

GeV- γ 解析ノート No.52

シリカエアロジェルチェレンコフ検出器の性能評価 III

K. Suzuki

2007 Jun. 19th

目次

1	乱反射材のゴアテックスを使用した実験	1
1.1	実験セットアップ	1
1.2	チェレンコフ光の検出	2
1.2.1	シリカエアロジェルチェレンコフ検出器の ADC 分布とゲイン調整	2
1.2.2	チェレンコフ光の検出	3
2	検出された平均光子数	5
3	まとめ	5

GeV- γ 解析ノート No.49¹、No.51²で報告した実験では、シリカエアロジェルと乱反射材のミリポアメンブレンフィルターを使用した組み合わせを主に検討してきた。この組み合わせでは、光電子増倍管 (PMT) にかけた電圧を +2300 V としたとき、電子の検出効率は約 97% となった。

今回は乱反射材のゴアテックスを用い、陽電子を入射させる実験を行った。PMT にかけた電圧は同様に +2300 V とした。

1 乱反射材のゴアテックスを使用した実験

この実験では RTAGX 電流 350 A での陽電子 (エネルギー 672 MeV) を入射粒子に使用した。ここでは実験セットアップと電子が通過して発生するチェレンコフ光の検出効率について述べる。

1.1 実験セットアップ

使用したシリカエアロジェルは LNS4-6、LNS4-9 であり、実験セットアップは GeV- γ 解析ノート No.51³で報告した実験ほぼ同じである。ただし前回の実験で、トリガーとしてファイバーシンチレータを x 方向 16 本、y 方向 16 本の合計 32 本使用したが、今回の実験では x 方向 7 本、y 方向 7 本 (それぞれ 5-11 番目) の合計 14 本使用した。また

¹K. Suzuki, GeV- γ 解析ノート No.49 シリカエアロジェルチェレンコフ検出器の性能評価 I (2007).

²K. Suzuki, GeV- γ 解析ノート No.51 シリカエアロジェルチェレンコフ検出器の性能評価 II (2007).

³K. Suzuki, GeV- γ 解析ノート No.51 シリカエアロジェルチェレンコフ検出器の性能評価 II (2007).

- 1 シリカエアロジェルとゴアテックスを使用した場合
- 2 シリカエアロジェル無しでゴアテックスのみを使用した場合

の 2 つのセットアップで実験を行った。

1.2 チェレンコフ光の検出

ここでは取得したデータとチェレンコフ光の検出効率について述べる。

1.2.1 シリカエアロジェルチェレンコフ検出器の ADC 分布とゲイン調整

各 PMT にかけた電圧はすべて +2300 V だったので、PMT のゲインはばらばらである。まずはゲインを一定にするようなファクターを決定した。各 PMT の ADC 分布のうち高いチャンネルの部分を $y = \exp(a + bx)$ でフィットし、スロープパラメータ b を求めた。このスロープパラメータの逆数がゲインに比例するとして、PMT 1 を基準としたファクターを求め、表 1 にまとめる。図 1、2 に各セットアップでの ADC 分布をフィットした様子と、ゲインを調節した後の ADC 分布を示す。

