民生用 4 板式ハイビジョンカメラの開発

正会員 篠崎 俊[†], 正会員 対馬 卓也[†], 吉田 政二[†],
北村 宏行[†], 諏訪 哲也[†], 木下 浩介[†]

Development of 4 CCD Consumer Use Hi-Vision Camera

Takashi Shinozaki[†], Takuya Tsushima[†], Masaji Yosida[†], Hiroyuki Kitamura[†],
Tetsuya Suwa[†] and Kohsuke Kinoshita[†]

Abstract A new 4 CCD Hi-Vision portable color camera utilizes consumer-type CCDs, leading to compact size, light weight, low cost, and low power consumption. As a result, the horizontal and vertical resolutions are more than 650 TV lines thanks to the new 4 CCD dual green system and special pixel offset imaging between G1 and G2 CCDs and between G1/G2 and R/B CCDs. A digital processing circuits allows switching between Hi-Vision and NTSC modes.

1. ま え が き

1991 年 11 月から開始された MUSE 試験放送は、3 年後の 1994 年 11 月に、実用化試験放送へ移行し現在に至っている¹⁾。その間に、ハイビジョン受像機の価格も低下し、ハイビジョンシステムが一般へ普及し始めている。

それに伴って放送用以外の業務、民生用分野においてもソフト制作に対する要求が高まってきており、民生用のポータブルなハイビジョン収録システムが望まれている。

このような市場の要求に応えるため、当社では、1993 年、VHS をベースにハイビジョン放送に対応し

た次世代家庭用 VTR の規格として W-VHS 規格を開発し²⁾、HR-W1 として製品化した。

しかし、民生用ハイビジョンポータブル収録システムを構築するためには、これとともに小型、軽量のハイビジョンポータブルカメラが必要不可欠である。

現在、ハイビジョンカメラは 2/3 インチまで小型化されているが、民生用ハイビジョンポータブル収録システムのためには、さらなる小型・軽量化が必須である。しかし、ハイビジョン用 CCD で 1/2 インチ以下のものは、画素サイズの縮小による感度、歩留まりの低下などの困難な問題から、いまだ開発されていない。

また、民生用ハイビジョンポータブル収録システム

キーワード：民生用ハイビジョンカメラ、4 CCD デュアルグリーン、デジタル信号処理、HD/NT 切換カメラ、民生用 CCD、クロック周波数変換

1995 年 3 月 17 日、情報入力/コンシューマエレクトロニクス研究会で発表

1995 年 8 月 7 日受付、1995 年 12 月 13 日最終受付

[†] 日本ビクター株式会社 技術開発本部 商品開発研究所 ビデオ開発クラスター(〒221 横浜市中区神奈川区守屋町 3-12, TEL 045-450-2458)

[†] Video Development Cluster, Product Development Center, Technology Development Division, Victor Company of Japan, Ltd. (3-12, Moriya-cho, Kanagawa-ku, Yokohama 221, Japan)

としては、収録時に NTSC モードで VHS に記録したい場合など様々な状況が想定され、それらに対処するため、NTSC モードでの撮像も可能なことが要求される。

このような問題を解決するため、我々は、ハイビジョン用ではない民生用 CCD を 4 枚使用して小型ハイビジョンカメラを実現する新デュアルグリーン方式を新たに開発するとともに、信号処理回路をデジタル化することによって、従来にないハイビジョン、NTSC 16:9、NTSC 4:3 の 3 つのモードでスイッチャブルに撮像が可能な、民生用ハイビジョンカメラを開発した。

2. 新デュアルグリーン方式

放送用ハイビジョンカメラは、1 インチ 200 万画素 CCD (表 1, CCD 1) により固体化され、近年はさらなる小型軽量化を実現するため、2/3 インチ 130 万画素、100 万画素 CCD (表 1, CCD 2, 3) によるハイビジョンカメラが開発されている。

これらのハイビジョンカメラは放送用もしくは業務用であり、2/3 インチ以上の光学系のためレンズおよび筐体が大きく、民生用ハイビジョンポータブルカメラへの展開は期待できない。

我々は、民生用ハイビジョンポータブルカメラには、よりいっそうの小型・軽量化が不可欠と考え、従来の 2/3 インチハイビジョンカメラをさらに小型化した民生用ハイビジョンカメラを開発することを目指した。その際、性能は、W-VHS VTR に接続して使うことを想定し、輝度信号水平解像度 480 本以上、垂直解像度 600 本以上と設定した。

