

J-PARC/MLFにおける 2次元中性子検出器開発 —シンチレータ型検出器—

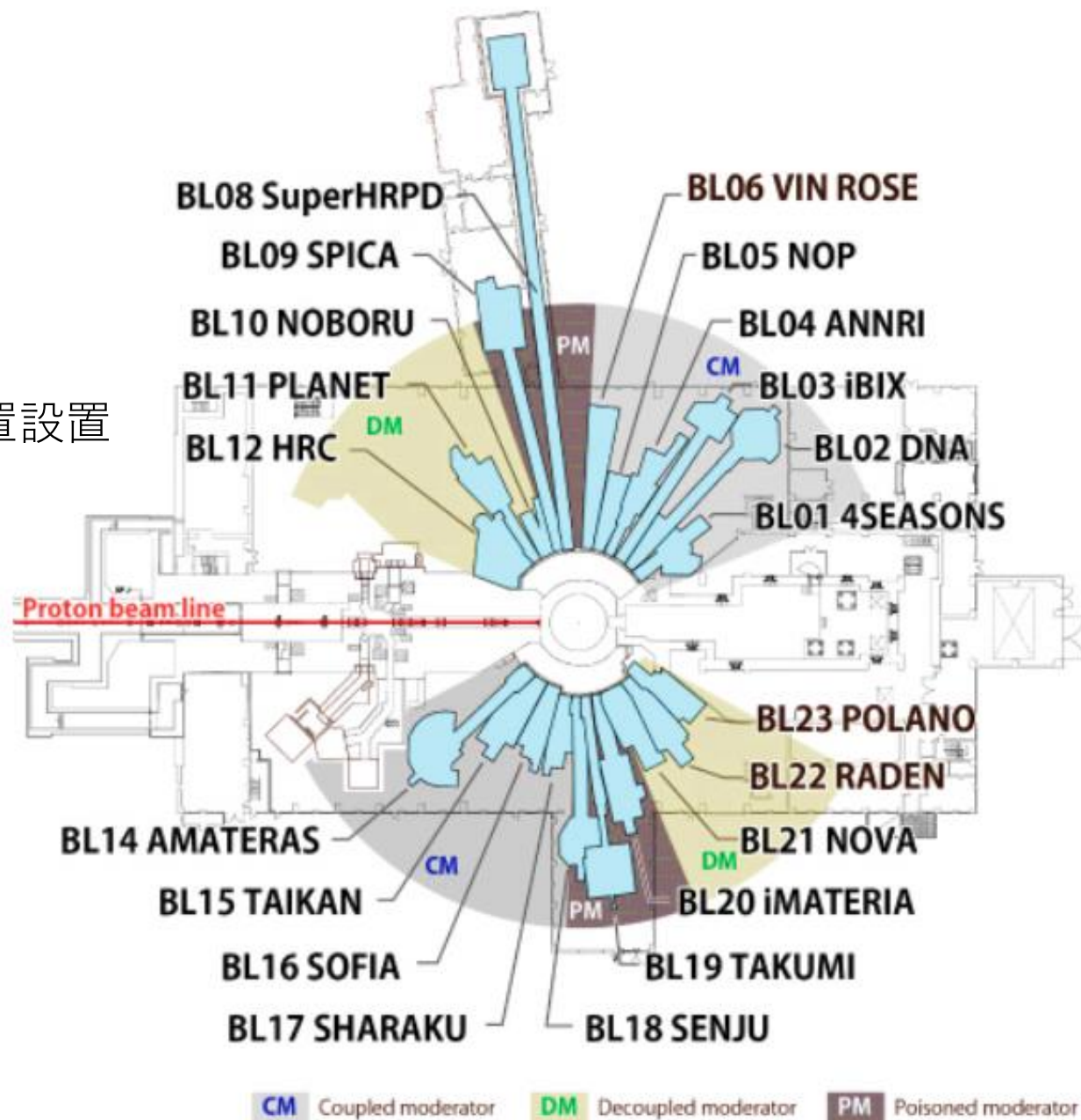
J-PARCセンター 物質生命科学ディビジョン
中性子基盤セクション
中村 龍也

物質・生命科学実験施設 (MLF)

(ミュオンBL)

(中性子BL)

- 23 ビームポート
- 21 ビームライン：装置設置
- 建設フェーズ
→ 運用フェーズ

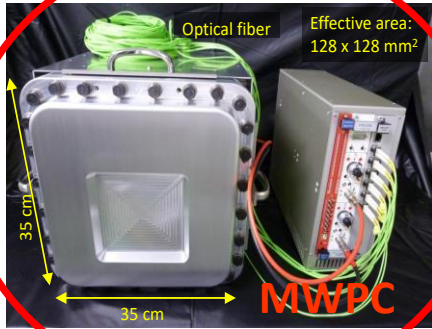


MLFビームラインにて稼働中の中性子検出器

● 汎用ヘリウム3ガス検出器



BL01, BL02, BL08, BL09, BL11, BL12
BL14, BL15, BL16, BL17, BL20, BL21

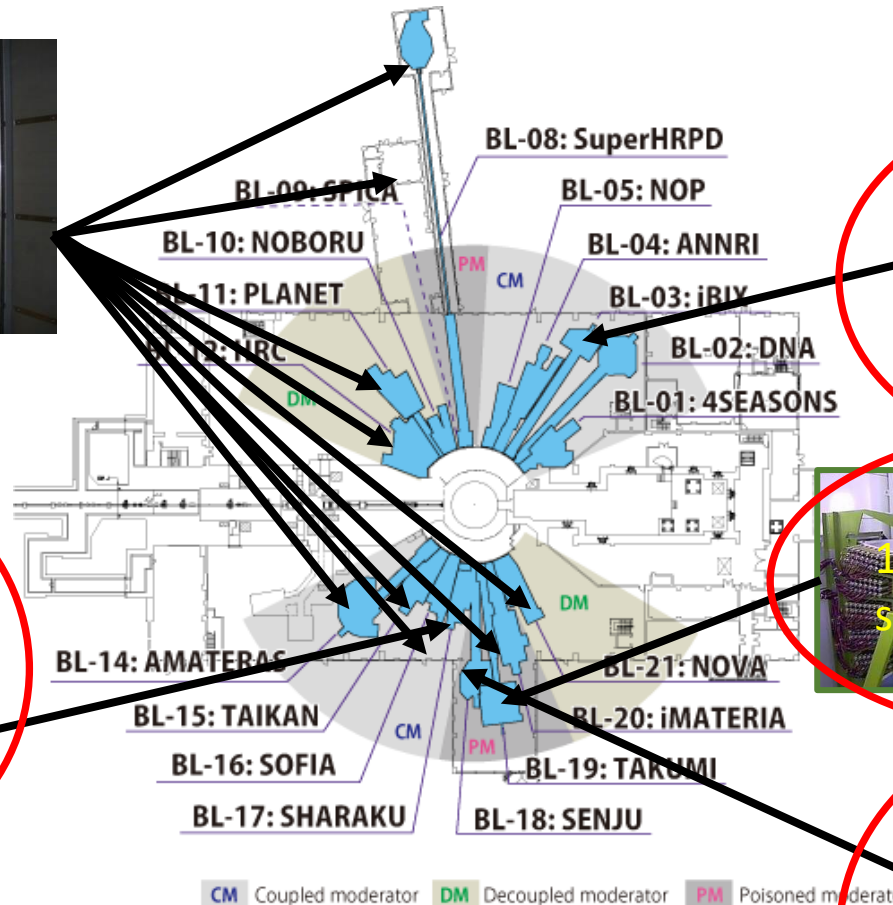


BL17

Multi-wire
proportional counter

● ガス型 2次元検出器 (基盤S 藤)

● シンチレータ型1・2次元検出器 (基盤S 中村(龍))



BL03

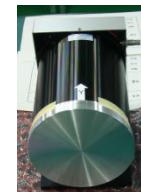


BL19



BL18

BL16, BL17
RPMT



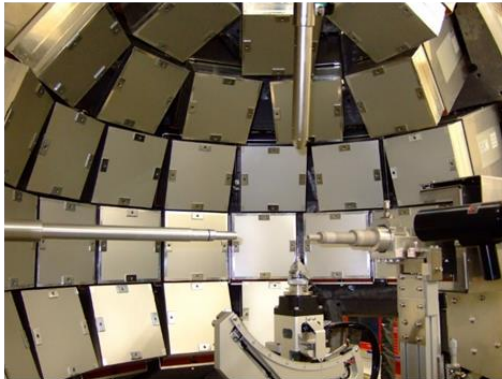
Scintillation detectors developed/installed by our group in MLF

iBIX

2008-2012

**0.5 mm resolution
2d detector**

*iBIX (BL03):
Bio-single crystal diffractometer*



High spatial resolution detector

- **WLS Fiber technology**
- **pixel size : 0.5 x 0.5 mm²**
- **sensitive area : 133 x 133 mm²**
- **detection efficiency: ~50% for 1.8A**
- **gamma sensitivity: ~1 x 10⁻⁶**

30 detectors (in operation)

Senju

2011-2013

**4 mm resolution
2d detector**

*SENJU (BL18):
Single crystal diffractometer*



Large area detector

- **WLS Fiber technology**
- **pixel size : 4 x 4 mm²**
- **sensitive area : 256 x 256 mm²**
- **detection efficiency: ~40% for 1.8A**
- **gamma sensitivity: ~3 x 10⁻⁶**

