

O-052



Japan Society of Medical Physics

第112回日本医学物理学会学術大会

日程：2016年9月8日(木)～10日(土)

会場：沖縄コンベンションセンター



CHIBA  
UNIVERSITY

# リアルタイムストロンチウム90カウンターの 低雑音化研究

伊藤博士、兼子菜穂見、河合秀幸、児玉諭士、小林篤史、水野貴裕、田端誠  
千葉大学理学研究科

# 内容

---

## 1. 背景・目的

福島農林水産の現状、  
放射能モニタリング、  
リアルタイムストロンチウム90カウンター

## 2. 方法

宇宙線除去装置(veto)の設計のための測定

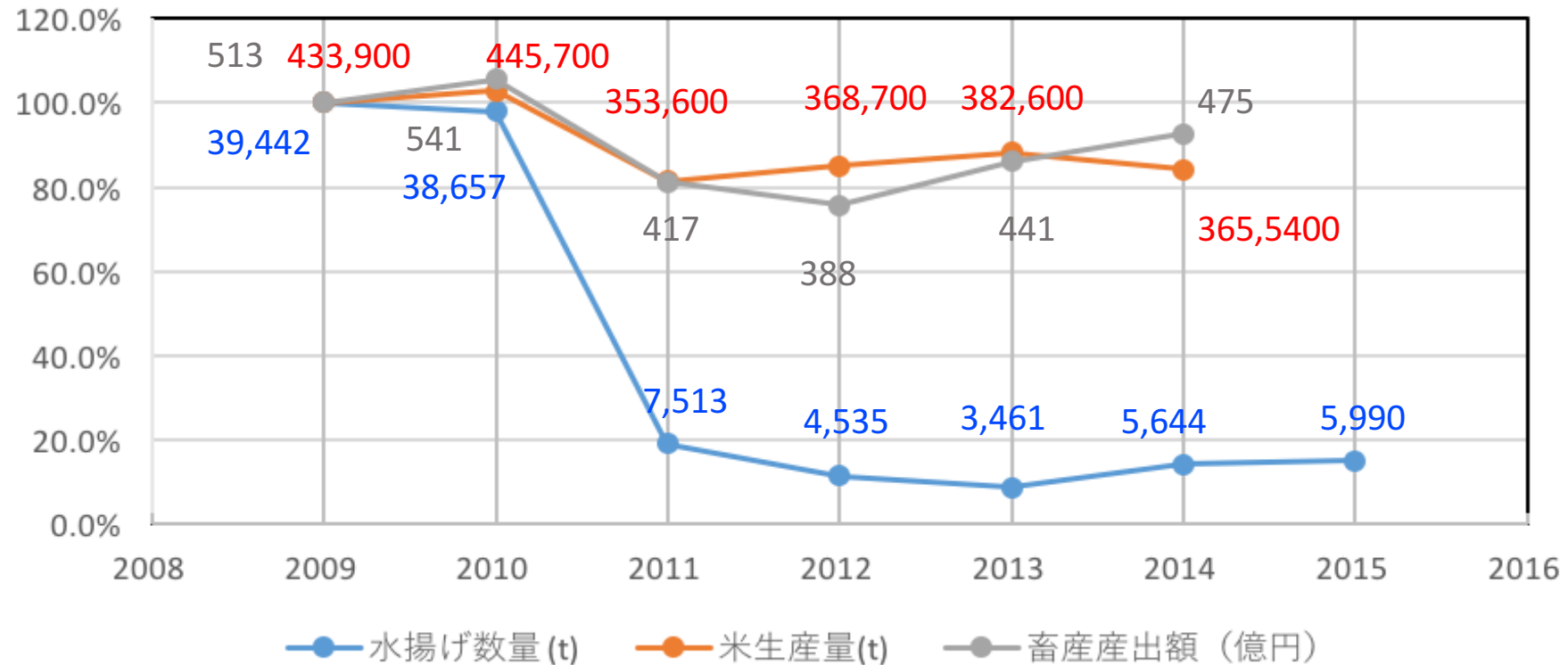
## 3. 結果・考察

結果と仕様決定

## 4. 結論

# 背景・目的

## 福島県の農林水産の現状



参考：福島県農林水産課統計データ/Agriculture, Forestry and Fisheries Department of Fukushima Prefecture, reports and statistical data.