現在、ハイビジョン用 CCD としては 2/3 インチ以

上のものしかなく、1/2 インチ以下の CCD の開発については、微細化にともなう感度、歩留まりの低下など解決すべき課題も多く、かなりの時間が必要と思われる。

我々は、小型、軽量の民生用ハイビジョンカメラを実現するため、ハイビジョン用ではない現行方式民生用 CCD をいくつか検討した結果、新開発デュアルグリーン方式で民生用 PAL 手振れ補正用 CCD (表 1, CCD 4) を使用すれば、民生用ハイビジョンカメラが実現可能なことを見出した。

2.1 既存デュアルグリーン方式

画素数の少ない CCD を用いて空間画素ずらしにより解像度を向上させる方法として、G 用 CCD に対して R、B 用 CCD を半画素ずらしして配置する RGB 画素ずらし方式³⁾ (以下 RGB 方式) と、2 枚の G 用 CCD を半画素ずらしして配置するデュアルグリーン画素ずらし方式⁴⁾ (以下デュアルグリーン方式) が知られている。RGB 方式では、グレイの被写体以外では折り返し信号の低減効果が低く、レンズの倍率色収差によって周辺解像度が低下する。

これに対しデュアルグリーン方式は、同じ G 用 CCD 間で画素ずらしを行っているため、このような問題は発生しない。また、ダイナミックレンジに関しても、最も飽和し易いグリーン光に対して CCD を 2 枚使っているため、カメラの総合的なダイナミックレンジが向上する。

一方、デュアルグリーン方式には 3 dB のノイズ劣化があるが、高域の変調度が RGB 方式より高いため、総合的には約 1.8 dB の劣化となることが報告されている⁵⁾。

以上のように、デュアルグリーン方式は若干のノイズ劣化はあるものの、折り返し信号の低減効果が高く、倍率色収差による周辺部の解像度劣化もなく、ダイナミックレンジに優れているという特長を持つ。

今回、我々は、この既存デュアルグリーン方式をベースに、ハイビジョン専用ではない現行方式の CCD を用いて民生用ハイビジョンカメラを実現するため、新デュアルグリーン方式を開発した。

2.2 新デュアルグリーン方式の CCD の選定

現行方式の民生用 CCD をハイビジョン用に転用しようとした場合、NTSC 用 CCD では垂直方向の有効画素数が 485 しかなく、ハイビジョンの垂直有効画素数 1035 の半分の 518 にも満たないため使用することができない。

また、PAL 用 CCD は垂直方向の有効画素数は 576 と充分多いが、水平方向の画素が足りず、垂直方向

表 1 CCD 特性
CCD specifications.

		CCD 1 (FIT)	CCD 2 (FIT)	CCD 3 (IT)	CCD 4 (IT)
イメージサイズ (inch)		1	2/3	2/3	1/3
画 素 数	H	1920	1258	960	858
	V	1035	1035	1035	726
有効画素数		200 万	130 万	100 万	63 万
クロック周波数 (MHz)		37.1	48.6	37.1	16.8
水平 CCD 数		2	1	1	1
画素サイズ (μm)	H	7.3	7.6	10.0	5.7
	V	7.6	5.2	5.0	5.0
用 途		放送用	放送用	業務用	民生用

518 画素と水平方向全画素を使っても、ハイビジョンの 16:9 のアスペクト比は得られない。

今回、これらの問題を解決するため、現行方式民生用 CCD の中から表 1 で CCD 4 として示した PAL 手振れ補正用 CCD を選定した。

この CCD は図 1 に示すように、水平 858、垂直 726 の有効画素を持ち、水平 808 画素、垂直 518 画素でハイビジョンの 16:9 のアスペクト比が得られる。また、NTSC で撮影する場合には 754:485 で 16:9、566:485 で 4:3 のアスペクト比が得られ、マルチモード撮影にも適している。

2.3 新デュアルグリーン方式と CCD 配置

2 枚の G 用 CCD、G1 と G2 の位置関係を図 2 に示す。

水平方向に関しては、従来のデュアルグリーン方式と同じく G1 と G2 を水平方向に 1/2 画素ずらして配置し、相互に補間することによって、808 の有効画素の 2 倍の 1616 画素相当の解像度を得ている。

次に、新デュアルグリーン方式における CCD の垂直方向の配置について述べる。ハイビジョンでは、毎フィールド 518 ラインの読出しが行われなければならないが、現行方式民生用 CCD では 2 ライン混合のフィールド読出しが行われており、フィールドの全画素読出しはできない。したがって、今回使用した PAL 手振れ補正用 CCD でも、1 枚では毎フィールド 518 本すべてを讀出すことはできない。

