

低エネルギー電子・イオンビーム装置

M1 島田 拓弥

神戸大学 粒子物理研究室 NEWAGE

2020.03.06 (金)

プラットフォームC 検出器開発 @KEK



内容

▶ 装置開発のモチベーション

▶ **COMIMAC**

▶ 装置の提案

装置開発のモチベーション

モチベーション

- ◎ みんなが幸せになる装置がほしい
- ◎ **既知**のエネルギーのイオン・電子を一発ずつターゲットに打ち込みたい
 - ▶ 主にガス検出器
 - ▶ 固体検出器（液体は厳しいか？）
- ◎ 例えば、、、
 - ▶ 低エネルギー電子較正
 - ▶ 粒子識別 (α (He原子核)、 β (e^-)、その他イオン)
 - ★ クエンチングファクターの測定（島田のお仕事）
 - ▶ などなど、、、

測定実験例(クエンチングファクター)

● 電離作用を用いた検出器においては、イオン化に用いられたエネルギーを測定できる

▶ $E_{ionization} = QE_{total}$

▶ Q : ionization quenching factor

▶ $E_{ionization}$: 検出可能なエネルギー、 E_{total} : 全運動エネルギー

▶ 電子では $Q=1$ 、核子では $Q<1$

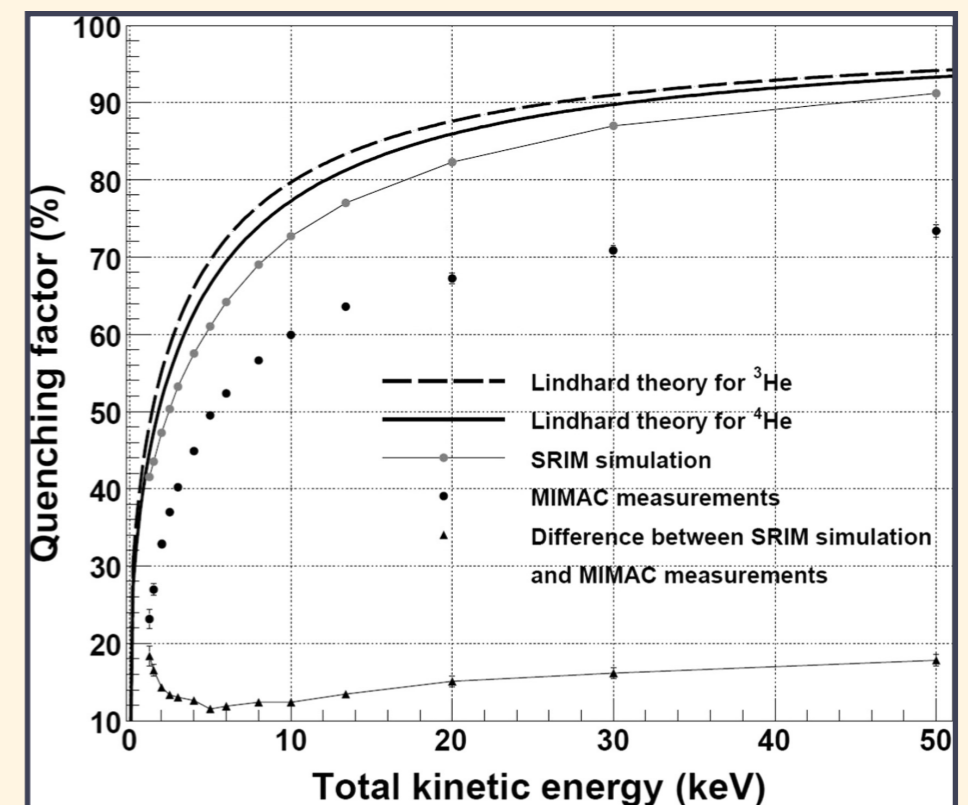
▶ Q は様々な実験で重要なパラメータとなっている

● **既知**のエネルギーのイオンと電子を検出器に打ち込むことができれば、簡単に Q は測定できる

● 実際に測定している装置がある

▶ これから紹介させていただく装置の論文から→

右図 : J.F. Muraz, **A table-top ion and electron beam facility for ionization quenching measurement and gas detector calibration**, DOI : 10.1016/j.nima.2016.06.107



COMIMAC

参考装置・測定

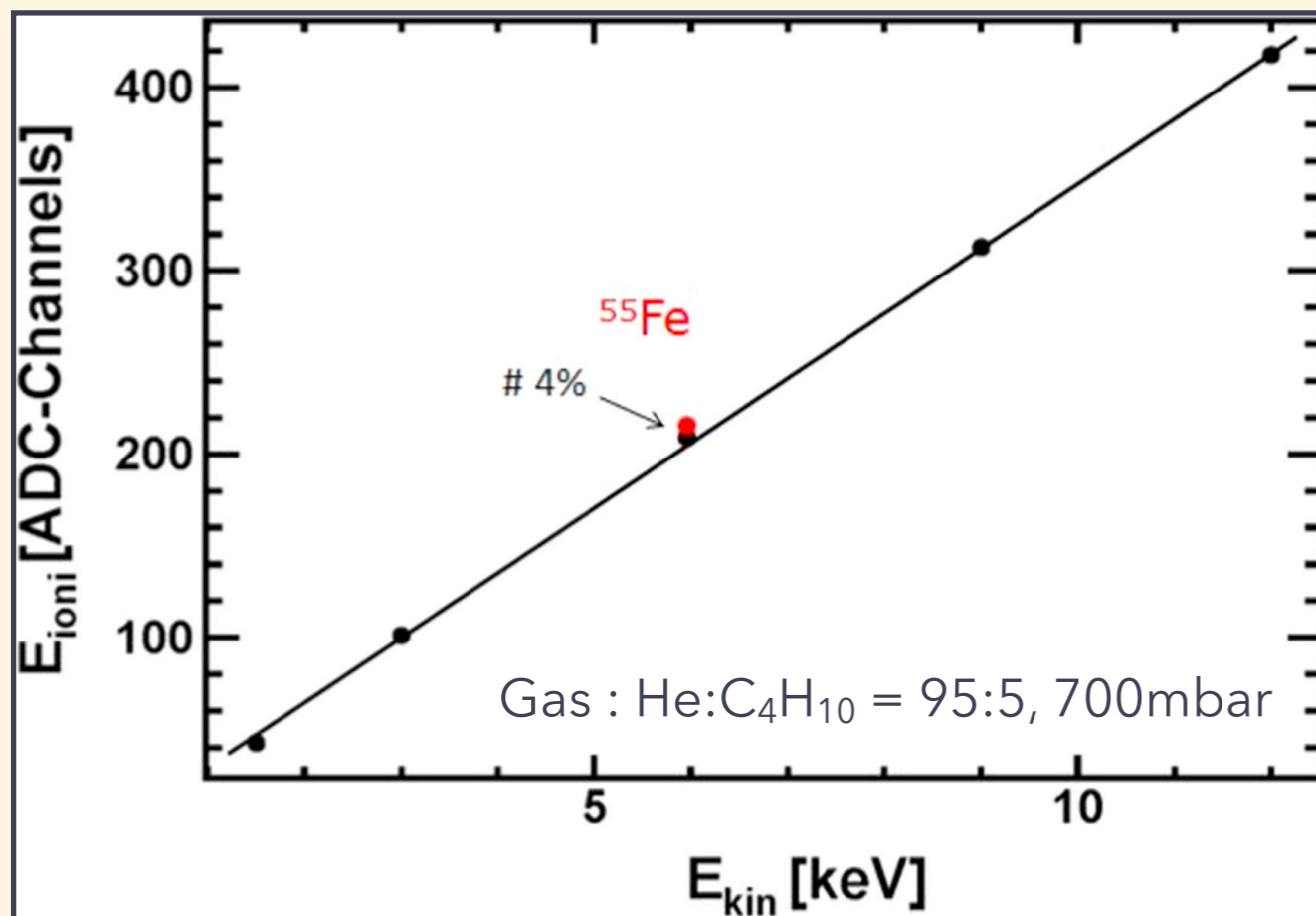
COMIMAC

◎ COMIMAC : イオン・電子ビーム装置

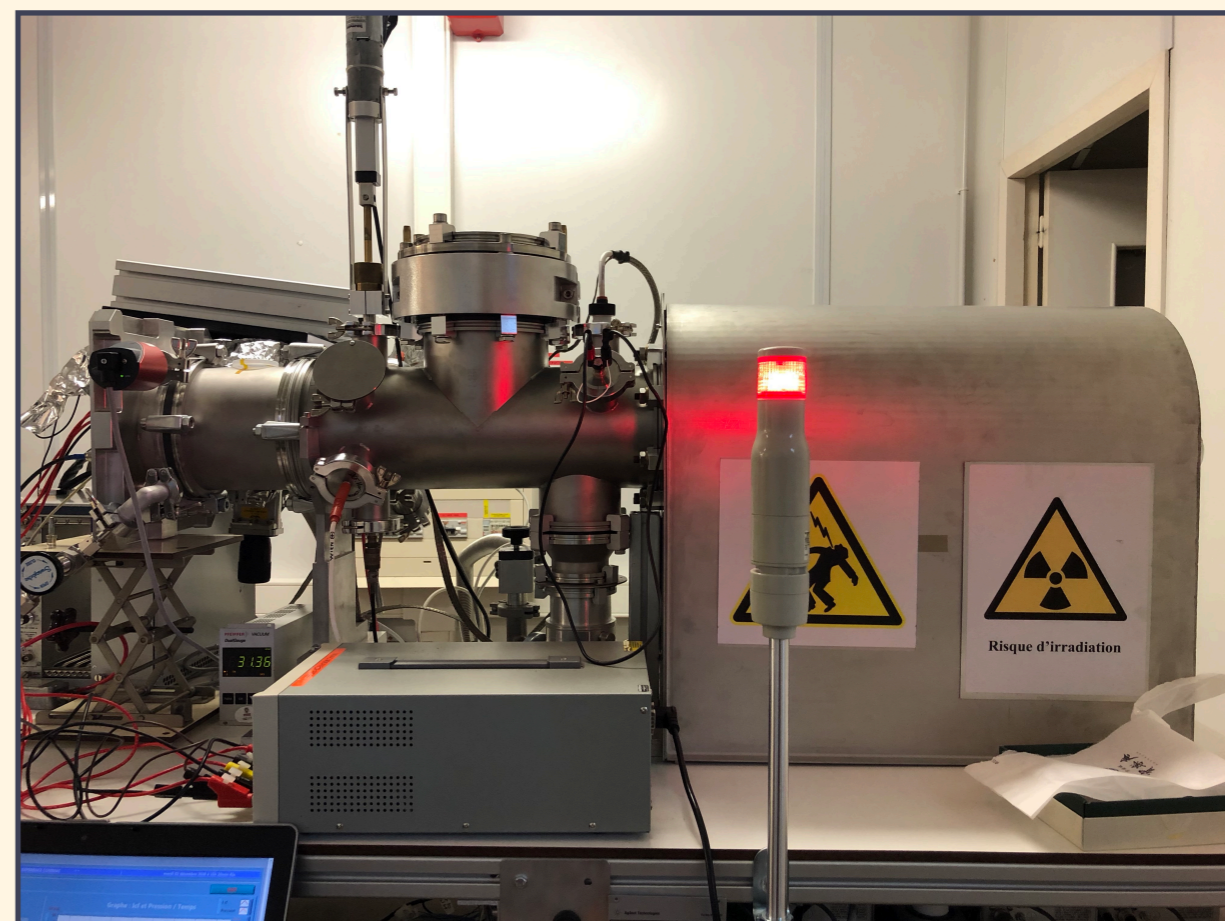
- ▶ 場所 : フランス/グルノーブル/LPSC
- ▶ 制作元 : MIMAC (暗黒物質直接探索実験)
- ▶ 電子の入射エネルギーの線形性 : 良



