

チェレンコフ光のためのファイバーライトガイドの開発と宇宙線を用いた性能評価測定

千葉大 伊藤博士

hiroshi@hepburn.s.chiba-u.ac.jp

2014.03.17

～概要～

波長変換ファイバーを用いたライトガイドをファイバーライトガイドと呼ぶ。我々は一般には薄型・大面積化が困難なチェレンコフ光検出粒子識別装置をファイバーライトガイドを用いて開発している。屈折率 n の物質内で荷電粒子が光速 c/n より速く走るときにチェレンコフ光が発生される。同じ運動量領域において荷電粒子の質量の違いで速度が異なる。チェレンコフ光発生条件を満たすかどうかで粒子識別する装置を閾値型チェレンコフカウンターといい、この条件は輻射体の屈折率に依存している。シリカエアロゲルは固体でありながら低密度・低屈折率をもち、製作時にシリカと空気の配合率を変えることで 1.0002~1.3 の領域で任意に屈折率を決定できることから KEK Belle, J-PARK E36, LEPS などの π/K 識別に採用されている。この報告書は有効面積 $6\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ のファイバーライトガイドを試作し、宇宙線を用いてシリカエアロゲルからのチェレンコフ光で性能評価の結果を報告する。

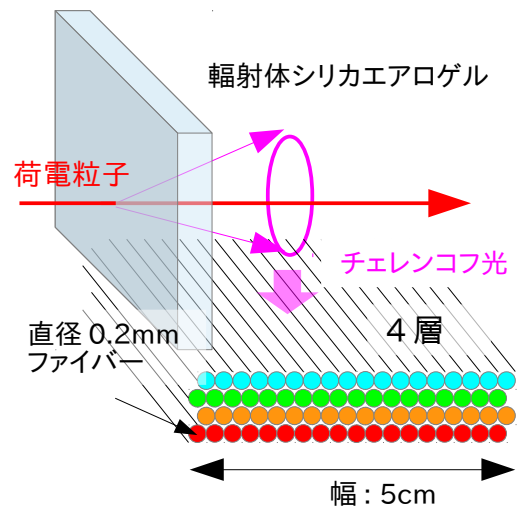


図 1. ファイバーライトガイドのメカニズム

1. ファイバーライトガイド製作(FLa シリーズ)

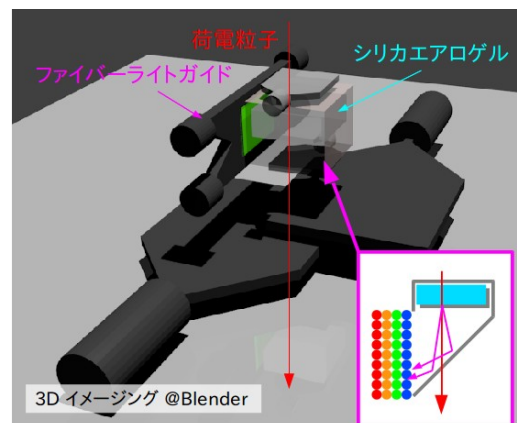
株式会社クラレが開発した直径 0.2 mm, ダブルクラッド, 4 種類の波長変換ファイバー(B-3, Y-11, O-2, R-3)をシート状に敷き詰めて有効面積 $6\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ のライトガイド(ファイバーライトガイド)を製作した。チェレンコフ光の波長分布は波長に反比例して連続であるため 4 種類のファイバーシートを層状に重ねて効率的な収集を試みた。先端の断面積は直径 6 - 7 mm で光検出器である高電子増倍管(以降 PMT)は小型が可能である。ファイバーの種類、束ね方、接着剤などの製作方法による性能の違いを測定する必要がある。

