

講演番号 16pSN-11

スーパーカミオカンデ SK-5フェーズにおける PMTの量子効率測定のための検出器校正

酒井 聖矢 (岡山大理)

他 Super-Kamiokande Collaboration

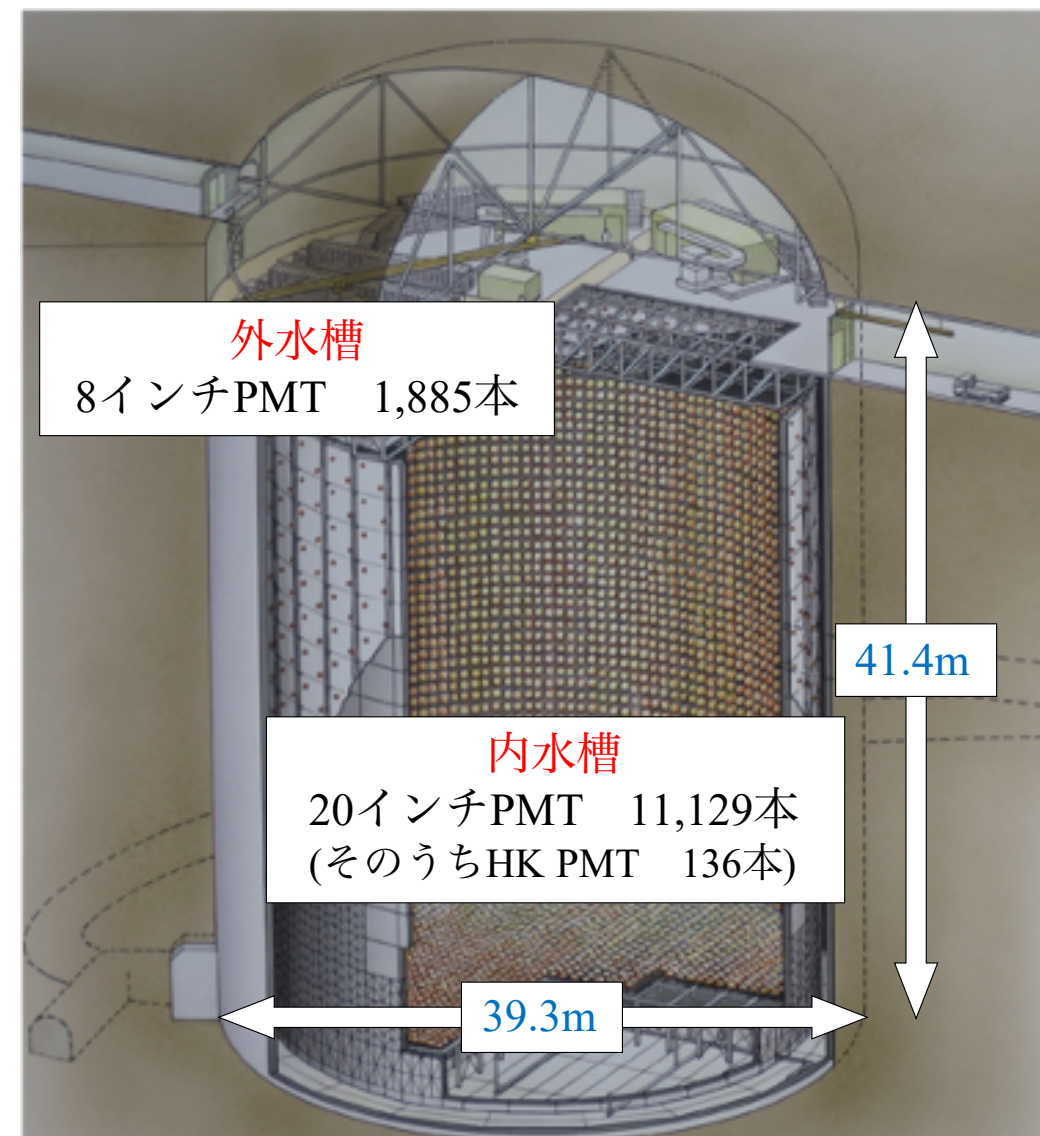
2020年9月16日 日本物理学会 2020年秋季大会

1. イントロダクション
2. 量子効率の測定
3. 測定方法
4. 結果
5. まとめ

1.1 スーパーカミオカンデ (SK)

