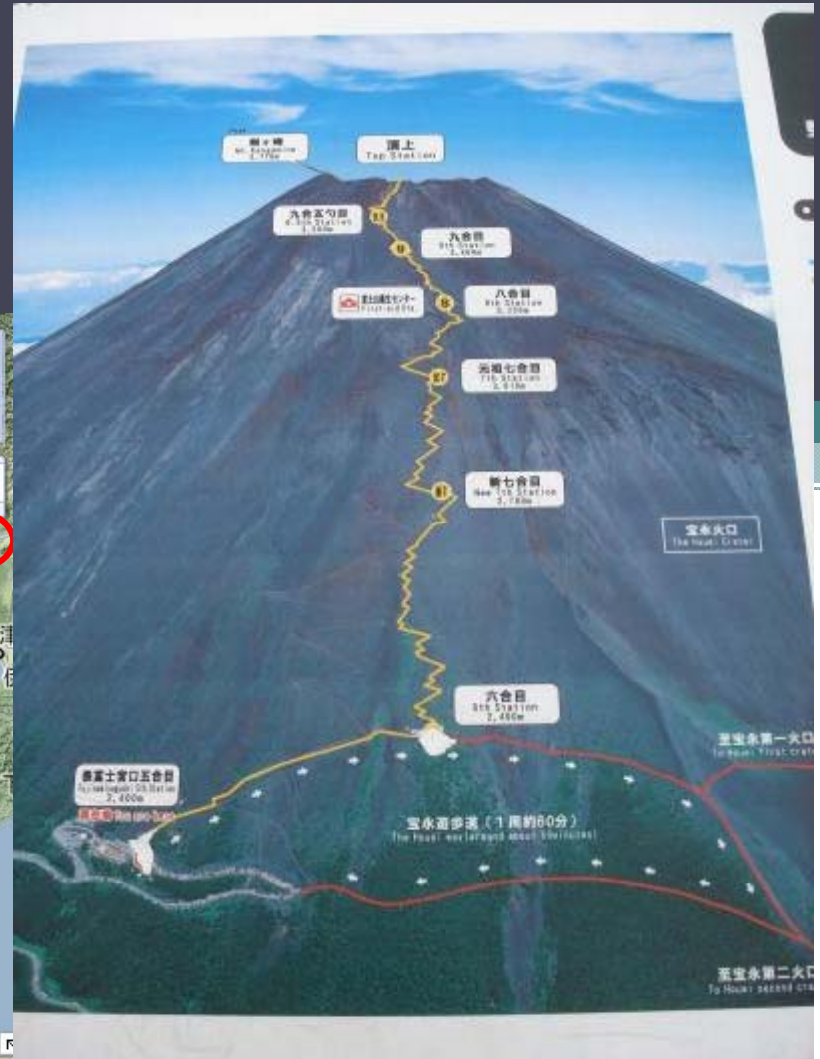


CdTe半導体検出器の大型化の試み

-ダブルベータ崩壊探索に向けて-

京大理 市川温子
木河達也、平木貴宏



CdTe検出器とは

テルル化カドミウム(CdTe)を半導体素子として用いた検出器

CdTeの性質

	密度 (g/cm ³)	バンド ギャップ (eV)	電子易動度 (cm ² /V/s)	ホール易動度 (cm ² /V/s)	電子寿命 (s)	ホール寿命 (s)
Ge	5.33	0.67	3800	1820	>10 ⁻³	1x10 ⁻³
Si	2.33	1.11	1900	500	>10 ⁻³	2x10 ⁻³
<u>CdTe</u>	<u>5.85</u>	<u>1.47</u>	<u>1100</u>	<u>50</u>	<u>3x10⁻⁶</u>	<u>2x10⁻⁶</u>

CdTe検出器の特徴

電極の接合にオーミック型とショットキー型がある。

長所

- ガンマ線吸収率が高い。(原子番号と密度が高いため)
- 常温で使うことができる。(バンドギャップが大きいため)

短所

- 半導体検出器としてはエネルギー分解能が低い。
(ホールの易動度が低いため)

何故CdTe?

	Q値	同位体存在比
^{130}Te	2.5 MeV	34%
^{116}Cd	2.8 MeV	7.5%
$^{106}\text{Cd}(\beta^+\text{EC})$	1.7MeV	1.5%

放射線 Vol.36 No.2(2010)

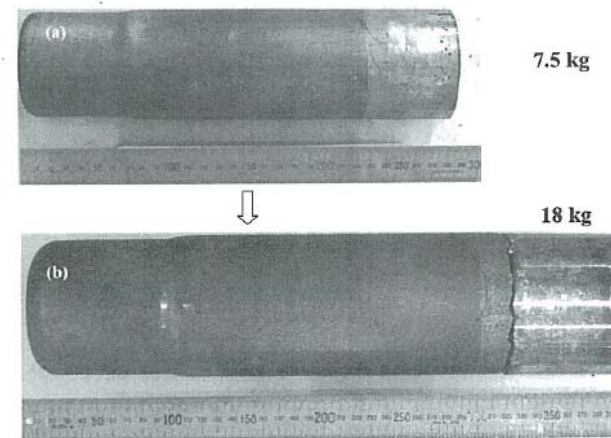


Fig. 4. (a) The standard 75 mm diameter CdTe single crystal and (b) a newly developed 100 mm diameter CdTe single crystal grown by THM.

