

プロジェクター用光源

東 忠 利

液晶プロジェクターなどの投写型ディスプレイは、娯楽用・教育用の大型映像機器としてのほか会議などのデータプロジェクターとして需要が増えており、またハイビジョン用大型 TV の一形式としても注目されている。

液晶あるいはマイクロミラーアレイなどを画像表示素子として使用した投写型ディスプレイでは照明用の光源が必要である。この用途に使用される光源としては(1)メタルハライドランプ、(2)ハロゲンランプ、(3)キセノンランプの3種類がある。

本稿では最近のプロジェクターの主要光源になっているメタルハライドランプを中心に解説する。

1. メタルハライドランプ

メタルハライドランプは石英製放電管に金属ハロゲン化物(メタルハライド)を水銀、アルゴンガスとともに封入した高(蒸気)圧放電ランプの一種である。

一般照明用メタルハライドランプではいろいろの種類のメタルハライドランプが使用されているが、プロジェクター用ランプは高演色性の高輝度光源である必要があるため、短アーク長化した希土類金属ハロゲン化物を封入したランプが一般的に使用されている。

プロジェクター用ランプは光の脈動を嫌うため、当初は矩形波交流電流で点灯されていたが、その後、長寿命タイプのランプとして直流点灯ランプが開発された。

1.1 交流点灯と直流点灯の違い

交流点灯の希土類金属入りランプでは比較的早期に放電管の石英ガラス表面に白濁が発生し、ランプの全光束

はあまり低下しなくとも集光率が低下してスクリーン光束が低下する現象がある。アーク長が短いほど、また大電力のランプほど(すなわち単位アーク長当たりの入力電力が増大するほど)白濁の発生が早くなると同時に、集光率の低下率が大きくなるため短アーク長化とともにランプの寿命が急速に短くなる。この白濁現象の抑制のため直流点灯ランプが開発された^{1,2)}。

直流点灯メタルハライドランプは直流点灯による発光物質の偏りを利用して白濁現象を大幅に抑制したもので、交流点灯ランプに比較して3倍程度の寿命が得られる。

また直流点灯ランプは点灯回路が安価になるメリットもある。矩形波交流点灯回路では一度直流にした後でFETで切り替えて交流にしているため、直流点灯では4個のFETとその制御回路が不要になる。

直流点灯の短所は初期発光効率が10%ほど低下すること、従来の単純な光学系では色むらが大きくなる傾向があることである。

しかし最近のデータプロジェクターでは照度均一性を向上するためにも光学的インテグレーターの使用が必要となり、直流点灯の色むらは問題にならなくなった。

1.2 分光分布

交流点灯の155 W ランプと直流点灯の155 W ランプの分光エネルギー分布を図1と図2に示す。ともに希土類金属が封入されていて、連続スペクトルを主成分とした分光分布から成り、本質的には同じである。

最近是集光率の向上のため短アーク長化が要望されている。液晶プロジェクターの実用化当初の7 mm 程度のアーク長から、しばらくは5 mm のアーク長が主流になっていたが、長寿命化が可能な直流点灯ランプの出現と

Light sources for projectors (1996年2月22日受理)
Tadatoshi HIGASHI ウシオ電機(株) (〒671-02 姫路市別所町佐土 1194)

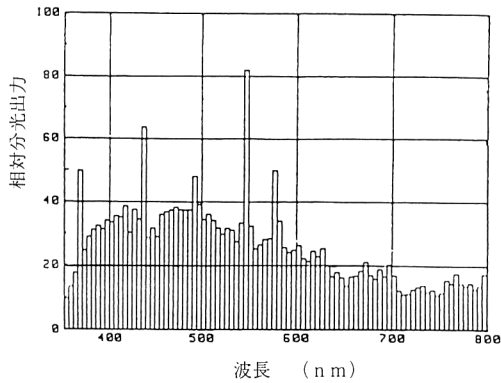


図1 交流点灯 155 W メタルハライドランプの分光分布 (アーク長 3 mm).

