

カラーテレビカメラ用フィルタ内蔵ビジコンの開発

Development of Filter Integral Color Vidicon

最近、産業界・教育界、及び一般家庭において色情報を加えることによる伝達情報量増大の要求が大きくなってきている。この要求を満たすものとして、撮像管数を極力減らしたカラーテレビカメラが小形軽量で取り扱いや保守が容易なうえに価格も安くできるため、大きな役割を果たしつつある。カラーテレビカメラにおいて撮像管数を減らすためには、撮像管の光電変換面で色信号の多重化を行なうストライプ状色フィルタが使われるが、このフィルタを内蔵した撮像管FICビジコン(Filter Integral Camera Tube Vidicon)を開発し、製品化に成功した。小形カラーテレビ方式、ストライプ状色フィルタ内蔵上の問題点、各種日立FICビジコンの特徴、特性、実用例、及び今後の展望について述べる。

信時三郎* Saburô Nobutoki
 藤田 努* Tsutomu Fujita
 酒井英之* Hideyuki Sakai
 大竹 充* Mitsuru Ôtake
 香西甲矢夫** Hayao Kôzai

1 緒 言

従来、テレビカメラは、いわゆる工業用テレビの名のもとに広く使用されてきたが、特に医学教育、企業内教育、炉内温度監視、化学変化の色による追跡、望楼監視、駐車場監視など、色情報による情報量の増大が期待される使用先でそのカラー化が強く要望されている。これにこたえるには、小形・軽量で取り扱いや保守に容易なカラーカメラの出現が必要なこととは言うまでもない。

カラーカメラはテレビ放送を母体として発展してきたため、画質を重視し、色信号別に独立した撮像管を用いる多撮像管方式が主流である。この種のカラーカメラでは、3本ないし4本の撮像管の特性を厳密に合致させるための調整が極めて煩雑で、この見地からも汎用カラーカメラにおいて撮像管の数を減らす試みが続けられてきた。

そのための有効な手段として、筆者らはストライプ状色フィルタを内蔵した撮像管“Filter Integral Camera Tube”(以下、FICビジコンと略す)を開発し、その製品化に成功した。

ストライプ状色フィルタ内蔵上の問題点を中心に、日立FICビジコンの特徴、特性、及び実用例につき述べる。

2 小形カラーテレビカメラ方式の概要

従来の多管式カラーカメラでは、三原色の各色像がそれぞれ別個の撮像管により撮像されるのに対し、単一ないし二撮

像管式カメラ(以下、単管式・二管式カメラという)では、なんらかの方法で撮像面の多重利用、すなわち一つの撮像管から二つ以上の原色信号を分離発生できることが必要である。多重利用の方法には実に多岐にわたる方式が提案されているが、今回開発された日立FICビジコンは、いずれも周波数分離方式に属している。現在の市場においても大半はこの方式によって占められている。次に周波数分離方式カラーテレビカメラの原理概要について述べる⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。

いま図1に示すように左方の被写体をレンズで撮像面に投影したとき、撮像面の直前に例えば赤色光だけをしゃ断するストライプ状のフィルタを挿入すると、画像のうちの赤色光のある部分だけはストライプ状に寸断される。こうしてできた画像を図2に示すように電子ビームがストライプを横切るように走査すると撮像管の出力Eは、

$$E = \frac{1}{2} E_R + \frac{1}{2} E_R \sin 2\pi f_R t \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここで E_R は赤色光により撮像管に発生する映像信号成分、第2項は周波数 f_R を搬送波とした信号要素であり、撮像面の走査幅を W 、赤しゃ断ストライプフィルタのピッチを p_R 、有効水平走査時間を T としたとき、 $f_R = W \cdot T^{-1} \cdot p_R^{-1}$ で与えられる。(1)式の第1項の信号中の周波数 f_R をもつ成分を無視できたとして、周波数 f_R 成分、すなわち第2項を回路処理で分離すれば赤色信号が得られる。撮像面上に更にピッチ

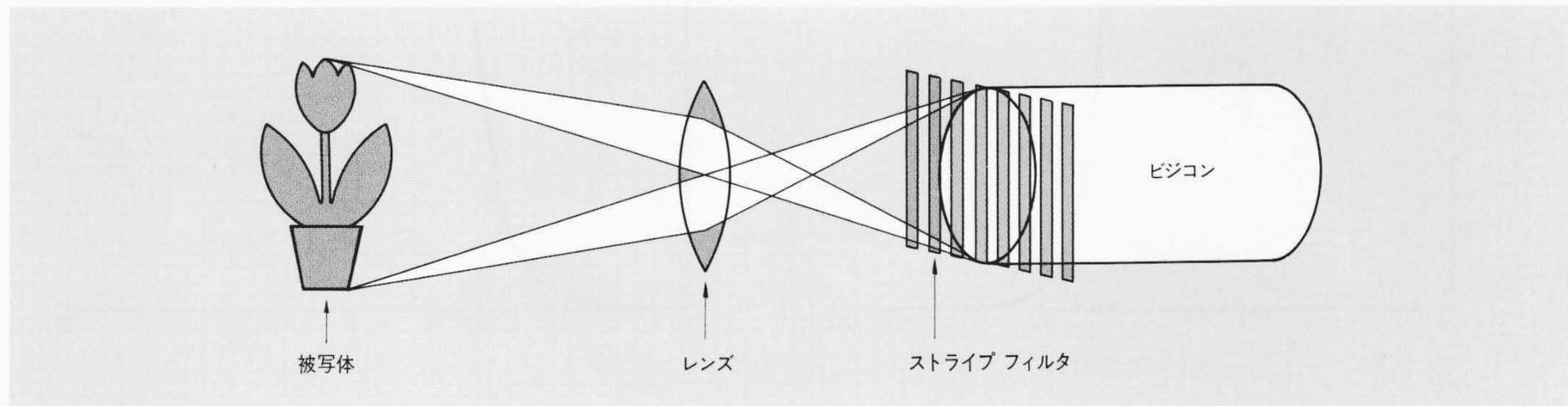


図1 原理説明 被写体像はストライプ フィルタによって各色ごとにサンプリングされる。

* 日立製作所電子管事業部 ** 日立製作所茂原工場

の異なる青しゃ断ストライプ フィルタも重ねておけば、 f_B を搬送波とした青色信号が得られる。この場合赤・青・緑各色光が混在する被写体から得られる撮像管出力 E は、

$$E = \underbrace{E_G + \frac{1}{2}E_R + \frac{1}{2}E_B}_{\text{基本映像信号}} + \underbrace{\frac{1}{2}E_R \sin 2\pi f_R t}_{\text{赤の搬送波成分}} + \underbrace{\frac{1}{2}E_B \sin 2\pi f_B t}_{\text{青の搬送波成分}} \dots\dots\dots(2)$$

