

# Performance Evaluation of $\pi/K$ Differential Fitch-type Cherenkov Counter for the J-PARC K1.1BR Beamline

Akihisa Toyoda<sup>#,A)</sup>, Yohichi Igarashi<sup>A)</sup>, Jun Imazato<sup>A)</sup>, Alexander Ivashkin<sup>E)</sup>, Makoto Uchida<sup>D)</sup>, Aine Kobayashi<sup>F)</sup>, Suguru Shimizu<sup>B)</sup>, Keito Horie<sup>B)</sup>, Hirohito Yamazaki<sup>C)</sup>, Keisuke Yoshihara<sup>F)</sup>

<sup>A)</sup> KEK IPNS, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

<sup>B)</sup> RCNP, 10-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

<sup>C)</sup> Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University,  
1-2-1, Mikamine, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi, 982-0826

<sup>D)</sup> TITECH, 2-12-1, Oookayama, Meguro-ku, Tokyo, 152-8550

<sup>E)</sup> INR, 7a, 60<sup>th</sup> October Anniversary prospect, Moscow, Russia, 117312

<sup>F)</sup> U. Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033

## Abstract

J-PARC K1.1BR beamline which is dedicated to particle and nuclear physics experiments using low momentum ( $<1.1$  GeV/c) electrostatically-separated pions and kaons is one of the secondary beamlines taking off from the T1 production target (50 % beam loss) in the J-PARC hadron facility. A proton beam (50 GeV/c, 15  $\mu$ A) is slowly (0.7 s duration, 3.4 s cycle) extracted from the MR synchrotron to the hadron switch yard (SY), and introduced to the T1 production target. We successfully measured the detection efficiency and suppression factor of a differential Cherenkov counter to separate  $\pi/K$  which are designed and developed<sup>[1]</sup> by using the K1.1BR beam whose momentum range is from 740 MeV/c to 800 MeV/c. The measured efficiency and suppression factor are stable for the momentum range. The evaluated detection efficiency for 780 MeV/c beam is  $99.80 \pm 0.01\%$  for pion and  $98.78 \pm 0.09\%$  for kaon, respectively. The evaluated maximum suppression factor for 780 MeV/c beam is 0.0248% for pion and 0.358% for kaon with confidence level of 90%, respectively.

## J-PARC K1.1BR ビームラインにおける $\pi/K$ フィッチ型差動チェレンコフ検出器の性能評価

### 1. はじめに

J-PARC<sup>[2]</sup>ハドロン実験施設は J-PARC メインリング(50 GeV, 15  $\mu$ A, 750 kW)から陽子ビームを遅い取り出し(取り出し時間 0.7 s, 繰り返し周期 3.4 s)で二次粒子生成標的である T1 標的(50%ビームロス)に導き、発生した二次粒子( $\pi$ 中間子、K 中間子、反陽子など)を利用して様々な素粒子原子核実験を行う施設である。今回我々はこのハドロン施設の二次ビームラインの一つである K1.1BR ビームラインにおいて 2010 年 10 月から 11 月にかけてビームチューニングを行った。前回報告したように<sup>[1]</sup>運動量範囲 740 MeV/c から 800 MeV/c に対してシミュレーションによって最適化を行いそれに基づいて改造した  $\pi/K$  分離のためのトリガー検出器であるフィッチ型差動チェレンコフ検出器の性能評価を行った。その際の陽子ビームは 30 GeV/c, 3 kW で取り出し時間 2 s、取り出し周期は 6 s であり、K 中間子数は最大  $1.4 \times 10^5$  個/spill、静電セパレーターの印可電圧は  $\pm 250$  kV であった。

### 2. 原理および目的

フィッチ型作動チェレンコフ検出器(FC)は、通過する荷電粒子が発生するチェレンコフ光の放出角度

が速度依存性を持つことを利用し、 $\pi$ 中間子の放出角度と K 中間子の放出角度の間に全反射角度を設定することによって、高効率で  $\pi$ 中間子と K 中間子を分離する装置である。荷電粒子が並行に入射した場合は 100%の分離能をもつが、実際にはビームは角度を持って入射するものも存在するために若干の効率低下が見込まれている。また速度依存性を利用しているため、適用運動量範囲が限られる。今回我々は実際に 740, 760, 780, 800 MeV/c のビームを取り出して上記効率が担保されているかどうかを実測した。装置の詳細および最適化については前回のレポートを参照されたい。

