

X線CCDの高速信号処理のための アナログデジタル混載LSIの開発

小澤秀樹、松浦大輔、宮田恵美、常深博

大阪大学大学院理学研究科

池田博一

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

X線CCDの弱点

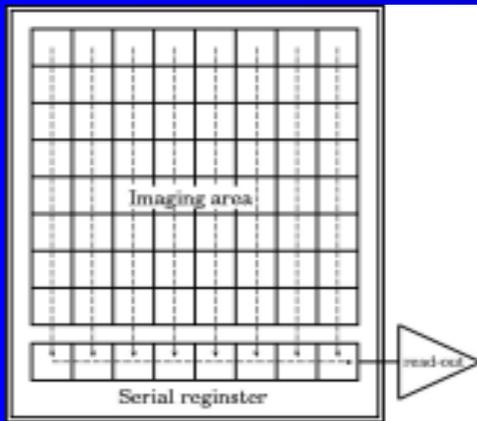
X線CCD

優れた位置分解能($\sim 20 \text{ um}$)

比較的良いエネルギー分解能($\sim 130 \text{ eV @ } 6 \text{ keV}$)

X線天文衛星の焦点面検出器として成果を挙げてきた。

X線CCDの弱点は時間分解能が悪いこと

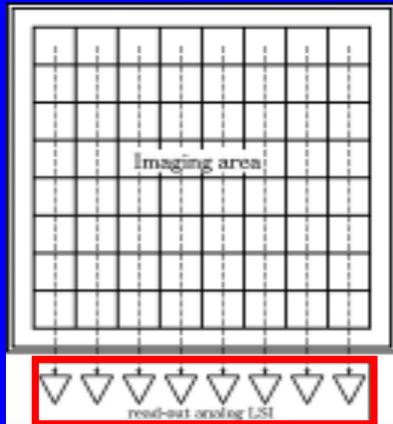


例えば、 1000×1000 画素のCCDの場合、100万画素の信号を読み出している。

読み出し口が一つしかないと、
1画面読み出すのに数秒かかってしまう。

読み出し時間の短縮に向けて

X線CCDの読み出し口を増やすことで、読み出し時間を短縮することができる。



例えば、 1000×1000 画素のCCDで、1列毎に読み出し口をつければ、読み出し口が一つの場合に比べて読み出し時間は1000分の1になる。

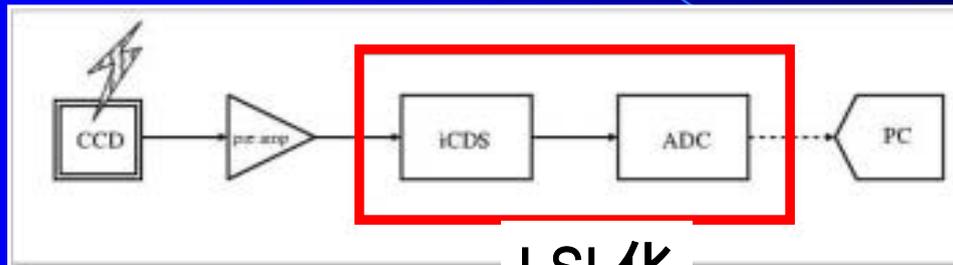
読み出し口を増やすと、後段の信号処理回路も多チャンネル必要になる。



X線CCD読み出し回路を
多チャンネル集積したLSIの開発

X線CCD信号処理

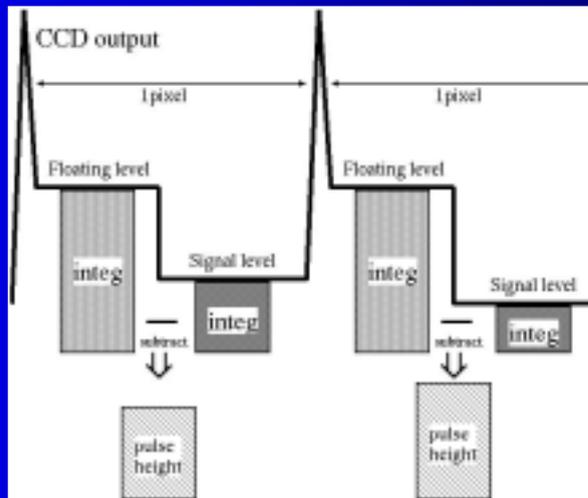
CCDの信号は、プリアンプで増幅したあと、積分型相関2重サンプリング(iCDS)し、ADCに送られる。



