第３世代の暗黒物質直接探索実験

2019/12/13 安部　航

第３世代の暗黒物質直接探索実験

- B03 次世代暗黒物質探索実験の検出器構造研究　代表者　安部
- B02 第３世代の暗黒物質直接探索実験　代表者　森山
  - G3C(generation three consortium) 研究組織
    - 東京大学
      - 安部航、市村晃一、Kai Martens, 竹田敦、関谷洋之、鈴木拓実、平出克樹、森山茂栄、山下雅樹
    - 名古屋大学
      - 伊藤好孝、尾崎公祐、風間慎吾、佐藤和史、山崎里奈
    - 横浜国立大学
      - 谷山天晴、中村正吾
    - 神戸大学
      - 身内賢太朗
    - 東北大学
      - 岸本康弘
    - 日本大学
      - 小川洋

旅費200千円と150千円、主として神岡での実験、打ち合わせのための旅費として使わせて頂いています

G3C (generation three consortium)

- 世界で唯一となる大型暗黒物質探索実験を実現し、発見を確実なものにするだけでなく、性質や運動学の情報を得ることを最終目標とする。
- 現行の第二世代実験（XENONnT, LZ, PANDA-4T等)の次の世代：第三世代暗黒物質探索実験のための開発研究を行う研究者の集まりをG3Cと名付けた。

