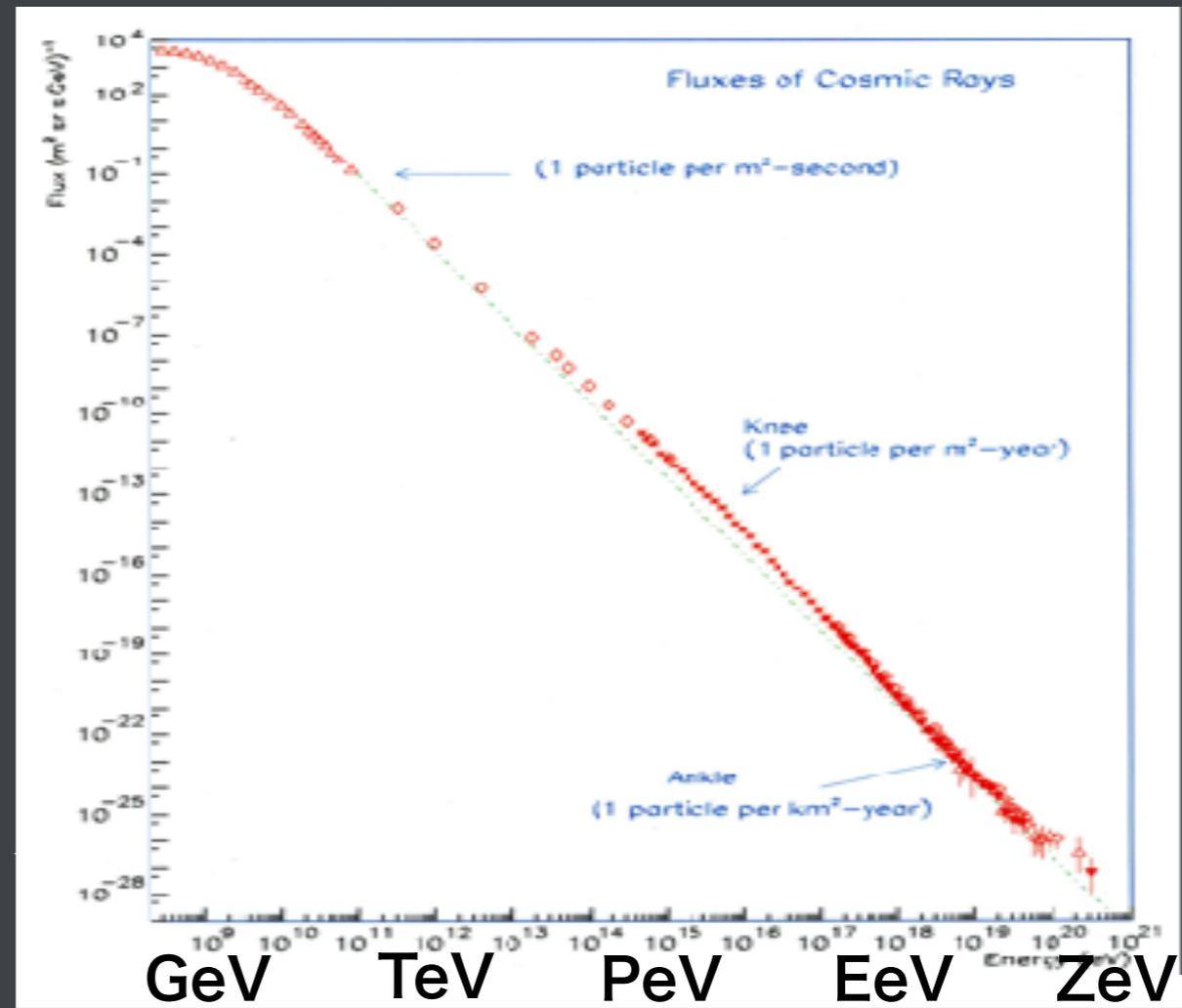
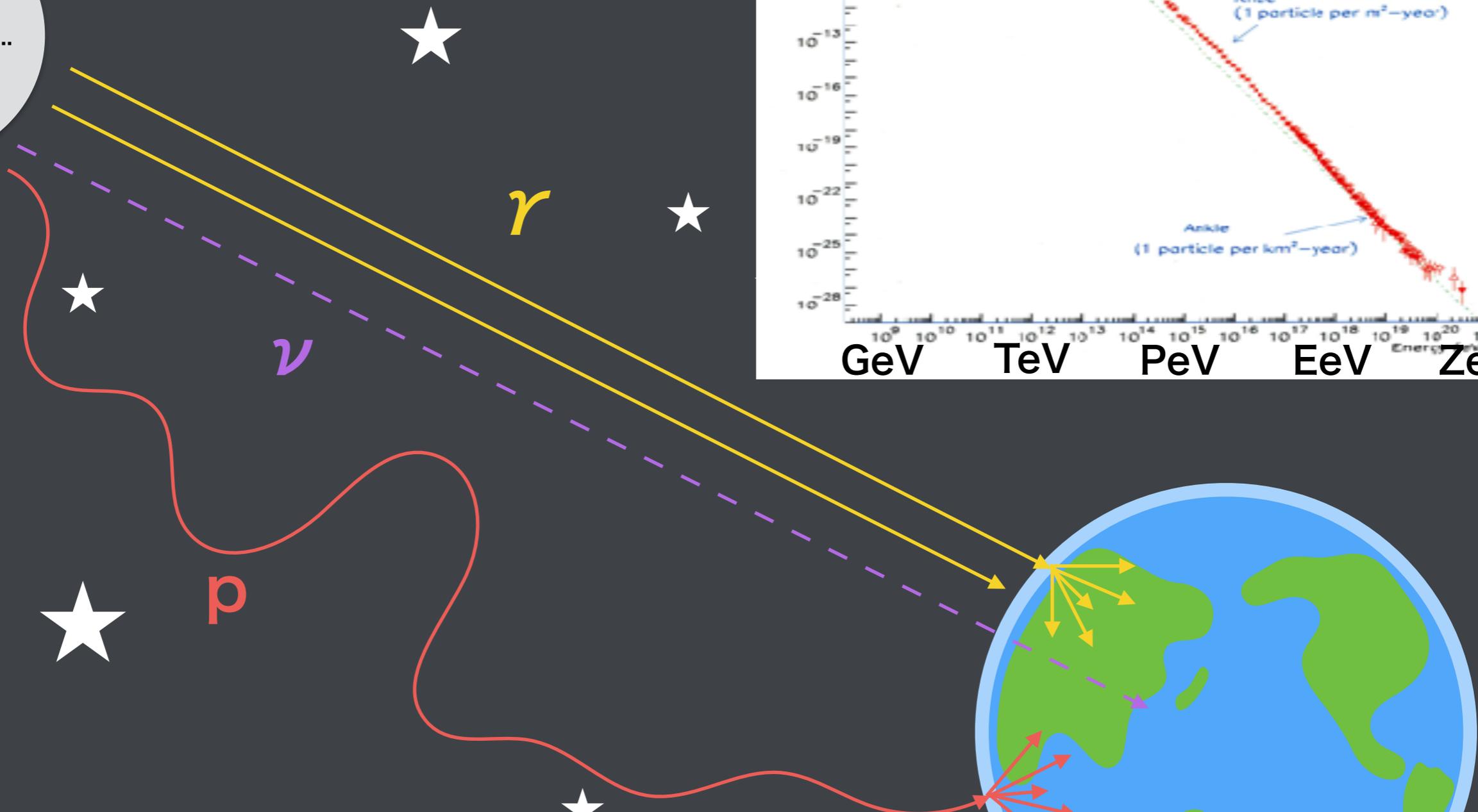


γ 線精密観測に向けた原子核乾板読み取り装置の角度キャリブレーション

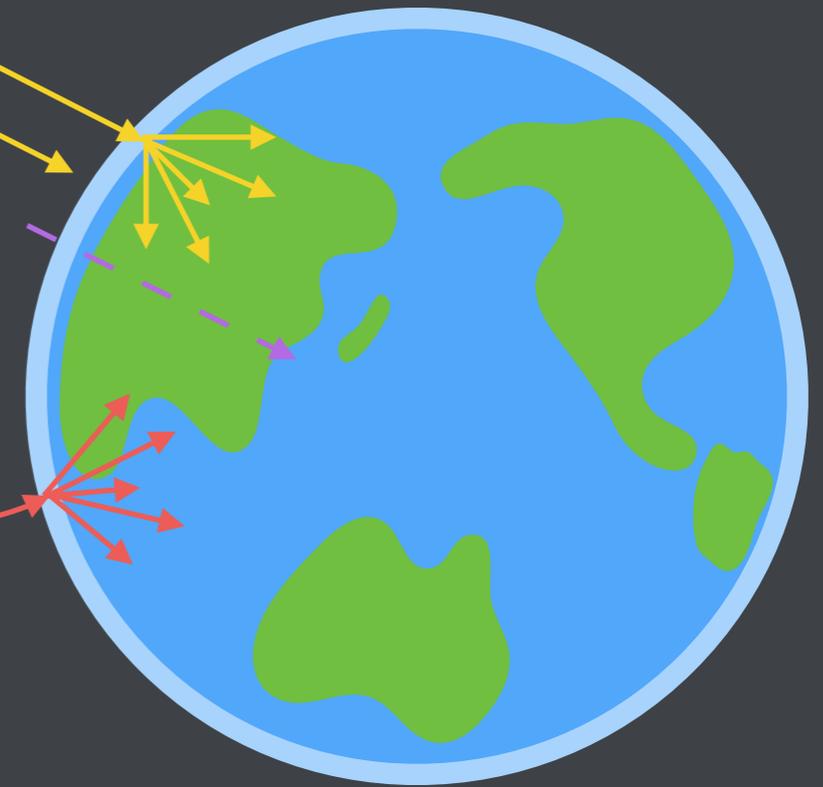
名古屋大学M1 中村悠哉



SNR,GRB,AGN...

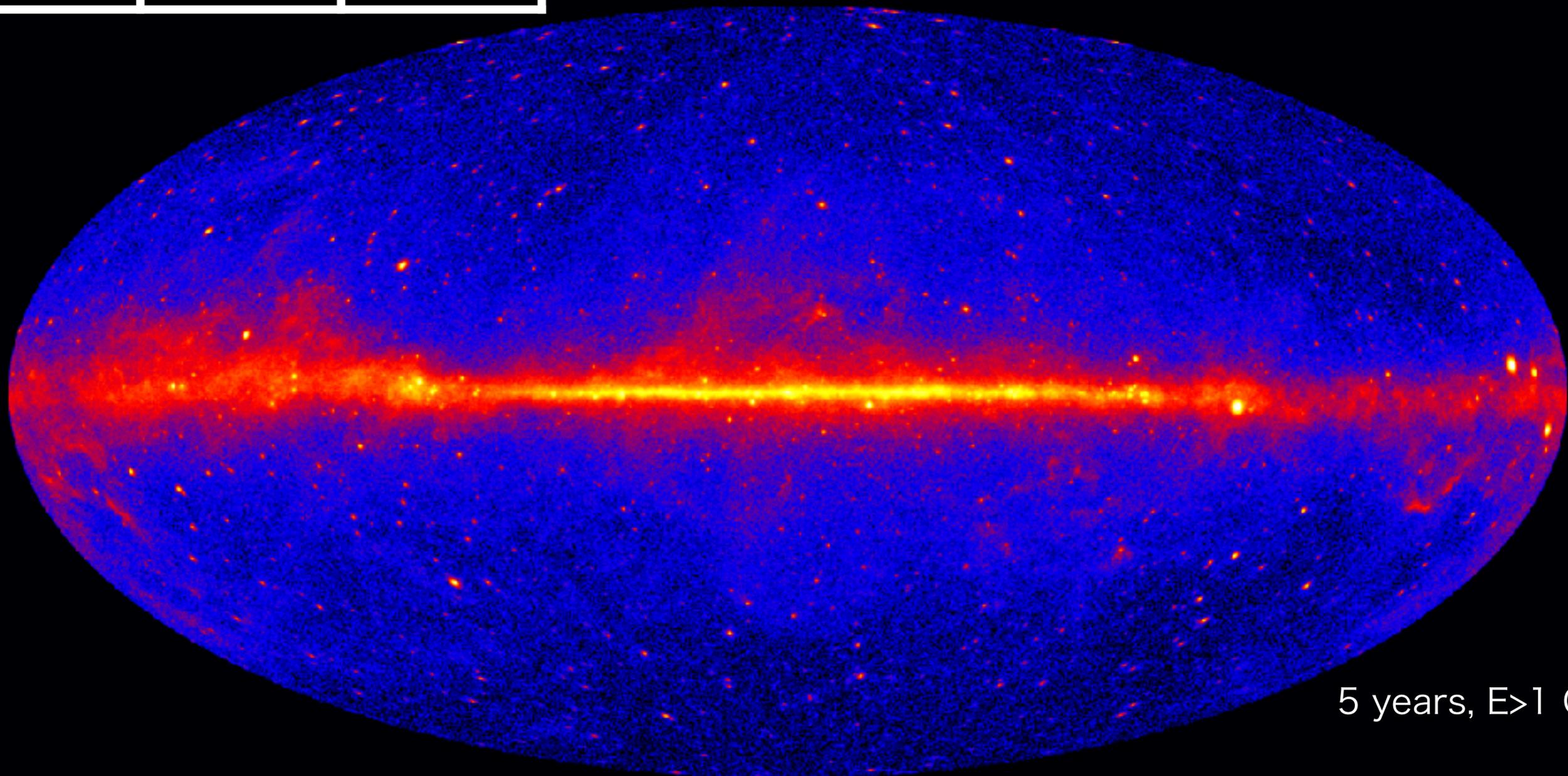


γ 線は宇宙線の起源を探る上で重要なプローブとなる



γ 線天文学

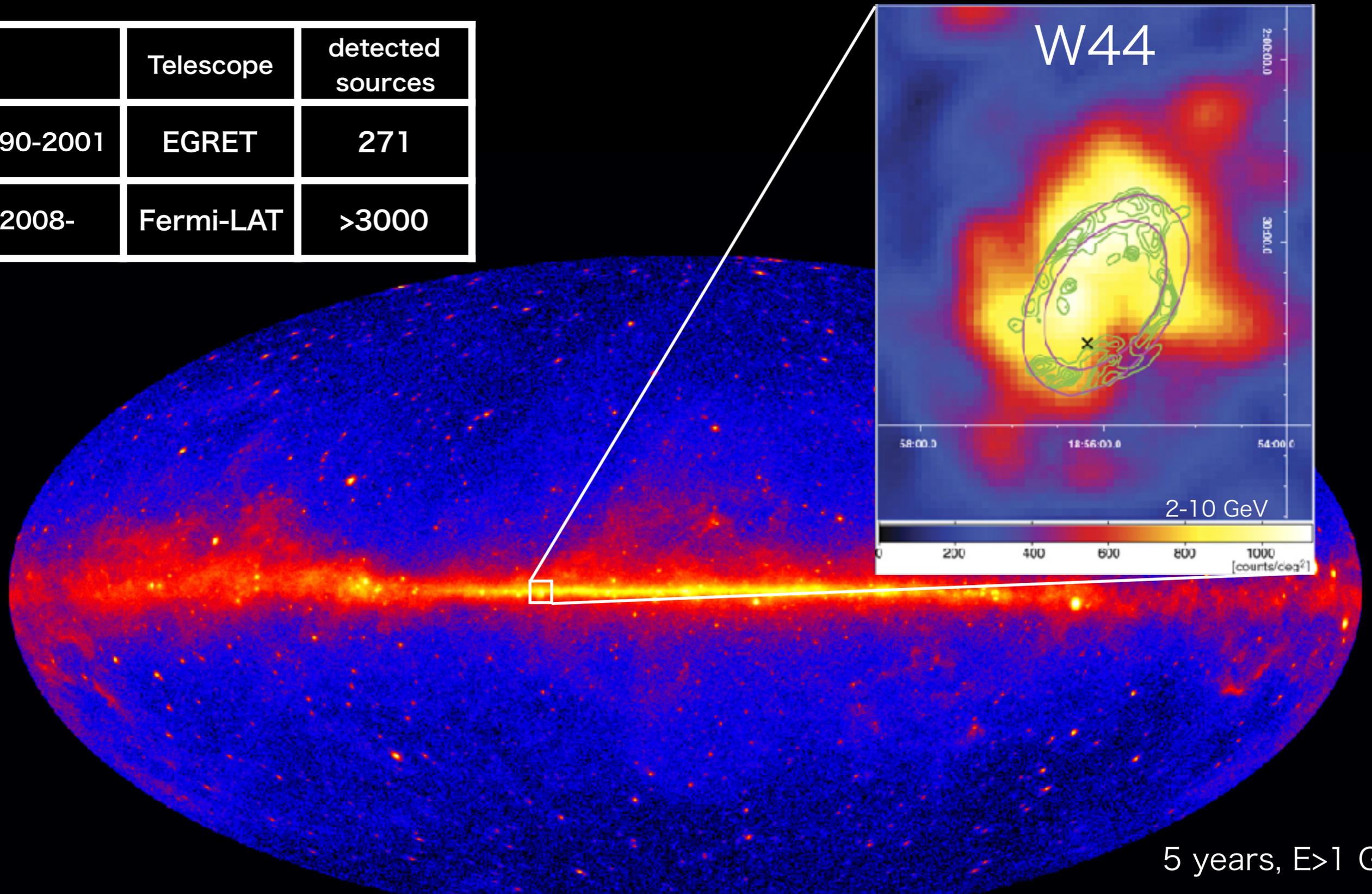
	Telescope	detected sources
1990-2001	EGRET	271
2008-	Fermi-LAT	>3000



5 years, $E > 1$ GeV

γ 線天文学

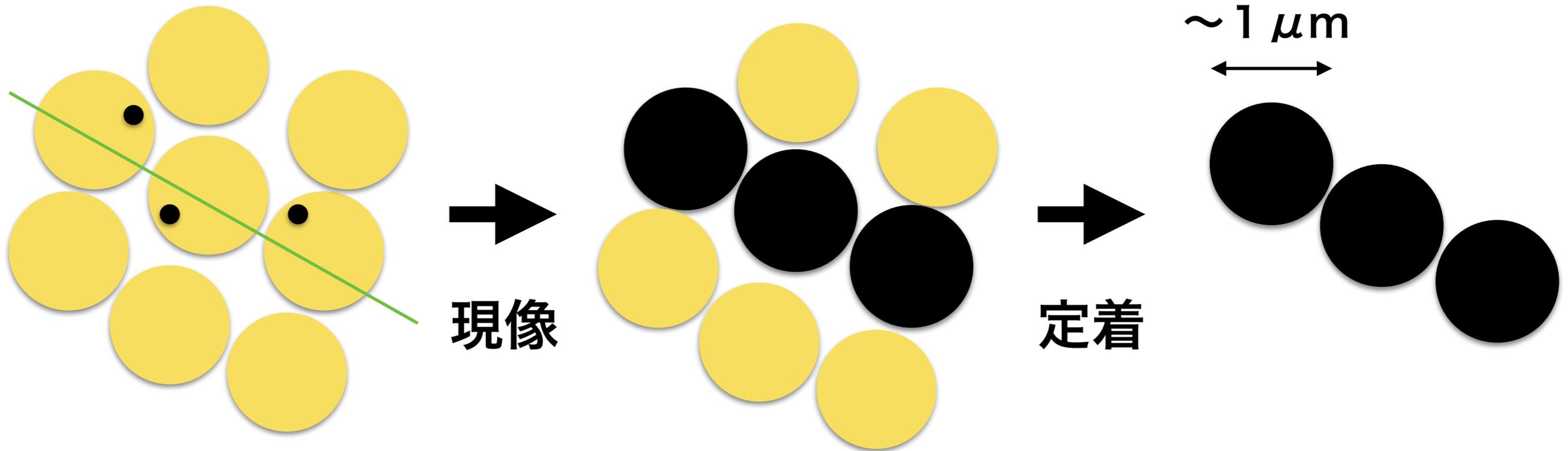
	Telescope	detected sources
1990-2001	EGRET	271
2008-	Fermi-LAT	>3000



より高分解能での観測によるイメージングが望まれている

原子核乳剤(エマルション)

