

# Panasonic



## 新開発 S35mm MOS センサ

---

REFERENCE MANUAL

July 6, 2015

## 改訂履歴

Revision No.	内容	発行日
1.0 j	初版発行	2015年6月

## 概要

パナソニックは、新開発 S35mm MOS センサと独自の「AVC-ULTRA」映像コーデックファミリーを搭載した 4K カメラ/レコーダー「VARICAM 35」(カメラモジュールユニット AU-V35C1G とレコーダーモジュールユニット AU-VREC1G との組み合わせ)を開発した。「VARICAM 35」はスーパー35mm サイズ、有効 890 万画素の新開発 MOS センサを搭載、14+ストップの広いダイナミックレンジと広い色域を実現している。また、PL レンズの画角と被写界深度をフルに活かした高解像度の 4K 映像収録が可能となっている。

本書は、「VARICAM 35」の高性能を実現させるためにパナソニックが新規に開発した、S35mm 光学系対応 MOS SENSOR について概説する。

### 1. はじめに

映像制作の分野において映像品質やCG対応、制作ワークフローの効率化などの利点からデジタル制作が一般化している。撮影するカメラもデジタル化が拡大し、その光学系はフィルムカメラと同一の S35mm が必要とされ、従来のビデオカメラ用センサと比較し、大判のセンサを単板で使用するという特徴がある。また、映像制作者の求める様々な要望に応えるために、広いラチチュード(ダイナミックレンジ)、高感度、高速動作等、様々な基本特性が求められる。当初は 2K(2048(H)×1080(V))であったが、近年 4K(4096(H)×2160(V))対応のものが発表されている。

このような状況の中、パナソニックは 4K カメラ/レコーダー「VARICAM 35」を開発した。開発にあたり、最も重視したのは、4K 高解像度とこれまでのパナソニックカメラの強みでもあったハイスピード(VFR)と広いダイナミックレンジの両立である。この実現のために、パナソニックは新たに S35mm 光学系に対応した MOS センサを開発した。以下に、本センサに搭載された新技術について説明する。

### 2. 新イメージセンサの目標

我々は、映像制作分野用途のカメラに用いるイメージセンサとしては、映像クリエイターから要求される様々な映像表現を可能にする為、以下の要件を満たすことが最も重要であると考えた。

- ① 14stop 以上の広いラチチュードを実現する広ダイナミックレンジ
- ② 暗時での撮影を可能にする高感度
- ③ VFR(Variable Frame Rate)機能を実現する為の高速撮像。

このような要件を、4K という高画素にて実現するために、放送・業務向けイメージセンサの開発で長年培ってきた半導体技術力と高画質カメラシステム開発の経験を結集するとともに、新たな技術開発も行った。

次章では、上記のような性能、機能を実現するために開発、導入した技術について詳細に説明する。

### 3. 新イメージセンサの新技术

今回開発したイメージセンサの緒元を表 3-1に示す。同じ光学サイズにて比較すると、画素数は 2K と比較し、水平、垂直それぞれ 1/2 となるため、画素面積は 1/4 と非常に小さくなる。このため、2K と同等の性能を 4K にて実現するには4倍の性能向上が必要となる。また、動作速度についても、垂直走査線数の増加に比例するため、同一のフレームレートを実現するためには、読み出し速度や ADC についても 2 倍の動作速度が要求される。

本章では、今回新たに開発したイメージセンサが上記のような課題を解決し、所望の性能を達成するために開発/導入した技術について詳細に説明する。

項目	仕様
撮像面寸法 (実効画素領域)	26.688 (H) mm × 14.184 (V) mm
実効画素数	4448 (H) × 2308 (V)
総画素数	5160 (H) × 2408 (V)
画素寸法	6.0 (H) μm × 6.0 (V) μm
カラーフィルター配列	R,G,B Bayer Pattern