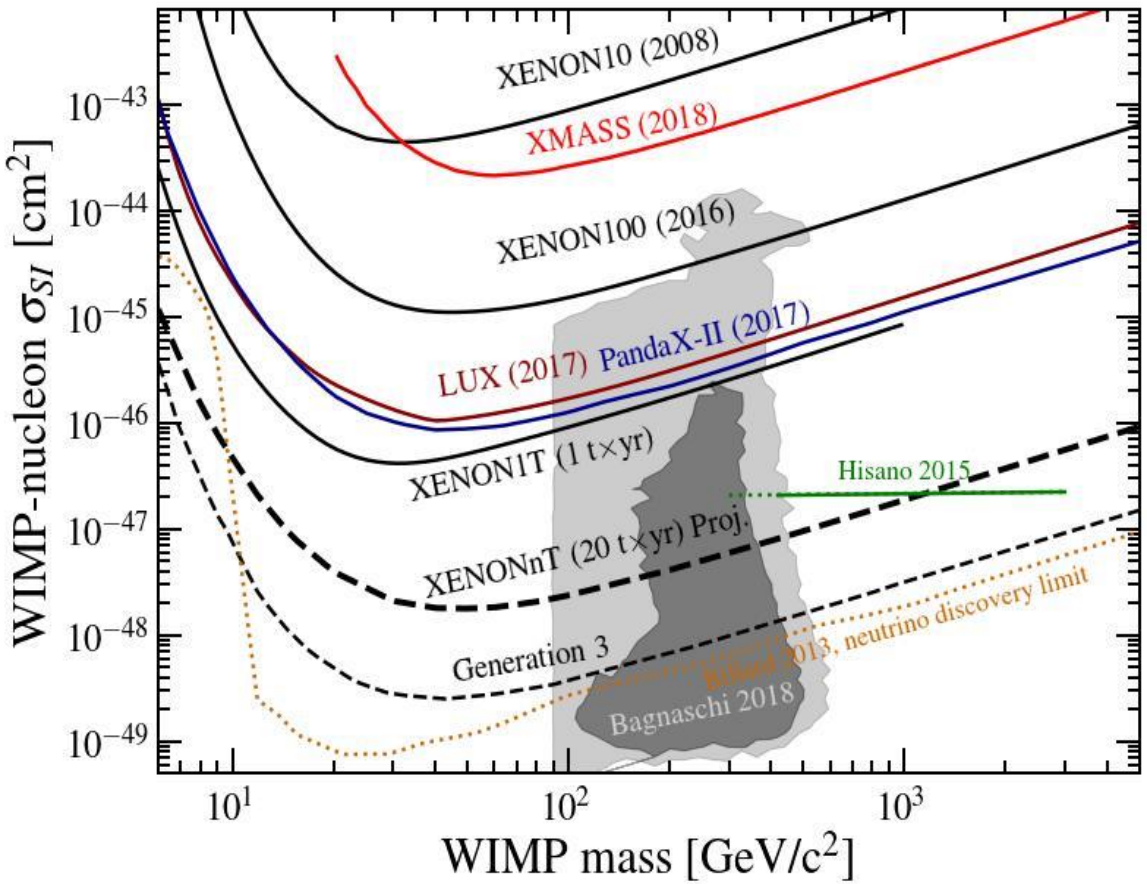


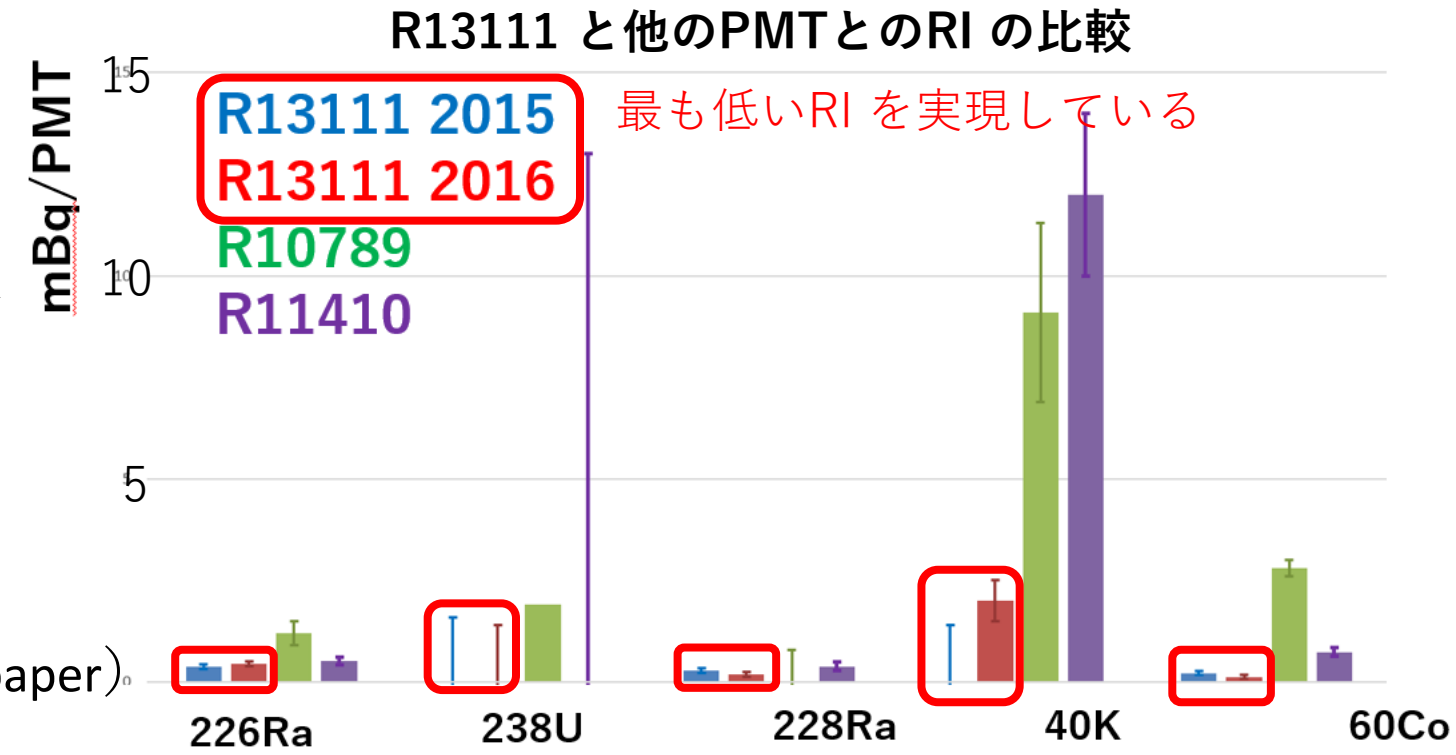
Figure 1: Limits on the spin-independent WIMP-nucleon cross section from LXe experiments: solid lines represent existing limits, dashed lines projections. For the shaded region and green theory prediction please see the text.

