

自動車前照灯用 Hgフリー HID ランプの長寿命化

Long-Life Mercury-Free HID Lamp for Automotive Headlamps

出口 誠 沖 雅博 野口 英彦

■ DEGUCHI Makoto ■ OKI Masahiro ■ NOGUCHI Hidehiko

自動車の前照灯はハロゲンランプが主流であるが、最近、高効率なHID (High Intensity Discharge : 高輝度放電) ランプが普及してきている。ただし、従来のHIDランプは環境負荷物質である水銀 (Hg) を含んでいるため、2004年にはHgフリー HIDランプが発売されたが、寿命が短いという問題があった。

ハリソン東芝ライティング (株) は、この問題を解決するため、これまでのHgフリー HIDランプの初期特性を満足したうえで長寿命化を実現した製品を開発し、2008年3月から量産を開始した。

In recent years, high-intensity discharge (HID) lamps have come into widespread use for automotive headlamps due to their superior luminous flux compared with halogen lamps. Conventional HID lamps contained mercury, an environmentally harmful substance, and their replacement with mercury-free HID lamps began in 2004. However, there was a problem that the lifetime of the mercury-free HID lamps was shorter than that of conventional HID lamps.

To overcome this problem, Harison Toshiba Lighting Corporation has developed a long-life mercury-free HID lamp with characteristics comparable to those of the previous mercury-free HID lamps, and started to produce it in commercial quantities in March 2008.

1 まえがき

従来は、自動車前照灯の光源としてハロゲンランプが主流であったが、最近では、安全性及び快適性の面から、明るさが2倍で夜間の視認性に優れたHID (High Intensity Discharge : 高輝度放電) ランプが広く使用され始めている。このHIDランプは、ヨウ化スカンジウム (ScI₃) -ヨウ化ナトリウム (NaI) 水銀 (Hg) -キセノン (Xe) が封入された高圧メタルハライドランプであり、ハロゲンランプに比べて消費電力が2/3、寿命が3倍と、省エネ及び省資源に貢献できるランプである⁽¹⁾。

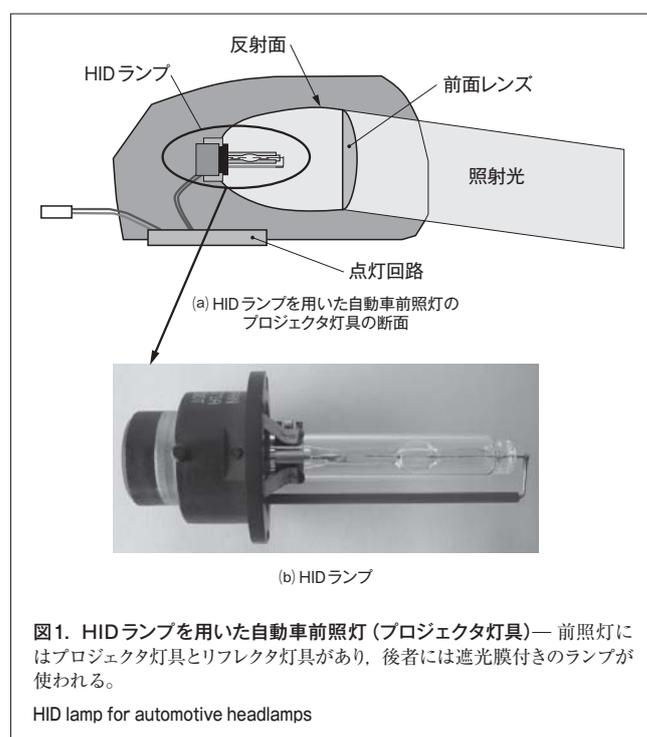
一方、近年の地球環境問題への関心の高まりから、環境負荷物質の使用規制や禁止への動きが全世界的に広がっている。欧州ではELV (End of Life Vehicles) 指令により、2012年から自動車前照灯のランプにはHgの使用が禁止される見込みである。

これらの動きを受け、自動車前照灯用HIDランプでは、2004年からHgフリー HIDランプへの置き換えが始まっている。しかし、現在量産されているHgフリー HIDランプは、寿命が短いという問題を抱えており、早急な改良が求められている。

ハリソン東芝ライティング (株) は、これら問題を解決するために、ランプの電極や封着部のデザインを見直し、市場の要求を満たす長寿命なHgフリー HIDランプを開発し、2008年3月から量産を始めている。

