

## 次世代衛星搭載CCD高速低雑音処理ASIC の性能

井上翔太, 中嶋大, 薙野綾, 穴吹直久, 今谷律子, 林田清, 常深博 (大阪大学) John P. Doty (Noqsi Aerospace Ltd.) 池田博一 (ISAS/JAXA)  
inoue\_s@ess.sci.osaka-u.ac.jp

我々はこれまで衛星搭載用CCDカメラ用の読み出し回路を開発してきた。2008年に開発したASIC(MND02)は2015年打ち上げのASTRO-Hへ採用されている。しかし近年開発されている望遠鏡は結像性能が向上し、有効面積も大きくなっていることからパイルアップしやすくなっているという問題もある。将来的に開発される望遠鏡はパイルアップを防ぐために、現在の雑音性能を維持したまま高速(~1MHz)で処理しなくてはならない。ASTRO-H搭載CCDカメラ用に開発したASICは、低速処理(ピクセルレート68kHz)で十分な低雑音性能が得られたが、>500kHzの高速域では雑音が大きかった(>100  $\mu$ V)。そこで我々は高速域での雑音性能向上を目指し、ASTRO-H用ASICで採用していた2次の $\Delta\Sigma$ 型ADCを4次に高次化させた。これにより、約40 $\mu$ V@120kHzの雑音性能と0.1%以下の線形性という高い性能を得ることができた。また2014年の11月にHIMACでラッチアップ試験や経年劣化耐性試験などの放射性耐性試験を行った。ASTRO-H用ASICとほぼ同等の高い放射線耐性を持つことが確認できた。

## 阪大における読み出し回路の開発の経緯

すざく衛星および硬X線CCDカメラの気球実験までは個別ICによる読み出し回路であった。

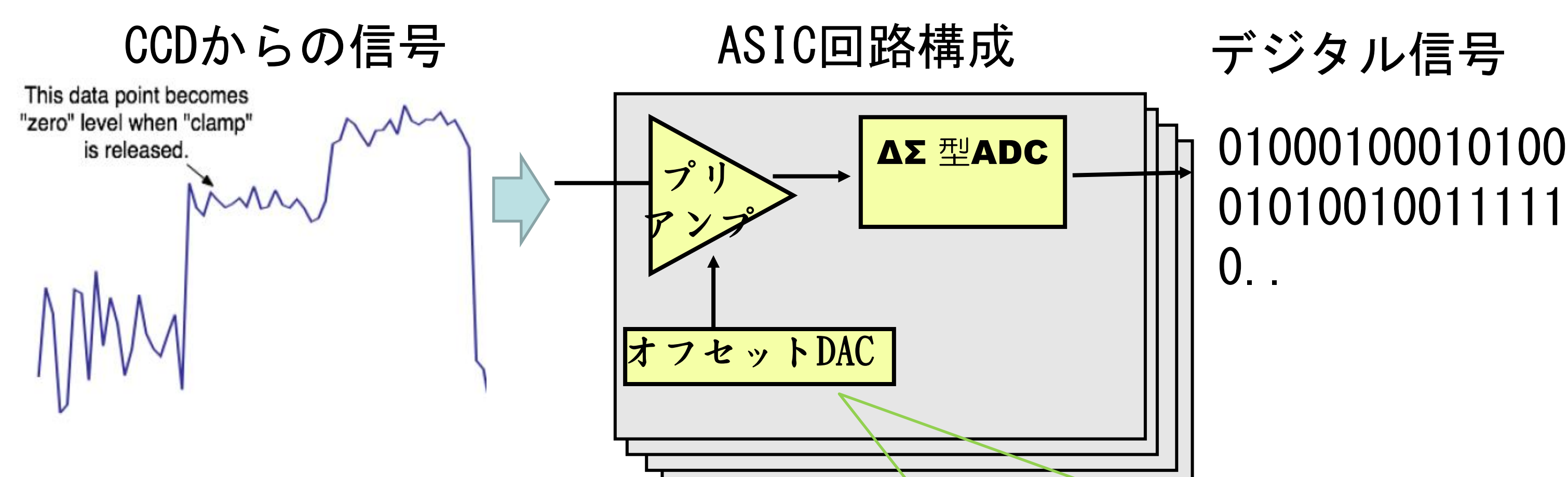
これで高速で読み出そうとすると  
カメラシステムが肥大化

## 省スペース化、省電力化を図るため CCD読み出し回路のASIC化

従来の読み出しシステムから  
1/100の省スペース化  
1/10の省電力化に成功

**3mm四方のチップに4系統のCCD処理回路を**  
実装している。最新版のMND02は、ピクセル  
レート**100kHz以下での低雑音性能と、高い放**  
**射線耐性**を実証し、2015年度打ち上げ予定の  
ASTRO-Hへ採用されている。

