

促進耐候(光)性試験の歴史と発展(13) 前号より続く

須賀 茂雄
木村 哲也

4.2 放電ランプを用いた促進耐候(光)性試験機

カーボンを用いた促進耐候性試験機に対して、ヨーロッパでは、放電ランプを用いた試験機が古くから用いられてきた。促進耐候(光)性試験の歴史と発展(8)で記述したように1809年、Sir.Humphrey Davyによって人類最初のカーボンアーク灯が発明されて以来、1879年 Edisonの発明による白熱電球にとっかわるまで、カーボンアーク灯は照明用光源として多くの分野で使用されてきた。照明用カーボンアーク灯の発展が、促進耐候性試験機の光源のカーボンアーク灯としての歴史とも考えられるが、カーボンアーク灯は光が強く、寿命も短く、電源装置も高価なことから、照明用光源として一般家庭生活まで入り込むことができなかった。照明の歴史を変えたのは、ガラス管の中に微量のガスを封入し、放電発光させる新しい技術の開発である。1859年、Plückerがガイスター管(Geissler管)で低圧ガス放電を行った。その後、1800年代後半の種々の希ガスの発見と1900年代前半の真空ポンプ(回転真空ポンプ、油拡散ポンプ等)の発達により、新しい放電ランプが次々に開発された。これらガラス管中に希ガスを封入したランプは、照明用と同じように促進耐候性試験機の光源として用いられ、現在広く使用されているのは、(1)水銀ランプ、(2)キセノンランプ、(3)メタルハライドランプ、(4)ナトリウムランプ、(5)蛍光灯などがあり、その概要を下記に記す。

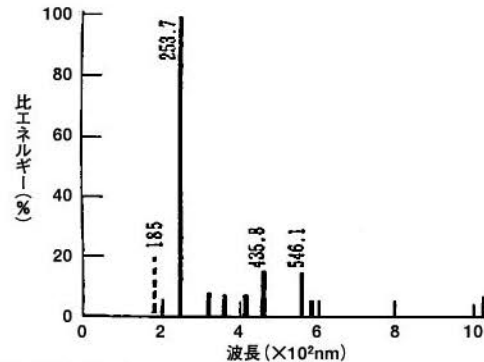
(1) 水銀ランプ

発光管中に微量のHg(水銀)を封入し、アーク放電により水銀電子の励起により発生する青白い光を利用した光源で、点灯中の水銀蒸気圧により低圧・中圧・高圧・超高圧水銀ランプがあり、その分光放射照度は図1に示すように封入圧力が大きくなると輝線スペクトルの幅が広がる。通常紫外線にさらされる部品の耐光性試験(一例:JIS R 3212自動車用安全ガラス試験方法)に用いられることが多いが、さらされる紫外線の波長により所定のランプが選択される。

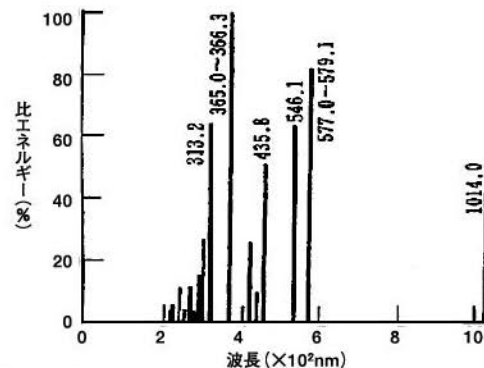
①低圧水銀ランプ:点灯中の水銀蒸気圧が1~10Pa程度で185nm(発光管は石英)と253.7nmの紫外線を強く発生し、殺菌・オゾン発生・樹脂硬化・分光分析・光化学などに利用される。

