(第1回)

新しいカラー調整技術

NHK放送センター 伊藤 安雄

1. ま え が き

わが国のカラーテレビは、本放送開始以来満10年を経過した。カラー受像機の普及も、白黒受像機に近づきつつある。カラー放送はどの放送局でも1日10時間以上行っている。もはやテレビといえばカラーテレビのことを意味し、ことさらカラーをつける必要はなくなっている*。

これに伴って、テレビ技術も飛躍的進歩を遂げたが、現業技術において、番組間の色の違い、あるいはカメラ間の色の違いを調整する技術は、カラーテレビの実験放送時代から、あまり進歩していない。放送されたテレビ画面を観察していると、鮮鋭度、階調、色調ともにすぐれているが、カメラが切り替ったり、番組が次に移ったりあるいは、放送チャンネルを切り替えてみたりすると、それぞれに差があることに気づく。著しい場合は、受像機のツマミを頻繁に調整するようになる。視聴者は、送信側の都合にあわせてツマミを回すほどお人好しではない。A局はきれいだが、B局は汚いとか、a番組は自然だが、b番組は不自然だった、といった苦情になって現われる。

NHKでは、これらの諸問題を分析し、現業技術的解決策として、カラー調整方式をつくった。昭和43年よりこれを手がけ、以後、7局30カ所で使用している。カメラの種類は5種類、その数は100台を越えているがカラー調整システムにしたがって、カメラ差、番組差、チャンネル差を生じないよう努力している。

2. カラーテレビの色再現と制作上の問題点

カラーテレビの色再現は、もとの色と完全に等しい色を再現することではなく、もとの色と同じ印象を与える

色、あるいは、人の嗜好する色などを再現することである。

このような色再現の立場から色を分類すると、自然色と人工色に分けて考えることができる。人工色は受信者にとって、もとの色を想像できない色である。カラーテレビ放送の最初、人工色を主体とするミュージカルやショウが多く放送されたのは、再現色がシビアに評価されないからである。

自然色は、草の色、空の色といった自然界の色をいう。これらの色は、人々に記憶されており、再現色は個人個人の記憶色の分布によって評価される。すなわち、熟知対象の記憶色ほど評価が厳しくなる。代表的なものは膚色である。われわれは、日常膚色を観察して、健康状態、心理状態を判定しているので、膚色は最高の熟知対象であるといえる。したがって、カラーテレビの色再現の良否は、膚色の再現性によって評価される。

現在のカラーテレビ放送を見ていると、自然色の再現はさほど気にならないが、膚色の再現が気になることがある。この場合、

- (1) 再現された膚色が、記憶色から著しくずれている。いいかえれば、人間らしくない膚色をしている。
 - (2) 連続する膚色の再現色の間にずれがある。いいかえれば同一人物なのに画面が変わると色が異なって見える。
- (1)の場合より(2)の場合のほうがシビアな条件であり、(2)が満足されていれば(1)の許容差は順応によって拡大される。

この要求を満足させるための問題点をとりあげてみる。

- (a) カラーカメラの種類により、あるいは製作年度により、色再現特性に差がある。
- (b) カメラ入力として、ライブカメラ系とテレシネ系があり、前者は照明光源の演色性、後者はカラーフィルムの色再現性に関係している。
- (c) カラーモニターは、画像、色彩の最終的測定器

* NHKと民放連で、色調統一のための「テレビ技術懇談会」があるが、カラーというタイトルはすでに不要であるとして、つけられていない。

“Software on Television Broadcasting—Production and Operation Techniques—: A System of Color Rendition Standardization in Television Broadcasting” by Yasuo Itow (NHK, Tokyo)

図1 カラーカメラの系統図

であるが、調整状態にばらつきがある。

- (d) オペレーターにより、色彩弁別能力、色の好みの相違などがあるため生ずるエラー。

などが考えられる。

図1は、カラーカメラの日常調整の要点を簡略化した系統図である。カラーカメラでは、光景が（またはカラーフィルムが）三原色に分解され、 E_r, E_g, E_b なる電気信号としてとり出され、エンコーダーに導かれてNTSC方式の標準カラー映像信号となる。この系の調整を行なう場合、まずエンコーダー入力をカラーバー発生器側に切り換え、ベクトルスコープなどによりエンコーダーの電氣的な調整を行なう。カラーモニターも、カラーバー信号を利用して視感による調整を行なう。これでエンコーダー以降の電氣的な調整は一応終了である。

ベクトルスコープ、オシロスコープなどの測定器は、伝送系、送信機なども含めて、カラーテレビ映像系の電氣的調整を精細かつ定量的に行なうので、きわめて有用な働きをする。問題は、電気系だけでは測定できないカメラの光電変換系、モニターの電光変換系を、どのような方法で調整するかにある。

3. カラー調整方式

前記問題点を解決するために、図2に示すような新し

いカラーカメラ調整方式を4年前に採用し、試行修正の後、昭和44年度より全面的に実施している。

この方式は、カメラ調整の基準となるモニターの調整と、完全に調整されたモニターを測定器としたカメラ調整からなっている。

- (1) カラーモニターが、測定器としての使用に耐えられるよう、ホワイト(カラー)バランス、クロマ、ヒューなどを標準の状態に調整する。
- (2) 特定の分光透過率をもつ女性の顔のカラースライドをカラーカメラで撮像し、その映像をカラーモニターに出す。
- (3) カラーモニターの横に、標準カラービューアーを置く。ビューアーには、カメラ調整に使用したスライドと同じで、9300°Kのカラーモニター画面用に特性を合わせてプリントしたものをセットしてある。
- (4) (2)と(3)の映像が、目視比較において一致するようカメラ系を調整する。