## ASIC概要



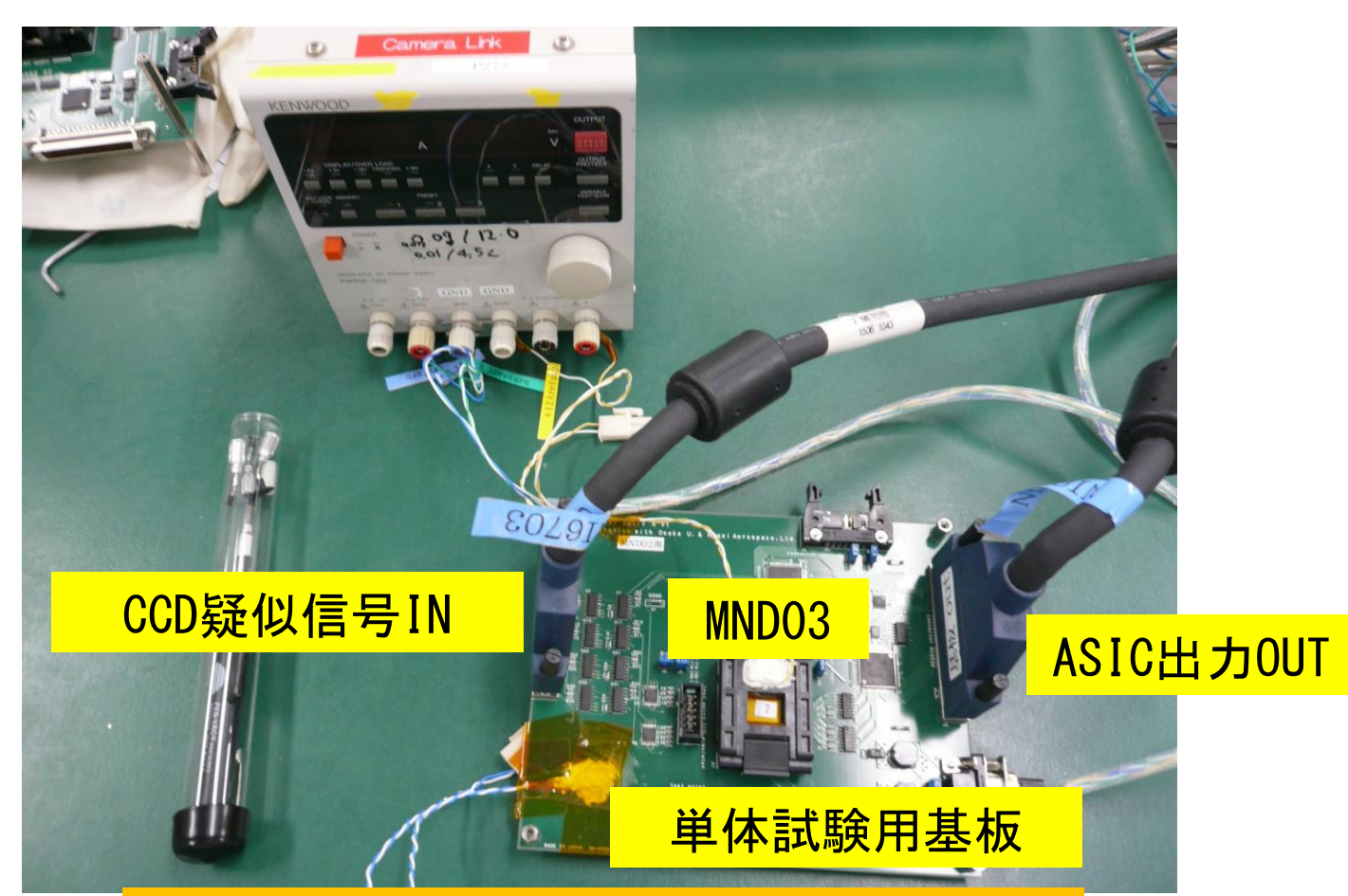
