

Present Status of Large Area Polarimeter (LEAP) Project

S. Gunji, Y. Saito, T. Nakamori, (Yamagata Univ.), M. McConnell (UNH), J. Gaskin, B.D. Ramsey (NASA/MSFC), T. Mihara (RIKEN), K. Hayashida (Osaka Univ.), S. Kishimoto, Y. Kishimoto(KEK), D. Yonetoku (Kanazawa Univ.), K. Toma (Tohoku Univ.), T. Sakamoto(Aoyama Gakuin), Y. Saito (JAXA), H. Takahashi (Hiroshima Univ.), and Y. Yatsu (Tokyo Tech.)

Abstract: 現在我々はガンマ線バーストのエネルギー輻射メカニズムを明らかにするため、国際宇宙ステーションに大型のガンマ線バースト偏光度検出器を搭載し、数年に渡って数10個程度のガンマ線バーストに対して偏光観測を実現する計画を立案してた。この計画をLEAPと呼ぶ。2016年12月にNASAのMission of Opportunityに応募したが、残念ながら採択には至らなかった。国際宇宙ステーションの正式な運用期限が2024年であるため、検出器のデザインの変更を視野に入つつ新たなプラットフォームを現在模索中である。

Motivation

ガンマ線バースト(GRB)の発見からおよそ50年が経ち、今まで様々な観測がなされてきたが、GRBには未だ未解明の問題が多く残されている。特にガンマ線バーストの輻射メカニズムは未解明の問題の最たるものである。標準的なファイアーボールモデルでは、火の玉が光速の99.999%でジェット状に吹き出し、そこからガンマ線も放射されていると考えられているが、詳細は明らかで無い。しかしガンマ線放射には2つのメジャーなモデルがある。一つはシンクロトロンモデルと呼ばれるもので、もう一つがフォトスフィアモデルと呼ばれるモデルである。シンクロトロンモデルは内部衝撃波によって熱化された電子が磁場に絡みつき、シンクロトロン放射を起こすというモデルであり、フォトスフィアモデルは光学的に薄くなってきた火の玉から、ガンマ線が散乱されながら漏れ出すというモデルである。両者の違いを見分けるには、ガンマ線の偏光観測が非常に有効だと予想されており、シンクロトロンモデルの場合、磁場が揃っている場合には高い偏光度(40%程度)を持ったガンマ線が輻射される可能性があり、フォトスフィアモデルでは偏光度が低い(~10%未満)と考えられる。実際に2010年にIKAROSに搭載されたGAPという小型のガンマ線バースト偏光度検出器は1.5年の間に30例程度のガンマ線バーストを捕らえ、

