光源の長寿命化の現状・問題点と対策

Current Situation・Problems and Improvements
for Extending the Life of Lamps

1949年生。鳥取大学工学部電気工学科卒。現在、日立ライティング機器㈱で蛍光灯の開発業務に従事。

正会員 浦 滝 悦 夫
Etsuo Urataki

◀キーワード：長寿命化，電球，ハロゲン電球，HID，蛍光灯

1. はじめに

一般照明用光源の寿命は、電球など1000時間程度のものから、蛍光灯や HID ランプなど12000時間程度のものでさまざまである。これらの定格寿命は、製品固有の特性として定着してきているが、近年においても、光源の代表的寿命モードである「不点灯寿命」を延長した新製品が開発されるとともに、他の寿命モードの一つである「光束維持率」の信頼性の向上についても、長年にわたり地道に、かつ精力的に研究・開発が行われている。

以下に、主な光源製品の寿命についての現状と問題点及びその対策の事例について、トピック的に紹介する。各種光源のうち代表的な製品の定格寿命（ランプカタログ値）を、表1に参考のために示す¹⁾。

2. 電球

白熱電球の開発の歴史では、大きな貢献をしてきた次の6つの発明を「電球の6大発明」と称している。

- ① 実用炭素電球
- ② 引線タングステン電球
- ③ ガス入り電球
- ④ 二重コイル電球
- ⑤ 内面つや消し電球
- ⑥ ハロゲン電球

このうち寿命性能改善に関連する発明は、②～④、⑥が該当し、飛躍的に改善がなされてきている。

近年においては、寿命性能・効率性能とも飽和しているが、市場のニーズをも考慮し、寿命は定格寿命を

1000時間にとどめながら、省電力化の方向に主眼を置いて新製品の開発がなされる傾向にある。最近5%省電力電球や10%省電力電球が製品化されており、さらに、封入ガスの組成変更など改善を行い、15%省電力タイプの電球も開発されている¹⁾。

省電力（効率の向上）の代わりに寿命を向上させたと仮定すると、上記の省電力ランプ電球は、次のように寿命延長が可能である。

電球の寿命と効率には密接な関係があり、両者は次の関係式で表わされる。

$$L = (E_0/E)^{7.1} \times L_0 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、LとL₀、EとE₀は、それぞれ2個の電球の寿命(h)、効率(lm/W)を示す。例えば上述の10%省電力電球の寿命をL₀、効率をE₀、従来の電球効率をEとすると、E₀/E=1.11となり、L₀=1000時間である。ここで、試算する電球の寿命Lは、式(1)から約2100時間となる。すなわち、10%省電力電球の開発の代りに寿命を延長した電球を開発するならば、寿命が従来の約2.1倍の2100時間程度の製品が開発可能であることを示している。

一方、電球寿命は電圧の影響を受けやすく、例えば定格電圧が100Vの電球を105V程度の電圧で点灯すると、寿命は約50%程度にまで低下する。このような電圧の高い場所では、110V 定格の電球が一般的に多く使用される。この電球は、明るさが印加電圧110Vで定格電圧100V電球とほぼ同じで、寿命が1000時間に設計されているため、例えば105Vでの点灯では、明るさは低くなるが寿命は約2000時間程度に延長できる。

また、店舗などでは一日の点灯使用時間が長いので、交換頻度を少なくするため、明るさを低めにし寿命を2000時間としたボール形電球もよく使用される¹⁾。

寿命や性能信頼性に関し、フィラメントの材質・仕上げ条件や、コイルの太さ・全長・フィラメント巻線仕様の見直しなど、地道な努力が現在も各製造業者で継続されている。

電球の寿命を大幅に改善するには、フィラメントの基本的材質や発光原理の新発想が望まれる。タングステンよりも高温に保持できるセラミック系の材料に検討の余地が残されている。また、融点の高いHfCやTaCなどの炭化物の検討もなされているが、機械的強度に問題があるとされている²⁾。

