



第2章 画像を確実に捕らえ、 高画質撮像を実現するために 基本性能を表すキー・ワードと デバイスの最新技術

米本 和也
Kazuya Yonemoto

ここでは、CCD/CMOSイメージ・センサの基本特性として感度、ダイナミック・レンジを決める飽和信号量、ノイズ、解像度を解説します。さらに、将来有望なイメージ・センサの機能を紹介し、最後に高画質で撮像するのに不可欠になってきた固定パターン・ノイズの補正の一例を示します。

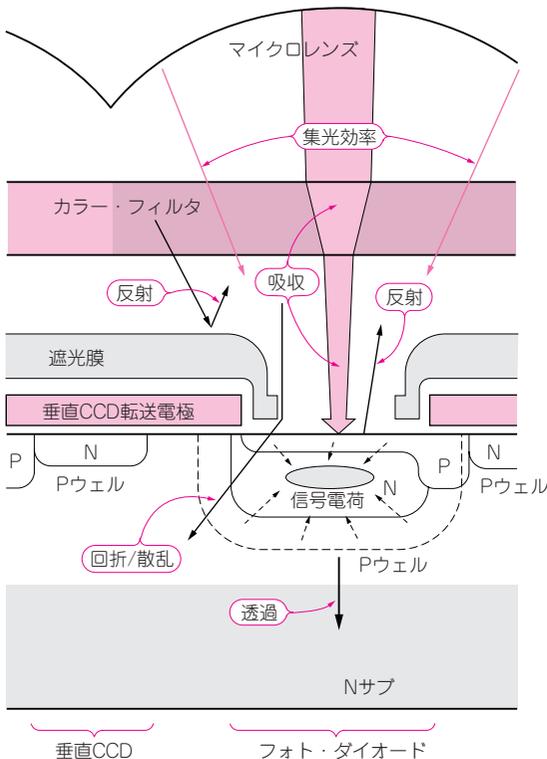


図1 CCDイメージ・センサの画素の感度を決定する要因

特性を表すキーワード

■ 感度

● 感度は1画素の面積に比例する

画素がドット状に規則正しく配列されているような、典型的なイメージ・センサについて共通していえることは、撮像面に結像する単位面積当たりの光の強さは、光学サイズによらず被写体の明るさとレンズの絞りによって決まってしまうということです。

このことから、一つ一つの画素に入る光の強さは、被写体の明るさからカメラ・レンズまでの条件が同じなら、同じ光学サイズのなかで比較すると感度は画素数に反比例します。逆に、同じ画素数なら光学サイズが大きいほうが感度が高くなります。さらに簡単に言い換えれば、**画素の性能が等しいなら、感度は1画素の面積に比例する**ということになります。ここで光学サイズとは、撮像面の大きさを指し、撮像面の対角の長さを基準としています。

● フォト・ダイオードにいかにか光を集めるか

画素サイズが決まっているとき、感度は画素がどれだけ効率的に光を信号にできるかに影響されます。その要因がいくつか考えられ、それらを図1で解説します。この図によると、

- 撮像面に入射した光をフォト・ダイオードの開口窓に集光するためのマイクロレンズの集光効率
- フォト・ダイオードとその上に形成されている積層膜(カラー・フィルタ、平坦化膜、保護膜など)における屈折率の違う境界での反射や膜の光透過率による損失

Keywords

感度、飽和信号量、ランダム・ノイズ、固定パターン・ノイズ、FPN、 $1/f$ ノイズ、 kTC ノイズ、解像度、MTF、Modulation Transfer Function、高速度撮像、多画素化、広ダイナミック・レンジ撮像、暗電流白傷、暗電流白線傷