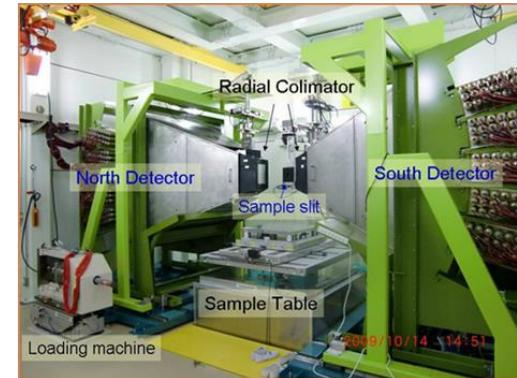
37 detectors (in operation)

Takumi

2008-2010

**3 mm resolution
Linear (ISIS type)**

*TAKUMI (BL19):
Residual Stress diffractometer*



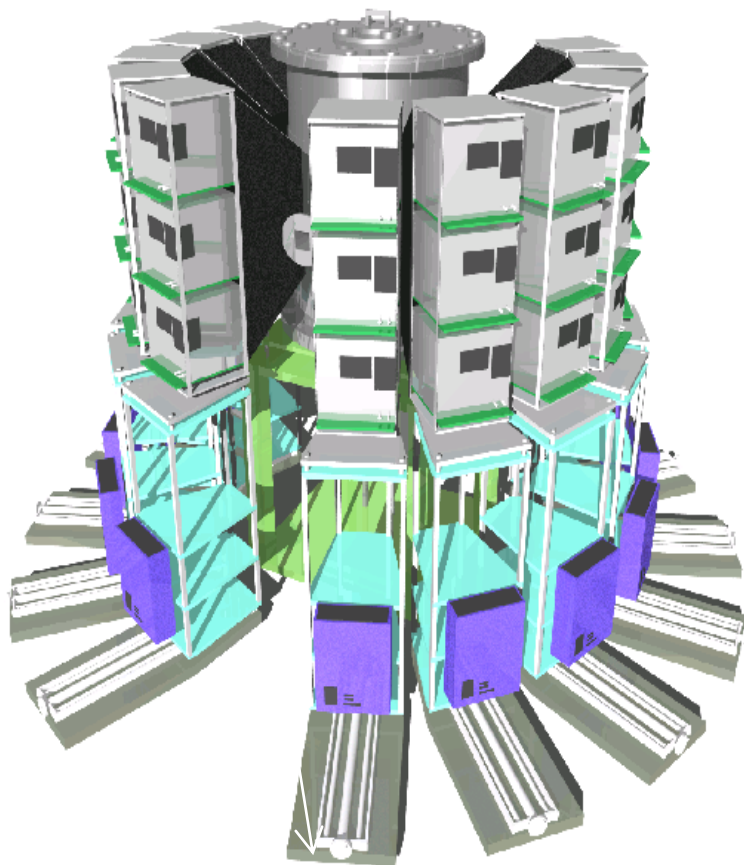
One dimensional large area detector

- **Coded fiber technology (with ISIS)**
- **pixel size : 3 x 200 mm²**
- **sensitive area : 200 x 1000 mm²**
- **detection efficiency: >50% for 1.0A**
- **gamma sensitivity: < 1 x 10⁻⁶**

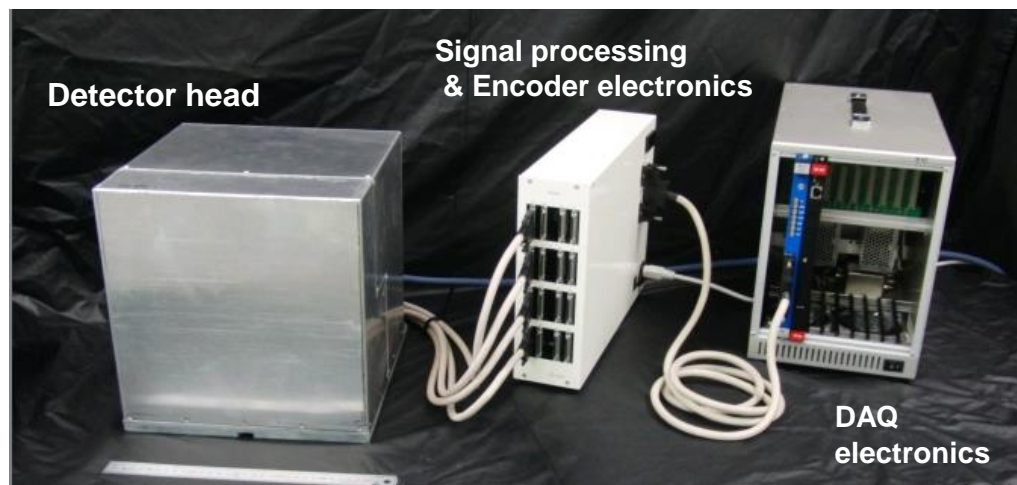
12 detectors (in operation)

BL18(Senju)用2次元シンチ検出器 (2011~)

- 飛行時間型ラウエ単結晶中性子回折計
- 極端条件下(極低温,高圧,高磁場)で微小試料(<math><1\text{mm}^3</math>)を測定
- サンプル位置でのフルエンス $\sim 10^7$ 1/cm²/s --> 1k cps/det
- シンチレータ・波長シフトファイバを用いた2次元検出器

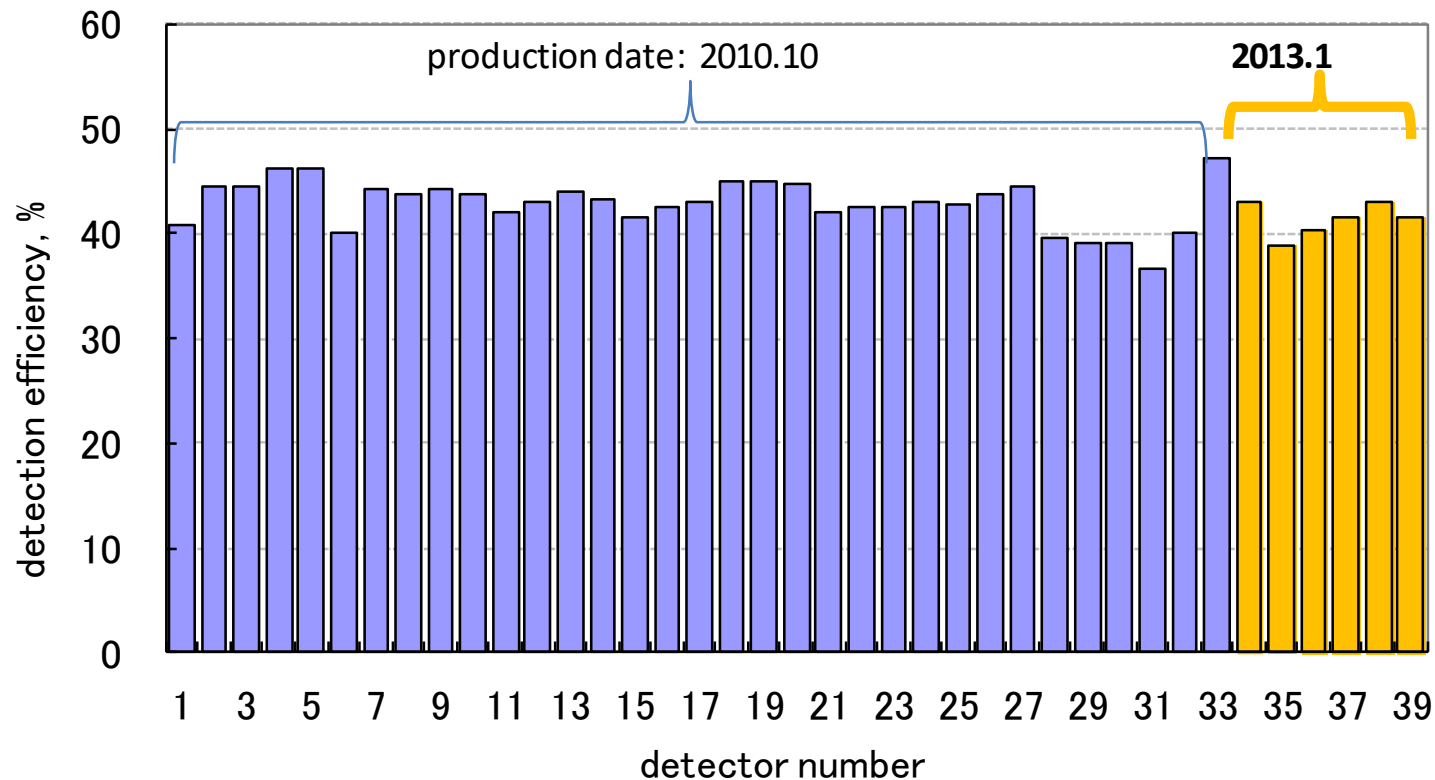


位置分解能	: 4 x 4 mm
検出面積	: 25.6 x 25.6 cm ²
検出効率	: 40% @ 1.8Å
ガンマ線感度	: $\sim 10^{-6}$
台数	: 37台 (30%)



オリジナル検出器(37+2台) の検出効率

検出器製造： 2011～2013



一> **SENJU装置に37台を装填して運用中**

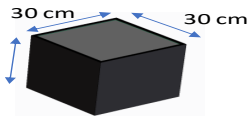
SENJUへの検出器の増設 (2019~)

