

最近の技術から

三波長域発光形蛍光ランプ

金谷 末子

松下電器産業(株)照明技術開発センター 〒570 守口市八雲中町 3-15

1. はじめに

昭和 52 年、高効率と高演色性とを両立させた三波長域発光形蛍光ランプがわが国で初めて発売されて以来、三波長域発光形蛍光ランプは住宅照明、店舗照明などに用いる光源として広く普及しており、現在ではおおよそ 8,000 万本以上が使用されるまでに至っている。

三波長域発光形蛍光ランプは新蛍光体の開発やランプ自体の設計の改善によって、その効率はさらに向上し、現在では 90 lm/W に達し、蛍光ランプのうち最高の効率をもつに至っているが、その最も重要な特徴は演色特性である。

本稿では、三波長域発光形蛍光ランプの開発の経過とその照明特性について述べる。

2. 三波長域発光形蛍光ランプの開発

従来、光源は効率と演色特性にその改良、改善の努力が集中されていた。このうち、効率を改善するためには、原理的には視感度の高い可視域の中央部 (555 nm) 付近に発光エネルギーを集中させればよいが、この場合、その分光分布は基準光源の分光分布とはかけはなれたものとなり、演色性が低下する。一方、演色性を改善しようとしてそのスペクトル分布を基準光源のそのように、可視域全体にほぼ一様に広げようとする、視感度の低い可視域の両端部でエネルギーの損失が生じ、効率が低下する。このため、効率と演色性を両立させることは原理的に不可能だと考えられてきた。

CIE (国際照明委員会) は 1965 年、光源の演色性を評価する方法を定め、演色性を客観的かつ数量的に比較することが可能となった¹⁾。この方法は規定された試験色票を基準光源および試料光源でそれぞれ照明した場合の色ずれの平均値を計算により求めるものである。

当初、CIE の演色評価方法は実在の光源について測定した分光特性からその演色性を評価し、改善するために用いられてきたが、近年になってコンピュータが演色評価計算にも幅広く使われるようになるとともに、光源を

試作することなく、任意の分光分布をコンピュータシミュレーションすることによって仮想光源の演色性を組織的に検討することが可能となった。

この結果、たとえば Godlove²⁾, Barnes³⁾, Koedam⁴⁾, Thornton⁵⁾, Walter⁶⁾, 昆布谷ら⁷⁾はコンピュータシミュレーションによって、いずれも基準光源の分光分布とはまったく異なった 450, 540, 610 nm 付近の狭い波長域の発光のみを組み合わせることによって、80 以上の平均演色評価数 R_a を得ることができていることを明らかにした。これらのコンピュータシミュレーションで得られた 450, 540, 610 nm 付近の波長域は人間の色覚の分光特性のピーク波長域と一致している。

1972 年、Thornton ら⁸⁾は、コンピュータシミュレーションの結果に基づいて世界で初めて、基準光源とはまったく異なったこれら三波長域に発光スペクトルを集中させた蛍光ランプを発表、次いで 1974 年には Versteegen ら⁹⁾が、新たに開発した青色蛍光体 BAM ($\text{BaMg}_2\text{Al}_6\text{O}_{27}; \text{Eu}^{2+}$), 緑色蛍光体 CAT ($\text{CeMgAl}_{11}\text{O}_{19}; \text{Tb}^{3+}$), および従来から用いられている赤色蛍光体 YOX ($\text{Y}_2\text{O}_3; \text{Eu}^{3+}$) を用いて前述の三波長域に、分光エネルギーの放射をより集中させた三波長域発光形蛍光ランプを完成し、 $R_a=85$ を得た。このようにして、このランプは視感度の低い可視域の両端に分光エネルギーを分散することなく良好な演色性を得ることができた結果、80 lm/W 以上の高い効率を得ることに成功し、高効率と高演色性を両立させた世界最初の三波長域発光形蛍光ランプとなった。