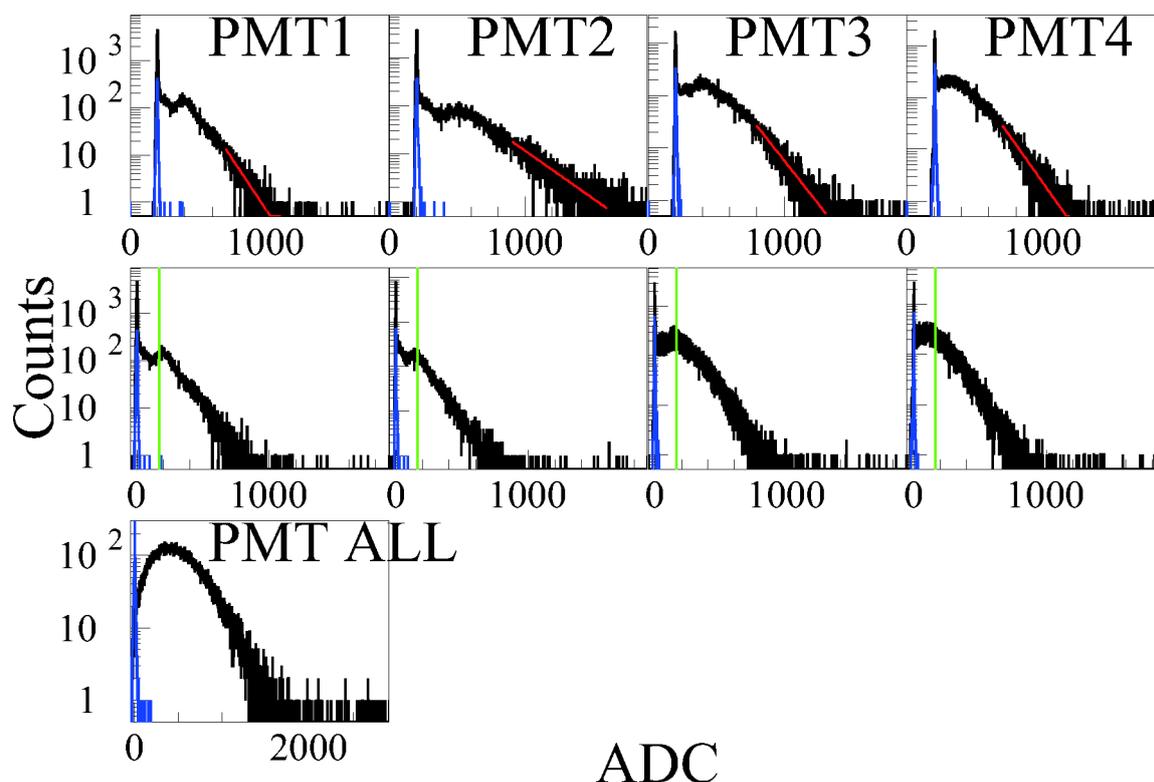


図 1: 実験セットアップ 1 での各 PMT の ADC 分布とゲイン調整の様子。上段が各 PMT の ADC 分布であり、高いチャンネルの部分を $y = \exp(a + bx)$ でフィットした様子である。中段がゲインを調節しペダスタルが 0 になるようにした ADC 分布である。一定の場所に示した緑の線のあたりにピークがありゲイン調整はうまくいっている。下段がゲイン調整後、4 つの PMT の ADC 和の分布である。それぞれペダスタルランのヒストグラムを青く上書きしている。