この場合、(3)のビューアーとスライドも、場所と時間の制約なく、大阪でも東京でもまったく等しい信頼できる標準器でなければならない。

4. カラーモニターの調整

4.1 ホワイトバランス調整用白色光源

(1) カラーモニターのホワイトバランス

カラーテレビ画面の白を、どのような白にすることが理論的に正しく、かつ実際のであろうか。NTSC方式では受像管に再現される標準の白は、“標準の光C”に等しい6740°Kに規定している。一方、市販のカラーテレビ受像機の白は、 $9300^{\circ}\text{K} \pm 20^{\circ}\text{K}$ ($x=0.2789 \pm 0.0005$, $y=0.3199 \pm 0.0005$) が、推奨されている¹⁾。

これは、RCAが、21 CYP 22 A 受像管を製作していた頃から、受像管の性能を規定するために使用し始めた

図2 カラー調整方式系統図

もので、通称 $9300^{\circ}\text{K}+27\text{MPCD}$ と呼称され^{*}、わが国の CES 規格も、受像管の性能をあらわすためのホワイトバランス点として、同様に $9300^{\circ}\text{K}+27\text{MPCD}$ を規定している。

NTSC の標準 C 光より 9300°K に至るまで色温度を上昇させた理由は明らかでない。一説には、当時の白黒受像機と色度を一致させたといわれ、また、一説には、 $9300^{\circ}\text{K}+27\text{MPCD}$ で、ビーム電流比がほぼそろうからだともいわれる。あるいは、蛍光体の発光効率は色によって異なり、以前は赤の効率が悪く、したがって色温度を高くすれば、赤の発光量による制限が少なくなるので明るい画面ができるからだともいわれるが、いずれも明白な根拠は見当たらない。いずれにしても、わが国のカラー受像機は、 9300°K あるいはそれ以上のホワイトバランス点で見られていることは明らかである。

放送局におけるカラーモニターも同様に、 9300°K 付近にすることを NHK、民放間で申し合わせている^{**}。

もともと、カラー受像機のホワイトバランスをどの点におくべきかは、視覚に“色覚の恒常現象”があることに起因しており、色副搬送波がゼロのとき見られる受像画面を観察して白に見えればよい。このような光源の色度は、black body locus および、day light locus 付近にある。そこで NHK では、day light locus と 9300°K の等温線が交わる点 ($x=0.2831, y=0.2971$) を選んで、 D_{9300} と呼称し、カラーモニターの白色標準にしている。これを選んだ理由は、NTSC の定める“標準の光 C”または米国、カナダで採用している D_{6500} などと比較して、理論的には劣るが実際のであり、色再現の差も問題となるほどではないからである。CES 規格の $9300^{\circ}\text{K}+27\text{MPCD}$ はど緑成分が多くなく、色覚の恒常性にすぐれている、送信側も受信側とほぼ同じ条件でモニターすることができる、などの利点を重視したからである。

(2) D_{9300} 標準白色光源

D_{9300} の標準白色光源は、次の条件を具備しなければならない。

- (a) 安定度の高いこと。
- (b) D_{9300} の標準白色にきわめて近くすることが容易で、かつ再現性の良いこと。
- (c) カラー受像機に対して視覚比較が容易であること（測色器比較が望ましいが、標準光源と被調整受像管の分光放射エネルギーを一致させねばならないので、不可能に近い）。

^{*} RCA カタログでは、 $x=0.281, y=0.311, 9300^{\circ}\text{K}+27\text{MPCD}$ を規定しているが、この表示方法は Judd の UCS 色度図によるもので、CIE では、CIE-UCS 色度図による表示を推奨している。これによれば、 $8900^{\circ}\text{K}+0.012\text{uv}$ となる。

^{**} 前記、テレビ技術懇談会申し合せ事項による。

図3 標準光源によるカラーモニターの校正

- (d) 取扱いの便なること。形状、大きさ、重量が適当であること。
- (e) 物理測光による値づけが容易であること。
- (f) 輝度段階を必要段階とすることができ、最高輝度は 120Cd/m^2 以上であること。

これらの諸条件をどの範囲に維持すべきかは、経済効率および技術上の問題があるので、最も精度の高い一次標準をつくり、これに準ずる二次標準を製作し、全国の放送局で実用するようにした。

原理は、一次標準光源でも二次標準光源でも同じで、標準電球、拡散板、色温度変換フィルターによって、ほぼ D_{9300} の光をつくり、絞を用いて約 120Cd/m^2 の明るさをつくる。このようにしてできた標準白色面を図3のように配置して、カラーモニターの白と同一視野内で視覚により一対比較を行ない、カラーモニターの白を標準の D_{9300} に調整し、続いて標準光源の絞り調整により 120Cd/m^2 以下の中間調についても D_{9300} になるよう調整する。ただし、一次標準光源については D_{9300} , $x=0.283\pm0.001, y=0.297\pm0.001, 120\text{Cd/m}^2\pm3\%$ のみ規正している。

視覚による一対比較は最も精度の高い方法とされているが、これには熟練が必要とされるので、通常は何人かでチェックし、全員が一致するように時間をかけて調整するか、あるいは平均値をとるのが望ましい。人によって色彩弁別能力の悪い人がいるので、極度に異なる場合は色彩弁別器などで色差弁別能力を調べてみるのも方法である。写真1は標準白色光源（二次標準）によるカラーモニターの調整風景である。人物左側の黒箱が光源で、白い箱が一対比較用の光学系である。これを行なうには前に述べたように熟練を要するが、次の要領に従って数回実施することで習得できる。

- (i) 標準光源の光軸を受像管の被測定部と同じ高さ

写真1 基準モニターの白色調整

に固定する。

- (ii) 標準電球への供給電圧が規定値になるよう、電圧調整器で調整する。
- (iii) 接眼ファインダーより比較測光を行なうが、視く以前の視界の照明光に色覚恒常していた眼を標準光源白色面と受像管白色面の併置配列面の光に順応させ、完全に色覚恒常が起こるまで、ほぼ1分間注視する。
- (iv) 前記1分間の間に、眼の位置をきわめてわずかに動かすと、円形視野の縦分割線がちょうど中心になり、線がはっきりする位置があるので、そこに眼を固定する。
- (v) 接眼レンズを前後して、前記円形視野の縦分割線がシャープになるよう調整する。
- (vi) 標準光源の絞りを規定位置にした視野と受像管の視野が同じ明るさになるよう、モニターを調整する（輝度計があれば、受像管の被測定部をチェックすると、完ぺきな調整となる）。
- (vii) 次に、両視野の白色が等しくなるよう、受像管のR,G,Bを調整する。RGB調整で明るさが変化する場合は、(vi)、(vii)をくり返す。