しかし、ダブルベータ崩壊探索するには、今の大きさ(~2mm厚)、エネルギー分解能(ピークがコンプトンと区別つかない)ではいかんともしがたい。

何故、大きくできないのか？
 何故、エネルギー分解能が悪いのか？
 -ホールトラッピング-

ドリフト中に多くのホールが捕獲
 されてしまう。



信号の大きさが、生成された電
 子・ホール対の数だけでなく、
 生成の場所にも依存してしまう。

ショットキー接合を用いたダイ
 オードタイプの検出器が開発さ
 れている。

厚さ ~0.5mm

積層して、 ^{60}Co (1.33MeV)に対し
 て0.45%の分解能が得られてい
 る！

線源 : ^{241}Am (60keV)
 検出素子 : CdTe 1x1x1mm, 50V

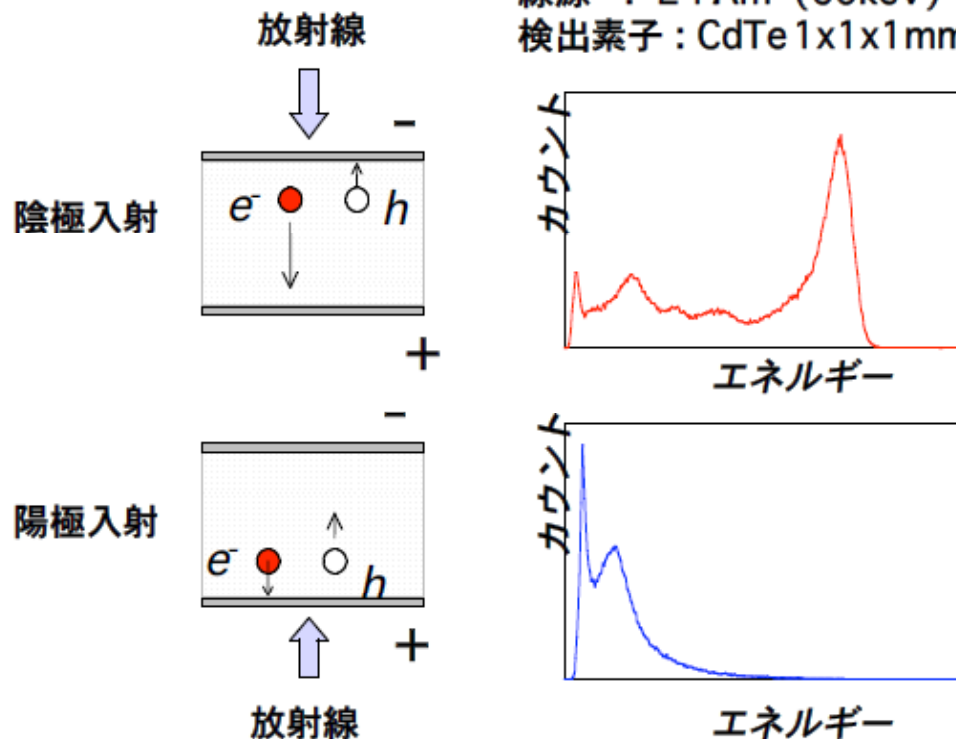
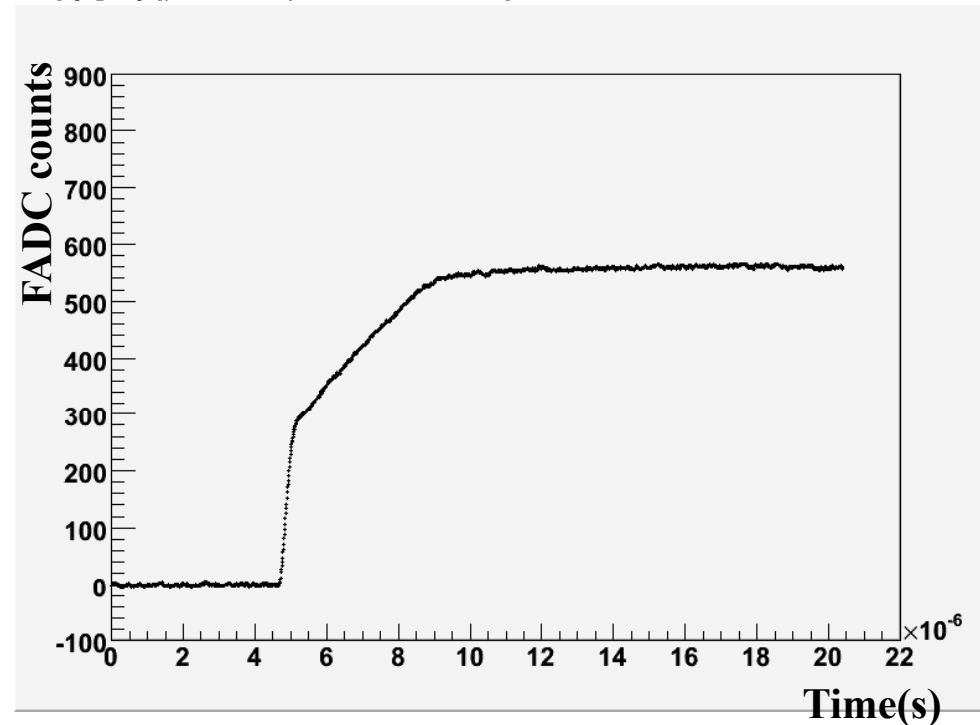


図2 検出放射線の入射面によるスペクトルの違い

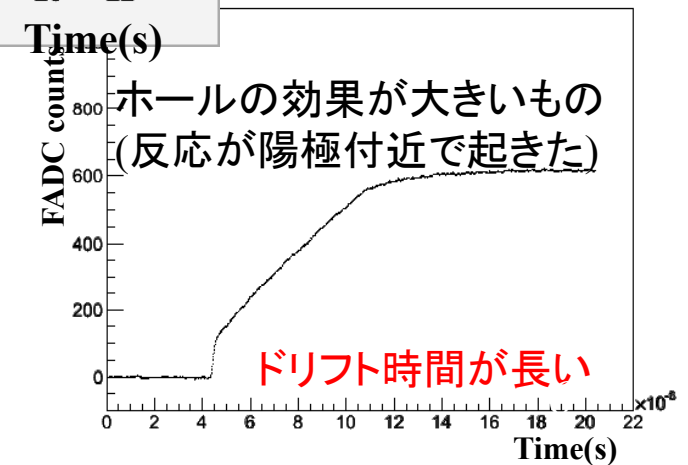
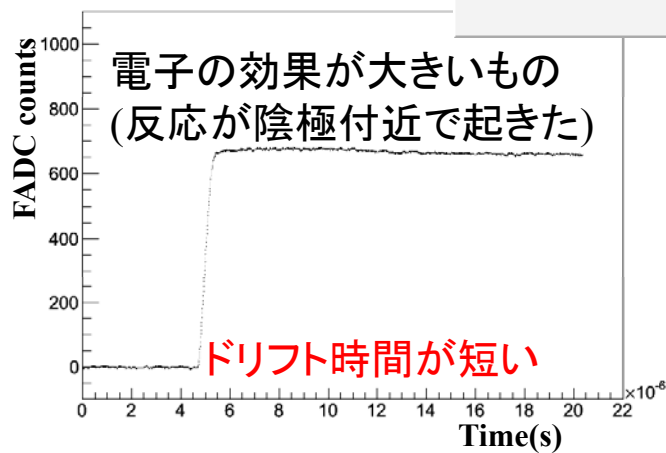
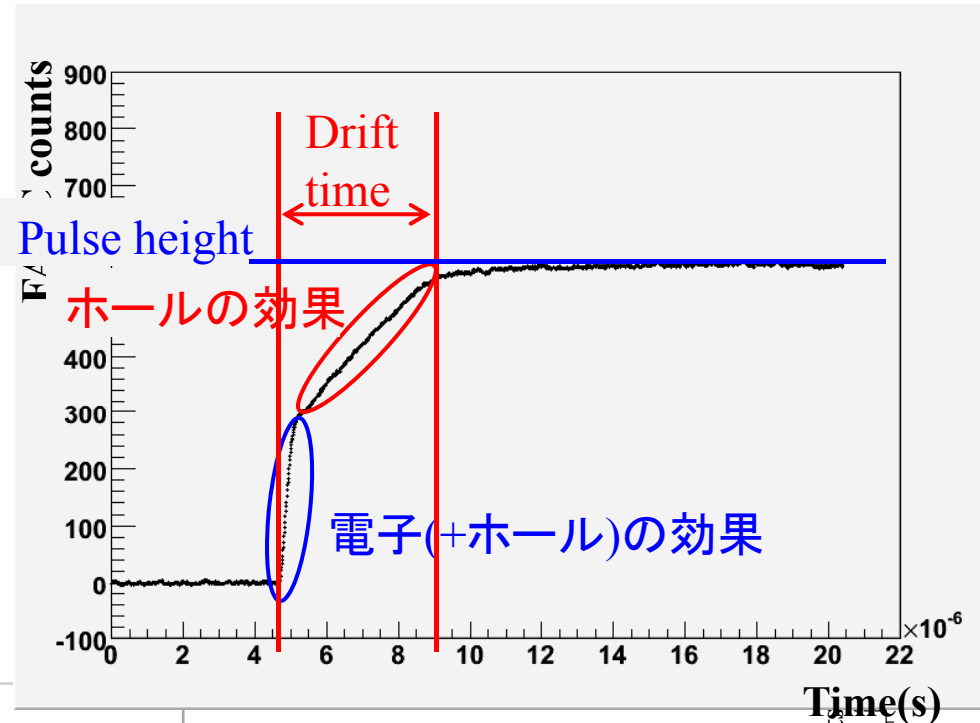
0.5mmを積層するのは大変なので、オーミックタイプで波形情報を使って何とかできないか？

