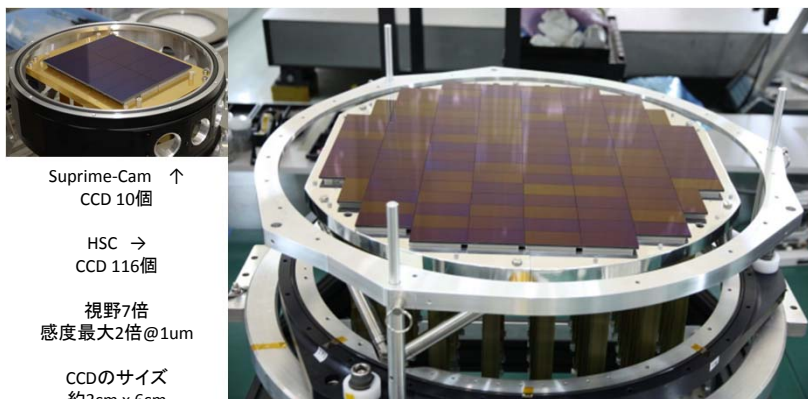


Suprime-Cam(1999～)とHSC (2012～)の特徴

- 8mクラス望遠鏡の集光力と分解能(光学性能、大気ゆらぎ)
- 視野
- 検出器感度(CCD)
- 画素数(分解能、ピクセルスケール)



Suprime-Cam ↑
CCD 10個

HSC →
CCD 116個

視野7倍
感度最大2倍@1 μ m

CCDのサイズ
約3cm x 6cm

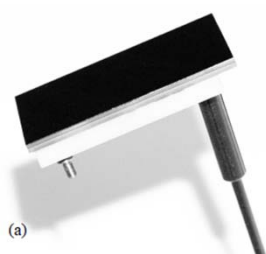
Suprime-Cam(2008～)とHSC

Suprime-Camとの比較

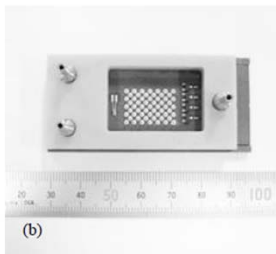
| | Suprime-Cam | HSC |
|---------------|-------------------|---------------------|
| CCD型番 | 浜松ホトニクス S10892-01 | 浜松ホトニクス S10892-02 |
| CCD数 | 10 | 104 + ガイド用4 + 合焦用8 |
| 画素 | 15 ミクロン角(0.2秒角相当) | 15ミクロン角(0.17秒角相当) |
| 視野 | 約34分角 x 27分角 | 直径90分角 面積7倍 |
| 変換係数 | 2.5-3.7 e/ADU | 3.0 e/ADU |
| 読み出し雑音 | 約 10 e | 約 5 e |
| 読み出し時間 | 18 秒 | 20 秒 |
| 飽和電子数 | 150,000 e | 150,000 e |
| フィルター数 | 10枚 | 6枚 |
| フィルター交換に要する時間 | 300 s | 600 s (試験期間中は900 s) |

<http://www.subarutelescope.org/Projects/HSC/index.html>

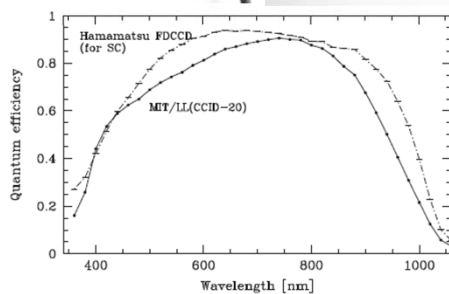
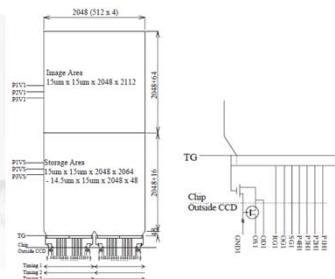
HSCのCCDについて



(a)



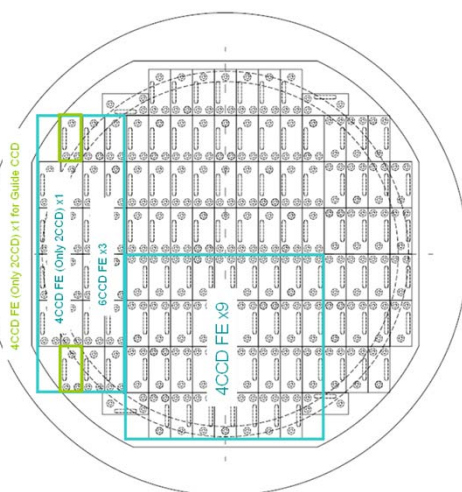
(b)