こうして調整されたカラーモニターを基準モニターと名づけて、後に述べるホワイトバランスチェッカーを校正する。大変めんどろな調整であるが、カラー受像管と標準光源とは、色度は一致しても分光組成が異なるので、ホワイトバランスチェッカーのように測色器で調整する場合は、やむを得ぬ手段である。そのかわり一度ホワイトバランスチェッカーを校正しておけば、チェッカーの安定度のある限り、この調整は不要となる。

4.2 ホワイトバランスチェッカー*

* テレビジョン用語には、カラーバランスという言葉が採用されているが（民放連技術報告会 1970 年予稿、報告番号 41）、ホワイトバランスのほうが、一般に使用されており、IEEE Spectrum にも、white balance という言葉があるので、これに従った。

図4 バナジウム酸イットリウム系の赤，硫化物系の緑，青蛍光体の分光特性とホワイトバランスチェッカーの光学特性

(1) ホワイトバランスチェッカー

カラー受像管に用いられる蛍光物質は、近年急速に改良され、赤用希土類蛍光体でも、バナジウム酸イットリウム系、酸化イットリウム系およびオキシサルファイド系があり、また最近では緑の蛍光体にも種々改善が加えられるなど、多種多様である。最も多く用いられる蛍光体は、図4に示すような発光をしている。これら異なる蛍光体を用いた受像管も、局ごとに同一品種をそろえるよう努力が払われているが、実際には混在もやむを得ぬし、またさらに新蛍光体の登場も考えられる。

これらの色を統一するためには、まずホワイトバランスの調整が必要となる。従来このような調整は、やむを得ず特定の技術者の視覚にたよっていた。しかし視覚について、色の記憶というものは怪しいものであり、周囲環境の誘導を受けやすいので、数多くの失敗があった。

たとえば、蛍光灯の光（day light locus line より緑側に寄っていることが多い）に色覚恒常した熟練調整者が見たカラーモニターは、ややマゼンタぎみに見えたので、彼の眼に白く見えるよう調整した。間もなくカラーテレシネ像を送出中の担当者がこのモニターで送出像を見たら、白であるべきブラウスが緑味がかった。彼はただちにテレシネカメラのG成分を調整した。送出終了後、彼のもとに寄せられた意見は、ブラウスの色がマゼンタぎみだったということである。また別のスタジオで時代劇の収録がされていた。そのモニターに再現された女性の髪は、日頃と異なり青味がかった。V.Eは青を調整し、日頃見なれた黒髪に見えるようにした。放送当日に見られた女性の髪は赤毛に染まっていた。いずれもホワイトバランス不良のカラーモニターを正常なモニターと信じたことによる失敗例である。

カラーモニターでホワイトバランスがとれたということとは、明るい画面から暗い画面まで規定の色温度の発光

をしているということである。図5はカラー受像管のグリッド印加電圧に対する発光特性を示したもので、(a)はまったく調整されていない状態を示している。測点aは画面の暗い点、測点bは明るい点で、(a)の状態の画面は、明るい信号では緑っぽい白色、中間では白く暗い方では青っぽくなっている。

測点aの電圧(スクリーンバイアス)を合わせると、(b)のようになる。曲線の傾きは(a)の場合と同様であ

図5 ホワイトバランス調整

る。測点aの電圧を合わせるには、カラーモニターのスクリーンバイアス調整器をR, G, Bそれぞれ操作して画面を見ながらカットオフ点をきめるわけであるが、実際には良く見えないのでわかりにくい。最近のカラーモニターは、setup SWを倒して、横1本の輝線にして行なうようになっている。(b)の状態では、暗い部分がバランスしているので色はなく、明るい部分で黄緑ぎみである。

次に、B gain, G gainによって、曲線の傾きを合わせる(最近のカラーモニターは、R gainは固定されている)。(c)はこの状態で、測点a, bおよびその途中でもホワイトバランスがとれ、カラーモニターは正しく調整されたということができる。

実際には、前述のように蛍光体の相違や周囲条件、モニターの条件などがあり、図5(a), (b), (c)に述べたように電圧チェックではすまない。そこでホワイトバランスチェッカーにより光出力を測点として調整していく方式をとっている。その性能として、

- (1) どのような蛍光体にも適用できること。
- (2) 人間の色差弁別能と同等か、あるいは、それ以上の色差に対する感度をもつこと。
- (3) 必要な色温度を記憶し、測定光とのずれは較正のための指示として現われること。
- (4) 輝度、コントラストを規定できること。
- (5) 温度、電圧変動に対して安定なこと。
- (6) 小型軽量で操作が容易なこと。

などがあげられる。

(2) 原理および特性

カラー受像管のR, G, B各蛍光体の発光量を、光電素子 E_R, E_G, E_B にとり出すために、図4に示すように、色フィルターでR, G, B蛍光体の放射エネルギーを、分光特性上において可能な限り独立するようにした。斜線部は受光素子 E_R, E_G, E_B に相互干渉する部分であるが、これらの信号混入については電氣的に相互干渉を打消し、白色のなかからR, G, B単体の発光量を E_R, E_G, E_B としてとり出す方式をとった。

各カラーモニターの輝度、コントラストとが異なっていると、再現像の色の見え方が異なるので、受像管のカットオフ点と、ハイライト付近の明るい部分の2点を規定し、カラーモニターの輝度、コントラストを規定する。

明るさの基準としては、後述の“カラー調整信号”の信号100%部で、 120Cd/m^2 、75%部で 60Cd/m^2 、25%部で 3Cd/m^2 に規正し、75%部、25%部のそれぞれに専用の受光器2個をあてて測定する。ホワイトバランスチェッカーの構成図を図6に示す。Rを基準に、R-G, R-B方式を採用した。