5mm角素子を試作。
プリアンプ出力波形
(^{137}Cs 線源)

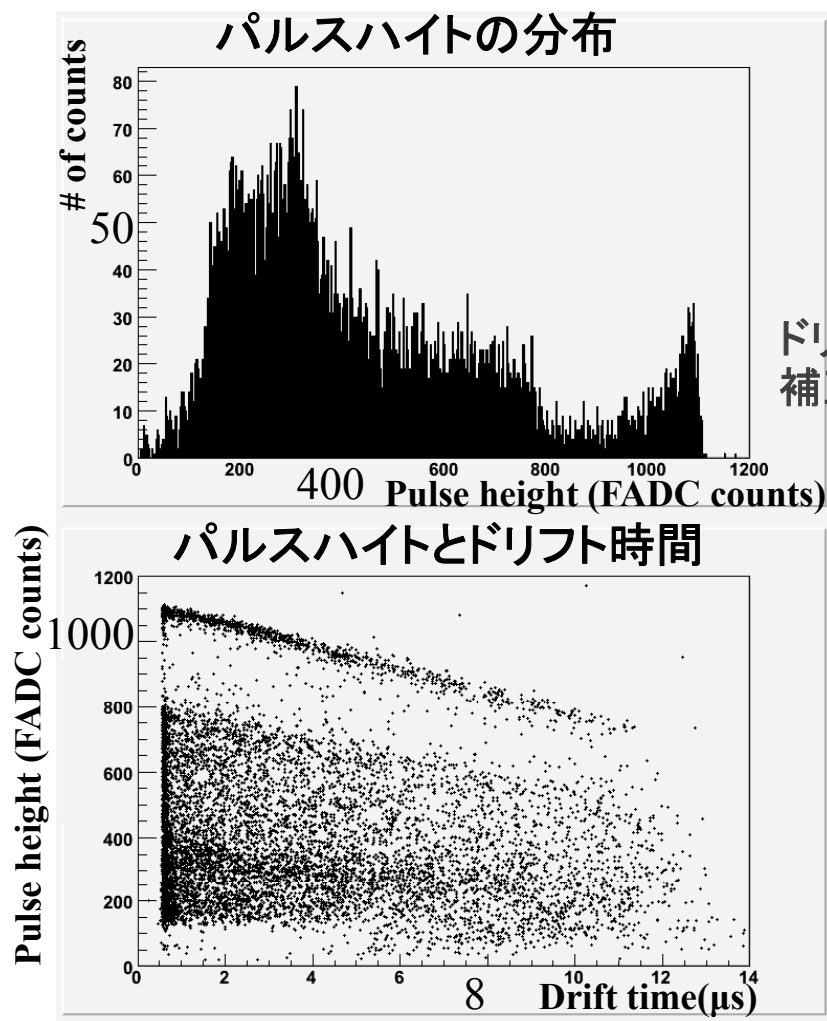


0.5mmを積層するのは大変なので、オーミックタイプで波形情報を使って何とかできないか？

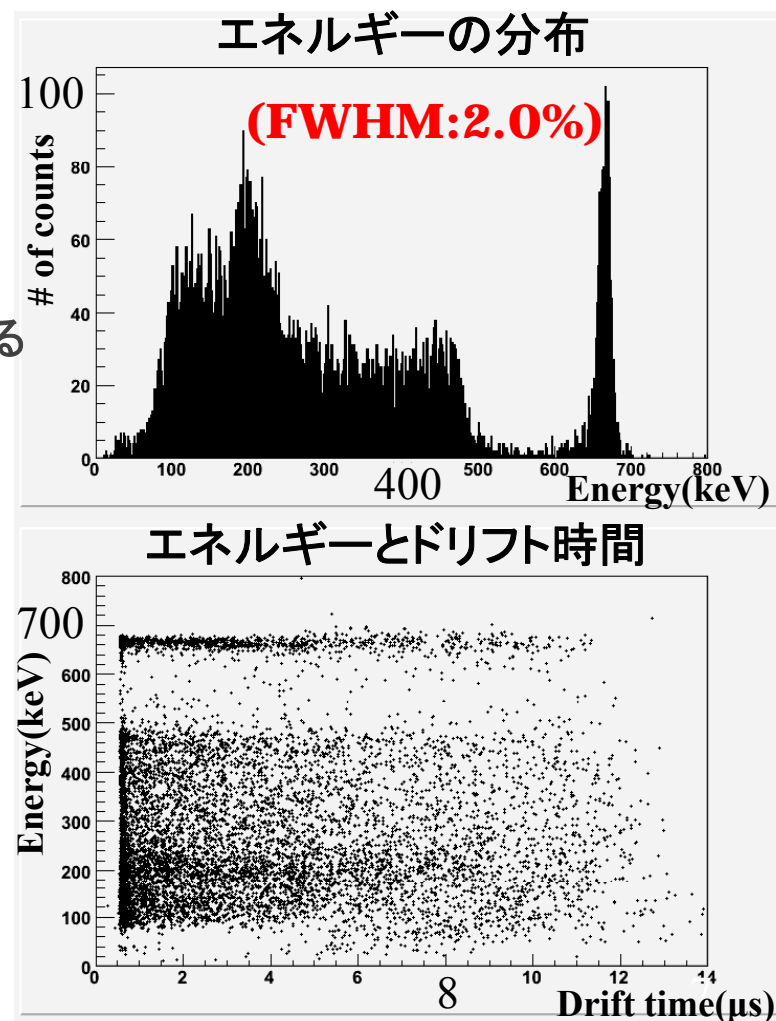
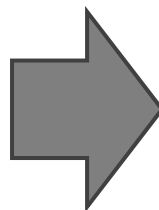
5mm角素子を試作。
プリアンプ出力波形
(^{137}Cs 線源)



