

促進耐候(光)性試験の歴史と発展(14)

前号より続く

須賀 茂雄
木村 哲也

(1) キセノンランプの特色

キセノンは周期律表の原子番号54の希ガス元素の一つで、常温常圧では無色無臭の気体で、空気中にごく僅かに(約0.087ppm)含まれている。空気分離プラントにおけるエアセパレートガス(酸素、窒素、アルゴン)製造時の副産物として採取され、キセノンガスはその中の精留塔の液化酸素の中に凝縮されていて、沸点(-108.12℃)が酸素(-182.97℃)より高い点を利用して精製・精留される。キセノンアークランプは、石英の発光管両端内部に対向する電極とキセノンガス・始動用ガス(Arアルゴン)を封入し、外部から高電圧をかけ、放電発光させるHID(High Intensity Discharge) Lampである。下記にその特色を記す。

- ①紫外・可視部領域において自然昼光(太陽光)の分光放射照度に近似しており、演色性が良い(色温度5,000~6,000K)。・・・図1参照
- ②紫外部から赤外部まで太陽光やタングステンランプと同様に、連続スペクトルを持つ。・・・図1参照
- ③電気入力の変化に対して、相対分光放射照度が変化しない。・・・図2参照
- ④始動から安定までの時間が早い(例えば1秒後の輝度・ランプ放電電圧・電流は点灯安定時の80~90%になる)。
- ⑤電気入力の変化に対して光出力の追従性が早い。
- ⑥放電ランプとしては低いが、白熱電球の2~3倍、30~50lm/Wの発光効率を持つ。
- ⑦800~1000nmの近赤外領域に強いピーク波長がある。

図1 太陽光とキセノンアークの分光放射照度比較

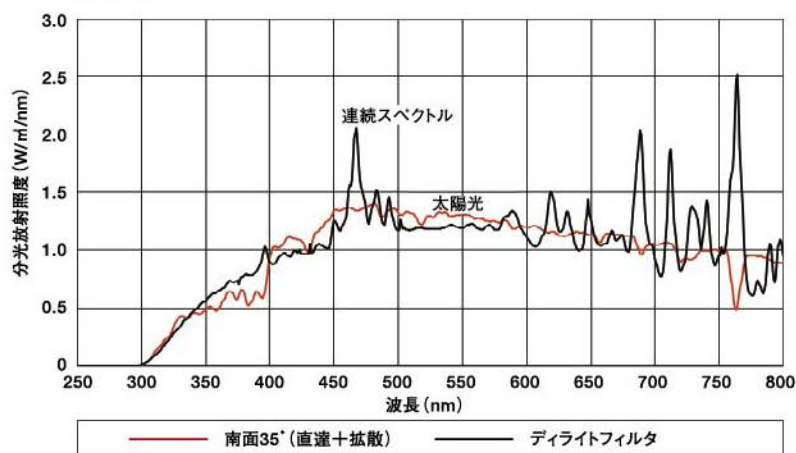
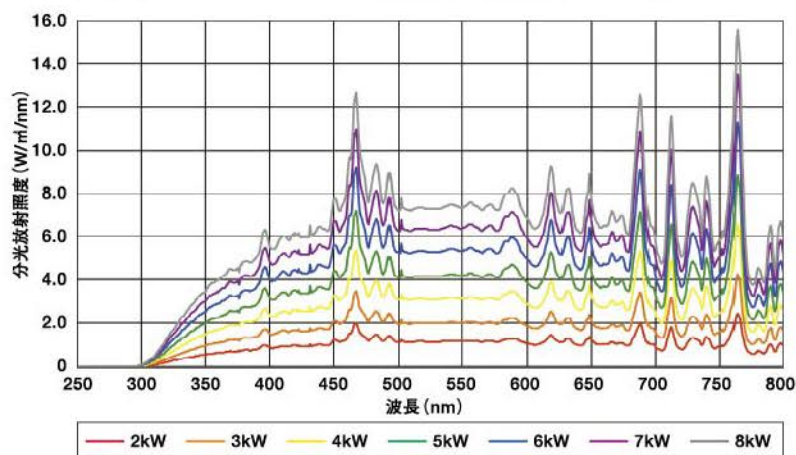
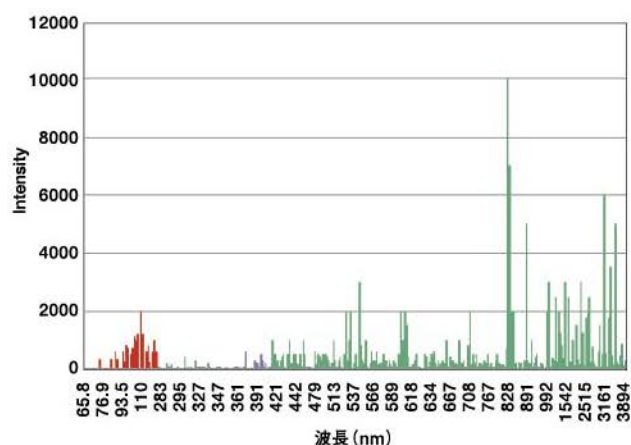


