資 料

美術館・博物館の展示用光源と
変退色防止効果[†]

正会員 秋山 順悦* 終身会員 河本康太郎** 専門会員 森 礼於***

1. ま え が き

美術館や博物館は、人類の文化遺産である貴重な文化財や各種の美術工芸品を展示、公開するとともに、展示物が温・湿度や照明光源などで変退色しないように、その保存や維持、管理にも努めている。

わが国では、昭和15年に初めて蛍光灯が開発されて以来、退色防止技術の研究も進められ、36年には、ガラス管の内面に紫外放射を吸収する酸化チタン（TiO₂）を塗布し、その上に蛍光体層を形成する二層塗布方式で無紫外蛍光灯¹⁾が開発された。

その後、この二層塗布技術をもとに美術館や博物館に使用できる蛍光灯の高効率化、高演色化が進められ、46年には平均演色評価数 Ra 92 の退色防止形蛍光灯²⁾が、60年には美術館や博物館のほかに、印刷物の厳密な色評価にも使用できる、平均演色評価数 Ra 98 の退色防止形蛍光灯³⁾が開発され、それぞれ製品化された。

これらのランプの退色防止効果は、蛍光灯自身に直接各種の有彩色布地を巻き付けたり¹⁾、カラー印画紙に照度約10000 lxで照射する光退色実験などで確認してきた^{3,4)}。

しかし、貴重な文化財や美術工芸品などの光退色防止効果に関しては、『現在の照明用光源の退色防止効果ではまだ不十分である』という意見が多く、光源メーカーにはさらにその改善を要望されていた。

そのため、現在の美術館や博物館では、展示物が照明で傷むのを軽減するために、最近では、展示照度をこれまでの推奨値（約300 lx）より低くする傾向にある（例えば、油彩画 200 lx、浮世絵、版画類 50 lx）が、相関色温度 5000 K の前述のランプ^{2,3)}を低照度で使用すると、『展示物の色の見え方が好ましくない』という専門家の指摘もある。

そのため、光退色防止効果と低照度での色の見えかたの

両方を改善するために検討した結果、62年には美術館や博物館の展示物照明用の専用光源として、相関色温度 3000 K の退色防止形『美術・博物館用』蛍光灯⁵⁾を新たに製品化した。

文化財の変退色やその防止対策に関する報告はすでにいろいろあり、最近でも、光モニターや染料および顔料などの赤色色素を使った研究結果が報告されている^{6,7)}。

ここでは、美術館や博物館の展示物照明用の専用光源として開発した、『美術・博物館用』蛍光灯の特性と、“草木染”の染色布を試料に用いた光退色実験について、以下にその詳細を述べる。

2. 退色防止形『美術・博物館用』蛍光灯

これは、新しい紫外放射吸収材料の選択と発光ピーク波長 497 nm の青緑色蛍光体の開発により、電球色蛍光灯ではこれまで困難とされていた平均演色評価数 Ra 95 の高演色を実現したもので、JIS Z9112—1983 の演色性区分における“演色AAA・電球色”の規格に適合する高演色性ランプである。

2.1 紫外放射吸収材料

これまで、展示物の光退色を抑える紫外放射吸収材料には、おもに、微粉末で白色を呈する酸化チタン（TiO₂）を使用してきた。そのため、このランプにも開発当初は酸化チタンを使用した。単独では色度調整と高演色化が実現できないため新たな検討をした。その結果、従来の白色の酸化チタンに、これよりも可視部青色域発光の吸収特性が優れている黄色顔料（チタンイエロー）を混合する方式

図1 紫外吸収膜の分光透過率

† Light sources for galleries and museums and their effect on prevention from the discoloration of exhibited objects

* 東芝ライテック製品保証部

Jun-etsu Akiyama

** 東芝ライテック技術本部 研究所

Kohtarō Kohmoto

*** (財)スガウエザリング技術振興財団

Leo Mori

で両方を改善した。

このチタンイエローは、 $\text{TiO}_2\text{—NiO—Sb}_2\text{O}_5$ 系のルチル構造をもつ黄色顔料で、ルチル型の結晶格子中にアンチモンとニッケル原子を熱拡散させて黄色に発色させた固溶体で、堅牢度が高く、耐熱性、耐薬品性にも優れている。また、蛍光ランプには従来の白色の酸化チタンと同じ条件で塗布できて、働程特性も特に問題はない。

