

# 放射線の種類とエネルギーを 簡便な検出器で正確に判別する

北海道大学保健科学研究所 医用生体工学分野 教授  
北海道大学医理工学院 医学物理工学分野 教授

石川 正純（発明者）

北海道大学アイソトープ総合センター 技術専門職員  
阿保 憲史（発明者・発表者）

2025年10月16日

## 主に放射線測定に関連する分野に適応



原子力分野



環境モニタリング



放射線施設

放射性同位元素: Radio Isotopes (**RI**) と呼ぶ場合があります

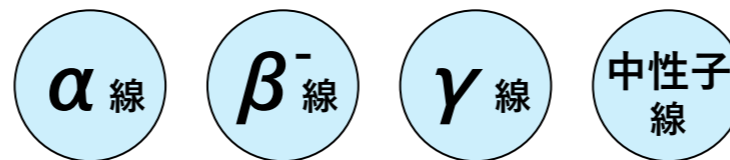
床面の放射性物質 (RI) による汚染を評価したい場合



放射線管理区域内 実験室



測定線種・測定量の選択



Gy	Sv	Bq	cps
Gy/h	Sv/h	Bq/cm <sup>2</sup>	cpm
		Bq/cm <sup>3</sup>	



適切な測定器を決定



適切な使用方法の把握も必要

👉 **ポイント！**

実際に放射線測定を行うには **高度な専門性** と **経験** が必要

$\alpha$  線



$\beta^-$  線



$\gamma$  線



低エネルギー核種 ( $^{125}\text{I}$ ) 用



高線量環境用

中性子  
線



空气中放射能濃度測定  
(作業環境測定用)



個人被ばく線量計  
(RI作業時に装着)

一方で…

放射性同位元素等の規制に関する法律 規則第20条第3項第4号

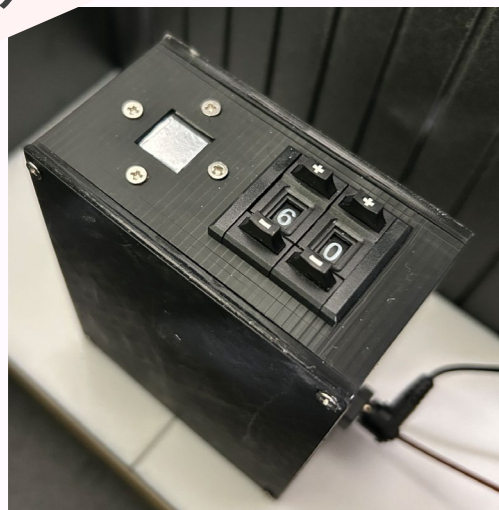
放射線測定器は 点検及び校正 を一年ごとに適切に組み合わせて行うこと。



ポイント！

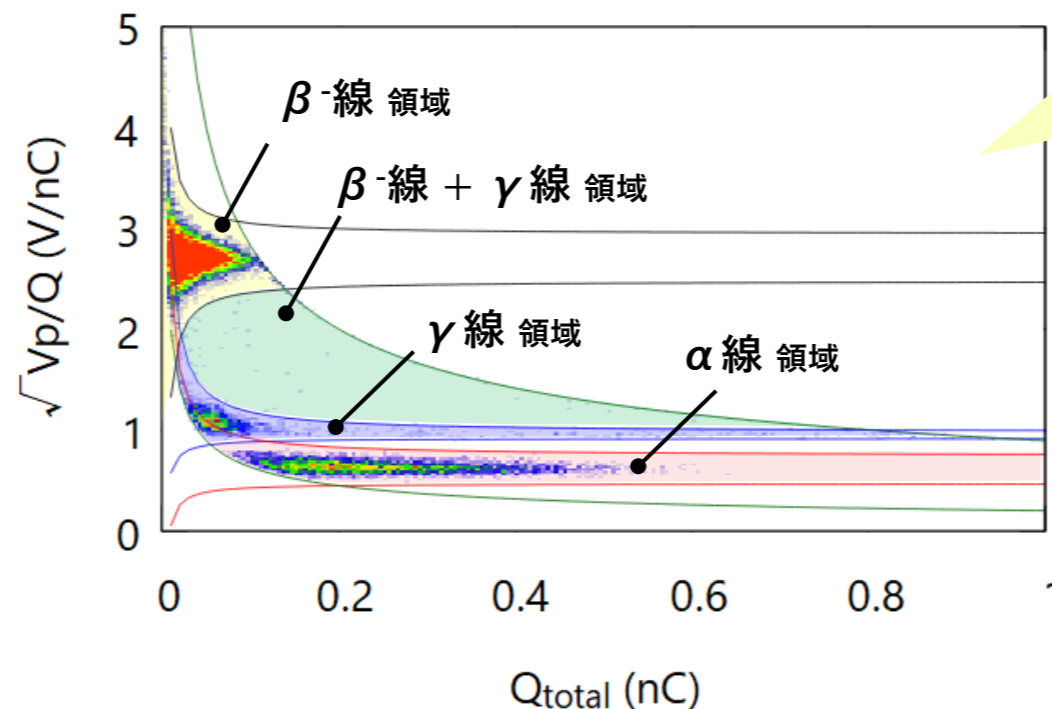
放射線測定器を保有するほど管理が大変

新技術



$\alpha$ 線・ $\beta$ -線・ $\gamma$ 線  
が測定できる！

新技術による $^{238}\text{U}$ (ウラン)放射線の弁別結果  
(ヒートマップによる可視化)



後ほど解説いたします

しかも高精度！

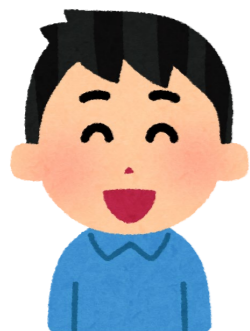
	$\beta$ -線	$\gamma$ 線	$\alpha$ 線	$\beta + \gamma$ 線
弁別能	100%	100%	100%	86.44%
正解率	99.97%	99.76%	100%	100%



ポイント！

- ▶  $\alpha$ 線・ $\beta$ -線・ $\gamma$ 線が 1つの検出器 で測定できる！
- ▶ 複数の放射線測定器の機能を統合できる（管理すべき測定器が減る）
- ▶ 測定環境による測定器の使い分けが大幅に減る

## 環境モニタリング



測定に不慣れであっても  
直感的で分かりやすい！

## 従来技術

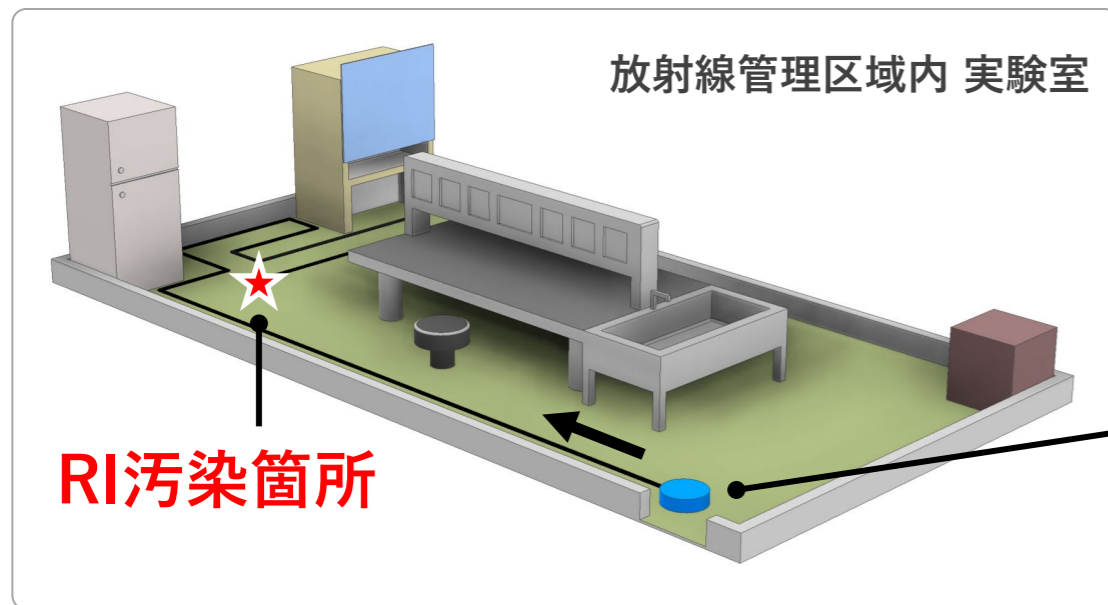
(由来が分からない放射線だけど)  
空間線量率は $2 \mu\text{Sv/h}$ だ！

