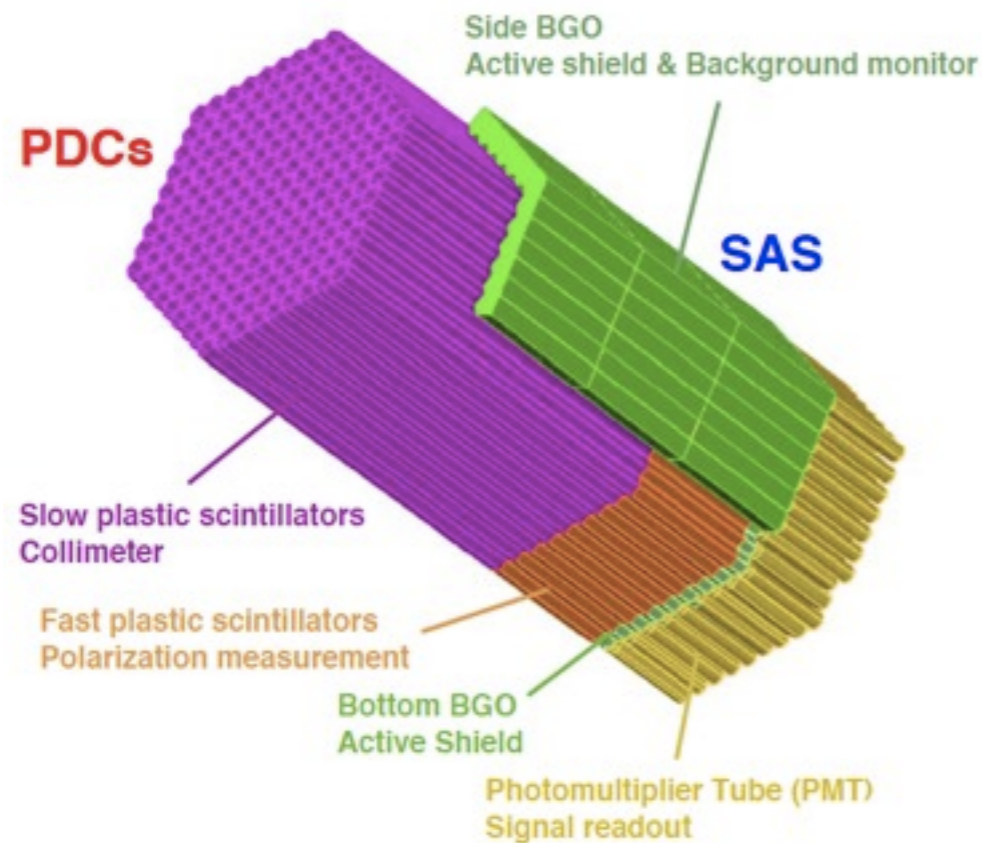


# 宇宙硬X線検出器PoGOLite気球実験の地上較正試験

## Polarized Gamma-ray Observer (PoGOLite)



○河野貴文、高橋弘充、水野恒史、深沢泰司、釜江常好<sup>A</sup>、田島宏康<sup>B</sup>、片岡淳<sup>C</sup>、高橋忠幸<sup>D</sup>、河合誠之<sup>E</sup>、M. Axelsson<sup>F</sup>、M. Jackson<sup>F</sup>、M. Kiss<sup>F</sup>、W. Klamra<sup>F</sup>、M. Kole<sup>F</sup>、S. Larsson<sup>F</sup>、E. Moretti<sup>F</sup>、M. Pearce<sup>F</sup>、F. Ryde<sup>F</sup>、S. Rydstrom<sup>F</sup>、G. Olofsson<sup>G</sup>、H-G. Floren<sup>G</sup>、G.Madejski<sup>H</sup>、G. Varner<sup>I</sup>、PoGOLite チーム

広島大、東京大<sup>A</sup>、名古屋大<sup>B</sup>、早稲田大<sup>C</sup>、ISAS/JAXA<sup>D</sup>、東工大<sup>E</sup>、Royal Institute of Technology<sup>F</sup>、Stockholm University<sup>G</sup>、SLAC<sup>H</sup>、University of Hawaii<sup>I</sup>

# index

- 背景
- PoGOLite
  - 概要
  - 主検出器概要
  - モジュールーションファクタ
- Calibration
  - 実験方法
  - 実験結果
  - 結果の考察
- Summary

# 背景

- **偏光観測**: 磁場や降着円盤のジオメトリーの情報を持つ
  - ➔ かに星雲やパルサー星雲一般における粒子加速現場を特定するために有効な手段

- これまでにX線・ $\gamma$ 線の偏光が検出された天体

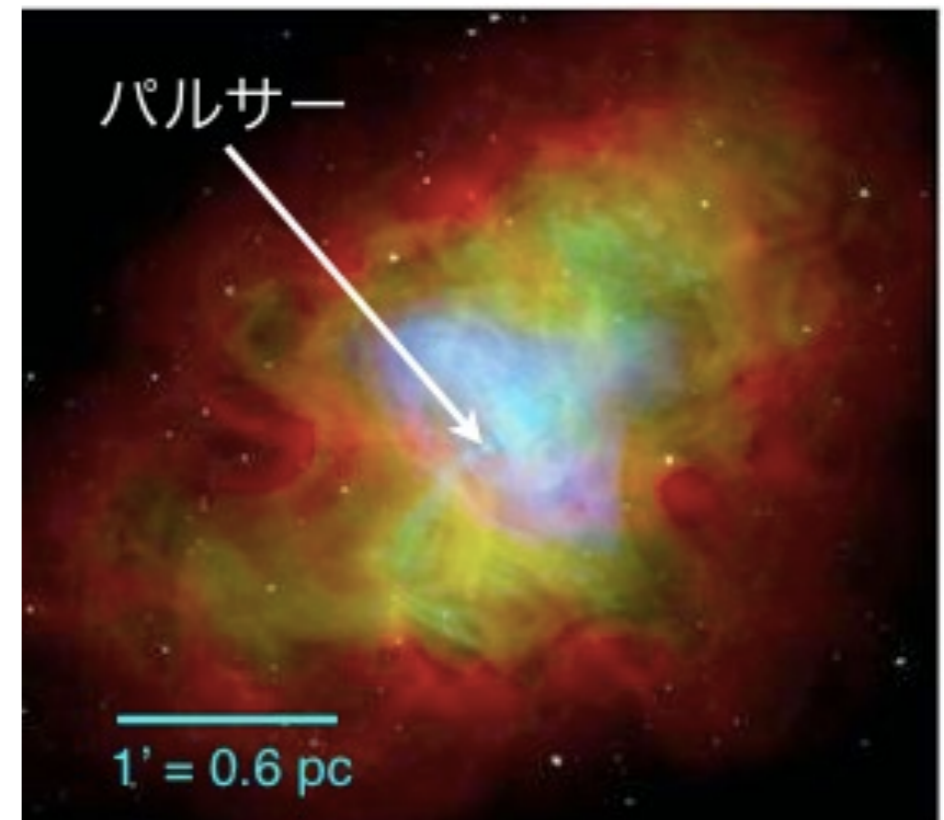
-かに星雲: 2.6/5.2 keV (OSO-8),

200 keV~ (INTEGRAL)

-Cyg X-1: 2.6/5.2 keV (OSO-8)(marginal),

250 keV~ (INTEGRAL)

- $\gamma$ 線バースト: 70-300 keV (GAP)



かに星雲

red:radio, green:optical, blue:X-ray

これまでに観測されたことのない25-80 keVで偏光を  
数%精度の高精度で測定し、磁場構造の解明・粒子加速  
のジオメリーの制限を目指す

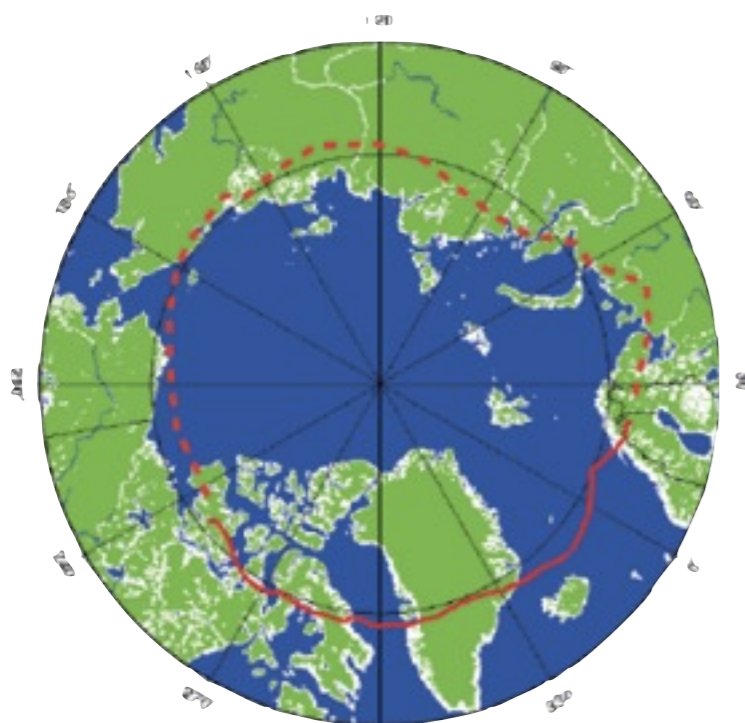
# index

- 背景
- PoGOLite
  - 概要
  - 主検出器概要
  - モジュールーションファクター
- Calibration
  - 実験方法
  - 実験結果
  - 結果の考察
- Summary

# PoGO Lite



## PoGO Lite 気球



PoGO Liteの軌道予定

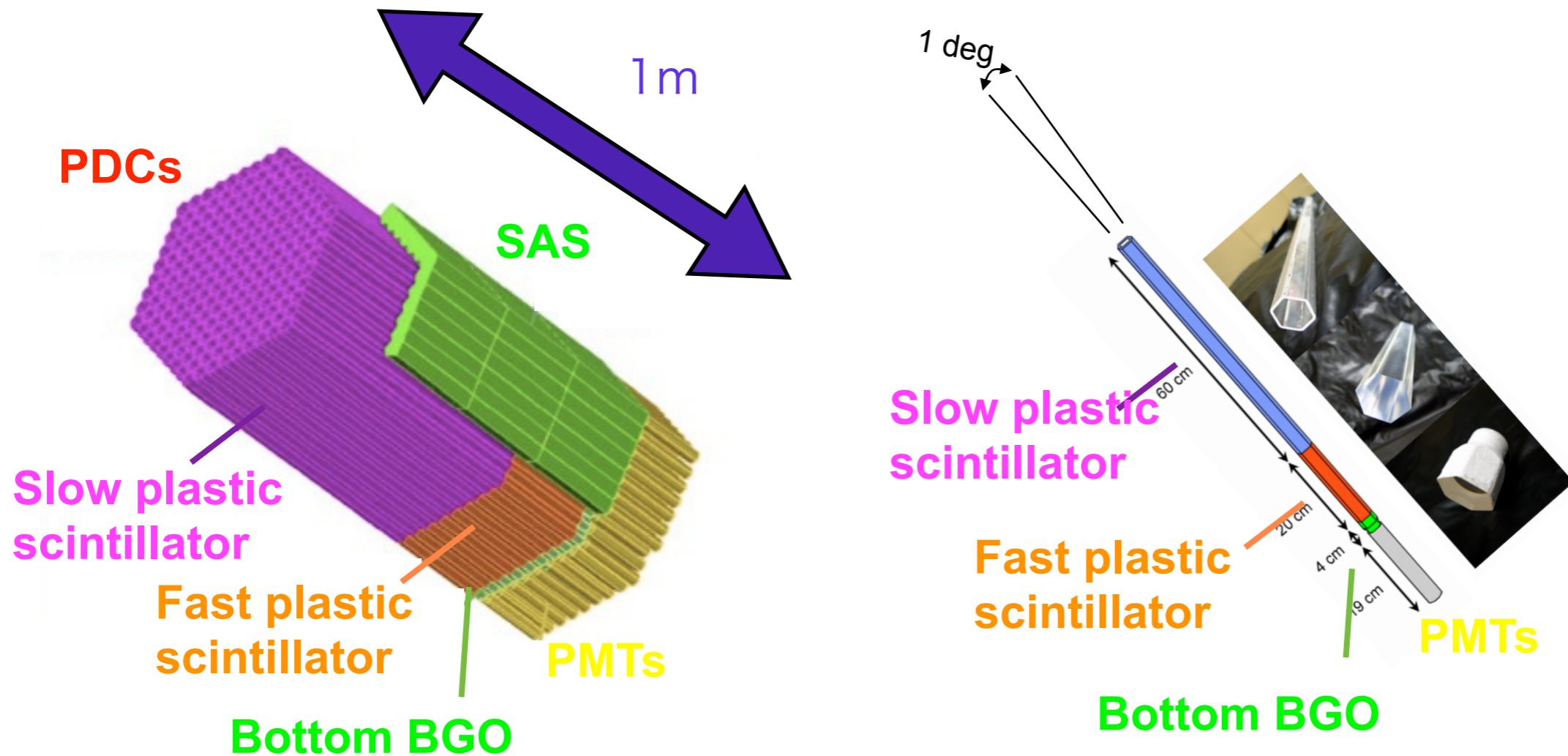
- 気球による硬X線(25-80 keV)偏光を狙ったミッション
- 今までの観測(-5.2 keV, 100 keV-)の間を現在世界最高の感度で観測
- 観測天体：かに星雲、Cyg X-1、(太陽フレア)
  - 15時間の観測で10%の直線偏光を検出できる
- フライト期間：2013年夏の5日間(カナダまで)or2週間(北極圏周回)
- 高度：~39 km
- SpaceWire (衛星搭載機器間の通信インターフェイスの世界統一規格) の実証試験
- ▶ PoGO Lino(大気中性子検出用)を先週実測

# PoGOLite over view



"Kamae+08, Astro Particle Physics"(overview論文)

