

ラズパイで体験!

## CMOSイメージセンサ性能の測定評価

第8回 応答曲線その3…線形性と残像

米本 和也

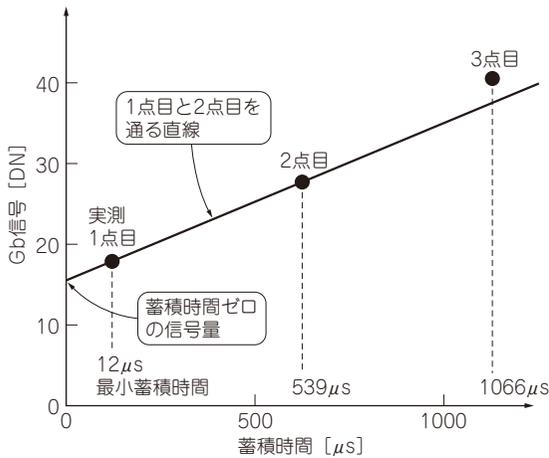


図1 蓄積時間ゼロの信号量は蓄積時間の最小とそれに近い蓄積時間の2点から求める

前回は、単に応答曲線を取得するだけでなく、それを詳しく解析した結果、ブルーミング性能が応答曲線によって数値化できることと、色再現性に関する全ての画素に共通な線形性を悪化させるメカニズムまで解説しました。今回は、その全ての画素に共通する線形性の求め方から、残像がどのように画素単位の応答曲線に現れるかを探っていきます。

## 基準となる理想直線を定めるポイント

### ● イメージセンサに適した線形性の表現

線形性が悪化する原因は、主に画素のソース・フォロワ回路とA-Dコンバータにあることを既に解説しましたが、それがどんな具合に現れるかを求めます。ここで考察するイメージセンサ全ての画素に共通する線形性は、画像の色再現性に関係するため、A-Dコンバータなどの線形性の基準として使われる積分非線形性(INL: Integral Non Linearity)や微分非線形性(DNL: Differential Non Linearity)とは違い、非線形性の数値が信号量によらず色再現性に与える影響が一定になるよう基準を定めています。具体的には、線形性が完全である応答を理想直線とすると、測定した実応答曲線と理想直線との差分の理想直線に対する割合

が線形性の数値化として効果的です。

非線形性を $NL$ 、実際の応答を $S_m(t_{int})$ 、理想直線を $S_i(t_{int})$ 、 $t_{int}$ をある蓄積時間[s]とすると、非線形性 $NL$  [%]は次の式で表現されます。

$$NL = \frac{S_m(t_{int}) - S_i(t_{int})}{S_i(t_{int})} \times 100 [\%] \dots \dots \dots (1)$$

ここでは、割合だけでなく実応答曲線の理想直線に対する大小も含めることとし、絶対値を取っていません。なお、この基準では信号量がゼロの場合の $NL$ は意味を持たず存在しません。

### ● ポイント1…応答のゼロ点を一致させる

ここでは、第6回から実測してきた応答曲線を例に、実際のデータ処理を解説します。

1点目のポイントである応答のゼロ点は、本連載に用いているカメラ・モジュールで実測するのが少々困難です。応答曲線の実測は、ある一定かつ安定した明るさを持った光源を、蓄積時間を振りながら画像をキャプチャしていました。しかし、イメージセンサの動作として蓄積時間をゼロにするのは実は特別な動作であり、Pythonのモジュールpicameraはそれをサポートしていません。

なお、これまでに求めた応答曲線の蓄積時間の最小値は、PiCamera V1(以降、V1)で $12\mu\text{s}$ 、PiCamera V2(以降、V2)で $9\mu\text{s}$ です。もちろん蓄積時間ゼロを光源OFFに置き換えることは可能です。しかしイメージセンサの性質としてゼロでない蓄積時間の信号には光とは関係のない暗電流と呼ばれる蓄積時間に比例する信号がわずかに紛れているため、蓄積時間ゼロの代わりに光源OFFの信号は信ぴょう性が疑われる場合があります。また、光源のONとOFFの切り替えは光源の明るさの安定性を損なう可能性を否定できず、線形性の測定には適していません。

そこで、蓄積時間ゼロの信号量は蓄積時間の最小とそれに近い蓄積時間の2点から外挿により求めるのが適切です。本連載で取得した応答曲線は、蓄積時間を100点振って求めましたので、蓄積時間最小の1点目と次の2点めの蓄積時間における2つの信号量を使います。

その様子をGb信号を例に図1に示します。なるべ