# 背景・目的

## 環境中サンプル放射能モニタリング

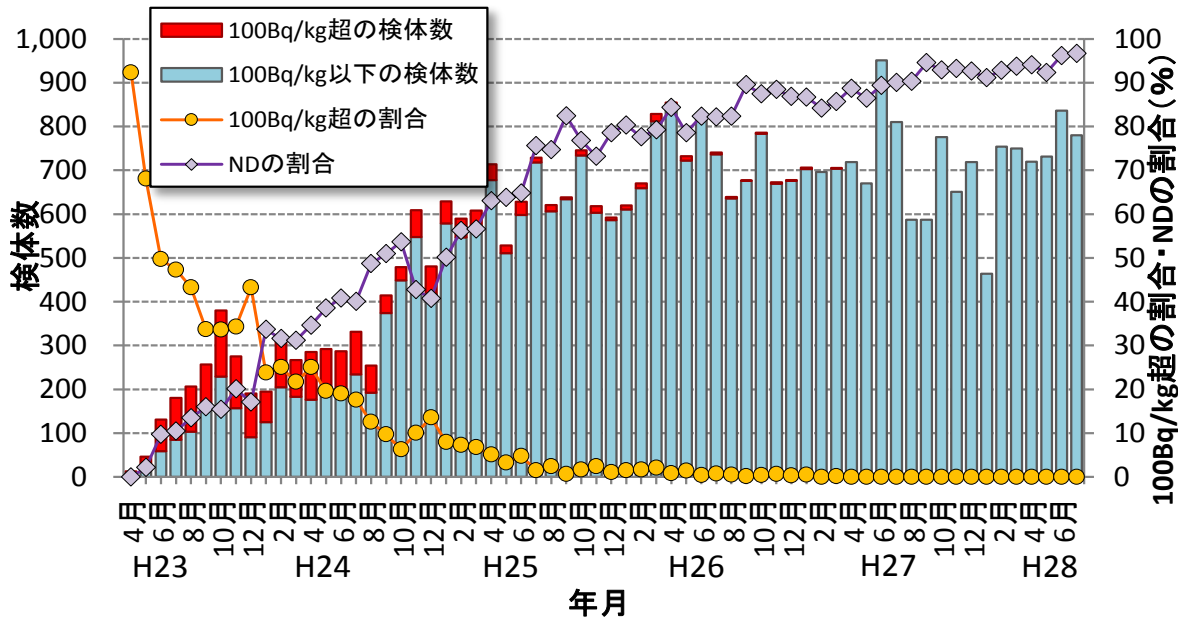


図 検体数と放射性Csが100Bq/kgを超えた割合・NDの割合

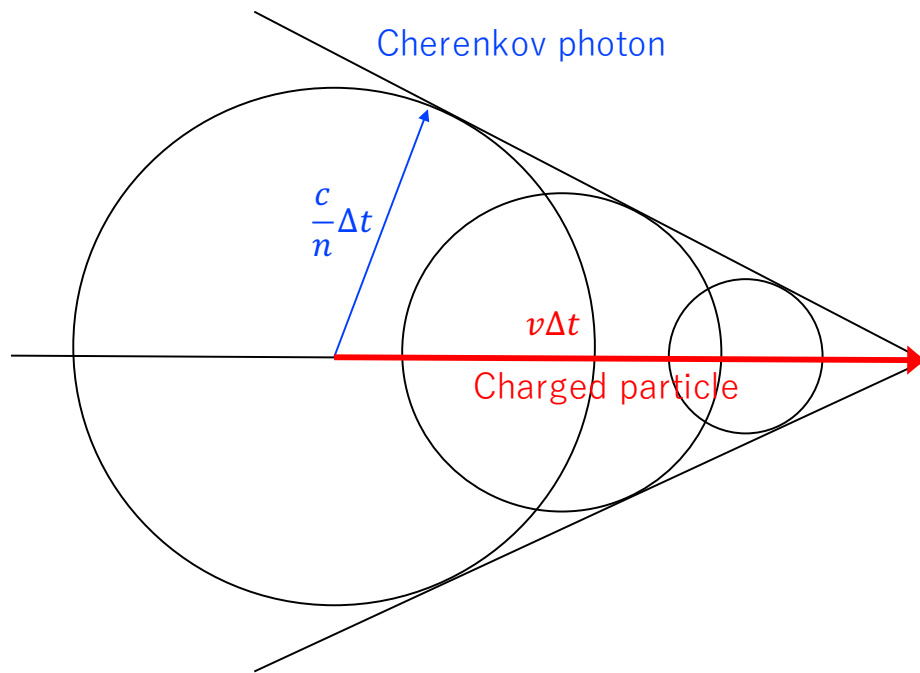
参考: <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/gyokai-monitoring.html>.

	Ash Weight	Original Weight	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
	(g)	(g)	(Bq/kg)	(Bq/kg)
Codfish A	3.72	300	24	*
Codfish B	8.44	500	63	*
Fat greenling	13.65	500	10	*
Flatfish* <sup>1</sup>	19.35	500	17	(0.46) <sup>6)</sup>
