

フッ化カルシウムの真空紫外領域における発光スペクトル測定

伊藤由紘^A、中村正吾^A、谷山天晴^A、佐藤和樹^A、笠見勝祐^B、斎藤究^B、佐々木慎一^B、春山富義^B、三原智^B、森山茂栄^C、吉田斉^D、梅原さおり^E

横浜国大^A、高工ネ機構^B、東大宇宙線研^C、阪大理^D、阪大RCNP^E

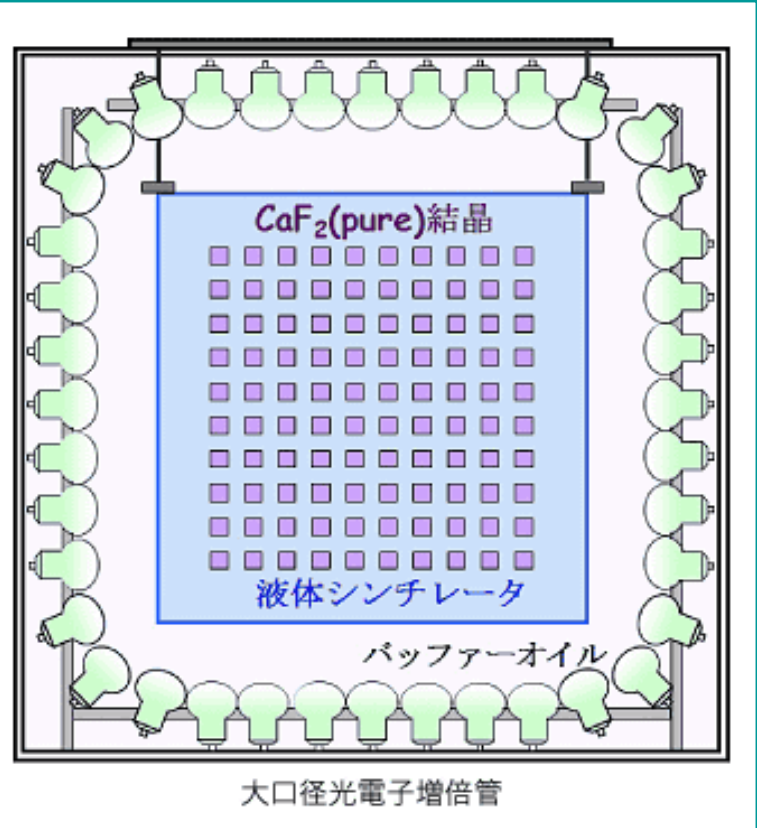
概要

- ニュートリノレス二重β崩壊探索のシンチレータとしてフッ化カルシウム (CaF₂) が使われている。
- CaF₂は紫外 (UV) 領域で発光ピークを持つことが知られているが、真空紫外 (VUV) 領域でも発光する可能性が示唆されている。
- 当研究室の分光測光系を用いてUVからVUV領域におけるCaF₂の発光を測定した。低温環境での測定も進めている。

背景

0νββ探索実験(CANDLES)[1]

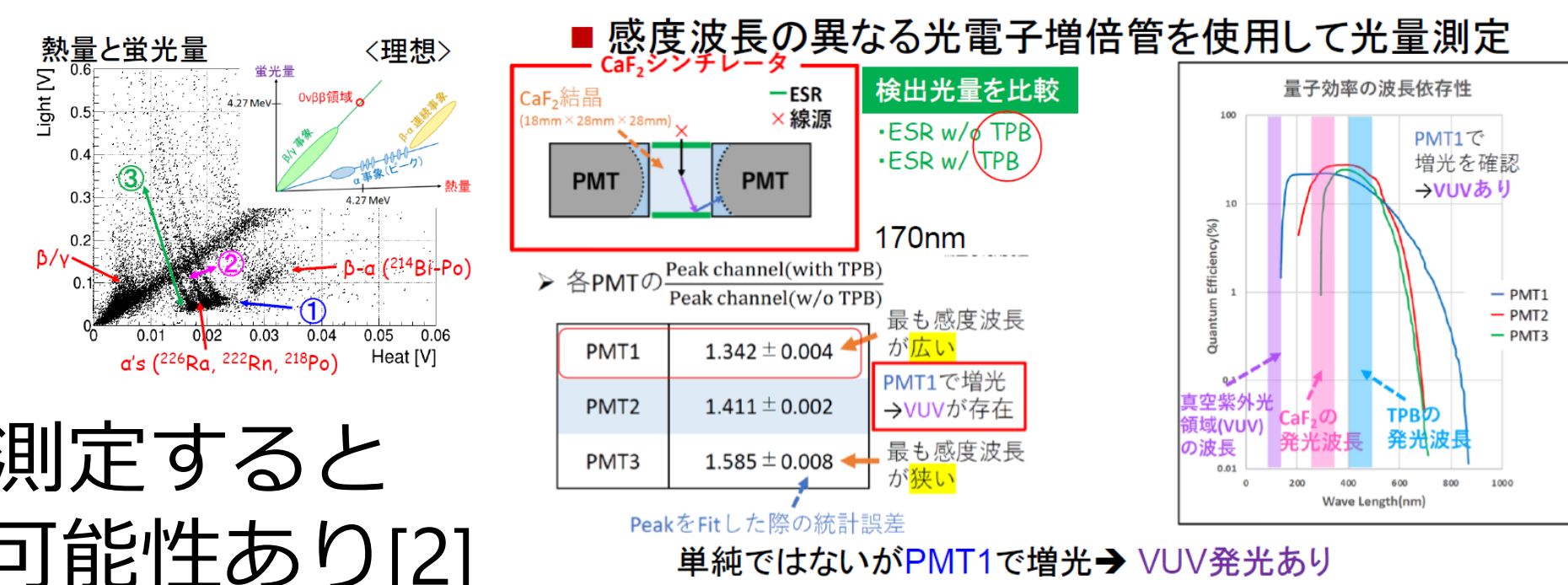
- ニュートリノのマヨラナ性を検証する実験
- ニュートリノを放出しない二重β崩壊 (0νββ)が探索の対象
- シンチレータとして**CaF₂**を使用



