

医学物理学会  
O-010

# チェレンコフ光検出を応用したリアルタイム $^{90}\text{Sr}$ カウンターの開発

千葉大<sup>A</sup>, JAXA<sup>B</sup>

伊藤博士<sup>A</sup>, 飯島周多郎<sup>A</sup>, 河合秀幸<sup>A</sup>, 児玉諭士<sup>A</sup>, 雲越大輔<sup>A</sup>, 間瀬圭一<sup>A</sup>, 鈴木清太郎<sup>A</sup>, 田端誠<sup>A,B</sup>

Chiba Univ.<sup>A</sup>, JAXA<sup>B</sup>

H. ITO<sup>A</sup>, S. IJIMA<sup>A</sup>, H. KAWAI<sup>A</sup>, S. KODAMA<sup>A</sup>, D. KUMOGOSHI<sup>A</sup>, K. MASE<sup>A</sup>, S. SUZUKI, M. TABATA<sup>A,B</sup>

2013.09.17

発表者: 伊藤博士

hiroshi@hepburn.s.chiba-u.ac.jp

# 研究の背景

2011年の福島第1原子力発電所の事故から2年  
が経った現在でも放射線汚染水問題が取り上げられ  
る

## 汚染水の主な成分

- $^{137}\text{Cs}$
- $^{90}\text{Sr}$

## 問題点

- 海水漏れ → 魚介類にSr/Cs蓄積
- Srは生物学的半減期が長い
- $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ の識別が困難
- 測定時間と卸売りまでの鮮度
- 測定できる領域は表面上のみ

## 開発モチベーション

- Csが多く含まれる中でSrだけに反応する
- 1～2時間で結果がわかる
- 100Bq/kgの感度

# チェレンコフカウンター

## チェレンコフ放射

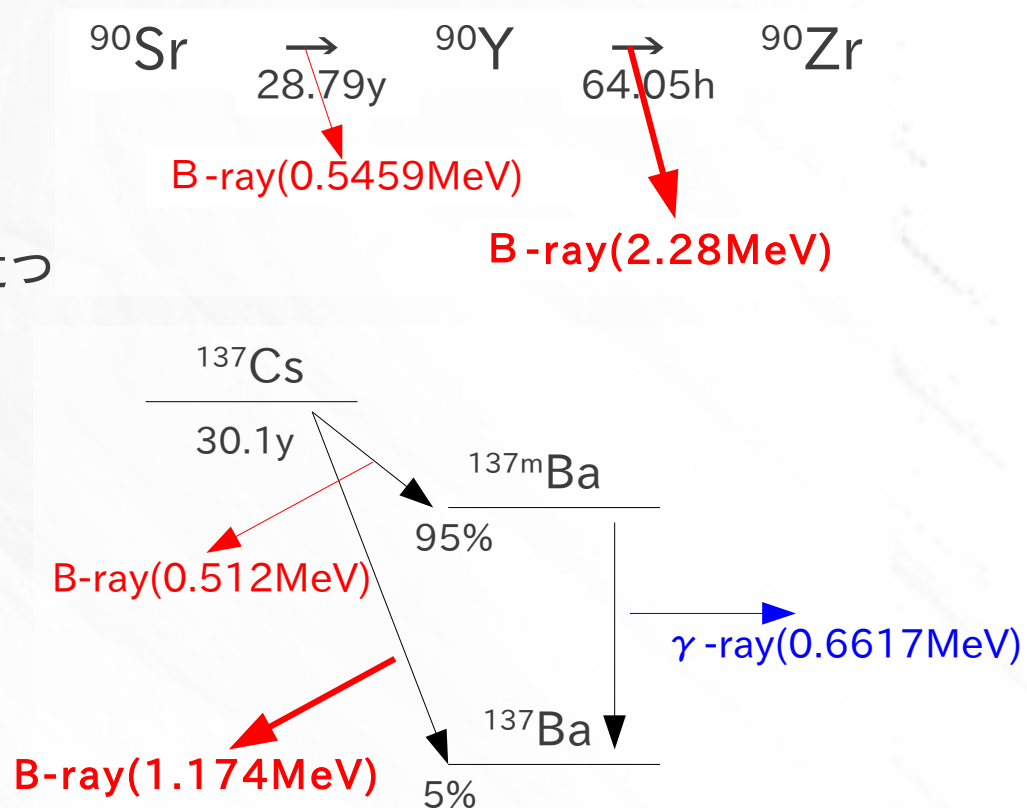
屈折率 $n$ の物質中では光の速度は $c/n$ になる。荷電粒子が光よりも速く走ったときにチェレンコフ光を出す。

チェレンコフ光発生条件

$$n\beta > 1 \quad \begin{array}{l} n: \text{屈折率} \\ \beta = v/c: \text{速度} \end{array}$$