Marbled flounder* <sup>1</sup>	22.22	500	19	0.18
Pond smelt A* <sup>1</sup>	17.28	800	19	0.073
Pond smelt B* <sup>1</sup>	17.12	800	22	0.11
Pond smelt C* <sup>1</sup>	11.25	500	17	0.15
Loach* <sup>1</sup>	27.14	1000	4.0	0.10

H. Nabeshi et al., Food Hygiene and Safety Science, 56 (4) (2015) 133.

# 背景・目的

## チェレンコフ検出を応用したReal-time <sup>90</sup>Sr Counter

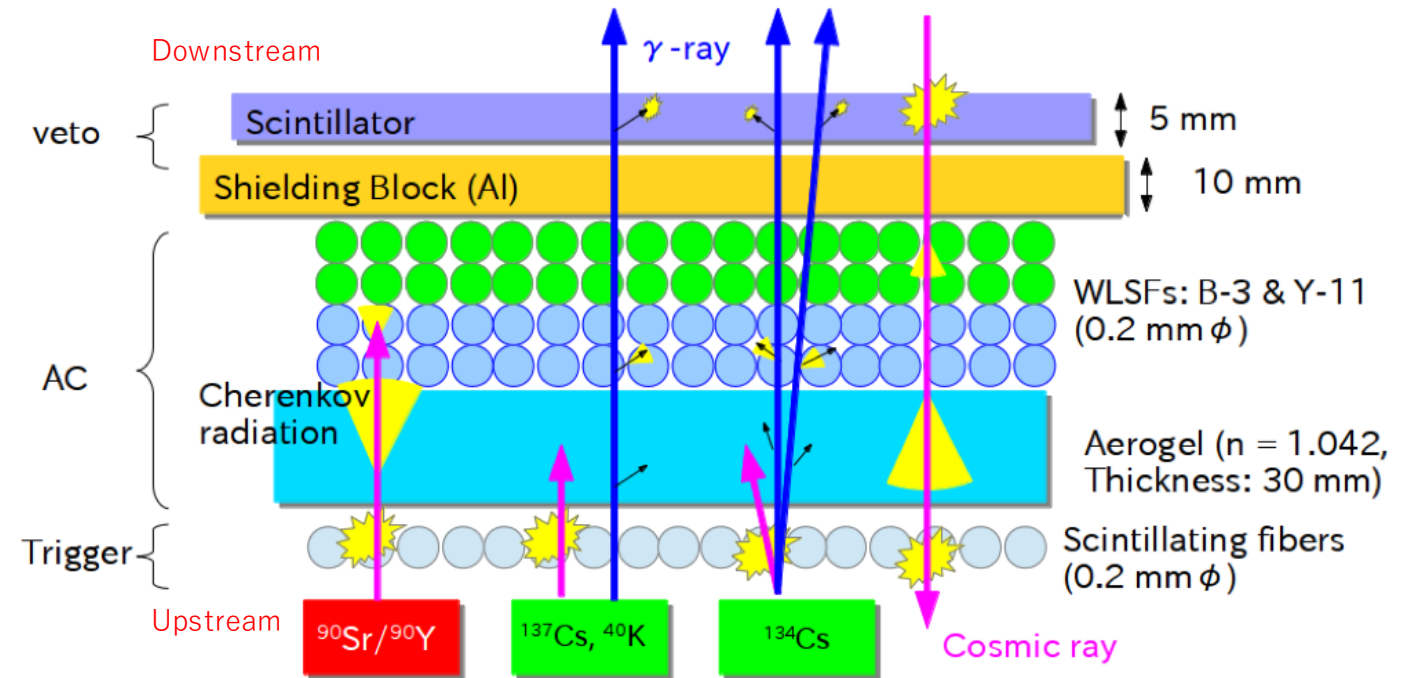
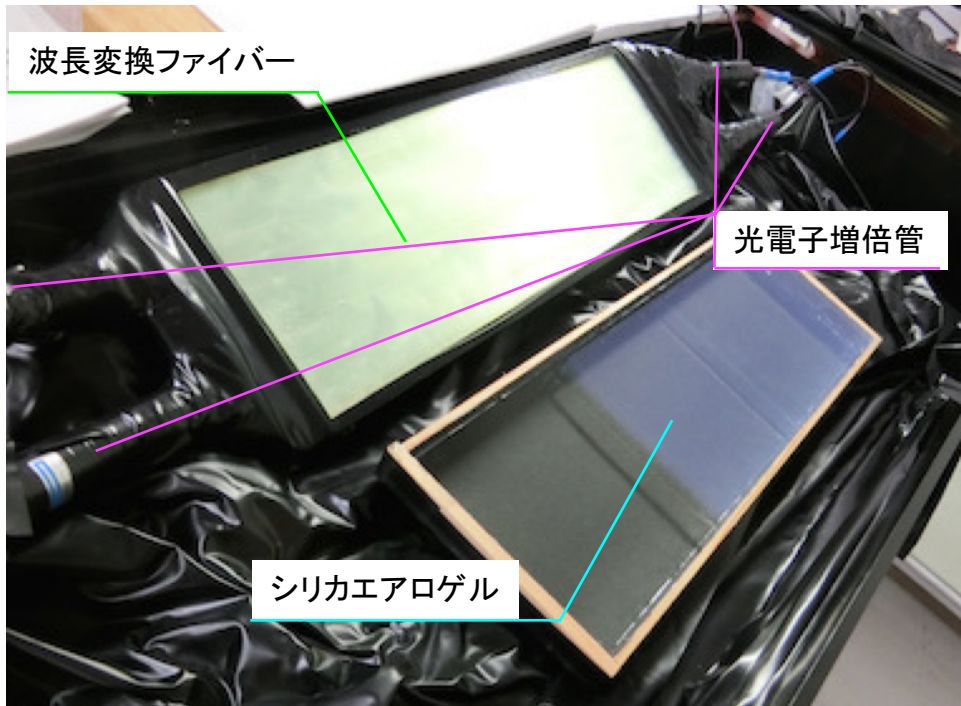