図1に最適混合比でガラス管に塗布した時の相対分光透過率を、従来の白色および黄色の酸化チタンを単独で塗布した時と比較して示す。

表1 使用蛍光体の組成式

成分	組成式	$\lambda_p(\text{nm})$
B-G	$(\text{Ba}, \text{Ca}, \text{Mg})_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2 : \text{Eu}^{2+}$	497
Y-R	$(\text{Sr}, \text{Mg})_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Sn}$	625
R	$3.5\text{MgO} \cdot 0.5\text{MgF}_2 \cdot \text{GeO}_2 : \text{Mn}$	655

図2 使用蛍光体の発光スペクトル

2.2 使用蛍光体

相関色温度 3000 K、偏差 0uv で前述の規格に適合する最適蛍光体の組み合わせについてシミュレーションをした結果、表1の3種類を選択した。

表2 退色防止形『美術・博物館用』蛍光ランプの演色特性

種類	光源色	相関色温度 (K)	演色評価数							
			Ra	R9	10	11	12	13	14	15
美術・博物館用 蛍光ランプ	電球色	3000	95	93	90	95	90	97	95	97
JIS “演色 AAA 形” の最低値	電球色	—	90	80	78	85	78	85	90	88

図3 美術・博物館用蛍光ランプの分光分布

ここで、B-G 成分の青緑色蛍光体⁸⁾はBa, Ca, Mgの混合比を変えると発光ピーク波長が変化する特徴があり、前述のランプ³⁾では 483 nm に調整している。しかし、このランプの最適値はこれよりも長波長側の 497 nm に調整する必要があるため、これまでのBa, Ca, Mgの混合比の変化に加えて、さらに Eu 濃度も変化させて最適値に調整した。図2に使用蛍光体の発光スペクトルを示す。

2.3 ランプ特性

退色防止形『美術・博物館用』蛍光ランプの諸特性を表2に示す。また、図3に縦軸を Y=100 で標準化した時の相対分光分布を、同じ色温度の電球と比較して示す。

電球に比べて分光分布に凹凸はあるが、水銀輝線スペクトルのある波長域では蛍光体の連続スペクトルの凹みでバランスして、Ra および Ri は十分な性能を保っている。さらに、紫外放射について光退色の大きな原因と考えられている、可視部青色域の発光はこれまでのランプ^{1,2,3)}よりも少なくなっている。

3. 光退色実験

3.1 実験試料

試料には今回の実験用として特別に製作（昭和 63 年 7 月染色）した“草木染”の染色布（大きさ：各 15×25 cm）を用いた。草木染は古代からある染色方法で、いろいろな植物や木の実などのほかに、“きのこ”などからの抽出色素も染料として染色でき⁹⁾、さらに媒染剤を変えると色彩が大きく変化するという特徴もある。

今回の試料はできるだけ古代の染色布を再現するために、ソーダ灰単独で精錬した生地に各種の植物染料を染色したもので、現在使用されている精錬助剤（例えば、各種界面活性剤、石鹼、FDTA、ハイドロサルファイトなど）の影響は除くようにした。

なお、試料は 10 種類の染料（キハダ、クチナシ、ウコン、紅花、スオウ、ヨウバイヒ、ビンロウジ、矢車、日本アカネ、刈安）を用いた。

表3 試料の種類

名称	備考
キハダ	山地に自生するミカン科の木の黄色い樹皮を染料にしたもの
ウコン	ショウガ科の多年草の根から黄色の染料を採り染めたもの
紅花	紅花の花びらの色素を抽出して染めたもの。非常に高価であった
スオウ	熱帯産マメ科植物のスオウの心材を煎じて染めたもの
ヨウバイヒ	山ももの樹皮を染料にしたもの
ビンロウジ	ビンロウジュ（ヤシ科）の実を染料にしたもの
矢車	矢車ブシの木の実を染料にしたもの
日本アカネ	九州産でアカネの根から得られる色素を染料にしたもの
刈安	ススキに似たイネ科の多年草で古代から黄色染料の代表的な原料
未染色布	精錬助剤の影響を無くするため、ソーダ灰単独で精錬した生地

図 4 試料の分光反射率

図 5 照射光源の分光分布

アカネ、刈安)と、媒染剤(ソーダ灰、消石灰、酢酸アルミ)を変えたものなど合計 35 種類製作したが、実験には無媒染の染色布 9 種類と黄変の確認用として未染色生地 1 種類の合計 10 種類(大きさ:各 15×30 mm)を使用した。表 3 および図 4 に、試料の特徴とそれぞれの分光反射率の代表例を示す。

