複写用水銀ランプの放射出力特性

専門会員 中 川 靖 夫*

Spectral Radiation Characteristics of Diazo Copying Mercury Lamps

Yasuo NAKAGAWA (Fellow Member)

(Faculty of Science and Technology, Saitama University)

ABSTRACT

The radiation characteristics of diazo copying high pressure mercury vapor lamps and the spectral sensitivity of diazo papers were measured.

For general diazo papers, sensitivity wavelength regions were about 300~440 nm, Maximum sensitivity wavelength was approximately 400 nm, and the absolute sensitivity (exposure energy) at maximum sensitivity wavelength was 0.06~0.08 joule per cm. Effective radiation of high pressure mercury lamp for diazo printings were line spectra of 365, 505, and 436 nm.

But the most strong and effective radiation in these three spectra was 365 nm line. The radiation efficiency of mercury lamp depended on certain factors, namely, arc voltage or mercury vapor pressure, loading or power input per unit arc length, and arc tube diameter.

Systematic experiments were carried out with mercury lamps of 18 types, which had various pressures and tube diameters. Good results were obtained with higher vapor pressure lamps at higher loadings

1. ま え が き

筆者はさきにジアゾ複写用の水銀ランプについてその一般的性質¹⁾, 分光特性²⁾, 放射特性³⁾などを報告した。しかしこれらはいずれも部分的な資料にとどまり、また、対象とするジアゾ感光紙の分光感度などに関するデータも十分なものではなかったので、この種の光源がもっとも使用目的に適合したものとなるための総合的条件を定量的に得るまでには至らなかった。そこで、今回はこれまでの資料をより系統的に整理されたものとして、実効効率のすぐれたジアゾ複写用水銀ランプを得るため、まず対象とするジアゾ感光紙の感度特性を十分に測定し、次に種々の蒸気圧、管径、管入力における水銀ランプの放射出力を測定して、どのような条件がジアゾ複写用に適しているかを検討し、最後にその検討結果から導かれた諸元による試作品について、実用性を検討してみたので報告してみたい。

2. ジアゾ感光紙に関する測定と検討^{4)~7)}

2.1 ジアゾ感光紙の露光特性

2.1.1 試 料

現在広く用いられているジアゾ感光紙は、ジアゾ化合物と助剤（保存性向上のための添加剤）を紙に塗布し、これをカプラー（発色剤）を含んだ塩基性の現像液で現像発色させる単成分系（一般に“湿式”という）と、ジアゾ化合物、カプラー、助剤およびカップリング防止剤（有機酸類）を紙に塗布して、単に塩基性ふんい気（普通アンモニアガス）で発色させる複成分系（“乾式”または“ガス式”とよばれる）の2種があって、事務用には“湿式”が、工業用として“乾式”が用いられる。そこで本実験では、現在市販されている感光紙のうちから代表的と思われる4社の製品を8種（湿式・乾式4種ずつ）とり、測定の対象とした。なおこれらの感度のグレードは“中速”と称されているものとした。

2.1.2 露光試験光源⁸⁾

本格的な測定に先行して、与えられた放射の分光分布

* 埼玉大学理工学部

と感光紙の発色特性の関係を調べるために、連続スペクトル放射をもつ高圧キセノンランプ（500 W、紫外域でのエネルギー分布は約 6,000 °K の黒体放射に相当する）と、輝線スペクトルを放射する高圧水銀ランプ（800 W、複写用長アーク、ほぼ原子スペクトルの輝線だけ）の 2 光源で同種感光紙を露光したときの特性を調べてみた。（前記 8 種の感光紙のうちから湿・乾式各 1 種をとる）その結果、この 2 光源で露光したときの露光特性曲線* はほぼ同じであって、光源の分光分布によって特性曲線が影響を受けないことがわかったので、以後の感光紙の測定光線には安定性、制御性のすぐれているキセノンランプを用いることにした。キセノンランプの点灯条件は入力 500 W（DC）で垂直点灯、自然空冷である。

2.1.3 露光の与え方と発色濃度の測定

露光の与え方は、実際の複写機と同様に照射束一定で露光時間を変えるタイムスケール方式をとった。照射は暗室内で、光源から 80 cm の距離**で行なった。露光を完了した試料は所定の現像処理を行ない、現像発色後暗所に放置して、550 nm の単色光（半値波長幅 20 nm）で反射濃度を測定した。550 nm を用いた理由は試料の分光反射特性曲線がこの付近で平坦になることと、視感度の中心波長に一致させるためである。この測定は日立 EPU-2A 分光光度計に反射測定用の積分球をつけ、MgO 標準白板と比較して行なった。

2.1.4 露光実験の結果

実験の結果、湿式感光紙 4 種はほとんど同じ特性を示し、乾式の 4 種も非常によく似た特性となった。湿式と乾式の特性にはかなりの差がみられ、湿式は最高濃度（未露光濃度）が低く、露光特性曲線の直線域の傾斜が小さい（すなわち画像が軟調になる）が、乾式は最高濃度も高く、特性曲線の傾斜も急である。第 1 図に代表的な試料の特性曲線の例を、第 1 表に 8 種の試料について露光量（感度）、濃度、特性曲線の直線域の傾斜 γ

