



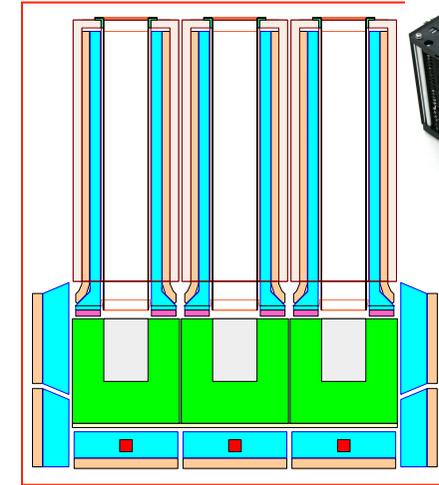
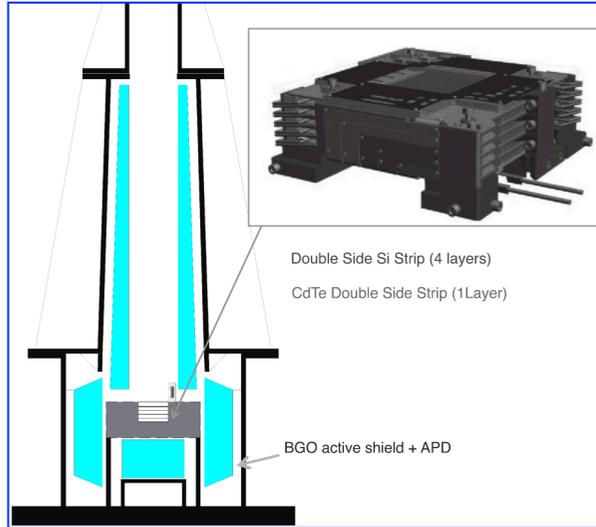
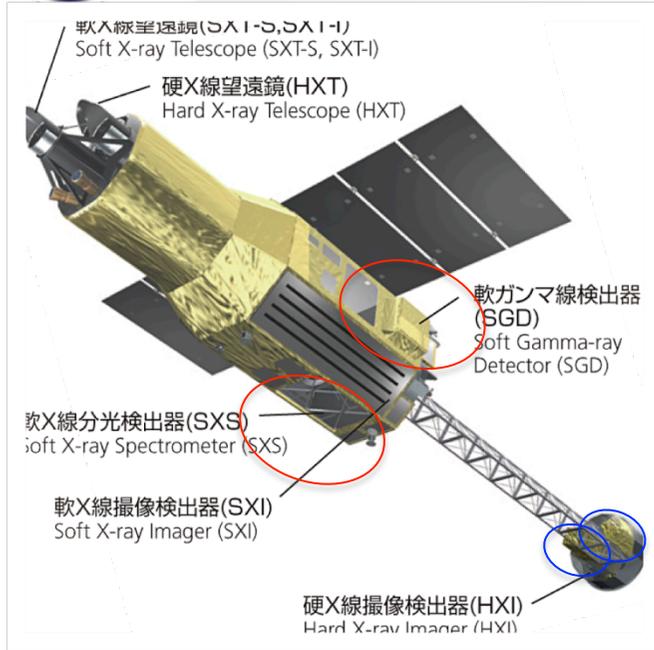
ASTRO-H衛星搭載 硬X線軟ガンマ線検出器における BGOアクティブシールドの地上較正試験

大野雅功 (広島大理),

河野貴文、古井俊也、枝廣育実、白川裕章、勝田隼一郎、田中康之、高橋弘充、
水野恒史、深沢泰司 (広島大理)、村上浩章、小林翔悟、三宅 克馬、小野光、室田優紀、
中澤知洋、牧島一夫 (東大理)、佐藤悟朗、片岡淳 (早稲田理工)、
一戸悠人、内田悠介、桂川美穂、武田伸一郎、佐藤理江、川原田円、原山淳、小高浩和、林克洋、太田方之、
渡辺伸、国分紀秀、高橋忠幸 (ISAS/JAXA)、木下将臣、山岡和貴、田島宏康 (名古屋STEL)、谷津陽一 (東工大)、
内山秀樹 (静岡大)、齊藤新也 (立教大)、湯浅孝行 (RIKEN)、
他HXI/SGDチーム



高感度観測の鍵: BGOアクティブシールド



**硬X線撮像検出器 HXI
(5~80 keV)**

**軟ガンマ線検出器 SGD
(60~600 keV)**

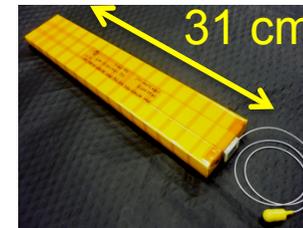
BGOアクティブシールド

- ・ 反同時計数を取りバックグラウンド除去
- ・ HXI 9ユニット (3種) SGD 25ユニット (6種) の形状
- ・ 明るい天体現象に対しては検出器として使用可能

できるだけ低いエネルギー閾値の実現が効率よい
反同時計数に必要

HXI : ~100 keV 前後、SGD : ~150 keV 前後 が期待される

バックグラウンドを徹底的に除去し従来より一桁以上の
感度向上を実現



HXI Top

SGD Side(C1)

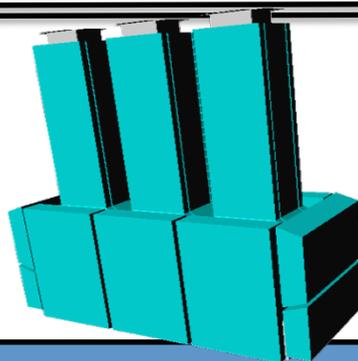
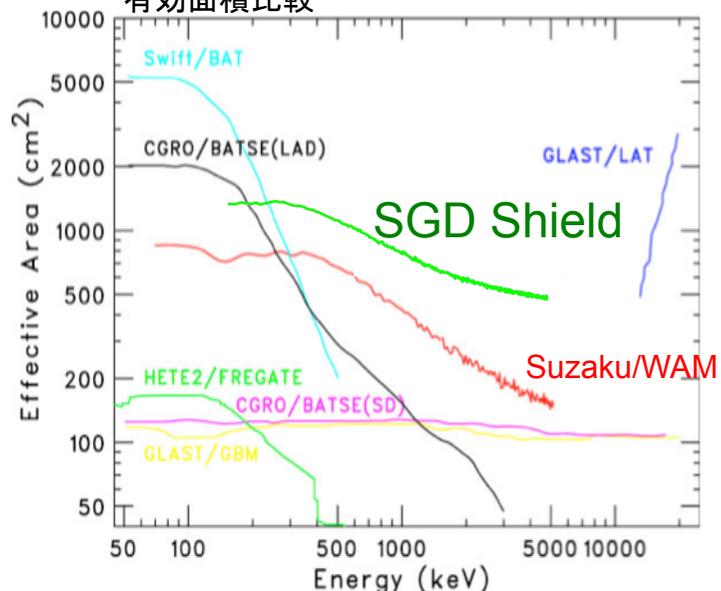




BGO シールドを用いた突発天体観測



SGD シールドとほか全天モニタとの有効面積比較

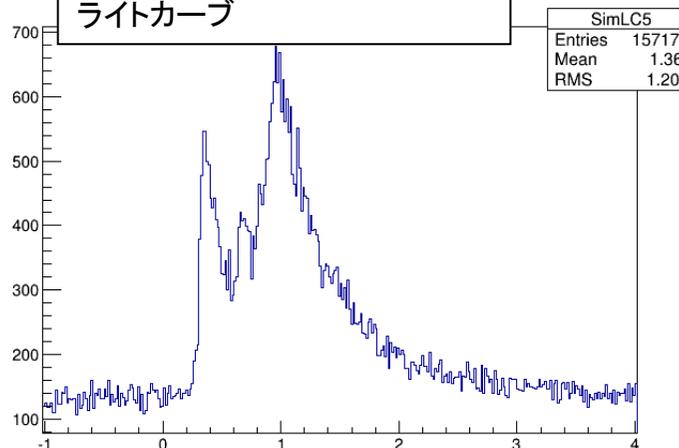


SGD では、BGO シールドの巨大な幾何学面積を活かして、突発天体の観測が可能

→ 突発天体でトリガーする特別な GRB データを別途取得

	SGD Shield	Suzaku WAM
時間分解能	16 ms	16 ms
時間範囲	5.376 s (-1s to 4.376 s)	64 s (-8 to 56 s)
エネルギー範囲	150 – 5000 keV	50 – 5000 keV
エネルギーチャンネル	32 ch	4 ch
データ転送方式	トリガー後すぐ(~10分後)に衛星にデータ転送し、次のトリガー待ち状態に移行	SAA中にデータ転送、それまではトリガーできない
有効面積(@1MeV)	~800 cm ²	~400 cm ²

