

# 荷電レプトンを用いたCPの破れの探索

日本物理学会 2008年秋季大会 @山形大学  
2008年9月21日

山崎高幸、西原一幸、難波俊雄、浅井祥仁<sup>A</sup>、小林富雄

東京大学素粒子物理国際研究センター、東京大学理学部<sup>A</sup>

# Introduction

- CPの破れ クォークセクターでは $10^{-3}$ で発見されたが、物質・反物質の非対称の説明にはまだ足りない
- レプトンセクターでは未発見
- 本実験では $e^-$ ,  $e^+$ の束縛状態であるオルソポジトロニウム(o-Ps)を用いてレプトンセクターにおけるCPの破れを $10^{-3}$ の感度で探索する

# ポジトロニウム

- 電子( $e^-$ )と陽電子( $e^+$ )の束縛状態
- $+s$ ソースから放出された陽電子をターゲットにぶつけて生成する
- $s = 1022\text{keV}$
- スピン統計によりp-Ps(パラ)とo-Ps(オルソ)に分けられる

	p-Ps	o-Ps
スピンの大きさ $S$	0 ( $m_S = 0$ )	1 ( $m_S = 0, \pm 1$ )
$C = (-1)^{L+S}$	1	-1
decay mode	2, 4, 6, ...	3, 5, 7, ...
lifetime	125 psec	142 nsec

は $C = -1$

Phase Space と  $EM$  により崩壊率に約1000倍の差

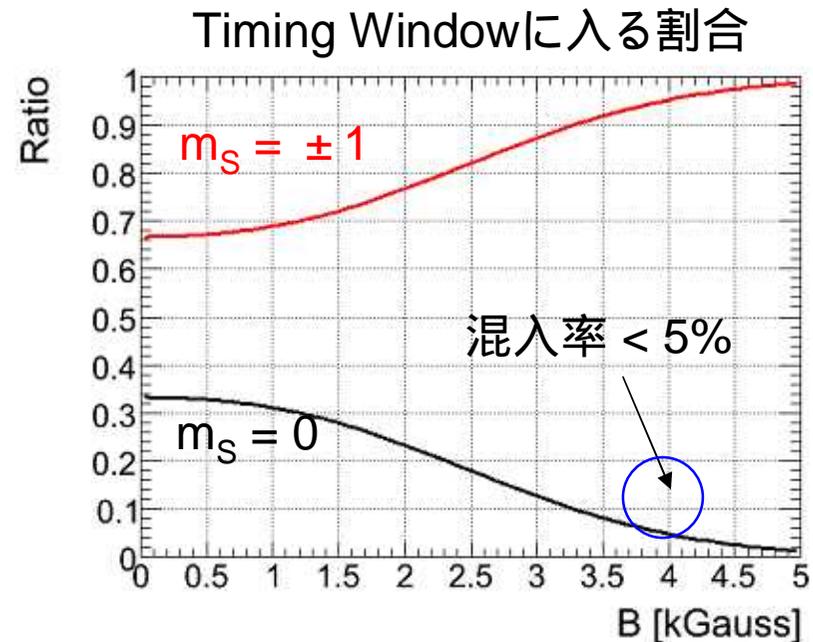
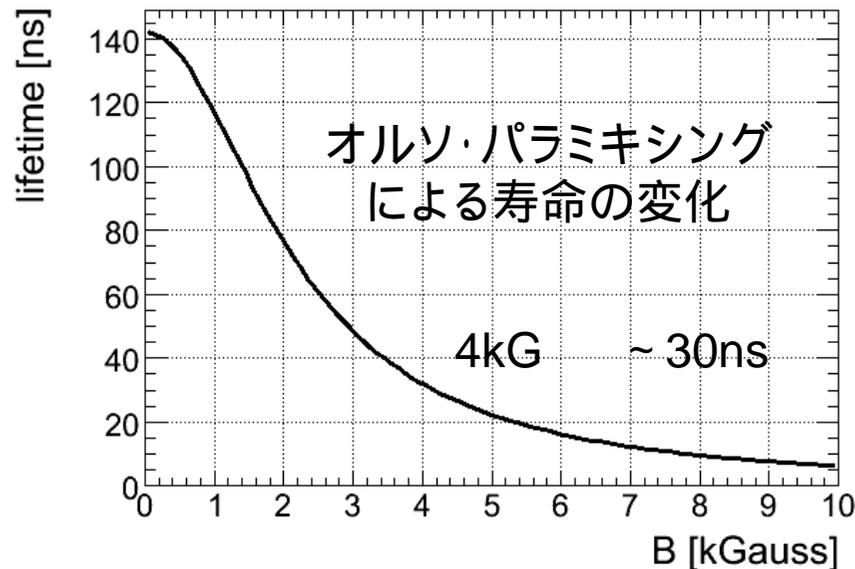


## 実験の原理(2)

ポジトロニウムはスピン統計により  $p\text{-Ps} : o\text{-Ps} = 1 : 3$  で生成される

さらに、 $o\text{-Ps}$ のうち、 $m_S=0$ のイベントはCPの破れを生まないため、 $o\text{-Ps}$ の  $m_S=\pm 1$ 成分のみを取り出す必要がある

Timing Window : 磁場をかけることで $o\text{-Ps}$ の $m_S=0$ 成分と $p\text{-Ps}$ がmixingを起こし、 $o\text{-Ps}$ の寿命が短くなる。100 ~ 400nsの崩壊時間を要求することで $o\text{-Ps}$ の $m_S=\pm 1$ 成分のみを選び出す。約4kGaussの磁場をかける(これはスピンを向きをそろえる役割もする)