3

- 岐阜県飛騨市にある世界最大の超純水チェレンコフ検出器
- 5万トンの超純水で満たされた円筒形水タンクと光電子増倍管 (PMT, photomultiplier tube) から構成
- 2018年6月から2019年1月にかけて改修工事が行われた
- 2019年2月の運転再開に伴い検出器校正実験を行った



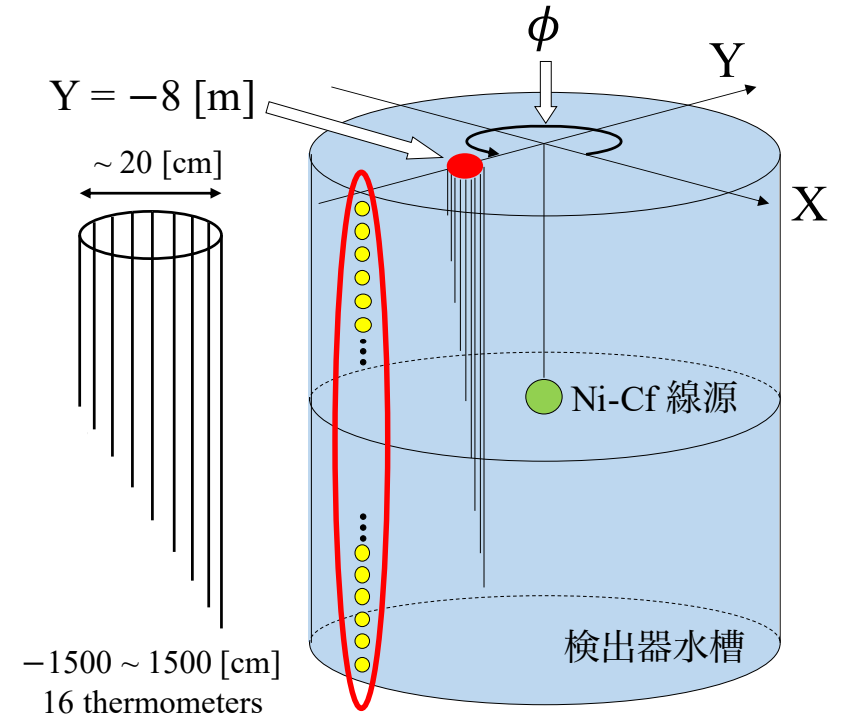
1.2 SK実験の軌跡と量子効率測定

4

① 2019年2月 量子効率の測定 (温度計あり) (前回発表)

- 温度計の影によって、約400本のPMTの量子効率を測定できなかった

② 2020年4月 量子効率の測定 (温度計なし)



2018年6月 改修工事 開始

2019年2月 実験再開

2020年7月 SK-Gd実験 開始

SK-IV

改修工事

①

SK-V

②

SK-Gd

目的

各PMTの性質を理解する

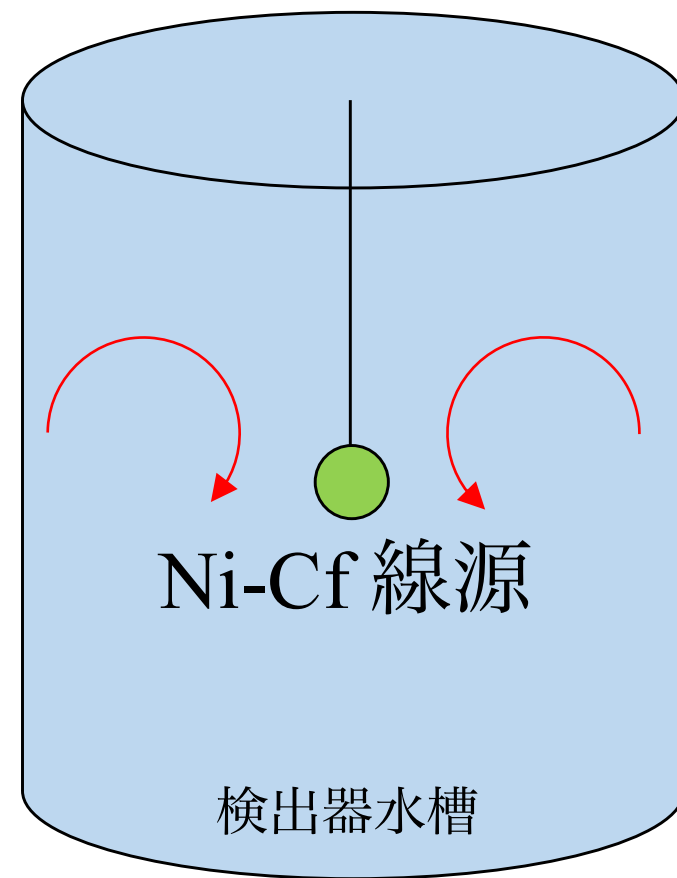
- 各PMTが捉えた信号の情報を基に、事象のエネルギー再構成を行う
- 各PMTの量子効率には個体差がある
→ エネルギー再構成の精度に影響