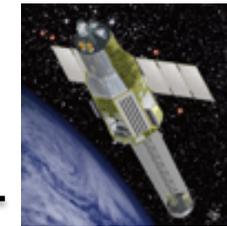
明るいGRB のシミュレーション
ライトカーブ



継続時間の短い突発現象 (short GRB, SGRなど) に特化。時間分解能のよいスペクトルを巨大な有効面積で取得できると期待。



衛星搭載品を用いた機能・性能検証



BGOアクティブシールドの機能検証はこれまで単体要素やエンジニアリングモデルによる End-to-End 試験により実施 (2014年春季年会 村上、大野講演)

この1年で HXI/SGD どちらも衛星搭載品が完成。低温試験、熱真空試験において、**初めて衛星搭載品の機能、性能の詳細な検証を行う。**

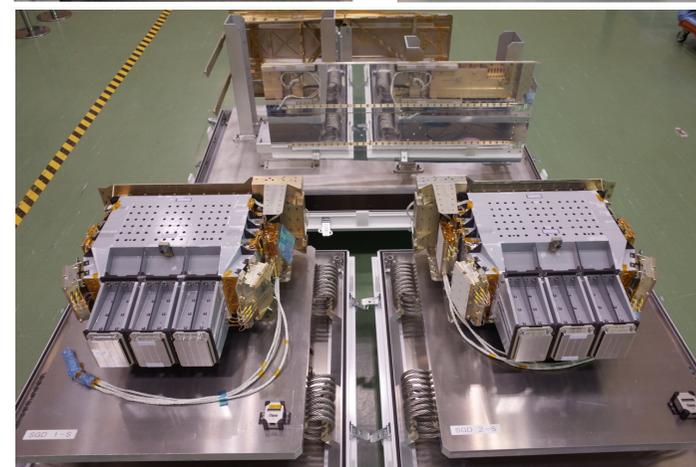
❖機能検証

- 低温状況下における全数動作検証
- 低温真空状況下における長期動作安定性

❖性能検証

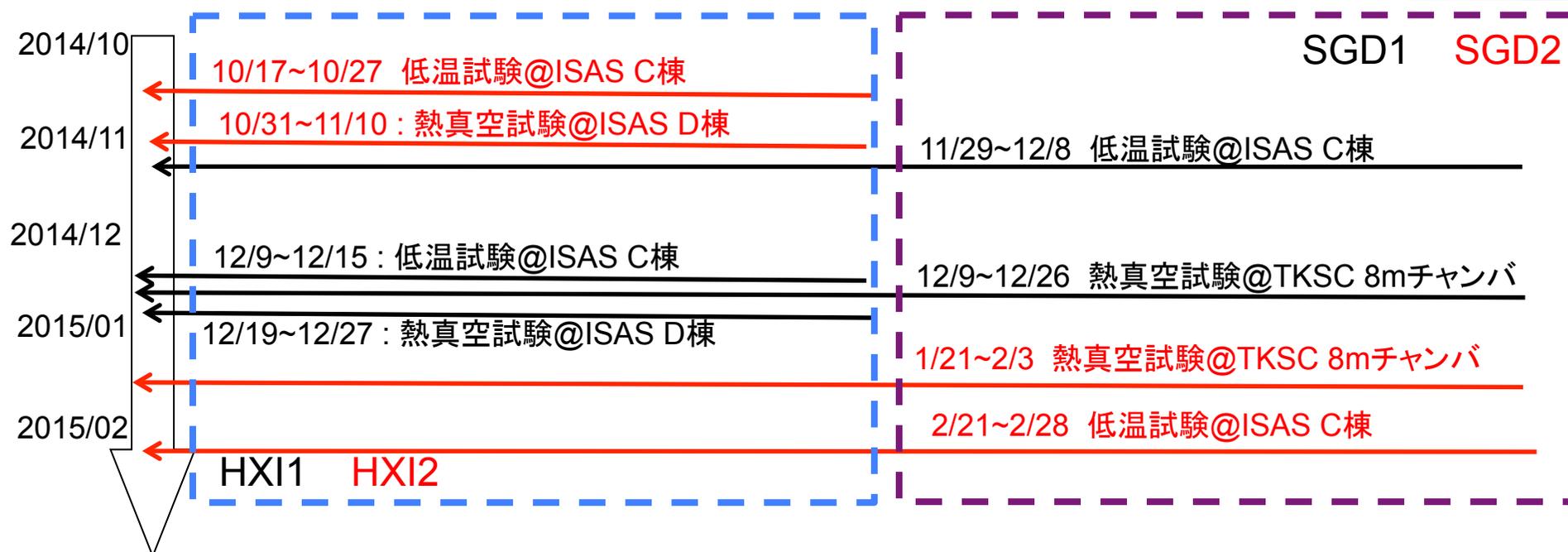
- エネルギー閾値の検証
- エネルギー応答 (エネルギーとADC channel の関係)
- 反同時計数性能検証
- GRB データ取得機能検証※
- 全天からのガンマ線検出効率の角度応答測定※

