



P2-5: ASTRO-H搭載軟ガンマ線検出器 (SGD)の開発

渡辺伸^{1,2}, 田島宏康³, 深沢泰司⁴, 一戸悠人^{1,2}, 内田悠介^{1,2}, 内山秀樹⁵, 内山泰伸⁶, 榎戸輝揚⁷, 太田方之¹, 小高裕和¹, 大野雅功⁴, 片岡淳⁸, 川原田円¹, 河野貴文⁴, 国分紀秀¹, 小林翔悟², 小山志勇⁹, 斎藤新也^{1,2}, 齊藤龍彦⁸, 櫻井壮希², 笹野理², 佐藤悟朗^{1,7}, 佐藤有^{1,2}, 佐藤理江¹, 渋谷明伸³, 高橋忠幸^{1,2}, 高橋弘充⁴, 武田伸一郎¹, 田代信⁹, 田中孝明¹⁰, 田中康之⁴, 田邊利明⁴, 寺田幸功⁹, 東郷淳^{1,2}, 徳田伸矢⁴, 富塚慎司³, 鳥井俊輔², 中澤知洋², 中野俊男², 中村竜⁴, 中森健之¹¹, 野田博文², 萩野浩一^{1,2}, 林克洋¹, 林孝典⁴, 原山淳¹, 福山太郎^{1,2}, 古井俊也⁴, Roger Blandford¹², 牧島一夫², Grzegorz Madejski¹², 三宅克馬², 水野恒史¹³, 村上浩章², 森國城¹, 谷津陽一¹⁴, 山岡和貴³, 湯浅孝行¹, 米徳大輔¹⁵, Philippe Laurent¹⁶, Olivier Limousin¹⁶, Francois Lebrun¹⁶

1:ISAS/JAXA, 2:東京大・理, 3:名古屋大・STE研, 4:広島大・理, 5:静岡大・教, 6:立教大・理, 7:理研, 8:早稲田大・理工, 9:埼玉大・理, 10:京都大・理, 11:山形大・理, 12:KIPAC/Stanford, 13:広島大・宇宙科学セ, 14:東京工業大・理, 15:金沢大・自然, 16:CEA-DSM-IRFU

Abstract

ASTRO-H衛星搭載軟ガンマ線検出器(SGD)は、硬X線から軟ガンマ線に至るエネルギー領域の観測を担う。狭視野のコンプトンカメラのコンセプトに基づき、コンプトン運動学の制限をバックグラウンド除去に使用し、低バックグラウンド、高感度観測を達成する。コンプトンカメラは、シリコン半導体とテルル化カドミウム半導体からなり、読み出しに高機能の低雑音LSIを採用し、エネルギー分解能とコンパクトさを追求している。コンプトンカメラのまわりには、BGOシンチレータが配置され、目標天体以外のガンマ線、宇宙線起因のバックグラウンドを低減させる。これまでに、衛星搭載形態と同じ試作機における環境試験、性能確認試験を完了し、衛星搭載品の開発を行っている。

検出器概要: SGDは、BGOによるアクティブ・シールドに囲まれたコンプトン・カメラである。(図1参照) コンプトン・カメラは、シリコン(Si)とテルル化カドミウム(CdTe)検出器で構成され、Si中でコンプトン散乱された光子をCdTeで吸収する事によって、入射光子を検出する。この際、散乱での反跳電子のエネルギー(E₁)と吸収光子のエネルギー(E₂)は、散乱角(θ)と以下の関係式で関連づけられる。

$$\cos \theta = 1 + \frac{m_e c^2}{E_1 + E_2} - \frac{m_e c^2}{E_2}$$

θは、コリメータで規定される入射角と散乱・吸収位置からも測定可能なため、その整合性を要求することで、コリメータの方向から来ない放射化等に起因する光子や中性子のランダムな2回散乱によるBGを排除できる。原子番号が小さいSiを散乱体に採用することで、比較的低エネルギーでのコンプトン散乱を可能にすると共に、原子に束縛された電子の運動によるθの不定性を最小にする。原子番号が大きいCdTeを吸収体とすることで高エネルギーでの感度を確保する。SGDでは上記のコンプトン・カメラを6台搭載することで、後述の要求性能を達成する見込みである。

