U.D.C. 621.397.132-187.4:681.772.7

ハイビジョン(高品位テレビジョン)用カラーカメラの開発

Development of High-Vision Color TV Camera

高橋健二*　Kenji Takahashi
丸山優徳*　Masanori Maruyama
長原脩策*　Shûsaku Nagahara
野中育光**　Yasuhiko Nonaka
野口　浩***　Hiroshi Noguchi

高品位テレビジョンシステム(走査線1,125本,縦横比3：5)に対応したスタジオ用3管式カラーカメラを開発した。高品位カラーカメラを実現するには高解像度の撮像管，及びこれらの撮像管出力を正確に重ね合わせるレジストレーション技術が必要である。本カメラでは新開発の層流形電子銃とサチコン®膜を組み合わせた1inダイオードガンサチコン®を採用した。またレジストレーションに関しては，補正精度が高く，かつシェーディングの問題を解決した自動ディジタルレジストレーション回路，及びレンズ色収差補正回路を開発した。

これらの新技術によって，レジストレーション精度0.025%，限界解像度1,200TV本(画面縦横比3：5のとき)が得られ，高品位カラーカメラとしての基本性能を確認できた。

1　緒　言

次世代のテレビジョンシステムとして，日本放送協会は1970年から高品位テレビジョンシステム[1](走査線1,125本，画面縦横比3：5)の研究・開発を推進してきた。一方，海外でも規格や方式の検討がなされていた。近年，日本放送協会の数回にわたる種々の展示によって高品位テレビジョンに対する意識が高まり，カメラ，VTR，ディスプレイなどの主要機器の開発も進められている。

1984年には日本放送協会は放送衛星の打上げ，伝送方式“MUSE”(Multiple Sub-Nyquist sampling Encoding)の発表など，高品位テレビジョン放送実現へ着実に歩みを進めている。

このような状況下にあって，日立グループでも日本放送協会の協力を得て，高品位テレビジョン機器の開発を積極的に行なっている。

信号源である高品位カラーカメラは，現行カメラに比べ2倍以上の高解像度化を実現しなければならない。高品位カラーカメラは，画像をR，G，B3原色に分解し別個に撮像する3管式が最も適しているが，高解像度化には撮像管の性能向上と同時に，3管式の総合解像度を左右するレジストレーション※1)の高精度化が重要である。

