

デジタルハイビジョンムービーの高画質化技術

High- Image-Quality Technology for Digital High-Definition Camcorder

永井 正
Tadashi Nagai

豊村 浩一
Koichi Toyomura

村上 正洋
Masahiro Murakami

上田 祐士
Yuji Ueda

黒木 健一
Kenichi Kuroki

床井 雅樹
Masaki Tokoi

要 旨

近年の地上デジタル放送，ブルーレイディスク，フルハイビジョン薄型大画面テレビの普及に伴い，デジタルハイビジョンムービーに対する高画質化への要求はますます高まっている。

筆者らは，デジタルハイビジョンムービーに新開発の1/6型 Maicovicon[®]を用いた3MOS（3 Metal Oxide Semiconductor）システム，高精度顔認識AF（AutoFocus）システム，アドバンスドO.I.S.（Optical Image Stabilizer），おまかせiA（intelligent Auto）機能を搭載した。そして，撮影した映像を高画質，高音質のまま圧縮・記録を行うシステムLSI UniPhier[®]XPの採用により，ハイビジョンムービーに求められる高画質と小型，低消費電力化の両立を図った。

Abstract

With the diffusion of terrestrial digital TV broadcasting, Blu-ray Disc recorders and large flat-screen-type full high-definition televisions in recent years, demand for higher image quality in High-Definition (HD) digital camcorders is increasing. The authors have developed an HD camcorder with high-image-quality recording, small size, and low power consumption which are desired in HD camcorders by adopting the UniPhier[®]XP, a system LSI that can compress and record video images with high image quality and high sound quality. In addition, this camcorder has many functions such as 3 Metal Oxide Semiconductor (3MOS) system using newly-developed 1/6 type Maicovicon[®], high-accuracy face-detection autofocus system, Advanced Optical Image Stabilizer (O.I.S.) system and intelligent automated functions.

1. はじめに

近年の地上デジタル放送，ブルーレイディスク，フルハイビジョン薄型大画面テレビの普及に伴い，デジタルハイビジョンムービーに対する高画質化への要求はますます高まっている。高画質化は，単に撮像系の高画素化や高精細化を追求するだけでは実現することができず，AF，AE（Auto-Exposure），AWB（Auto White Balance）などの性能向上やブレの抑制，映像信号の圧縮技術，だれでも簡単かつきれいに撮れる「おまかせ撮影機能」など，デジタルハイビジョンムービーとしての総合性能が要求される。

一方，小型化，低消費電力化は，バッテリーの小型化や長時間記録が求められるデジタルハイビジョンムービーの必須条件であり，高画質化との両立は不可欠である。

本稿では，新開発の3MOSシステム，高精度顔認識AFシステム，アドバンスドO.I.S.，おまかせiA，高性能システムLSI「UniPhier XP」などの高画質化技術について説明する。

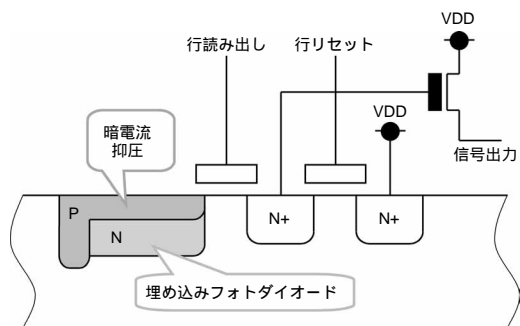
2. 3MOSシステム

小型，高画質，低消費電力のデジタルハイビジョンムービーは，新開発のMOS型イメージセンサ「Maicovicon」の採用と，イメージセンサを3つ用いた当社独自の3MOSシステムによって実現できた。

2.1 MOS型イメージセンサ「Maicovicon」

筆者らは，デジタルハイビジョンムービーの小型化と高画質化を両立させるため，イメージセンサには新開発の1/6型MOS型イメージセンサ「Maicovicon」を採用した。第1図に，Maicoviconの画素部構成を示す。