Fe⁵⁵線源とCOMIMACの違いは**4%**



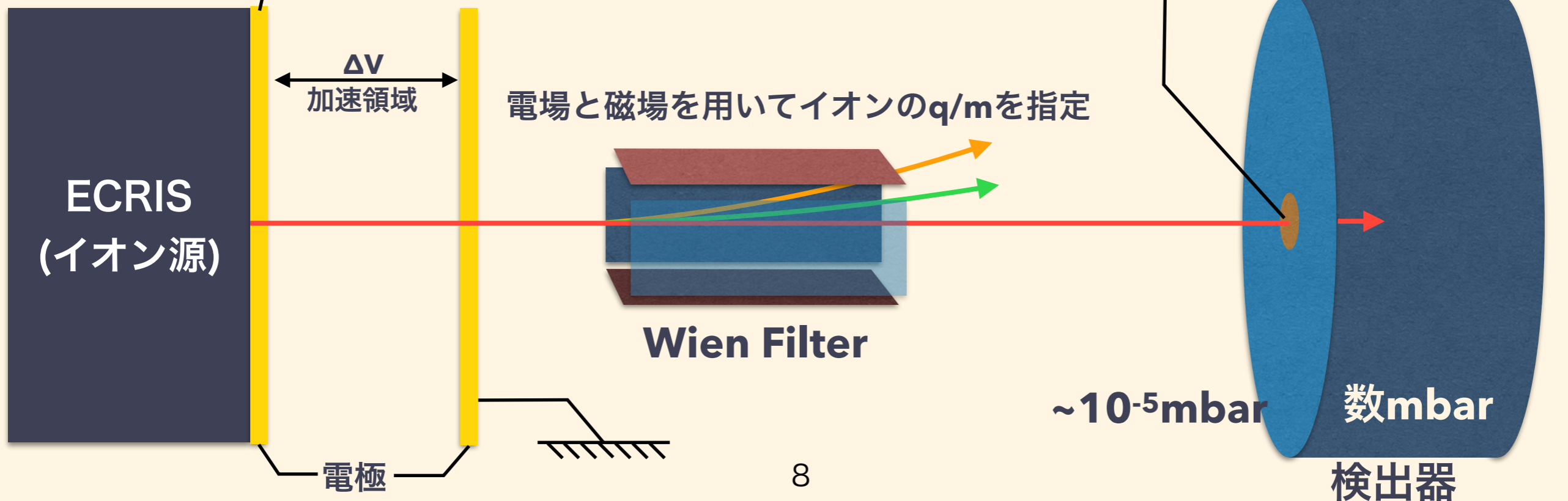
~1m



COMIMACの概要

- 電子・イオンビームを打ち込むまでの過程
 - ▶ イオン源でイオンを生成し、電極でイオンを取り出す
 - ▶ 電極間の**電位差**でイオンを**加速**させる
 - ▶ Wien Filterでイオンの q/m を指定する
 - ▶ **$\Phi 1\mu\text{m}$** の穴を用いて検出器に入射

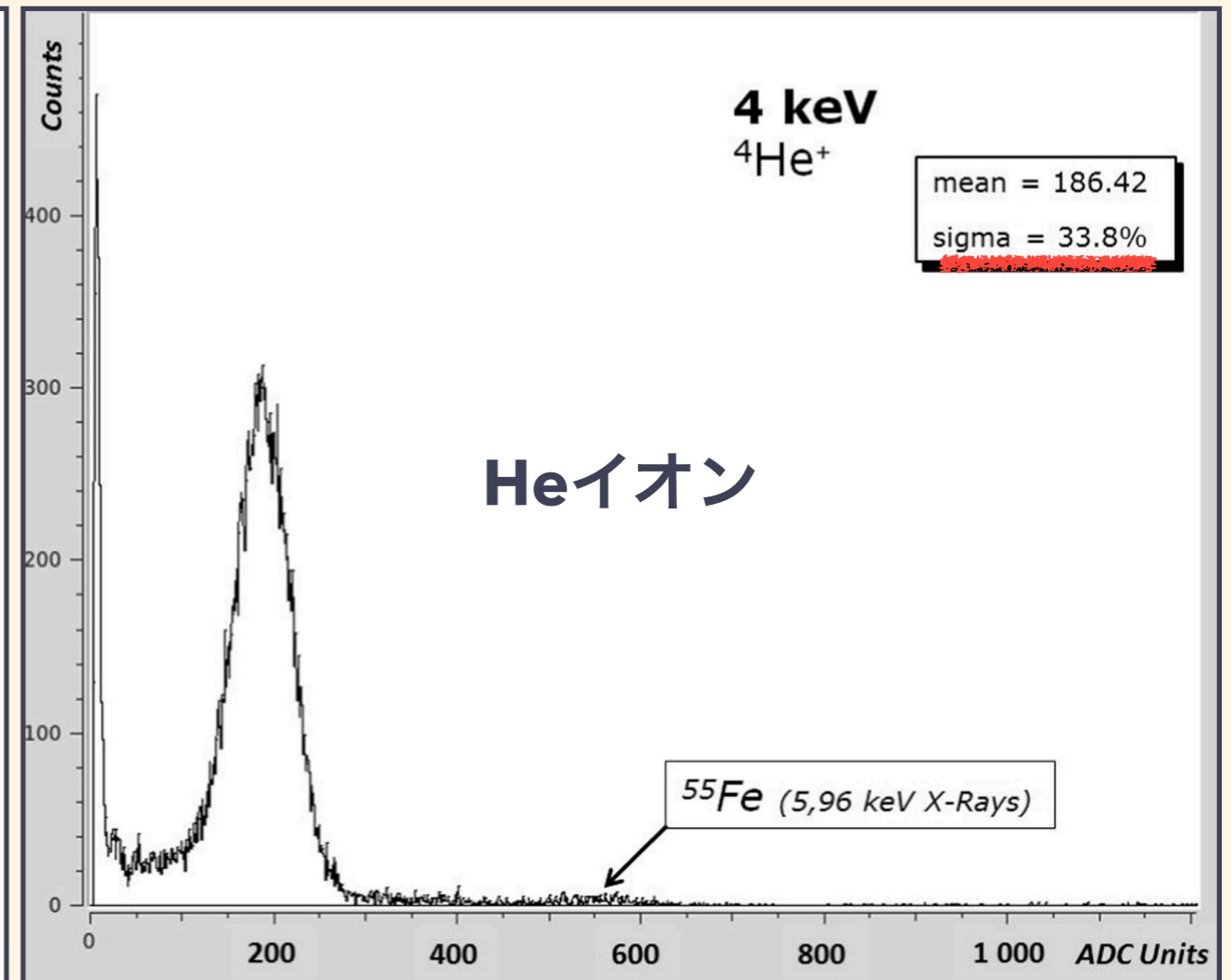
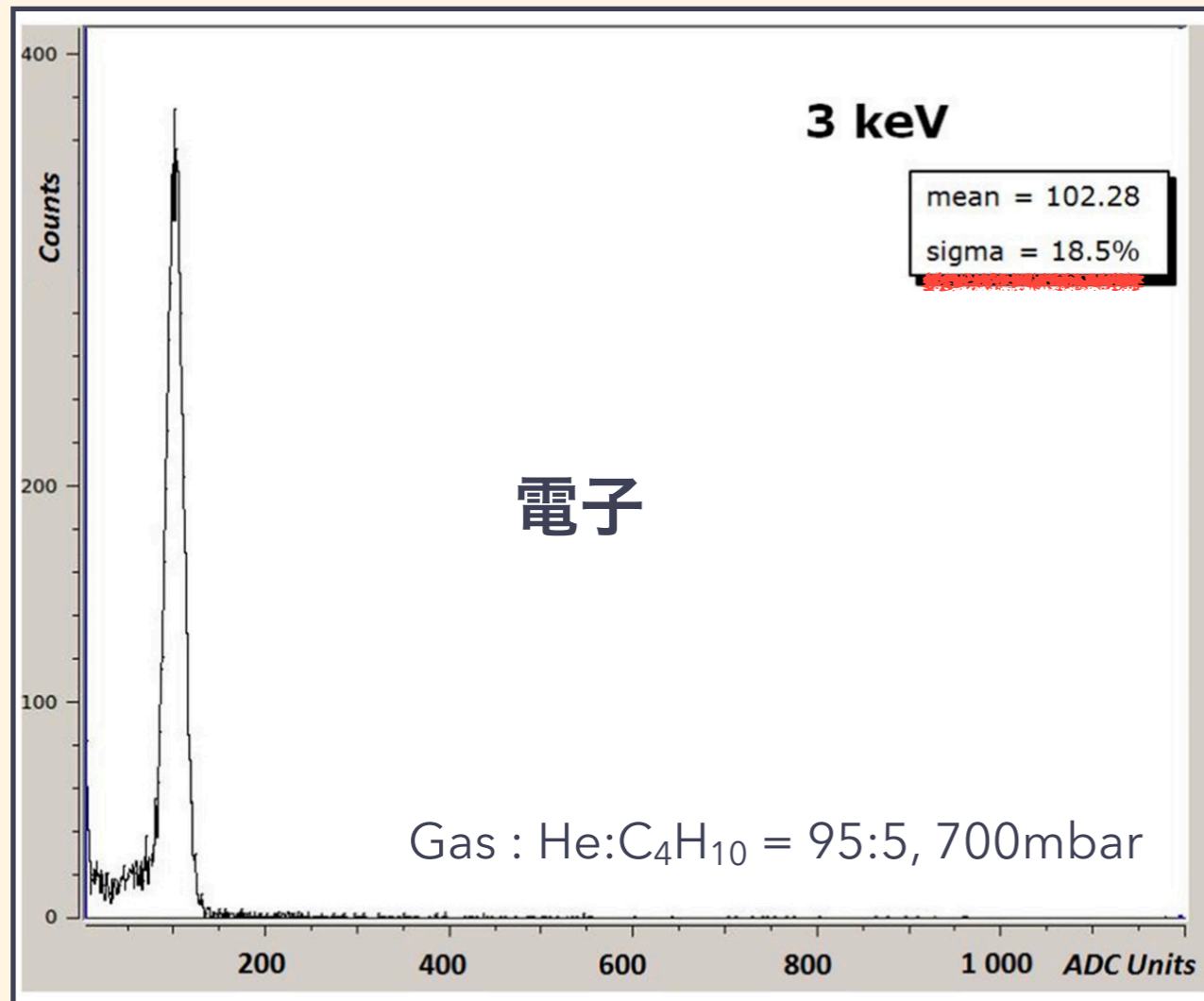
この電圧を変化させることで
エネルギーを変化させる(max 50 kV)



