

DEVELOPMENT OF π/K DIFFERENTIAL FITCH-TYPE CHERENKOV COUNTER FOR J-PARC K1.1BR BEAMLINE

Akihisa Toyoda^{#A)}, Yohichi Igarashi^{A)}, Jun Imazato^{A)}, Alexander Ivashkin^{E)}, Makoto Uchida^{D)}, Suguru Shimizu^{B)}, Keito Horie^{B)}, Hirohito Yamazaki^{C)}

^{A)} KEK IPNS 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{B)} RCNP 10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

^{C)} Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University
1-2-1, Mikamine, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi, 982-0826

^{D)} TITECH 2-12-1, Oookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550

^{E)} INR 1-1 7a, 60th October Anniversary prospect, Moscow, Russia, 117312

Abstract

We successfully designed and developed a Fitch-type differential Cherenkov counter with high π/K separation power. This counter is designed for the trigger counter at the J-PARC K1.1BR beamline which is one of secondary beamlines in the J-PARC hadron experimental hall. The secondary beam momentum ranges from 740 to 800 MeV/c. Pions and kaons are produced at the T1 target located at the J-PARC slow-extraction proton beamline (50 GeV, 15 μ A, 750 kW). This counter is based on the Fitch-type Cherenkov counter used at the KEK 12 GeV-PS K5 beamline whose momentum ranges from 620 MeV/c to 700 MeV/c. The efficiency of the Fitch-type Cherenkov counter has large momentum dependence, so that we performed Monte Carlo simulations to optimize parameters of a Cherenkov radiator, a Cherenkov focusing mirror, and a winstone cone as the final focusing to the photo sensor to adjust to the new momentum range. We finally achieved the π/K separation power as high as 99.99 % by optimizing the focal length of a parabolic mirror to correct Cherenkov lights from kaon beam.

J-PARC K1.1BR ビームラインにおける π/K フィッチ型差動チェレンコフ検出器の開発

1. はじめに

J-PARC^[1]ハドロン実験施設は、大強度陽子(50 GeV, 15 μ A, 750 kW)ビームを遅い(約1秒、繰り返し周波数 0.167 Hz)取り出しで T1 標的(30 %ビームロス)に導き、そこで発生した二次粒子を利用してさまざまな原子核素粒子実験を行う施設である。2009年2月に最初のビーム取り出しを行って以来徐々に強度を上げつつあり、2009年度のビームタイムにおいては、30 GeV, 2 kW ビームを取り出すことに成功している。K1.1BR ビームラインはハドロンホール内にて現在建設中の2次ビームラインの一つであり、2010年10月より稼働予定である。取り出される粒子は、 $K^{+/-}$, $\pi^{+/-}$, 陽子、反陽子などである。運動量の範囲は740から800 MeV/cである。想定されるビーム強度は、1次ビームライン強度が2 kWの場合で約 3×10^4 K^+ /spill である。今回我々はこのビームライン用に π/K 分離のためのトリガー検出器として、フィッチ型差動チェレンコフ検出器を開発した。

2. フィッチ型差動チェレンコフ検出器

フィッチ型差動チェレンコフ検出器とは、通過粒子が発生するチェレンコフ光の全反射現象を利用し

て粒子識別を行う検出器である。全反射チェレンコフ検出器は V.Fitch と R.Motley によって初めて提案^[2]され、その後広く様々な素粒子原子核実験によって利用されてきた。KEK 12 GeV-PS K5 ビームライン^[3]用に KEK-E246 実験にて開発されたフィッチ型差動チェレンコフ検出器^[4]を図1に示す。

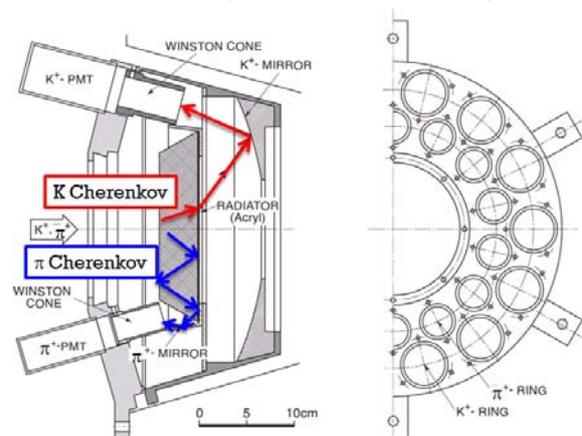


図1: KEK-E246 実験のフィッチ型差動検出器^[4]