表 3-1. 新開発イメージセンサの緒元

#### 3-1. 高ダイナミックレンジと高感度技術

図 3-1-1 に今回採用した、高容量フォトダイオードの電位分布を示す。図に示すように、拡大電位設計をおこなうことにより、フォトダイオードの容量を従来比 1.3 倍に拡大し、飽和電荷量を増加させている。

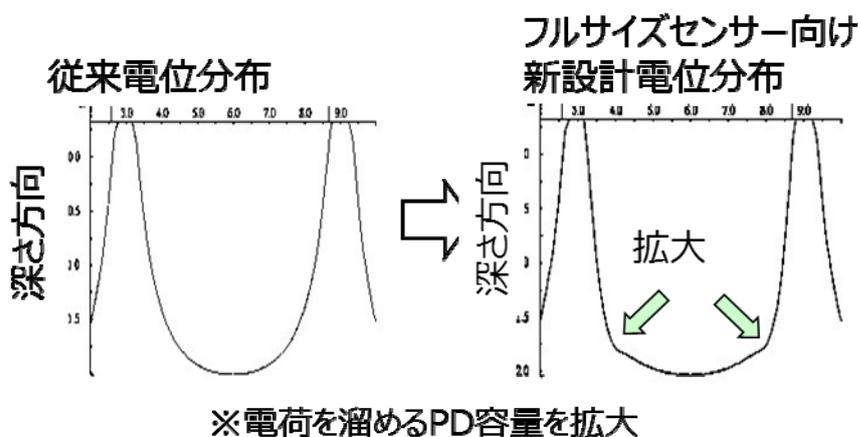


図 3-1-1. 高容量フォトダイオード技術

また、イメージセンサの受光部であるフォトダイオードの上に形成するオンチップレンズの曲率を最適化設計することによる集光性改善、光電変換効率向上等の地道に取り組み、高感度化を徹底的に追求した。

以上のような技術により、2K から4K へ画素面積が縮小したにもかかわらず、高飽和特性、高感度を実現し、4K としては業界最高レベルの 14+stops の広ダイナミックレンジを達成した。

### 3-2. Dual Native ISO

図 3-2-1 に Dual Native ISO の概念図、図 3-2-2 に従来、および新方式での ISO 感度とノイズの関係を示す。

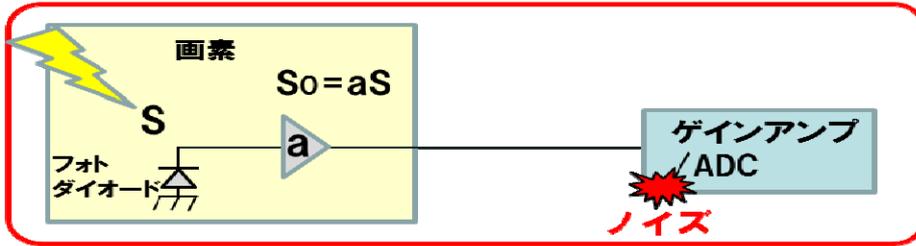
従来の方式では、ゲインアンプのゲインをあげることで ISO 感度を大きくしている。そのため、ISO 感度が大きくなればなるほど、ノイズについても増幅され、S/N は劣化する。

今回のイメージセンサでは、画素内に感度の切り替え回路を持ち、低 ISO 時と高 ISO 時で切り替えることにより、高 ISO 時のノイズ劣化を抑えている。この切り替えは標準感度である ISO800 の約 6 倍の ISO5000 で行われるため、図 3-2-2 に示すように ISO5000 時のノイズが大幅に低減される。

写真 3-2 に Dual Native ISO を用いた場合と通常の ISO5000 時の画像を示す。写真より明らかなように、Dual Native ISO を用いることにより、大幅にノイズが低減され、クリアな画像が得られていることがわかる。これは夜景等、低照度時の撮影に大きな威力を発揮するだけでなく、屋内撮影時の照明低減にも大きな効果を発揮すると期待されている。

