



# 放射性ストロンチウムをその場で検知！ ～液体光ファイバーを用いた測定技術～

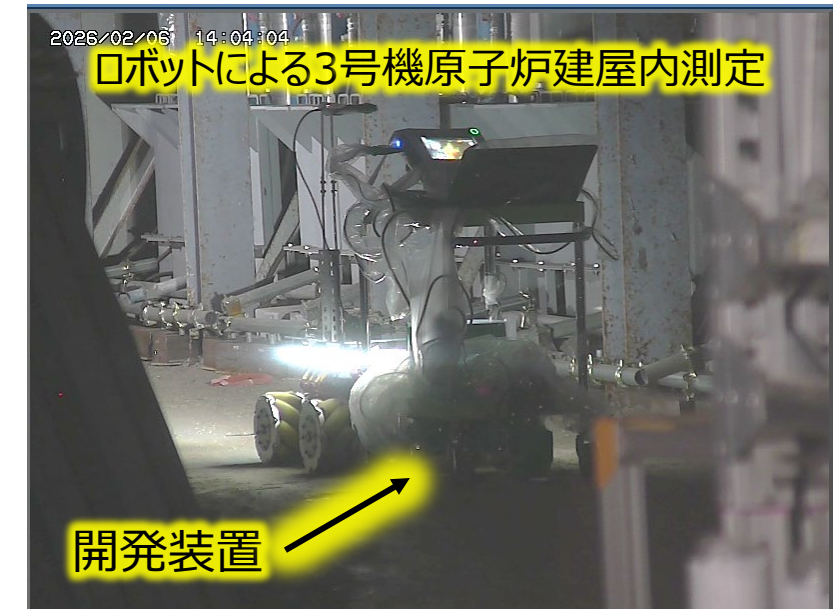
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構  
福島廃炉安全工学研究所 廃炉環境国際共同研究センター

研究副主幹 寺阪 祐太

# 自己紹介

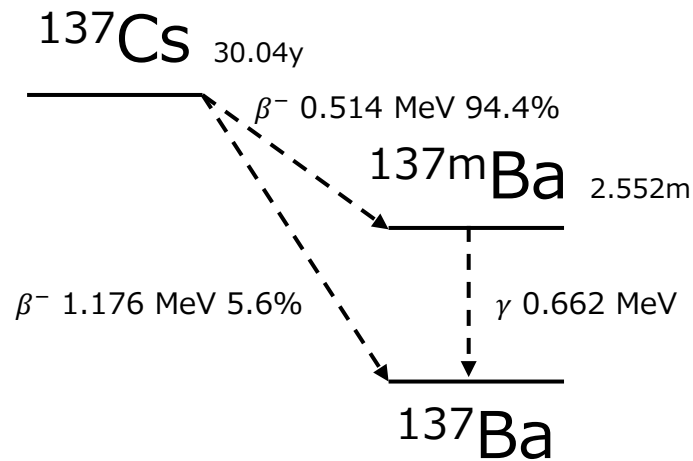
## 寺阪 祐太

- ◆ 専門：放射線計測/放射線防護
- ◆ 2021年に名古屋大学大学院工学研究科にて博士号取得
- ◆ 2016年にJAEA入所以降、一貫して福島第一原子力発電所（1F）廃炉のための放射線計測研究に従事 **近年は主に1Fでの放射性ストロンチウム計測に着目**