図1 水銀ランプの相対分光放射照度分布

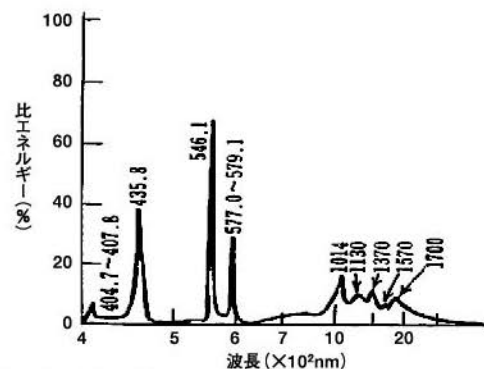
① 低圧水銀ランプ



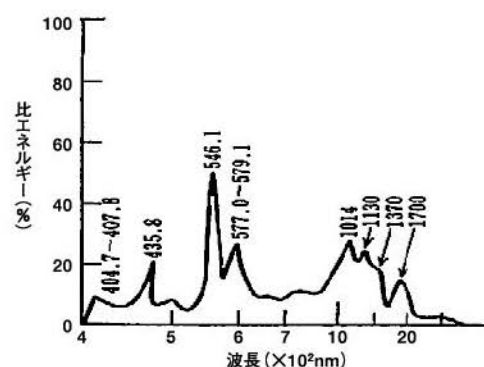
② 高圧水銀ランプ



③ 超高圧水銀ランプ

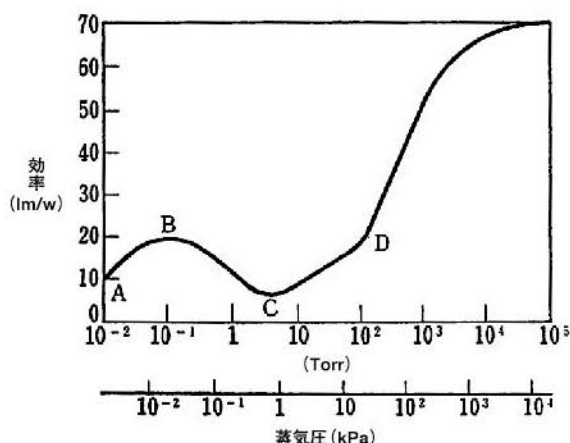


④ 超高圧水銀ランプ



②高圧水銀ランプ:点灯中の水銀蒸気圧が100~1000 kPa (1~10気圧) 程度で緑がかった青白色 (約5700K) の光と紫外線を発生する。その水銀蒸気圧と効率の関係を図2に示す。A点からC点の範囲は低圧放電の領域で、蒸気圧がC点からD点へ上昇すると陽光柱は収縮して高圧水銀ランプの動作領域に入る。点灯管である内管は点灯時には約400℃の高温になるため、通常発光管の外側に外管と呼ばれる保護用ガラス管で被い、内管・外管間は50~100kPaの窒素ガスが封入されている。水銀蒸気の圧力を上げることにより、長波長側の光が多くなり、スペクトル線が幅広くなり、演色性が改善される。上水・排水処理・屋外照明・化学反応プラントなどに用いられる。

図2 水銀蒸気圧と効率の関係 (電流4A一定 発光管径27mm)



③④超高压水銀ランプ:さらに水銀蒸気圧がD点を越えると点灯中の水銀蒸気圧が1000kPaを越え、効率・演色性は高圧水銀ランプより更に向上する。最初の実用的水銀灯は1902年、Cooper Hewittが作った上を陽極、下を陰極とした垂直型のランプで、点灯用フィラメントの代わりに真空スイッチで衝撃電圧を加えて点灯させる方式であったが、光色が青く、赤色不足で一般照明には進出できなかった。1905年にKuch及びRetschinskyが石英水銀灯の入力を増していくと、水銀蒸気圧が上昇し、発光効率がある点で極小値を示し、それを越えると急激に増すと同時に電圧が増し、アークが管中心に集中し輝度が高く光色が白味を帯びてくることを発見した。管中心の温度も1気圧において2000℃、4気圧では8000から10000℃になると推定した。さらに1930年代には、20気圧以上の蒸気圧で点灯する超高压水銀ランプが英国Ryde、Groot氏により開発され、蘭・Philips社、独・Krefft社より開発さ