G3C (generation three consortium)

- 複数の小規模グループが研究開発をアクティブに進めている。
  - 新たな検出器の開発　（クォーツチェンバー、１相式 TPC）
  - 新たな光センサーの研究 (低BG PMT , SiPM)
  - 新奇な性質の同定と応用　（キセノンの近赤外発光）
- これらを行うため、これまでXMASS実験グループが用いてきた実験機材やXENON実験グループの実験機材を、協調・調整しながら有効に活用し、神岡施設内の小規模スペースを借りて共同利用研究を進めるため、本研究組織を立ち上げた。
- 本研究に含まれる研究課題について以降説明を行う。
- XMASS時代に開始した研究開発で論文を１本submitした
  - arXiv: 1910.13831
  - Development of Dual-phase Liquid Xenon TPC with a Hermetic Quartz Chamber

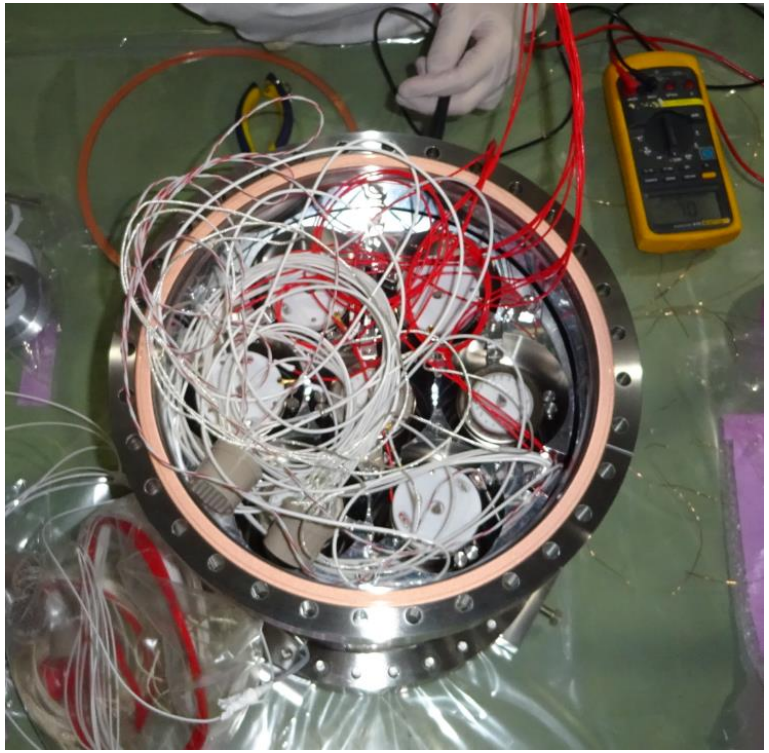
低BGPMT開発

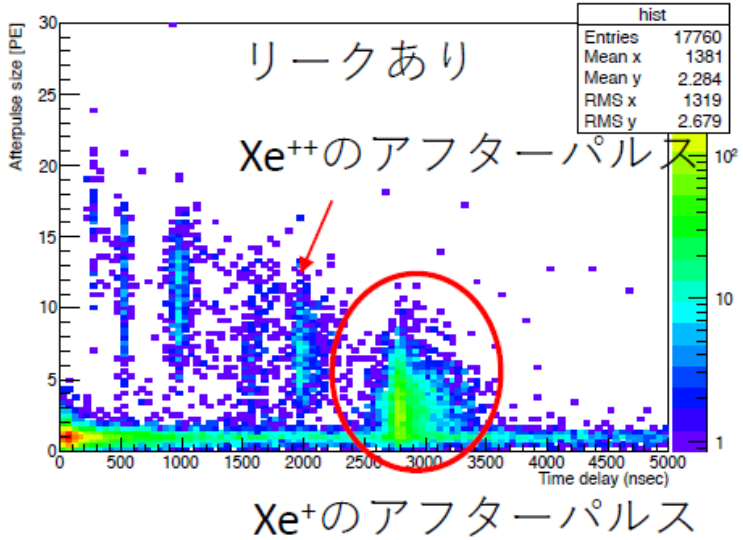
- 次世代暗黒物質探索実験の検出器構造研究　代表者　安部
- 蓄積してきた開発技術、知識を生かして、さらなる低RI PMT の開発を進めている。
- 今年度は R13111 の性能改善、問題解決に関しての研究を行った。
  - R13111 XMASS-I で使用された R10789 をベースに低 RI化を実現した PMT
  - キセノンがリークする問題がある。
- キセノンリーク
  - 最近の低 BGPMT, R13111 と R11410(XENON, PandaX) で報告されている問題
  - リークするとアフターパルスがノイズとなるだけでなく、リーク量が多くなると HV をかけられなくなる
  - R13111　~30%
  - R11410　~16%
  （JINST 12 P01024 (2017) XENON1T PMT paper）