LSI 化

iCDSでは、Floating level とSignal level を積分し、その差をとる。

CCDの波形



試作LSIの構成

- X線CCD読み出し回路を2系統含む。
- 各系統は iCDS + ADC で構成される。
- Wilkinson ADC (single slope integration ADC) を用いる。

TMSC社 0.25 μm プロセス を使用。
電源電圧 $\pm 1.25 \text{ V}$

回路設計は我々が行い、
レイアウトはデジアンテクノロジー社に外注

以下、試作したLSIを「M01チップ」と呼ぶ。

M01チップの設計

設計には Tanner 社のソフトを使用した。

回路図エディタ

S-EDIT

回路シミュレータ

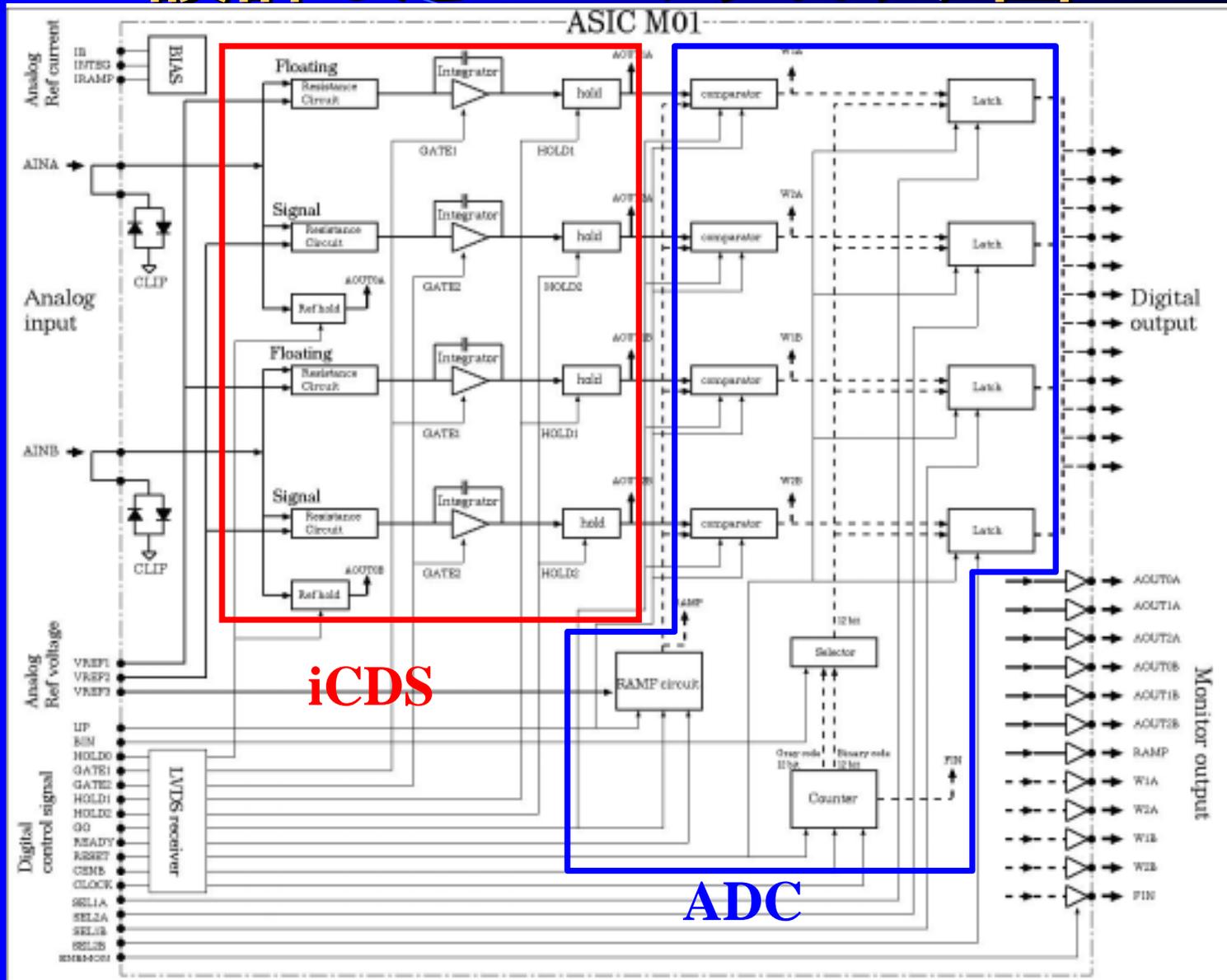
T-SPICE

JAXA宇宙科学研究本部で開発された
Open IP (PI: 池田博一教授)を使用して、