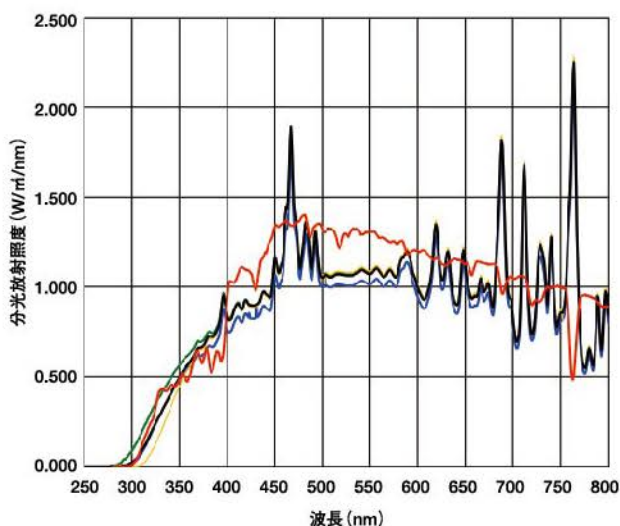
れた。2537 Å (253.7nm)の共鳴線が長波長側に広い吸収帯となり、連続スペクトル化している。365nm、435nmの輝線スペクトルが強く高輝度であるので、LSI・液晶の露光装置、ウエハの露光装置灯に用いられる。

(2) キセノンランプ

Xe (キセノンガス) はRamseyにより1898年に発見された反応性の乏しい無色無臭の気体で「よそ者・異国人」を意味するギリシャ語が名前の由来である。キセノンの原子又は分子の励起により光が発生するが、励起状態から低いエネルギー状態に戻る時に発生する輝線スペクトル・自由電子がイオンと再結合する時に放出する連続スペクトルと原子の強いクーロン場の中で加速・減速運動による制動輻射による連続スペクトルが発生する。ランプの冷却・保護用に用いる外部フィルタの分光透過率の選択により特に紫外部立ち上がり波長を太陽の分光放射照度(図3)のように極めて近似させることが可能で、連続スペクトルであるので自然昼光の代表として表面色を視感によって比較する標準光源の光源として用いられるとともに現在では、促進耐候性試験機の光源としてよく用いられる。

図3 キセノンランプの分光放射照度
水冷式ランプ インナ/アウトフィルタ組み合わせ

- ① 石英/#275
- ② 石英/#295
- ③ 石英/#320
- ④ #275/#275
- ⑤ 実測太陽の分光放射照度 (南面35°)



キセノンランプは、電極間距離の違いにより、ショートアークランプ（直流点灯方式が主）とロングアークランプ（交流点灯方式が主）に、ランプの冷却方式の違いにより、空冷式ランプと水冷式ランプがあり、目的により使い分けられている。分光光度計・ソーラーシミュレーター・映写機・医療用の光源や塗料・インキの乾燥、促進耐候性試験機の光源として用いられる。

(3) メタルハライドランプ

金属のハロゲン化物を封入し、演色性を改善したランプで、発光色は、主にハロゲン元素に添加する金属（通常はヨウ素化合物）の種類とその金属がどの程度気化するかによって異なる。

一般照明用としては可視部の分光放射照度を重視して図4に示すように、線スペクトルの組み合わせによるもの—①Na（ナトリウム）の589nm、Ti（タリウム）の535nm、In（インジウム）の451nmの強い線スペクトルの組み合わせ、②Sc（スカンジウム）、Th（トリウム）の多数の線スペクトルとNaの強い線スペクトルの組み合わせ、③Dy（ジスプロシウム）の多数の線スペクトルにTiの535nmとInの451nmの強い線スペクトルを加えたものなどがある。又、④は錫の分子発光による連続スペクトルが可視域全エネルギーの80%を占める例である。促進耐候性試験機用光源としては封入金属として紫外部に強いエネルギーを持つSn（錫）、Fe（鉄）等を用いることが多い。一般に、アーク放電中のガス温度は4200～5400Kで、ランプハウス構造は二重管方式、内管は石英で約400℃、管中にAr（アルゴン）、Hg、極少量のヨウ化金属化合物が封入されている。封入する金属により、発光分布を選択することができ、種々の金属を封入することにより発光効率・演色性の改善を行っている。UV硬化システム・印刷・塗装・内視鏡（医療・工業用）・店舗照明・競技場照明灯などに幅広く用いられているようになってきている。