表1 光源の寿命の一例

種類	代表的な光源 品種例	定格寿命 (h)
電球	100V60W	1000
蛍光灯	FL20SS	8500
	FL(R)40S	12000
	FCL30	6000
ハロゲン電球	JD形	2000
メタルハライドランプ	水銀ランプ用	9000
高圧ナトリウムランプ	安定器適合形	12000

3. ハロゲン電球

ハロゲン電球は、蒸発したフィラメントタングステン原子がハロゲンと結合して再度フィラメントに戻ってくるハロゲンサイクルを利用しているため寿命が長く、商用電圧一般照明用ハロゲン電球 (JD 形) は、一般電球の2倍となっている¹⁾。フィラメント仕様や製造方法をさらに改善することにより、3000時間の長寿命を有するハロゲン電球も製品化されている³⁾⁴⁾。

ハロゲン電球の寿命モードの一つとして、石英ガラス管よりなる発光管の封止部が350°Cを超え、モリブデン箔やリード線との溶接部が発熱・酸化して、溶接外れによる不点灯や封止部ガラスクラックによる発光管リークという現象がある。この対策として、上記溶接部に耐熱材を表面処理または塗布して耐熱温度を向上させ、寿命信頼性を改善させた製品もある¹⁾⁴⁾。ただし、これらは定格寿命を上昇させるものではなく、よりコンパクトな器具との組み合わせや周囲温度、電源電圧の高い状態などで使用する場合に、寿命信頼性を確保するための対策である。

4. 蛍光ランプ

4.1 高周波点灯専用環形蛍光ランプ

近年は、高齢化社会を迎え、また環境や資源問題に対応するため、より質の高い光源が求められている。

環形蛍光ランプにおいては、管径の細径化や効率向上、長寿命化が図られている。管径を従来の29mmから16mmとしたものや、管径を29mmから20mmとし、かつ環外径の異なる二つの環形蛍光ランプを端部で接続して一本の放電管とした二重環形蛍光ランプが製品化されている¹⁾。これらのランプは、明るさを向上させると同時に、電極の改良も行い、電子放射物質(エミッタ)のフィラメントへの保持量を増加させるとともに、高周波点灯専用ランプとすることで、寿命を従来の6000時間から9000時間にまで1.5倍に向上している。高周波点灯の場合、従来のグロースタート式より、ランプ始動時の予熱時間や電流がより適正で一定の条件になっており、またランプ点灯中の電流休止期間もないため、エミッタへの負荷が軽減されており、エミッタ飛散量が少ない長寿命設計となっている。

4.2 蛍光ランプの光束維持率の改善

一般照明用蛍光ランプの寿命は、JIS C 7601で、「ランプが不点灯になるまでの総点灯時間、または、全光束が初光束の70% (光束維持率) に下がるまでの総点灯時間」と定義されている。光束維持率に関しては、定格寿命において70%以上を充分確保して信頼性を上げる努力がなされている。その対策の一つとして、ガラス管と蛍光体の間に保護膜としてアルミナ Al_2O_3 を設けたランプが

製品化されている⁵⁾。これは、蛍光体とガラスを隔離することにより、水銀とガラスから析出するナトリウムとが反応するのを防止することや、紫外線がガラス管に照射されてガラスが劣化・着色すること (ソーラリゼーション) を防止して、光束維持率を向上させたものである。また、保護膜の材質としては、 Al_2O_3 のほかに、 TiO_2 や SiO_2 、 Y_2O_3 などの材料も検討され、最適膜厚の検討もなされている⁶⁾。

また、バックライト用として近年需要が急速に伸びている冷陰極蛍光ランプにおいても、ガラス管と蛍光体層との間に Y_2O_3 の微粒子の保護膜を形成したものが提案されている⁷⁾。

5. メタルハライドランプ

5.1 メタルハライドランプの維持率改善対策

水銀ランプ用安定器で点灯可能な低電圧始動形メタルハライドランプは、約25年前に発明されているが、維持率に関しては、開発当初から改善・改良が積極的になされてきている。

