

DARWIN/XLZD: 大型キセノン実験の将来計画とそのR&D

小林雅俊 (名古屋大学 KMI)

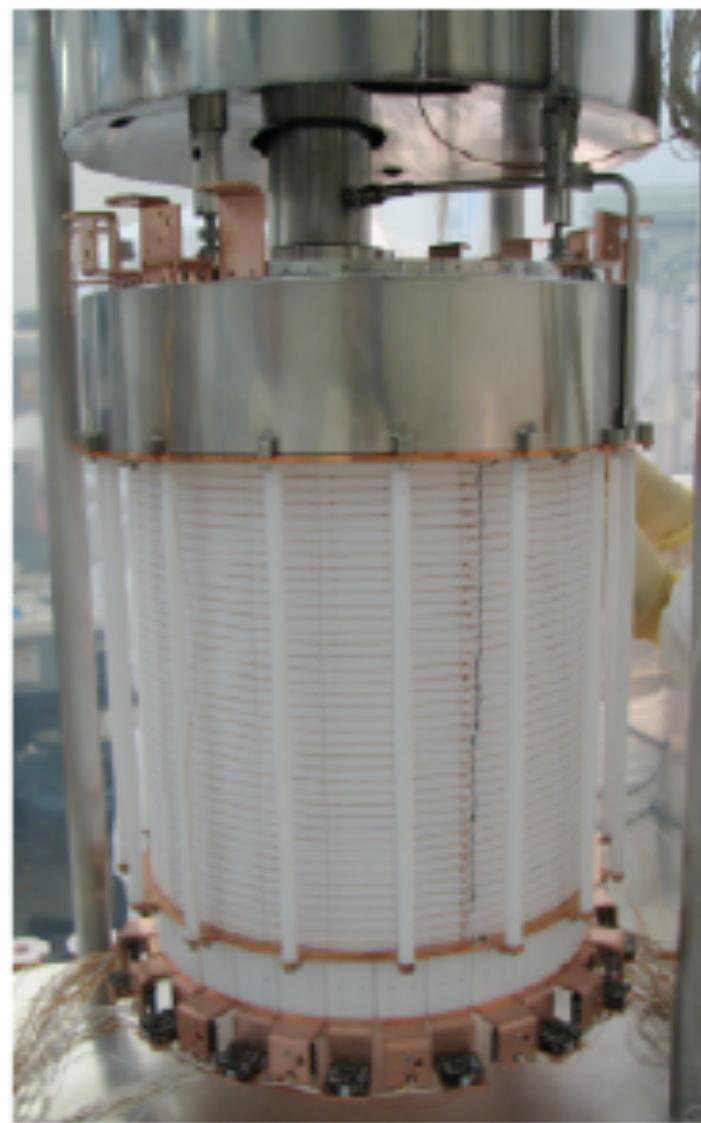
2024.7.5 「地下稀事象」領域研究会 @大阪大学

DARWIN/XLZD

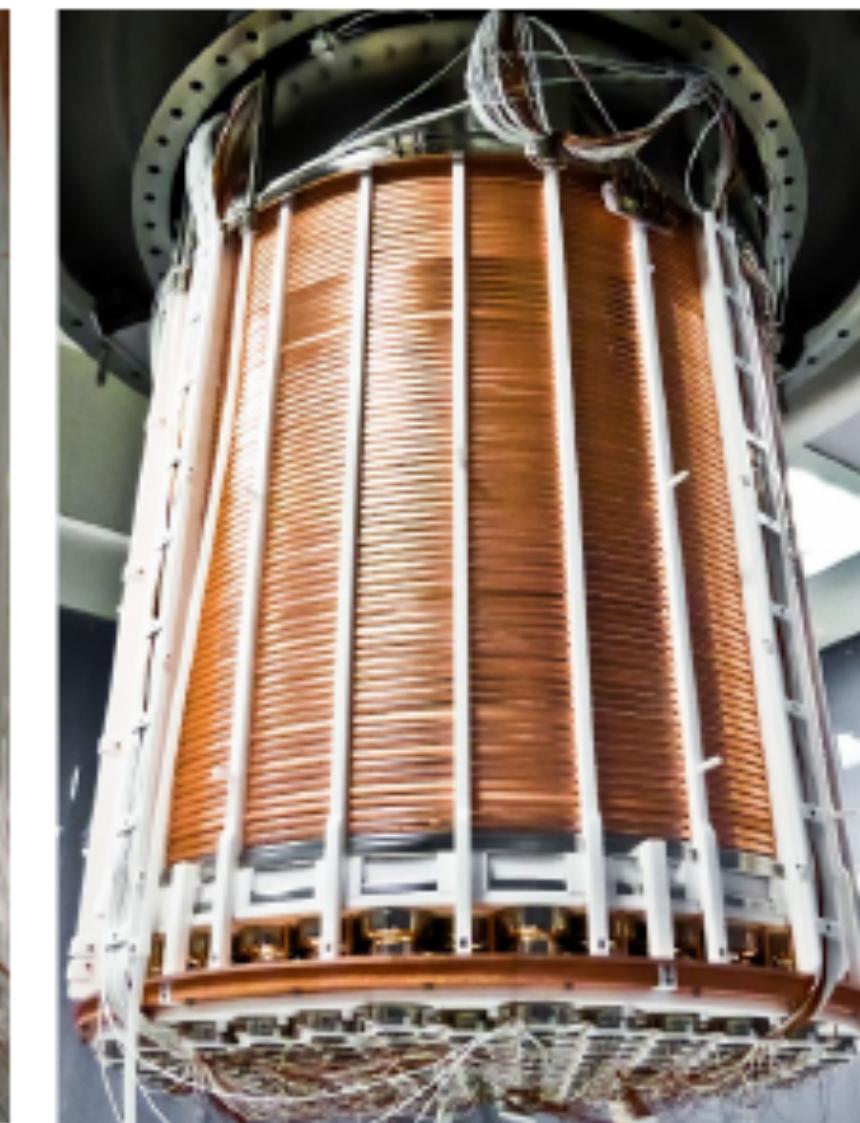
XENON10



XENON100



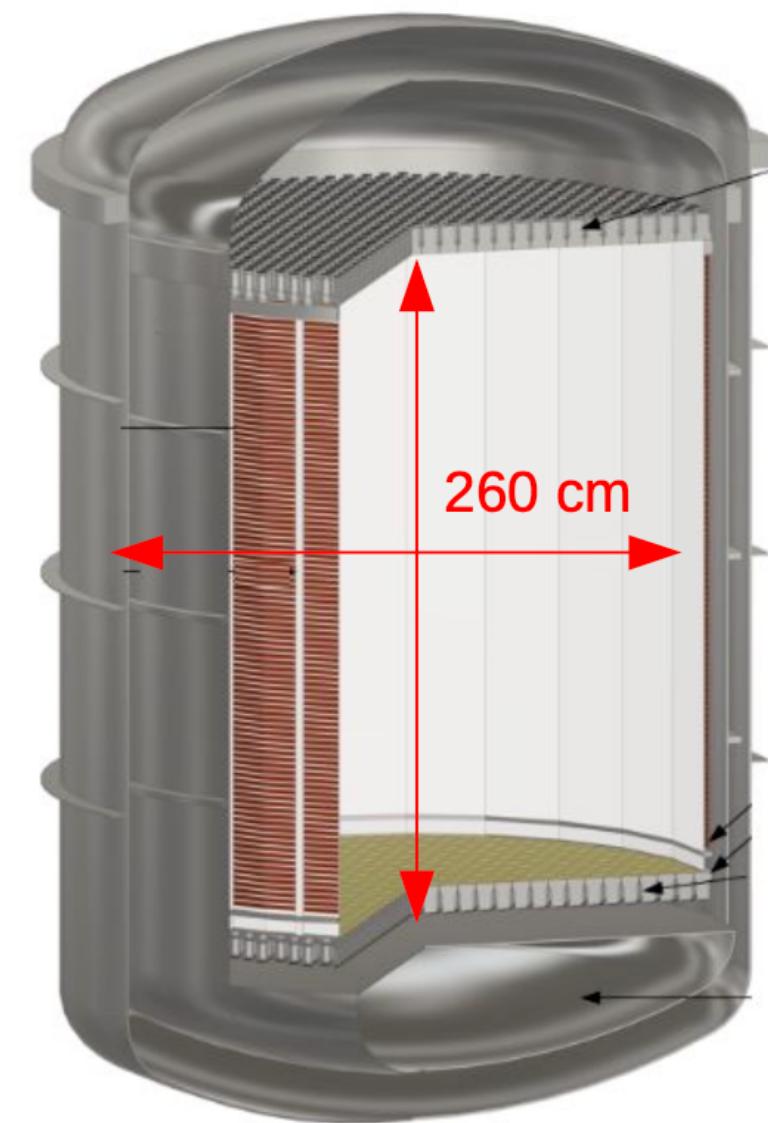
XENON1T



XENONnT



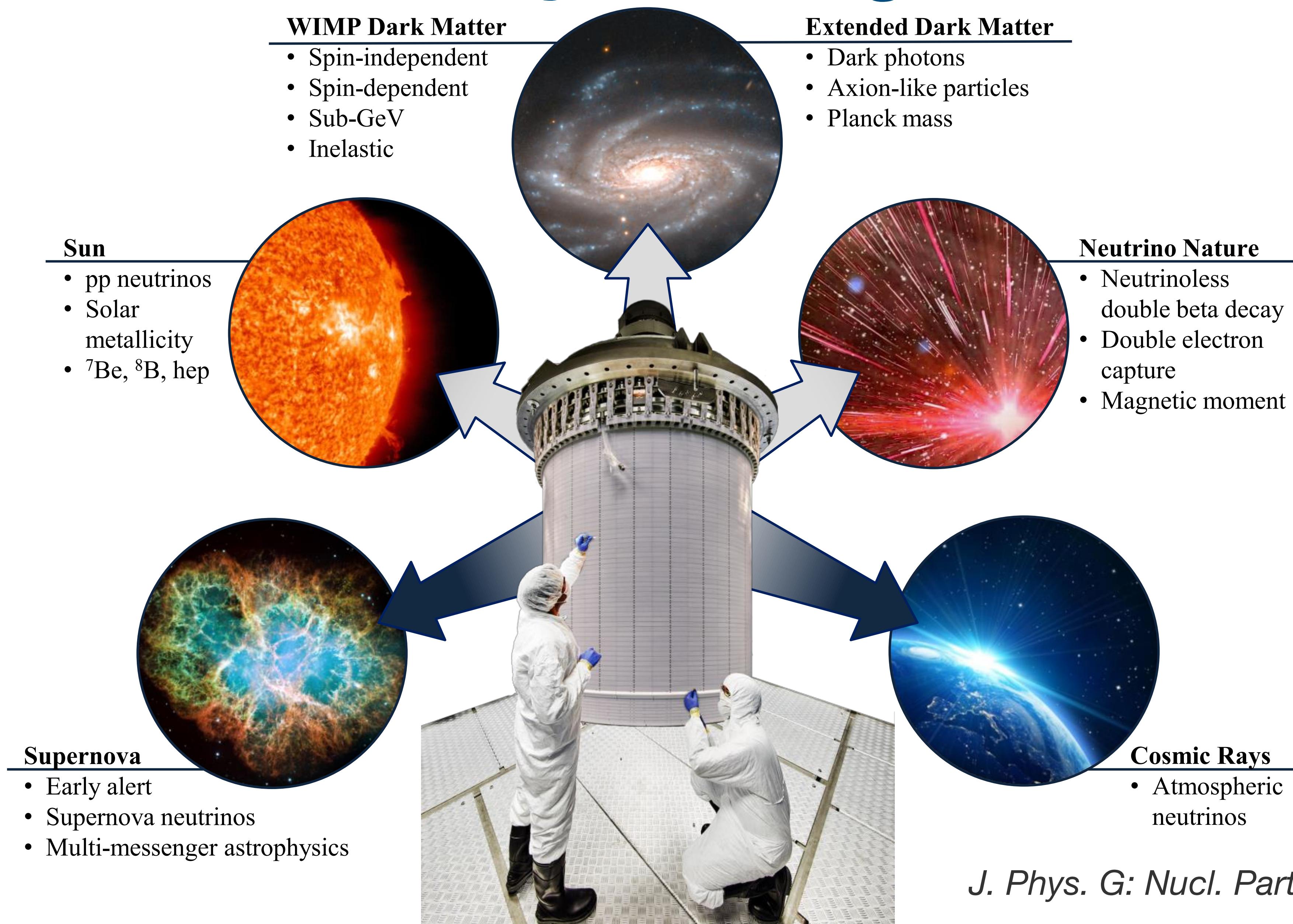
DARWIN/XLZD



Years	2005 - 2007	2008 - 2016	2012 - 2018	2019 - NOW	2030s -
Total Xe mass	25 kg	161 kg	3200 kg	8500 kg	≥ 50 t
WIMPs sensitivity	$\sim 10^{-43} \text{ cm}^2$	$\sim 10^{-45} \text{ cm}^2$	$\sim 10^{-47} \text{ cm}^2$	$\sim 10^{-48} \text{ cm}^2$	$\sim 10^{-49} \text{ cm}^2$

- DARWIN/XLZD実験：液体キセノンによる暗黒物質探索の将来実験
 - ≥ 50 トンクラスの検出器を用いて観測を行う計画
- XENON実験の後継計画DARWINと、米国のLZ実験が将来的に合同 => XLZD

