

KEK-B Linac 陽電子生成用 単結晶標的の開発



東京都立大学理学部物理学科 4 年
高エネルギー実験研究室

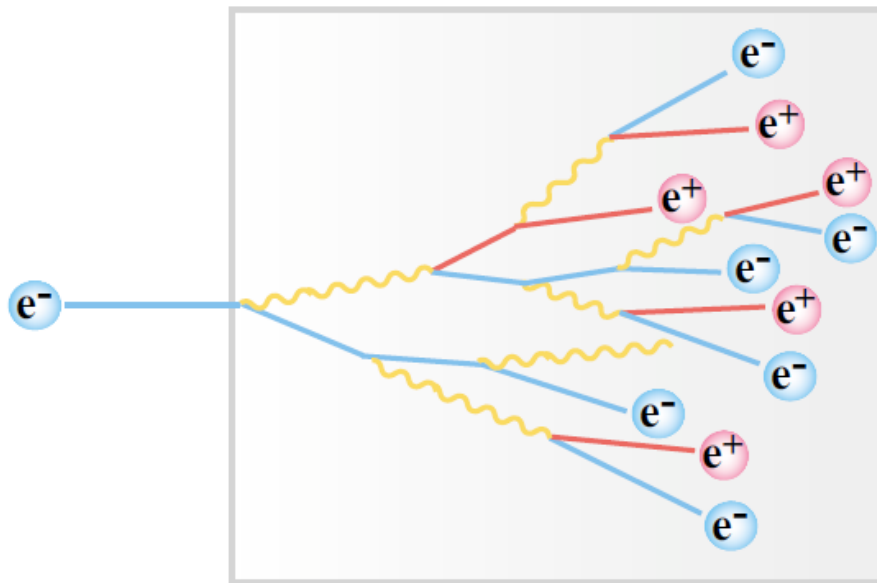
春名 毅

春名毅,梅森健成^C,奥野英城^B,金丸雄亮,
紙谷琢哉^A,佐藤政則^A,杉村高志^A,
諏訪田剛^A,浜津良輔,古川和朗^A,吉田勝英^D,
A.P.Potylitsin^E, I.S.Tropin^E, R.Chehab^F
都立大理,KEK加速器^A,KEK素核研^B,KEK物構
研^C,
佐賀シンクロトロン^D
Tomsk Polytechnic Uni^E,LAL^F

Bファクトリー陽電子生成用標的としての
タングステン単結晶の可能性を実験的に評価

- ✓ 高強度の陽電子源の開発
- ✓ 4GeV電子ビーム⇒タングステン単結晶
- ✓ 陽電子生成率の…
 - ① 単結晶標的の厚さ依存
 - ② 生成された陽電子の運動量依存(10MeV/c・20MeV/c)
 - ③ 多結晶標的との比較
- ✓ 陽電子ステーション用プロトタイプターゲットのテスト

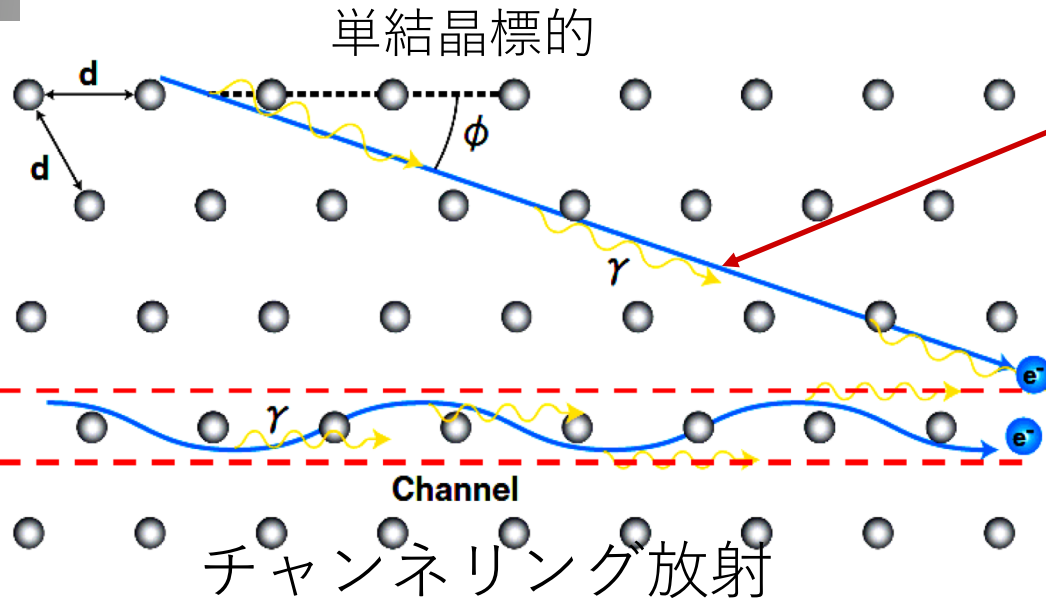
High-Z heavy metal target



重金属多結晶標的に
電子ビームを照射
⇒電磁シャワー中から発生する
陽電子を後段で捕獲し、再加速。

Bファクトリー入射器では、陽電子源の標的として、
14mmの多結晶のタングステンが用いられ、
運動量 $8\sim 12\text{MeV}/c$, $\theta < 0.30\text{rad}$
の陽電子を再加速している。

単結晶標的内の γ 線生成の特徴



コヒーレント制動放射

電子の制動放射により放出された γ 線が結晶の周期性によって干渉する。

結晶軸（面）にほぼ平行に電子が入射したときに電子は螺旋運動をしながら干渉性のある γ 線を放射する。

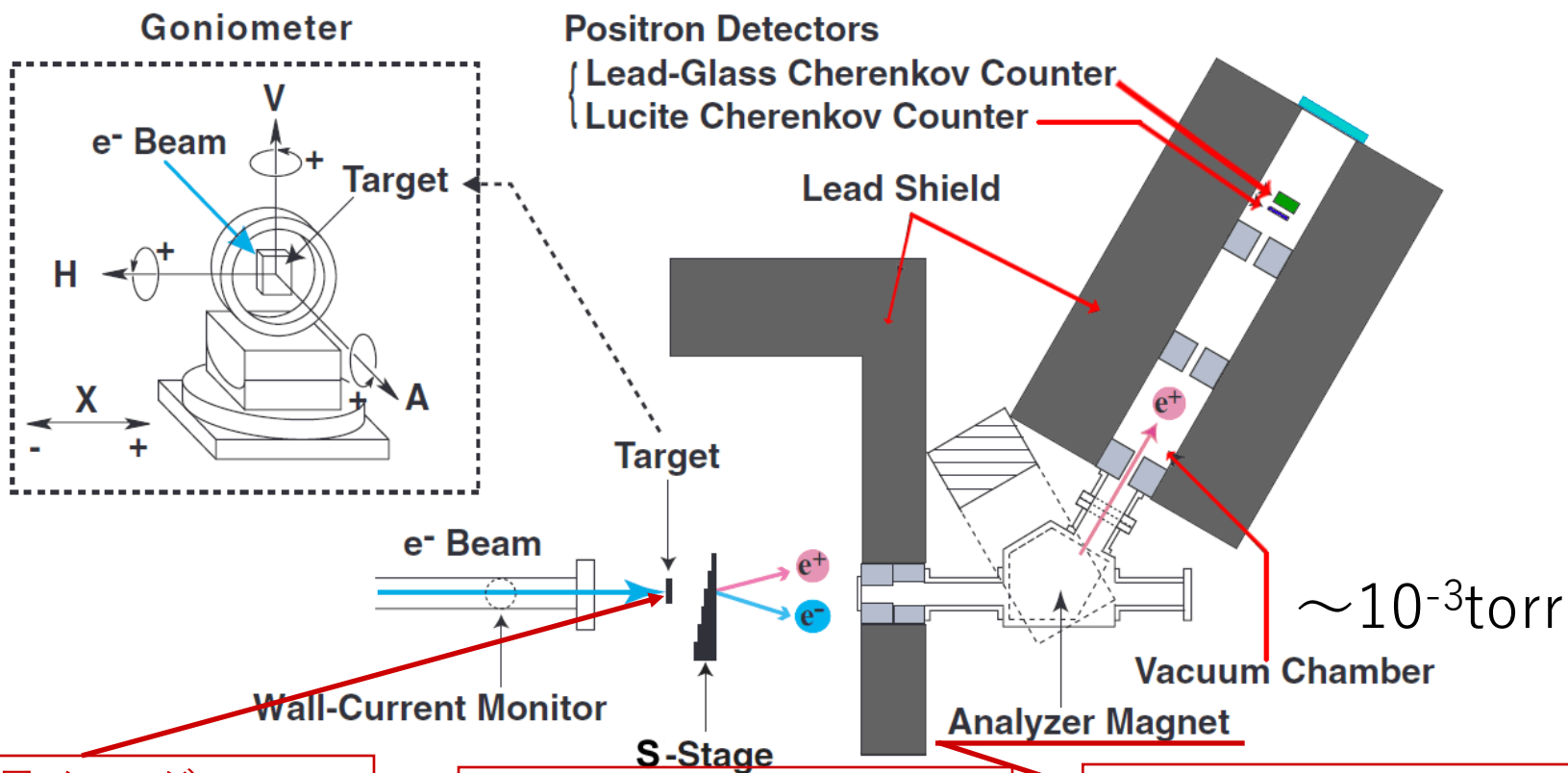
高強度の γ 線
⇒高強度の陽電子生成

KEK-B Linac ビームスイッチヤード



KEK-B Linac(約600m)