ゼラチン中にAgBr
結晶を充填



荷電粒子の電離作用によりできた電子が銀イオンを還元し銀核が生成

一定数以上の銀核を持つ結晶のみを選択的に還元させ銀粒子を成長させる

未反応のAgBr結晶を溶かし出す

高い空間分解能を持ち、3次元の飛跡情報を記録できる

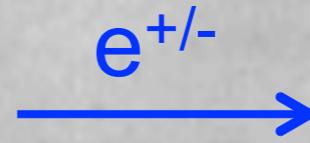
原子核乾板

顕微鏡画像

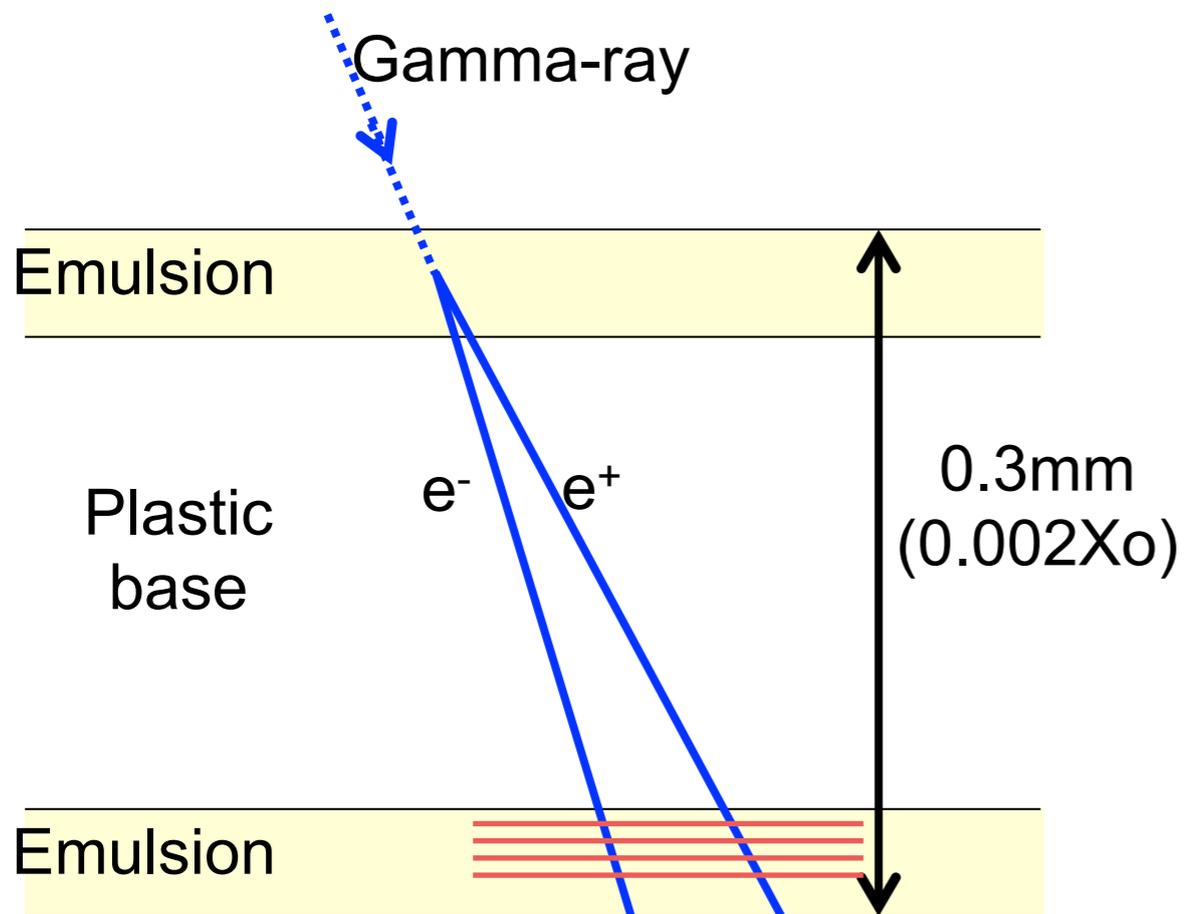
10 μ m



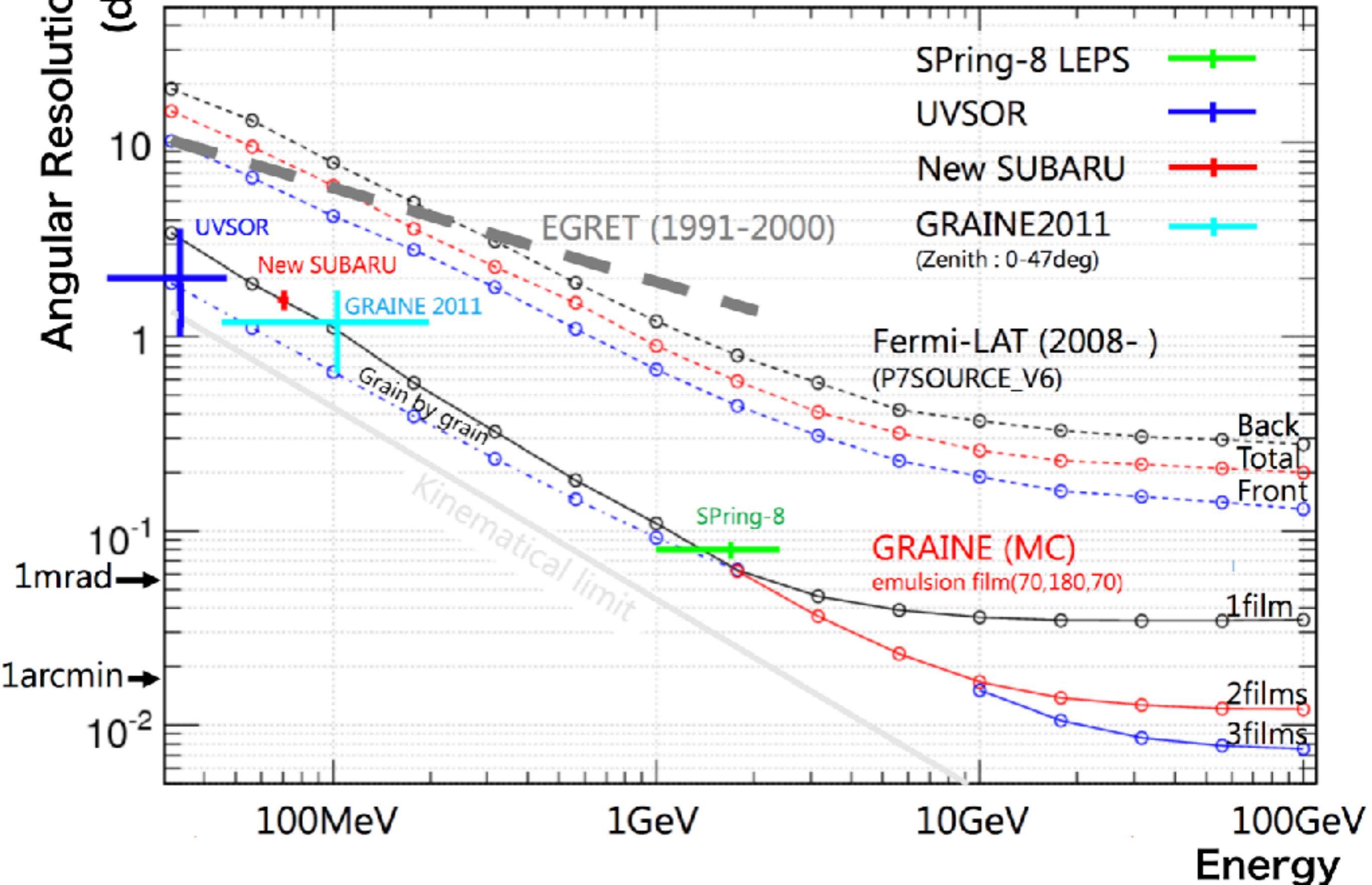
Gamma-ray



エマルジョンフィルムの断面図

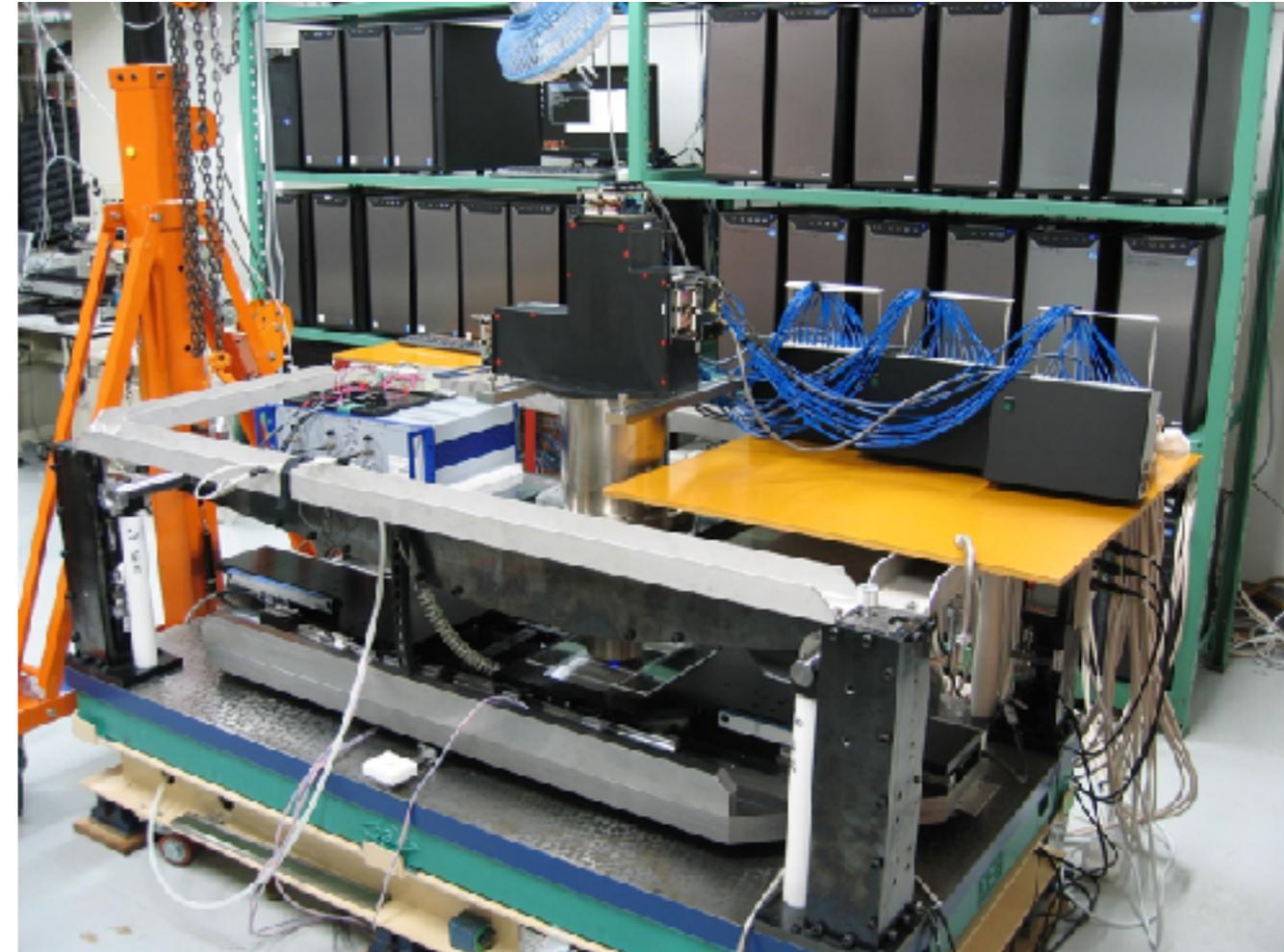
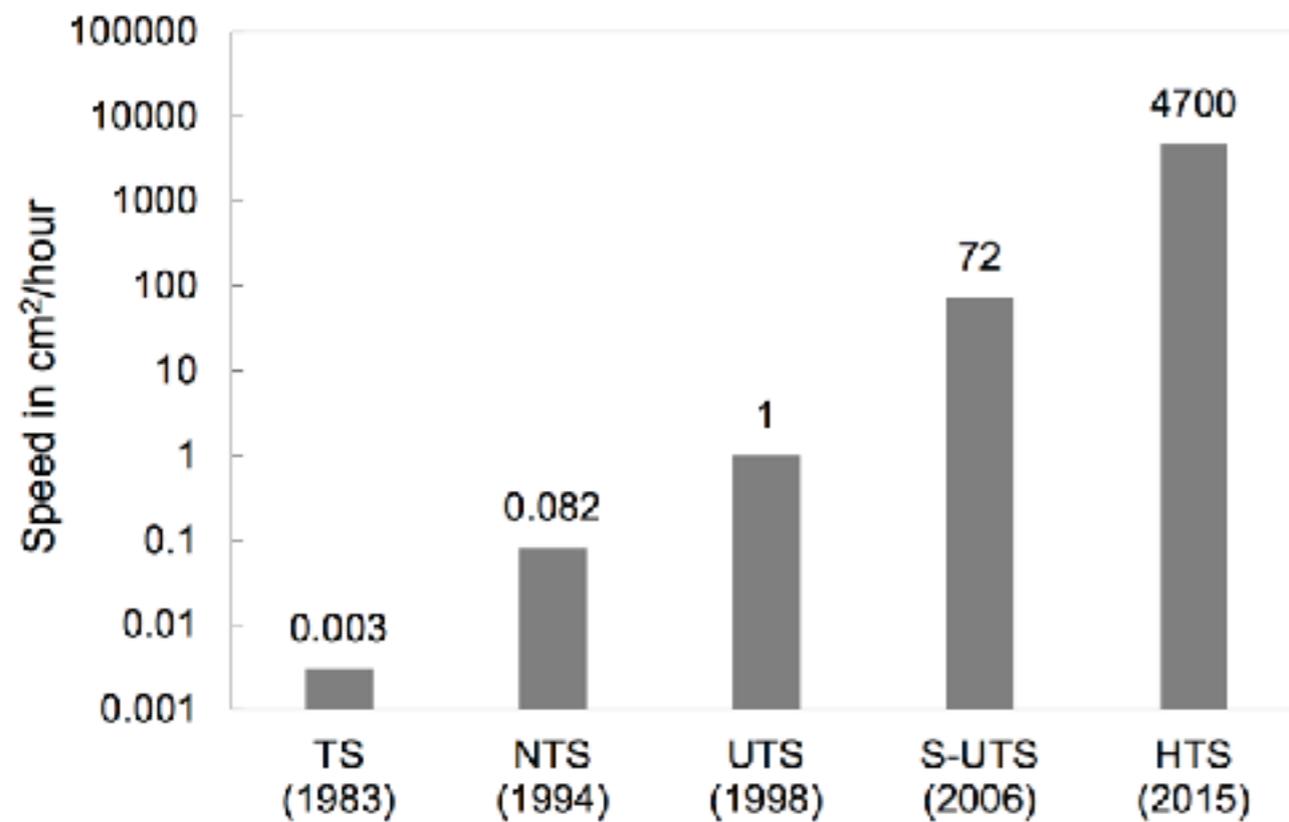


Angular resolution



自動飛跡読み取り装置

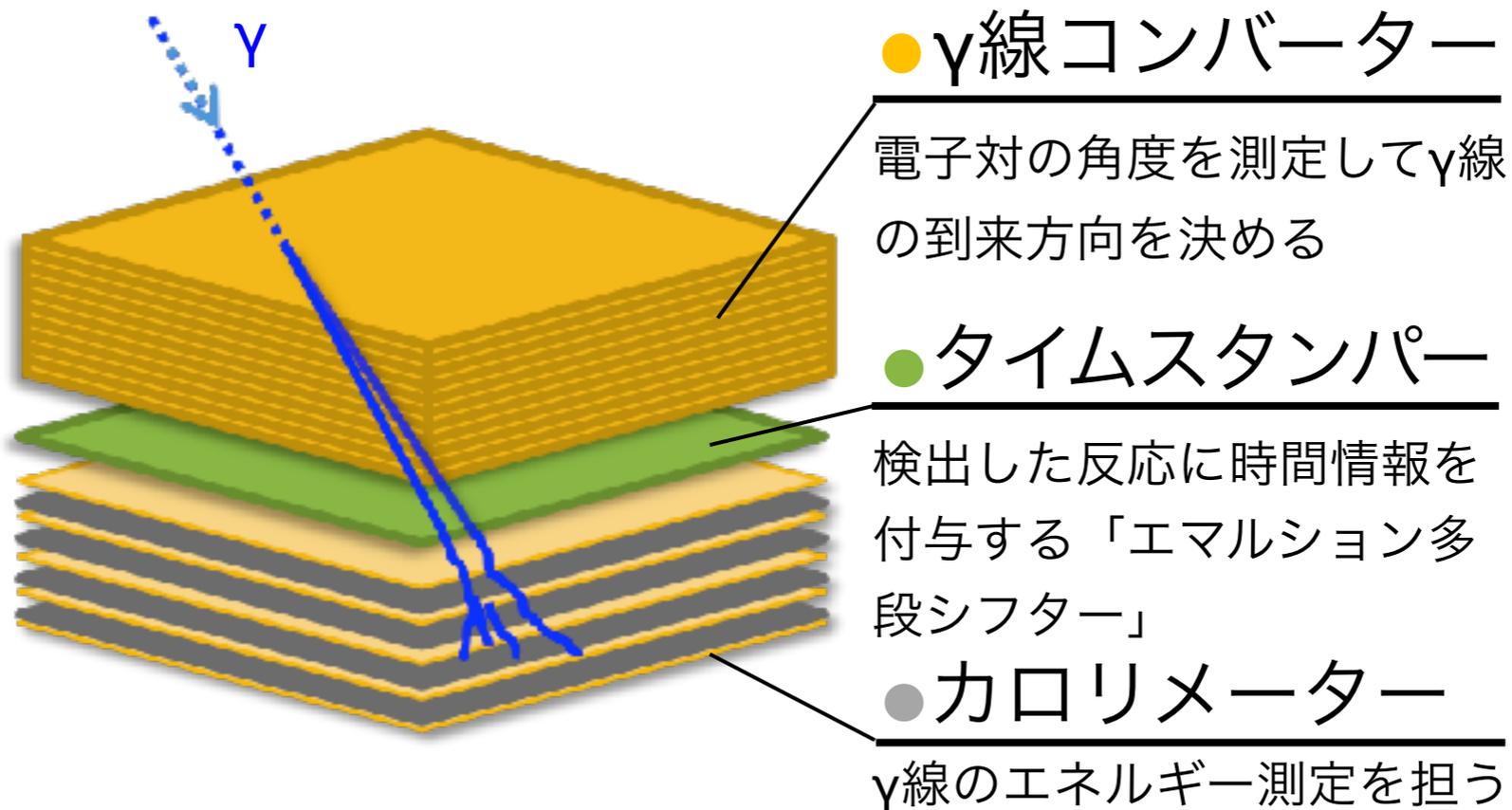
Hyper Track Selector(HTS)



読み取り技術の開発によって大面積化が実現可能となった

GRAINE計画

原子核乾板を気球に搭載して高空(>高度35km)で大面積(10m²)での γ 線精密観測を行う。



	Femir-LAT	GRAINE
角度分解能@100MeV	4.2°	0.9°
角度分解能@1GeV	0.66°	0.08°
偏光感度	なし	あり
有効面積@100MeV	0.25m ²	2.4m ²
有効面積@1GeV	0.66m ²	3.0m ²

世界最高角度分解能

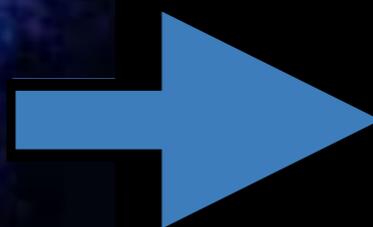
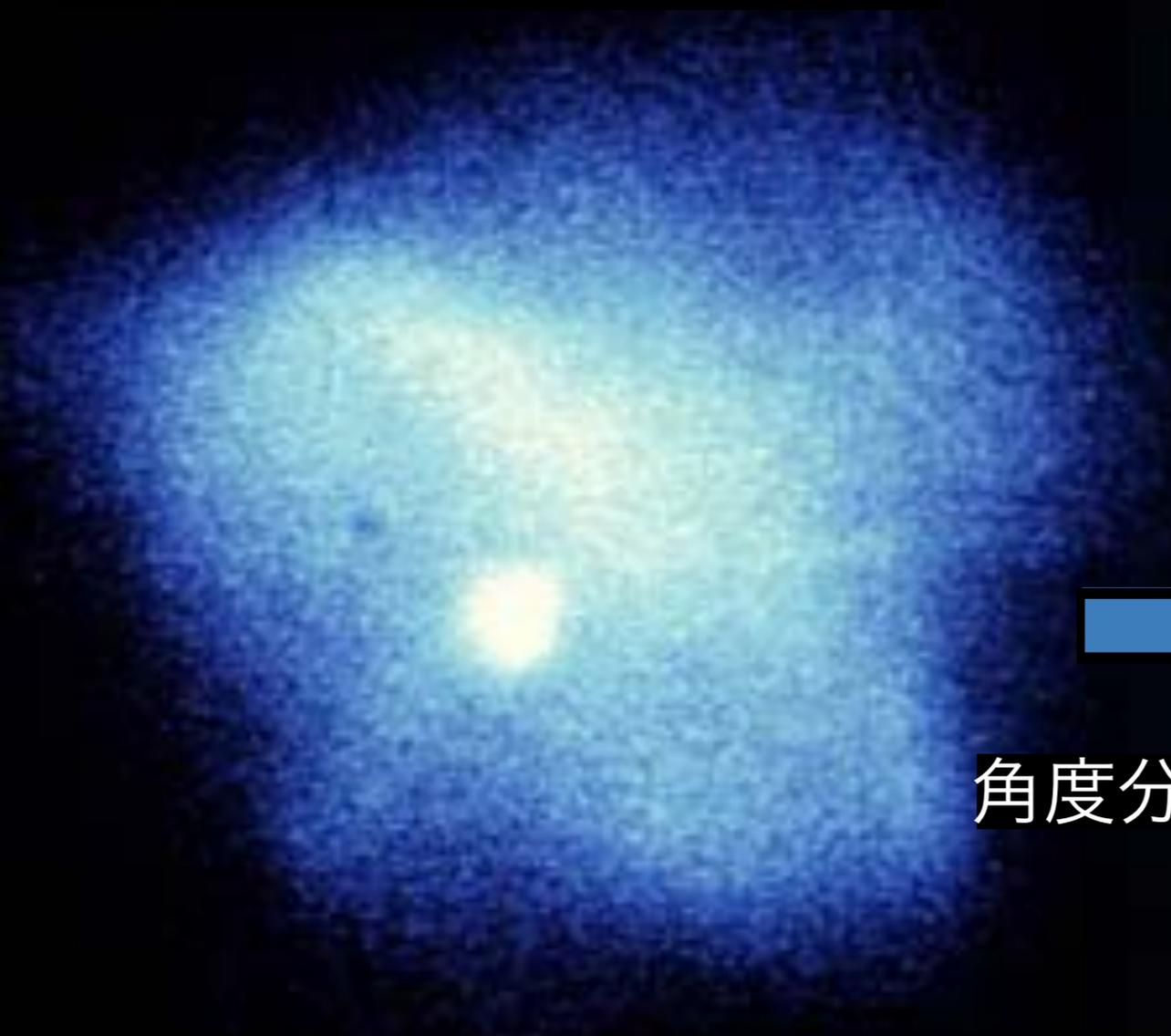
世界初偏光有感

世界最大口径

分解能向上によるインパクト (X線の前例)

■ 1990年 ROSAT ($\Delta\theta \sim 2\text{arcsec}$)

■ 1999年 チャンドラ ($\Delta\theta \sim 0.5\text{arcsec}$)

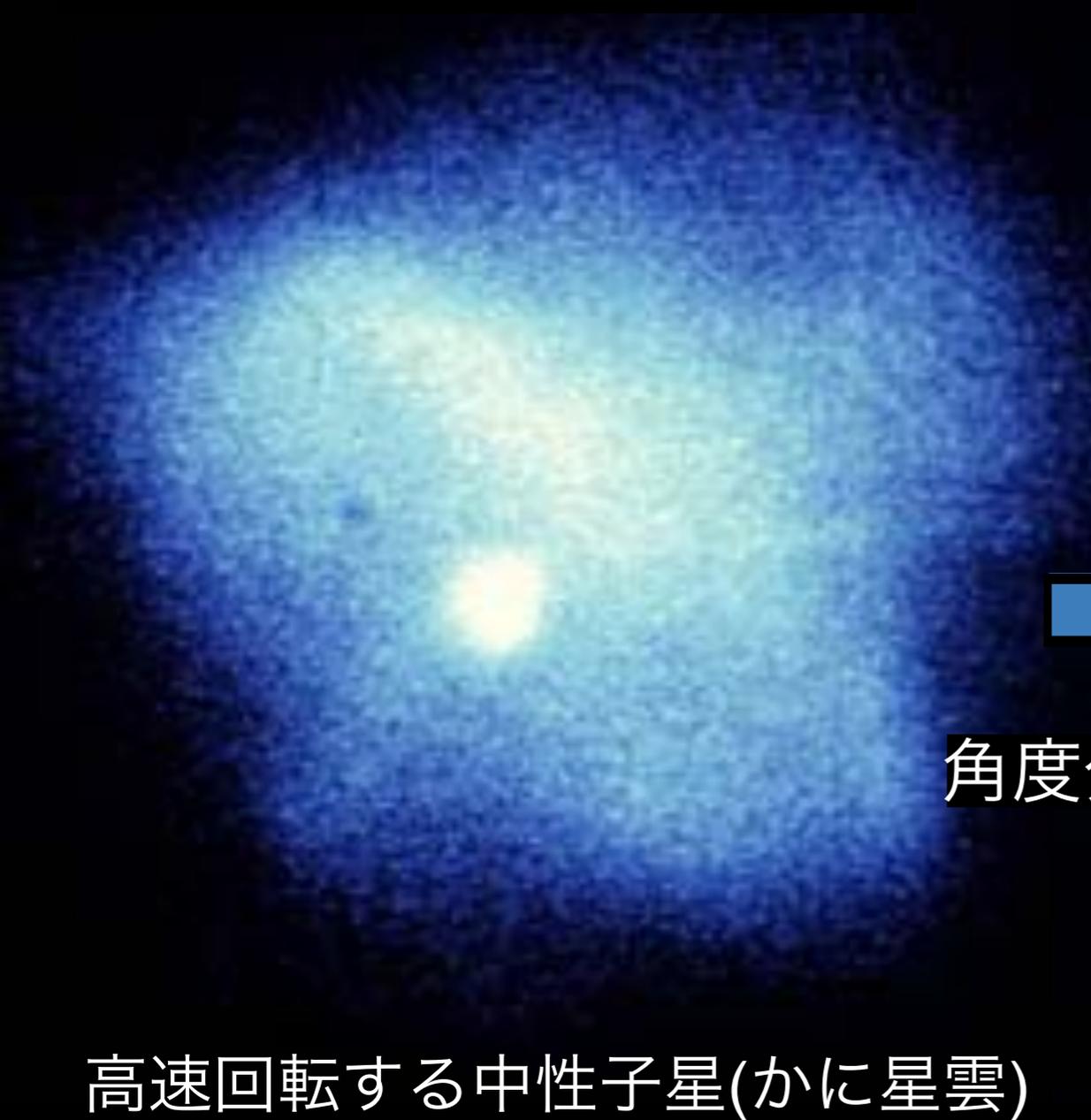


角度分解能 4 倍

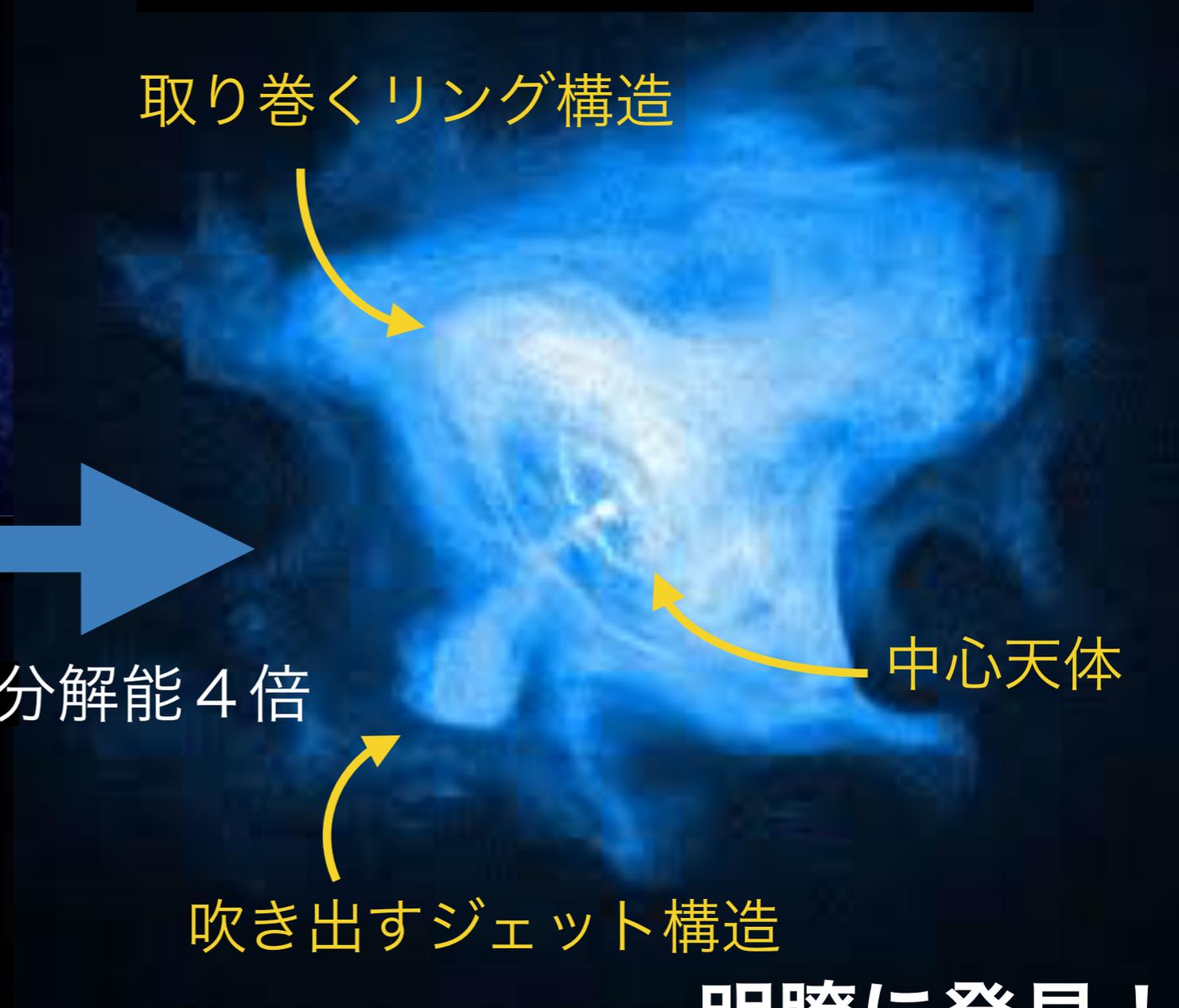
高速回転する中性子星(かに星雲)

分解能向上によるインパクト (X線の前例)

■ 1990年 ROSAT ($\Delta\theta \sim 2\text{arcsec}$)



■ 1999年 チャンドラ ($\Delta\theta \sim 0.5\text{arcsec}$)



角度分解能 4 倍

明瞭に発見!

