

# ASTRO-H 衛星搭載型 アクティブシールド系の 受け入れ試験及び動作検証

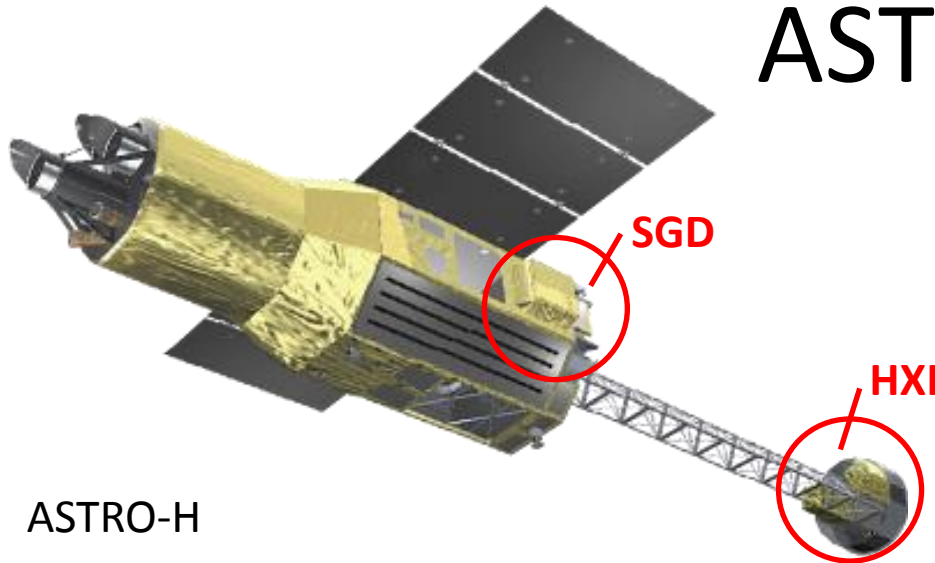
広島大学大学院理学研究科  
高エネルギー宇宙・可視赤外線天文学研究室  
徳田 伸矢

大野雅功, 高橋弘充, 深沢泰司, 中村竜,  
村上浩章<sup>A</sup>, 笹野理<sup>A</sup>, 鳥井俊輔<sup>A</sup>, 中澤知洋<sup>A</sup>, 牧島一夫<sup>A</sup>,  
林克洋<sup>B</sup>, 佐藤理江<sup>B</sup>, 渡辺伸<sup>B</sup>, 湯浅孝行<sup>B</sup>, 国分紀秀<sup>B</sup>,  
内山秀樹<sup>C</sup>, 田島宏康<sup>D</sup>, 山岡和貴<sup>D</sup>, 片岡淳<sup>E</sup>,  
谷津陽一<sup>F</sup>, 中森健之<sup>G</sup>, 米徳大輔<sup>H</sup>,  
他 HXI/SGD チーム

広大理, 東大理<sup>A</sup>, ISAS/JAXA<sup>B</sup>, 静岡大<sup>C</sup>, 名大 STE 研<sup>D</sup>,  
早稲田大<sup>E</sup>, 東工大<sup>F</sup>, 山形大<sup>G</sup>, 金沢大<sup>H</sup>

# ASTRO-H衛星 HXI/SGD

2015年打ち上げ予定の次期X線天文衛星



ASTRO-H

## ＜4種類の検出器を搭載＞

- 軟X線分光検出器 (SXS) :0.3-12keV
- 軟X線撮像検出器 (SXI) :0.4-12keV
- **硬X線撮像検出器 (HXI) :5-80keV**
- **軟ガンマ線検出器 (SGD) :60-600keV**