[1]大阪大学 大学院理学研究科 素粒子核分光グループ, "CANDLES実験", <https://www.km.phys.sci.osaka-u.ac.jp/research/r01.html>

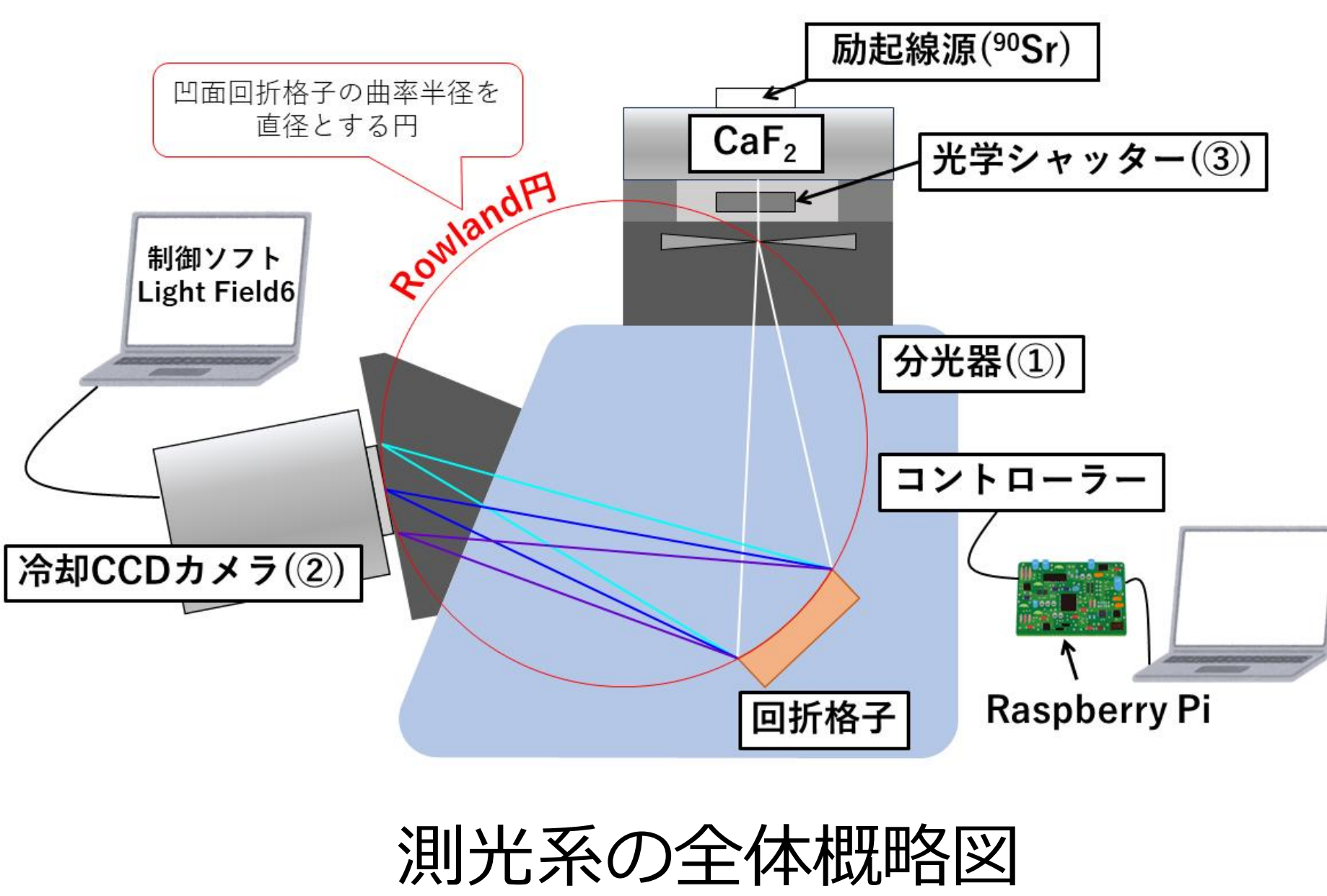
フッ化カルシウム(CaF₂)