観測機の改善によって新たな発見が期待できる

GRAINE計画

- GRAINE2011 北海道気球フライト

2011年6月8日 北海道大樹町宇宙実験場

口径面積:0.0125m² 観測時間:1.6時間

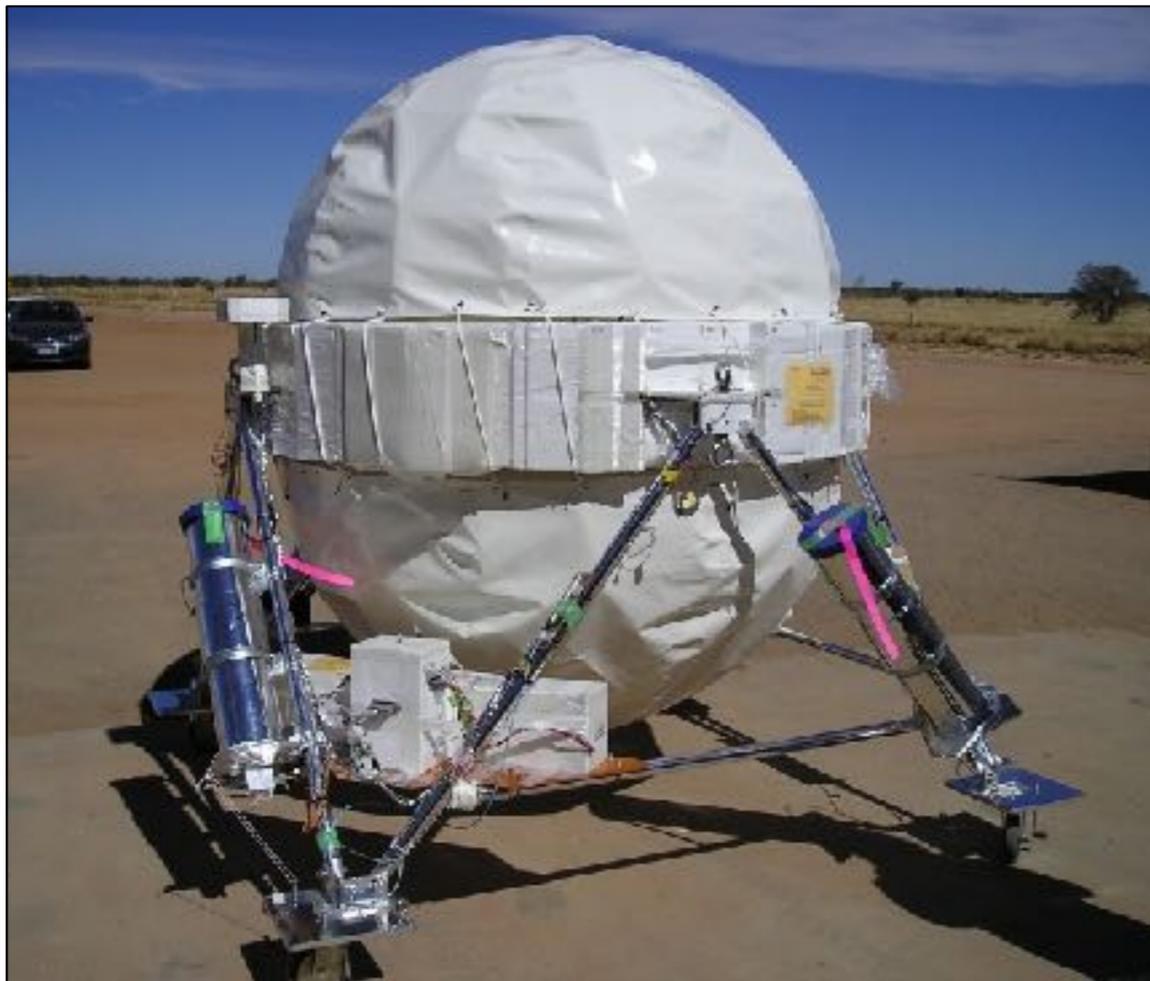
目的:シフターやスターカメラ等の動作試験、連動試験、大気 γ 線の観測

- GRAINE2015 豪州気球フライト

2015年5月12日 オーストラリア・アリススプリングス

口径面積:0.3775m² 観測時間:13.5時間

目的:望遠鏡性能実証、海外での実験スキーム確立、天体検出



GRAINE計画

GRAINE2018 豪州気球フライト

2018年4月 オーストラリア・アリススプリングス

口径面積:0.4m² 観測時間:20~30時間

目的:Velaパルサーの検出による望遠鏡のイメージング性能実証

スケジュール

2017年4月~7月	フィルム性能試験、シフター、スターカメラ動作確認 ゴンドラ設計、モデル製作
8月~9月	フィルム製造、低温試験
10月~11月	ゴンドラ実機製作、噛み合わせ、フィルム初期化処理
2018年1月	輸出
3月~	現地準備
4月	フライト

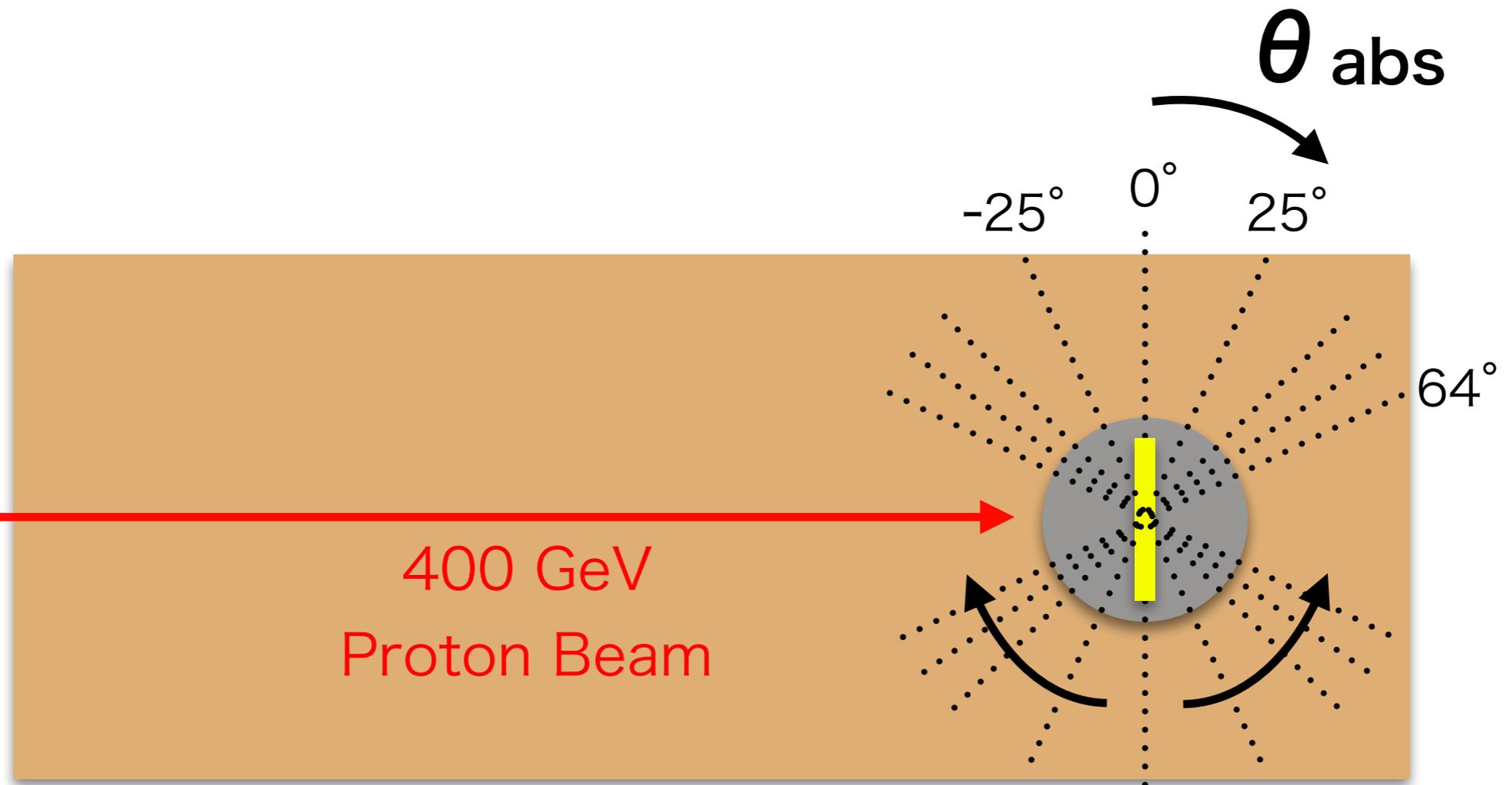
GRAINE2021~

科学観測開始

ビーム試験

- ・ 自動読み取り装置による飛跡の読み取り角度と飛跡の実空間での角度の関係を理解する必要がある。
- ・ そのキャリブレーションのために2016年11月にSPS/CERNにて400GeV陽子ビームをエマルションフィルムに照射する試験を行った。

実験セットアップ構想



読み取り装置の角度精度以上の精度で入射角度を
決められるものが必要

回転台を購入



TRUSCO ロータリーテーブル HV-6

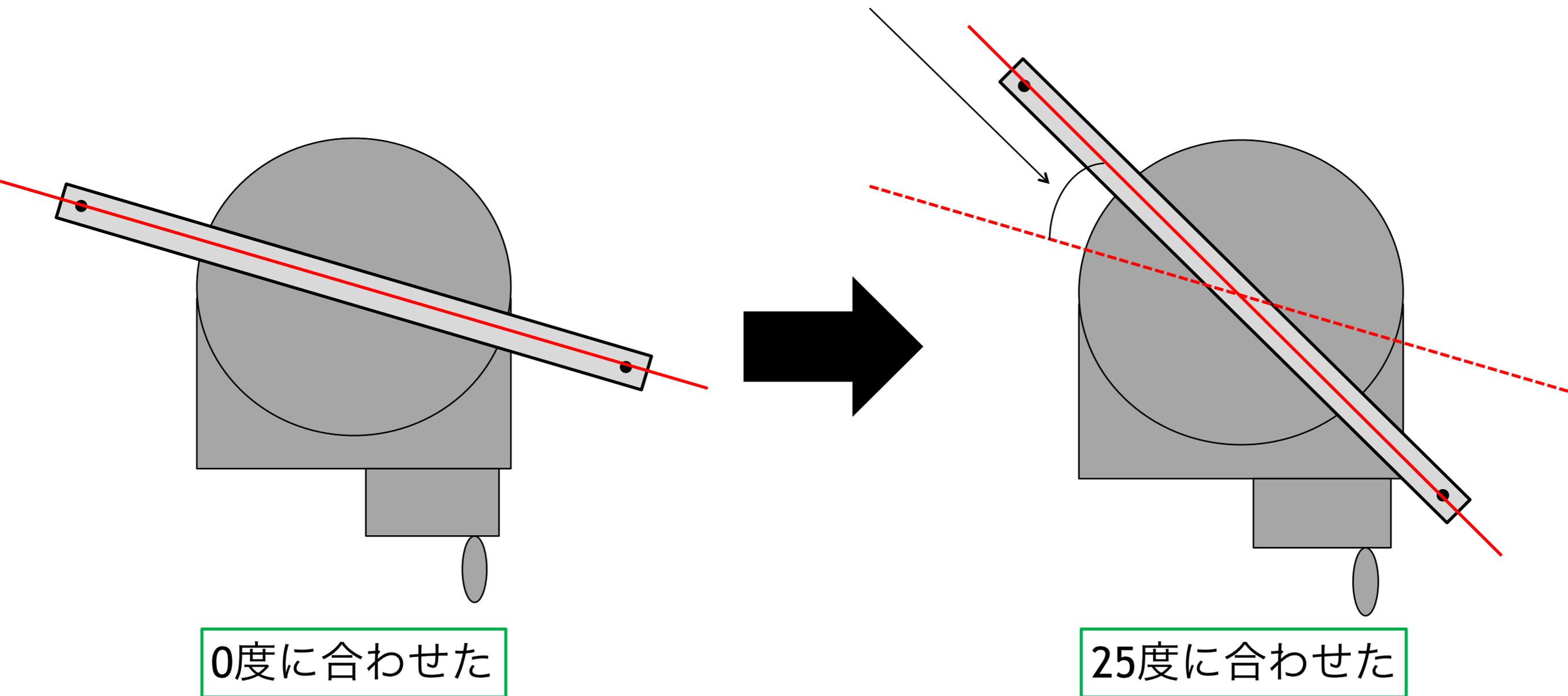


FARO
3次元座標測定器

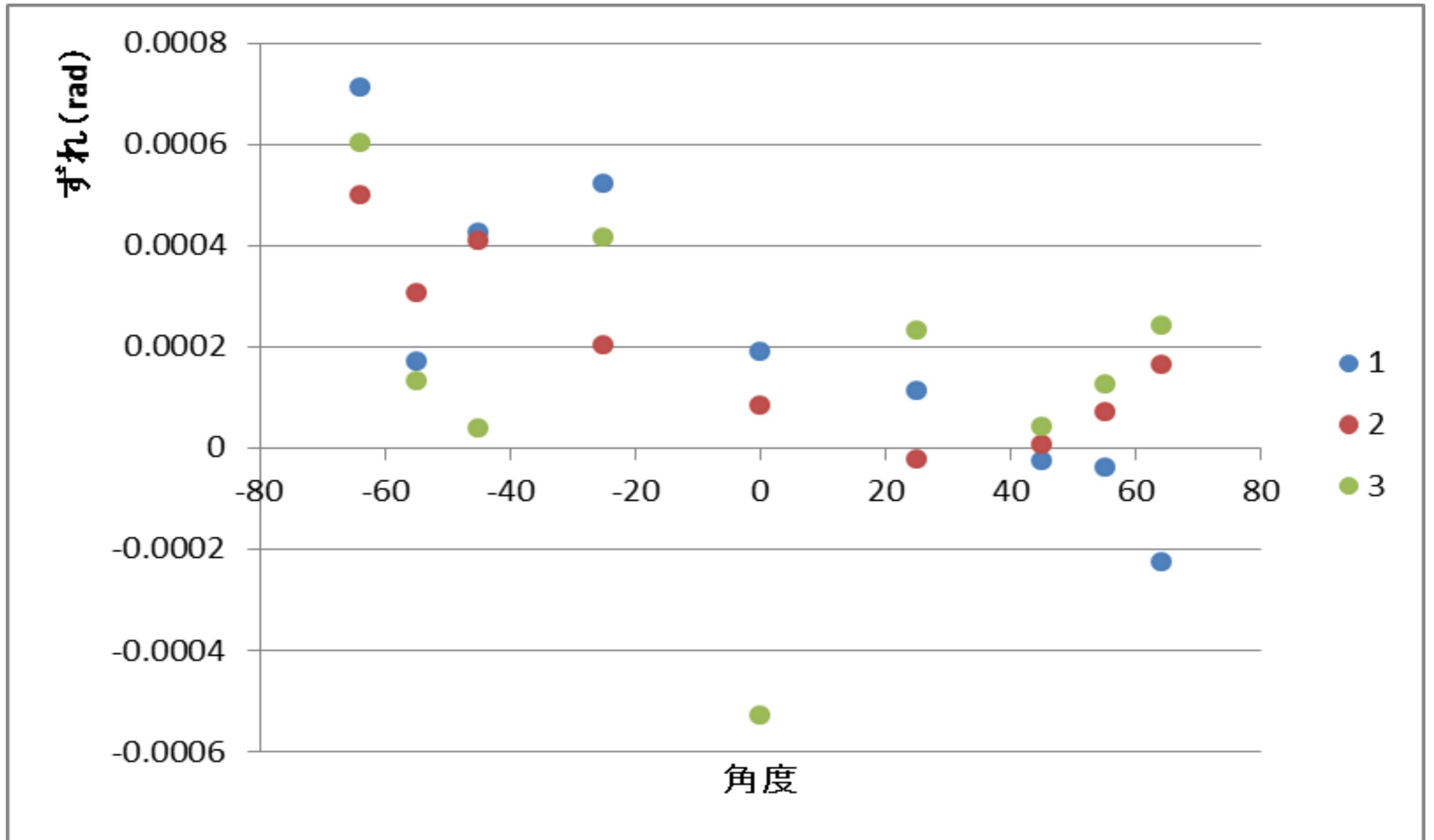


回転台性能評価

25度回したつもりだけど実際の
回転角はどうなってる？



回転台性能評価



今回のビーム試験に対して十分な性能を持つことを確かめた

ビーム試験の流れ

10月 回転台性能評価、乳剤製造@名古屋大学

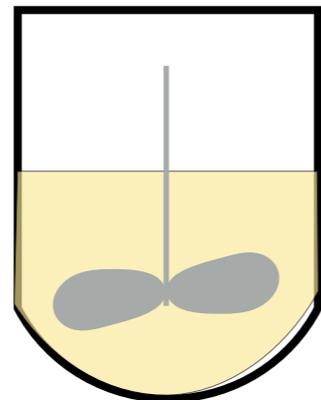
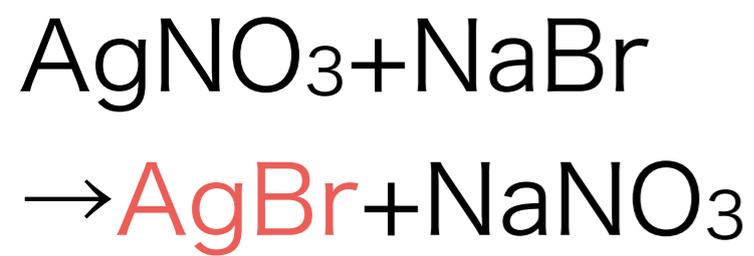
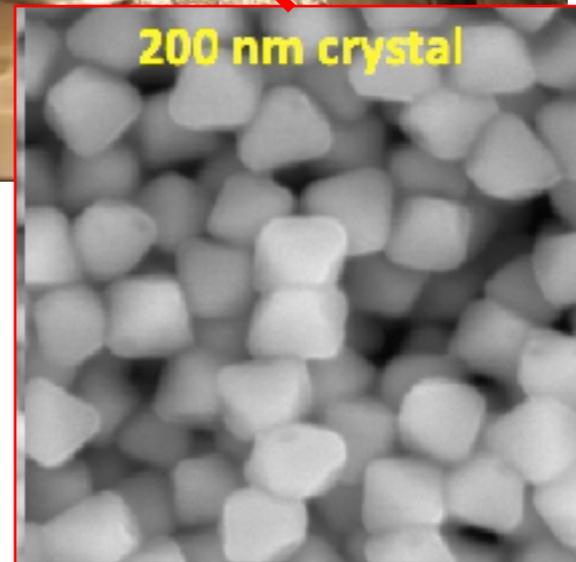
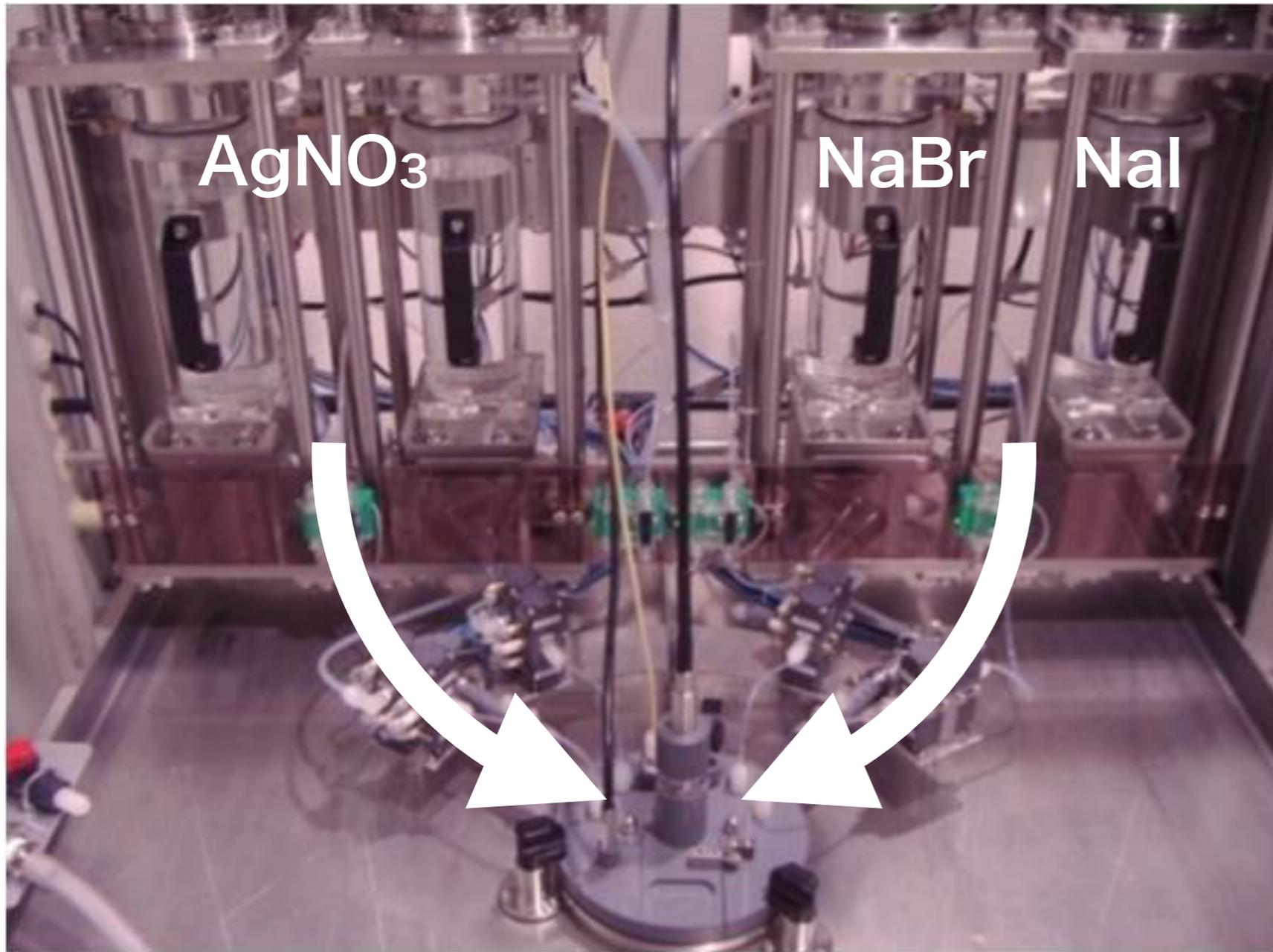
11月08日~11日 照射用チェンバー準備@CERN