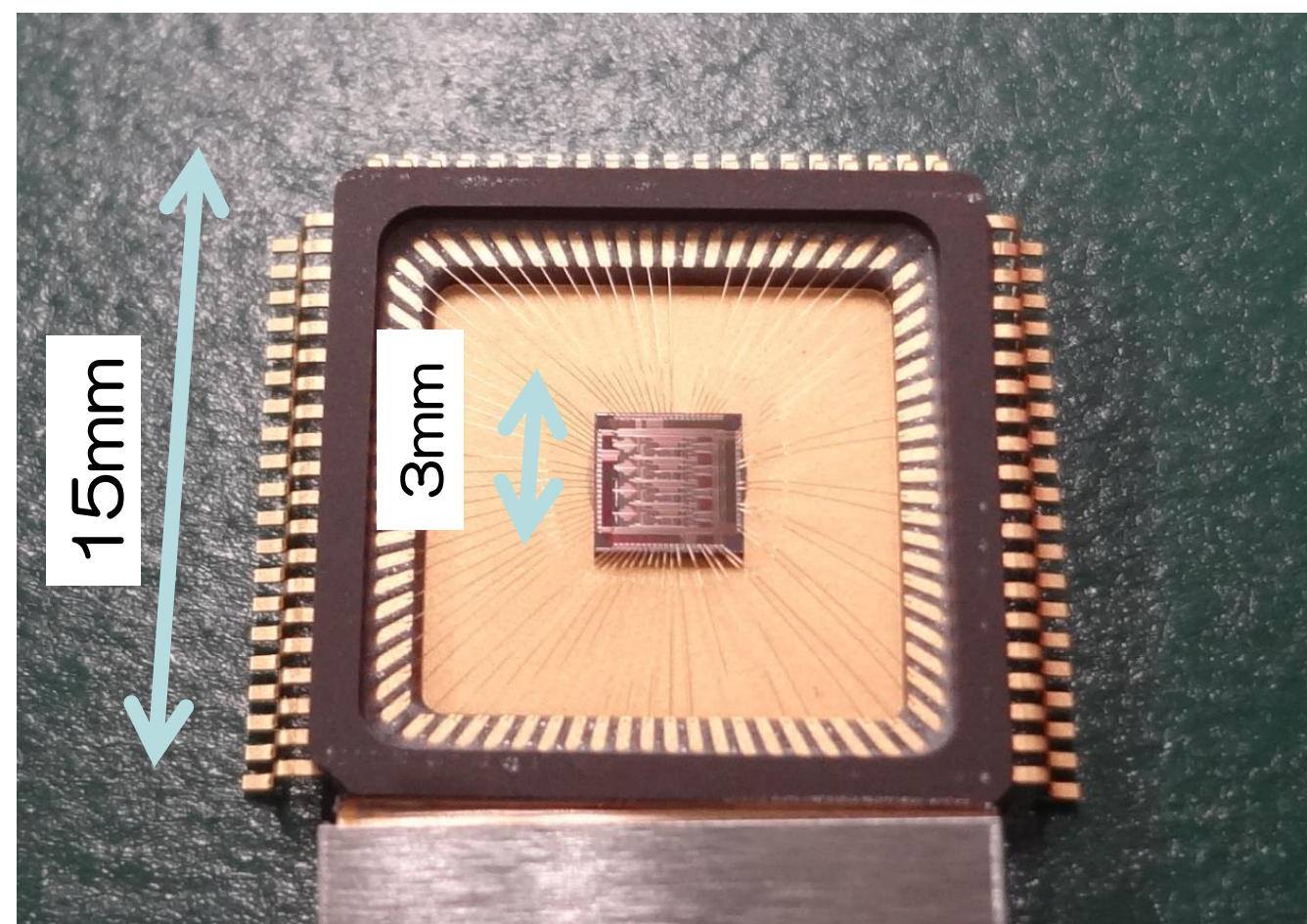
プリアンプ増幅率を可変にすることで、CCD full-wellの電荷量まで対応できる。