図2 キセノンアークランプの放電電力と分光放射照度の関係



封入されているキセノンガスが光るのは、キセノンの原子或いは分子の励起によって光が発生することによる。外部からの刺激により内核原子は基底状態より励起され、高いエネルギー準位の励起状態に移る。励起状態は非常に不安定な状態なので、短時間（約 10^{-8} 秒）で基底状態に戻る。原子が励起状態から低いエネルギー状態に戻る時、余ったエネルギーを光として放射する。このエネルギーの差によって放射される光の波長は原子毎に異なる。これが線スペクトルで、図3に示すように真空紫外部から赤外部まで発光する。キセノンランプは他の放電ランプと異なり、線スペクトル以外に、2種類の連続スペクトルがあり、イオン化エネルギー以上のエネルギーで叩き出された自由電子がイオンと再結合する時に放出されるスペクトルと、自由電子が原子の強いクーロン場の中で加速・減速運動することによって放出される制動輻射による2つである。連続スペクトルが線スペクトルを凌駕するので、図1に示すような連続的な分光放射照度になる。

図3 キセノンの輝線スペクトル



(2) キセノンランプの種類と構造

キセノンランプは、電極間距離の長短により、①ショートアークランプと②ロングアークランプに分類される。又、キセノンランプの冷却方式により③水冷式と④空冷式に分類される。又、ランプの電極のシール方式により、⑤箔シール方式と⑥グレーデッドシール方式に分類される。

①キセノンショートアークランプ

図4に示すように、球或いは楕円状の石英ガラスバルブに、数mm程度の間隔でタングステンを代表する高融点金属の電極が対向しており、一般に直流で点灯されることが

多い。そのため大型の陽極（Anode）と小型の陰極（Cathode）が対向する構造になっている。

封入したキセノンガスは点灯中2～3MPa（20～30気圧）に達するため、バルブ破損時の危険防止のため密閉器具内で点灯される。大きさは50Wから10kWを越すような大出力のものまであり、小電力ランプは視感判定用の標準白色光源として、大電力用は映写機用光源等として使用され、大電力用は冷却能力が大きい水で冷却する方式を採用している。最大の特色は、電極間距離が短いので、高輝度の点光源に近似し、太陽の輝度（ $2 \times 10^9 \text{cd/m}^2$ ）より高くすることができ、自然光に分光放射照度が近似しているので、医療用機械の光源として用いられることも多い。図5に相対輝度分布の一例を示す。ランプの配光曲線は構成する電極の陰になる方向で異なるが、一例として1kWと1.6kWのランプについて図6に示す。直流点灯方式のため、電極の大きさが異なるので、配光曲線は電極の陰に成る方向で異なることになる。促進耐候（光）用試験機の光源として用いられたこともあったが、暴発の危険性・強大な赤外部の除去が困難である等の関係から、現在はロングアークランプに代わっている。

