

第3世代の暗黒物質直接探索実験

東京大カブリIPMU

山下雅樹

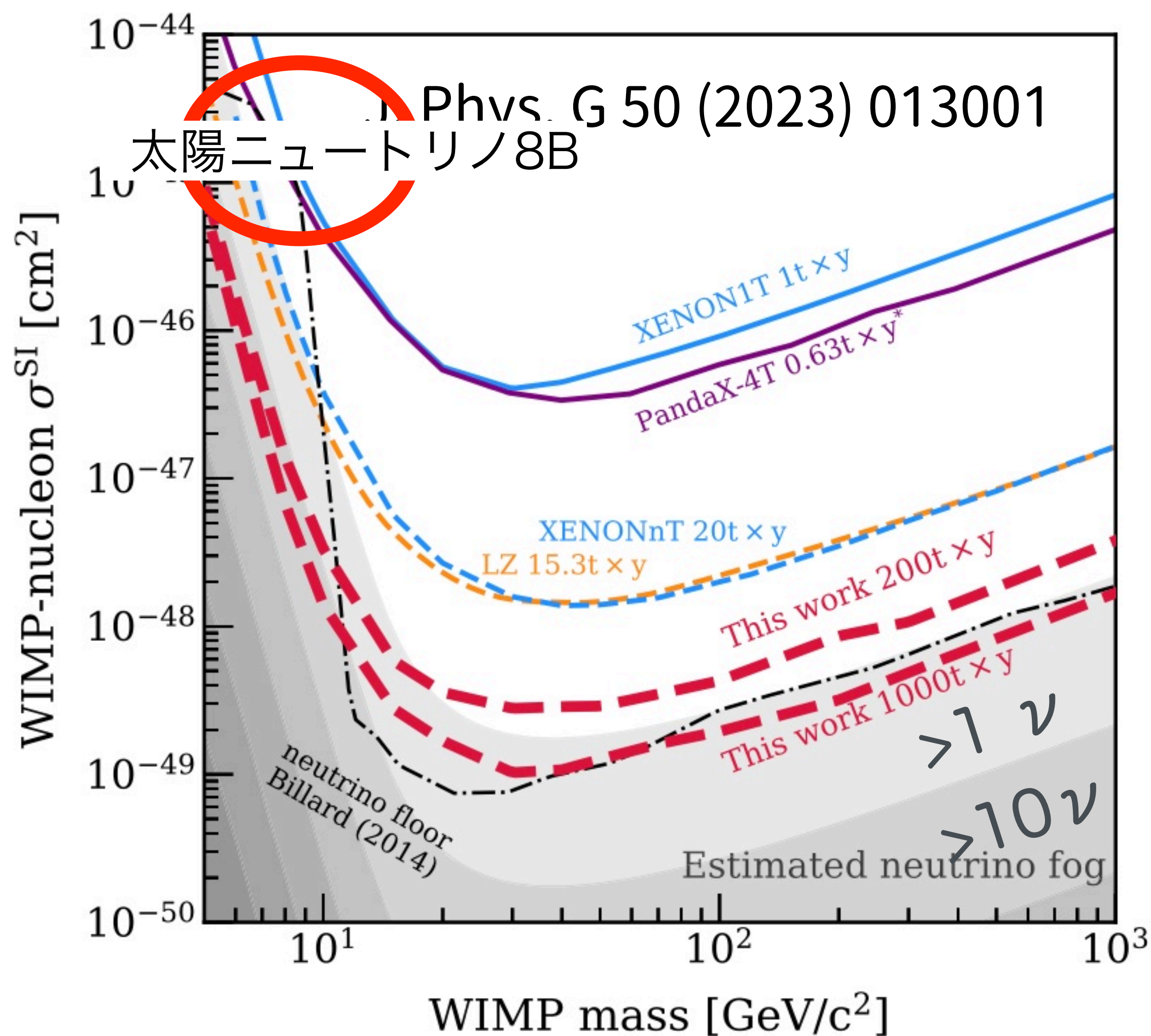
2025/01/29

東京大学宇宙線研究所 令和6年度共同利用 研究成果発表会

共同利用経費：50千円(神岡への旅費)の割当

サポートありがとうございました。

目的：将来の暗黒物質直接探索実験



・第3世代暗黒物質実験(G3)：

ニュートリノの霧(fog)までの探索を目指す
(XENONnTで太陽ニュートリノ8B まで到達) -> Kai

米国: P5 (2023) G3=> Recommendation

欧州: APPEC LXeによる暗黒物質直接探索

・目標感度達成には背景事象の更なる削減が不可欠

・XMASSを中心に培ってきたキセノン・Low BG技術を応用
PMT, キセノン純化など

The XLZD Collaboration の発足



液体キセノンを用いて20年以上に渡り最も良い感度でDM探索を行った実績
50-100トンを用いた次世代の実験に向けて世界で一つの究極のキセノン検出器を
XENON-LZ-DARWIN -> XLZD コンソーシアム -> XLZD Collaboration

- 2021/4 XENON/DARWIN, LUX-ZEPLIN meeting
<https://indico.cern.ch/event/1028794/>
- 2021/7 : コンソーシアム: 16カ国 104名が署名
MOU締結: XENON, DARWIN, LUX-ZEPLIN(米国)
- 2024/9 XLZD collaboration発足

