

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院 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

α 線 β^- 線 γ 線 中性子線

Gy	Sv	Bq	cps
Gy/h	Sv/h	Bq/cm ²	cpm
Bq/cm ³			



適切な測定器を決定

適切な使用方法の把握も必要

POINT!

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

α 線



β^- 線



γ 線



低エネルギー核種 (^{125}I) 用

高線量環境用

中性子
線



空気中放射能濃度測定
(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！

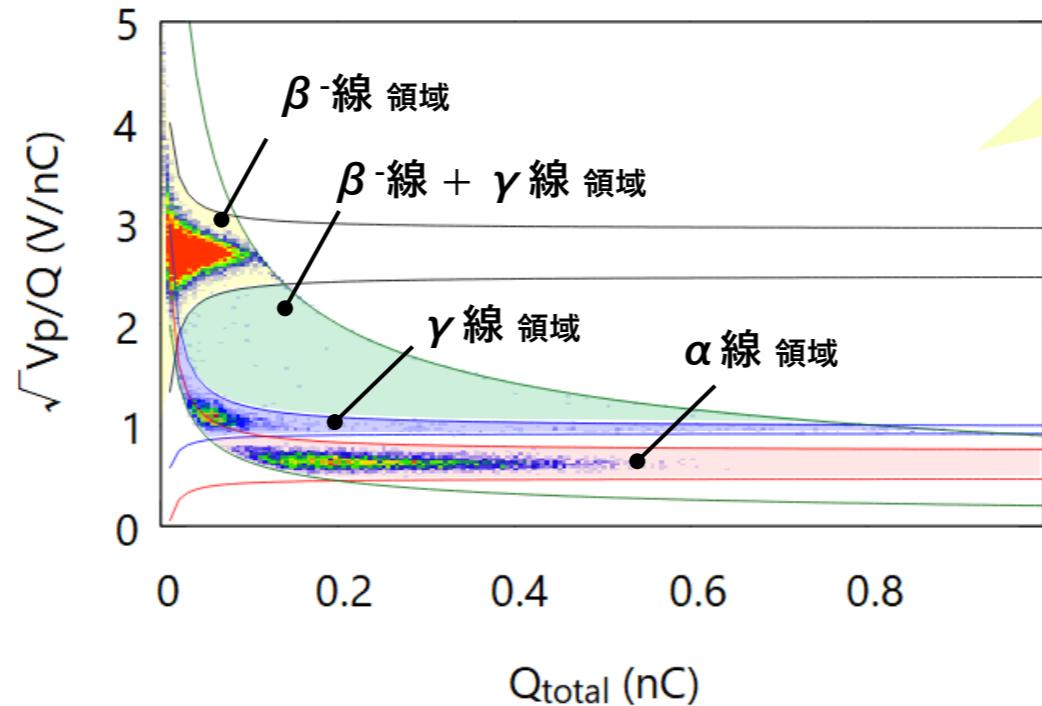
放射線測定器を保有するほど管理が大変

新技術



α 線・ β -線・ γ 線
が測定できる！

新技術による ^{238}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！

	β -線	γ 線	α 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！

- ▶ α 線・ β -線・ γ 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



従来技術

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

新技術

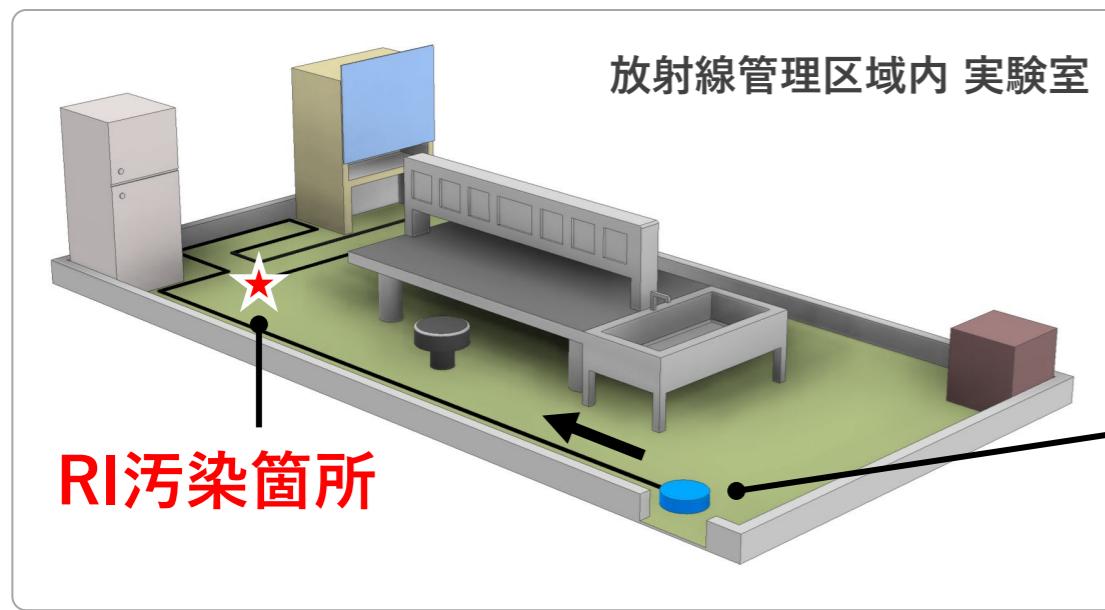
γ 線として反応していて
そのエネルギーが 660 keV 付近だから
 ^{137}Cs (セシウム) 由來の放射線で
その空間線量率は $2 \mu\text{Sv}/\text{h}$ だ！