となる。

この信号中の基本映像信号は、テレビの解像度特性要求から $0 \sim 3\text{MHz}$ 程度の帯域をもつので、その通過を許す低域通過フィルタで分離し、色搬送波成分はそれぞれ f_r, f_b (通常 $3.5 \sim 5\text{MHz}$ に選ばれる) の通過を許す帯域通過フィルタで分離する。以後の信号処理の幾つかの例を後出の表1のブロックダイアグラムで示す。

上述したように、色信号を搬送波に載せて分離する方式が簡易カラーカメラでは広く採られているが、色像をコード化するものがストライプ フィルタであり、それをビジコン形撮像管に内蔵したものがFICビジコンである。

3 FICビジコンの諸問題

3.1 面板構造

上述した色分解用ストライプの色特性は、カラーテレビの三原色である赤・緑・青、あるいはそれらと補色関係にあるシアン・マゼンタ・黄色の中から選ばれる。図3に2.で例述したシアンフィルタ、及び黄色フィルタの色特性例を示す。このフィルタとして一般には干渉ダイクロイック フィルタによる赤反射、及び青反射フィルタが使われる。ストライプは幅が $20 \sim 60\mu$ 程度であり、有効面に $100 \sim 300$ 本平行等間隔に配置されている。二管式カメラ用フィルタを図4(a)に、単管式カメラ用フィルタの一例を同図(b)に示す。前者は1種類のストライプから成り、後者は2種類のストライプが交さされて配置されている(以下、このタイプを交さ型フィルタと称する)。

ストライプ フィルタは一般に厚さ約 1μ の干渉フィルタをホトエッチングにより細線化したもので、その表面構造を電子顕微鏡写真で見ると図5に示すように大小さまざまな凹凸

