



ICEPP  
The University of Tokyo

# DLC-RPC検出器の劣化試験における 放射線強度測定のためのイオンチェンバーの開発

鈴木大夢(神戸大理)

神戸大理, 東大素セ<sup>A</sup>, 東大理<sup>B</sup>

家城佳<sup>A</sup>, 大谷航<sup>A</sup>, 大矢淳史<sup>B</sup>, 越智敦彦, 恩田理奈<sup>B</sup>, 高橋真斗  
潘晟<sup>A</sup> 山本健介<sup>B</sup> 李維遠<sup>B</sup>, 他MEG IIコラボレーション

2023年9月17日

日本物理学会第78回年次大会 (2023)

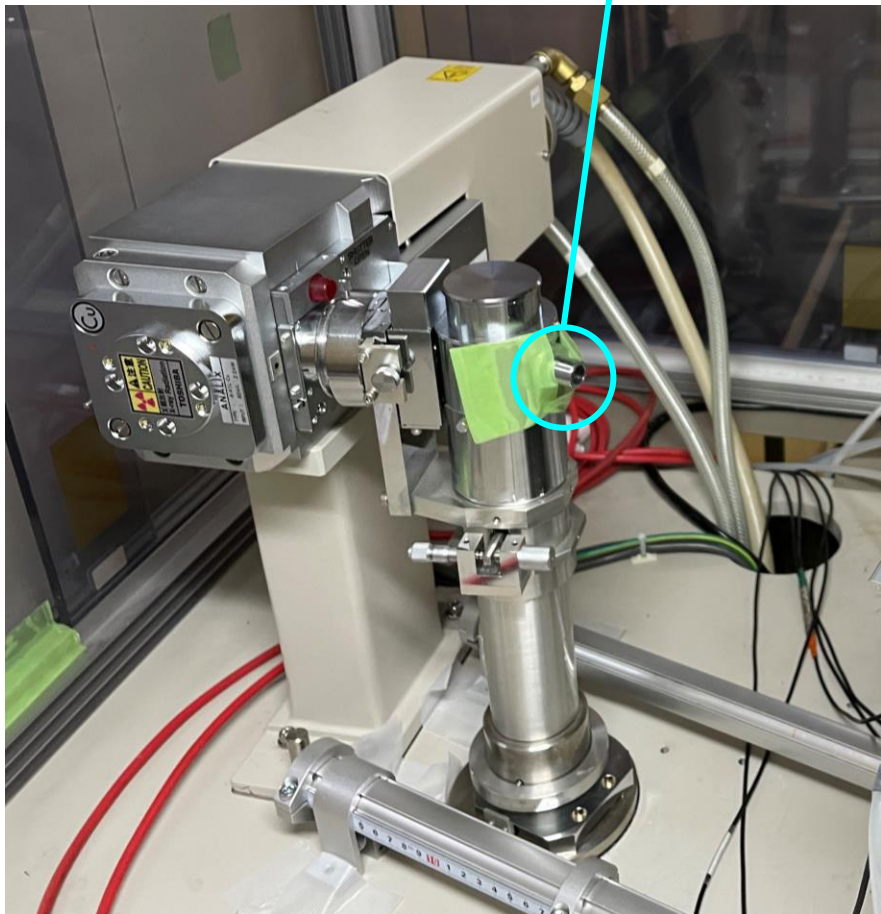
# Table of contents

- ◆ Introduction
- ◆ X線発生装置について
- ◆ イオンチェンバーの開発
- ◆ イオンチェンバーの動作電圧の決定と強度の測定
- ◆ イオンチェンバー測定結果からのX線の強度の算出
- ◆ イオンチェンバーの電流値とX線発生装置の管電流依存性
- ◆ X線発生装置のプロファイル測定
- ◆ DLC-RPCの劣化試験におけるモニタリング検出器としての動作
- ◆ まとめ

# Introduction

## 開発中のDLC-RPCにおけるX線を用いた劣化試験

照射口

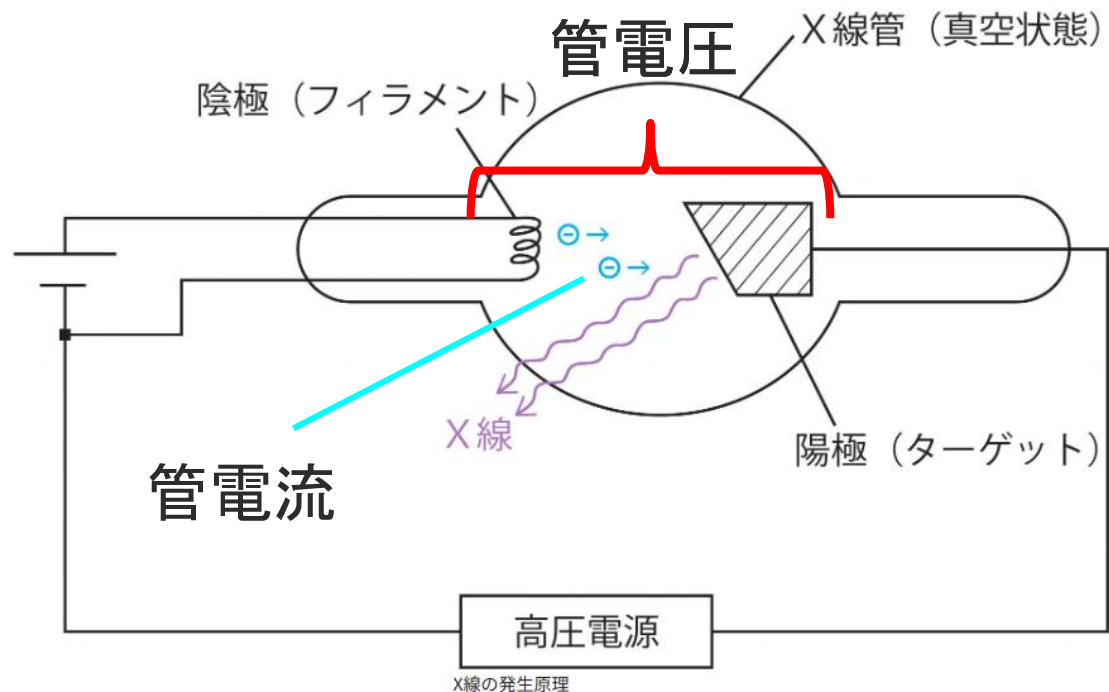


KEK, Platform CにおけるX線発生装置

- ◆ MEG IIの上流側RDCとしてDLC-RPCを開発中。
- ◆ X線を用いたDLC-RPCの劣化試験
  - DLC-RPCは大強度ミュオンビームの中で30週間以上の動作が求められる。  
→X線を用いて放射線耐性を評価。
  - 出力されるX線の強度及びプロファイル測定のための検出器が必要。
- ◆ イオンチェンバー
  - 出力されるX線の強度を電流値として測定
  - 照射口におけるX線プロファイル測定
  - 劣化試験でのX線のモニタリング

# X線発生装置について

## X線の発生原理



X線の発生原理

[初めてのX線発生装置 - Lab BRAINS \(as-1.co.jp\)](http://as-1.co.jp)

- ◆ 陰極間と陽極間に流れる電子(管電流)を電極間に管電圧を印加することによって加速。
- ◆ 加速した電子をターゲットに当て、ターゲットの電子の排出によってX線が発生。
- ◆ X線の強度は管電流に比例。

