

ガンマ線バースト  
偏光観測衛星

# SPHiNX衛星で用いるGAGG シンチレータの基礎特性評価

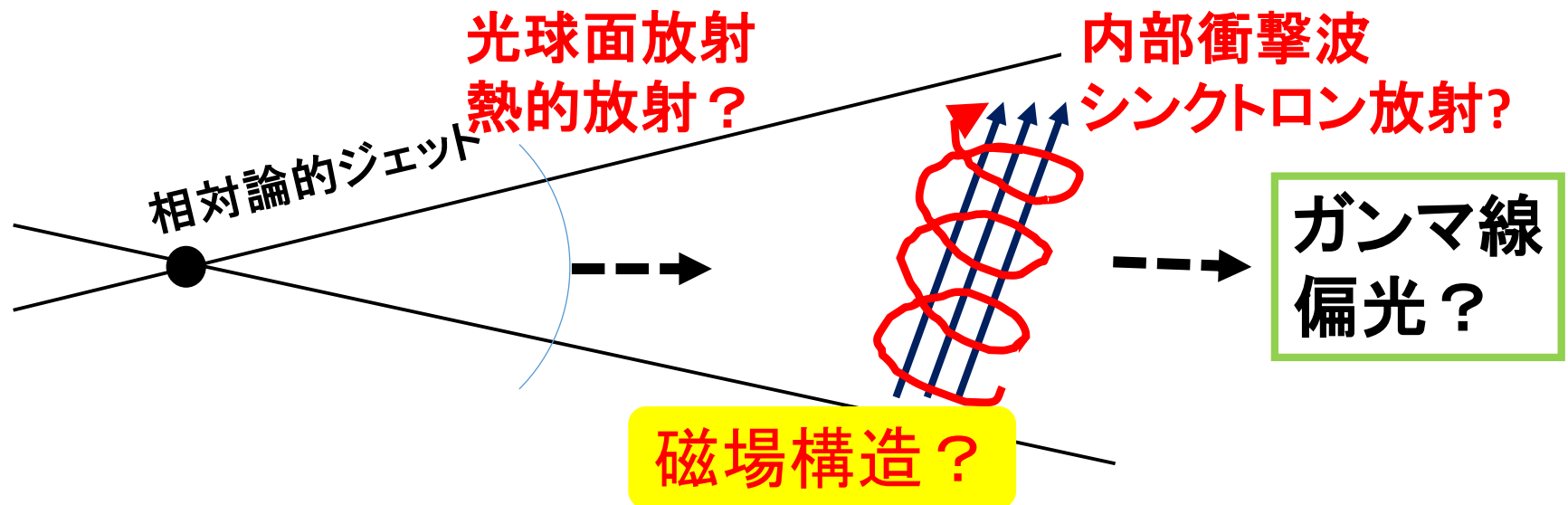
内田和海(広大理),

鳥越健斗, 高橋弘充, 大野雅功, 水野恒史, 深沢泰司(広島大),  
山岡和貴(名大), ほかSPHiNXチーム(KTH in Sweden)

