分光器のいらないモノクロメータ* ** I

正 会 員 東 堯
 正 会 員 芋 谷 曉 史
 正 会 員 森 禮 於

(東京芝浦電気株式会社・マツダ研究所)

1. 緒 言

実在する色ガラスの中には、或る一定波長より短い波長の光は完全に吸収し、それより長い波長の光に対してはほとんどガラスの理想的透過率 92% に近い透過を示すものが見出される。CdS-CdSe 系の黄一赤ガラスは非常に急峻な分光透過率分布をもつていて、その切目波長が可視領域全体にわたって任意の波長となるものを選ぶ事が出来、マツダ色フィルタの中に A T シリーズとして整理された。(第 1 図)

第 1 図 A T シ リ ー ズ

これらの色フィルタの特性と光電池の差働回路を應用すると、優秀なスペクトルの単色感度を持つ受光器を作る事が出来る。

このような性質のガラスを利用して計算によつてモノクロメータの代用をさせたり¹⁾、特定の波長範囲に対して輻射熱電堆²⁾や光電池³⁾の差働回路を用いた例はあるけれども、これを可視領域 380~720m μ の

* An Abridged Monochrometer with Sharp-Cut-Off Type Filters and a Differential Circuit of Barrier Layer Cells by T. Azuma, G. Imotani and E. Mori
 (Mazda Research Laboratory, Tokyo Shibaura Electric Co. Ltd.)

** 昭 24. 4. 2 應物学会 講演
 昭 24. 4. 27 物理学会 講演

1) 藤田, 東: 照学誌 23 (昭14) 230

2) W. W. Coblenz, R. Stair, J. M. Hogue: J. R. N. B. S. 7 (1931) 723

3) A. H. Taylor: G. E. Rev. 47-10, (1944) 53

全体に渡つて一つの装置として連続的な測定を相当よい精度で行う事は今まで考えられなかつた。筆者等が試作したこのようなモノクロメータの原理と試作並びに測定の実際を報告する。この装置は簡易性が一つの特徴ではあるが、低輝度の光源の分光エネルギーの測定、拡散透過或わ反射の測定、その他室内光のような拡散光の分光測定を特別な増幅装置をつけないで容易に行えるという利点がある。更にそのまま色彩計並びに異色測光器として應用しても充分実用的な結果が得られる。従つてこの装置は應用物理、化学、照明工学等に広い應用の途が見出されるであらう。

2. 原 理

A Tシリーズの中から適当な(切目波長の $10 \sim 50 \text{ m}\mu$ 異なる)2フィルタを同一の受光器に順次にかけて一つの光源の測定をしてその差をとる場合を考える。受光器としてセレン光電池を用いる時は、第2図 a 曲線のように両フィルタの分光透過率曲線A, Bの差をとり、それに光電池の分光感度Sを掛けたb曲線がこの測定の分光感度曲線である。この測定をするのに、一つの光電池にA, Bなる2フィルタを次々にかけて差をとることにすると必然に誤差の大きくなる事はまぬかれ得ない。そこでA, Bフィルタを二つの特性の等しい光電池に一つづつ組合せて、電流釣合型の差働回路を用いてこの差を感度のよいメータで直読する事が望ましい。

第2図に示した通り、これだけでは両フィルタの長波長側の透過率が全くは一致しないために、主な分布波長よりも長波長側に長い尾を引く感度分布が表われ、場合によつてはこの部分が負になる事もある。又長波長側の透過率が非常によく合ったフィルタの組を探し得たとしても、一般にこの種フィルタの分光透過率曲線の切目部分の上方は、下方ほどに角立つていないので、第2図b曲線の主要部において長波長側は短波長側よりもなだらかである。これを補正するには、上記と同じ測定を更にそれに用いた切目波長の長い方のフィルタ(第2図A)を両方に重ねて行くとC曲線のような分光感度の測定がなされる。この測定値にAフィルタの最高透過率の逆数を掛けたものを補正量としてb曲線から差引くと、d曲線のように非常に切立つた単色感度をもつた測定となる。

