

名古屋大学における中性子イメージングの現状

NUANS 2nd BLの構築 KURでの取り組み

名古屋大学
理学研究科

広田克也

NUANS 2nd BLの構築

Collaborators (for 2nd beamline)

名古屋大学

理学研究科

清水裕彦
土川雄介
市川豪
今城想平

工学研究科

土田一輝
鬼柳善明
釣田幸雄

瓜谷章
渡辺賢一
吉橋幸子
山崎淳

理研

山形豊

京都大学化研

岩下芳久

JCANS
UCANS

このプロジェクトを行うにあたっては JSTからの支援を受けています。
NUANSの構築は八神製作所との共同研究です。
第2ビームライン構築はトヨタ自動車との共同研究です。

NUANS : Nagoya University Accelerator-driven Neutron Source

名古屋大学では加速器駆動小型中性子源を建設中
2つの中性子ビームラインを設計・構築中

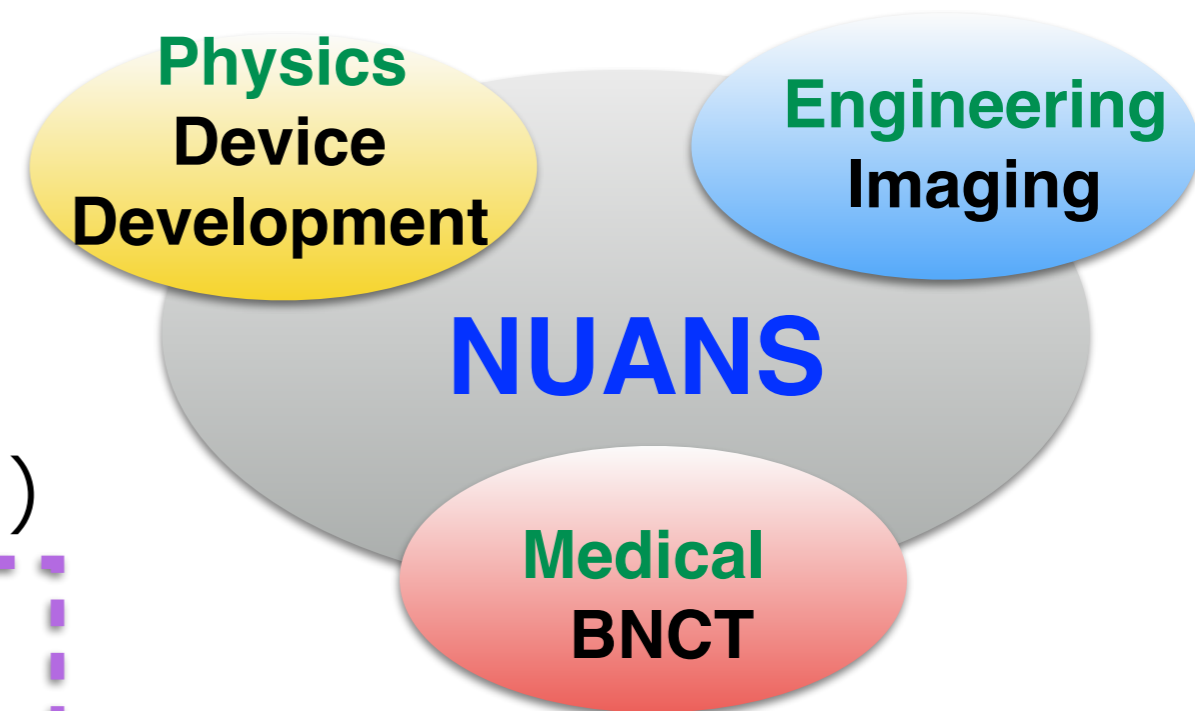
第1ビームライン

- ・ BNCTシステム構築のための研究開発

(Li-Target, moderator, etc...)

第2ビームライン

- ・ 中性子イメージング
- ・ 中性子検出器・光学素子開発
- ・ 学生教育、小型中性子源人材育成



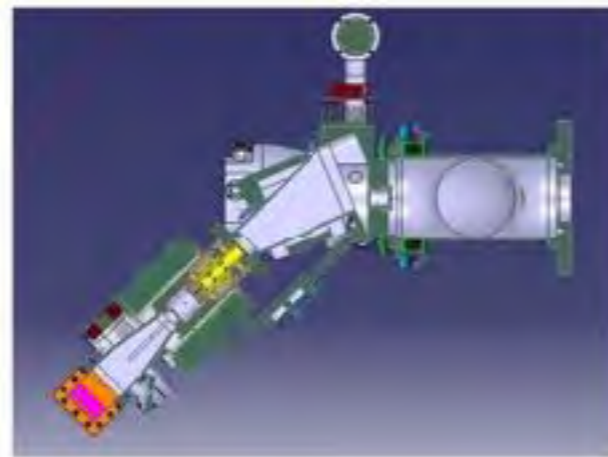
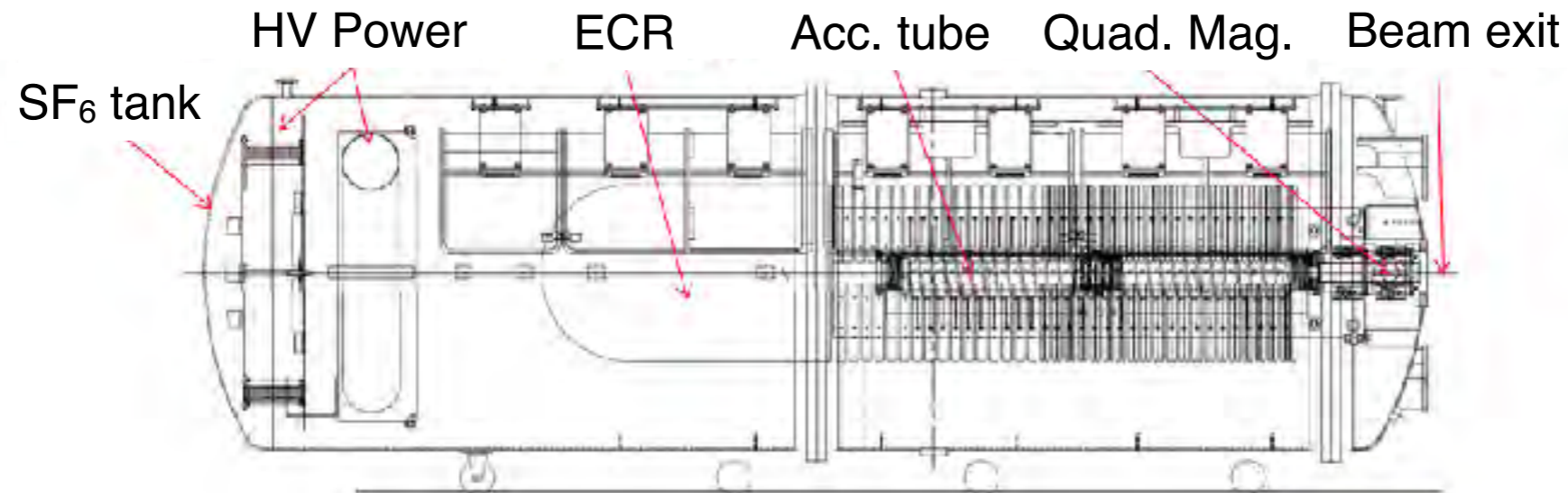
Electrostatic proton accelerator

Dynamitron Accelerator (**DC beam**) by IBA Indust.

Proton Energy: 1.9MeV-**2.8MeV**

Proton beam current: Maximum **15mA**, 1.5mA(2nd BL)

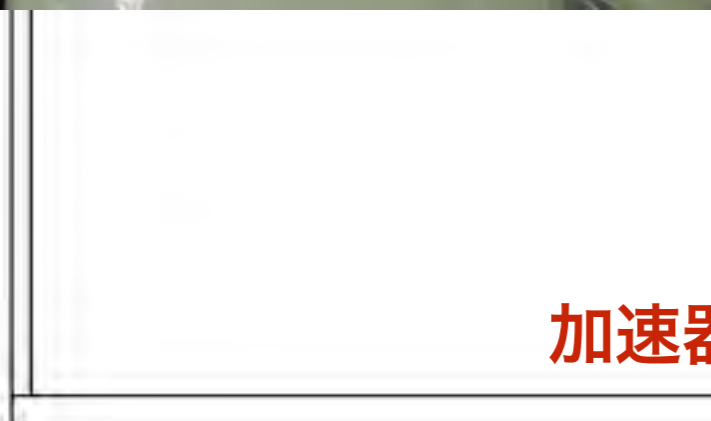
Size : 7.5m x 2.8m 6.5ton



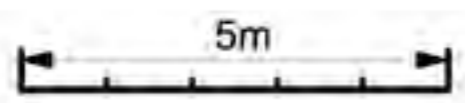
g now !



BNCTデバイス開発
大強度



加速器



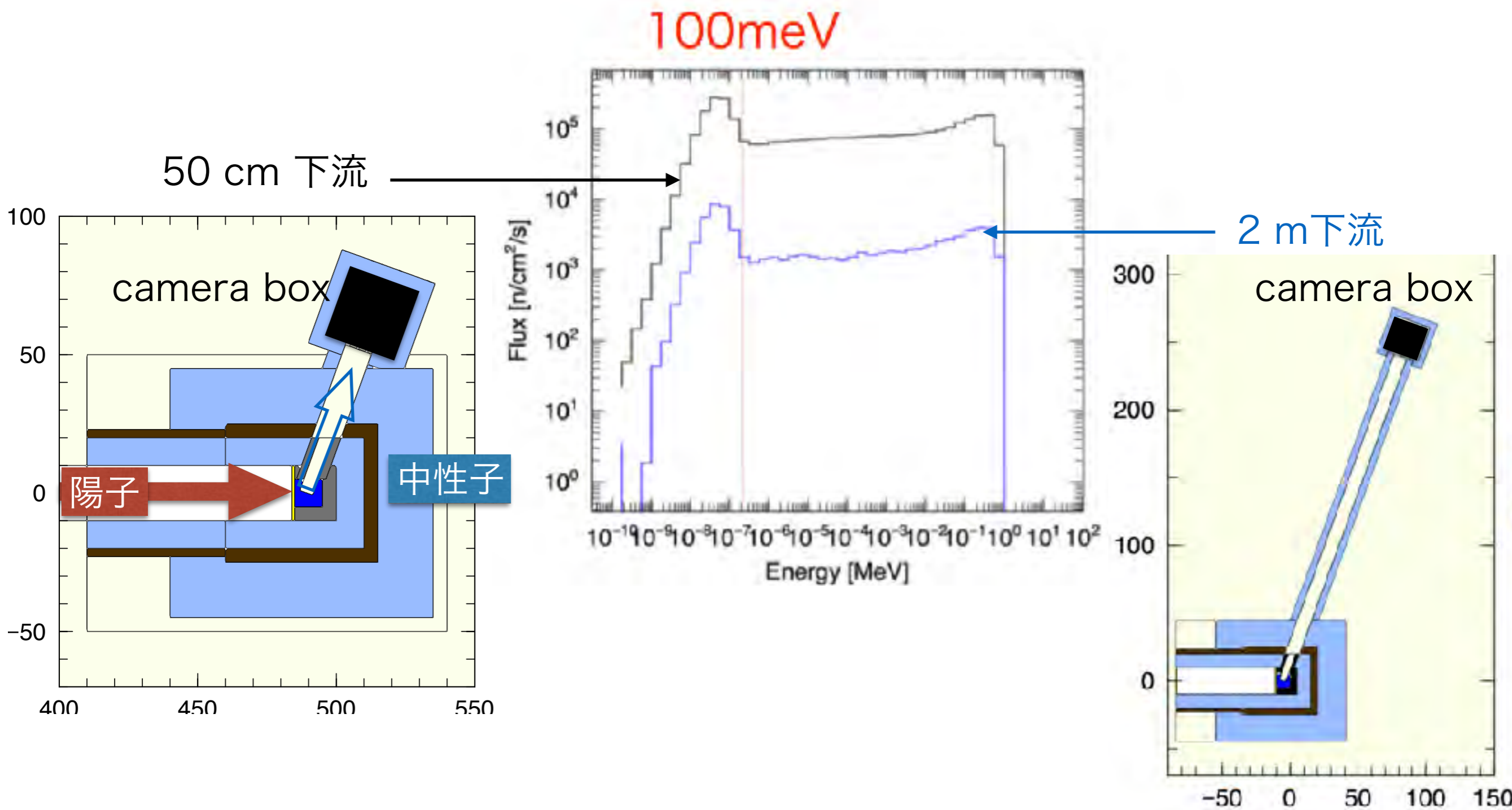
「名古屋大学における中性子
Dec. 28-29, 中性子イメー
Katsuya Hirota, Nagoya I

