

# CYRIC照射報告(6/26~30)

KEK：中村 池上

筑波大：廣瀬 今村 比江森 柳瀬

# 報告

- 照射概要
- 照射量計算
- 冷却システムについて
- ビーム形状測定
- ドシメトリー測定
- 照射結果

# 照射概要

- 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター(CYRIC)で70MeV Proton Beamの照射を行った。



70MeV Proton



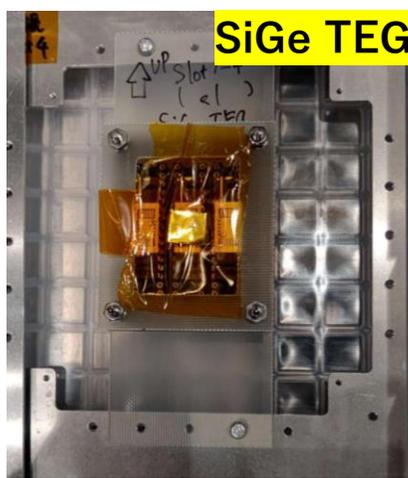
ダンプ  
(current測定)



↑ 2nd Run(SiGe)照射BOX内部



SiGe Board



SiGe TEG

↑ サンプルホルダーに照射するサンプルを取り付け、ホルダーをビームラインにリモートで出し入れ(ex. SiGe)



## 【今回のサンプル】

ITk : QUAD dummy  
LGAD : LGAD RH、AC-LGAD  
Strip : Strip Mini、Strip TC } 1st Run

SiGe : SiGe Board、SiGe TEG  
※SiGe BoardはLV印加 } 2nd Run

# 照射量計算

(ex. Slot6: AC-LGAD)  $4 * 10^{14} neq/cm^2$ 照射したい(※ $n_{eq}/cm^2$  : 1MeV中性子が $1cm^2$ あたりに通過した数)  
 $Scan\ area = 13.44\ cm^2$

必要な照射量  $4 * 10^{14} n_{eq}/cm^2 = 2.68 * 10^{14} P/cm^2$  ※ $\times 0.67$ で70MeV Proton [P]に変換

Scan area を**20往復以上できるように**(照射量の誤差を5%以内に抑えたい)Beam currentを設定→**150nA**

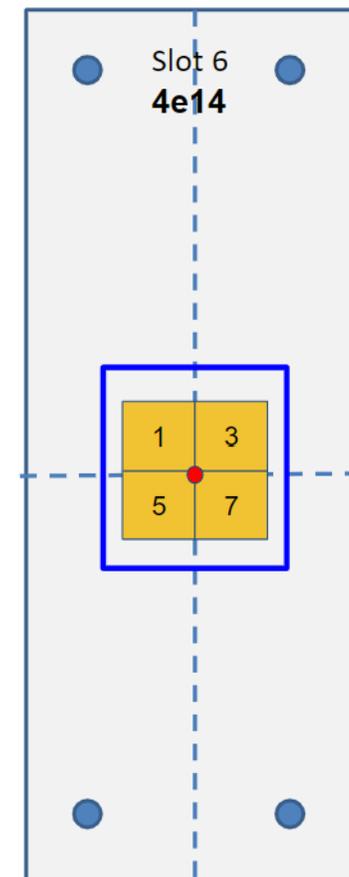
$$150\ nA = 1.5 * 10^{-7} C/s$$

$$1\ P = 1.6 * 10^{-19} C$$

$$150\ nA = \frac{1.5 * 10^{-7} C/s}{1.6 * 10^{-19} C} = 9.38 * 10^{11} P/s$$
 ※設定したcurrentのProton数を計算