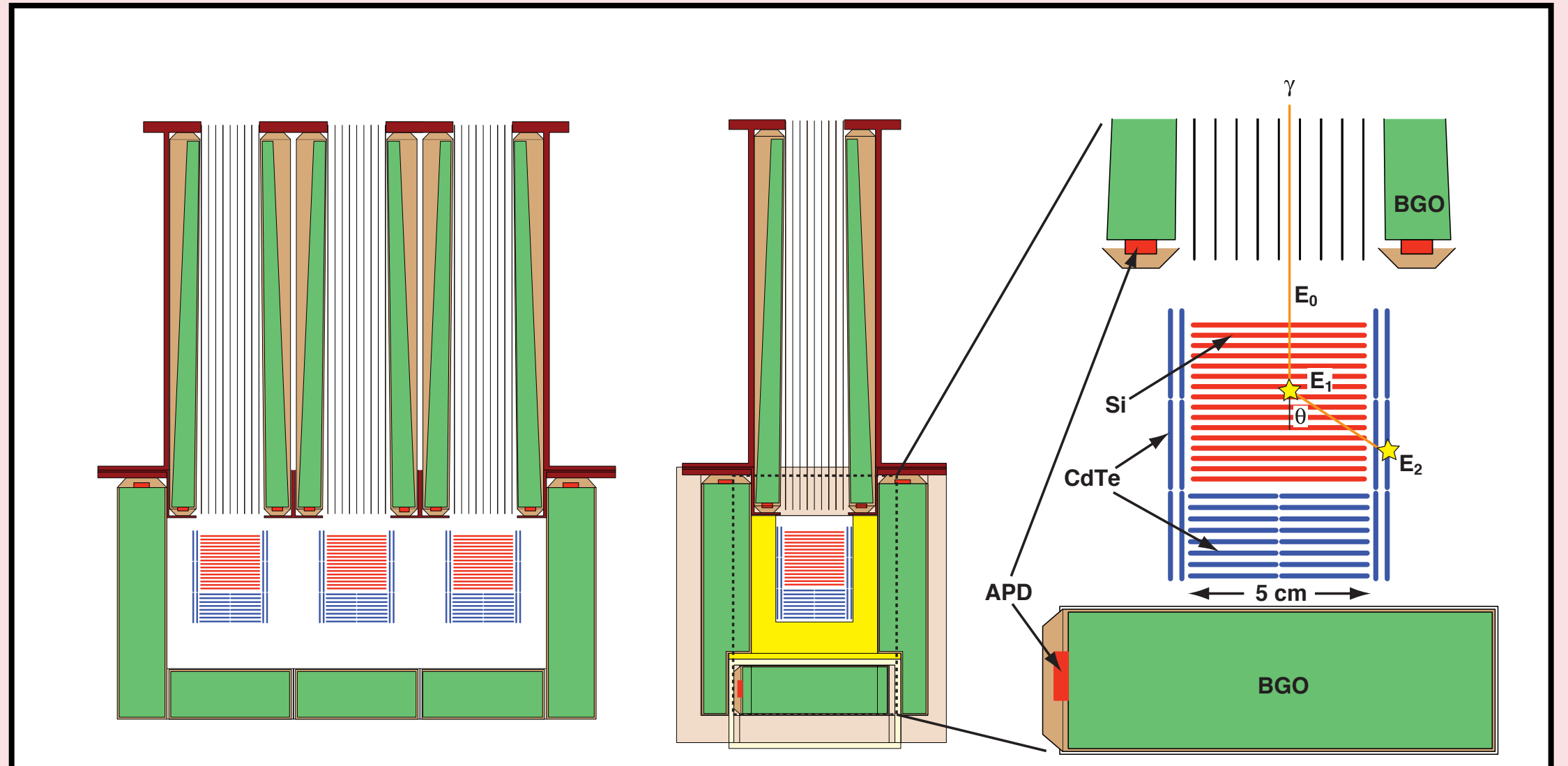


図1 ASTRO-H/SGD概念図

要求性能・期待される科学的成果: SGDでは、様々な天体における**粒子加速**とそれに伴う**非熱的放射・加速の最高エネルギー**などの研究や電子・陽電子対消滅による511 keV輝線の起源の特定他、SGDで始めて可能になる**非熱的制動放射**を通じた粒子加速の観測・軟ガンマ線領域における**偏光観測**などを科学的主目的とする。そのためには、「2から10 keVでのX線強度がかに星雲の1000分の1程度で、べき1.7を持つ巨大ブラックホールのスペクトルを、600 keVまでの帯域で観測可能な感度で、10個以上取得する」ことが要求される。図2に示すシミュレーションでは、BATの観測エネルギー領域において12番目に明るい**活動銀河核(AGN)**であるNGC 3783をHXIとSGDで100 ks 観測した場合のシミュレーションによるスペクトルを示す。このシミュレーションによって、10%程度の精度でべきが測定できることを確認しており、それらの数100 keV領域でのスペクトルの折れ曲がりの有無から、AGNでの軟ガンマ線の放射機構の謎(降着円盤起因の放射もしくはジェット中の相対論的な速度を持った電子からの放射)に決着をつけることが期待される。AGN他にも10個以上の**X線パルサーやマグネター**で軟ガンマ線領域の放射機構の解明に寄与することが期待される。またSGDは、40-200 keV領域での偏光に感度を持ち、数個の銀河系内ブラックホールや中性子星・AGNからの**ガンマ線の偏光**を検出・測定することで、これらの天体でのガンマ線放出機構に新たな知見をもたらす可能性がある。かに星雲の10分の1のX線強度を持ち100%偏光した天体を100 ks観測した場合のシミュレーションで得られた方位角分布を図3に示す。10σ以上の有意性で偏光を検出できる事を確認した。AGNからのガンマ線の偏光を検出することは、**ローレンツ不変性の破れ**に対する強い制限を与えることができ、基礎物理学的インパクトも大きい。上記の科学的成果他、**CXB (宇宙X線背景放射)の起源・超新星残骸での粒子加速・銀河系中心付近での硬X線の起源・銀河団からの非熱的放射の観測**などへの貢献が期待される。

