

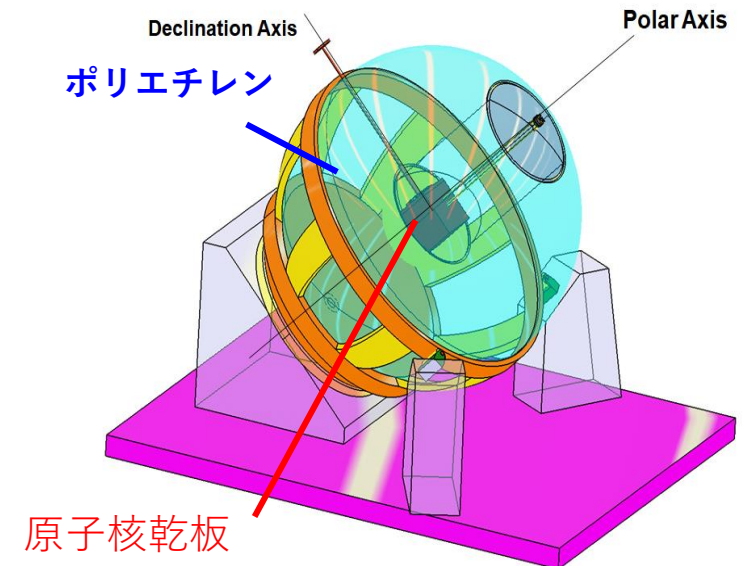
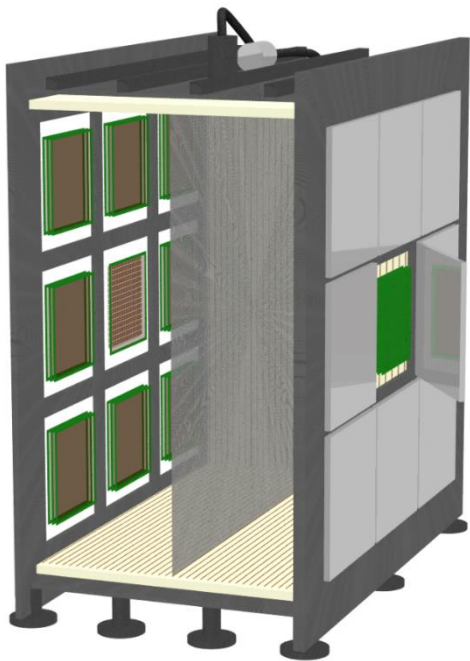
方向に感度をもった暗黒物質直接探索 (計画研究B02)

代表者：身内賢太郎(神戸大学)

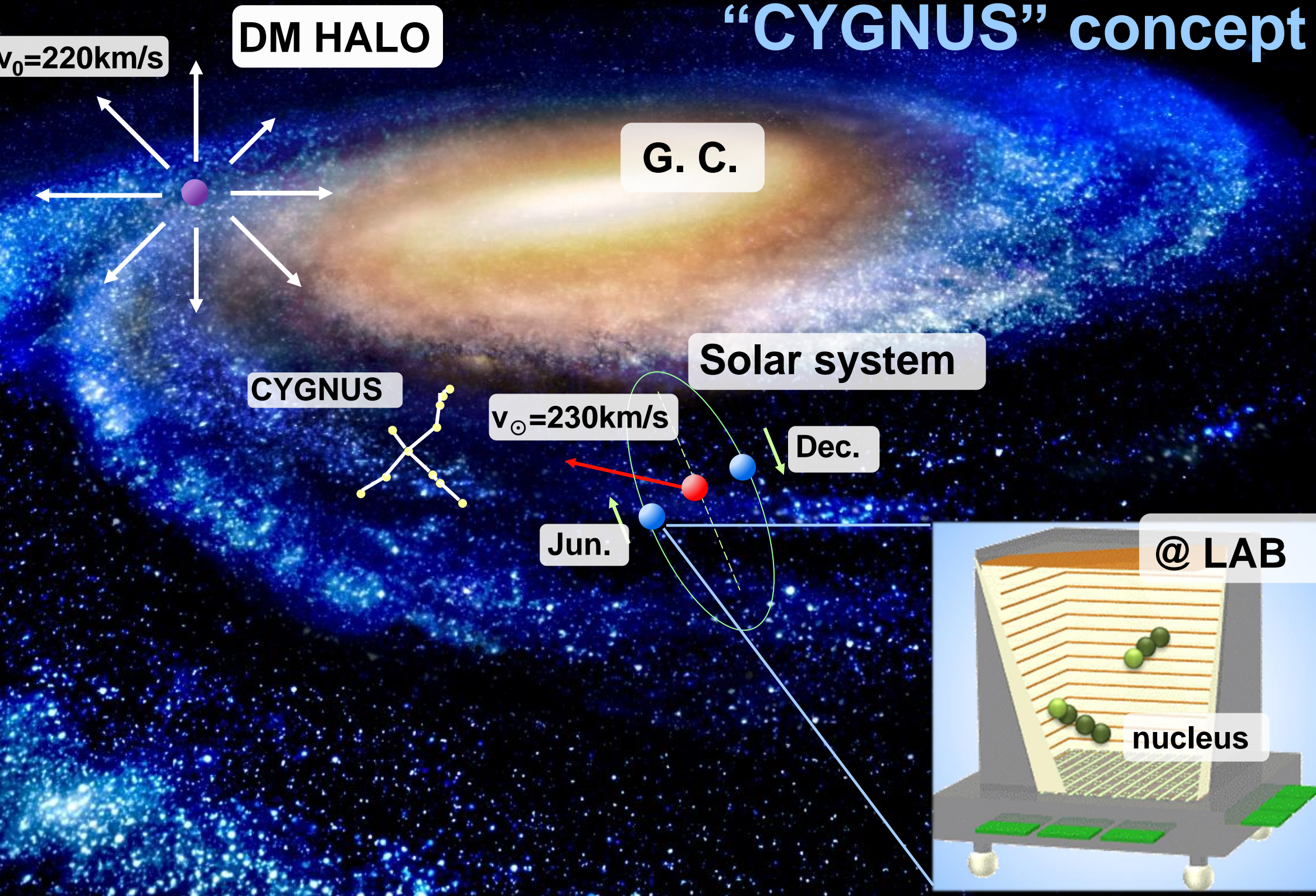
分担者：中竜大(東邦大学)

分担者：小川洋(日本大学)