第 1 図 ジアソ感光紙の露光特性曲線

* 特性曲線は普通横軸を露光量の対数 $\log E$ 、縦軸を反射濃度 D にとる。なお、この試験はおのおのの光源について試料の露光時間が同じ程度になるように照射距離を調整して行なった。

** 距離をあげたのは発熱の影響をさけるためである。

第 1 表 感光紙の特性

試料	現象方式	最大濃度	$\gamma = \tan \theta$	$\log E$
No. 1	湿式	1.07	1.33	2.58
2		1.00	1.05	2.47
3		1.14	1.22	2.61
4		1.10	1.33	2.57
5	乾式	1.20	1.90	2.73
6		1.16	1.67	2.57
7		1.22	1.95	2.60
8		1.21	1.65	2.54

を示す（特性曲線の評価の一法として、直線域の接線と横軸のなす角を θ として、 $\tan \theta = \gamma$ または $\bar{\gamma}$ をコントラストの表示に使用する。 $\gamma = 1$ のとき原図と同じ調子が複写される）。なお、露光量は試料濃度が湿式試料でカブリ濃度* + 0.08、乾式試料でカブリ濃度 + 0.05、となるまでの露光時間（秒）の対数で示した。また、第 2 図に第 1 図の試料の分光反射特性を示す。

第 2 図 試料感光紙の分光反射特性

2.2 分光感度特性の測定

2.2.1 分光感度の定義と予備測定

感光紙の感度は“ある発色濃度に達するまでの照射エネルギー量” E で与えられるが、一般に多数の試料の感度を比較するときには、感度のよい（照射量の少なくてよい）試料を大きな数値で示すのが普通であって、多くの場合、感度 S を

$$S = K_1 E^{-1}$$

K_1 : 任意定数

とする。

いま、任意の試料について、その感度波長域内の何点かの波長 $\lambda_1 \cdots \lambda_n$ で単色光を照射して露光を与えて、ある一定発色濃度値に達するまでのエネルギー量を測ると、 $\lambda_1 \cdots \lambda_n$ について $E_{\lambda_1} \cdots E_{\lambda_n}$ が得られるはずである（一般に $E_{\lambda_1} \approx E_{\lambda_n}$ ）。したがって $E_{\lambda_1}^{-1} \cdots E_{\lambda_n}^{-1}$ をプロットすればこの試料について波長に対する感度が得られて、普通は、 $E_{(\lambda)}^{-1}$ の最大値が 100 または 1.00 となるように任意定数 K_2 を乗じて分光感度特性

$$S_{(\lambda)} = K_2 E_{(\lambda)}^{-1}$$

を求める。したがって、適当な波長について強度のわかっている単色光を作り、露光実験と同様な測定を波長ごとに行なえば、分光感度特性を求めることができる。

* 完全に露光した状態の濃度、普通反射濃度 0.13（反射率約 75%）程度である。

第 3 図 (a) 湿式試料の分光吸収特性
感光紙 25 cm² に塗布した感光剤を蒸留水
30 cc に溶解させたもの

第 3 図 (b) 乾式試料の分光吸収特性
感光紙 25 cm² に塗布した感光剤を蒸留水
30 cc に溶解させたもの

“適当な波長”の選定には感光剤の分光吸収特性を利用するのが最も簡単と思われる。第 3 図に前記 8 種の試料（感光剤）の水溶液の分光吸収特性を示す。吸収特性と感度特性は必ずしも一致するものではないが、感度は吸収の存在を前提とするから、これらの試料の感度域はおおよそ 300～450 nm と考えることができる。

2.2.2 分光感度測定のための単色光源

前記の波長域で強い放射を持つ光源は、高圧水銀ランプ、高圧キセノンランプ、カーボンアークなどであるから、これらの光源の放射を適当な方法で単色化すれば単色光源となるが、カーボンアークは光源として不安定で適当ではない。高圧水銀ランプの放射は水銀の原子スペクトルによる輝線であるため、比較的簡単な分光手段（たとえばフィルタ）で純度のよい単色光が得られるが、300～450 nm で数本の輝線しか得られないので、たとえば、第 3 図(a)のように複雑な吸収（したがって複雑な感度）特性を示す試料では、測定点としてあらくなくなるおそれがある。キセノンランプは連続スペクトルであるため、分光がめんどろである上に、得られた単色光の純度・強度があまり高められないが、性能のよい分光器が使えれば、波長の選定その他の点では有利である。

本実験では波長を多くとる意味から、キセノンランプを用いて、回折格子型の分光器で半値幅 10 nm の単色光を作り、露光光源とした。

2.2.3 分光感度測定のための露光の与え方

第 4 図に露光の与え方の概略を示す。キセノンランプ L のアーク像は集光レンズ l_1 で分光器の入射スリット S_1 上に結像され、分散して出射する単色光はコリメータレンズ l_2 で一様化されて試料面を照射する。しかしながら、このようにしてもランプのアーク光度分布

第 4 図 ジアノ感光紙の分光感度測定装置
D: 試料保持ドラム F: フィルタ G: 回折格子 L: 光源 $l_{1,2}$: コンデンサおよびコリメータレンズ $M_{1,2}$: ミラール $S_{1,2}$: スリット T: ジャケット

