

## リアルタイムストロンチウム 90 カウンター開発 TDC を用いたタイミング測定

### 1. はじめに

$^{90}\text{Y}$  は最大 2.28 MeV の  $\beta$  線を放出し SFT と AC を同時に反応させる。一方  $^{137}\text{Cs}$  は  $\beta$  崩壊後数  $\mu\text{s}$  に 662 keV の  $\gamma$  線を放出する。また  $^{40}\text{K}$  は  $\beta$  崩壊もしくは電子捕獲後  $\gamma$  崩壊する。つまり偶発的に同時に 2 つの  $^{137}\text{Cs}$  もしくは  $^{40}\text{K}$  が崩壊しない限り、検出タイミングを制限することで他核種の事象を抑制することができるはずで、ストロンチウム 90 カウンター(デモ機: RTSC-A)の性能を向上する。

### 2. セットアップ

RTSC-A は有効面積  $300 \times 100 \text{ mm}^2$  で現在、屈折率  $n=1.034$ 、サイズ  $(95 \times 95) \times 10 \text{ mm}^3$  が 3 枚のシリカエアロゲルが格納されている。つまり、現在の有感領域は  $100 \times 100 \text{ mm}^2$  である。ベトーカウンターは応急措置として PMT 上部にもプラスチックシンチレータと波長変換ファイバーを用いた検出器を追加されている。屈折率 1.042 のエアロゲル 9 枚はデモまでには間に合わない予定なので、現在の仕様で 7/6 に展示する予定。ベトローは 6/14-20 の期間に最終仕様で製作し、その後性能試験を実施する予定だ。今回使用した線源は  $^{90}\text{Sr}$  (23.7 kBq),  $^{137}\text{Cs}$  (26.0 kBq),  $^{40}\text{K}$  (KCl 4 g: 62 Bq) である。これらを RTSC-A の所定位置にそれぞれ設置し 1 時間計測した。

### 3. 回路設計

タイミング測定のためのセットアップを図 1 に示す。ベトローの応急措置によって合計 10 個の出力になる。ベトローの計 4 出力を OR して一つの TDC で読み出す。TDC は REPIC の RPC-180 を使用した。SFT1 と SFT2 が同時出力した事象をトリガーにしてコモンスタートを形成した。他信号は Delay で約 40 ns 遅延して STOP へ入力した。