実験装置

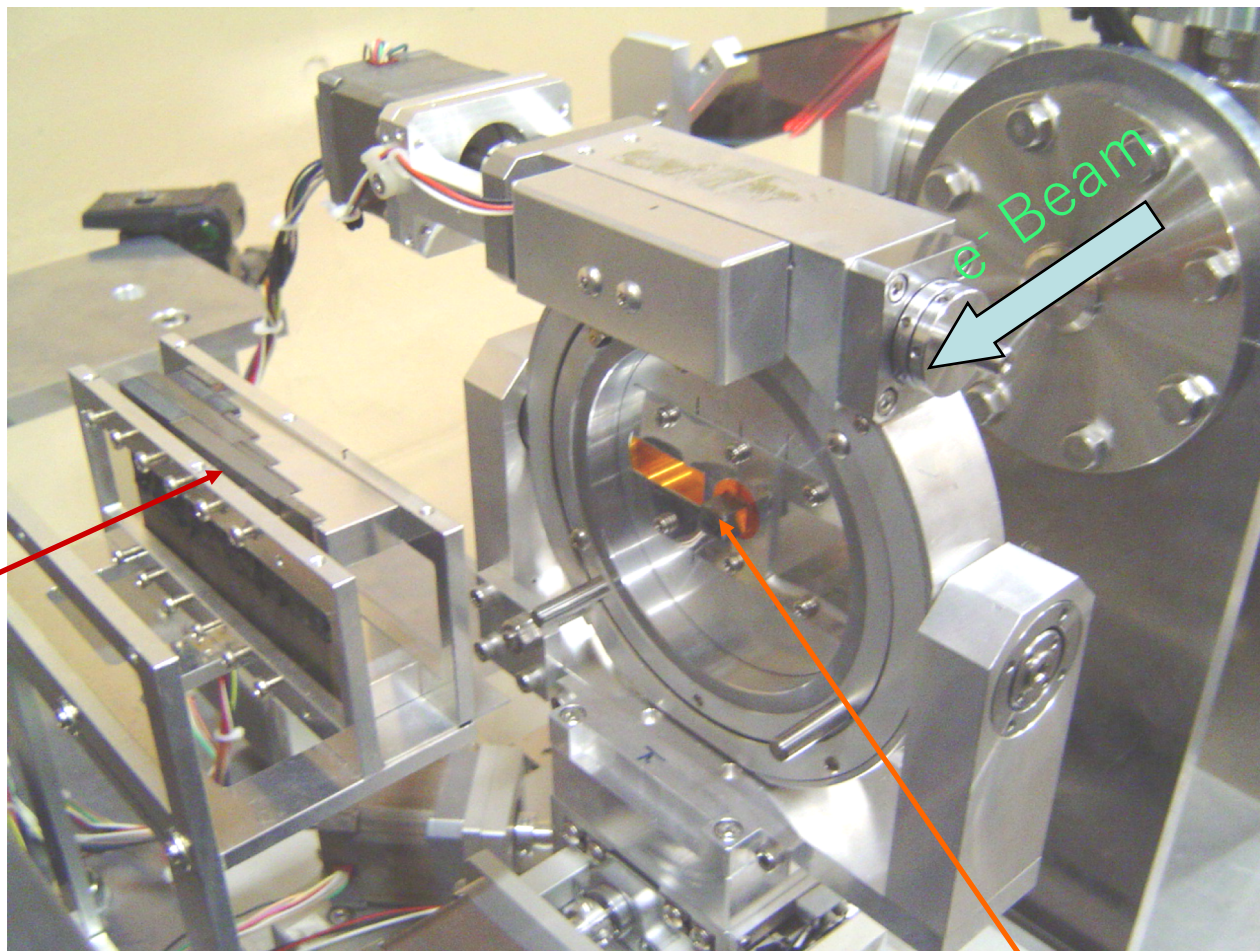


単結晶タングステン

多結晶タングステン
3~18mm(3mm間隔)

陽電子の運動量を選択

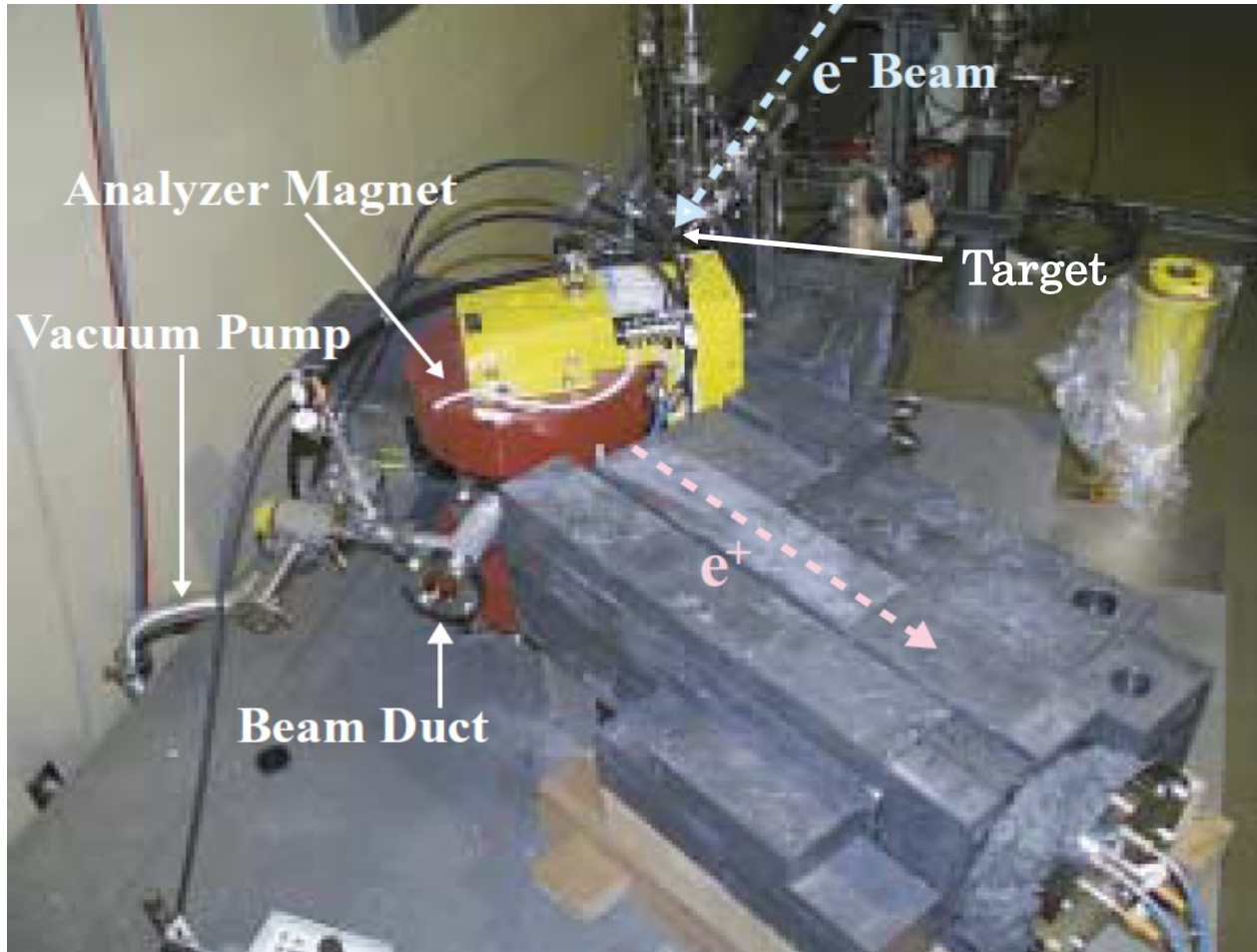
ゴニオメータと標的



Polycrystal
Tungsten

Single-Crystal
Tungsten

セットアップ (後方)