## KEK, Platform CにおけるX線発生装置の仕様

- 管電圧: 20 - 60 kV
- 管電流: 2 - 30 mA
- ターゲット: 銅
- 結晶モノクロメーターを通すことで、8 keVの特性X線を出力。

# イオンチェンバーの開発

X線の電離で生じる電流 $\sim 0(10)$  nAを検出するために

## ◆ イオンチェンバー:電離箱

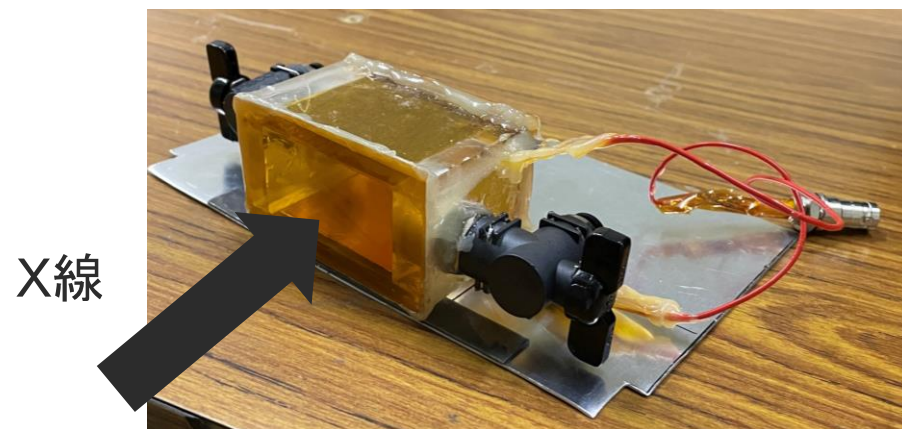
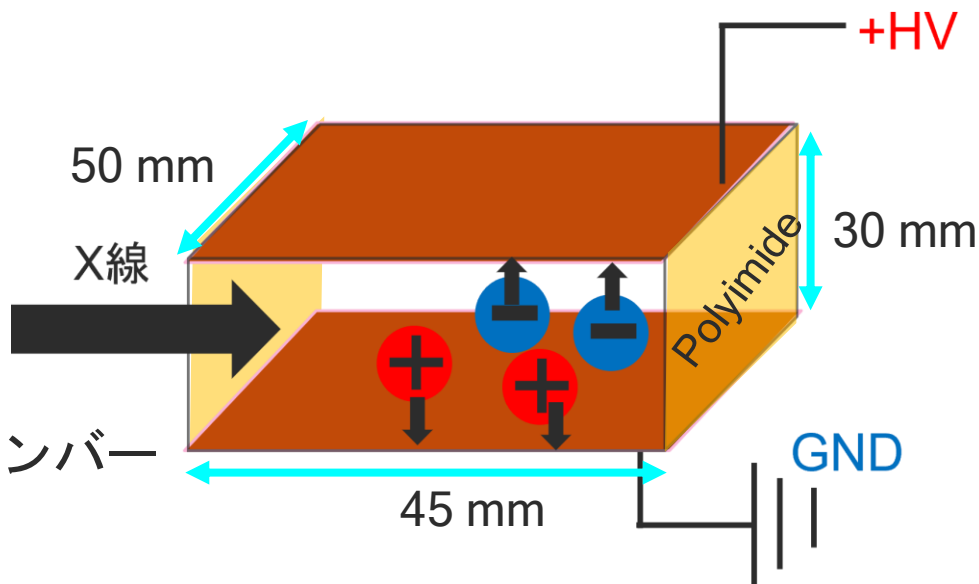
- ・ 電極に電圧を印加。
- ・ 放射線を電極のギャップに入射させる。
- ・ 電離した電子を電流として検出。

ガス増幅しない  
電極間距離  
→3cm

高い絶縁性  
フレーム: アクリル  
銅電極の下に  
ポリイミドシート

X線が通る窓  
→50  $\mu\text{m}$ の  
ポリイミド  
シート

アルゴンを流しながら  
の動作

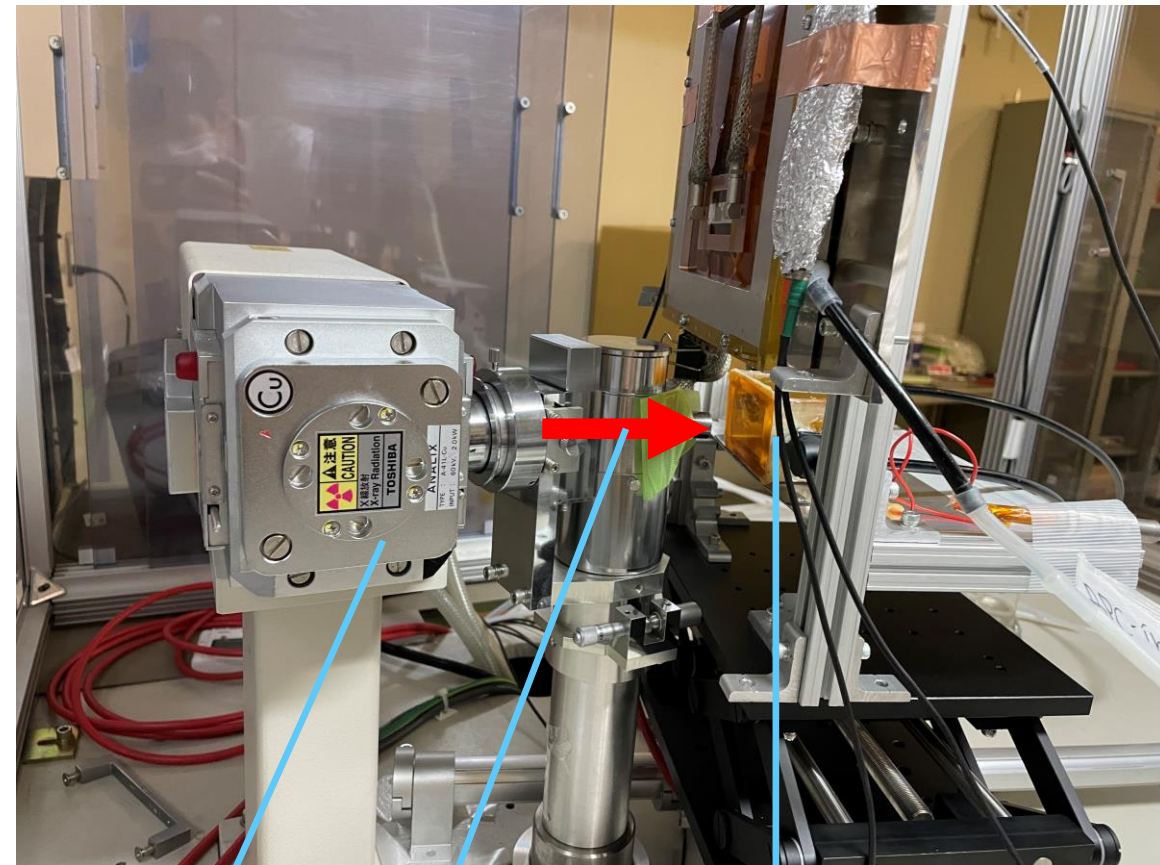
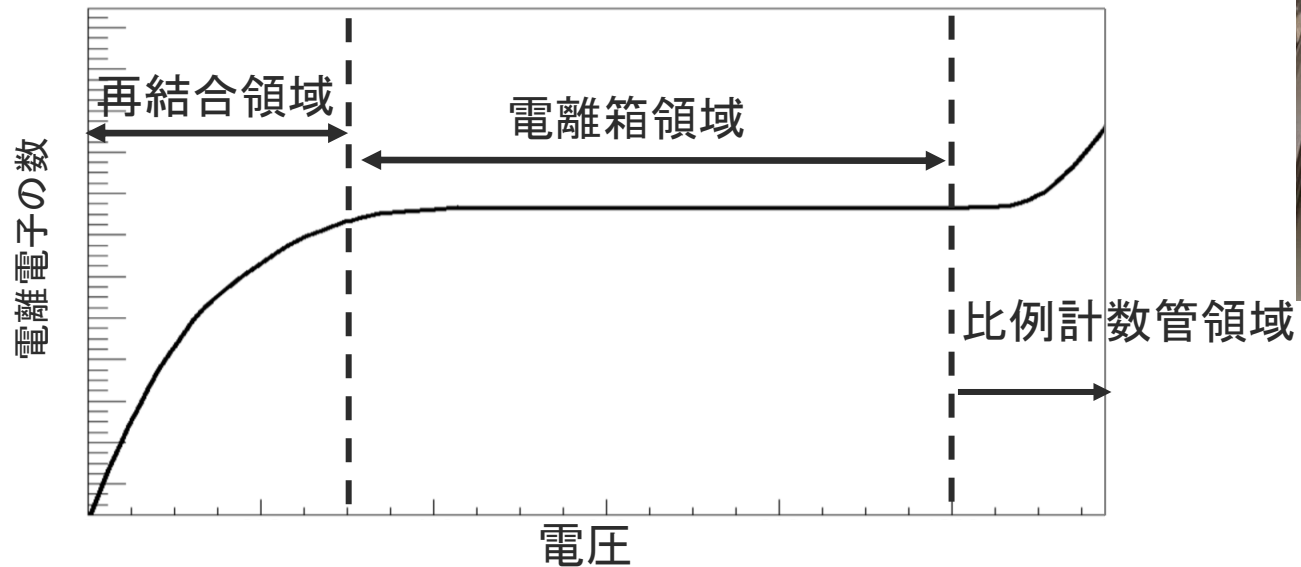


実際に作成したイオンチェンバー

# イオンチェンバーの動作電圧の決定と強度の測定

## ◆ 測定方法

- ・ 電圧を100 Vステップで印加。
- ・ 劣化試験と同じ出力のX線を照射。  
(管電流:30 mA,管電圧50 kV)
- ・ 電流計(分解能:50 pA)を用いる。
- ・ 各電圧で、イオンチェンバー自体のリーク電流を考慮し、X線照射時と非照射時の電流値を測定。
- ・ 各電圧の2つの電流値の差から、電離箱領域を決定。その領域の電流値からX線の強度を見積もる。

