よう素電球の構造と特性

岩崎電気株式会社 倉 田 恭

よう素電球の構造、原理、諸特性および特性に影響を及ぼす使用条件や材料について述べられている。よう素電球は白熱電球の一種で、管内に封入されたよう素の再生循環反応（よう素サイクル）により効率を増し、働程中の光束低下をきわめて少なくした。小形で配光制御が容易であり、特性がほとんど不変である性質を利用した種々の用途が考えられる。

白熱電球は 1913 年ガス入電球の発明以来、飛躍的な進歩も少なく（第 1 図）、むしろけい光放電管や高圧水銀ランプなどのルミネセンス光源に実用光源としての地位を譲りつつあるかの印象を与えるが、ここに紹介する「よう素電球」は働程中、初特性が維持されるという他光源に見られぬ特異の性質をもつため、白熱電球への関心を再び喚起させるに足るものである。

よう素電球は 1959 年アメリカ照明学会（IES）大会で GE 社により発表¹⁾²⁾されたもので、従来、白熱電球の黒化を防ぐ手段として考えられていたハロゲン元素の作用を、動作中タングステンフィラメントを減量させない手段にまで拡大したもので、結果として効率が高く、働程のすぐれた、きわめて小形の白熱光源を実現させたものである。この電球は相当広範囲の用途が期待され、投光照明や高天井照明として適当であるばかりでなく、小形で光学特性が安定であるため、撮影所やテレビ・スタジオの照明光源としてもきわめて有望である。

1. よう素電球の構造と原理

1.1 構造

一般のものは直径 10 mm 程度の石英ガラス製（ある

種のものはけい酸 96% 以上含有のバイコール(Vycor) ガラスなども使用可能)の管軸に、タングステンフィラメントを同種材料による支持物によって支え、管内にアルゴンのような不活性ガスと適量のよう素を封入した構造からなる（第 2 図および写真 1）。なお GE 特許³⁾によれば次記の I_2 サイクルを行なわせるため、よう素濃度は $0.01 \sim 1 \mu \text{ moles/cc}$ 、動作中の管球内壁面が $250 \sim 1200^\circ\text{C}$ の範囲に保たれることを必要としている。

1.2 よう素サイクル

この電球は点灯中、よう素の存在のためつぎのような反応が管内で循環して行なわれる。

すなわち一般白熱電球と同様、点灯中 W は表面からしだいに蒸発して管壁に付着し黒化の原因になるが、この場合は内部のよう素分子がフィラメントの熱で分解して原子状のよう素となり、これが管壁付近に拡散してききの W と反応し、揮発性の WI_2 を形成する（順反応）。この WI_2 は移動してフィラメントに達し、フィラメント上で分解しタングステンがフィラメントに戻り、よう素原子は再び管壁に向かって拡散する（逆反応）。

この逆反応の行なわれる温度は $1200 \sim 1600^\circ\text{C}$ (1400°C)

筆者紹介

倉田 恭 昭和 13 年、早大理工学部電気工学科卒。陸軍科学研究所入所、超短波電子管および材料の研究に従事。戦後、岩崎電気株式会社に入社し、赤外線電球、反射形電球等を開発し、ついで高圧水銀ランプ、特殊放電管、EL、光導電体、石英赤外線電球、よう素電球および照明器具などの生産技術を指導。本年より通産省鉱工業技術試験研究補助金を受けて「防爆型電気機器に関する研究」に着手。現在岩崎電気常務取締役技術部長。

"Characteristics and Applications of the Iodine Lamp" by Yasushi Kurata.

写真 1 標準形よう素電球（たばことの比較）

上から J 200V 1000W, J 100V 500W, JP 100V 500W

第1表 管壁負荷と働程

管内径 (mm)	管壁負荷 (W/cm ²)	電 圧 (V)	初 特 性					50 時 間 点 灯 後 の 特 性			
			消費電力 (W)	光 束 (lm)	効 率 (lm/W)	色 温 度 (°K)	輝度温度 (°K)	消費電力 (W)	光 束 (lm)	効 率 (lm/W)	色 温 度 (°K)
# 12	19.7	100	495	13890	27.9	3295	2930	494	14116	28.6	3315
# 10	23.2	100	497	13590	27.2	3285	2930	490	14050	28.7	3310
# 8	28.7	100	500	13830	27.6	3315	2930	494	14360	28.9	3335
# 6	37.6	100	487	12870	26.3	3235	2920	478	13980	29.3	3325
# 4	54.5	100	484	12800	26.4	3185	2940	475	13600	28.6	2990

