



暗黒物質探索実験における電離による エネルギー損失測定のための 低速イオンビーム試験

神戸大学 遠山和佳子

2025年 12月5日

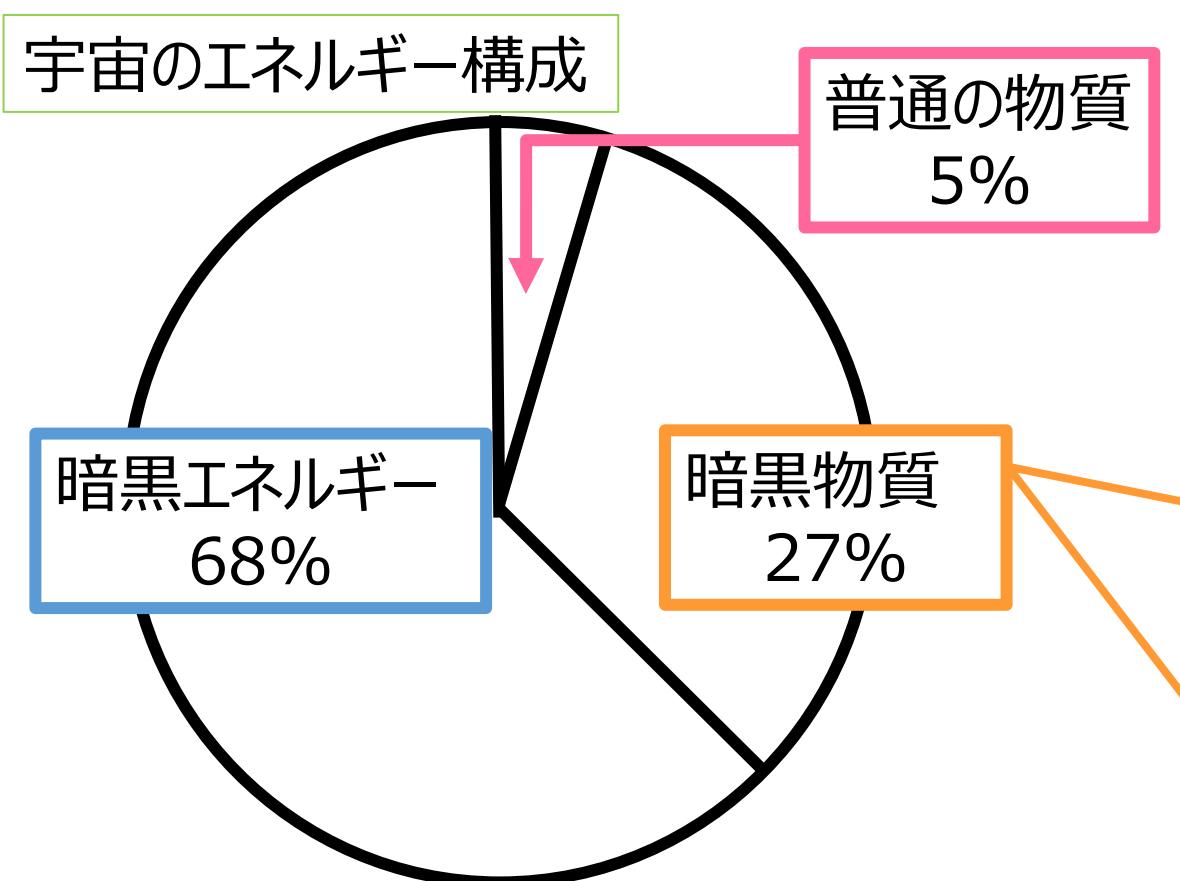
第10回 宇宙素粒子若手の会 秋の研究会

@東京大学 柏キャンパス 宇宙線研究所 2025年12月5-6日

暗黒物質探索

● 暗黒物質とは…

宇宙の全エネルギー組成の約27%を占める、目に見えない**正体不明**の物質



● 暗黒物質の候補

WIMP(Weakly Interacting Massive Particles)

WIMPをターゲットとした方向感度を持った直接探索を行っている！



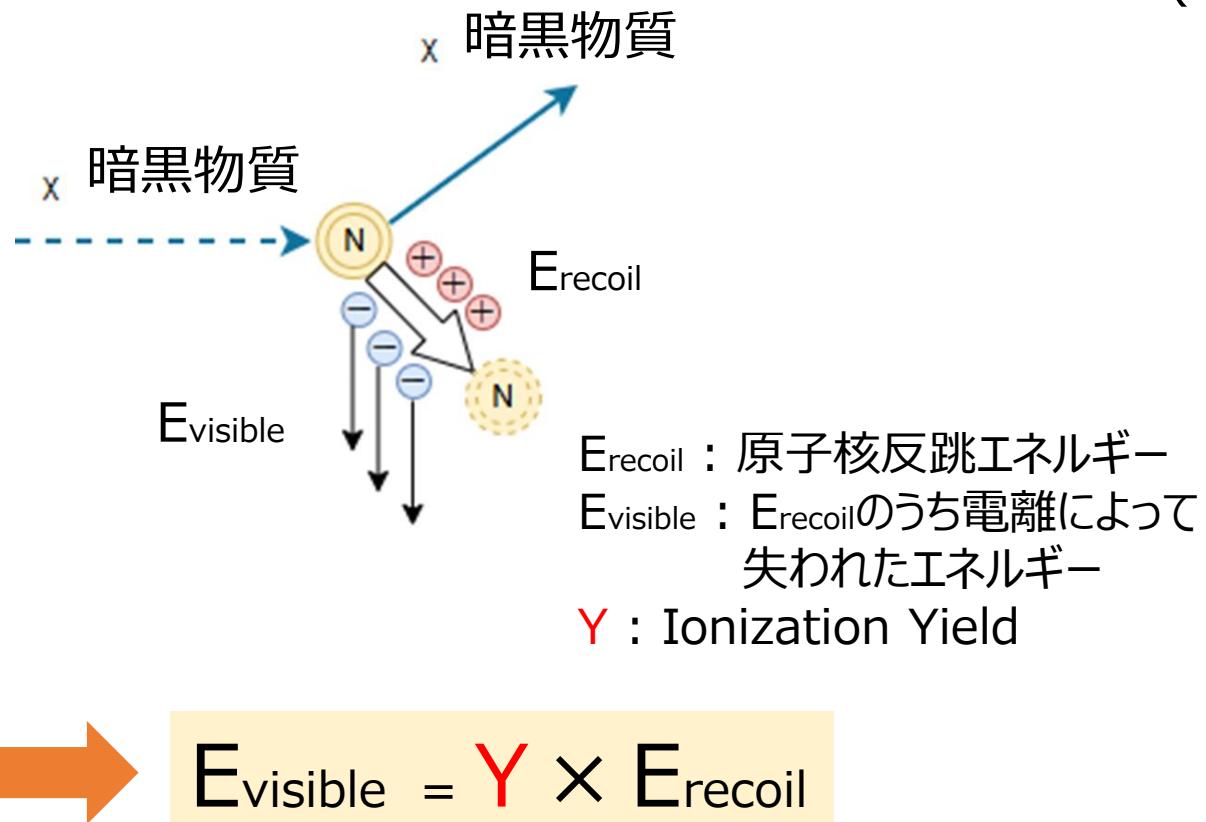
NEWAGE実験
(ガス検出器を用いた探索)