キセノンリーク問題の研究

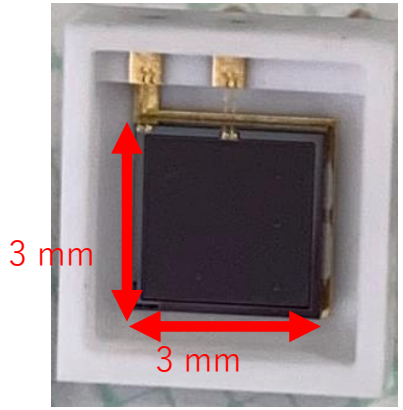
- 原因の推定
  - R10789ではリークがない、R10789から変更した構造
  - R11410 と R13111 では共通な構造
  - アルミシール部
    - R10789から R13111とR11410で、純度を98.5% から 5N に変更した。
    - 表面の状態が悪くなった可能性
- ２種類のアルミで 試験用のR11410 を用意し、テストチェンバーで試験を行った。
  - 4N Al 23本
  - 5N Al表面改善 28本
- 結果
  - Leak したものの比率
    - 4N <10% (90%CL)
    - 5N 表面改善 <8% (90%CL)
    - 5N 16+/-6% (JINST 12 P01024 (2017) XENON1T PMT paper)
  - アルミシール部の変更によって改善することを確認した
    - アルミシール部はリークの原因
    - 4N にする、5Nでも表面状態を改善するとリークを減らせる

