プロジェクタ用光源

Lamps for Projectors

大河原 亮
Makoto Ohkawahara

山本 将二
Shoji Yamamoto

◀キーワード：プロジェクタ，バックライト，超高压水銀ランプ，液晶，DLP

1. はじめに

レンズを通し画像を拡大投影するプロジェクタが大画面表示装置として一般的になってきている。プロジェクタの方式としては、スクリーン前面から投影するフロントプロジェクタと、スクリーン背面から投影するリアプロジェクタがあり、中でもデータ用のフロントプロジェクタは、プレゼンテーションツールとしてパソコンの普及と共に需要が拡大している。その世界市場は、2001年に約125万台、2002年に約160万台、2005年には約290万台の市場へと成長していくものとみられている¹⁾。

現在製品化されているプロジェクタは画像表示方式別に「CRT方式」(Cathode-Ray Tube：ブラウン管方式)「透過型液晶方式」「反射型液晶方式」「DLP方式」(デジタル・ライト・プロセッシング方式)の4方式に分別される。このうちバックライトを必要としない「CRT方式」を用いたCRTプロジェクタは市場性を失いつつ、「透過型液晶方式」と「DLP方式」が大半を占め現在も市場を伸ばし、「反射型液晶方式」のプロジェクタも、今後その技術の進展と共にシェアを伸ばしていくと予想される。

本稿ではプロジェクタのキーデバイスである画像表示素子について触れると共に、バックライトとして用いられる光源の種類や今後の技術動向等について述べる。

2. 画像表示素子

2.1 透過型液晶

トランジスタなどの機能素子を設けた単結晶シリコン基板と、ガラス基板とで液晶を挟み込み、各画素の電位状態により液晶分子の配向を変化させることで、光の透過を制御し画像をつくる。

マイクロレンズアレイの使用や、微細加工技術の発達により開口率が向上し、飛躍的に光学効率の向上即ち高輝度化が進んでいる。また、透過型液晶プロジェクタは、プロジェクタが生まれたときより研究が進められ、光学エンジンを含め技術が最も進んでおり、生産性も良いことから、低コストという利点がある。

2.2 反射型液晶²⁾

動作原理はほぼ透過型液晶と同じであるが、シリコン半導体基板上に形成した駆動回路上に反射膜を形成し、その上に液晶層を封入した構造をもつため、液晶を駆動

させるトランジスタやその配線が背面側に設置されているので光を遮らず高開口率が得られる(図1)。

そのため近年多くの企業が着目し、研究開発及び商品化に向け取り組んでいる。

反射型液晶は高輝度、高解像度という特長がある。また、応答速度が速く、高いコントラスト比と優れた色再現性を実現している。

2.3 DLP³⁾

DLP方式は、米A社の開発したデジタル・マイクロミラー・デバイス(以下DMD)を使った投射方式で、DMDは半導体メモリーの一方式であるSRAM(Static Random Access Memory)デバイス上に並べられた極微細の正方形ミラーにより構成されている(図2)。

各ミラーは対角軸を中心として±10度程度の傾斜が

図1 反射型液晶素子の断面図

図2 DMD (デジタル・マイクロミラー・デバイス)

可能であり、光源・投射光学系に組み合わせると、各ミラーは水平方向から+10度（または-10度）基板側に回転し、反射光ビームを2方向のうち、いずれか1方向に偏向する。よって各ミラーはスクリーン上の投射映像でピクセルとして表現される。

DLPはすべてデジタル制御されているため、映像信号の階調を忠実に再現でき、信号変換に伴うノイズの発生がないなどの利点や、単板方式では光学系が小型にできるため、小型軽量のプロジェクタが実現可能などの利点を生かし、急激にシェアを伸ばしている。

3. プロジェクタ用光源⁴⁾⁵⁾

CRT方式と異なり、他の3方式の画像表示素子は自発光素子でないため、バックライトとしての光源が必要である。

これらのプロジェクタが製品化された当初、光源としてはハロゲンランプや交流点灯型メタルハライドランプが主に使用されていたが、短アーク化と長寿命化が可能なることから、90年代中頃には直流点灯型メタルハライドランプが液晶プロジェクタの中心的な光源として使用されていた。