おなじ運動量でも K^+ と π^+ では β が異なるので、チェレンコフの放出角 $\arccos(1/(n\beta))$ が異なる。 β が大きく放出角が大きい π^+ はアクリル放射体の界面で全反射し π^+ 用ミラーと winstone cone によってパイオ

[#] akihisa.toyoda@j-parc.jp

ンリング用光電子増倍管(PMT)に集光される。それとは逆に β が小さく放出角が小さい K^+ からのチェレンコフは放射体界面で屈折して、前方の K^+ 用放物面鏡にて winstone cone に導かれ K リング用 PMT に集光される。それぞれのリングは 14 個の PMT で構成されており、そのヒット数(Nhit)によって粒子識別を行う。

3. K1.1BR ビームラインに適合する際の問題点

今回我々は KEK E246 実験用フィッチ型差動検出器を J-PARC K1.1BR ビームライン用に改造する。その際に問題になるのがそれぞれのビームラインの運動量範囲の違いである。表 1 に運動量範囲とチェレンコフ角度をまとめた。

表 1: チェレンコフ角度の比較

ビームライン	運動量範囲 (MeV/c)	K チェレンコフ角度	π チェレンコフ角度
KEK-PS K5	620 - 700	33.06 度	46.69 度
K1.1BR	740 - 800	37.13 度	46.99 度

つづけて図 2 に KEK-PS E246 実験の時の検出器のままで K1.1BR ビームラインに適用した場合に、Nhit 分布がどうなるかを示す。ビームパラメータに関しては transport^[5]によって最適化され、Decay turtle^[6]によってビームデータを取得した。

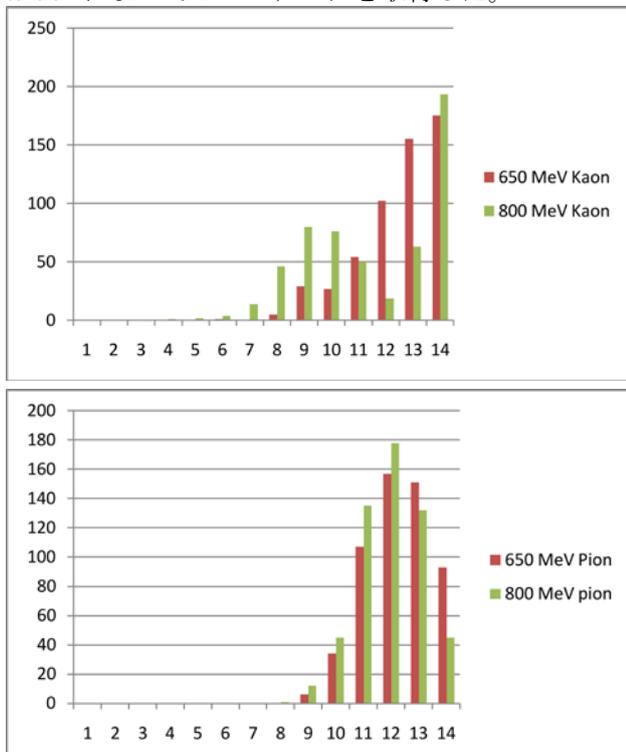


図 2: Nhit 分布。赤色が K5 ビームライン、緑色が K1.1BR ビームライン。上図が K リングにおける K 粒子入射の場合で、下図がパイオンリングにおけるパイオン入射の場合。

表 1 から分かるようにパイオンはあまり放出角度が変わらないが、 K^+ は 4 度近く角度が増加する。これにより、図 2 に示されるように K リングにおいて Nhit 分布にテールが出現する。これによって K/π 分解能が悪化するという問題を生じる。