対流を起こして水質を一様にする

Ni-Cf 線源を検出器中心に置いてデータ取得

各PMTのヒット数の大小を比較

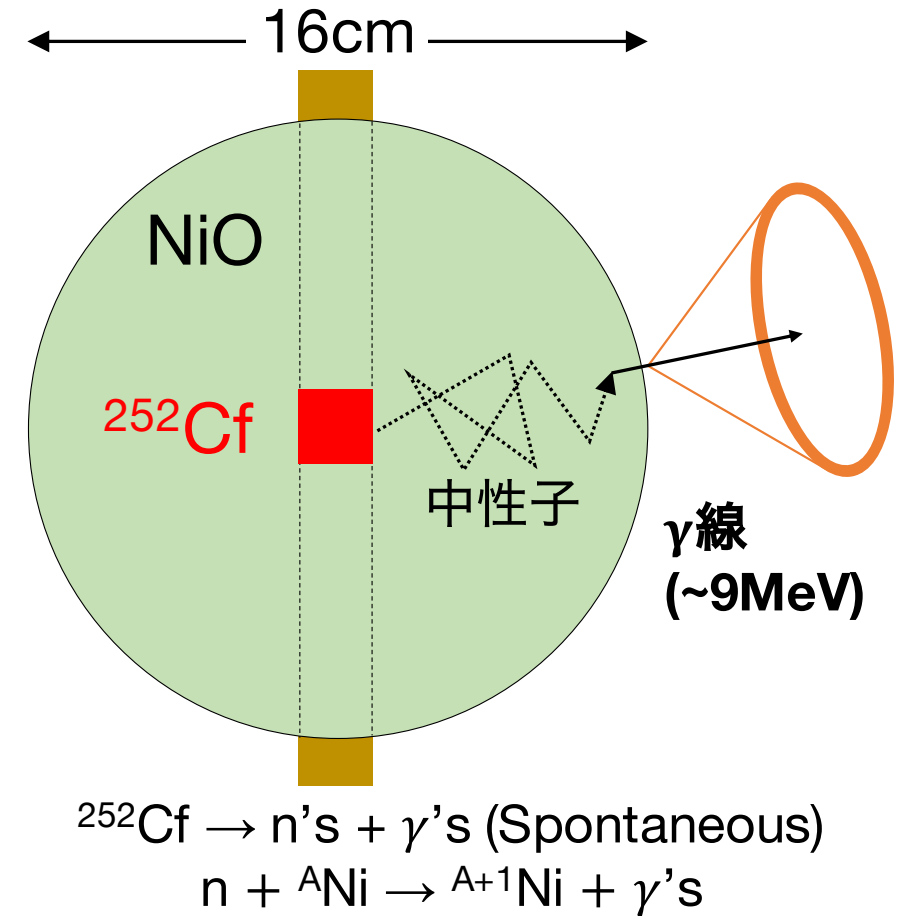
対流



3.1 Ni-Cf 線源

6

- NiOの粉末が混ぜ込まれた球状の樹脂＋中性子線源 ^{252}Cf
- 合計約9MeVのガンマ線を等方的に放出
- 1つのPMTで複数光電子が生成されることが稀
→ 量子効率の測定に適している