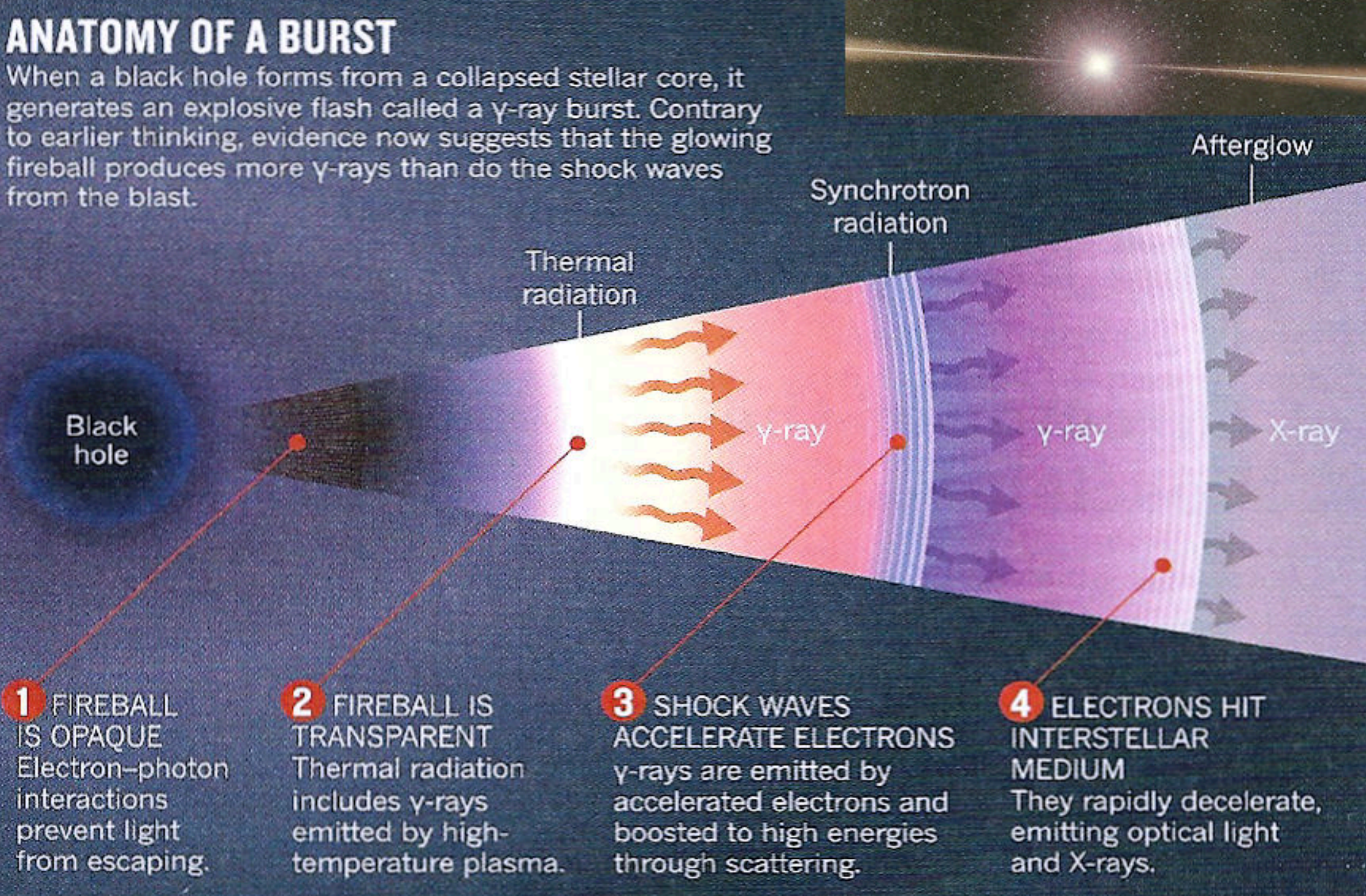


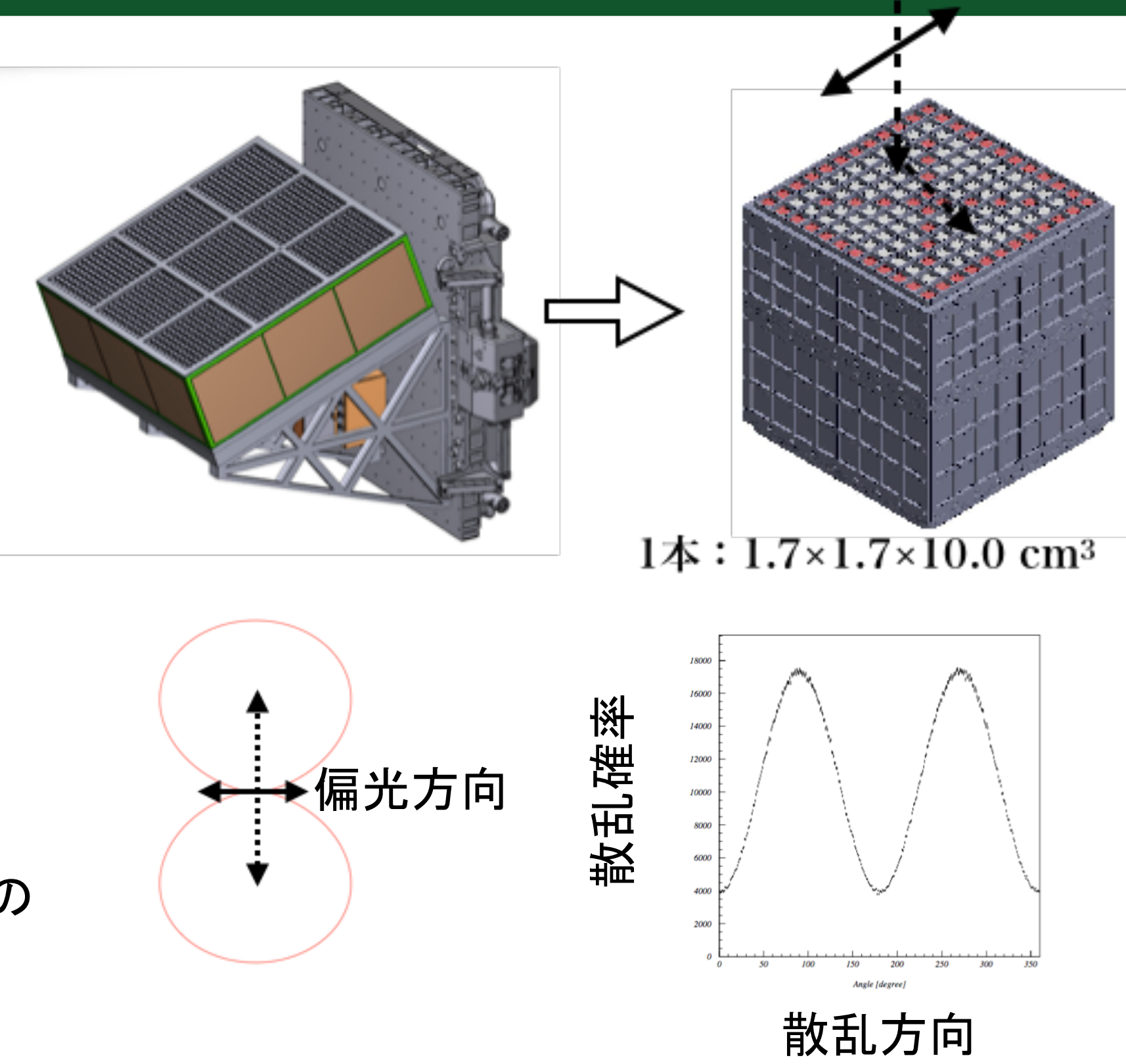
Figure.1 (<http://universe-review.ca/I08-08-GRB.jpg>)

その中の3例に対しては偏光測定を行う事ができた。特にその中の2例に関しては、非常に高い偏光度が観測された事から、整列した磁場によるシンクロトロン放射が有力だと考えられるが、例が少なく偏光度の誤差も大きいことから確実な事がまだ分かっていない。そこで、我々はより大型で高性能のGRB偏光度検出器を開発し、それを宇宙ステーションに搭載する計画を立案した。これがLEAP計画である。

LEAP Project

コンプトン散乱型の偏光計を数モジュール宇宙ステーションに搭載し(ELC3)、2年間で100個近いGRBの偏光観測を目指す。右図は9モジュールの偏光計がフラムに取り付けられた図。またその右には1モジュールの検出器の図が描かれている。1モジュールは144本のシンチレーターで構成されており、プラスチックシンチレーター84本、CsI(Tl)60本が各々光電子増倍管に取り付けられている。

入射ガンマ線は偏光方向に散乱されやすい。そのため散乱位置と吸収位置を検出すれば、ガンマ線の偏光方向の情報を取得できる。左図は、紙面に垂直にガンマ線が入射した場合の散乱ガンマ線の分布を示している。



検出器のパラメーターは以下の通りである。なお、LEAPは側面に存在するCsI(Tl)のカウントレートを利用して、ガンマ線バーストが起こった方向を粗いながらも測定する事ができる。モジュレーションファクターとは偏光度がどの程度クリアに測定できるのかを表した指標であり、GAPでは30%程度であった。

