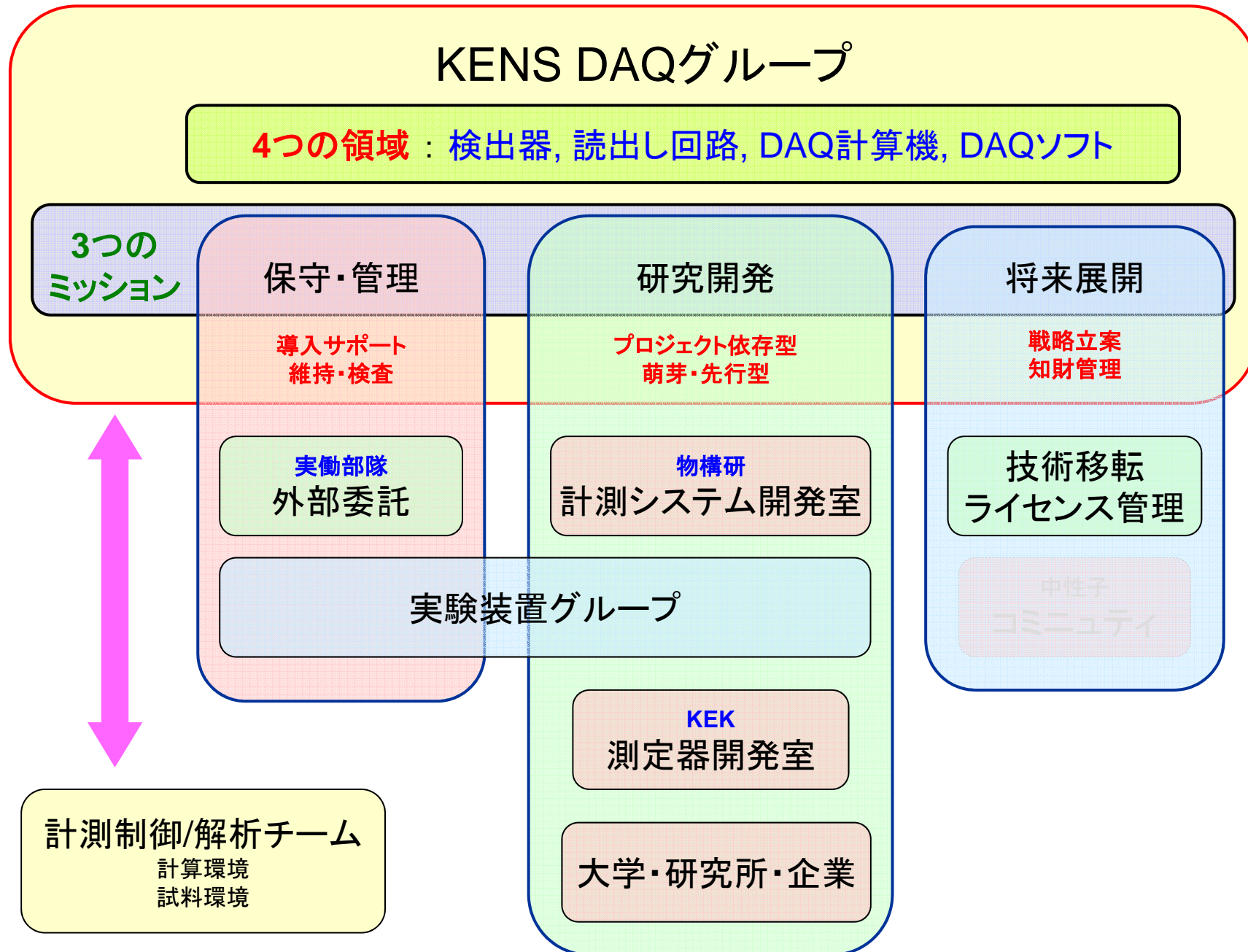


# KENS-DAQグループでの 中性子検出器システムの 開発の現状と将来

佐藤節夫、瀬谷智洋、坂口将尊  
オブザーバー: 大友季哉、大下英敏

# 発表内容について

- KENS-DAQグループの体制
- NEUNETシステム
- LiTA12システム
- MPix12システム
- nGEMシステム
- 各検出器まとめと将来性



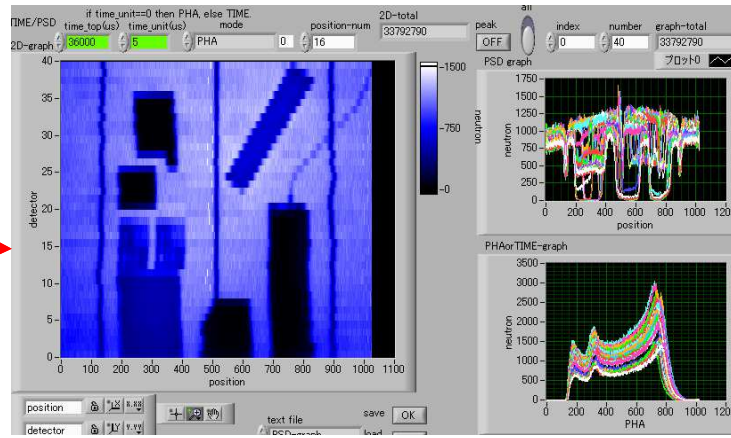
# NEUNETシステムについて

- $^3\text{He}$ ガス検出器用に開発された読み出しシステムであり、MLFの標準処理システムとして使用されている。MLFのBL01, 08, 09, 11, 12, 14, 15, 20, 21, 23で使用されている。しかし、 $^3\text{He}$ ガス高騰で停滞している。
- 抵抗分割型位置2次元検出器(RPMT)の処理回路として、小さな変更で使用できる。MLFのBL16, 05等で使用されている。その他、京大で4システム程度、理研で2システム、北大で1システム、オーストラリアで1システム、韓国で1システム使用されている。