従来のMOS型イメージセンサは，光電変換部に簡単なPN接合を用いたため暗電流によるFPN（Fixed Pattern Noise）が大きく高画質ビデオカメラへの搭載が困難であったが，新開発のMaicoviconは，光電変換部にCCD（Charge Coupled Devices）技術，周辺回路にはCMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）技術を用い，第1図に示すように埋め込みフォトダイオードの表面にP層を形成することにより暗電流発生を抑制し，CCDに匹敵する高画質化を実現した。



第1図 Maicovicon画素部構成

Fig. 1 Pixel composition of Maicovicon

〔1〕高画質（高感度／低スミア）

電荷転送動作を行わないMOS型イメージセンサでは、電荷転送用の垂直CCDが不要となり、光電変換部の開口面積を広く取ることが可能である。Maicoviconでは更なる開口面積の拡大を図るために、電荷・電圧変換用MOSトランジスタに1画素3トランジスタ構成を採用した。そして、集光用オンチップレンズの最適化と併せて同一セルサイズのCCD比約2倍の感度向上を実現し、カメラとして最低被写体照度2 lxを実現可能にした。

また、垂直転送CCDが不要なため、光電変換部から垂直転送CCDに光が漏れこみ、高輝度部の上下に発生するスミアと呼ばれる縦帯状のノイズ発生を大幅に抑圧できた。

〔2〕低消費電力

容量性負荷を駆動し電荷転送を行うCCDに対し、MOSトランジスタのスイッチ動作で駆動するMaicoviconの採用により、駆動部を含むセンサ電力を従来比1/3以下となる約80 mWにでき、低消費電力化を実現した。さらに、この低消費電力化でイメージセンサの温度上昇抑圧が可能となり、6 dB/8°で増加する暗電流による画質劣化の軽減が図れた。

2.2 小型プリズムユニット

光学系の小型化のため、“ギャップレスプリズム”と呼ばれるエアギャップをもたないプリズムユニット構成を採用した。このプリズムユニットは、入射光を光の3原色であるRGBに色分解するための各プリズムとMOS型イメージセンサ間が、直接強固な密着構造になっているためエアギャップを高精度に維持するための別部材が不要となり、民生機器に求められる小型化と高信頼性の両立が図れる。

反射回数が奇数回になるB用イメージセンサ出力は、他のイメージセンサ出力の鏡像となるが、MOS型イメージセンサの特徴である画素読み出し自由度の高さを生かし、

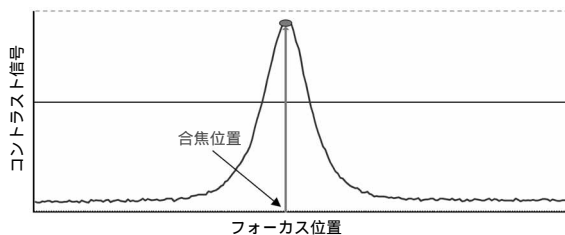
信号処理回路増加なしで鏡像処理を実現した。

3MOSシステムでは、フルハイビジョン画質に必要な映像情報を得るため、G用イメージセンサに対してR、B用イメージセンサを垂直方向、水平方向にそれぞれ0.5画素ずらして張り合わせる当社独自の画素ずらし工法を採用した。そして、各構成部品の精度向上、工法の見直しなどにより、従来比約2倍の画素ずらし精度を確保し、安定した1920×1080フルハイビジョン解像性能を実現した。

3. 高精度顔認識AFシステム

3.1 AF制御方式

AFの合焦制御は、指定した範囲のコントラスト信号を取得し、フォーカスレンズをFAR側とNEAR側に駆動させることで信号差分を比較し、第2図に示すように信号レベルが最も高い位置にフォーカスレンズを駆動させることで合焦を実現させている。一般に、信号のピークが顕著なほど高い合焦精度が得られる。