### 3. 実験セットアップおよび結果

K1.1BR ビームラインの収束点に 50 mm x 50 mm の Beam Defining Counter(BDC)を設置し、その直上流に FC を設置した。BDC の直下流には粒子識別の目的で飛行時間(TOF)測定のための TOF1 カウンター(100 mm x 100 mm)および TOF2 カウンター(220 mm x 100 mm)を設置した。飛行距離は 2.8 m であった。データはビームトリガー((BDC)&&(TOF1))で取得した。

#### 3.1 ヒットマルチプリシティ分布<sup>[1]</sup>

<sup>#</sup> akihisa.toyoda@j-parc.jp

図 1 に PMT の TDC ヒットマルチプリシティ分布<sup>[1]</sup>のシミュレーションとの比較を示す。シミュレーションでは $\pi/K$  比が 1 だが、実験はそうではない( $\pi$ の方が 10 倍以上多い)ことに注意されたい。若干の分布の違いは見受けられるものの、シミュレーション結果と似たような分布をしていることがわかる。この実験結果から、 $\pi$ 条件として $\pi$ リングマルチプリシティ  $C_{\pi} \geq 8$  &&  $K$  リングマルチプリシティ  $C_K \leq 7$ 、 $K$  条件として  $C_{\pi} \leq 7$  &&  $C_K \geq 8$  と設定した。

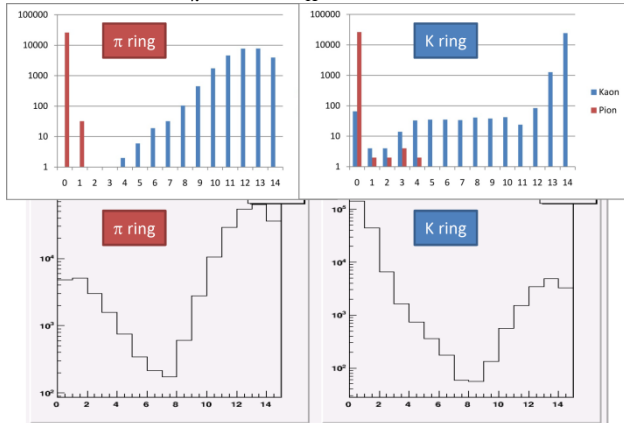


図 1 : ヒットマルチプリシティ分布のシミュレーション結果(上図、比較のために参考文献[1]から再掲、770 MeV/c)と典型的な実験結果(下図、780 MeV/c)の比較。左が $\pi$ リング、右が  $K$  リング。

### 3.2 飛行時間(TOF)測定の最適化

図 2 に飛行時間の ADC 補正の様子を示した。TOF1 と TOF2 の ADC を利用して TOF 分解能を向上させている。これによって TOF 分解能は約 5% 向上した。

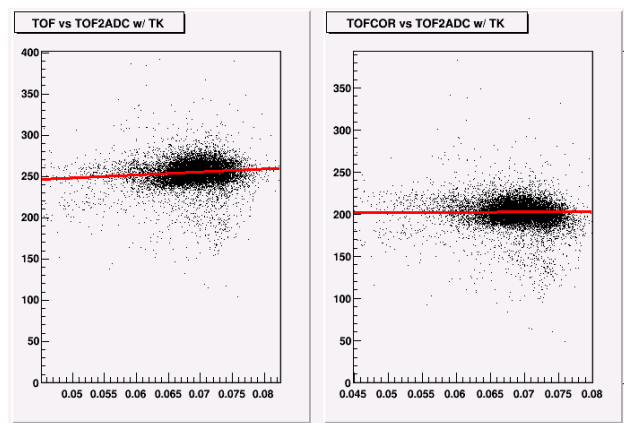


図 2 : 典型的な TOF の ADC 相関(左図)と ADC 補正後の相関(右図)。この例は TOF と TOF2ADC の相関を示している。横軸は  $1/\sqrt{TOF2ADCW} \times TOF2ADCE$  である (TOF2ADCW/E は TOF2 カウンター両端の PMT の ADC)。赤線はフィットの結果である。

### 3.3 検出効率

図 3 に 2 次元のヒットマルチプリシティ分布を示

す。右下の領域が $\pi$ 条件、左上の領域が  $K$  領域に対応する。左下の領域にもイベントが集まっているのが分かる。この領域を  $p$  領域( $C_{\pi} \leq 7$  &&  $C_K \leq 7$ )と定義する。