浜ホト製 P-ch CCD 2kx4k
(画素サイズ15um、厚さ200um)
3-side buttable
QE 1umで40%(約2倍)
Noise 5e (133kpix/s)
Dark 1 e/hour (-100C)
Fullwell 180,000e
CTE 0.999995

Kamata+, SPIE2006, 2008,2010

Hyper Suprime-Cam



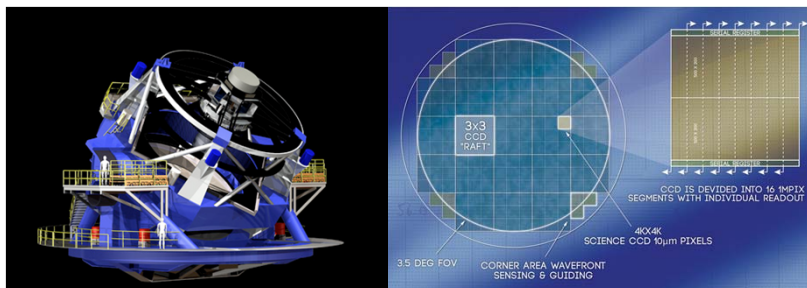
仕様

CCD个数 観測用112個、ガイド用4個
→ 合計116個
読み出し口 4個/CCD
→ 合計464個
画素数 4272 x 2272
→ 合計~ 1Gピクセル
(オーバーサンキング含む)
データサイズ 16bit/pixel
→ 合計~ 2G バイト
読み出し速度 20秒または10秒
データレート ~210MB/sec
ピクセルレート ~ 250k pixel/sec/output

目標読み出し性能(20秒読み出し時)

読み出しノイズ 10e → 5e
フルウェル 150,000e → 180,000e
リニアリティ ±1% → ±0.5%

世界の可視光広視野カメラ LSST



Large Synoptic Survey Telescope
8.4m専用望遠鏡

2020年ファーストライト?

Pixel count: 3.2 Gpixels

FPA is 189 4K x 4K CCDs, each with 16 outputs

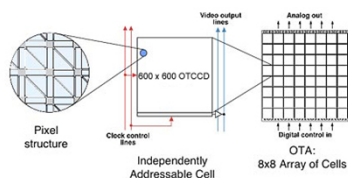
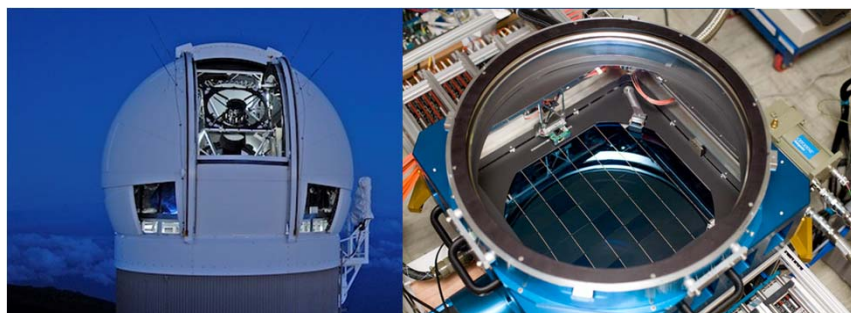
3024 video channels/FPA total

500 kpix/sec * 16 outputs/CCD * 189 CCDs = 3.2 Gpix/2sec

<http://www.lsst.org/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Large_Synoptic_Survey_Telescope

世界の可視光広視野カメラ Pann-Starrs



Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System

1.8m 専用望遠鏡 4台

1台は2007年ファーストライト

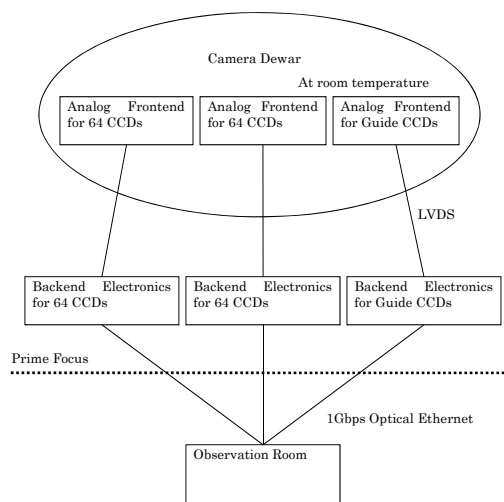
Orthogonal Transfer CCD (MITLL)

1.4G pixels, 60 CCDs (590pixx598pixx64cellx60ccd)

64x60=3840 outputs

7.7sec readout time -> 350MB/sec ?

