1500 cd / 1000 lm 以上を十分に満足している。光軸から上方 15° の光度は、ルーバ付き投光器の場合、約 57000 cd と規制値の 10000 cd をはるかに超えているのに対し、環境配慮型投光器の場合



(a) 従来の楕状反射鏡



(b) 今回開発した反射鏡

図7 光軸正面20mの照度分布(単位: lx)

表2 各投光器の光度比較

	丸型投光器	ルーバ付き投光器	環境配慮型投光器
光軸光度(1,000 lm当り X cd)	約1,500	約1,350	約2,100
光軸から上方15°の光度(cd)	約86,400	約57,000	約3,200

注1) 丸型投光器, ルーバ付き投光器は, 広角形を使用した場合
 注2) ランプは, 1 kWメタルハライドランプを使用した場合

は, 約3200 cdと規制値を十分に下回っている。数値だけでは違いがわかりにくいので, 上方15°の方向から見た発光面の状態の比較を図8に示す。環境配慮型投光器のほうがルーバ付き投光器よりも厳しく漏れ光を抑制していることがわかる。

4.2 漏れ光の抑制効果

上記の光度値の比較は, 器具単体での評価であるが, 次に実際にグラウンドで使用した場合の漏れ光抑制効果について述べる。図9は, 標準的な多目的グラウンドの照明設計例である。ソフトボールコート2面またはサッカーコート1面がとれる広さであり, 設計照度はソフトボールの内

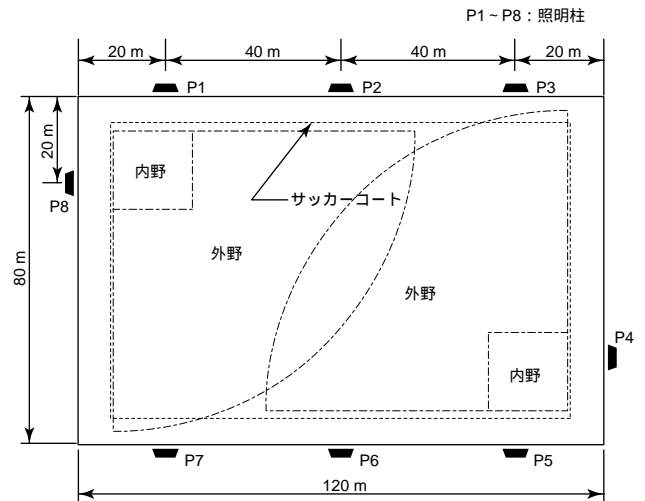
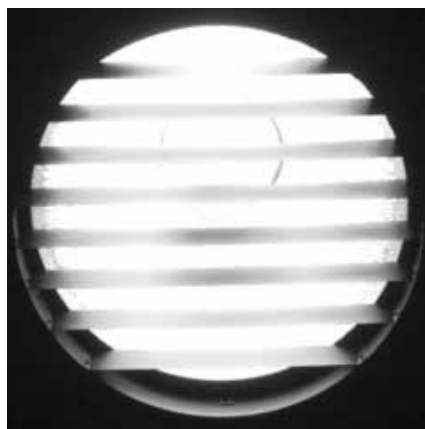


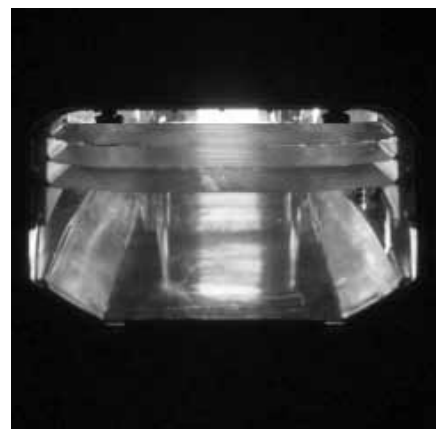
図9 多目的グラウンドの照明設計例



(a) 丸型投光器



(b) ルーバ付き投光器



(c) 環境配慮型投光器

図8 光軸から上方15°の方向から見た発光面の状態

野で200 lx以上、外野で100 lx以上、サッカーコートで100 lx以上を確保している。照明柱は、どちらの種目にも対応できるように8基設置し（P1～P8）、競技者へのグレアを抑制するために投光器の取付高さを15 m以上に設定している。表3に1 kWメタルハイドランプを使用した場合の各投光器の所要台数を示す。ルーバ付投光器の場合、ルーバなしの場合に比べて所要台数が約30%増加するが、環境配慮型投光器の場合は、同台数で設計が可能であり、省エネルギーになる。

表3 投光器の所要台数

丸型投光器	ルーバ付き投光器	環境配慮型投光器
48台（6台/基）	64台（8台/基）	48台（6台/基）

注1) 丸型投光器、ルーバ付き投光器は、広角形を使用した場合

注2) ランプは、1kWメタルハイドランプを使用した場合

次にグラウンド周辺への漏れ光の照度を比較する。図10は、グラウンドの中心方向に照度計を向けた場合の鉛直照度分布図であり、住宅の窓面における鉛直照度（以下、窓面照度と記す）の最大値を表す。グラウンドに隣接した地点で比較すると、環境配慮型投光器を使用した場合の窓面照度は、ルーバなしの場合の14%程度に、