DARWIN/XLZD: Physics targets

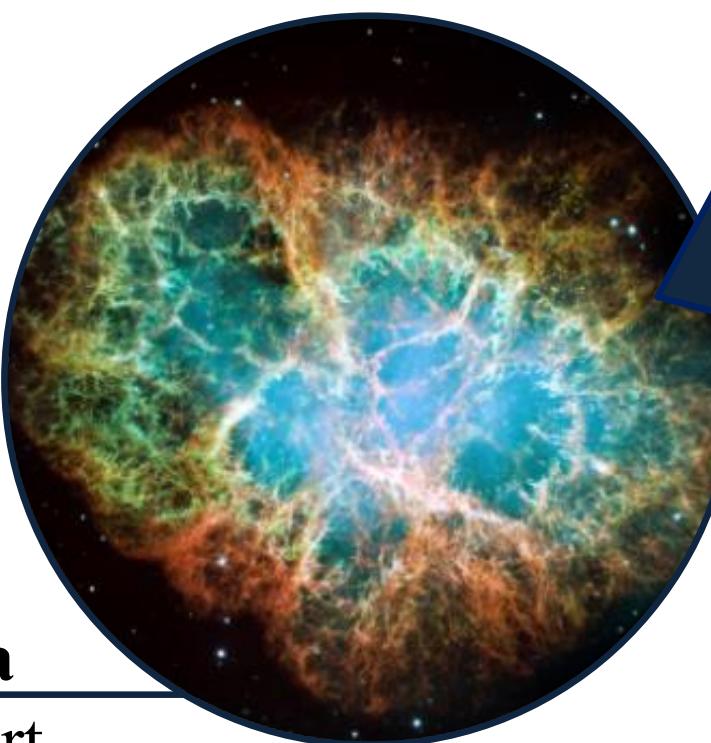


DARWIN/XLZD: Physics targets

WIMP Dark Matter

- Spin-independent
- Spin-dependent
- Sub-GeV
- Inelastic

- WIMPに対する目標感度: $10^{-49} \text{ [cm}^2]$
- 太陽・大気ニュートリノが支配的なBGとなる領域

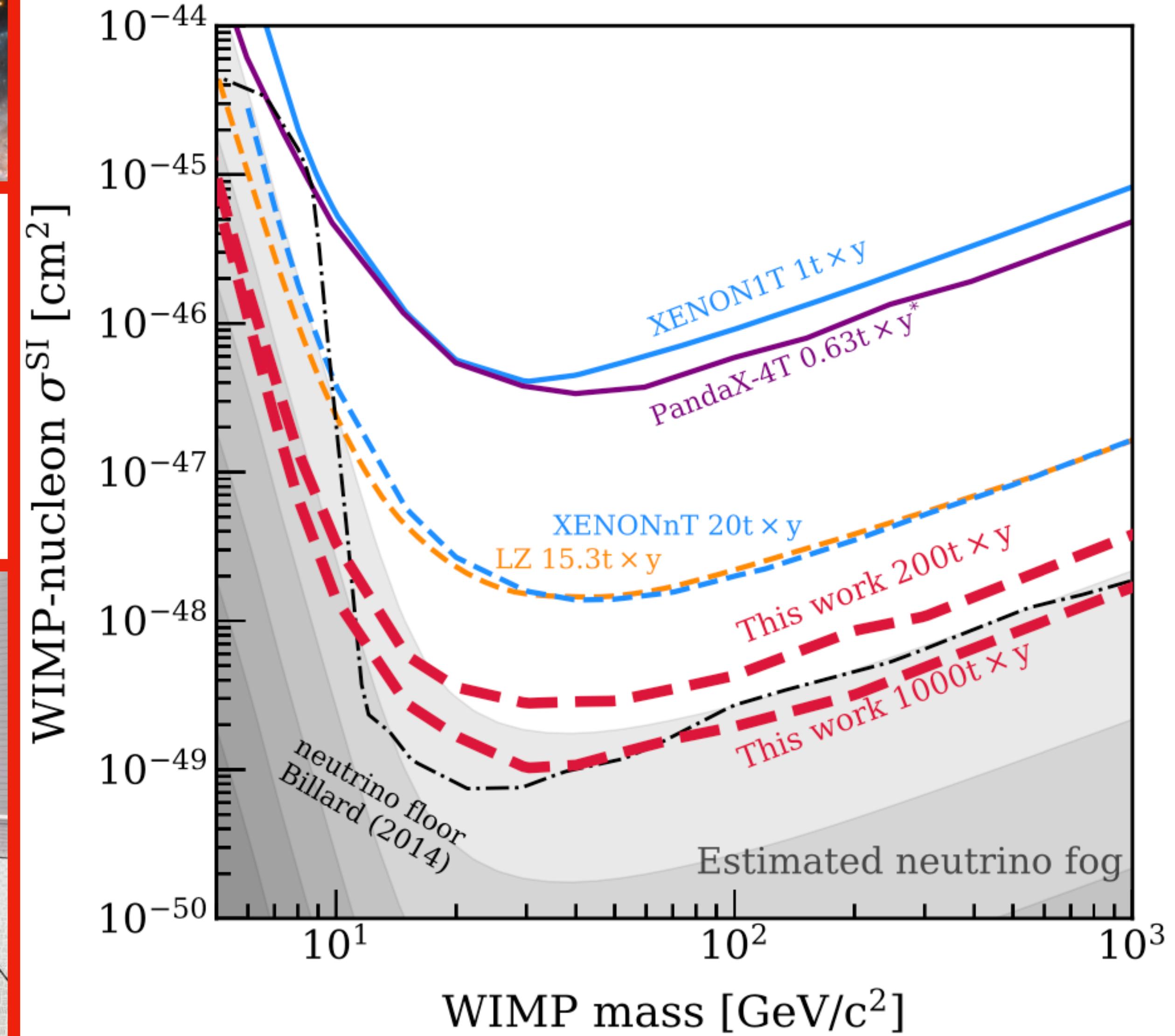


Supernova

- Early alert
- Supernova neutrinos
- Multi-messenger astrophysics



Extended Dark Matter



DARWIN/XLZD: Physics targets

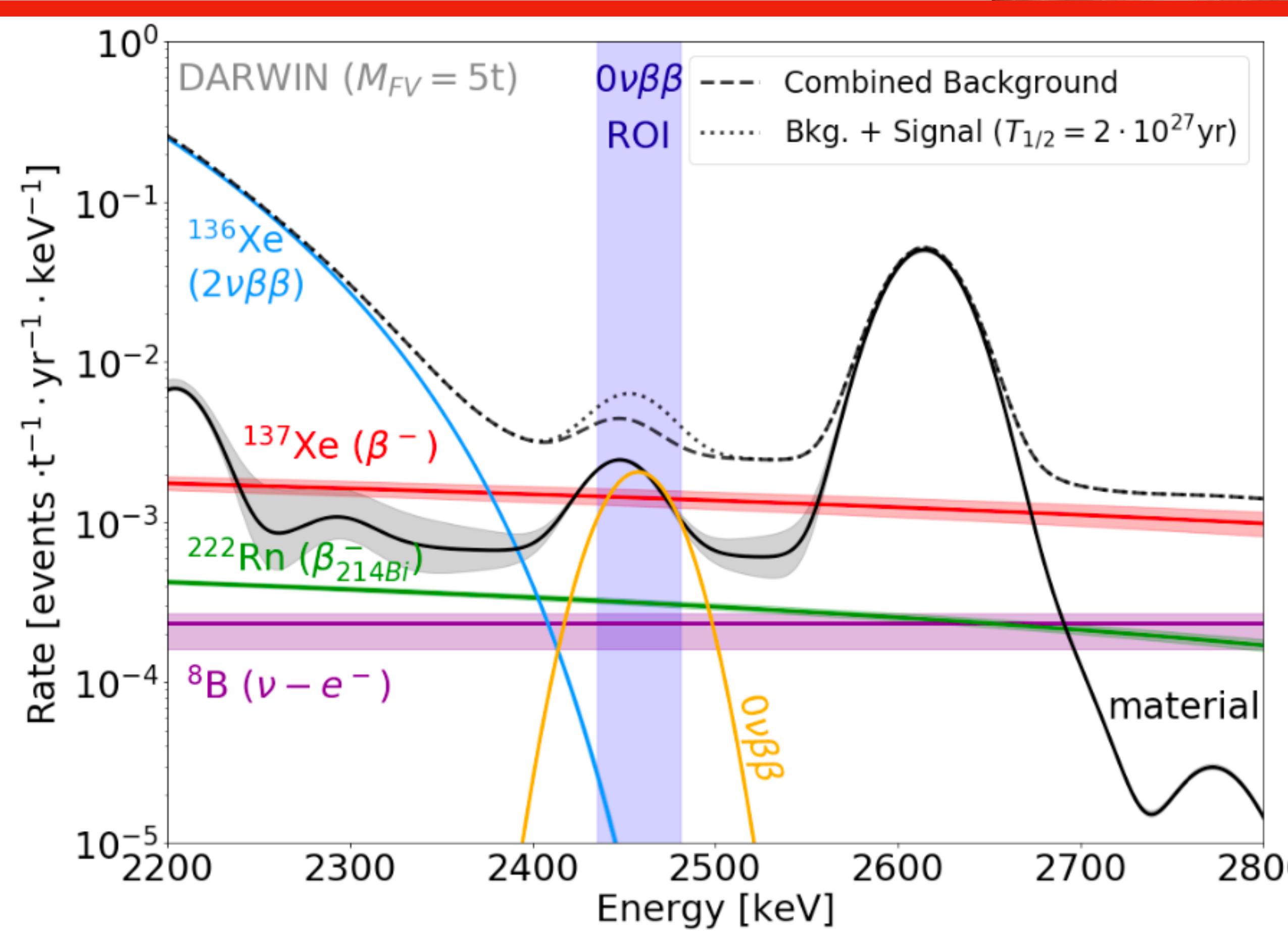
WIMP Dark Matter

- Spin-independent
- Spin-dependent
- Sub-GeV
- Inelastic



Extended Dark Matter

- Dark photons
- Axion-like particles
- Planck mass