- 250~350 nmでの発光が知られている
- 熱量と蛍光で粒子弁別の際、想定と異なる信号の分布
- 感度の異なるPMTで挟んで測定するとCaF₂はVUVでも光っている可能性あり[2]



[2]梅原さおり, "48Caを用いたニュートリノマヨラナ性の研究と次世代高感度化技術開発", 新学術領域「地下宇宙」領域研究会, 2021/05/21

分光測光系



測光系の全体概略図

①分光器 (VM-502)

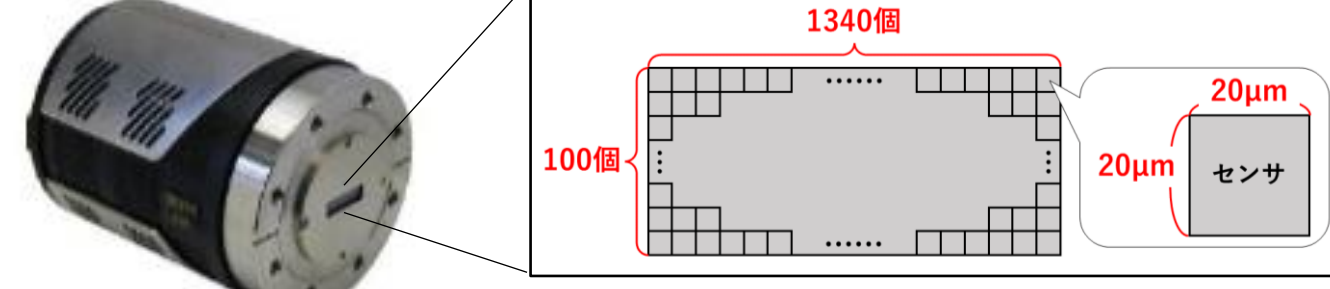
- 瀬谷波岡型分光器
- 中心波長の入力で回折格子が回転し、一度に約80nmの測定波長範囲を設定する
- 真空ポンプが取り付けられており、10⁻⁴Pa程まで真空引きできる



焦点距離	0.2m
溝本数	1200G/mm
逆線分散	4.0nm/mm
測定波長域	30-550nm
スリット幅	0.01-3mm
スリット高	0-20mm

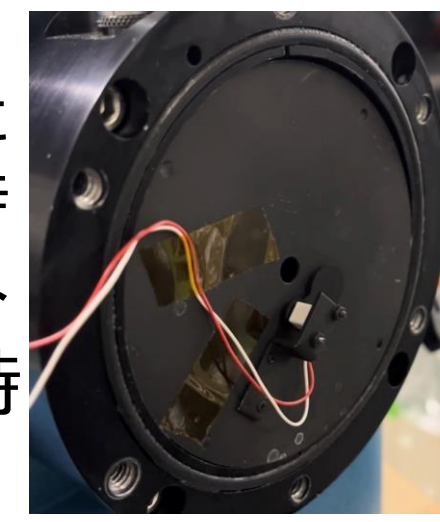
②冷却CCDカメラ (PIXIS-XO)

- センサを冷却することでノイズ低減
Dark Charge : 0.0009 e-/pixel/sec@-80°C
- 測定モードは以下の2種類
フルセンサ：各素子毎に電荷の値を出力
ビニング：列方向に積分した電荷の値を出力
本測定はビニングモードを採用



③光学シャッター

- カメラで取得したオフセットは数時間周期にカウント数が±1%ほど経時変化すると判明
- 露光時のカメラからの信号で開閉できるシャッターを導入
- シャッターの開閉により自動で露光をON/OFFできるので精度よくオフセットを差し引ける