図6 ホワイトバランスチェッカーの構成図

図7 ホワイトバランスチェッカーのモジュール前面図

受光部は R, G, B 用3種の素子を組み、16形受像管にカラー調整信号を加えたとき、調整用カラーバーの単位区画（縦6分の1、横3分の1分割の横長方形）から、光入力を充分採り入れることができ、かつ他の横長方形区画からの漏光の入りぬよう考慮したものである。受像管への取付けは、それぞれ2個のプラスチック吸着板によって簡便に取付けることができる。

螢光体の相違、明るさの相違などのあるカラーモニタ

ーを調整するために、感度決定用および相互干渉打消用定数を決定した可変抵抗器を1ブロックとして、交換可能にして解決している。チェッカーの前面下部の手前開きの蓋の中に、モジュールがあり、その前面には図7に示すような、18の目的をもったつまみがある。標準光源によって調整された標準モニターに、後述のカラー調整信号を入れて得られるカラー調整パターンに、白バランスチェッカーを取付け、図7のモジュールを校正する。モジュールは、どの測定器に挿入しても同結果が得られるように規格化されており、3種のカラー受像管を使用している

場合は、3個のモジュールが必要となる。主なる仕様を表1に示す。

4.3 カラー調整信号

(1) 輝度順カラーバーの欠点

輝度順カラーバーは、われわれなじみが深くよく知られたものである。この信号を復調すると、図8(a)に示す“R-Y”信号と、(b)の“B-Y”信号が得られる。

“R-Y”と“B-Y”を加え合わせて(c)に示すような“G-Y”信号が得られる。これに(d)の輝度信号を加えて、(e)の R, G, B 信号を作っている。クロマレベルに変動があると(f)のような青出力になり、正しい色再現はできない。(g)は位相が回転した青出力の波形である。カラーモニターの復調軸がずれている場合には、Rを正しく合わせるとG, Bがずれ、復調出力“R-Y”, “B-Y”のレベル関係が狂っている場合も同様な結果となる。

表1 ホワイトバランスチェッカーの仕様

外形	220(W)×110(H)×250(D)
重量	4.3kg (受光器アルカリ電池を含む)
測光方式	2輝度点同時測定 (各色非干渉)
指示方法	G/R, B/R比較同時指示 (零法)
指示感度	Hi: 基準の明るさの約1%変化を1目盛に読取る Lo: 基準の明るさの約5%変化を1目盛に読取る
測定輝度	明部 約 60 Cd/m ² , 暗部 約 3 Cd/m ²
周囲温度	0°C~40°C
電源	アルカリ乾電池 10個 (十各5個) AM-2 電源安定化回路使用
消費電流	+電池 約 50mA, -電池 約 60mA
電池寿命	+電池 約 40h, -電池 約 30h
受光器	分光方法: ラッテンフィルター 感光素子: CdS (可視域用) 受光面積: 60mm×15mm
モジュール	メモリーユニット

図8 輝度順カラーバー復調波形

図8の復調波形は、受像管カソードをオシロスコープを用いて観測し調整すればよいが、非常に手間がかかるので敬遠されている。通常は写真A(カラーページ)のように、青成分だけの発光(図8(e)B)にする。

この信号に、左から①～④の番号を付して考えると、クロマ量が正常ならば、①～④の各バーは同じ明るさに見え、クロマレベルが不足していれば、①～④の順に明るさが減り、クロマレベル過大の場合はその逆になる。①のバーは、白バー成分で一定であるから、他と比較すれば明らかになる。位相ずれは、①～④の明るさが交互に違ってくる。一般には、クロマ、位相ともにずれているので、両者の調整を交互に行なう。同様にして赤信号(図8(e)R)は、幅の広い2本のバーに、緑信号(図8(e)G)は、さらに幅の広い1本のバーになるが、これらについても同様なチェックをしばしば行なう。

色信号復調回路が正確であれば、1色で調整すれば図8の原理から、明らかに他の信号も正しく再現されるはずである。しかし實際上、純色を扱わず、明るさの判定

が正確さを欠くなどの問題を生じた。輝度順カラーバーには、理論的欠点はないが、運用上次のような諸問題がある。

- ① 縦バーであるため、回路の高周波特性によってオーバーシュートを生じ、隣り合うバーの境界に縁がつき、両者を正確に比較することがむずかしい。
- ② 青、赤信号は、それぞれのバーが離れているため判定の精度が落ちる。
- ③ モニターの輝度、コントラストの調整が適当でないと、回路の非直線性によって信号がひずみ、明るさによって色調が変化することがあるが、各色の明るさの差は1段階しかないので検出できない。
- ④ 黄色での調整は、膚色に近いという点で意義があるが、白バーと共に画面のコーナーに片寄っていてコンバージェンス、色純度の上からも条件が悪く、判定がむずかしい。

(2) カラー調整信号

カラー調整信号は、輝度順カラーバーの欠点を改善するために開発された²⁾もので、視覚調整には必要のない赤緑青の三原色を廃し、写真B(カラーページ)に示すように、ラスタの周辺を黒地にして、その内側へ横縞になるように、混合色であるシアン、黄、マゼンタと、おのおのの中間に白黒の部分配した。また、縦系列は3段階の階調とし、それぞれ75%、50%、25%になっており、上部の白は100%となっている。

カラー調整信号の波形とパターンの関係は図9のようにになっている。図9の②のシアン部分の波形を取り出して図10(a)に示す。(a)からクロマ成分を取り除くと(b)の波形が得られる。同じ波形の上に図9③⑤の無彩色バーの波形も記入してある。(c)はシアンのクロマ成分で、これを復調すると(d)を得る。カラーモニターでは、マトリックス回路で輝度分(ここでは(b)のシアンバー)と復調成分(ここでは(d))とを加え合わせるので結果は(e)の波形になる。

