HIDランプの消灯・再点灯特性

正員 藤野達士 (明石高専) 正員 竜子雅俊 (明石高専)

Extinguishing and Restriking Characteristics in hot HID Lamps

Tatsushi Fujino, Member (Akashi Coll. of Tech.) Masatoshi Ryoko, Member (Akashi Coll. of Tech.)

In general, HID lamps may be easily extinguished by momentary outage or voltage drop of power source, and they take a few minutes to be restarted. We tested the metal halide lamps, high-pressure Hg lamps and high-pressure Na lamps. On this paper, we describe their extinguishing characteristics by momentary drop of source voltage, discharge voltage after they have been extinguished, and trial on the instant reignition of hot HID lamps.

High-pressure Na lamps were more easily extinguished by half cycle of 60Hz voltage drop, but by one or more cycle drop, they were less easily extinguished than the other kind of lamps. Restriking & keeping voltage of these Na lamps are lowest, and these voltage of metal halide lamps are highest. It is able to restart hot HID lamps within 1 minute by superposing high voltage pulse on power source peak position, and also able to restart hot high-pressure Na lamps instantly.

キーワード：ホットランプ、HIDランプ、消灯、再点灯、再始動、放電、電圧低下、瞬時停電

1. はじめに

近年、主に屋外照明用として急速に普及してきたHIDランプは、高輝度・高光束でかつ高効率・長寿命などの優れた利点を持っているが、短時間の停電あるいは電圧低下によっても消灯しやすく、また一旦消えると再点灯に数分以上の時間を要するという欠点をも併せ持っている。これらの消灯特性については製品の評価のためにも各メーカー自身で種々の方法で行われているが⁽¹⁾、短時間レベルでの特性についてはあまり報告されていない。本稿ではこのようなHIDランプに対し、電源周波数の半サイクルを単位とした瞬時電圧低下に対する消灯特性、主電極間に単発パルス電圧を印加した時の放電特性、またいくつかのランプに対して再始動実験を行った結果について報告する。

2. 瞬時電圧低下による消灯特性

上述のように、HIDランプはごく短い時間の電圧低下でも、その電圧と時間によっては消灯してしまうことがある。ここではその様子を調べるため、各種HIDランプに対して電源周波数の半サイクル分の整数倍の時間だけ電源電圧を低下させて、消灯の有無およびランプの電圧・電流波形の変動を測定した結果について述べる。

(2.1) 使用HIDランプと測定回路 実験に使用したランプは全て市販品（三菱電機製）と同規格のものを使用し、高電圧を印加するため、外管をダブルエンド型としている。図1は400W Sc-Naメタルハライドランプの例で、発光管は内径18.5mmφ、電極間隔約45mmである。400W 高圧

Hgランプはこれと同様な構造で、内径18.5mmφ、電極間隔約68mmである。また、400W 高圧Naランプでは外管内は高真空中で、発光管にはアルミナ管（内径8mmφ、電極間隔約88mm）を使用している。150W Sc-Naメタルハライドランプは内径13mmφ、電極間隔約23mmである。

測定回路の概略を次ページ図2に示す。図のように2個のSSR(Solid State Relay)を使用し、ランプ回路に加える電圧を制御する。定格点灯時にはSSR①がオン、②がオフの状態になっているが、指定されたサイクル数の間オン・オフの状態を逆転させると、その間だけ設定電圧に低下し、また元の定格電圧に復帰する。従来の文献では瞬時電圧低下の位相を考慮していないが、図2の各SSRはゼロクロス動作となっており、図3に示すように、電圧は瞬時値が0ボルトの瞬間から電源周波数(60Hz)の半サイクルを単位として、その整数倍の時間(1~99をデジタルプリセッターで設定)だけ設定値に低下する。始動には、安定器出力に手動で高圧パルスを重畳するか補助放電等の手段を用いる。

(2.2) 測定方法 測定は試験ランプを20分以上定

図1 HIDランプの外観(400W Sc-Na)

Fig.1. Schematic View of HID Lamp
(400W Sc-Na Metal Halide Lamp)

