



XMASS実験 検出器部品の放射性不純物の評価

岸本研 中川克磨



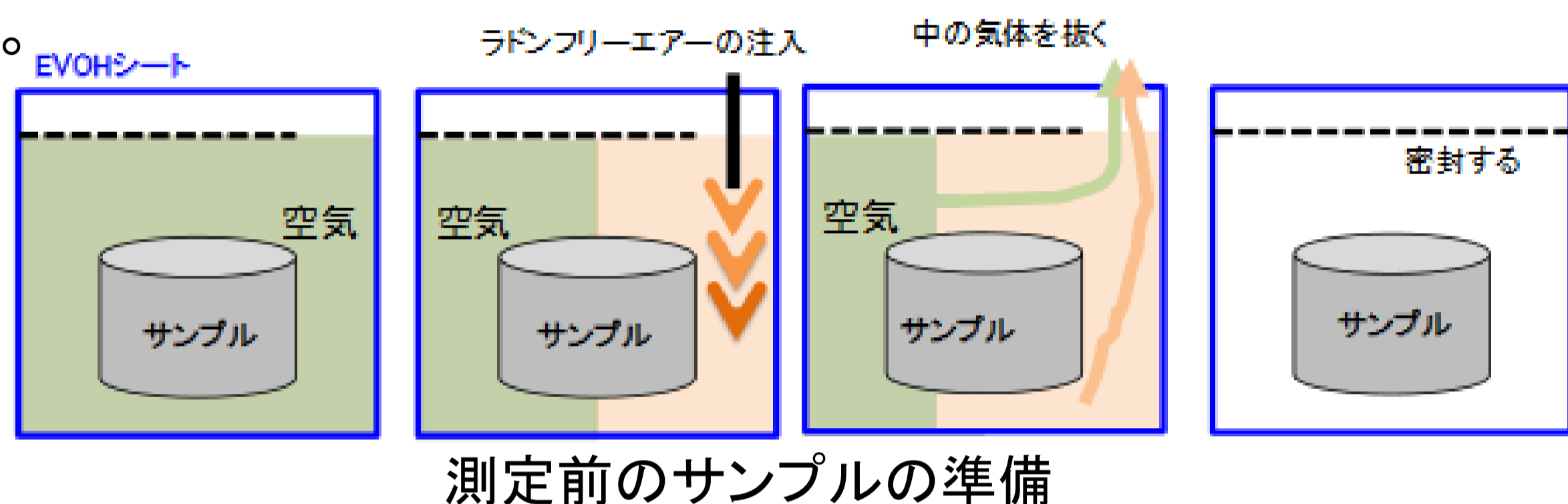
目的

XMASS実験は暗黒物質の直接検出を目指す、超低バックグラウンド(BG)実験である。現在は極低エネルギー領域のBG低減のための改装作業を行っている。これまでの研究でこの領域の主要なBGはPMTに用いられるAIに含まれる放射線源であり、その影響は 1.31 ± 0.02 dru (event/keV/kg/day) 程度であるということがわかっている。ここではこの値と比較し、新たに検出器に用いる材料の放射能が検出器のBGに影響を与えるかどうかを調べた。

測定・解析

検出器材料の放射能の測定にはHPGe(Hyper Pure Germanium)検出器を用いた。これは分解能に優れた検出器であり、ガンマ線ピークの識別がしやすいという利点がある。ここでは神岡の地下実験施設にある3台のHPGe検出器を用いて測定を行った。

サンプルはEVOH(ethylene vinylalcohol copolymer)の袋に入れ、密封して測定した。サンプルの準備はまずエタノールで超音波洗浄を行い、EVOHの袋に入れ、中の空気をラドンフリーエアで十分に置換してから袋の口をシーラーで閉じた。これは坑内の空気に多く含まれるラドンの影響を排除してサンプルからの放射線量を正確に求めるためである。