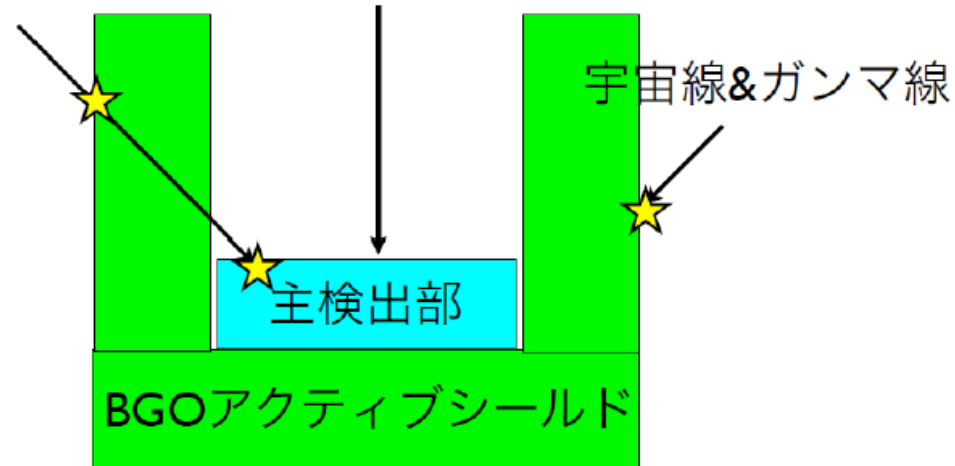
## BGOアクティブシールド

- ・視野外からの宇宙線や荷電粒子を遮断し、内部検出器の放射化を防ぐ
- ・BGO信号との反同時計数をとることによってバックグラウンドとして除去



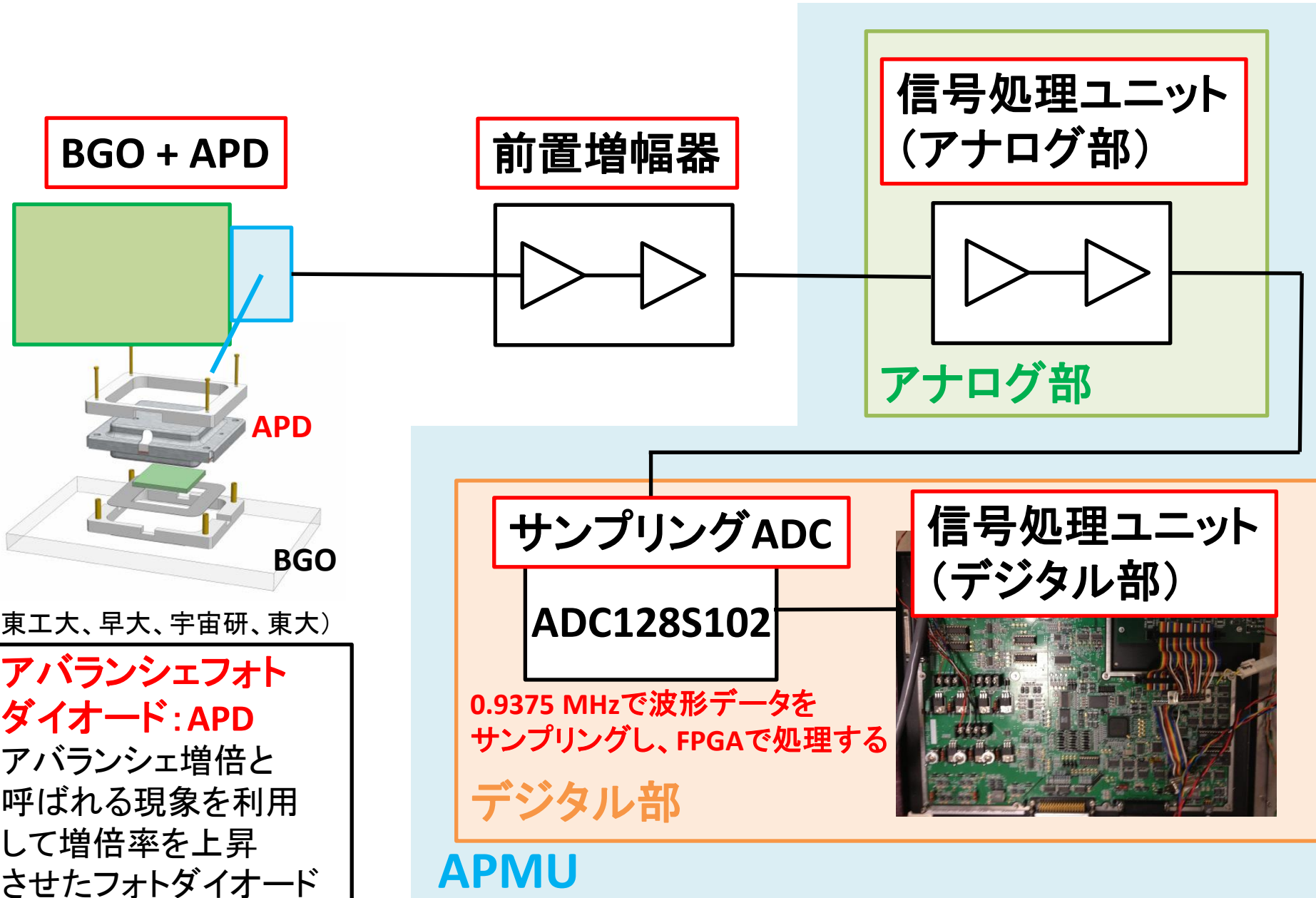
従来の検出器の感度より一桁以上高い性能を実現

天体からのガンマ線

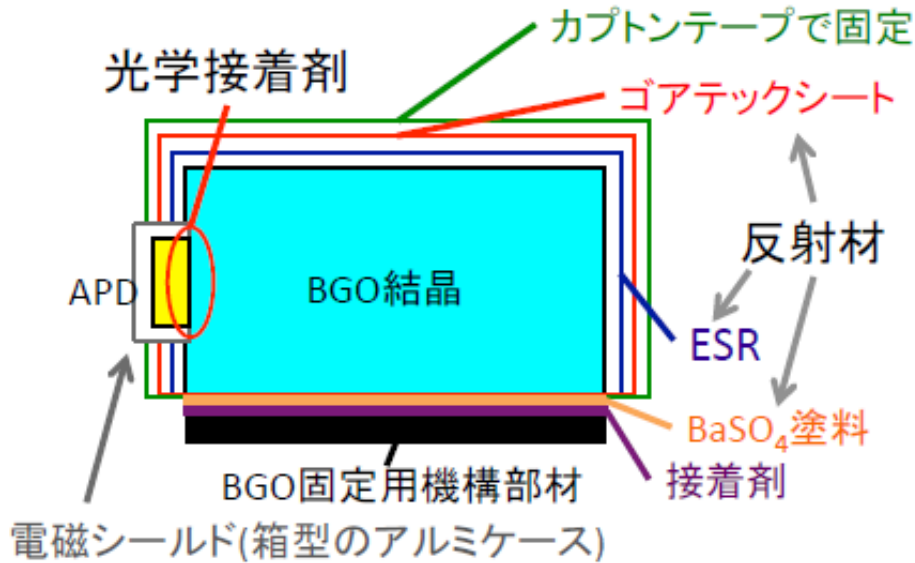


アクティブシールドの概念図

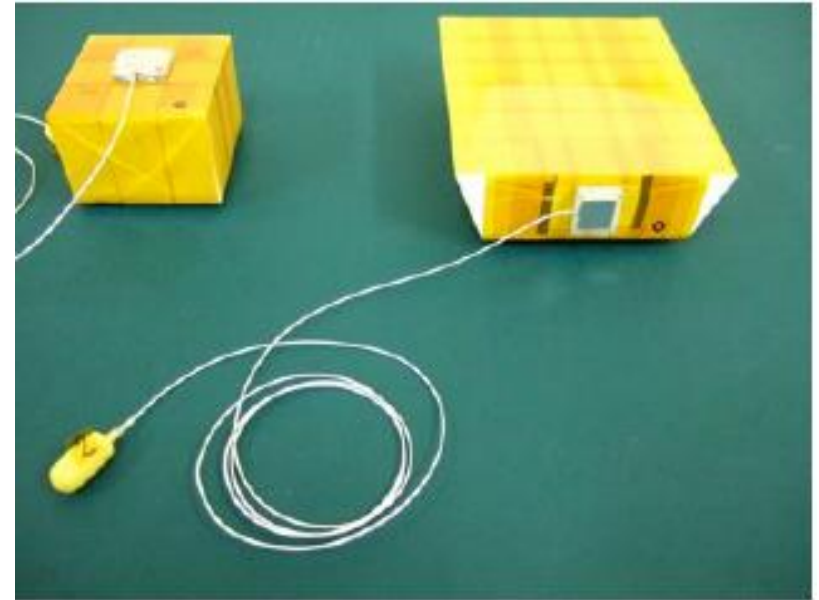
# アクティブシールド信号処理の全体像



# 搭載型BGOユニット

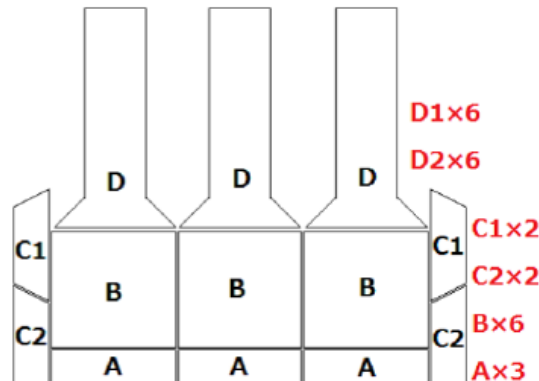
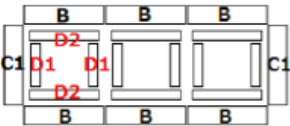


BGOユニット模式図(西田修論、東大)



HXI-BGOユニット外観

Top View



SGD-BGOの配置図

<アクティブシールドとしての性能確認>

- ・結晶毎の想定される光量が出ていること (ex:APDの剥離)
- ・電気的動作の確認 (ex:ケーブルの断線、APDの性能確認)