# NEUNETシステム

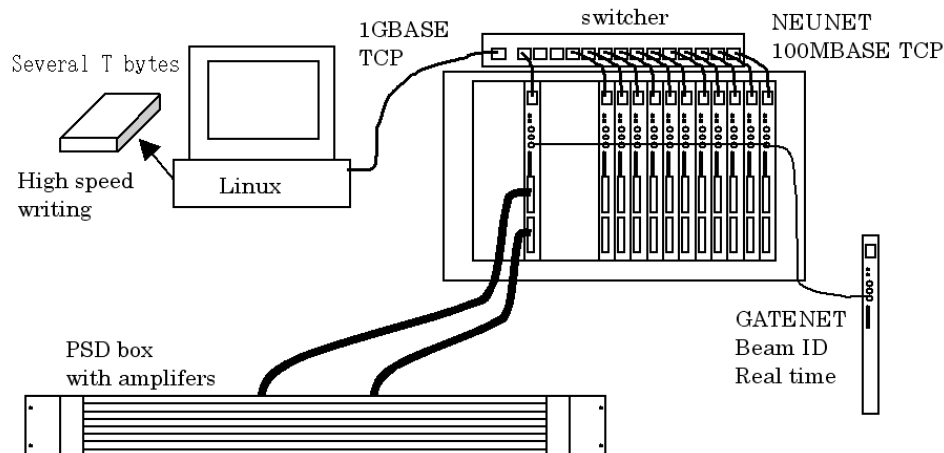


60cm x 40本



養生テープの影も見える

8PSDs/NEUNET > 100MBASE > 1GBASE > HDD

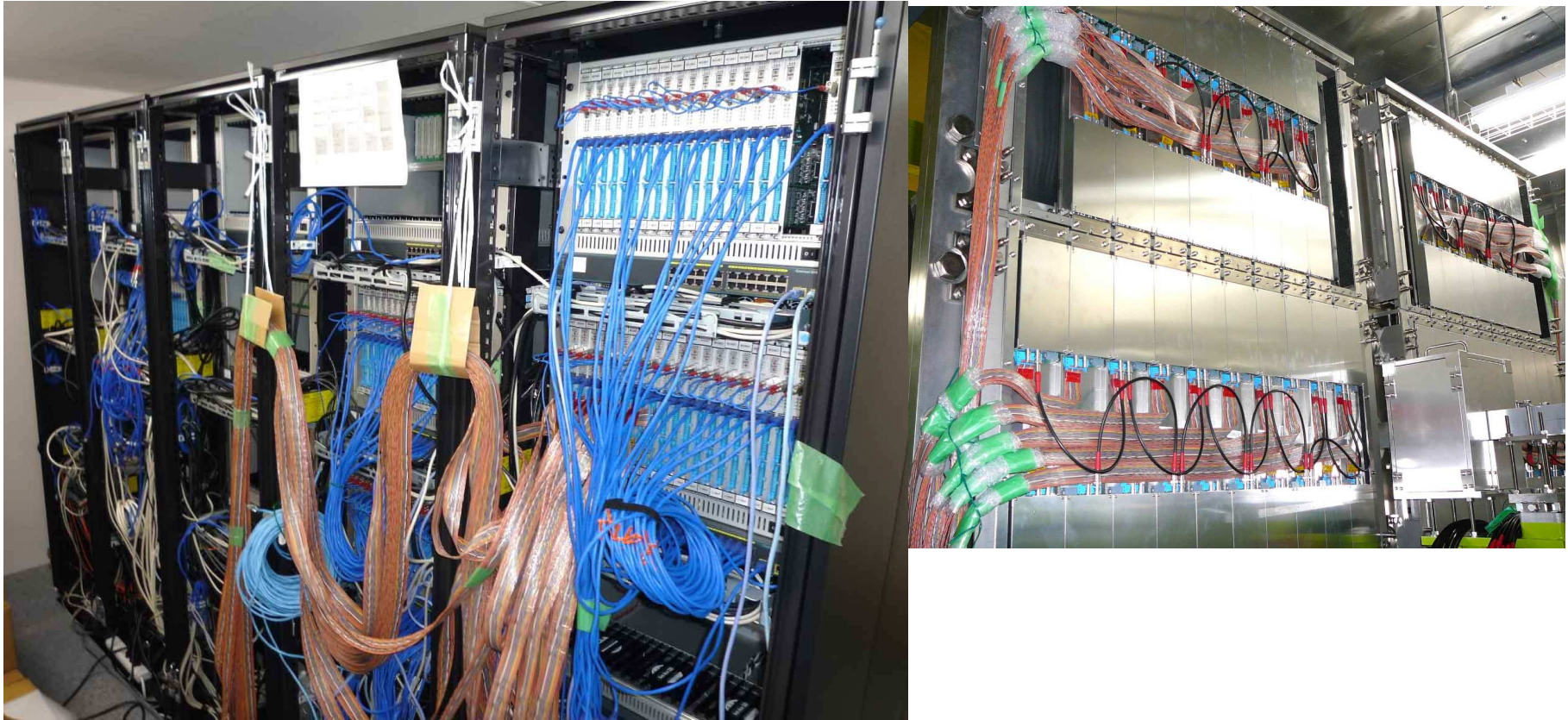


いいこといっぱい  
検出効率: 高い  
γ線感度: ほぼ0

わるいところ  
分解能: 1cm  
低計数率: 10kcps

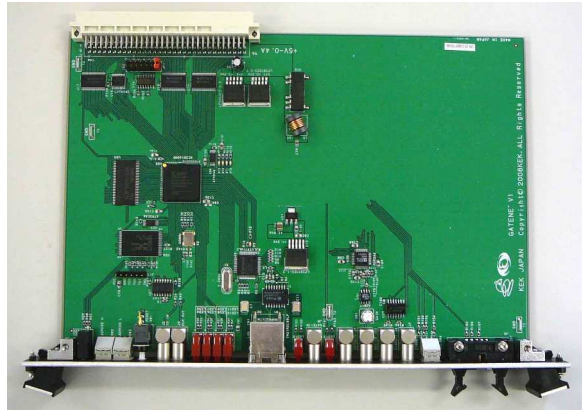
# NEUNETシステム

KENS + 素核研 = NEUNET

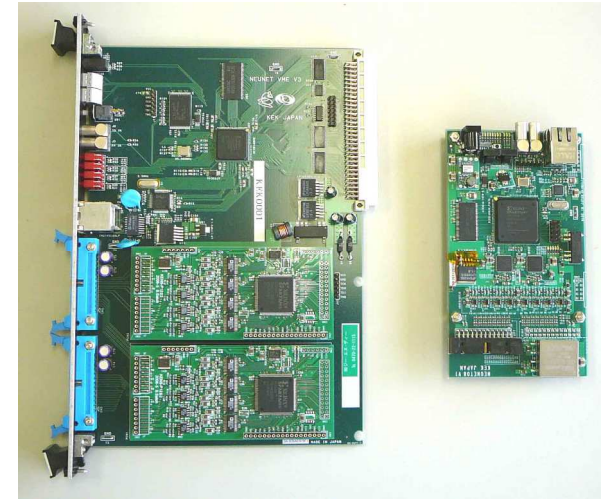


100台のNEUNETモジュールと中性子検出器  
(MLF/BL20、茨城県装置)

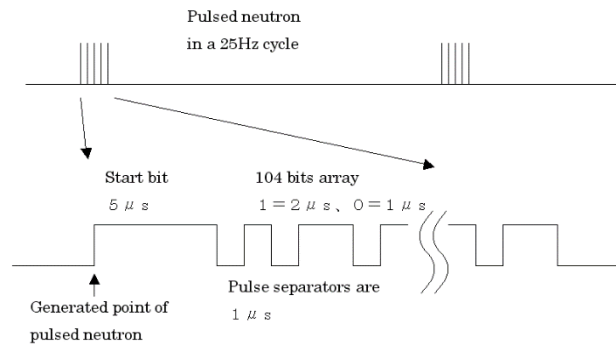
# NEUNETシステム関連



GATENET



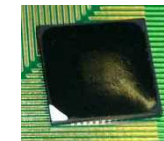
NEUNETと  
NEUNET08(小型版)



T0信号を制御し、多数のNEUNETの同期を取る。  
時刻情報を配る。受けたNEUNETは時刻イベント  
をデータ内に保存できる。



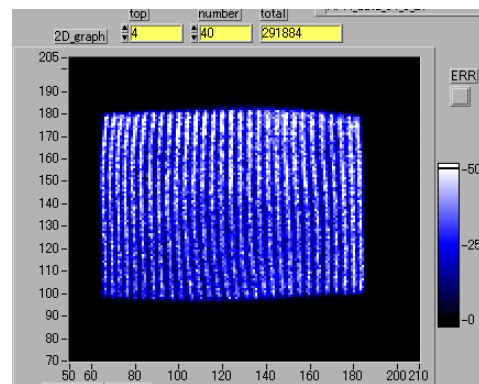
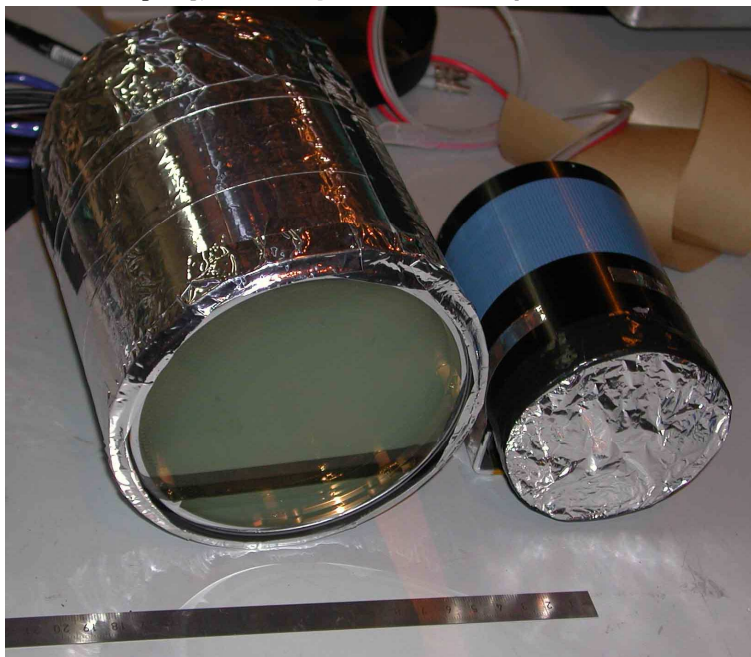
× 8枚



ASIC化プリアンプ  
8mm径PSDで使用可

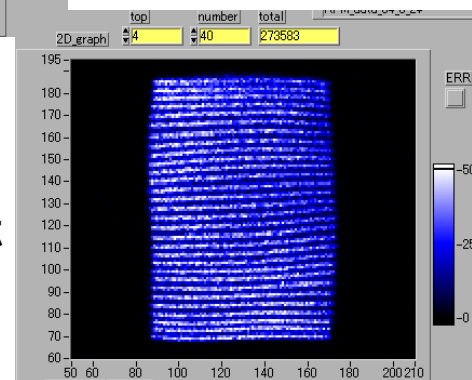
# NEUNET利用:RPMT検出器

抵抗分割型2次元検出器



2次元画像データ例

90° 回転



2cm\*0.3mm

中性子ビームを

1mmずつ移動し、

30回照射

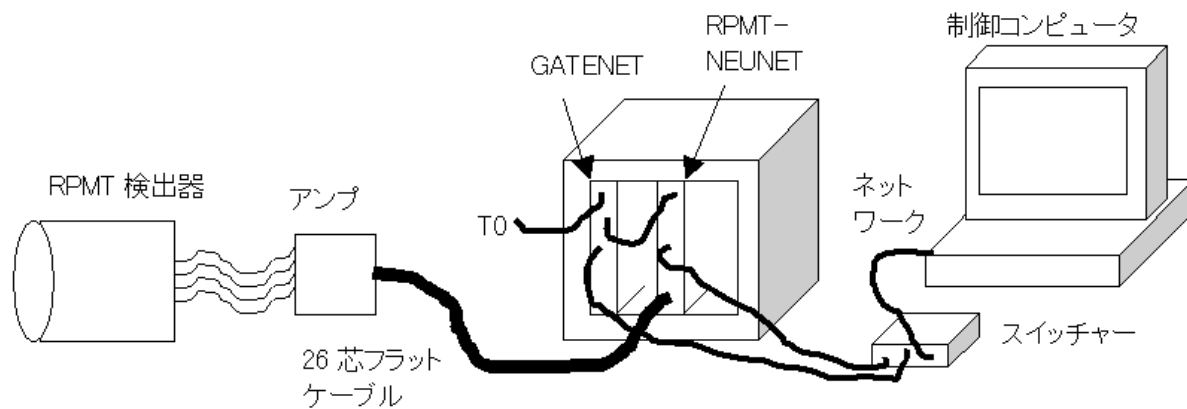
高位置分解:0.5mm\*0.5mm、検出領域:5cmφ、9cmφ

検出効率が良い:ZnSで30~40%程度、1mm厚Li6で80%以上

少ない装置で安定動作



# NEUNET利用: RPMT検出器



RPMTシステムの構成図

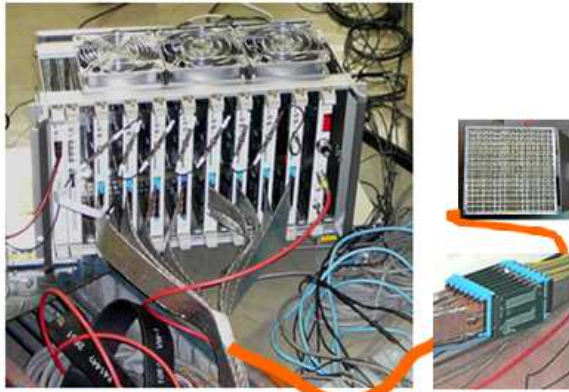
専用アンプ基板と  
NEUNETシステムの  
一部の機能で処理できる



# LiTA12システムについて

- 2.1 x 2.1 x 1mm<sup>3</sup>に切り刻んだ<sup>6</sup>Liガラスシンチレータを256個使用し、マルチアノード型PMTで受ける。最大計数率として、50Mcps(2Mcps/1cm<sup>2</sup>)が得られた(2014年4月)。
- BL22で2システム導入され、今サイクルから使用。
- 原子力非破壊予算で2システム製作予定。
- 北海道大学との協力で、7~11年前に開発済みであるが、最新の技術で再開発。今年度の物構研助成金を頂き、さらに改良する予定。

# LiTA12システム



6~10年前に開発した旧型

検出器とアンプはほぼ変わらず。  
処理システムが半分になった。さらに、旧型  
は発熱が大きく、モジュールを1個おきに置  
いたので、**実質4分の1の大きさ**にできた。  
USBからGbit-SiTCPに変更した。



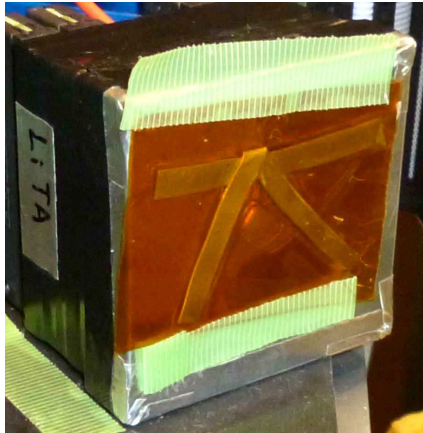
LiTA detector

FAMP boards

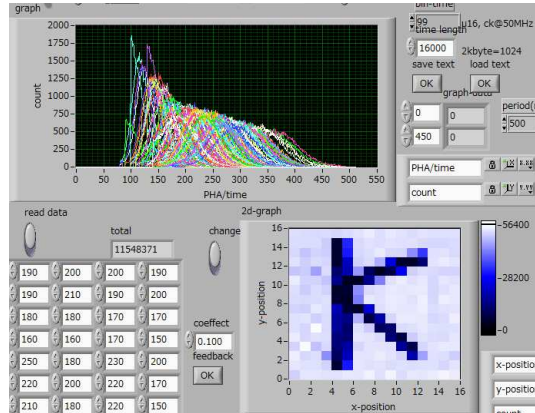
LiTA12-VME modules

今回開発している新型

# 高計数率機能の測定データ

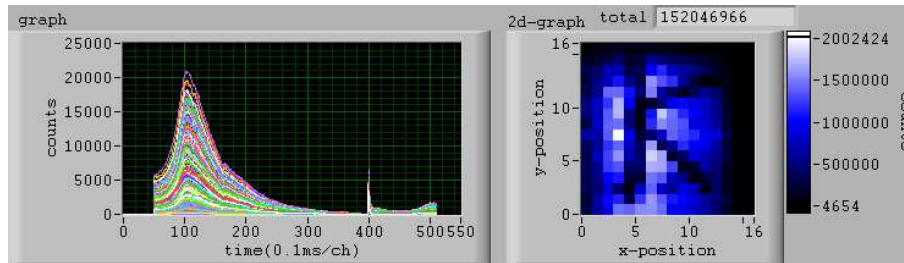


カドミウム「K」文字



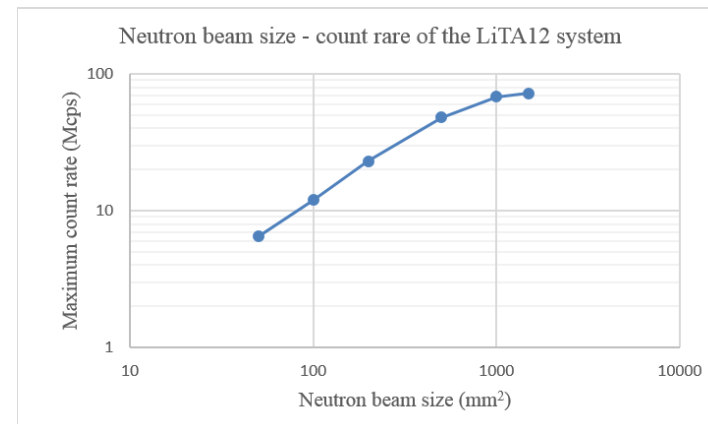
カドミウム「K」文字測定データ

J-PARCの強カビームにより、初めて限界が測定できた。



50mm<sup>2</sup>, 時間分布図、2次元図

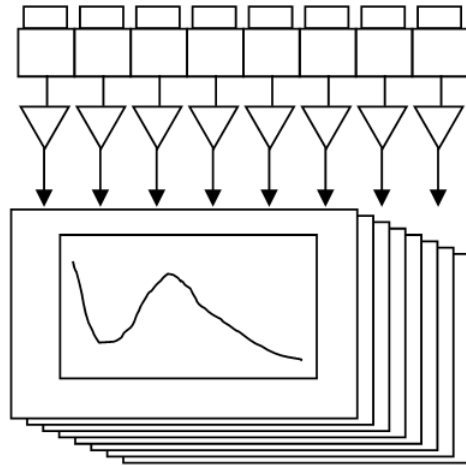
照射面積—時間分布図から、50Mcps得られ、**2Mcps/cm<sup>2</sup>**が確認できた。



照射面積—最高計数率

# 排他機能の新設

全ピクセルで、  
独立に記録。

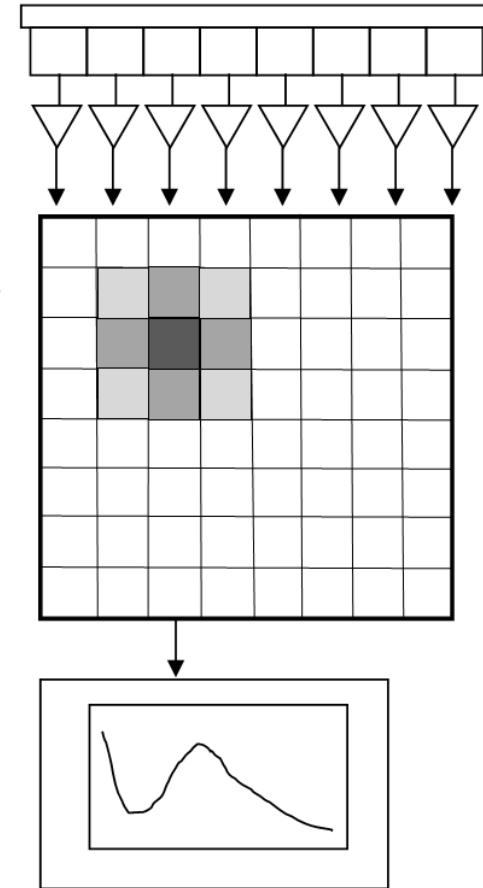


高計数率処理方法

高計数率法は初めからクロストークはないものとして、ピクセルごとに全て蓄積する。

排他法は、実ピクセル配置に組みなおし、近隣のピクセルを比較し、最大のピクセルだけを蓄積。  
>> 難しい処理。

近隣ピクセルで、  
最大ピクセル  
だけを記録。



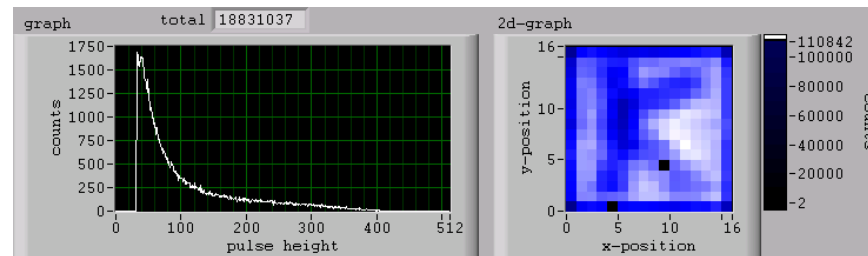
排他処理方法

# 一枚シンチレータ・ ${}^6\text{Li}$ -0.3mm

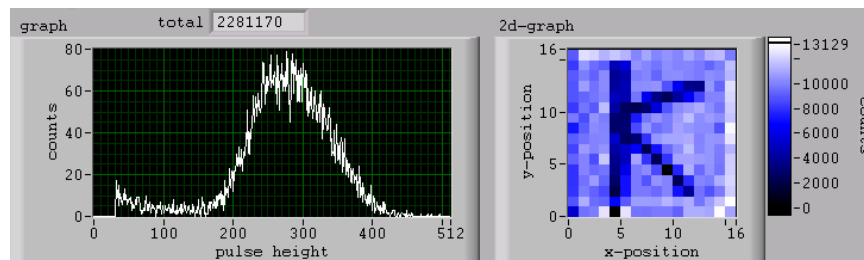
${}^6\text{Li}$ の0.3mm厚  
1枚板を使用。



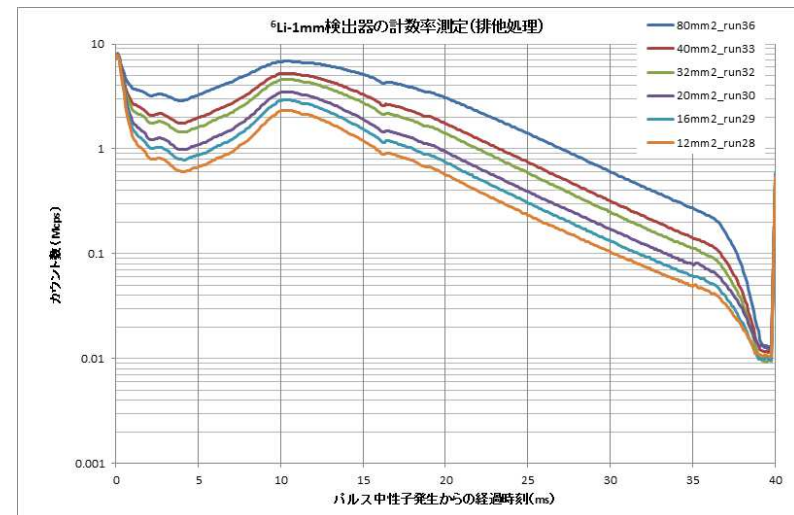
排他処理機能により、波高分布図で ${}^6\text{Li}$ のピークが見えるようになった。  
切ったシンチレータより1桁ぐらい落ちるが、かなり高計数率である。  
シンチレータが容易に変えられる。



高計数率処理、62ピクセル目



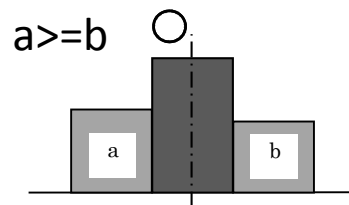
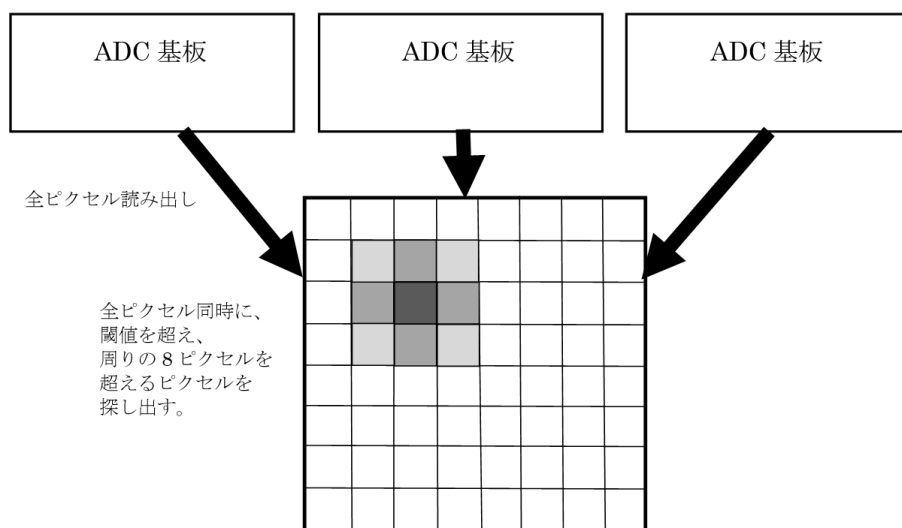
排他処理、62ピクセル目



照射面積—時間分布図から、3~5Mcps得られている。

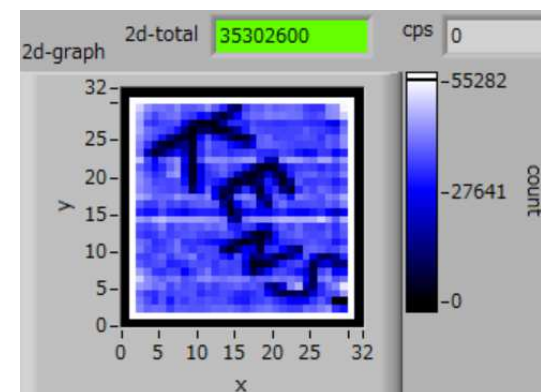
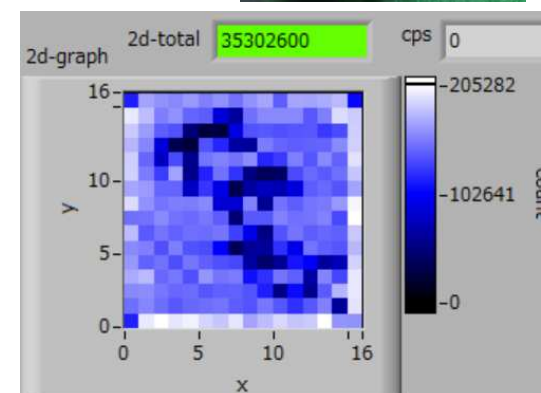
# 排他処理プログラムの厳格化

全ピクセル読み出し。  
比較範囲を厳密に限定。



簡単な重心計算ができる。両隣を比較することにより、位置分解能が2倍になる。>>ハードウェアを改良し、1mmを切る検出器を目指す。

「KENS」  
Cd文字

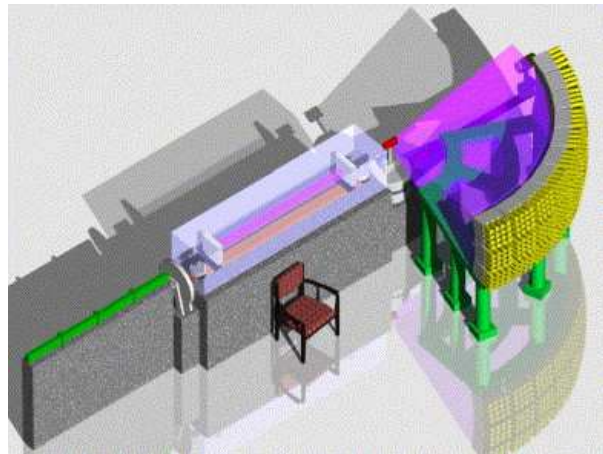


# MPix12システム

- 中性子シンチレータにZnS/<sup>6</sup>Liシンチレータを使用し、MPPCで受ける検出器。比較的高計数率で広面積な2次元検出器を目指す。BL06で使用される予定である。
- MPPCをピクセル型検出器として使用する。試作機は1cm<sup>2</sup>分解能で、32cm × 6cmであるが、32cm × 32cmを作製中。



# BL06用シンチレーション検出器開発 瀬谷氏資料 2014-9



目的

PSDよりも高分解能

RPMTよりも安価で大面積

->MPPCを使ったシンチレーション検出器

シンチレータ	${}^6\text{LiF ZnS}$
MPPC	1024ch
有感領域	32cm × 32cm
位置分解能	1cm

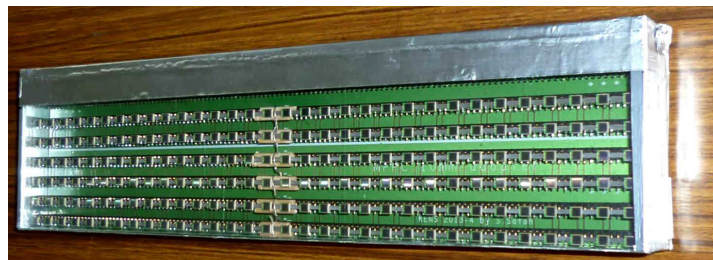


調整中の1号機  
アルミ窓シンチレータは取り外してある

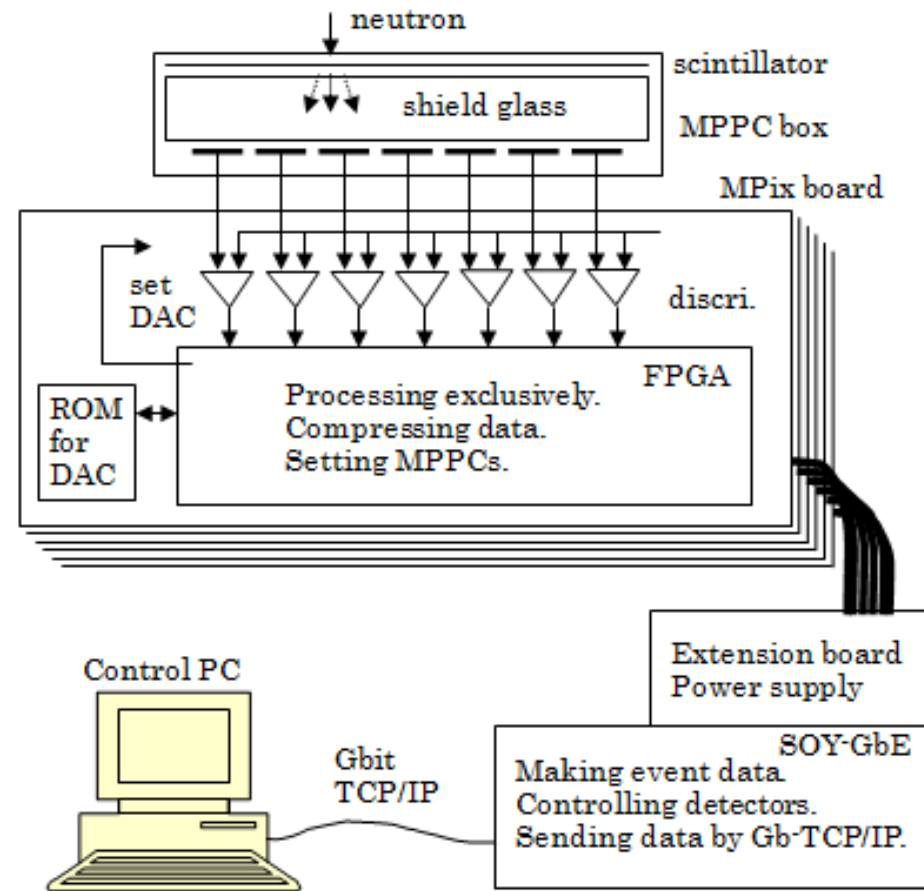
# MPix12システム構成

## 特徴

検出器領域: 32cm x 32cm  
32x32, 1cm間隔  
ピクセル検出器  
ZnSシンチレータ  
検出効率: 約22%  
イベントデータ: 8バイト長  
データ転送: 最大8Mcps



32x6の試作機

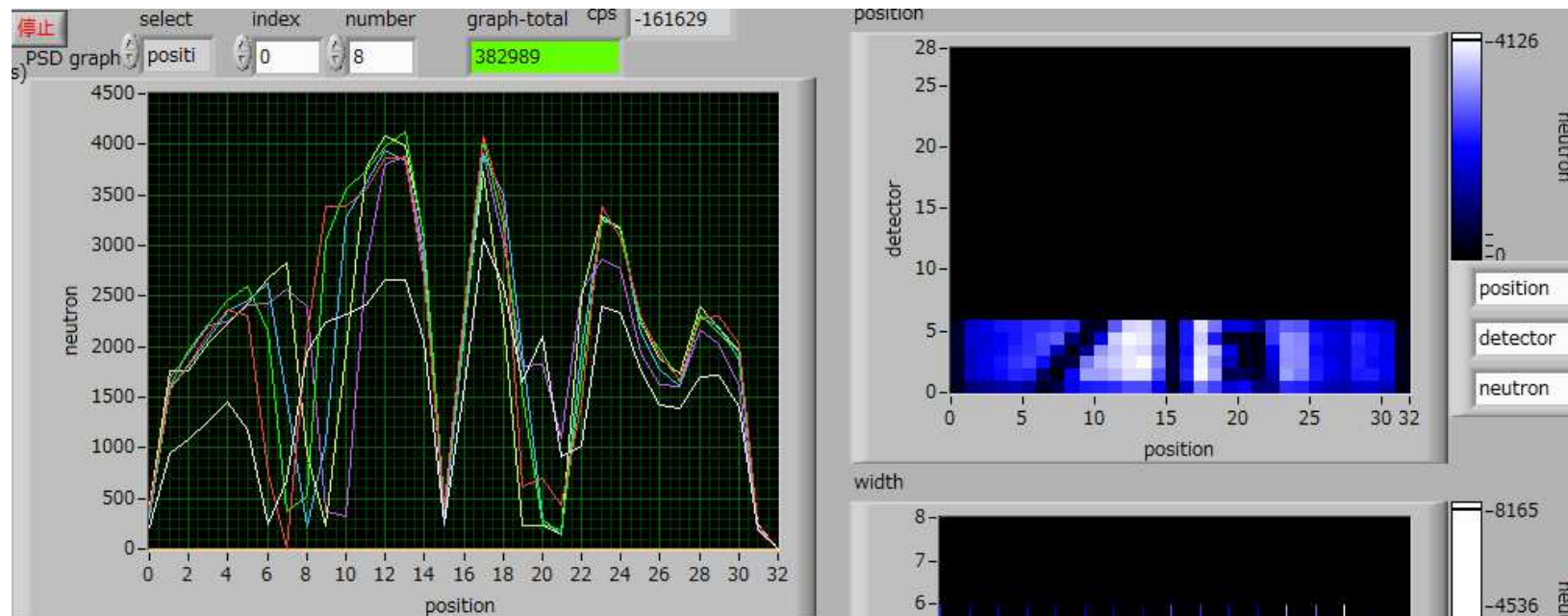


ブロック図

# MPix12システム・試作機

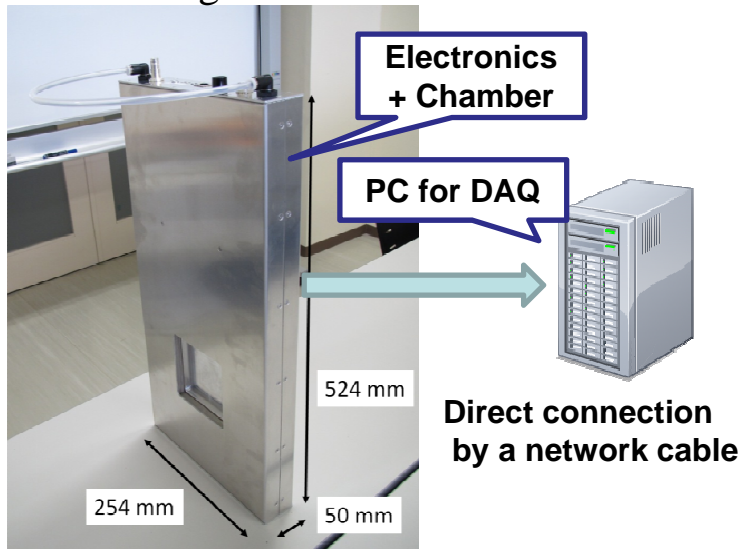


2013 6/11~13のKUR実験で2次元データが取れることが確認できた。 $^3\text{He}$ 検出器との比較でも妥当な22%程度の検出効率が確認できた。

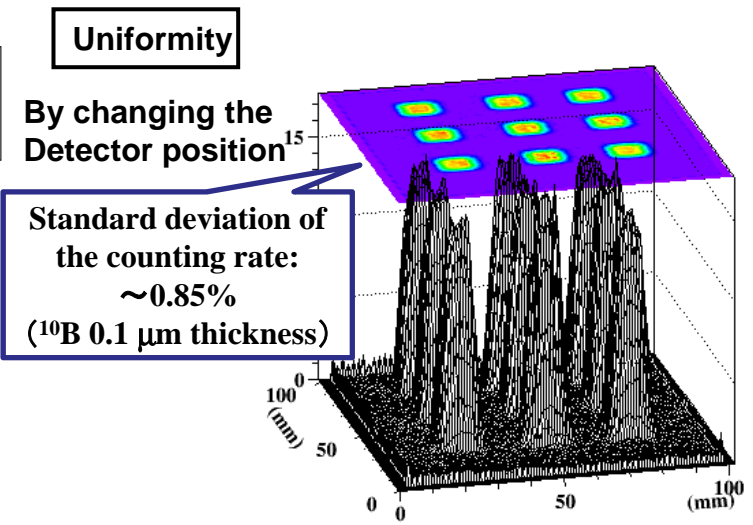
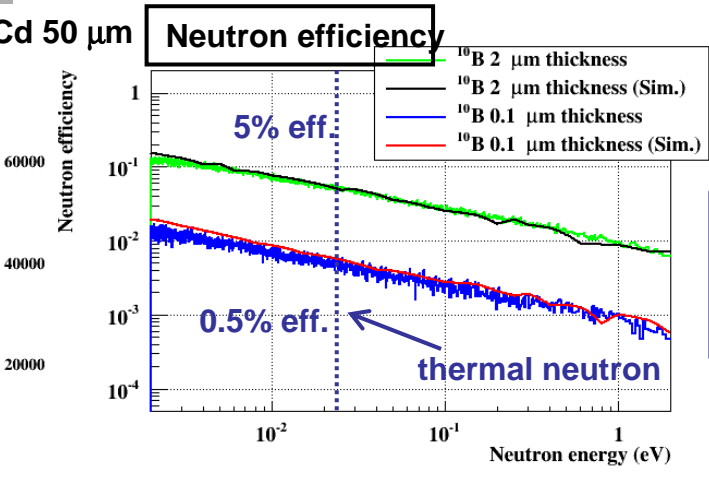
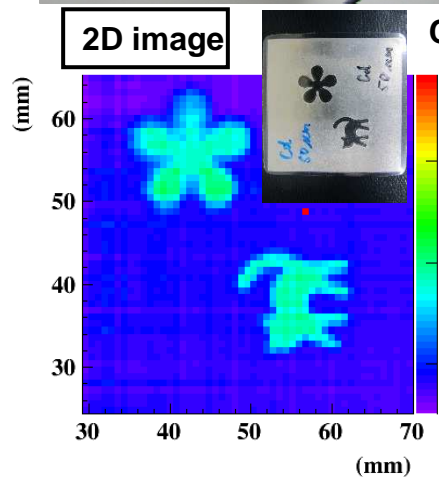


# Development of Neutron Beam Monitor nGEM

- Two-dimensional neutron detector for J-PARC MLF
- Upgraded system of an existing beam monitor, and for other applications such as neutron imaging, small scattering ...

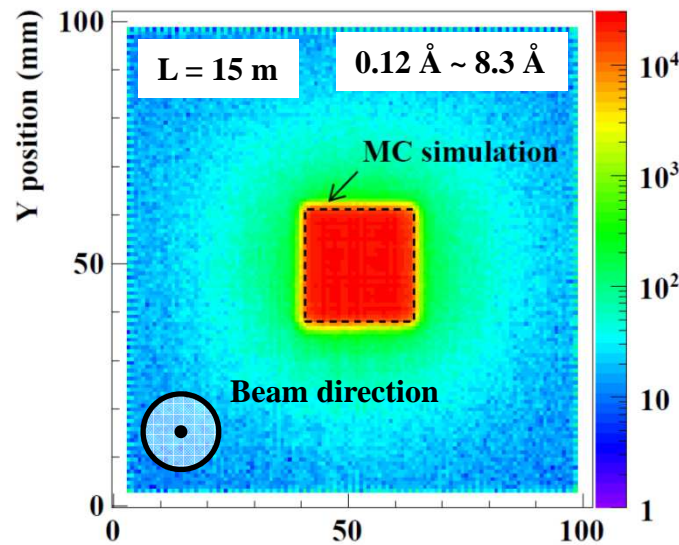


- Gas flow radiation detector that can measure charged particles from a  $n(^{10}\text{B}, \alpha)^7\text{Li}$  nuclear reaction
- Two Gas Electron Multipliers for signal amplification
- Thermal neutron efficiency: 0.5%~5% (depending on  $^{10}\text{B}$  layer thickness)
- Data taking rate: Over 1 MHz (limited by Gigabit Ethernet)
- Minimum time step: 5 ns
- Position resolution:  $\sim 0.85$  mm (FWHM)
- Operation voltage:  $\sim 2.7$  kV (negative)
- Chamber gas: Ar/CO<sub>2</sub> (7:3)
- Active area: 100 mm  $\times$  100 mm
- Readout channels: 120 ch  $\times$  120 ch with a 0.8 mm pitch

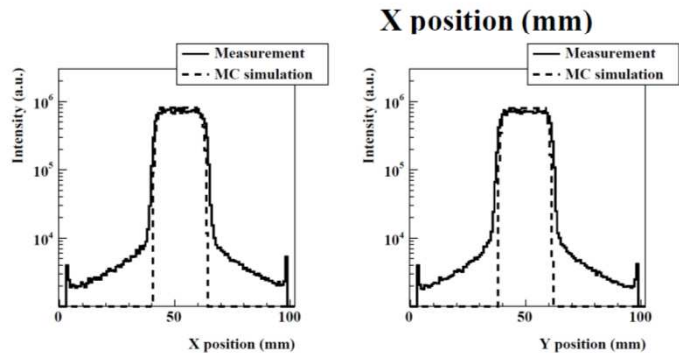


# Beam profile and neutron intensity at NOVA

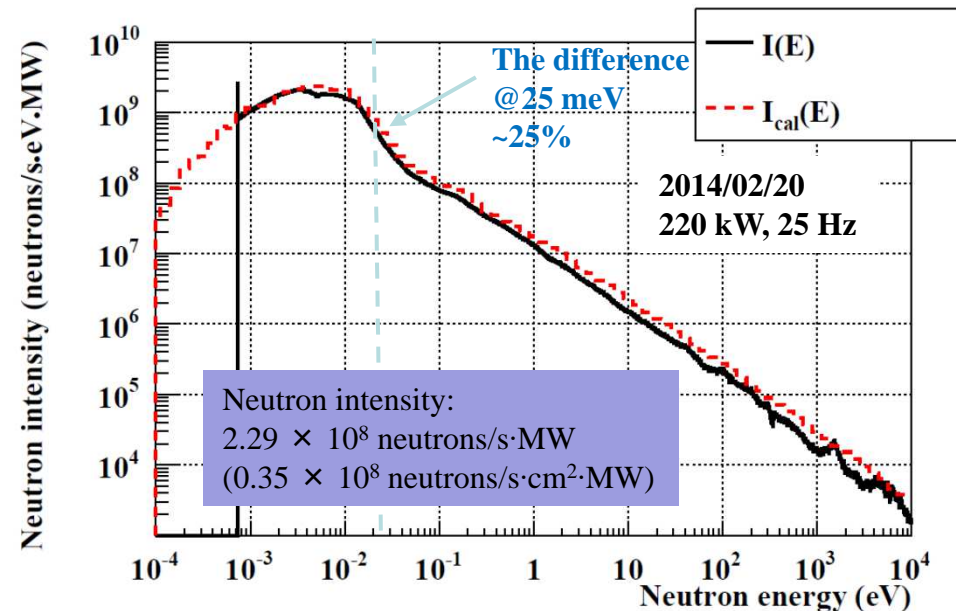
- The beam profile and the neutron intensity in the NOVA sample position
- The experimental results were validated by comparison with Monte Carlo (MC) simulation and calculation results.



- MC simulation with simple considerations of the geometry of the NOVA beam line, no physics reaction
- The neutron intensity at the sample position:
 
$$I(E) = i_{\text{raw}}(E) / \varepsilon(E),$$
 where  $i_{\text{raw}}(E)$ : the raw distribution,  $\varepsilon(E)$ : the neutron efficiency obtained from the Geant4-based simulation
- The calculated neutron intensity:
 
$$I_{\text{cal}}(E) = i_{\text{cal}}(E) \times T_{r \text{ total}}(E) \times k,$$
 where  $i_{\text{cal}}(E)$ : the calculation of the neutron intensity obtained from the JSNS group's study,  $T_{r \text{ total}}(E)$ : the total transmission of the NOVA beam line,  $k$ : other factors such as the type of cooling water and the existence of the muon target



Measurement: 25.6 mm × 25.6 mm  
 MC simulation: 23.2 mm × 23.2 mm



# 各検出器のまとめと将来性

- **$^3\text{He}$ 検出器**は適切な代替が無い。読み出しシステムとしてはNEUNET08やASICアンプで真空内使用も可能。
- **LiTA12システム**は1mmを切るシステムを目指す。10cm角の大型化を図る。反射率系、小角散乱に使えないか。
- **Mpixシステム**は条件付で $^3\text{He}$ 検出器の代替候補になりうる。

	3He-PSD	RPMT	LiTA12	Mpix	n-GEM
中性子検出素材	3Heガス 3He	シンチレータ 6Li-1mm, ZnS-0.4mm	シンチレータ 6Li-2.1x2.1x1mm x 256 / 6Li-1mm, ZnS-0.4mm	シンチレータ ZnS-0.4mm	10B-GEMシート 10B
検出器タイプ モード	ガス - 電荷分割	電荷分割-2次元エンコード	ピクセル - PMT 高計数率 / 排他・重心	ピクセル - MPPC	GEM-2次元エンコード
検出面積	1.3 x 60cm	9cm径	5 x 5cm	32 x 32cm	10 x 10cm
ピクセルサイズ	5mm	0.8mm	3mm / 1.5mm	1cm	1mm
ピクセル数	1x120	~100 x 100	16x16 / 32x32	32 x 32	128 x 128
検出効率	100% (円筒のためもっと減る)	80%, 30%	40% / 80~30%	30%	4%
計数率	10kcps	10kcps	50Mcps / 5Mcps	4~16Mcps	1Mcps
単位面積計数率	130cps/cm <sup>2</sup>	160cps/cm <sup>2</sup>	2Mcps/cm <sup>2</sup> / 200kcps	4k~16kcps/cm <sup>2</sup>	10kcps/cm <sup>2</sup>