

超高感度デジタルハイスピードカメラ MEMRECAM GX-1Plus

菊地 章

株式会社ナックイメージテクノロジー

1. はじめに

1994 年から当社は MEMRECAM(メモリーカム)と呼ぶデジタルハイスピードカメラの販売を行っている。本年、新たに超高感度の MEMRECAM GX-1Plus がリリースされたので報告する。

MEMRECAM には最初にリリースした ci シリーズ、2001 年にリリースした fx シリーズ、そして、2007 年にリリースした GX シリーズがある。表 1 に各シリーズの代表的なモデルの主な仕様比較を示す。ci から fx シリーズまで感度・画素数・撮影速度・最高撮影速度・メモリ容量といった性能がほぼ右肩上がりであるが、同時に寸法・質量も右肩上がりになっている。

2. GX シリーズについて

ここで、デジタルハイスピードカメラに特徴的な事項とその実現方法を述べる。

○高解像度: デジタルハイスピードカメラ以前のハイスピードカメラは記録媒体の関係でテレビ方式の制約があったが、デジタルハイスピードカメラにはその制約がないので高解像度化が出来る。高解像度の映像はパソコンで見ることが前提となっている。

○高速: イメージセンサやメモリを高速で駆動し、かつ、マルチチャンネル化する。

○デジタル: 映像データをデジタルで保存する。保存先はパソコンのハードディスク(HDD)やデジタルメディア(外付け HDD や USB フラッシュメモリ等々)である。

2 番目の「高速」以外は広く普及しているデジカメ(デジタルスチルカメラ)と同じなので、連写性能を飛躍的に高めたデジカメがデジタルハイスピードカメラと言える。一方、更なる高速化が寸法・質量の右肩上がりを招いた訳で、場合により、大きく重たいカメラは実験・観測に支障を来すことがある。これに対応して小型化と性能アップを目指して開発したカメラが GX シリーズ最初のモデル GX-1 である。GX-1 は小型一体型、

1280×1024 画素で 2,000 コマ/秒、メモリ 2GB、最短シャッター 3μs であった。メモリ 4GB と最短シャッター 1μs に機能アップしたモデルが GX-1 Plus であり、画素数と録画速度はそのままである。

GX シリーズには他に分離型、640×480 画素で 1000 コマ/秒、最大 8 ヘッドのマルチ小型カメラヘッド対応の GX-5 がある。

GX シリーズ・プラットフォームは DDR2-SDRAM、SoC-CPU、High-End-FPGA 等の最新技術を採用した。特にパラレルバスを廃止して高速シリアルバスを採用することで内部結線数低減、小型化、高信頼性を達成した。また、1000Base-T、USB2、IRIG-B といった汎用インターフェースを採用している。

GX シリーズはこれまでにユーザーから要望のあった多くの機能を実現している。機能の名称を列記すると、画像中心マーク表示、ローライトモード、ステータス表示 LED、自動露光機能、自動 FPN 温度補正、多彩なトリガ機能、多彩なメモリ分割機能、外部パルス同期撮影、露光パルス出力、ステータス信号出力、ARM 信号入力、メモリバックアップ機能、タイムスタンプ記録機能等々である。

GX シリーズ共通のオプションとしてはハンディリモコン JPAD3 が用意されているし、撮影現場での調整を容易にする NTSC/PAL ビデオ出力も用意されているのでビデオモニターで画像確認が行える。これらの他に USB ストレージを用意すれば PC 無しでの運用が可能である。また、三次元解析のため複数カメラを同期運用するための GX-HUB が用意されている。制御ソフトウェアは Windows PC 対応の GXLink が標準で付属していてカメラ制御・ダウンロード・動画変換が行える。

3. MEMRECAM GX-1Plus の紹介

GX-1Plus は小型一体型のコンパクトモデルで寸法は 100×100×230mm、質量は 3.7kg、100g/11ms の

耐 G 性能を持ち、衝突実験車両搭載が可能である。図 1 に GX-1Plus の外観写真を示す。この堅牢な構造に加えて最も特徴的なのは、カラーISO5000・白黒ISO20000 という現時点で世界最高の感度を有することである。当社独自開発の CMOS 撮像素子によりこの超高感度を実現した。撮像素子については次項でもう少し詳しく説明する。GX-1Plus の機能としては今までは 10ビット記録のみだったのに対して 8/10/12 ビット記録を採用した。これにより録画時間の延長や高分解能記録が選択できる。この他には録画速度を 1 コマ/秒単位で設定可能、広ダイナミックレンジ撮影可能、4x16 ステップで画素数を自由に設定可能等がある。映像を記録するメモリは 4GB であり、1280×1024 のフル画素、2,000pps で 1.3 秒記録できる。表 2 に画素数対録画速度を示す。水平と垂直の画素数を減らすことで更に高速撮影が行え、例えば、464x464 で 10,000pps、64x64 で 100,000pps、8x64 で最高 200,000pps まで撮影可能である。