チェレンコフ光が発生したかどうかで粒子識別を行う装置。  
リアルタイムでの測定可能

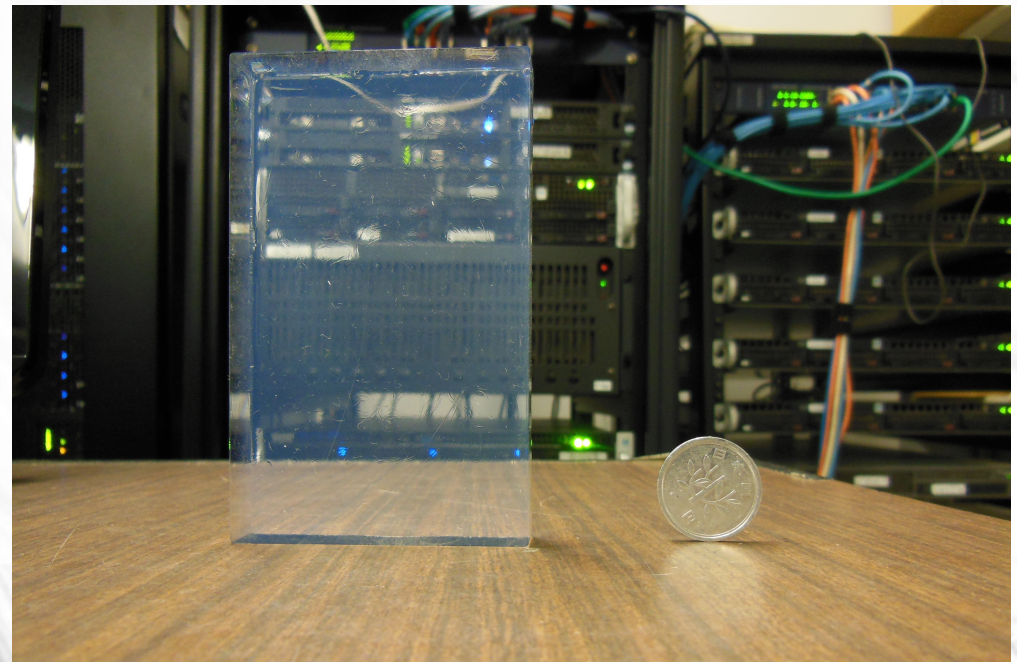
シリカエアロゲル



$\beta$ 線のエネルギー識別  
Energy=1.174MeV  
速度=0.9529  
Index<1.0492

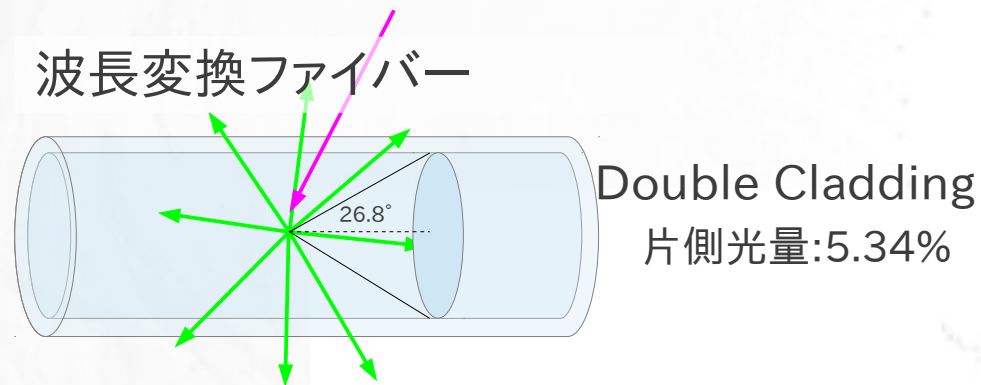
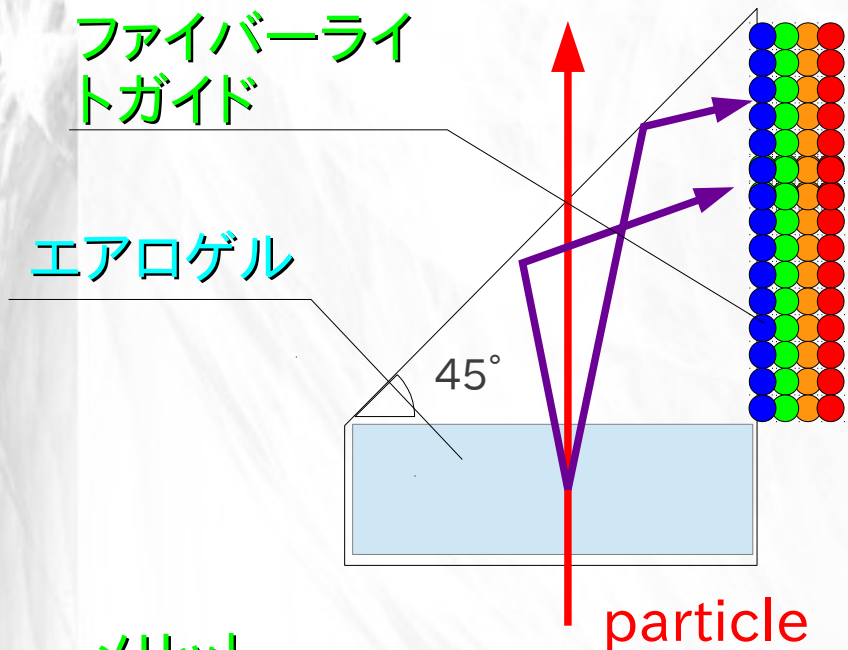
## シリカエアロゲル

- SiO<sub>2</sub>粒子で3次元ネットワークを形成
- 製作段階でIndex(1.003-1.3)を決定可能
- 低密度・透明
- 素粒子実験・粒子識別装置に使用
  - KEK 電子陽電子衝突実験 Belleの  
AerogelCherenkov  
Counterの輻射体





# 波長変換ファイバーによる面積拡張



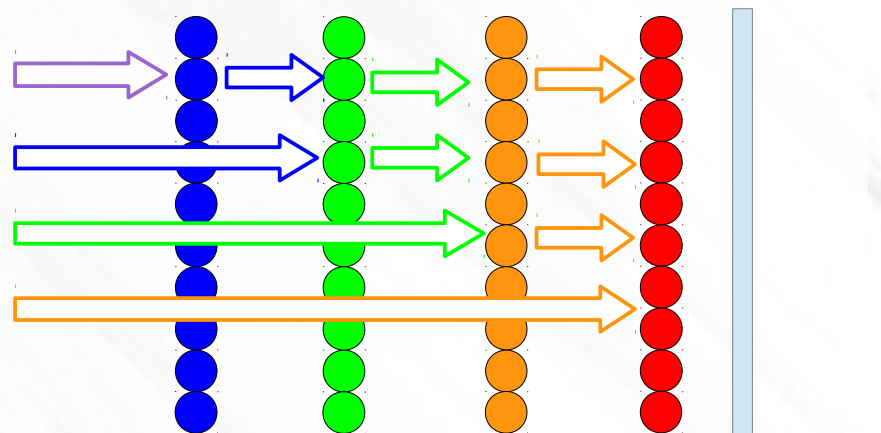
	absorption	emission
B-3	300-350	400-450
Y-11	400-450	470-500
O-2	470-500	550-600
R-3	550-600	600-650

## メリット

- ファイバーを伸ばす分だけ面積拡張
- 任意形状
- Efficiency一様性
- 光検出器の小型化

## 問題点・課題点

- 読出光量がひくい



ファイバーライトガイドの集光システム

# 開発から実用まで

現在

$\beta$ 線エネルギー識別による $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 識別の提案

エアロゲルの $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 識別能力の検証

WLSファイバーでチェレンコフ光の読出しを確認

エアロゲルの厚さによる識別能力の適正

波長変換ファイバーを用いた検出器のSr/Cs

その他線源による動作確認

大面積検出器のサンプル製作

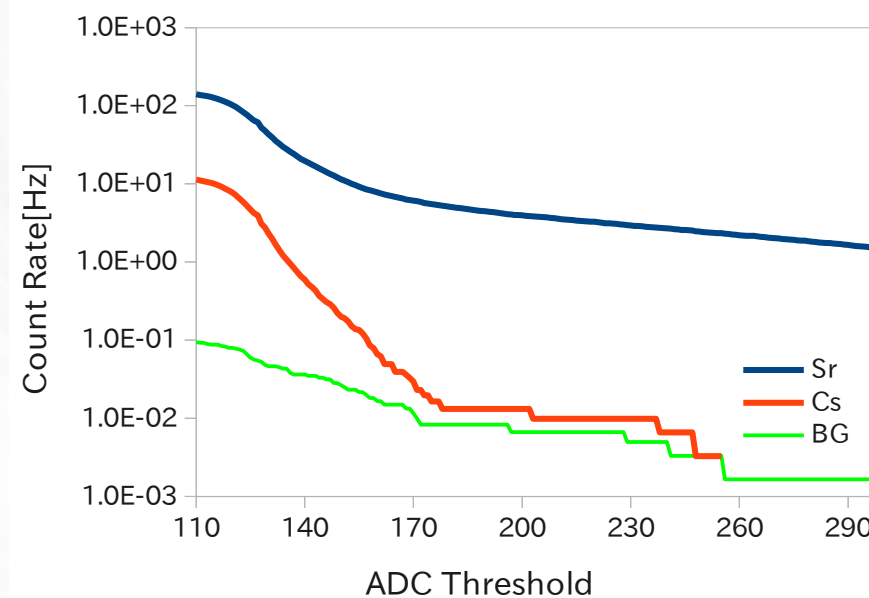
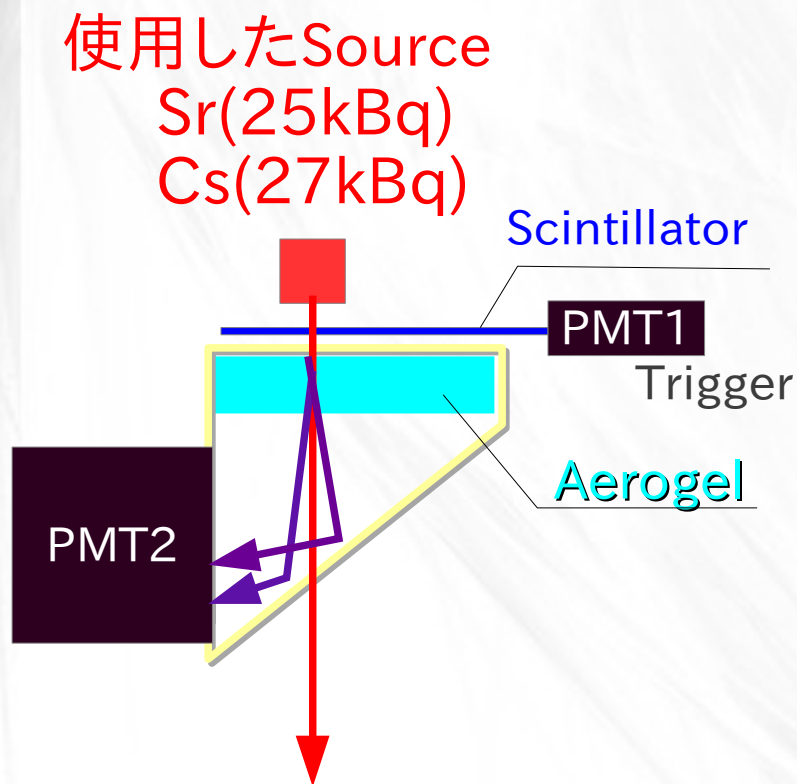
$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 識別における検出器デザインの最適化

etc...

