

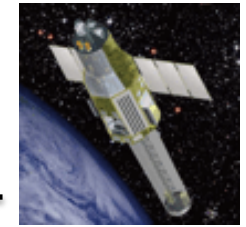
ASTRO-H衛星搭載 軟ガンマ線検出器(SGD)開発の現状

大野 雅功(広大理)、

田島宏康(名大STE研)、深沢泰司(広大理)、渡辺伸(ISAS/JAXA)、高橋弘充、田中康之、
水野恒史(広大理)、太田方之、小高裕和、川原田円、国分紀秀、佐藤理江、高橋忠幸、
武田伸一郎、原山淳、林克洋、森國城、湯浅孝行(ISAS/JAXA)、佐藤悟朗(理研)、
中澤知洋、野田博文、牧島一夫(東大理)、田中孝明(京大理)、
榎戸輝揚、山田真也(理研)、片岡淳(早大理)、谷津陽一(東工大理)、
内山泰伸(立教大)、内山秀樹(静岡大)、中森健之(山形大)、山岡和貴(名大STE研)、
Roger Blandford, Grzegorz Madejski(Stanford大)、田代信、寺田幸功(埼大理)、
米徳大輔(金沢大)、Philippe Laurent, Olivier Limousin, Francois Lebrun(CEA Saclay),
他 ASTRO-H SGDチーム

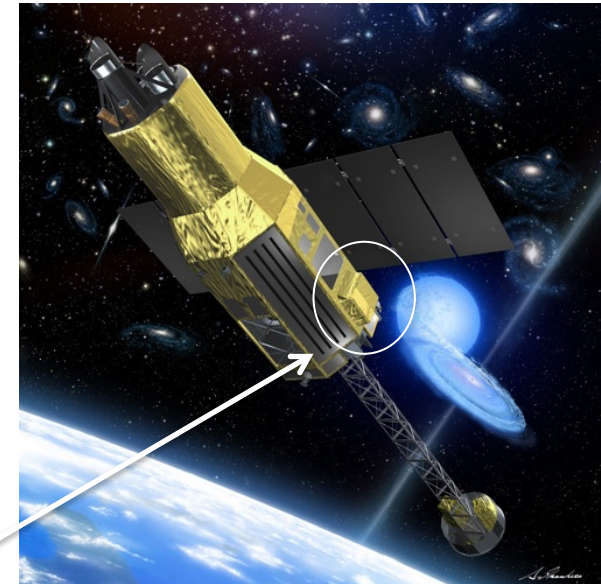


ASTRO-H SGD



Astro-H 衛星(2015年打ち上げ予定)

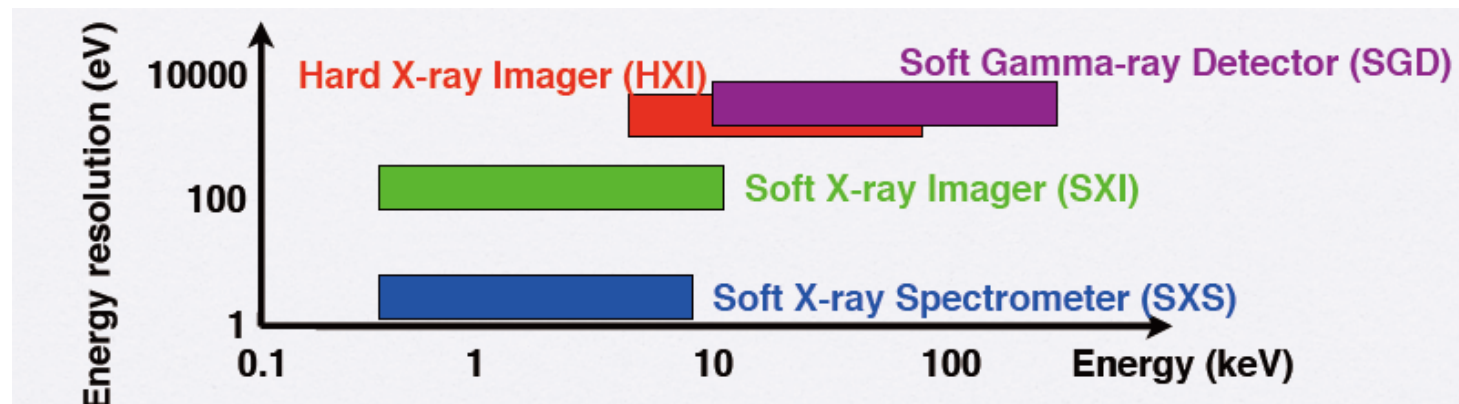
1. 硬X線望遠鏡による初めての撮像分光観測
2. はじめてのマイクロカロリメータによる
超高分解能分光観測
3. 0.3キロ電子ボルトから600キロ電子ボルトと
3桁以上にもおよぶ、過去最高の高感度広帯域観測



軟ガンマ線検出器 (Soft Gamma-ray Detector : SGD)