この問題を解決するために、新デュアルグリーン方式では、図 2(b) に示すように、2 枚の CCD、G1、G2 を垂直方向にも 1 画素分ずらして配置する。読出しは、フレーム蓄積と 1/60 秒シャッタを用い、2 枚の CCD で、垂直方向に隣接するラインを 1 ラインず

つ分担して読出す。この分担はフィールドごとに逆転する。図 2(c) にその様子を示す。あるフィールドでは、大文字で示した G1 が奇数ラインを、G2 が偶数ラインを読み、次のフィールドでは、逆に小文字で示した g1 が偶数ラインを、g2 が奇数ラインを讀出す。このようにして、毎フィールド 518 ラインを讀出すことが可能となる。

(a) 水平配置

(b) 垂直配置

図 1 CCD 撮像エリア
CCD image area.

(c) 空間配置

図 2 G1、G2 配置
G1、G2 alignment.

ただし、この方式ではフレーム蓄積モードと1/60秒のシャッタを使っているため、電荷の半分を捨てており、感度が半分に低下する。

通常のデュアルグリーン方式では、水平方向にのみ画素ずらしを行っているため、G1信号で直接にG2信号を補間することができる。これに対し、新デュアルグリーン方式では、垂直方向にも画素ずらしを行っているため、直接補間を行うと $n-1$ ラインと n ラインの垂直情報を加算することになり垂直解像度が劣化する。これを防止するため、 $n-1$ ラインのG1信号の水平高域成分を抽出して n ラインのG2信号を補間している。さらに、静止画時には、斜め解像度の劣化を防止するためメモリーを用いてG1信号をフィールド遅延させ、同じラインのG1信号でG2信号を補間している。

2.4 インタレース走査とCCD配置

G1, G2で毎フィールド518本の走査線が確保できたが、ハイビジョンでは、インタレースによって毎フレーム1035本の信号が必要である。

新デュアルグリーン方式では、インタレースに必要な情報を得るため、R, B用CCDをG1, G2用CCDに対して垂直方向に1/2画素ずらして配置する4板撮像方式を採用した(図3)。

以下に、まず本システムの水平方向の信号処理について述べる。輝度信号Yは低域輝度信号 Y_L と高域輝度信号 Y_H から作られており、低域輝度信号 Y_L はG1, G2信号を平均化した G_L 信号と、R, B信号から次式に基づいて生成される。

$$Y_L = 0.701 G_L + 0.087 B + 0.212 R \quad (1)$$

高域輝度信号 Y_H はG1, G2信号で相互に補間することによって生成した G_H を Y_H として用い、 $Y = Y_L + G_H$ として出力する。

次に垂直方向の信号処理について述べる。ハイビジョンに必要な1035本のインタレース走査を実現するために、片方のフィールドでは $Y = Y_L + G_H$ 信号をそのまま出力し、もう片方のフィールドでは、G1, G2

用CCDに対して1/2画素ずらして配置したR, B用CCDの信号から垂直高域成分 RB_{VH} を抽出し、 $Y = Y_L + G_H$ 信号に加算して出力する。

R, B信号から垂直高域成分 RB_{VH} を抽出するに際しては、R, B用CCDそれぞれでは259ライン分しか読出せないため、静止画時フィールドメモリーによる1フィールド遅延信号を用いて518ライン分の信号を得ている。 n ライン目のR, B信号を R_n, B_n とし、そのR, B信号をフィールド遅延して得た $n-1, n+1$ ライン目の信号を $r_{n-1}, b_{n-1}, r_{n+1}, b_{n+1}$ としたとき

$$RB_{VH} = \frac{2(R_n + B_n) - (r_{n-1} + b_{n-1}) - (r_{n+1} + b_{n+1})}{8} \quad (2)$$

なる演算で生成される垂直高域成分 RB_{VH} を片フィールドのY信号に付加して、垂直画素ずらし効果によって擬似的なインタレースを実現する。その結果、垂直方向のケルファクタを考慮に入れた理論的解像度を750TV本まで増やすことができる。

この際、R, B信号を使うため上下周辺部で倍率色収差の影響が出るが、ハイビジョンでは画面が横長であるため垂直方向での解像度の劣化は比較的少ない。

また、R, B用CCDはそれぞれ水平方向に808の画素を持つので、カラーの水平解像度は450TV本となる。

以上まとめると、新デュアルグリーン方式では、現行方式民生用CCDを4枚使用することによって、民生用小型ハイビジョンカメラを構成することが可能となる。限界解像度の理論上の特性を図4に示す。

水平900本、垂直500本の基本特性に対し、静止状態では、フィールドメモリーを用いてフレーム内でG1, G2信号間で相互に補間を行うことにより斜め解像度が改善され、さらにR, B用CCDにより垂直

図3 R, B配置
R, B alignment.