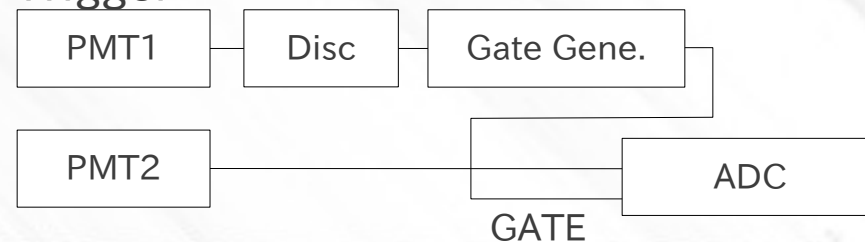
製造業者委託

# 実験1:エアロゲルの $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 識別能力の検証

## 結果



### Trigger



# 実験1:エアロゲルの $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 識別能力の検証

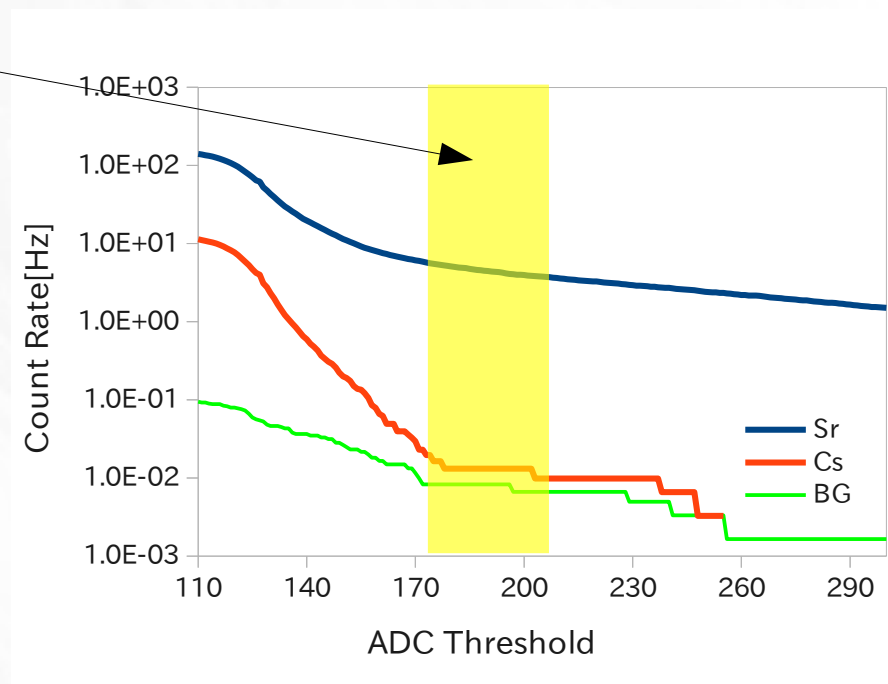
## 結果

CsがBGLレベルであるThreshold  
Sr Count Rate = 5Hz  
BG Rate = 0.01Hz以下  
**Sr/Cs = 1000**

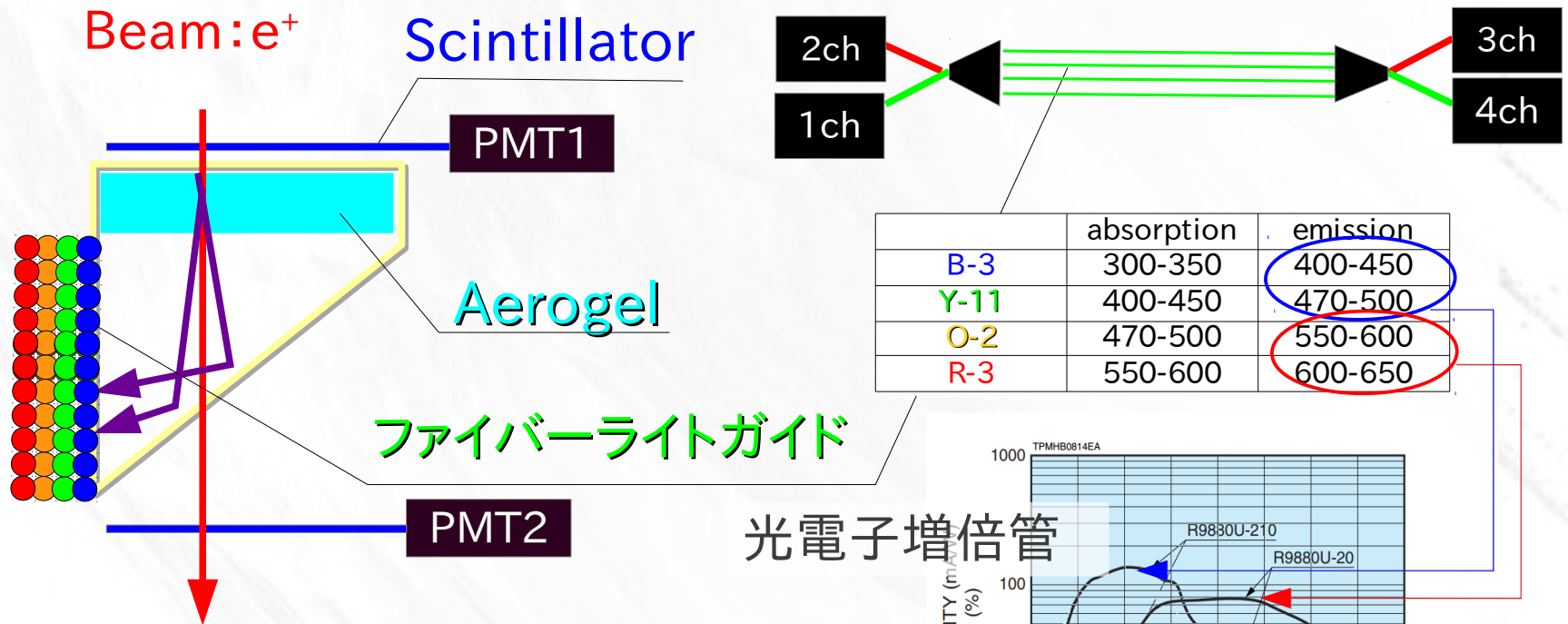
有意義な線量測定にかかる時間の  
推定

340 Bq以上… 1分  
120 Bq以上…10分  
75 Bq以上 …60分

バックグラウンドドミナントによる評価

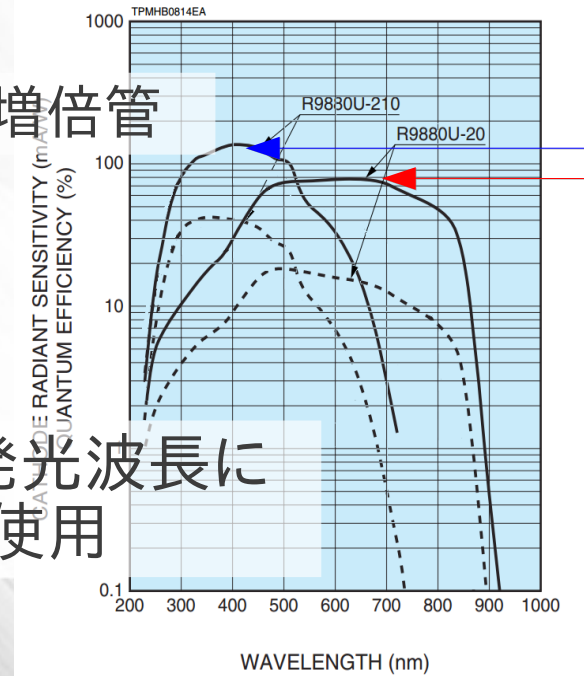


# 実験2: 波長変換ファイバーでの読出し確認



	absorption	emission
B-3	300-350	400-450
Y-11	400-450	470-500
O-2	470-500	550-600
R-3	550-600	600-650