# PoGOLite主検出器



気球の飛行高度(41-42km)帯域はBGが多い

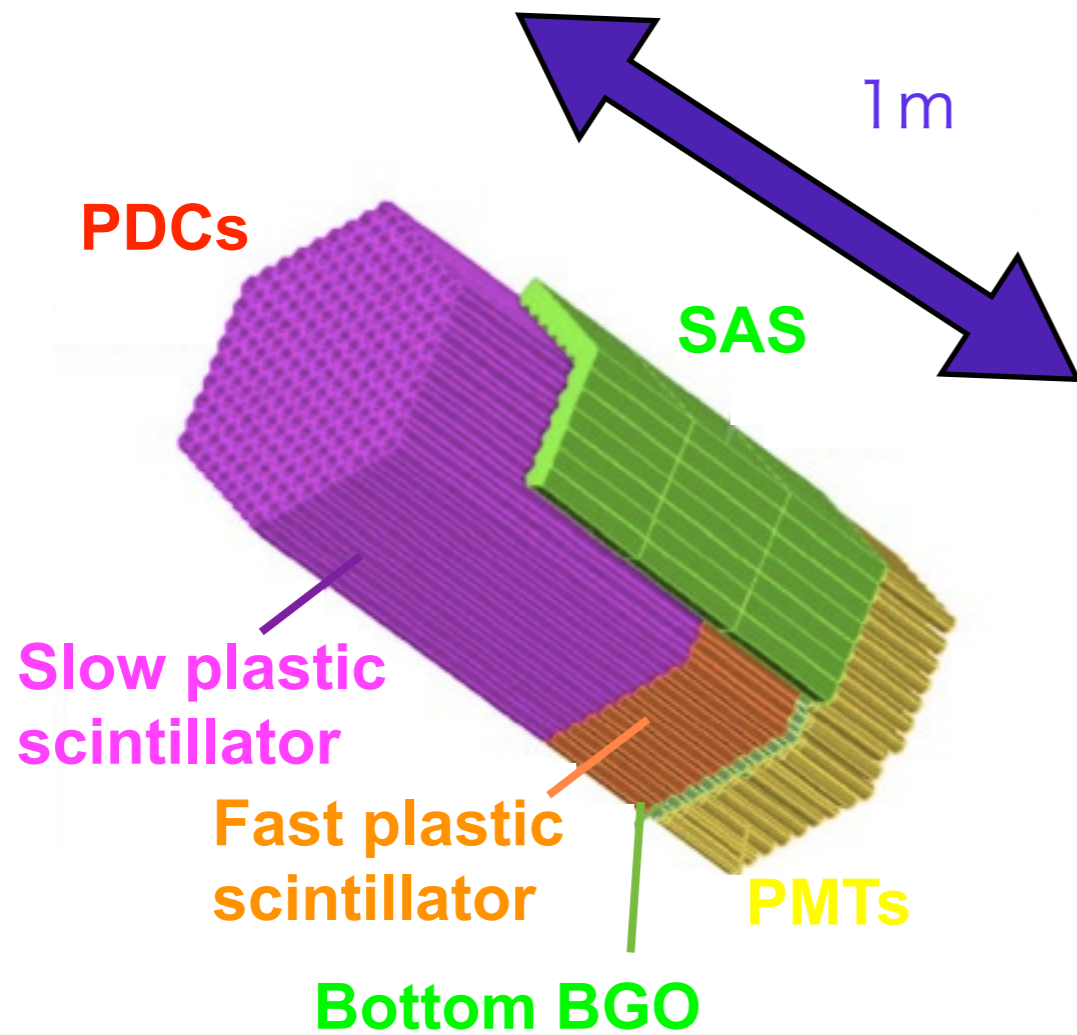
⇒BG除去機能が必要

主検出部： 井戸形フォスウィッチカウンタ & BGOアクティブシールド

PDC(Phoswich Detector Cell)： 61本の蜂の巣状のユニット

SAS(Side Anti-coincidence Shield)： 54本のアクティブシールドユニット

# PoGOLite主検出器



気球の飛行高度(41-42km)帯域はBGが多

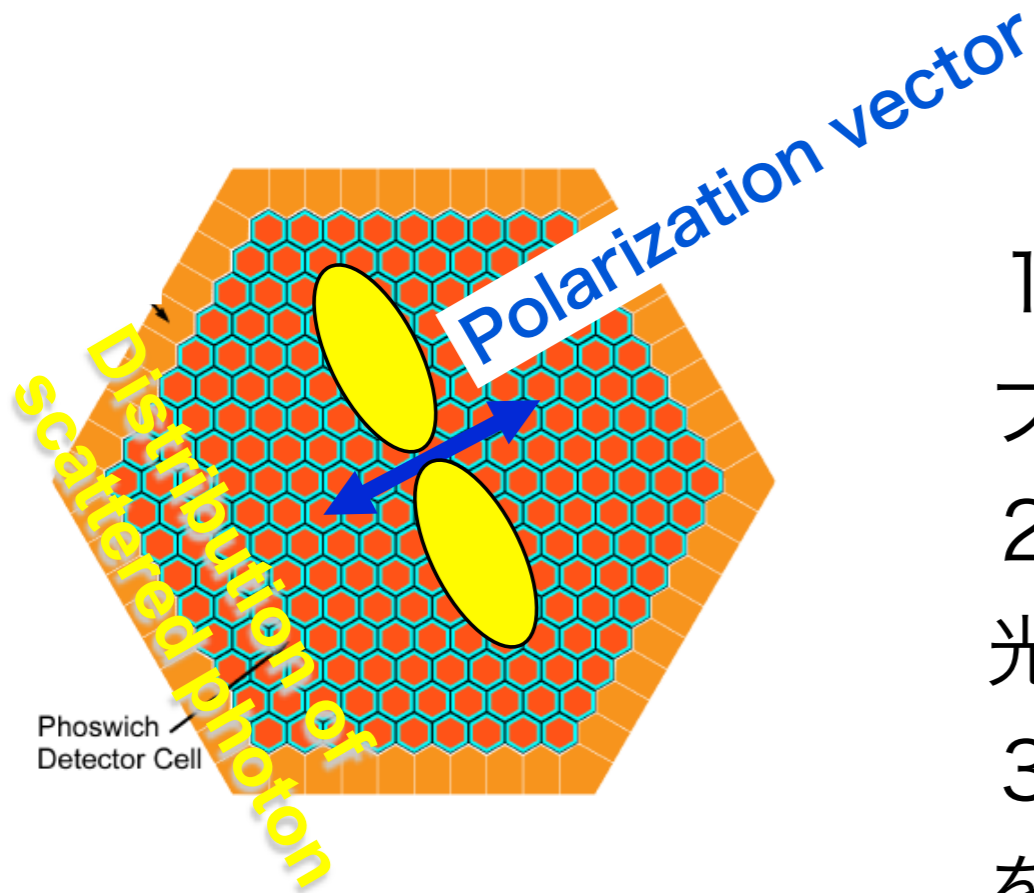
⇒BG除去機能が必要

主検出部：井戸形フォスウィッチカウンタ & BGOアンチコイシデンシャル

PDC(Phoswich Detector Cell)：61本の蜂の巣状のユニット

SAS(Side Anti-coincidence Shield)：54本のアクティブシールドユニット

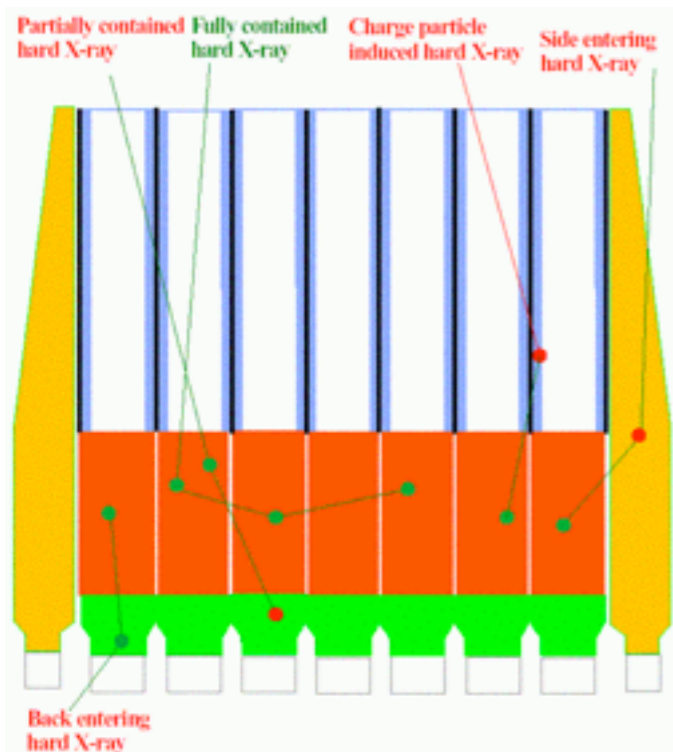
# PoGOLite による偏光測定



1. 入射X線光子はPDC内の主検出部でコンプトン散乱を起す
2. 散乱光がその周囲の別のPDCユニットで光電吸収or再度コンプトン散乱を起こす
3. 反応したユニットに落としたエネルギーを測定し、コンプトン散乱イベントを追跡し、散乱方向を測定することができる。

(偏光方位角と直交方向に多くのイベントが検出される)

⇒コンプトン散乱を検出し、その散乱角の異方性から偏光を検出



PoGOLite 検出器の断面図

PoGOLite 検出器による偏光測定のご概念

# index

- 背景
- PoGO Lite
  - 概要
  - 主検出器概要
  - モジュールーションファクター
- Calibration
  - 実験方法
  - 実験結果
  - 結果の考察
- Summary

# モジュレーションファクタ (MF) 測定 ( $^{241}\text{Am}$ , 59.5 keV)

- 目的：期待性能のMFを検出器が達成できているかどうかを調べる
- 方法：検出器の上に散乱体と  $^{241}\text{Am}$  (59.5 keV) を置き  
~90%の偏光  $\gamma$  線を照射

\*KEK-PFのビーム試験：MF<sub>100</sub>=40%@50 keV

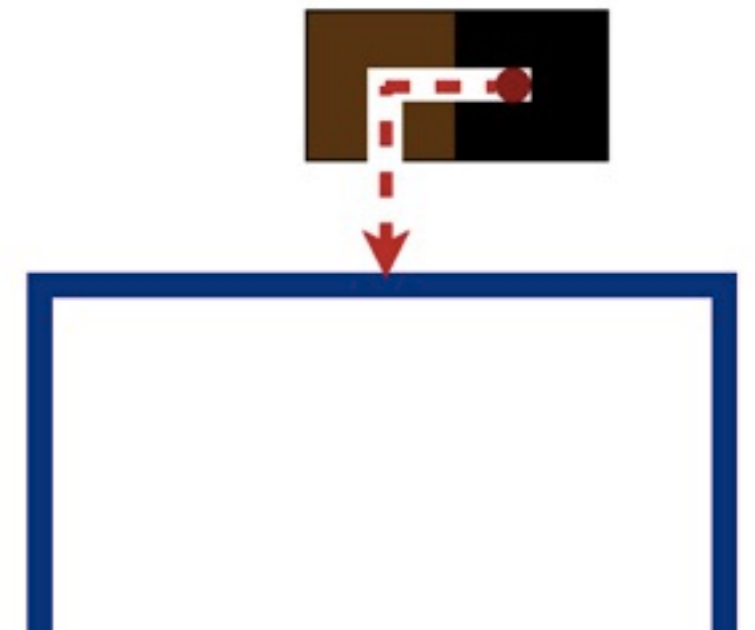
→90%偏光: MF=36%

(ペンシルビームで照射位置が分かっている場合

(吉田修論))

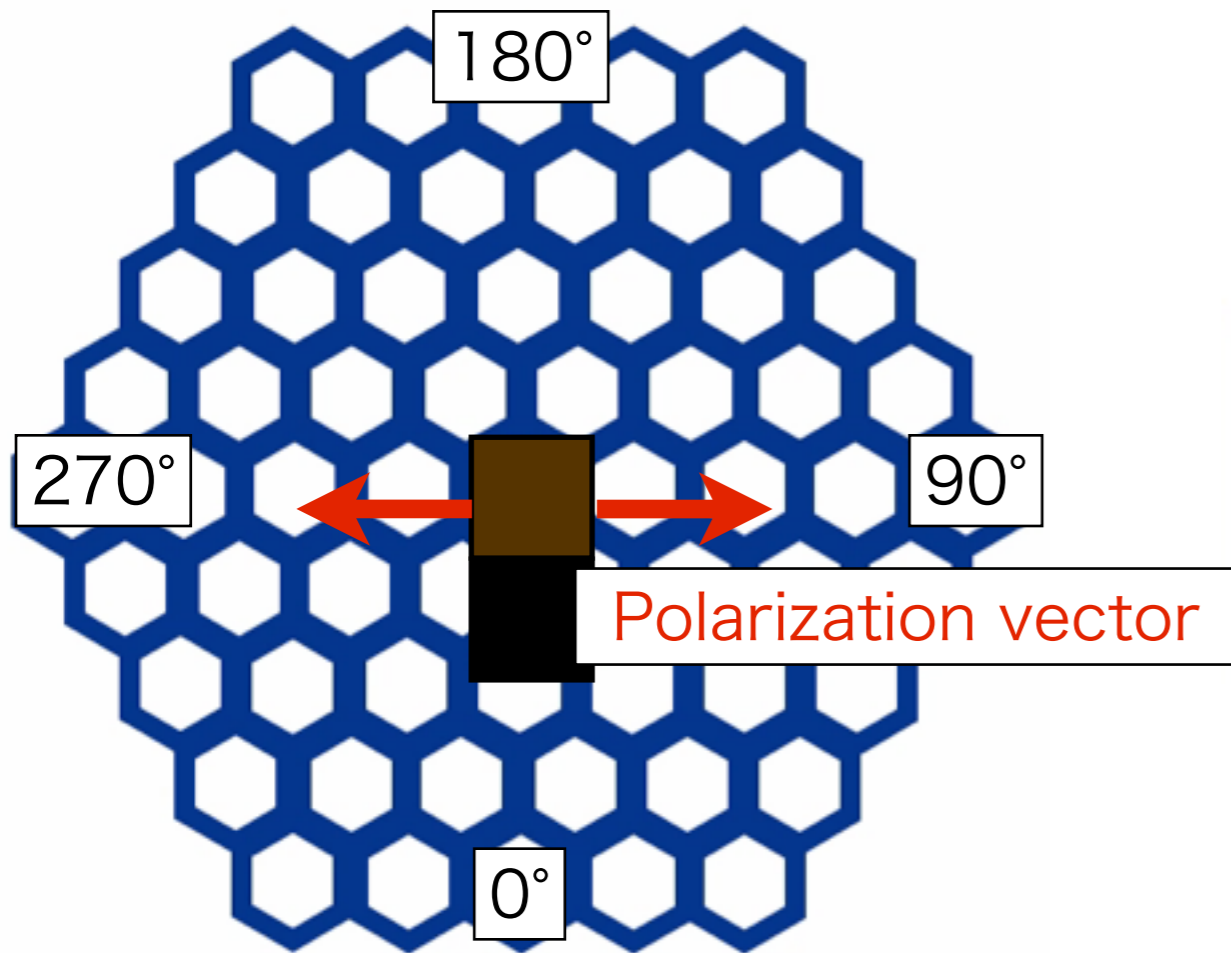
\*59.5 keVの  $\gamma$  線が90°散乱すると53.3 keV