付近と推定され（第3図），フィラメントを中心としてこの温度帯はフィラメント温度，封入ガス圧，管壁負荷（W/cm²），周囲温度などによってフィラメントまたは管壁方向に移動する。

2. よう素電球の特性⁴⁾

2.1 初特性と働程

適正な使用条件下では，一般に初点灯後50～100時間まで光束は上昇し，その後ほとんど変化なく，この最大値付近の光束を断線寿命まで維持する。初特性の向上にはフィラメントを中心として形成される定常ガス層（Langmuir Sheath）中に封入ガスが収められるため対流損がないこと，点灯中の封入ガス圧の増加が多く寄与している（第1表）。

3.2 光学特性⁵⁾

よう素電球が一般白熱電球と異なる点は，管内に封入されたよう素ガスが光吸収にどのような影響を与えるかの問題である。よう素サイクルの条件に入る適正濃度で封入されたよう素ガスの分光透過率を第5図に示す。520mμ付近に吸収の谷がある。したがって色温度2900Kのよう素電球の分光エネルギー分布は第6図のように

第2図 よう素電球の構造

なり，管軸に垂直方向の損失は9%程度である。よう素電球のフィラメントは直線状に張られているから，管軸を含む平面における鉛直配光は余弦法則によう素ガスの透過率を加味した値で，管内によう素が一様に分布しているとみなされるから，管軸と角θをなす方向の光度 I_θ は

$$I_\theta = I \tau^{1/\sin\theta} \sin\theta$$

ここに I, τ ：管軸と垂直方向の光度および透過率となり，計算値と実測値をそれぞれ第7図に示す。実測したものはコイルの重なりが影響して80°と65°の方向の光度が部分的に低下している。

以上，よう素電球は細長い管球であるため，管軸に近い角度から発散される光束は，よう素ガスによる光吸収

第3図 よう素サイクルの説明図

第1図 白熱電球の進歩

よう素電球の効率については，同一寿命に対する効率の換算をした

第4図 よう素電球と一般照明用電球との働程比較

第7図 よう素電球の鉛直配光(1/2側)

の影響を多く受ける。したがって色度も発散角によって第8図のように変化する。実用的には反射笠などを用いて投光照明する場合、ビーム周辺部の光は多少ピンク色を呈しやすい。

2.3 温度特性

第9図は代表的なよう素電球の表面温度分布を示す。電球の構造によって差違があるが、両端の封止部はモリブデン箔の酸化による空気漏洩を起こさせないため、表面温度を350℃以下に保つことが好ましい。

2.4 特性に影響を及ぼす使用条件

1. 周囲温度とよう素サイクル

よう素サイクルの条件によれば、管の内壁温度が250℃より低い場合は管壁付近でのIとWとの反応(順反応)が行なわれがたく、1200℃以上では管壁付近ですでに

WI₂の分解(逆反応)が始まり、ともにI₂サイクルの円滑な運行が中断される。一般にはWI₂の分解する温度帯はフィラメントと管壁の中間にあり、つねに平衡状態が保たれているはずであるが、過電圧を与えたり灯具内に収容した場合、その構造に熱放散などの考慮が払われていないと、この温度帯は管壁付近に拡がり、あるいは反射鏡に近接して温度上昇する側に移行して平衡が乱れ、局部的に黒化の原因をつくることがある。

2. 点灯姿勢

比重の重いI₂ガスの分離がおこるため、標準形の長いランプはとくに水平面より4°以上傾けて点灯しないことが要求されるが、撮影に用いる手持ち光源の短いランプ(2重コイルなど)や、管径のとくに細いランプにはこの影響は少ないようである。

↑第5図 よう素ガスの分光透過率

第6図 よう素電球の分光エネルギー分布→

第8図 よう素電球の色度変化
(図中の角度は管軸との角度を示す)

3. 振動および衝撃

使用するタングステン線は non-sag 性にするため除歪処理を施し、短時間に粗大結晶(写真2)にもってゆくための高温加熱工程を経るため比較的脆く、取扱いや輸送時の包装梱包には注意を要する。落下による衝撃にはとくに弱い。振動に対しては一般照明用電球にくらべとくに弱いという結果は出ていないが、サポートの数を

第10図 石英およびバイコールガラスに対する赤外部透過率曲線
(2.8μ 付近の吸収は水分の存在によるもの)

増やして耐振形にすることが考えられている。

2.5 特性に影響を及ぼす構成材料の性質

1. 水分の影響と外管の種類(石英管、バイコールガラス)