オフセット付与機能により全ての  
CCDに対して適切なADCレンジ  
に調整できる。

可視・赤外の観測にも適用可能にする。

## 性能評価

完成したMND03を用いて大気圧で単体性能評価を行った。



プリアンプ増幅率	10
入力電圧範囲	-20mV～20mV
電源電圧	3.3V

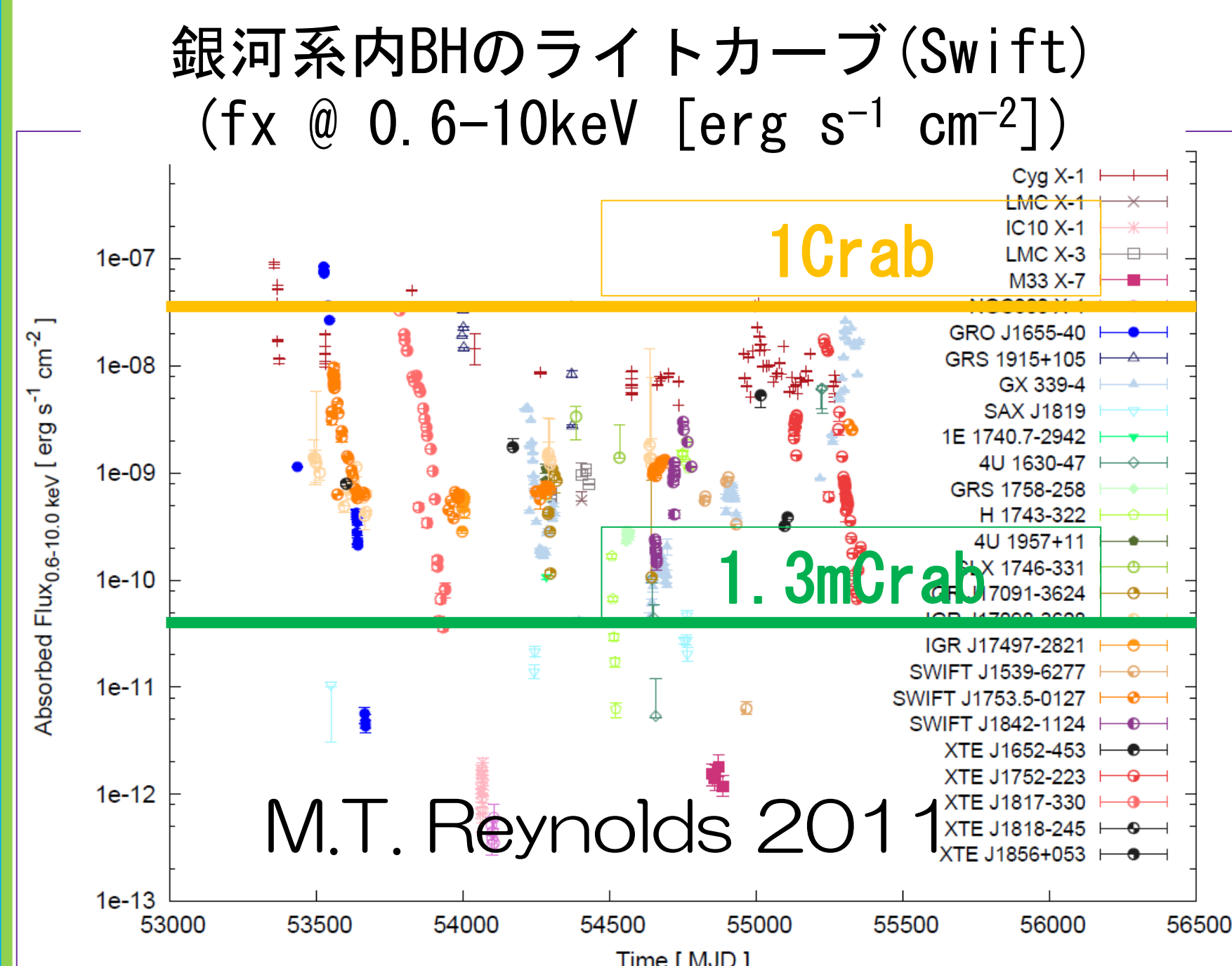
- ・ ASIC単体にCCD疑似信号を与えた。
- ・ 一定の矩形波を数832回処理させた。