(1) 薄型2次元検出器 4-8台

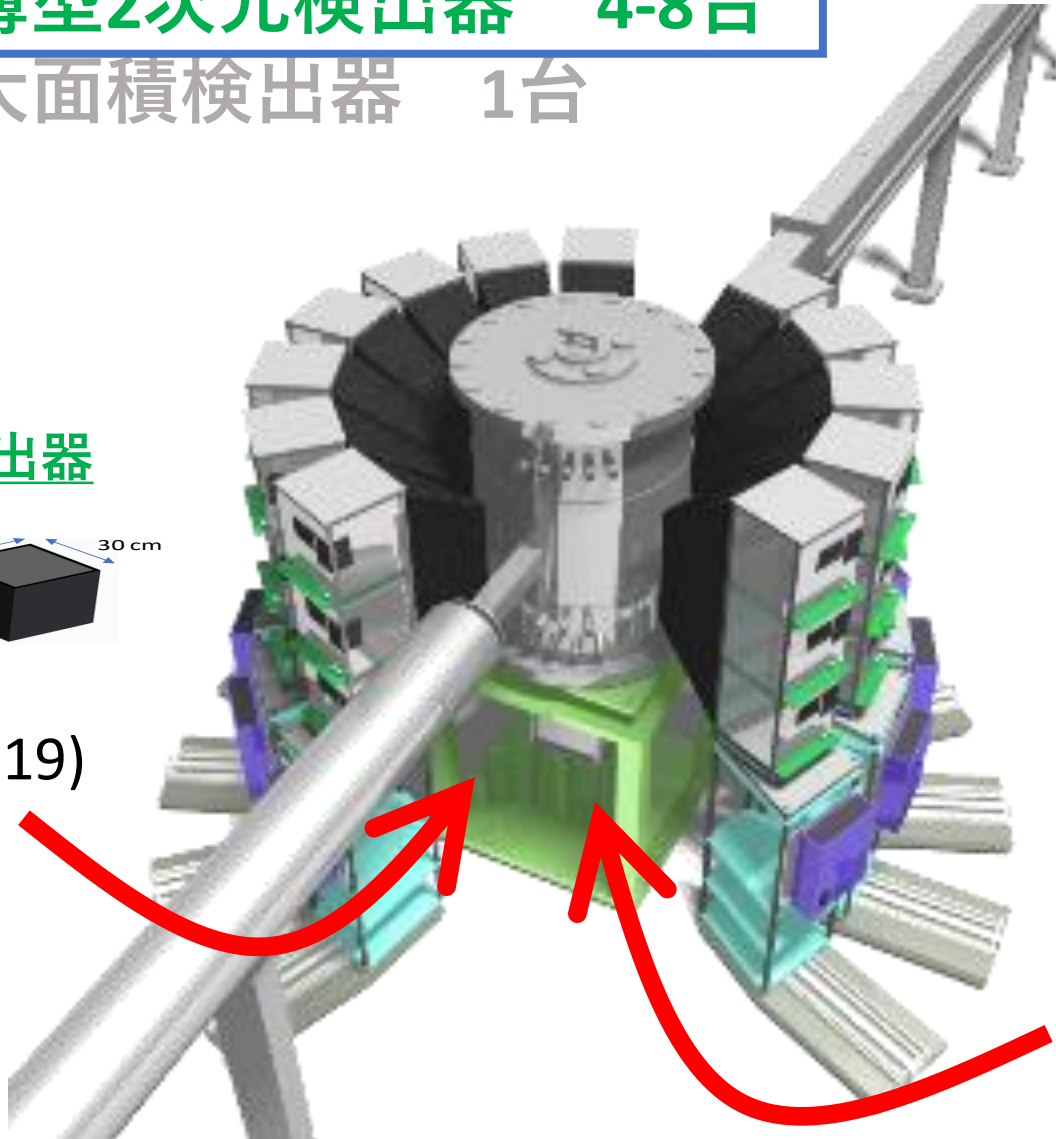
(2) 大面積検出器 1台

(1) 薄型検出器

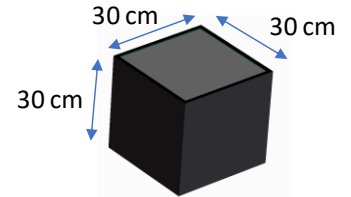
奥行
17 cm



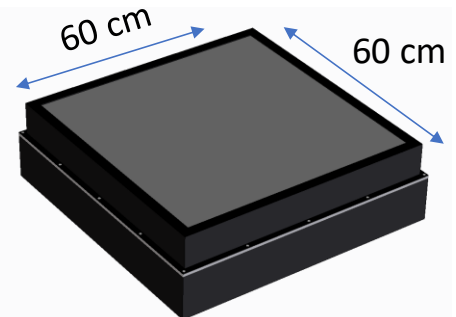
4台 (2019)



オリジナル検出器



(2) 大面積検出器

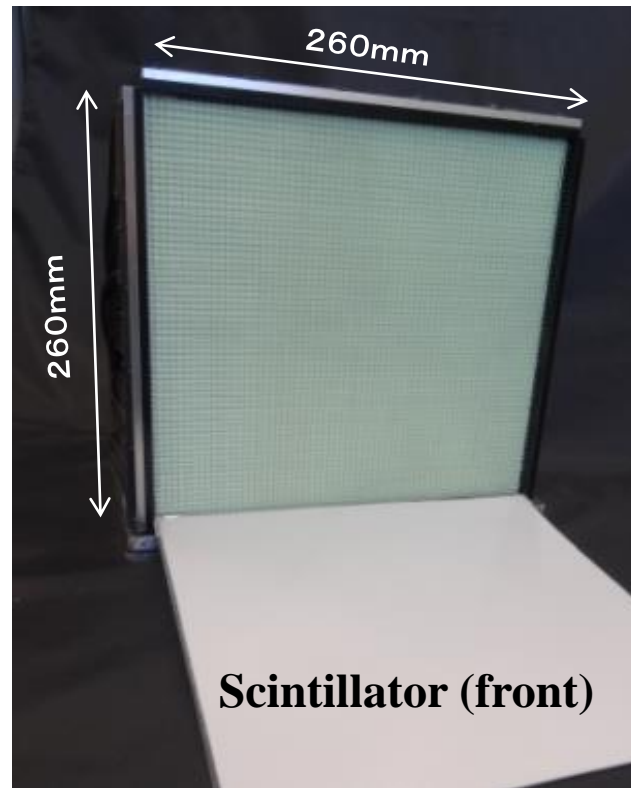
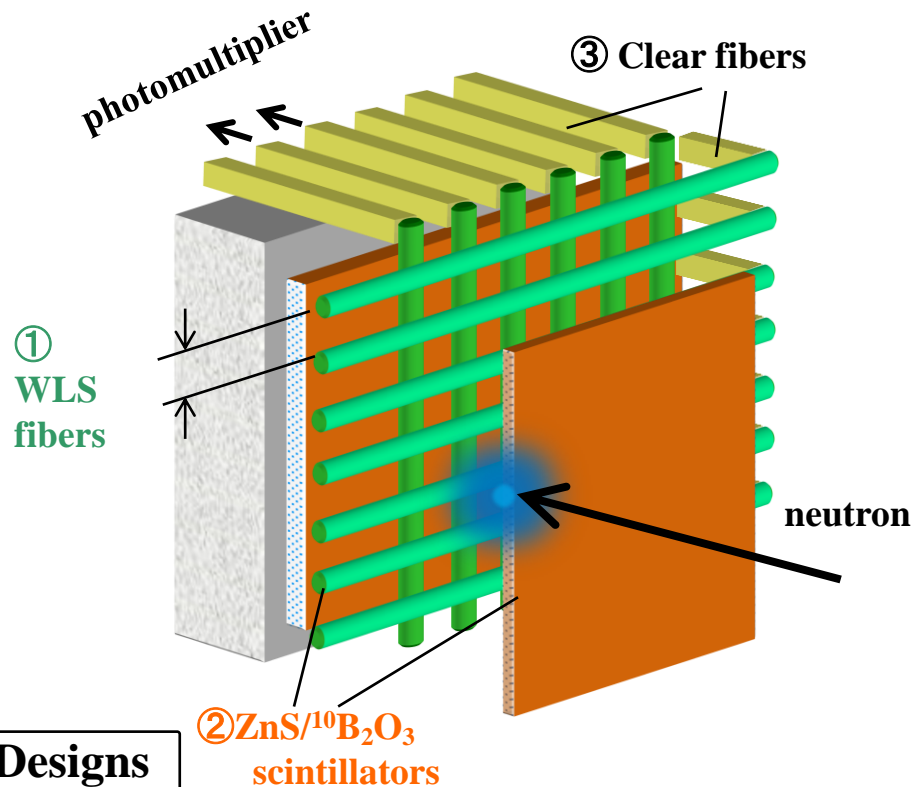


New large area detector
(51.2 x 51.2 cm²)