## Cross section



# キャリブレーションのセットアップ

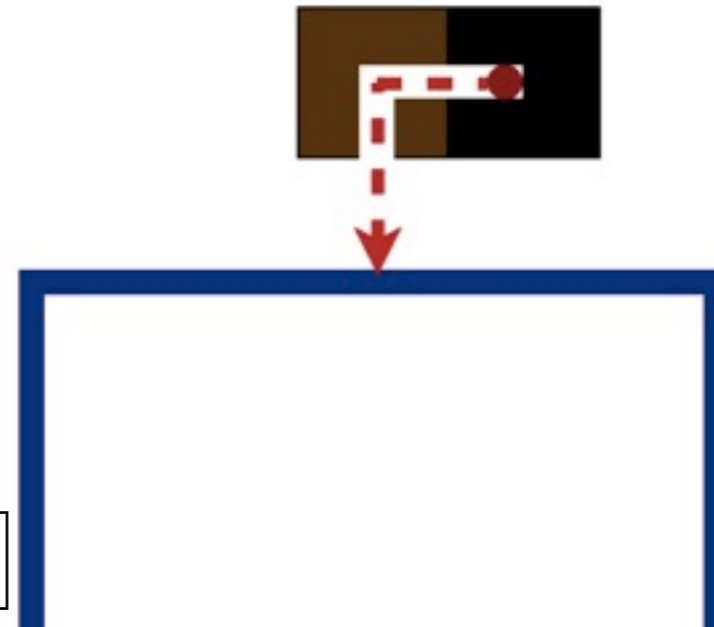
Top view



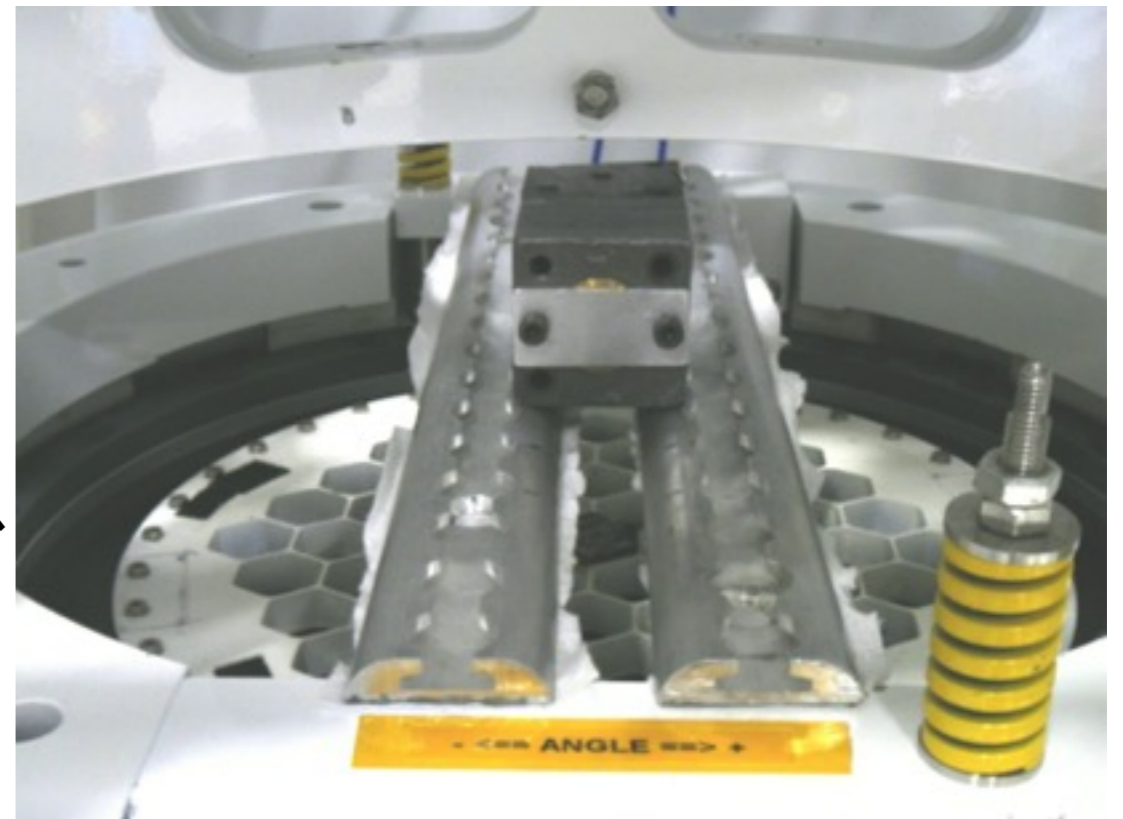
PD=90°/270°

\*検出器自身の系統誤差、大気中性子フラックスの異方性をキャンセルするため、観測中は検出器が5分で1回転する。

Cross section

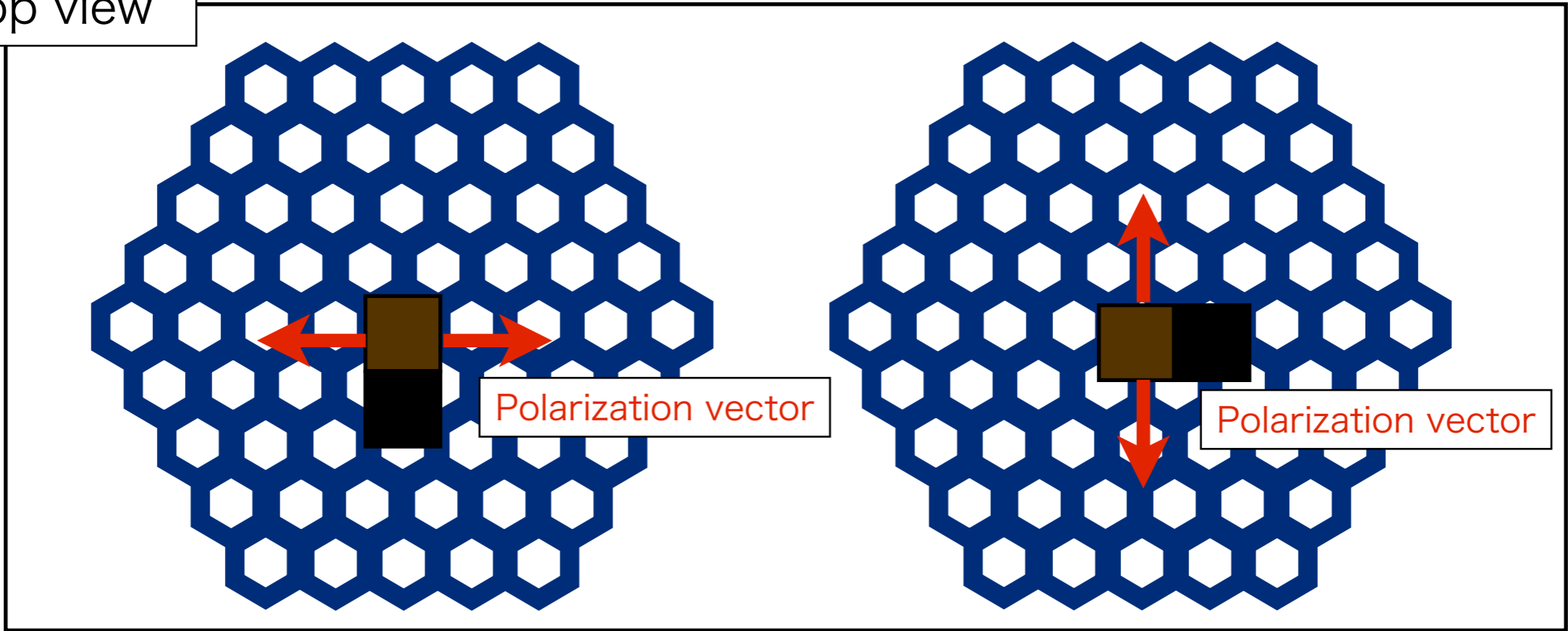


PDCs  
Source( $^{241}\text{Am}$ )  
Holder(Pb)  
Scatter(Pb)

