

水銀フリー自動車前照灯用 HID ランプ

Mercury-Free HID Lamps for Automobiles

石神 敏彦

ISHIGAMI Toshihiko

上村 幸三

UEMURA Kozo

石塚 明朗

ISHIZUKA Akio

ランプ内から環境的に有害な水銀 (Hg) を排除した、水銀フリーの自動車前照灯用 HID (高輝度放電) ランプとバラスト (点灯回路) を開発した。このランプシステムは環境に優しい環境調和型製品である。また、特性的にも立上り時の色特性が良い、初期と寿命中の特性変化が少ないという特長を持つ。この技術に基づく東芝グループの提案をベースにした国際規格の日本案が、2002年に国際会議で承認され、2004年から実用化される。

We have developed mercury-free high-intensity discharge (HID) lamps for automotive headlamps. This lamp system is environmentally friendly and has good spectral characteristics during the startup period. Moreover, the changes in lamp characteristics are smaller compared with conventional lamps. The Japanese proposal for the international standard for HID headlamps, based on the proposal of the Toshiba Group, was approved in 2002. The new lamp system will be in practical use from 2004.

1 まえがき

これまで自動車の前照灯はハロゲンランプが主流であったが、最近では放電灯である HID ランプが使用されるようになってきた。このランプはメタルハライドランプ (ScI₃ (ヨウ化スカンジウム)-NaI (ヨウ化ナトリウム)-Hg-Xe (キセノン) 封入) であり、ハロゲンランプの 2/3 の消費電力でも明るさは 2 倍、夜間視認性が高く、寿命はハロゲンランプに比べて 3 ~ 4 倍である。自動車用 HID 前照灯は、急速に市場へ普及し始めており、近い将来、現在のハロゲン前照灯に置き換わっていくことが期待される。

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、1996年9月に ELV (End of Life Vehicles) 指令案として、市販される車両の鉛 (Pb)、Hg、六価クロム、カドミウム、PVC (塩化ビニル樹脂) を漸次全廃する提案がなされ、2000年2月3日に開催された欧州議会の本会議で EU (欧州連合) 指示を承認した。これにより、Hg を含む多くの種類の重金属の使用は原則禁止された。米国でも、まだ一部の州ではあるが、Hg の使用規制が始まっている。

しかし、現在、急速に市場に普及し始めている自動車前照灯用 HID ランプには、微量ながら Hg が含まれている。今後更に普及を加速させるためにも、水銀フリー化は必須の条件になってきている。

東芝ライテック (株) とハリソン東芝ライティング (株) は、水銀フリーの自動車前照灯システム (ランプとバラスト) を開発した。このランプを実用化するためには国際規格の成立が

必要である。ハリソン東芝ライティング (株) からの提案をベースにした日本案が、2002年5月の GTB (Groupe de Travail de Bruxelles) 本会議、2002年10月の GRE (Groupe de Rapporteurs le Eclairage) 会議で承認され、これにより 2003年中に欧州車両規定 (ECE Regulation) への採択が確実になった⁽¹⁾。この結果、Hg 封入ランプは、近い将来にすべて水銀フリーランプに移行することになる。ハリソン東芝ライティング (株) は、2004年から水銀フリーランプの販売を予定している。

2 Hg 代替物質の検討

これまでメタルハライドランプで Hg が必須であった理由は、第一には電気特性の維持 (適正なランプ電圧) とランプ効率の確保である。このうちランプ効率については、ランプ内には数気圧の Xe が封入されており、プラズマ内の熱の保持という面では、この Xe が Hg の代替物となっている。自動車用 HID ランプでは、Hg がなくなるとランプ電圧は低くなる (85 V 設定から 20 V 台へ)。一般に、メタルハライドランプでランプ電圧が低くなるとランプ電流を大きくしなければならず、点灯装置や配線などで電気容量の増大、及び発生熱の問題が生じる。また、電極損失の割合が増加して効率が低下する。