# ガンマ線バーストの放射機構

## ガンマ線バースト:GRB

宇宙最大の爆発現象。NS/BH連星、超新星爆発による相対論的ジェットからの放射。まだまだ謎が多い熱的な放射か、シンクロトン放射...など、様々なモデル



ガンマ線偏光観測によって、モデルの切り分け

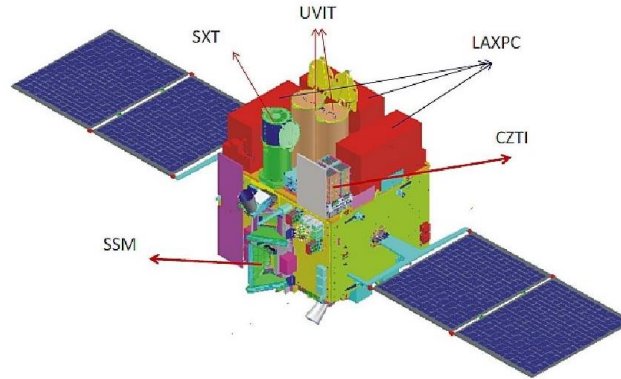
# GRBのガンマ線偏光観測

## GRBのガンマ線偏光観測ミッション



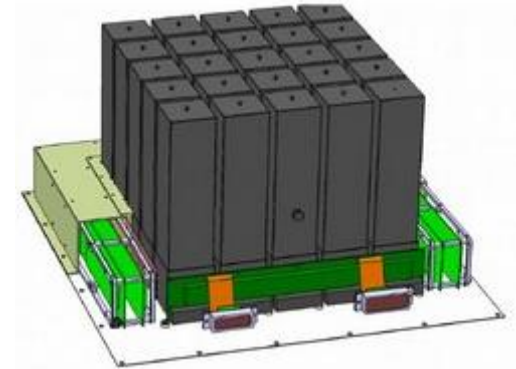
**GAP(日)**

2010.5-運用終了  
数例のGRB偏光



**ASTROSAT(印)**

2015.9--  
~10のGRB偏光



**POLAR(中)**

2016.9--  
On going

いずれの観測結果も、高い偏光度を示している。  
偏光観測に特化した検出器で観測、良質なサンプルを増やす。



**SPHiNX衛星**

# SPHiNX衛星の位置づけ

## SPHiNX: Segmented Polarimeter for High eNergy X-rays

スウェーデンとの共同開発

2021年打ち上げを目指す。

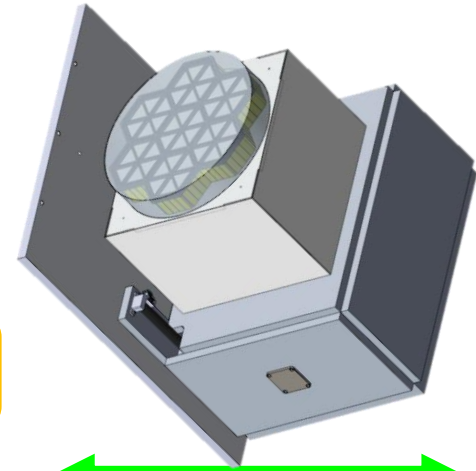
検出器の電源回路と、シンチレータ部分を担当

ASTROSATより、**低スレッショルド**: 30~600keV

GAPよりも**大きな有効面積**: 95cm<sup>2</sup>

2種類のシンチレータにより、POLARよりも  
**効果的なバックグラウンド除去**

年間10程度の、**質の良いGRB偏光データ**  
**ジェットモデルの統計的な議論**



~50cm

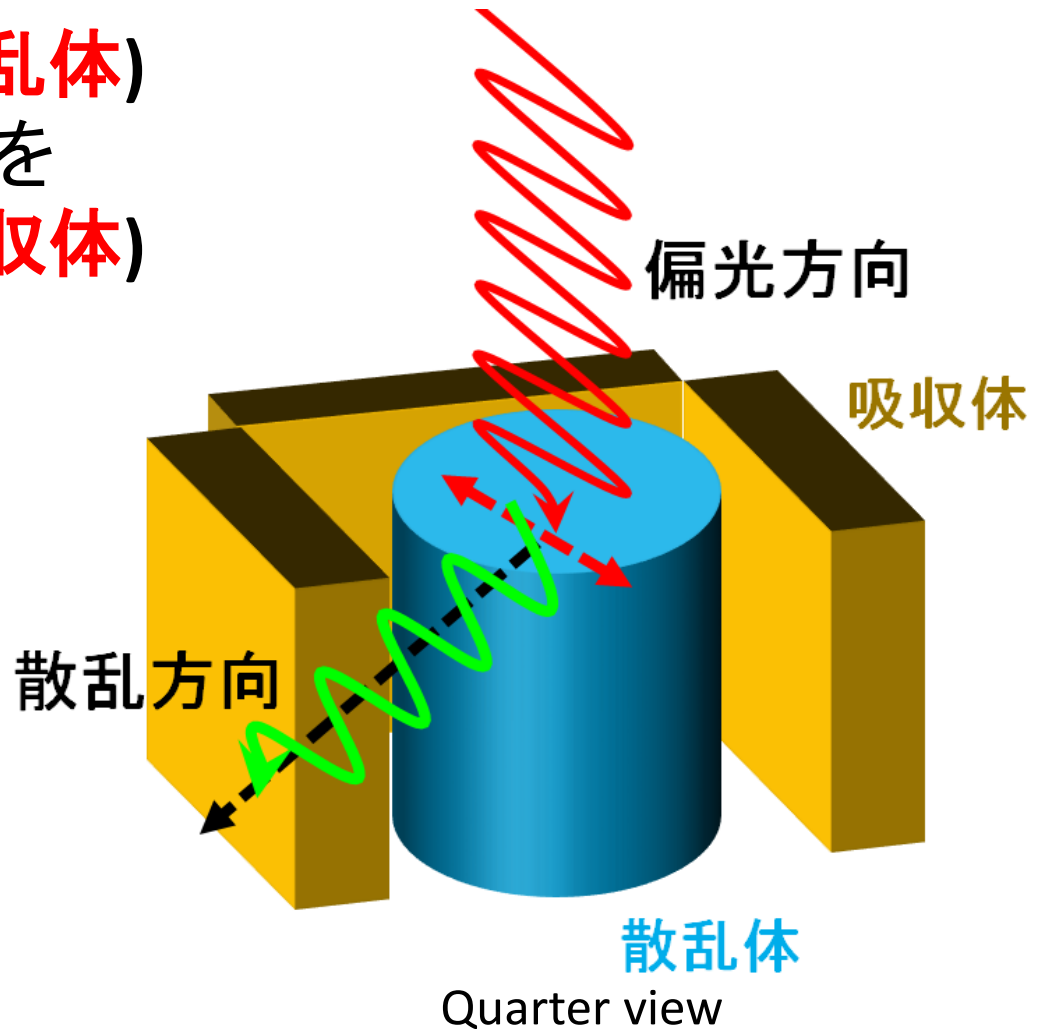
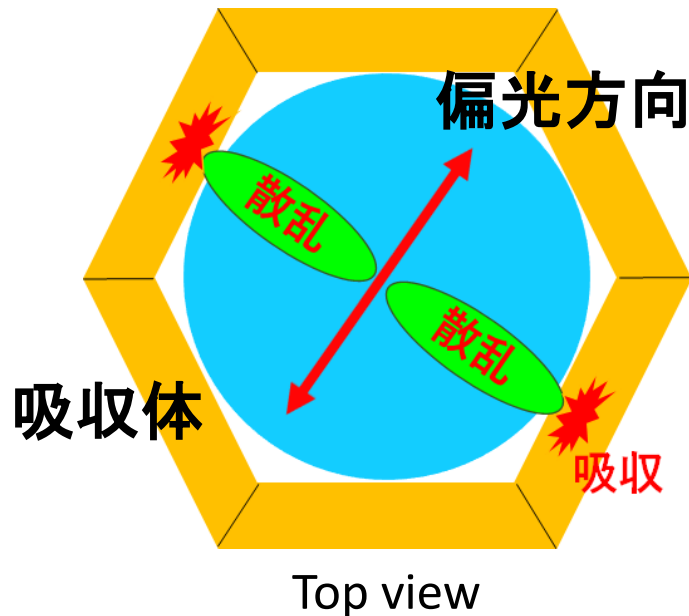
検出器重量: 15kg

視野角: 120°

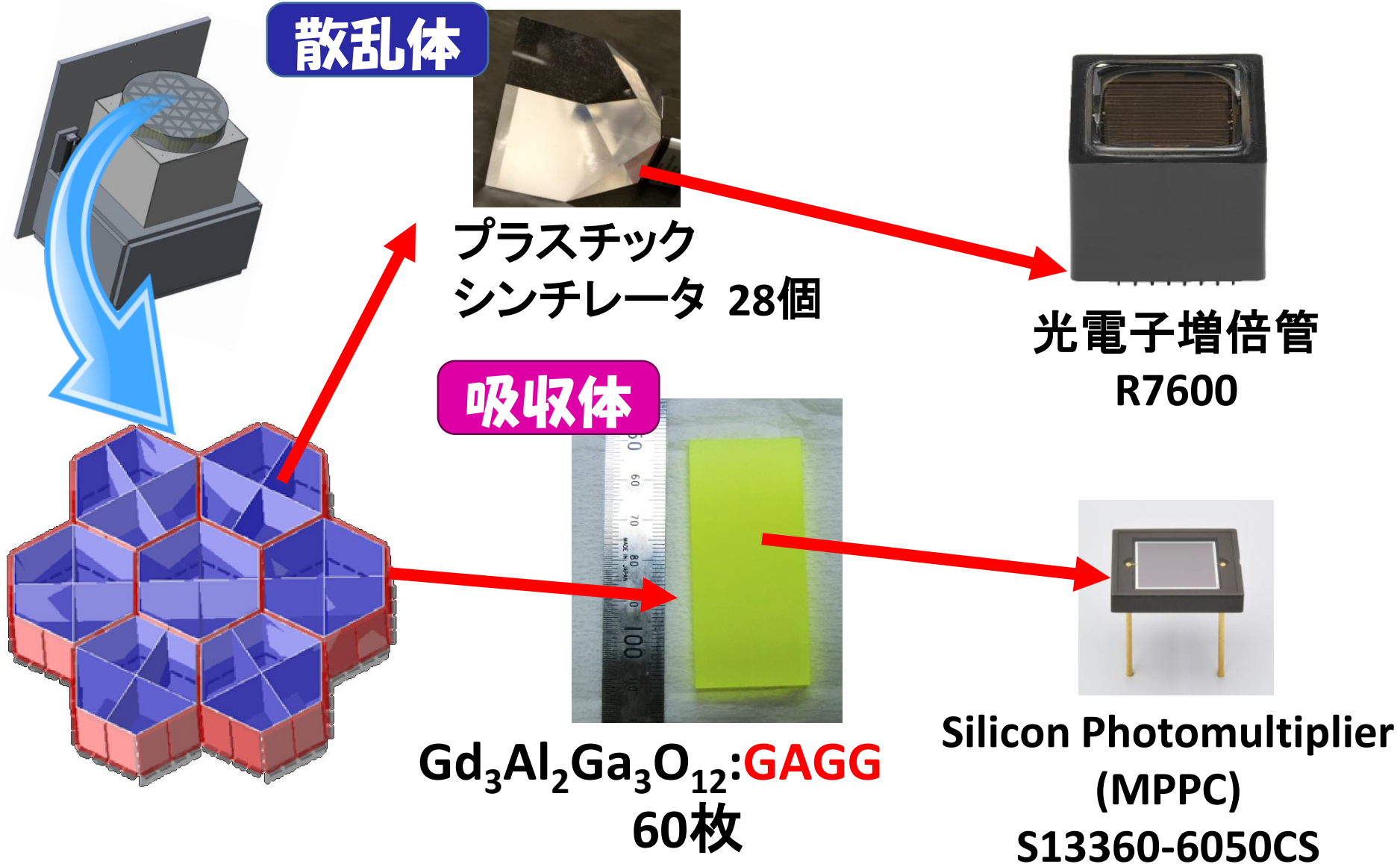
# ガンマ線偏光観測原理

コンプトン散乱 → 偏光方向と垂直に散乱しやすい

散乱しやすい物質(散乱体)  
で散乱させたガンマ線を  
吸収しやすい物質(吸収体)  
で吸収する。



# SPHiNX衛星の偏光検出器



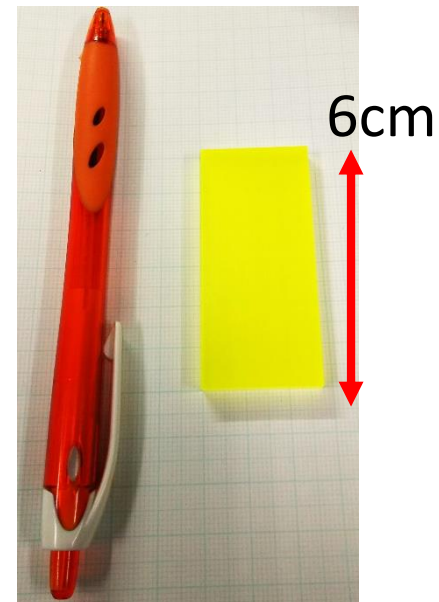
# GAGGの性能

シンチレータ	Ce: GAGG	BGO	Tl: NaI	Tl: CsI
発光量 (photon/MeV)	60000	8000	45000	56000
減衰時間 (ns)	88	300	230	1050
潮解性	無	無	有	有
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	6.63	7.13	3.67	4.53
発光波長 (nm)	520	480	415	550

