2. 民生用撮像素子と回路技術

1. まぇがき

VTR とカメラを一体化したカメラ一体型 VTR(以下, ビデオムービーと呼ぶ)の生産台数は 1990 年には 880 万台に達し, その 7 割以上が輸出され, 今や, 日本の製品が全世界に供給されている. 一方, 国内出荷台数でも 1988 年が 130 万台だったのに対し, 1989 年には 160 万台, 1990 年には 200 万台と, 毎年前年比 25%と伸長が著しい". この様子を図1に示す.

ビデオムービーの技術は最近,著しい進歩を示した.

これには第1に数年前に心臓部の撮像デバイスが撮像管から CCD(Charge Coupled Device)を中心とした固体撮像デバイスに代わったことにより,画質が著しく向上したことが大きく貢献しているといえよう.

第2に電子回路のLSI化,小型部品の開発,これらの個別部品を高密度に実装する技術などに支えられて小型・軽量化が達成できたことが大きい.

第3には自動絞り(自動アイリス;AI),オートフォーカス(自動焦点調整;AF),自動白バランス (AWB)のいわゆる,撮像条件の最適化に関する3大機能の実現により,簡単な操作で素人でも良い画像が撮れるようになったことである.

一方, ビデオ側ではシリンダ系を中心とした高精度機構技術の開発, テープ-磁気ヘッド系の材料部品の向上, さらに, これらの技術基盤の上に立った VHS-C, 8ミリなどの新規格の小型カセットの実現が挙げられよう.

これらの広範囲の新しい技術開発によって,現在の ビデオムービーは完成の域に近づきつつあるといって も過言ではない.

また、今後は27万画素中心から40万画素へと

テレビジョン学会誌 Vol. 45, No. 9, pp. 1049~1053 (1991)

正会員 竹 村 裕 夫

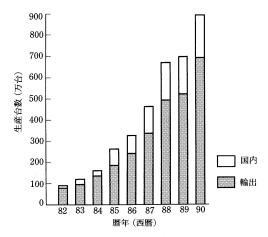


図1 ビデオカメラの生産台数1)

CCD の多画素化がいっそう進み、S-VHS、ハイバンド 8 ミリの新規格と相まって高画質化が注目される. さらに、ディジタル化に伴う新機能の実現と、ビデオムービーの将来が秘めている無限の可能性に対し、大きな期待が寄せられている.

2. 民生用 CCD デバイス技術

CCD カメラの性能改善に著しく効果のあった最近の CCD デバイス技術は、

- (1) 縦型オーバフロードレイン(VOD)構造
- ② オンチップ色フィルタアレイの形成
- ③ 感光部の埋込みフォトダイオード
- ④ フォトダイオード表面のマイクロレンズ

であるといえよう. これらの新技術により, ①暗電流の低下, ②ノイズの低減, ③光の利用率向上, ④スミアの低減, ⑤ 固定パターンノイズの減少, ⑦混色の改善等, カメラの基本性能に関する部分が改善されてきた. これらの関係を図2に示す.

まず,ブルーミング,スミアに関しては,縦型オーバフロードレイン構造が大きく貢献している.これは 図3のように過大入力光で発生したキャリヤを基板の

[†] 株式会社東芝 HD システム事業推進部

[&]quot;Imaging Devices for Consumer Video Cameras and Electronic Circuit Technologies" by Yasuo Takemura (Toshiba Corp., Yokohama)

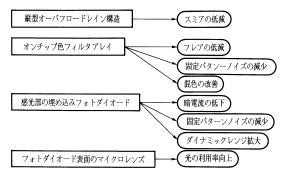


図 2 カメラの性能改善に効果のあったデバイス技術

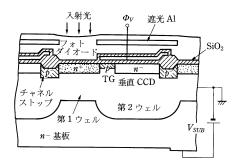


図3 縦型オーバフロードレイン構造4

縦方向に流す構造である²⁾⁻⁴⁾. 従来, オーバフロードレインは感光部のフォトダイオードや垂直転送 CCDと並列に, いわば溝をつけるような形で配置させれていたので, 感光部の有効領域が損われていた. これに対し, VODは, 立体構造をとっているので領域の有効活用ができ, 開口率を上げることができるうえ, 基板の垂直方向に拡散する電荷を減少できるという大きな特徴がある.

