

高出力形セラミックメタルハライドランプ 「エコセラⅡ 680 W」の開発

Development of High Power Ceramic Metal Halide Lamp "ECO-CERA Ⅱ 680 W"

川崎 和彦* 中野 邦昭* 谷口 晋史*

Kazuhiko Kawasaki Kuniaki Nakano Shinji Taniguchi

Abstract

The high power ceramic metal halide lamp with the inner starter operable by usual ballast for the high pressure mercury lamp has been newly developed as the energy-saving lamp with special features of high efficacy, high colour quality and long lifetime. The first two features were attained by the thermal loss reduction from the effective ceramic main tube design and the thinner construction of the fine tube, and the last one by the optimized design of arc tube seals, selected doses and proper electrodes leading to more than 12,000 hours operation. Furthermore, the triple protective functions against unusual states were introduced to improve safety. The newly developed ceramic metal halide lamp will be adopted in the field of large scale space lighting instead of the high pressure mercury and the metal halide lamps.

Key words: Ceramic metal halide; ECO-CERA; 680W; High power

1 はじめに

近年、省エネルギー（省エネ）法や地球温暖化防止に関する京都議定書などに見られるように、地球環境保全に対する関心が世界的な規模で高まり、取り組みが進展してきている。様々な分野において省エネの必要性が求められており、照明分野も例外ではない。工場を例にあげると、これまでは設備の効率化が主に進められてきたが、最近では照明についても省エネ・効

率化が推し進められる流れにある。そのほかに、店舗、体育館、道路、街路といった広域照明には高輝度放電ランプがよく用いられるが、これは高圧水銀ランプ、高圧ナトリウムランプ、メタルハライドランプの総称である。一般的にはHIDランプ（High Intensity Discharge Lamps）とよばれ、蛍光ランプなどの光源にくらべてランプ外観がコンパクトでありながら高効率・高出力・長寿命といった特長のあることから多用されている。そのHIDランプのひとつに、比較的最近開発されたセラミックメタルハライドランプがあるが、今回これまで報告例のない高出力形のセラミック

* (株)ジーエス・ユアサ ライティング 光源製造部

メタルハライドランプを開発することができた。本稿では、その開発の経緯とともに、ランプ構造、高出力発光管の実現、ランプ内搭載保護機能、ランプ特性についてのべる。

2 開発経緯

HID ランプの中でも高圧水銀ランプやメタルハライドランプは、ある程度の演色性（光源が物体の色の見え方におよぼす効果）の高さを求める工場や施設の照明などで用いられている。各ランプの特性概要を Table 1 に示す。なお、後述するセラミックメタルハライドランプ「エコセラ II」の特性概要もあわせて示す。表より高圧水銀ランプは寿命が長いがランプ効率や演色性が低い、一方メタルハライドランプはランプ効率や演色性がすぐれているが寿命が短いといったようにそれぞれ一長一短が見てとれる。

我々はメタルハライドランプの高効率、高演色を維持向上しながら寿命特性を改善するために、発光管に従来の石英ではなく透光性アルミナセラミックスを用いた L 形（低始動電圧形）のセラミックメタルハライドランプ「エコセラ」220 W / 360 W を 2000 年に開発し商品化した¹⁾。発売以降、省エネランプニーズの高まりを受けて、150, 190, 270 W をバリエーションに追加し、150 ~ 360 W までシリーズ化している²⁾。2004 年には発光管形状と封入物の改善により、当初 12,000 時間であった寿命を 15,000 時間にまで延長し、さらにランプ効率を向上させた「エコセラ II」を発売した³⁾。表より、「エコセラ II」はメタルハライドランプよりもすぐれた光学性能（平均演色評価数 Ra 85, ランプ効率 96 lm/W）と高圧水銀ランプよりも長寿命の性能（寿命 15,000 時間）をかねそなえた製品であることがわかる。この「エコセラ II」は安価な一般形水銀灯安定器での点灯が可能であるので、高圧水銀ランプやメタルハライドランプに対する置き換え用省エネランプとして普及している。