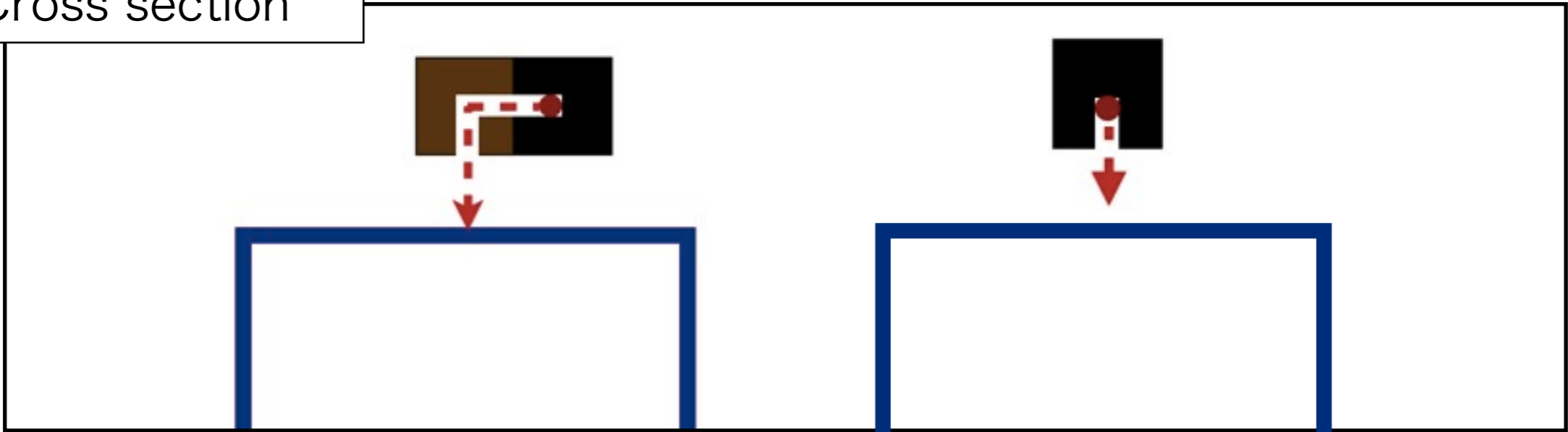


# 照射した $\gamma$ 線

Top view



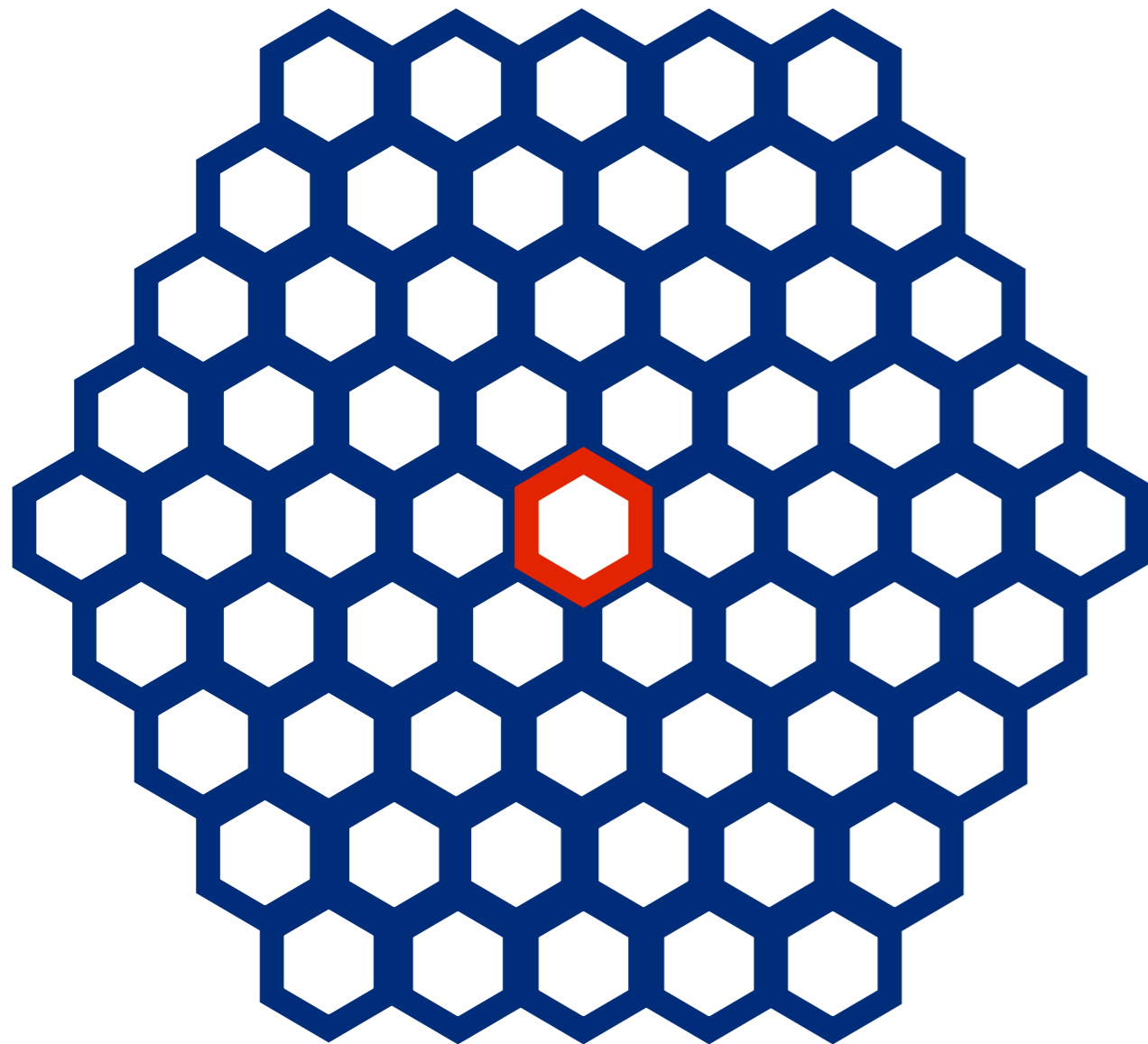
Cross section



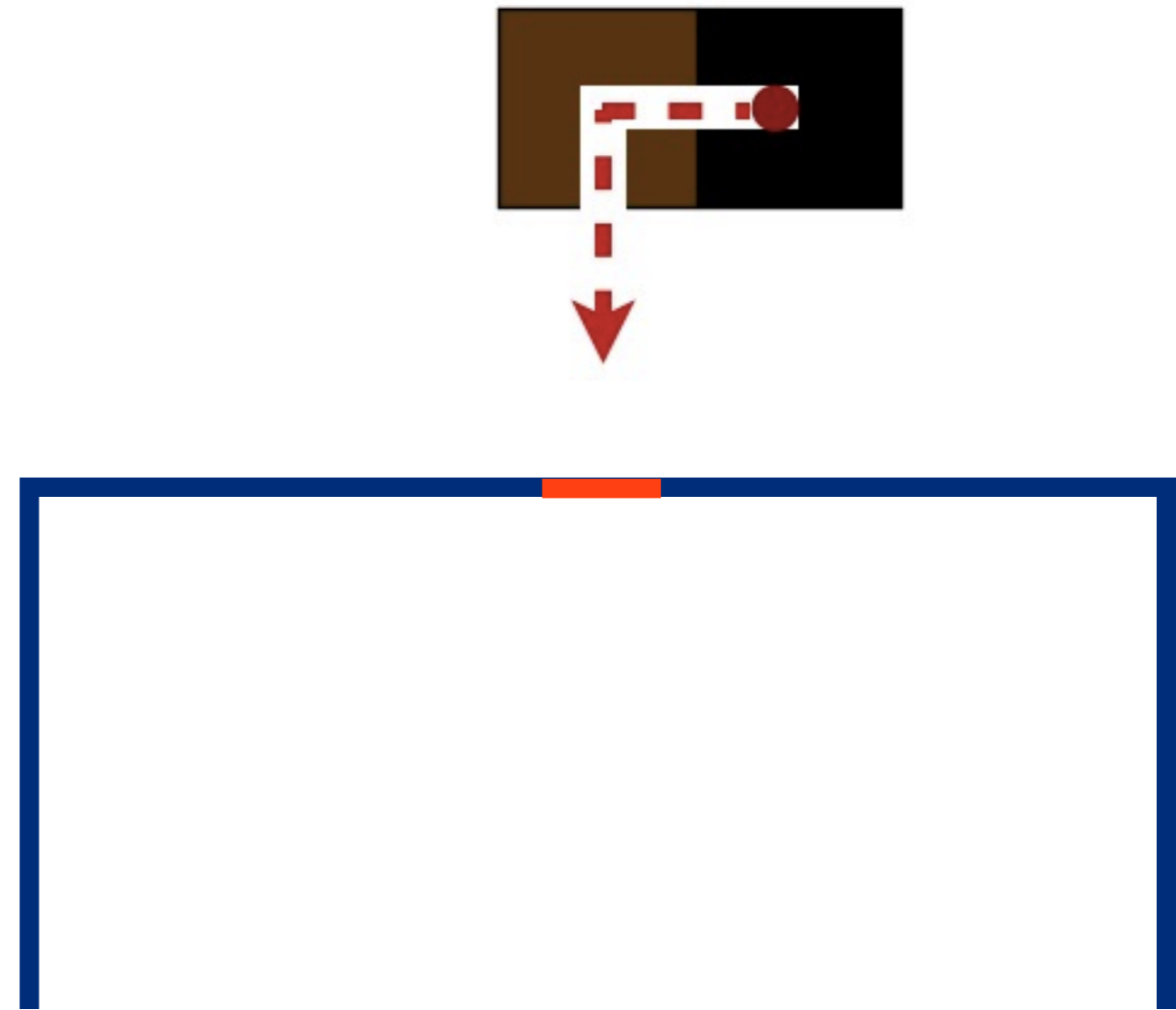
偏光  $\gamma$  線 (2方向の偏光ベクトル) ・ 無偏光  $\gamma$  線