## 新技術

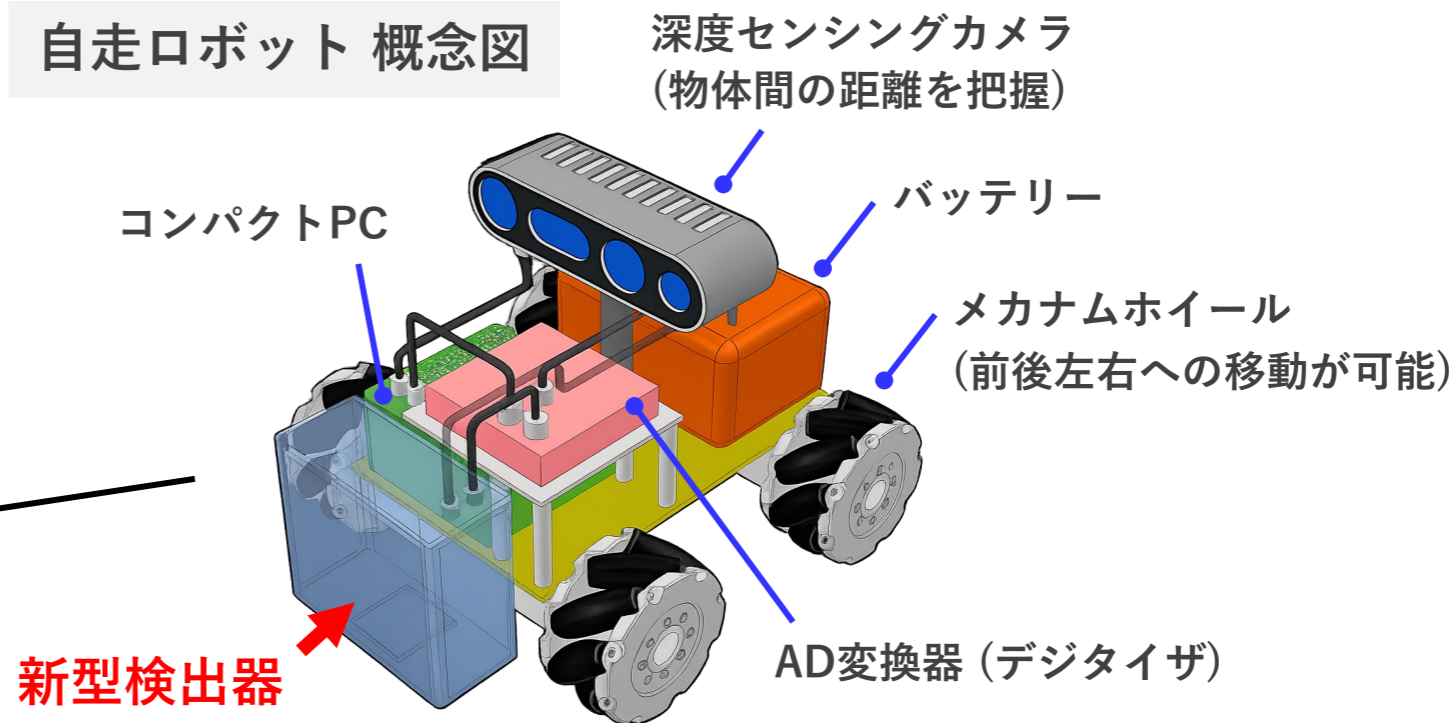
$\gamma$ 線として反応していて  
そのエネルギーが $660 \text{ keV}$ 付近だから  
 $^{137}\text{Cs}$  (セシウム) 由来の放射線で  
その空間線量率は $2 \mu\text{Sv/h}$ だ！

測定器に核種データをインストールすることで  
測定値から「推定核種」の自動表示も可能！

## 床面の汚染探査



## 自走ロボット 概念図

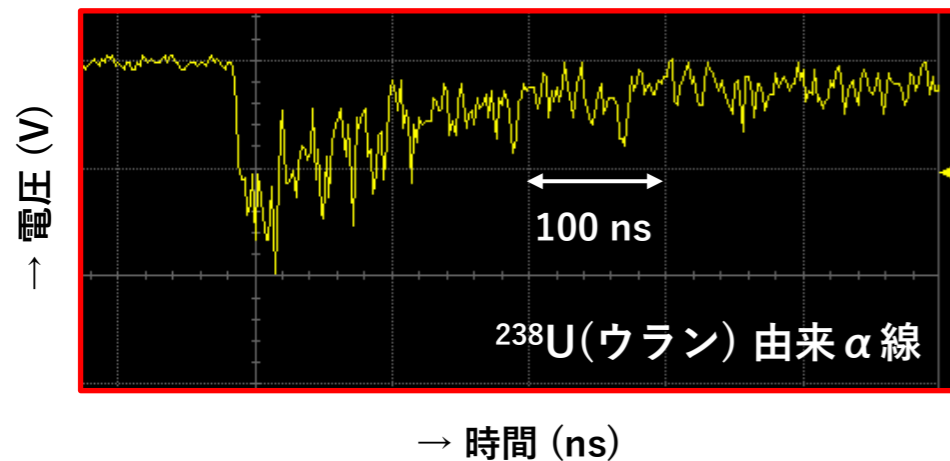
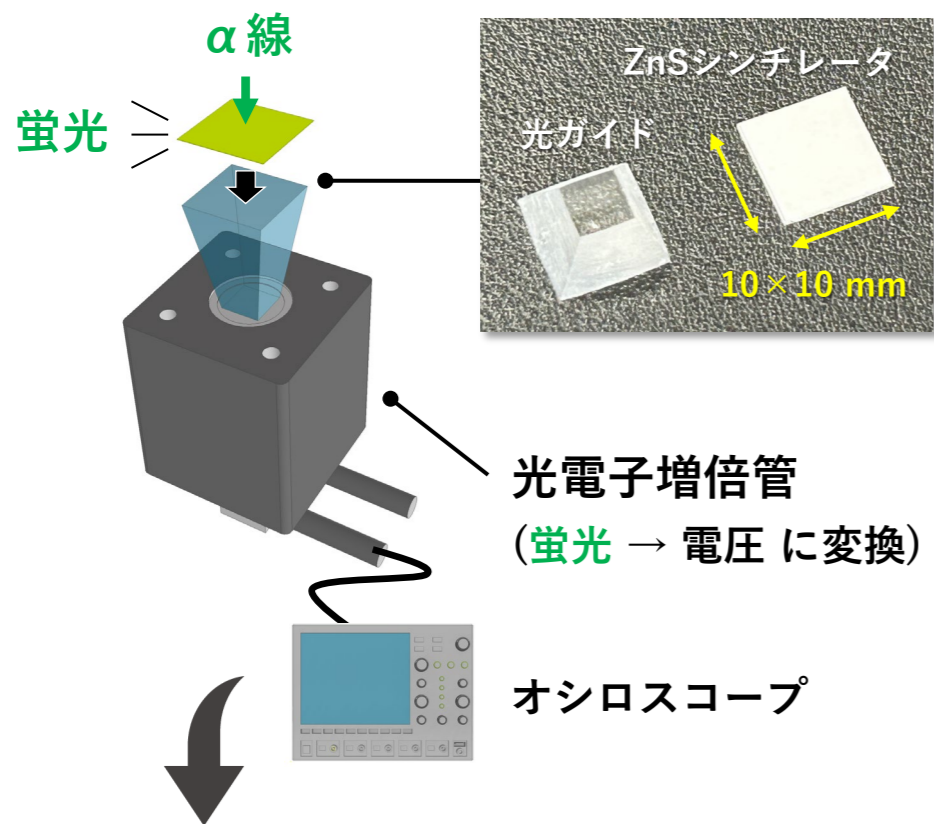


## 現状の課題

- ▶ 床面のRI汚染確認は法令に基づき月1回の頻度で確認している（部屋面積の僅か0.1%程度のみ）

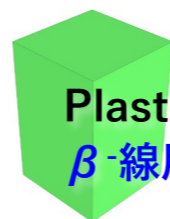
## 新技術による課題解決

- ▶ 測定結果をヒートマップにて可視化し、床面の汚染状況が直感的に分かる
- ▶ 設定値以上のRI汚染が見つかった場合に、管理者へメールやLINE等で伝える



### ポイント！

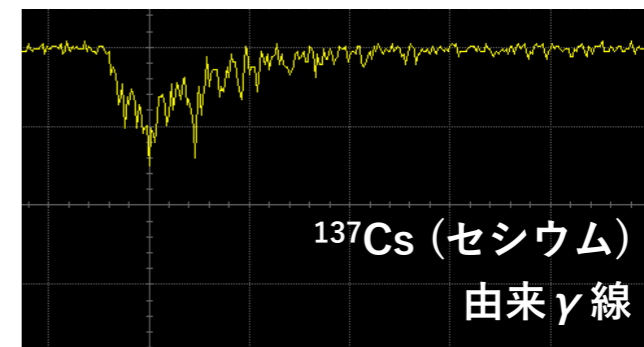
- ▶ シンチレータに放射線が当たると蛍光が発生する
- ▶ その蛍光を光電子増倍管で受光すると電気信号が発生する
- ▶ シンチレータには放射線の種類によって感度が異なる