実験条件

電子ビーム

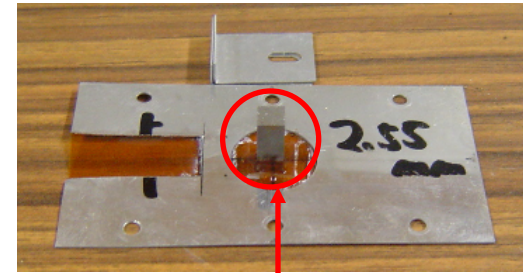
エネルギー：4GeV
バンチ幅 (FWHM)：10psec
強度：0.2nC/bunch($\sim 10^9$)
ビームスポットサイズ (FWHM)： ~ 1.8 mm

標的(タングステン：放射長 $X_0=3.5$ mm)

多結晶標的：3~18mm(3mm間隔)

単結晶標的：2.2, 5.3, 8.9, HIP11, 12.2mm
結晶軸： $\langle 111 \rangle$

- ①HIPによって結晶がダメージを受けていないか
②ビームの入射方向によって結晶軸は変わらない
陽電子ステーションにおいて
ターゲットを冷却する為の加工



Single-Crystal 12.2mm



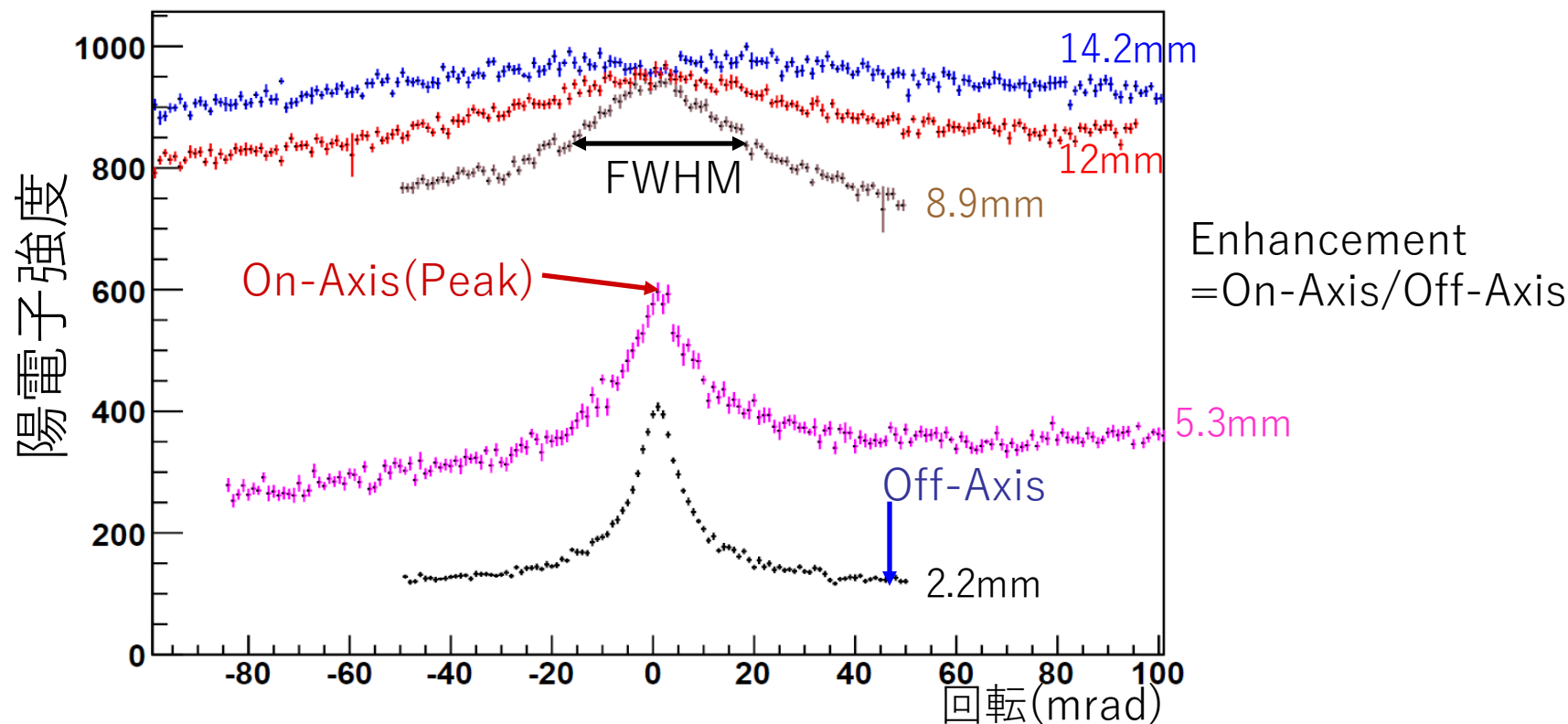
HIP加工済み
11mm

※HIP:熱間等方圧加圧法(High Isostatic Pressing)

