

o-Ps \rightarrow invisible 崩壊の探索 II ～検出器の製作～

是木玄太

難波俊雄、兼田充、浅井祥仁、小林富雄
東京大学素粒子物理国際研究センター

Contents

- 目的
- 4π Detectorの設計
- 実際使うCsI(Tl)、NaI(Tl)について
- 期待される感度の評価
- まとめ

目的

- (1) 511keVの γ 2発を確実に捕らえるため、全立体角を覆う
Detector(CsI(Tl)30本, NaI(Tl)62本)を作る
- 尚、用いるCsI, NaIは資金の都合上 出来る限り昔の実験から再利用した

CsIは23本つぎはぎのもの

(昔、ICEPPの実験で使ったもので10年以上前のもの)

NaIは20年程前KEKのE68実験で使用されたもの(62本)

→ Thanks KEK

今回新たに購入したのはCsI7本だけ

これらの検出器を用いてinvisible崩壊を探索する

- (2) このDetectorを使い、今までより一桁以上 高い感度(崩壊分岐比 $10^{-7} \sim 10^{-8}$)でinvisible崩壊の探索を行う

本実験で使う検出器たち (CsI(Tl), NaI(Tl))

CsI(Tl)

Sample “つぎはぎのもの(10年以上前の実験の遺品)”



60*60*280 + 57*57*140

Hamamatsu
H6410MOD

CsI(Tl)

Sample “新規購入品”

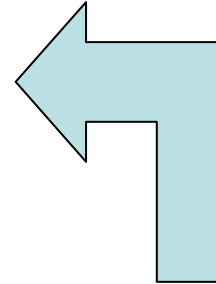


60*60*400

Hamamatsu
H6410MOD



NaI(Tl)



(43*94)*(110*94)*377

Hamamatsu
R594-09

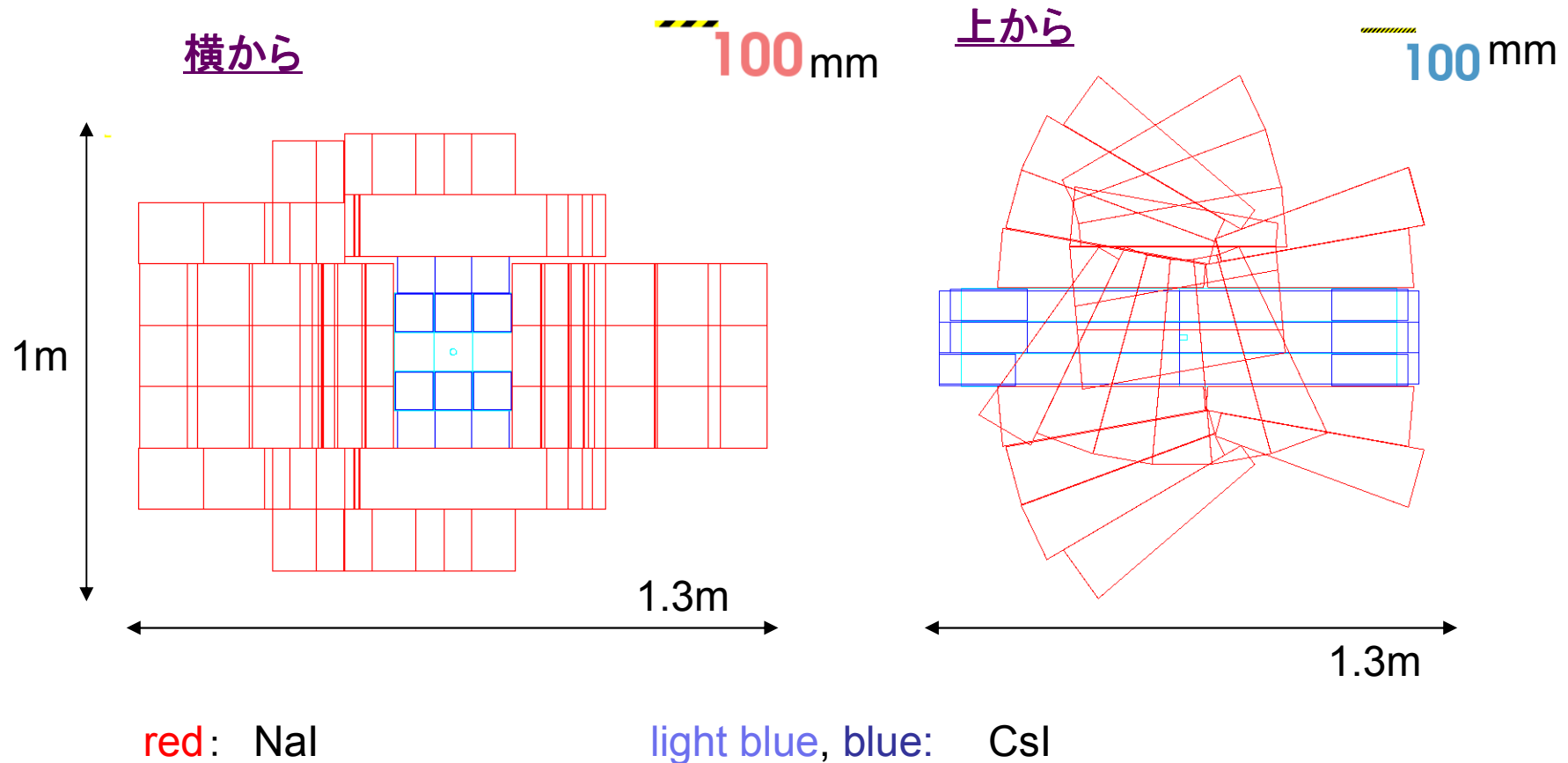
E68実験で利用されていたもので、36本並べるとちょうどリングになるように設計されている