また、スポーツ中継などのライブ撮影時には、多種多様なズームレンズ資産、被写界深度を深くしたい等の理由により、2/3”光学系の B4マウントレンズを使用したいという要望が多い。このような場合 S35mm の PL マウントを/3”の B4 マウントに変換するマウントアダプタを使用することになるが、光学サイズの違いにより、2絞り半程度感度が低下する。この感度の比は ISO800 と ISO5000 の比にほぼ一致している。つまり、B4 マウントアダプタ接続時に一般的に使用されている ISO 感度 800 を実現するためには、ISO5000 に設定すればよいということであり、この設定時に高 S/N であることを意味している。

### 従来センサ



2種類のアナログ回路を切替えることにより、ノイズを増やさず感度切替

### Dual Native ISO

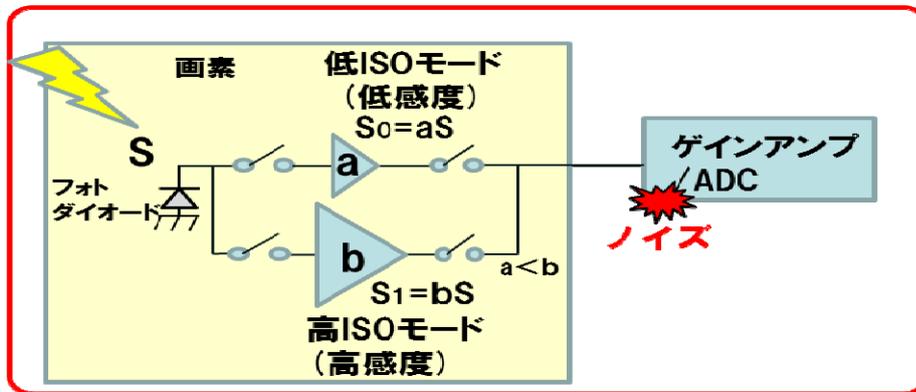


図 3-2-1. Dual Native ISO 概念図

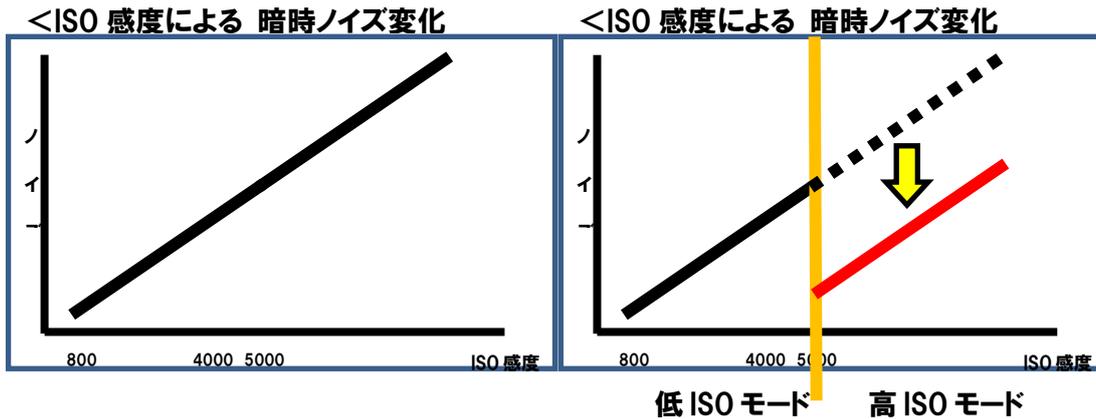
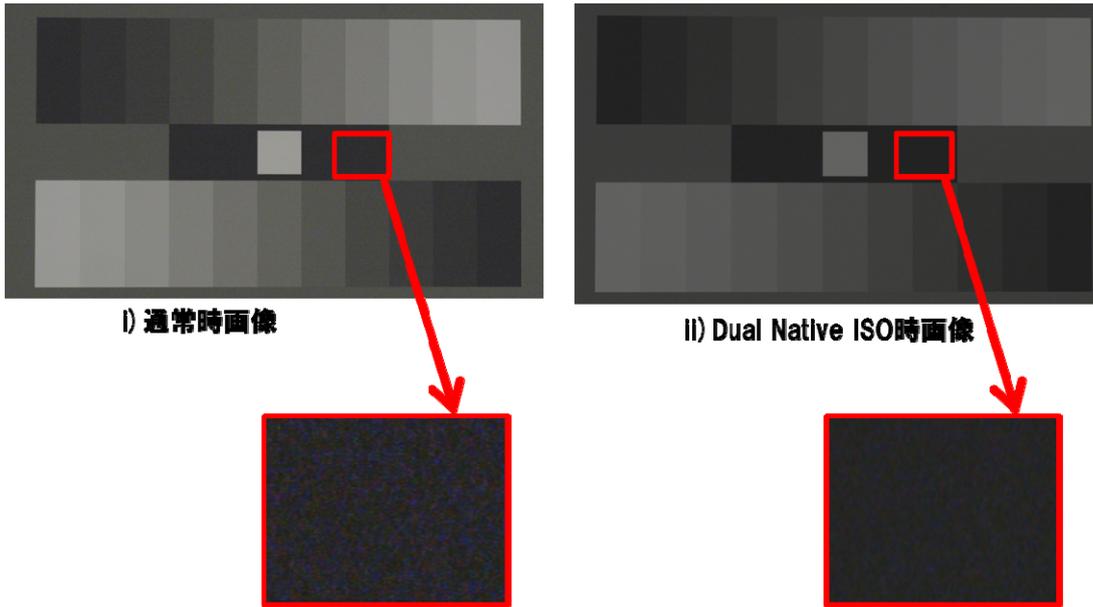