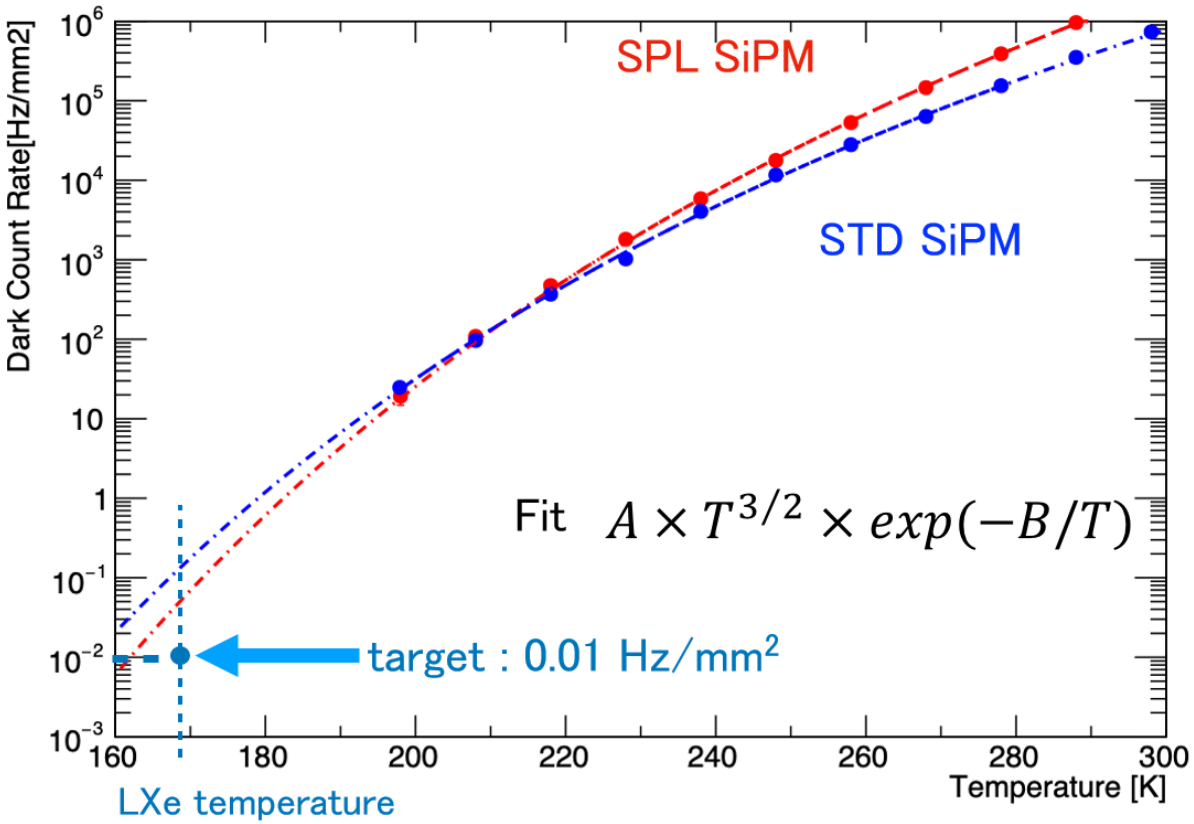




低 Dark rate SiPM 開発

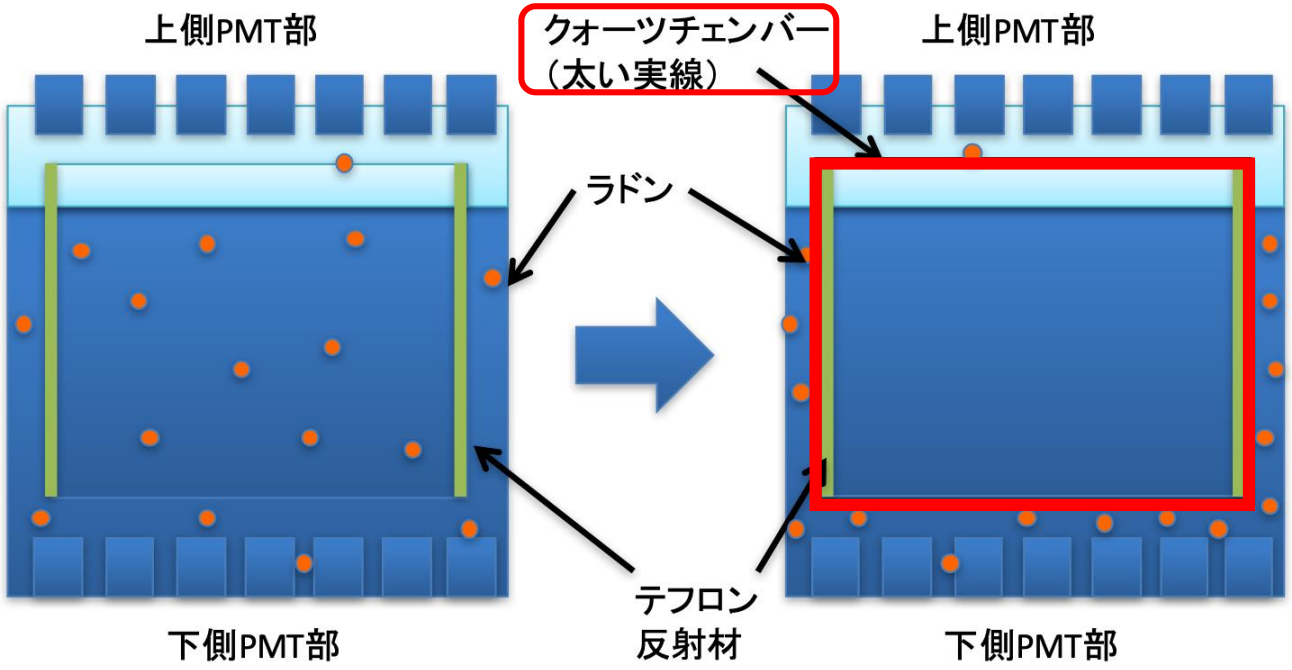
- PMT と比べてRI を少なくしやすい
- 光センサー用のスペースが少なくて済む
- PMT より 2 桁高いDark rate を下げることができれば、非常に有用
- 浜松と共同で、新しい SiPM (S12572-015C-SPL, SPL) を開発、試験中
  - 低温でのDark rate が小さくなるよう通常のものから内部の電場構造を最適化
  - Dark rate は高い温度領域ではこれまでのものより高いが低温側での低下傾向が大きい。
  - 低温側について現在測定中

