



# XENONnT 中性子反同時計測システム

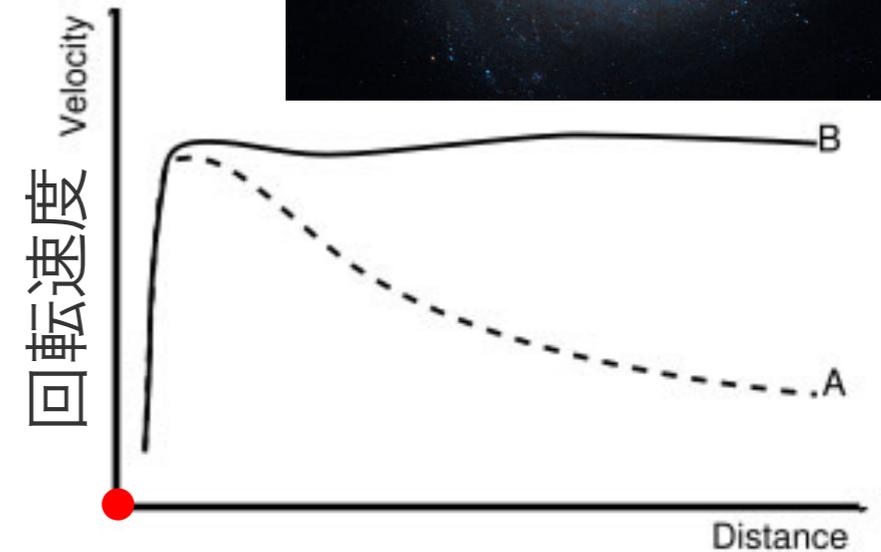
水越隼太 (神戸大), XENON Collaboration

LBGT2020 パラレルセッション A1-6

2020年6月2日 11:00-

# まえおき 暗黒物質

- 宇宙の観測から宇宙に暗黒物質 (DM)が存在することが強力に示唆されている。
  - 銀河の回転曲線問題
  - IE0657-558銀河団の衝突 (Bullet cluster)
  - PLANCKによるCMBの観測
- 中性で冷たく(重い,遅い),安定な DMたる粒子が存在する?



銀河中心からの距離

観測されているバリオンから銀河の回転速度を計算するとA  
 実際には銀河中心から離れてもFlatな速度で回転している(B)

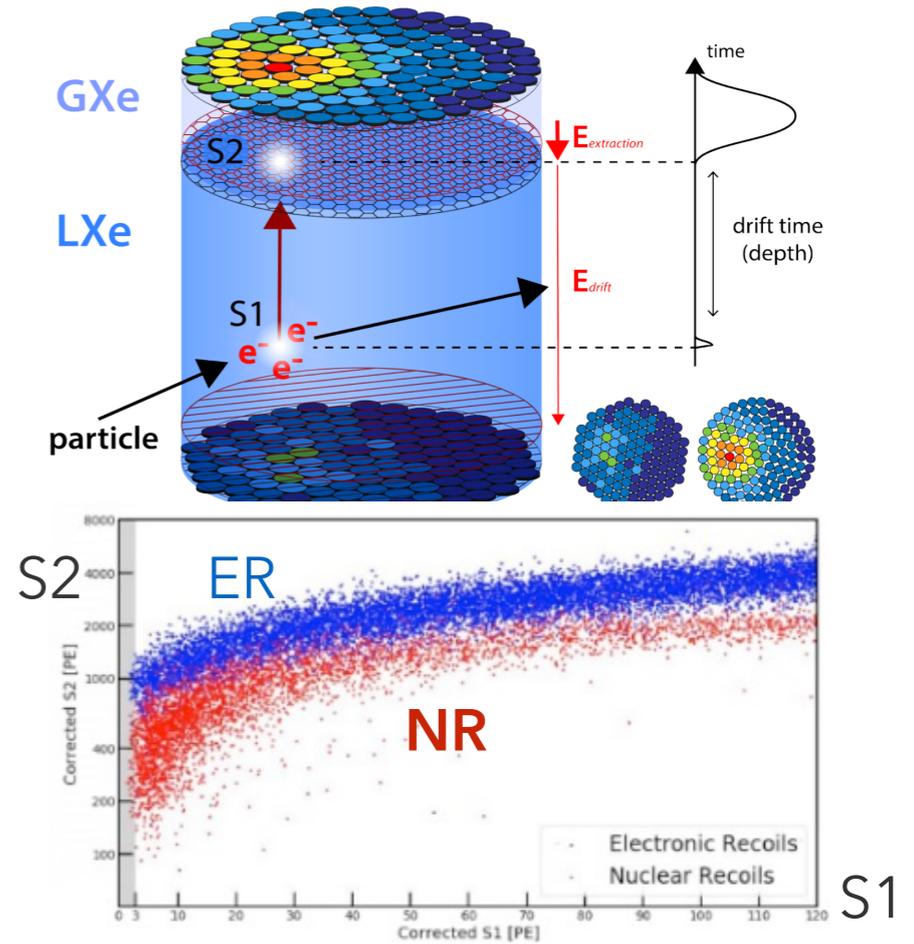
→DMがまとわりついている?