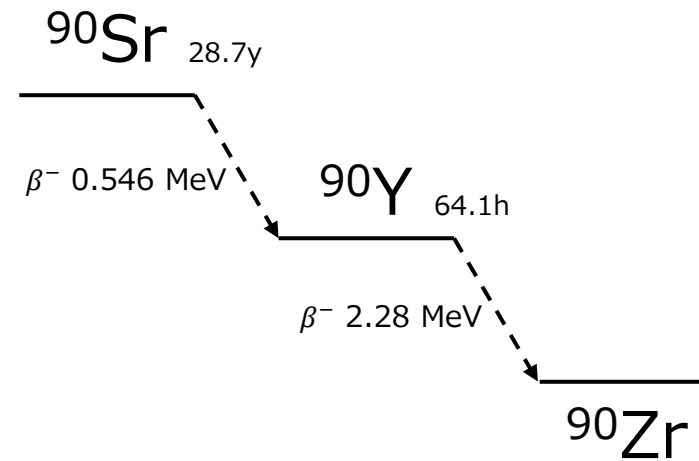
# 放射性ストロンチウムとは

## $^{137}\text{Cs}$

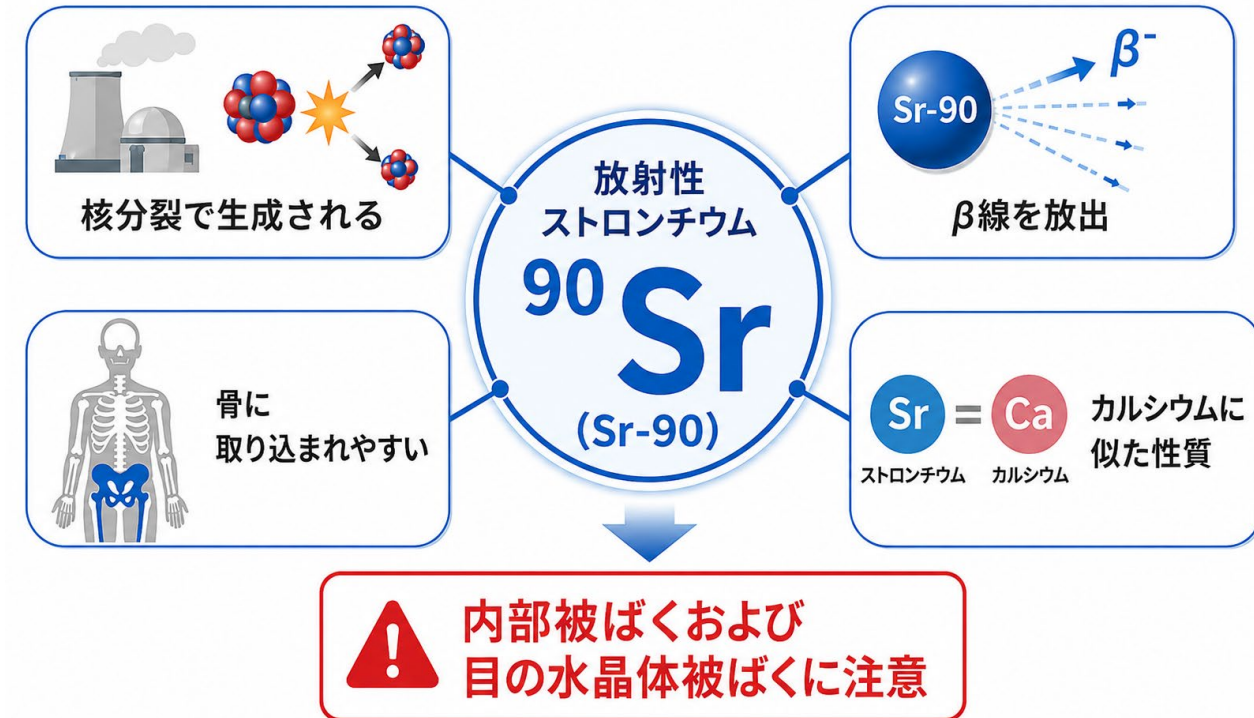


- ✓ **ガンマ線**放出核種
- ✓ 外部被ばくに寄与
- ✓ 半減期 30.04年

## $^{90}\text{Sr}$



- ✓ **ベータ線**放出核種
- ✓ 体内取り込み時に骨に蓄積
- ✓ 高エネルギーベータ線による目の水晶体被ばく
- ✓ 半減期 28.79年

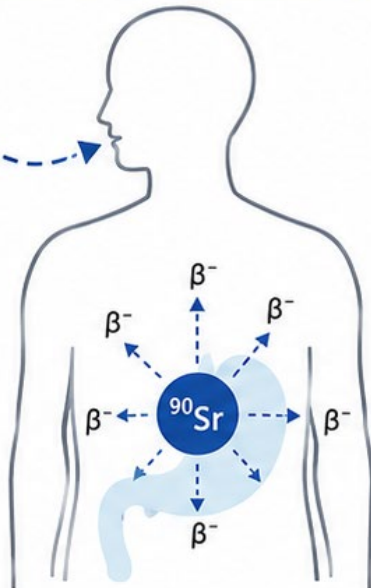


Generated by Chat-GPT

# $^{90}\text{Sr}$ 測定の難しさ

ホールボディカウンターで検知不可

純 $\beta$ 核種 (例:  $^{90}\text{Sr}$ )  
を体内に取り込み



ホールボディカウンター



測定結果

×  
検知できない

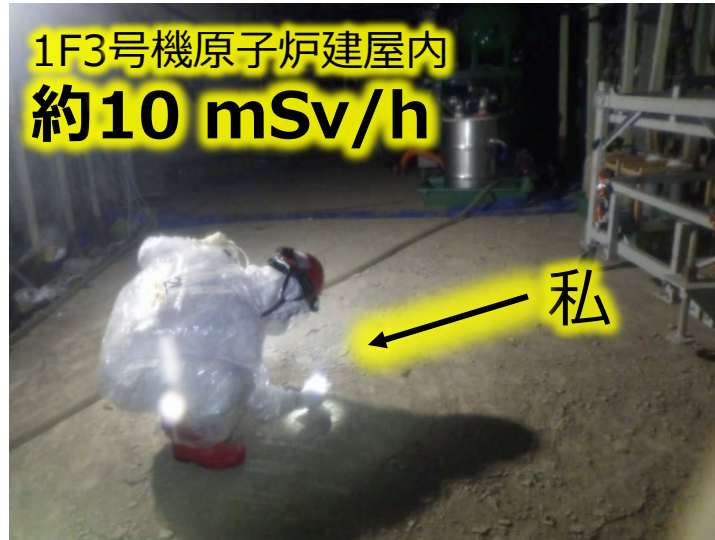
ガイガーカウンターで定量不可



通常使用される汚染検査器だと  
「汚染がある」ことは分かるが  
「その汚染が何なのか」が分からない

スミア法による間接測定が主流

# スミア法は被ばくと時間を要する



## スミア法の手順

1. 汚染された床や壁をスミアろ紙で拭き取る
2. スミアろ紙を低バックグラウンド分析ラボに輸送する
3. 化学分離後に放射能を定量化する

## 問題点

1. サンプルングに人の被ばくを伴う
2. 時間がかかる（数日から、時には数週間または数ヶ月）
3. 固着性汚染と遊離性汚染の区別ができない

**1F原子炉建屋内に適用可能な  
 $^{90}\text{Sr}$ 「直接」測定法が必要**

# 光ファイバー型放射線検出器

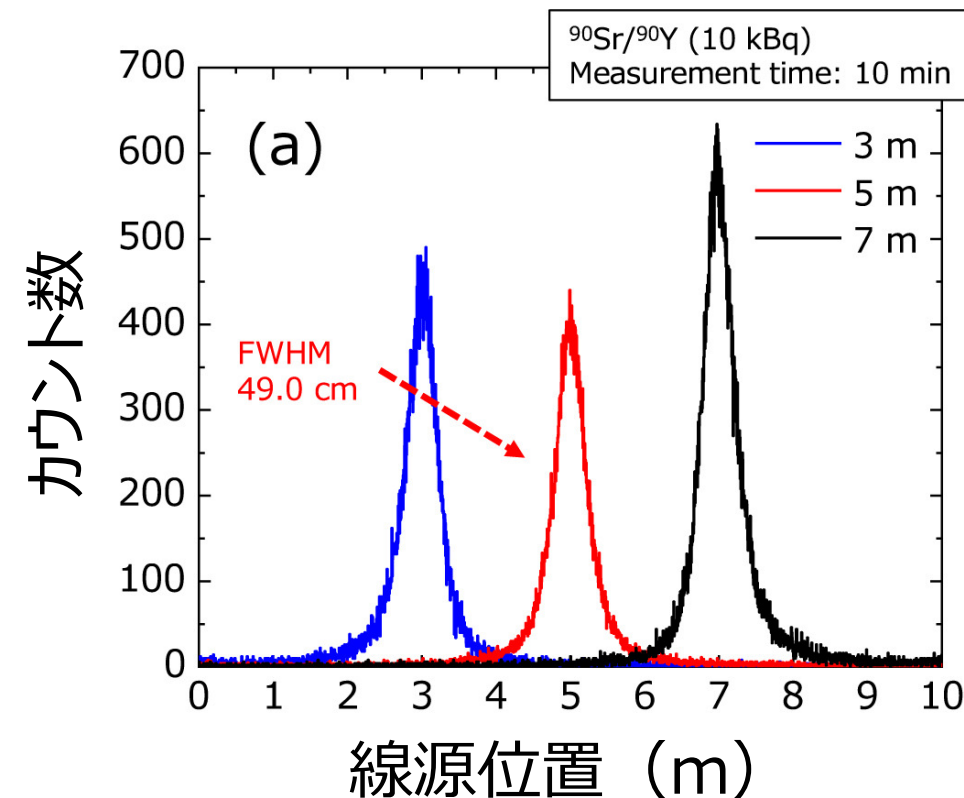
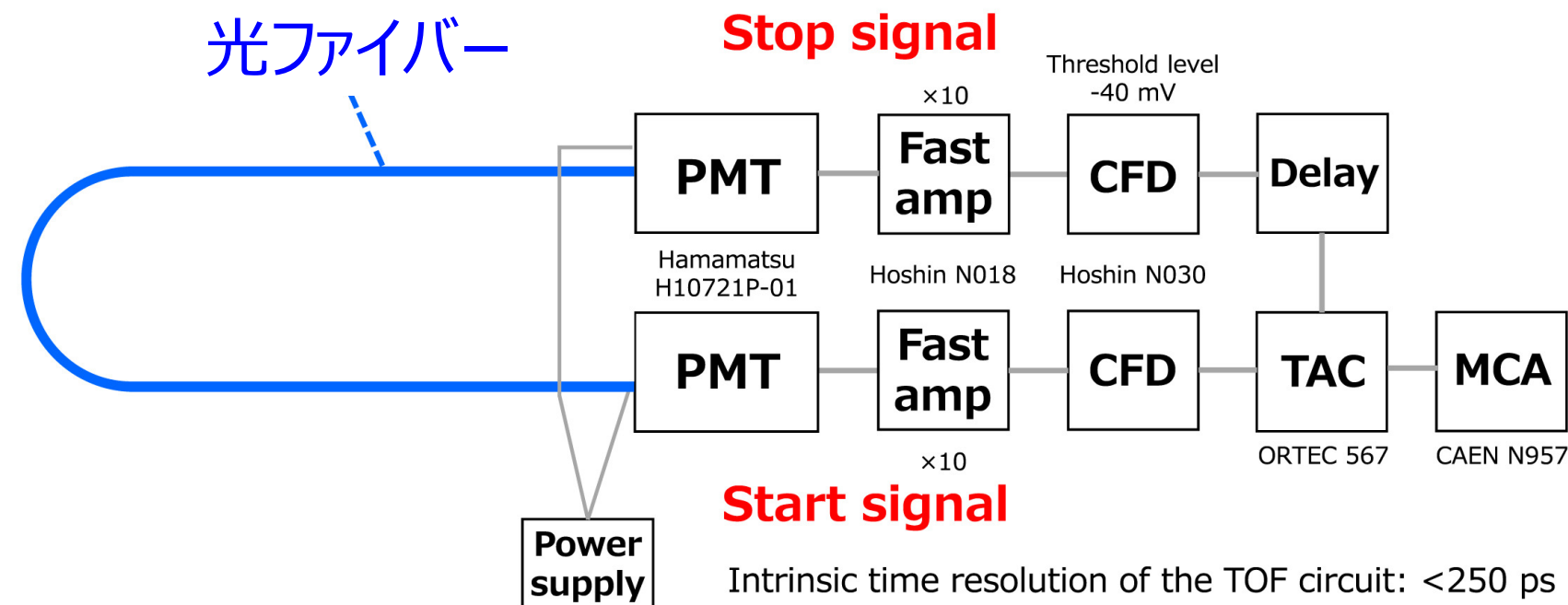


光ファイバーは $\beta$ 線との相互作用により、シンチレーション光またはチェレンコフ光を発する。

→これらの光を光センサー（光電子増倍管等）で  
受光することで、 $\beta$ 線測定が可能！

# 従来技術とその問題点

## 飛行時間分析回路



Yuta Terasaka, Kenichi Watanabe, Akira Uritani, "Evaluation of a one-dimensional position-sensitive quartz optical fiber sensor based on the time-of-flight method for high radiation dose rate applications", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment ,996, 165151\_1-165151\_8, 2021.