Neutrino Nature

- Neutrinoless double beta decay
- Double electron capture
- Magnetic moment

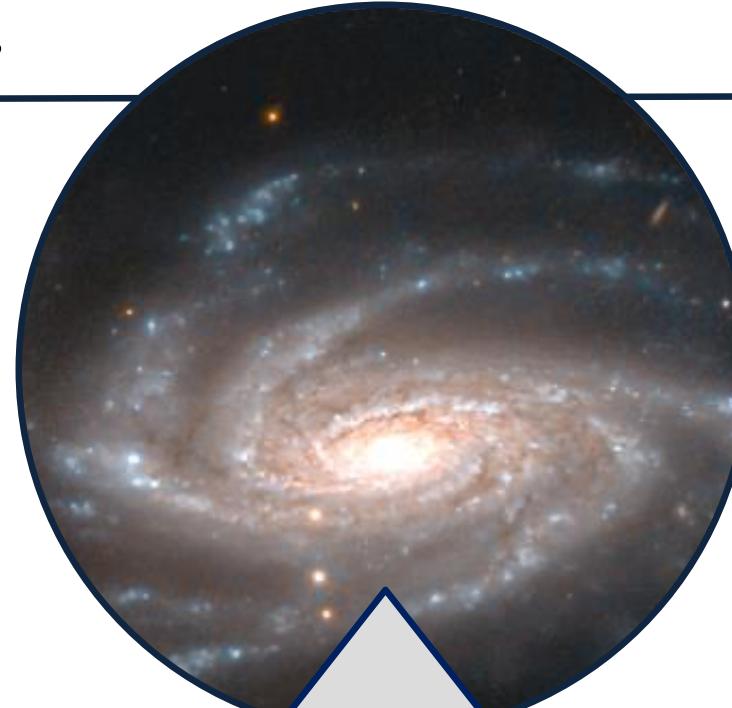
- 0nBBに対する目標感度 : $3 \times 10^{27} \text{ y}$
- Material Gammaの他、場所によるが muon-induced の¹³⁷Xeなどが問題になってくる

- Atmospheric neutrinos

DARWIN/XLZD: Physics targets

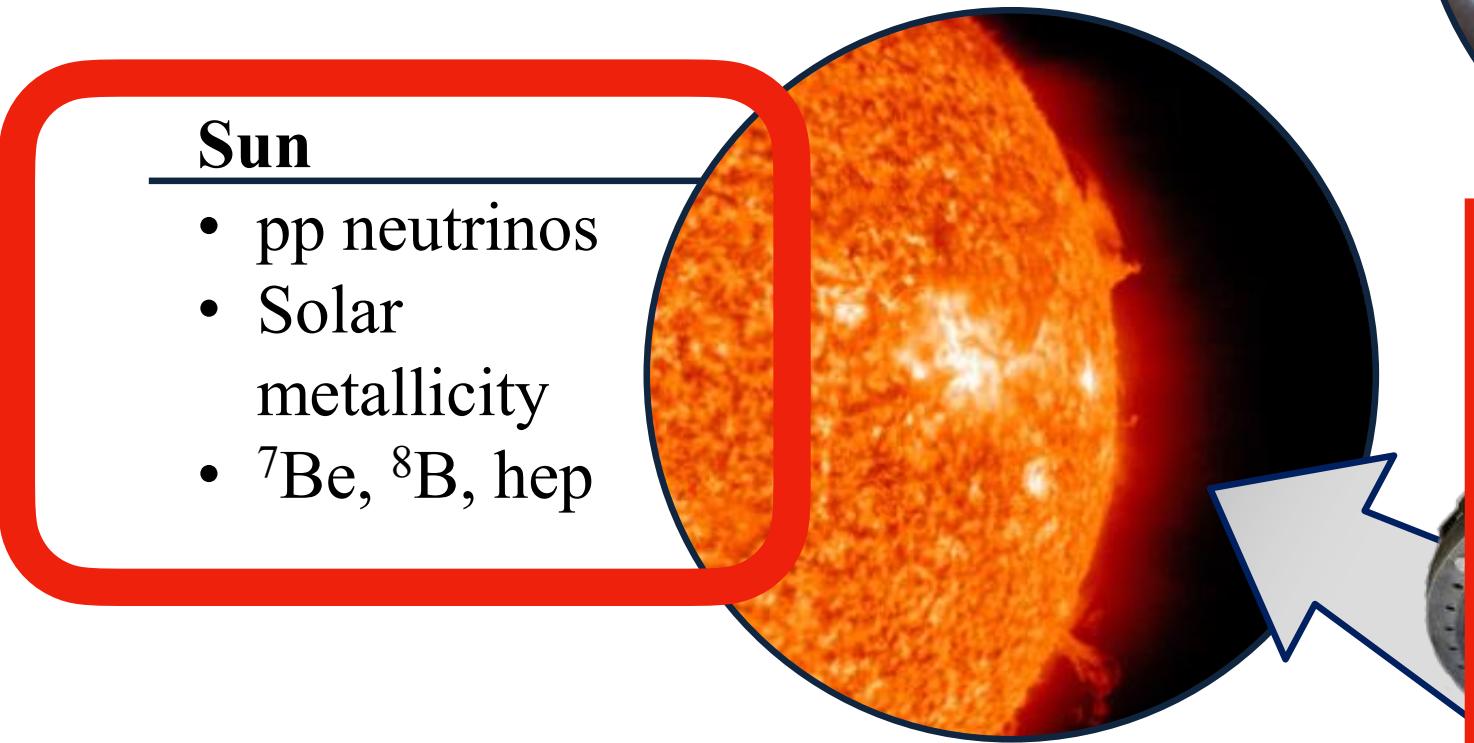
WIMP Dark Matter

- Spin-independent
- Spin-dependent
- Sub-GeV
- Inelastic



Extended Dark Matter

- Dark photons
- Axion-like particles
- Planck mass



Sun

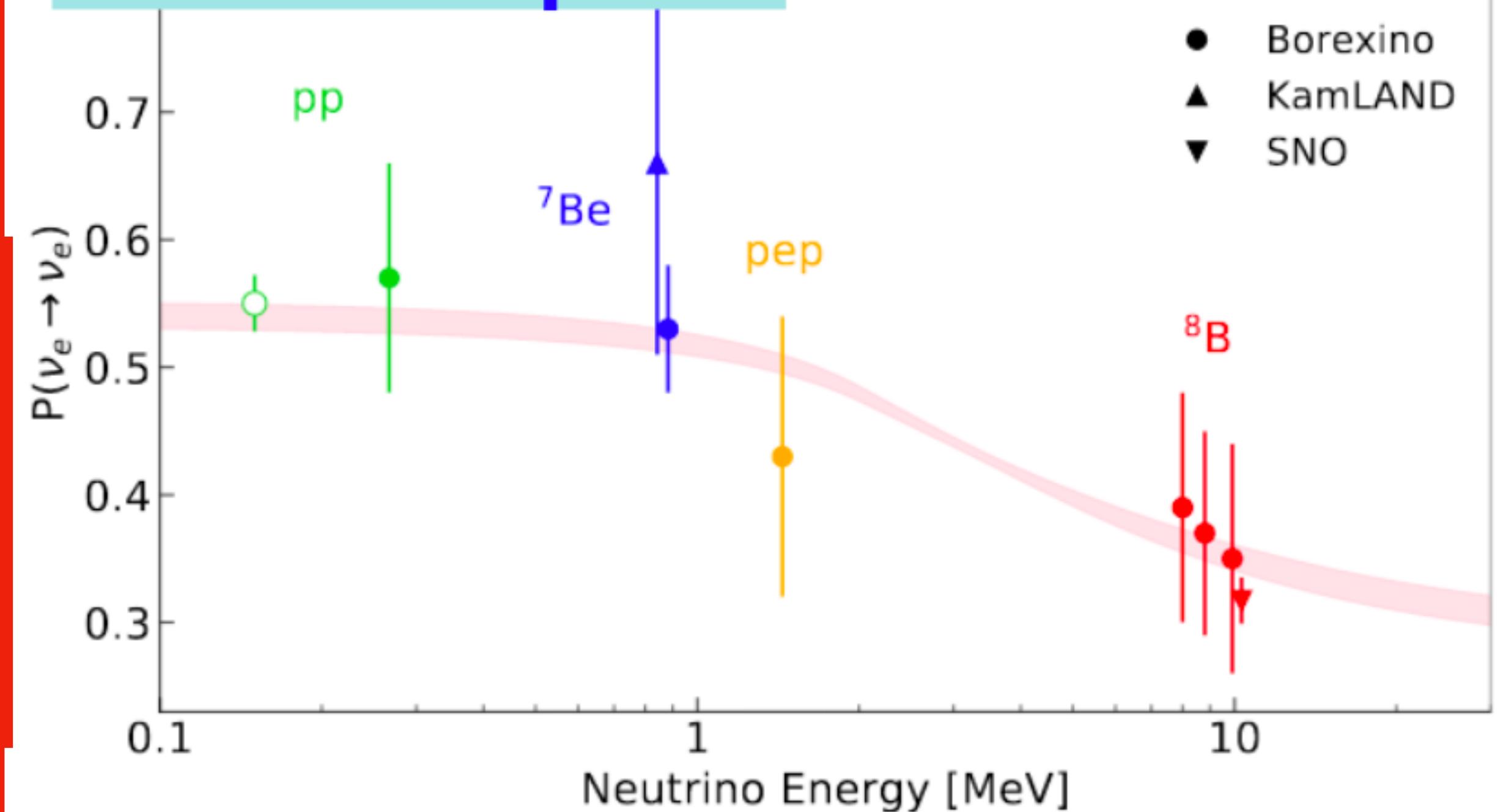
- pp neutrinos
- Solar metallicity
- ${}^7\text{Be}$, ${}^8\text{B}$, hep