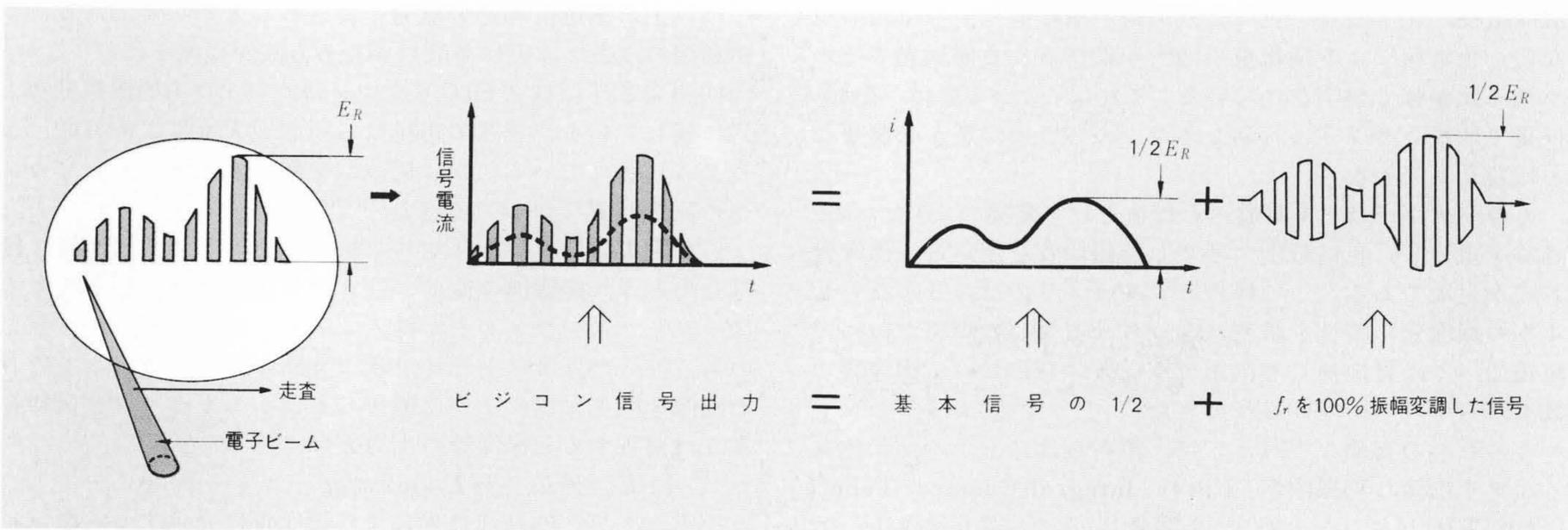


図2 FICビジコンの出力信号構成 一例として、赤反射ストライプによりサンプリングされた光情報が、電気信号に変換された波形を示してある。

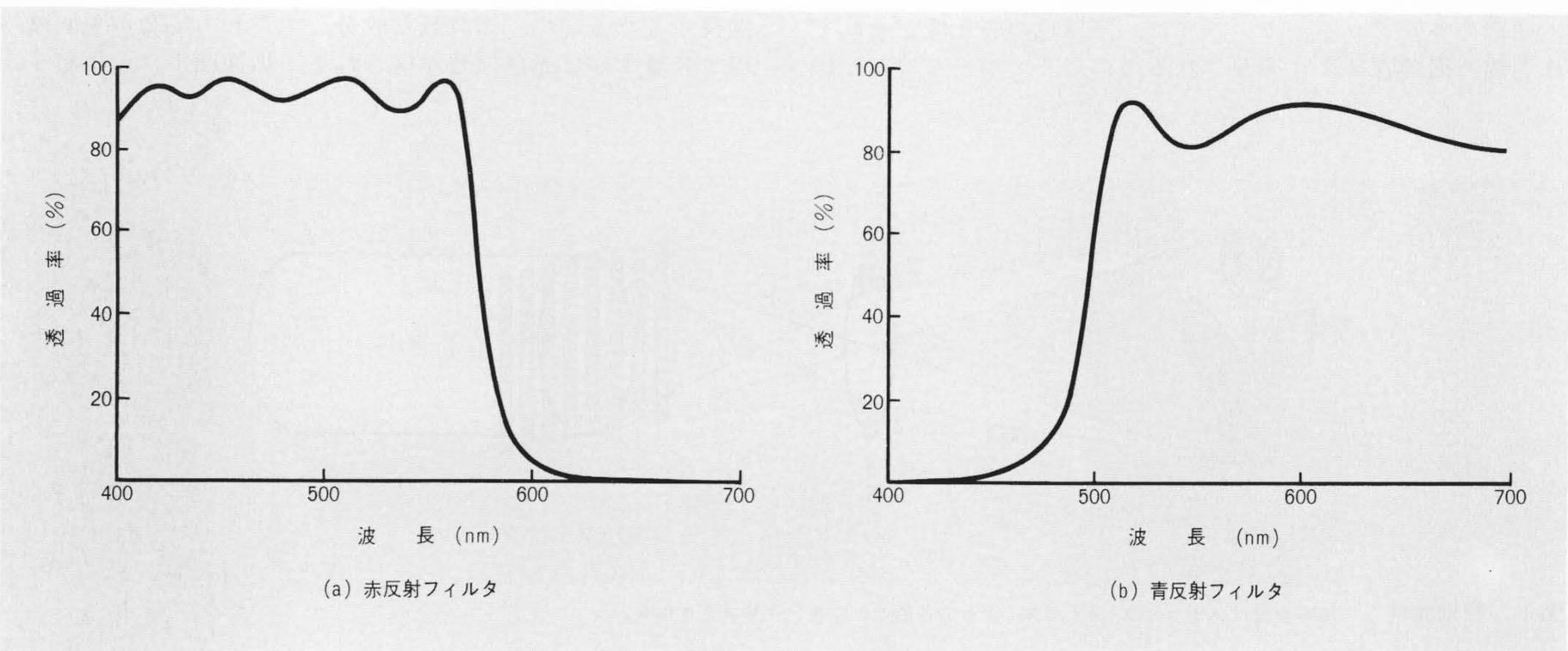


図3 フィルタの分光特性 主に周波数分離方式に使われている赤反射(シアン)、及び黄色(青反射)フィルタの例を示す。

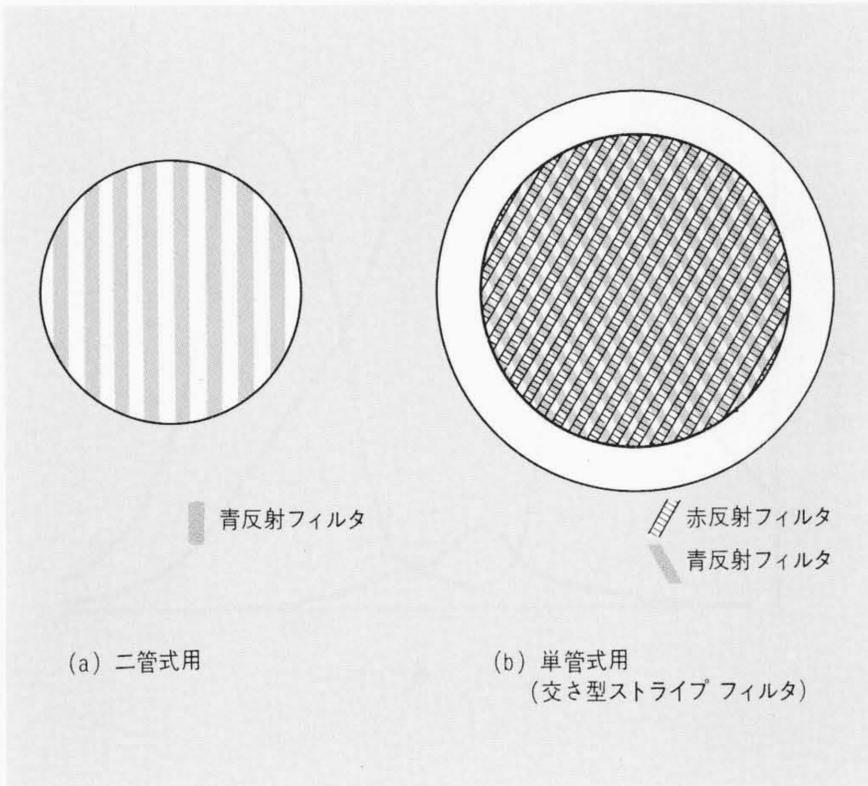


図4 ストライプフィルタの構造 単管式、二管式周波数分離方式用撮像管に内蔵されるストライプフィルタの構造を示す。