(4) ナトリウムランプ

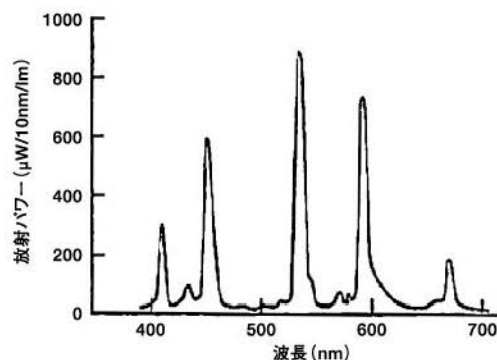
メタルハライドランプの一分野である低圧ナトリウムランプはナトリウム原子の励起によるナトリウムスペクトルで589nmの単色光のランプでその発光効率は放電灯の中でも極めて高い。

これに対しNa蒸気圧を高くした高圧ナトリウムランプは、スペクトルが広がり、効率は落ちるが演色性は改善され、

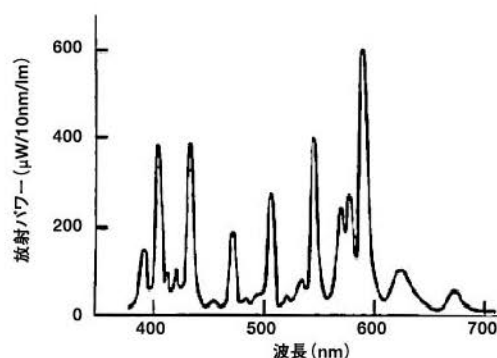
屋内・特に店舗照明用に普及している。その分光放射照度を図5に示す。

図4 照明用メタルハライドランプの分光放射照度

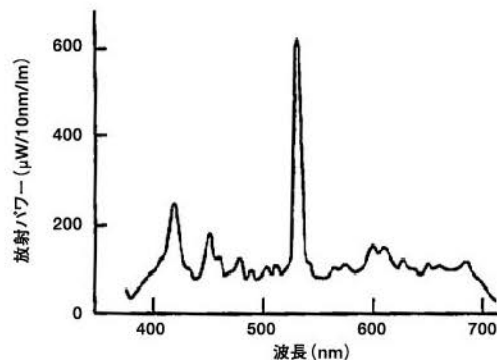
① NaI (589nm)-TII (535nm)-InI (451nm)



② ScI₃ (多数)-NaI (589nm)-(ThI₄) (多数)



③ DyI₃ (多数)-TII (535nm)-InI (451nm)



④ SnI₂-SnBr₂ (分子発光)

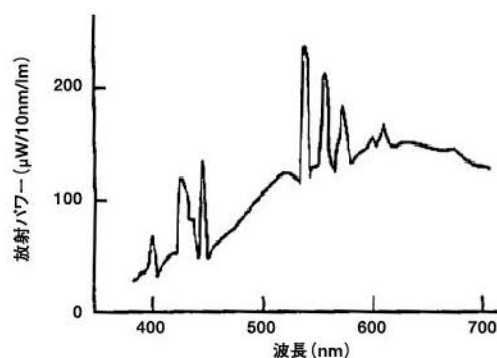
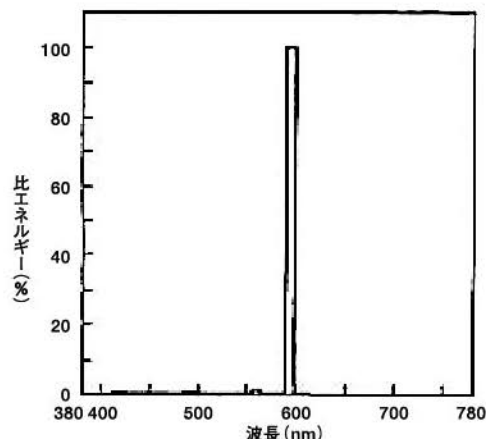
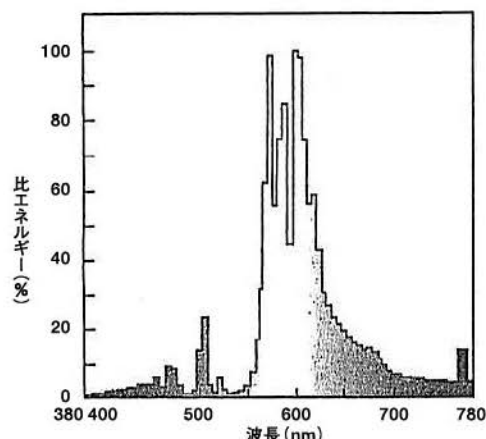