検出面積	240cm ² @1モジュール、2160cm ² @9モジュール
エネルギーレンジ	50 keV~500 keV
モジュレーションファクター	~42%@100 keV
検出効率	~22%@100 keV
視野	±60度 (πステラジアン)
方向決定精度	正面から45度以内は10度以下
偏光検出ができるGRBの数	~80個/2yrs(20%偏光している場合)

LEAPの役割分担: P.I.はニューハンプシャー大学のM. McConnell博士
日本側は、1)シミュレーションでの性能評価、2)検出器のキャリブレーション、3)日本のデータセンターの立ち上げを行う予定であった。しかし、以下のタイムテーブルが示すように、残念ながらアメリカ側、日本側ともにプロポーザルが通らなかった。

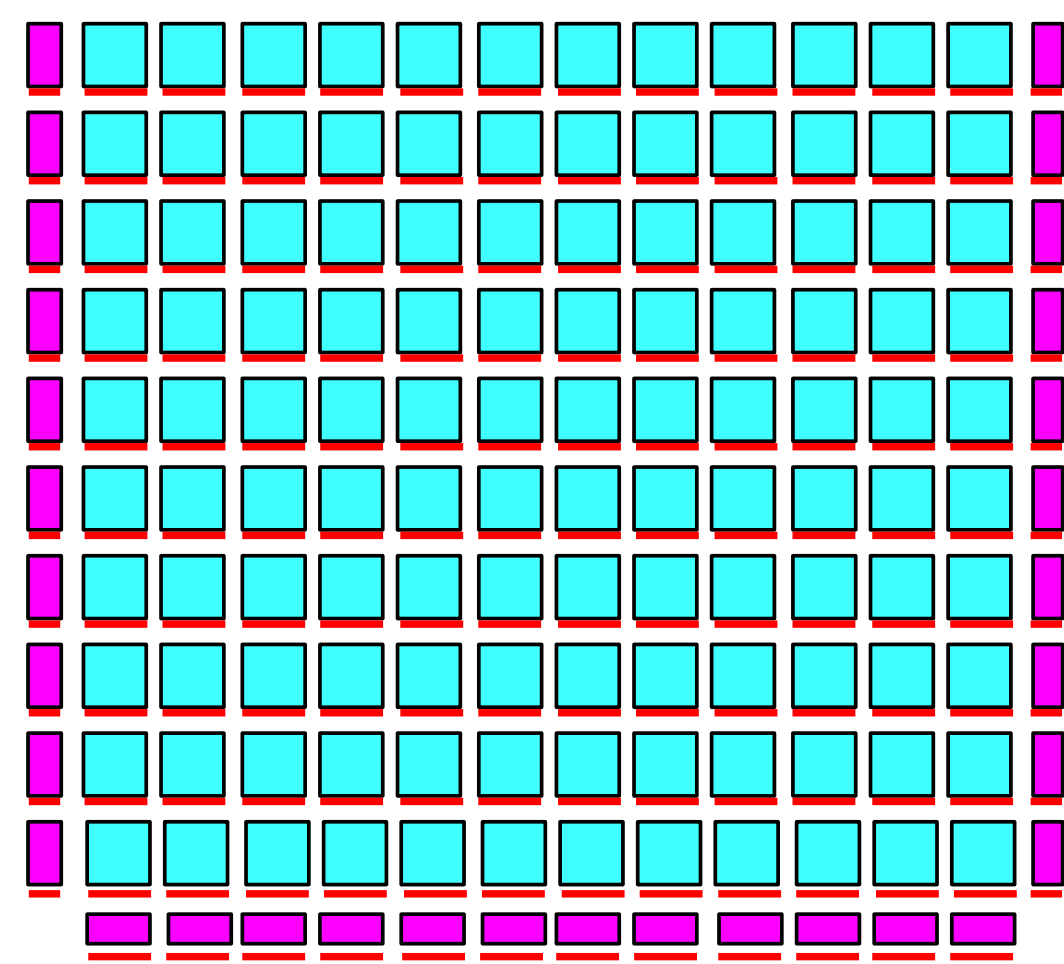
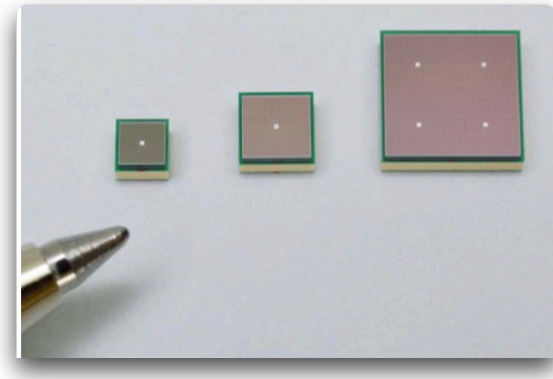
アメリカ側のプロポーザルが採択されなかった理由として検出器の重量マージンや気球実験での検証が不十分との指摘があった。しかし物理目的は評価され、Category-2(もう少しで採択)と評価されたため、再チャレンジする事とした。しかし、国際宇宙ステーションの正式運用が2024年までであるため、別の飛翔体(SMEX or MIDEX)を現在検討している。特にSMEXの場合には精々検出器として200kg程度しか搭載できないため、検出器を軽量化する新たなデザインを行う必要がある。

