論 文

差 動 光 電 池 式 色 温 度 計

536.521.3

正会員 岡田喜義* 平井文造* 納谷嘉信*

Differential photo-cell type color temperature meter.

Kiyoshi Okada (member), Bunzo Hirai, Yoshinobu Nayatani.

(Osaka branch of the Electro technical laboratory)

New color temperature meter of differential photo-cell type has been constructed to meet the lately growing demand, for simple and accurate measurement of color temperature in the color-photography.

The photo-cells, combined with two color filters of different effective wave lengths, i. e. red and blue, are connected differentially through the slide resistances on each side. The process of the measurement is very simple and the reading of color temperatures can be observed directly on the scale of a resistance in balancing circuit.

In this paper, conditions to obtain the maximum sensitivity and a method to construct the differential circuit are discussed. The authors' one has been used to measure the color temperature of the light source in the research for color cinematography. And the color temperature meter also can be used as the comparator to determine the lamp voltage of standard illuminant "A". For example the color temperature variation was measured at the outdoor during a day.

1. 緒 言

最近照明工学で色温度に対する関心が非常に大きくなった。また二、三の天然色映画が、わが国でも製作され今後益々盛になる機運である。天然色映画の撮影および映写の際の光の色は、天然色映画の色彩効果を左右する重要な要素の一つである。そのため工業技術院管内の天然色映画撮影技術研究班（東京工業技術試験所、大阪工業技術試験所、電気試験所で構成されている）の研究題目の一つとして色温度計が取り上げられた。

今回筆者等が試作した色温度計はフィルタで分光感度が異なるようにした2個の光電池を用い、両光電池を差動的に接続した回路において、単に回路内の抵抗の摺動子を調節して回路を平衡させ、そのときの抵抗の目盛から2個の光電池の光電流の比を知り、これより光源または高温物体の色温度を直読するようにしたものである。この色温度計は測定回路に電源の必要がなく、また測定中に光源の電源電圧が変動することによる誤差が生じない。なお両光電池を差動的に接続してあるから光電池の疲労による誤差を相殺し、指示が速かに安定して測定に必要な時間が短い。さらに光電池面の照度にはほとんど無

関係に色温度を測定できる等の特徴がある。

2. 原理と構造

第1図で L は色温度 T_c [°K] を測定しようとする光源で、その放射エネルギーは $E_\lambda(T_c)$ で表わされるものとする。 f_γ と C_γ , f_b と C_b はそれぞれ赤色フィルタと光電池、青色フィルタと光電池の組合わせを表わす。 γ_λ , b_λ はそれぞれ赤色フィルタおよび青色フィルタの分光透過率曲線、 $w_\gamma(\lambda) \simeq w_b(\lambda) \simeq w_\lambda$ は光電池の分光感度を表わすものとし、各光電池の電流をそれぞれ I_γ , I_b とすれば光源の種類が変わらない限り式(1)が成立する。

$$\frac{I_\gamma}{I_b} = \frac{\int_0^\infty \gamma_\lambda E_\lambda(T_c) w_\lambda d\lambda}{\int_0^\infty b_\lambda E_\lambda(T_c) w_\lambda d\lambda} = f(T_c) \quad (1)$$

故に I_γ/I_b なる比を測定すれば、光源の色温度 T_c [°K] を測定することができる。

2個の光電池を差動的に接続するには、電圧平衡式接続法と電流平衡式接続法とあるが、後者の方が本質的に感度が優れているといわれている⁽¹⁾。筆者等は電流平衡式接続法を使用することとし、種々検討の結果第1図の

* 工業技術院電気試験所大阪支所

第1図 色温度計の原理図

如き回路を選択した⁽²⁾。

第1図の平衡回路にキルヒホッフの法則を適用して、検流計Gを流れる電流 I_g を求めると式(2)のようになる。

$$I_g = \frac{I_r R_b \gamma_r - I_b R_r \gamma_b}{R_r R_b + R_g (R_r + R_b)} \\ = \frac{I_r \frac{\gamma_r}{R_r} - I_b \frac{\gamma_b}{R_b}}{1 + R_g \left(\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_r} \right)} \quad (2)$$

ただし R_g は検流計の内部抵抗である。回路の平衡条件すなわち $I_g = 0$ となる条件を式(2)から求め、これと式(1)より次の式が求められる。

$$\frac{I_r}{I_b} = \frac{\gamma_b / R_b}{\gamma_r / R_r} = f(T_c) \quad (3)$$

もし $R_r = R_b$ となるように選ぶと、

$$\frac{I_r}{I_b} = \frac{\gamma_b}{\gamma_r} = f(T_c) \quad (4)$$

となり、 γ_b / γ_r なる抵抗比から色温度が求められる。なお γ_r を固定にすれば γ_b の指示値から色温度を直に知ることができる。

色フィルターとしてT社製VR-2C(赤色フィルター)およびVB-3C(青色フィルター)を用い、それぞれ光電池と組合わせ、これを一定照度(4800 lx)で照射したときの光源の色温度と光電流の関係は第2図のようである。図からわかる如く、 $\partial I_r / \partial T_c$ は負、 $\partial I_b / \partial T_c$ は正である。