エネルギースペクトル(COMIMAC)

● 電子とイオンのエネルギースペクトル

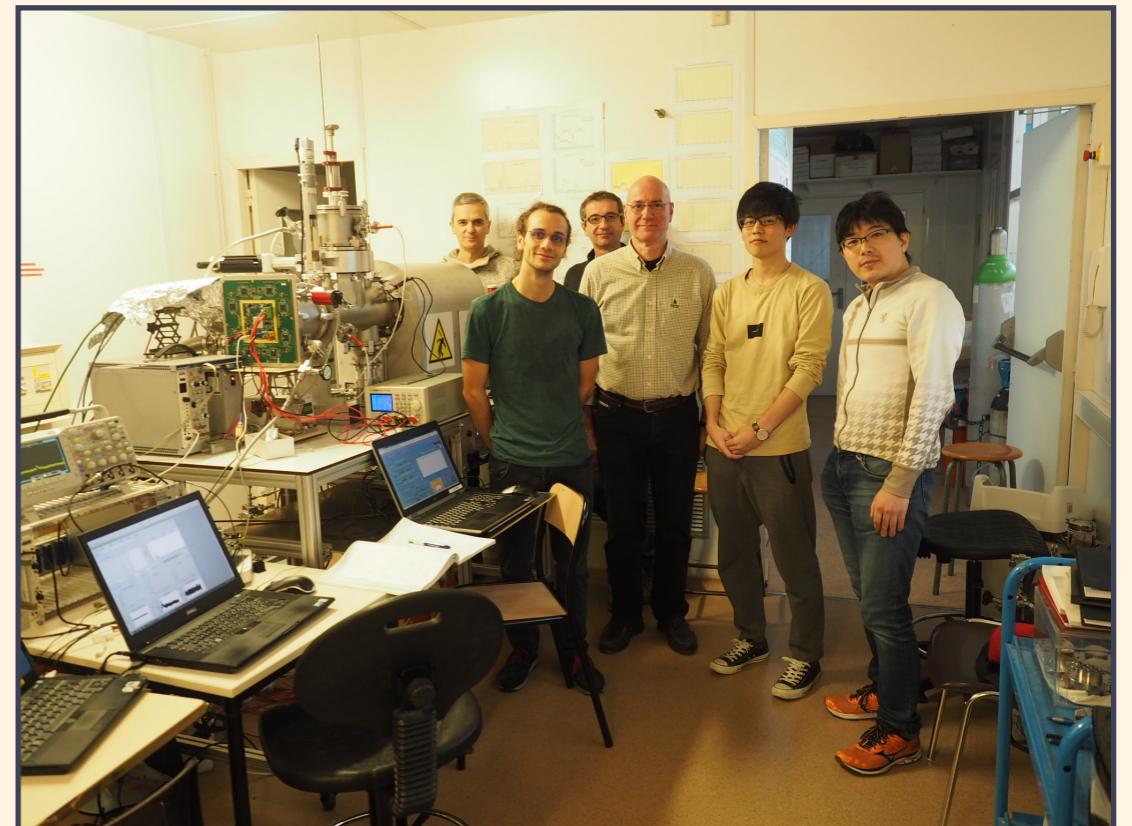
- ▶ FWHM : 43%(電子)、 79%(イオン)
- ▶ 他の成分が無いのできれいなスペクトルをしている



COMIMAC使ってみた @グルノーブル

- フランスのグルノーブルにエレキのみを持って行って測定
 - ▶ 期間：2019.12.02~06 (**1週間**)
 - ▶ 1つのエネルギーの測定時間：**~20分**
 - エネルギーを変えるのはすぐ（電圧を変えるだけ）
 - ビームレートは変更可能（今回は10Hzくらい。1kHzくらいまでいける）
 - 電子ビームからイオンビームへの交換時間 ~10分
 - ▶ **電子 3~13 keV、陽子 5~13 keV、フッ素イオン 10~27.5 keV**

- お手軽にたくさん測定ができた
- 非常に面白い(?)結果だったので
測定結果はまたの機会に。(解析中)



COMIMAC使ってみた感想

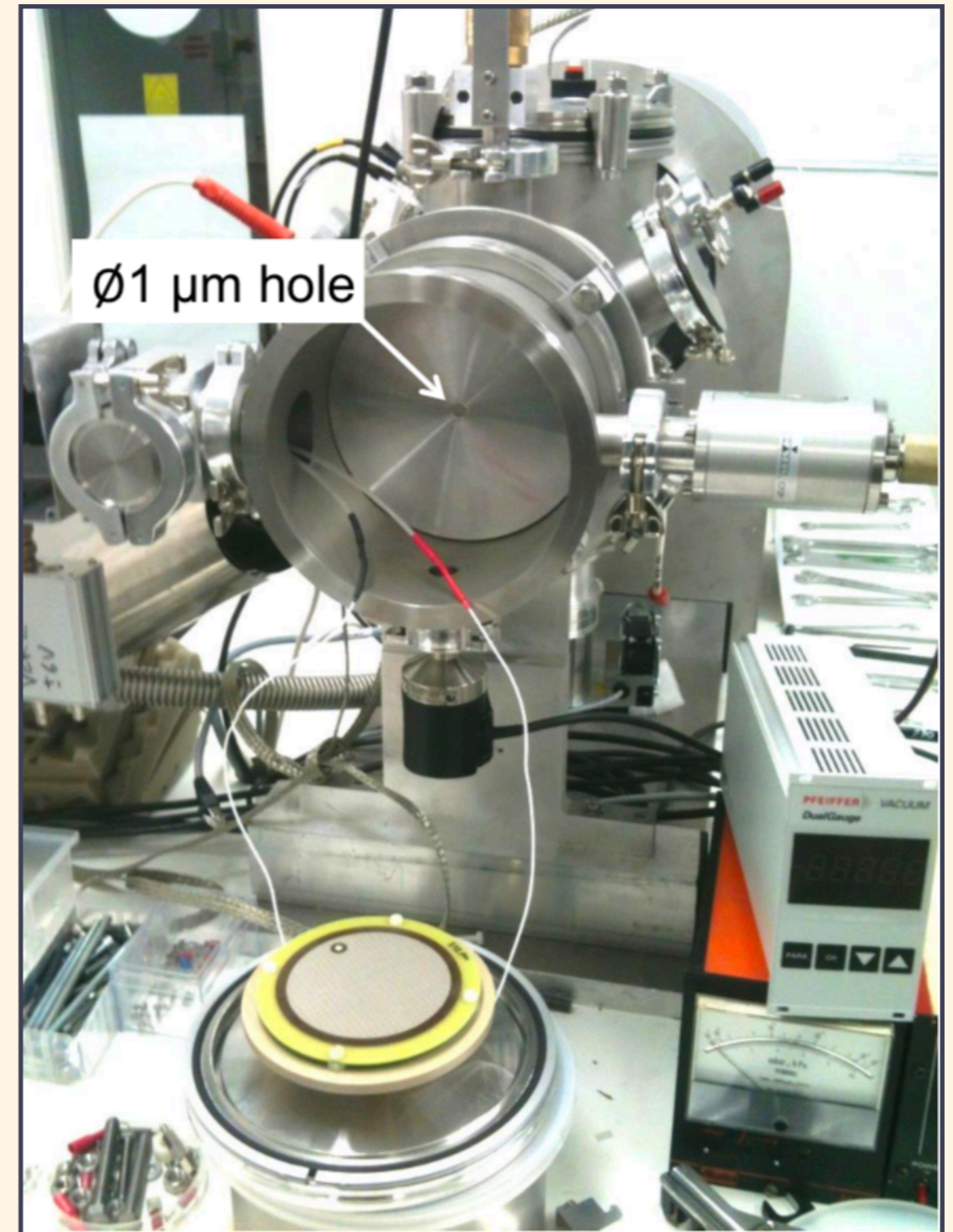
◎ ポジティブポイント

- ▶ 検出器を付け替えられる
 - 我々が使ったもの: $\Phi 10\text{cm} \times 5\text{cm}$
- ▶ 放射線強度が低い
 - お手軽に使える
- ▶ エネルギー範囲: **1~50 keV**
- ▶ いいサイズ感 (table-top ~1m)

◎ ネガティブポイント

- ▶ 電場を作るのが難しい
 - ビーム点がGNDとして使われるため
- ▶ イオンのエネルギー較正ができない
 - クエンチングにより

検出器の中



DOI : 10.1016/j.nima.2016.06.107, J.F. Muraz, A table-top ion and electron beam facility for ionization quenching measurement and gas detector calibration

装置の提案

(こんな装置が欲しい)