$\beta$ 線(1.31 MeV)をチェレンコフ放射のしきい値のために必要な屈折率は1.042

核種	崩壊チャンネル 半減期	主な $\beta$ 線 (MeV)	主な $\gamma$ 線 (MeV)
<sup>90</sup> Sr	<sup>90</sup> Sr $\rightarrow$ <sup>90</sup> Y $\rightarrow$ <sup>90</sup> Zr 29y    64h	0.54 (100%) <b>2.28</b> (100%)	
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs $\rightarrow$ <sup>137</sup> Ba 30.2y	0.514 (94.4%) 1.176 (5.6%)	0.662 (85.1%) 0.032 (5.8%)
<sup>134</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs $\rightarrow$ <sup>134</sup> Ba 2.06y	0.089 (27.3%) 0.415 (2.5%) 0.658 (70.2%)	0.605 (97.6%) 0.796 (85.5%) 1.365 (3.0%)
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K $\rightarrow$ <sup>40</sup> Ar, <sup>40</sup> K $\rightarrow$ <sup>40</sup> Ca 1.251 $\times 10^9$ y	<b>1.31</b> (89.1%)	1.461 (10.7%)

# 背景・目的

## チェレンコフ検出を応用したReal-time $^{90}\text{Sr}$ Counter



## 背景・目的

## 性能仕様とアップグレード

## 主な仕様

- $^{90}\text{Sr}$ ( $^{90}\text{Y}$ )に高い感度を持ち、他核種には低感度
- 化学的前処理不要
- 試料は薄く(1 mm)伸ばして、水分を飛ばす
- 1時間測定で検出限界は

$$A_{\text{Sr}}^{\text{min}} = \frac{3 \sqrt{N_{\text{BG}} + (\eta_{\text{Cs}} A'_{\text{Cs}} + \eta_{\text{K}} A'_{\text{K}}) m \varepsilon^{-1} T}}{\eta_{\text{Sr}} m \varepsilon^{-1} T}$$

で表せられる(線源試験結果より)。

- 現在の性能限界は 38 Bq/kg (海産物)、1.2 Bq/kg (海水)
- 用途: 海産物・土壌・排水の汚染濃度監視モニタ

Table I. The absolute efficiencies

parameter	value/ $\text{Bq}^{-1} \text{s}^{-1}$
$\eta_{\text{Sr}}$	$(2.24 \pm 0.01 \text{ (stat)} \pm 0.44 \text{ (sys)}) \times 10^{-3}$
$\eta_{\text{Cs}}$	$(1.27 \pm 0.08 \text{ (stat)} \pm 0.25 \text{ (sys)}) \times 10^{-6}$
$\eta_{\text{K}}$	$(5.05 \pm 2.40 \text{ (stat)} \pm 0.15 \text{ (sys)}) \times 10^{-5}$

$$N_{\text{BG}} = 190 \pm 5 \text{ cph}$$

veto eff. ~72.7%

If veto eff. improved to 99.9% or more,  $N_{\text{BG}}$  would be suppress to

$$N_{\text{BG}} = 1 \pm 1 \text{ cph.}$$

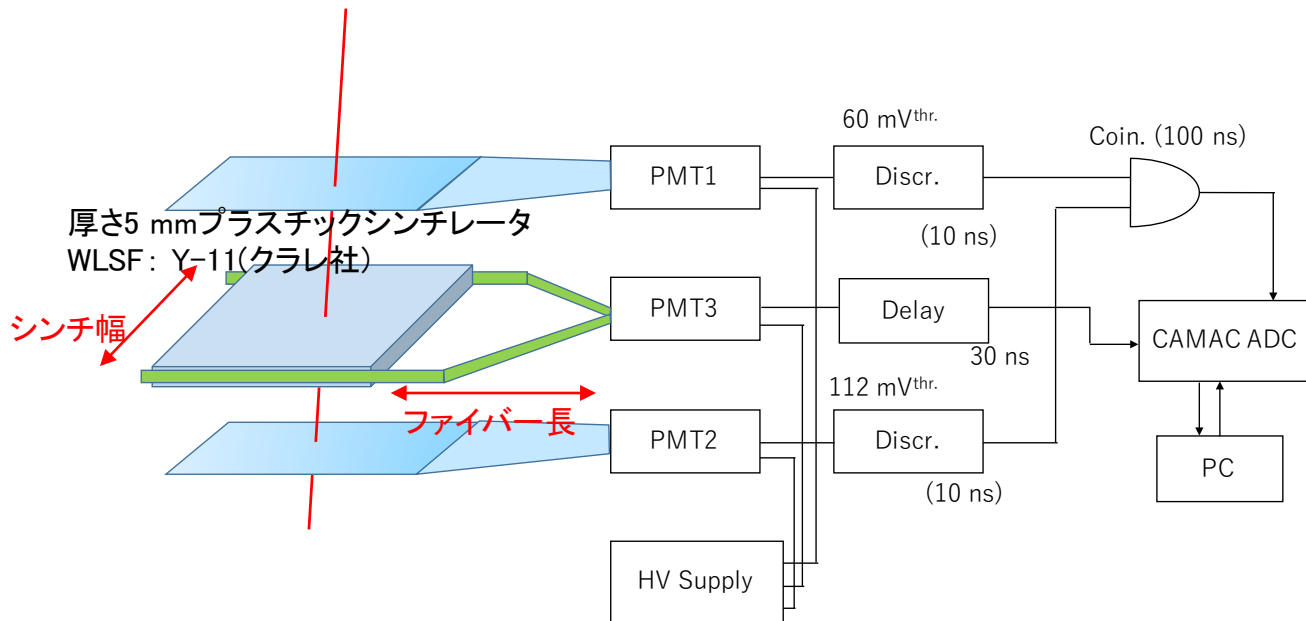
Thus,  $A_{\text{Sr}}^{\text{min}}$  was expected to improved to