図4 キセノンショートアークランプの外観図（OSRAMカタログ）

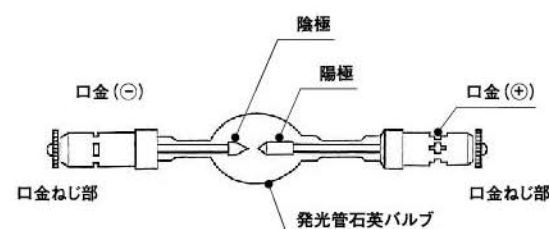


図5 キセノンショートアークランプの相対輝度分布（OSRAMカタログ）

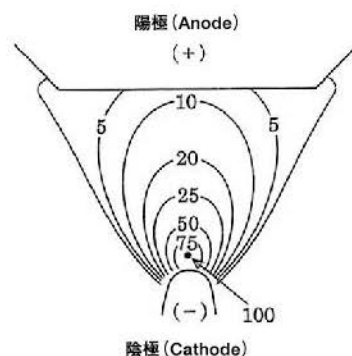
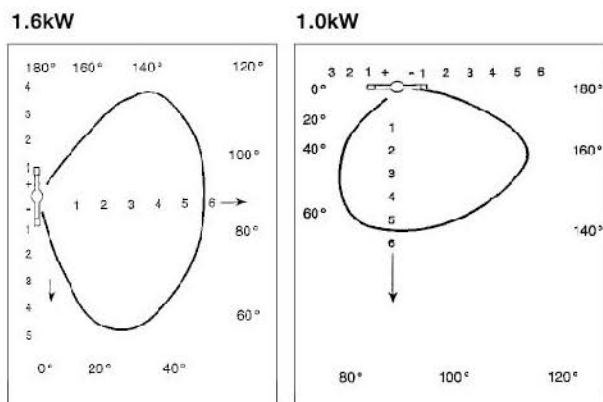


図6 キセノンショートアークランプの配光曲線
(OSRAM カタログ)



②キセノンロングアークランプ

図7に示すように、細長い石英管の内部に50mm以上離れた対向する一対の電極と比較的低圧のキセノンガスが封入されている。一般的には交流で点灯されるので、対向する電極は同じ大きさのものを使用できる。電極間距離が長いので、ランプから等距離の平面上の照射面の均斉度を上げることができる。ランプの管中心方向の放射照度は同心円状で、ランプの長手方向の配光曲線は図8に示すようにランプの長手方向にほぼ均一でありランプ中心に円心状になる。通常1kW以上の大型のランプが作られ、非常に大きな光束が得られるため屋内・屋外にかかわらず広範囲を照明する用途に用いられる他、レーザー励起光源や航空機誘導灯としても用いられる。促進耐候(光)性試験機の光源として用いられるのは、ロングアークキセノンランプがほとんどである。

図7 キセノンロングアークランプの外観図

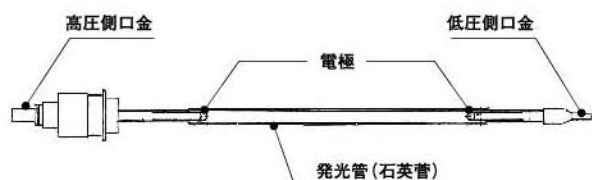
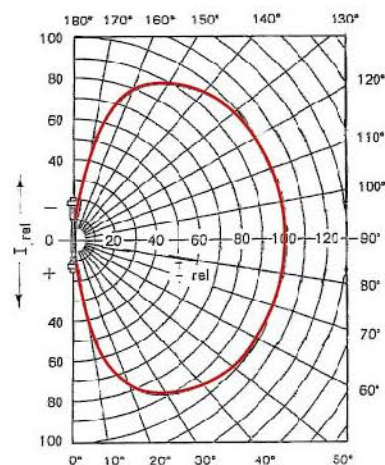


図8 キセノンロングアークランプの配光曲線



③水冷式キセノンランプ

図9に示すように、点灯中のランプ発光管の冷却を水で行う方式のランプで、発光管の管壁負荷(定格放電電力/発光管表面積)を大きくすることができ、ランプ及びランプハウスを小さくすることができる。ランプから外部へ発生する熱は、ランプ冷却水により赤外部のエネルギーが吸収されるので、外部に発散する熱エネルギーの約40%は冷却水で吸収される。このため水冷式のキセノンランプを光源とする促進耐候(光)性試験機には、冷却水の循環装置が付属されている。ランプの発光管表面は点灯中高温になっているため、冷却水の汚れがランプ表面に焼きつく可能性があるため、ランプ冷却水の管理には注意する必要がある。

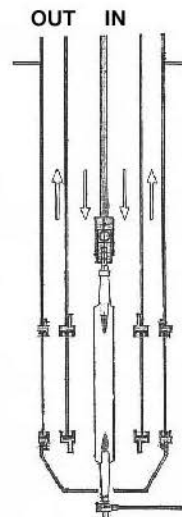
図9 水冷式キセノンアークランプ
及びランプハウス外観

(冷却用水の流れ)



図10 空冷式キセノンアークランプ
及びランプハウス外観*

(冷却用空気の流れ)



