



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

身内賢太郎 東野聡 白石卓也^A 星野靖^A 中竜大^B

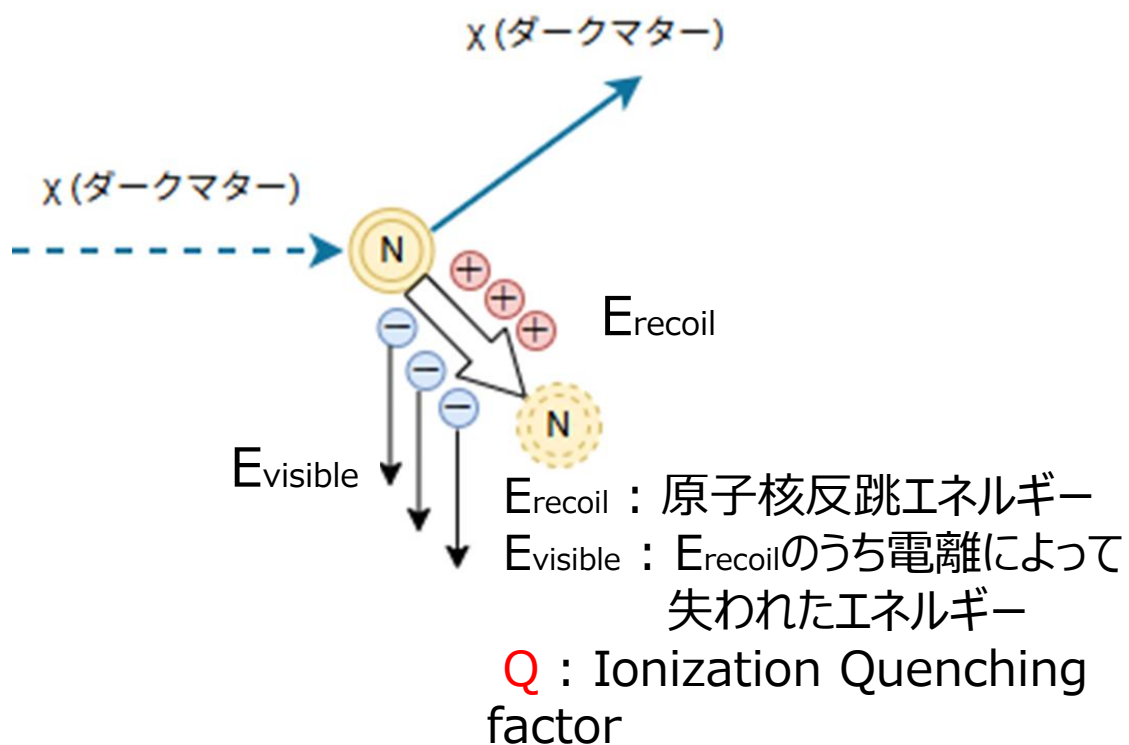
神奈川大学^A 東邦大学^B

2025年 9月16日

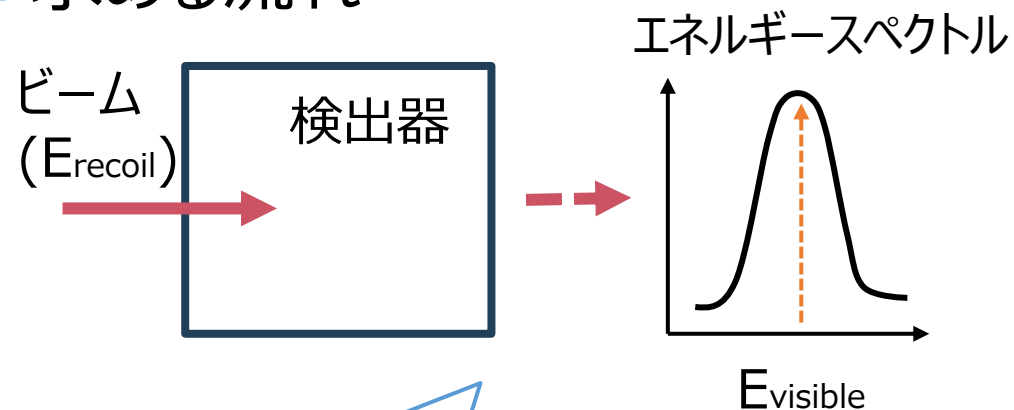
Ionization Quenching factor測定

- ダークマター探索

➤ 原子核反跳の電離によるエネルギーを観測



- 求める流れ



Ionization Quenching factorを
実験的に求めることが必要

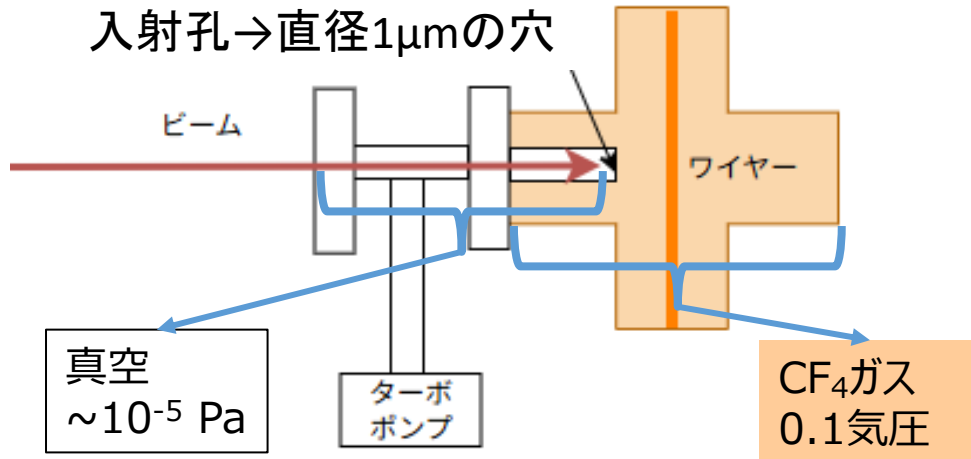
➡ イオンビームをガスチェンバーに入射
させてエネルギーを測定する機構が
必要！