本論文では，高品位撮像管と高精度レジストレーション技術を中心に述べる。

2　高品位カラーカメラの概要と技術的特長

図1に高品位カラーカメラの構成を示す。基本形式は前述のように3管式である。レンズは高品位カメラ用にキヤノン株式会社と共同開発した14倍ズームレンズを用いた。

撮像管としては高品位カメラ用に開発した1inダイオードガンサチコン®を用い，限界解像度1,200TV本以上(測定条件3：5)が得られている。

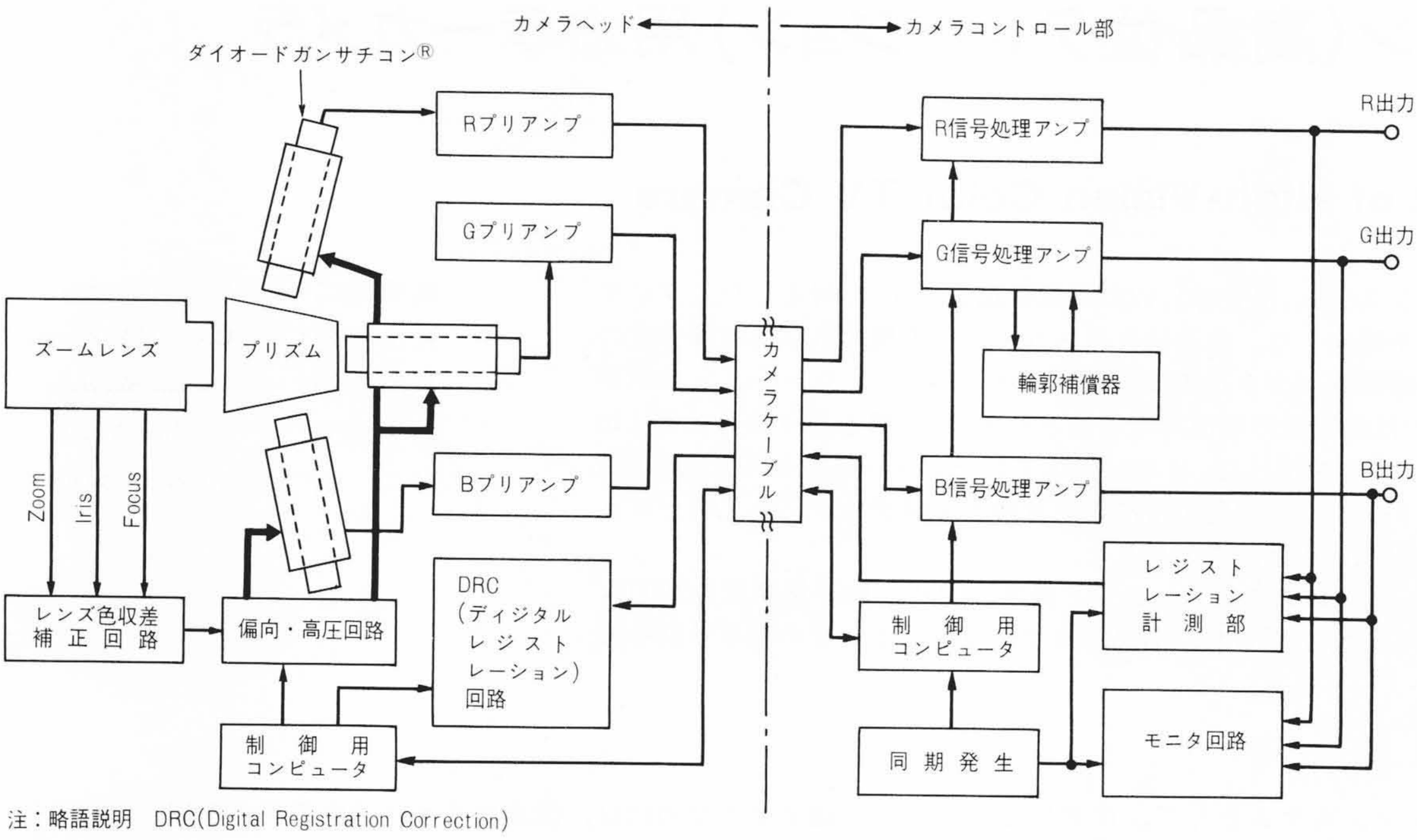
高品位カメラのレジストレーション要求精度(0.025%)を達成するためには，従来のように低次のひずみ補正だけでは対応できない。本カメラでは高次のひずみ補正が可能で，自動調整機能を備えた新しいDRC(Digital Registration Correction：ディジタルレジストレーション補正)方式[2]を開発し採用した。更に，高品位カラーカメラではズームレンズの使用状態(フォーカス位置，絞り値，ズーム比)によって変化する倍率色収差が原因で起こるレジストレーションずれも無視できない。この対策として本カメラでは電気的な色収差補正回路を備えている。これは，あらかじめ色収差補正情報をメモリに記憶しておき，メモリからレンズの使用状態に応じて読み出した色収差補正情報を偏向回路に加え，撮像管ターゲット面上の走査形状を制御することによって補正している。これらのレジストレーション補正機能によって常に高解像度を実現している。

高品位カメラでは所要信号帯域が30MHz以上にも及ぶ。信号帯域の拡大によって雑音量も増大する。カメラの雑音はプリアンプ入力端の静電容量に比例して増える。本カメラではピンリード形低出力容量撮像管，低入力容量高gmFET(電界効果トランジスタ)及び撮像管とプリアンプ初段FETの近接配置を採用し，極力プリアンプ入力端容量削減を図った。これによってカメラのSN比(信号対雑音比)は46dBpp/rms(B_w：30MHz，輝度チャネル換算F2.8，2,000lx時)が得られた。また，映像系は位相特性を重視し，40MHz(−1dB以内)を確保するとともに発振対策も十分考慮し安定化を図った。

図1に示すように，カメラヘッドには撮像管駆動部(偏向高圧回路)，DRC回路，レンズ色収差補正回路，プリアンプのほか，制御用コンピュータなどを収納した。カメラヘッドは，カメラケーブルでカメラコントロール部に接続されている。カメラコントロール部は，ケーブル補償器，プロセス回路及びVDA(Video Distributing Amp.)から成る信号処理アンプと，同期・モニタ回路，レジストレーション計測部，輪郭補償器(2H遅延形，アウトオブグリーン方式)で構成されている。本カメラは，調整の自動化にも対応できるように主要項目はコンピュータ制御とした。試作カメラの外観を**図2**に示す。

※1)　R，G，Bの撮像管の偏向波形を微少に変化させ，各出力信号を電気的に重ね合わせる操作を言う。

*　日立製作所中央研究所　**　日立製作所茂原工場　***　日立電子株式会社



注：略語説明 DRC(Digital Registration Correction)

図1 高品位カラーカメラの構成 基本形式は撮像管を3本用いる3管式カラーカメラである。3管式は放送局用など高画質が必要な用途に多く用いられている。高品位カメラでは，特にレジストレーション精度が重要である。