COMIMACの主な構成

◎ COMIC ion source

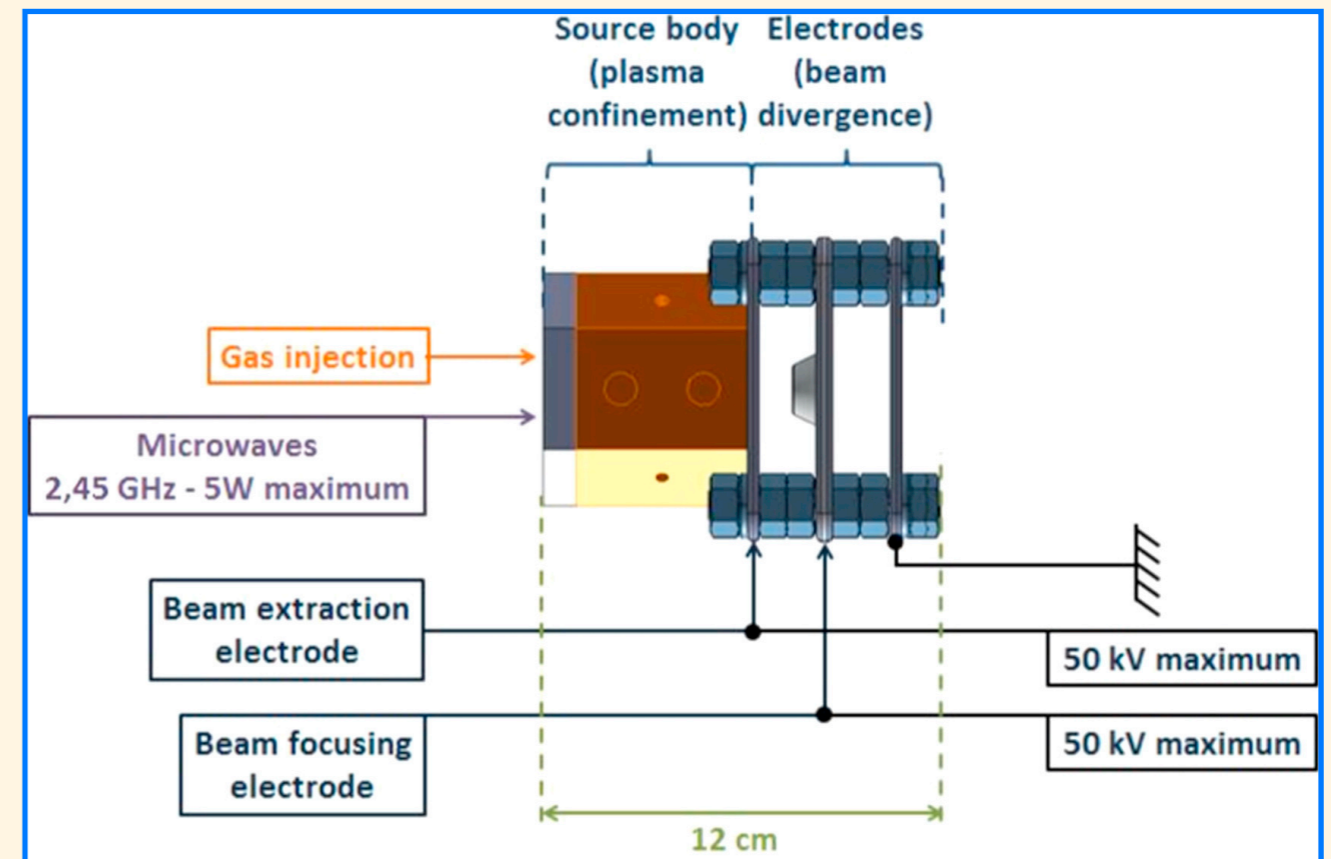
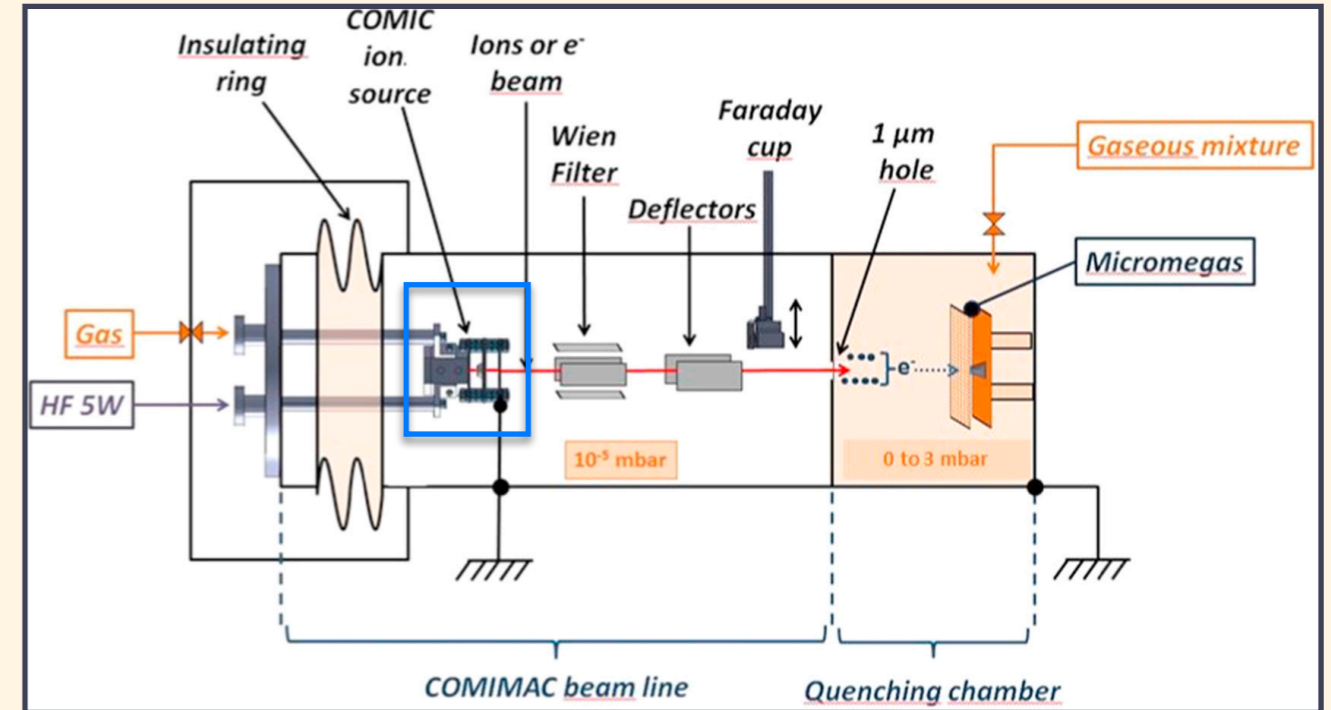
- ▶ 電子サイクロトロン共鳴イオン源 (ECRIS)
- ▶ LPSCが開発したもの

◎ Wien Filter

- ▶ 電場と磁場を使って
入射イオンの q/m を決定

◎ 1 μm beam hole (厚み 9 μm)

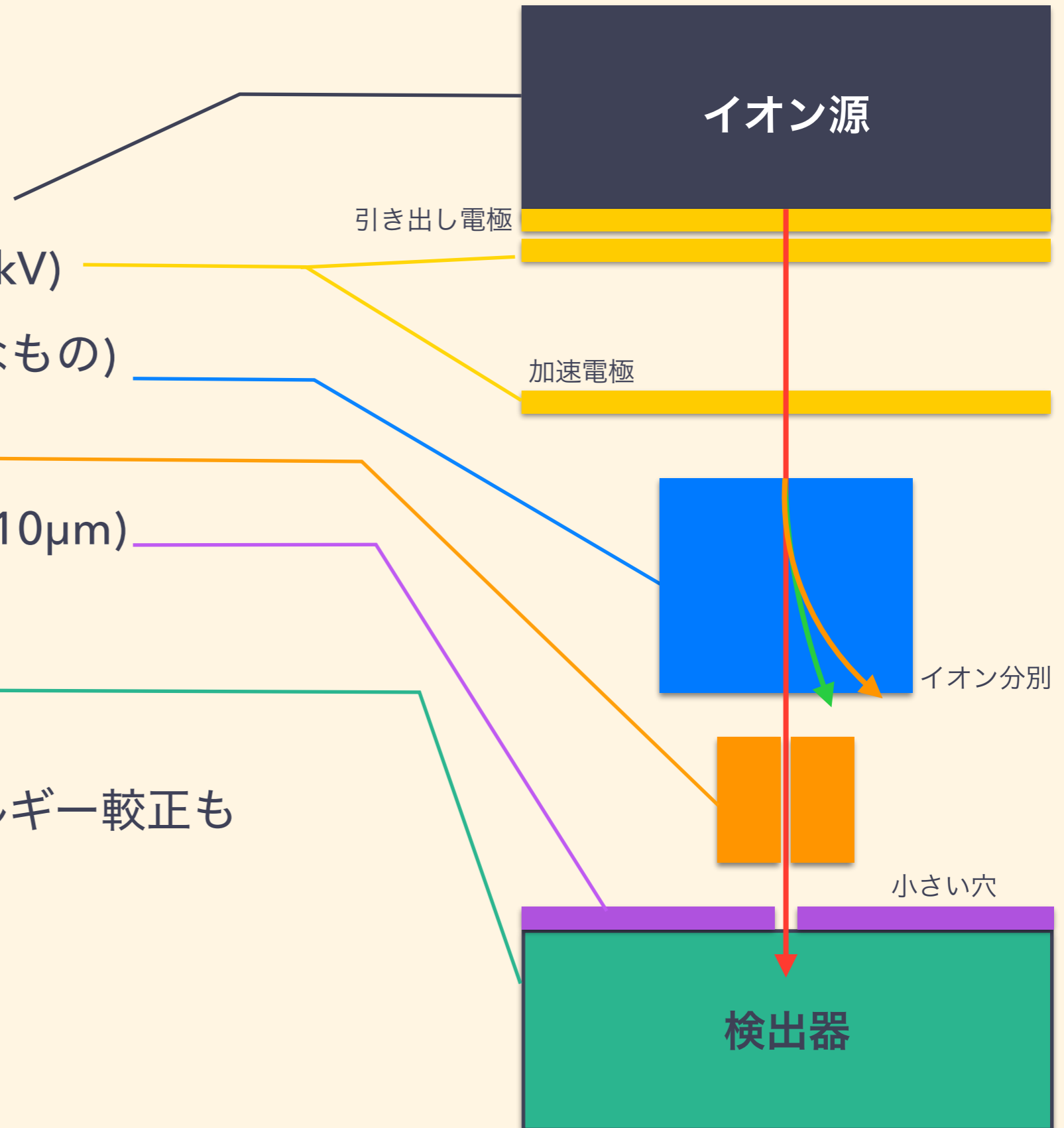
- ▶ 検出器外気圧 : 10^{-5}mbar
- ▶ 検出器内気圧 : $\sim 100\text{mbar}$



右図 : J.F. Muraz, **A table-top ion and electron beam facility for ionization quenching measurement and gas detector calibration**, DOI : 10.1016/j.nima.2016.06.107