ルーバを設置した場合の20%程度に抑えられている。これも数値だけではわかりにくいので、寝室の窓からの差込光の状態を、それぞれの窓面照度について比較して図11に示す⁵⁾。

4.3 照明事例

図12は、環境配慮型投光器を使用したグラウンドの照明事例である。サッカーコート1面を確保できる大きさのグラウンドを1 kWメタルハイドランプの環境配慮型投光器48台で照明し、設計照度で約200 lxを確保している。

グラウンドの周辺には住宅や農地が点在しており、計画段階から周辺への光害が心配されたが、環境配慮型投光器を使用し適切な照明設計を施すことによって、グラウンド内は十分な明るさを確保しながら、周辺への漏れ光を低いレベルに抑え、グラウンド内外ともに良好な照明環境を実現している。

5. あとがき

今回、グラウンド用の投光器としては初めて楕状の反射鏡を採用し、コーナ部に放物面の一部を付加することによって、漏れ光を抑制しながら照明率の低下を防いだ環境配慮型投光器を開発することができた。

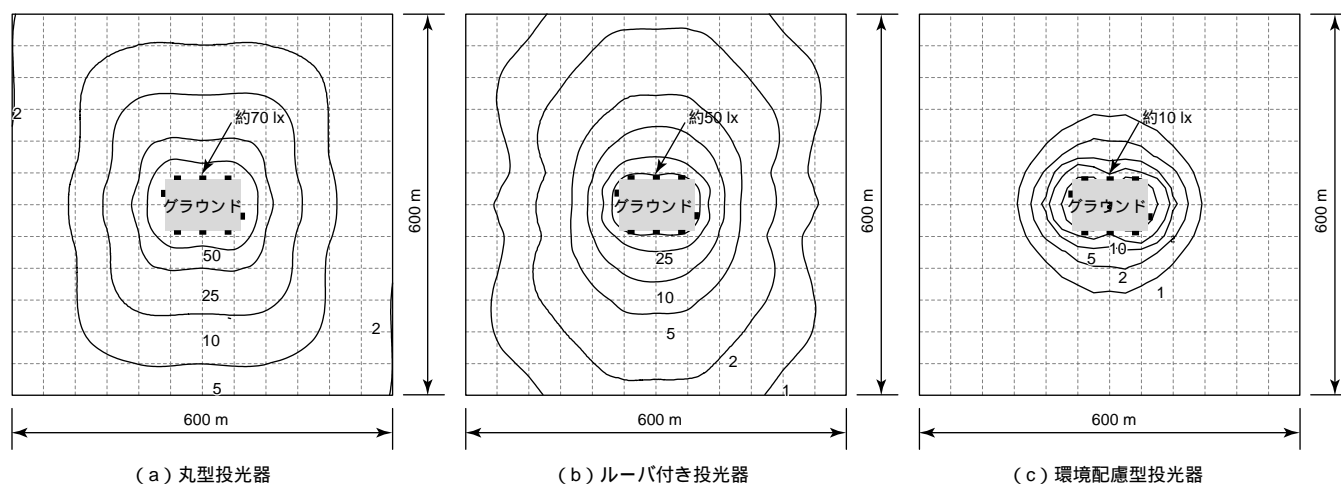


図10 漏れ光による鉛直照度分布図（単位：lx）



図11 寝室の窓からの差込光の状態



(a) 昼景



(b) 夜景

図12 多目的グラウンドの照明事例

近年の少子高齢化を背景に、従来の学校や企業単位ではなく、地域単位でスポーツ活動を行う組織「総合型地域スポーツクラブ」の設立が相次いでいる。地域スポーツクラブの活動場所は、学校や河川敷など身近にあるグラウンドが中心となる。このようなグラウンドは、住宅や農地に隣接していることが多く、光害が発生しやすい傾向があり、漏れ光抑制のための配慮がとくに重要になる。

一方、身近でスポーツに親しめる環境整備を支援するため、スポーツ振興くじによる助成制度が始まっている。ただし、夜間照明施設の整備事業については、周辺住民の了解を得ていることが条件となっており、光害対策は必須といえる。もちろん住民が反対する理由は、光害だけではなく騒音などの問題もあるが、この環境配慮型投光器による光害対策が、解決策の一つとなることを期待する。

●注

* 1) ASAP : Breault Research Organization 社の登録商標

* 参考文献

- 1) 環境省：光害対策ガイドライン（1998）
- 2) 環境省：地域照明環境計画策定マニュアル（2000）
- 3) 河野 裕光，西村 唯史，村上 忠史，山内 哲：環境配慮型投光器の開発，照明学会全国大会，p. 50（2003）
- 4) CIE：Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations, No. 150, p. 10（2003）
- 5) 西村 唯史，齋藤 良徳：屋外照明施設による住宅の窓面照度の許容値に関する検討，電気関係学会関西支部連合大会，G290（2003）