

放射線計測の基本と信頼性

平井昭司

JST 先端計測分析技術・機器開発プログラム

放射線計測領域 領域総括

(東京都市大学 名誉教授)

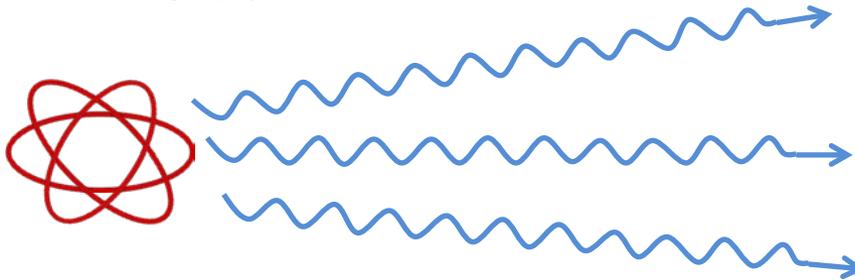
2013年2月27日(水)
JST理事長定例記者説明会

放射能と放射線

不安定な原子

放射性同位元素, 放射性同位体
放射性物質

原子核内の過剰なエネルギーを外部に放出しながら安定な原子核に変化する



放射能(強度) Bq = 壊変率 個/秒
放射能濃度 Bq/kg

放射線量率 Sv/h

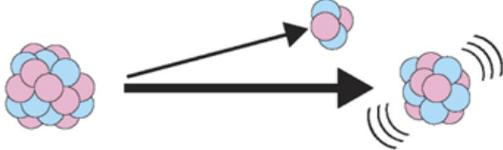
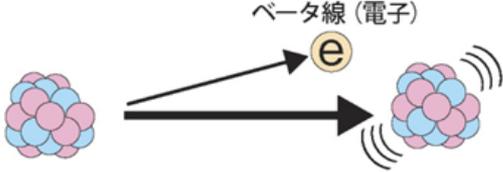
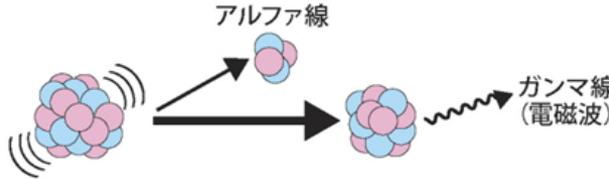
原子

放射線の強さ

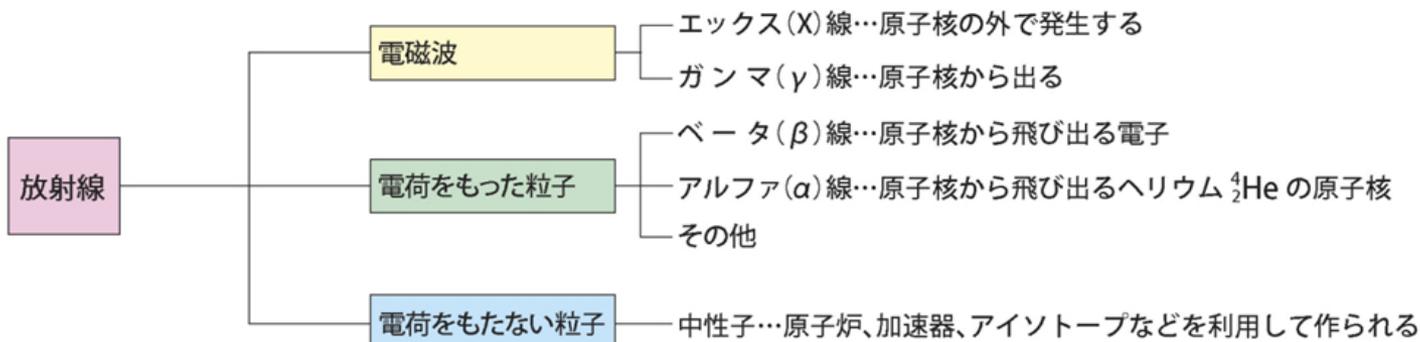
- 放射能: 原子核(原子)が他の原子核(原子)に変わる現象
- 放射能強度(強さ): 原子核の壊変する速さ(毎秒1壊変=1Bq)