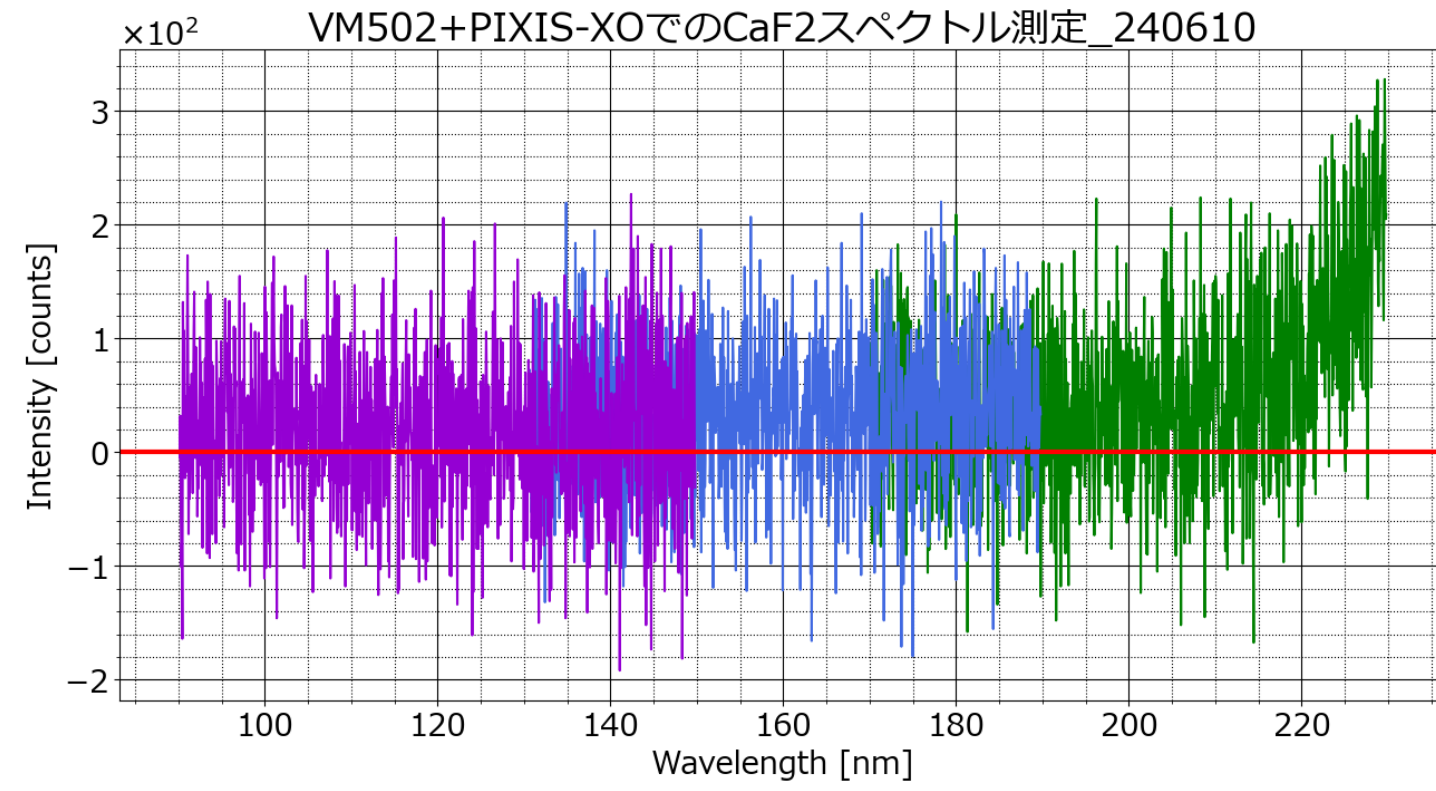
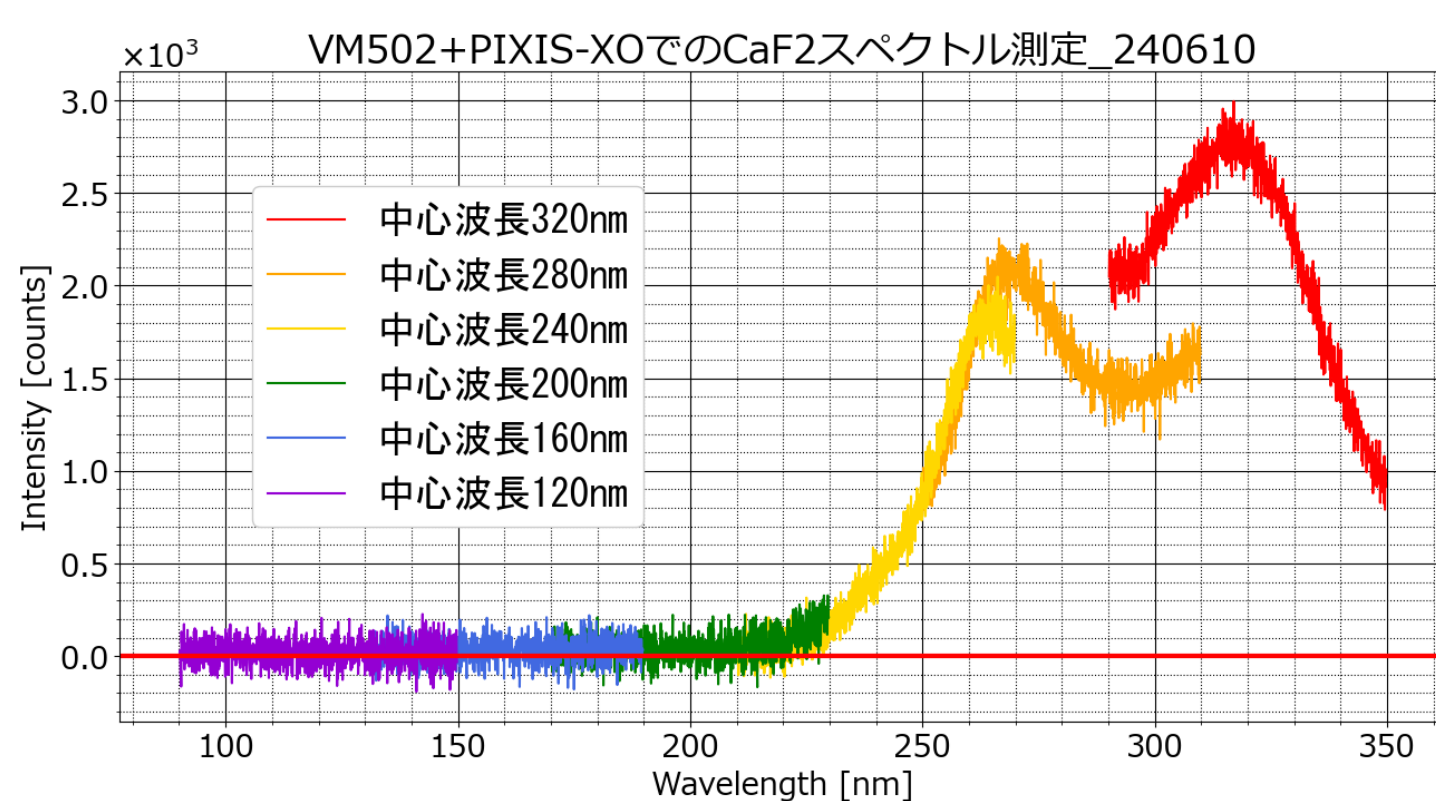