光電子増倍管

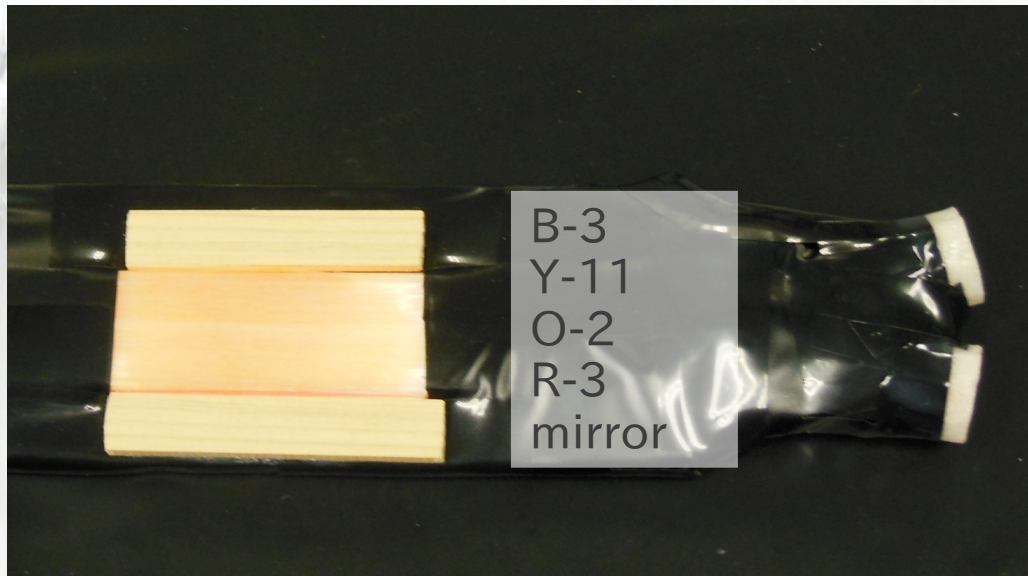


Spring-8 BR33LEP  
Beam TEST  
e<sup>+</sup>(1-2Gev/c)