このように省エネランプとしての需要が高まってき

ている中で、大形の施設や工場といった高天井の大規模空間照明では、高出力（700 ~ 1,000 W）の高圧水銀ランプやメタルハライドランプが用いられているので、「エコセラ II」シリーズ最高出力形 360 W を適用しても、光束不足となることから、そのニーズに対応できない状況にあった。今回は 700 W を超える高出力ランプに対応する実力を備えた、省エネランプ「エコセラ II 680 W」の開発に着手した。

3 ランプ構造と発光管構造

セラミックメタルハライドランプ「エコセラ II」の概略構造を Fig. 1 に示す。発光管は口金に接続された金属支持棒で固定され、始動回路とともに外球の中に封じ込められており、全体は真空に保たれている。電

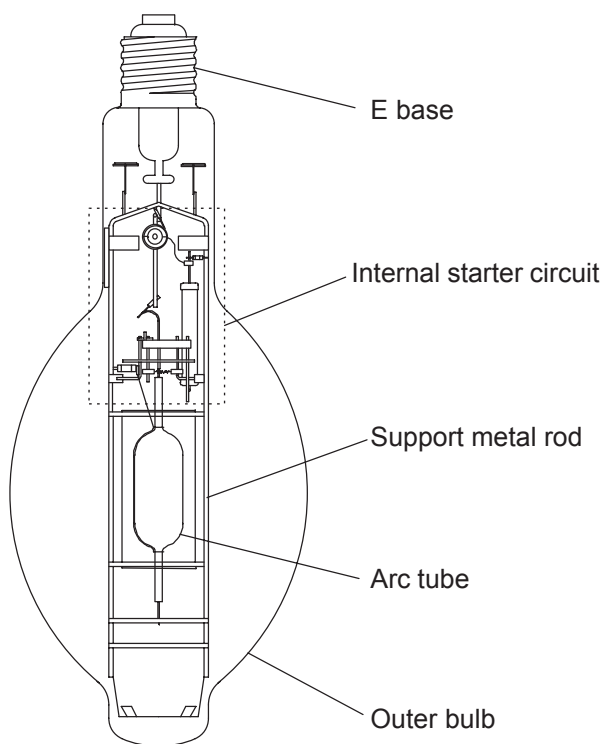


Fig. 1 Schematic view of "ECO-CERA II" ceramic metal halide lamp.

Table 1 Typical properties of HID lamps.

Lamp type	Lamp power / W	Lamp voltage / V	Lamp current / A	Initial lumens / lm	Luminance efficacy / lm/W	Colour temperature / K	Ra	Rated life / hours	Burning position
High pressure mercury lamp	400	130	3.3	22,000	55	4,000	40	12,000	Universal
Metal halide lamp	400	130	3.3	38,000	95	4,000	65	9,000	Vertical base up $\pm 15^\circ$ or vertical base down $\pm 15^\circ$
Ceramic metal halide lamp "ECO-CERA II"	360	130	3.3	34,500	96	4,000	85	15,000	Vertical base up $\pm 30^\circ$ or vertical base down $\pm 30^\circ$

気は安定器から口金を通して供給され、始動回路により放電開始（絶縁破壊）に必要なパルスが発生しランプ放電が開始される。そして、発光管の温度が上昇すると始動回路は自動的にスイッチが切れ、定常的な放電を維持することになる。発光管内の概略構造を Fig. 2 に示す。発光管は透光性アルミナセラミックス管（アルミナ管）、電極、リード線によって構成されており、両端部がロウ材で封止されている。発光管内部には金属ハロゲン化合物、水銀、希ガスが封入されている。放電は電極先端間に発生し、温度の上昇とともに水銀、金属ハロゲン化合物が蒸発して発光する。

4 高出力発光管

4.1 基本設計

最初に本ランプ開発において中心となる発光管設計についてのべる。従来形 700 W メタルハライドランプの石英発光管 (a)、エコセラ 360 W の発光管形状から 680 W 用に相似設計したアルミナ発光管 (b)、およびエコセラ II 680 W の最終設計形状アルミナ発光管 (c) を Fig. 3 に示す。透光性アルミナセラミック