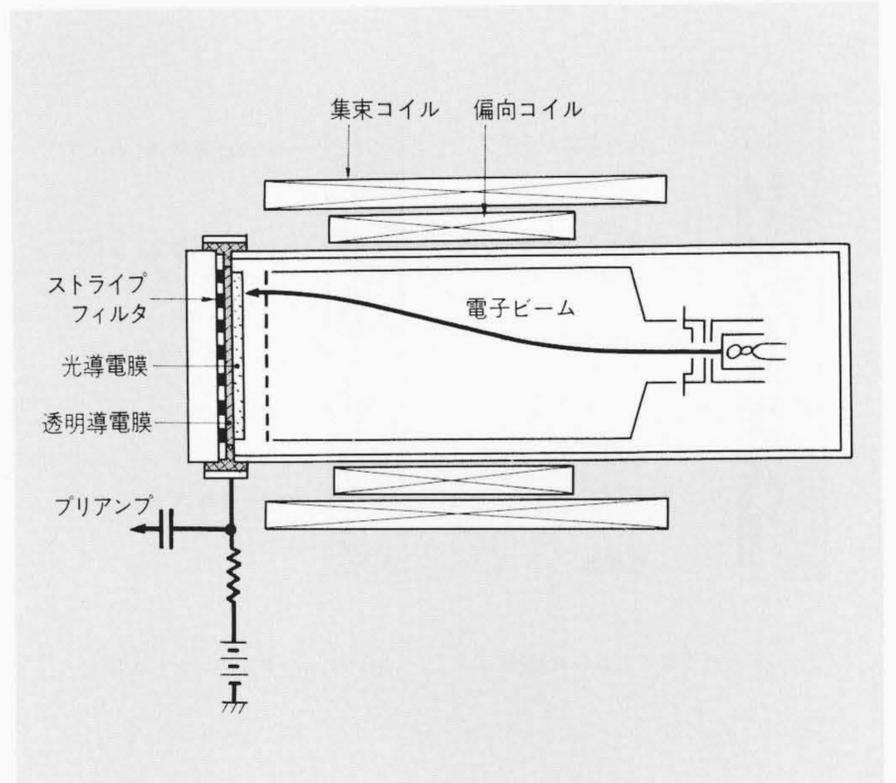


図6 FICビジコンの構造例 メッシュセパレートタイプビジコン8541Bにストライプフィルタを内蔵した構造例を示す。

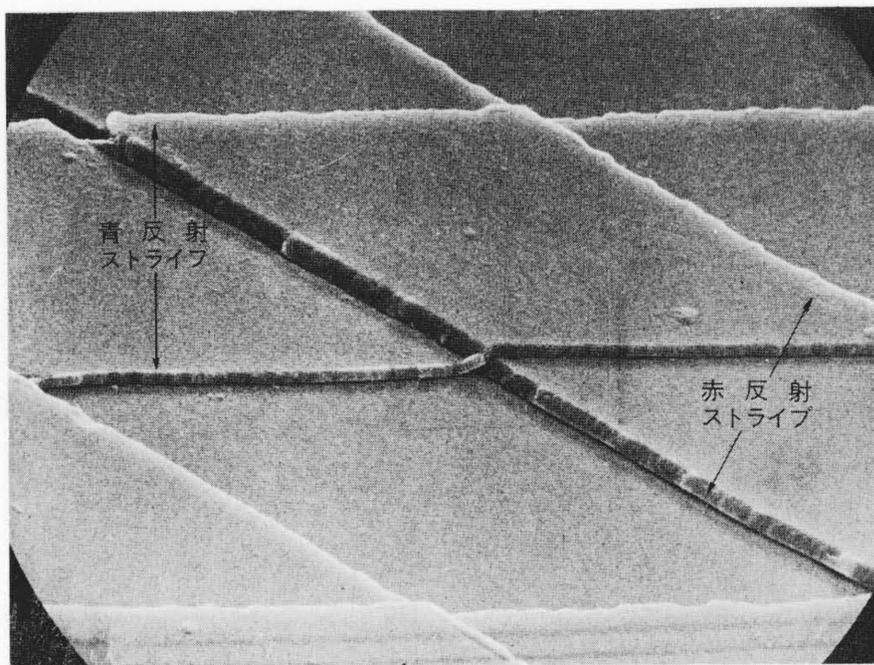


図5 交さ型ストライプフィルタの電子顕微鏡写真 ストライプフィルタを約45度方向から観察したもので、上側が青反射(約 $1\mu\text{l}$)、下側が赤反射(約 $1.5\mu\text{l}$)で、幅はともに約 30μ である。