最近では、封入物として、従来のスカンジウム-ナトリウムヨウ化物 $Sc-Na-I$ に臭素 Br を添加し、かつ、発光管を従来の両端封止部を平形プレス形状から、放電部ガラス管外径より細形の紡錘形とした構造を採用し、極間距離を長くしたランプが開発された。この結果、全光束が9000lmで、2000時間光束維持率が約90%にまで飛躍的に改善された⁸⁾。 Br は、封入量を多くすると全光束が低下するが、反面、発光管内壁に付着した不純物をクリーニングする効果があり、光束維持率が向上することになるため、その封入量を適正に調整する必要がある。

また、400Wクラスで図1に示すように、発光管の点灯時に上側になるほうの端部の内側を、従来のテーパ形から半円形状とすることにより、ガラスの温度分布を従来より均一化することができ、寿命中の維持率を改善したランプも提案されている⁹⁾。

5.2 セラミックメタルハライドランプ

従来、メタルハライドランプの発光管は、石英ガラスで構成しているが、高圧ナトリウムランプと同じセラ

図1 光束維持率を改善したメタルハライドランプ発光管

図2 セラミックメタルハライドランプの発光管構造の一例

ミック製の発光管を用いたメタルハライドランプが最近製品化されている。発光管構造の一例を図2に示す¹⁾。セラミック発光管は、次の効果を狙ったものである¹⁰⁾。

- (1) 耐食性が高く、封入物がセラミックと反応しにくい。ため、寿命中の光色変化が少ない。ただし、これについては、In-Tl-Li系では有効であるが、Sc-Na系では効果が見られないという報告もある¹¹⁾。
- (2) 融点が高く発光管温度を高く設定できるので、封入物の蒸気圧が増加し、高効率・高演色とすることができる。
- (3) 発光管寸法完成精度が高いため、ランプ個々の光色のバラツキが少ない。

また、このセラミック発光管と並行して、封入物の反応を抑制する封止部温度低下技術や、気密封止技術・耐熱性封止材料の開発・改良が行われ、寿命中のランプ性能の安定性に改善が加えられている¹²⁾。

セラミックメタルハライドランプの寿命は、従来の石英発光管タイプの6000時間に対し、9000～12000時間までに改善されている⁴⁾。

5.3 始動パルス電圧低下形メタルハライドランプ

高圧ナトリウムランプの項の図3で述べる構造と同様の回路を、メタルハライドランプにも応用したランプが開発された¹⁾。非線形特性セラミックコンデンサ（以下、FECと略す）を使用して、始動時に発生するパルス電圧を低下させ、寿命時においてパルスが発生し続けても、安定器や配線など照明設備に与える負担を従来より軽減させ、システムの信頼性を向上している。

5.4 その他

発光管ガラスを溶融する際に混入するOH基は、ランプ点灯中に水素となって放出され、立消えや始動電圧上昇現象を引き起こし寿命に悪影響を及ぼす。この改善のために発光管加工用バーナをプラズマトーチに変更することにより、大幅にOH基を減少できた報告もなされている¹³⁾。

また、発光管内への不純物への混入を減少させた高純度排気プロセスなど製造技術の向上を図り、黒化を抑制することにより維持率が改善されてきている¹²⁾。

6. 高圧ナトリウムランプ

6.1 電圧上昇対策

高圧ナトリウムランプは、ランプ点灯中に電極からの

エミッタが飛散して発光管が黒化したり、また、発光管端部の封止部からナトリウムがリークすることにより、ランプ電圧が上昇してある値を超えると放電維持が不可能になって立消えとなる現象があった。これに関しては、開発当初から高耐熱・高純度電極構造やエミッタ材質の改善が営々となされて今日に至っている。

6.2 寿命時の始動パルス停止形高圧ナトリウムランプ

水銀ランプ用安定器で点灯できる低電圧始動形高圧ナトリウムランプは、ランプ内部に始動器を有し3～5kVのパルス電圧を発生させている。しかし、ランプが不点灯になった際も高圧パルスが発生し続けたり、発光管がリークすると過電流が安定器に流れ続けることがある。この対策として、FECを用いて始動器を構成した製品が開発された¹⁰⁾¹⁴⁾。図3にその構成例を示す。この回路の場合、通常ランプ点灯時は、パルス電圧を2.5kV程度以下とすることで安定器にかかる負担が小さくできる。また、発光管が不点灯寿命になった時にFECが抵抗Rcの発熱を受けて加熱され、非線形特性が消失してパルスが停止するため、安定器へ無理な負荷をかけないという利点がある。さらに、発光管がリークした場合、FECは両端で放電し自壊するので、安定器に電流が流れ続けることはなくなる。メタルハライドランプと同様に、ランプ定格寿命は従来と同じであるが、ランプ寿命時において、安定器や配線など照明システムに与える負荷を軽減してシステムの信頼性を向上している。