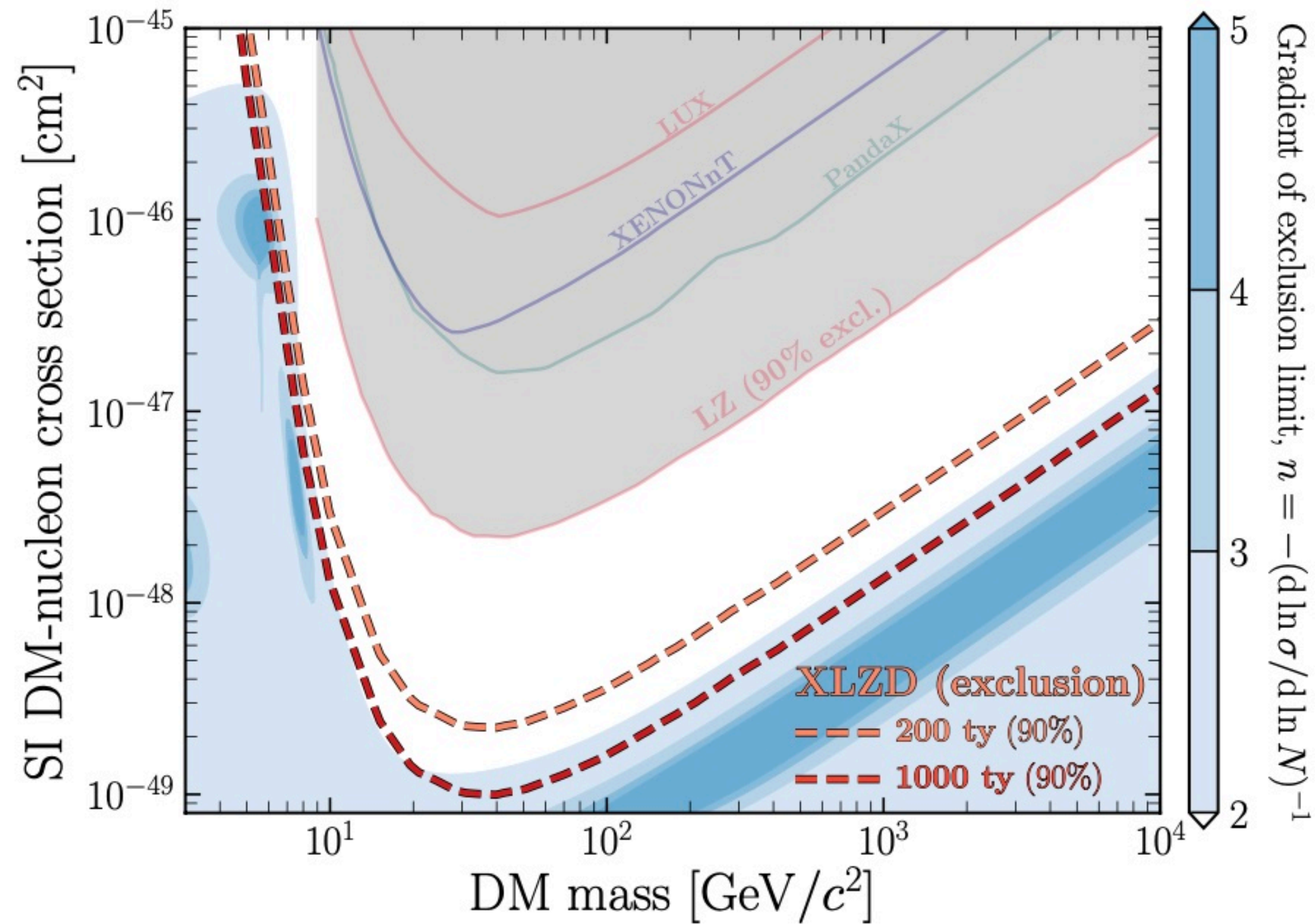
参加日本グループ：神戸大学、東京大学、名古屋大学

学術会議：未来の学術構想に掲載

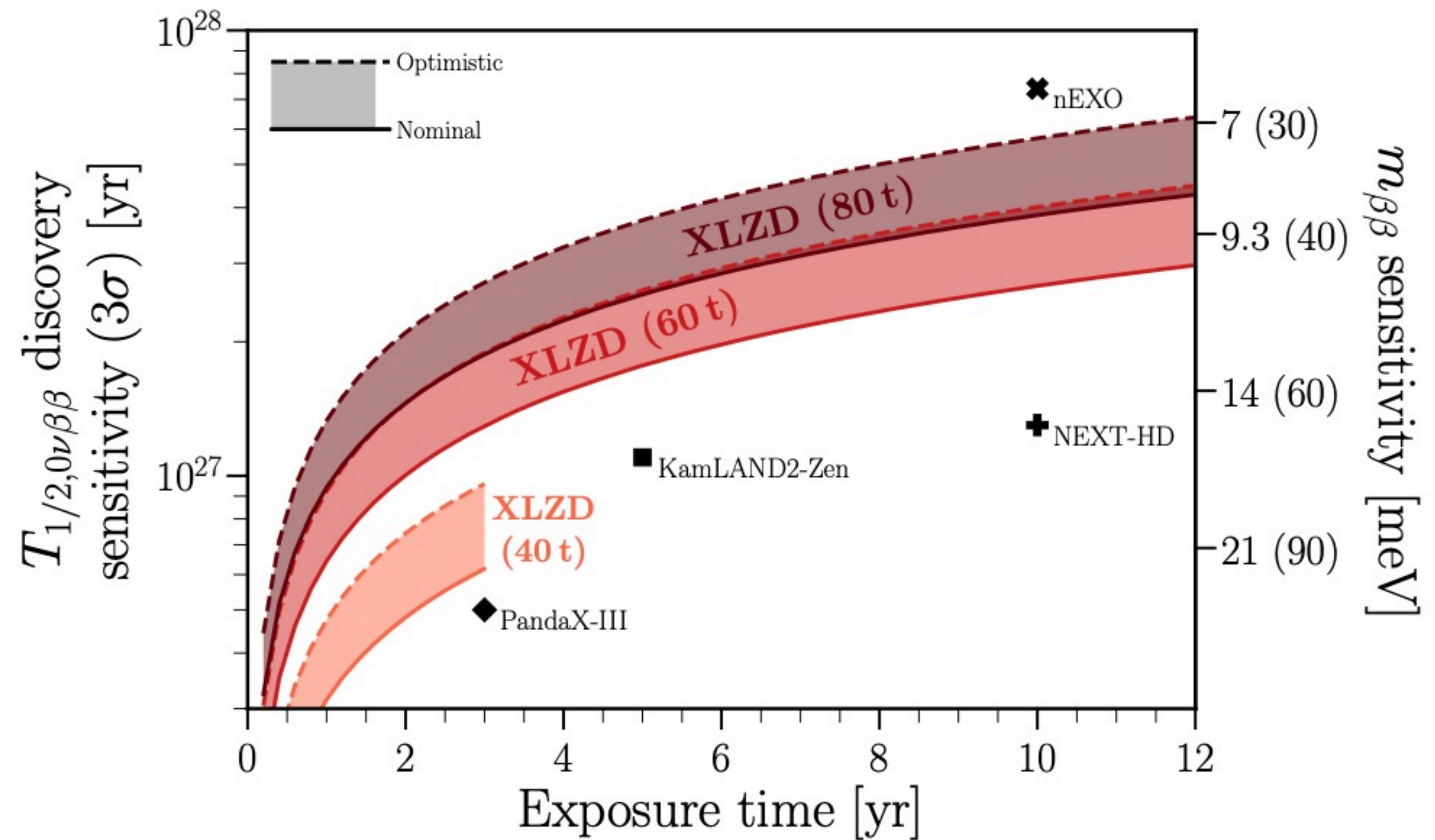


XLZDの目指す物理

WIMP dark matter



二重ベータ崩壊探索



• White Paper: **A Next-Generation Liquid Xenon Observatory for Dark Matter and Neutrino Physics**