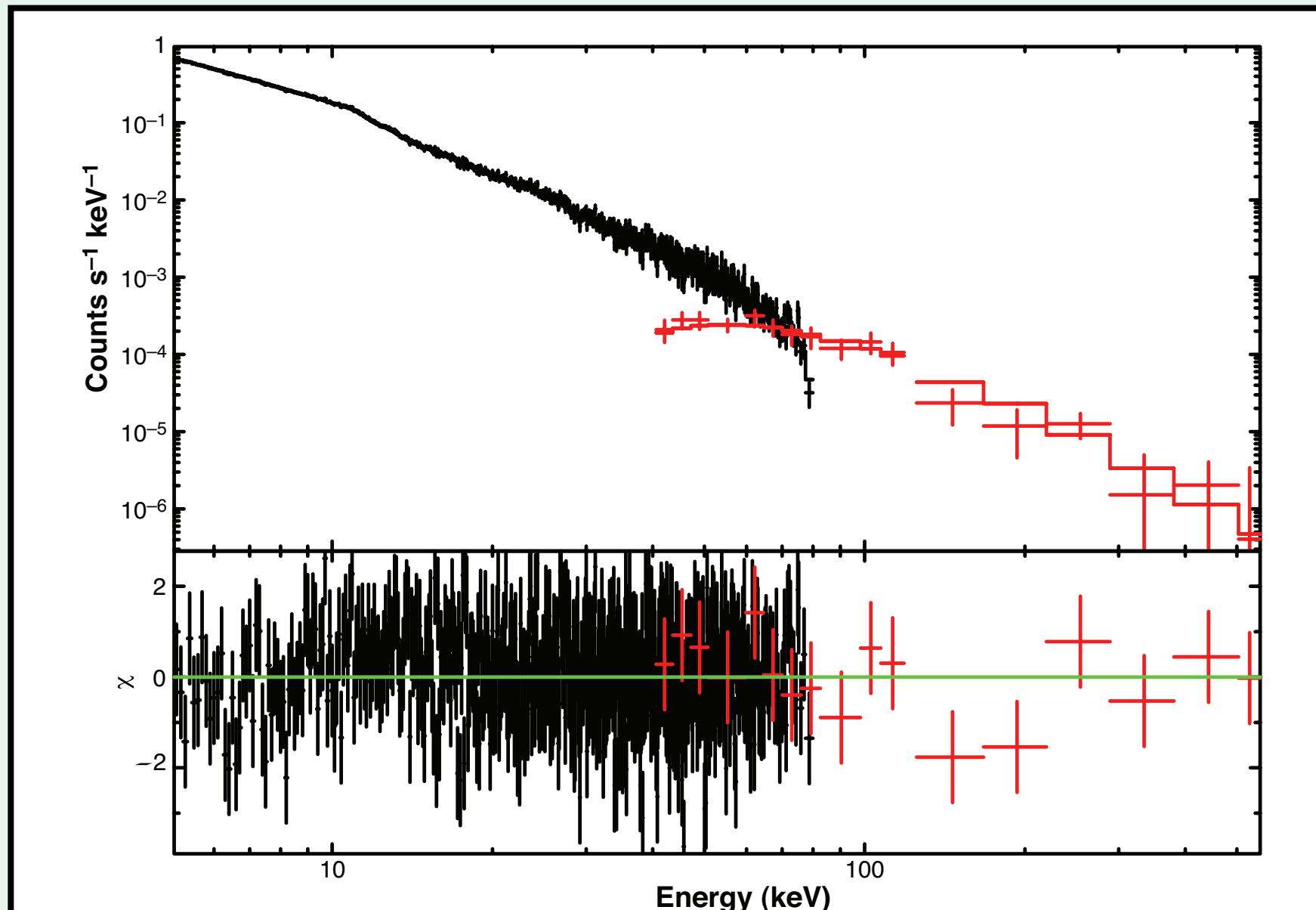


図2 NGC 3783をASTRO-H搭載のHXI(黒)とSGD(赤)で100 ks観測した場合のシミュレーション結果