検流計の電流感度を S_g 、検流計の偏れを d とすれば色温度計の感度 S は式(5)のようになる。

第2図 各フィルターと光電池を組合わせたときの光源の色温度と光電流の関係

$$S = \frac{\partial d}{\partial T_c} = S_g \left[\frac{\gamma_r}{R_r} \left| \frac{\partial I_r}{\partial T_c} \right| + \frac{\gamma_b}{R_b} \left| \frac{\partial I_b}{\partial T_c} \right| \right] \quad (5)$$

$$1 + R_g \left(\frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_r} \right)$$

ただし検流計の感度は $S_g = d / I_g$ で表わしてある。色温度計の感度を良くする条件としては次のことが考えられる。

- (1) $|\partial I_r / \partial T_c|$, $|\partial I_b / \partial T_c|$ の大なること。すなわち照度一定の状態において、色温度の変化に対する光電流の変化の割合が大となるようなフィルターと光電池の組合わせを用いること。
- (2) I_r , I_b の大なること。すなわち感度良好なる光電池を用いること。
- (3) $R_g < R_r = R_b$, すなわち検流計の内部抵抗 R_g が平衡回路の抵抗に比して小なること。
- (4) 検流計の電流感度 $S_g (=d / I_g)$ が大なること。

3. 特性

実際に使用したフィルターは再生が容易で廉価に入手できるものとしてゼラチンフィルターを用いた。その分光透

第3図 光電池の分光感度とフィルターの分光透過率

過率曲線は第3図のように写真の感度になるべくよく一致したものを選んだ。

(a) 低温領域測定用 (b) 高温領域測定用
第4図 色温度計の目盛の読みと色温度との関係

第4図は試作した色温度計の目盛さため試験をした結果である。 R_b と R_y はともに $100\ \Omega$ とし、目盛板は手元にあったものを適宜使用したので、抵抗 $100\ \Omega$ に対して 175 目盛となっている。同図 (a) は第1図のA点を固定し、B点すなわち γ_b を変化させたときであり、なお色温度の上昇とともに抵抗の指示値が増加するように $(R_b - \gamma_b)$ を指示するようにしてある。目盛さため試験は電球の温度領域は色温度のわかっている 750 W の映写用電球を標準として使用した。それ以上の高温領域は標準電球を標準光源Aとなるようにし、これにDavis-Gibson フィルタを組合わせたものを色温度の標準として使用した。Davis-Gibson フィルタの色温度変換係数 (mired) は、筆者の1人岡田が考案試作した視感式色温度計⁽³⁾により測定した。

第4図 (a) の如き結果を得る状態のままですらに温度の高い範囲の測定用とすると、曲線の傾度が緩かになり測定の精度は悪くなる。高温領域測定用としては第1図のB点を固定しA点すなわち γ_y を可変とした。このようにして目盛さためた結果は第4図(b)の如くである。低温領域測定用と高温領域測定用とは、一つの切換開閉器で容易に切り換えられるようになっている。このように任意の温度範囲の測定に適するように、すなわち容易に多重目盛にすることができるの

はこの色温度計の特徴である。また適当な函数抵抗を使用すると目盛さため曲線を直線とすることも可能であろう。

光電池面の照度に変化した場合 および疲労現象による指示値の変動を見るために、色温度 2800°K において照度をそれぞれ 7200 lx 、 4800 lx および 2400 lx とした場合の指示値の時間的变化を測定した結果は第5図の如くである。低照度よりその照度に上げた場合と、高照度よりその照度に下げた場合は、最初はその測定値にやや開きがあるが漸次一致して行く。 7200 lx から 2400 lx の間における全部の測定値の範囲および標準偏差の時間的变化は第6図の (a) および (b) の如くである。なお光電池の特性のもっとよく一致したものを使用すれば、さらに精度の向上が期待される。しかし光電池の疲労特性に不同がある場合でもその差だけが

影響するのであるから、上記の如く可成りの精度で測定することができる。

4. 昼光の色温度の測定

試作した色温度計は天然色撮影のテストの際の光源の色温度の測定に既に実用化している。その測定結果の詳細は別の機会に発表する予定であるが、ここでは昼光の色温度を測定した結果の概要を述べる。