原論文: Astrophys.J. 225 (1978) L107-L111

# Xe2層式 Time Projection chamber(TPC) XENONnT

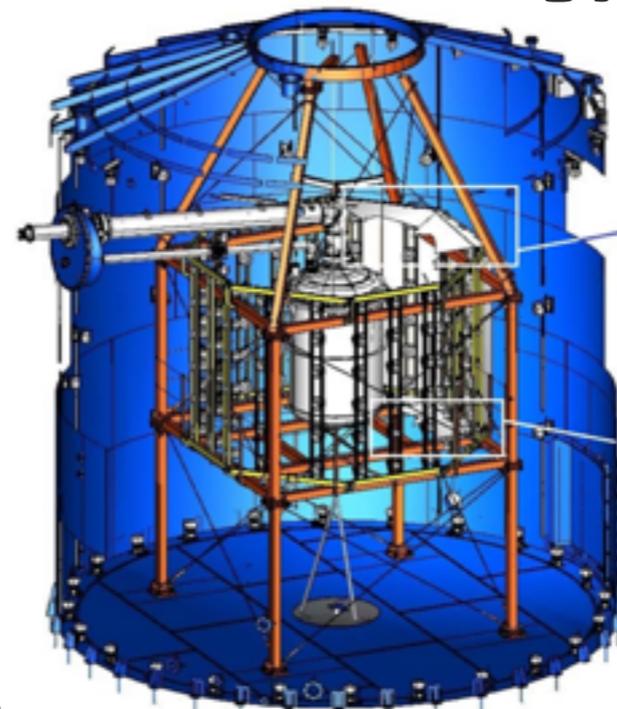


- 液体希ガス(Xe)2層式TPCを用いた暗黒物質探索実験
  - 大型化が(比較的)容易
  - 純化(低バックグラウンド化)が容易
  - S1, S2 信号(光, 電荷)の検出により原子核反跳(NR)と電子反跳(ER)事象を区別できる



電子/原子核散乱識別の概要

- XENONnT実験は, XENON1T (Fiducial 1.3t)実験のアップグレード実験
  - Total 5.9t, Fiducial ~4t



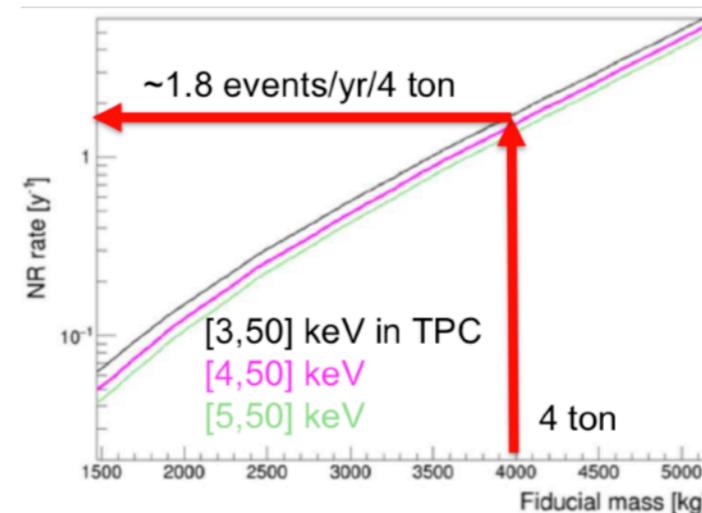
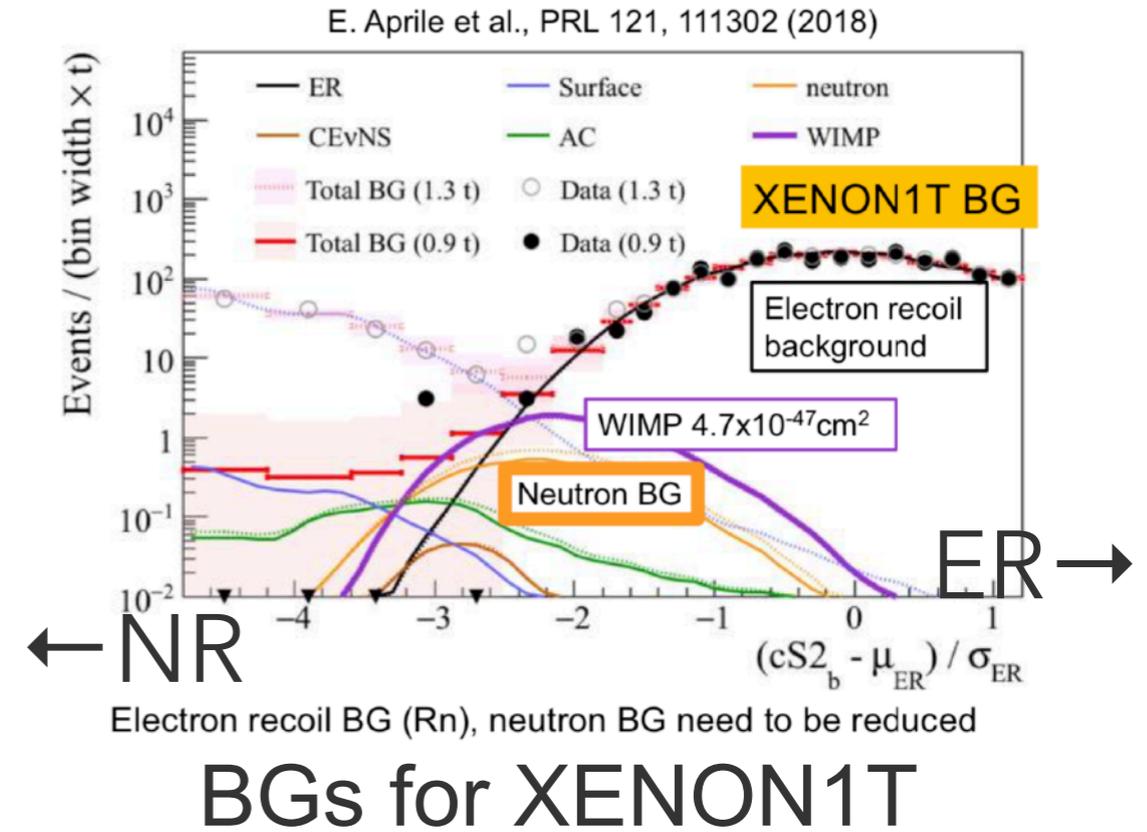
XENONnT検出器図(左)  
中央円筒がXe TPC  
周囲がnVeto system(後述)  
青色タンクは水で満たされ、チェレンコフ光を用いて宇宙線, 環境γ/nを遮蔽