2017.7.26

第2ビームライン

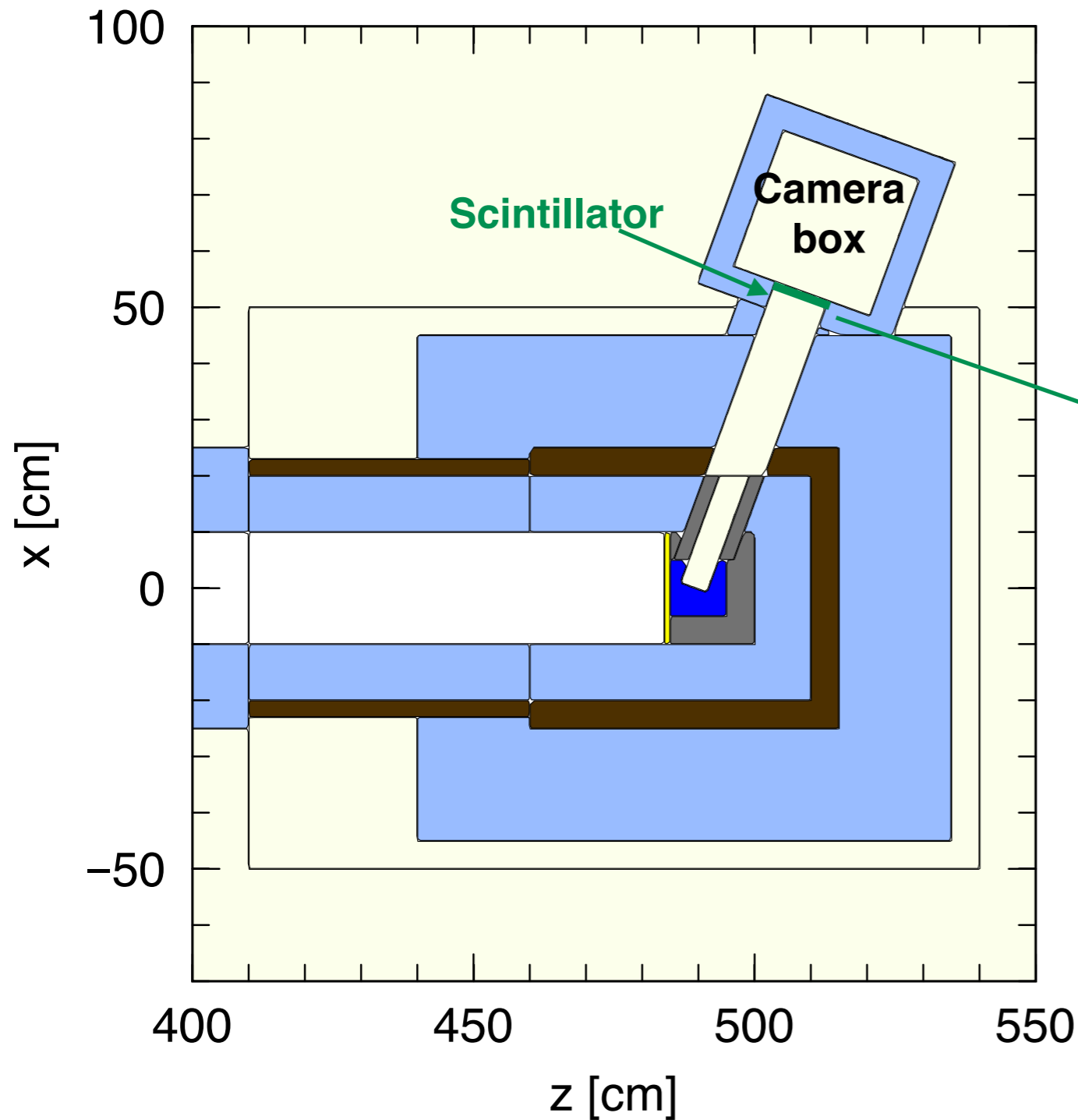
- 中性子汎用ビームライン : **easy handle, low cost**
 - 中性子イメージング
 - 中性子検出器及びデバイス開発
- 陽子ビーム電流 **1.5mA** ~ 4kW
- **Be** target ϕ 100mm
- ポリエチレン減速体(熱中性子発生)
- radiation level : $< 0.1 \mu\text{Sv/h}$ (desired value)
 - shield weight : < 2 ton : request by floor capacity
- thermal neutron flux $10^4\text{n/cm}^2/\text{s}@2\text{m}$
 - Neutron Flight path : **Short** (50cm) or **Long** (2m)

想定される中性子スペクトルに関して

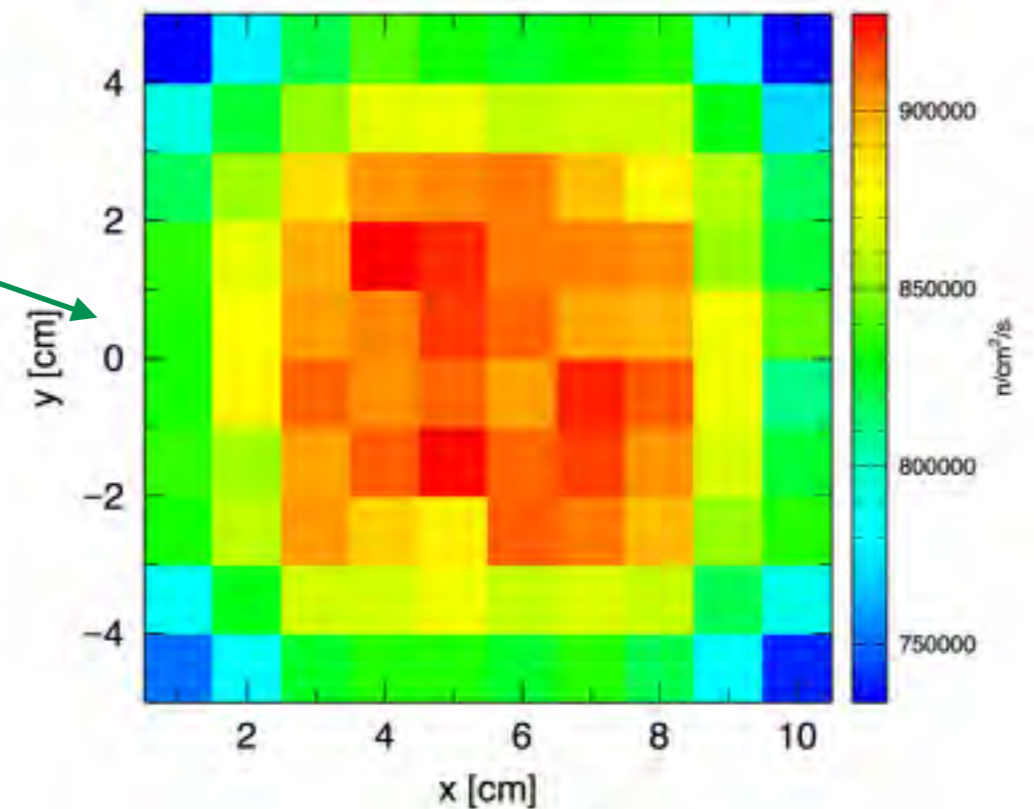


Groove構造を強くすると高エネルギー成分が増える

Imaging port of 2nd BL (Short)



Neutron flux distribution on the scintillator surface

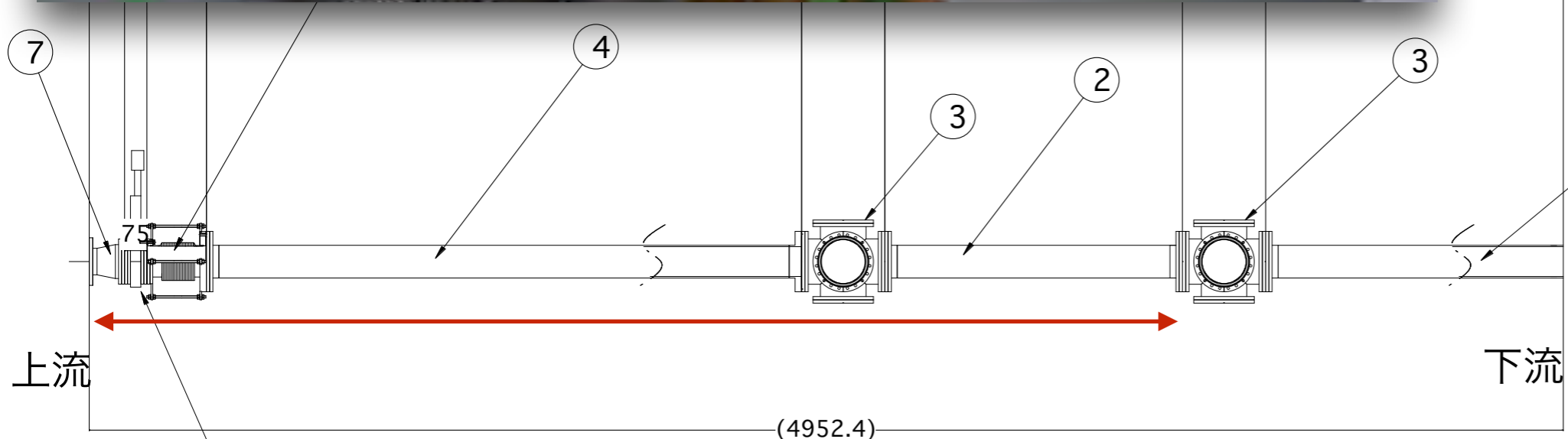


Scintillator size : 10cm x 10cm
Beam flux : Max = 9.5×10^5 n/cm²/s,
Min. = 7.3×10^5 n/cm²/s
25% peak to peak

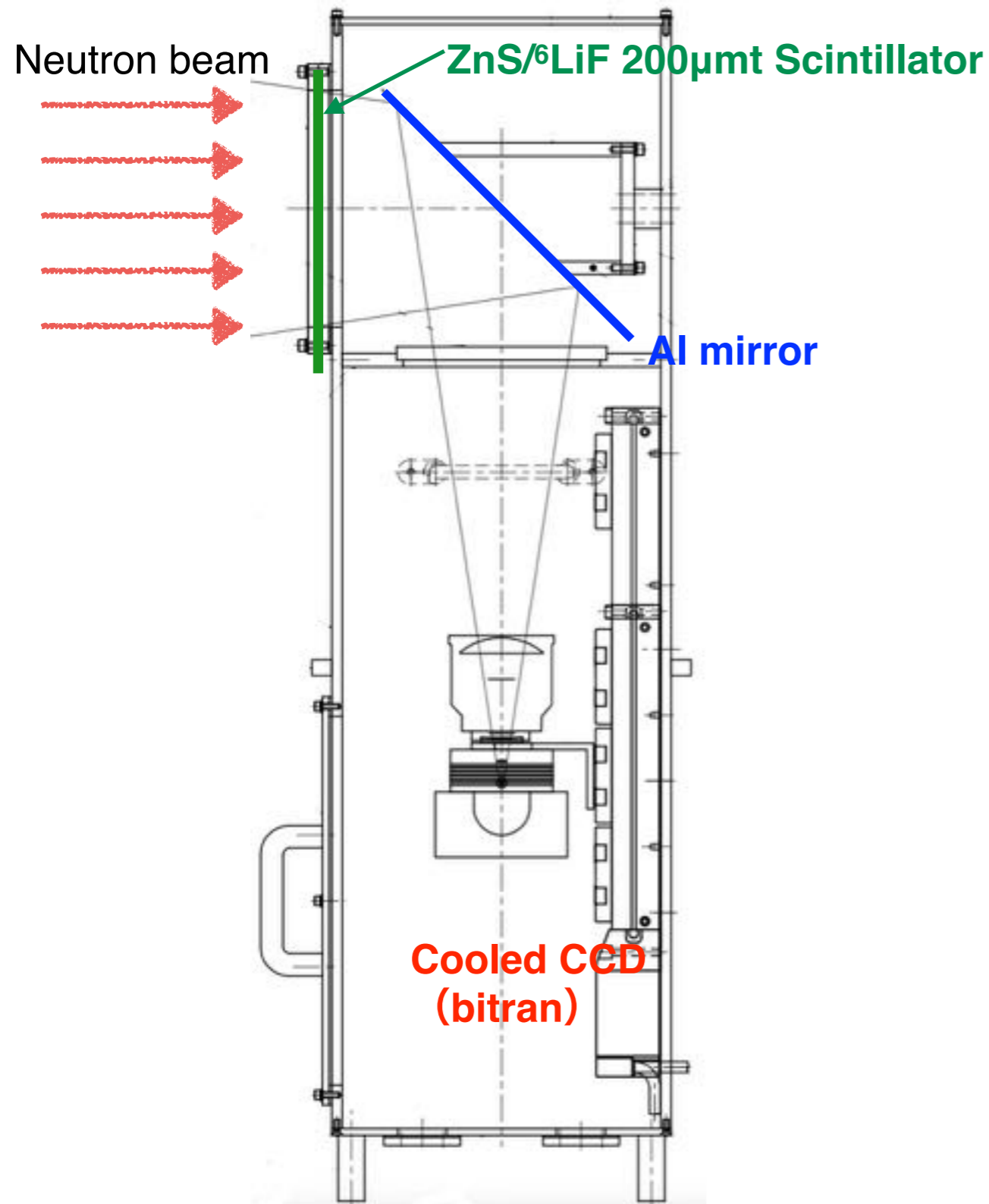
現在第2ビームライン仮組み中



遮蔽体 (一部)