3.2 事象選択

- 取得したデータからNi-Cf線源による事象だけを選択

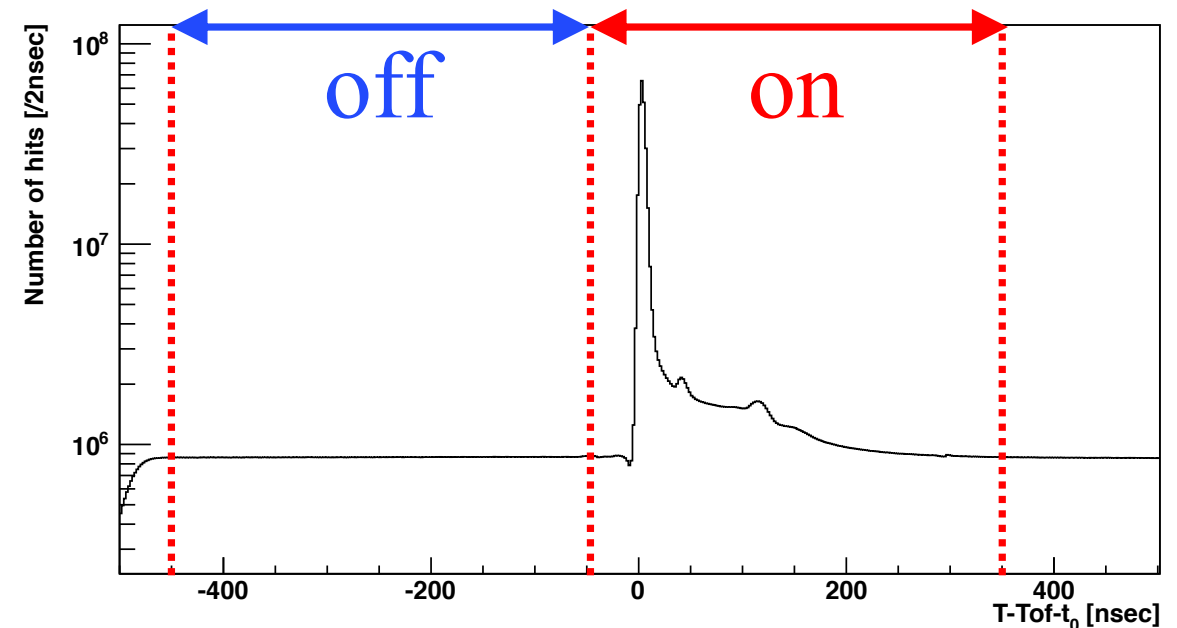
取り除く事象

- Ni-Cf線源から遠い場所で起きた事象
- 低エネルギー事象 (放射性BG, 自発核分裂時のガンマ線, 陽子捕獲によるガンマ線 など)
- 高エネルギー事象 (宇宙線ミューオン など)

- 各PMTのヒット数を計算
→ ダークノイズによるヒットを除く

$$\text{Hit}(i) = \text{Hit}_{\text{on}}(i) - \text{Hit}_{\text{off}}(i)$$

i : PMTの識別番号



3.3 ヒット数の幾何学的補正

8

- PMTごとにNi-Cf線源からの距離や入射方向が異なる
→ ヒット数に幾何学的補正を加える

距離 : 3次元空間のある点で発生した光は距離の二乗に比例して拡散

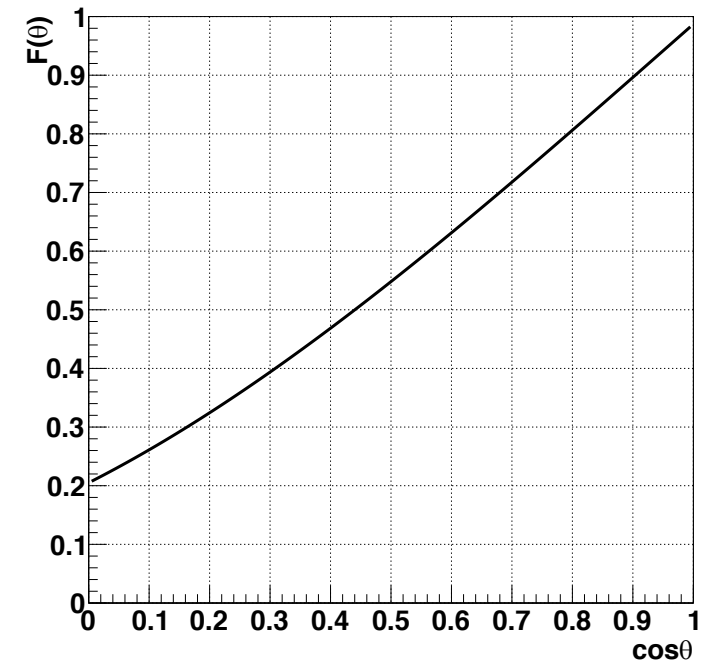
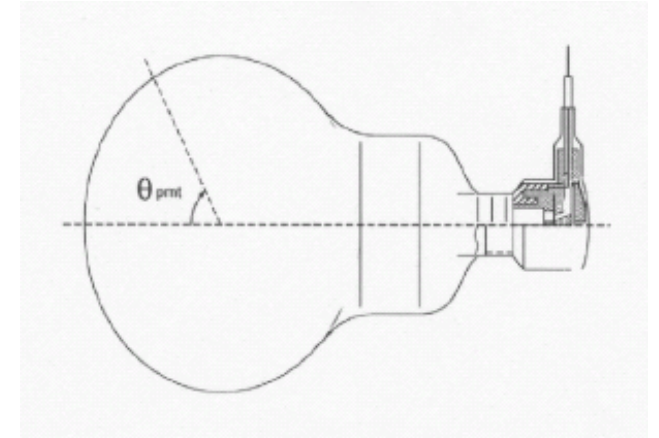
→ ヒット数に $r(i)^2$ を掛ける