図 3-2-2. Dual Native ISO による ISO 感度とノイズの関係



※赤枠内画面強調表示

写真 3-2. Dual Native ISO を用いた場合と通常の ISO5000 時の画像

### 3-3. 高速駆動を実現する新技術

図 3-3-1 に本イメージセンサの模式図を示す。今回、高速化を実現するために、

- ① 垂直読出しと水平読出しの パイプライン化、
- ② 画素アレイの信号線分割での 寄生容量の削減、画素アレイ信号線の並列化、
- ③ 信号線を駆動する画素内 トランジスタの高速化、
- ④ 最先端微細プロセス適用による 超高速デジタル出力回路

等の技術を導入した。

これにより、フレームレートを従来の2倍以上、ノイズを従来の1/2以下に抑えることに成功し、4k でありながら 120fps という高速動作を実現している。

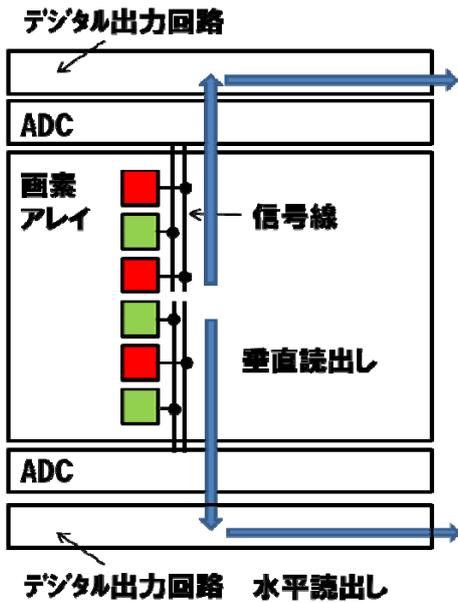


図 3-3-1. 上下分割読出し部の概念図

3-4. VF 拡大表示機能のための画素構造

図 3-4-1 に本イメージセンサの画素数を示す。図に示すように、実際の有効画素数 4096(H)×2160(V)に対し、余分な画素を配置し、余分画素を含めて出画できる構成となっている。