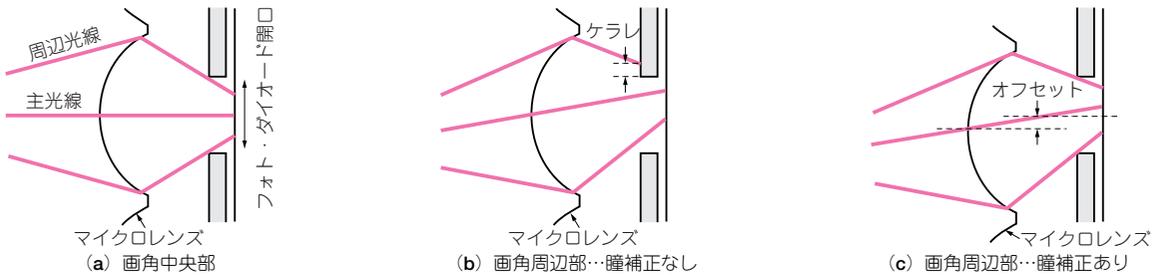


図2 瞳補正技術…周辺に向かうにつれマイクロレンズの位置を主光線の向きに合わせてずらす

● フォト・ダイオード自身の光電流を集める効率の3点が感度を支配する要素になります。この点はイメージ・センサを作るうえで多くの技術や考え方が取り入れられており、開発競争のせめぎ合いが繰り広げられている部分です。

● レンズの薄型化が進みさまざまな角度から入ってくる光を一定の効率で受ける技術が求められる

ここまでは、イメージ・センサ自身の構造で決まる要素を説明しましたが、実際はカメラ・レンズとの組み合わせでどれだけの感度が得られるかが重要です。

最近では、より微細な画素を使っていることと、デジタル・スチル・カメラではレンズの薄型化が進んでいる関係で、図1に示したマイクロレンズへの光が、撮像面に対しさまざまな角度で入ってくるようになりました。難しくなっている条件に対して、なるべく一定の集光効率にすることが、感度における総合的な性能を向上する一つの要素です。

▶ 瞳補正でケラレをなくす

一例として、射出瞳距離の短い薄型のカメラ・レンズに対して、周辺減光を軽減する瞳補正(レンズ・シュリンク)の技術を図2に示します。これは、撮像面の中央では、マイクロレンズの光軸とフォト・ダイオードの開口を合わせ、周辺に向かうにつれマイクロレンズの位置を主光線の向きに合わせてずらす方法です。

▶ 絞り開放側で集光効率を高くする

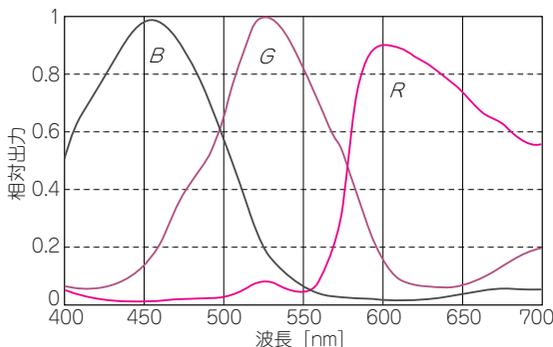


図3 単板カラー・イメージ・センサの原色カラー・フィルタ分光感度特性例

カメラ・レンズのF値を小さく(絞り開放側)にすると撮像面への光入射角度の範囲が広がります。ですから、特にカメラ・レンズの絞り開放側でのマイクロレンズの集光効率を高くすることが、カメラとしての感度を向上するポイントになります。

● カラー・フィルタの光透過率も感度を左右する

ほとんどのカメラはイメージ・センサ単板でカラーの信号が得られるよう、画素ごとにカラー・フィルタを形成しているので、カラー・フィルタ自身の光透過率も感度を左右します。

デジタル・スチル・カメラに多く使われている原色カラー・フィルタの場合は、図3に示すような分光感度特性をもっていて、例えば緑のカラー・フィルタが形成されている画素であれば、赤と青の光がカラー・フィルタに吸収され感度には寄与しません。

色分離特性を無視してカラー・フィルタの透過率を上げた場合、信号処理の工夫で色再現性を維持できたとしても、信号処理の影響で最終的な画像のSN比が向上しないかまたは逆に劣化することもあります。したがって、カラーの画像の本質的な感度を語るには、信号出力の大きさだけでなく、各色の分光感度特性と信号処理によるノイズの増加も考慮しなくてはなりません。

■ 飽和信号量

● 飽和信号量はSN比やダイナミック・レンジを決める

飽和信号量とは、イメージ・センサから出る映像信号の最大値を指します。ただし強い光が入射する場合は、光の強さに対して線形性が失われた飽和以上の信号電圧が出ることがあります。そのような場合は信号として扱いません。

この飽和信号量は、画像のなかの信号の最大値とノイズの比、つまりダイナミック・レンジにおける信号の最大値に相当するので、ダイナミック・レンジを決定する大事な要素です。

近年のCCD/CMOSイメージ・センサは、画素の微細化が進み、フォト・ダイオードに蓄積できる飽和信