2 自動車前照灯用 Hgフリー HID ランプの構成

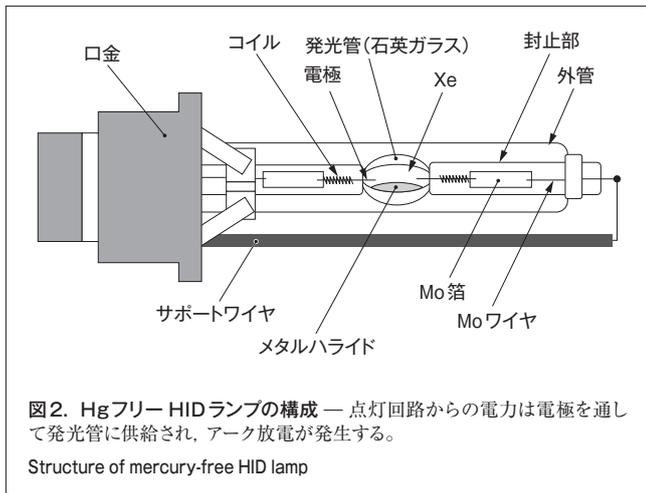
HIDランプが使われている自動車前照灯の構成例を図1に示す。自動車の電源から供給された電力は、点灯回路を通してHIDランプに供給される。点灯開始時は非常に高い電圧を



必要とするため、点灯回路内に高電圧を発生させる始動器を組み込んでおり、安定点灯時には、35 Wの一定電力がHIDランプに入力され発光する。ランプから出た光は、反射面で反射され、前面レンズを通して車両前面に照射される。

HgフリーHIDランプの構成を図2に示す。口金を含むランプの全長は75 mm、外管の直径が9 mmの小型HIDランプである。石英ガラスから成る発光管にはXeガス、メタルハライドが密封入されており、両端には一対の電極が封止されている。

その発光管に隣接して封止部が形成されており、発光管側から、コイル付き電極、モリブデン (Mo) 箔 (はく)、及びMoワイヤが溶接された状態で封止されている。この発光管と封止部から成る内管は、紫外線カット機能を持つ石英ガラス製の外管で覆われており、内管と外管の間には不活性ガスが密封されている。これらを保持し、発光管部分に電力を供給するため、給電端子を内蔵した耐熱樹脂から成る口金が装着されている。

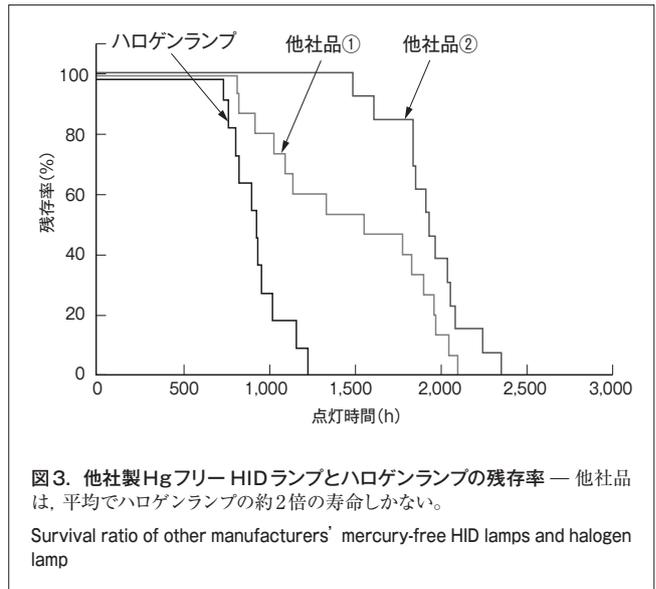


3 HgフリーHIDランプの課題

HgフリーHIDランプの寿命が短くなる現象は、大きく分けて2種類ある。一つは、封止部のMo箔端部からガラスに向かってクラックが発生し、発光管内に封入しているXeガスやメタルハライドがリークして点灯できなくなる“リーク不点灯”である。もう一つは、アーク放電が不安定になった場合に、安全のためにバラストからの電力供給を切る“フェールセーフ^(注1)による点灯停止”(以下、フェールセーフ停止と略記)である。