Sample

CsI, NaI配置図

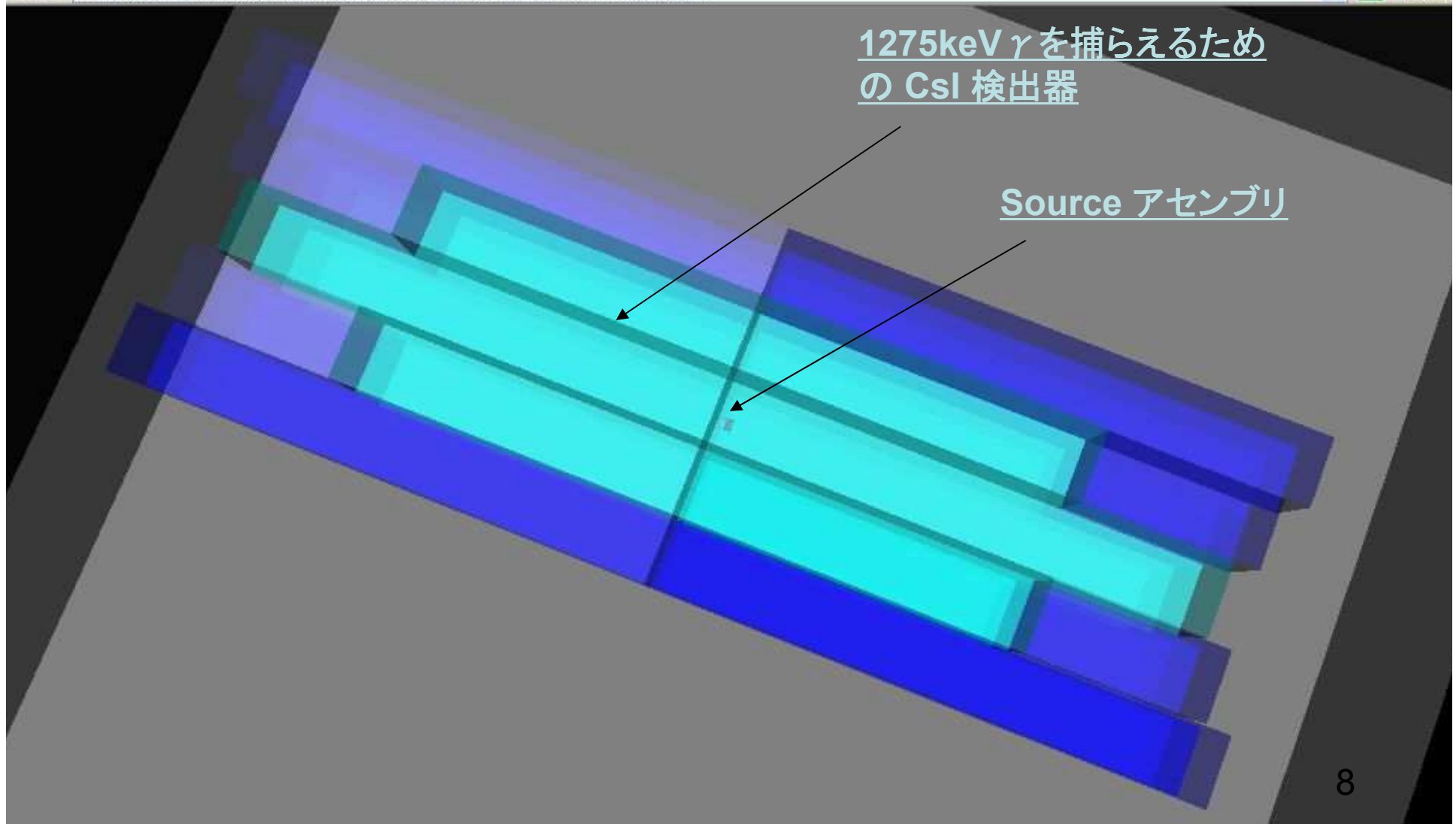
詳細は後述するが、線源からどの方向を向いても単色 γ 511keV が反応せずに通り抜ける確率を $10^{-4.5}$ 以下になるようにする。

すなわちback-to-backの γ 511keV 2発が抜ける割合が 10^{-9} 以下になるように設計した



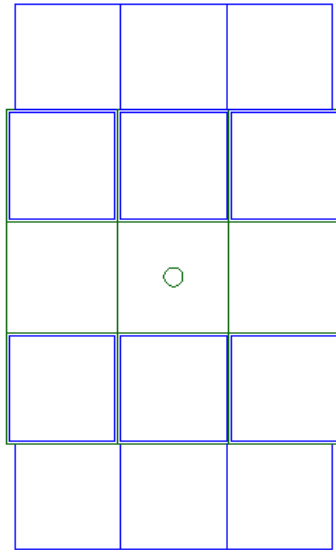
CsI配置図

1275keV γ を捕らえるためのtriggerCsIはsourceの対面に配置する



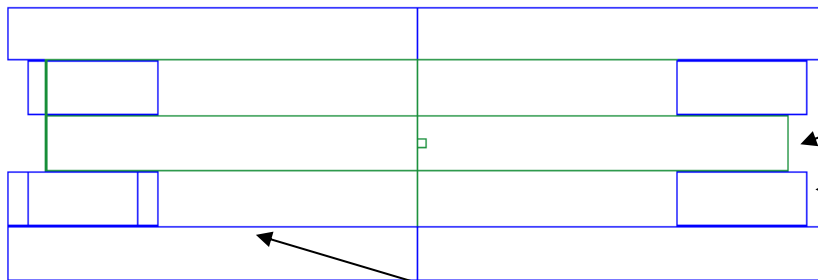
Csl Setup

組み方: 3×5 (15本) + 3×5 (15本)
(計30本)



横から

緑色: つぎはぎのないもの or 60*60の面のもの
新規購入したつぎはぎのないものが中心になる
ように配置した(線源に近いところ)