2019年8月25日
新学術領域研究「地下宇宙研究」
第一回領域研究会



"CYGNUS" concept

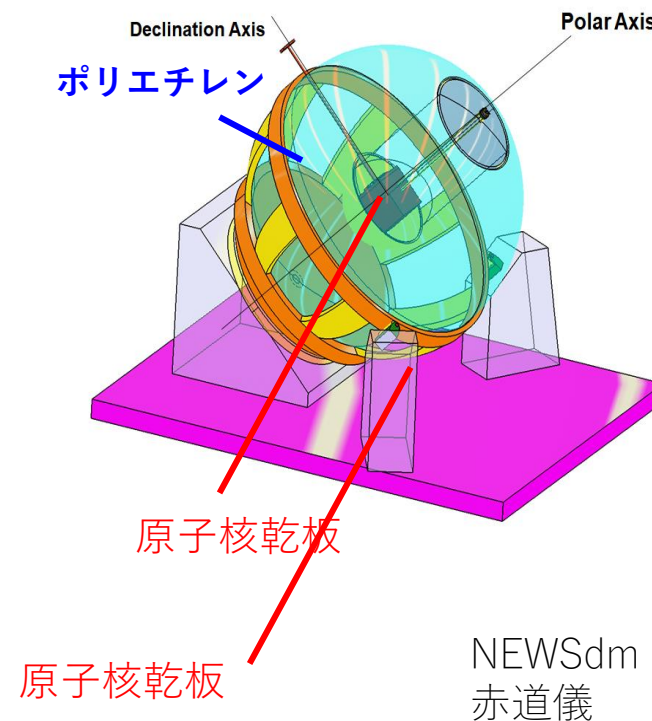
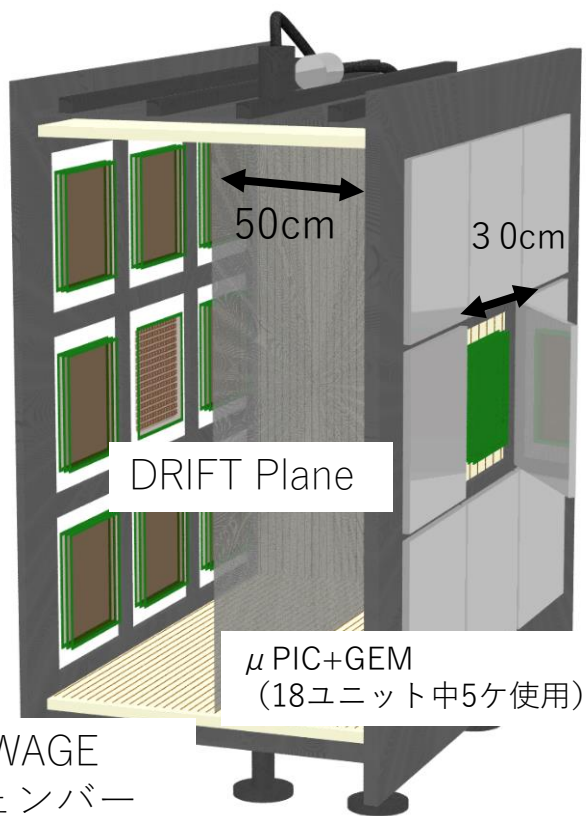


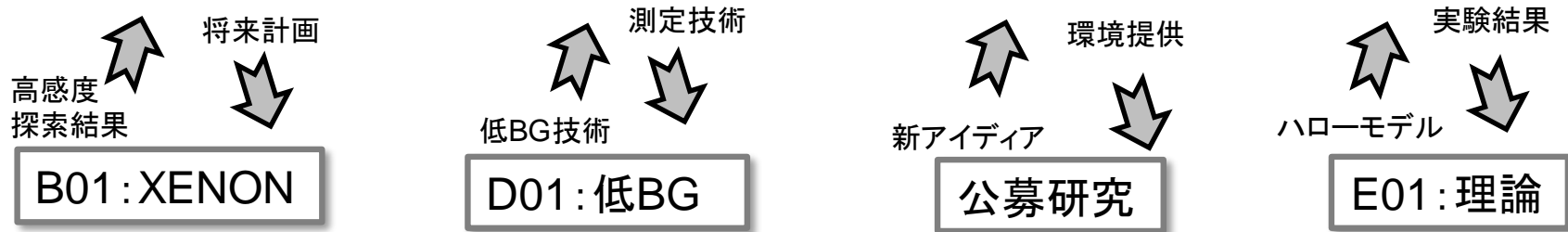
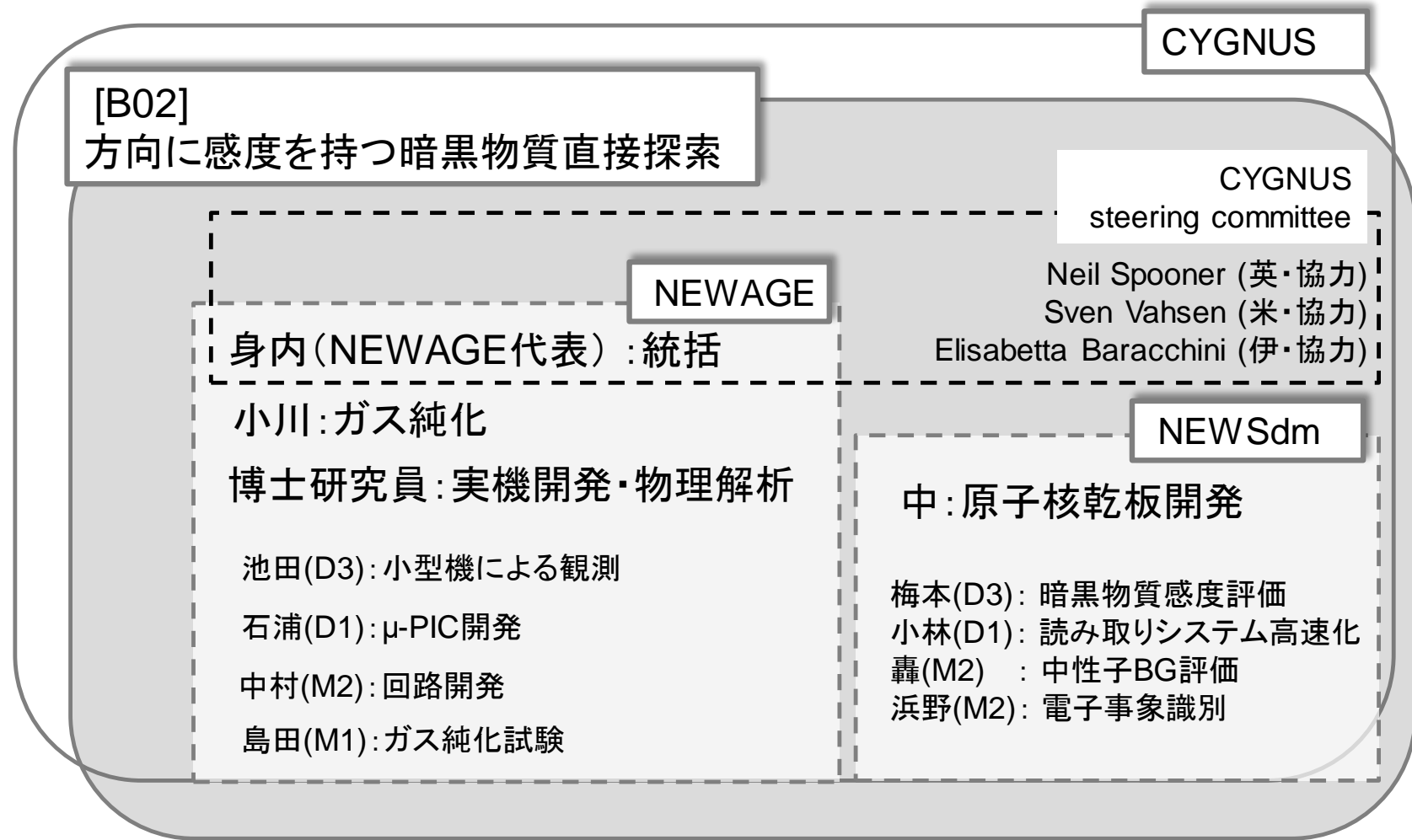
研究内容：方向に感度を持つ暗黒物質探索実験

ガス検出器 (NEWAGE) : DAMA領域の探索

ガス中からのラドンの除去 : 低BG吸着剤(MS)の開発

原子核乾板(NEWdm) : 低BG装置開発、暗黒物質探索実験



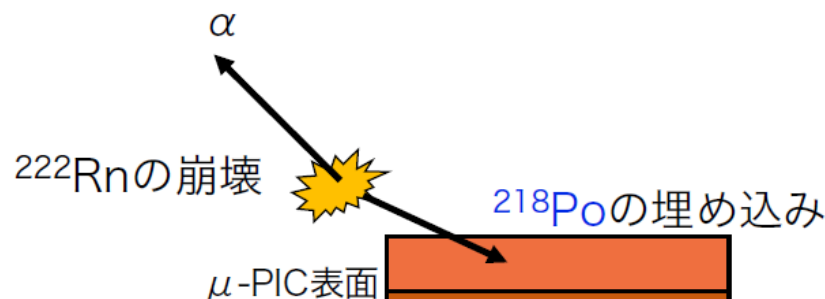
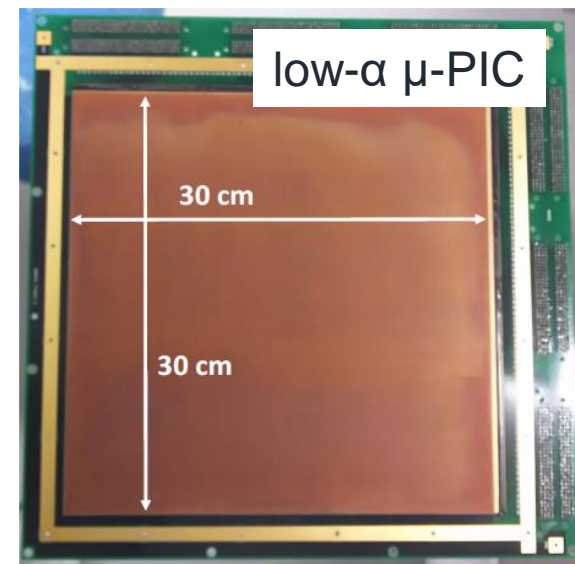