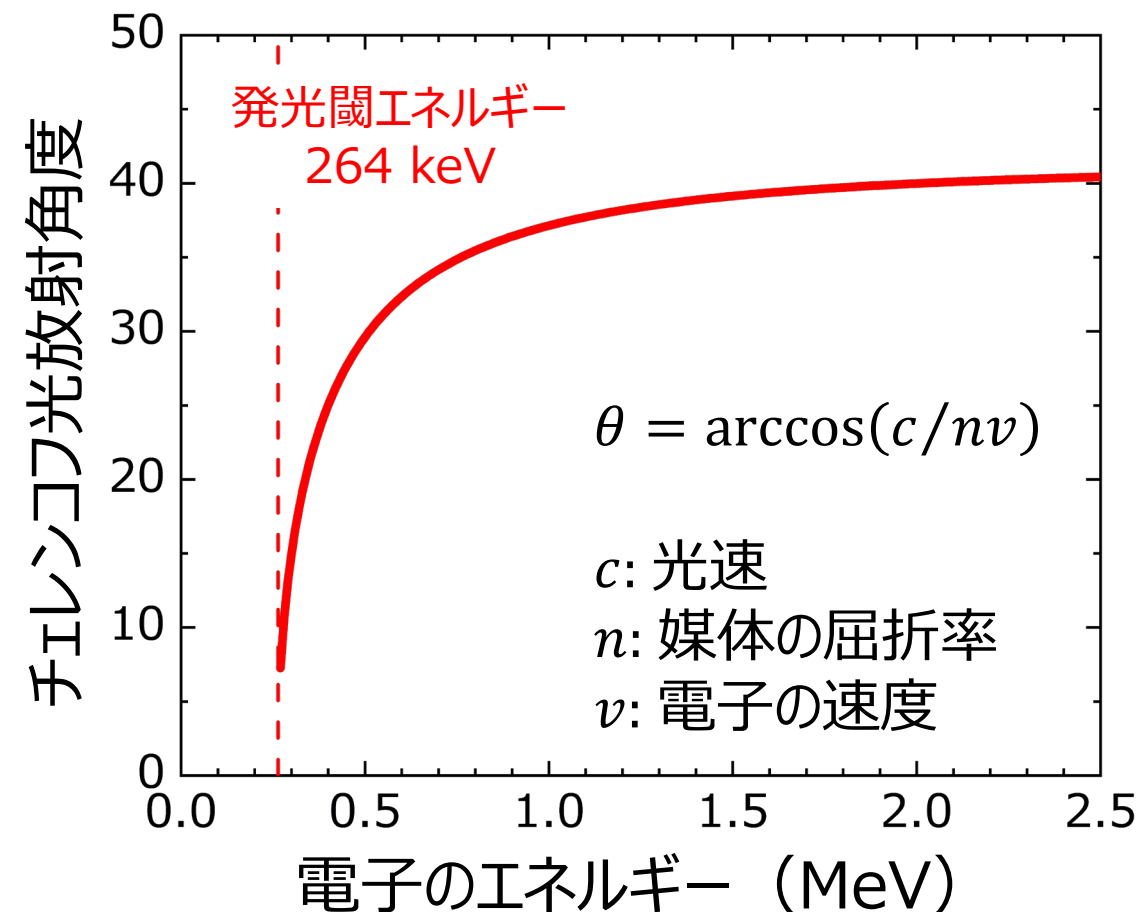
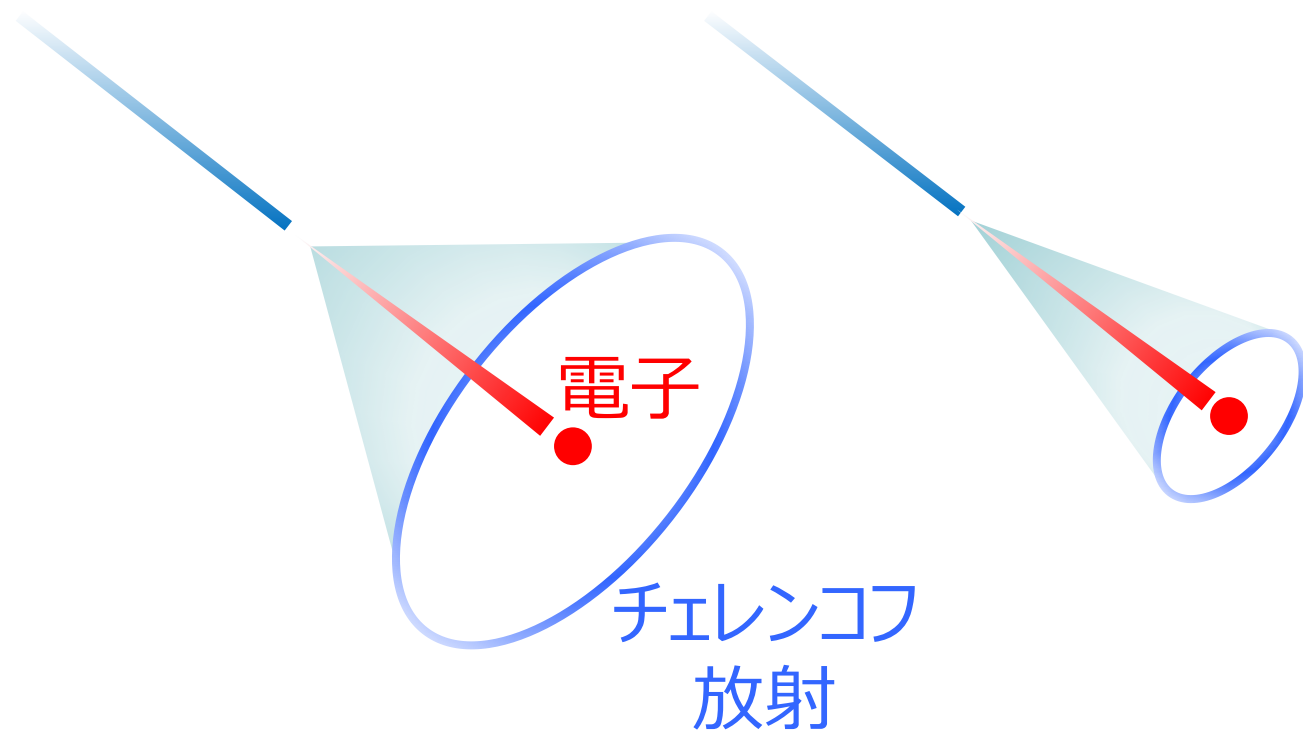
ファイバー両端への光の到達時間差から放射線の入射位置を特定  
しかし・・・核種情報がない