2006年春学会@愛媛

実験結果(Rocking Curve):20MeV/c

ビーム軸に対して結晶軸を回転して、陽電子強度を測定。
⇒陽電子強度の角度依存がわかる。

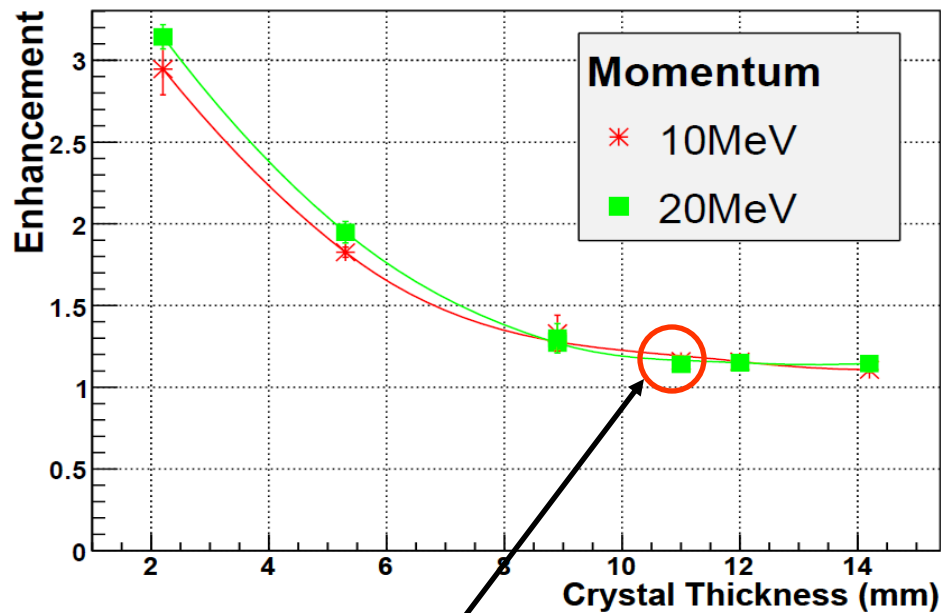


✖ Off-Axisの陽電子生成量は、多結晶標的の陽電子生成量と同等ということは、実験的に確かめられている。

Enhancementと Rocking Curve の半値幅

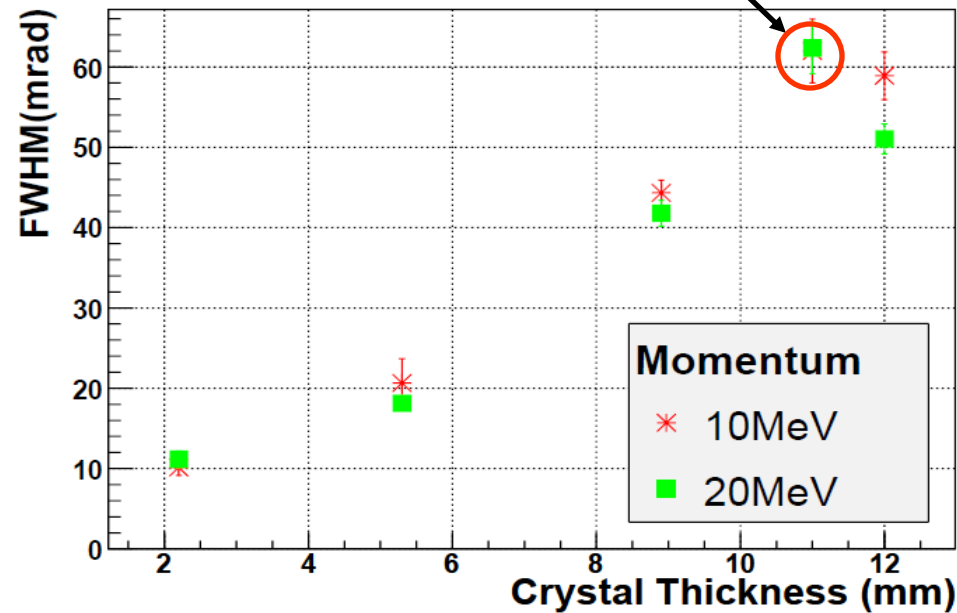
Enhancement : On-Axis/Off-Axis

Enhancement Factors v.s. Crystal Thickness



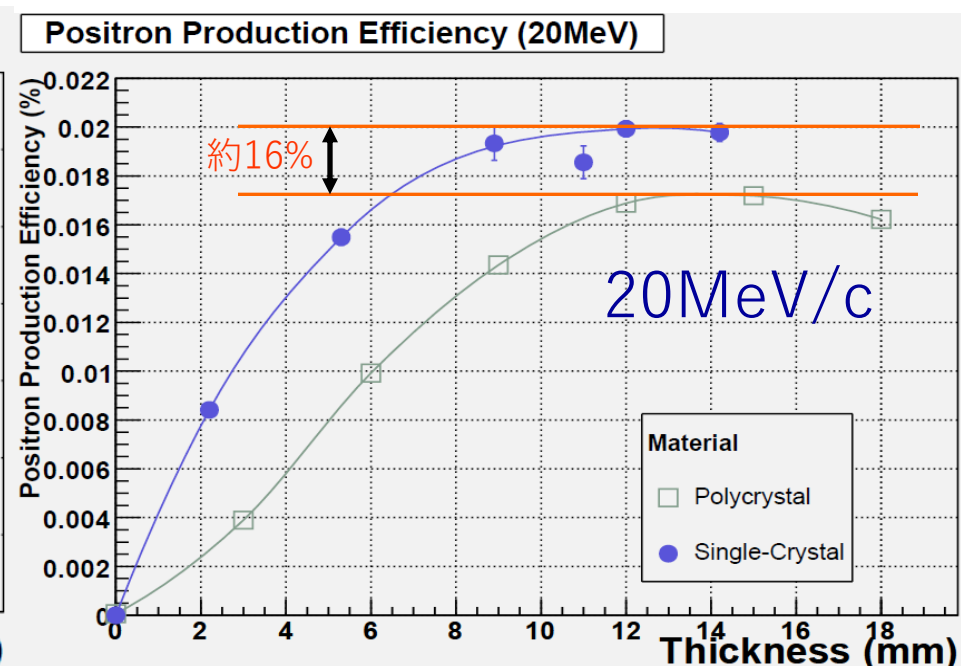
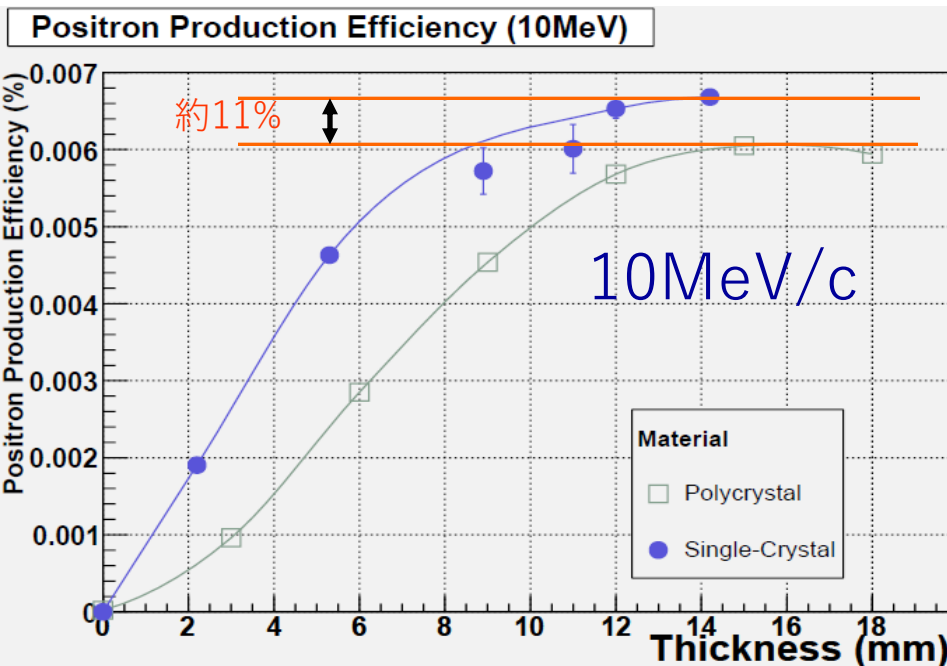
HIPターゲット

FWHM v.s. Crystal Thickness



HIPターゲット

陽電子生成量の厚さ依存性

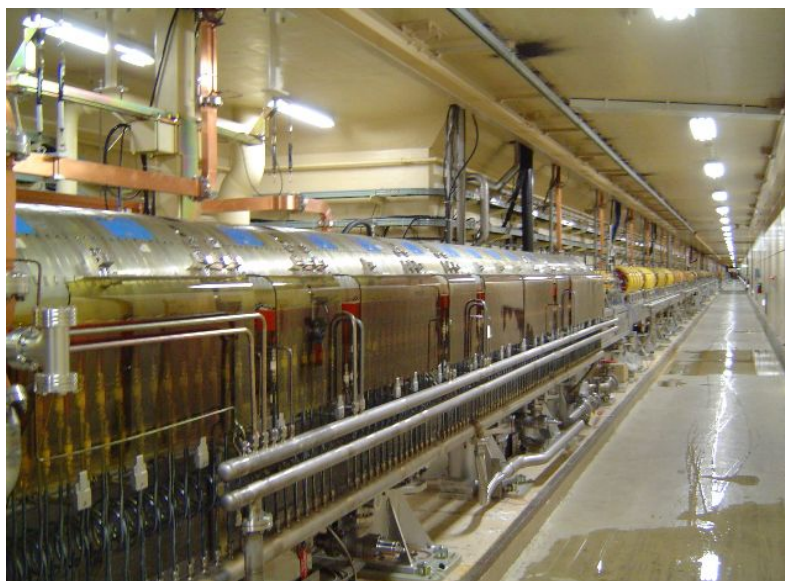


縦軸は電子1個が標的に入射した時に、陽電子が検出器に届く確率。
⇒シミュレーションから算出

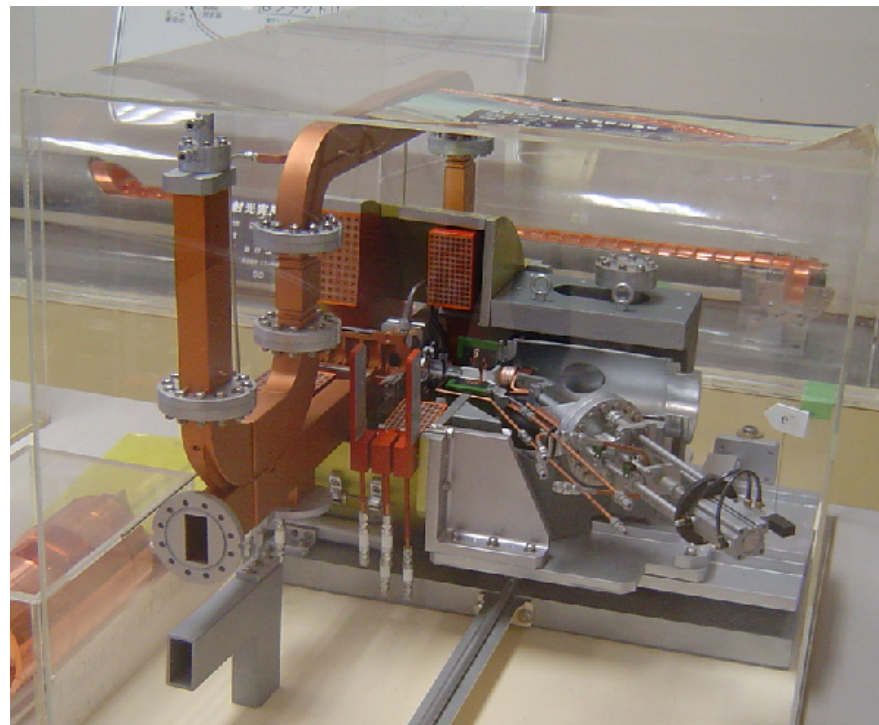
陽電子の運動量が低い方が、
ターゲットの厚いところで、強度がピークになる。

- KEK Linacで陽電子の強度を上げる実験を行った。
- 単結晶による効果は、多結晶に比べて
10MeV/c ⇒ 約11%
20MeV/c ⇒ 約16%
- HIP加工をしても単結晶はダメージを受けないことが確認された。
- Linacでは、陽電子ステーションから出てくる8~12MeV/cの陽電子を、再加速させている為、最適な厚さは約14mmである。