4. 問題解決の方法

上記の問題を解決する方法は、大きく分けて二つある。一つは放射体の形状の最適化であり、もう一つは K 放物面鏡の最適化である。

4.1 その 1: 放射体の最適化

この方法では、放射体の形状を最適化することで K リングの Nhit 分布を改善する。形状としては、円錐型や放物面型などが考えられるが、シミュレーションの結果放物面型が有利であることが判明した。さらに放物面の焦点距離を変えつつ Nhit 分布を評価し、もっとも K/π 分離が良いパラメータを見つけ出した。このパラメータで計算した結果が図 3 である。中心運動量 770 MeV/c と前後 ± 30 MeV/c の運動量に対して、 K^+ 入射とパイオン入射の場合について計算してある。K リングにおいてパイオン入射のヒストグラムがプロットされていないのはこの統計量では 1 イベントもなかったからである。

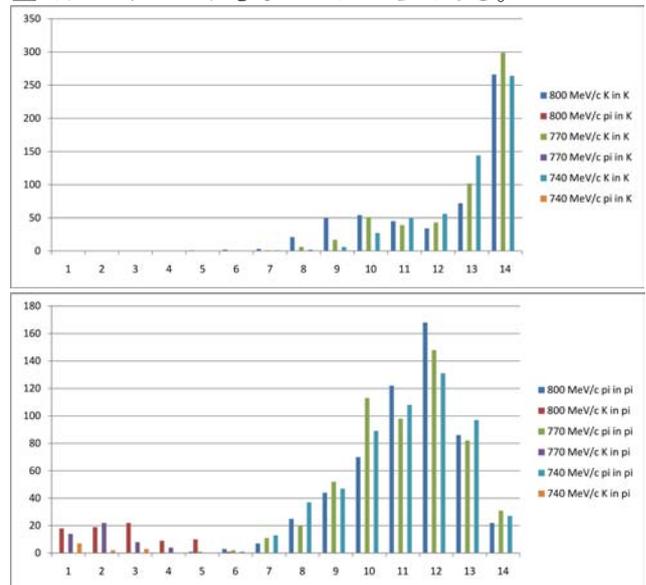


図 3: 放射体を最適化した Nhit 分布。上図が K リングのデータで、下図がパイオンリングのデータ。

放射体の形状を最適化したことで、K リングの Nhit 分布が改善していることが分かる。しかし、パイオンリングにおいては、パイオン入射の場合の分布が下方に伸びて K^+ 粒子との分離が悪くなってしまっている。これは、放射体を放物面にしたことで、パイオン入射でも全反射せず屈折してしまう場合が多くなったためと考えられる。

4.2 その 2: K 放物面鏡の最適化

この方法では、K 放物面鏡のパラメータを最適化

することで K リングの Nhit 分布を改善する。パラメータとしては、放物面軸の角度と焦点距離が挙げられる。まず放物面軸の角度については、表 1 の 0 度入射の K⁺入射で生じるチェレンコフ角度から屈折角を計算し、その角度に軸の角度を合わせた。放物面鏡は軸に平行な光を焦点に集める性質があるため、これによって焦点位置に置かれた winstone cone に効率よくチェレンコフ光を集められるようになった。焦点距離に関しては、シミュレーションで K リングにおける K/π分離が最もよくなるように最適化した。その結果を図 4 に示す。図 3 同様の運動量に対して計算している。パイオンリングに関しては変化しないので省略する。