中性子イメージング撮像システム

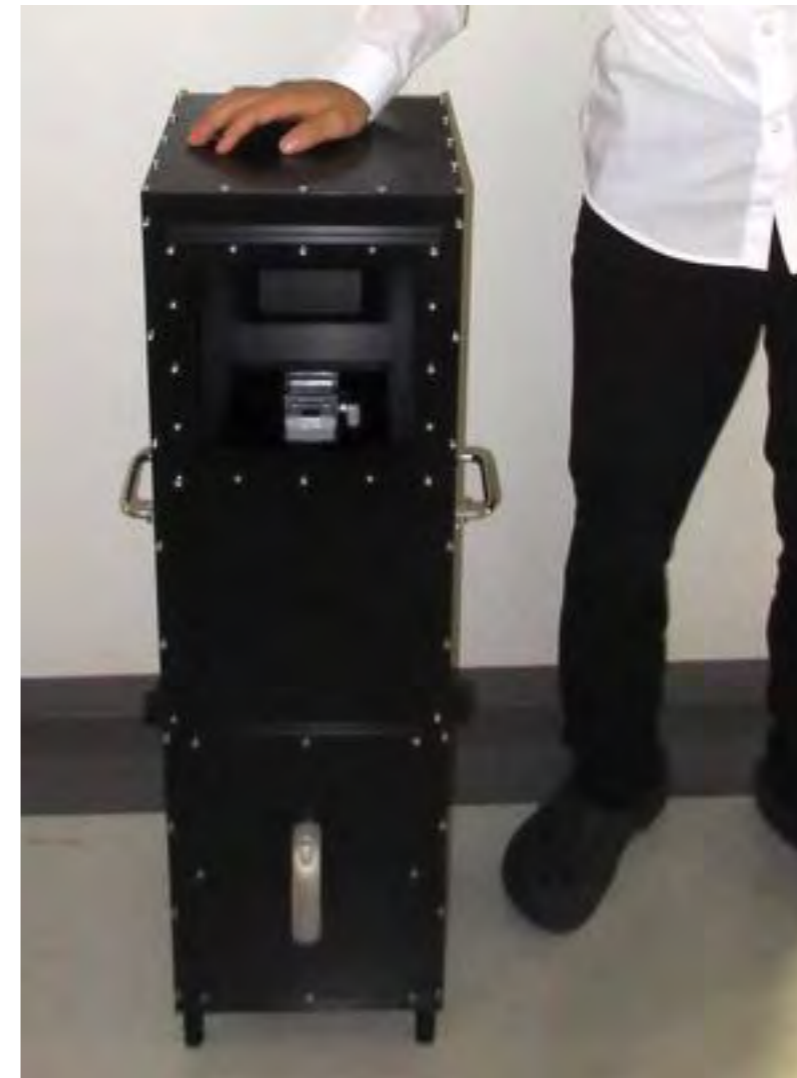


CCD and Scintillator system

位置分解能: $\sim 200 \mu\text{m}$

撮影時間 : $\sim \text{min.}$

動画も可能 : (DC beam)



装置完成後はこんな画像が測定される

Bearing



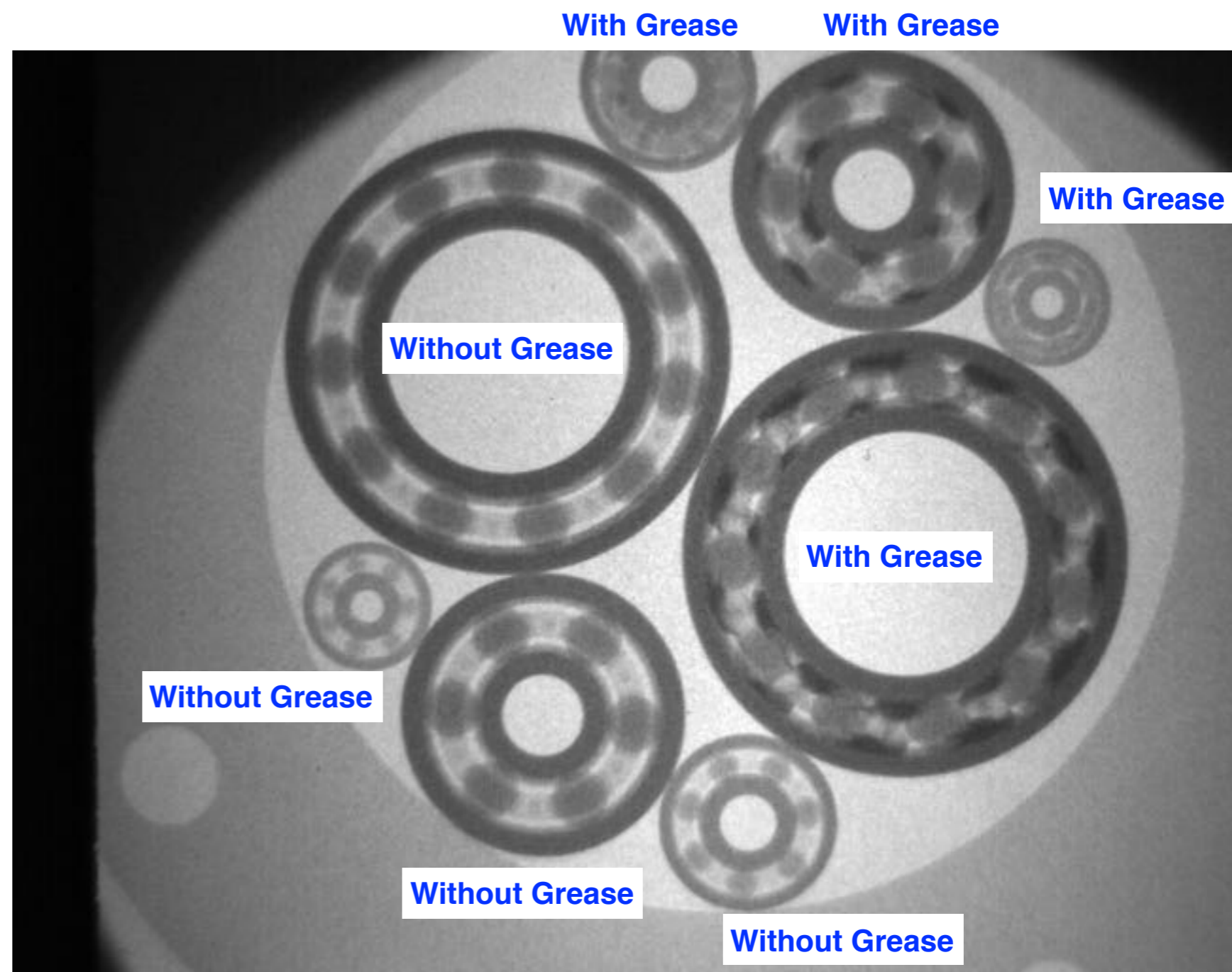
京大原子炉で測定

Nutron flux : $\sim 8 \times 10^4$ n/cm²/sec

照射時間: 1分.

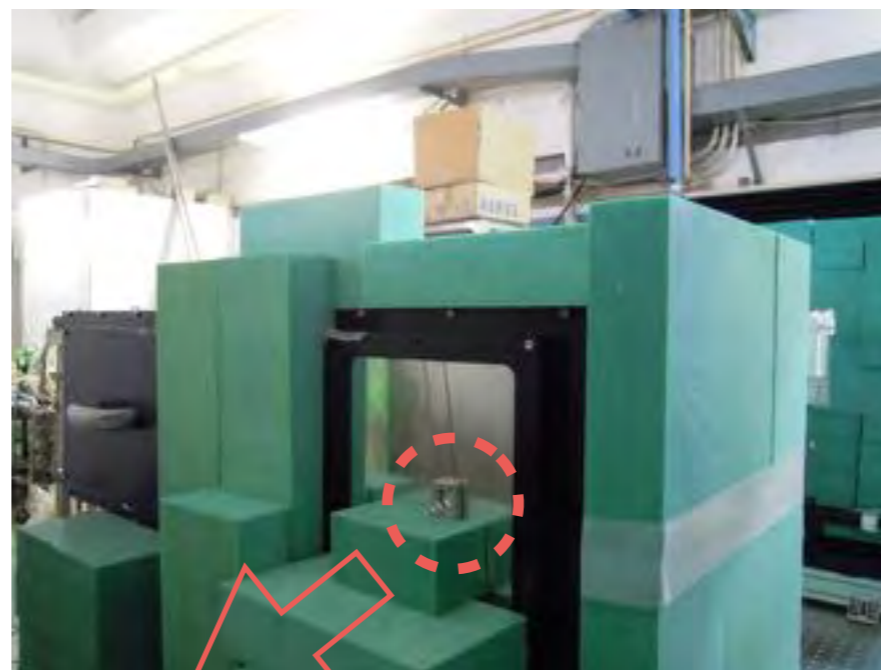
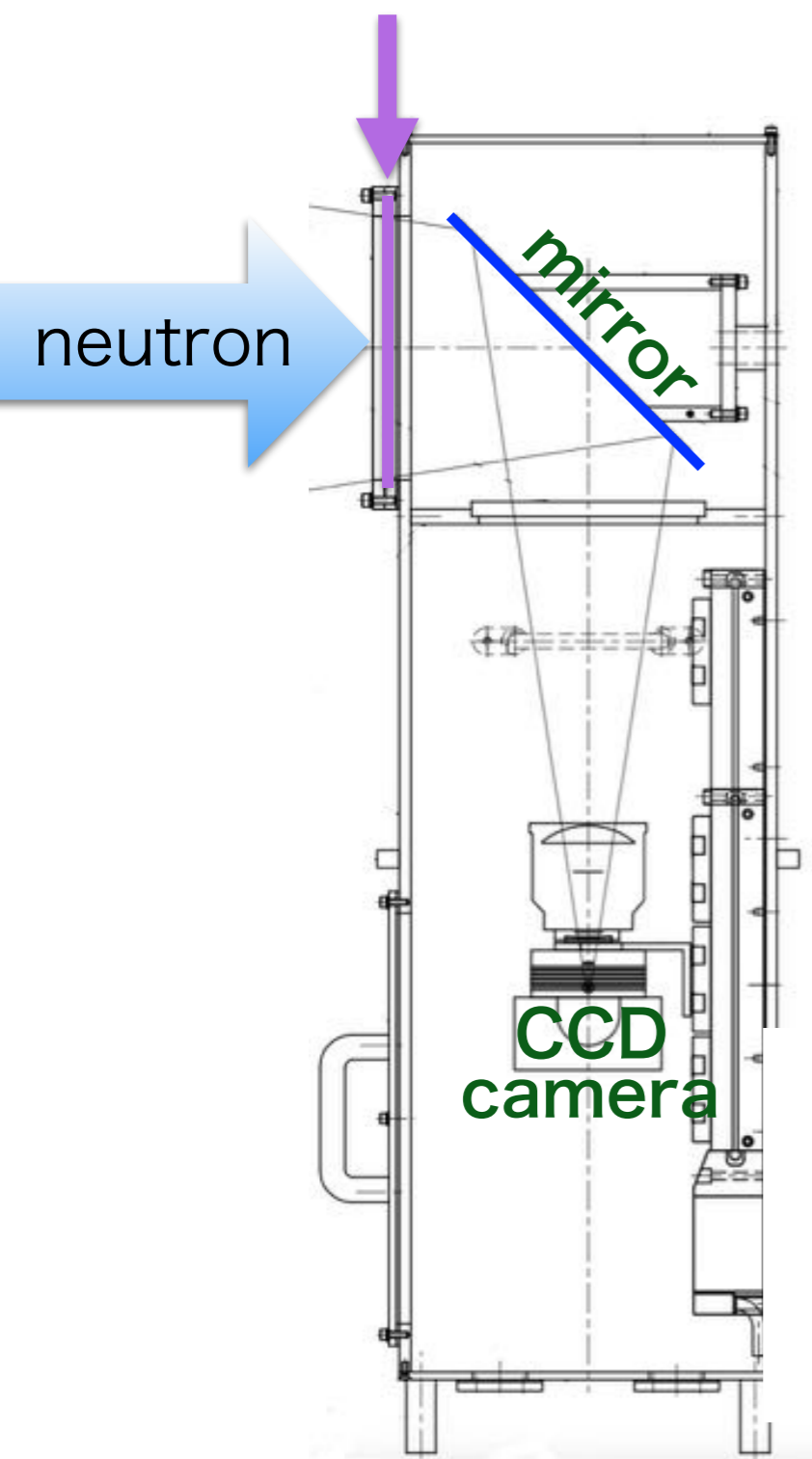
照射中性子量 : 5×10^6 n/cm²