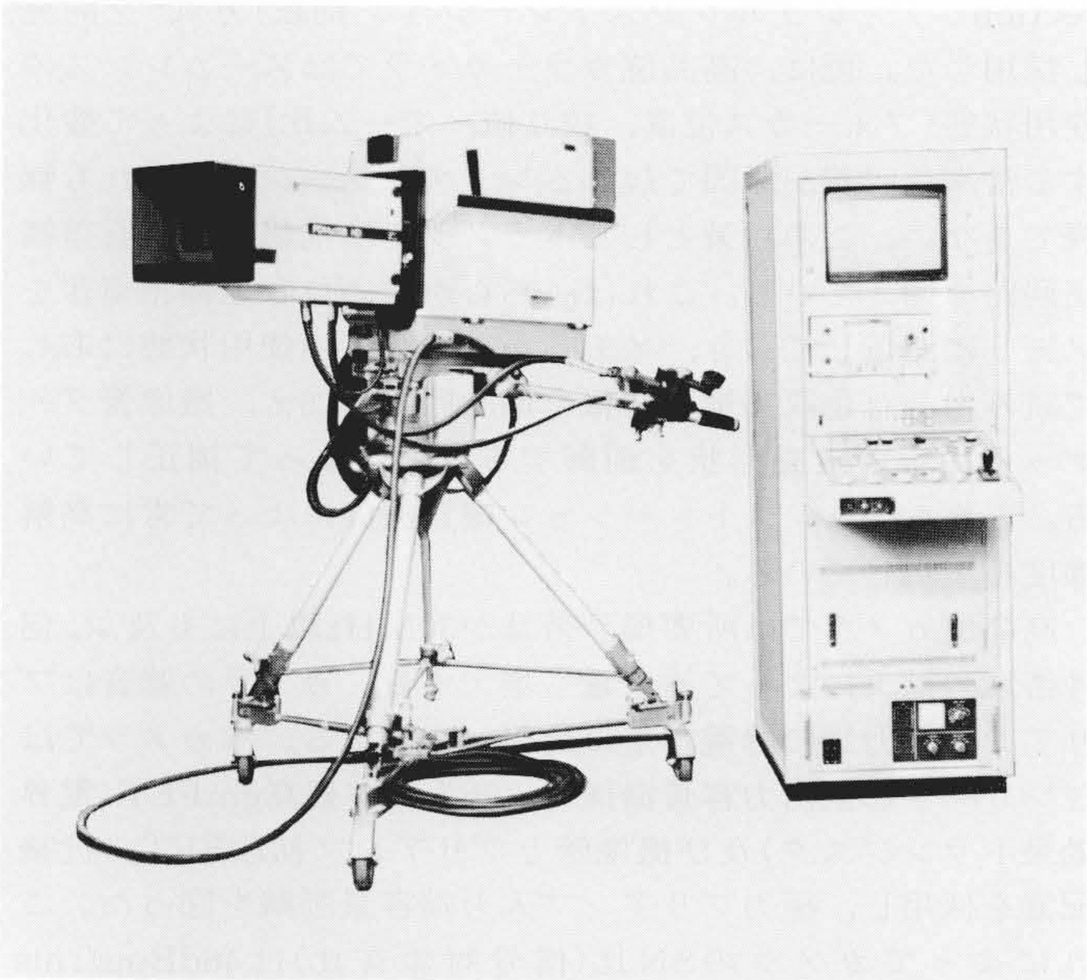


図2 高品位カラーカメラの外観 本カメラは，カメラヘッド(三脚上)とカメラコントロールユニットラックから成る。スタジオ用タイプのため，カメラとしては大形である〔最大高さ(三脚を含む)約1.6m〕。

