

リアルタイムストロンチウム 90 カウンター開発 veto 装置性能向上のための宇宙線測定 2

1. はじめに

リアルタイムストロンチウム 90 カウンターを試作し、今月 4 日にデモ機(RTSC-A)を製作した。Veto 装置の検出効率が 72%だったことから、設計見直しのための宇宙線測定が 12 日から始まった。22 日までの結果で、厚さ 5 mm のシンチレータの側面にシングルクラッド構造をもつ波長変換ファイバー(WLSF)を貼った仕様で約 5~6 p.e.の光電子数が観測された。WLSF 減衰長、シンチ内伝搬による減衰長を考慮しアップグレード用の設計を検討したが、不確定要素としてダブルクラッド構造 WLSF にした場合の光量増加率、シンチ厚と光量の関係の測定課題が残された。

本稿ではシンチと WLSF の性質測定の残された課題として(1) ダブルクラッド構造 WLSF の使用、(2) シンチレータ厚と光電子数の関係、(3)オプティカルグリスの寄与を調べた。

2. Single Cladding vs. Double Cladding

ファイバーのクラッド構造が一重か二重かの違いで再発光した光の収集効率(トラッピング効率)が約 1.70 倍違う。前回の測定で $100 \times 100 \times 5 \text{ mm}^3$ のシンチレータにシングルクラッド WLS を 4 層にしたライトガイドを貼り、片側読み出しでファイバーの反対側末端には何も処置していない、シンチレータと WLSF(伝搬長 190 mm)をアルミホイルで覆って遮光と反射の処理を施した場合平均光電子数 $4.95 \pm 0.05 \text{ p.e.}$ が得られた。同様な条件で WLSF(伝搬長 210 mm)をダブルクラッドに変更した場合 $8.14 \pm 0.12 \text{ p.e.}$ が得られた(図 1)。WLSF の減衰長を加味して 1.71 ± 0.03 倍の上昇率が観測され理論値に一致している。

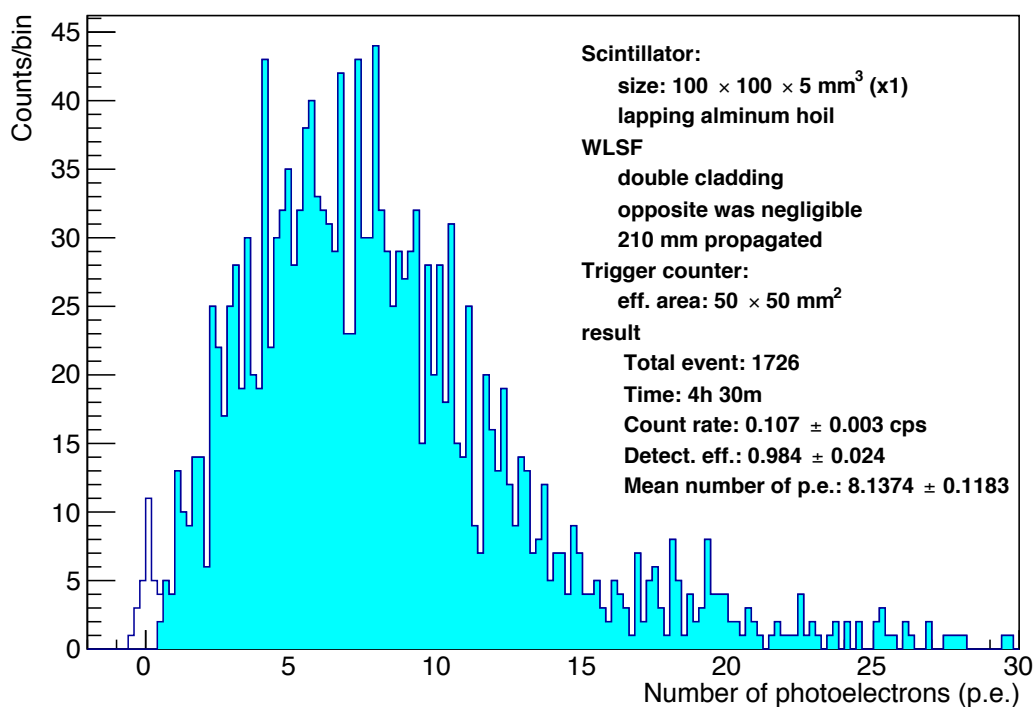


図 1. ダブルクラッド WLSF を経由したシンチレータの宇宙線による光電子数分布。シアンで塗られている領域はしきい値 0.5 p.e.を超えた検出された事象を示す。