# $\gamma$ 線照射位置

Top view



Cross section

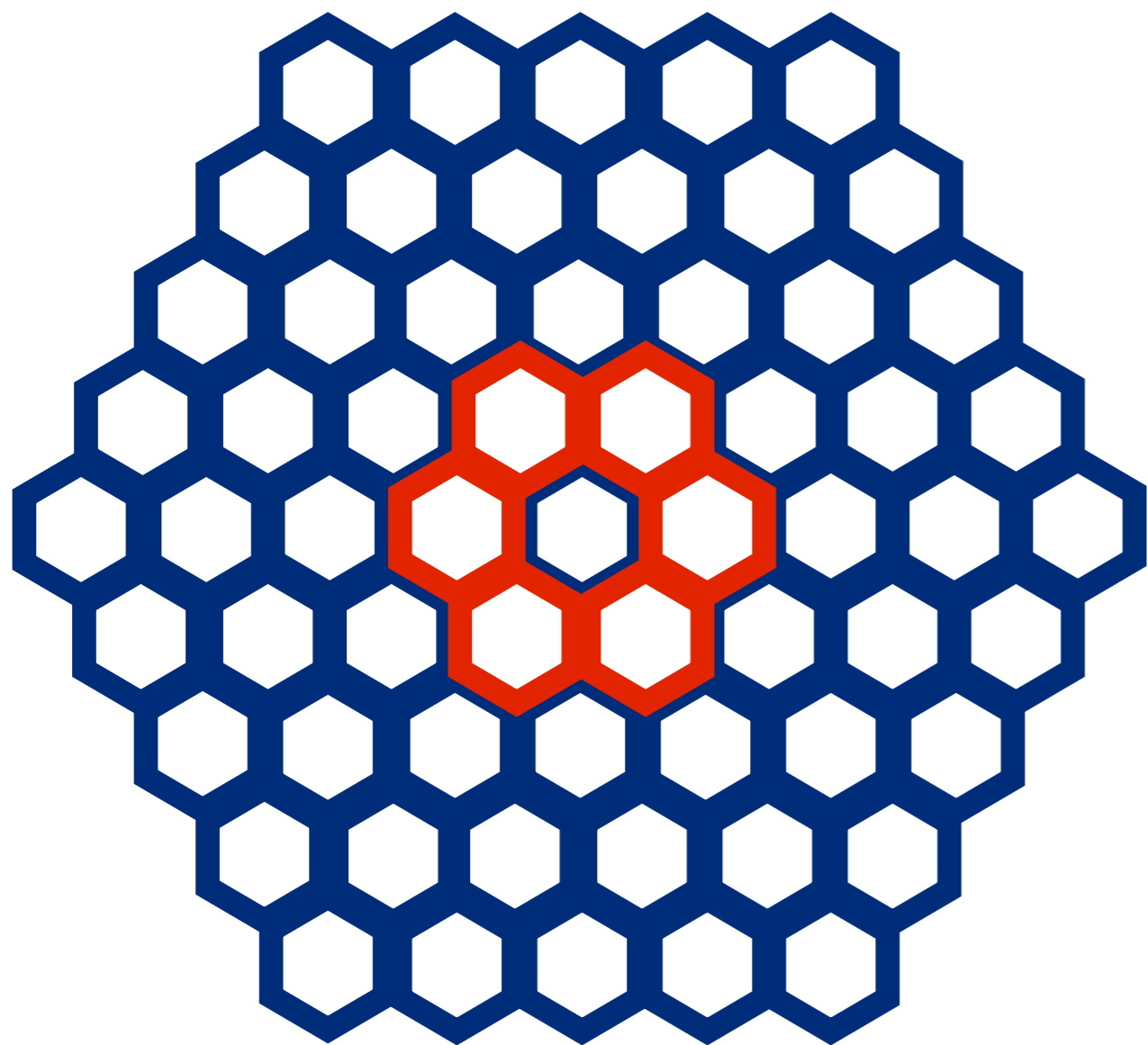


照射位置：center, ring1, ring2, ring3, ring4

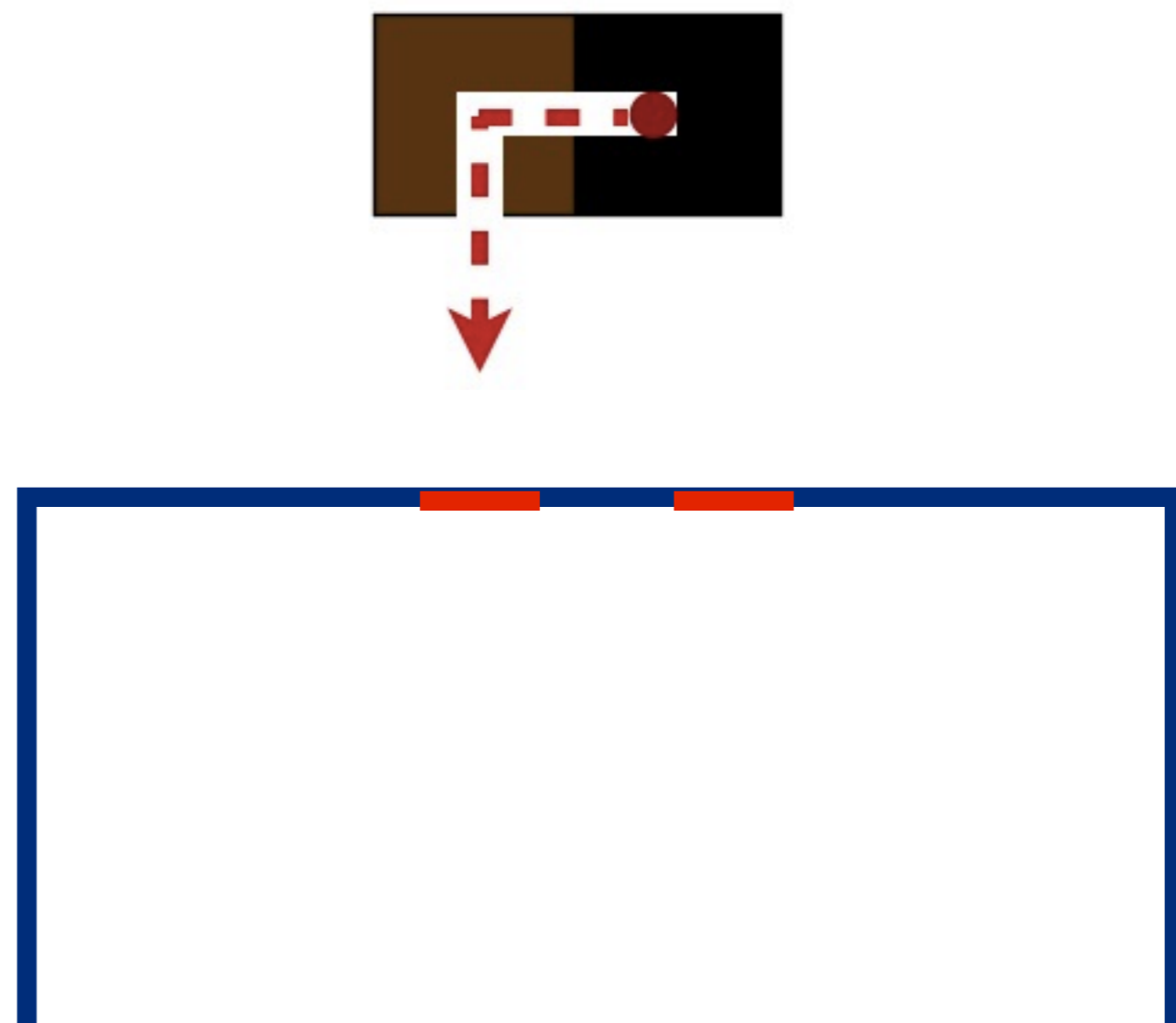
\*照射中は検出器は5分で1回転する

# $\gamma$ 線照射位置

Top view



Cross section

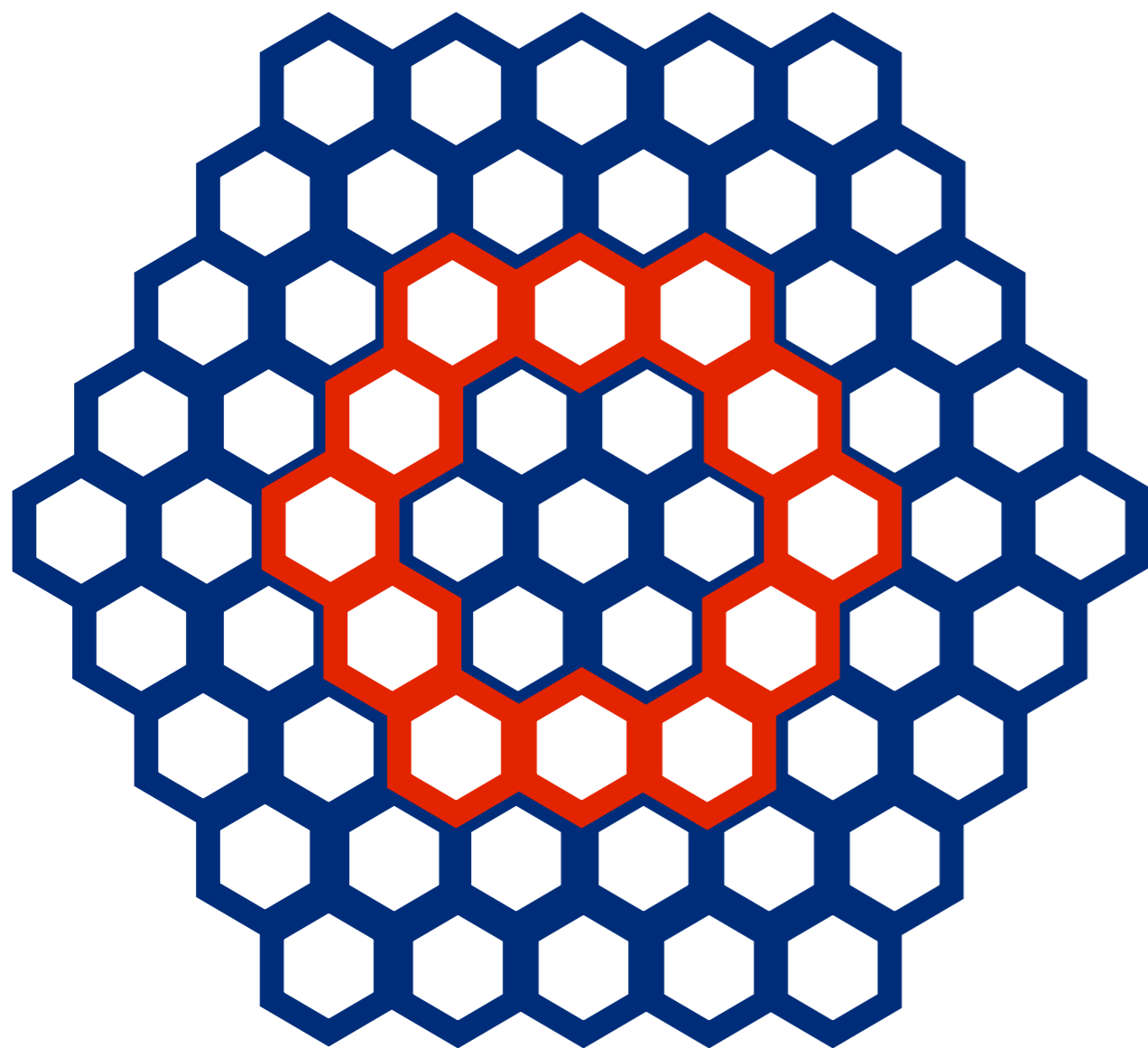


照射位置：center, ring1, ring2, ring3, ring4

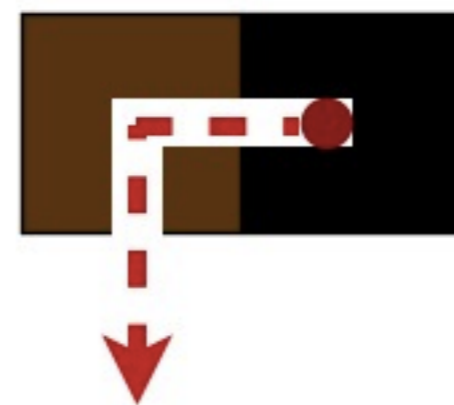
\*照射中は検出器は5分で1回転する

# $\gamma$ 線照射位置

Top view



Cross section

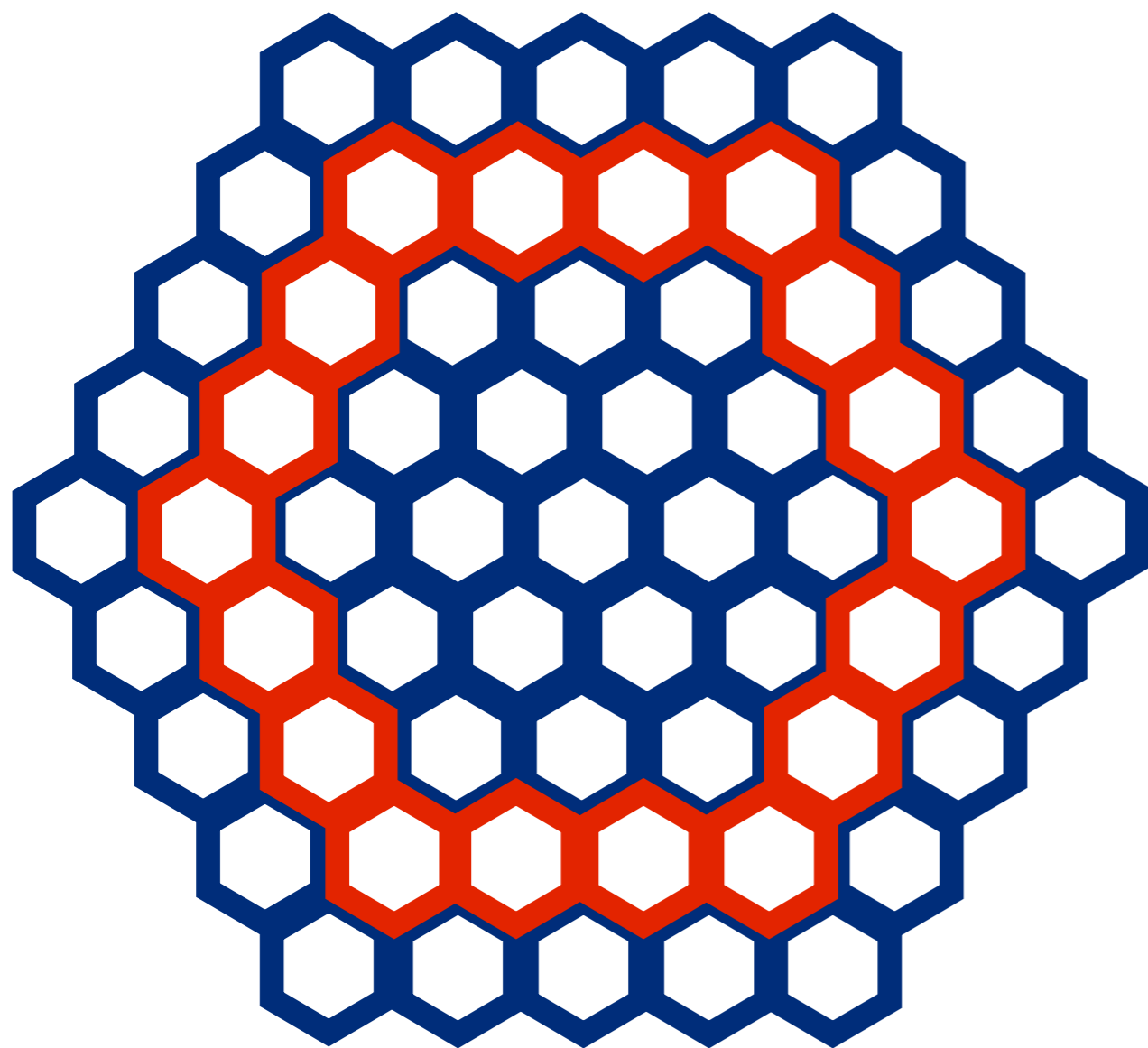


照射位置：center, ring1, ring2, ring3, ring4

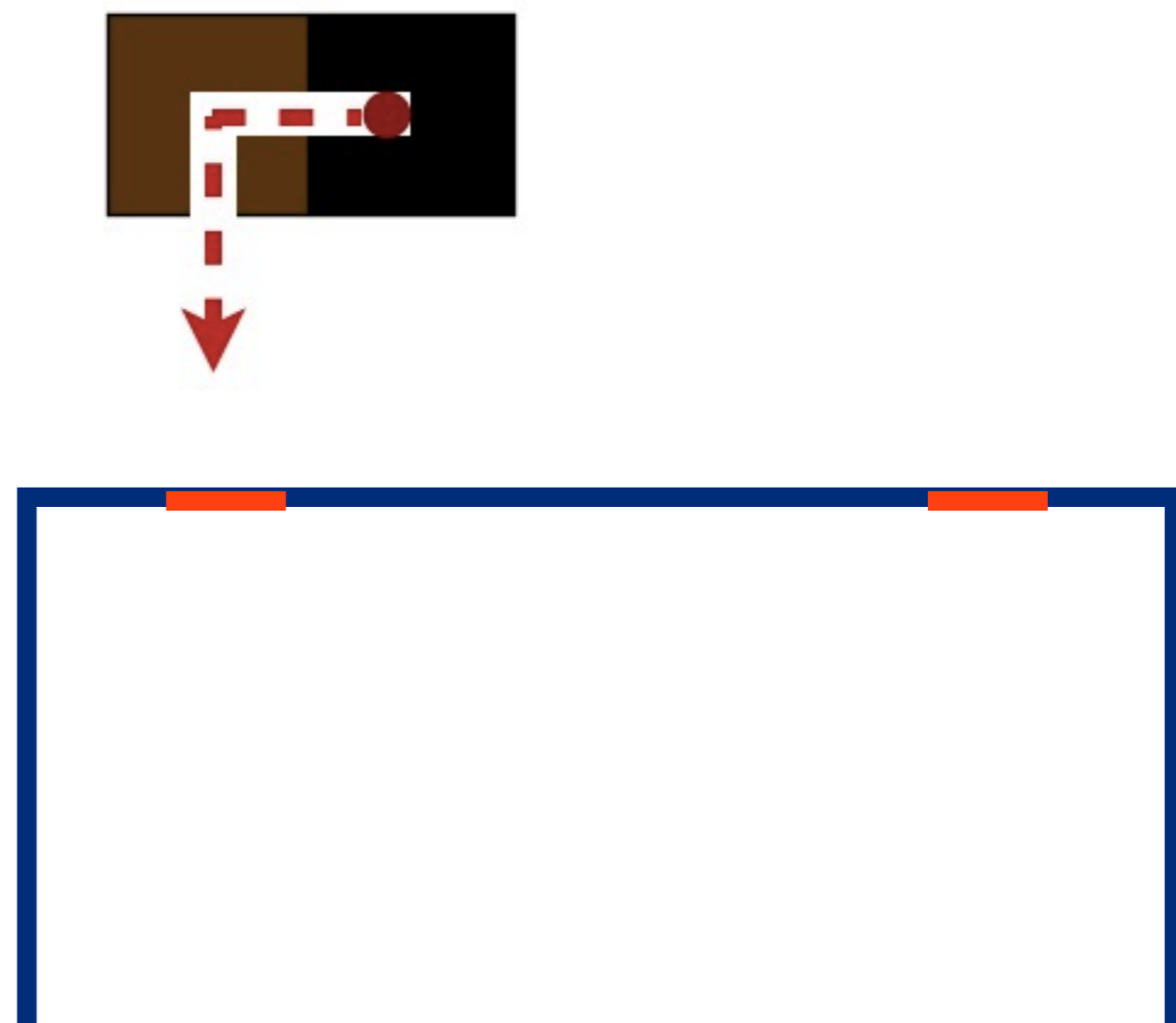
\*照射中は検出器は5分で1回転する

# $\gamma$ 線照射位置

Top view



Cross section

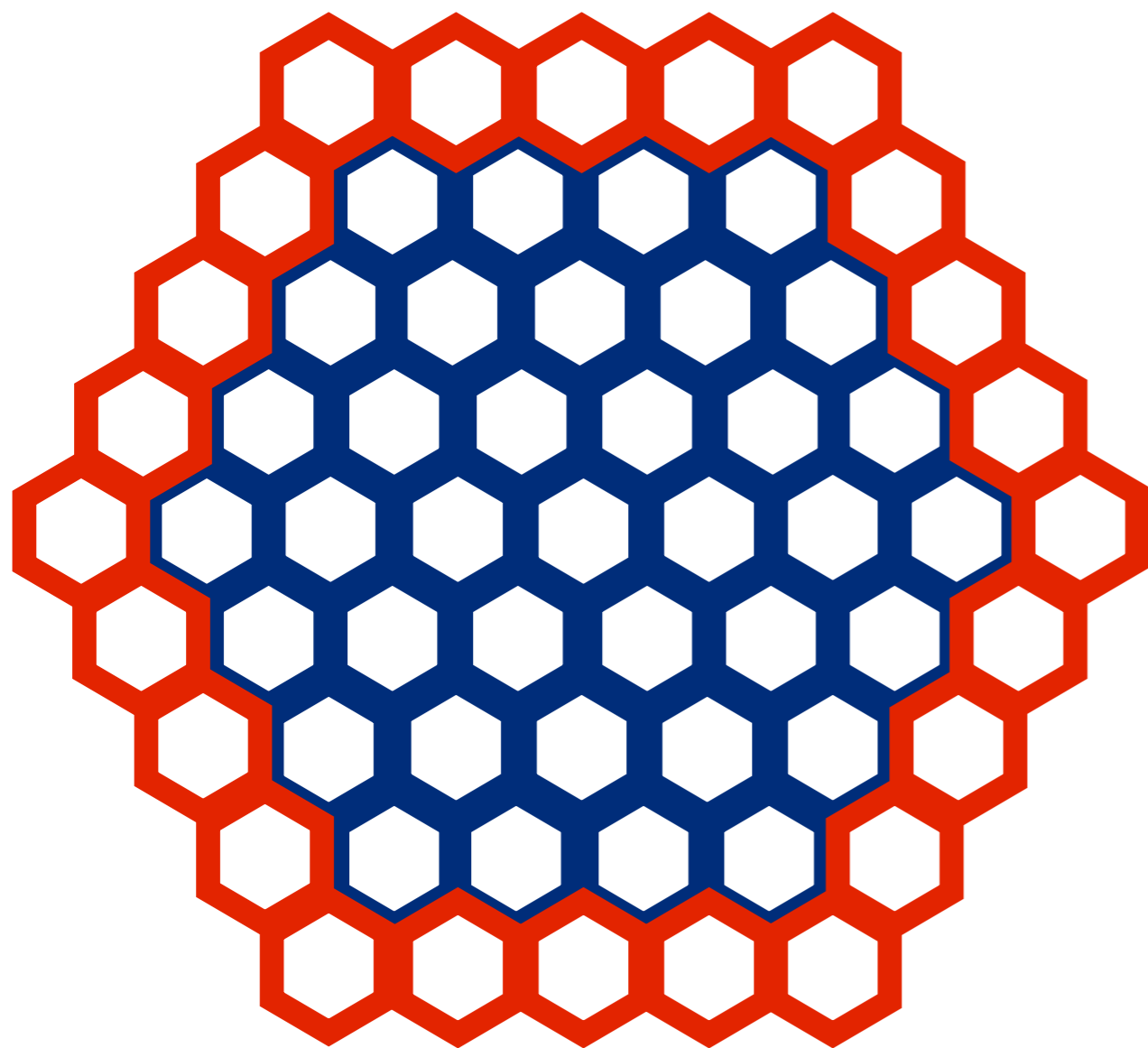


照射位置：center, ring1, ring2, ring3, ring4

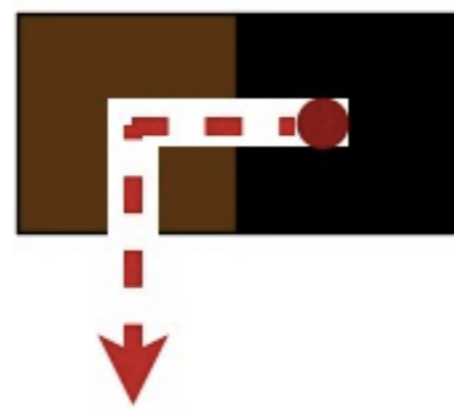
\*照射中は検出器は5分で1回転する

# $\gamma$ 線照射位置

Top view



Cross section



照射位置：center, ring1, ring2, ring3, ring4

\*照射中は検出器は5分で1回転する

# $\gamma$ 線照射位置

Top view



Cross section



昼夜一貫して、中心からring4まで場所で  
 $\gamma$ 線を照射 (延べ100時間以上) を実施



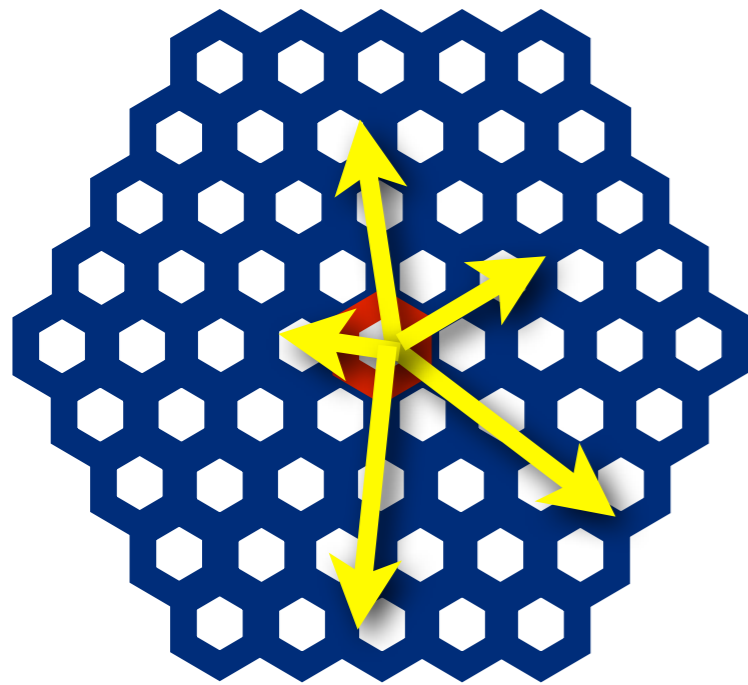
照射位置 : center, ring1, ring2, ring3, ring4