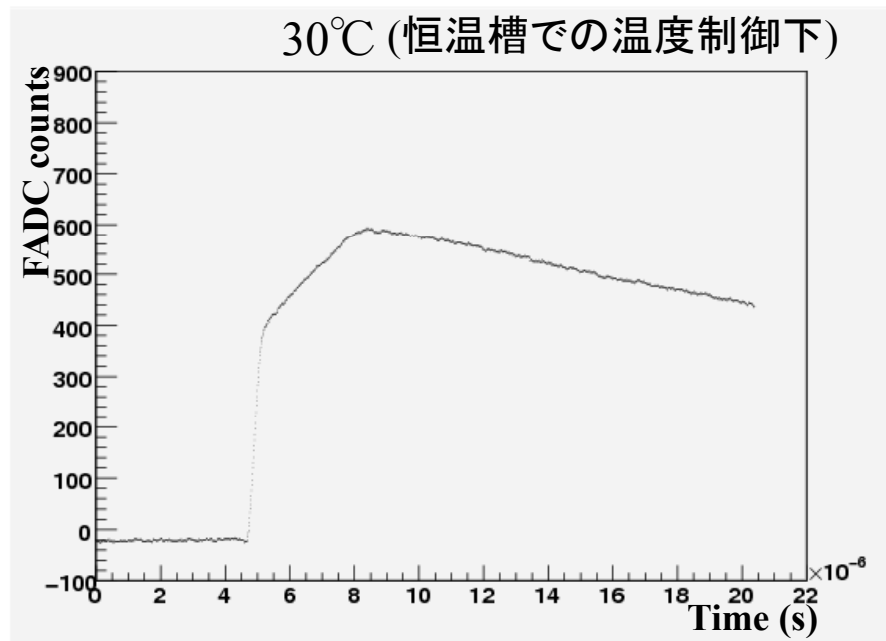
ドリフト時間からパルス高さを補正



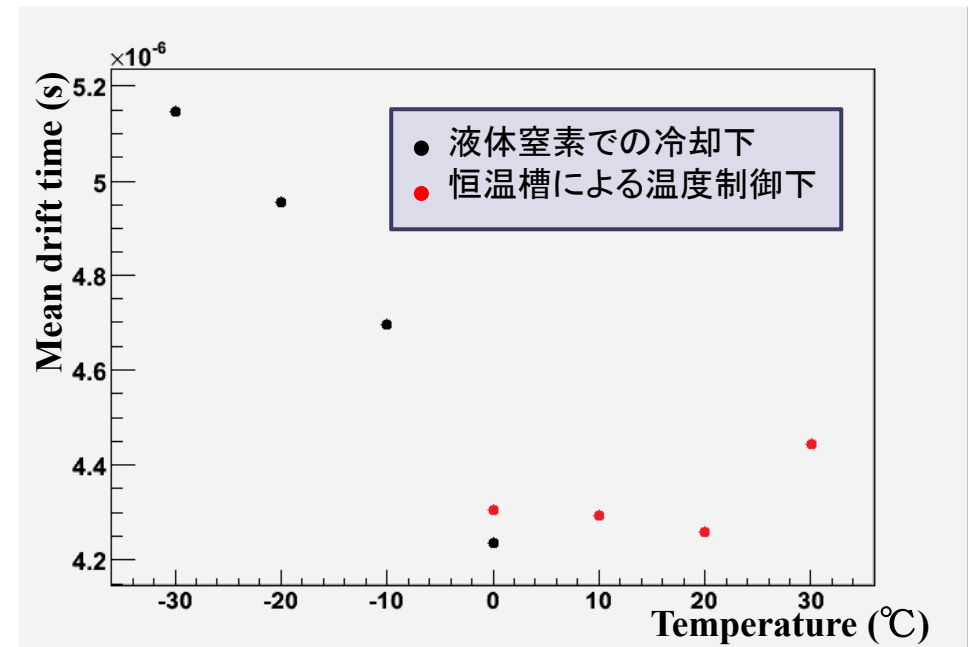
ドリフト時間による
補正



温度とドリフト時間(5mm角素子)



温度による波形の変化

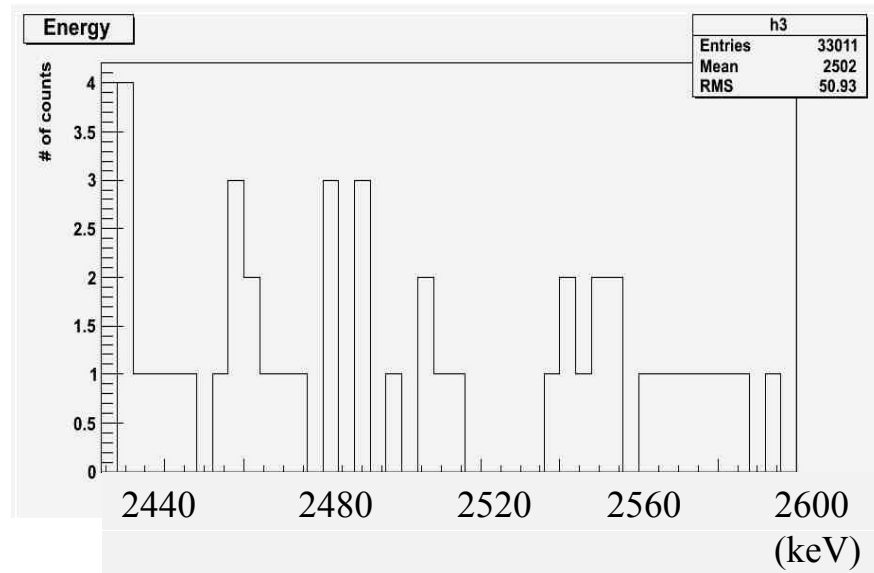
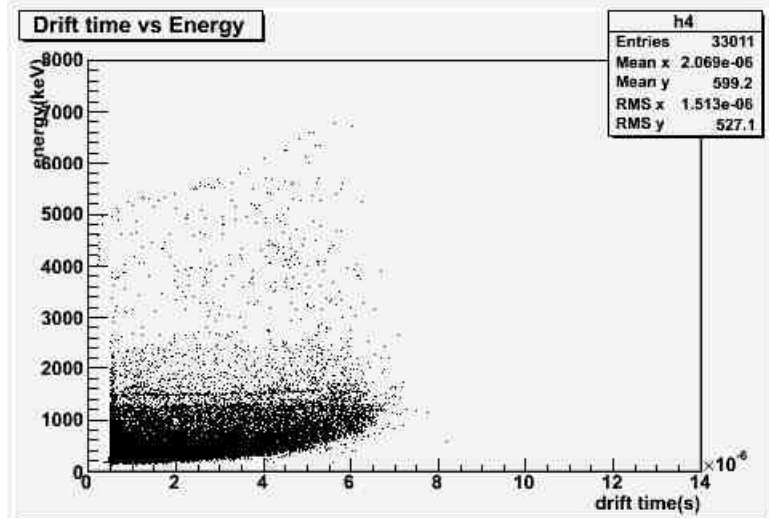
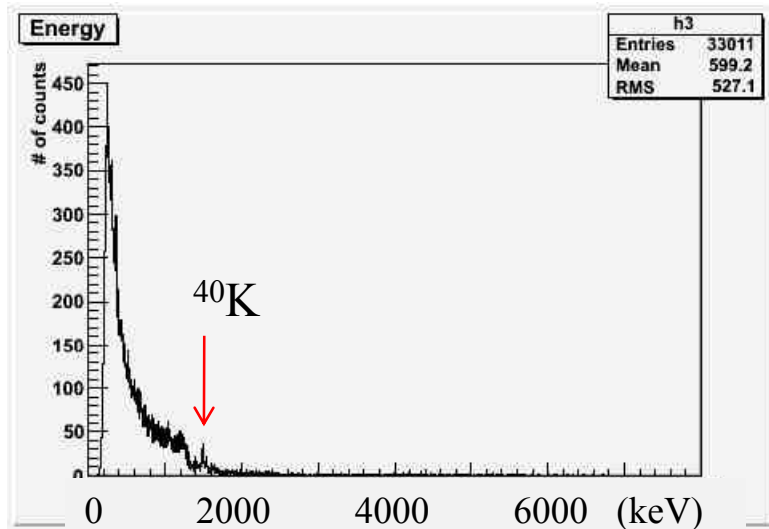