1.2 Bq/kg (seafood) and 0.15 Bq/kg (seawater)

# 方法

## 宇宙線除去装置(veto)の設計のための測定

### 宇宙線を用いた測定 セットアップ



仕様設計を決めるために必要なパラメータ

- 波長変換ファイバーの減衰長
- シンチレータ内伝搬による減衰
- 側面研磨あり・なし
- ファイバー反対面の反射材
- ラッピング材質
- ファイバーのクラッド構造
- シンチレータ厚さと光量の関係
- 光学グリスによる効果

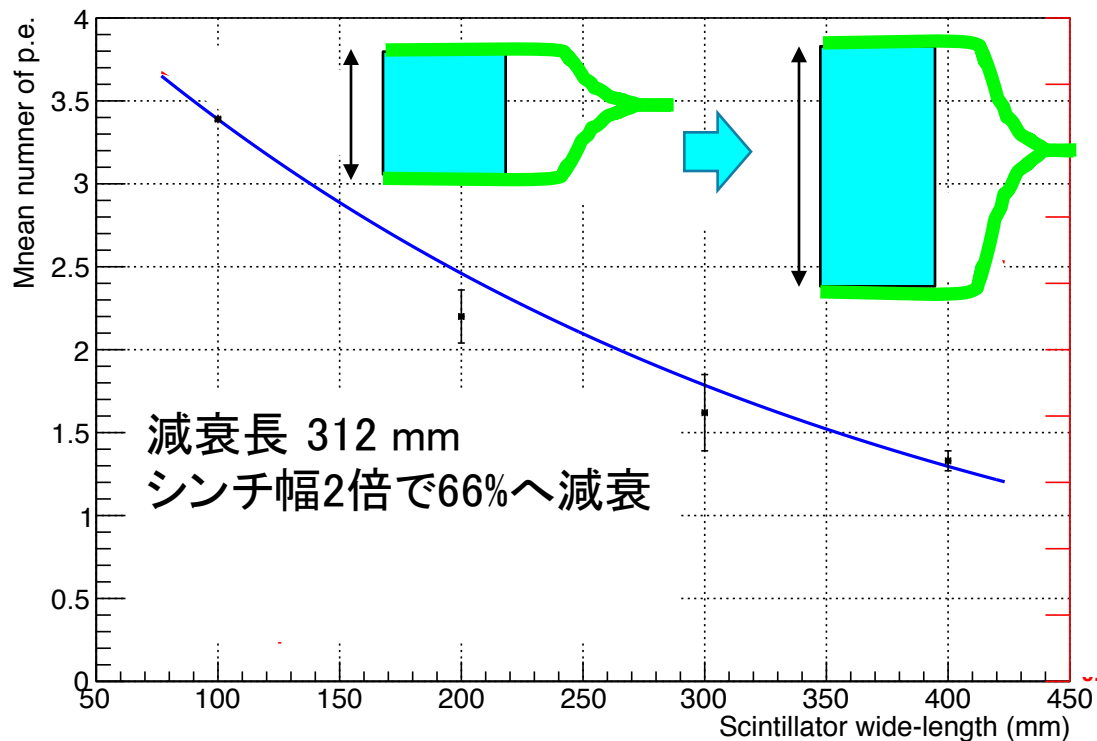
目標検出効率99.9%以上 = 17 p.e. 以上



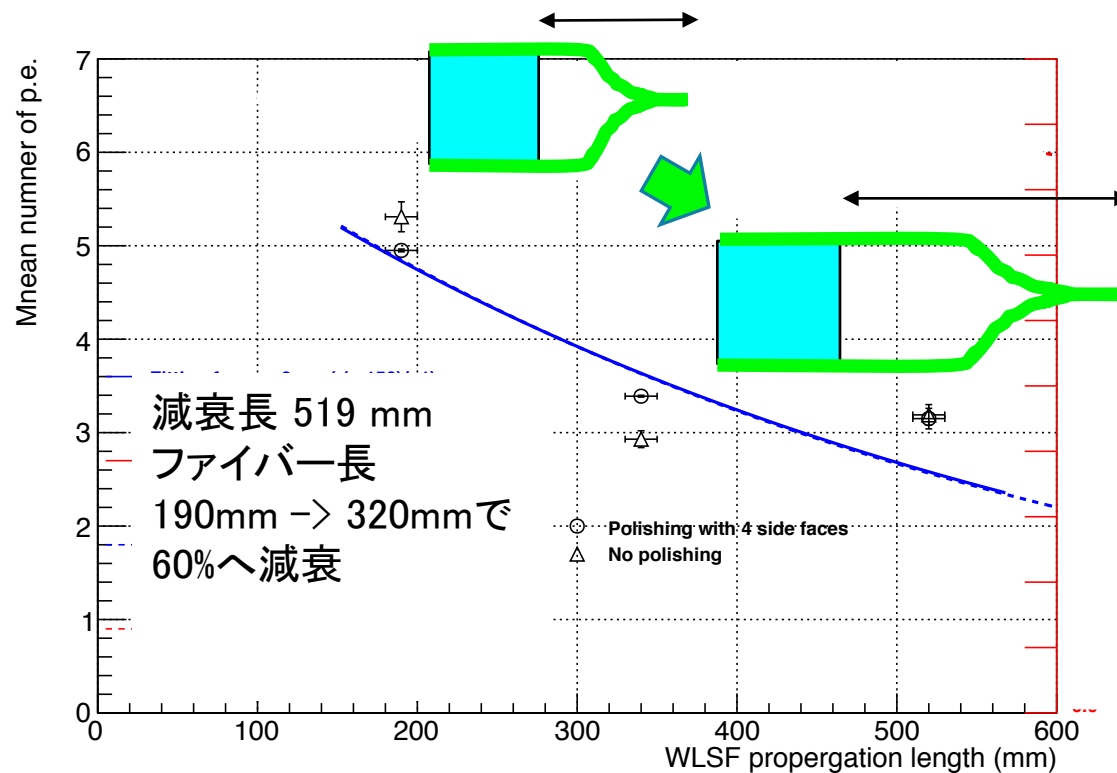
# 方法

## 宇宙線除去装置(veto)の設計のための測定

- シンチレータ内伝搬による減衰



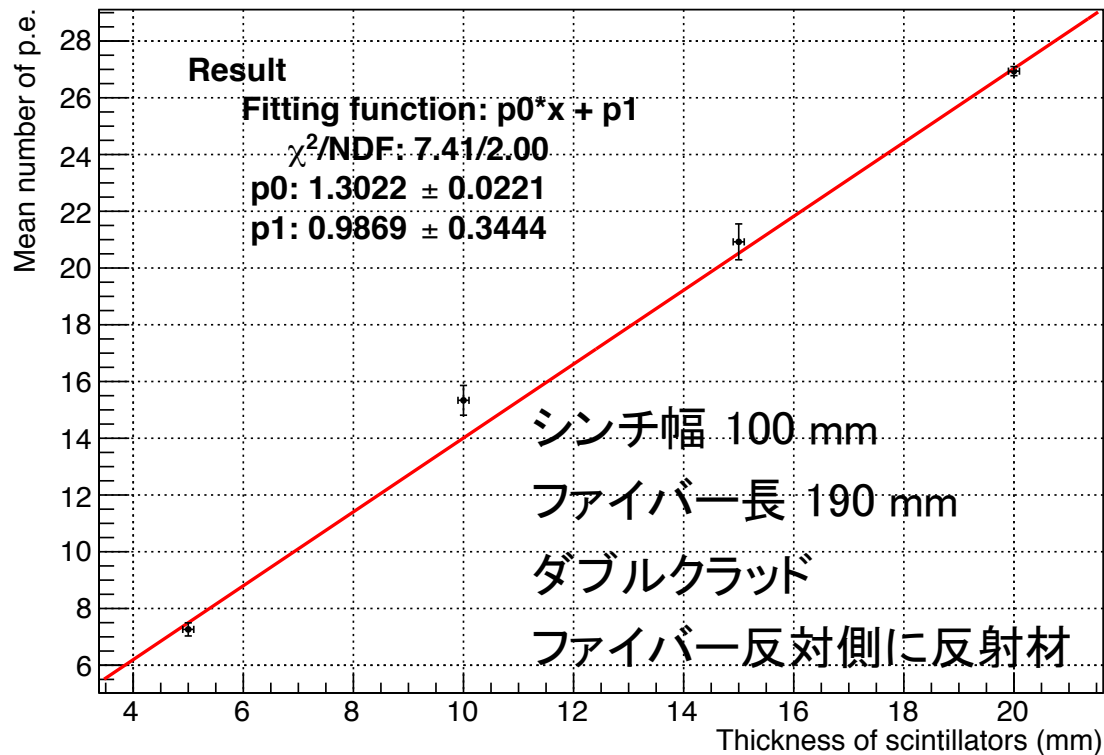
- 波長変換ファイバーの減衰長



# 方法

## 宇宙線除去装置(veto)の設計のための測定

### シンチ厚さによる光量変化



### 光学グリスをシンチ間に塗った場合



塗る前:  $26.7 \pm 0.2$  p.e.  
 塗った後:  $30.1 \pm 0.7$  p.e.  
 (1.12倍UP)