その後、プロジェクタ用超高圧水銀ランプが開発され、小型・高輝度・長寿命であることから、急速に使用されるようになり、現在ではほとんどのメーカーが超高圧水銀ランプを採用しており、プロジェクタ用の光源といえば、主に超高圧水銀ランプを指すようになっている。

また、ショートアーク型キセノンランプは、高価ではあるが、高輝度の高出力光源として、反射型液晶やDMDなどの反射型画像素子を使った大出力プロジェクタ用に採用されている。

以下に各光源の原理、構造について述べる。

3.1 ハロゲンランプ

ハロゲンランプは石英ガラス製のバルブとタングステンフィラメントからなり、アルゴンなどの不活性ガスとともに微量のハロゲンガスを混合封入し、ハロゲンサイクルによりタングステンフィラメントの蒸発を抑えている（図3）。

寿命を通じて明るさや色の変化が非常に小さく、また小型、軽量、低価格であり色の再現性にも特長がある。しかし、放電灯で言えばアーク長に相当する発光領域が比較的大きいため集光効率が極めて低く、低輝度という欠点がある。さらに一般照明用に用いられるハロゲンランプに比べフィラメント温度を高くし効率や色温度を改善しているため、比較的短寿命である。

そのため、使用用途は携帯用や、廉価版のプロジェクタに限られている。

3.2 メタルハライドランプ

メタルハライドランプは高圧水銀ランプに金属ハロゲ

図3 ハロゲンランプの構造

ン化合物を添加することで、発光効率及び発光スペクトルを改善している。

照明用メタルハライドランプは外管と共に使用されているため、小型化には適していなかった。そこで、外管のない小型でアーク長の短いメタルハライドランプ（ショートアークメタルハライドランプ）が光学機器用に開発された。ハロゲンランプと比較して、ショートアークメタルハライドランプは高輝度、高演色性であることから、プロジェクタ用の標準的な光源として使用されるようになった⁶⁾。

メタルハライドランプの構造は、発光管に石英ガラスを用い一対のタングステン電極を封止している。発光管内部には、希ガス、水銀、発光物質である金属ハロゲン物質が封入されている（図4）。発光物質としてR（赤）G（緑）B（青）のバランスを重視した上で、希土類金属の中のジスプロシウム、ホルミウム、ネオジウム、ガドリニウム、ランタン、ルテニウムなどの沃化物、または臭化物などから2種類程度の組み合わせを選び、セシウムハロゲン化合物と共に封入されるのが一般的である。

直流点灯型ランプは、対向する電極の大きさが異なり

図4 直流点灯型メタルハライドランプ構造例

陰極を小さく、陽極を大きく設計している。陰極が小さいのは、陰極先端の温度を高くして電子放出を充分確保するためであり、陽極が大きいのは、熱容量を大きくし電極が蒸発しない温度を保つためである。

商品化当初はアーク長 5 mm 程度の交流点灯型メタルハライドランプが使用されていたが、メタルハライドランプは短アーク化や大電力化したとき、封入されている希土類金属原子が石英ガラスと反応して発光管内壁に失透が起り白濁するため、短寿命になる問題があった。

この問題の改善を図るために開発されたのが、直流点灯型ランプである。直流点灯型ランプではこの失透が光の妨げとならない局所に発生するため、交流点灯型に比べスクリーン光束低下が軽減できる。また直流点灯型ランプでは電子点灯回路の部品点数を削減することができ、小型化、軽量化、低価格化が図られた。また、交流点灯型ランプで発生した、アークスポットの移動によるちらつきも、直流点灯型にすることにより低減できた。一方、直流点灯型ランプは交流点灯型ランプに比べ初期スクリーン光束が低いこと、アーク中の色むらが大きくなるなどの短所もある。

3.3 キセノンランプ

ショートアーク型キセノンランプは色バランスが良く、高輝度であることから、映画館の映写機など、特に大出力のプロジェクタ用として使用されている。

キセノンランプはキセノンの発光を利用するため、発光スペクトルが紫外域から赤外域にかけて比較的一様な強い連続スペクトルを持つ。このため、非常に演色性に優れている（図 5）。

また、キセノンガスは熱容量が小さく電気入力の変化に対して放射強度がすぐ追従して変化するため、点灯と同時に実用上差し支えない程度の放射輝度、照度、色合いになる。また、消灯後すぐにでも再点灯が可能な利点もある。