すなわち、(b)では無彩色バーのステップとシアンバーのステップのレベル差があったが、マトリックス出力(e)では、シアン信号は無彩色バーステップと重なる。(e)の波形はカラーモニターのマトリックス出力、または終段出力増幅部の緑、あるいは青回路で見た波形である。赤の回路でこの波形を見た場合には、(b)のシアンバーのステップが色度分((e)と緑の色度分との和)により打消されゼロになる。同様のことが他の部分のバーについてもいえるわけで、シアンは緑と青の混合であるから、緑と青の回路でバーのレベルが白と重なり、赤でゼロとなる。図9④(黄色)の場合には、赤と緑の回路でステップが一致し、青の回路でゼロとなる。したがっ

図 9 カラー調整信号

図 10 カラー調整信号のシアンバー
波形図 (水平成分)

図 11 カラー調整信号の復調波形
(垂直成分)

てカラー調整信号のマトリックス後の波形を垂直成分で見ると図 11 のようになる。

カラーモニターのスクリーンスイッチが R, G, B ともに ON の場合は、図 9 すなわち写真 B の状態であるが B スwitch を OFF にすると、写真 D のようになる。図 9 において、②は緑に、③④⑤は黄色に、⑥は赤になる。③と④のバーに注目してみると、③は白信号から青発光を引いた黄色で、④はもとの黄色である。③のバーに対して④のバーが明るいとき、クロマ成分が輝度成分にくらべて多過ぎることを示し、逆に暗いときは少ないことを示しているの、クロマレベルの調整を、③④の明るさが等しくなるように行なう。

写真 C (カラーページ) の場合は、色合いが緑にまわっているので、ヒュー調整をしてやれば、写真 D (カラーページ) のように正常な画面が得られる。

カラーモニターのスクリーンスイッチを切換えてみて③②、③⑤を比較してみる。モニターが正常ならば、これらのバーの間に差異は認められないはずである。もし差があるなら、輝度信号、色信号の直線性の劣化、また DG, DP のあることを判断できる。

カラー調整信号の特徴をまとめると、

- (i) 色バーと白黒バーが上下に接しているため、色相、彩度の調整が容易である。
- (ii) 色相誤差に最も敏感な黄色を中央に配置してある。黄色を完全にしておけば、膚色での大きな誤差はなくなる。
- (iii) 明度が3段階あるため、明度レベルによる色ひずみ、DG, DP の判定ができる。
- (iv) 水平バーであるため、縦バーのようなトランジ

図 12 カラー調整信号発生器系統図

表 2 輝度順カラーバー信号とカラー調整信号の比較²⁾

試験の対象	試験項目	輝度順カラーバー信号	カラー調整信号
エンコーダー	搬送色信号の振幅位相 色信号の非直線ひずみ	○ △	○ ○
伝送系	低周波サグ DP, DG	× ×	○ ○
受像機モニター受像管の調整	輝度コントラスト ホワイトバランス 色相、彩度 色同期、安定度 色復調：誤差 直線性	○ △ △ ○ △ ×	○ ○ ○ ○ ○ ○
V T R	プロセッサの色信号振幅 位相調整	△	○

○：可能，△：やや困難，×：不能

表 3 カラー調整信号の調整性能²⁾

項目	カラー調整信号	輝度順カラーバー
色相	○ ±1.5° 以内	○ ±2.0° 黄で調整 ±2.5° 青で調整
彩度	○ ±0.3 dB 以内	○ ±1.0 dB 以内
マトリックス誤差(赤)	○ 5%	△ 10%
DG, DP	○ 2°, 20% 以内	×

○：可能，△：やや困難，×：不能
テレビ技術者 6 名，16 形カラーモニター

メントの影響がなく、さらに色信号の低周波のサグの有無も判定できる。

- (v) 色ストーリーキング、遅延誤差なども判定できる。

視覚判定可能な項目についてカラー調整信号と輝度順カラーバー信号とを比較すると表 2 のようになる。

また、調整性能の点でも表 3 に示すような差が認められ、カラー調整信号の場合は、色相、彩度については、検知限以内におさえることが可能である。

図 12 は、カラー調整信号発生器の系統図である。

4.4 カラーモニターの調整

写真 2 は、カラーモニター調整に関して、較正原器などを除いた日常の

(右下) カラー調整信号発生器, (右上) ホワイトバランスチェッカー本体, (左) 調整信号を出したカラーモニターおよび受光素子

写真2 カラーモニターの調整

調整機器を配列してある。右下がカラー調整信号発生器、左が調整信号を出したカラーモニター、およびホワイトバランスチェッカーの受光素子、さらに素子のコードをたどっていくと、右上にホワイトバランスチェッカー本体がある。

カラーモニターは、室内の明るさによってその機能が大きく変化する。カラーモニターを観察する場合、2種類の目的があると考えられる。

- ① 視聴者の環境を充分考慮して、可能な限り同一のムードでモニターする。
- ② 技術的チェックが第一の目的で、機器の機能差、調整差を、よりシビアにモニターする。

NHK では、副調内部は①を中心に考えて種々の対策をすすめてきた。カラー受像機の入射光も、家庭における状態に近づけ、垂直面入射照度を 20lx に統一している。モニターの輝度、コントラストも 20lx の入射光を受けた受像管面で規正されている。

初期調整および3ヵ月程度の間隔を置いて行なう定期調整のほかは、ほぼスイッチの ON, OFF のみでよい。従来、日々調整されてきたのは、人の眼の感覚に頼っていたからであって、精度と安定性のある客観的な測定器の果たす役割は大きいことがわかった。

5. カラーカメラの調整

5.1 従来の調整法と問題点

階調調整用のグレイスケールを、スタジオの最も条件の良い場所にセットし、3台または4台のカメラでこれを撮像して調整した。次に適当な場所に都合のつく人に1名立ってもらい、4台のカメラのトーンが一致するまで調整する。さらにカメラリハーサル時に再調整、本番前に確認調整をすることが通常の手順であった。クローズドサーキット放送ならばこの方法で充分であるが、他の場所で行われる番組、あるいは、異なる番組を制作