放射線の種類

※ 日本原子力文化振興財団「原子力・エネルギー」図面集からの抜粋に追記

<p>アルファ (α) 壊変 (崩壊)</p>	<p>アルファ線 (${}^4_2\text{He}$原子核)</p> 	<p>(例)</p> ${}^{226}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\text{Rn}$
<p>ベータ (β) 壊変 (崩壊)</p>	<p>ベータ線 (電子)</p> 	<p>(例)</p> ${}^{24}_{11}\text{Na} \xrightarrow{\beta} {}^{24}_{12}\text{Mg}$ <p>${}^{137}\text{Cs} \rightarrow {}^{137}\text{Ba} + \beta^- + \nu$</p>
<p>ガンマ (γ) 線の放出</p>	<p>アルファ線</p>  <p>ガンマ線 (電磁波)</p>	

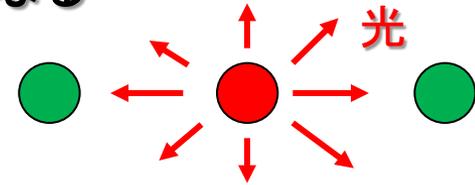
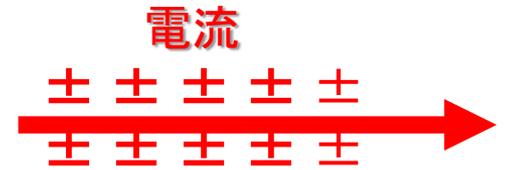
● 陽子 ● 中性子