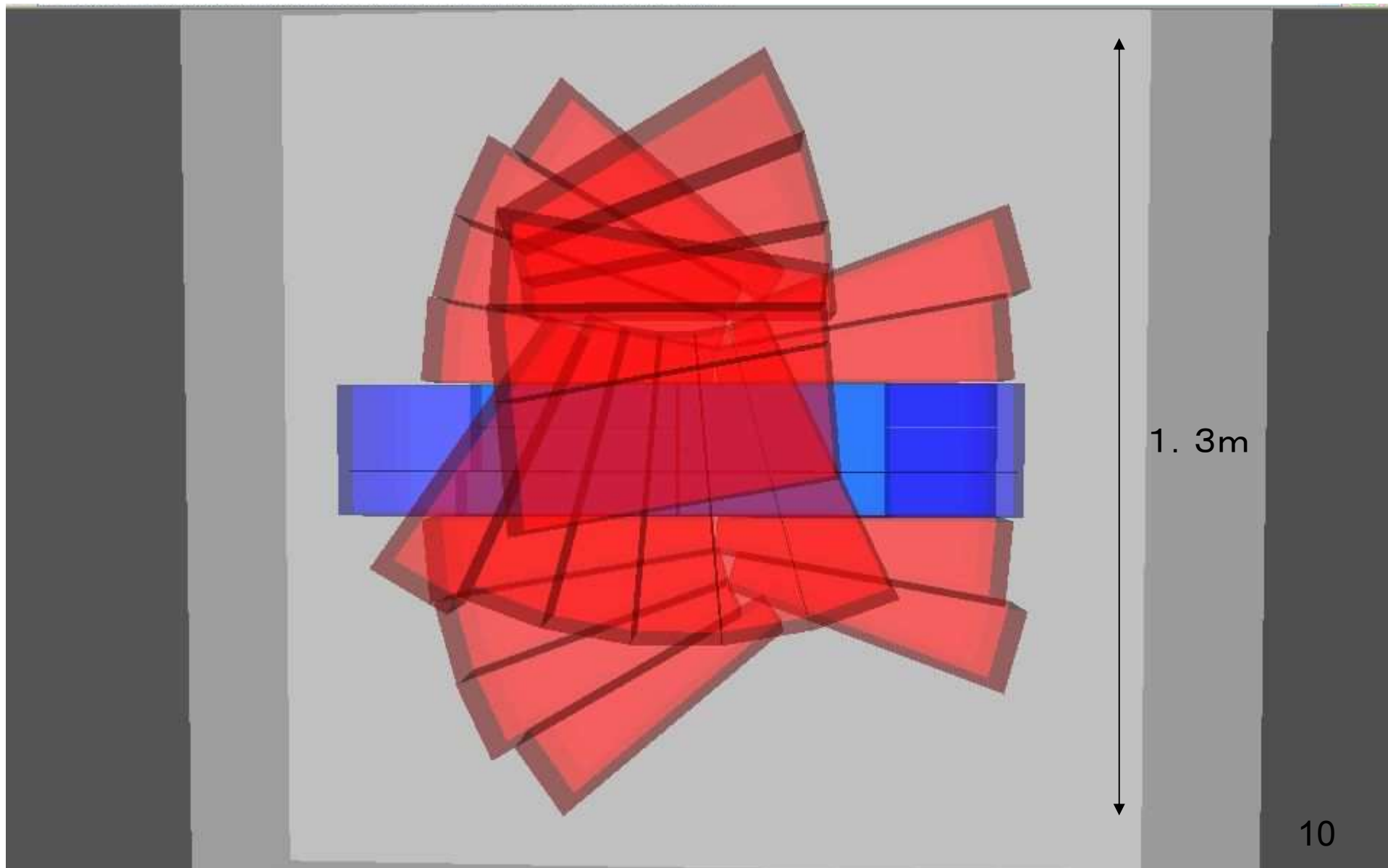


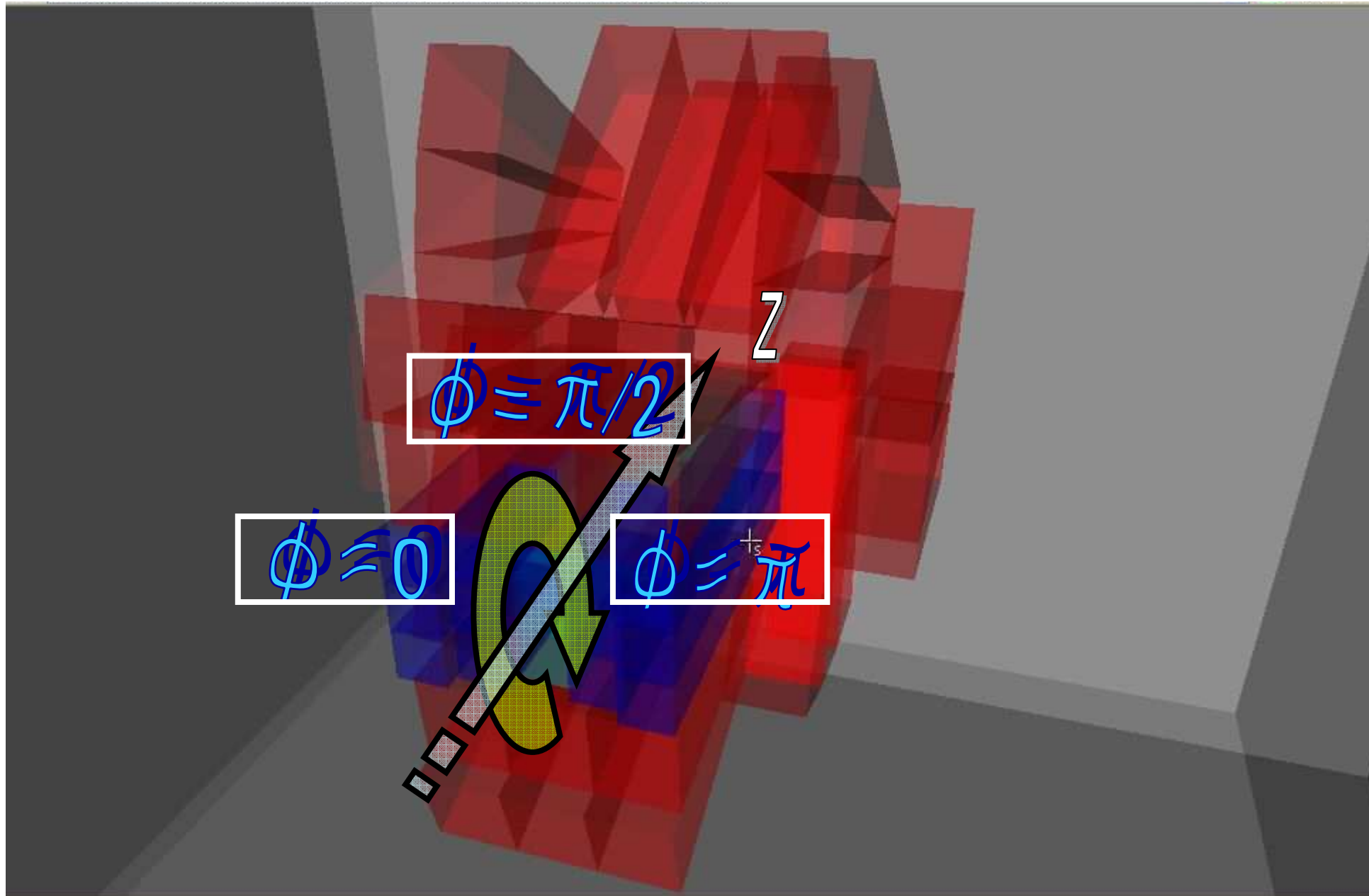
横から

Cslの形

- A: $60 \times 60 \times 400$ 7本
- B: $60 \times 60 \times 280 + 57 \times 57 \times 140$
10本
- C: $57 \times 57 \times 300 + 57 \times 57 \times 141$
12本