- 数keV-数10keV領域での太陽ニュートリノの精密測定
- ppニュートリノで数%の統計精度

Early alert

- Supernova neutrinos
- Multi-messenger astrophysics

ν_e survival prob.

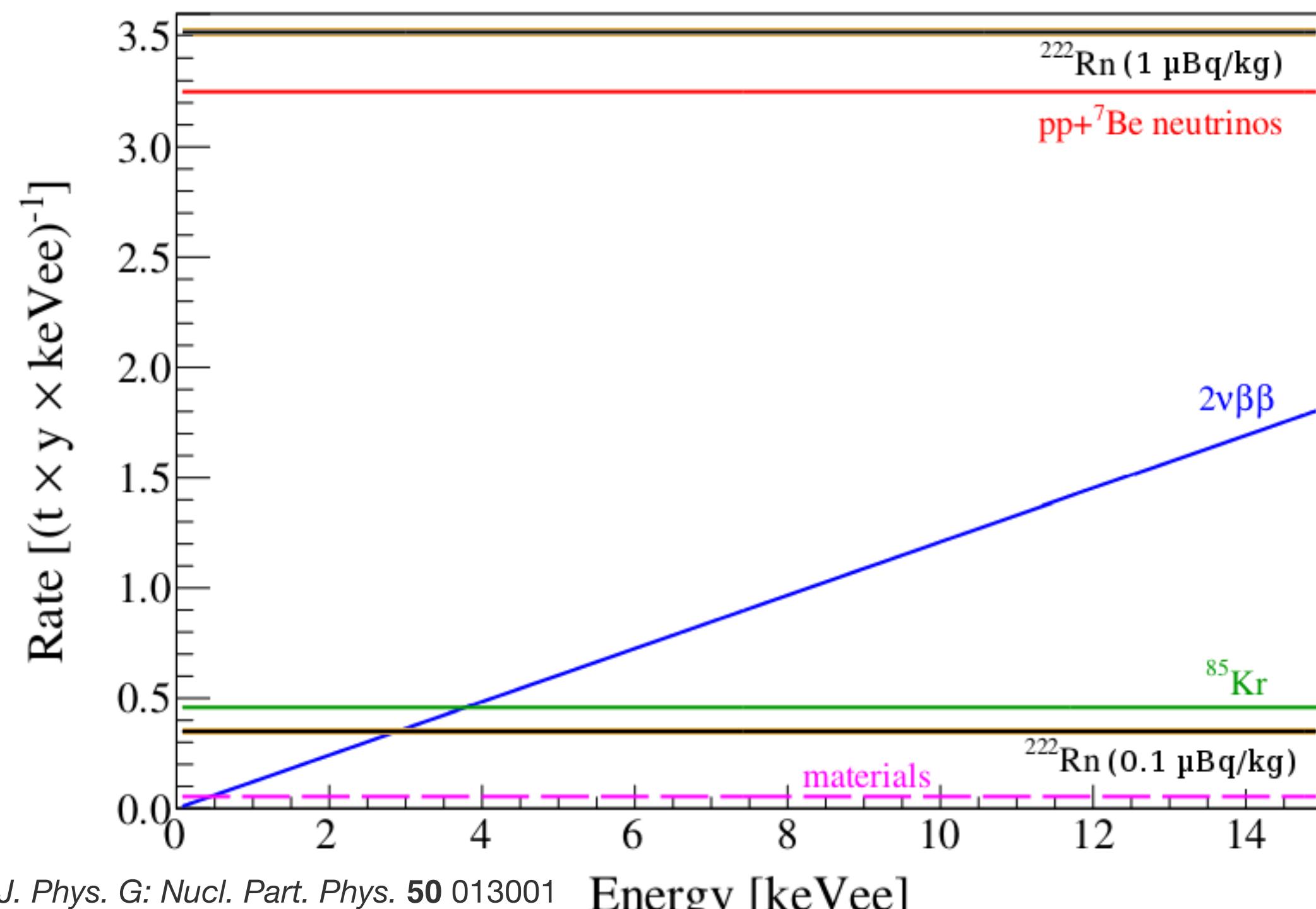


DARWIN/XLZD: Backgrounds

- 2種類のBG源：電子反跳事象(**ER BG**)・原子核反跳事象(**NR BG**)
- どちらのBGでも、太陽・大気ニュートリノが支配的なBGとなる領域を目指す