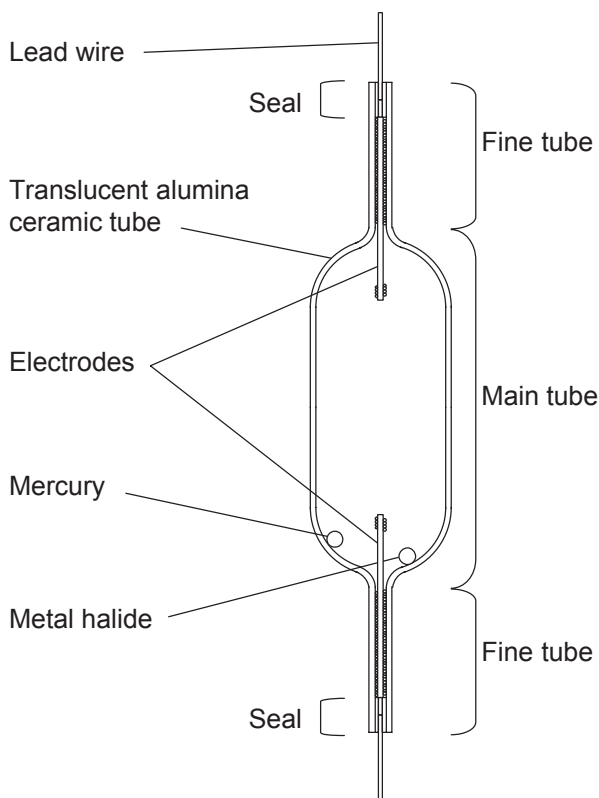


Fig. 2 Inner structure of "ECO-CERA II" ceramic arc tube.

スは石英よりも耐熱性、耐ハロゲン性にすぐれているので発光管の動作温度を上げて歪み・侵食などの不具合がおこりにくい。今回のアルミナ発光管 (b), (c) では、本管部内容積を従来形石英発光管 (a) の内容積よりも約 40% 削減した。このコンパクト化により点灯動作中の単位面積あたりの電力供給の目安である管壁負荷を石英発光管の約 2 倍まで高めることができた。これにより発光管動作温度が上昇し、金属ハロゲン化合物の蒸気圧を高くすることができ、結果として (a) メタルハライドランプよりも高演色でありながら高効率を達成することが可能となった。

4.2 光学特性比較

発光管 (a), (b), (c) を用いた各ランプの分光分布を Fig. 4 に示す。あわせて Ra, 諸効率も記載する。なお、石英発光管 (a) の封入物には一般的に用いられる効率重視形のヨウ化スカンジウム (ScI_3) とヨウ化ナトリウム (NaI) を用いている。一方、アルミナ発光管 (b), (c) の封入物にはエコセラ II シリーズとしての光色を統一するために演色性重視形のヨウ化ディスプロシウム (DyI_3)、ヨウ化ツリウム (TmI_3)、ヨウ化ホルミウム (HoI_3)、ヨウ化タリウム (TlI) お

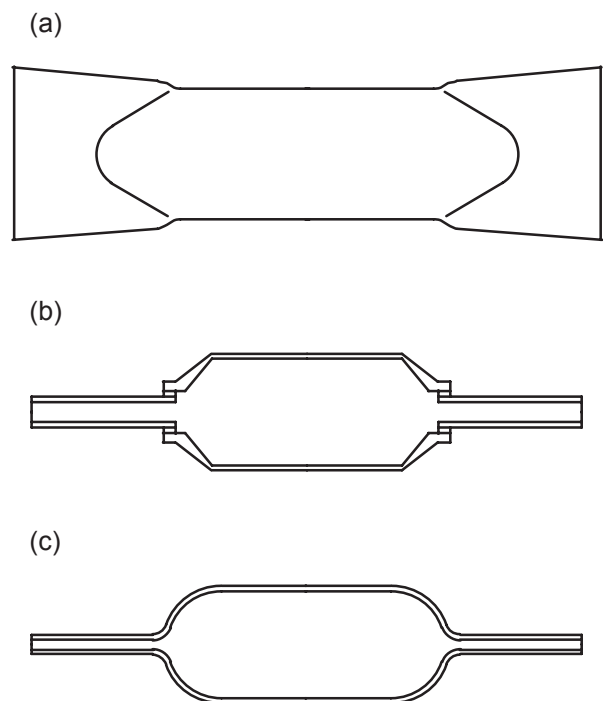


Fig. 3 Shape comparison among three types of arc tube.