3.2 照射光源

光源には退色防止形『美術・博物館用』蛍光ランプ(略称: L-EDL・NU)のほかに、比較用として退色防止形『色評価用純正色』蛍光ランプ(略称: N-EDL・NU), 『色比較・検査用 D₆₅』蛍光ランプ(略称: D₆₅)¹⁰⁾, 白色蛍光ランプ(略称: W)の 4 種類を用いた。

ここで、『D₆₅』は分光分布を紫外域まで標準の光 D₆₅に

近似させたもので、自然昼光の代用として用いた。また、『W』は一般照明用に最も普及している蛍光ランプである。

表 4 に、それぞれのランプ特性を示す。また、図 5 に縦軸を Y=100 で規準化した時の分光分布を示す。

表 4 照射光源のランプ特性 (FL 20 S)

名 称	記 号	相 関 色 温 度 (K)	演色評価数			全光束 (lm)
			R _a	R _g	R ₁₅	
退 色 防 止 形 美 術 ・ 博 物 館 用	L-EDL・NU	3000	95	93	97	800
退 色 防 止 形 色 評 価 用 純 正 色	N-EDL・NU	5000	98	97	98	890
色比較・検査用 D ₆₅	D ₆₅	6500	98	95	98	710
白 色	W	4200	63	100	41	1210

3.3 退色試験装置および照射条件

試験装置には上部に 20 ワット形の蛍光ランプが点灯でき、底部に各種試料が置ける試料台を設置した点灯箱（試作品）を用いた。また、試料面照度は 500 lx に設定したが、各ランプは全光束が違う（表 4）ため、それぞれの照度調整は各ランプの分光分布が変化しないように、調光などはしないで、黒色塗装の反射板の位置や減光板の面積を調整する方法で行った。

なお、実験は昼夜運転で行い、期間中の実験室の温度は約 20～30℃、湿度は約 50～90 %RH の範囲であった。

3.4 光退色の測定と評価方法

光退色の評価は、照射時間ごとに試料の分光反射率を分光光度計（Varian社製、形名：Cary 17）で測定し、その分光反射率データから色差を計算して未照射時に対する比較をした。

これまで、変退色の評価は試料の最大吸収波長（試料によりそれぞれ異なる）における反射率を濃度に変換して、初期値に対する変化量から退色率を求める方法がおもであった。しかし、今回の CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間における色差表示方法¹¹⁾から色差 ΔE^*ab を求める方法は、退色率とは違い測色学的に定量表示でき、さらに視感評価との対応も図れるという利点がある。

なお、変退色の評価では、全体の変退色量から未染色生地自身の変退色（これを黄変という）量を差し引いて、染料自身の変退色量を比較する場合がある。しかし、今回の実験は染料自身の変退色の評価ではないので、黄変による変化も含んで評価した。

4. 実験結果

表 5 および図 6 に、各試料を標準の光 D_{65} で照明した時の初期値からの色差を示す。（なお、評価結果には色差が小さい 2 CIE 単位以下の試料については記述を省略した。）

色差が 2 CIE 単位以上の試料について、光源間の色差の大小を不等号で表すと、黄色系統の『キハダ』は、 $D_{65} > W > N-EDL \cdot NU > L-EDL \cdot NU$ 、『ウコン』は、 $D_{65} > W > N-EDL \cdot NU > L-EDL \cdot NU$ の順である。また、赤色系統の『紅花』は、 $D_{65} > W \geq N-EDL \cdot NU > L-EDL \cdot NU$ の順である。さらに、茶色系統の『ビンロウジ』は、 $D_{65} > W > N-EDL \cdot NU \geq L-EDL \cdot NU$ の順にそれぞれ色差が小さくなっている。

従って、今回の“草木染”の染色布を用いた光退色実験では、新たに製品化した退色防止形『美術・博物館用』蛍光ランプは、既に販売されている高演色形蛍光ランプの中では、最も光退色が少ないことがわかった。

また、各ランプ間での光退色を、これまでのカラー印画紙の結果^{3,4)}と比較すると、少し違うこともわかった。例えば、カラー印画紙では退色防止形『色評価用純正色』蛍光ランプの光退色は、白色蛍光ランプよりは明らかに少なかったが、今回の実験では両者の差は非常に少なくなっている。この傾向は、昼光と同程度の割合の紫外放射が含まれている『色比較・検査用 D_{65} 』蛍光ランプとの比較でもほぼ同じ傾向であった。