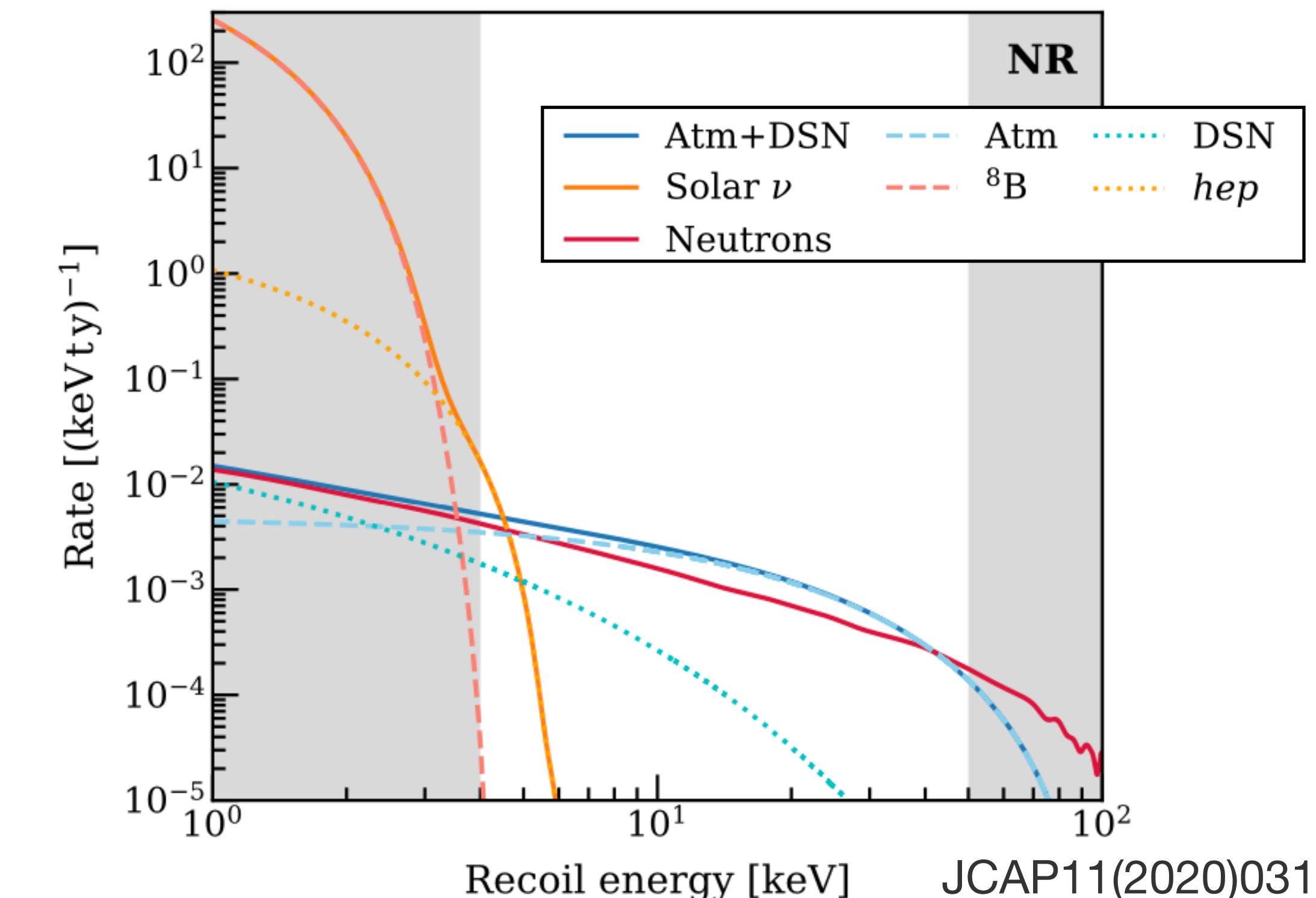
現状の主なER BG : Rnの娘核

- SUSやケーブル等からRnが湧き出す



現状の主なNR BG源 : U / Th

- PMT, 壓力容器のU / Thからの中性子

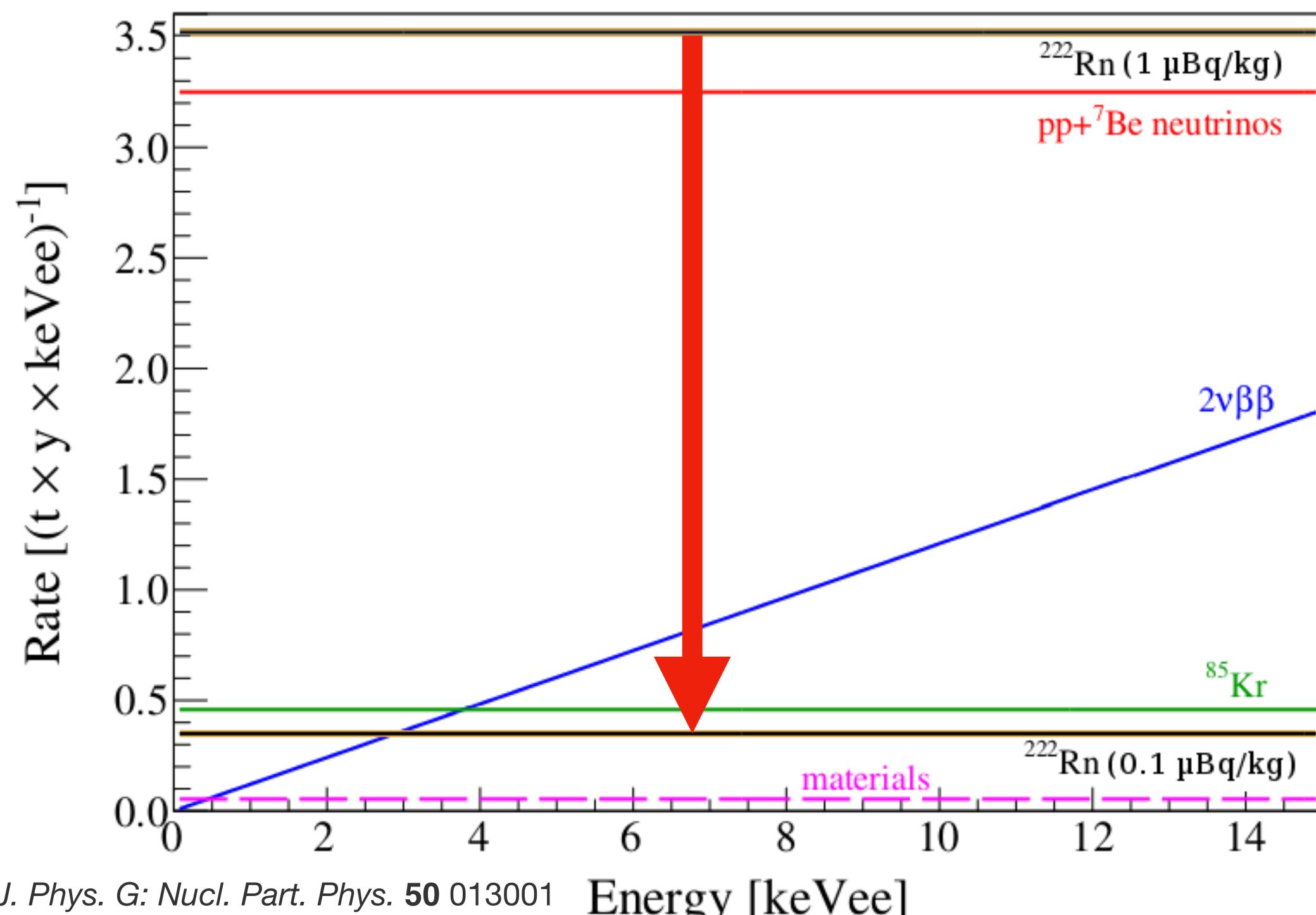


DARWIN/XLZD: Backgrounds

- 2種類のBG源：電子反跳事象(**ER BG**)・原子核反跳事象(**NR BG**)
- どちらのBGでも、太陽・大気ニュートリノが支配的なBGとなる領域を目指す

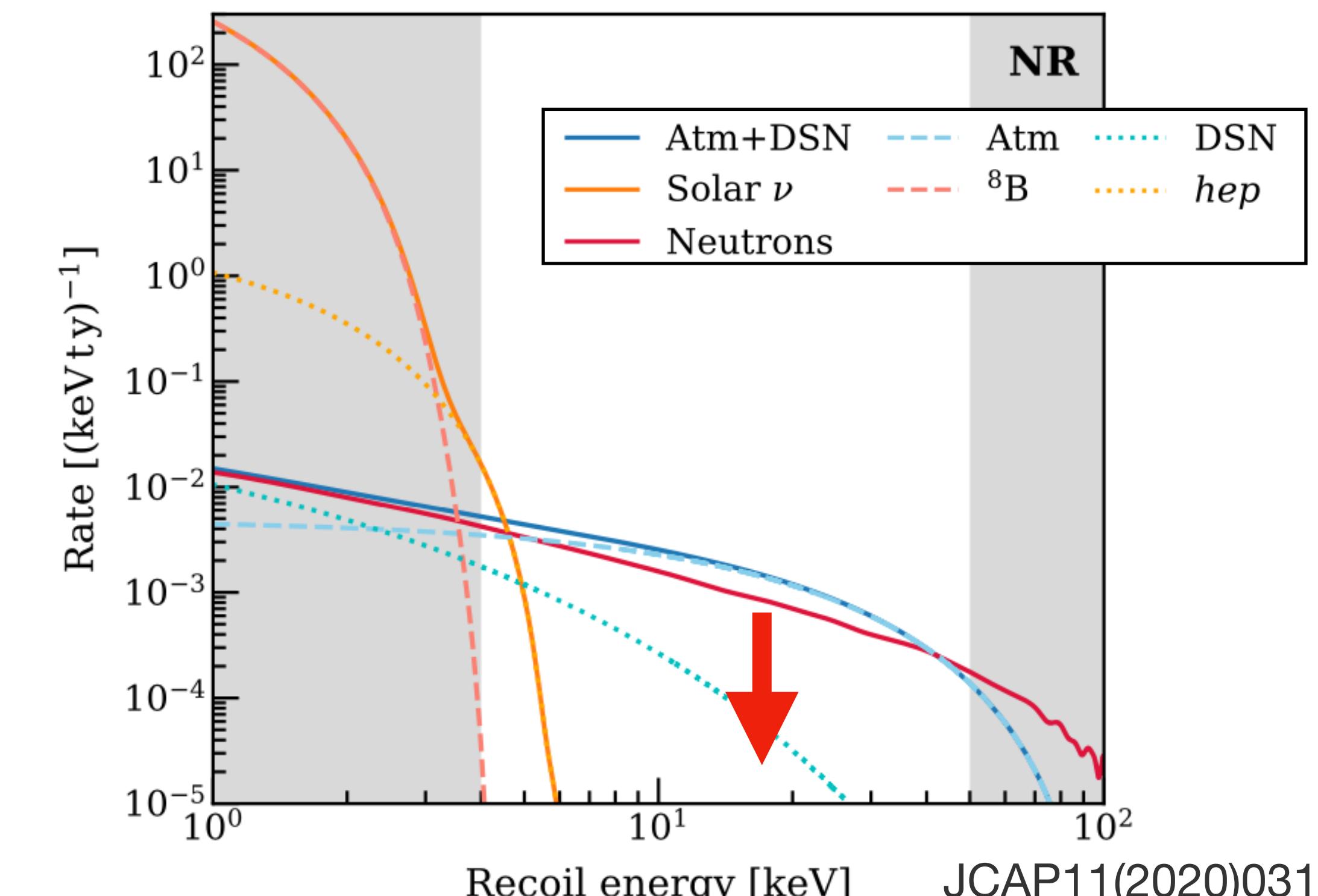
現状の主なER BG : Rnの娘核

- SUSやケーブル等からRnが湧き出す



現状の主なNR BG源 : U / Th

- PMT, 壓力容器のU / Thからの中性子

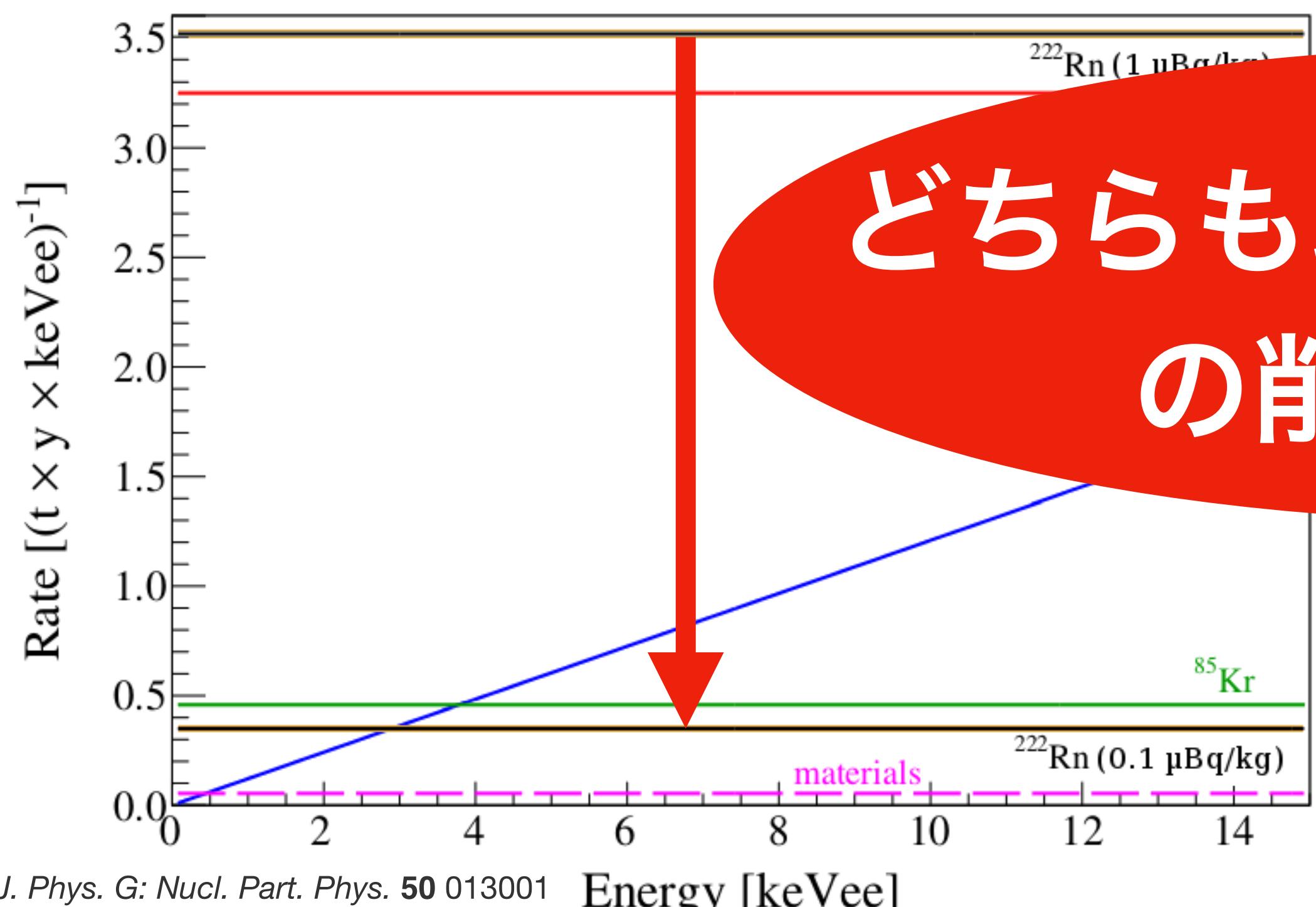


DARWIN/XLZD: Backgrounds

- 2種類のBG源：電子反跳事象(**ER BG**)・原子核反跳事象(**NR BG**)
- どちらのBGでも、太陽・大気ニュートリノが支配的なBGとなる領域を目指す