GAGGは発光量が大きく、減衰時間が早い  
が、、

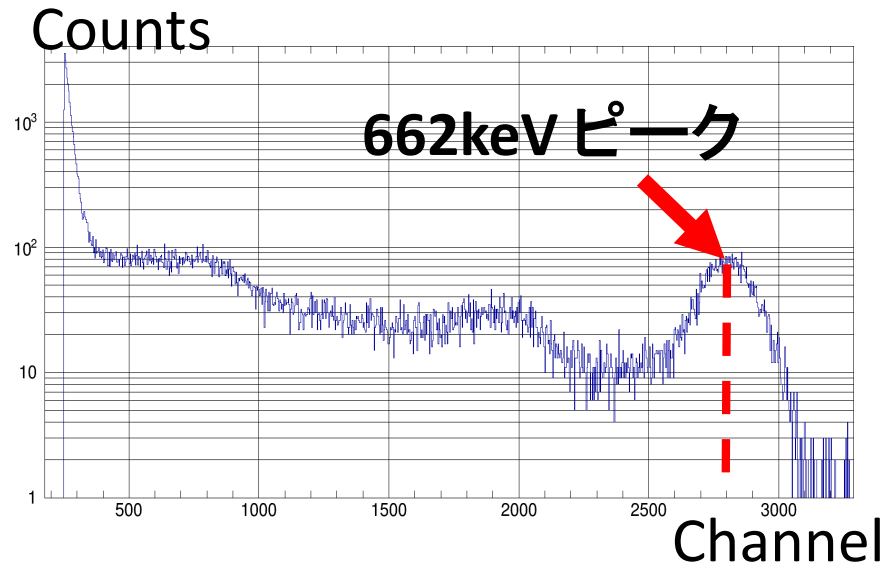
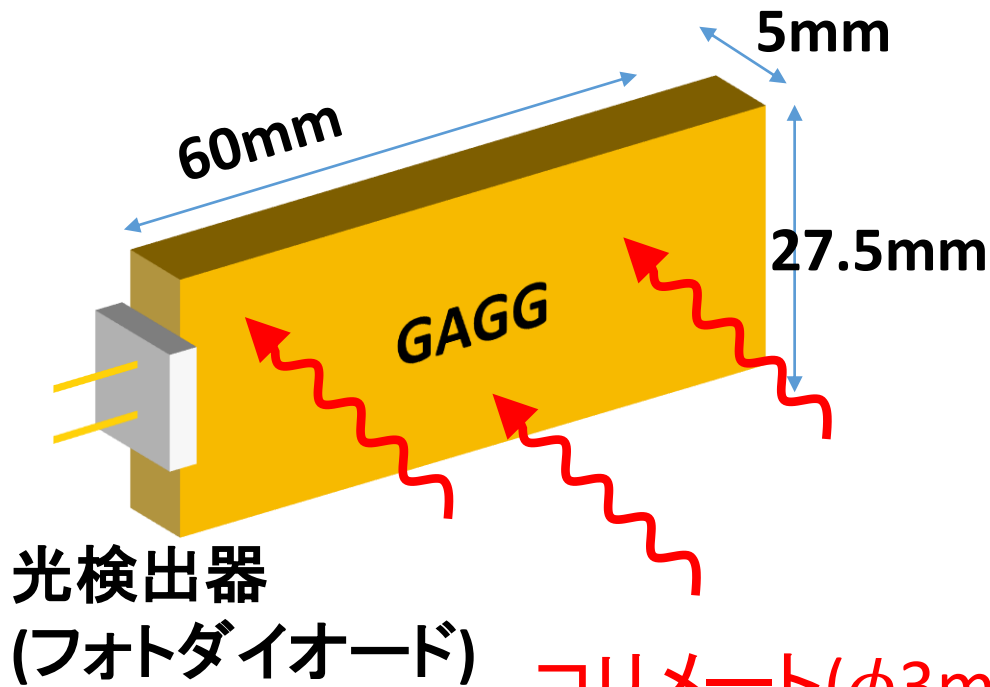
SPHiNX衛星で用いるGAGGは大きく、

- ・シンチレーション光の自己吸収
- ・ガンマ線の反応位置による、応答の違いが見込まれる。



# ガンマ線反応位置による光量変化

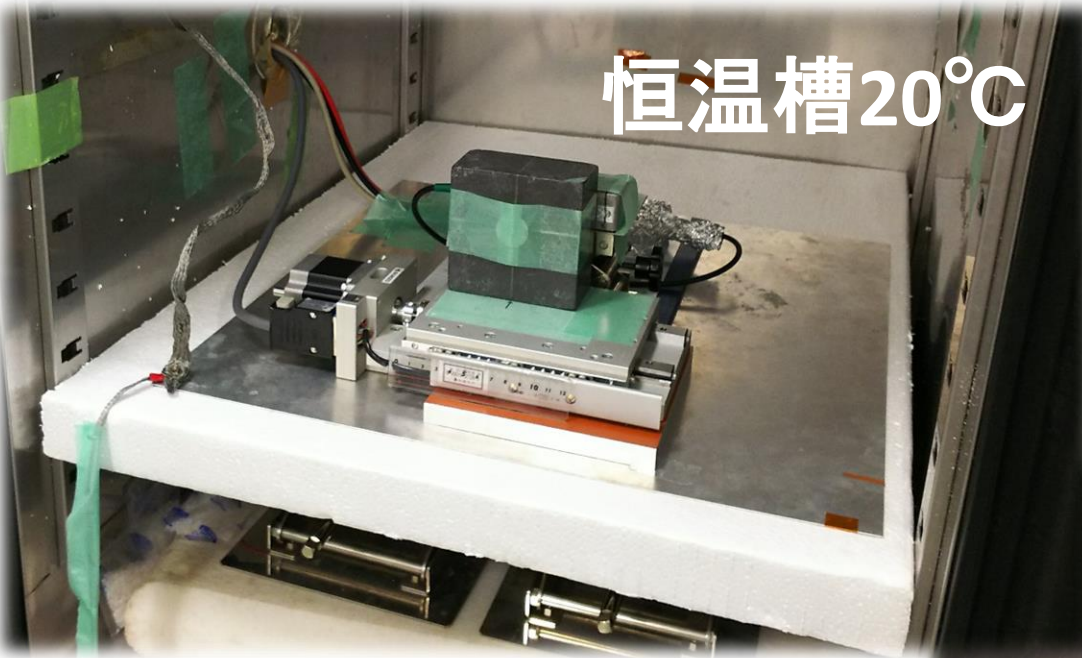
- ☆ 偏光を正確に測定するには、ガンマ線に対するGAGGの応答を知る必要。
- ☆ 偏光応答をシミュレーションするときにも必要。



