

ノックアウト測定のための 高セグメント化中性子検出器

目指している物理

“クラスター”という自由度で原子核を捉え直す

- α クラスターが関わる α 崩壊は原子核物理学の初期より知られていた。

~~古い物理?~~

- “クラスター” = 一般化されたクラスター

軽い核、重い核で顕著なクラスター

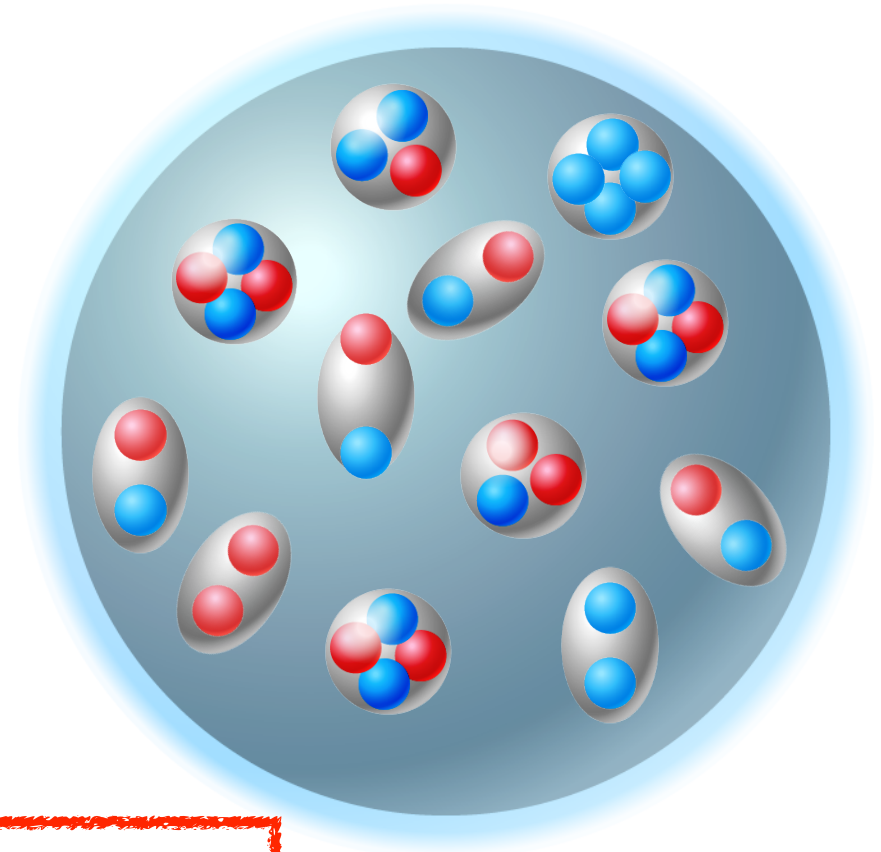
→ あらゆる原子核の構成要素

α クラスター

→ 重陽子、トライトン、 ^3He , α , ...

自明なクラスター(α 粒子が好例)

→ 自由空間では束縛しない粒子(n^2 , pn , n^4 ...)



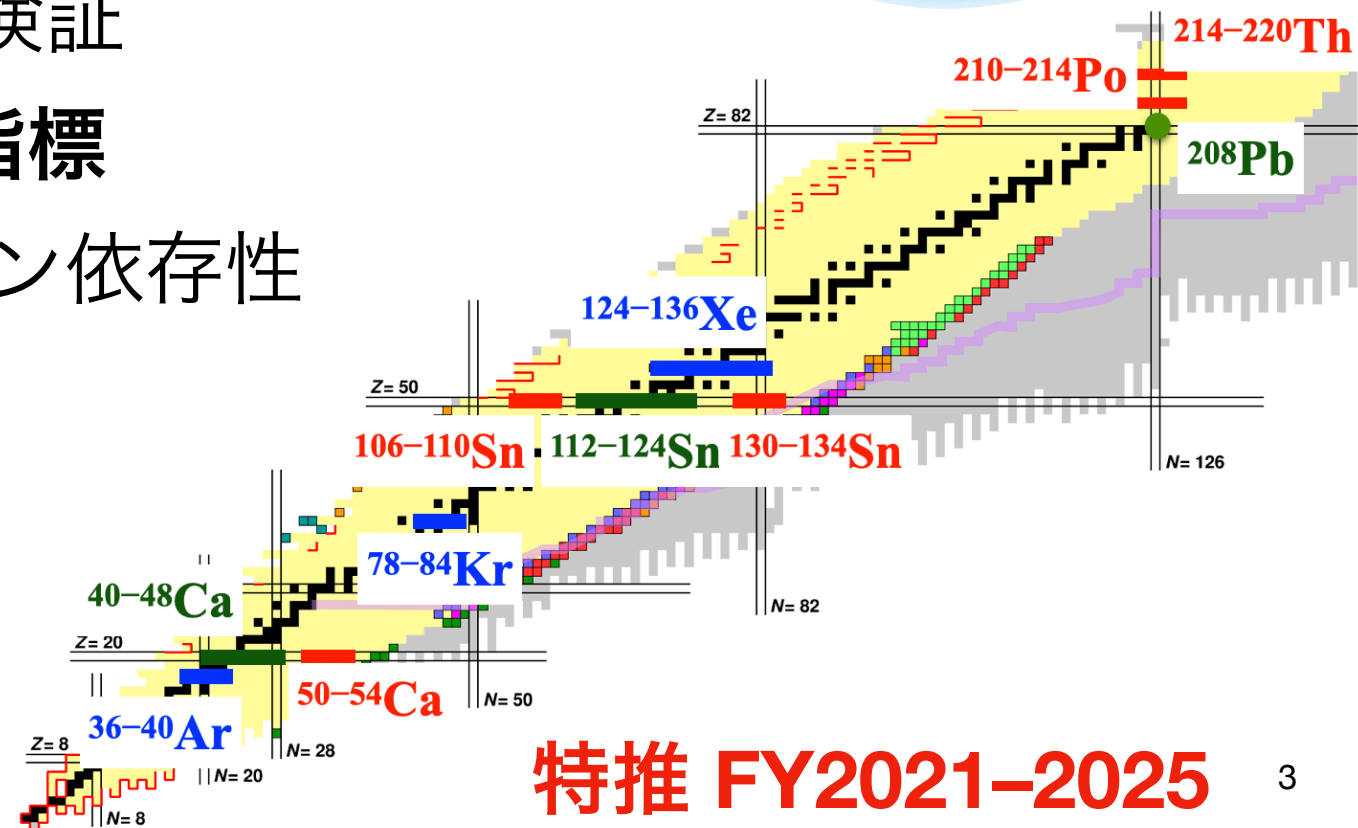
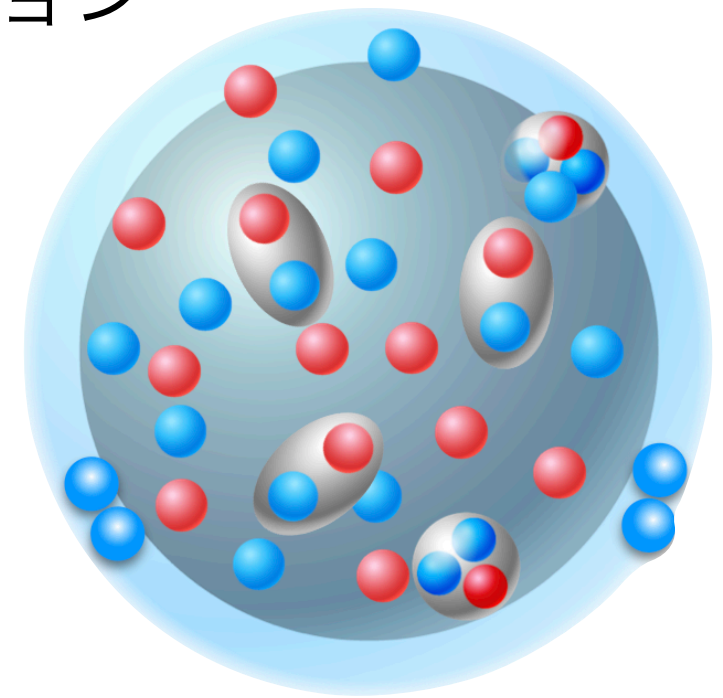
“クラスター”が現れては消えるダイナミクス

