カラーテレビ受像管の色分析器

ミノルタカメラ株式会社 吉 山 一 郎・一 宮 昭 博
兵 藤 義 治・納 谷 幹 夫
村 上 三 次 郎・小 坂 武

マトリックス解法を用いれば、原理的にカラーテレビのどんな蛍光体の受像管に対しても、三原色の各原色の発光量を同時に、個々に検出できることがわかり、この原理に基づいて色分析器を研究、開発した。本器により、初めてテレビの各原色の電気入力信号と各原色の光出力信号とが1対1の対応で関係づけられた。さらに、標準白色光源を開発し、これと本器とにより、標準白色によるホワイトバランス調整が容易になった。また、本器の応用面は広いことがわかった。

1. ま え が き

従来のホワイトバランス測定器は、受像管の蛍光体の特性を仮定して成立する測定器か、ホワイトバランス調整には直接フィードバックのかからない色彩計が用いられていた。しかし、実際には蛍光体の特性は多種多様であり、標準白色についても論議中である。このような現状からの要望に対して、マトリックス回路を用いることにより、任意のテレビの三原色のエネルギー量を任意の単位で、同時に、個々に検出するカラーテレビ受像管の色分析器を発明した。この測定器を用いることによりホワイトバランス調整が容易になった。また、この測定器の応用面は広いことがわかった。

ホワイトバランスがテレビのカラー画質に重大な影響をおよぼすことは、よく知られている。それゆえ、その管理が重要な問題であることは当然である。一方、受像管に用いられる蛍光体は、近年急激に改良されているが蛍光体の特性が統一化されぬまま、モニターテレビあるいは家庭用カラーテレビ受信機に現在常用されている。

このような多種多様の蛍光体が常用されているが、それら任意の光特性を物理量として計測して、ホワイトバランス調整に役立つ測定器の技術開発が遅れた。その結果ホワイトバランスは、日本でも、米国でも、放送局、テレビメーカーいずれも特定の熟練作業者の視覚に頼ってなされてきた。この問題に目をつむって、あえて理想螢

光体の分光特性を前提として二、三の実験器あるいは商品²⁾⁻⁵⁾がすでに発表されたが、これらはもとより前提と異なるテレビ受像管に対しては、十分な精度を保証しているものではない。また視覚は、色差の識別能力はすぐれているが、色の記憶能力は乏しく、周囲の条件に影響されやすく、生理的、心理的にも不安定で、個人差も大きい。

このような現状に照らして、要請される精度を保証し、誰でも日常容易に迅速に正確に、どんな受像管に対しても標準色を維持再現し、ホワイトバランス調整作業の道具となる測定器を開発したので、ここにその大要を報告する。

2. 研究開発の趣旨

このような測定器に必要な特性の主なものは、

- (1) 人間の色識別感度と同等以上の感度をもつこと。
- (2) どのような蛍光体の受像管にも適用できること。
- (3) 受像管の再現輝度域をカバーすること。
- (4) 計測値が直接に目的（調整手段）に結びつくこと。
- (5) 長期安定性のすぐれていること。
- (6) 普及しうる実用器であること。
- (7) その他、応用範囲の広いこと。

である。現在、これらすべてを包括する測定器はなく、たとえば、最も厳密な測色方法として、RCAでモノクロメーターとコンピューターを結びつけているSpectroradiometer³⁾があるが、上述の条件(4)、(6)からみて

"Color Analyzer for Tricolor Picture Tube" by Ichiro Yoshiyama, Akihiro Ichimiya, Yoshiharu Hyodo, Mikio Naya, Sanjiro Murakami and Takeshi Kosaka (Minolta Camera Co., Ltd., Sakai, Osaka)

一般的ではない。

本測定器は、上述の条件を満たすように研究開発され、カラーテレビ受像管の三原色の相対エネルギー量を*

(1) 個々に、(2) 同時に計測することを特長としている。

3. ホワイトバランス調整の原理

ホワイトバランス調整は、受像管の3個の電子銃の制御グリッドバイアス電圧とスクリーングリッド電圧を調整して、色の偏りを正し、白黒画像のときは、画像の暗い部分から明るい部分まで黒、灰、白と無彩色の状態にすることであるのはいうまでもない。ここでホワイトバランスを正しく行なうためには、2つの問題がある。