短期間(約3ヶ月)で設計。

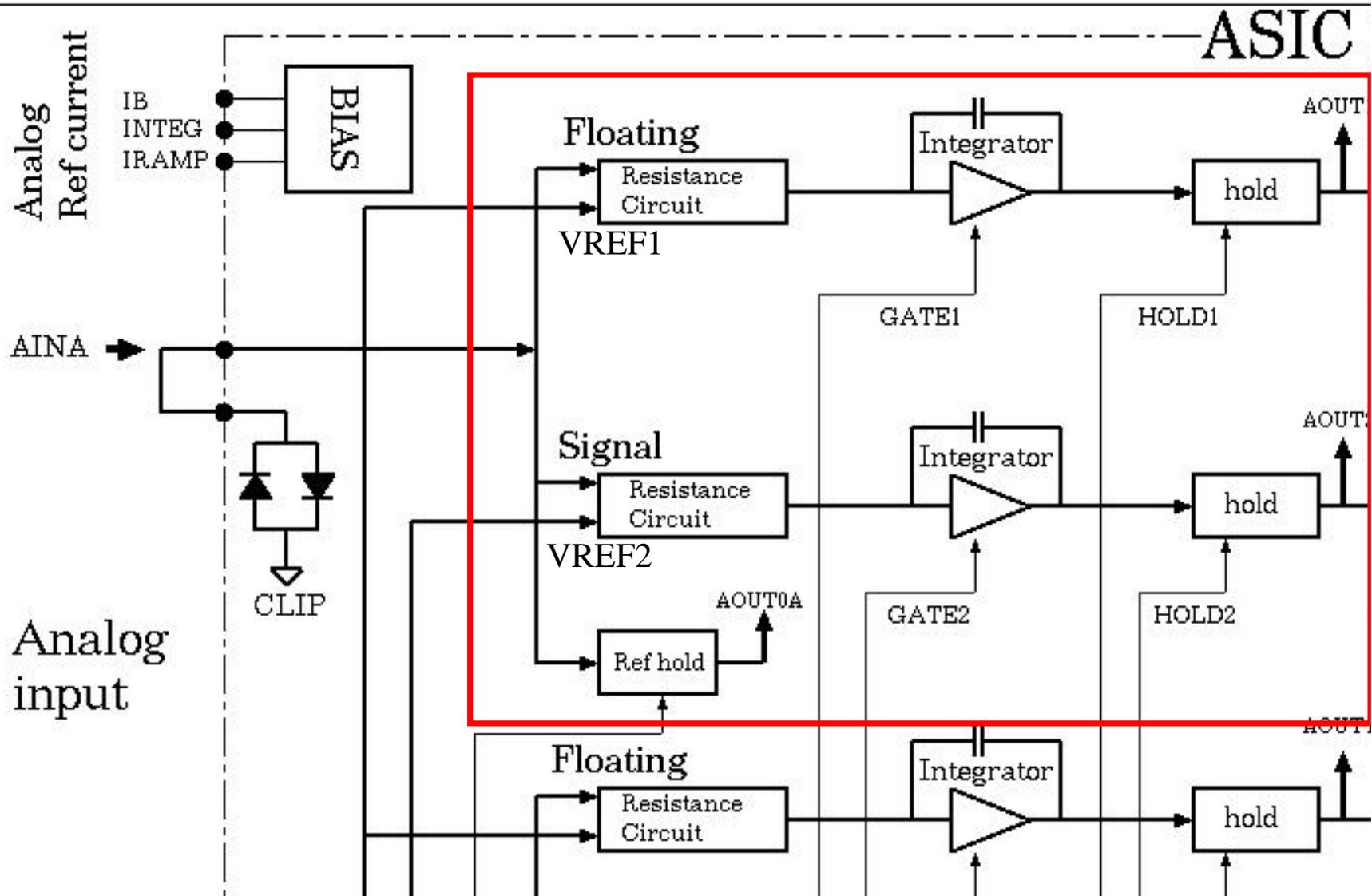
「Open IP」

検出器の読み出し回路の集積化を目的として、オペアンプ、コンパレータ、インバータ、フリップフロップなどの基本回路ブロックを設計し、公開している。

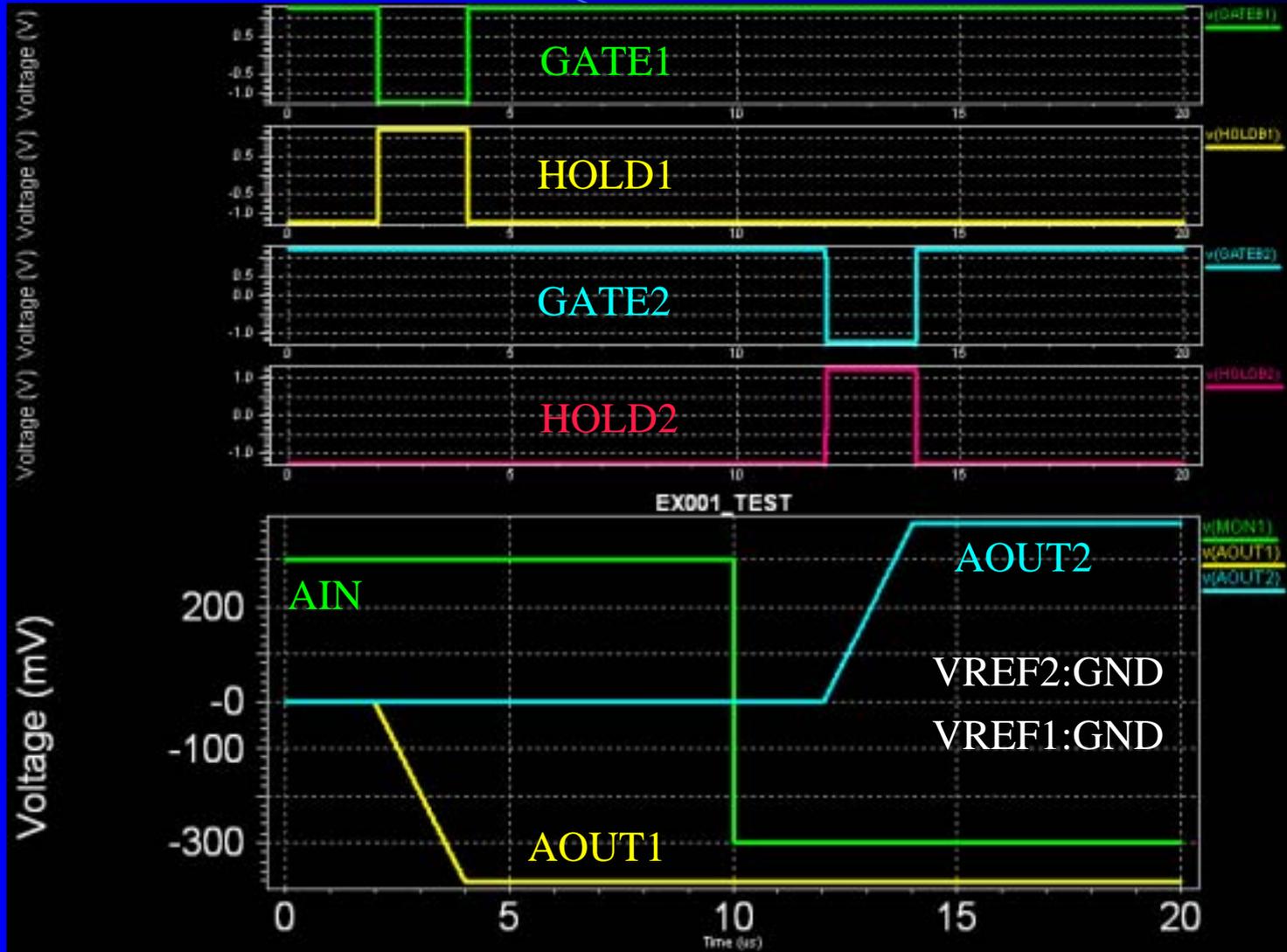
設計したLSIのブロック図



積分相関2重サンプリング(iCDS)

