

促進耐候(光)性試験の歴史と発展(21)

前号より続く

須賀茂雄
木村哲也

4.5 蛍光灯を用いた促進耐候(光)性試験機

(1) 蛍光灯とは

蛍光灯は、熱陰極を有する低圧水銀蒸気放電ランプで、水銀スペクトルの紫外部の輝線スペクトル 185.0nm、253.7nm によって、放電管内壁に塗布された蛍光体を励起し、励起波長よりも長い波長の光を放射するランプである。本稿(13)にも記したように、1938 年夏に GE 社で現在の型の蛍光灯が発表され、画期的な光源で量産にも適し、現在も広く使用されている。その特徴は、①エネルギーの変換効率が高い。②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。④従来のランプに比べて寿命が長い等、照明用ランプとして非常に優れているランプである(図 67 参照)。構造は図 68 に示すように、電流・消費電力などの電気特性に見合ったガラス管(直線・環状・屈曲形状等)の内面に蛍光体を塗布し、両端にフィラメント電極を設け、内部に水銀・アルゴンガス(希ガス)が封入されている。

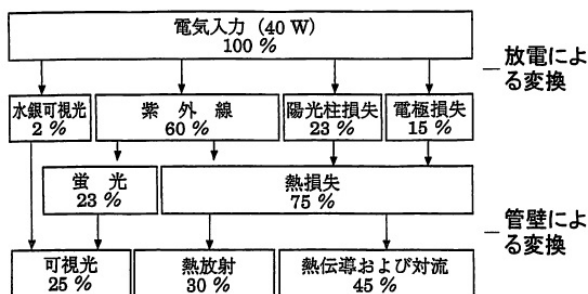


図 67 蛍光灯のエネルギー変換

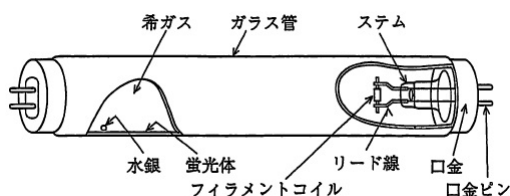


図 68 蛍光灯の構造

蛍光灯内の放電の発光原理は低圧アーク放電と同じで、両端のフィラメント間に電圧がかかると図 69 に示すように電位が急激に変化し、陽光柱に電

子を供給する陰極領域と陽光柱に水銀イオンを供給する陽極領域、比較的ゆるやかな陽光柱領域に分かれる。陰極に到達した水銀イオンはその運動エネルギーと電離エネルギーをフィラメントに与えて加熱し、熱電子を放出させる。水銀電子の正の空間電荷によって生じている陰極降下はショットキー効果^{*1}で熱電子放出を助けるとともに、熱電子を加速し水銀原子を衝突分離させ、その電子数を増大させて陽光柱に供給する。