6.3 2本発光管形高圧ナトリウムランプ

高圧ナトリウムランプは、道路照明などに広く使用されていて、交換頻度はできる限り少ないほうがよいのは

図3 寿命時の始動パルス停止形高圧ナトリウムランプ

図4 2本発光管搭載形の高圧ナトリウムランプ

言うまでもない。図4に示すように、外管内に発光管を2本搭載して、寿命を従来の2倍の24000時間としたものが開発された¹⁾。このランプは専用安定器と組み合わせて使用し、2本の発光管はほぼ同じ確率で交互に点灯する。

7. その他

- (1) 水銀ランプは長年、ランプ構造についてはあまり変化していないが、高圧ナトリウムランプと同様に2本の発光管を外管内に搭載し、寿命を24000時間とした製品がある¹⁾。
- (2) 本資料では、電球形蛍光ランプ、LED、冷陰極蛍光ランプなどについて触れることはできなかったが、上述と同様の長寿命化への挑戦が多岐にわたってなされているので、他の文献などを参照していただきたい。

8. おわりに

以上述べたように、寿命に関しては、構造的に変更して一目で判別できる商品がある一方で、電極材料の改善など外観では判別できない部分にも長年にわたる地道な努力があり、長寿命化の歴史に大きく貢献している。

各種光源は、寿命・消費電力・明るさ・色調など、それぞれ固有の性能を持っており、いずれの性能も日進月歩改良が加えられている。寿命に関しても、私ども光源事業に携わる者としては、より優れ、より安心して使用できる光源開発を目指し、大いなる情熱と努力を今後も

傾注してまいりたい。

参考文献

- (1) 光源製造業者カタログ、リーフレット (1989-2001)。
- (2) 別所誠：21世紀の夢；電球，照学誌，85-1，pp.14-15 (2001)。
- (3) 浦滝悦夫：新しい赤外反射膜について，光の発生・関連システム研究専門部会，LS-94-22，pp.37-42 (1994)。
- (4) 浦滝悦夫：新光源の特徴と使い方；白熱電球・ハロゲン電球，照学誌，82-6，pp.380-383 (1998)。
- (5) 大野宏ほか：アルミナ保護膜導入による蛍光ランプの光束働程特性の改善，照学全大論文集，p.7 (1978)。
- (6) 川端一郎ほか：酸化チタン薄膜の蛍光ランプへの応用，照学全大論文集，p.40 (1991)。
- (7) 武田雄士ほか：冷陰極蛍光ランプの光束維持率向上，照学全大論文集，p.52 (2000)。
- (8) 愛宕慎司ほか：高効率メタルハライドランプ100W タイプの開発，照学全大論文集，p.75 (1999)。
- (9) 松本直也ほか：高効率メタルハライドランプ400W タイプの開発，照学全大論文集，p.74 (1999)。
- (10) 金井義介：新光源の特徴と使い方；HID ランプ，照学誌，82-6，pp.398-402 (1998)。
- (11) 高津勝美：セラミックメタルハライドランプ発光管内に発生する諸現象，照学誌，74-9，pp.601-608 (1990)。
- (12) 斎藤毅：21世紀の夢；HID ランプ，その他，照学誌，85-1，pp.16-18 (2001)。
- (13) 森茂行ほか：メタルハライド用加工バーナによる石英への影響について，照学全大論文集，p.73 (1995)。
- (14) 青木繁幸ほか：始動パルス停止機能付始動器内蔵形高圧ナトリウムランプ，照学全大論文集，p.28 (1993)。