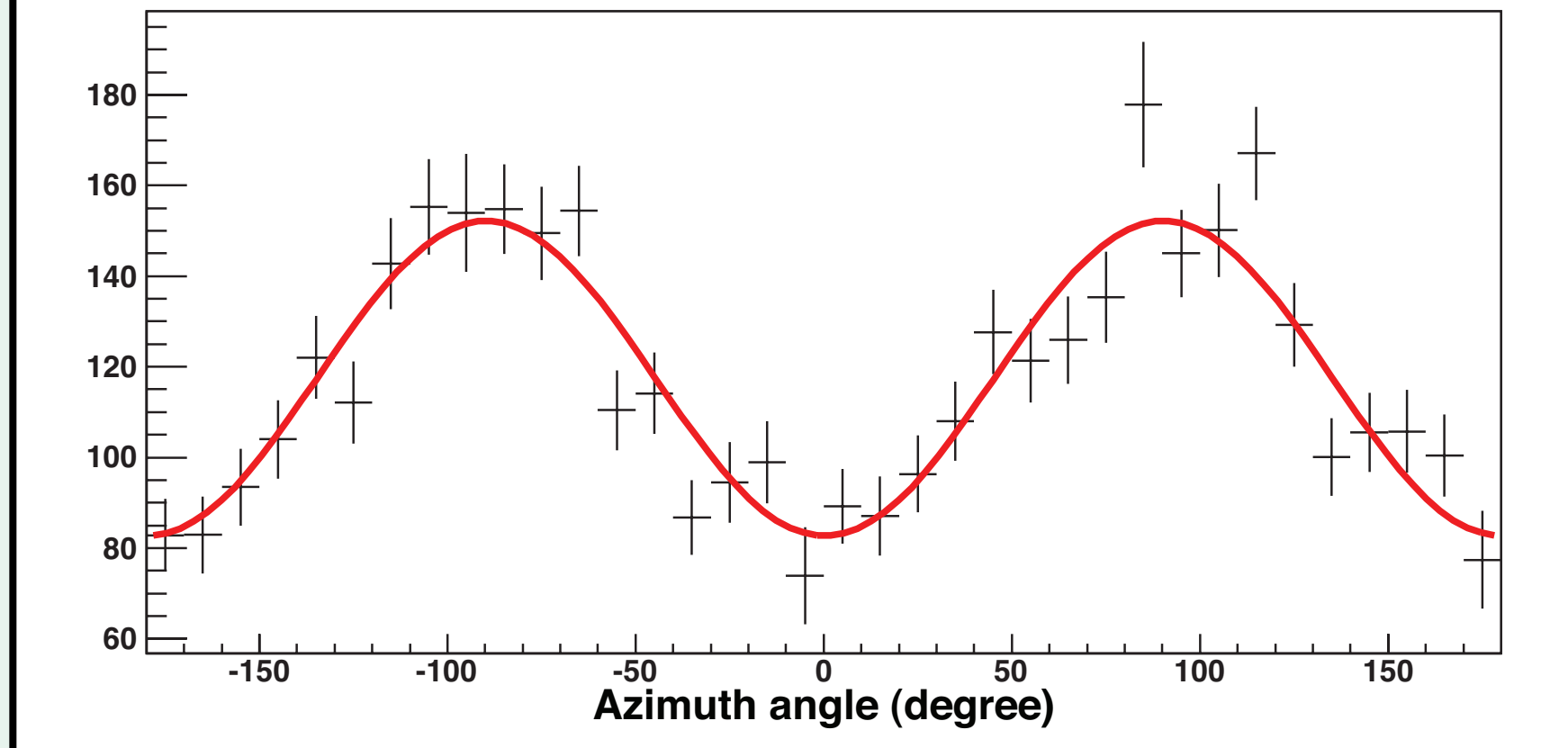


図3 かに星雲の10分の1のX線強度を持ち100%偏光した天体を100 ks 観測した場合のシミュレーション

開発状況:

コンプトン・カメラ開発: SGDのコンプトンカメラのフル構成の試作機を一台、完成させた(図4)。振動試験を行ったところ、CdTeのバンプ接合に問題があることが判明した。接合方法の見直しを行い、再度、振動試験、高周波衝撃試験を実施し、機械環境耐性を確認した。また、測定試験の結果を基にモンテカルロシミュレータのチューニングを行い、現時点での性能を評価した。図5はその一例で、SGDの有効面積を見積もったものであり、要求性能を満たしていることを確認した。

SGD-S機械設計検証: SGD-SのCFRP製ハウジング、MLI、ラジエータなどのエンジニアリングモデルを製作し、機械設計の検証を行なってきた。2012年度、実施した振動試験により、ラジエータ部、および、ラジエータ支持部で補強が必要ながことが判明していた。本年度、これらの部分の補強のため、設計変更を行い、再度、

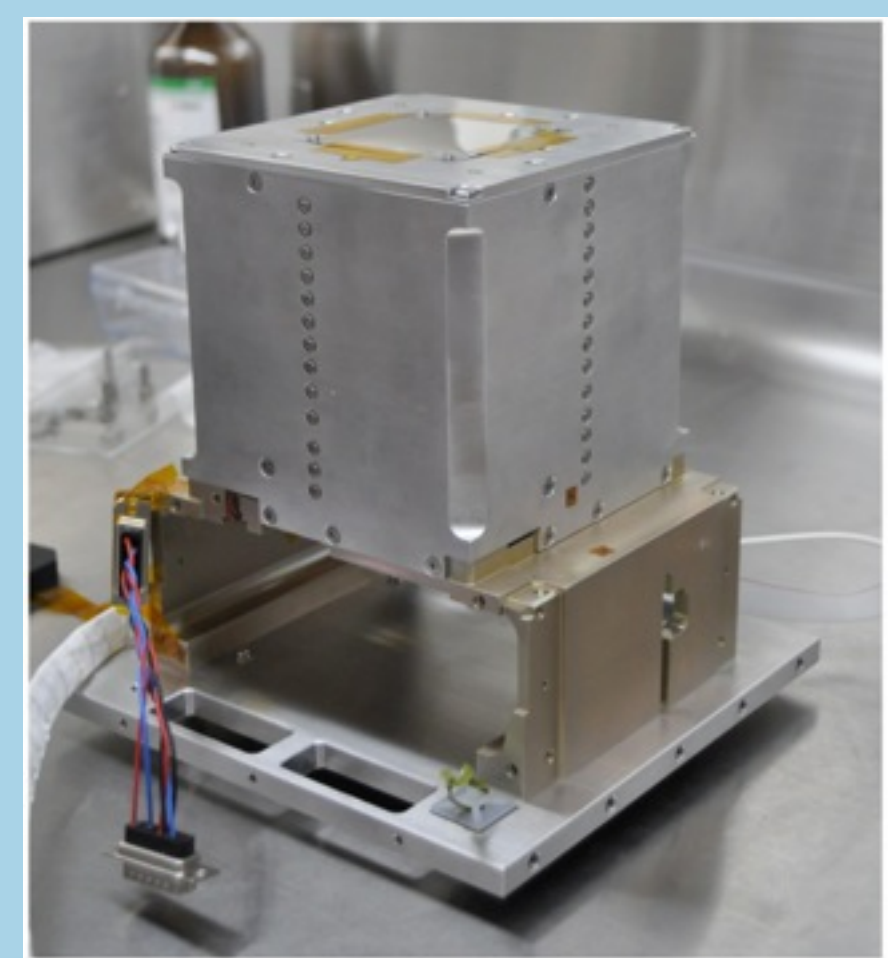


図4 コンプトンカメラ試作機

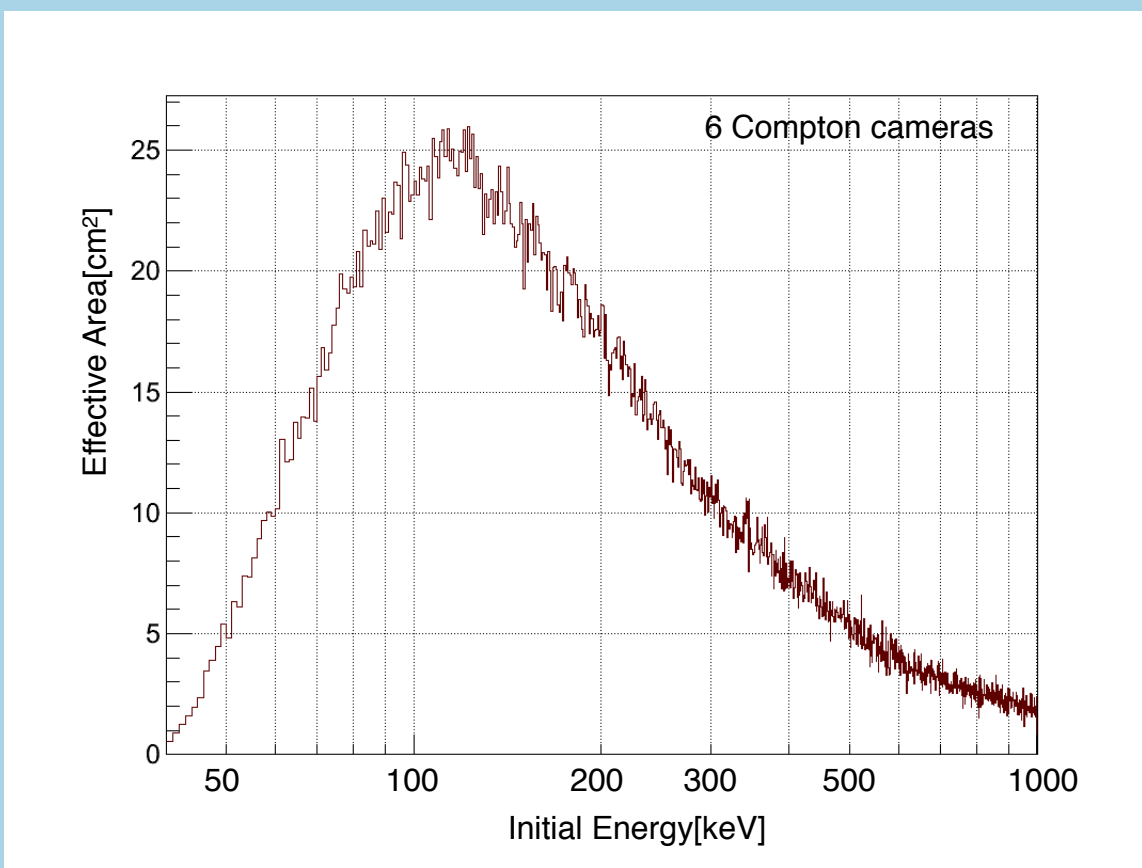


図5 SGDの有効面積。コンプトンカメラ6台分。ASTRO-Hに搭載されるSGD1,SGD2を合わせたもの。観測要求を基にした性能要求である20cm²以上@100keVを満たす。