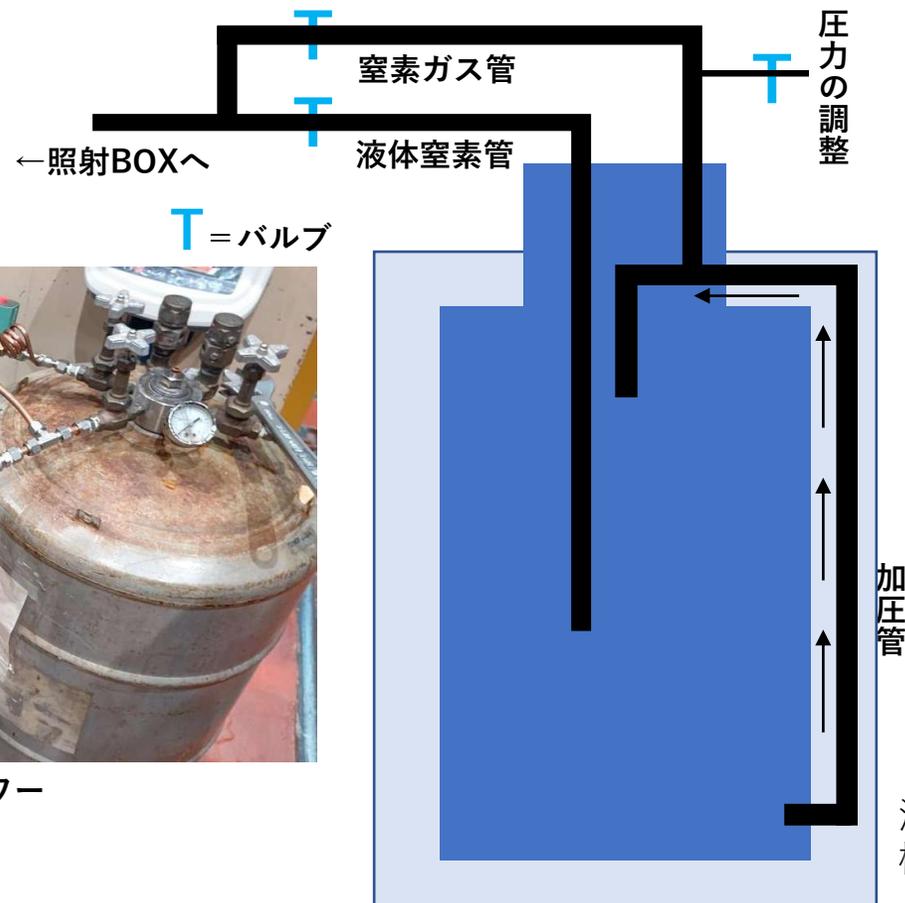
$$2.68 * 10^{14} P/cm^2 * 13.44\ cm^2 = 36.02 * 10^{14} P$$
 ※照射に必要なProton数

$$36.02 * 10^{14} P \div 9.38 * 10^{11} P/s = 3.84 * 10^3\ s = \mathbf{1h\ 4m}$$
 ※ビームの時間が求まる



# 冷却システム

- 液体窒素を用いて照射BOX内を-15°Cに保つ



## 【冷却原理】

ラズパイを用いて照射BOX内の温度をフィードバック  
→冷やしたいときは液体窒素管を開いて、ガス管を閉じ、  
温めたいときはガス管を開いて、液体窒素管を閉じる  
ように制御する

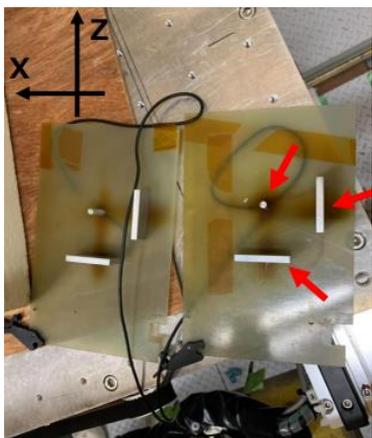
## 【今回生じた問題】

- ラズパイADC上のSW1(窒素ガス管のバルブを制御)が未実装であり、温めるときは液体窒素を止め、外気温で温めることに  
→次回照射の時は、SWに実装するOMRONのフォトモススイッチの予備は必ず持っていきましょう
- サンプルを出し入れするバーが完全に凍ってしまい、サンプル引き出しにトラブル&温度計も凍結(夏場&雨の影響)  
→次回夏場に照射を行うときは、結露防止スプレーとか放射線耐性のあるファンなどを用意する必要がありそう

