

LEPS2/SPring-8 実験のための粒子識別用 エアロジェルチェレンコフカウンターの開発

Development of an aerogel Cherenkov counter for the LEPS2 experiment at SPring-8

吉田 千尋

1 本研究の背景と目的

我々は SPring-8 で行われる LEPS2 実験において、逆コンプトン散乱によって生成される GeV 領域の γ 線ビームを用いた、 $\gamma d \rightarrow K^+ \pi^- X$ 反応による $K^- pp$ 束縛状態の探索実験を計画している。この反応では前方 30–40 度に散乱される K^+ と π^- を検出し識別することが必要不可欠である。我々はこの前方 30–40 度に飛来する運動量 1.0–2.0 GeV/c の π 中間子と K 中間子を、屈折率 1.03 のエアロジェルを用いた閾値型エアロジェルチェレンコフカウンター (AC) を使用することにより識別可能であることを見出し、その開発を行った。

2 プロトタイプの製作

AC とはチェレンコフ閾値以上の速度の荷電粒子がエアロジェル内を通過したときに発生するチェレンコフ光を検出することで粒子を識別する検出器である。この検出器の要求性能は、1) π 中間子検出効率が 95% 以上、2) 検出器のビーム軸方向の厚さが 10 cm 以下、3) 1 T の磁場中で動作可能であること、4) クーロン多重散乱を抑えるために物質量を最小限にすることである。光学シミュレーションコード Guide-7 を用いて筐体の形状を最適化し、プロトタイプを製作した。このプロトタイプの性能評価のために 2018 年 7 月に SPring-8 LEPS で電子ビーム照射実験を、2018 年 10 月に東北大学 CYRIC で陽子ビーム照射実験を行った。

3 プロトタイプの性能評価

電子ビーム照射実験では 500 MeV の電子を用いて、光量、 π 中間子検出効率、 K 中間子誤検出率およびそれらの位置依存性を評価した。実験セットアップを図 1 に、得られた電荷分布を図 2 に示す。光量は入射位置が PMT から遠ざかるほど ($x > 0$) 小さくなる傾向

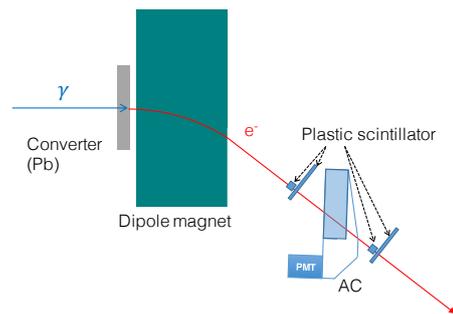


図 1: 電子ビーム照射実験のセットアップ

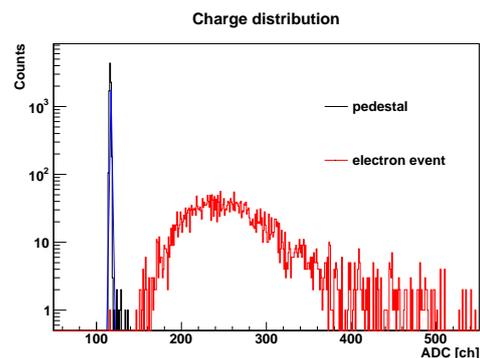


図 2: 電子ビーム照射実験で得られた平均光電子数が約 19 p.e の電荷分布。

があることがわかった。また、全ての入射位置で 95% の π 中間子検出効率を満たすには閾値は PMT からの出力信号が 18 pC 以下 (18 pC @PMT) である必要があった。一方、 K 中間子誤検出率を見積もるためエアロジェルを取り除いた測定も行った。その結果は K 中間子誤検出率が最大で 17.36% であった。

電子ビーム照射実験でエアロジェルを取り除いた場合にも信号が得られた。このことは今回製作したプロトタイプにエアロジェル以外の光源があることを意味する。そこで運動エネルギー約 80 MeV の陽子ビームを照射して、エアロジェル以外の光源が発する光の有