このようにして得られる測定の分光透過率に相当するものは(光電池感度を考えに入れない時)、各透過帯の幅が $20 \text{ m}\mu$ 程度ならば、最高透過率は $40 \sim 50\%$ 、透過幅が $40 \text{ m}\mu$ 程度ならば、 70% 以上という他の単色フィルタに類例を見ない程の大きい値を示している。その他受光面の開口が大きい事、温度変化に対して相当安定な事、フィルタの組合せを変えれば任意の中心波長及び任意の透過幅のものが得

第2図 スペクトルの単色感度の作成

られる事等が他の特殊単色フィルタよりもすぐれている。

3. フィルタ

フィルタの選び方によつて任意の波長範囲の測定が出来るけれども、主として蛍光ランプ其の他の色を問題としている為、にスペクトル可視領域を感覚的に等分する事を考える。Taylor⁴⁾により 128 判別域のスペクトル可視部を 16 判別域ずつに 8 等分し、赤の端についてのみ 8 判別域として、結局全体を 9 分割する。これによれば 380—435—477—498—525—569—590—618—648—720 m μ となつている。この中 435 m μ は水銀の輝線スペクトルの 435.8 m μ に近く、蛍光ランプ測定の場合には、この値が境界波長となる事は、この部分で 1 分割区間の波長幅が広いだけに問題となる。それ故吾々はこの 380—

第 1 表 使用フィルタと切目波長

区間番号	差働用フィルタ	補正用フィルタ	切目波長 (m μ)
1	遮 光 板	V 1	710
2	R 1	R 1	640
3	R 2	R 2	620
4	R 3	R 3	590
5	O 1	O 1	565
6	O 2	O 2	535
7	Y 1	Y 1	498
8	Y 2	Y 2	475
9	Y 3	Y 3	455
10	Y 4	Y 4	435
10	W 1	Y 4	390

477 m μ 間を 3 分割する事にした。現在では適当なフィルタのないためにその一つはやはり 435 m μ が境界となつてゐるけれども、2 分割区間を 3 分割した為、に誤差が広い範囲にわたる事は防がれてゐる。実際に使用したフィルタ及びそれによる区間の切目波長は第 1 表の通りで、それによる測定の分光感度曲線は夫々第 3 図のようになる。最長波長の区間だけは正側光電池に R 1 がかかり、負側光電池には黒い板がかかつて光があたりぬようにして、結局 R 1 の透過率と光電池の分光感度から定まる感度のものとする。しかしセレン光電池の感度は弱いながらも 900 m μ 程度まであつて、赤末部を強く出す光に対しては大きな誤差の原因となるので、補正測定として V—V 1 (第 1 図) をかけて行い、その読みに 1・1 を掛けて前のものから引算して、680 m μ 以上に對して補正する。

4. 光電池

非常に明るいフィルタを透過した光の測定であるので、受光器に

第 3 図 簡易モノクロメータの分光感度分布

4) A. H. Taylor : Ill. Eng. 35 (1940) 625

はセレン光電池を用いるのが便利である。一つの光電池に2枚のフィルタを順次にかけて測定して差をとる場合は光電池の安定性と直線性さえよければよい。しかし2光電池を差働的に用いる時には次のような条件を満たさなければならない。

- (1) 感度の絶対値は厳密には一致しなくてもよいが(有効面積が加減出来るので)、あまり差があつてはならない。
- (2) 分光感度分布が一致しなければならない。
- (3) 照度対光電流の関係は出来る限り直線的である事が望ましいが、多少とも直線性からはずれる時は両者について完全に一致した割合で直線性からはずれなければならない。
- (4) 安定性は単一光電池の場合よりも強く要望される。特に初期効果の性質が一致する必要がある。
- (5) 其の他の等価回路常数も同等でなければならない。