shortのポートでは5秒程度で測定可能と想定

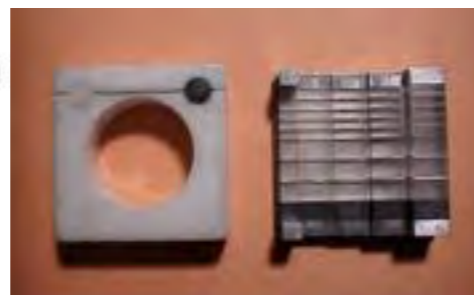


カメラボックステスト実験 @ 京大KUANS

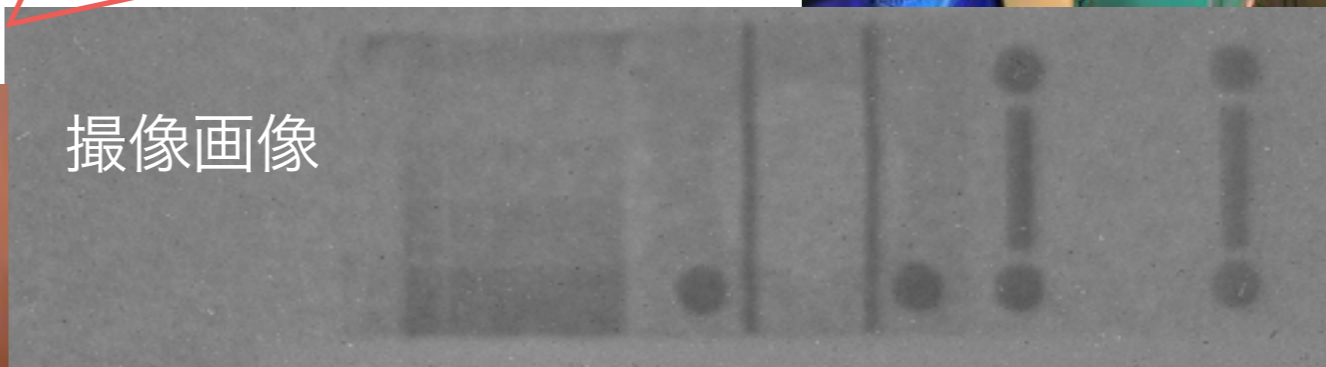
200 μm thick ZnS/ ^6LiF scintillator



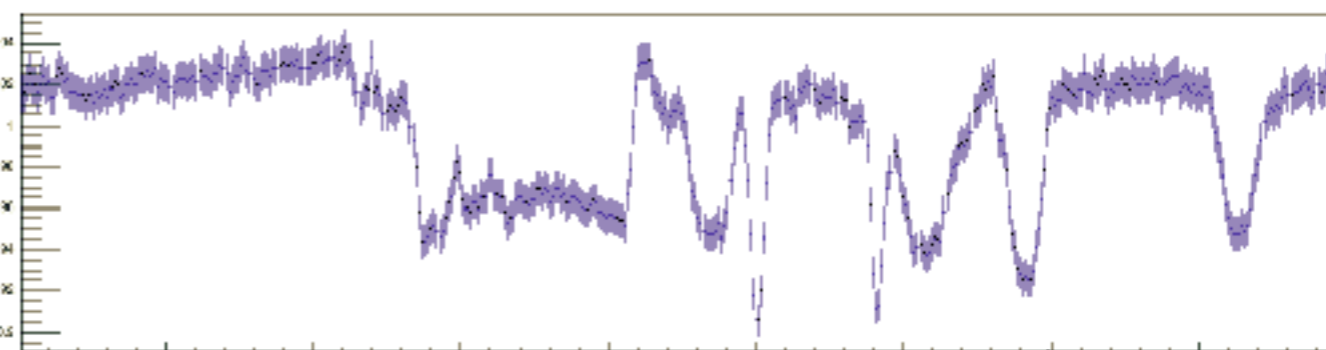
インジケータ



撮像画像



800n/cm²/秒
で30分



The 250 μm and 130 μm gaps are confirmed

KURでの取り組み

イメージング

- ・ 工業製品の透過像測定

各種デバイス評価

- ・ NUANSイメージングシステムのテスト
- ・ EDM実験用マルチスリットの評価
- ・ 新型検出器のテスト

NUANSカメラボックス

土川雄介、遠藤駿典、栗野省吾

EDMスリット

内田裕也、中路雅也、伊藤茂康

CCDの劣化の様子

NUANSカメラボックス

土川雄介、遠藤駿典、栗野省吾

E2常設のカメラ



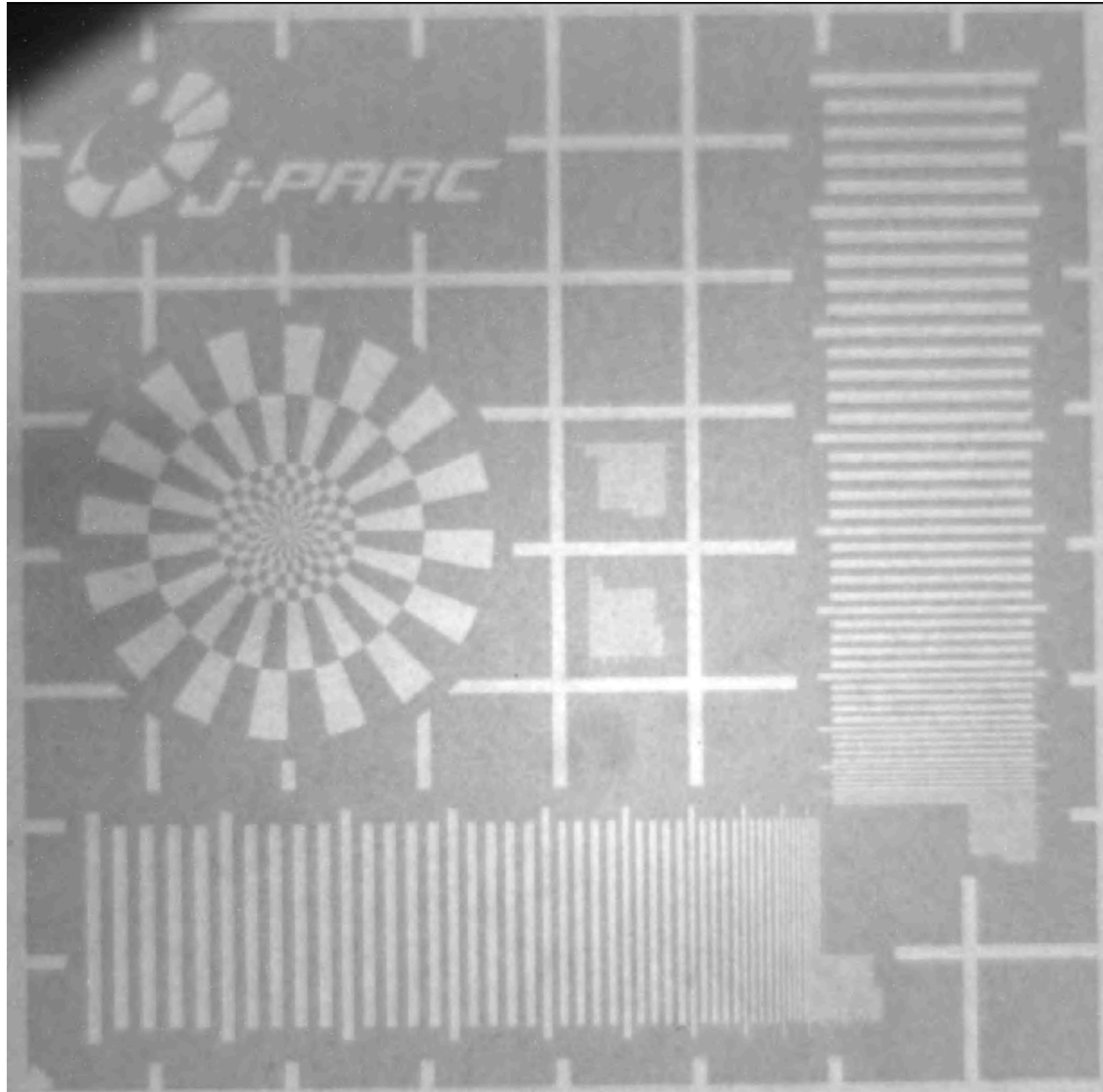
ビームオフで3分露光

NUANS用のカメラ (同じ型番)