コリメート( $\phi 3\text{mm}$ )した $^{137}\text{Cs}$ のガンマ線を  
GAGGの様々な位置に照射

# 実験セットアップ

Quarter view

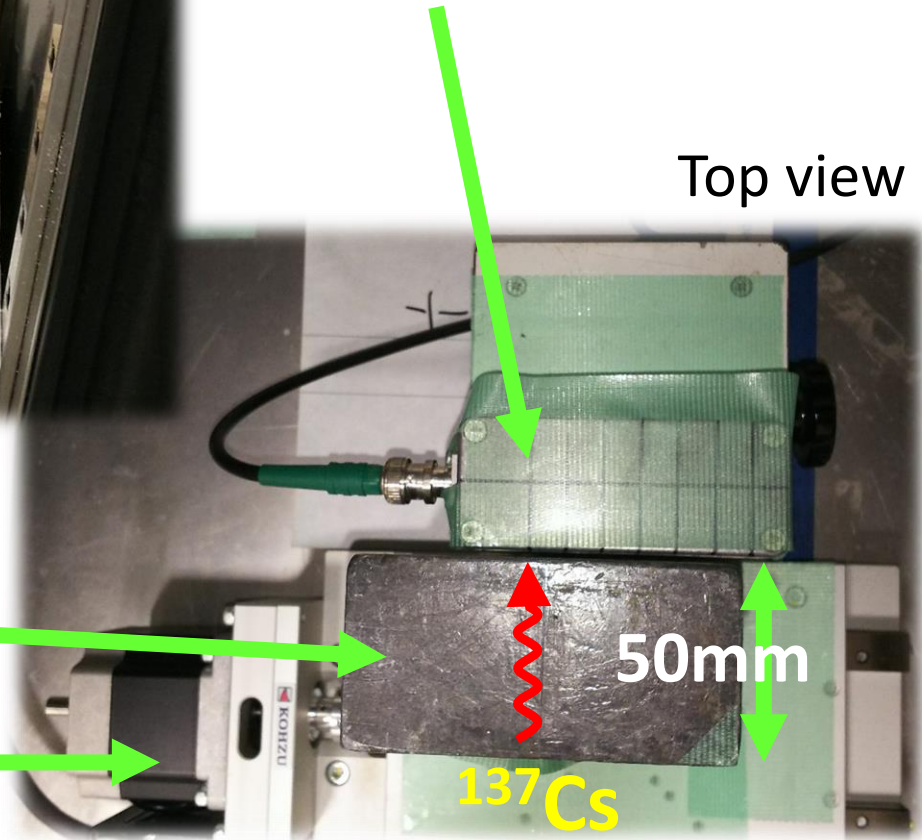


アルミケースの中に  
SPHiNXサイズのGAGG

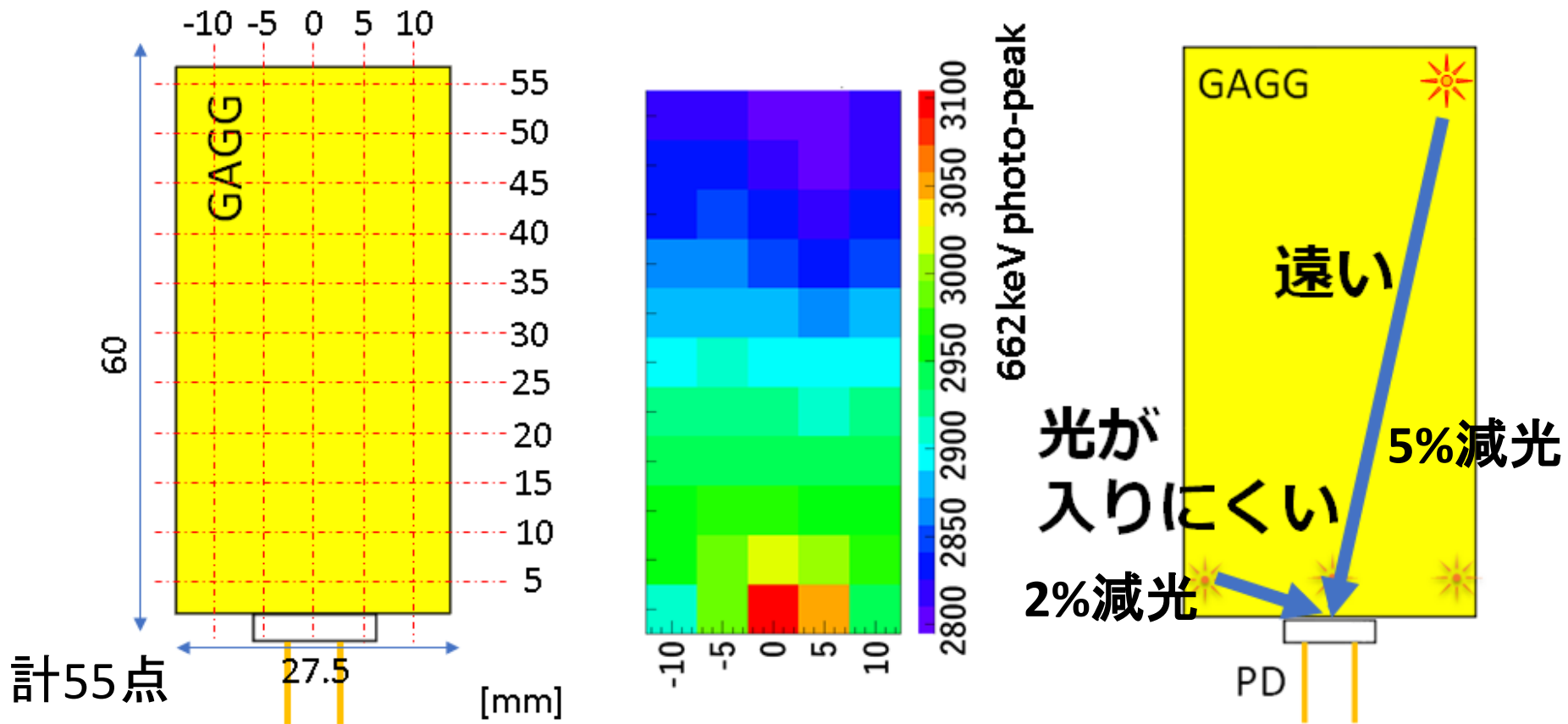
Top view

鉛コリメータ( $\phi 3\text{mm}$ )