CCD1個でカラー情報を得るためには色フィルタアレイを用いるが、これをCCDチップの表面にダイレクトで形成する、いわゆる、オンチップ色フィルタアレイ技術が一般化してきた。CCDのような光電変換デバイスでは、ごみ、汚れが歩留まりに大きく影響する。また、色フィルタアレイをガラスの表面に作り、CCDチップと張り合わせると、位置精度、ガラス面での反射等の影響による混色、フレアが発生し、不具合も多かった。図4のようにCCDプロセスとの一貫作業でカラー用CCDを作っていくと、このような欠点が解決される。

感光部のフォトダイオードを**図5**のように BPD(埋め込みフォトダイオード)で形成することにより,半導体表面で発生する暗電流を抑制し,これによる固定

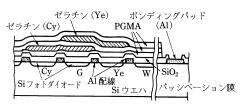


図 4 オンチップ色フィルタの断面構造6)

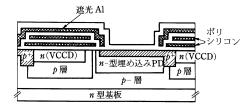


図 5 埋込みフォトダイオードの構造"

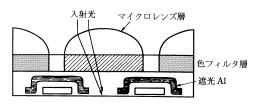


図 6 オンチップマイクロレンズアレイ10)

パターンノイズ(FPN、素子むらとも呼ばれる)が改善された。また、pn 接合面積の増加により、フォトダイオードの電荷蓄積容量が大きくなった。これらによりダイナミックレンジの拡大に効果があった n .また、この方法ではオーバフロードレインに直接、不要電荷を捨てることにより、可変電子シャッタ動作が可能である n .

IT (Interline Transfer) - CCD では感光面の開口率を向上することが感度アップ、光の利用率改善のためにも必要である。図6のように CCD 画素の上に小さなレンズをつけて実質的に開口率を上げる技術が実用化されてきた 910)。色フィルタアレイ形成後に表面を平担化、透明樹脂を塗布した後、フォトリソグラフィ技術を駆使してレンズを形成している。これにより、 $1.5\sim2.5$ 倍の感度向上が達成されている。

今後は感光面積が 1/3 インチから 1/4 インチへとさらに小型化が進むと予想されるが、単に微細加工だけでなく $2 \sim 3$ の要素技術の飛躍が必須である. この次世代の CCD では、出力段での検出アンプの高効率化、垂直転送手段の革新等が重要であろう.

前述したように暗電流が小さくノイズが減少すると, 微弱な信号電荷を検出することが必要になる. 前

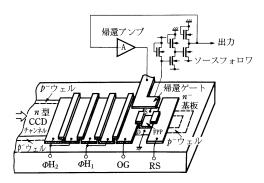


図 7 高感度検出器の一例13)

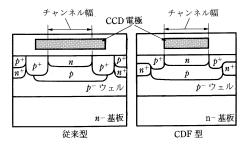


図 8 CDF(Channel-stop Diffusion Free) 型垂直 CCD 断面構造¹⁰⁾

者の一例ではフローティングサーフェスアンプで 220 μV/電子の検出感度が得られ、雑音等価電子数で 0.5 電子 rms が得られたとの報告がある11)12). さらに, 図7に示すようにソースフォロワから負帰還ループを 作ることにより、1/3インチIT-CCDで94dBのダ イナミックレンジが得られる検出器の報告がある13). 後者については、狭い電極幅でスミアの増加がなく信 号電荷が高速で運べることが必要である. 一例では図 8に示すように、CCD電極幅を小さくできる CDF (Channel-stop Diffusion Free) 型垂直 CCD(VCCD) 構造がある¹⁰⁾. VCCDの n 型埋め込みチャンネル層 の両端を p型チャンネルストップ拡散層で挟む代わ りに、フォトダイオードの表面 p⁺ 層を VCCD 電極端 まで拡張して埋め込みチャンネル幅を規定するもので ある.また,各画素が独立で取り出せ14),高速で移動 できる転送手段も必要であろう.