➡ $E_{\text{visible}} = Q \times E_{\text{recoil}}$

ビーム入射孔

●イオンビーム注入機構

入射孔→直径1 μm の穴



1 μm の穴を通した真空とガス領域の破れがないことを確認

●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1 μm の穴を用いて実験

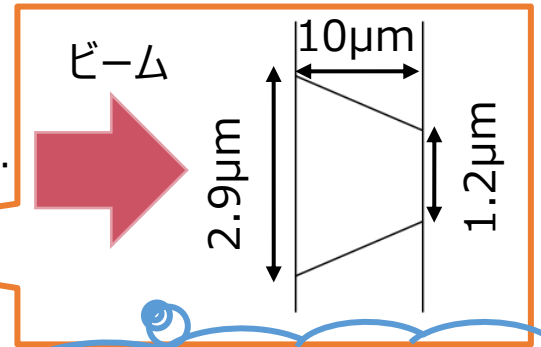
➡ Ionization Quenching factorを測定

➡ 日本でも測定手法を確立！

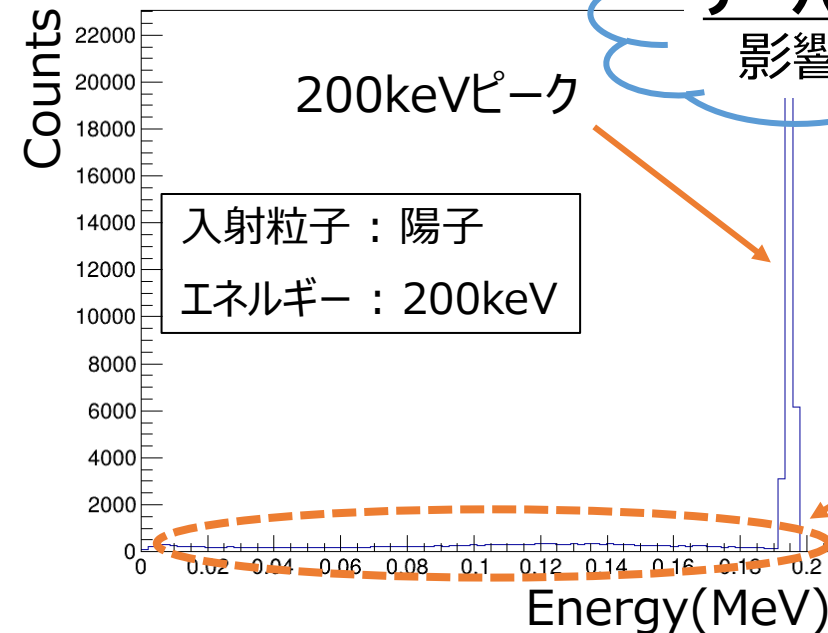
➤ 厚さ10 μm のステンレス箔に直径1 μm の穴



実際には…



テーパ構造になっている
影響は…？

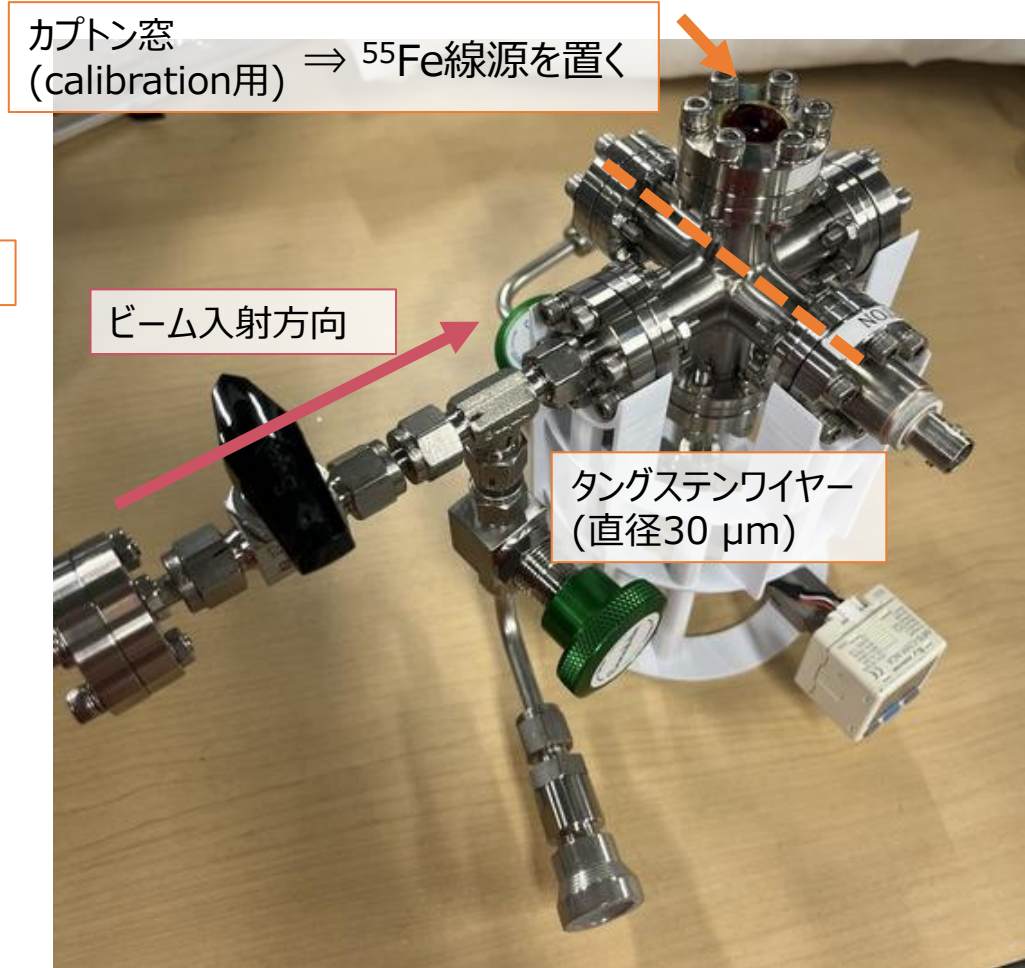
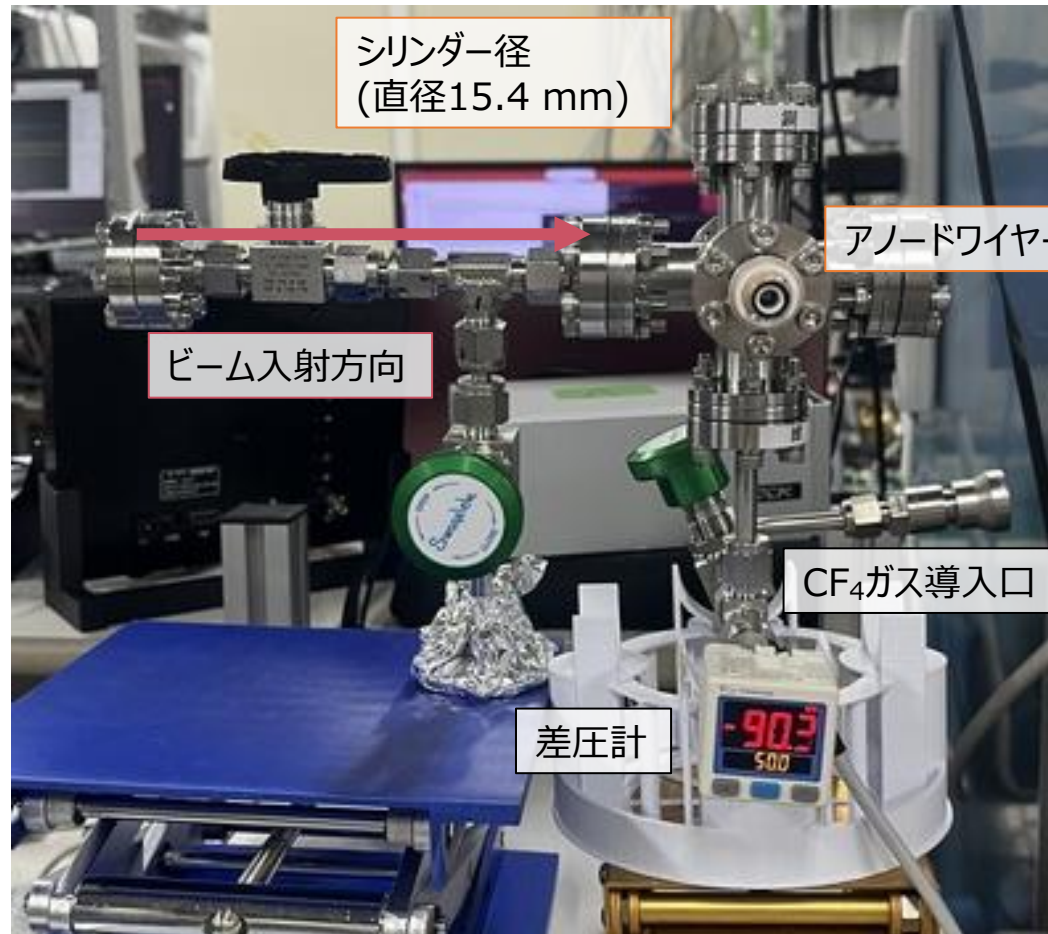


