

P6 卒業発表 (2025/02/19)

半円型プラスチックシンチレータの較正と それを用いたミュオン飛来分布測定

奥村紗那・佐藤優光

Sana OKUMURA , Hiroaki SATO

目次

1 概要

2 理論

3 【2ch較正】実験方法

4 【2ch較正】結果・解析

5 【3ch較正】実験方法

6 【3ch較正】結果・解析

7 【半円PS較正】考察

8 ミューオン測定【2ch】

9 ミューオン測定【3ch】

10 結論

X 付録(背景・実験装置などの詳細、制作物など)

1. 概要

本実験の概要

①

半円型シンチレータの
較正を行い、両端の信号
から飛来角度を逆算する

②

半円型シンチレータで、
ミューオンの飛来分布を
測定・解析する

2. 理論

宇宙線の分類

宇宙線: 宇宙から飛来する高エネルギーの粒子線

一次宇宙線: 宇宙から直接飛来する

p

α

二次宇宙線: 一次宇宙線が大気中で衝突して生成

地上でよく観測される

μ

二次宇宙線の天頂角分布(1)

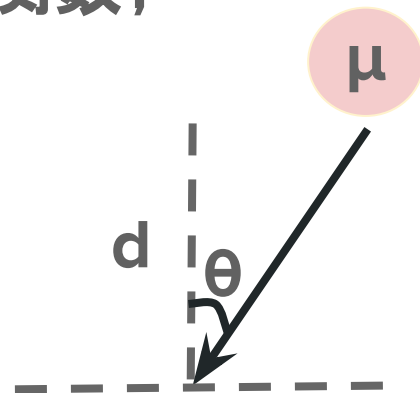
二次宇宙線の強度 J は距離 d と天頂角 θ の関数;

$$J = J(d, \theta)$$

天頂角 $\theta=0$ で強度 J は

平均自由行程 λ で減少する;

$$J = J_0 \exp(-d/\lambda)$$



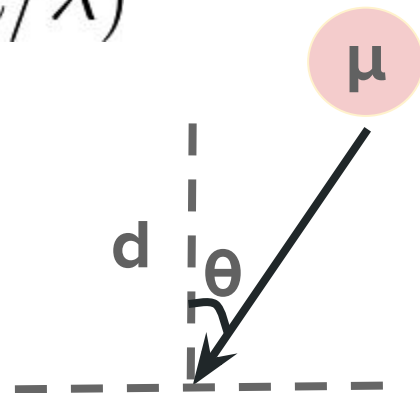
二次宇宙線の天頂角分布(2)

前頁より; $J(d, \theta = 0) = J_0 \exp(-d/\lambda)$

一般の天頂角 θ で距離は d は余弦の逆数;

$$J(d, \theta) = J\left(\frac{d}{\cos \theta}, \theta = 0\right)$$

$$= J(d, \theta = 0) \exp\left(-\frac{d}{\lambda} \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1\right)\right)$$

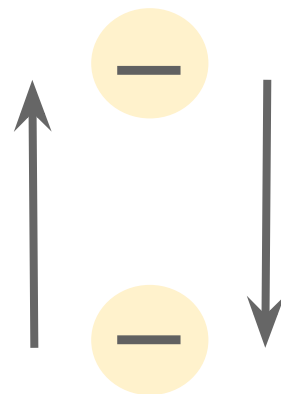


プラスチックシンチレータ(PS)の原理(1)

1. 入射した粒子により基底状態の電子が励起される
2. 励起電子が基底状態に落ちて光子を放出する

γ 線:コンプトン散乱

ミューオン: 電離損失



PSの原理(2)

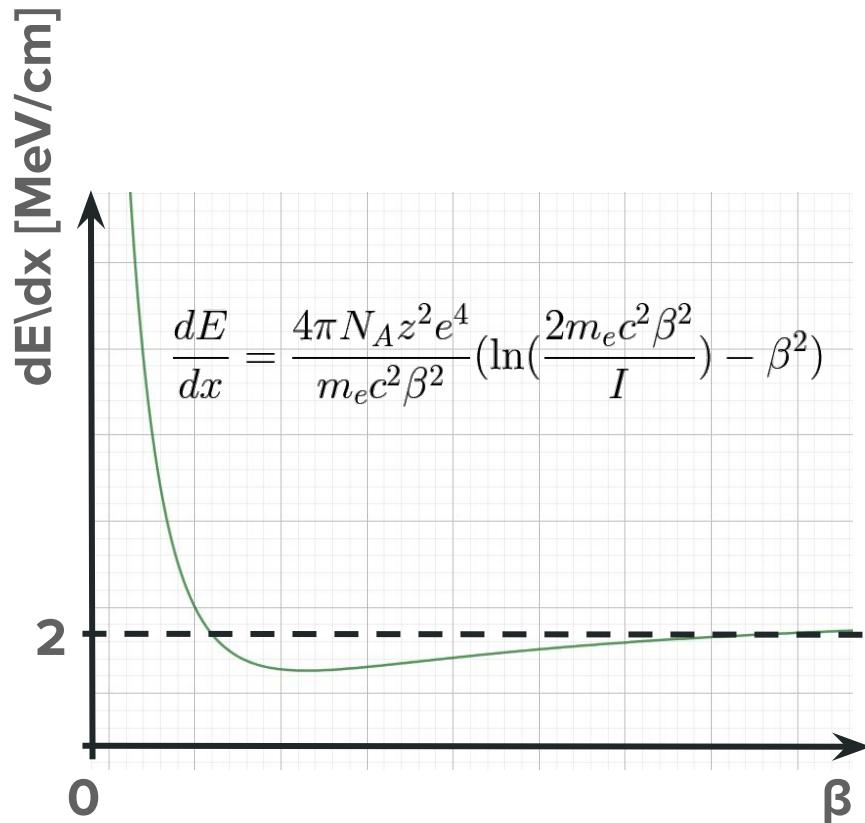
ミュオンと γ 線のADC値

➤ PSの大きさと γ 線強度

によって大小関係が変化

➤ 本実験の環境下では

ミュオンの方が大きい



▲Bethe-Bloch式の模式図
(極小値の後ほぼ一定)

3.【2ch較正】実験方法

実験原理

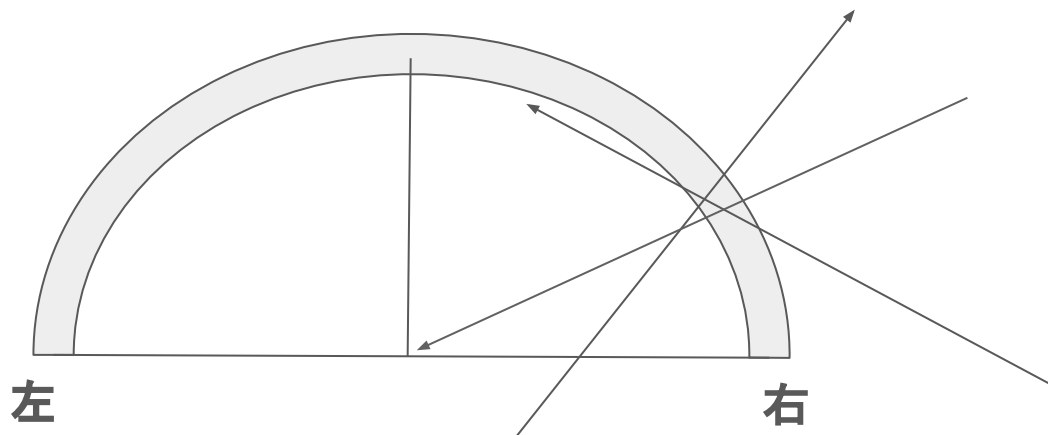
半円型PSの両端から信号を読み出し

▶端子に近い信号は相対的に強いゲイン

▶左右の端子のゲイン比

によって放射線の

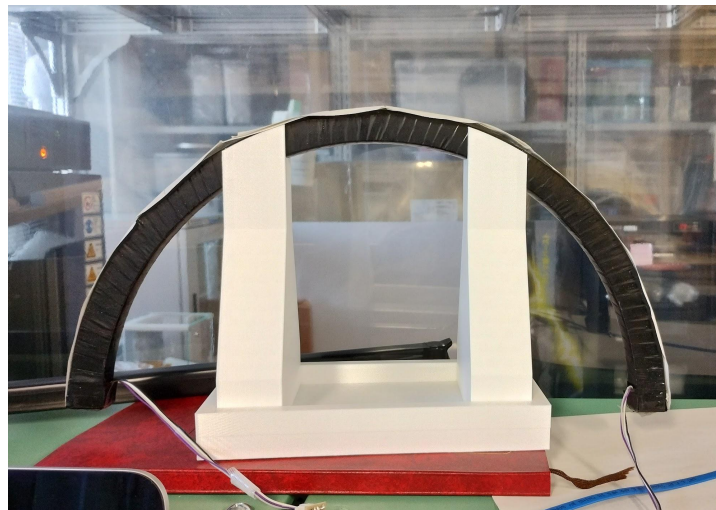
飛来方向を特定



実験器具 一覧

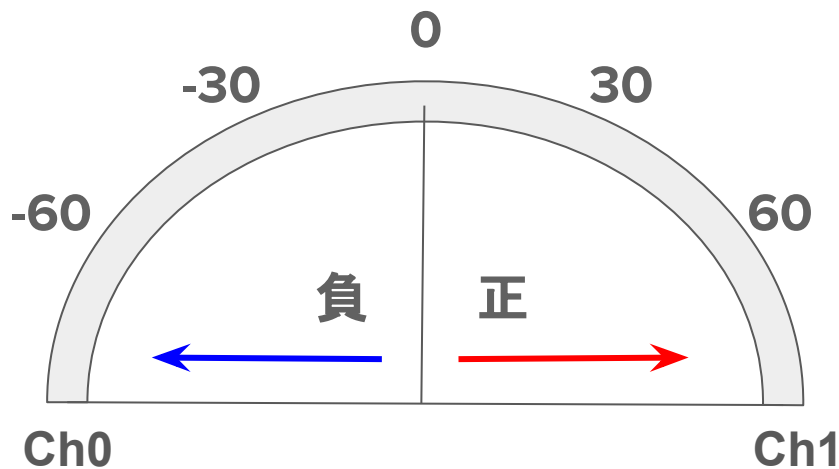
- ・半円型プラスチックシンチレータ
- ・CsIシンチレータ
- ・MPPC
- ・ ^{60}Co 線源

▼ 半円型 PS



実験手順 角度の定義

半円型PSの角度方向を以下のように定義；



鉛直方向：0°(基準)

Ch0側▶**負**の角度

Ch1側▶**正**の角度

▲PS角度の定義(図)

実験手順 2chデータ取得(1)

データの取得手順

- ①線源 ^{60}Co を任意の角度に固定
- ②SPRESENSEに電源を入れる
- ③15分間計測
- ④SPRESENSEの電源を抜く



▲ PSに固定された線源

実験手順 2chデータ取得(2)

データは以下の角度で取得;

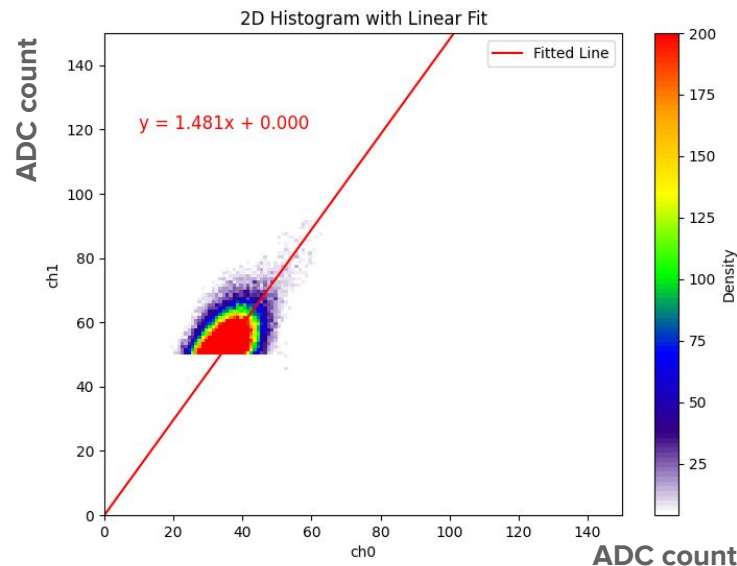
-90°, -60°, -45°, -30°, 0°, 30°, 45°, 60°, 90° 計9データ

- ・各角度点において、データはそれぞれ1回ずつ計測
- ・データは microSD に csv 形式で保存
- ・解析は全て Python3 上で実施

実験手順 2chデータ取得(3)

データ取得時の条件は以下の通り:

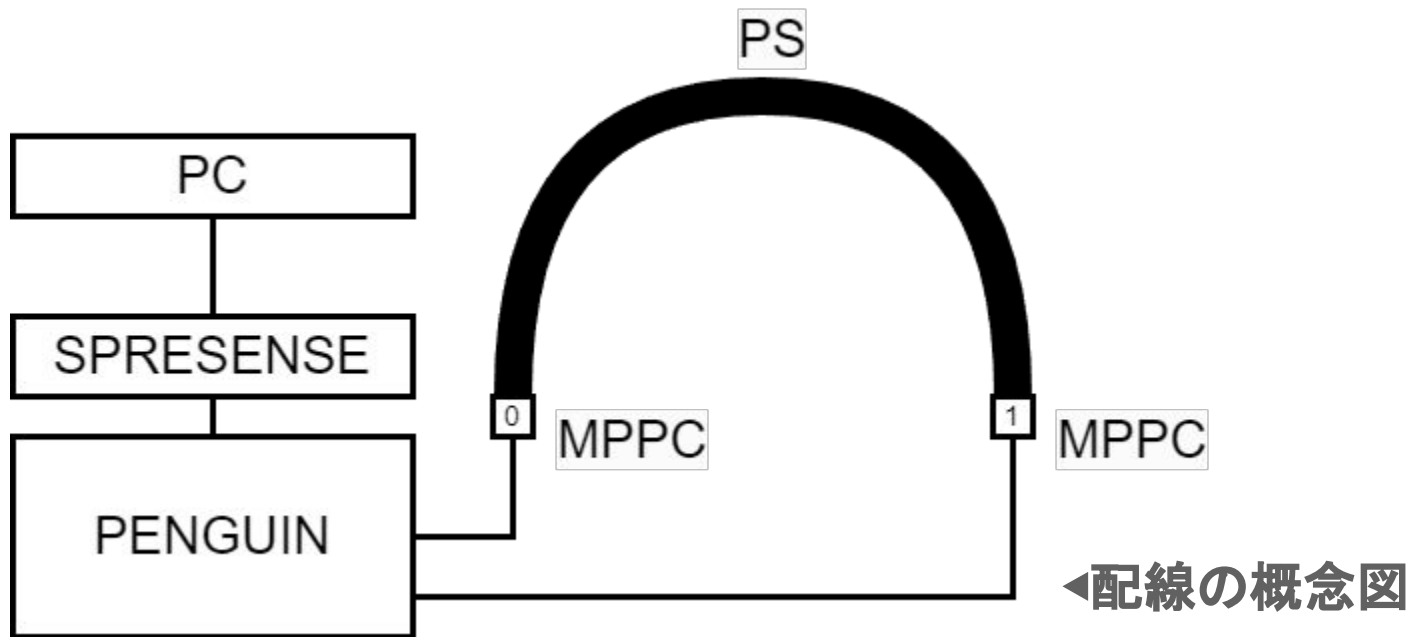
- HV Ch0=40.0V
Ch1=40.0 V
- Threshold [ADC counts]
Ch0=50
Ch1=50



▲ データ例(横軸 ch0-縦軸 ch1)

セットアップ 2ch読み出し

PSは地面と垂直に設置、PSの頂点が半円弧の中点



4.【2ch較正】結果・解析

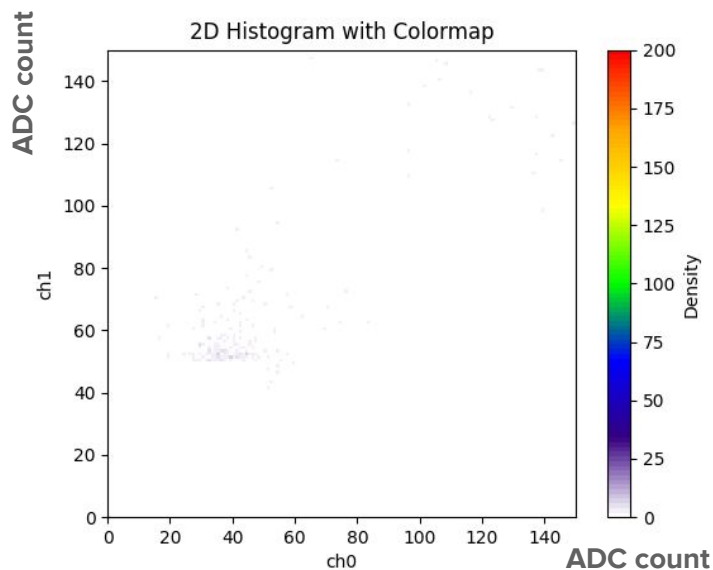
2ch読み出し 線形 fitting(1)