※は全天観測機能を用いるSGDのみについて実施





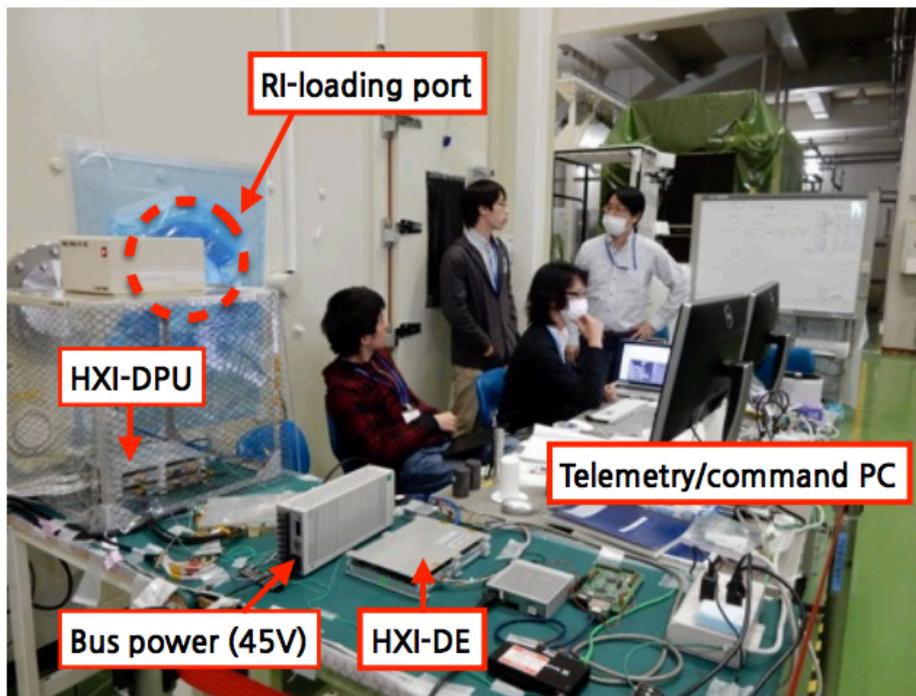
試験日程とセットアップ



HXIについての詳細は三宅講演を参照

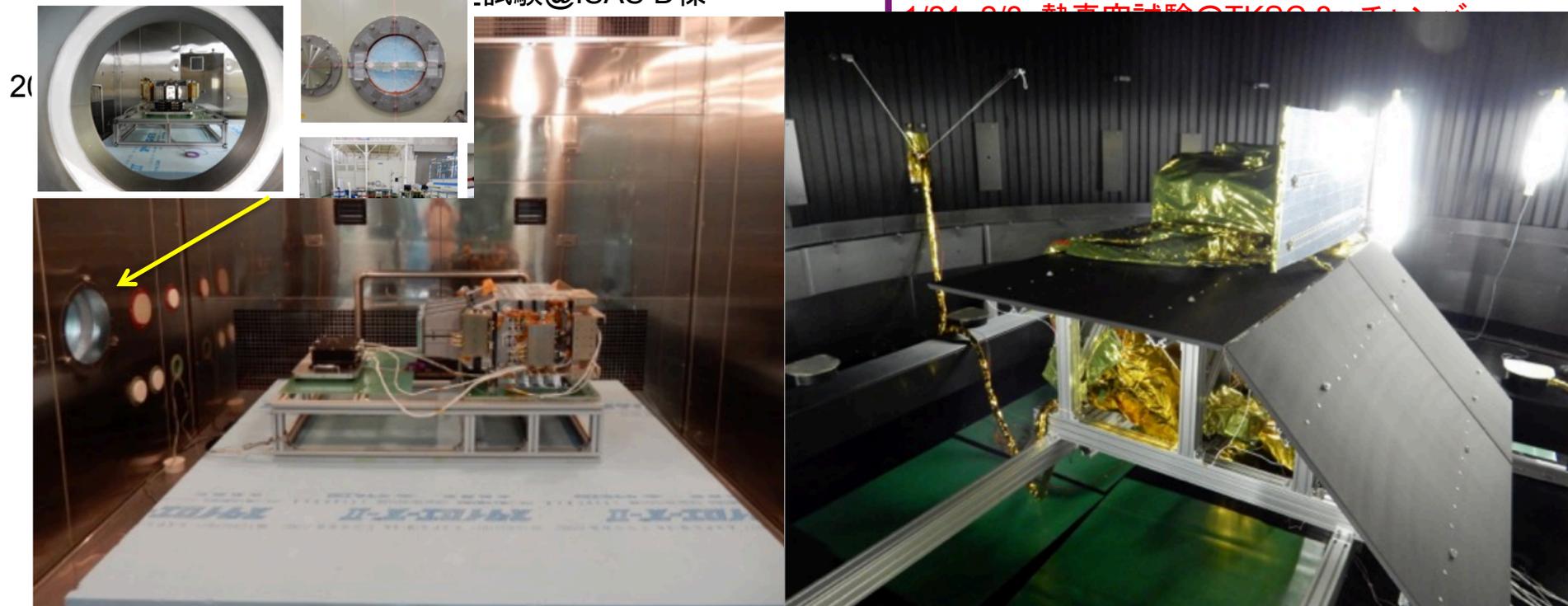


試験日程とセットアップ





試験日程とセットアップ

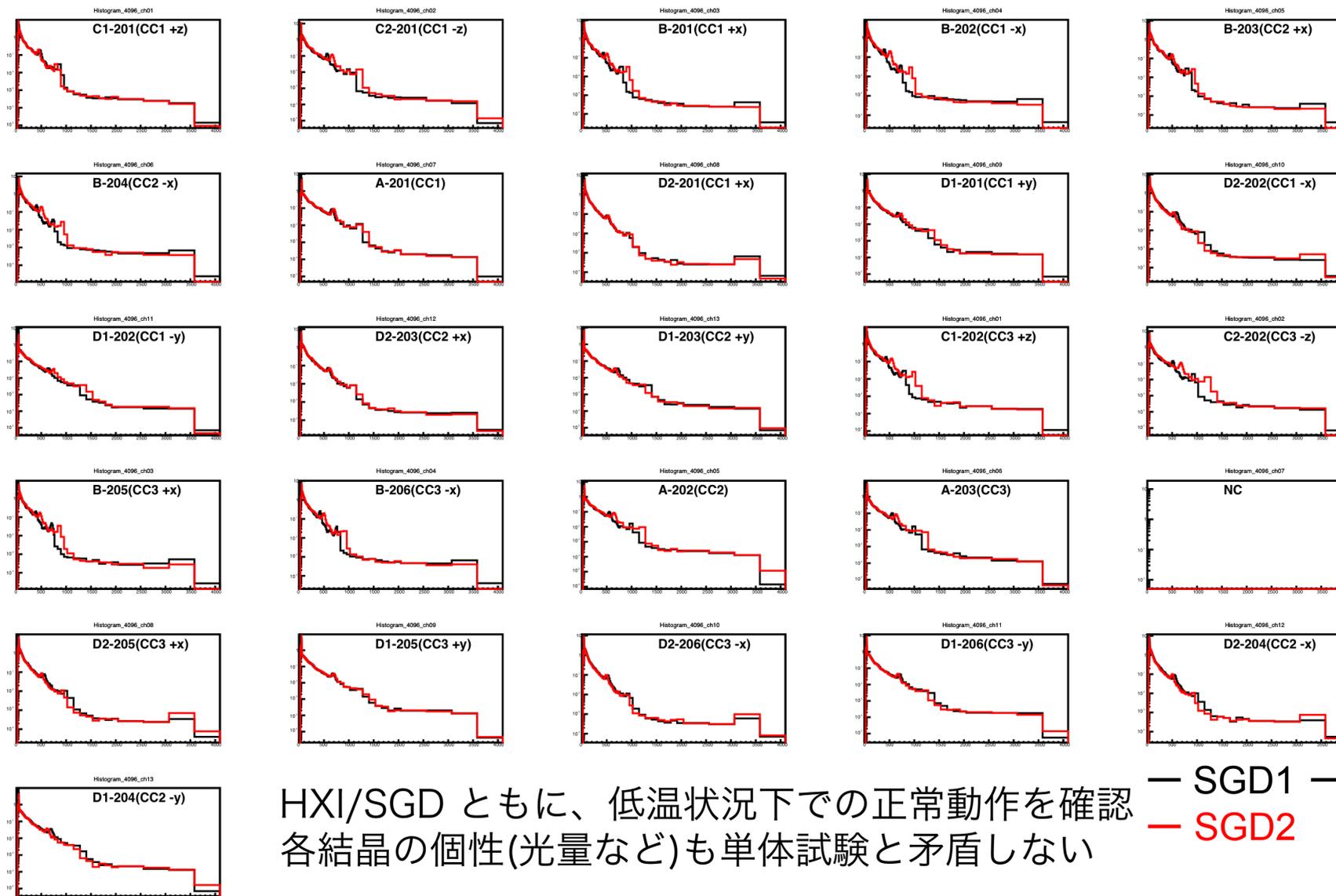


2015/03/23

2015年 物理学会春季年次大会



低温試験での動作検証: バックグラウンドスペクトル



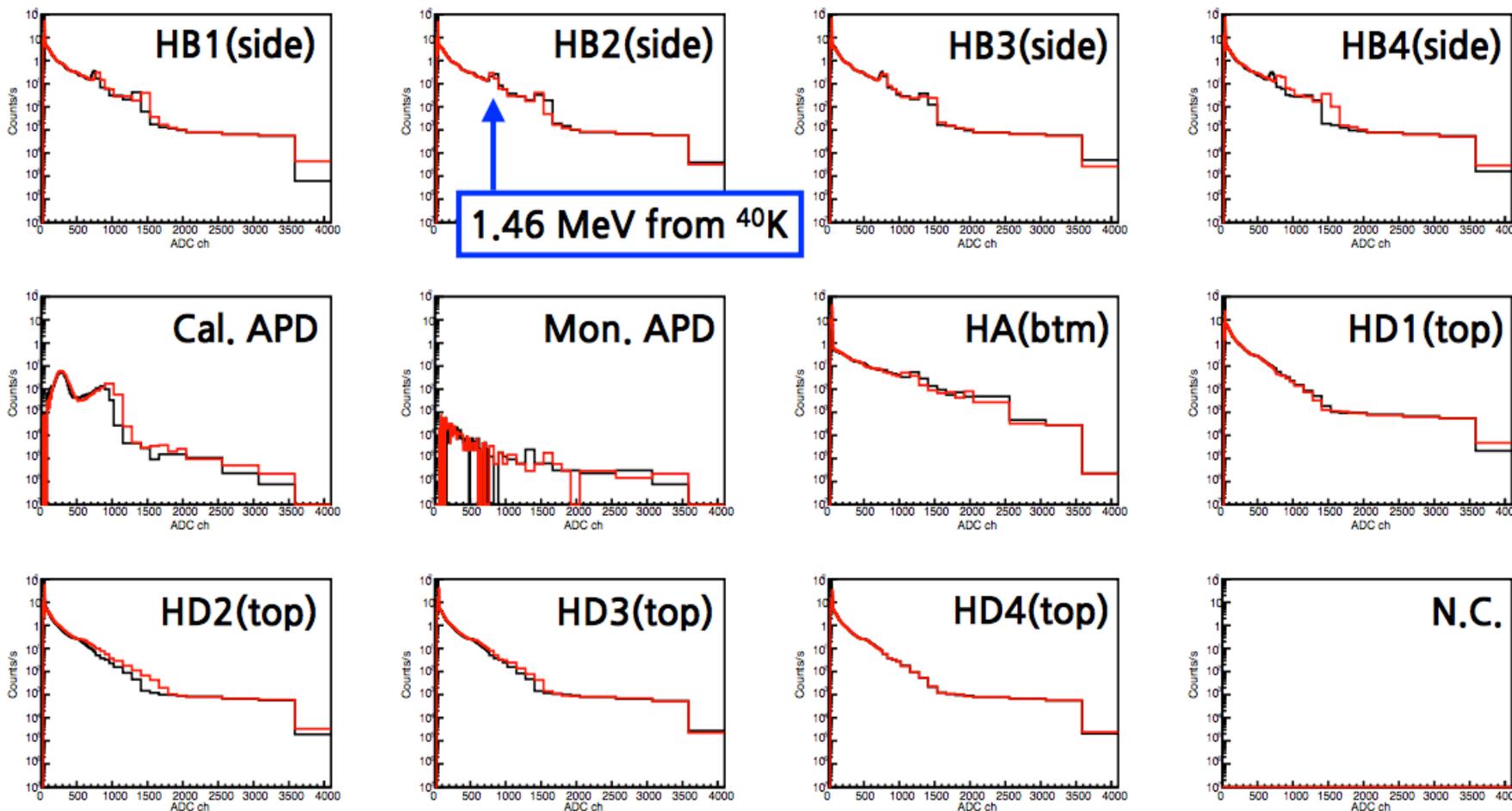


低温試験での動作検証: バックグラウンドスペクトル



— HXI1-S, — HXI2-S

—20°C (high-gain mode)



