

27pRF5

シリカエアロゲルを用いた  
大面積しきい値型チェレンコフ  
カウンターの開発

千葉大学 理学部物理学科4年 粒子線物理学研究室

伊藤 博士

2013.03.27

# Index

## イントロダクション

実験背景：LEPS 2

開発目標：WLSFをもちいた薄型・大面積

WLSFライトガイド

昨年までの成果と課題

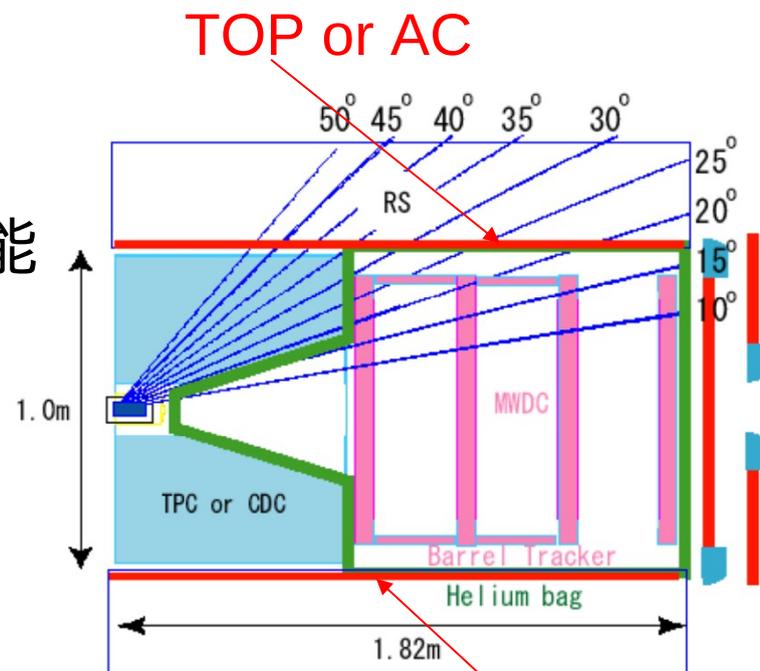
目的： LEDによるWLSFライトガイドの評価  
開発装置の見積もり

# イントロダクション 実験背景

LEPS2( Laser Electron Photon Experiment at SPring-8 2nd) Project  
レーザー電子光を用いたハドロンの性質の研究  
@兵庫県、Spring-8（大型放射光施設）

## 開発装置の要求

- ・ データ取得前に粒子識別でトリガー可能
- ・ 他の検出器への影響が少ない
- ・ 高磁場(1T程度)中
- ・ **設置スペースが非常に狭い**
- ・ AC単独での粒子識別能力97%以上



