7-2 光 学 系

富士写真光機株式会社 安 藤 邦 郎

1. ま え が き

最近のテレビ用光学系の発達については、G. H. Cook¹⁾が、テレビ用ズームレンズについては、高野²⁾、K. Macher³⁾が、最近くわしい解説をしているので、本稿では、これらと内容が重複することを避けて、最近特に開発の著しい単管式カラーカメラ、2管式カラーカメラ用の光学系、およびこれらの光学系に用いられている色信号サンプリング用ストライプフィルター、オプティカルローパスフィルターに重点を置いて、カラーカメラ用の光学系について述べる。

2. 色 分 解 光 学 系

基本的な3管式カラーカメラの色分解光学系は、プリズム型と、リレーレンズ型に大別できる。

プリズム型のものは、いわゆるフィリップス型と呼ばれるものによって代表され、優れた特徴を持っており⁴⁾、現在では広く用いられている。一方、リレーレンズ型は古くから多くのカメラに使用されており、これまではプリズム型にくらべて、透過率、解像力等で不利とされていたが、多層反射防止膜技術の向上と、設計技術の向上によって、現在では光学特性上ではあまり差がないものが出るようになってきている。またリレーレンズ型は、プリズム型にくらべカメラが大型になるとされていたが、最近リレーレンズ型を小型化する開発が意欲的になされており、かなりの成果が上っている。

その一例として、写真1に示すような光学系が開発されている。これは、1インチ用、 $F2$ の明るさを有する撮像管平行配置型のものであるが、フィールドレンズから撮像管の結像面まで約115mmと全長を著しく短くし、R、G、B各チャンネルの結像面が、ほぼ同一面に来るようにしたものである。

またポータブルカメラのように、全体を特に小さくまとめるために、ズームレンズと色分解光学系を一体化したのも開発されている⁵⁾⁶⁾。

撮像面多重利用の技術を用いた、単管式カラーカメラ、2管式カラーカメラでは、色分解光学素子として、色信号サンプリング用ストライプフィルターが用いられ

写真1 全長を短くしたリレーレンズ型色分解光学系

図1 ストライプフィルターの使用例

る。

ストライプフィルター使用の方法は、図1に示すように、光学系中に結像面を設け、ここにストライプフィルターを挿入し、ストライプフィルターをリレーレンズで撮像管に結像させる①リレーレンズ型と、ストライプフィルター面上にネサ膜、光導電層を直接形成して撮像管を作る②フィルター内蔵型⁷⁾、撮像管のフェースプレートにオプティカルファイバープレートを用い、その外部にストライプフィルターを密着させた③フィルター密着

テレビジョン

“7-2 Optical System” by Kunio Ando (Fuji Photo Optical Co., Ltd., Saitama)

図2 2管式カラーカメラの光学系の例

型⁷⁾があり、①、②、がよく使われている。

①に用いるリレーレンズは、1:1の結像で、実効的に $F2$ 位の明るさを必要とし、高解像力が要求されるため、ガウスタイプのものがよく用いられる。特に単管式カラーカメラにリレーレンズ型を用いる場合には、異なった分光特性のストライプフィルターを、高解像力で結像する必要があるため、リレーレンズの色収差のバランスには特に留意しなければならない。

図2はストライプフィルター内蔵撮像管を用いた2管式光学系の例を示したものである。図のように、光路中にダイクロイックミラーを配置する場合には、ダイクロイックミラーの支持体が、ガラスのように比較的厚い場合には、ミラーを透過した像は非点収差のために劣化するので、緑または輝度信号は反射でとり出す必要がある。

ダイクロイックミラーの支持体にマイラーのように薄いものを用いる場合には、反射の像は透過の像にくらべて劣化する可能性が高いので、緑または輝度信号は透過でとり出すほうが良い結果が得られる。ただしマイラーなどを支持体に用いた場合は、支持体に剛性がないため、支持体の片側に緑透過のダイクロ膜をつけると膜が厚くなり、膜にき裂を生じる場合などがあり問題が残るので、輝度信号透過で使用するか、支持体の両側にダイクロ膜を形成し緑透過特性を持たせるようにする必要がある。

これら、単管式カラーカメラ、2管式カラーカメラ用の光学系は、いずれもストライプフィルターと光学ローパスフィルターを必要とするが、これについては以下に詳しく述べる。

3. ストライプフィルター⁸⁾

単管式や2管式カラーカメラの光学系には、その撮像方式によって種々の構造のストライプフィルターが使用されるが^{8)~10)}、現在ではストライプの線幅は $15\mu\text{m}$ 以上、精度 $2\mu\text{m}$ 位のものまで製作可能である。表1に、代表的な種々のストライプフィルターの例を示す。