一般にこれらの条件は独立した二つの光電池では同時には満足されないで、一つの光電池を二つに切断して用いるのがよい。しかし任意に二等分したのでは(1)の条件さえ満たされない場合が多い。光電池の半分だけが照らされるような枠をつくり、それにはめた光電池を回轉して兩半分の感度の等しくなる方向を定めてから切る事が必要である。しかし一般の光電池ではこの検定を異なつた分光エネルギー分布をもつた光について行くと異なつた結果が得られて、(2)の条件を満たすように分割する事が出来ない。そこで第4図のように赤(V-R2)、青(V-B2)のフィルタを螢光ランプFL20Dにかけて上記の光電池の半分の感度測定を回轉して行い、第4図aのように180°回轉しても感度の変らない方向が赤青2色に対して一致するような光電池を選び出す。第4図bは赤青に対して平衡方向が一致しないで好ましくない例である。このような注意をして光電池を選んで半分に切断すると(1)、(2)、(4)の条件は満たされるが、(3)、(5)に対しては不十分な場合がある。この補正については次節に述べる。

5. 測定回路

光電池の差働回路としては電圧鈞合型(第5図a)と電流鈞合型(第5図b)とがあつて、後者の方がすぐれている事はWood⁵⁾によつて論じられている。この場合にも電圧鈞合回路を用いると照度(單色の)に対する電流値の直線性が全く得られないが、電流鈞合回路を用いると満足しうる結果が得られる。しかし第5図bの回路そのまま

第4図 光電池の選擇

第5図 光電池の差働回路

5) L. A. Wood : R. S. I. 5 (1934) 295

では、或る一定照度で照らされている時に光電池の有効面積を調節してメータが零になるようにしても、照度をかえると零点から大きくずれる事がある。これは前節 (3), (5) の条件が満たされていない為であつて、どちらか一方の光電池に直列抵抗 (100Ω 以内) を入れる事によつて照度をかえても零点のずれない点を求める事が出来る。

第 6 図 実際の光電池回路

全スケール $5\mu A$ として使用する。b 図は外部電池による補償回路であつて、D-2 L を零位指示器に用いる。b の場合は電位差計 P の読みをそのままとるけれども、それは比電流値に対しての誤差が最大 $\frac{1}{4}\%$ 位になる。この回路による直線性を試すために、光電池の一方を一定照度 (0 及び 240 lx) として他方の照度を変えて、両光電池の照度差と測定値との関係を示したのが第 7 図である。a, b 両回路の場合とも $\times$ 印は一方を暗く、 $\circ$ 印は 240 lx に一定にした時の値であつて、両者が共に一本の直線にのるのが見られる。又フィルタを入れてモノクロメータとして動作させ、光源の距離によつて単色光照度を変えた時の直線性は第 8 図の通りである。両図共に照度があまり大きくない時は直読型でも電位差計型でも直線性はよく、照度が大きくなると後者の方が前者よりもすぐれている事を示している。

第 7 図 差働回路の直線性

第 8 図 モノクロメータとしての直線性

6. 装置の構造

蛍光ランプや電球の分光エネルギーの測定と分光透過率、分光反射率の測定とを一つの装置で行うため大略第 9 図のようなものを試作した。同図 a はその背面、b は側断面である。b 図は分光反射率を測定する場合の配置であつて、光源 L からの光は集光レンズ C' によつてほぼ平行光線となり、H H'

の孔を通つて平面鏡 $M M'$ に達する。この鏡によつて試料又は標準 S は上下から 45° の入射光を受け、垂直方向から測定される。 F は差働用のフィルタ、 F' は補正用のフィルタ、 D は両光電池の感度を平衡させるための可変遮光板であり、 P が分割された光電池である。更に前節に述べた内部抵抗補償用の r やガルバの感度を調整する可変抵抗 r' もつけてある。分光透過率測定の際は $C C'$ をとりのぞいて S に透過試料を入れ $H H'$ をふさげばよい。蛍光ランプの分光エネルギーを測る時は $C C' S$ をとりのぞいてソケット $A A'$ を使用する。

第9図 測定装置の構造

光電池 P は第4節に述べたように一枚の光電池を二つに分割したものであるが、便宜上これを一枚のガラス板上に接着してマツダ照度計に用いている光電池のケースに入れた。差働的に用いるフィルタは各々 $50 \times 23 \text{ mm}$ で第1表のものを全部一列に並べ、補正用のフィルタは $50 \times 50 \text{ mm}$ で2枚おきに空白1枚分があけてあつて測定する時この列も一つづつ動かしてゆけばよいようにしてある。第9図の装置の他には外部回路として前節に述べた電位差計、 $D-2L$ 、電池及びランプに対する電源が必要である。