X軸ステージ



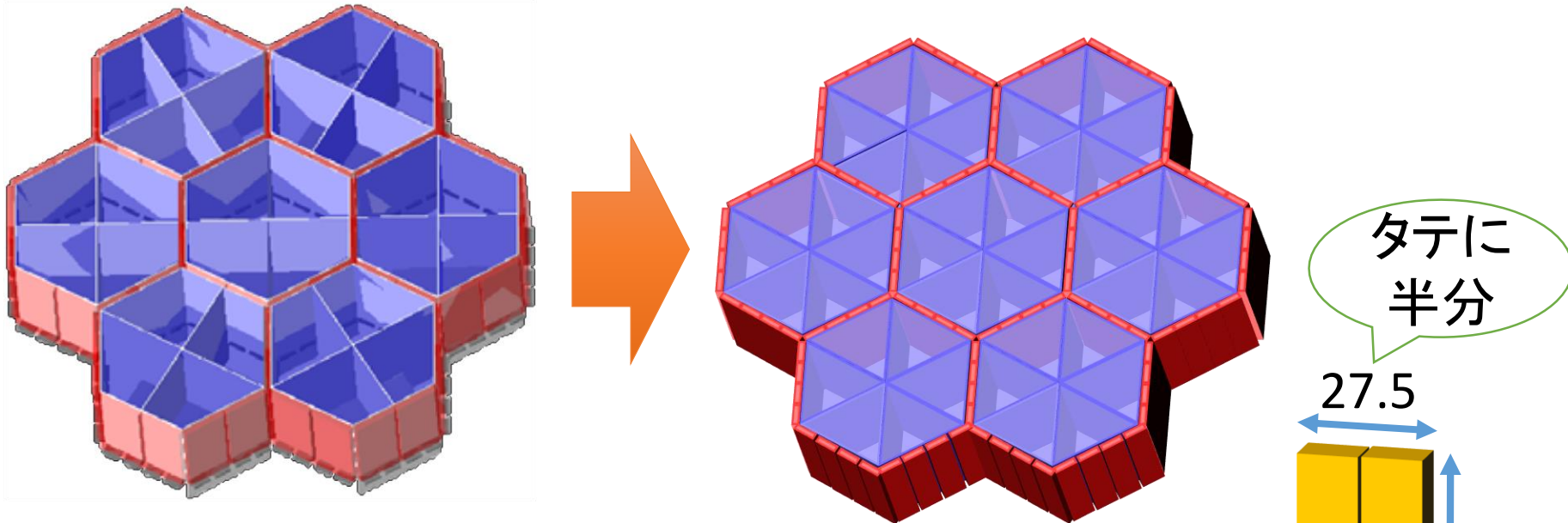
# ガンマ線反応位置による光量変化



★読み出し口から遠い所 → 自己吸収による減光  
(構造上、対応が難しい)

★読み出し側の角の部分 → 幾何学的に、光が入りにくい

# 検出器構造の変更



- ★GAGG: 2分割(60枚)→4分割(120枚)
- ★プラシン: 4分割(28個)→6分割(42個)  
に変更

- GAGGの幾何学的要素(角による寄与)を減らす
- 角度分解能の向上

# まとめ

SPHiNXで用いるGAGGの光量の位置依存性を測定した  
○GAGGを用いるとき、60mm程度のサイズになると、  
**自己吸収によって5%**  
**幾何学的効果によって2%の減光**がある。

○幾何学的な寄与を減らし、角度分解能を上げるため、  
**検出器構造(シンチレータ分割数)を変更**する。

## SPHiNX衛星スケジュール

2017年 12月 GAGGの基礎特性評価  
(hopefully) Selected!

2018年 1月 開発開始。

2019年内 検出器くみ上げ、偏光試験

2020年 衛星に組み上げる

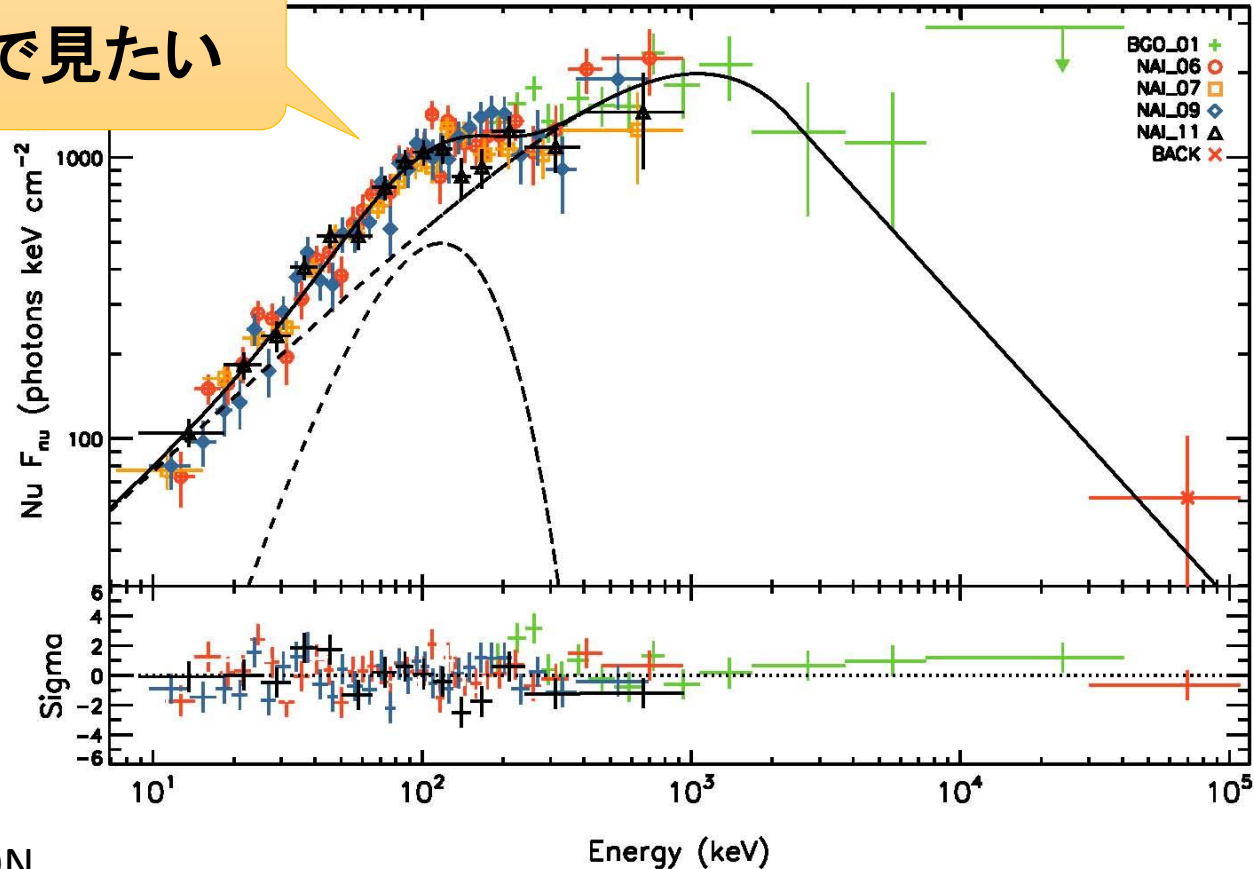
2021年 Launch!