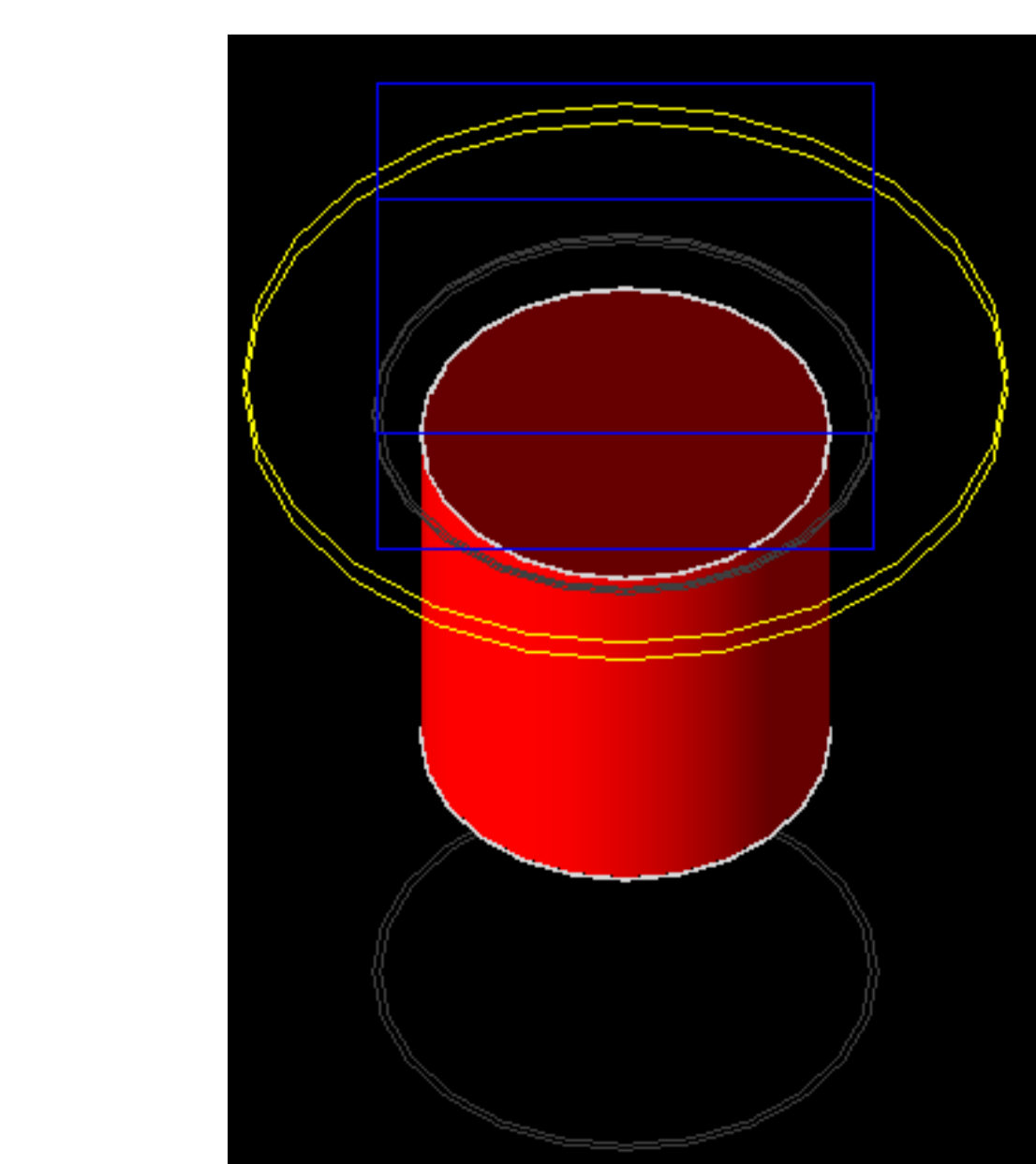
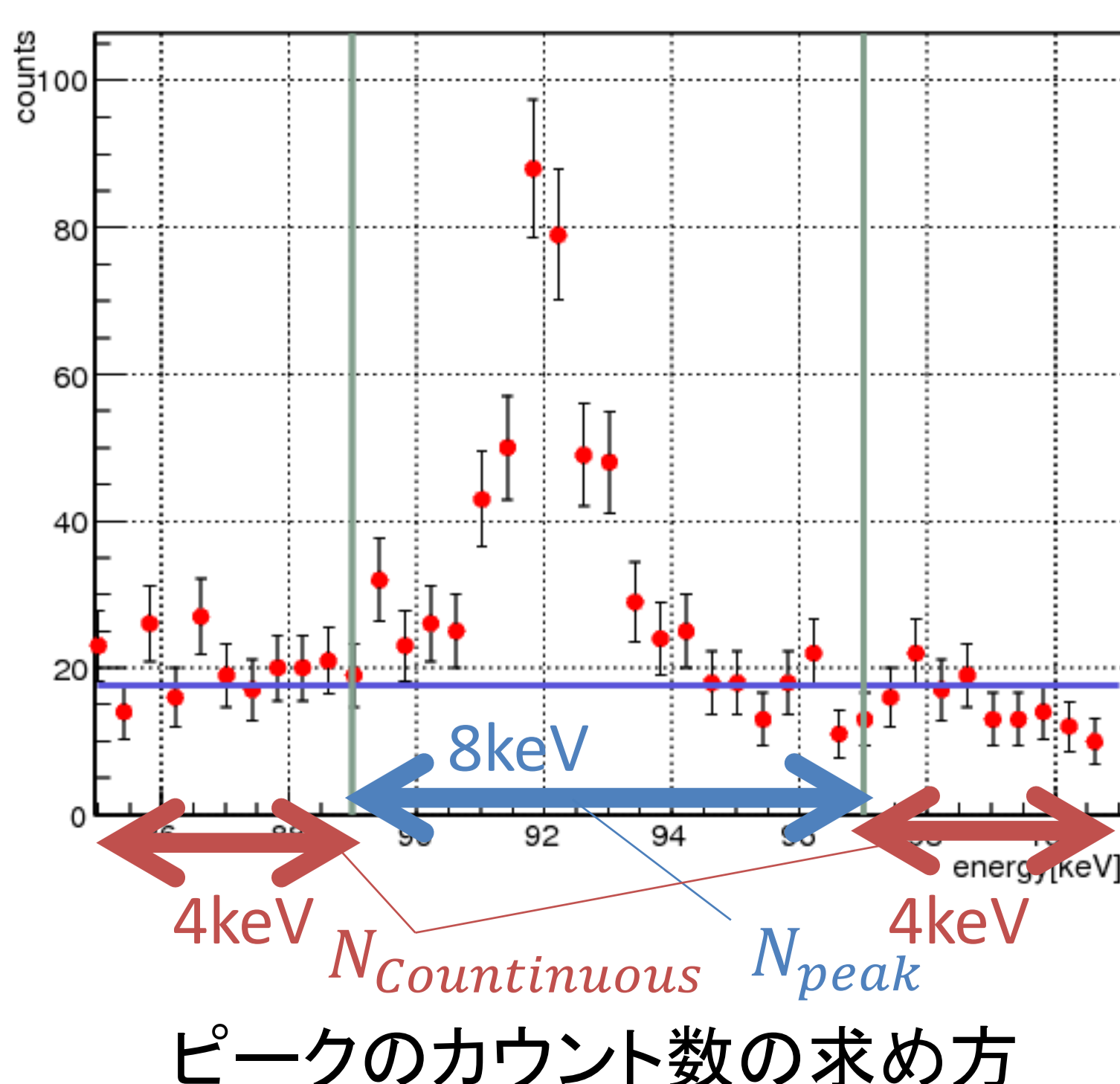
データは1チャンネルあたり0.4keV、8192(2^{13})チャンネルのヒストグラムの形で得られる。このデータからサンプルの放射能を求める。あるピークの単位時間あたりのカウント数はピーク値 ± 4 keVのカウント数の合計 N_{peak} とする。しかしここには求めたいピークの他に連続的な雑音による信号も含まれている。これを除くため、連続成分は一定であると仮定してピーク部分のさらに両側4keVの領域のカウント数の合計 $N_{continuous}$ をだし、これらの差をとってピークのカウント数とした。さらにそれを測定時間で割ることで、単位時間あたりのカウント数 R_{sample} を求めた。