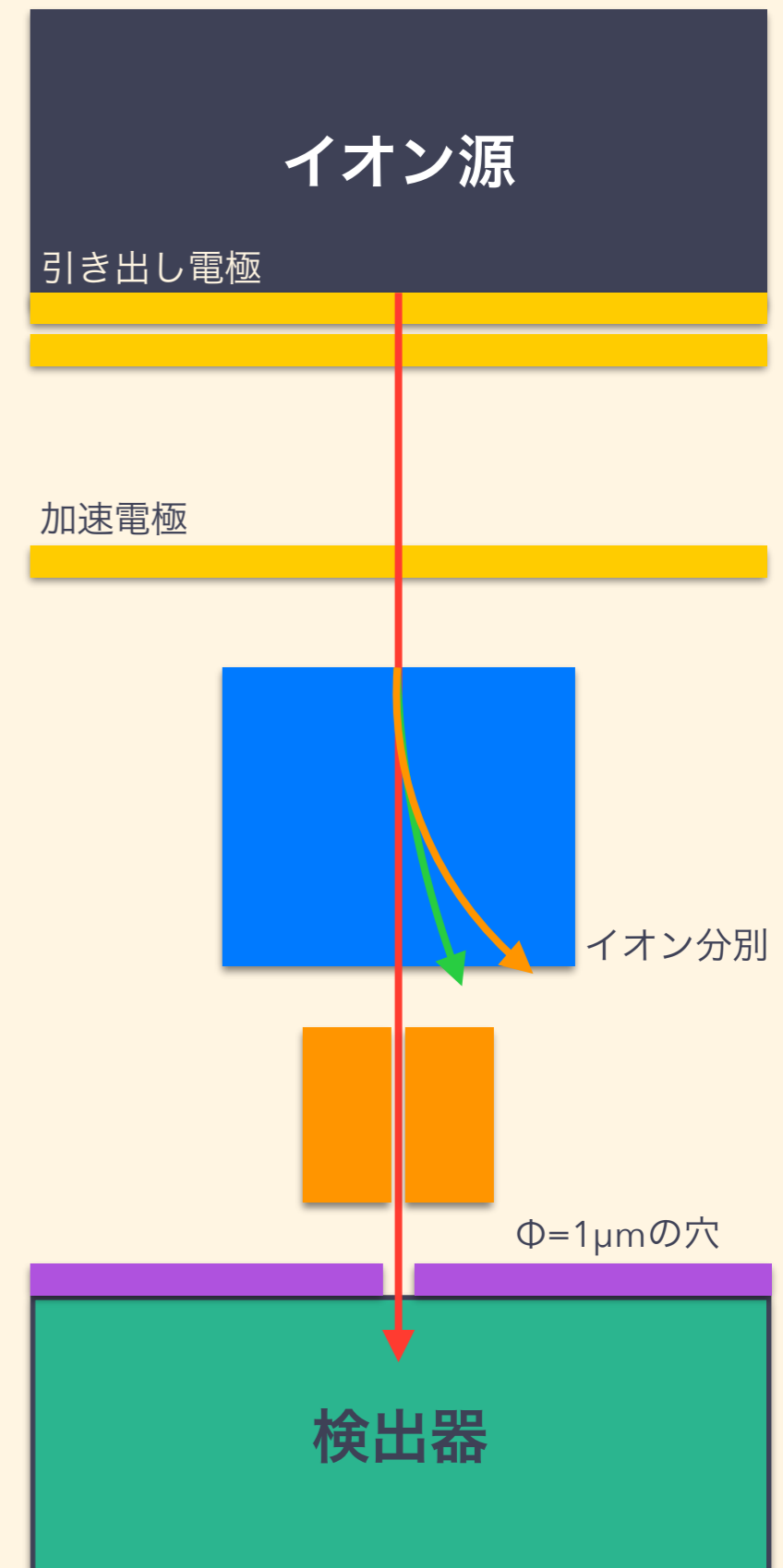
低エネルギーイオンビーム装置の提案

- このようなものがほしい
- 大雑把に
 - ▶ イオン源 (ECRIS的なもの)
 - ▶ 加速電極 (最大電位差 ~ 50kV)
 - ▶ イオン分別 (Wien filter的なもの)
 - ▶ コリメータ
 - ▶ 薄くて小さい穴 (~ $\Phi 1\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$)
- 検出器の取替可能 (汎用性)
- 電子(できればイオン)のエネルギー較正も
測定前後にできるようにする



まとめ

- みんなが幸せになれる装置
 - ▶ **既知**の(低)エネルギーの電子・イオンビームを検出器に打ち込める装置
 - ▶ eg) 電子較正、クエンチングファクターの測定
- 参考装置：COMIMAC
 - ▶ 測定結果、使ってみた感想
- 低エネルギー電子・イオンビーム装置の提案
 - ▶ イオン源、加速電極、イオン分別、 $\Phi \sim 1\mu\text{m}$ の穴

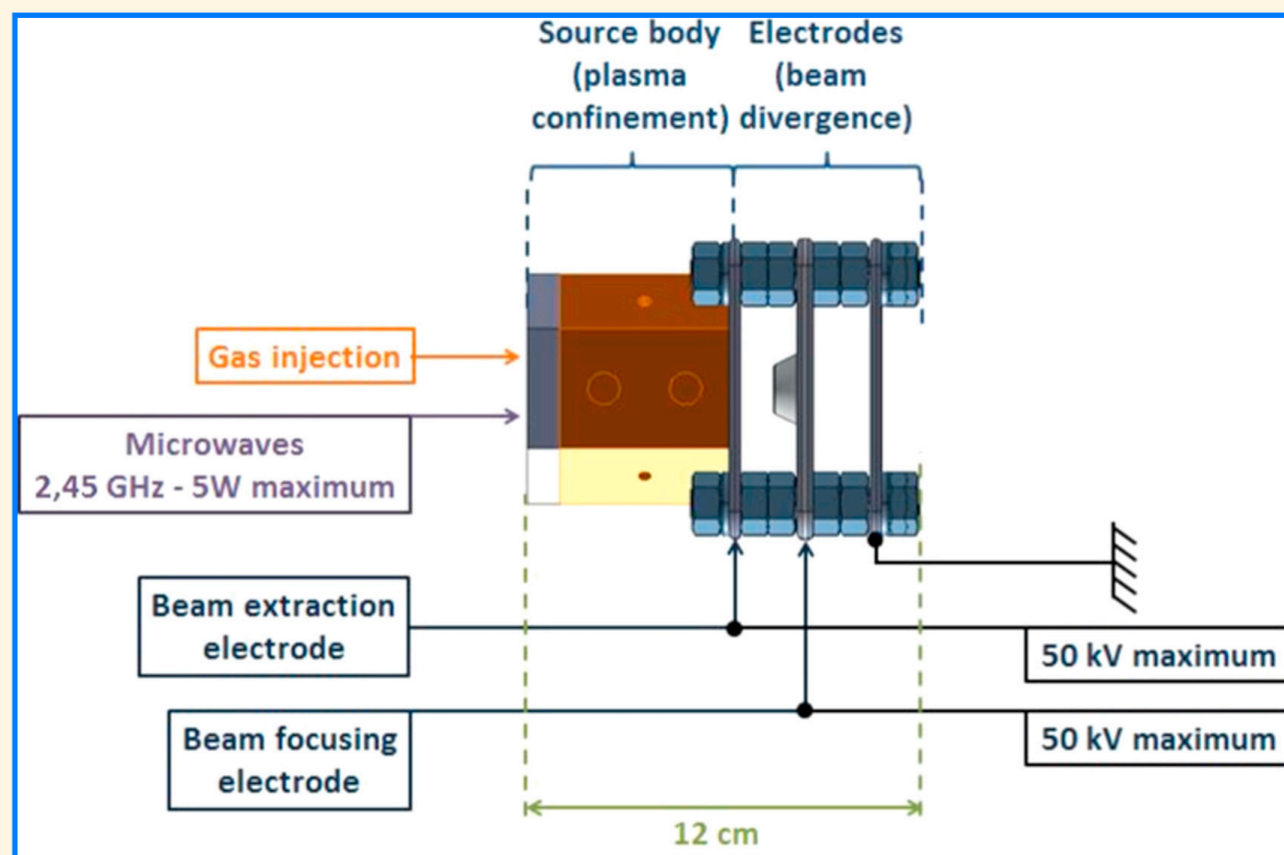


BACKUP

An aerial night photograph of a city, likely Paris, showing a dense grid of buildings and streets illuminated by warm yellow lights. The city is set against a backdrop of dark, silhouetted mountains under a twilight sky. The word "BACKUP" is prominently displayed in the center in a large, white, sans-serif font.

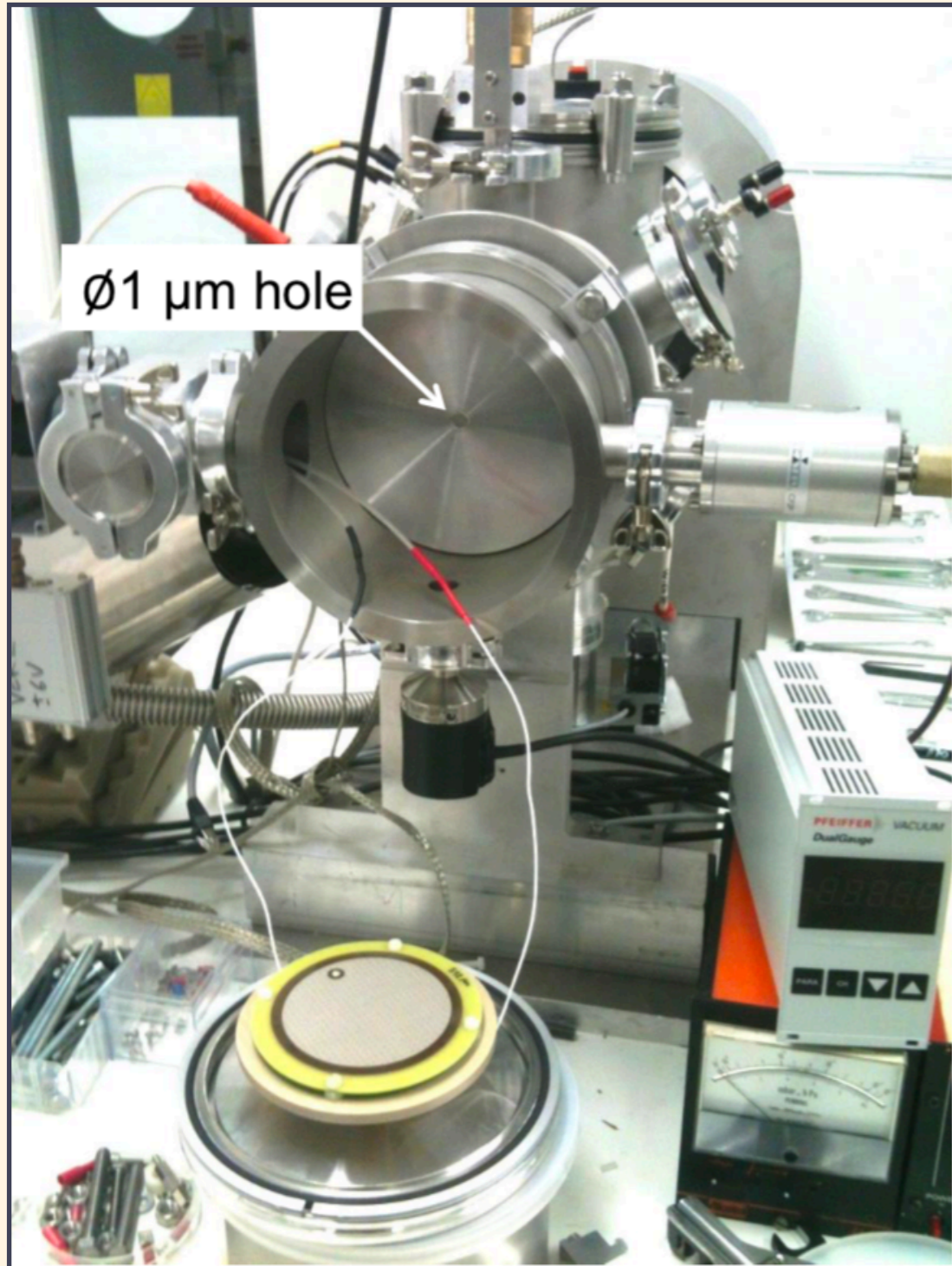
ECRIS

- 電子サイクロトロン共鳴イオン源 (ECRIS)
 - ▶ 磁場中でサイクロトロンする電子をマイクロ波によって共鳴的に加速させる
 - ▶ 極小磁場配位(ミラー磁場と多極磁場)のもとでプラズマを閉じ込めている
 - ▶ プラズマから漏れたイオンを静電的に引き出す
- Beam extraction : ECRプラズマ領域からイオンを引き出すための電極
- Beam focusing : イオンビームを加速する領域

