



ラズパイで体験!

## CMOS イメージセンサ性能の測定評価

新連載

第1回 ダーク・ランダム・ノイズその1…測定法

米本 和也

表1 イメージセンサのノイズ一覧

分類	ノイズの種類		発生場所	原因：備考
固定パターン・ノイズ (FPN: Fixed Pattern Noise, Spatial Noise)	暗電流 FPN (DCNU※1)	暗時ムラ, 暗時ザラ	フォトダイオード	フォトダイオードの暗電流の画素ごとのバラツキ, 画素内MOSトランジスタ暗電流など
		暗時白傷, 白点		
	暗時FPN (DSNU※2)		画素回路	CDS動作不完全性など(暗電流除く)
	感度ムラ (PRNU※3)		フォトダイオード	フォトダイオード開口の不均一性, カラー・フィルタのムラ
	筋, 縞		VCCD, HCCD	CCDの転送効率, 暗電流
			画素以外の回路	回路不均一性など
	低照度FPN (黒点, 白点)		フォトダイオード, VCCD, 読み出しゲート	読み出し転送(残像), 電子シャッター, CCDの転送効率, 電子のトラップ
その他	スミア	VCCD, 回路	遮光能力 (CCD イメージセンサ) 電源変動 (CMOS イメージセンサ)	
	シェーディング	画素以外の回路, フォトダイオード	回路不均一性, 暗電流シェーディング, 素子の発光など	
	(非線形応答)	画素を含む回路, フォトダイオード	回路の線形性, フォトダイオードの残像	
ランダム・ノイズ (Random Noise, Temporal Noise)	光ショット・ノイズ		フォトン	フォトンのゆらぎ
	ダーク・ランダム・ノイズ	1/fノイズ, サーマル・ノイズ	MOSトランジスタ, 抵抗器	1/fノイズはMOSトランジスタ, サーマル・ノイズは両者にあり, FDアンプで現れる. (RTSという特殊なノイズあり)
		kTCノイズ	キャパシタ	キャパシタンスのスイッチング: CDSで抑圧
		回り込みノイズ (主に横筋ランダム・ノイズ)	回路	デジタル回路から画素を含むアナログ回路へのノイズ回り込み
		量子化ノイズ	ADC	量子化
	暗電流ショット・ノイズ		フォトダイオード	暗電流のゆらぎ
残像ショット・ノイズ		フォトダイオード	残像電子数のゆらぎ	

※1: DCNU: Dark Current Non-Uniformity

※2: DSNU: Dark Signal Non-Uniformity

※3: PRNU: Photo Response Non-Uniformity

イメージセンサの性能を正しく測定評価し、それが意味するところを正しく理解して初めて、

- 間違いのない選定
- 不具合のないカメラ制御
- 性能を最大限引き出した質の高い画像を得ることができるとして

ことができるでしょう。

そのためにはイメージセンサそのものの動作原理を十分に理解することが肝心です。ですが、それは他の著書やセミナーに任せるとして、本連載では数ある性能の測定評価の本質や、測定評価に関するテクニックを紹介します。

具体的には、

- 測定の原理
- センサ内の信号処理
- 光学系の装置設計

など幅広く、なるべく開発現場を再現しつつ紹介してまいります。

初回はイメージセンサの3大性能の1つ、ノイズについて、その中でも代表的なダーク・ランダム・ノイズを取り上げてみようと思います。この性能を測定評価するのなら、CMOSイメージセンサを動作できる環境であれば、大掛かりな装置を必要としないので、手始めとしては適切でしょう。

イメージセンサのノイズには数多くの種類があり<sup>(1)</sup>、

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)