3. シンチレータの厚さと光電子数の関係

基本的にはシンチレータの厚さに比例して観測される光電子数は増加するはずである。WLSF はダブルクラッド構造、4層シートのライトガイドをシンチレータに貼り付ける。WLSF の伝搬距離は 280 mm で実際に使用する長さに近い。WLSF シートはシンチ厚 20 mm まで測定できるように幅 20 mm に設計した。ダミーのシンチ板を用意しアルミホイル面をシンチ板に向けて実際の仕様に近づけた。ファイバーの反対側末端は住友 3M 社の ESR フィルムによる反射材を貼り付けている。

シンチレータの厚さと平均光電子数の関係を図 2(左)に示す。予想通りシンチ厚さに比例した光電子数が増加している関係が確認できた。シンチレータ 4 層 (厚さ 20 mm) における宇宙線由来の光電子数分布を図 2(右)に示す。平均光電子数が 26.94 ± 0.16 p.e. が得られたが検出効率が 99.2% で理論値 99.9% 以上に一致しない。ペDESTAL 事象が現れている要因はトリガー事象の中にノイズが混ざっていると考えられる。そこで、素性の良いトリガーにするためにトリガー検出器を 2 つから 3 つにした場合、検出効率は $99.7^{+0.3}_{-0.5}$ % まで達成した。

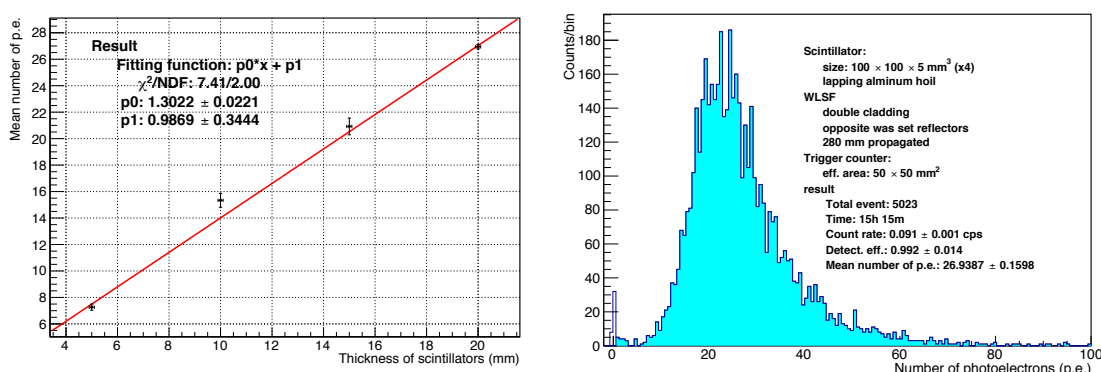


図 2. シンチ厚さと平均光電子数の関係(左)とシンチ厚さ 20 mm における光電子数分布(右)

4. 光学グリスの効果

シンチレータの平面は研磨されていない。そのためシンチレータを重ねて光電子数を稼いだとしても十分引き出せていない。そこでシンチレータ同士の間 Saint-Gobain 社の光学グリス BC630 を全て塗り同様に測定した結果、平均光電子数は 30.07 ± 0.59 p.e. (約 1.12 倍) に増加し、検出効率は: 100 – 5% に増加しペDESTAL 事象が存在しなくなった。

WLSF とシンチレータの間に同様に光学グリスを塗った場合、平均光電子数は 36.69 ± 0.26 p.e. (さらに約 1.22 倍) に増加し、検出効率は十分ペDESTAL 事象が存在しない量が観測された。このことからシンチ同士の間も WLSF とシンチの間にも光学グリスを塗ることは光量増加に有効的であることがわかった。

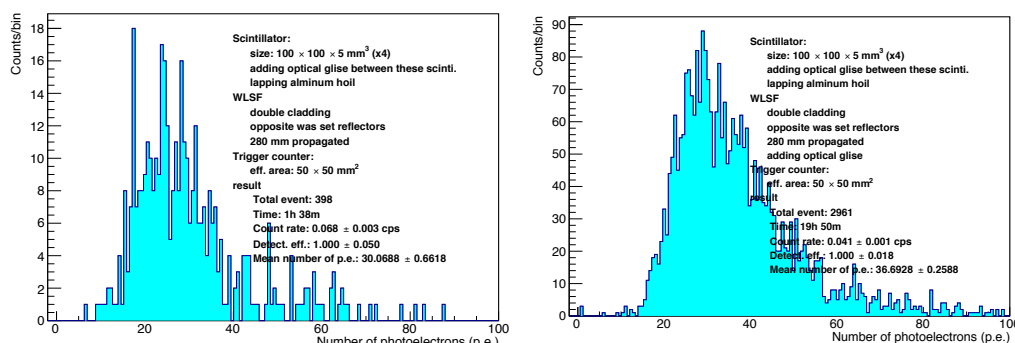


図 3. シンチ間に光学グリスを塗った場合(左)とシンチと WLSF 間に光学グリスを塗った場合(右)