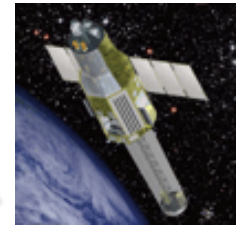
観測帯域 : 60-600 keV

狭視野コンプトンカメラにより、極限まで低バックグラウンド、高感度観測

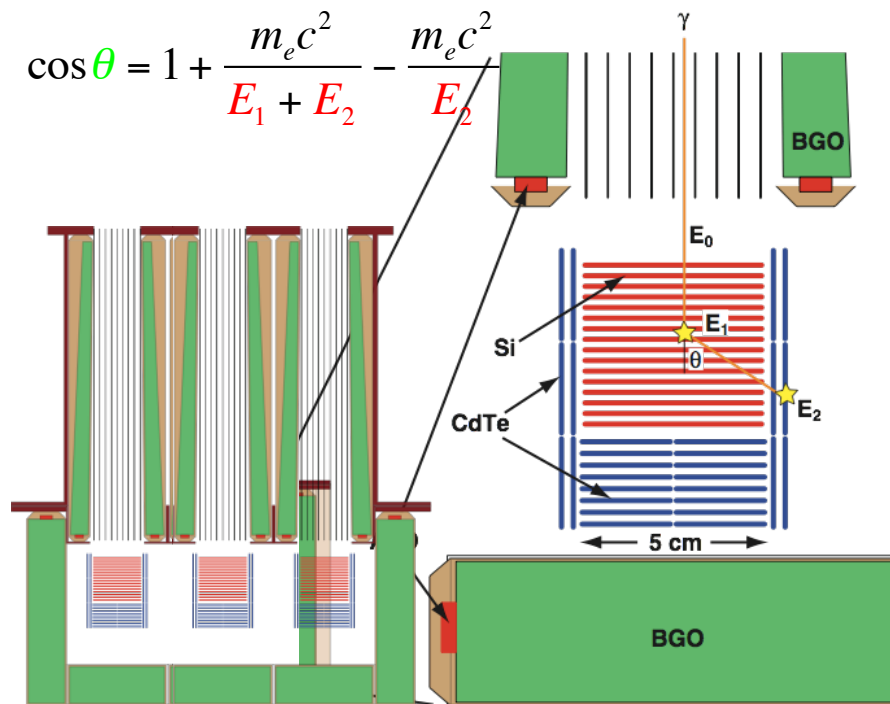




SGD Concept



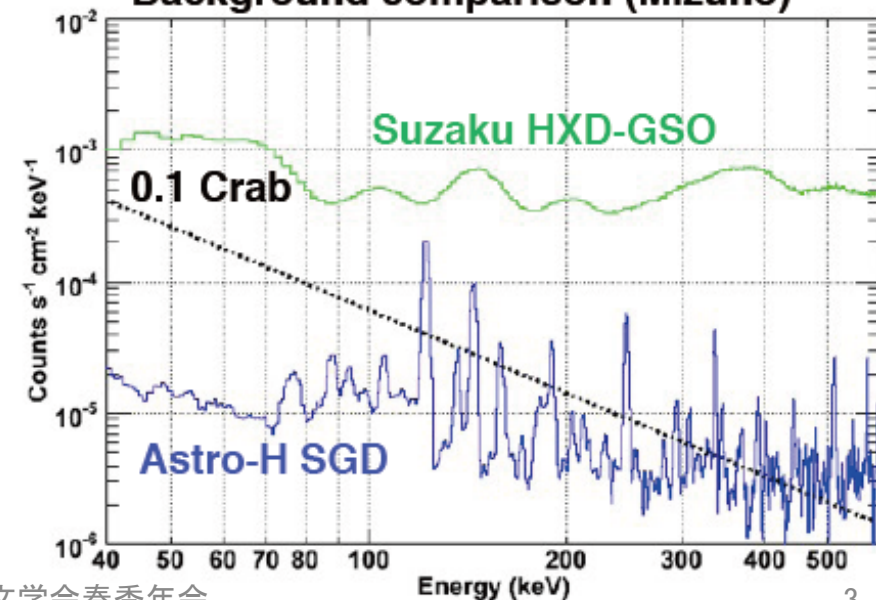
狭視野型コンプトンカメラ：
全く新しい極低バックグラウンド
軟ガンマ線観測



半導体多層コンプトンカメラ

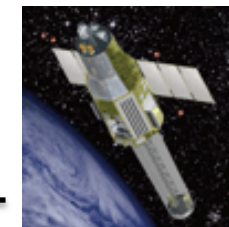
- 32層の0.6mmt 64 ch ピクセルシリコン検出器
- 8(+2)層の0.75mmt 64 ch ピクセルCdTe検出器
- コンプトン運動学により光子の到来方向を制限
ファインコリメーター、BGOアクティブシールド
で視野を制限 => 極低バックグラウンドを実現
(Suzaku/HXD の ~1/100)
- コンプトン散乱の異方性を利用して、ガンマ線
偏光観測にも感度を持つ (Crab, Cyg X-1 の
INTEGRAL ソースは充分検出可能)

Background comparison (Mizuno)



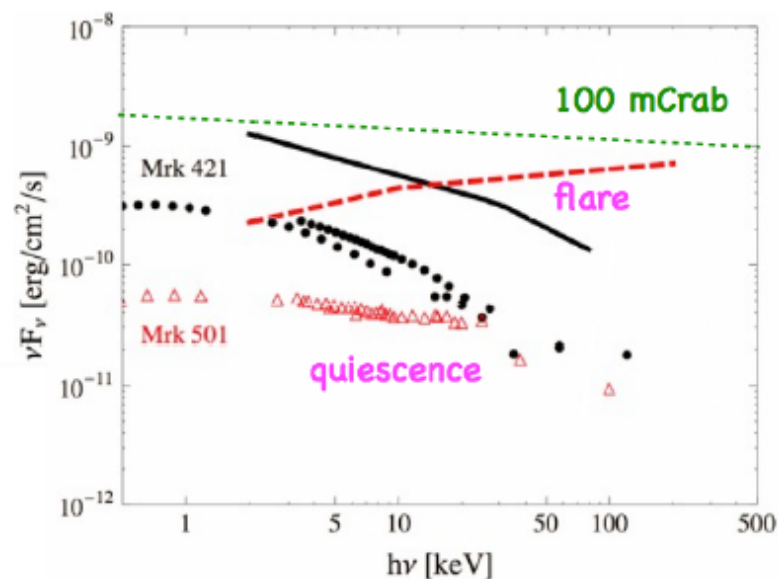


SGDによる偏光観測

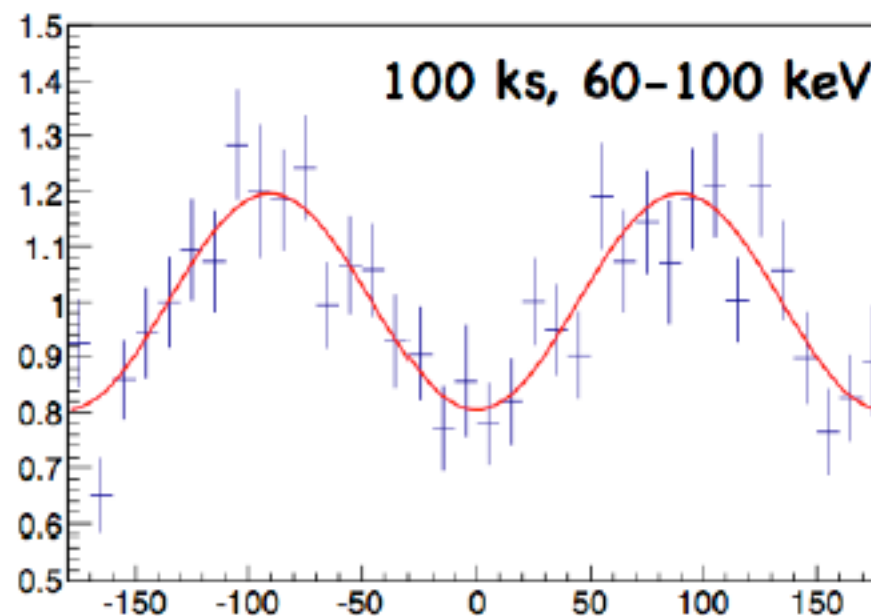


Science case : AGN flares

- ブレーザー天体(BL Lac): ジェットからのシンクロトロン放射が卓越、強い偏光ソース(~70% Laing 80)
- 他波長(電波・可視光)で偏光と光度の関係が多く報告、ジェットの構造などに制限
- 100mCrabほどに増光するフレアでは、SGDでガンマ線偏光検出が期待



Mrk 501 flare (1997), 30% polarization



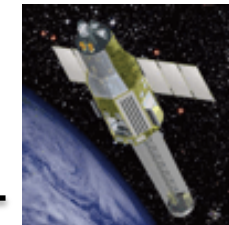
(小高、Stawartz(ISAS))

14.3.21

2014 日本天文学会春季年会



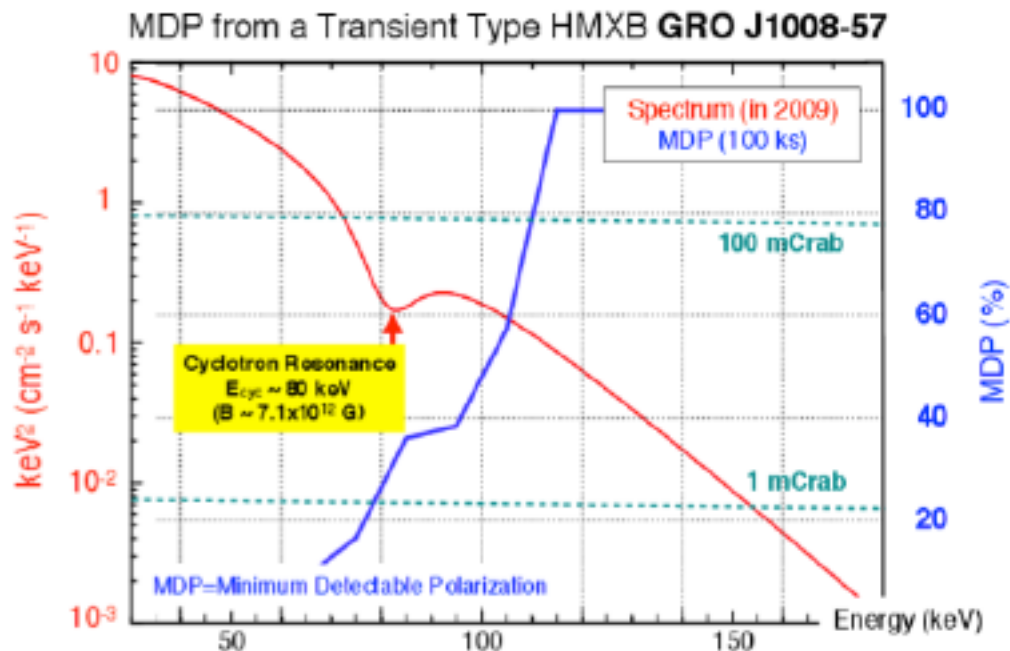
SGDによる偏光観測



Science case : cyclotron line sources

Estimated minimum detectable polarization (MDP) in the 20-600 keV from outbursts of Be binaries.