神谷ら¹⁰⁾は BAM, CAT, YOX の 3 種類の蛍光体をそれぞれ単独に塗布した 3 種類の実験用ランプを組み合わせ、 R_a を一定に維持しながら発光の色度を変化させ主観評価を行なった結果、 R_a が等しくても色度 (色温度) が異なると、主観的な演色特性は異なることを見いだした。さらに、人の顔色を評価対象とした実験によって、図 1 の分光分布をもつ色温度 5,000 K, $R_a=84$ の三波長域発光形蛍光ランプが最も好ましい特性をもつことを明らかにし、1977 年にわが国初の三波長域発光形

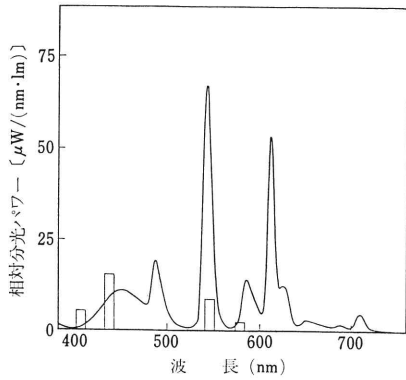


図1 三波長域発光形蛍光ランプの分光分布
色温度 5,000 K, $R_a=84$.

蛍光ランプとして発表した。

3. 三波長域発光形蛍光ランプの演色特性と明るさ感

3.1 試験色票に対する演色性

橋本ら¹¹⁾は、三波長域発光形蛍光ランプによる照明下での演色性（供試光源によって照明された試験色票の色彩が、基準光源によって照明された場合のそれとどれほど近いかという特性）が、高演色形の自然昼白色蛍光ランプと広く用いられている（普通の演色性をもつ）白色蛍光ランプのそれとどのように異なるかを計算と観察により検討し、三波長域発光形蛍光ランプは自然昼白色蛍光ランプと同等の演色特性をもち、白色蛍光ランプよりはるかにすぐれた演色特性をもっていることを確かめた。

3.2 顔料に対する演色性

橋本ら¹²⁾は300種の顔料について、三波長域発光形蛍光ランプ、自然昼白色蛍光ランプ、白色蛍光ランプによって照明された場合の色彩を、基準光源によって照明された色彩と比較してその色差を計算した結果、三波長域発光形蛍光ランプの下での色差は白色蛍光ランプの下での色差より、かなり小さいことを明らかにした。図2にその結果を示す。

3.3 明るさ感

ランプの演色性が照明された部屋の心理的な明るさ（明るさ感）に与える影響について、筆者ら¹³⁾は同じ照度で照明されている室内でも演色性のよいランプを使用している場合、明るく感じることを実験により明らかにした。図3は実験結果を示すもので、横軸に各従来形の広帯域発光形蛍光ランプの平均演色評価数 (R_a) を、縦軸に心理的に同じ明るさを生じる各蛍光ランプによる照