第一は、受像管の制御グリッドバイアス電圧とスクリーングリッド電圧を調整する場合、これら電圧は受像管の各原色の発色量をコントロールするものであるから、各原色の発色量が個々に、同時に計測されなければ、各電圧をいかに調整してよいかわからない。第二は、ホワイトバランスの標準となる色度を対象テレビの受像管上にいかに設定するかの問題である。

これについてはルーター条件**をいかに満足しているかの問題はあるが、従来の色彩計を用いることが考えられる。しかしそれは色度の検査については有用であってもその値から受像管の制御グリッドバイアス電圧、あるいはスクリーングリッド電圧をいかにしたらよいかはわからない。厳密に標準色設定をする方法について、RCA方式があるが、実用的であるとは思われない。

これに対して筆者らは、白標準器を開発し、条件等色により受像管上に9300°K+27MPCDあるいは、D 6500°Kの標準色を設定した。そして、次章で述べる原理に基づいて各原色の発色量を計測することにより、ホワイトバランス調整が容易になった。

4. カラー受像管三原色測定の原理

任意の受像管のRGB三原色の単位放射エネルギーの分光分布を、それぞれ R_λ , G_λ , B_λ として(テレビのコンバーゼンス不良などの色調整不良に基づく混色は、原色特性に入れてよい)、それぞれの出力レベル(任意の単位エネルギーに乗じる係数)を x_R , x_G , x_B とすると、この受像管の発光色の分光分布 W_λ は、次式で表わされる。

$$W_\lambda = x_R \cdot R_\lambda + x_G \cdot G_\lambda + x_B \cdot B_\lambda \quad (1)$$

本測定器は、最終的に(1)式で示す x_R , x_G , x_B を同時に、個々に検出するものである。いま、各原色に対

応する3組の受光素子を考え、各素子の分光感度を $S_{R\lambda}$, $S_{G\lambda}$, $S_{B\lambda}$ とし、(1)式の W_λ をそれら素子で受光すると、各素子の出力成分 C_R , C_G , C_B は次式のようになる。

$$C_R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_\lambda S_{R\lambda} d\lambda \quad (2)$$

$$C_G = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_\lambda S_{G\lambda} d\lambda \quad (3)$$

$$C_B = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_\lambda S_{B\lambda} d\lambda \quad (4)$$

ただし λ_1 は、 W_λ の短波長側の限界値で、 λ_2 は長波長側の限界値である。(1)式を(2), (3), (4)式に代入し、 x_R , x_G , x_B が波長 λ に依存しないことを考えれば次式が得られる。

$$C_R = x_R \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda S_{R\lambda} d\lambda + x_G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_\lambda S_{R\lambda} d\lambda + x_B \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_\lambda S_{R\lambda} d\lambda \quad (5)$$

$$C_G = x_R \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda S_{G\lambda} d\lambda + x_G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_\lambda S_{G\lambda} d\lambda + x_B \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_\lambda S_{G\lambda} d\lambda \quad (6)$$

$$C_B = x_R \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda S_{B\lambda} d\lambda + x_G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_\lambda S_{B\lambda} d\lambda + x_B \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_\lambda S_{B\lambda} d\lambda \quad (7)$$

(5), (6), (7)式の各種分項を次のように置換して、

$$A_{11} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda S_{R\lambda} d\lambda \quad A_{12} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_\lambda S_{R\lambda} d\lambda$$

$$A_{13} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_\lambda S_{R\lambda} d\lambda$$

$$A_{21} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda S_{G\lambda} d\lambda \quad A_{22} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_\lambda S_{G\lambda} d\lambda$$

$$A_{23} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_\lambda S_{G\lambda} d\lambda$$

$$A_{31} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda S_{B\lambda} d\lambda \quad A_{32} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_\lambda S_{B\lambda} d\lambda$$

$$A_{33} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_\lambda S_{B\lambda} d\lambda$$