3. 電 子 回 路

3.1 色分離回路

単板式カメラに使用される色差線順次方式でも、色フィルタの分光特性、光学低域炉波器(LPF)、色分離回路によって色再現と偽色信号がかなり変化する。複数の水晶板を用いた光学 LPF の効果により被写体の高周波成分が確実に抑制できるようになり、単板式

特有の偽色信号はかなり抑えられるようになった. しかし,回路的な補正を併用することにより,いっそう性能が向上する.

色分離回路方式も工夫され、色再現が良く、垂直偽色信号が少ない方式も発表、実用化されてきた。色差線順次方式の信号を RGB の 3 原色信号に戻してからガンマ処理をして色再現を良くするなどの改善が実施されてきた $^{15)16}$. $2\sim3$ 個の 1H 遅延線を使って 2 ラインまたは 3 ラインの信号を同時に処理していくことにより、画質の向上を図っている。

3.2 ディジタル処理

信号処理回路をディジタル化することにより新機能を付加し、回路の小型化、無調整化を図る試みが実用化され始めている^{17)~20)}.

カメラのディジタル化は,入射光の範囲が広いため A/D変換器のビット数が足りなくなることから,汎用の 8 ビット A/D変換器が使えず,ディジタル化が困難な回路であった.しかし, $8\sim10$ ビットの AD変換器が容易に手に入るようになり,何らかのアナログ前処理回路を併用することにより実現可能になってきた.また, $1\sim1.5\,\mu m$ CMOS 技術により高集積化が可能になり,実用レベルの LSI が安価に製造可能になった半導体技術の進歩によるところが大きい.

カメラのディジタル化のメリットは,

- 小型・軽量化(特殊部品の減少,部品点数の削減,調整箇所の削減)
- ② 高性能化(回路の特性改善,安定性)
- ③ 新機能実現(手振れ補正,電子ズーム,静止画 特殊機能)
- ④ 低消費電力
- ⑤ 工数削減

などである.

4. カメラ機能

4.1 撮影条件の最適化に必要な基本機能

ビデオムービーで撮影する際には、露光量、ピント、色温度の3条件を最適値に設定することが必要である。当初は、写真機で実用になった技術が採用されてきたが、CCDカメラの特徴に合った新技術が開発されつつある。CCDという大きく、精度の良い画像センサを有しているので、これを用いてハイテク技術が駆使できる。

自動的に露光量を補正する、オートアイリス (AI) では逆光時、過大光時でも所望の被写体が失敗なく撮像できることが期待されている.このため、画面を複数の領域に分割し、各領域の輝度レベルをもとに露光

量の最適制御を行う方式があるが,この際にファジー 理論を用いて最適な露光条件を決定し,性能の向上を 図っている²¹⁾²²⁾.

また、オートフォーカス(AF)では"山登り AF"が多く用いられるようになってきた.この方式は画像の尖鋭度、すなわち、映像信号の高周波成分が最大になるように光学系の焦点調節機構を制御して自動的に最適ピント位置を確保する方式である.この方式でフォーカシングモータの速度制御にファジィ理論を用いて ± 127 段階の制御を効率良く行い、従来方式に比べ、2 割程度早く、しかもスムーズな制御が可能になっている 23). 一方、"山登り AF"は被写体の動き、手振れ、パンニングなどの外乱によって誤動作しやすい欠点があるが、高周波成分の時間平均と外乱成分の抽出によってこれらを改善した報告もある 24).

4.2 新機能

ビデオムービーの新機能には、手振れ補正、電子ズーム、電子シャッタ、フレーム静止画、オートズーム、ポートレート、自動追尾などがある. すでに紹介されている技術も多いので、主な技術を簡単に触れることにする.