量産中の他社製HgフリーHIDランプ(以下、他社品と略記)の寿命評価を行った。点灯条件は、自動車用HIDランプの寿命規格に定められた点灯と消灯を繰り返すモード(EU(欧州連合)定格モード:IEC 60810)である。他社品とハロゲンランプの点灯時間に対する残存率^(注2)を図3に示す。

他社品①は、クラック発生によるリーク不点灯、フェール



セーフ停止がともに発生した。ただし、リークは点灯時間に関係なく発生したが、フェールセーフ停止は1,500時間以降に発生した。また、他社品②は、すべてフェールセーフ停止で寿命となった。また、他社品①及び②ともに、ハロゲンランプの約2倍の寿命しかなかった。

Hg入りHIDランプは、ハロゲンランプと比較して3倍の寿命があり、Hgフリーランプも同等以上の寿命が要求されるため、長寿命化を実現できるランプ設計の最適化を行った。

4 リーク不点灯の解析と対策

まずは、不点灯の発生要因であるリークについて解析と対策を行った。

4.1 リークの発生メカニズム

発光管の気密は、封止部のMo箔とガラスの密着により確保される。点灯と消灯が繰り返されることで、Mo箔は膨張と収縮を繰り返す。例えば、他社品①のMo箔の温度は、消灯時の常温状態から点灯時には770℃まで上がる。更に、点灯時の発光管内部の圧力上昇及びMo箔とメタルハライドの反応により、Mo箔とガラスの密着部が徐々に離れていく。この現象が進行すると、Mo箔の端部からクラックが発生し、封止部のガラス外側まで進み、発光管内部のXeガスやメタルハライドがリークしてしまう。

通常、HgフリーHIDランプの場合はXe圧力を高くするために、Hg入りHIDランプよりMo箔とガラスが剥離しやすい。リーク後の封止部写真を図4に示す。

(注1) 誤操作や誤動作による障害が発生した場合、常に安全を維持できる状態になるように制御すること。

(注2) 試験を開始した初期のランプ数に対し、寿命とならずに残っているランプ数の比率。

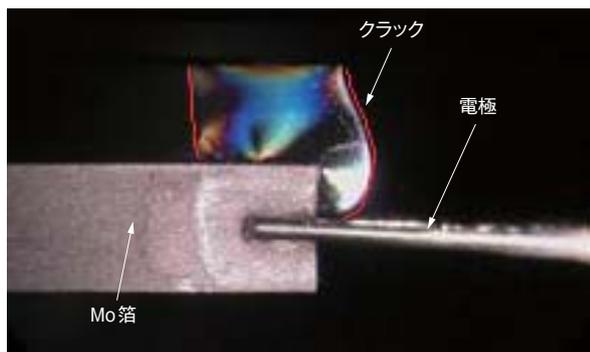


図4. リーク後の封止部写真 — Mo箔の端部からクラックが発生し、リークに至る。

Gas leak from lamp

4.2 リーク抑制技術

一般のHIDランプでは、クラックによるリークを抑制するためには、Mo箔の温度を下げて点灯・消灯時の膨張・収縮を抑制する方法と、Mo箔とガラスの密着性を上げる方法がある。

4.2.1 Mo箔の温度低減 Mo箔の温度は、発光管の温度の影響を大きく受けるため、Mo箔の温度を下げるには、熱源である発光管の温度を下げるか、発光管からMo箔までの距離を遠ざける必要がある。しかし、発光管の温度を下げると初期特性が悪くなるため、この方法は採用できない。そこで、当社製HgフリーHIDランプ（以下、当社品と略記）では、発光管からMo箔までの距離を他社品①の3.0 mmよりも長い4.5 mmまで延ばし、点灯時のMo箔の温度を700℃まで下げた。