第2図 合焦位置とコントラスト信号の関係

Fig. 2 Relationship between focus position and contrast signal

3.2 AF合焦制御の技術課題と対策アルゴリズム

本カメラシステムでは、顔認識機能が搭載されており、逆光、暗いシーン、横顔といった厳しい被写体条件においても正確に顔を検出し、合焦させる必要がある。

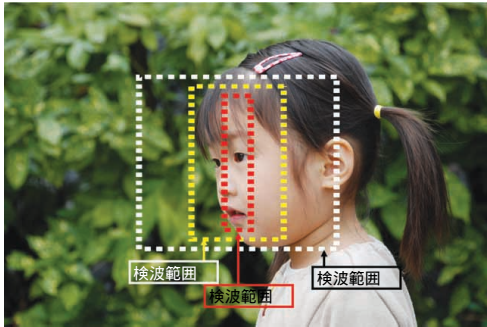
横顔の場合にも特定の顔に合焦させるためには、コントラスト信号検波範囲を顔の約5割の大きさで設定する必要がある。しかし、顔のサイズが小さい場合や顔が動いた時などは信号が著しく低下し、ノイズ量が増えることから安定性や合焦精度に問題が生じた。

この課題を解決するために、顔の大きさと位置に対して、第3図に示すような複数の信号検波範囲を設定し、これら複数の検波範囲のコントラスト信号を合算平均することで安定性を確保することが可能になった。さらに、複数の検波範囲の合算の際に、中央部の信号に重みづけを行うことにより、第4図に示すように高いピーク信号が得られ、合焦精度の向上が図れた。

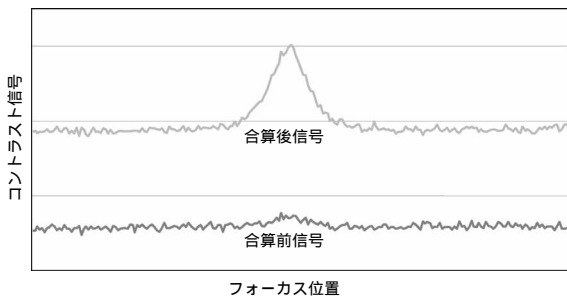
なお、重みづけは各検波範囲の面積比に応じて行い、検

波範囲 ω_1, ω_2 の面積をそれぞれ A, B, C 、信号を S_1, S_2, S_3 とした場合、合算信号は次式で表される。

$$\text{合算信号} = S_1 \times (B/A) + S_2 + S_3 \times (B/C) \dots \dots \dots (1)$$



第3図 指定顔でのコントラスト信号検波範囲
Fig. 3 Detection area of control signal on face detection



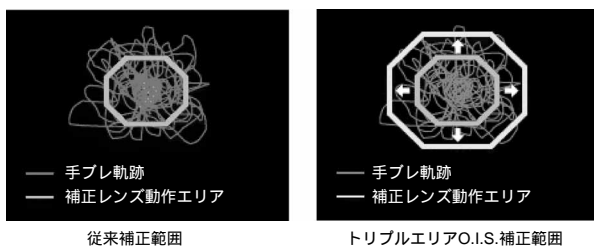
第4図 合算後のコントラスト信号
Fig. 4 Improvement of contrast signal

4. アドバンスドO.I.S.システム

高画質な動画撮影を行うために、画質劣化や残像がない光学手ブレ補正の採用は必須である。筆者らは、手ブレ補正性能を飛躍的に高めたアドバンスドO.I.S.の開発を行った。

4.1 トリプルエリアO.I.S.