$$R_{sample} = \frac{N_{peak} - N_{continuous}}{Livetime}$$

ただし、この測定にはHPGe検出器自身の中にも含まれる放射性不純物由来のガンマ線が含まれるので、サンプルなしでBGの測定を行い R_{BG} を上と同様に求める。その差をとったものが真のサンプル由来のガンマ線ピークの単位時間あたりのカウント数となる。

次に装置の検出効率 $efficiency$ を考慮してここから放射能を求める。検出効率はGeant4を使ったシミュレーションで計算した。これはサンプルの中から一様に 4π にガンマ線を発生させ、ゲルマニウム結晶内で全エネルギーを落としたイベントを数えたものである。これを踏まえて、最終的にはサンプル内の放射性核種の放射能は以下ようになる。

$$Radioactivity[Bq] = \frac{R_{sample} - R_{BG}}{branching\ ratio \times efficiency}$$



Geant4によるMCシミュレーション
赤: Ge結晶 青: サンプル

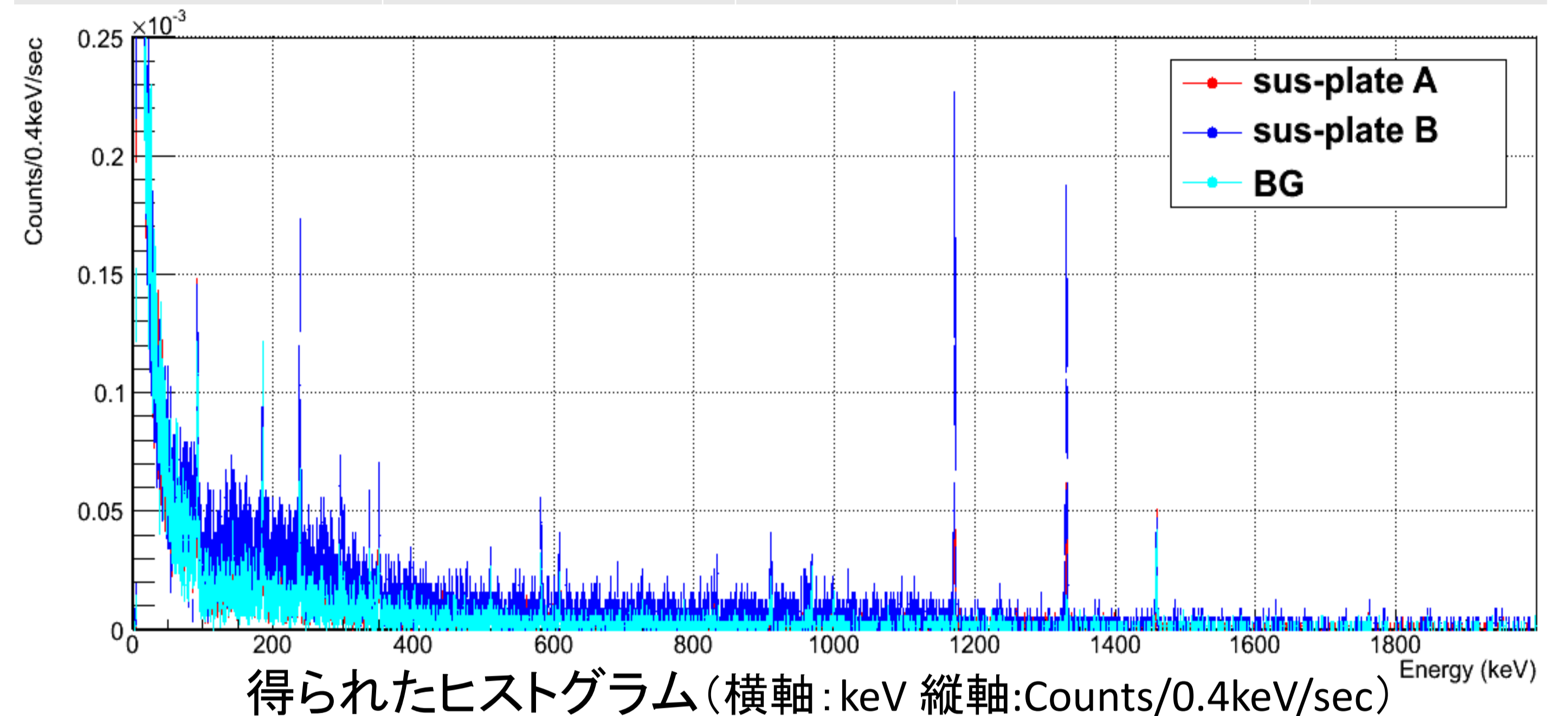
結果

測定する検出器材料は数多くあるが、ここでは結果が出ている以下の2種類のサンプルについてまとめた。

1. ステンレス板

これはPMTを固定するために使うPMTバンドという部品を作る材料の候補に挙げられている素材(2種)である。詳細は以下の表に記載。

サンプル	形状 (mm ³)	質量 (g)	測定時間 (day)	検出器
ステンレス板A	100×100×33	1705	8.2	P-type
ステンレス板B	100×100×33	1860	4.8	P-type



上の図は測定によって得られたヒストグラムの一部である。ここから前述の方法でU系列、Th系列、 ^{60}Co 、 ^{40}K について放射能(Bq)を求め、現在使われているものと比較した。また、そこから極低エネルギー領域でのdruを求め、PMT-AIによるBGの1%以下に収まるのかを調べた。

以下の表は、測定した素材ですべてのPMTバンドを作った場合の検出器全体での値を比較したものである。また、一番左のdruは有限値が出ているRIの影響をPMTのAIのdruに換算した値である。