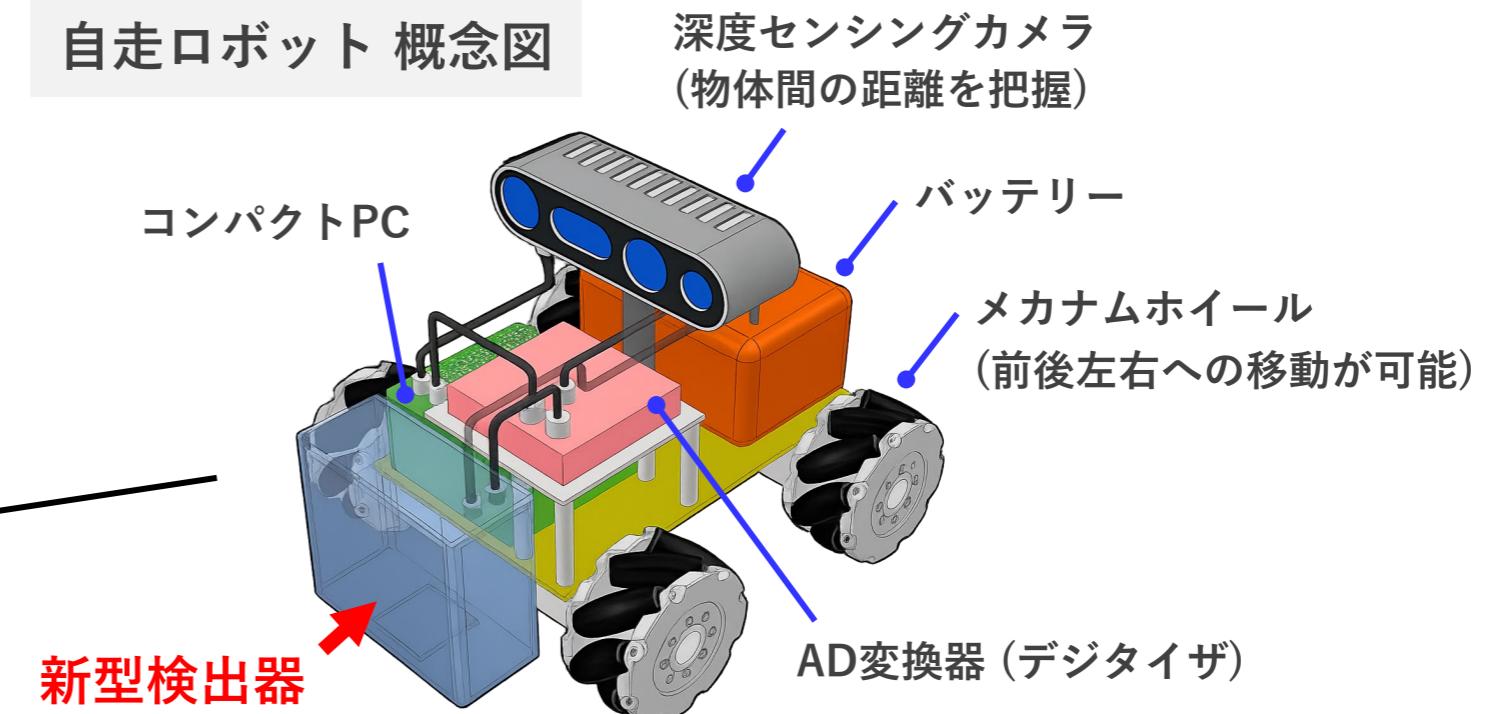
測定に慣れであっても
直感的で分かりやすい！

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

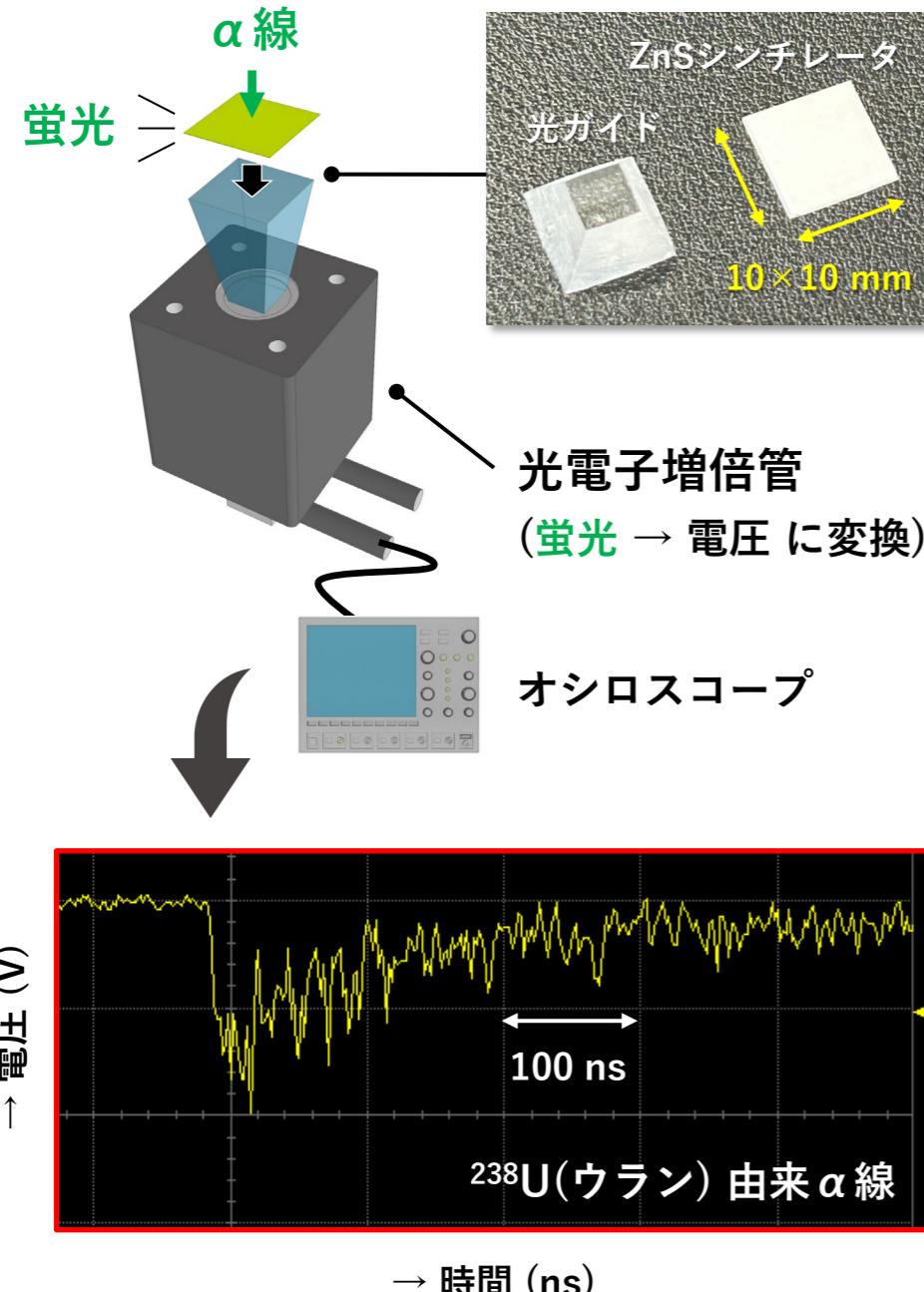


現状の課題

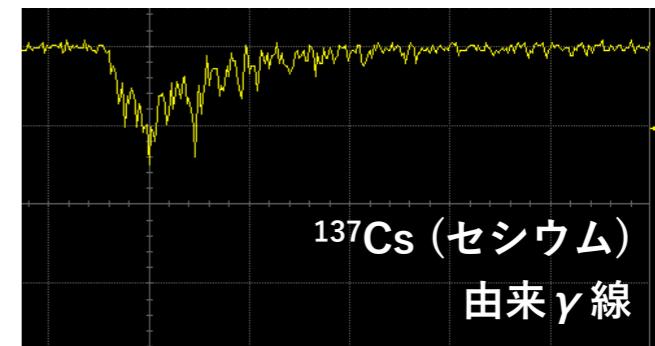
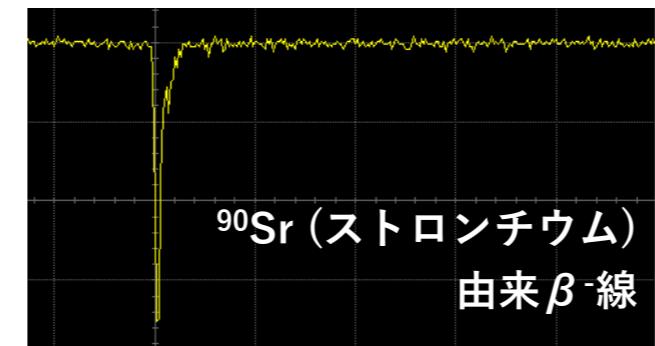
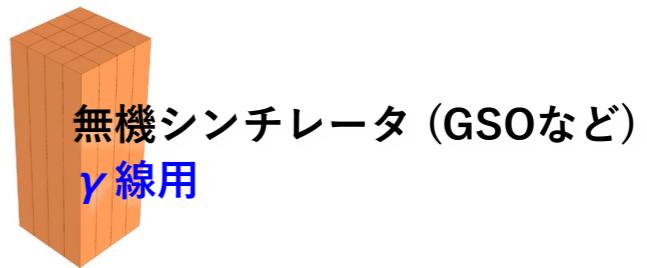
- ▶ 床面のRI汚染確認は法令に基づき月1回の頻度で確認している（部屋面積の僅か0.1%程度のみ）