夏に向けて、KEK-B Linacの陽電子ステーションに単結晶タングステン標的を実装する準備をする。



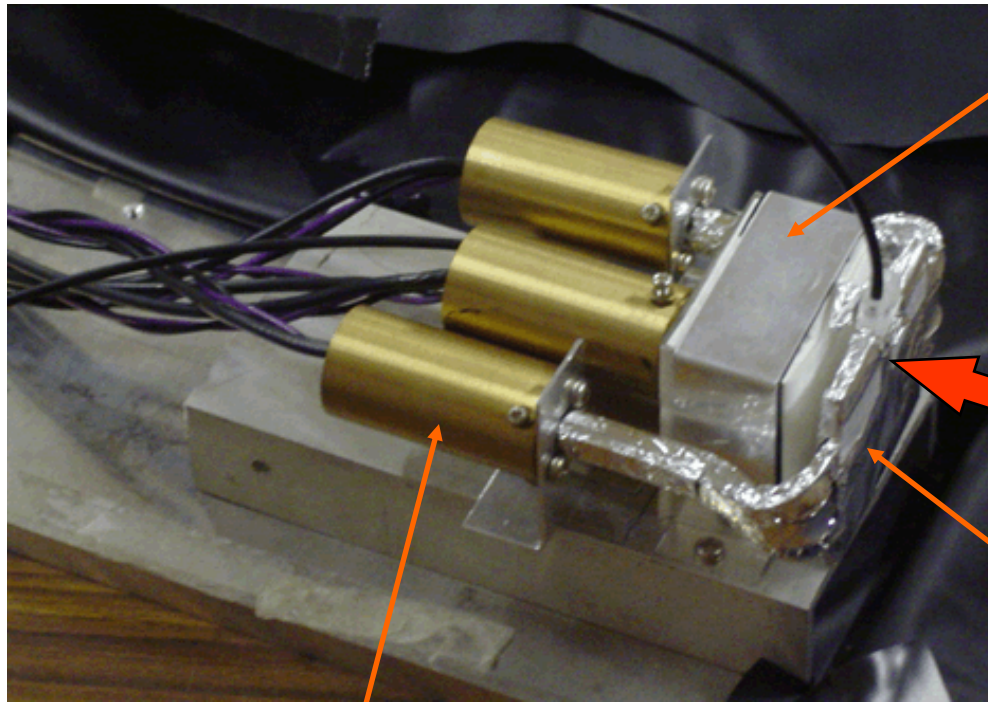
KEK-B Linac 陽電子ステーション



陽電子ステーションの模型

おしまい

Detector



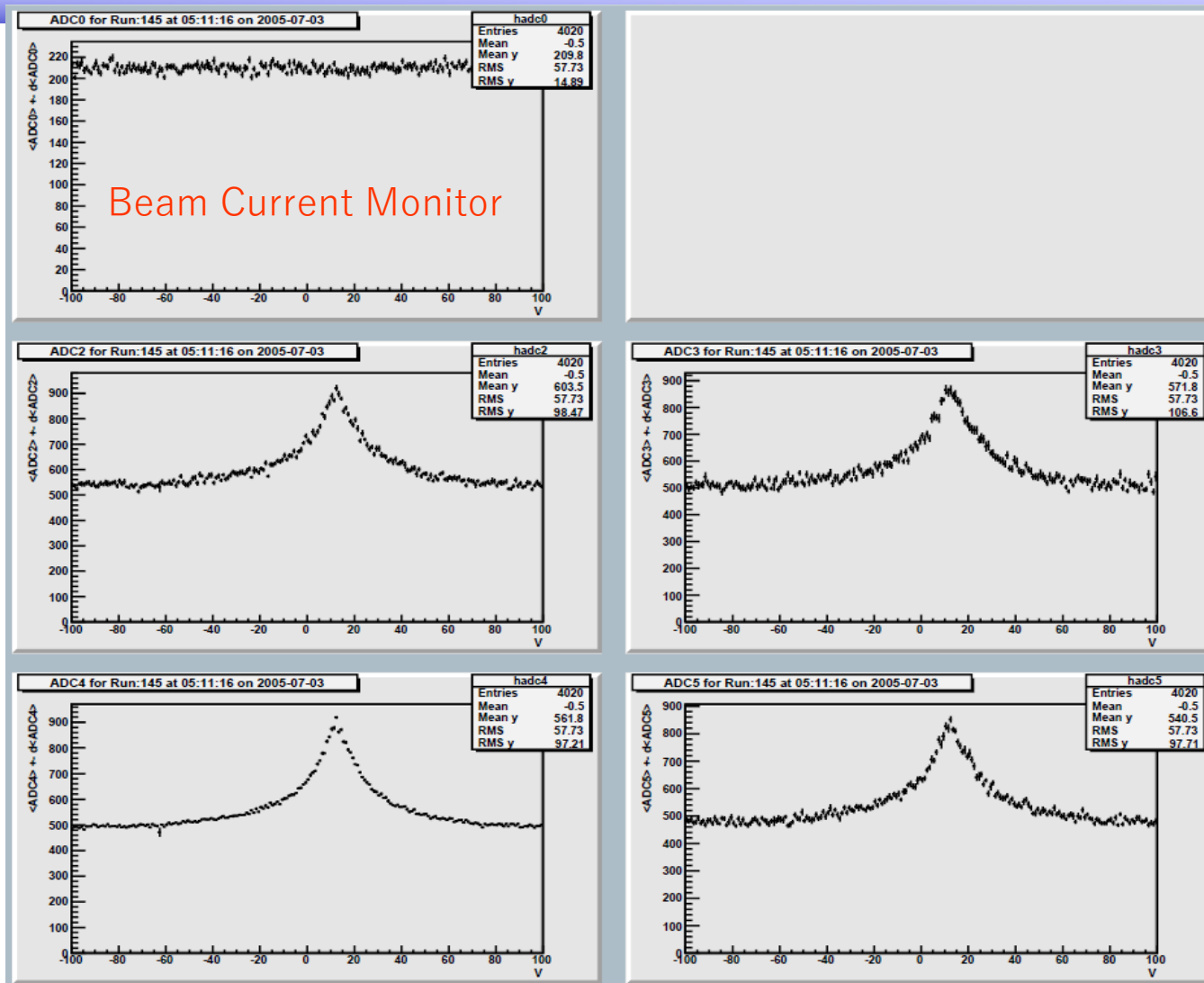
Lead-Glass Cherenkov
Counter

e^+

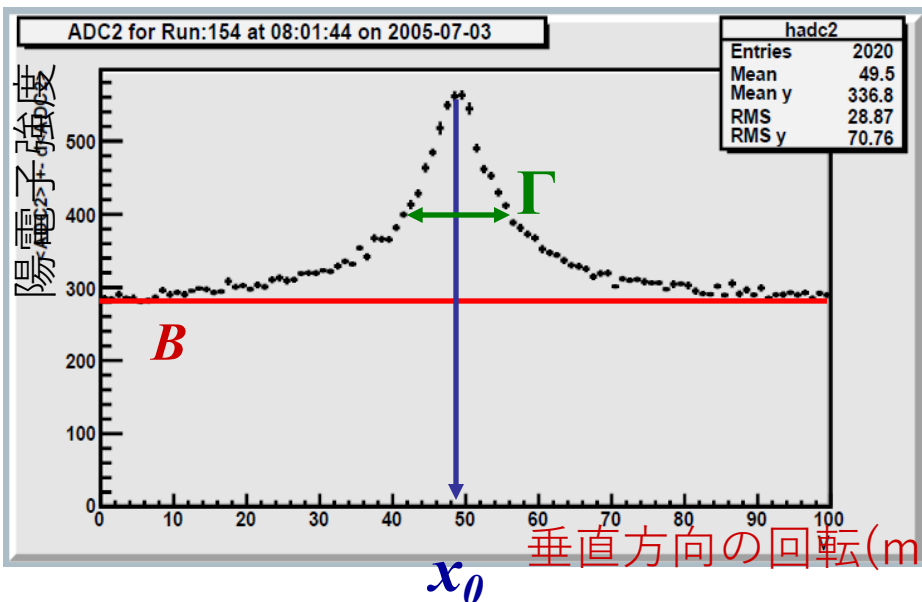
Lucite Cherenkov Counter

PMT \times 4

データの取得



ロッキングカーブのフィッティング



ビーム軸に対して結晶軸を回転して、陽電子強度を測定。
⇒角度依存がわかる。

Single Lorentzian

$$f(x) = \frac{A}{(x - x_0)^2 + \left(\frac{\Gamma}{2}\right)^2} + B$$

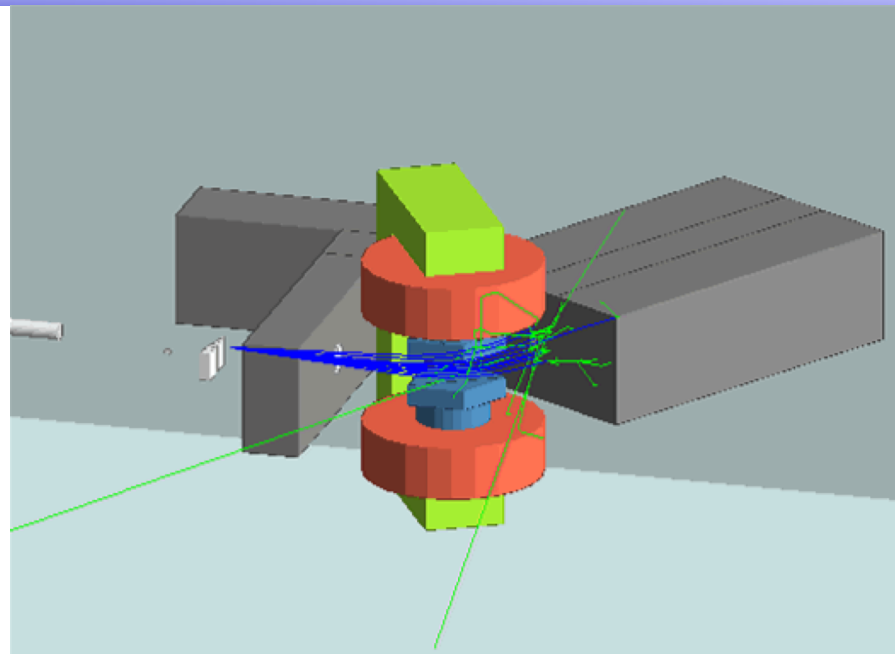
結晶標的の厚さ $\left\{ \begin{array}{l} 2.2 \cdot 5.3\text{mm} \Rightarrow \text{Double Lorentzianでフィット} \\ 8.9 \cdot \text{HIP11} \cdot 12 \cdot 14.2\text{mm} \Rightarrow \text{Single Lorentzianでフィット} \end{array} \right.$