UV-VUV領域での測定

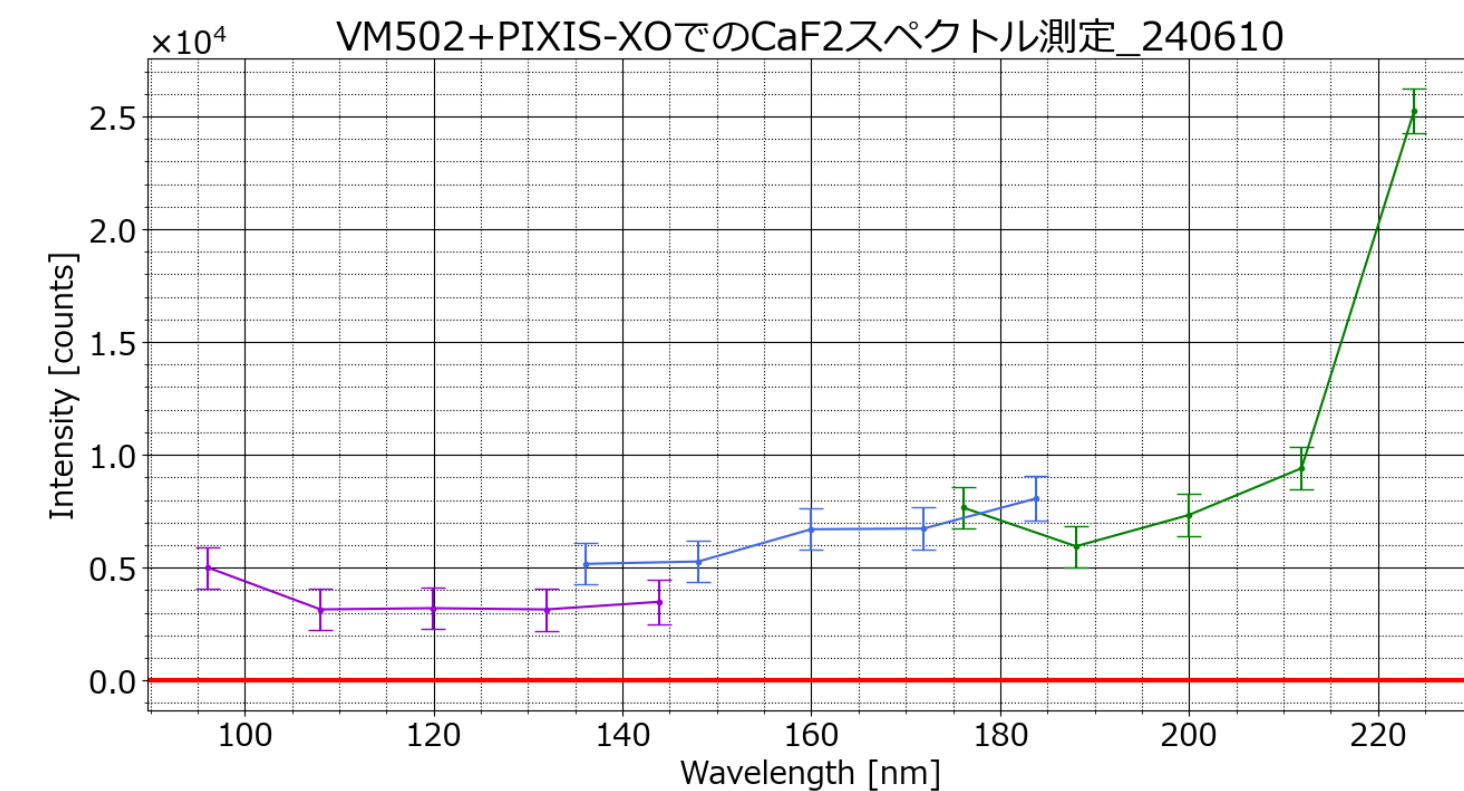
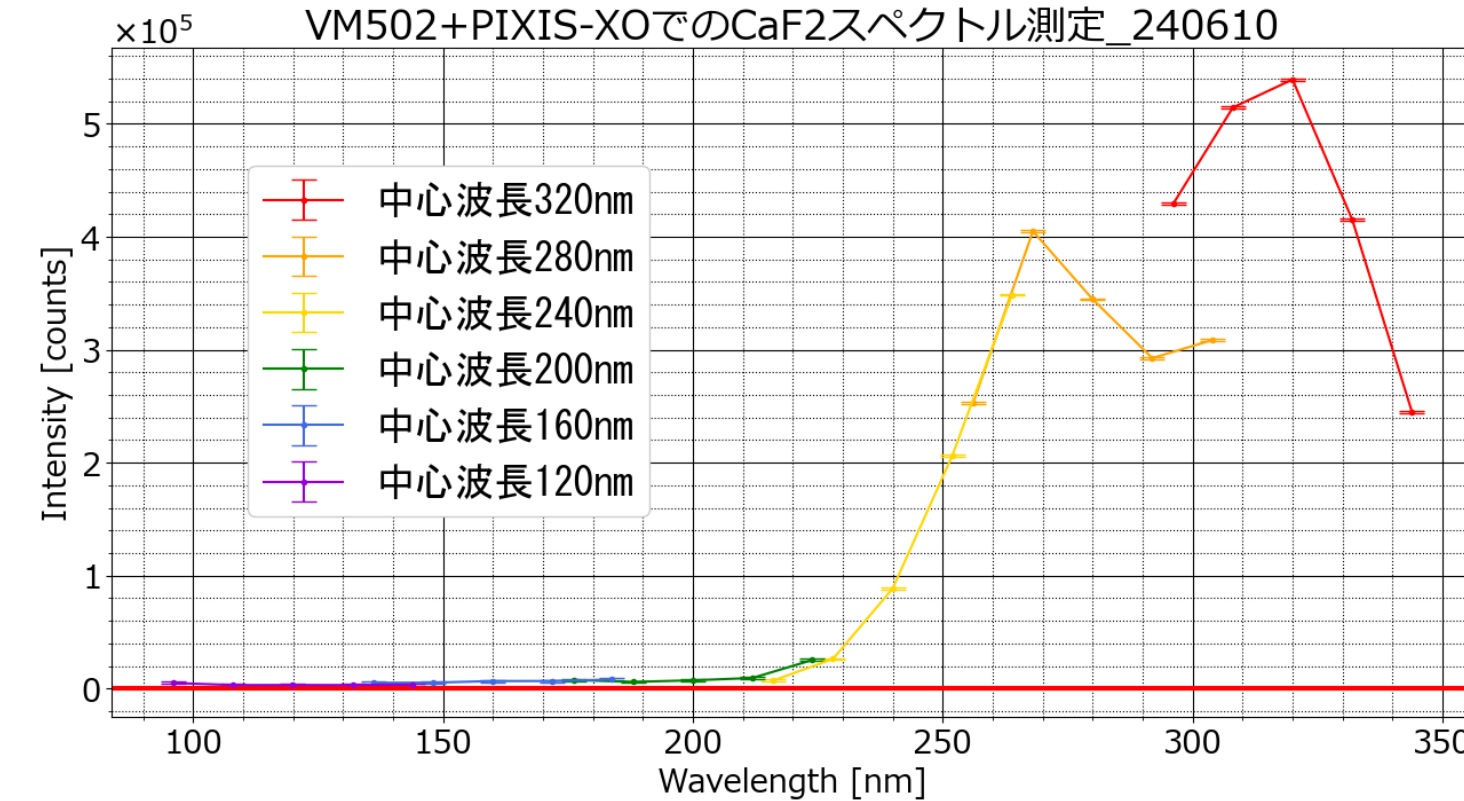
測定条件