• <https://arxiv.org/abs/2203.02309>

• **The XLZD Design Book: Towards the Next-Generation Liquid Xenon Observatory for Dark Matter and Neutrino Physics**

arXiv:2410.17137v1

G3Cとしての活動の紹介

新型検出器の開発

1 相型液体キセノン検出器開発 (名大 島田)

液体キセノンからの赤外線放出(横浜国立大 中村)：=>別途報告

ラドン・トリチウムなど放射性不純物によるバックグラウンドに関する研究

液体キセノン中でのフィールドエミッション(IPMU Caio)

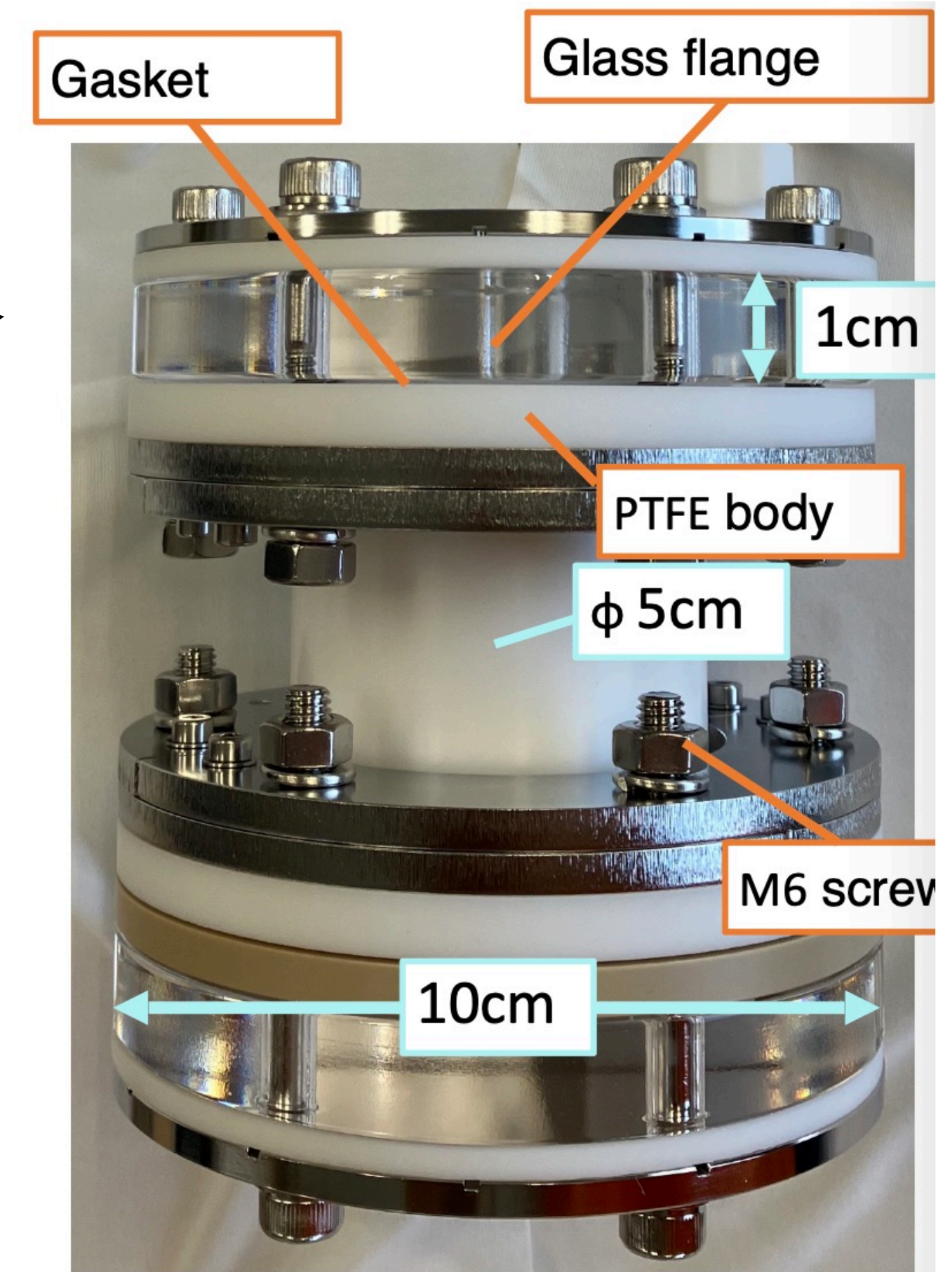
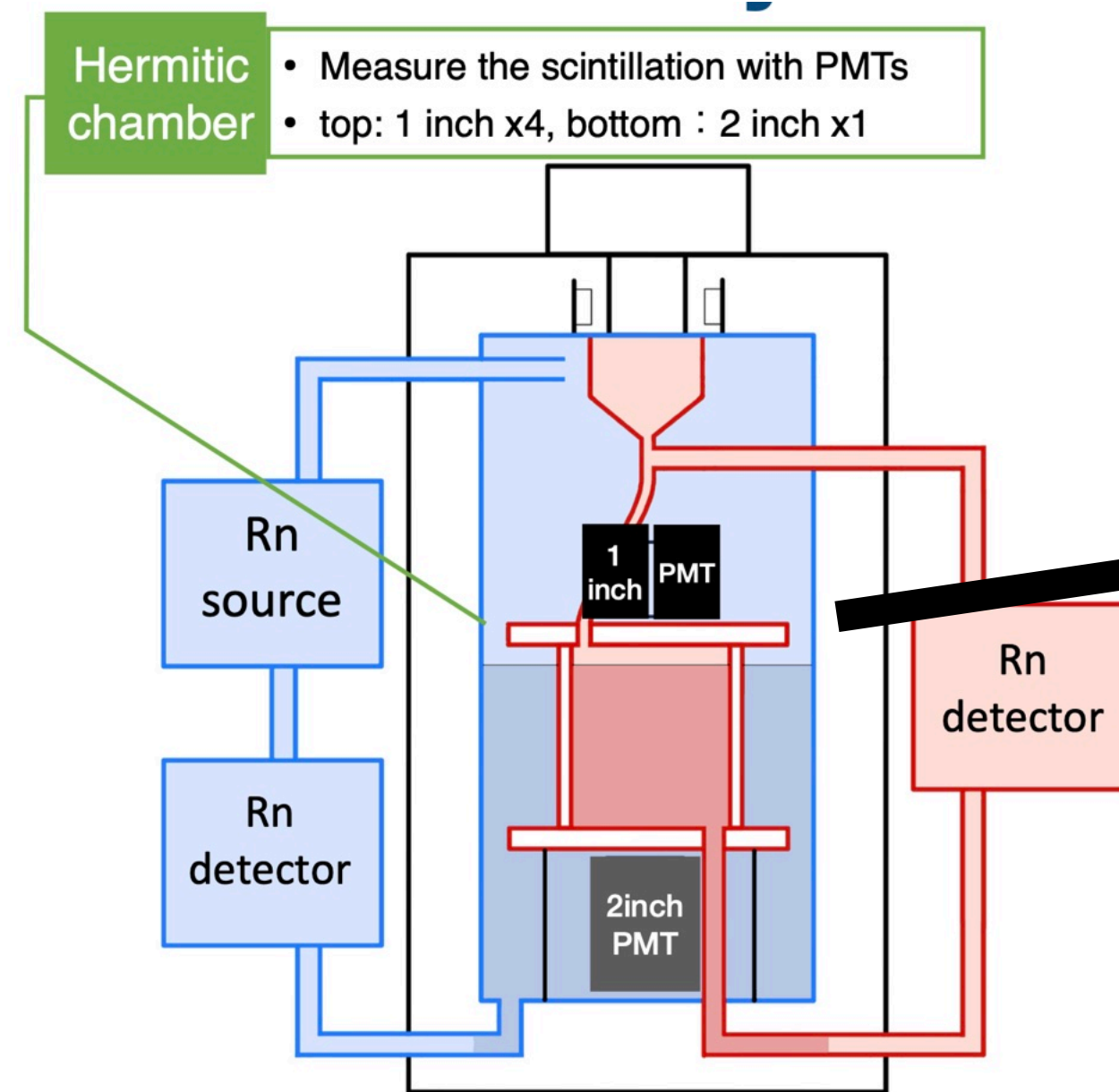
ハーメチック液体キセノンTPC開発 (名大 宮田/小林)