これらの画素を余分に読出し、VF 出力にのみ余分画素を含めて表示させることにより、実際の撮影時に、カメラマンがマイク等の障害物がフレームインする前に確認でき、不要な撮り直しを防止することが可能となる。なお、「VARICAM 35」においては、4384(H)×2234(V)をVFに表示している。

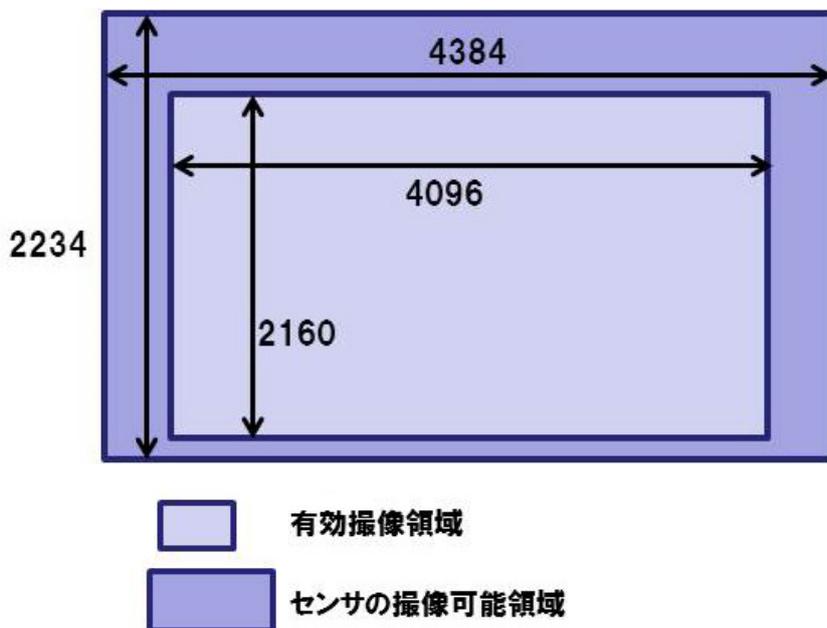


図 3-4-1. 本イメージセンサの画素数

#### 4. グローバルシャッタについての考察

MOS イメージセンサは、通常、CCD と異なり、走査ライン毎に露光時刻がずれていく、所謂ローリングシャッタ構造となっている。これに対し、フォーカルプレーン歪みを原理的に避ける目的で、グローバルシャッタ構造を持つ MOS イメージセンサがいくつか商品化されている。しかし、これらのグローバルシャッタ構造はいくつかの副作用を持ち、さらに、基本性能(S/N、ダイナミックレンジ等)を劣化させる。一方で、現在のイメージセンサの技術開発のトレンドは現状のローリングシャッター構造のままで、より高速化させる方向で進んでいる。この方式は高速撮像を実現可能で、高性能との両立が図りやすく、フォーカルプレーン歪みを軽減する事が可能となる。

##### 4-1. 現状のグローバルシャッタの構造

図 4-1-1 に通常のローリングシャッタ画素構成と現在商品化されているグローバルシャッタの画素部の構成を示す。

図に示すように画素リセット用のトランジスタを追加することによりグローバルシャッタを実現しており、この構成では、赤字部分のトランジスタを動作させるか否かで、ローリングシャッタ、グローバルシャッタを切り替え可能となっている。ただし、この方式はグローバルシャッタ動作時には通常のリセット動作が不可のため、CDS 動作ができなくなり、結果としてノイズが増加することになる。

この方式以外にも、画素内部にアナログメモリ(コンデンサ)を内蔵し、全画素同じタイミングにてフォトダイオードからコンデンサに一旦蓄積し、その後ライン単位で順次読み出す方式もある。

この方式の場合、画素内にコンデンサを配置する必要があるため、通常構成と比べ、フォトダイオードの面積が小さくなることになり、また、画素内に構成するコンデンサの大きさによりイメージセンサの飽和特性が制限される。そのため、特に今回のような映像制作向けのイメージセンサにとって最も重要な基本性能である、感度、ダイナミックレンジが通常画素と比べ著しく劣化することになる。