する場合の色の統一については、いささか問題があり、また、カメラ相互の色再現の統一についても、精度が低いので何度も調整せねばならない。このような諸問題をまとめると、

- (1) グレイスケールは完全拡散面ではないので、反射光の一部は偏光される。当然カメラの撮像方向によって偏光度が異なる。また、この偏光度は照明光の方向によっても変化する。これに対して、カラーカメラの光学系は若干ではあるが、それぞれのカメラ特有の R, G, B 異なる偏光をする。したがって、カメラの階調がそろったとはいえない。
- (2) 照明光の色温度は、電圧の変化、電球の劣化、器具の汚れ具合などに左右される。電圧は給電線の長さ、負荷容量によって異なり、電球や器具の光学的働特性も、それぞれ異なるので、標準化する必要がある。
- (3) グレイスケール全面に均一な照度を与えることは事実上困難であり、また均一度を検定することも日常作業としては、煩雑で省略されてしまう。すなわち上段、下段の輝度が異なる場合が多い。
- (4) グレイスケールが汚れやすく、スタジオ相互に同一特性のものを使用することが困難である。
- (5) トーン合わせに人物を使用する場合も、グレイスケールの場合と同様であるが、登場人物とテスト人物との膚色の相違、膚特有のメタメリズムなどによる相違を生ずる。
- (6) スタジオの一部を占有し、放送用照明を使用するので、制作業務の流れを停止しなければならない。

などが考えられる。これらを解決するために、新しいカメラ調整方式をつくった。

5.2 カメラ調整用スライドボックス

スライドボックスは、実際の照明を標準化し、どんな場所でも何時でも使用できるようにしたものである。したがって、標準の照明光の分光組成と、スライドボックスの分光組成は一致しなければならない。このためには両光源の明るさ、色温度、演色性などの一致が要求され

図13 カメラ調整用スライドボックス側断面構造図

表 4 ハロゲンランプの電圧と色温度の関係

電 圧 変 化	色 温 度 変 化
-15%	-8.0%
-10%	-5.8%
- 5%	-1.8%
+ 5%	+1.8%
+10%	+3.5%
+15%	+5.0%

る。スライドボックスの構造を図 13 に示す。光源には
働程特性*のすぐれたハロゲンランプを採用した。演色
性はすぐれているので、色温度調整を電圧調整により、
明るさ調整を電球の位置移動によって行なう。電圧 V
と色温度 T の間には $V/V_0 = (T/T_0)^{2.7}$ なる関係があ
る。 V_0 、 T_0 はそれぞれ初期の値である。これを表 4 に
示す。

図 14 ハロゲンランプの各種色温度とエネルギー

表 5 ハロゲンランプの規格

型 式			J C 24 V-150 W
定 格	電 圧 (V)	24	
	消費電力 (W)	150	
初 特 性	消費電力 (W)	160±5%	
	水平光度 (Cd)	660±5%	
	色 温 度 (°K)	3500±50	
平 均 寿 命 (h)			50
ガ 球 ラ ス	形 式	T-12	
	径 (mm)	13.5max	
口 金			G 6.35-1
光 中 心 距 離 (mm)			32.0 ^{+0.0} _{-0.5}
全 長 (mm)			50max
フ ン ト ラ メ	形 状	C-6u (扁平)	
	寸 法	幅 (mm)	6.5max
		高さ (mm)	3.5max

* タングステンランプは、点灯時間とともに、フィラメントタングス
テン分子が蒸発し、わずかではあるが固有抵抗が変化する。このた
め点灯時間によって、明るさ、色温度などの変化する特性をいう。

電圧を変化させると、色温度のほかに、寿命、効率、
光束、電流、消費電力、抵抗なども変化するが、ここで
問題なのは明るさである。明るさと色温度は、電圧変化
に対してダイナミックに変化し、ほぼ図 14 のようにな
る。また、電球がわずかでも異なると、スライドボック
ス相互に差を生ずるので、ハロゲンランプの規格を表 5
のようにきびしく規定し、ランプそれぞれに容易に消滅
しない番号を付し、各 1 個ごとに測定データを添付した
ものを使用する。したがって、特別に精密測定器を使用
しないでもチェックできる範囲に管理されている。

次に、反射鏡、内面などの分光特性に選択吸収があっ
ては無意味である。そこで図 15 のような測定データに
よるチェックおよび、これを維持するための定期清掃を
行なう。

最後に、明るさのむらを解消するために、オパールガ
ラスの選定、反射鏡の調整などによって必ず ±5% 以内
に調整する。測定には輝度計を使用し、図 16 のような
方法で 9 点チェックをしておく。初期調整がすめば、反
射面、電球の管理だけで初特性を維持することができる。
カラーカメラを使用して明るさをチェックする方法
も考えられるが、光電面の感度むらのほか、種々のプロ
セスのひずみを疑わねばならないので不都合であるし、
またそこまでカラーカメラの標準化ができないので、こ
れらの方式を採っていることを忘れてはならない。

照明光の標準化は、スタジオ条件が若干異なるので、
色温度および明るさの調整は、図 17 のように別の標準

図 15 カメラ調整用スライドボックス内部の各部品の
分光特性

図 16 カメラ調整用スライドボックスの輝度測定

図 17 カメラ調整用スライドボックスの色温度、明るさの調整

光源と同一視野で、一対比較を行なう方式が採られている。グレイスケールの白の部分（透過率 76%）に近似する白紙（たとえば N 9）に、基準照度 $\times 1.25$ の照明をする。この場合の照明器具は、最も一般的な状態のものを選ぶ。これは、劣化、汚れなどによって色温度が低下するからである。また、給電回路も、最も使用するラインに、定格どおりの負荷をかけた状態を選ぶ。いずれも電圧に関係し、色温度、明るさが変わるからである。

基準照度より 25% 明るくするのは、グレイスケールをサンドイッチしているガラスのオプティカルロスを補正し、反射率 76% の反射形グレイスケール最明部に基準照明をした場合と等価にするためである。