(a) Quartz arc tube for 700 W metal halide lamp.
(b) Similarly designed ceramic arc tube for 680 W.
(c) Finally designed ceramic arc tube for 680 W.

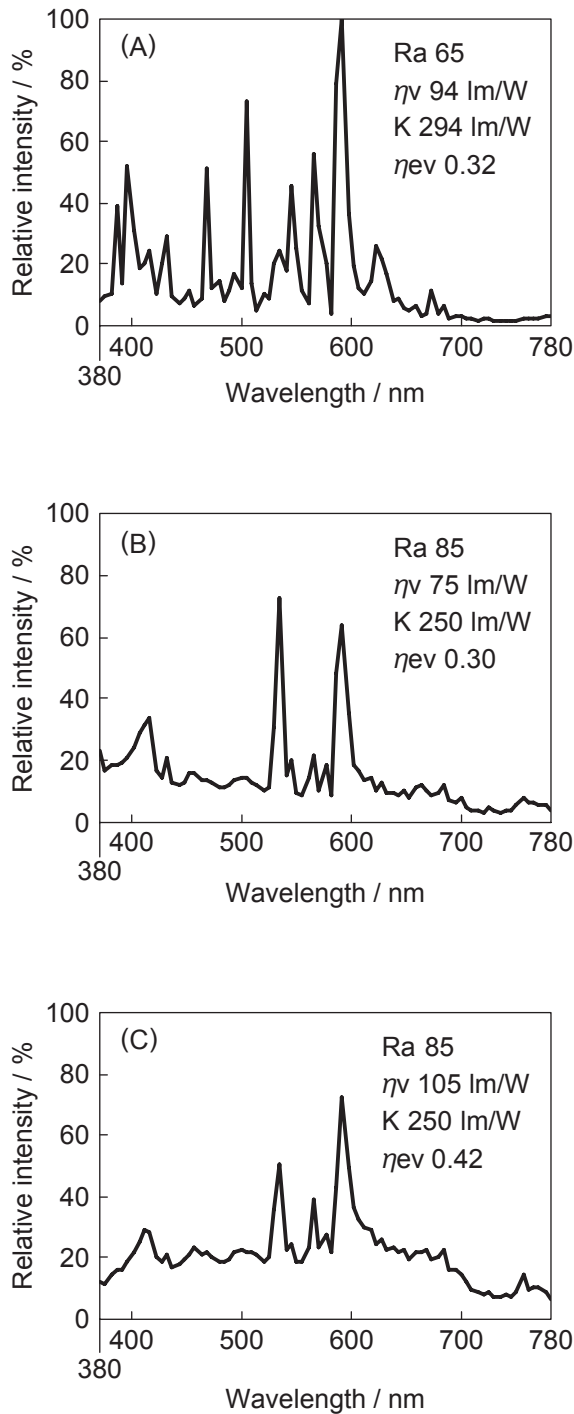


Fig. 4 Spectral distributions from three types of lamp.

- (A) Quartz arc tube for 700 W metal halide lamp.
- (B) Similarly designed ceramic arc tube for 680 W.
- (C) Finally designed ceramic arc tube for 680 W.

よびヨウ化ナトリウム (NaI) を混合して用いている。各分光分布を比較検討する前にランプ効率と Ra についてまとめておく。ランプ効率は次式で表される⁴⁾。

$$\eta v = K \times \eta ev \quad \dots \dots \dots (1)$$

ηv : ランプ効率 (lm/W)
 K : 視感効果度 (lm/W)
 ηev : 可視光放射効率

すなわち、ランプ効率 (ηv) は視感効果度 (K) と可視光放射効率 (ηev) を掛け合わせた数値であり、K もしくは ηev を高めることによって、 ηv を向上させることができる。視感効果度 (K) は眼の感度 (比視感度) で補正された可視光放射束の、放射に費やされた電力に対する比で定義されており、555 nm 付近の寄与が最も大きい。可視光放射効率 (ηev) はランプに投入された電力に対する可視光放射に費やされた電力の割合を示す。したがって、ランプ効率 (ηv) は、電力を可視光に変換する効率に比例し、555 nm 付近の発光強度に依存して増大する。また、平均演色評価数 (Ra) は色の見え方が自然光のもとでの見え方へのどの程度近くなるかを表す指標であり、黒体放射の連続スペクトルに近いほど Ra は高くなる。