おのころプロジェクト ONOKORO

「原子核物質は、一様性・均一性を破る指向を内在しているのか？」

理研上坂研・京大・九大が中心の国際コラボレーション

- 核平均場・核物質中での非一様性（クラスター）
- 局所的なスピン対称性の破れの発現
- その密度・アイソスピン非対称性依存性
- 原子核クラスターの相対存在比、同位体依存性
 - α ... 錫で発見した α 崩壊仮説検証
 - 重陽子 ... テンソル力相関の指標
 - $t, {}^3\text{He}$... 正反対のアイソスピン依存性
- 重い原子核に対する系統的研究
 - クラスターノックアウト反応
 - 陽子弾性散乱

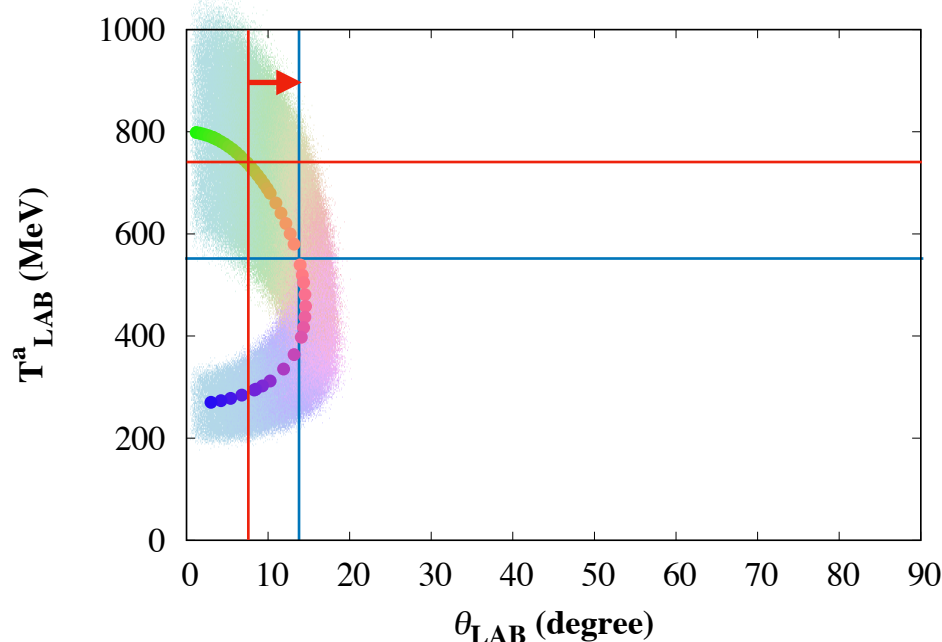
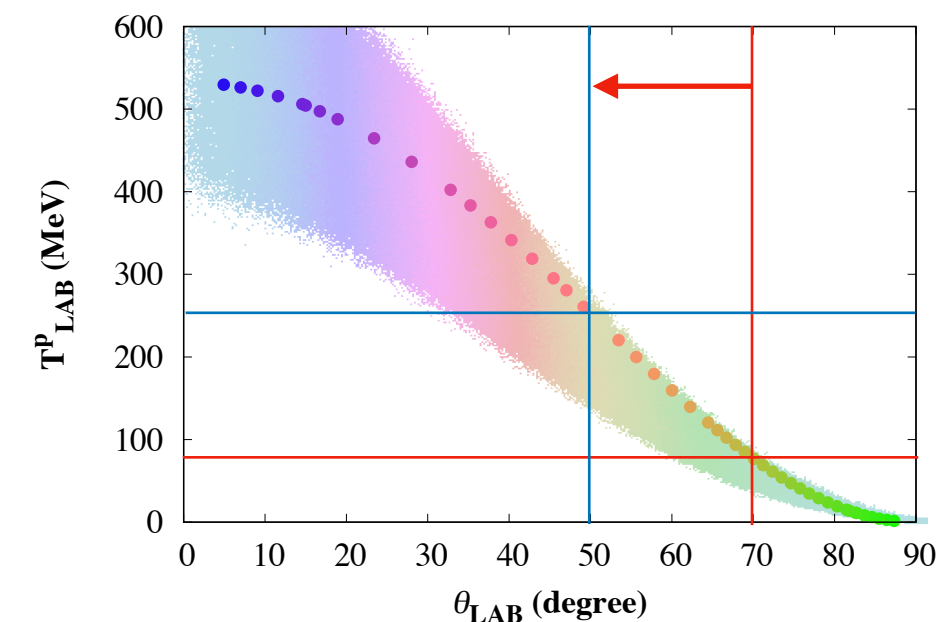