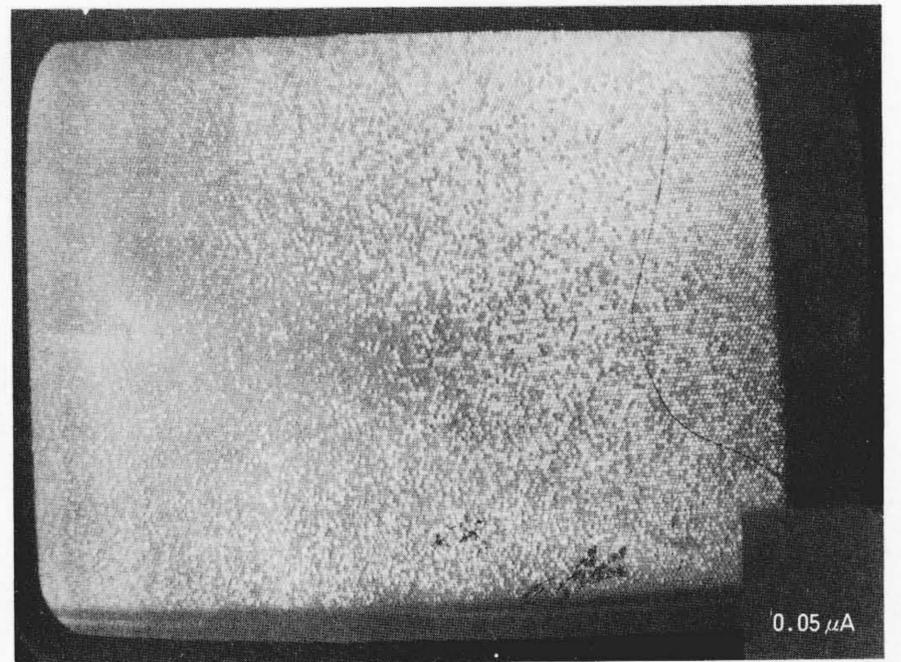


図7 モトリングを示すモニタ画像 ストライプフィルタに直接三硫化アンチモンを蒸着した場合発生したものである。

組織が認められる。このようなフィルタを図6に示すようにビジコンに内蔵する際、ストライプフィルタ上にまず透明導電膜を、次いで光導電膜を形成する。この光導電膜の厚みは 3μ 程度であるので、ストライプフィルタの凹凸構造の影響は無視できない⁽⁴⁾。この構造の光電変換ターゲットでは稼働時間の進行とともに、図7に示すようにターゲット部にストライプフィルタと同じ形状でモトリングと呼んでいる白きずが発生する⁽⁶⁾。これは、ストライプ凹凸による電界集中が原因するターゲット損傷、ストライプフィルタと基板ガラスとの間隙や、ストライプ交さ部の間隙に吸蔵された不純物拡散などが原因と考えられる。モトリングを避けるには、ストライプエッジの乱れを少なくすることと、二管式の場合に限って言えば、比較的薄い膜構成をもつ青反射フィルタを使うカメラシステムとすることが有効である。単管式カメラ用交さ型フィルタは凹凸が大きいので、更に徹底した対策が必要で

あり、ストライプフィルタ全面を透明物質でおおって平滑化する。これには図8(a)に示すように接着した薄板ガラス⁽⁷⁾や同図(b)に示すように高周波スパッタリング法で形成したガラス被膜でストライプ表面を平滑化する方法が有効である。

ストライプフィルタの幅やピッチも画質に影響を与えることは当然であるが、局部的乱れがあると再生画像にストライエーション(striation)と呼ぶ不規則な明暗のストライプが発生する⁽⁸⁾。これは主にストライプフィルタのホットエッチング時に使われる原図パターンにある寸法誤差が原因であり、パターンの製法やその精度測定法には配慮を要する。

3.2 光導電膜

光導電膜は、ビジコンに最も広く用いられている三硫化アンチモンが使われている。分光感度特性とシェーディングについては、FICビジコンにとって特に重視しなければならない事項である。