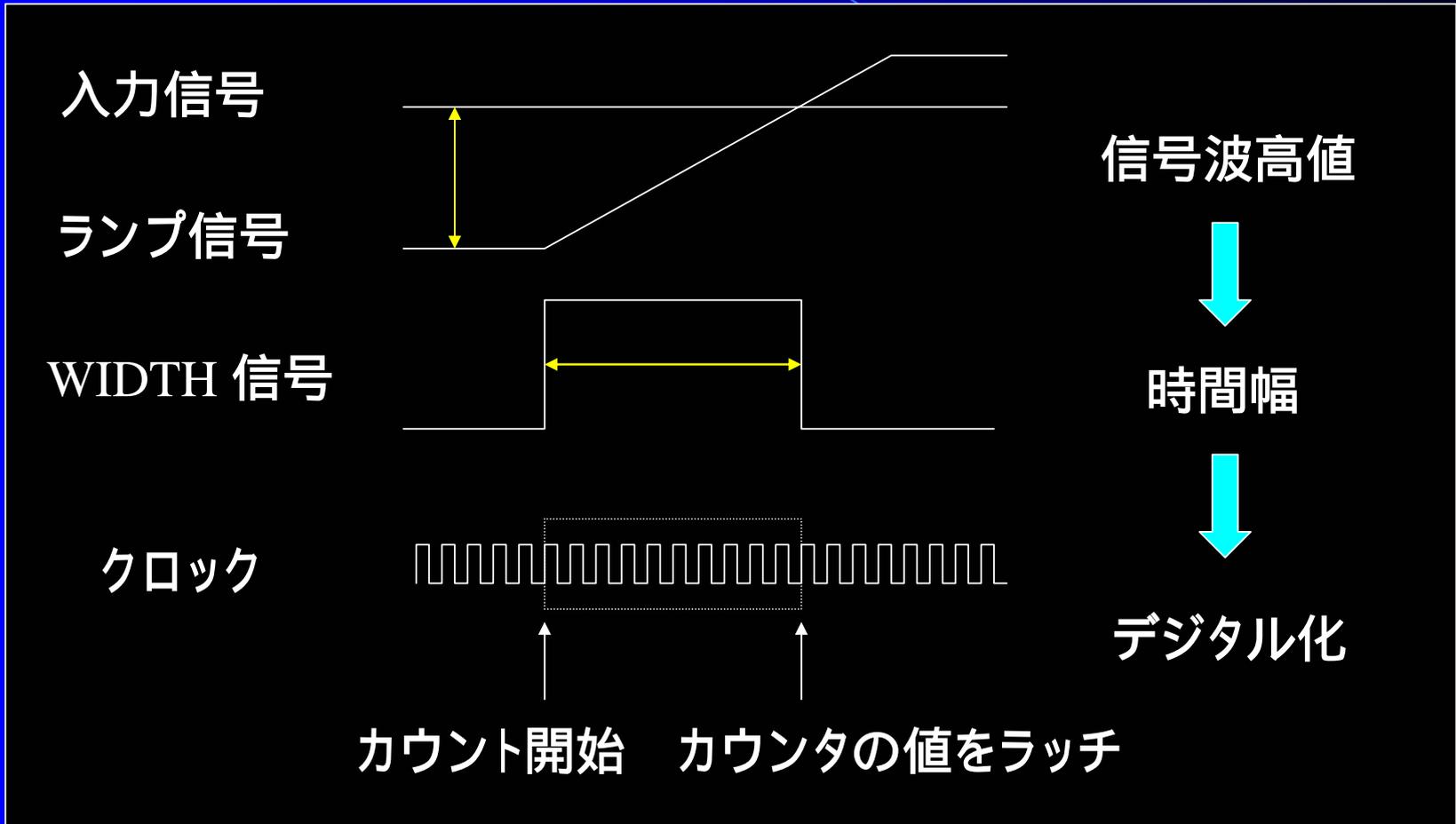


積分回路のシミュレーション



Wilkinson ADC