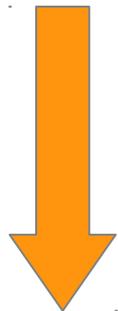
粒子識別設置検討図

TOF & Cerenkov  
Counter

# イントロダクション 装置開発目標

## 欠点

- 開口幅と同じ奥行きが必要
- PMTによる不感領域

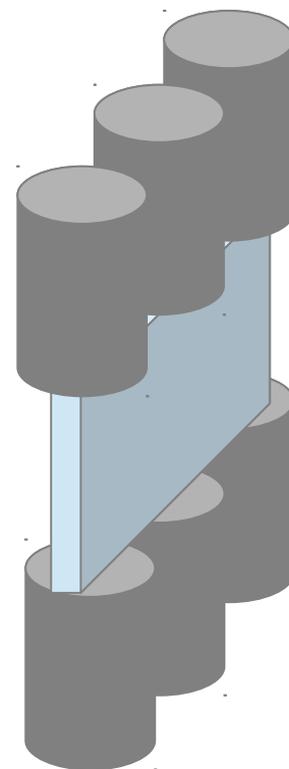


## 目標・改良点

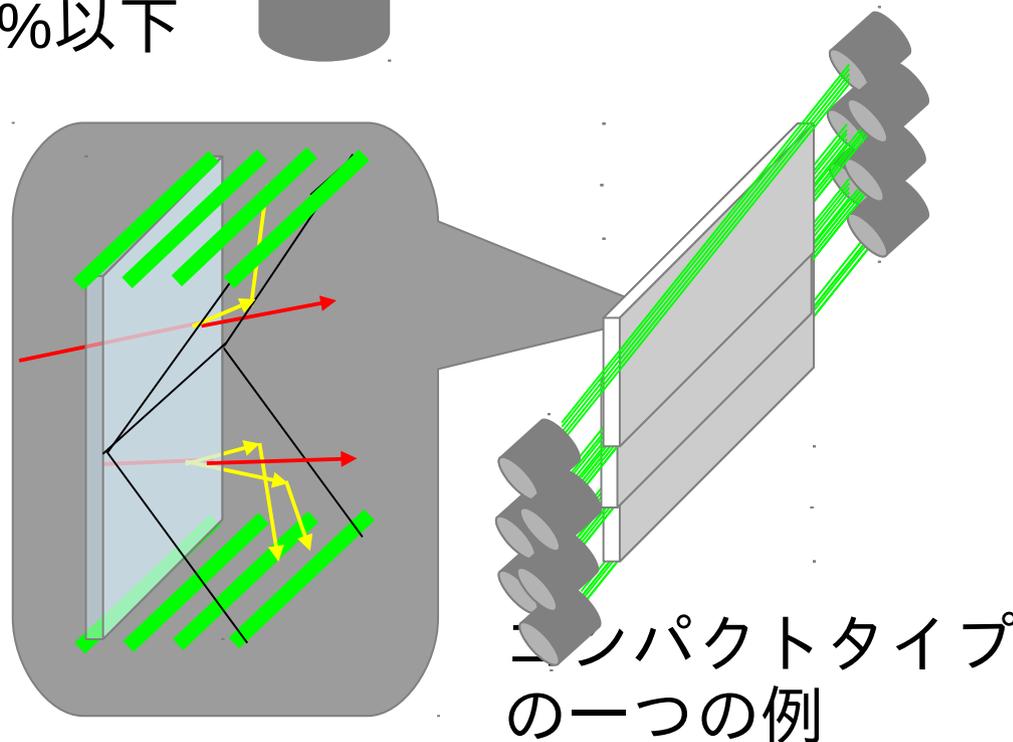
- 薄型かつ大面積
- 不感領域10%以下

コンパクトタイプの考案  
WLSF(波長変換ファイバ)の  
導入で薄型・大面積に挑戦

**問題点** WLSFから読める  
光量が少ない。



従来タイプ

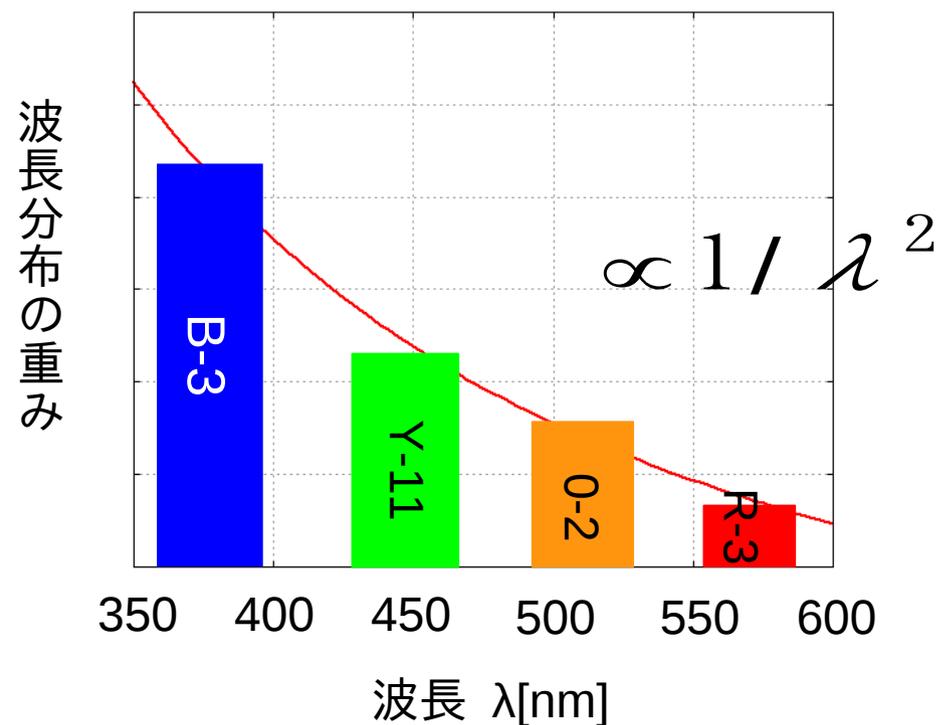
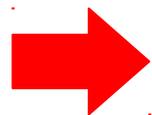
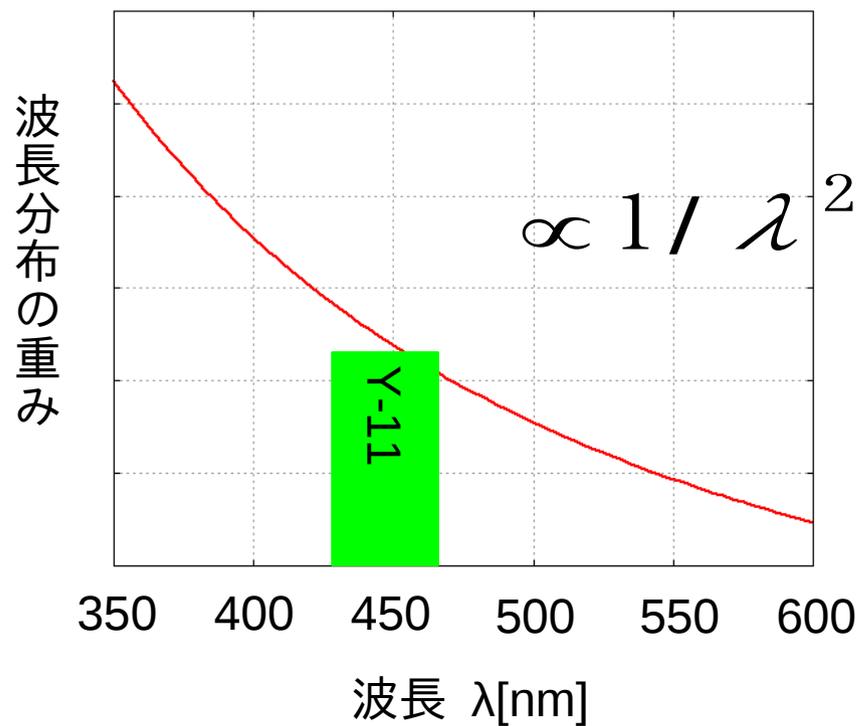