有感面積 4倍

シンチレータ・WLSF検出器のヘッド構造

(ポイント) ピクセルサイズ、大カバレッジ、検出効率、低コスト



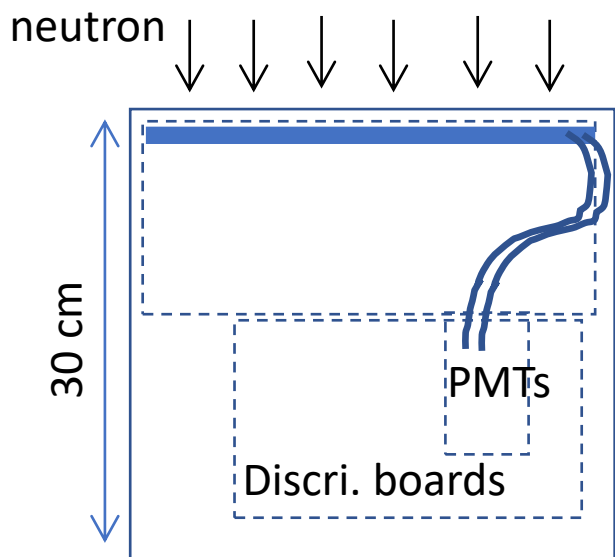
Key Designs

- ① WLSファイバを4mmピッチで配置 → 低コスト、大面積化
- ② 2枚のシンチレータスクリーンを配置 → 検出効率
- ③ クリアファイバ接続・後方ベンド → 不感領域の低減

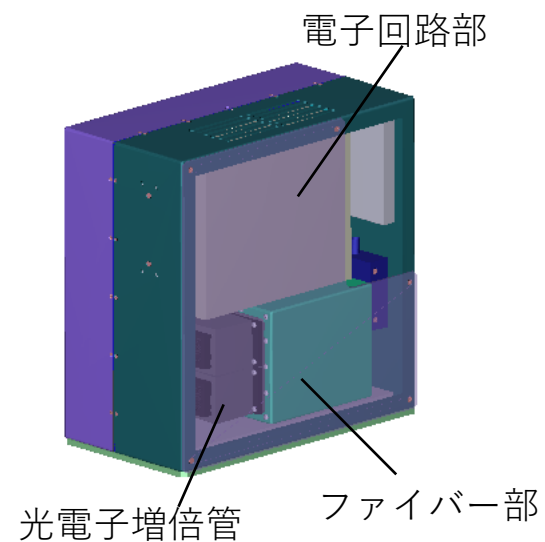
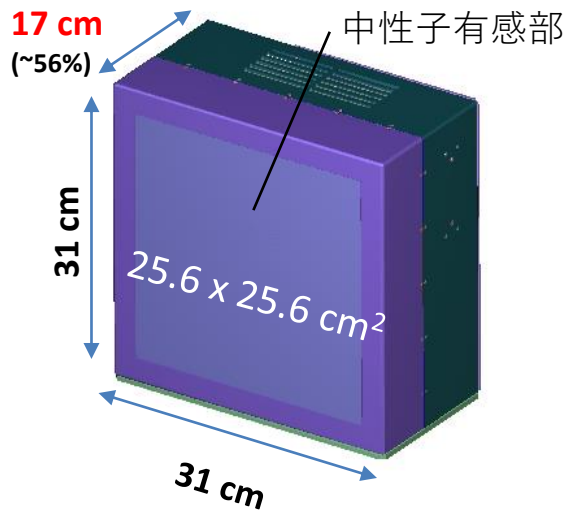
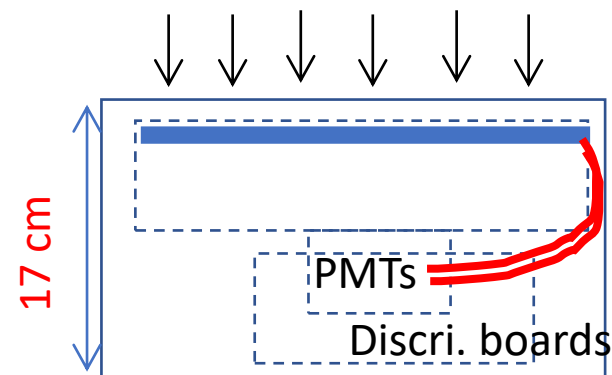
- ① 構成部品を再配置して薄型化
(クリアファイバ、PMT、ディスクリボード)
- ② シンチレータ ${}^6\text{Li:ZnS}$ を採用
- ③ ディスクリボードを更新

① 構成部品を再配置して薄型化

Original (2011)



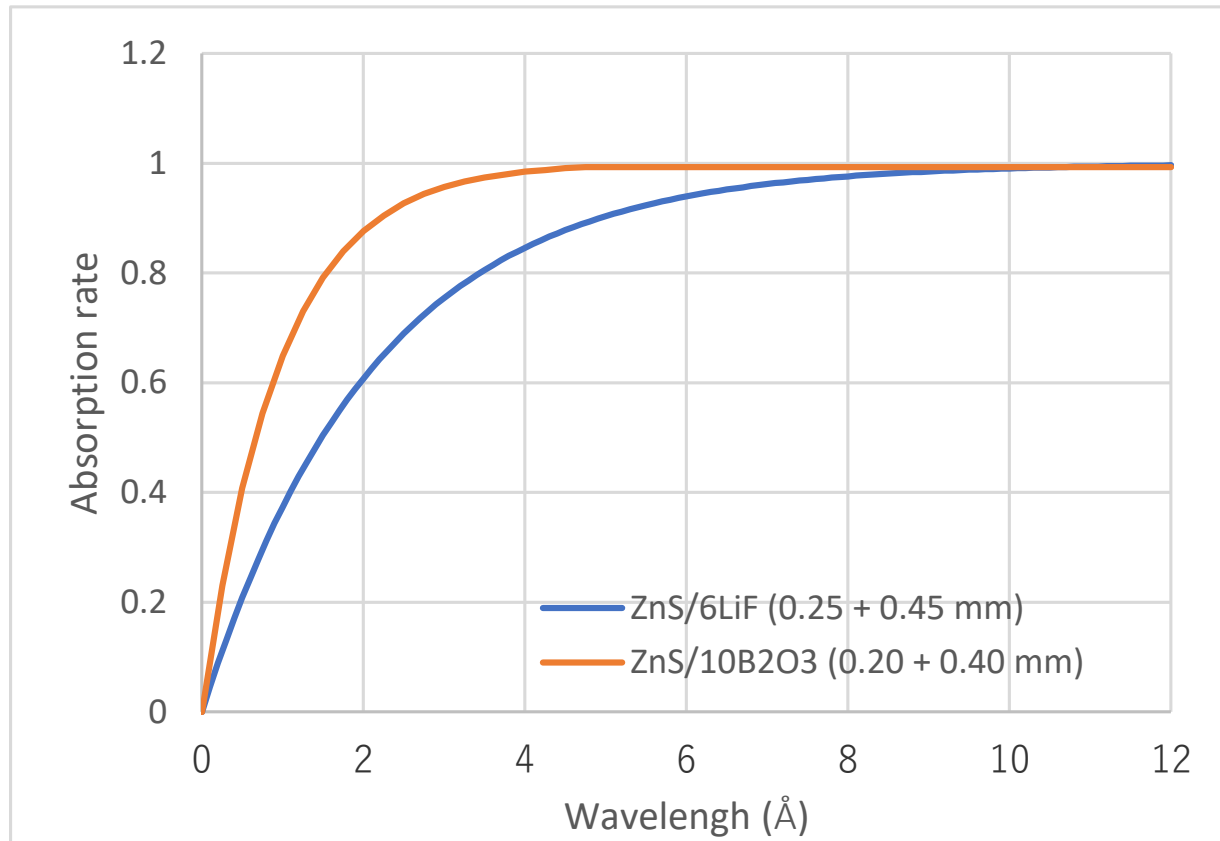
New (2020)



② シンチレータ ${}^6\text{Li}:\text{ZnS}$ の採用



- オリジナル検出器では ${}^{10}\text{B}:\text{ZnS}$ セラミックシンチを使用 → 入手不可
- 商用の ${}^6\text{Li}:\text{ZnS}$ (SCINTACOR社製)を使用