このような照明を施した白紙面を基準として、図 17 の基準光源でのぞく。基準光源は、内面に MgO を塗布した積分球の一方に採光穴をあけ、これと直交し球心を通る軸に透し穴をあけたものである。基準光源には、ハロゲンランプが用意されており、ランプの光は採光穴に導かれ積分球内面で乱反射し、むらのない輝度板ができる。これを移動して、白紙面を透し穴からのぞく。

視野には、大円とその中心に小円が見え、大円は積分球の反射光、小円は白紙面が見える。そこで大円の明るさ、色温度が、小円のそれと目視による差がなくなるよう、基準光源に設けられた光学紋り、点灯電圧を調整し、完了後固定する。要するに、基準照明を施した白紙の状態を、基準光源の積分球に正確に移し、安定化するわけである。

やや複雑であるが、通常はこの調整を施した基準光源を使用すればよい。今度は、基準光源の透し穴からスライドボックスをのぞき、小円の中に見えるスライドボックスのオパールガラス面と大円の中の色温度、明るさ

が一致するようスライドボックスの点灯電圧、電球位置を調整する。さらに、透し穴を通して、オパールガラス面の全体を比較したり近づいて各部分を調整したりして、いずれのポイントにおいても色温度、明るさを一致させたのち、スライドボックスの電圧調整器、電球位置を固定する。以後は定期的に清掃を行なうだけですむ。

5.3 カメラ調整用スライド

(1) スライドの種類

カメラ調整用スライドには次の 3 種類がある。

- ① レジストレーション調整用スライド
- ② グラデーション調整用スライド（グレイスケール）
- ③ トーン合わせ用スライド（標準カラースライド）

などがあるが、①は色再現に直接関係ないので、ここでは省略する。

(2) グレイスケール

グレイスケールは、可視域の分光透過率がフラットになるよう、黒化銀の大きさ、形状、分布などに留意したものである。

表 6 は、グレイスケールの濃度表で、許容誤差は、0.001 以内に管理されている。記入の都合で縦横を逆にしてあるが、上段、下段の白と同じものを中央においたのは、パラボラシェーディングを見やすくするためである。スライドボックスの輝度管理とグレイスケール管理を厳密に行なうことが、カラー調整の基本となる。グレイスケールには、FSS 調整用、テレシネ調整用などがあるが、省略する。

(3) 標準カラースライド

カラーカメラの色再現は膚色再現を中心に考えるべきであることは前に述べた。実際の膚色を図 18 に示す。

表 6 カラー用グレイスケール濃度表

0.65 (22.4)		0.65 (22.4)
1.67 (2.1)		0.12 (75.8)
1.32 (4.7)		0.21 (60.2)
1.10 (8.0)		0.30 (50.0)
0.90 (12.6)		0.38 (41.7)
0.76 (17.3)		0.49 (32.3)
0.61 (24.5)	0.12 (75.8)	0.61 (24.5)
0.49 (32.3)		0.76 (17.3)
0.38 (41.7)		0.90 (12.6)
0.30 (50.0)		1.10 (8.0)
0.21 (60.2)		1.32 (4.7)
0.12 (75.8)		1.67 (2.1)
0.65 (22.4)		0.65 (22.4)

許容差 ± 0.01

() 内は透過率

図 18 種々の分光特性 (実測値)

(a)に男性膚の分布, (b)に女性膚の分布をまとめた。また, 顔の部分によっても色が異なるので, (c)に頬と額の实测値および代表的な化粧品を塗った場合の色のずれなどをまとめた。

カラーテレビのメイクアップは, 次のような目的で行なわれる。

- (i) カラーテレビの色再現が良くなるよう標準化する。
 - (ii) 番組の目的に応じた性格づけを行なう。
 - (iii) 膚のもつ欠点が見えないように手を加える。
- (ii), (iii)は専門的であるが, (i)についてはおよそ

表 7 NHKメイクアップの一般例

顔色タイプ		男 性	女 性
青 白		7N	4N, 5N, 4W
赤 白		6N, 7N	4N, 5N
黄 白		7N, 626 併用	ディープオリーブ, 4W
青 み		6N, 626 併用, 7N	ディープオリーブ
赤 み		6N, 7N	4N, 5N 併用
普 通		7N	4N, 5N, 4W
浅 黒		7N, 626 併用	4N, 6N
赤 黒		6N, 7N または 626D T ₂	4N, 6N
茶 黒		6N, 7N または 626D T ₂	4N, 6N または 626D をうすく

記号はマックスファクター化粧品を示す。

の普遍性があり, ほぼ表 7 のように行なわれる。この場合の女性の標準例を図 18(d) に示す。

カラーカメラの使命は, 当該照明の光を撮像した場合の光の強弱にかかわらず, 出力は次の式において $E_r = E_g = E_b$ でなければならない。

$$E_r = \frac{K_r \int P(\lambda) \rho(\lambda) V_r(\lambda) d\lambda}{\int P(\lambda) V_r(\lambda) d\lambda}$$

$$E_g = \frac{K_g \int P(\lambda) \rho(\lambda) V_g(\lambda) d\lambda}{\int P(\lambda) V_g(\lambda) d\lambda}$$

$$E_b = \frac{K_b \int P(\lambda) \rho(\lambda) V_b(\lambda) d\lambda}{\int P(\lambda) V_b(\lambda) d\lambda}$$

ただし, $P(\lambda)$: 光源の分光組成

$\rho(\lambda)$: 被写体の分光反射率

$V_r(\lambda), V_g(\lambda), V_b(\lambda)$: カラーカメラの特性

K_r, K_g, K_b : 変換効率

右辺, 分母を (λ) について微分した値を表 8 に示す。光源は 3000°K ハロゲンランプの分光エネルギー分布と 12PS 形カラーカメラのテーキング特性から算出したものである。 ρ の欄に被写体の分光反射率を代入し計算すれば, 被写体のカメラ出力 E_r, E_g, E_b を得る。