# XENONnT実験での背景事象

- XENONnTの高感度化のために  
低バックグラウンド(BG)化が重要

## • 主な BG

- 高エネルギーミュオン
  - ← 水でactive veto
- 外部 $\gamma$ 線 (ER)
  - ← self-shielding
  - ← Pulse shape discrimination (PSD)  
S1/S2 での弁別
- $\alpha$ 線 U/Th chain
  - ← 素材選別, 洗浄など...
- ラドン
  - ← Xenon純化など
- 中性子
  - 中性子はDMと区別できない  
原子核反跳事象をつくる

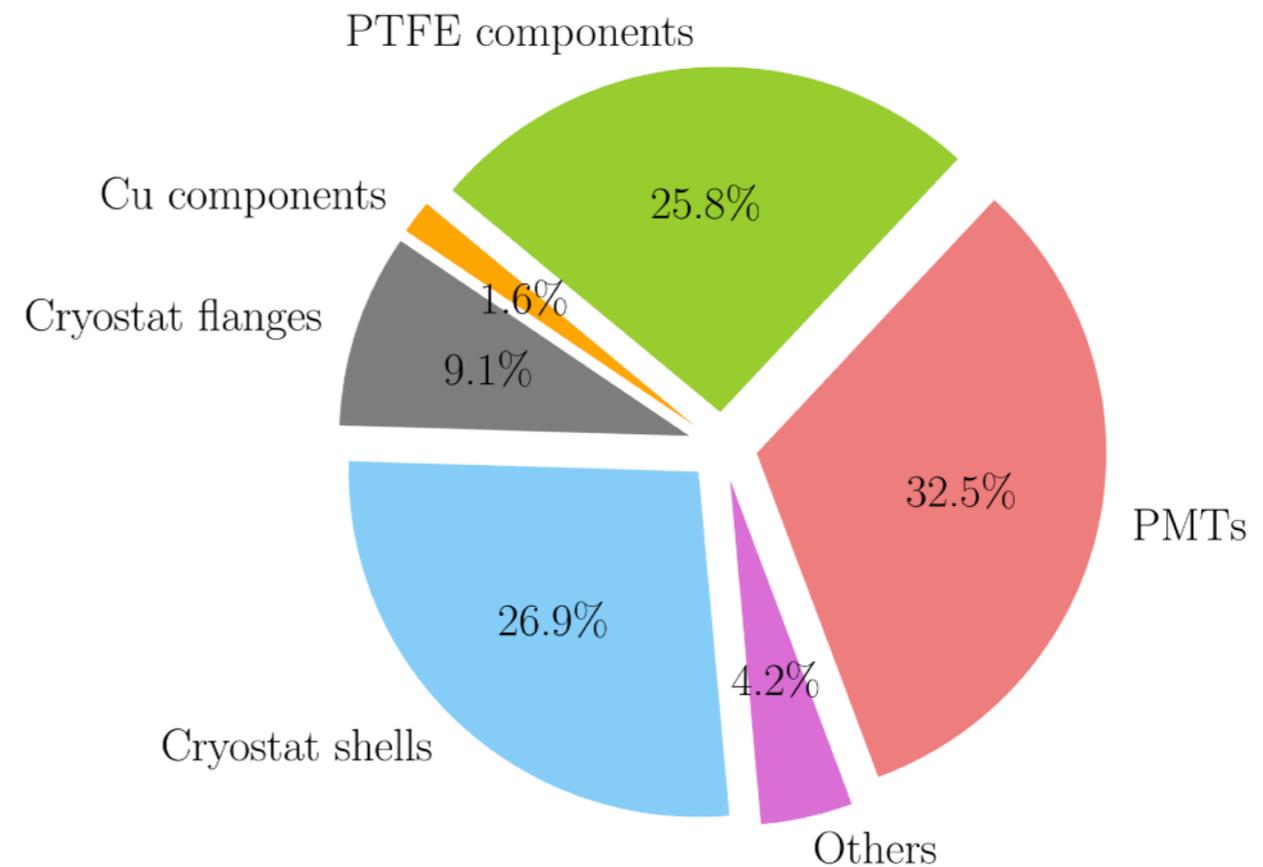


Our goal:  
**reduce n >80%**  
 $1.8 * 3yr. * (1-0.8)$   
 $\sim 1 \text{ evt. /FV /3yr.}$

Estimated number of neutron events

Figure data : Diego Ramirez (TAUP2019)