組織図、領域内での連携

NEWAGE

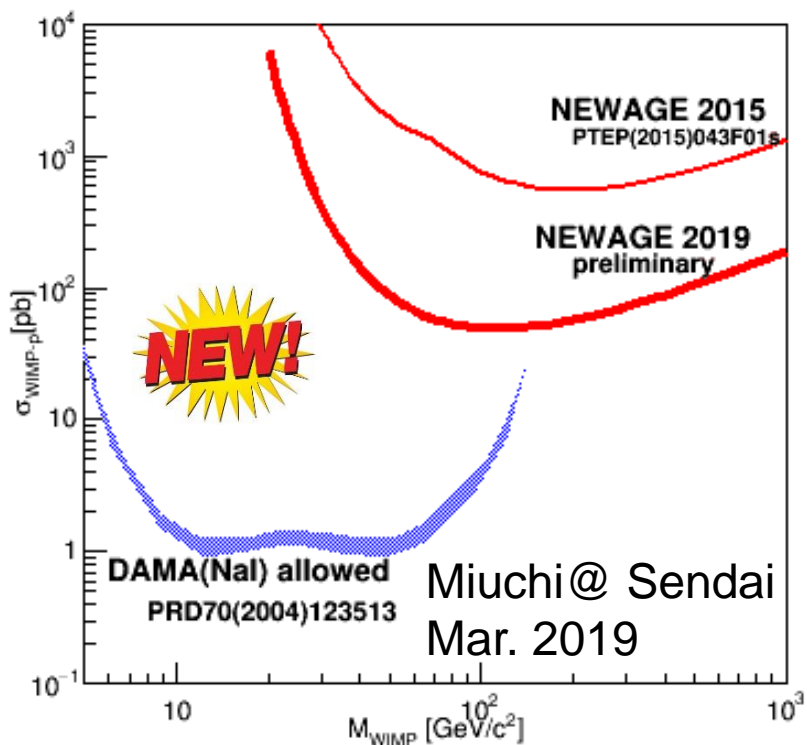
• NEWAGE : 「地下素核研究」での成果

- α 線放出の少ない μ -PIC「low- α μ -PIC」の製作の開発 (w/ 計画研究D01)
- 地下実験: 2018- (~100日のrun):
約一桁の制限向上 当初目標を達成
- 次の一手 : ラドン娘核打ち込みの低減



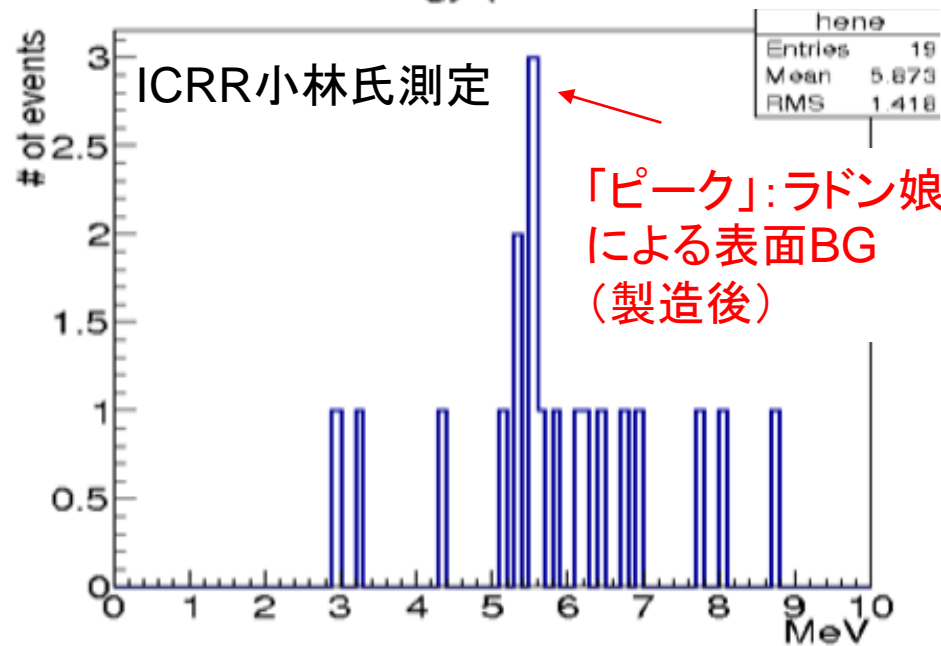
directional limits

SD 90% C.L. directional upper limits



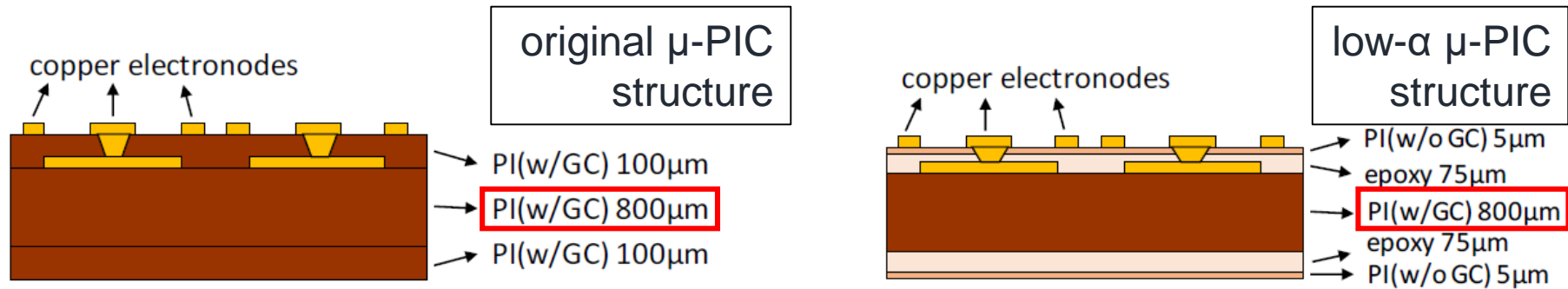
ultra-loによる

Energy (surf μ PIC表面測定



- 「lowBG μ -PIC」 開発へ

- 「low- α μ -PIC」では構造材(800 μ m厚)はそのまま使用した。
(α 線の寄与はない、製作リスクを低減する。)