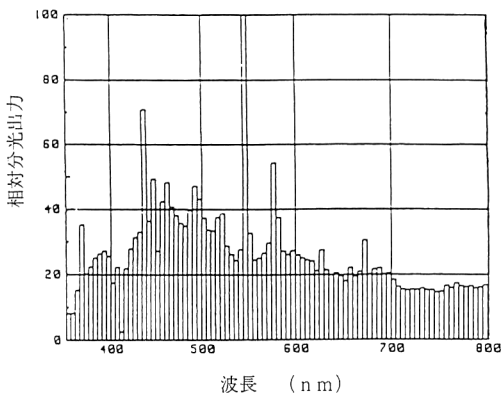


図2 直流点灯 155 W メタルハライドランプの分光分布 (アーク長 3 mm).

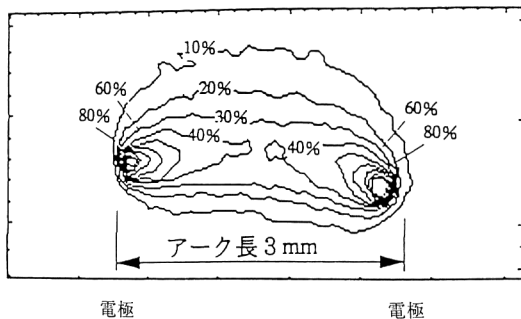


図3 交流点灯 155 W メタルハライドランプの輝度分布 (アーク長 3 mm).

インテグレーターの採用により最近では 3 mm のアーク長が主流になりつつある。アーク長が短くなると波長 436 nm, 546 nm, 578 nm にある水銀のスペクトル線の強度比が増大する。

1.3 輝度分布

交流点灯ランプの輝度分布は図 3 のように両電極の前

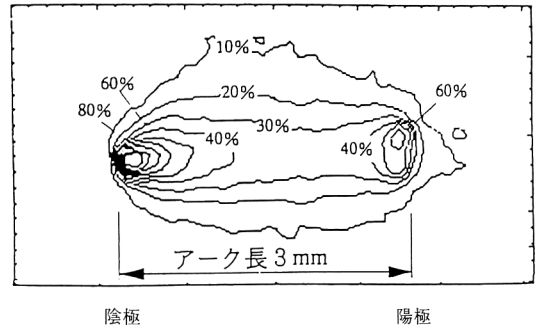


図4 直流点灯 155 W メタルハライドランプの輝度分布 (アーク長 3 mm).

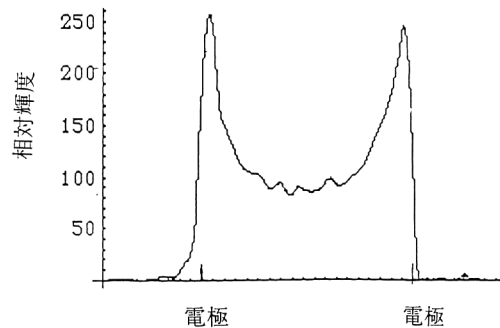


図5 交流点灯 155 W ランプのアーク軸方向輝度分布 (アーク長 3 mm).

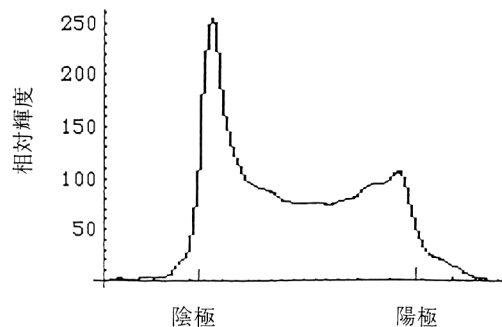


図6 直流点灯 155 W ランプのアーク軸方向輝度分布 (アーク長 3 mm).