# 新技術：液体光ファイバー



コア材が液体の光ファイバー  
 $\beta$ 線入射時に発生するチェレンコフ光を  
検知することで  
放射線ストロンチウム測定が可能！

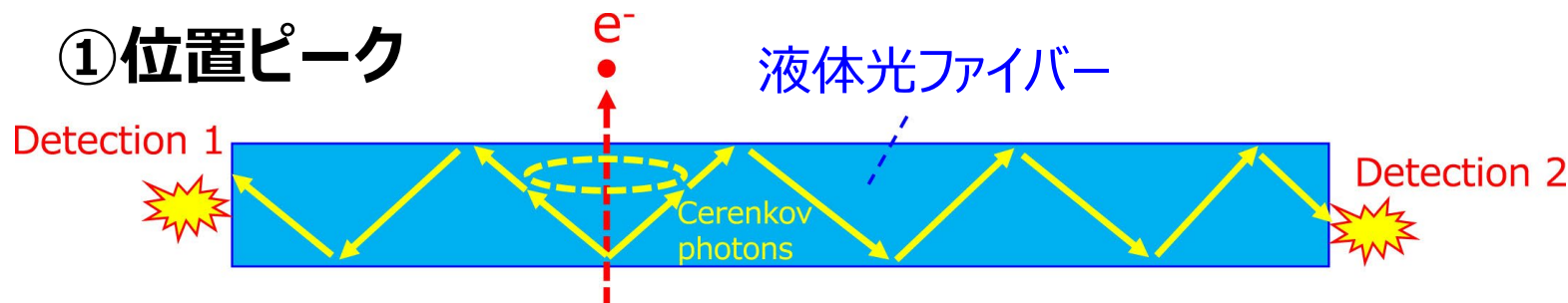
# チェレンコフ光の特性



チェレンコフ光の放射角度はエネルギー依存  
**高エネルギーβ線の寄与を抽出可能**

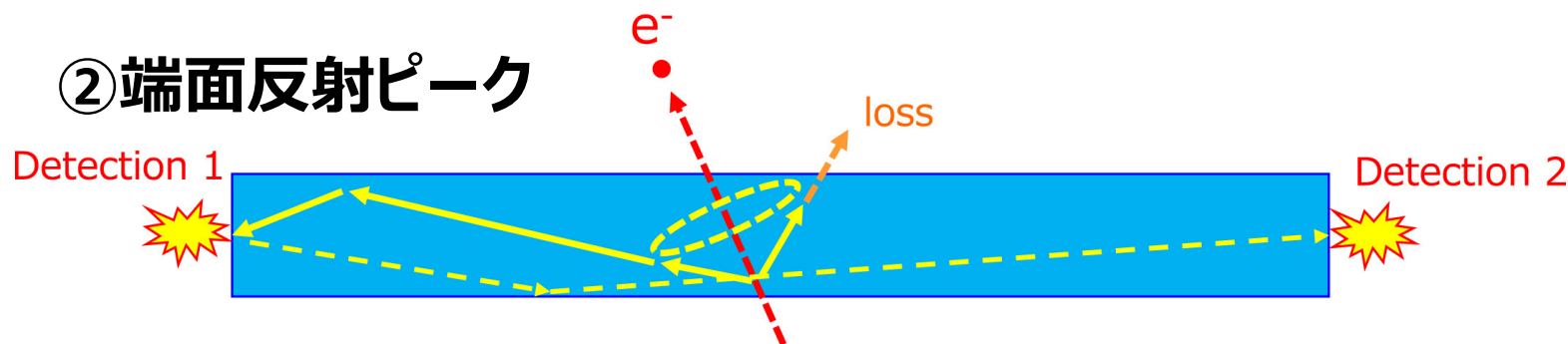
# 端面反射ピークの形成

## ①位置ピーク



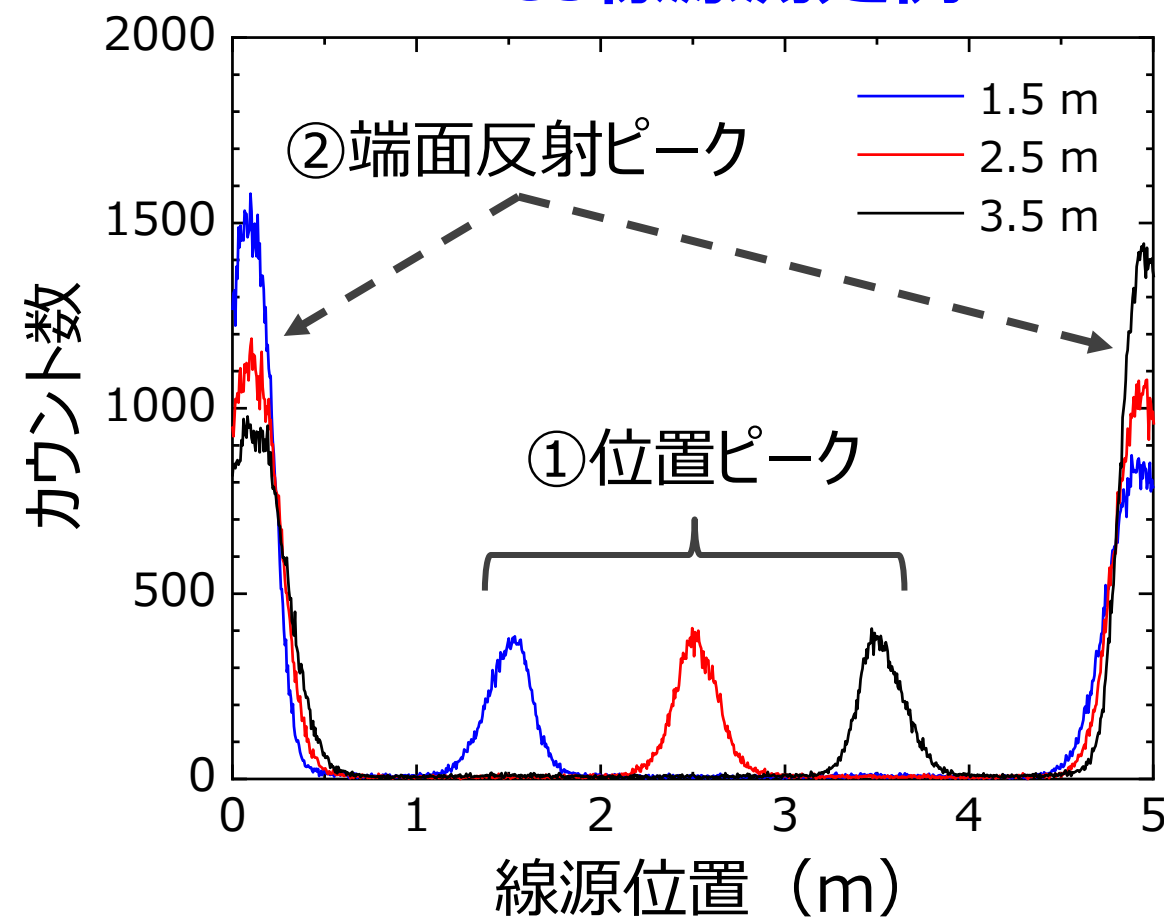
チェレンコフ光が両端に到達  
→位置情報を有するピークが形成

## ②端面反射ピーク



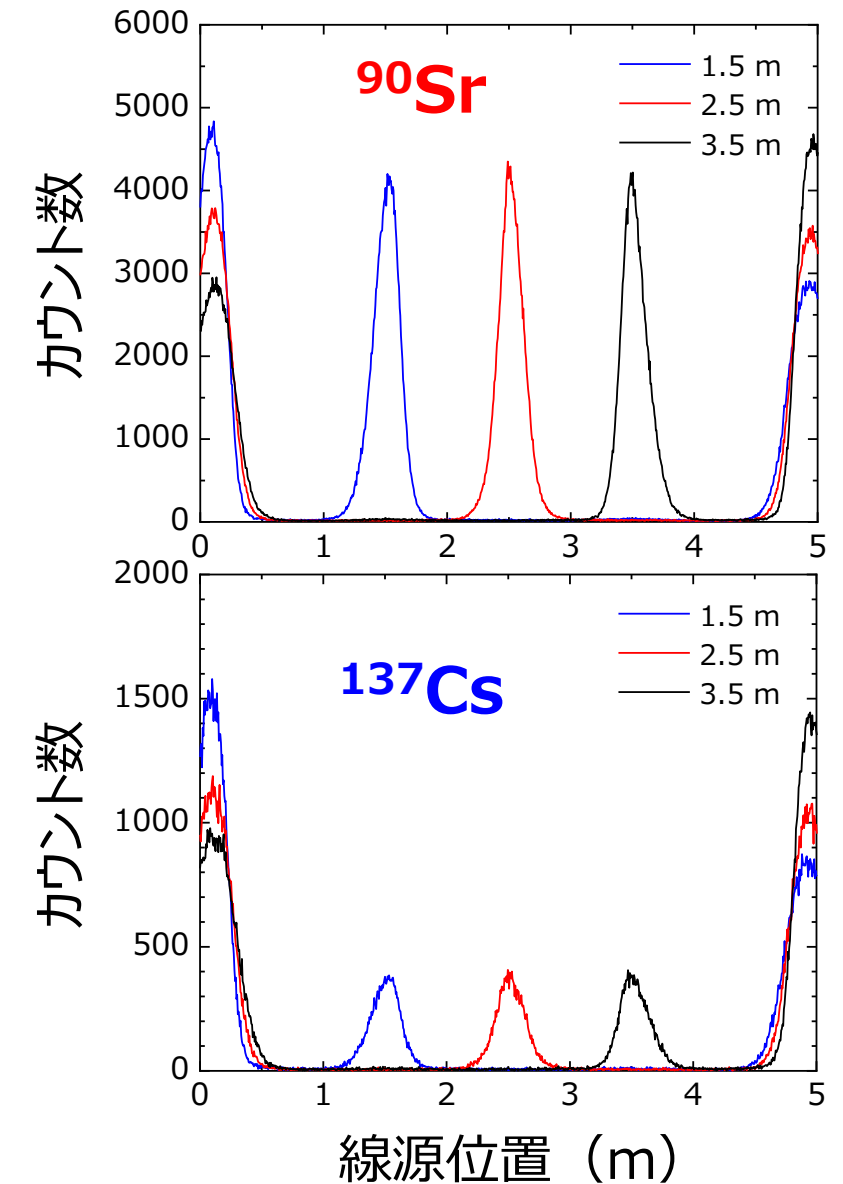