exposure (ks)	GRO J1008-57	GX 304-1	EXO 2030+375
30	15.8	11.3	21.9
50	12.3	8.7	16.9
80	9.7	6.9	13.4
100	8.7	6.2	12.0



Polarization is detectable up to ~100 keV with 100 ksec SGD observation from transient HMXBs, covering an electron cyclotron resonance.

(榎戸(理研), 小高、Stawartz(ISAS))

14.3.21

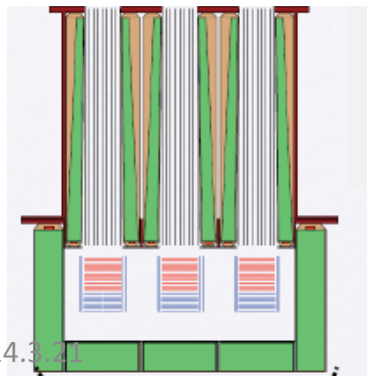
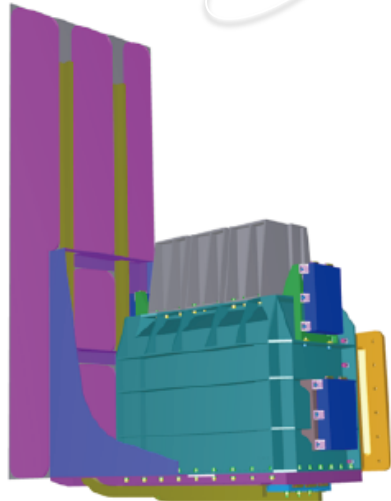
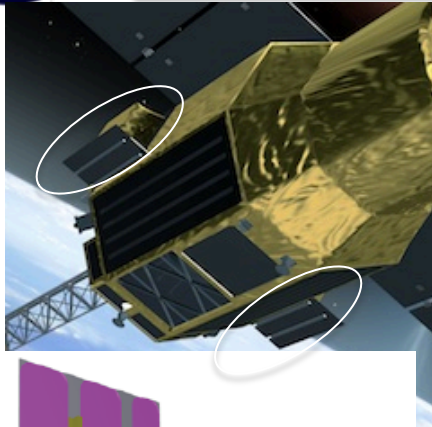
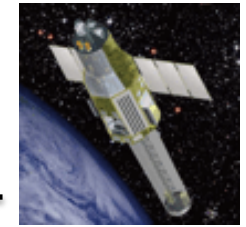
HMXB から観測される
サイクロトロン吸収線
→ $\sim 10^{12} \text{ G}$ の強磁場を示唆

- 強磁場中では光子の偏光モード (磁場に対する電場ベクトルの向き) で散乱断面積が異なる。
偏光の検出 → 強磁場の証拠

サイクロトロン共鳴付近で
偏光度、偏光角が変化することが
期待される。
→ 共鳴散乱の証拠、強磁場中の
物理素過程に迫る



SGD システム概要

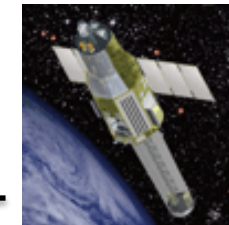


❖ SGD-S (2台/ASTRO-H)

- コンプトンカメラ (3台/SGD)
- BGOアクティブシールド (25units/SGD)
 - 25ユニットのBGOをAPDで読み出す
 - 視野を10degに制限
 - パッシブ・アクティブシールドとしてバックグラウンド低減
- ファインコリメーター
 - 視野を0.5degに制限(<150keV)
 - CXB、視野外からの混入を防ぐ
- ハウジング
- 冷却システム
 - ヒートパイプ、ラジエーター
 - CC, APD を $-15^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ にキープ
- SGD-AE, DPU, DE

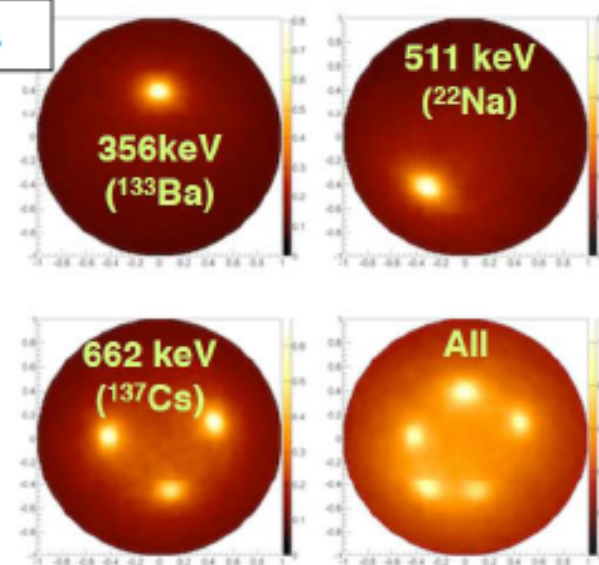
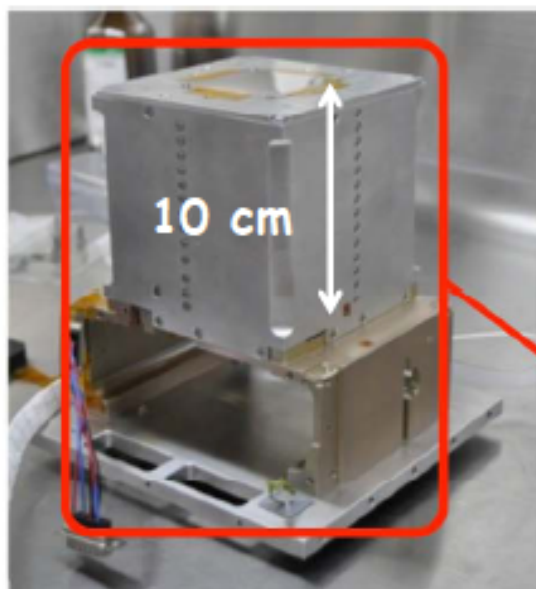


開発状況: コンプトンカメラ



Full EM コンプトンカメラを用いた機能検証

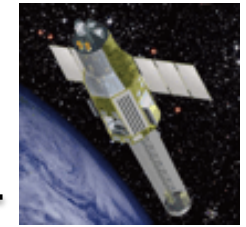
- “full” configuration EM コンプトンカメラ (2012/12) を製作
-- Si 32層, CdTe 8層(+4面2層), FM同等のデザイン
- 熱真空状況下での動作確認試験 (古井 2013秋期年会報告)
- コンプトンイメージング能力の実証 (一戸修士論文)
- CdTe bump bonding に問題が生じたが、bump 方法を再検討。
振動(2013/10/7)、衝撃試験を実施(2013/10/13)、問題ないことを確認
- フライト品の製造一部完了、現在SGD1-Sとして組み上げ中