コンパクトタイプの  
一つの例

# イントロダクション

## WLSFを用いたライトガイド

チェレンコフ光の波長分布を考慮して  
4色ファイバーの使用することで光量UP



イントロダクション

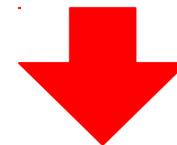
## 昨年までの成果と課題

### 昨年までの研究成果

- コンパクトタイプの考案
- ビームテストで測定
- Yより4色の方が光量が多い
- 4色組合せにより光量に差がある

### 課題

- 光電子増倍管が適切な感度でない
- 最も効率の良いWLSF組合せの決定



今回の仕事内容と成果へ

# 目的

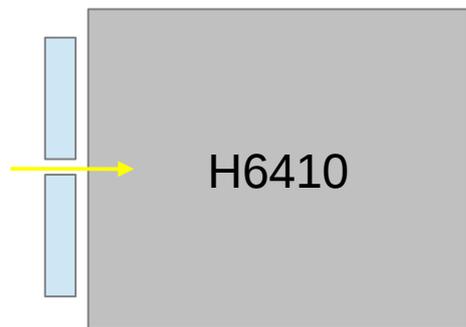
## LEDによるWLSFを用いた検出器の性能評価

- 最も効率の良いファイバーの組み合わせの決定。
- チェレンコフ光を再現し検出効率の測定

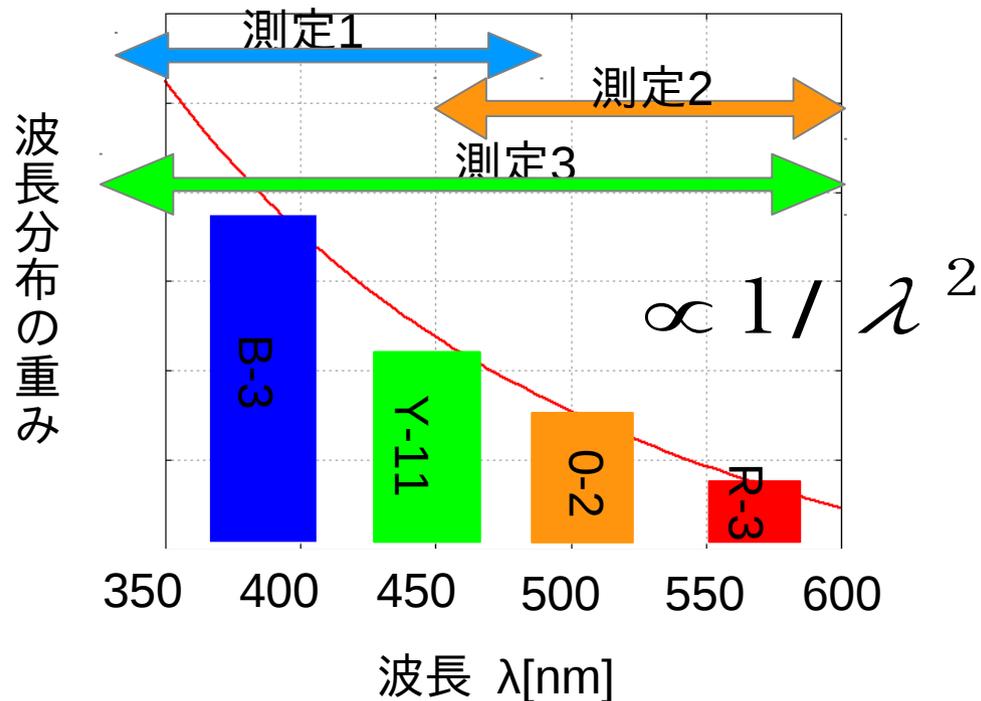
## 開発装置の仕様と見積もり

WLSFライトガイドからの検出効率と装置の設計から粒子識別能力の算出

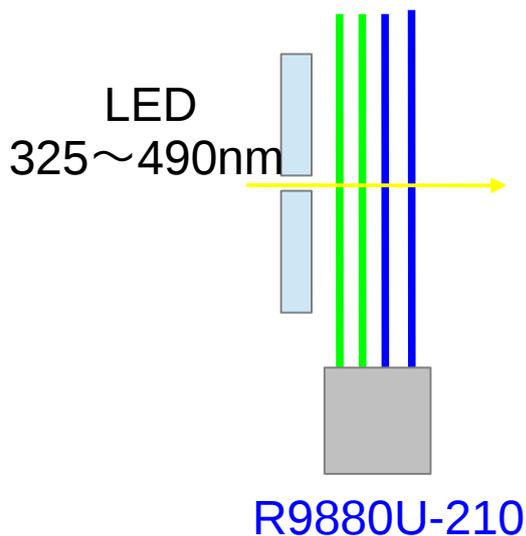
# 測定方法



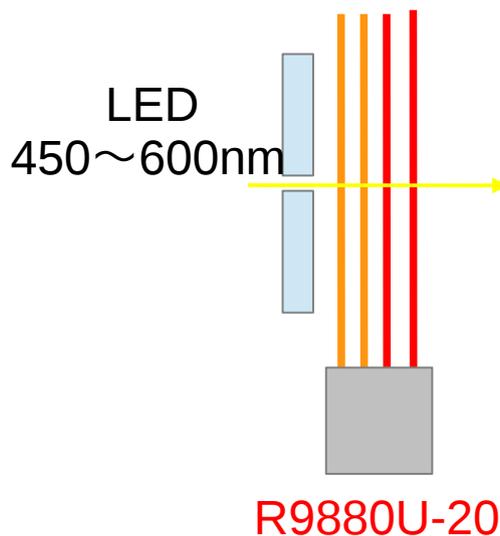
- ・測定毎に光量を設定
- ・平均10p.e.になるように調整



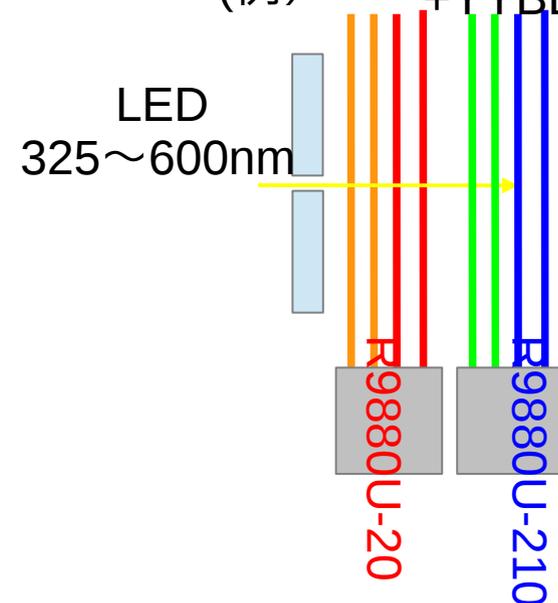
測定 1 (例)YYBB



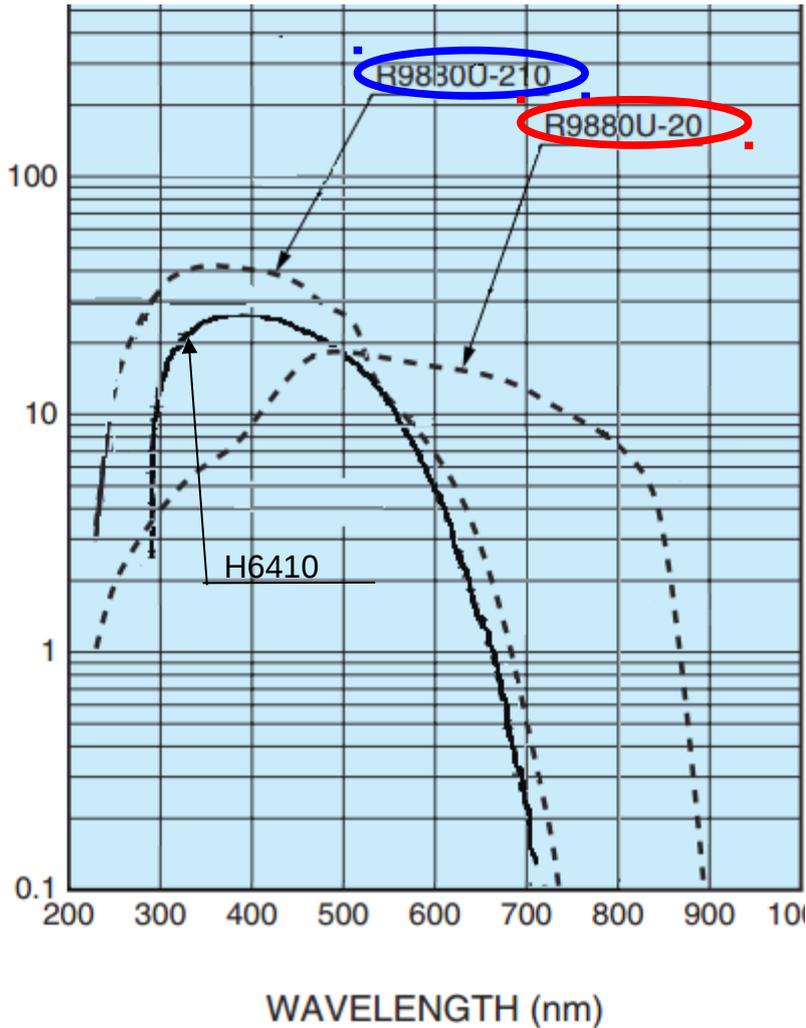
測定2 (例)OORR



測定3(例) OORR +YYBB