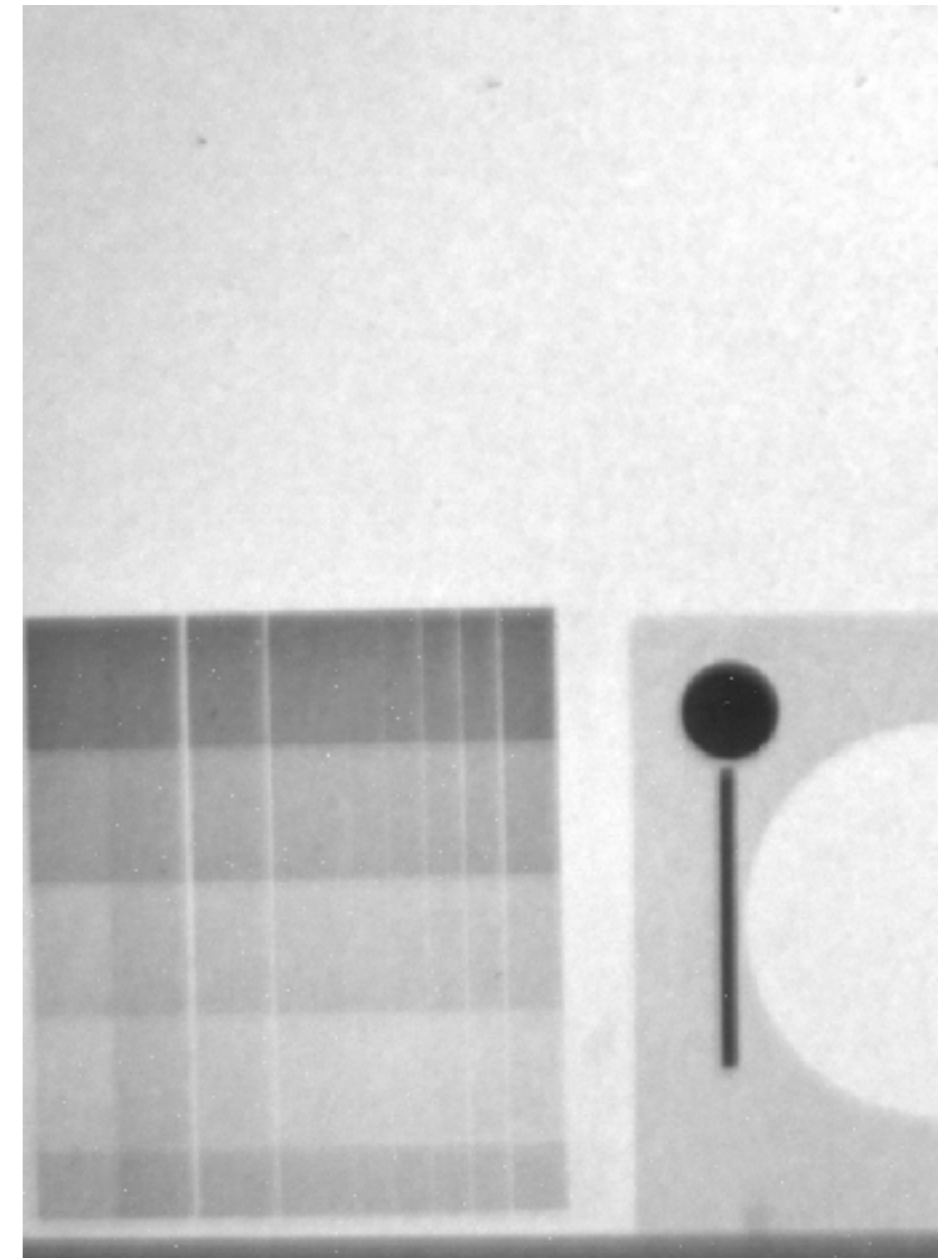


ビームオフで5分露光

J-PARCインジケータとASTMインジケータ

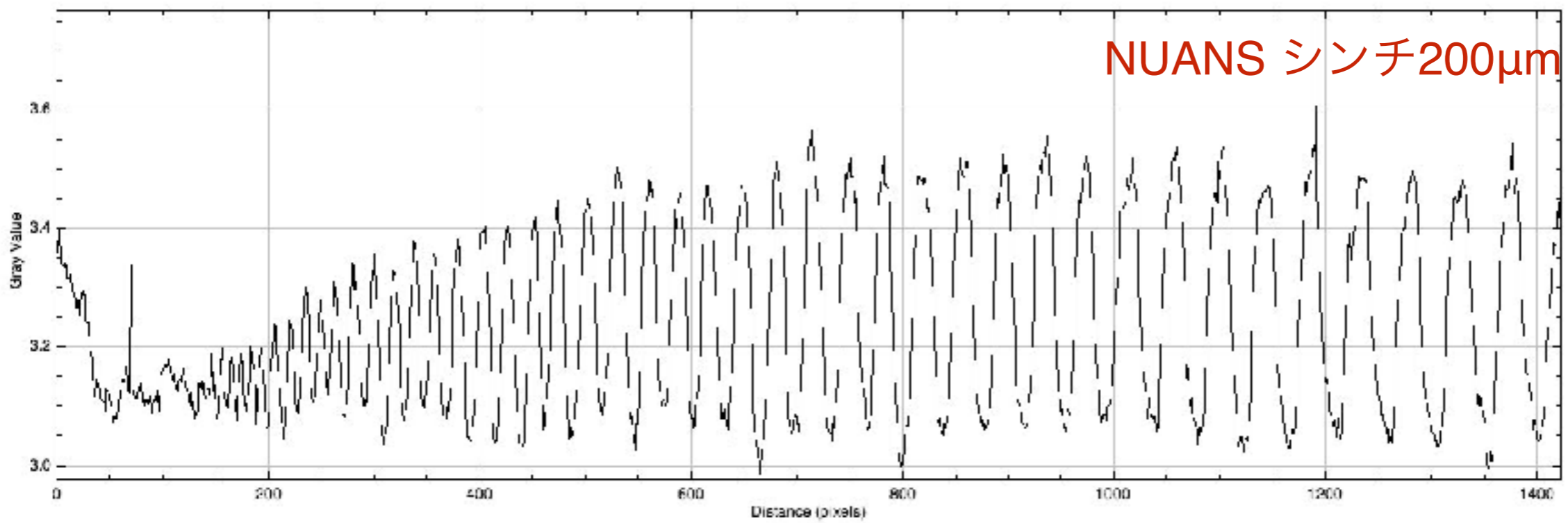
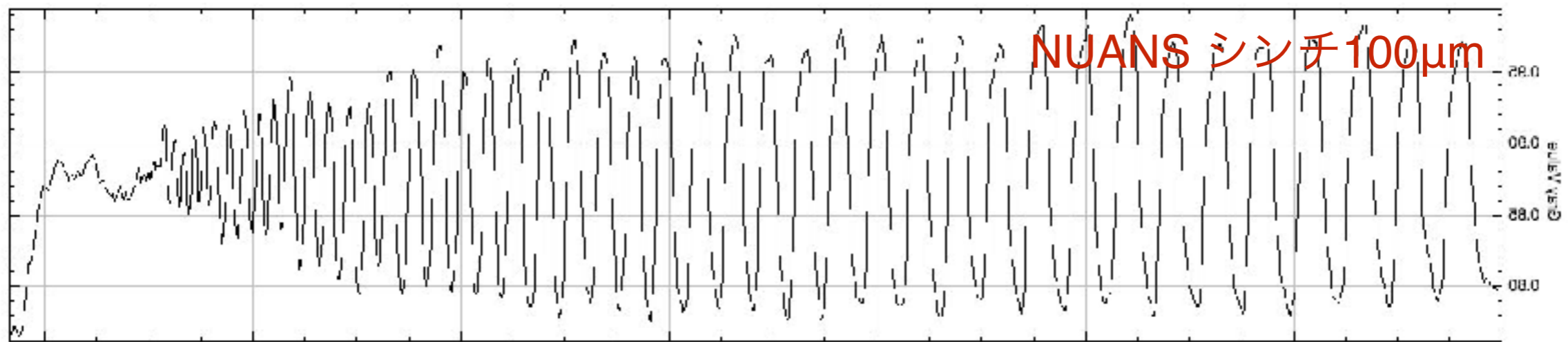
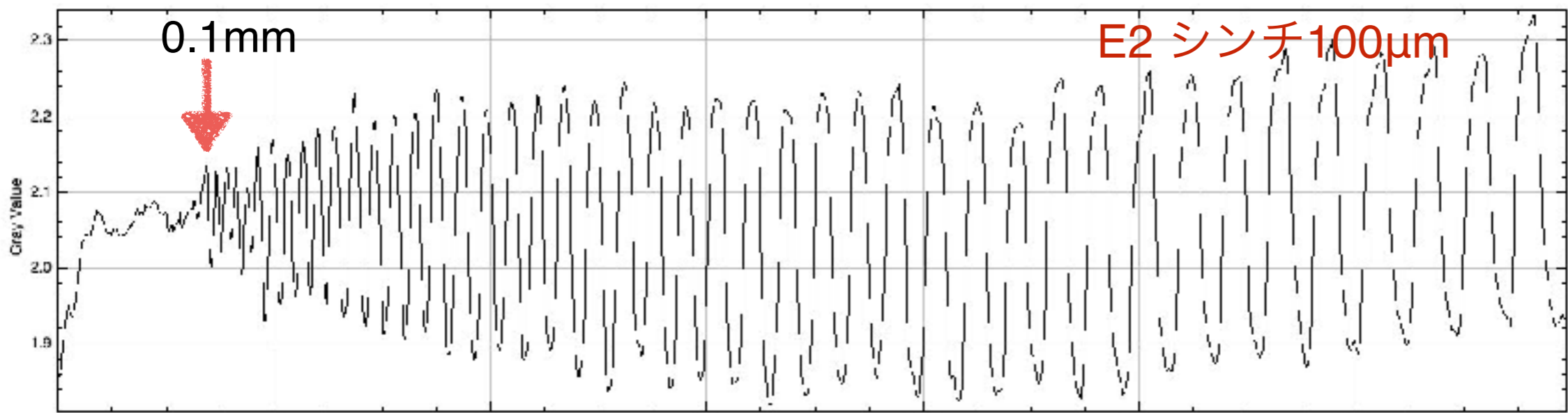


42.7 μ m/Pixel相当

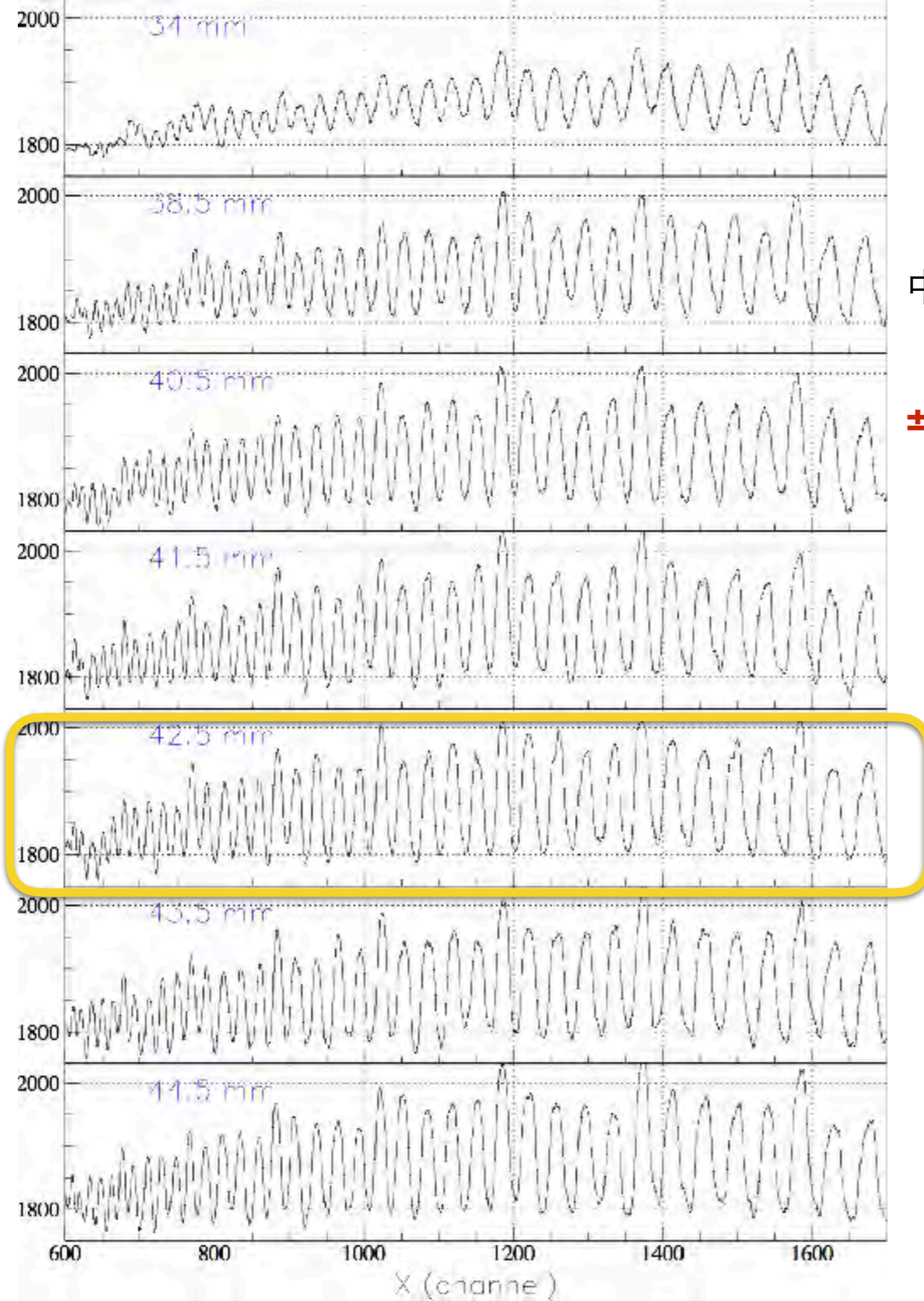


0.3mm
0.2mm
0.1mm





ピント調整の影響を評価



中性子を使わない（可視光での）評価では
42.5mm位置が最適値と判断

±5mm程度ではそれほど位置分解能は
変わらない

E2のカメラボックスとNUANSの新カメラボックス

- E2カメラボックスは白点が増えているが、位置分解能が落ちているなどの影響は見られない
- シンチレーターは100 μm 厚と200 μm 厚で比較すると、100 μm 厚の方が若干位置分解能が良さそう
統計は悪くなるので、効率は落ちる
- ピント調整は $\pm 5\text{mm}$ 程度の精度で合わせておけば
実用上はそれほど問題ない。→ シンチを交換しても
原点復帰作業だけしておけばほぼ問題なし。