図4 輝度信号理論解像度
Theoretical luminance resolution.

解像度が750本まで改善される。

3. 民生用4板式ハイビジョンカメラ

3.1 光学系

新デュアルグリーン方式4板ハイビジョンカメラを構成する光学系を図5に示す。

今回の実験では、ハイビジョン画質を得るため周辺光量、倍率色収差、解像度の均一性、幾何学的歪みなどに優れた業務用3板式カメラの1/2インチ光学系を使用し、プリズムにG光を分離するためのハーフミラーを追加したものを使用した。このプリズムにより入射光をダイクロック膜でR、G、Bに分離しトリミングフィルタで補正するため、良好な色再現性が得られる。

また、CCDの空間サンプリング前処理として光学フィルタが必要である。まず、全CCD用に図5の光学LPF1を配置する。デュアルグリーン方式では、G用の2枚のCCDに対して、R、B用CCDは1枚であり、Gに対して解像度が低い。このため、R、B用の光学フィルタとして、図5の光学LPF2、3を追加してある。

デュアルグリーン方式における光学LPFの設計としては、Gが帯域が広くR/Bがその半分の帯域となるよう、4CCD共通の帯域の広いものをプリズムの前に配置し、Gの帯域を確保する。さらに、R、B用にはCCDの直前にG用光学LPFの半分の帯域のLPFを配置する。したがって、R、BのLPF特性は両方のフィルタ特性の積となる。それらを図6に示す。

3.2 信号処理

今回、このカメラを開発するに際し、放送方式の多様化に対処するため、ハイビジョンモードの他に、NTSC 16:9、NTSC 4:3の3つのモードでの撮像

図5 光学系
Optical system.

できるよう回路をデジタル化した。

従来、ハイビジョンカメラでは100万画素以上の専用CCDを使用しているため、水平転送CCDのクロックが37MHz以上と高く(表1)、信号の取り扱いが難しいため、回路のデジタル化はあまり進んでいない。

しかし、今回、我々は、現行方式のCCDを使用することで、水平転送CCDの駆動クロックを約16MHzに下げ、信号の取り扱いも容易にし、回路のデジタル化を可能とした。

2枚のG用CCDからクロック16MHzで出力されたG1、G2信号はA/D変換後コンタ補正回路を経て水平補間回路へ供給される。水平補間回路では、水平方向の画素の不足を互いの信号から補間し、折り返し歪みを低減し32MHzのクロックで出力している。この2本のG1、G2信号を次の倍速変換回路で時間軸圧縮して、スイッチ回路で順次化して1本の広帯域G信号として64MHzのクロックで出力する。

最後に、カラーマトリックス回路からの低域 G_L 、 Y_L 信号とこの広帯域G信号を合成して広帯域Y信号が得られる。

色差信号は、G1、G2信号の低域成分とR、B信号からマトリックス回路で生成される。ライン補間で垂直方向の画素を補間した後、倍速変換を行い、32MHzクロックでD/A変換し色差信号を得ている(図7)。

図6 光学LPF特性
Characteristic of optical LPF.

図 7 SD CCD 出力から HD CCD 出力への変換
Conversion from SD CCD outputs to HD CCD signal.

表 2 カメラ特性
Camera specifications.

	Hi-Vision	NTSC	
		16:9	4:3
走査線数	1125	525	525
有効走査線数	1035	485	485
イメージサイズ (inch)	1/3	1/3	1/4
	H (mm)	4.60	3.24
	V (mm)	2.58	2.42
アスペクト比	16:9	16:9	4:3
感度 (2000 lx 時)	F 4.0	F 5.6	F 5.6
S/N (dB)	50	56	56
解像度 (TV 本)	H	650	600
	V	650	350

写真 1 撮像画像
Reproduced image.

3.3 新デュアルグリーン方式の性能と課題

表 2 に、今回開発した民生用 4 板式ハイビジョンカメラの性能を示す。水平解像度 650 本の性能が得られている。水平画素ずらしを行わない場合の単板 808 画素の理論限界解像度 450 本に対して 200 本解像度が伸びており、デュアルグリーン方式の水平画素ずらしの効果が確認できる。図 4 で示した水平の理論限界解像度 900 本に対しては、折り返し防止用の光学 LPF 1 による影響および、光学系、CCD の張り合わせ精度などが影響していると考えられる。同様に、垂直解像度も 650 本あり、新デュアルグリーン方式による G1、G2 および R、B 用 CCD の垂直画素ずらしの効果が確認できる (写真 1)。