白熱電球内の水分は H_2O サイクルによりWを管壁に運び、黒化の原因をつくる悪作用をする。よう素電球は点灯初期においては I_2 サイクルが逆作用して管壁の黒化がおこらないが、長期にわたっての初期特性の維持は

第2表 よう素電球の協定規格(日本電球工業会)

形 式	大キサ (W)	管 径 (mm)	長 さ (mm)	口 金	初 特 性				寿 命 (時)
					消費電力 (W)	標準光束 (lm)	標準効率 (lm/W)	標準色温度 (°K)	
J100V 500W	500	10	118±3	RSC	500±35	10500	21		2000
J200V 1000W	1000	10	208±3	RSC	1000±70	21000	21		2000
J200V 1500W	1500	10	248±3	RSC	1500±100	33000	22		2000
JP100V 500W	500	10	106±3	RSC				3200	100
JPD100V 500W	500	13(±3)	78±2	RSC				(3400)	20

備考 1) 形式に用いた記号はつぎによる。
J: よう素電球を表わす (Jod)
JのつぎのP: 写真用を表わす。
PのつぎのD: ダブルコイルのものを表わす。
2) 口金名称は RSC (Recessed Single Contact)

↑ 第9図 よう素電球の表面温度分布

第11図 試作よう素電球(12V35W)に Kr および Xe ガスを高圧封入した場合の光束の増加率 (Werner Schilling)

写真 2 タングステンコイルの顕微鏡写真

左：繊維状結晶
右：粗大結晶

写真 3 よう素電球投光器による建物壁面照明の一例

4. よう素電球用途の展望

4.1 投光照明⁹⁾

ランプが小形であることは、一般に反射系や屈折系による配光制御の精度を上げることができる。とくにこのランプは線状にフィラメントが配置されているため、管軸に垂直の断面においては点光源に近くなるため、これを焦点とした二次曲線の板状反射面が用いられることが多い。二次曲線が放物線の場合、上下の幅が狭く左右の開きのきわめて広い扇状の配光が得られ、広い面積をわずかの灯数で照明できるため、投光器や前照灯として経済的照明ができる。たとえば建物壁面とか大看板の表面を、その面に沿って投光器を並べて照明する場合、少なくとも器具の間隔を 1m 程度にとって配置しないと輝き分布が様にならない。この場合、よう素電球の投光器を用いれば 4m 以上の間隔で十分均斉度のよい照明ができる。同一平均照度で照明費は 40% 程度におさまる計算になる。この投光器は建物やサインの投光照明のほ

不安である。したがって構成材料としての外管中に含まれる水分に対しては、十分考慮を払う必要がある（第 10 図）。

2. 接点材料

ランプ口金（Recessed Single Contact）および受口は高温において十分な接触圧を保ち、酸化して通電不能にならぬような接点材料を用いなければならない。とくにソケットは振動、衝撃に対して十分ランプを保持できるように内部スプリングの圧縮圧力、変形寸法をとり、それに耐える材料をえらぶ必要がある。

3. 封入ガス

よう素を除く封入ガスとして一般には純 Ar ガス、二重コイルを用いるものなど、とくに高効率に設計したものは N_2 ガスを混合しても I_2 サイクルを妨げない。

とくに低電圧小ワットで高効率のものを狙って Kr および Xe ガスを高圧封入した例⁹⁾が報告されている（第 11 図）。

4. アーク放電と保護

よう素電球はその構造上、Ar 入り一般照明用電球のように内部ヒューズを設けることができないから、断線時のアーク放電防止のため、灯具の一部に外部ヒューズを設けることが安全である。

3. よう素電球の定格

日本電球工業会における 5 社協定の規格（JEL）（37.1.24）を第 2 表にあげる。

第 12 図 よう素電球投光器（1000W）とその配光曲線

第 13 図 よう素電球天井灯 (500W) とその配光曲線

第 14 図 よう精電球を用いたテレビスタジオ照明用水平スポットライト (500W) とその配光曲線

写真 4 よう素電球天井灯による工場高天井照明の一例

か、スタジアムその他のスポーツ照明、鉄道の操車場、車両の駐車場照明など、用途はきわめて広い。

4.2 高天井照明

よう素電球は小形であるため寸法の小さい反射笠で十分遮光角がとれ、したがって工場や体育館の高天井全般照明に用いると、まぶしさのない高質の照明が簡単に施工できる。ランプ交換もきわめて容易で、寿命が長い点は管理費、維持費をやすくできる。水銀ランプとの混合照明には最も適している白熱光源である。