入射方向 : 入射方向 (見込み角) によって有感面積が変化

→ ヒット数を $F(\theta(i))$ で割る

$r(i)$: Ni-Cf線源とPMT(i)の間の距離

$F(\theta(i))$: 見込み角 $\theta(i)$ に依存する有感面積の関数



3.3 ヒット数の幾何学的補正

9

$\text{Hit}_{\text{corr}}(i)$: 幾何学的補正を加えた後のPMT(i)のヒット数

$$\text{Hit}_{\text{corr}}(i) = \text{Hit}(i) \times r(i)^2 / F(\theta(i))$$

$r(i)$: Ni-Cf線源とPMT(i)の間の距離

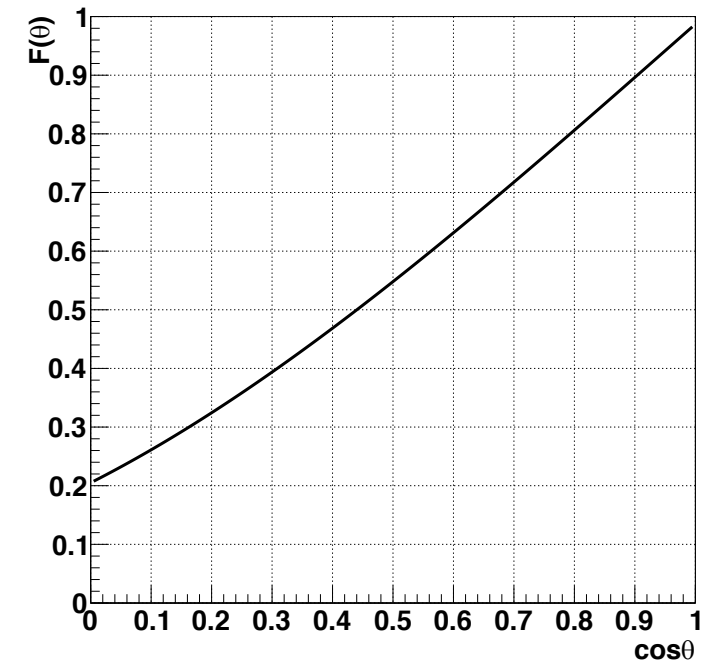
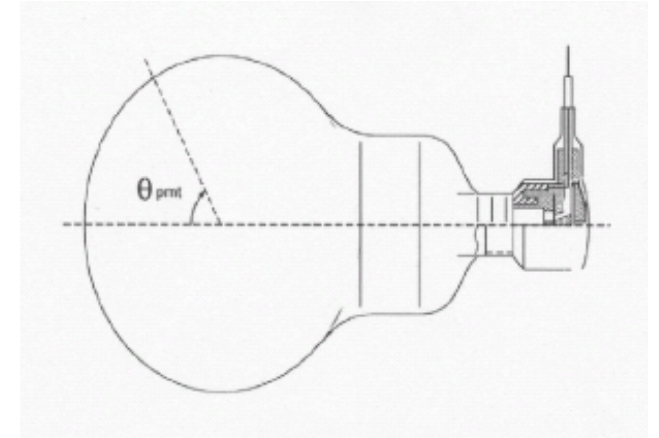
$F(\theta(i))$: 見込み角 $\theta(i)$ に依存する有感面積の関数

$$F(\theta(i)) = 0.205 + 0.524 \times \cos \theta(i) + 0.390 \times \cos^2 \theta(i) - 0.132 \times \cos^3 \theta(i)$$