使用した PAL 手振れ補正用 CCD を NTSC に転用する場合は 1/4 インチ用であるが、ハイビジョンモードもしくは NTSC 16:9 モードで使用する場合には、光学系は 1/3 インチになり、小型、軽量のハイビジョンカメラシステムが構築できる。

実験では、性能確保のため 1/2 インチ光学系を使用

したが、実用化に際しては小型、軽量、高性能な 1/3 インチ光学系の開発が必要である。

また、このカメラシステムでは、CCD に PAL 手ぶれ補正用 CCD を使用し、回路を大幅にデジタル化しているため、ハイビジョンカメラとしての撮像以外にも NTSC モードでの撮像が可能となっている。NTSC モードで撮像する場合には、CCD の駆動方法を隣接するラインを混合して読出す通常のフィールド蓄積モードとし、G1、G2 信号を平均化して 1 つの G 信号として用いるため、感度は通常の 3 板カメラと同等になる。ハイビジョン信号処理で行っている各種補間処理、倍速処理を行わないようにすることで、NTSC モードでの撮像が可能となる。図 1 に示したように、水平 754 画素、垂直 485 画素を用いることにより NTSC 16:9 モード、水平 566 画素、垂直 485 画素を用いることにより NTSC 4:3 モードでの撮像が可能となる。

フレーム蓄積、1/60 秒シャッタにより感度が 2000 lx、F 4.0 と若干低く、高感度化が今後の課題となっ

ている。

4. む す び

民生用ハイビジョンポータブル収録システムの構築を目的として、ハイビジョンカメラの小型・軽量・低消費電力化を検討した結果、新開発デュアルグリーン方式にて、現行方式民生用 CCD を 4 枚用いて、従来にない小型ハイビジョンポータブルカメラを開発した。

NTSC での撮像に配慮し、回路のデジタル化によって、ハイビジョン、NTSC 16:9、NTSC 4:3 の 3 モードでの撮像を可能にした。

さらに、米国の ATV、525 プログレッシブモードにも展開が可能となっている。

最後に、今回の民生用ハイビジョンカメラの開発に際し多大の指導・協力を頂いた当社プロビデオ事業部の関係各位に深く感謝致します。

〔参 考 文 献〕

- 1) 西澤ほか：“テレビジョン年報 7. 放送方式”，テレビ誌，48，7，pp. 794-803 (July 1994)
- 2) 磯部ほか：“家庭用ハイビジョン VTR [W-VHS] の技術開発”，テレビ学技報，18，20，pp 19-24 (Mar. 1994)
- 3) 山中ほか：“3 CCD カラーカメラ方式”，テレビ学技報，ED-395 (Sep. 1978)
- 4) 河野ほか：“DUAL-GREEN 方式高解像度 CCD カラーカメラ”，テレビ大全 (1987)
- 5) 藤田ほか：“デュアルグリーン方式を用いたハイビジョン 2/3 インチ小型 CCD カメラ”，テレビ誌，47，2，pp. 203-211 (1993)

しのぎ たかし
篠崎 俊 1964 年，電気通信大学電子工学科卒業。同年，日本ビクター(株)に入社。家庭用 VTR 開発およびビデオカメラ開発に従事。現在，商品開発研究所ビデオ開発クラスターに所属。正会員。

つしま たくや
対馬 卓也 1979 年，千葉大学工学部電気工学科卒業。1982 年，日本ビクター(株)に入社。PCM オーディオの開発，映像信号処理の研究に従事。現在，商品開発研究所ビデオ開発クラスターに所属。正会員。

よしだ まさじ
吉田 政二 1980 年，千葉大学工学部電気工学科卒業。同年，日本ビクター(株)に入社，カスタム IC の開発に従事。1993 年より，ビデオカメラの研究開発に従事，現在に至る。商品開発研究所ビデオ開発クラスターに所属。

きたむら ひろゆき
北村 宏行 1982 年，東京工業大学工学部情報工学科卒業。同年，日本ビクター(株)に入社。以来，映像信号処理の研究に従事。現在，商品開発研究所ビデオ開発クラスターに所属。

すわ てつや
諏訪 哲也 1985 年，信州大学工学部情報工学科卒業。同年，日本ビクター(株)に入社。PCM オーディオの開発，映像信号処理の研究に従事。現在，商品開発研究所ビデオ開発クラスターに所属。

きのした こうすけ
木下 浩介 1987 年，慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。同年，日本ビクター(株)に入社。主に画像圧縮等の映像信号処理の研究に従事。現在，商品開発研究所ビデオ開発クラスターに所属。