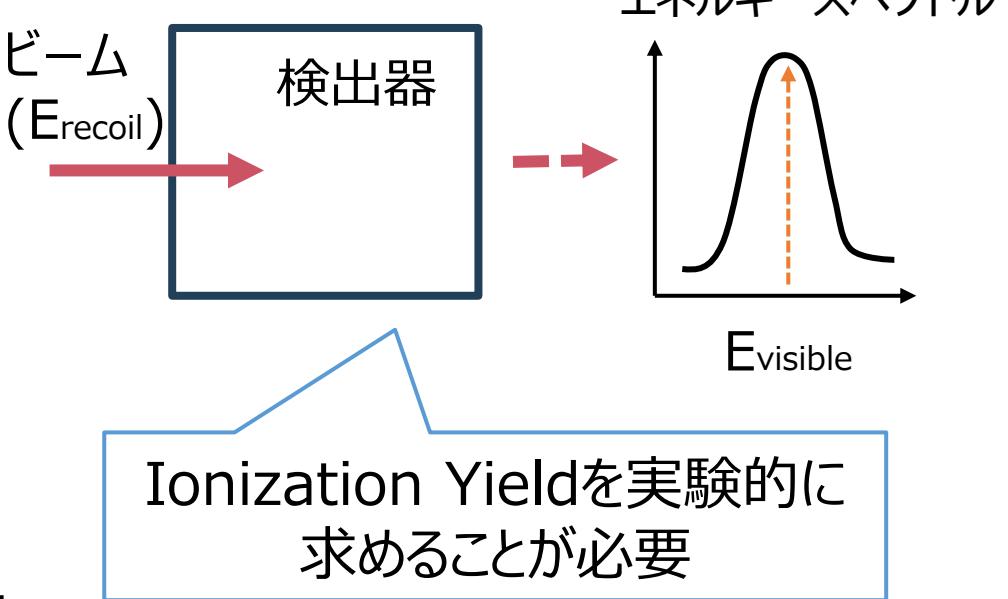
Ionization Yield測定

● 暗黒物質直接探索

- 反跳原子核が電離によって失うエネルギーを観測

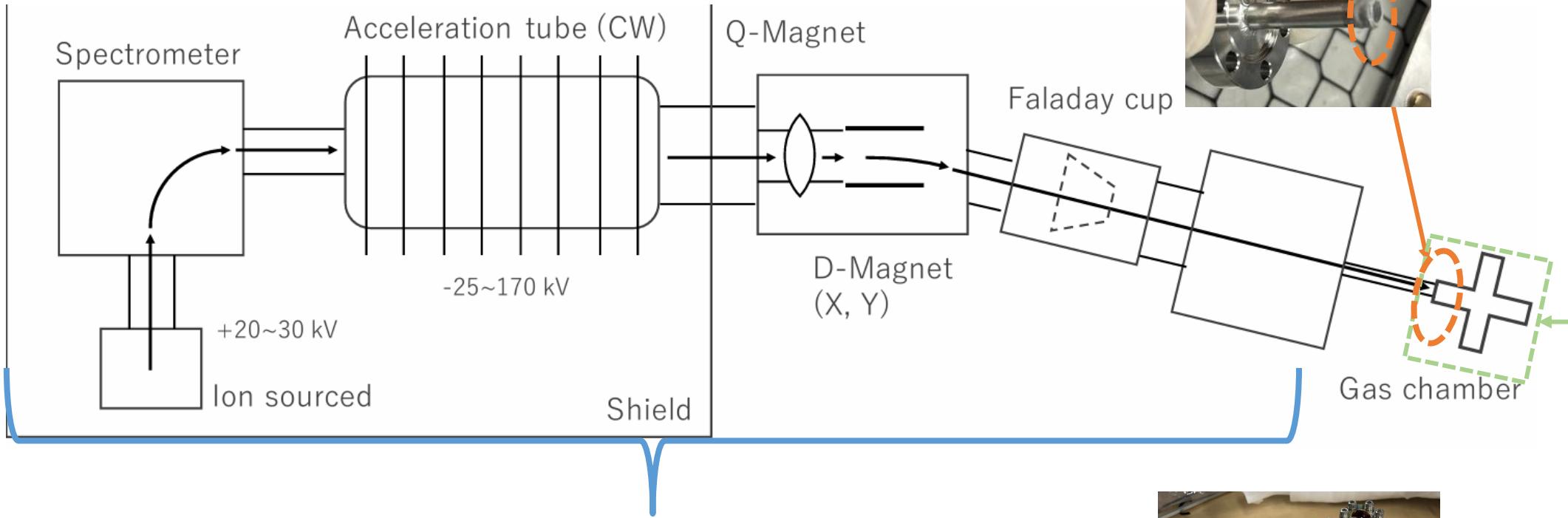


● 求める流れ

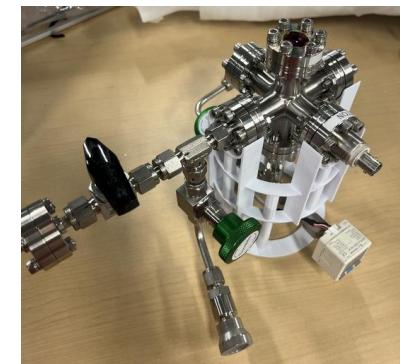


イオンビームをガスチャンバーに入射させてエネルギーを測定する機構が必要！

ビーム実験全体像

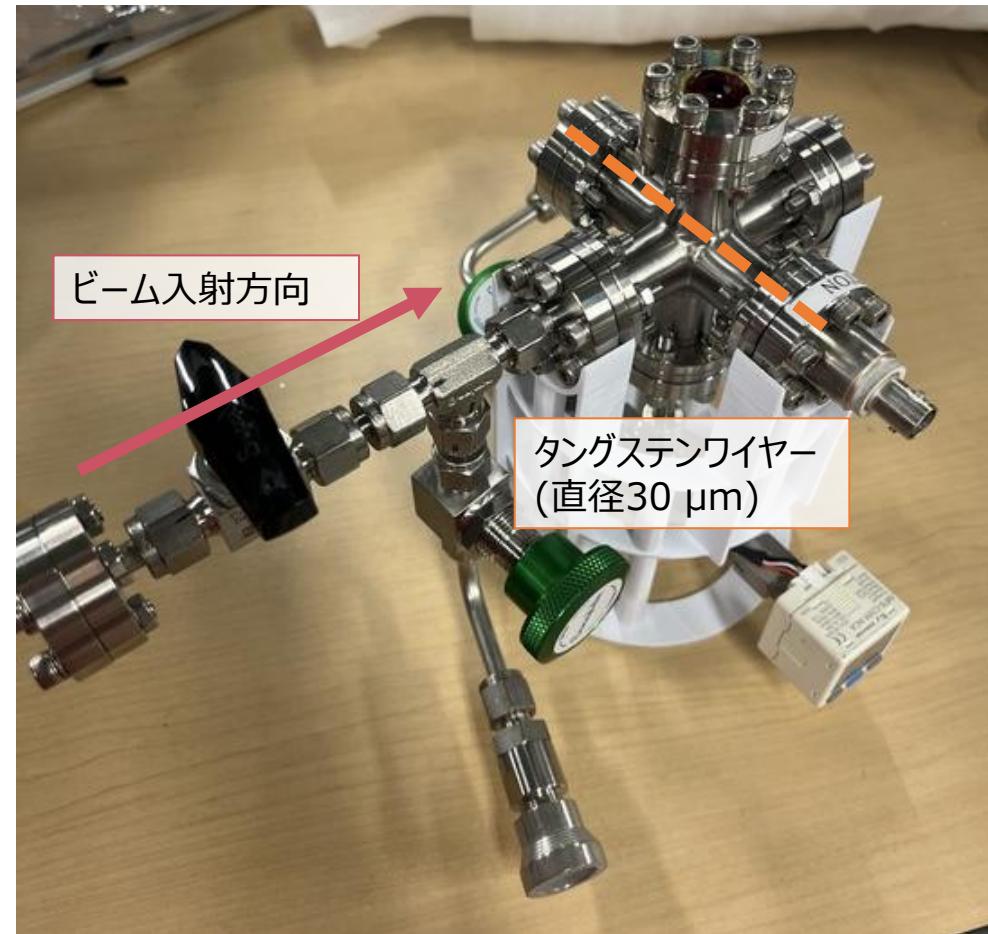
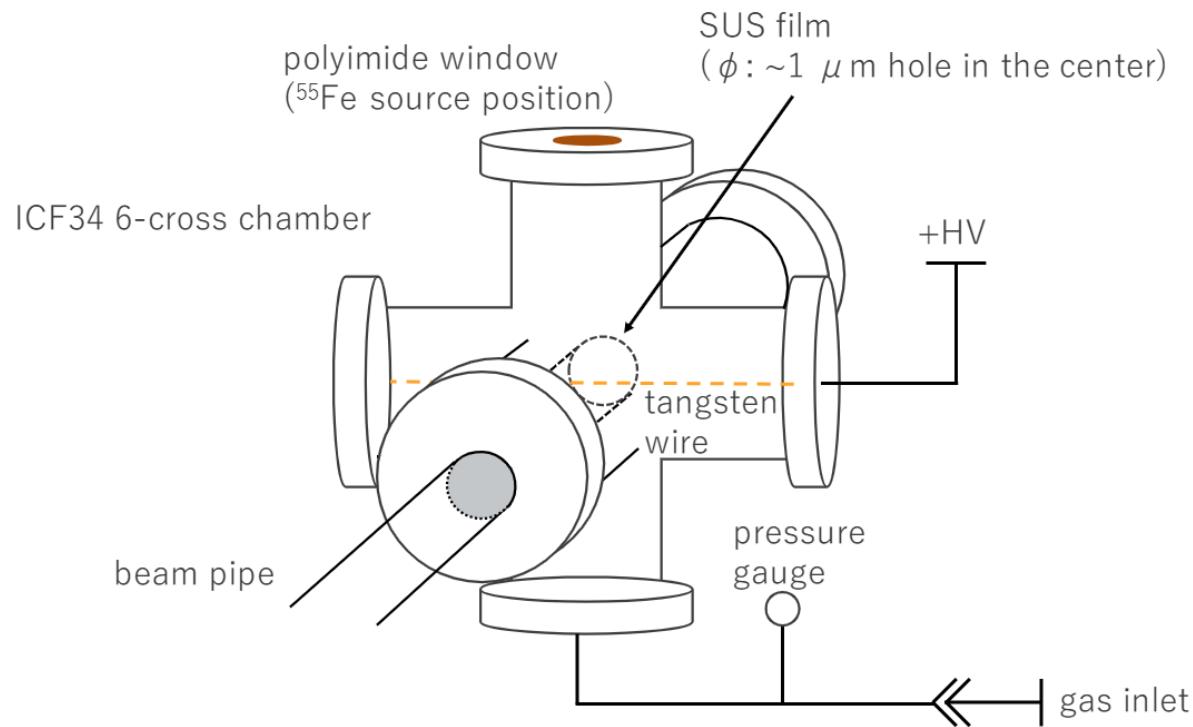


- 低エネルギー試料照射装置
- 加速電圧 : 5~200kV
- イオン種 : H, He, C, F, Si, Ar など



検出器

●ワイヤーチェンバー(单線,6方クロス型)