トリチウム濃度定量評価 (名大 宇都山)

ハーメチック液体キセノンTPC開発

Slide: 宮田 瑠太/小林雅俊 @名大

目的：検出器内へのラドンの侵入を防ぐ



常温でキセノンガスでRnに対するシール性をテスト
検出器外側にラドンを導入
外側のラドン濃度 < 1/100 を達成
今後 液体キセノンを用いたテストを計画

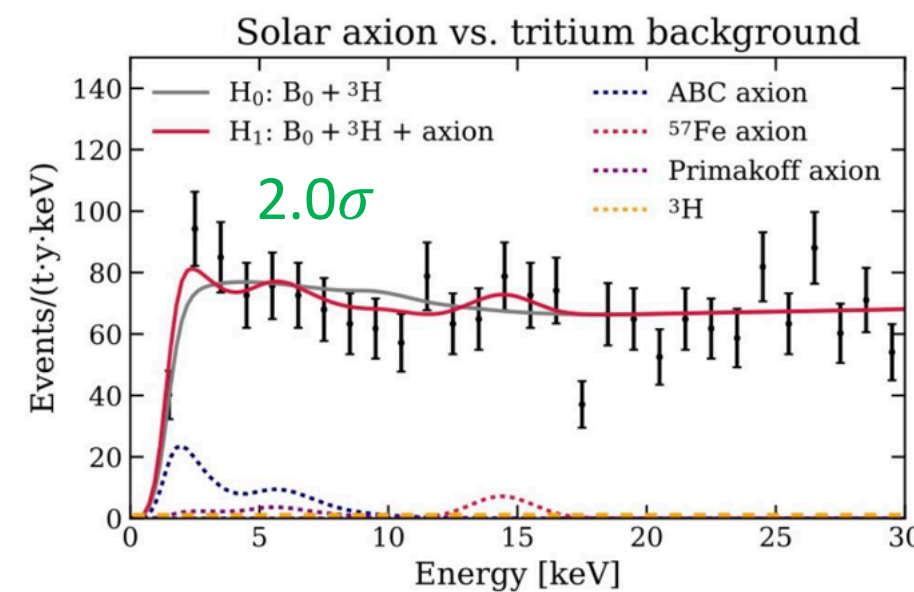
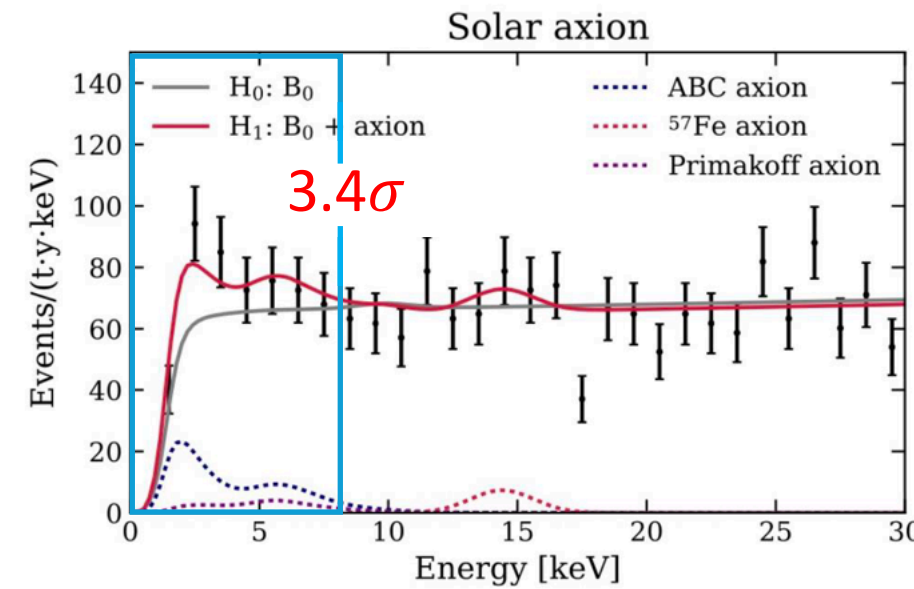
キセノン中トリチウム濃度定量評価

Slide: M1 宇都山光輝@名大

研究背景: XENON1Tの過剰な電子反跳事象

3/19

- 2020年のXENON1T結果、1-7 keVで過剰な電子反跳事象が観測された
 - 太陽アクシオン模型で 3.4σ の有意性
 - トリチウムの β 崩壊 (平均5.7 keV, 最大18.6 keV) が観測されたスペクトルと類似
 - BGにトリチウム(水素同位体)を仮定すると 2.0σ の有意性
- トリチウムは検出器内に極微量に存在する可能性がある
 - トリチウム起源説を否定できなかった