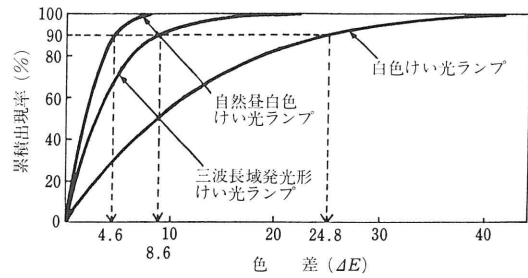


図2 各種蛍光ランプによって生ずる基準光源との間の色差の大きさと累積出現率

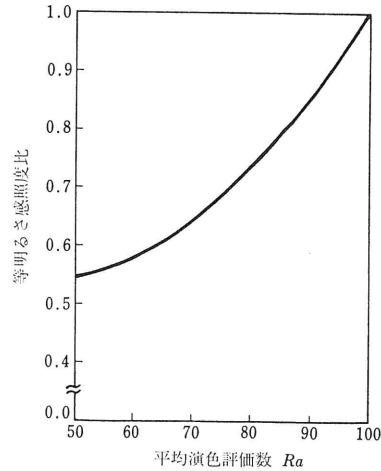


図3 広帯域発光形蛍光ランプの R_a と等明るさ感照度比の関係

度の逆数の相対値を白熱電球を1.0とし、これを等明るさ感照度比として示したものである。その後、Kanayaら¹⁴⁾は同様の実験を三波長域発光形蛍光ランプについて行ない、三波長域発光形蛍光ランプによって得られる明るさ感は、同じ R_a の値をもつ従来形の広帯域発光形蛍光ランプより明るさ感が大きく、 $R_a=84$ の場合、白色蛍光ランプ ($R_a=63$) による照度を140%に増加させた場合に相当する明るさ感が得られることを明らかにした。淵田¹⁵⁾、明道¹⁶⁾は照明された物体の心理的明るさについて実験を行ない、同様の結果を得た。

このように、 R_a が等しくても光源の分光特性の傾向が異なると等明るさ感照度比は異なった値になることが他の種類のランプについても明らかになりつつあり¹⁷⁾、分光特性の傾向の異なるすべてのランプに共通する光源の明るさ感に対応する分光特性の定量的表現方法のうち、 R_a は必ずしも妥当ではなく、これに代わる新しい表現方法が現在研究されつつある¹⁸⁻²¹⁾。

三波長域発光形蛍光ランプの開発を契機として効率だ

けでなく、演色性に対する関心が急激に高まりつつあることは、照明の評価が従来の量から質へと転換しはじめていることを意味し、真に効果のある照明を生み出す第一歩として好ましい傾向であるといえる。

文 献

- 1) CIE Publication, No. 13, E-1.3.2 (1965).
- 2) I. H. Godlove: J. Opt. Soc. Am., **37** (1947) 778.
- 3) B. T. Barnes: J. Opt. Soc. Am., **47** (1957) 1124.
- 4) M. Koedam and J. J. Opstelten: Light. Res. Technol., **3** (1971) 205.
- 5) W. A. Thornton: J. Opt. Soc. Am., **61** (1971) 1151.
- 6) W. Walter: J. Illum. Eng. Soc., **7** (1978) 66.
- 7) 昆布谷朝彦, 河本康太郎, 秋山順悦, 田屋 明, 木村吉雄: 昭和53年照明学会全国大会 (1978) p. 9.
- 8) H. H. Haft and W. A. Thornton: J. Illum. Eng. Soc., **2** (1972) 29.
- 9) J. M. P. J. Verstegen, D. Radielovic and L. E. Vrenken: J. Electrochem. Soc., **121** (1974) 1627.
- 10) 神谷 茂, 柴田治男, 渡会吉昭, 金谷末子: 昭和53年照明学会全国大会 (1978) p. 12.
- 11) 橋本健次郎, 金谷末子, 武内徹二: 昭和53年照明学会全国大会 (1978) p. 61.
- 12) 橋本健次郎, 武内徹二, 金谷末子: 日本色彩学会誌, **3** (1978) 50.
- 13) 金谷末子, 吉瀬英雄: 昭和50年照明学会全国大会 (1975) p. 48.
- 14) S. Kanaya, K. Hashimoto and E. Kichize: CIE Kyoto, p-79-46 (1979).
- 15) 淵田隆義, 富永 守, 秋山順悦, 河本康太郎, 森 礼於: 照明学会誌, **65** (1981) 526.
- 16) 明道 成, 山ノ下真理, 狩野雅夫, 村上勝男: 昭和58年照明学会全国大会 (1983) p. 112.
- 17) 金谷末子, 橋本健次郎: 昭和58年照明学会全国大会 (1983) p. 111.
- 18) 納谷嘉信, 橋本健次郎: 照明学会誌, **67** (1983) 260.
- 19) 金谷末子, 橋本健次郎: 昭和59年照明学会全国大会 (1984) p. 125.
- 20) 秋山順悦, 森 礼於: 昭和58年色彩学会全国大会 (1983) p. 40.
- 21) 明道 成, 狩野雅夫, 山ノ下真理, 村上勝男: 昭和59年照明学会全国大会 (1984) p. 125.

(1984年5月9日受理)