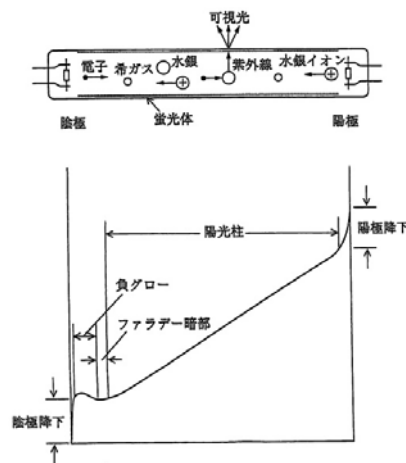


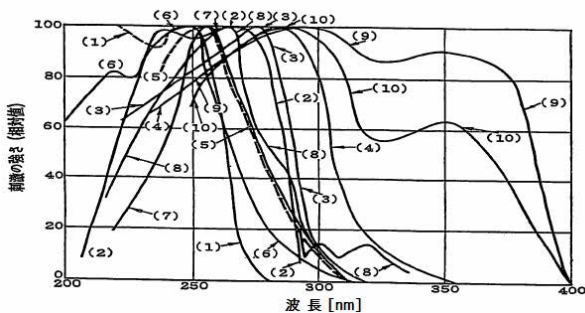
図 69 蛍光灯の発光原理と電位分析

陽極表面近傍で電子の負の空間電荷によって生じている陽極降下は、電子自体を加速して水銀原子を衝突電離させ、発生した水銀イオンを陽光柱に供給する。点灯中は前の半サイクルで陰極であった時の空間電荷の水銀イオンが陽極サイクルでもとどまるようになり、そのまま陽光柱に供給されるようになり、陽極降下は必要なくなり消滅する。陽光柱領域では、各々の領域から供給された電子と水銀イオンが等量存在するプラズマの状態を呈する。エネルギーは電子でほとんど費やされ、それも約 70%が水銀の共鳴線(185.0nm と 253.7nm)の励起に費やされ、陽光柱の軸中心近くで発生した水銀の共鳴線は励起／放射を繰り返して管壁に到達する。管壁に到達した共鳴線は管内壁に塗布された蛍光体を励起する。蛍光体ではストークスの法則^{*2}により励起波長よりも発光波長の方が長くなる。多くの蛍光体はその

^{*1}ショットキー効果: 高温の金属や半導体から熱電子が光出される熱電子効果において、強い電界を与えることでより熱電子が放出されやすくなる現象(独・ショットキーが発見)

^{*2}ストークスの法則: 蛍光体が光を吸収して励起し、蛍光を放出してもとの状態に戻るとき、一般に放出される蛍光の波長は励起に使われた光の波長よりも長い

量子効率^{*3}が1程度であるので、紫外放射の約4割が可視光に変換される。発光管の内部に塗布される蛍光物質により蛍光灯の発光色は決まり、蛍光物質の励起帯波長と刺激の強さを図70に、それにより発光する蛍光発起帯の波長と蛍光強度を図71に示す。



- (1)リン酸カルシウム(Ti)
 (2)ケイ酸カルシウム(Pb, Mn)
 (3)タングステン酸カルシウム[青]
 (4)タングステン酸マグネシウム[青白]
 (5)ケイ酸亜鉛(Mn)(緑)
 (6)ハロリン酸カルシウム(Sb, Mn)(橙白)
 (7)ケイ酸亜鉛ベリリウム(Mn)(黄白)
 (8)酸化イットリウム(Eu)
 (9)ひ酸マグネシウム(Mn)
 (10)フロロゲルマニウム酸マグネシウム(Mn)
 注: ()内の元素名は活性体、[]内は蛍光の色

図70 蛍光物質の励起帯

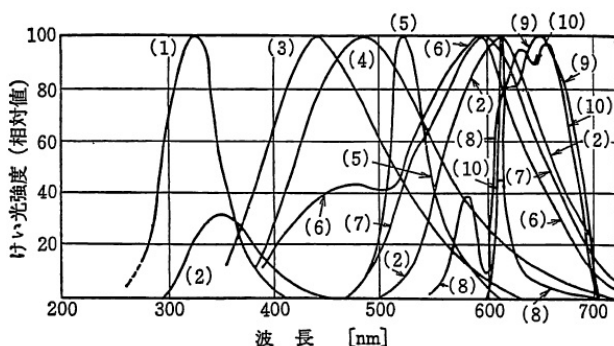


図71 蛍光物質の蛍光発起帯

一般照明用蛍光灯は、JIS Z 9112 蛍光灯・LED の光源色及び演色性による区分に記載されているように、昼光色 D(色温度約 6500K 晴天の正午の日光；やや青味のある光色ですっきりした白さを表現)・昼白色 N(色温度約 5000K 晴天の正午をばさんだ時間帯の日光；特に明るく、食品、食器・衣類など色が美しく自然に見える)・白色 W(色温度約 4200K 日の出 2 時間後の日光；照明空間を明るく、活気のある雰囲気)・温白色 WW(色温度約 3500K 夕方の日光；照明空間を明るくかつ落ち着いた柔らかな雰囲気)・電球色 L(色温度約 2800K、3250K 白熱電球のような暖かい光色で、

落ち着きと安らぎのある雰囲気)に区分されていて、その色温度範囲が規格化されている。図 72 に x-y 色度図上の色名の対応図を示す。蛍光灯の光源色の範囲は、図 72 の中央部分に相当する。図 73 にその拡大図を示し、一般照明用の蛍光灯の光源色の分類と色度範囲を示す。色温度の数値が小さいと x の値が大きい赤の領域に、逆に大きいと x の値が小さい青の領域になるので、照明する用途に合わせて、光源色を選択する必要がある。一般的に製品の色を美しく自然のままに見せる環境には昼白色 N を、レストランの料理とか、肉・魚等をおいしそうに見せるためには電球色 L を用いることが多く、組み合わせて用いられることもある。使用される蛍光体により、RGB の蛍光体の配合を調整して演色性評価数の良い 3 波長形と普通形の 2 方式の製造方法があり、代表的な分光放射照度分布を図 74 に示す。