ストライプフィルターを、構成する材質で分けると、

表1 種々のストライプフィルターの例

Type	形 状	用 途
単色平行型	黄またはシアン1色の縞模様	2管式に使用、1管でY*または緑をとり、他の1管にストライプを使用して、青、赤を取り出す。
2色交差型	黄、シアン2色の縞模様	単管周波数分離方式に使用
3色平行型	青、緑、赤の縞模様	単管位相分離方式に使用
3色交差型	黄、マゼンタ、シアンの縞模様	単管周波数分離方式に使用(位相分離機能もある)
3色平行型	黒、赤、青の縞模様	2管式に使用、1管でY*または緑をとり、他の1管にストライプを使用して、青、赤を取り出す
4色平行型	黒、青、緑、赤の縞模様	単管位相分離方式に使用、黒 index を光学的に作る

* 輝度信号の Y

ダイクロイック膜型、色素型、ダイクロイック膜と色素の混合型¹¹⁾に分けることができる。有機色素を用いた色素型のストライプフィルターは、量産性、コスト、分光特性の面で有利な点も多いが、耐熱、耐湿、退色性等に問題が残る、光の利用効率もあまり良くない。色素型のものを撮像管に内蔵する場合には、特に注意を払う必要がある。色素型のものは、イエローなどは退色に対して比較的強いが、シアン、ブルー、グリーンなどはあまり強くないので、使用するときはこの点に注意すべきであろう。

一般にダイクロイック膜は¹²⁾、 MgF_2 、 ZnS 、 SiO_2 、 TiO_2 などの物質を多層に真空蒸着してつくるが、ストライプフィルター用のダイクロイック膜は、フォトリソエッチングによって縞状に加工されるので⁸⁾¹³⁾、使用する蒸着物質に制約を受け、分光特性を理想的なものに合わせることは困難である。図3には、赤(R)、緑(G)、青(B)図4には、黄(Y)、マゼンタ(M)、シアン(C)、のストライプフィルターの分光特性の一例を示す。

ストライプフィルターをリレーレンズを介して使用する場合には問題を生じることはあまりないが、撮像管に内蔵して使用する場合には、ストライプフィルターにネサ膜、光導電層をつける必要があるため、この工程のためにいろいろな問題が生じる。ストライプフィルターに

図3 R, G, Bのストライプフィルターの特性例

図 4 Y, M, C のストライプフィルターの特性例

ネサ膜をつけた場合、熱履歴や、ネサ膜の光路長によって分光特性が変化する場合があるので、注意しなければならない¹⁴⁾。一般的にネサ膜をつけた場合、分光特性は十数 nm 程度、短波長側に移動することが多いようである。

またストライプフィルターは、その表面に凸凹があるため、直接にネサ膜をつけ、その上に光導電層をつけると、面の凸凹のため撮像管の特性に傷などの悪影響を与えるので^{15)~17)}、ストライプ部をガラス基板に埋込んで凸凹をなくす方法¹⁷⁾や、ストライプフィルターとネサ膜の間に数 μm の厚さの透明な薄膜のインターレーヤーを形成する方法¹⁵⁾、さらにこのインターレーヤーを研磨して表面を平坦にする方法¹⁸⁾が提案されており、実用化されているものでは良い結果が得られている。

撮像管内蔵用のストライプフィルターに関しては、傷や、特性の安定化、インターレーヤー形成の技術など、種々の問題を持っており、今後さらに技術の向上が必要とされている。

4. オプティカルローパスフィルター

色信号サンプリング用ストライプフィルターを用いた単管式、2管式カラーカメラでは、取扱うことのできる絵柄の細かさはサンプリング周波数に関連して決まり、それ以上の高空間周波数成分が含まれると偽信号発生の原因となる。このため実際のカラーカメラでは被写体情報の高空間周波数成分を制限する、オプティカルローパスフィルターが必要となる¹⁶⁾。現在よく用いられているものには、レンチキュラーレンズ、水晶、位相フィルターなどがある。

レンチキュラーレンズによるオプティカルローパスフィルターは、レンチキュラーレンズによるほけを利用したもので、フィルターの設置位置を決めれば、ストライプフィルターのピッチに応じて、レンチキュラーのピッチ、曲率を適当に選択することで必要な特性をある程度得ることができる。図 5 は 2 管式カラーカメラの光学系

図 5 レンチキュラーによるローパスフィルターの特性例

図 6 水晶によるローパスフィルターの特性例

に使用されているものの特性の一例を示したものである。レンチキュラーレンズは、このようにオプティカルローパスフィルターとして比較的良い特性を有し、価格も安いので、現在では比較的多く使用されている。

水晶によるオプティカルローパスフィルター¹⁶⁾は、水晶の持つ複屈折を利用したもので、厚さでローパスフィルターとしての特性を変えることができ、低空間周波数成分域での MTF が高いという優れた特徴を持っており、FIC ビジコン¹⁶⁾などに使用されているが、原料、量産性に問題が残っている。図 6 に単管式カラーカメラ光学系用に作られた水晶によるオプティカルローパスフィルターの特性の一例を示す。

この他によく用いられるものに位相フィルター^{19)~24)}がある。位相フィルターは、インコヒーレント光に対してレンズの MTF が瞳関数*の自己相関関数であることに注目し、位相差を与える縞状の薄膜を透明な基板上に形成し、これを瞳関数の変る場所に挿入することによって、レンズの瞳関数の位相項を変えてローパスフィルターの特性を持たせるようにしたものである。