ファイバーの発光波長に  
適した種類を使用

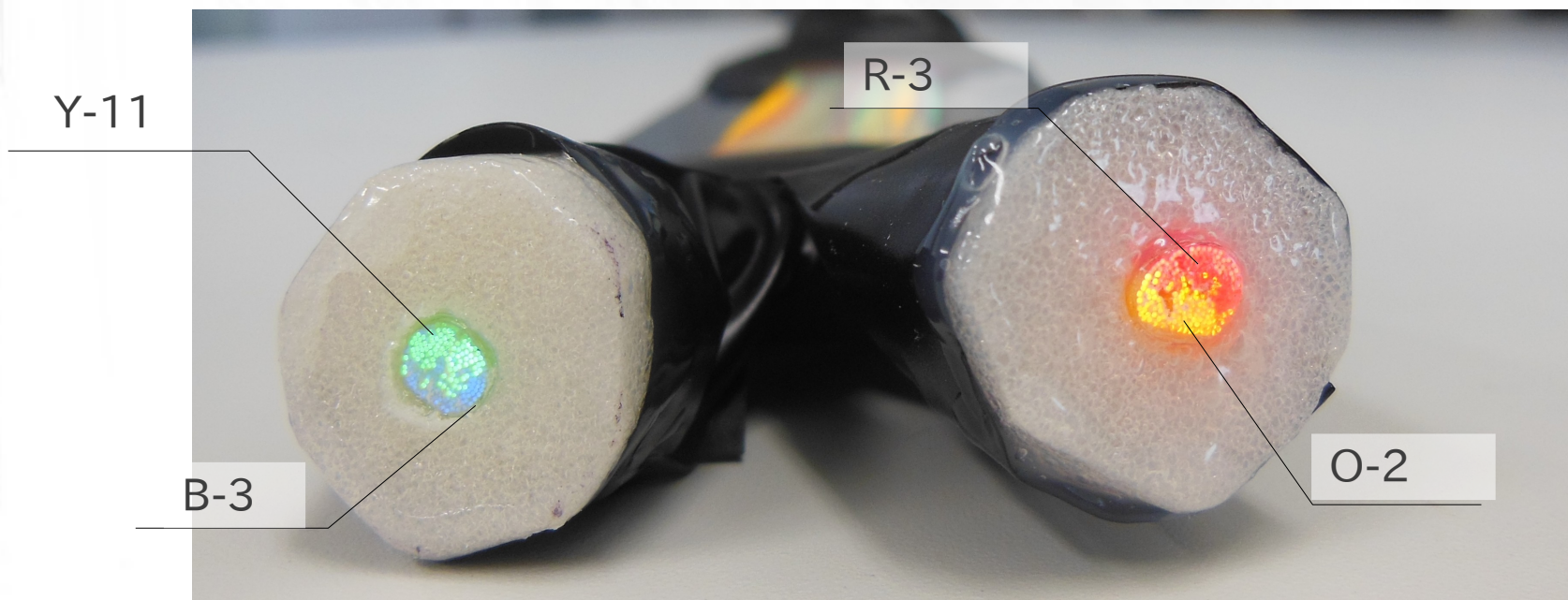


## 実験2: 波長変換ファイバーでの読出し確認



波長変換ファイバー

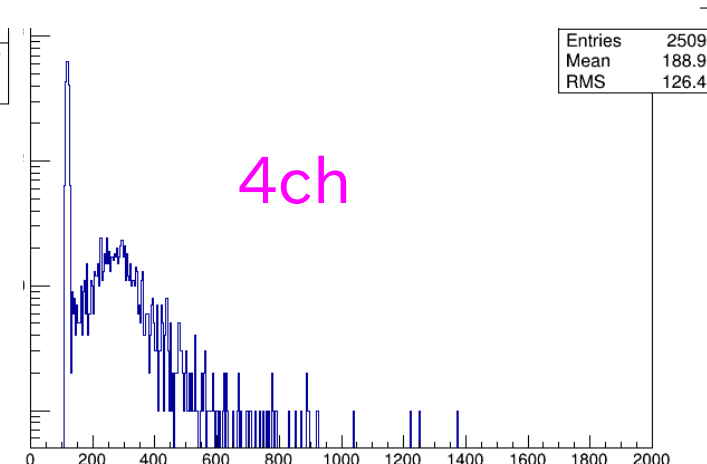
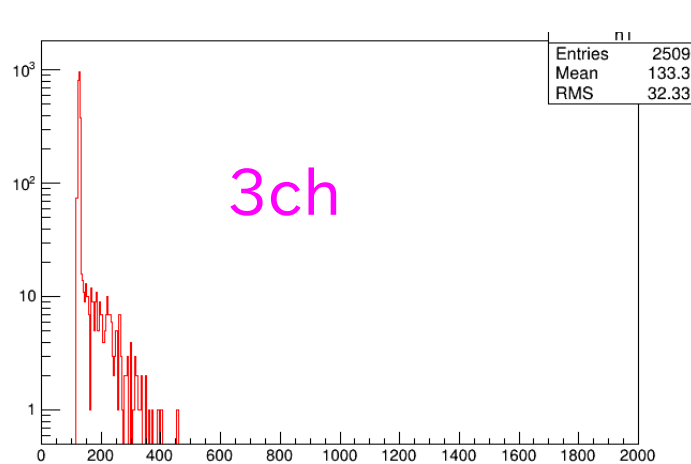
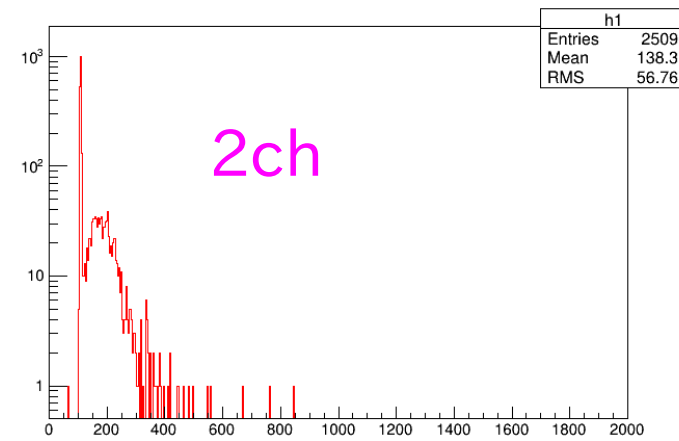
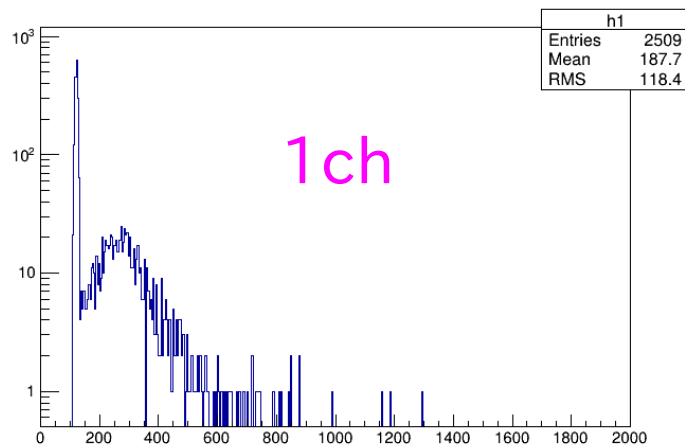
	absorption	emission
B-3	300-350	400-450
Y-11	400-450	470-500
O-2	470-500	550-600
R-3	550-600	600-650



# ビームテスト実験

## 解析結果

	Entries	Non Pedestal	Efficiency	error	p.e.
1ch	2509	915	36.5%	$\pm 1.0$	0.45
2ch	2509	785	31.3%	$\pm 0.9$	0.38
3ch	2509	269	10.7%	$\pm 0.6$	0.11
4ch	2509	913	36.4%	$\pm 1.0$	0.45
1or2or3or4	2509	1688	67.3%	$\pm 0.9$	1.12



# まとめ

- $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 識別能力は1000倍。
  - 340Bq以上・・・ 1分
  - 120Bq以上・・・10分
  - 75Bq以上・・・60分
- 波長変換ファイバーでチェレンコフ光を読み出せた。  
1.12p.e.を確認

# 今後の課題

- 大面積の検出器を製作
- WLSファイバーを用いた $^{90}\text{Sr}$ の感度と識別能力の検証

Back Up



# 大型放射光施設SPring-8





# バックグラウンドドミナントによる計算

CsがBGLレベルであるThreshold

Sr Count Rate = 5Hz

BG Rate = 0.01Hz以下

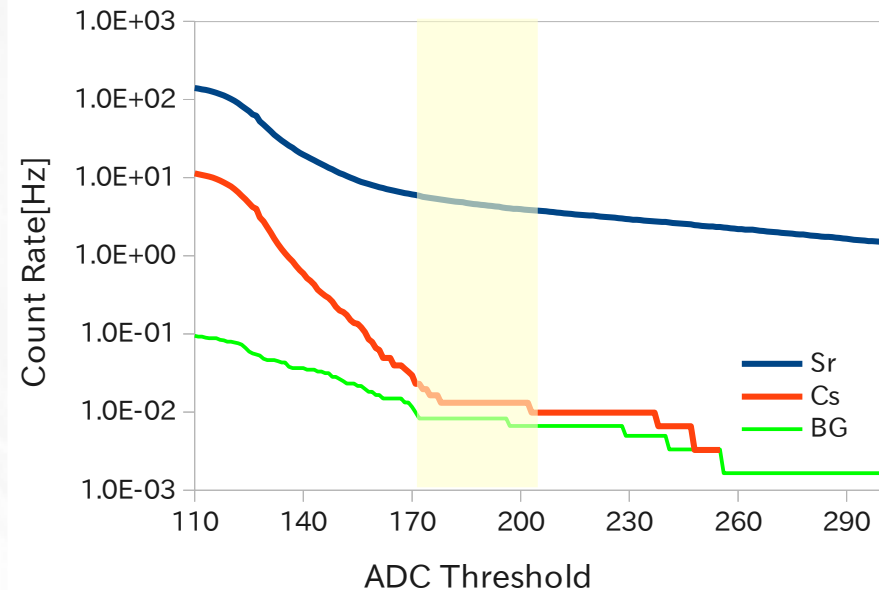
**Sr/Cs = 1000**

有意義な線量測定にかかる  
時間の推定

330 Bq以上… 1分

120 Bq以上…10分

75 Bq以上 …60分



BG…0.01Hz → 0.6cpm  
Sr … 5Hz → 300cpm

BG:3σ以上は4count

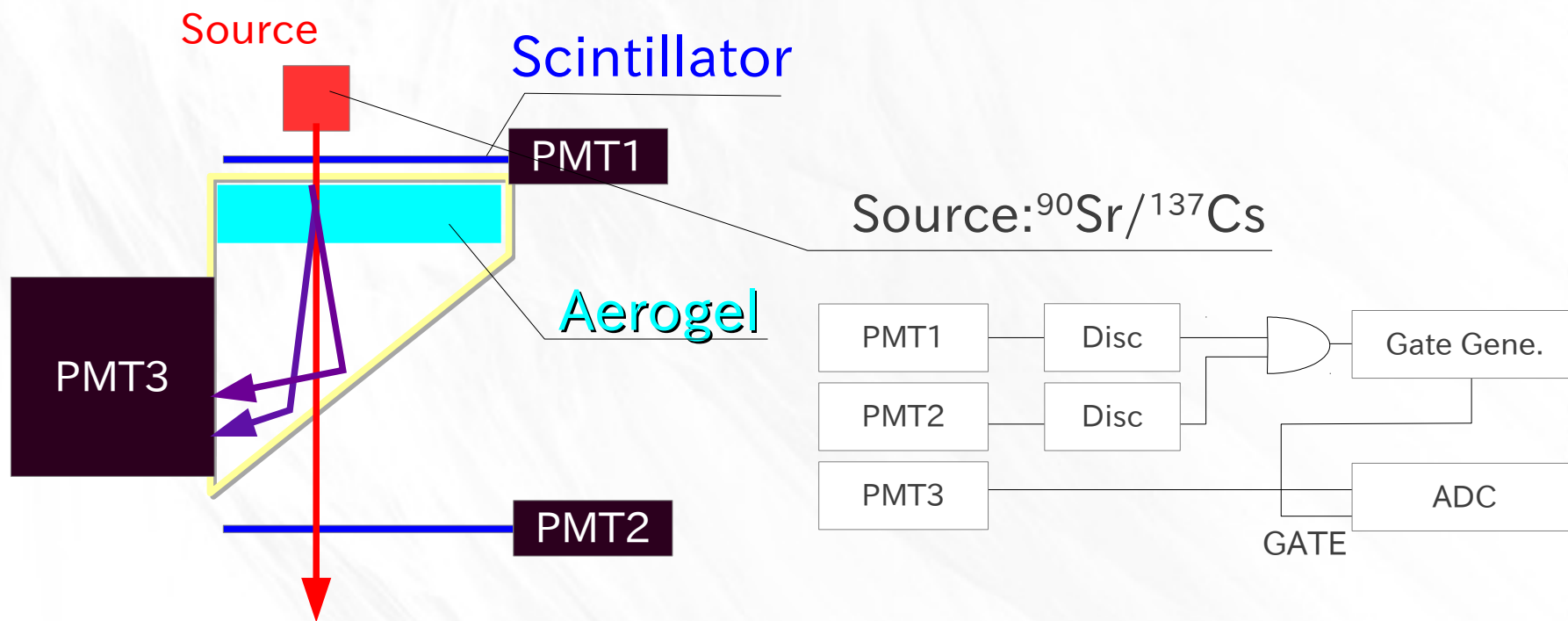
$25\text{kBq} \times 4/300 = 333 \text{ Bq}$