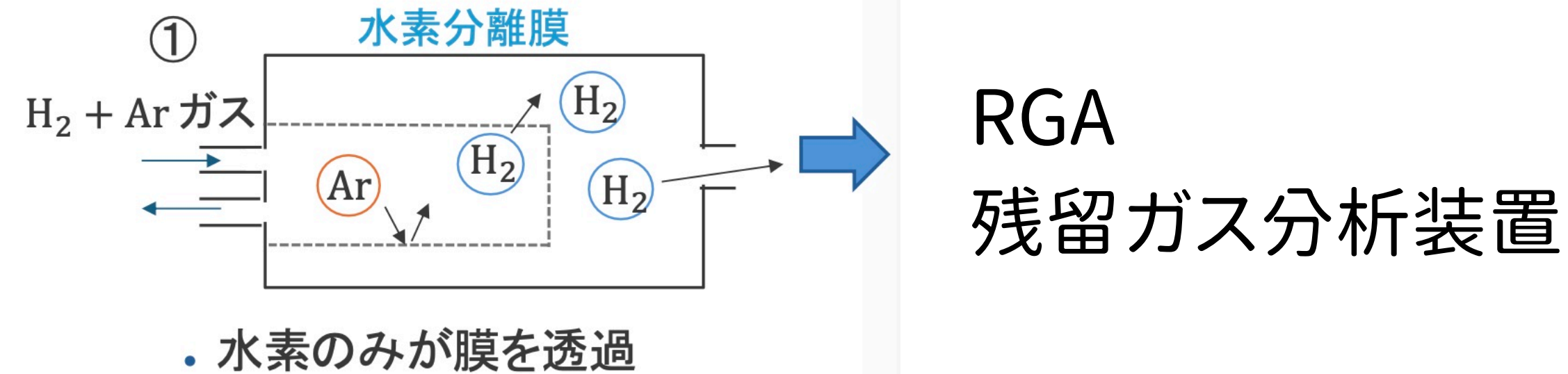
PHYSICAL REVIEW D 102, 072004 (2020)

現在 キャリブレーションガスとしてAr + H₂ガスでテスト中
 ~10 ppb (H₂) までの感度を得られた。(目標は~ppt)

低アウトガスRGAの導入 (SUS-> Be-Cuなど)

配管温度を冷却し、温度を一定に保つなどを計画中

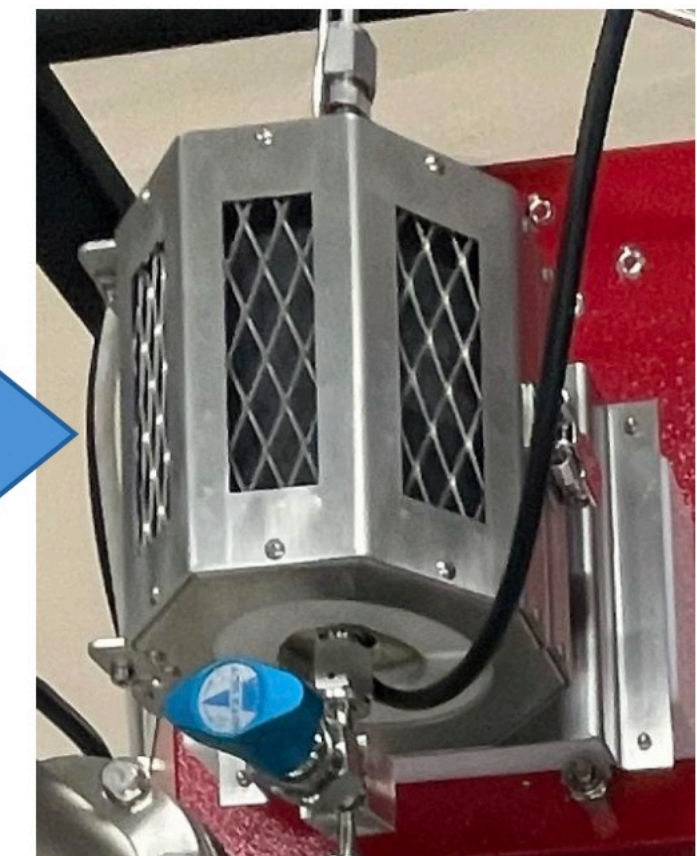
水素測定の様式図



最終的にはAr->Xe



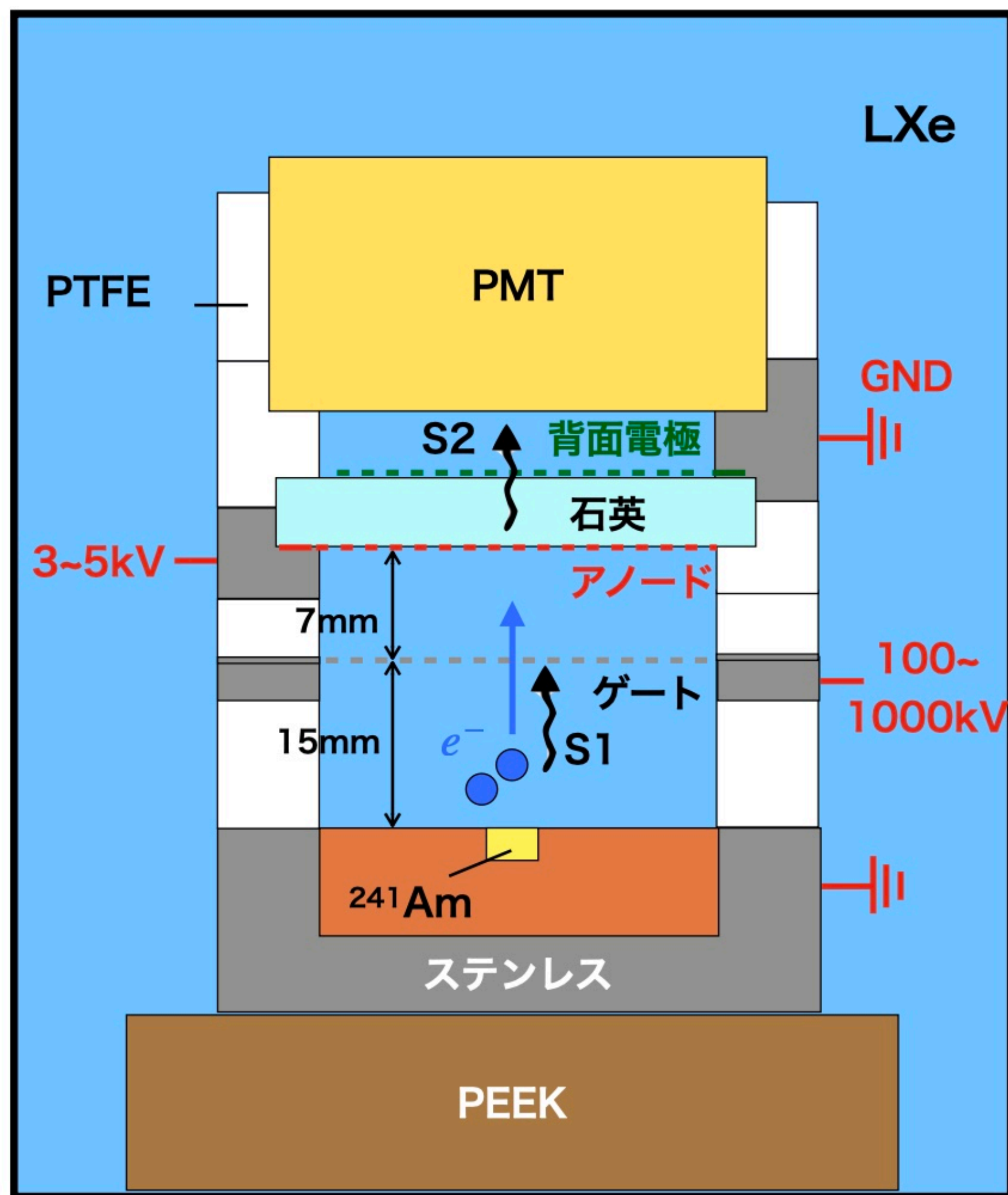
水素分離膜
(日本精線HPより引用)