$\text{Hit_rate}(i)$: $\text{Hit}_{\text{corr}}(i)$ を規格化したもの

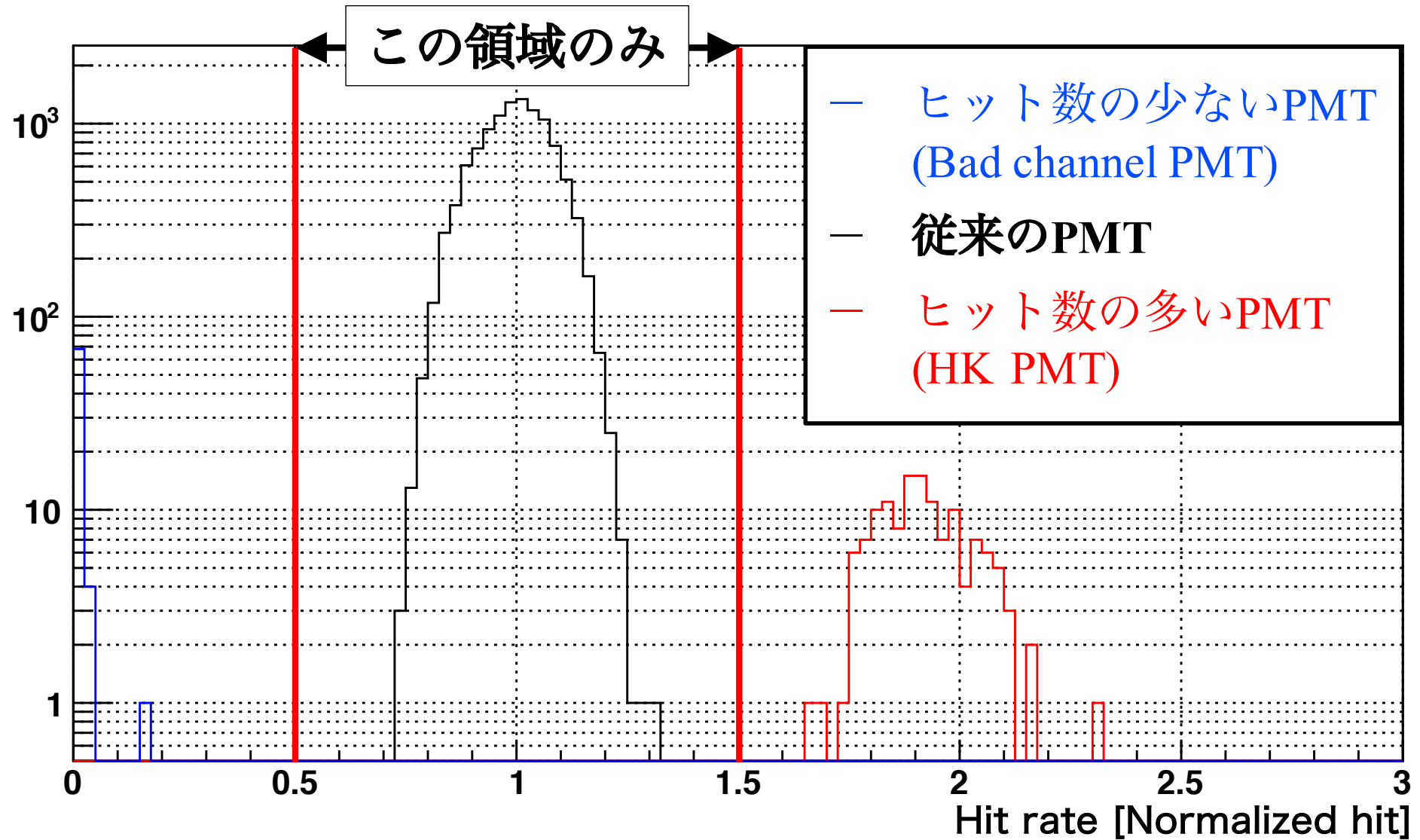
$$\text{Hit_rate}(i) = \text{Hit}_{\text{corr}}(i) / [\Sigma \{ \text{Hit}_{\text{corr}}(i) \} / N]$$