	^{238}U [ppm]	^{232}Th [ppm]
PI including glass cloth	0.39±0.01	1.81±0.04
PI+epoxy	< 2.98×10⁻³	< 6.77×10⁻³

low- α μ -PIC製作時のBG調査

← New material

ガラスクロスが汚い



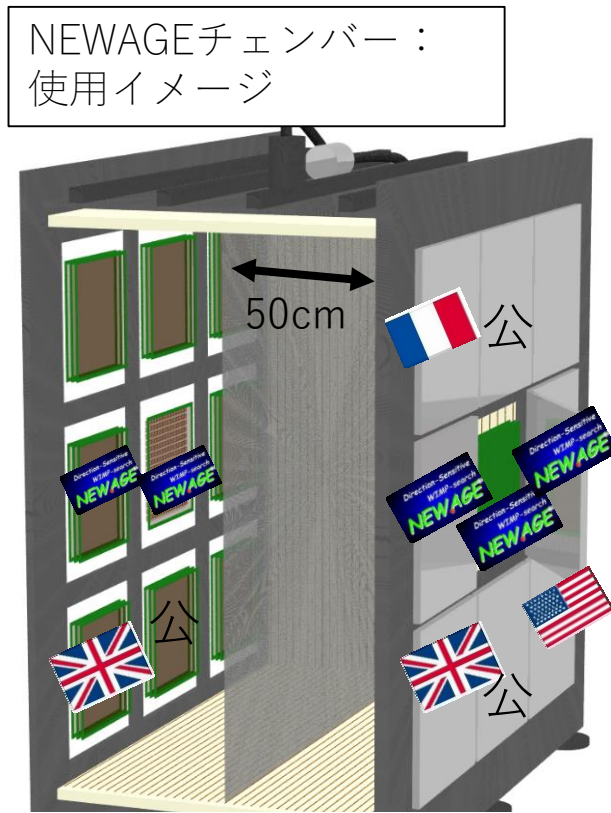
Glass cloth

- 保管時にラドンが放出 ⇒ ラドン娘が撃ち込まれる可能性
- 構造材(800 μ m厚)も低BG化が必要：
「地下宇宙」での取り組み「low-BG μ -PIC」製作
- 低BG構造材(800 μ m厚)の候補 (DNPと議論開始)
 - PI+エポキシ をひたすら(5~10層)重ねる (材料は実績ありだが 工程多く、あまりやりたくない。)
 - 人工石英を用いた材料 (材料的にはチャレンジだが、低BG 多層PCBという技術を開拓できる可能性あり。)

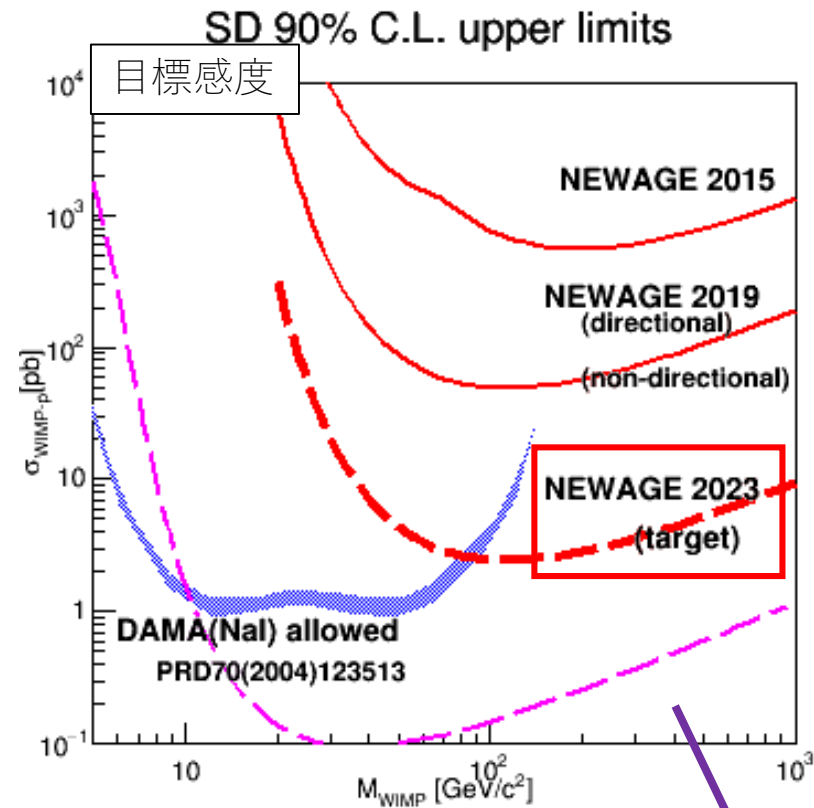
低BG μ -PICの開発を通じて、低BG 汎用PCBの製作も ⇒ 分野へフィードバック

• NEWAGE

- 低BG μ -PIC開発 BG 1/10・容積×5
 - 開発：low-BG μ -PIC (R1-R3)
 - 目標：DAMA 領域の方向感度探索開始 (R4-R5)
- 将来に向けて：検出器低閾値化（検出器・回路開発）



μ PIC+GEM
 (18ユニット中5ヶ使用
 他は海外G、公募研究などに供用)



目標

閾値50keV→10keVによる感度向上
 本研究で要素開発

ラドン吸着剤 (MS) 開発

ガス中ラドンのためのモレキュラーシーブ(MS)の開発

• R元年度:

- ラドン除去試験システムの構築 (@日大)
- 汎用MSのラドン除去性能評価 (4A, 5Aを中心に)
→ラドン除去に対して高性能なMSの開発(-R2年度)

 **ユニオン昭和株式会社** ホームページより

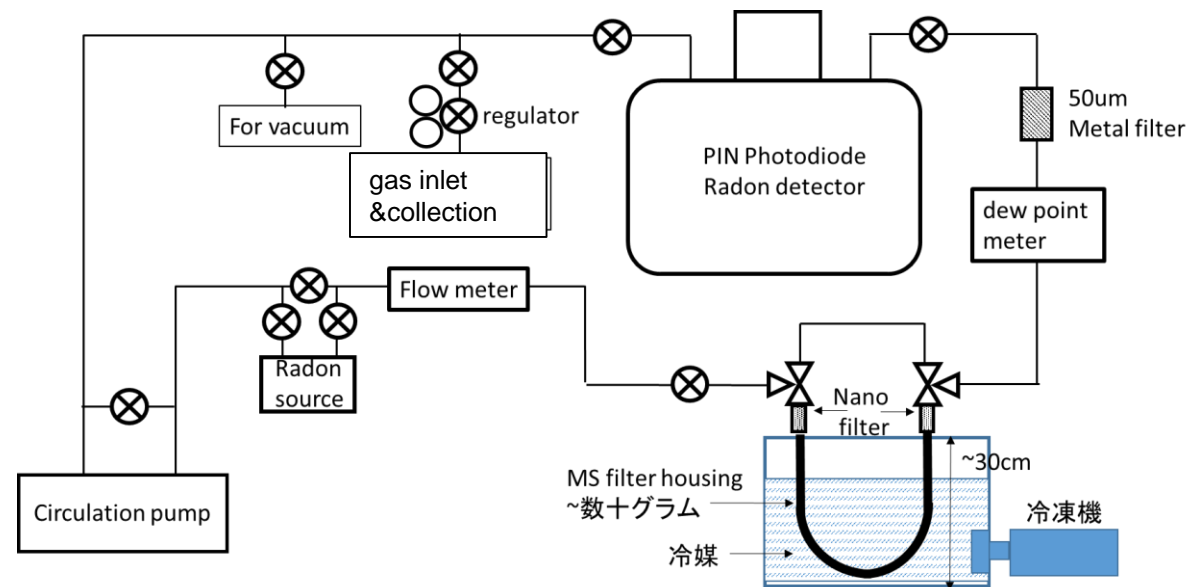
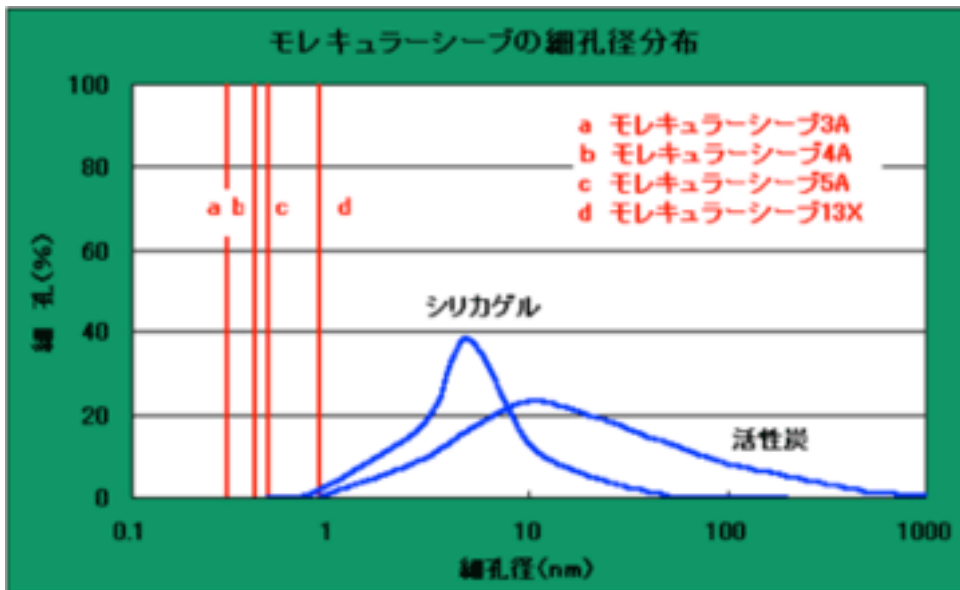
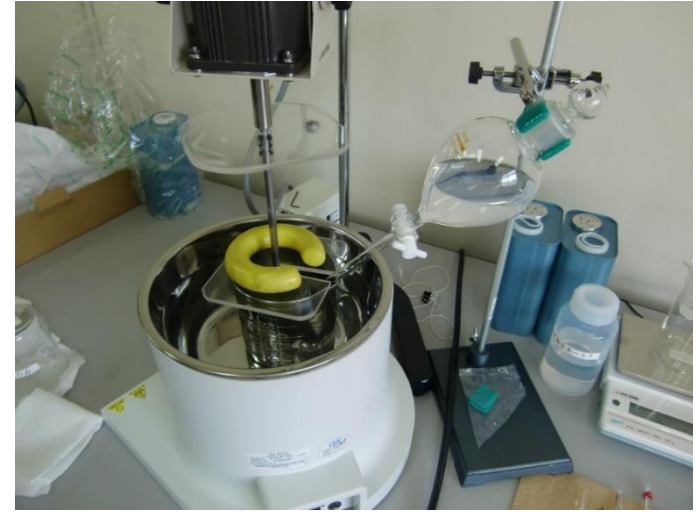