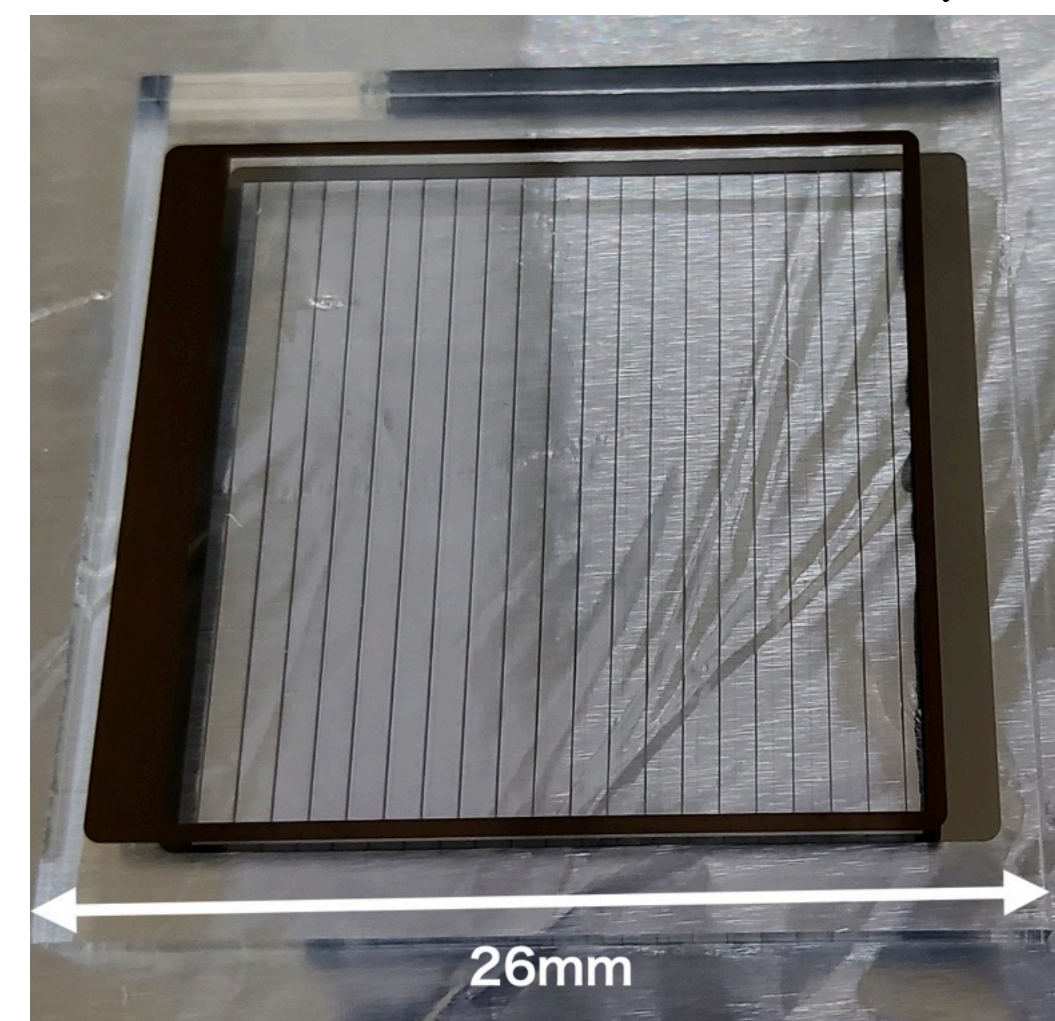
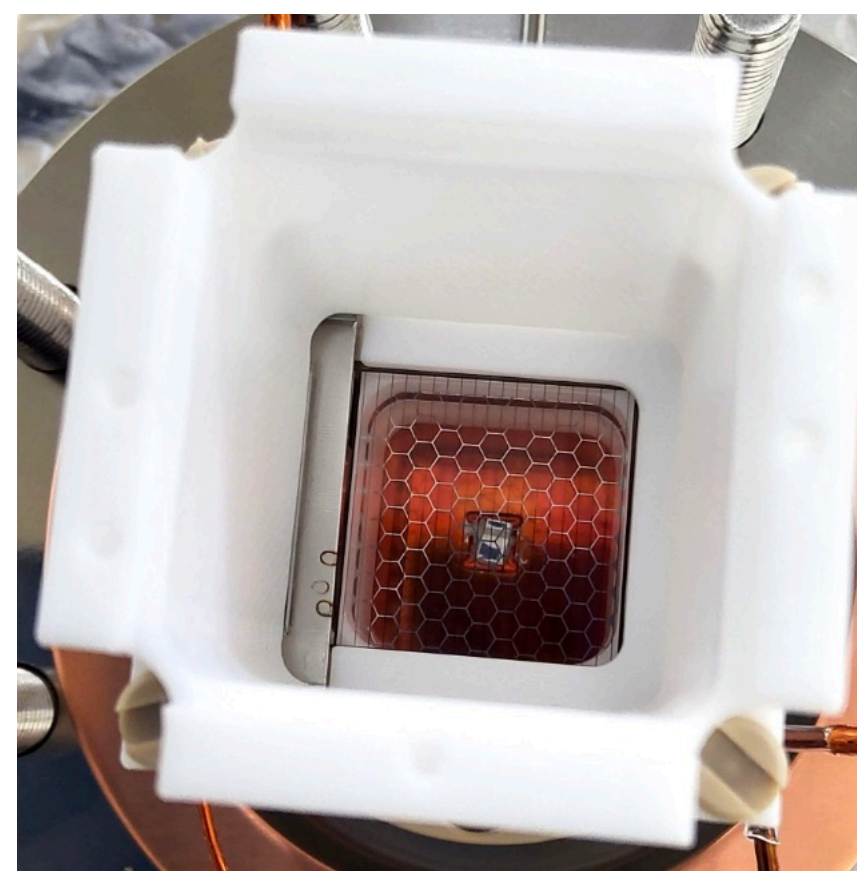
水素分離膜モジュール