新技术による課題解決

- ▶ 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

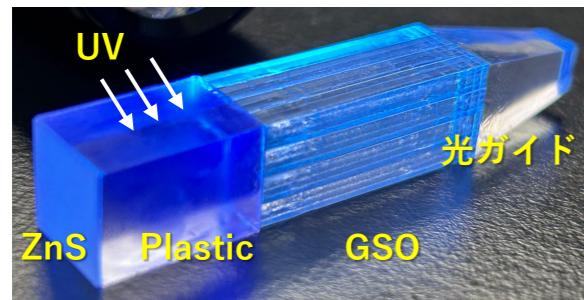
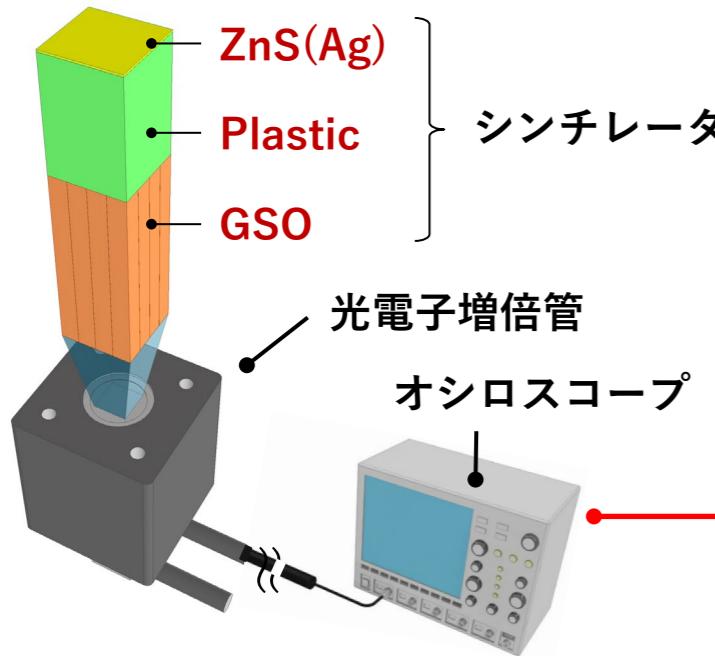


- ポイント！
- ▶ シンチレータに放射線が当たると蛍光が発生する
 - ▶ その蛍光を光電子増倍管で受光すると電気信号が発生する
 - ▶ シンチレータには放射線の種類によって感度が異なる

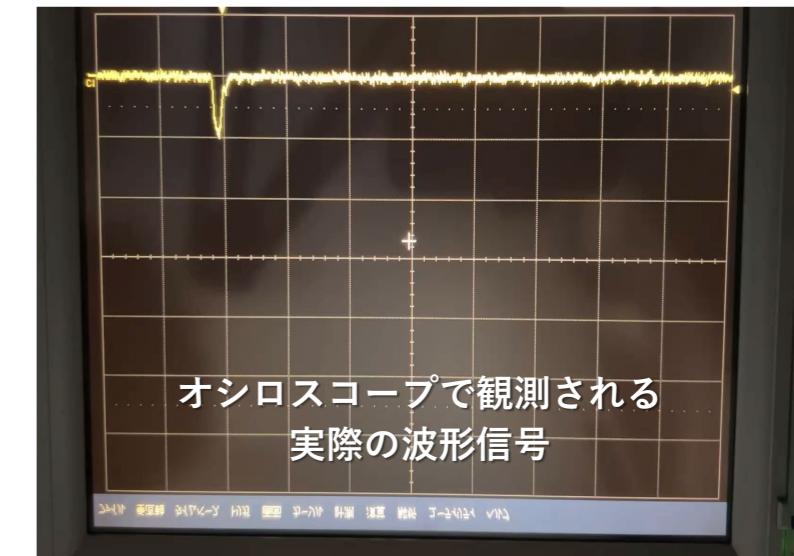
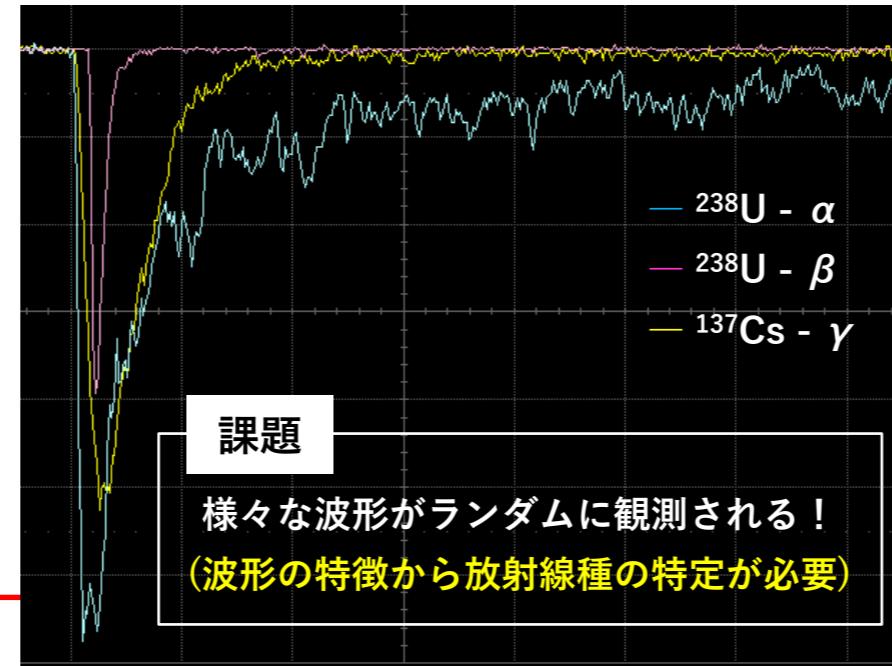