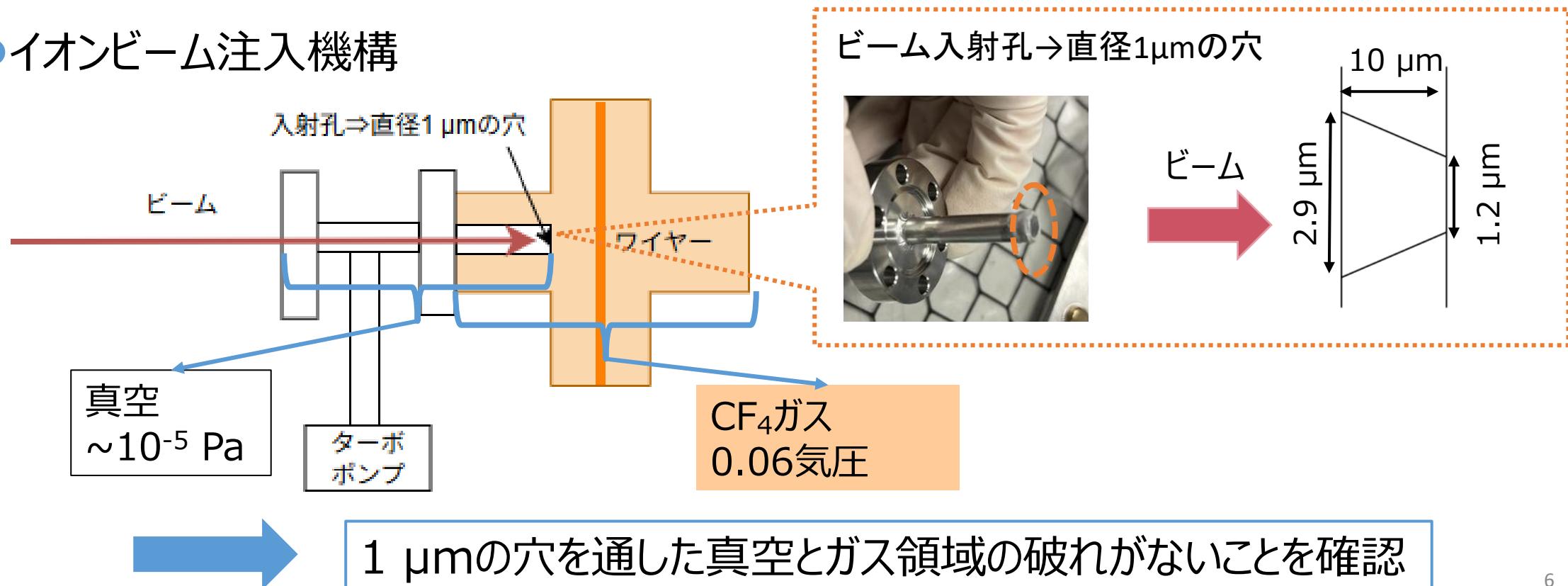
ビーム入射孔

●先行研究

グルノーブルのLPSCはCOMIMAC加速器、ビームの入射孔として1μmの穴を用いて実験

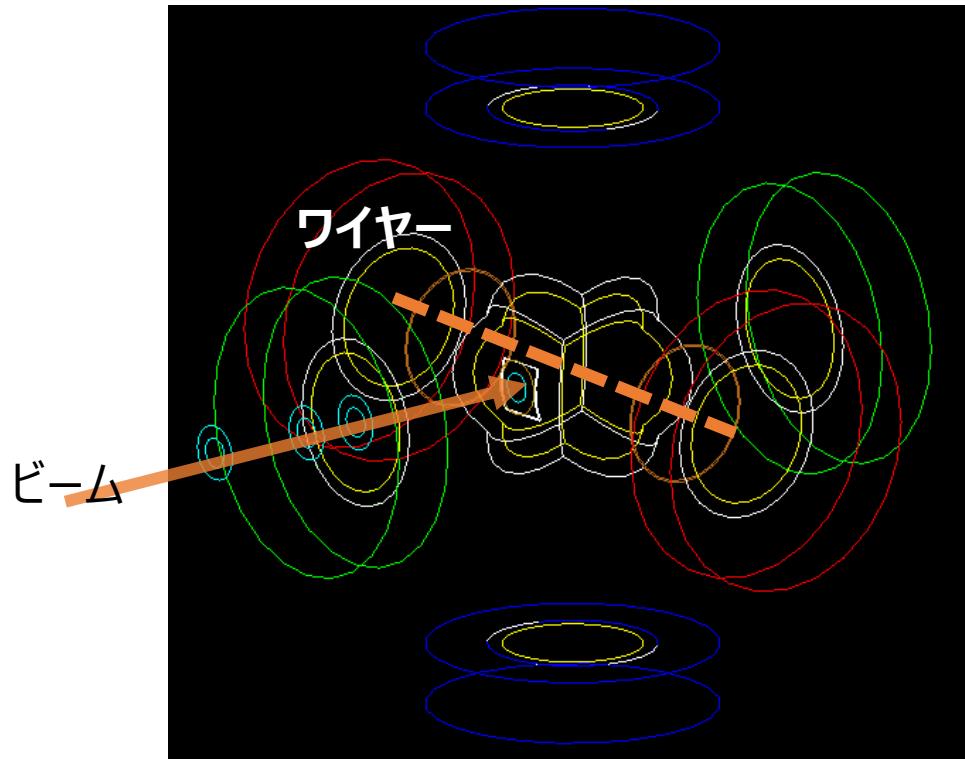
→ Ionization Yieldを測定し、ガス検出器への低エネルギーイオンビーム注入機構の確立を目指す！