11月12日 照射@Experimental Hall North1

11月14日~15日 現像@ベルン大学

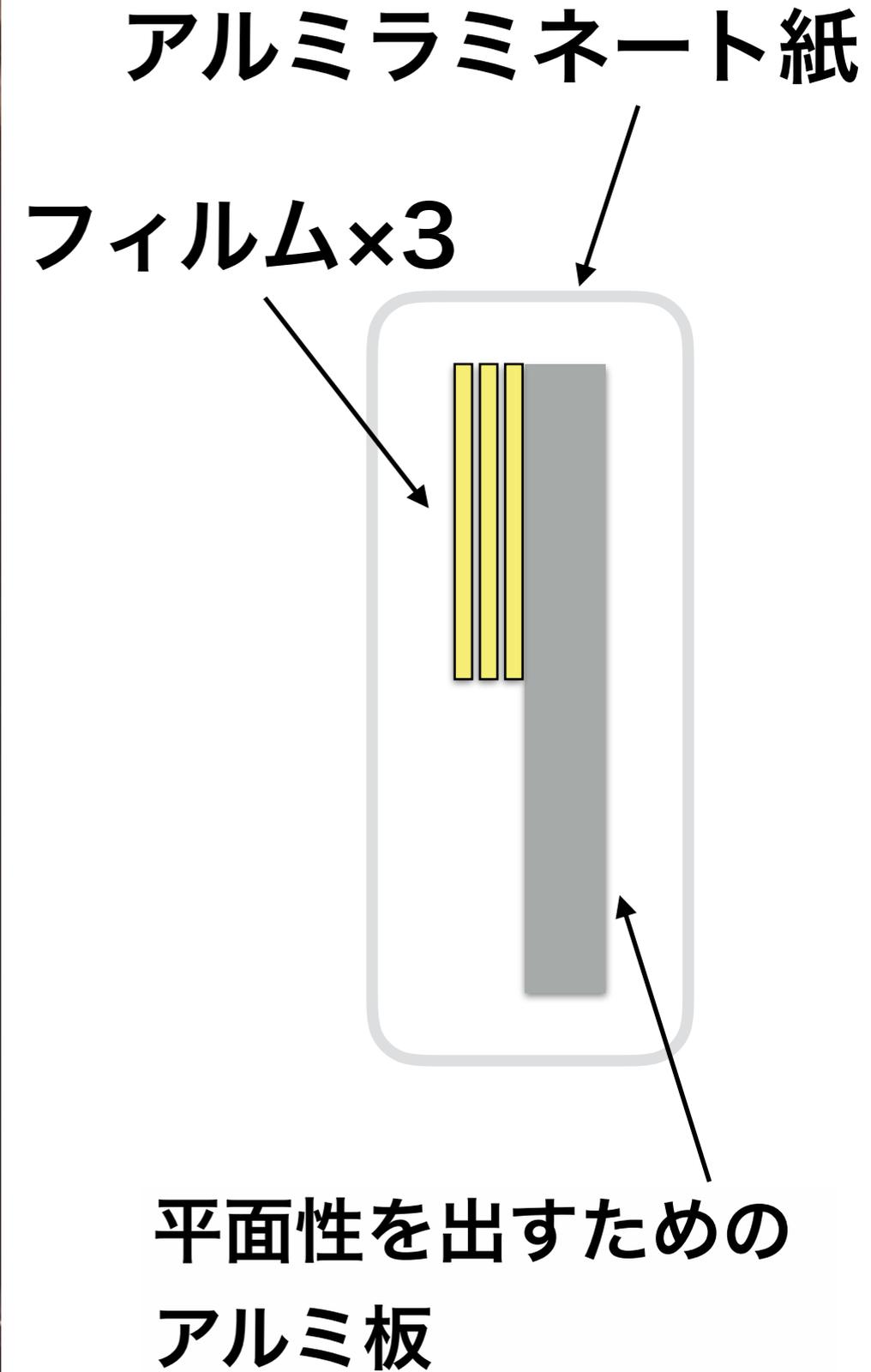
11月18日~ 解析@名古屋大学

製造 → 照射準備 → 照射 → 現像 → 解析



添加速度
攪拌速度
温度

製造 → 照射準備 → 照射 → 現像 → 解析



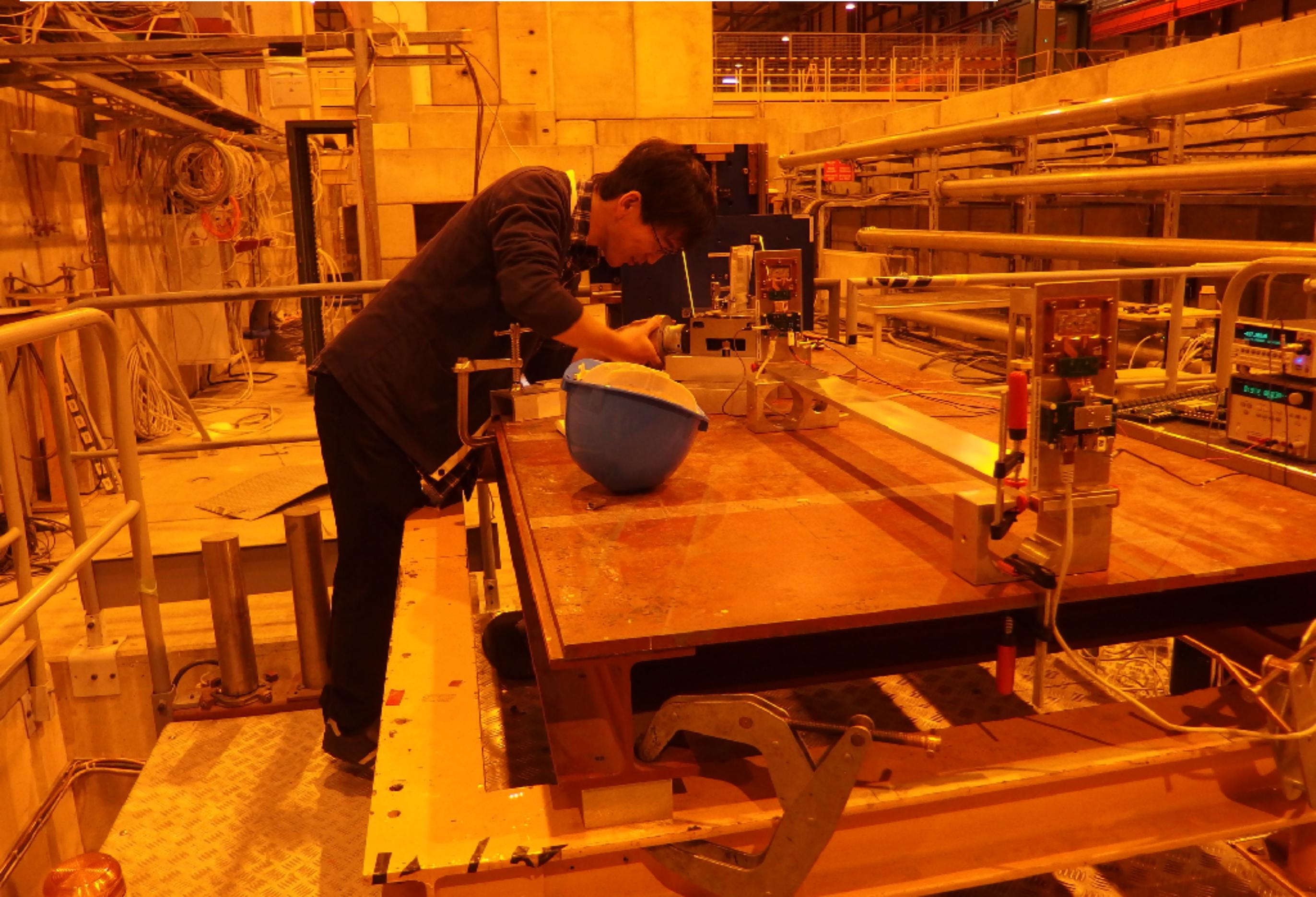
製造→照射準備→**照射**→現像→解析



製造→照射準備→**照射**→現像→解析



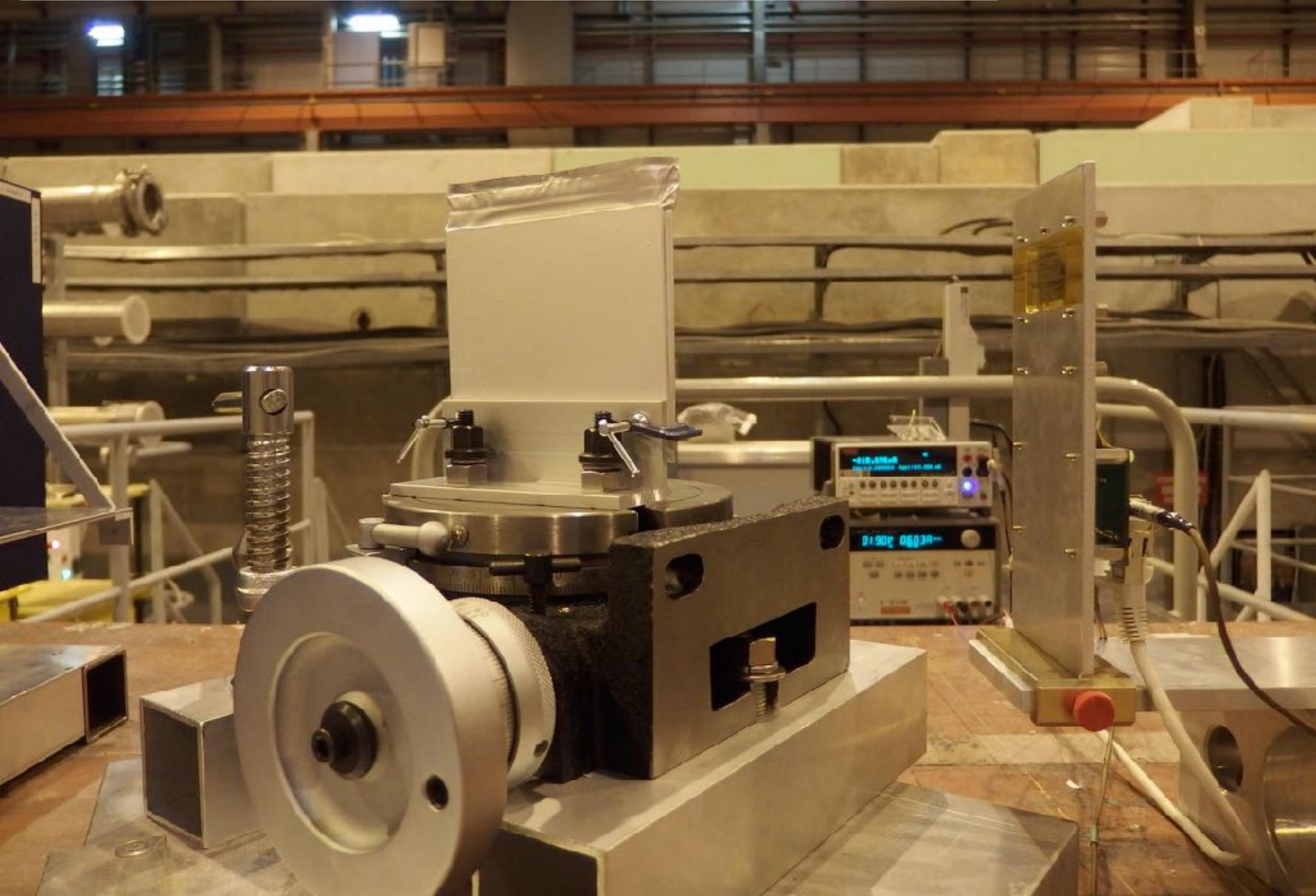
製造 → 照射準備 → **照射** → 現像 → 解析



製造→照射準備→**照射**→現像→解析



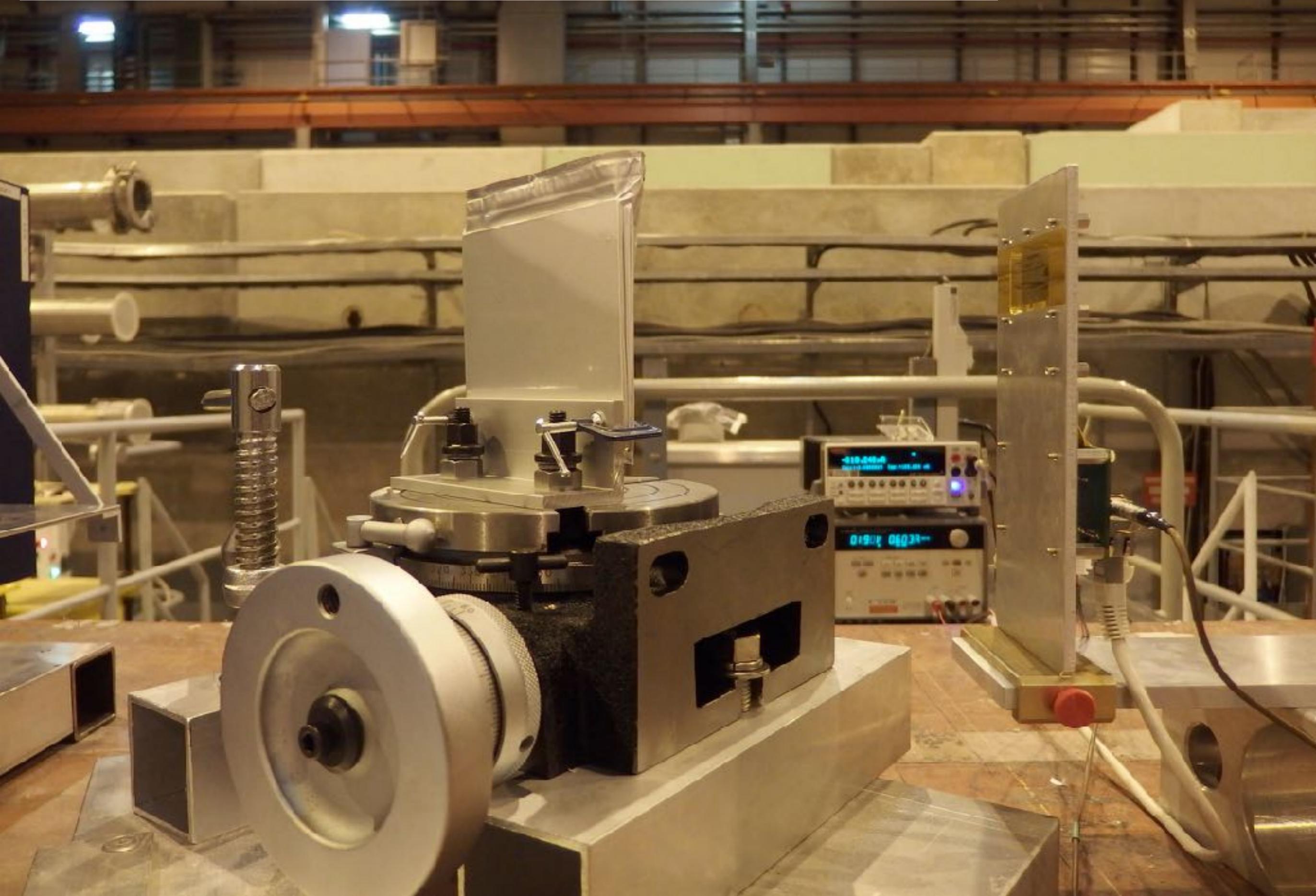
製造→照射準備→**照射**→現像→解析



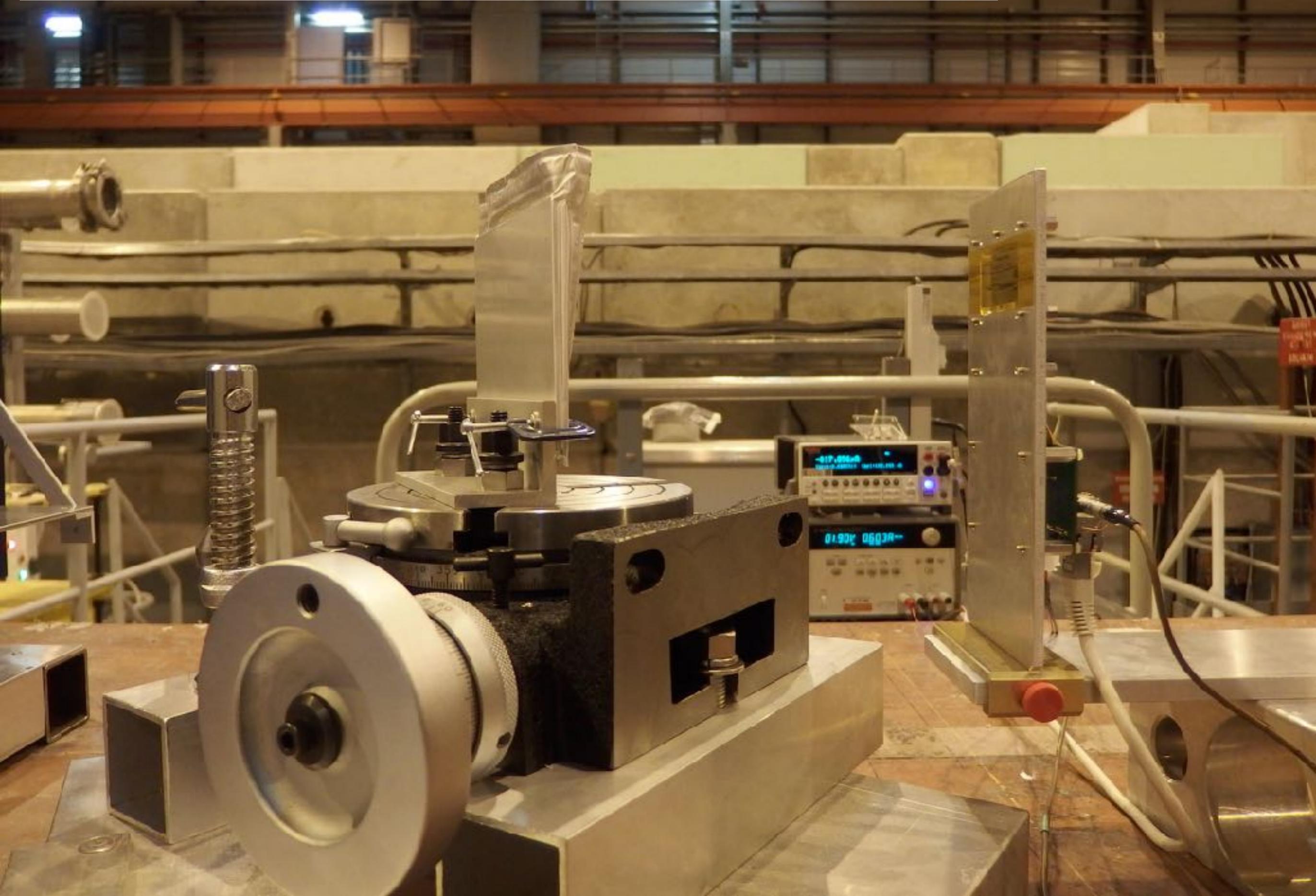
製造 → 照射準備 → **照射** → 現像 → 解析



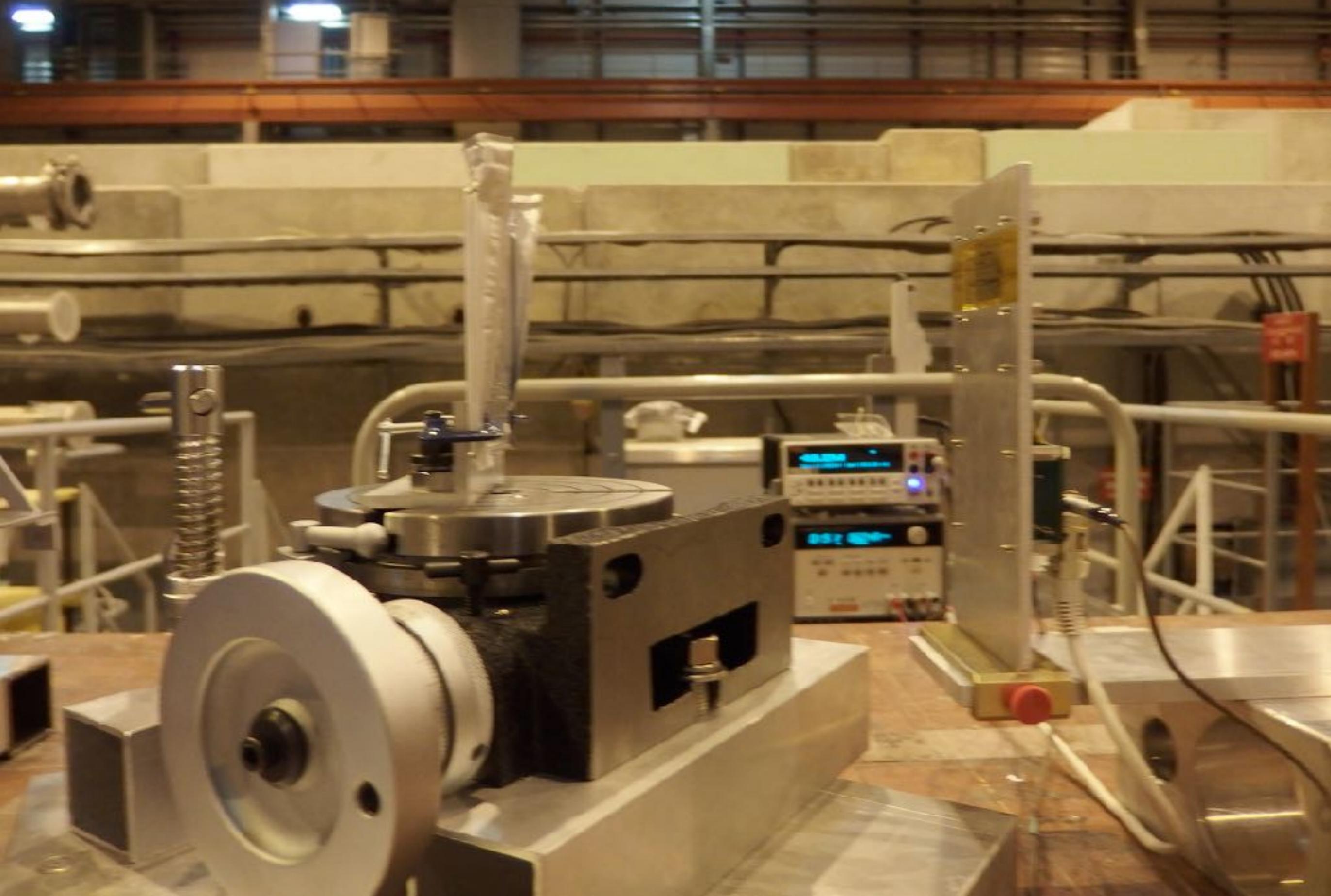