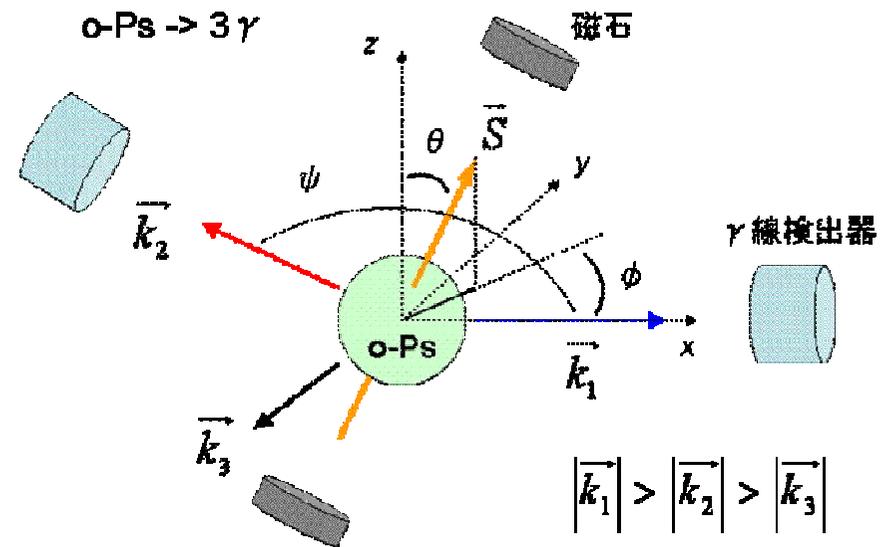
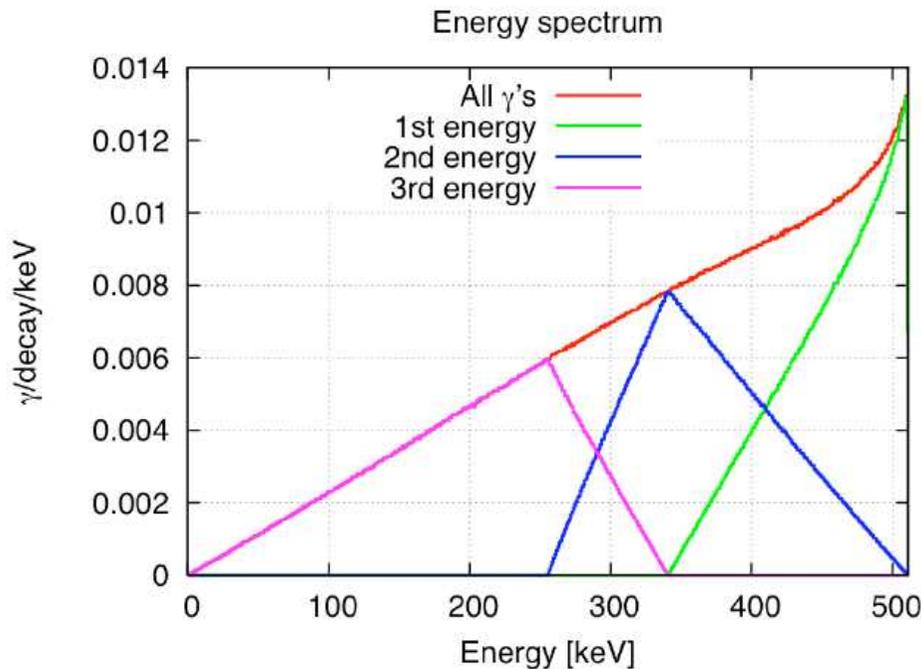
# 実験の原理 (3)

## Energy Window

この実験ではo-Ps 3 崩壊においてenergyの高いほうから2本 ( $k_1, k_2$ ) の線を検出する必要がある。3 崩壊のスペクトルは下図のようになるので、Energy Selectionとして、

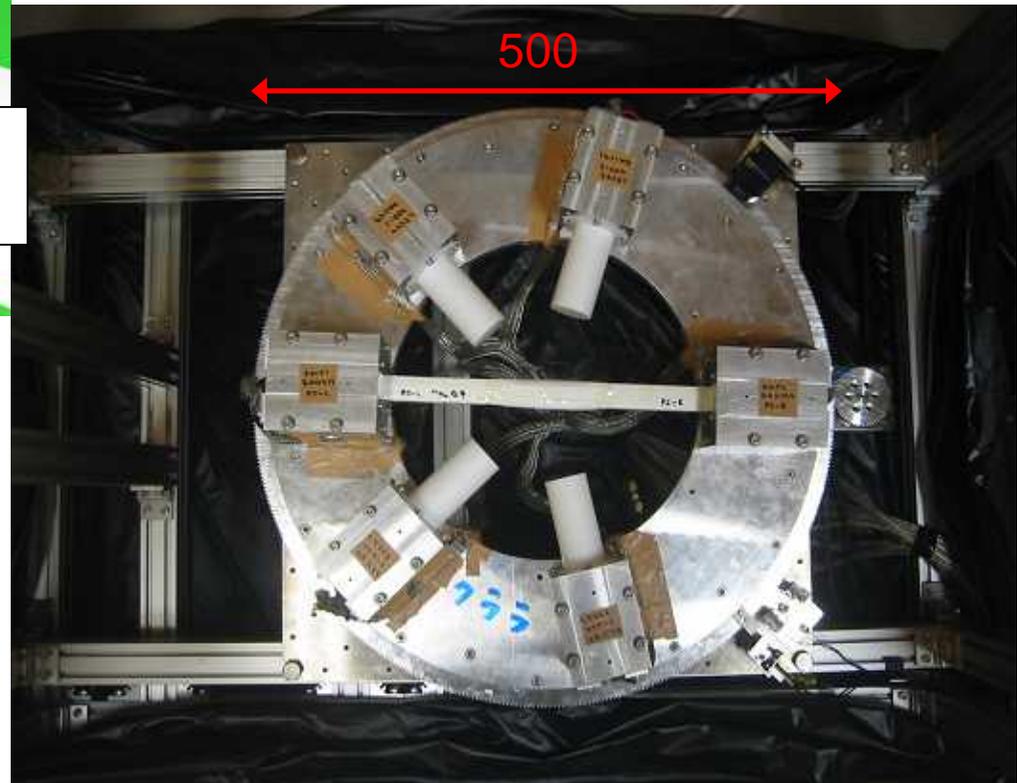
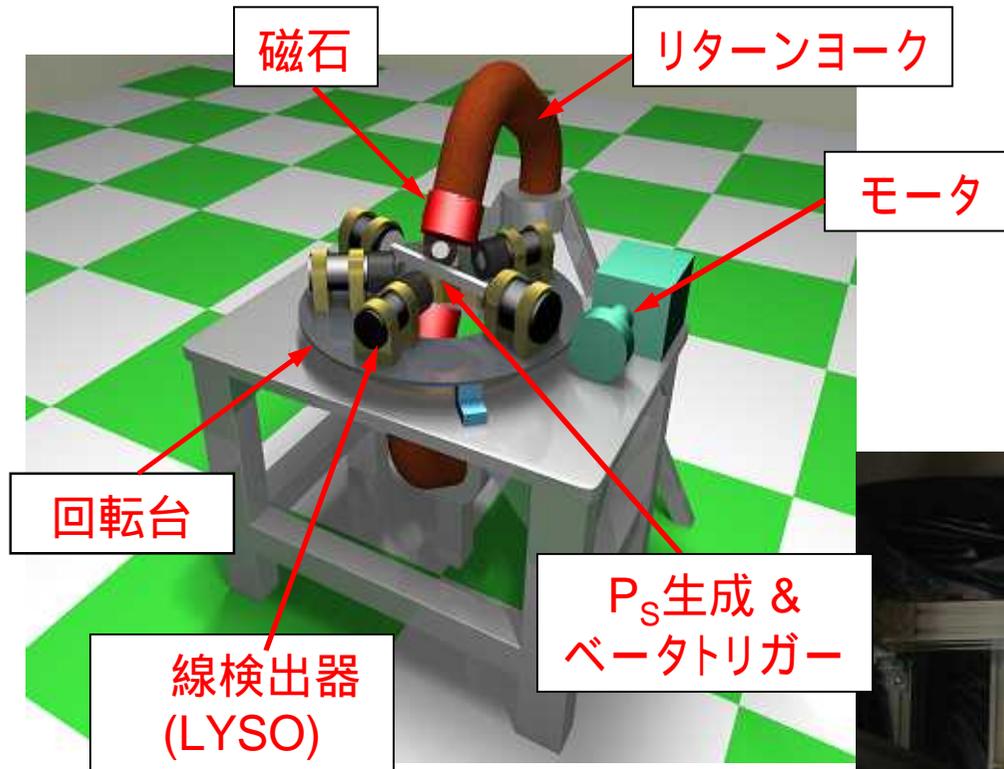
$$400 < k_1 < 500, \quad 300 < k_2 < 400, \quad k_1 > k_2 + 50$$