# 今回使用したPMT



H6410

LED光源による光量決定の基準

R9880U-210

ファイバーYとBの読み出しに使用

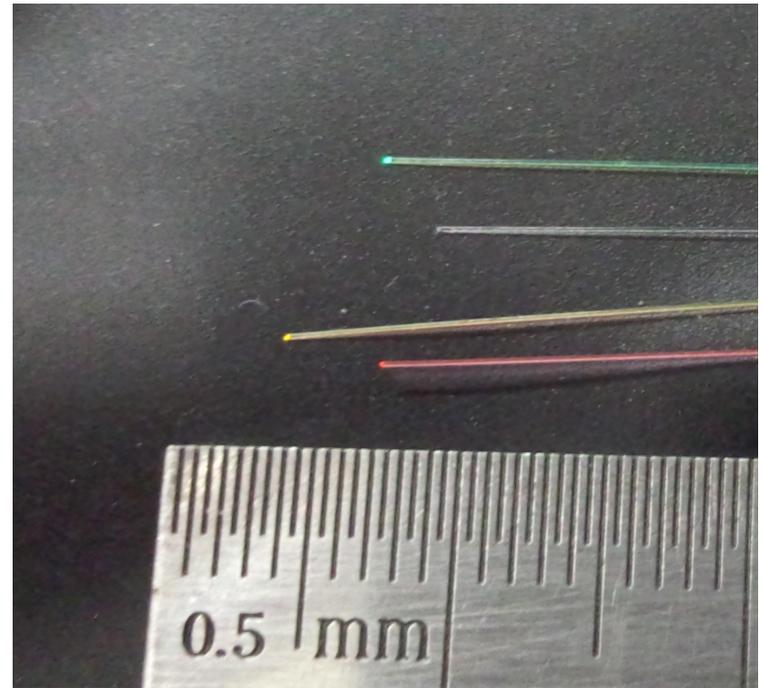
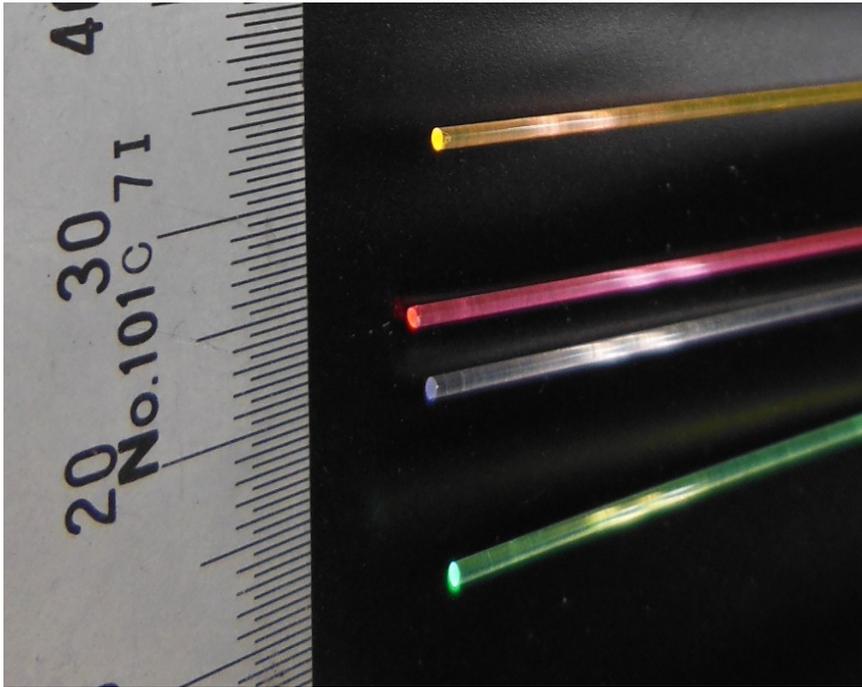
R9880U-20

ファイバーOとRの読み出しに使用



R9880U-210 (左)、H6410 (右)

# WLSF（波長変換ファイバー）



クラレ社製造 直径1mmWLSF

型番は上から

O-2(100)MS

R-3(100)MS

B-3(200)MS

Y-11(200)MJ

クラレ社製造 直径0.2mmWLSF

型番は上から

Y-11(300)J

B-3(300)J

O-2(300)J

R-3(300)J

※以降ファイバーの各色をB, Y, O, Rと型番の頭文字で表記する。

# 今回製作したWLSFライトガイド



# 評価方法

- ・ LEDの光量は $10\text{p.e.} \div \text{QE}$
- ・ チェレンコフ光の波長分布の重みを波長領域ごとにかける

入射光がチェレンコフ光で平均10photonの光量に校正しての光電子数に再現できる。

検出効率

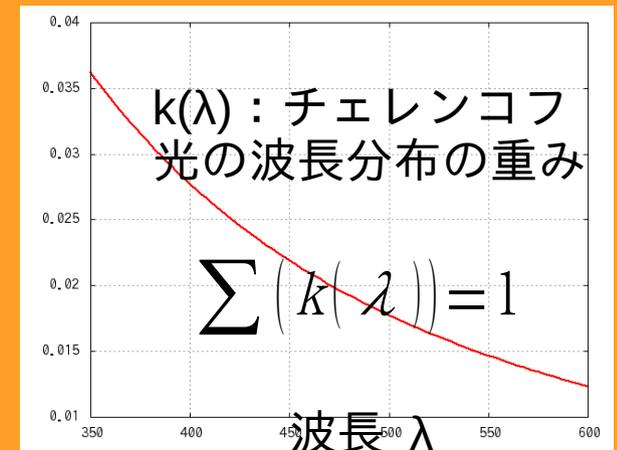
$$\eta = \frac{N_{\text{non-ped}}}{N_{\text{total}}} \pm \sqrt{\frac{pq}{N_{\text{total}}}} \quad p = \frac{N_{\text{non-ped}}}{N_{\text{total}}}, \quad q = 1 - p$$