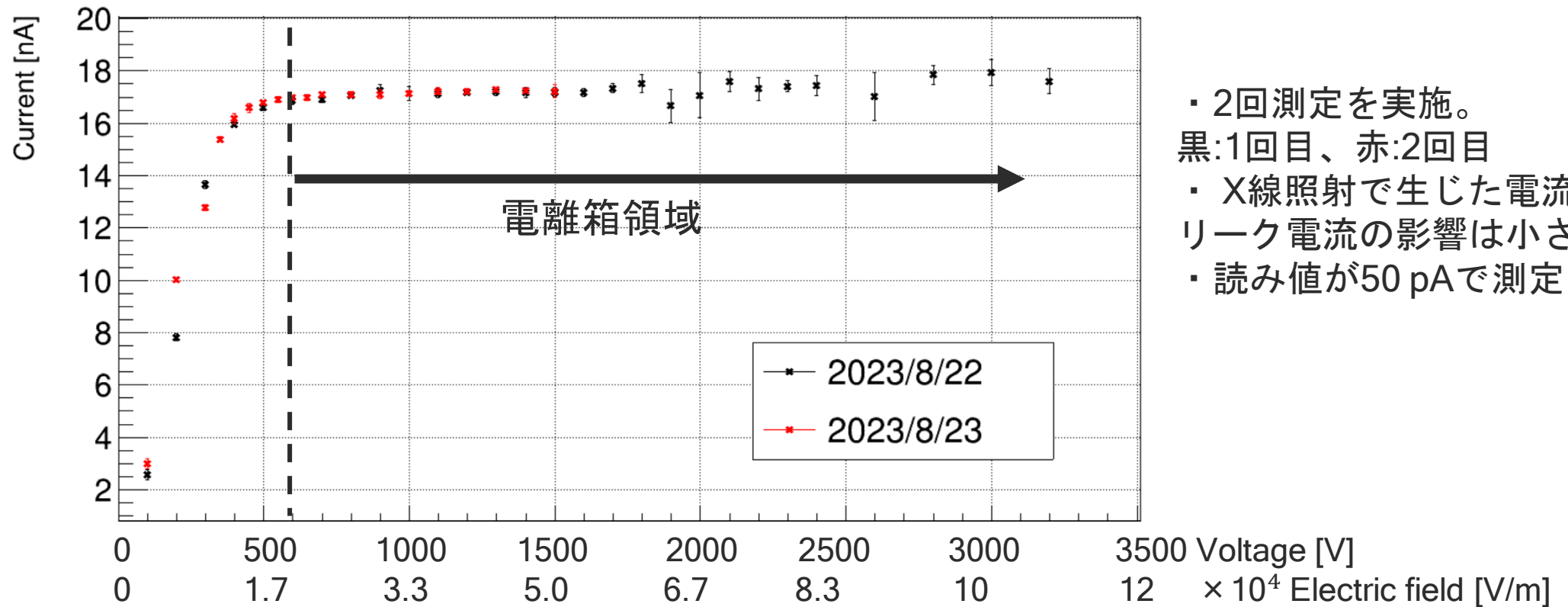


X線発生装置

X線

イオンチェンバー

# イオンチェンバーの動作電圧の決定と強度の測定



- ・ 2回測定を実施。  
黒:1回目、赤:2回目
- ・ X線照射で生じた電流へのリーク電流の影響は小さい。
- ・ 読み値が50 pAで測定。

## ◆ 測定結果

- ・ 600 Vを境目に一定の値となる。→電離箱領域
- ・ 電離箱領域での電圧ではデータの差が1%未満の精度であり、この領域では流れる電流は変化しない。
- ・ 劣化試験で照射される強度のX線を当てたとき、電離箱領域平均で17 nAの電流が流れる。
- ・ 動作電圧を1000 Vに決定。

# イオンチェンバー測定結果からのX線の強度の算出

距離 $x$ における強度は $I = I_0 \exp(-\mu\rho x)$ .

イオンチェンバーに吸収されるフォトン  
の数  
 $I_0 - I_0 \exp(-\mu\rho x)$ .

イオンチェンバーに流れる電流は、

$$i = \frac{E}{W} \times I_0 (1 - \exp(-\mu\rho x)) \times e$$

ここからX線発生装置から出力されるX線の強度は

$$I_0 = \frac{i}{e} \cdot \frac{W}{E} (1 - \exp(-\mu\rho x))^{-1}$$

イオンチェンバーに電離箱領域で流れた電流は17 nA

$$\rightarrow (5.99 \pm 0.03) \times 10^8 \text{ photons/s}$$

強度: $I$

X線発生装置から出力された強度: $I_0$ ,

イオンチェンバーに流れる電流: $i$ ,

$e$ :素電荷,

$E$ :X線のエネルギー,

$W$ :アルゴンのW値=26 eV,

$\mu$ :アルゴンの質量吸収係数:117 cm<sup>2</sup>/g,

$\rho$ :アルゴンの密度= $1.7 \times 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>,

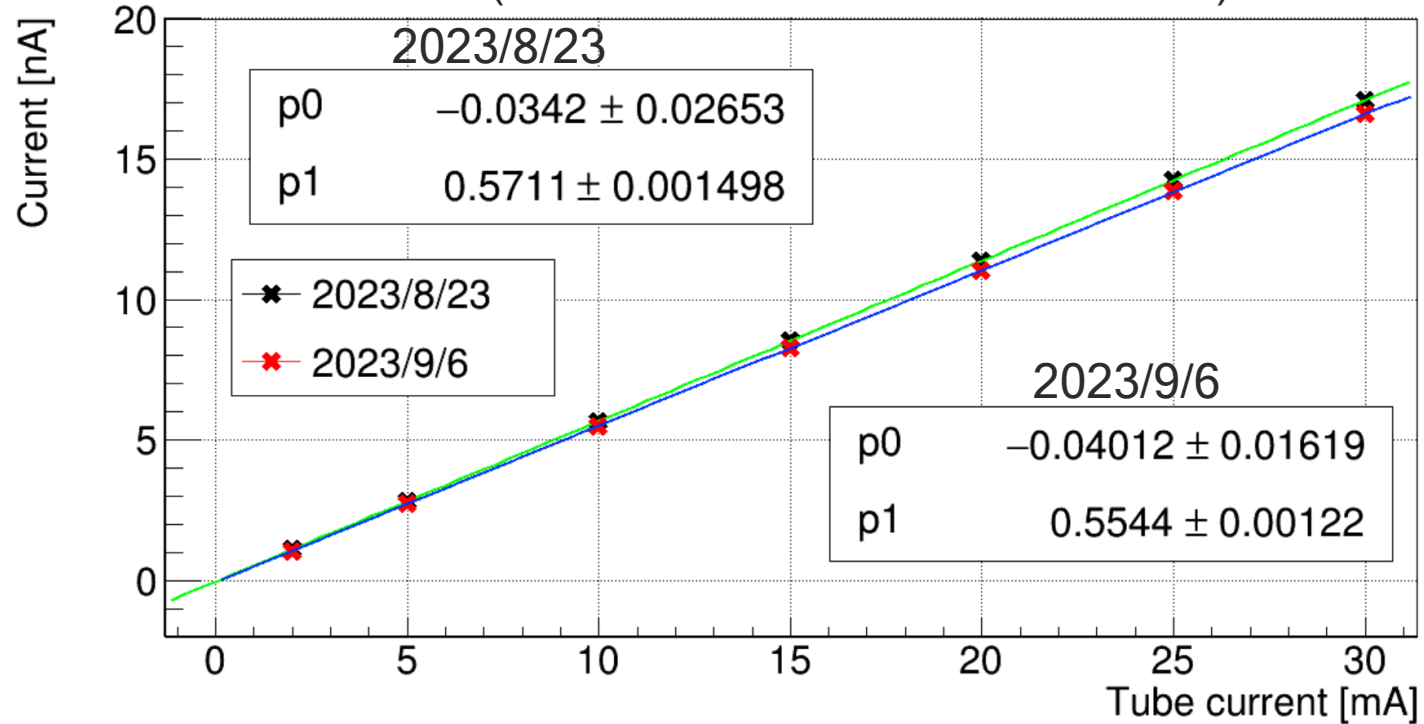
$x$ :X線の入射方向のイオンチェン

バーの奥行:4.5cm



# イオンチェンバーの電流値とX線発生装置の管電流依存性

管電流依存性(管電圧:50 kV一定で照射した結果)