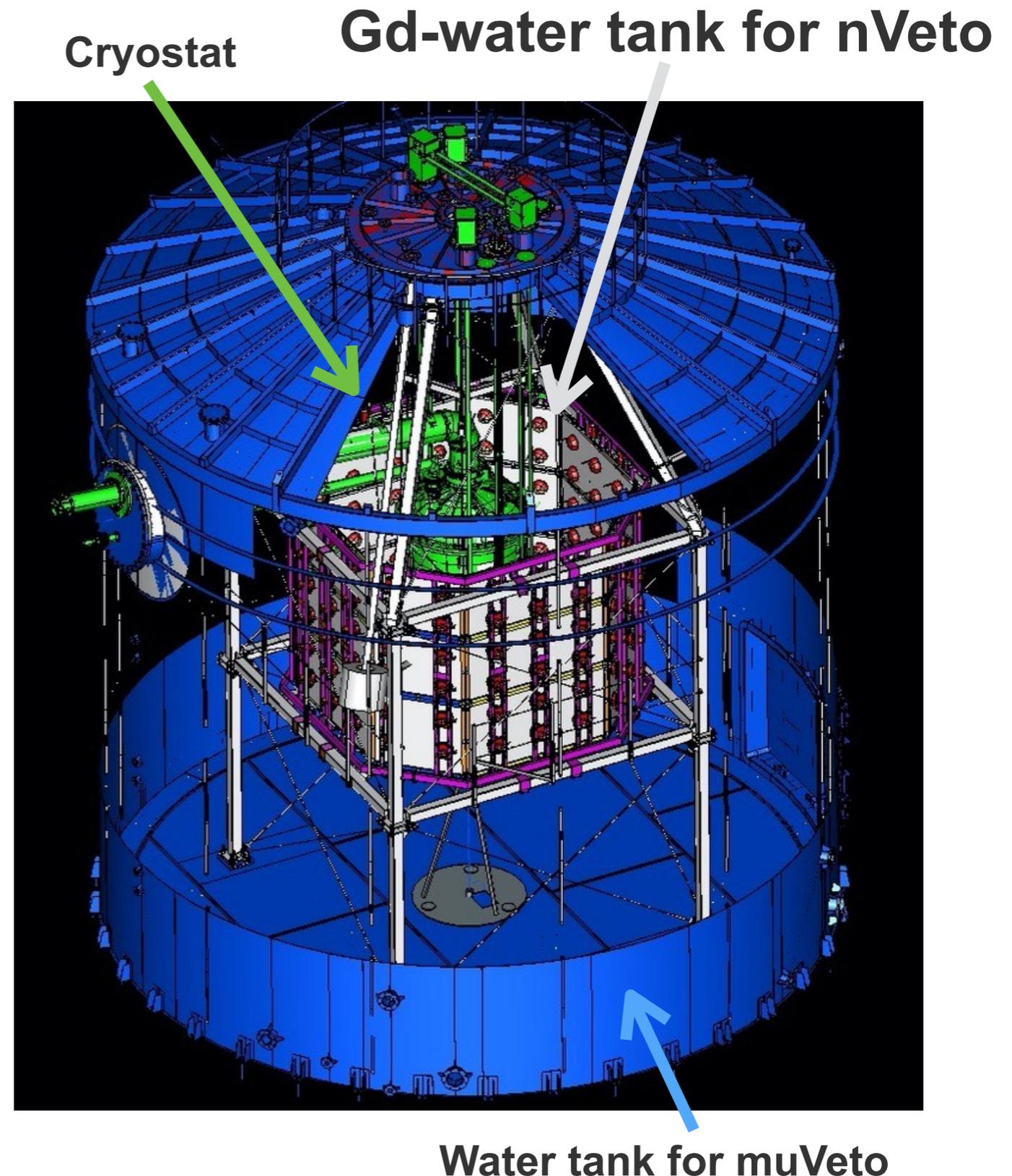
- XENONnT実験では主な中性子源は内部素材 (PMT, PTFE, Cryostat).
  - シールドできない
- 内部の素材は頑張って低BG化したがるが、残ってしまう
- ← **中性子反同時計測 (neutron veto, nVeto) システムによって中性子BGを低減する。**