平均光電子数

$$N_{p.e.} = -\ln(1 - \eta)$$

平均光電子数の校正値

$$N'_{p.e.} = \sum \left\{ N_{p.e.} \times k(\lambda) \times \text{QE}(\lambda) \right\}$$



# 結果：LED光源におけるWLSFライトガイドのファイバー組み合わせによる光量比較

## チェレンコフ光10photon相当の平均光子数の校正値

### 測定1：325~490nmでの評価

	平均光電子数[p.e.]
BBBB	0.013
<b>BBYY</b>	<b>0.016</b>
YYBB	0.010
YYYY	0.014

### 測定2：435~600nmでの評価

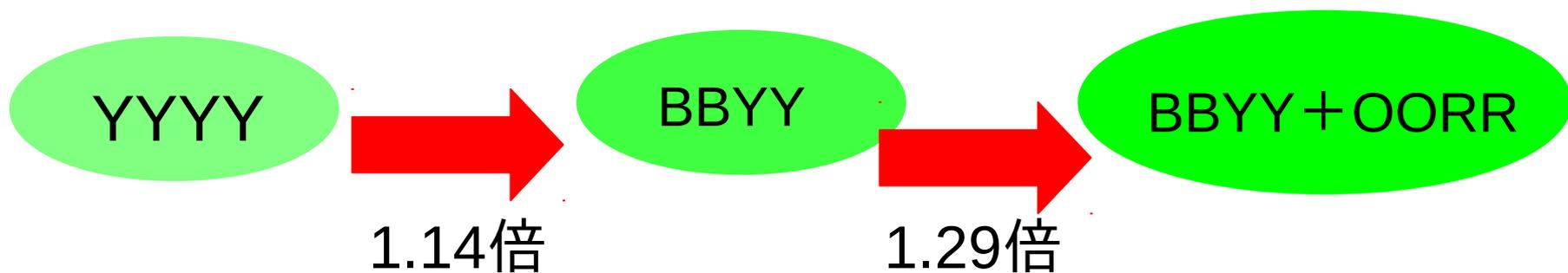
	平均光電子数[p.e.]
Oooo	0.007
<b>OORR</b>	<b>0.008</b>
RROO	0.007
RRRR	0.006

### 測定3：325~600nmでの評価

	平均光電子数[p.e.]
BBYY	0.021
OORR	0.010
<b>BBYY+OORR</b>	<b>0.027</b>
OORR+BBYY	0.018

# 結果

WLSFライトガイドのファイバー組み合わせを  
変えることによる光量比



Yを1種類より4種類WLSFを用いる  
ことで最大**1.47倍**光量が増加

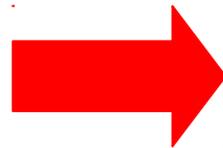
# 結果

チェレンコフ光10photonに対する  
WLSF (BBYY+OORR) 検出光電子数

0.027[p.e.]

WLSFシングルクラッド  
片側読み出し

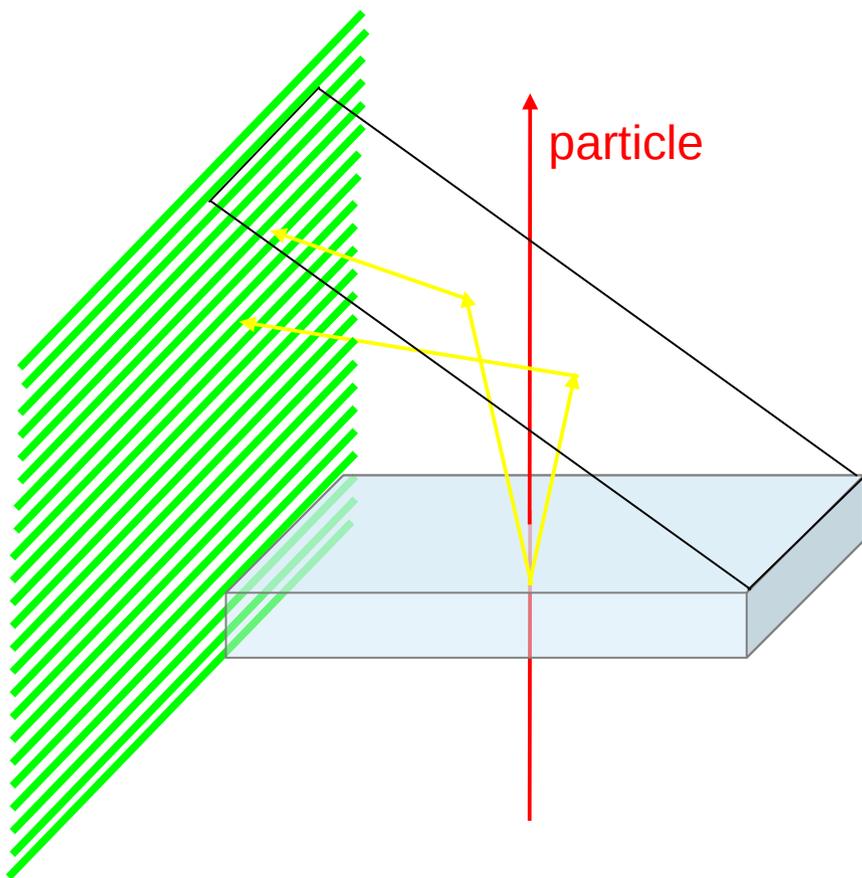
両側読み出し 2倍  
マルチクラッド使用 1.67倍



検出効率  
0.090[p.e.]