Silial number	FLa_17	FLa_18	FLa_19	FLa20	FLa21	FLa22	FLa23	
Total number of fiber layers	4	4	4	4	4	2	4	
layer type	BYOR	BYOR	BYOR	BBYY	BBYY	BY	BBYY	
fiber type	Double Clad	Double Clad	Double Clad	Double Clad	Double Clad	Double Clad	Double Clad	
area[mm×mm]	103 x 52	106 x 65	104 x 64	108 x 65	106 x 62	106 x 62	112 x 64	
connecting cross section	BY1[mm Dia]	6.35	6.35	6.60	B1: 6.45	BY1: 10.0	B1: 5.00	B1: 6.20
	BY2[mm Dia]	6.00	6.00	6.65	B2: 7.45	BY2: 10.1	B2: 5.00	B2: 6.30
	OR1[mm Dia]	5.35	5.35	6.10	Y1: 6.60		Y1: 4.90	Y1: 6.75
	OR2[mm Dia]	6.30	6.30	7.10	Y2: 6.40		Y2: 5.05	Y2: 6.00
cross section bonding agent	PVAL	アロンアルファ	アロンアルファ	アロンアルファ	アロンアルファ	アロンアルファ	アロンアルファ	
underground reflector type	ESR140X160S	Mylar surface	Mylar surface	Mylar surface	Mylar surface	Mylar surface	アルミホイル	
製作日	2013/12/26	2014/1/16	2014/1/17	2014/2/3	2014/2/12	2014/2/26	2014/3/5	
備考	10x5, 下地ESRフィルム	10x6	10x6, BY2とOR2が逆位置	10x6, B2とY2が逆位置				

表1. 試作したファイバーライトガイドのプロパティ

2. PMT R9880U シリーズ 増幅率校正測定

R9880U シリーズは有効面積直径 8 mm の小型 PMT である。-210 は有効感度波長領域 300 - 500 nm で最大量子効率 40% の比較的高感度である。-20 は有効感度波長領域 400 - 700 nm の長波長にまで感度である。増幅率校正測定は PMT からの出力信号あたりの光電子数を見積るために必要な校正係数を決定する目的がある。ファイバーからの光量を読む PMT は $\text{Gain} = 2 \times 10^7$ になるように印加電圧を決定する。この値は CAMAC ADC で 0 p.e. と 1 p.e. を区別可能な増幅率として決定している。



3. 宇宙線測定

大気圏、地球大気内に宇宙線が入射した場合、空気シャワー現象により2次粒子を生み、比較的否定の長いミュオンが地表まで届く。相対論により寿命が延長され地表まで走るミュオンは最低でもエネルギーは4.8 GeVで速度 $\beta \sim 1$ である。これにより、 $\beta=1$ の安定したチェレンコフ光による性能評価を行える。トリガーの有効面積は5 cm x 5 cmで、シリカエアロゲルの有効面積は6 cm x 9 cmなので、4つのトリガーが反応したイベントはシリカエアロゲルを高エネルギー荷電粒子が通過したと測定した。シリカエアロゲルから発生したチェレンコフ光は45度反射板によりできるだけ一回反射でファイバーに入射するように設計した。実験はシリカエアロゲルの厚さを増やしていった時のPMTの光電子数を比べることにより波長変換ファイバーのチェレンコフ光入射の振る舞いが理解できると思われる。

4. 測定結果

ファイバーライトガイドFLa19とFLa20の性能評価を2014年2月24日から3月15日に渡って行った。シリカエアロゲルの厚さは0 cmから6 cmまで1cm間隔で増やした。図3はFLa19におけるゲル6 cmのときの4つのPMTの信号のADC分布を載せる。赤線はペDESTALイベントである。図4はそれぞれのゲルの厚さにおける光電子数をplotしている。PMT 1と2にはファイバーB-3, Y-11をまとめたもの、PMT3と4にはO-2, R-3のまとめたものをそれぞれ接続している。また4つの信号を論理回路の組合せで多様に評価できる(図5,6)。同様にFLa20も図7,8,9に示す。