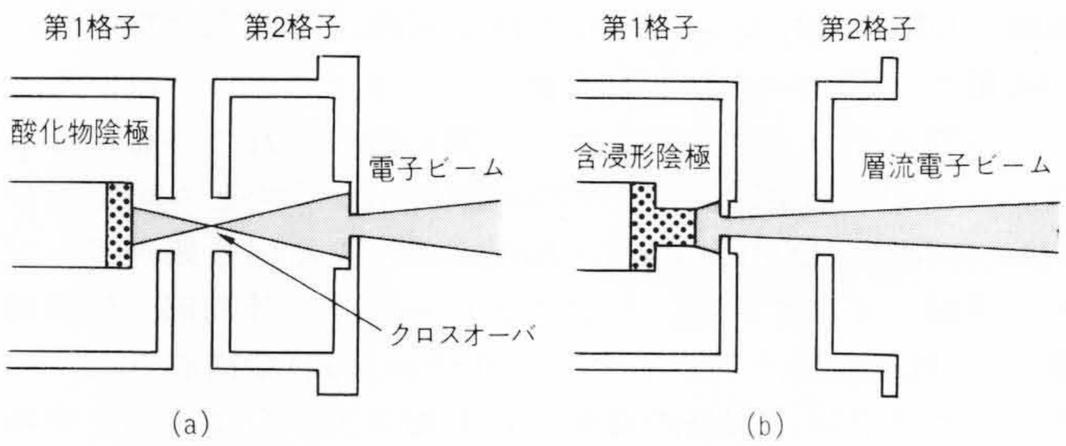


図3 電子銃の構造比較 (a)は従来管に使用されているトライオード電子銃である。第1格子は負の電圧で駆動され，第2格子には300Vが印加される。(b)は新しく開発したダイオード電子銃である。第1格子は正の電圧で駆動され，クロスオーバを作らない層流電子ビームを発生する。陰極には凸形含浸陰極が使用される。

3 高品位撮像管

高品位カメラに使用される撮像管には，高い解像能力が要求される。日立グループが日本放送協会と共同開発したサチコン®(日本放送協会登録商標)光導電膜は，信号電荷の横方向拡散が小さく，本質的に解像度が高い。この優れたサチコン膜と新しく開発したダイオード(2極形)電子銃とを組み合わせて，限界解像度1,600TV本※2)をもつ高品位撮像管H4186を完成し，高品位カメラに実用した。

3.1 新形電子銃

図3に電子銃の構造を示す。同図(a)はトライオード(3極形)電子銃と呼ばれ，現在広く使用されている。陰極に対抗する第1格子は負の電圧で駆動され，クロスオーバを形成する電子ビームを発生する。この電子銃は安価な酸化物陰極を使用できるが，画面周辺部での解像度劣化が大きく，また残像特性も悪い。このため，同図(b)に示すダイオード電子銃を新たに開発した[3),4)]。第1格子は正電圧で駆動され，クロスオーバを作らない層流電子ビームを発生している。陰極には高い電子放出能力をもつ含浸形陰極を使用し，更に第1格子での電流損失を抑えるため凸形状にしている[5)]。第1格子は高融点金属であるタンタルを使用し電子放出の安定化を図り，穴径が10μm程度の微小開口を設けて，極めて細い電子ビームを発生させている。

3.2 解像度特性

図4には，高品位撮像管H4186の解像度特性を示す。この撮像管は，管径が1inの電磁集束電磁偏向形サチコンである。撮像管単体の解像度測定は，測定系の都合で縦横比3：4で行なった。解像度は，RCA-P200チャートを撮像して，各TV本数をもつ白黒パターンに対して得られる振幅変調度で定量化した。この図から明らかのように，H4186は800TV本での変