中心波長	120 ~ 320 nm (40 nm刻み)
露光時間	1つの中心波長につき6時間 (3分×120回)
センサ温度	-81°C (最低冷却温度)
入射スリット	高さ4 mm、幅3 mm (波長分解能は12 nmに相当)
サンプル	CaF ₂ (10×10×20 mm ³)
励起線源	⁹⁰ Sr
測定温度	24°C

- 露光とオフセットは交互に測定
- 露光で得たシグナルからオフセットを差し引き後、120回分積算して表示した
- Dark Charge以外にもリードノイズやショットノイズにより測定値はばらつく
- ビニング時の誤差は、各pixelの度数分布から得た標準偏差を伝播させて表示



ビニング
+
誤差付与

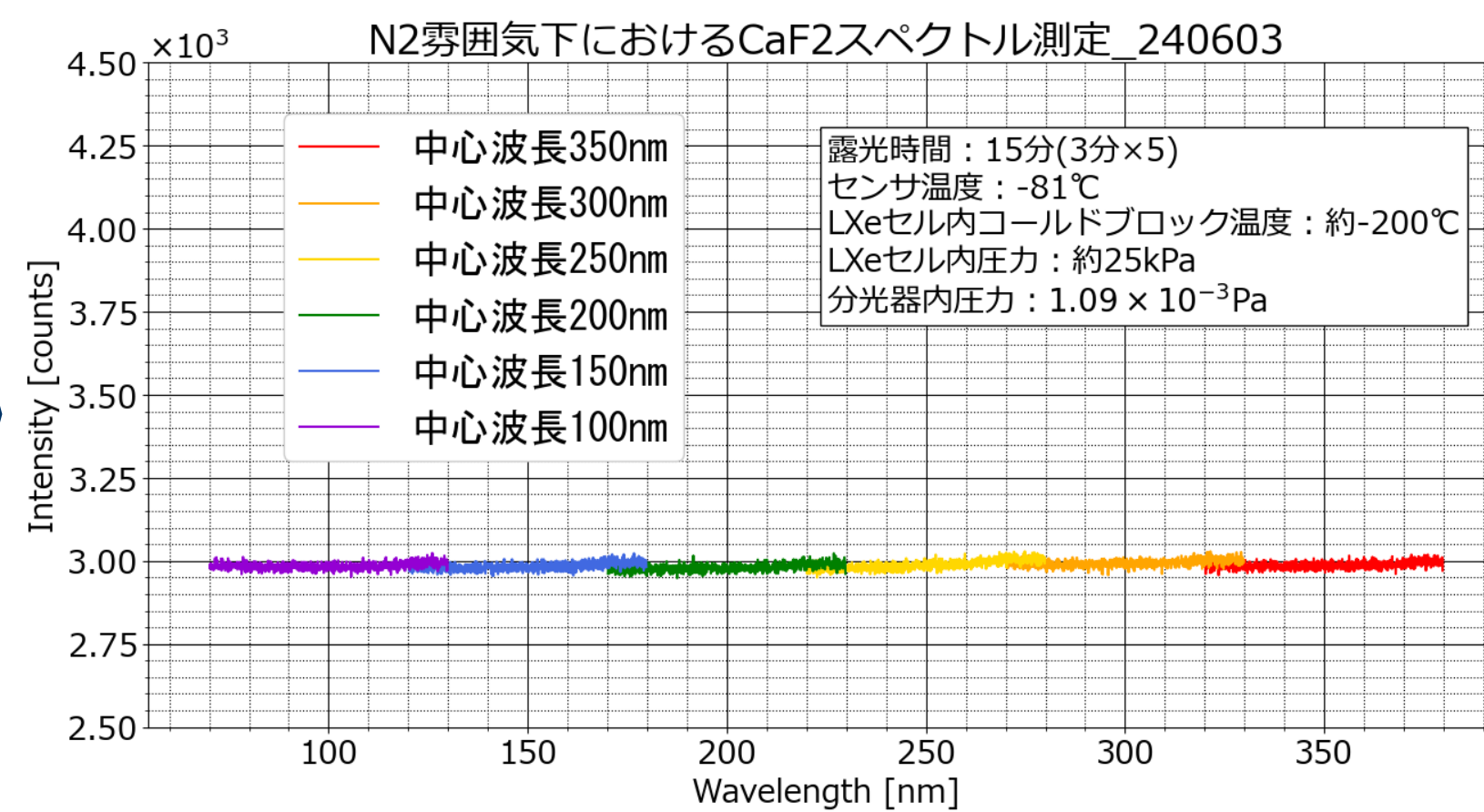
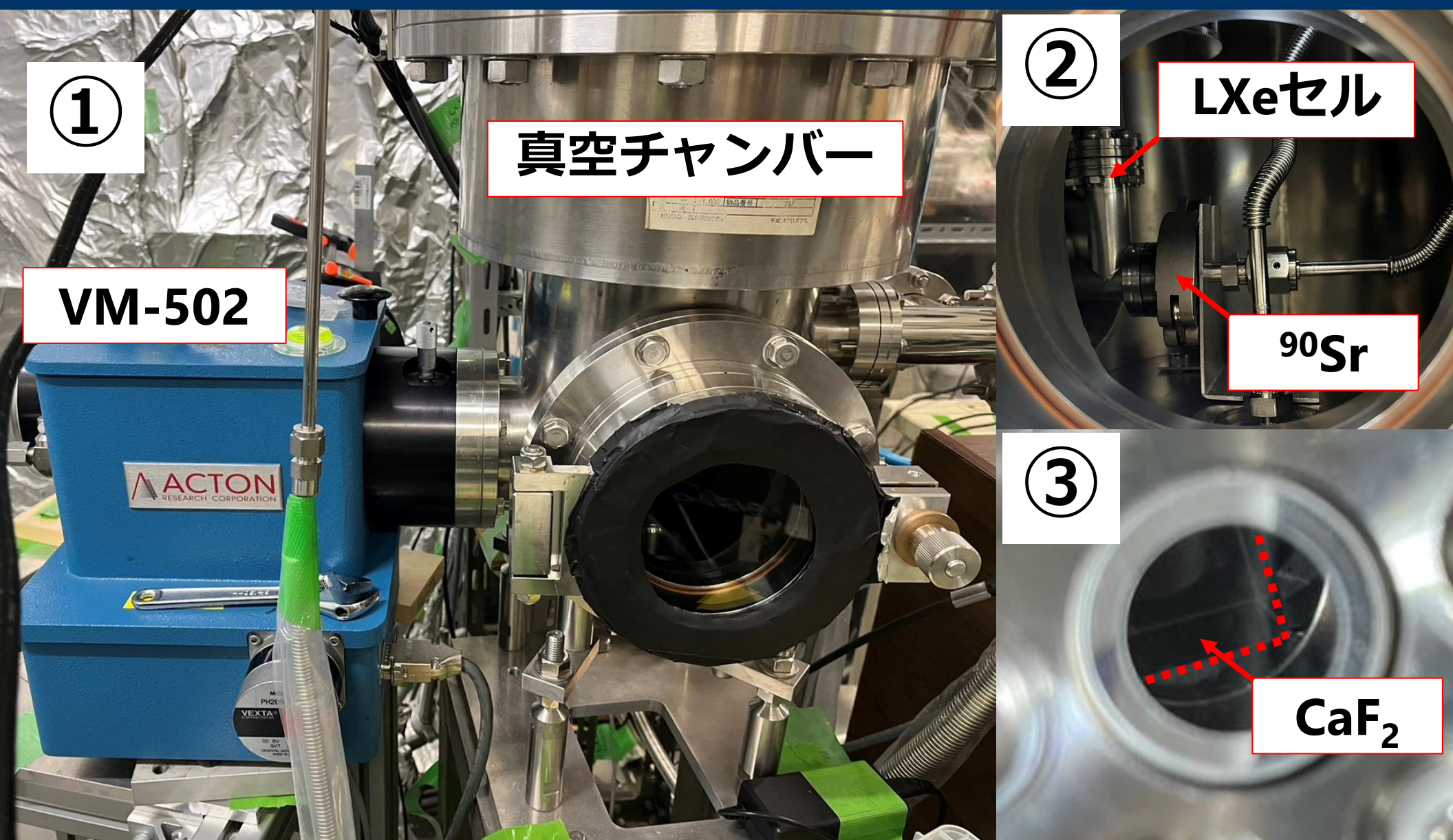