$$N_{{}^6\text{Li}} = 1.3 \text{ e } 22$$

$$N_{{}^{10}\text{B}} = 9 \text{ e } 21$$



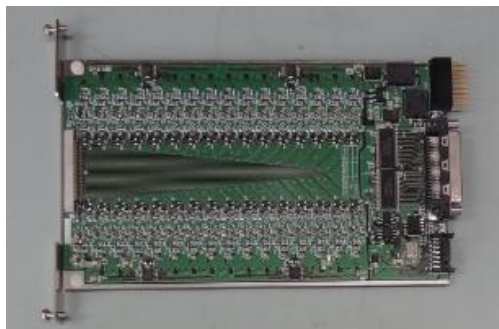
③ ディスクリボードの更新

- ・ より時間幅の狭いパルスを検出したい

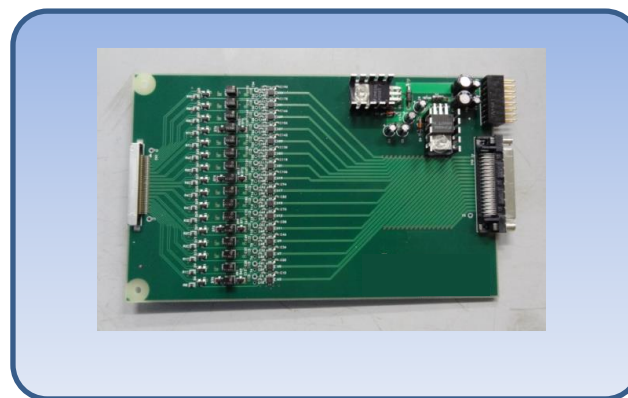


PMT動作電圧を下げる

従来のアンプ・ディスクリ



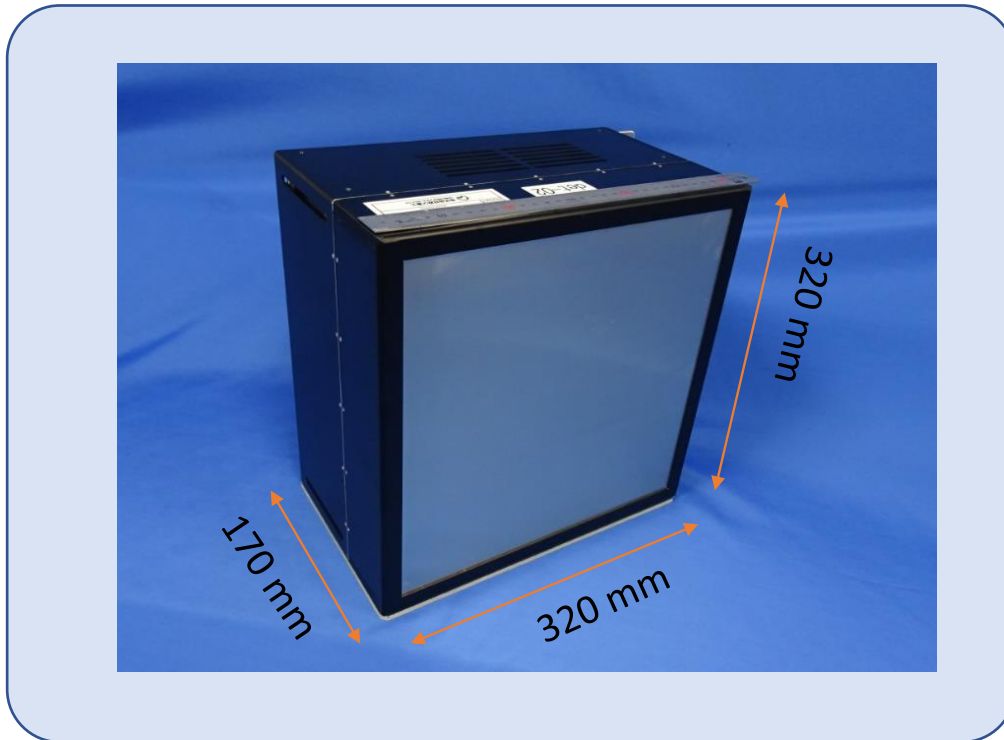
高速ディスクリボード



ch /board	:	32 ch	32 ch
Gain	:	60	--
Freq bandwidth	:	270 MHz (-3dB)	500 MHz
Pick-up pulse width	:	~2.5 ns	~1 ns @15mV height
Power dissipation	:	10 W	7 W

1ns幅の信号をピックアップ、消費電力 7割

<Prototype detector>

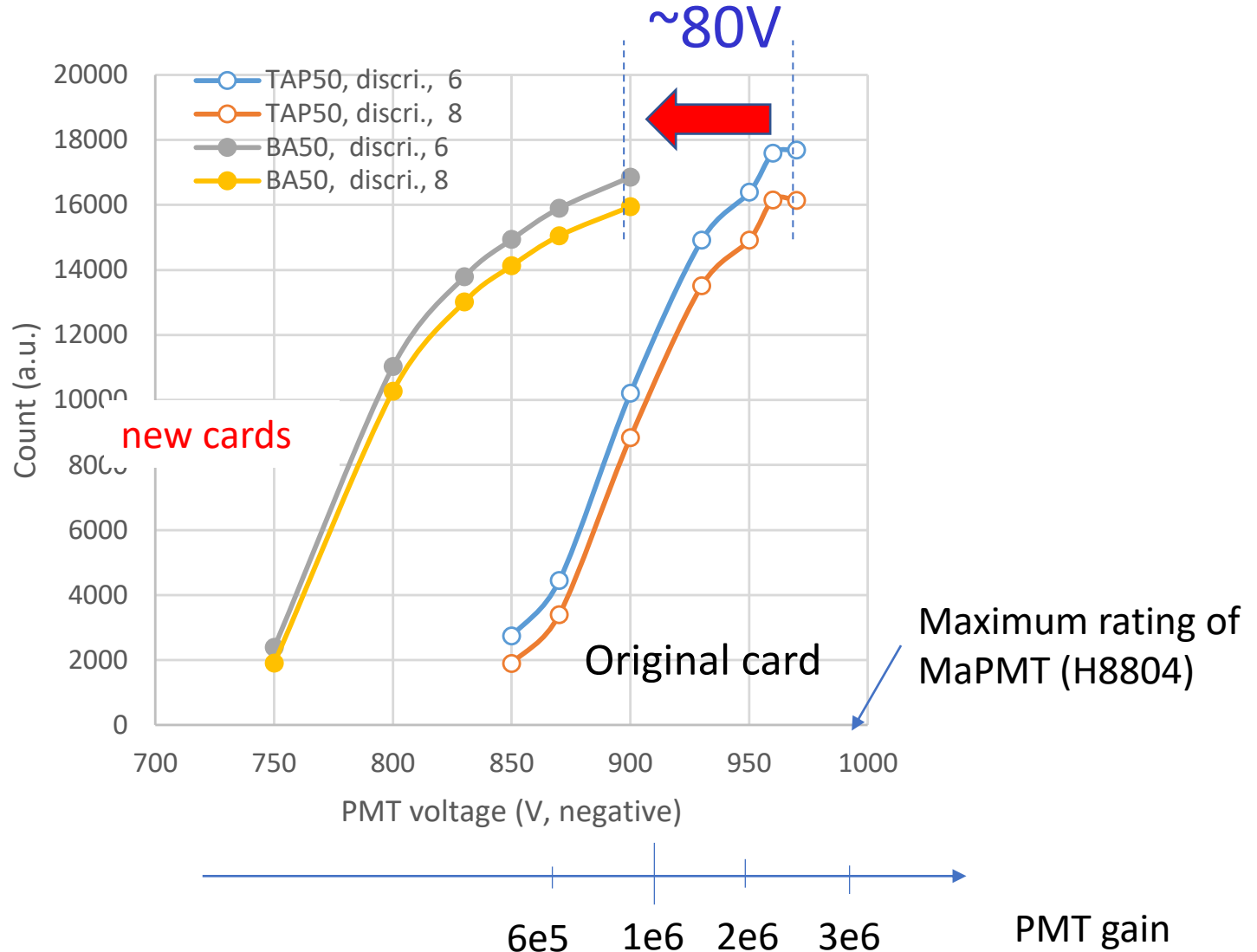


Size	: 32 x 32 x 17 ^d cm
Neutron-sensitive area	: 25.6 x 25.6 cm
Pixel size	: 4 x 4 mm
Photomultiplier	: H8804 (64 ch) x2
Electronics ch.	: 64 ch x 2 (128 ch in total)
Power dissipation	: 15 W (w/o encoder)
Weight	: 20 kg

— > 4台製作

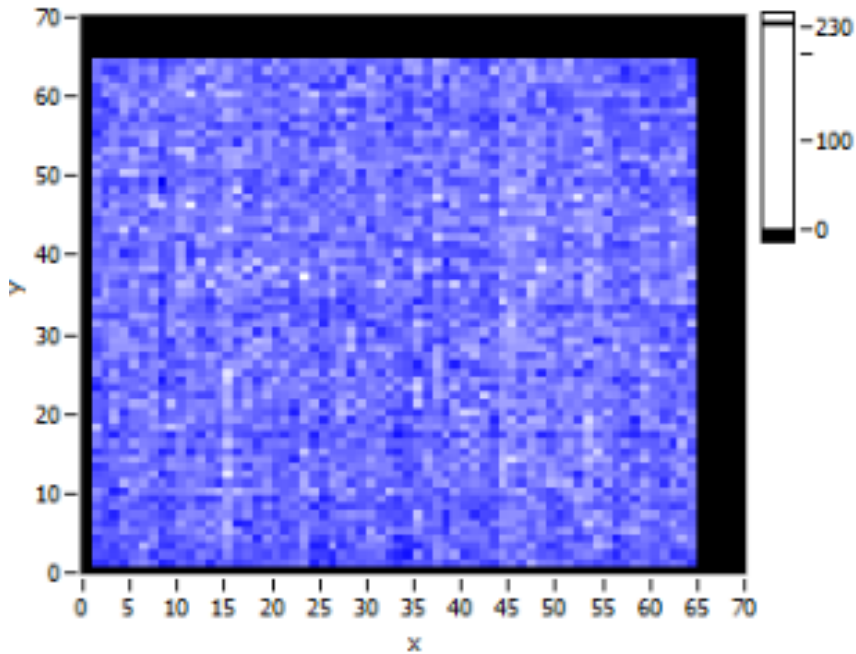
Plateau characteristics

^{252}Cf 線源での測定

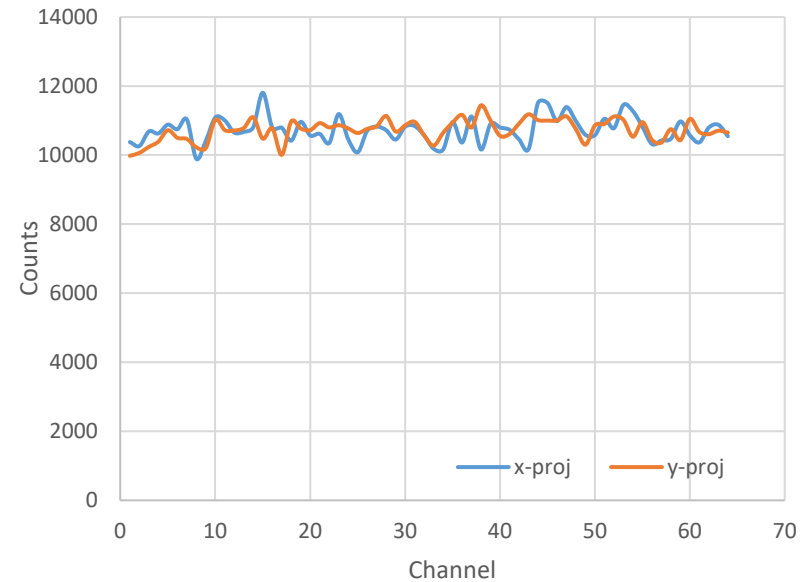


Count uniformity (with a ^{252}Cf source)