※2) 従来データとの互換をとるために，縦横比3：4で測定した値である。3：5では空間周波数が約15%ほど上がるため測定値は下がる。

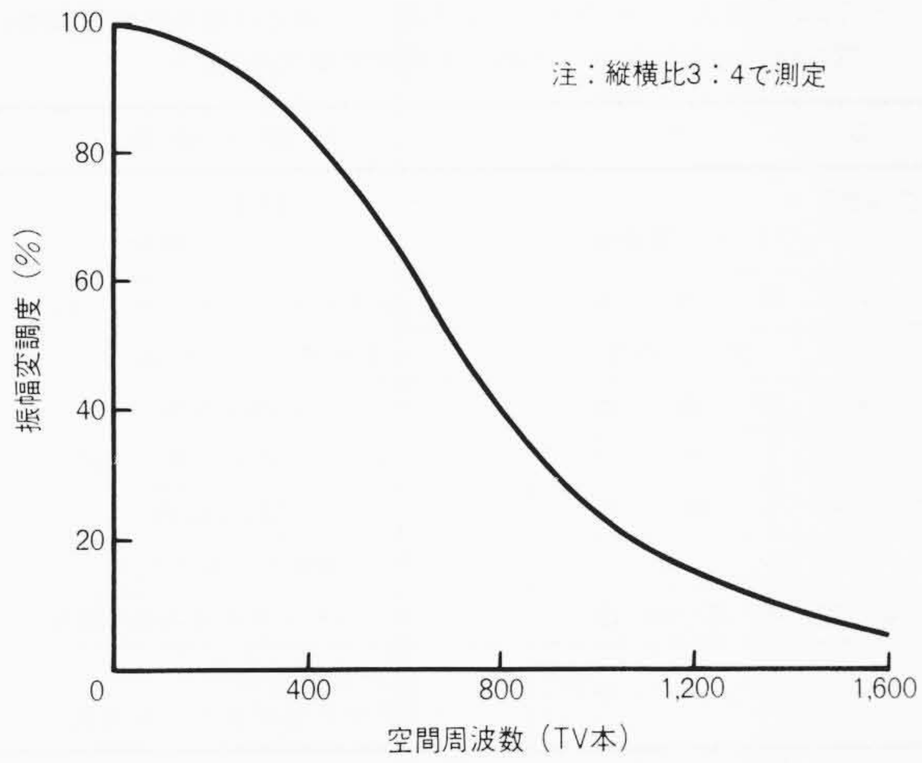


図4　H4186の解像度特性　テストチャートにはRCA-P200を使用し，信号電流は0.4μApp，ビーム電流は2倍設定の0.8μAppで測定した。

調度は約40%と高く，限界値も1,600TV本以上になっており，現行方式のカメラに使用されている撮像管に比べ約2倍の解像能力をもっている。また，層流電子ビームを発生するダイオード電子銃の採用により，残像値は1%程度と小さく良好な特性を実現している。

4　高品位用ディジタルレジストレーション

DRC方式とは，画面内に補正データ点を離散的に多数設けることにより〔**図5** (a) に示す。〕，撮像管で発生する高次の画像ひずみにも対応できる補正方式である。今回，補正データ点数は水平19点(1.3μsごと)×垂直19点(32Hごと)とした。DRCの設計では，垂直方向の補正データ列から所要の滑らかな補正波形を補間によって作る際に，走査線密度の急激な変化を抑圧し，シェーディング※3)の発生を防止することが重要である。従来用いられている直線補間方式では，データ切換点で走査線密度が急変し，段差状のシェーディングが生じ目立ちやすく問題となっていた。本カメラでは，垂直方向の補間にアナログフィルタを用い，所要の補正波形を実現しシェーディングの発生を抑圧した。同図 (b) に新DRC回路を示す。補正データメモリから水平走査に同期してD_{11}，D_{12}，D_{13}…，と補正データを読み出す。これを垂直方向のデータ同期である32H(H：水平走査周期)繰り返し，次のデータ列D_{21}，D_{22}，D_{23}…，を読み出す。読み出したデータはD-Aコンバータでアナログ量に変換し，水平の分割数分(19チャネル)用意した垂直フィルタ群へマルチプレクサによって分配する。各フィルタ出力点には，垂直方向に補間された滑らかな補正信号が得られる。この各フィルタ出力を再びマルチプレクサによって順次サンプリングし，水平方向のフィルタリングを施して各走査線に対応した補正信号を得る。

垂直フィルタは遮断周波数をデータ間の連続性を重視し200Hzとし，位相特性の優れたベッセル五次フィルタを使用した。DRCの補正精度は分割数，補正データ量子化数及び補正範囲によって決まる。今回は量子化数8ビット，補正範囲を1%とした。総合の補正精度は，近似精度の高い補間法とあいまって全面0.025%が得られ，シェーディング発生量も従来に比べ$\frac{1}{7}$～$\frac{1}{8}$に抑圧できた。

DRC方式では補正データ点数が多いため，手動で調整するには2～4時間が必要で実用的ではない。この対策として，本機にはレジストレーション誤差の自動計測機能を付加し，自動調整を可能とした。自動調整機能によって，調整時間は2～3分(相対値制御時)と大幅に短縮し，運用上の大きな問題点を解決することができた。

5　レンズ色収差補正回路

レンズの色収差はG画像に対するR，B画像の相対的ずれだけを補正すればよい。**図6**に色収差の一例を示す。縦軸はレンズ中心からの像高，横軸はG画像との収差量を示している。プラス側はGに比べ拡大を，マイナス側は縮小を表わし，同図の例ではG画像に比べ糸巻形のひずみとなることを意味している。レンズの収差カーブは使用状態(フォーカス位置，絞り値，ズーム比)によって様々に変化するため，すべての場合について補正データを設けることは，データ量の増大を招き得策でない。本回路では絞り値に関し3点，フォーカス位置4点，ズーム比5点とし，それぞれの組合せに対応したデータ