特推 FY2021-2025

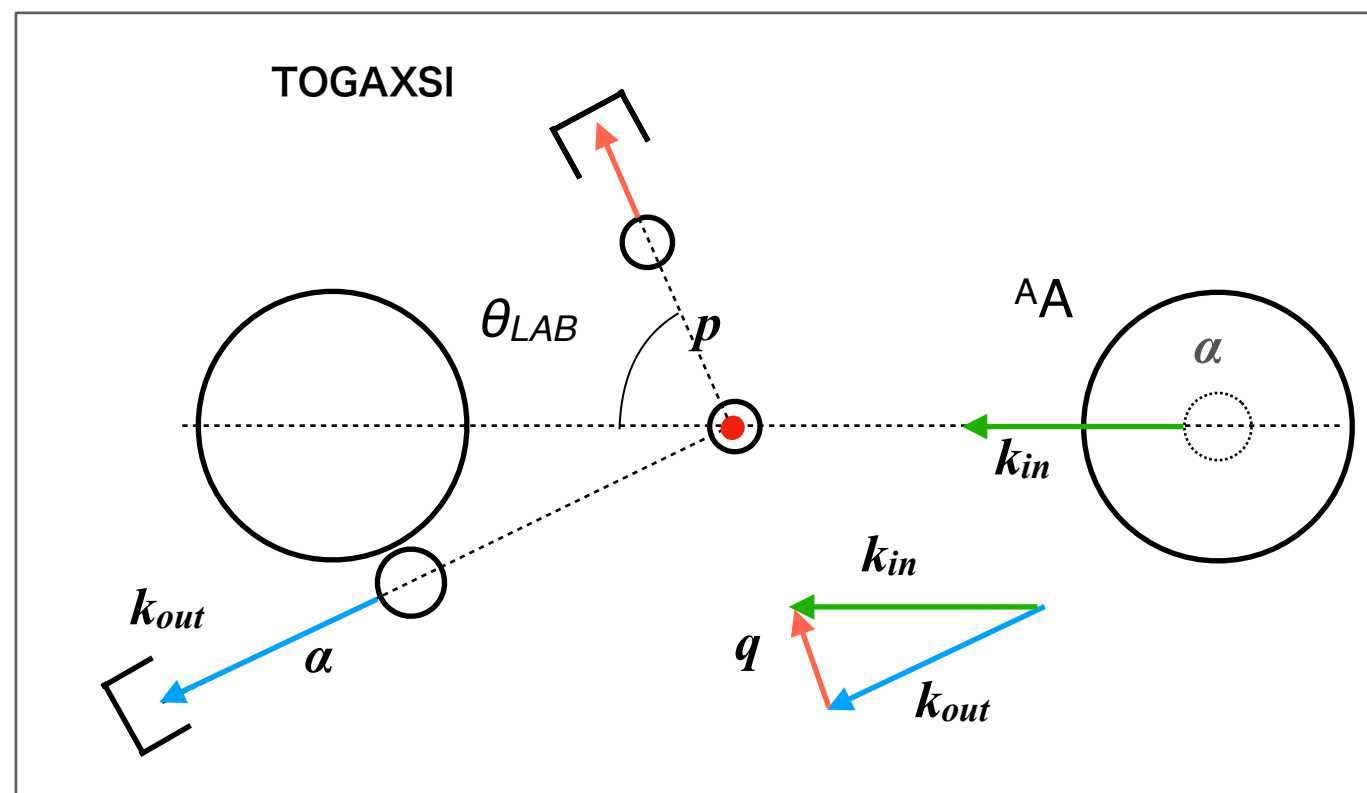
(p,pa) kinematics

200 MeV p- α free scattering

G. A. Moss *et al.*, Phys. Rev. C **21** 1932 (1980)



Proton 50°(250 MeV) –70°(80 MeV)



Alpha 8°(720 MeV) –14°(550 MeV)
(180 AMeV) (137 AMeV)

Fermi motion of the clusters broaden the spectra

(p,pX)の運動学のまとめ

もちろん詳細にはクラスターの
核内運動量も考慮する必要あり



	反跳陽子		クラスター	
	エネルギー (MeV)	LAB角度 (deg)	エネルギー (AMeV)	LAB角度 (deg)
(p,pd)	80-250	36-63	75-160	17-30
(p,p ³ He)	80-200	52-68	134-174	12-17
(p,pt)	80-200	52-68	134-174	12-17
(p,pa)	100-250	50-67	137-180	8-14
Total	80-250	36-68	-	8-30

陽子のエネルギーレンジ

陽子の角度レンジ

クラスターの角度レンジ

クラスターのエネルギーレンジ

陽子とクラスターは
別角度で別の検出器で良い

Proton

Energy [MeV]	Range for GAGG [mm]
100	18.4
150	37.2
200	60.7
250	88.1
300	119.0

Deuteron

Energy [A MeV]	Range for GAGG [mm]
100	36.9
120	50.6
140	66.1
160	83.1
180	101.5

Triton

Energy [A MeV]	Range for GAGG [mm]
100	55.4
125	81.6
150	111.7
175	145.4
200	182.3