製造→照射準備→**照射**→現像→解析



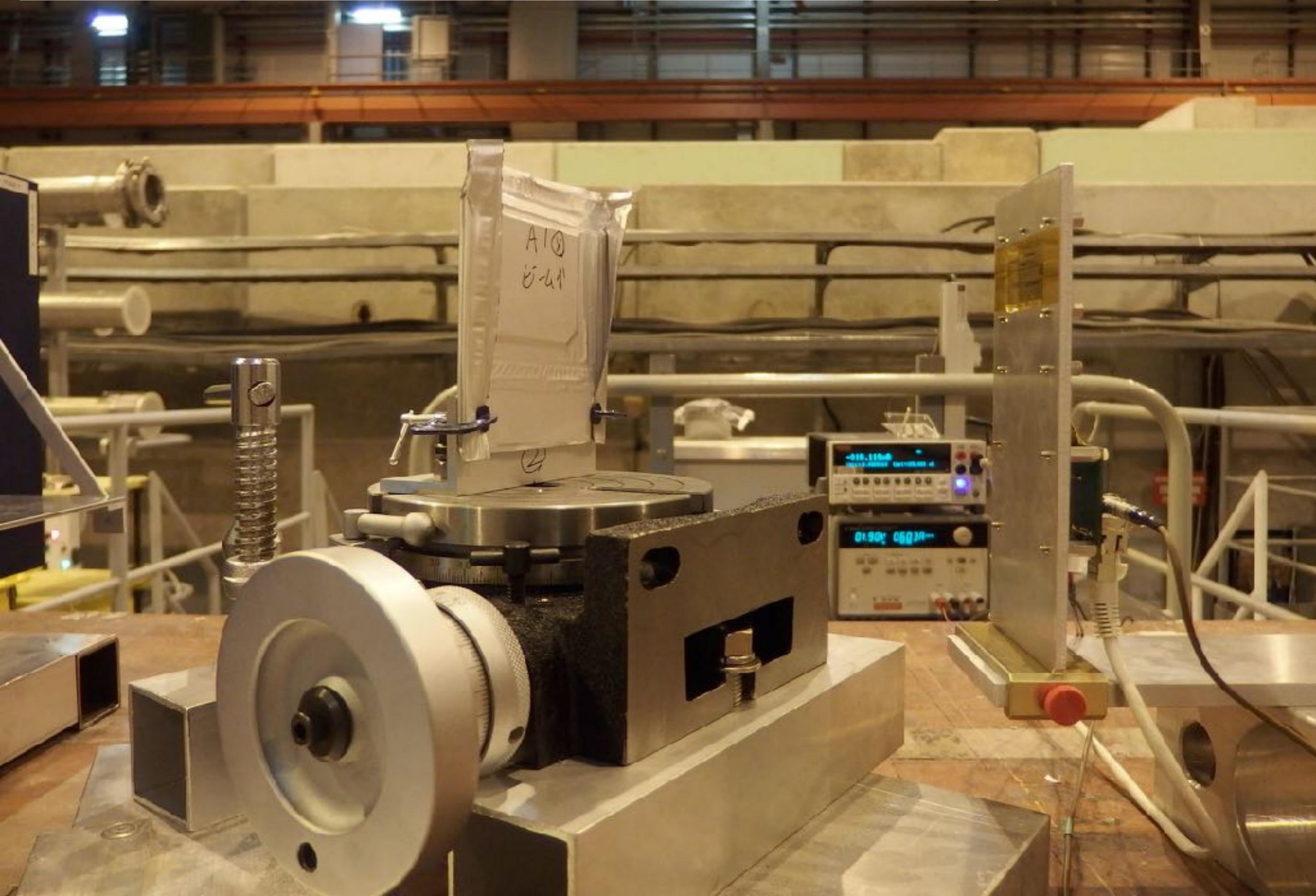
製造→照射準備→**照射**→現像→解析



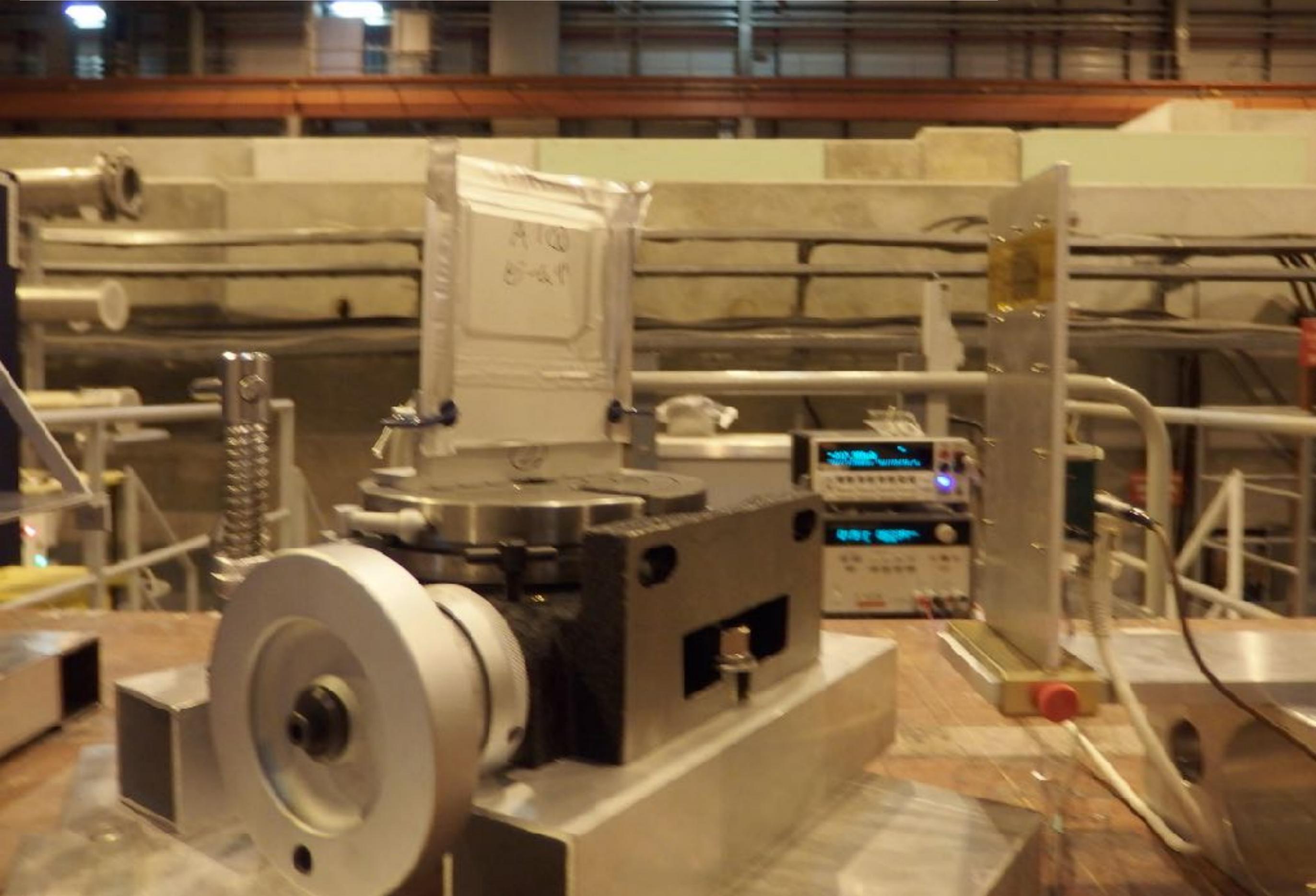
製造→照射準備→**照射**→現像→解析



製造→照射準備→**照射**→現像→解析



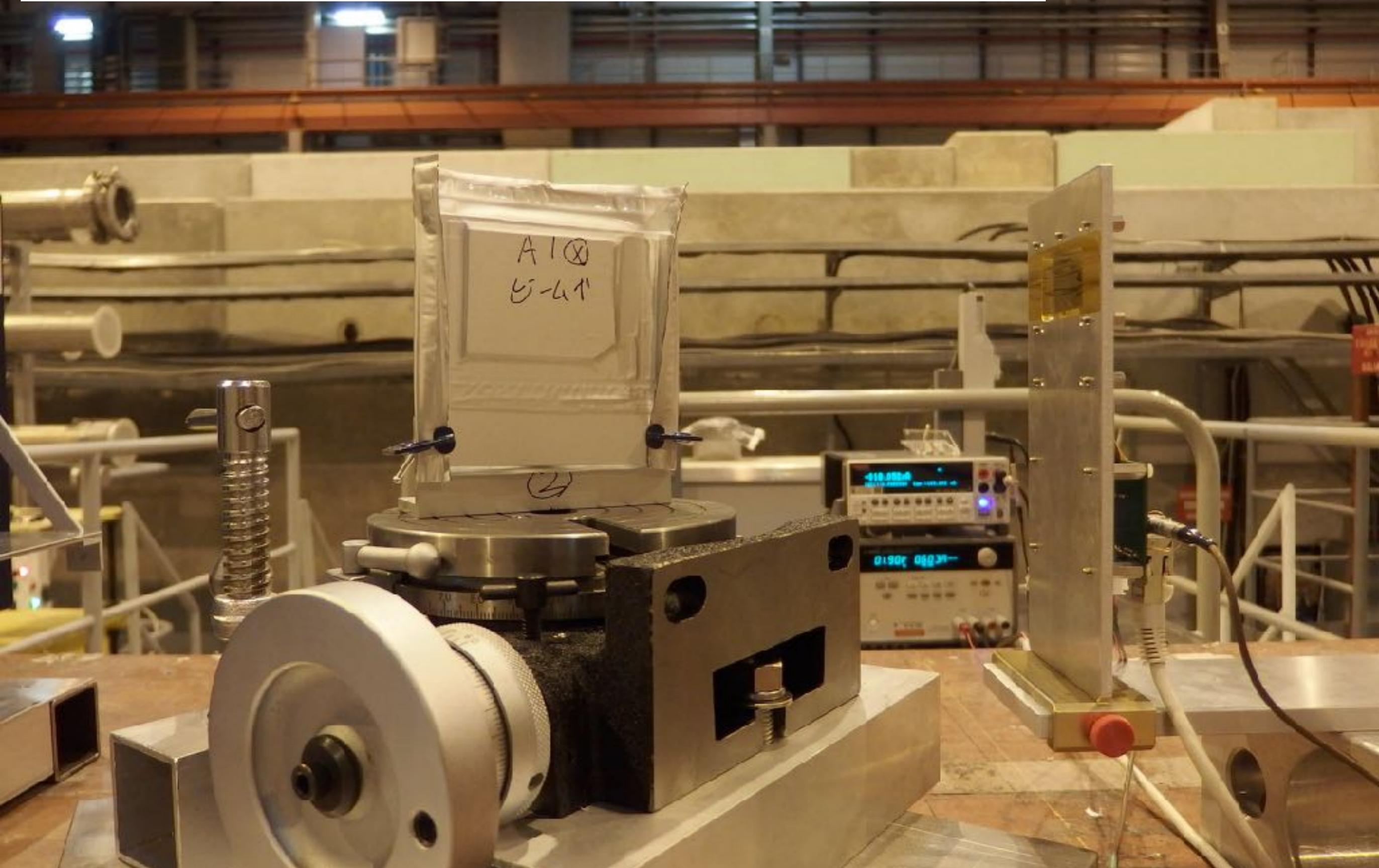
製造→照射準備→**照射**→現像→解析



製造 → 照射準備 → **照射** → 現像 → 解析



製造 → 照射準備 → **照射** → 現像 → 解析



-64° ~ +64° 9角度

製造 → 照射準備 → 照射 → **現像** → 解析



製造→照射準備→照射→**現像**→解析



ベルン大学

製造 → 照射準備 → 照射 → **現像** → 解析

現像液

停止液

Fix
Fix
定着液

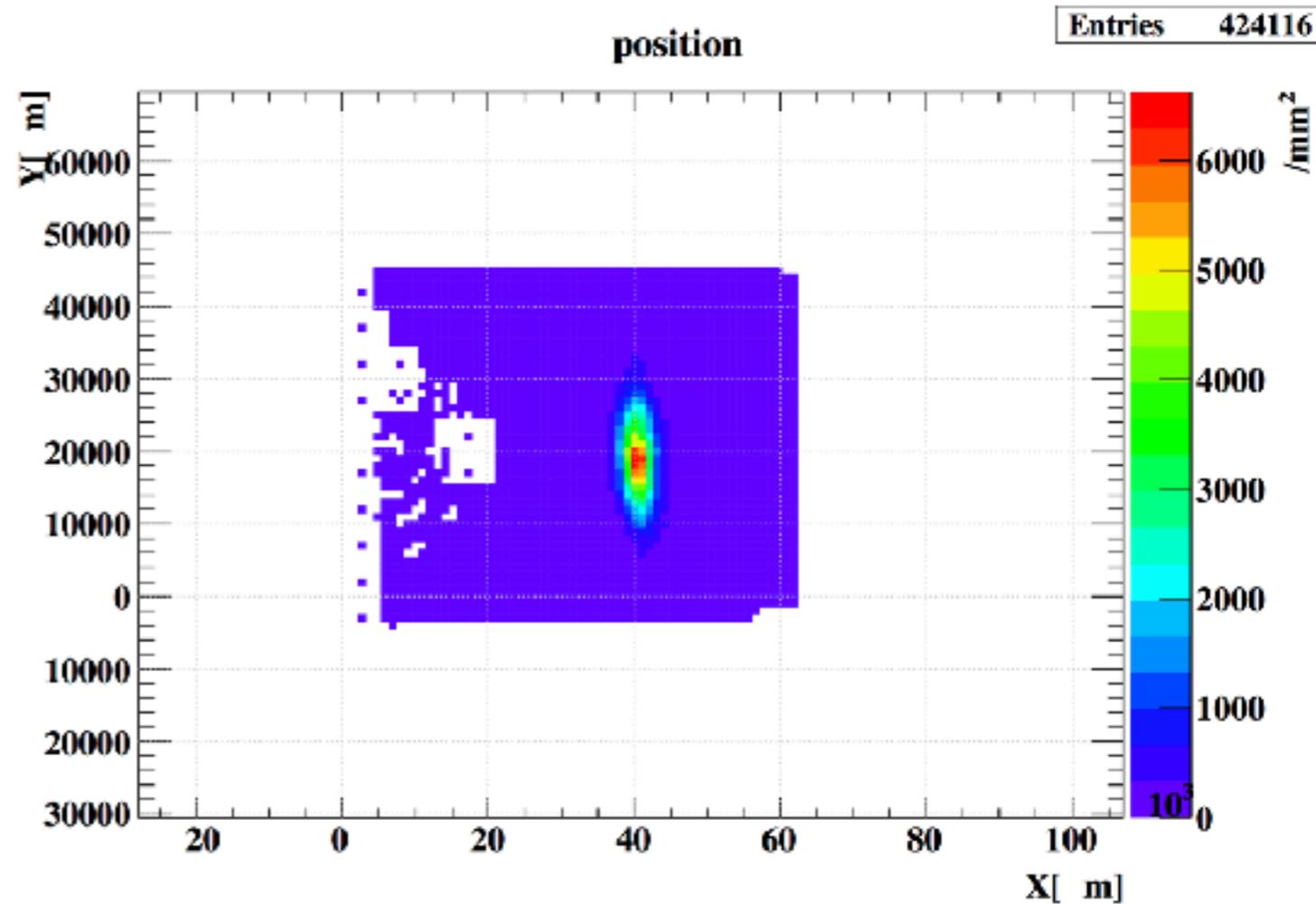
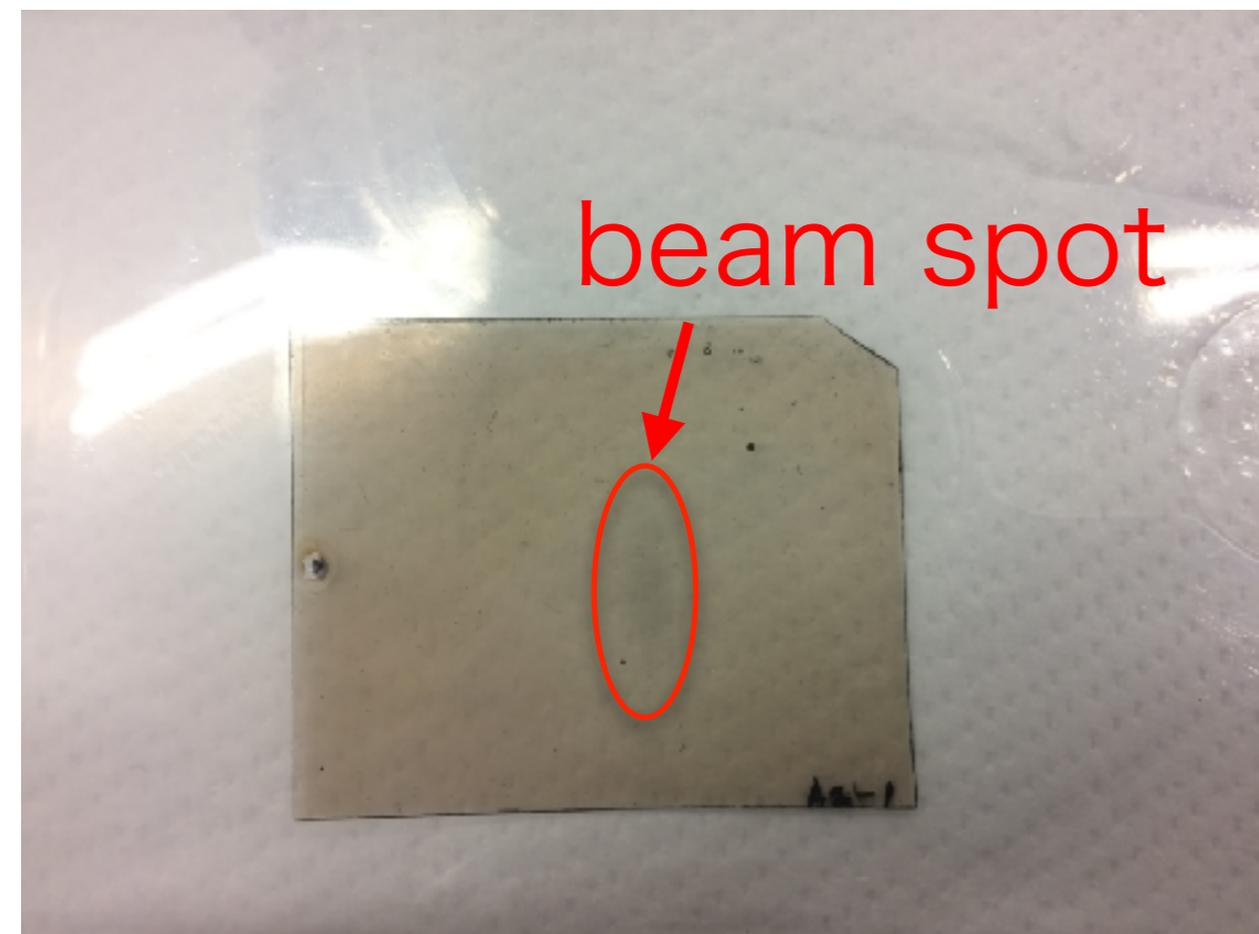