図3: ラドン除去試験セットアップ

低BG MSの開発(-R3年度)

- MS用材料の選定・RIスクリーニング
- 低BG MSを自前で製作
 - (株)ユニオン昭和との共同研究
- 製作したMSのラドン測定

さしあたっての目標Rn量：
<12mBq/kg (MS) → 1ppb相当
最終目標:< 1mBq/kg (MS)



吸着の高性能化(-R2年度)と低BG化(-R3年度)をまずは独立して行う。
→これらを統合して、ラドン吸着システムを製作する(R4,R5年度)。

NEWdm

NEWSdm

目標： 超微粒子原子核乾板 (Nano Imaging Tracker : NIT)による
方向感度暗黒物質探索の開始

- ☑ 開発から観測フェーズへ
- ☑ kgスケールの実験体制の確立

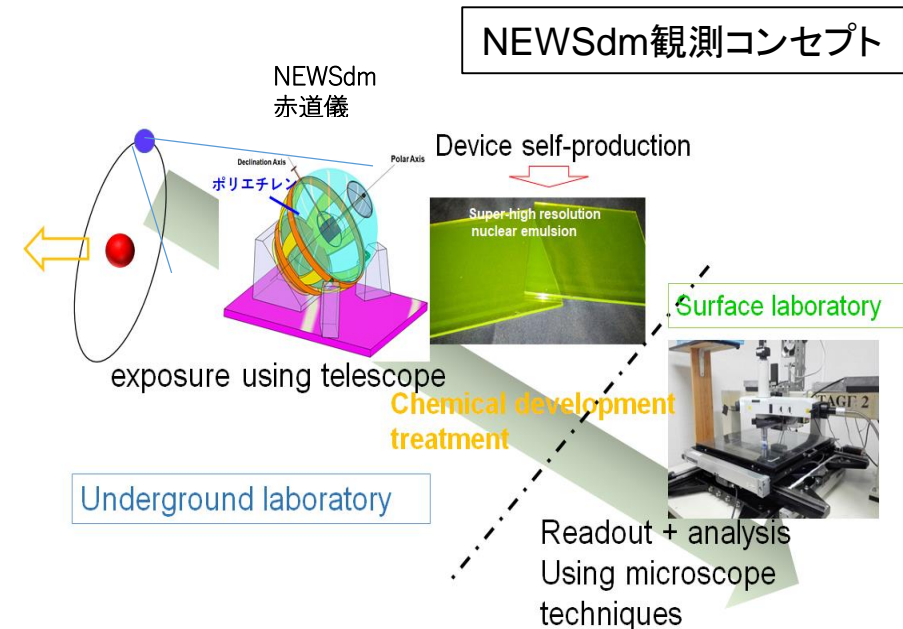
[研究要素]

・低BG-NIT の開発

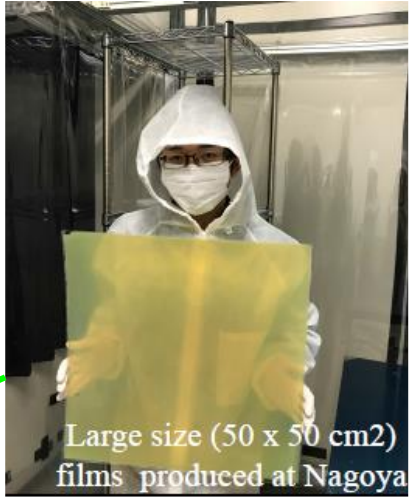
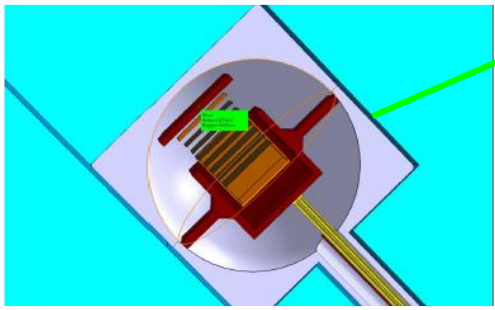
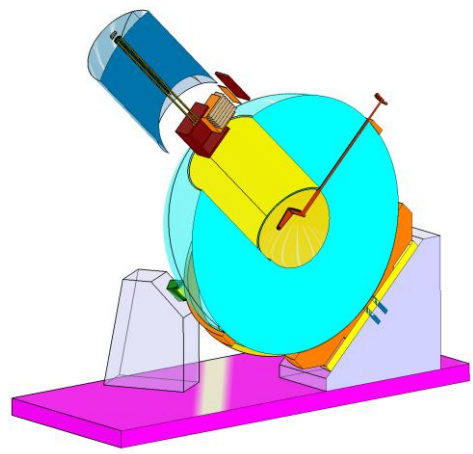
- ・ 非物理事象
(初段階の事象選別でのぞけていないノイズ)
 - NITのクリーン化(ノイズ発生原因の解明と除去)
 - 高度な光学情報の取得によるID
- ・ 物理事象 (C-14 β 線バックグラウンド、外部バックグラウンド)
 - 冷却による電子事象を選択的に不感化
(M. Kimura, TN et al., Nucl. Inst, Meth. 845 (2017))
 - 環境放射線の理解と低バックグラウンド測定系の構築

・高速読み出しおよびデータ解析体制

- ・ 読み出しシステムの高速度化 (30 g/年 \Rightarrow 1kg/年 x 5台以上)
- ・ さまざまな光学情報を取得 + 複合解析、機械学習 (マルチメッセンジャー的思想)
- ・ 方向感度の高解像度化 \Rightarrow 読み出し飛程閾値100nmごとにDMIに対して約一桁の感度向上



実験環境とセットアップ



NITフィルムの大型化試験
⇒ 基板選定、効率的作成法の試験(実行中)