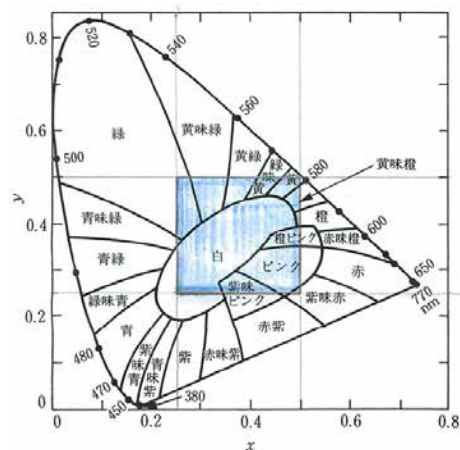


図72 光源色の x-y 色度図上の色名

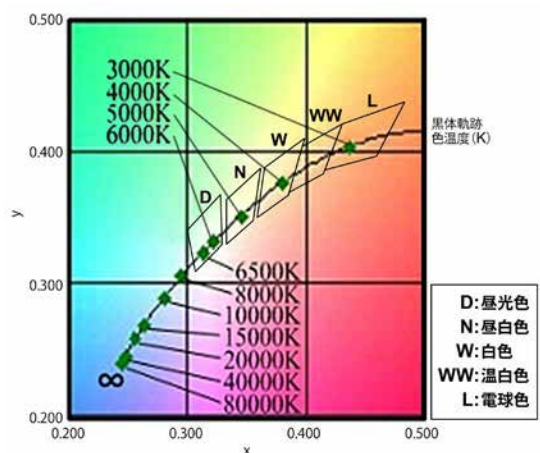


図73 蛍光灯の光源色の色度範囲

^{*3} 量子効率：入射光子数に対する発生電子数の比率

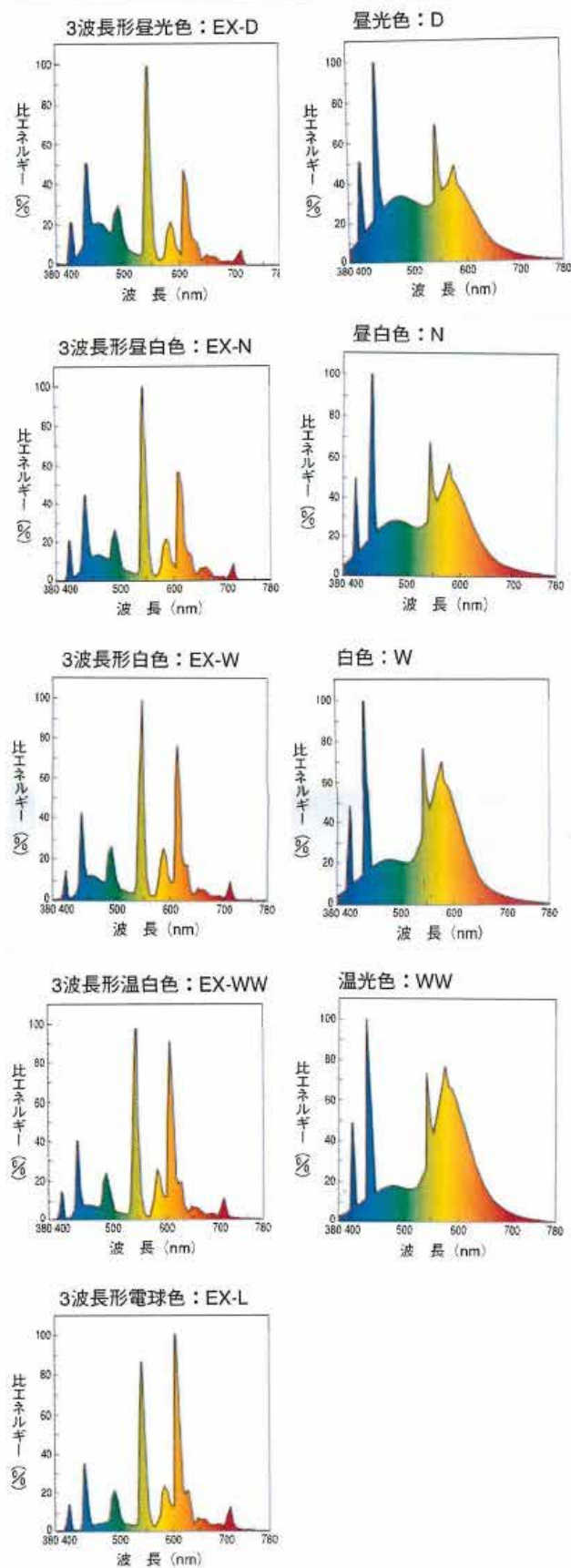


図74 蛍光灯の代表的な分光放射照度分布

(2) 蛍光灯の電圧特性と温度特性

蛍光灯は、図75のように電源電圧が変化すると、放電電圧・電流・電力・光束が変化する。一般家庭の照明用に用いられる場合は、送電線の電源が比較的安定しているので光束が変化することはほとんどないが、図から分かるように、電源電圧が10%変化すると光束は約10%以上変化する。