を課す(単位:keV)



$$N = N_0 (1 + C_{CP} (\hat{S} \cdot \hat{k}_1) \cdot (\hat{S} \cdot \hat{k}_1 \times \hat{k}_2))$$

# 実験装置



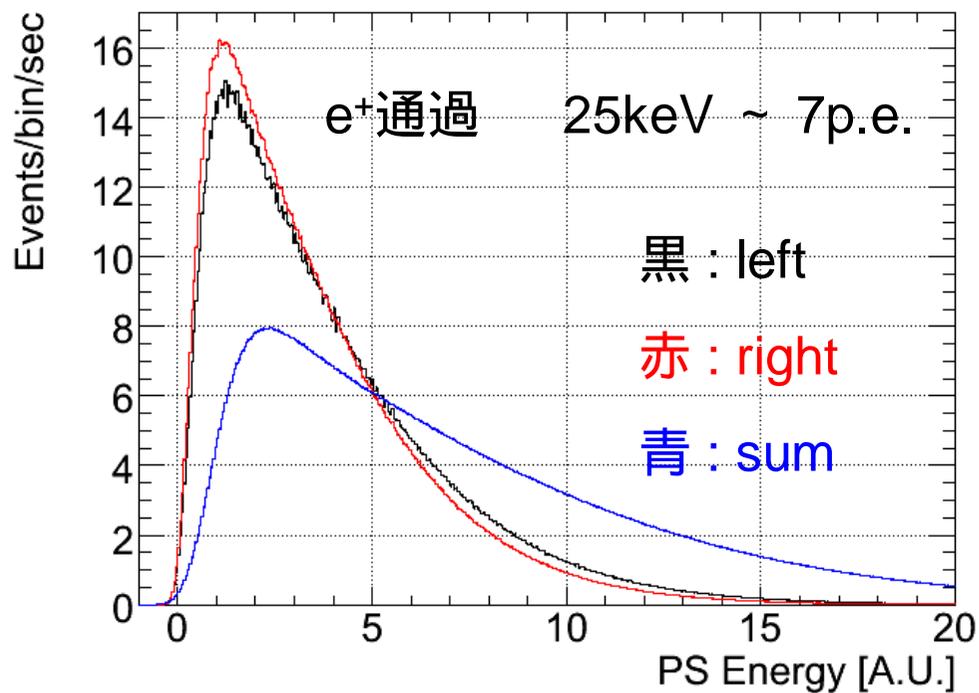
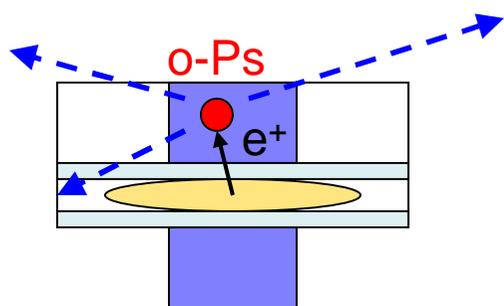
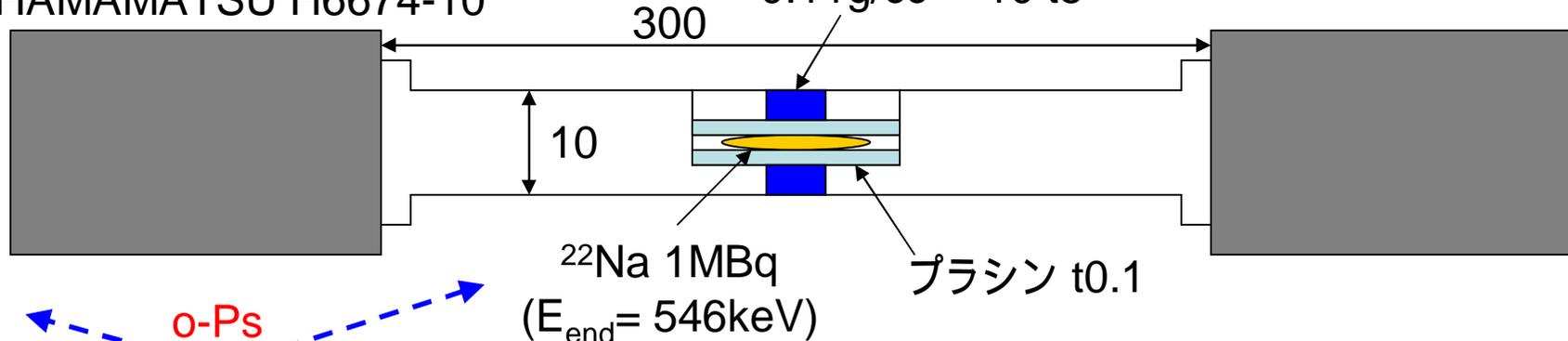
# Ps生成およびベータトリガーシステム

