

# 修士論文

## J-PARCにおける チャームバリオン分光実験用 リングイメージングチェレンコフ検出器の 粒子識別性能評価

大阪大学 大学院理学研究科 物理学専攻  
徳田恵

2023年1月5日

## 概要

構成子クォークモデルでは記述できないハドロンの励起状態を記述するために、新しい有効自由度としてダイクォーク相関が考えられているが、ダイクォーク相関は実験的に確認できていない。クォーク間のカラースピン相互作用はクォークの質量に反比例するため、バリオン中の1つのクォークをu,dと比べて重いチャームクォークにすることで軽いu,d間のダイクォーク相関を観測することができると考えられている。したがって、チャームバリオンの励起状態を包括的に測定することで、ダイクォーク相関の存在を明らかにすることができると期待されている。

我々は、J-PARC 高運動量ビームラインにおいてチャームバリオン分光実験 (J-PARC E50 実験) を計画している。実験では、液体水素標的に  $20 \text{ GeV}/c$  の  $\pi^-$  ビームを入射させ、 $\pi^- + p \rightarrow Y_c^{*+} + D^{*-}$  反応によってチャームバリオンの励起状態 ( $Y_c^{*+}$ ) を生成する。 $D^{*-}$  の崩壊先である  $\pi^-, K^+$  と  $\pi^-$  ビームの四元運動量を測定することでミッシングマス法により  $Y_c^{*+}$  の質量を測定する。 $D^{*-}$  の崩壊粒子は  $2\text{-}16 \text{ GeV}/c$  の広い運動量領域をもつ。この広い運動量領域で粒子識別を行うためにリングイメージングチェレンコフ (RICH) 検出器の開発を行なった。

RICH 検出器では、漏れ磁場の影響から光検出器として光電子増倍管 (PMT) ではなく MPPC を使用する。ただし、MPPC は受光面の面積が小さいため、チェレンコフ光を集光するためのコーン型ライトガイドを開発した。本研究では、東北大学電子光理学研究センター (ELPH) において検出面にコーン型ライトガイドと MPPC を使用したプロトタイプ RICH 検出器のテスト実験を行い、コーン型ライトガイドの性能評価を行なった。また、Geant4 によるシミュレーションを用いて実機における  $\pi/K/p$  の粒子識別性能を評価した。

# 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b>	<b>4</b>
1.1	バリオンの構造 . . . . .	4
1.2	チャームバリオン分光実験 (J-PARC E50 実験) . . . . .	4
1.3	高運動量ビームライン . . . . .	4
1.4	チャーム・バリオン・スペクトロメータ . . . . .	4
1.5	本研究の目的 . . . . .	4
<b>第2章</b>	<b>リングイメージングチェレンコフ検出器</b>	<b>5</b>
2.1	リングイメージングチェレンコフ検出器 . . . . .	5
2.1.1	チェレンコフ放射 . . . . .	5
<b>第3章</b>	<b>プロトタイプ検出器の性能評価試験</b>	<b>6</b>
3.1	プロトタイプ検出器のデザイン . . . . .	6
3.1.1	hoge . . . . .	6
3.1.2	コーン型ライトガイドの深さ最適化 . . . . .	6
3.1.3	検出面の配置 . . . . .	7
<b>第4章</b>	<b>GEANT4シミュレーションによる実機の粒子識別性能評価</b>	<b>8</b>

# 図 目 次

2.1 チェレンコフ放射の模式図 . . . . .	5
3.1 コーン型ライトガイドの模式図。入口直径が 50 mm の場合と 30 mm の場合。 . . . . .	6

# 表 目 次

# 第1章 序論

- 1.1 バリオンの構造
- 1.2 チャームバリオン分光実験 (J-PARC E50 実験)
- 1.3 高運動量ビームライン
- 1.4 チャーム・バリオン・スペクトロメータ
- 1.5 本研究の目的

## 第2章 リングイメージングチェレンコフ検出器

### 2.1 リングイメージングチェレンコフ検出器

#### 2.1.1 チェレンコフ放射

チェレンコフ放射とは、荷電粒子が物質を通過する際に荷電粒子の速度がその物質中の光速を超えると光を発生することである。またその際の光をチェレンコフ光という。チェレンコフ光は図 2.1 のように円錐状に発生する。この時、チェレンコフ角  $\theta_c$  は物質の屈折率  $n$  と荷電粒子の速度  $\beta$  を用いて次のように表せる。

$$\cos \theta_c = \frac{1}{n\beta} \quad (2.1)$$

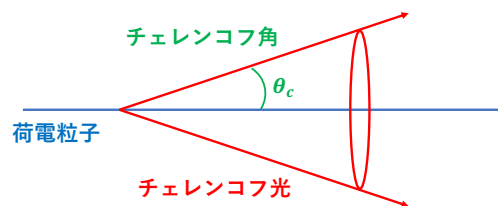


図 2.1: チェレンコフ放射の模式図。

# 第3章 プロトタイプ検出器の性能評価試験

## 3.1 プロトタイプ検出器のデザイン

### 3.1.1 hoge

### 3.1.2 コーン型ライトガイドの深さ最適化

今回のテスト実験では、セグメントサイズの違いによる分解能への影響を理解するために図 3.1 の様な 2 種類のコーン型ライトガイドを製作した。

先行研究からセグメントサイズは 50 mm 以下が要求されているので、入口直径は 50 mm とより小さい 30 mm とした。MPPC を取り付けるため、出口直径はどちらも MPPC の対角線の長さとなる 8.5 mm とした。ここで、各コーンの深さによって集光効率が変わるため、最適な深さを GEANT4 によるシミュレーションを用いて決定した。まず、図の様にコーン入口に対して垂直に光子を入射させ、コーンの深さを変えながら式で定義される収率をもとに最適な深さを決定した。図から、50 mm コーンは 110 mm, 30 mm コーンは 31 mm 以上の深さが良いことが分かった。今回は、設計に余裕を持たせるため 50 mm コーンは深さ 120 mm, 30 mm コーンは深さ 33 mm のものを製作した。

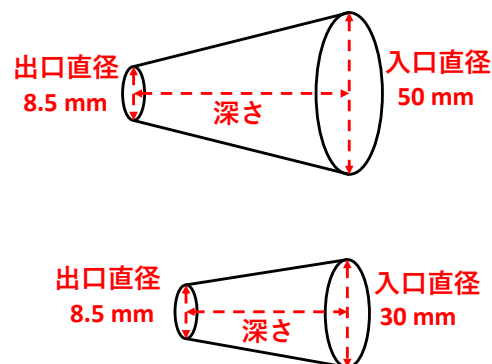


図 3.1: コーン型ライトガイドの模式図。入口直径が 50 mm の場合と 30 mm の場合。



### 3.1.3 検出面の配置

## 第4章 GEANT4シミュレーションによる 実機の粒子識別性能評価