HSC CCDエレキの構成

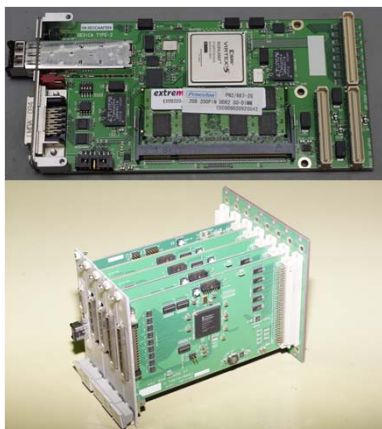


○3分割構成
サイエンスCCD 2セット
(クロックは同期出力)
ガイドCCD 1セット
合計3ペアの光ファイバー

○常温真空フロントエンドエレキ
常温真空部に配置

○小型バックエンドエレキ
デュワー傍に配置

BEE: バックエンドエレクトロニクス



3Uユーロ基板7枚でCCD64個を10秒で読み出し

○GESiCA CMCサイズ、1Gbpsデータ転送、フレームメモリ、クロックシーケンサー

FPGAによるTCP/IPプロセッサ (SiTCP)
(KEK 内田さん)

2GB DDR2メモリのフレームメモリ
(東大 宮武さん)

10ns分解能のクロックシーケンサー
(東大 峯尾さん)

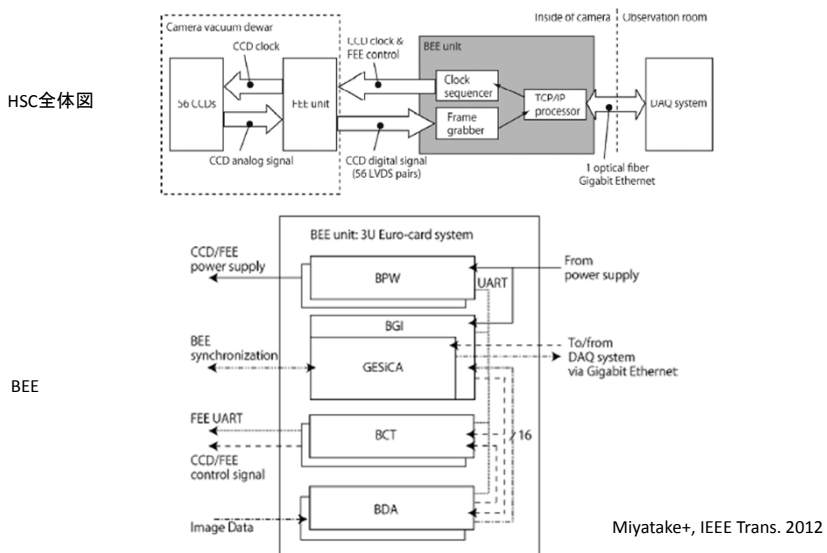
○BGI GESiCA搭載、BEE電源管理
1枚

○BPW FEE電源管理
2枚

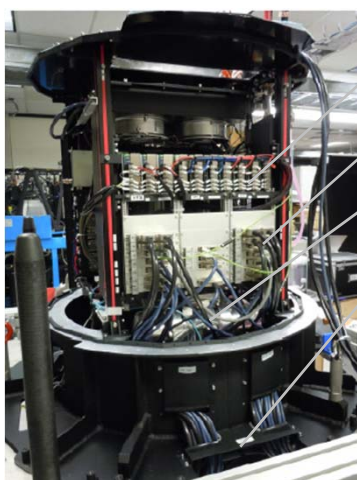
○BCT FEEインターフェース(クロック出力)
2枚

○OBDA FEEインターフェース(データ入力)
2枚
(東大 藤森さん)