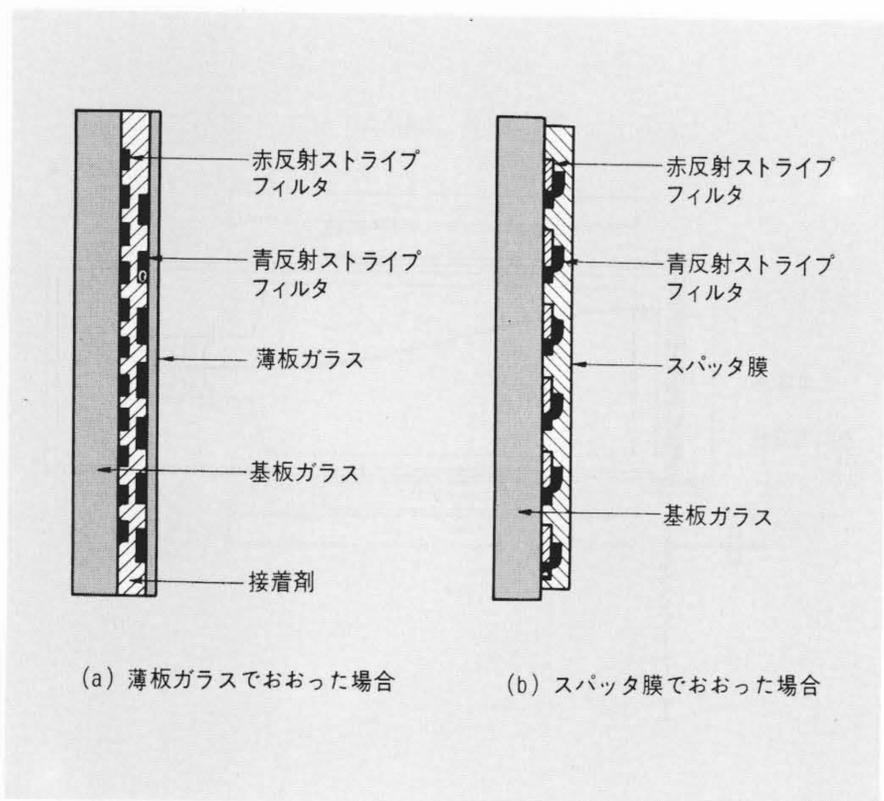


図8 モトリング対策面板 (a)は別々に作られたフィルタをはり合わせたもの。(b)は1枚の基板に二つのフィルタが形成されている。

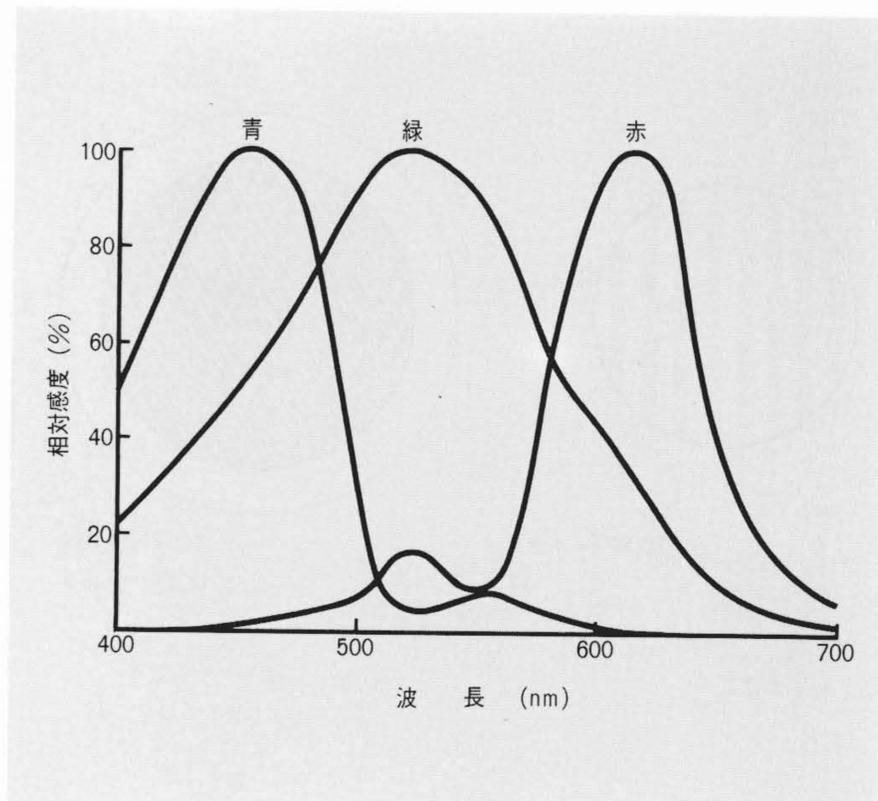


図9 単管式カラーテレビカメラの色分解特性例 単管二搬送波周波数分離方式のH8374による例を示す。

3.2.1 分光感度特性

一般に最も広く使われる照明光源が、タングステン電球であることも前提とすると、信号対雑音比(以下、S/Nと略す)や色信号バランスを良くするため、通常の光導電膜より青色光に対する感度を大きくすることが必要である。もちろん、ストライプフィルタの分光特性も画像のS/N、色再現性と密接な関係をもたせて設計されている。光導電膜の分光感度分布との積、すなわちFICビジコンを使用したカラーテレビカメラ色分解の特性例を図9に示す。

3.2.2 シェーディング

シェーディングは、光導電膜の全面にわたっての光電感度の均一性(以下、ブライツシェーディングという)と光の非入射時の感度、すなわち暗電流の均一性(以下、ダークシェーディングという)の双方が重大な意義をもつ。ブライツシェーディングは特に二管式カメラでは二つの管の特性の不一致が色不均一性の原因となり、ダークシェーディングは、特にカメラが暗電流補償回路をもつ場合に色不均一の原因となる。真空蒸着法の改良により、光導電膜の均質化を図るとともに、再生画像に対する品位要求程度に応じてシェーディング補正回路を使用することが必要である。

3.3 電子銃構造

FICビジコンでは、ストライプフィルタに対する変調出力が色信号出力となるため、フィルタのピッチにより決定される搬送周波数に対してのアンプリチュードレスポンス(以下、ARと略す)特性の絶対値が高いだけでなく、画面全面にわたっての一様性が高いことが必要である。このような基本的な集束特性のほかに、非点収差などの電子銃の精度に関する欠陥が局部的なARの低下の原因となり、色信号のむら、すなわち色均一性の低下を来す。

これらは、電子銃自体の問題であると同時に、偏向・集束コイルの問題でもあり、従って集束回路には、例えばダイナミック・フォーカス回路、フォーカス自動追尾回路など、また偏向回路では水平直線性、更に相関方式カメラでは垂直直線性を高くすること、偏向ひずみを小さくすることなどが必要とされる。

電子ビーム集束を細く、画面内の均一性を高くすることが基本的には必要なわけであるが、FICビジコンの使用されるカメラの性格や管数、回路方式により最適の集束方式が採用されている。

3.3.1 集束方式

(1) 電磁集束

電子ビームの集束が良くARが高いので、色信号搬送周波数が比較的高い場合にも色信号のS/Nが良く、解像度の高い画像が得られる。しかし、一般に高い中心解像度に対し周辺解像度の低下が比較的大きいため、フォーカスの一様性を改善した適切なコイルアセンブリの採用が必要である。

(2) 静電集束

電磁集束と比較すると、若干AR絶対値は低い、一様性が良好なため色均一性が良い。従って、色搬送波周波数が低い二管式カメラ用ストライプ内蔵管に採用した場合にその特徴が発揮できる。また、コイルアセンブリを小形に作れるという利点も小形カメラにおいては看過できない特長である。

日立ストライプ内蔵管では、二管式カメラ用H8361に採用されている。

(3) 複合集束

静電集束と電磁集束とを同時に行なう方式⁽¹⁾であり、両方式それぞれの特長をある程度、兼備できる。H8374のように色搬送波周波数が高い場合や、コイルアセンブリの発熱を極力低くして、カメラ安定性を得たい場合などに有利である。ビームフォーカスの全面均一性を得るため、しばしばダイナミックフォーカスを使うが、そのためにも静電集束要素をもつ電子銃系のほうが図形ひずみを起こさないので有利である。

3.3.2 収差

電子銃を構成する電極のうち、特に静電集束形の主レンズを構成する電極、及びコリメータレンズを構成する電極の偏心変形があると非点収差を起し、ターゲット面におけるビーム形状がひずみ、その部分のAR特性が劣化し色均一性を損なう。例えば、H8374では従来の白黒テレビカメラ用ビジコンに比べ、電極精度を約10倍上げて、電極に起因する色むらをほとんどなくすることができた。

3.3.3 擬似信号

FICビジコンでは、2.で明らかなように、水平走査方向とストライプフィルタの相互角度が正しく配列されていないと、水平走査に対して見掛けのストライプピッチが変化したことになり、正しい回路動作が行なわれぬ。一方、ストライプ以外の管球構造にも、走査方向との因果関係において色搬送波帯域内、その他の周波数の擬似信号発生の要因となり得るものが幾つか指摘される。そのうち最も重要なものは、メッシュ電極である。そのため、メッシュ配列の方向と水平走査の方向とを精度高く規定すると同時に、従来750~1,000lines/inのメッシュが使用されているのに対し、1,500lines/inの細かいメッシュを使用してメッシュに対してのARを無視できる程度に低下させることが有効である。このような微細なメッシュは、従来製作用のマスタパターンに現われる線幅の不ぞろいとその周期的繰返し(リピートパターン)、電気鋳造時のむらなどにより良質のものが得にくく実用されていなかったが、特殊ルーリングエンジンの開発などにより良質の精細メッシュが得られるに至り、メッシュに基づく擬似信号の防止に寄与している。