●イオンビーム注入機構

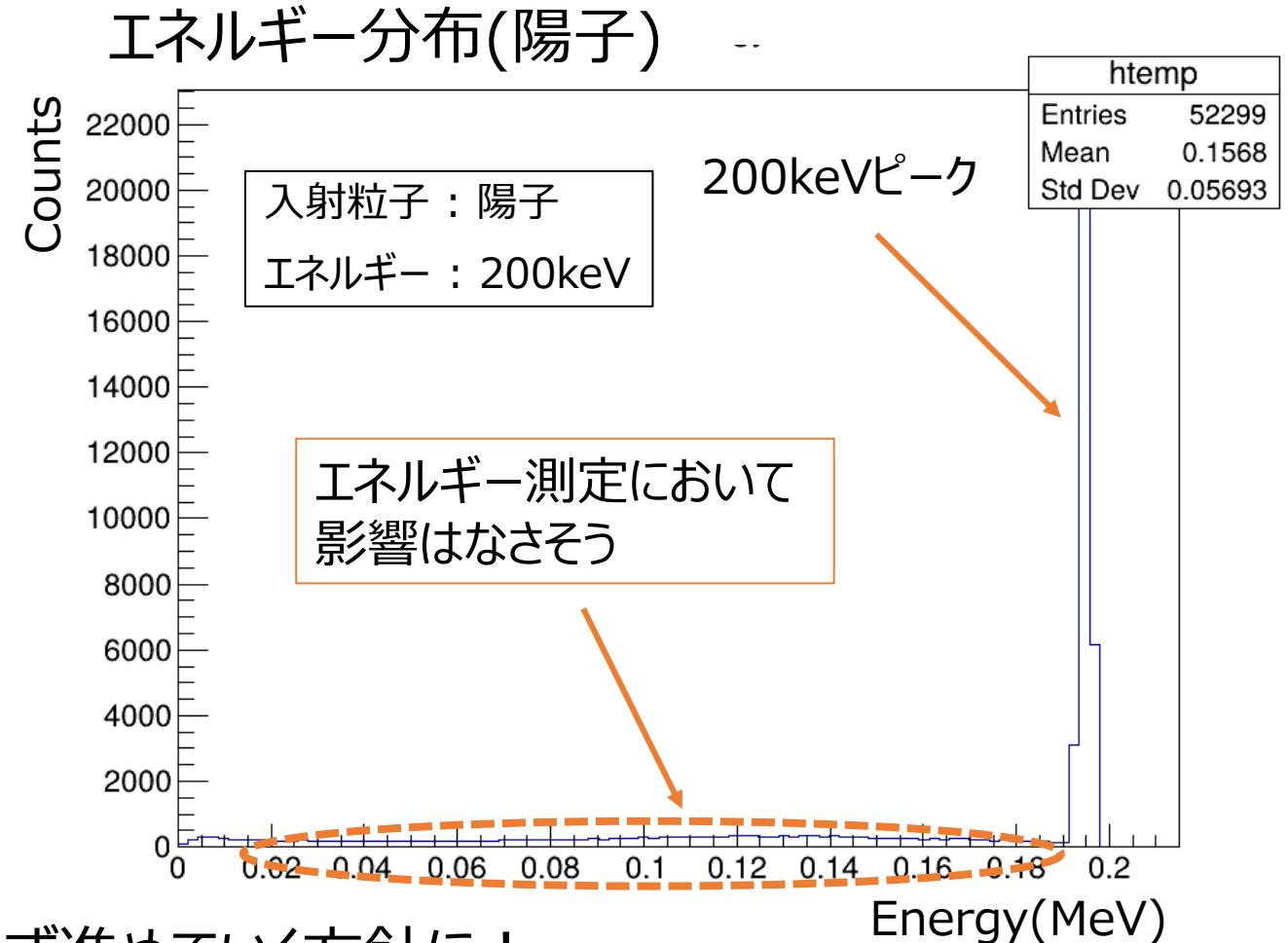


入射孔形状による影響の調査

- Geant4シミュレーションによるテーパーの影響の調査を実施
- ジオメトリ



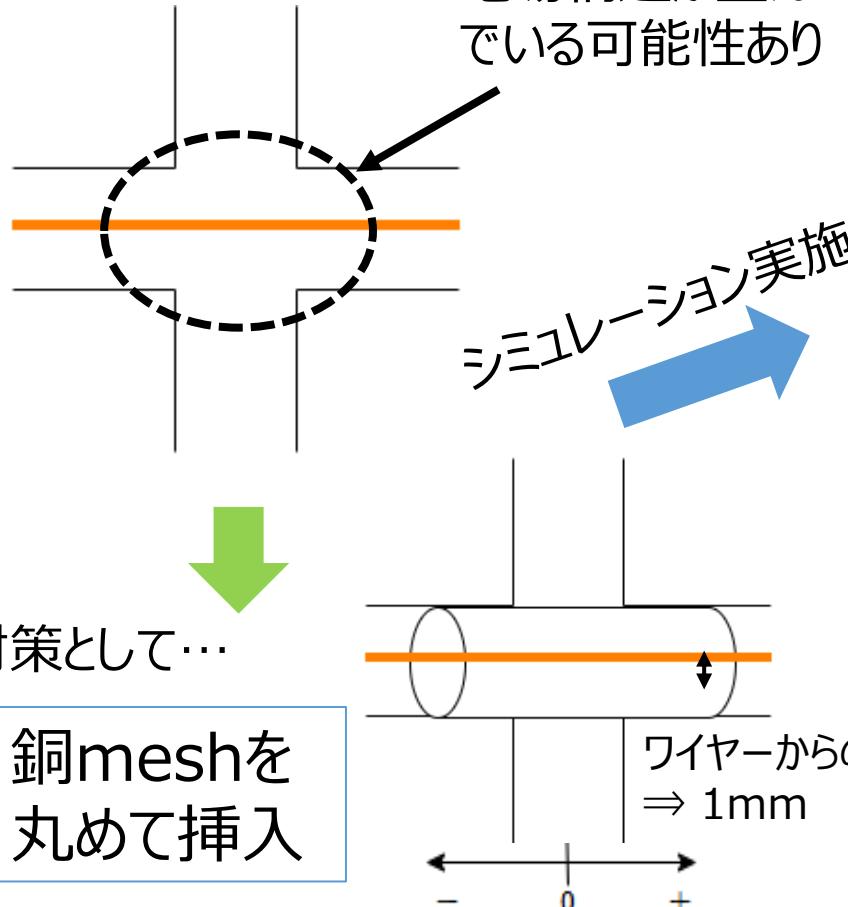
テーパー構造の影響は考慮せず進めていく方針に！



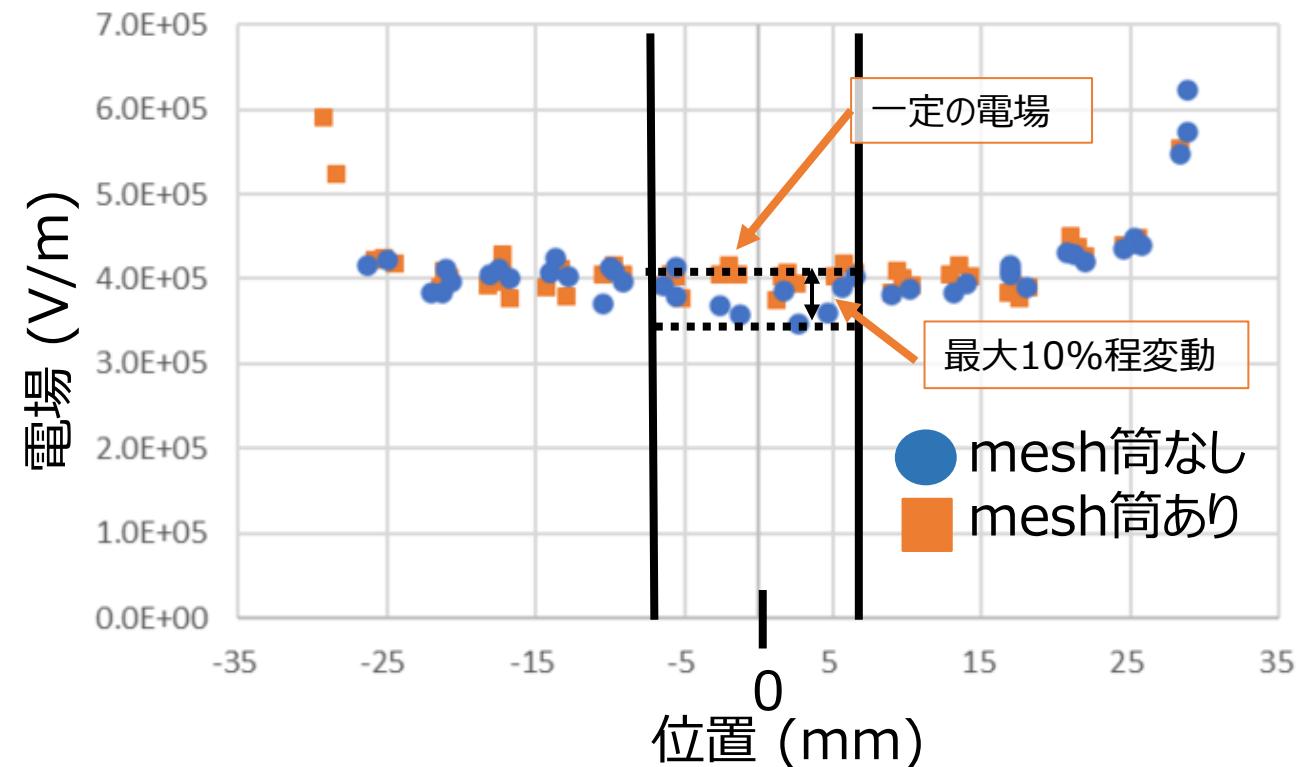
内部の電場構造はどうなっているの?

● 電場構造

チャンバー断面図



● 電場の位置依存(シミュレーションソフト:Femtet)