(一戸、武田、渡辺、東郷(ISAS), 中村、古井(広大))

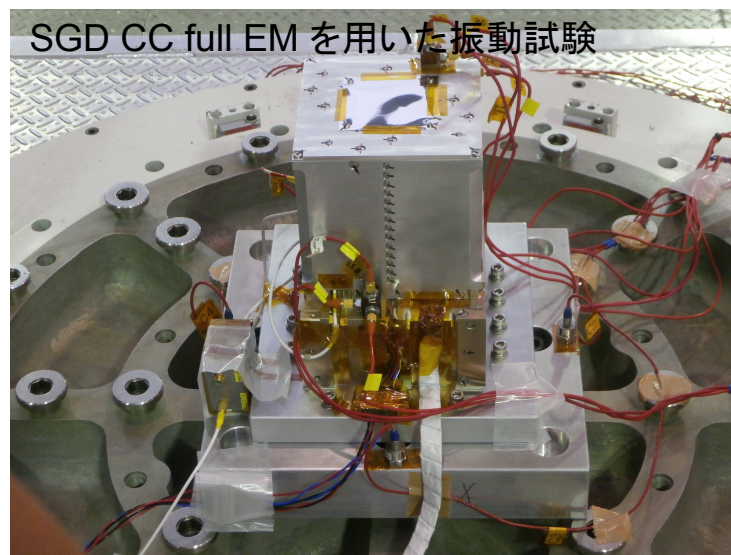


開発状況: コンプトンカメラ



Full EM コンプトンカメラを用いた機能検証

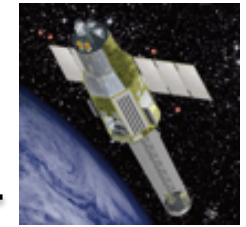
- “full” configuration EM コンプトンカメラ (2012/12) を製作
-- Si 32層, CdTe 8層(+4面2層), FM同等のデザイン
- 熱真空状況下での動作確認試験 (古井 2013秋期年会報告)
- コンプトンイメージング能力の実証 (一戸修士論文)
- CdTe bump bonding に問題が生じたが、bump 方法を再検討。
振動(2013/10/7)、衝撃試験を実施(2013/10/13)、問題ないことを確認
- フライト品の製造一部完了、現在SGD1-Sとして組み上げ中



(一戸、武田、渡辺、東郷(ISAS), 中村、古井(広大))



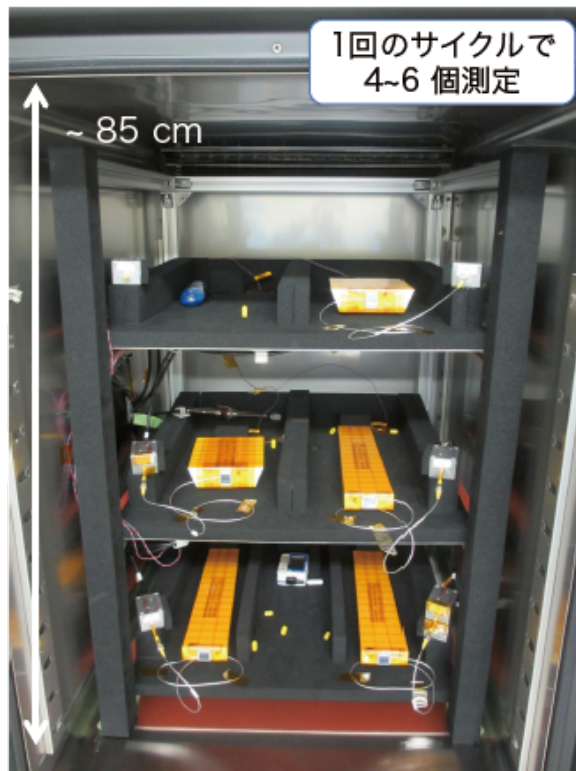
開発状況: BGO シールド



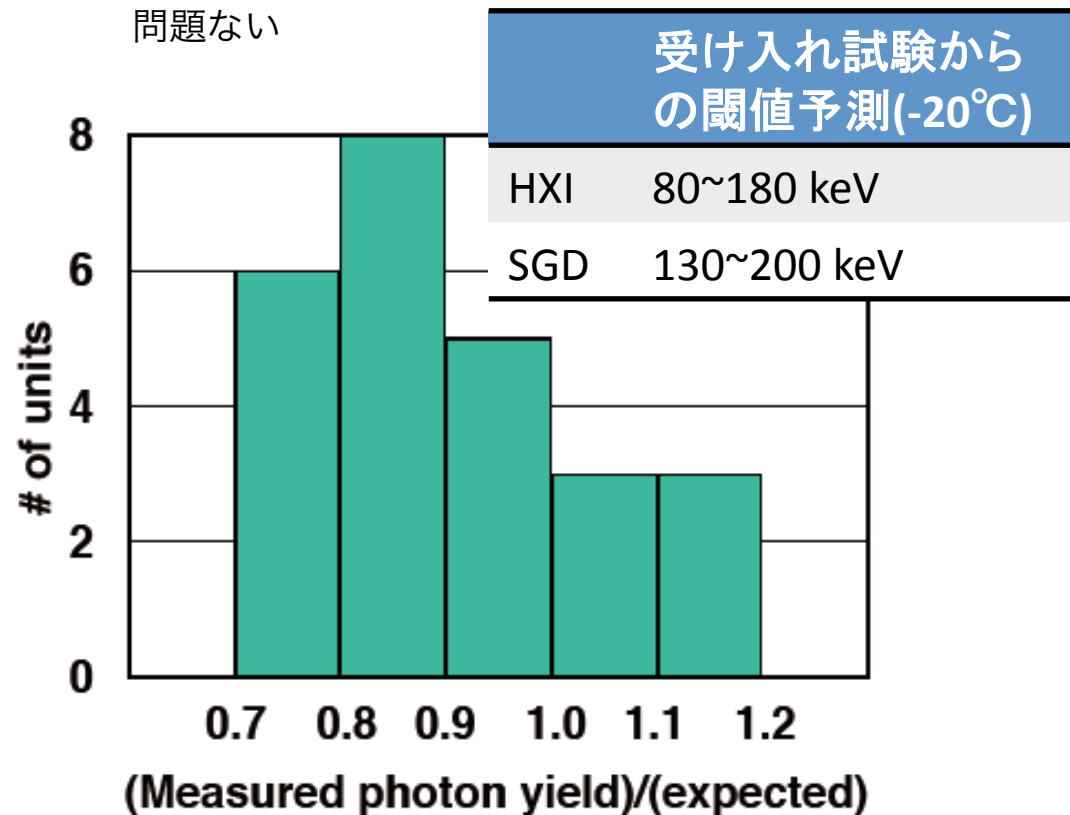
フライトBGOアセンブリの受け入れ試験

- フライトモデルの BGO シールドアセンブリを製作中
- 全50ユニット中25ユニットまで製作、受け入れ試験完了 (内山講演 W126a)
- 25ユニットについては、現在SGD1-S として組み上げ中

恒温槽内部



おおよそ期待通りの光量が得られており、問題ない



(山岡(名大)、内山(静岡大)、林(ISAS)、笹野、村上(東大)、中村、徳田(広大))