7. 較正

測定する光の分光エネルギーを E_λ 、 i 番目の測定区間における第2節で述べた意味の受光器の感度を iS_λ で表わすと、補正をすませた後の測定値は

$$\int_0^\infty E_\lambda iS_\lambda d\lambda$$

に比例するものとなるわけである。この区間に於てエネルギーを感度 iS_λ によつて重値平均した値は

$$iE_s = \int_0^\infty E_\lambda iS_\lambda d\lambda / \int_0^\infty iS_\lambda d\lambda \dots\dots\dots (1)$$

である。即ち測定値に第4図の面積から計算される $\int_0^\infty iS_\lambda d\lambda$ に比例する量の逆数を掛ければ iE_s が求められるわけである。しかし実際の場合には、第3図の面積を計算する事は誤差が大きくなりうるのでこの係数は実験的に求めるのが好ましい。

今簡単のために測定する光の分光エネルギー曲線が1測定区間については一本の直線で相当よく近似出来る場合を考えて見よう。Robinson が O.F. 法と称する図式分光測色法で考えたのと同じように⁶⁾、

$$i\bar{\lambda}_s = \int_0^\infty \lambda iS_\lambda d\lambda / \int_0^\infty iS_\lambda d\lambda \dots\dots\dots (2)$$

なる波長 $i\bar{\lambda}_s$ をとつて、上記の近似直線と $\lambda = i\bar{\lambda}_s$ 線との交点の縦座標を読めばそれが即ち (1) 式で

6) H. A. Robinson : J. O. S. A 36 (1940) 270 ; 東, 森 : 照学誌 33 2 (昭24) 38

表わされる $\bar{E}_s$ に他ならない事が知られる。この事によつて分光エネルギーのよく知られた光に対する測定値と、分光エネルギー曲線の図上から求められる $\bar{E}_s$ の値との比をとると校正係数 $1/\int_0^\infty S_\lambda d\lambda$ が得られる。この標準光源としては 2848°K に校正した電球 (I.C.I. の A 光源) 及びこれに分光透過率の精密に測定されている色ガラス S-T 1, V-B 2 (1mm) をかけたものを用いた。第 2 表にこの 3 種の標準光源について求めた校正係数を示す。この値は各区分毎に光源の如何に拘らずほぼ一定であつて、この差の小さい事がこの測定法の信頼しうる事を示している。第 10 図にはこれらの標準光源の分光エネルギー曲線と、これに対する簡易モノクロメータの測定値を残りの 2 つの標準から求めた校正係数の平均値で処理した結果を示す。例えば (a) 図中の折線は A 光源に対する簡易モノクロメータの測定値を、同図の b, c のような分光エネルギーの光を標準にして定めた校正係数を用いて比エネルギーの値として求めた結果である。

第 2 表 各種の標準光源による校正係数

区分番号	A 光源	A 光源 S-T 1	A 光源 V-B 2	平均
1	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.685	0.675	0.72	0.69
3	0.37	0.345	0.355	0.36
4	0.435	0.455	0.40	0.43
5	0.29	0.31	0.275	0.29
6	0.305	0.33	0.295	0.31
7	0.535	0.58	0.53	0.545
8	0.745	0.89	0.845	0.83
9	0.845	1.03	1.04	0.97
10	0.395	0.40	0.38	0.39

第 10 図 A 簡易モノクロメータの校正例

第10図 B

第10図 C

(以下次号) (24-8-18 受付)

會 告

會費拂込みのお願い

会費未納は会計事務上非常に困りますし、ひいては学会雑誌の発行にも支障を來しますので、未だ会費をお拂い込みにならぬむきは至急拂い込みのほどお願い致します。

会員別	賛助会員 特 級	賛助会員 1 級	賛助会員 2 級	賛助会員 3 級	特別会員	正 会 員	准 員
年 額	45,000円	18,000円	9,000円	4,000円	1,000円	400円	300円