- D: $61 \times 61 \times 301 + 57 \times 57 \times 141$
1本

外側を取り囲むNaIについて





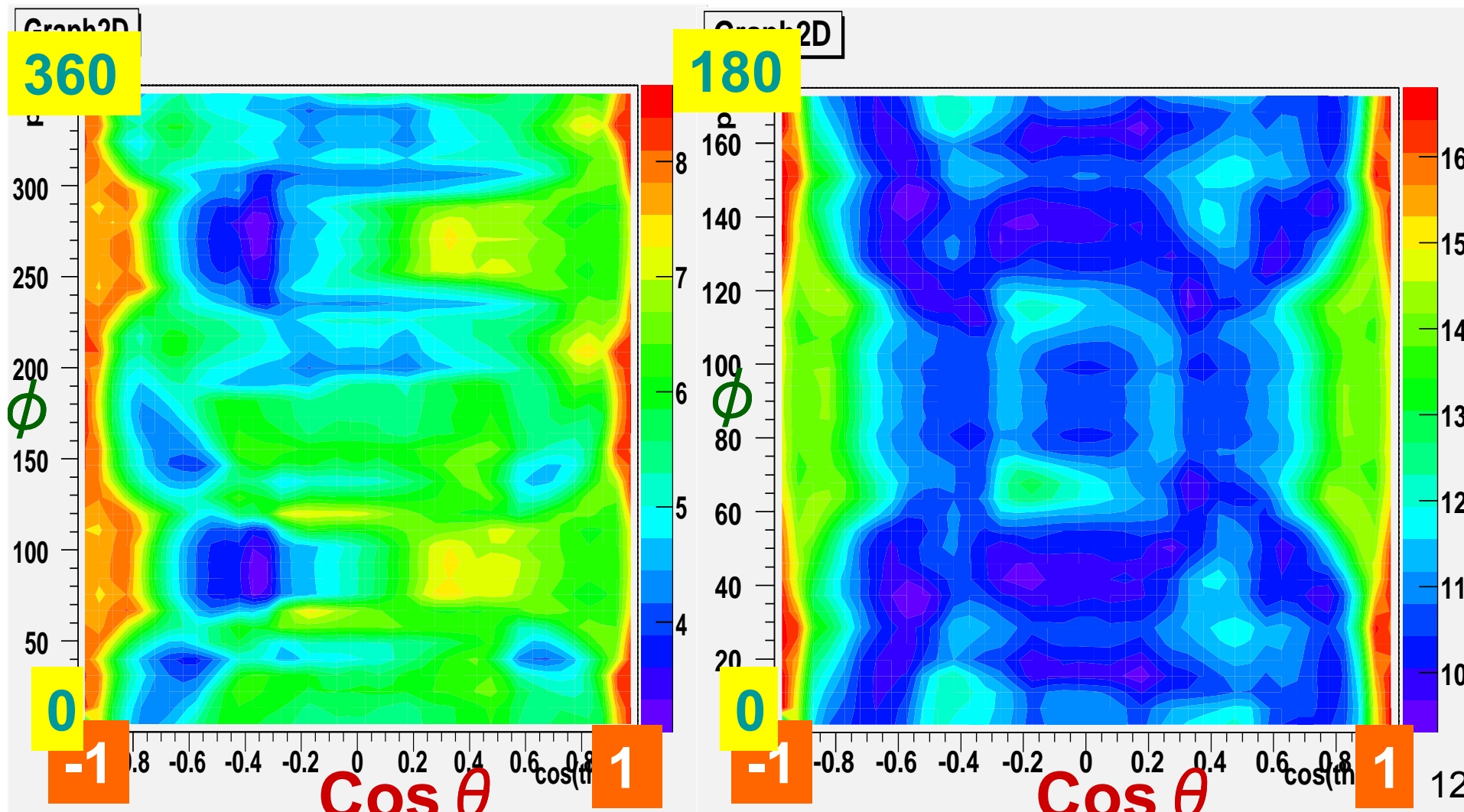
この配置の性能を 511keV単色 γ の洩れる割合から評価する

吸収長から求めた

511keV 単色 γ 一本 が逃げる確率

吸収長から求めた

511keV double γ (back-to-back2本) の逃げる確率



Geant4 Simulation(1)