BG…0.01Hz → 36cph  
Sr … 5Hz → 18000cph

BG:3σ以上は36+18=54

$25\text{kBq} \times 54/18000 = 74.8 \text{ Bq}$

# 実験1:エアロゲルの $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ 識別能力の検証



**Sr/Csカウントレート 1200倍**

ADCによる解析結果

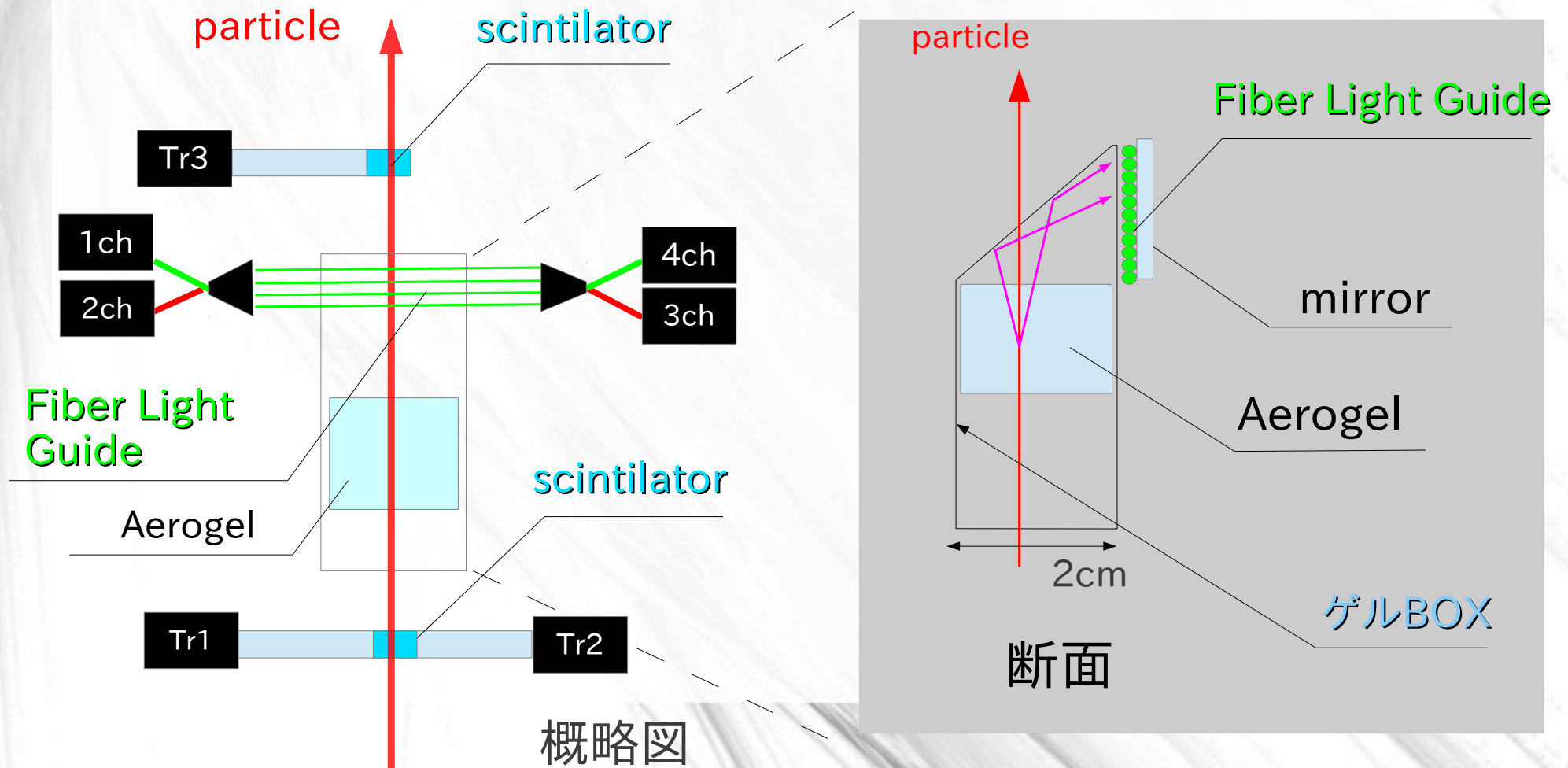
Source	1&2	1&2&3	time[sec]	rate[Hz]	cph
Sr(37kBq)	817	307	298	1.03	3709
Cs(37kBq)	15	3	3438	0.00087	3
BG	1	0	3626	0	