試験機として使用する場合、工場・試験所などの電源はその設備容量・使用状況により変化することがある。この欠点を補うため、光束(放射照度)を一定に制御する必要がある。また、蛍光灯は通常室内で使用されることが多いので、一般的には図76のように周囲温度25℃(管壁温度で約40℃)で最大の光束が得られるように設計されている。試験機に組み込まれる汎用の蛍光灯は周囲温度が上昇する可能性があるため、その効率を最大に生かすようにランプの一部の温度を制御した方が効率的に使用できる。

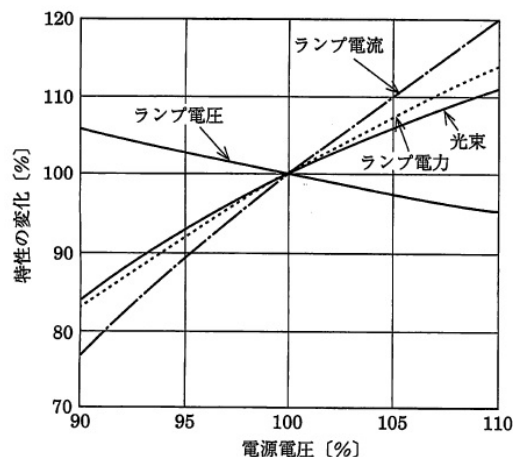


図75 蛍光灯の電圧特性 (FS40Sの場合)

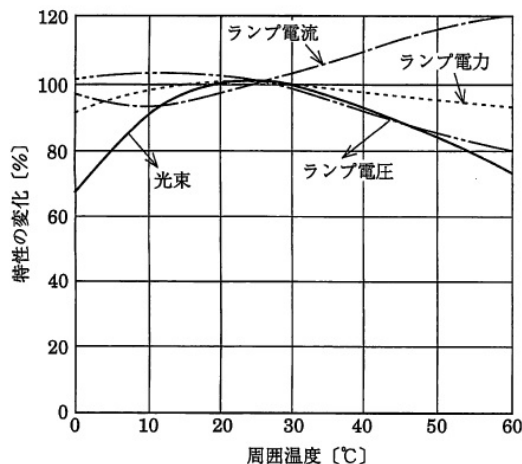


図76 蛍光灯の温度特性 (FS40Sの場合)