Nov.2014: コラボレーションを非公式にスタート
Aug.2015: 山形大学とNASA/MSFCの間でIVRPを締結
Nov.2016: JAXAでLEAPのWGが認められる。
Dec.2016: MoOにプロポーザル提出
Jan.2017: JAXA小規模計画への応募
Jul.2017: JAXA小規模計画に不採択
Aug 2017: 残念ながらMoOは不採択。

新たな検出器デザイン

より小さな有効面積で高い性能を発揮するために散乱体をプラスチックとして、吸収体をCsI(Tl)とした右図で示されたコンプトンカメラが開発できないか現在検討中である。
もしプラスチックシンチレーターを散乱体としたコンプトンカメラを開発するには、非常にコンパクトな光デバイスが必要となる。そこで、現在我々はMulti Pixel Photon Counter (MPPC)という新しいデバイスに着目しプラスチックシンチレーターにおける低エネルギーデポジットの読み出し実験を行っている。

右の写真はMPPCで、2mm、3mm、6mm角の3タイプが示されている。電極は下側に付いており、リフロー炉を使って接着する。



水色がプラスチックシンチレーター
ピンクがCsI(Tl) or GAGG(Ce)
赤がMPPC光検出器

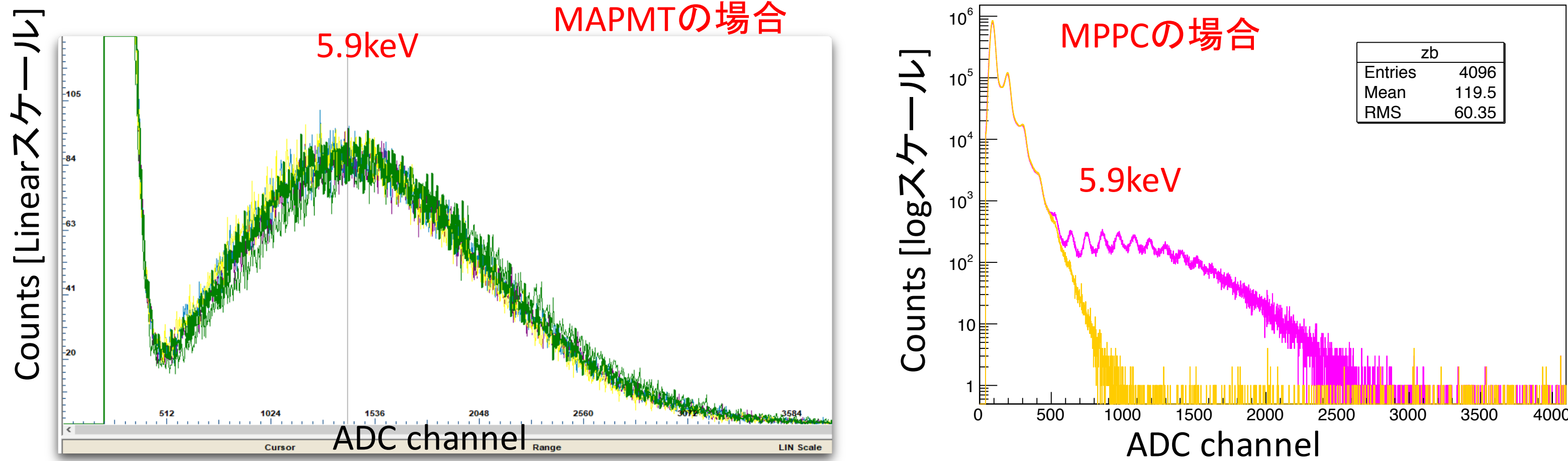
MPPCのテスト実験

MPPCはPMT同様1フォトンの光を読み出すことができ、かつPMTと違い60V程度で動作させる事ができ、質量も1000分の1程度と非常に軽い。しかし、2つの問題点が存在する。1つは1フォトンのノイズレートがPMTに比べて非常に高いこと。もう1つは放射線耐性がPMTに比べて低いことである。そこで我々は最新のMPPCであるS13360-2050VEを使い前者に関連した試験を現在行っている。放射線耐性に関しては来週放射線医学総合研究所で実験を行う予定である。

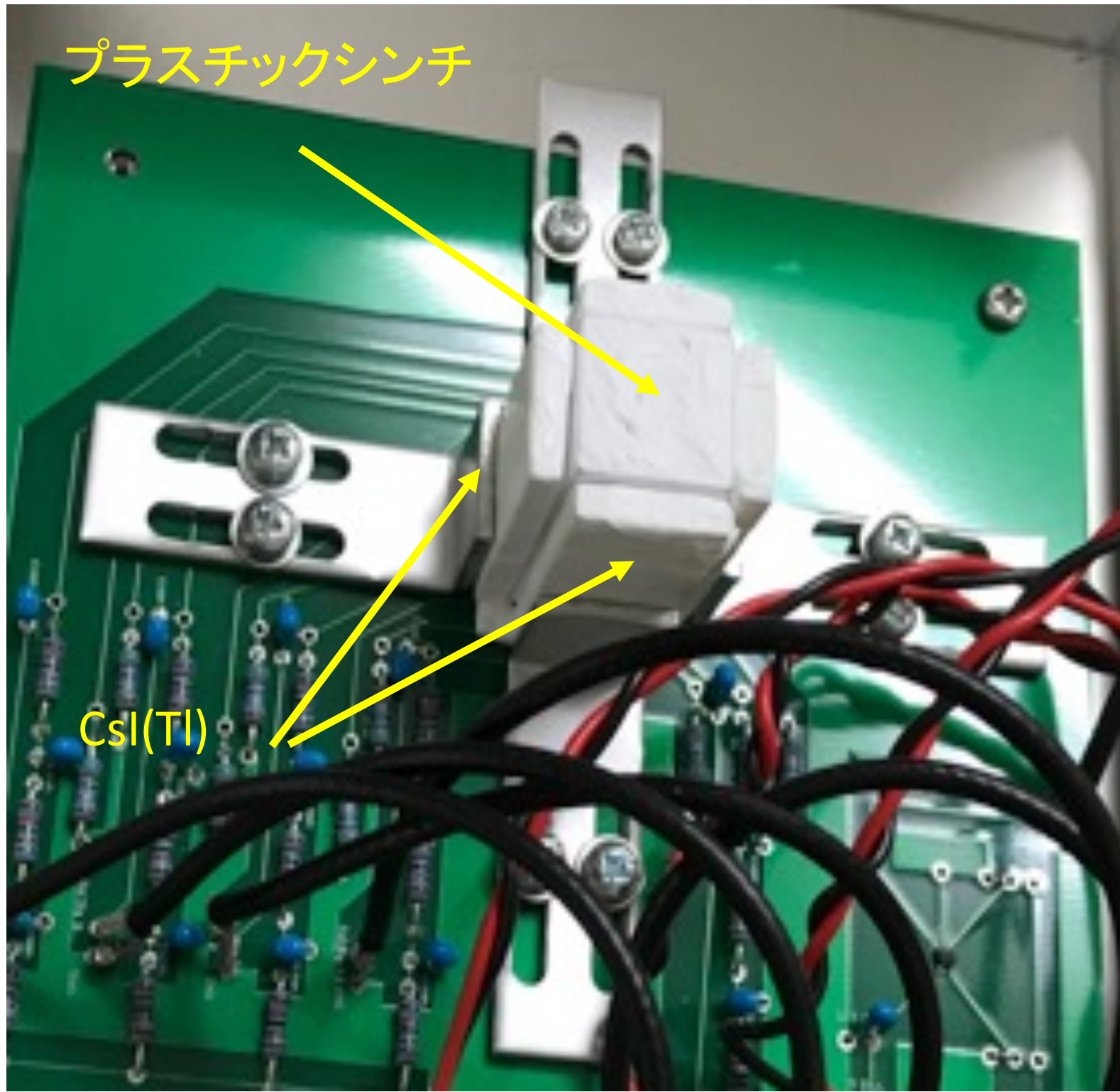
1)まずMPPCに取り付けるためのプラスチックシンチレーターとして最適なものを基礎実験と計算から調べた。その結果、MAPMTではEJ-204というプラスチックシンチレーターが最適であったが、MPPCの場合にはEJ-208の方がノイズと信号の分離度が高いことが分かった。