が一樣でないため、試料面の照度分布は不均一になるので、試料を回転ドラム D に巻き付けて、左右に“首振り”運動させて 15×24 mm の面積に一樣な露光量が得られるようにした。使用したキセノンランプは、さきの露光実験の光源と同型の 500 W 丸型である（分光分布既知⁹⁾）。

一方、分光器は使用波長域について相対分光透過特性が測定してあり¹⁰⁾、したがって試料面の単色光照度の相対値が求められるので、露出時間を測定して露光量 E_{λ} が求められる。この方法によると試料面の照度はかなり低くなり、露光時間が長くなるので、露光中の光源の安定化はとくに嚴重に行なった。実験に使った波長は 300～450 nm で 10 点である。現像発色の方法と濃度の測定は 2.1.3 項と同様である。

2.2.4 分光感度特性

以上のような方法で露光して、各波長の単色光露光による露光特性曲線群を作り、これらの曲線群がある濃度（試料によって異なるが、おおむね 0.17～0.22 の間の一点）になるまでの露光量 E_{λ} を求め、 E_{λ} の逆数 E_{λ}^{-1} を波長についてプロットして分光感度特性を求めた。曲線群の例（試料、No. 4, No. 8）を第 5 図に、全試料の分光感度特性を第 6 図に示す。この結果、単色光露出による特性曲線の形状は、単色光の波長によって異なり、感度の高い波長では γ は高くなり（画像が硬調となる）、感度のすそのほうでは γ が低くなる（画像が軟調となる）ことがわかった。分光感度曲線は第 6 図に示すように、湿式 4 種はいずれも感度の山を二つ持ち、その極大値は 335 nm およ

第 5 図 (a) 試料 No. 4 の分光露光特性
波長パラメータ, 数字は波長 (nm) を示す。

第 5 図 (b) 試料 No. 8 の分光露光特性
波長パラメータ, 数字は波長 (nm) を示す。

第 6 図 (a) 試料 No. 1, No. 2 (湿式) の分光感度特性

第 6 図 (b) 試料 No. 3, No. 4 の
分光感度特性

第 6 図 (c) 試料 No. 5, No. 6 (乾式) の分光感度特性

第 6 図 (d) 試料 No. 7, No. 8 (乾式) の分光感度特性

び 405 nm 付近であり, 4 種とも曲線の形状がよく似ている。乾式の 4 種はいずれも 395 nm 付近に最大感度があって曲線の形状も相似している。また, いずれの試料も長波長側の感度低下が激しく, 短波長側はゆるやかであった。

2.2.5 絶対感度⁴⁾

8 種の試料のうちから湿式・乾式各 1 種 (No. 4, No. 8) について, 紫外放射標準灯 (Krefft の水銀ランプ) で絶対感度を測定してみた。この標準灯の 365/63 nm 輝線を透過性既知の単色フィルタで分離して露光試験を実施した結果, 濃度が 0.19 になるまでの露光エネルギー量は, 湿式試料で, $10.1 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$, 乾式試料で $6.1 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ となった。しかしこの結果は測定の確かさ (とくに放射エネルギーの絶対量) に問題があるので, 精度は $\pm 10 \sim 15\%$ と思われる。なお, この結果をおのおのの試料の最大感度波長に換算すると, 湿式で $6 \sim 8 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$, 乾式が $4.5 \sim 6 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2$ となる。

3. 複写用高圧水銀ランプに関する実験と検討

3.1 現在の複写用水銀ランプの測定

水銀ランプに関する実験を行なうについて, 最初に現在の複写機用標準型として広く使われている 800 W 長アーク型高圧水銀ランプの諸特性を測定して, これを出

第 2 表 現在の代表的複写用水銀ランプの諸元

型 式	二重管式	アーク長	540 mm ⁽¹⁾
発 光 管	熔融石英	管 電 力	800 W ⁽²⁾
外 管	珪硼酸ガラス	管 電 圧	500 V ⁽³⁾
発光管内径	13.5 mm	蒸 気 圧	0.7 atm.

(1) 試料の実測は 550 mm, (2) 14 W/cm, (電極損を含む)
(3) 8.7 V/cm

発点として複写光源としての適性を系統的に追求してみることにした。800 W 複写用水銀ランプの諸元は第 2 表に示すとおりである。点灯位置は水平で、硬質ガラス円筒中に入れて強制空冷して使用するのが普通である。

3.1.1 分光分布測定

試料の複写用高圧水銀ランプは、外管を取りはずして石英発光管だけとして、分光分布やその他の諸特性を測定した。外管をはずした理由は、点灯中の高温で硬質ガラス管の分光透過特性が変化して、分光分布に影響するのをさけるためである。

分光分布は回折格子型のモノクロメータと、紫外域に感度のある光電子増倍管 (RCA 1P 28) で測定した。試料 (水銀ランプ) は、入力電力を 800 W 一定に保って光学ベンチ上で水平点灯した。光学ベンチの一端にはモノクロメータを取り付け、モノクロメータの入射側には拡散板と光学系で構成した標準光源 (後述) と、試料の形状の相違で生ずる入射特性の違いを補償する入射光の等化装置¹⁴⁾をつけた。これらの概略を第 7 図に示す。