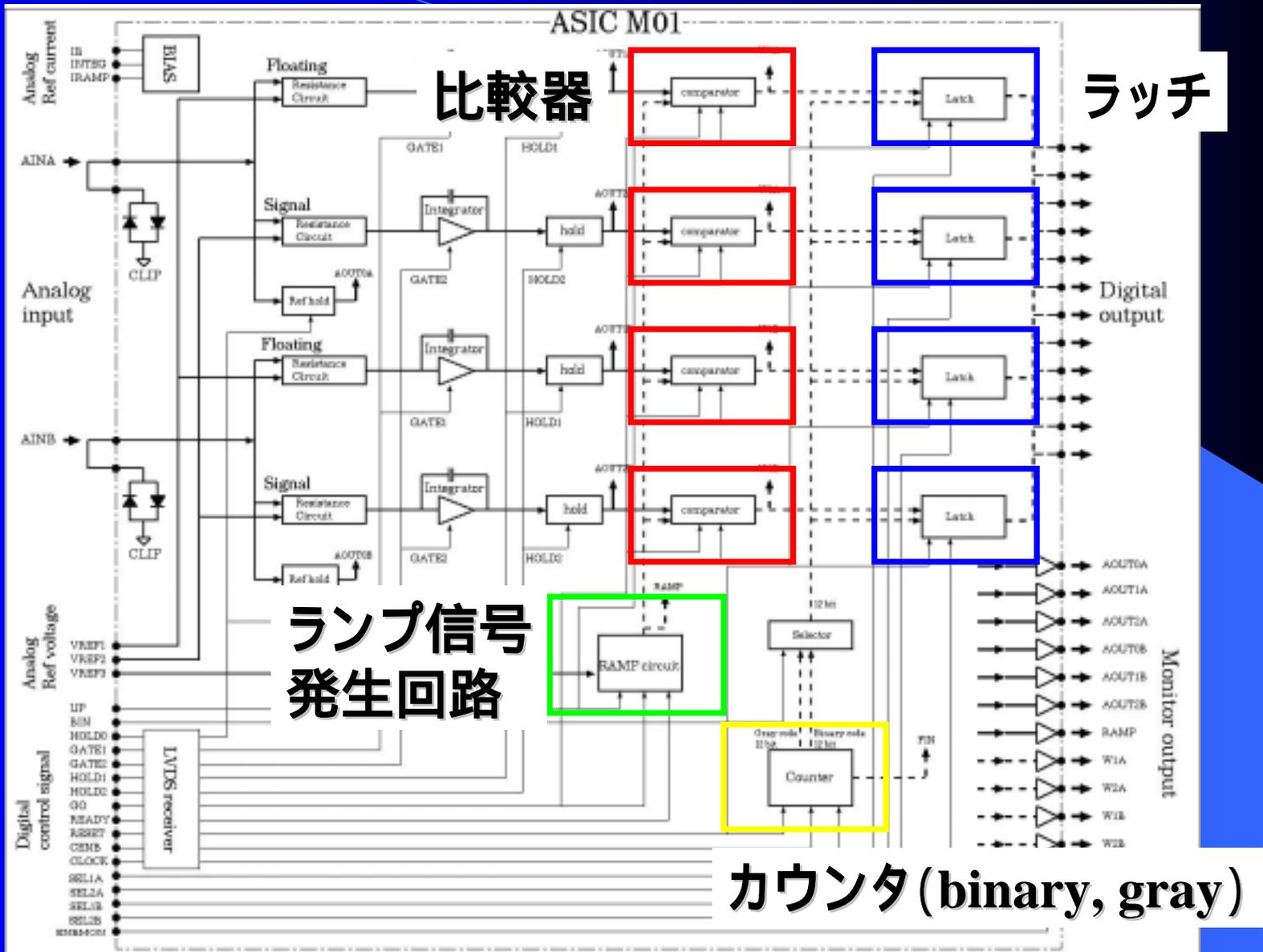
波高に比例した時間幅をもったパルスを作り、その時間幅をカウンタで数えてデジタル化する。