Plastic シンチレータ  
β線用

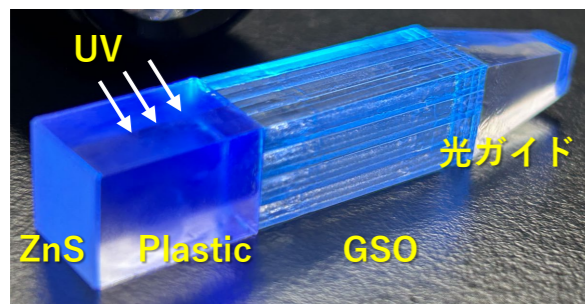
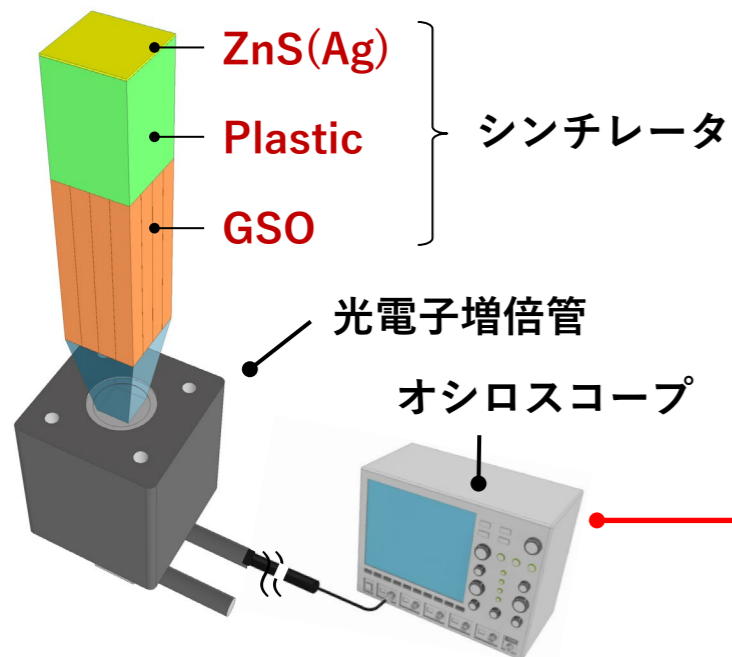


無機シンチレータ (GSOなど)  
γ線用

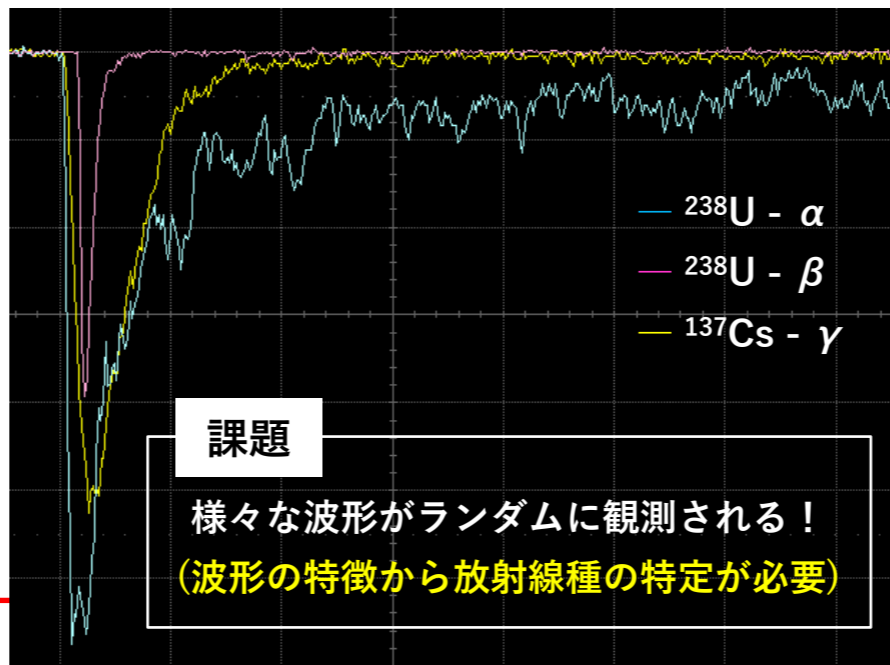


放射線の種類によって適切なシンチレータがある

### 多層シンチレータ 概念図

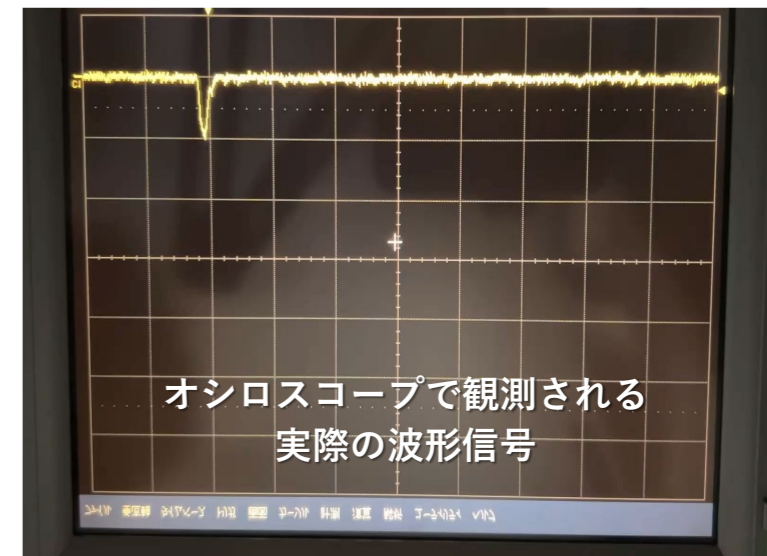


シンチレータ群に紫外線を照射した様子



#### 課題

様々な波形がランダムに観測される！  
(波形の特徴から放射線種の特定制が必要)



オシロスコープで観測される  
実際の波形信号

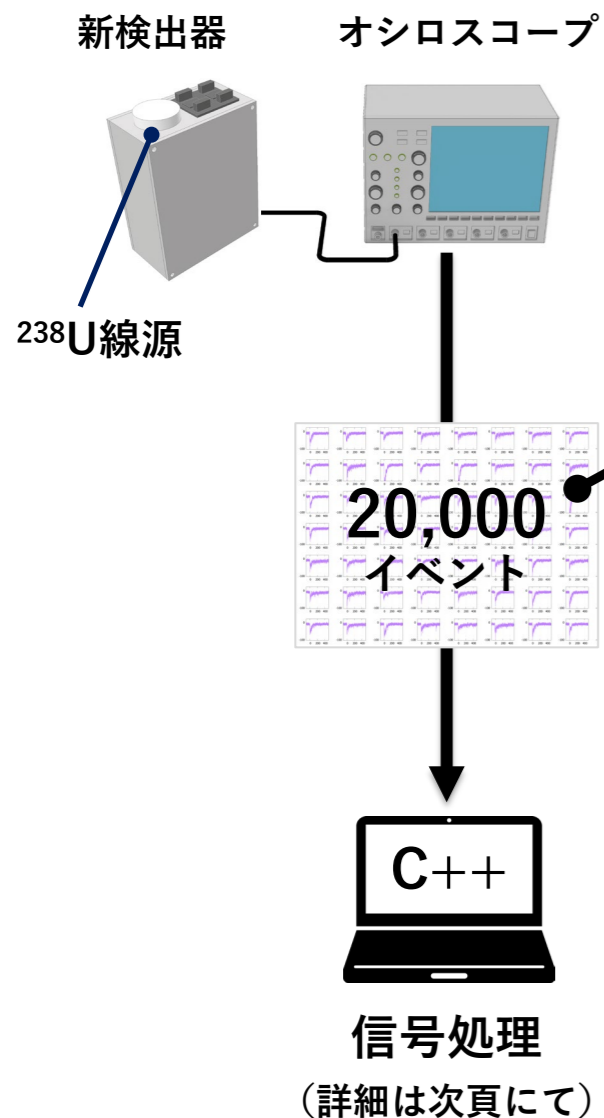


### ポイント！

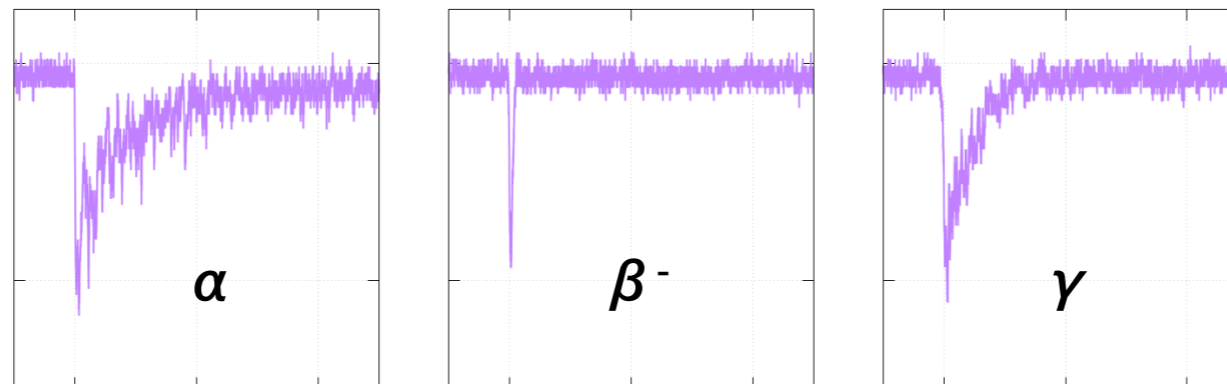
- ▶ シンチレータを重ねると光電子増倍管に多様な波形が入射する
- ▶ これらの波形を区別（弁別）する仕組みは世界的に確立されていなかった