シミュレーション
(Geant4)

エネルギー測定において
影響はなさそう

検出器

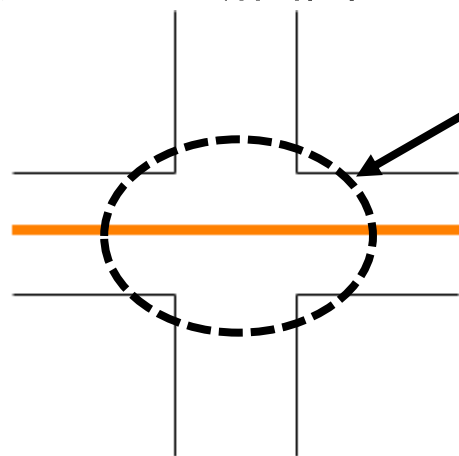
●ワイヤーチェンバー(単線,6方クロス型)



内部の電場構造はどうなっているの？

●電場構造

チェンバー断面図

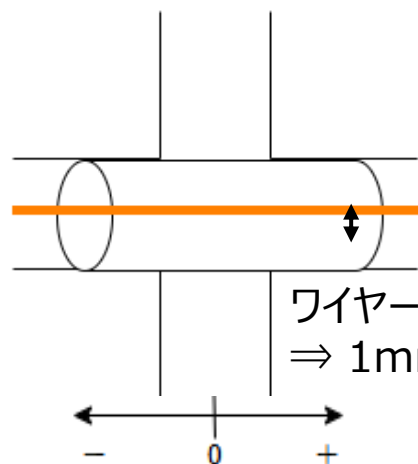


電場構造が歪んでいる可能性あり

シミュレーション実施

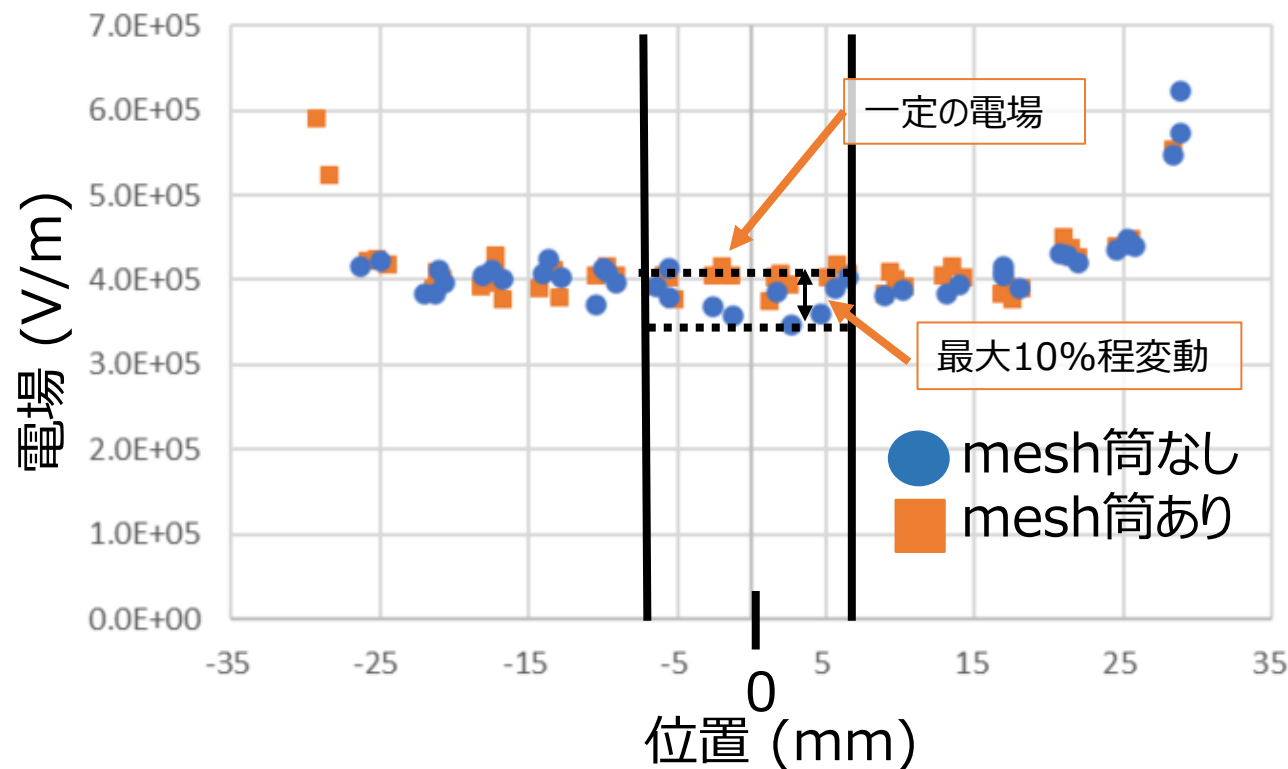
対策として…

銅meshを丸めて挿入



ワイヤーからの距離
⇒ 1mm

●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

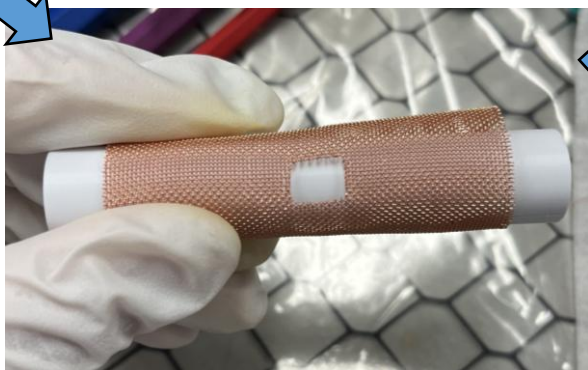
内部改良

➤ チェンバー内部の改良を実施

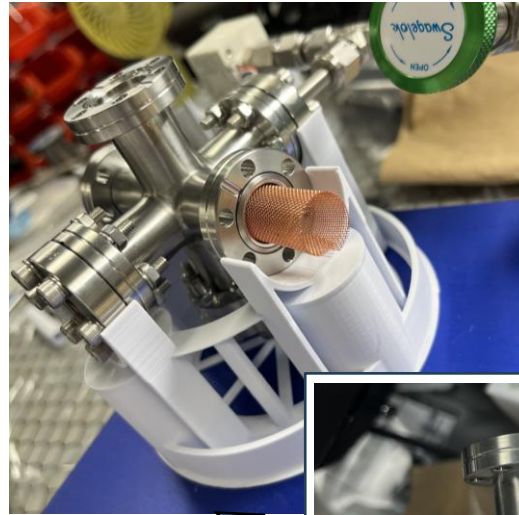
- 銅meshにビームが通る穴をあける



- 型をつける



- 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！