温度と平均ドリフト時間の関係

- 0°C~-60°Cくらいまで温度が下がるとホールの易動度が下がる。
- -70°C以下ではホールの移動の効果がまともに見えない。

実際の測定では0°C~10°Cで最も分解能が良くなった。

バックグラウンドの測定 実験室で試してみました



5mm角素子120時間、宇宙線Veto

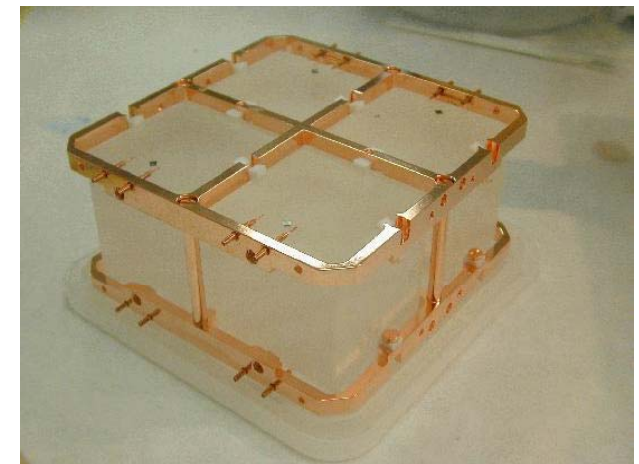
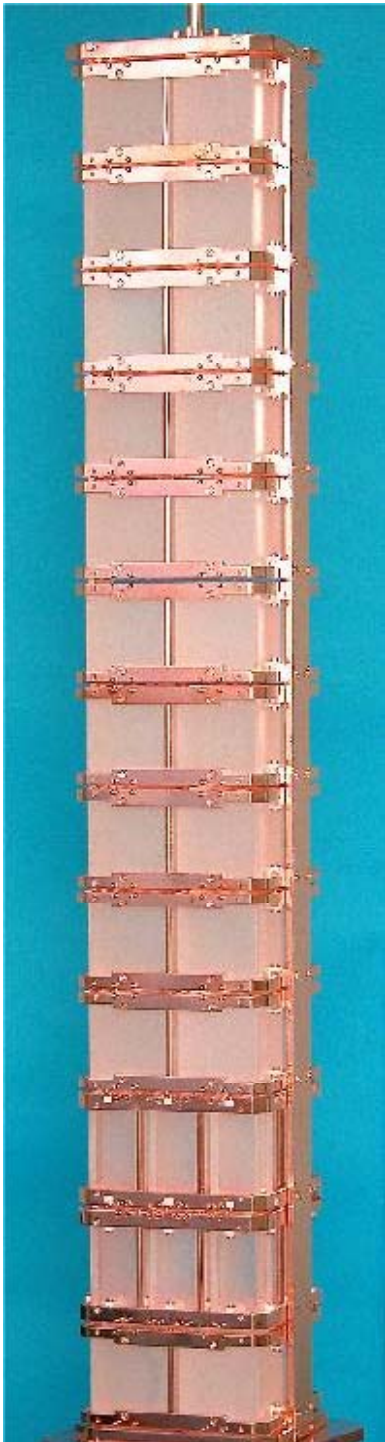
CUORICINO(CUORE)との関係

^{130}Te と云えば、これですね。

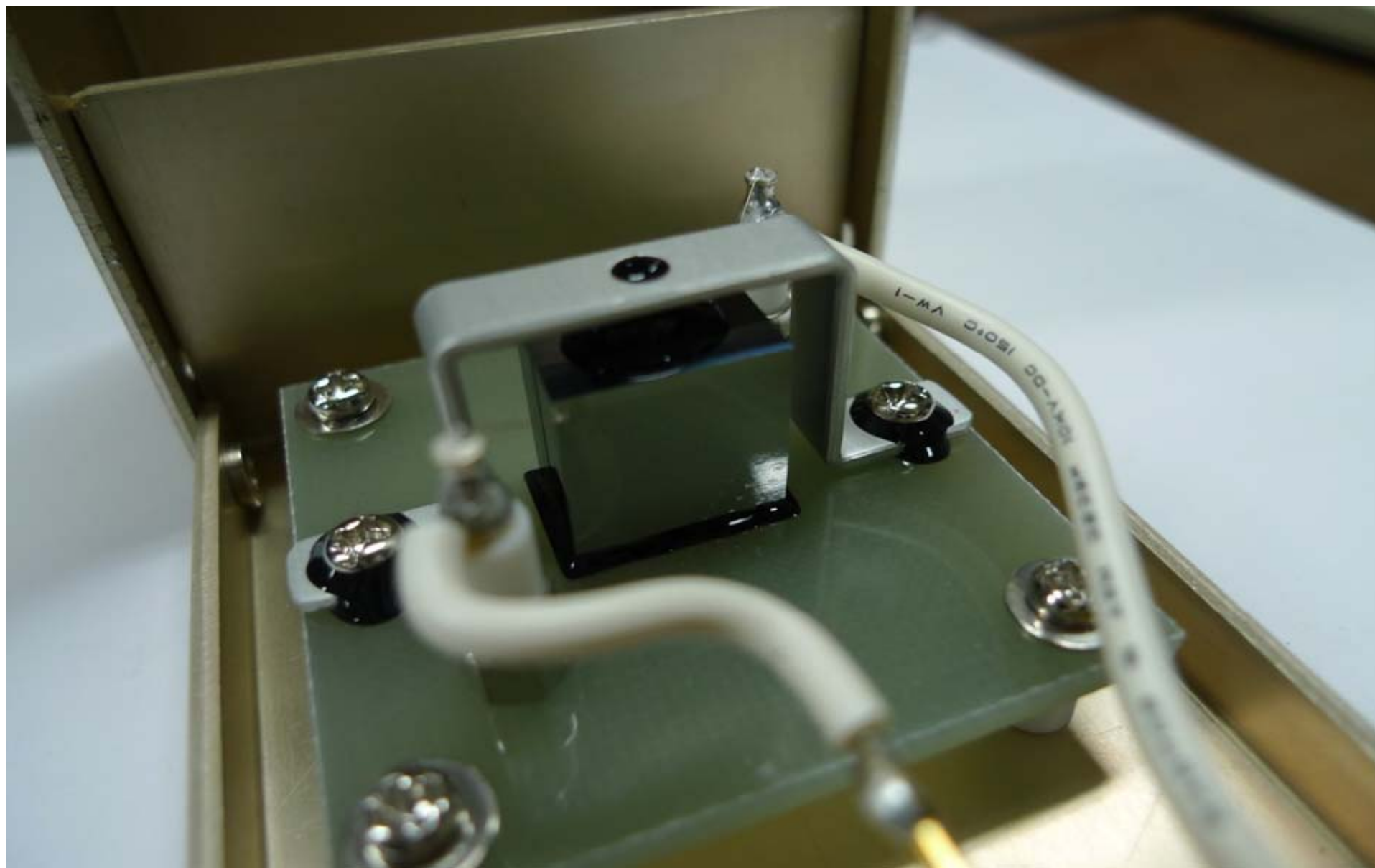
- ボロメータ! [0.3%FWHM@2.6MeV](#)
- CUORICINO $>3 \times 10^{24}$ year w/ $11.8 \text{kg}^{130}\text{Te}^* \text{y}$
- CUORE $133 \text{kG}^{130}\text{Te}$
- 時定数 ~秒 (時間分解能 数十ms)