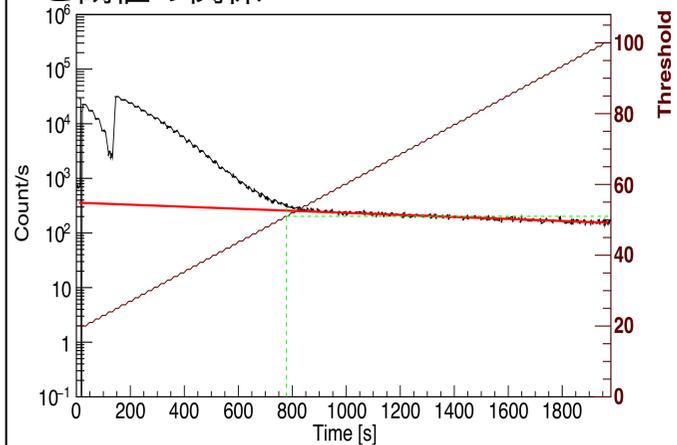
HXI/SGD とともに、低温状況下での正常動作を確認
各結晶の個性(光量など)も単体試験と矛盾しない



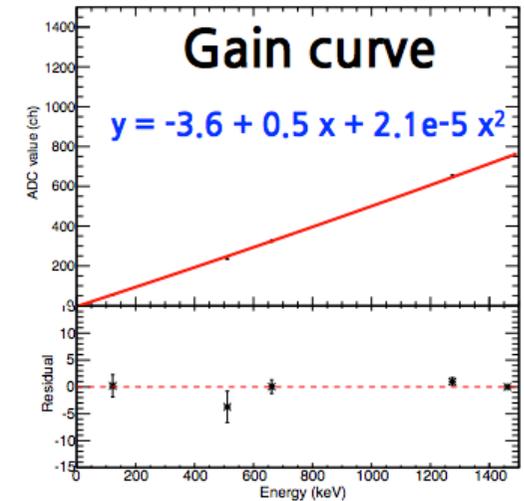
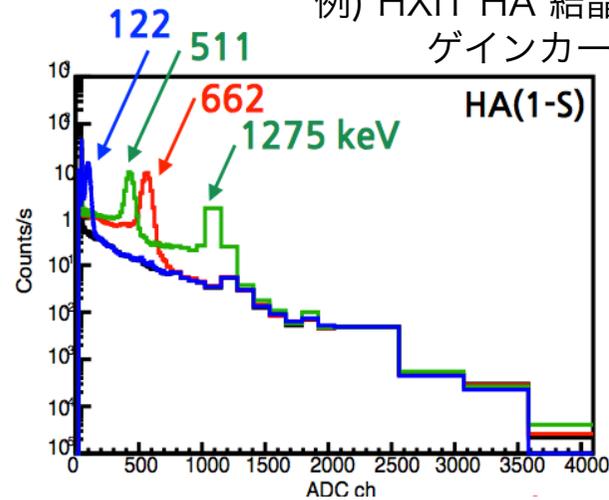
エネルギー閾値の決定



例) SGD2 B結晶のトリガーレートと閾値の関係



例) HXI1 HA 結晶の線源スペクトルとゲインカーブ



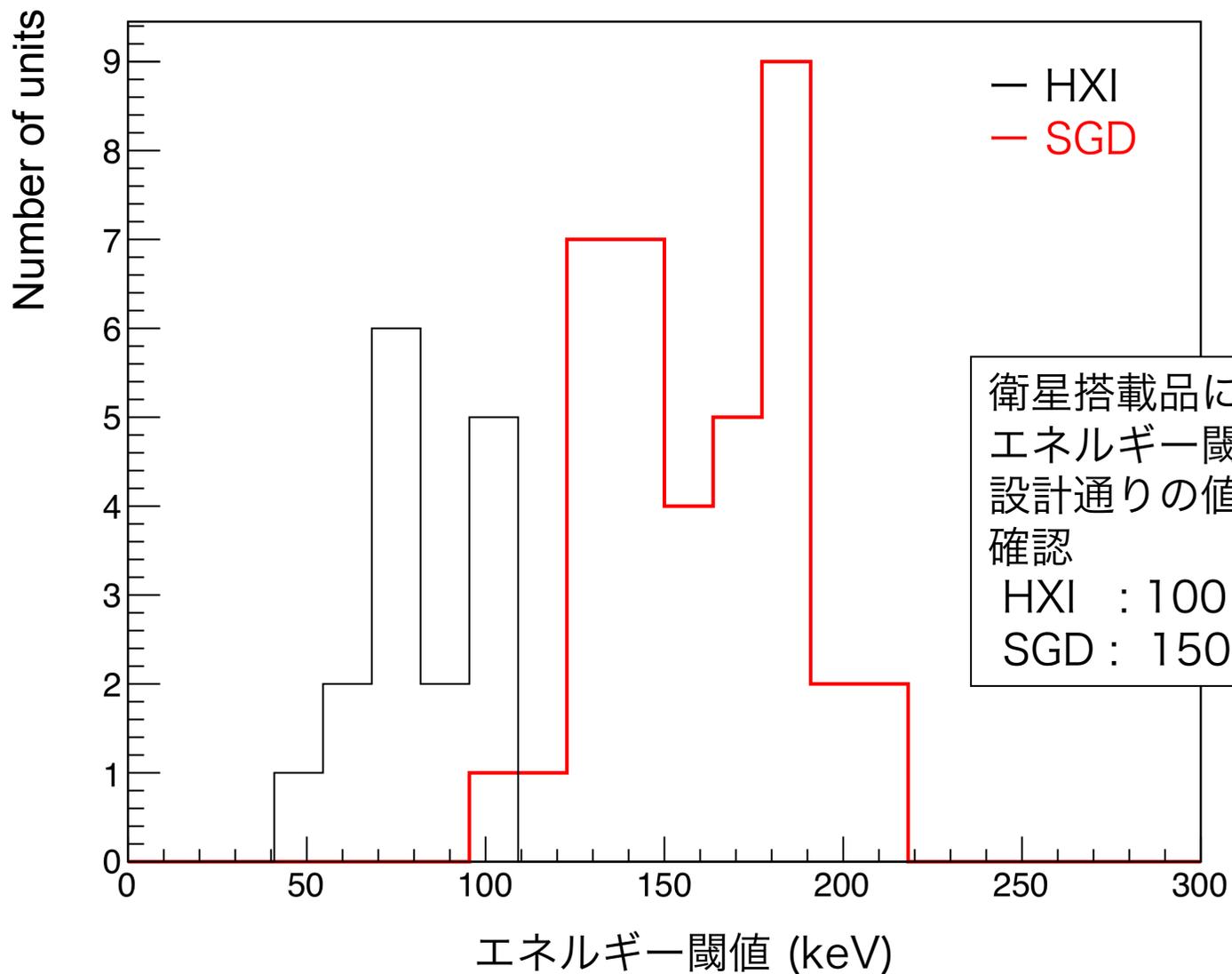
閾値を徐々に上げてトリガーレートのライトカーブを取得
→プラトーからあるレート(HXI: 150Hz, SGD:50Hz)上昇するところを閾値と決定する
(2014村上修論)
※上空では、温度変動を考慮して20%程度高めにするとも考えている。