しかし、可視光だけでなく赤外域にも発光があるため、機器内の温度を上昇させる。発光効率は低く、ランプ点灯時に高電圧パルスが必要とする。ランプ電圧が低いためランプ電流が大きく、点灯回路が大型になる等の短所

図 5 キセノンランプの分光分布

図 6 水銀蒸気圧と分光分布

がある。

現在は大出力プロジェクタ用が主流であるが、今後は色再現性が良いことから、低ワット化や低価格化が進めば民生用プロジェクタにも期待できる。

3.4 超高压水銀ランプ

超高压水銀ランプは、ここ数年プロジェクタ用の光源として急速に普及してきている。超高压水銀ランプとは、通常の高圧水銀ランプと比較して点灯時の水銀蒸気圧をより高くしたものであり、半導体デバイスなどの露光用光源としての高圧水銀ランプが、点灯時に数十気圧程度の水銀蒸気圧であるのに対し、プロジェクタ用超高压水銀ランプは、点灯時の水銀蒸気圧は100気圧以上にもなる（図 6）。これは、水銀蒸気圧を100気圧以上にするにより、水銀輝線だけでなく可視域の連続スペクトル成分が増大するため演色性を改善することができるからであり、また水銀蒸気圧を上げるによりランプ電圧を高く設計できるため、アーク長を 1 mm 程度まで短くしても点灯回路設計上実用的なランプ電圧を得ることができる。

発光管に石英ガラスを用い、モリブデン箔を介して外部リード線に接続された一対のタングステン電極を封止してある。発光管内部には水銀、アルゴンなどの希ガス、微量のハロゲンガスが封入されている。発光管シール部は点灯中の高い動作圧に耐えるように、シュリンクシール方式が採用されている（図 7）。

超高压水銀ランプにはハロゲンガスが封入されているが、これは電極材料であるタングステンが点灯中蒸発し発光管の内側に付着（黒化）してスクリーン光束の低下を招かぬように、ハロゲンを封入しハロゲンサイクルを利用することによりこの黒化を抑制するようにしてい

図7 超高压水銀ランプ外観

る。ハロゲンサイクルを利用するにはある一定以上の温度が必要となるが、一方高すぎると石英ガラスの失透の原因となるため、熱的バランスを考慮したランプ設計及び、プロジェクタ内でランプが最適な温度となるようにランプ冷却条件の適正化が重要である。

4. 超高压水銀ランプの技術動向

プロジェクタは、毎年デバイス技術の進歩に伴い高輝度化、小型化が著しい。また各社独自の技術により、様々な機能を追加したプロジェクタも開発されている。

このような状況の中、プロジェクタメーカーからの光源に対する要求も年々高まっている。ここでは、プロジェクタ用光源として現在主流である超高压水銀ランプの技術動向について述べる。

4.1 高輝度・高ワット化

100W からスタートしたプロジェクタ用超高压水銀ランプも、プロジェクタの高輝度化に伴い高ワット化が進み、現在では300W クラスのランプが製品化されている。

中でも販売台数の一番多いモバイルタイプのプロジェクタに用いられるランプとしては、'99年では50×50mmのリフレクタと組み合わされた120W クラスのランプが主流であったのに対し、現在では150W クラスのランプが主流になると言われており、年々装置及びランプが小型化される一方でランプ入力が高ワット化していく傾向にある。200W を超えるランプの短アーク化や、寿命改善などの信頼性向上が望まれる。

4.2 調光

最近のプロジェクタでは、調光（電力切替）機能を付加したプロジェクタが主流になりつつある。電力切替機能は、明るさが必要なときは高ワットモードで使用し、低ワットモードではパネルや安定器の熱が少なくなることから冷却ファンの駆動電圧を下げるができるため、ファンノイズの低減が可能になり、またランプ電流値が低くなるためタングステンの蒸発が抑制され長寿命化につながる利点がある。しかしながら、電力切替機能の付加には以下の様な問題もある。ランプには適切な温度範囲があるが、この温度範囲を高ワット、低ワットそ

図8 楕円リフレクタと凹レンズの組合せ例

れぞれで実現しなければならない、低ワットモードでは電極動作温度が下がるためフリッカの発生する可能性がある。フリッカに対しては、電極形状や点灯電流波形を工夫することにより改善が進んでいる。