# 考察

シリカエアロゲルの厚さ（屈折率 $n=1.03$ 、検出効率90%を想定）



シリカエアロゲルの厚さ 8cm



ゲル1cm当たり29個  
チェレンコフ光 $\{\pi(2\text{GeV}/c)\}$

発生チェレンコフ光 平均232個



反射1回  
 $\times 95\%$

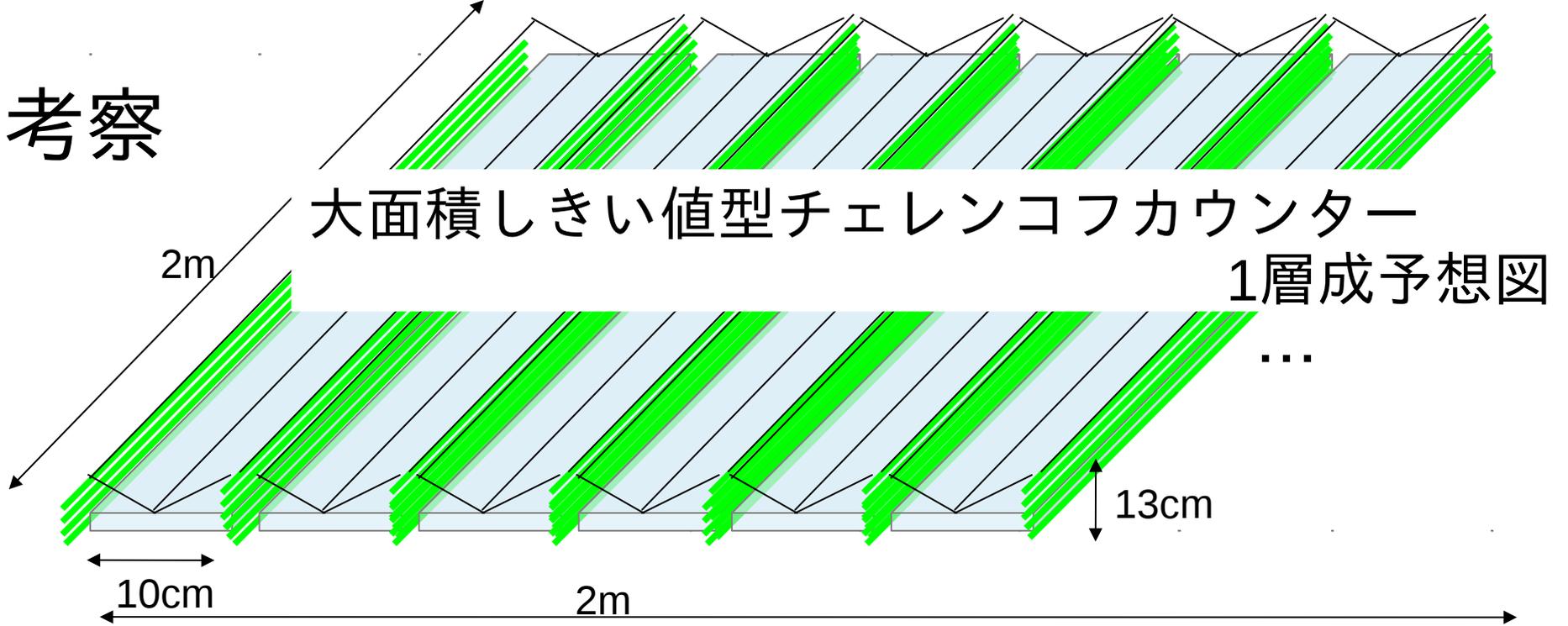
有効受光面積に 平均220個



検出効率  
 $\times 0.009$

WLSFからの読み出し 平均1.98p.e.  
(検出効率90%相当)

# 考察



装置の厚さ 13cm  
不感領域3% (両側0.2mmファイバー8層)