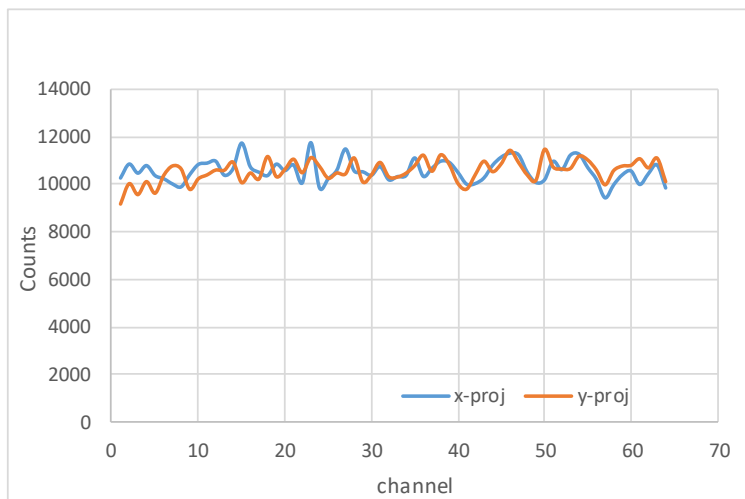
(a) Flood illumination



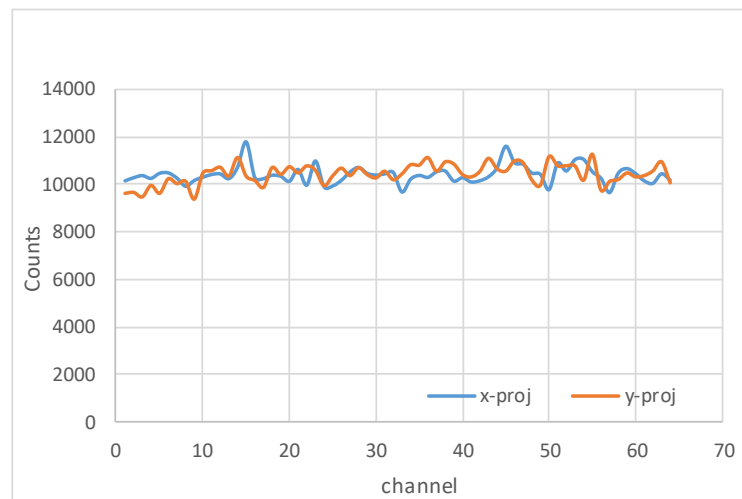
(b) Projections



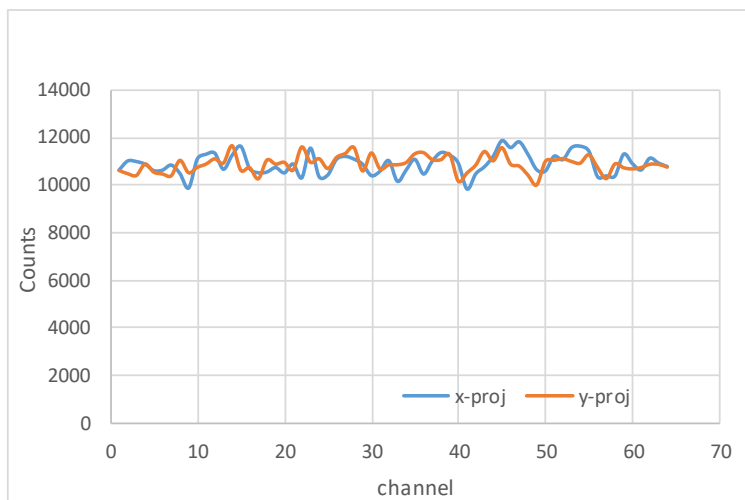
Det-01



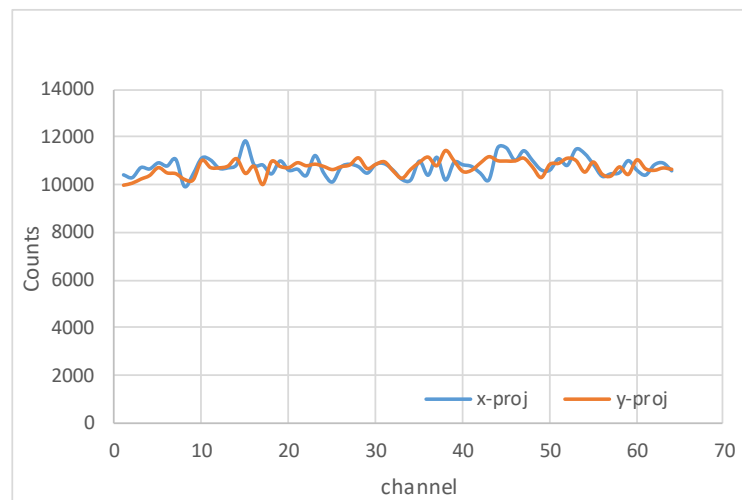
Det-02



Det-03

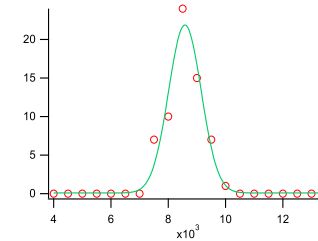
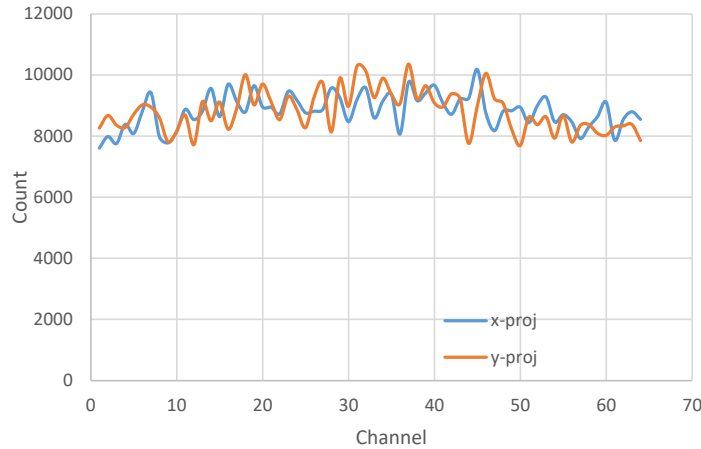


Det-04



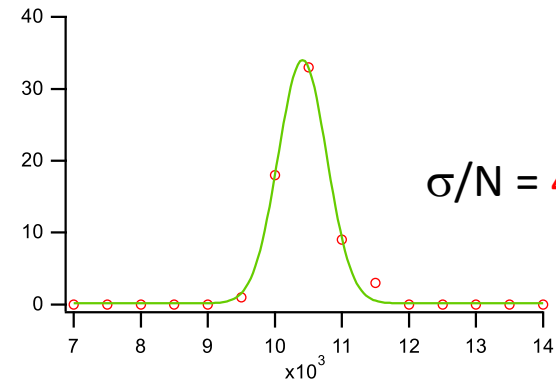
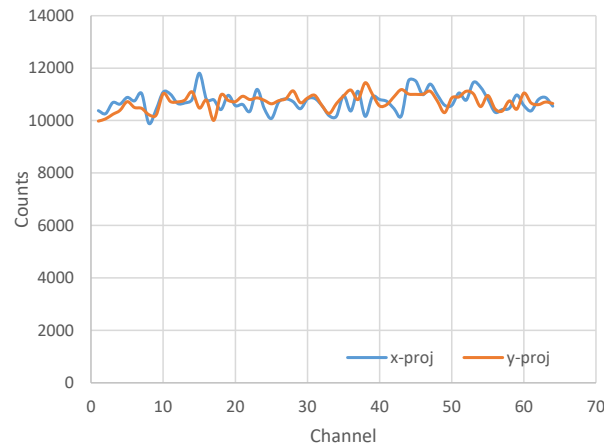
● Comparison between original det and new det

(i) Original detector



$\sigma/N = 10\%$

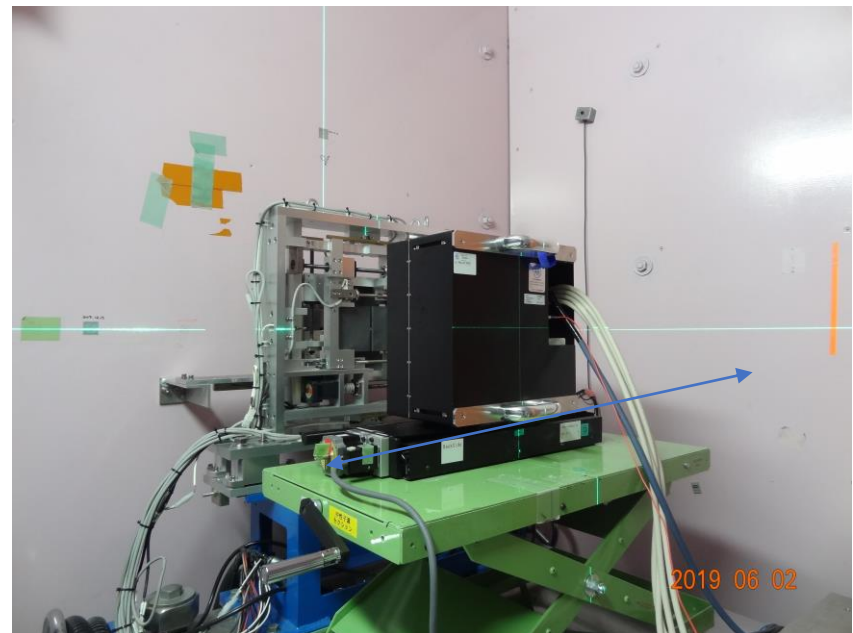
(ii) New detector



$\sigma/N = 4\%$

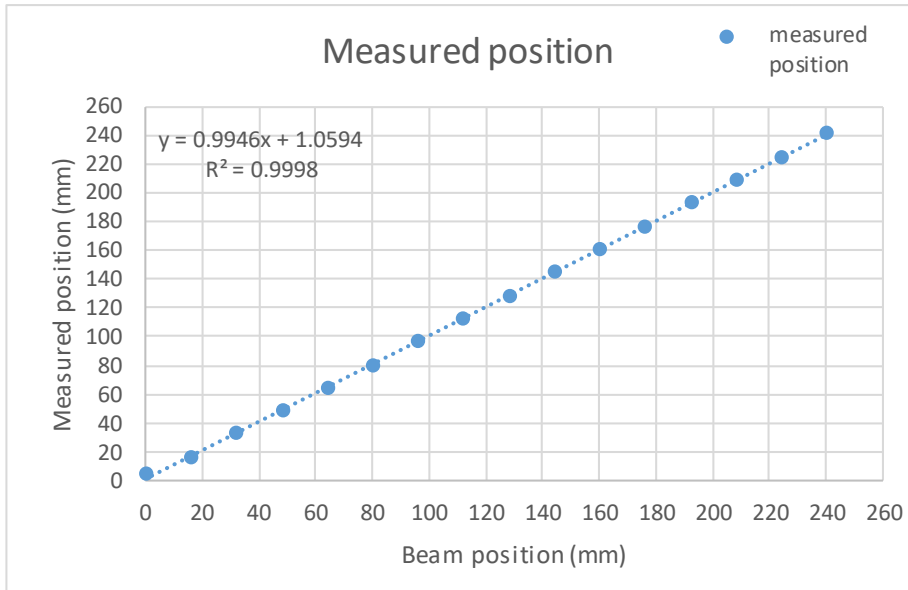
●中性子ビームによる実験 BL10@MLF

- ・ コリメートビームサイズ $1 \times 1 \text{ mm}^2$
- ・ 検出器を移動して試験を実施

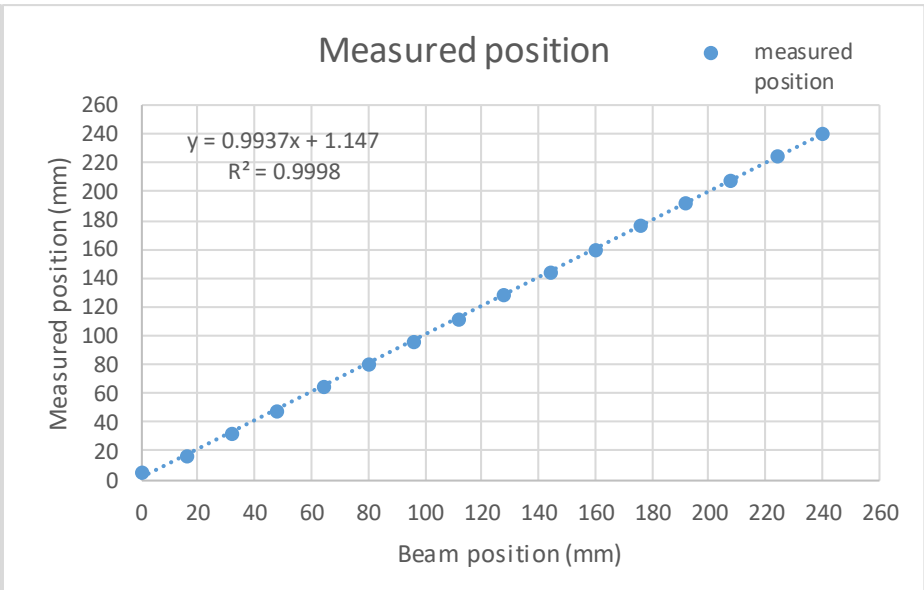


Position linearity

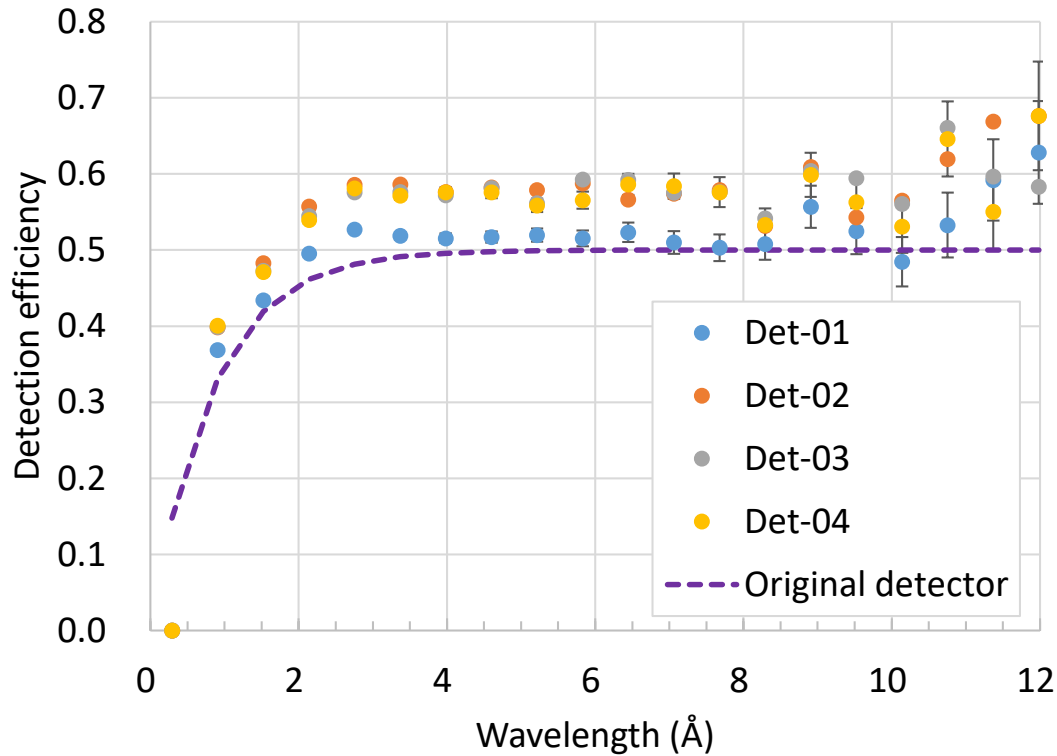
(x方向)



(y方向)

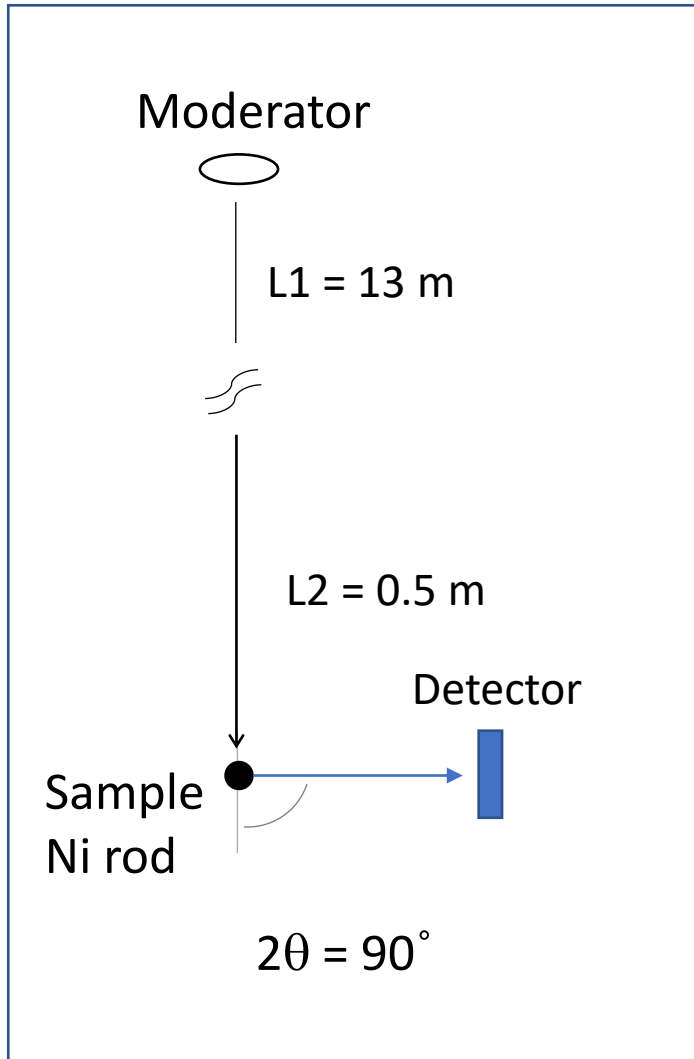


■ Detection efficiency

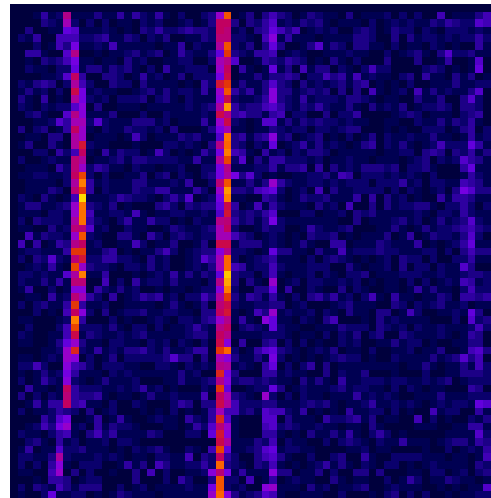


→ $\sim 50\%$ @ 2\AA
(originalの1~1.2倍)