図2 消灯特性測定回路の概略

Fig.2. Circuit for Measurement of Extinguishing Characteristics

図3 SSRの動作

Fig.3. Switching of Power Source by SSR

格点灯した後、電圧低下の時間とその電圧値を設定して瞬時的に電圧を低下させ、消灯するかどうかを調べる。一旦消灯すると再点灯に時間を要して実験の能率が悪くなるので、はじめは消灯しないような電圧と時間に設定しておき、少しずつ設定電圧を下げるか、または低下時間（サイクル数）を増して消灯領域に近付け、非消灯領域との境界を測定する。また、必要に応じて電圧・電流波形を記録する。

〈2.3〉 ランプ電圧・電流波形の変動 図4に400W Sc-Na メタルハライドランプにおいて瞬時電圧低下により消灯した場合としない場合の、電源電圧・ランプ電圧の波形例を示す。図では(a)、(b)共に電圧低下時間は3/2 サイクルであるが、(a)は電圧を200Vから100Vまで低下させた場

図4 電圧波形の動揺 (400W Sc-Na)

Fig.4. Wave Form of Lamp & Source Voltage (400W Sc-Na Metal Halide Lamp)

図5 電圧・電流波形の例 (150W Sc-Na)

Fig.5. Wave Form of Lamp Voltage & Current (150W Sc-Na Metal Halide Lamp)

合で、最初の半サイクルの途中から放電が消え、電源電圧が復帰しても再点弧せず消灯した例である。(b)は150Vまで低下させた場合で、電圧低下3個目の半サイクルでは、ランプ電圧が安定器入力電圧近くまで上昇し、一旦放電が停止しかかったが、入力電圧の復帰と共にランプ電圧も速やかに回復し、消灯には至らなかった例である。

図5は150W メタルハライドランプの場合で、電源電圧を各々130V、120Vおよび115Vに低下させ、電圧低下時のランプ電圧と電流の変化の様子を示したものである。電圧低下時間は前図同様、3/2サイクルとした。(a)は電源電圧を130Vまで低下させた場合で、電流が非常に小さくなりランプ電圧波形もほとんど電源電圧に近い状態ではあるが、各半サイクルとも一応点弧は行われている。(b)は120Vまで低下させた場合で、3個目の半サイクルでは電流はゼロとなり、ランプ電圧も電源電圧まで上昇して放電は一旦停止しているが、電源電圧の復帰によって再点灯しているようすがわかる。肉眼による観察では(a)、(b)とも一瞬のチラツキを感じる程度である。(c)は電源電圧を115Vまで低下させた場合で、3個目の半サイクルで放電が停止し、電源電圧が復帰しても再点弧せず消灯に至っている。

〈2.4〉 消灯・非消灯特性 図6以下に各種HIDランプの瞬時電圧低下に対する消灯特性を示す。これらの図は低下時電圧と電圧低下時間に対する消灯・非消灯の様子を示す。各図で、●、×などのプロットは各印毎にランプ個体の異なることを示すと共に、消灯・非消灯領域の境界を表す(プロットは消灯したことを示す)。図中の破線は電圧低下を長時間継続した場合でも消灯しない電圧下限を示す(境界は非消灯領域にはいる)。

図6の400W Sc-Na メタルハライドランプについて見ると、●印のランプでは、低下時の電圧が60Vの時は電圧低下時間が電源周波数の半サイクル分と極めて短い時でも消

図6 消灯特性 (400W Sc-Na メタハラ)

Fig.6. Extinguishing Characteristics
(400W Sc-Na Metal Halide Lamp)

図7 消灯特性 (400W 高圧 Na ランプ)

Fig.7. Extinguishing Characteristics
(400W High Pressure Na Lamp)

図8 消灯特性 (400W 高圧 Hg ランプ)

Fig.8. Extinguishing Characteristics
(400W High Pressure Hg Lamp)

図9 消灯特性 (150W Sc-Na メタハラ)

Fig.9. Extinguishing Characteristics
(150W Sc-Na Metal Halide Lamp)

灯するが、130Vでは1サイクル、145Vでは消灯までに3/2サイクルを要す。このように、低下時電圧が高いと消灯にいたる電圧低下時間は次第に長くなり、168Vでは31/2サイクルかかってようやく消灯する。また175V以上ではいくら長時間の電圧低下があっても消灯しない。×印は同規格の別の個体について調べたもので、個体差とみられる多少のバラツキはあるが、ほとんど同様の特性である。また、図9は150Wメタルハライドランプの例であるが、絶対値は異なるものの、特性の傾向は400Wランプと同様である。