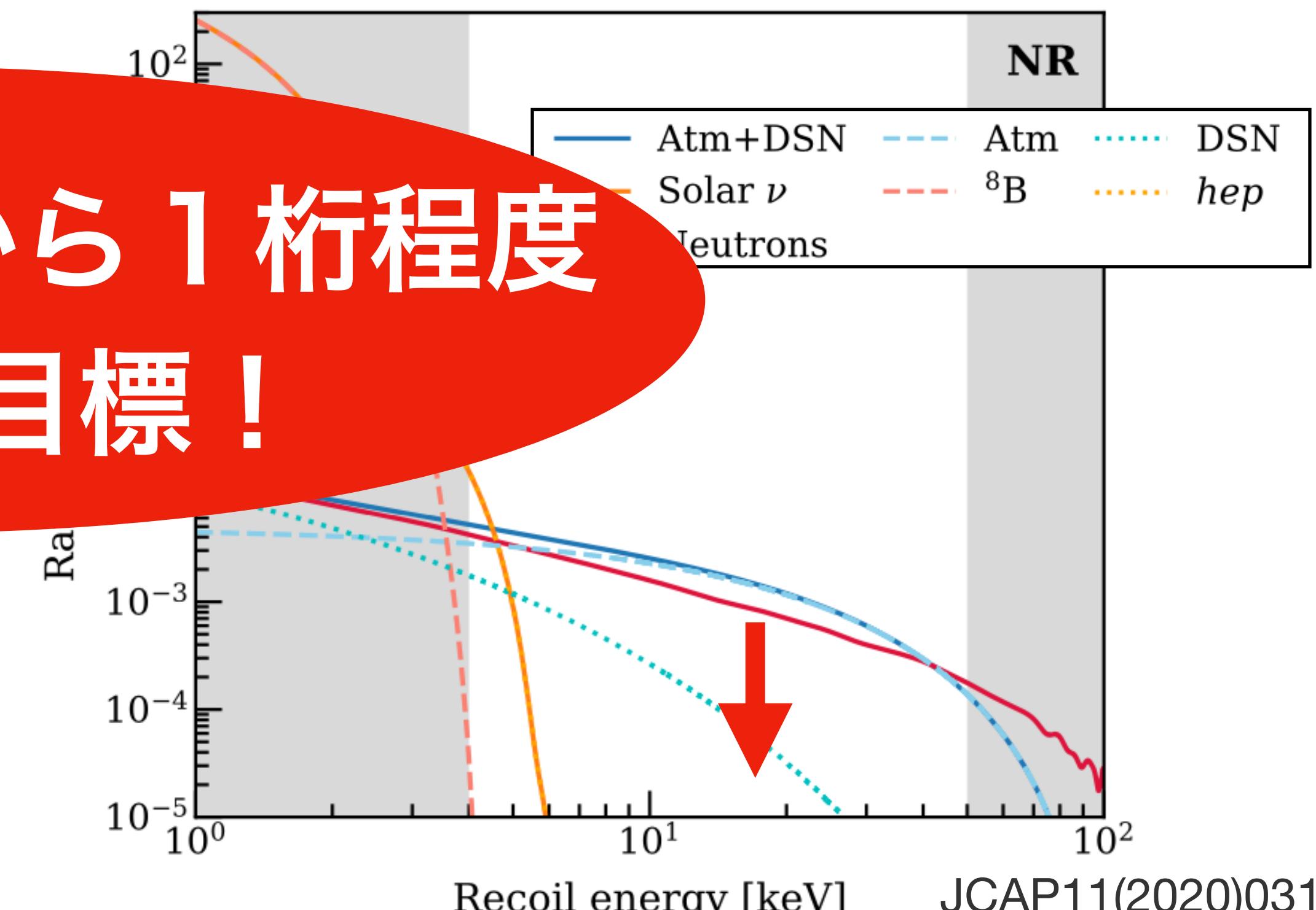
現状の主なER BG : Rnの娘核

- SUSやケーブル等からRnが湧き出す



現状の主なNR BG源 : U / Th

- PMT, 圧力容器のU / Thからの中性子



どちらも現状から 1桁程度
の削減が目標！

DARWIN/XLZD: Backgrounds

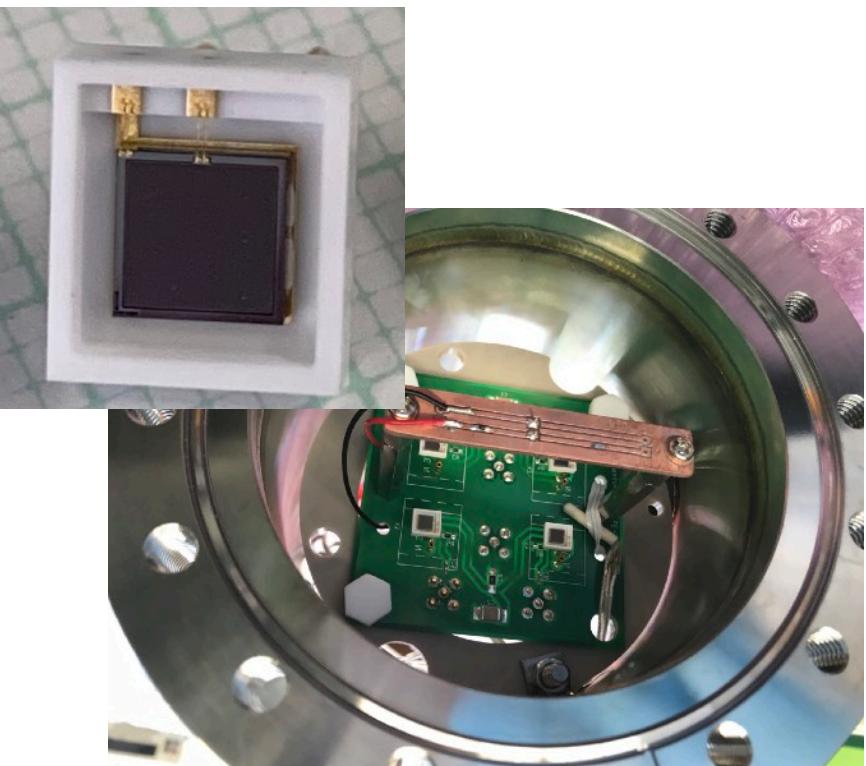
今回の学変で特に推進



PMT (R13111)



Low Dark Count SiPM



R&Ds for NR BGs:

- 低BG光センサーの開発
 - 現状、PMTは主要な中性子BG源の一つ
- 低BG PMT
 - XMASSでの開発
- SiPMベースのセンサー開発
 - 低ダークカウントSiPM
 - ハイブリッドセンサー
- 液体キセノンの赤外発光測定

R&D on New Photosensors

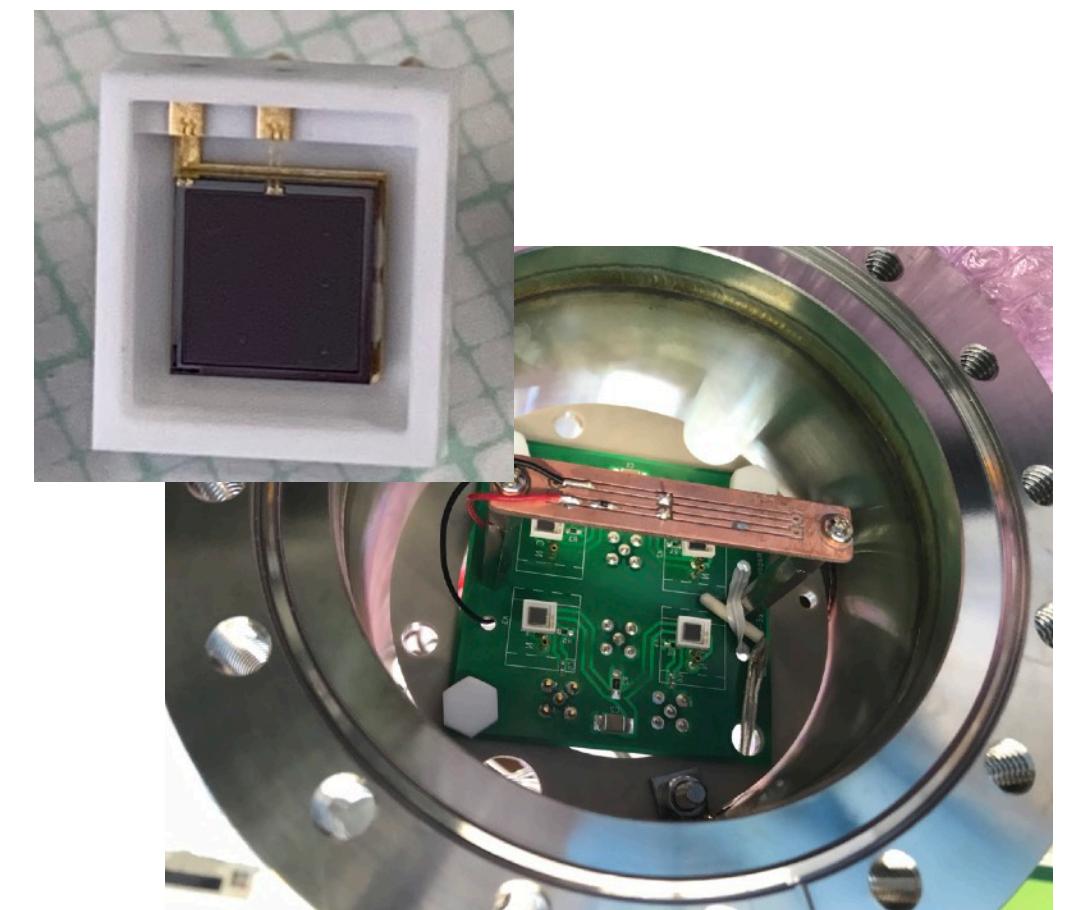
- 現行のLXe検出器は全て同じPMT (R11410)を使用
 - => BGの削減が必要(ステムのRIなど)
- XMASS実験が開発したR13111(3inch)やPandaX実験が開発したR12699(2inch)がより低い放射能レベルを達成している
 - 特に ^{238}U は1/10まで削減している他、R13111は光電面の ^{39}K も削減に成功している