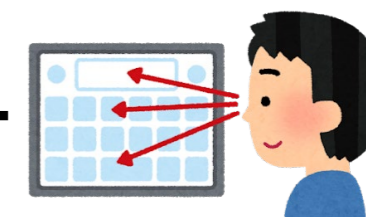
本技術で解決した重要ポイント



## 238Uから得られた $\alpha$ ・ $\beta^-$ ・ $\gamma$ 線の信号



線種毎に **正解** を付与



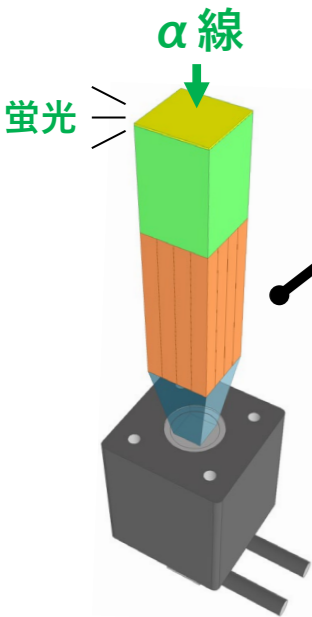
目視弁別	小計
$\beta^-$ 線	13,447
$\gamma$ 線	1,633
$\alpha$ 線	4,829
$\beta^- + \gamma$ 線	54
除外データ	37

合計: 20,000

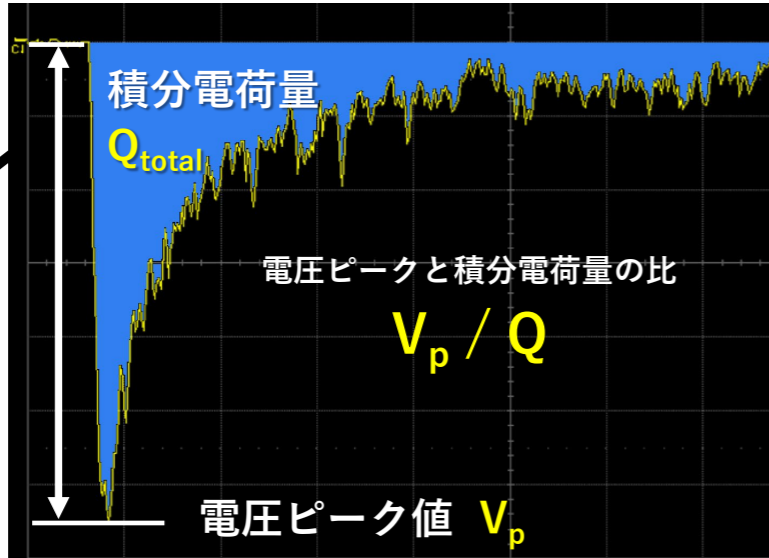
**ポイント!**

- ▶ 238U線源を用いて $\alpha$ ・ $\beta^-$ ・ $\gamma$ 線の波形を取得
- ▶ 弁別精度を評価するため、各波形に正解を付与した

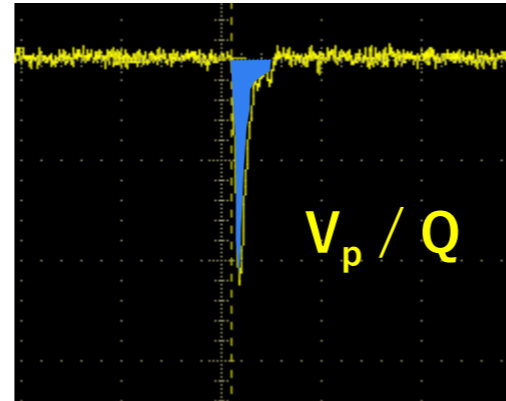
# 信号の弁別 PQD (Peak-to-charge discrimination) 法※



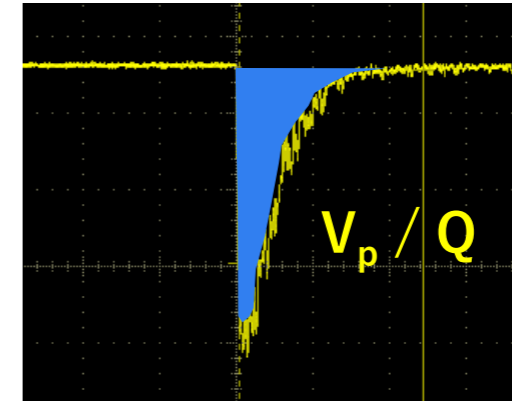
α線由来信号の $V_p/Q$



β<sup>-</sup>線由来信号の $V_p/Q$



γ線由来信号の $V_p/Q$



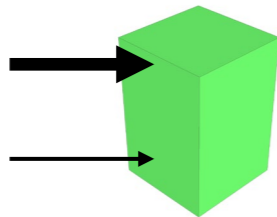
電荷とは：  
時間毎の電流値を積算したもの

シンチレータから放出される蛍光には特徴がある  
(電圧ピーク値や波形面積には法則性がある)

## Plasticシンチレータ

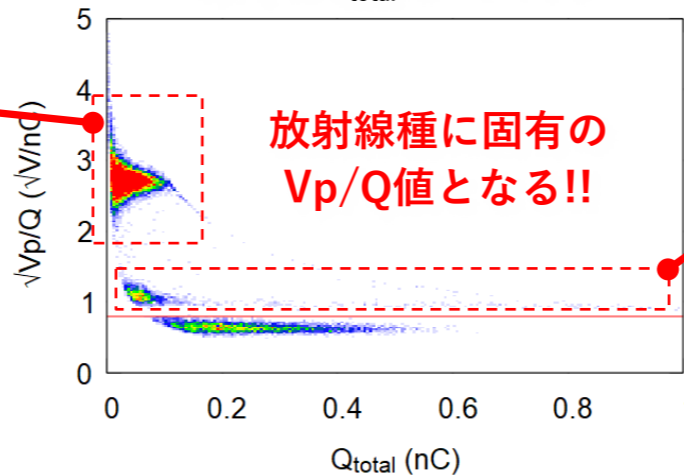
どんなβ<sup>-</sup>線でも $V_p/Q$ 値は同じ

高エネルギーβ<sup>-</sup>線  
低エネルギーβ<sup>-</sup>線



Plasticシンチレータ

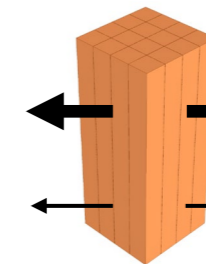
## $V_p/Q$ vs $Q_{total}$ ヒートマップ



エネルギー情報も取得可能！

## 無機シンチレータ

どんなγ線でも $V_p/Q$ 値は同じ

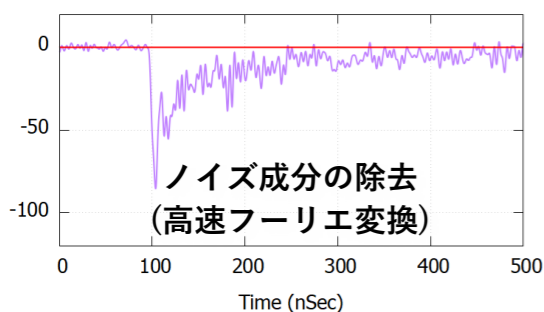
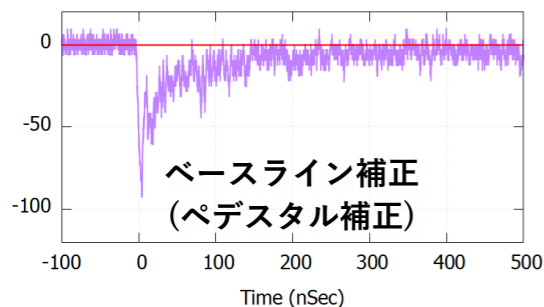
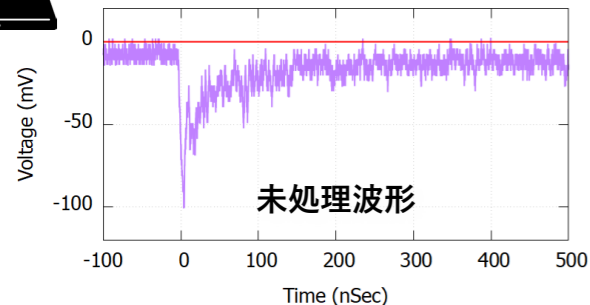