5. veto 装置アップグレードの設計

以上の測定結果から veto 装置アップグレードの設計を検討する。図 4 に仕様一覧を示す。前回の設計失敗を反省して、取り外しに関してファイバーが折れないように完全に 2 系統に設計する予定だ。Veto 装置は 5 面のシンチで覆われており、平面(695×200 mm²)、長側面(695×50 mm²)が二つ、短側面(200×50 mm²)が二つで構成される。

平面に345×200×20 mm³の 2 個のブロックが互い違いに配置され、有効面積をオーバーラップする。これらブロックの 1 つは345×99×5 mm³のシンチ板を 6 枚、345×49×5 mm³のシンチ板を 4 枚重ね、ファイバーの挿入面が互い違いになるように配置し光学セメントで接着して製作される。4 側面を研磨して WLSF を貼り付ける。WLSF はクラレ社の直径 0.2 mm の Y-11(300)MJ：ダブルクラッドを使用する。WLSF とシンチ側面にも光学セメントで接着して光量の減衰を抑える。WLSF は片側読み出しで反対末端面に反射材 ESR フィルムを貼り付ける。最後にアルミホイルでこれらを覆う。以降シンチの接着と WLSF との接着、WLSF の仕様は同じである。WLSF はシンチの側面、ブロックの内部にそれぞれ貼り付けるので、計 1400 本使用する。それぞれの長さはシンチレータに貼り付ける長さ 345 mm に加え、PMT までの伝播距離 200 mm、そして研磨のために +α 用意して、計 600 mm 以上の切り出し長が要求される。今回の測定結果から厚さ 20 mm で WLSF の最大伝搬距離 545 mm、互い違いにしたことで最小シンチ内伝播距離 5 mm とすると平均光電子数 19 p.e.が期待される。

長側面も平面と同様に 2 つのブロックが互い違いでオーバーラップする。このブロックは345×200×5 mm³のシンチ板を 3 枚重ねて光学セメントで接着して製作する。側面に WLSF のシートを貼り付ける。仕様は平面と同様で計 1200 本使用する。平均光電子数は 17 p.e.が期待される。

短側面は345×50×10 mm³のブロックが覆う。このブロックは345×200×5 mm³のシンチ板を 2 枚重ねて光学セメントで接着して製作する。WLSF は両側読み出しの他は平面と長側面と同様の仕様である。ファイバーはシンチに貼る長さ 200 mm と PMT までの伝播距離が 300 mm が左右、そして研磨用に +α で、切り出し長は 900 mm が要求される。計 800 本のファイバーを使用する。平均光電子数は 19 p.e.が期待される。

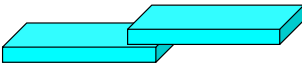
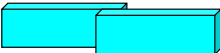

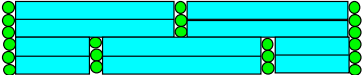
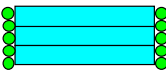
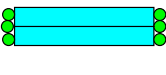
Plate surface	Long side surface	Short side surface
		
695×200 mm ²	695×50 mm ²	200×50 mm ²
		
345×200×20 mm ³	345×50×15 mm ³	200×50×10 mm ³
WLSF (Y-11, Double Cladding) > 4 layers, Reading by one side, > Length of 345 mm + 200 mm > Total 1400 fibers	WLSF (Y-11, Double Cladding) > 4 layers, Reading by one side, > Length of 345 + 200 mm > Total 1200 fibers	WLSF (Y-11, Double Cladding) > 4 layers, Reading by one side, > Length of 200 + 300 + 300 mm > Total 800 fibers
Mean num. of p.e. expected 19 p.e.	Mean num. of p.e. expected 17 p.e.	Mean num. of p.e. expected 19 p.e.

図 4. 設計仕様一覧

6. まとめ

WLSF とシンチを用いた装置の性質は宇宙線を用いて明らかにした。アップグレードのための仕様を決定した。来週にスズノ技研にシンチ加工依頼する。シンチと WLSF を組み立てて出来た veto 装置の性能評価することが今後の予定だ。