PMT ファインメッシュ 2inch

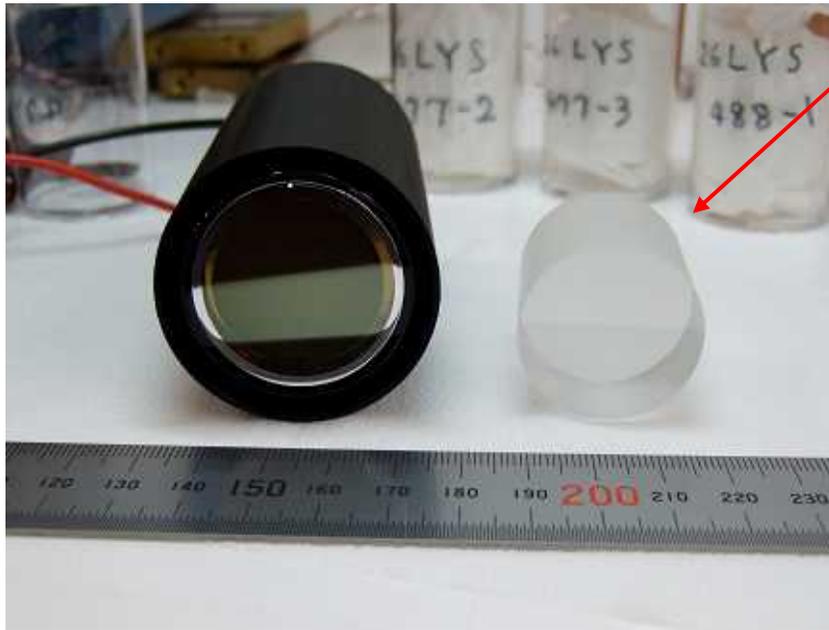
HAMAMATSU H6674-10

シリカエアロジェル  
0.11g/cc 10 t5

pick-offを抑えるためにシリカエアロジェル部分には窒素を流す



# 線検出器



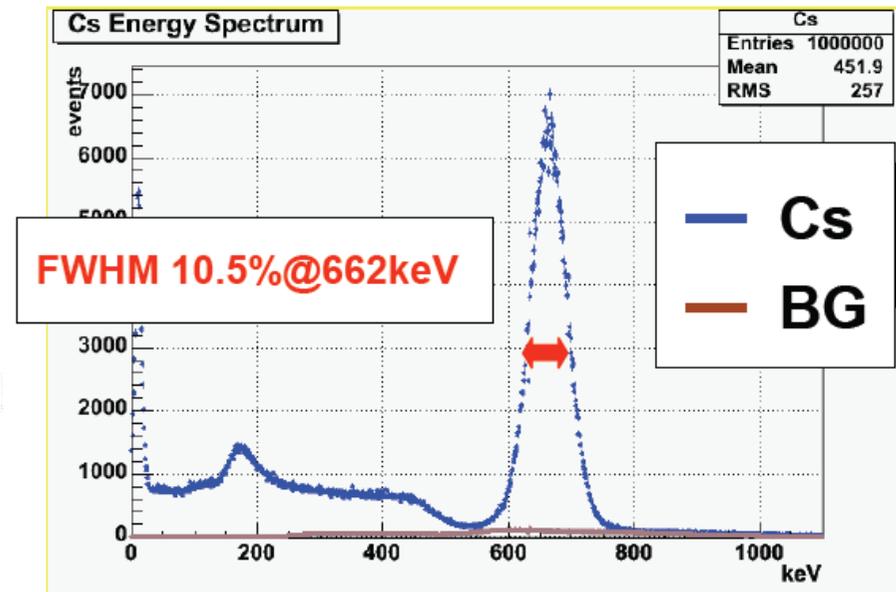
LYSO(Lu<sub>1.8</sub>Y<sub>0.2</sub>SiO<sub>5</sub>)結晶 30×30

立ち上がり10ns =40ns ハイレート可

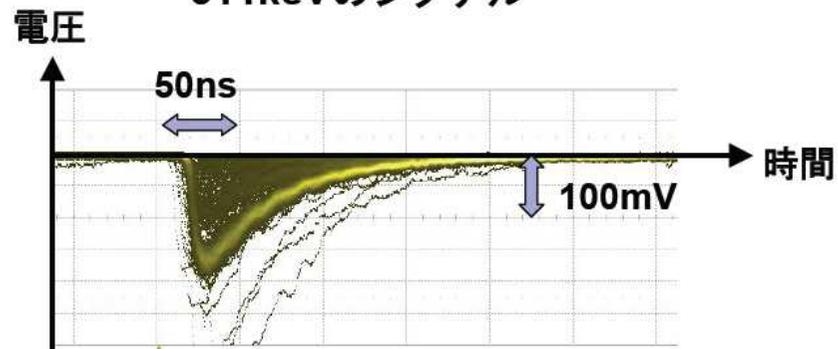
高いエネルギー分解能

Lu : Z=71, ρ=7.1g/cm<sup>3</sup> コンプトンを抑制

<sup>137</sup>Csのスペクトル

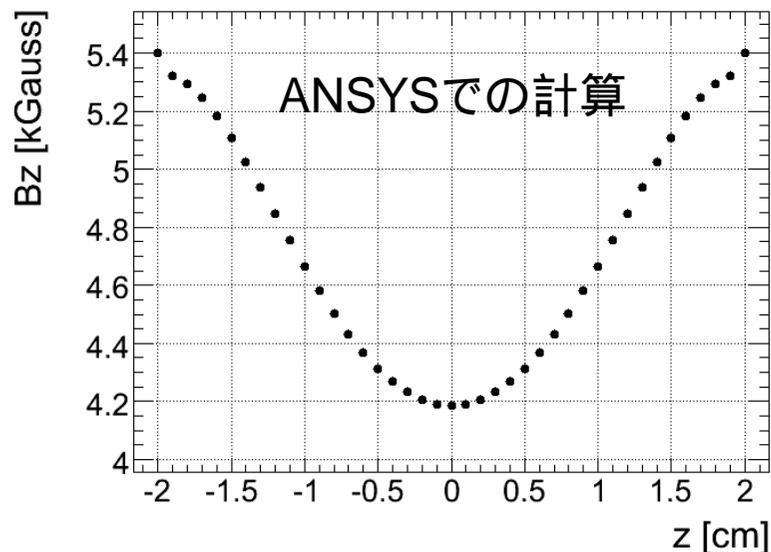
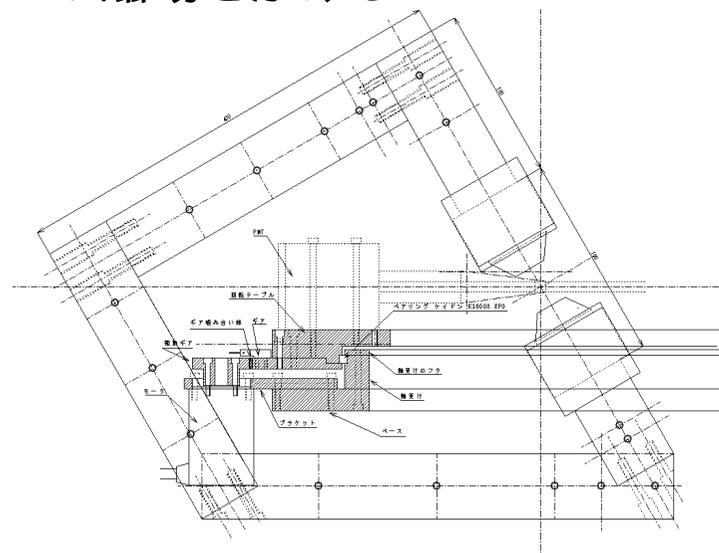
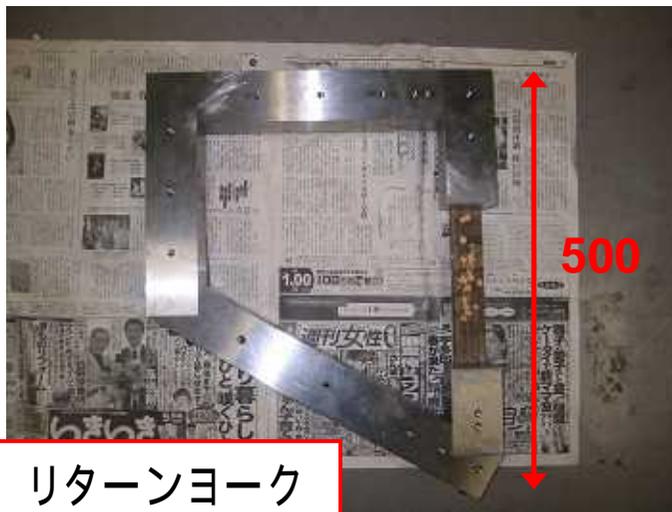