これに対抗しようと思ったらエネルギー分解能
~0.5%程度は欲しい

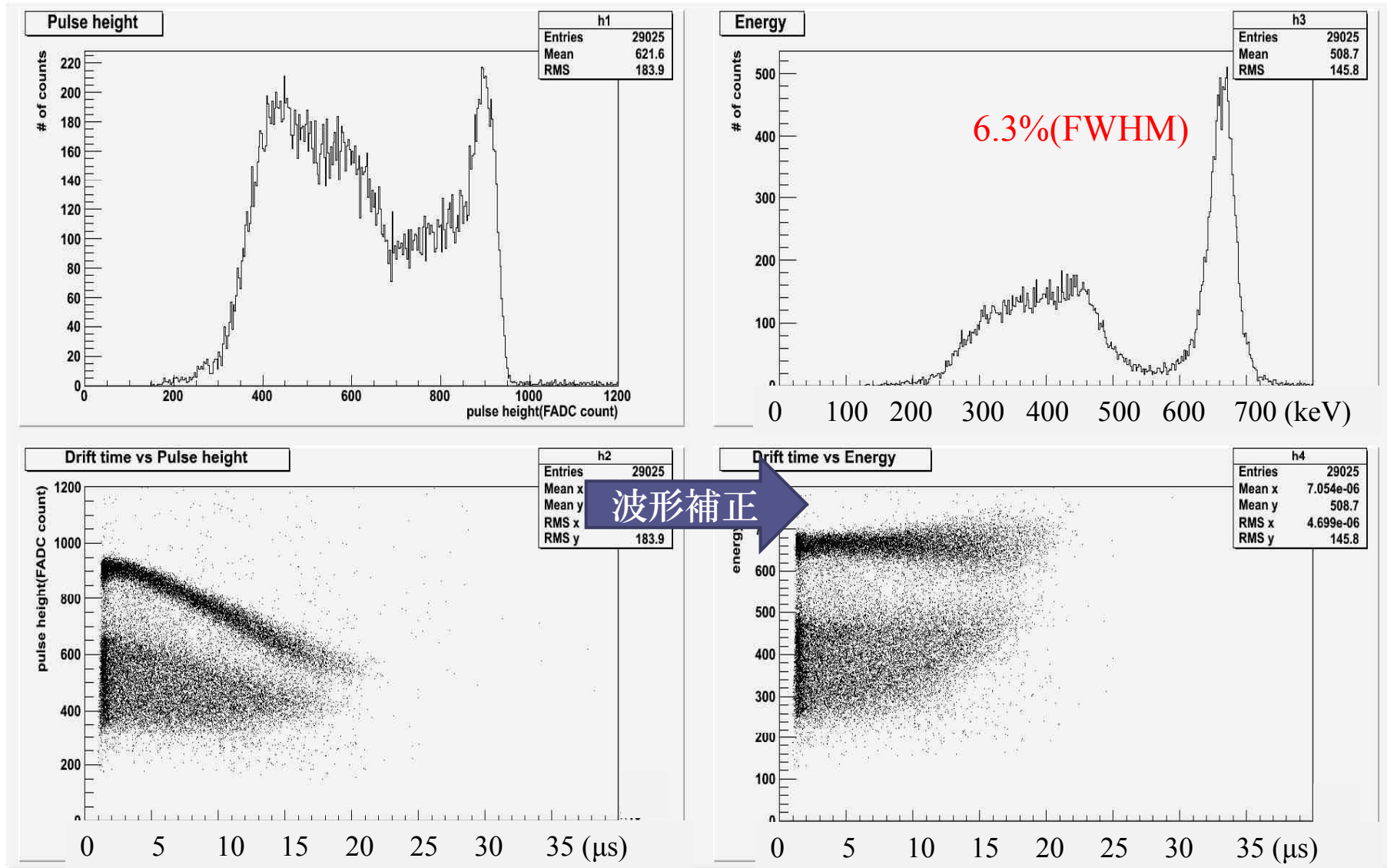
CdTeの時間分解能は、もっと良いので γ 線のコンプトンなどは、かなり除けるのではないだろうか。(隣合う素子でveto & 1個の素子内でも波形情報で)