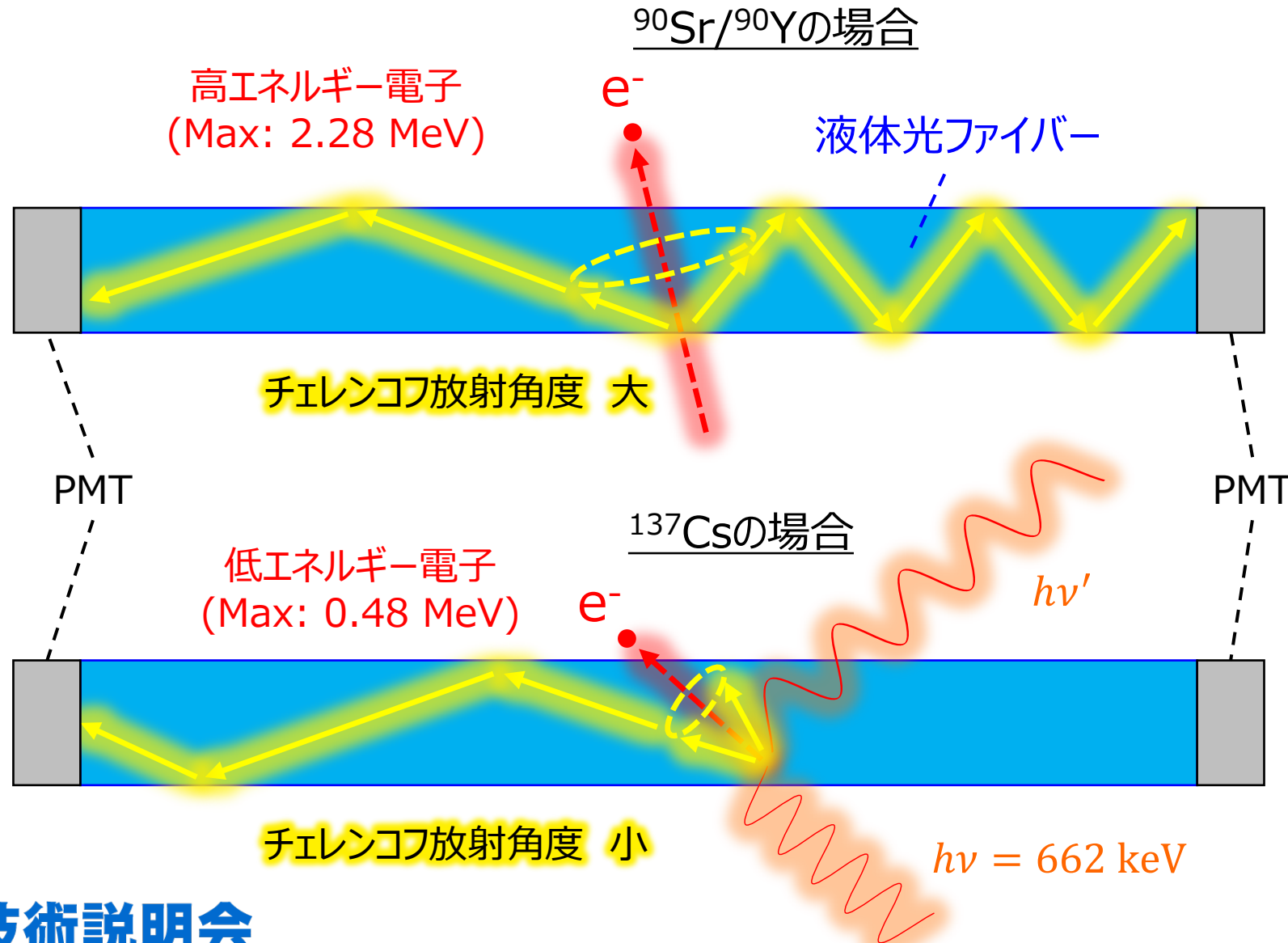
チェレンコフ光が片側のみに到達  
→線源位置に依らず端のチャンネルに計数される

## $^{137}\text{Cs}$ 線源測定例



②の端面反射ピークは  
何の情報も持たない無駄ピーク？

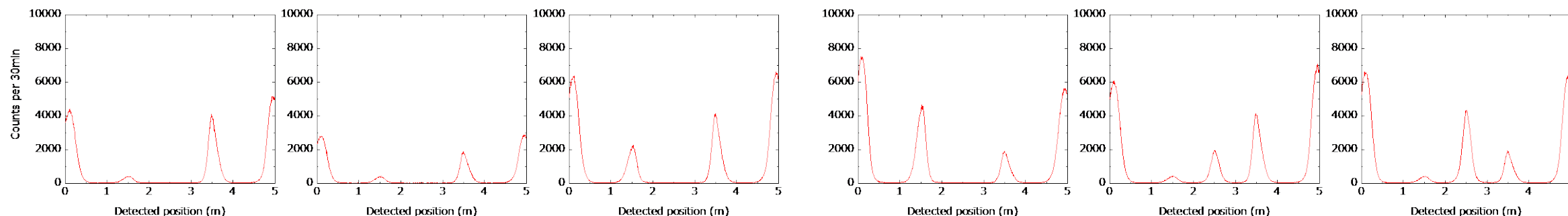
# $^{90}\text{Sr}$ と $^{137}\text{Cs}$ の弁別



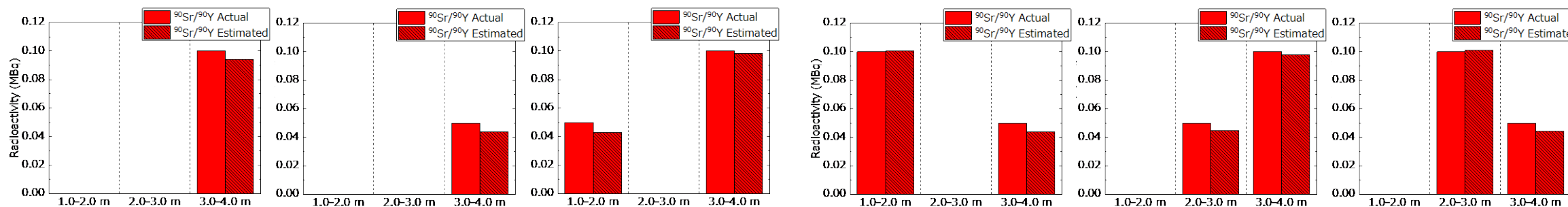
# 「位置」と「核種」の同時検出

端面反射ピークの計数率を合わせて考えることで、 $^{90}\text{Sr}$ と $^{137}\text{Cs}$ の同時位置検出が可能  
→従来は不可能だった、「位置」と「核種」の同時検出を実現！