## 粒子識別能力

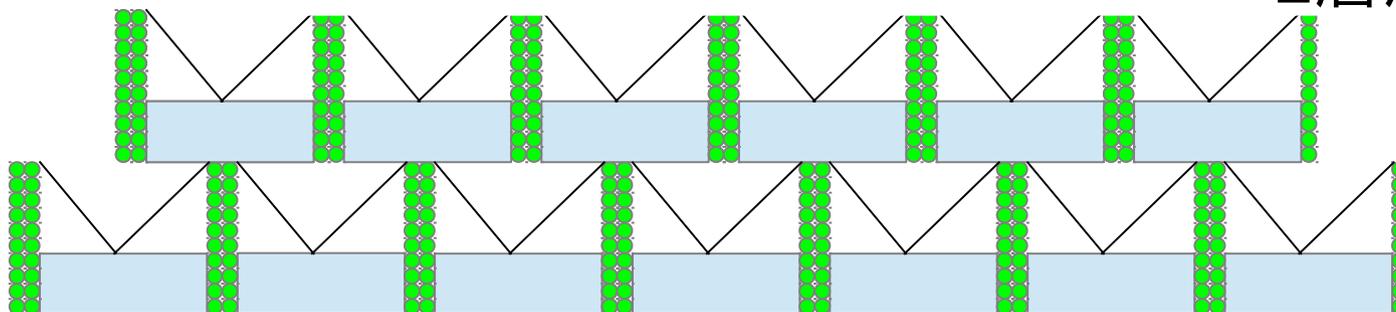
(例)  $\pi$ の検出効率90%  
Kによるノックオン電子発生2%

$\pi/K$  . . . 87.3%

# 考察

大面積しきい値型チェレンコフカウンター

2層成予想図



2層断面図

装置の厚さ 26cm

ファイバーを互い違いに配置

粒子識別能力

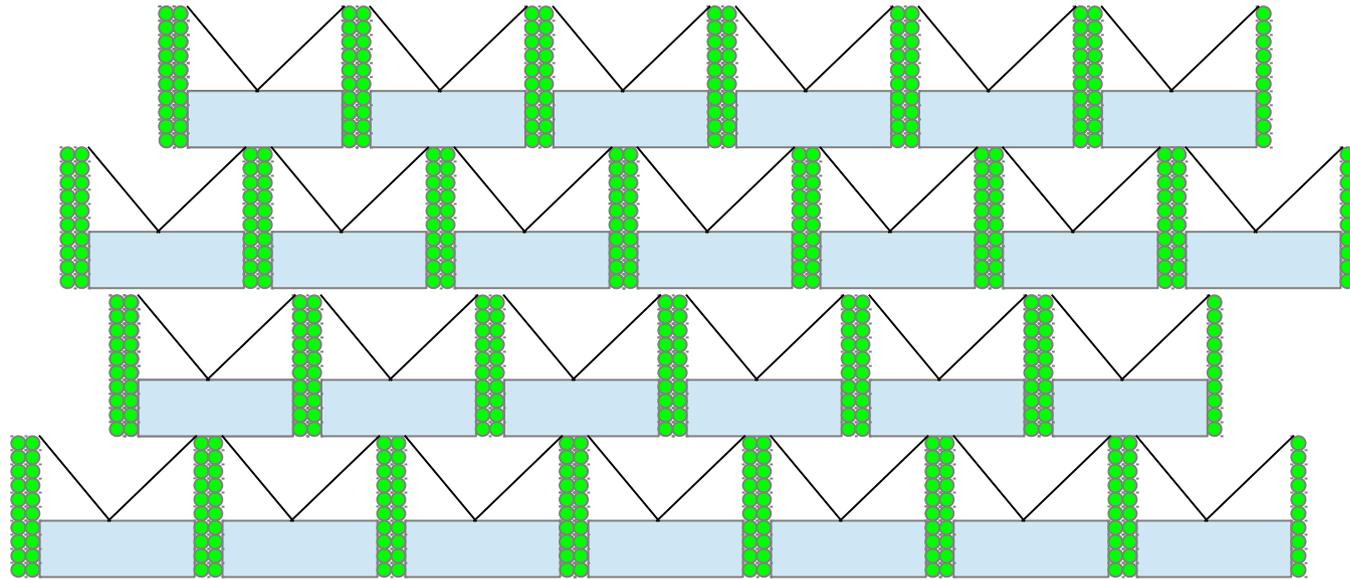
(例)  $\pi$ の検出効率90%  
Kによるノックオン電子発生2%

$\pi/K \cdot \cdot \cdot 98.46\%$

# 考察

## 大面積しきい値型チェレンコフカウンター

### 4層成予想図



装置の厚さ 52cm  
ファイバーを互い違いに配置

4層断面図

### 粒子識別能力

(例) $\pi$ の検出効率90%

Kによるノックオン電子発生2%

1層以上鳴ったら $\pi$

2層以上鳴ったら $\pi$

$\pi/K$  . . . 99.97%

$\pi/K$  . . . 99.34%

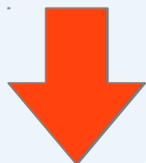
$K/\pi$  . . . 92.43%

$K/\pi$  . . . 99.75%

# 大面積しきい値型 チェレンコフカウンターの製作費

シリカエアロゲル

パナソニック社製  
100万円/L

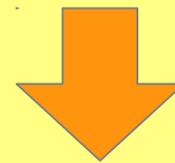


千葉大製

1000万円/100L  
3000万円/400L  
6000万円/1000L

PMT(1層あたり)

従来：2m×2mの場合  
40万円×230本



今回  
6万円×80本

WLSF(1層あたり)

- ・マルチクラッド
- ・4色で

1600万円

# まとめ

- ・ WLSFを用いると、しきい値型チェレンコフカウンターの薄型大面積が可能
- ・ コスト削減よりエアロゲルの厚さを抑える必要がある。
  - WLSF読み出し光量UPへの改良
- ・ WLSFライトガイドの製作方法の研究
  - ファイバーを綺麗に整列できる有効面積の拡張
  - ファイバー先端断面の整形
- ・ ビームテストによる評価測定

ご清聴ありがとうございました。

研究参加メンバー

千葉大学

河合秀幸、間瀬圭一、田端誠、  
伊藤博士、雲越大輔、大和久耕平、  
児玉諭士、韓樹林、丸橋健太

Back up

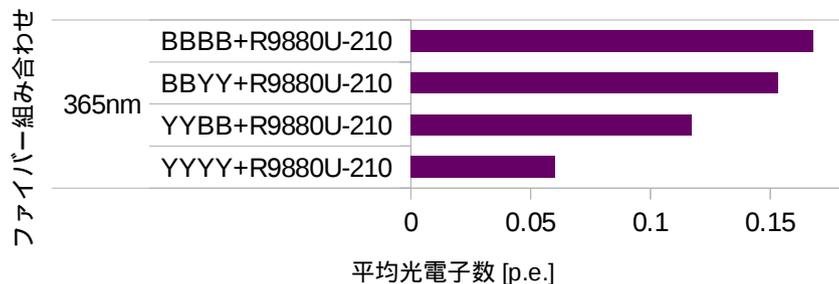
# 結果：測定1

## 短波長領域LED光源におけるWLSFライトガイドの2色ファイバー組み合わせによる光量比較

### ファイバーBとYの組み合わせ

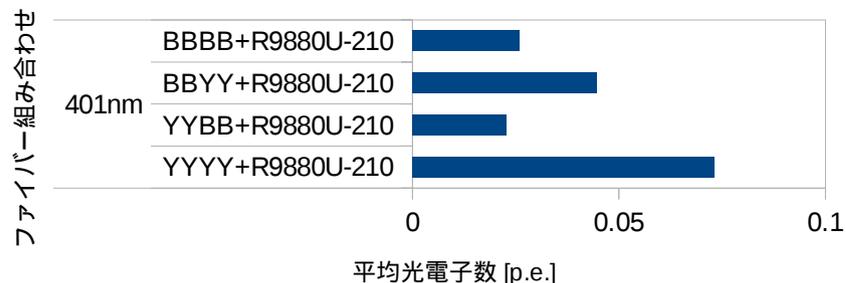
LED365nm における  
WLSF ライトガイドのファイバー組み合わせによる光電子数比較

※ 直接 PMT H6410 で平均 10p.e. 程度で測定



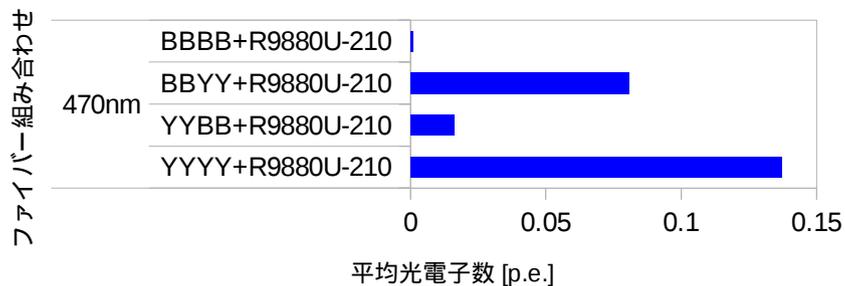
LED401nm における  
WLSF ライトガイドのファイバー組み合わせによる光電子数比較