N : 解析に使用したPMTの数



3.4 ヒットレート分布

10

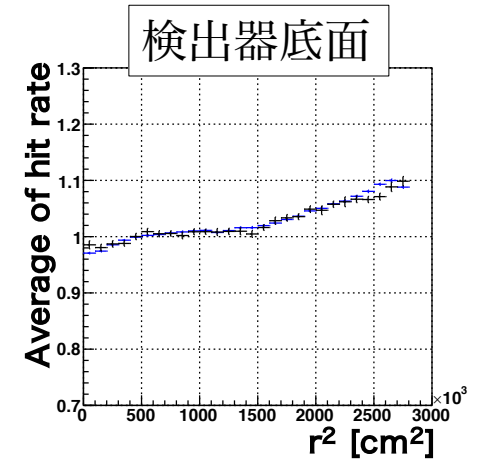
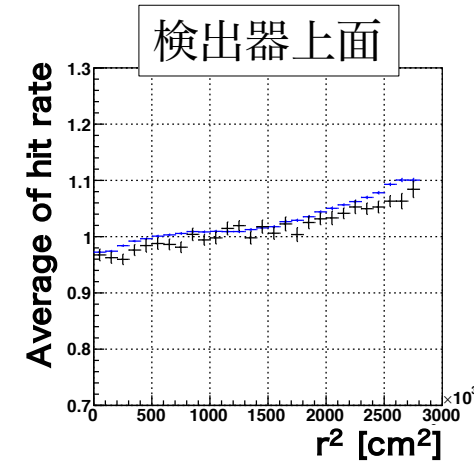
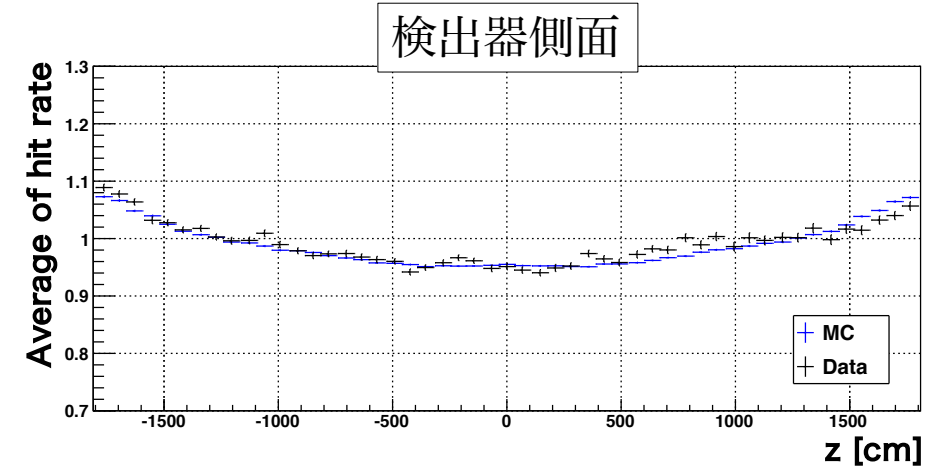
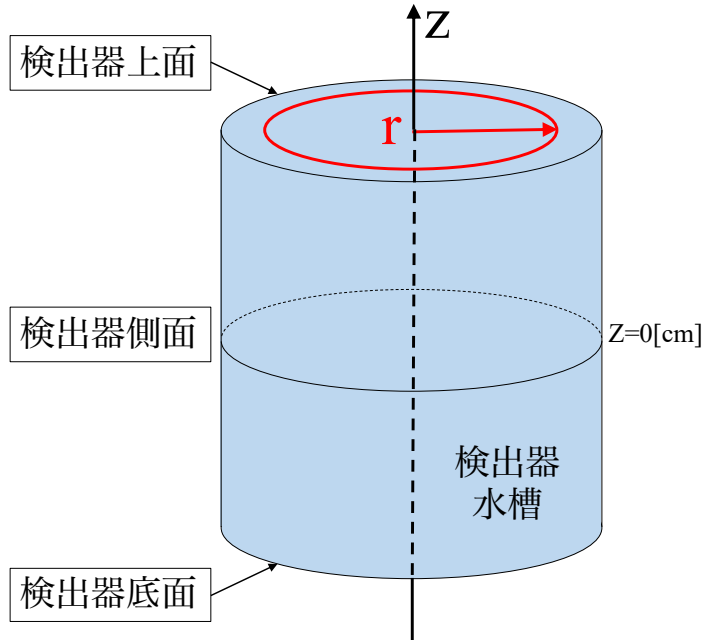