³He

Energy [A MeV]	Range for GAGG [mm]
100	13.8
125	20.4
150	27.9
175	36.3
200	45.5

Alpha

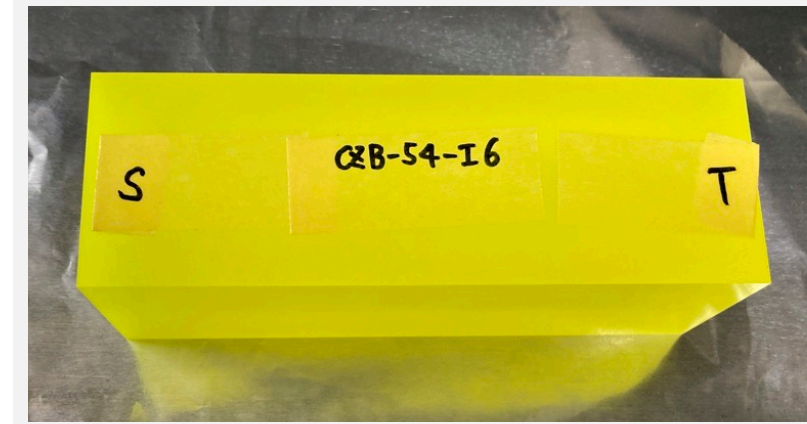
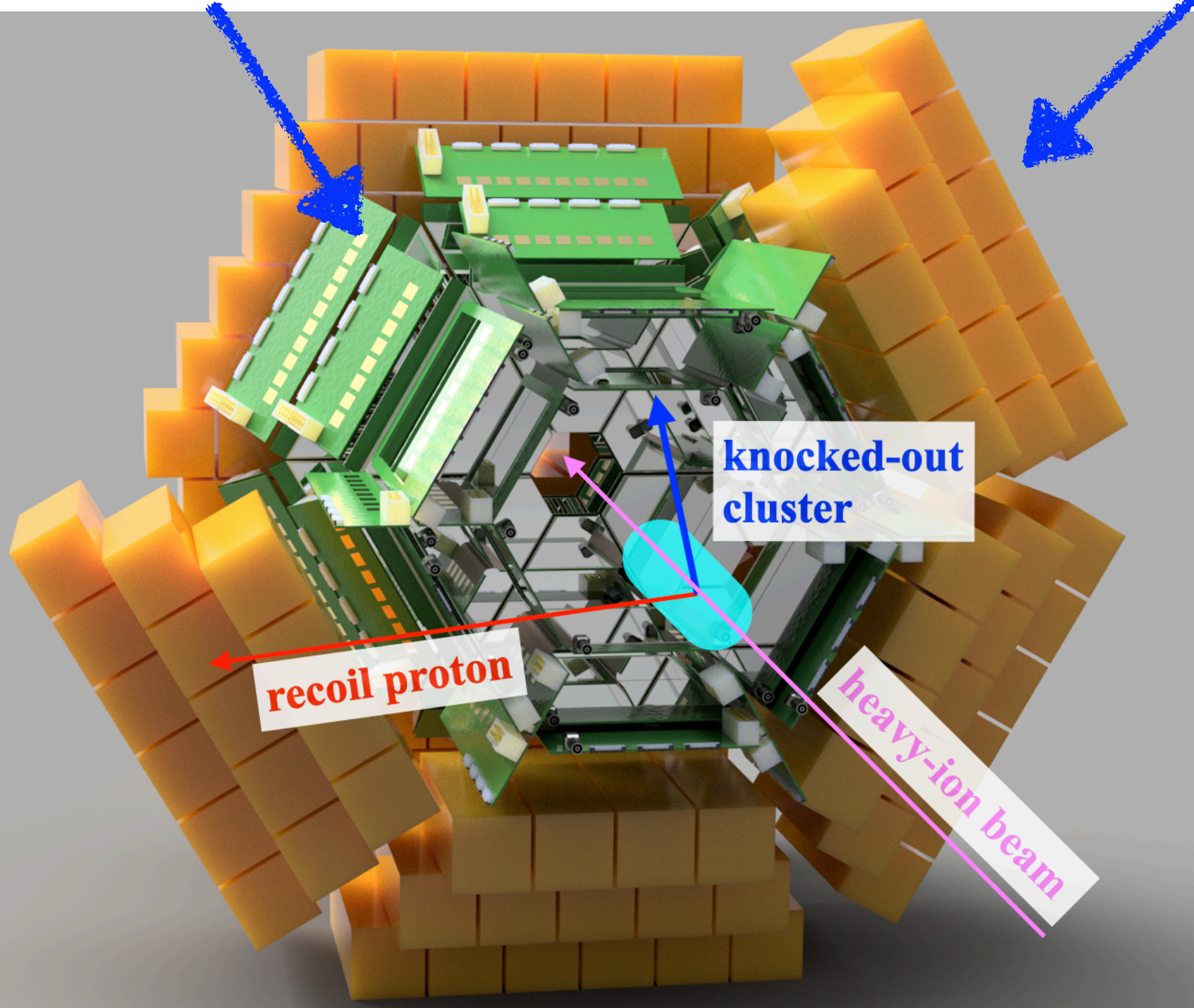
Energy [A MeV]	Range for GAGG [mm]
100	18.5
125	27.3
150	37.3
175	48.6
200	60.9

TOGAXSI検出器

逆運動学ノックアウト測定用アレイ

トラッカー：Si 100 μ m厚, 100 μ mストリップ

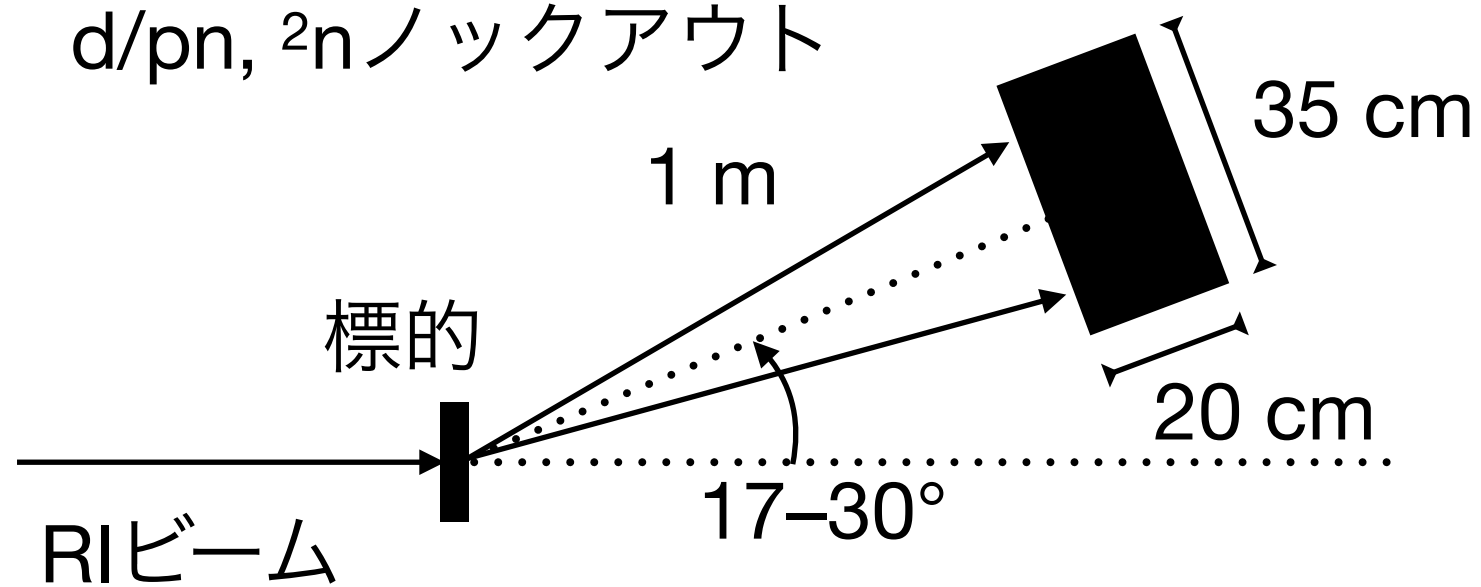
カロリメータ: GAGG
35 x 35 x 120 (mm)