液体窒素を加圧管で気体に戻し、  
槽内圧を上昇させて液体窒素を外部へ  
= 自加圧式

# ビーム形状測定

- フィンガーを上流(Slot1)、下流(Slot15)に設置し照射中央(ビームの中心)を決定する



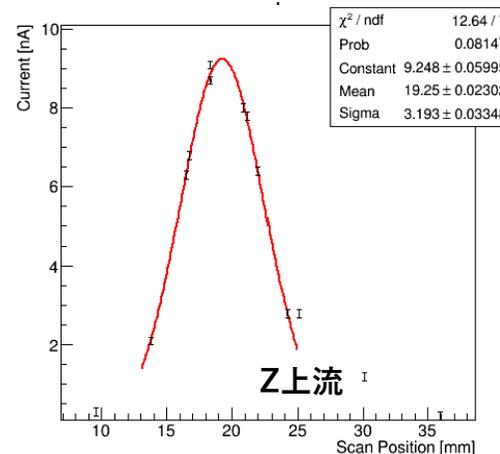
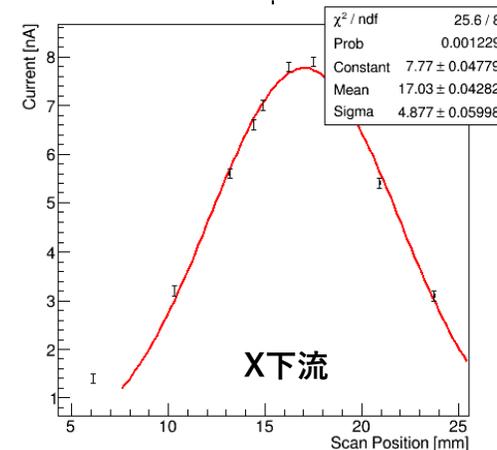
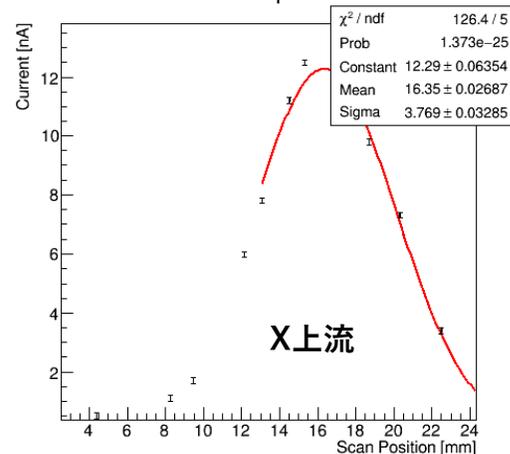
Al部分にビームが当たると  
currentが流れる

## 【結果】

z下流はうまくガウシアンfitを得ることが出来ず、  
(フィンガーの下流xバーの不具合?)  
→照射中央は上流の値を適用

照射中央:  $(x, z) = (x_{\text{上流}}, z_{\text{上流}})$   
 $= (56.42 \text{ mm}, 59.25 \text{ mm})$

## Position[mm] - Current[nA]



Could not  
measure  
correctly

# ドシメトリー

- ビーム照射後に実際の照射量を測定

## 【測定原理】

Alは陽子と原子核反応を起こし、 $^{24}\text{Na}$ (半減期 $\sim 14\text{h}$ )を生成



$^{24}\text{Na}$ が $1.3686\text{MeV}$ の $\gamma$ 線を放出



この $\gamma$ 線をGe検出器で測定し、 $^{24}\text{Na}$ の生成数 $\rightarrow$ 照射量を見積もる

## 【Ge検出器】

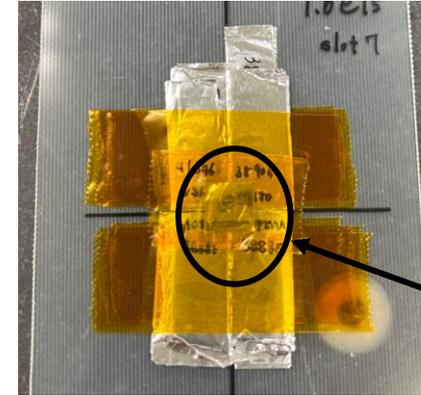
Ge検出器の $\gamma$ 線測定には、線源に対する立体角 $\Omega$ の寄与と検出器自身の光電効果による割合が存在 (カウント数 $=N_{\text{Na}} \times \epsilon_{\Omega} \times \epsilon_{\text{光電}}$ )



