



ラズパイで体験!

ご購入はこちら

CMOSイメージセンサ性能の測定評価

第15回 撮像面照度と電子数を基準にした感度測定

米本 和也

前回(第14回, 2025年6月号)は適切に設定した光源や撮像条件でしか見ることができない水平スミアを取り上げました。今回解説する感度も適切なカメラ治具とその他の光学測定装置があって初めて測定が可能となる比較的繊細な性能項目です。

感度性能を示す方法には多くの基準が存在します。今回はデジタル・カメラでよく使われる単位撮像面照度当たり、単位時間あたりに発生するフォトダイオードの信号電子数という基準を用いた測定方法を詳しく解説します。

感度基準

実際にイメージセンサの感度を測定する前に、さまざまな感度基準から代表的なものについておさらいしておきます⁽¹⁾。ここでは図1に示す3種類の感度基準を解説します。

● 1, 輝度と信号電圧

図1(a)の輝度と信号電圧による感度基準は、イメージセンサがまだアナログ信号出力であったころ、ビデオ・カメラに適応された方法です。被写体として白色で色温度が3200[K]、輝度が706[cd/m²]という定められた面発光光源を用意し、F5.6の明るさのレンズを通して撮像するという規定があり、それによって得られた輝度信号 Y [mV]を感度とします。しかし、光源の輝度を正確に706[cd/m²]に調整するのは困難なので、実際には感度測定時に光源の輝度を測定、記録した後で換算します。また、定められた赤外カット・フィルタ(CM-500Sという型名のフィルタ)をレンズとイメージセンサの間にはさむ規定があります。当時のビデオ・カメラ用CCDイメージセンサは、補色カラー・フィルタが用いられていた関係で、イメージセンサ特有のサンプリング法CDS^{注1}を行った後、ローパス・フィルタ(LPF)を通せば輝度信号 Y になる仕組みなので、この輝度信号 Y の信号振幅を測定し、これがそのまま感度値として使われました。近年の原色カラー・フィルタなら、 B , G , R 信号にそれぞれ

0.299, 0.587, 0.114(BT.601の規格に準拠した値)を掛けて和を取り輝度信号 Y とします。

● 2, 単位撮像面照度、時間当たりの信号電子数

2つ目の感度基準はデジタル・カメラでよく使われる方法で、単位撮像面照度、単位時間あたりに得られる画素の信号電子数を基準としています。ただし、通常使われる原色カラー・フィルタRGBのうち、 G 画素の信号(G 信号)のみを扱います。図1(b)では、注目している G 信号の平均値(デジタル値) $D_{x,y}$ [DN]を変換効率 η [DN/(e·Gain)], 内部利得Gainの設定値で割って電子数に置き換え、撮像面照度 E [lx]と蓄積時間 T [s]で割れば感度[e/(lx·s)]が得られます。

ここで注意しなければならないのは、光源のスペクトル、赤外カット・フィルタの種類、および照度計が測る場所です。この基準による感度は、光源のスペクトルによって大きく変化しますから、例えば黒体放射3200[K]の光源を使うなら色温度3200[K]を明記しなければなりません。赤外カット・フィルタにはさまざまな種類が存在するので、これも感度値に大きく影響します。また、赤外カット・フィルタの種類または分光透過率のデータを添えなければなりません。

照度計の位置は図1(b)では赤外カット・フィルタとイメージセンサ間ですが、赤外カット・フィルタの前に設置して撮像面照度とする場合もあるので、撮像面照度が赤外カット・フィルタ前/後を明記することが肝心です。

● 3, 分光量子効率

図1(c)の分光量子効率ですが、感度を表現するのにこれに勝る方法はありません。光学系を正しく設定すれば、放射照度を測定する光パワー・メータの校正誤差以外に誤差要因がないので、測定精度の面でも抜きん出ています。また、分光量子効率のデータから、ありとあらゆる感度基準に理論的に換算できるという面でも、この重要性が分かるでしょう。

▶ 仕組み

高額な装置が必要ですが仕組みは簡単です。波長を設定できる分光器から出た単一波長^{注2}を、点光源として扱うことができる光ファイバ端などから放射し、

注1: 相関2重サンプリングでCorrelated Double Samplingの略。