次式を得る。

$$C_R = A_{11}x_R + A_{12}x_G + A_{13}x_B \quad (8)$$

$$C_G = A_{21}x_R + A_{22}x_G + A_{23}x_B \quad (9)$$

$$C_B = A_{31}x_R + A_{32}x_G + A_{33}x_B \quad (10)$$

ここで A_{ij} ($i=1\sim 3$, $j=1\sim 3$)は特定の受像管の螢光体および受光素子の相関による固有の定数であることは明らかである。(8), (9), (10)式をマトリックス表示すれば、

$$\begin{pmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_R \\ x_G \\ x_B \end{pmatrix} \quad (11)$$

となり、逆マトリックス表示すれば、

* 相対エネルギー量は輝度ではない。輝度は、人間の目の特性(V_λ)が入っている。

** ルーター条件: CIEの三刺激値 $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ に合った測色条件

$$\begin{pmatrix} x_R \\ x_G \\ x_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{pmatrix} \quad (12)$$

となる。(12)式を解くことにより、3つの受光素子の出力から受像管の三原色の各出力レベルを個々に、同時に検出することができる。(12)式が解をもつためには、 $\det \{A_{ij}(i=1\sim 3, j=1\sim 3)\}$ がゼロにさえならなければよい。すなわち、3つの受光素子の分光感度がそれぞれ異なればよい。 W_λ と出力との関係を示した(2)、(3)、(4)式は、受光素子のガンマ(入射エネルギーと出力との関係を示す勾配)が波長依存性なく常に1の場合のみ成立する*。

5. 本測定器の構造

図1に本器の系統図を示す。受像管の色を測定する原理に説明したように、受光素子としては、ガンマに波長依存性がなく、かつその値が常に1であることが必要である。受光素子にはSiセルを用いた。Siセルの特長は、光応答速度が速いことであり、安定性、温度特性、光履歴特性もすぐれている。ただし、ガンマを1にするためには、セルを短絡状態で作動させねばならず、回路的には複雑になる。図2にSiセルの等価回路を示す。

定電流源 g からは入射光エネルギーに比例した電流

* CdS の波長依存性については、文献(18)、(19)、(20)を参考にされた。一般的に波長に依存している。

仮りにガンマ(γ)が波長に依存しないで、1でない場合を考えてみると次のようになる。 L_λ を各波長の入射エネルギーとし、受光素子の L_λ に対応する出力を C_λ とすると、次式が成立する。

$$C_\lambda = K_\lambda L_\lambda^\gamma \quad (i)$$

ただし、 K_λ は各波長に依存する定数である。

(i)式で示される素子の分光感度は、各波長の入射エネルギーを単位($L_\lambda=1$)にとった場合の出力であると定義される。すなわち、分光感度を S_λ とすれば、

$$S_\lambda = K_\lambda \quad (ii)$$

となる。また入射エネルギーに対する出力 C は、重ね合わせの原理を用いて、

$$C = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} C_\lambda d\lambda \quad (iii)$$

となる。(iii)式と(i)、(ii)式から

$$C = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} L_\lambda^\gamma S_\lambda d\lambda \quad (iv)$$

となる。(iv)式において、 L_λ として W_λ をとり、本文(1)式を代入すると、

$$C = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (x_R R_\lambda + x_G G_\lambda + x_B B_\lambda)^\gamma S_\lambda d\lambda \quad (v)$$

となる。(v)式において、 x_R 、 x_G 、 x_B が波長に依存しないことを考えると、

$$C = x_R^\gamma \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_\lambda^\gamma S_\lambda d\lambda + x_G^\gamma \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} G_\lambda^\gamma S_\lambda d\lambda + x_B^\gamma \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B_\lambda^\gamma S_\lambda d\lambda + F(R_\lambda, G_\lambda, B_\lambda, \dots, \gamma) \quad (vi)$$

となる。本文(5)、(6)、(7)式に対応して(vi)式のようになり、簡単に x_R 、 x_G 、 x_B の一次式ではないことがわかる。この素子を用いて x_R 、 x_G 、 x_B を電気計算回路より求める場合は、簡単にできず結局、受光素子のガンマが1であることが実証されれば、本文(12)式で示したマトリックス回路を用いることができる。

図1 本色分析器の系統図

Block diagram of TV Color Analyzer.