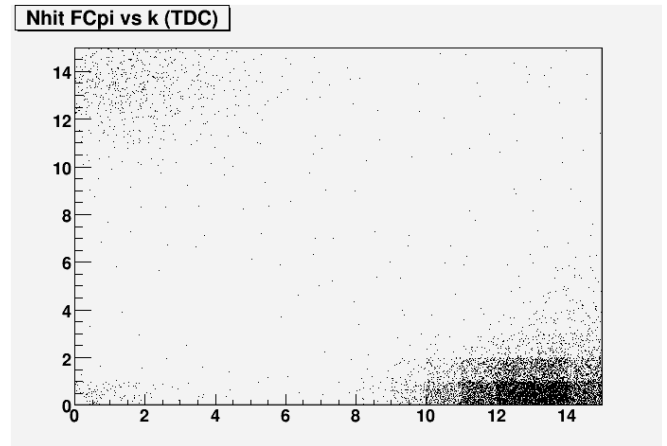


図 3 : ヒットマルチプリシティ分布の 2 次元プロット。横軸が $\pi$ リング、縦軸が  $K$  リングである。

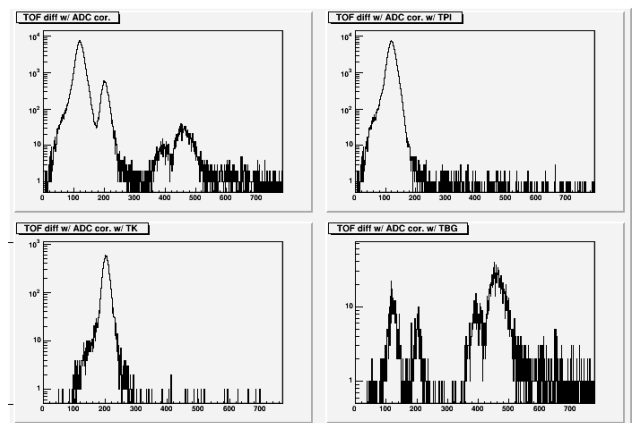


図 4 : 典型的な TOF スペクトル。左上図がビームトリガー条件、右上図が $\pi$ 条件、左下図が  $K$  条件、右下図が  $p$  条件である。

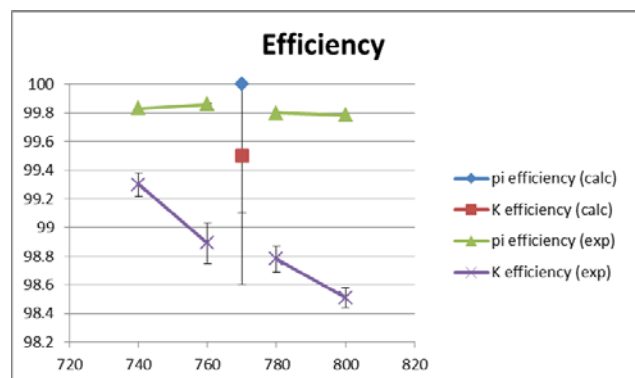


図 5 : 測定効率の運動量依存性。青点( $\pi$ )および赤点( $K$ )が計算値<sup>[1]</sup>。緑線( $\pi$ )および紫線( $K$ )が実験結果。

図4にそれぞれの条件でカットをかけた場合のTOF スペクトルを示す。 $\pi$ 条件、 $K$ 条件できれいに $\pi/K$ を選べていることが分かる。 $p$ 条件では正しく $p$ を選べているが、 $\pi/K$ も混ざっていることが分かる。この図から $\pi/K$ の測定効率を出したのが図5である。 $\pi/K$ それぞれの測定効率はシミュレーションで予想されていた値と矛盾がないこと、また $K$ 中間子に対して微妙に効率が低く少し運動量依存性があるものの、十分運動量依存性が低いと言える。

### 3.4 抑制率

次に、抑制率( $\pi$ 条件で $K$ 粒子をどれだけの割合で抑制できているか、もしくはその逆の値)を評価する。その目的で $\pi$ 条件および $K$ 条件でTOF スペクトルを図6のようにフィットした。