511keVのシグナル



# 磁場システム

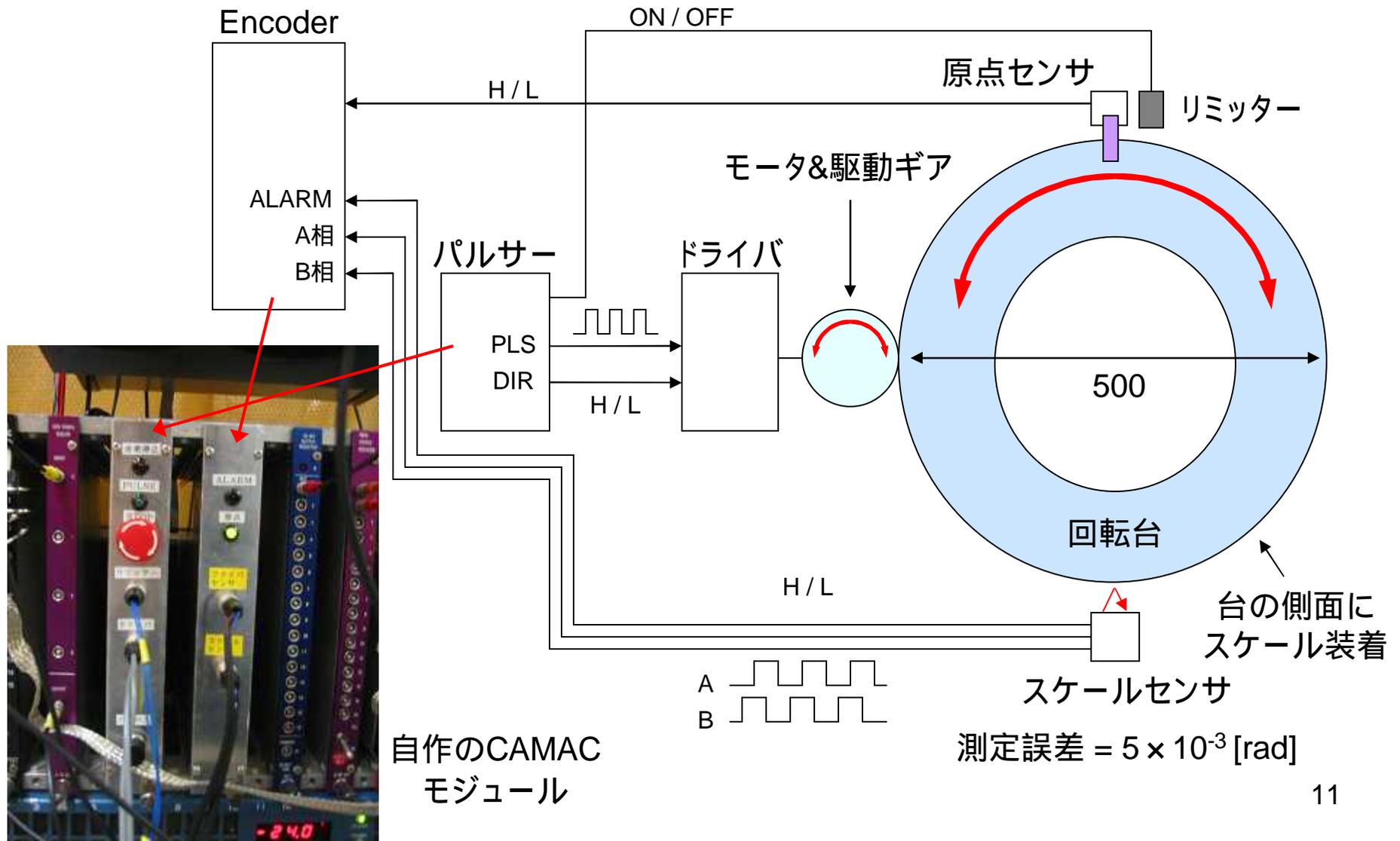
磁場は、オルソ・パラミキシングによるo-Psの $m_s=0$ 成分の分離と、o-Psのスピンの向きを揃えるという2つの役割を担う。今回、80 t50のネオジム磁石×2とリターンヨークにより4kGaussの磁場をかける



ANSYSで計算すると、  
中心磁場 = 4.2kG  
エアロジェル領域での一様性  
 $B_r/B_z < 2.5\%$ .  $B_z < 2.5\%$