現在は100 μm 厚が取り付けられている

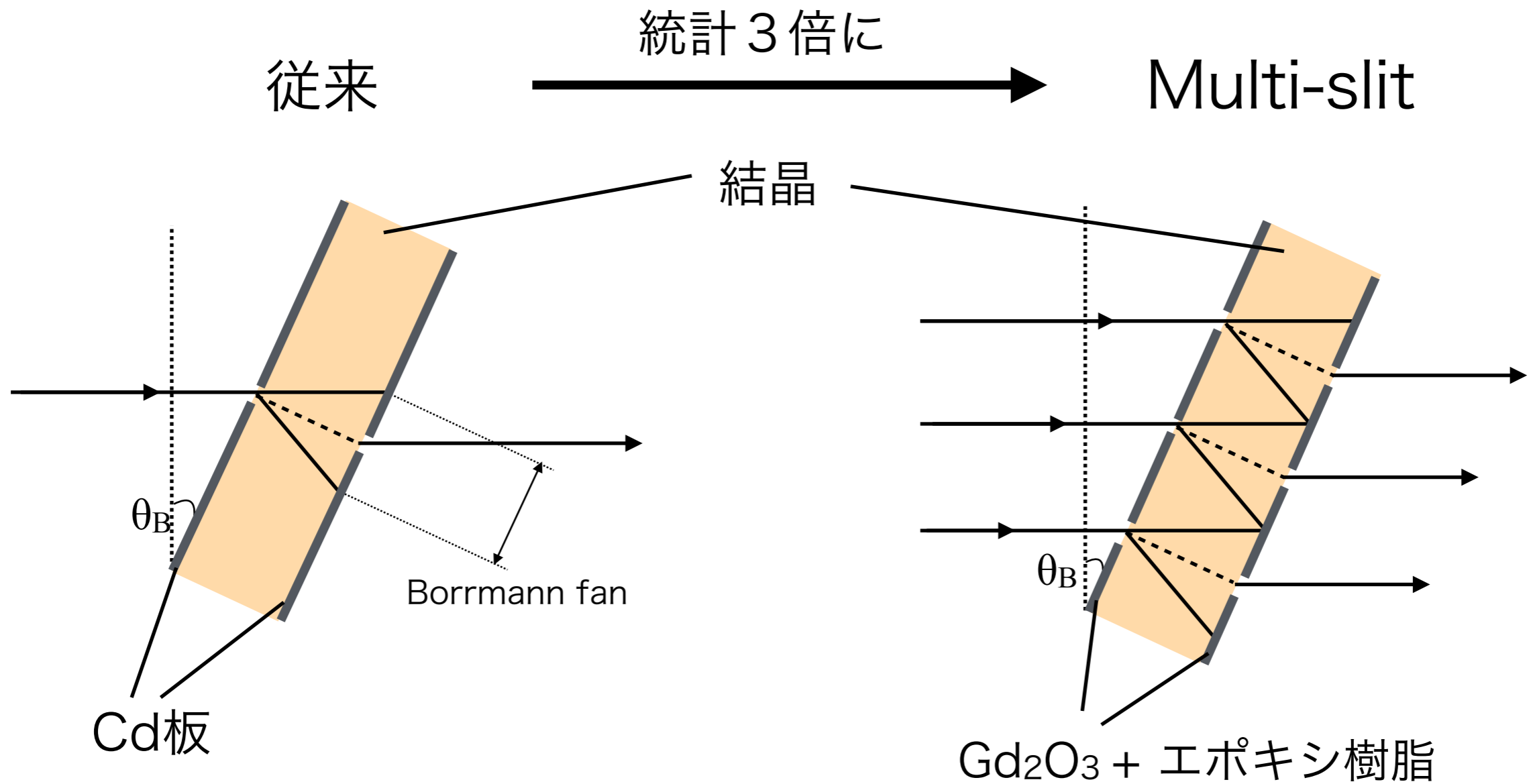
(再稼働前は200 μm を標準的に使っていた)