つぎに、それぞれのランプの分光分布と特徴についてのべる。Fig. 4 に示す石英発光管 (a) の分光分布 (A) はピークを示す輝線発光が強いのにに対して連続発光が弱く、とくに長波長側 (赤成分) が弱いことがわかる。 ηev は 0.32 とそれほど高くはないが、 ηv が 94 lm/W と高効率であるのは、目の感度が高い 555 nm 付近の発光が寄与しており、K を 294 lm/W まで高めているからである。一方、Ra は一様な連続発光であるほど高くなるので、連続発光が弱いために 65 と低い値に留まっている。

相似設計アルミナ発光管 (b) の分光分布 (B) は (A) に比べて連続発光が一様に強かつ長波長側まで延びているので Ra が 85 まで向上している。一方、555 nm 付近の発光が (A) に比べて弱いことから K は 250 lm/W と低く、 ηev も (A) に比べて低い。この結果、アルミナ発光管 (b) の ηv は 75 lm/W に留まり石英発光管 (a) の効率に劣っている。連続スペクトルに近い発光をもつ演色性重視の封入物を選択する場合は、K の値を大きくすることが困難であるが、 ηv は K と ηev の積であることから、効率を向上するためには ηev の値を大きくすればよい。なお、相似設計アルミナ発光管 (b) において、 ηev が上がらなかった原因は、熱的なエネルギーロスによるものと考えられる。これは本管部に肉厚部分があることと、細管の管径が太いことがエネルギーの流出経路となっ

ているためである。したがって、この相似設計アルミナ発光管 (b) の形状を修正すればセラミック発光管としての特長を十分にひきだせるものと期待できる。

最終設計形状アルミナ発光管 (c) の分光分布 (C) を見ると (B) とほぼ同じ分布形状を示しているが、連続発光部分の強度が全体的に上昇しているため、 R_a は 85 と高くなる。K は 250 lm/W であり発光管 (b) と同じであるが、 η_{ev} は 0.42 まで上昇している。これは発光管本管部の肉の厚い部分をなくして肉厚を均一化したことと細管径をより細くしたことによる熱ロスの削減効果によるものであり、入力エネルギーが可視光へ効率良く変換されていることがわかる。K と η_{ev} を掛け合わせるとランプ効率 η_v は 105 lm/W に達する。最終設計アルミナ発光管 (c) によりエコセラ II 680 W では (a) のメタルハライドランプの光学特性を凌駕する R_a 85、ランプ効率 105 lm/W を達成することができた。

4.3 長寿命化

エコセラ II のランプ寿命モードは主に 2 つにパターン化することができる。一つは発光管封止部に発生するクラックによって封入物がもれ、不点灯になるパターンである。エコセラ II 680 W では従来よりも封止部の管径を細くして応力を緩和することによって、クラック発生確率を下げ、長寿命化をはかっている。他の一つは、寿命末期に発生するランプ電圧上昇によって立ち消えするパターンである。これに対しては電極設計および封入物添加量を最適化することによって、ランプ電圧の上昇を抑制できた。これらの手法の適用により中出力形以下の寿命 15,000 時間にはおおよばないものの、12,000 時間の長寿命を実現することができた。

4.4 アーク揺れ対策

エコセラ II 680 W では設計条件によっては発光管内のアークが激しくゆれるといった現象があらわれることがわかった。このような現象は 360 W までの中出力形以下では発生頻度が少なく、極間が長い高出力形特有の現象であるといえる。

発光管 (c) における電極先端位置を Fig. 5 に示す。電極先端位置が細管に近い位置 (I) にある場合はアークが激しくゆれることが判明した。ランプ電圧の変動はアークのゆれと対応していることを確認しているので、Fig. 6 に示すランプ電圧の変化はアークのゆれの経時変化を示すことになる。電極先端が位置 (I) の場合ランプ電圧は Fig. 6 の (I) のように一定の変動範囲で大きく変化しており、アークがゆれていること