meshをつけることにした

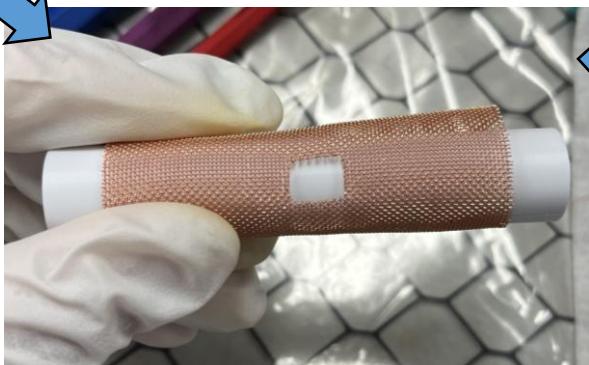
内部改良

▶ チェンバー内部の改良を実施

- ・ 銅meshにビームが通る穴を開ける
- ・ チェンバーに入れている様子
- ・ 最後ワイヤーを張って完成！



- ・ 型をつける



ぴったりとくっつけた

動作確認・性能評価を実施

試験で使える性能であることを
確認

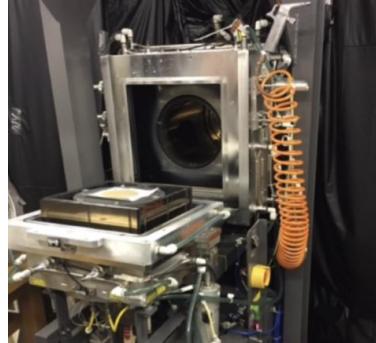
神奈川大ビーム試験

神奈川大ビーム試験

2025年9月3~5日 @神奈川大学

◆ 神奈川大ビーム情報

- 低エネルギー試料照射装置
- 加速電圧：5~200kV
- イオン種：H,He,C,F,Si,Ar など



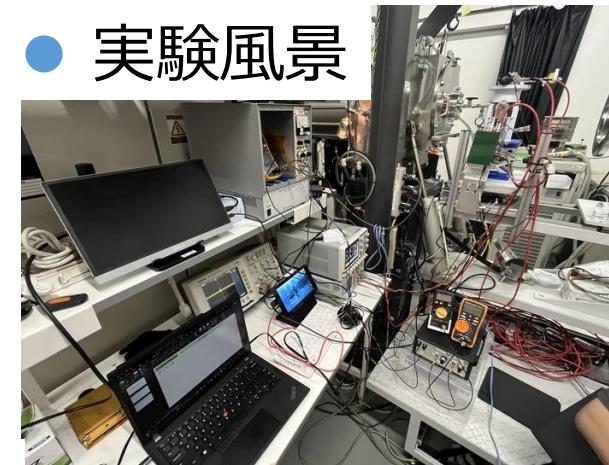
● 測定リスト

照射イオン	Energy (keV)
F	5~50
He	5~25
p	10~25

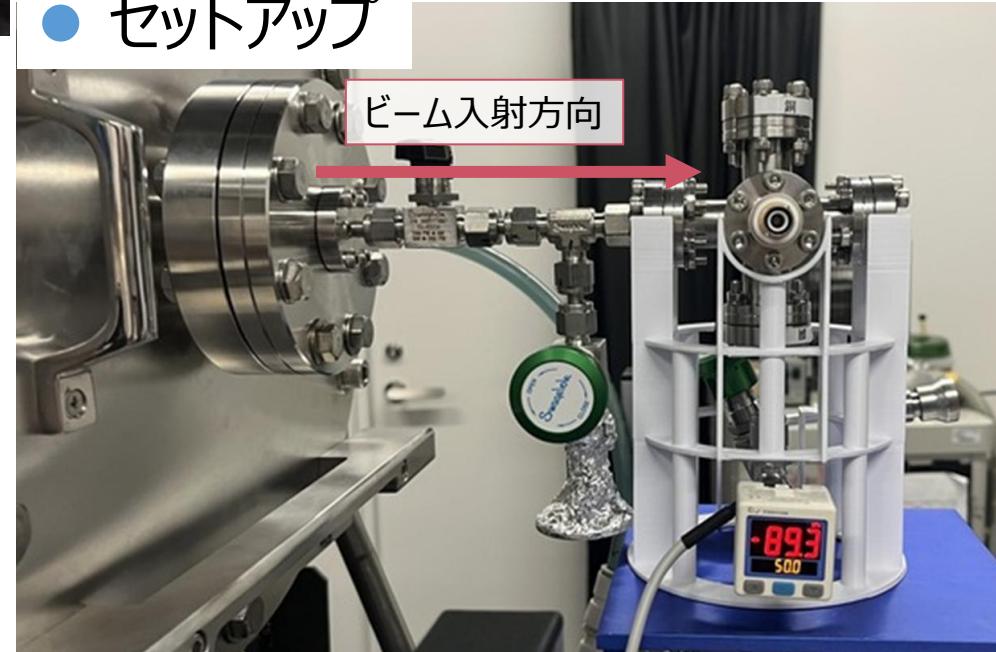
ガス : CF₄
ガス圧 : 0.1気圧

本講演ではFに注目

● 実験風景

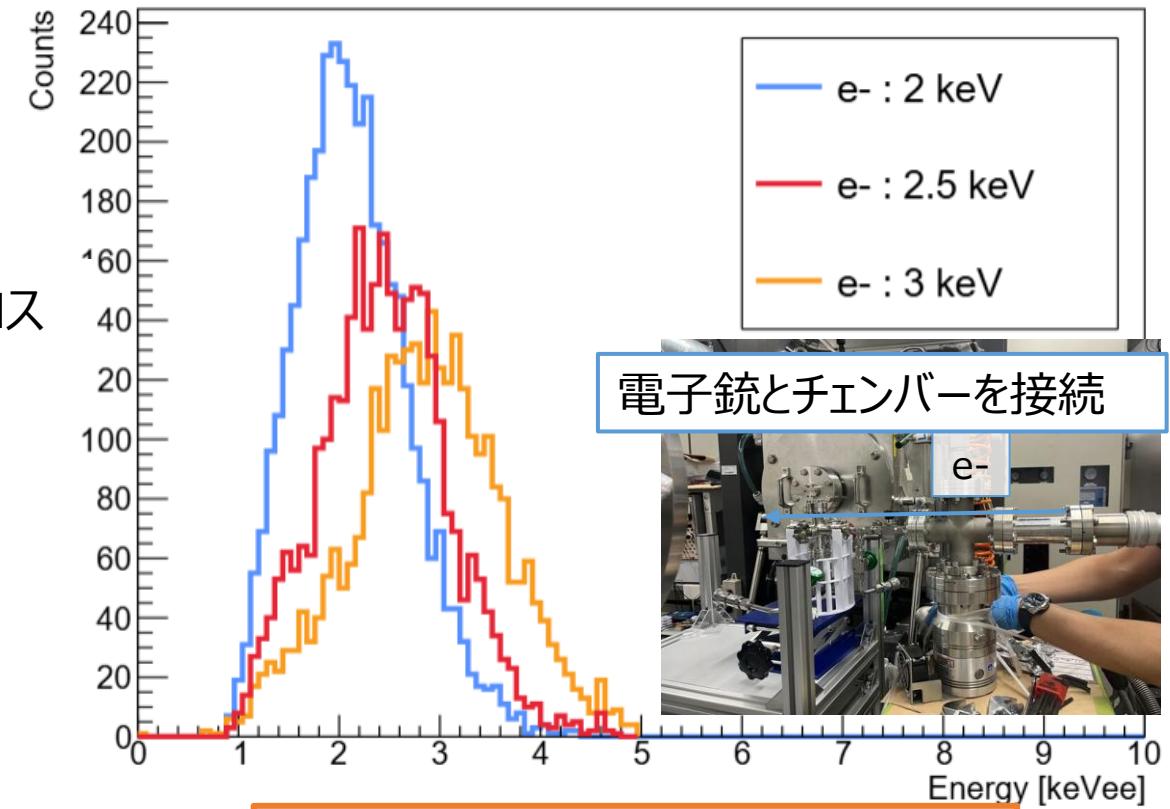
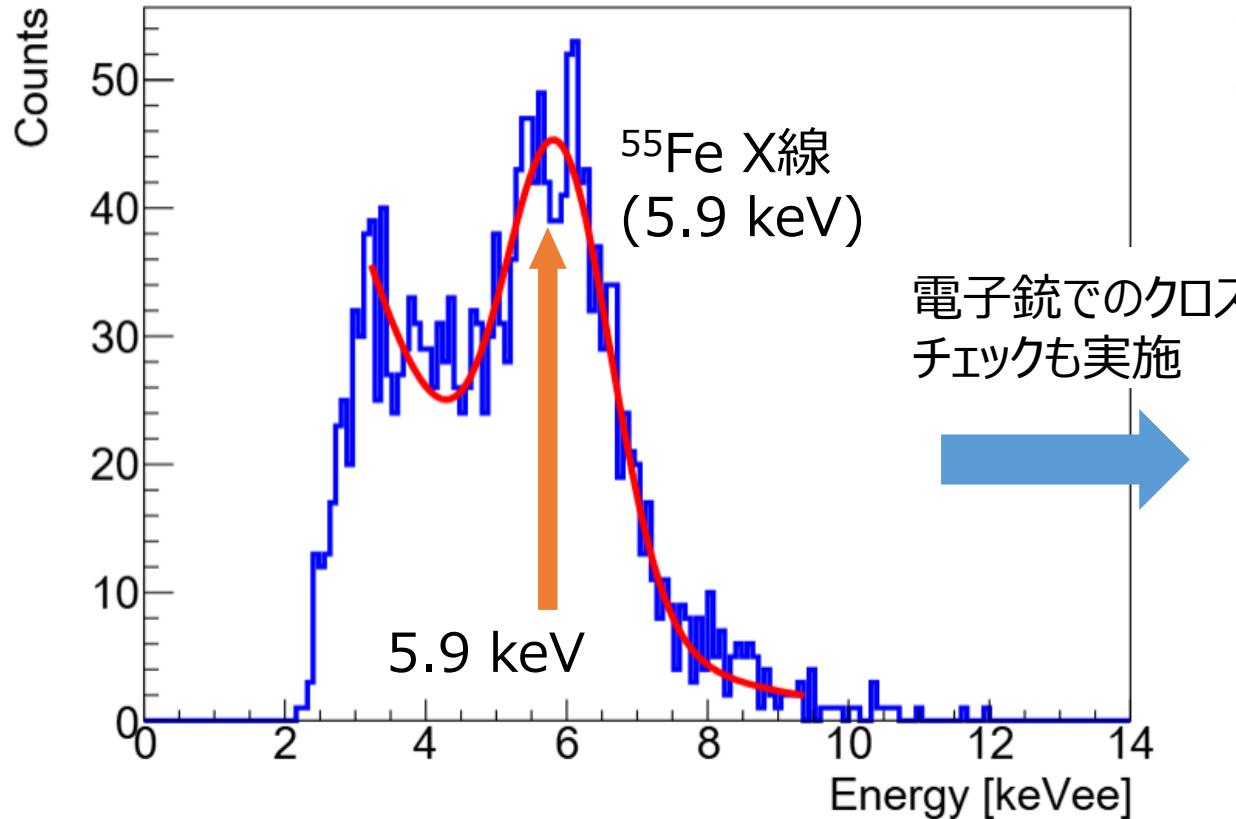