高圧Naランプは飽和蒸気圧型であるため、瞬間的な電圧変動に対しても立消えし易いといわれており⁽¹⁾、今回の測定で400Wのランプにつき3種のランプを比べてみても、半サイクルの電圧低下ではメタルハライドランプが60V、高圧Naは105V、高圧Hgは90Vで消灯し、高圧Naランプは他種のランプより消灯し易い結果となった。しかし、今回の

結果からは、1サイクル以上の低下時間では逆に消灯しにくく、非消灯電圧の下限もメタルハライドが175V、高圧Naが135V、高圧Hgが178Vと、高圧Naランプが最も低く、メタルハライドランプ、Hgランプと比べても極く瞬時以外の電圧低下に関しては強い(消灯しにくい)ことがわかる。

3. 主電極間放電特性

前節の結果からも各種HIDランプは短時間の電圧低下でも消灯し易いことがわかるが、これは一旦消灯すると直後の放電開始電圧が高く、再点灯しにくいということでもある。ここではHIDランプ消灯後の特性として、放電開始電圧と維持電圧特性について調べた結果について述べる。

〈3.1〉放電開始電圧 安定点灯後消灯した、まだホットな状態のHIDランプの主電極間に、高電圧を印加した時の放電開始特性に影響を与える要因としては、(1)消灯後、

図10 HIDランプの放電開始特性

Fig.10. Restriking Voltage of hot HID Lamps

数十～数百ms程度で発光管内部の荷電粒子が拡散・再結合により失われ、発光管内部は不導電性を示すようになる。従って放電開始電圧はこの期間内に急激に上昇するであろう。(2) 数～数十秒で陰極温度が低下し、熱電子放出が減少する。この間、開始電圧はゆっくり上昇する。(3) 数～十分分かって発光管の管壁温度が次第に低下するに従い、管内部の蒸気圧が低下し、放電開始電圧は長い時間かけてゆっくり低下する。などが考えられ、我々が測定したところでも図10の様な特性がみられた。この図は安定点灯後消灯したランプの主電極間に、10秒おきに手動でネオントランスの出力を印加して放電した時の値である。回路は略す。図10は上に述べた(2)の要因以後の様子を示している。Hgランプの特性は、(2)と(3)の点についてよく一致している。高圧Naの開始電圧はすぐに低下しており、電極の影響が小さいことがわかる。Dy-Tl、Sc-Naの二種のメタルハライドランプでは他のランプに比べて放電開始電圧が高く、また、消灯後数十秒～百秒程度の所で特性に谷がみられる傾向がある。

〈3.2〉 パルス放電による管電圧特性 次節で述べるHIDランプの再始動のためには図10の放電開始電圧だけでなく、ある程度電流を流した時にこの電圧がどこまで下がってくるかという特性についても調べてみる必要がある

図11 パルス放電特性測定回路

Fig.11. Circuit for Measurement of Characteristics by Pulsed Discharge

う。ここでは消灯後十～数百秒にわたって、主電極間に数百mA程度単発パルス電流を流した時の管電圧特性について調べた。

〈3.2.1〉 実験回路の概略と測定方法 実験には図11の回路を使用した。ランプを20分以上安定点灯させた後、安定器側を切り放しスイッチSW₂を閉じる。高電圧は消灯後10秒おきにSCRをオンさせてイグニッションコイルI.C.を励磁することにより発生させ、電流は一次側につないだ静電容量Cの値により加減する。SW₁はSCRをトリガしていない間に数秒間だけ閉じてCを充電する。このようにしてホットランプに高電圧を加えて放電させ、電圧・電流波形を写真撮影し、その結果から管電圧・電流を読み取った。

〈3.2.2〉 実験結果 図12に管電圧・電流波形の一例を示す。I.C.の励磁はCに蓄えられた電荷によって10秒おきに一回づつ行われ、一次側に注入されるエネルギーもCの値によってほぼ一定で、二次側は波形・大きさのほとんど変わらない単発パルス電流となり、管電圧だけが変化する。この電圧の最低値(維持電圧)をとってプロットしたのが図13～15である。図ではCの値をパラメータとし、その時流れる電流の最大値I_{max}も記入してある。