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

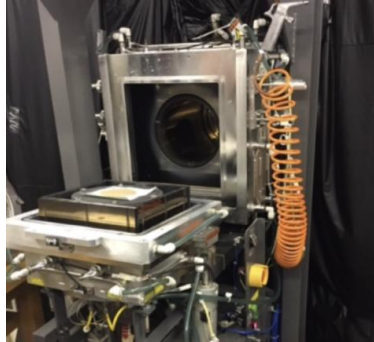
神奈川大ビーム試験

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



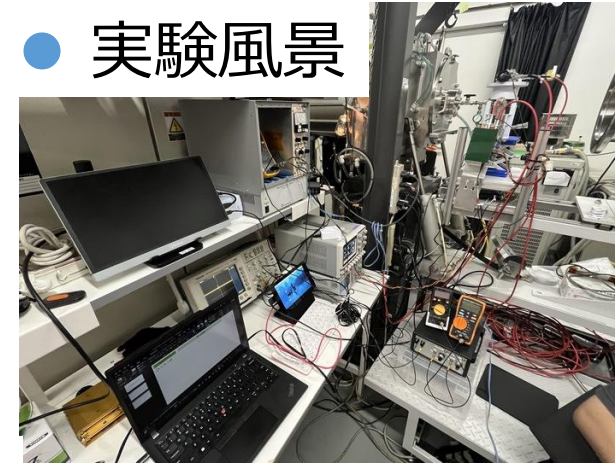
● 測定リスト

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

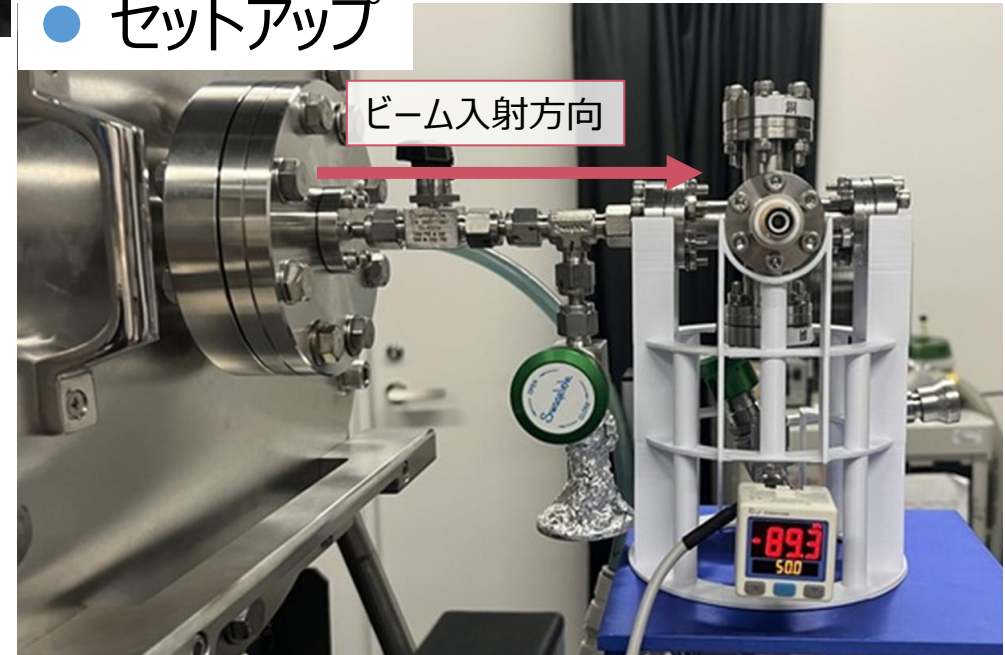
ガス：CF₄
ガス圧：0.1気圧

本講演ではFに注目

● 実験風景



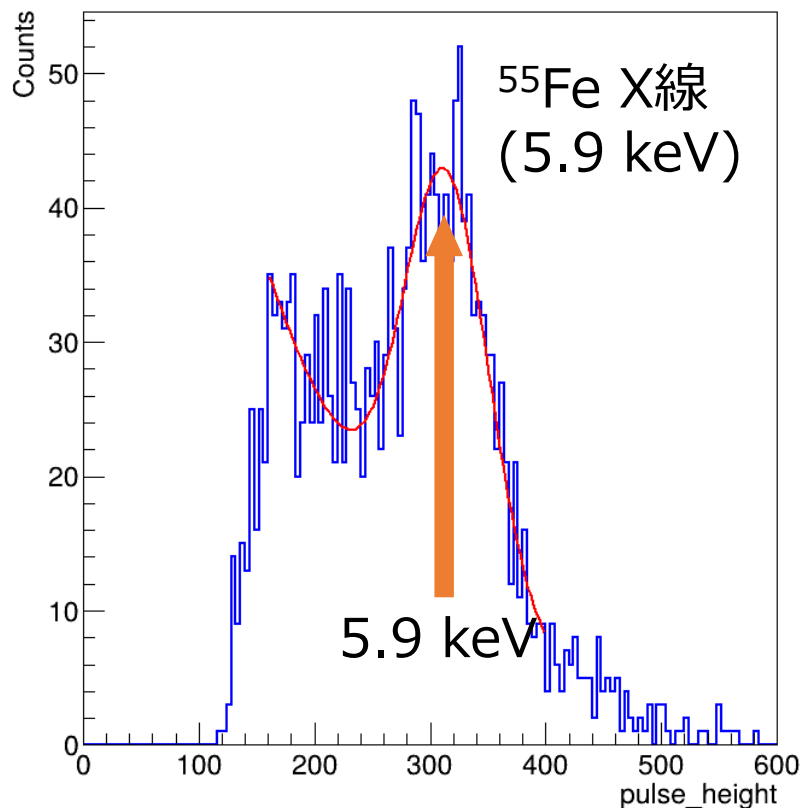
● セットアップ



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

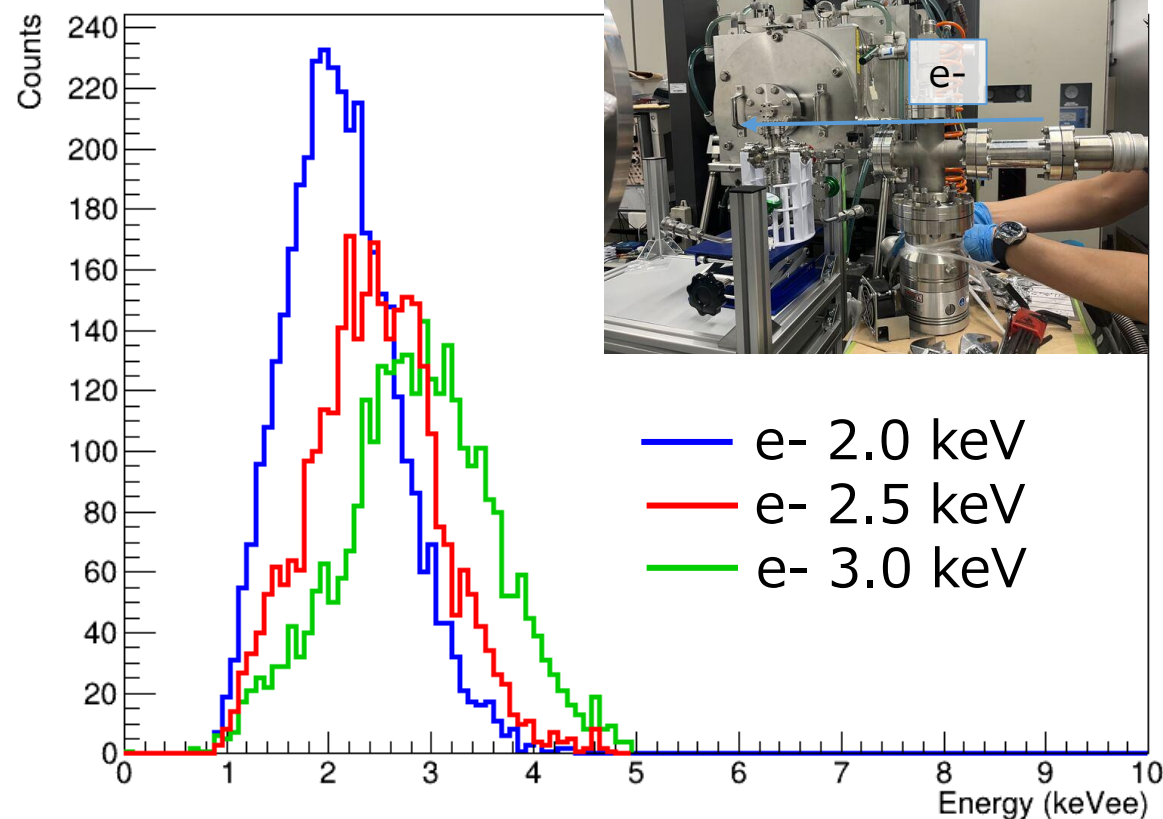
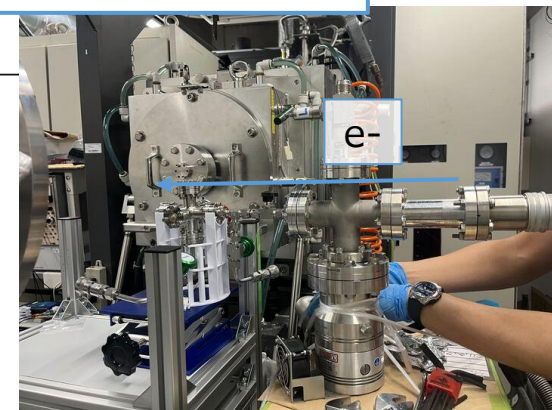
^{55}Fe エネルギースペクトル