取得データに対して実施した fitting手順

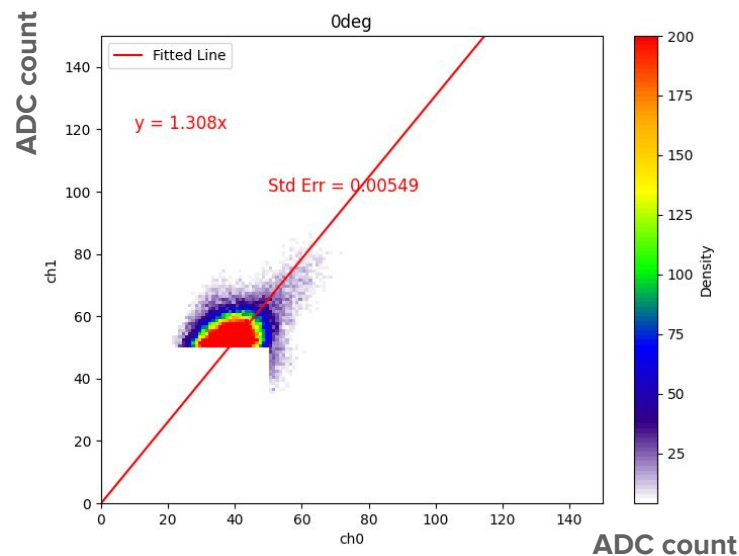
- ①横軸 ch0-縦軸 ch1のADC値を二次元描画
- ②Density(等価データ点の数)を計算する
- ③Densityが4以下の点をノイズとして除外
- ④残りの点に対して Densityを加味した
回帰直線 $y=ax$ を計算・表示

2ch読み出し 線形 fitting(2)

Densityマップとfitting結果は以下の通り



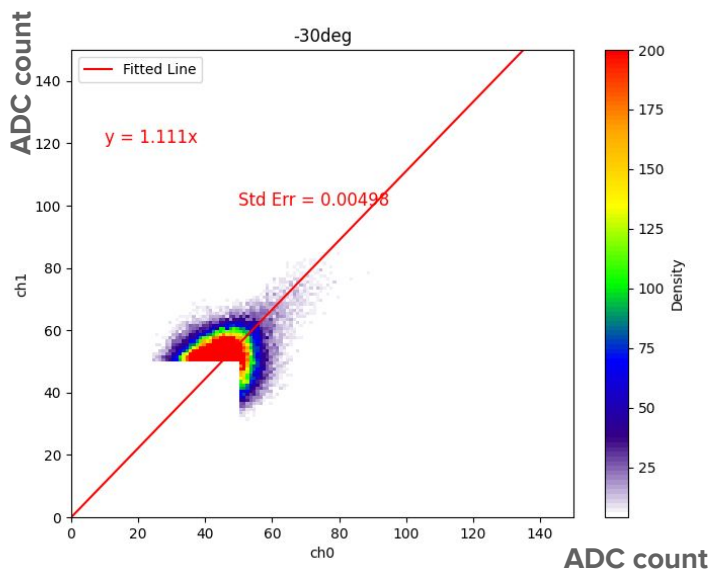
▲ Backgroundの計測



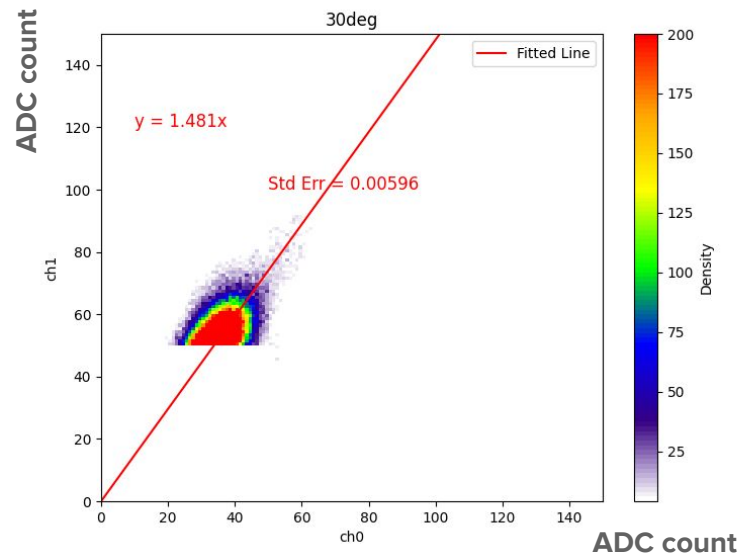
▲ 0°での計測

2ch読み出し 線形 fitting(3)

Densityマップと fitting結果は以下の通り



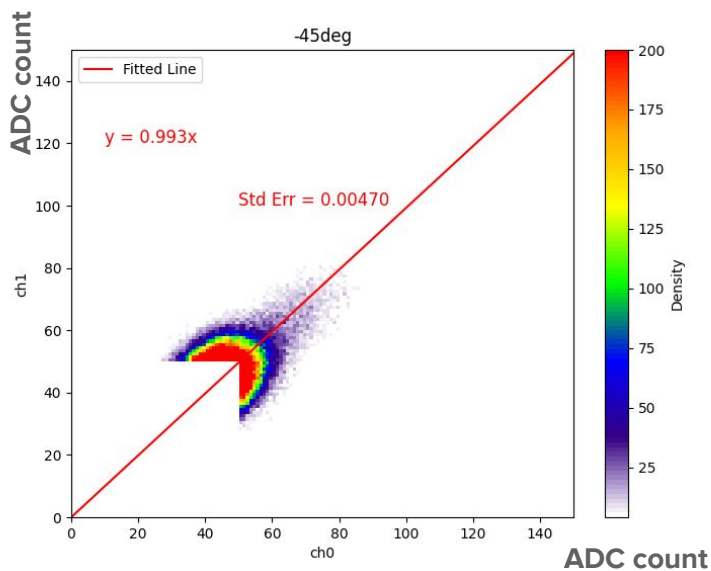
▲ -30°での計測



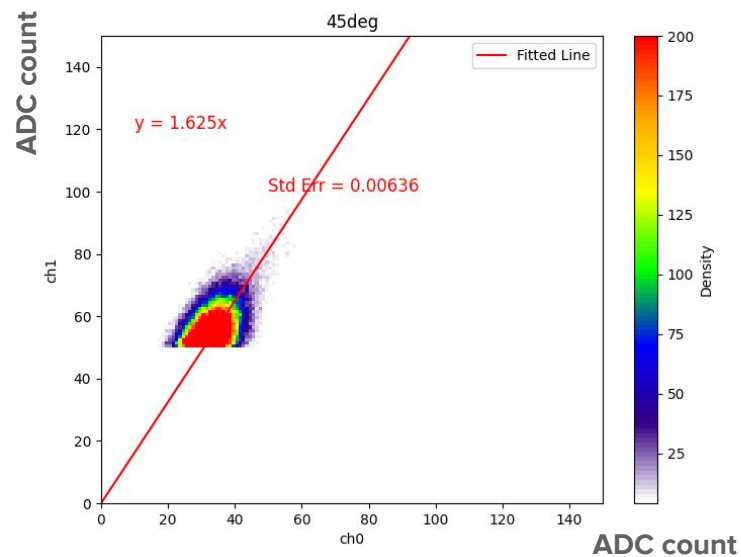
▲ 30°での計測

2ch読み出し 線形 fitting(4)

Densityマップとfitting結果は以下の通り



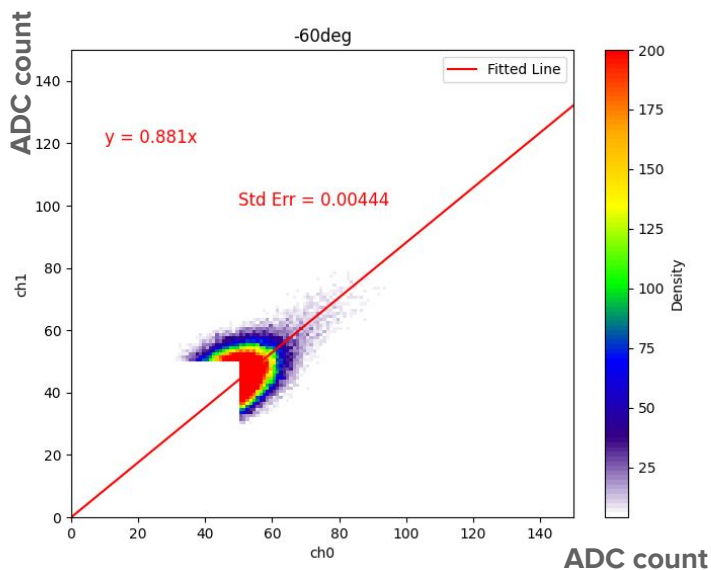
▲ -45°での計測



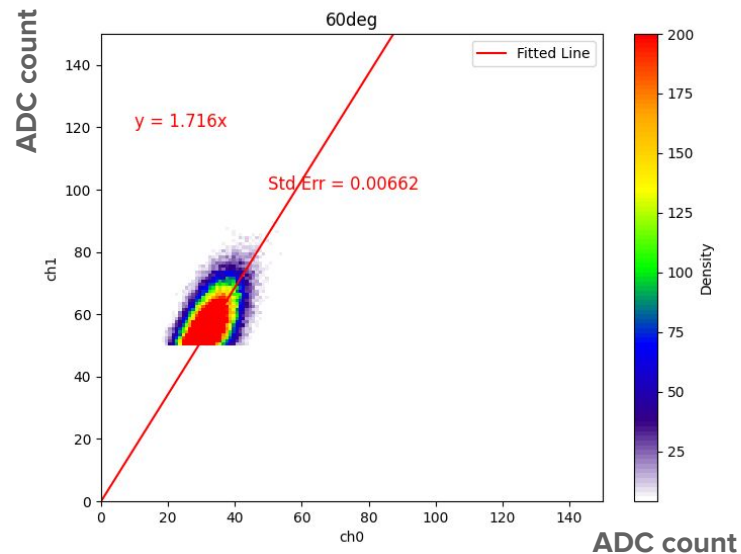
▲ 45°での計測

2ch読み出し 線形 fitting(5)

Densityマップと fitting結果は以下の通り



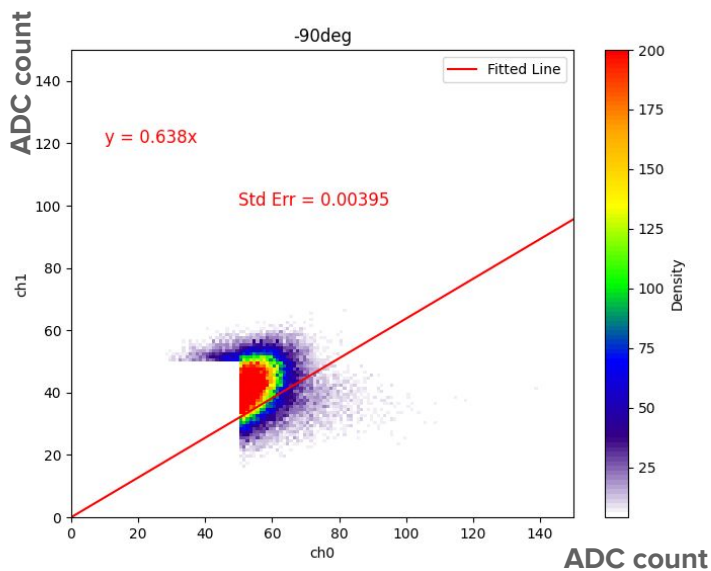
▲ -60°での計測



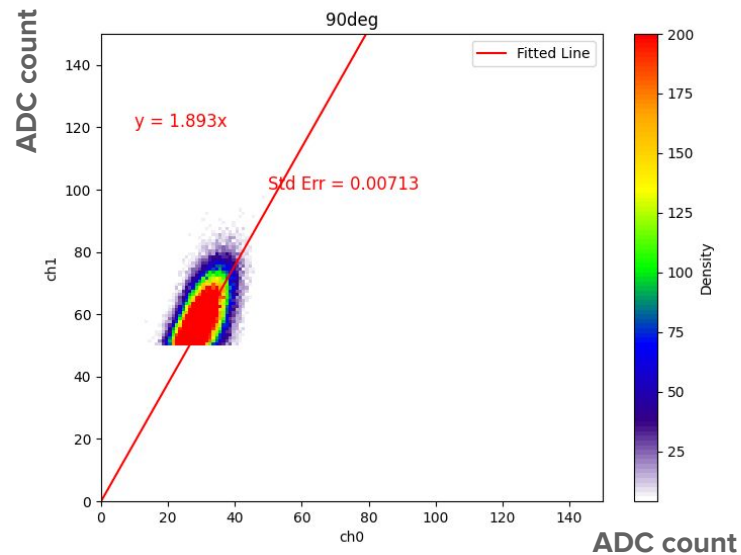
▲ 60°での計測

2ch読み出し 線形 fitting(6)

Densityマップと fitting結果は以下の通り



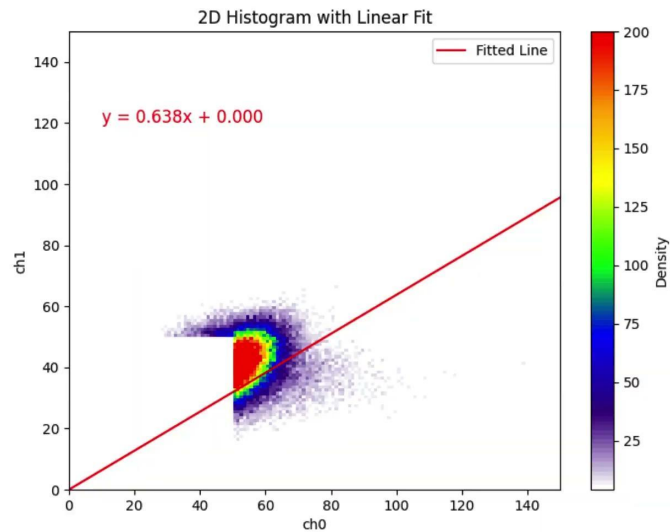
▲ -90°での計測



▲ 90°での計測

2ch読み出し 線形 fitting(7)

Fitting結果を動画化



2ch読み出し 線形 fitting(8)

Fitting結果のまとめ

Angle	Fitting Slope		
		0	$1.308 \pm 5.49e-3$
-90	$0.638 \pm 3.95e-3$	30	$1.481 \pm 5.96e-3$
-60	$0.881 \pm 4.44e-3$	45	$1.625 \pm 6.36e-3$
-45	$0.993 \pm 4.70e-3$	60	$1.716 \pm 6.62e-3$
-30	$1.111 \pm 4.98e-3$	90	$1.893 \pm 7.13e-3$

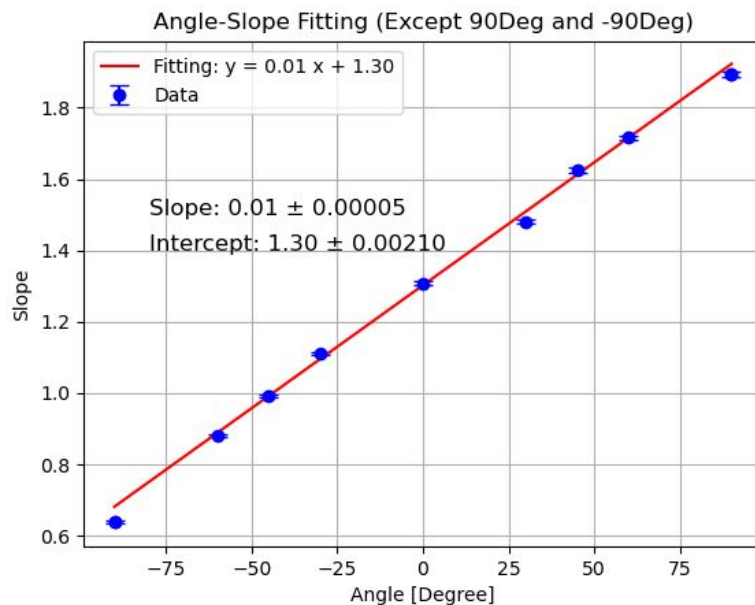
2ch読み出し Angle-Slope対応性(1)