1相型液体キセノンTPC

Slide M1: 島田大輝@名大

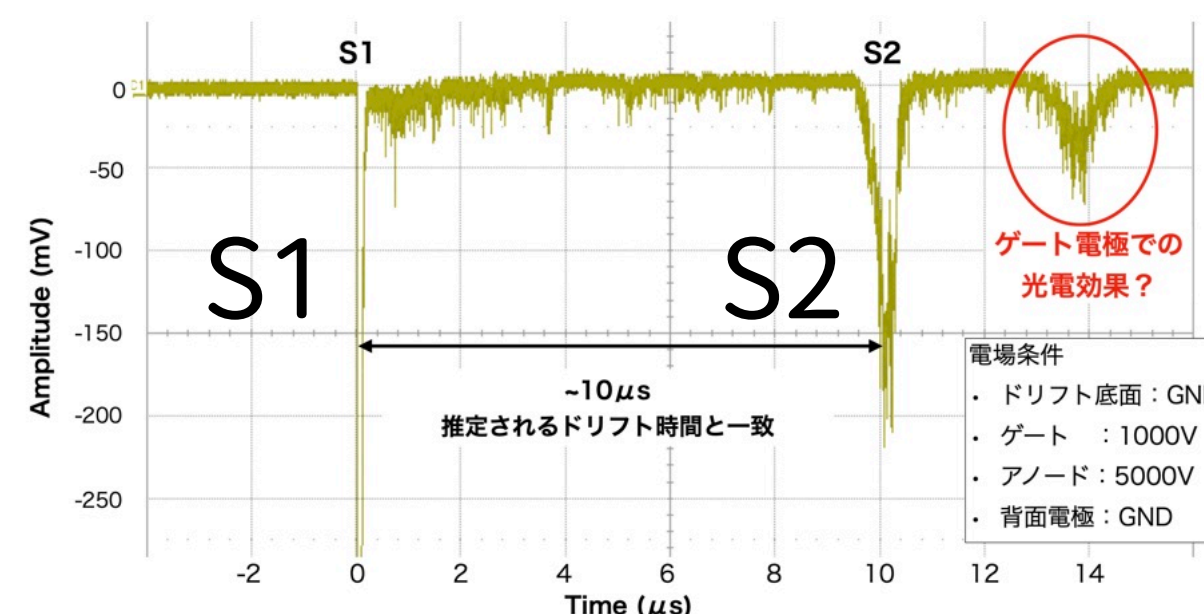


マイクロストリップ電極 (Cr蒸着)



2相型と違って液面の調整がいら
石英に電極を蒸着させることでワイヤーのよ
うなたわみを防ぐ

比例蛍光を得るには二相型よりもx 100の電場が必要
これまでの研究では光量の増幅量は2相型にくらべ1/40 (エネルギー閾値)



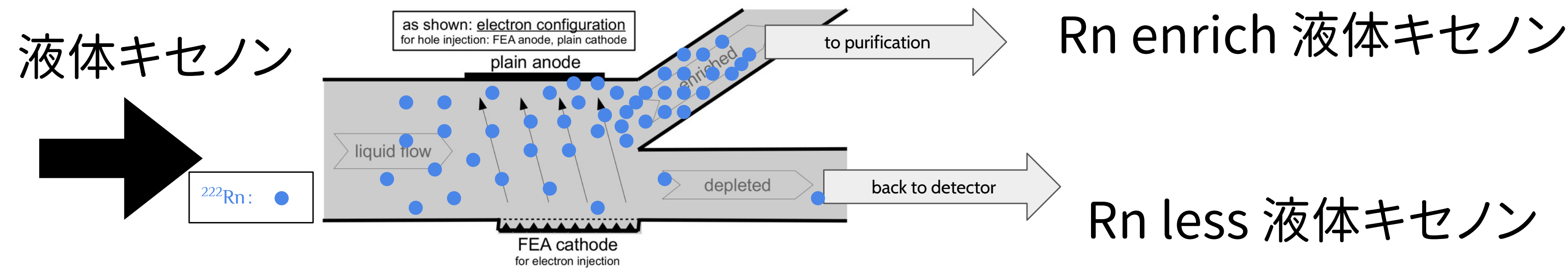
現在解析中

液体キセノン中でのフィールドエミッション

Slide: Caio@IPMU

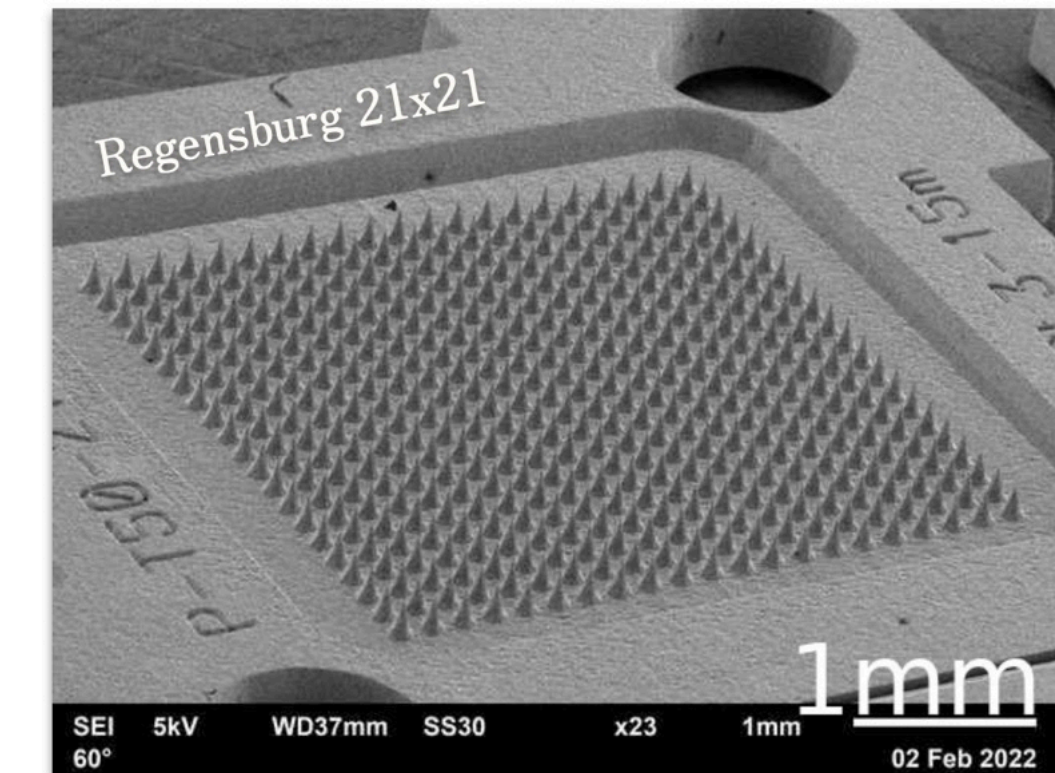
目的：液体キセノン中にelectron or hole currentを流し
不純物をイオン化する