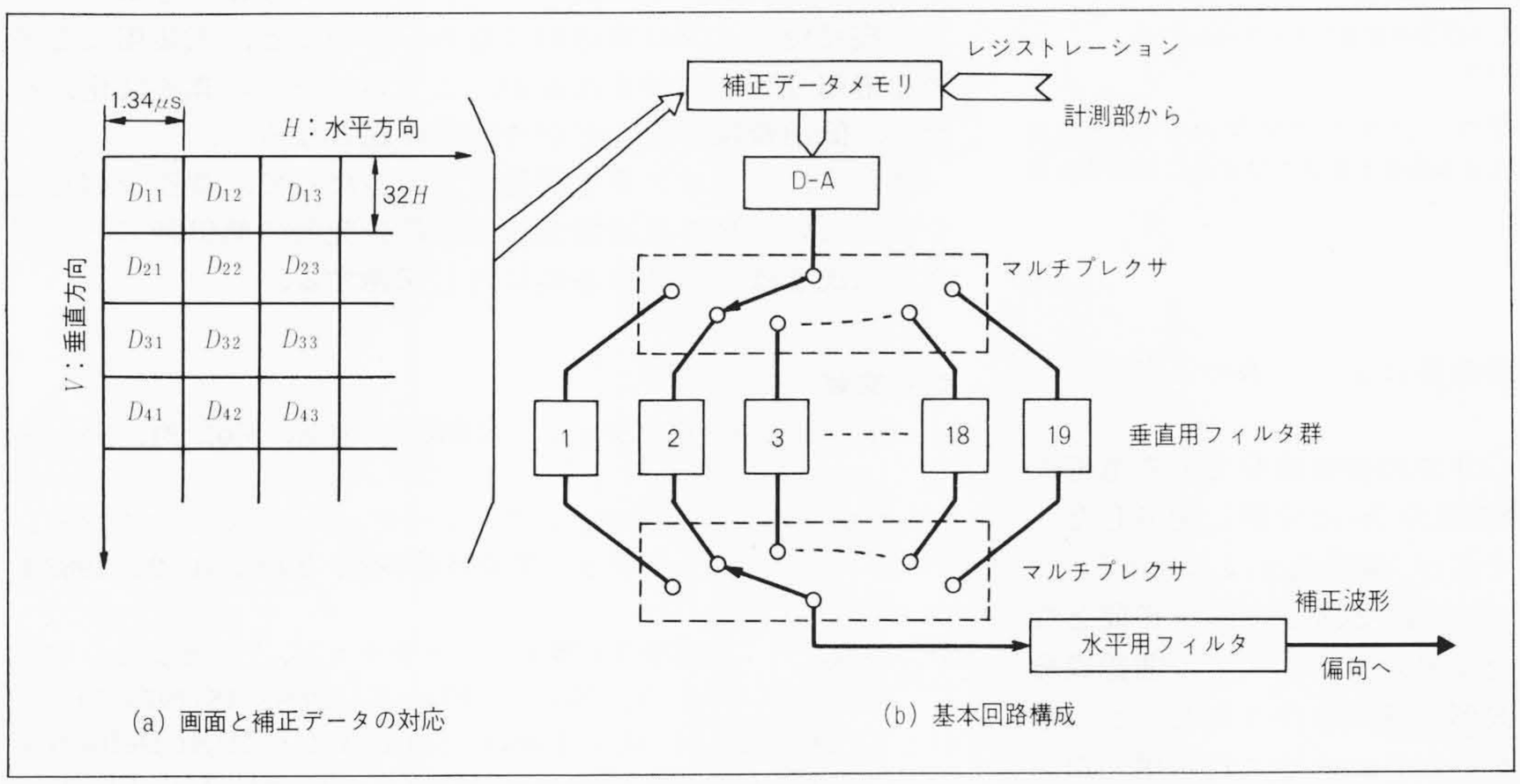


図5　新ディジタルレジストレーション(DRC)方式　補正データ分割数は19(H)×19(V)である。ディジタルレジストレーション方式では，補正データ間の補間方法が重要であり，所要の補正波形を精度良く作り，シェーディングを抑圧する必要がある。