\*照射中は検出器は5分で1回転する

# Events selection

解析には線源が上を通るPDCを中心とした2hitsイベントのみを使用

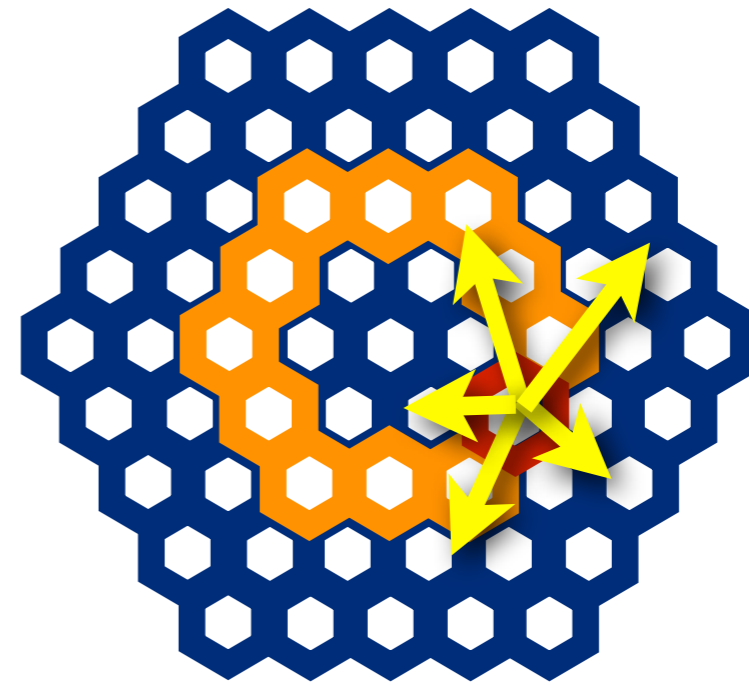
(照射位置が分かった上での解析)



center central event



ring1 central event



ring2 central event

...

$\gamma$  線はscatteringで低いエネルギーを落とし、  
absorptionで高いエネルギーを落とす

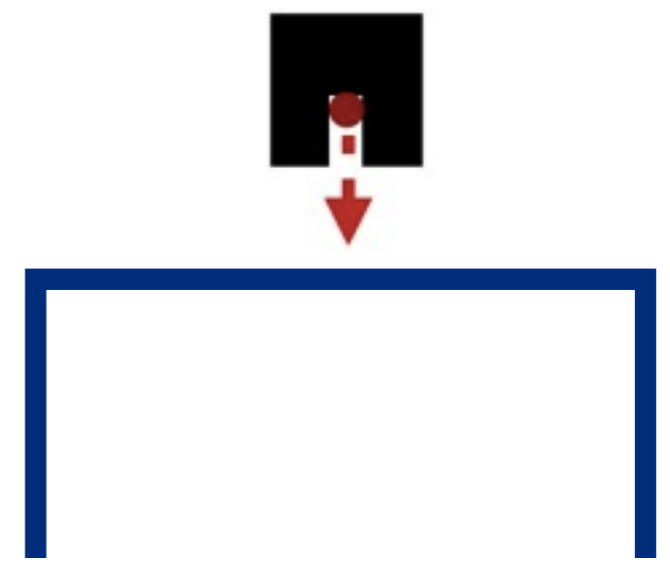
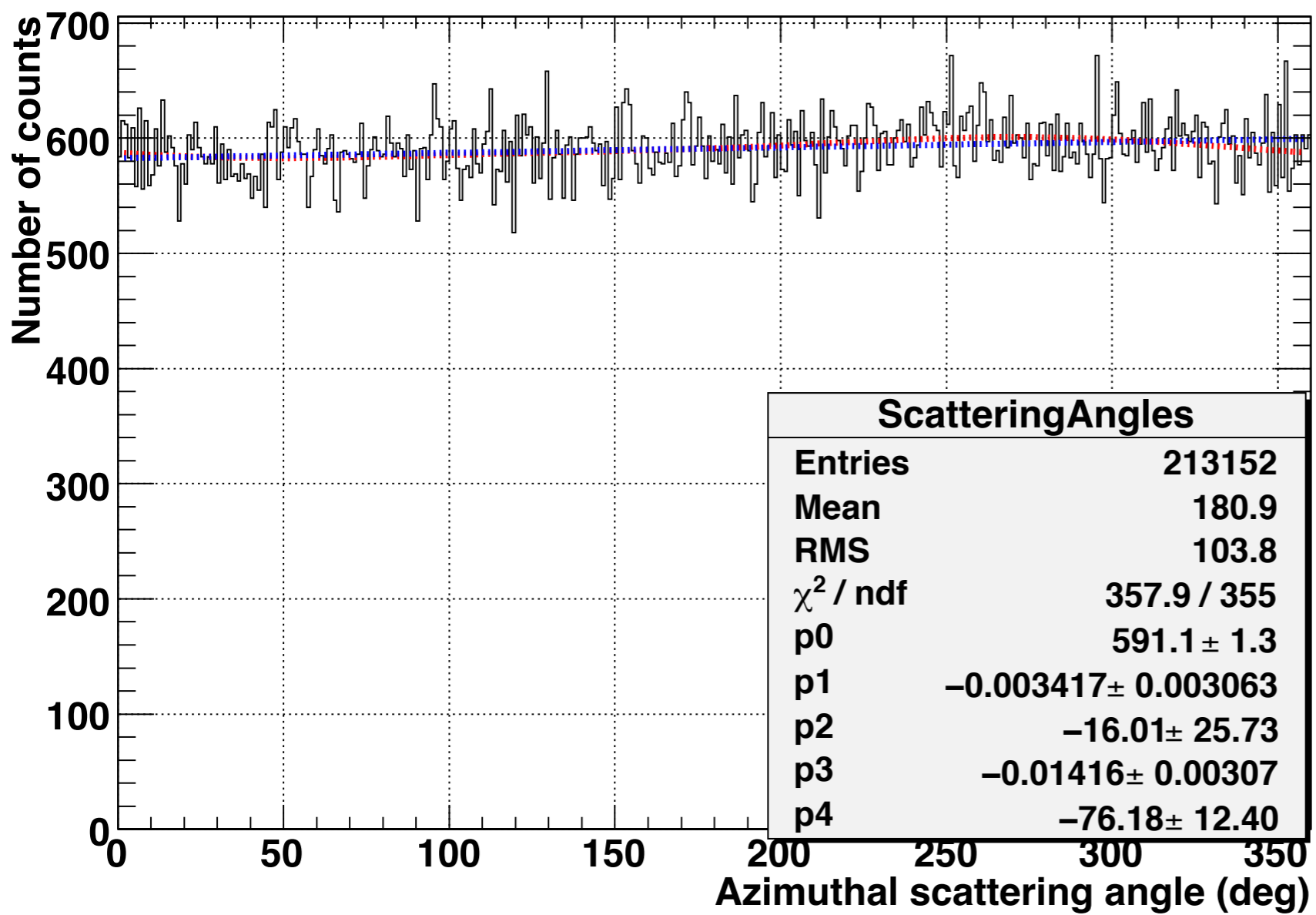
# index

- 背景
- PoGO Lite
  - 概要
  - 主検出器概要
  - モジュールーションファクター
- Calibration
  - 実験方法
  - 実験結果
  - 結果の考察
- Summary

# 無偏光 $\gamma$ 線照射@center

exposure time = 30 min

Distribution of scattering angles



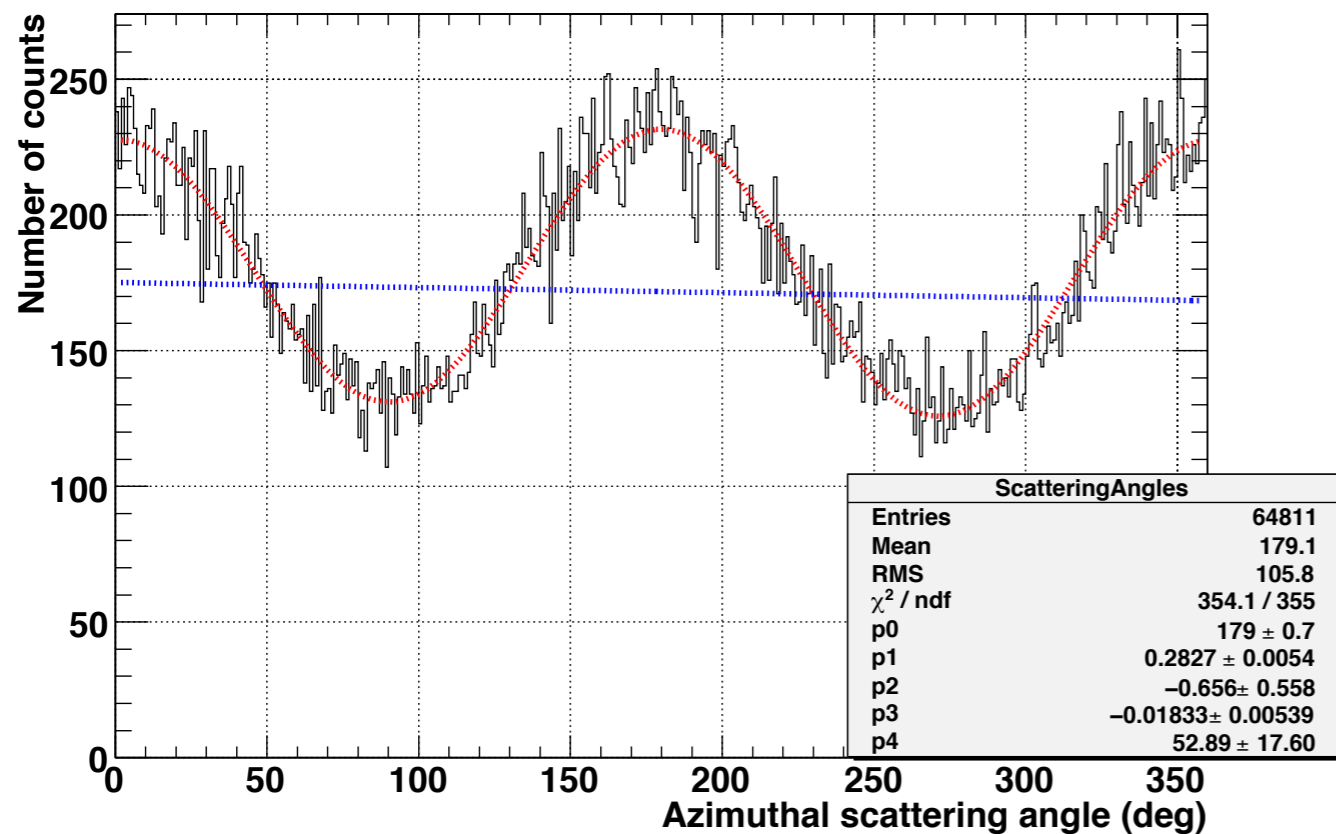
$MF = 0.34 \pm 0.31\%$

# 偏光 $\gamma$ 線照射@center

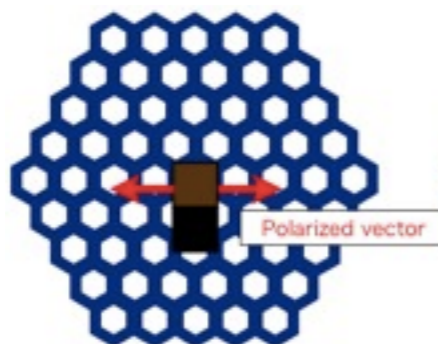
Polarization vector = 90/270 deg@center  
exposure time = 1440 min