このランプは高圧放電ランプであり、発光管内は高温、高圧のプラズマとなっている。プラズマの理論検討から、ランプ電圧を増加させる望ましい物質としては、イオン化しにくく、電子との衝突断面積が大きく、プラズマ中の密度を大き

くできる物質であることがわかる。

ランプ内の蒸気圧を上げる方法としては、金属を金属ハロゲン化物にすればよいことはよく知られている。そのためHgの代替物質としては、蒸気圧が高い金属ハロゲン化物で、その構成金属がイオン化電圧が高く、電子との衝突断面積が大きいものが候補となる。

自動車用HIDランプの場合にはHg代替物質として、更には次のような条件が付け加わる。

- (1) Hgに代わり色度を補正すること 自動車用HIDランプでは定常点灯時の色度範囲(白色)が決められている。現在の封入物($\text{ScI}_3\text{-NaI-Hg-Xe}$)からHgを除いた場合には、Hg発光がなくなるため、図1のようにその色度範囲から外れてしまう。図1でヨウ化亜鉛(ZnI_2)をHg代替物質として封入する場合には、Znの発光が適切に添加され白色範囲内に入る。
- (2) 始動後立上り時の発光色が自然であること 主要な封入物(ScI_3, NaI)は蒸気圧が低いので、蒸気圧の高い金属ハロゲン化物をHg代替物質とした場合、その金属の発光が立上り時には主要となる。ヨウ化タリウム(TII)やヨウ化インジウム(InI)は封入量を規制すれば定常点灯時の光色は良くできるが、立上り時にはそれぞれ緑(TI)、青(In)の光色を帯びる欠点がある。
- (3) 効率を落とさないこと 自動車用HIDランプとしては演色性よりも効率が重視される。ヨウ化ガリウム(GaI_3)やヨウ化スズ(SnI_2)の場合は、定常点灯時にも比較的発光しやすく、可視域に連続発光するので色の見えかたの指標であるRa(平均演色評価数)は向上す

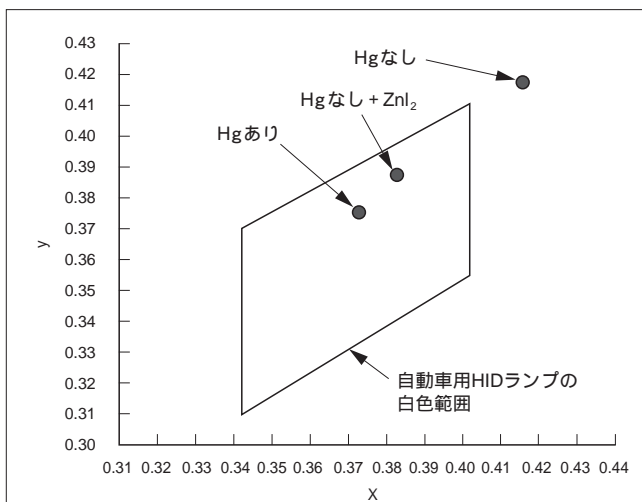


図1. Hg代替物質(ZnI_2)の色度補正効果 - Hg封入ランプから単にHgを除くと色度が白色範囲から逸脱する。 ZnI_2 を添加すると白色範囲に入れることができる。

Compensation of lamp chromaticity by mercury substitution material (ZnI_2)

るが効率は低下してしまう。

- (4) ランプの構成物質(石英,電極)と化学反応しにくいこと

3 水銀フリー自動車用HIDランプ(35W)

以上のようにHg代替物質として蒸気圧が高い金属ハロゲン化物を探索した結果、 ZnI_2 がHg代替物質として最適であることが判明した。 ZnI_2 単独封入の場合の発光は468.0, 472.2, 481.0, 636.2nmのZnの発光線と2原子分子(ZnI)の可視域の連続発光が重畳している。このため立上り時は分圧の高いZnの発光が貢献して白色範囲に入る。定常時は、Znの発光線の励起エネルギーは大きいのでNaやScに比較して発光しにくく、470nm近辺にわずかに発光してHg発光を補い自動車用HIDランプの色度範囲に入り、効率の低下は少ない。