面に輝点のある対称的な輝度分布であるが、直流点灯の輝度分布は図 4 のように陰極前面の輝点が高く、陽極前面の輝点は広がっているため輝度としては低い。図 5 と図 6 に交流点灯および直流放電軸に沿った輝度分布を示す。しかし直流点灯メタルハライドランプの場合は同じ直流点灯の短アーク型キセノンランプとは違って陰極前面の輝点の輝度はあまり高くなく、また陽極前面の輝度も比較的高いため、放電軸に垂直な方向の発光分を積分

した光度は図7に示すように電極間でほぼ一様である。

したがって、光の利用効率を高めるためには直流点灯ランプでも電極間の全光束を利用する必要がある。

1.4 寿命特性

図8にアーク長3mmの250Wランプについて代表的な光束維持特性を示す。交流点灯ランプのスクリーン光束半減寿命が500~1000時間に対し、直流点灯ランプ

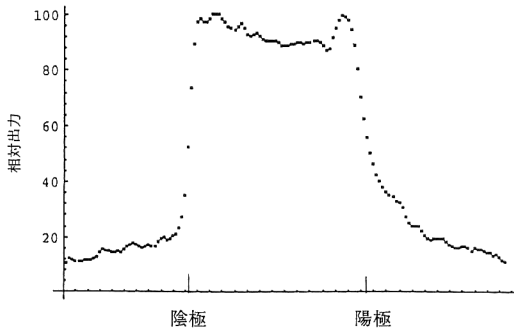


図7 直流点灯ランプのアーク軸垂直方向積分光度分布 (アーク長3mm)。

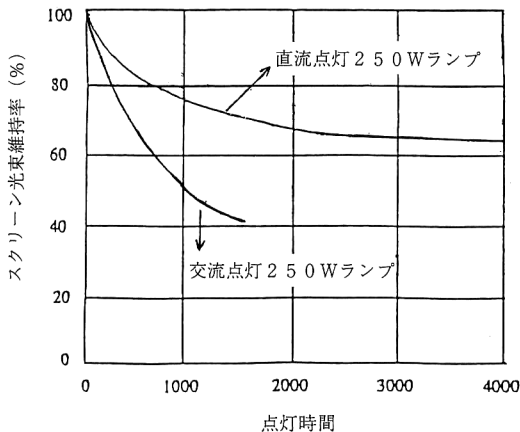


図8 交流点灯および直流点灯アーク長3mm 250W メタルハライドランプのスクリーン光束減衰特性 (3インチ液晶パネル光学系)。

では1500~5000時間程度である。交流点灯ランプでも直流点灯ランプでもランプ寿命と効率は相反関係にあり、上記のように一定の範囲内では調節が可能である。

1.5 効率に影響するパラメーター

効率に大きく影響するパラメーターには、(1)アーク長 (ランプ電圧)、(2)発光色、(3)寿命の3つがある。

(1) アーク長

アーク長を短縮すると集光効率はよくなるが一般にランプ効率は低下する。アーク長の短縮はランプ電圧の低下に結びつき、電極損失比の増大により効率が低下する。アーク長が7mm→5mm→3mmと短縮されるとに効率は5~10%程度ずつ低下した。

(2) 発光色

ランプ効率は眼の視感度で評価されるものであるからランプの発光色 (分光分布) と効率の間には大きな関係がある。ランプが全波長域で黒体放射と同じ分光分布の光を発光するとすると色温度が6000K近辺の発光が最も効率のよい光になるが、発光域が可視波長域に限定されると最も効率のよい分光分布は色温度5000K以下の光になる。

したがって、一般にプロジェクター用光源に要求されている色温度6000K以上の領域では、色温度の高い発光色ほどランプ効率は低下する。

また黒体放射からの色度ずれが緑方向にずれていればランプ効率が高くなるが、ピンク方向にずれていればランプ効率は低くなる。スクリーン上の白色色度があまり緑気味になると好ましくないことと、リフレクターの赤外線除去フィルターなどにより長波長赤成分や青成分が除去されるため、ランプ単体に比較しスクリーン上の光は緑色方向にずれた光になる。したがって、ランプからの発光色は黒体放射の色か、さらにはピンクがかった光が要求される。これはランプ効率としては低くなる方向である。ランプ発光色の黒体放射色からのずれは色度偏差 D_{uv} または MVPD で表される。 $D_{uv}=0.015$ から $D_{uv}=0.005$ への変更によりランプ効率は10%近く低下する。