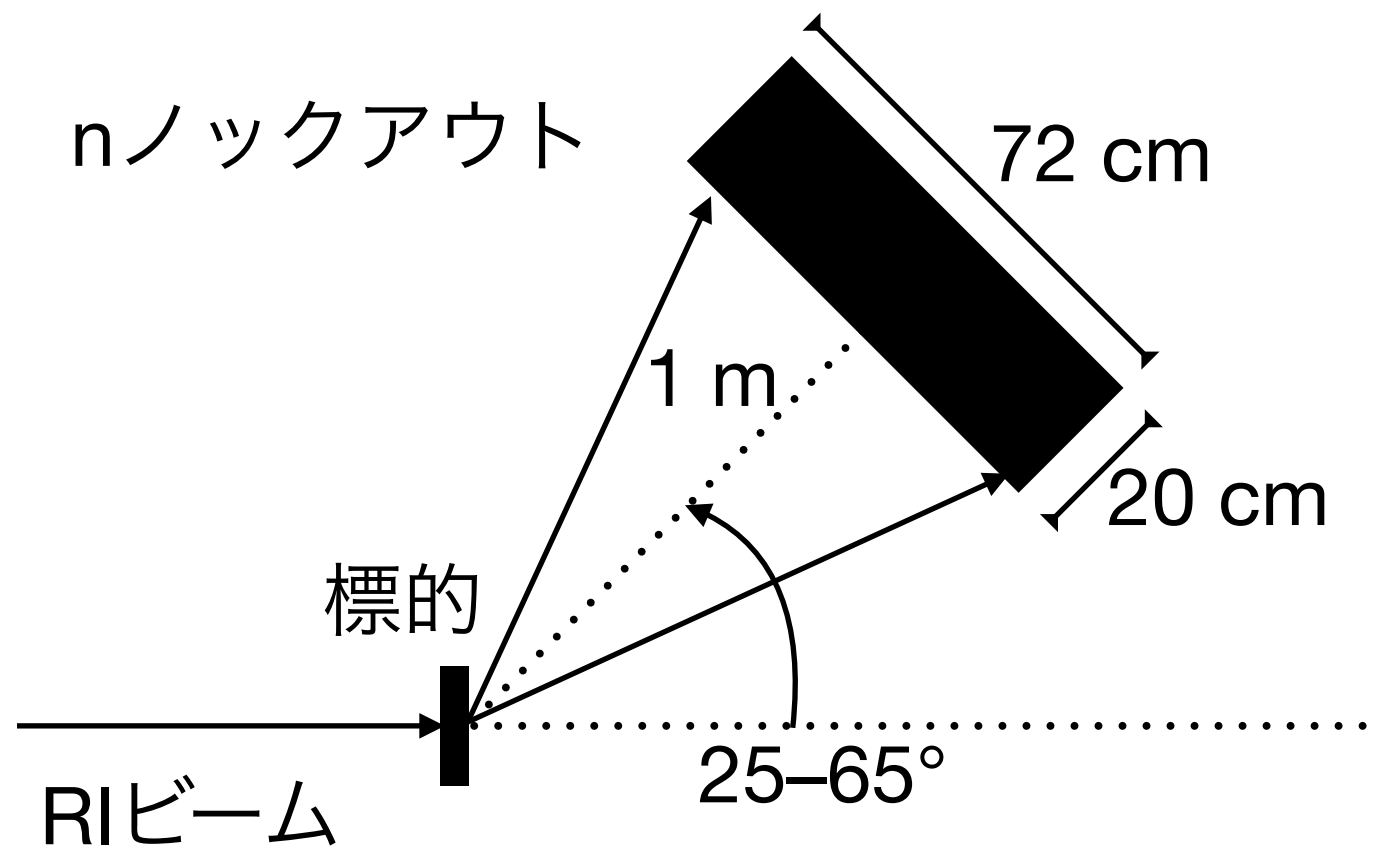
中性子は検出できない
→ 中性子検出器

検出器のサイズ

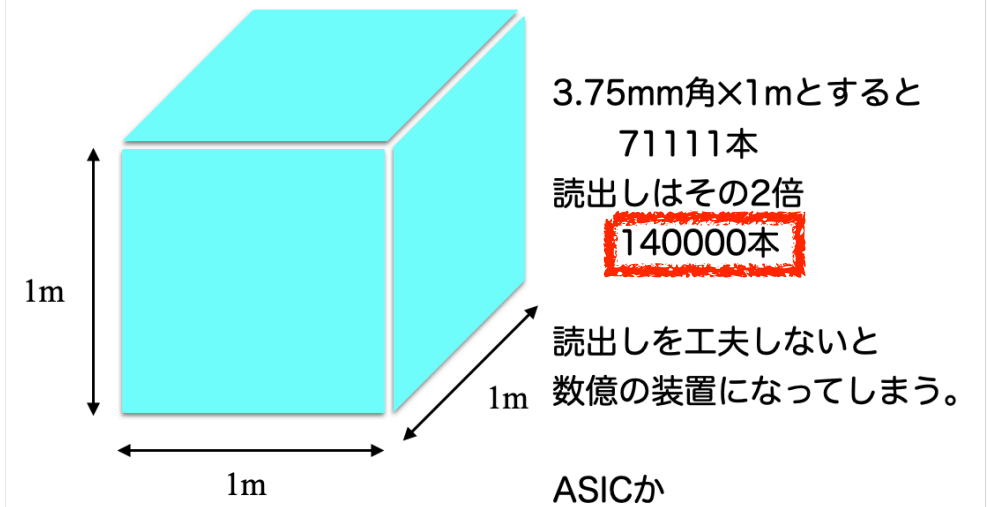
d/pn, 2nノックアウト



nノックアウト



最終的な姿



チャンネル数
5000~8000

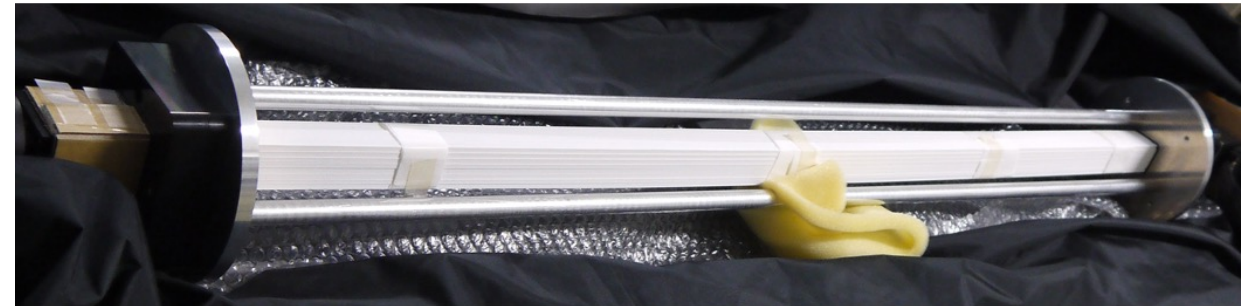
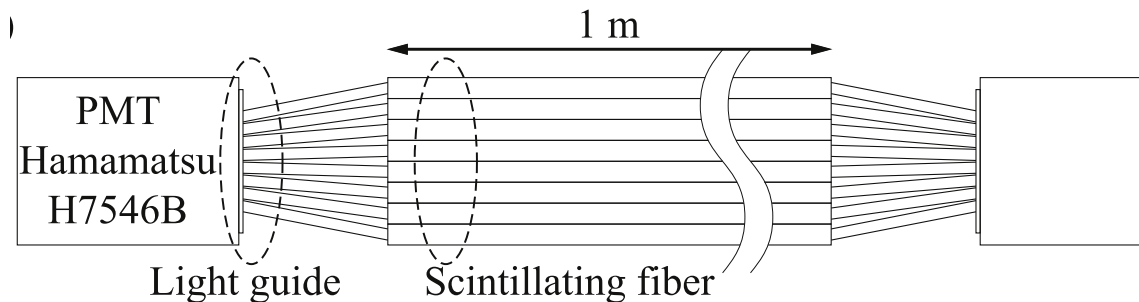
チャンネル数
10000~16000