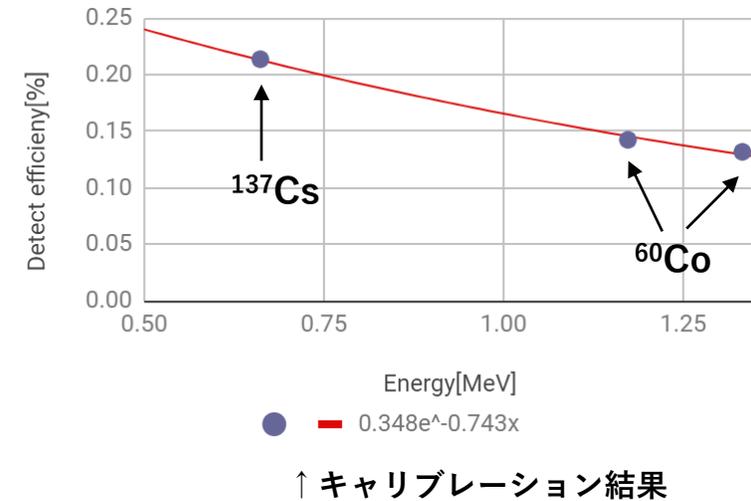
放射 $\gamma$ 線エネルギーが既知である線源 $^{60}\text{Co}$ ( $1.17\text{MeV}, 1.33\text{MeV}$ )、 $^{137}\text{Cs}$ ( $0.66\text{MeV}$ )を用いてキャリブレーションを行う



キャリブレーション結果から $^{24}\text{Na}$ の検出効率を外挿して求める



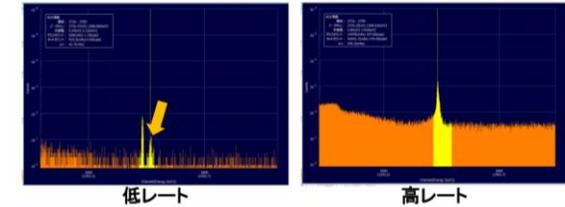
1cm角のアルミ箔をサンプルに予め貼付しておく  
※SiGe Boardは5mm角



# ドシメトリー

- ドシメトリーに使用するGe検出器には検出器由来のセカンドピークが見られ、**本来の $\gamma$ 線のピーク( $\sim 1370\text{keV}$ )から $+50\text{keV}$ 付近に現れた**
- ピークが現れる閾値としては **$\sim 10\text{counts/sec}$**   
(それよりrateが高いとBGに埋もれる)
- (前回照射と若干違う?)