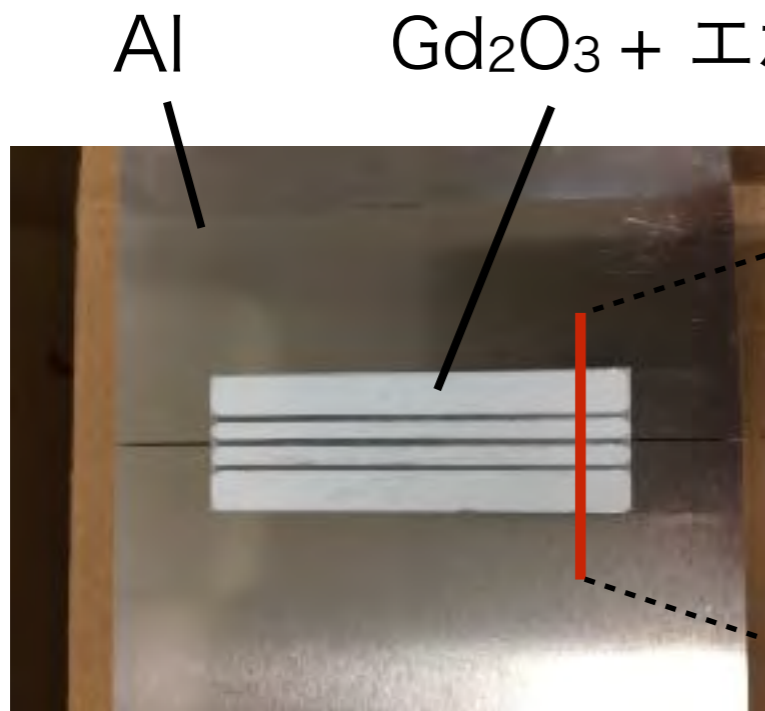
EDM実験用スリットの作成

結晶EDM

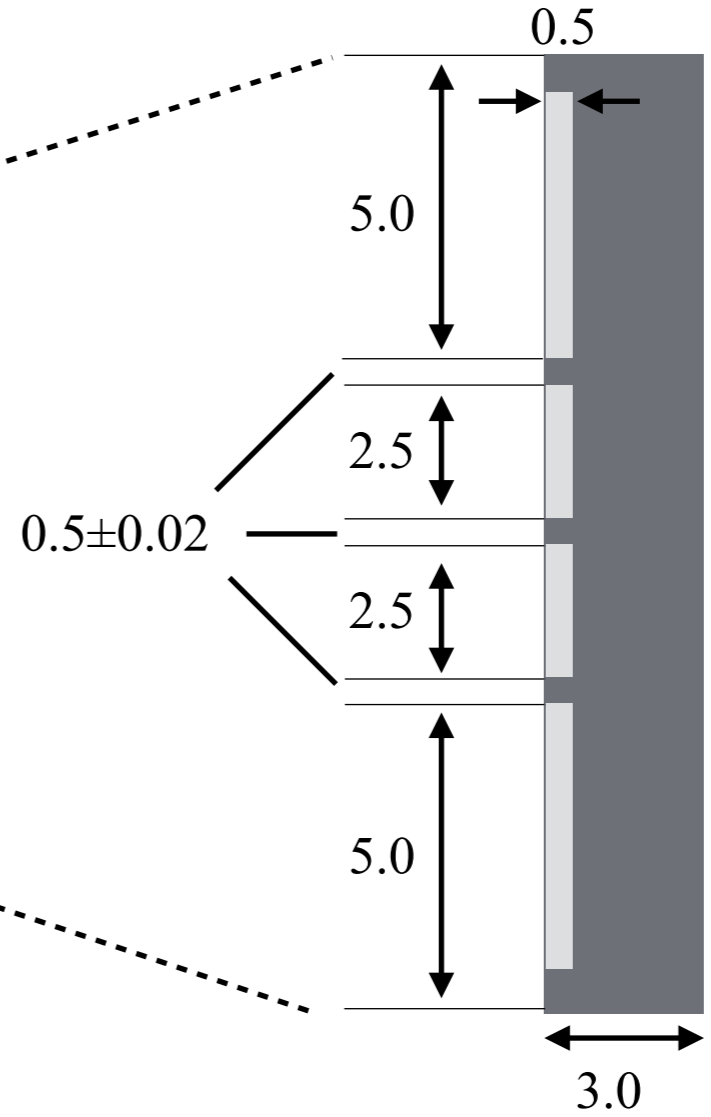
内田裕也、中路雅也、伊藤茂康

Multi-slit 性能評価

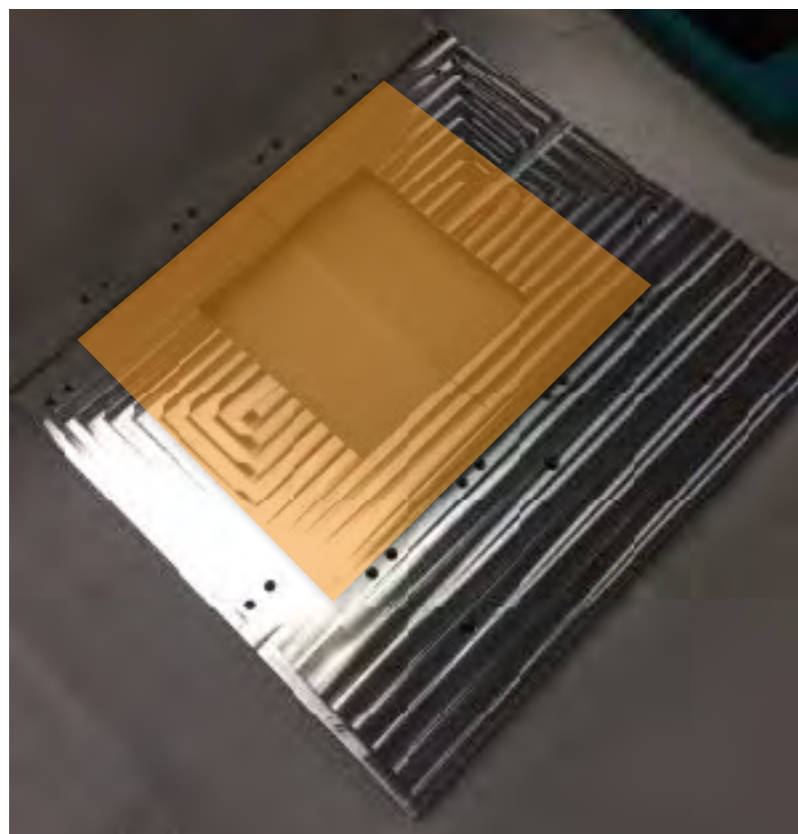




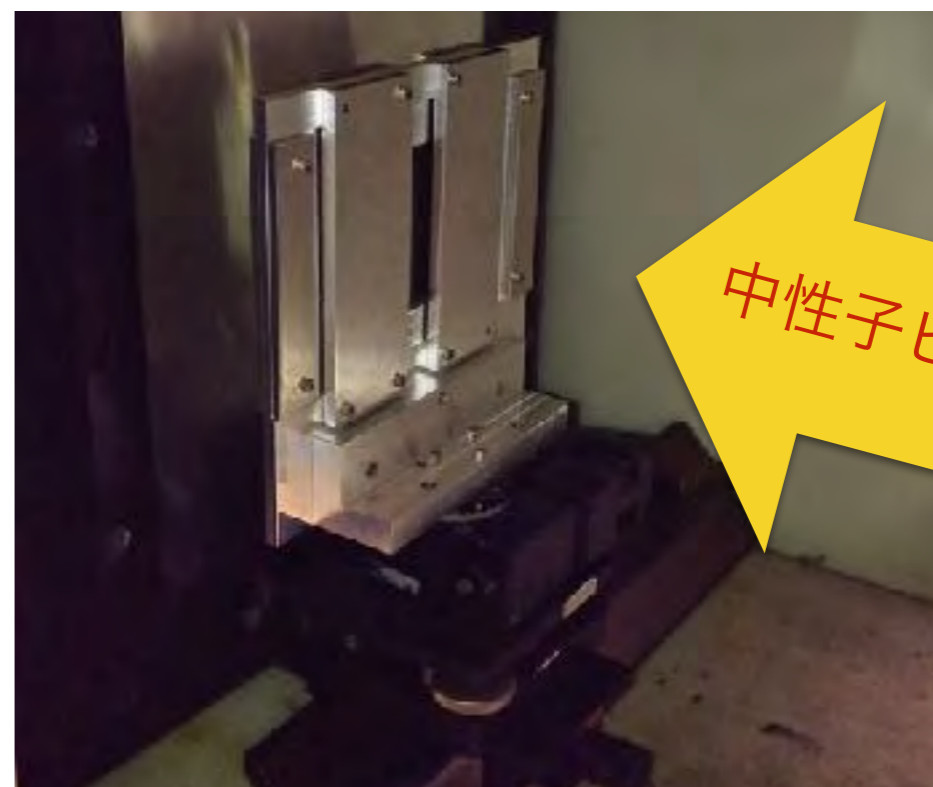
断面を拡大

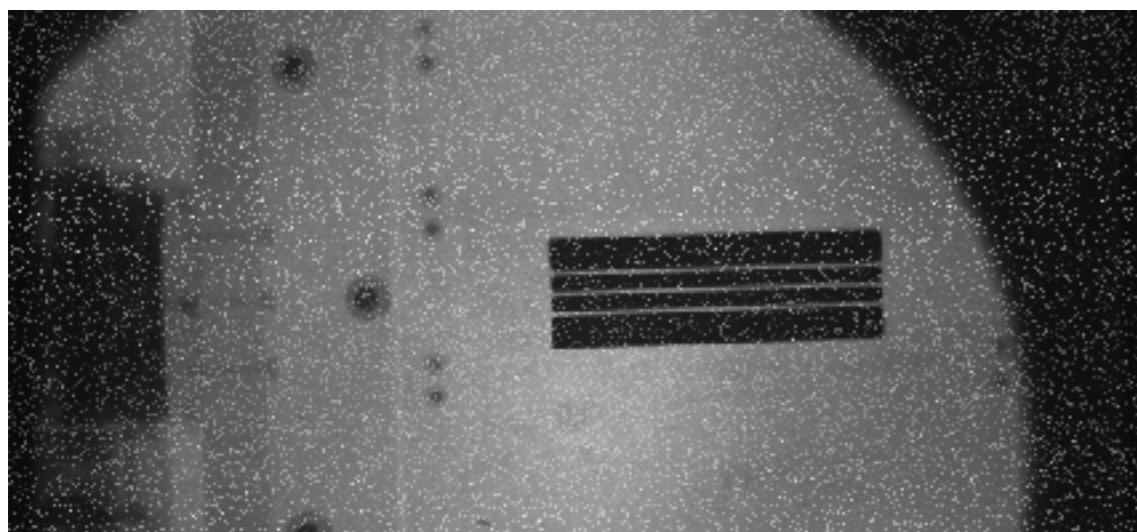


ホルダーにはめる



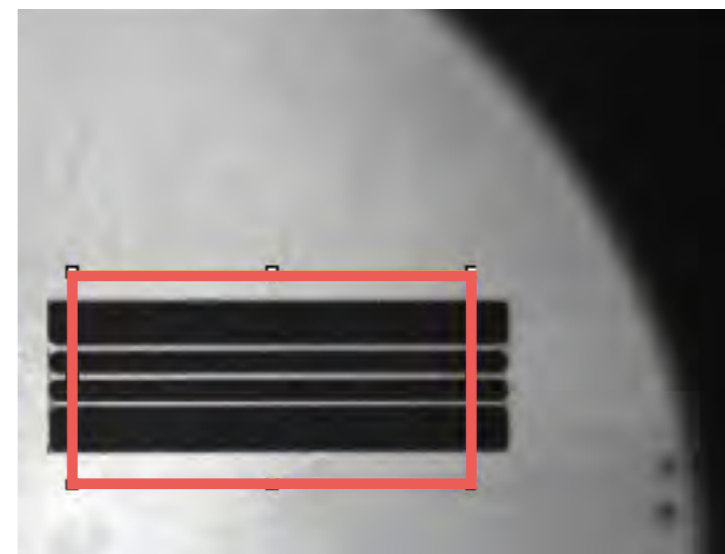
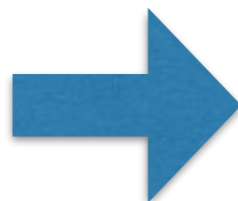
Al板で固定



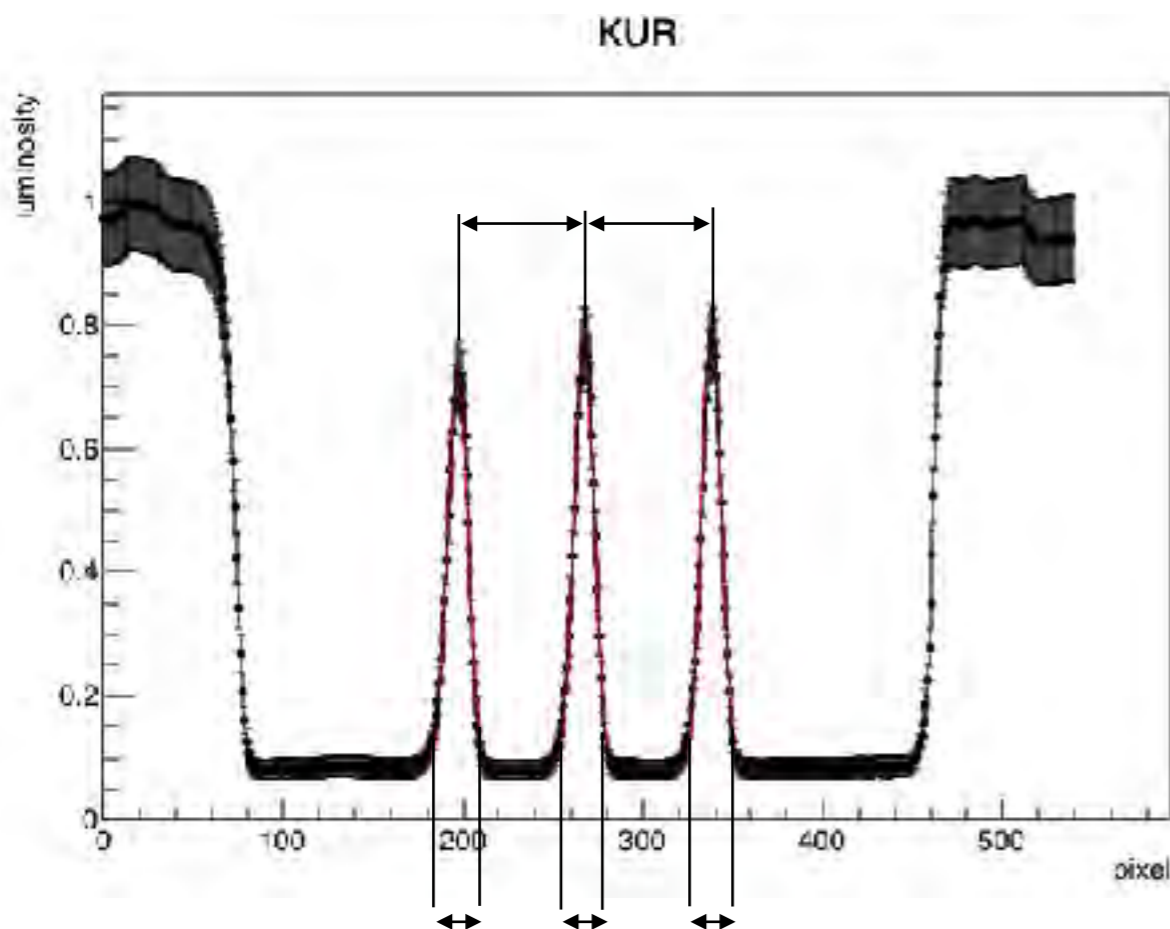
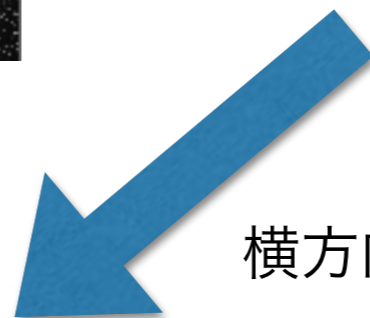


実際に撮れた写真

画像処理



赤の範囲を
横方向に射影しガウシアンfit



スリット間隔 → ピークからピーク
3mm 約70pixel

像の幅($\pm 2\sigma$)
約22pixel → 約0.94mm

ビームの発散角のみ考慮して像の幅を計算
→ 1.19mmまで広がるはず

幅を $\pm 2\sigma$ としていること、端は統計が少なくなることを
考慮すると大きく外れてはいない

新型検出器の評価

ADVACAM製HPCシリコンピクセル検出器:LiF coated

(代理店：コーンズテクノロジー)

- ・ 1辺55 μm のピクセル検出器
- ・ 256x256 pixel
- ・ 最大30フレーム/秒→45fps
- ・ USB2.0転送 (USB電源)



WinでもMacでも動作

- ・ 現状ではTOF能力なし (別製品では対応可)
- ・ ユニットを並べて大面積化可能
- ・ 閾値を設定して、閾値以上のイベントのみを数える
 - ↔ CCDでは閾値設定できず積分してしまう
- ・ 表示プログラムは秀逸 (Bitranのプログラムと比較して)

イメージングデバイスの変遷

放射光と中性子で同じ道歩んでいるが、1世代くらいズレがある
放射光の特に回折系では2000年代前半よりピクセル検出器が検討され
2010年頃 (?) から主流となってきた