中性子BGの原因となる物質  
内部素材は避けられないBGとなりうる

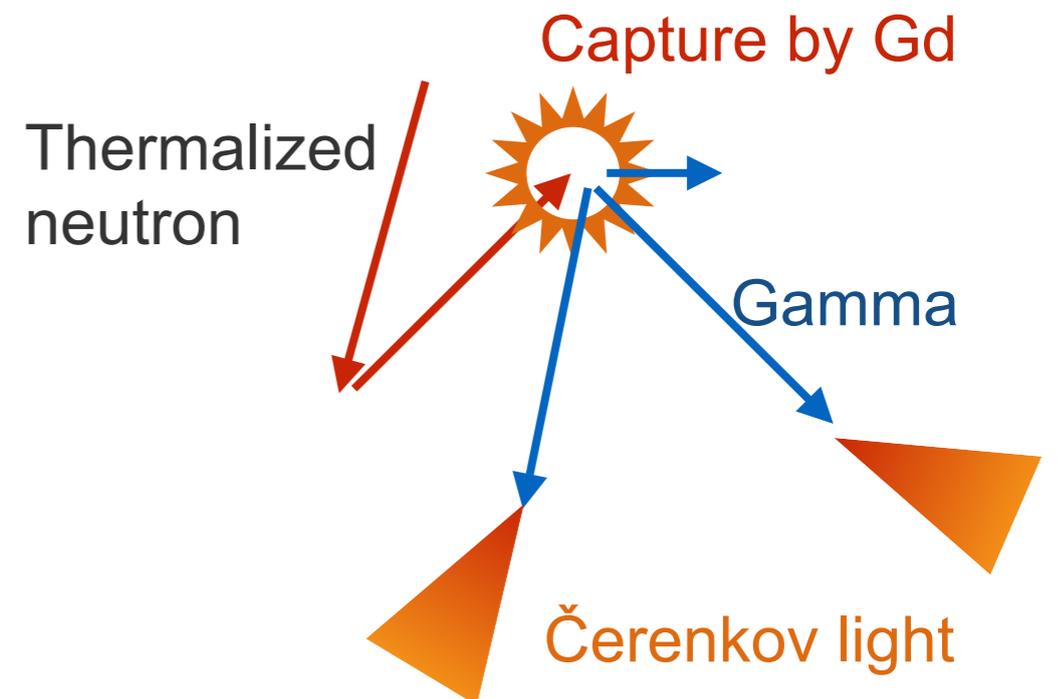
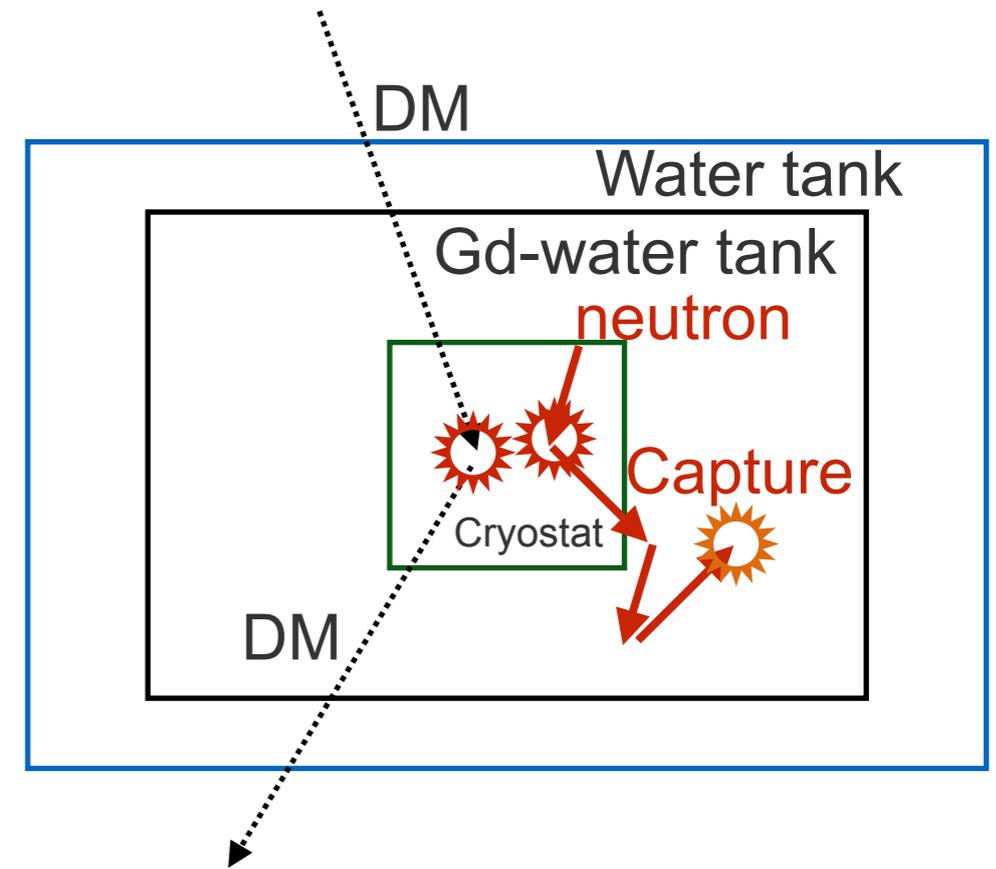
# XENONnT 検出器

- Cryostat: 2層式Xenon TPC
- S1,S2 信号を用いて BGを強力に弁別
- 中性子反同時計測 (nVeto) のためのGd-Water tank
- Gd-water Čerenkov detector で中性子をタグする