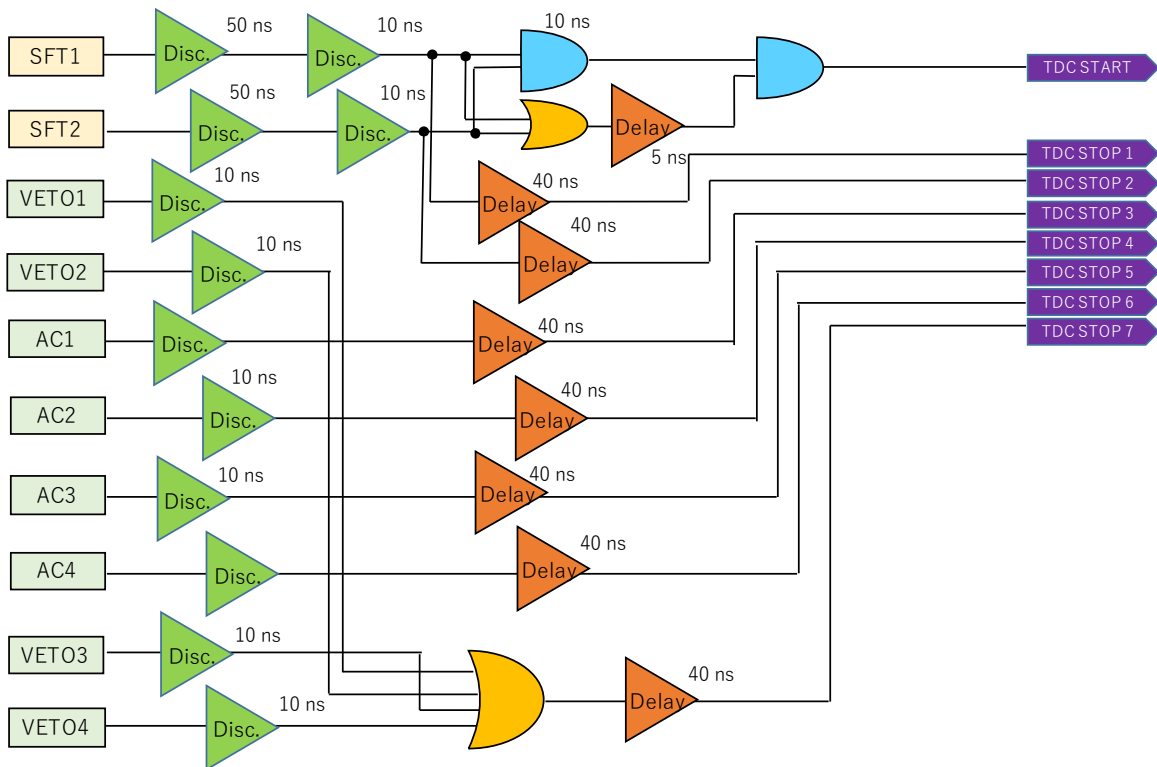


図 1. 演算回路設計

## 4. 解析結果

### 4.1. 核種ごとの時間差分布の違い

線源を装置中心に設置し、トリガーとなる波長変換ファイバーに荷電粒子が通過しシンチレーション光が両端 15 cm を伝搬した時、コモンスタートの時間分解能は 0.4 ns (FWHM) が観測された。このスタート時刻から波長変換ファイバーを用いたエアロゲルチェレンコフ検出器の PMT 検出時刻における時間差を図 2 に示す。ちなみに、これらは宇宙線による事象を除去している。黒線は  $^{90}\text{Sr}$ 、赤線は BG、緑線は  $^{137}\text{Cs}$ 、青線は  $^{40}\text{K}$  をそれぞれ示している。そして、横軸は時間差 (ns)、縦軸は単位時間 (sec) あたりの counts/bin を示す。

$^{90}\text{Sr}$  からのベータ線による信号の時間分解能は最大 12 ns (FWHM) が得られた。チェレンコフ放射の時間特性は数十 ps に対して、この結果は波長変換ファイバーを介すると分解能が著しく悪化すると判断される。これについては波長変換材の吸収波長と発光波長のオーバーラップ領域で吸収発光を繰り返すことで時間特性が悪化すると解釈できる。ただし、これだけの結果では信憑性にかける。また、この時間分解能ではタイミングに関して制限・条件をかけても RTSC-A の性能は向上しないと考えられる。

一方、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{40}\text{K}$  の時間分解能分布は BG の分布にほぼ一致する。これは BG として Sr と同じ時刻情報を持つ事象が存在していることを裏付けている。おそらくは宇宙線事象が除去しきれていないことが原因であると考えている。そう考えると  $^{137}\text{Cs}$  からの雑音頻度よりも宇宙線による事象頻度の方が未だ多く、観測できていない。その証拠に  $^{137}\text{Cs}$  の時間分布のテイルが  $^{90}\text{Sr}$  と比較して存在している。