運動量 MeV/c	アクセプタンス $\times 10^{-4}(\text{MeV/c}\cdot\text{Sterad.})$
5	1.308 ± 0.016
10	2.697 ± 0.015
15	4.182 ± 0.050
20	5.730 ± 0.057

単結晶の位置から

運動量 MeV/c	アクセプタンス $\times 10^{-4}(\text{MeV/c}\cdot\text{Sterad.})$
5	1.824 ± 0.019
10	3.709 ± 0.017
15	5.568 ± 0.058
20	7.726 ± 0.079

非結晶の位置から

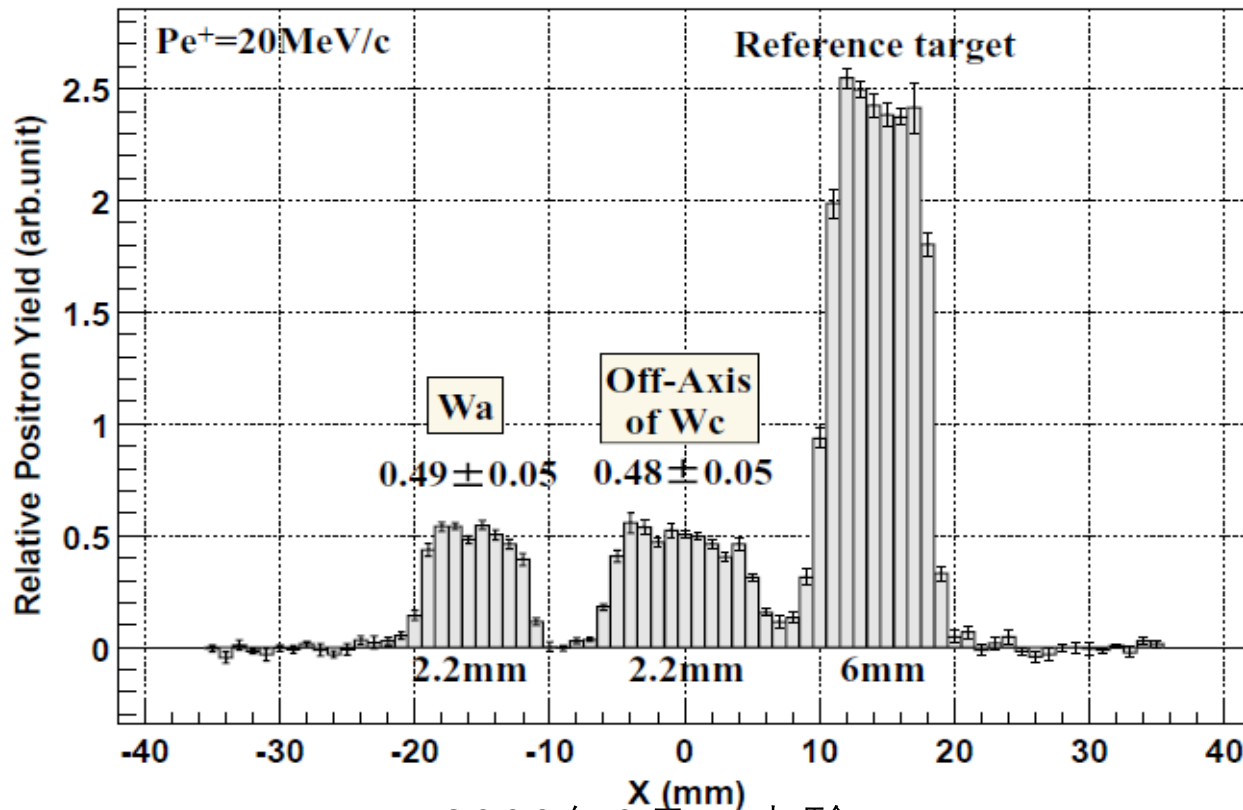


標的の位置から、陽電子を一様に分布させた。

$$0 \leq \theta \leq 0.08 \quad 0 \leq \phi \leq 2\pi$$

$$0.9P_0 \leq P_{e^+} \leq 1.1P_0$$

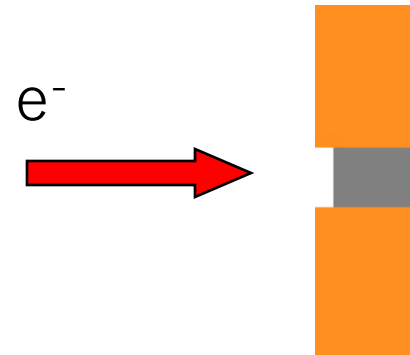
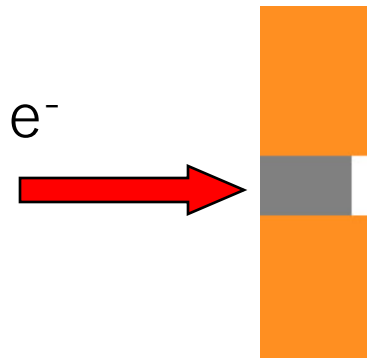
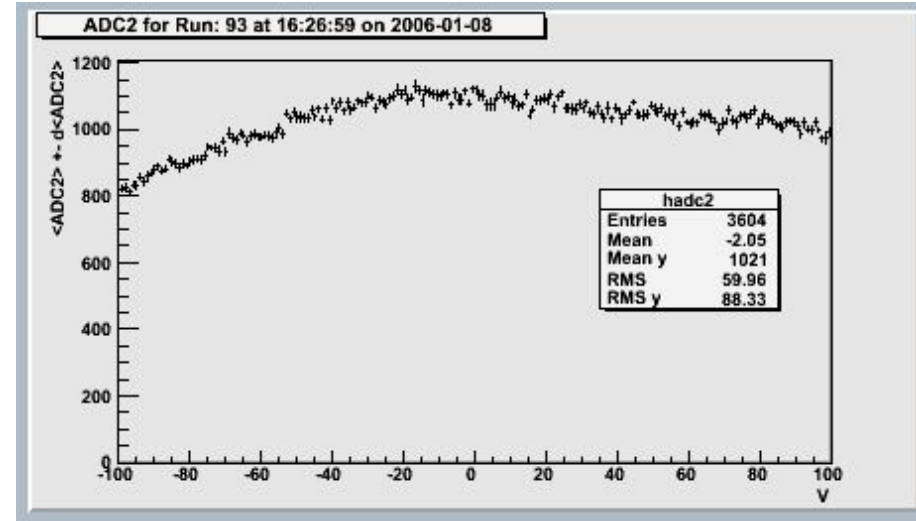
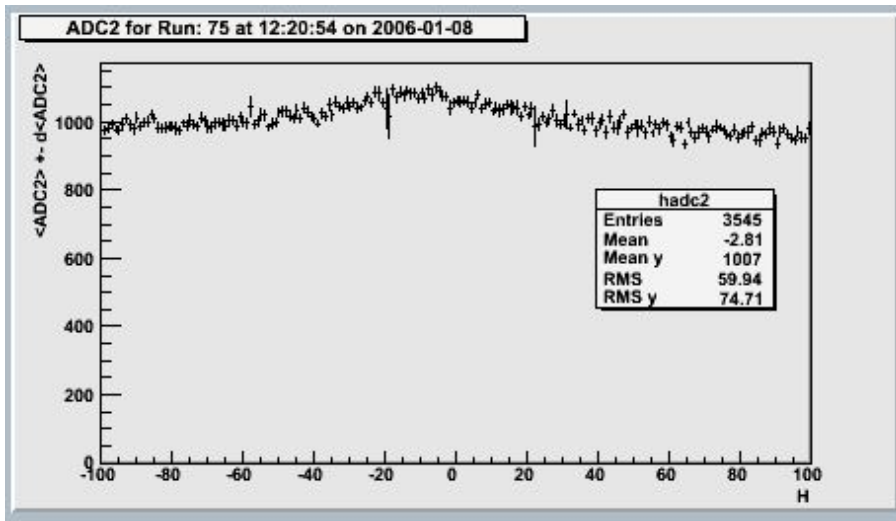
Off Axisは本当にAmorphousか!?