製造→照射準備→照射→**現像**→解析

**現像まで無事完了しフィルムを日本に持ち帰って
てくることができました！**

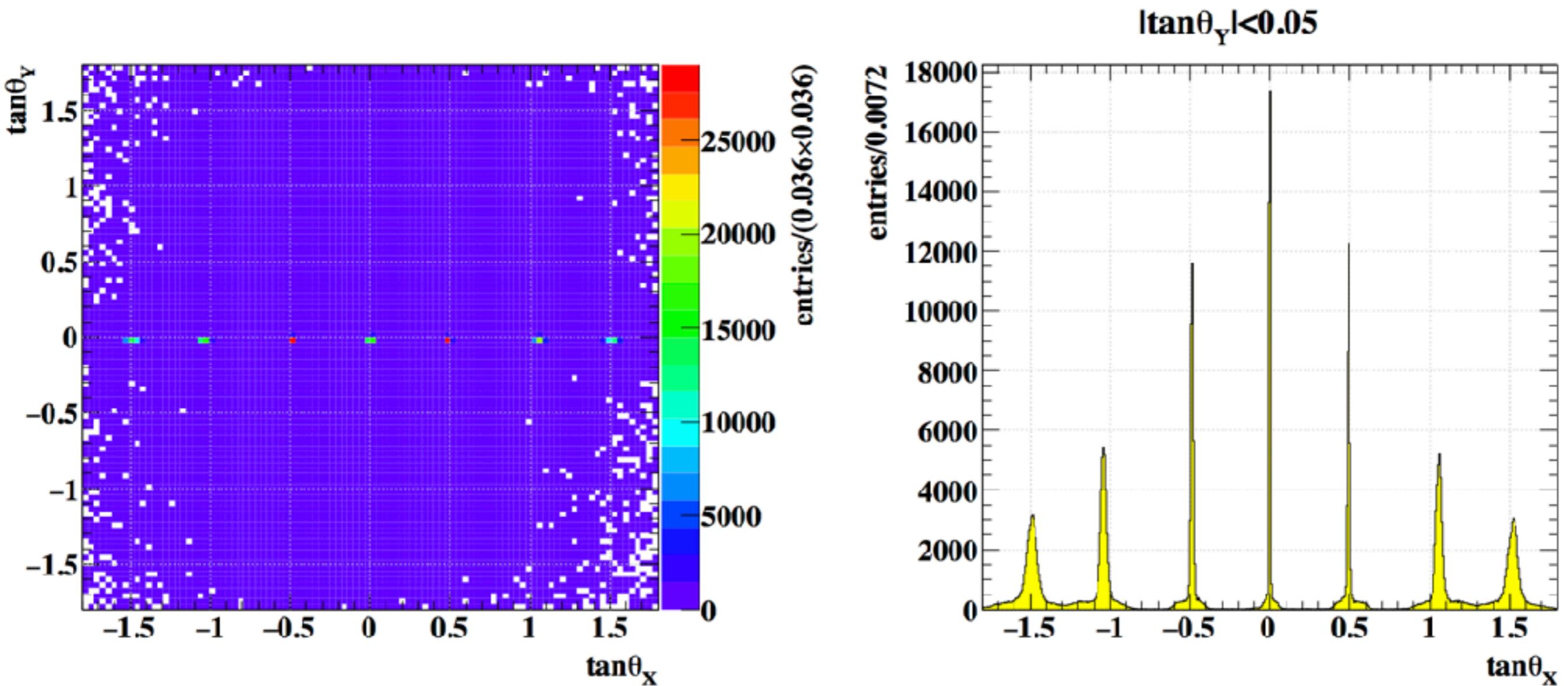
製造 → 照射準備 → 照射 → 現像 → 解析

飛跡の位置分布



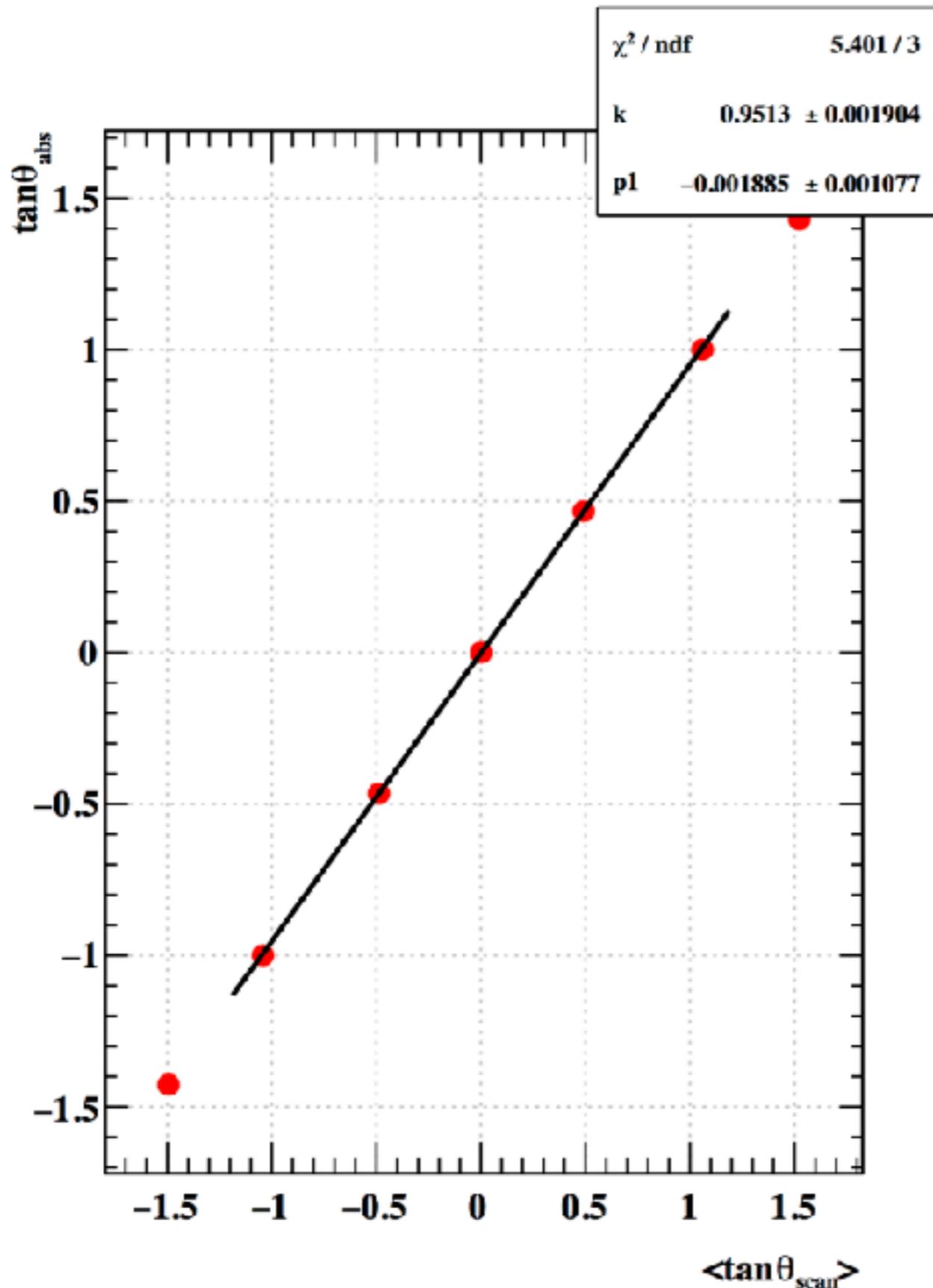
製造 → 照射準備 → 照射 → 現像 → 解析

飛跡の角度分布



ビームを入射した角度に鋭いピークが立っている

製造→照射準備→照射→現像→解析



横軸:読み取り角度

縦軸:実空間角度

読み取り角度 = 実空間角度
ならば直線フィットした時の
傾きは1になるはず
→傾きが0.95となった

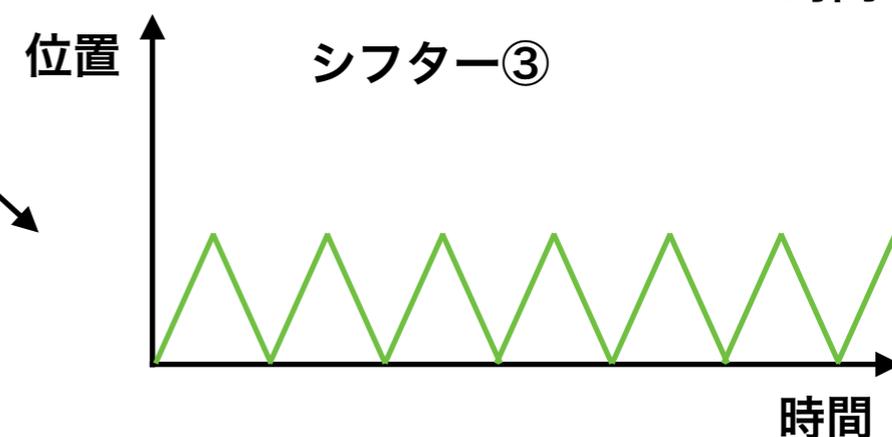
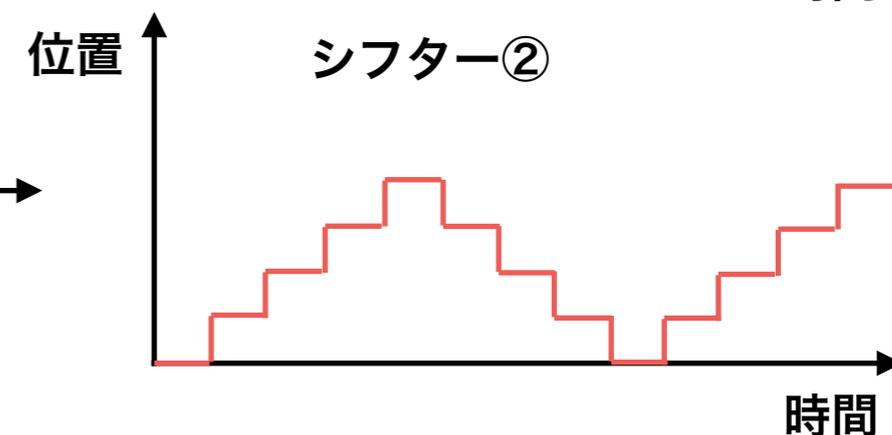
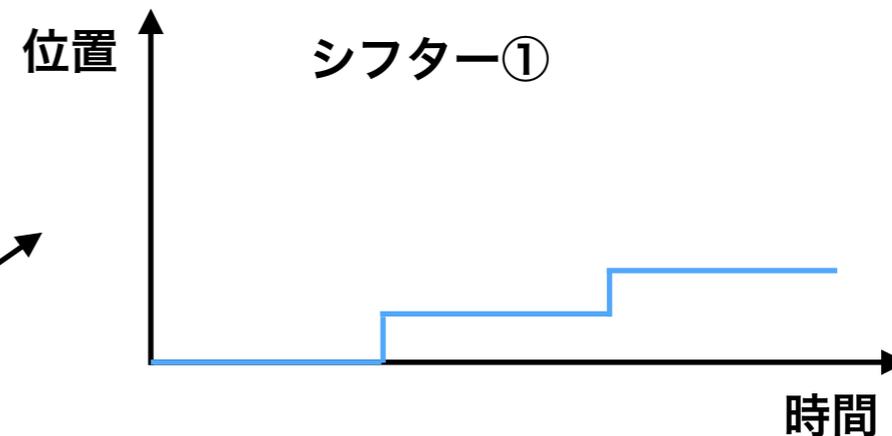
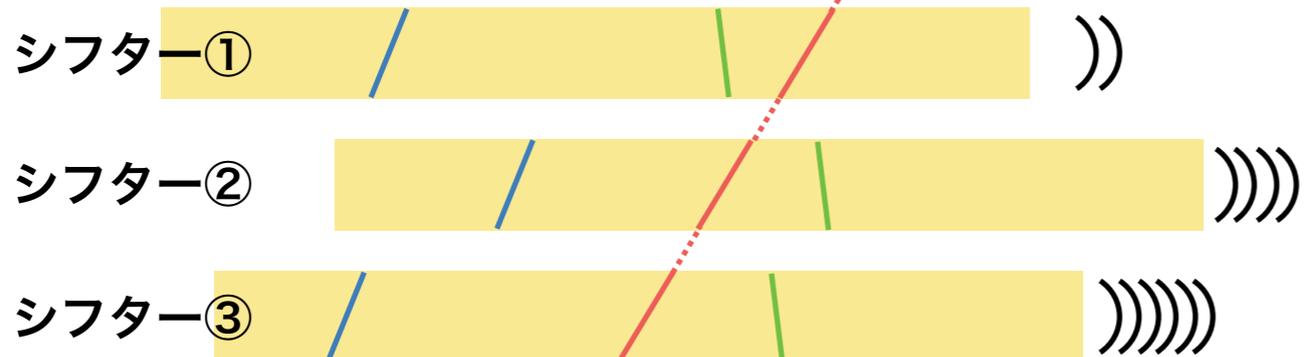
線形的に読み取り角度がずれる
効果を確認し、その傾きを
精度よく求めることができた

Summary

- ・ 宇宙線の起源を探るためにも γ 線観測においてより高分解能での観測が望まれている。
- ・ 空間分解能の高い原子核乾板を用いた天体観測によって新たな発見が期待できる。
- ・ 今回のビーム試験によってイメージングにおいて重要な飛跡の読み取り角度と実空間角度との関係を精度よく理解することができた。

back up

多段シフター

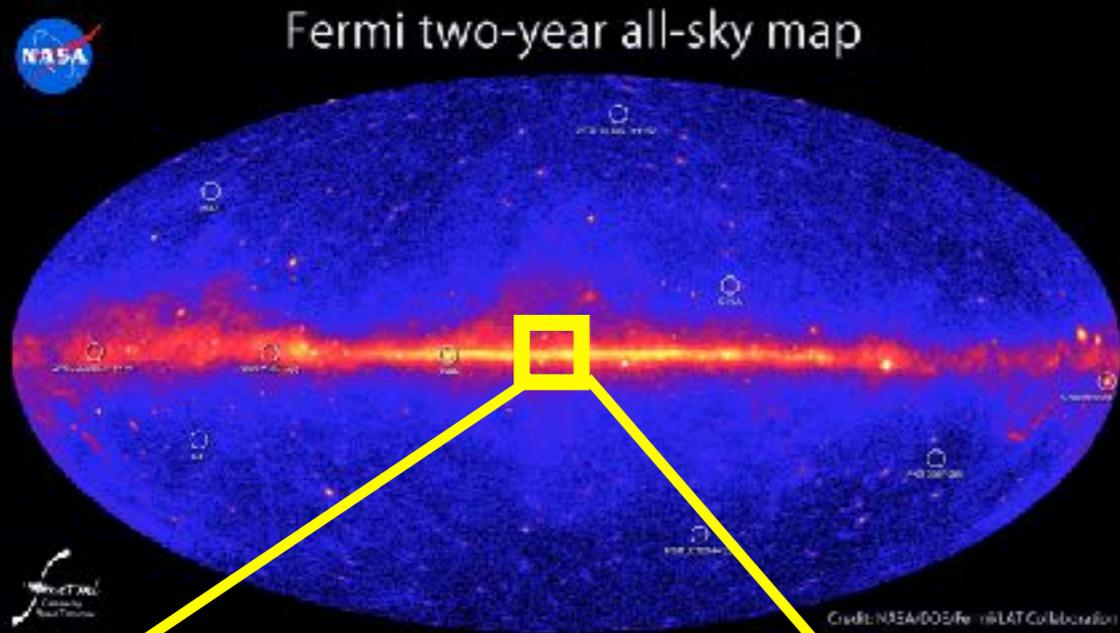


国際情勢 (sub-GeV – GeV mission)

	Fermi-LAT	GRAINE	eASTROGAM	ComPair	HARPO
Converter & Tracker	W (0.03/0.18X ₀) & SSD	Emulsion	両面読みSSD	両面読みSSD	ガスTPC
Energy Range	20 MeV – 300 GeV	10 MeV – 100 GeV	10 MeV – 3 GeV (pair)	10 MeV – 0.5 GeV(pair)	MeV – GeV
角度分解能 @100MeV	6.0°	1.0°	1.5° (requirement)	1.5°	0.4°
角度分解能 @1GeV	0.9°	0.1°	0.2° (requirement)		
偏光感度		有り			有り
有感面積	1.96m ² (有効面積0.25m ² @100MeV)	10m ² (有効面積2.1m ² @100MeV)	0.9m ²	0.9m ²	未定 (有効面積0.03m ² w/ 10kg Ar)
観測開始	2008	2021	未定 (早くて2029)	未定	未定
打ち上げ	NASA	JAXA (気球)	ESA?	NASA?	未定

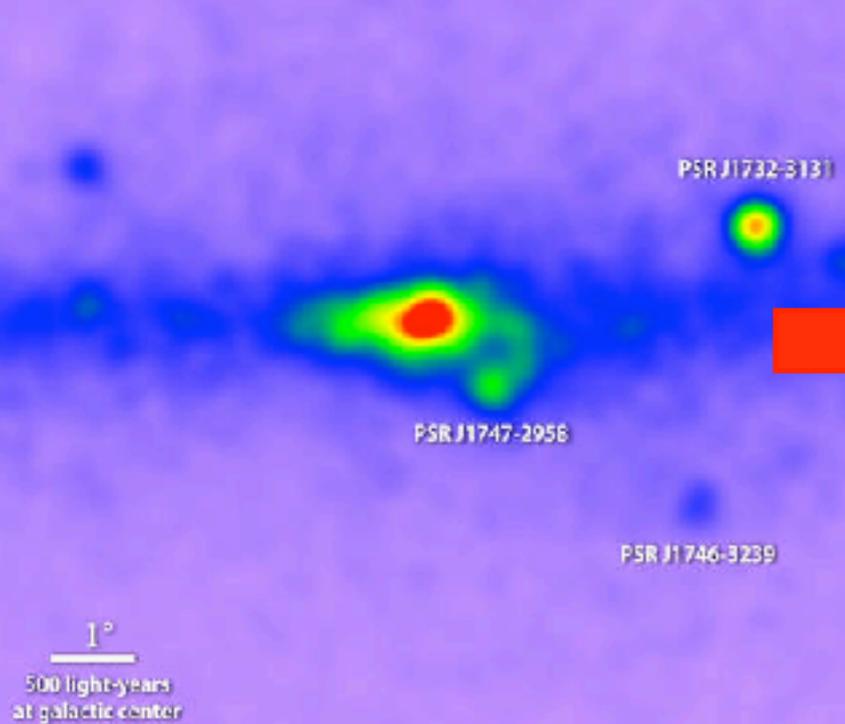
原子核乾板技術でのみ実現可能

天の川銀河中心の観測



- 2014年 6年分のデータ
- 複数のグループが天の川銀河の中心でガンマ線の超過の存在を発表。
- D.Hooper et al. 他
- NASA HP
- 日本物理学会誌

1-3GeV 銀河中心領域



謎のガンマ線超過

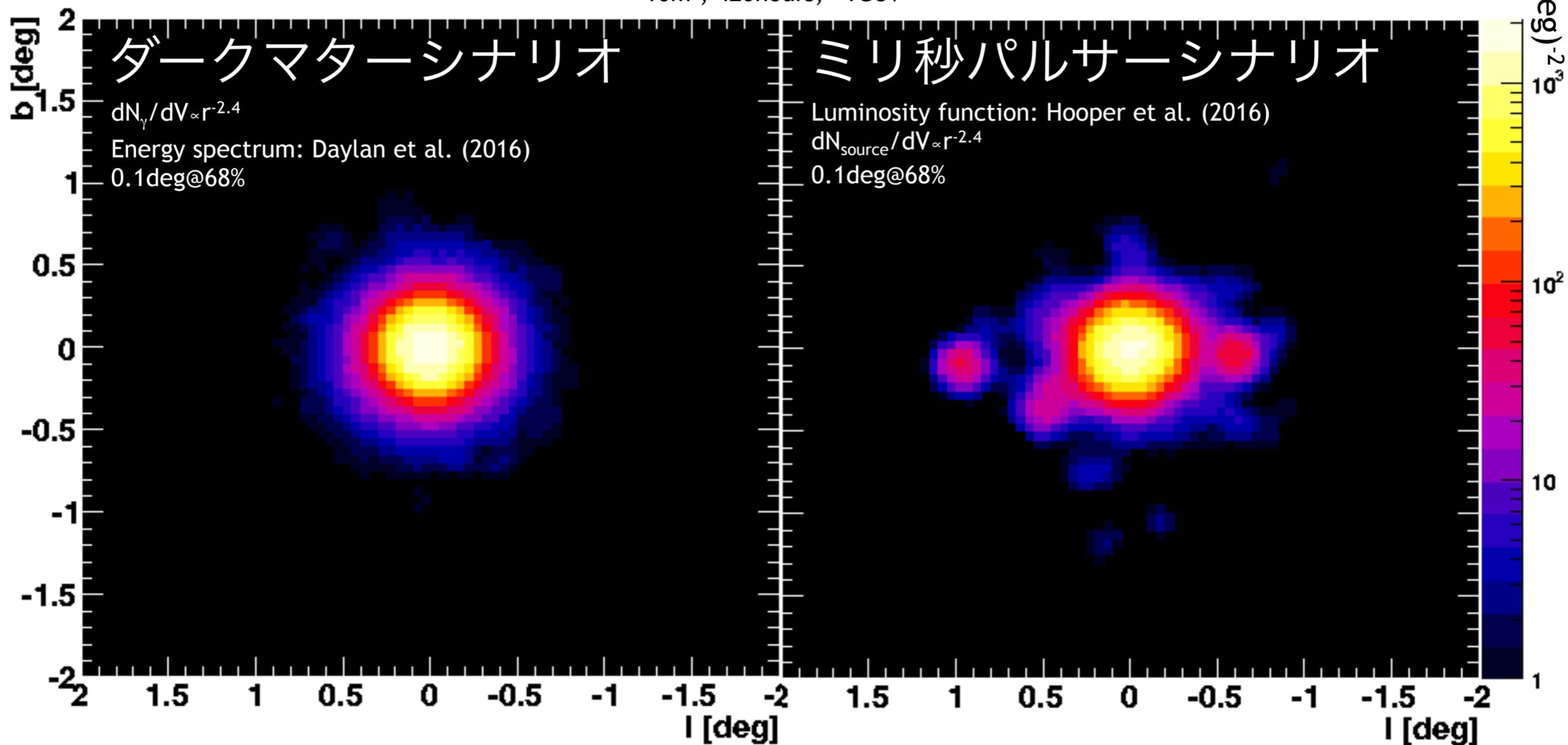
既知の天体
銀河面ガス etc.
からの放射を差し引き後

- 様々な解釈が乱立
 - 暗黒物質起源?
 - 未発見パルサー起源?
 - 銀河面モデルの不定性?
- 宇宙線国際会議 (ICRC2015) で特別セッション

銀河中心の高エネルギー現象の理解は混沌とした状況

銀河中心GeV excessのシミュレーション w/ 高角度分解能

10m², 420hours, >1GeV



銀河中心領域におけるカタログソースの変遷

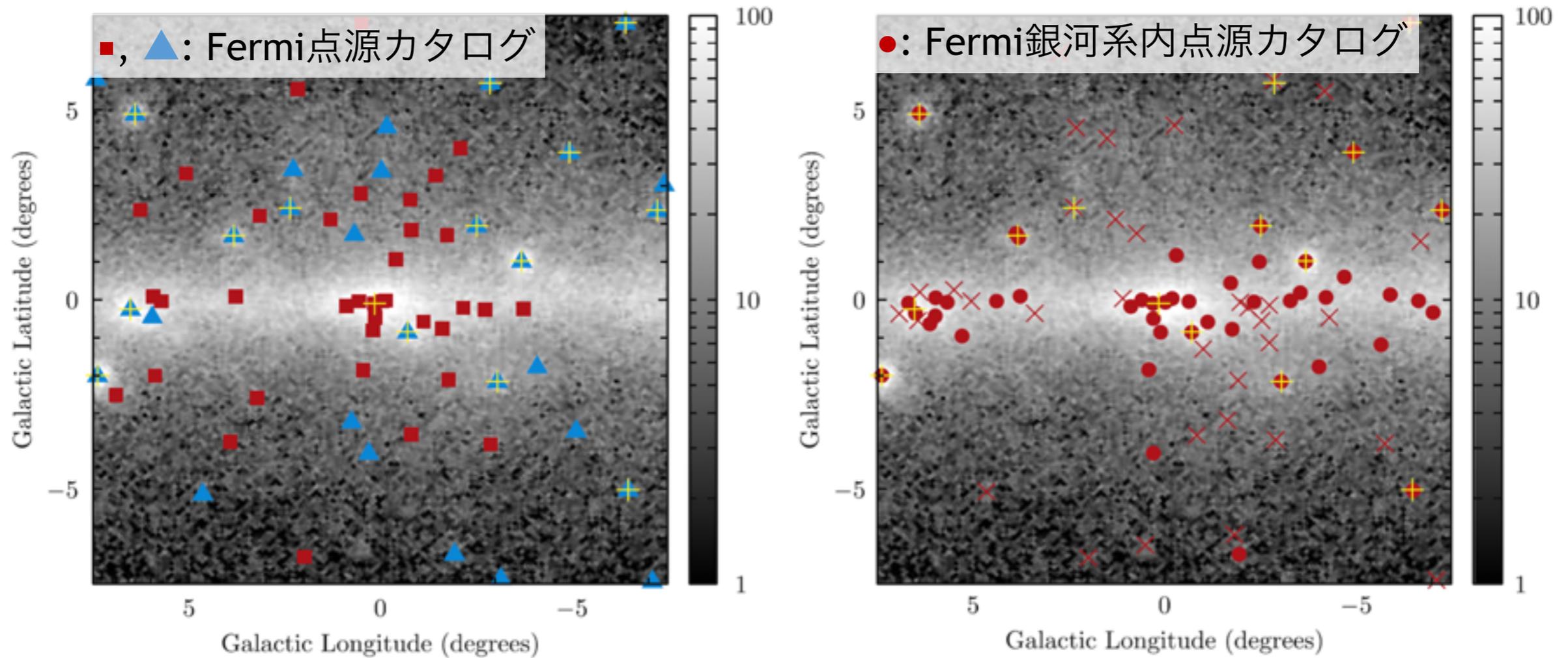


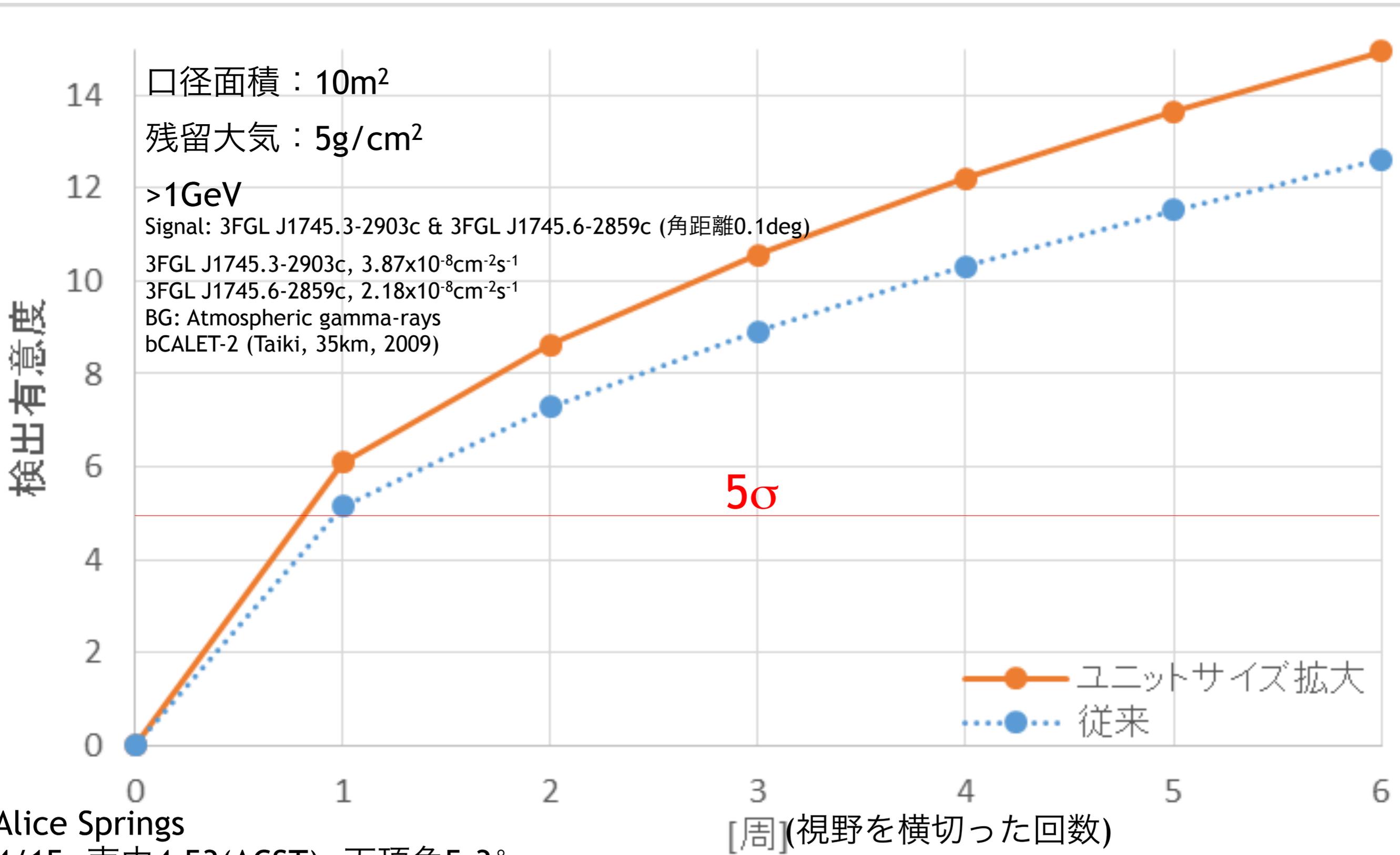
Figure 7. Point sources for 3FGL (left panel) and IFIG (right panel, for Pulsars intensity-scaled IEM) overlaid on the total counts for the $15^\circ \times 15^\circ$ region about the GC. Left panel symbol key: filled squares, “flagged” 3FGL sources; filled triangles, other 3FGL sources; upright crosses, 3FGL sources with a multi-wavelength association. Right panel symbol key: filled circles, IFIG sources with $TS \geq 25$; angled crosses, IFIG source candidates with $TS < 25$; upright crosses, as in left panel. Color scale is in counts per 0.05^2 degree pixel.