● セットアップ



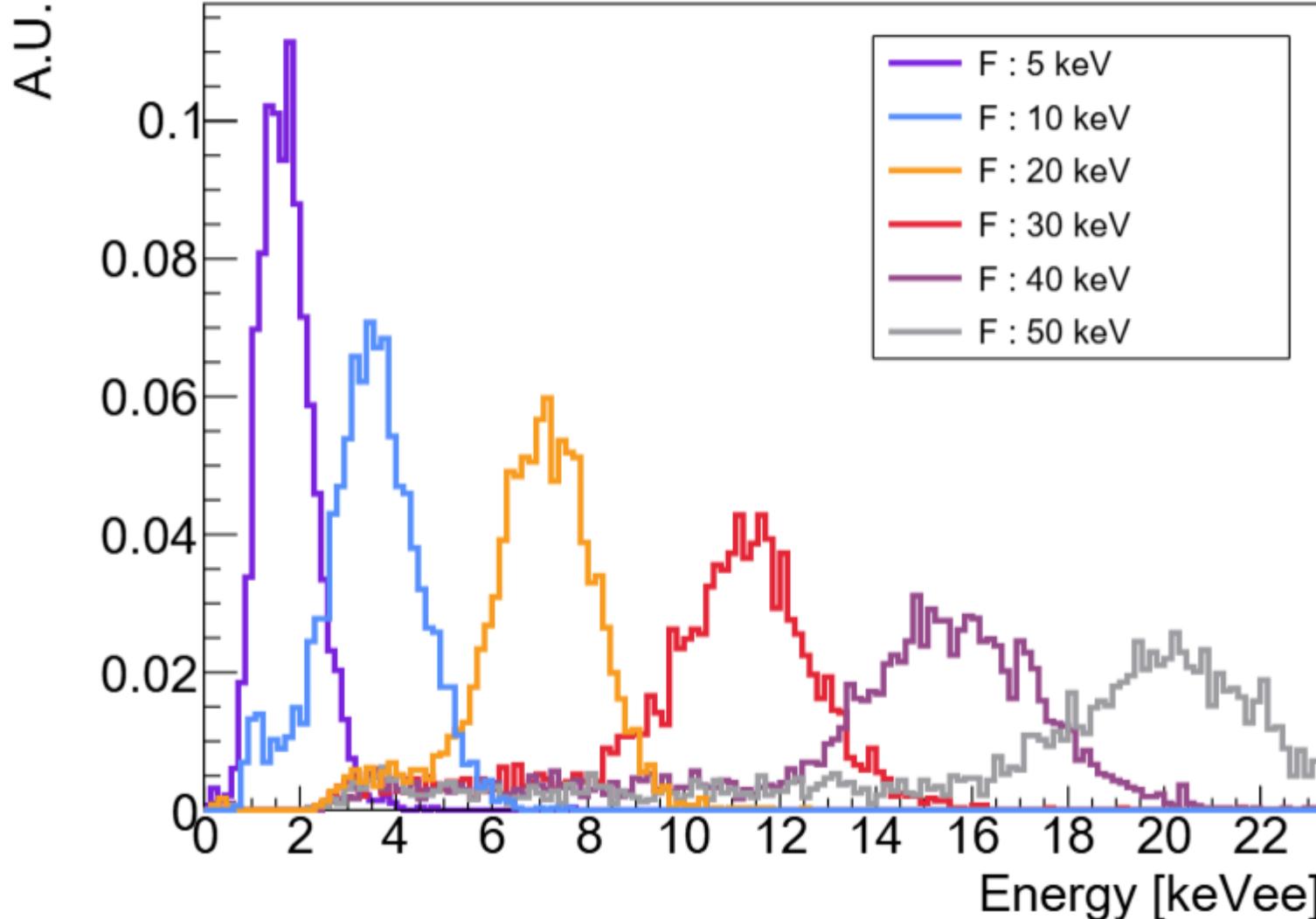
エネルギーキャリブレーション

ビームによるデータ測定毎にキャリブレーションを行うことで
正確なエネルギーを測定



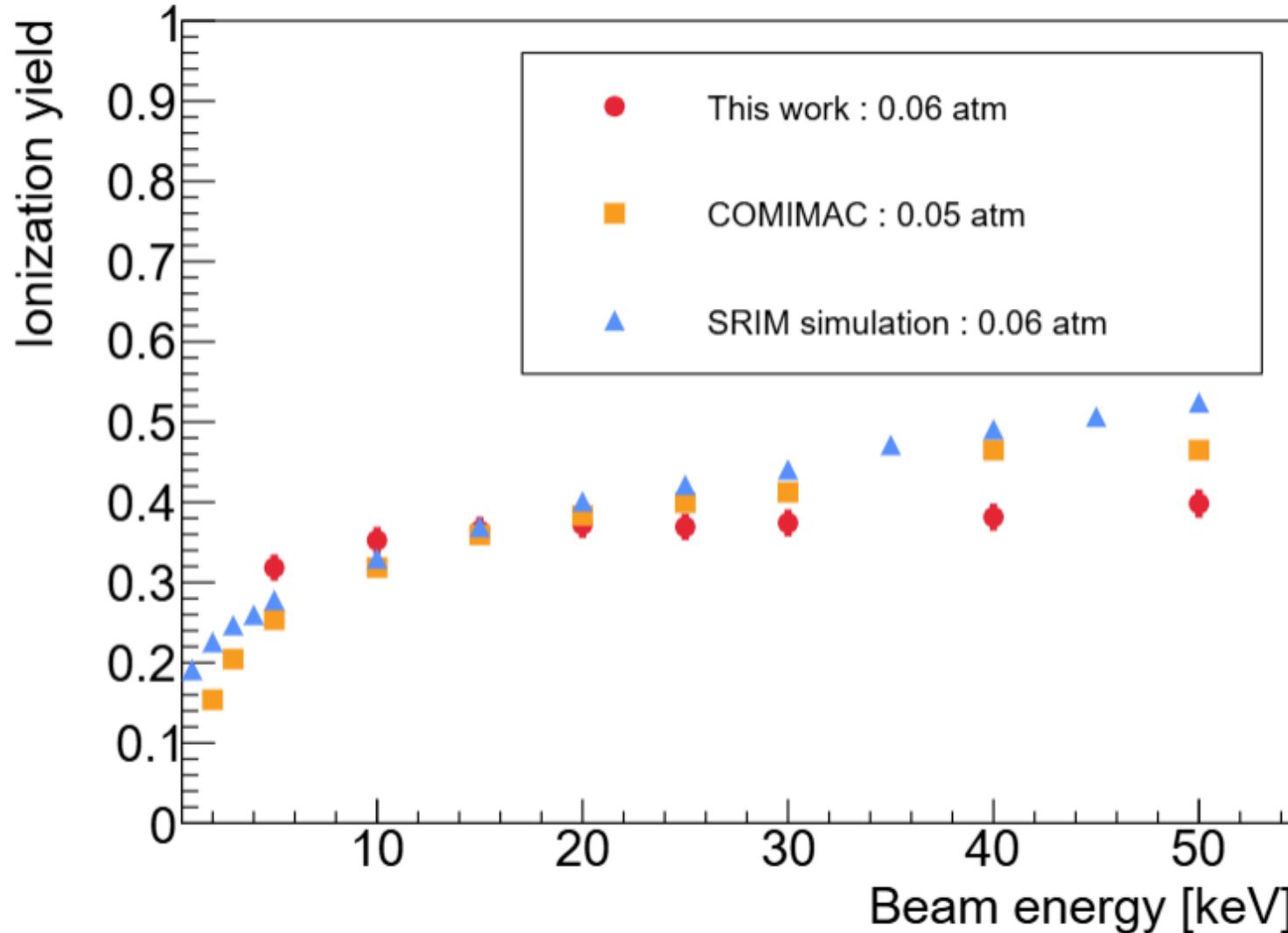
ピーケネルギーの差 $\pm 2.6\%$ 以内

Fビームエネルギースペクトル



- ビームエネルギー毎のピーク位置の相関を確認
- 電離以外でエネルギーを落としていることを確認
- Ionization Yieldは約30~40%

Ionization Yield



- CF_4 0.06気圧中でのFの Ionization Yieldを求めることができた
- 先行研究、シミュレーションとの違いも生じた
⇒その解釈が課題
- 日本で低速イオンビームをガス検出器に注入する機構を確立できた
- 検出器・ビーム条件を変えて クロスチェックを実施していく

結論

- Ionization Yield測定のためのビーム試験を実施
⇒そのための検出器の開発・試験
- Fイオンのエネルギースペクトルを取得
- CF₄ 0.06気圧でのFのIonization Yieldを測定
- 日本で低速イオンビームをガス検出器に注入する機構を確立できた
⇒検出器・ビーム条件を変えてクロスチェックを実施していく