Fitting結果から回帰直線を計算▶ $y=0.01x+1.30$

縦軸: Fitting直線の傾き

横軸: 測定角度

$\pm 90^\circ$ は端の特異性を
考慮して無視



▲ Angle-Slope直線

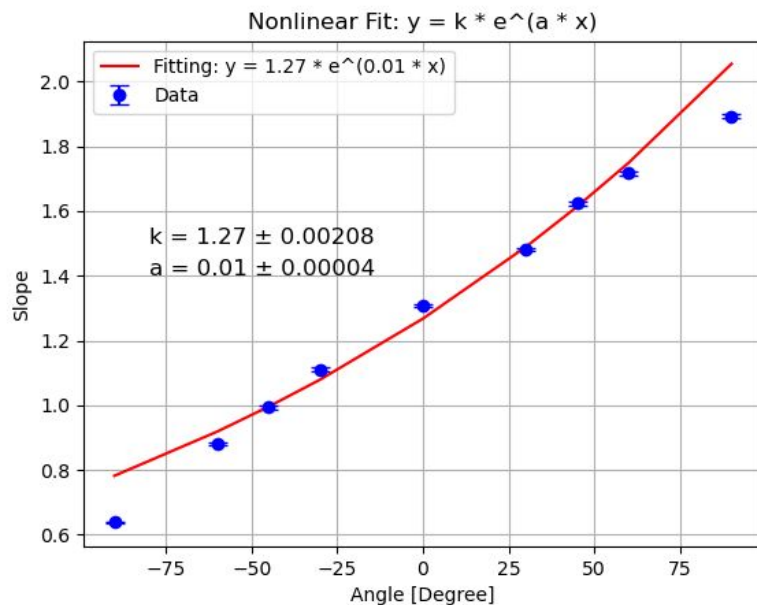
2ch読み出し Angle-Slope対応性(2)

Fitting関数を $y=ke^{ax}$ に変更 ▶ $y=1.27e^{0.01x}$

縦軸: Fitting直線の傾き

横軸: 測定角度

±90°は端の特異性を
考慮して無視



▲ Angle-Slope曲線

5.【3ch較正】実験方法

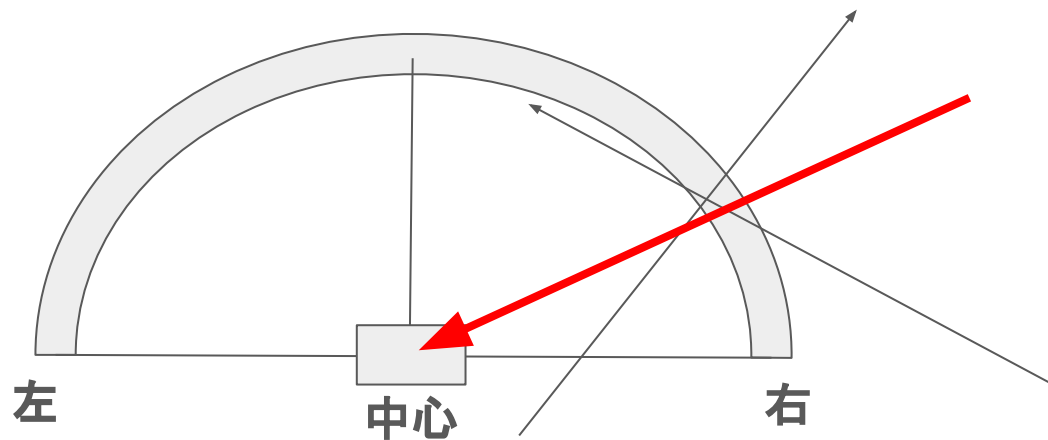
実験原理

直方体型 PS を半円型 PS の円中心に配置

▶ 計 3 端子で Coincidence を取る

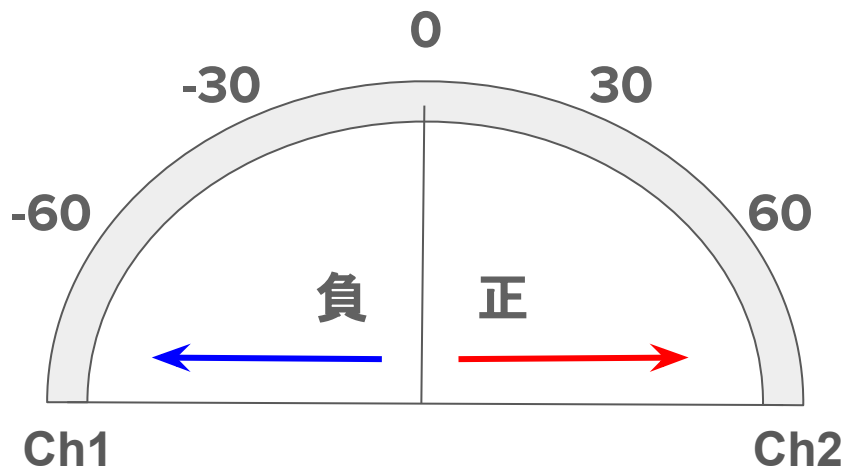
▶ **円の中心を通る**

放射線のみ を抽出



実験手順 角度の定義(再掲)

半円型PSの角度方向の定義は 2ch時と同様;



▲PS角度の定義(図)

鉛直方向: 0° (基準)

Ch1側▶ **負**の角度

Ch2側▶ **正**の角度

実験手順 3chデータ取得(1)

データの取得手順

- ①線源 ^{60}Co を任意の角度に固定
- ②サンプリングを開始
- ③10分間計測
- ④サンプリングを終了



▲ PSに固定された線源

実験手順 3chデータ取得(2)

データは以下の角度で取得;

-90°, -60°, -45°, -30°, 0°, 30°, 45°, 60°, 90° 計9データ

- ・各角度点において、データはそれぞれ1回ずつ計測
- ・データはPC上にcsv形式で保存
- ・解析は全てPython3上で実施

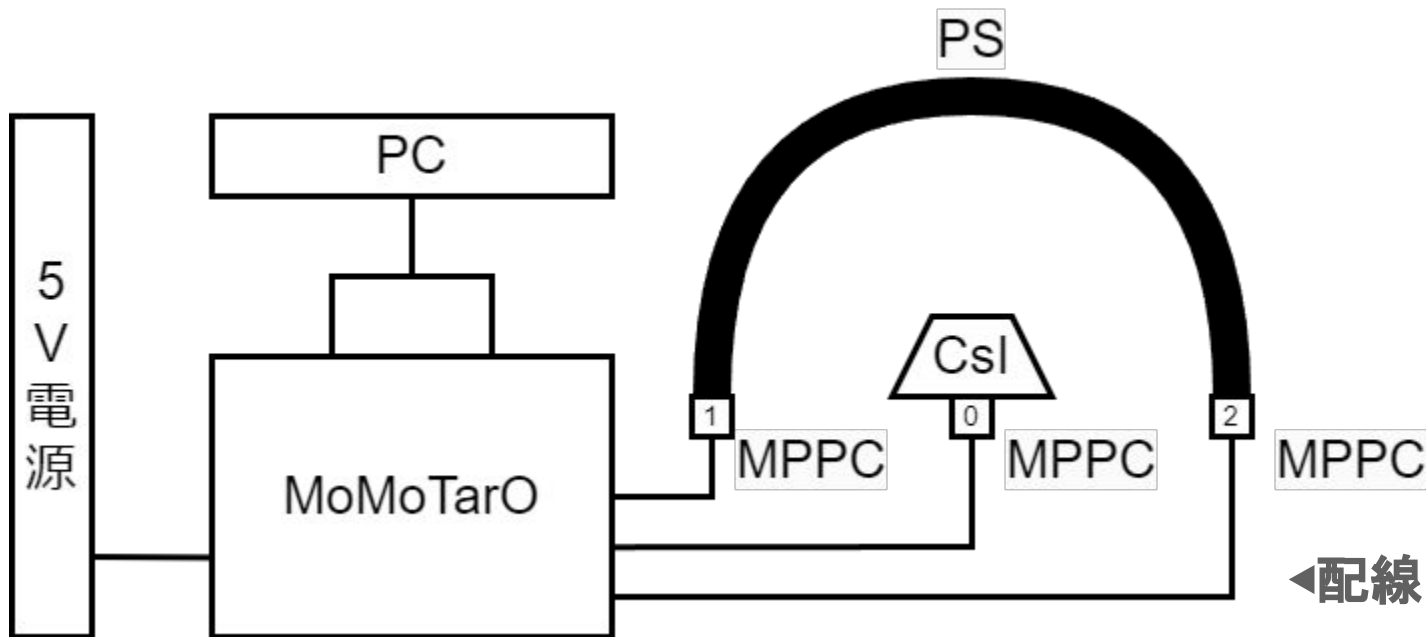
実験手順 3chデータ取得(3)

データ取得時の条件は以下の通り;

- HV Ch0=40.0 V Ch1=40.0 V Ch1=40.0 V
- Th0 Ch0=600 Ch1=600 Ch2=600
- Th1 Ch0=200 Ch1=200 Ch2=200

セットアップ 3ch読み出し

PSの設置方向は 2ch読み出しと同様



◀配線の概念図

6.【3ch較正】結果・解析

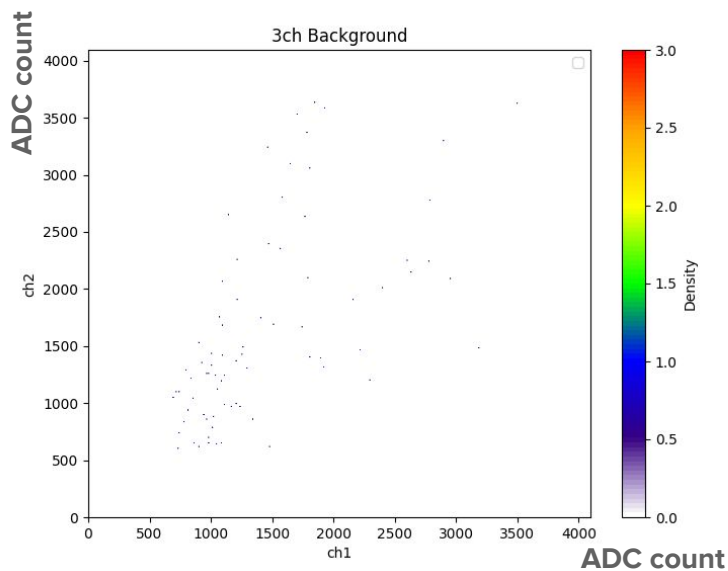
3ch読み出し 線形 fitting(1)

取得データに対して実施した fitting手順

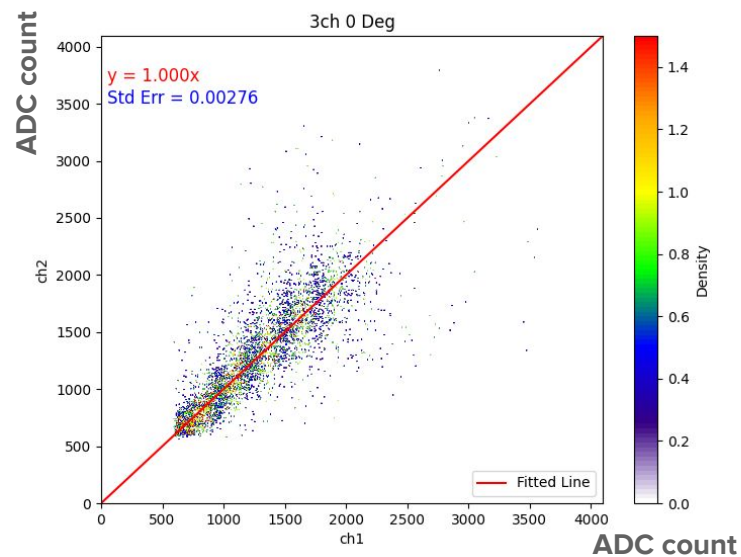
- ① 前後100nsのイベントを”同時”とみなす
- ② 横軸 ch1-縦軸 ch2のADC値を二次元描画
- ③ Density(等価データ点の数)を計算する
- ④ Densityを加味した回帰直線 $y=ax$ を計算・表示

3ch読み出し 線形 fitting(2)

Densityマップとfitting結果は以下の通り



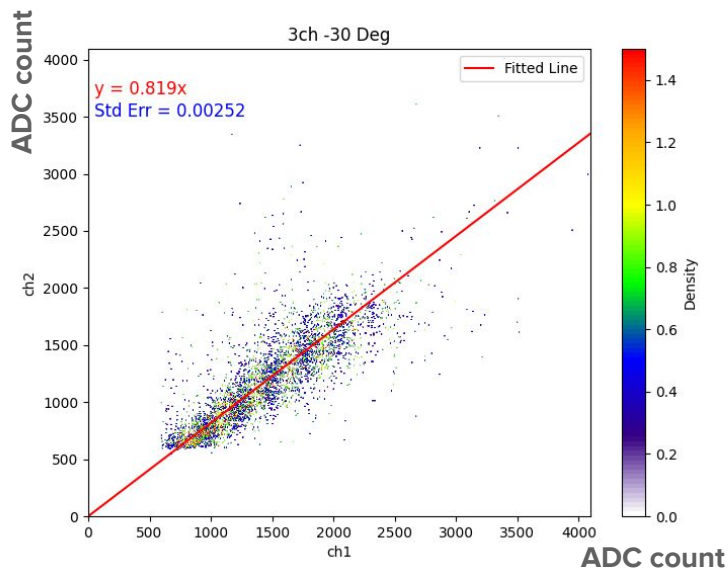
▲ Backgroundの計測



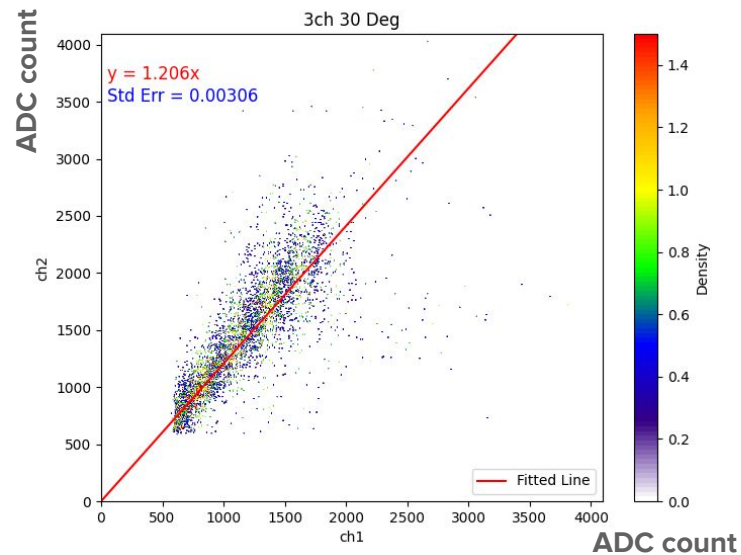
▲ 0°での計測

3ch読み出し 線形 fitting(3)