※ 直接 PMT H6410 で平均 10p.e. 程度で測定



LED470nm における  
WLSF ライトガイドのファイバー組み合わせによる光電子数比較

※ 直接 PMT H6410 で平均 10p.e. 程度で測定



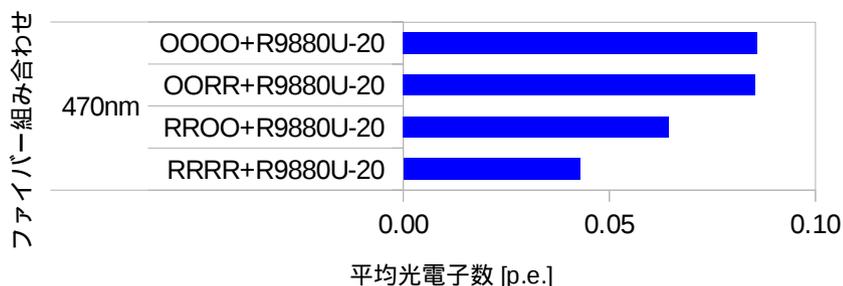
# 結果：測定1

## 長波長領域LED光源におけるWLSFライトガイドの2色ファイバー組み合わせによる光量比較

### ファイバーOとRの組み合わせ

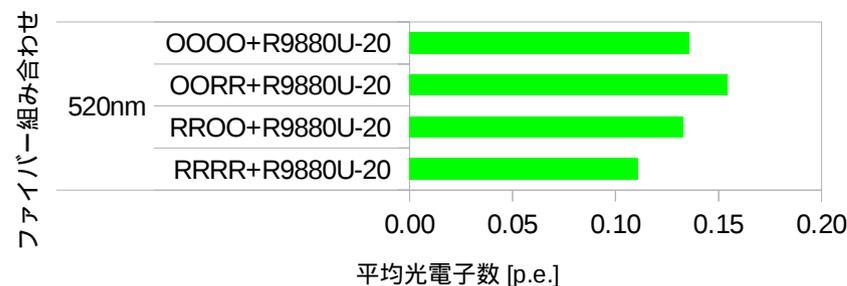
LED470nm における  
WLSF ライトガイドのファイバー組み合わせによる光電子数比較

※ 直接 PMT H6410 で平均 10p.e. 程度で測定



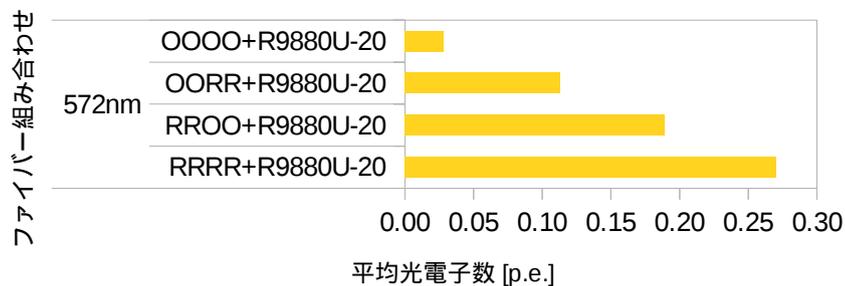
LED520nm における  
WLSF ライトガイドのファイバー組み合わせによる光電子数比較

※ 直接 PMT H6410 で平均 10p.e. 程度で測定



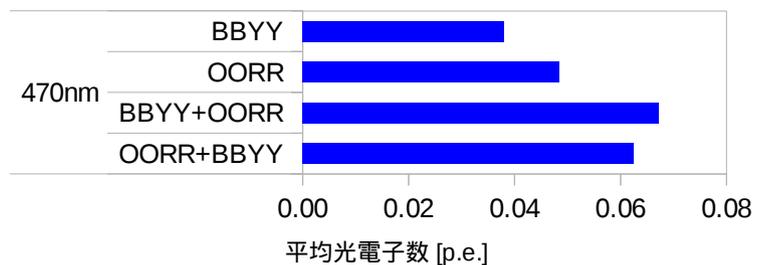
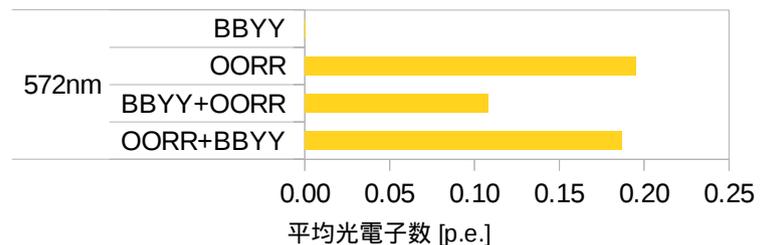
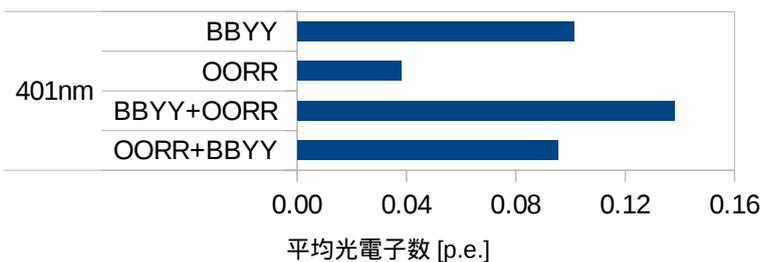
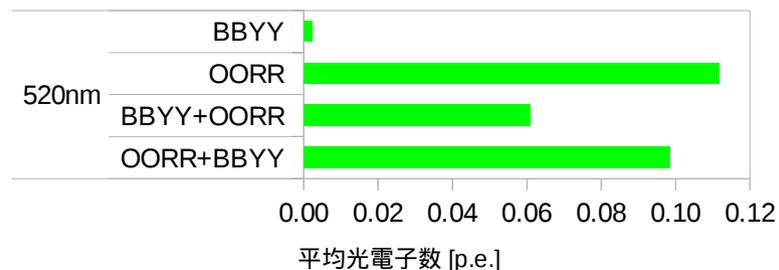
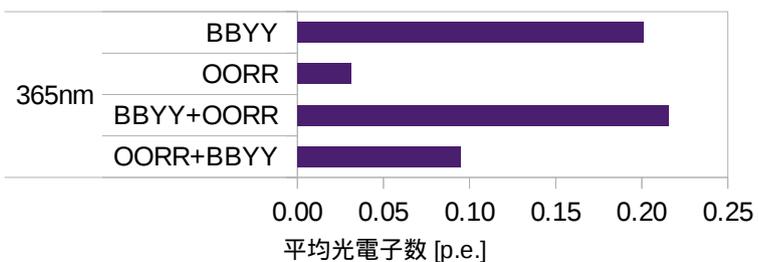
LED572nm における  
WLSF ライトガイドのファイバー組み合わせによる光電子数比較

※ 直接 PMT H6410 で平均 10p.e. 程度で測定



## 結果：測定2

# 有効波長領域LED光源におけるWLSFライトガイドの4色ファイバー組み合わせによる光量比較



# コスト

## 大面積しきい値型 チェレンコフカウンターの製作費

			1層	2層	4層
シリカエアロゲル	千葉大		3200	5400	8600
n=1.05, 厚さ8cm					
WLSF	0.2mmDia	クラレ	1600	3200	6400
マルチクラッド					
PMT	R9880U-210	浜ホト	1320	2640	5280
R9880U-20					
合計[万円]			6120	11240	20280

# 今後の課題

- ・ 両側読み出し、マルチクラッドでの測定
- ・ より良質なWLSFライトガイドの製作  
ファイバーを綺麗に整列できる有効面積の拡張  
ファイバー先端断面の整形
- ・ ビームテストによる評価測定