第 7 図 分光放射の測定装置

D: 受光器, DF₁, F₂: 拡散板, F: フィルタ,
G: 回折格子, l₁, l₂, l₃: コンデンサ, コリメータ
レンズ, M₁, l₂: ミラー, M₀: 波長送りモーター,
S₁, l₂: スリット, S₂: スクリーン, S₀:
光源 (試料および標準)

分光分布の測定は、分光分布既知の標準光源との比較測定によるのが一般的であって、この実験の標準光源には色温度 2,625°K で点灯した石英窓付きのタングステンリボンランプ (GE 30A/T24/3) を用いた。タングステンリボンランプの分光分布は、紫外域ではその色温度と同温の灰色体の分光分布と一致しないので、N.B.S. で発表したリボンランプと、黒体炉の放射の比較測定データ¹²⁾¹³⁾ (リボンランプは本実験の標準光源と同種のもの) を用いて補正を行なった¹⁴⁾。また、モノクロメー

第 8 図 分光器の帯域

a. 入射スリット 0.66 mm, 出射スリット 0.66 mm
b. 入射スリット 0.3 mm, 出射スリット 1.2 mm
測定は低圧 (≒0.01 mmHg), 水銀ランプ 435.8 mm
線で行なった。

第 9 図 800 W 型複写用水銀ランプ (第 2 表)

の分光分布エネルギー

435.8 mm 線強度を 100.0 とする。連続部は
10 mm についての値

タの波長帯域は第 8 図に示すような 2 種として輝線の波長と種類によって使い分けた。

このような方法によって測定した結果は第 9 図に示すとおりで、可視・紫外に多数の線スペクトルが存在する。これらのうちで、さきに測定したジアゾ感光紙の感度域内にあるものは 302.6~435.8 nm の 6 本である。しかし、外管、円筒ガラスおよび原図¹⁵⁾によるカットを考えると、実際に有効な輝線は、365/6.3, 404.7/7.8, 435.8 nm の 3 波長となり、この点を考慮しながら以後の検討を行なった。

3.1.2 絶対出力の測定

前述のようにして分光分布を測定した試料について、

第 10 図 絶対出力測定用フィルタの特性

F_{A1}: U2 (保谷)+L-1A (保谷)+B-76
(保谷)

F_{A2}: V-V40 (東芝)+V-Y3B (東芝)
+B-76 (保谷)

VR-64 (東芝) は赤外からの透光分検出用である。

サーモパイルと帯域フィルタによる放射出力の絶対測定を行なった。サーモパイルは Eplley 製 12 ジャンクション、石英窓付き白金黒化のもので、感度 $0.05 \mu\text{V}/\mu\text{W cm}^{-2}$ である。フィルタの特性は第 10 図のとおりで、365/6.3, 435.8 nm の 2 線をそれぞれ単独に検出し、赤外カットフィルタを併用して赤外放射をカットしている。測定の方法は第 11 図に示すとおりで、サーモ

第 11 図 絶対放射出力の測定法

パイルの熱起電力は電子管式の検流計で検出し、別に設けた標準起電力で較正しながら測定した。サーモパイルは周囲温度変動の影響をできるだけさけるために木箱に入れて、前面のスクリーンを開閉して測定を行なった。その結果、試料の 365/6.3 nm 輝線出力は、26.5 W, 435.8 nm 輝線出力は 17.2 W であった。この測定による 2 線の比率は、さきの分光分布測定の結果から求めた値と約 6 % 異なるが、この種の測定としては比較的よく一致したと考えられる。

第 3 表 試料の放射出力

波 長 (nm)	絶対出力 (W)	相対レベル
296.7	4.3	24.5
302.2/2.6	9.2	53
312.6/3.2	21.5	125
334.1	2.4	13.5
365.0/6.3	28.1	163
404.7/7.8	11.3	65.5
435.8	17.2	100.0
546.1	18.9	110
577.0/9.1	17.2	100

第 3 表にこの測定による 435.8 nm 線の値を基準として、さきに求めた相対分光分布を絶対出力に換算した結果を示す。したがって、ジアゾ感光に有効な放射出力は 365/6.3, 404.7/7.8, 435.8 nm の 3 輝線で 56.6 W である。

3.2 複写用高圧水銀ランプの諸元と特性についての実験

以上のようにして測定された現在の水銀ランプが、さらにどの程度高効率化できるかが検討されなければならない。

水銀ランプの諸元と放射出力の関係については Elen-baas¹⁶⁾、Iwanow¹⁷⁾ らの一般照明用水銀ランプを対象と

第 4 表 実験試料の定格*

蒸 気 圧	管 径	蒸 気 圧	管 径
0.45 atm.	13.5~15.5 mm	0.77 atm.	11.5~17.5 mm
0.58	13.5	1.2	11.5~13.5
0.64	13.5	1.7	11.5~15.5

* 蒸気圧は管入力 800 W での値。

した研究が知られており、その結果によれば、放射量は一般に管内の蒸気圧、管単位長さ当たりの電力に強く依存し、管寸法にも関係するとされている。そこで複写用の高圧水銀ランプについても同様な諸元が有効放射に関係すると考えて蒸気圧（管電圧）、単位長さ当たり管電力（管長一定であれば管電力）、管径をパラメータとして、これら諸元と分光分布、有効放射量の関連性を検討してみた。実験のための試料は第 4 表に示すとおりであって、管長は現在の標準型と同じにとり、管径および蒸気圧（点灯時管電圧）の異なる 18 種*を用いた。なお、蒸気圧は封入水銀量と管電圧から Kenty¹⁸⁾ Elen-baas¹⁶⁾ の式によって計算して求めた。

