

ラズパイで体験!

## CMOSイメージセンサ性能の測定評価

第6回 応答曲線その1…曲線の取得

米本 和也

本連載で変換効率を測定できるようになったことで、多くの性能を電子数[e]で見ることができるようになりました。今回は光の強さに対する信号量を示す応答曲線を取得することにします。単に信号量が光の強さに比例するだけでなく、これ以上信号量が増加しない範囲まで光を入れた場合に見えてくる信号の飽和と、色再現性に関係する線形性についても掘り下げてみたいと思います。

## 取得方法とそこから分かること

今回はラズベリー・パイ Camera V2を使って、実際に応答曲線を取得する方法と、そこから見える幾つかの性能について探ってみます。

## ● 受光の蓄積時間を変化させて取得する

原理的には、光の強さを変えて信号量の変化を取れば応答曲線になるのですが、光の強さを正確に制御することは意外と困難で、実際には光の強さの代わりに蓄積時間を変化させます。もちろん、光は安定な強さでなければならないことは言うまでもありません。

蓄積時間の制御は、イメージセンサの動作タイミングの元になる水晶発振子の原発振周波数で決定されるため、非常に精度が高いものになっています。光源として明るさが十分安定なものを用意すれば、少なくとも応答曲線から十分な精度の線形性を求めることができます。

## ● 応答曲線の例

最初の例として、図1に蓄積時間に対する信号量をプロットした応答曲線を示します。これを見る限り、蓄積時間に応じて信号量がきれいに比例しているように見え、信号量が頭打ちになるところもはっきり分かります。

## ● 正しく測定するために

応答曲線を正しく取得するためには、測定の対象となる画素へ入射する光の強さを均一にする必要があります。この目的は、この後に解説する信号の線形性を詳しく、かつ正確に取得することであり、そのような

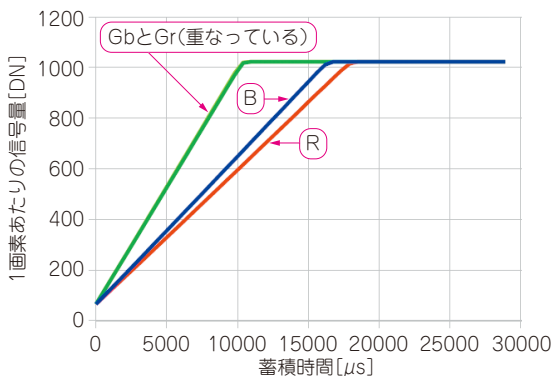


図1 応答曲線の一例(ISO感度を54に設定)

目的がない場合はそれほど慎重になる必要はありません。撮像面全体でどの画素も入射する光の強さを均一にすることが意外と難しく、例えばカメラ・レンズのコサイン4乗則のように撮像面の画角中央から端に向かって明るさが減少する特性(シェーディング)があるため、このような状態は適していません。

カメラ・レンズ付きのラズベリー・パイのカメラ・モジュールを使う場合には、信号として採用する画素を撮像面中央の限られた区画から選ぶ方法を採用します。もちろん、その限られた区画内でもシェーディングは残りますが、測定誤差範囲内として無視します。言うまでもなく、信号の元となる光源の面均一性も気をつけます。

## ● 応答曲線から分かること

このように得られた応答曲線から何が分かるでしょうか。信号が頭打ちになるまで蓄積時間を長くすれば信号の飽和、つまり電子数を基準とする表現なら飽和電子数が得られます。ただし、CMOSイメージセンサの内部利得(ISO感度設定)を最も低く設定していることと、その状態で画素のフォトダイオードで蓄積できる最大電子数の信号が出力できることが条件です注1。

注1: 近年のCMOSイメージセンサは、飽和信号出力近辺の非線形応答部分を出さないように、最低内部利得を制限しているものが増加していて、仕様上の飽和電子数が見えないものがある。

本記事を試す際には次のOSを推奨します。

Raspberry Pi OS (レガシー)、2023年12月5日、32ビット、カーネルバージョン: 6.1、Debian バージョン: 11 (ブルズアイ)