FERMI-LAT OBSERVATIONS OF HIGH-ENERGY γ -RAY EMISSION TOWARD THE GALACTIC CENTER,
M. Ajello et al., ApJ 819 (2016)

- カタログごとにガンマ線源が変遷
- 銀河面放射モデルに依存
- **高角度分解能によって、モデルに依存しないガンマ線源の直接検出が可能**

銀河中心 検出感度

$$n_{\sigma} = \frac{N_s}{\sqrt{N_{BG}}}$$



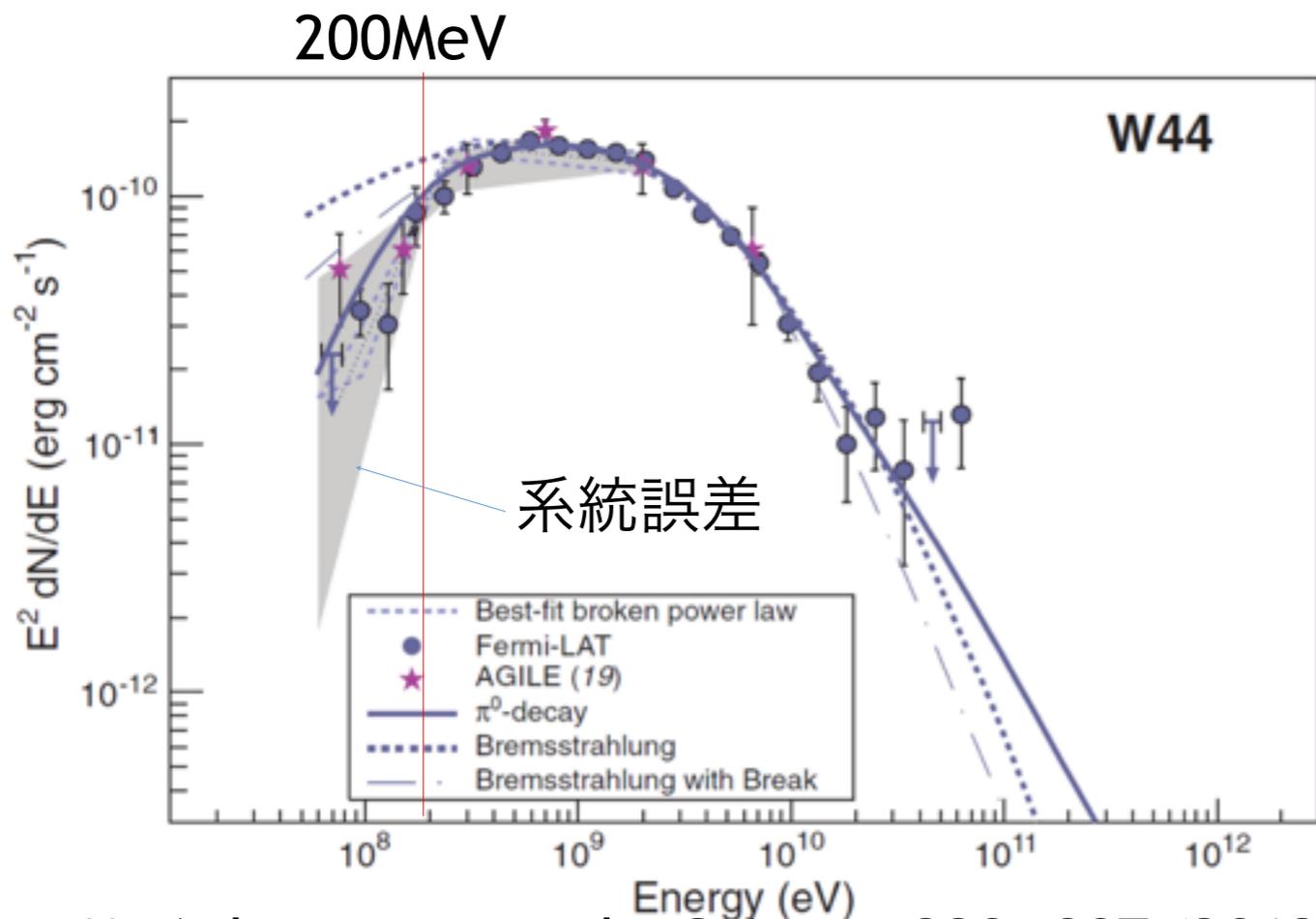
Alice Springs
4/15, 南中4:53(ACST), 天頂角5.3°
天頂角45度内1:31 - 8:16(6.75h/周)

N_{signal}=132, N_{BG}=78 @6周

π^0 放射:

陽子加速の直接証拠

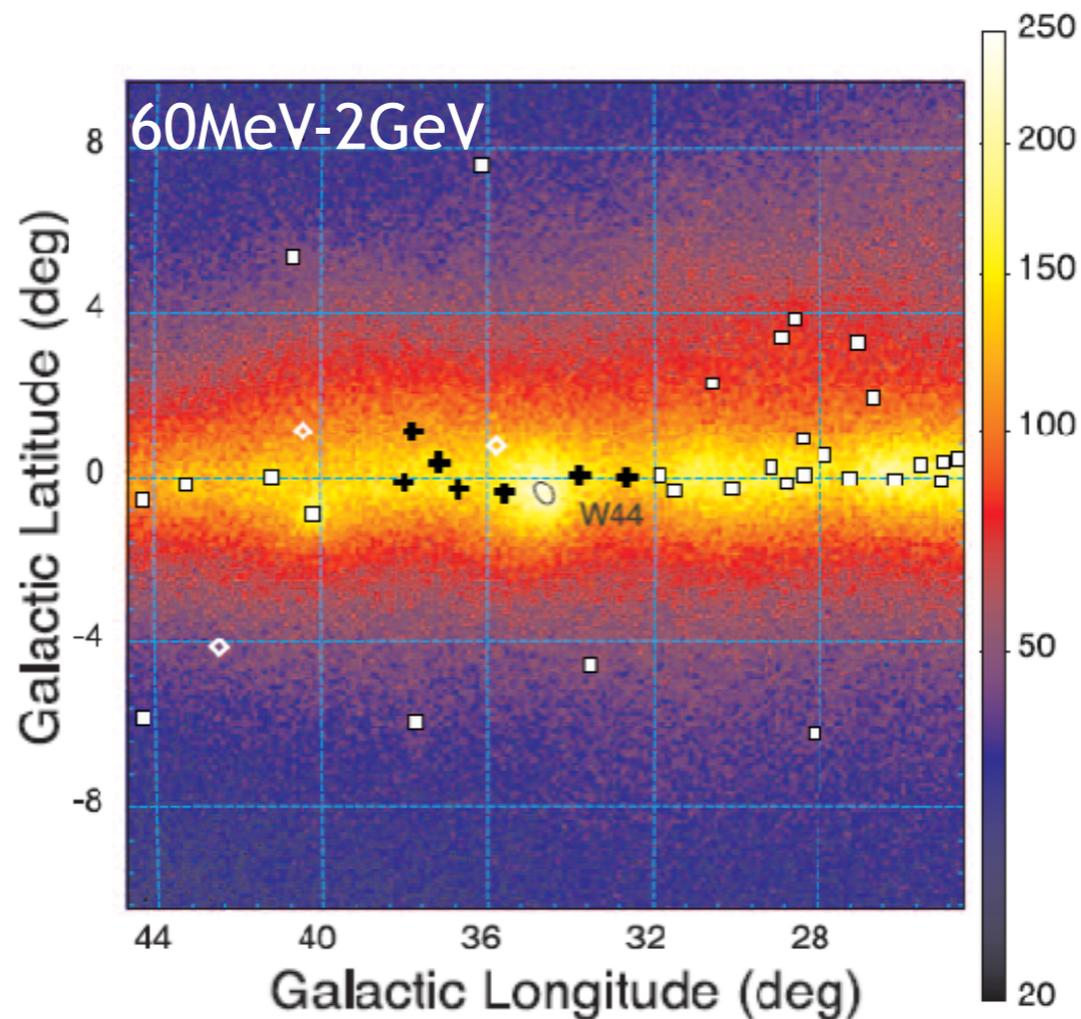
超新星残骸



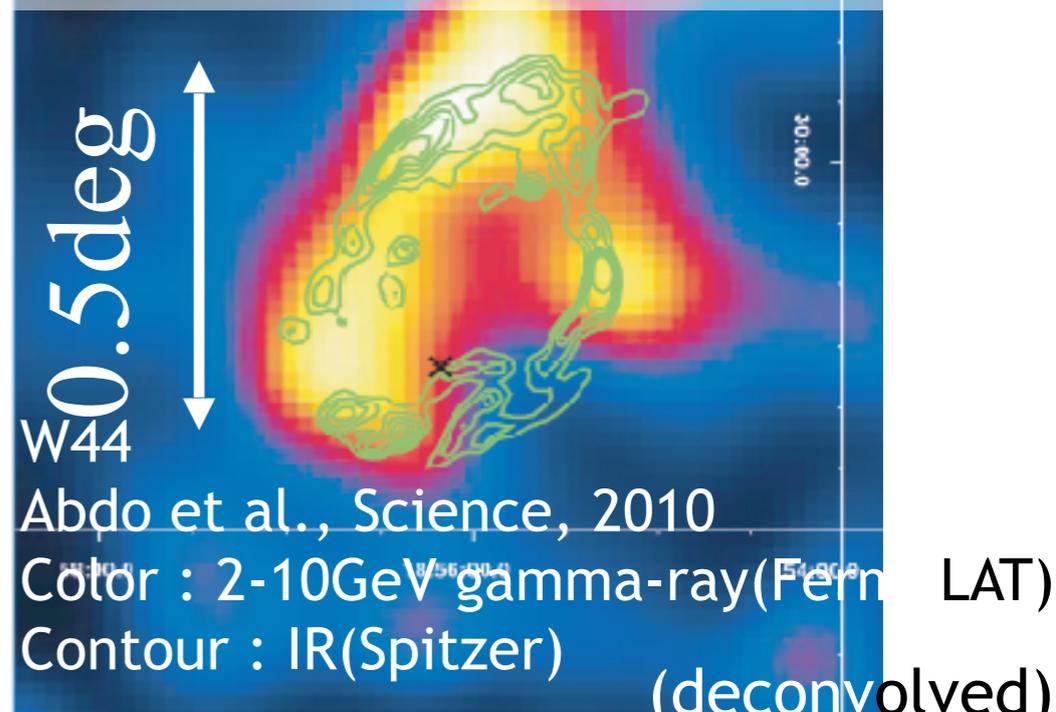
M. Ackermann et al., Science 339, 807 (2013)

200MeV以下での系統誤差を抑えた
スペクトル測定

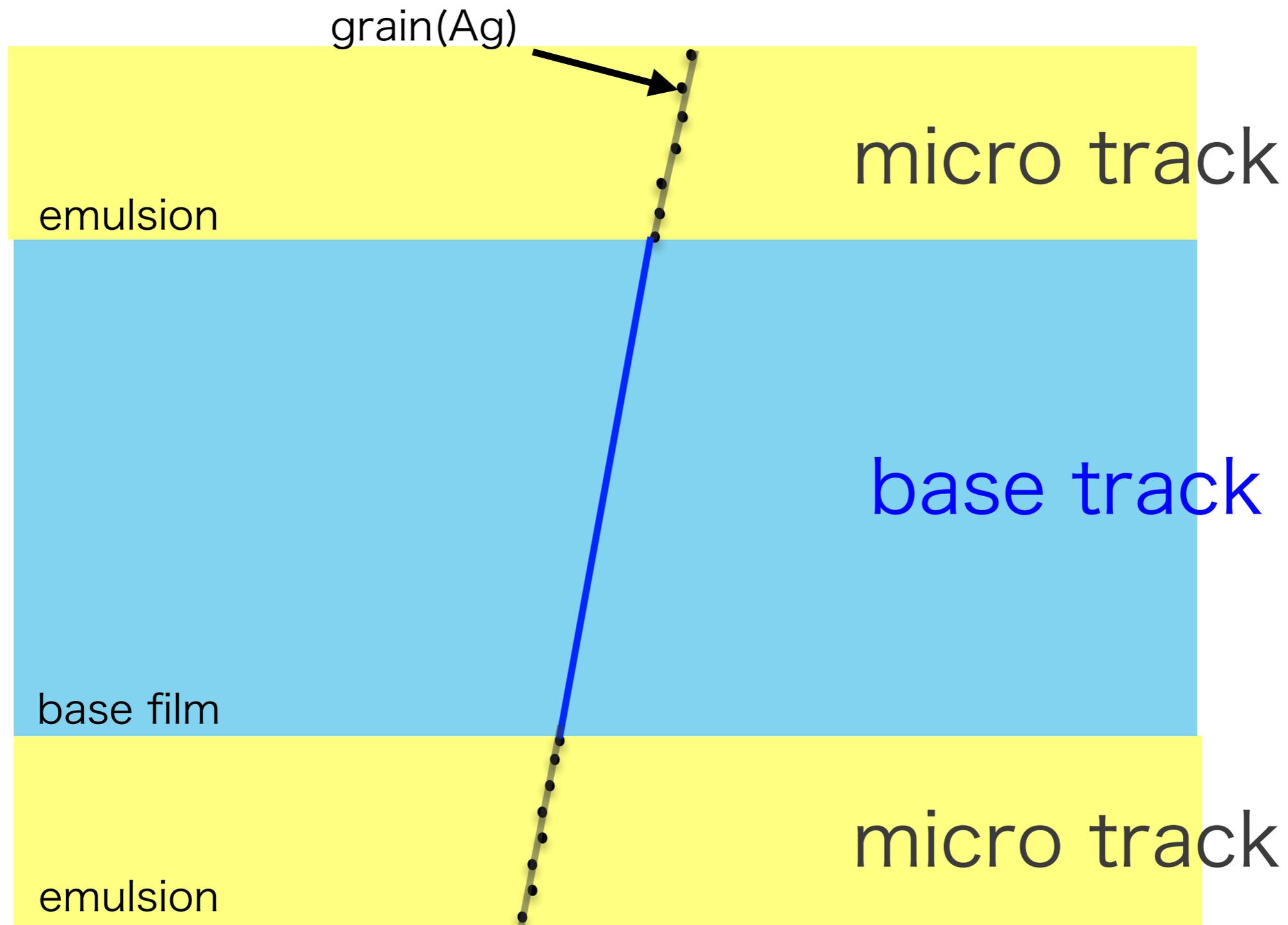
200MeV以上での空間構造の解明



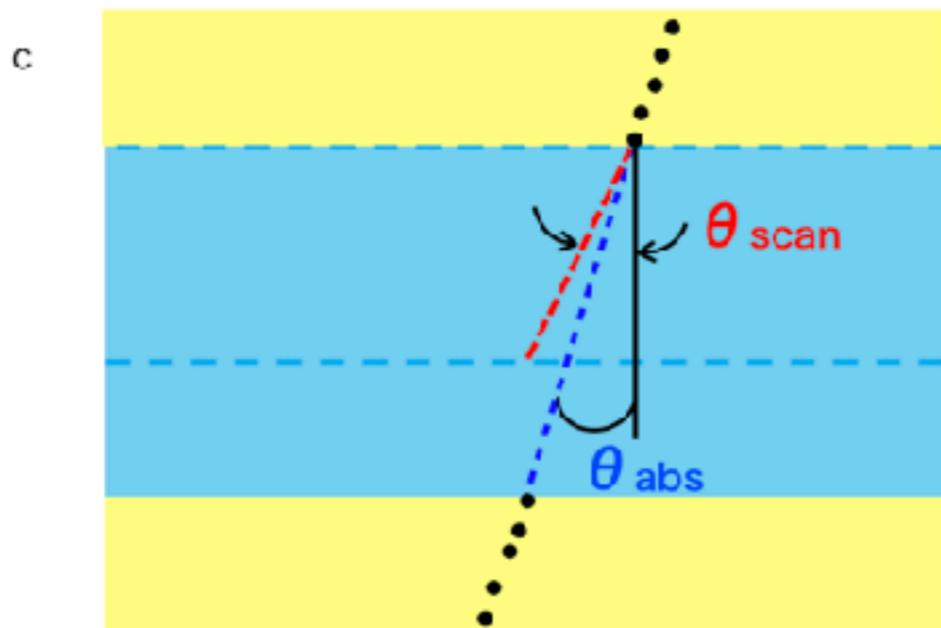
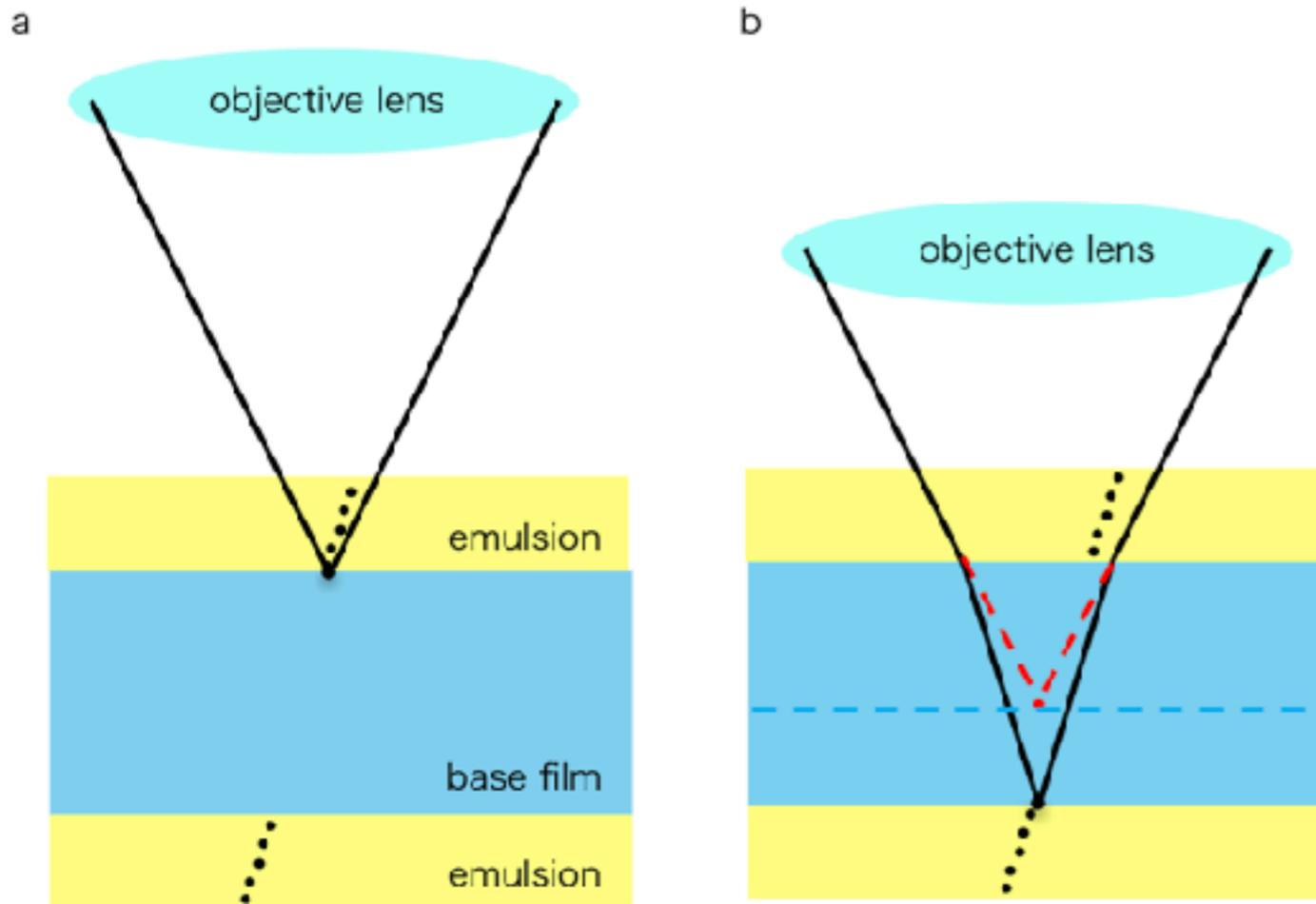
空間構造:
放射機構に迫る



ベーストラック



自動読み取りにおける系統誤差



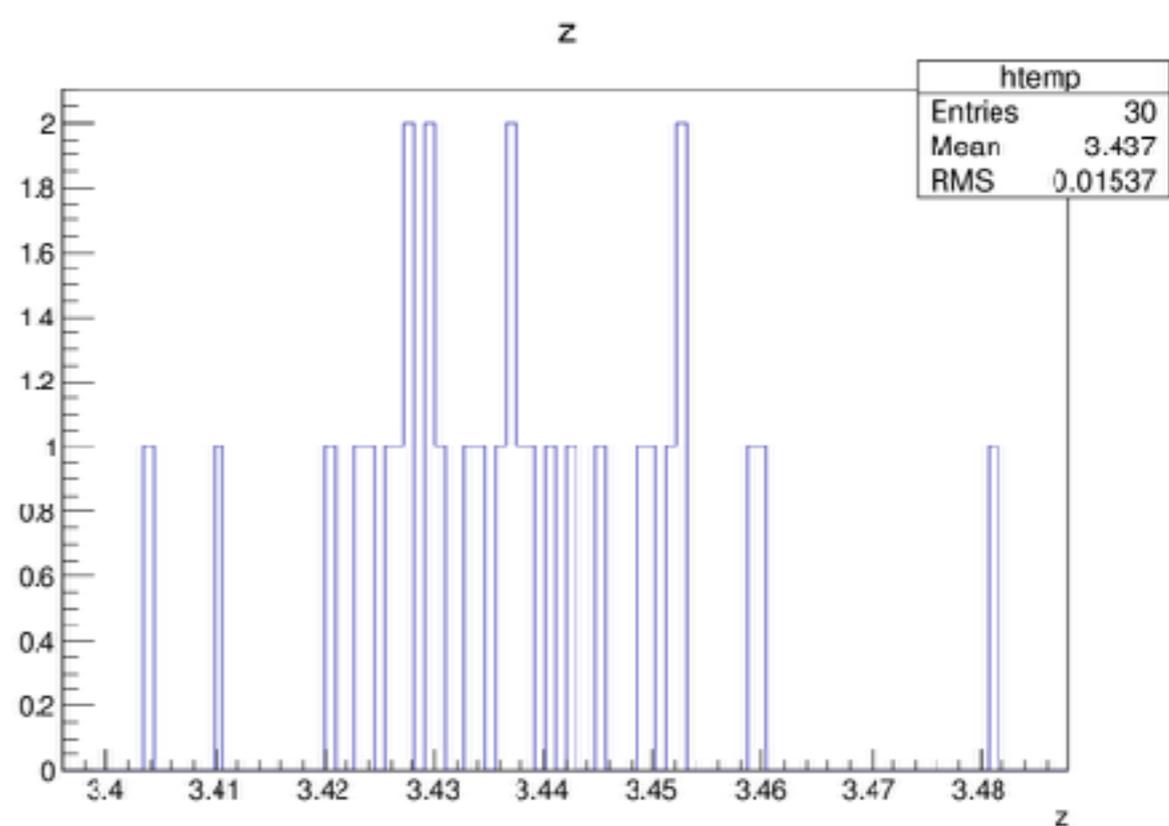
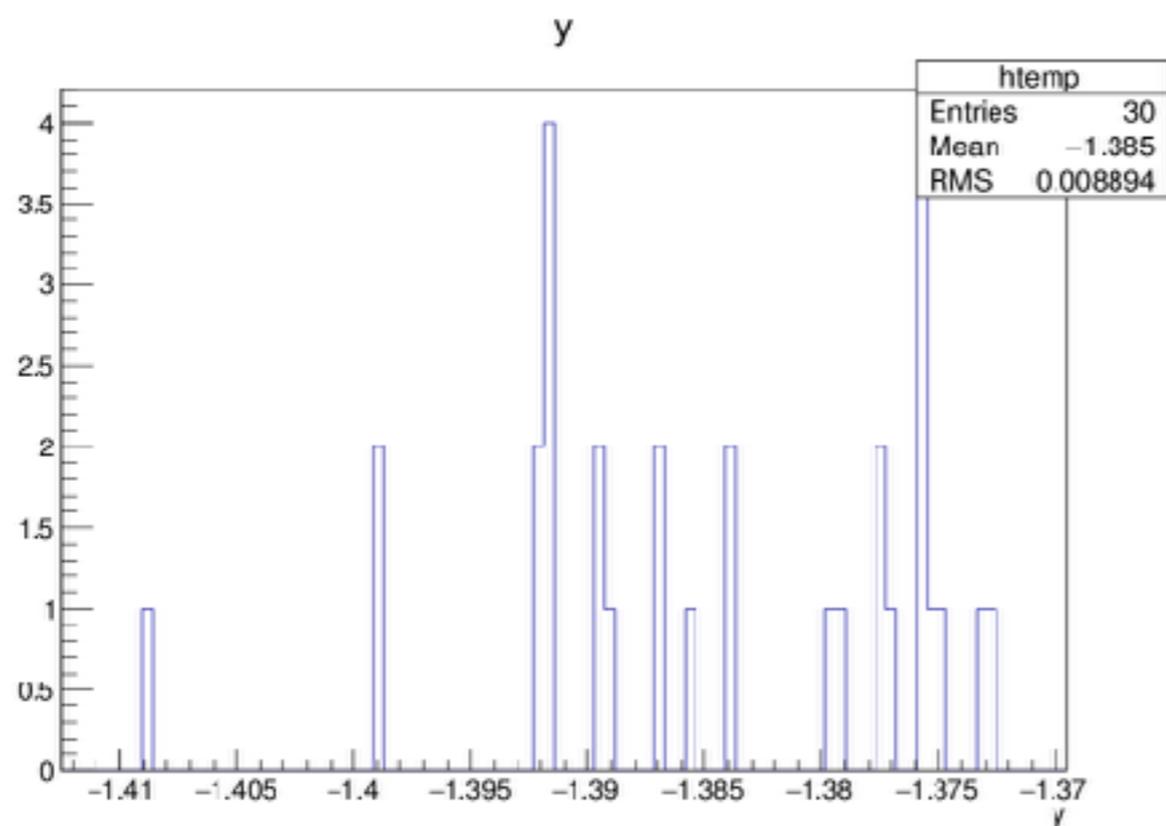
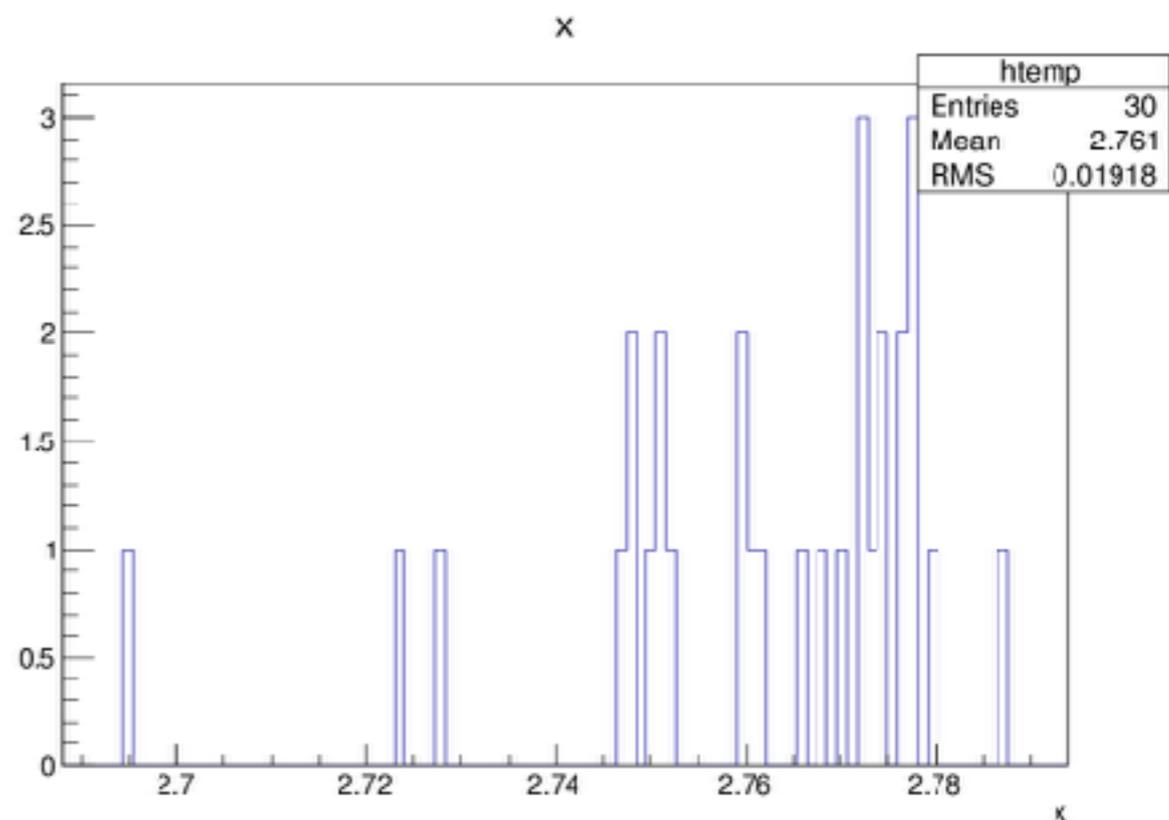
$$\tan \theta_{abs} \simeq \frac{n_{emul.}}{n_{base}} \times \tan \theta_{scan}$$