※3)　出力信号のレベルが変化し画質を劣化させる現象を言う。

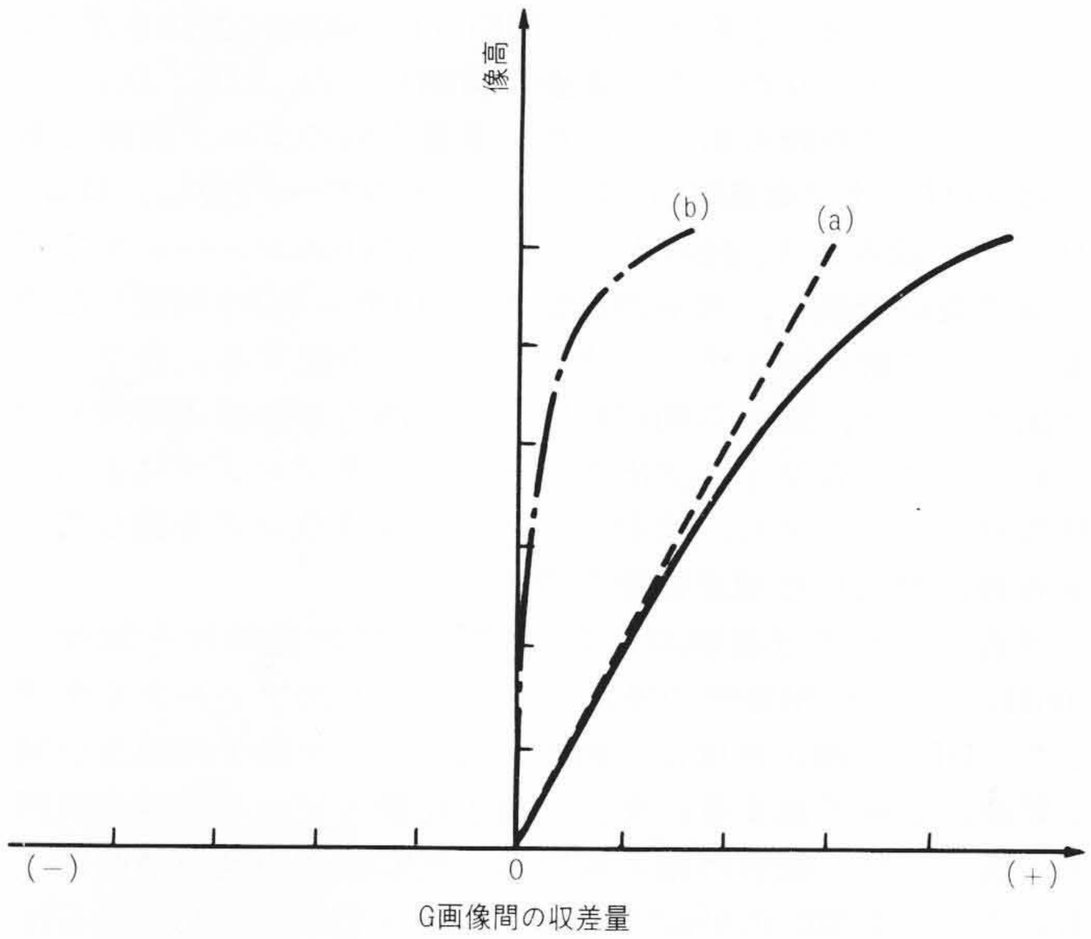
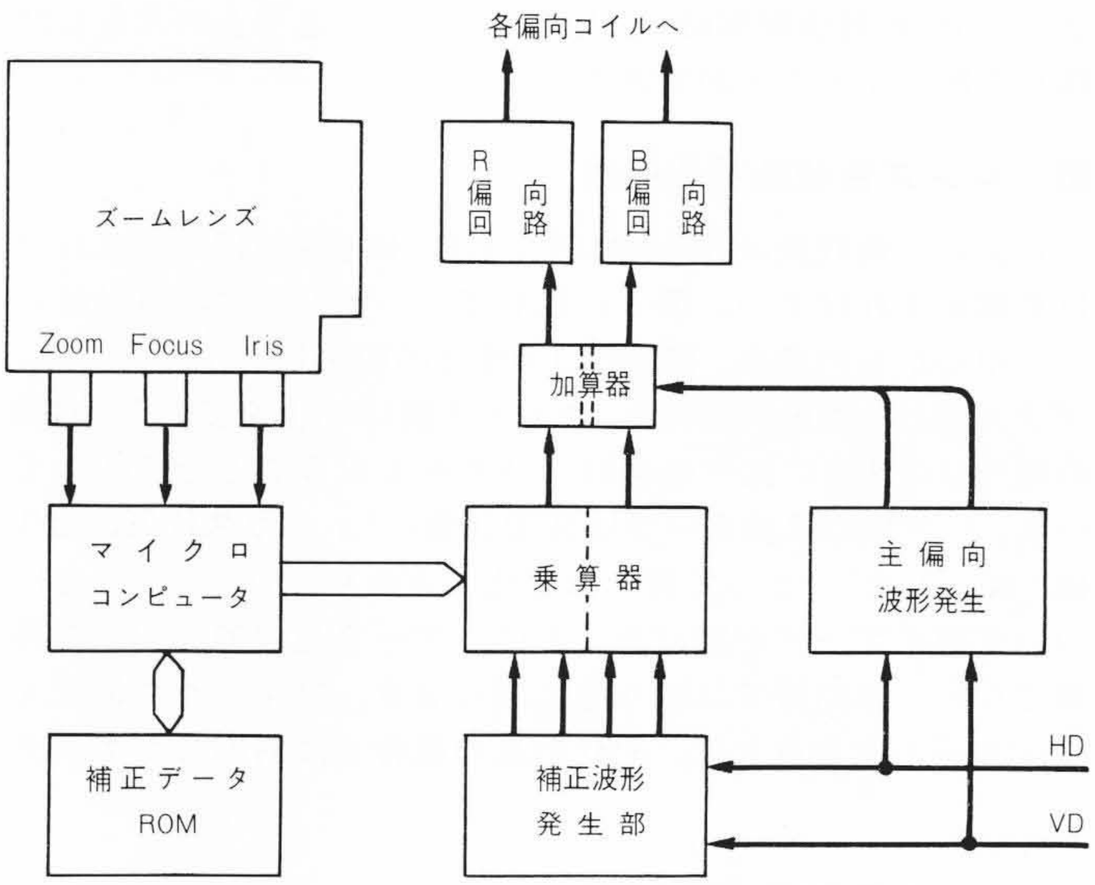