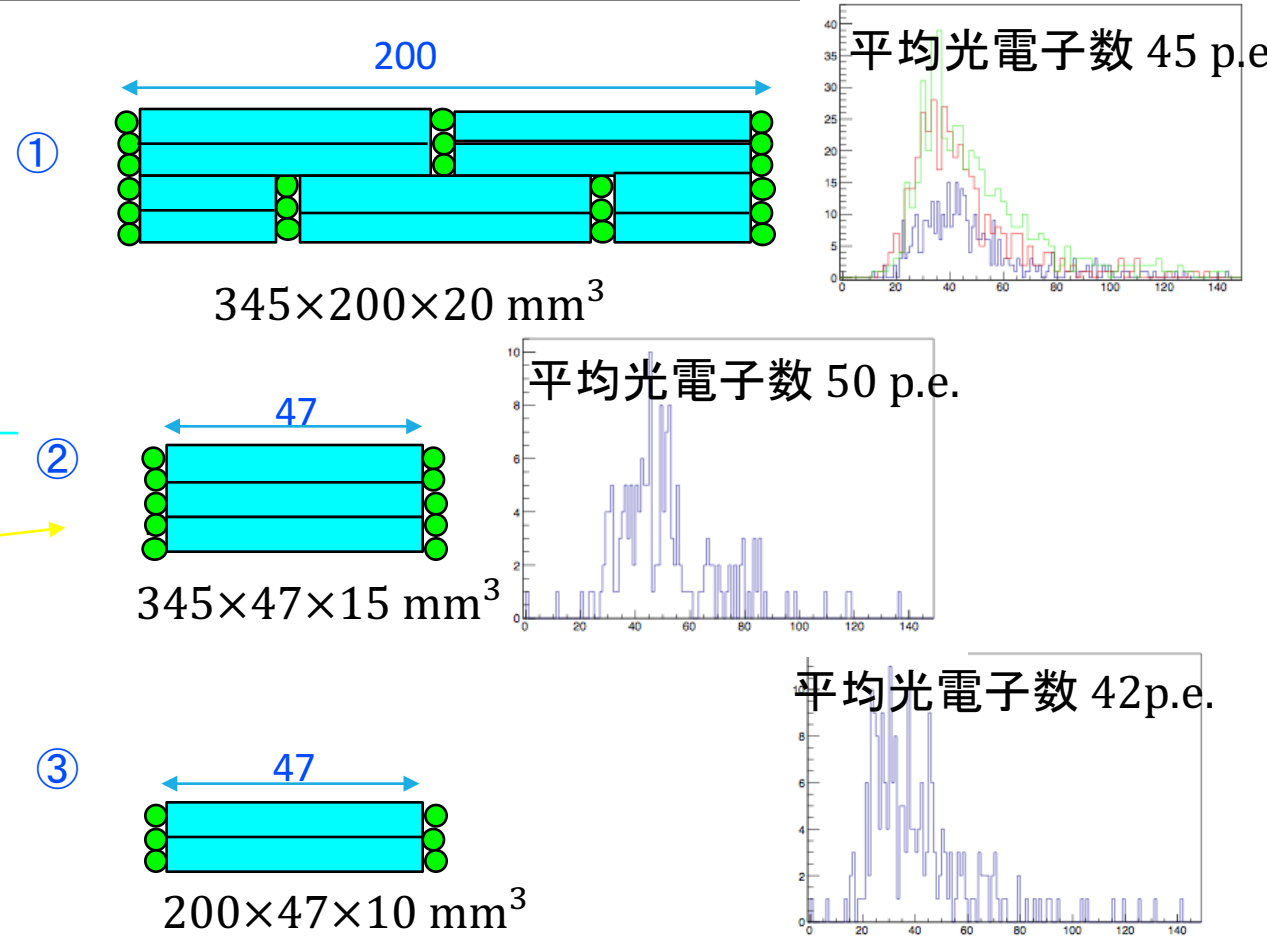
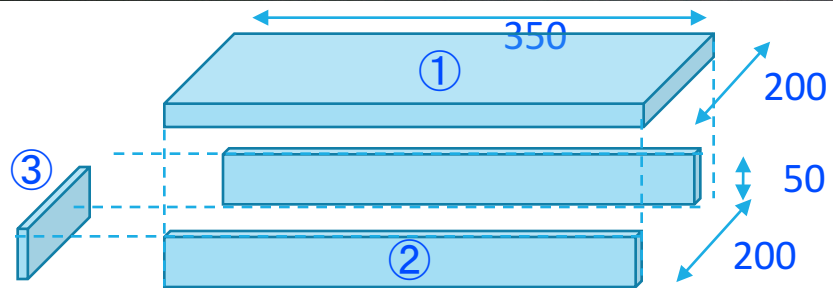
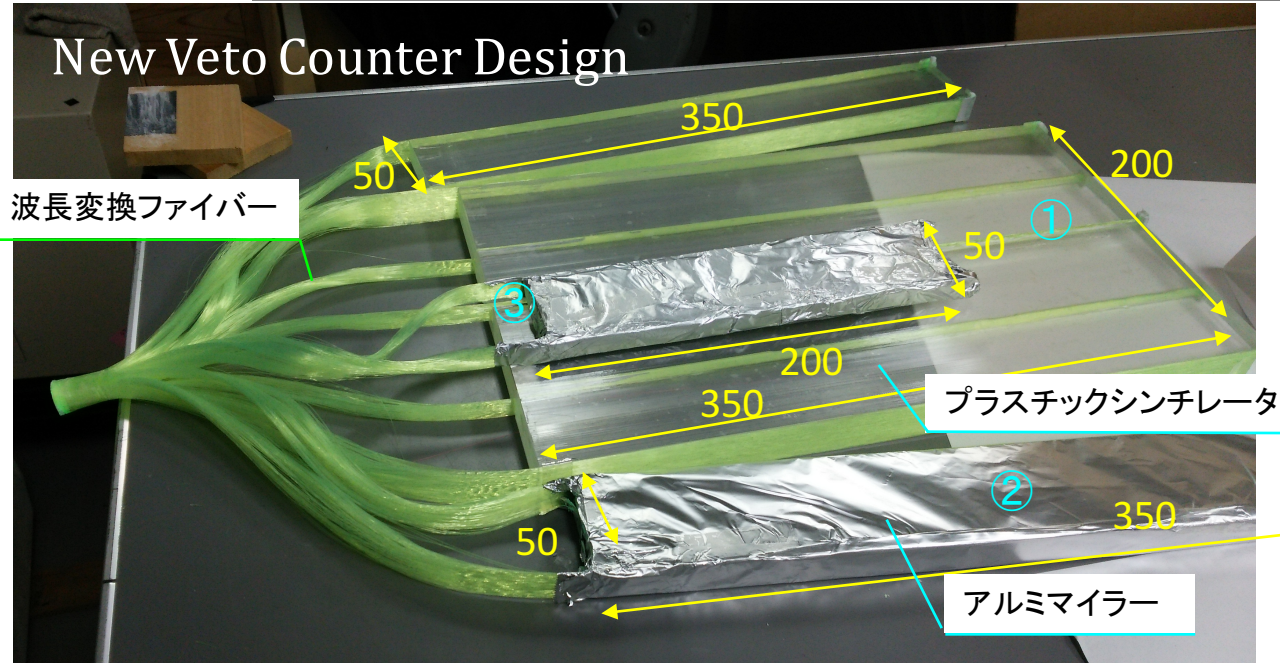
### さらにシンチとWLSF間に塗った場合



塗る前:  $30.1 \pm 0.7$  p.e.  
 塗った後:  $36.7 \pm 0.3$  p.e.  
 (1.22倍UP)

# 結果・考察

## 結果と仕様決定



## 結論

---

- ストロンチウム90カウンター性能向上のための宇宙線除去装置の設計
- アップグレードした宇宙線除去装置(veto)の検出効率は99.9%以上を達成した。
- その結果、検出限界は1時間測定で  
1.2 Bq/kg (fish), 0.15 Bq/kg (water)  
に向上される。