## ◆ 測定条件

- ・ イオンチェンバーの動作電圧:1000 V
- ・ 管電圧を固定、管電流を変化させる。

## ◆ 測定結果

- ・ 管電流に対して電流値の値が上昇傾向。
- ・ 線形な比例関係。
- ・ イオンチェンバーのX線の強度の変化に対する応答として適切な結果を取得。
- ・ データの差が数%の精度での再現性。

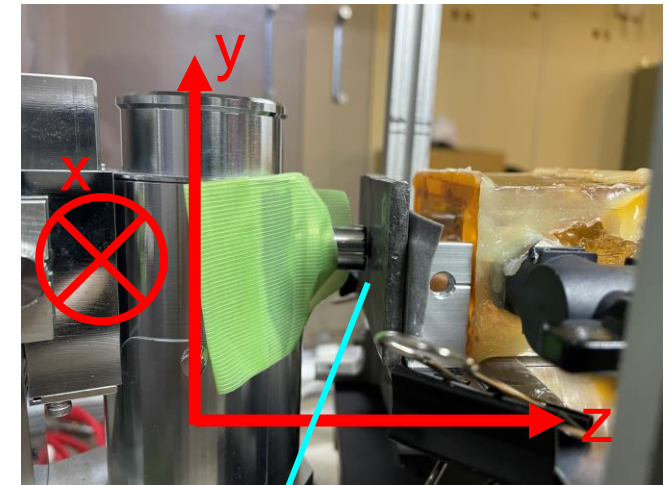
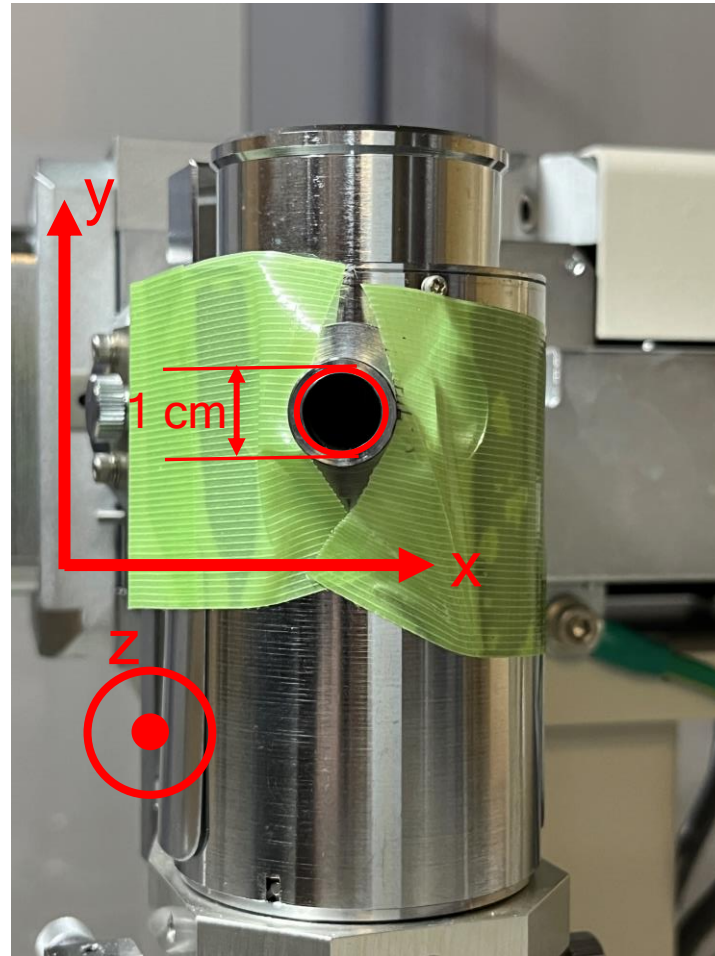
# X線発生装置のプロファイル測定

## ◆ プロファイル測定

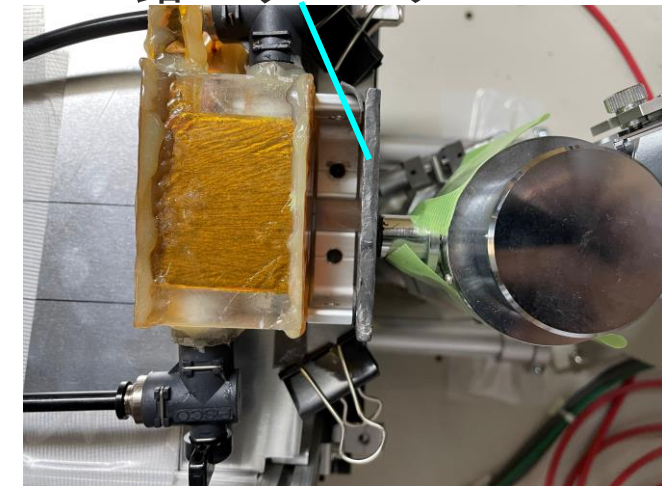
X線発生装置の照射口における、  
X線強度の分布を調べる。

### ◆ 測定方法

- ・ 長方形の鉛コリメーターをイオンチェンバーの2cm前に設置。
- ・ 鉛コリメーターの穴と照射口の中心を原点とする。
- ・ 直径:1mm 測定範囲(  $-0.4 \text{ cm} < x < 0.0 \text{ cm}$ ,  $-0.1 \text{ cm} < y < 0.4 \text{ cm}$  )、1mm刻みで劣化試験で用いたX線(管電流:30 mA, 管電圧50 kV)を照射。
- ・ X線照射時と非照射時の電流値の差を見る。



鉛コリメーター

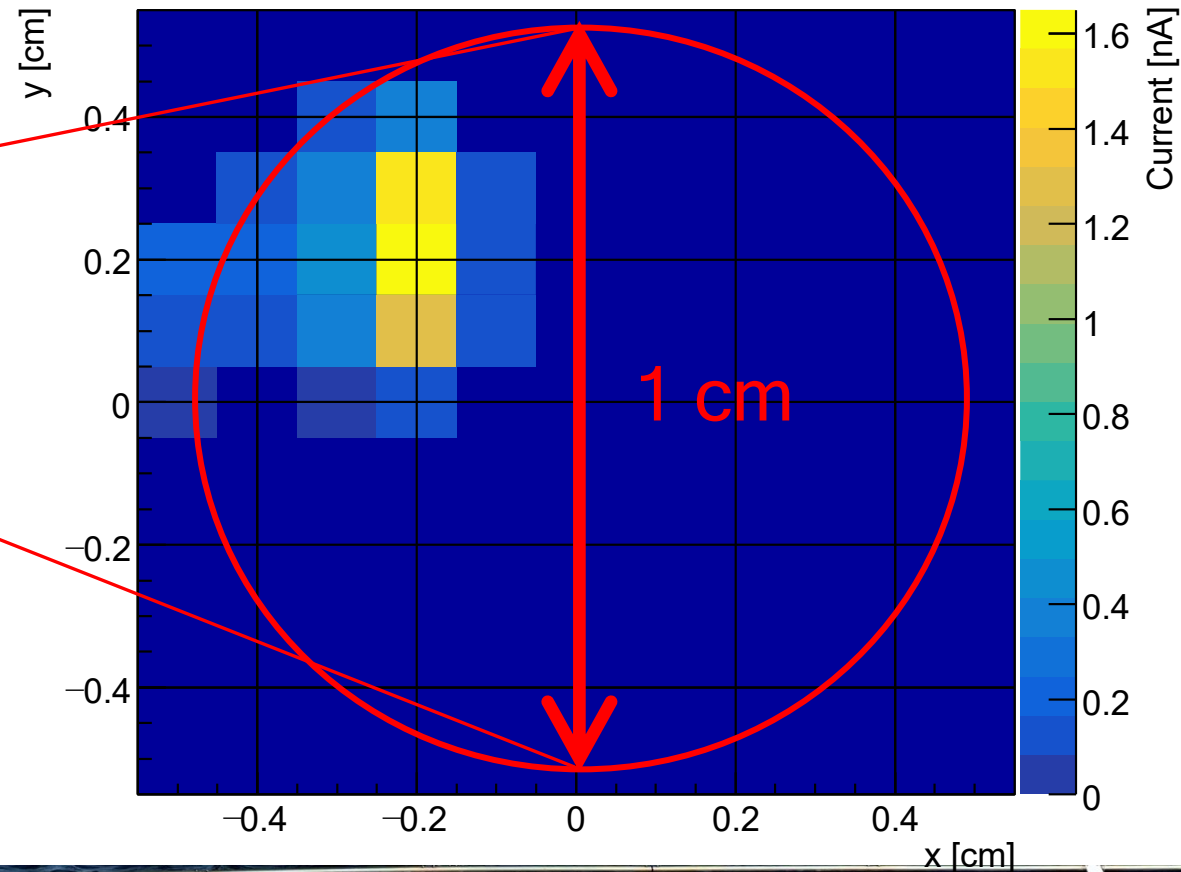
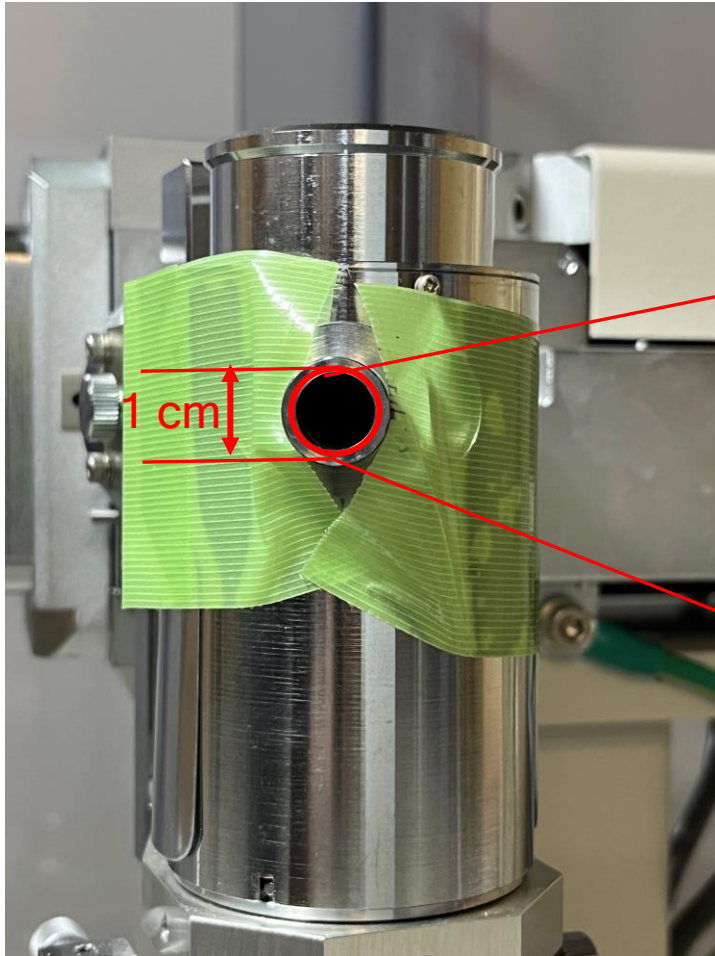