# ビームテスト実験

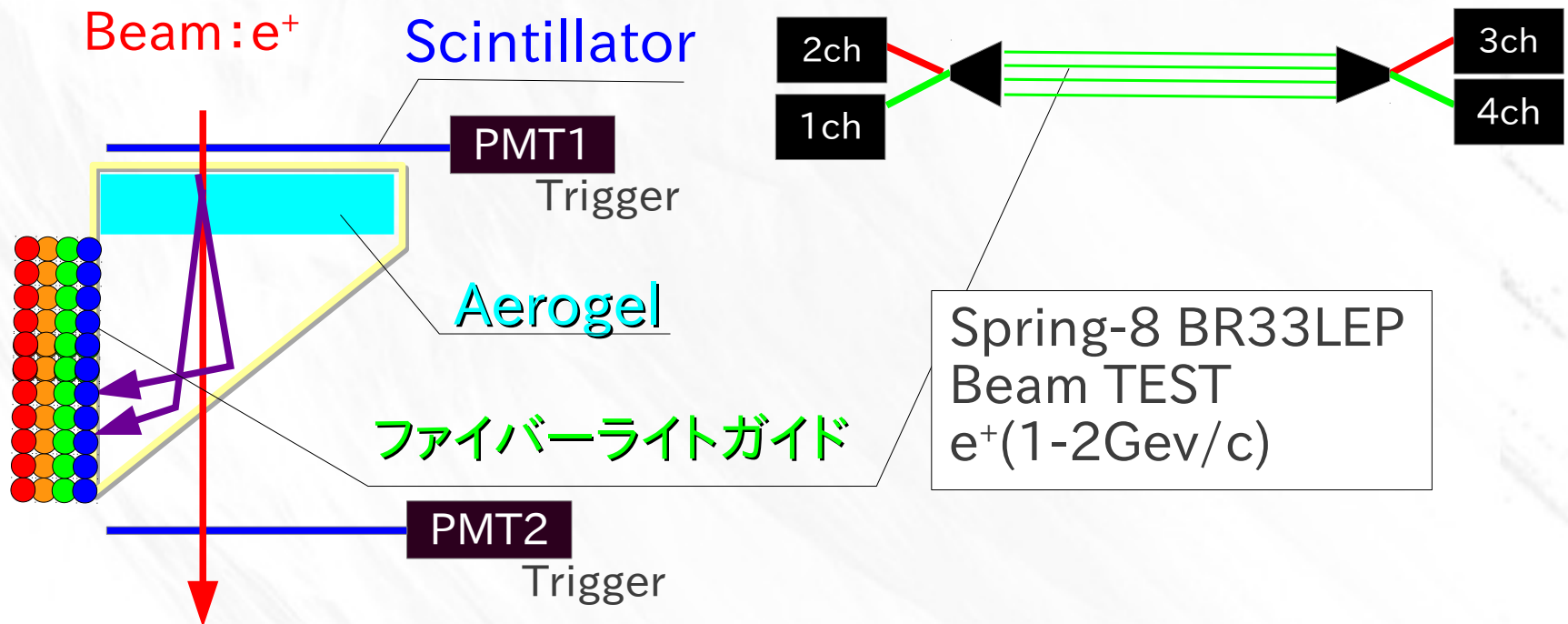
## M-ACC Efficiency評価測定

### 目的

- ファイバーでチェレンコフ光が読めるのか
- M-ACCの見積り



## 実験2: 波長変換ファイバーでの読出し確認

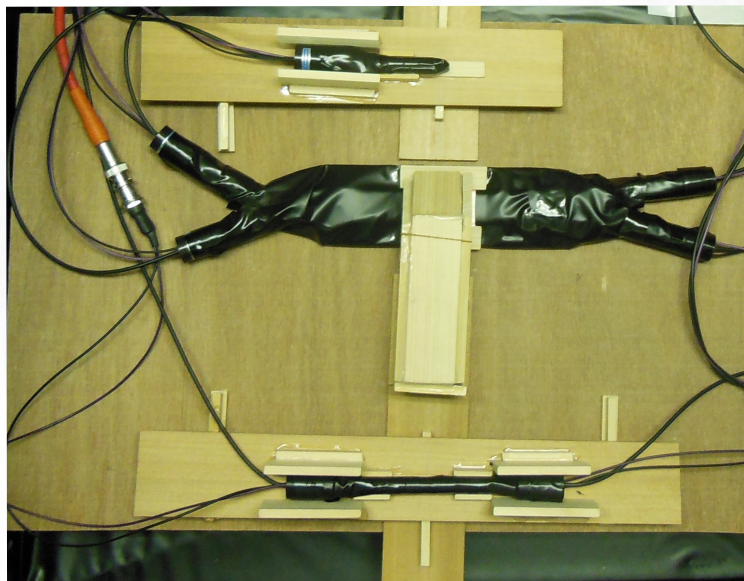


	Entries	Non Pedestal	Efficiency	error	p.e.
1ch	2509	915	36.5%	$\pm 1.0$	0.45
2ch	2509	785	31.3%	$\pm 0.9$	0.38
3ch	2509	269	10.7%	$\pm 0.6$	0.11
4ch	2509	913	36.4%	$\pm 1.0$	0.45
1or2or3or4	2509	1688	67.3%	$\pm 0.9$	1.12

1 p.e.以上読めた

# ビームテスト実験

## M-ACC Efficiency評価測定



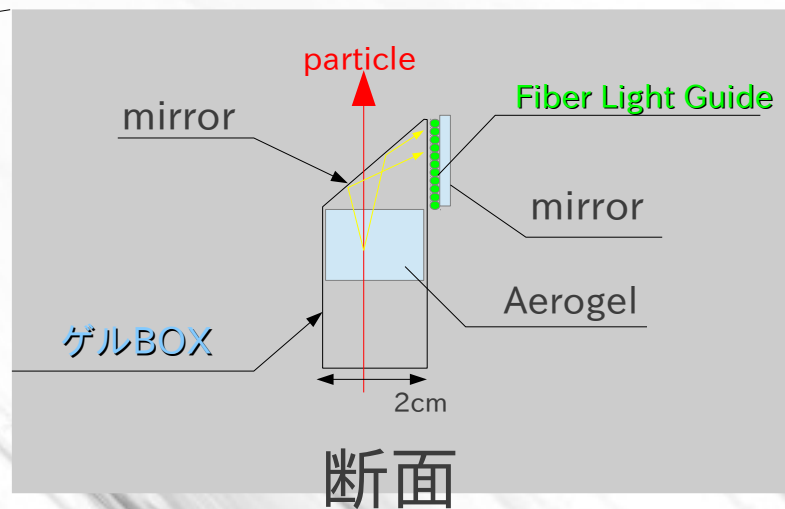
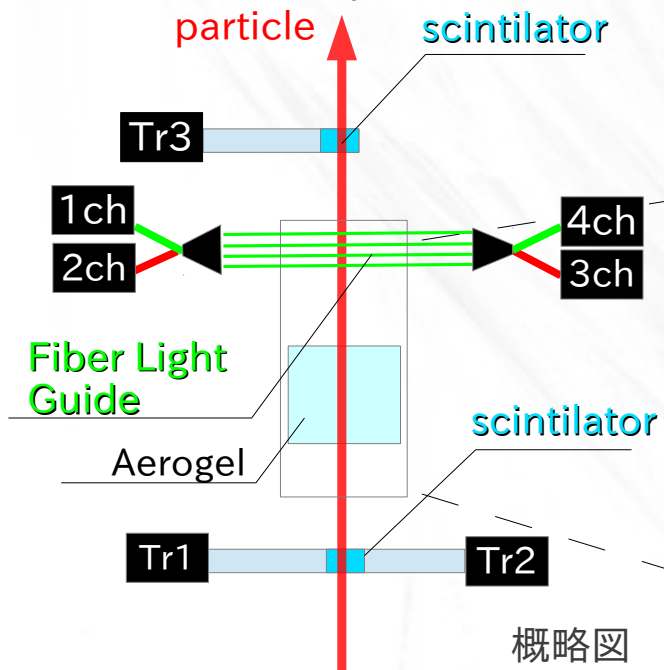
setup写真