放射線の種類によって適切なシンチレータがある

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



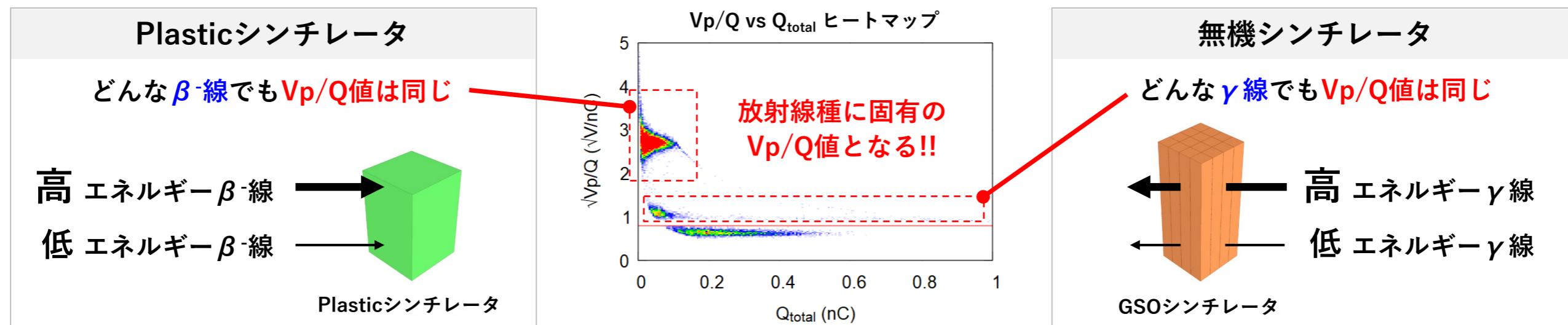
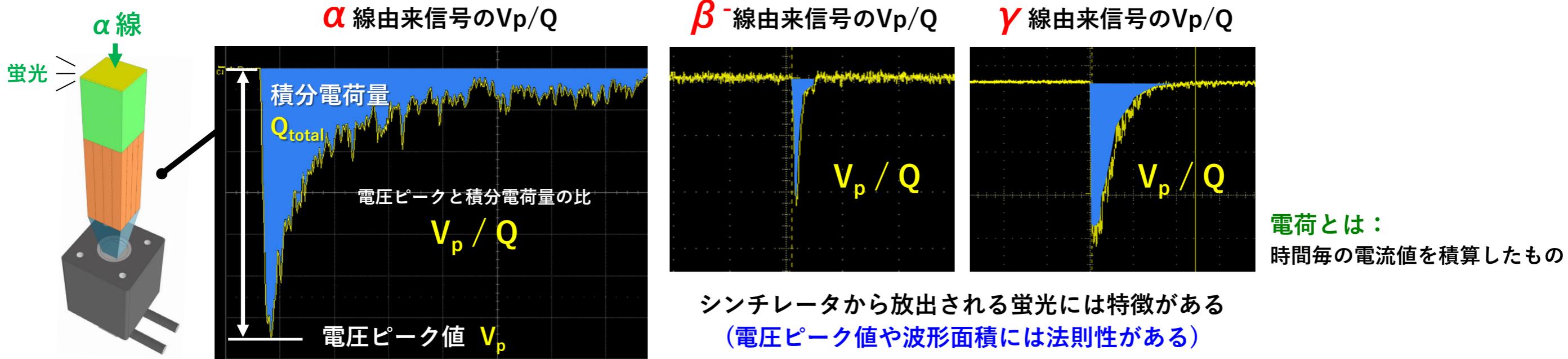
↑ ポイント!

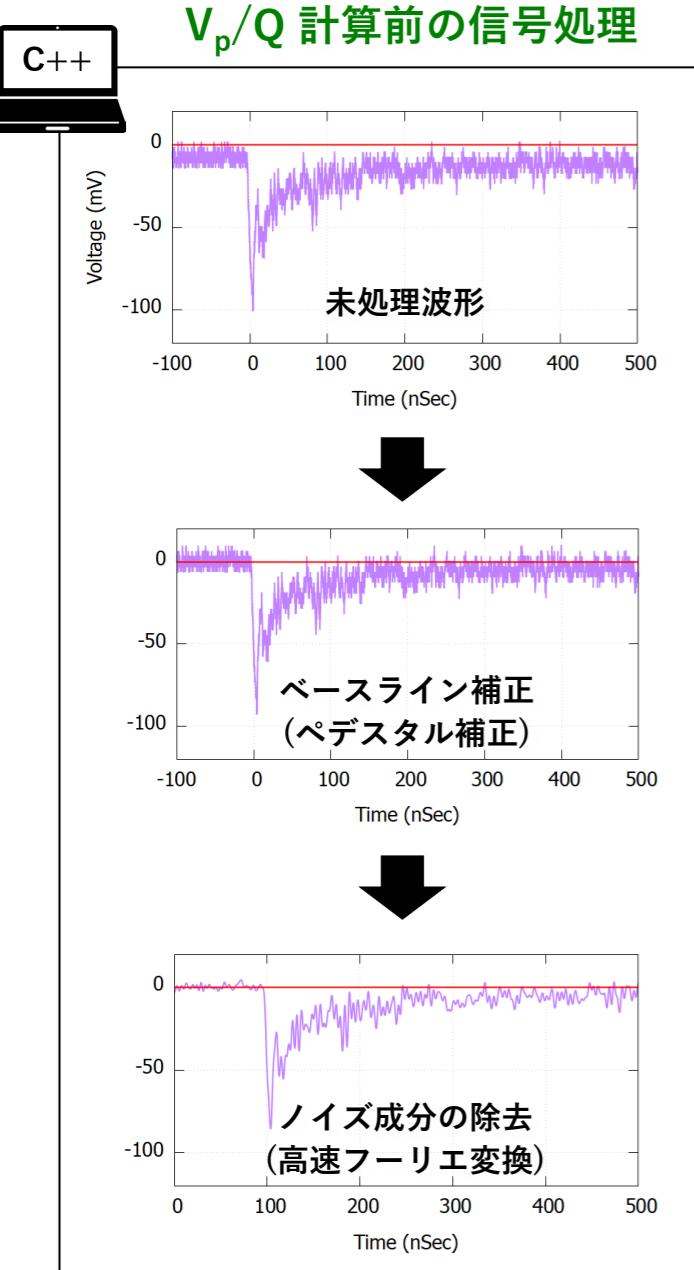
- ▶ シンチレータを重ねると光電子増倍管に多様な波形が入射する
- ▶ これらの波形を区別(弁別)する仕組みは世界的に確立されていなかった

↑
本技術で解決した重要ポイント 9



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





波形の特徴に応じて Q_{total} 積算範囲を調整

Q_{total}
積算範囲

Q_{total} 積算範囲 調整あり
(積算分岐 あり)