図12 電圧・電流波形の例(400W Sc-Na)

Fig.12. Wave Form of Lamp Voltage & Current (400W Sc-Na Metal Halide Lamp)

図13 パルス再放電特性(400W 高圧 Hg)

Fig.13. Lamp Voltage by Pulsed Restriking (400W High-Pressure Hg Lamp)

図 14 パルス再放電特性 (400W 高圧 Na)

Fig.14. Lamp Voltage by Pulsed Restriking (400W High-Pressure Na Lamp)

図 15 パルス再放電特性 (400W Sc-Na)

Fig.15. Lamp Voltage by Pulsed Restriking (400W Sc-Na Metal Halide Lamp)

これらの図では高圧Naランプの維持電圧が最も低く、また電流による変化が少ない。電源電圧 200V と比べてみても、消灯後 50 秒には全ての場につきこれを下回っており、特に I_{max} が 0.79A では 30 秒後に 170V まで低下している。つまり図 10 と共に考え合わせれば、高圧 Na ランプは HID ランプの中でも放電開始電圧が低く、いったん放電を開始すると少ない電流でも管電圧が電源電圧以下にまで下がるから、再始動特性に優れたランプであるともいえる。

これに比べると他の二種のランプではやや維持電圧が高く、高圧 Hg ランプでは開始電圧が比較的低いにもかかわらずかなり電流を流さないと、またランプが冷えないと 200V 以下にまで下がってこない。つまり、主電極放電のみの特性からは再始動性はあまり良いとは言えず、補助放電等他の手段が必要となる。また、Sc-Na メタルハライドランプでは、図 10 の放電開始電圧が高く特性に谷が現れていた。図 15 でも流す電流が小さい時は同様の傾向がみられ

(図の△、□)、また放電しても電流の影響が大きい。

4. 再始動実験

以上のように HID ランプは消灯し易く、また一旦消えると再点灯しにくい、前節の結果より、安定器出力に高電圧パルスを重畳してランプに加え、放電した時の維持電圧が安定器出力電圧以下になれば、主放電に移行し再始動に至ると考えられる。ここでは、実際に高電圧パルスを重畳し、再始動実験をおこなった結果について報告する。

〈4.1〉 実験回路 高電圧パルスを重畳する方法はいくつか考えられるが、ここでは外付の球ギャップと L、C の共振回路により実現する。図 16 の回路で、ランプを 20 分間安定点灯後 SW_1 を切り、一旦消灯する。ついで SW_2 を開き SW_1 を再度投入する。この時ランプは消灯したままである。

高圧発生部はネオントランスの出力を全波整流したもので、C には主ギャップ①-②のフラッシュオーバー電圧を僅かに下まわる電圧 V_g を保持しておく。トリガパルス発生部は電源電圧に対し位相制御されたパルスが発生し、針電極③と主電極②との間にトリガー放電を開始させると、これが引金となって①-②間に火花放電が起こり、安定器出力に高電圧パルスが重畳される。共振周波数は数百 kHz ~ 1MHz、コイル L は手巻きの単巻変圧器となっており、巻数比は 2.9、出力パルスは約 60kV (ピーク値) まで可能である。

図 16 再始動実験回路

Fig.16. Circuit for Restarting Experiment

図 17 再始動時間 (パルス位相角変化)

Fig.17. Time for Restarting (Phase Angle Variable)

図18 再始動時間 (パルスエネルギー変化)
Fig.18. Time for Restarting(Pulse Energy Variable)

〈4.2〉 重畳パルスの位相角に対する再始動特性 図17に、高電圧パルスの電源電圧に対する位相角 ϕ を横軸にとり、縦軸に再始動までの時間をとってプロットした。いずれのランプも ϕ が 90° (電源電圧のピーク) の時、最も再始動時間が短い。この時、メタルハライドランプでは42秒、高圧Hgランプでは28秒で主放電にいたる。図には示していないが、Hgランプでは V_g が高くなり過ぎると ϕ が 90° 付近での再始動時間が長くなる傾向があった。これはHgランプでは V_g が適当な値 (ここでは17kV程度) を越えると、放電路が発光管内壁に沿って走り、主放電に移行しにくいことによる。Naランプは再始動が容易で、 V_g が9kV程度以上では ϕ が $10 \sim 100^\circ$ の範囲で殆ど瞬時に点灯する。