BEE: バックエンドエレクトロニクス



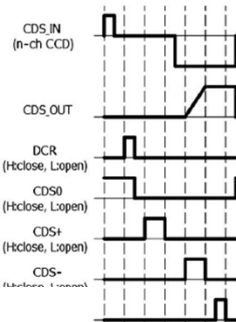
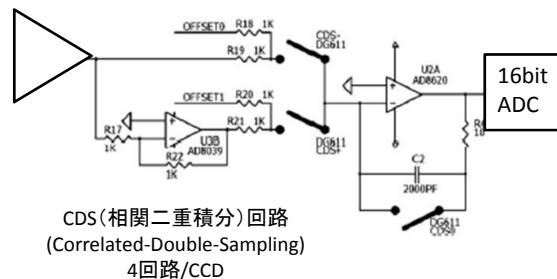
HSCエレクトロニクス外観



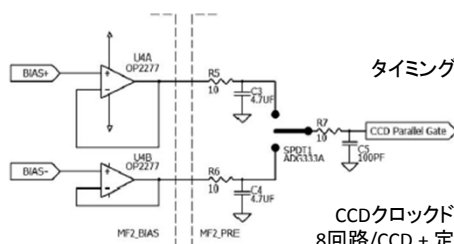
- BEE/FEE 電源
- BEE
- 冷凍機
- Dewar

CCD信号処理回路

プリアンプ



タイミング信号はGESICAが生成



Nakaya, PASP2012

常温真空配置フロントエンドエレキ

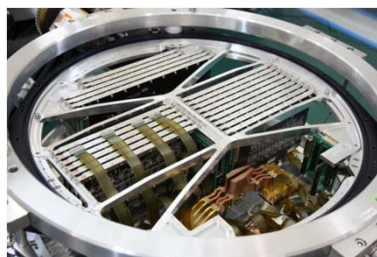
○真空配置のメリット

- ・ハーメチックシールのピン数
アナログ約20本/CCD
→デジタル2本/CCD + α(クロック等)
- ・CCD信号線長
- ・CCD静電気保護

○真空配置のデメリット

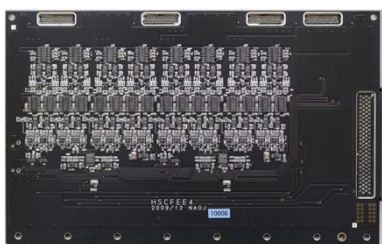
- ・対流による放熱ができない
→フレームを通してデュワー壁へ排熱
- ・アウトガス(常温だけに最も危惧された)
- ・メンテナンスがしにくい
- ・万が一、燃えてガスを放出すると被害甚大
→監視回路、保護回路によりある程度防げる

成功率(性能、信頼性、安定性)が高い
常温真空配置を選択



FEE: フロントエンドエレクトロニクス

24cm=CCD4個分



- ・CCD制御のためのアナログ回路全て
- ・4CCD用と6CCD用の2種類
- ・信号入出力はLVDSのみ

真空中に配置するため

- 高熱伝導 (基板温度40°C以下@実験室)
- 低電圧低消費電力回路 (~1W/CCD)
- 監視・保護回路 (温度、電圧、電流)
- 低アウトガス

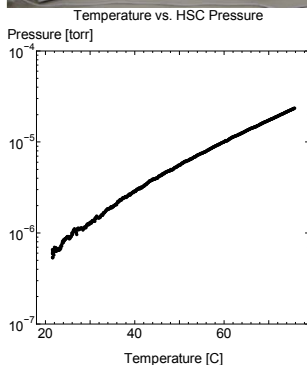
高熱伝導

- 高熱伝導アルミコア回路基板 (純アルミに近い高熱伝導アルミ2mm厚)
- 高熱伝導絶縁材 通常基板材の約10倍
- Exposed Pad付きパッケージ
- シングルオペアンプ(デュアルではなく)
- 部品配置最適化
- 排熱経路最適化 (デューワーフレーム等)

低アウトガス

- 真空プレス基板
- 樹脂充填蓋メッキピア
- 組立後アルコール超音波洗浄

FEEアウトガス測定



FEE基板により真空度が悪くならないか確かめた (ATCの田村さん、ご協力ありがとうございました。)