現在、市販されているプロジェクタの電力切替幅は10～20%であるが、今後は30%の電力切替が当面の目標と思われる。

4.3 高効率化

アーク長を短くすることで光学効率が高くなることから、年々ショートアーク化が図られている。120～150W クラスでアーク長が0.8mm、200W クラスでもアーク長1.0mm のランプが早急に望まれている。

しかし、解決しなければならない課題として、アーク長を短くすることによりランプ電流が増大するため、電極蒸発の増大や、点灯回路の大型化などがある。

また、光学系と組み合わせた考えの中で、光学効率向上の取り組みもなされている。例えばランプに用いられるリフレクタの反射面形状を楕円形状とし、凹レンズと組み合わせて使用する方法や(図8)、放物面形状でもより短焦点のリフレクタが用いられている。また、リフレクタ形状に大きさなど制限のある中、ランプから出射される光の利用効率をあげるため、リフレクタの有効反射面を大きくとるなど様々な工夫がされてきている。

4.4 低価格化

近年プロジェクタは技術の進歩、海外生産体制の確立により低価格化が著しい。現在は業務用が主流であるが、今後民生用の市場も拡大すると予想され、低価格化の要求はさらに強まると思われる。

そのため、ランプに要望される価格も非常に厳しくなっているが、超高压水銀ランプに使用される石英ガラスなどの材料は、他のランプと比較して不純物の極めて少ない高品質の材料を使用しているため高価である。また高温かつ高圧にて動作させているために、製造過程で様々な処理が必要であり、高コストとなる。

今後は、ランプ特性を維持しつつ、使用材料（例えば石英ガラスやリフレクタ材質など）の変更や、部品点数の削減、製造方法の改善、または海外生産などによりさ

らなるコスト対応が望まれている。

5. 最後に

上述してきたように、プロジェクタメーカーからの高輝度・小型・長寿命・低価格という光源に対する要求は依然として強く、高ワット化・短アーク化などの傾向は続くであろう。

また今後は民生用の市場が伸びることが予想される。民生用には特に信頼性が重要視されるため、破裂など不具合の発生率が少なく、万一破裂した場合でも、破裂音が小さく破片などの飛散しないリフレクタに通風口のない密閉タイプへの要望も強くなると思われる。

さらに、環境問題などへの配慮からキセノンランプはもちろんのこと、他の無水銀ランプの可能性や演色性改善や長寿命化の観点からセラミックメタルハライドランプなども注目されると思われる。

参考文献

(1) 川田宏之：データ対応プロジェクターの市場動向，月間ディスプレイ，7月号，p.35（2002）。

(2) ディスプレイ調査専門委員会：Si ベース反射型液晶ライトバルブ素子，オプトニュース，No.2，p.20（1999）。

(3) 帰山敏之：DLP プロジェクションディスプレイ，オプトニュース，通巻110号，p.17（1999）。

(4) 東忠利：プロジェクタ用ランプの種類と変遷，オプトニュース，通巻110号，pp35-37（1999）。

(5) 金井義介，吉池久夫：液晶ビデオプロジェクタ技術，トリケップス，pp.61-67（平2）。

(6) 柵木教一：光学機器組込用メタルハライドランプ，照学誌，77-12，pp.746-750（平5）。

著者紹介

大河原 亮

1968年生。東京理科大学理学部卒。現在，岩崎電気㈱にてプロジェクタ用光源開発を担当。

山本 将二

1974年生。1997年名古屋工業大学電気情報工学科卒。現在，岩崎電気㈱にてプロジェクタ用光源開発を担当。

研究調査委員会報告書頒布のお知らせ

報告書名：CIE グレア評価法 UGR の研究調査報告書（JIER-060）

目 次

- 1. はじめに
- 2. UGR について
- 3. UGR と主観評価との対応
- 4. 代表的器具の計算例
- 5. 結論・課題

編集：平成11年3月
印刷：平成11年4月
発行：平成11年5月
頒布価格：会員 3000円（税抜価格）
 会員外3500円（税抜価格）
送料1冊170円

申込方法：必要事項（書籍名，住所，氏名，電話，FAX，
 会員は会員番号）をご記入の上，事務局へ
 お申込下さい。
FAX：03-5294-0102