2000年9月に実験

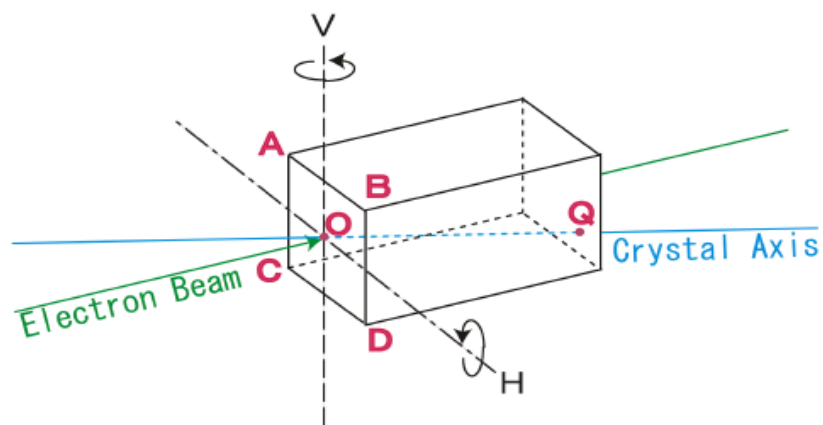
Off-Axisは、Amorphousと同等と言える。

Rocking Curve of HIP Target



結晶軸のビームの入射方向依存

a) Beam from the back side

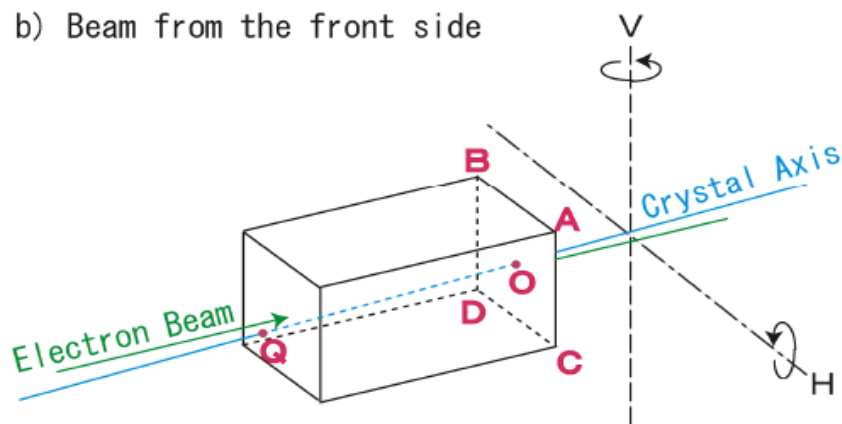


V軸は変化しないが、H軸は反転する。

Peak Position

	H軸(mrad)	V軸(mrad)
①	-9	-13
②	0	-13

b) Beam from the front side



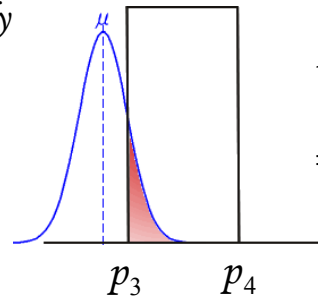
↓
結晶軸がビーム入射方向（前後）に依存しない。

フィッティング関数

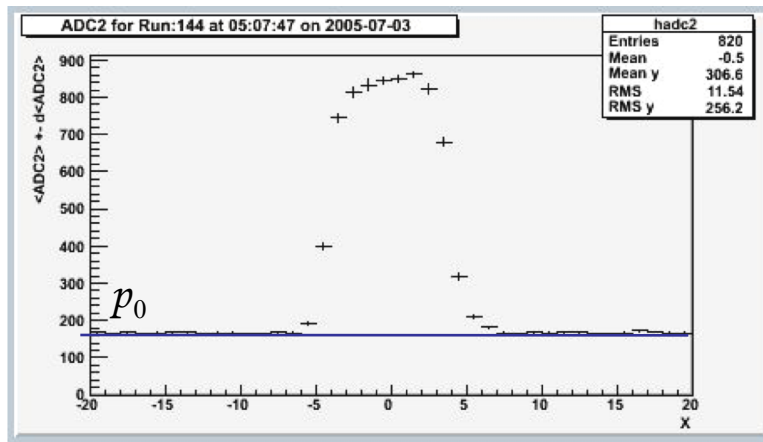
Gaussianの積分: $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{\mu}^x \exp\left(-\frac{(y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dy$

↓ 変数変換

Error Function: $\text{Erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt$

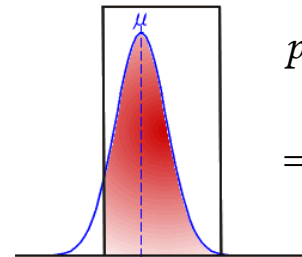


$$p_1(F(p_4) - F(p_3)) = \frac{p_1}{2} \left(\text{Erf}\left(\frac{p_4 - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) - \text{Erf}\left(\frac{p_3 - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right) + p_0$$

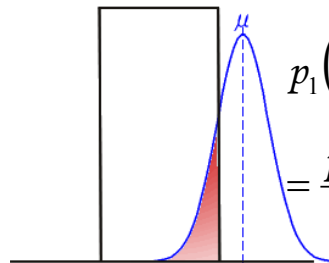


p1: Normalize

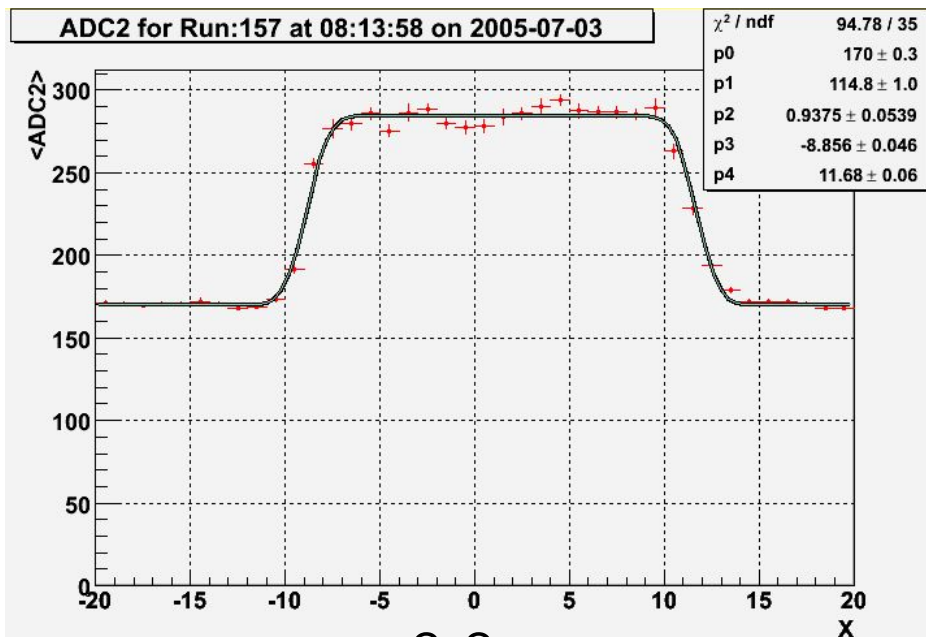
p2: σ



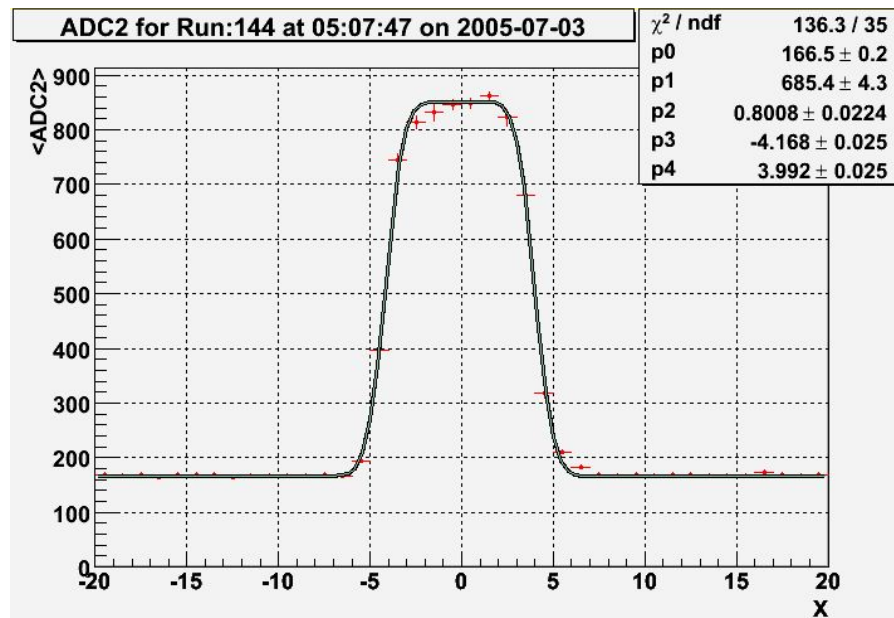
$$p_1(F(p_4) + F(p_3)) = \frac{p_1}{2} \left(\text{Erf}\left(\frac{p_4 - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) + \text{Erf}\left(\frac{p_3 - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right) + p_0$$



$$p_1(-F(p_4) + F(p_3)) = \frac{p_1}{2} \left(-\text{Erf}\left(\frac{p_4 - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) + \text{Erf}\left(\frac{p_3 - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right) + p_0$$