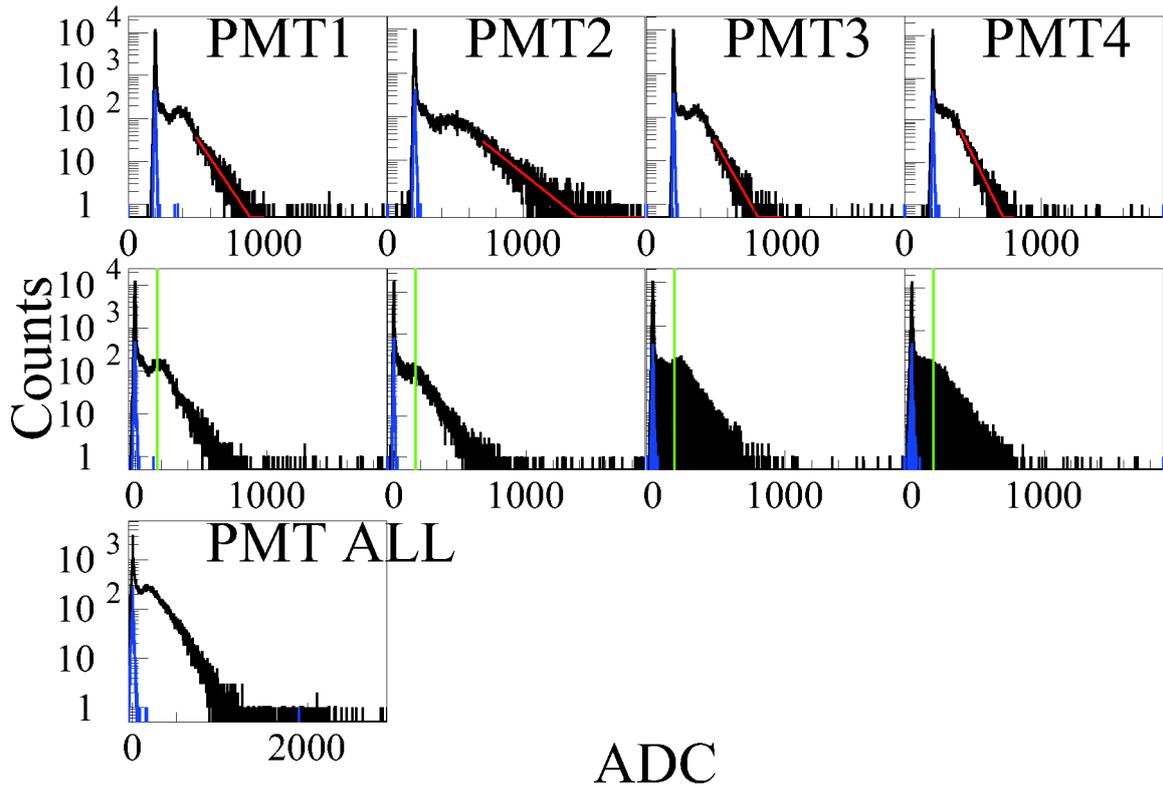


図 2: 実験セットアップ 2 での各 PMT の ADC 分布とゲイン調整の様子。上段が各 PMT の ADC 分布であり、高いチャンネルの部分で $y = \exp(a + bx)$ でフィットした様子である。中段がゲインを調節しペDESTALが 0 になるようにした ADC 分布である。一定の場所に示した緑の線のあたりにピークがありゲイン調整はうまくいっている。下段がゲイン調整後、4 つの PMT の ADC 和の分布である。それぞれペDESTALランのヒストグラムを青く上書きしている。

表 1: 各 PMT のゲインファクターとスロープパラメータ。PMT 1 のスロープパラメータを基準としてゲインファクターを求めた。

セットアップ	PMT 1	PMT 2	PMT 3	PMT 4
ファクター 1	1.0	0.459	0.758	0.859
ファクター 2	1.0	0.529	1.17	1.39
スロープ 1	-0.00996 ± 0.00054	-0.00457 ± 0.00023	-0.00755 ± 0.00029	-0.00855 ± 0.00034
スロープ 2	-0.01082 ± 0.00045	-0.00573 ± 0.00025	-0.01268 ± 0.00055	-0.01507 ± 0.00028

1.2.2 チェレンコフ光の検出

各 PMT i ($i = 1-4$) のペDESTALとなる ADC 分布の中心値 μ_{ped}^i と幅 σ_{ped}^i を使用して、ADC 値が $\mu_{\text{ped}}^i + 1.0\sigma_{\text{ped}}^i$ を越えた場合、 $\mu_{\text{ped}}^i + 1.5\sigma_{\text{ped}}^i$ を越えた場合、 $\mu_{\text{ped}}^i + 2.0\sigma_{\text{ped}}^i$ を越えた場合、 $\mu_{\text{ped}}^i + 2.5\sigma_{\text{ped}}^i$ を越えた場合、 $\mu_{\text{ped}}^i + 3.0\sigma_{\text{ped}}^i$ を越えた場合にその PMT でチェレンコフ光を検出したものとした。図 3 にチェレンコフ光を検出した PMT の個数分布を示す。1 つ以上の PMT でチェレンコフ光を検出した場合を電子の検出効率として表 2 に、2 つ以上の PMT でチェレンコフ光を検出した場合を電子の検出効率として表 3 にまとめる。