電子銃でのクロス
チェックも実施



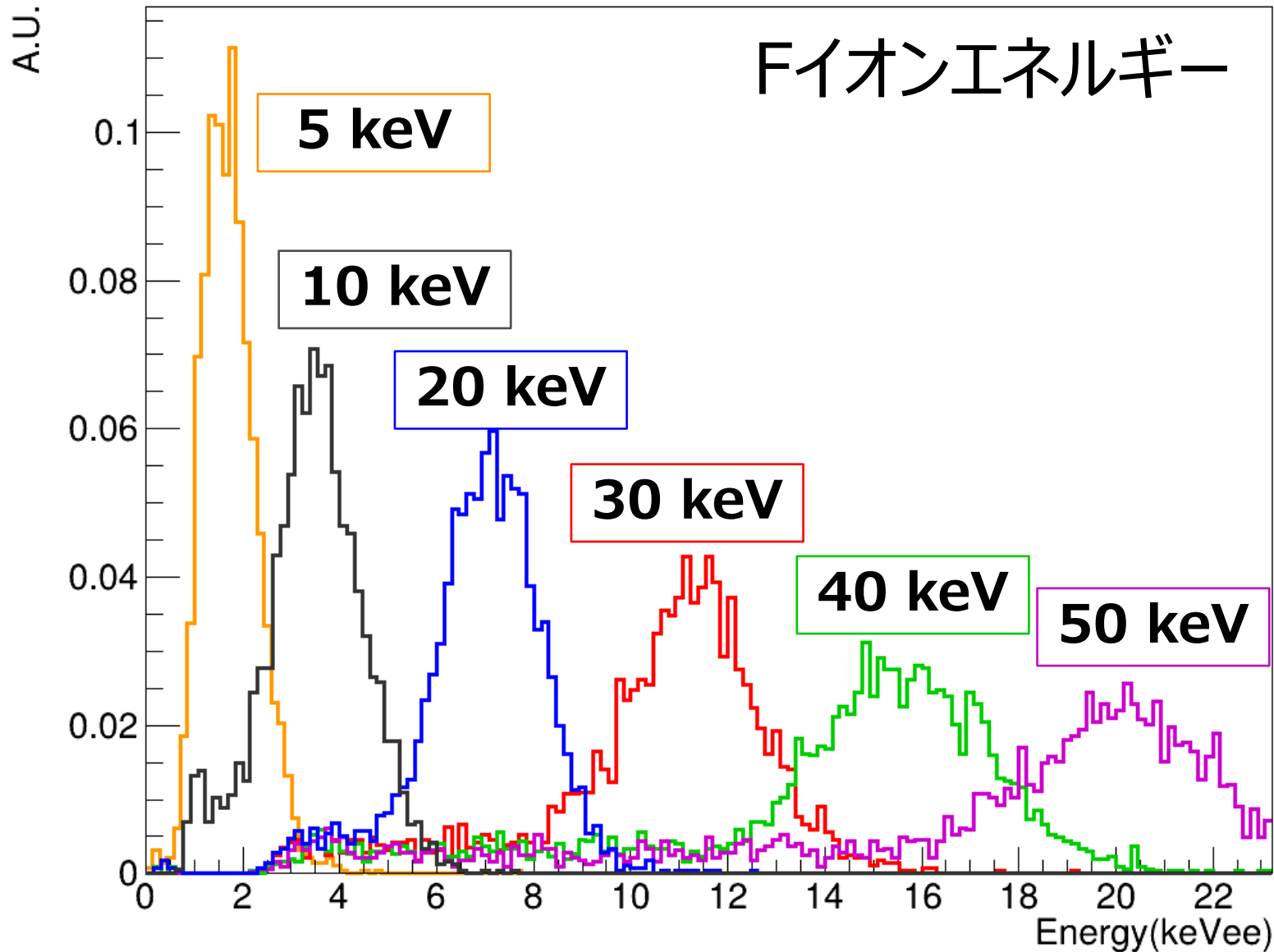
電子銃とチェンバーを接続



ピークエネルギーの差 $\pm 2.6\%$ 以内

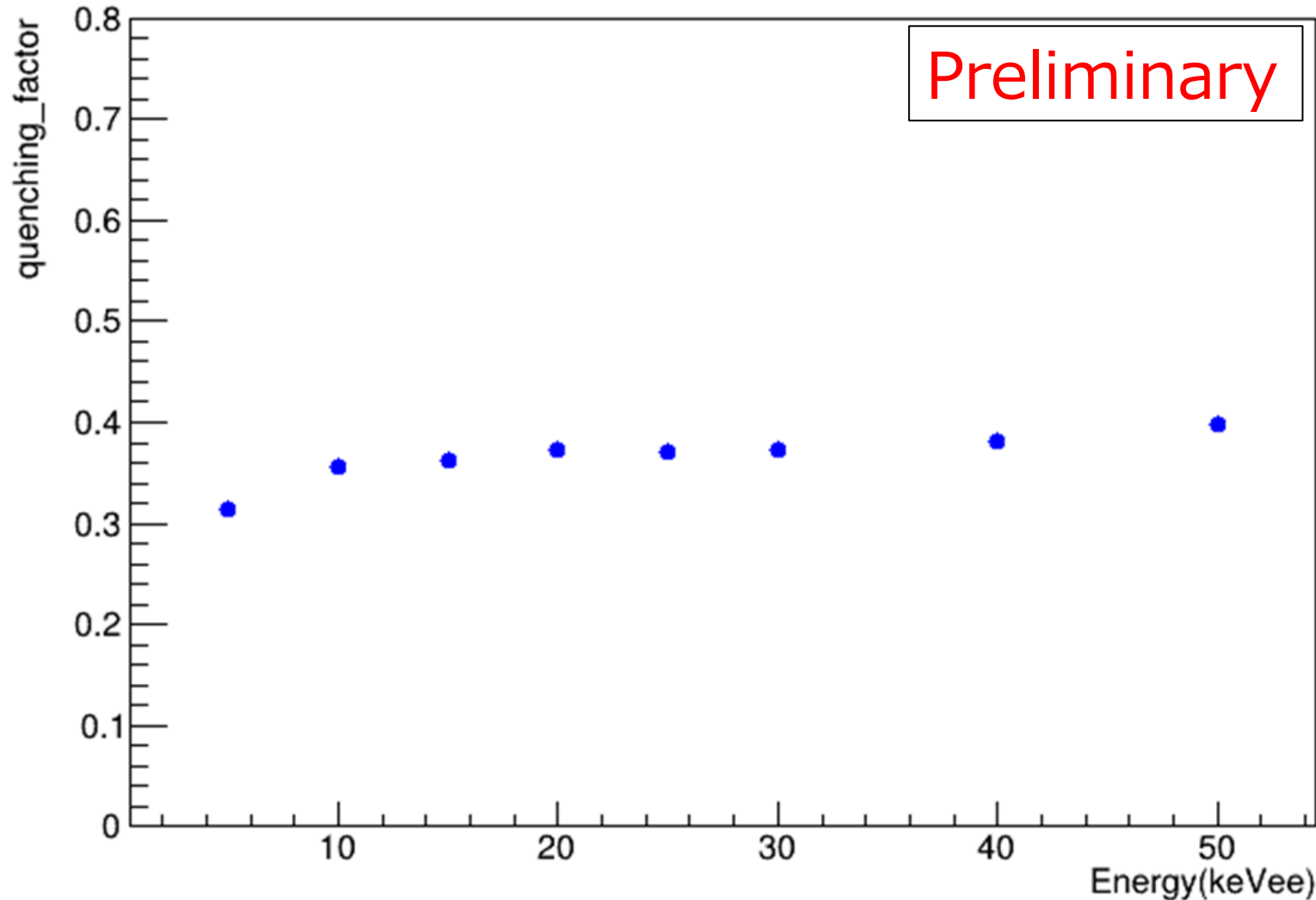
Fビームエネルギースペクトル

Fイオンエネルギー



- 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 Quenching factorは約30~40%

Ionization Quenching factor



- CF_4 0.1気圧中でのFの Ionization Quenching factorを求めることができた
- 日本で低速イオンビーム施設を用いたIonization Quenching factor測定の手法を確立

結論

- Ionization Quenching factor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 0.1気圧でのFのIonization Quenching factorを測定
 - 系統誤差の評価を今後実施予定
- 日本で低速イオンビーム施設を用いたIonization Quenching factor測定の手法を確立