部品も付いたFEE 6枚を低アウトガス真空容器に入れて真空度を測定し、FEEなしの真空度と比較した。

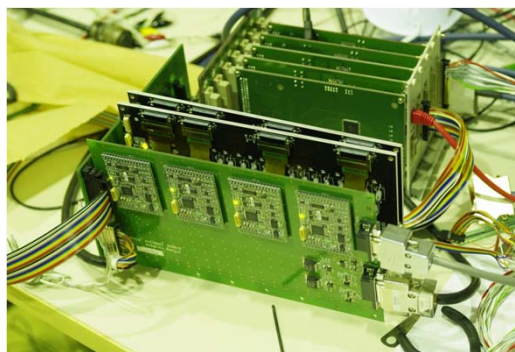
この結果をHSCの場合にスケーリングしてHSCの真空度を推定した結果が左図 (横軸はFEEの基板温度、縦軸は真空度)

スケーリングはFEEの枚数、真空ポンプ能力を考慮し、FEE以外からのアウトガスやリークは考慮しない。

FEE基板温度が40°Cの時に~2E-6Torr (25度以下で~-7乗台)

Nakaya+, SPIE2010

FEE出荷試験

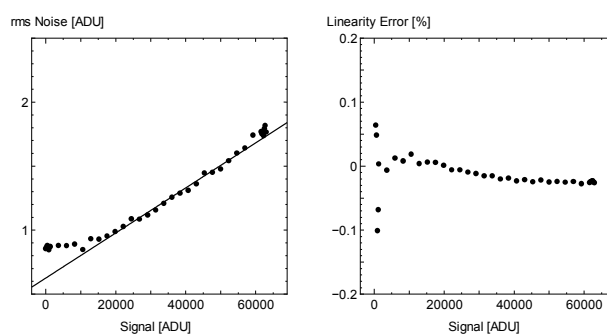


CCDの数が多いので全CH動作確認

- ・CCD信号シミュレーター開発
- ・自動測定システム構築 (ソフトと測定 東大 宮武さん)
- ・擬似CCD信号によるノイズ、リニアリティ測定
- ・電圧測定回路によりクロック出力電圧測定

Nakaya+, SPIE2010

BEE+FEEの読み出し性能



アンプゲイン $\times 3.0$ @ 20秒読み出し (CDS積分時間2 μ 秒)
 → CCDゲイン5 μ V/eの時、CF=3e/ADU
 → 飽和レベル 180,000e以上
 ノイズ ~ 0.9 ADU=2.8e相当 (CCDなし) $\rightarrow \sim 5$ e (CCD4e付き)
 リニアリティ $\sim 0.1\%$
 ノイズ信号依存成分(ジッター) ~ 20 ppm (20E-6)

Nakaya+, SPIE2010

HSC搭載後の読み出し性能

AD7686

SPECIFICATIONS

Analog Devicesのデータシート

VDD = 4.5 V to 5.5 V, VIO = 2.3 V to VDD, VREF = VDD, TA = -40°C to +85°C, unless otherwise noted.

Table 2.