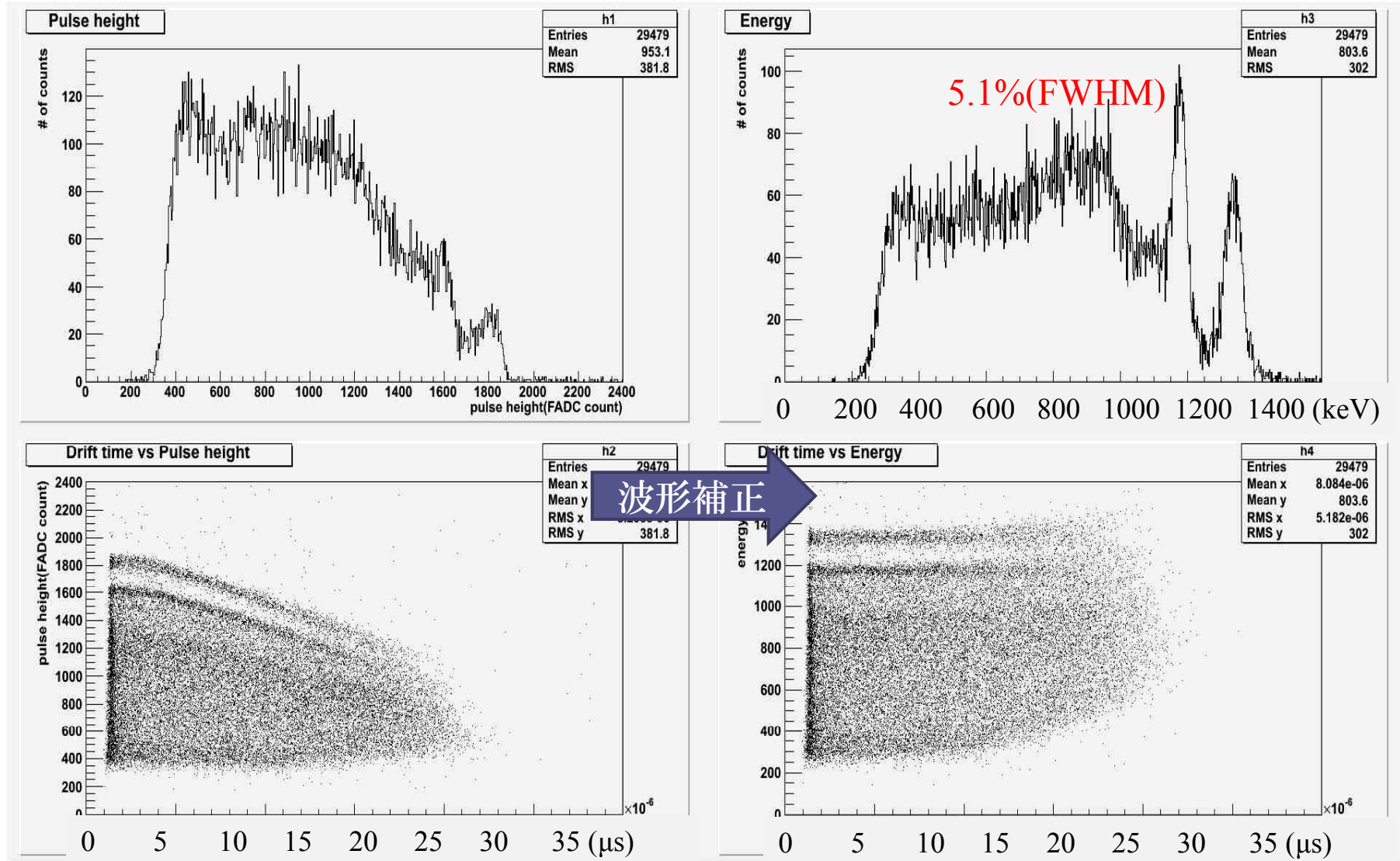
$15 \times 15 \times 10(t)$ mm³ CdTe素子



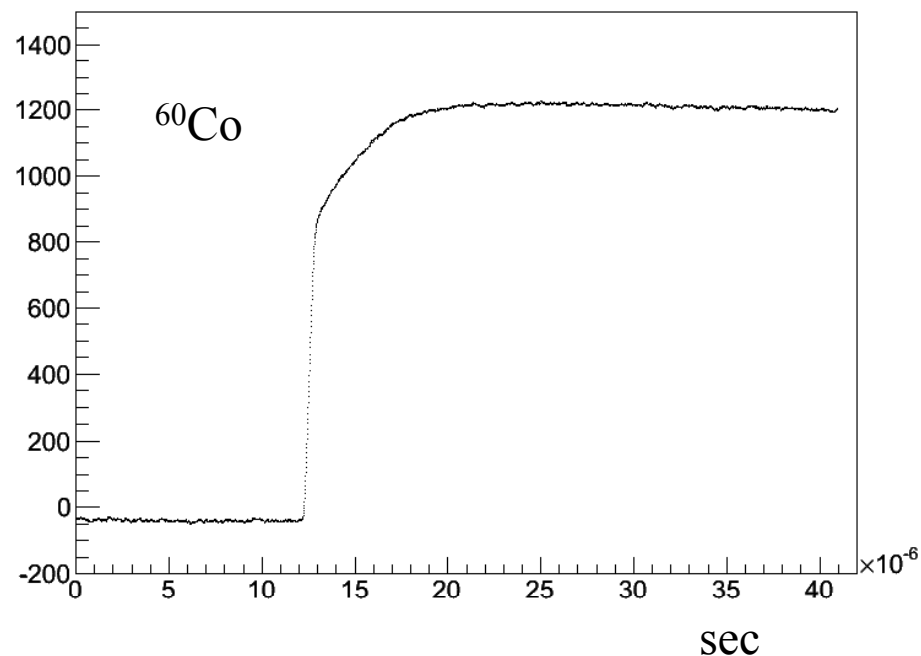
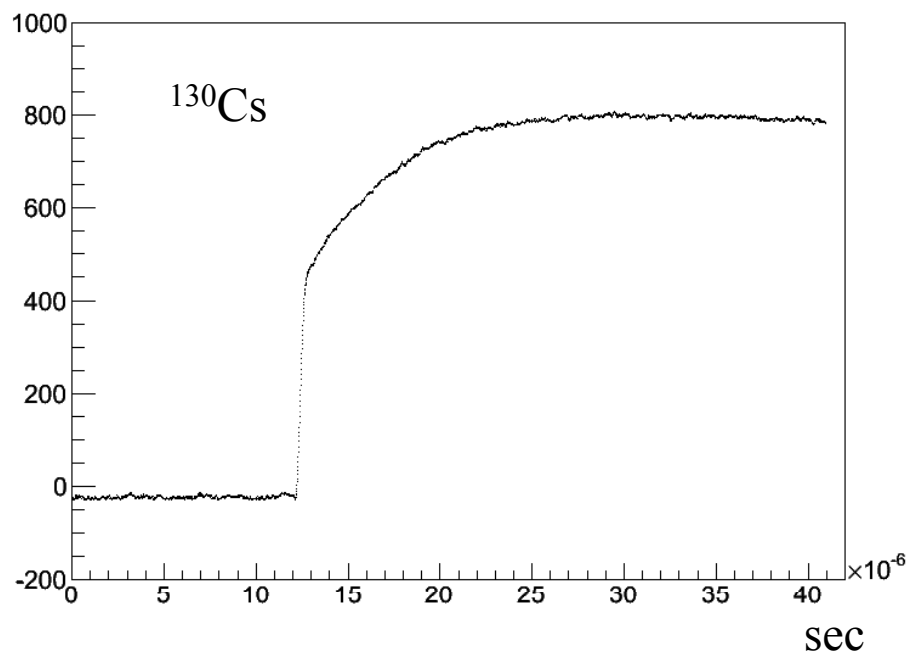
15x15x10(t)mm³素子 ¹³⁷Cs @0°C