- γ 511keVを2発back-to-backに撃ってみるとエネルギーを落とさないイベントが 10^{10} で1発だけ

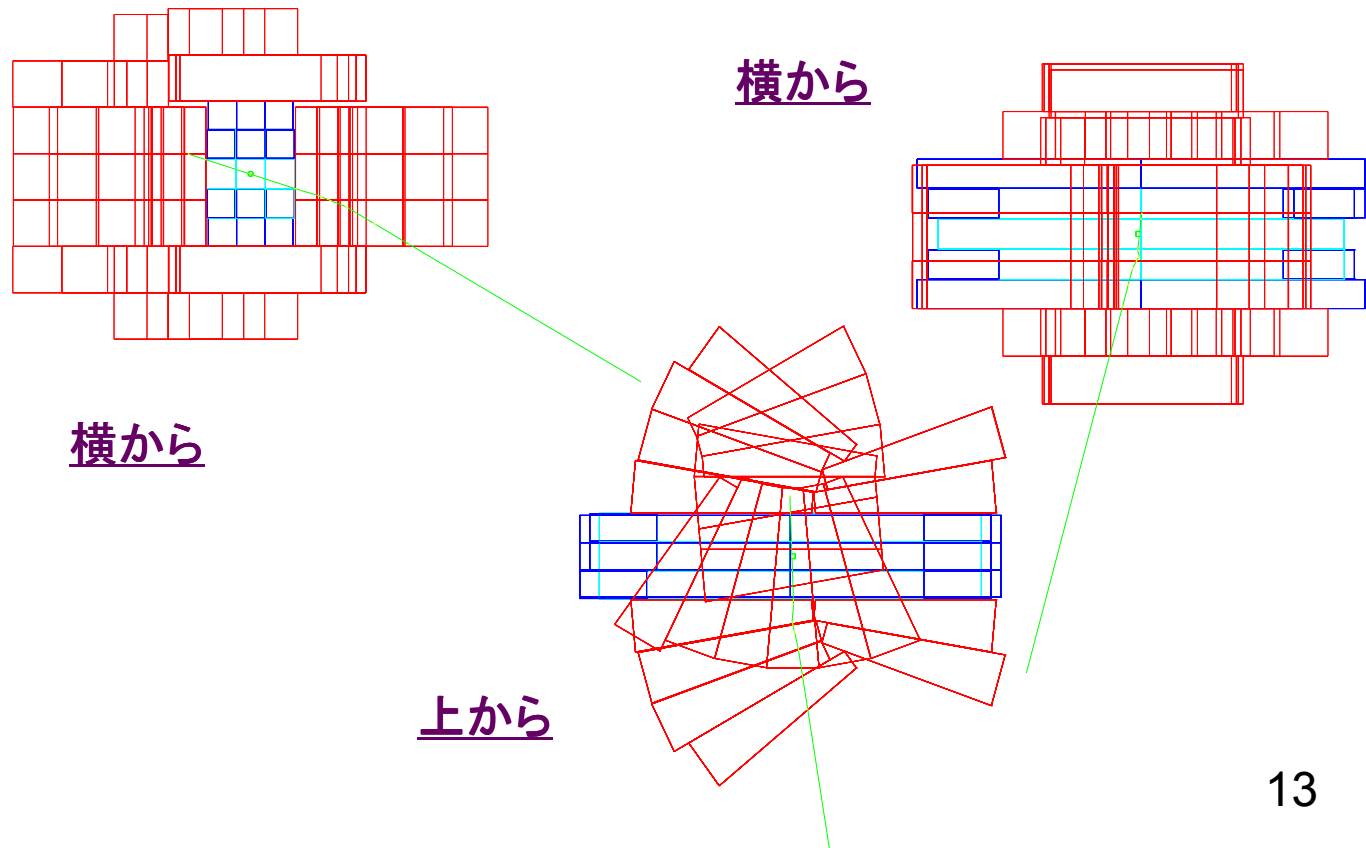
内訳(keV)