図5 ナトリウムランプの分光放射照度

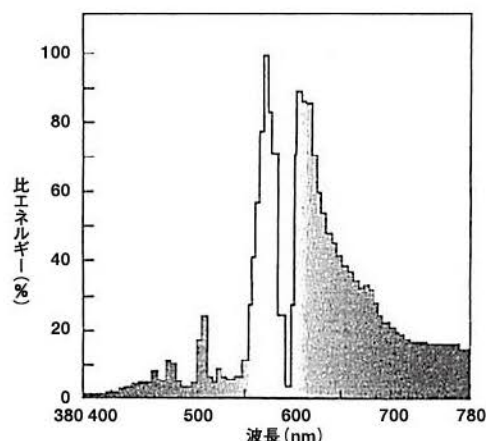
① 低圧ナトリウムランプ



② 高圧ナトリウムランプ(高効率形)



③ 高圧ナトリウムランプ(演色性改善形)



①低圧ナトリウムランプ：ナトリウム金属蒸気と少量のネオンガスとアルゴンガスを封入、放電管の外側には保護用の外管、その内面に赤外線反射層として、インジウム錫酸化物を塗布、この化合物が可視光線を赤外線に変換、放電管からの熱放射を押さえ、効率向上に寄与する。点灯初期には薄暗い赤味がかった光から放電管が加熱されるとナトリウムが蒸発、蒸気が規定値に達すると589 nmの単色光を発生する。光の発光効率が最も良く、発生する光束は200lm/Wのものもあり、高経済性であるので、演色性を問題にしない道路やトンネル照明に用いられる。

②③高圧ナトリウムランプ：封入する金属元素にナトリウムの他に他の元素（一般に水銀等）を少し追加、青色系の色を補正し、発光効率は若干落ちるが、演色性を改善している。発光管に透光性アルミナセラミックスを使用し、耐ナトリウム性と耐高温に優れ、道路照明に使用されることが多い。

1911年Gehlhoffは希ガス中でアルカリ金属を励起すると、Na蒸気で放電ランプのガラスが侵され、黒色・褐色に着色することを確認した。1919～1920年にかけ、A.H. Comptonがナトリウムランプ用ガラス（硼酸とアルミナが多く、シリカが少ない）を発明、1923年に実験室的ランプで210lm/Wの高効率ランプを開発し、1932年フィリップス、オスラムから実用化された最初のランプが作られた。1961年には米国で高温高圧のアルカリ蒸気に耐える透光性アルミナセラミックスが開発され、高温ナトリウム蒸気に耐える封着構造の開発と緩衝ガスとして水銀とXeガスを利用するなどの工夫により高圧ナトリウムランプが1965年、K.Schmidtらによって実用化された。ナトリウムランプは、当時人工光源では、最高の発光効率で注目されたが、発光色が黄色の単色光で街路照明に限られ、高圧水銀灯ができてからは、特殊街路照明に限られている。

(5) 蛍光灯

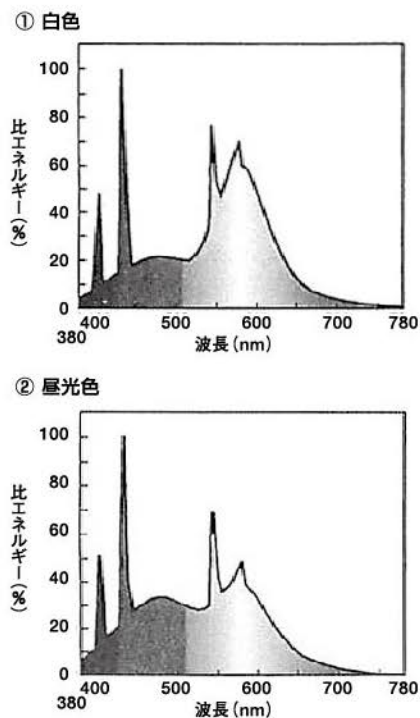
低圧水銀ランプの内面に蛍光物質を塗布し、アーク放電により発生した水銀のスペクトル波長253.7nmの紫外線を可視光線に変換する光源で、蛍光物質の違いによりその分光放射照度は開発初期の白色から演色性を向上させた昼光色・3波長形まで種々あり、家庭用室内照明はもとより、工場・事務所灯などあらゆる分野の照明に広く用いられている。分光放射照度を図6に示す。