このサイズで~ 50g
target mass/film

デバイス製造環境の構築@LNGS

⇒2018年後半からデバイス製造試験を開始
⇒ クリーン環境整備(現在工事中)

1 production target mass : ~ 100 g
Time /production : ~ 3 hours
⇒ 2 production /day
⇒ ~ 1 kg /week



NIT冷却のための
cryostat試験(実行中)
@Hall B, LNGS

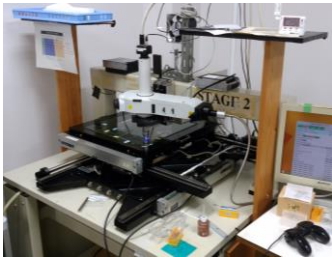
現行装置での実験の開始
装置の部分的改造でさらに3倍のスケールアップ

デバイス感度の較正試験環境の構築
- radioactive source (Am-241) ⇒ 購入済み
- 低温イオン注入 ⇒ 神奈川大学中田研究室の協力
(9月から試験開始)

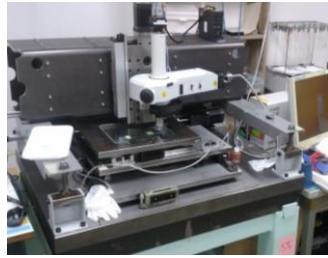
読み出し + 解析システム

高速化 現状速度 30g /年 ⇒ 1 kg/年

Japan



PTS-2 (Nagoya)



PTS-3 (Nagoya)



PTS-4 (Toho)

* 現在立ち上げ中

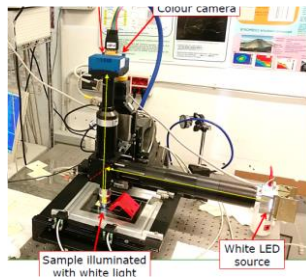
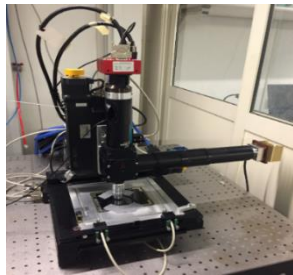
- ・画像処理の高速化
- ・撮像スピード向上 (100fps ⇒ 1000 fps)
- ・収差補正 (有効領域の拡大)
- ・駆動スピードの向上 (ステージ振動対策)

⇒ 段階的に高速化を行い、他の装置へも同様にインストール

高度化

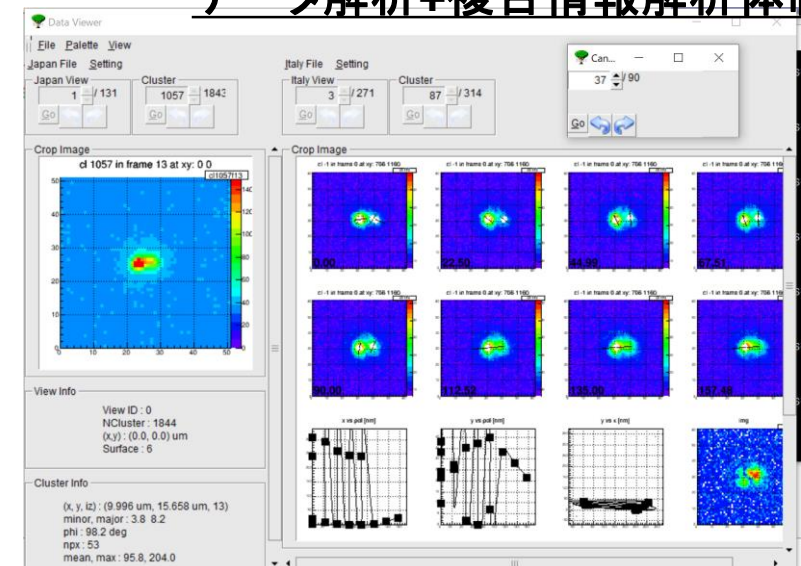
- ・位相光学系、高倍率精密解析
- ・機械学習

Italy



- プラズモニクス解析
- 超解像解析
- 多波長解析 * ロシアグループも参入

データ解析+複合情報解析体制



さまざまな光学情報を複合した解析体制の構築
⇒ それぞれのシステムデータのシェア

領域内での連携可能性

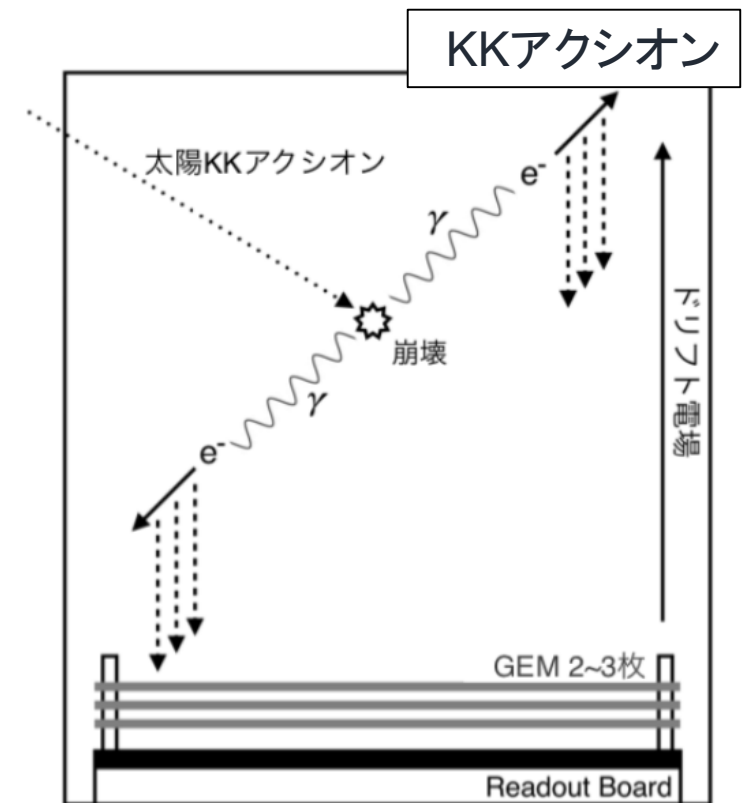
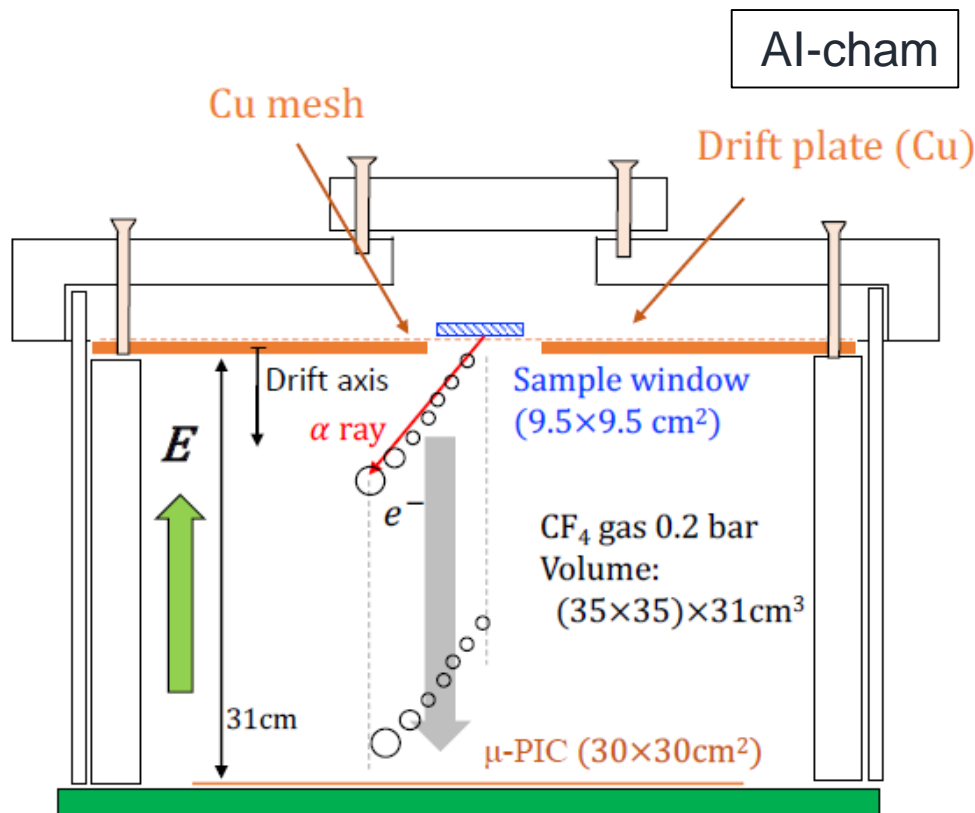
• 連携可能性① α -ray imaging chamber (Al-cham)