放射線源を様々な方向から照射し、エネルギーとADC channel の関係を取得

全てのBGO(HXI:9x2ユニット、SGD:25x2ユニット)に対して、エネルギー閾値を決定。



エネルギー閾値の決定



衛星搭載品においても
エネルギー閾値は当初の
設計通りの値であることを
確認

HXI : 100 keV 前後

SGD : 150 keV 前後



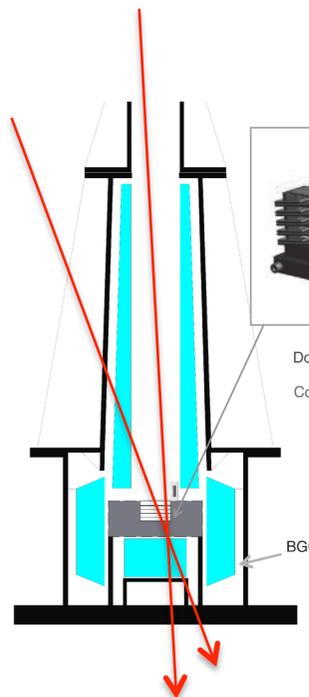
宇宙線イベントを用いた反同時計数機能の検証



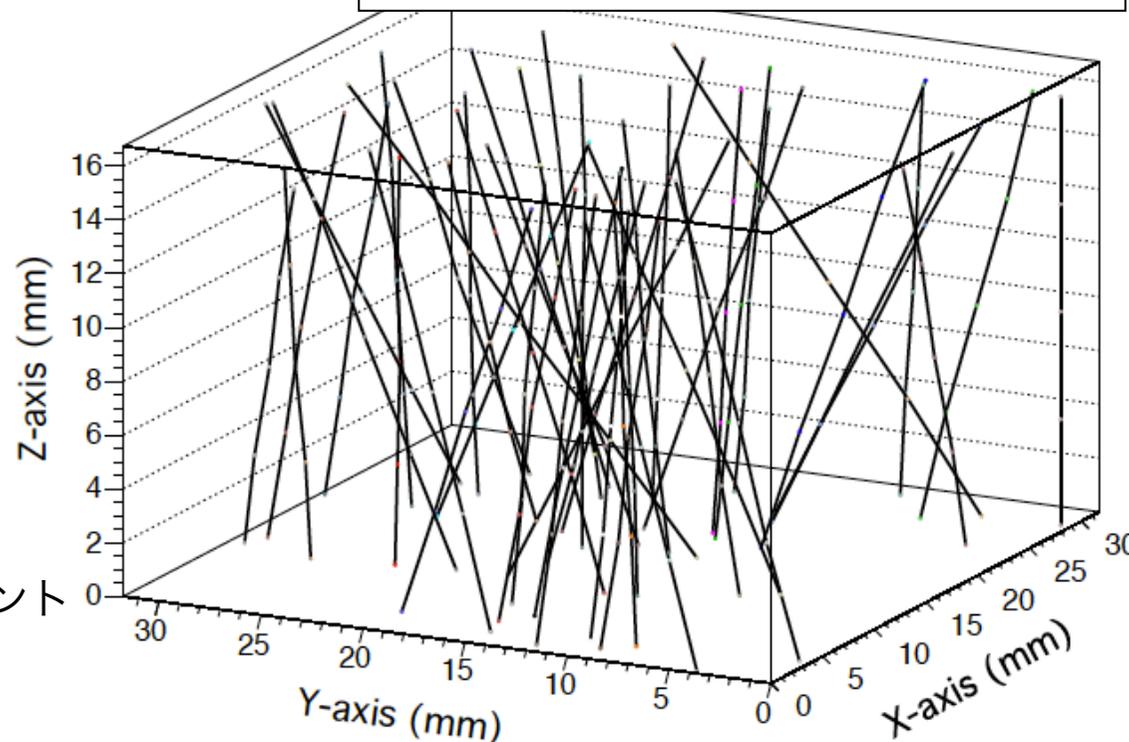
主検出器を通過する宇宙線イベントは必ずBGOも通過し、十分高いエネルギーをデポジットするので必ず反同時計数フラグが立つはず

例) HXI の場合

- a) 全層両面でトリガ
- b) 両面それぞれで 50 keV 以上のエネルギーデポジット
- c) 直線フィットにより直線性の高いイベントを選ぶ



抽出したイベントの一部の軌跡例 (HXI1 熱真空試験)



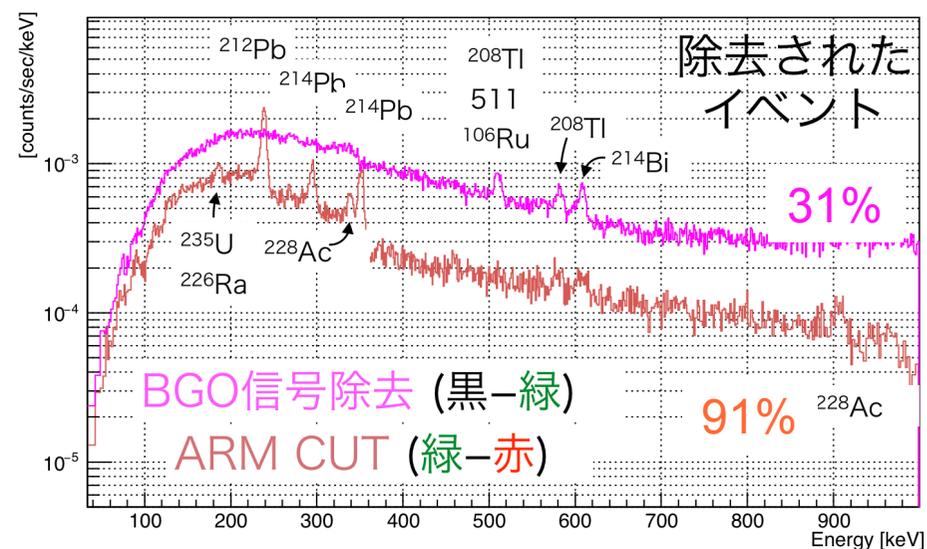
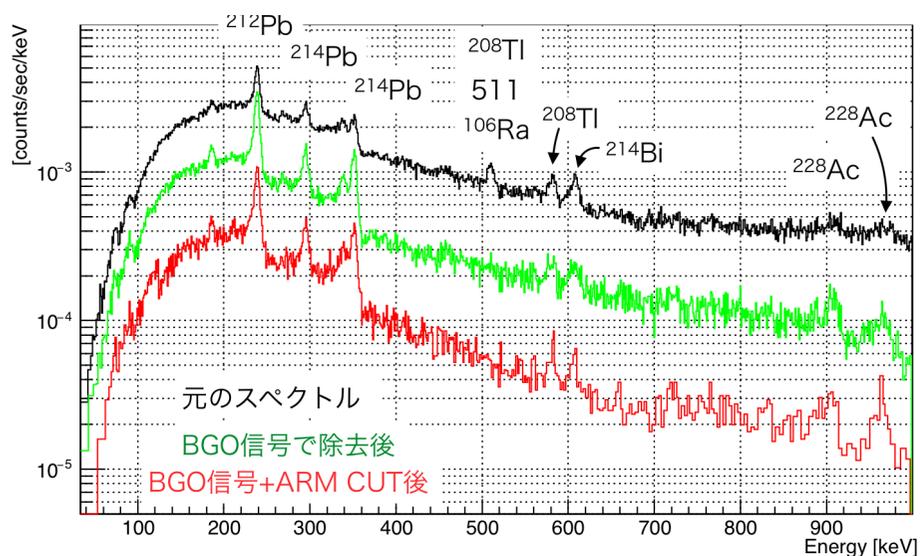
HXI/SGD とともに抽出した宇宙線イベントのほぼ**全てに反同時計数フラグが付加**されていることを確認。