* 瞳関数：射出瞳における、光の振幅透過率と波面の状態を示す関数で、収差その他の影響によって瞳関数が変化すると、光学系の結像性能が変わる。

図 7 位相フィルターによるローパスフィルターの特性例

したがって、位相フィルターによるオプティカルローパスフィルターは、本質的に波長によって特性が変わるといふ色選択性を持っている。

レンチキュラーレンズ、水晶によるオプティカルローパスフィルターは、このような色選択性を持たないため、すべての色光に対してローパスフィルターとして働いてしまうので、緑の帯域の解像力を高めた単管式カラーテレビ撮像方式の光学系には適していないが、位相フィルターはこの点を解決できるので、最近開発が盛んに行われている。

図 7 は、複数の位相差を与える縞状の薄膜をランダムに形成することによって、特定波長 (G) に対しては鮮鋭な結像を行い、それ以外の波長に対してはローパスフィルターとして働く位相フィルターの特性の一例を示したものである²²⁾。

この他、色選択性を持ったオプティカルローパスフィルターには、液体中に分散の異なった固体粒子を散在させたクリスチャンゼンフィルター²⁵⁾を応用したものもあるが、温度に対する安定性、特性の任意性に欠けるために実用化は困難で、ほとんど使用されていない。

5. む す び

現在では、3 管式光学系、ズームレンズ等は技術的にかなり高い水準に達しており、新しい光学材料、非球面等の加工技術の進歩や、天才的な着想がなければ、飛躍的な発展はむずかしいと考えられる。一方、単管式、2 管式カラーカメラ用の光学系に用いられる、ストライプフィルター、オプティカルローパスフィルターなどは、

現在まだ開発途上にあり、多くの解決すべき技術的な問題をかかえているので、これらに重点を置いて述べたが、本文が今後の開発にわずかなりとも参考になれば幸いである。
(昭和 49 年 7 月 1 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) G. H. Cook: Recent development in television optics, The Royal Television Society J., Jan./Feb. (1973) 158-167
- 2) 高野栄一: テレビジョン用ズームレンズの現況, テレビ誌, **28**, 3 (1974) 178-185
- 3) K. Macher: New Design Principle for High-Ratio Zoom Lenses, J. SMPTE, **83**, 1 (1974) 39-43
- 4) H. de Lang & G. Bouwhuis: Color Separation in Color-Television Cameras, Philips Tech. Rev., **24**, 9 (1962/63) 263-271
- 5) 吉本琢也: 高機動性カラーテレビカメラの動向, 昭48年電気四学会連大〔8〕
- 6) 安藤邦郎: カラーテレビ撮像用光学部品, 昭48年電気四学会連大〔8〕
- 7) 江藤, 日比: 高解像度単管カラーカメラ, テレビ誌, **26**, 5 (1972) 381-387
- 8) 樋口 武: ストライプフィルターについて, 映像情報, **4**, 1 (1972) 33-36
- 9) 長原脩策: 撮像面多重利用カラーテレビカメラの現状と動向, 昭48年電気四学会連大〔8〕
- 10) D. H. Prichard: Strip-Color-Encoded Single-Tube Color Television Camera Systems, RCA Rev., **34**, June (1973) 217-266
- 11) 特開昭49-14031
- 12) 日本放送協会編: カラーテレビジョン, 第5章, (5・7・5) (昭和40年)
- 13) Y. Takemura, et al: Compact Color Television Camera, J. SMPTE, **82**, 1 (1973) 12-16
- 14) 舟橋ほか: ストライプフィルター内蔵管を使用した小型カラーカメラ, テレビ全大, 4-1 (1971)
- 15) 大竹ほか: 単管カラービジョンにおけるフィルター内蔵上の問題点, テレビ全大, 3-13 (1973)
- 16) 長原ほか: 周波数多重化単管カラーカメラの開発, テレビ誌, **26**, 2 (1972) 104-109
- 17) 舟橋ほか: 2 管式小型カラーカメラ, テレビ学会方式回路研究 No. 31-2
- 18) 特開昭48-29319
- 19) 佐柳和男: Optical Noise Filter, 応物, **27**, 10 (1958) 623-632
- 20) R. L. Townsend: Spatial-Frequency Filter for a Kell-Type Color Camera, Appl. Opt., **11**, 11 (1972) 2463-2472
- 21) M. Mino & Y. Okano: Optical Low-Pass Filter for a Single-Vidicon Color Television Camera, J. SMPTE, **81**, 4 (1972) 282-284
- 22) 桜井ほか: 位相雑音の波長依存性高域遮断フィルターへの応用, 光学, **2**, 6 (1973) 354-358
- 23) 特開昭48-26328, 特開昭48-27743
- 24) 佐藤ほか: 単管式カラーカメラ用光学低域フィルター, テレビ全大, 4-2 (1973)
- 25) S. Y. Chai: An Imaging System Exhibiting Wavelength-Dependent Resolution, Bell System Tech. J., Jul./Aug. (1969) 1885-1907