- α -ray imaging (pos. res. = 0.68 cm)
- BG level = 1.58×10^{-2} α /h/cm² (subtraction possible)
- low- α μ -PIC \Rightarrow low-BG μ -PIC でBG低減

H. Ito. (NIMA submittd, 1903.01090)
with B01 D01

• 連携可能性② KKアクション

- 閾値低減 電子チャンネル に特化した読み出し、トリガー



• 連携可能性③ MeV DM (William DeRocco 1905.09284)

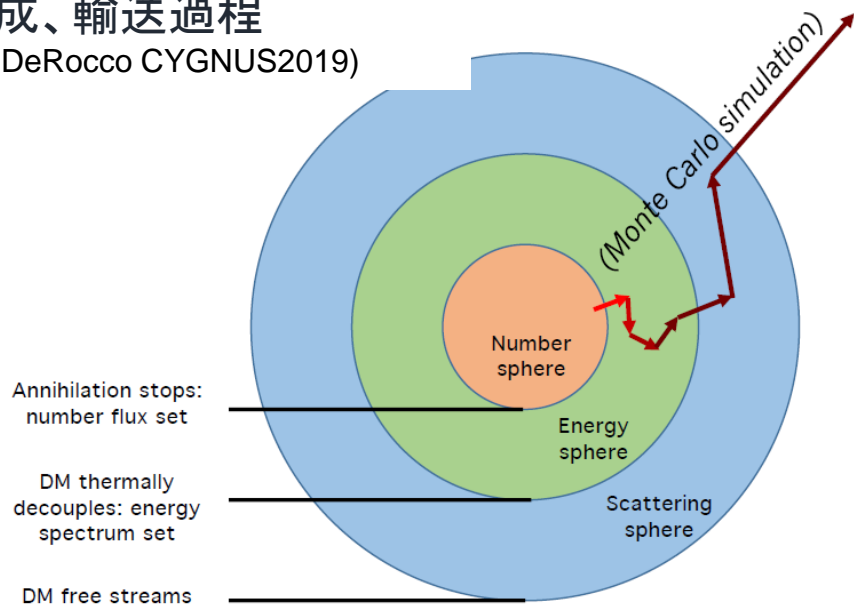
with B01 C01 E01 E02

- dark fermion (\sim MeV)
- 重い dark photon(A')でSM粒子とカップル
- 超新星(core温度 30MeV)で生成(sub relativistic)

構造形成大丈夫か?
HALO DMは?

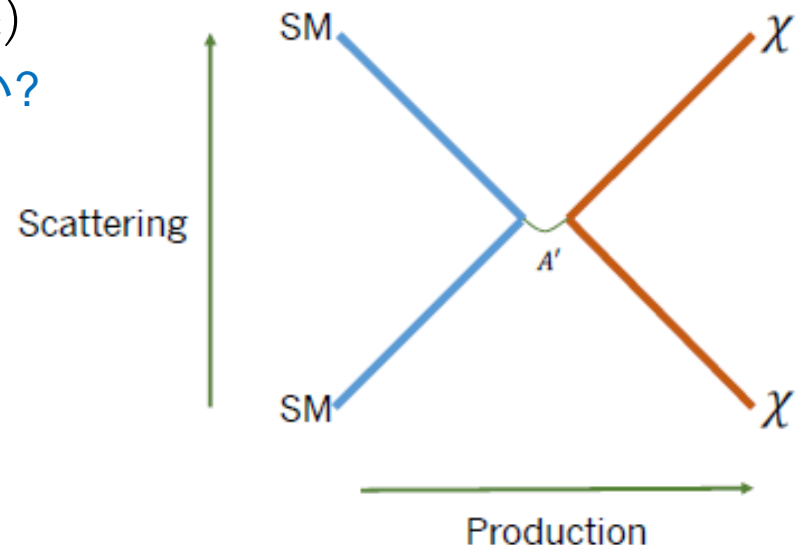
生成、輸送過程

(W. DeRocco CYGNUS2019)

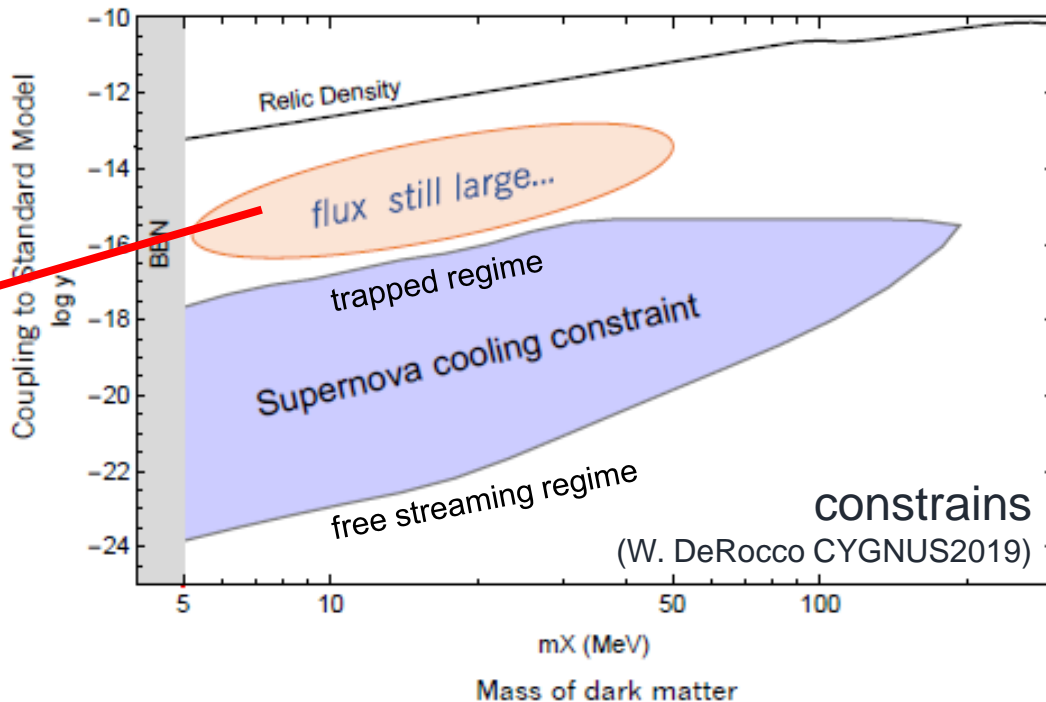


SM粒子とのカップリング

(W. DeRocco CYGNUS2019)