3.2.1 管内蒸気圧の効果に関する実験

この実験は管径 13.5 mm の試料について行なった。試料ランプは水平位置で点灯した。電源は交流 50 c/s で安定器は高漏れ変圧器である。測定は蒸気圧をパラメータとして、管電力一定で行なった。測定標準はさき

第 5 表 蒸気圧と放射出力

(管電力は 800 W 一定*)

波 長 (nm)	蒸 気 圧 (atm.)				
	0.45	0.58	0.77	1.2	1.7
302.2/2.6	6.9 W	7.7 W	9.2 W	11 W	11.4 W
312.6/3.2	18.6	21.1	21.5	24.8	25.5
334.1	1.8	2.2	2.4	2.7	2.8
365.0/6.3	22.2	26.3	28.1	33.9	36.0
404.7/7.8	9.7	10.6	11.3	12.2	12.3
435.8	14.3	16.2	17.2	19.4	19.9
546.1	15.6	18.9	18.9	22.3	23.4
577.0/9.1	12.9	17.2	17.2	21.2	21.5

* 電極損を含む。

第 12 図 管内蒸気圧と放射出力の関係
管電力 800 W, 管径 13.5 mm,
アーク長 550 mm

* 1 種に付き試料 2 本とした。

に測定した 800 W 水銀ランプである。この結果は第 5 表に示すとおりで、主要輝線の放射出力は、管寸法、管電力が同じならば、蒸気圧が高いほど大きくなり、有効放射の中では 365/6.3 nm 線が蒸気圧変化の影響を大きく受けることがわかった。有効放射 3 輝線出力と蒸気圧の関係は第 12 図のとおりである。

3.2.2 管電力と放射出力の関係

第 4 表の全試料について、管電力を 400~1,600 W としたとき（アーク長 1 cm 当たりについて 7~28 W）の放射出力を 365/6.3, 404.7/7.8, 435.8 nm の 3 線について測定してみた。このときの管の入りは、電極損失

（電極降下を 10 V 一定¹⁶⁾と考えた）を差し引いて考えた。この結果、管径 13 mm 程度の試料における管電力と放射出力の関係の代表的な例は第 13 図のようになった。これらの結果から、この実験の範囲では放射出力 ϕ_a は、アーク 1 cm 当たりの入力電力を P として、実験式

$$\phi_a = C(P - 4.5)^n \quad (\text{W/cm})$$

C : 比例定数（管径 13.5 mm, 管内蒸気圧 0.8 atm. で $C \approx 0.1$)

n : 第 6 表参照

第 6 表 蒸気圧と n の値の関係

蒸気圧 (atm.)	365 nm	405 nm	436 nm
0.45	1.31	1.00	1.09
0.64	1.30	1.08	1.05
0.77	1.30	1.05	1.07
1.2	1.13	1.22	1.07
1.7	1.09	1.07	1.06

(注) 管径 11.5~15.5 mm について示す。

で表わされることがわかった。 n の値は 1.1~1.3 であるが、一般に封入水銀量が同じならば（このとき管電力の増加に伴って蒸気圧も多少増加する）、励起ポテンシャルの高い輝線スペクトルの放射のほうが n が大きくなり、したがって、管電力の変化に伴って相対分光分布も変化した。また、励起ポテンシャルの等しい輝線については、封入水銀量の少ない（蒸気圧の低い）管のほうが n の値は大きくなった。これらの関係は第 6 表のとおりである。

実験式中の定数 C は効率に最も関係ある係数で、定数 4.5 (W/cm) は管内蒸気圧を維持するための熱損失と考えられる。なお、 C は蒸気圧、管径によって多少変動する。

3.2.3 管径の効果

3.2.2 で行なった実験を管径についてまとめてみると、一般に他の条件（蒸気圧・管電力）が同じならば、管径の太いほうが放射束は多くなるが、相対分光分布は管径に影響されないことがわかる。放射出力の管径への依存性は、蒸気圧が低く、電力も少ない状態ではなはだし

第 13 図 (a) 管電力と 365.0/6.3 nm 放射出力の関係
蒸気圧パラメータ 管径 13.5 mm
アーク長 550 mm

第 13 図 (b) 管電力と 404.7/7.8 nm 放射出力の関係
蒸気圧パラメータ 管径 13.5 mm
アーク長 550 mm

第 13 図 (c) 管電力と 435.8 nm 放射出力の関係
蒸気圧パラメータ 管径 13.5 mm
アーク長 550 mm

第 14 図 (a) 管径と放射出力の関係
365.0/6.3 nm 線 $P = 15 \text{ W/cm}$

第 14 図 (b) 管径と放射出力の関係
435.8 nm 線 $P=15$ W/cm

く、蒸気圧を 1.8 atm 程度、管電力を 15 W/cm 程度よりも大きくすると、管径による差はほとんど見られなくなる。しかしながら、現在一般に用いられている程度の水銀ランプ（蒸気圧 0.7 atm. $P \approx 14$ W/cm）では、放射出力は管径にかなり影響される。これらの結果を第 14 図に示す。