# バックアップ スライド

# 2012: POLARISATION AND THERMAL EMISSION IN GRBS

SPHINXで見たい

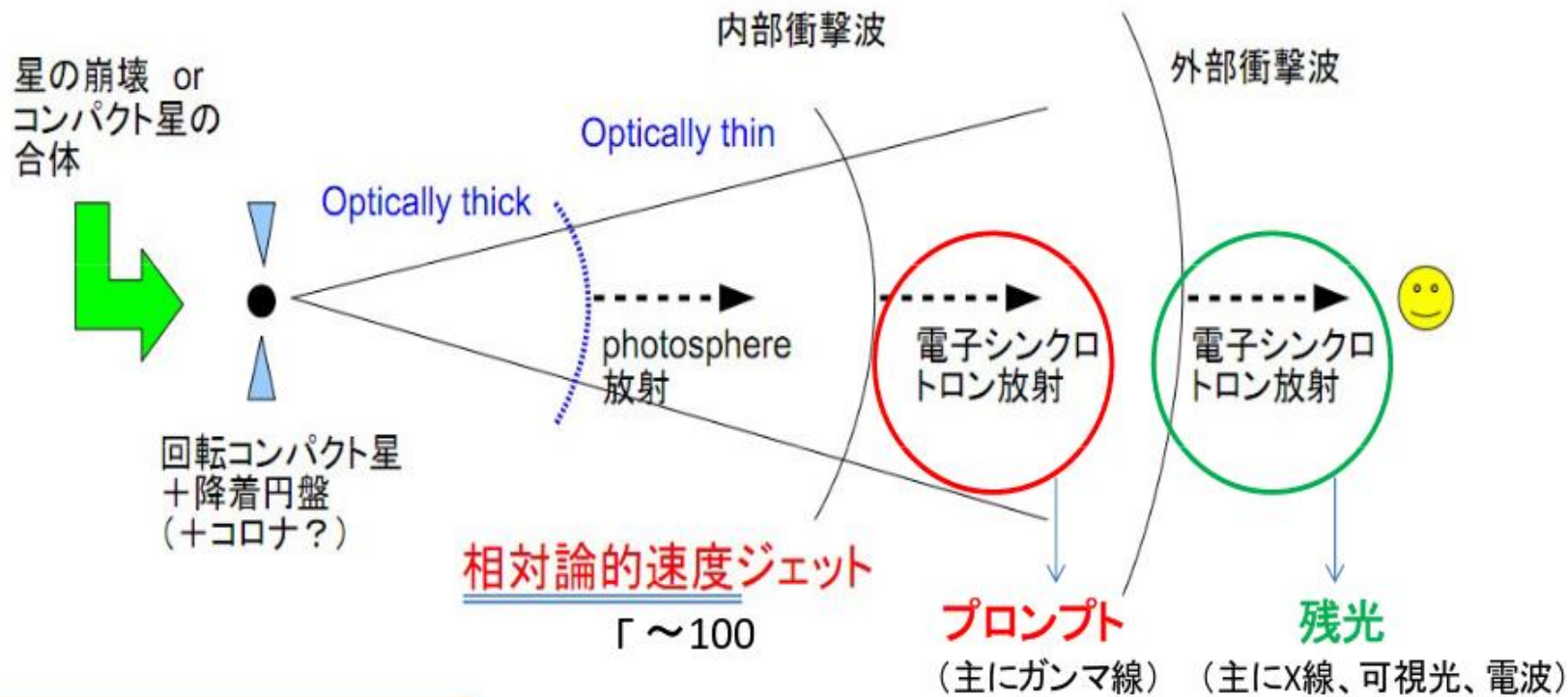
ASTROSATは  
100keV--



M. AXELSSON

GRB110721A: AN EXTREME PEAK ENERGY AND SIGNATURES OF THE PHOTOSPHERE

# 狙い: GRB残光の偏光メカニズムと磁場



## GRB偏光観測の重要性

放射メカニズム: **シンクロトロン放射**  
→ ある程度偏光していることが期待  
→ 磁場構造や幾何構造を推定

これまでの観測例はほんの数例のみ

X線やガンマ線での偏光観測は難しい  
↓  
可視光での偏光測定が重要!

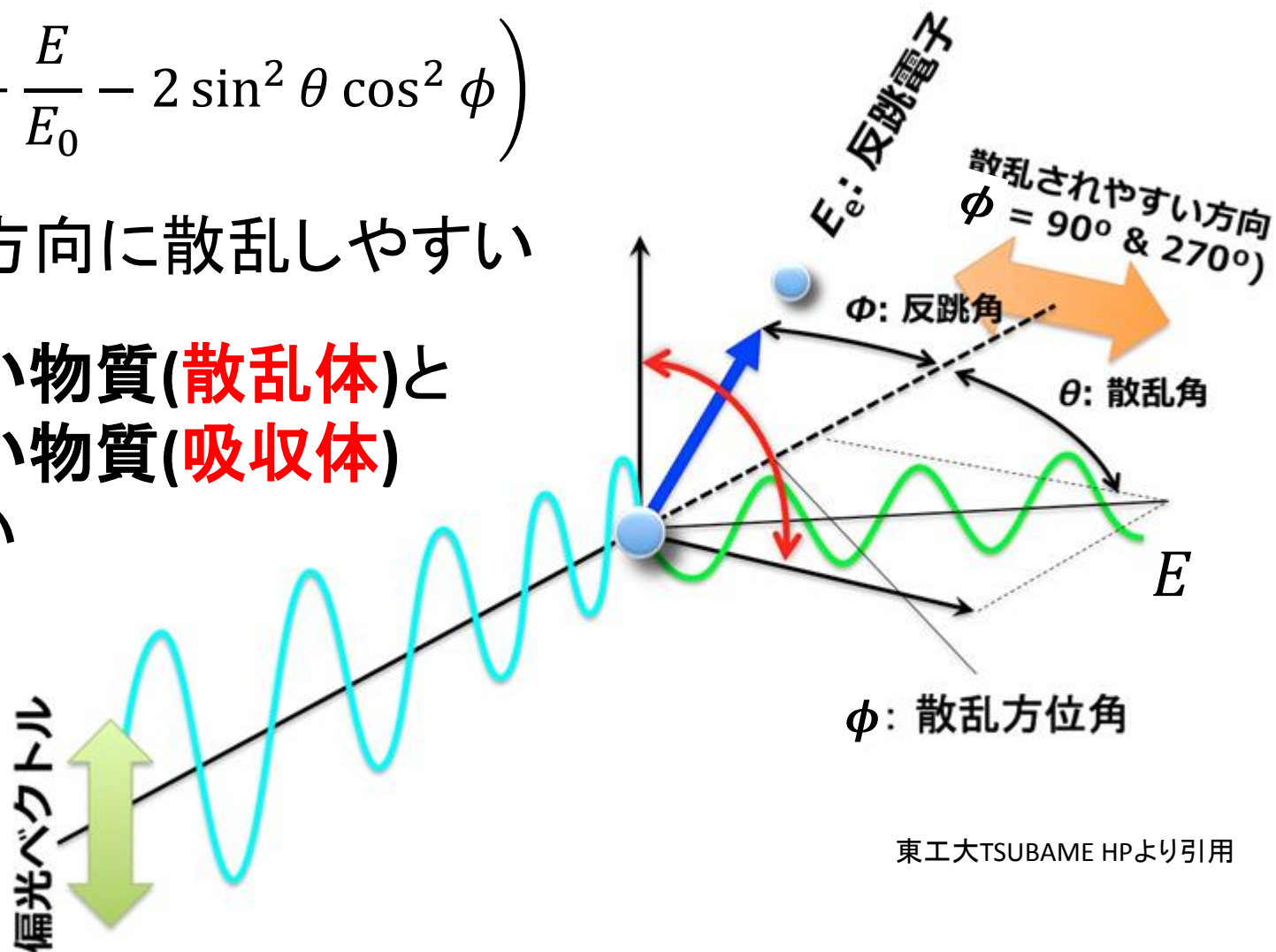
# ガンマ線偏光観測原理

コンプトン散乱におけるエネルギーと角度

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \left( \frac{E_0}{E} + \frac{E}{E_0} - 2 \sin^2 \theta \cos^2 \phi \right)$$

偏光と垂直方向に散乱しやすい

散乱しやすい物質(散乱体)と  
吸収しやすい物質(吸収体)  
を使えばよい



$$MDP = \frac{429}{A\eta SM} \sqrt{\frac{A\eta S + B}{T}}$$

$A$ : 検出面積[ $cm^2$ ]

$\eta$ : 検出効率

$M$ : モジュレーションファクター

$S$ : 信号のレート[ $cm^{-2}sec^{-1}$ ]

$B$ : バックグラウンドのレート[ $sec^{-1}$ ]

$MDP$ : 最小偏光感度[%]

$T$ : 観測時間[ $sec$ ]

これ以上の偏光度があれば、 $3\sigma$ で偏光の検出が可能であるという指標。

$M$ と $\eta$ が高いほど良い

→ $MDP$ が小さいほど良い検出器。

SPHiNXでは、明るいバーストに対して、  
~13.5%を目標

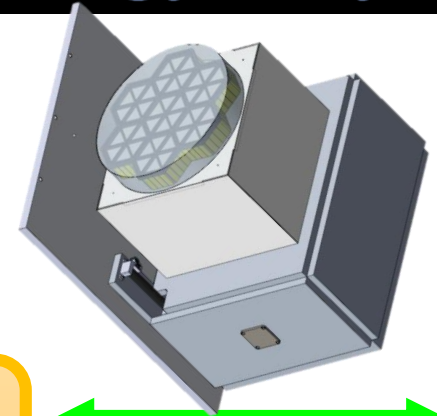
# SPHiNX衛星の位置づけ

## SPHiNX: Segmented Polarimeter for High eNergy X-rays

スウェーデンとの共同開発

2021年打ち上げを目指す。

検出器の電源回路と、シンチレータ部分を担当



~50cm

検出器重量:

15kg

20keV – 600 keVの  
広いエネルギー帯域

熱的/シンクロトロン  
の切り分け

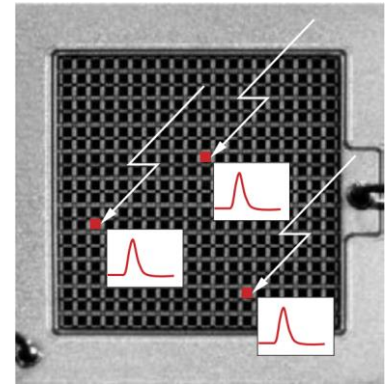
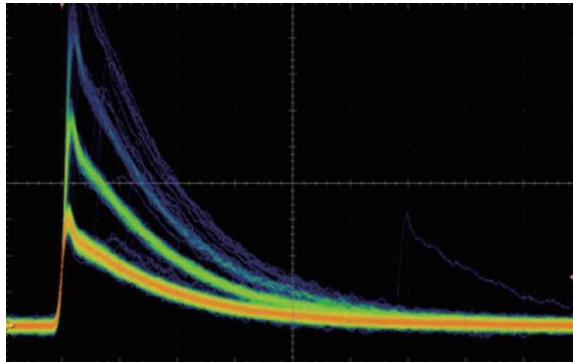
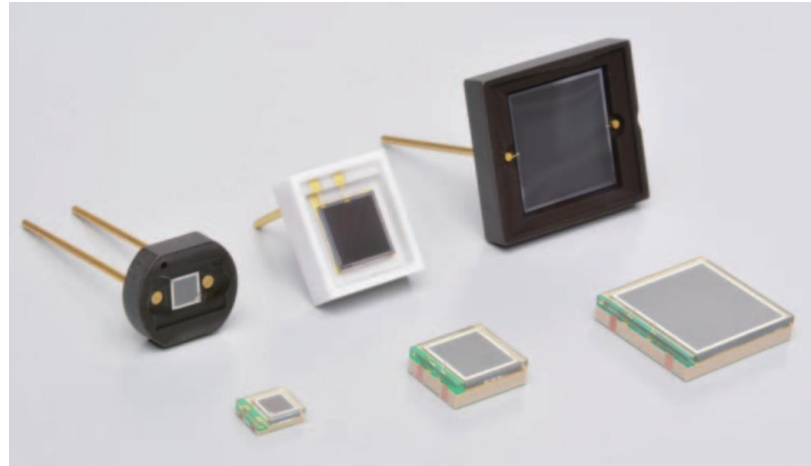
2種類のシンチレータによる  
効率的なバックグラウンド除去