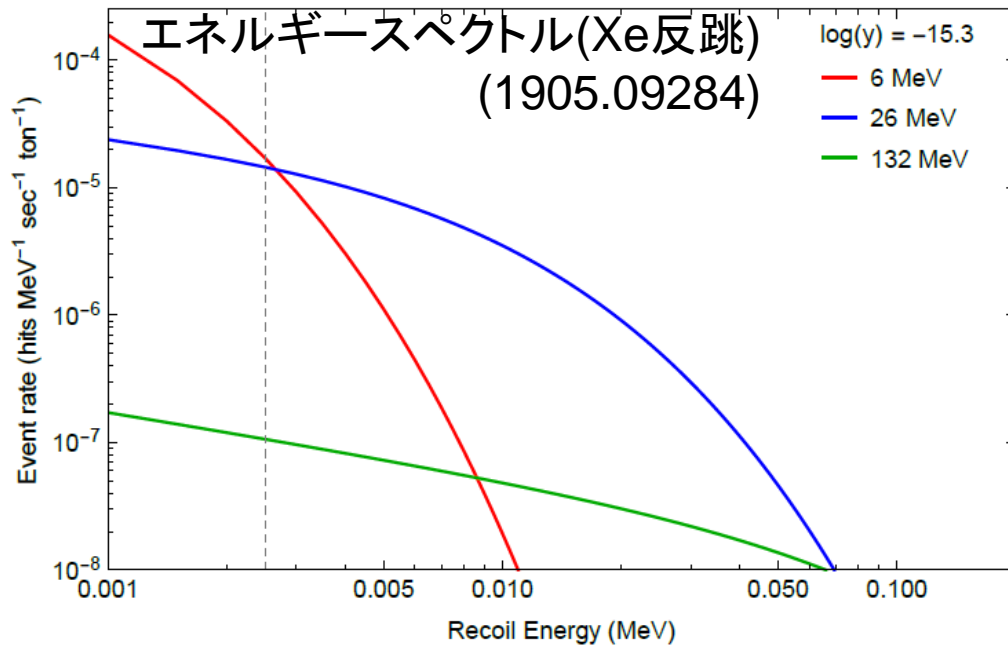
- SN1987Aのcoolingと relic densityの制限の間にallowed region



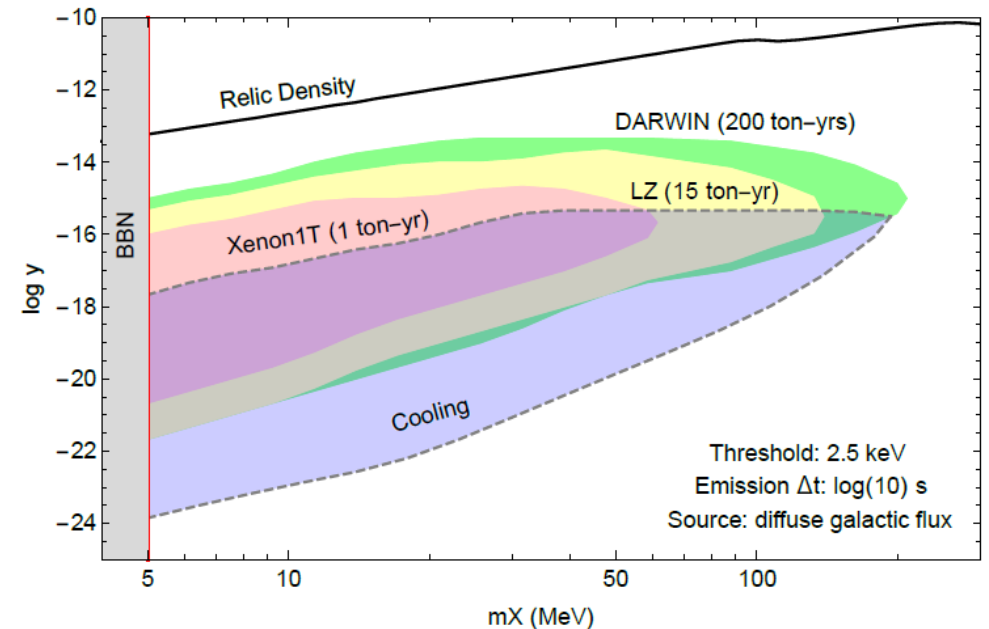
(W. DeRocco CYGNUS2019)

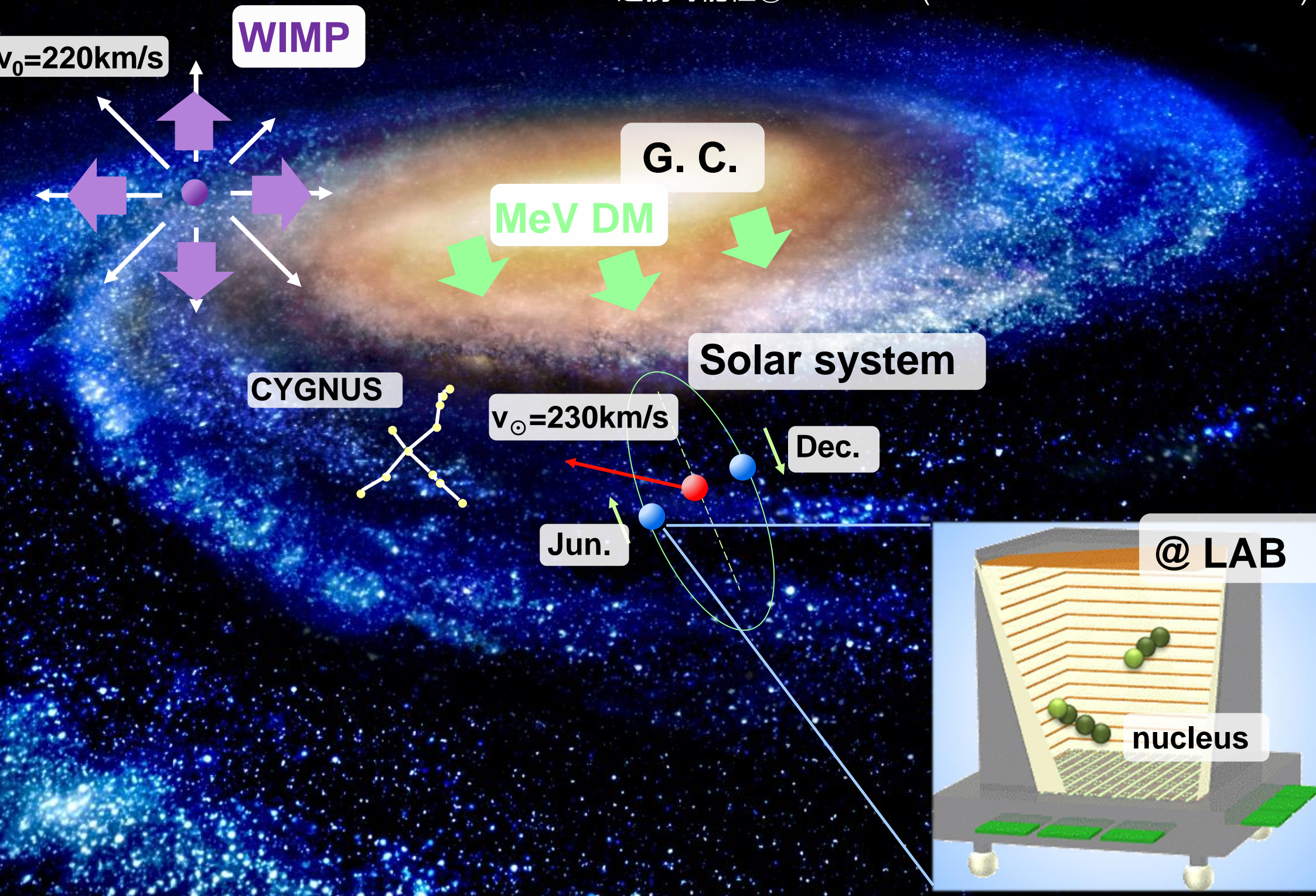
• 直接探索

- coldなWIMP と sub relativisticなMeV DM 同じようなrecoil spectrum
- XENONnTで探索できる
⇒ 何か見えた時に普通のWIMPと区別が難しい。
- 出どころはSN 銀河中心、銀河面
⇒ 方向感度の出番



探索の可能性
(1905.09284)





まとめ

- NEWAGE
 - low-BG μ -PICの開発
 - DAMA領域の探索開始
- 低BG MS開発
- NEWSdm
 - 原子核乾板による方向に感度を持つ暗黒物質探索の開始
- 領域内連携も進める