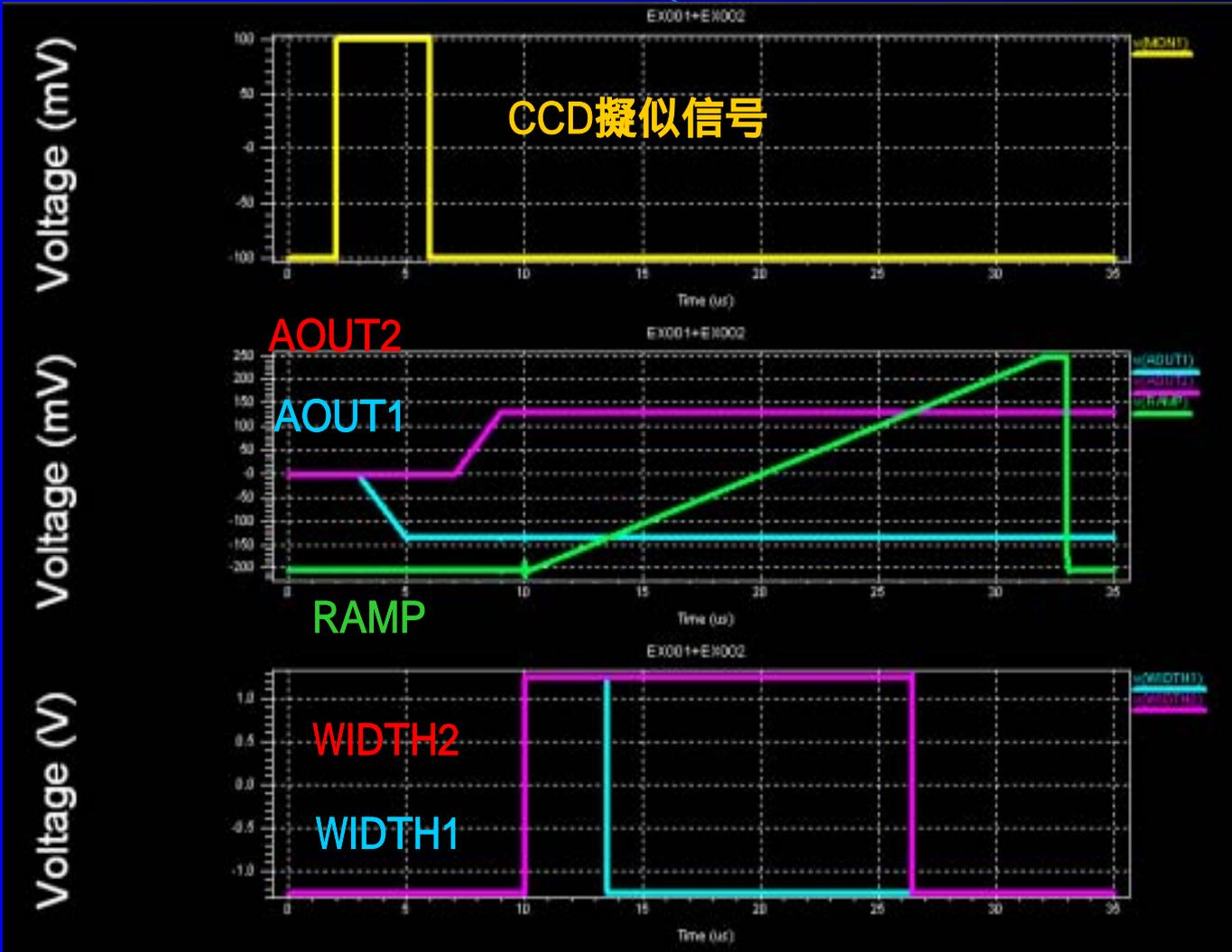
@ 100 MHz clock

40.96 us : 4096 channel

ADCを構成する回路ブロック



ランプ信号発生回路と比較回路 のシミュレーション

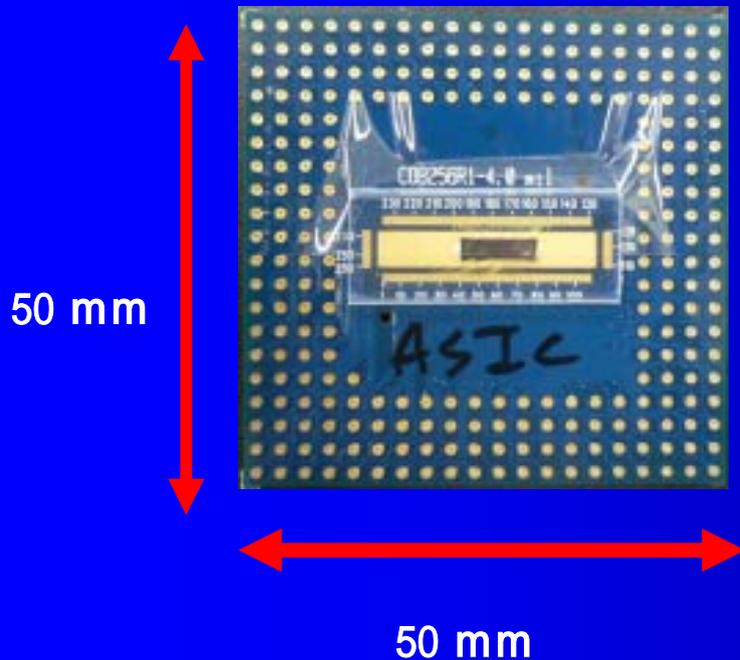




チップサイズ
8mm x 2.5mm

パッケージとLSI評価基板

パッド数 : 109
COB基板に実装



LSI単体評価試験

ファンクションジェネレータで作成したCCD擬似信号を入力し、製作したLSIが正しく動作することを確認した。

積分出力信号の確認

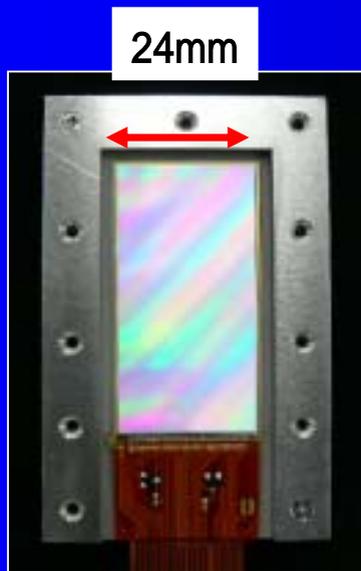


ランプ信号、WIDTH信号の確認

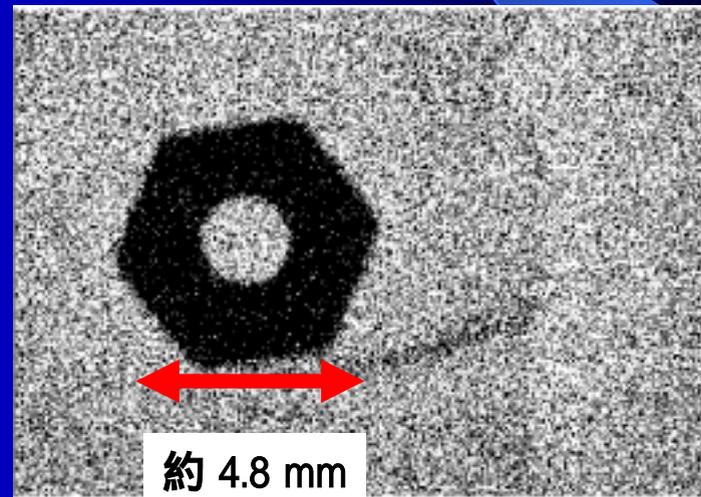


X線CCDと組み合わせた評価試験 1

X線CCD (CCD-NeXT1)に ^{55}Fe を照射し、
M01チップを用いて信号を読み出し、
X線イメージを取得することに成功！
(X線CCDの信号を正しく処理していることを確認。)



CCD-NeXT1