# BGOユニットの受け入れ試験

## <目的>

搭載用に加工されたBGOユニットのI-V、光量を事前に測定することで、製造に問題がないか確認を行う

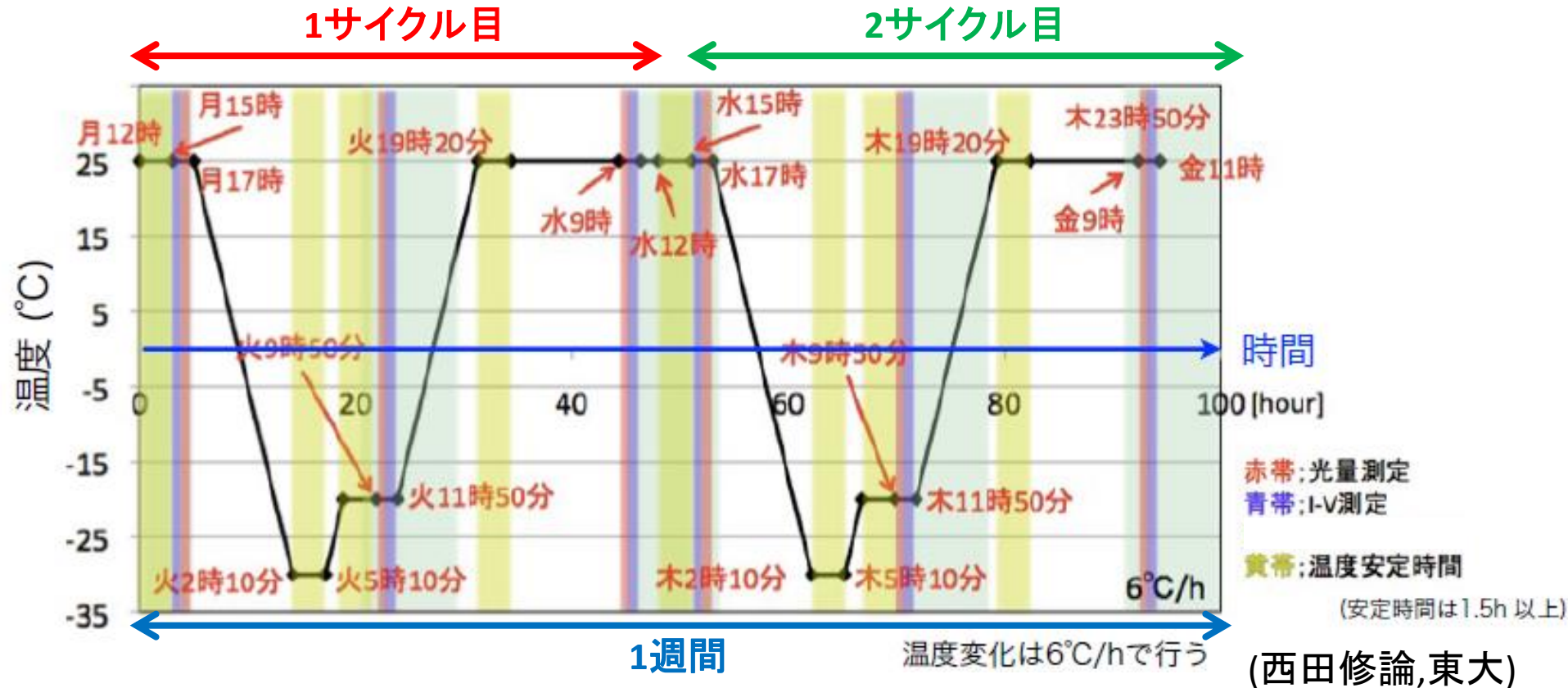
## <測定項目>

- ・レイノルズコネクタの導通の確認  
⇒ +25°C/-20°CでのI-V測定
- ・APD光学接着面の剥離有無の確認  
⇒ -30°C経過後の+25°C光量、  
および-20°C光量の比較
- ・APD I-Vブレイク異常発生の有無の確認  
⇒ +25°CでのI-V測定
- ・較正用光量データの取得  
⇒ -20°Cでの光量測定



恒温槽内のBGOユニット

# 測定スケジュール



- ・一週間で2サイクル行い、1サイクル毎4～7個のBGOユニットの測定を行う。
- ・測定を行う結晶は予備を含め、HXI-BGO 21個, SGD-BGO 56個の計77ユニット。

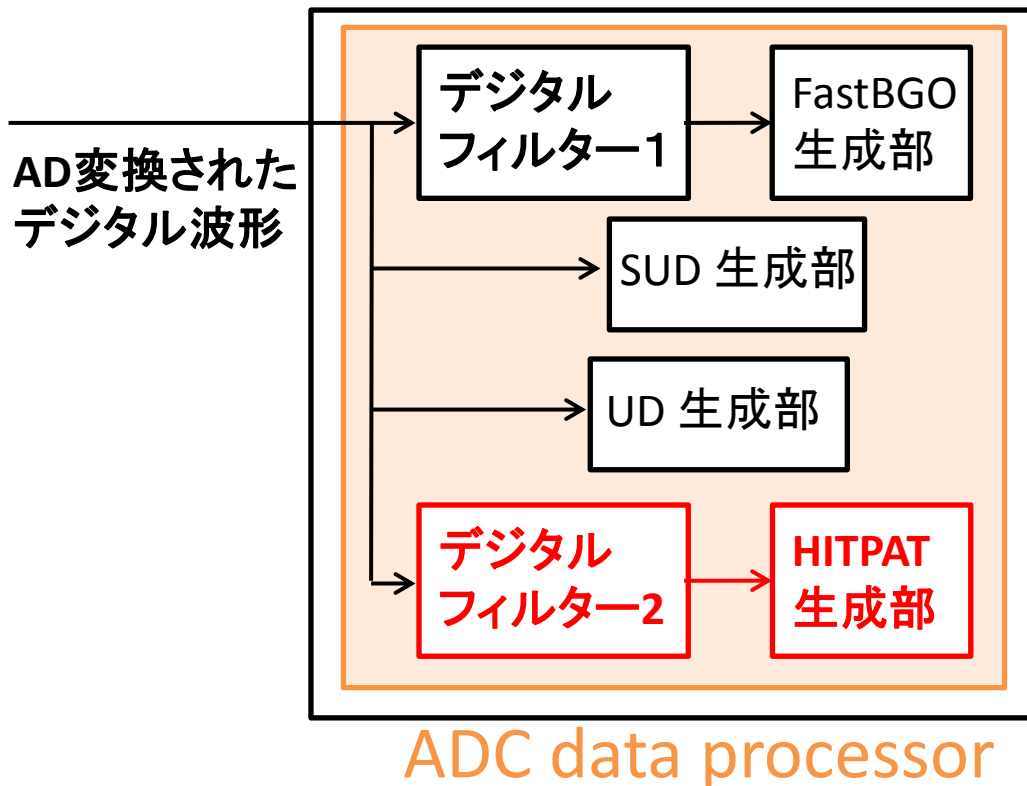
現在HXI-EM品を用いて試験測定を行い、I-V, 光量ともに問題がないことを確認した。  
10月より、FM品の測定を行っていく予定。

# APMU

## APMU・・・APD用信号処理回路(APD Processing and Management Unit)

主な役割:SGD及びHXIの主検出器を取り囲むシールド検出器の読み出しに用いられているAPDの信号を処理し、主検出器に信号処理禁止信号を通知する

## APMU FPGA トリガー機能部 ブロック図



### <APMUが行っていること>

- ・検出器の制御
  - －HVコントロール
  - －過電流検出
  - －温度モニター

- ・信号処理
  - －アナログ・デジタル変換
  - －信号の増幅、積分処理
  - －デジタルフィルタ処理
  - －トリガー信号生成

etc...