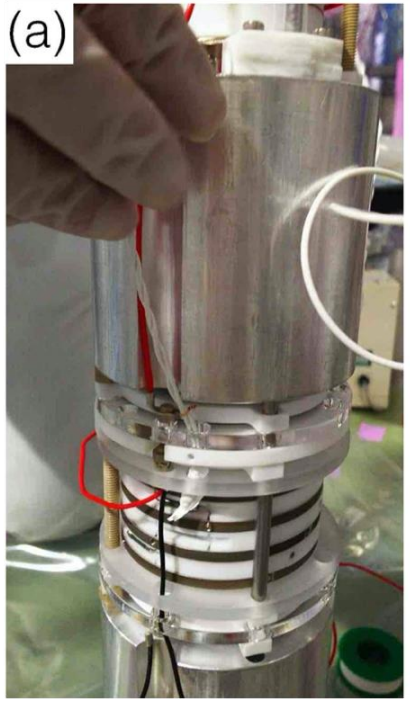




クォーツチェンバーTPCの開発

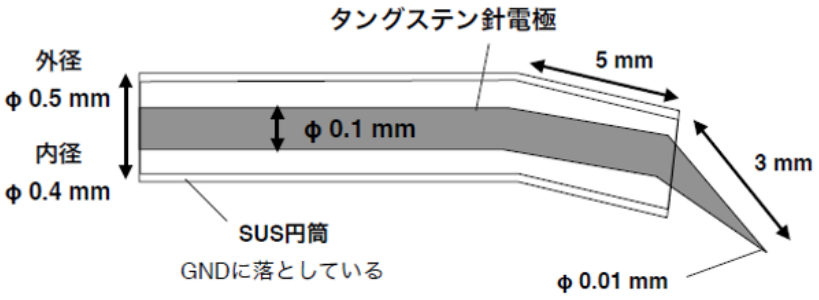
- ２相式TPCの内部領域をクォーツチェンバーで囲む
  - ケーブルや光センサーなどからの不純物、ラドン、アウトガスが有効領域に入るのを防ぐ
  - 石英内のキセノンだけ効率よく純化できる
  - 検出器内部でのキセノンの発光による光電効果のBGを抑えられる。極低エネルギー閾値(S2 only)にとって重要
- 試作機を用いて、TPCとしての原理検証を終え、論文に投稿中。arXiv:1910.13831
- 今後ラドンへの効果などを実証していく。

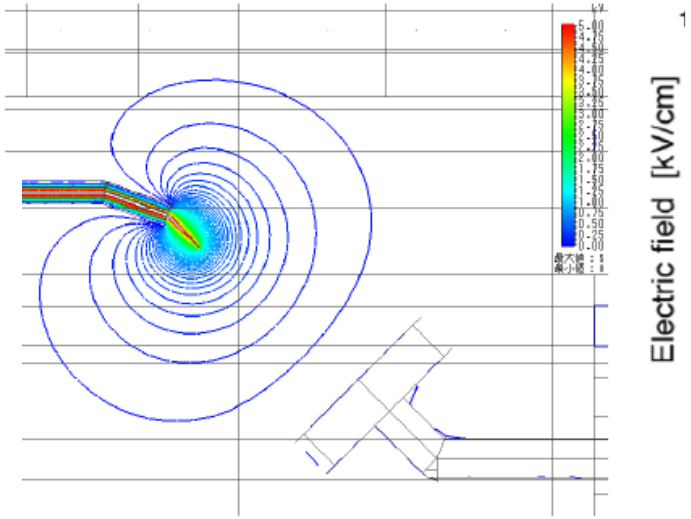




一相式TPCの開発

- 針状の細い電極で液体キセノン中に電場を作り、電極周辺の強い電場で比例蛍光を発生させる
- 高い電圧が必要になるが、構造や取り扱いが単純になる。
  - 液面管理が必要ない
  - 検出器形状が自由
- 10um の針電極での実験を計画中





液体キセノンの近赤外発光の研究

- 液体キセノンの近赤外発光の研究
  代表者　中村正吾
- VUV発光だけでなく、近赤外の領域でも発光していることが確認されている。
- 粒子弁別やエネルギー分解能の向上が期待できる。
- 波長、強度、時間特性の詳細を確認する

まとめ

- 第３世代の暗黒物質直接探索実験　代表者　森山
- 次世代暗黒物質探索実験の検出器構造研究　代表者　安部

- G3C
  - 第三世代暗黒物質探索実験のための開発研究を行う
  - 複数の小規模グループが研究開発をアクティブに進めている。
    - 新たな検出器の開発　（クォーツチェンバー、１相式 TPC）
      - クォーツチェンバーの原理検証を終えた、論文を提出中
      - １相式 TPC、針状電極の試験を計画中
    - 新たな光センサーの研究 (低BG PMT , SiPM)
      - 低BGPMT のキセノンリークの原因と改善策を同定
      - 低Dark rate SiPM の開発が進行中
    - 新奇な性質の同定と応用　（キセノンの近赤外発光）