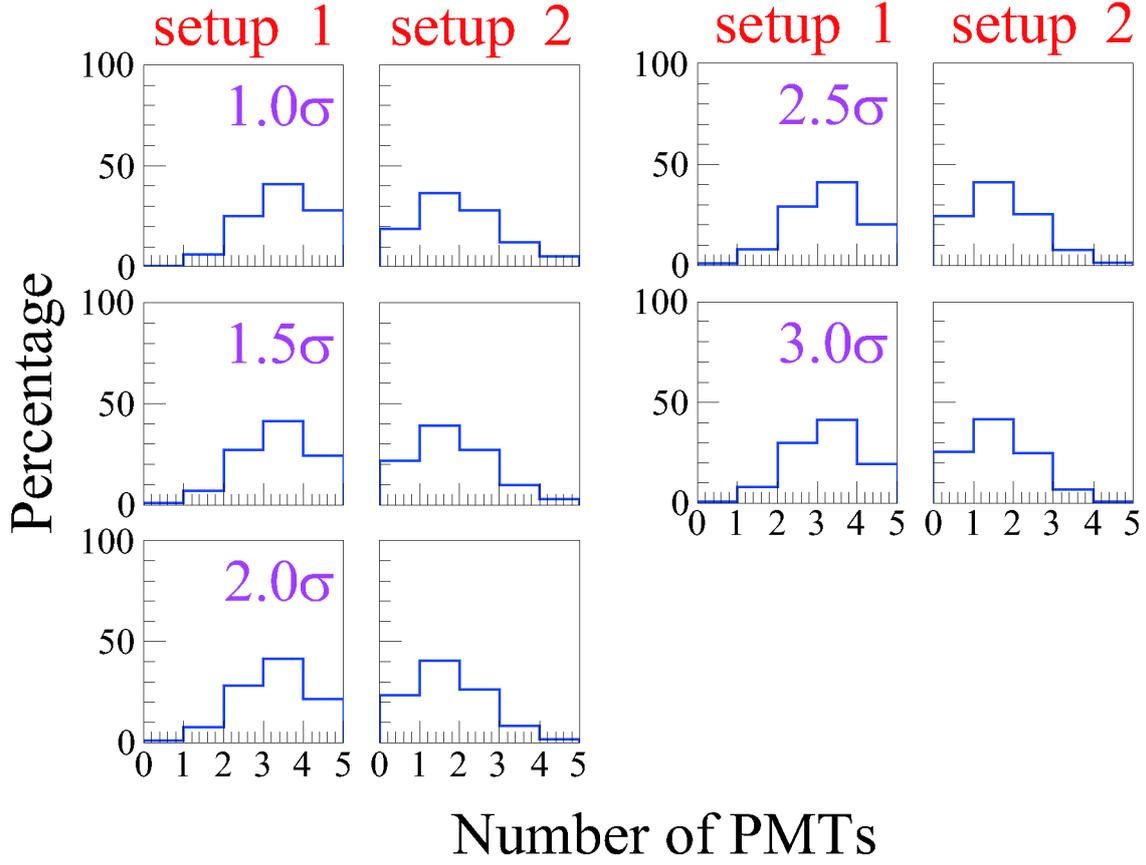


図 3: 各セットアップでチェレンコフ光を検出した PMT の数。左から 1 列目はセットアップ 1 (シリカエアロジェルとゴアテックス)、2 列目はセットアップ 1 (ゴアテックスのみ) の ADC 値が閾値を越えた PMT の数の分布である。各セットアップとも、それぞれ ADC 値が $\mu_{\text{ped}}^i + 1.0\sigma_{\text{ped}}^i$ 、 $\mu_{\text{ped}}^i + 1.5\sigma_{\text{ped}}^i$ 、 $\mu_{\text{ped}}^i + 2.0\sigma_{\text{ped}}^i$ 、 $\mu_{\text{ped}}^i + 2.5\sigma_{\text{ped}}^i$ 、 $\mu_{\text{ped}}^i + 3.0\sigma_{\text{ped}}^i$ 以上のときチェレンコフ光を検出したものとした場合のチェレンコフ光を検出した PMT 個数分布である。

表 2: 1 つ以上の PMT でチェレンコフ光を検出した時の電子の検出効率 (%)。

	$\mu_{\text{ped}}^i + 1.0\sigma_{\text{ped}}^i$	$\mu_{\text{ped}}^i + 1.5\sigma_{\text{ped}}^i$	$\mu_{\text{ped}}^i + 2.0\sigma_{\text{ped}}^i$	$\mu_{\text{ped}}^i + 2.5\sigma_{\text{ped}}^i$	$\mu_{\text{ped}}^i + 3.0\sigma_{\text{ped}}^i$
セットアップ 1	99.5±0.3	99.3±0.3	99.3±0.3	99.2±0.3	99.1±0.3
セットアップ 2	81.3±0.2	78.5±0.2	76.6±0.2	75.4±0.2	74.5±0.2