第5図に示すように、補正レンズの作動エリアを従来の



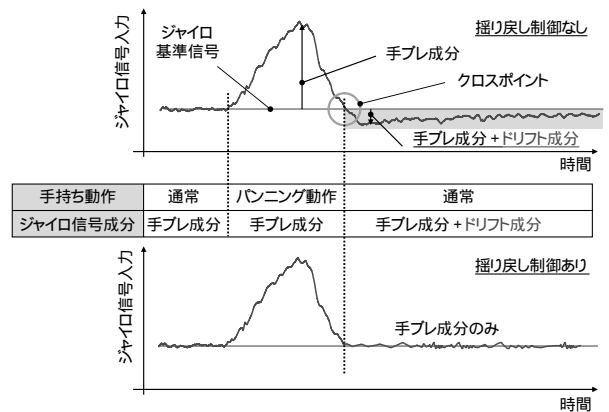
第5図 トリプルエリアO.I.S.補正範囲
Fig. 5 O.I.S. with 3 times as large correction area as before

約3倍に広げ、手ブレのカバー率を大幅に拡大するとともに、4000回/秒の手ブレ検出データを用いた制御を行うことにより、これまで撮影時に補正することができなかった大きな手ブレも抑制することができ、高精細ハイビジョン映像にふさわしい動画撮影を可能にした。

4.2 揺り戻し現象と対策

O.I.S. 制御には、動き検出センサ（以下、ジャイロと記す）を採用している。ジャイロの特性上、パンニング動作後に手ブレ成分とは異なるドリフト成分が発生する。従来のO.I.S. 制御では、このドリフト成分に対しても補正をかけてしまい、撮影者の意図していないブレ補正が生じる原因となる。トリプルエリアO.I.S. では、この「ドリフト成分」に対してもより強く補正してしまい、違和感のある動画になることが予想された。

そこで、第6図に示すように、ジャイロ基準信号からジャイロ信号が一定期間同じ方向に出力された時をパンニング開始、ジャイロ信号とジャイロ基準信号とのクロスポイントをパンニング終了と判定する。そして、クロスポイント以降のジャイロ信号に対するLPF (Low Pass Filter) 出力を「ドリフト成分」と判定し、パンニングの揺り戻しをキャンセルする新しいアルゴリズムを開発した。なお、チルティング動作についても同様の制御を行っている。



第6図 揺り戻し制御
Fig. 6 Algorithm to correct gyroscopic drift

5. おまかせiA

「おまかせiA」は、iAノーマル、人物、スポットライト、風景、ローライトの5つの撮影シーンを自動判別してカメラの設定を切り替える機能であり、だれでも簡単に高画質・高品位な映像を撮影できるデジタルハイビジョンムービーを提供するうえで有効な機能である。

5.1 おまかせiAの構成

おまかせiAの構成は、従来の撮像システムがベースであり、AF、AE、AWB、O.I.S.、画質制御などのカメラ制御を行うために必要なレンズ、イメージセンサ、カメラ信号処理LSI（以下、カメラLSIと記す）、マイコンなどの要素から成る。いずれも、当社独自開発のデバイスである。

カメラLSIで特徴量（明るさ、コントラスト、顔の大きさや位置情報など）を検出し、マイコンでズームとフォーカスのレンズ位置情報から被写体距離を推定するとともに、これらの情報から撮影シーンを判別し、その判別結果に応じてAFやAEおよび画質補正の制御方法を切り替える動作を行う。

5.2 シーン判別の高速化・高精度化・安定化

動画撮影では、シーン判別中も映像がそのまま記録されるため、判定の高速性や高精度化への要求が厳しく、またハンチング防止やシーン移行の連続性など安定した制御が求められる。

これらの要求を実現するために、演算負荷の重い特徴抽出処理をカメラLSIでハード処理することで、明るさ分布や顔情報、コントラストをリアルタイムに検出している。また、マイコンで特徴量の空間配置情報の細分化や統計的な演算処理を行うことで判別精度を高めるとともに、特徴量およびシーン判別の優先づけ、特徴量の時間的な連続性の考慮、判別のヒステリシス制御などにより制御システムの安定化を図った。

以上の対策と実写評価による特徴量の検出やシーン判別の閾値（しきいち）の最適化を行い、5つの撮影シーンの自動判別を可能にした。シーン判別に用いた主な特徴量と撮影シーンとの関係を、第1表に示す。