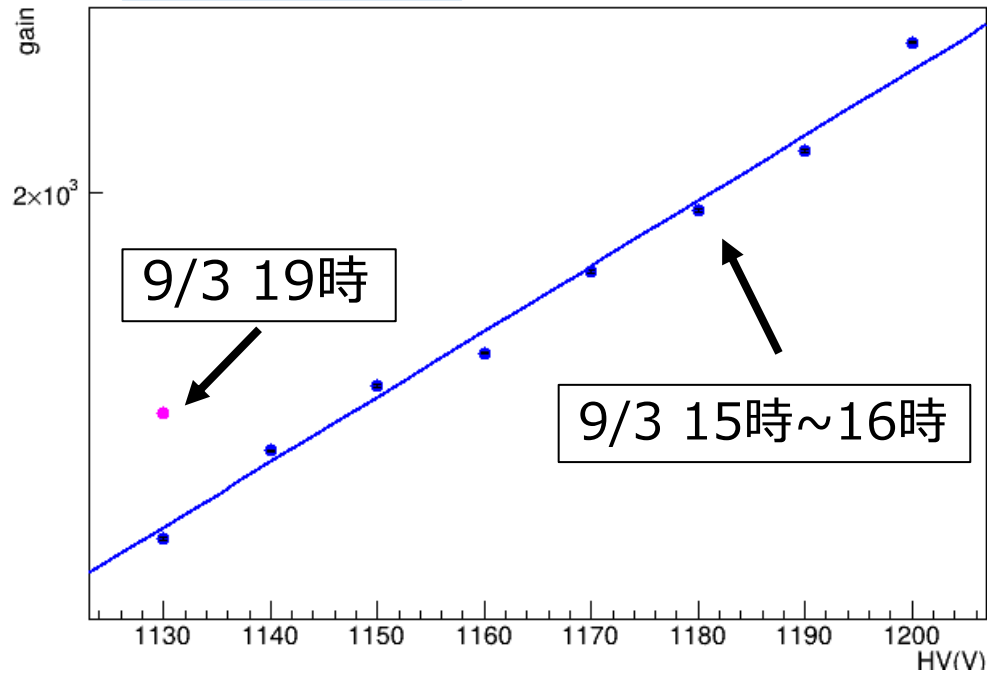
Back up

ゲインの時間変動

●ゲイン上昇

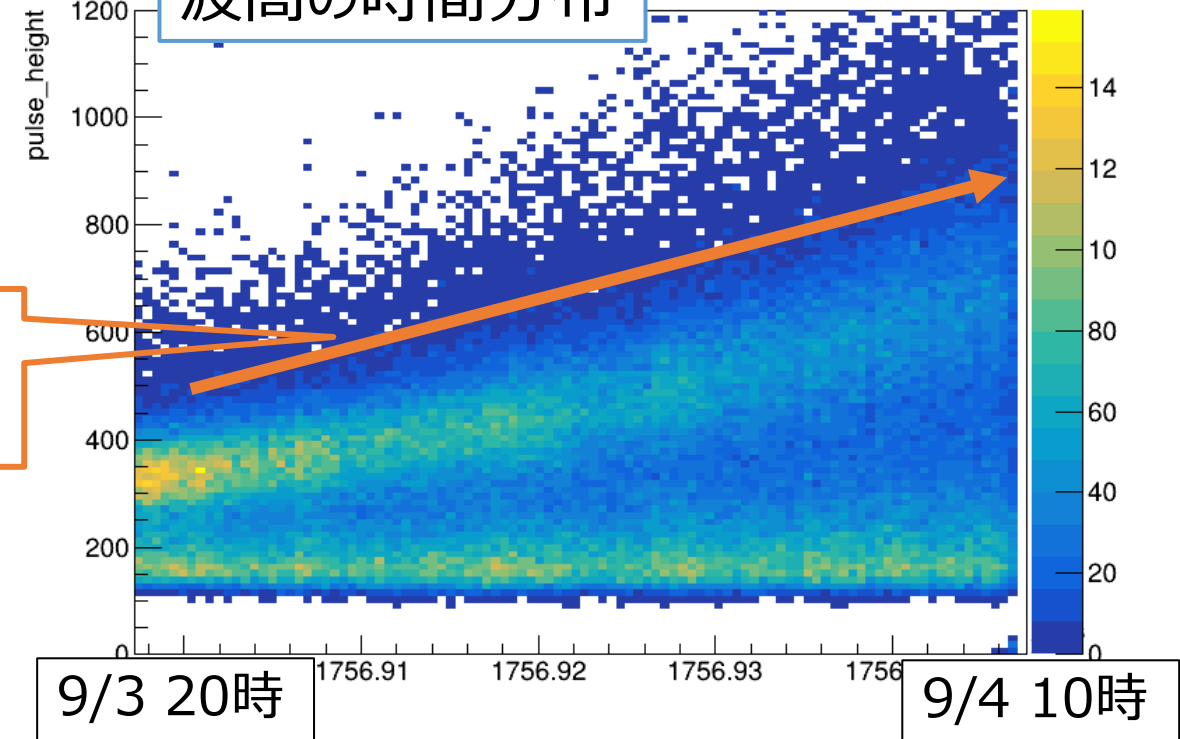
- ^{55}Fe のゲインカーブから時間が経つとゲインが上昇していることが発覚

ゲインカーブ