中性子検出器のプロトタイプ

ファイバーシンチレータとPMT

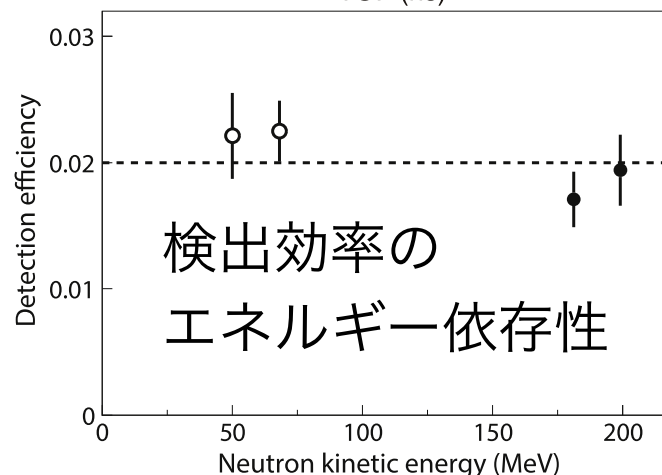
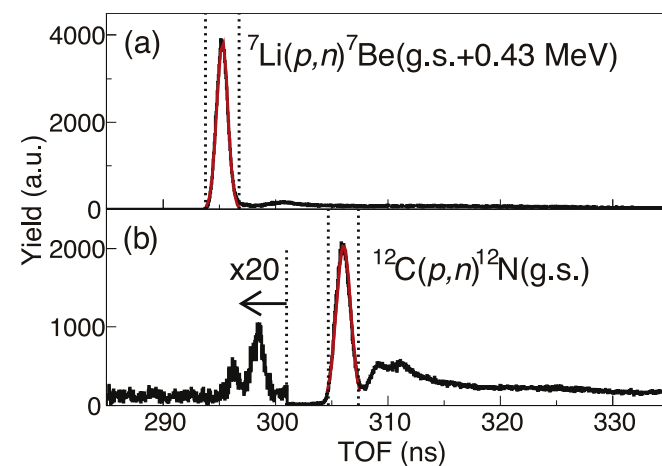
Y. Kubota et al., NIM A 914

- ノックアウト測定では数mmの位置分解能の中性子検出器が必要



- 東北大学CYRIC、阪大RCNPでの陽子・中性子ビームを用いた性能評価

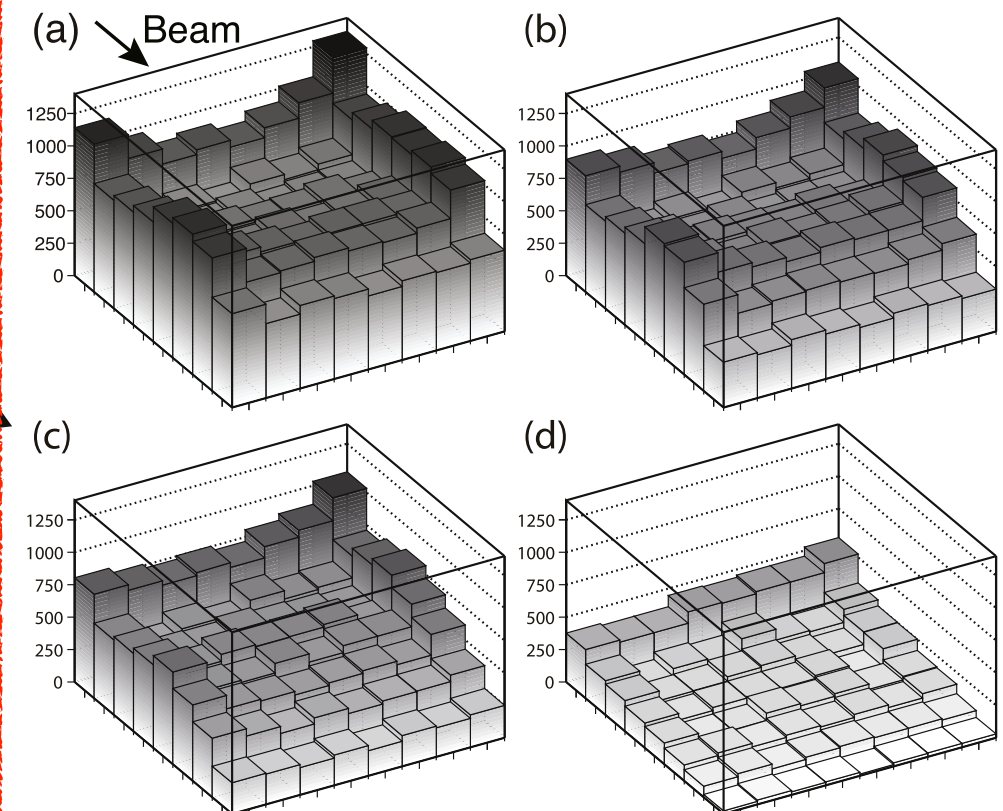
中性子TOFスペクトル



ヒットパターンの例

	n							
	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	2.	1.	333.	4.	1.	0.	0.	0.
	2.	283.	107.	1.	0.	0.	0.	0.
	8.	480.	11.	2.	0.	0.	0.	0.
	9.	431.	4.	1.	0.	0.	0.	0.
	620.	8.	1.	0.	0.	0.	0.	0.
	469.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
p	0.	4.	0.	1.	0.	0.	0.	0.

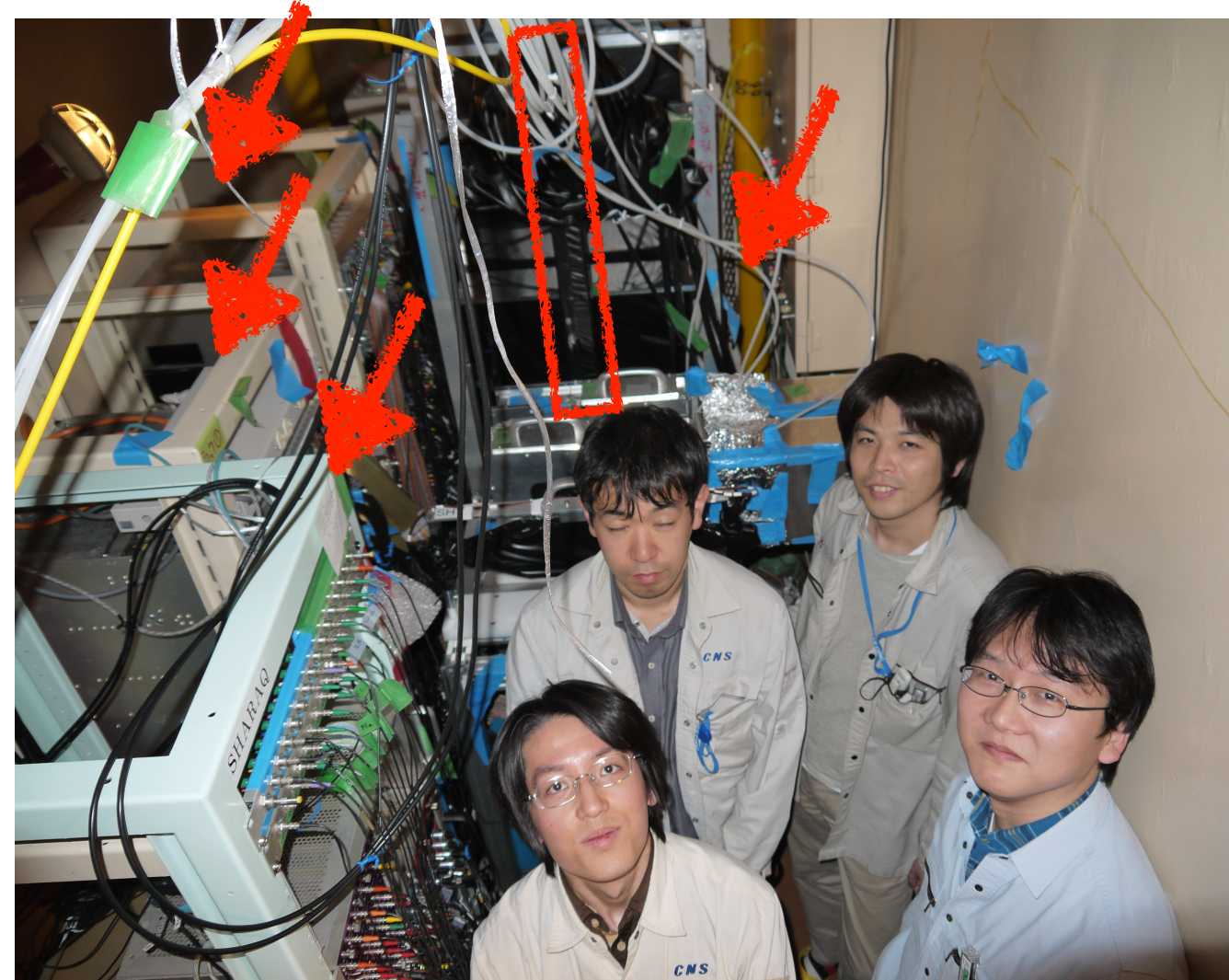
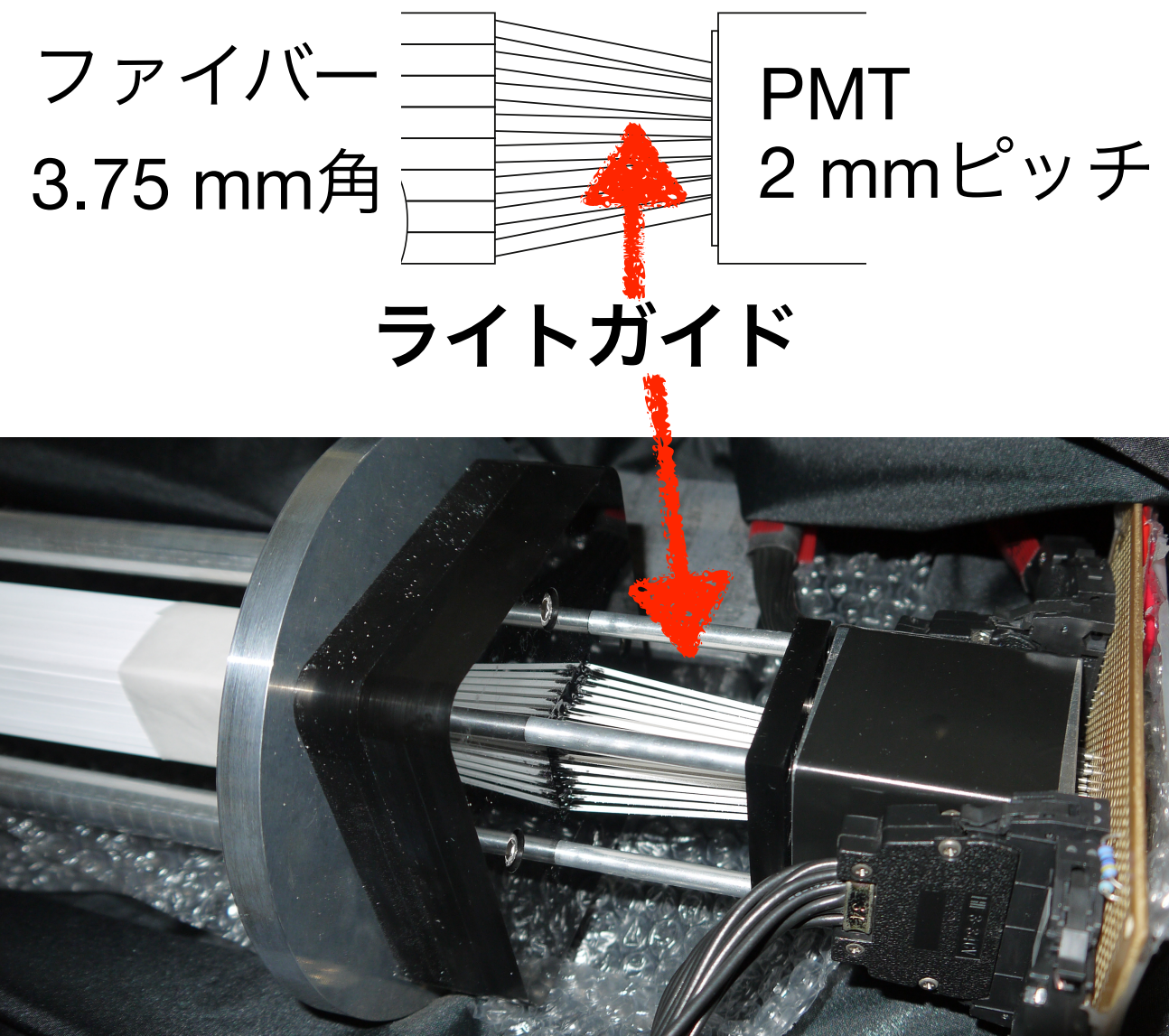
中性子検出位置 (荷電粒子の効果)