2)反射材として従来から使われてきたESRに、UVコートをして、集光量がどの程度変わるか調べてみた。しかし、ドラスティックな改善は見込めなかったことと、UVコートが剥がれやすい事から、UVコートしたESRは使用を見送った。結局は通常のESR、ゴアテックシート、テフロンテープを併用してプラスチックシンチレーターをラップした。

3)-20度に冷やして13.5 x 13.5 x 30.0mm³のプラスチックシンチレーターに5.9keVを照射。左下図がMAPMT(R11265-200-M16)にプラスチックシンチレーターEJ-204を取り付けた時の5.9keVのパルスハイト分布である。綺麗に5.9keVがノイズと分離されている事が分かる。右下図は同じサイズのプラスチックシンチレーターEJ-208をMPPC 13361-3050NE-04に取り付けた場合のパルスハイト分布である。かろうじて5.9keVのピークが観測されており、1keV相当のスレッショールドでのノイズレートは約25kHzであった。



コンプトン散乱型の偏光計の場合、散乱体自体のノイズレートが多少高くても吸収体とのコインシデンスを取るため、MPPCのノイズによってトリガーがかかる可能性は低いと考えられる。これを実験的に実証するため写真で示されたミニ偏光計を製作した。この偏光計は中心に14.5 x 14.5 x 30mm³のプラスチックシンチレーター(EJ-208)を取り付け、その4方に3 x 14.5 x 30mm³のCsI(Tl)を4枚取り付けただけである。中央のプラスチックシンチレーターは6mm角のMPPCを4つ、各々のCsI(Tl)は2mm角のMPPCがそれぞれ1つ取り付けられている。中央のプラスチックシンチレーターに60keVを照射して、プラスチックシンチレーターとCsI(Tl)が同時にヒットしたコインシデンスイベントを取得する実験をつい最近開始した。



おわりに

今年度中若しくは来年度初頭には、どのような飛翔体を使い、どのようなデザインの検出器を搭載するか、のコンセンサスをグループ内で取る予定である。また再来年度に向けて、SMEX若しくはMIDEXのプロポーザルの準備を進める予定である。なお、来週からはMPPCの放射線耐性を測定する実験を放射線医学総合研究所で行い、宇宙空間でMPPCが数年間の使用に耐えられるのかを測定する。なお、本研究はLEAPワーキンググループの戦略的基礎開発と科学研究費基盤研究Aによって行われた。