上から見た図

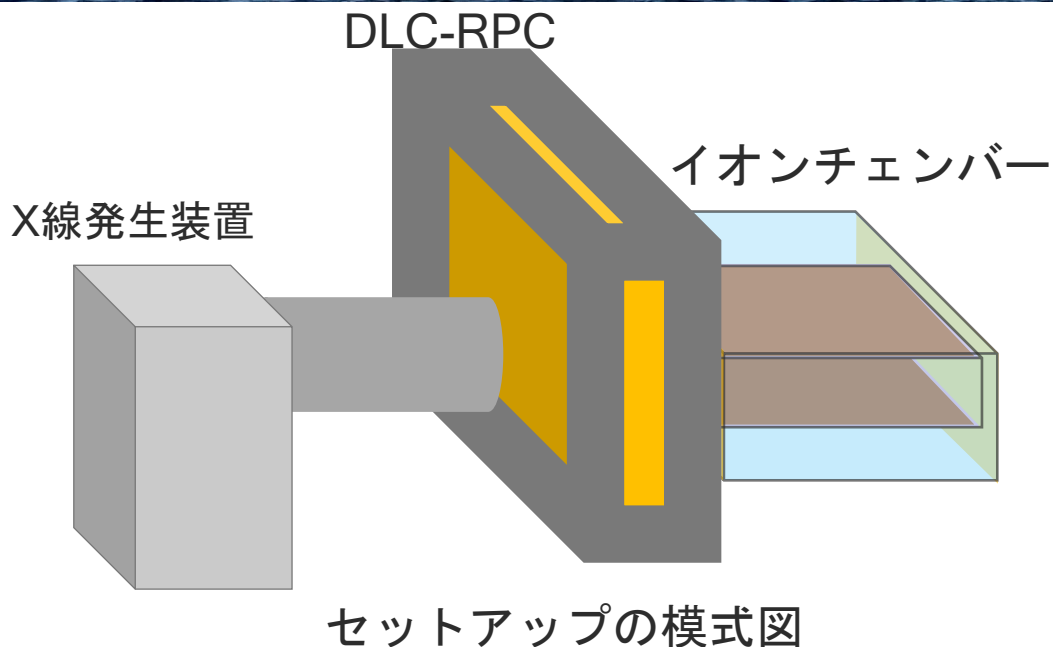
# X線発生装置のプロファイル測定

## ◆ 測定結果

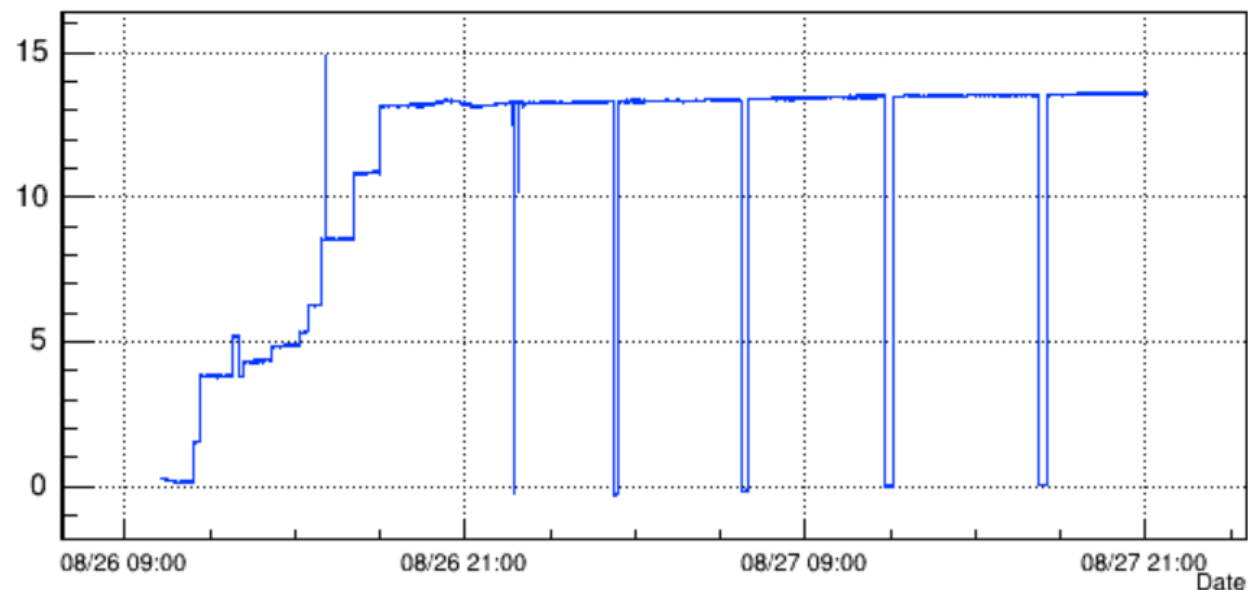
- ・ 直径1 cmの円に対して第二象限のエリアに強いX線強度が分布。
  - ・  $x=-0.2$  cm,  $y=0.2$  cmを中心に $y$ 方向に分布。
  - ・ DLC-RPC照射位置は照射口中心を想定していた。→照射位置が変わる。
- X-ray profile ( $\phi$  1 mm collimator)



# DLC-RPCの劣化試験におけるモニタリング検出器としての動作



劣化試験中でのイオンチェンバーの電流値  
IC HV current [nA]



## ◆ モニタリング

- ・ イオンチェンバーをDLC-RPCの背後に設置させて動作。
- ・ 劣化試験でのX線の相対的な強度の変化を観測。
- ・ イオンチェンバーはX線発生装置に対して一定の応答を示す為、DLC-RPCにおける電流値の変化が、X線発生機装置の出力の変化によるものか他の要因かが区別可能。