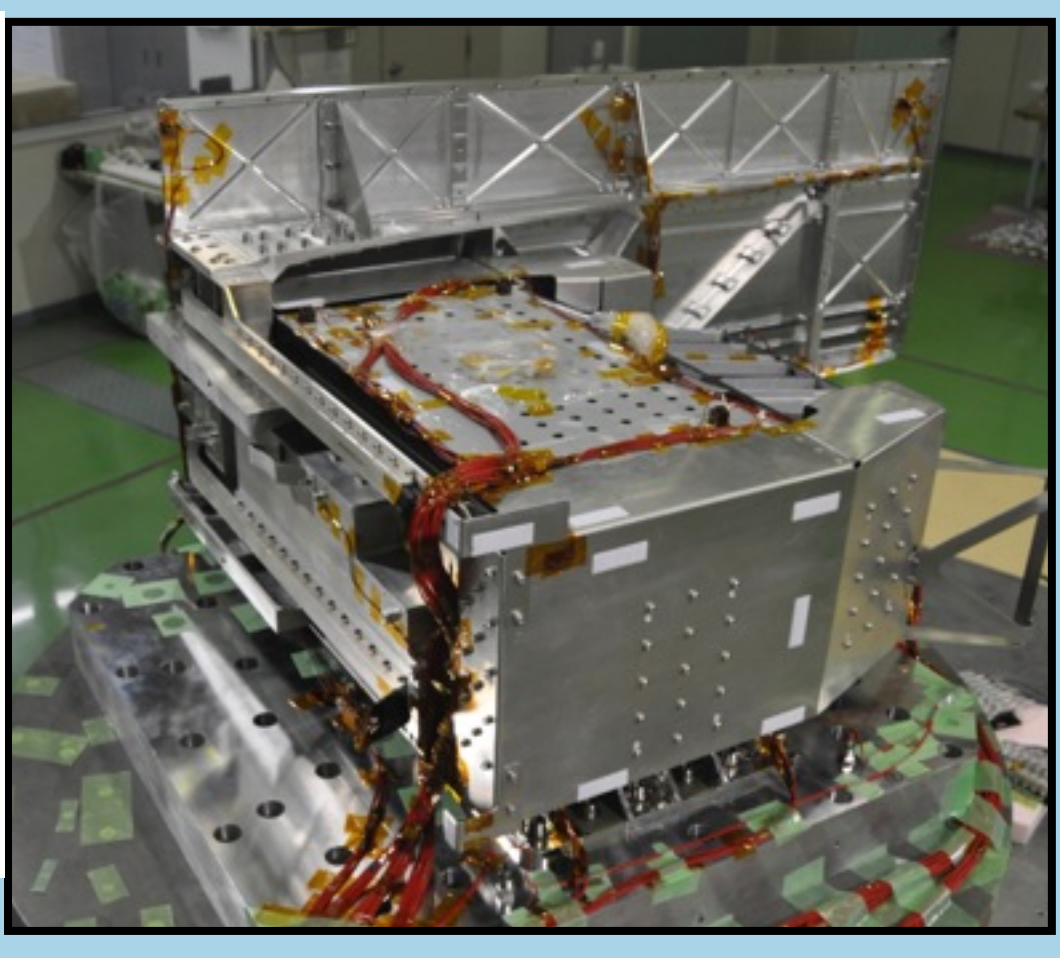


図6 SGD-S振動試験の様子。



図7 音響試験に向かうASTRO-H衛星MTMとそれにとりつくSGD-Sエンジニアリングモデル。