# 回転システム

ベータトリガーシステムおよび 線検出器がマウントされたステージを磁場に対して回転させて測定 固体差、相対位置の差からくるsystematicを取り除く

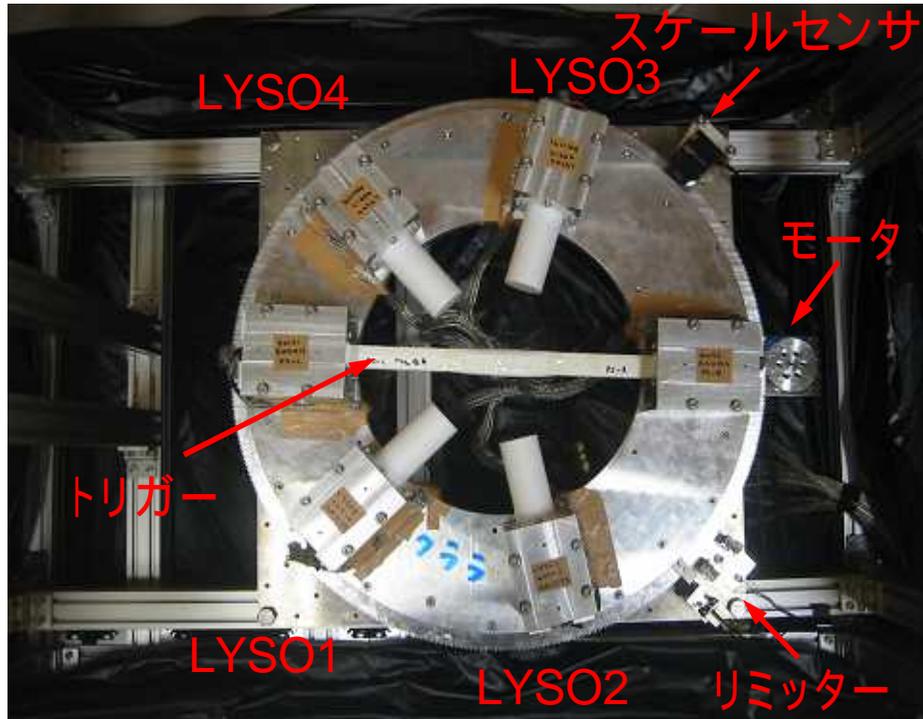


華麗にまわります @ 8倍速



# 磁場なしrun

磁石を取り付ける前にチェック用のrunを行った



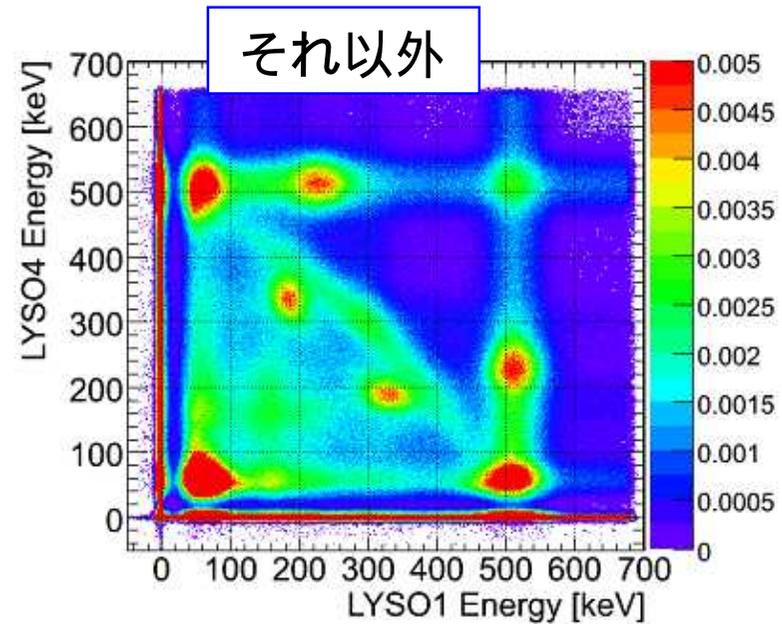
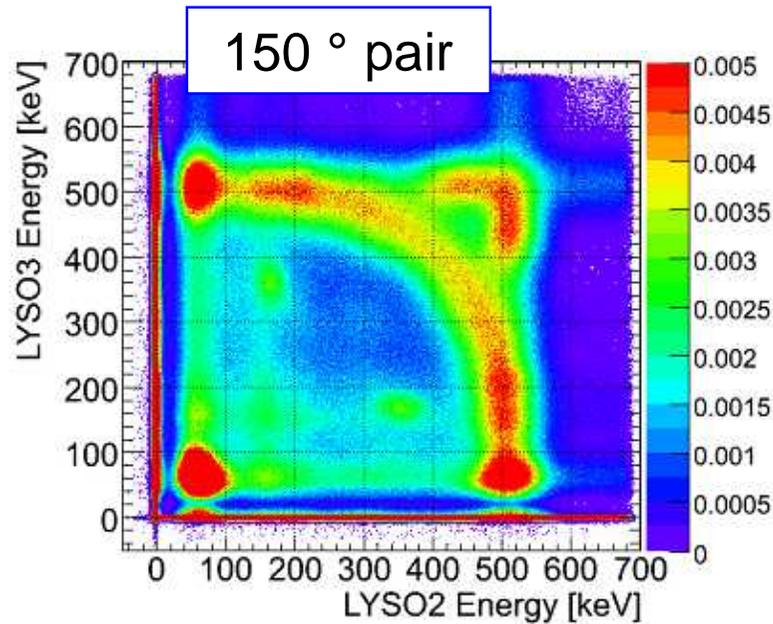
暗箱内、HV、NIMの温度および暗箱内の酸素濃度をモニターして管理