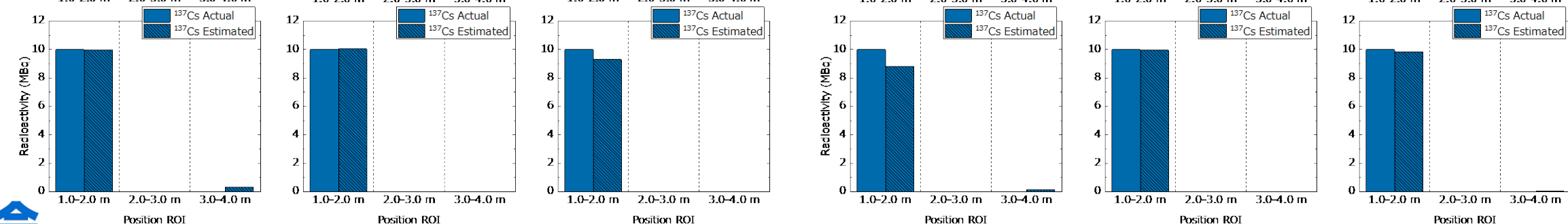
位置  
スペクトル



位置毎の  
 $^{90}\text{Sr}$ 放射能

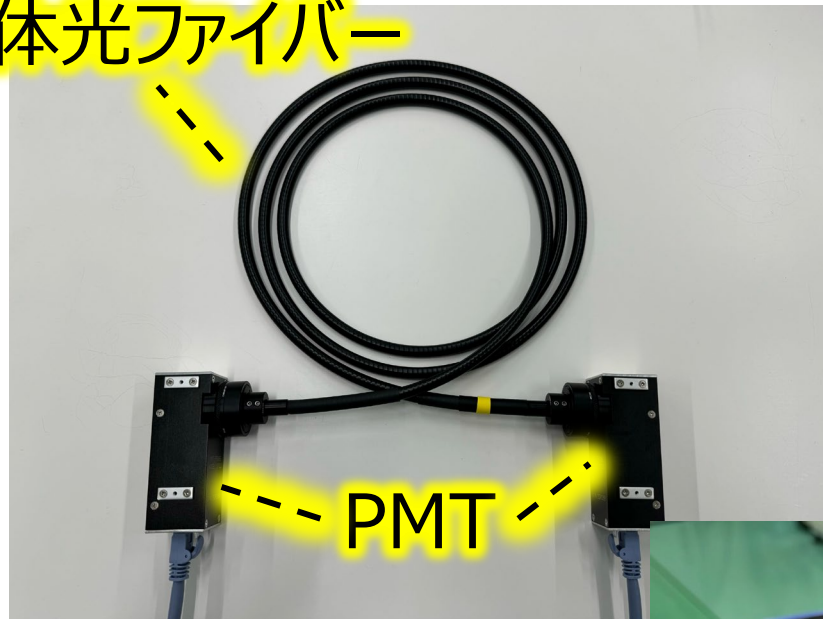


位置毎の  
 $^{137}\text{Cs}$ 放射能



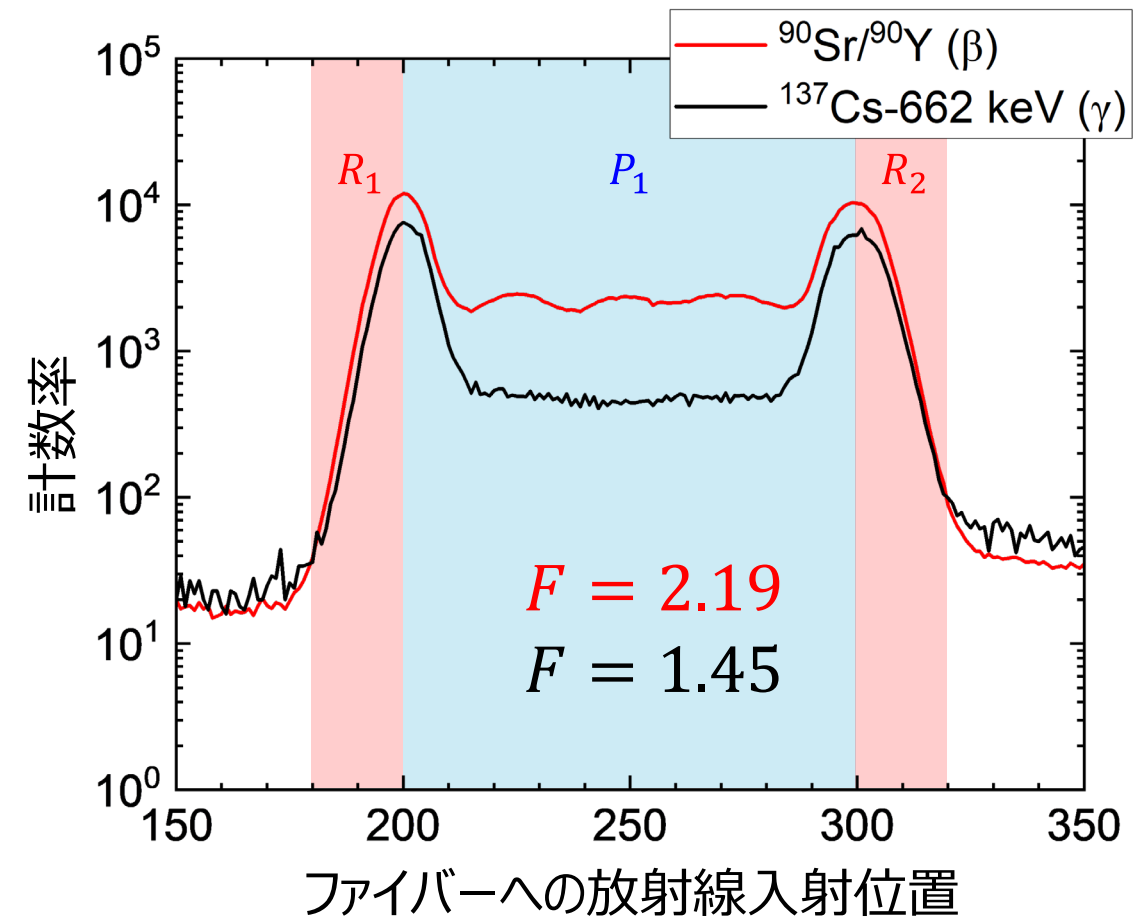
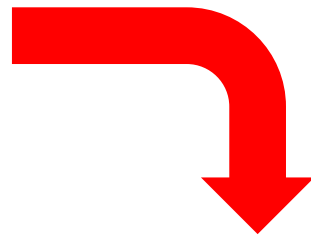
# サーベイメータ化の試み

液体光ファイバー



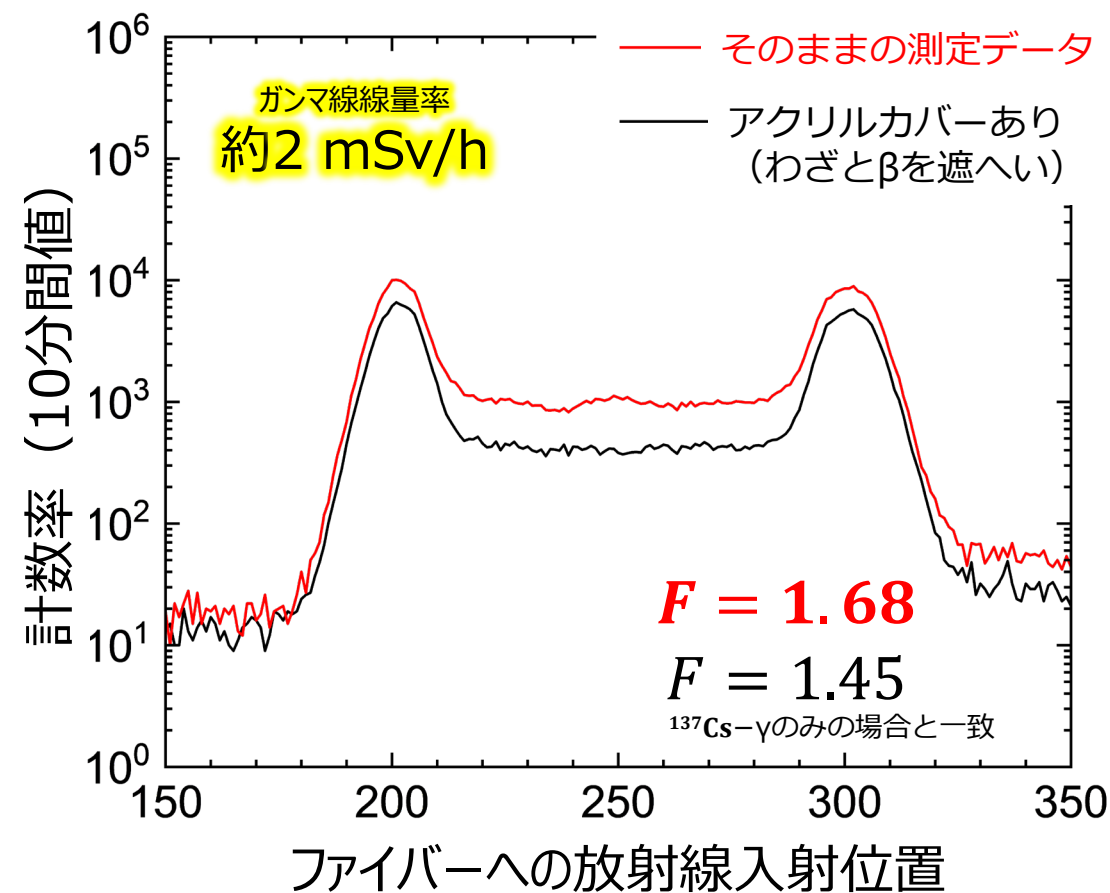
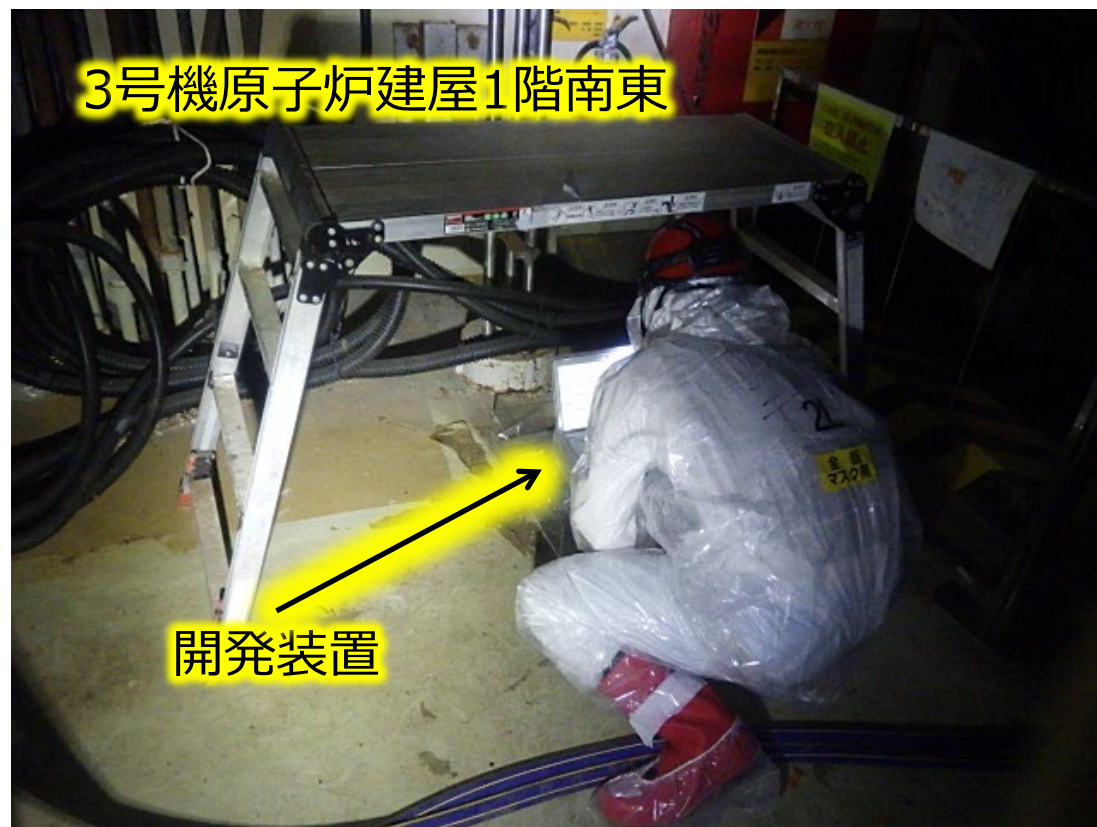
PMT