Polarization vector = 0/180 deg@center  
exposure time = 600 min

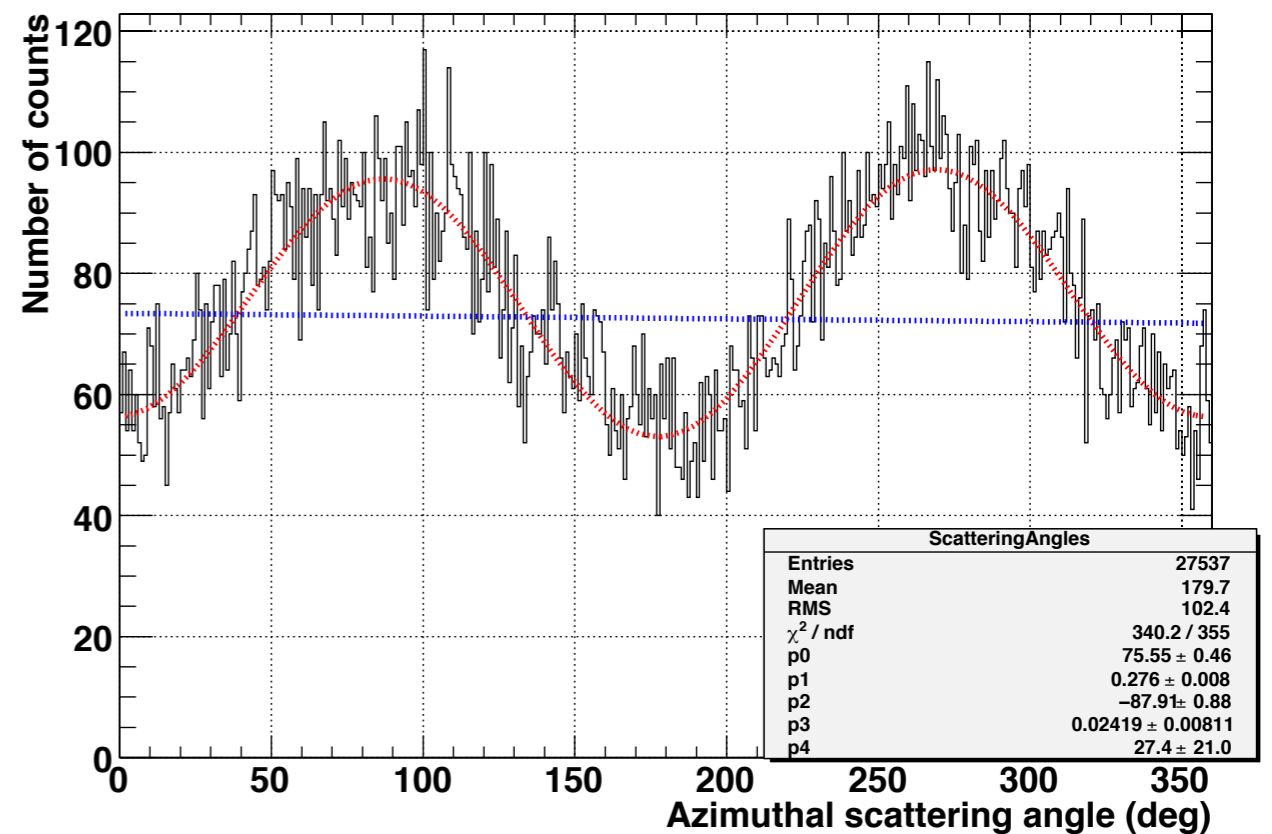
Distribution of scattering angles



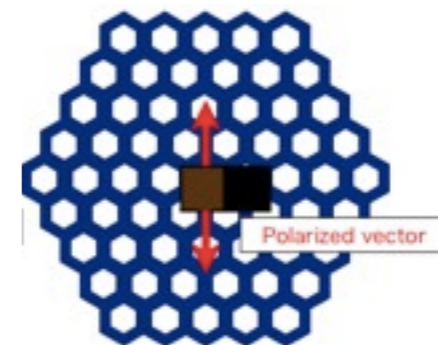
$$MF = 28.3 \pm 0.5\%$$



Distribution of scattering angles



$$MF = 27.6 \pm 0.8\%$$



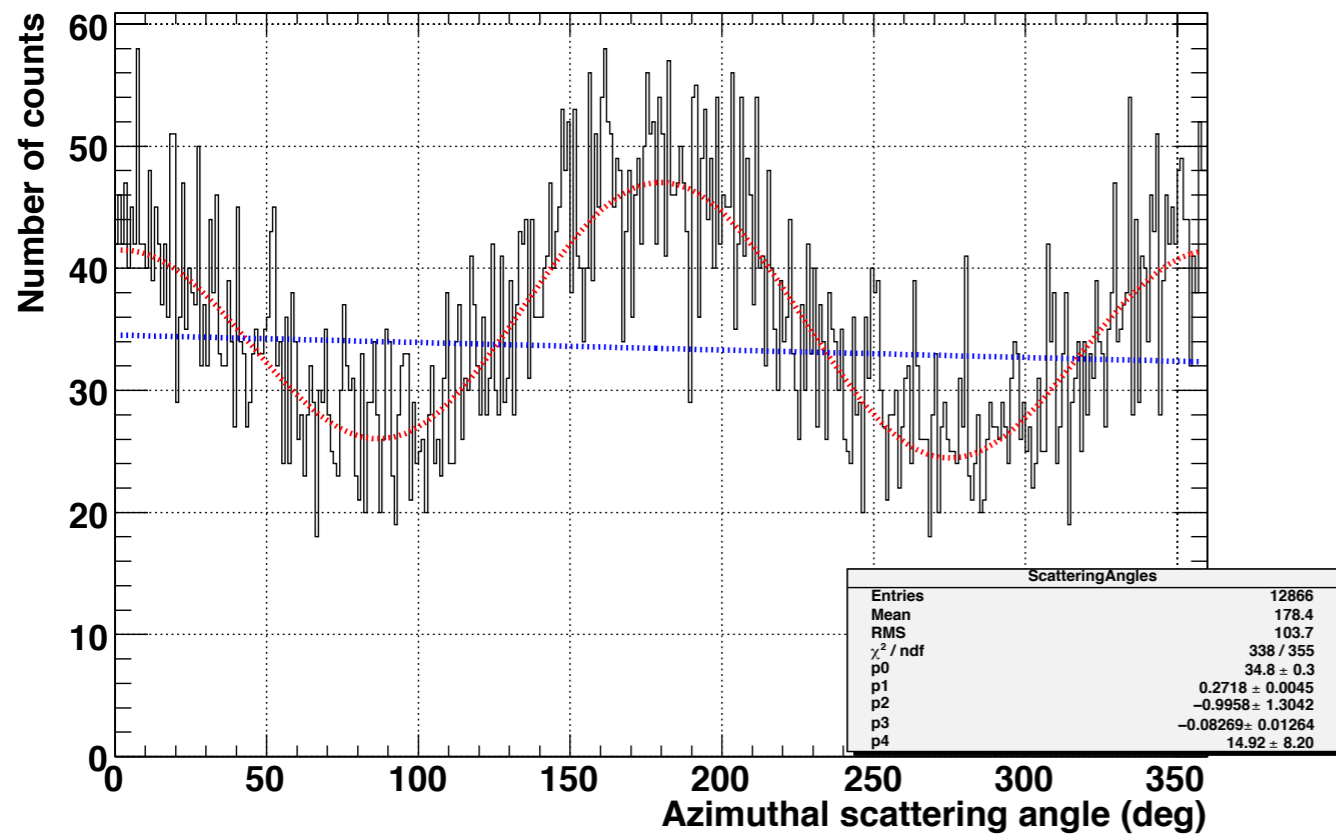
# 偏光 $\gamma$ 線照射@ring1

Polarization vector = 90/270 deg@center  
exposure time = 505 min

# 偏光 $\gamma$ 線照射@ring2

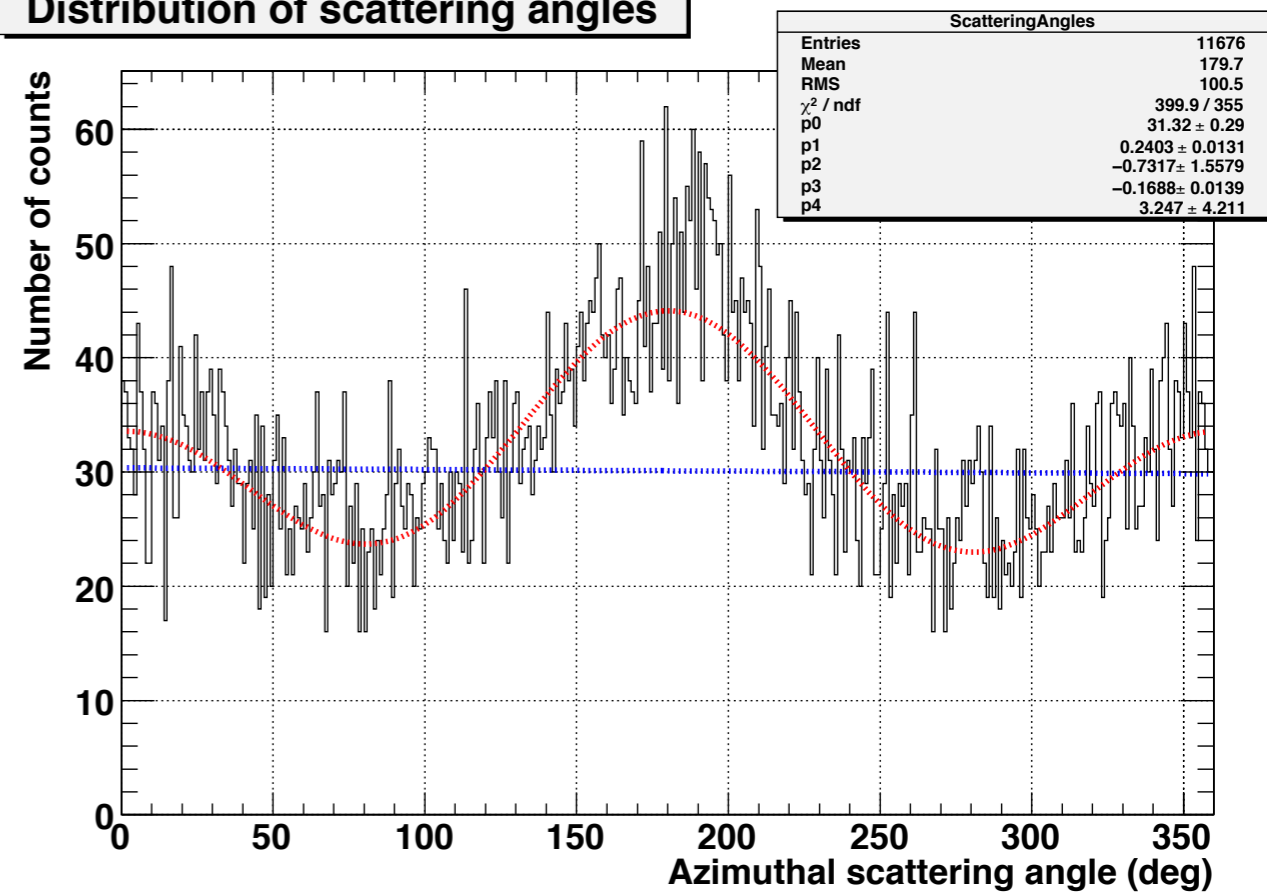
Polarization vector = 90/270 deg@center  
exposure time = 625 min