線検出器 =150° pair は  
(1, 3), (2, 3), (2, 4) の3組

# Data & Event Selection (1)

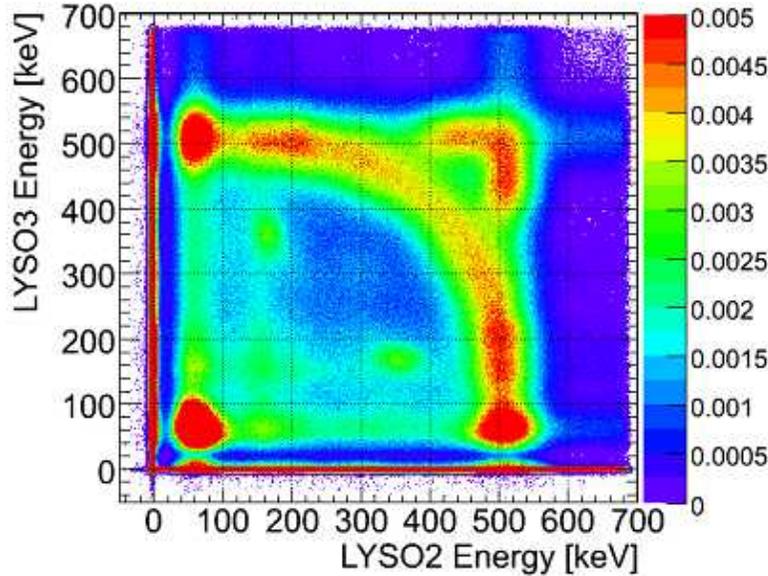
No cut での 線のenergy分布



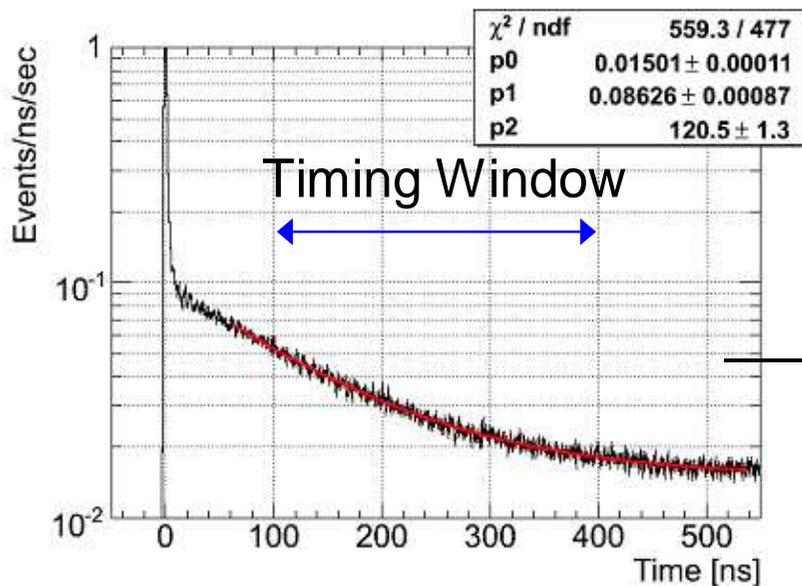
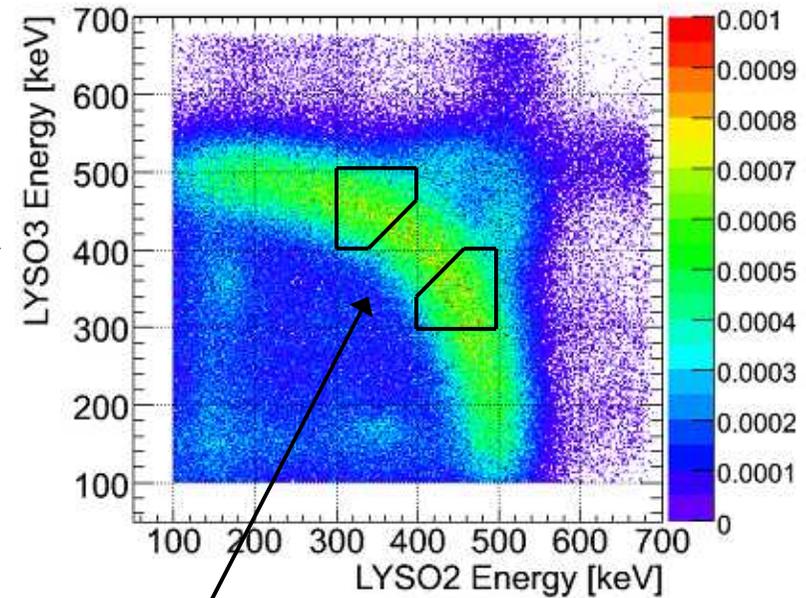
150° pair 以外は  $(1, 4) = 90^\circ$ ,  $(2, 4), (3, 4) = 60^\circ$  なので、3 崩壊において最もenergyの高い 線( $k_1$ )は入ってこれない

# Data & Event Selection (2)

ゴミイベントを取り除いたらTiming Window (100 ~ 400ns)を課す



Timing Window



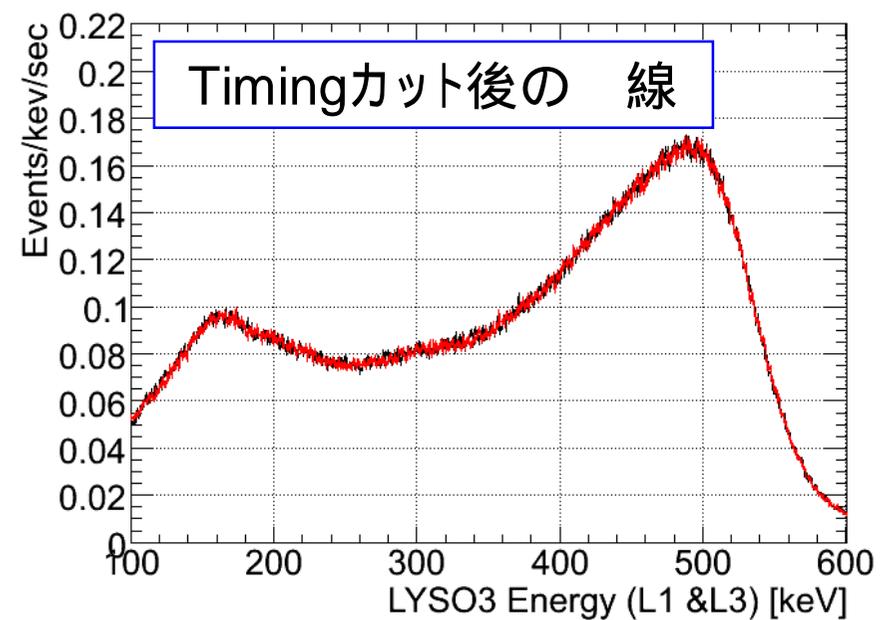
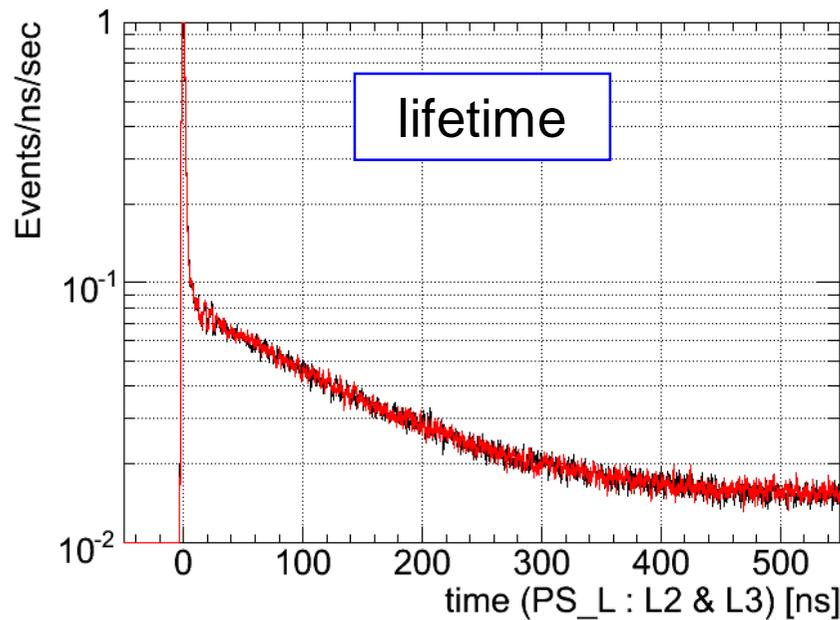
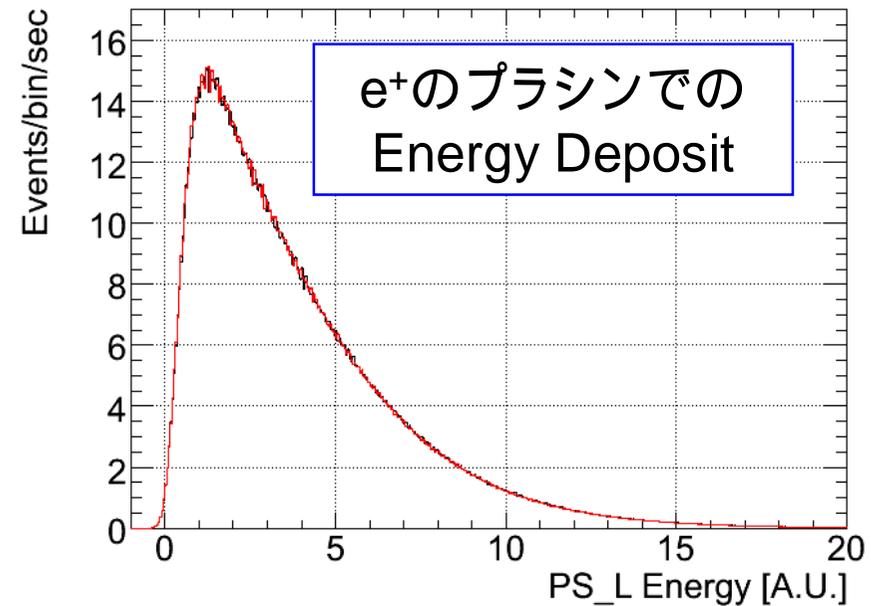
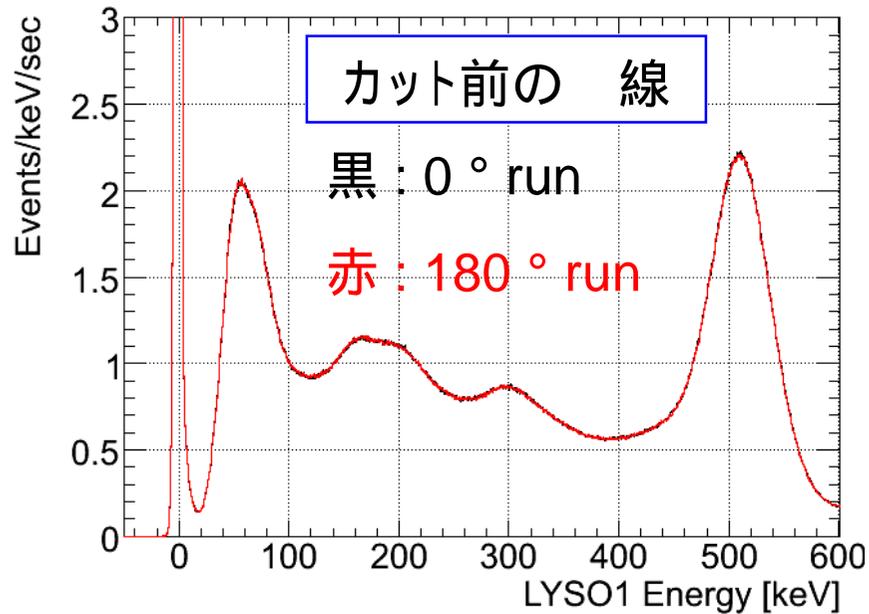
そして Energy Windowに入ったイベント数を数える