図2 Siセルの等価回路
Equivalent circuit of Si cell.

I_g が発生し、内部ダイオードを流れる電流を I_D とし、コンデンサを流れる電流を I_C とし、抵抗 r_p に流れる電流を I_p とし、抵抗 r_s を流れる電流、すなわち外部負荷抵抗 R_L に流れる電流を I_L とし、 r_p の両端の電位差を V とすると、それぞれ次式が成立する。

$$I_g = I_D + I_C + I_p + I_L \quad (13)$$

$$I_D = I_s (e^{qV} - 1) \quad (14)$$

$$I_C = C \frac{dV}{dt} \quad (15)$$

$$I_p = V/r_p \quad (16)$$

$$I_L = V/(r_s + R_L) \quad (17)$$

ただし、(14)式における I_s は、ダイオードの逆飽和電流であり、 q は絶対温度に関する定数であり、(15)式の C はコンデンサの容量である。時間的に安定した状態においては、(15)式の I_C はゼロとなり、その場合には、(13)式に(14)、(15)、(16)、(17)式を代入して、

$$I_g = I_s (e^{qV} - 1) + V \left(\frac{1}{r_p} + \frac{1}{r_s + R_L} \right) \quad (18)$$

となる。用いた Si セルは $r_p \gg r_s$ であり、短絡($R_L=0$)にすると、

$$I_g = I_s (e^{qV} - 1) + (V/r_s) \quad (19)$$

となる。(19)式において qV は非常に小さいので(19)式は、

$$I_g = I_s (1 + qV - 1) + (V/r_s) \quad (20)$$

となる。(20)式から V を求めると、

$$V = \frac{I_g}{I_s q + (1/r_s)} \quad (21)$$

となる。結局外部に流れる電流 I_L は、(21)式より、

$$I_L = \frac{V}{r_s} = \frac{I_g}{r_s (1 + I_s \cdot r_s \cdot q)} \quad (22)$$

図3 本色分析器の原理回路
Simple circuit of the Color Display Analyzer.

となる。(22)式において、 $I_s \cdot r_s \cdot q$ は I_g に比較して、非常に小さいから、

$$I_L = I_g \quad (23)$$

となり、入射光エネルギーに比例した電流が外部に取り出される。この回路で、入射光エネルギーが変化するとき、すなわち I_g が変化したときの I_L の応答速度* は C と r_s できまり、実用上問題がない ($10\mu s$ のオーダーである)。図3は本測定器の原理回路図である。

図3において、Siセルの両端が同電位になるように差動増幅器を用いて負帰還をかけてあり、これは上述短絡状態に相当し、入射光エネルギーに比例する電流が、Siセルから得られるように設計されている。a', b', c' 点は、等価回路的には、電流の吸出し口で、一般に同電位ではない。たとえば a' の電位は、 r_{11} を流れる電流によってきまり、また r_{12} を流れる電流は b' の電位によってきまる。分光感度が $S_{R\lambda}$, $S_{G\lambda}$, $S_{B\lambda}$ である Siセルに(1)式で示す W_λ が入射すると(2), (3), (4)式に示す電流 C_R , C_G , C_B が各セルより発生する。これら電流は r_{ij} ($i=1\sim 3, j=1\sim 3$) を経て分流する。a', b', c' の電位をそれぞれ V_R , V_G , V_B とすると、次式が成立する。

$$\frac{V_R}{r_{11}} = C_B - \frac{V_G}{r_{12}} - \frac{V_B}{r_{13}} \quad (24)$$