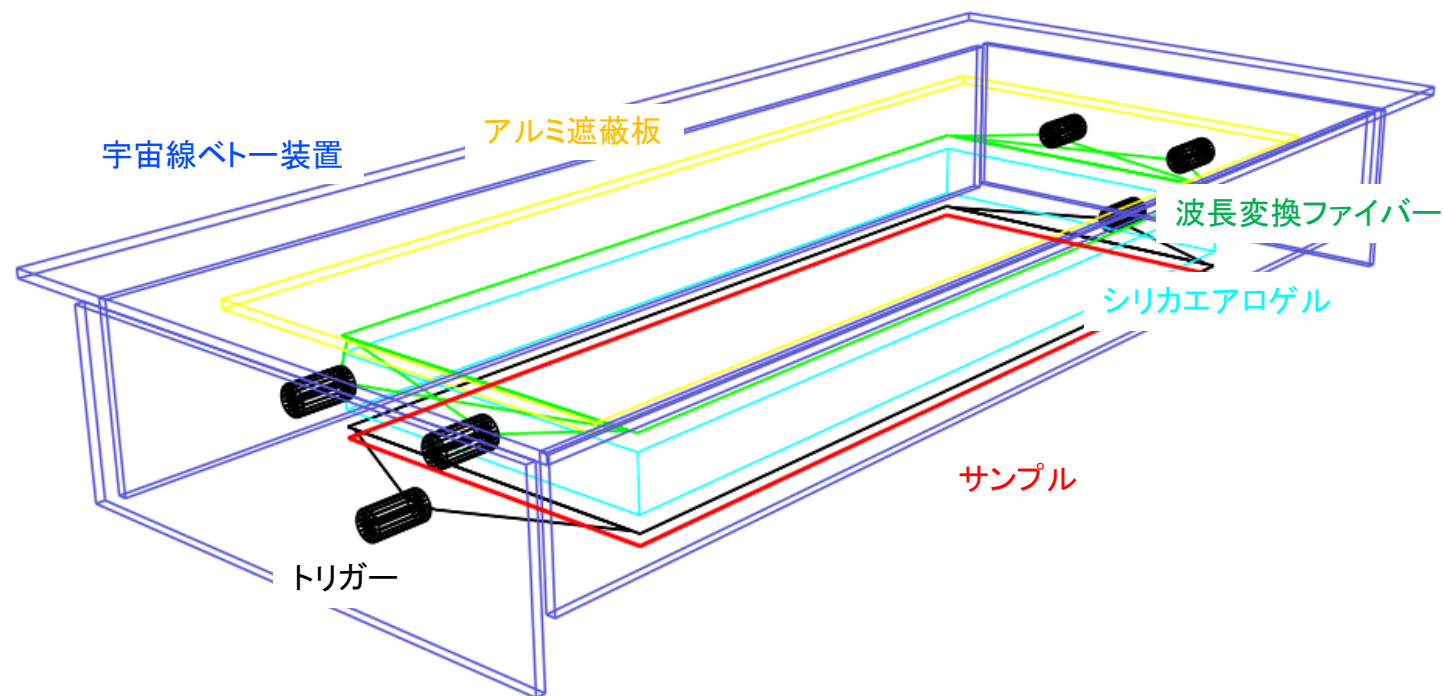
*Thank you for your attention.*

# Back up

---

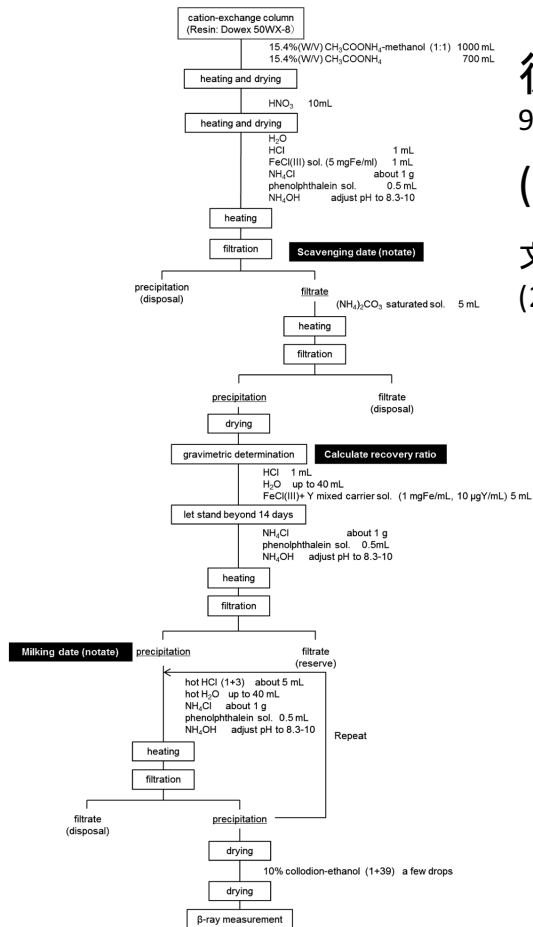
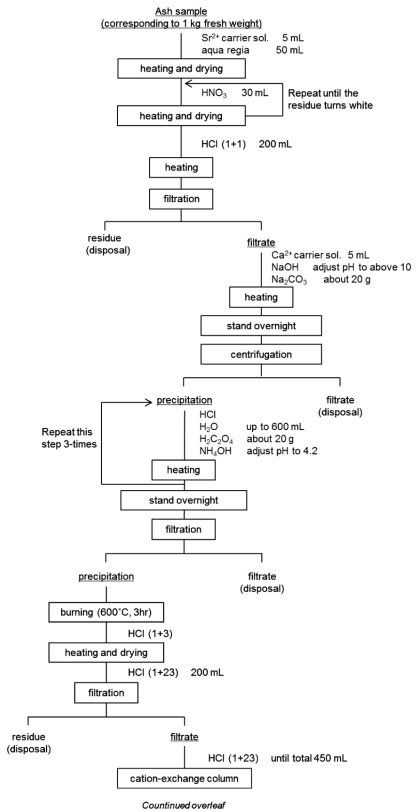
## 背景・目的

# チェレンコフ検出を応用したReal-time $^{90}\text{Sr}$ Counter



# 背景・目的

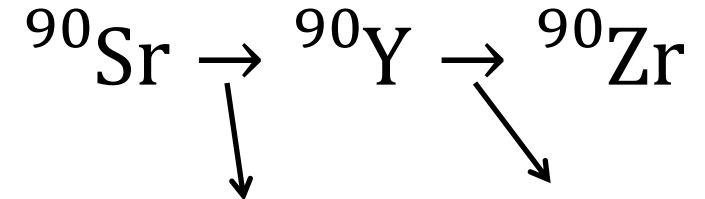
## <sup>90</sup>Sr危険性と放射能測定



従来の化学生成抽出による  
<sup>90</sup>Sr放射能測定法  
(3週間～1か月)

文科省, 放射性ストロンチウム分析法  
(2003) 放射能測定法シリーズ 2

Strontium-90 decay



$\beta$ (max: 0.55 MeV)  
 $T_{1/2} = 29.1 \text{ y}$

$\beta$ (max: 2.28 MeV)  
 $T_{1/2} = 64 \text{ h}$

**90Sr + 90Y  
放射平衡(永続平衡)**

### シンチレーション検出法の限界

- $\beta$ 線は連続的なエネルギー
- 表面汚染検査
- 他核種の $\beta+\gamma$ 線、宇宙線と区別が困難

# 背景・目的

## <sup>90</sup>Sr危険性と放射能測定

Cs-134

Cs-137

単位 (Sv/Bq)

Sr-90 (T½ = 29.1 y).

(T½ = 2.06 y).

T½ = 30.0 y).

Particulate Aerosol: AMAD = 1 μm, Absorption Type F.