・低レートでセカンドピーク  
- 5counts/sec未満で20keVシフトのピーク

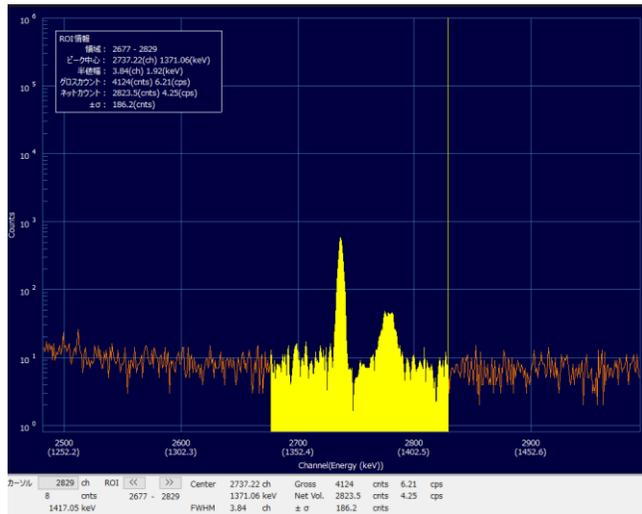


2023/1/24

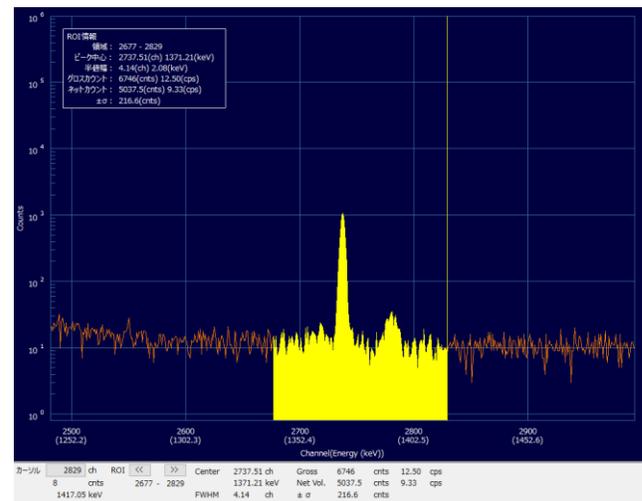
火曜MTG

4

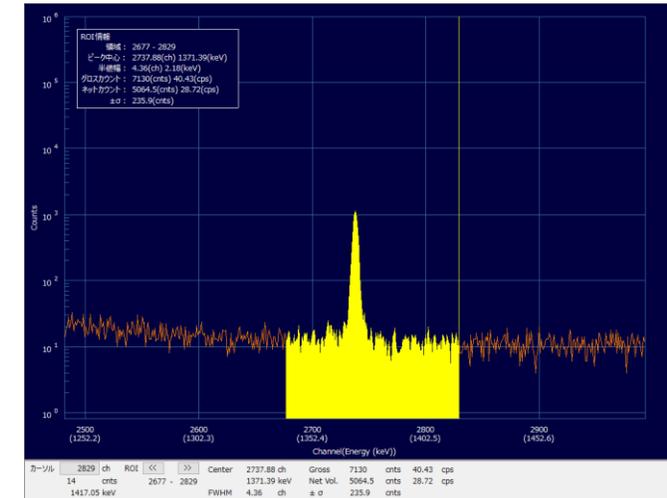
引用：今村 2023/1/24 CYRIC報告



(ex.)StripTC4 ( $1.00\text{E}+14$ )  
4.25 counts/sec  
セカンドピークが見られる



(ex.)StripTC2 ( $6.00\text{E}+14$ )  
9.33 counts/sec  
セカンドピークが少し見られる



(ex.)ITkpixDummy ( $6.30\text{E}+15$ )  
28.72 counts/sec  
セカンドピークは全く見えない

# 照射結果(1<sup>st</sup> Run : ITk、 LGAD、 Strip)

## 【結果】

Slot	サンプル	目標照射量 [neq/cm <sup>2</sup> ]	実照射量 [neq/cm <sup>2</sup> ]	ratio (actual/target)
11	ITkpix Dummy	6.30E+15	6.02E+15	0.96
2	LGAD RH	7.00E+15	7.21E+15	1.03
3	LGAD RH	3.00E+15	2.97E+15	0.99
4	LGAD RH	6.00E+14	6.02E+14	1.00
6	AC-LGAD	4.00E+14	3.55E+14	0.89
7	AC-LGAD	1.00E+14	9.30E+13	0.93
5	LGAD RH	9.00E+13	8.10E+13	0.90
9	Strip Mini	1.60E+15	1.67E+15	1.04
8	Strip TC1	8.00E+14	7.35E+14	0.88
12	Strip TC2	6.00E+14	5.56E+14	0.93
13	Strip TC3	4.00E+14	3.56E+14	0.89
14	Strip TC4	1.00E+14	8.72E+13	0.87

- 概ね目標通りに照射することが出来た
- Strip TC1についてはビームタイムとの関係上照射BOXのスピードを2.5倍にしたため、本来の+10%照射したがそれでも目標より12%ratioが下がった
- Strip(slot2,3,4)についてもLGAD(slot4,6,7)の裏に寄生させて同時に照射させたため、LGADより少し低い照射量となっている(slot6,13はなぜか一緒、表裏のアルミの位置の違い?)

※複数枚アルミが貼付してあるサンプルはその平均を導出

# 照射結果(2<sup>nd</sup> Run : SiGe)

## 【結果】

Slot	サンプル	目標照射量 [neq/cm <sup>2</sup> ]	実照射量 [neq/cm <sup>2</sup> ]	ratio (actual/target)
13	SiGe Board	1.00E+16	9.19E+15	0.92
14	SiGe Board	1.00E+16	9.07E+15	0.91
2	SiGe TEG	1.00E+16	8.52E+15	0.85
3	SiGe TEG	3.00E+15	2.63E+15	0.88
4	SiGe TEG	6.00E+14	5.36E+14	0.89
5	SiGe TEG	9.00E+13	8.14E+13	0.90
6	SiGe TEG	2.00E+13	2.34E+13	1.17

※複数枚アルミが貼付してあるサンプルはその平均値を導出

- 概ね目標通りに照射することが出来た
- SiGe TEGに関しては、全体的にratioが低い傾向が見られるが、何故かslot6のみ高い  
→目標照射量が低く、他のslot run時に浴びた放射線の影響が相対的に大きくなっている？

# まとめ

- 6/26~30でCYRICに赴き、70MeV Protonビームの照射を行った
- 全てのサンプルで概ね目標通りの照射量を照射できた
- StripTC1のrunは照射BOXの移動スピードを2.5倍にした結果、**約20%想定放射線量より少ない結果となった(目標照射量からは12%減)**
- 次回照射には冷却用のフォトモス予備、窒素配管用スエジロック、結露防止用の何かを持っていく