# HITPATの要求事項と仕様

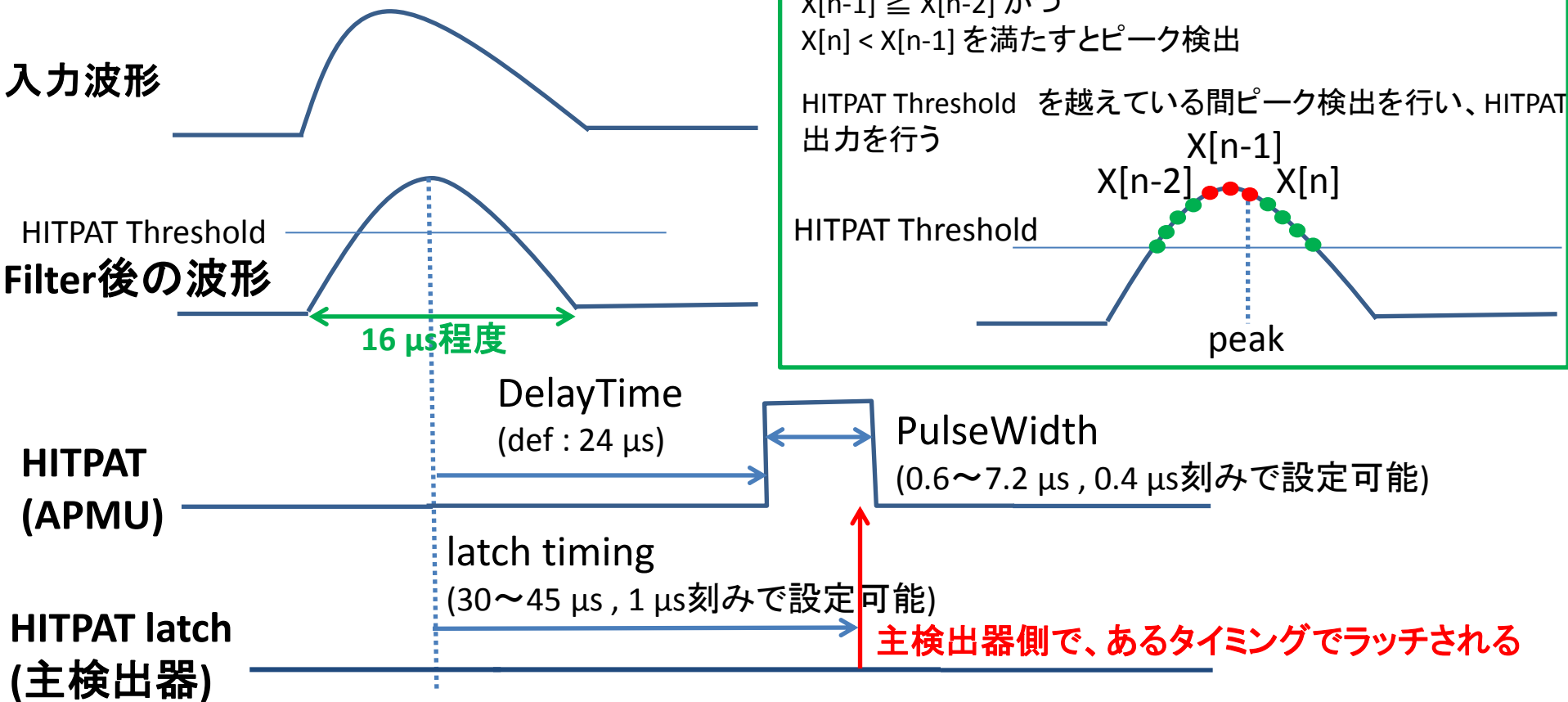
## <HITPAT>

デジタルフィルターを用いてノイズを可能な限りカットし、オフラインの解析で反同時計数処理に用いる信号

### ・要求事項

主検出器側でのトリガー検出から、HITPATをラッチするタイミング内  
(30~45  $\mu\text{s}$ を1  $\mu\text{s}$ 刻み)で出力する

## <HITPATの仕様>



# HITPATのJitterとWalk

## Jitter

HITPAT Threshold

本来の信号波形

HITPAT Threshold

ノイズ

ノイズののった波形

ノイズののり方によってピーク検出のタイミングが変わってしまう

HITPAT

DelayTime

## Walk

Threshold

Filter後の波形

HITPAT

DelayTime

HITPAT判定のためのスレッシュホールドはできるだけ低くしたい



ノイズの影響で本来のピークとは異なるタイミングでHITPATが出力されてしまう

レベルオーバー判定の場合、波高値の違いによって出力タイミングが異なる



ピーク検出ロジックが含まれているため、Walkの影響は小さいと考えられる

# 本研究の目的

Jitter/walkにより、HITPAT出カタイミングは揺らぎを持つ



Jitter/walkの影響を考慮して、APMU側でwidth、delayを調整しなければ、主検出器側で正しくHITPATをラッチできず、バックグラウンド除去効率が下がってしまう

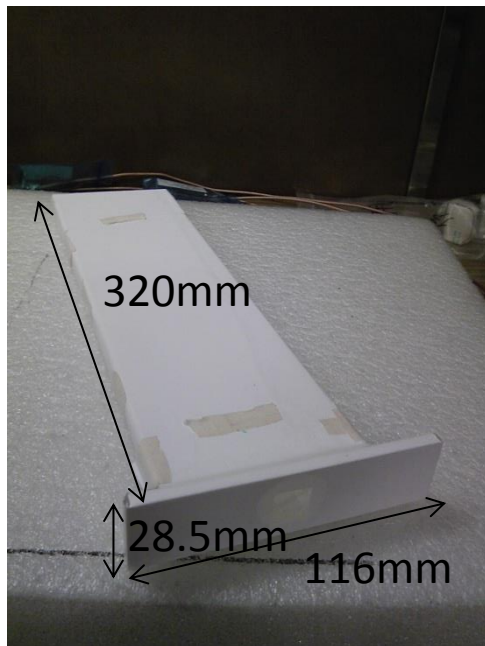
※widthを大きくする = デットタイムの増加

(BGOのレートは最大14 kHzなので、7  $\mu$ s以上持たせると  
デットタイムが10%になってしまう)