# まとめ

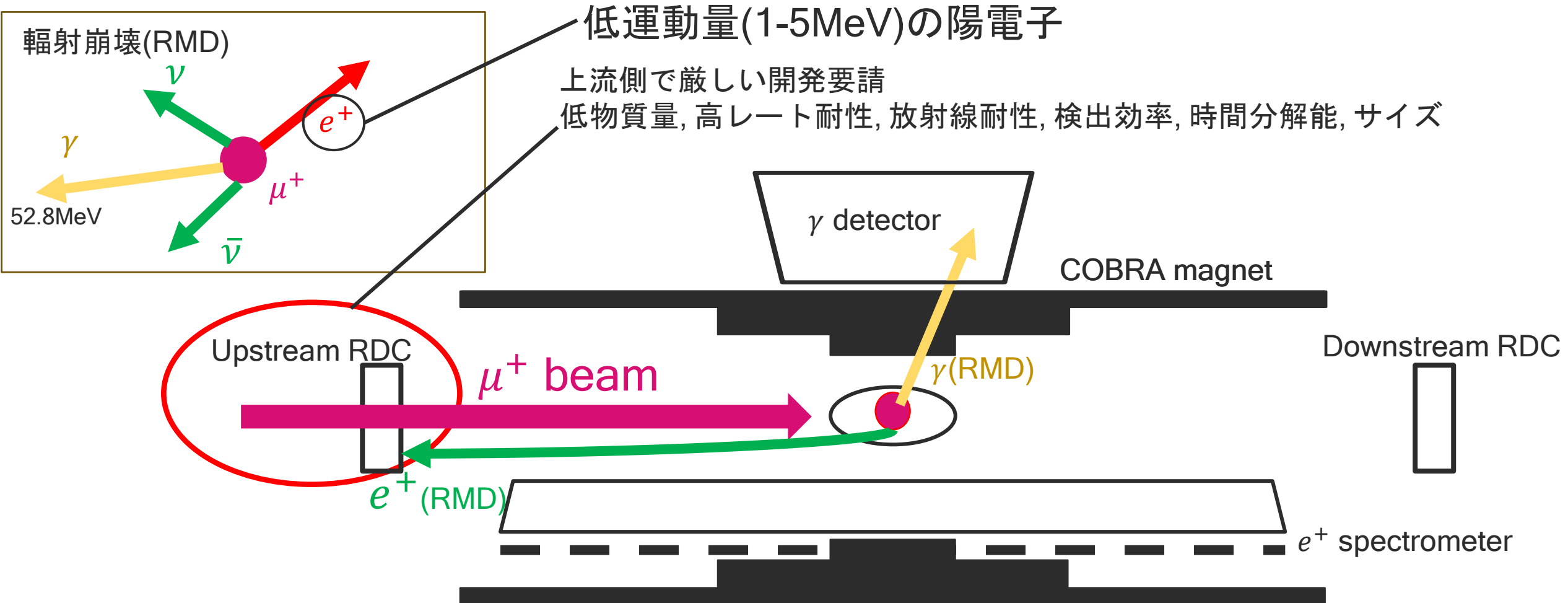
- ◆ DLC-RPCの劣化試験に用いられるX線の強度の測定とX線発生装置のプロファイル測定のためのイオンチェンバーを開発。
- ◆ 測定の結果、用いたX線の強度は $(5.99 \pm 0.03) \times 10^8$  photons/sとなる。
- ◆ X線発生装置の照射口の中心から、覗き込む方向に対して左上に0.2 cmの位置に強度の分布が集中していることが判明。
- ◆ イオンチェンバーはDLC-RPCの劣化試験中において、X線のモニタリング用検出器として動作が可能。
- ◆ 今後は他の放射線への応答や大強度ミュオンビーム中での動作のための開発をする。

# Backup

# MEG II実験におけるRDC

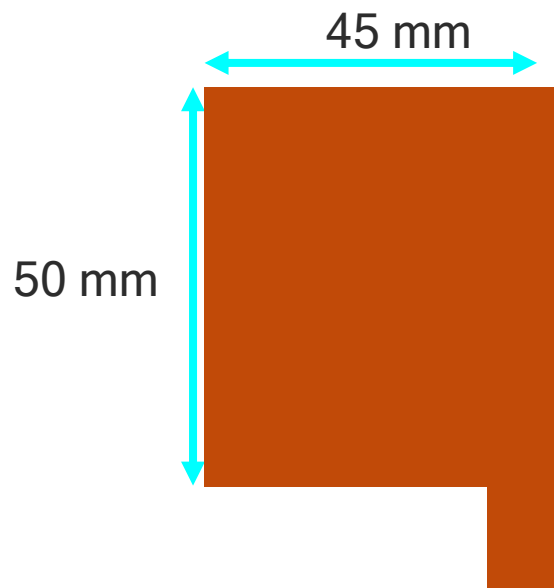
MEG II実験におけるRDC(Radiative decay counter)

低エネルギーの陽電子を検出し、 輻射崩壊由来のガンマ線を同定する検出器。



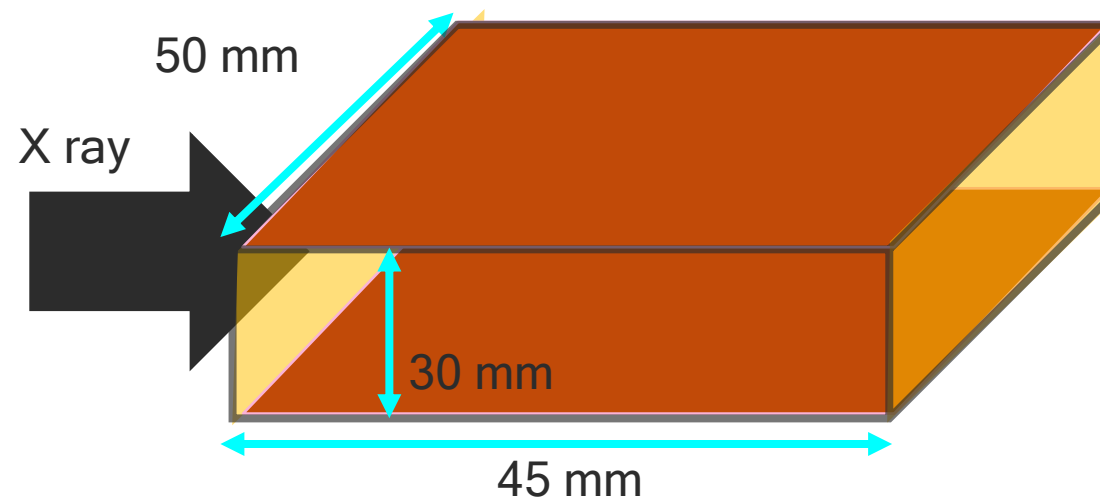
# イオンチェンバーの開発

## ◆ 電極



- ◆ 銅テープで作成。
- ◆ ケーブルをつなげるコネクション

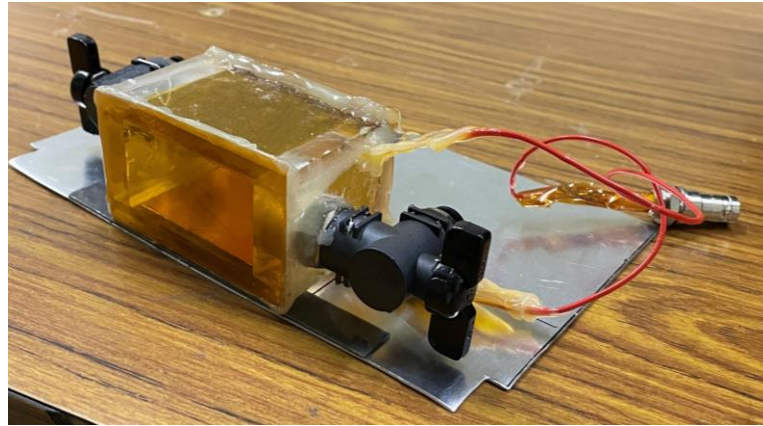
## ◆ チェンバー本体



- ◆ アクリルでチェンバーの枠組みを構成。
- ◆ チェンバーの絶縁性維持のため、カプトンテープの上に電極として銅テープを貼付。
- ◆ アルゴンを流しながら、動作。
- ◆ X線の入射窓に厚さ50  $\mu\text{m}$ のポリミドシートを貼付。
- ◆ 電極間の距離:3 cm