サーベイメータ化



$F = (P_1 / (R_1 + R_2))$ から  
 $^{90}\text{Sr}$ の有無を簡易サーベイ

# 実証その1：1F原子炉建屋内



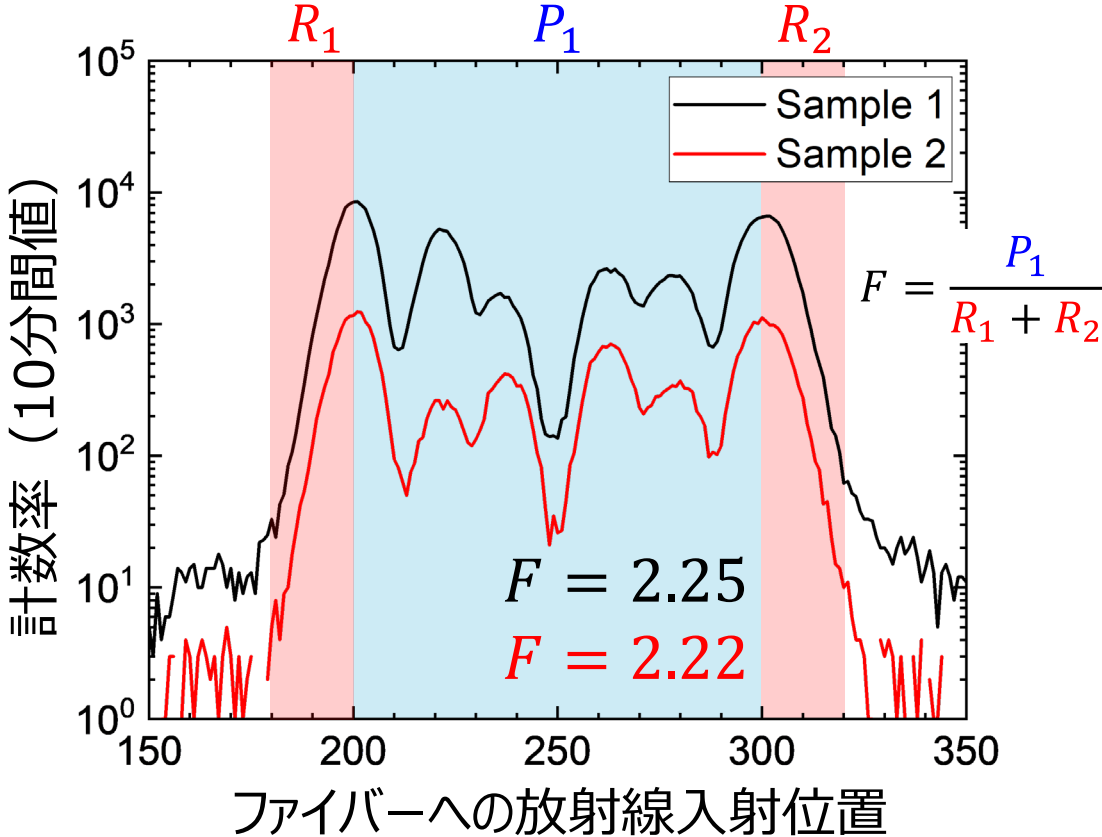
3号機R/B内における $^{90}\text{Sr}$ （純 $\beta$ 線源）の初の「その場直接」測定！

# 実証その2：スミアサンプル

福島第一原子力発電所  
プロセス主建屋スミアサンプル



|          | 新技術<br>(kBq) | 従来手法<br>(kBq) |
|----------|--------------|---------------|
| Sample 1 | 322          | 306           |
| Sample 2 | 48.2         | 32.9          |

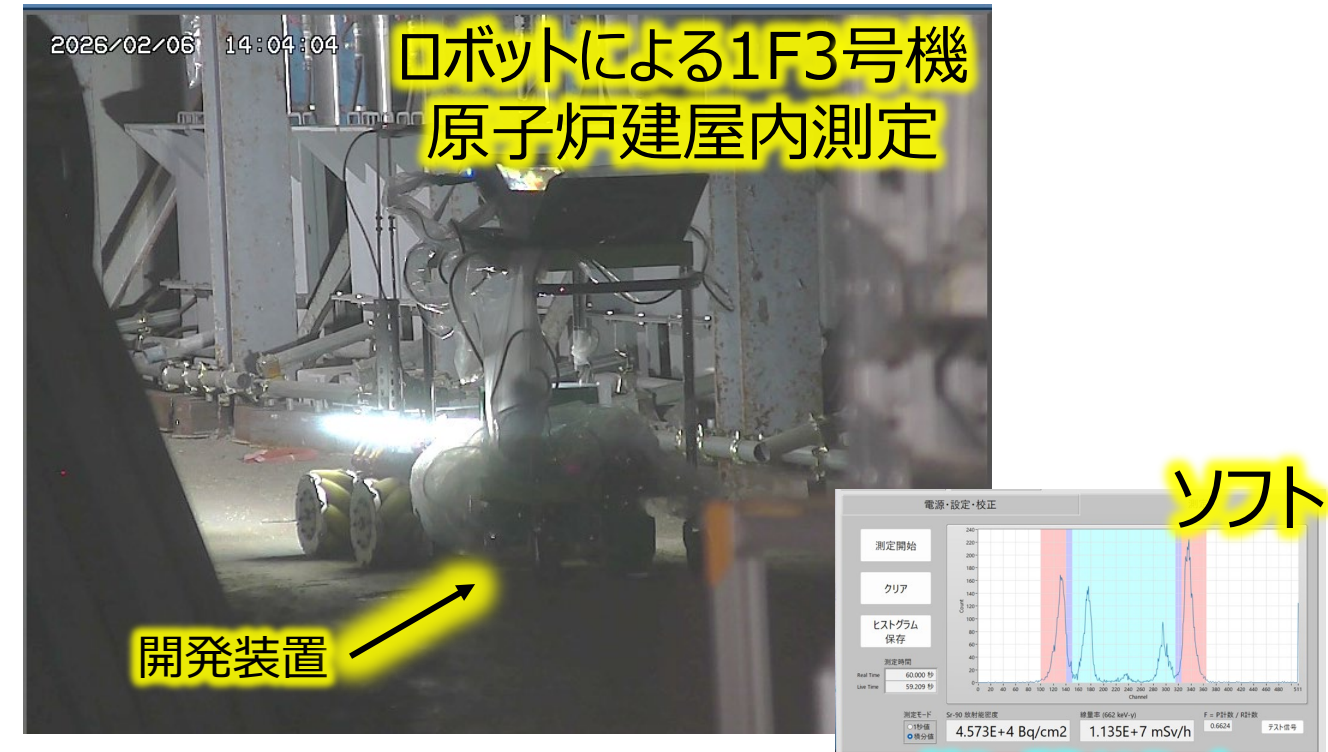
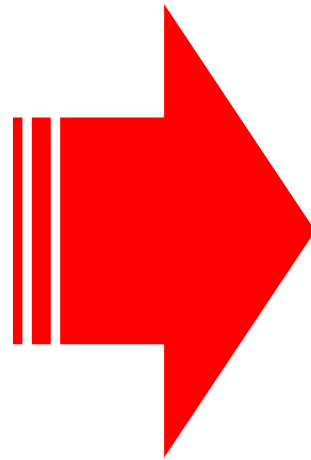