無の確認およびエアロジェルによる吸収や散乱の影響を見積もった。測定した全ての入射位置においてエアロジェル有りのときのほうがエアロジェル無しときよりも光量が大きくなった。また、電子ビーム照射実験のエアロジェル有りのときと比較すると入射位置依存性が小さくなった。このことから荷電粒子の速度がチェレンコフ閾値よりも小さいときに発生する光はエアロジェル内での吸収や散乱の影響をあまり受けない比較的長波長の光が主成分ではないかと考えられる。

4 実験結果の考察

実験結果の解釈のために、以下の項目に対する検討を行った。

1. 得られた電荷分布より、PMT で検出された平均光電子数を導出した。電子ビーム照射実験のエアロジェル有りの場合、測定した全ての入射位置で10光電子以上のチェレンコフ光を測定できていることがわかった。
2. 電子ビーム照射実験のエアロジェル有りの場合の電荷分布の平均光電子数と Guide-7 を用いたシミュレーションの結果を比較した。Guide-7 を用いたシミュレーションと実験データには大きな差があることがわかった。実機製作に向け、このシミュレーションの有効性を含め、実験データとの差を理解することが今後の課題の一つである。
3. エアロジェルからのチェレンコフ光以外の光源について考察を行った。空気からのチェレンコフ光はエアロジェルからのチェレンコフ光と比べて0.7–1.2%程度の光子数であった。また、 δ -electron の影響についても、チェレンコフ光を発生させるような運動量を持つ δ -electron 発生確率は5%以下であり、ほとんど影響はないことがわかった。さらに、日立製 F - 4500 型分光蛍光光度計を用いて反射材からのシンチレーション光の有無および波長分布を調べた。その結果、ESR から約 400–450 nm のシンチレーション光が発生していることがわかった。この波長領域におけるエアロジェルの透過率は70–80%程度であることが知られている。これは陽子ビーム照射実験でエアロジェル

の有無で光量がほとんど変化しなかったという観測結果に矛盾しない。

これらの検討から、電子ビーム照射実験で測定された光はエアロジェルから発生するチェレンコフ光と反射材から発生するシンチレーション光が、陽子ビーム照射実験で測定された光は反射材から発生するシンチレーション光が主成分であることがわかった。

電子ビーム照射実験で得られた電荷分布をスケールして、1.5 GeV/c の π 中間子と K 中間子による光量と各検出率を評価した。その結果、閾値を 16 pC @PMT に設定したとき全ての入射位置において π 中間子検出効率が95%以上となり、このときの K 中間子誤検出率は最大 25%程度となった。

K 中間子誤検出率を抑える方法として、反射材を変更すること、または検出されたイベントに対して時間情報によるイベント選別を行うことが挙げられる。分光蛍光光度計を用いた反射材からのシンチレーション光に関する評価では、アルミナイズドマイラーがシンチレーション光を発生させないことがわかった。アルミナイズドマイラーを反射材に用いれば K 中間子誤検出率が抑えられると考えられるが、ESR と比べると反射率が劣るため検出されるチェレンコフ光の光量も少なくなることが予想される。また、電子ビーム照射実験で得られたデータに対してエアロジェル有りの場合の AC とトリガーシンチレーターとの時間差によるイベント選択を行ったあと電荷分布をスケールして、1.5 GeV/c の π 中間子と K 中間子による光量と各検出率を評価した。その結果、閾値を 10 pC @PMT 以下に設定したときに π 中間子検出効率が95%以上、このときの K 中間子誤検出率は最大 10.56%と改善することができた。

5 まとめと今後の展望

今回のプロトタイプの性能評価で AC の基本構成については確定した。今後は今回評価したプロトタイプの性能を指標として、実機の筐体の形状について同様にシミュレーションを行い最適化する。その後、反射材に ESR とアルミナイズドマイラーを使用した検出器をそれぞれ製作し性能の比較を行う。2019 年度後半には大量生産に入り、2020 年度にインストール、そして 2021 年度に物理データの取得を目指す。