表1 交流点灯型および直流点灯型プロジェクター用メタルハライドランプの特性例。

電力	ランプ電圧 (V)	極間寸法 (mm)	色温度 (K)	全光束 (lm)
AC 125	80	5.0	7500	9000
AC 155	80	5.0	7500	12000
AC 250	80	5.0	7500	18000
AC 400	55	4.2	5500	32000
DC 125	55	3.0	7500	7600
DC 155	55	3.0	7500	9700
DC 250	55	3.0	7500	16000

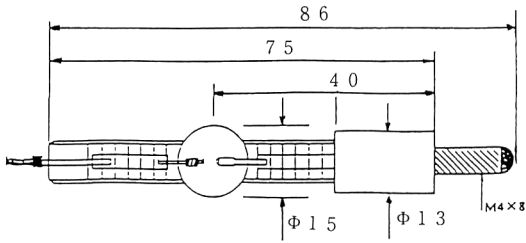


図9 直流点灯 250 W ランプの寸法図(例).

(3) 寿命

ランプ効率とランプ寿命は相反関係にあり、寿命を犠牲にすればランプ効率をある程度は高くすることができる。効率 10% の変化でランプ寿命も 2~3 倍変化する。

表 1 に交流 (AC) 点灯ランプと直流点灯ランプの代表的な特性を示す。

特注ランプの特性例の一つ挙げると、アーク長 3 mm、ランプ寿命 2000 時間の直流点灯 250 W ランプで、色温度 6500 K、 $D_{uv}=0.005$ の発光色で効率が約 62 lm/W である。このランプの寸法例を図 9 に示す。

2. ハロゲンランプ

ハロゲンランプはタングステンフィラメントを使用した白熱電球の一種であるが、石英ガラス製でハロゲンによる管壁浄化作用のため小型、高輝度、寿命末期まで光束がほとんど低下しない、などの特徴がある。

プロジェクター用光源には、光学機器用として設計された小型フィラメントで、高輝度設計のハロゲンランプが使われる。表 2 に光学機器用ハロゲンランプの特性の例を示す³⁾。

使用電圧によって 12 V 用、24 V 用、100 V 用などがあり、寿命は 50~500 時間程度の設計になっている。ハロゲンランプも効率とランプ寿命は相反関係になっており、同じランプを使用電圧を調整して、寿命を選択して使うこともできる。

ハロゲンランプの長所として、1) 安定器が不要のため、システムとして安価、2) 光色が安定しており、演色性がよい、3) 光出力が寿命中ほぼ一定である、などがある。

短所としては、1) 効率が低い、2) 色温度が低い、3) 寿命が短い、などがある。

3. キセノンランプ

キセノンランプは高圧力キセノンガスの連続スペクトル発光を利用したランプで、昼光によく近似した高演色

表 2 光学機器用ハロゲンランプの特性例。

電圧 (V) - 電力 (W)	色温度 (K)	寿命 (h)	全光束 (lm)
JC 12-150	3400	50	5000
JC 24-300	3400	50	10200
JCD 120-150	3000	100	3000
JCD 100-300	3200	150	7500
JCD 100-500	3200	200	13500
JCD 100-500	3000	300	11000