図6 色収差の一例 レンズでは収差は光軸に対し点対称である。本図の例は像高が高くなるにつれて，収差量が(+)の方向へ増大しているので，糸巻形ひずみとなる。逆の場合はたる形ひずみとなる。



注：略語説明 ROM(Read Only Memory), HD(水平走査ドライブパルス), VD(垂直走査ドライブパルス)

図7 レンズ色収差補正回路のブロックダイアグラム 本色収差補正回路では，収差データを振幅に対応する成分と高次のひずみに対応する成分とに分解してメモリに記憶している。

を記憶させ，他の中間点は補間演算によって求める方式とした。

また補正データは，光軸中心0での接線成分である直線成分(a)と，これを差し引いた曲線成分(b)に分解し記憶した。直線成分は偏向サイズに対応するが，曲線成分は糸巻形(たる形)などの図形ひずみとなるので複雑な補正波形が必要となる。収差カーブを種々検討した結果，本レンズでは曲線成分を三次関数で近似すると補正波形が簡単に作り出せ，かつ補正精度も十分得られることを見いだしたのでこれを用いた。直線成分，曲線成分の各係数は最小自乗法を用いて残留誤差が0.01%以下となるように決定した。

図7にレンズ色収差補正回路のブロック図を示す。以下動作について簡単に説明する。レンズの状態を示すポテンショメータの信号を受けて，マイクロコンピュータではレンズの状態を含む領域を選択し，この前後の補正データをROM(Read Only Memory)から読み出す。次にこの読み出したデータから補間演算を行ない，レンズの状態に対応した補正値を計算する。補間方法は計算時間の短い直線補間法を用いた。これによって演算処理時間は50ms以下となり，レンズの状態変化に十分追従することが可能なため，視覚的な違和感は生じなかった。

マイクロコンピュータの計算結果は，補正波形発生回路出力の振幅及び偏向振幅を制御する乗算器に加える。そして，各々の乗算器出力を主偏向波形に加算してR, Bの色収差補正を行なっている。

本色収差補正回路により，収差は補正前の$\frac{1}{4}$～$\frac{1}{6}$に減少し総合で目標値の0.025%以内を達成することができた。

表1 試作高品位カラーカメラの性能 SN比は信号帯域幅30MHzで測定した。限界解像度は縦横比3：5のときの測定値である。

項目		仕様・性能
走査線数／フレーム周波数		1,125本／30Hz
使用撮像管		1 inダイオードガンサチコン
感度(SN比)		2,000 lx, F2.8(46dB)
限界解像度		1,200TV本
レジストレーション	方式	オート ディジタル方式
	精度	0.025%以内
レンズ		14倍ズーム F1.7
色収差補正精度		R, Bチャネルとも0.025%
イメージエンハンサ		アナログ2H形(アウトオブグリーン方式)

6 結言

高品位カラーカメラを構成するうえで必要な高品位用高解像度撮像管，レジストレーション技術を中心に論じた。これらの技術を用いて高品位スタジオ用3管式カラーカメラを試作し，高品位カラーカメラとしての基本性能を満足することを確認した。試作した高品位カラーカメラの性能を**表1**に示す。高品位カメラは放送用はもちろんのこと，工業用など多彩な応用分野が期待されるが，よりいっそうの高感度化，小形化，低消費電力化などが今後の課題となろう。

終わりに，本カメラを開発するに当たって，貴重な御意見をいただいた日本放送協会放送技術研究所の熊田純二・岡野文男両氏をはじめ関係各位に対し深謝する。

参考文献

1) 林：高品位テレビジョン，NHK技研月報，Vol. 21, No. 8 (1978年8月)
2) 高橋，外：シェーディングフリーディジタルレジストレーション方式，テレビジョン学会技術報告，TEBS91-2，(1983年10月)
3) 磯崎，外：高品位TV用1インチサチコン，テレビジョン学会技術報告，Vol. 3, No. 3, ED447, IPD42-18(1979年6月)
4) Y. Isozaki, et al.: 1-inch Saticon for High-Definition Color Television Cameras, IEEE Trans. ED, Vol. ED-28, No. 12, p. 1500(Dec. 1981)
5) 佐藤，外：バリウム含浸形陰極，テレビジョン学会技術報告，Vol. 6, No. 19, ED656(1982年9月)