〈4.3〉 重畳パルスのエネルギーに対する再始動特性 高圧パルスはCに蓄えられた電荷が放電することにより発生されるが、この時Cの充電は毎回高圧電源のピークまで行われるものと仮定し、このエネルギー、 $E=1/2CV_g^2$ を横軸にとって再始動までの時間をプロットしたものを図18に示す。 ϕ は 90° 一定とし、 V_g を変化させている。図でメタルハライドランプでは V_g は高いほどよく、 $V_g=22.6$ kV ($E=0.51$ J) の時は21秒で再始動する。逆に V_g が低いと再始動時間は長くなり、図では示していないが10kV以下では3分以上かかって再始動が困難になる。Hgランプでは電圧は比較的低くてもよく、また高すぎるとかえって悪くなる。Naランプは再始動特性も優れており、パルス単発のエネルギーEも約0.1Jでほぼ瞬時点灯が可能である。

5. むすび

以上、HIDランプの消灯特性と再点灯特性について述べた。消灯特性では、従来の文献では短時間レベルでの特性についてはあまり報告されておらず、また、瞬時電圧低下の位相を考慮していないが、今回の測定では、電源電圧に対しゼロクロス制御された瞬時電圧低下による特性を調べた。高圧Naランプは飽和蒸気圧型であるため、瞬間的な電

源電圧の変動に対しても立消えし易いといわれていたが、今回の測定の結果、電源周波数 (60Hz) の半サイクルと極めて短い時間の電圧低下では、高圧Naランプは他種のHIDランプより消灯し易いが、1サイクル以上の低下時間では逆に他種のランプより消灯しにくいことがわかった。再放電特性では放電開始電圧のほか、単発パルス電圧を印加した時の維持電圧につき測定をおこなった。その結果、開始電圧・維持電圧ともNaランプが最も低く、メタルハライドランプは最も高い。この結果に基づいておこなった再始動実験では、高圧パルスを電源電圧に重畳することにより、通常数分以上かかるものを1分以内に再始動できる。再放電特性からも類推できるように高圧Naランプは最も再始動性に優れ、多種のランプよりも少ないパルスエネルギーで殆ど瞬時に始動することが可能である。

最後に本研究全般に対し御指導を賜りました新居浜工業高等専門学校校長板谷良平先生に深く感謝致します。研究遂行上便宜をはかっていただきました三菱電機(株)渡部勤二氏に心より謝意を表すものであります。

(平成 9年 3月24日受付, 平成 9年 8月18日再受付)

文 献

- (1) 祝・越智:「高圧ナトリウムランプの立消特性」昭51 照明学会東京支部、No.10 他
- (2) 竜子・藤野・渡部・板谷:「瞬時電圧低下に対するHIDランプの消灯特性」、昭61 照明学会全大、No.33
- (3) 藤野・竜子・渡部・板谷:「HIDホットランプの主電極間放電特性」、昭63 照明学会全大、No.23
- (4) 藤野・竜子・渡部・板谷:「HIDランプの消灯・再点灯特性」、照明学会研究会資料、LS-88-7(1988)
- (5) 藤野・竜子・藤家・井口・渡部・板谷:「HIDホットランプの放電開始特性」、平1 照明学会全大、No.26

藤野 達士 (正員) 1949年4月5日生まれ。74年広島大学工学部電気工学科卒。日工(株)を経て、75年明石高専電気工学科助手、83年同講師、87年同助教授、現在に至る。可変色放電、蛍光ランプの効率改善、HIDランプの再始動特性の改善などの研究に従事。

竜子 雅俊 (正員) 1944年6月5日生まれ。72年京都大学大学院博士課程単位修得退学。同年明石高専電気工学科助手、75年同講師、78年同助教授、88年同教授、現在に至る。放電発光色の制御、蛍光ランプの効率改善、HIDランプの再始動特性の改善などの研究に従事。照明学会研究奨励賞、照明学会関西支部賞受賞。照明学会、テレビジョン学会会員。工博。