また、上記いずれの方式においても高輝度の被写体を撮像した際にいくつかの不具合が発生する。次項では、これらの不具合について詳細に説明する。

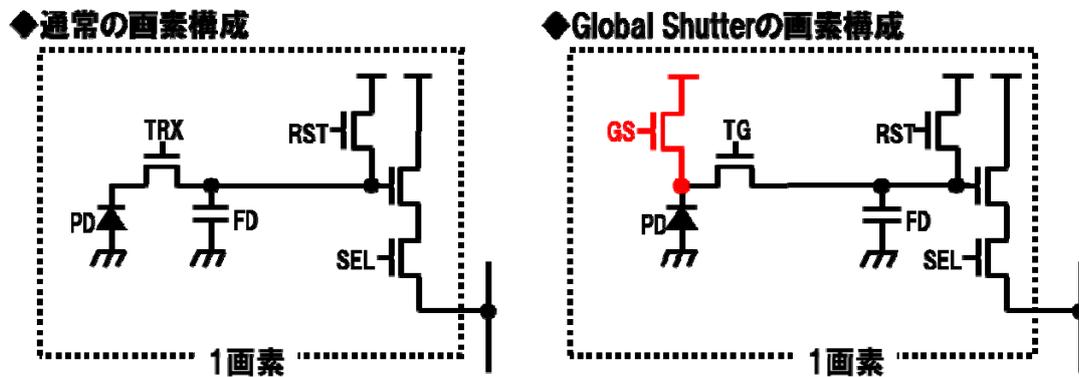


図 4-1-1. 通常ローリングシャッタ画素構成と現状のグローバルシャッタの画素構成

#### 4-2. 現状のグローバルシャッター構造による副作用

図 4-2-1、図 4-2-2 にグローバルシャッターによる不具合例を示す。現状のグローバルシャッターでは、画素内にアナログメモリ(コンデンサ)を構成し、その部分に電荷をため込む構成となっている。このため、高輝度の被写体を撮影した際に、フォトダイオードを溢れた電荷がコンデンサ内への漏れ込み、またはコンデンサ自身での光電変換に起因する不具合が発生する。具体的には、図 4-2-1、図 4-2-2 のような不具合が発生する。

図 4-2-1 は高輝度の被写体が左右に移動した際に生じる偽信号で、撮像管に発生する残像に似た現象である。通常、撮像管による残像は、動く被写体の後に偽信号が発生するが、今回の場合、特に画面の右から左に移動する際は、動く被写体の前方に不具合が生じるため、非常に不自然な見え方となる。また、図 4-2-2 に示すのは、カメラのフラッシュのように瞬間的に光る被写体を撮影した際に読み出し待機中のコンデンサに光が漏れ、光電変換されることにより発生する不具合である。

これらの不具合はいずれの場合においても、頻度としては非常に少なく、実用的に問題になることは少ない。



図 4-2-1. グローバルシャッターによる不具合例 1



図 4-2-2. グローバルシャッターによる不具合例 2

以上説明したように、現状商品化されているグローバルシャッター構造は、通常ローリングシャッター構造と比べ、S/N、ダイナミックレンジといった基本性能を劣化させ、また、高輝度被写体を撮影した際の不具合等があり、完全なものではない。

これらの理由により、今回開発したイメージセンサは通常ローリングシャッター構造を採用した。特に、我々は映像制作の分野において最も重要な高性能、高速動作の両立を実現するために、この構造を採用したのである。

## 5. まとめ

パナソニックは、S35mm 対応 MOS イメージセンサを新たに開発した。このイメージセンサは4Kという高画素数と、広いダイナミックレンジ、高感度、高 S/N の両立を達成し、さらに120fpsの高速動作を実現している。このセンサを用いた 4K カメラ/レコーダー「VARICAM 35」は、今後本格化していく4K 映像制作の分野において、世界中の映像制作者の求める最高の映像品質を提供できると期待されている。