CsI+NaI: 27.4154

Al: 511

Teflon: 6.08949

Escape: 477.495



CsI, NaIを置く台

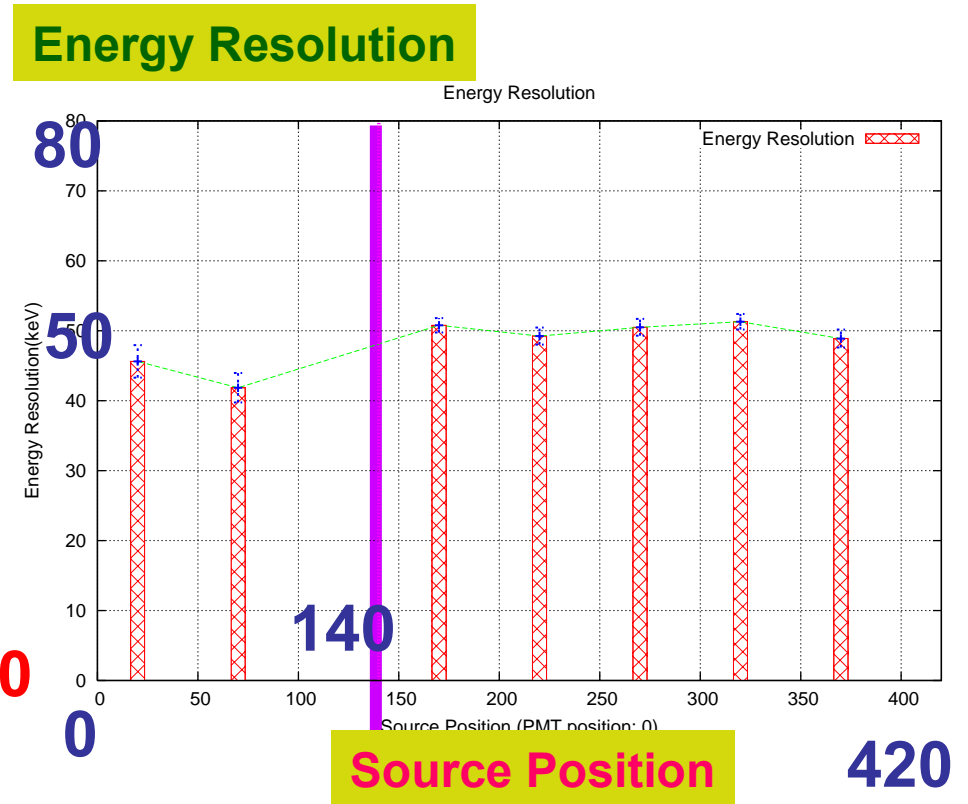
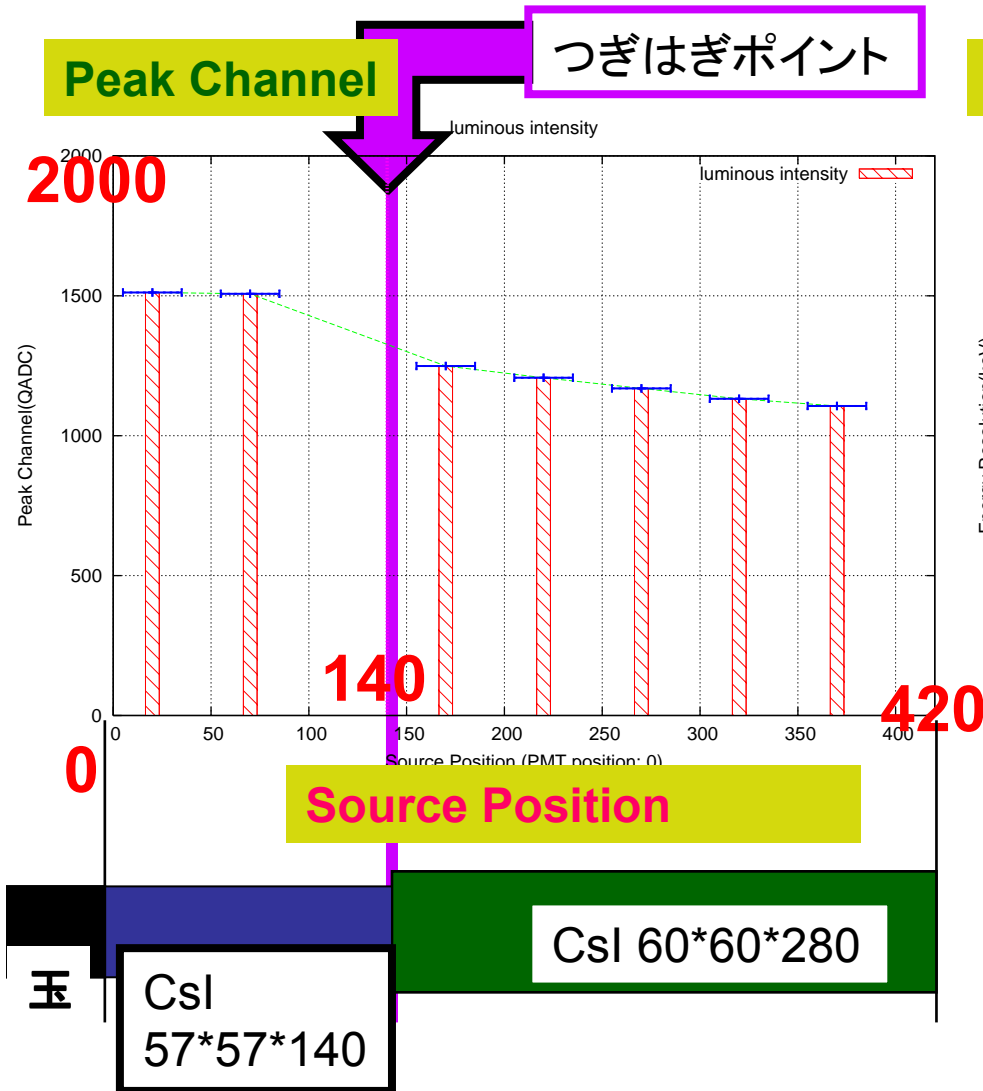
3層になっていて複雑な構造になっているのは、一番下のNaIに荷重が掛かり過ぎないように分散させるためである

14



CsI(Tl)の位置依存性 (PMT@0)