(24)式において、 V_R/r_{11} は r_{11} を流れる電流を意味し、 V_G/r_{12} は r_{12} を流れる電流を意味し、 V_B/r_{13} は r_{13} を流れる電流を意味する。同様に V_G/r_{22} , V_B/r_{33} に

* 光応答速度は、次のようにして考えればよい。(13), (15), (19), (20), (22)式より、

$$I_g = I_s \cdot qV + C \frac{dV}{dt} + \frac{V}{r_s} \quad (i)$$

となる。ただし、 $q \ll 1$, $r_p \gg 1$, $RL=0$ とした。(a)式を解いて、 $V = C_1(1 - e^{-kt}) + C_2$ (ii)

となる。ただし I_g は t について定数として、

$$k = \frac{1}{C} \left(\frac{1}{r_s} + I_s \cdot q \right)$$

であり、 C_1 , C_2 はそれぞれ境界条件によってきまる定数である。外部電流 I_L は V/r_s であるから、その変化 (I_g が変化したとき) は、結局(ii)式の k によってきまる。

ついて次式が成立する。

$$\frac{V_G}{r_{22}} = C_G - \frac{V_B}{r_{23}} - \frac{V_R}{r_{21}} \quad (25)$$

$$\frac{V_B}{r_{33}} = C_B - \frac{V_R}{r_{31}} - \frac{V_G}{r_{32}} \quad (26)$$

(24), (25), (26)式を変形すれば、

$$C_R = \frac{V_R}{r_{11}} + \frac{V_G}{r_{12}} + \frac{V_B}{r_{13}} \quad (27)$$

$$C_G = \frac{V_R}{r_{21}} + \frac{V_G}{r_{22}} + \frac{V_B}{r_{23}} \quad (28)$$

$$C_B = \frac{V_R}{r_{31}} + \frac{V_G}{r_{32}} + \frac{V_B}{r_{33}} \quad (29)$$

となる。マトリックス表示すれば、

$$\begin{pmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{r_{11}} & \frac{1}{r_{12}} & \frac{1}{r_{13}} \\ \frac{1}{r_{21}} & \frac{1}{r_{22}} & \frac{1}{r_{23}} \\ \frac{1}{r_{31}} & \frac{1}{r_{32}} & \frac{1}{r_{33}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_R \\ V_G \\ V_B \end{pmatrix} \quad (30)$$

となる。結局(11), (12)式のマトリックスの A_{ij} ($i=1\sim 3, j=1\sim 3$) に等しく、(30)式の $1/r_{ij}$ ($i=1\sim 3, j=1\sim 3$) を選べば、 x_R , x_G , x_B は、電位 V_R , V_G , V_B で読取ることができる。また分光感度は、原理的には単にその感度域がテレビ受像管の三原色に重なり、かつ、それぞれ異なればよいことを前章でも明らかにしたが、識別感度および計測輝度範囲をできるだけ広げるように配慮決定した。すなわち(12)式において、数学的に、 x_R , x_G , x_B を求める場合は、 A_{ij} ($i=1\sim 3, j=1\sim 3$) がどんな数値(分光感度と蛍光体の分光特性によりきまる)であれ、最終的に求める x_R , x_G , x_B の精度には関係ないが、本測定器の場合は、 A_{ij} の係数を考慮せねばならない。たとえば(8)式に示す C_R について考えてみる。 C_R は定数と考え、 $A_{11}x_R$, $A_{12}x_G$, $A_{13}x_B$ それぞれの回路にノイズが発生すると考えると、(8)式は、

$$C_R = A_{11}x_R + A_{12}x_G + A_{13}x_B + \alpha_1 A_{11}x_R + \alpha_2 A_{12}x_G + \alpha_3 A_{13}x_B \quad (31)$$