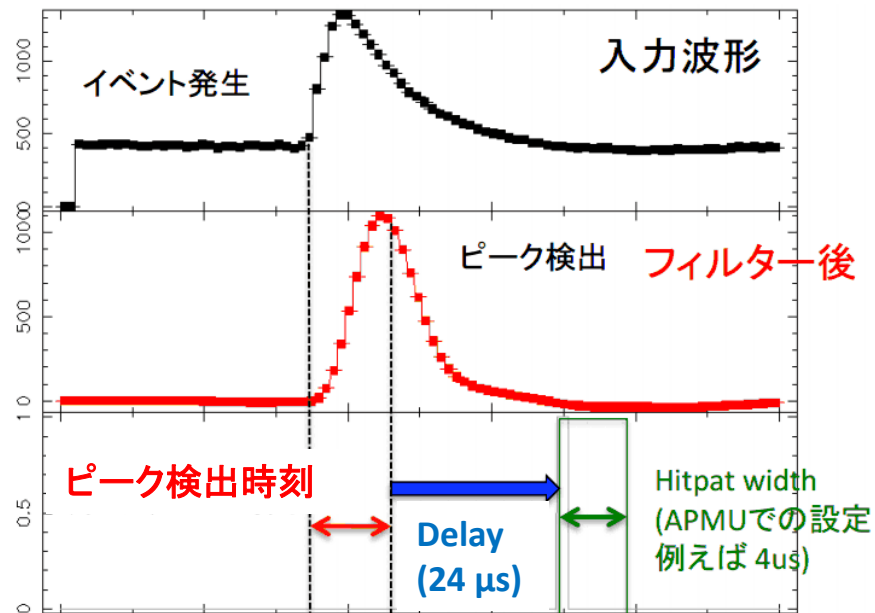
## <目的>

主検出器側で正しくラッチできるHITPATのdelay, widthの値を最終アナログ回路を用いて決定する

# 実際のBGO信号での検証



今回の測定に用いたSGD-D2結晶  
APMUの最終アナログ回路を使って測定



HITPAT latch  
(主検出器)

主検出器側で、デフォルト35  $\mu$ sでラッチされる

波形データを取得し、**ピーク検出時刻**を求め、**delay**と**width**を付けたHITPATのタイミングを算出

主検出器側からのラッチタイミングは以下に相当

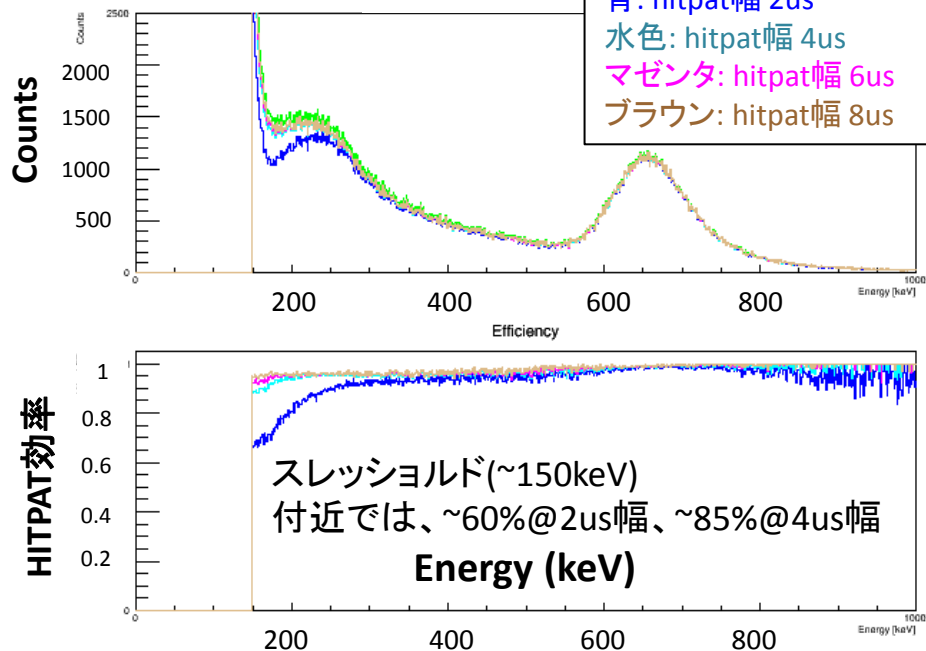
**ピーク検出時刻** + **delay(24  $\mu$ s)** + **HITPAT width/2**

実際のHITPATの効率を考慮したスペクトルを算出した

# BGO信号での測定結果

Histogram

赤: セレクション無し  
 緑: hitpat幅 < 50us  
 青: hitpat幅 2us  
 水色: hitpat幅 4us  
 マゼンタ: hitpat幅 6us  
 ブラウン: hitpat幅 8us



DeltaT vs Histogram (Selected)

timehist_sel	
Entries	485752
Mean x	437.2
Mean y	9.954
RMS x	297.4
RMS y	0.8872

テストパルス

$^{137}\text{Cs}$  662keV

Energy (keV)

イベント発生とピーク検出との時間差(μs)

- ・ピーク検出までの時間はほぼ10 μs
  - ・これにAPMU側でのDelay設定値24 μsが足されるため典型的なdelayは34 μsとなる
- ⇒現在の主検出器側でラッチ可能な値

- ・スレッシュホールドより十分高いエネルギーではほぼ100%の効率
  - ・スレッシュホールド付近では2 μs幅で60%まで落ち、幅4 μsだと85%程の効率となる。(それ以上は伸ばしてもほぼ変わらない)
- ⇒現状ではHITPAT幅は4 μsを進める