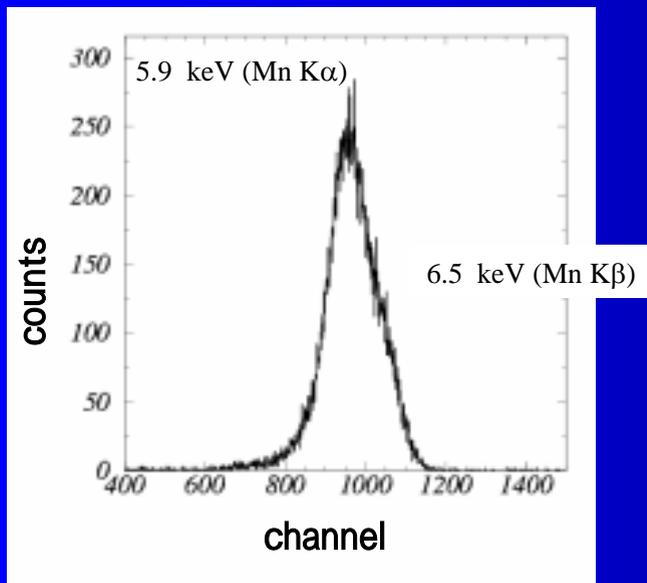


^{55}Fe を照射して得られたイメージ
M2.6 のナットの影が見えている。

X線CCDと組み合わせた評価試験 2

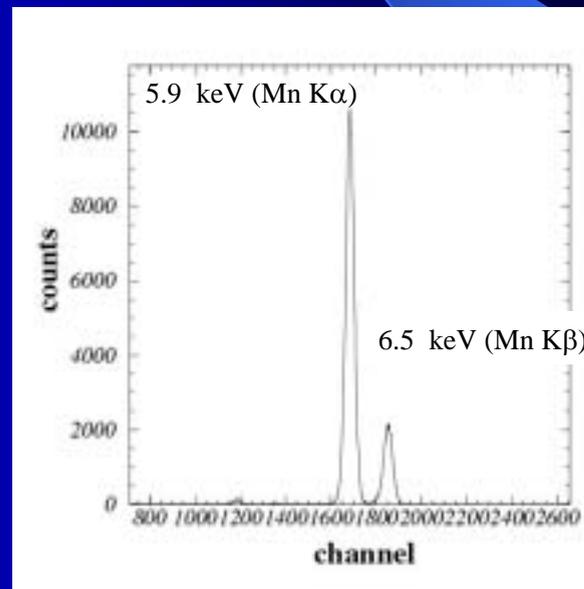
CCD-NeXT1とM01チップで、 ^{55}Fe のスペクトルの取得に成功。
ただし、雑音は既存のX線CCD読み出しシステムと比較して一桁大きい。

M01チップで取得した
 ^{55}Fe のスペクトル。



読み出し雑音 : 電子換算 55 個
エネルギー分解能: 860 eV

既存のシステムで取得した
 ^{55}Fe のスペクトル。



読み出し雑音 : 電子換算 5 個
エネルギー分解能: 130 eV

まとめ

- X線CCDの読み出し回路を集積したアナログデジタル混載LSI(M01チップ)を製作した。
- 宇宙科学研究所で開発された Open IP を利用することで短期間で設計を行なった。
- 単体評価試験を行い、設計した通り、アナログ信号処理、デジタル信号処理が行なえることを確認した。
- 雑音は大きかったものの、X線CCDの信号を正しく処理し、X線イベントを検出し、イメージを取得することができた。