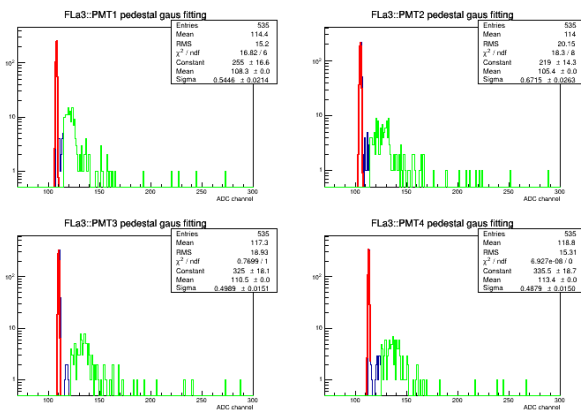


図3. 各PMTのADC分布

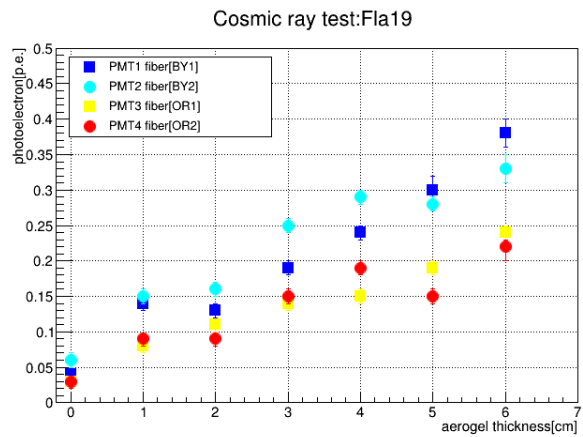


図4. 各PMTのゲルの厚さ vs. 光電子数

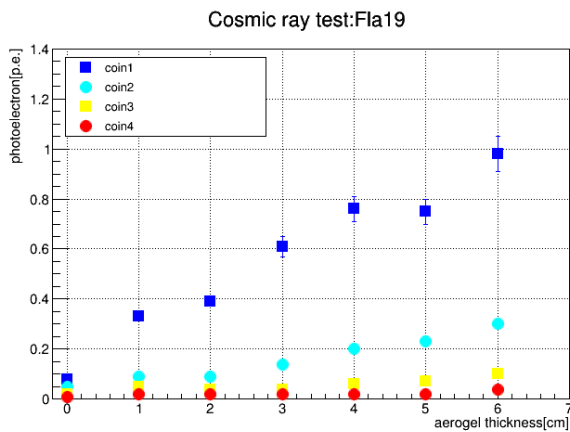


図5. ゲルの厚さ vs. 光電子数; 論理回路1

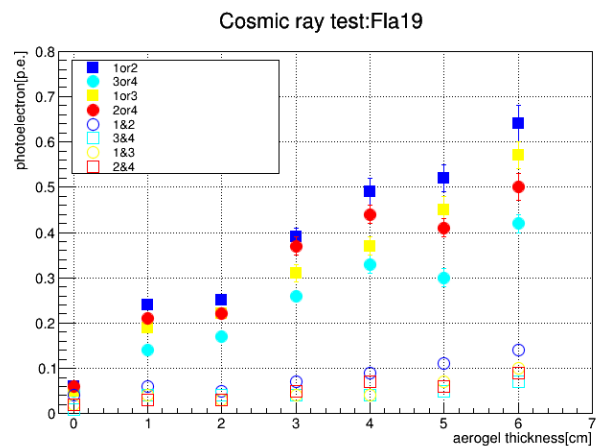


図6. ゲルの厚さ vs. 光電子数; 論理回路2

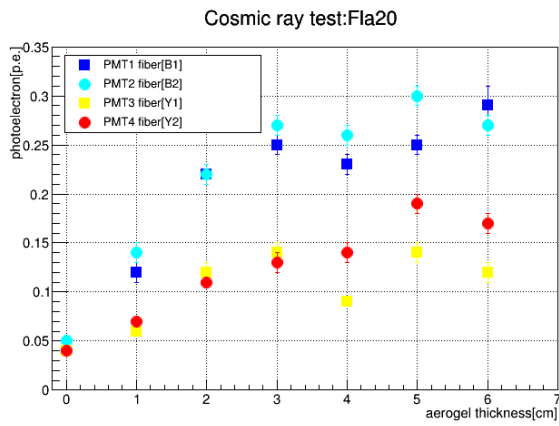


図 7. 各 PMT のゲルの厚さ vs. 光電子数

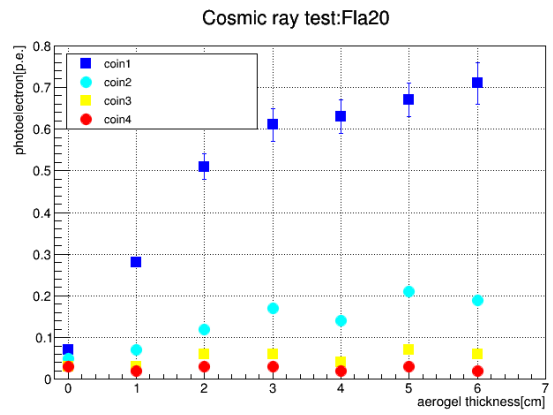


図 8. ゲルの厚さ vs. 光電子数;論理回路 1

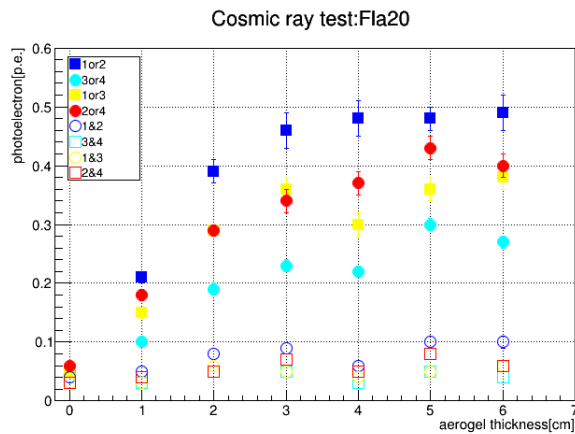


図 9. ゲルの厚さ vs. 光電子数;論理回路 2

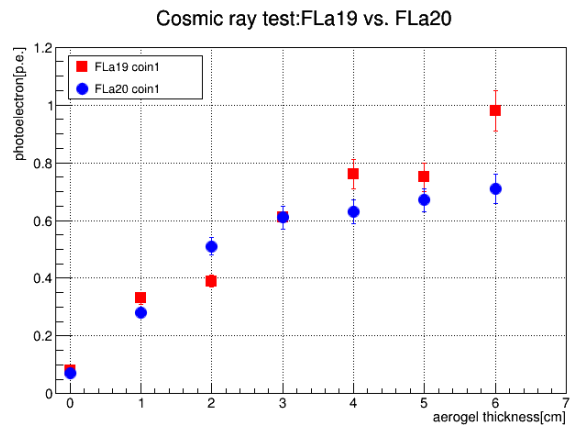


図 10. FLa19vs. FLa20

4. 考察の議論、今後の展望

シリカエアロゲルを厚くするに連れて光電子数が増加する plot が確認できた。これによりチェレンコフ光をファイバーライトガイドで読み出せたことが実証できた。ファイバーの組合せ BBYY では厚さ 3cm で物理が変わっているように見える。BYOR では歪ながらも直線に見える。この違いは 45 度反射板が影響していると考えている。3cm 以降は短波長のチェレンコフ光はゲル自身で散乱されて一回反射できないから飽和状態になる。一方、長波長は短波長より透過率がよいためファイバー OR で回収できると思われる。歪な形というのは系統誤差や宇宙線の入射方向のばらつきが原因ではないかと思われる。輻射体を入れる箱の形状などデザインの検討が必要なのかもしれない。今回は CAMAC ADC により積分値のみで解析したが、オシロスコープによる波形解析をすることでより詳しく現象が見れる。5 月に東北大学電子光理学研究センター でビームテストを計画している。今回の測定項目に加えて入射位置、角度、波形、ファイバー直撃イベント、ゲル箱の形状による依存などを調べる。