水銀フリーランプは、現在実用化されているHg封入ランプと特性が同等でなければならない。ランプとしては図2に示すようなプロジェクター灯具に使用するD4Sと、外管に遮光膜を備えリフレクター灯具に使用するD4Rの2種がある。

表1にランプ特性を示すが、ランプの特性としてはランプ電圧設定が85Vから42Vになるほかは変更がない。プラズマ中の熱の保持能力はHgの方がXeよりも大きく、水銀フリーランプの方が効率的に不利である。しかし、ランプ負荷を高めたランプ仕様の最適化と製造法の改善で、効率と寿命はHg封入ランプと同一となっている。また、前照灯は光束立上りが速いことが必要であり、規格では4秒後の全光束は定常時の80%以上となっている。Hg封入ランプでは、立上り時にはHgは急速に蒸発するので光束を稼ぐことができる。水銀フリーランプではその点不利であるが、ランプとバラストとのマッチング特性の改良により規格を満足できるようになった。



図2. 水銀フリーランプの外観 - 左がD4S(プロジェクター灯具用)、右がD4R(リフレクター灯具用)である。D4Rには外管に配光を制御するため遮光膜が塗付されている。

Mercury-free HID lamps (left: D4S, right: D4R)

表1. 水銀フリーランプ(D4S, D4R)の特性
Characteristics of mercury-free HID lamps

項目	D4S	D4R
バラストの定格電圧 (V)	12	12
定格ワット数 (W)	35	35
光源電圧 (V)	42 ± 9	42 ± 9
光源ワット数 (W)	35 ± 3	35 ± 3
光束 (lm)	3,200 ± 450	2,800 ± 450
目標色度座標	x = 0.375 y = 0.375	x = 0.375 y = 0.375
高温再始動スイッチオフ時間(秒)	10	10
立上り(1秒後) (%)	目標光束の25	目標光束の25
立上り(4秒後) (%)	目標光束の80	目標光束の80
高温再始動	直ちに始動	直ちに始動
高温再始動 (%)	1秒後に目標光束の80	1秒後に目標光束の80
寿命 (時間)	> 2,000	> 2,000

4 水銀フリーのランプ特性への効果

Hgを含まない水銀フリーランプは環境に優しいランプであるが,更に水銀フリーではシステム上の特性上でも次のような利点がある。

(1) 始動時の色特性が良い Hg封入の自動車用HIDランプの場合には,立上り時には蒸気圧の高いHgが急速に蒸発して,しばらくはHg発光が主要となる。Hg発光は色特性が悪い。そのため自動車用HIDランプの白色範囲に入るまで10秒前後の時間が必要である。水銀フリーランプの場合は始動時にHgの発光はなく,代わりに蒸気圧の高いZnI₂の蒸発によるZn発光の貢献により,始動時から白色範囲に入っている。

両ランプのスイッチを入れてからの分光分布の変化を図3に示す。Hg封入ランプでは初めはHgしか光っていないことがわかる。

両ランプの始動時の色度変化を図4に示す。図4のように,水銀フリーランプは,スイッチを入れた瞬間から色特性の良い光を放射することが可能である。

(2) 特性の変化が小さい Hg封入ランプの場合,ランプからの放射光はSc, Na, Hgの三つの元素からの放射から成る。この内, Sc, NaはScI₃, NaIがそれぞれ分解して発光管内に存在し,その分圧は発光管の温度に依存する。Hgは蒸気圧が大きく,その分圧はほとんど発光管の温度によらない。このため,寸法のばらつきなどのため発光管の温度が低下すると, Hgの発光が支配的になり色特性が変化する。すなわち, Hg封入ランプは寸法のばらつきなどによるランプの色特性のばらつきが大きい。また,この種のランプでは,長期点灯中に金属ハロゲン化物が発光管材料である石英と反応して失われていくが,その場合Hg発光が強くなり色特性の変