$V_p/Q < 0.8012$

α

ピーク検知 -15 ns
～ データの最後まで

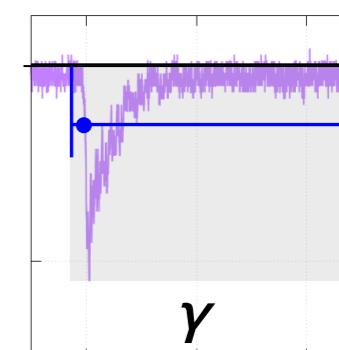
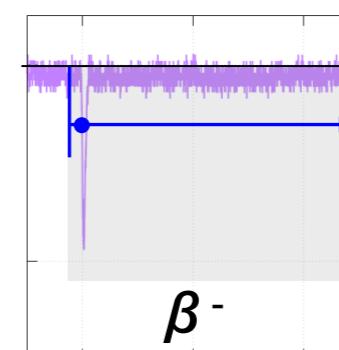
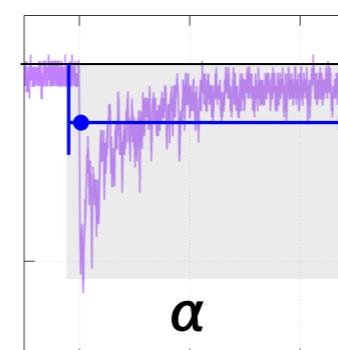
$V_p/Q \geq 0.8012$

β^-

ピーク検知 -15 ns ～ ピーク終了 +200 ns

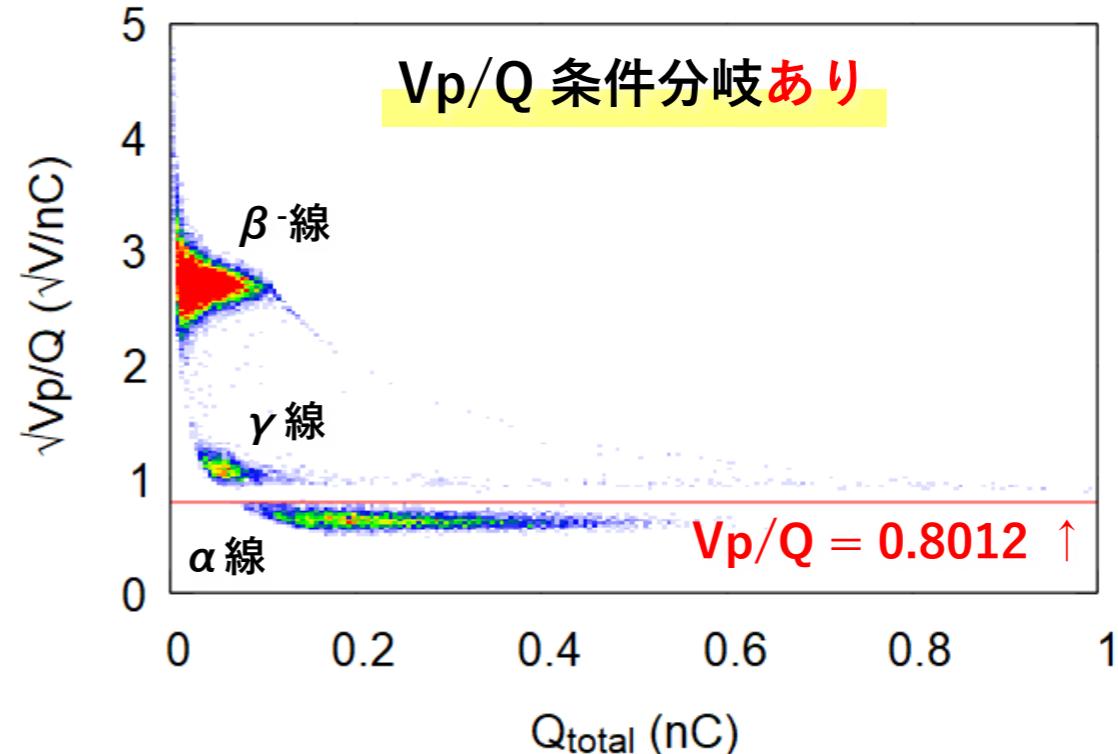
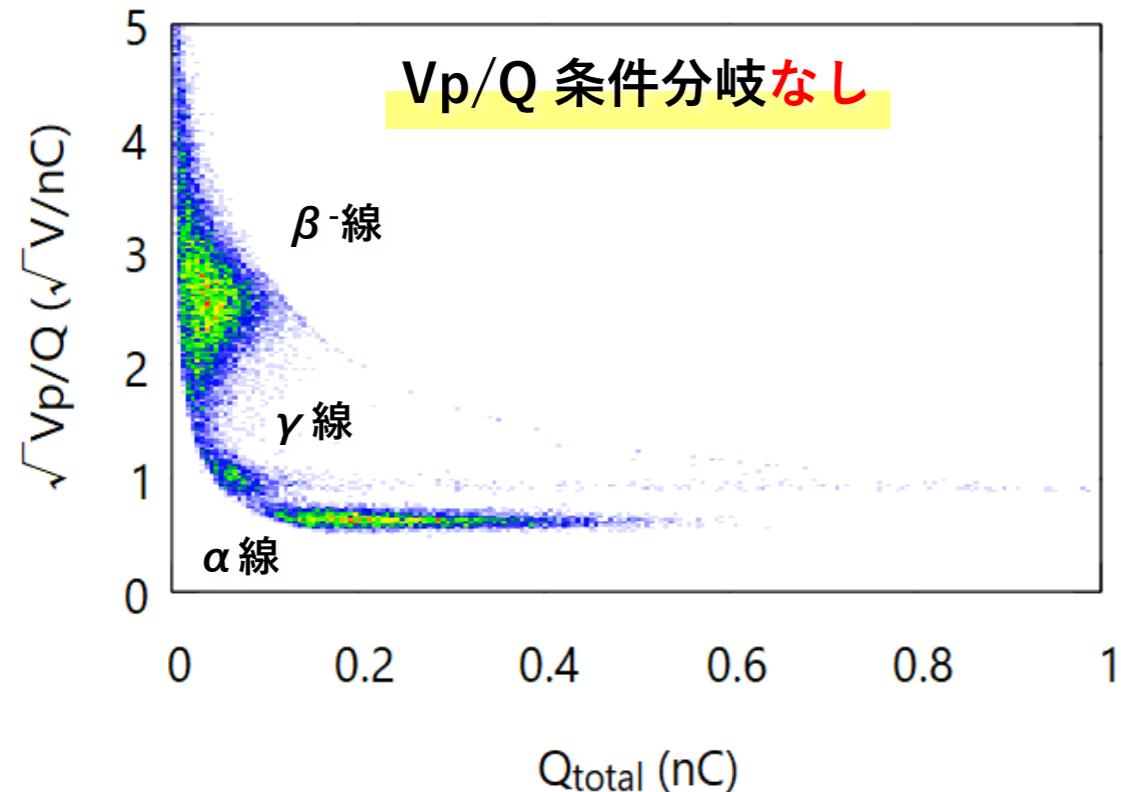
γ

Q_{total} 積算範囲 調整なし
(積算分岐 なし)



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}U 放射線の弁別結果（ヒートマップによる可視化）



POINT !