高エネルギーγ線  
低エネルギーγ線

GSOシンチレータ

## $V_p/Q$ 計算前の信号処理

C++



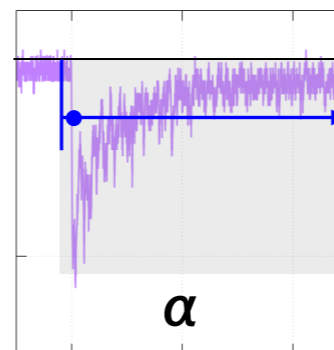
$Q_{total}$   
積算範囲

$Q_{total}$  積算範囲 調整あり  
(積算分岐 あり)

$Q_{total}$  積算範囲 調整なし  
(積算分岐 なし)

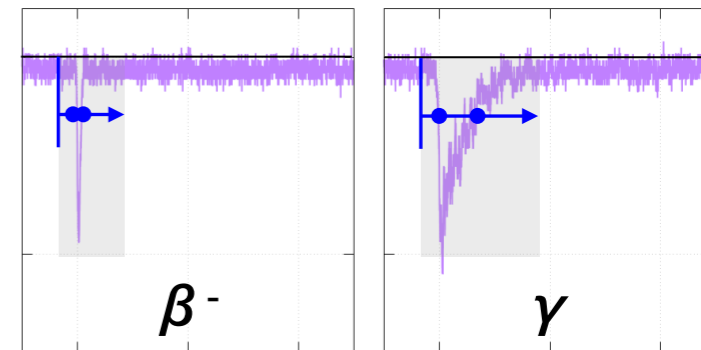
## 波形の特徴に応じて $Q_{total}$ 積算範囲を調整

$V_p/Q < 0.8012$

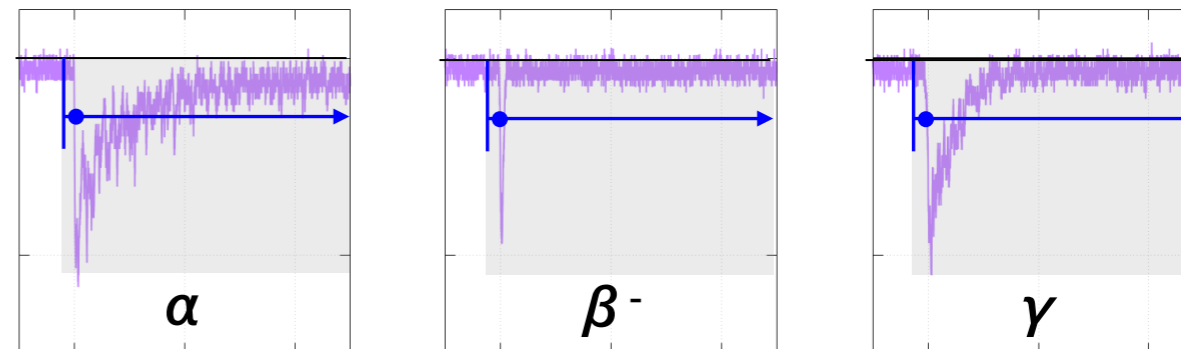


ピーク検知 -15 ns  
～ データの最後まで

$V_p/Q \geq 0.8012$

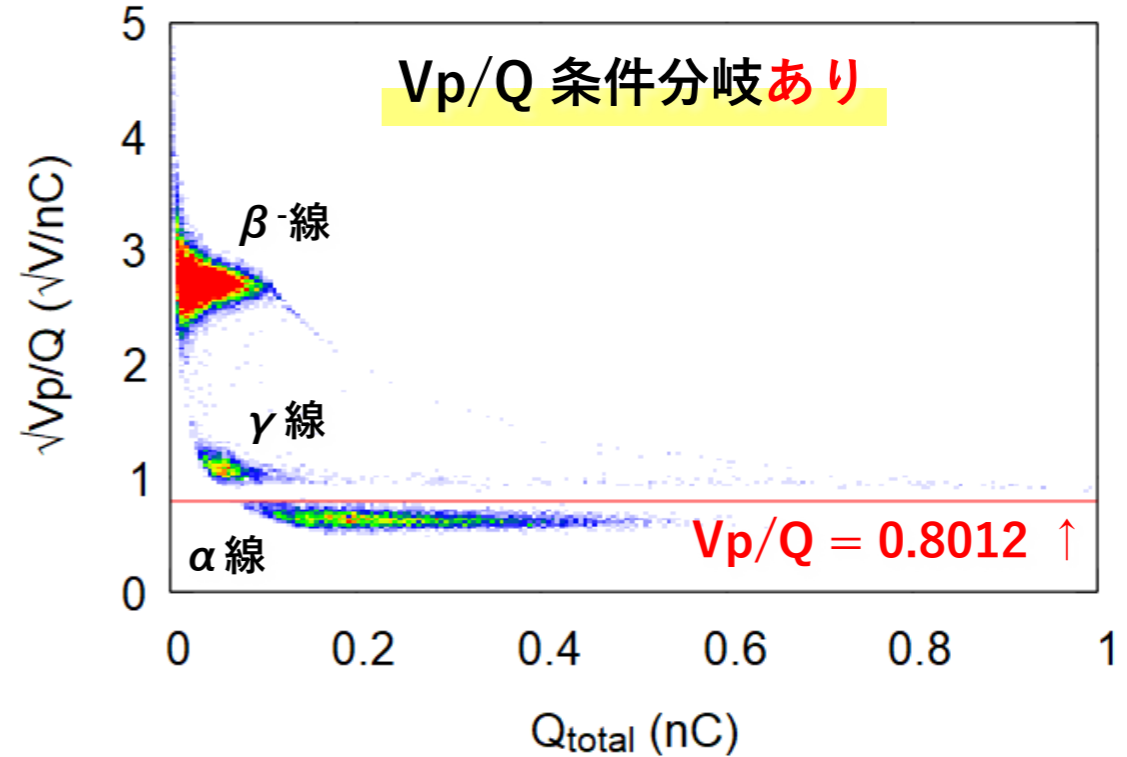
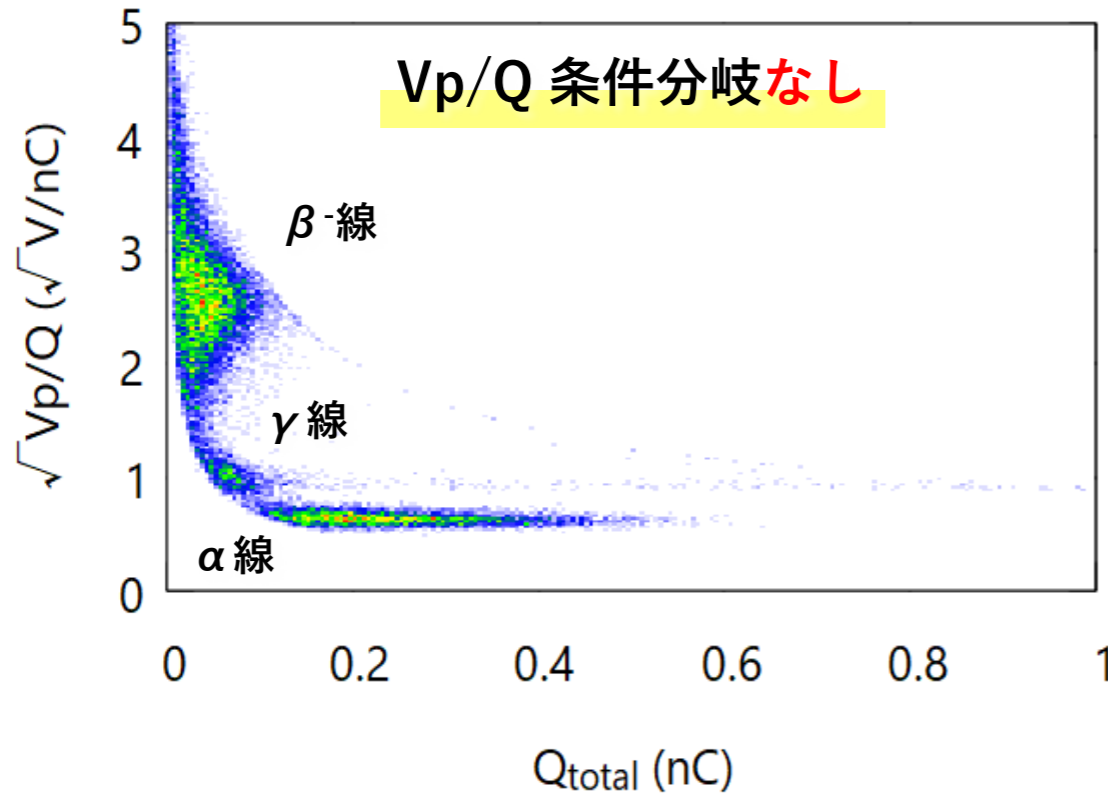