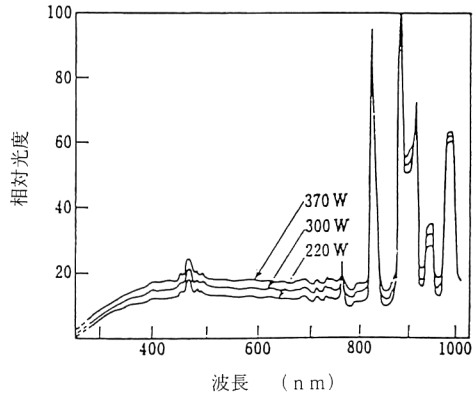


図 10 300 W 短アーク型キセノンランプの分光分布。

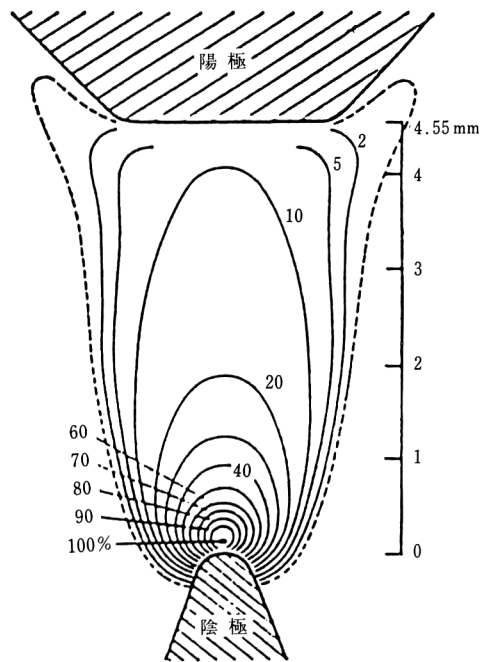


図 11 1 kW 短アーク型キセノンランプの輝度分布。

性の光が得られることで知られている。図 10 に 300 W ランプの分光分布を示す。短アーク型ランプでは図 11 に輝度分布を示すように⁴⁾陰極前面の輝点の輝度が特に

表3 短アーク型キセノンランプの特性例。

電力(W)	アーク長(mm)	全光束(lm)	寿命(h)	発光管外径(mm)
75	1.0	1900	400	12
150	2.1	3700	1500	19
300	2.6	7000	700	25
500	4.0	16000	1500	29
1 k	5.0	29000	2000	40
2 k	6.0	74000	2000	52
3 k	7.0	110000	1200	60
6 k	8.0	200000	600	70

高く、映写機などの大型光学機器用光源として使用される。

欠点は効率が低いこと、ランプが高価なこと、点灯回路が高価なこと、などである。

75 W の小型ランプから 6 kW, 30 kW の大型ランプまであり、反射型液晶プロジェクターには 1.5 kW, 2.5 kW などのキセノンランプが使用されている。

代表的な短アーク型キセノンランプの特性を表3に示す³⁾。

4. 画像表示パネル照明用の光学系について

ランプを使って液晶などの画像表示パネルを効率よく照明するためには、一般に、多層干渉膜型反射面をもった回転放物面鏡または回転楕円面鏡が使用される。液晶プロジェクターでは当初は一般に放物面鏡が用いられていたが、液晶パネルが小型になるに従って集光特性のよい楕円面鏡も使用されるようになってきた。

反射鏡の焦点距離(楕円面鏡では第1焦点距離)は短いほど集光角が大きくとれて集光効率がよくなり、反射鏡も小さくできるが、多層干渉膜と反射鏡ガラスの耐熱性によって焦点距離は制限される。一般的には 150 W ランプで 9~12 mm 程度、250 W ランプで 12~15 mm 程度に設計される。

スクリーンの照度均一性は、ビデオプロジェクターでは 9 点法で照度比 35~50% でよいが、データプロジェクターでは約 60% 以上の照度比が要求される。集光効

率の高い短アーク型ランプを使用すると、この照度比を満足し難くなるため、光学インテグレーターが使用されるようになってきた。光学インテグレーターを採用するとランプの色むらの問題が解消するため、色むらの比較的大きい直流点灯ランプが問題なく使えるようになった。

光源の寿命については、数年前までは寿命 2000 時間程度が限度とされていたが、最近では 5000~6000 時間の寿命のランプも現実性を帯びるようになった。

また光源の短アーク長化により、 f 値が 2.8 程度の投写レンズを使用すれば、光学インテグレーターを使っても直線状光学系で 25% 程度の集光率は可能であり、一方、高開口率の液晶パネルを使用すれば総合透過率 12% 以上も可能なため、最近では総合光利用率 3% 以上の設計も可能になった。

ごく近い将来アーク長 2 mm 以下のランプも普通に使われるようになり、総合光利用率 5% 以上も可能になるものと予想される。数年前の総合光利用率の約 1.5% と比較すると隔世の感がある。

文 献

- 1) 東 忠利, 有元智良: 照明学会全国大会 No. 25 (1993).
- 2) 東 忠利, 有元智良: 照明学会全国大会 No. 23 (1995).
- 3) ウシオ電機(株)カタログ (1995) より抜粋.
- 4) 村山精一編: 光源の特性と使い方 (学会出版センター, 1985) p. 39.