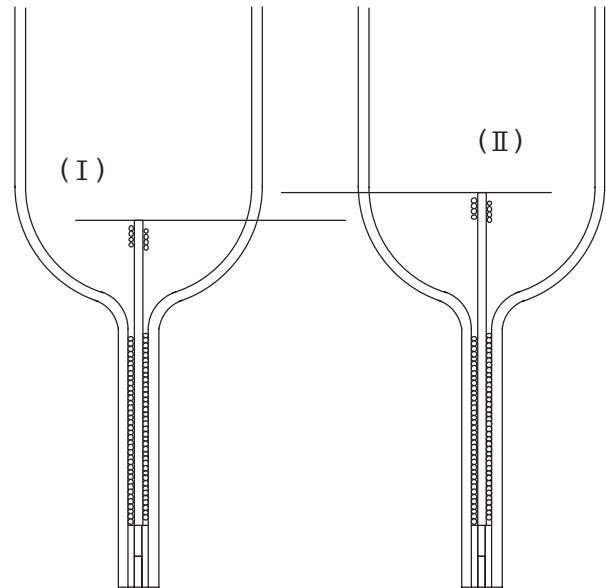


Fig. 5 Top positioning (I) and (II) of electrode for finally designed ceramic arc tube.

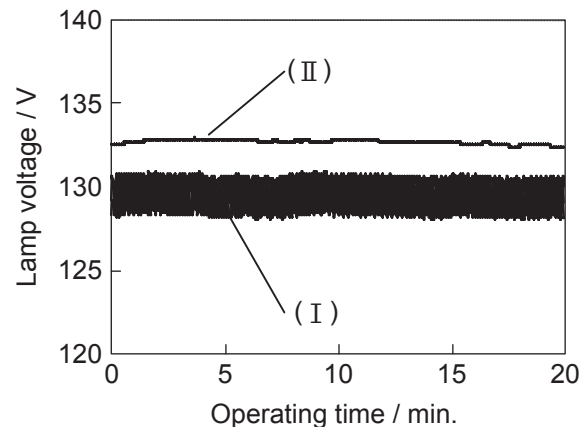


Fig. 6 Change in lamp voltage with different top positioning (I) and (II) of electrode with operation time for finally designed ceramic arc tube.

を示していることがわかる。そこでアークゆれ防止のため電極先端位置を検討したところ、Fig. 5 に示す位置 (II) の場合、Fig. 6 の (II) ようにランプ電圧が安定し、アークゆれがおこりにくいことがわかった。これは発光管温度分布の最適化による発光管内の対流安定化効果と極間長の短縮によるアーク安定化効果によってアークゆれが抑制されるものと考えられる。位置 (II) よりも電極先端が突出しすぎる場合は細管部内の温度が下がり、封入物のもぐり込みを生じ、 R_a や効率などの特性低下を招くことになる。エコセラ II 680 W では、両要件を満足するように、電極先端位

置を設定することによって、アークのゆれをなくし、特性低下も防ぐことができた。

5 保護機能

エコセラ II 680 W では異常に対処する三重保護機能をランプ内に搭載している。その機能の概略図を Fig. 7 に示す。第一の保護機能は発光管異常に対処するものである。寿命末期の発光管では部材の劣化により気密漏れを生じることがある。その場合には、ランプの電圧低下と電流増加をひきおこし、安定器が過電流状態となる。このような状態が継続すると安定器が焼損する可能性がある。このような異常を防ぐために、エコセラ II 680 W では始動回路内に過電流防止フィラメントを付加している⁵⁾。気密漏れ発生時にはフィラメントと発光管リード線との間の放電で溶断するように設計されており、一度溶断すると始動回路は機能