$$\frac{1.51}{1.59} = 0.95$$

※保守的に見積もって
エラーが0.03

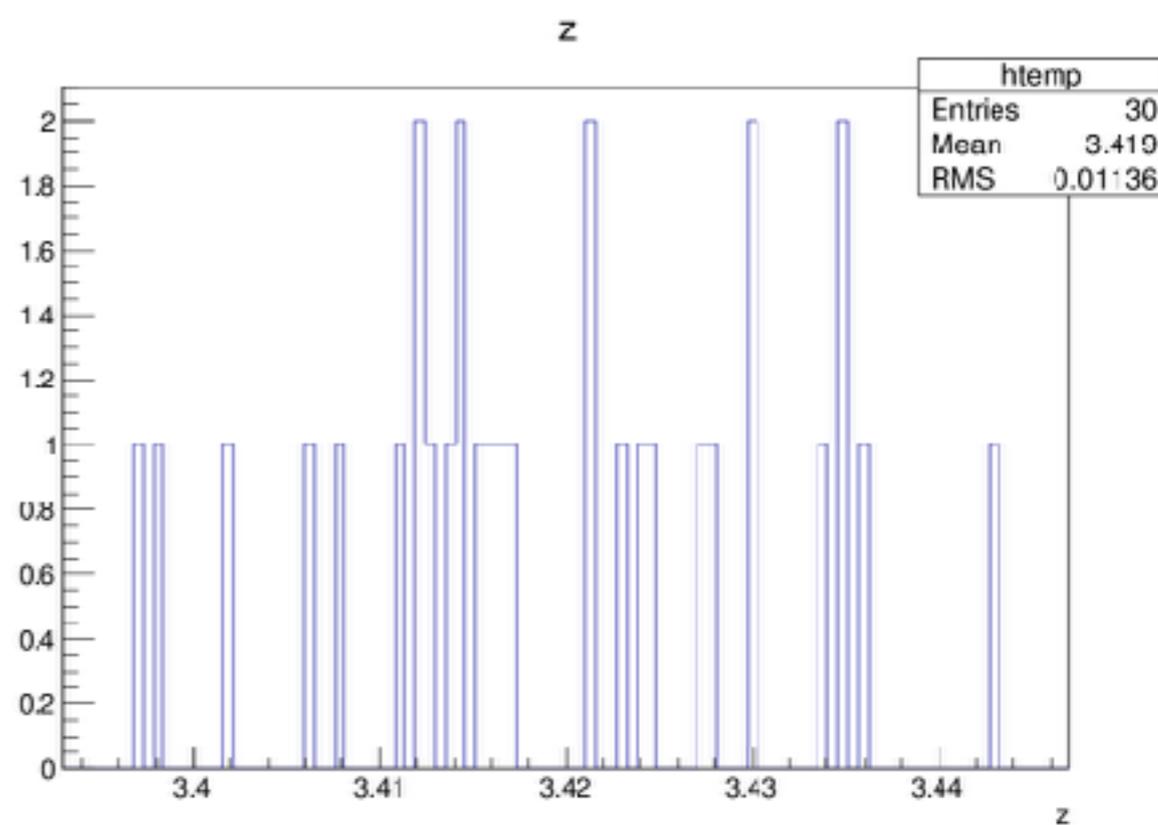
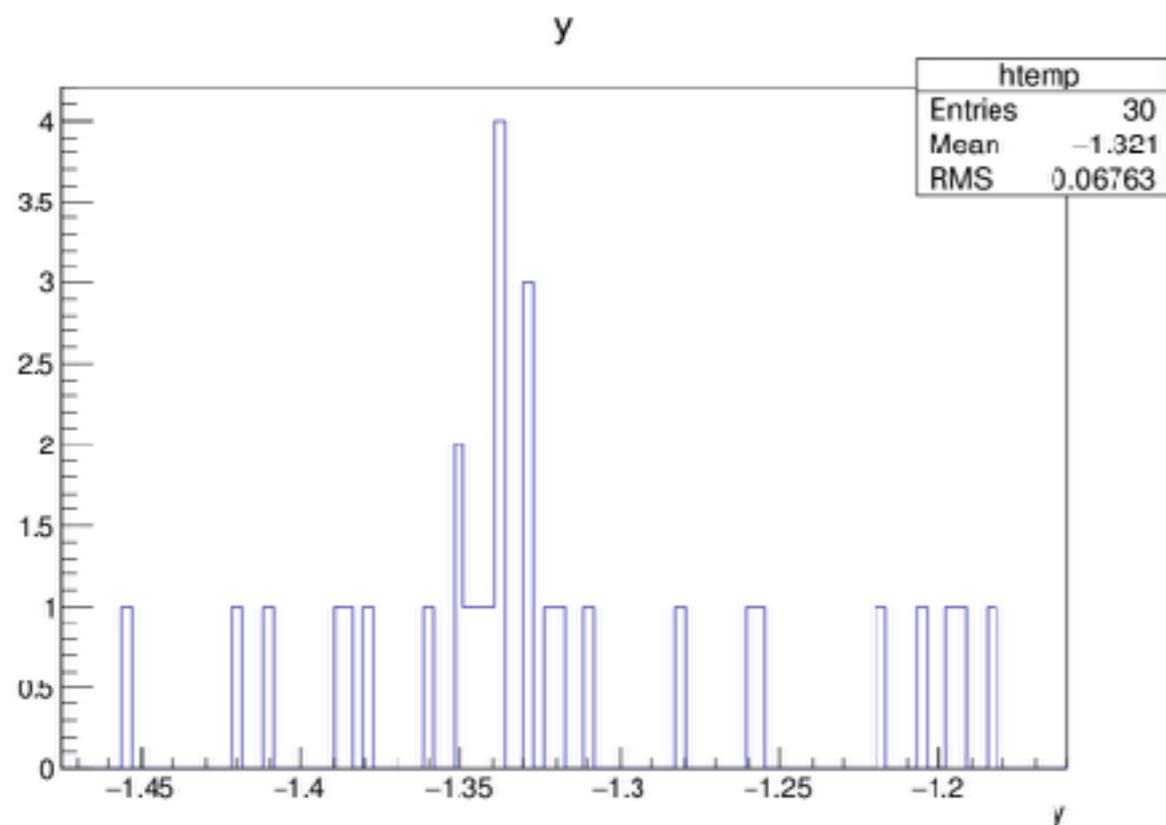
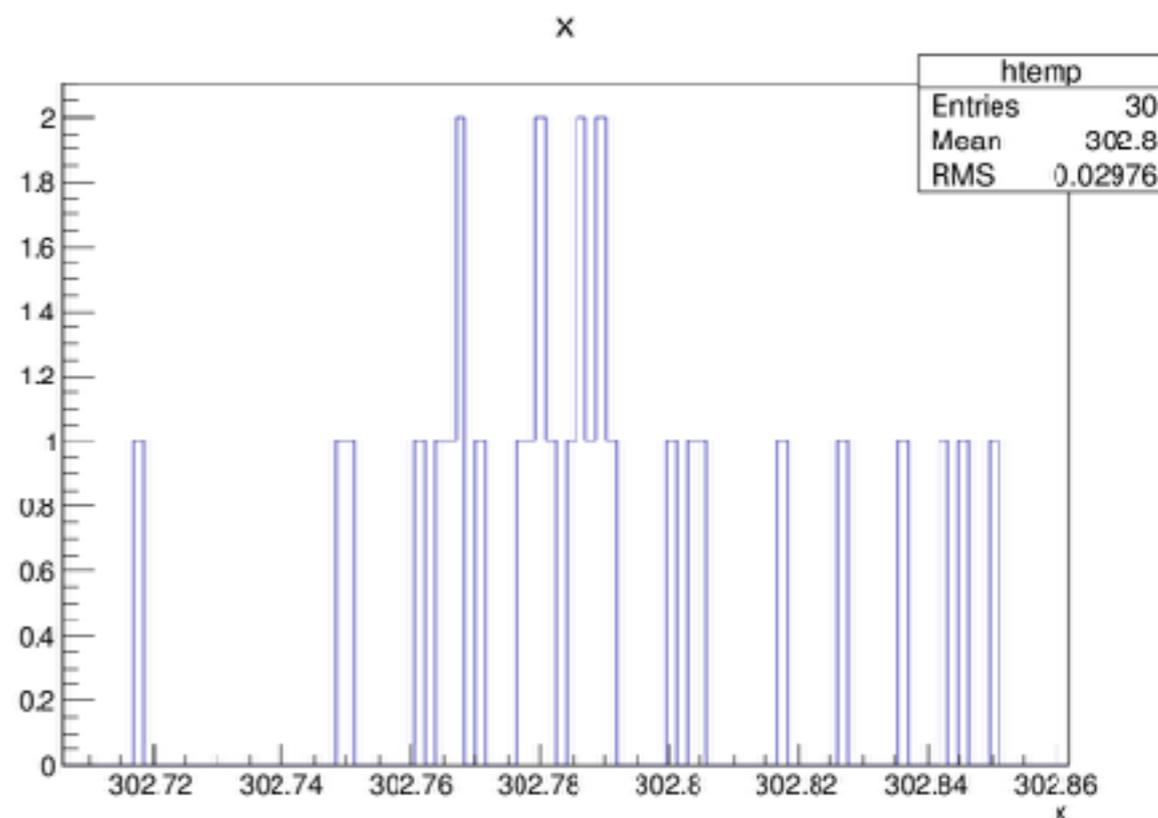
FAROアーム性能評価

両端の穴をそれぞれ30回ずつ測定した (mm)

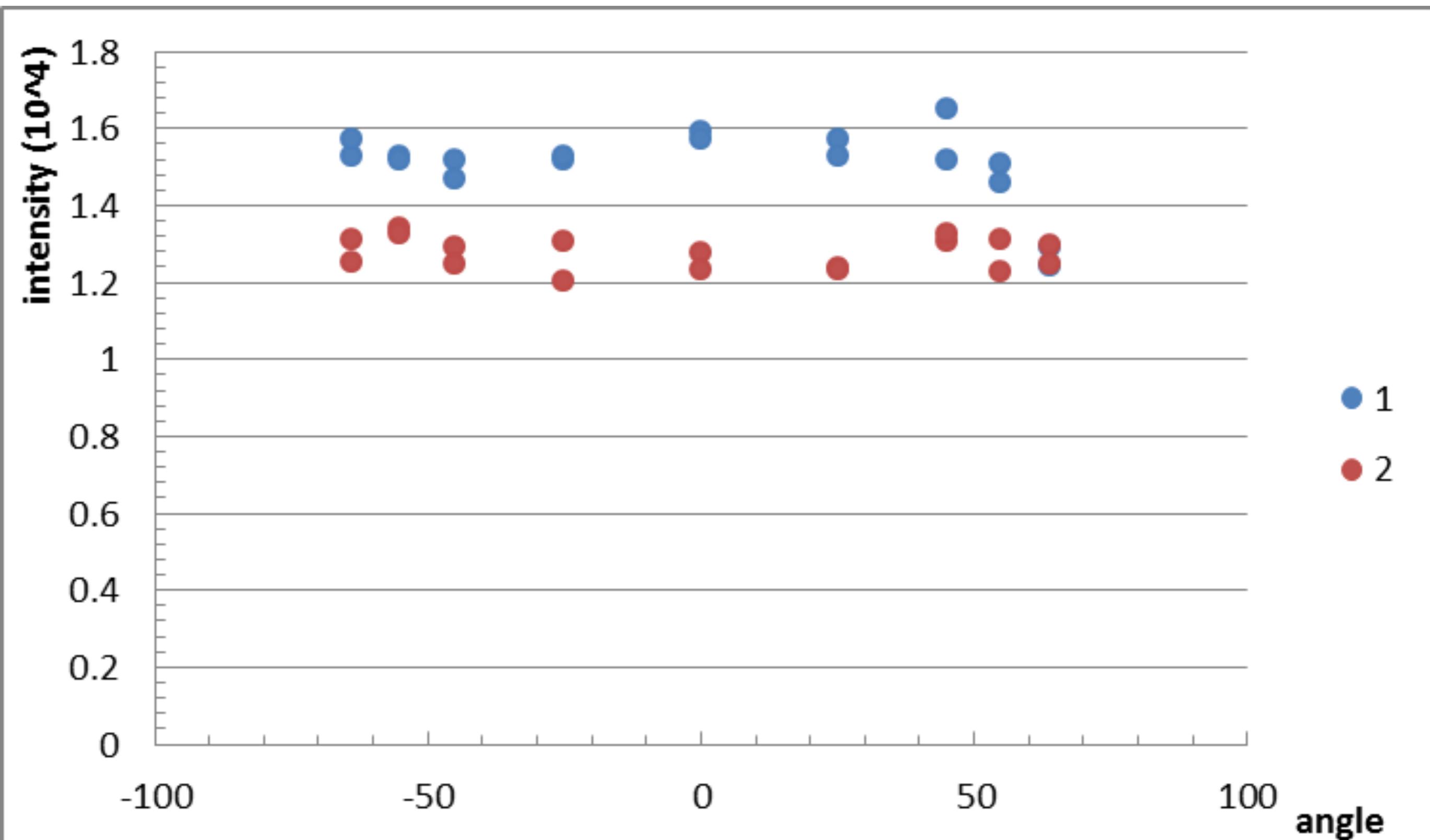


FAROアーム性能評価

両端の穴をそれぞれ30回ずつ測定した (mm)

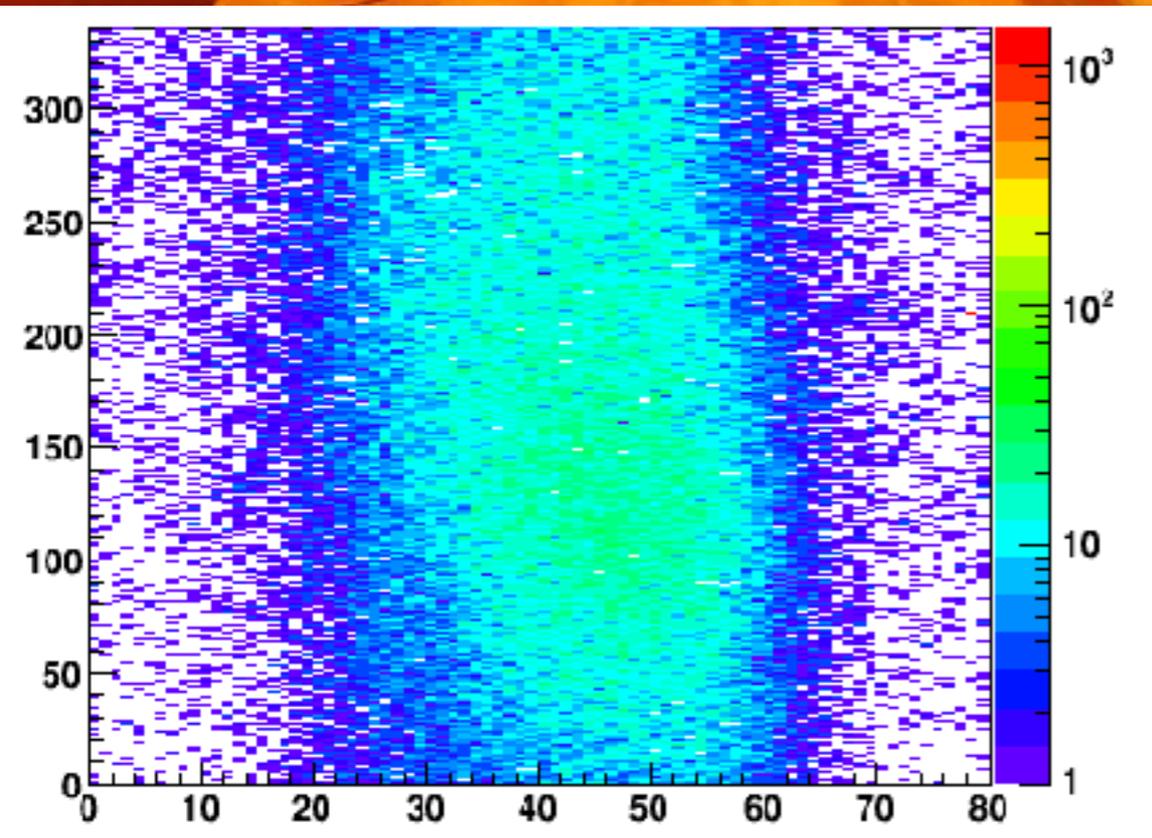


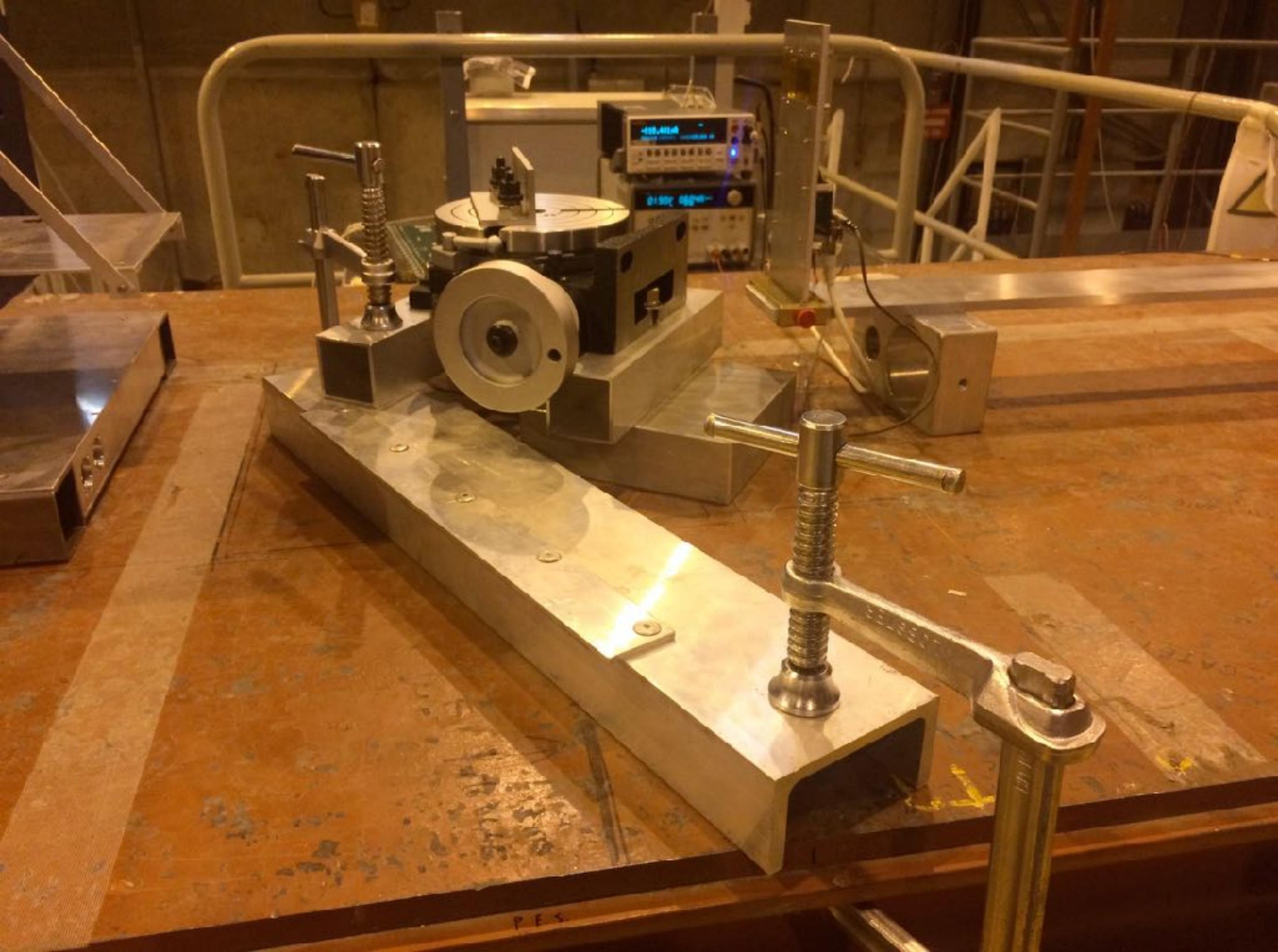
Beamの強度変化



シリコン検出器

4cm
2cm





-100.41m

0.150

PES