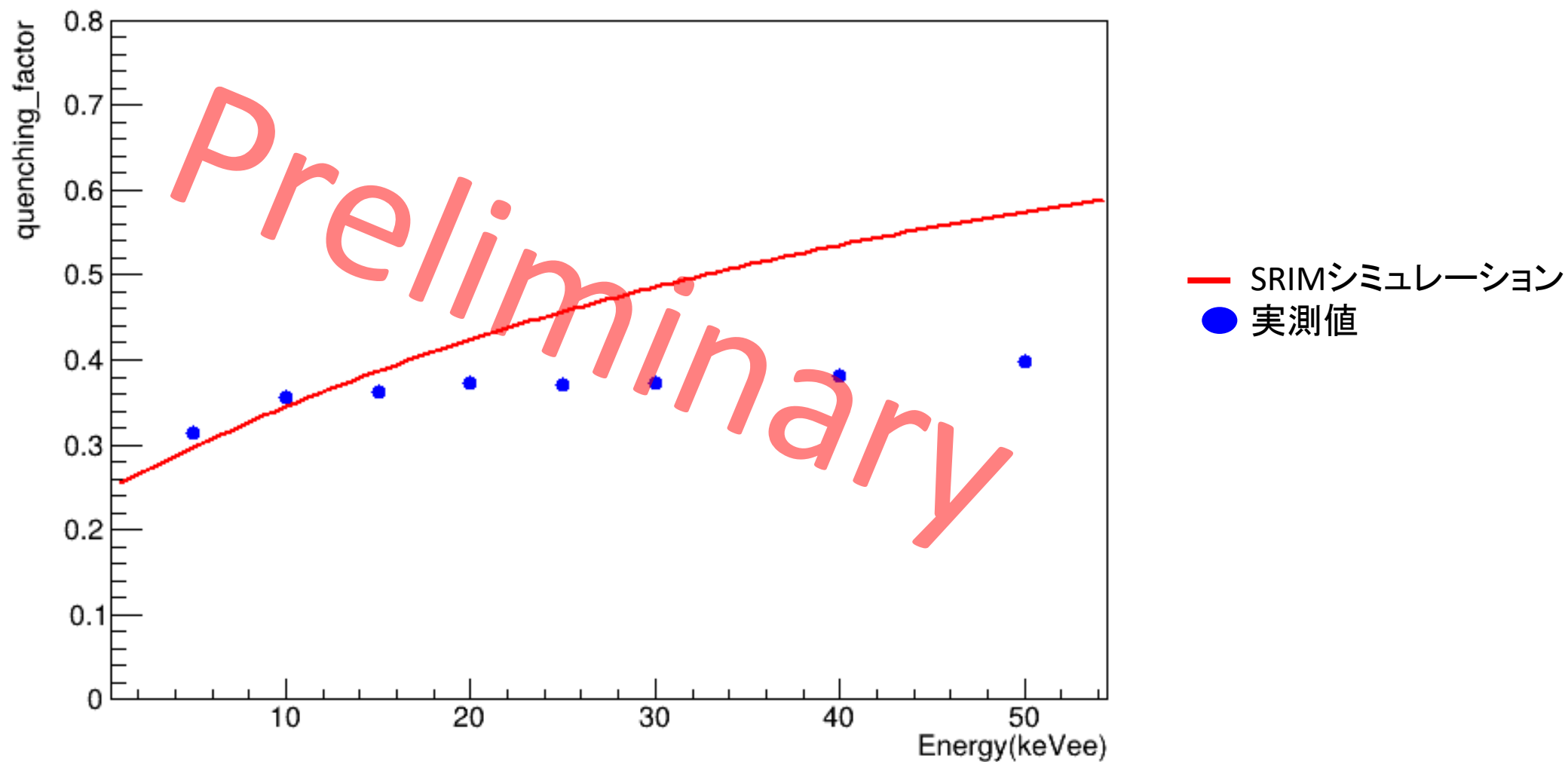
- 一晩 ^{55}Fe でデータをとってみると…

波高の時間分布



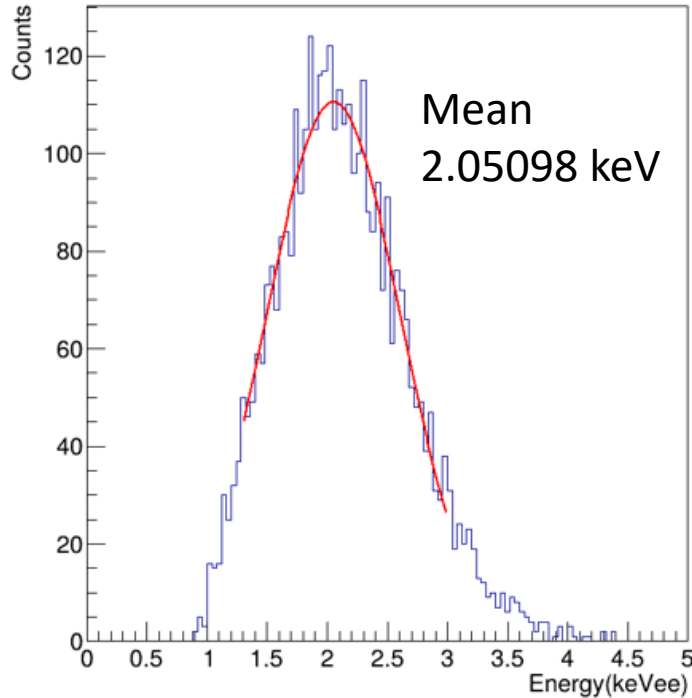
➡ ビームによるデータ測定毎にキャリブレーションを行うことでQuenching factorを測定