ピーク検知 -15 ns ～ ピーク終了 +200 ns



ピーク検知 -15 ns ～ データの最後まで (全データで統一)

PQD法による $^{238}\text{U}$ 放射線の弁別結果（ヒートマップによる可視化）



👉 **ポイント！**

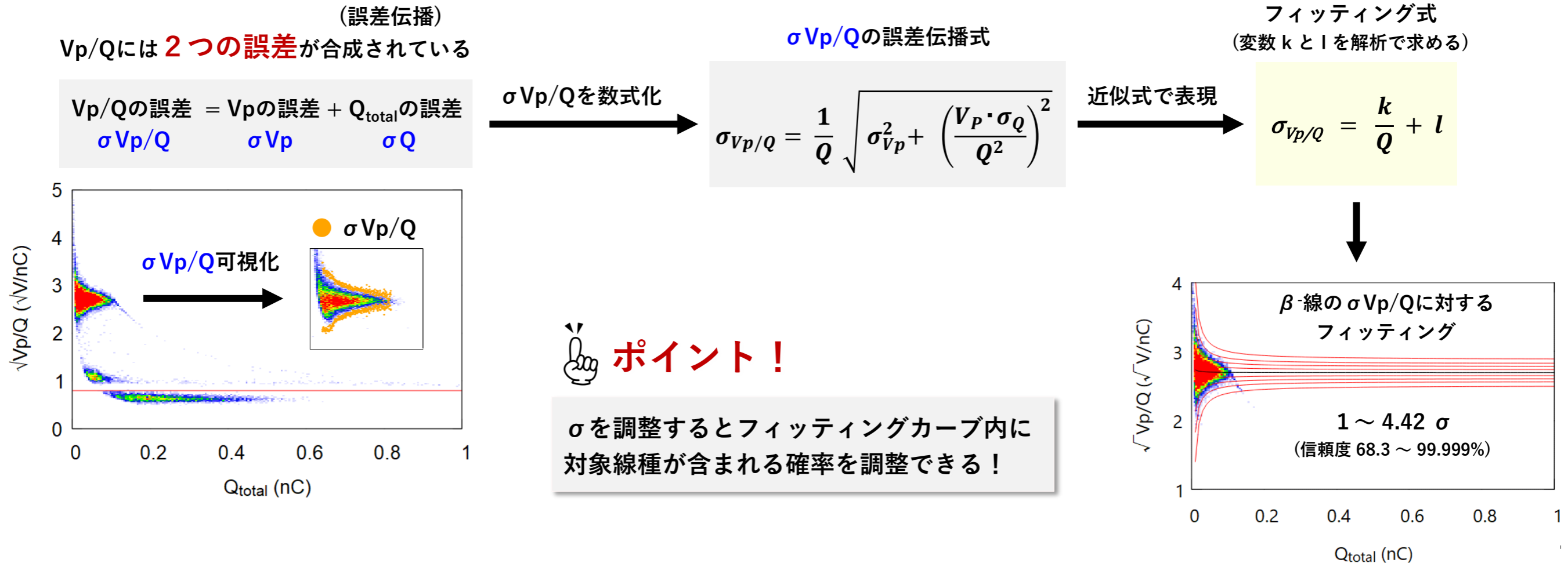
- ▶  $^{238}\text{U}$ 線源を目視上で弁別に成功！
- ▶  $V_p/Q$ 積分範囲を制御することで明瞭な分離を実現

ただし…

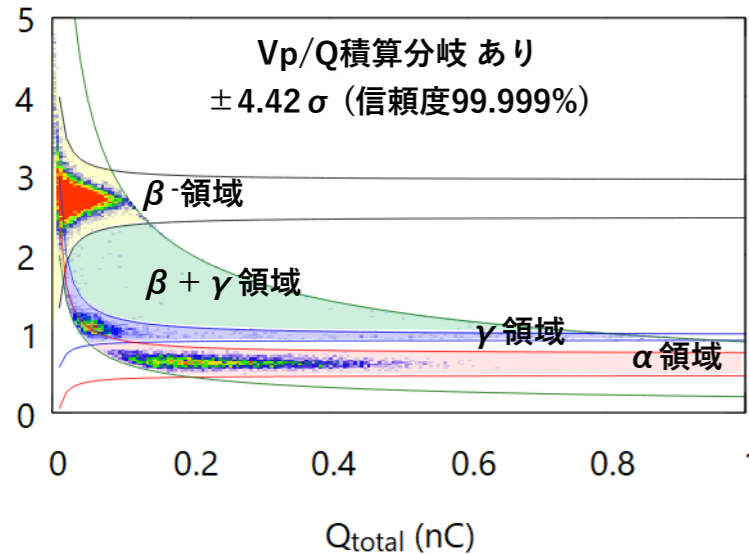
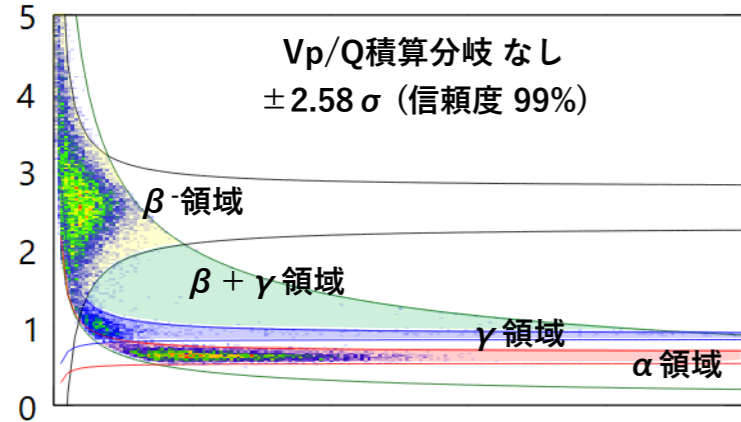
現時点では見た目として分離できているだけ  
(放射線を分けるルールが必要)

## 【アプローチ1】理論閾値

- ▶  $V_p/Q$  には  $V_p$  と  $Q_{total}$  それぞれの標準偏差が含まれている（誤差伝播）
- ▶ その誤差伝播を近似式で表現してフィッティング解析を行う



## 【アプローチ1】理論閾値



$^{238}\text{U}$  (ウラン) の線種弁別結果

	Vp/Q積算分岐	$\beta$ -線	$\gamma$ 線	$\alpha$ 線	$\beta + \gamma$ 線
弁別能	なし	98.42%	97.71%	100%	97.71%
	あり	100%	100%	100%	86.44%
正解率	なし	98.67%	83.61%	98.55%	62.75%
	あり	99.97%	99.76%	100%	100%

注目！

ポイント！

- ▶  $\alpha \cdot \beta$ ・ $\gamma$ 線の精密な弁別に成功!!
- ▶  $\beta$ -と $\gamma$ 線の同時入射イベントも検知可能