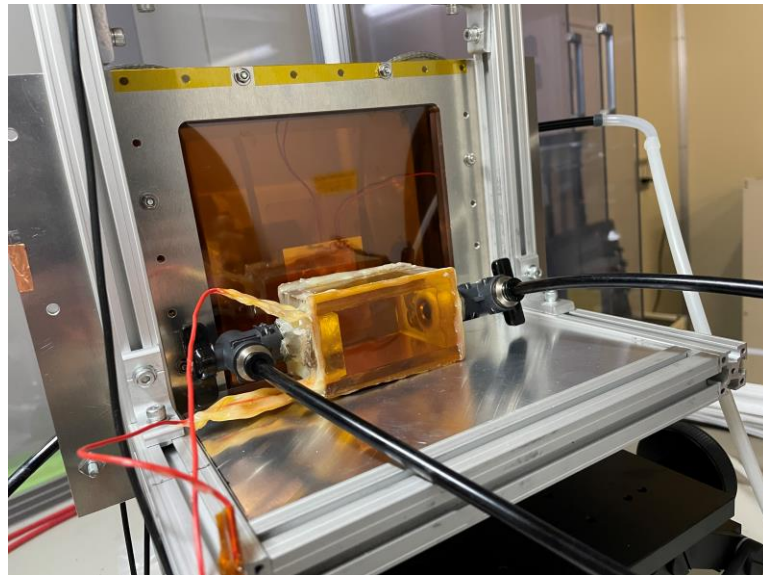


# イオンチェンバーの開発

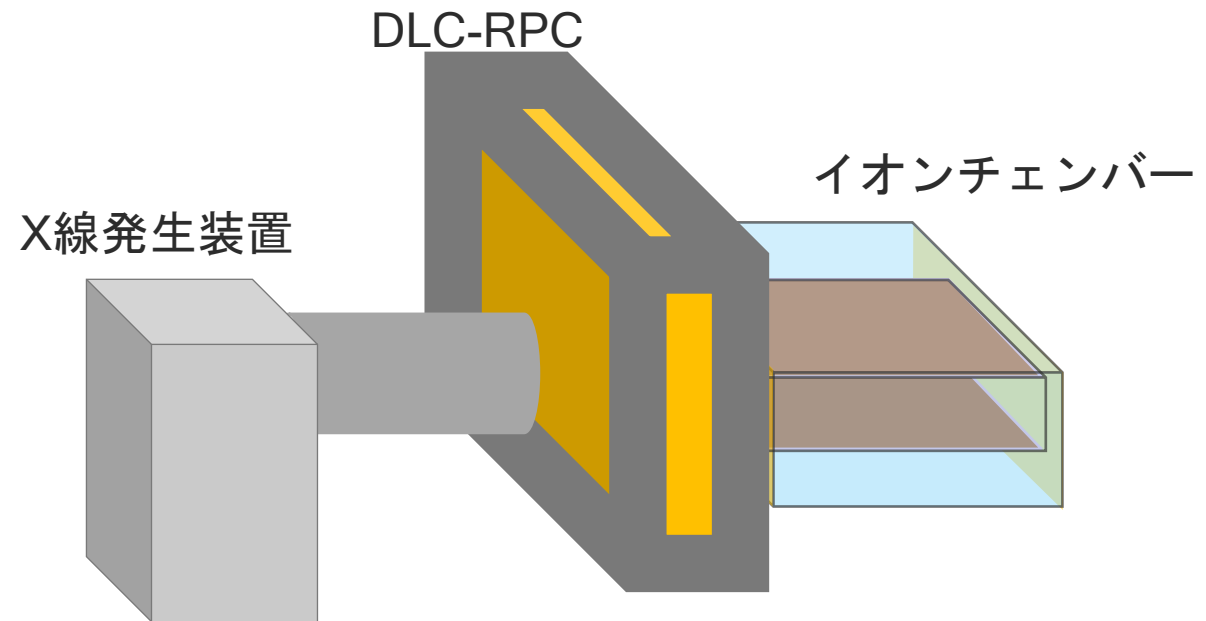


開発されたイオンチェンバー

- ◆ 劣化試験ではX線発生装置に対してDLC-RPCの有感領域の裏にイオンチェンバーを設置。
- ◆ DLC-RPCにX線が照射されているときのX線強度のモニタリング用検出器として動作。



劣化試験でのセットアップの実際の写真

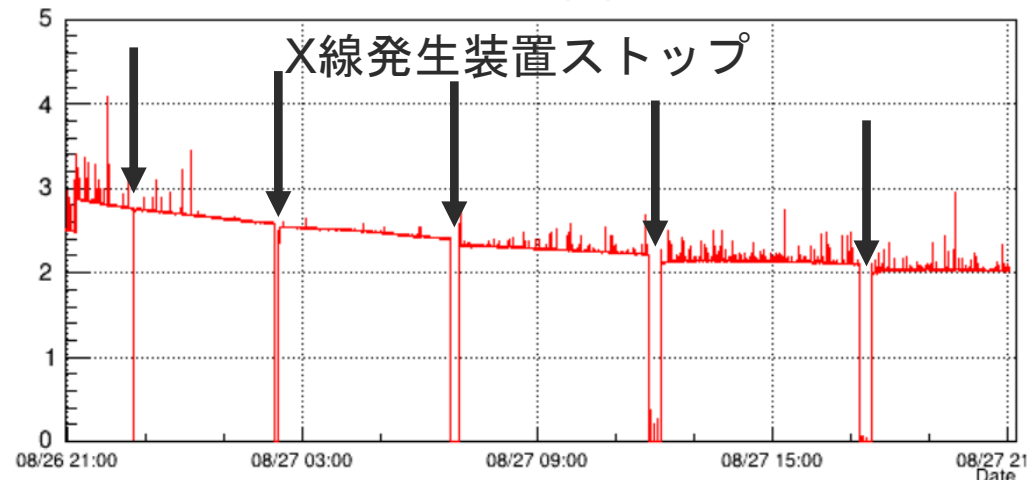


セットアップの模式図

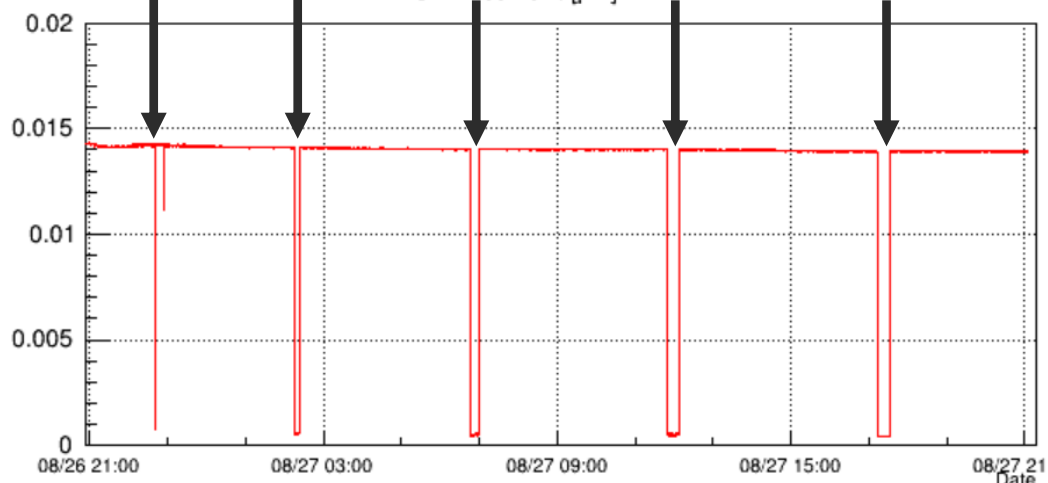
# DLC-RPC劣化試験におけるモニタリング検出器としての動作

X線照射時のDLC-RPCとイオンチェンバーにおける電流値の時間変化

RPC HV current [ $\mu\text{A}$ ]