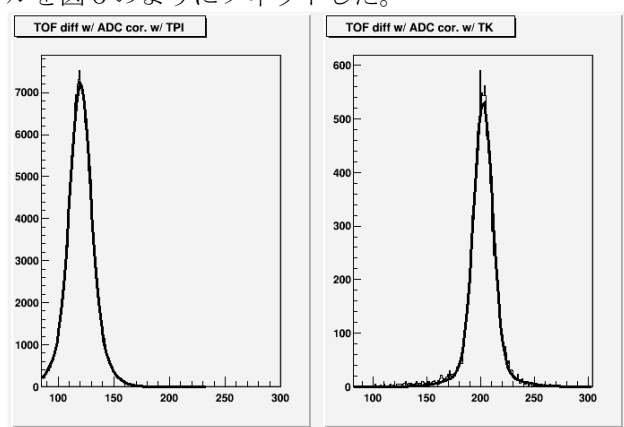


図6：TOF スペクトルのフィットの様子。左図が $\pi$ 条件、右図が $K$ 条件。

このフィット形状を利用して、 $\pi$ 条件を満たす場合に $K$ 粒子のTOF スペクトルで示される形状でどの程度 $K$ 粒子が混ざっているか、もしくはその逆の最大値を評価したのが図7である。 $K$ 条件における $\pi$ 抑制率は計算値に近いが、 $\pi$ 条件における $K$ 抑制率は0.5%程度と予想より悪い。しかし $K$ の $\pi$ への埋もれこみは逆よりそれほど重要ではない場合が多いので大きな問題にはならないと考えられる。

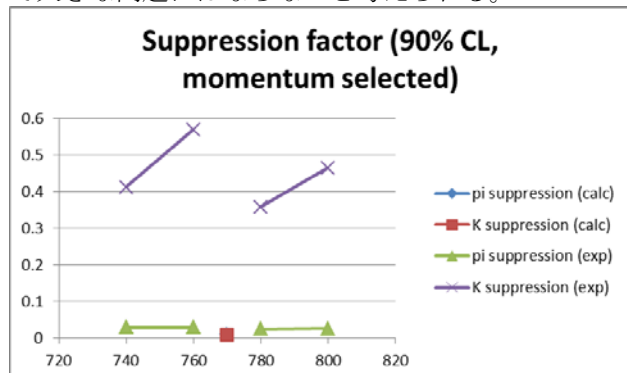


図7：運動量を選んだ場合の信頼度90%に対する抑制率の最大値。線の定義は図5と同じ。青点と赤点は同じ数値で重なっている。

上記の抑制率では、あくまで $\pi$ のスペクトルに $K$ のスペクトル形状がどれくらい埋もれこんでいるか(もしくはその逆)の最大値を求めているので、同じ運動量の $K$ 粒子がどれくらい抑制できているかを示している。そうではなくて、運動量に関わらずどれくらい埋もれこんでいるかを評価したのが図8である。例えば $K$ スペクトルへの $\pi$ の埋もれこみを評価するには、TOFのある一定領域を $\pi$ 粒子領域と定義しその範囲にあるすべての超過部分を $\pi$ 粒子とみなして抑制率を評価する方法である。これは運動量を選ばない方法のためより抑制率は悪くなるはずであり、実際そうになっていることが分かる。

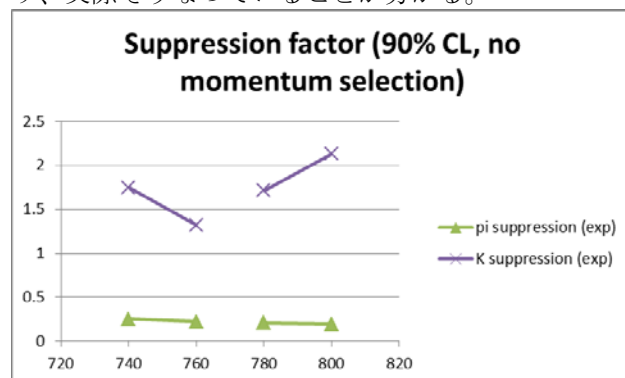


図8：運動量を選ばない場合の信頼度90%に対する抑制率の最大値。線の定義は図5と同じ。

## 4. まとめ

740 MeV/c から 800 MeV/c において動作する $\pi/K$ 分離のためのフィッチ型差動チェレンコフ検出器の性能評価を J-PARC K1.1BR ビームラインにおいて行った。測定効率および抑制率は運動量依存が十分小さいことが分かった。780 MeV/c に対して測定効率は $\pi$ 粒子に対して  $99.80 \pm 0.01\%$ であり、 $K$ 粒子に対して  $98.78 \pm 0.09\%$ である。信頼度90%に対する抑制率の最大値は運動量を制限した場合で $\pi$ 粒子に対して0.0248%、 $K$ 粒子に対して0.358%であり、運動量を制限しない場合で $\pi$ 粒子に対して0.208%、 $K$ 粒子に対して1.71%である。

## 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り実験準備やビーム調整を手伝ったりして頂いた家入正治氏、里嘉典氏、高橋仁氏、渡辺丈晃氏他 J-PARC ハドロンビームライングループのメンバーの方々に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] A. Toyoda, et al., "J-PARC K1.1BR ビームラインにおける $\pi/K$  フィッチ型差動チェレンコフ検出器の開発", pp 1019-1021, Proceedings of the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Himeji, Aug. 4-6, 2010
- [2] <http://www.j-parc.jp/>