■ Diffraction test

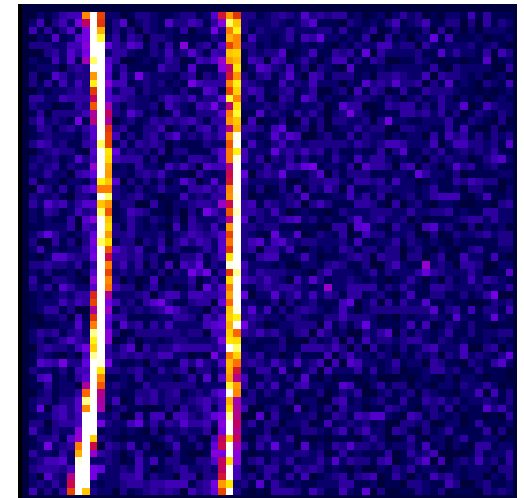


ToF = 5.2 ms (1.6 Å)



$\Delta t = 20 \mu\text{s}$

8.6 ms (2.6 Å)



$\Delta t = 20 \mu\text{s}$

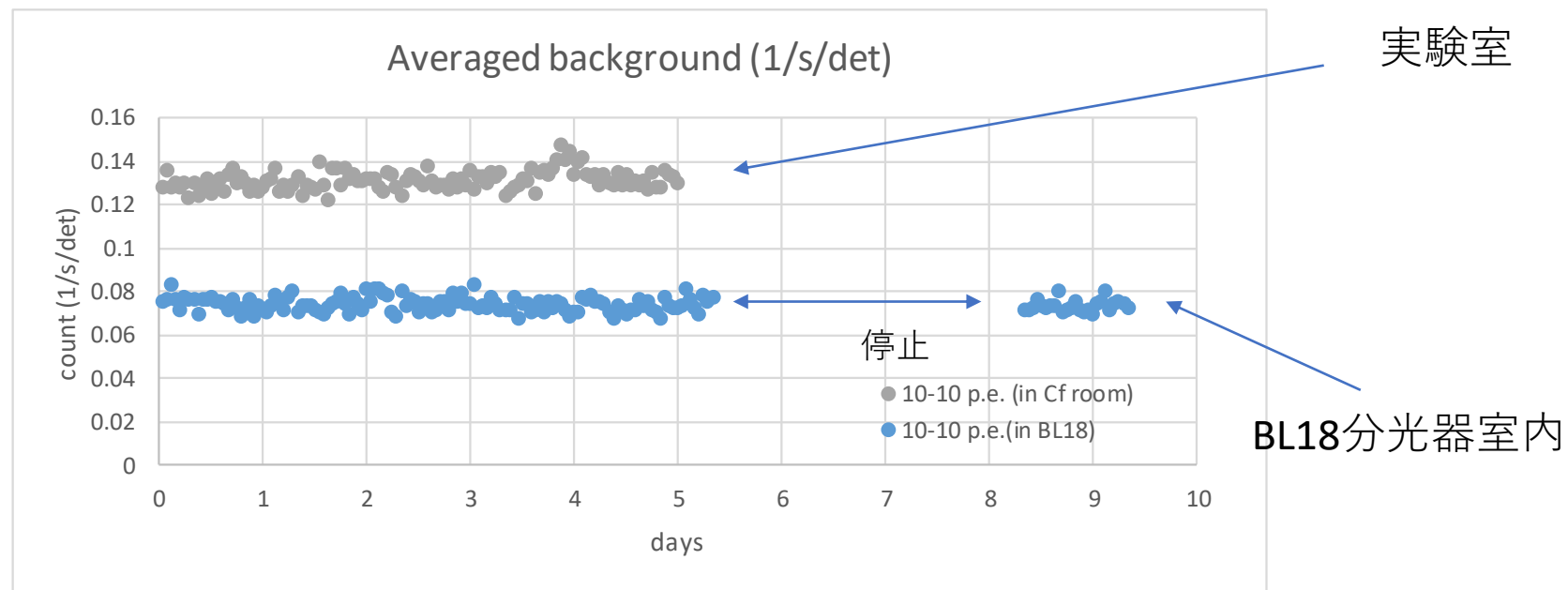
→ 計測系の正常動作を確認

BL18分光器室内へ搬入、仮設置

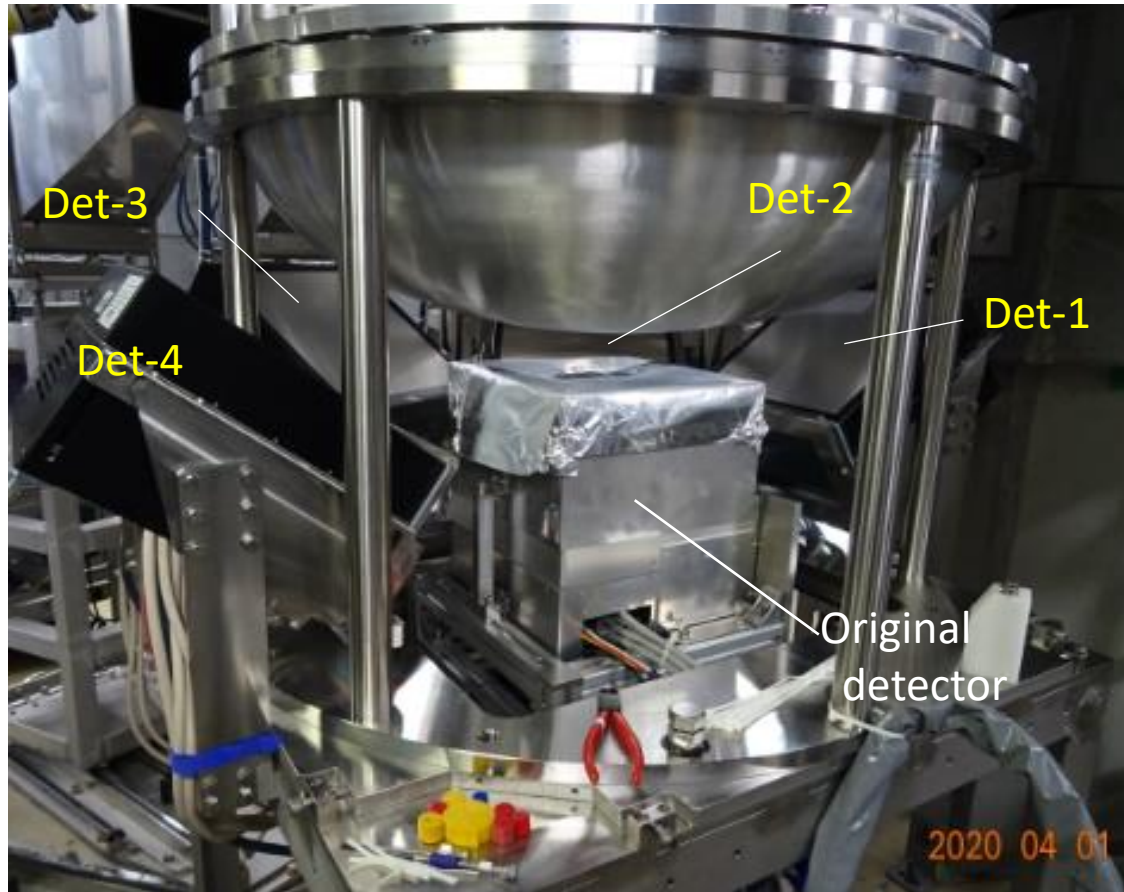


■ 連続測定試験 (5~9日)

バックグラウンド測定



- 安定な連続運転を確認
- $\sim 0.08/\text{s/det}$



The new detectors (det 1~4) installed under the new vacuum vessel.

まとめ

- ・ SENJU装置の増設用として薄型2次元検出器を開発
- ・ 奥行6割、検出効率1~1.2倍、感度均一性 ($\sigma \sim 4\%$)
であるコンパクトな検出器を製作
- ・ 4台製作し装置へ装填済み

今後

- ・ 増設予定の薄型検出器の製作、性能評価
- ・ 真空槽の底に配置する大面積型検出器の開発