Distribution of scattering angles



$$\text{MF} = 27.2 \pm 0.4\%$$

Distribution of scattering angles

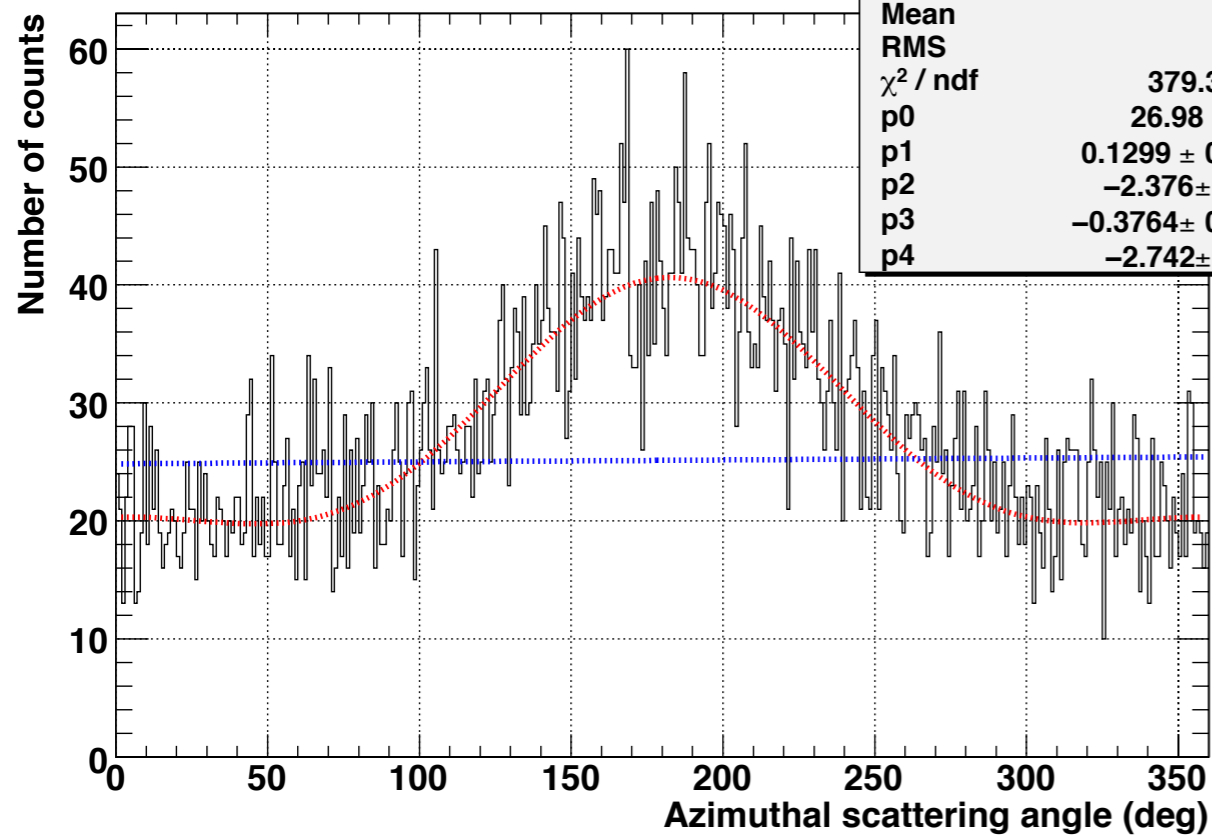


$$\text{MF} = 24.0 \pm 1.3\%$$

# 偏光 $\gamma$ 線照射@ring3

Polarization vector = 90/270 deg@center  
exposure time = 600 min

Distribution of scattering angles

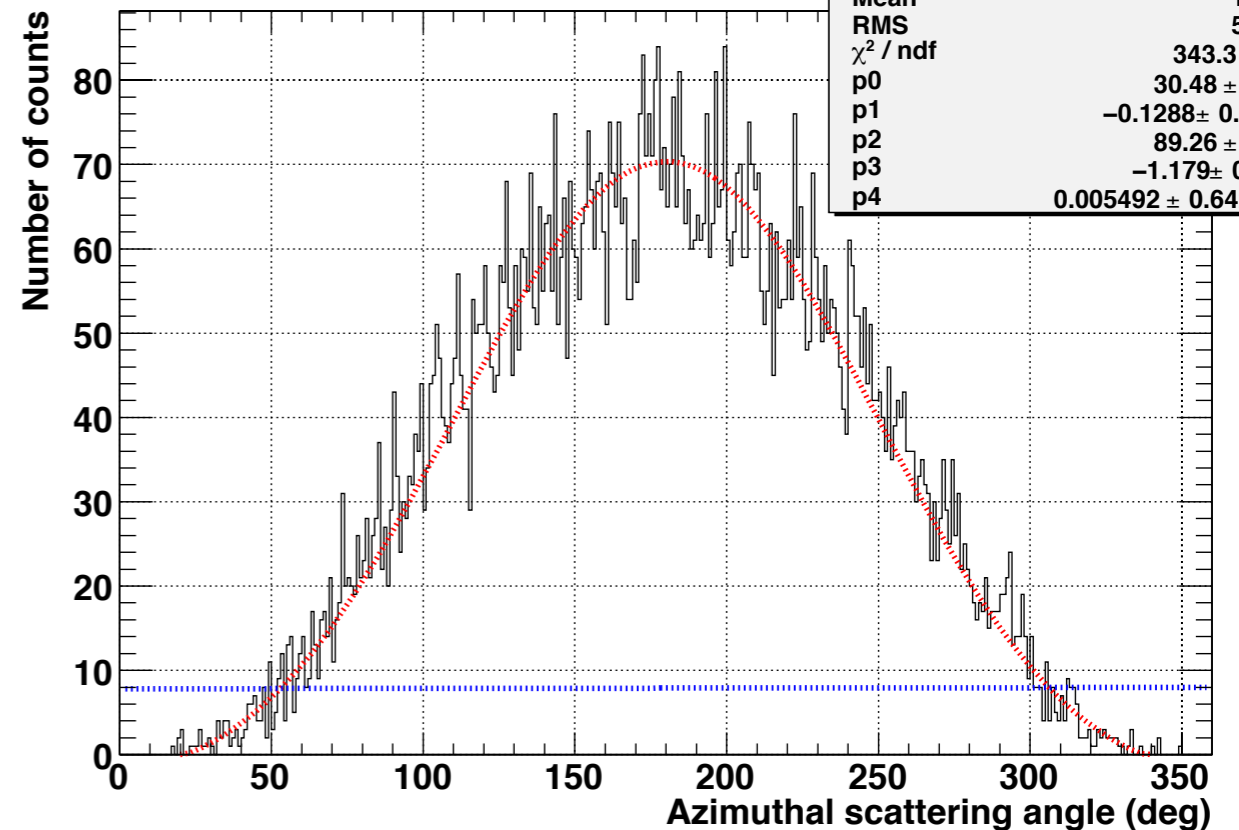


MF =  $13.0 \pm 0.14\%$

# 偏光 $\gamma$ 線照射@ring4

Polarization vector = 90/270 deg@center  
exposure time = 920 min

Distribution of scattering angles



MF =  $12.9 \pm 0.115\%$

Simulationでも定量的に一致するか確認中

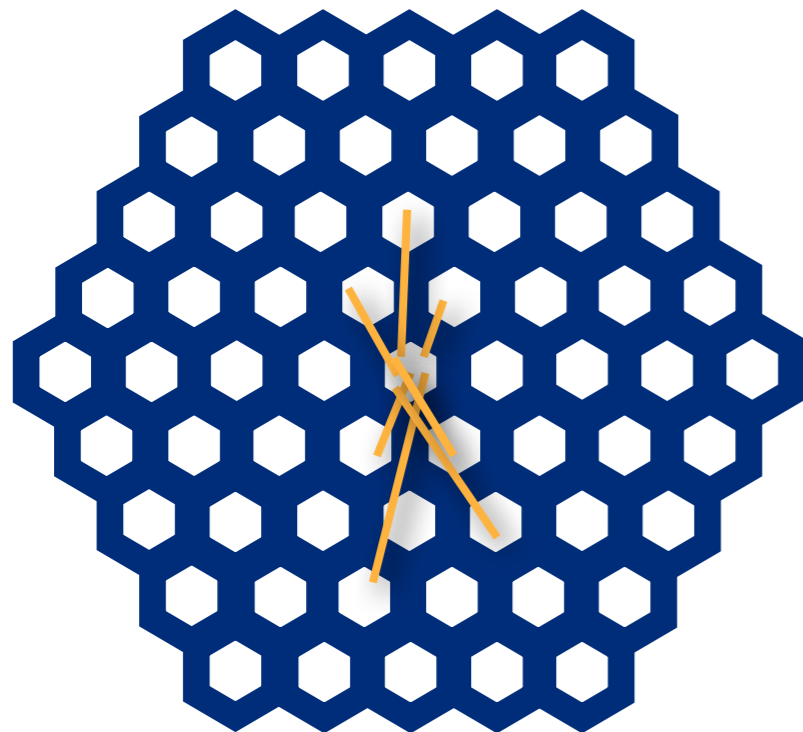
# index

- 背景
- PoGOLite
  - 概要
  - 主検出器概要
  - モジュールーションファクター
- Calibration
  - 実験方法
  - 実験結果
  - 結果の考察
- Summary

# 結果の考察

## ❖ 成果

- モジュレーションのシステムティクス0.7%以下
- 90%の偏光  $\gamma$  線に対してMF=28%
- MFが使用性能に比べ低くなる理由
  - PDC全面に広がりのある  $\gamma$  線を照射
  - ランダムマイゼーションを使用



~ランダムマイゼーション~

カウント数が少ない時でも滑らかなMFを描くためにPDC内のランダムな位置を反応位置とする

\*カウント数が多い時は不要

\*MF度低下する(定量的な値は確認中)

# index

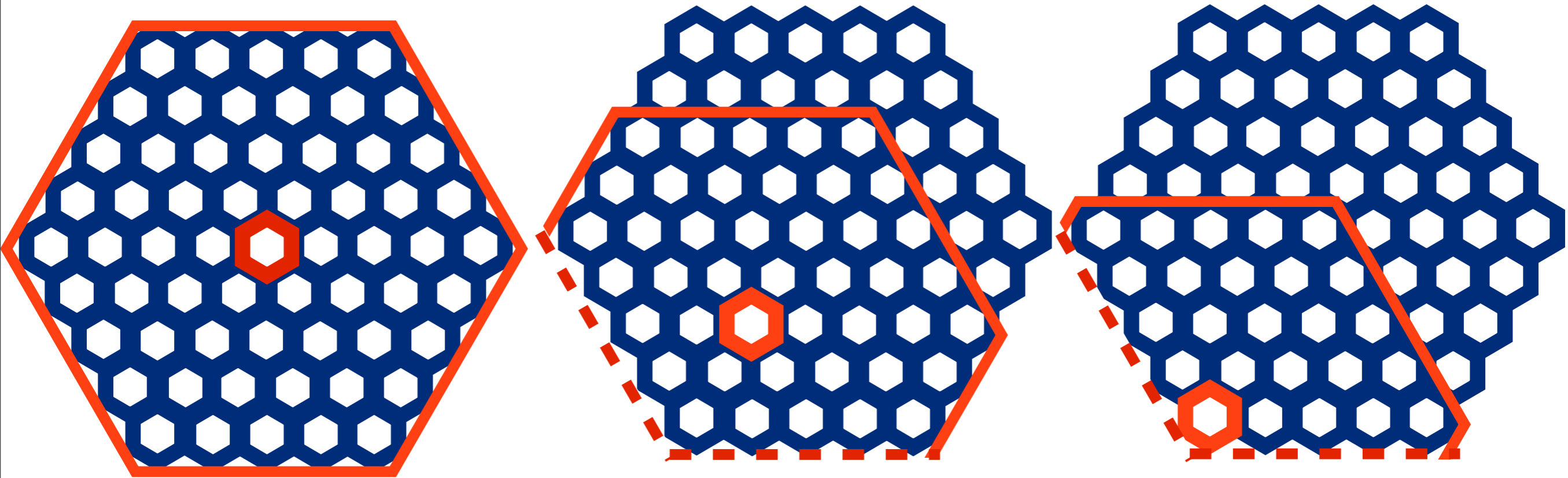
- 背景
- PoGO Lite
  - 概要
  - 主検出器概要
  - モジュールーションファクター
- Calibration
  - 実験方法
  - 実験結果
  - 結果の考察
- Summary

# Summary

- 地上実験で  $\gamma$  線源等を用いてキャリブレーション試験を行った
  - ▶ Simulationでも定量的に一致するか確認中
- PoGO Liteは2013年夏に放球予定
- PoGO Lino(大気中性子検出用)を先週実測



外側のringのModulation carve が非対称になる



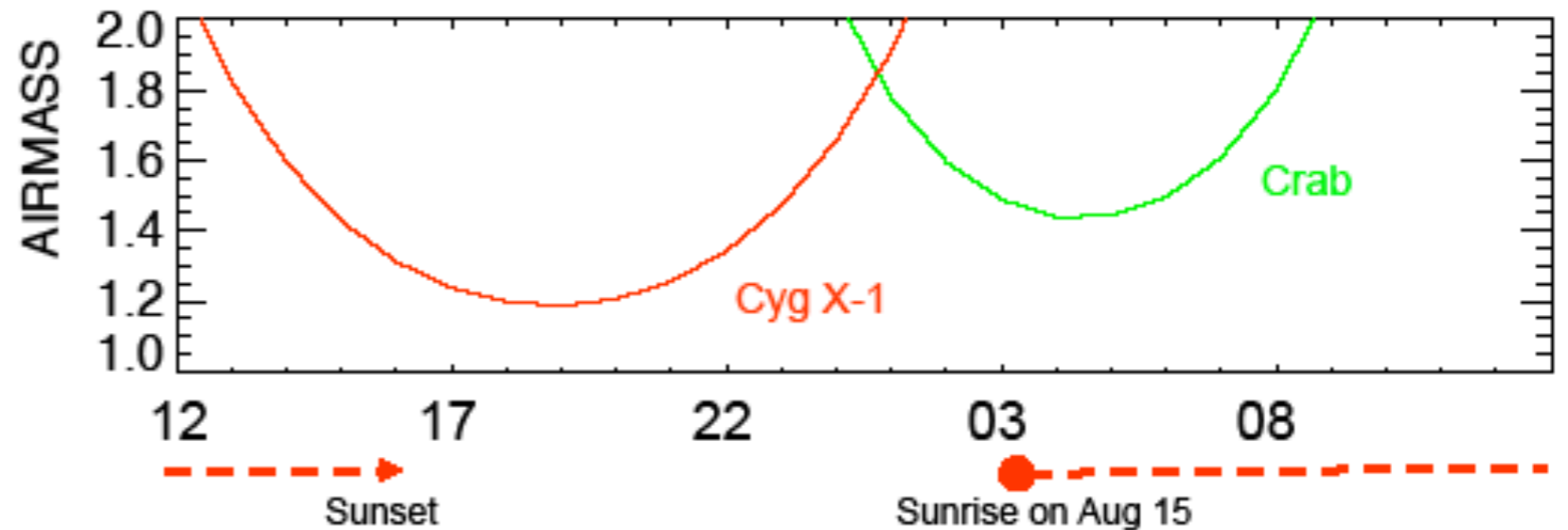
線源を置く位置が外側になるに連れて、その位置を中心とする六角形が描く範囲内にあるPDCの数が減少する

⇒偏光を検出する事が出来る実効面積の減少

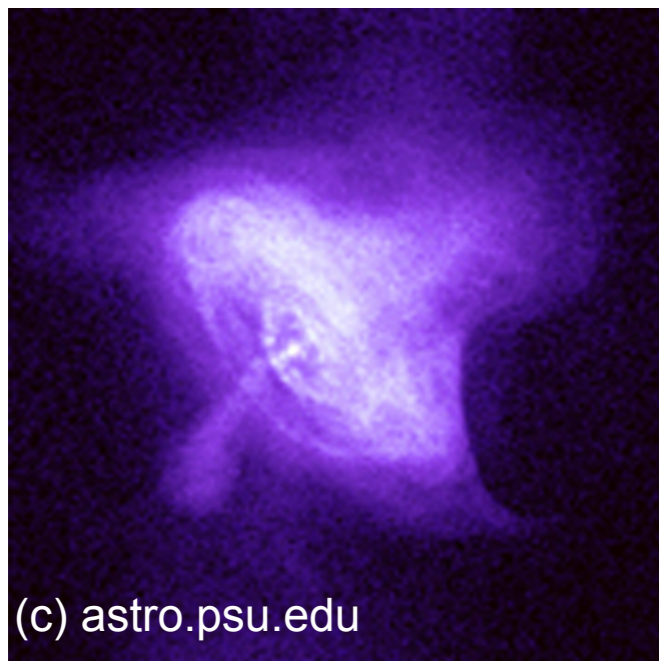
Simulationでも定量的に一致するか確認中

# Pathfinder Flight from Sweden

## Flight Plan (1-day long)



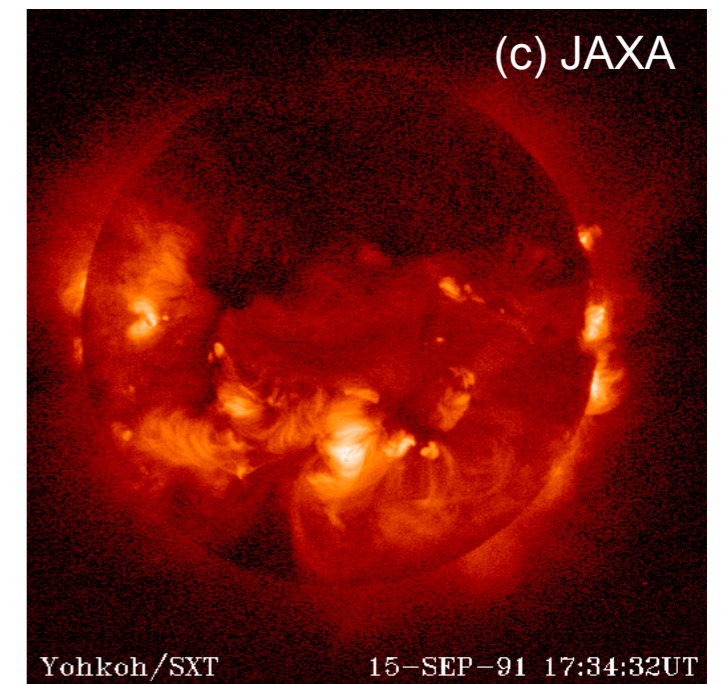
## Crab nebula (Pulsar)



## Cyg X-1 (Black hole binary)



## Solar flare



## PoGOLite の特徴

- 大面積、(それなりの)低バックグラウンド => 明るい天体から硬X線偏光の検出
- 長時間の連続観測(最長~2週間): 高い統計、天体の変動(かに星雲も変動)<sup>1</sup>