4.2.2 ガラスとMo箔の密着性向上 通常、HgフリーHIDランプでは、耐熱性に優れる石英ガラスを使っている。石

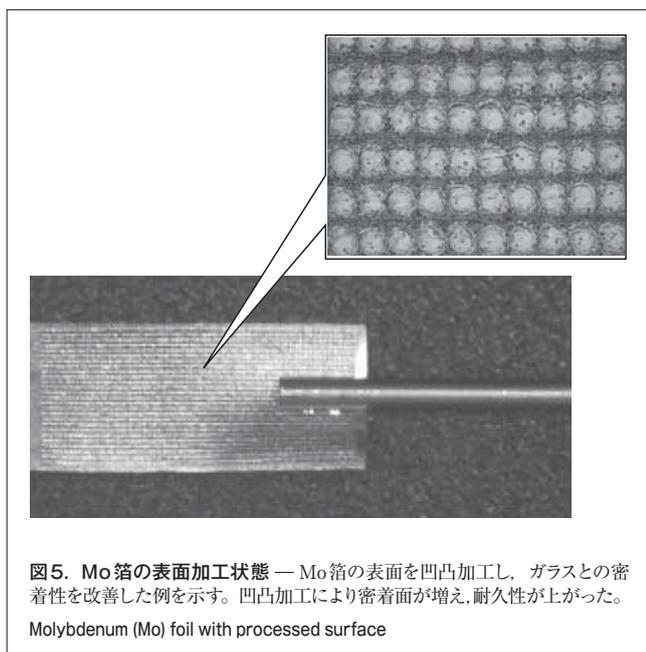


図5. Mo箔の表面加工状態 — Mo箔の表面を凹凸加工し、ガラスとの密着性を改善した例を示す。凹凸加工により密着面が増え、耐久性が上がった。

Molybdenum (Mo) foil with processed surface

英ガラスとMo箔の密着性を上げる方法として、Mo箔の厚さや端部のエッジ形状を最適化する方法が一般的である。当社品では、これらに加え、Mo箔の表面に数十 μm の微細な凹凸加工を施して密着面積を増やし、密着の耐久性を上げている。凹凸加工の一例を図5に示す。

5 フェールセーフ停止の解析と対策

次に、点灯回路からの電力供給を切るフェールセーフ停止について解析と対策を行った。

5.1 フェールセーフ停止の発生メカニズム

電極先端部はアーク放電によりもっとも高温になるため、点灯時間とともに先端部が消耗（溶融及び変形）していく。点灯時間が約1,500時間を越えると、電極先端部が溶融して肥大化するため先端部の温度が低下し、アークの起点が安定に形成されにくくなる。そのため、アークの起点位置が変動して放電が不安定になり、フェールセーフ停止機能が働いて点灯を停止する。

5.2 フェールセーフ停止の抑制技術

フェールセーフ停止を防ぐ（すなわち、長時間にわたって放電を安定に維持する）ためには、電極先端部が溶融しにくい材質や形状を選定する必要がある。材質は、従来から使用しているタングステン（W）が高融点であり、最適である。そこで、当社品では、電極形状を最適化することで、フェールセーフ停止を抑制した。

点灯中の電極先端部の溶融を抑えるためには、電極先端部の温度を下げる必要がある。ただし、温度を下げ過ぎるとアークの起点が不安定になるため、アークの起点が安定に形成できる範囲で、できるだけ温度を下げるのがポイントとなる。

他社品①は先端部 $\phi 0.34\text{ mm}$ -封止部 $\phi 0.3\text{ mm}$ の段付き電極、他社品②は $\phi 0.31\text{ mm}$ の直棒電極であるのに対し、当社品では $\phi 0.38\text{ mm}$ の直棒電極を採用している。電極の先端部分の温度は、他社品①の1,700℃、他社品②の1,690℃に

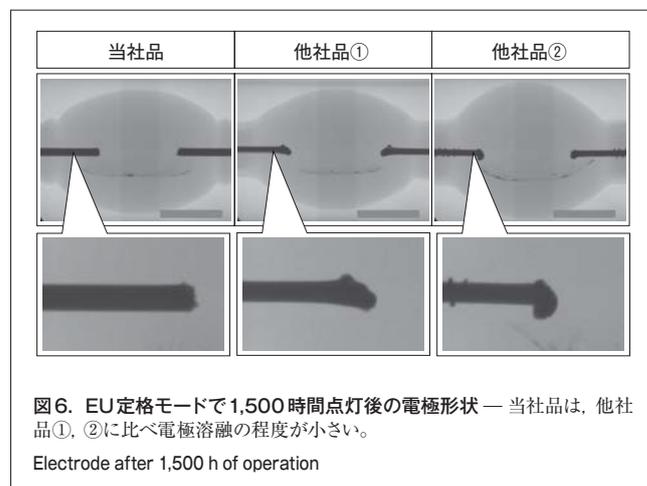


図6. EU定格モードで1,500時間点灯後の電極形状 — 当社品は、他社品①、②に比べ電極溶融の程度が小さい。

Electrode after 1,500 h of operation

対し、当社品は1,570℃と100℃以上低く抑えられている。その結果、2,000時間以上の長時間にわたって電極の溶融と肥大化が発生せず、アークの起点が安定に維持される。