現状では、width 4 μs, delay 24 μs というところまで値を突き詰めることができた

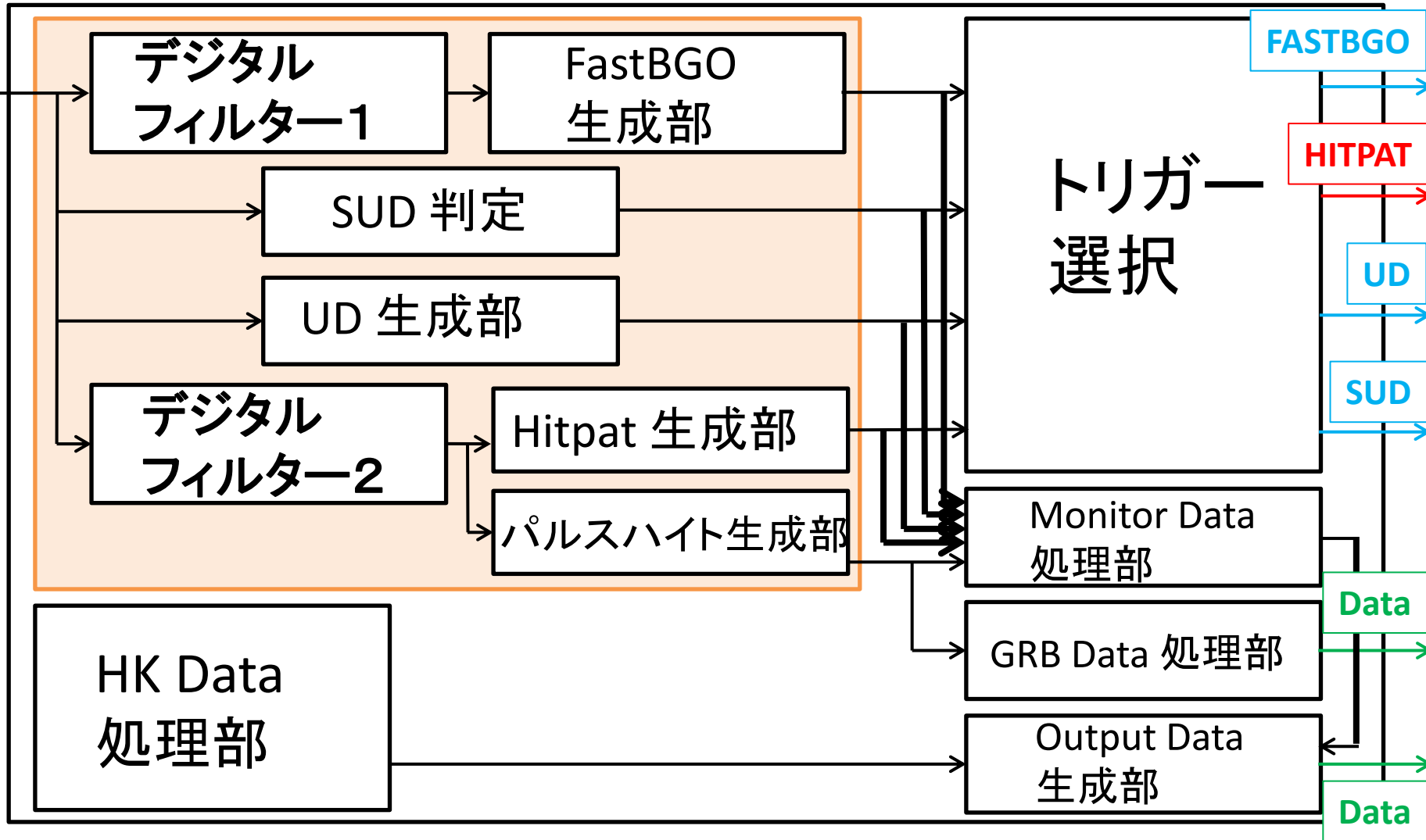
# まとめ

- FM-BGOユニットの受け入れ準備をEM-BGOで行い、製造、測定手順共に問題がないことを確認できた。なので、10月よりFM-BGOの測定を行っていく予定である。
- 現在のAPMUの設計で、主検出器側で正しくAPMU側の信号(HITPAT)をラッチできるdelay/widthの検討を行い、結果HITPAT幅を4  $\mu$ sにすると、スレッシュホールド付近でも8-90%の性能が出せ、またHITPAT出力タイミングも現在の設計の24  $\mu$ sでラッチングタイム範囲内であることを確認できたため、現状でwidth 4  $\mu$ s, delay 24  $\mu$ sという値まで突き詰めることができた。