14.3.21

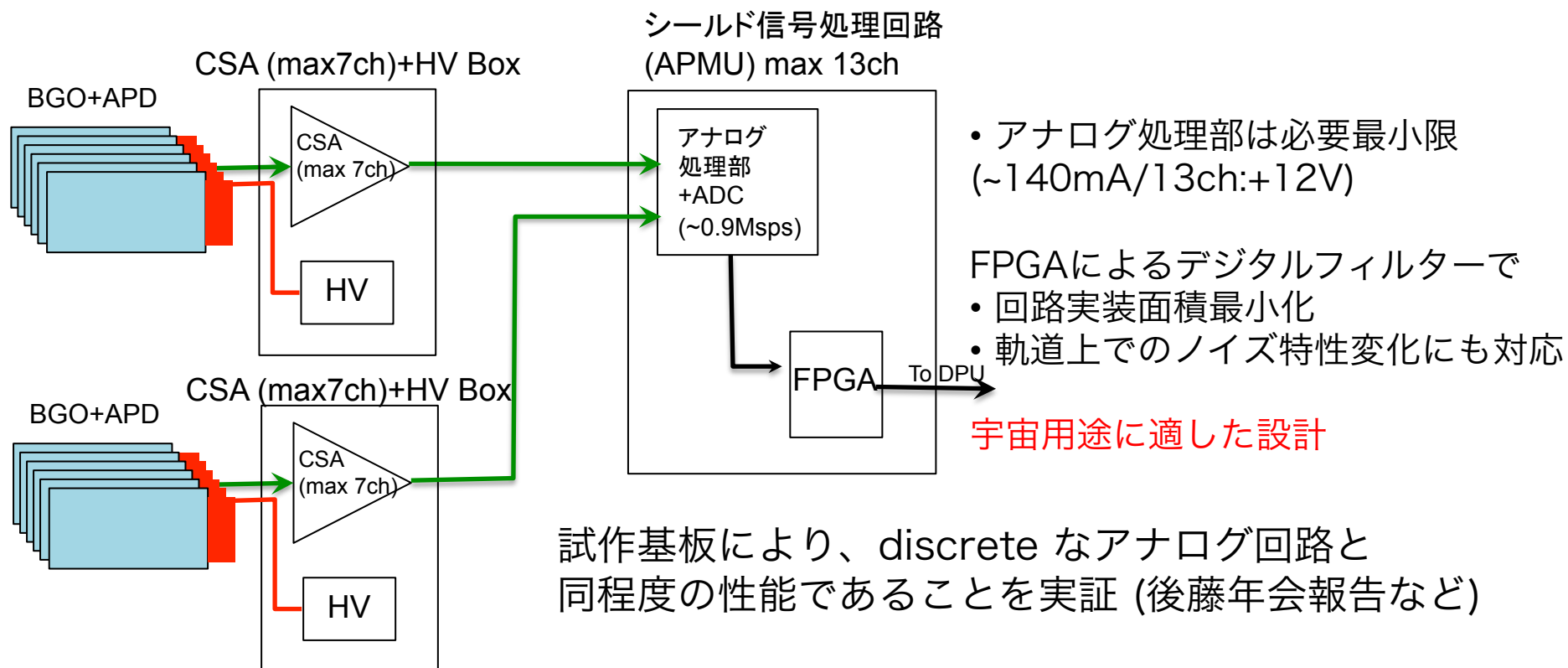


開発状況: BGOシールド信号処理回路



EM/preFM 回路基板の開発、設計確認

BGOシールド信号処理回路(APMU): デジタルフィルタで波形整形し、
各種トリガ信号生成(徳田講演 W127a)



試作基板により、discrete なアナログ回路と
同程度の性能であることを実証 (後藤年会報告など)

EM/preFM 基板を開発し、設計に問題が無いか検証

(山岡(名大), 佐藤、原山(ISAS), 村上(東大)、徳田、大野(広大))

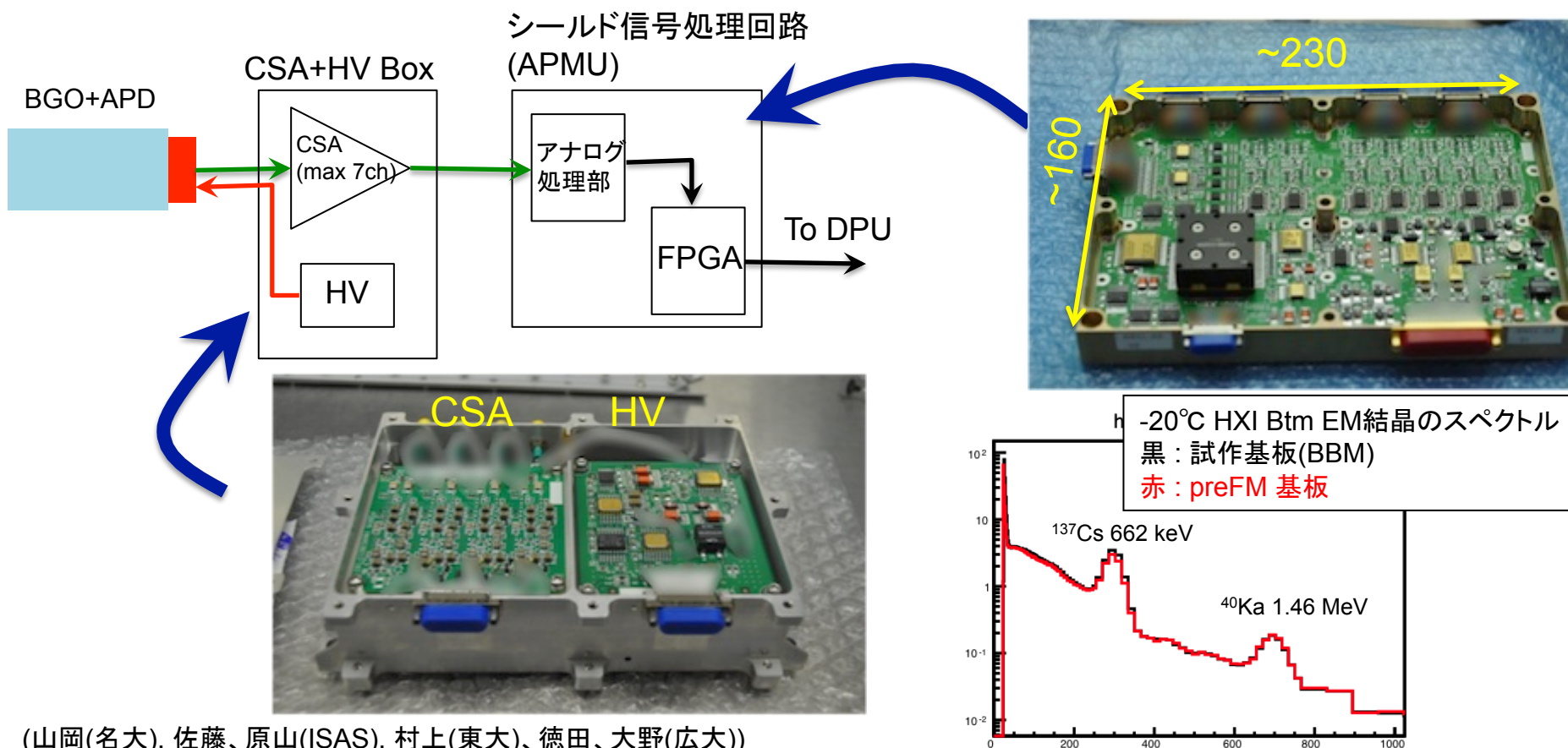


開発状況: BGOシールド信号処理回路



EM/preFM 回路基板の開発、設計確認

- EM APD-CSA+HV Box, preFM APMU 基板を製作 (2013/12)
- APD-CSA+HV Box は熱真空試験を実施、真空低温中で安定動作
- preFM APMU 基板は、試作基板と同等の性能。FM設計に問題ないことを確認