また、紫外部にエネルギーを持つランプも開発され、そのエネルギーにより促進耐候性試験を行ったり、殺菌作用に用いられる。その分光放射照度を図7に示す。蛍光灯の歴史も古く、1896年にEdisonが白熱電球のバルブより丸く、電極間の距離は離れていて、光はバルブ内面に塗ったタングステン塩より発する理論から考案され、1938年英・G.E.Cより「Osira」という商品名で、パリで発表された。高電圧ネオンサイン型、白色、30lm/Wであった。その後、1938年夏にはGE社で現在の型の蛍光ランプが発表され、画期的な光源で量産にも適し、その発展は目覚ましいものがあった。

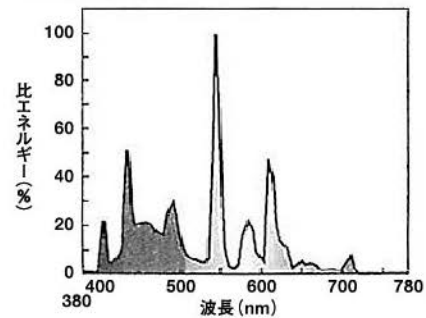
蛍光灯の特徴としては1) エネルギーの変換効率が高い。2) その半面発熱量が少ない。3) 蛍光物質の選択により、幅広い波長域の光が得られる等があるが、照度が低いので促進耐候性試験機の光源として用いる場合は考慮する必要がある。

以上、促進耐候性試験機に使用される代表的な光源を中心に記載した。

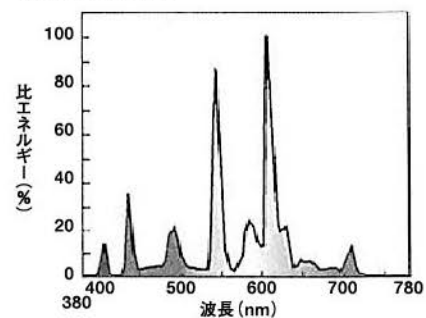
図6 蛍光灯の分光放射照度



③ 3波長形昼光色



④ 3波長形電球色



⑤ 3波長形温白色

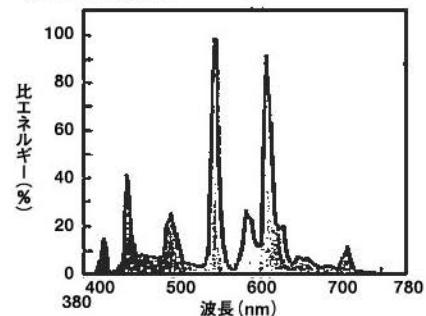
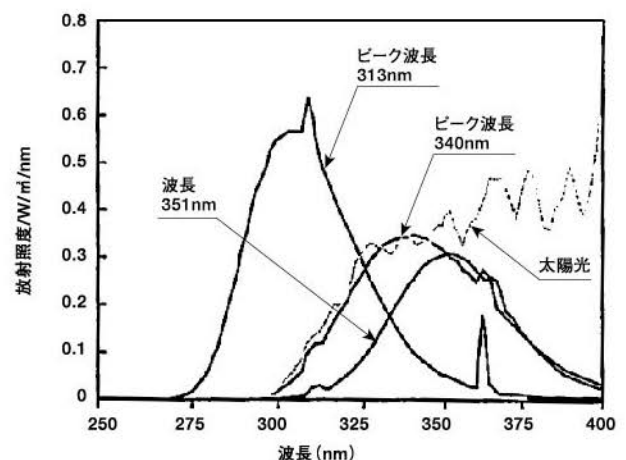


図7 紫外線蛍光ランプの分光放射照度



【参考文献】

- 1) 電気学会 1978/9/12 電気学会大学講座 照明工学 (改訂版)
- 2) 照明学会 2003/11 照明ハンドブック 第2版
- 3) 東芝ライテック株式会社 ランプ歴史年表
- 4) 原田常雄 1950 オーム社 放電燈