となる。ここで α_1 , α_2 , α_3 は、それぞれの回路中で発生するノイズ量をきめる係数である。 $A_{11}x_R$ の回路中には、(8)式と(31)式からわかるように $\alpha_1 A_{11}x_R$ すなわち $- \alpha_2 A_{12}x_G - \alpha_3 A_{13}x_B$ のノイズが発生する。ここでは、 A_{11} に x_R の主成分を含ませるようにした場合 (x_R を $A_{11}x_R$ の回路で読取の場合)、ノイズを減少するためには、 A_{12} , A_{13} をゼロに近づければよい。同様に C_G , C_B について考え、 A_{ij} ($i=j$) に主成分を含ませれば、 A_{ij} ($i \neq j$) をゼロに近づければよい。しかしながら A_{ij} ($i \neq j$) をゼロに近づけると、 C_R , C_G , C_B 量が減少し、

図4 各種蛍光体の分光特性 (A, B, C: RCA 公表値, D: 実測値)
Spectral energy distribution of color TV phosphors.
(A, B, C: RCA data, D: MINOLTA data)

図5 受光器の分光感度
Spectral response of the detectors.

つまり低照度域は計測できなくなる。

図4は、受像管に使用されている各種蛍光体の分光特性を示したものである²¹⁾。これらの特性からわかるように、青領域での特性変化は少なく、緑領域、特に赤領域での変化は大きい。特性変化があるということは、蛍光体の組成が変化しているわけで、今後とも、改良されてゆくものと考えられる。本測定器の受光部の各分光感度 $S_{R\lambda}$, $S_{G\lambda}$, $S_{B\lambda}$ は、どんな蛍光体に対しても各青・緑・赤領域の分光特性の主成分が受光されるように、また、 A_{ij} ($i \neq j$) を小さくするように適当に決定した¹²⁾。その結果を図5に示す。図4Aの受像管の蛍光体につき、 A_{ij} を求めたところ、

$$\begin{array}{lll} A_{11}=100.0 & A_{12}=19.0 & A_{13}=3.7 \\ A_{21}=7.5 & A_{22}=100.0 & A_{23}=15.9 \\ A_{31}=1.5 & A_{32}=6.5 & A_{33}=100.0 \end{array}$$

であり、精度および低照度域測定、あるいは蛍光体の種類が異なっても実用上問題がない。

(30)式に示す抵抗マトリックス部は独立していて、本体に対して着脱交換できるようになっている。特性の異なるモニターテレビの受像管（一般のカラーテレビの受像管に対しても同様）に対し同じ目盛で一定色を示すためには、各モニターごとに校正したマトリックス部を用意すればよい。本器は、厳密ではないが、 V_{λ} に近似の $S_{G\lambda}$ 特性を利用して、 G メーターに輝度目盛を併設し、

図6 色識別精度

Accuracy of the Color Display Analyzer for color vision.

回路切換えによりテレビ調整には十分な精度で、輝度測定も可能にした。 R , G , B 各メーターは、等分割 100 目盛とした。最終的に本器は、目盛上 $\pm 0.5\%$ 以内の精度を保証している。図6は本器の色識別精度を示している。これは CIE (x , y) 表色系を用いており、その中の任意点を選び、その点の色度を本器で測定した場合、その点の読み値が、どこになるかを示したものである。最小三角形は、本器の各 R , G , B メーターが 1% 振れたときの読み値を示したものであり、上述の精度 $\pm 0.5\%$ は、その三角形内にある。1% 三角形の外測にある三角形は、それぞれ 5%, 10% に相当したものであり、その点の近くに MacAdam の最小識別楕円⁸⁾ をとってみると、本器の識別精度は、この楕円に比較しうるものであることがわかる。写真1に外観写真を示す。中央下部に突出しているのがマトリックス部である。

写真1 本色分析器
Color Display Analyzer.

6. 白標準器

白標準器は図7に示すような構造になっている。その構成は、ハロゲン電球にフィルターをかけ、その透過光を反射板に投射し、その反射光が標準色になるようにしている。図8に標準色の分光特性を示す。

次に、任意特性のモニターテレビ（一般のカラーテレビ受信機についても同様）の受像管上に、この白標準器により $D 6500^\circ K$ あるいは $9300^\circ K + 27 \text{ MPCD}$ の標準色を設定する。モニターテレビに対しては、白対応信号を送る。この電気量はベクトルスコープ¹⁵⁾など¹⁵⁾⁻¹⁷⁾により厳密に監視できる。条件等色により受像管の各原色の発

図 7 白標準器
Illustration of TV White Standard.