ベアチップ作成後の初めての動作試験で問題なく駆動に成功した。

入力等価雑音は MND02@68kHz MND03@255kHz (ピクセルレート)

ASIC performance	MD01	MND01	MD02	MND02	MND03
消費電力(mW)	79	89	92	168	165
最大サンプルレート(MHz)	12.5	50	50	50	50
積分非線形(%)	0.2	1.2	0.2	0.2	0.1
入力レンジ(mV)	40	20~200	40	40~400	40~400
入力等価雑音(μV)	42	48	41	29	44.9

## MND03開発の目的

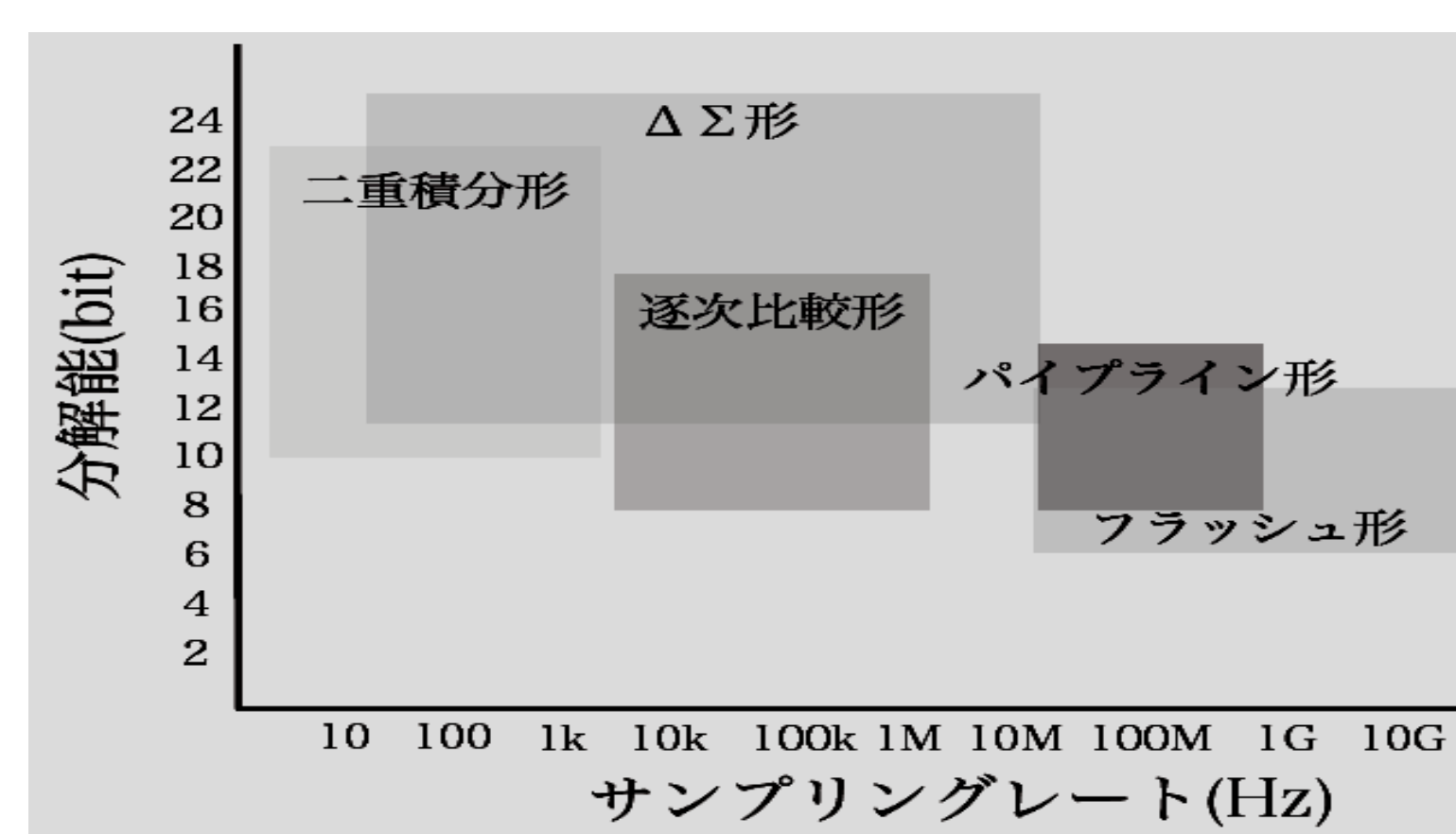


SXI ノーマルモードの**パイルアップ**リミットは**1.3mCrab**。  
BHのほとんど、さらに明るいdiffuse天体ですらパイルアップを起こす。

パイラップを防ぐには  
高速で読み出す必要があるz

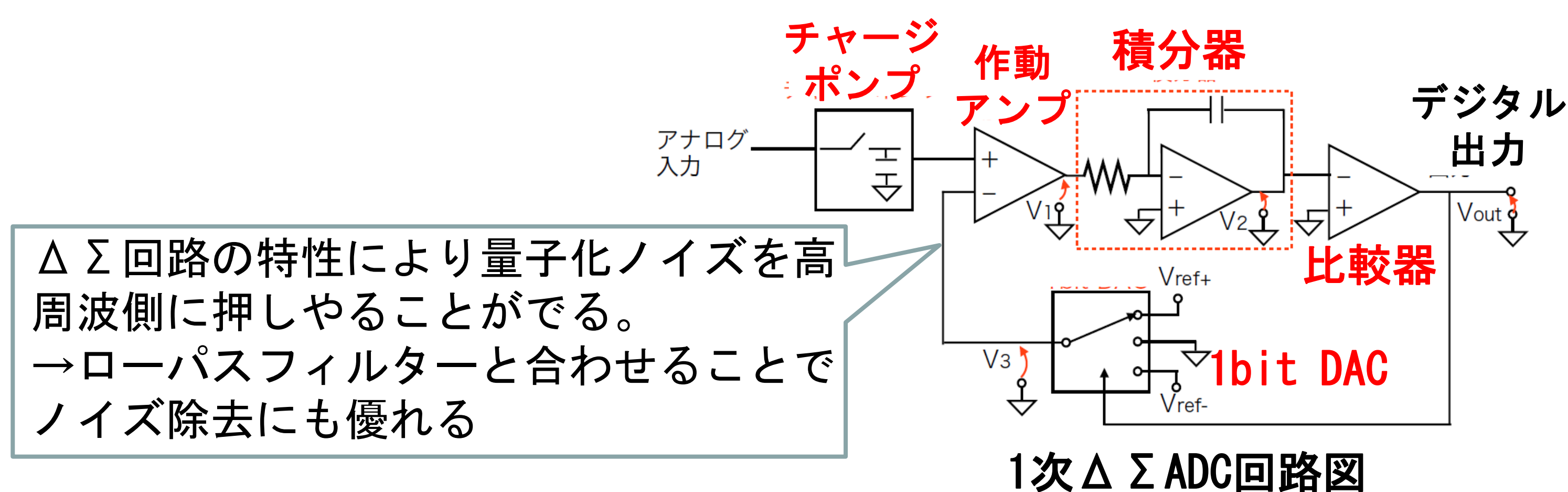
MND02はASTRO-H搭載CCDカメラ(SXI)の要求性能を満たしているが、高速( $>600\text{kHz}$ )で読み出したときは雑音が大きくなる( $>20\text{e}^- \text{rms}$ )