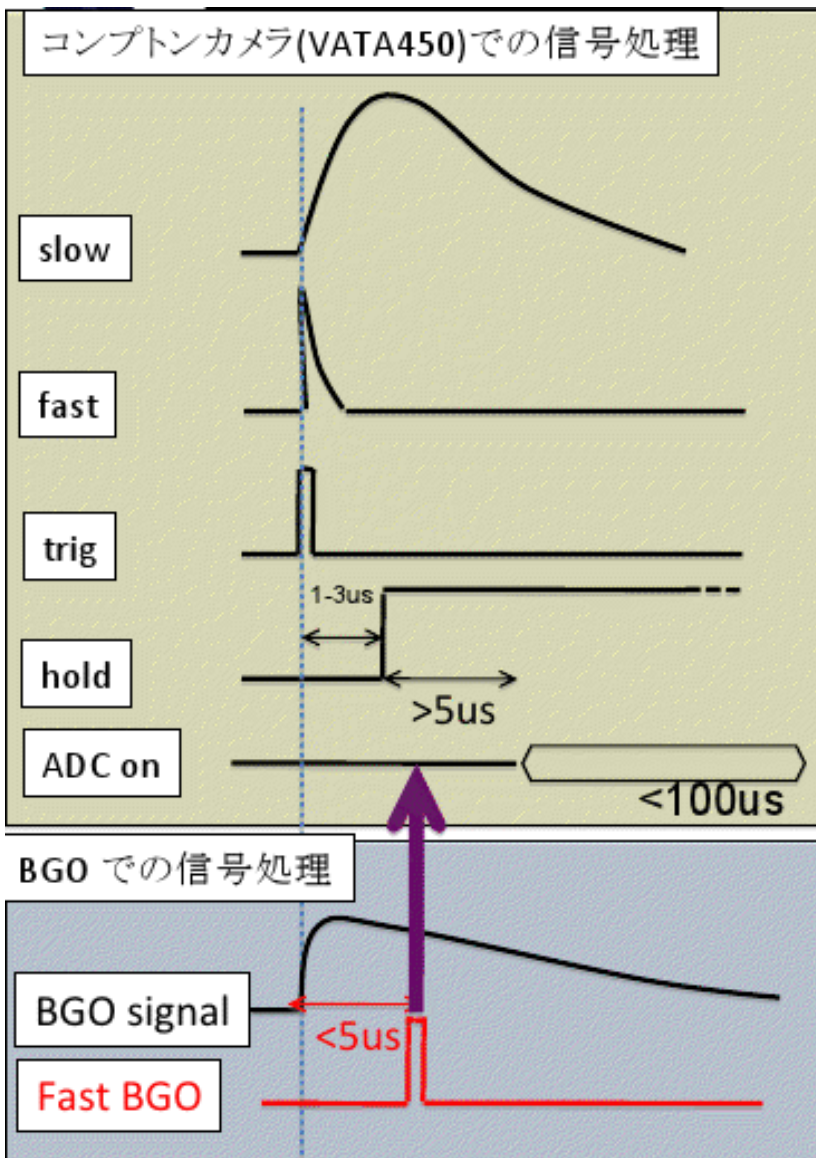


# APMU FPGA 全体の機能ブロック図

## ADC data processor

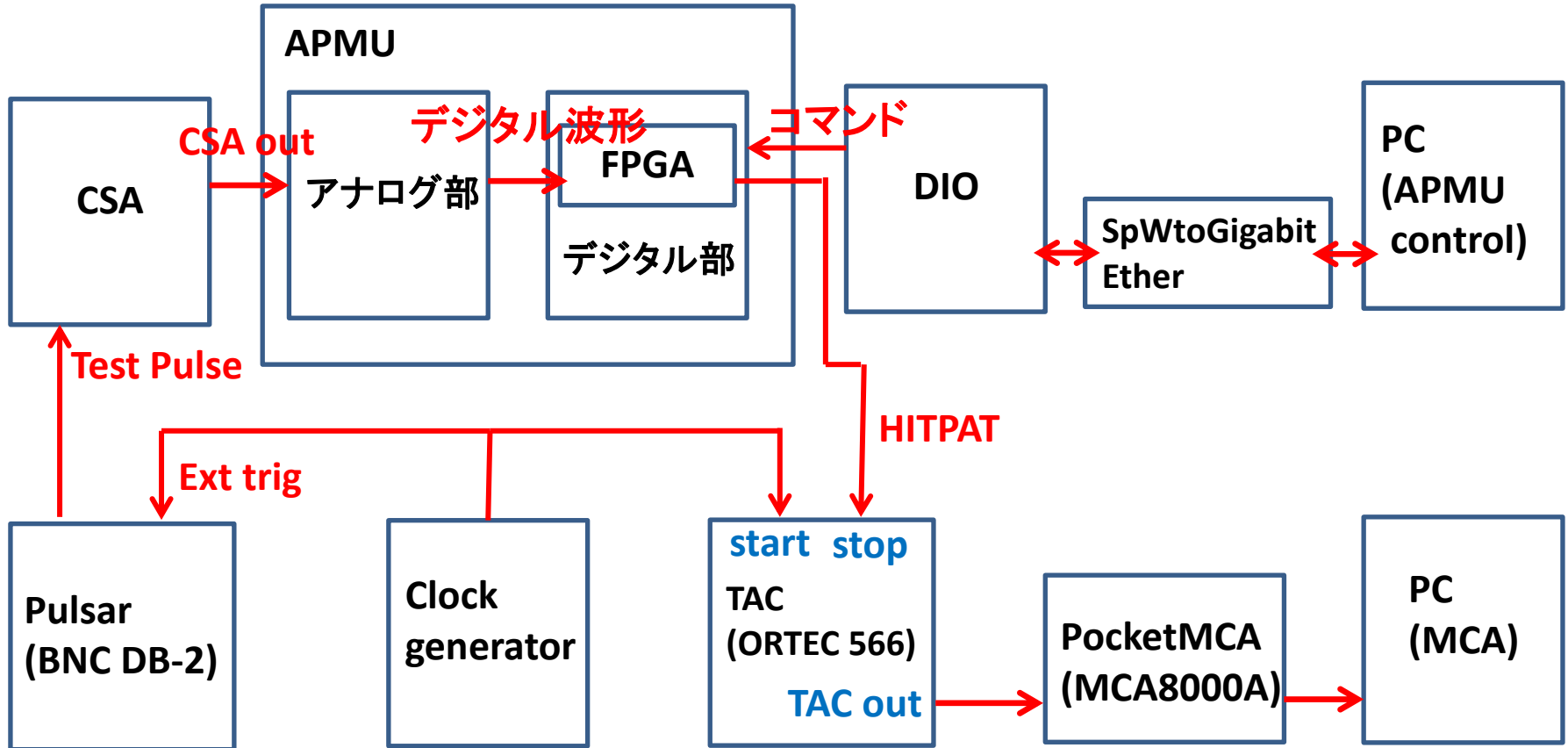


# 要求されるトリガーロジック



- コンプトンカメラ(主検出器)ではAD変換終了まで最大100  $\mu\text{s}$ ほど時間がかかってしまう
  - シールド検出部で同時に検出したイベント(= 視野外からのバックグラウンドイベント)はAD変換を禁止しなければ観測時間を大幅に失うことになる
- ↓
- コンプトンカメラでADC動作開始までに禁止信号(**FASTBGO**)を送らなければならない( $< 5\mu\text{s}$ )

# 測定セットアップ

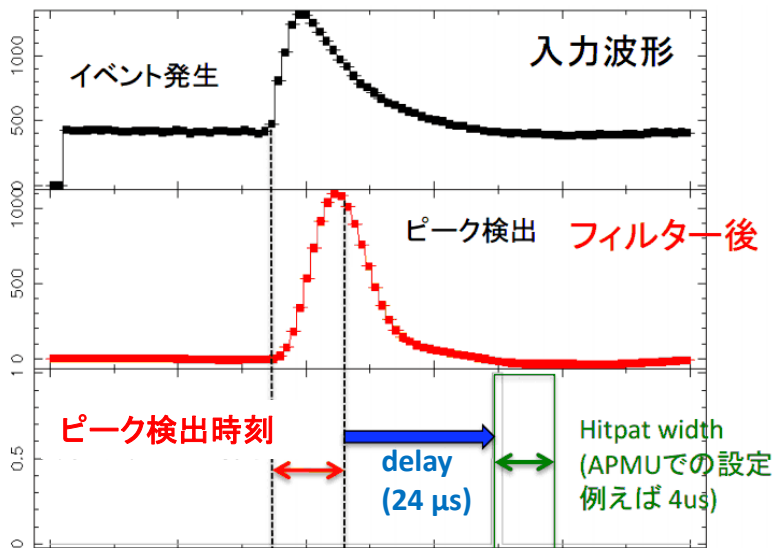
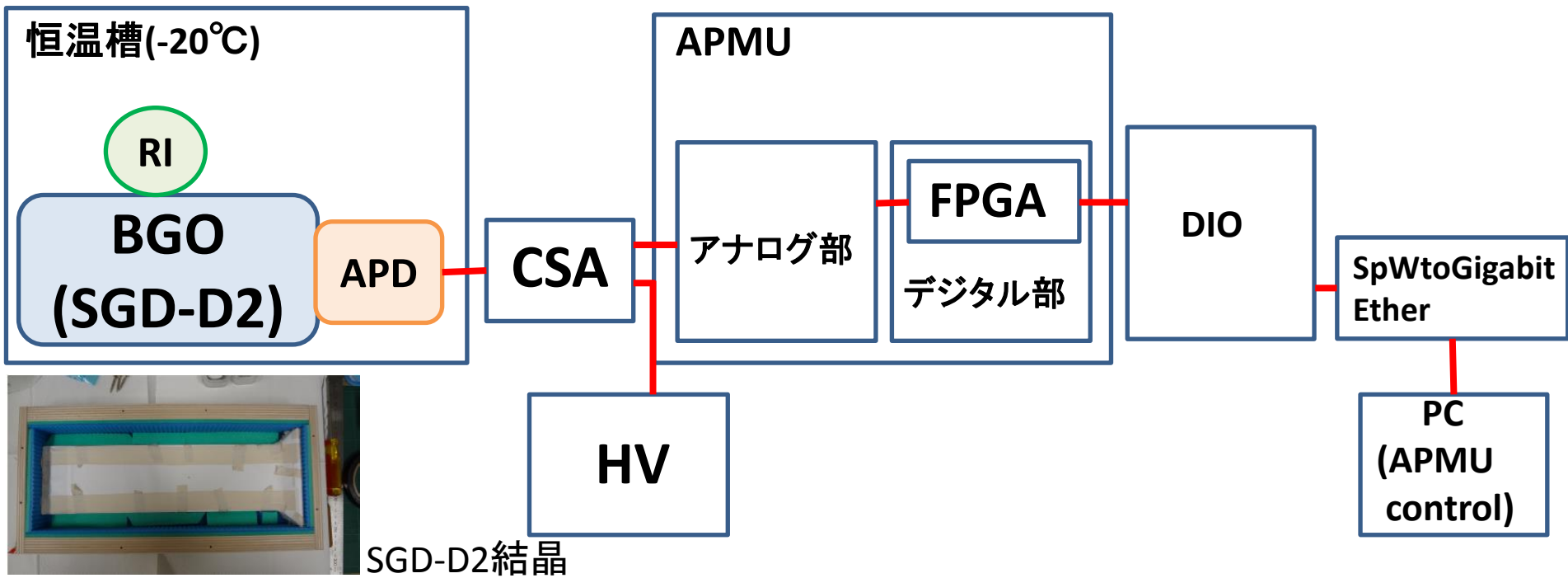


- Clock generatorでレート制御したパルサー信号を入力し、HITPATを出力させる
- Clock generatorとHITPAT信号の出力時間差をTAC(Time to Analog Converter)で計測する。