第5図 指示値の時間的变化

第6図 指示値の範囲および標準偏差の時間的变化

第7図 試作色温度計による昼光の色温度測定

第8図 試作色温度計による昼光の色温度測定

昼光の色温度として色々な値が、われているが、筆者等が試作した色温度計で測定した結果は第7図および第8図の如くである。測定は昭和27年10月で、いずれも可成り晴れた日であった。色温度計を直接太陽に向けて測定した値は、午前9時～午後3時の間は大体5400°～5500°K程度でほぼ一定で、照明工学ポケットブック1947年版の2-87ページに記載されている地表上で測定した天頂上の太陽の色温度5480°Kとよく一致している。

日の出のときの太陽は約4000°Kで時間の経過とともに色温度が急激に高くなる。夕方の色温度の下り方はさらに急激であって、最終はタングステン電球の色温度に近い値にまで下る。ただしこのようなときに太陽が雲で覆われると、太陽の直射の影響は少なく天空の影響で色温度が高くなる。

色温度計を天頂方向へ向けたときの測定値は、日中は太陽に直面したときよりもやや高い程度であるが、早朝および夕方は可成り高い値を指示する。これは色温度計を天頂に向けたときの入射エネルギーは、日中は太陽からの直射光が大部分をしめ早朝および夕方は青空からのものが多いためである。色温度計を太陽と反対方向に向けたときの測定値は相当高く、また雲や天候の状態によって可成り変化している。

以上の測定値の絶対値の確さについてはもう少し丁寧に検討する必要があるが、これらの値の時間的变化および方向と測定値との関係は、天然色映画撮影の際の参考資料となるものと思う。なおこれらの値の天候による変化また季節による変化等について、引き続き測定を行う必要がある。

なおドイツ Göschen 社製で Kelvinox と称せられる色温度計がわが国に輸入されている。これは半円形

第9図 色温度計を水平に保持して、各方向をむいて天頂の色温度を測定したときの測定値

の光電池2個にそれぞれ赤色および青色フィルタ（ゼラチン）を附し、その前面に設けた可動板（ゼラチン）を動かして、両光電池の露出面積の比を変えて平衡させる方式である。この色温度計を水平に保存し天頂の色温度を測定した結果は第9図(a)の如く、色温度計をどの方向に向けるかによって測定値が可成り変化し、最大2000°Kからの開きがある。同図は正午の測定で太陽はほとんど南の位置にある。このとき色温度計を第9図(b)の如く東側に向けたときは、赤側の光電池面に陰影を生じ、その結果測定値が高くなるのである。次に色温度計を西側に向けたときは青側の光電池面に陰影を生じ測定値が低くなる。すなわち向ける方向によって色温度計の指示値に差を生ずるのである。

したがって時間とともに太陽の方向が変化すれば、測定値の最大および最小を示す方向も変化する。多数の側定結果によると色温度計を太陽の方向より約70度左の方へ向けて測定したときに最大値を示す。色温度計を太陽の方向へ向けて測定すれば大体正確な値を指示するようである。

同様の測定を筆者等の試作した色温度計で行った結果は第9図(a)の如く、測定値はほとんど一定である。これは光電池の前面に白色拡散フィルタをおき、光電池面上に陰影を生じないようにし、両光電池面に一様な照度が与えられるようにしているからである。

なお Kelvix を昼光の如き高照度の測定に長時間使用したときは指示値が漸次低くなり、すなわち誤差が負の方へ変わって行く傾向が見られる。その原因としてゼラチンフィルタの褪色も一応は考えられるが、光電池の特性が変化する疑いも濃厚であって、更に検討することが必要である。

5. 電球の標準光源Aの比較器としての使用

以上の測定は天然色撮影用の光源の如く高照度におけ

る色温度の測定であり、検流計はY社製D—2型A級（感度 7×10^{-7} A）を用い、携帯に便利であって現場測定に適するようになっている。しかし検流計に更に高感度の反照型検流計を使用すれば、百～数百Wの電球の色温度の測定にも十分使用することができる。ただしこの場合も両光電池前面に白色拡散フィルタを置き、両光電池面上の照度を均一にすることが必要である。

なお電球の標準光源Aに対する電圧値を極めて正確に測定したいという要望が多い。最近 E. J. King, A. E.