(1) 手振れ補正

ビデオカメラが小型で軽くなり、ズームレンズのズーム比が6倍、8倍と大きくなると、手持ち撮影ではブレが生じ、良い画像が撮れなくなる。そのため揺れ補正が行われるようになってきた。当初、音叉などによる外部センサで手振れを検出し、撮像レンズを移動させるメカニカルな方式が実用化された25)26)。しかし、この方式では小型・軽量化が難しいため、ビデオムービー用としては電子式が製品化されている。

純電子式画像揺れ補正装置は,②9に示すような構成のものが製品化されている $^{27)28)$. 入力信号は動きベクトル検出部に加えられる.ここには新しく開発された BERP(Band Extract Representative Point) マッチング法を用いている.代表点マッチングを行う前に信号の帯域制限を行い,得られた複数の相関値を用いて内挿することにより,演算量を低減し,ベクトル検出精度を改善したものである.これにより,演算量が少なく,精度の良い相関演算が可能になり,効率良く動きベクトルが検出される.

動きベクトルを求める領域と代表点の配置を図10に示す。全画面を4分割し、各領域で30代表点を選ぶ、動きベクトル検出を行う演算範囲は46画素と16ラインであり、大きな動きベクトル検出を行うために演算範囲を移動させるようにし、最大の動きベクトル検出範囲を94画素、31ラインとしている。

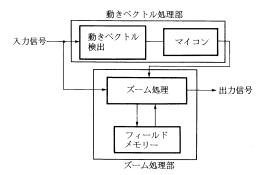
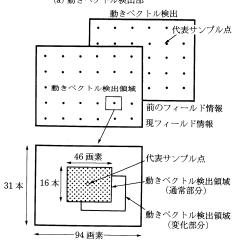


図 9 電子式画像揺れ補正システムの構成28)



(a) 動きベクトル検出部



(b) 動きベクトル検出領域

図 10 動きベクトル検出の領域と代表点配置28)

図9の電子ズーム部は内挿補間部とフィールドメモリーから構成されている.

これらの回路を 2 個の新規の LSI ≥ 1 個の汎用マイコンで構成し、マイコンと画像メモリーを含めて消費電力 1.5 W で実現している。

(2) 電子ズーム

画面の特定部分を電子的に拡大して全画面に表示しようとするもので、図 11 のように、CCD の駆動制御と走査線の間引き、補間を繰り返すことにより実現可能である $^{29)30}$. しかしながら、原画像から一部分を取り出し、画像処理によって何らかの補間を行うために

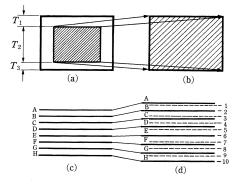


図 11 電子ズームの原理29)

情報が失われるので,原画像の画質に余裕がないと, 電子ズーム画像は物足りない感じになる.

5. む す び

ビデオムービーは小型軽量が第一優先であるが,この次には再び,高画質化に推移するであろう.高画質化に伴い,テレビ受像機,記録機器との整合性が問題となろう.

従来の家庭用のテレビ受像機は比較的低い周波数で輪郭強調が行われてきたが、ED(Enhanced Definition)TV など周波数特性の異なるテレビ受像機が出現し始めている。同じカメラの出力信号を加えても、表示装置によって画質がかなり違ってくる。

一方,電子カメラのように静止画像を受像機で観測する場合とハードコピーにして見る場合とでは,画質評価の尺度も変わってこよう.

したがって、家庭用のカメラでは表示までトータルシステムで画づくりを進めることが必要であると思われる. (1991年5月8日受付)

〔参考文献〕

- 1) (社)日本電子機械工業会資料による.
- 2) 山田:"固体撮像装置", 特許公報 昭59-17581 (1978年1月13日)
- Y. Ishihara, et al.: "Interline CCD Image Sensor with an Anti Blooming Structure", ISSCC Digest of Tech. Papers, pp. 168-169 (Feb. 1982)
- 4) 石原ほか:"縦型オーバーフロー構造 CCD イメージセンサ",テレビ誌, 37,10,pp.782-787 (Oct. 1983)
- 5) P. L. P. Dillon, et al.: "Fabrication and Performance of Color Filter Arrays for Solid-State Imagers", IEEE Trans. Electron Devices, **ED-25**, 2, pp. 97-107 (Feb. 1978)
- 6) 笹野ほか:"単板カラー固体撮像素子用色フィルタ", :テレビ誌, 37, 7, pp. 553-558 (July 1983)
- 7) 広島: "画質競う撮像素子, 80 dB と 430 TV 本を両立させた 1/2 インチ CCD", 日経マイクロデバイス, pp. 104-111 (Nov. 1988)