実際にHITPATのJitterとWalkがどの程度あるのか測定を行った

# 実際のBGO信号での検証

<セットアップ>



波形データを取得し、**ピーク検出時刻**を求め、**delay**と**width**を付けたHITPATのタイミングを算出

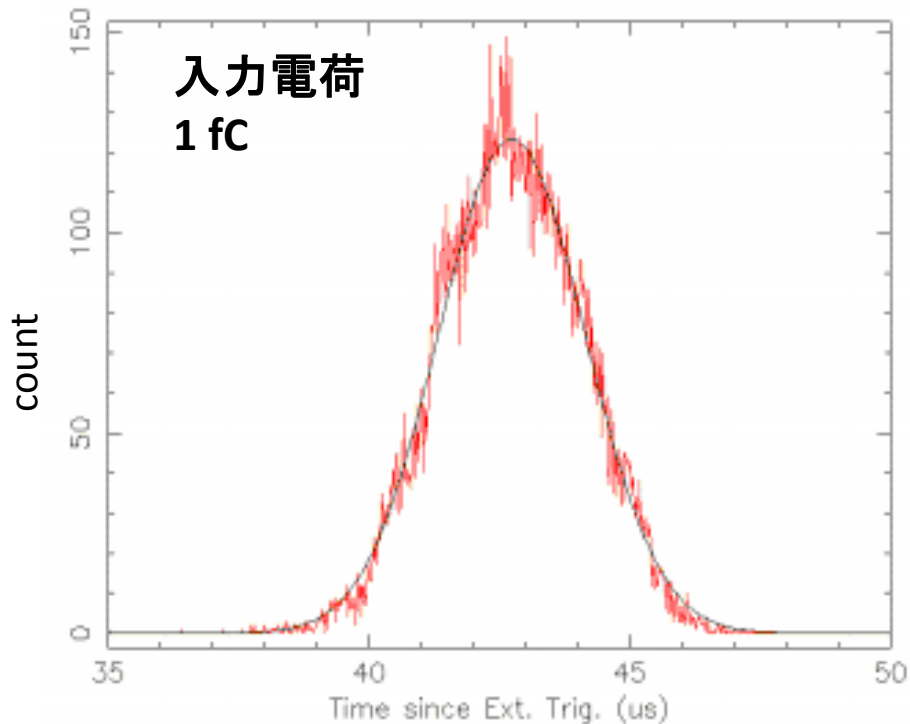
主検出器側からのラッチタイミングは以下に相当  
**ピーク検出時刻 + delay (24 μs) + HITPAT width/2**



実際のHITPATの効率を考慮したスペクトルを算出した

# 測定結果

## ▪ Jitter

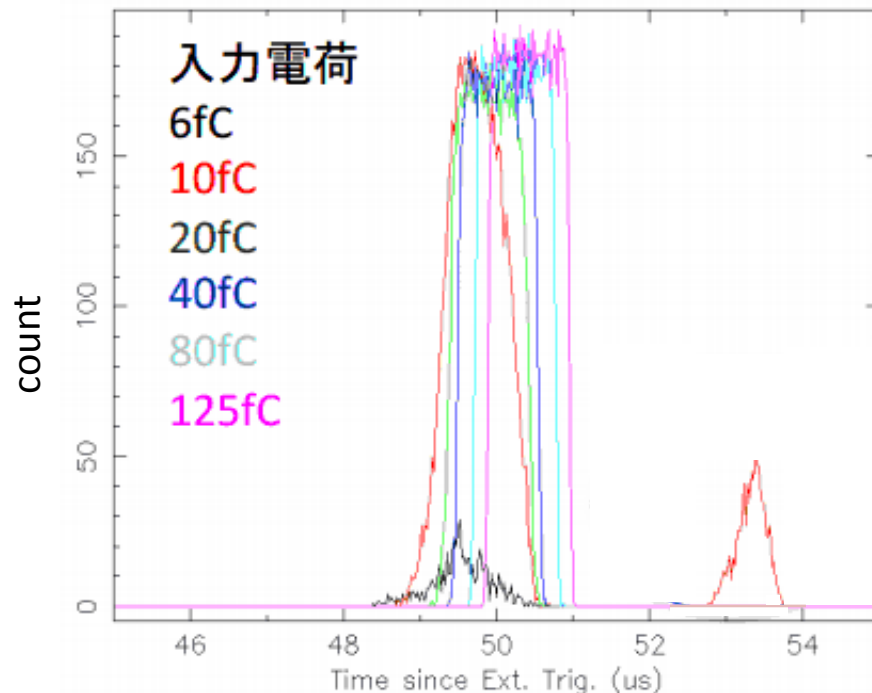


スレッショルドをノイズぎりぎりに設定(0.8 fC相当)し、  
入力電荷を変えて測定。

入力電荷5 fC以下ではノイズによるJitterが  
1  $\mu$ s以上になってしまうことが分かった。

スレッショルド付近でのノイズによる広がり  
FWHMで3.3  $\mu$ s。

## ▪ Walk



スレッショルドをノイズの影響しない程度  
に設定(5 fC相当)し、入力電荷を変えて測定。

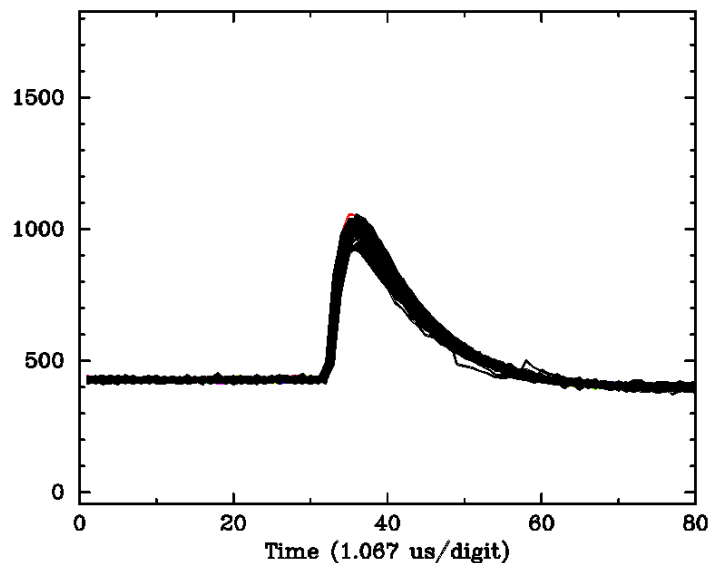
walkは1  $\mu$ s以下(波形の長さが約20  $\mu$ s程度)

ピーク検出ロジックが上手く働いており、  
walkの影響はほぼないことが確認できた。

# ヒットパターン効率スペクトル

ヒットパターン効率スペクトルは、fast trigger を越えた物しか計数しないので、本来のヒットパターンスレッシュホルド付近の振る舞いが分からなかった。今回、波形の立ち上がりタイミングをテンプレートフィッティングで決めることで、本来のヒットパターンスレッシュホルド付近での効率を調べた。

フィルター前の波形をテンプレートとする。  
テンプレートからはノイズの影響を除きたいので<sup>137</sup>Cs 662 keV 付近で単発波形を100 サンプルほど加算平均した。



イベント開始原点を  
波形の立ち上がりと  
定義する  
( $T=32\text{digit}$ )

加算平均後に、オフセットを除き、  
ピークで規格化。  
この波形をフィッティングに用いる。