FのQuenching factor(実測値とSRIM)



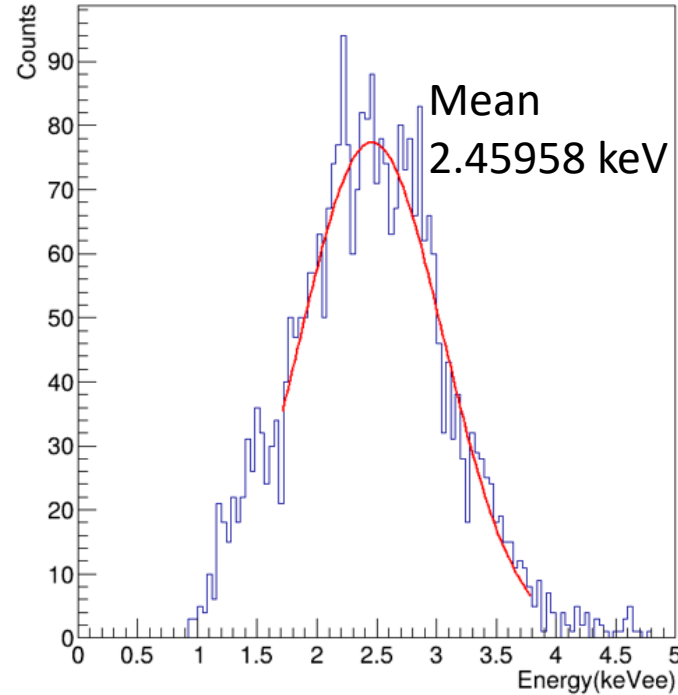
電子のエネルギースペクトル

● 電子2 keV



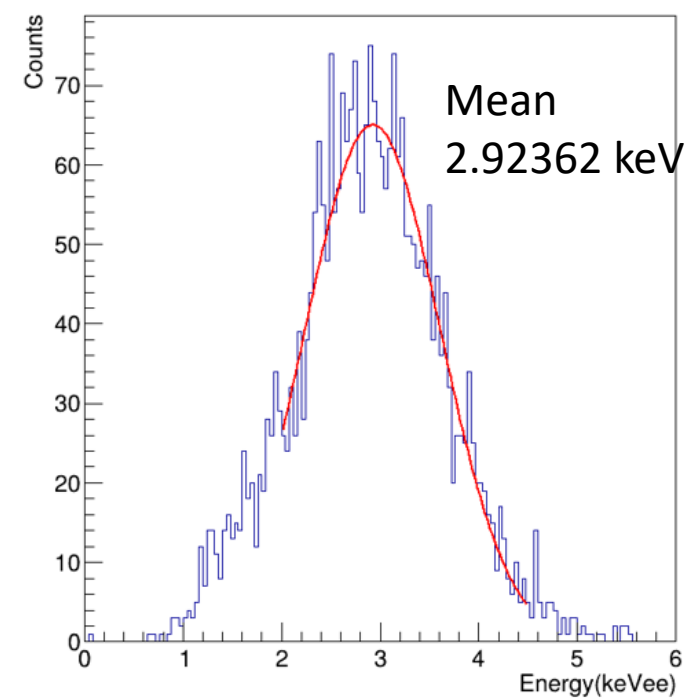
➤ ピークエネルギーの差
→ +2.45 %

● 電子2.5 keV



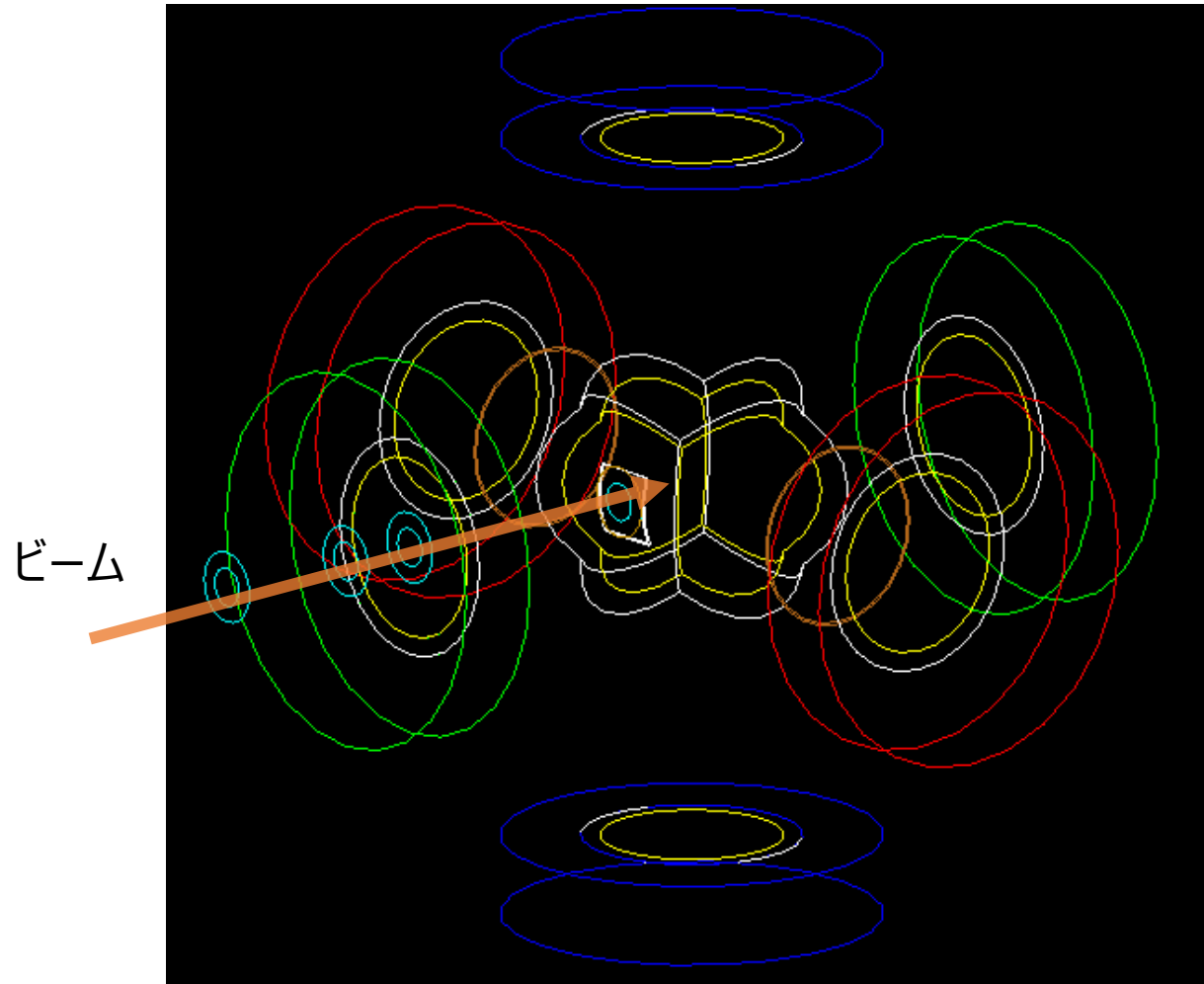
➤ ピークエネルギーの差
→ -1.61 %

● 電子3 keV



➤ 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