Densityマップとfitting結果は以下の通り



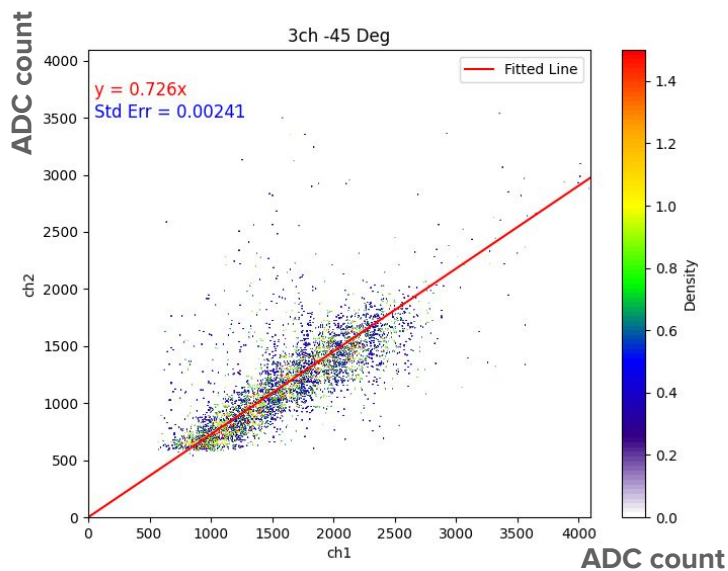
▲ -30°での計測



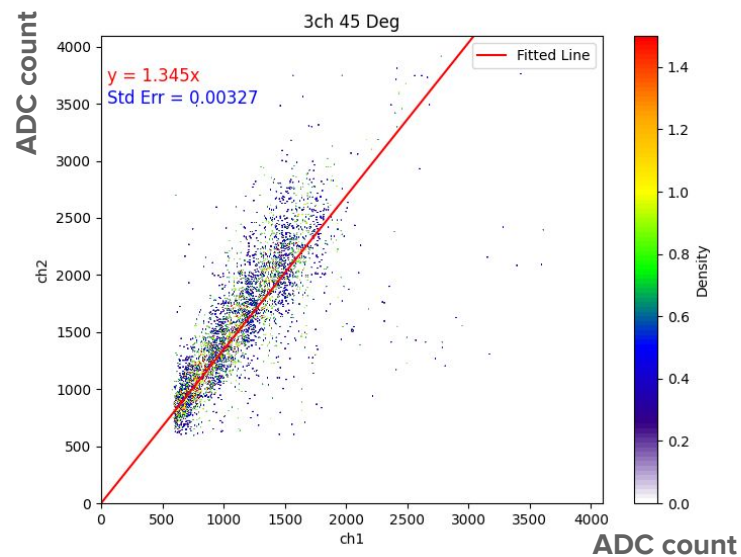
▲ 30°での計測

3ch読み出し 線形 fitting(4)

Densityマップとfitting結果は以下の通り



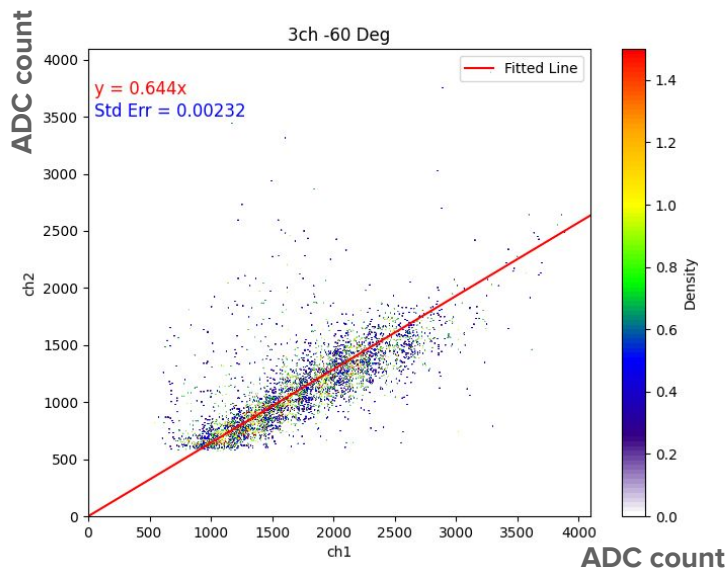
▲ -45°での計測



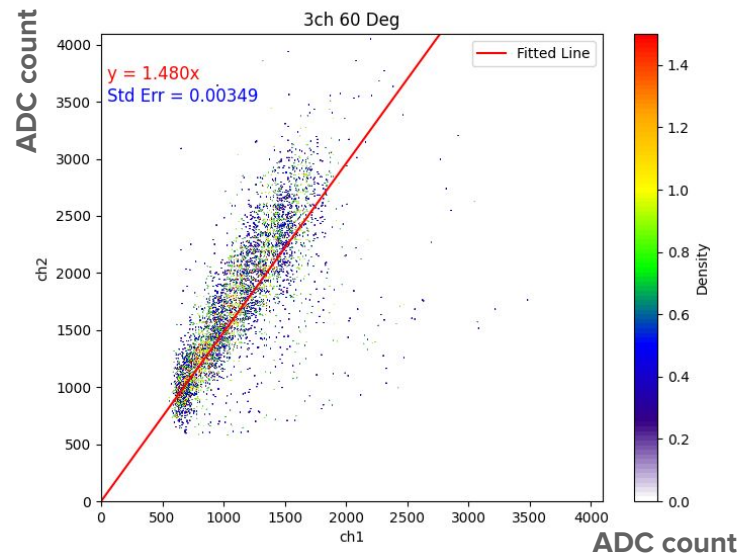
▲ 45°での計測

3ch読み出し 線形 fitting(5)

Densityマップとfitting結果は以下の通り



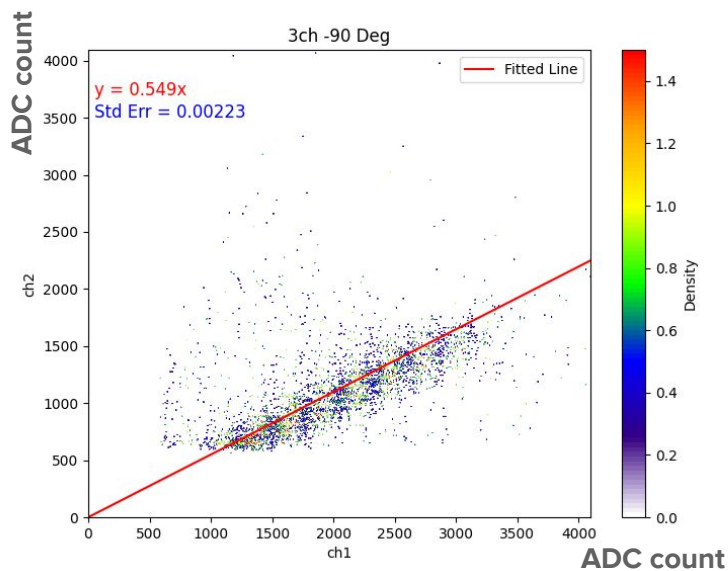
▲ -60°での計測



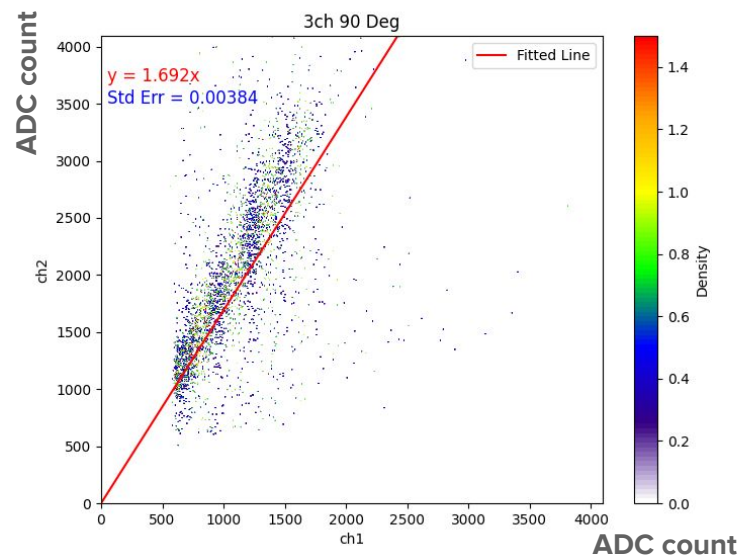
▲ 60°での計測

3ch読み出し 線形 fitting(6)

Densityマップと fitting結果は以下の通り



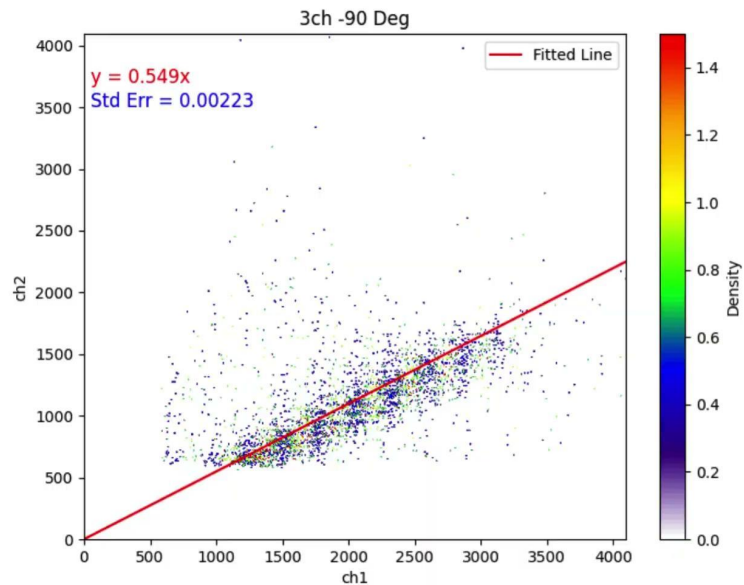
▲ -90°での計測



▲ 90°での計測

3ch読み出し 線形 fitting(7)

Fitting結果を動画化



3ch読み出し 線形 fitting(8)

Fitting結果のまとめ

Angle	Fitting Slope		
		0	$1.000 \pm 2.76e-3$
-90	$0.549 \pm 2.23e-3$	30	$1.206 \pm 3.06e-3$
-60	$0.644 \pm 2.32e-3$	45	$1.345 \pm 3.27e-3$
-45	$0.726 \pm 2.41e-3$	60	$1.480 \pm 3.49e-3$
-30	$0.819 \pm 2.52e-3$	90	$1.692 \pm 3.84e-3$

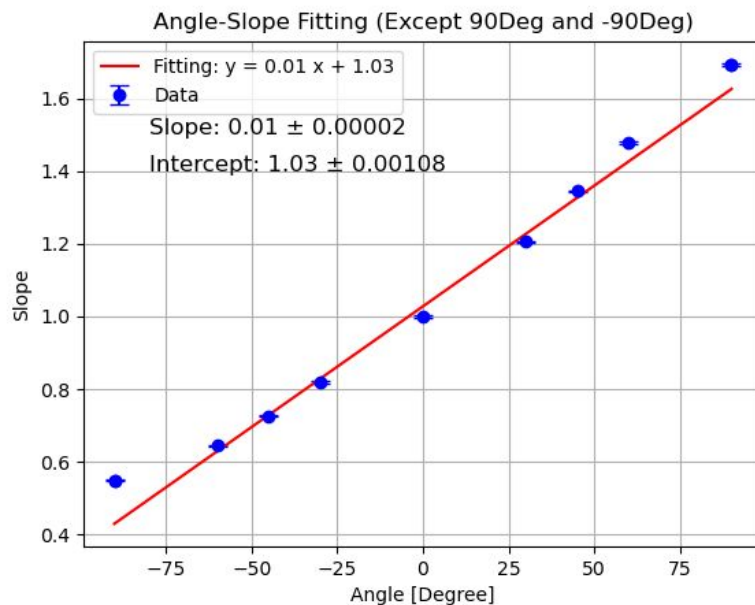
3ch読み出し Angle-Slope対応性(1)

Fitting結果から回帰直線を計算▶ $y=0.01x+1.03$

縦軸: Fitting直線の傾き

横軸: 測定角度

±90°は端の特異性を
考慮して無視



▲ Angle-Slope直線

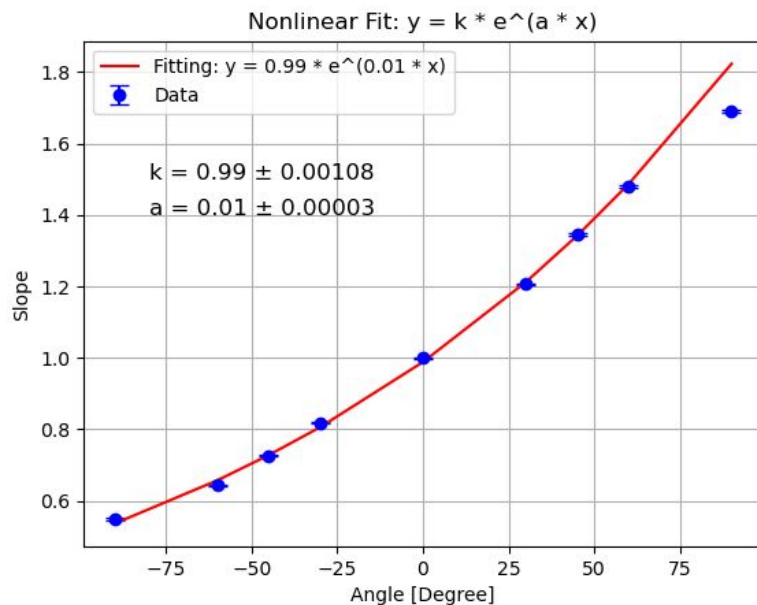
3ch読み出し Angle-Slope対応性(2)

Fitting関数を $y=ke^{ax}$ に変更▶ $y=0.99e^{0.01x}$

縦軸: Fitting直線の傾き

横軸: 測定角度

±90°は端の特異性を
考慮して無視

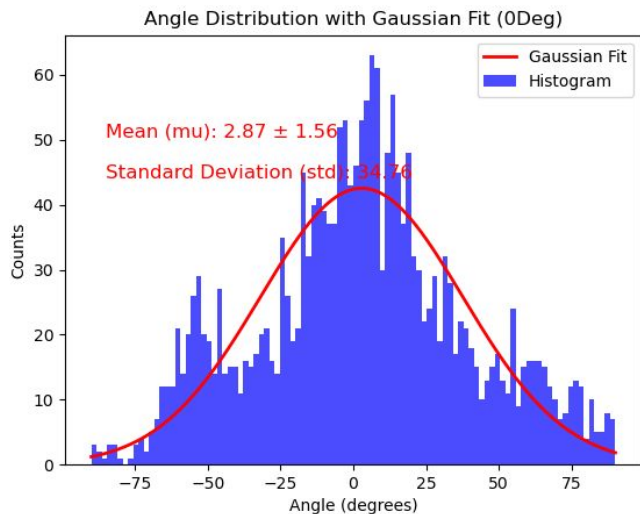


▲ Angle-Slope曲線

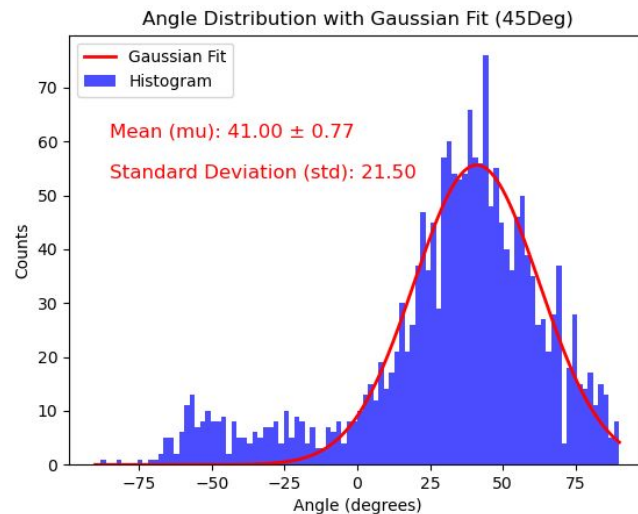
7.【半円PS較正】考察

2ch読み出しにおける角度逆算(1)

$y=0.01x+1.30$ を用いて、線源の照射角度を逆算



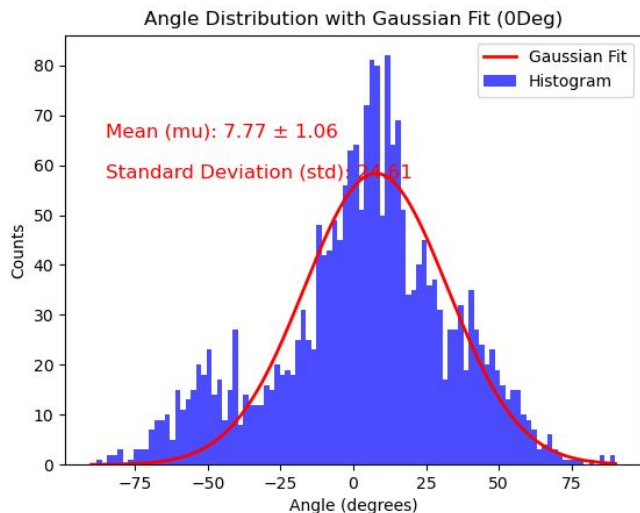
▲ 線源0°の時の角度分布



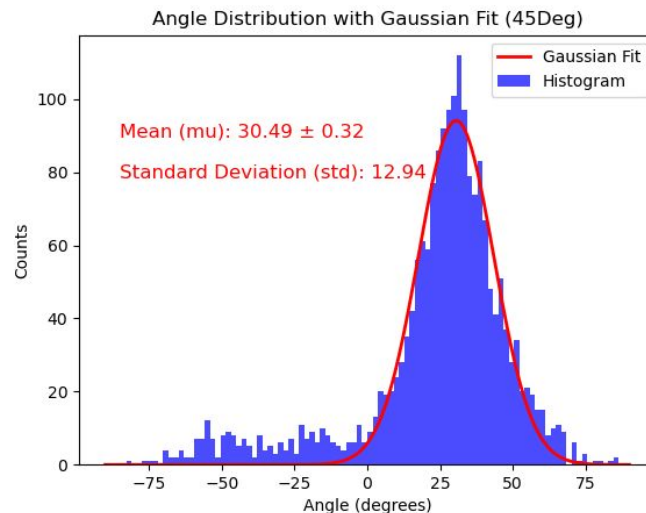
▲ 線源45°の時の角度分布

2ch読み出しにおける角度逆算(2)