*水冷式キセノンランプ及びランプハウスの1/2で図示

④空冷式キセノンランプ

図10に示すように、点灯中のランプの発光管の冷却を空気の流れ（風）で行う方式で、水に比べて冷却効率が低いので、ランプの発光管表面積を大きくする必要がある。そのため、発光管を太くしたり、長くしたりして、管壁負荷を小さくする必要がある。又強制空冷による冷却方式なので、ランプ発光管周りの風速、風量を大きくする必要がある。設置場所の吸入空気の汚れ等環境には十分注意が必要であるとともに、冷却ファンの騒音・設置場所周辺へランプからの熱が放出されるのでその排気には注意が必要である。

⑤箔シール方式

キセノンランプは放電すると高温になるため、電極（タングステン）と発光管（石英）の熱膨張率の違いにより、熱の影響を受け、石英が破損する可能性がある。これは石英とタングステンの線膨張率が一桁異なるためである。各材料の膨張率を表1に示す。この違いを吸収するために薄いモリブデンの箔（約20～30μm）を用いて、大きな熱膨張を持つ金属を小さな熱膨張係数の石英管でサンドウィッチにして全面でシールする方式で、大電流のランプによく用いられる。

⑥グレーテッドシール方式

タングステンの細棒（ロッド）を用いて電極と発光管のシールを行う方式で、金属の径方向の熱膨張に対して、熱膨張率の異なるガラス（グレーテッドシールガラス）を何種類か重ねて熱膨張を徐々に変えて、金属から石英に熱膨張率を合わせていき、熱膨張による破損を防ぎシールする方式である。箔シール方式に比べランプの全長を短くすることが可能な方式である。

表1 タングステン・モリブデン・石英の線膨張率

・タングステンの線膨張率

温度 (K)	100	293	500	800
線膨張率 ($\alpha \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	2.6	4.5	4.6	5.0

・モリブデンの線膨張率 $3.7 \sim 5.3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

・石英の平均線膨張率

温度 (°C)	0-100	0-200	0-300	0-600	0-900
線膨張率 ($\alpha \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	0.51	0.58	0.59	0.54	0.48

(3) フィルタ

キセノンランプは、発光管が石英なので紫外部から赤外部までの広い範囲のエネルギーを放出する。促進耐候（光）性試験の目的に合わせて照射する光源の分光分布を選択するために、種々のフィルタが使用されている。

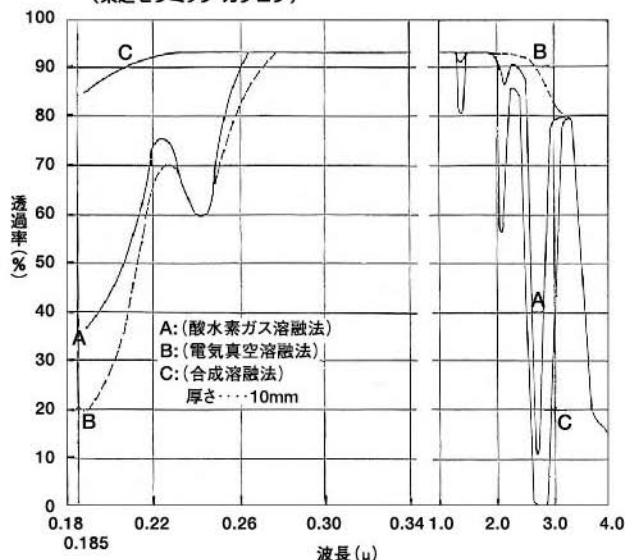
(3-1) 石英ガラス

石英ガラスは、下記の特徴を有する。

- ①SiO₂の単一成分である（金属不純物の総量は、合成石英ガラスで1ppm以下、透明石英ガラスで約20ppm）。
- ②耐熱性に優れている（軟化点約1600℃）。
- ③化学的に安定である（アルミニウム、カルシウムには600℃以上では反応するが他の金属とは反応しない。フッ素ガスとは水分がある時は反応するが、他のガスとは反応しない。酸化物とは高温で反応する。塩酸・硫酸・硝酸などの酸に反応しないが、アルカリには反応する）。
- ④光の透過性に優れている（図11に示すように、製造法により異なるが、紫外部から赤外部まで90%以上の分光透過率を示す）。
- ⑤電気絶縁物である（電気伝導を生じさせるアルカリ成分をほとんど含んでいないので他のガラスと比較して不良導体で、すべての周波数に対して誘電体損失がわずかである）。