3.3 実験の結果に関する検討

これまでの結果をまとめてみると次のようになる。

(1) 現在の標準型の複写用水銀ランプのジアゾ複写に有効な出力は、波長 365/6.3, 404.7/7.8, 435.8 nm の 3 本の水銀原子スペクトル輝線であり、その出力と代表的なジアゾ感光紙の分光感度との関係は、第 15 図に示す。

第 15 図 現在の複写用水銀ランプと
感光紙分光感度 (No. 4,
No. 8) の関係

すようになる。これら 3 本の有効輝線のうちで感光紙の感度の山にいちばんよく一致する 404.7/7.8 nm 線は絶対量が少なく、435.8 nm 線は感度の山からかなりはずれるので、結局、焼付け効果に最も寄与するのは 365/6.3 nm 線であり、焼付け効果（有効反応エネルギー）を E_p とすると

$$E_p = \int E_{\lambda} \cdot S_{\lambda} d\lambda$$

E_{λ} : 光源の分光放射エネルギーの相対値

S_{λ} : 感光紙の分光感度の相対値

と考えることができて、この場合では*

$$E_p = E_{365} \cdot S_{365} + E_{405} \cdot S_{405} + E_{436} \cdot S_{436}$$

であり、 $E_{365} \cdot S_{365} / E_p$ すなわち 365/6.3 nm 線の寄与する割合は、現在の標準型の水銀ランプでは、乾式ジアゾ感光紙について 63%、湿式について 55% となる。

(2) 水銀ランプの諸元を変えて放射出力の状態を調べてみると、放射出力は管内蒸気圧、管単位長さ当たり入力、管径の関数になるが、このうちで最も影響の大きいのは管単位長さ当たり入力で、蒸気圧がこれに次ぎ、管径の影響は比較的小さい。そしてこれらを実効放射の増加に結び付けて考えると次のようになる。

i) 管全体の電力（いわゆる管電力）が同じならば、単位長さ当たり電力 p を大きくとるほうが、換言すれば管長が短いほうが有効放射出力は多くなり、かつ放射のうちに 365 nm 線の占める割合が増加する。したがって、複写用としては、複写面照度の一様性をそこなわない範囲で、できるだけ管長を短くしたほうが大出力が得られて有利である。

ii) 一般に、管内蒸気圧を高めると、他の条件が同じならば、出力が増加して有効放射のうちで 365 nm 線の占める割合も多くなる。放射出力の蒸気圧による依存性は管単位長さ当たり電力 p が少ないときほど著しいが、 p を 20 W/cm 以上にすると蒸気圧の影響はあまり顕著でなくなっていく。現在の標準型の複写用水銀ランプ（0.7 atm. 14 W/cm）では p が大きくないので、蒸気圧を 2 倍程度にすると、有効放射は 15~20% 増大する。

iii) 管径の効果は一般にあまり顕著でないが、蒸気圧が低く p の少ない場合には、管径が放射出力にかなり影響する。また、実験の全試料を通じて管径の細い試料ほどランプ力率**が低くなる傾向があり、点灯の条件を同じにとったときに電力がはいりにくかった。この理由は、管が細くなるほど半サイクルごとのアークの点弧が困難になって、放電電圧波形の歪率（高調波分）が増すためと思われる。なお、起動時にはとくに管径による差は認められなかった。

4. 実験結果の応用

4.1 実験結果から導かれる水銀ランプの諸元

これまで述べたような系統的な実験で、現在の標準型の複写用水銀ランプの特性が明らかになり、性能向上のために改めるべき諸要素と、それらの関連性もある程度定量的にわかるようになった。したがって、これらを具体的に実用製品に反映させると、現在の標準型 800 W 複写用水銀ランプの性能を、使用条件、電力をそのまま

* 連続スペクトルのエネルギーは非常に少ないので無視する。

** ランプ力率 ϕ = 管消費電力 / (管電圧実効値 × 管電流実効値)

にして、諸元を次のように変更して向上させることができる。すなわち：—

(a) 管内蒸気圧を現在の約 0.7 atm. から 1.2 atm. 程度* とすると、有効放射出力は約 12% 増加する。ただし、蒸気圧上昇によって管電圧は 500 V から約 650 V になる。

(b) 管長（現在 540 mm）がもし 8% 短縮できれば、他の条件を同じにしたときでも、有効放射出力は約 15% 増加する。しかし、これに伴って照度分布が変わり、管長一杯の紙幅について複写をとったときに、両端部分が露光量不足になる危険が生ずる。したがって、使用複写幅と照度低下の割合を十分検討するか、または特別な反射装置などを設けて照度低下を防ぐ必要がある。

(c) 管径を変化すると、他の条件が現在のままであるとすれば、1 mm 細くすることによって有効放射が約 6% 低下する。しかし蒸気圧を 1.2 atm. に高めると管径の影響はほとんどなくなり、したがって管径を細くしても蒸気圧の上昇で放射の低下をカバーできるので、材料面の節約を考えられる。

これらを総合すると、結局現在のものに対して、蒸気圧の上昇で約 12%、管長の短縮で 0~20%（短縮可能限度を 0~10% と仮定）、管径を 1 mm 細くして 0~2%、計 10~32% の有効放射出力の増加が可能になり、材料も節約できることになる。

4.2 試作品の特性

以上の考察を実験の水銀ランプに取り入れて、従来のものと比較試験を行なってみることとして、4.1 で述べた結果から第 7 表に諸元を示すような水銀ランプを試作した。

第 7 表 試 作 品 の 諸 元

発光管材質	溶融石英	管 電 力	800 W ⁽¹⁾
アーク長	510 mm	管 電 圧	650 V ⁽²⁾
管 内 径	12.5 mm	蒸 気 圧	1.2 atm.