表 8 3000°K ハロゲンランプにバランスしたカラーカメラのテーキング特性の代表例

λ	P 3000°K V_b	P 3000°K V_g	P 3000°K V_r	ρ
400	0.004			
10	0.036			
20	0.100			
30	0.129			
40	0.148			
50	0.164			
60	0.171			
70	0.142	0.005		
80	0.072	0.026		
90	0.008	0.054		
500	0.016	0.087		
10	0.008	0.115		
20	0.004	0.148		
30		0.170		
40		0.145		
50		0.105		
60		0.076	0.001	
70		0.048	0.006	
80		0.016	0.079	
90		0.004	0.149	
600		0.001	0.156	
10			0.142	
20			0.120	
30			0.100	
40			0.079	
50			0.062	
60			0.045	
70			0.031	
80			0.018	
90			0.010	
700			0.002	
Σ	1.000	1.000	1.000	

ρ に, 図 18(d) 女性を選び,

$$X=0.6061E_r+0.1737E_g+0.2000E_b,$$

$$Y=0.2958E_r+0.5872E_g+0.1143E_b,$$

$$Z=0.0662E_r+1.1141E_b,$$

なる式で導けば, 受像管の蛍光体の三原色色度が NTSC 方式の原点と一致している場合の色度 (図 18(d)) が得られる.

カメラ調整に使用する標準カラーズライドは, 写真 E

図 19 膚色とスライドの比較

図 20 標準カラーズライドのイメージ

(カラーページ)に示すようなものであるが, 膚の分光透過率の標準が, 図 18(d) スライド曲線のように管理されているので, これを表 8 の ρ 欄に記入し前記計算を行なうと, 図 19 に見られるように, スライドの膚色, 人物の代表膚色が, 肉眼では異なるが, 再現色では一致するようになる. 図 18(e) は, 標準カラーズライドの細部の分光透過率特性である. このスライドでカメラの最終調整を行なえば, 膚色中心の色再現は現業的に標準化される. ただし, スタジオ照明光源を実測してみると, 図 18(f) の範囲に分布しているので, 若干の差はあるが, 実際に気づくほどではない.

標準スライドは毎日監視するものであるから, 一応美的に耐えるものでなければならない. NHK の技術者が数十回のシャッターを切った後にまとめ上げたものである. このスライドの印象を見玉の方法³⁾によってイメージ調査した結果が図 20 である. 当初の目的をほぼ満足していることに注目されたい.

5.4 スライドビューアー

このようにして再現された映像は, 写真 F (カラーページ) にみられるように, 別に設けられたビューアー用スライドと比較される. この方式によるチェックは, 全国どこにおいても実施できるよう計画が進行中である.

標準カラーズライドを装填してカラーモニターと並べ

て置き、視感比較によってビューアのスライドとカラーモニターの再現像が一致するよう、膚色再現微調整を中心とするカメラのトーン調整を行なう。これにより、調整者の好みによって調整されていたものが標準化された。

このビューアは、色温度、輝度、高演色性の3特性が主となる。

- ① 色温度：モニターの標準白色に合わせて、 D_{9300} とした。
- ② 輝度：中心輝度 $205 \pm 20 \text{ Cd/m}^2$ 、輝度むら 5% 以内に調整する。
- ③ 演色性：光源には高演色性 ($R_a 98$) の純正色蛍光ランプ3本と、色温度変換フィルター、拡散フィルターを組合せ、図 21 のような分光エネルギー分布を有する光を得ている。

色温度変換フィルターの実用的寿命は 1000 時間であり、この時点でランプ、フィルターともに交換するようにしている。

5.5 ビューア用スライド

ビューア用カラスライドは、膚色を図 19 の再現色点 ($x=0.374$, $y=0.344$, $Y=0.357$) と一致するようにプリントしたものである。

表 9 カラスライドの濃度規格 (フジP型濃度計による)

スライド 測定点	カメラ調整用スライド				ビューア用スライド			
	R	G	B	ばらつき	R	G	B	ばらつき
エリ	0.26	0.20	0.25	± 0.04	0.24	0.18	0.22	± 0.04
膚	0.36	0.60	0.74	± 0.05	0.33	0.51	0.60	± 0.05
髪	2.04	2.22	2.22	± 0.10	1.89	2.03	2.00	± 0.10

表 10 標準カラスライド (ビューア用) の輝度
(単位: Cd/m^2)

	平均輝度	最大輝度	最小輝度	最大/最小
ワイシャツのえり	120	127	112	1.13
頬	74	84	65	1.29
髪つや部	7	9	7	1.29
髪暗部	4	5	4	1.25
バック	26	31	21	1.48
花	10	13	10	1.30

カメラ調整用スライドを含めて表 9 の濃度の規格になるよう、露光、焼付、現像の精度高い管理を行なっている。また、経時変化として表 9 の範囲を保つには、ほぼ 1000 時間 (約 1 年) で交換する必要がある。

ビューア用スライドの明るさは、カラーモニターの受像管の機能によって変えねばならぬが、現状では表 10 の値を標準にしている。

6. む す び

以上に述べたカメラ調整システムを採用して以来、ばらばらであったカラー放送の色がようやく統一されてきた。まだ精度を上げるためには、不十分なものもあれば不要なものもあると思われる。

この方式の実現のために、多くの実験と提案をしていただいた全国の技術者諸兄ならびに、困難を克服して協力してくださったメーカー諸氏に深く感謝したい。

〔参 考 文 献〕

- 1) 納谷ほか：カラー受像管用白色標準器の開発，テレビ誌，24，2 (1970) 116-124
- 2) 沼口，藤井：カラー調整信号，NHK技研月報，9 (1968)
- 3) 児玉：膚色の実際とイメージ，テレビ誌，24，6 (1970) 448-459

写真A 従来のカラーバーによる彩度、色相調整

写真D 新カラーバーによる彩度、色相調整(調整後)

写真B 新カラーバー画面(R,G,BともON)

写真E カメラ調整用標準スライド撮像
(右側はカメラのレンズマウント)

写真C 新カラーバーによる彩度、色相調整(調整前)

写真F 標準スライド(右)とカラーモニター
画面(左)との比較