$y=1.27e^{0.01x}$ を用いて、線源の照射角度を逆算



▲ 線源0°の時の角度分布



▲ 線源45°の時の角度分布

2ch読み出しにおける角度逆算(3)

Gaussian fittingの結果、真の値とのずれ

誤差が生じた理由:

- ①Angle-Slope対応性を求める際の誤差
- ②Angle-Slope対応性のFitting関数の選択瑕疵
- ③線源の設置角度の不正確さ(ヒューマンエラー)

Angle-Slope Fittingの適当な関数は？(1)

Fitting関数は以下の条件を満たす：

【条件1】 SlopeはAngleに対して単調増加

【条件2】 Angle-Slopeは1対1対応

【条件3】 $\lim_{Slope \rightarrow \infty} \frac{\Delta Slope}{\Delta Angle}$ は発散する

Angle-Slope Fittingの適当な関数は？(2)

$y=ax+b$ と $y=ke^{ax}$ を比較:

➤論理的には $y=ke^{ax}$ が適当

しかし;

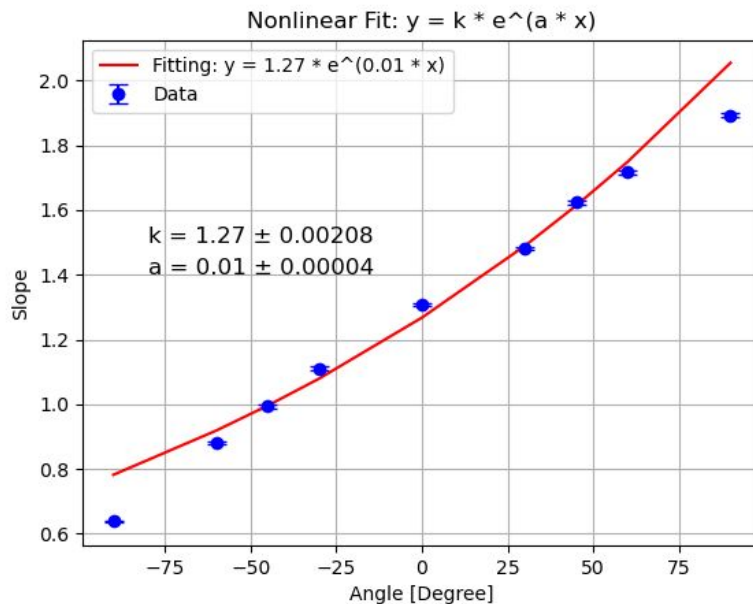
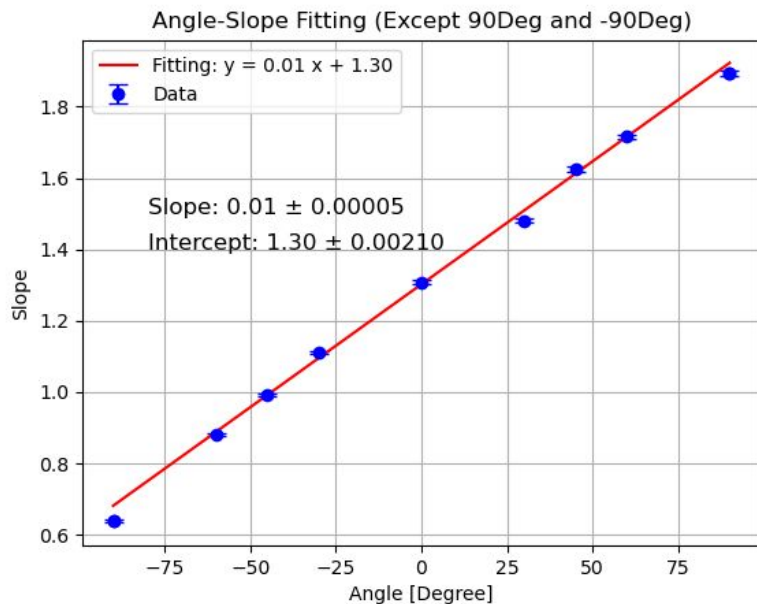
微視的には両者は区別困難

➤状況に応じて選択すべき

条件	$y=ax+b$	$y=ke^{ax}$
1	○	○
2	○	○
3	×	○

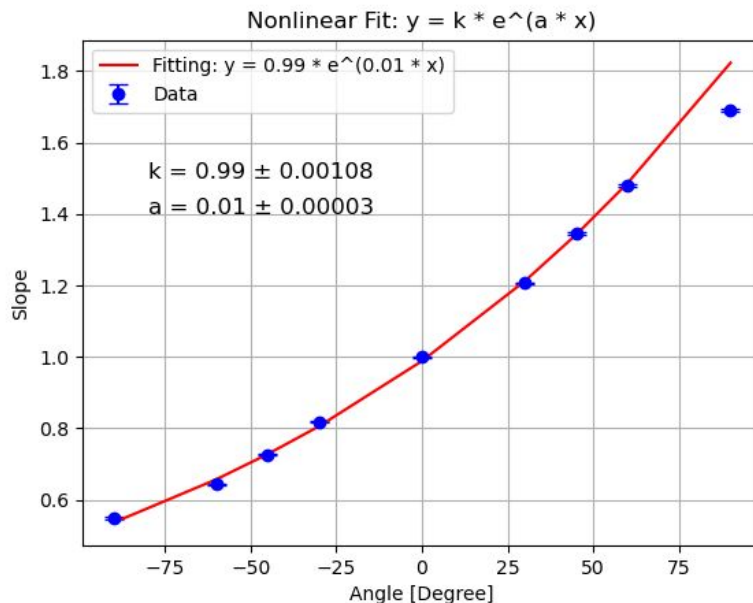
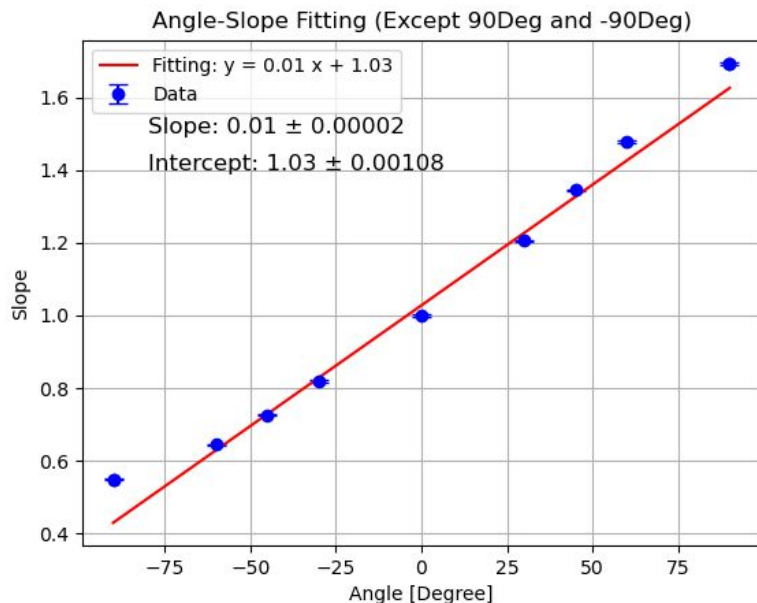
Angle-Slope Fittingの適当な関数は？(3)

2ch: 以後 $y=ax+b$ をfitting関数として採用する



Angle-Slope Fittingの適当な関数は？(4)

3ch: 以後 $y=ke^{ax}$ をfitting関数として採用する



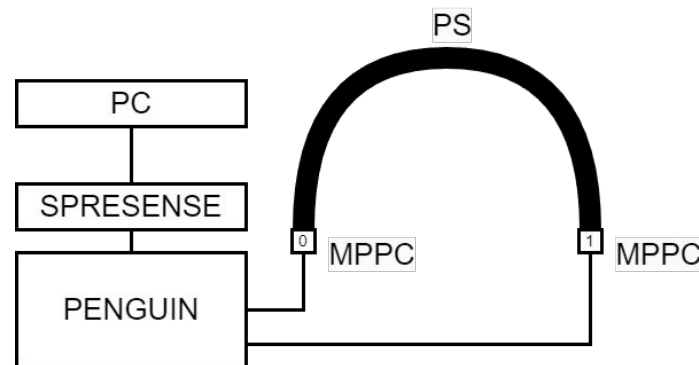
8. ミューオン測定【2ch】

2chミュオン計測 実験手順

データ取得時の条件は以下の通り;

- HV Ch0=40.0 V
Ch1=40.0 V
- Threshold [ADC counts]
Ch0=200
Ch1=200

▪ 測定時間: 1時間



▲ セットアップ(南北)

2chミュオン計測 結果・解析(1)

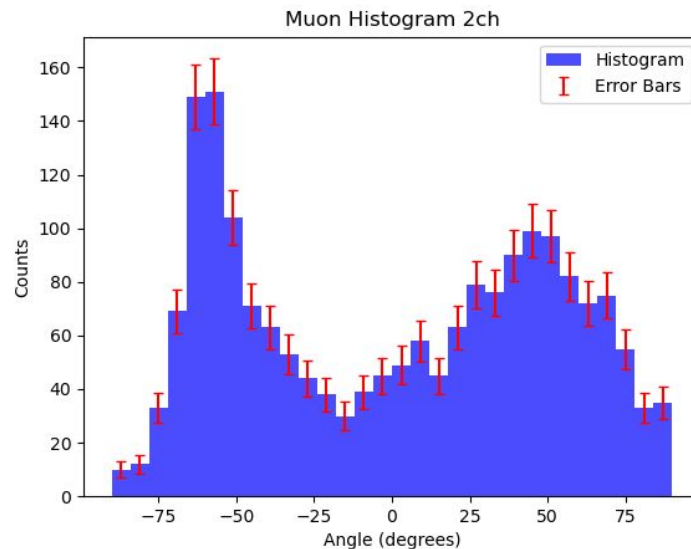
-50°と50°付近にピークを発見

➤ 円弧中心を通らない

ミュオンの存在

円弧接線方向に進む粒子

➤ PS内を進む距離は長い



▲ 角度分布のヒストグラム

2chミュオン計測 結果・解析(2)

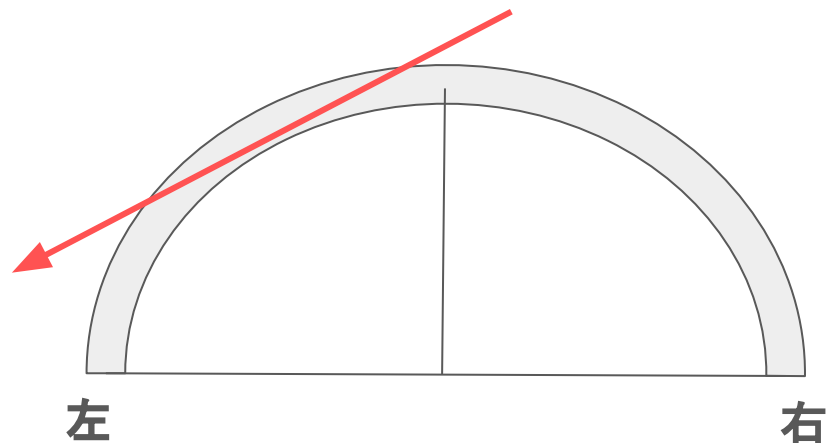
-50°と50°付近にピークを発見

考察:

正確なミュオン飛来分布は

円弧中心を通るもののみを

抽出する必要がある



▲ピーク原因の模式図

9. ミューオン測定【3ch】

3chミュオン計測 実験手順(1)

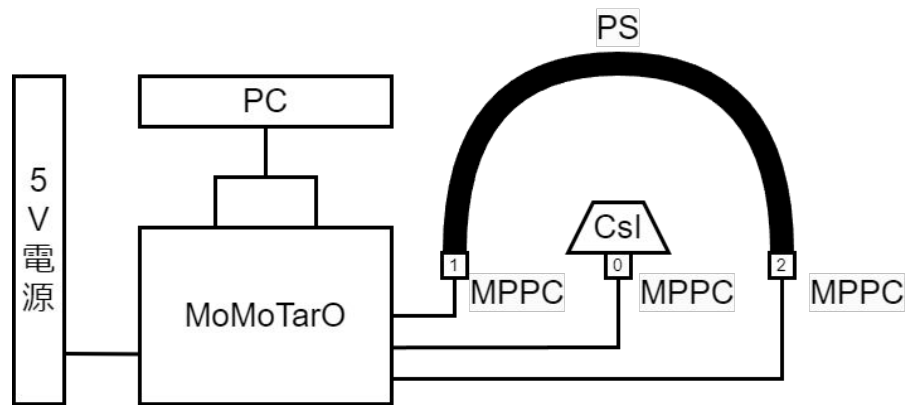
データ取得時の条件は以下の通り;

- ・南北方向と東西方向

それぞれの向きに

PSを設置

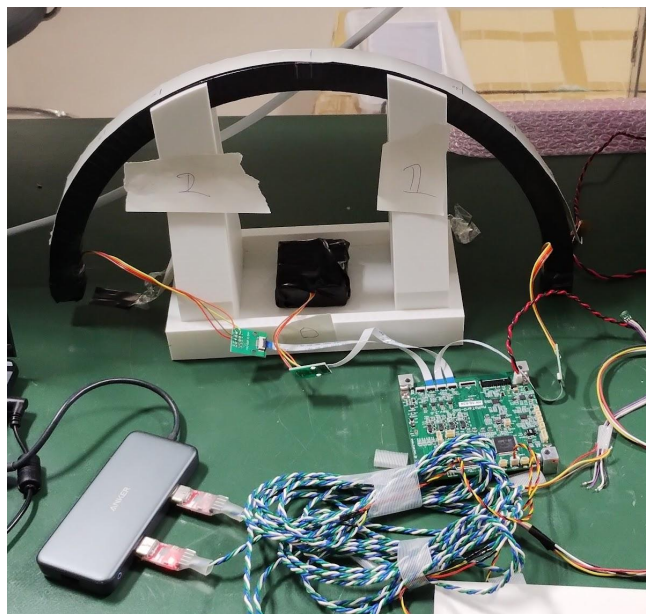
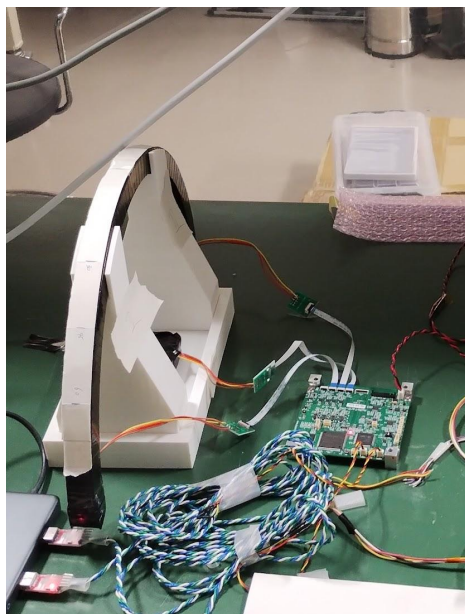
- ・測定時間: 各 24H



▲ セットアップ(東西 / 南北)

3chミュオン計測 実験手順(2)

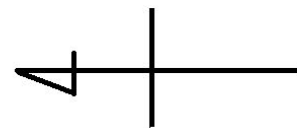
データ取得時の条件は以下の通り;