上記の特徴を生かして、ランプの発光管材料や半導体製造装置の容器・管などの治具や理化学用の器具などに広く用いられている。

図11 石英ガラスの分光透過率
(東芝セラミック カタログ)



原材料・製法により、種々の石英があり、図11中のAは酸水素ガス溶融法・ベルヌイ法で作られた汎用石英で、酸水素炎を用いて天然石英の粉末を溶かして作るため、赤外部にOH基による吸収帯がある。Bは電気溶融法・真空溶融法と呼ばれるアークプラズマや電気誘導コイル方式の炉で酸素・水素を除去して作られるため、OH基による吸収がない。いずれも半導体製造用(炉心管・治具・洗浄管など)やランプ材料として用いられる。Cは材料として四塩化ケイ素を原料にした酸水素溶融法・ベルヌイ法で作られる石英で、紫外部の透過率が良く、不純物が少ない特徴を持っているのでレンズ・プリズムなどの光学部品、光ファイバー、液晶製造用マスク等の用途に用いられる。一般にキセノンランプの発光管としてよく用いられる石英は、OH基の少なく、不純物の少ない石英である。

(3-2) 水

水は太陽の分光放射照度で記述したように、特に赤外部に強い吸収帯を持っている。紫外から赤外域までの水の波長と吸光度の関係を図12に示す。図から分かるように可視域において水は吸収が少ない、即ちよく透過するが、紫外域、赤外域においては吸収する性質も持っている。その代表的な吸収帯は720、810、940、1100、1400、1900、2600～3300、5500～7500nmである。このため、水冷式のキセノンランプは赤外部のエネルギーが水により吸収され減衰し、赤外部の発熱が抑えられる特徴を持つことになる。水の厚みによる影響を調べるため、入射光側と出射光側を石英ガラスにしたセルの液層の厚さを変えて、液層厚みと赤外部の分光透過率を測定したので、図13に示す。図から分かるように、水の厚みが増すとともに、赤外部の吸収が多くなるので促進耐候(光)性試験機の試験槽内に入る熱エネルギーが少なくすることが可能である。

(次号へ続く)

図12 水(液体)の波長と吸光度の関係

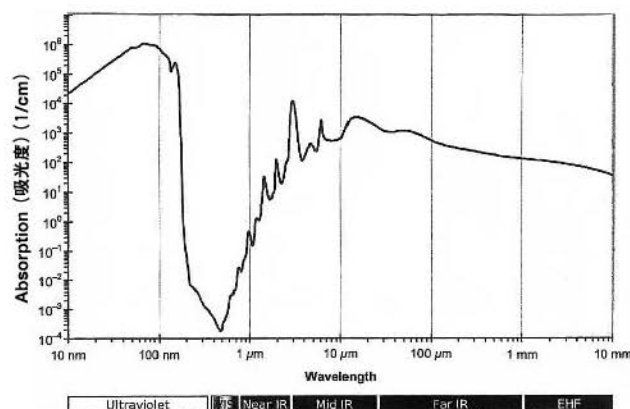
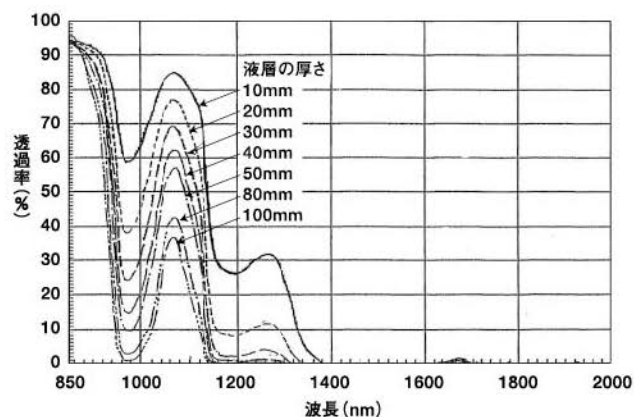


図13 水の液層厚さと分光透過率の関係



【参考文献】

- 1) スガ試験機(株) キセノンウェザーメーターカタログ
- 2) NBS Line Spectra of the Elements
- 3) OSRAM キセノンランプカタログ
- 4) Wikipedia the free encyclopedia (electromagnetic absorption by water)
- 5) 成瀬 省著 昭和33年発行 ガラス光学 共立出版
- 6) 新訂 硝子 上田清・宮崎雄一郎共著 産業図書 昭和32発行
- 7) ガラスハンドブック
- 8) 東芝セラミックス 石英カタログ