アクティブシールドによる環境/内在バックグラウンド低減



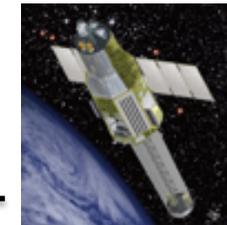
SGD1 CC1 熱真空試験で取得した環境・内在バックグラウンドスペクトル (内田修論)



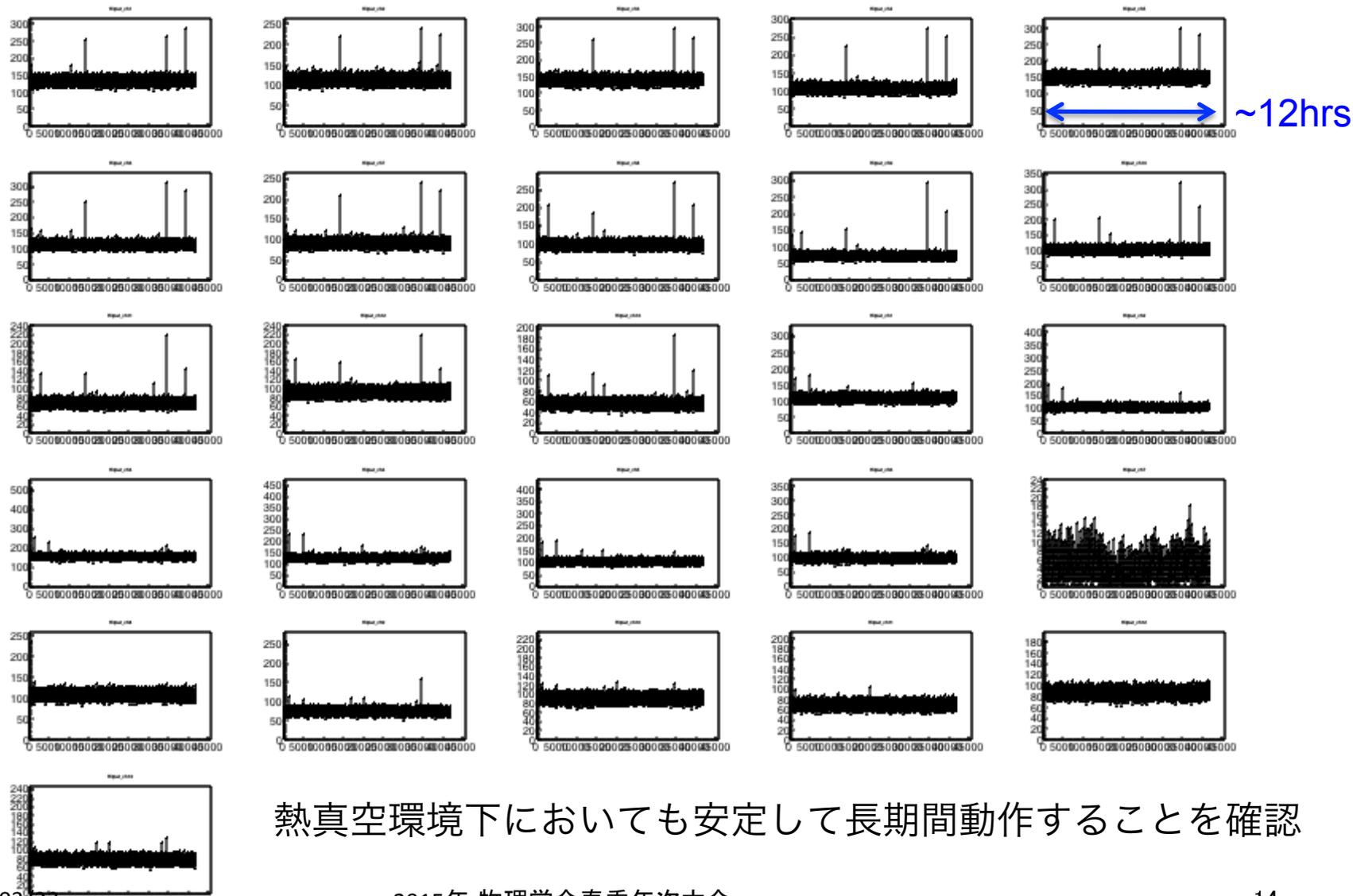
アクティブシールドにより、バックグラウンド低減できることを実証
SGD では視野の制限により最終的にはバックグラウンドを一桁低減できる



真空状況下における長期安定性



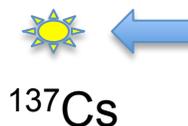
SGD2 熱真空試験における 12 時間動作中のBGO トリガーレート ($\sim 10^{-5}$ Pa, -25°C)