表 3: 2 つ以上の PMT でチェレンコフ光を検出した時の電子の検出効率 (%)。

	$\mu_{\text{ped}}^i + 1.0\sigma_{\text{ped}}^i$	$\mu_{\text{ped}}^i + 1.5\sigma_{\text{ped}}^i$	$\mu_{\text{ped}}^i + 2.0\sigma_{\text{ped}}^i$	$\mu_{\text{ped}}^i + 2.5\sigma_{\text{ped}}^i$	$\mu_{\text{ped}}^i + 3.0\sigma_{\text{ped}}^i$
セットアップ 1	93.4±0.3	92.4±0.3	91.7±0.3	91.2±0.3	90.7±0.3
セットアップ 2	44.9±0.2	39.4±0.1	36.1±0.1	34.1±0.1	33.0±0.1

また PMT それぞれの ADC 値の合計でも検出効率を議論する。ゲインを調整した ADC 値から、ペダスタランにおける PMT 4 つの ADC 値の和の分布の中心値 μ_{all} 、幅 σ_{all} を使って、ADC 値の和が $\mu_{\text{all}} + 1.0\sigma_{\text{all}}$ を越えた場合、 $\mu_{\text{all}} + 1.5\sigma_{\text{all}}$ を越えた場合、 $\mu_{\text{all}} + 2.0\sigma_{\text{all}}$ を越えた場合、 $\mu_{\text{all}} + 2.5\sigma_{\text{all}}$ を越えた場合、 $\mu_{\text{all}} + 3.0\sigma_{\text{all}}$ を越えた場合に電子を検出したものとした。このときの電子の検出効率を表 4 にまとめる。

表 4: ゲインを一定にした 4 つの PMT の ADC 値の和が閾値を越えた時の電子の検出効率 (%)。

	$\mu_{\text{all}} + 1.0\sigma_{\text{all}}$	$\mu_{\text{all}} + 1.5\sigma_{\text{all}}$	$\mu_{\text{all}} + 2.0\sigma_{\text{all}}$	$\mu_{\text{all}} + 2.5\sigma_{\text{all}}$	$\mu_{\text{all}} + 3.0\sigma_{\text{all}}$
セットアップ 1	99.1±0.3	99.0±0.3	98.8±0.3	98.7±0.3	97.6±0.3
セットアップ 2	75.7±0.2	72.5±0.2	70.4±0.2	68.9±0.2	67.4±0.2

乱反射材のミリポアメンブレンフィルターを用いた場合と比べ、シリカエアロジェルを入れた場合は 2% 程度検出効率があがり、シリカエアロジェルを入れない場合は約 2 倍の 70% 程度の検出効率を得られた。2 個以上の PMT が反応した場合の検出効率は 90% 程度と 10% 向上した。

2 検出された平均光子数

ここでは予想される放出光子数と検出された平均光子数について議論する。単位長さ、単位波長ごとに発生するチェレンコフ光子数の式⁴より、屈折率 1.01 のシリカエアロジェルにおいて PMT で検出できる波長のチェレンコフ光は平均 130 個程度発生する。屈折率 1.000292 の空気においては 5 個程度発生し、シリカエアロジェルと比べ 1/30 倍である。

セットアップ 1 (シリカエアロジェルとゴアテックスの組み合わせ) での電子の検出効率は 99% 程度であり、GeV- γ ノート No.49⁵ の式 (4) から

$$0.99 = 1 - P(0) - P(1) = 1 - (1 + \nu) \exp(-\nu)$$

となり、検出される平均光子数 ν は 6.8 個と求まる。セットアップ 2 (ゴアテックスのみであるが、空気が入っている) での検出効率は 70% 程度なので、検出される平均光子数は 2.4 個となる。予想されるチェレンコフ光子数より検出光子数のほうが多いのはゴアテックスから発する光があるためと思われる。

3 まとめ

乱反射材のゴアテックスを用いた場合は電子単体の検出効率として 98% であり、ミリポアメンブレンフィルターと比べ 1% 検出率が上がった。また、PMT が 2 つ以上反応した場合の検出効率は 90% となる。乱反射材としてはミリポアメンブレンフィルターよりもゴアテックスの方が優れている。しかしどちらもそれ自身光を発していることがわかった。

⁴W. R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments Second Revised Edition (1994), §2.4 式 (2.63).

⁵K. Suzuki, GeV- γ 解析ノート No.49 シリカエアロジェルチェレンコフ検出器の性能評価 I (2007).