他社品①、②と当社品の1,500時間点灯後における電極の溶融状態を図6に示す。他社品①、②は電極の溶融が激しく、電極先端部分が大きく変形し肥大化している。一方、当社品は変形がほとんどなく、電極温度を下げた効果が見られる。

6 寿命特性の評価

前述の4.2節より、リーク対策として(1)Mo箔の温度低減、(2)Mo箔表面処理による密着性向上、及び5.2節より、フェールセーフ停止対策として(3)電極径を大きくしたHgフリー HID ランプで寿命試験をした結果を図7に示す。

これらの対策により、平均寿命がハロゲンランプに比べ約3倍となった。不点灯の原因はクラックによるリーク発生だけで、フェールセーフ停止は3,000時間までは発生しなかった。

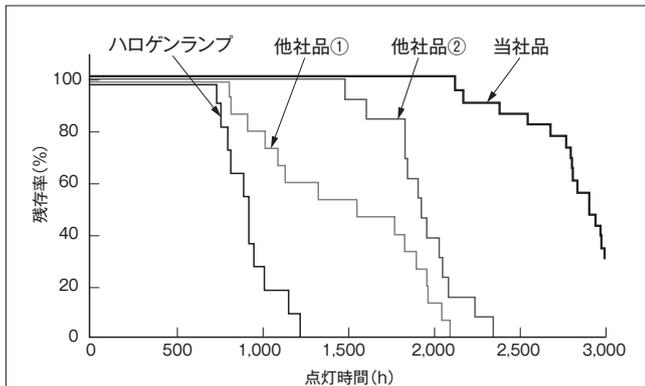


図7. Hgフリー HID ランプの残存率比較 — 当社品の平均寿命は、ハロゲンランプに比べ約3倍となっている。

Survival ratio of new mercury-free HID lamp

7 ランプ特性

6章で検証した長寿命化対策を織り込んだ当社品と、ハロゲンランプの特性を表1に示す。

当社品は、ハロゲンランプと比較して、明るさが約2倍、寿命が約3倍となり、一方、消費電力は20%低減して、効率改善と長寿命化が実現できた。

表1. ランプ特性の比較

Properties of mercury-free HID lamp and halogen lamp

項目		当社製HgフリーHIDランプ	ハロゲンランプ
初期特性	消費電力 (W)	44*1	55
	全光束 (lm)	3,250	1,880
	ランプ電圧 (V)	42	13.2
寿命特性	B3寿命*2 (h)	2,000	600
	Tc寿命*3 (h)	3,000	1,000
	光束維持率*4 (%)	88	82

*1: 点灯回路を含む。

*2: ワイブル分布を用いて、全体の3%が寿命となる時間。

*3: ワイブル分布を用いて、全体の63%が寿命となる時間。

*4: 1,000時間時点の値。

8 あとがき

ハリソン東芝ライティング(株)は、環境調和型の長寿命Hgフリー HID ランプを開発した。2008年3月から量産を開始し、4月から大手自動車メーカーの純正品として搭載された。

2012年には、ELV指令において自動車前照灯のHg使用が禁止される見込みであり、従来のHg入りHIDランプは、すべてHgフリー HID ランプに変わると予想される。今後は、いっそうの効率改善と長寿命化に向けた改良を進める。

文献

- (1) 石神敏彦, ほか. 水銀フリー自動車前照灯用HIDランプ. 東芝レビュー. 58, 4, 2003, p.56-59.



出口 誠 DEGUCHI Makoto

ハリソン東芝ライティング(株) AML事業部 開発担当。
自動車前照灯用HIDランプの設計・開発に従事。照明学会
会員。

Harison Toshiba Lighting Corp.



沖 雅博 OKI Masahiro

ハリソン東芝ライティング(株) AML事業部 技術担当。
自動車前照灯用HIDランプの設計・開発に従事。応用物理
学会会員。

Harison Toshiba Lighting Corp.



野口 英彦 NOGUCHI Hidehiko, D. Eng.

ハリソン東芝ライティング(株) AML事業部長, 工博。
自動車前照灯用HIDランプの設計・開発に従事。照明学会
会員。

Harison Toshiba Lighting Corp.