熱真空環境下においても安定して長期間動作することを確認

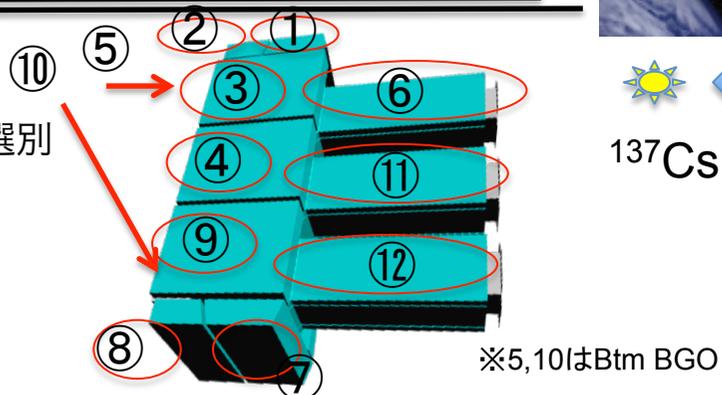


GRB機能試験: ライトカーブ

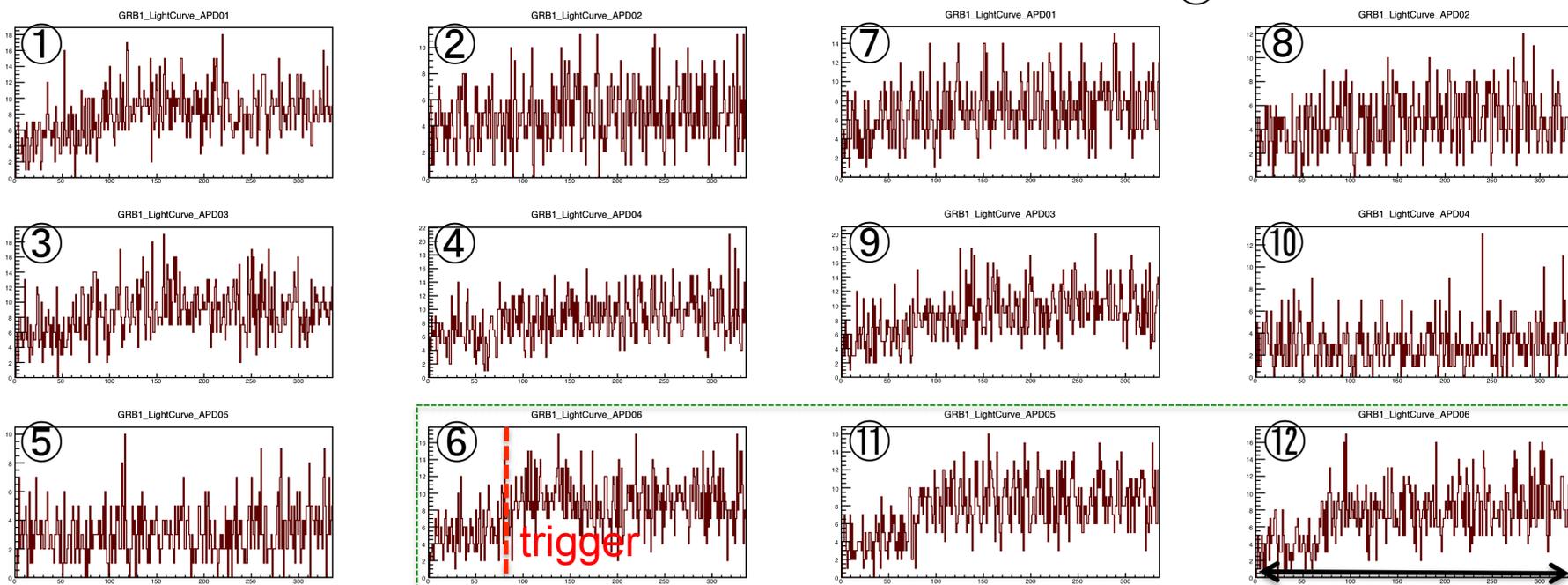


GRB設定

- トリガーユニット: 宇宙側を向いている結晶から12ユニット選別
- トリガーエネルギー範囲: 200-600ch (662keVをカバー)
- トリガースレッシュホールド: 5σ
- ^{137}Cs 線源を急接近させ、擬似バーストを発生させた。



GRBデータのライトカーブ (SGD2 低温試験)



GRBデータの取得に成功。線源が近いユニットでは、トリガータイミングでのカウントレート急上昇が確認できる。

5.376 s

16 ms/bin

15

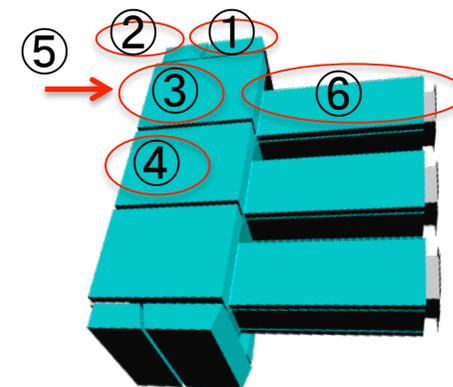
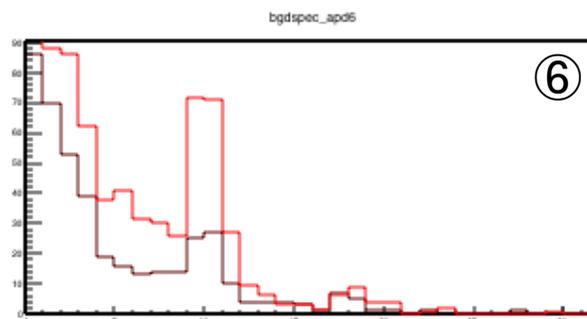
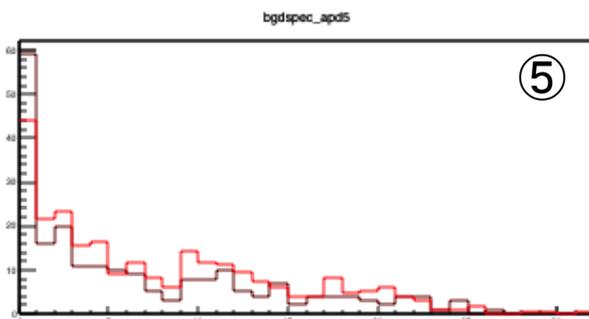
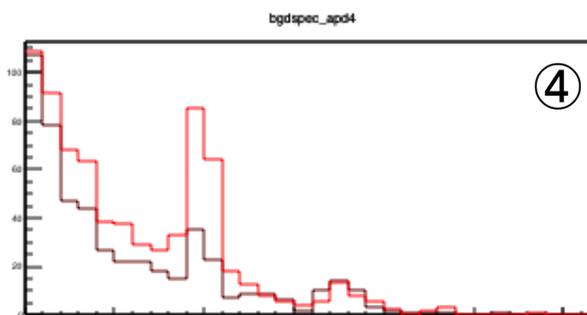
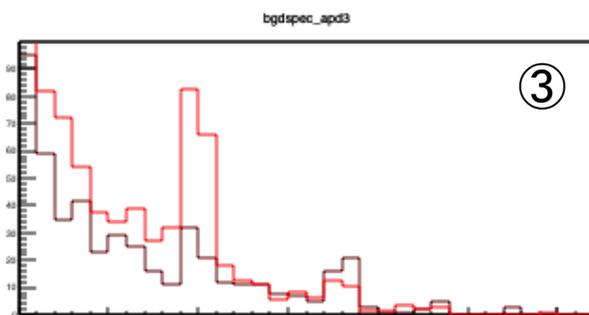
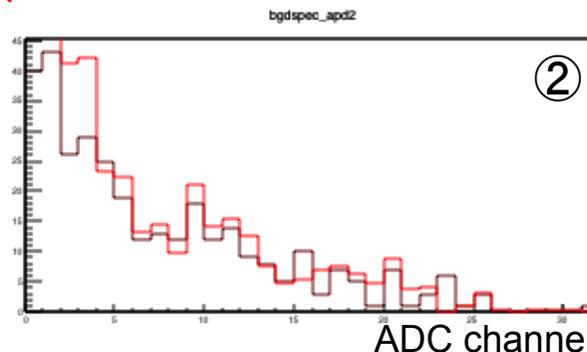
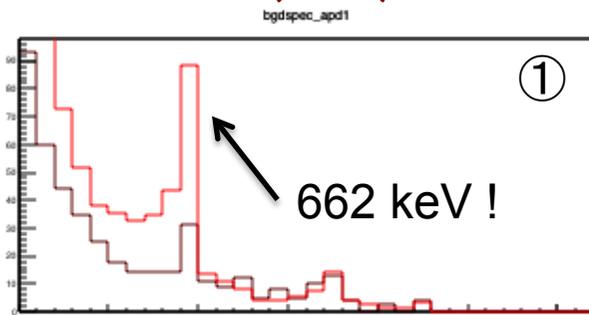
15