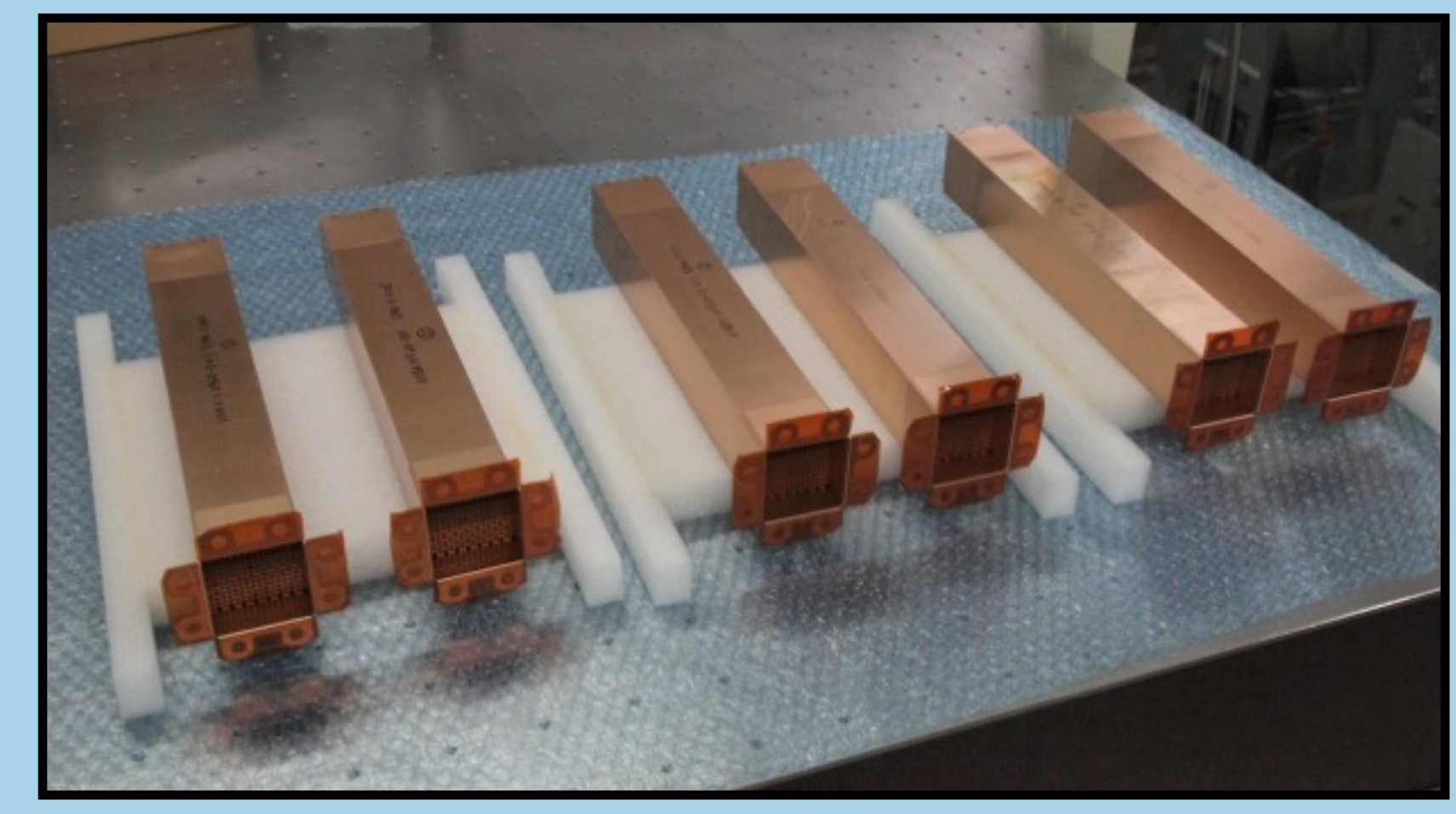


図8 完成したフライトモデルのファインコリメータ

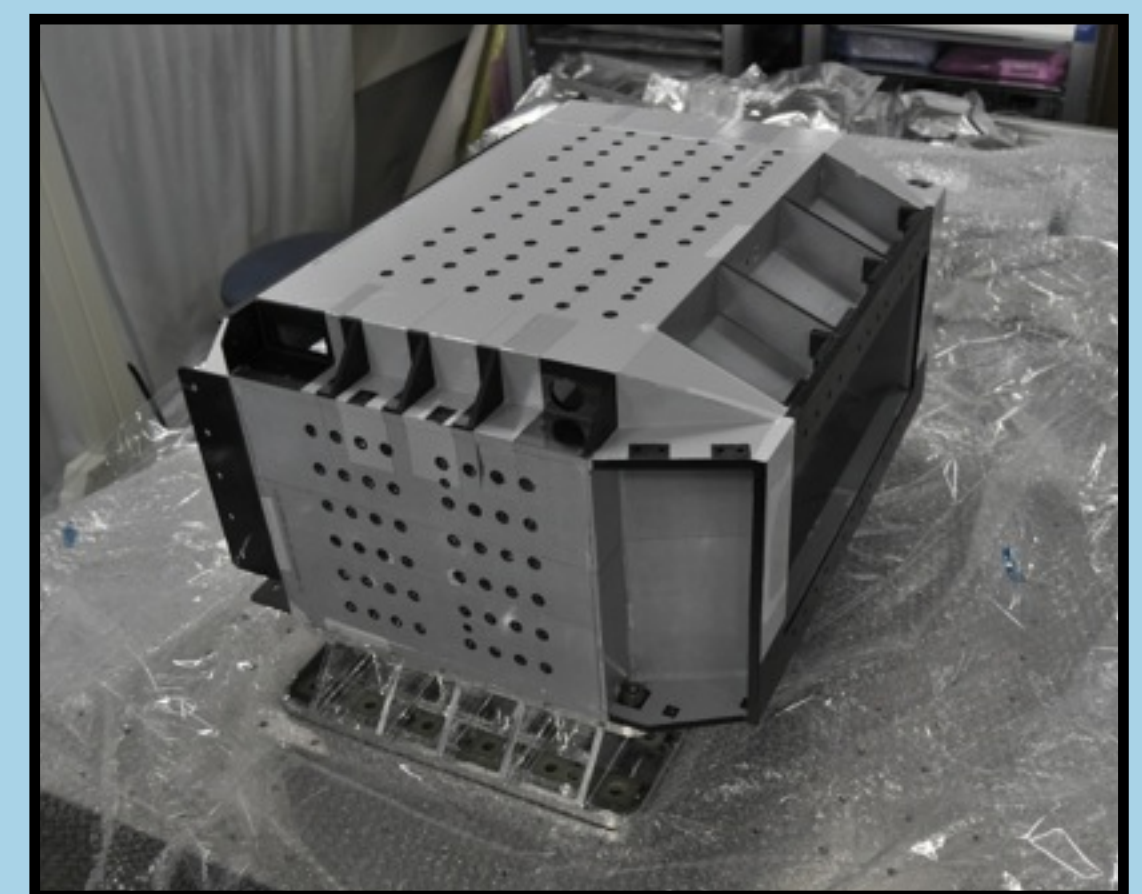


図9 完成したフライトモデルのCFRPハウジング