これらの評価結果から、今回の試料である“草木染”の

図 6 色差の経時変化

表5 染色布の色差変化

染料	照射光源 (略称)	色 差 ΔE^*ab				
		24h	48h	104h	200h	480h
キハダ	L-EDL・NU	1.26	1.36	2.75	4.15	6.60
	N-EDL・NU	1.18	2.16	4.10	5.88	8.86
	D ₆₅	2.95	4.41	7.00	8.92	11.72
	W	1.52	2.56	4.58	6.60	9.43
ウコン	L-EDL・NU	2.75	4.25	6.81	9.15	12.98
	N-EDL・NU	3.93	5.79	8.61	11.02	14.65
	D ₆₅	4.79	7.21	10.60	13.05	16.24
	W	3.72	5.64	8.74	11.54	15.03
紅花	L-EDL・NU	0.34	0.84	1.97	3.43	6.58
	N-EDL・NU	0.50	1.07	2.54	4.20	8.29
	D ₆₅	0.76	1.48	3.04	5.12	10.00
	W	0.55	1.13	2.53	4.03	8.46
ビンロウジ	L-EDL・NU	0.24	0.44	0.78	1.19	1.33
	N-EDL・NU	0.21	0.51	0.75	1.33	1.41
	D ₆₅	0.34	0.60	1.35	2.68	4.32
	W	0.16	0.50	0.97	1.74	2.68
未染色生地	L-EDL・NU	0.14	0.15	0.13	0.16	0.93
	N-EDL・NU	0.34	0.18	0.22	0.11	0.91
	D ₆₅	0.21	0.22	0.30	0.33	0.27
	W	0.18	0.18	0.18	0.27	0.48

染色布の光退色は、これまで光退色の最も大きな原因と考えられていた紫外部や、波長 450 nm 以下の可視部青色域発光だけでなく、さらに長波長側の可視域の発光にも大きな影響を受けていると考えられる。

5. あとがき

今回、新に開発した退色防止形『美術・博物館用』蛍光灯は、“草木染”の染色布を試料にした光退色実験で、光退色が最も少ないことがわかった。また、このランプは、最近の展示照度の低照度化の要求を十分に満足して、展示物も好ましく見せるため、光退色や劣化に細心の注意が必要な浮世絵や版画類には特に有効である。

なお、“草木染”の染色布は波長 450 nm よりもさらに長波長側の光放射でも大きく光退色することがわかった。しかし、その改善のために波長 450 nm 付近やそれ以上の長波長側の発光まで吸収したり遮断することは、光源色の黄色味が強くなったり演色評価数の低下を招くなど、ラン

プ特性に大きな影響を及ぼすので今後十分な検討が必要である。

謝 辞

今回の実験を進めるにあたりご指導いただいた、前東京国立文化財研究所、保存科学部 見城敏子博士、また、退色防止形『美術・博物館用』蛍光灯を開発した際にご指導いただいた、同所、石川陸郎主任研究官に厚く感謝の意を表する。

また、今回の実験用に貴重な“草木染”の試料を特別に染色していただいた、京都市『田中直染料店』の高橋誠一郎取締役研究開発部長に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 東, 白石, 橋本: 紫外線の出ない蛍光灯, 東芝レビュー, Vol. 16, No. 7, (昭 36) 906
- (2) 染谷, 志賀, 昆布谷: 蛍光灯ネオラインデラックス, 東芝レビュー, Vol. 26, No. 9, (昭 46) 1110
- (3) 秋山, 一条, 森: 退色防止形蛍光灯とその効果, 東芝レビュー, Vol. 40, No. 13, (昭 60) 1140
- (4) 秋山, 一条, 森: カラー印画紙の光退色とその作用スペクトルの検討, 第一回色彩工学コンファレンス論文集, (昭 59) 151
- (5) 秋山, 昌山, 田屋: 美術館・博物館用高演色蛍光灯, 東芝レビュー, Vol. 42, No. 9, (昭 62) 652
- (6) 見城敏子: 変退色に対する光モニター, 保存科学, No. 24, (昭 60) 25
- (7) 見城敏子: 赤色色素の変退色, 保存科学, No. 26, (昭 62) 31
- (8) 田屋, 秋山, 河本, 萩原: Eu^{2+} 付活ハロリン酸塩蛍光体とその EDL 形蛍光灯への応用, 東芝レビュー, Vol. 38, No. 2, (昭 58) 167
- (9) 高橋誠一郎: 新しい可能性を秘めたきのこ染めへの誘い, 染色 α , (昭 63) 87
- (10) 秋山, 昌山, 森: 蛍光体単層塗布による標準の光 D₆₅ 用蛍光灯の開発, 照学誌, Vol. 71, No. 10, (昭 62) 36
- (11) JIS Z 8730-1980: 色差表示方法

(受付 1989 年 12 月 12 日)

31