15x15x10(t)mm³素子 ⁶⁰Co @0°C



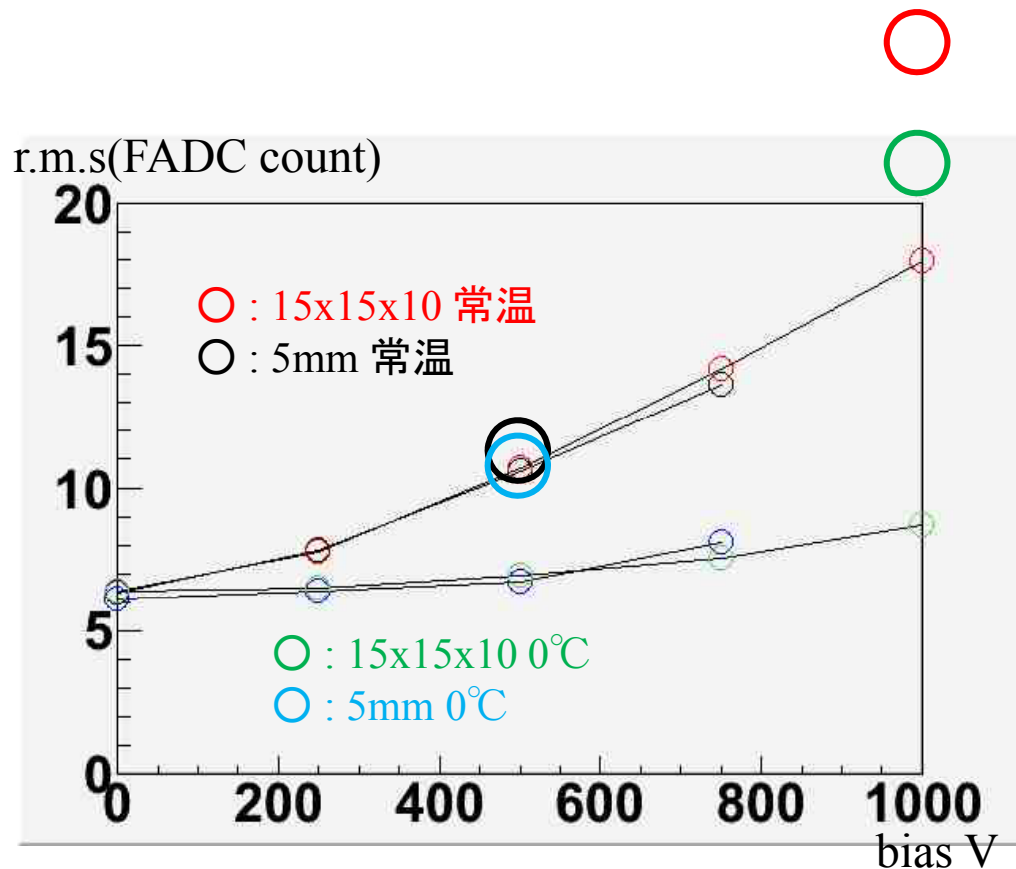
15 × 15 × 10(t) mm³ CdTe素子 波形



ホールの吸収の効果が大きいので、解析にもう一工夫要りそう。

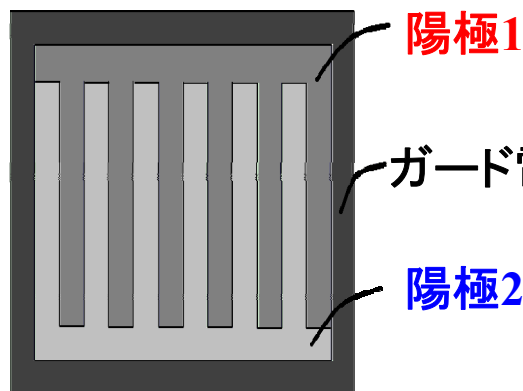
分解能をリミットしているのは？

パルサーで回路系のノイズを測ってみる。



- (本当は、ドリフト時間ぐらいの間をおいて、ふらつきを取るべき。今回は間に合わなかった。なので、実際は左の表よりもノイズの影響は大きい。)
- リーク電流
 - 体積で決まっている場合は 5mm角→15x15x10(t)mm³で 4.5倍のはず？
 - 端の面積で決まっている場合は、1.5倍？
- 表面リーク電流が主？
- 5mm角素子は、常温ではリーク電流のふらつきが分解能を決めている？ -> 素子の縁にガード電極をつけることで、改善できるかも。

奥の手 Coplanar grid technique



陽極の構造

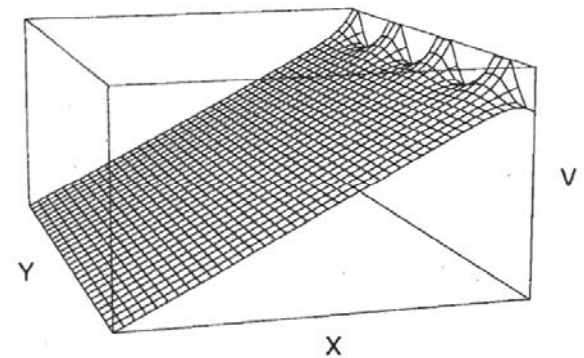
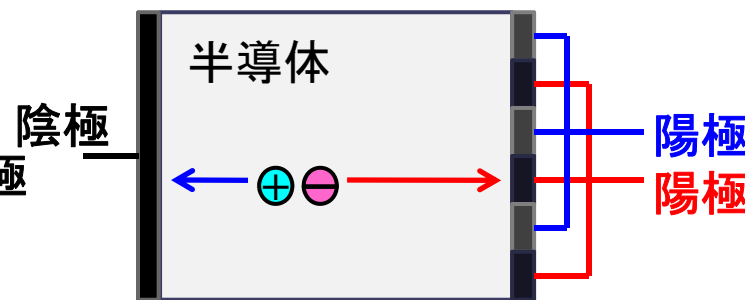
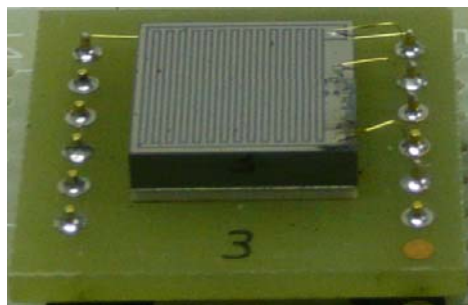


Figure 4. Calculated potential distribution in a coplanar grid detector with grid bias equal to one fifth the bias across the detector. The potential is shown for a positive charge.

P.N.Luke (IEEE Trans. Nucl. Sci. Vol.42, No.4, 1995)



- 二つの陽極の信号の差分を取れば、ホールの影響を受けない電子の数だけに比例した情報が得られる。
- (和をとれば通常の信号が得られる)
- CZTでは、 ^{137}Cs で分解能1.3%の実績
- 我々は、波形情報を用いることで、さらに上げられる？
- 読み出しをsegment化していくと、COBRA(CZT)と同じような実験になってしまう。(迷走中)

まとめ

- 目標 数十 cm^3 で分解能0.5%(FWHM@2.5MeV)
- まだまだ、これからです。
 - ▣ ガード電極でリーク電流低減
 - ▣ 素子内の非一様性の測定
 - ▣ 解析の工夫
 - ▣ coplanar grid法
- 常温で高分解能な γ 線検出器としての応用も考えたい。