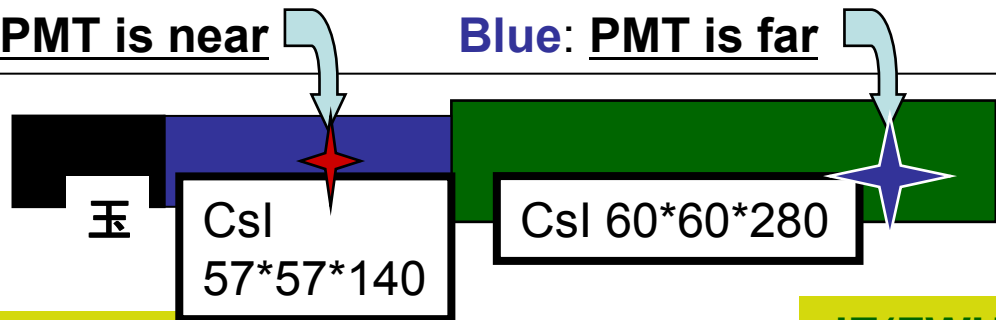
Source: ^{137}Cs



CsI(Tl)のLinearityと相対分解能

Red: PMT is near

Blue: PMT is far



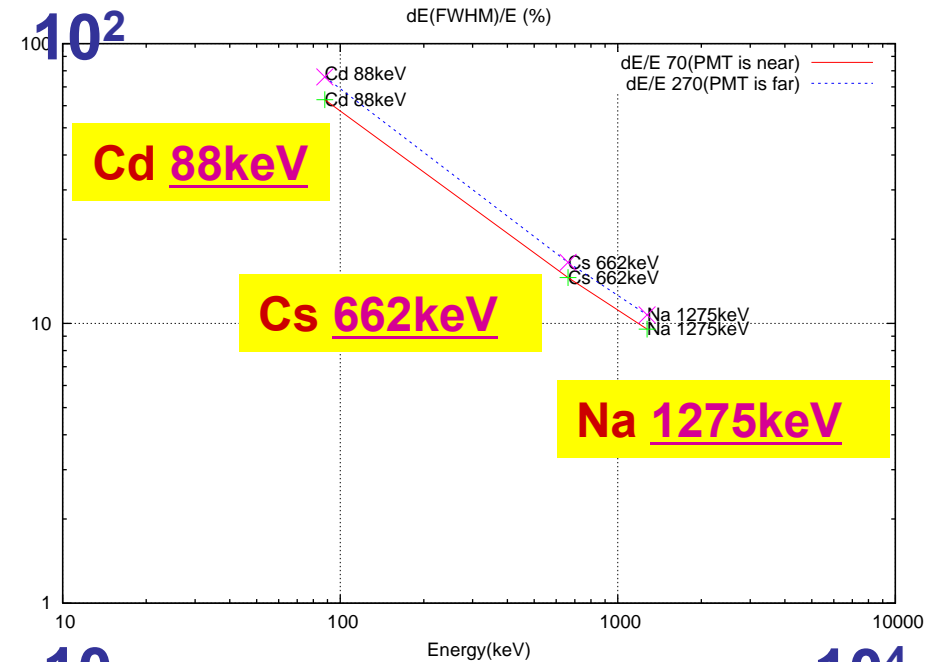
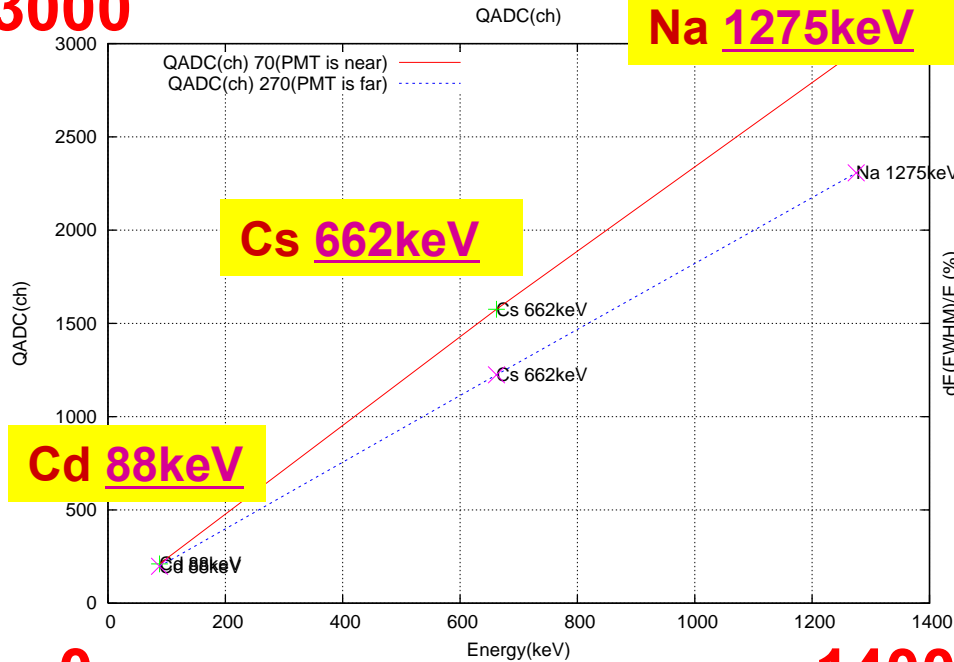
Source: ^{137}Cs
 ^{22}Na
 ^{109}Cd

Peak Channel

$dE(\text{FWHM})/E$

3000

10^2



0

Energy(keV)

1400

10

Energy(keV)