3.4 光学的低域通過フィルタ

ストライプによる色分解システムにおいて、被写体の像中にストライプフィルタのピッチに相当する周波数成分の明暗があると、この像に基づく信号は色搬送波と誤認され、その被写体の色のいかによらず、その搬送波の担当する色信号が発生してしまう。光学的な対策に限定すれば、像をぼかして色搬送波に相当する明暗をなくすことが必要であるが、輝度信号帯域に相当する周波数成分の減衰を最小限度にとどめながら色搬送波成分だけをぼかすことが望ましい。多くの方法提案のうち、位相格子による空間フィルタ法、レンチキュラーレンズ法、複屈折二重像による法などが主要法と言える。解像度特性、装着位置、色搬送波周波数、回路方式、価格などを考慮して、各カメラごとに最適方法を採用している。

位相格子法は、比較的安価で十分な擬似色信号防止効果が期待できるが、基本波の振幅減衰がやや著しいため画像明りょう度低下が若干認められること、及び撮像レンズの瞳点付近にフィルタを置く必要があるため、指定レンズの使用を余儀なくされることが欠点とされる。

レンチキュラー法は、二管式の場合のように色搬送波周波数が低いとき、安価な方法として優れている。

複屈折法は光路のどこにでも置けるので、カメラ設計上、撮像レンズの撰択が自由なこと、基本波解像度が比較的良いことの点で優れている。H8374では水晶を複屈折板フィルタとして撮像管に自蔵させているので、一般には擬似色信号に関しカメラ設計上なんらの考慮を払う必要がない点は特長と言える。水晶のほかにLiNbO₃などの人工結晶も実用できるが、他の方法に比べ、やや高価となることは現状では避けられない。

4 各種日立FICビジコンの特長

我々は、上述したような設計上のポイントに立って、主に周波数分離方式FICビジコンの開発を行ってきた。単一撮像管式カメラ用としては、1inタイプビジコンによる単一色搬送波相関色分離方式のH8360⁽¹²⁾と、二つの色搬送波で色分離を行なうH8374⁽⁴⁾⁽⁵⁾がある。二管式カメラ用としては、2本の $\frac{2}{3}$ inビジコンを各輝度チャンネルと、赤及び青チャンネルに使用する方式の赤・青チャンネル用に開発されたH8361がある。これらのFICビジコンの外観を図10に、またその特性主要点

とこれを使用するカメラの回路ブロックダイヤグラム例を表1に示す。

5 今後の展望と結言

汎用カラーテレビカメラ用撮像管として、ストライプフィルタをビジコンに内蔵させた周波数分離型カラーカメラ用FICビジコンを開発し、これを製品化するに当たって、色搬送波に載って得られるカラー信号を解析し、電子銃構造、コイルアセンブリ、光導電膜、ストライプフィルタ、ローパスフィルタの各機能を実用上問題のない水準とすることができた。特にフィルタ内蔵によって起こる信頼性低下の現象について解明を行ない⁽⁶⁾⁽⁷⁾、フィルタ面板の構造は信頼性に対し懸念のないものとすることができた。

今後この種のカラーテレビカメラの利用が広がり、特に家庭内でも使用されるようになると、カラーテレビ放送の画質との比較で評価されることになり、色再現性の改良や感度・残像の改良が望まれる。これに対するアプローチとして、この論文で述べた諸方式の範囲でも、コイルアセンブリの改良、ローパスフィルタの改良、高感度低残像光導電膜として「サチコン」⁽¹⁰⁾の採用や、更に回路方式の開発と相まってトライカラービジコン系のFICビジコンの開発⁽⁹⁾が期待される。

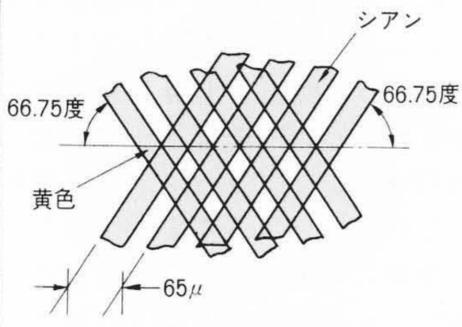
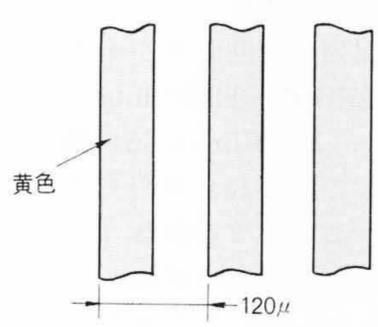
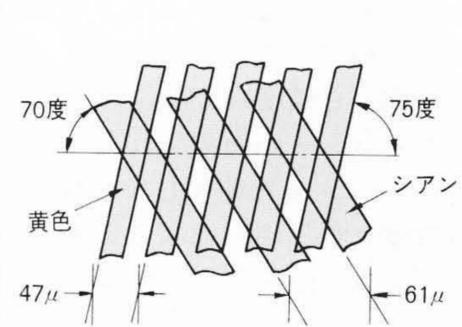
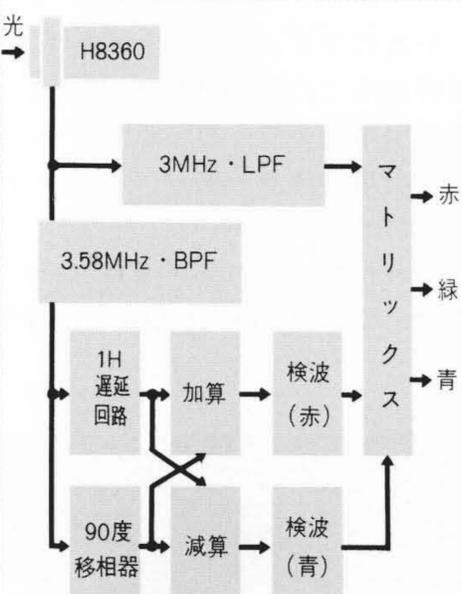
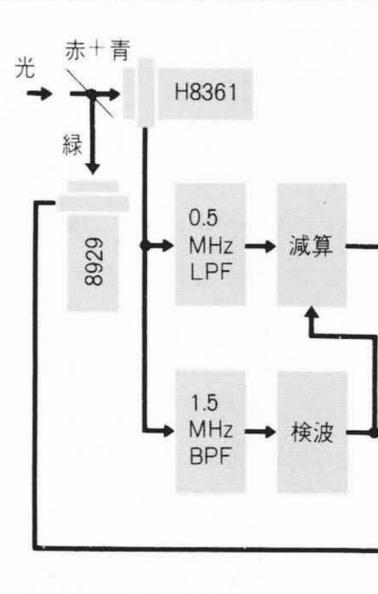
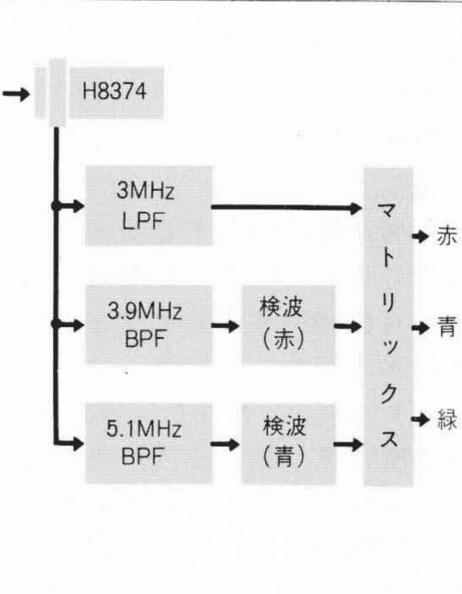
上述のフィルタ内蔵「サチコン」に関しては、NHK総合技術研究所との共同研究の成果として、昭和49年春、放送番組取材用単管カラーカメラ⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾が発表され、このことは高品位撮像用単管カラーカメラの将来における一つの姿を示したものと云えよう。