◀ セットアップ

(左) 東西測定

(右) 南北測定



3chミューオン計測 実験手順(3)

データ取得時の条件は以下の通り;

- HV Ch0=38.25 V Ch1=40.0 V Ch2=40.0 V
- Th0 Ch0=500 Ch1=2000 Ch2=2000
- Th1 Ch0=200 Ch1=200 Ch2=200
- dp Ch0=100 Ch1=50 Ch2=50

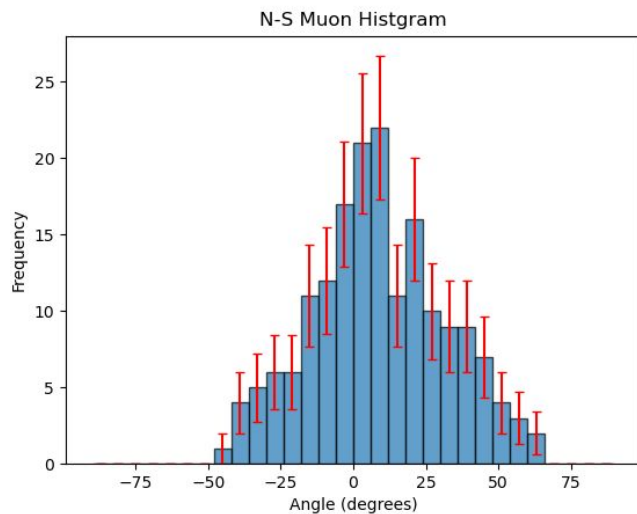
3chミュオン計測 結果・解析(1)

以下の手順で解析;

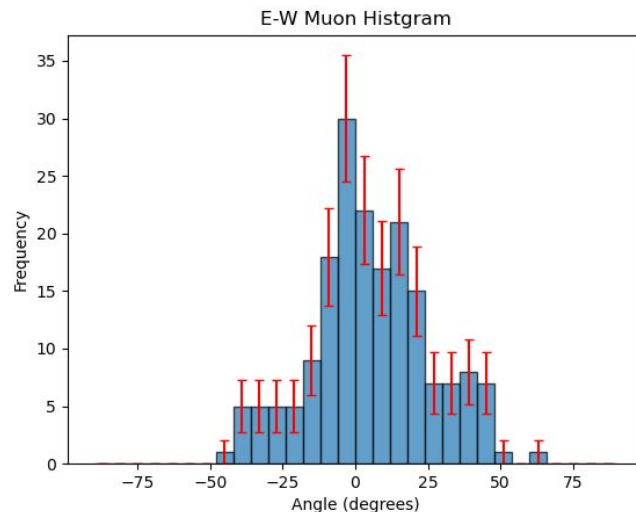
- ① 前後100nsのイベントを”同時”とみなす
- ② 同時刻の ch1とch2のADC比を計算
- ③ Angle-Slope対応性から角度に変換
- ④ 横軸角度 - 縦軸イベント数のヒストグラムを作成

3chミュオン計測 結果・解析(2)

南北・東西で大きな違いは見られなかった



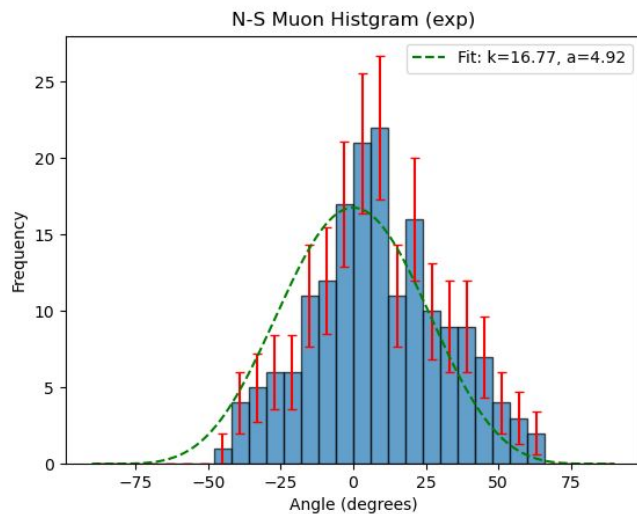
南 ←————→ 北



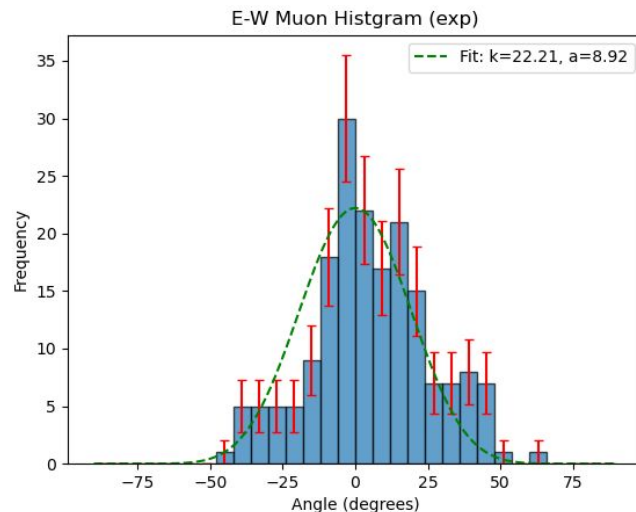
東 ←————→ 西

3chミュオン計測 結果・解析(3)

$y=k*\exp[\text{acos}^{-1}x-1]$ でfitting(天頂角分布の式より)



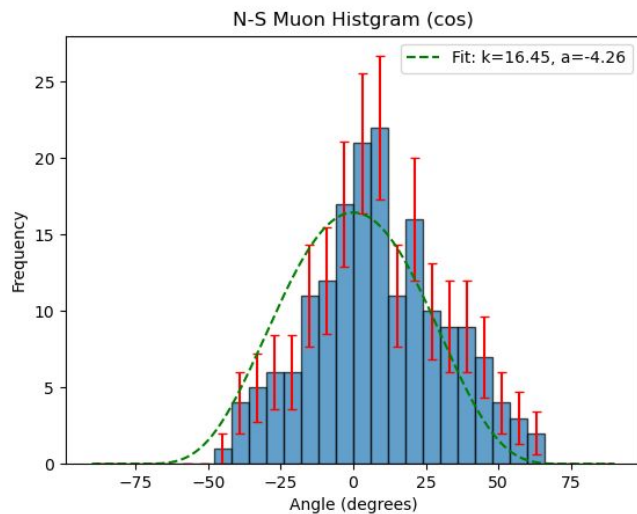
南 ←————→ 北



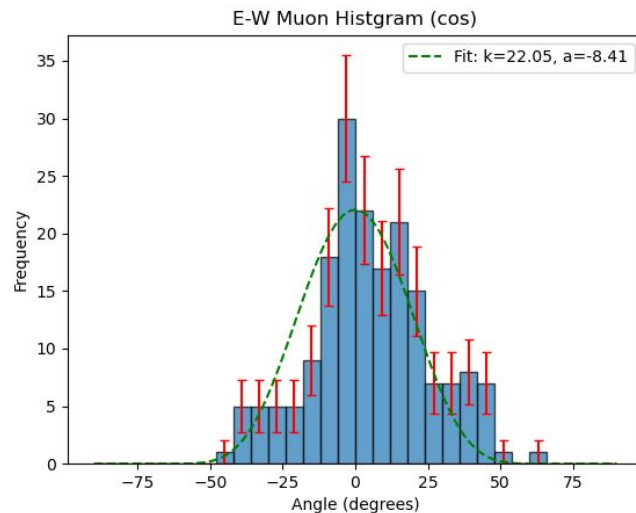
東 ←————→ 西

3chミュオン計測 結果・解析(4)

$y=k*\cos^a x$ でfitting (実験的に $\cos^2 x$ に従うとされる)



南 ←————→ 北



東 ←————→ 西

3chミュオン計測 結果・解析(5)

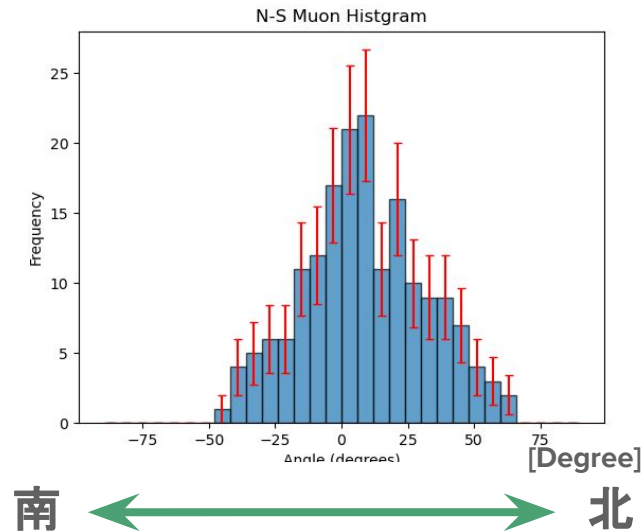
3chでCoincidenceを取得➤ データ数激減で解析困難

目視で考察できること;

① 2ch時とは異なる様相

② **0°付近が頂点** でやや 対称的

➤ 実験装置自体は良く動いている



10. 結論

結論

ミューオンの計測には成功したが、データ数の不足により飛来分布の適切な解析はできなかった。
 γ 線源を適切に用いて半円型シンチレータを較正し、
角度分布の算出アルゴリズムは構築できた。

今後の展望

この実験方法でミュオンの飛来分布を見るには、
実験時間を大幅に伸ばす必要がある。

Angle-Slope対応性についての論理的解釈も、
より一層深める必要がある。

謝辞

実験・解析にあたり、全面的に協力・指導して下さった
教員の榎戸さん、TA の中山さんと鶴見さんには、大変
お世話になりました。

この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, Inc., Third Edition, 2000.
- [2] ICRR. ”宇宙線とは”. ICRR Latest News, 2020-07-30,
<https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/news/257/>, (参照 2025-01-25).
- [3] 阿部倫史ら. 宇宙線ミュオンを観測. 京都大学理学部課題演習 A1, 2017-4-25,
<https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/gakubu/A1/reports/a1report16b.pdf>, (参照 2025-02-01).
- [4] 浜松ホトニクス. ”MPPCとは”. 発行年不明, MPPC (SiPM)・SPAD | 浜松ホトニクス,
https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/optical-sensors/mppc/what_is_mppc.html, (参照 2025-02-08).
- [5] Opto Science. ”半導体 (APD) シングルフォトンカウンターの原理”. 技術情報一覧 | ID Quantique (IDQ),
https://www.optoscience.com/our-vendors/idquantique/tech/photon_counting.html, (参照 2025-02-08).
- [6] OpenAI. (2025, February 16). ChatGPT (GPT-4) [Large language model]. <https://chat.openai.com>
※プログラム作成補助として適宜利用

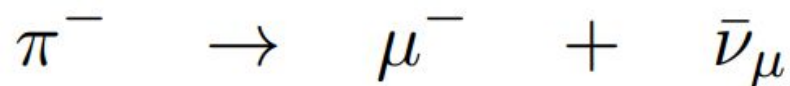
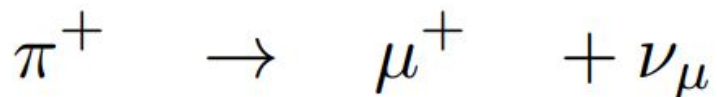
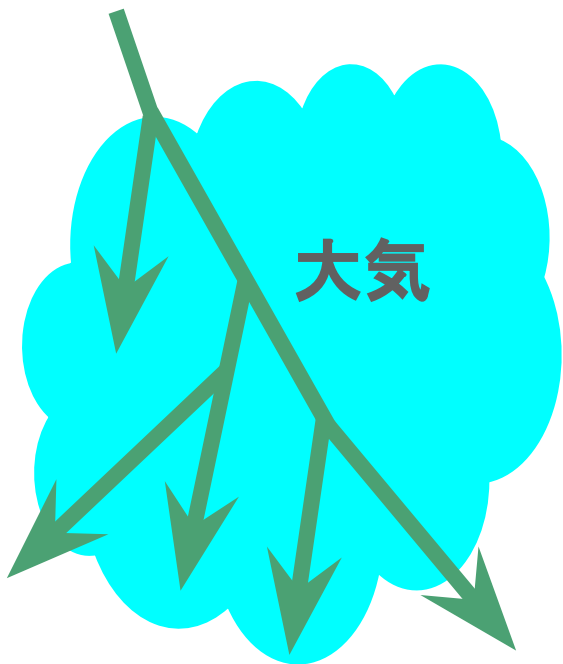
質疑応答

ご清聴ありがとうございました

X. 付録

大気シャワー現象(二次宇宙線)

二次宇宙線は相互作用の連鎖によってエネルギーを失う



- 大気中で相互作用が繰り返される
- 最終的に地表で多く観測されるのは **ミューオン** 成分

二次宇宙線の天頂角分布(粗い近似)

p.9より; $J = J(d, \theta = 0) \exp\left(-\frac{d}{\lambda}\left(\frac{1}{\cos \theta} - 1\right)\right)$

exp部分を $\theta \ll 1$ として粗い近似;

$$\sim 1 - \frac{d}{\lambda}\left(\frac{1}{\cos \theta} - 1\right)$$

$$\sim \left(1 + \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1\right)\right)^{-\frac{d}{\lambda}} = (\cos \theta)^{\frac{d}{\lambda}}$$

$$\begin{aligned} \exp \theta &\sim 1 + \theta \\ 1 - n\theta &\sim (1 + \theta)^{-n} \end{aligned}$$

PSの原理 γ 線相互作用

コンプトン散乱による γ 線エネルギー損失

$$\Delta E = E - \frac{E}{1 + \frac{E}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

γ 線エネルギーが $E=1.333$ MeVのとき;

$$\Delta E_{\max} = 1.118$$

PSの原理 ミューオン電磁相互作用

ミューオンのエネルギー損失: Bethe-Bloch式

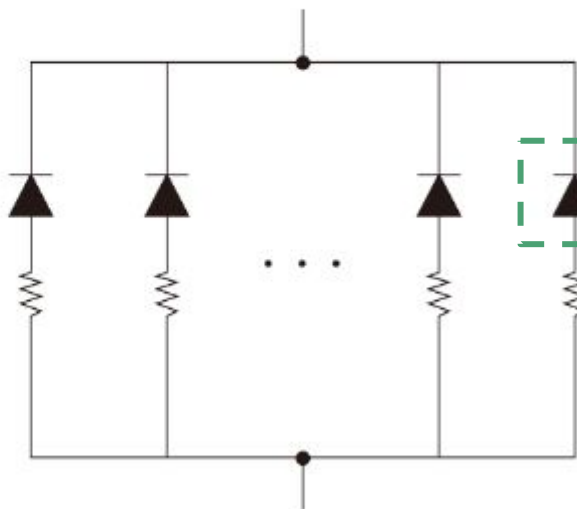
$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi N_A z^2 e^4}{m_e c^2 \beta^2} \left(\ln\left(\frac{2m_e c^2 \beta^2}{I}\right) - \beta^2 \right)$$

β の関数; 速度が十分大きいとほぼ一定

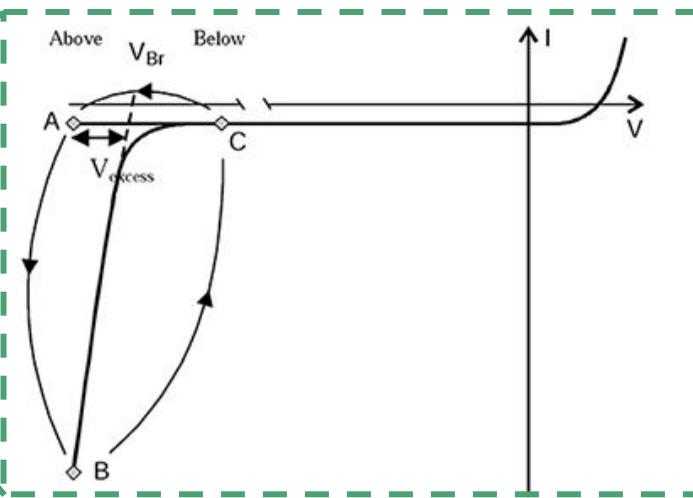
2 [MeV/cm](最小電離損失)

MPPCの原理

MPPCは複数の APDピクセルを組み合わせた素子



▲MPPCの回路図



▲APD の I-V特性

実験器具 半円型 PS(1)

端：20*20 [mm]

内半径：180 [mm]