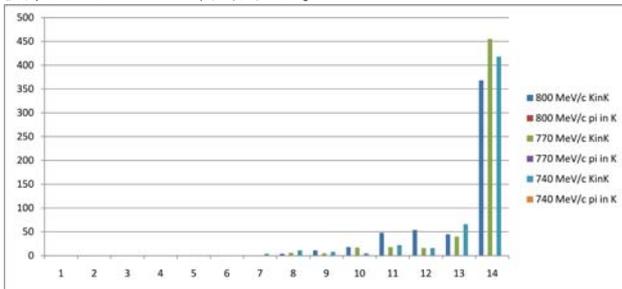


図 4: K 放物面鏡を最適化した場合の K リングにおける Nhit 分布。

図から分かるように、方法 1 よりもさらに分布が改善していることが分かる。パイオンリングに悪影響がない利点もあり、この方法を採用した。

4.3 高統計計算

最後に K/π分離能および検出効率を評価するために高統計の計算を行った。その結果を図 5 に示す。

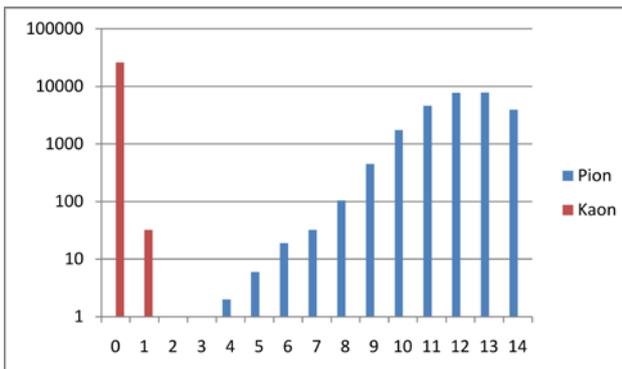
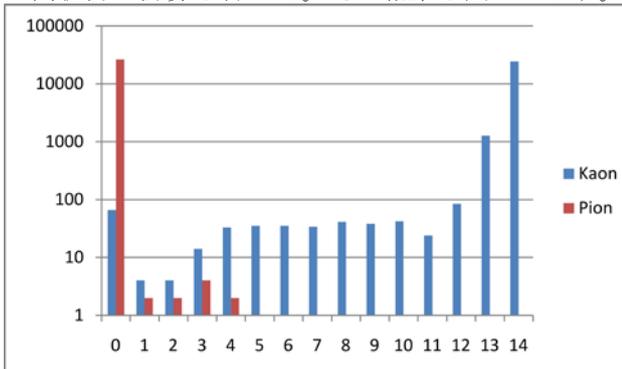


図 5: 高統計計算の Nhit 分布。運動量は中心運動量の

770 MeV/c で行っている。上図が K リングデータ、下図がパイオンリングデータである。

図 5 から分かるように、この高統計計算によって K リングではヒット数 10 以下にフラットな構造があることが分かるようになった。またパイオンのヒット構造が見えるようになっている。

このデータをもとに分離能および効率をまとめたのが表 2 である。

表 2: 高統計計算結果

リング	条件	分離能(%) @ 90 % CL	効率(%)
K リング	Nhit>=5	99.99	99.5±0.9
πリング	Nhit>=4	99.99	100.0±0.9

表から分かるように高い K/π分離能および検出効率を持っていることが確認できた。

この計算をもとに新規 K 放物面鏡を作成し、完成した検出器を図 6 に示す。

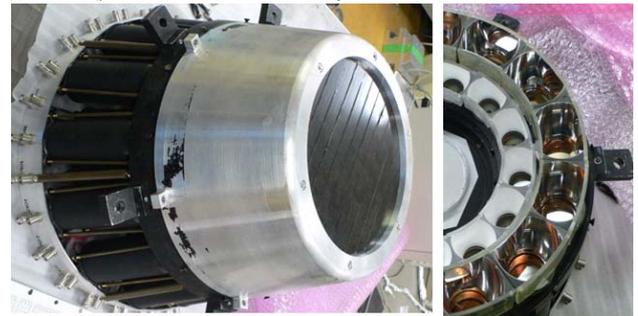


図 6: 完成したフィッチ型差動チェレンコフ検出器 (左)。左からビームが入射する。右図は内部の PMT 群。外側が K リング用、内側がπリング用である。

5. 結論

我々は KEK E246 実験で用いたフィッチ型差動チェレンコフ検出器を、K 放物面鏡を最適化することで J-PARC K1.1BR ビームラインに適合させることに成功した。シミュレーションの結果、K/π分離能は 90 % 信頼度において、99.99 % 以上であり、検出効率は K⁺粒子に対して 99.5 ± 0.9 % であり、パイオンに対して 100.0±0.9 % であると評価された。

謝辞

本研究にあたり、様々な貴重な指摘やデータを頂いたハドロンビームライングループのメンバーに深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] <http://www.j-parc.jp/>
- [2] V. Fitch and R. Motley, Physical Review, 101 (1956) 496.
- [3] K.H. Tanaka, et al., Nucl. Instr. Meth. A363(1995)114.
- [4] J.A. Macdonald, et al., Nucl. Instr. Meth. A506(203)60.
- [5] PSI Graphic Transport Framework by U. Rohrer based on a CERN-SLAC-FERMILAB version by K.L. Brown et al.
- [6] PSI Graphic Turtle Framework by U. Rohrer based on a CERN-SLAC-FERMILAB version by K.L. Brown et al.