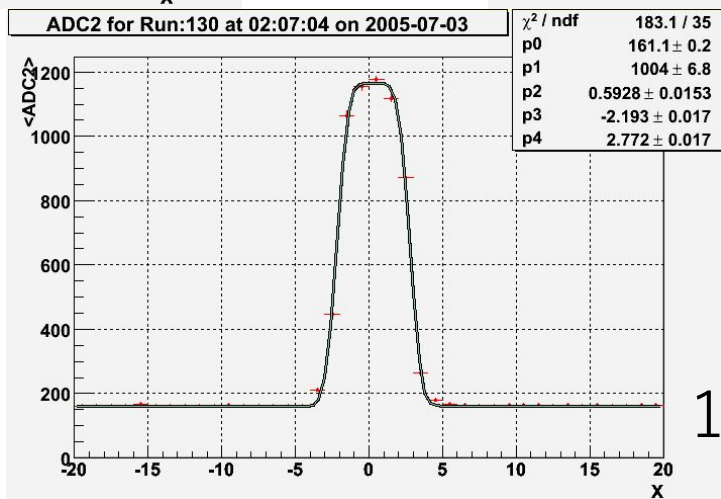
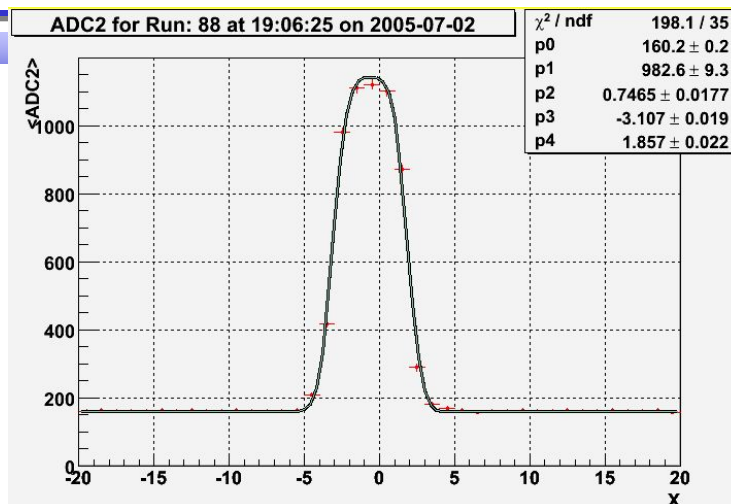
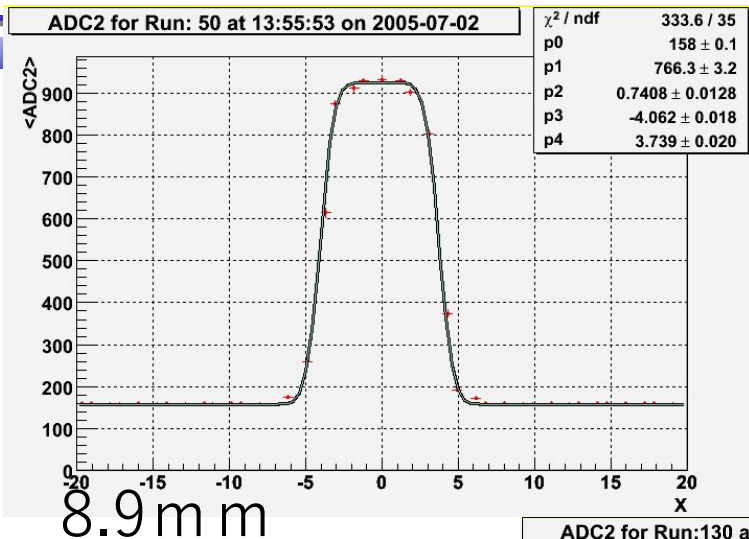
2.2 m m



5.3 m m

p0:Back Ground p1:Normalize p2: σ
 p3:Target Position (-) p4:Target Position (+)

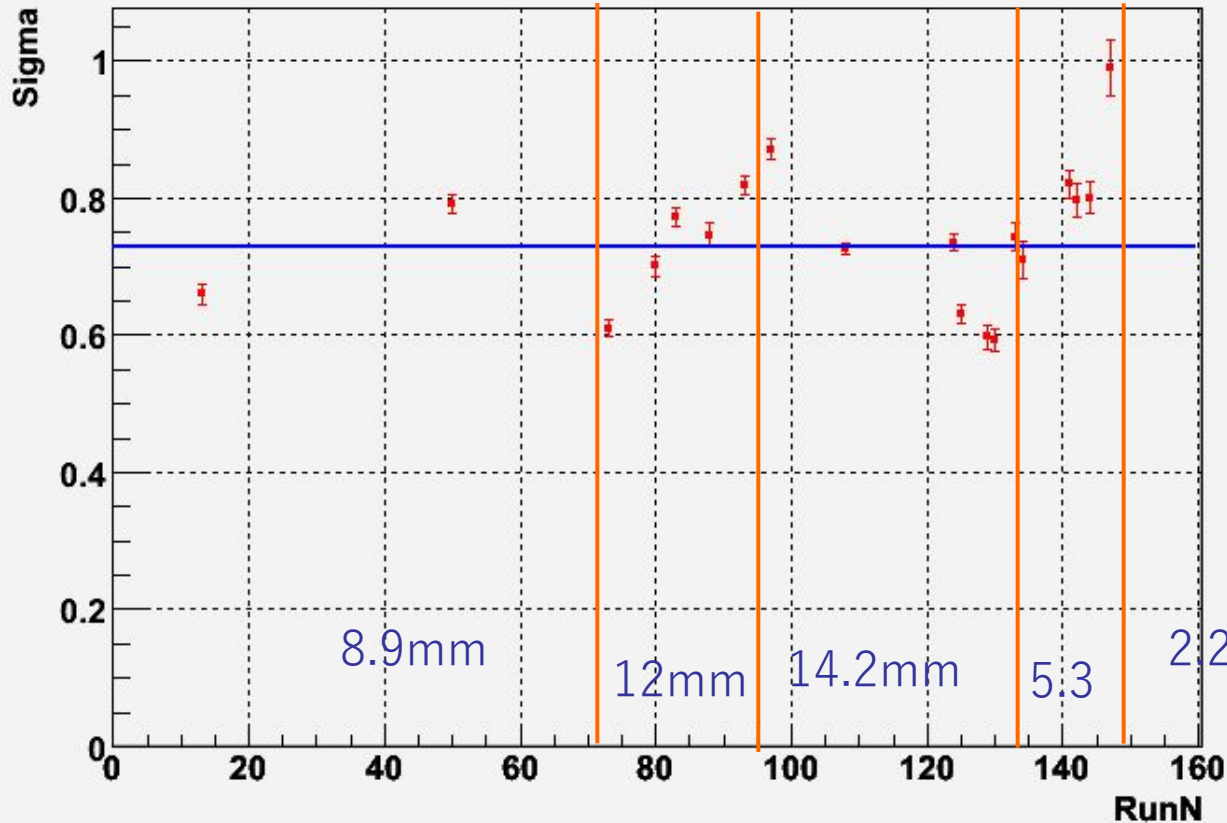
結果



p0:Back Ground p1:Normalize p2: σ
p3:Target Position (-) p4:Target Position (+)

ビームスポットサイズ結論

Sigma v.s. RunN



■ $\sigma = 0.74 \pm 0.11 \text{ mm}$

■ FWHM
 $= 2\sigma\sqrt{2\ln 2}$
 $= 2.3548\sigma$
 $= 1.75 \pm 0.26 \text{ mm}$