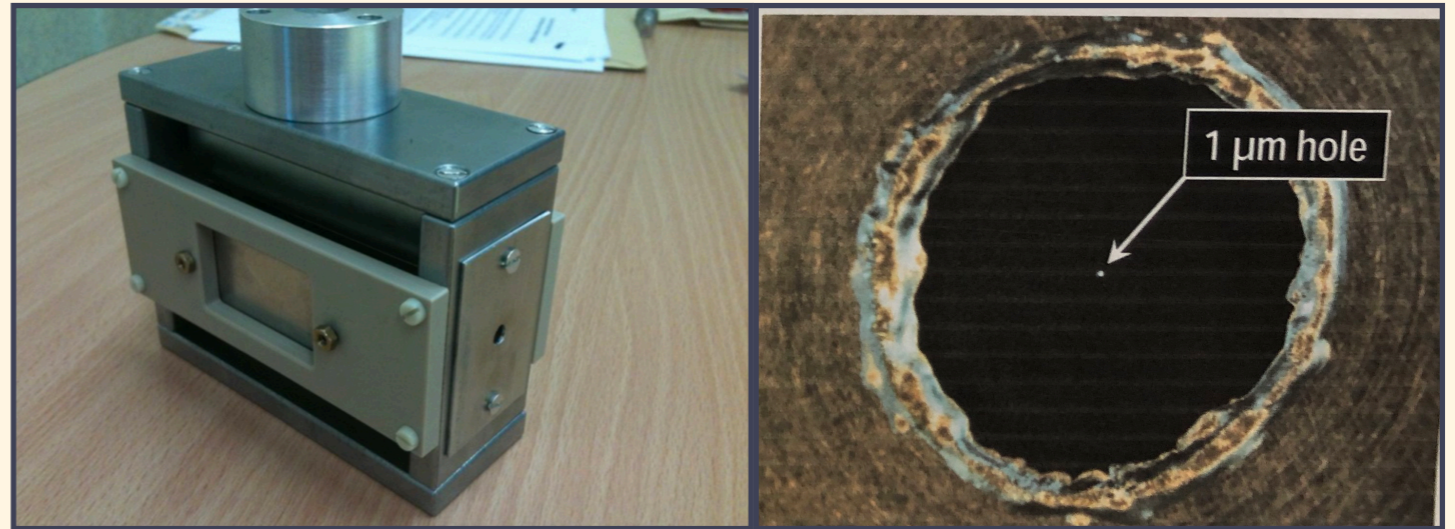


COMIMACの構成

- Micromegasで読み出している

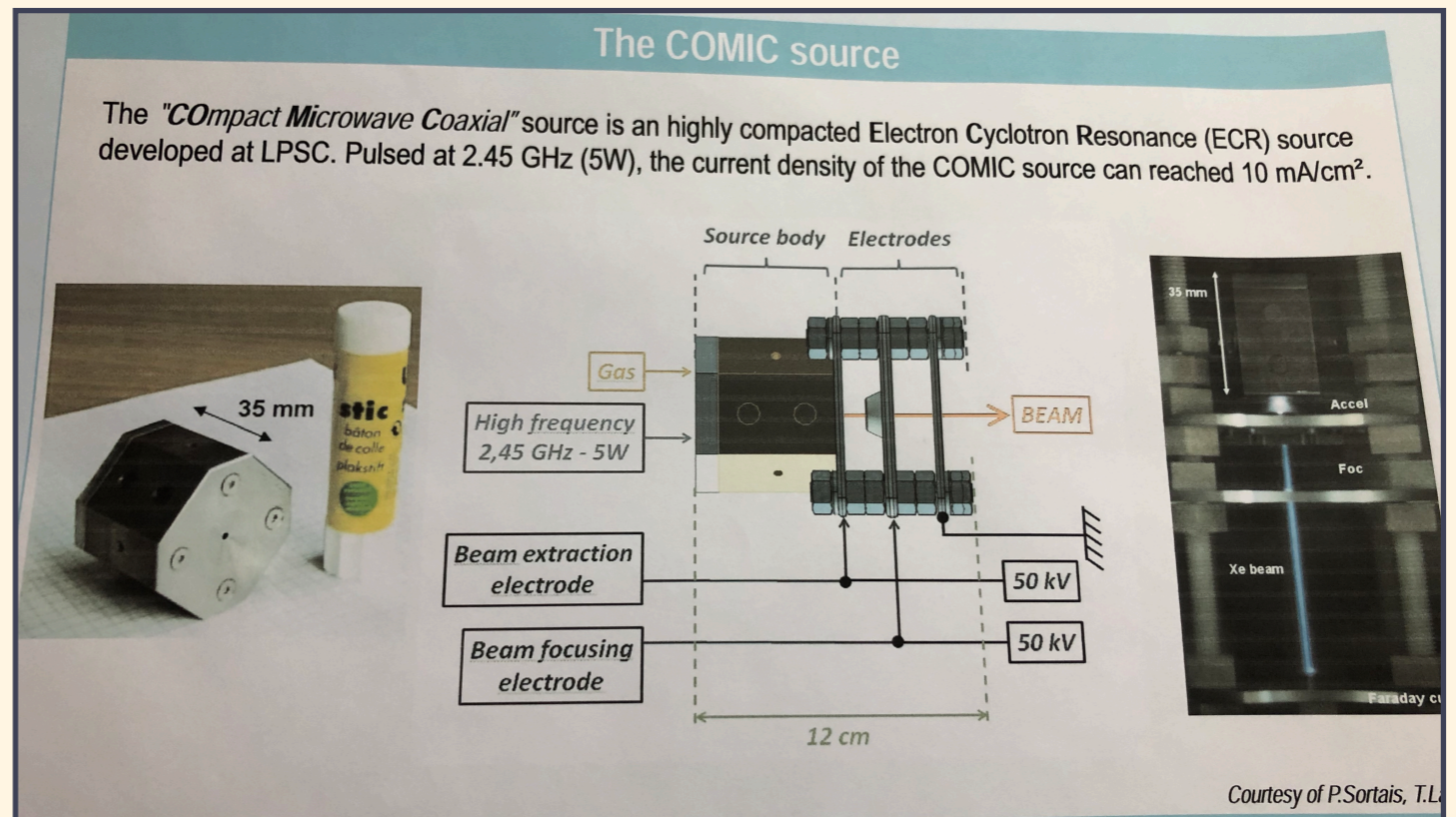


正面から見た写真



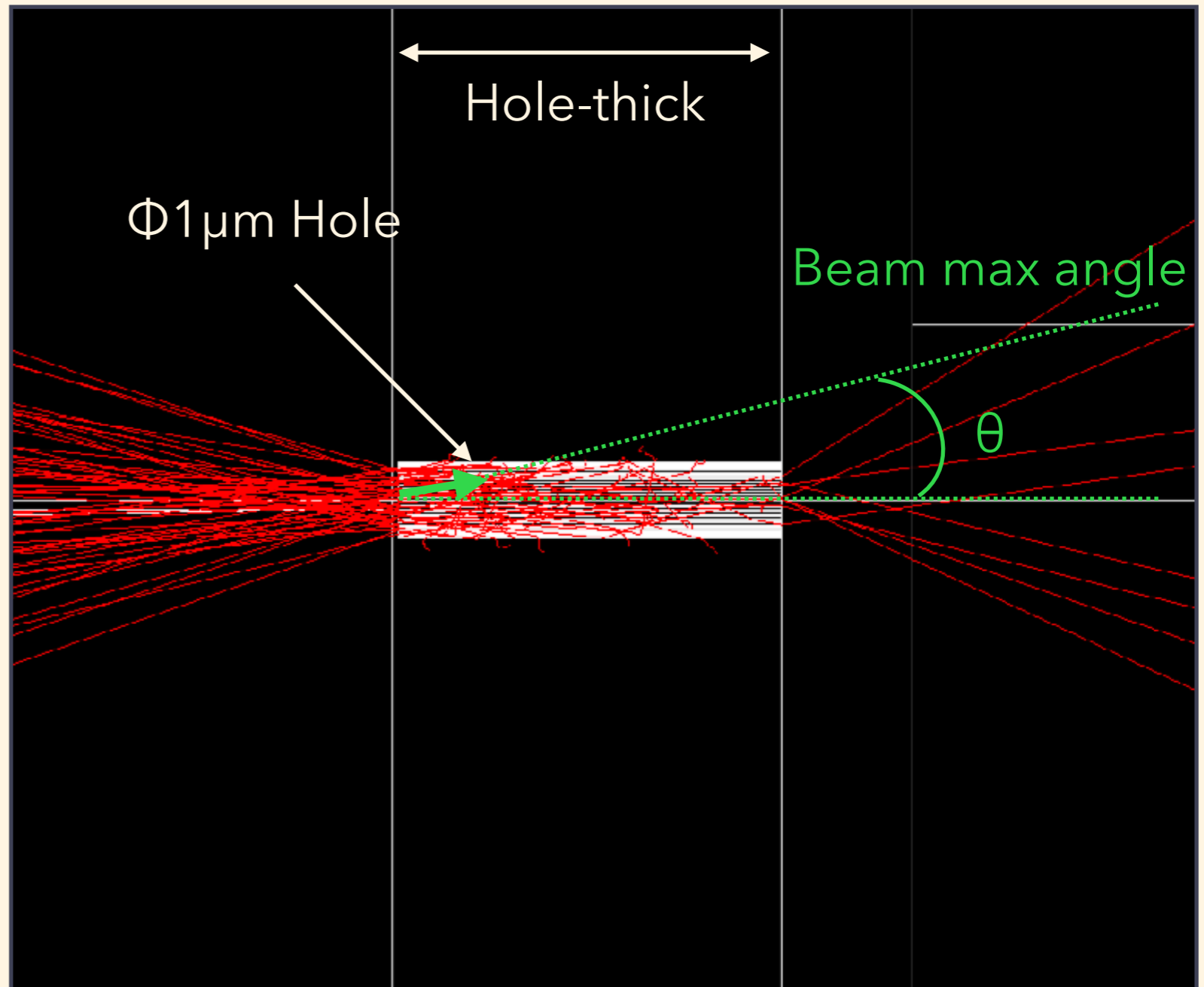