GRB機能試験: スペクトル



トリガー前(茶色)、トリガー後(赤) でスペクトル作成



※5,10はBtm BGO

^{137}Cs 662 keV ピークが見えており、正しくデータ取得できている。



角度応答計測



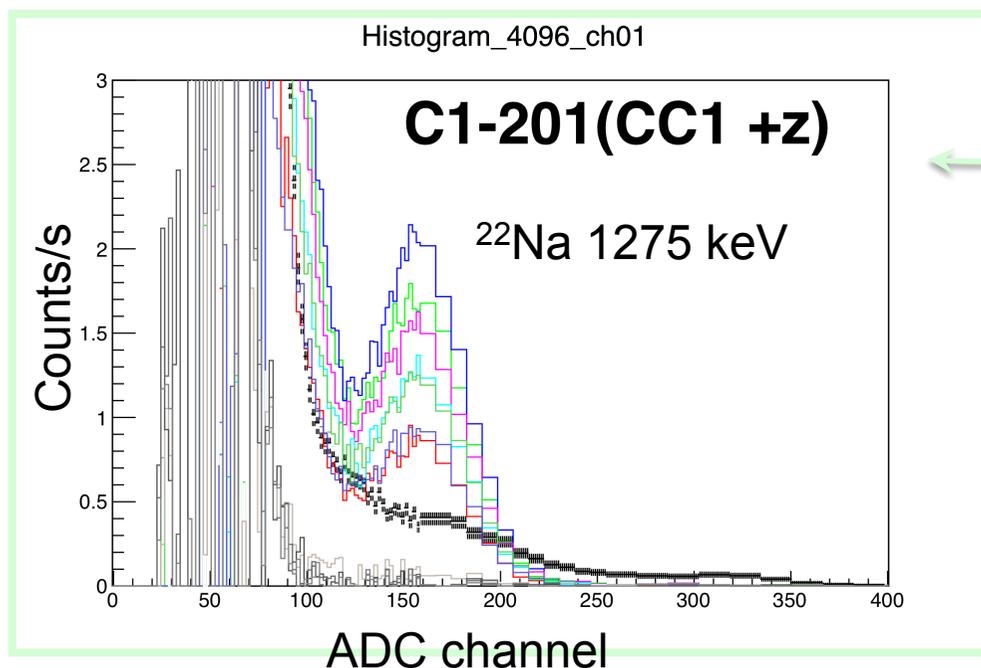
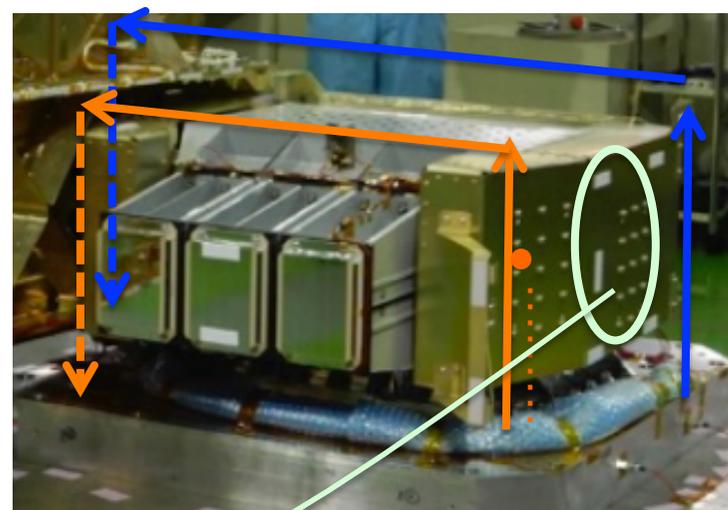
全天モニタとしての角度応答をシミュレーションと比較するためのデータとして、常温で ^{22}Na を様々な位置から照射

二通りの高さ(z)方向において、水平角方向にスキャン

(~15deg刻みで、13 points)

1: Side 結晶中心

2: Top 結晶中心



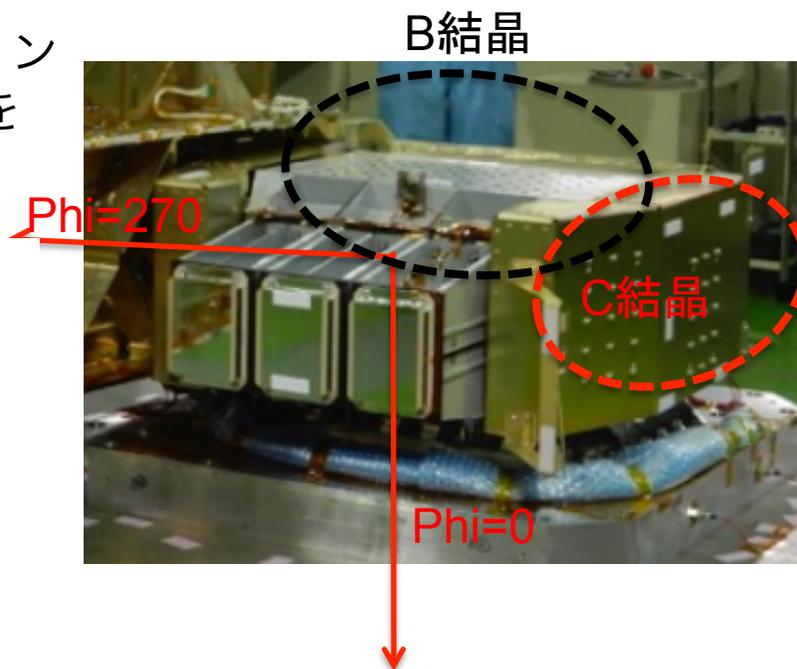
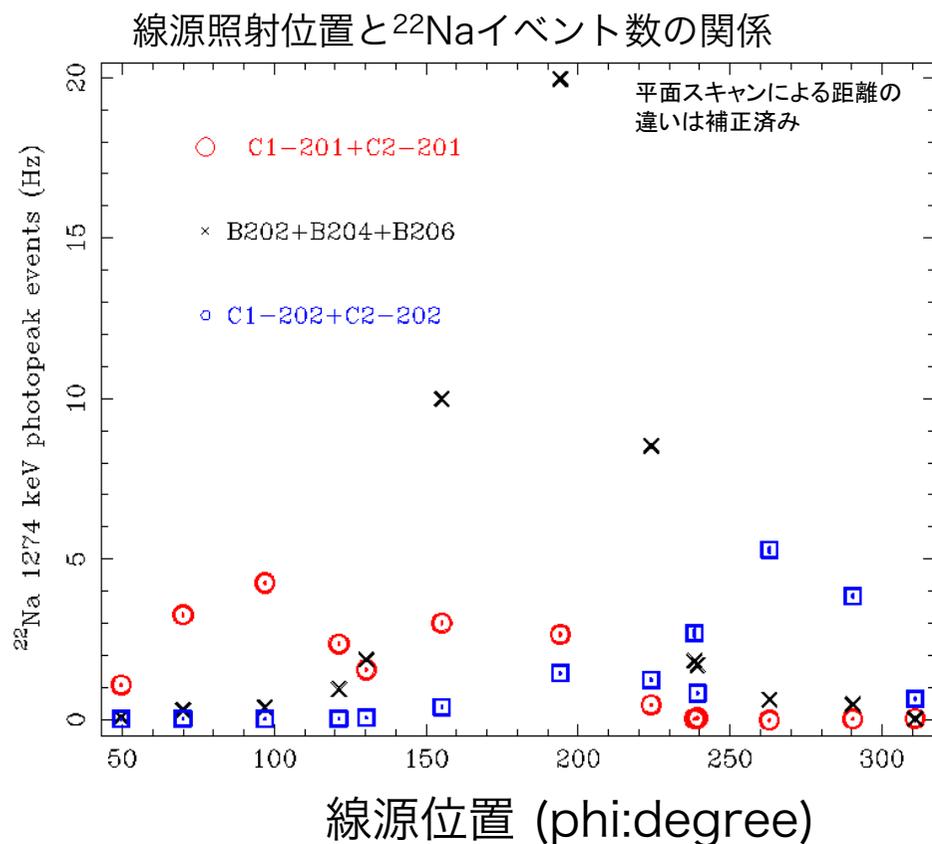
^{22}Na 1275 keV ピークの光電吸収イベント数の角度応答を調べた。

まずは、簡単のため、面外方向を向いているユニットのみに着目。

角度応答計測



全天モニタとしての角度応答をシミュレーションと比較するためのデータとして、常温で ^{22}Na を様々な位置から照射



- B結晶はほぼ綺麗な角度応答を示す。ただし、やや鋭いピーク。
- C結晶では、本来有効面積を失う大角度 (>130deg)側でも感度を持つ。厚さ方向が見えてるためと考えられる

→今後シミュレーションと比較し、応答関数構築にフィードバックする。



まとめ



ASTRO-H HXI/SGD における BGO アクティブシールドの地上較正試験を実施した

低温、熱真空環境下で全てのBGOユニットは安定して問題なく動作した。

- ❖ 全BGOのエネルギー閾値、エネルギー応答の検証
 - … HXI では、100 keV 前後、SGD では 150 keV 前後の閾値。設計通りの性能であることを確認。
- ❖ 反同時計数機能の検証。
 - … 主検出器の宇宙線イベントに反同時計数フラグがついており、問題なく機能していることを確認。主検出器のバックグラウンドも低減できることを実証
- ❖ GRB 機能検証
 - … 線源イベントの急激なレート上昇により、トリガーすることを確認。ライトカーブ、スペクトルも設計通りに取得できた。
- ❖ ガンマ線検出効率の角度応答計測
 - … 常温状況下で、 ^{22}Na 1275 keV 光電吸収ピークイベントの入射角度依存性を測定。おおよそジオメトリで理解できそうだが今後シミュレーションと比較する必要あり。

エネルギー較正直線、エネルギー分解能、閾値値、角度応答などは、今後シミュレーターに反映させ、アクティブシールドの応答関数構築を目指す。