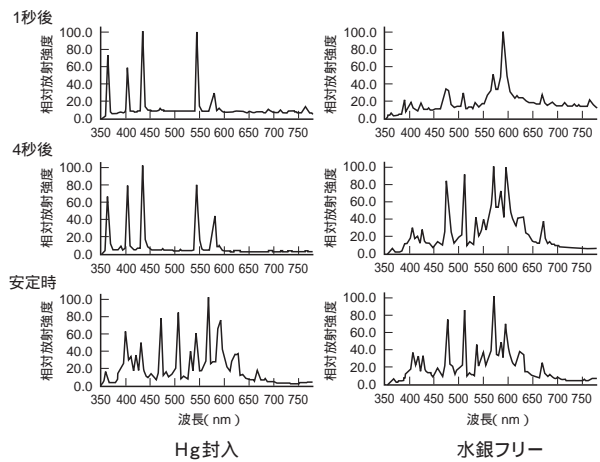


図3. 自動車用HIDランプの始動時における発光変化の比較 - Hg封入ランプでは,始動時はHgしか発光していない。

Comparison of lamp spectral distributions during startup period

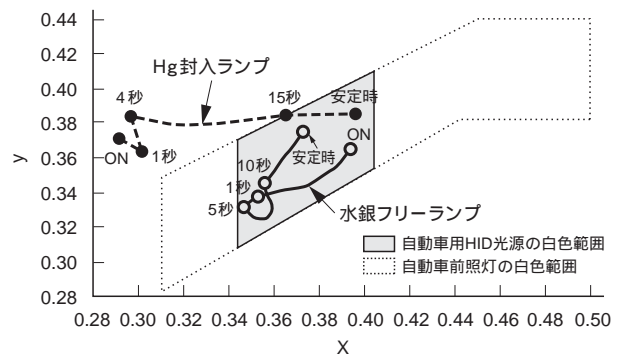


図4. 自動車用HIDランプの始動時における色度変化の比較 - Hg封入ランプと水銀フリーランプの始動時の色度変化の比較を示す。Hg封入ランプは白色範囲に入るのに15秒程度必要である。

Comparison of lamp chromaticity coordinates during startup period

化が大きくなる。水銀フリーランプでは, Hgが封入されていないので,このような初期のランプ間の色特性のばらつきや,寿命中の色特性の変化は小さくなる。

(3) 調光やバラストの小形化への将来対応が可能

将来の方向として,水銀フリーランプは調光(入力電力を定格より下げて全光束を調整する)に対応しやすく,またバラストの小形化が可能なランプである。北欧などでは日中も前照灯を点灯するディライトが行われているが,これが世界的に広がると調光が必要となる。水銀フリーランプでは調光しても色特性の変化は少なく,調光の要求に対応しやすいランプと言える。

水銀フリー自動車用HIDランプの場合,現在は,交流矩形(くけい)波点灯しているが,直流点灯にできる可能性を持っている。今は12V直流電源を使用し最終

的に交流に変換しているが、将来直流点灯できれば、この直流から交流への変換部分が不要になり、バラストの小形化が可能となる。Hg封入ランプを直流で点灯した場合は、封入物のうちNaやScは正にイオン化され陰極に引き寄せられるが、Hgは多量に存在するので電極間の分圧変化は少ない。このためHg封入ランプでは電極間で色変化が起こり、配光に大きな問題が生じる。水銀フリーランプではHgがないため電極間の色変化はずっと少なくなる。