10^4

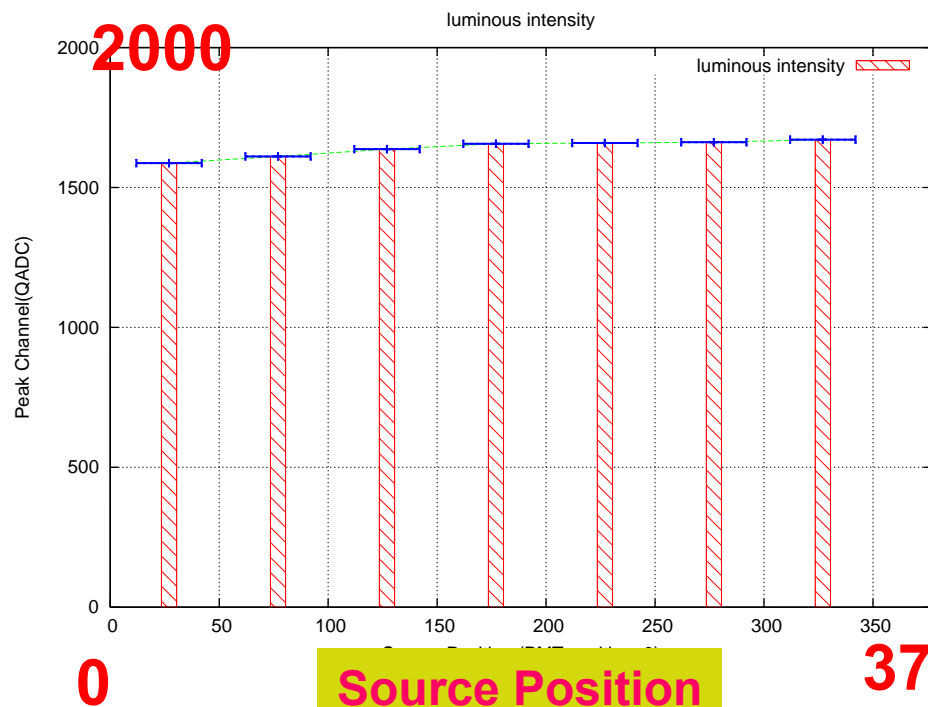
→ つぎはぎで光量は2,3割落ちる

→ FWHMは1275keVで約10%

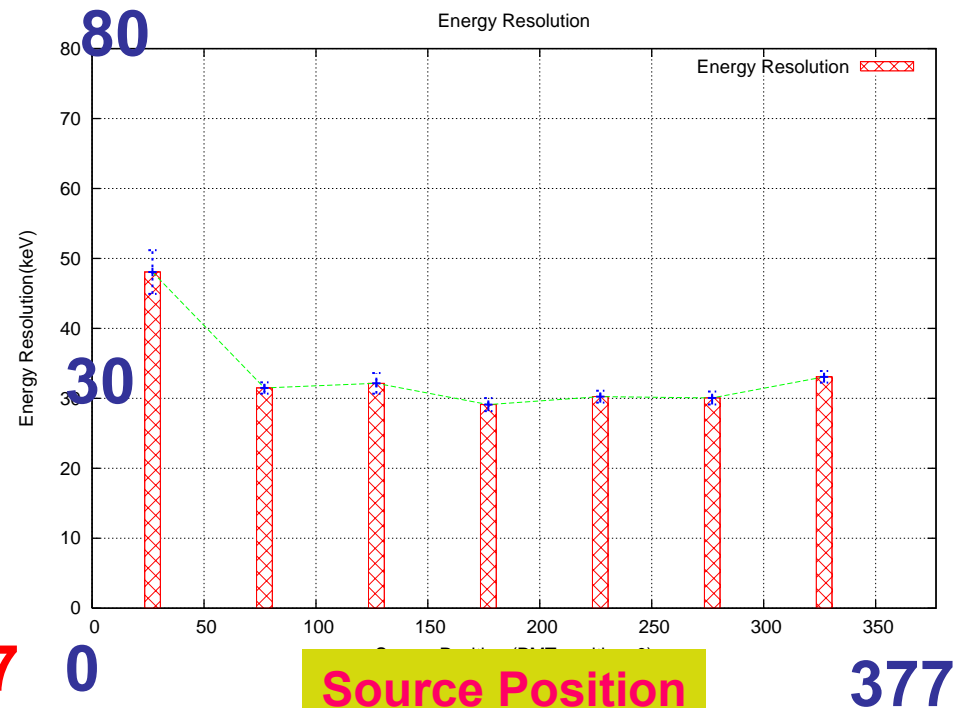
NaI(Tl)の位置依存性 (PMT@0)

Source: ^{137}Cs

Peak Channel



Energy Resolution



玉

NaI (43*94)*(110*94)*377

→ Thanks KEK

本実験で使用するNaIは、20年程前 KEKで行われたE68実験の遺品である

Geant4 Simulation(2)

今まで述べたCsI,NaIの悪い点(Energy Resolutionと接着面の効果)を入れて再評価を行っている

- 時間の都合上、Geant4にて 10^9 simulationを走らせてみたところ
 - 洩れは無し
 - 現在 10^{10} simulationを走らせている

期待される感度(1)

(a) β

– 30keV/p.e.(PMT)とするとplascinのtrigger効率は23%

(b) 1275keVgamma(after cut(a))

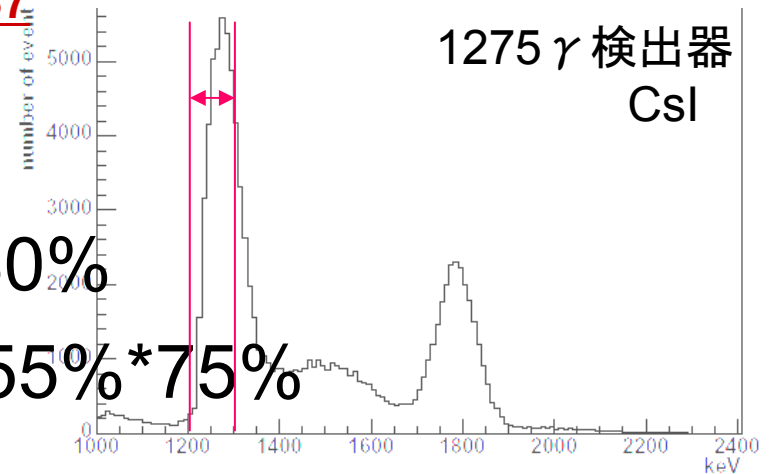
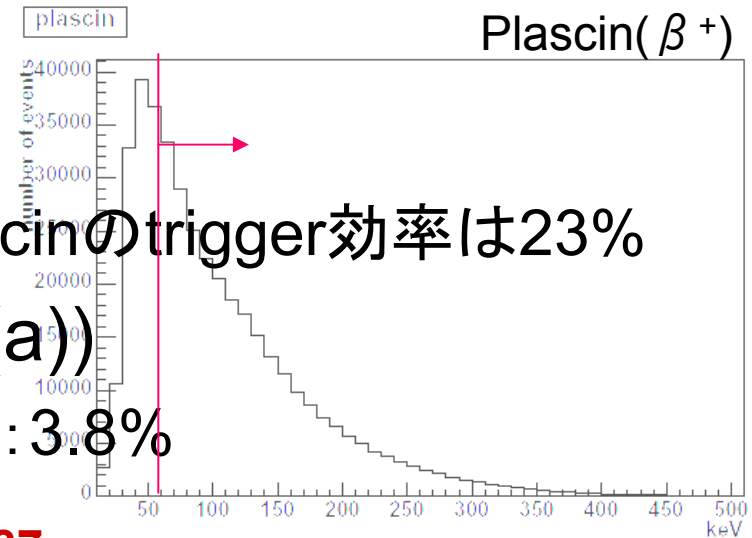
– 1275 \pm 50keVでのtrigger効率: 3.8%

(a)(b) より、**trigger 効率**: $0.23 \times 0.038 = \mathbf{0.0087}$

上の条件に加え、

(c) aerogelで β が止まる割合: 30%

(d) Ortho-Positronium生成率: 55% * 75%



以上より、triggerに掛かり 出来るortho-positroniumの割合→ $0.0087 \times 0.30 \times 0.55 \times 0.75 = \mathbf{0.0011}$

期待される感度(2)

- 線源 (^{22}Na :3.7kBq)
 - 100日Runで、全 ^{22}Na β^+ 崩壊イベント $\sim 3\text{E}+10$

以上より、o-Psの出来る割合は $3\text{E}+07$ 程度になる

→ o-Psの崩壊比で $10^{-7}\sim 10^{-8}$ 程度の感度の探索が可能になる

これは従来のlimitと比べ 1桁以上良いものである

→ 期待される感度は達成できた

Summary

- 最高の配置を考案した
 - これらのCsI(TI)とNaI(TI)ではこの配置がベスト
- 感度もいい感じ
 - これによりTeV領域の物理が探索可能

現在 検出器を組み立てている最中
であり、6,7月頃測定を開始する