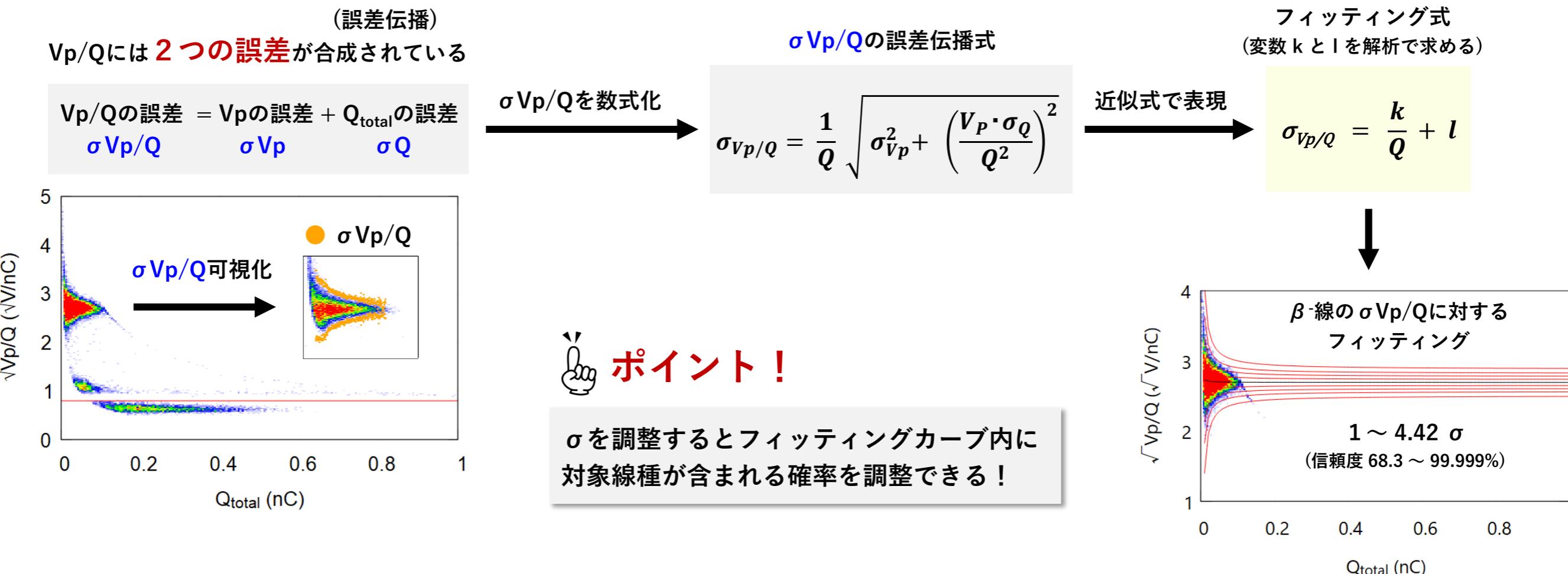
- ^{238}U 線源を目視上で弁別に成功！
- Vp/Q 積分範囲を制御することで明瞭な分離を実現

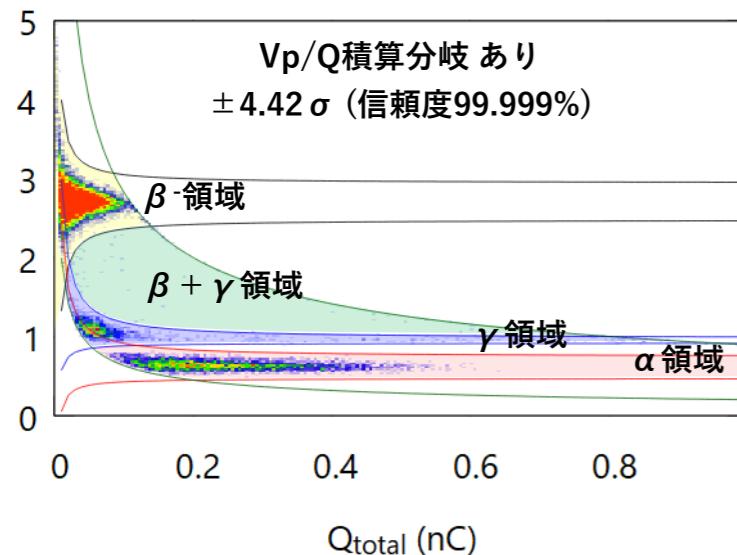
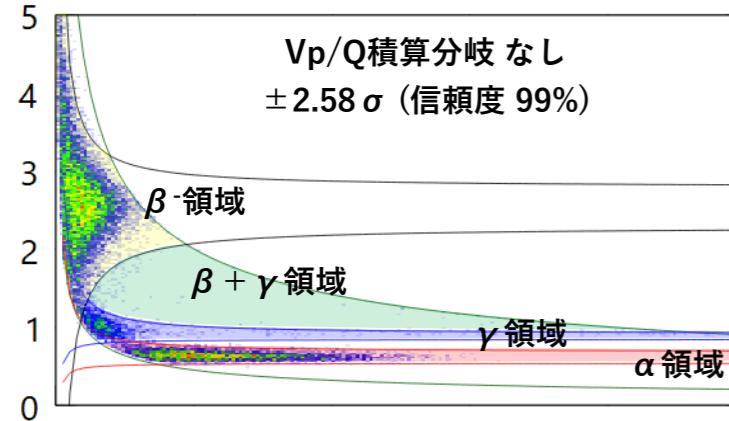
ただし…

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}U (ウラン) の線種弁別結果

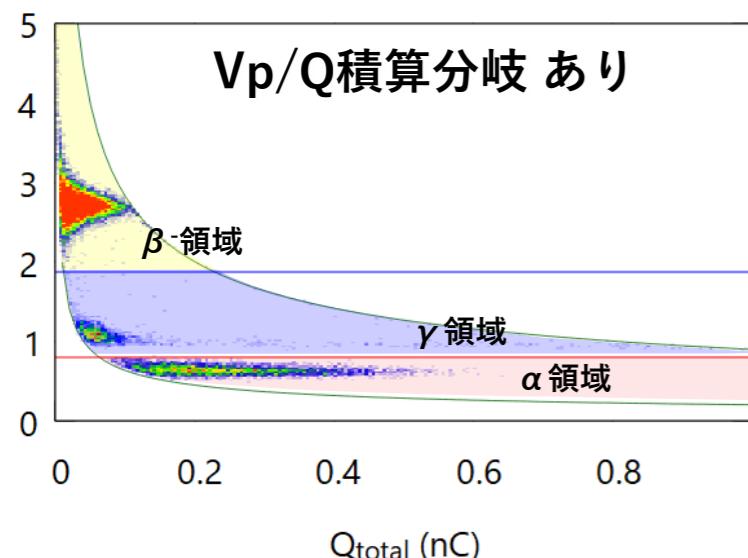
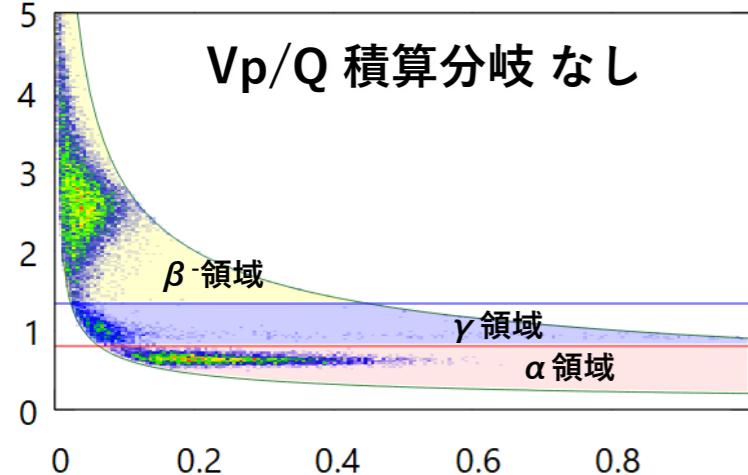
	Vp/Q積算分岐	β^- 線	γ 線	α 線	$\beta + \gamma$ 線
弁別能	なし	98.42%	97.71%	100%	97.71%
	あり	100%	100%	100%	86.44%
正解率	なし	98.67%	83.61%	98.55%	62.75%
	あり	99.97%	99.76%	100%	100%