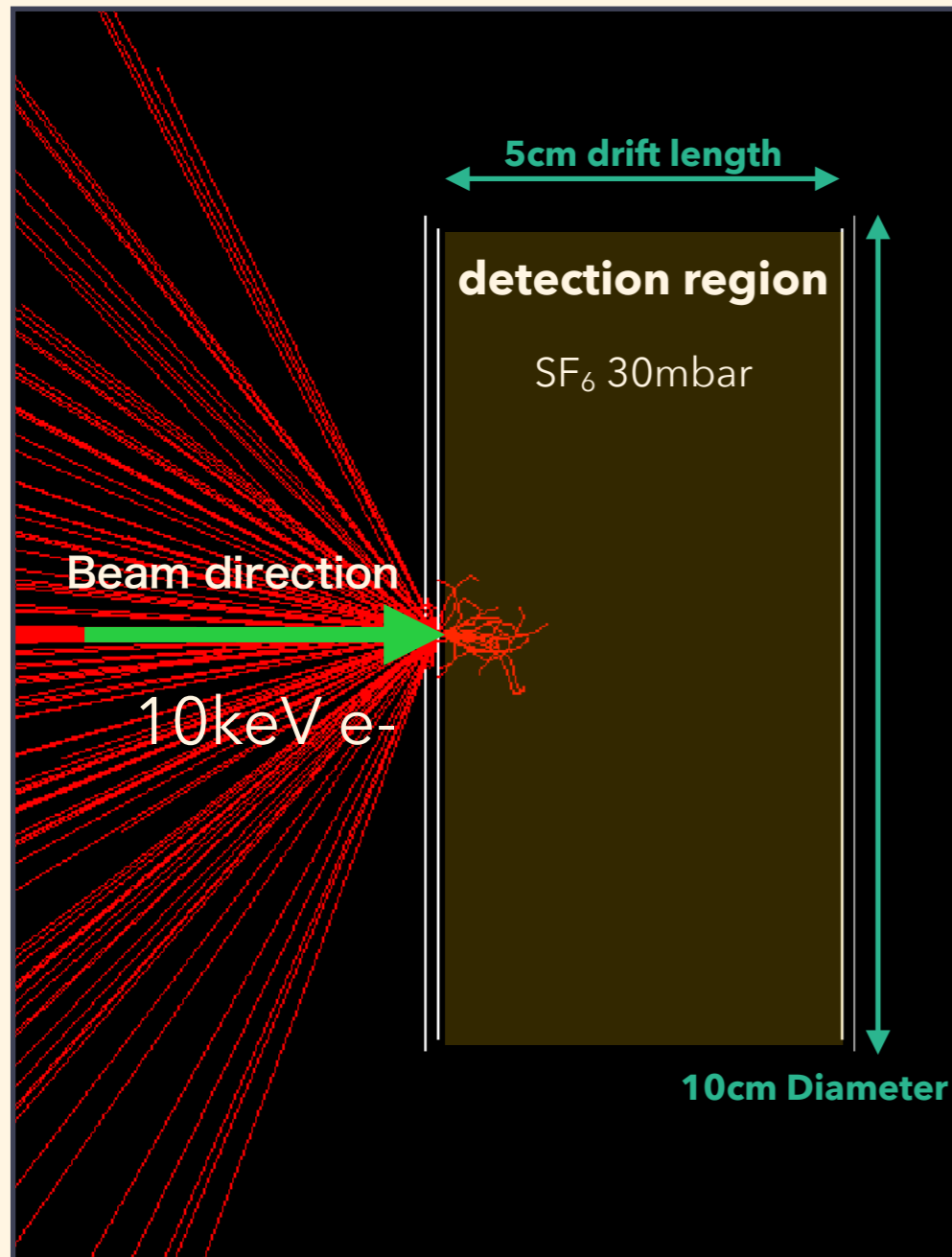
Wien Filter

Φ1µm hole



COMIMACをシミュレーションしてみた

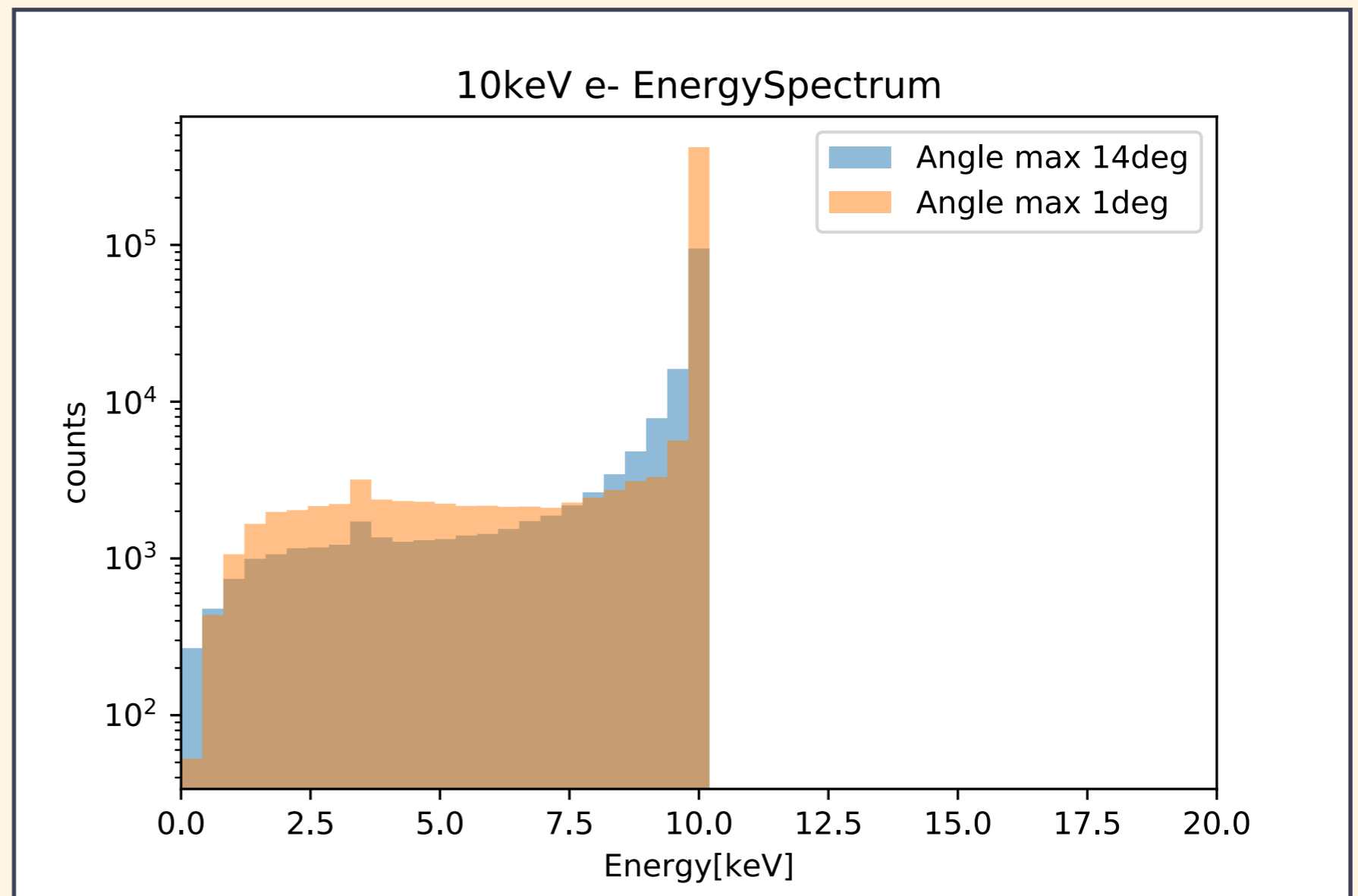
- Geant4でCOMIMACをシミュレーション
 - ▶ SF6ガス検出器 (30mbar)



エネルギースペクトル(Geant4)