従来手法で数週間かかっていた定量分析を、  
**約10分で実現！**

# 想定される用途

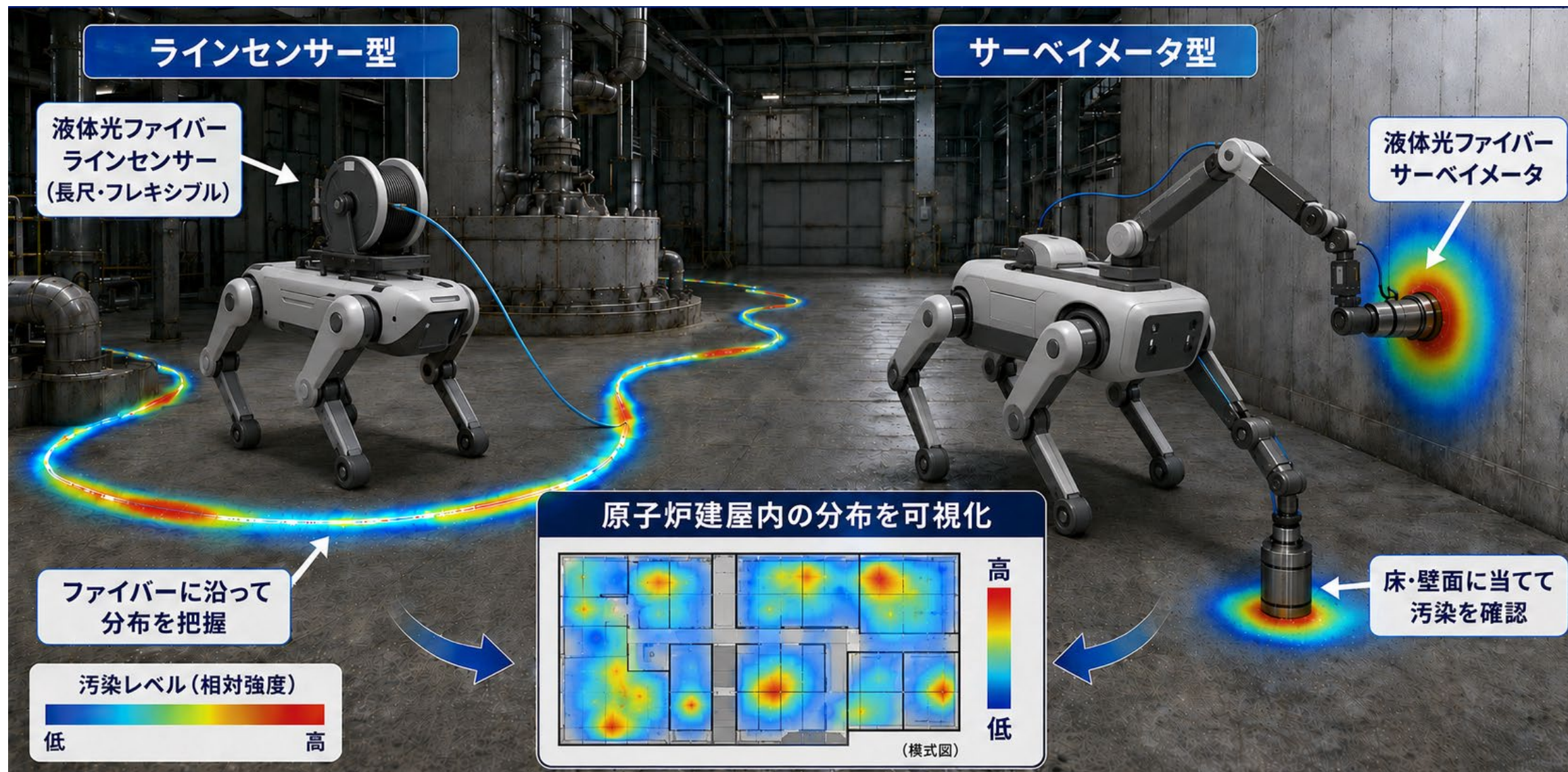


- ✓ 間接測定
- ✓ 分析時間長い
- ✓ 作業者の被ばく大



- ✓ 直接・面的測定
- ✓ リアルタイム分析
- ✓ 作業者の被ばく 少ない

# 想定される用途



# 実用化に向けた課題

- ◆現在、液体光ファイバーは市販品を使用している  
屈折率のコントロール不可→測定核種を選べない
- ◆コア材の屈折率をコントロールできれば、測定可能  
核種をコントロールできる
- ◆光ファイバーに限らず、チェレンコフ輻射体として使用  
できるセンサーの製造メーカー募集

# 実現したい世界・ビジョン



作業の効率化と安全性向上を両立し、  
放射性ストロンチウム調査の**新しい標準**へ



# 本技術に関する知財と問合せ先

## 知的財産権

- ◆ 特開2025-15087（審査請求済）
- ◆ 発明の名称 放射線検出装置、放射性核種検出装置、放射性核種分布測定方法
- ◆ 発明者 寺阪 祐太

## お問い合わせ先

日本原子力研究開発機構 研究開発推進部  
e-mail: seika.riyou@jaea.go.jp

|                                          |  |  |                                                       |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |
|------------------------------------------|--|--|-------------------------------------------------------|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| (19)日本国特許庁(JP)                           |  |  | (12)公開特許公報(A)                                         |  |  | (11)特許出願公開番号<br>特開2025-15087<br>(P2025-15087A)<br>(43)公開日<br>令和7年1月30日(2025.1.30)                                                                                                                                                                                                  |  |  |
| (51)Int. Cl.<br>G 0 1 T 1/22 (2006. 01)  |  |  | F I<br>G 0 1 T 1/22                                   |  |  | テーマコード (参考)<br>2 G 1 8 8                                                                                                                                                                                                                                                           |  |  |
| 審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 17 頁)           |  |  |                                                       |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |
| (21)出願番号<br>(22)出願日                      |  |  | 特願2023-118210(P2023-118210)<br>令和5年7月20日(2023. 7. 20) |  |  | (71)出願人 505374783<br>国立研究開発法人日本原子力研究開発機構<br>茨城県那珂郡東海村大字舟石川 7 6 5 番地<br>1<br>(74)代理人 100097113<br>弁理士 堀 城之<br>(74)代理人 100162363<br>弁理士 前島 幸彦<br>(74)代理人 100194283<br>弁理士 村上 大勇<br>(72)発明者 寺阪 祐太<br>福島県双葉郡富岡町大字本岡字王塚 7 9 0<br>- 1 国立研究開発法人日本原子力研究開<br>発機構 廃炉環境国際共同研究センター<br>国際共同研究棟内 |  |  |
| 最終頁に続く                                   |  |  |                                                       |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |
| (54)【発明の名称】放射線検出装置、放射性核種検出装置、放射性核種分布測定方法 |  |  |                                                       |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |