

宇宙暗黒物質探索用 NaI(Tl) シンチレータの単色中性子を用いた消光因子測定

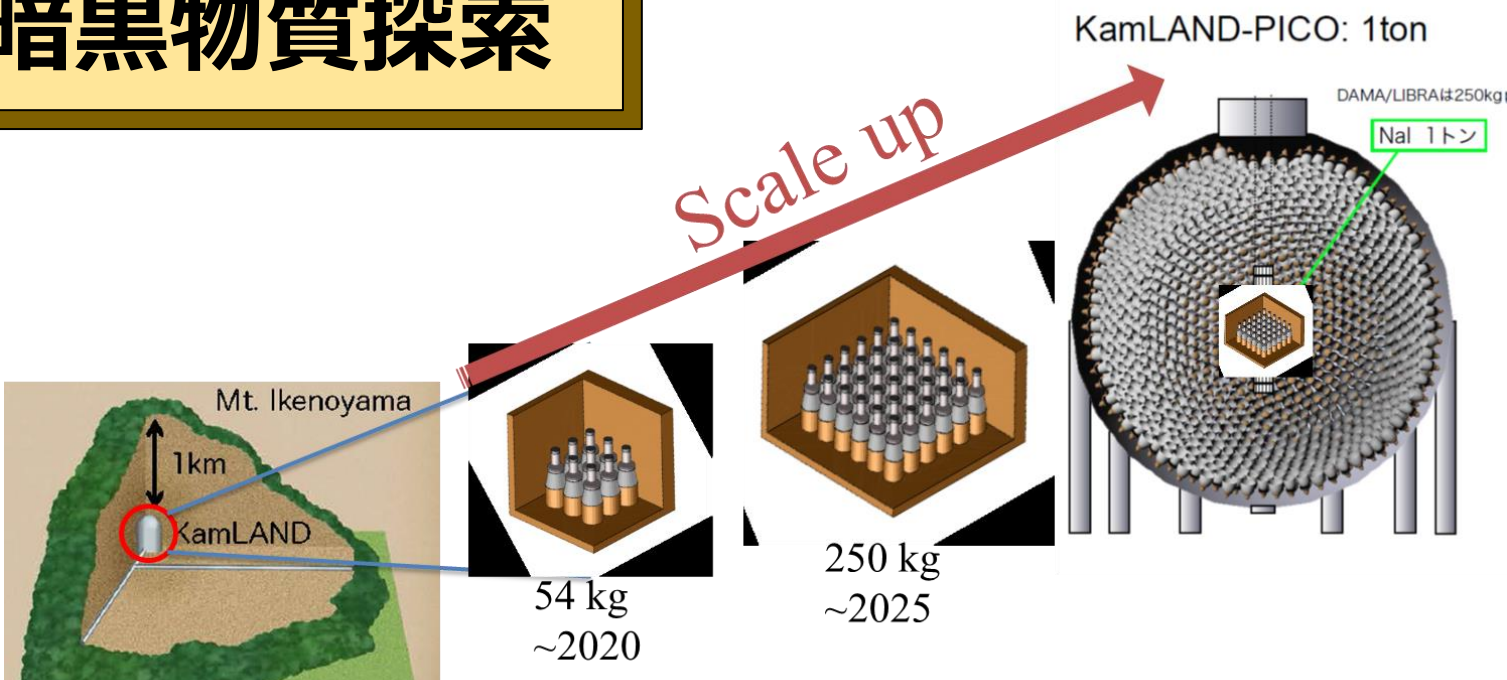


浦野雄介^A, 畑和実^B, 折戸玲子^A, 黒澤俊介^C, 伏見賢一^A, 小西哲之^D, Bakr Mahmoud^D, 向井啓祐^D 徳島大理工^A, 東北大RCNS^B, 東北大NICHe/金研^C, 京大エネルギー理工学研究所^D

極低放射能 NaI(Tl) による宇宙暗黒物質探索

PICOLON プロジェクト

超高純度の NaI(Tl) シンチレータを開発し、神岡鉱山内の施設にて WIMPs を探索 [1]

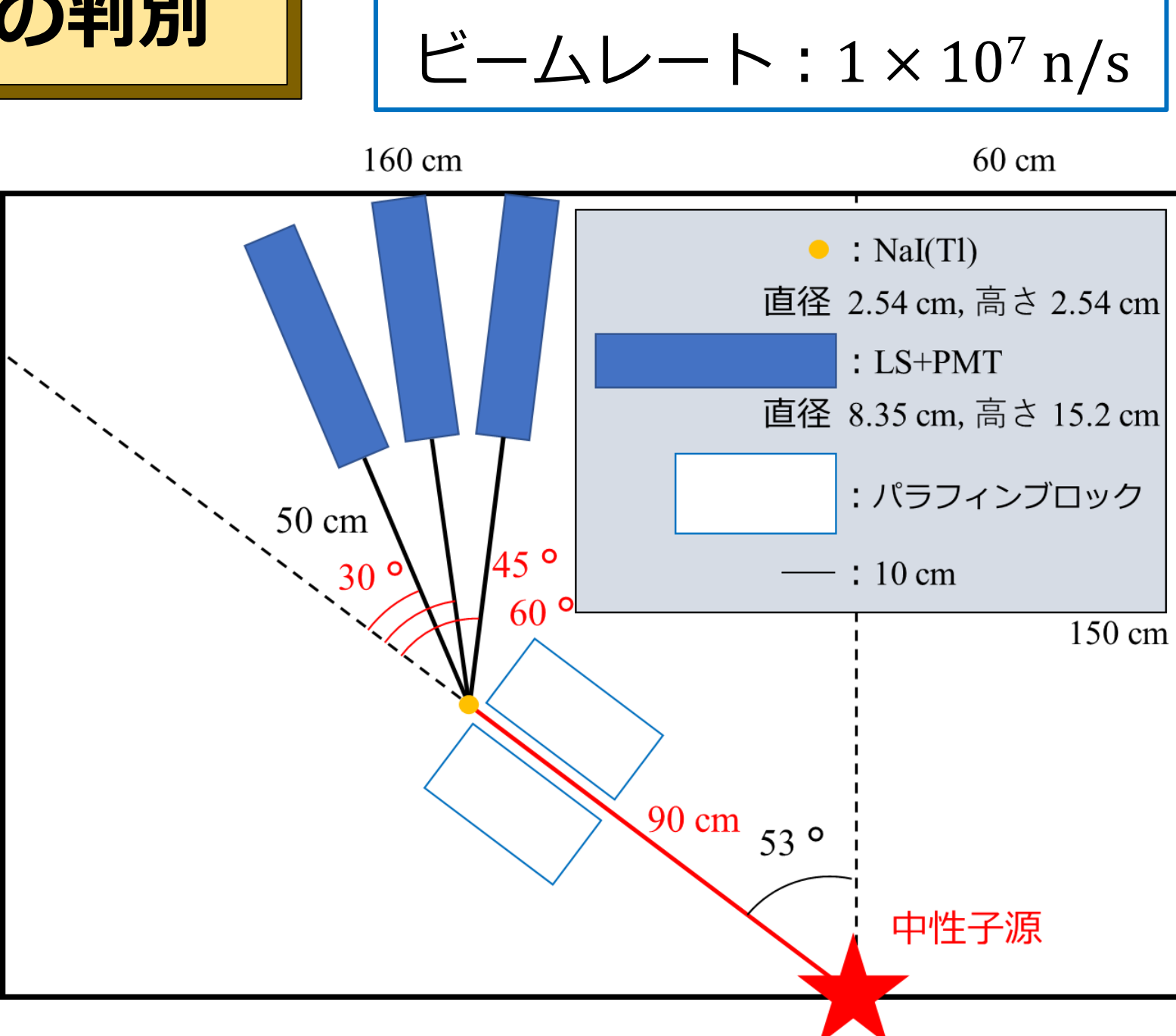
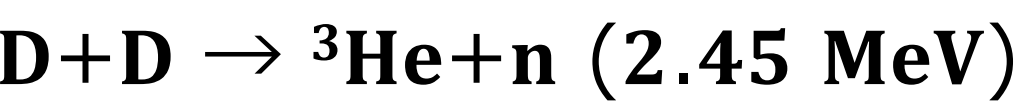


[1] K. Fushimi et al., Journal of Physics: Conference Series, Volume 1468, 012057, 2020

WIMPs 探索では、NaI(Tl) シンチレータに WIMPs が入射し原子核反跳が起きた際のシンチレータの消光因子 (Quenching Factor : QF) が必須
先行研究では、低エネルギー側の消光因子の報告値に不定性有
➔ PICOLON で製作した NaI(Tl) シンチレータの消光因子を測定

実験セットアップと入射粒子の判別

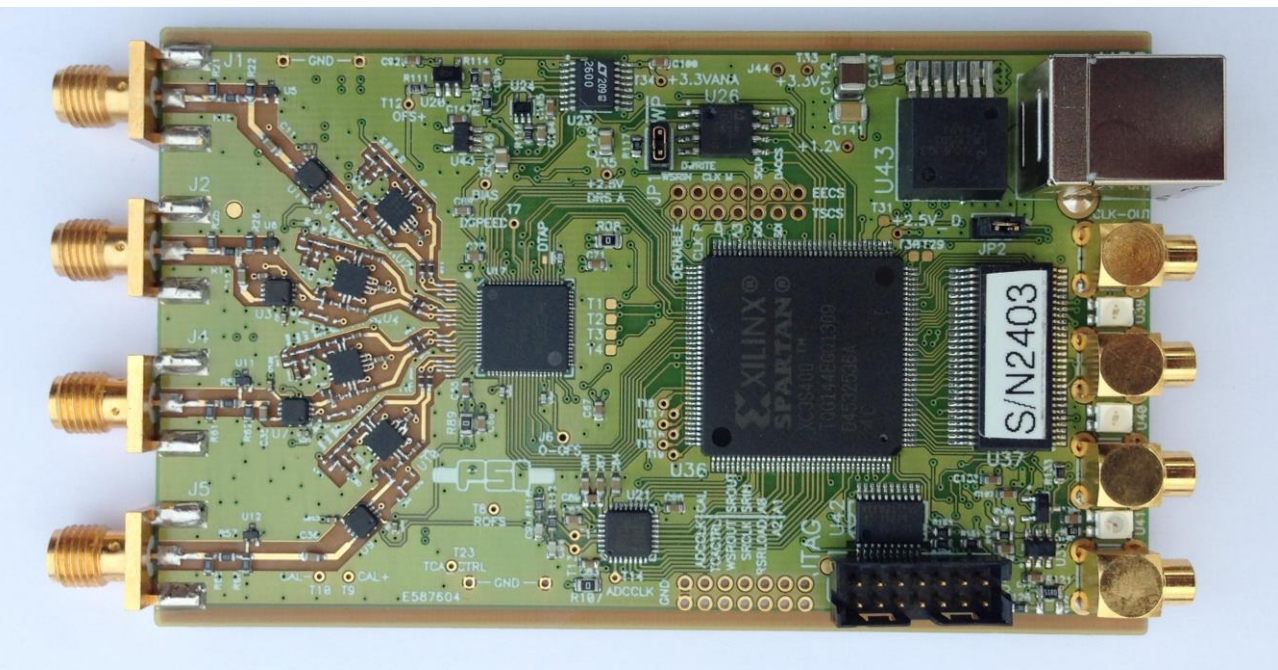
小型 D-D 核融合中性子源



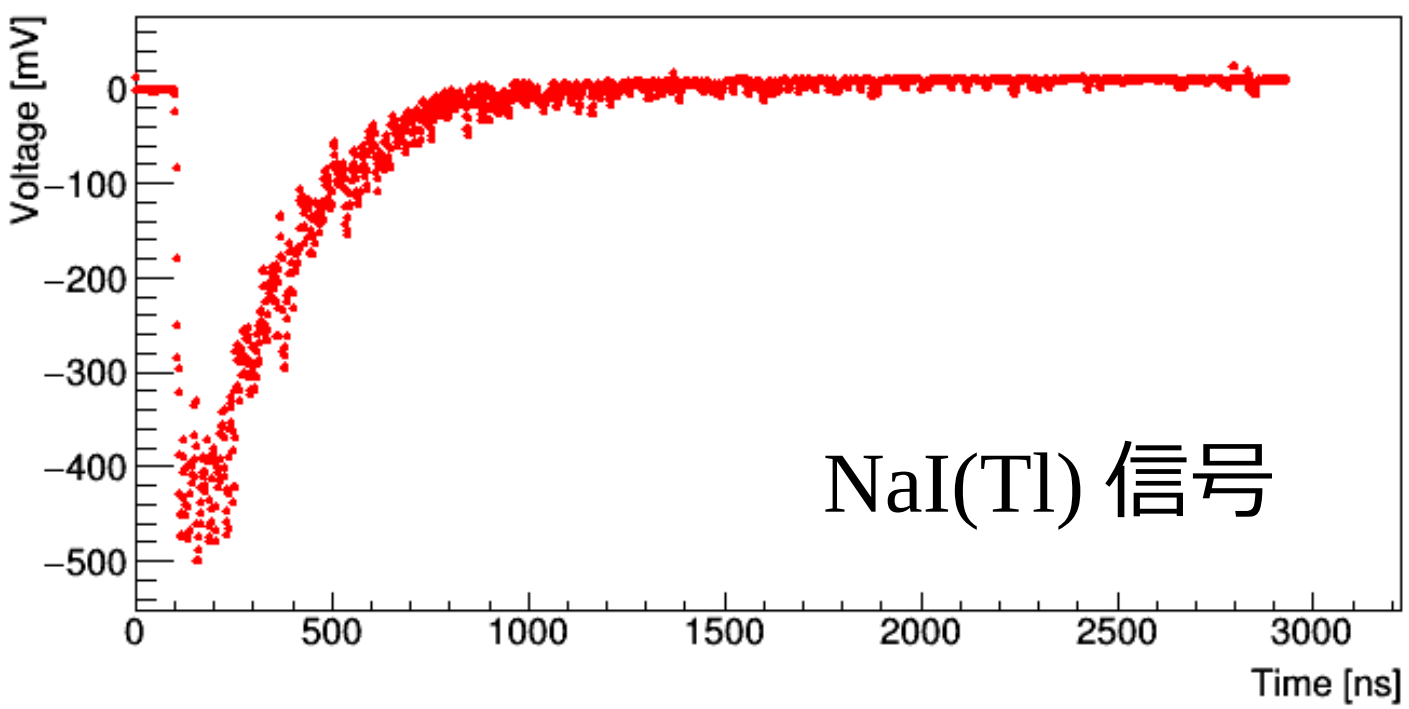
実験日 2020/11/10-12 京都大学エネルギー理工学研究所

波形弁別法 (Pulse Shape Discrimination : PSD) と中性子飛行時間 (Time of Flight : TOF) を組み合わせることにより、バックグラウンドを除去

データ収集システムと測定回路



[2] <https://www.psi.ch/drs/drs-chip>



取得波形例

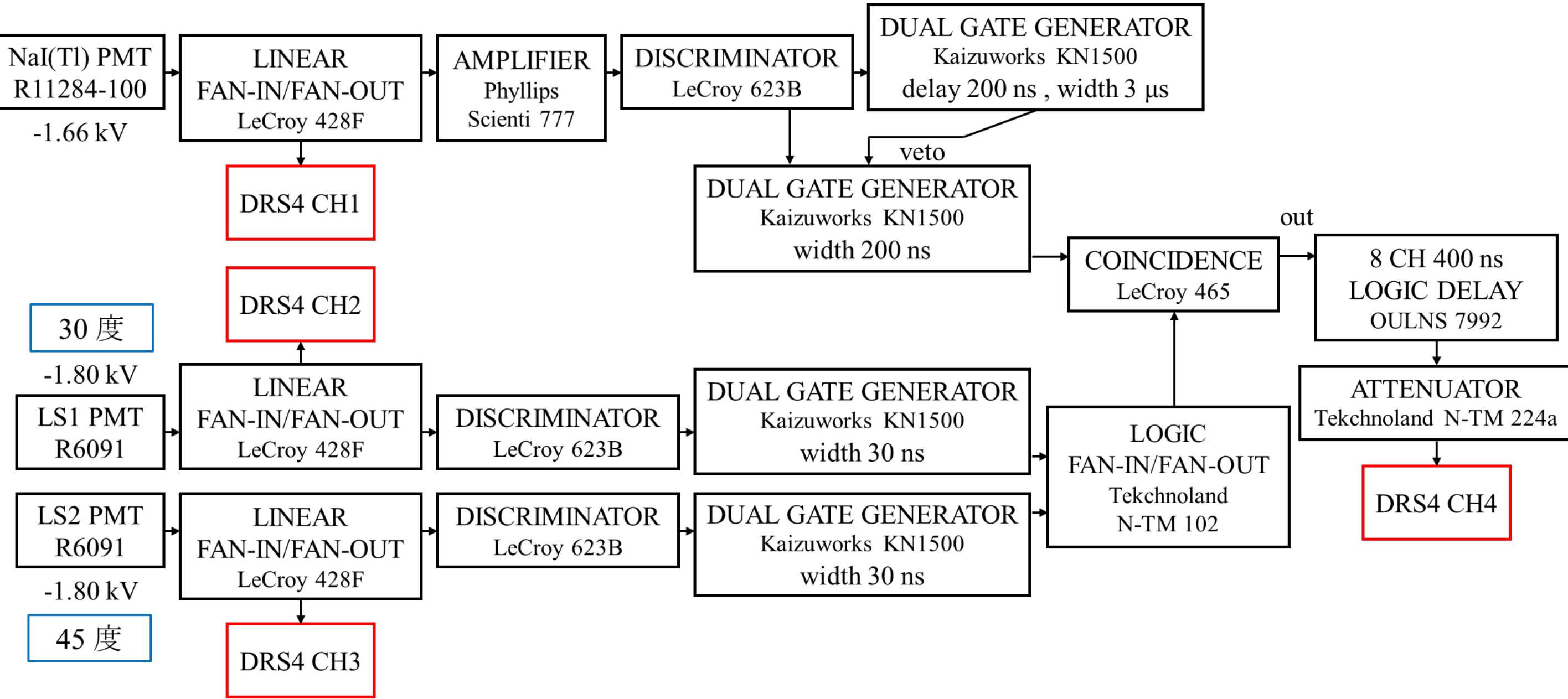
DRS4 (Domino-Ring-Sampler 4) [2]

➔ 高速信号の波形記録が可能

サンプリング速度: 700 MHz

2.9 μs の間に 2048 点プロット

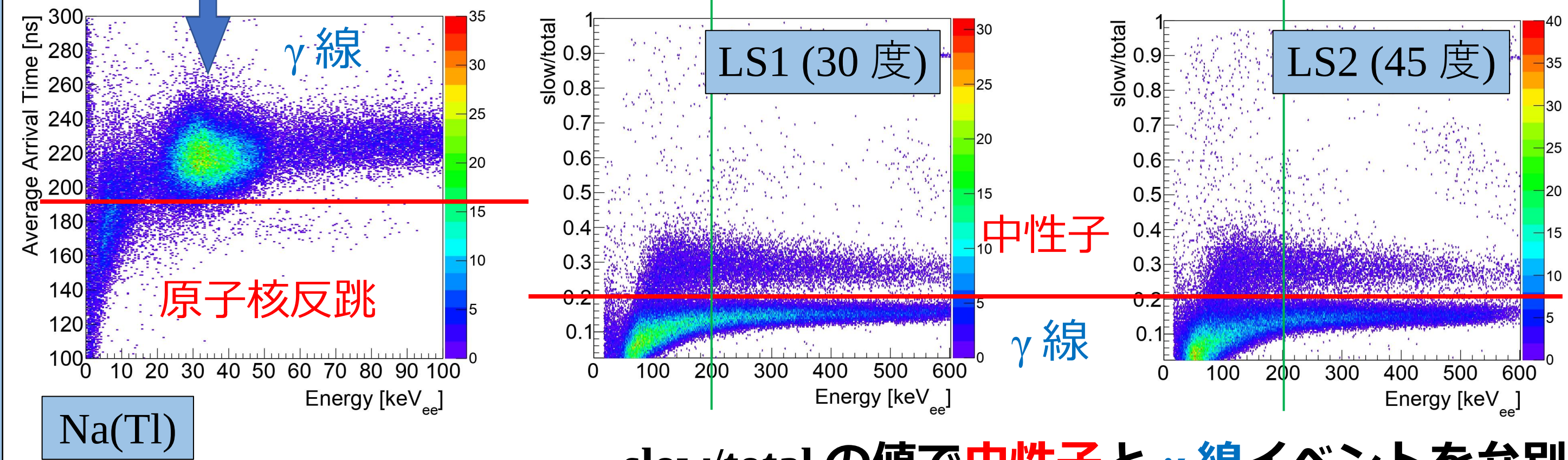
測定回路



PSD 測定

放射化による¹²⁸Iの
特性 X 線 (31.8 keV)

LS : 液体シンチレータ



slow/total の値で中性子と γ 線イベントを弁別

$$\langle t \rangle = \frac{\sum_{i=0}^{2047} t_i a_i}{\sum_{i=0}^{2047} a_i}$$

a_i : Voltage [mV]
 t_i : Time [ns]

原子核反跳 : ~ 180 ns

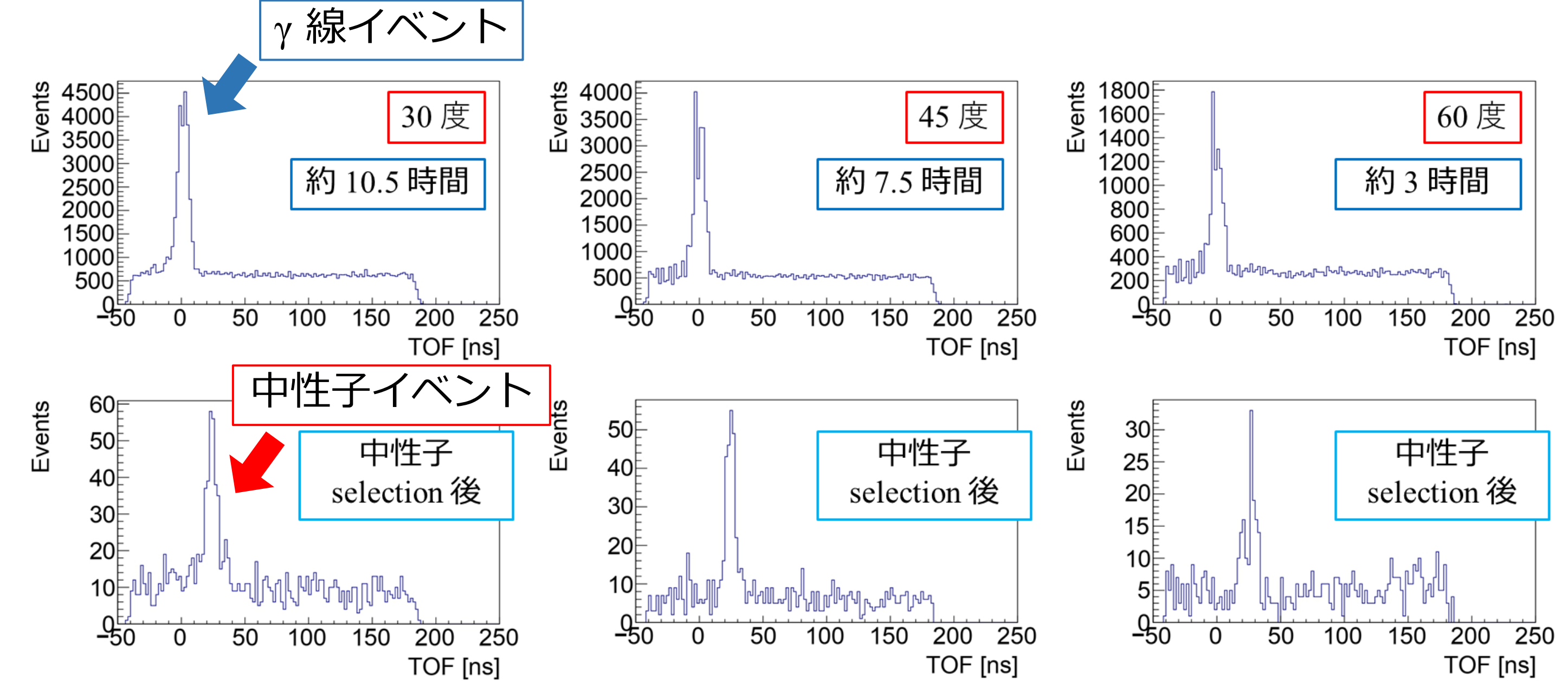
電子反跳 : ~ 230 ns

光子の平均到着時間分布の違いから波形弁別 (PSD)

TOF 測定

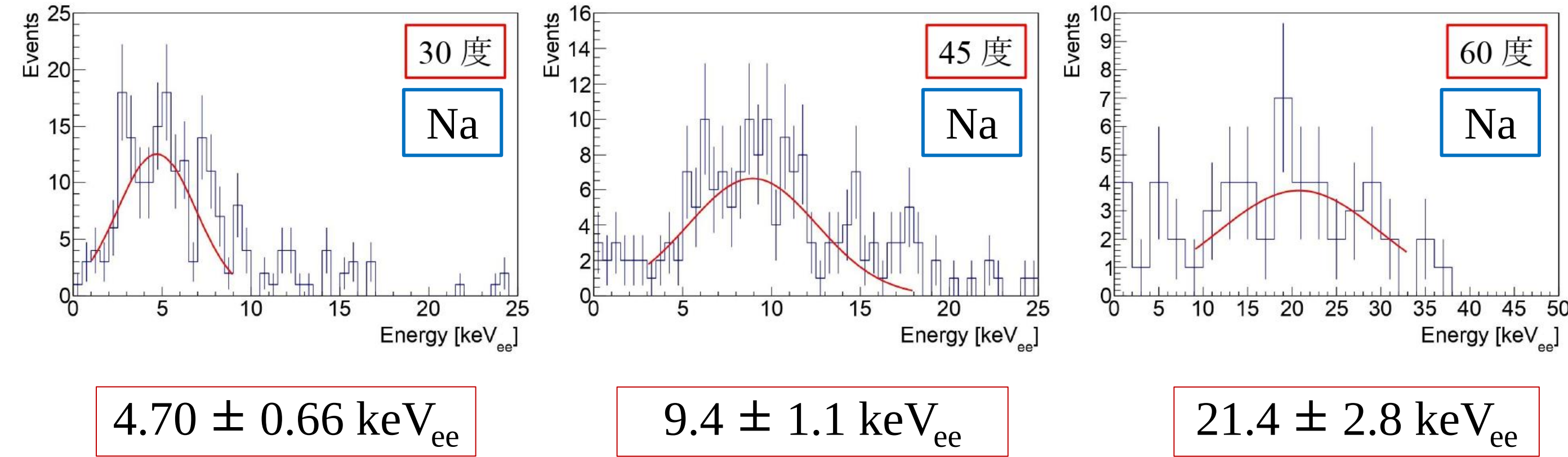
※ m_n : 中性子の質量, L : NaI (Tl)とLSの距離, E : 中性子のエネルギー

γ 線 : 光子なので光速で飛行 $\Delta T_\gamma = 1.7 \text{ ns} @ L = 50 \text{ cm}$
中性子 : $E = \frac{1}{2} m_n \left(\frac{L}{T}\right)^2 \rightarrow \Delta T_n \sim 23 \text{ ns} @ L = 50 \text{ cm}$



原子核反跳エネルギースペクトル

中性子選別およびTOF選別後

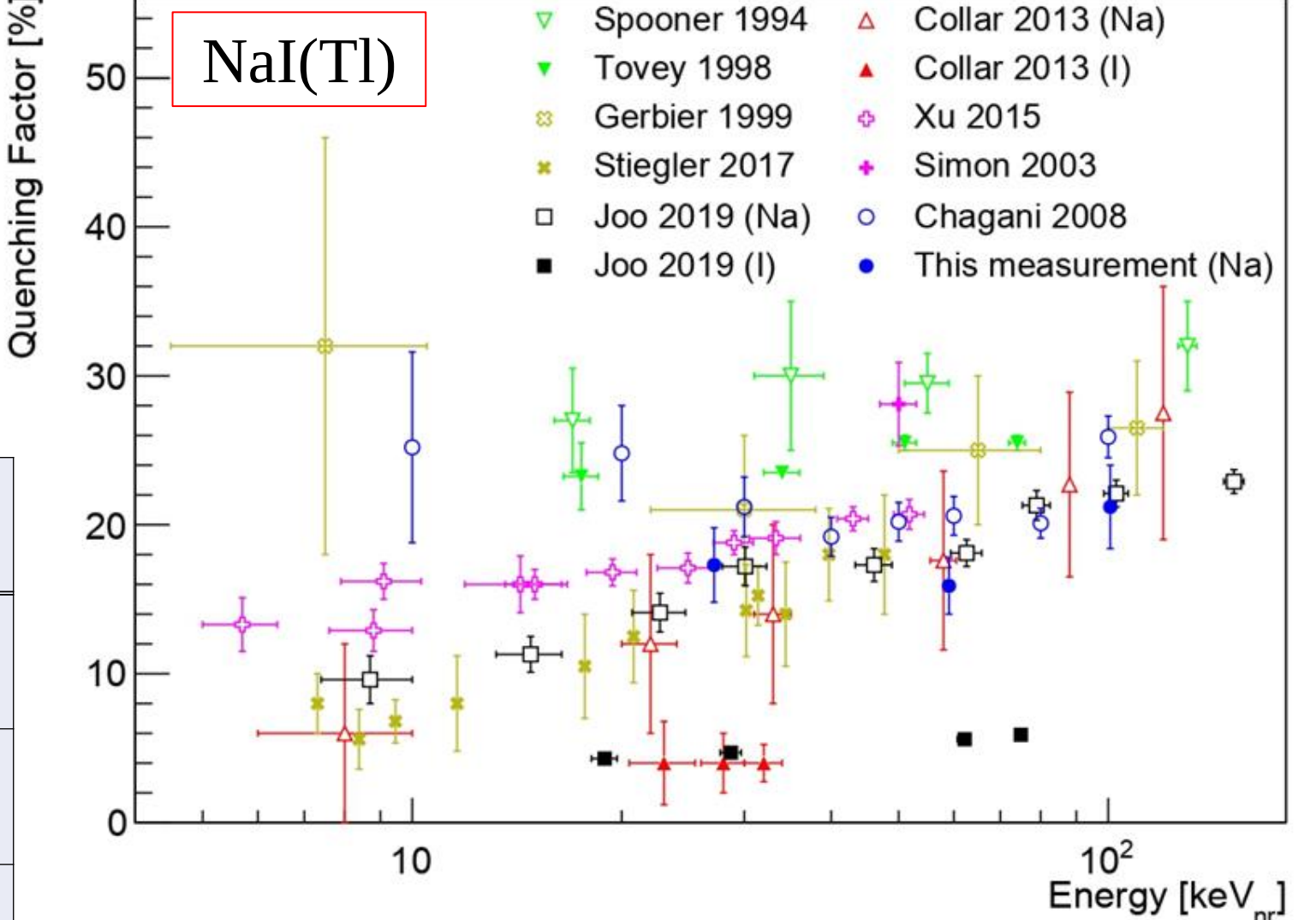


消光因子の結果と他グループとの比較

$$QF = E_{ee}/E_{nr}$$

QF : 消光因子
 E_{ee} : 電子反跳発光等量エネルギー
 E_{nr} : 原子核反跳エネルギー

E_{nr} (Na) [keV _{nr}]	QF _{Na} [%]
27.15 ± 0.18	17.3 ± 2.5
59.05 ± 0.14	15.9 ± 1.9
100.7 ± 0.2	21.2 ± 1.8



先行研究[3]との比較

まとめと今後の展望

まとめ

- ◆宇宙暗黒物質探索用 NaI (Tl) の QF 測定のための単色中性子照射実験を行なった
- ◆個々に異なる可能性のある消光因子の測定に成功した

今後の展望

- ◆測定点を増やしエネルギー依存性の確認のため、BG 遮蔽条件やビーム強度の見直し
- ◆QF の Tl ドープ量依存性の測定や I の QF, エネルギー依存性の測定