(3) 紫外線蛍光灯ウェザーメーター FUV

実際の使用環境で試験片を昼光又は窓ガラス越しの昼光に暴露した時に生じる現象を再現するため、試験片を水分の存在下での促進耐候性を試験する装置として、使用されている。特に波長の短い紫外線は、本講座(2)太陽エネルギー(2-1)の表2. 及び図4. エネルギーと振動数・波長の関係に示すように波長が短いほど、そのエネルギーは大きいので、物質の劣化への影響は大きくなる。特に塗膜のクラック(ひび割れ)やチョーキング(白亜化)、プラスチックの紫外線劣化などの評価に実績があり、汎用の蛍光灯と同じ構造の紫外部に強いエネルギーを持つ紫外線蛍光灯を用いている。内面に塗布する蛍光体と発光管の材質により紫外部の分光放射照度分布のピーク波長が異なる3種類の光源があり、ISO 4892-3 Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources — Part 3:、JIS K 7350 プラスチック—実験室光源による暴露試験方法—第3部:紫外線蛍光ランプでは、次のように規定している。①タイプ1A(UVA-340):300nm未満の放射が、全放射出力の2%未満で、ピーク波長が343nmにあり、一般的には300nm~340nmの昼光の立ち上がり波長分布にシュミレーションした光源で、UVA-340と呼ばれる。②タイプ1B(UVA-351):300nm未満の放射が、全放射出力の2%未満で、ピーク波長が351nmにあり、一般的には窓ガラスを通した昼光の紫外部分の立ち上がり波長分布にシュミレーションした光源で、UVA-351と呼ばれる。③タイプ2(UVB-313):300nm未満の放射が、全放射出力の10%を超え、ピーク波長が313nmにあり、一般的にUVB-313と呼ばれる。3種類の蛍光灯の分光放射照度分布を図77に示す。

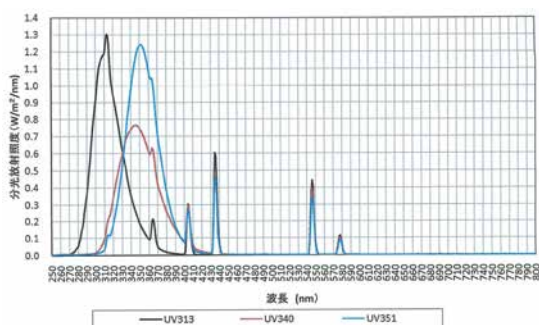


図77 紫外線蛍光灯の分光放射照度

いずれのランプも紫外部に大きなエネルギーを出力する蛍光体を塗布しているランプなので、可視部、赤外部のエネルギーはほとんどなく、紫外部の立ち上がり波長を除いて、全波長域を比較すると太陽の分光放射照度とは大きく異なる。また蛍光ランプは使用時間が経過すると著しく劣化するので、分光放射照度の許容範囲を考慮して試験を行う必要がある。スガ試験機(株)製紫外線蛍光灯ウェザーメーターは、試験中の試験片面の放射照度を常時測定し、その設定放射照度を自動制御する電子点灯機構を有し放射照度の低下を防いでいる。試験装置としては、光源が他の放電灯とは異なり、日常見慣れている形状のランプで消費電力も少なく、構造も簡単であり、メンテナンスも簡単であるので、目的・材料によっては使いやすい試験機である。試験機の構造を図78(全体図)、図79(試験槽断面図)に示す。



図78 紫外線蛍光灯ウェザーメーターの全体図

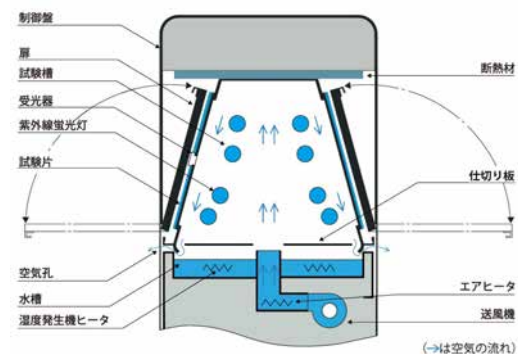


図79 紫外線蛍光灯ウェザーメーターの試験槽断面図

【参考文献】

- 1) 照明ハンドブック 照明学会
- 2) JIS Z 9112 蛍光ランプ・LEDの光源色及び演色性による区分
- 3) 照明工学 電気学会
- 4) ISO 4892-3 Plastics — Methods of exposure to laboratory light sources — Part 3: Fluorescent UV lamps
- 5) JIS K 7350-3 プラスチック—実験室光源による暴露試験方法—第3部:紫外線蛍光ランプ
- 6) ISO 16474-3(Paints and varnishes—Methods of exposure to laboratory light sources—Part 3:Fluorescent UV lamps
- 7) ISO 10977 Photography—Processed photographic color film and paper prints Method for measuring image stability (JEITA TSC—16 電子情報技術産業協会規格類の作成基準)
- 8) 厚生省薬務局の新原薬及び新製剤の光安定性ガイドライン
- 9) 東芝ライテック(株) ランプ総合カタログ