注目！



ポイント！

- ▶ α ・ β^- ・ γ 線の精密な弁別に成功!!
- ▶ β^- と γ 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	β -線	γ 線	α 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：

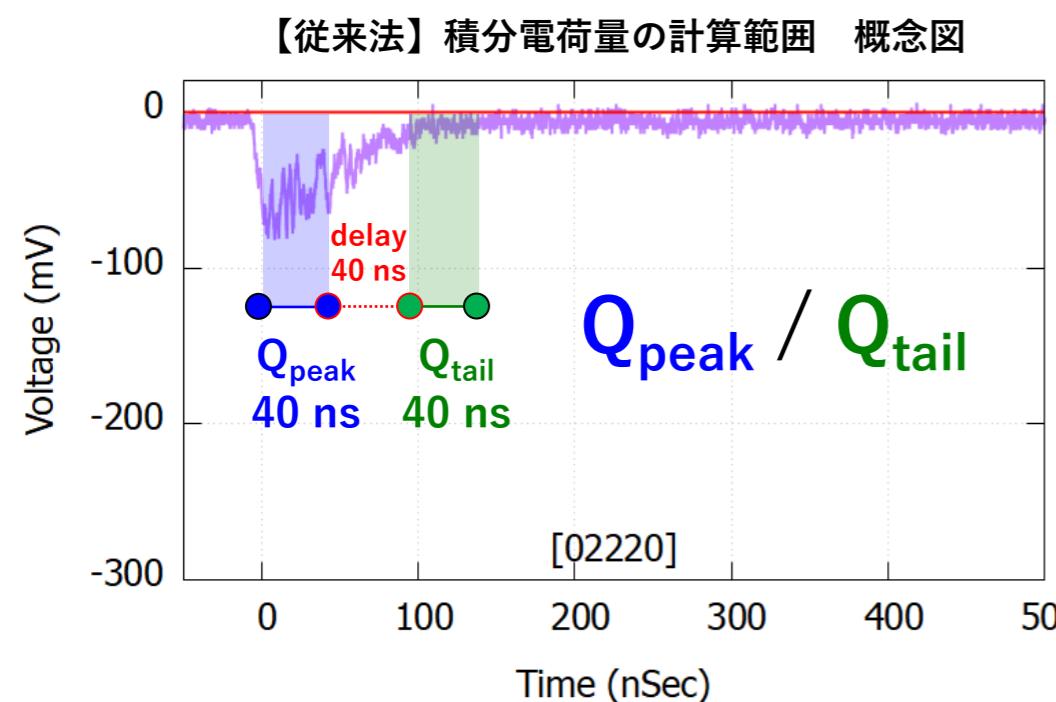
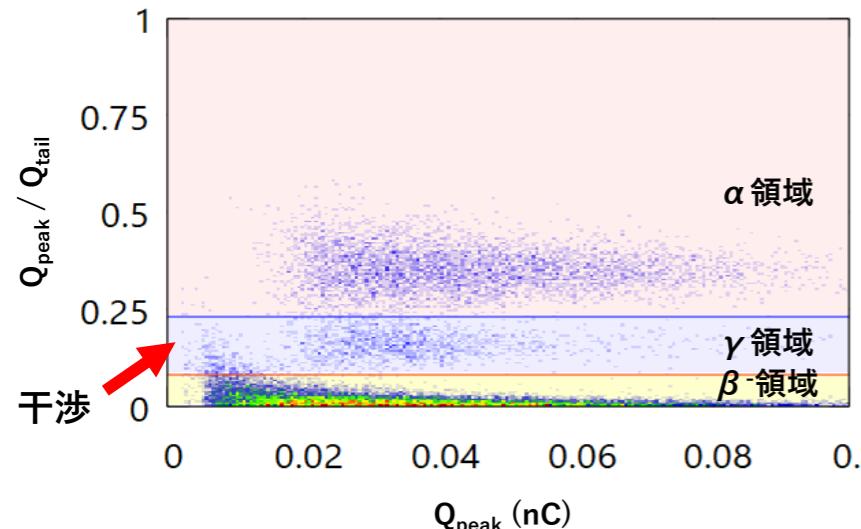
設定した領域に正しく弁別できた割合

正解率：

各データが正しく弁別できた割合



- ▶ 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)

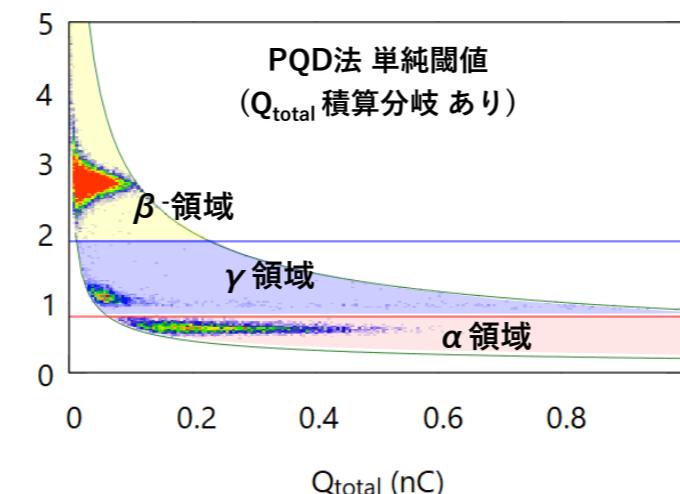
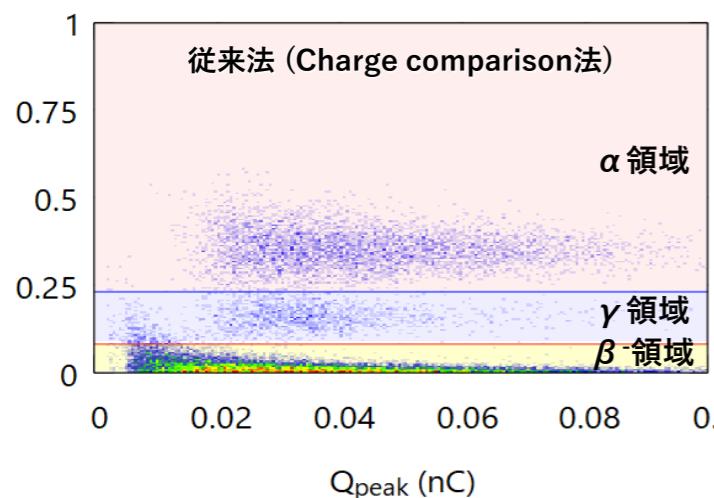
- ▶ ピークの本体成分 (Q_{peak}) と 減衰成分 (Q_{tail}) をそれぞれ定義
- ▶ 両者の積分電荷量の比を線種弁別に利用する