(山岡(名大), 佐藤、原山(ISAS), 村上(東大)、徳田、大野(広大))



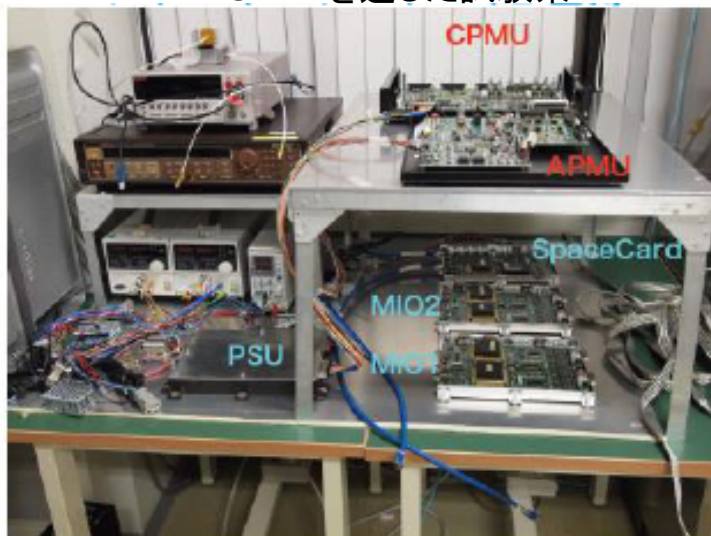
開発状況: BGOシールド信号処理回路



バックグラウンド除去機能検証、FPGAファイナライズ

- BGOシールド信号処理回路の構成、FPGAロジックは HXI と同じ
- HXI full EM 試験 (2013/10~2014/2: 佐藤講演 W123a) を行い、多チャンネル読み出し及び反同時計数によるバックグラウンド除去機能を検証 (徳田講演 W127a)
- FPGA ロジックを fix し、現在フライト基板を製作中

HXI full EM 試験で用いた
AE-DPU-DE を通した試験系

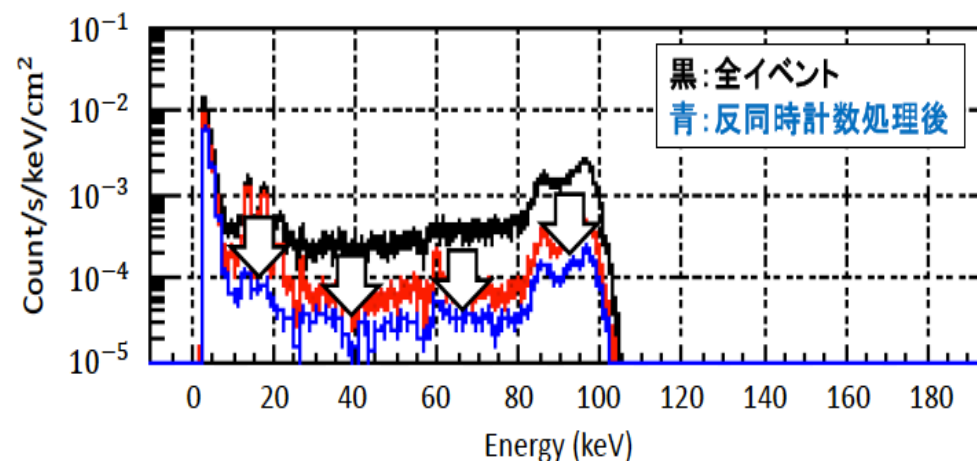


(山岡(名大), 村上(東大), 徳田、大野(広大))

HXI full EM で実測したエネルギー閾値

60 ~ 150 keV (結晶の形状により異なる)

BGOシールド信号の反同時計数で
除去したHXIカメラのバックグラウンドスペクトル



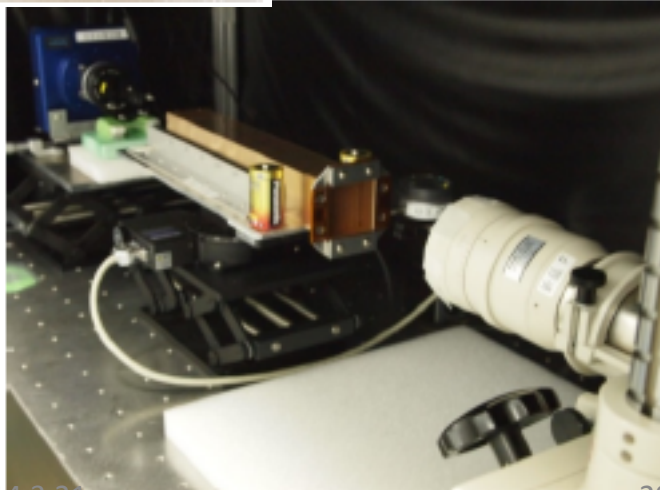
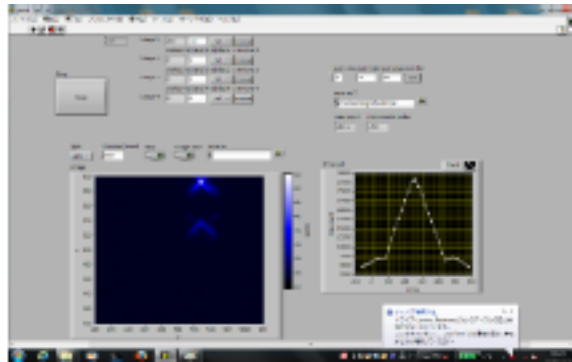
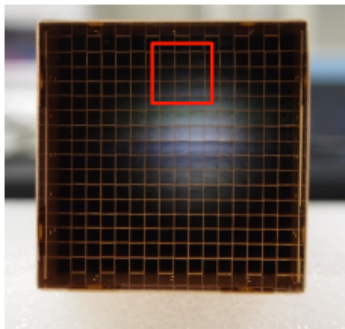


開発状況: ファインコリメーター



FM 品の製造、受け入れ試験

- 2013/12 6本の FM FC 完成、受け入れ試験
- 可視光透過率は誤差の範囲内で全数要求性能(>69.6%:X線透過率>87%)を満たす
- S/N 4 のみ、仕切り板が変形。透過率は要求範囲内だが、機械強度を満たさない可能性があり、再製作。

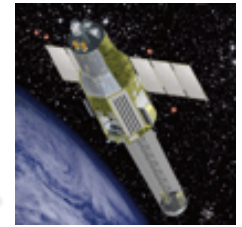


S/N	可視光透過率 (平均、誤差)	透過率合否
1	73.5+/-0.5%	可
2	71.2+/-3.0%	可
3	76.3+/-4.7%	可
4	74.1+/-1.6%	可
5	72.0+/-0.7%	可
6	67.5+/-4.2%	可

(水野、田辺、林 (広島大)、太田、渡辺(ISAS))



まとめ



ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器(SGD)は、狭視野コンプトンカメラという独自のコンセプトにより 60-600 keV において過去最高感度広帯域観測を行う

硬X線~軟ガンマ線領域での偏光観測に期待。Crab, CygX-1 の他にも、観測可能な天体の検討を進めている。

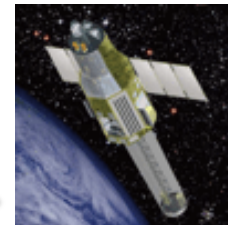
EMの検証は全て終えて、フライト品の製造を行っている。
SGD1-Sのほぼ全てのコンポーネントはフライト品の製造が完了

SGD1-S は現在くみ上げが完了(2014/3/19)。動作確認試験中。
その後筑波に搬入し、衛星との噛み合わせ試験を行う予定

関連講演：内山(W126a: BGOシールド受け入れ試験),
徳田(W127a: シールド信号処理回路機能検証)