### 目的

- ファイバーでチェレンコフ光が読めるか
- M-ACCの見積り

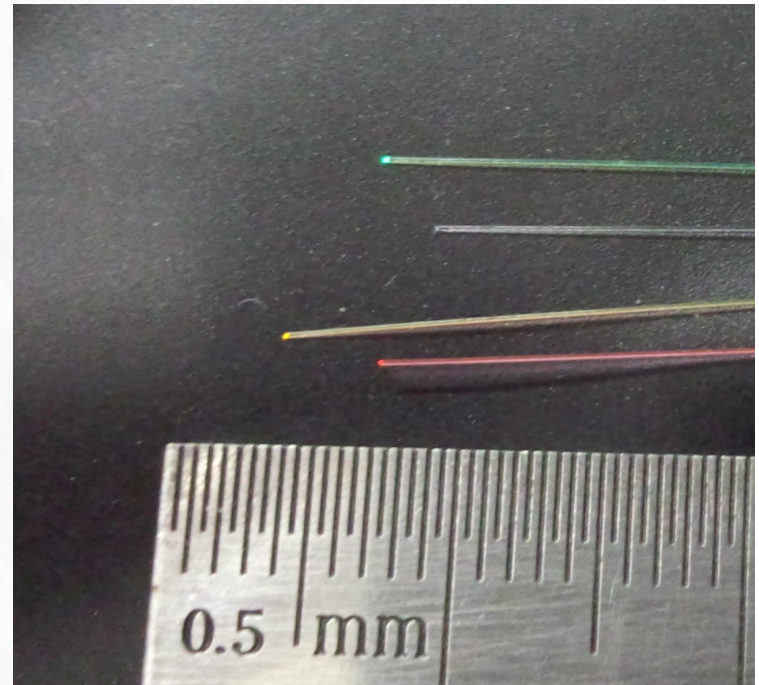
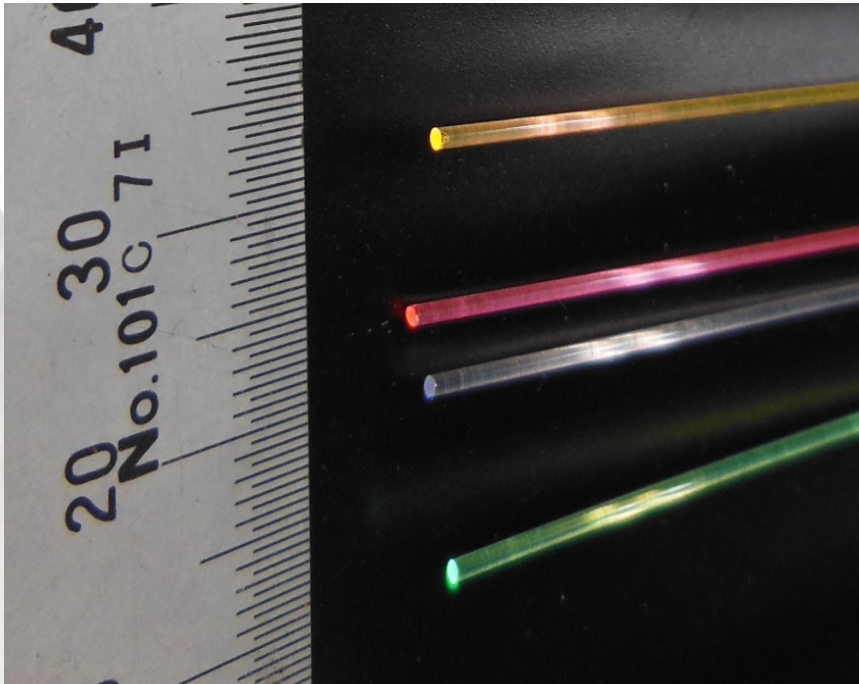
### 測定

- Spring8 BL33LEP
- Beam :  $e^+$ (1.0-2.0GeV/c)
- Index : 1.05
- Fiber area :  $2 \times 4 \text{ cm}^2$





# 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

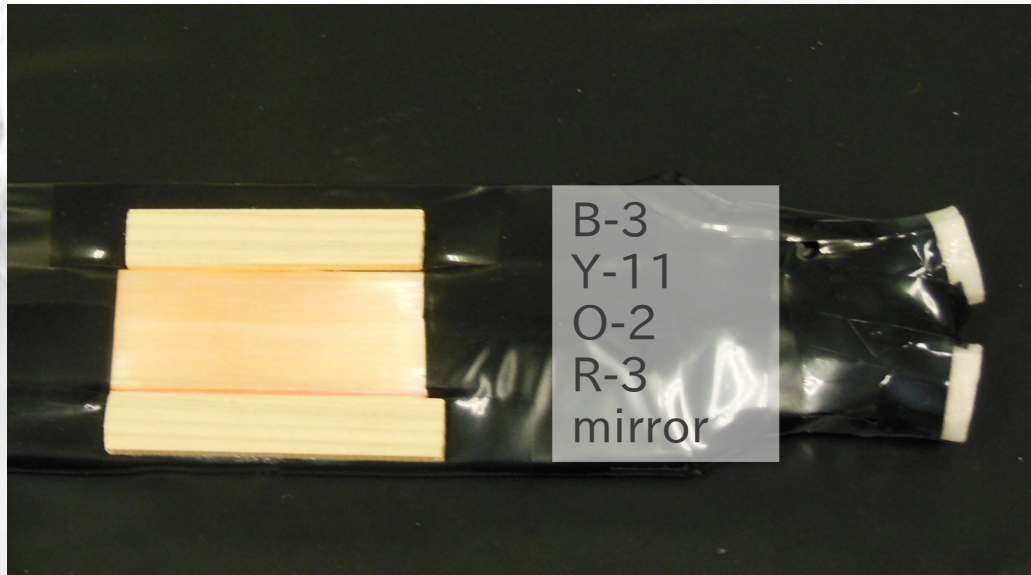
O-2(100)MS  
R-3(100)MS  
B-3(200)MS  
Y-11(200)MJ

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

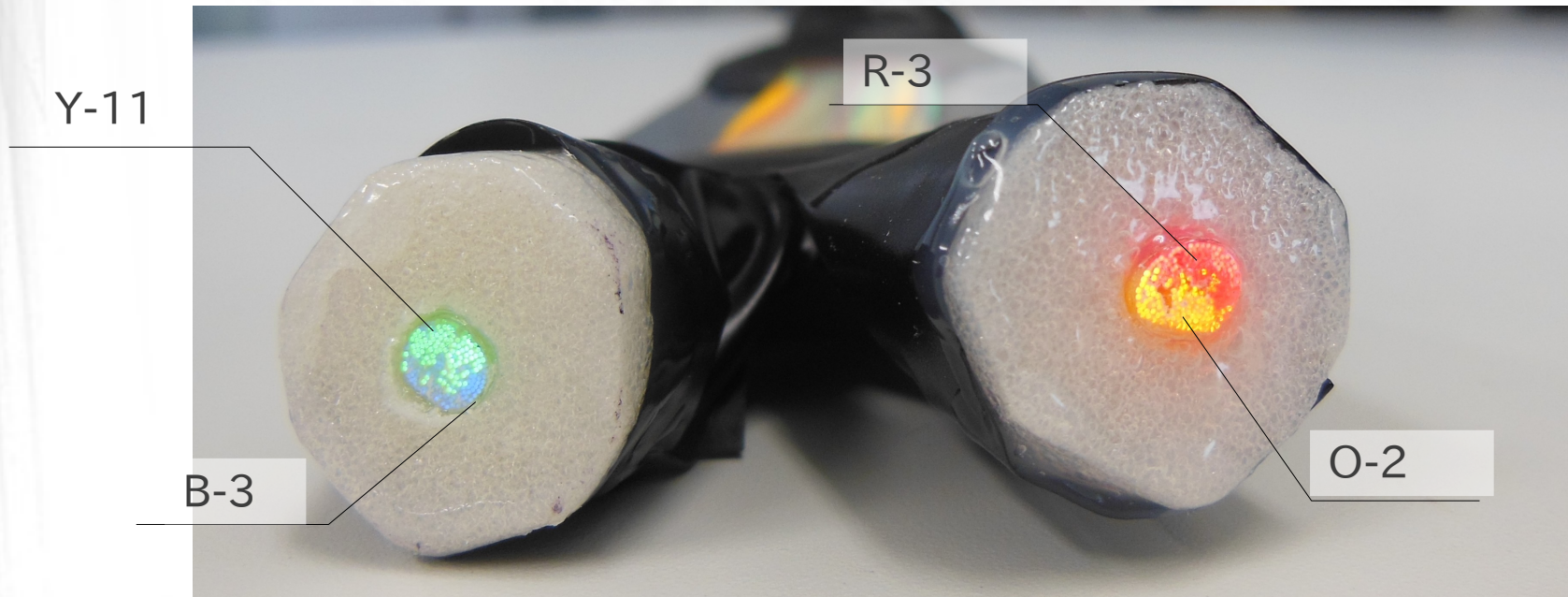
※以降ファイバーの各色をB, Y, O, Rと型番の頭文字で表記する。

# ファイバーライトガイド



WLSファイバー

	absorption	emission
B-3	300-350	400-450
Y-11	400-450	470-500
O-2	470-500	550-600
R-3	550-600	600-650



# 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