Snider, F. Hamburger JR の方法も発表されているが、一般には視感測定が行われている。しかし視感測定は主観的であるため、この測定に客観性をもたせ、しかも簡易に正確迅速に測定する方法が望ましい。以上述べたところの筆者等が試作した色温度計をこのような目的に用いたところ、その機能を十分発揮することができたのでその結果の概要を述べる。

前述の如くこの色温度計は光電池の疲労のため、指示値が時間的にやや変化するもので、測定すべき色温度および測定の際の照度の下で約30分間予備照射し指示値が安定してから使用する。

まず標準電球の色温度を標準光源Aとなるように点燈し、そのときの色温度の指示値を定める。次に色温度を目盛さためしとする電球と速かに取換え、色温度計の指示値をそのままにしておいて被試験電球の電圧を加減して色温度計を平衡させ、そのときの電圧をその電球の標準光源Aに対する電圧と定める。すなわち色温度計は単に比較器として使用するのである。このようにして使用すれば色温度計の指示値の経年変化は問題とならず、正確に被試験電球の標準光源Aに対する電圧を求めることができる。以下被試験電球を速かに取り換えると多数の電球の試験を短時間に行うことができる。

K社製の200W映写用電球を上の方法により試験した結果と、視感測定によって得られた電圧との差を温度に換算したものは第1表の如くである。9個の電球につき色温度計で試験したが、その第1回と第2回の測定の差は大体1°K程度であり、また視感測定によって定めた値との差も平均約 $\pm 2^\circ$ である。対比型光度計による視感測定の精度は $\pm 3^\circ\text{K}$ といわれている点から考え、この色温度計はこのような目的に対しても十分実用に供し得ることができるものと思う。

第1表 色温度計による測定値と視感測定による測定値との差〔°K〕

電 球 番 号 No.	201	202	203	204	205	206	207	208	209
第 1 回 の 測 定	+ 1.0	+ 1.0	+ 1.0	- 3.0	- 1.5	+ 2.0	+ 1.0	+ 2.0	- 4.5
第 2 回 の 測 定	- 1.5	+ 1.0	+ 1.0	- 3.0	- 2.5	+ 3.5	+ 2.0	+ 3.5	- 3.0

6. 結 言

以上述べたようにここに試作した色温度計は次の如き特徴がある。

- (1) 測定回路に電源が必要でない。
- (2) 測定の際フィルタの取換えあるいは光電池の回路を切り換える必要がなく測定操作が1回である。
- (3) 抵抗目盛で色温度を直読できる。
- (4) 光電池の疲労に基づく指示の変化が少なく測定が迅速に行なわれる。
- (5) 光源との距離にほとんど無関係に測定できる。
- (6) 多重目盛あるいは部分目盛とすることができ

なおこの色温度計は回路の一部を切り換えると照度計としても使用できる⁽⁶⁾。欠点としては平衡回路に抵抗を用いているため、両光電池を検流計により直接差動接続した場合に比して、検流計の感度が少し低下することである。

ここに試作した色温度計は天然色映画撮影技術研究班の、天然色撮影のテストに際し、その光源の色温度の測定に既に実用化している。その内太陽の色温度の1日中の変化は既に述べたが、可成り興味ある結果が得られ、

これは天然色撮影の際の参考資料となるものと思う。なおこの色温度計は電球の標準光源Aに対する電圧を定める場合の比較器としても、十分機能を発揮させることができる。

最後にこの色温度計の試作に協力された林製作所の林取締役に対し厚く御礼申し上げます。なお実験に努力された当所の山中俊夫君および浪速大学電気科実習生森田雅大、安坂堅次の両君に対し感謝の意を表す。

文 献

- (1) L. A. Wood: R. S. I. 5 (1934) 295
- (2) R. H. Müller: Experimental Electronic chapter 3 (1942)
- (3) 岡田・川上・藤原: 電気三学会連合大会講演要旨 (昭 25-4)
- (4) E. J. King, A. E. Snider, F. Hanburger JR: J. O. S. A. 42, (1952) 178
- (5) 吉江 清: 電試彙 15, 8 (昭 26-8) 107
- (6) 岡田・平井・納谷: 電試彙 16, 5 (昭 27-5) 29

(28-5-7 受付)

照 明 界 の ト ピ ッ ク ス

けい光放電燈による眼の損傷

7月の東京眼科集談会の席上、大塚任氏がけい光放電燈に起因すると思われる紫外線角結膜炎の症例を報告し話題となった。その症状は軽度の結膜の充血と、角膜表層の濁濁が主で、軽い眼痛と流涙等を訴える経過はきわめて良好で翌朝は自然治癒する程度である。なお報告例も少ないので、このような紫外線角結膜炎が問題となる程多発する可能性があるかどうか。またけい光放電燈の位置と眼との関係等の問題も明らかでないので、近く慶大眼科学教室および鉄道職場照明委員会等で調査に乗り出す模様である。

アドバルーンのサイン

アドバルーンは屋の広告とのみ考えられておったが、これを照明することは戦前に考えられて実施されたことがある。

ところがこんどはサインを考えたアドバルーンに綱を下げ、それに小形電球数百個を使って所要の文字、あるいは図形をサインによって点滅して夜間アドバルーンとして使うというのである。地上には美しいネオンは輝き、天には光るアドバルーンが風にゆれてふわりふわりなびいて美しい文字を光らしてしている。これで広告照明が一つふえたわけである。