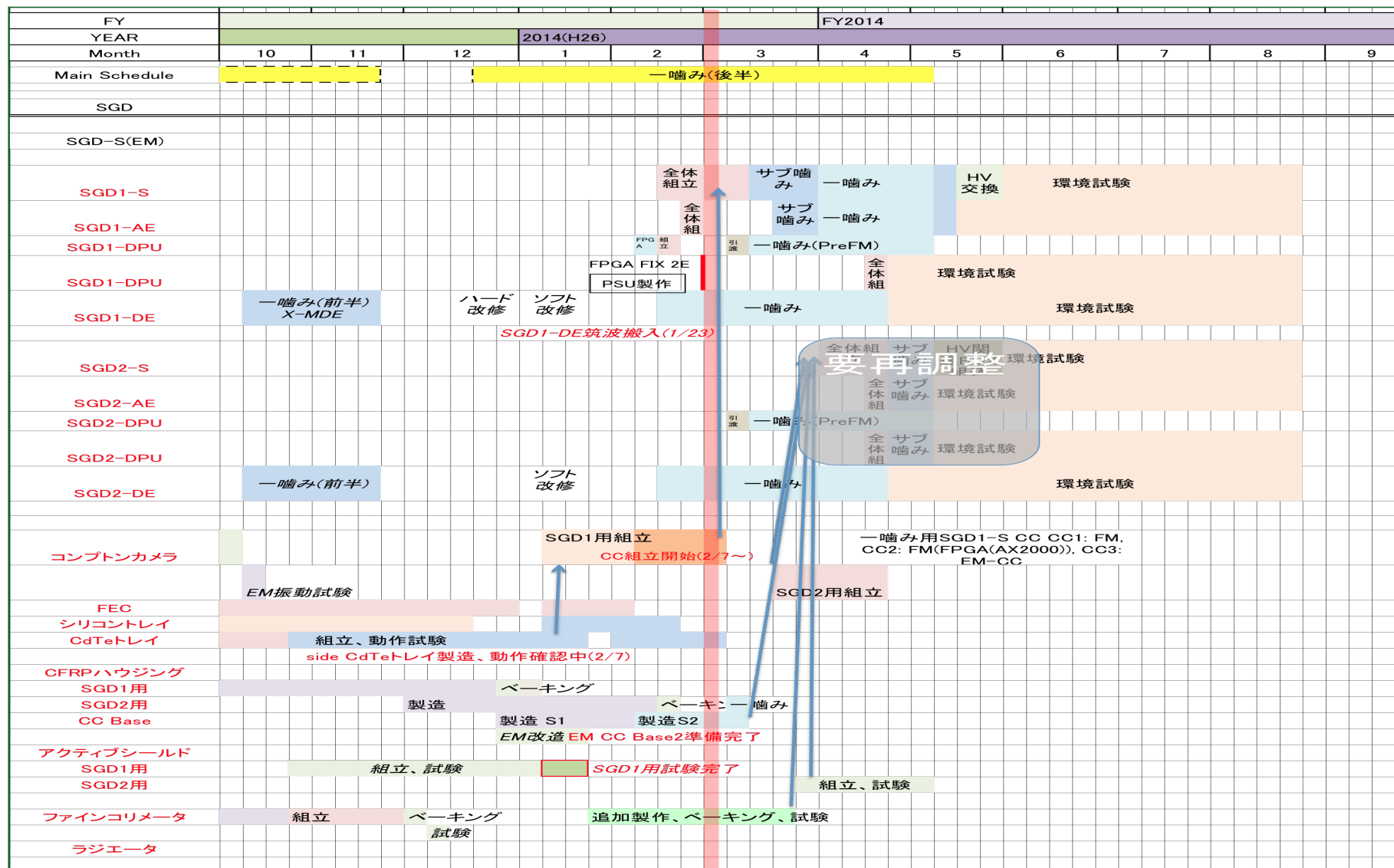
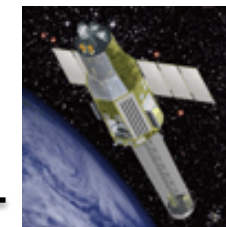


backup



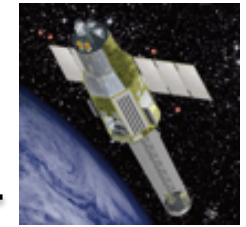


スケジュール





まとめ



ASTRO-H 衛星搭載軟ガンマ線検出器(SGD)は、狭視野コンプトンカメラという独自のコンセプトにより 60-600 keV において過去最高感度広帯域観測を行う

EMの検証は全て終えて、フライト品の製造を行っている。

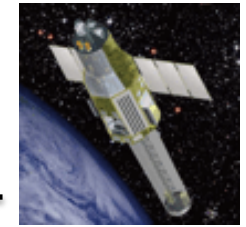
現在、SGD1-Sのほぼ全てのコンポーネントはフライト品の製造が完了

	SGD1	SGD2
SGD-S	3/19組み上げ完了予定	要調整
コンプトンカメラ	3 CC FM 組み上げ完了	製造中
BGOシールド	25ユニットFM品製造完了	製造中
ファインコリメータ-	6 ユニットFM品製造完了 (1本再製作)	
ハウジング	FM品製造完了	製造中
ラジエーター	FM品製造完了	
SGD-AE	EM評価完了 FM品製造中	製造中
SGD-DPU	FM品製造中	製造中
SGD-DE	FM品製造完了	FM品製造完了

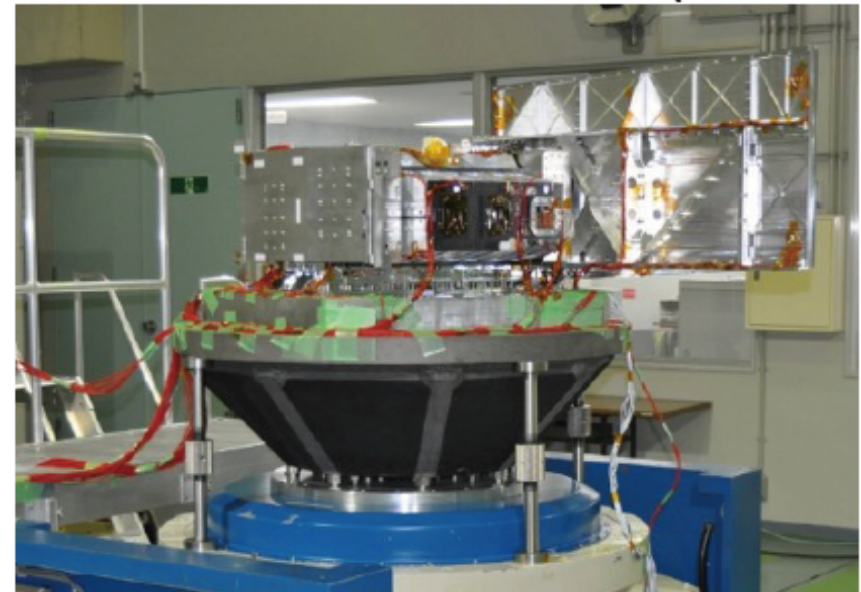
関連講演：内山(W126a: BGOシールド受け入れ試験),
徳田(W127a: シールド信号処理回路機能検証)