図 8 標準光の分光特性
Spectral energy distribution of TV White Standard.

写真 2 ホワイトバランス調整
White-balancing.

色量が設定されれば、これを色分析器のマトリックス部に移しかえることにより、その標準色によるホワイトバランス調整が可能になる。

条件等色は 2 つの色が空間的に接近している場合は、実用上さしつかえない精度で等色させることができる。対象テレビの蛍光体の分光特性が時間的に変化しない限り、上述標準色の設定は、最初にただ一度白標準器の助けを借りるだけでよい。写真 2 は、標準色を記憶した色分析器を用いて、ホワイトバランス調整を行なっているところである。

* ベクトルスコープにより、入力電気信号の強さと位相を読取ることができる。すなわち、白の場合は、各 RGB 信号が正しく入力されているか否か、ベクトルで読取ることができる。

7. ホワイトバランス調整結果

従来、記憶色により行なわれていたホワイトバランス調整結果を、比較の意味で検討した。最初に記憶色による色再現はどの程度可能かを検討した。この調整についての熟練者を選び、条件等色により 9300°K+27 MPCD の色を受像管上に設定した。その熟練者はこの色を記憶し、次にその色を崩し、記憶に頼ってその色と思われるものを受像管上に再現した。その結果を図 9 に示す。

図 9 カラーテレビ記憶色による色合せのばらつき
Distribution of color matching for memory color.

図 9 は CIE の (x, y) 表色系を用いたもので、各番号をつけた点が再現した色の色度点である。この番号は約 10 日間にわたる実験の順番を示したものであり、また、実験ごとに 9300°K+27 MPCD の色を再現し、新たに記憶していった。この結果からわかるように、熟練者においてさえ、目標点からはるかに離れており、発散するかのようである。次に記憶により白を設定して、視覚によってホワイトバランス調整を行なった。調整者は、同じく熟練者である。その結果を図 10 に示す。

横軸は、各 R, G, B 光に対応する入力信号であり、縦軸は色分析器の読み値である。曲線は、各入力信号を

図 10 熟練者の視覚によるホワイトバランス調整結果
Result of white balance adjustment by experts vision.

図 11 本色分析器によるホワイトバランス調整結果
Result of white balance adjustment by the Color Display Analyzer.

変化させたとき、それに対応して発色する受像管の各光を本器で読取り、プロットしたものである。Bの曲線のずれは標準色の違いで論外であり、ガンマの不統一によるRとGの曲線の交錯が問題となる。日時を経て、記憶色と視覚によって行なう場合は、標準色からのずれが現われる。調整時間は3min程度であるが、満足のいくまで行なうと時間を多く費すことになる。図11は、本器を用いてホワイトバランス調整を行なった結果を示したものである。その結果からわかるように、ガンマがよくそろっている。本器を用いての調整時間は、なれにより1~4minかかるが、精度はなれに無関係である。

8. その他の応用例

あるモニターテレビ受像管の各原色の色度がわかり、かつ色度のわかった一任意色に対する色分析器の読み値がわかれば、加法混色の原理から、計算により、その受像管上のすべての色度を求めうるし、また、この逆も可能である。いま三原色の色度点をそれぞれ (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) とし、色度のわかった一任意色の色度点を (x_0, y_0) とすると、次式が成立する。

$$x_0 = (m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3) / (m_1 + m_2 + m_3) \quad (32)$$

$$y_0 = (m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3) / (m_1 + m_2 + m_3) \quad (33)$$