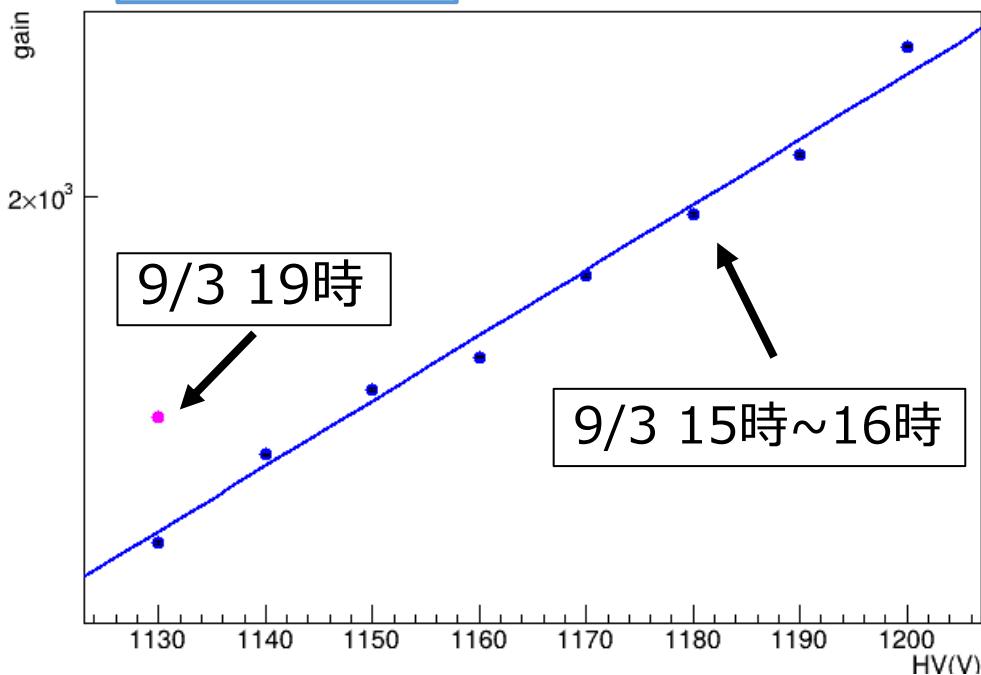
Back up

ゲインの時間変動

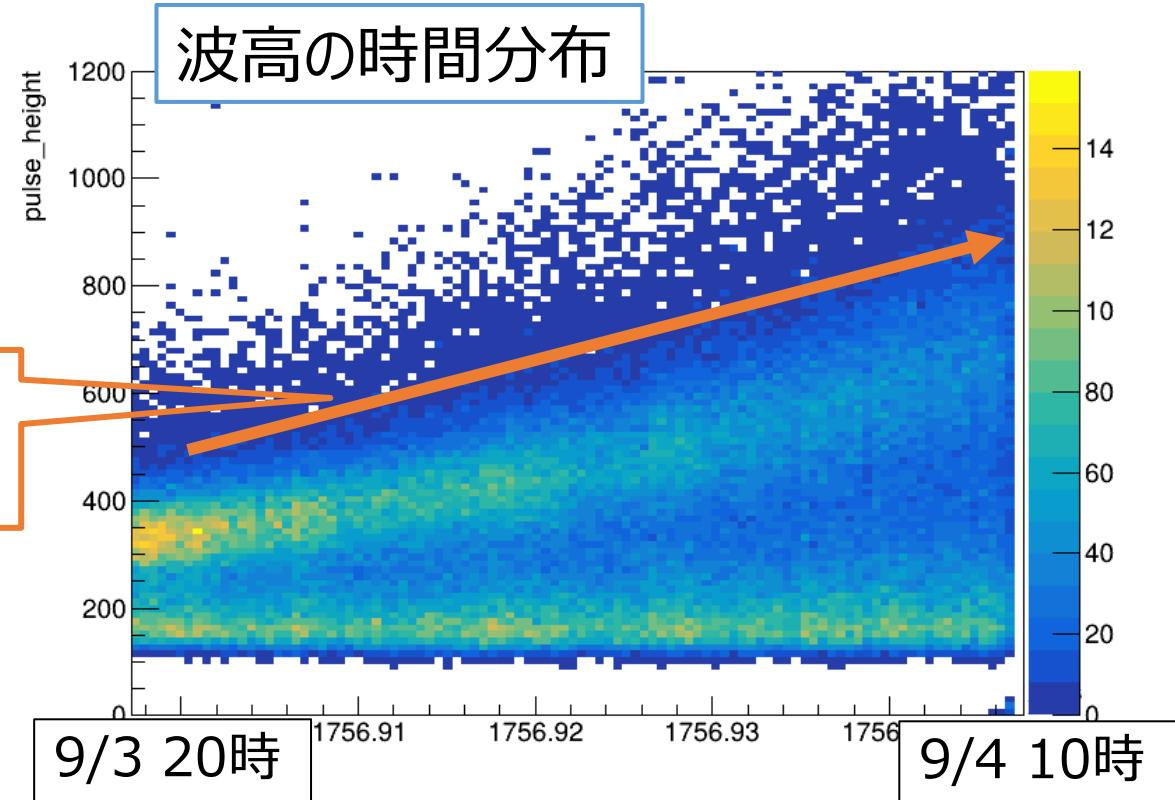
- ゲイン上昇

- ^{55}Fe のゲインカーブから時間が経つとゲインが上昇していることが発覚

ゲインカーブ

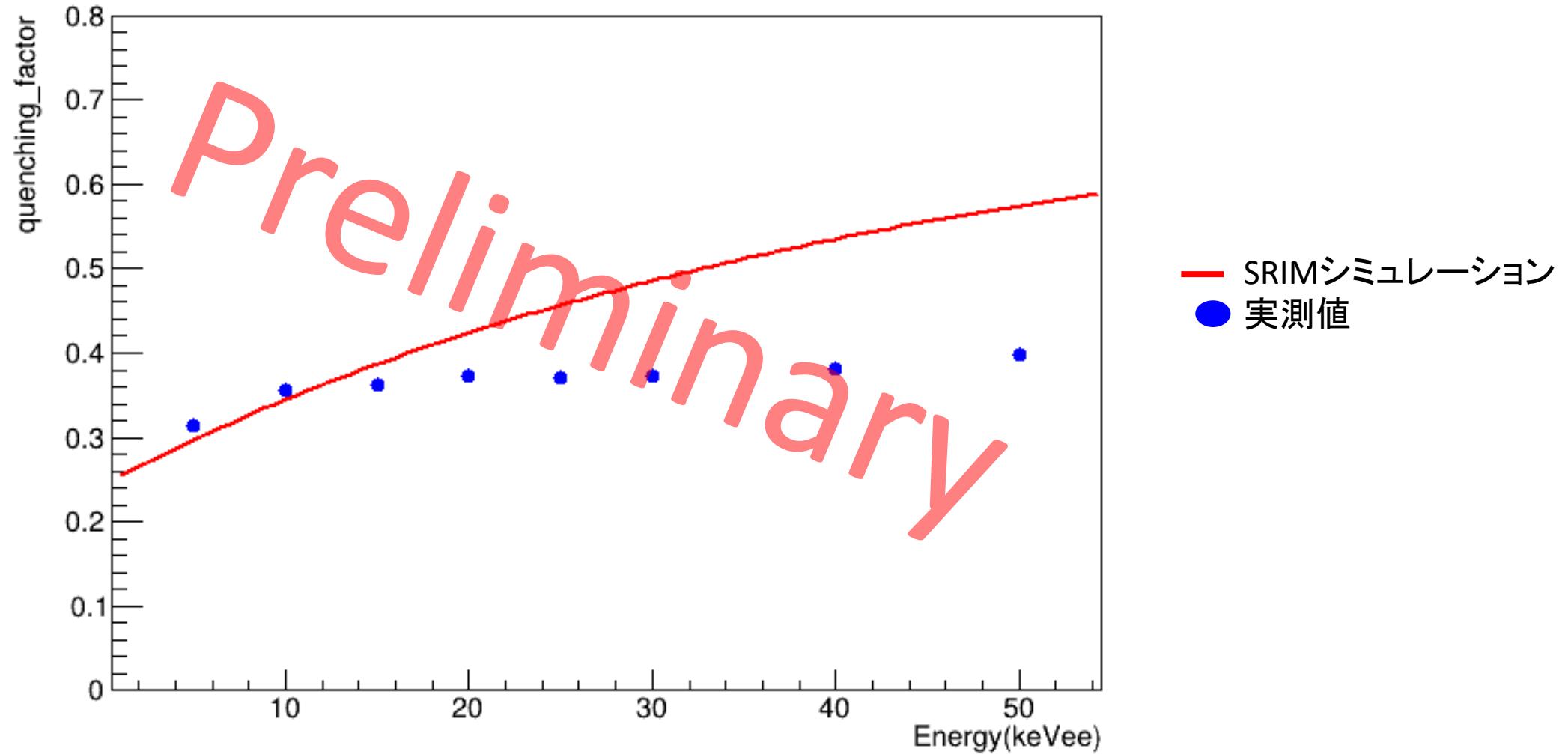


➤ 一晩 ^{55}Fe でデータをとてみると…



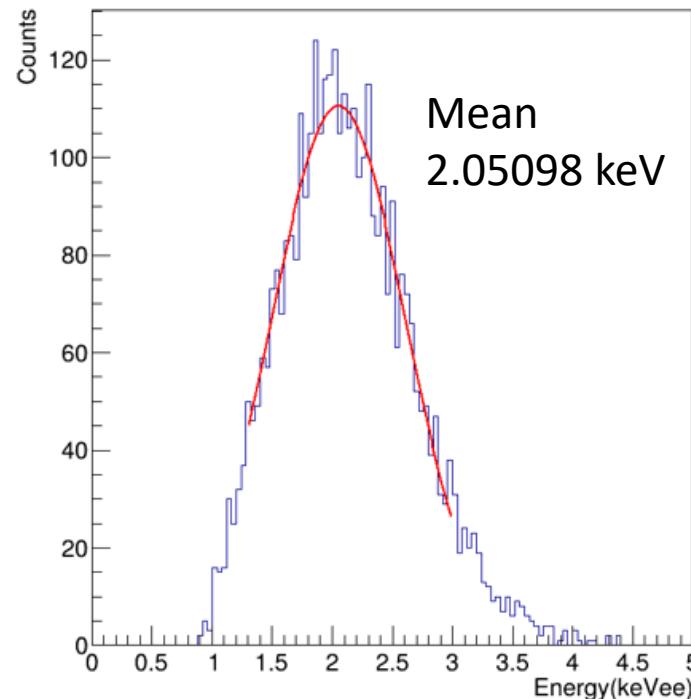
➤ ビームによるデータ測定毎にキャリブレーションを行ってQuenching factorを測定

FのQuenching factor(実測値とSRIM)