大規模化に向けた課題

シンチ・光検出器間のミスマッチ

読み出し回路の高集積化



3 cm x 3 cm x 1 m 128chの検出器に
19"ラック3+台

- クロストーク
- トランスミッション<50%

- 関屋さん開発の読み出し回路

→ マッチング・開口率の良いMPPCに

→ • GIS-MPPC

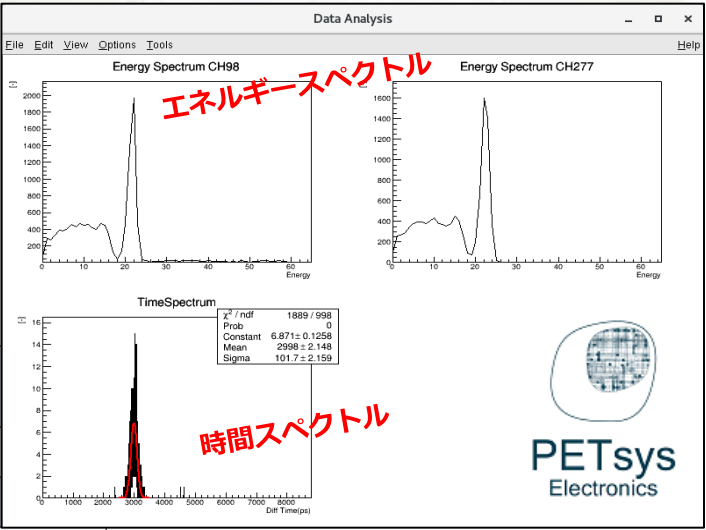
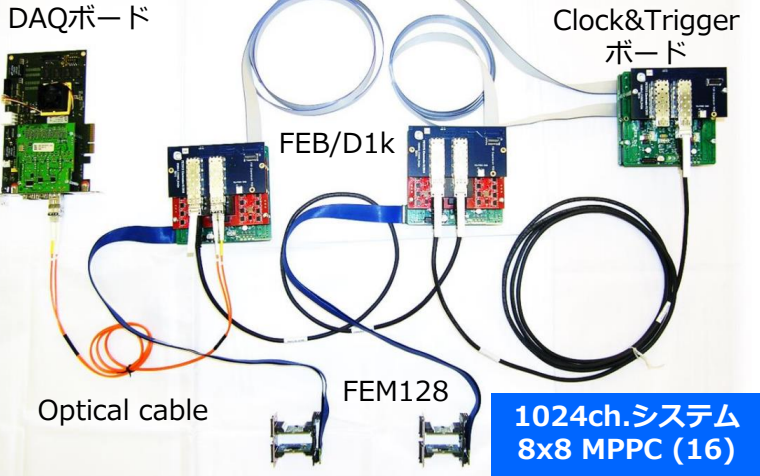
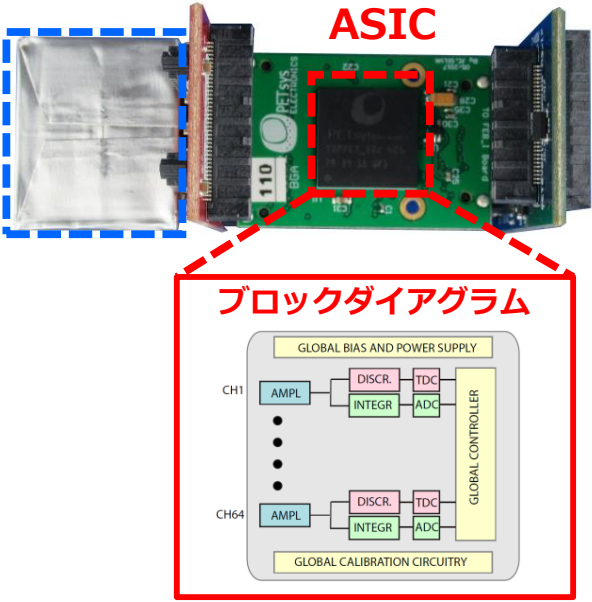
低コスト・多チャンネル・省スペース

MPPCアレイ読み出し用のASICチップには64ch.のDISCRI、QDC、TDCを搭載し、最大491,520ch.のイメージングシステムを構築することが可能です。極めて高い時間分解能と高計数率特性、圧倒的なコストパフォーマンスで高エネルギー物理、天体物理、核医学、物質生命科学、非破壊検査等のあらゆるアプリケーションにイノベーションをもたらします。

温度補償
プログラム内蔵

シンチレータ + MPPC (8x8)

※シンチレータは変更可能です。



システム構成例

光半導体素子 MPPC	浜松ホトニクス社製 8x8アレイ S13361-350Ax-08
シンチレータ	LYSO 3 x 3 x 20 mm ²
線源	²² Na
ASIC	PETsys Electronics社製TOFPET2 ASIC
オペレーティング システム	Linux CentOS 7 画像解像度：HD (1366 x 768) 以上推奨
データ収集 ソフトウェア	プラットフォーム：Python、C++ サンプルソースコード提供可能
計測モード	QDCモード TOTモード選択によるリストデータ出力
通信I/F	イーサネット TCP/IP 1000Base-T 最大出力データレート：3.2Gb/s
消費電力	+12V、最大4.0A

最大 491,520 CH
システム構築可能

弊社は国内で唯一PETsys Electronics社製品を販売できる会社として独占契約を結ぶことができ低コスト、多チャンネル、省スペースで計測システムを構築されたい方にこの製品をご紹介します。

※写真はイメージです。
※記載内容は予告なく変更することがあります。

- 64ch MPPCの読み出し
- 受光面 3 mm x 3 mm

#ch	価格	kJPY/ch
256	296万円	11
640	481万円	7.5
1280	732万円	5.7