終わりに、これらのFICビジコン開発の機会を与えられ、また、カメラ開発の立場から御指導をいただいたNHK総合



図10 日立FICビジコン 左からH8361, H8360, 及びH8374を示すもので、H8374にはローパスフィルタ、赤外カットフィルタ、及びブラックレベルが付いている。

表1 日立FICビジコンの概要 日立製作所が開発してきたFICビジコンのうち、既に製品化されたものだけをまとめ表示した。

項目	品 種	H 8 3 6 0	H 8 3 6 1	H 8 3 7 4
寸 法 (mmφ×mm)		25.9×159	17.7×103	25.9×164
色 分 離 方 式		単管・単一搬送波垂直相関分離	二管・単一搬送波周波数分離	単管・二搬送波周波数分離
ストライプフィルタの型式				
(ビジコンの前面より見る)				
色搬送波 (MHz)	赤	3.58	—	3.9
	青	"	1.5	5.1
集 束 方 式		電 磁	静 電	電磁・静電複合
偏 向 方 式		"	電 磁	電 磁
カメラの ブロックダイヤグラム例				

技術研究所の二宮輝雄主幹，中村有光部長，及び赤井電機株式会社の上野雅彦氏，Magnavox社のD'Aiuto氏，並びに終始御指導を得た日立電子株式会社の関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- (1) 山崎，「単一撮像管カラーカメラ」，テレビ誌 18, 9, 2 (1964-9)
- (2) 高木，「撮像面多重化カラーテレビジョン系の解析」テレビ誌，18, 9, 21 (1964-9)
- (3) 林，「カラー撮像方式とNHKの新しいカラーカメラ」NHK技術研究，22, 1, 3 (1970)
単管式カラーカメラに限らず多くのカラーカメラ方式の解説と，最近における技術動向が示されている。
- (4) 高木，信時ほか，「周波数多重化単管カラーカメラの開発」テレビ誌，26, 2, 24 (1972-2)
FICビジコンのプロトタイプ管と，それを使ったカラーカメラの設計理念及び試作の報告がなされている。
- (5) S. Nobutoki, S. Nagahara and T. Takagi. "A Color Separating Filter Integrated Vidicon for Frequency Multiplex System Single Pickup Tube Color Television Camera." IEEE Trans. on Electron Devices. ED18,11,1094.(1971-11)

- (6) 大竹，信時ほか，「単管カラービジコンにおけるフィルタ内蔵上の一問題点」テレビ全大予3-13 (1973)
- (7) 香西，信時，「単管カラー撮像管用フィルタ内蔵面板」183回電気学会電子材料専門委資料 (1974)
フィルタ内蔵管で起こり得る信頼性の低下を防ぐ手段，及びその結果としての製品の耐熱・耐候性，寿命特性について従来管種相当の水準が得られた。
- (8) 大竹，信時，「単管カラー用ストライプフィルタの一試験方法」テレビ全大予4-4 (1974)
- (9) 笹野，西村ほか，「3電極方式単管カラーカメラ用ビジコン」テレビ全大予4-7 (1974)
- (10) 藤田，後藤「特集，撮像デバイス.2-5サチコン」テレビ誌28, 11, 27 (1974-11)
- (11) 二瓶，吉川，「複合集束形高解像度ビジコンの特性」テレビ学会電研委，No. 292, 1971-1
- (12) K. L. Boyd, J. R. D'Aiuto., "A One-Tube Color Television Camera, IEEE Trans. on Broadcast and Television Receivers" BTR-19 No. 4 1973
- (13) 田村，杉本，江沢，小楠「一搬送波周波数分離方式単管カラーカメラの画質改善」テレビ全大予4-3 (1974)
- (14) 伏木薫「単管式カラー・カメラのさまざまな撮像方式を見る」日経エレクトロニクス，No. 94, p. 58~83 (昭49-11)