

リアルタイムストロンチウム 90 カウンター初号機性能評価測定

2015/07/07

担当: 伊藤博士

概要

福島原発事故の復旧のために千葉大で開発された新しい装置、リアルタイムストロンチウム 90 カウンターは簡単に ^{90}Sr の放射能を短時間で測定する。2015年6月に林栄精器株式会社によって初号機の外箱が製作され入荷した。シンチレーション・ファイバーシート、シリカエアロゲル、veto 用シンチレータなどのマテリアル及び、光電子増倍管の配置、読出し回路への配線作業を行った。信号時間の調整を外部 NIM 論理回路で行い、その後 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 線源及び ^{137}Cs 線源で性能評価測定を実施した。1分間の測定を3回平均取って感度比 ($^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$) は約 600 倍を達成した。この結果は以前のデータにほぼ一致する。

1. リアルタイムストロンチウム 90 カウンター初号機

リアルタイムストロンチウム 90 カウンターは福島原発事故の復旧のために開発され、簡単に ^{90}Sr の放射能を短時間で測定する。従来の放射線測定では β 線測定においては他の放射能によるバックグラウンドに埋もれて $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ からの β 線を判断することが出来なかった。この装置はチェレンコフ光検出を応用して娘核から放出される高いエネルギーの β 線にだけに感度を持つ設計にしたことで、他の放射能 (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{40}K など) を含むサンプルでも精密に ^{90}Sr の放射能を測定することができる。

初号機の見栄えを良くするために林栄精器株式会社に外装の依頼をした。図1のように外形 $750 \times 550 \times 100 \text{ mm}^3$ と大型で回路 BOX のフロントパネルの窓と試料投入引き出しが取り付けられている。素材は黒で統一された厚さ 5 mm のアルミ板で、固定ネジは幅 3.0mm の六角レンチ専用が採用されている。操作は単純で、スケーラのスタートが緑、ストップが赤、リセットが白のボタンにそれぞれ指定されている。緑と赤を同時に押すとモードが 1: スケーラ → 2: HV 1 → 3: Current 1 → 4: HV 2 → 5: Current 2 の順番で変更される。つまみを時計回りに回すとそれぞれの HV がかかり、左の HV は Cherenkov 用の4つの PMT に右のつまみはトリガーと veto 用の3つの PMT に電圧が供給される。



図1. リアルタイムストロンチウム 90 カウンター初号機(組立前)

2. 組立作業ログ

2015/06/10: 林栄精器株式会社から外装を納入

2015/07/02: 組立開始

① シンチレーション・ファイバー・トリガーカウンターの取り付け作業： シンチレーション・ファイバーの両側に PMT を2つ接続して、最初に遮光テストを実施した。PMT の接続部が特に光が漏れるので黒シートで遮光した。カウンター全体を黒シートで覆った時と、そうでない時の PMT からの信号頻度を比較した。使用した PMT は R9880U シリーズで型番は付録で示す。これらは読出し回路から供給され、それぞれ 5 ch と 6 ch から供給した。5 ch は 38 – 101 Hz、6 ch は 360 – 420Hz で覆った時とそうでない時の変化が見られないことを確認した。

② シリカエアロゲルの実装： 使用したシリカエアロゲルは屈折率が平均 1.045、透過長約 4.60 mm @400 nm、サイズ 100 x 100 x 10 の3つを使用した。シリアル番号は付録で示す。以前使用していたもので、見た目汚い。大丈夫だろうか？汚くなった原因は主に以前黒シートに直接設置していたことで溶けたのではないかと考えている。このエアロゲルを図2のように横3枚並べて 300 x 100 の有効面積をなす。