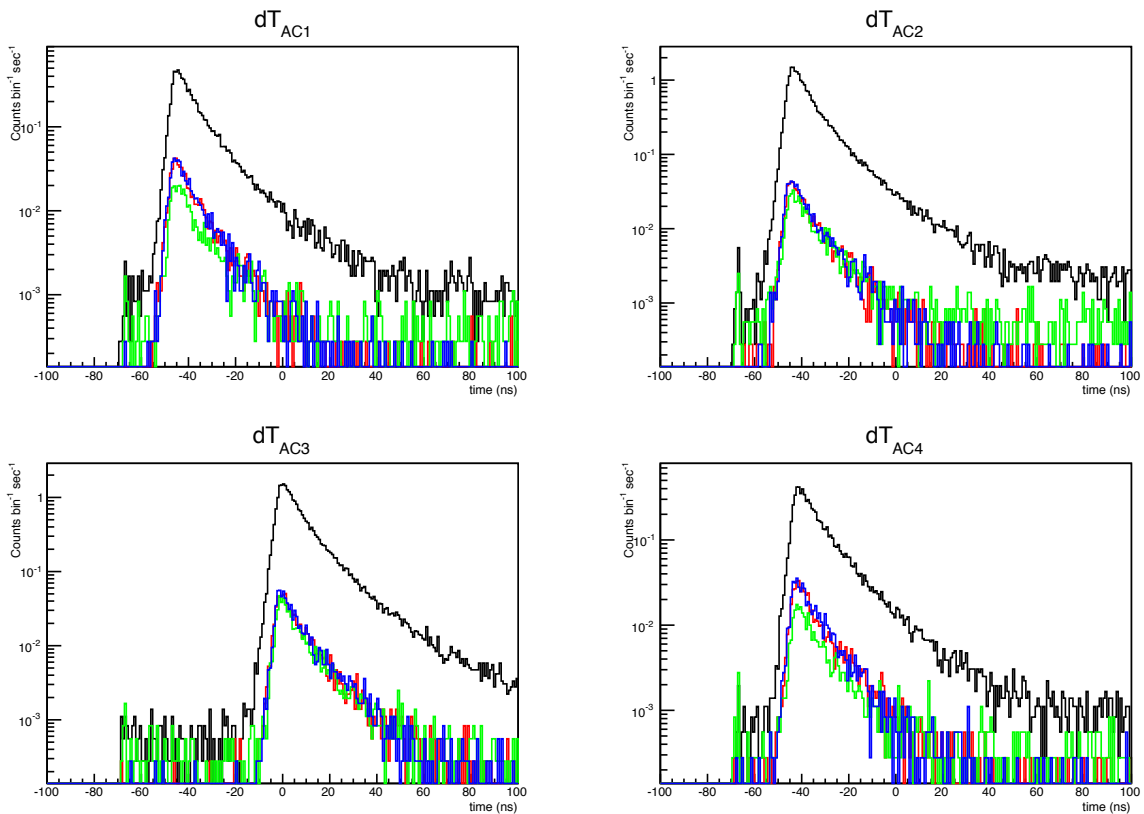


図 2. 核種における AC の時間分解能分布

## 4.2. BG 測定におけるベトー性能

BG 事象における AC の時間差分布を図 3 に示す。青線はベトー事象を考慮していないヒストグラム、赤線はベトー検出器事象を抑制した結果、緑線はベトー事象における AC の時間差分布をそれぞれ示す。つまり青線は赤線と緑線の和である。条件をかけても時間特性はほぼ等しく、統計量が減るのみだ。つまり宇宙線ミュオンが抑制しきれていないことを示す。