Age at intake	3 Months	1 Year	5 Years	10 Years	15 Years	Adult*	Adult	Adult
f1	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	1.0	1.0
Adrenals	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	7.0E-09	4.7E-09
Bladder Wall	8.8E-09	5.9E-09	3.5E-09	2.5E-09	1.8E-09	1.3E-09	6.8E-09	4.9E-09
Bone Surface	1.3E-06	5.8E-07	4.5E-07	7.4E-07	1.2E-06	3.7E-07	6.7E-09	4.6E-09
Brain	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	5.2E-09	4.0E-09
Breast	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	4.8E-09	3.8E-09
GI-Tract								
Oesophagus	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	6.8E-09	4.4E-09
St Wall	7.0E-09	4.5E-09	2.1E-09	1.3E-09	8.0E-10	6.1E-10	6.0E-09	4.4E-09
SI Wall	7.0E-09	4.7E-09	2.2E-09	1.3E-09	8.0E-10	6.1E-10	6.0E-09	4.7E-09
ULI Wall	2.2E-08	1.6E-08	7.1E-09	4.2E-09	2.3E-09	1.8E-09	6.8E-09	4.8E-09
LLI Wall	5.6E-08	4.3E-08	1.9E-08	1.1E-08	5.8E-09	5.0E-09	7.6E-09	5.6E-09
Colon	3.7E-08	2.8E-08	1.2E-08	7.2E-09	3.8E-09	3.2E-09	7.1E-09	5.2E-09
Kidneys	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	7.3E-09	4.5E-09
Liver	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	7.3E-09	4.6E-09
Muscle	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	7.3E-09	4.2E-09
Ovaries	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	7.3E-09	4.8E-09
Pancreas	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	7.3E-09	4.8E-09
Red Marrow	8.6E-07	3.3E-07	1.9E-07	2.6E-07	3.3E-07	1.6E-07	6.3E-09	4.4E-09
Respiratory Tract								
ET Airways	1.8E-08	1.2E-08	5.1E-09	3.3E-09	1.9E-09	1.7E-09	1.2E-08	7.4E-09
Lungs	6.7E-09	4.3E-09	2.1E-09	1.3E-09	8.0E-10	6.1E-10	6.0E-09	4.3E-09
Skin	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	4.4E-09	3.6E-09
Spleen	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	6.6E-09	4.5E-09
Testes	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	6.6E-09	4.2E-09
Thymus	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	6.6E-09	4.4E-09
Thyroid	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	6.6E-09	4.4E-09
Uterus	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	6.6E-09	4.9E-09
Remainder	6.6E-09	4.3E-09	2.0E-09	1.2E-09	7.7E-10	5.9E-10	9.1E-09	5.8E-09
実効線量係数	1.3E-07	5.2E-08	3.1E-08	4.1E-08	5.3E-08	2.4E-08	6.6E-09	4.6E-09

骨表面

骨髄

骨髄

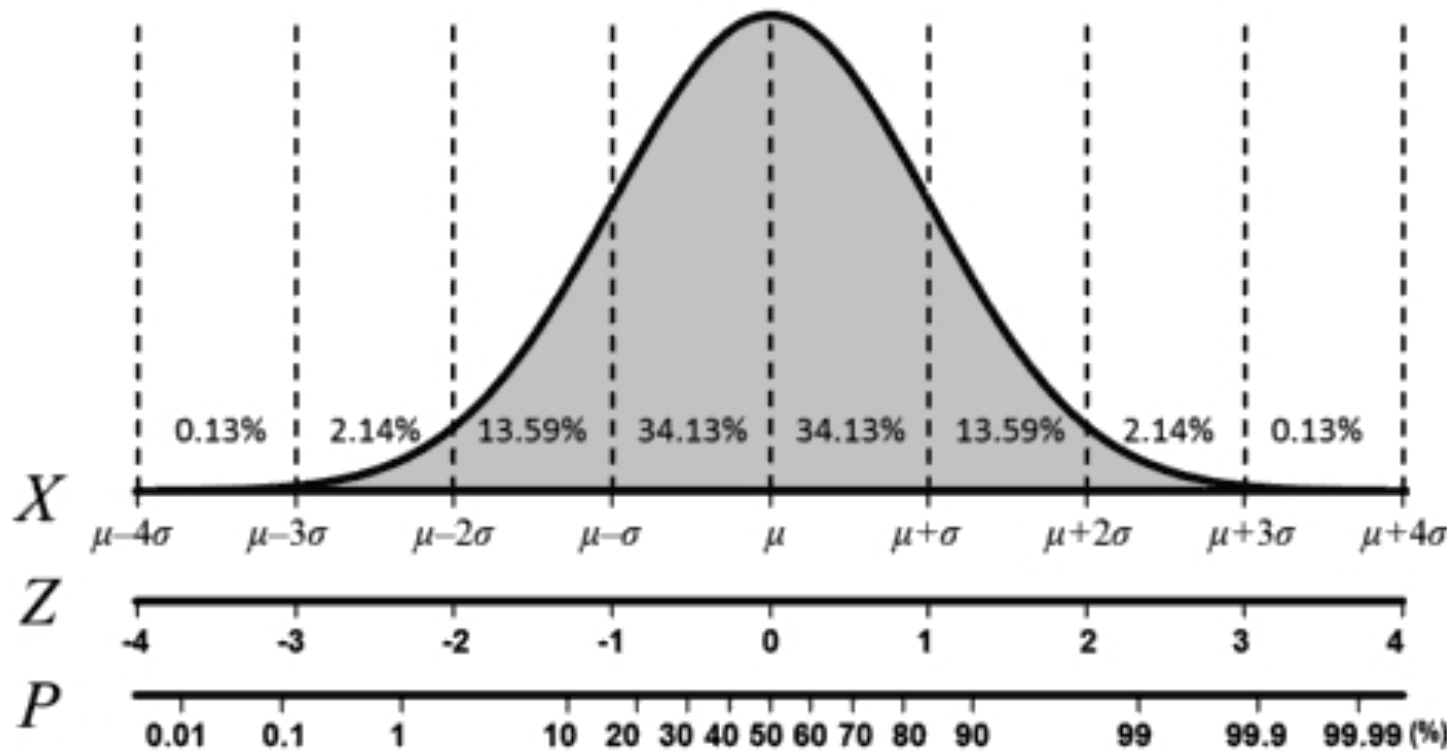
骨表面

Organ or tissue (T)	Tissue weighting factor (w <sub>T</sub> )
Gonads <sup>b</sup>	0.20
Bone marrow (red)	0.12
Colon <sup>c</sup>	0.12
Lungs <sup>d</sup>	0.12
Stomach	0.12
Bladder	0.05
Breast	0.05
Liver	0.05
Oesophagus	0.05
Thyroid	0.05
Skin	0.01
Bone surface	0.01
Remainder <sup>e,f</sup>	0.05

ICRP Publ.71 (1995)



## 平均光電子数と検出効率



Mean =  $\mu$

$\sigma = \sqrt{\mu}$

検出効率  $\varepsilon$

しきい値 0.5 p.e.

平均から  $4\sigma$  離れた位置が 0.5 p.e. であれば、 $\varepsilon = 99.98\%$  が見込める

$0.5 + 4\sqrt{\mu} < \mu$  を満たす  $\mu$  は  $\mu > 17$

## 結果・考察

## 結果と仕様決定

仕様設計を決めるために必要なパラメータ

- ファイバー減衰長 190 mm → 320 mmで約60%へ
- シンチレータ内伝搬による減衰 シンチ幅2倍で66%へ
- ファイバー反対面の反射材 あり(アルミマイラー)
- ファイバー: **ダブルクラッド**構造
- シンチレータ厚さと光量の関係 **線形性あり**
- 光学グリッドによる効果 シンチ間**1.12倍**、  
シンチ-WLSF間**1.22倍**

反対側も同様に設計され、  
700×200の面積を覆う