第1表 判別シーンと特徴量の関係

Table 1 Relationship between scenes and characteristic of objects

特徴 シーン	明るさ	コントラスト	顔	距離
iAノーマル			-	-
人物	-	-		
スポットライト			-	-
風景			-	-
ローライト			-	-

5.3 シーン適応制御による高画質化

シーンに応じてAF、AE、画質の設定を、第2表に示すように切り替えている。たとえば、スポットライトを判定した場合、高輝度部の色飛びを抑える絞リ制御を行っている。

第2表 判別シーンとカメラ制御の関係

Table 2 Relationship between scenes and camera control

制御 シーン	〔AF〕 ピント	〔AE〕 絞リ、シャッター ゲイン	〔画質〕 コントラスト 補正	〔画質〕 肌色 ディテール
iAノーマル	標準	コントラスト優先	補正	標準
人物	顔優先	顔優先	補正	補正
スポットライト	標準	高照度優先	標準	標準
風景	標準	コントラスト優先	補正	標準
ローライト	標準	感度優先	標準	標準

以上のように、高速・高精度なシーン判別とシーン適応カメラ制御によって、低照度、逆光、過順光などの厳しい撮影条件下でも、黒つぶれや色飛びの少ない高画質な映像をボタンやメニューを操作せずに自動で撮影・記録する「おまかせiA」を実現した。

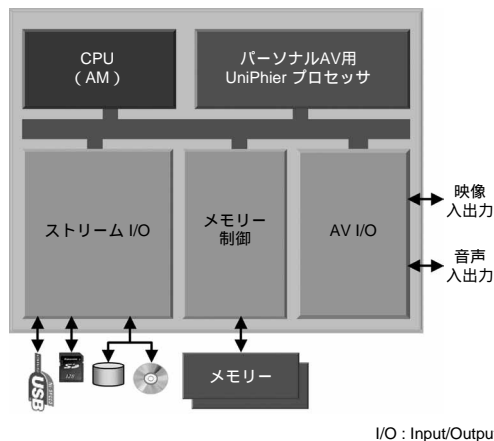
6. システムLSI「UniPhier XP」

6.1 UniPhier XPの全体構成

UniPhier XPは、当社システムLSIの統合プラットフォームである「UniPhier」アーキテクチャに準拠し、パーソナルAV向け処理を統合したシステムLSIである。

本システムLSIでは、MPEG-4 AVC/H.264（以下、H.264と記す）を動画圧縮方式として採用し、フルハイビジョン映像の記録再生が可能である。また、従来のスタンダード画質でのMPEG-2記録再生も可能であり、これらAVメディア処理全般を新世代のUniPhierプロセッサで実現している。

第7図は、UniPhier XPのブロック図である。また、第3表にAVメディア処理の概略仕様を示す。



第7図 UniPhier XP システムLSIブロック図

Fig. 7 Block diagram of UniPhier XP system LSI

第3表 AVメディア処理概略仕様

Table 3 Main specification of AV media processing

ビデオコーデック	MPEG-4 AVC/H.264	HP@Level4.0
	MPEG-2	MP@ML
	JPEG	基本DCF準拠
オーディオコーデック	Dolby ^{R(注)} Digital (AC3)	5.1ch ,2ch
	MPEG-1 Layer2	2ch
	LPCM	2ch

MP@ML : Main Profile at Main Level
 JPEG : Joint Photographic Experts Group
 DCF : Digital Camera Format
 LPCM : Linear Pulse Code Modulation

6.2 UniPhier XPの特長

本システムLSIは、H.264フルハイビジョンのコーデックに必要なデータ転送性能を、高効率なDRAM (Dynamic Random Access Memory) 制御方式により実現している。こうすることにより、前世代のシステムLSI (UniPhier 2P) に比べ、大幅な性能向上を実現しつつも、クロック周波数を極力抑えた低動作周波数アーキテクチャと、徹底したクロックゲーティングにより低消費電力を実現している。

6.3 高画質動画圧縮アルゴリズム

動画圧縮では、パナソニックハリウッド研究所 (Panasonic Hollywood Laboratory) が開発したH.264 High Profileをベースに、ビデオカメラ特有の画質課題を解決するために、独自の画質化技術を実装している。

代表的な新技術としてインターレースTV信号への参照Bピクチャーの導入、適用参照技術の開発がある。参照Bピクチャーは、リアルタイム圧縮では世界初の実用化である。動画圧縮では、映像をI, P, B, 3種類のピクチャーとして処理する。参照Bピクチャーとは、I, PのみならずBピクチャーも参照可能とすることで、圧縮効率を改善し、高画質化を図る技術である。シーンによる効果差はあるが、平均的に約10%の符号化効率改善を実現した。一方、参照Bピクチャー導入により参照関係が複雑化するため、映像の状況に応じて処理ピクチャーの最適な参照関係を選択する、適応参照技術を併せて開発導入した。これにより、被写体の変化、特に照度が変化するシーンにおいて更に10%の効果改善を実現している。

6.4 UniPhier XPのマルチ記録メディア対応

本システムLSIは、SDHC I/F (Secure Digital High Capacity InterFace), Parallel ATA I/F (AT Attachment InterFace), USB I/F (Universal Serial Bus InterFace) などの

汎用I/F (InterFace) を内蔵している。

第7図に示されるように、Parallel ATA I/Fにはハードディスクや光ディスクなどの記録メディアが容易に接続でき、コンパクトな回路構成とソフトウェアの共通化を実現しているため、SDカード記録モデルとSDカードとハードディスクのハイブリッド記録モデル、2種類のデジタルハイビジョンムービーを同時開発することが可能となった。また、各I/Fに接続されるメディア間のデータ移動やコピーも容易に行えるなど、使い勝手の向上を実現している。

7. まとめ

本論文にて解説を行った3MOSセンサシステム、高精度顔認識AFシステム、アドバンスドO.I.S.、おまかせiA、システムLSI「UniPhier XP」の技術は、デジタルハイビジョンムービーの高画質化と小型軽量化、UD (Universal Design) を実現し、2008年夏モデルHDC-SD100/HS100として商品化を行った。

今後のデジタルハイビジョンムービーは、TV画面の大画面化/高精細化に伴い、更なる基本の高画質化はもろんのこと、それを支えるAF, AE, AWB, O.I.S.などの自動制御システム技術や、シーン判別、画像認識技術においても、より高精度化/高速化を推進してゆく必要がある。

また、高容量化が進むSDカードを記録メディアにして、本体の省電力化により小型&タフで長時間記録を目指すとともに、ハイビジョン画質の保存再生環境の更なる拡大充実を図り、小型/高画質で使いやすいデジタルハイビジョンムービーの開発を推進してゆく。

参考文献

- 1) 山内栄二 他：半導体メモリーを記録媒体とした民生ビデオカメラ 映像情報メディア学会誌 60, No.3, pp.307-310 (2006).

(注) ドルビー・ラボラトリーズの商標または登録商標

著者紹介



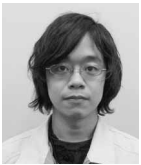
永井 正 Tadashi Nagai
AVCネットワークス社 ネットワーク事業グループ
Network Business Group, AVC Networks Company



豊村浩一 Koichi Toyomura
AVCネットワークス社 ネットワーク事業グループ
Network Business Group, AVC Networks Company



村上正洋 Masahiro Murakami
AVCネットワークス社 ネットワーク事業グループ
Network Business Group, AVC Networks Company



上田祐士 Yuji Ueda
AVCネットワークス社 ネットワーク事業グループ
Network Business Group, AVC Networks Company



黒木健一 Kenichi Kuroki
AVCネットワークス社 ネットワーク事業グループ
Network Business Group, AVC Networks Company



床井雅樹 Masaki Tokoi
戦略半導体開発センター
Strategic Semiconductor Development Center