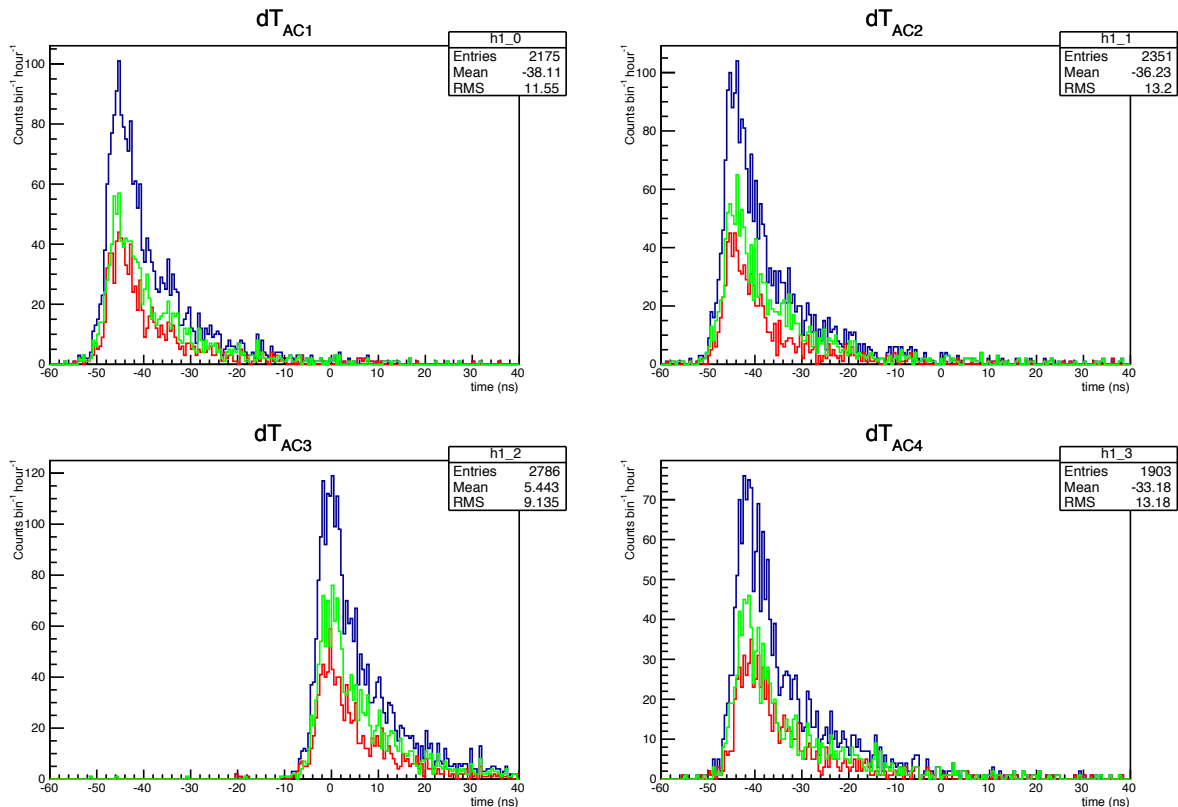


図 3. ベトーを考慮した BG の AC 時間分解能分布

## 4.3. 考察

BG 事象の約半分の割合で除去できていない結果が得られた。現在の仕様ではベトーカウンターが最終仕様になっておらず、応急措置として PMT 上部にプラシン検出器を設置しているにすぎない。図 3 の結果から時間特性が定まっているの是一見妙である。ベトーの検出効率が低いのだろうか。ベトーにプラシンを 2 層用意する必要があるのだろうか。現在仕様のベトー検出器が正常なら宇宙線がカバーしていない領域はファイバーと PMT の取り付け部で、検出されるのに時間差で約 1.5 ns 程度(30 cm + fiber 内光路差)。時間分解能が最大 12 ns (FWHM) であるから、装置端で検出した場合でも分解能圏内に分布する。3 月の線源による光電子数測定試験において、両側読み出しでそれぞれのプラシンあたり 10 p.e., 15 p.e., 11 p.e. がそれぞれ観測されていることから検出効率は十分保証されているはずである。課題は装置の立体角  $2\pi$  の入射方向に対して除去できるベトー検出器を実装することが性能向上の優先事項だ。

## 5. まとめ

核種の崩壊の違いから検出時間差に制限をとることで RTSC-A の性能を向上する方針は時間解能が乏しいことから先延ばしになるかもしれない。しかしベトーの重要性が今回の実験で明らかになった。デモ機 の最終仕様は 6 月末に設計を完了させ製造段階にシフトさせていく予定だ。