4.3 スタジオ照明

映画スタジオ、テレビスタジオなどの光源として、白熱光源であるための調光容量、雑音誘導障害のない点に加えて、働程特性が安定し、光度、色温度が終始不変であり、かつ小形軽量で保守の容易な灯具になる特長を買われて、よう素電球を利用したスタジオ設備が急速に注目されだしてきた。

ウォールウォッシャとよばれるホリゾントライト (第 14 図) や、ペースライトとして実用化が進められ、配光も適正である。なおスポットライト、フラッドライト (スクープライト) としても灯具に特殊の工夫を加えて、この電球の活用が考えられている。

4.4 撮影用光源

小形映画撮影機などの光源として短長の 2 重コイルフィラメントのよう素電球を利用した手持ちライトが市場に出てきている。一例として Sylvania 製 (商品名 SUN GUN) の品種は

	アマチュア用	プロフェッショナル用
よう素電球定格	120V 625W	120V 1000W
色 温 度	3400°K	3400°K (3200°K フィルタ付属)
寿 命	12 時間	12 時間
軸 光 度	32,000cd.	65,000 及び 15,000cd
重 量	0.68kg	1.36kg

4.5 標識灯⁷⁾

小形で熱衝撃に強い特性を利用して、他光源では不可能な特殊な利用方法がある。空港の誘導路や滑走路の舗装部中心線の標識に用いられるパンケーキ標識灯という

←写真 5 よう素電
球各種

写真 6 小形よう素
電球を使用し
たパンケーキ
標識灯 →

のがこれで、写真6のような径20cmぐらゐのパンケーキ状の特殊合金鋳物の台座の中央部にくぼみをつくり、ここに不銹鋼の帯金の上に接着されたシリコンゴムを通してランプの両端が保持され、ランプを転倒してくぼみの中におさめ、帯金を台座にビス止めする。

施工はしごく簡単で、舗装路にボーリングして浅穴をあけ、路面すれすれに灯具をエポキシ樹脂で接着すればよい。

6.6A 45W および 6.6A 200W の小形よう素電球を直列点灯して用いられる。光は特別の光学系を用いずに台座のスキ間から左右に伸びる。

このような灯具は将来、交通道路の標識にも利用されよう。

5. む す び

以上にのべたよう素電球の特長を要約すれば

(1) 初特性が働程中ほとんど不変のまま維持される。

(2) 初特性を従来の白熱電球より向上させることができる。

(3) 小形で熱衝撃に強い。

となり、点灯上の条件を十分尊重して使用すれば、従来の光源で達せられなかった種々の用途⁸⁾が考えられ、欧米およびわが国においても標準化された実用光源に成長しつつある現況である。

(昭和37年8月4日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) E. G. Zubler and F. A. Mosby : Illum. Eng. LIV, (1959) 734.
- 2) C. J. Allen and R. L. Paugh : Illum. Eng. LIV, (1959) 741.
- 3) E. G. Fridrich and E. H. Wiley, General Electric Co. U. S. Pat. No. 2,883,571, 日本特許 第 232,519 号.
- 4) 倉田 : 昭 37 年 6 月第 8 回光学四学会連合講演会予稿.
- 5) 倉田 : 昭 36 年 10 月電気関係学会関西支部大会予稿.
- 6) Werner Schilling, Heidenheim/Brenz : E. T. Z., 36 (1961) 475.
- 7) 撫養 : 照学誌, 45 (1961), 照明年報 54.
- 8) H. G. Jenkins : Trans. Illum. Eng. Soc. 26, 1 (1961), 17.
- 9) 成田・佐藤 : 岩崎電気技報 VIII (4, 1962) 20.

東南アジアへカラーテレビ車を派遣

最近、東南アジア各国ではテレビにたいする関心が急速に高まっており、今秋から来年にかけて台湾、シンガポール、カンボジアなどでテレビの本放送が行なわれることになっている。東芝では、これら東南アジア地区に国産テレビとその技術をPRするため、去る8月中旬にカラーテレビ車1台と

8名の巡回実演班を派遣した。

一行はまず8月22日より9月2日まで、マラヤのクアランブールで開催された第4回アジア放送者会議(アジア各国放送関係者の代表が出席)の展示会で実演を行なった(この展示会には東芝のほか日立、三菱、松下、日電、ソニーなど日本メーカをはじめ、フィリ

ップス、RCA、EMI など世界10数カ国のメーカから電子機器が出品された)。

その後、単独でシンガポールその他の国々を巡回、10月下旬に帰国することになっている。

今回のカラーテレビ車の巡回実演は、カラーテレビはもちろん、白黒テレビもほとんど普及していない東南アジア地域で大きな反響をよぶものとみられ、その成果が期待されている。