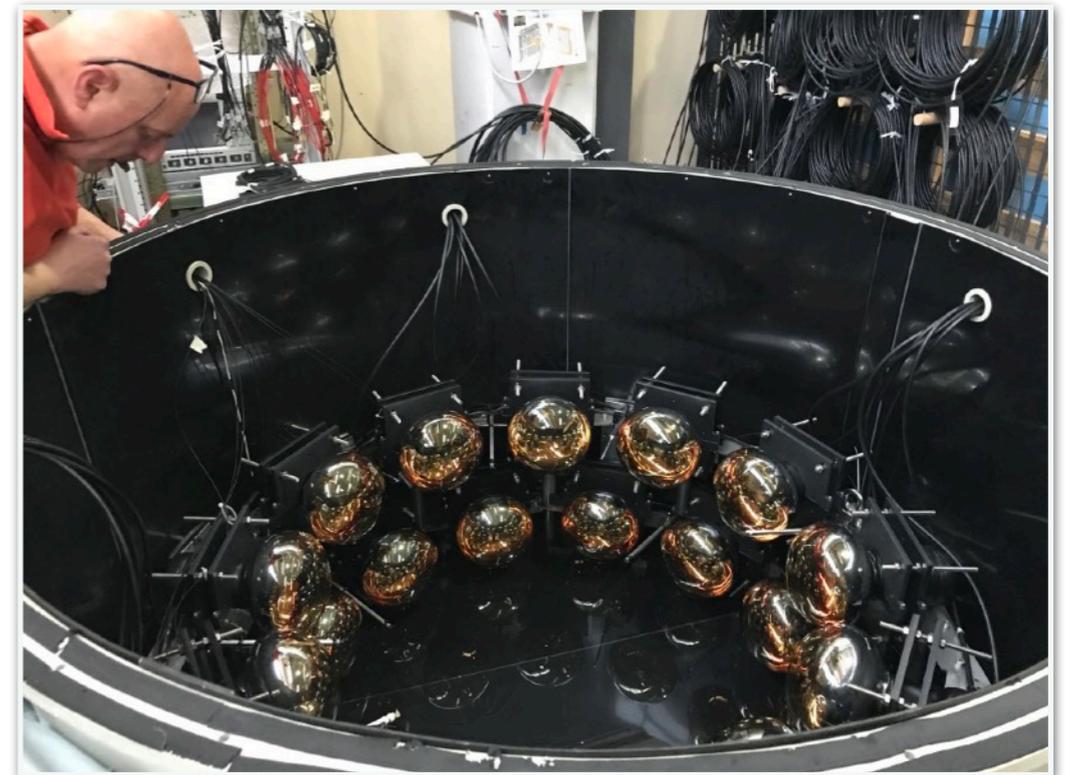


# Čerenkov detector の原理

- NeutronはNuclear Recoil (NR)し, DM信号と区別できない
- Gd-waterは中性子を捕獲し, 中性子イベントをタグする.
- Gdは中性子捕獲断面積大 (254,000 barn)
- 120本のPMTでチェレンコフ光を観測する.



- 120 PMTs (8 inch PMT Hamamatsu R5912)+予備は小さな水タンクで試験した.
  - Gain, Transit time spread, Dark count rate, After pulse,...
- 全てのPMTが使用可能であることを確認し,インストール待機中
- このデータはシミュレーションの基礎パラメータとしても使う(後述).

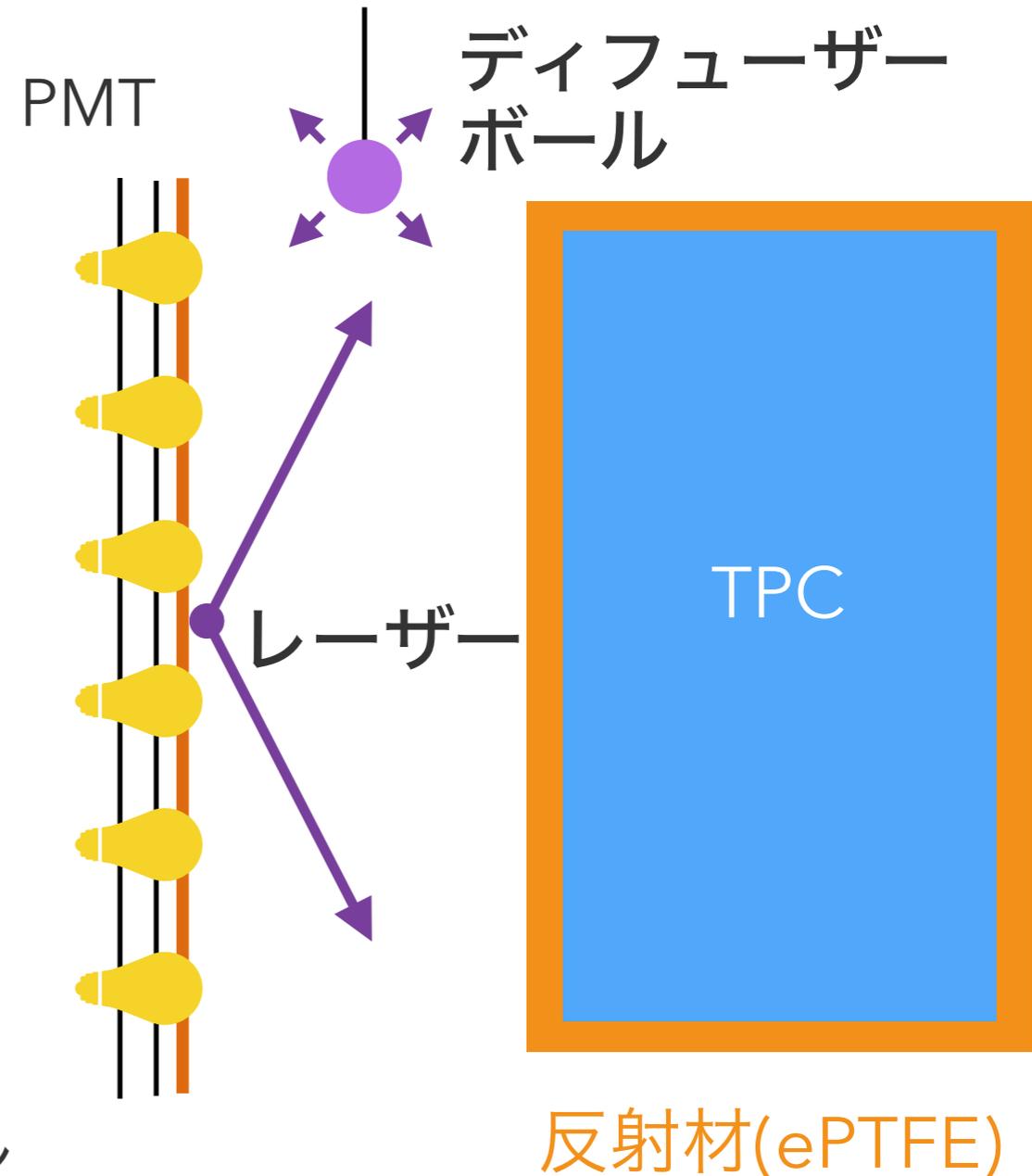


## Small water tank test at LNGS

This test designed by Bologna Group for the XENONnT Collaboration

# PMT 光キャリブレーションコンセプト

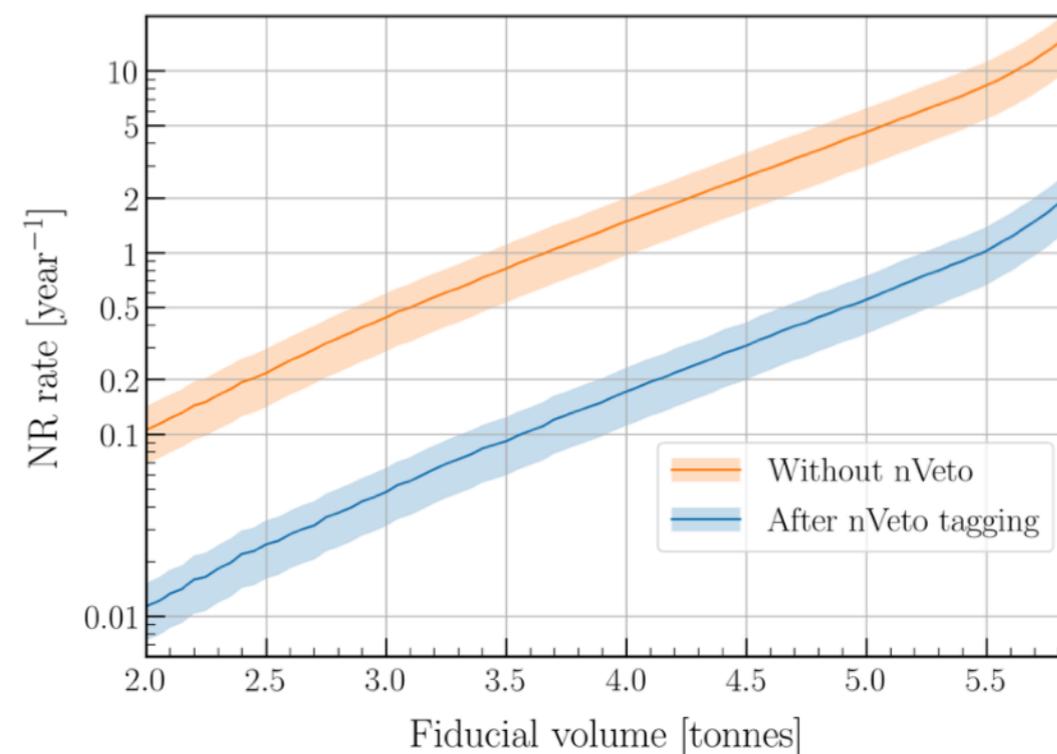
- インストール後のPMTは放射線源の他に光学デバイスでも較正を行う。
- 1 p.e. 信号(ゲイン)測定
- PMTの時間差較正
- 検出器安定性評価
  - 水の透過率, 反射材の反射率
- 光ファイバー+ディフューザーボール
- レーザー
- レーザーは神戸大の担当
  - ハードウェア部分は完成済み→現地へ輸送準備OK



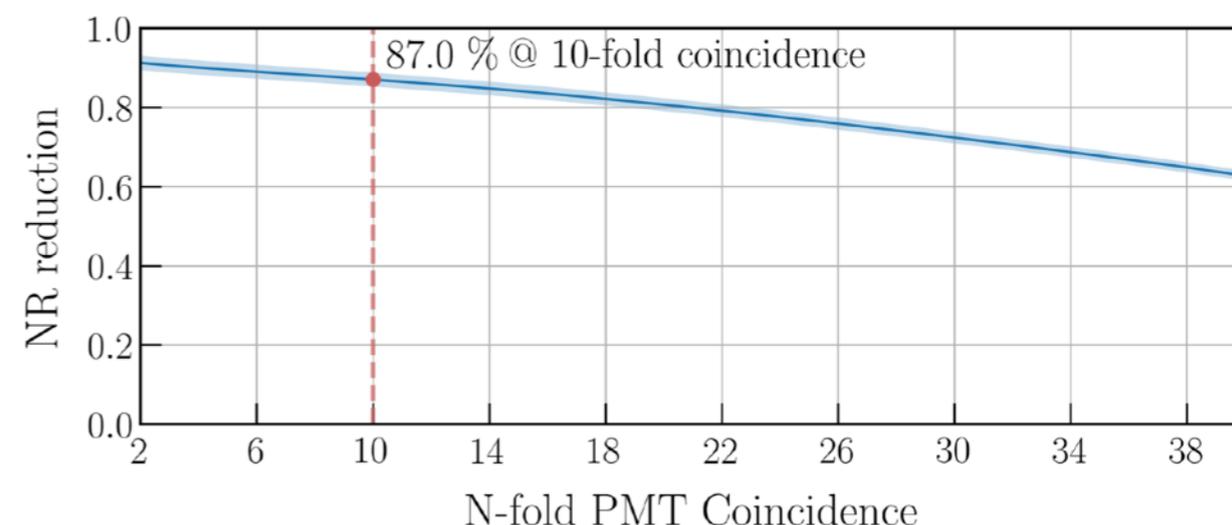
# シミュレーションによる中性子タグ効率

Figure data : Diego Ramirez (TAUP2019)

- モンテカルロ(MC)シミュレーションによって nVeto タグ効率を評価した
- ジオメトリ実装済み
- Gd-gamma emission model を ANNRI-Gd model にアップデートした.
- PMT10本のCoincidenceを課した際の効率を定量的に評価した.

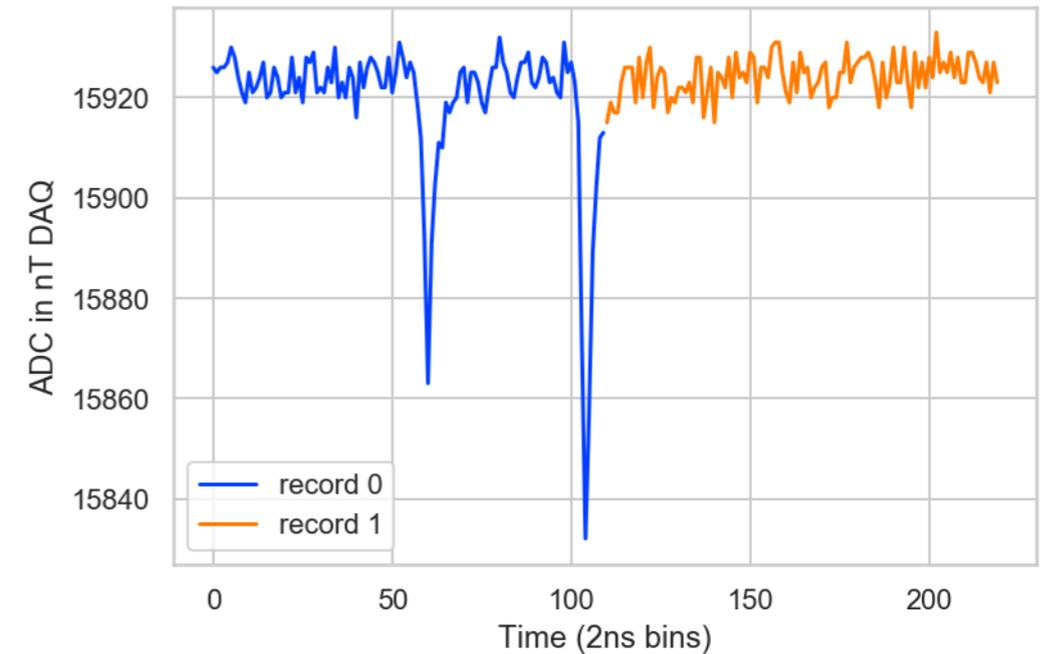


NR BG レート

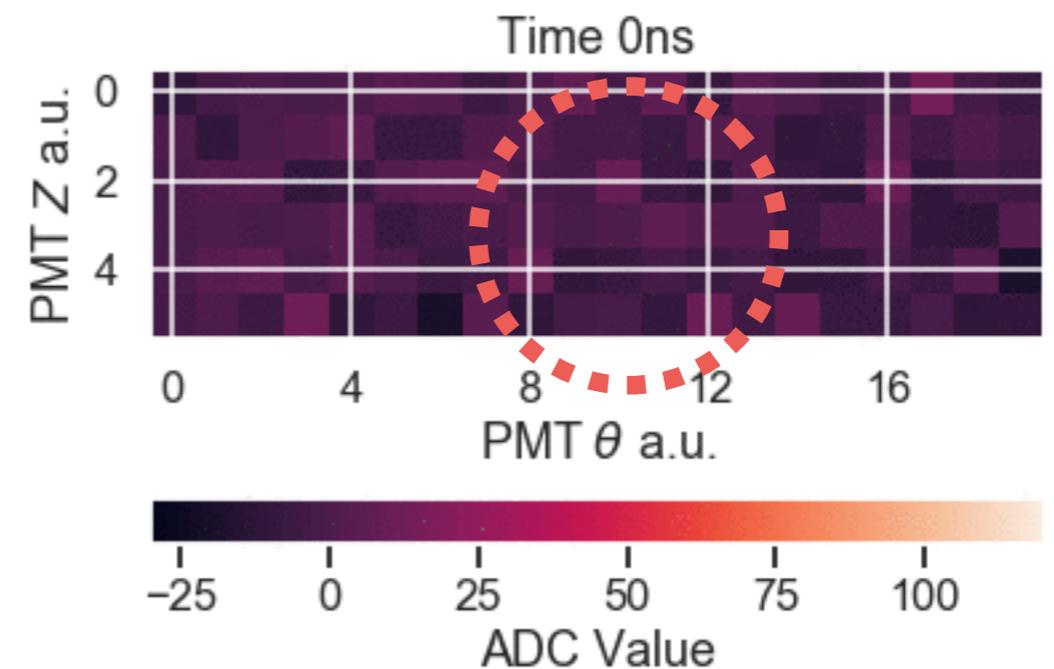


PMT tagging 効率

- シミュレーションで光子の挙動はよく理解された
- PMTテストで検出器の特性も理解された
- 組み合わせて波形シミュレーターを作ることができる
- 形式は, 実際の実験のDAQシステムと全く同じ
- 解析におおきく貢献する
- (機械学習とか...?)



生成した波形の例



シミュレーターで生成された  
イベントディスプレイ

- XENONnT実験では,極限の低バックグラウンド化のために中性子反同時計測システムを準備中
  - 検出器(PMT) 準備完了
  - シミュレーションは大枠完了
    - これからさらに精度を高めていく
  - 較正用のレーザーモジュールは完成, 導入待機中
  - コミッショニング, データ解析へ