**MND03ではすだくの10倍の速度で低雑音 (5e- rms) を目指す**



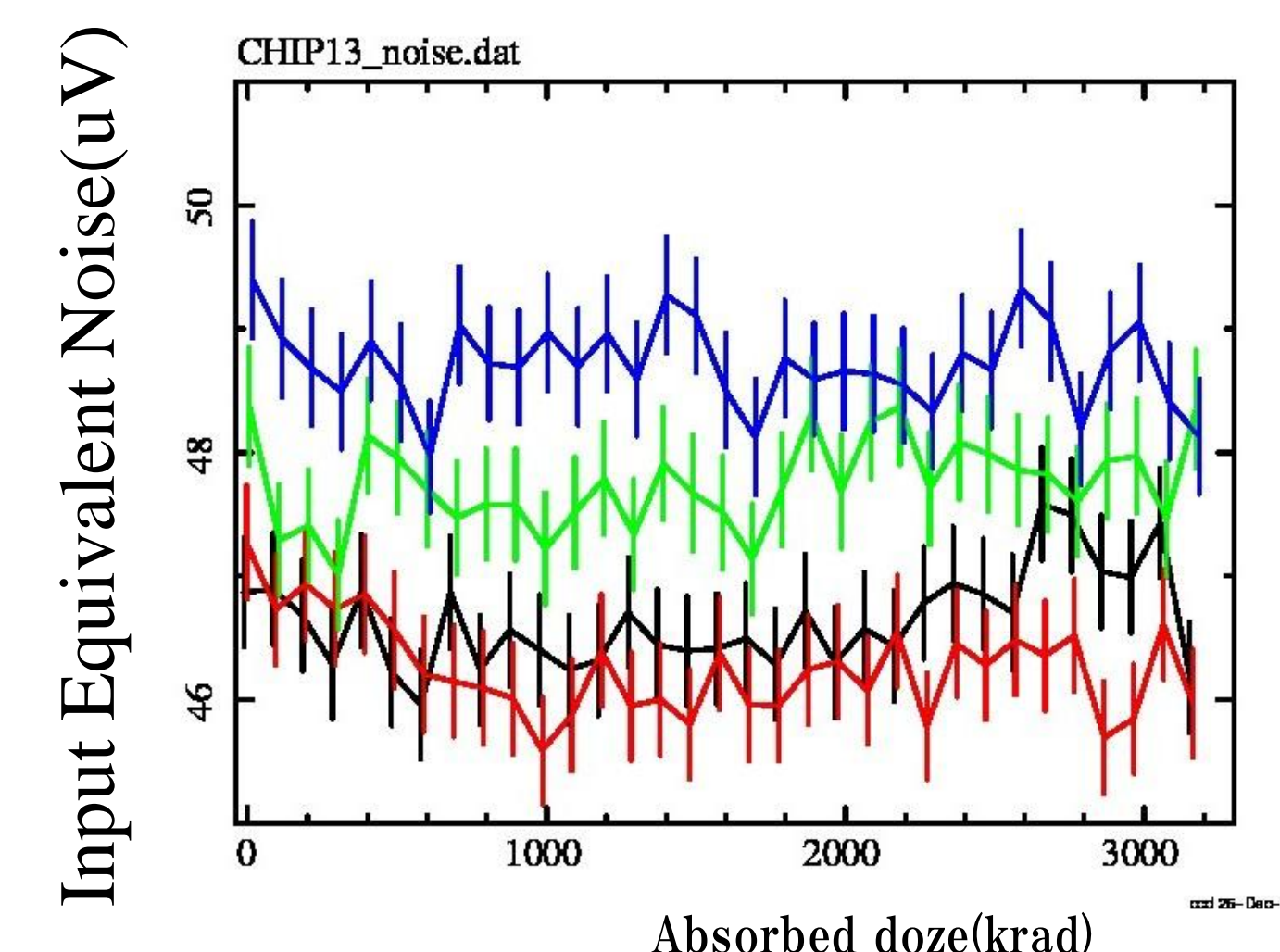
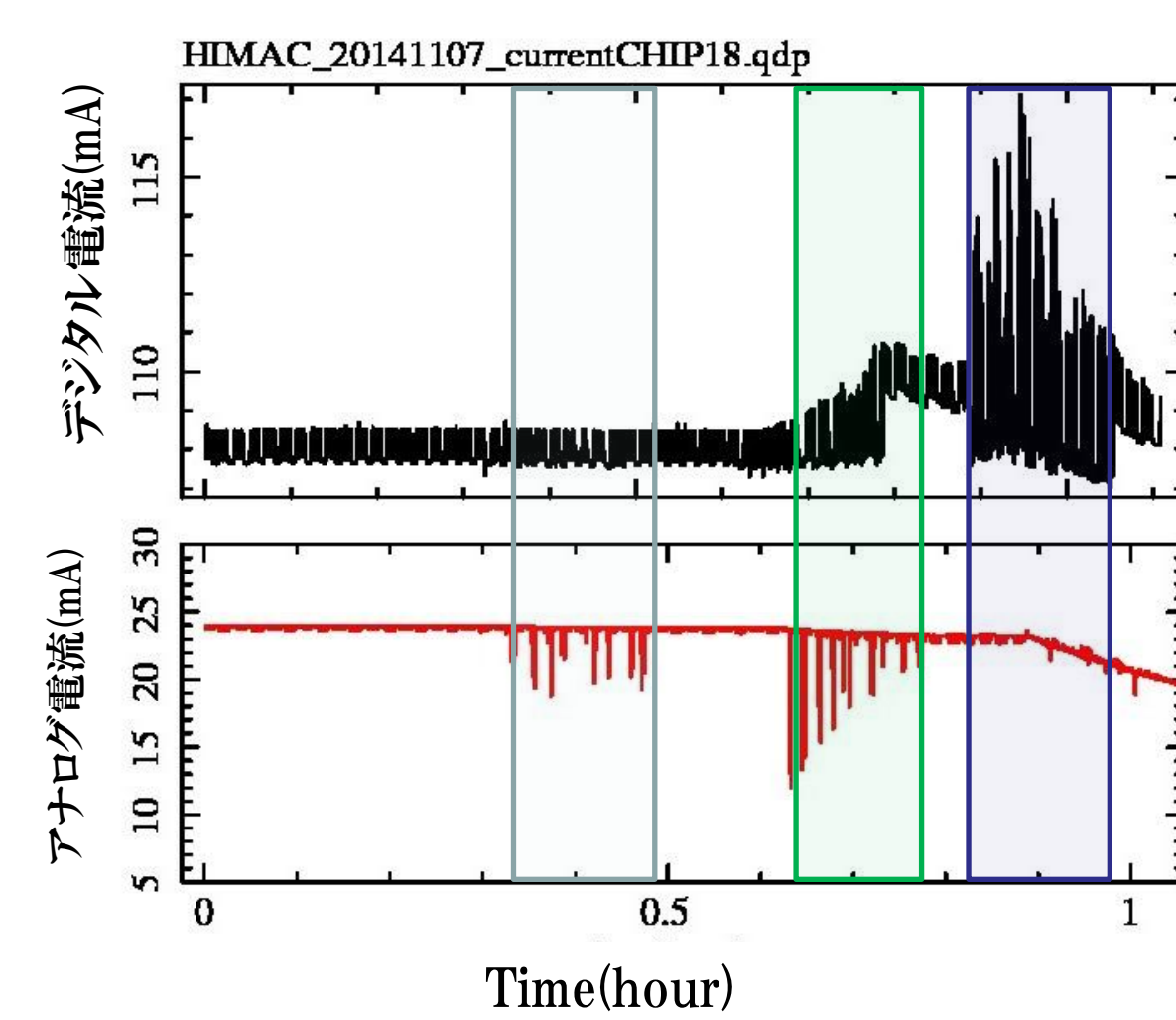
我々のASICには $\Delta \Sigma$ 型ADCを採用している。 $\Delta \Sigma$ 回路は

- ・我々が目指す1MHz帯で分解能がよい。
- ・少ないトランジスタ数で実装できる。



## 放射性耐性試験

- ✓シングルイベントラッチアップ (SEL) 試験・・・重粒子線をASICが浴びた時、過大電流が流れ、永久故障を引き起こす確率的影響を確認した。
- ✓トータルドーズ (TID) 試験・・・主に電離放射線により生成される酸化膜層への正孔の蓄積による経年的な性能劣化の確定的影響を確認した。



➤左:ASICに重粒子線(Fe6MeV/u)を放射した結果。縦軸がアナログ、デジタルのそれぞれの電流値で横軸は時間になっている。放射線を当てている時間は色掛けをしている。pppとは1スピル(今回は約3.3秒)のうちに照射された粒子数。

ラッチアップは見られない。= ラッチアップする頻度は800年(@95%CL)に1回以下

➤右：ASICに陽子100MeVを入射した結果。横軸が吸収線量で縦軸が入力等価雑音になっている。

性能劣化は見られない。＝低高度地球周回軌道上で1000年以上耐えることができる。

✓低高度地球周回軌道における典型的なミッション寿命期間中の正常動作を検証できた。