4. 撮像素子について

撮像素子としてよく知られているのは CCD である、これに対して最近、CMOS が新たな撮像素子として脚光を浴びている。CCD は光により得られた信号をバケツリレーで読み出し、最後で増幅して出力する。これに対して CMOS は画素ごとに増幅し、スイッチで切り替えて出力する。CCD の長所はノイズが少なく高画質であること、短所は製作が困難、スミア発生、消費電力大、高速駆動やマルチ ch 化が難しいことである。CMOS の長所は CCD に比べて製作簡単、消費電力小、高速駆動・マルチ ch 化が容易ということに加えて普通のロジックプロセスで製作できるので他のロジック回路が混載できるということである。CMOS の短所は縦縞・横縞状の固定ノイズが多いことと暗時ノイズが多いことである。しかしながら、CMOS の短所は近年急速に改善されていて現在では CCD と同等、あるいは CCD を超える画質が実現されつつある。デジタルハイスピードカメラの撮像素子を考えると高速駆動・マルチ ch 化が容易ということで圧倒的に CMOS が適している。GX-1Plus の撮像素子仕様はピクセルサイズ $21.7 \times 21.7 \mu\text{m}^2$ 、開口率 75%、変換効

率 $180 \text{ V}/\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 、ダイナミックレンジ 62dB である。図 2 に CMOS 撮像素子の外観を示す。

このような超高感度撮像素子によりどのようなメリットがあるかを説明する。すべてのカメラについて、撮影条件には次の関係が成立する。 $1/\text{露光時間} \times \text{レンズ絞り値}^2 \div \text{照度} = \text{一定値}$ 。超高感度ということはこの式の右辺の一定値が大きいのということである。実はこの一定値に係数を掛けると ISO 感度が求まる。GX-1Plus では $1/1\text{mS} \times f^2 \div 1200\text{Lux} = 13.3$ (→ISO5000) となり、その条件は反射率 89% の被写体の出力信号が 100% である。撮影に当たって条件を変えながら、そのメリットを考えてみる。照度と露光時間を一定とするとレンズ絞り値を大きくできる = レンズが絞れる → 被写界深度が広い、シャープな画像が得られる。照度とレンズ絞り値を一定とすると露光時間を小さくできる → 高速撮影や高速シャッターが出来る。露光時間とレンズ絞り値を一定とすると照度を小さく出来る = 照明を少なくできる → 電力低減、被写体の発熱防止ができる。

5. まとめ

ISO 5000(カラー)ISO 20000(白黒)の超高感度を有する小型・軽量・多機能で堅牢なデジタルハイスピードカメラを達成することができた。今後、様々な高速現象の撮影に活用され、科学技術の発展に貢献することを期待する。

参考文献

- 菊地章、高速度撮影とフォトニクスに関するシンポジウム 2001、講演論文集、1-3
- 菊地章、高速度撮影とフォトニクスに関するシンポジウム 2003、講演論文集、9-1
- 小熊和彦、高速度撮影とフォトニクスに関するシンポジウム 2005、講演論文集、2-2

表 1: ナックの主なカメラ(MEMRECAM)

	ci	fx-K3	fx-6000	fx-K4	GX-1Plus
ISO感度(カラー)	120	220	410	2400	5000
画素数(HxV)	572 x 432	1280 x 1024	512 x 384	1280 x 1024	1280 x 1024
撮影速度(コマ/秒)	500	1000	6000	1000	2000
寸法(mm)	150x140x245	137x133x297	137x133x297	145x142x328	100x100x230
質量(kg)	4.8	4.6	4.6	7.5	3.7
最短シャッタ(μs)	43	5	1	3	1
最高撮影速度(コマ/秒)	2,000	10,000	210,000	168,000	200,000
最高撮影速度時の画素数(HxV)	252 x 188	1280 x 96	512 x 8	32 x 48	8 x 64
メモリ容量	256~768MB	1.3~16GB	1.3~16GB	2~16GB	4GB
販売開始	1994.09	2001.09	2003.01	2004.10	2008.08

表 2: GX-1Plus 画素数と録画速度

画素数 (H x V)	録画速度 (コマ/秒)
1280 x 1024	2,000
928 x 928	3,000
608 x 608	6,000
464 x 464	10,000
368 x 368	15,000
304 x 304	20,000
176 x 176	40,000
128 x 128	60,000
64 x 64	100,000
8 x 64	200,000



図 1: GX-1Plus の外観

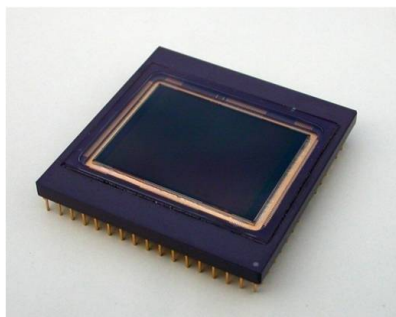


図 2: GX-1Plus の撮像素子