開発状況: その他コンポーネント

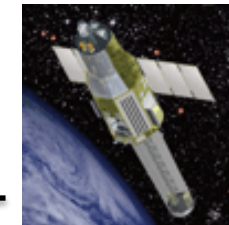


- ❖ ファインコリメーター
 - 衛星MTMでアライメント計測実施
 - **フライト品の製造完了**。ただし、6本中1本で仕様不適合が発生。再製作。
- ❖ ハウジング
 - EM品で熱設計を確認後、**フライト品製造し、製造完了**。
- ❖ ラジエーター
 - EM品の振動試験(2012/6)で高いQ値(>100)を低周波側(18,34,...Hz)で観測。
 - 衛星構造体に影響を及ぼす可能性があり、剛性の強化、支持構造を追加
 - 新設計での振動試験(2013/3-4)で問題無し、**フライト品の製造完了**
- ❖ SGD-AE (CPMU/APMU)
 - カメラ、シールド制御回路ともにEM品で設計、FPGA検証完了。**フライト品製造中**
- ❖ SGD-DPU (MIO1/MIO2)
 - 衛星噛み合わせ試験でFPGA確定予定
- ❖ SGD-DE
 - 衛星噛み合わせ試験で発生した不具合を改修した**フライト品が製造完了**





衛星試験に向けた準備状況



衛星の1次噛み合わせ試験に向けて、フライト品の準備が進められている

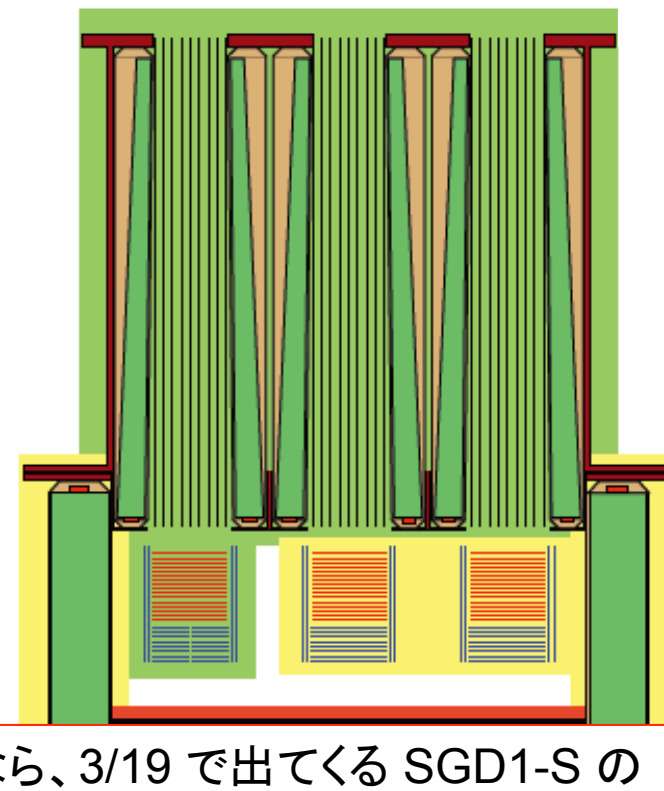
❖ SGD1

- SGD1-S (3/19 完成予定)
 - 3 つすべてFM-コンプトンカメラを搭載
(ただし、HVシステムは1セットのみ)
 - Btmを除いたすべてのFMBGOユニットを搭載
(ただし、読み出しは上部のBGOのみ)
- ➔ 電気試験に必要なほぼ全ての要素は満たす
- SGD1-AE : FM が登場
- SGD1-DPU : pre-FM (3/17 衛星噛み合わせ試験)
- SGD1-DE : すでにFMが登場済み

❖ SGD2

- SGD2-S
 - ハウジングのI/F fitting check のみ
 - MTMを用いる予定
- SGD2-AE: 無し
- SGD2-DPU : pre-FM
- SGD2-DE : すでにFMが登場済み

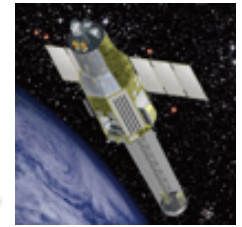
緑: 搭載&信号読み出し
黄色: 搭載
赤: 未搭載



可能なら、3/19 で出てくる SGD1-S の
写真を載せたい

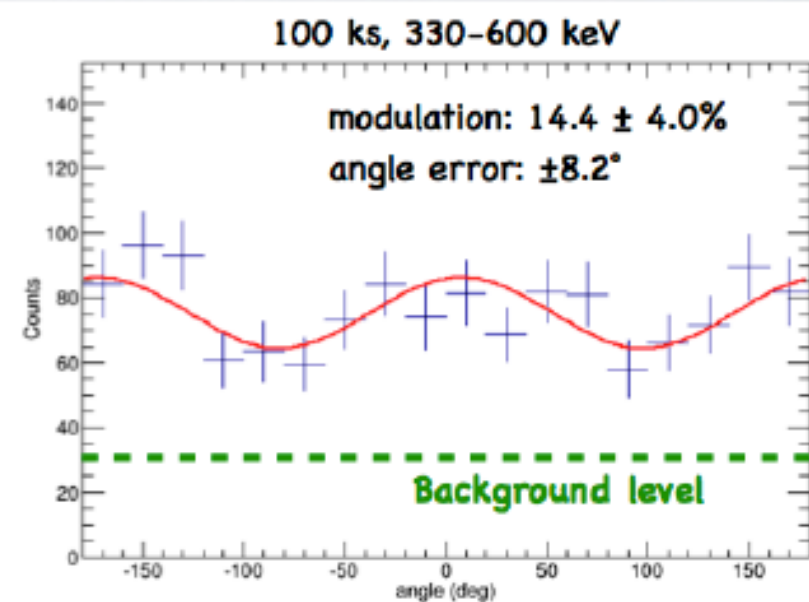
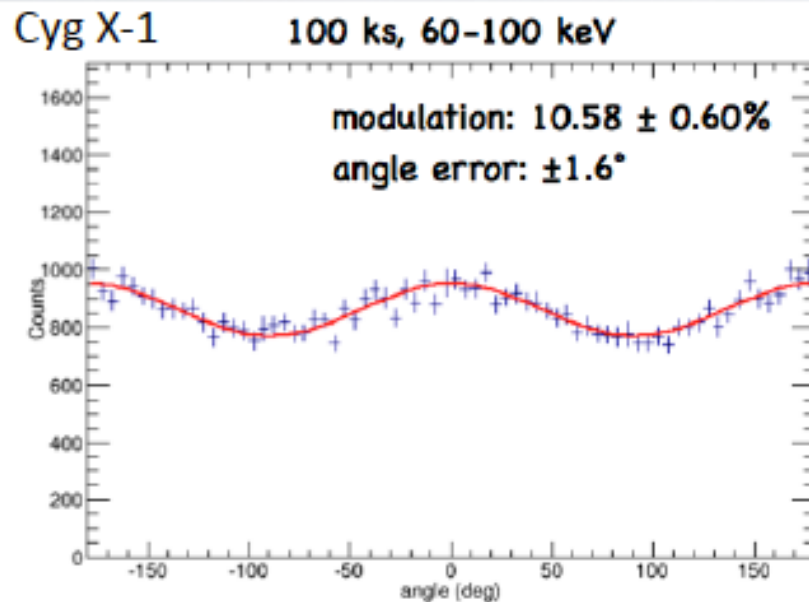


SGDによる偏光観測



Science case 1: galactic microquasars

- Microquasars : 系内BHジェット天体。ジェットが視線方向を向いている
- ジェットからの non-thermal (synchrotron) 放射が 硬X-軟ガンマ線まで伸びている可能性
- Cyg X-1 : INTEGRAL-IBIS による報告 (Laurent et al. 2011, Jourdain et al. 2012 ; ~76%)
- SGD によって、広帯域で偏光の有無を検証できると期待される



(小高, Stawartz (ISAS), 水野(広島))