| Parameter | Conditions | B Grade | | | C Grade | | | Unit |
|--|---|------------------------------|-------|-----------|------------------------------|-------|-----------|------------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| RESOLUTION | | 16 | | | 16 | | | Bits |
| ANALOG INPUT | | | | | | | | |
| Voltage Range | IN+ – IN– | 0 | | VREF | 0 | | VREF | V |
| Absolute Input Voltage | IN+ | -0.1 | | VDD + 0.1 | -0.1 | | VDD + 0.1 | V |
| | IN– | -0.1 | | +0.1 | -0.1 | | +0.1 | V |
| Analog Input CMRR | f _N = 200 kHz | 65 | | | 65 | | | dB |
| Leakage Current @ 25°C | Acquisition phase | 1 | | | 1 | | | nA |
| Input Impedance | | See the Analog Input section | | | See the Analog Input section | | | |
| ACCURACY | | | | | | | | |
| No Missing Codes | | 16 | | | 16 | | | Bits |
| Differential Linearity Error | REF = VDD = 5 V | -1 | ±0.7 | | -1 | ±0.5 | +1.5 | LSB ¹ |
| Integral Linearity Error | | -3 | ±1 | +3 | -2 | ±0.6 | +2 | LSB ¹ |
| Transition Noise | | | 0.5 | | | 0.45 | | LSB ¹ |
| Gain Error ² , T _{MIN} to T _{MAX} | | | ±2 | ±8 | | ±2 | ±6 | LSB ¹ |
| Gain Error Temperature Drift | | | ±0.3 | | | ±0.3 | | ppm/°C |
| Offset Error ² , T _{MIN} to T _{MAX} | | | ±0.1 | ±1.6 | | ±0.1 | ±1.6 | mV |
| Offset Temperature Drift | | | ±0.3 | | | ±0.3 | | ppm/°C |
| Power Supply Sensitivity | VDD = 5 V ± 5% | | ±0.05 | | | ±0.05 | | LSB ¹ |
| THROUGHPUT | | | | | | | | |
| Conversion Rate | | 0 | 500 | | 0 | 500 | | kSPS |
| Transient Response | Full-scale step | | 400 | | | 400 | | ns |
| AC ACCURACY | | | | | | | | |
| Signal-to-Noise Ratio | f _N = 20 kHz, VREF = 5 V | 89 | 92 | | 91 | 92.7 | | dB ³ |
| | f _N = 20 kHz, VREF = 2.5 V | | 87.5 | | | 88 | | dB ³ |
| Spurious-Free Dynamic Range | f _N = 20 kHz | | -106 | | | -110 | | dB ³ |
| Total Harmonic Distortion | f _N = 20 kHz | | -106 | | | -110 | | dB ³ |
| Signal-to-(Noise + Distortion) | f _N = 20 kHz, VREF = 5 V | 89 | 92 | | 91 | 92.5 | | dB ³ |
| | f _N = 20 kHz, VREF = 5 V, -60 dB input | | 32 | | | 33.5 | | dB ³ |
| Intermodulation Distortion ⁴ | | | -110 | | | -115 | | dB ³ |

HSC搭載後の読み出し性能 AD7686CのDifferential Non-linearity

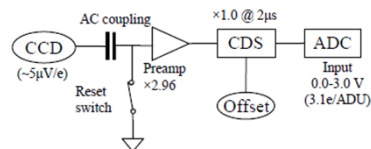


Figure 4 Block diagram of the signal chain. Bracketed values depend on the CCD specification.

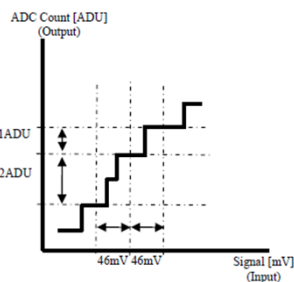


Figure 5 Illustration of 'noise anomaly'

Nakaya+, SPIE2012

HSC搭載後の読み出し性能 ノイズとジッター

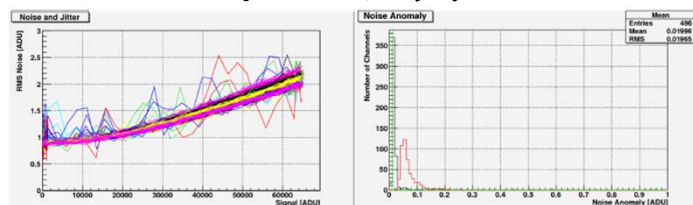


Figure 6 The left panel shows the noise and the jitter plot for all channels. The lines are colored only to separate lines of each channel. The right panel shows the histogram of the error from the fitted line of the expression (1). The black bar indicates the mean values, the green one indicates the minimum values, and the red one indicates the maximum values.

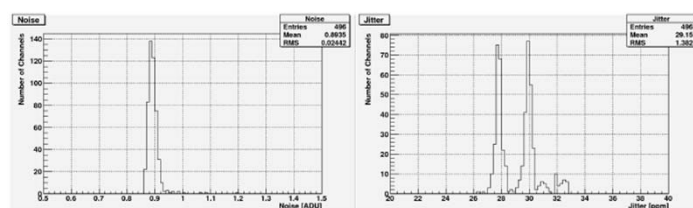


Figure 7 The left panel shows the histogram of the noise which is expressed as 'a' in the expression (1). The data extracted from the fitted expression shows the jitter which is expressed as 'b' in the expression. The data was extracted from the fitted Nakaya+, SPIE2012

後書き

- 最後にADCによるDifferential Nonlinearityによる性能劣化を紹介したが、
- 要求仕様である読み出しノイズ10e、リニアリティ $\pm 1\%$ を全てのチャンネルで満たしている。
- ほとんどのチャンネルでは読み出しノイズ5e、リニアリティ $\pm 0.5\%$ を達成している。