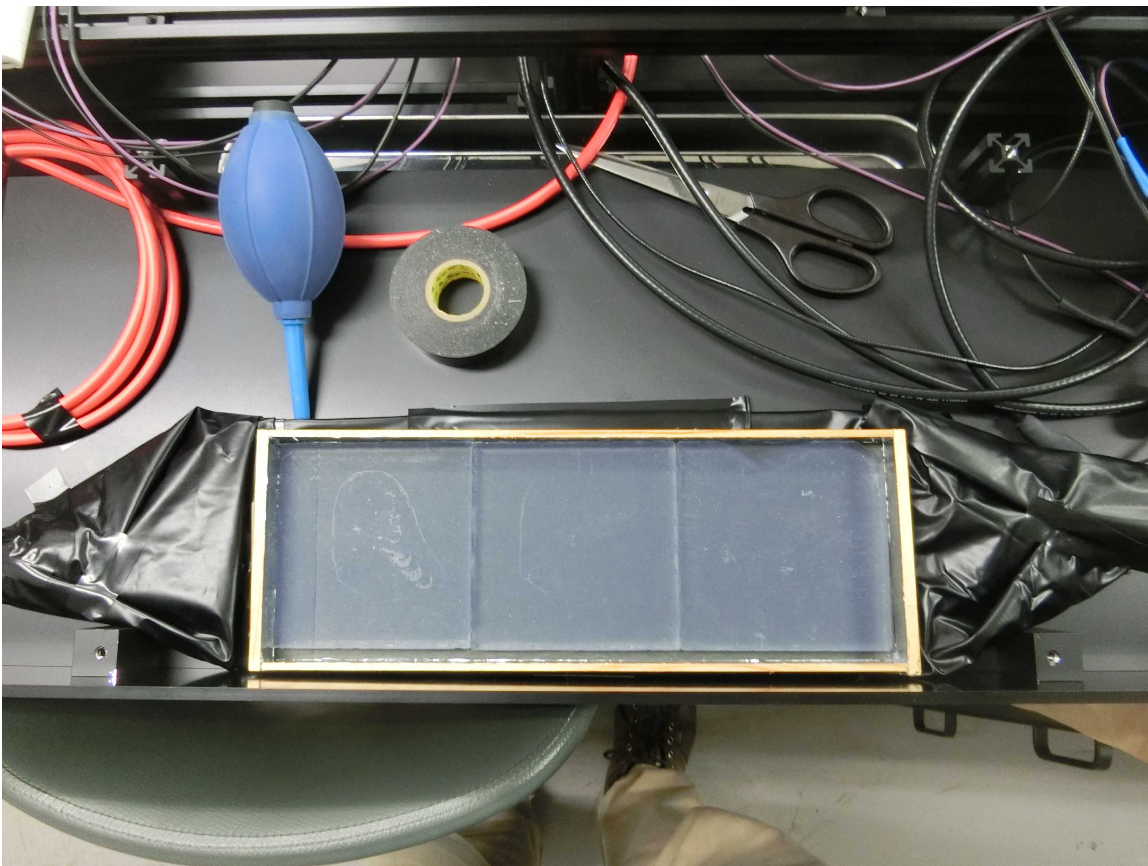


図2. シリカエアロゲルのインストール

2015/07/03: 組立とタイミング調整

③ AC 遮光テスト： シリカエアロゲルの入った木製の箱と波長変換ファイバーシートを蓋のように合わせて黒テープで固定した。波長変換ファイバーの束4つそれぞれに PMT を接続し、黒シートで遮光処理した。黒シートをカウンター全体に覆ったときとそうでない時で信号頻度に変化がないことを確認し、1 ch から4 ch はそれぞれだいたい 880 Hz、850 Hz、1000 Hz、900 Hz であった。ディスクリミネータ (以降 Disc.) にそれぞれ入力し、しきい値 -25 mV、幅 50 ns の論理信号に区切った。オシロスコープでタイミングを調節し OR 演算した結果、AC の雑音頻度は 3 kHz が得られた。

④ veto カウンター遮光： 同様に veto カウンターも遮光し、黒シートをカウンター全体に覆ったときとそうでない時で信号頻度に変化がないことを確認した。

2015/07/06: 読出し回路設定確認

⑤読出し回路設定確認: コインシデンス・レベルは4C10Rで4つのPMTの内ひとつ以上Highなら信号出力する設定になる。しきい値は1chから7chまで、-153.8 mV、-150.2 mV、-153.2 mV、-150.3 mV、-158.7 mV、-150.7 mV、-300 mVにそれぞれ設定されている。