- 8) 浜崎ほか:"可変電子シャッター付 IT-CCD 撮像素子", テレビ学技報, **12**, 12, pp. 31-36 (Feb. 1988)
- Y. Ishihara and K. Tanigaki: "A High Photosensitivity IL-CCD Image Sensor with Monolithic Resin Lens Array", IEDM83, pp. 497-500 (Dec. 1983)
- 10) 池田ほか:"1/3 インチ 36 万画素 IT-CCD センサ", テレビ 学技報, 15, 16, pp. 31-36 (Feb. 1991)
- 11) Y. Matsunaga, et al.: "A High Sensitivity Output Amplifier for CCD Image Sensor", IEDM Digest Tech. Papers, 6.1, pp. 116-119 (Dec. 1987)
- 12) 松長: "CCD 用高感度電荷検出器", テレビ学技報, **13**, 64, pp. 21-24 (Dec. 1989)
- 13) Y. Matsunaga and S. Ohsawa: "1/3-inch Interline Transfer CCD Image Sensor with Negative Feedback 94 dB Dynamic Range Charge Detector", ISSCC, FAM 12.2, pp. 210-211 (Feb. 1991)
- 14) T. Abe, et al.: 400 K Pixel Full Frame Readingout FIT-CCD Color Pickup System, IEEE Trans. CE, 36, 4, pp. 859 -865 (Nov. 1990)
- 15) 西村ほか:"画素混合 CCD カメラにおける同時 RGB 処理", テレビ学技報, 13, 11, pp. 49-54 (Feb. 1989)
- 16) 今出ほか: "デジタル AWB を信号処理 LSI に取り込んだ 小形 CCD カメラシステム", テレビ学技報, 14, 16, pp. 13-18 (Feb. 1990)
- 17) 大坪ほか: "カメラ信号処理回路のデジタル化", テレビ学技報, 15,7, pp. 25-30 (Jan. 1991)
- 18) A. Morimura, et al.: "Digital Video Camera System", IEEE Trans. Consumer Electronics, 36, 4, pp. 866-876 (Nov. 1990)
- 19) 田村ほか:"単板ビデオカメラのデジタル信号処理", テレビ学技報, **15**, 7, pp. 37-42 (Jan. 1991)
- H. Matsumoto, et al.: "A Single-Chip Digital Signal Processor for CCD Cameras", ISSCC, FPM 15.2, pp. 250– 251 (Feb. 1991)
- 21) 春木:"ファジー理論を用いたオートアイリスシステム", テレビ誌, **44**, 8, pp. 1053-1059 (Aug. 1990)
- 22) 鴨川,春木:"4-2ファジー制御",テレビ誌,44,9,pp. 1196-1202 (Sep. 1990)
- 23) 金田, 本間:"ファジー理論を応用したビデオカメラ用オートフォーカスの開発", テレビ学技報, 14, 21, pp. 35-40 (Mar. 1990)
- 24) 野崎ほか:"画像検出方式オートフォーカスの一構成法", テレビ学技報, 14,66, pp. 27-32 (Nov. 1990)
- 25) 稲治ほか: "テレビカメラの画揺れ防止技術の開発", テレビ学技報, 11, 28, pp. 19-24 (Nov. 1987)
- 26) M. Ooshima, et al.: "VHS Camcorder with Electronic Image Stabilizer", IEEE Trans. Consumer Electronics, 35, 4, pp. 749-757 (Nov. 1989)
- 27) K. Uomori, et al.: "Automatic Image Stabilization System by Full-Digital Signal Processing", IEEE Trans. Consumer Electronics, 36, 3, pp. 510-519 (Aug. 1990)
- 28) 森村ほか:"純電子式画像揺れ補正システム", テレビ学技報, 15, 7, pp. 43-48 (Jan. 1991)
- 29) 小島ほか: 撮像素子制御による任意倍率電子ズームの検討",テレビ年次大,8-1,pp.161-162 (1989)
- 30) 小松ほか: "固体カメラ用任意電子ズームの画質評価", テレビ年次大, 2-8, pp. 29-30 (1990)