(32), (33)式において、 m_1, m_2, m_3 は各原色の混色比である。色度点 (x_0, y_0) の色に対しての本器の読み値をそれぞれ n_1, n_2, n_3 とすると、次式が成立する。

$$n_1 = k_1 m_1 \quad (34)$$

$$n_2 = k_2 m_2 \quad (35)$$

$$n_3 = k_3 m_3 \quad (36)$$

ただし、 k_1, k_2, k_3 は比例定数である。任意色に対して本器の読み値がそれぞれ n_1', n_2', n_3' に変化した場合は、(34), (35), (36)式より m_1, m_2, m_3 が求まり、(32), (33)式により色度点が求まる。逆に求めたい色度点を (x_0', y_0') にすると、(32), (33)式より混色比が求まり、(34), (35)式により本器の読み値がわかり、そ

の読み値になるように各原色の混色比を調整してやればよい。原理的に加法則の適用できる合成色制御機器としての応用範囲は広い。また、素朴な例としては、カラーテレビの標準画像における人間の肌色、空の青色、草木の葉の色などの再現に際して、本器が有用なテスターになりうる。あるいは、テレビの受像管のガンマの一致度を調べることができる。同様に、各原色の回路および電磁場による相互干渉の検査にも用いることができる*。

9. む す び

以上、テレビの色分析器の概要と、並行開発した白標準器の紹介も含めて説明した。色分析器は、昨春、ロスアンゼルスで開催された第105回 SMPTE ショウにおいて、紹介講演および試作品展示して以来、すでに国内および海外の数多くの放送局、電子機器メーカー、研究所で使用されている。

終りに、本器の研究開発に当り、終始甚大な協力、ご指導をいただいた朝日放送の木村技術局次長および久松広氏に厚くお礼申し上げる。また、試作器のご検討と有意義なご助言をいただいたNHKはじめ内外の放送会社、電子機器各社の技術関係各位のご好意に厚く感謝申し上げます。

(昭和44年6月25日受付)

(参 考 文 献)

- 1) 色彩科学ハンドブック
- 2) TV Colorgardの説明書
- 3) A.E. Hardy: The Colorimetry of Color-Television Picture-Tube Phosphor Screens, Reprinted from Electrochemical Technology, Publication No. ST-2831
- 4) 沼口, 藤井: カラー受像機用白バランス調整器, NHK 技研月報, 12 (1967) 9-17
- 5) 沼口, 藤井: カラー受像機用白バランス調整器, テレビ学会全大予, (1964) 179
- 6) 小坂, 納谷, 村上, 吉山, 久松: TV Color Analyzer, テレビ学会全大予, (1968) 271
- 7) 電気工学ハンドブック
- 8) David L. MacAdam: Visual Sensitivities to Color Difference in Daylight, JOSA, 32, 5, May (1942) 247-274
- 9) 本城, 野中, 高野: カラーテレビ受信機用白標準器, 日立評論, 39, 7 (1967) 71-76
- 10) 常田: 最近のカラーブラウン管の進歩, 東芝レビュー, 23, 1 (1968) 26-30
- 11) 電気試験所大阪支所: カラーブラウン管 P 22 用白色標準器の校正, 電子機械工業会測光小委員会資料 (1968.10.9)
- 12) 大石, 小島: 最近のカラー螢光面の諸特性, テレビ誌, 20, 12 (1966) 835-843
- 13) 藤尾: テレビジョン技術における視覚の諸問題, テレビ学会視覚研究委員会資料
- 14) 放送技術双書, カラーテレビジョン, 日本放送協会編
- 15) 電子展望, 無線と実験別冊 (1967.9)
- 16) 電子技術, 7月臨時増刊号 (1967)
- 17) シバデン測定器のカタログ, Measuring Instruments
- 18) 高木克己, 山田祥二: かりやすい半導体光物性電子科学シリーズ, p. 76, 産報
- 19) 三菱電機, 伊吹順章, 吉沢達夫: 半導体応用選書, 光導電素子, p. 23, 日刊工業新聞社
- 20) A. Rose: An outline of some photoconductivity processes 2. 2.15, RCA Rev., 12 (1951)
- 21) RCA ELECTRON TUBE HANDBOOK, HB-3

* 一般的に、本色分析器は原色の発色量の測定ができるから、たとえば、色純度の検査も可能である。