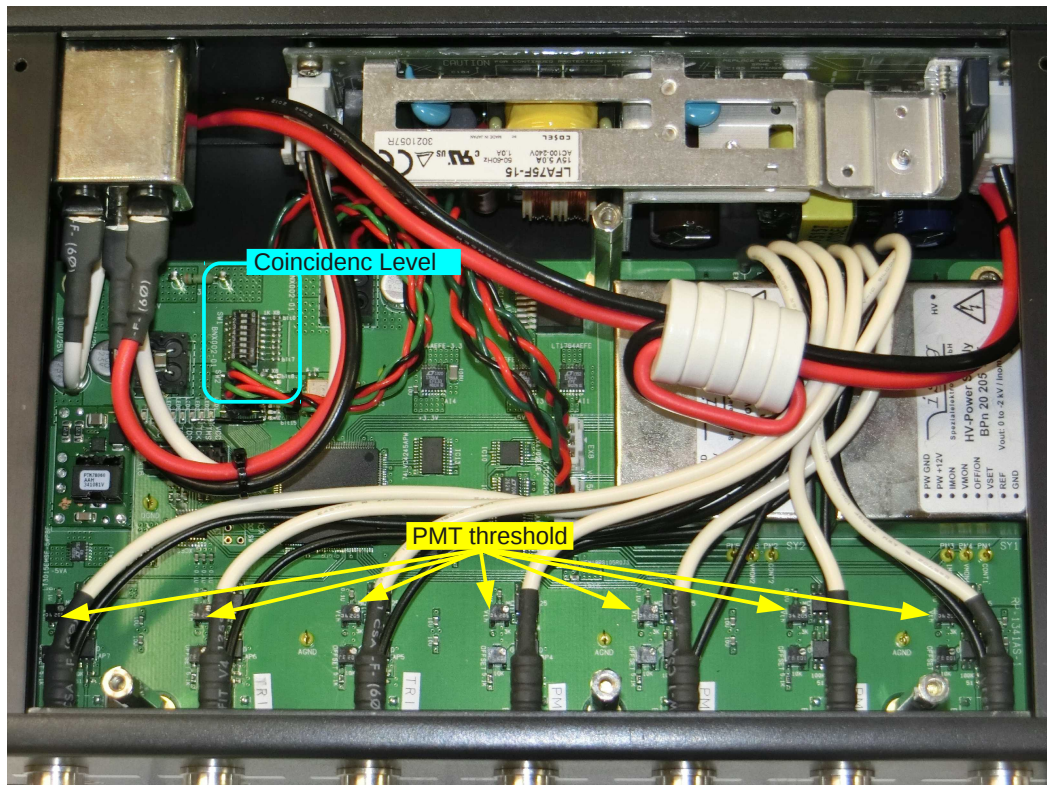


図3. 読出し回路背面

3. 性能評価測定

光電子増倍管は電圧供給直後は動作が不安定なため、電源をつけてから10分程度待つ。1~4chは1200 V、5~7chは1000 Vの電力を供給する。使用する線源は放射能約25 kBqの⁹⁰Sr/⁹⁰Yと¹³⁷Cs密封線源である。これをサンプル用トレイに入れ引き出しの中に入れて測定する。バックグランドを含めて、1分間の測定を3回行いその平均で評価した。

結果を表1に示す。初号機の性能は⁹⁰Srの感度が 2.5×10^{-3} Hz/Bqで、感度比(Sr/Cs)は 6.2×10^2 が得られた。論文の結果と比較すると、⁹⁰Srの感度はオーダは合っているが、1/2程度低い。感度比はほぼ一致している。感度が悪くなった原因は主に装置表面と線源の距離にある。実際に2 cm離れた場合、感度は 1.6×10^{-3} Hz/Bqとなったことから、装置全体が逆さになり、線源と装置表面に空気のギャップができてい寄与が主要要因であることがわかる。

	カウント頻度		単位[cpm]	
	BG	Cs	Sr	
1回目		5	9	3567
2回目		4	13	3923
3回目		4	9	3763
平均		4.3	10.3	3751
感度[Hz/Bq]			4.00E-06	2.50E-03
感度比				6.2E+2

表1. 評価測定結果

4. 二号機製作に向けて

リアルタイムストロンチウム 90 カウンターとしては未だ課題を残している。

- (1) この装置は屈折率 1.045 を使用しているため ^{137}Cs からの最大 1.17 MeV の β 線には不感だが、 ^{40}K からの最大 1.33 MeV の β 線には感度を持つ。そのためには屈折率 1.04 以下のエアロゲルを使用する。
- (2) 低感度測定(0.1 Bq/kg)のために有効面積を 0.03 m^2 から 0.1 m^2 に拡張する。
- (3) 回路や PMT について使用時の冷却が必要なのか議論すべき。実際に ^{134}Cs や ^{40}K の線源で評価すべき。
- (4) AC は放射能レベルに応じた感度レベルを実装する。

5. まとめ

初号機はとりあえず完成した。この装置は他の放射能物質を含んでいる試料における ^{90}Sr の放射能を 1Bq/kg の精度で測定することをコンセプトにしている。有効面積 30 cm x 10 cm で、外枠のケースが 75cm x 55 cm x 10 cm だ。性能評価測定の結果、 $2.5 \times 10^{-3} \text{ Hz/Bq}$ で、感度比(Sr/Cs)は 6.2×10^2 が得られた。初号機製作から改善して2号機の製作にとりかかる。

付録: 初号機インストール設定表

光電子増倍管増幅率

	型番		印加電圧 [V]	増幅率	threshold [mV]
1ch	R9880U-210	BAC7233	1200	1.54E+07	-153.8
2ch	R9880U-210	BAC7475	1200	2.42E+07	-150.2
3ch	R9880U-210	BAC7484	1200	2.67E+07	-153.2
4ch	R9880U-210	BAC7486	1200	2.02E+07	-150.3
5ch	R9880U-210	BAC2397	1000	1.20E+07	-158.7
6ch	R9880U-210	BAC2605	1000	1.20E+07	-150.7
7ch	R9880U-210	BAC0996	1000	8.40E+06	-300

シリカエアロゲルの光学性質

	Id	屈折率	透過長[mm] @400nm
a	MEC1-1a	1.0450	46.4
b	MEC1-1b	1.0450	45.4
c	MEC1-1c	1.0449	46.1