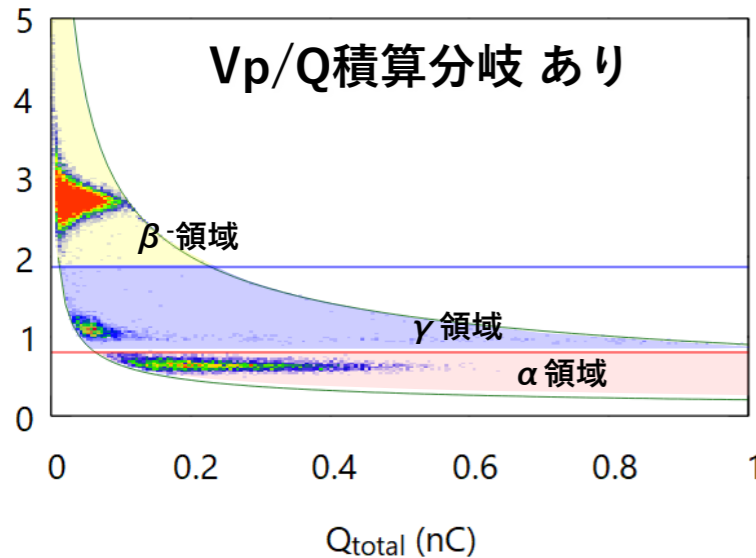
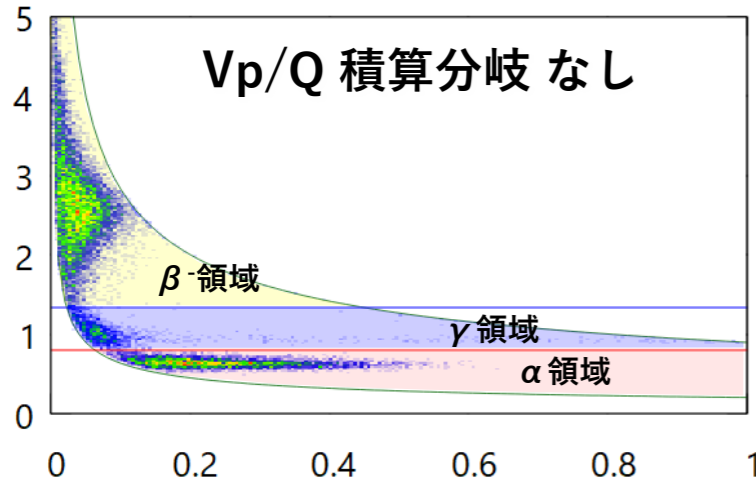
## 【アプローチ2】単純閾値

- ▶ 各放射線を最も弁別できるVp/Q値を実験的に特定
- ▶ そのVp/Q値に傾きゼロの一次関数にて閾値を設定

	Vp/Q積算分岐	$\beta$ -線	$\gamma$ 線	$\alpha$ 線
弁別能	なし	99.32%	94.66%	100%
	あり	100%	99.94%	100%
正解率	なし	99.22%	92.59%	100%
	あり	99.73%	99.11%	100%

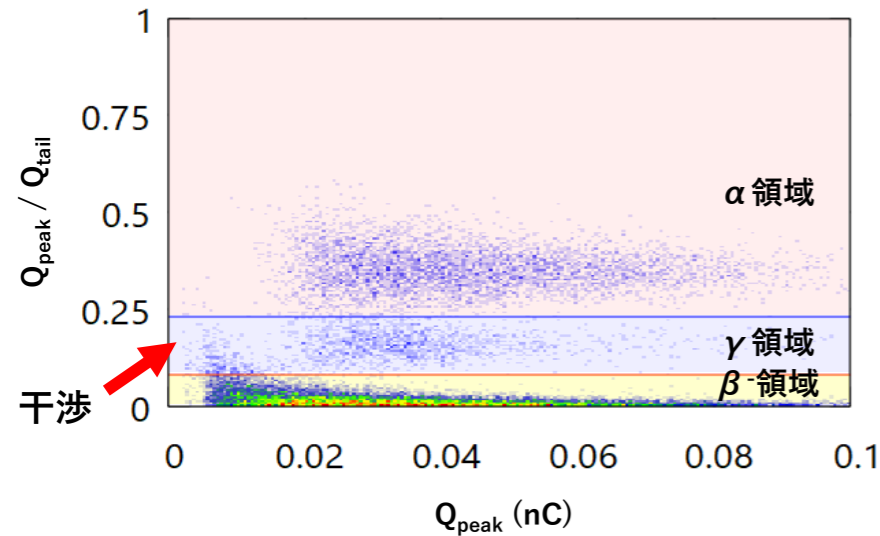
**弁別能：**  
設定した領域に正しく弁別できた割合

**正解率：**  
各データが正しく弁別できた割合



**ポイント！**

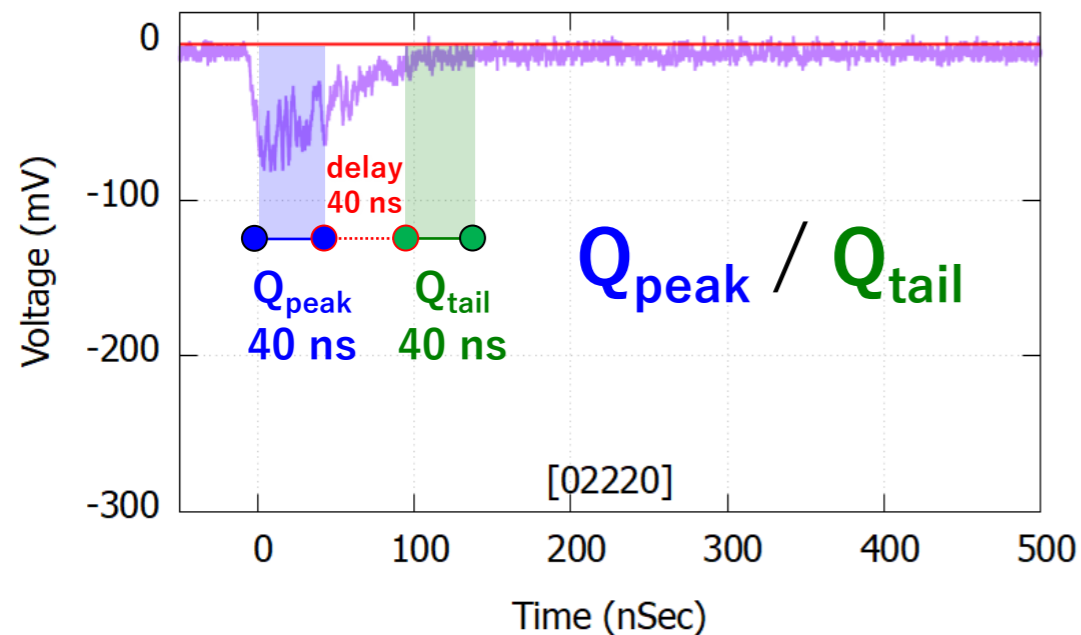
- ▶ 単純な閾値であってもある程度の弁別が可能
- ▶ 理論閾値法と比較すると性能は低下



## 【アプローチ 3】 従来法 (Charge comparison法)

- ▶ ピークの本体成分 ( $Q_{\text{peak}}$ ) と 減衰成分 ( $Q_{\text{tail}}$ ) をそれぞれ定義
- ▶ 両者の積分電荷量の比を線種弁別に利用する

【従来法】 積分電荷量の計算範囲 概念図



	Vp/Q積算分岐	$\beta$ -線	$\gamma$ 線	$\alpha$ 線
弁別能	—	99.86%	81.70%	98.35%
正解率	—	97.66%	93.48%	98.53%