(1) 15.4 W/cm (2) 12.6 V/cm

この水銀ランプを従来のものと交互に、現在市販されている複写装置に取り付けて、2.1.1 で述べた試料 No. の湿式感光紙で、同じ原図を使って比較露光試験を行なった。このとき水銀ランプには外管**をつけたが、同じ外管に 2 本の水銀ランプ（発光管）を交互に入れて外管の影響が現われないようにした。管電力はいずれも 800 W 一定に保った。

この実験の結果、第 7 表の諸元によった試作水銀ランプが従来の水銀ランプに比べて約 25% 露光時間を速めることがわかった。また、幅 45 cm の複写紙による露光試験では、両端の 5~10 mm が従来の場合より露光

不足気味になった。さらに実用的な問題として、点灯寿命がどのようになるかが検討の対象になるが、一応、系統的な実験から得られた結果が、十分実用に反映できることが立証された。

5. 結 び

以上、ジアゾ感光紙の諸特性を定量的に測定することによって複写用水銀ランプの適合性を検討し、水銀ランプに関する系統的な実験から、より性能のすぐれた複写用水銀ランプの諸元を追跡して、この結果を反映した試作品が実用的にも予期の性能を満足することを示した。

終わりに、本研究について終始懇切にご指導を賜った東京大学生産技術研究所菊池真一教授、ならびに試料を提供され、分光測光にご協力いただいた榊リコーの関係各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 中川靖夫：照学誌 46 (1962) 231
- (2) 中川靖夫：昭 38 照明学会東京支部大会 16
- (3) 中川靖夫：昭 39 電気連大 978
- (4) 中川・国友：日本写真学会誌 25 (1962) 175
- (5) 中川・国友：日本写真学会誌 26 (1963) 15
- (6) 中川靖夫：日本写真学会誌 26 (1963) 179
- (7) 中川・国友・古田：日本写真学会誌 27 (1964) 81
- (8) 中川・古田：昭 38 日写春季講演会 26
- (9) 東ほか：照学誌 47 (1963) 256
- (10) 中川・国友：第 24 回応物講演会 5a-V-3 (1963)
- (11) 中川靖夫：照学誌（投稿中）
- (12) R. Stair, R.G. Jhonston, E.W. Halbach: J. Res. Nat. Bur. Std. 64A (1960) 291
- (13) R. Stair, W.E. Schneider, J.K. Jackson: Appl. Optics 2 (1963) 1151
- (14) 中川靖夫：照学誌 49 (1965) 19
- (15) 中川・国友：応物 32 (1963) 164
- (16) W. Elenbass: "The High Pressure Mercury Vapour Discharge" North Holland Pub. Co. (1951) 18, 134, 148
- (17) A.P. Iwanow: "Electrische Lichtquellen Gasentladungslampen" Akademie-Verlag Berlin (1955) 384
- (18) C. Kenty: Phys. Rev. 61 (1942) 545

付 録

この論文には、次のような質問が出されると思われるので、あらかじめその回答を述べさせていただきます。

* 管径 12.5 mm としたとき封入水銀量は 1.7 mg/cm 程度となる。

** 珪硼酸ガラス、径 34 mm.

「複写用水銀ランプ」に関する討論

1. この実験における試料ランプの分光分布測定、放射出力絶対値の評価、およびジアゾ焼付け用光源としての寄与率の評価はいずれも裸ランプでなされている。しかし実際の使用条件では硬質ガラスの外管がかぶせてあるので、高温における外管ガラスの分光透過特性の変化が考えられる点からも、実際使用条件に近い状態でのデータが必要と思われる。また、最適諸元の評価にも影響があると思われるが、この点どうか。

お答え まことにごもっともなご質問と思います。たしかにこの種ランプは外管付きで使われますので、最終評価はそのことを考慮してささなければなりません。しかしながら、多くの試料を測定する場合に、これらを外管付きのままで行ないますと、外管そのもののばらつき（全部の試料をそれぞれの外管付きで測定したとき——試みに数本の外管を調べますと、とくに紫外域について透過特性などの個体差が認められます）が加算されて、評価に誤差のはいるおそれがあります。また、特定の外管に多数の裸ランプをいっいちそう入して測定する方法をとりますと（装置の保持方法があまり完全ではありませんので）、裸ランプの外管内への保持の仕方などによって、外管壁の内面反射などによる水平放射強度の変化が起こるように思われましたので、ランプそのものの特性をまずつかみたい意味から、あえて裸ランプのまま測定を行ないました。もちろん比較対象となる従来型の試料も裸で測定してあります。