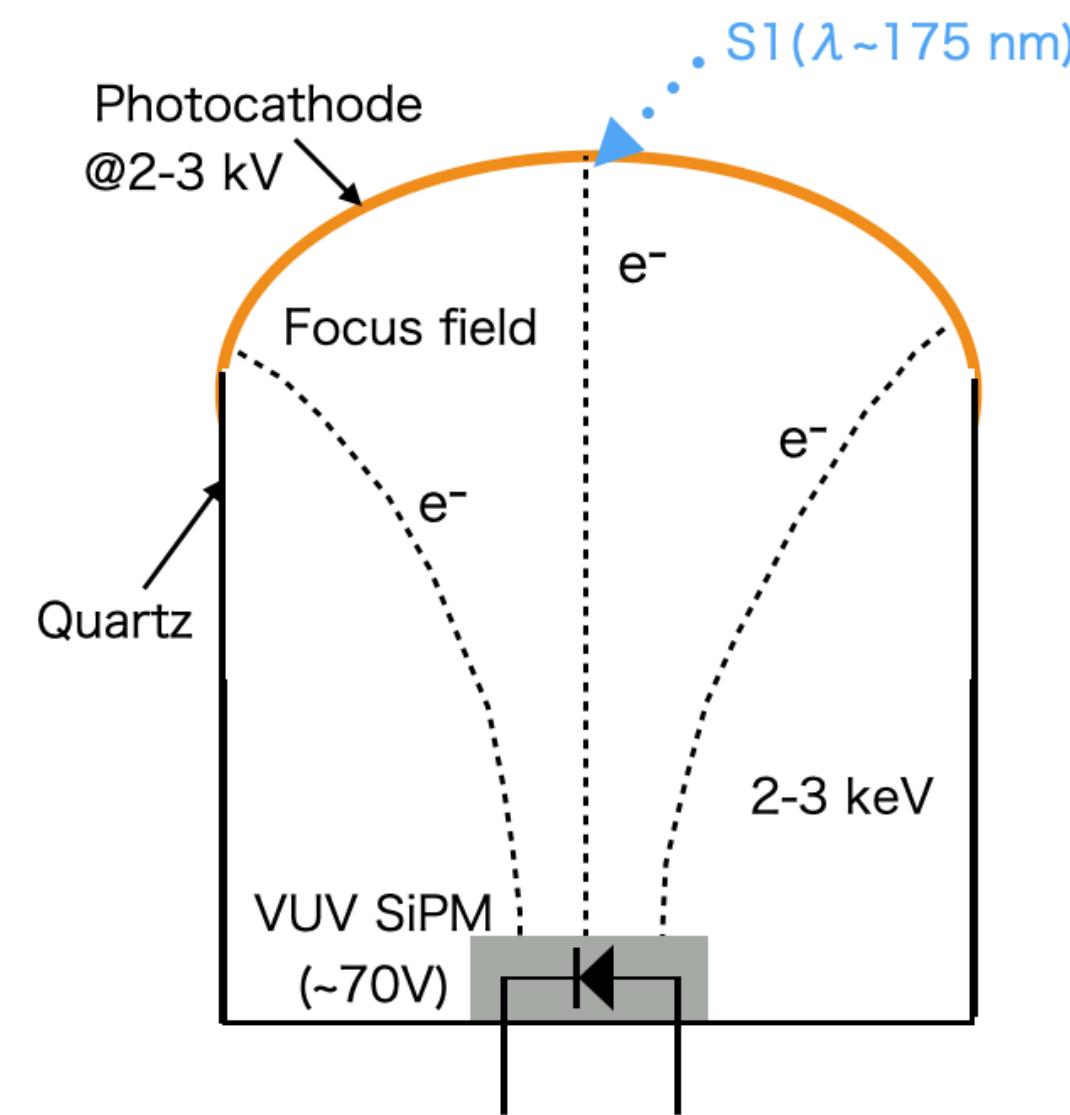
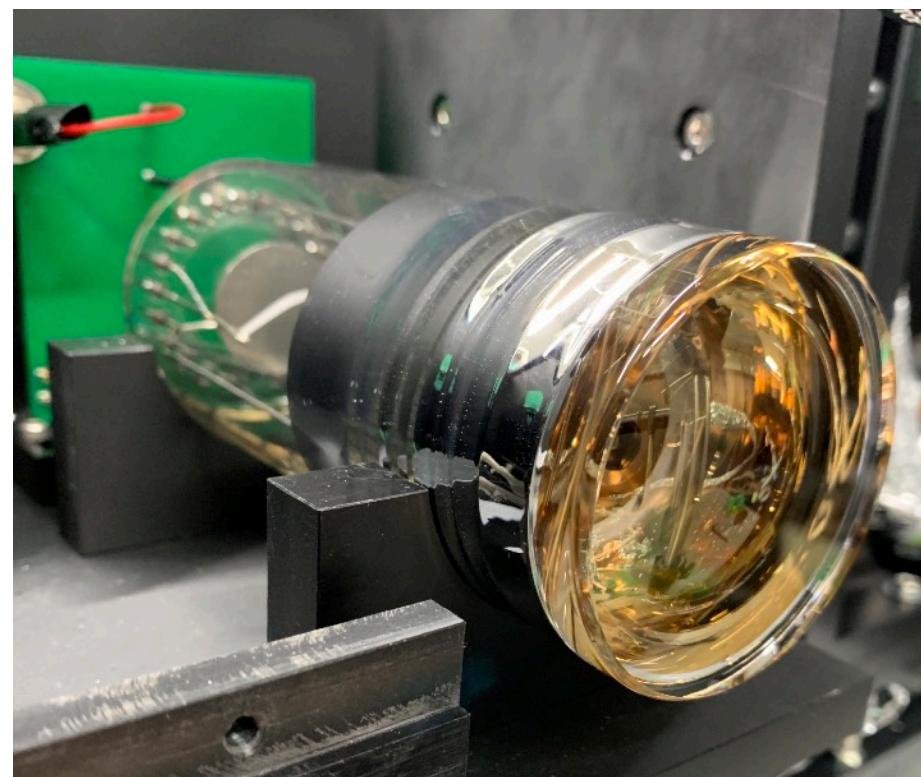
R&D on New Photosensors

- PMT以外の候補：**SiPM**
 - 純粹なSiチップのため、RIを低減できる
 - しかし：SiPMはダークカウントレート(DCR)が高く、そのままでは閾値が上がってしまう
 - 現状のSiPMのDCRはおよそ $O(0.1)$ Hz/mm²
 - 7hit程度に相当 \leftrightarrow 2-3hit @XENONnT
 - PMTと同レベルの $O(0.01)$ Hz/mm²まで下げたい
- 日本グループで現在取り組み中：
 - SiPMの低DCR化
 - PMTの光電面と組み合わせたハイブリッドセンサー