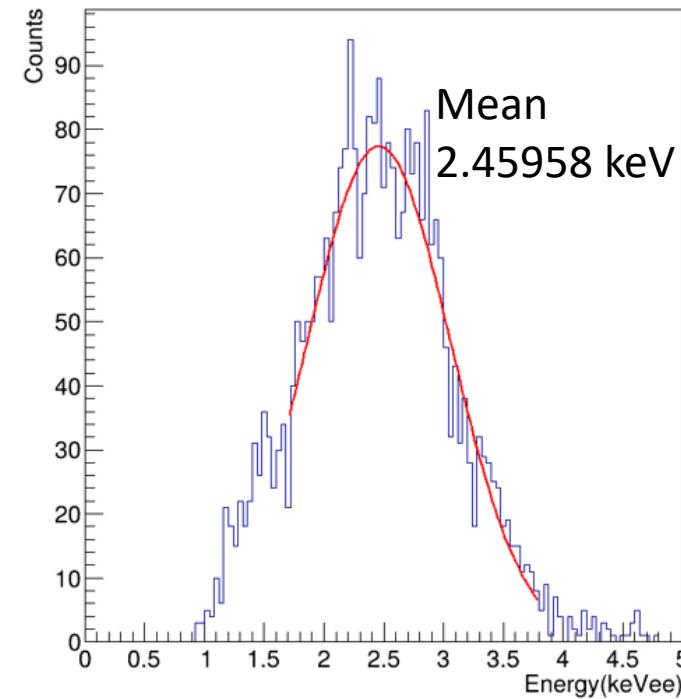


電子のエネルギースペクトル

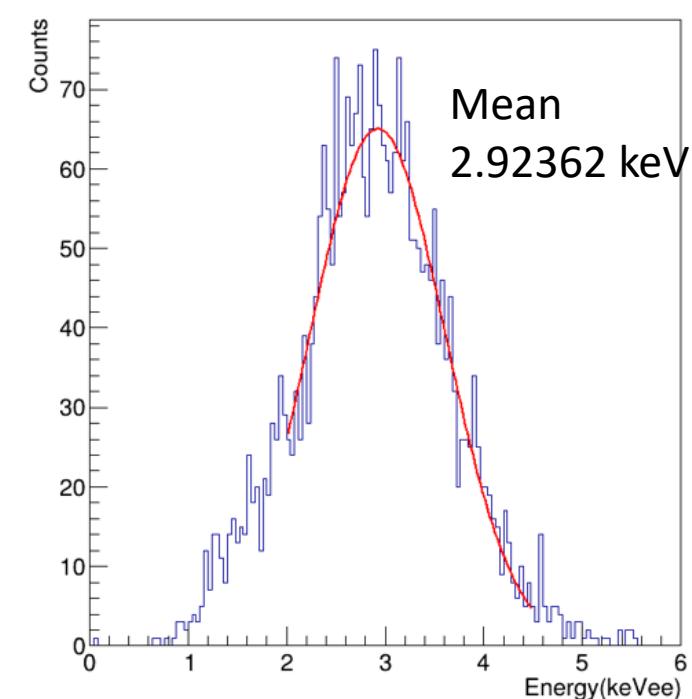
● 電子 2 keV



● 電子 2.5 keV



● 電子 3 keV

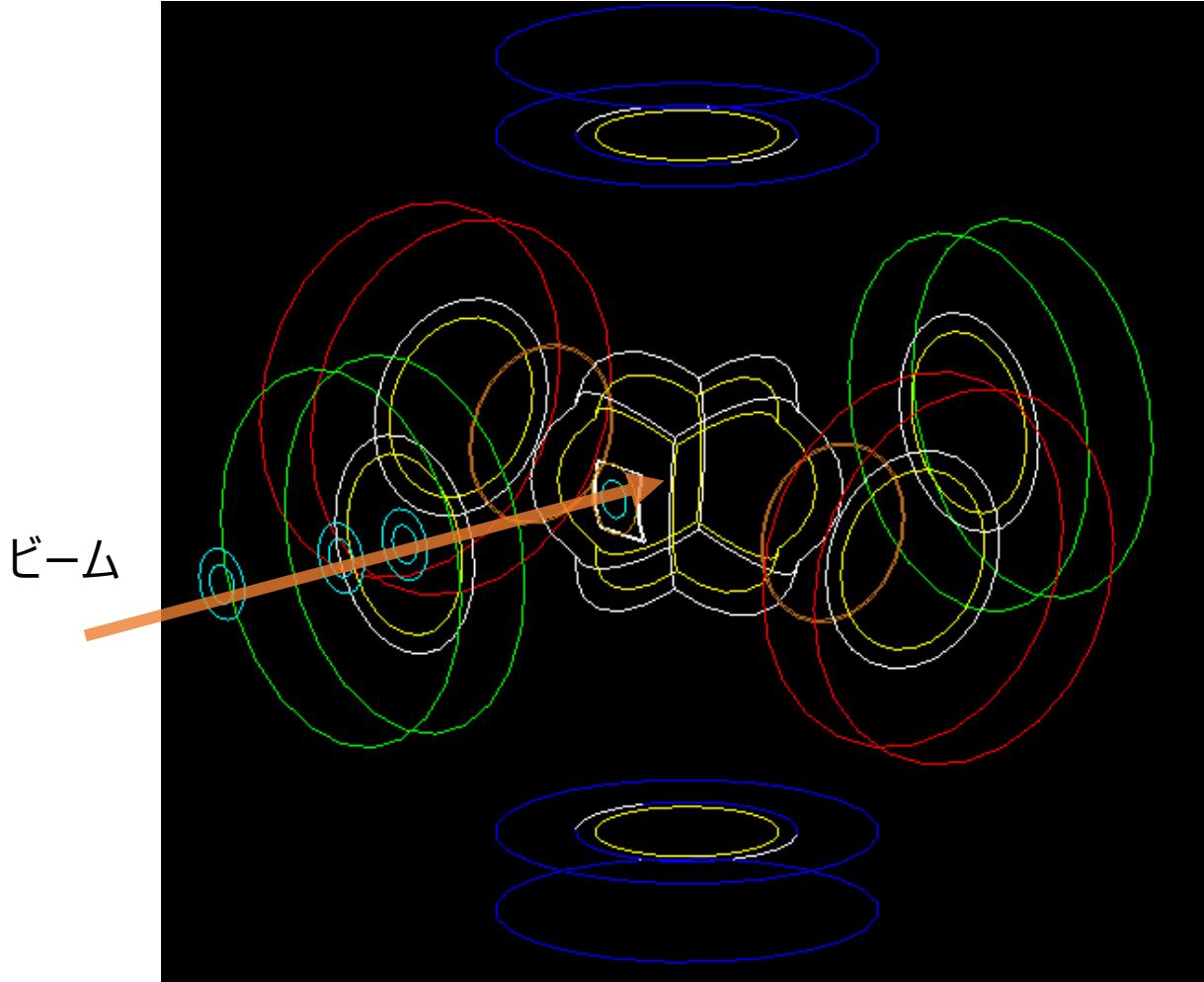


➤ ピークエネルギーの差
→+2.45 %

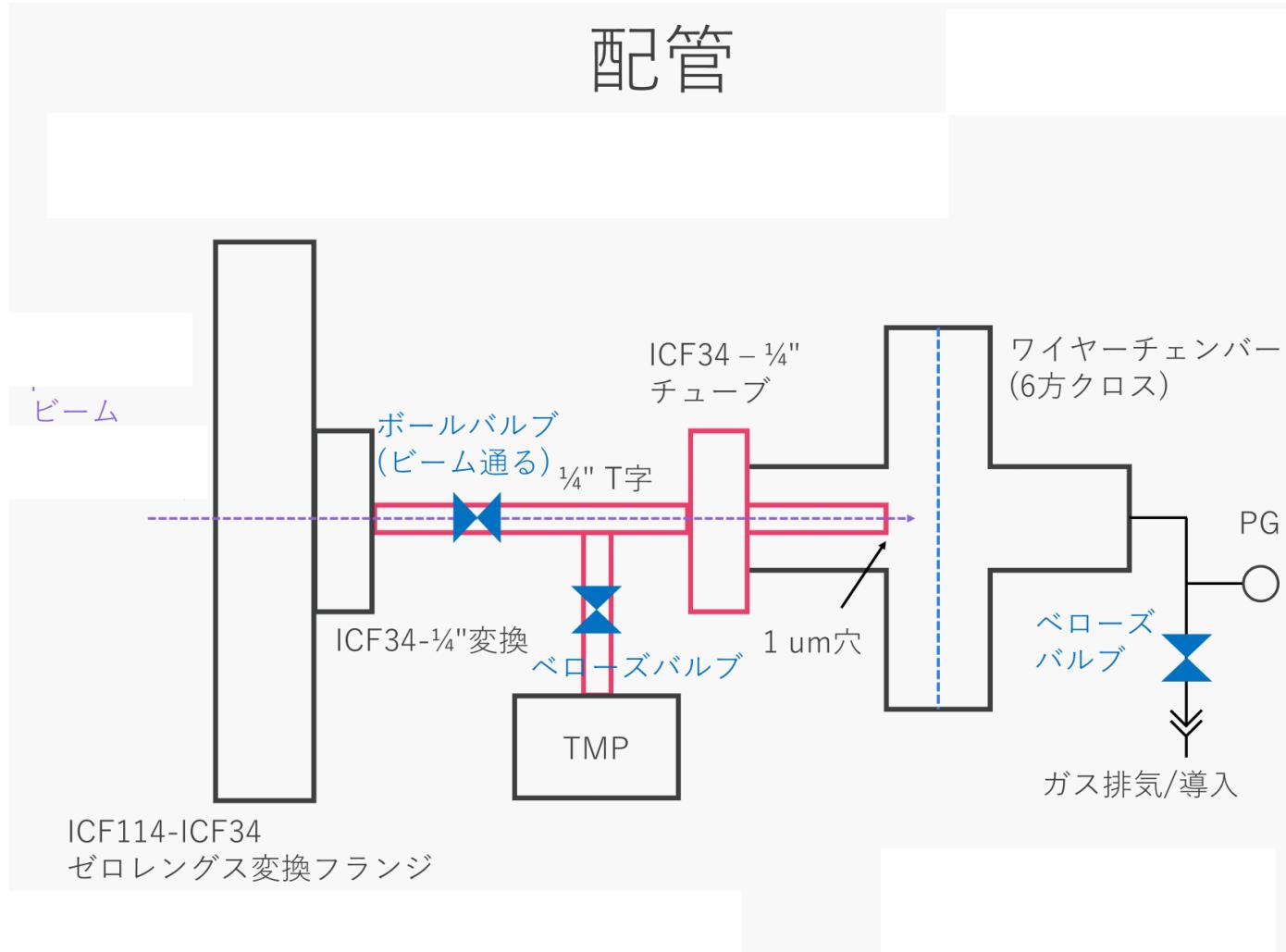
➤ ピークエネルギーの差
→-1.61 %

➤ ピークエネルギーの差
→-2.55 %

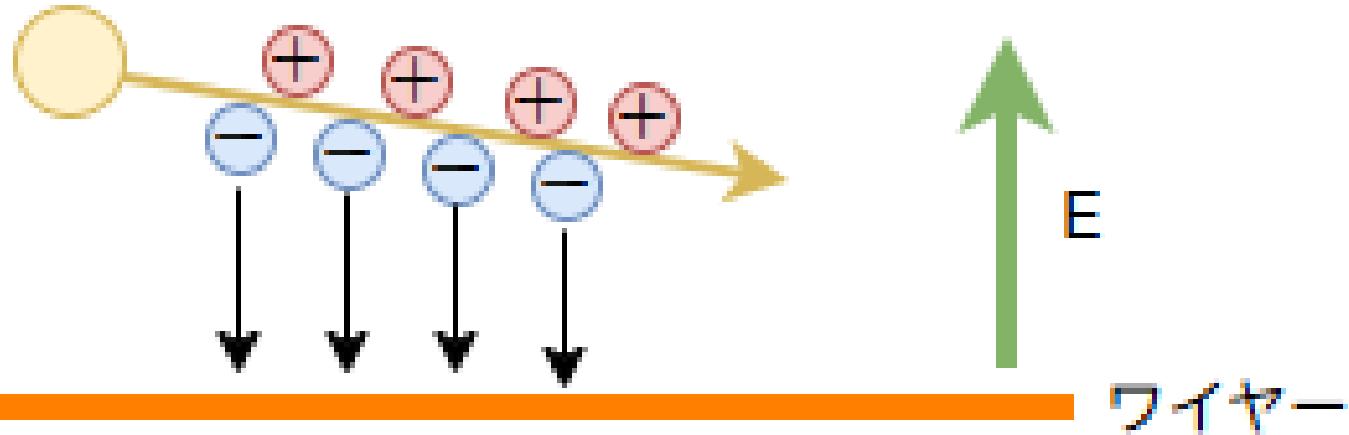
Geant4 シミュレーション ジオメトリ



配管



検出原理



1. 荷電粒子がガスを電離
2. Drift電場により電子が移動
3. ワイヤー付近の強電場部分で雪崩増幅
⇒ 電荷信号検出

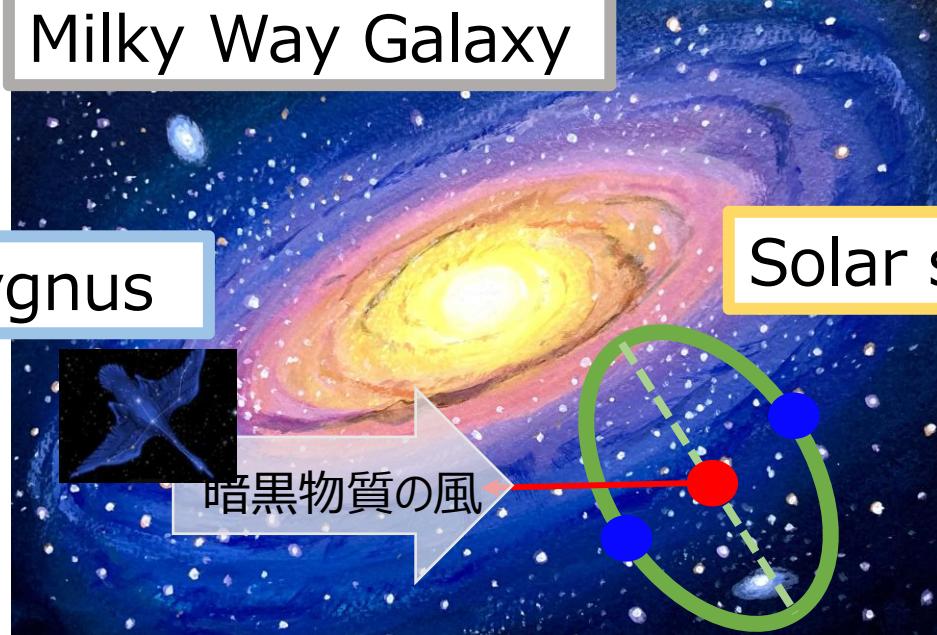
方向感度をもつ暗黒物質直接探索実験

- 方向感度を持ったWIMP直接探索

Milky Way Galaxy

Cygnus

Solar system



- 暗黒物質をWIMPと仮定して探索

暗黒物質が天の川銀河全体を覆っている



太陽系が230km/sの速さで銀河を周回

- 検出したい事象

暗黒物質の風

暗黒物質
(WIMP)

N

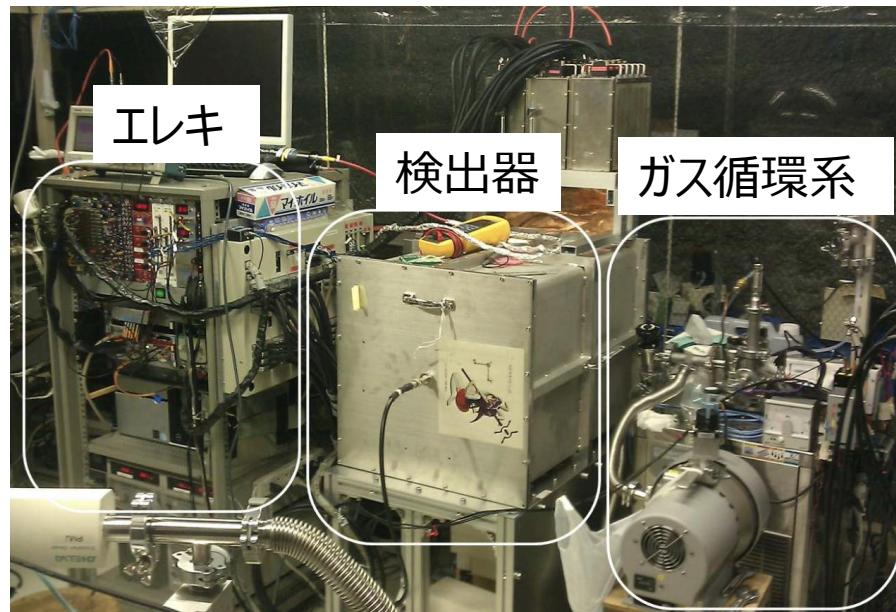
N

→ 暗黒物質による原子核の反跳事
象を方向感度をもつ検出器で探索

はくちょう座の方向から暗黒物質がやってくる
ように見える。反跳核分布が指向性をもつ
ため暗黒物質の特定につながる

NEWAGE実験

- 神岡鉱山地下実験室(LabB)にガス検出器保有
⇒ μ -TPC



現在も絶賛稼働中！