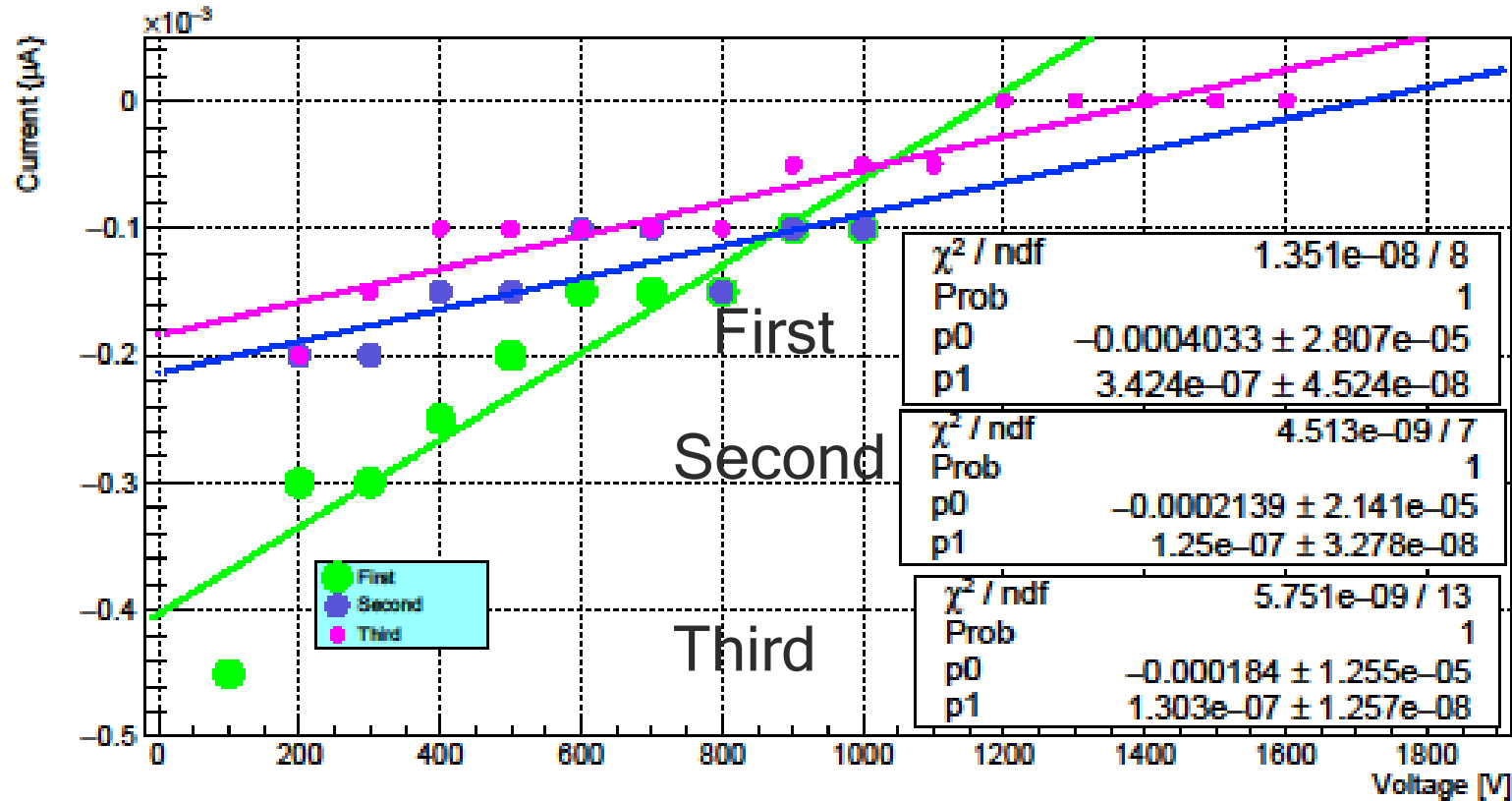
IC HV current [ $\mu\text{A}$ ]



- ◆ DLC-RPCとイオンチェンバーの電流を見ることで、X線照射中とそうでないときの区別をつけることが可能。
- ◆ X線を照射していない範囲で大きく電流値が両方とも下がっている。
- ◆ 電流の変化がX線によるものと、他の要因との区別をすることが可能となる。

# The Ionization chamber

## MARK 1 test operation



**First:** Increasing the voltage from 100V to 1000V in increments of 100V.

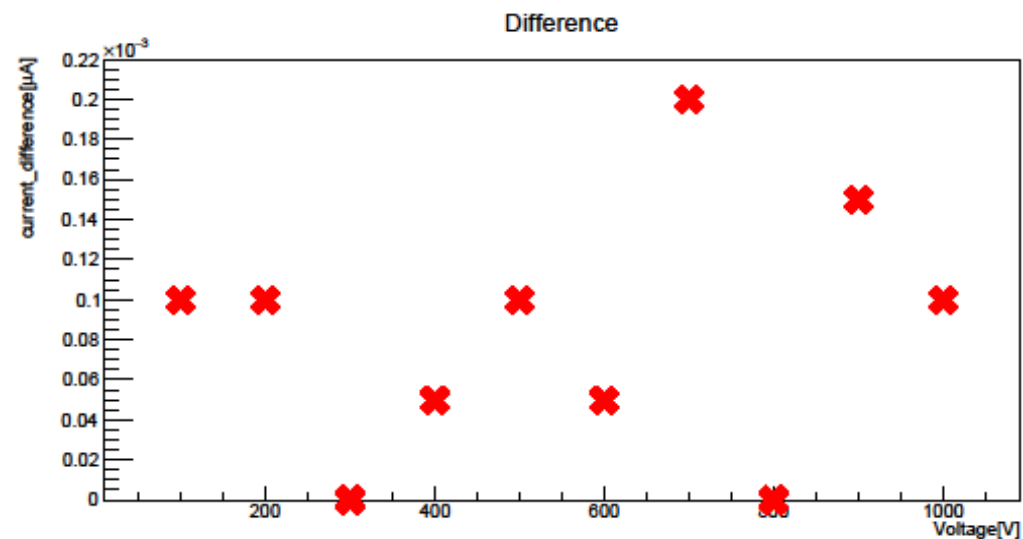
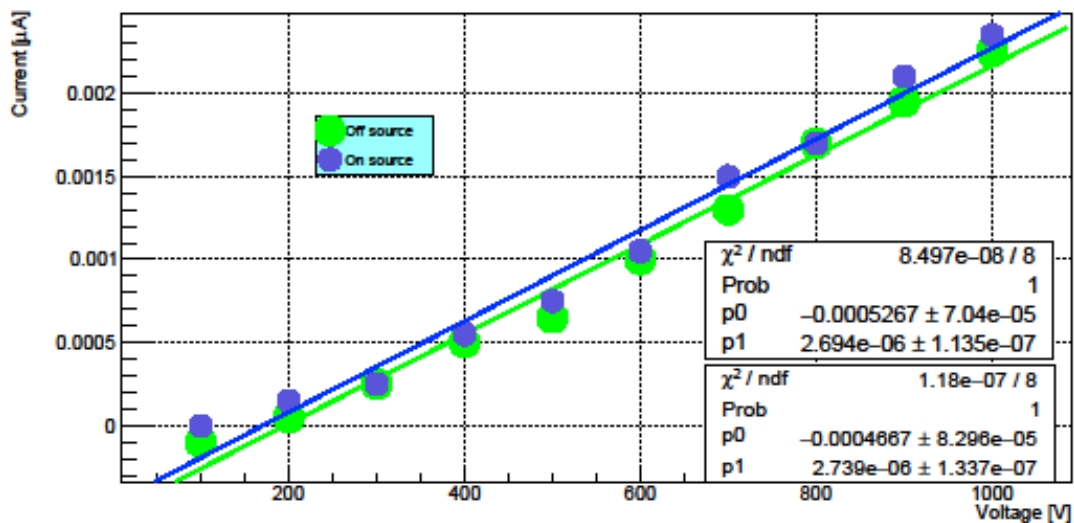
**Second:** Decreasing the voltage 1000 V to 200 V

**Third:** Reversing the second operation

The conductivity is the order of  $10^{-13}$ . Scarce reproducibility

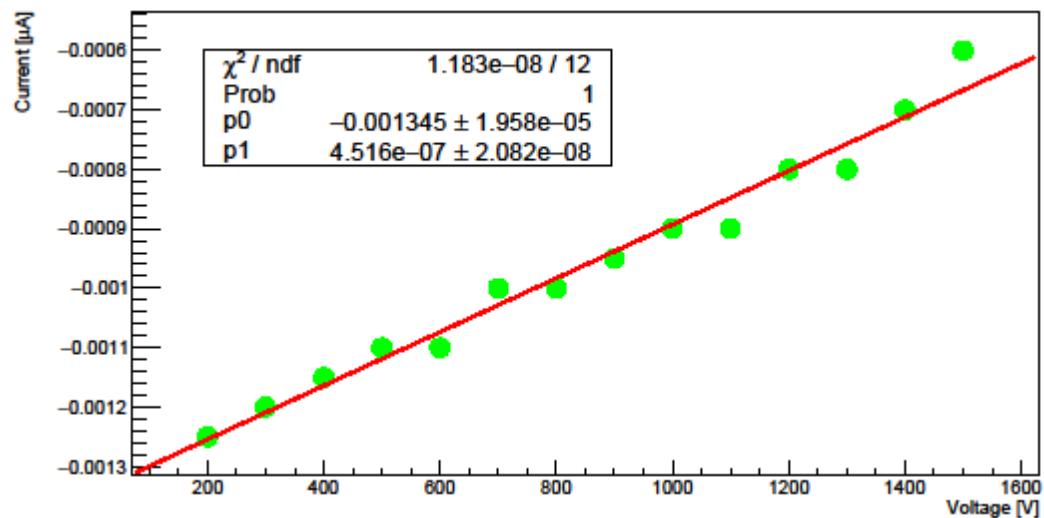
# The Ionization chamber

## HV supply in Argon with RI.



# The Ionization chamber

6/16



6/23