$$(400 < k_1 < 500, 300 < k_2 < 400, k_1 > k_2 + 50)$$

Lifetime = 120.5 ns

窒素中、o-<sup>18</sup>Oはちゃんと生成されている

# 0° run と 180° run のスペクトラム比較



# レート

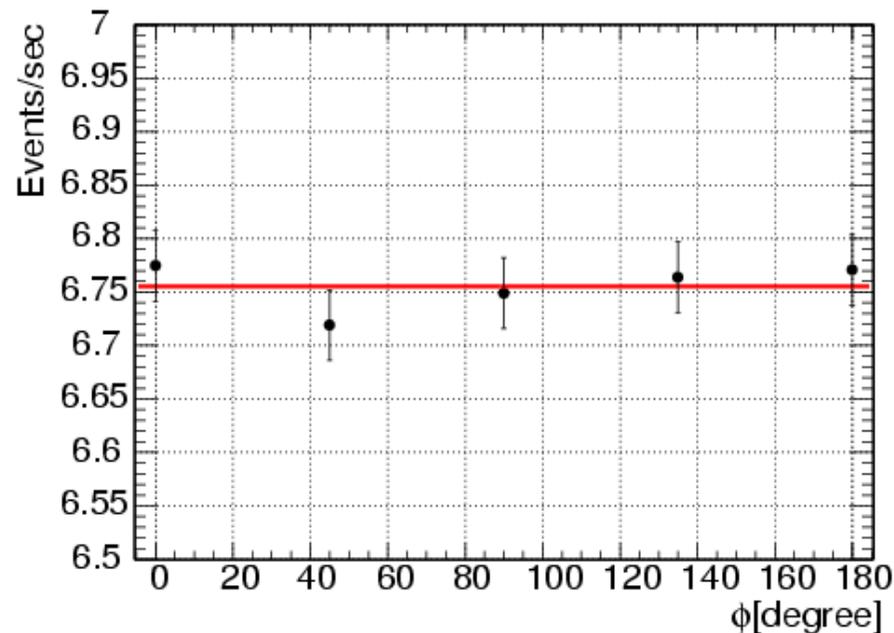
- このセットアップでは、例えば

$$\frac{N_0 - N_{180}}{N_0 + N_{180}} = \frac{N(1 + \frac{1}{2} C_{CP} \sin(2 \times 30) \sin 150 \cos 0) - N(1 + \frac{1}{2} C_{CP} \sin(2 \times 30) \sin 150 \cos 180)}{N(1 + \frac{1}{2} C_{CP} \sin(2 \times 30) \sin 150 \cos 0) + N(1 + \frac{1}{2} C_{CP} \sin(2 \times 30) \sin 150 \cos 180)} = 0.217 C_{CP}$$

であり、 $N_0, N_{180}$ それぞれ $10^7$ イベントあれば  $C_{CP}=10^{-3}$ になる

- 実測から得られたイベントレートは、6.75Hz

磁場ありでは $6.75\text{Hz} \times 2/3 = 4.5\text{Hz}$     livetimeで約100日間必要



台を回転させて測定を行い、  
イベントレートに角度依存性  
がないことを確認

## まとめと今後

- o- $P_s$ を用いてレプトンセクターにおけるCPの破れを $10^{-3}$ の感度で検証したい
- まずは磁場なしでの測定を行い、非対称が存在しないことを確認した
- さっさと磁石つけて測定します