

ラズパイで体験!

CMOSイメージセンサ性能の測定評価

第4回 変換効率その1…測定法

米本 和也

初回から3回にわたりダーク・ランダム・ノイズ性能の測定評価を解説してきましたが、そこで必要とされた変換効率について、その定義から測定方法を解説してまいります。

変換効率の意義/定義/単位

変換効率はイメージセンサ以外に使われる例がないため、これが何であるかを意義、定義および単位を明確にします。

● 意義

CMOSイメージセンサの大半は画像信号がデジタルになっています。しかし、その一方で前回まで解説したダーク・ランダム・ノイズなど、多くの性能項目が電子数[e]を使って表現されます。本連載の初回にノイズの大小関係を示す応答曲線を示し、信号量に応じて支配的なノイズが変わることを説明しました。その場合、信号量を電子数で表現されたノイズと大小を比較するのに、信号量も電子数で表せば両者の関係が明確になり、見通しが良くなります。

従って、デジタル値の信号を電子数に置き換える係数、つまり変換効率は性能評価を行ううえで、なくてはならないもので、性能評価の入り口に当たると言えます。

● 定義

では、その定義を単位を使って明確にしましょう。デジタル値を電子数に置き換えるので[DN/e]が単位になります。例えば、10というデジタル値の信号は、Raspberry Pi Camera V2のCMOSイメージセンサIMX219の場合、変換効率が0.32[DN/e](ISO感度設定=100)なので、3.2電子[e]に相当することになります。

もとの信号が電子ですから、1個1個数えられるはずの電子数3.2個のうち0.2という小数は意味がないように思われます。しかし、画素の中で発生した電子の数にゆらぎ(ノイズ)を持ち、信号としてはその平均を見ていること、画素からの信号がアナログでありA-D変換器までの回路系で発生しているランダム・ノ

イズは1電子以下の成分も含まれているという2つの事実により、小数には意味があるのです。

● 単位

最初に単位を[DN/e]と述べましたが、これでは不便な面があります。CMOSイメージセンサは、画素から出力される信号量に応じてA-D変換器のところで内部利得(Gain)を比較的広い範囲で変えることができる仕組みをもっています。すると、単位に[DN/e]をそのまま使ってしまうとGainが変わるたびに違う値の変換効率を示さなければなりません。言い換えれば、Gainごとに異なる変換効率の値を示さなければなりません。これはいかにも不便ですので、Gainにかかわらず1つの値で変換効率を表現するとしたら、単位として[DN/(e・Gain)]を用いるのが適切です。つまり、デジタル値の信号量と内部利得が決まっていれば、1つの変換効率でその信号量を電子数に変換できます。従って、内部利得にかかわらず、変換効率は1つの値で用が足りるのです。

CMOSイメージセンサの画素動作と変換効率の決定

デジタル値の信号出力を電子数に変換する係数である変換効率が、どのような仕組みで決まり、なぜ大事であるかを画素の動作を見ながら理解していきましょう。

● 画素構造と電位分布

まずは画素の動作原理の中で、信号である電子がどのような役割を果たしているか理解するとよいでしょう⁽¹⁾。そこで、画素の動作を図1に簡易的に表した構造と電位分布、電子の移動の様子を示し、これをもとに解説します。

1つ1つの画素は、一例として同図のように、

- フォトダイオード：PD
- 読み出し転送ゲート： M_T
- フローティング・ディフュージョン：FD
- リセット・ゲート： M_R
- リセット・ドレイン：RD
- 増幅用MOSトランジスタ： M_A

で構成されています^{注1}。図1(a)は断面構造で、それ

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)