材料	U系列(mBq)	Th系列(mBq)	^{60}Co (mBq)	^{40}K (mBq)	dru
SUS-A	-11.1 \pm 2.0	0.5 \pm 1.6	15.3 \pm 1.1	-13 \pm 16	2.8×10^{-4}
SUS-B	-3.5 \pm 2.9	19.6 \pm 3.0	64.9 \pm 2.6	-14 \pm 18	1.0×10^{-2}
using	9.4 \pm 8.2	10.1 \pm 8.2	13.9 \pm 4.5	-74 \pm 84	6.8×10^{-3}

以上より、ステンレスAを使えばPMTバンド由来のBGを一桁落とすことができるということがわかった。

2. 銅板の電解研磨試験

これは銅板をラドンが多く含まれる空気に晒した後に電解研磨をし、研磨の前後で放射能がどのように変化したかを調べたものである。ここでは ^{210}Pb のピーク(46keV)の減少率を調べることで、検出器に多く使われている銅の表面の放射性核種を除去する電解研磨の性能を評価した。今回は銅板の表面を15 μm 削った。

メーカー	形状 (mm ³)	ラドン曝露時間 (week)	測定時間 (day)		検出器
			研磨前	研磨後	
サンプルA	100×100×0.5	6	2.6	5.0	P-type
サンプルB	100×100×0.5	6	6.7	6.7	P-type
サンプルC	100×100×0.5	14	7.9	15.1	P-type

結果は右表の通り。

条件が違うため単純に比較はできないが、三社全てで研磨による放射能の減少を確認できた。

メーカー	研磨前 (Bq/sample)	研磨後 90% C.L. (Bq/sample)	後/前比 (%)
A	0.860 \pm 0.237	< 0.339	39.4
B	1.356 \pm 0.184	< 0.184	13.6
C	3.190 \pm 0.169	< 0.163	5.1

結論・今後の計画

今回の測定で、PMTバンドの材料として妥当なステンレスを見つけ、電解研磨の効果を確認することができた。

ここで報告したサンプルはXMASSの改装に用いるもののほんの一部にすぎない。今後も材料の銅やねじなどの部品の放射能の測定を行っていく。また電解研磨に関しては削る量をより薄くした場合についての研究を進めていく。