- 写真フィルム
- イメージングプレート
- シンチレーター+CCD

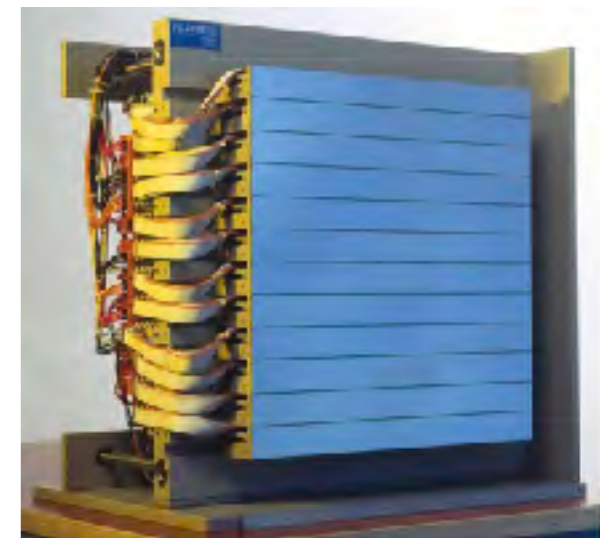
X線： FOP+アレイ (ADSC) など、

中性子： 反射鏡と光学レンズ

- Siピクセル検出器
PILATUS検出器など



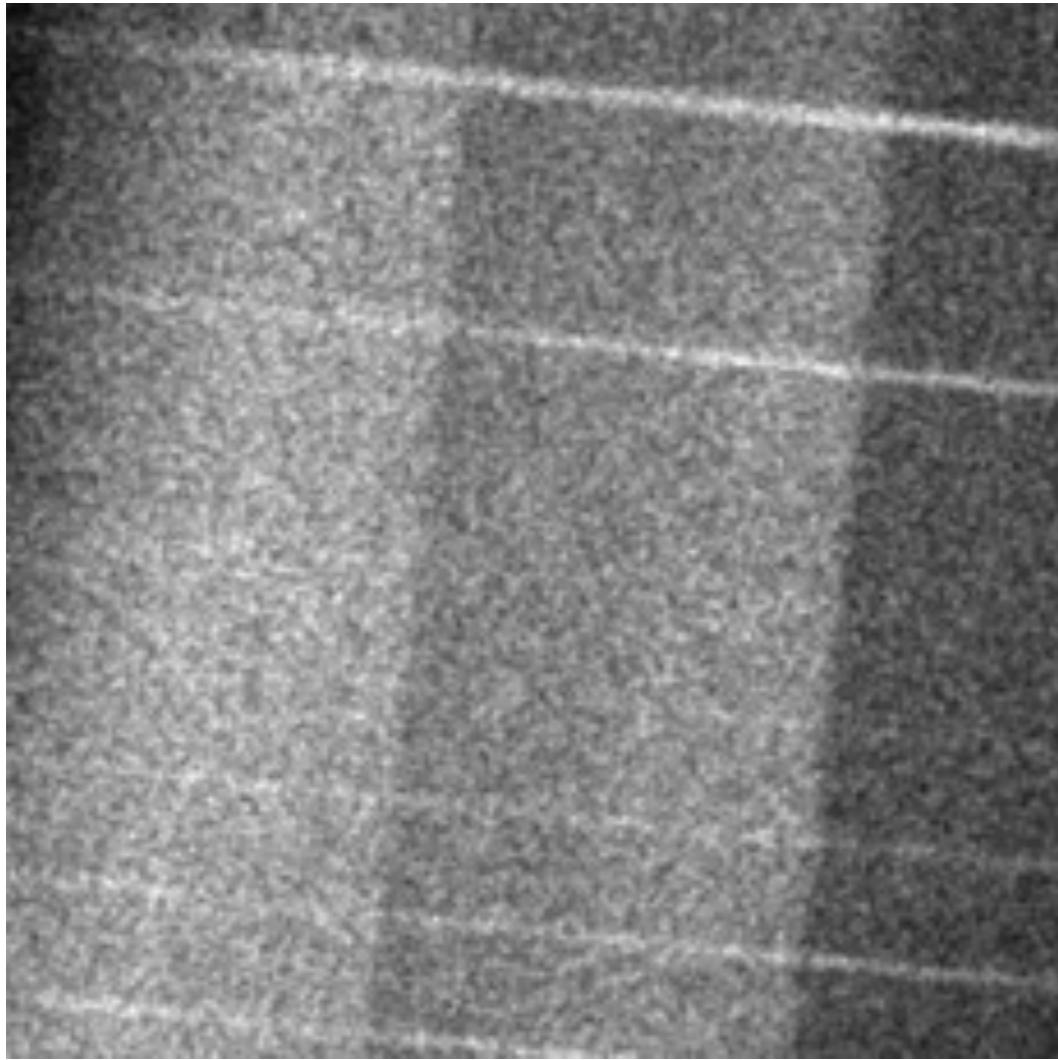
PILATUSかなり初期型



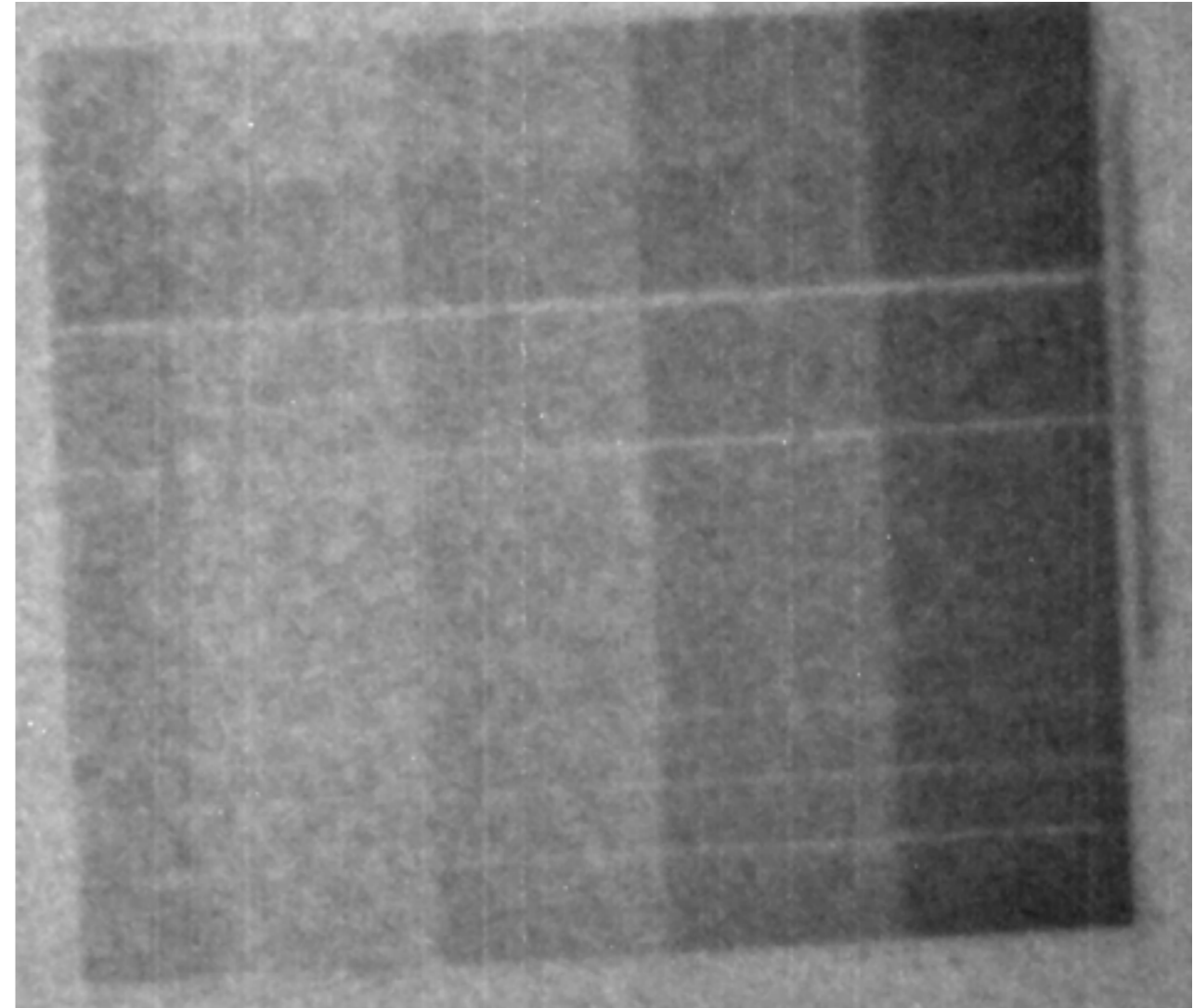
PILATUS 6M@SLS

CCD画像と比較

MiniPIXを $10^6\text{n/cm}^2/\text{秒}$ で30秒照射



CCDカメラ： $5 \times 10^5\text{n/cm}^2/\text{秒}$ で60秒照射



視野が違うことに注意

MiniPIXの方がコントラストが良い？

中性子を1個ずつ数えるので、透過率測定は

MiniPIXの方が精度が出るはず

FRP検出器 (RPMT後継機)

KUANSでテスト中

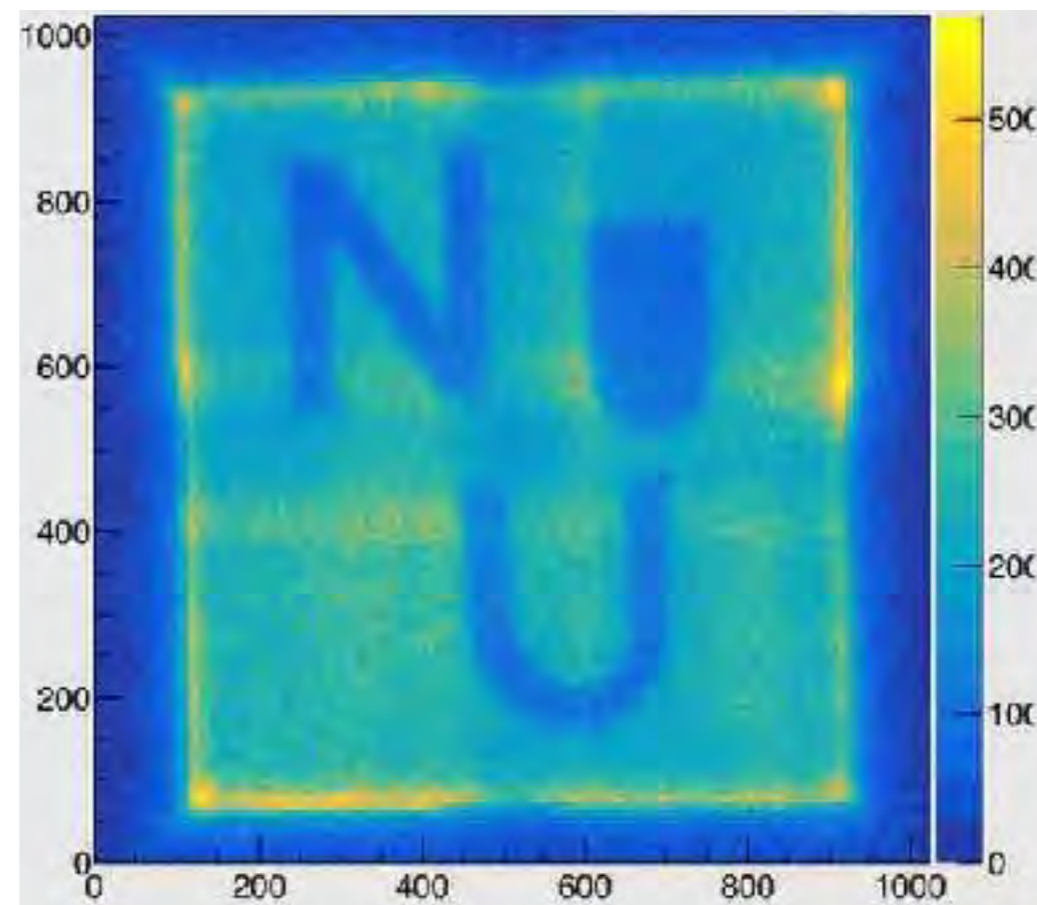
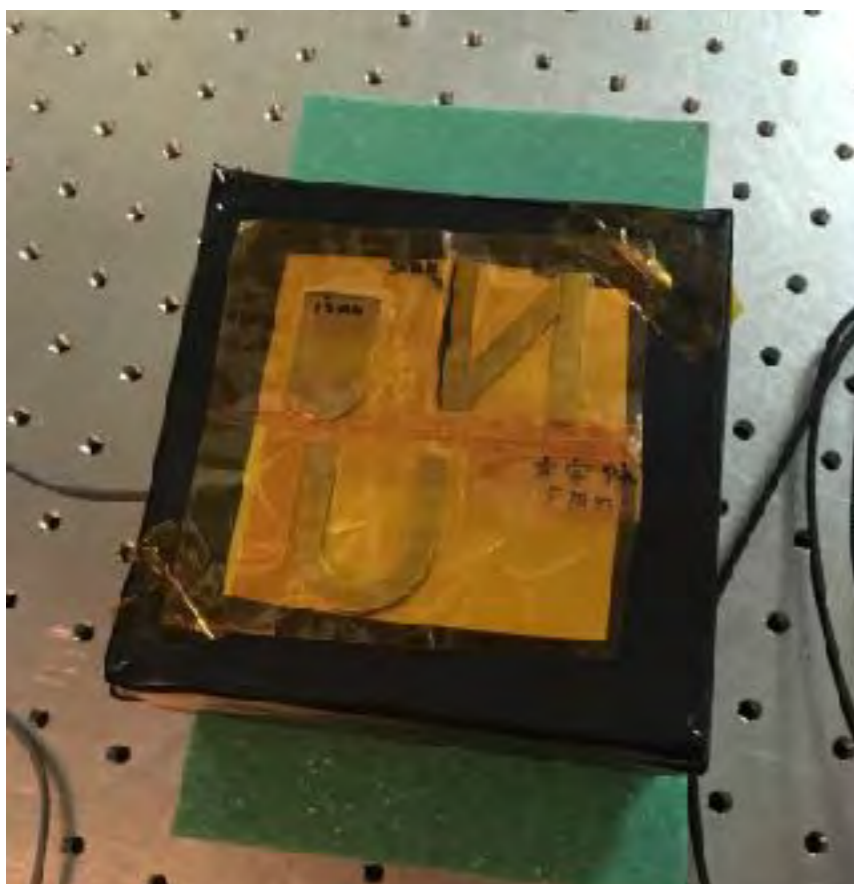
(B4:赤木佑)

生産中止になったPMT(R329)に変えてフラットパネルPMT (64ch) を4台利用
PMTアンプのみ取り替えるが、これまでの佐藤回路(NUNET-RPMT)を使用可能

- ・ PMTが小さくなった
- ・ 有効面積はあまり変わらない(9cm角くらい)
- ・ 光拡散板の選択がポイント。もう少し調べる。



信号線は4本
他にHV線1本



Summary

名古屋大学中性子源NUANS構築中

- ・ 静電加速器 (Dynamitron) 使用
 $E_p=2.8\text{MeV}$ $I_p=15\text{mA}$ (第2 BL用には1.5mA)
- ・ 第2ビームライン(イメージングなど多目的)の設計、構築を進めている
- ・ 今年度中に中性子ビームを出したい

デバイス類の評価

- ・ NUANSカメラボックスの性能評価
- ・ 結晶EDM計測用スリットの評価
- ・ ピクセル検出器の評価
- ・ FRP検出器