	V_p/Q 積算分岐	β -線	γ 線	α 線
弁別能	—	99.86%	81.70%	98.35%
正解率	—	97.66%	93.48%	98.53%

↑ ポイント！

β -線信号が γ 領域に干渉してしまう (γ 領域の弁別能が低い)

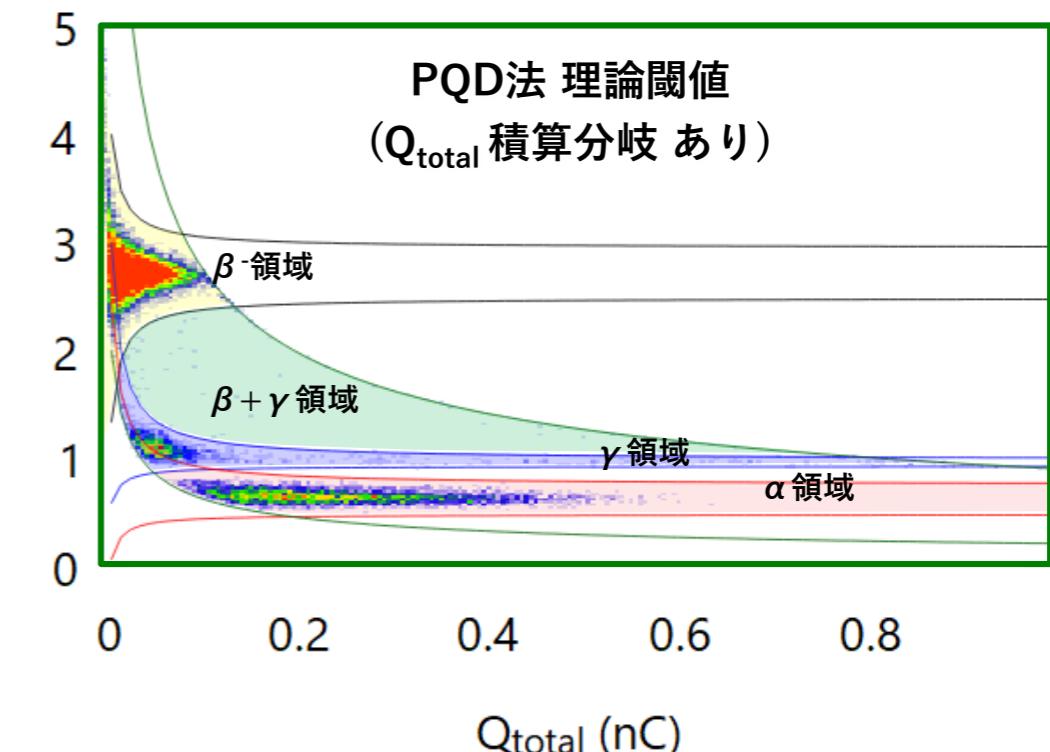
		Vp/Q 積算分岐	β -線	γ 線	α 線	$\beta + \gamma$ 線	
弁別能	従来法	—	99.86%	81.70%	98.35%	—	
	PQD法	単純閾値	なし	99.32%	94.66%	100%	—
		あり	100%	99.94%	100%	—	
	PQD法	理論閾値	なし	98.42%	97.71%	100%	97.71%
		あり	100%	100%	100%	86.44%	
正解率	従来法	—	97.66%	93.48%	98.53%	—	
	PQD法	単純閾値	なし	99.22%	92.59%	100%	—
		あり	99.73%	99.11%	100%	—	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



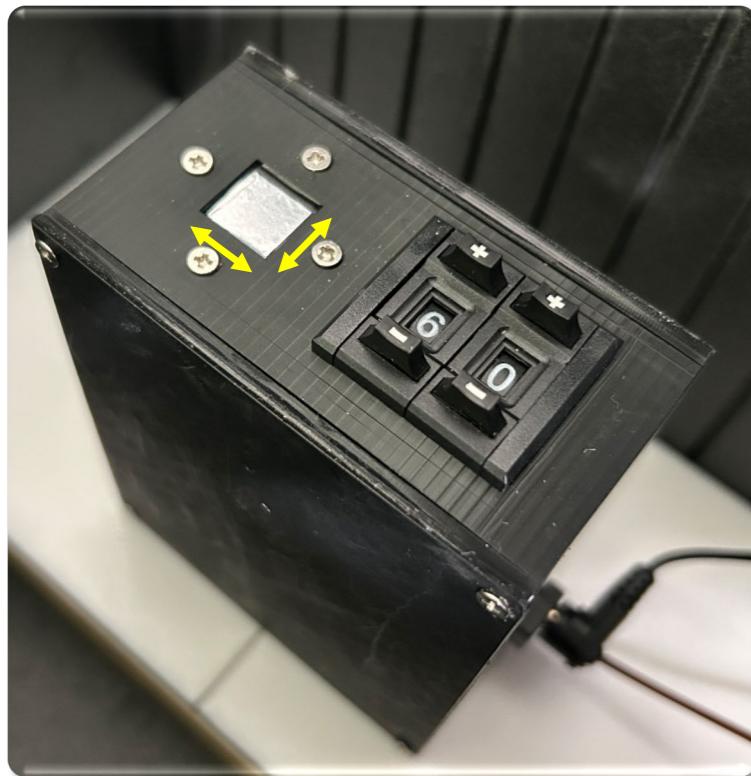
POINT !

- 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…

$1 \times 1 \text{ cm}$

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、 γ 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！

- ✓ α 線・ β -線・ γ 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

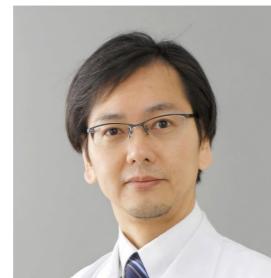
世の中にまだ存在しない **新しい放射線測定器** を一緒に作りませんか？

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

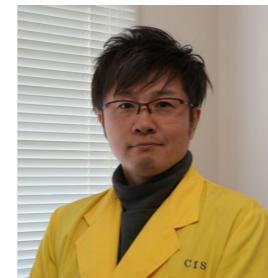
- ☞ γ カウンタ・液体シンチレーションカウンタ、RI排気測定装置、RI排水測定装置…
- ☞ 原子力関連、放射線施設、医療施設など応用分野は広い

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



シンチレーション
光ファイバー線量計
MIDSOF（アクロバイオ）

社会実装例も豊富です!!



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