3.5 MCとの比較

11

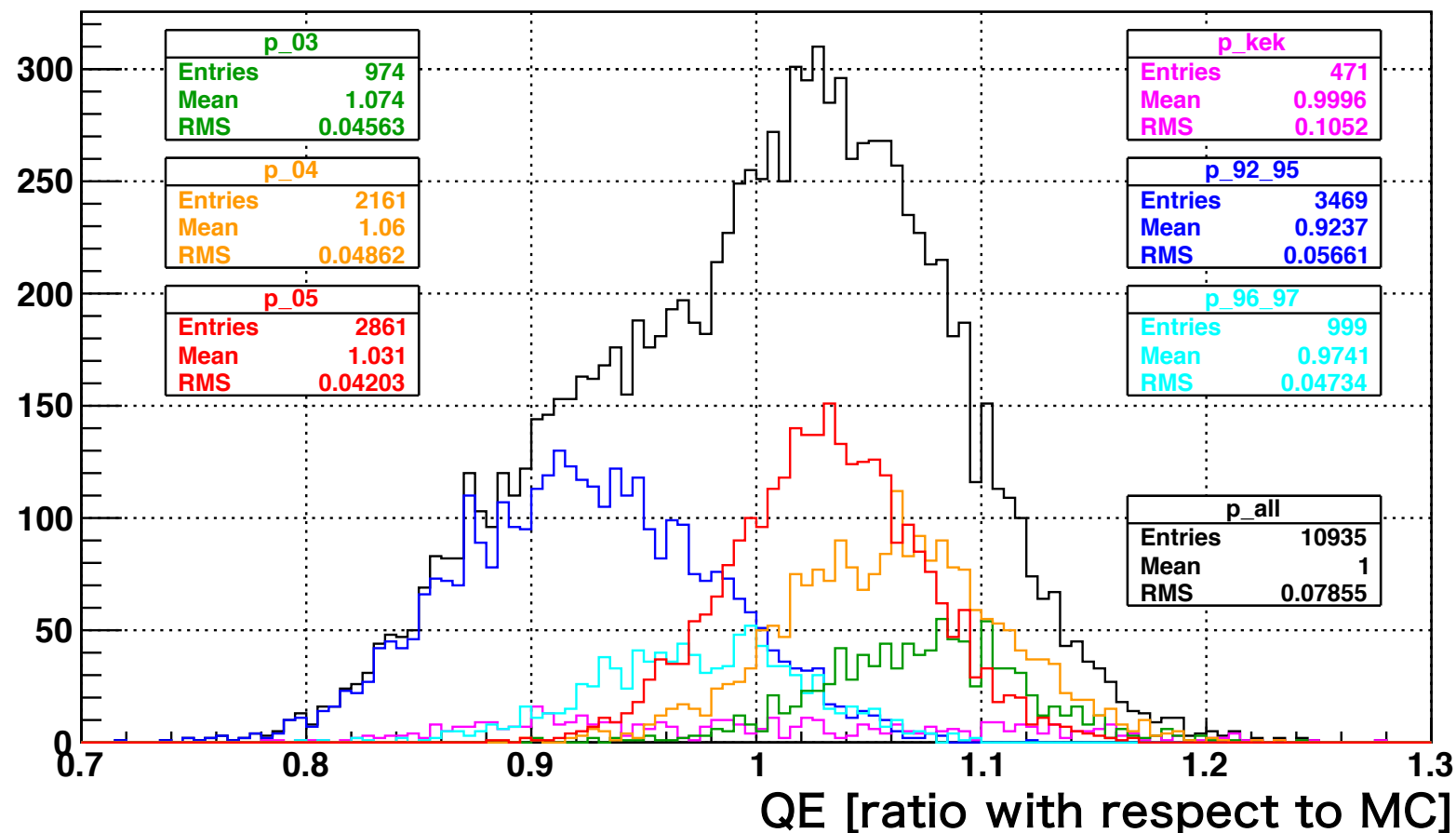
- Hit_rate(i)には反射や水質の効果が含まれている
→ 検出器モンテカルロシミュレーション (MC)
の結果との比較を行う

$$QE(i) = \text{Hit_rate}_{\text{Data}}(i) / \text{Hit_rate}_{\text{MC}}(i)$$



※ MCでは相対的QEは1にした

- 解析に必要な量子効率が得られた
- 生産年度ごとの違いが見えたが、これは先行研究の結果と一致する



- SK実験において各PMTの性質を理解しておくことは重要
- Ni-Cf 線源を用いて温度計の影の領域も含めて量子効率を測定した
→ 今後の解析で利用される

今後の予定

- 約3ヶ月の試運転期間の終了
→ SK-Gd実験における検出器校正実験を行う