5 バラスト

このランプを始動するには、約20kVという高電圧パルス印加してランプ内の絶縁破壊を促す。そして、そのパルスエネルギーにてバラスト本体であらかじめ発生させてある無負荷出力電圧(300V)までに放電電圧を引き下げた後、バラストから電流を供給し安定したアーク放電を開始させる。このランプは自動車前照灯用であることから、先にも述べたように、始動直後から一定以上の光量を確保しなければならない。ランプが常温程度に冷えた状態からの始動をコールドスタートと呼ぶが、この時、定格電力35Wに対して85Wないし90Wの電力を投入して始動することで光量を確保する。始動直後はXeによる発光が支配的であるため、ランプ電圧の上昇及び発光光量の上昇をほとんど伴わない。そしてランプ温度がこれまで述べたZnI₂などの沸点に到達すると、突然に金属蒸気による発光が開始されることにより、発光光量が急激に増加する。したがって、このタイミングを見計らってそれまで投入していた電力を指数関数的に低下させ、最終的に定格電力である35Wの点灯へと移行する。別の場面では、信号待ちなどのように、これまで点灯していたランプを一度消灯し、またすぐに点灯する場合もある(ホットリスタート)。この時にはランプの温度が冷えきっておらず、前述の90Wもの電力を投入すると過剰発光となり、対向車への幻惑をもたらす、あるいはランプ寿命を急激に縮めることになる。そこで、このような場合においてはランプ温度に適した(35W以上90W以下の)電力投入が求められる。更には、パッシングなど頻繁な点滅が繰り返される場合もある。この時は点灯時間と消灯時間の割合と、その時の投入電力とからランプの温度が変化し、必要な投入電力も刻々と変化する。そこで今回開発したバラスト(図5)では、点灯時間と消灯時間とを計測して常に最適な電力で始動するよう、8ビットマイコンを内蔵した専用電源LSIを開発して搭載した。また、コールドスタート時には、前述した金属蒸気による発光が急激に行われることから、ランプの形状のなばらつきが光量立上りのばらつきにつながりやすいという難点もあるが、ランプ電圧の変化を詳細に読み取ることでこの問題を解決した。

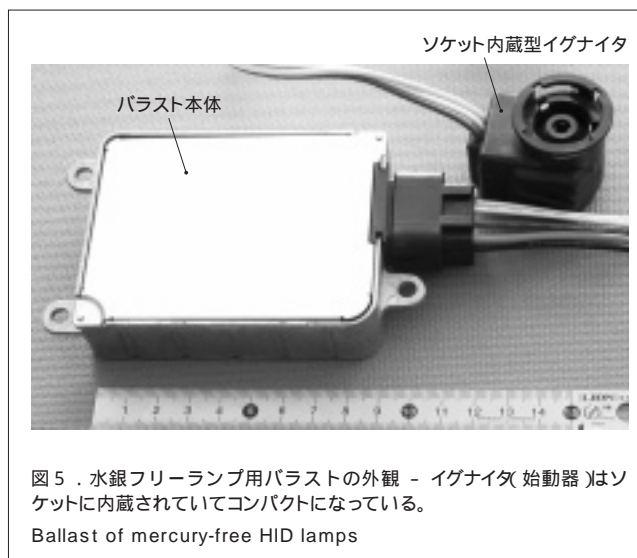


図5. 水銀フリーランプ用バラストの外観 - イグナイタ(始動器)はソケットに内蔵されていてコンパクトになっている。
Ballast of mercury-free HID lamps

6 あとがき

水銀フリーの自動車前照灯用HIDランプとバラストを開発した。このランプシステムは環境に有害なHgを排除した環境調和型製品であり、また特性的にも優れたランプである。この技術に基づいて、ハリソン東芝ライティング(株)が中心となって提案した国際規格日本案が、2002年に国際会議で承認され2003年中の欧州車両規定への採択が確実になり、2004年から日本で実用化が始まる。このランプは、2007年には全世界の年間生産自動車(5,500万台)の20%以上に装備される見込みである。

文献

- (1) 仁枝康弘. 水銀フリー自動車前照灯用HIDランプについて. 電球工業会報. No.445, 2002, p.30 - 32.



石神 敏彦 ISHIGAMI Toshihiko, D.Eng.

東芝ライテック(株)技術統括部研究所 研究開発担当主査、工博。新光源の開発に従事。照明学会、応用物理学会、電気学会会員。

Toshiba Lighting & Technology Corp.



上村 幸三 UEMURA Kozo

東芝ライテック(株)技術統括部研究所 研究開発担当主務。新光源の開発に従事。照明学会会員。

Toshiba Lighting & Technology Corp.



石塚 明朗 ISHIZUKA Akio

ハリソン東芝ライティング(株)AML事業推進部 回路製品部主務。HIDランプ用バラスト開発に従事。

Harison Toshiba Lighting Corp.