端部反射材：

ゴアテックス・テフロン

(※既製品を用いた為、円弧部の反射材は不明)

▼ 半円型 PS



実験器具 半円型 PS(2)

役割: 円弧部に入射した
放射線を検知

備考:

両端にMPPCを接続

円弧部に角度を示す紙を貼付(詳細は後述)

▼ 半円型 PS



実験器具 ^{60}Co

▼ ^{60}Co

放射能: 4.11×10^4 [Bq]

役割: 装置の較正用 γ 線源

崩壊: $^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni} + e^- + \gamma$

0.318 MeV (β)

1.17 MeV, 1.33 MeV (γ)



実験器具 PENGUINボード・SPRESENSE(1)

SPRESENSE: SONY製マイコンボード

機能: プログラムを書き込んで

HVや**Threshold**の調整が可能

備考: 書き込みには Arduino

IDEを使用

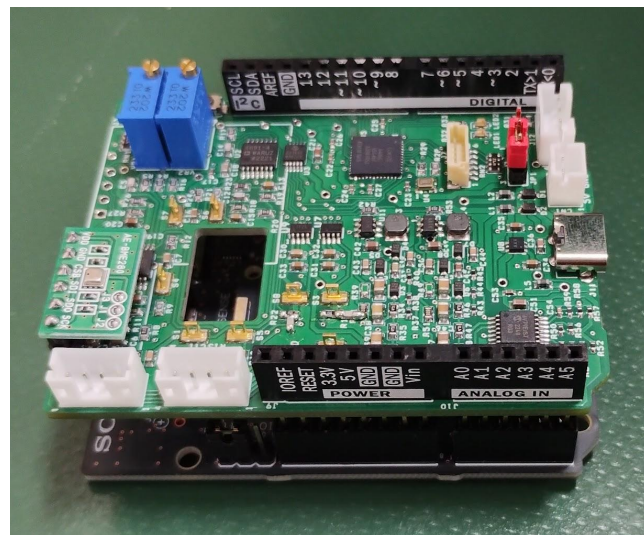


▲ SPRESENSE

実験器具 PENGUINボード・SPRESENSE(2)

PENGUINボード: SPRESENSEに組んで使用する(図)

役割: シンチレータ両端からの
2信号をそれぞれ ADC変換して
同時に読み出す(0-1023)



▲ 組み立て後の2機器

実験器具 MPPC

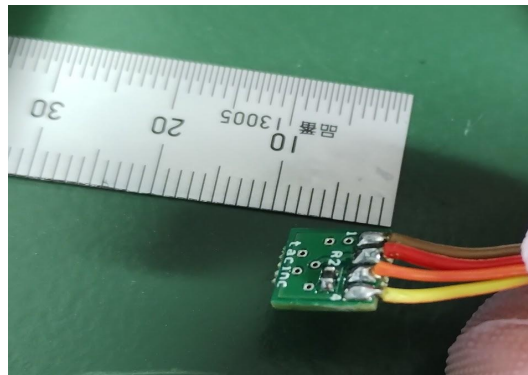
2ch 計測で使用

有効受光面: 6*6 [mm]

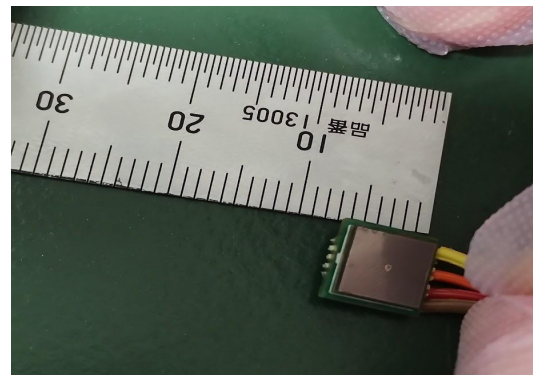
役割: **逆電圧 (HV)** で動作

シンチレータから受光面に入射した

光を電気信号に変換



◀基板面



受光面▶

実験器具 MPPC

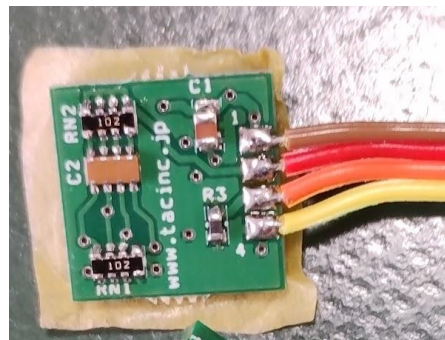
3ch 計測で使用

有効受光面：6*6 [mm] *4個

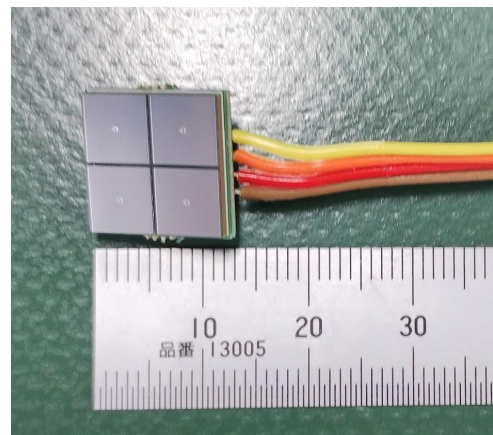
役割：**逆電圧(HV)**で動作

シンチレータから受光面に入射した

光を電気信号に変換



◀基板面



受光面▶

実験器具 CsIシンチレータ

サイズ: 20*20*10 [mm]

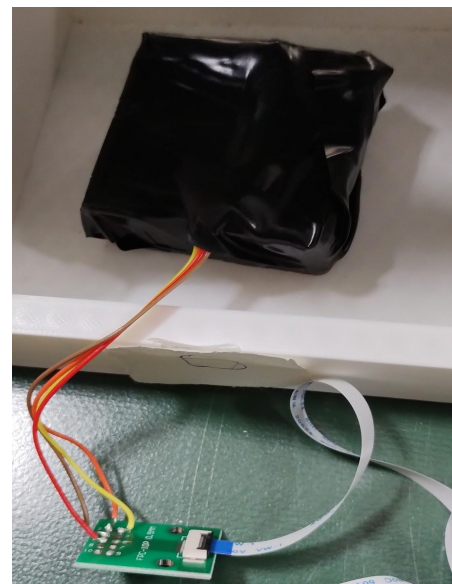
役割: 半円 PS の中心を通る放射線を判別

反射材: ゴアテックス・テフロン

備考:

上面にMPPCを接続

▼ CsI(遮光後)



実験器具 MoMoTarOボード(1)

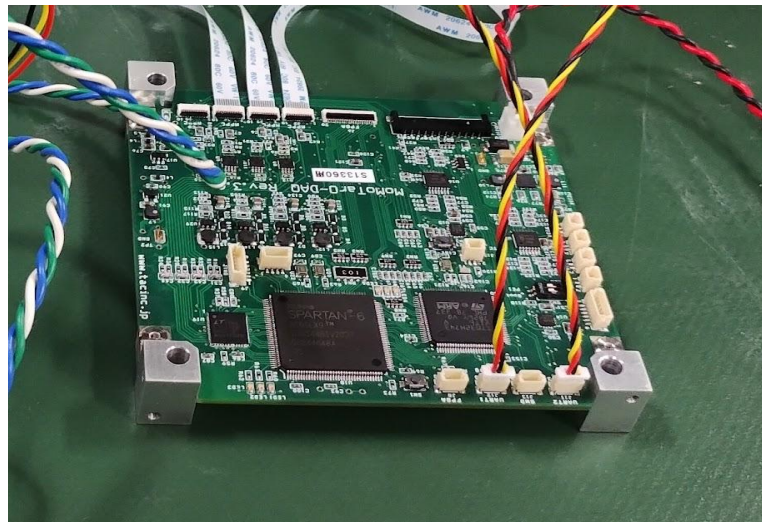
動作には5V電源が必要

役割: 4端子までの信号を

1つずつ ADC変換して

読み出す(0-4095)

▼ MoMoTarOボード

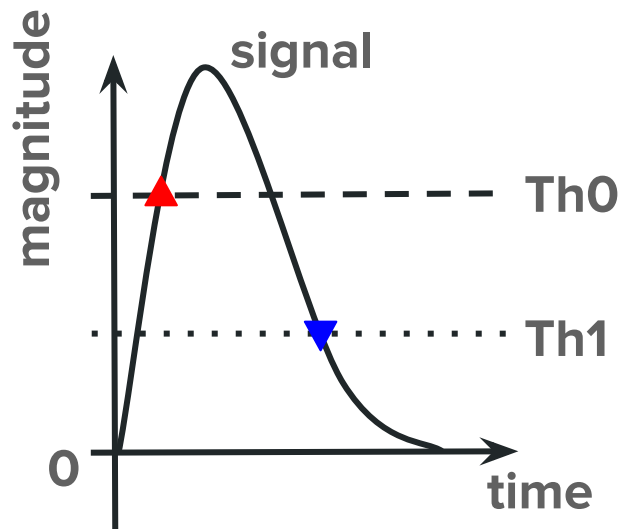


実験器具 MoMoTarOボード(2)

以下のパラメータを変更可能(主たるもの)

- ・HV: 逆電圧
- ・Th0: データ取得 **開始波高**
- ・Th1: データ取得 **終了波高**
- ・dp: 可変抵抗(ゲイン調整)

Th0とTh1の概念図▶



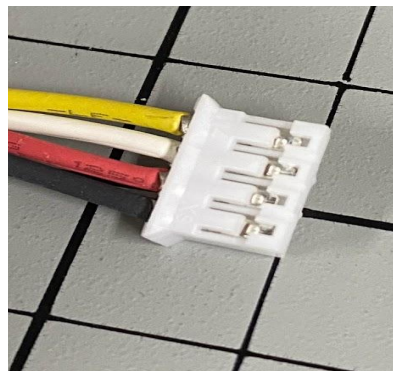
セットアップ 2ch読み出しのための工作

MPPCの導線を延長するため PHコネクタを自作

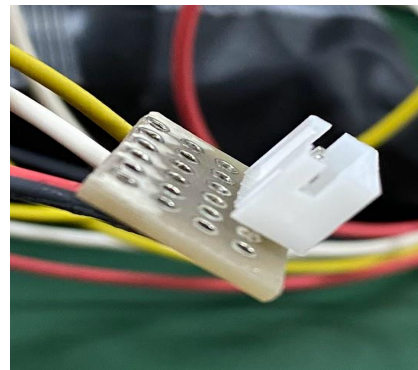


◀全体

端子は圧着・ベースは基板に半田付け



▲端子



▲ベース

セットアップ 3ch読み出しのための工作

MPPCの導線とMoMoTarO端子のインターフェイス



- ▶MPPCから伸びる4本の導線を
MoMoTarOに対応したケーブルと
整合性のある基板に半田付け

◀導線の半田付け

2ch読み出し 線形 fitting(補足)

Densityが4以下の点をノイズとした理由:

γ 線による信号であれば **Countrateは高くなる** ため

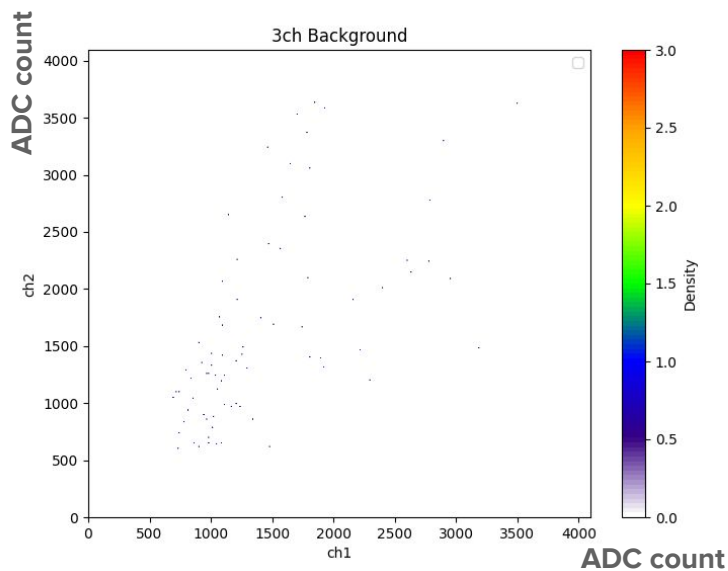
Fitting直線の切片を0で固定した理由:

エネルギーが小さい信号の極限を取れば

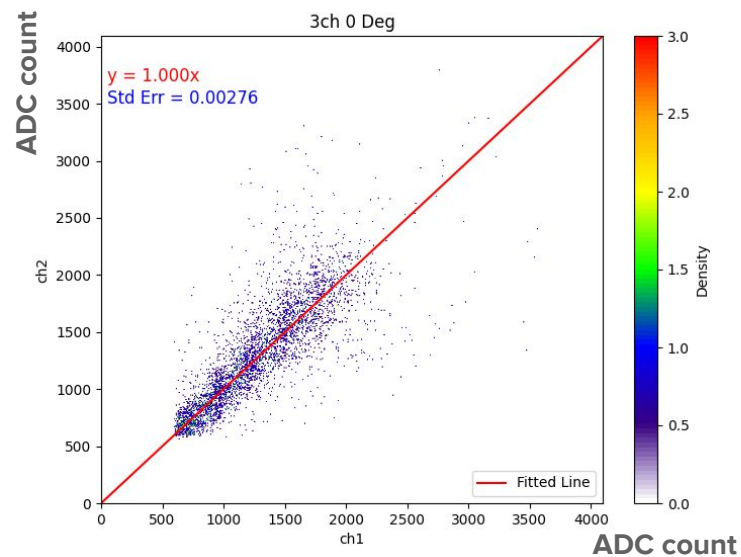
原点に収束すると考えたため

3ch読み出し 線形 fitting (vmax=3の場合)

Densityマップとfitting結果は以下の通り



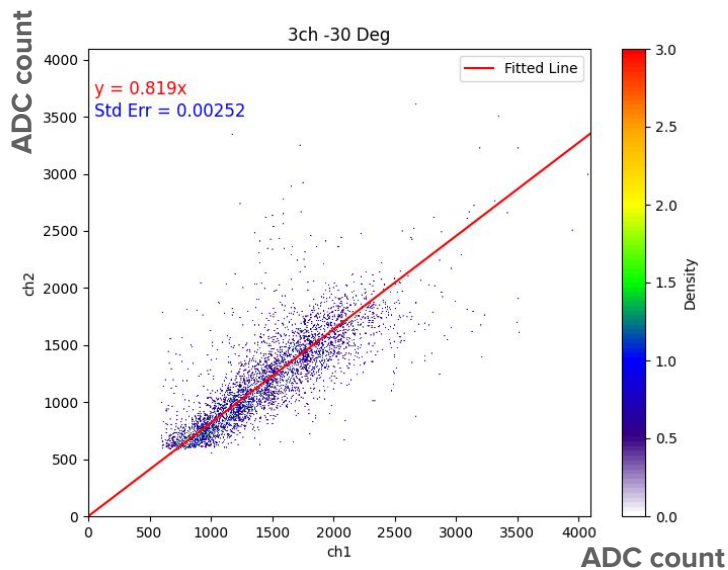
▲ Backgroundの計測



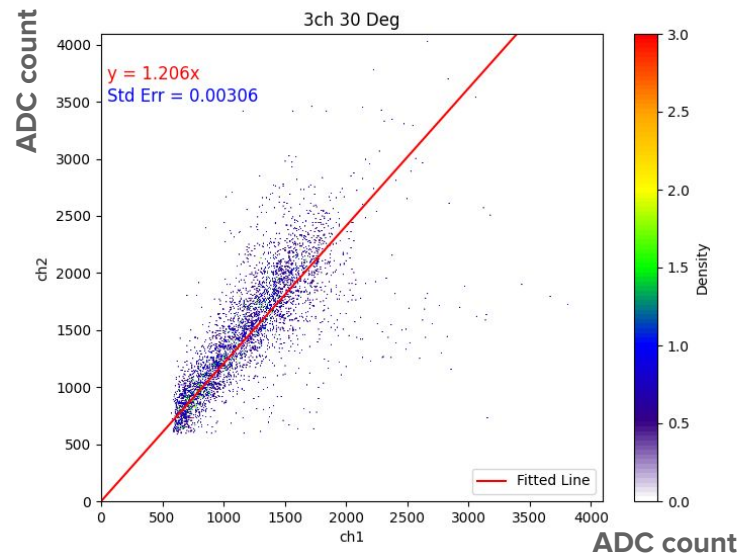
▲ 0°での計測

3ch読み出し 線形 fitting (vmax=3の場合)