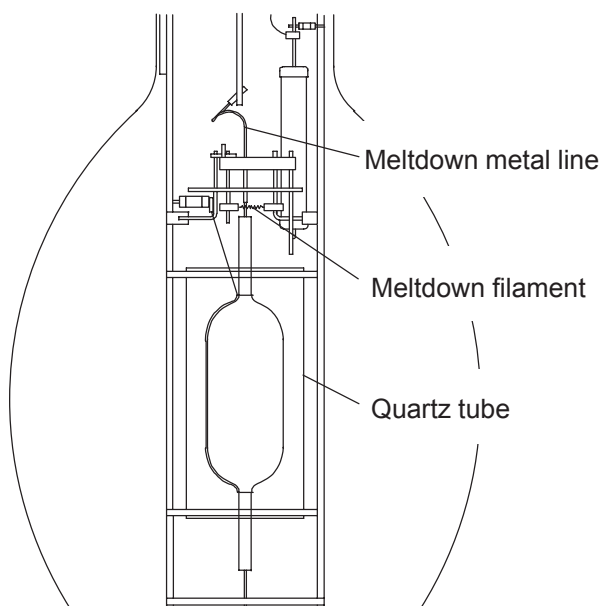


Fig. 7 Schematic view of triple protective functions against unusual states for newly developed ceramic metal halide lamp "ECO-CERA II 680 W".

せず再点灯しなくなるために、異常な点灯状態を防ぐことができる。第二の保護機能は、安定器の電源側異常に対処するものである。寿命末期の安定器では絶縁材料の劣化などにより短絡が発生することがある。その場合には、ランプに過剰電流が流れ込むために、発光管が破損することがまれにあり、外球破損に至ることもある。そのために、発光管の周りを石英筒でおおひ、破裂による破片によって外球が破損しないようにして安全性を高めている。第三の保護機能は、第二の保護機能と同じく電源側の異常対策のものであるが、過電流で溶断する金属線を点灯回路内に組み込み、電流遮断により発光管破損を防いでいる。このような三重の保護機能によって高出力ランプとしての安全性を高めている。なおエコセラ II シリーズは全て同様の保護機能をランプ内に搭載している。

6 仕様・特性

開発したエコセラ II 680 W の仕様と特性を Table 2 にまとめる。ランプ効率は同等出力の白色光源の中では最高効率の 105 lm/W を達成しており、演色性も高演色形となる Ra 85 を実現した。寿命についても 12,000 時間を達成しており長寿命である。

7 まとめ

今回開発した高出力セラミックメタルハライドランプ「エコセラ II 680 W」は、つぎのような技術を適用することによって、実現することができた。

- (1) 高演色を保ちながら高効率化をはかるために、発光管の本管部および細管部の熱ロスを削減した。
- (2) 長寿命化には、封止部の細管化による応力の緩和と発光管内封入物の量および電極の最適設計をおこなった。
- (3) アークの安定化のために、電極位置の最適化をはかった。

Table 2 Characteristics of "ECO-CERA II 680 W".

Lamp type	Lamp power / W	Lamp voltage / V	Lamp current / A	Initial lumens / lm	Luminance efficacy / lm/W	Colour temperature / K	Ra	Rated life / hours	Burning position
CM680 · LE-W/BU (Clear type)	680	130	5.9	71,400	105	4,000	85	12,000	Vertical base up $\pm 30^\circ$ or vertical base down $\pm 30^\circ$
CM680F · LE-W/BU (Diffuse type)	680	130	5.9	68,000	100	4,000	85	12,000	Vertical base up $\pm 30^\circ$ or vertical base down $\pm 30^\circ$

Ballast : General type for 700 W high pressure mercury lamp.

(4) 高出力ランプの異常発生時の対策として三重保護機能をランプ内に搭載することによって安全性を高めた。

以上、エコセラⅡシリーズ最高出力形「エコセラⅡ 680 W」は、従来の700～1,000 Wの高圧水銀ランプやメタルハライドランプの代わりに用いることにより、照明環境の改善とともに省エネを可能とすることができる。今後、この新形ランプによって大規模空間照明での省エネが促進され、地球環境保護に貢献できるものと期待する。

文 献

- 1) 谷口晋史, 竹治弥三郎, 本多二郎, 森茂行, 中野邦昭, *GS News Technical Report*, **59** (2), 29 (2000).
- 2) 本多二郎, 谷口晋史, 中野邦昭, 竹治弥三郎, 光応用・視覚研究会 (セラミックメタルハライドランプ「エコセラ」のシリーズ化), LAV-02-04 (2002).
- 3) 谷口晋史, 電球工業会報, (471), 19 (2005).
- 4) JIS Z 8113 : 1998 照明用語.
- 5) 谷口晋史, 古久保晴夫, 稲垣富樹, 竹治弥三郎, *GS News Technical Report*, **58** (1), 44 (1999).