質の良いデータ  
MDP: ~13.5%

有効面積: 95cm<sup>2</sup>, 視野角: 120°  
検出レート: ~10 GRBs/年

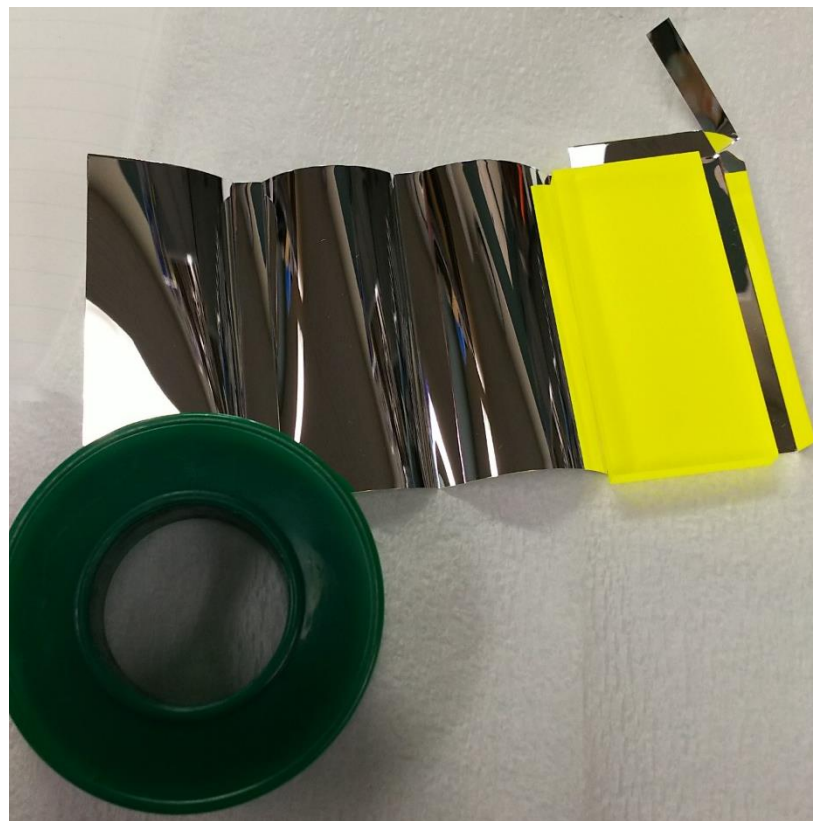
統計的な議論が可能に

# GAGGとMPPC



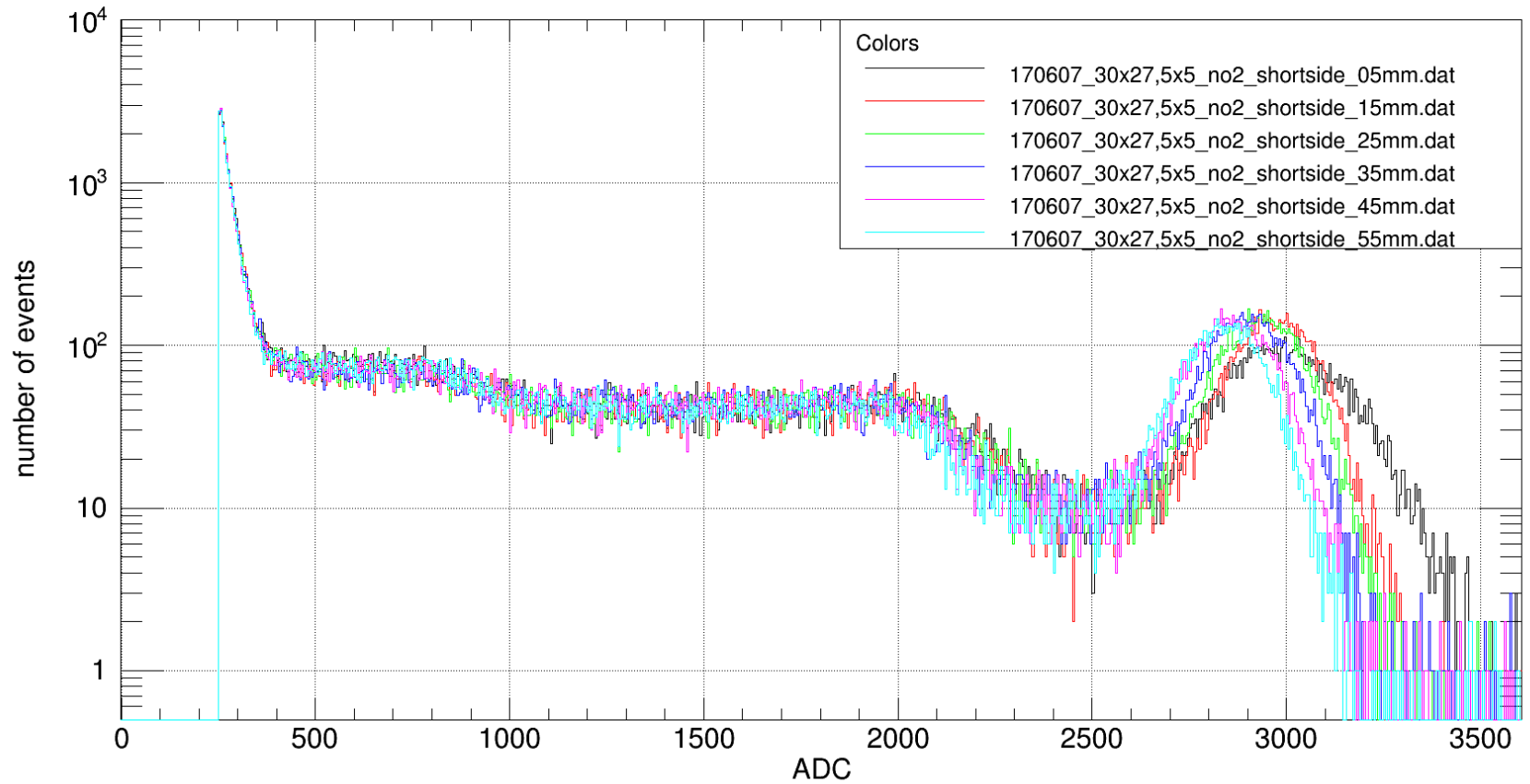
浜松ホトニクスHPより引用

# ESR巻き数

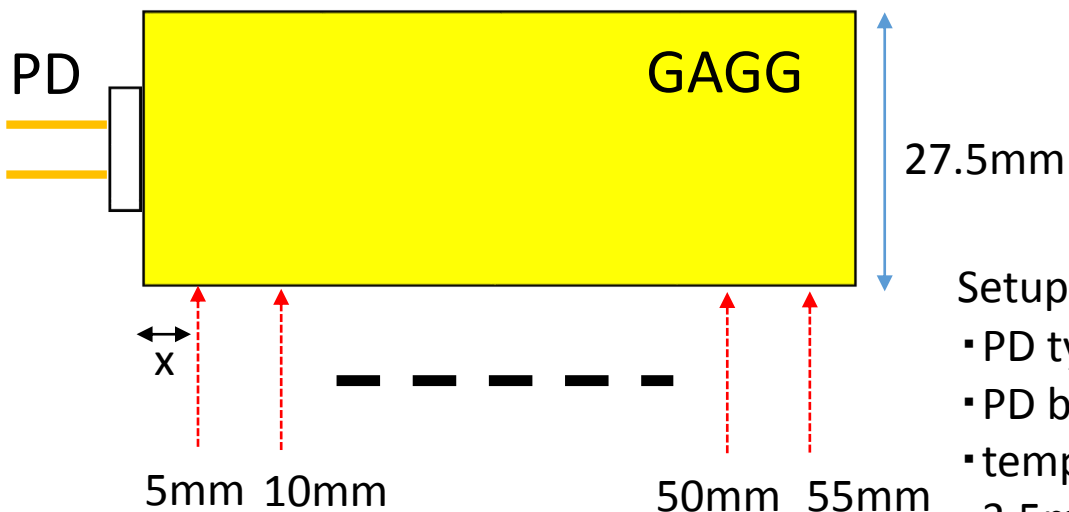


# 照射位置依存

GAGG 60x27.5x5 side

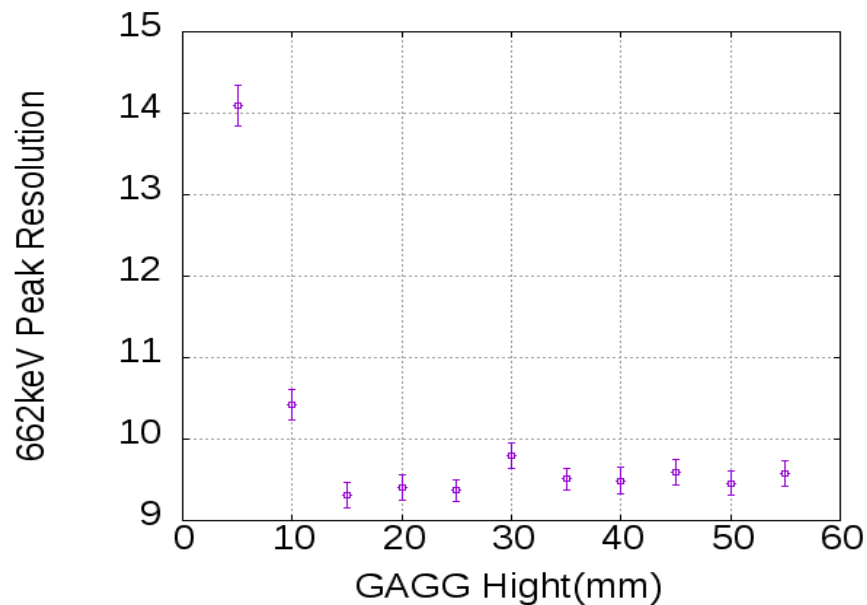
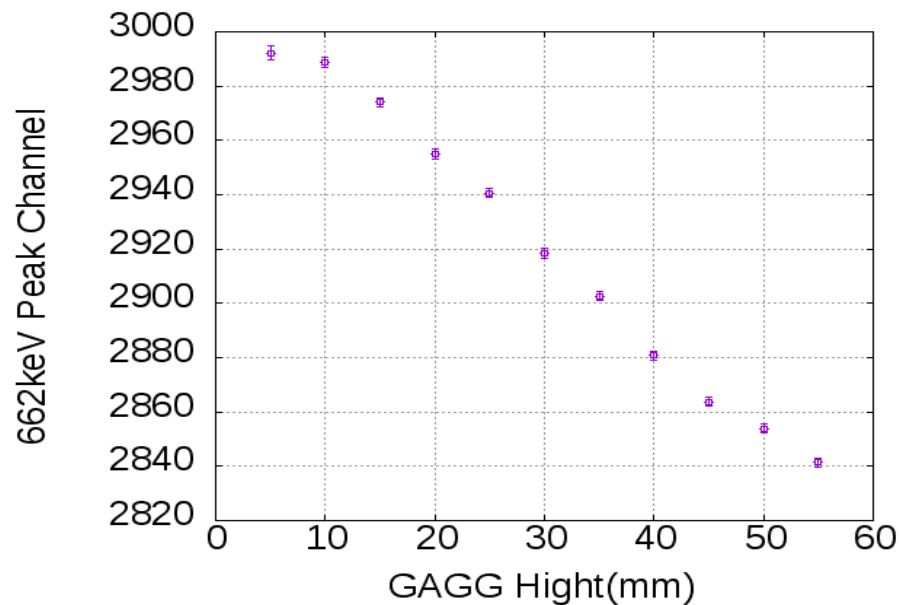


# GAGGのガンマ線照射位置依存性



## Setup

- PD type: S3590-08(Hamamatsu)
- PD bias voltage: 60V
- temperature: 20°C(temperature chamber)
- 3.5mm collimated gamma-ray



Light yields are about 20000 photons for all irradiation position.

Considering the  
QE=85[%],  
GAGG decay constant = 88[ns],  
Fill factor of MPPC = 74%,  
and the time constant of MPPC(S13360-6050CS) = 27[ns]  
about 3300 photons will enter to the MPPC in 27[ns].

S13360-6050Cs has 14400 [pixels].

Then, saturation probability is 23% ( $=\frac{3300}{14400} \times 100$ ).

Is it good enough or not?

-How much deviation of gain linearity is accepted?

-And until what energy band we need?

irradiation position[mm]	662keV peak channel[ch]	light yield[photon]
5	2992	21951
10	2989	21929
15	2974	21819
20	2955	21680
25	2941	21577
30	2918	21408
35	2903	21298
40	2881	21137
45	2864	21012
50	2854	20939
55	2841	20844