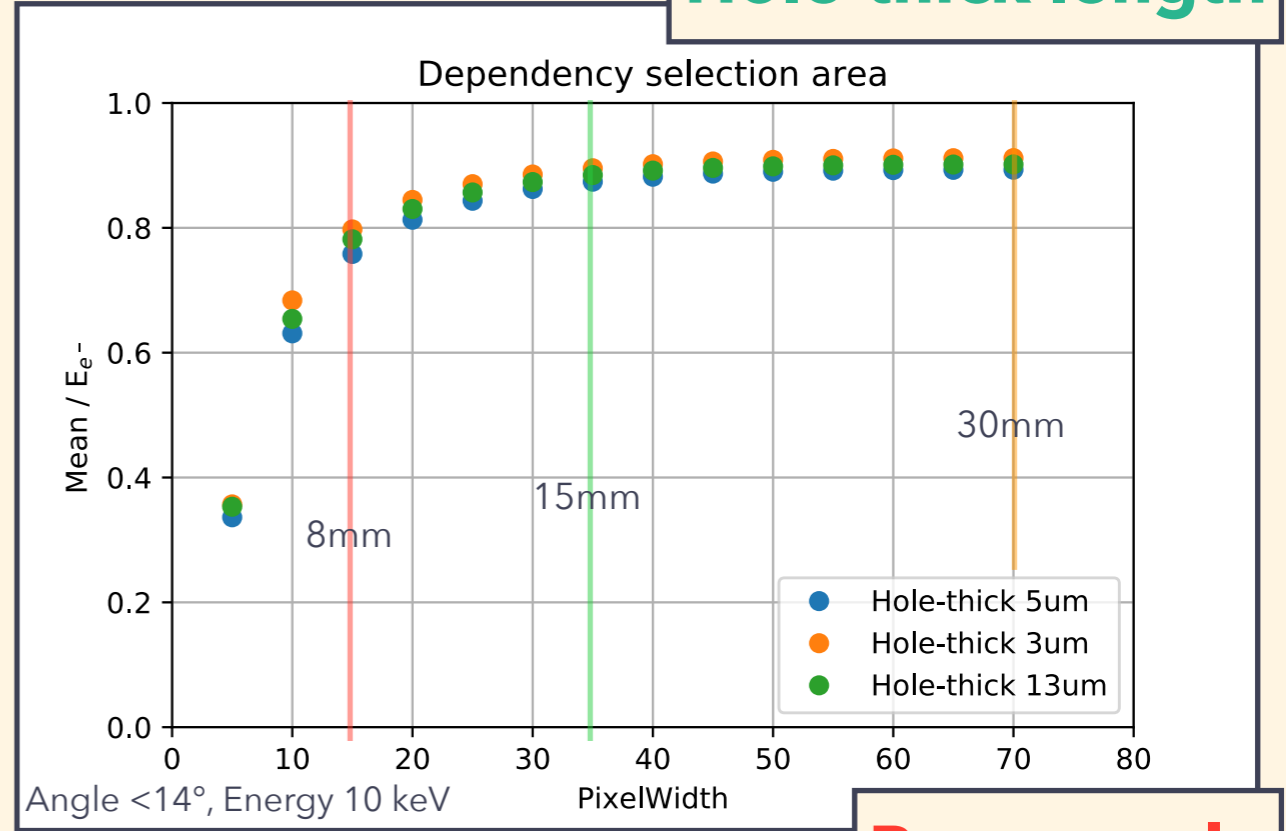
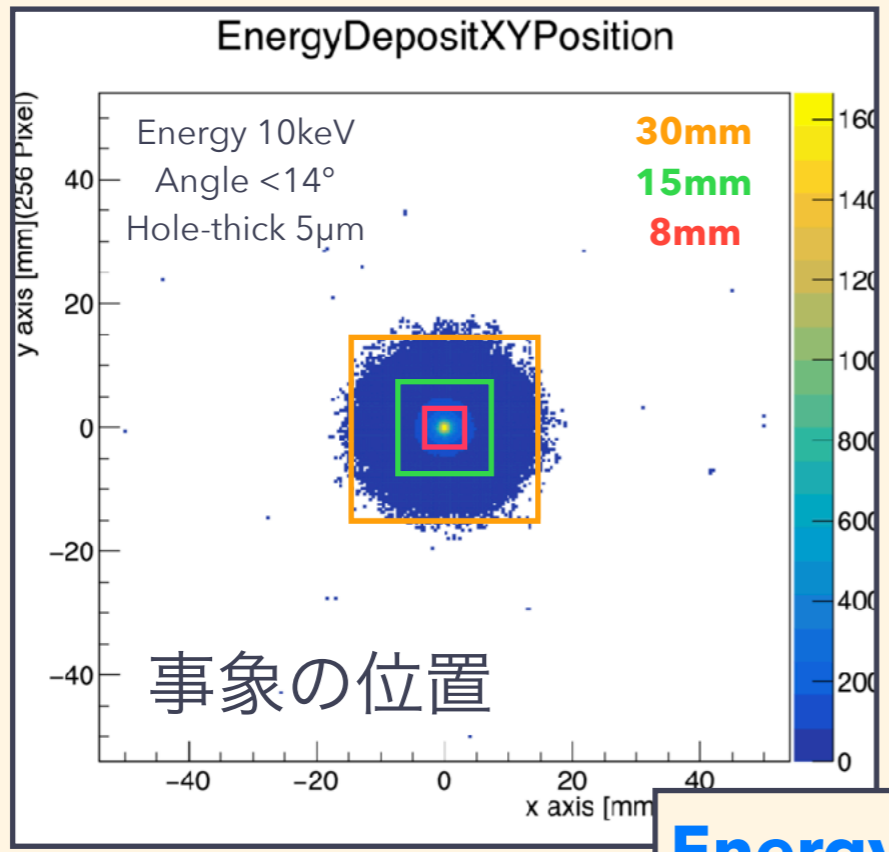
- Geant4シミュレーションから得られたエネルギースペクトル
 - ▶ 低エネルギー側にも存在する
 - 検出器の表面で止まったもの (Backscatterによるもの)
 - ▶ ビームの角度が大きいと10keV以下の電子が多く検出される

●



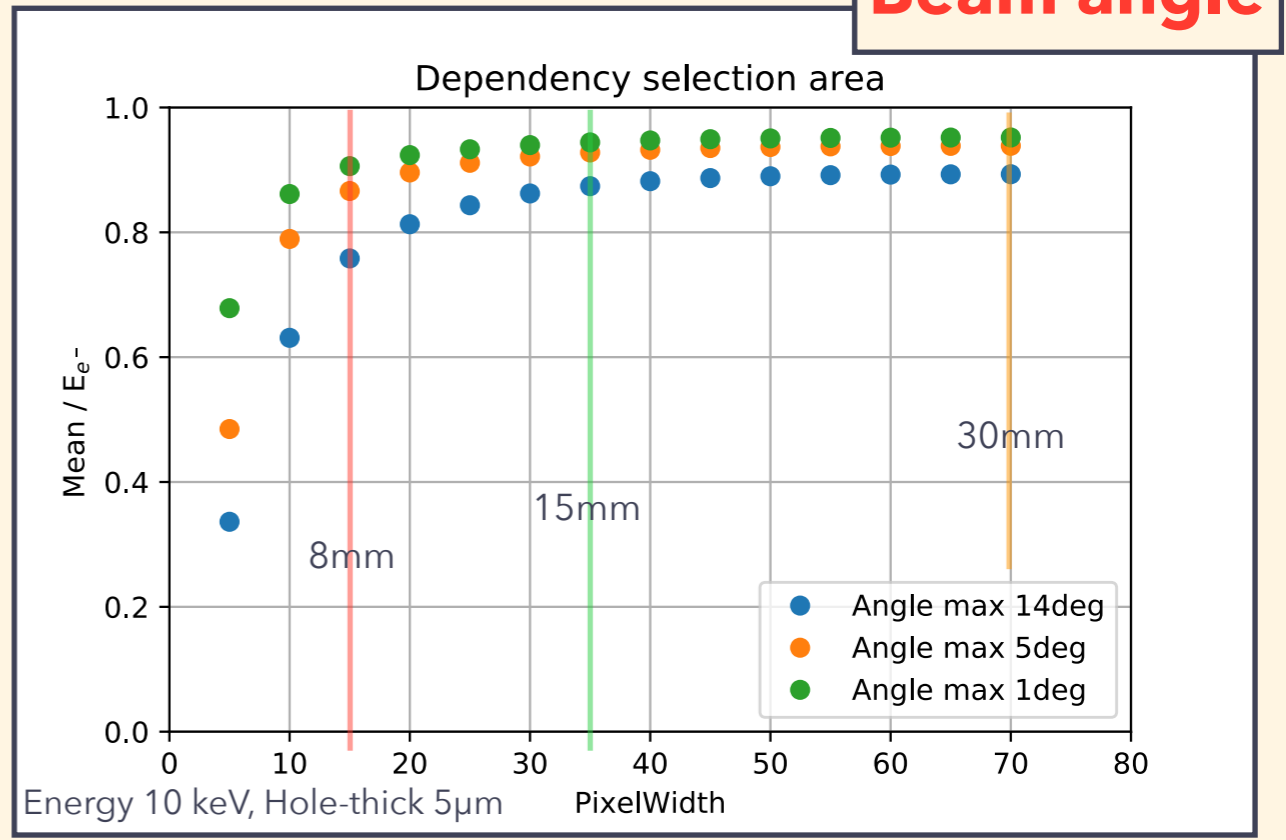
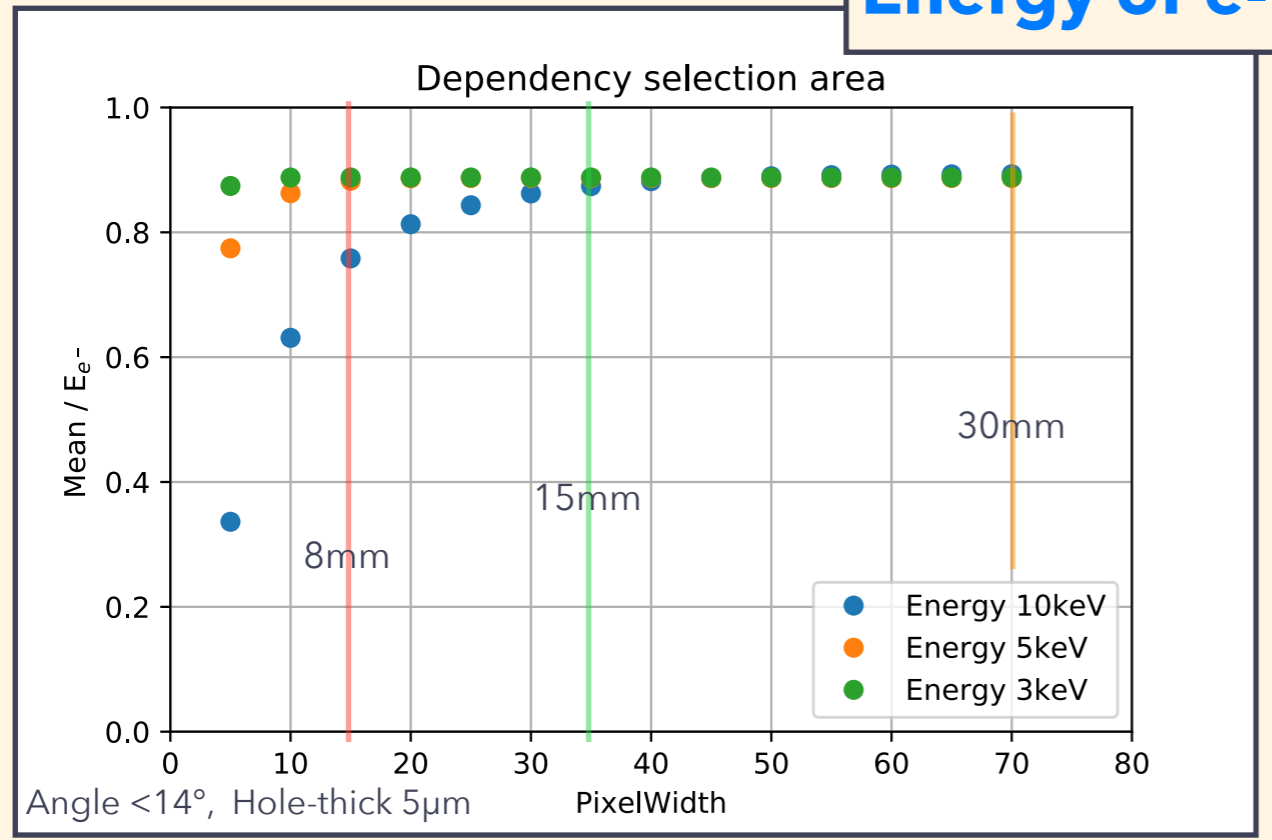
イベントの分布(Geant4)

Hole-thick length



Energy of e^-

Beam angle



10 keV 電子による特性X線 (Geant4)

- ベッセル(Fe)に10keVの電子をぶつけると6.4 keVの特性X線を出す。
- 照射電子の0.2%くらいの割合で6.4 keVが検出される
- 1 μ m holeに入る確率: $\sim 1/10^6$
- MIMACはFiducial cutで影響を抑えている