電子・イオンを注入することで
電気陰性度の高い不純物を掃引
ラドンへの応用可能性を検証したい



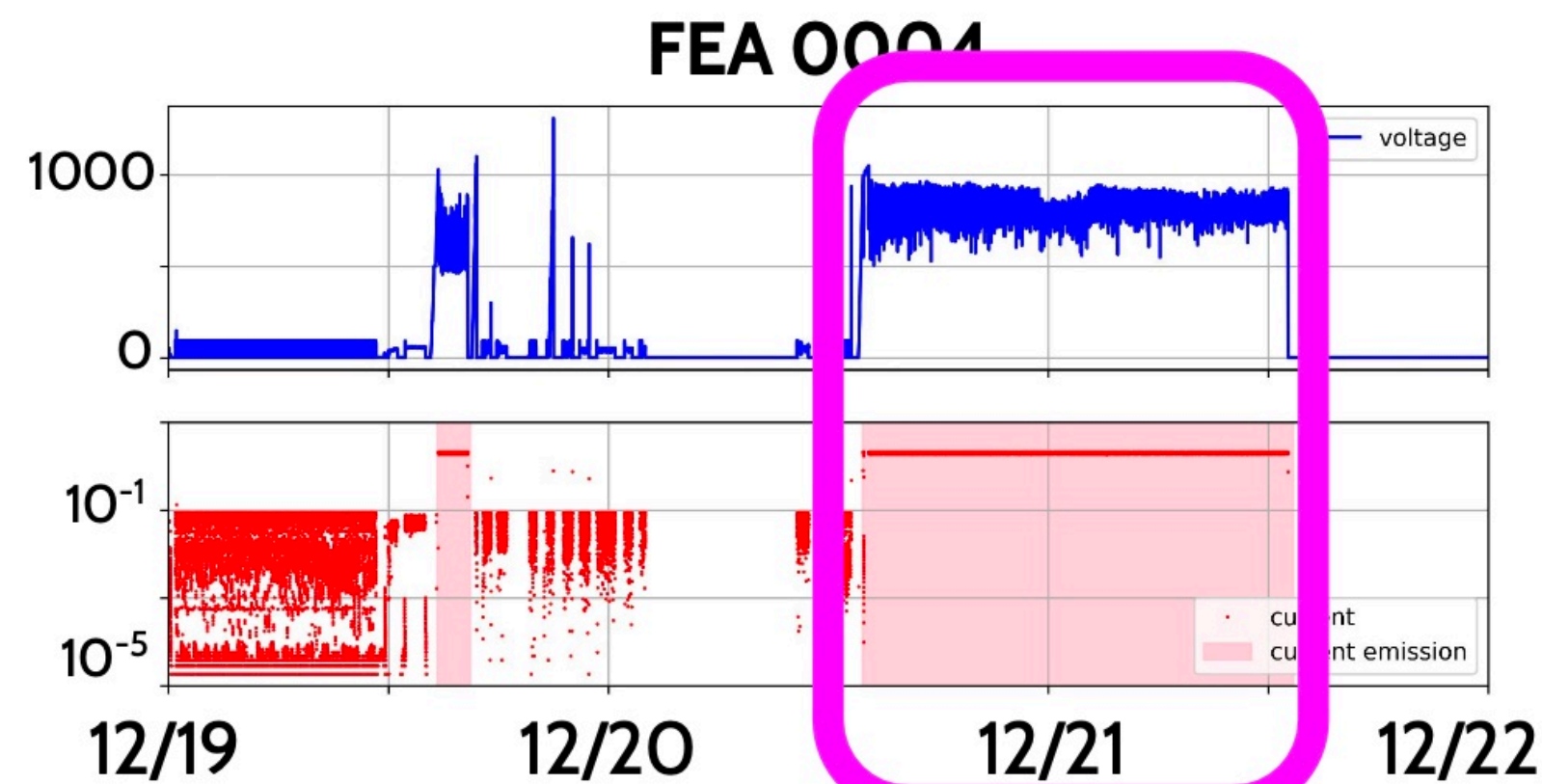
the Regensburg FEA is an apparatus

- capable of injecting electrons/holes in LXe



電圧

電流



hole emission

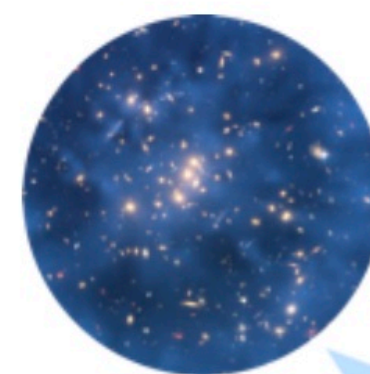
今年度 electron/hole currentの観測に成功
今後ラドンを導入しRnをドリフトさせることができるかテストを行う。

Summary

- G3Cは次世代暗黒物質探索を目指す活動
- **XLZD が2024年に発足**
 - **XENONnT + LUX-ZEPLIN + DARWIN**
 - WIMP暗黒物質 10^{-49} cm^2
 - 二重ベータ崩壊(^{136}Xe) 3×10^{27} 年
 - ニュートリノ観測(SN, solar nu)
- XMASSで培われた技術、インフラを用いて将来の実験に向けたR&Dが行われている。

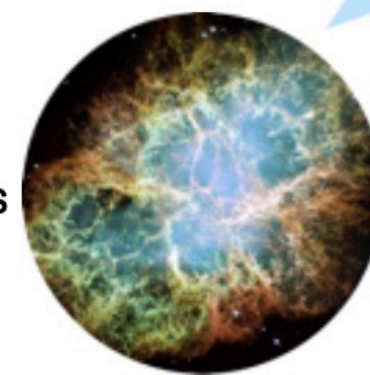
Dark Matter

WIMPs
Sub-GeV
Inelastic
Axion-like particles
Planck mass
Dark photons



Supernovae

Early alert
Supernova neutrinos
Multi-messenger
astrophysics



Neutrino nature

Neutrinoless double
beta decay
Neutrino magnetic
moment
Double electron
capture



Sun

pp neutrinos
Solar metallicity
 ^7Be , ^8B , hep