Densityマップと fitting結果は以下の通り



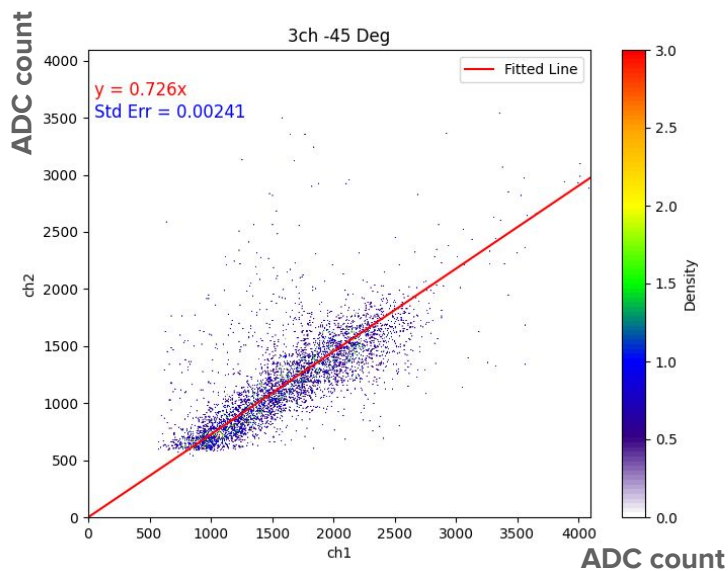
▲ -30°での計測



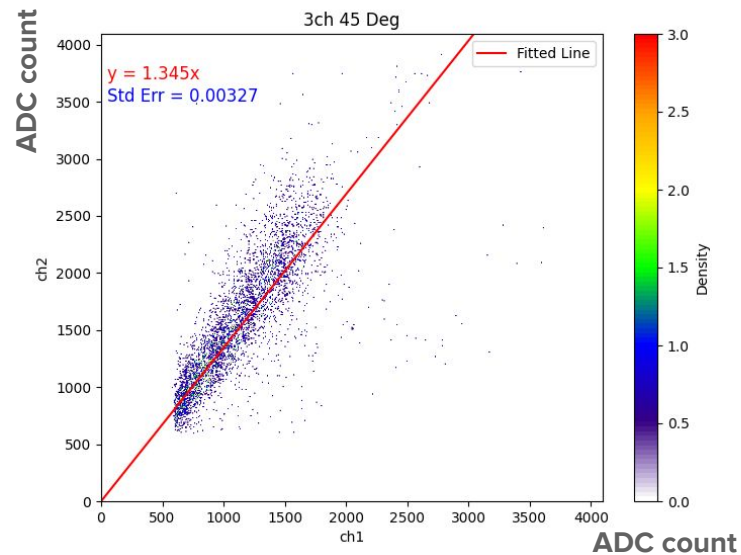
▲ 30°での計測

3ch読み出し 線形 fitting (vmax=3の場合)

Densityマップとfitting結果は以下の通り



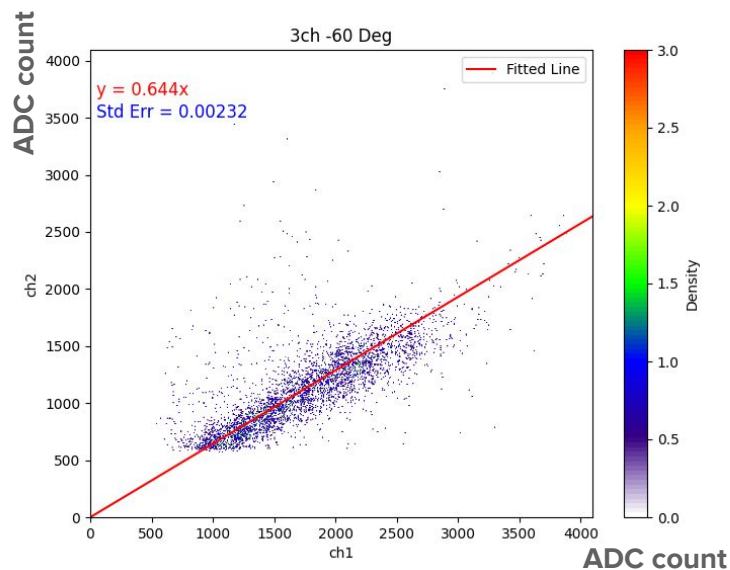
▲ -45°での計測



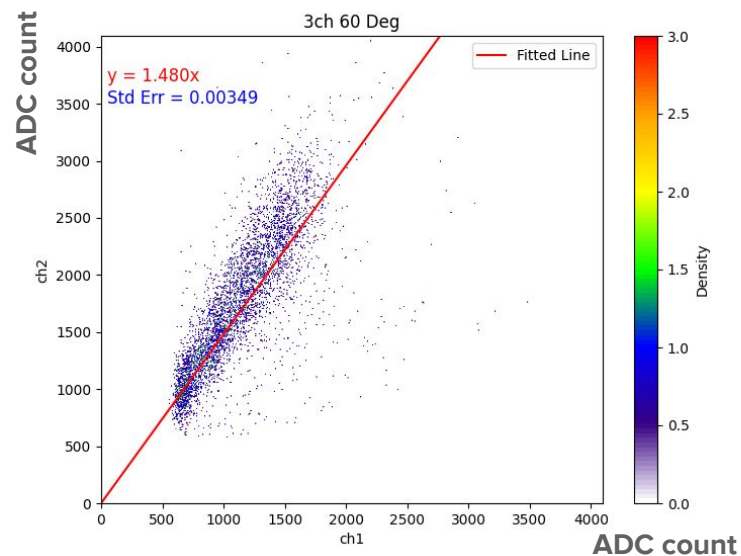
▲ 45°での計測

3ch読み出し 線形 fitting (vmax=3の場合)

Densityマップと fitting結果は以下の通り



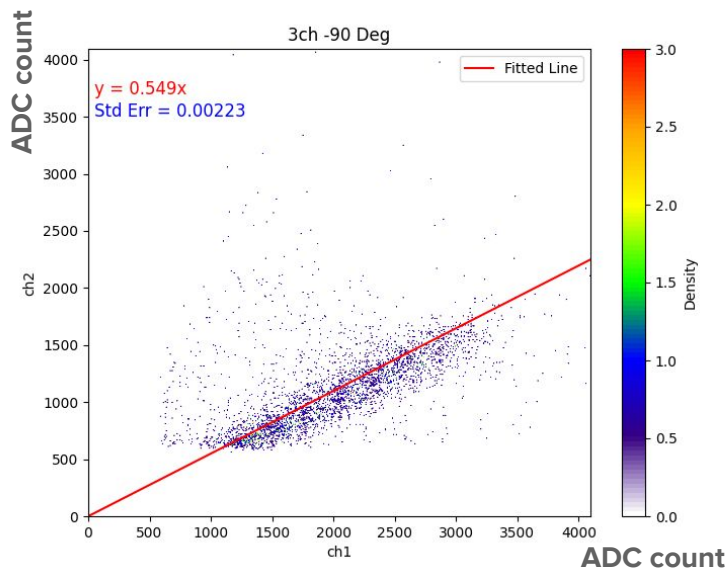
▲ -60°での計測



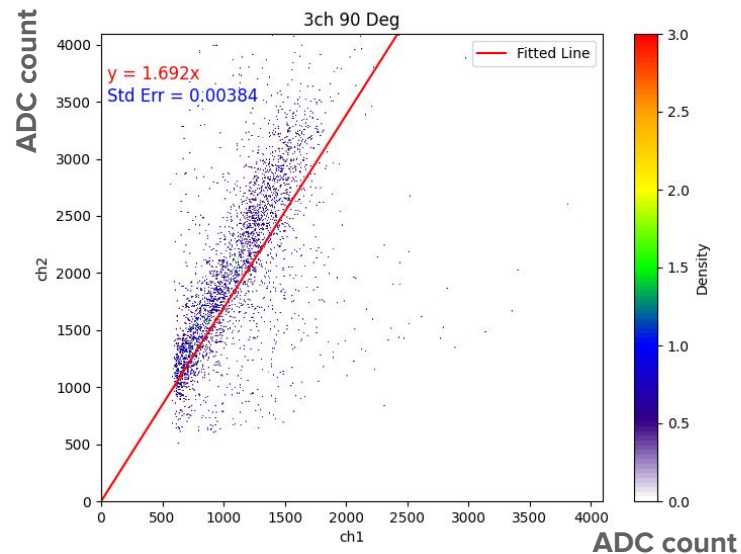
▲ 60°での計測

3ch読み出し 線形 fitting (vmax=3の場合)

Densityマップと fitting結果は以下の通り

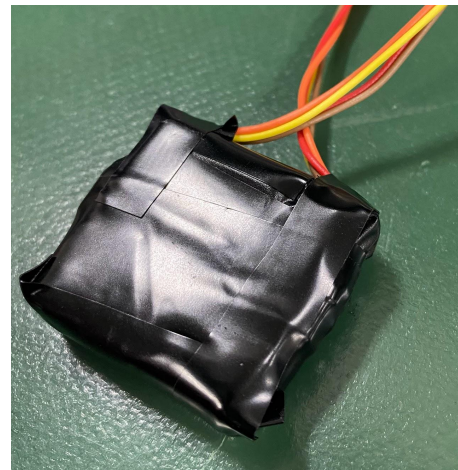
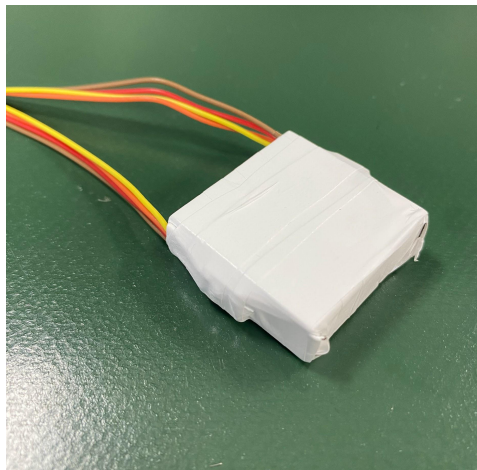
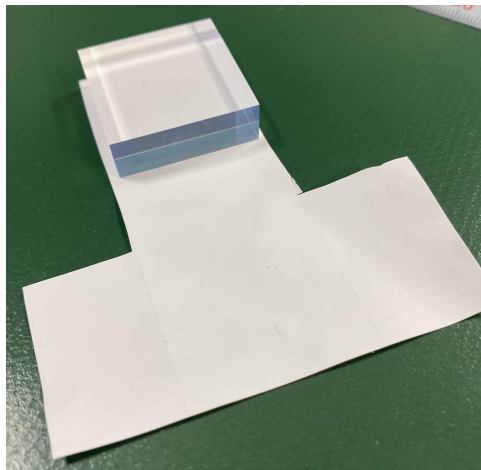


▲ -90°での計測



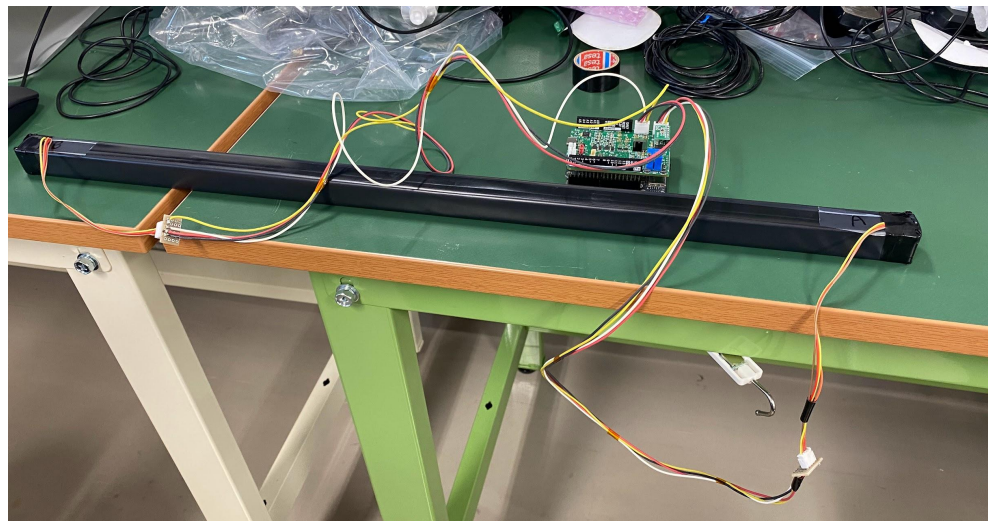
▲ 90°での計測

制作物回顧(1)



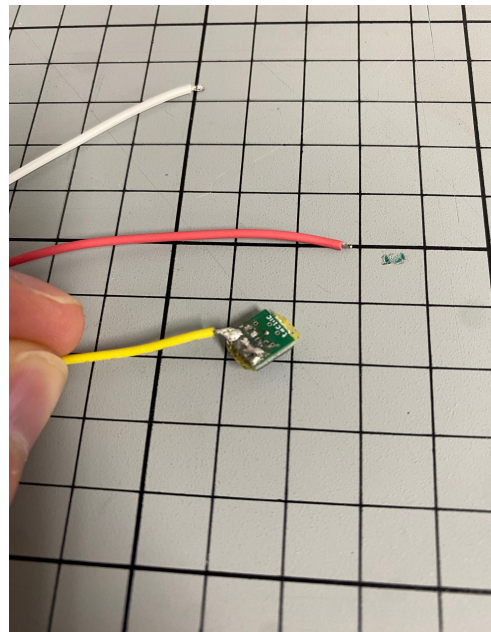
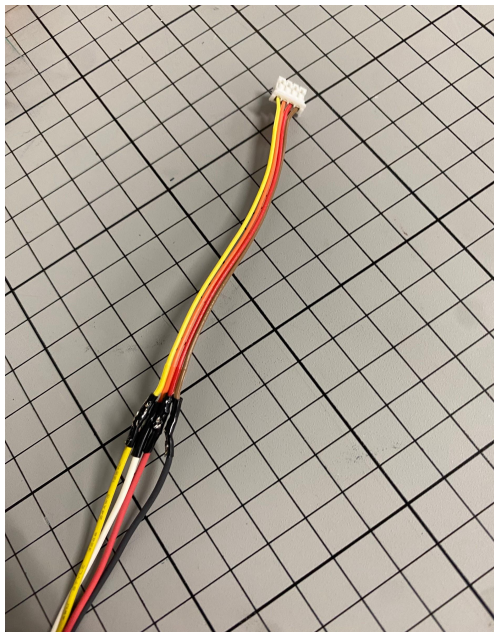
小型のPS(当初、3ch計測で使う予定だった。途中で Cslに変更)

制作物回顧(2)



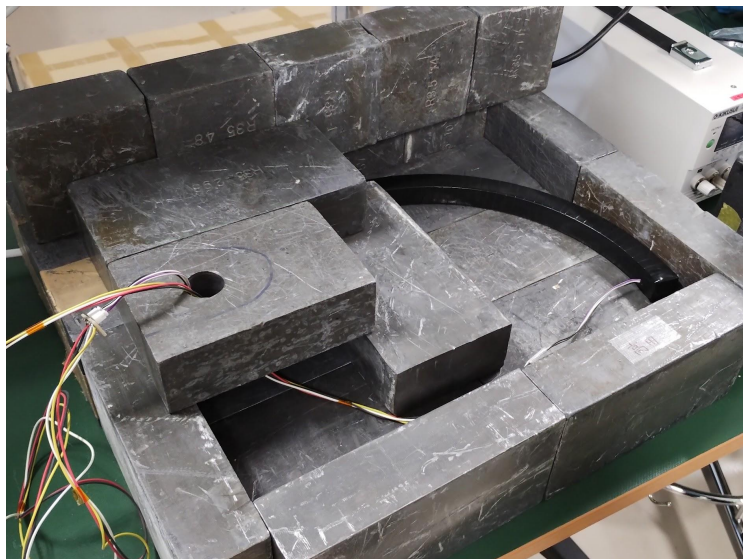
1m直線型のPS(ミュオン測定の実習用として。)

制作物回顧(3)



コネクタを使わずにケーブルを延長しようとした。非推奨。

制作物回顧(4)



ノイズを嫌って鉛の城を築いた。あまり収穫はなく、築5日で解体。

制作物回顧(5)



自作ケーブルが壊れた。これも実験の醍醐味だと自分に言い聞かせる。