- ✓ VUVに目立った発光ピークはないがUVの発光ピークは確認できた
- ✓ 回折格子の入射角依存性やカメラの特性で重なる範囲の光量に差がある
→この差を補正する強度較正法を検討中 (較正の現状はP02 佐藤が発表)
- ✓ VUV領域も全く発光していないわけではなく、僅かに増光している？
→荷電粒子を入射させたことでチェレンコフ光が発生している可能性あり

低温での測定に向けて

- 低温における発光特性の変化を検証
- LXeを貯めるセル内にCaF₂を配置後セル内をN₂で満たした
- 冷凍機でLN₂温度まで冷却し発光スペクトルを測定

- ①：測光系の外観図
- ②：真空チャンバー内の様子
- ③：LXeセル内の様子



- UV光が見えていない
- この測定の課題点
 - i. CaF₂とスリット間が遠くなったことによる減衰
 - ii. シャッターがなくオフセットを差し引けない
- スペース削減で光源を近づけられるかも
→シャッター改良中

まとめと今後の展望

- 発光する可能性が示唆されているVUV領域におけるCaF₂の発光特性を検証したところ、VUV領域に目立った発光は見られなかった。
- 低温にすることで光量の増加やピークのシフトが考えられるため、試験的にN₂雰囲気下で低温スペクトル測定を行った。
- 発光体と分光器間距離で光が減衰している可能性があるため、低温環境下でより光量を多く測定できる方法を確立していく。