Low Dark Count SiPM

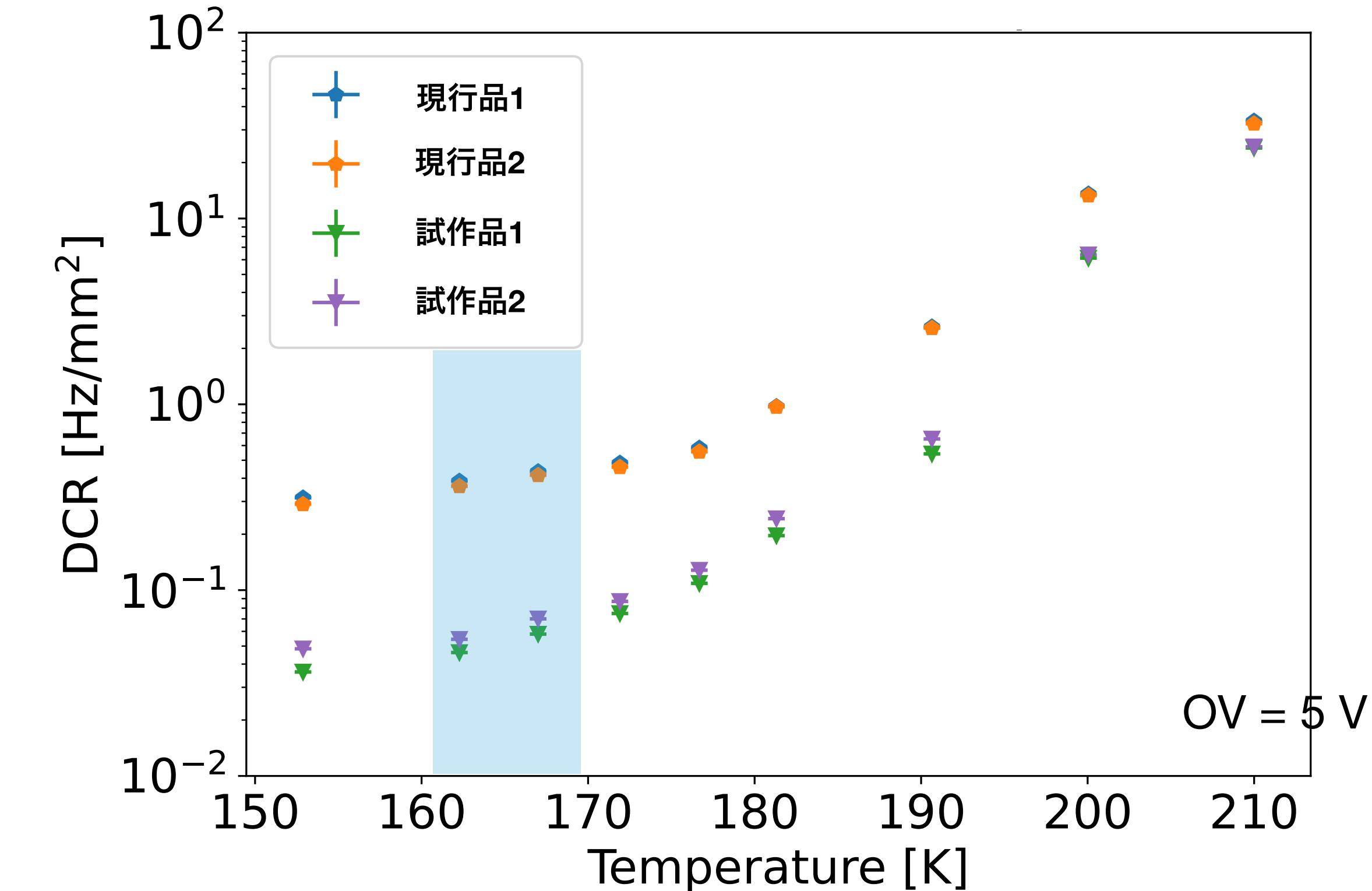


Hybrid Photosensor



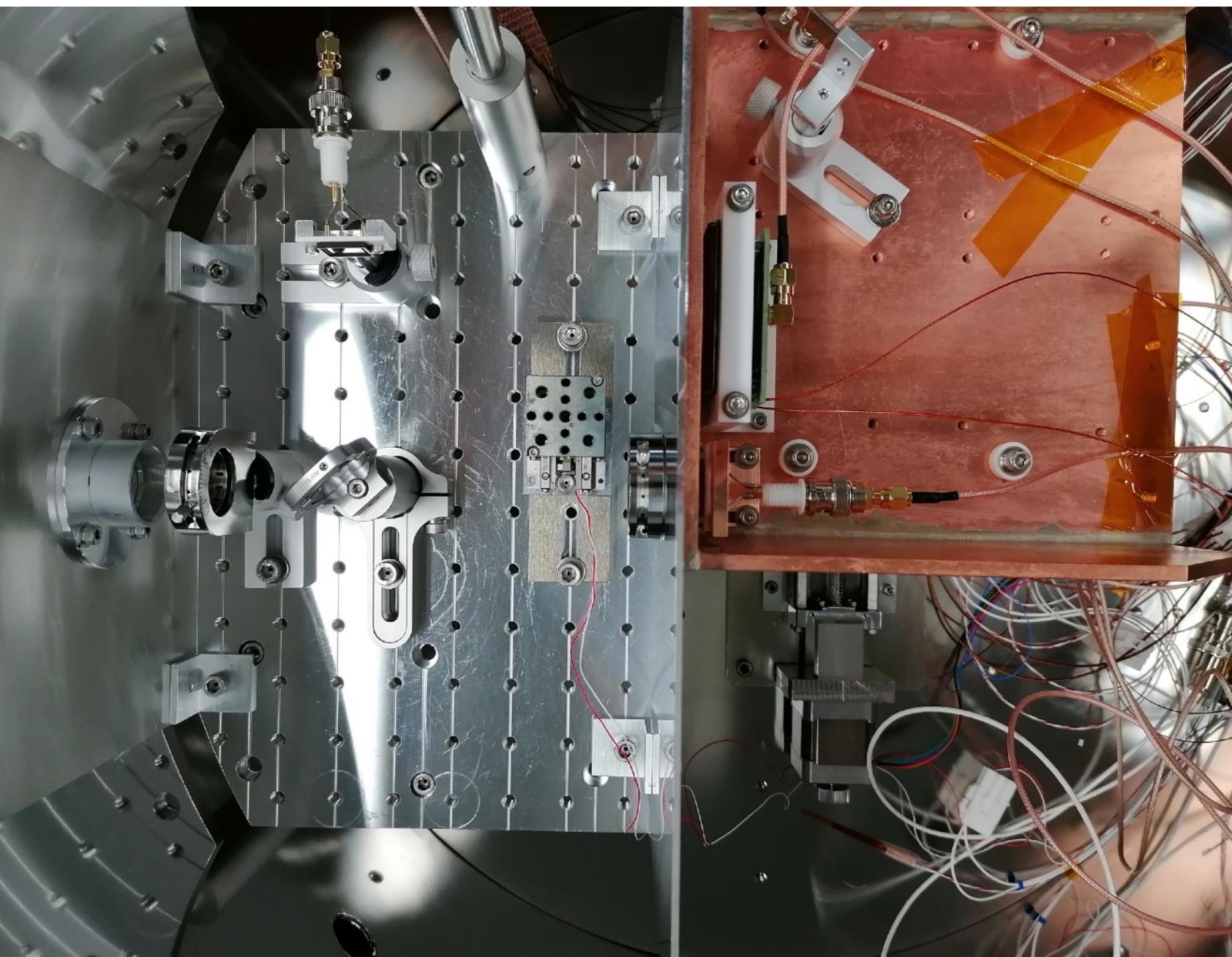
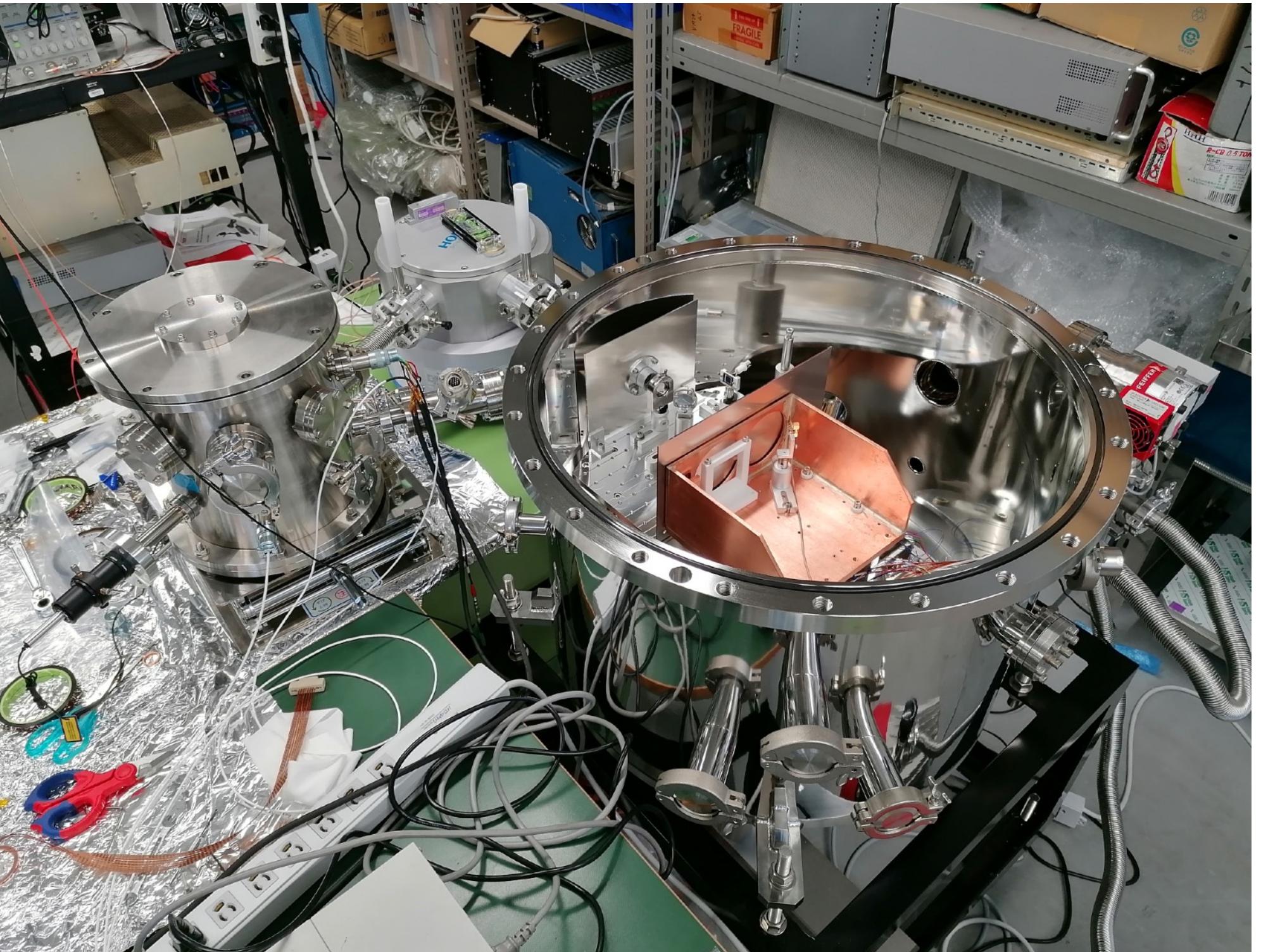
Dark Count Rate: 50um pixel sample

- SiPMのダークカウント
- 室温~100付近まではキャリアの熱励起が支配的 => 温度依存
- -100度以下ではトンネル効果が支配的 => Siチップ内部の電場構造に依存
- 試作では、現行から約1/5の削減を達成
 - さらなる改善へ浜松ホトニクスと協力
 - PDEの測定も実施予定



	DCR [Hz/mm²]	現行品との 比較
New-1 (50um)	0.049 – 0.073	13 - 16%
New-2 (50um)	0.060 – 0.087	15 - 20 %

New VUV setup @Nagoya



- ・現在、冷却装置と真空紫外分光計を組み合わせたセットアップを立ち上げ中
 - ・-100度で175nmの光を分光・照射
- ・SiPMやPMTのPDE測定、ハイブリッド検出器も試作品が出来次第、各種測定を実施したい

Summary

- DARWIN/XLZD: 50-100トンの液体キセノンを用いた将来の暗黒物質探索実験
 - 太陽・大気ニュートリノが主要なBGとなるような感度(10^{-49}cm^2)を目指す
- 上記達成のため、現状から放射性BGを削減するためのR&Dが進行中
 - 目標：現状のXENONnTから $1/10$ までの削減
- 学変の計画としては、特に光センサーの低RI化やキセノンの発光波長測定を進めていく
 - 低RI PMTやSiPMをベースとした光センサーを開発中
 - 低温でVUV光に対する応答を測定するセットアップを立ち上げ中

BACKUP