外管の影響につきましては、この実験とは別に外管ガラス材料の温度-分光透過特性の測定¹⁾、および外管付きランプとしたときの管入力と外管、発光管の外部の温度の関係の測定を行なっておりまして、これら問題点要素、つまりランプ自体の問題点と外管などについての問題点を別個に測定して重ね合わせ、評価を考慮したつもりでおります（3.1.1）が、記述が不十分だったようでこの点おわび申し上げます（温度特性などにつきましての詳細は、機会があれば発表させていただきたいと思っております）。

また、外管と諸元の関係ですが、試料の入力のある値にしたときには、発光管管壁温度は外管付きのほうが多少高くなりますので、管内蒸気圧も高まり、管電圧、分光分布にも影響があるはずですが、管内の水銀が全部気化した状態（普通この状態で使用する）では、このことはほとんど無視できました。なお、実用評価（実際の焼付けテスト、4.2 参照）は外管も含めて行なっており、このときの測定精度はあまり高いものではありませんが、一応これから逆に裸ランプで、上記のことを加味して考えた特性が、実情からはずれていないことが認められるかと思ひます。

2. 第7図の装置の入射等化用の拡散板は余弦法則を満足するものか、また、MgO 反射板で受光して入射させる場合と等価であろうか。

お答え この拡散板には不透明石英板を使用しました。この拡散板は完全拡散を示しませんが、入射角が小さい（約5°以内）ときはほぼ余弦法則に近い値を示します。MgO 板との比較はデータの保有がありませんのでわかりかねますが、前記のように入射角が小さいときはほぼ余弦法則に近く、また拡散特性が波長に因してほぼ一定なので MgO による特性と大きな相違はないのではないかと考えています。なお、この拡散板の特性の詳細については本学会誌に投稿中です。

3. 試料水銀ランプ出力の絶対測定を行なった距離とワットの換算方法はどのようにとったか。

お答え 距離は 1.776 m です。この値はサーモパイルの入射特性（別に測定）が余弦法則から大きくはずれない範囲でとりました。この距離では放射照度がかかなり低くなるので、測定精度はあまり良好とはいえません。

放射照度から全放射束（W）を求める手順は、次のようにいたしました。

(1) 試料を水平点灯したまま管軸を回転中心として、360°回転させ（同期モータによる）、管軸に直角をなす方向について Radial な方向の水平放射強度の変化*を輝線ごとに記録し（レコーダによる）、放射強度の最大になる点（このときの値を $J_{190\theta 0}$ とする）と、全体の平均の値

$$1/2\pi \int_0^{2\pi} J_{190}(\theta) d\theta = J_{190} \text{ の比を求める。}$$

(2) 試料を前記の $J_{190\theta 0}$ の得られる点に固定し、今度は水平面で 180°回転させて、回転角 10°ごとに放射照度を測定して輝線ごとの配光特性を求めて、球帯係数法によって輝線ごとの全放射束/管軸に直角な方向な水平放射強度を求める（この場合 $\Phi_{\lambda\theta 0}/J_{190\theta 0}$ の形になる）。

(3) (1) と (2) から

$$\Phi_{\lambda} = J_{190\theta 0} \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} J_{190}(\theta) d\theta \cdot \Phi_{\lambda\theta 0} / (J_{190\theta 0})^2$$

として輝線（波長）ごとの全放射束を求める。

なお $\Phi_{\lambda}/J_{190} = (\Phi_{\lambda\theta 0}/J_{190\theta 0})$ と考える）の値は輝線によって異なり、一般に π^2 より大きくなるようです²⁾ (ex. 365-6.3 nm で 11.3)。またサーモパイルによる測定は $J_{190\theta 0}$ が得られる位置で行なっています。蛇足になりますが、分光配光特性の測定につきましては、低圧水銀ランプの場合を筆者らがさきに報告しており³⁾、本報のような高圧水銀ランプについても、できれば発表の機会を得たいと思っています。

* これは管の凹凸によるもので、波長依存性はない。

4. 出力増加を行なったランプの点灯寿命について詳しい説明がほしい。

お答え 出力を増加した試料の寿命については、まだ決定的と思われるデータが得られておりませんので、定量的なお答えができませんが、今までのところでは従来のものに比べて、とくに劣っているとは思えないようです。

なお、寿命に関する一般的考察としては、

(1) 管径が細く、管長が短くなり、管壁負荷、単位長当たり入力が大きくなるので、他の条件が今までと同じなら管壁の失透は早くなり、したがって寿命が短くなる方向になる。

(2) しかしながら、管電圧の上昇に伴って管電流が従来より少なくなるので、電極損は（電極降下が不変であ

れば）減少するので、当然電極からのスパッタは少なくなると思われ、この種ランプの寿命は電極のスパッタによる管壁のよごれと重大な関係をもつと思われるので、この点から寿命の改善も考えられる。

の2要素が考えられますので、これらのウェイトの定量的データがないと推定も困難かと思います。

以上有意義なご質疑に感謝いたします。

文 献

- (1) 本文文献 (2)
- (2) F. Rößler: Ann. Physik 6—10 (1952) 177
- (3) 中川・黒沢・舟木: 昭 41 電気連大 619 (1966)

(受付 1966 年 7 月 11 日 再受付 1966 年 8 月 15 日)