👉 **ポイント！**

$\beta$ -線信号が $\gamma$ 領域に干渉してしまう（ $\gamma$ 領域の弁別能が低い）

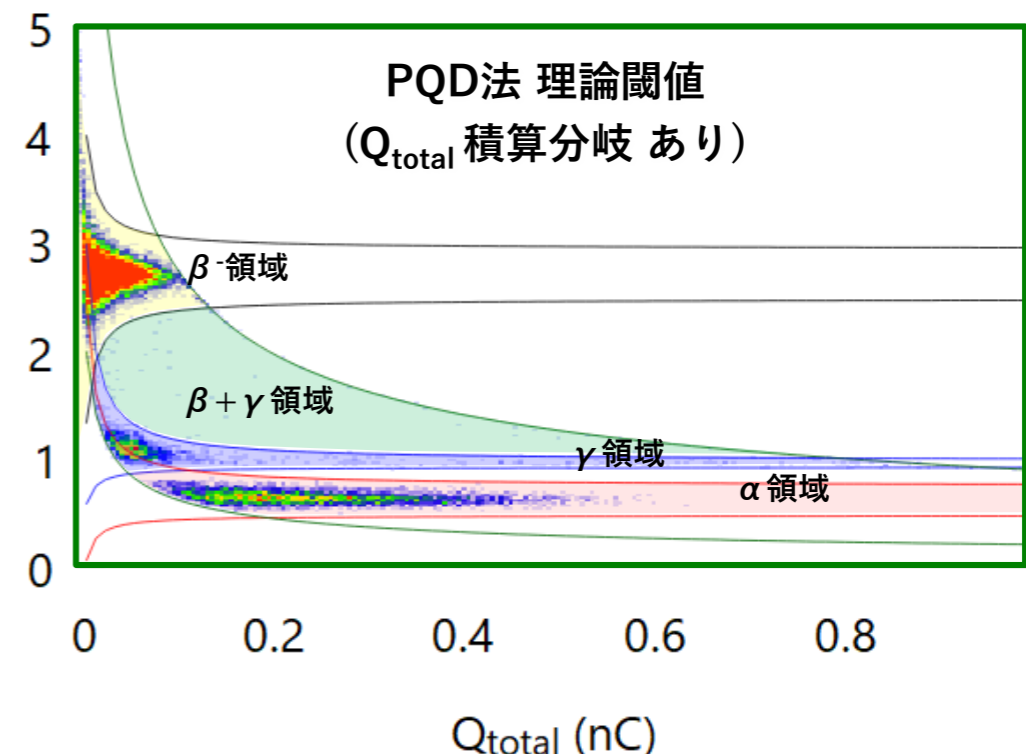
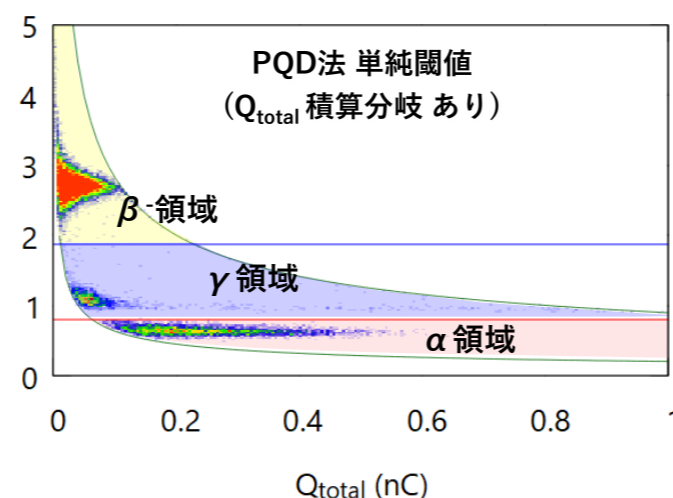
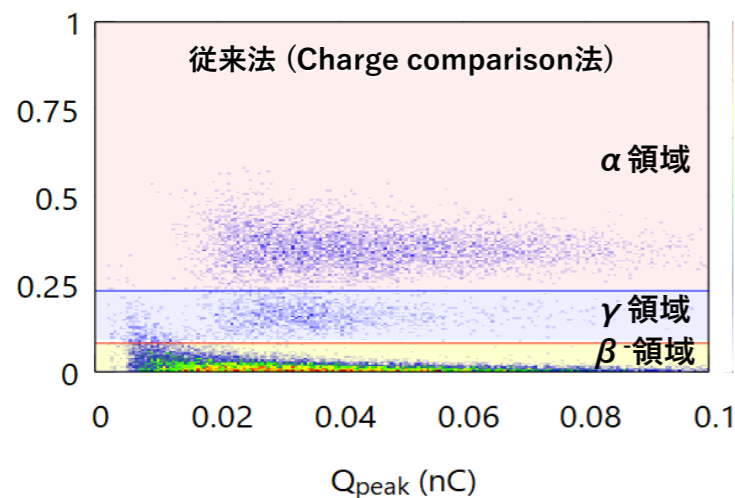
			Vp/Q 積算分岐	$\beta$ 線	$\gamma$ 線	$\alpha$ 線	$\beta + \gamma$ 線
弁別能	従来法		—	99.86%	81.70%	98.35%	—
	PQD法	単純閾値	なし	99.32%	94.66%	100%	—
			あり	100%	99.94%	100%	—
		理論閾値	なし	98.42%	97.71%	100%	97.71%
			あり	100%	100%	100%	86.44%
正解率	従来法		—	97.66%	93.48%	98.53%	—
	PQD法	単純閾値	なし	99.22%	92.59%	100%	—
			あり	99.73%	99.11%	100%	—
		理論閾値	なし	98.67%	83.61%	98.55%	62.75%
			あり	99.97%	99.76%	100%	100%



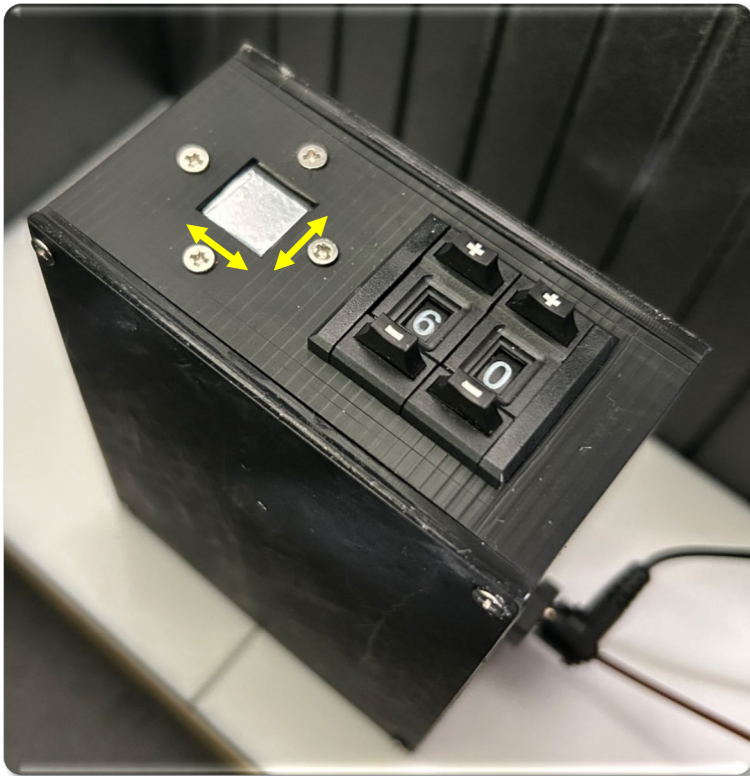
**ポイント！**

- ▶ PQD法理論値は弁別能・正解率ともに最も高い
- ▶ さらに $\beta + \gamma$ 同時イベントの検知も可能！

**最も優れた弁別法！**



## 実証段階なので放射線検出面が小さい！



現在の放射線検出面は…

**1 × 1 cm**

放射線検出面を拡大するには…

### 1. 各シンチレータのサイズアップ

- ・ Plasticシンチレータ（元々は液体）を所望のサイズに製作する検討
- ・ 無機シンチレータの特注（既製品では対応できない）

### 2. 光電子増倍管のサイズアップ

- ・ 既製品の中で用途に合うものを選定
- ・ 光ガイドの形状や長さの再検討が必要

### 3. 外装ケースの作り直し

- ・ シンチレータサイズアップに伴う重量増に耐えられるように3Dプリンタではなく切削加工による外装ケースの製作が必要

時期	課題・検討すべき事項	社会実装への取組み
基礎研究	光収率などのシミュレーションが完了	
現在	PQD法による線種弁別理論が確立	特許出願中
1年後	放射線検出面のサイズアップを実現 検出面における位置特定機能の実装	汚染検査時に汚染箇所が可視化できる!!
2年後	自走型ロボットに新型検出器を実装	検出器単体の社会実装 自走型ロボットの社会実装
3年後	新型放射線検出器による測定器の展開	新型測定器を応用してあらゆる測定器の小型化・販売 (排水用、排気用、 $\gamma$ カウンタ、液シンカウンタ…)



私たちは本検出器の社会実装を **本気** で目指しています！

- ✓  $\alpha$ 線・ $\beta$ -線・ $\gamma$ 線が一つの検出器で測定できることを当たり前にしたい
- ✓ 放射線関連分野における測定法のスタンダードにしたい



- ☞ 放射線測定器を開発中の企業 様
- ☞ 放射線関連分野への展開を考えている企業 様
- ☞ とにかく心意気を買っていただける企業 様

世の中にまだ存在しない **新しい放射線測定器** を一緒に作りませんか？

この検出器が実用化されれば、いろんな放射線測定器を刷新できます

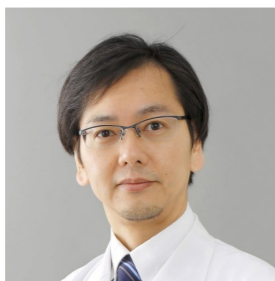
☞  $\gamma$  カウンタ・液体シンチレーションカウンタ、RI排気測定装置、RI排水測定装置…

☞ 原子力関連、放射線施設、医療施設など応用分野は広い

## PRポイント

本研究を行っている**石川研究室**では

「**世の中に役立つ放射線検出器**」を開発しています



石川 正純 教授 (発明者)  
放射線計測学の専門家



阿保 憲史 (発表者・発明者)  
放射線管理の専門家

社会実装例も豊富です!!



シンチレーション  
光ファイバー線量計  
MIDSOF (アクロバイオ)



動体追跡放射線治療用  
呼吸同期システム  
SyncTraX (島津製作所)

発明の名称： 放射線検出器、放射線の線種弁別方法、放射能汚染検査方法、および放射能汚染探査装置

出願番号： 特願2025-149172

出願人： 国立大学法人北海道大学

発明者： 石川 正純、阿保 憲史

**北海道大学 産学・地域協働推進機構**  
**産学・地域協働推進機構 ワンストップ窓口**

<https://www.mcip.hokudai.ac.jp/about/onestop.html>

ご清聴ありがとうございました