

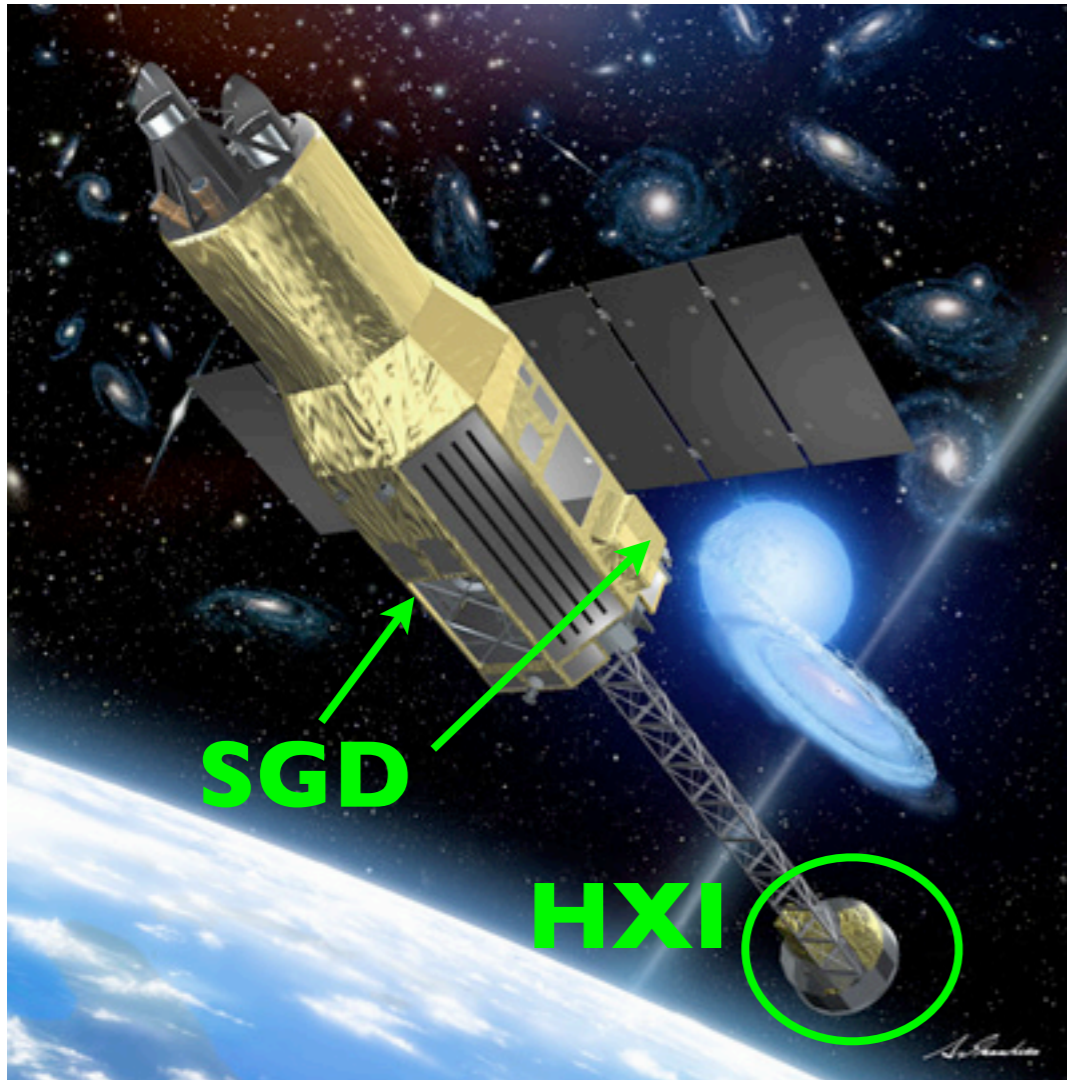
ASTRO-H衛星搭載硬X線・軟ガンマ線 検出器アクティブシールドの開発(I): 光読み出し

花畑義隆、深沢泰司、山岡和貴^A、田島宏康^B、片岡淳^C、中澤知洋^D、高橋弘充、水野恒史、大野雅功^E、国分紀秀^E、高橋忠幸^E、渡辺伸^E、田代信^F、寺田幸功^F、佐々木智香子^E、中島健太^D、水島翼^A、他HXI/SGDチーム

広大理、青学大理工^A、KIPAC/Stanford^B、早大理工^C、東大理^D、
ISAS/JAXA^E、埼大理^F

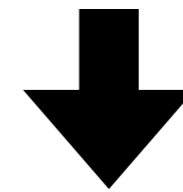
ASTRO-H搭載HXI/SGD

日本で6番目のX線天文衛星: 2014年打ち上げ予定



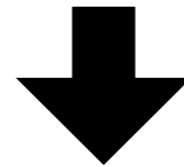
- 硬X線撮像検出器 (HXI) 5~80 keV
- 軟ガンマ線検出器 (SGD) 10~600 keV

非熱的放射が支配的な帯域だが観測困難
従来よりも1桁以上よい感度での観測を
目指す



銀河団やBH、超新星残骸などでの粒子
加速などを明らかにできる。

高感度観測には徹底したバックグラウンド除去が必要



Suzaku/HXD検出器で実績のあるBGOシンチレータのアク
ティブシールドを用いる

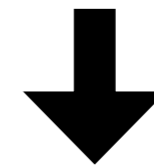
アクティブシールド

天体からのガンマ線

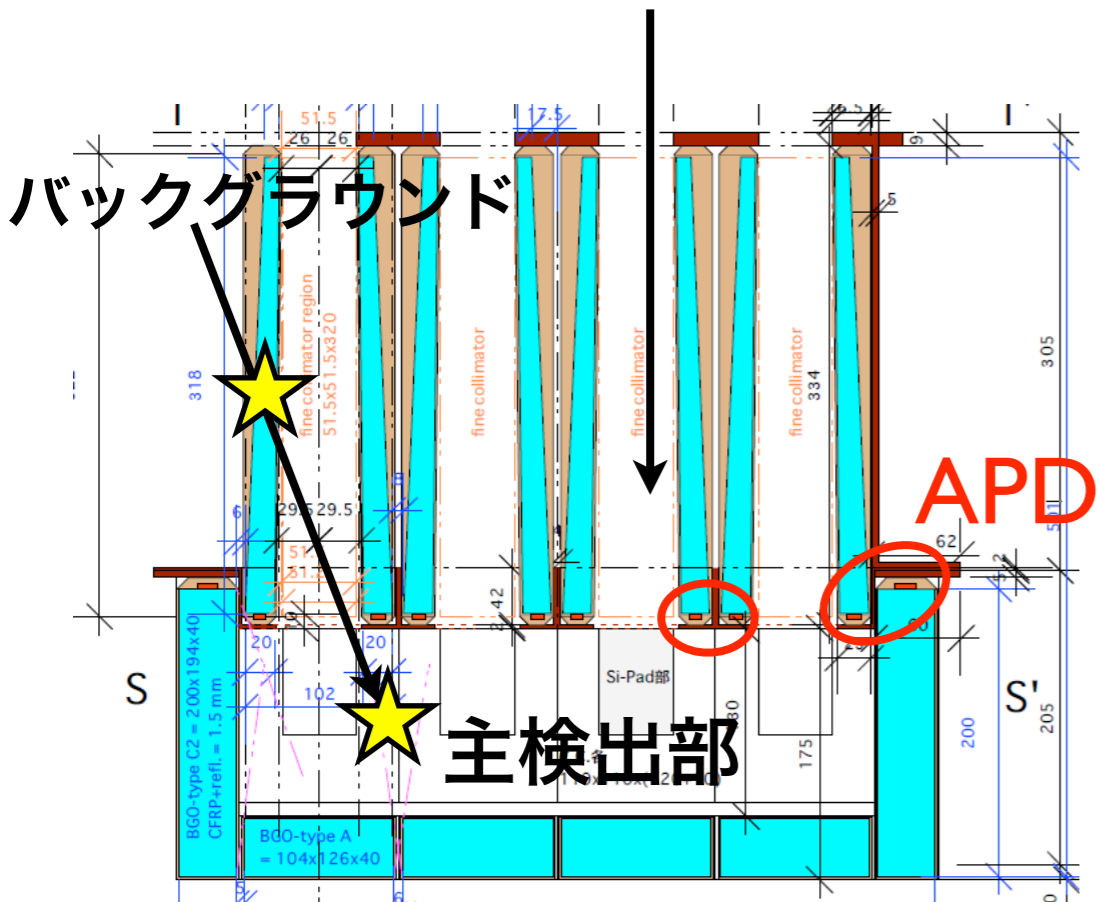
シールド部とセンサー部で同時に反応したイベントをバックグラウンドとして除去
(反同時計数)

どのBGOが反応したかのヒットパターン情報が必要

Suzaku/HXDではエネルギー閾値50keVを達成



HXI/SGDでも50 keV以下の閾値を目指す



SGDのBGOアクティブシールド

シンチレーション光の読み出し

サイズが小さいアバランシェフォトダイオード(APD)を使用

➡ 省スペース、省電力、設計の自由度大

開発の現状

開発分担

BGO: 形状スタディ、耐震機構開発、レイトレーシング

中島講演: 20aBP-10

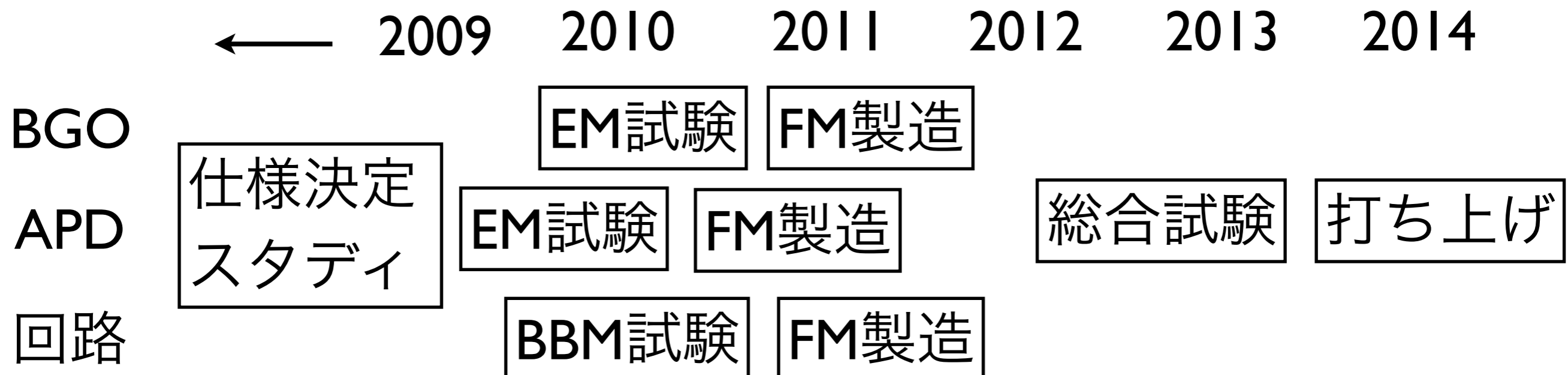
西岡講演: 23pBW-10

APD: ノイズ特性、放射線耐性実験、表面素材・素子選定

回路: CSA開発、信号処理システム開発

佐々木講演: 20aBP-11

開発スケジュール



アクティブシールドの光読み出し

問題点

BGO:SGDでは巨大なものを使用するため発光量が少ない

APD: 暗電流に伴うノイズが発生

➡ **いかに効率よく信号を読み出せるかが鍵となる**

研究目的

HXI/SGDでのアクティブシールドの実現性を調べる

1. 実物大のBGOとAPDを用いた基礎特性評価

光量の位置依存性や閾値50keVを達成できるかを調べる

➡ EM品デザインを決定するための指標を得る

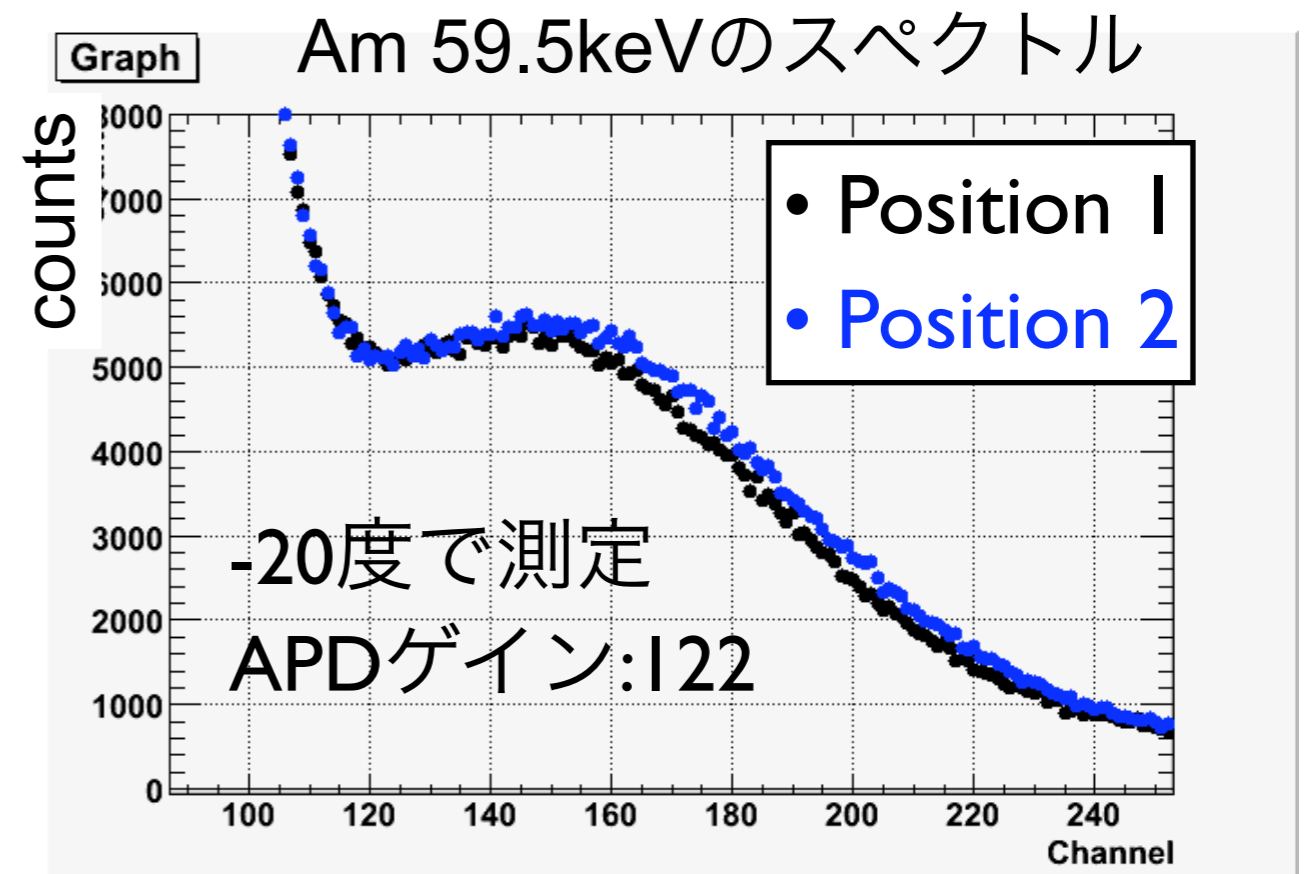
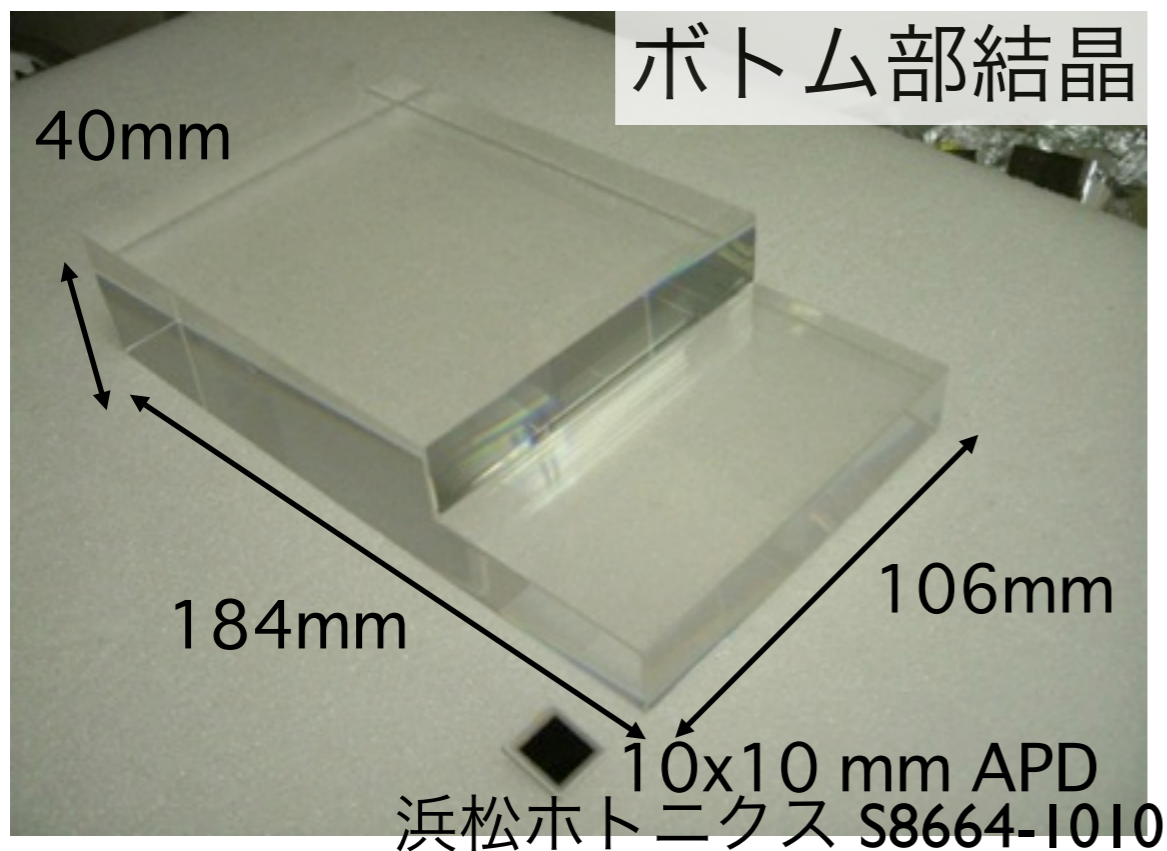
2. BGO信号のデジタル信号処理の検討

簡単なデジタルフィルタを使用した省電力回路の設計

光量の位置依存性

実物大のBGOを用いて、APDの取り付け位置や線源の照射位置による光量の依存性を調べた。

- 測定項目
1. APDの取り付け位置を変えてCs(662keV)の部分照射
 2. Cs(662keV)の全体照射
 3. Am(59.5keV)の部分照射

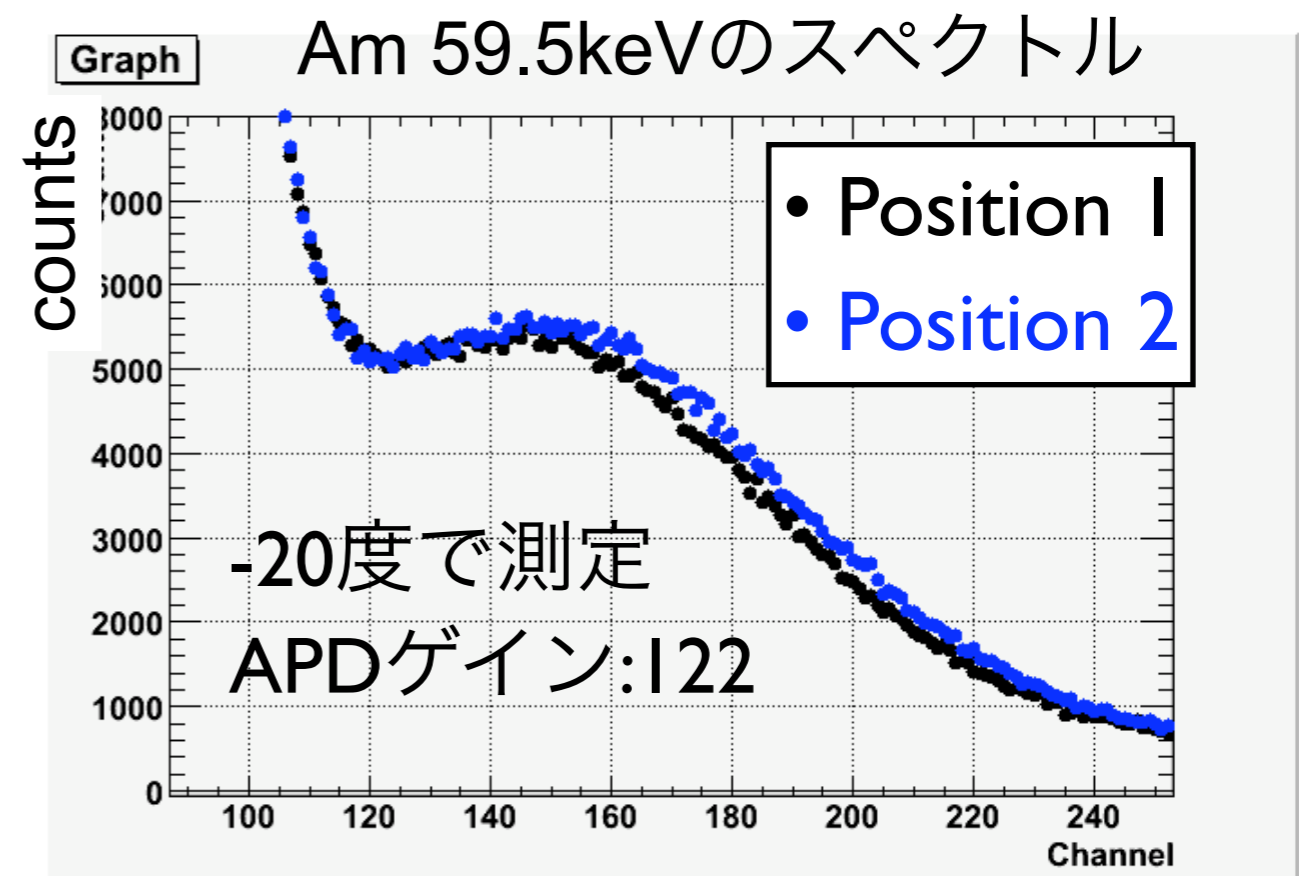
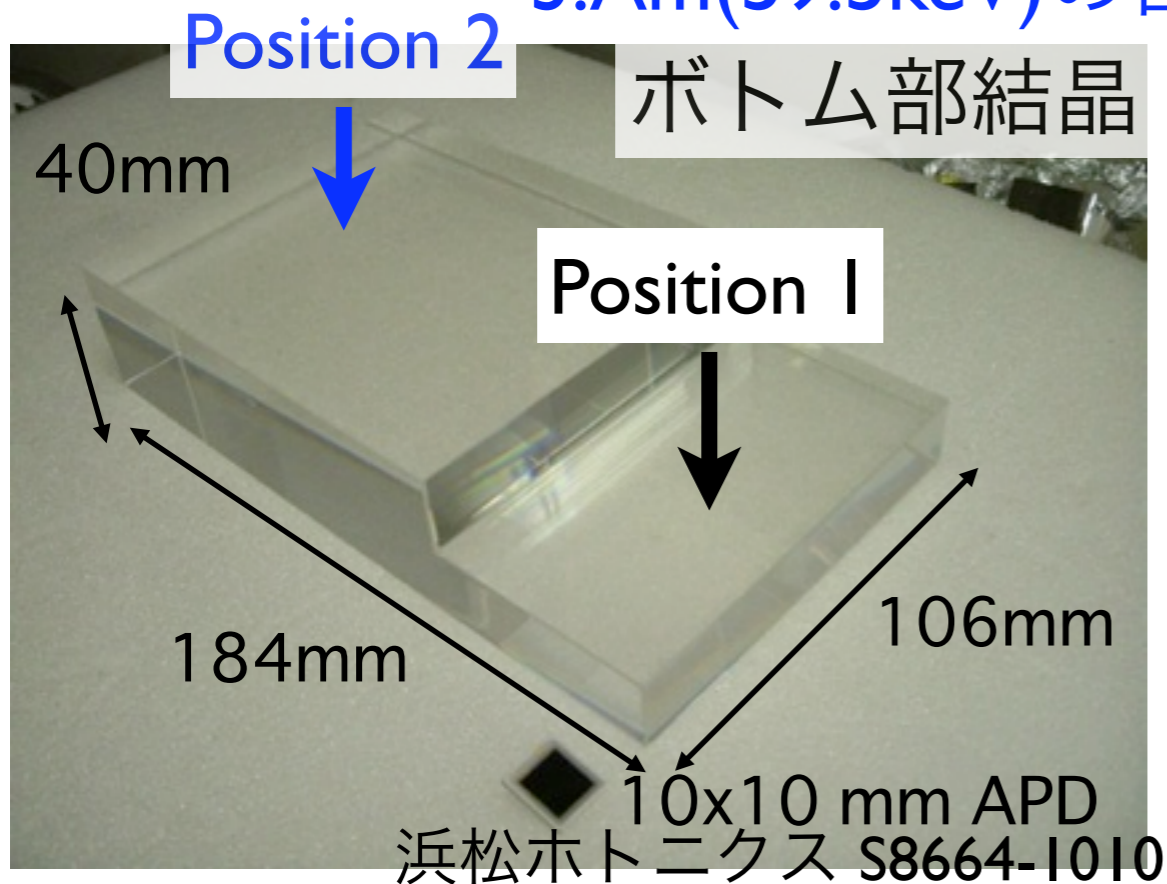


切り欠き構造であっても光量に変化せず、閾値が50keVを達成できる見込みが得られた。

光量の位置依存性

実物大のBGOを用いて、APDの取り付け位置や線源の照射位置による光量の依存性を調べた。

- 測定項目
1. APDの取り付け位置を変えてCs(662keV)の部分照射
 2. Cs(662keV)の全体照射
 3. Am(59.5keV)の部分照射



切り欠き構造であっても光量に変化せず、閾値が50keVを達成できる見込みが得られた。

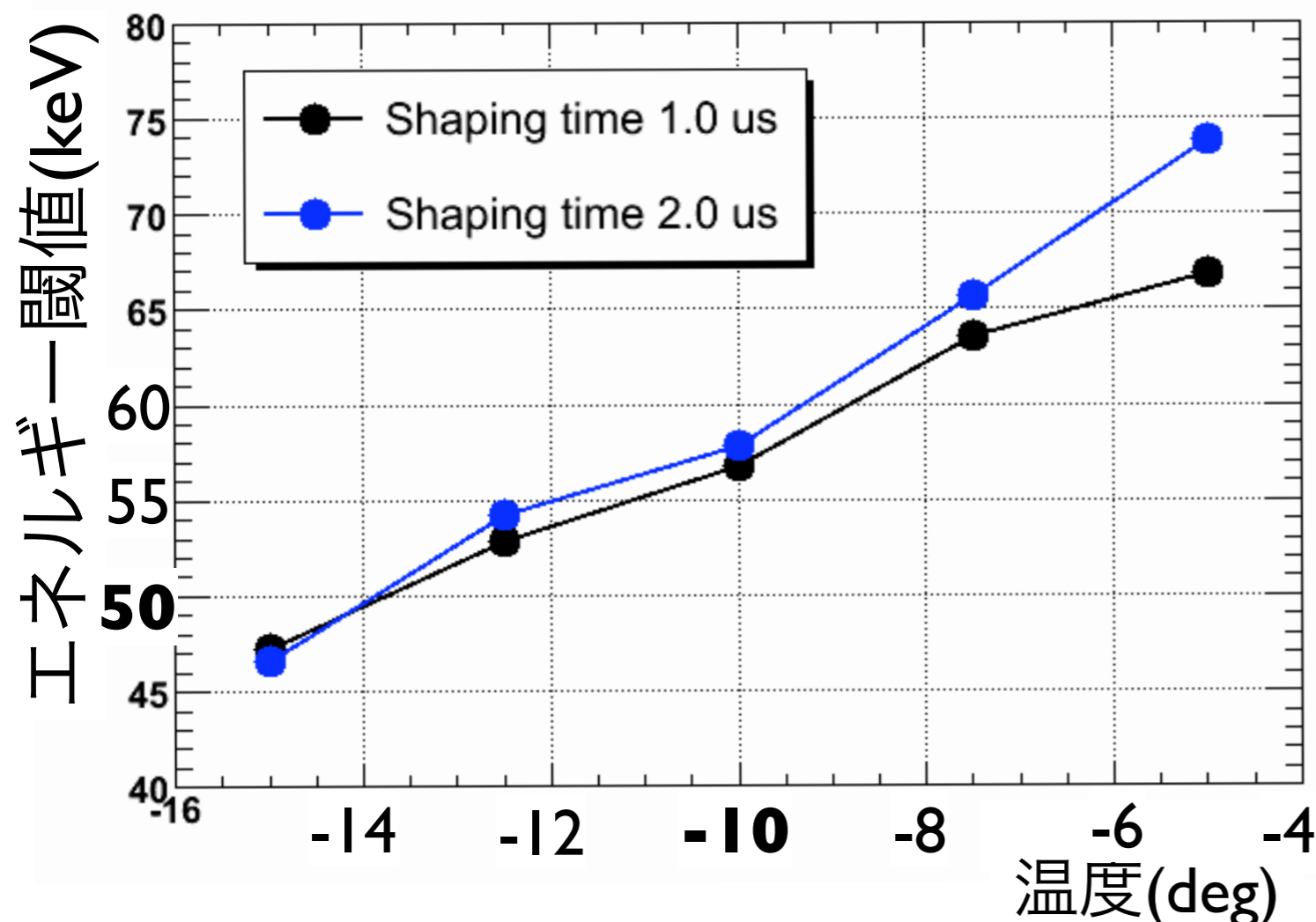
エネルギー閾値の温度依存性

BGO+APDは低温ほど性能大 (目標温度:-15度以下)

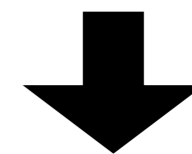
しかし、主検出部からの熱流入によりBGOの温度が高くなる

冷却には大きなラジエーターや電力が必要で、熱設計が困難

➡ 5x5x15 cm³ BGO(切り欠き構造)で閾値50keVの許容温度を調べた



閾値は大きく悪化せず、-10度以下で50keV程度を達成できることが分かった。
ノイズの理論値とも一致



想定温度より高くても性能を出せることが確認できた。

今後:開発中のCSA(ノイズ小)やEM品BGOで再度評価する

BGO+APDの信号処理

衛星上では電力や回路面積
の制限が厳しい

APD処理系 100mW/ch

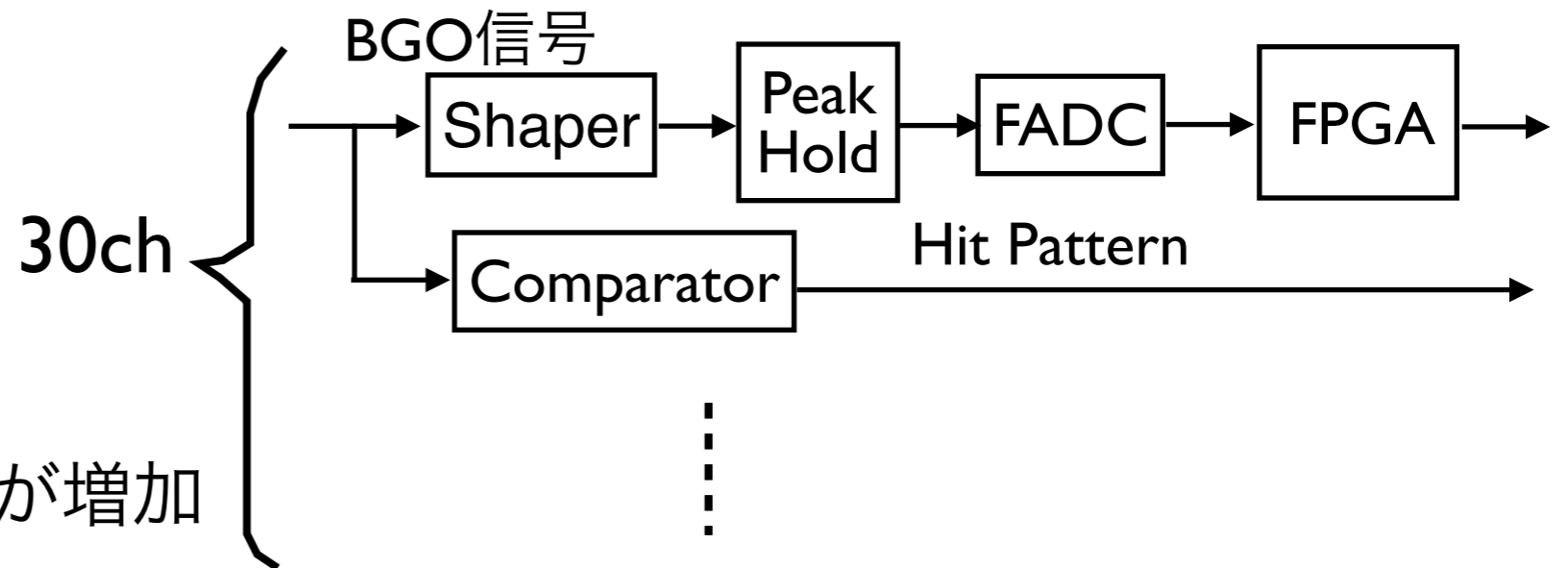
アナログ信号処理:
回路面積に比例して消費電力が増加



デジタル信号処理: 回路サイズの縮小、省電力、柔軟な回路設計が可能
リソース制限でADCの目標性能はクロック周波数2MHz、分解能8bit程度
必要なスタディ

- ADC選定基準を明確にするため、性能を落とす事による影響を調べる。
- 最小限のクロック数で信号処理を行う回路の作成と、それを用いた際の消費電力を調べ、アナログ回路の場合と比較する。

アナログ信号処理



BGO+APDの信号処理

衛星上では電力や回路面積
の制限が厳しい

APD処理系 100mW/ch

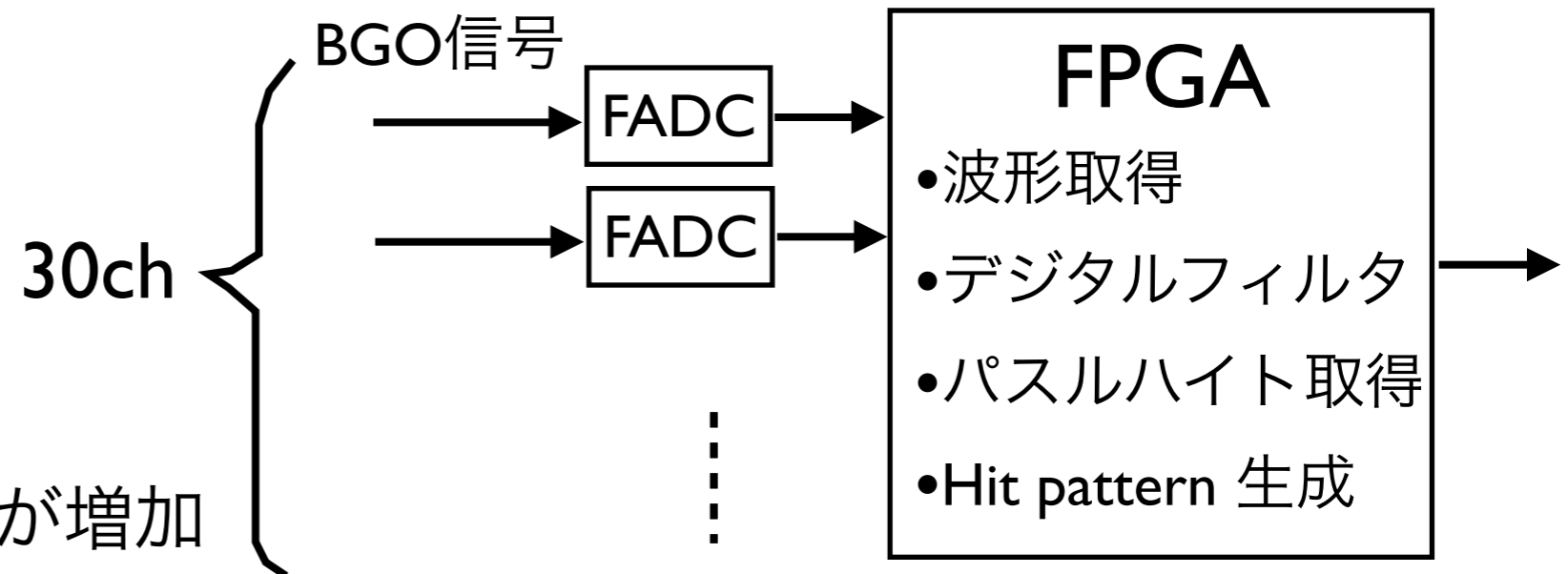
アナログ信号処理:
回路面積に比例して消費電力が増加



デジタル信号処理: 回路サイズの縮小、省電力、柔軟な回路設計が可能
リソース制限でADCの目標性能はクロック周波数2MHz、分解能8bit程度
必要なスタディ

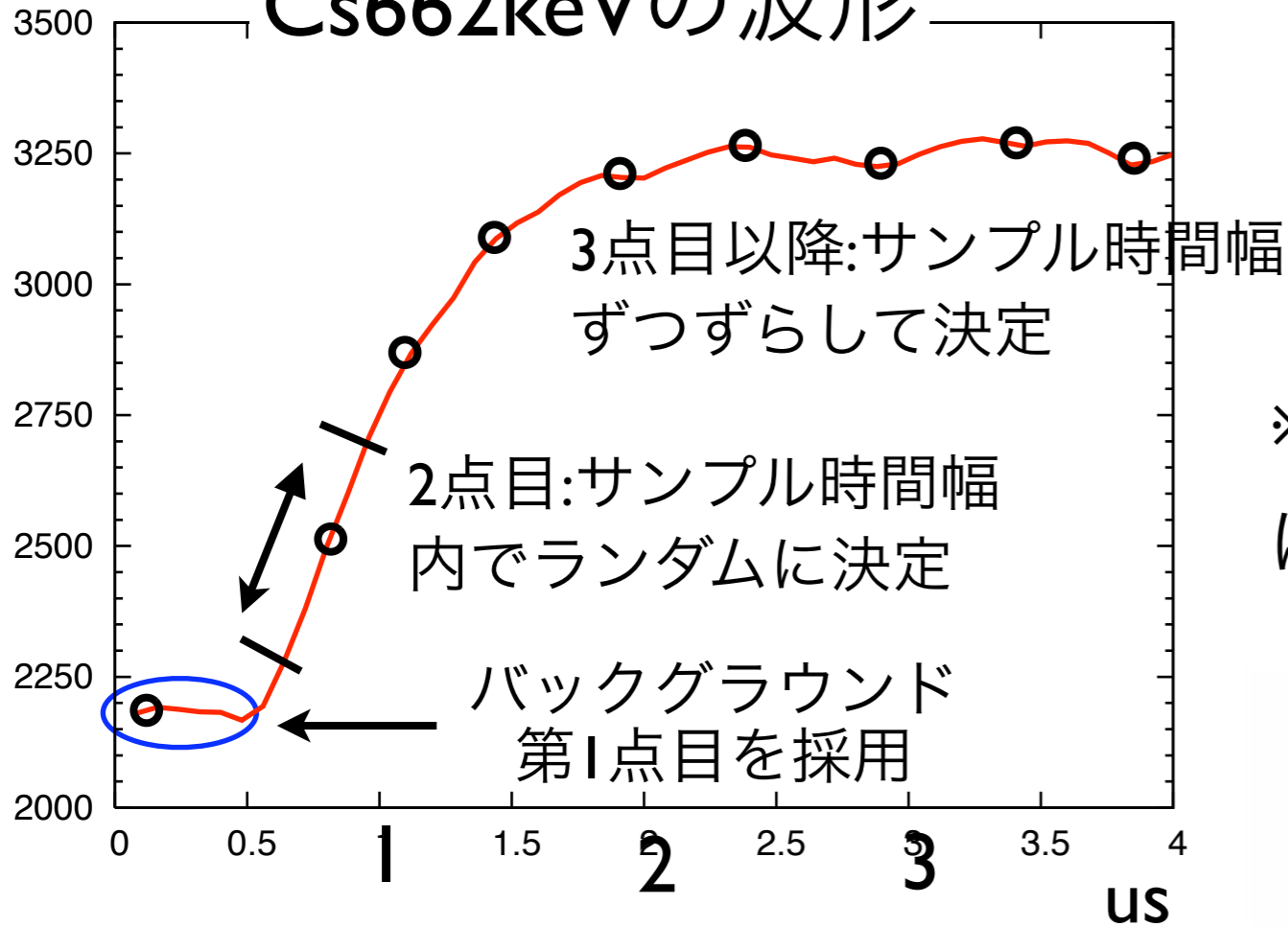
- ADC選定基準を明確にするため、性能を落とす事による影響を調べる。
- 最小限のクロック数で信号処理を行う回路の作成と、それを用いた際の消費電力を調べ、アナログ回路の場合と比較する。

デジタル信号処理



ADCのテスト

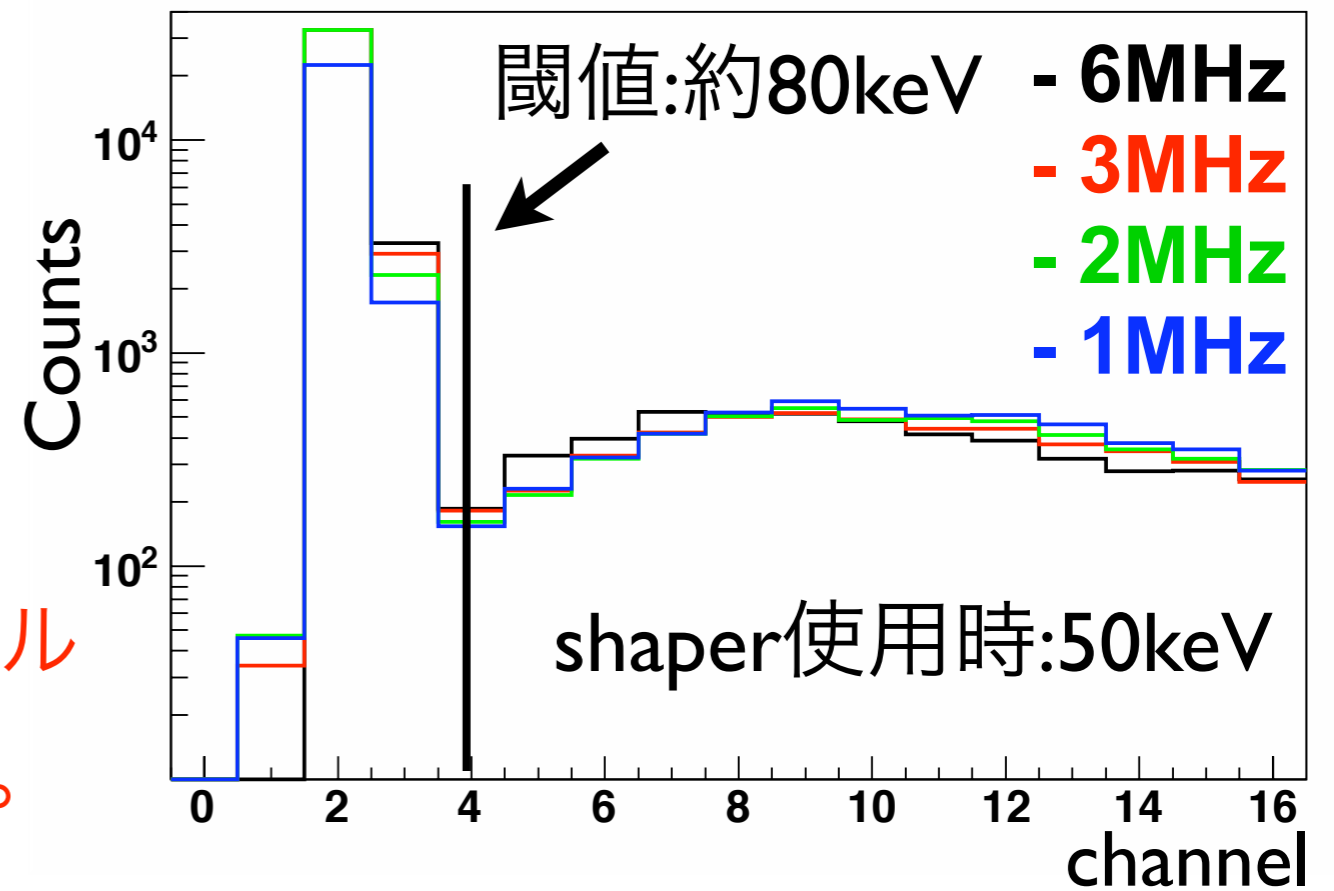
Cs662keVの波形



6MHz, 12bitで取得した波形データを間引き、性能を落とした場合の影響を調べた。

※ダイナミックレンジは50 keV - 5 MeVに設定

バックグラウンドのスペクトル: 8bit

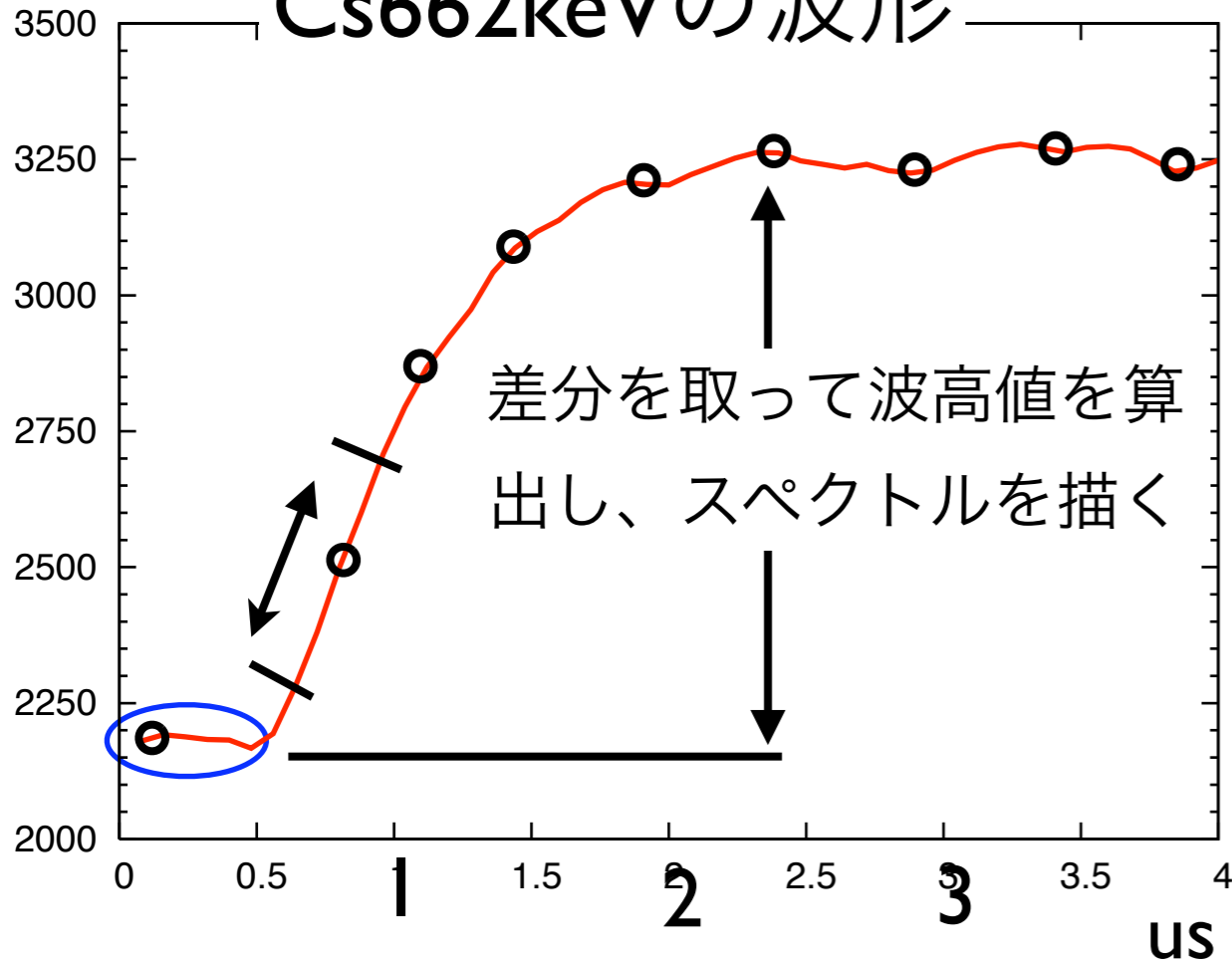


2MHz、8bitまで落としても閾値が大きく悪化しない事が分かった。

プログラム上で簡単なデジタルフィルタを行い60keV程度を達成している。

ADCのテスト

Cs662keVの波形



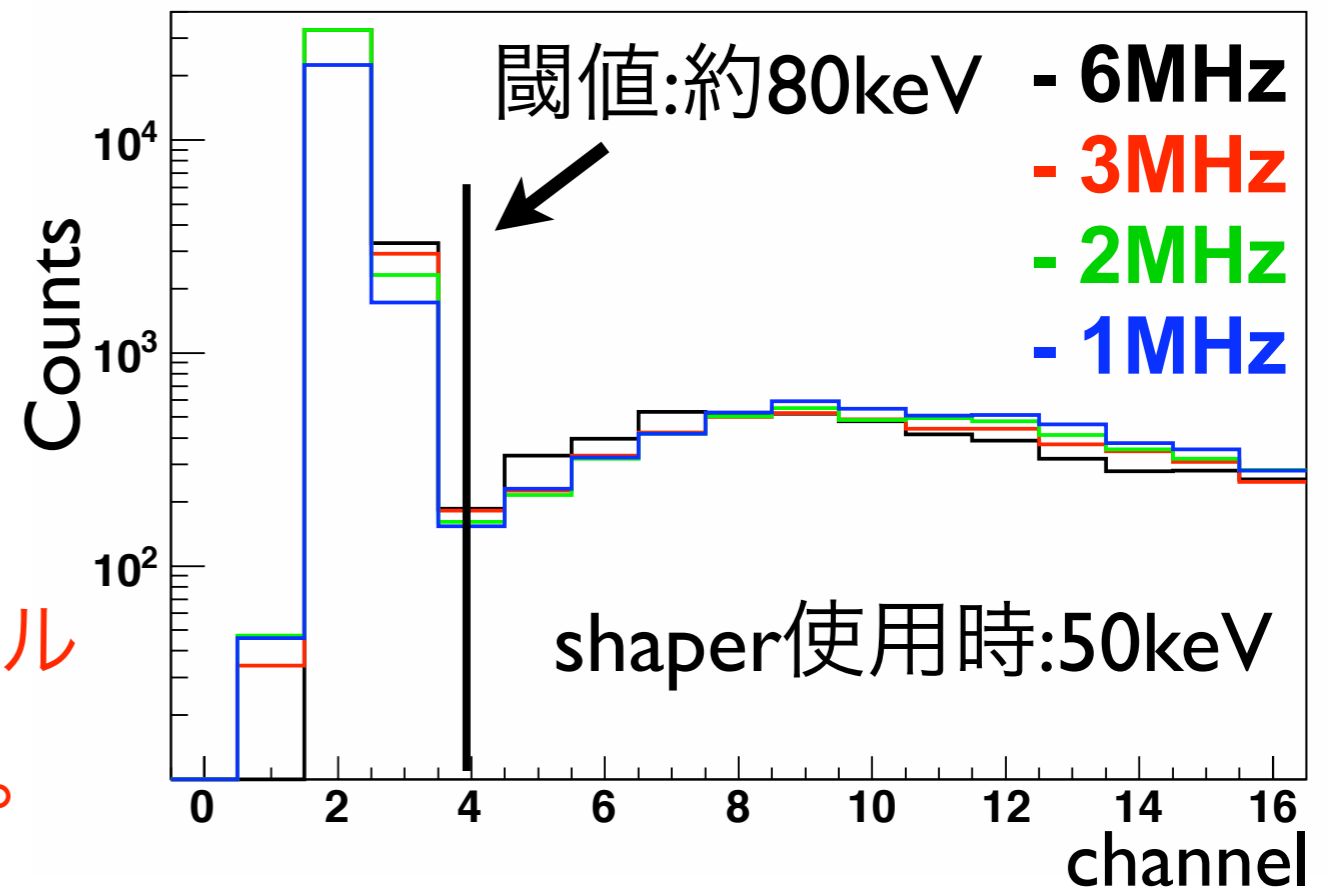
2MHz、8bitまで落としても閾値が大きく悪化しない事が分かった。

プログラム上で簡単なデジタルフィルタを行い60keV程度を達成している。

6MHz, 12bitで取得した波形データを間引き、性能を落とした場合の影響を調べた。

※ダイナミックレンジは50 keV - 5 MeVに設定

バックグラウンドのスペクトル: 8bit



まとめ

- HXI/SGDのアクティブシールド開発の現状を報告した。
- 実物大の切り欠き構造のBGOとAPDを用いて実験を行った結果、光量の位置依存性が無く、閾値50keVを達成できることが分かった。
 - BGOのデザイン決定の指標を得た
- デジタル信号処理の検討を行い、方針を示した。
 - デジタルフィルタで閾値60keV程度が達成できる見込みを得た

今後

- 開発中のCSAとEM品BGOを組み合わせて信号読み出しを行い、閾値の評価を行う。
- デジタル信号処理システムを完成させ、BBM基盤を用いて試験を行う。