放射線の性質

電離: 原子や分子がイオン化し、同時に電子を放出する

励起: 原子や原子核がより高いエネルギー状態になる



電離や励起以外に多くの作用が起こる

- **電離作用**
- **発光作用(励起作用)**
- 着色作用
- 感光作用
- 熱蛍光作用
- 発熱作用
- 殺菌作用
- 生物学的作用

法律では電離作用のある粒子や電磁波を放射線と定義



放射線の**エネルギーの強さ**によって影響の程度が異なる

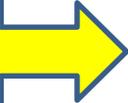
放射線の検出



放射線と検出器との相互作用

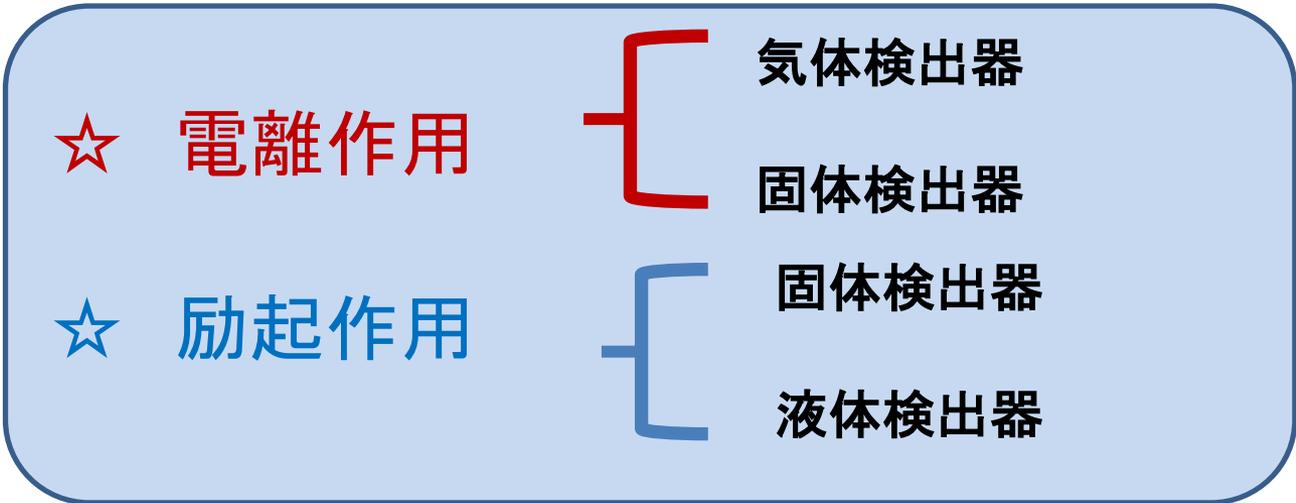


放射線のエネルギー

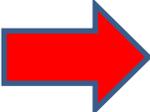


* 電離作用
* 励起作用

- パルス(電圧) ⇒ 頻度
- 電流



放射線計測で何を知りたいか？

- 放射性物質の**種類**の同定(放射線の**エネルギー**の利用)
 - 放射性物質の**定量**⇒放射能(**強度**) Bq ・放射能**濃度** Bq/kg (**標準線源**・**標準物質**の利用)
 - 個人あるいは場の**線量当量** Sv の測定
 個人の**外部被ばく**・**内部被ばく**,
 場の空間**線量** μSv ・**線量率** $\mu Sv/h$ (**モニタリング**)
-  **目的に応じて放射線検出器を選択！**

先端計測分析技術・機器開発プログラム(放射線計測領域) 開発成果例(被災地で使用されている例)(1)

[非破壊での全数検査に対応する機器]

開発課題名:食品放射能検査システムの開発
実施機関:富士電機、放射線医学総合研究所、京都大学

実用化開発タイプ
中期開発型



- 30kgの米袋を10秒程度で測定可能な機器を24年6月に製品化。
 - 福島県会津若松市、喜多方市などの農協等に50基を納品。
 - 福島県水田畑作課からの要望で、既知の汚染米を測定し、ゲルマニウム半導体検出器の測定データと本機の相対測定を実施。
 - 24年11月に福島県石川町でりんごの全箱検査に利用。
 - 24年度中に麦、そば、大豆等へ展開予定。
- さらに、肉、野菜、飲料水、牛乳等への対応や量産化に向けた開発を進めている。

8月27日に実施した会津坂下市での早場米「瑞穂黄金」検査の様子

[個人積算線量を安価かつ簡易に測定できる機器]

開発課題名:軽量・小型電子式個人線量計及び校正システムの開発
開発機関:千代田テクノル、産業技術総合研究所

実用化開発タイプ
短期開発型



- 開発中の線量計の性能を把握するため、福島県飯館村内の9ヶ所で実際に線量を測定し、既存メーカーの線量計(校正済み)と比較して、測定値の誤差や測定精度などの評価を実施。
- 得られた結果は良好であり、引き続き実用化に向けた開発を進めている。
- 25年1月末までに自治体への納品を目指す。

測定の様子

先端計測分析技術・機器開発プログラム(放射線計測領域) 開発成果例(被災地で使用されている例)(2)

[土壌等の表面測定に対応する機器]

開発課題名:シンチレーション光ファイバーを用いた2次元マッピングシステムの開発
開発機関:日本放射線エンジニアリング、日本原子力研究開発機構

実用化開発タイプ
短期開発型



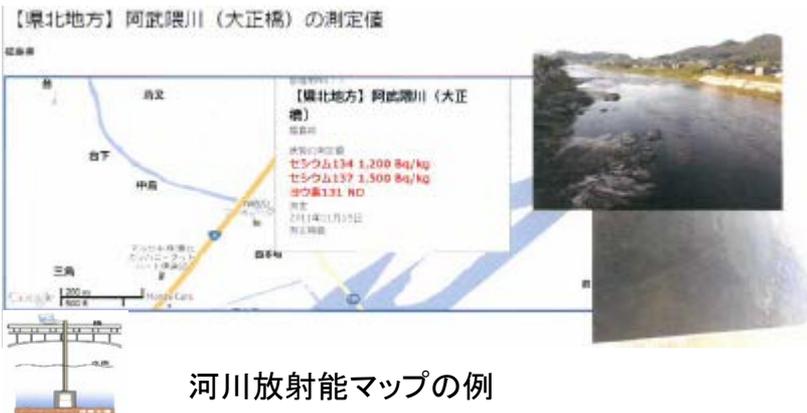
○本宮市、郡山市の依頼により、24年8月、プロトタイプ機を用いて学校の校庭、調整池などの放射線を測定する実証試験を実施。
○また、環境省の依頼により、富岡町において、除染前後の放射線測定を実施。
○本機は25年度早々の製品化を目指しているが、水中の放射線量を測定できることや、パソコンやスマートフォンを使い多人数で結果を同時に確認することができるなどの特性から、すでに多数の問い合わせが寄せられている。

2012年8月10日に本宮市で行われた実証試験の様子

[河川等による自然浄化をモニタリングするシステム]

開発課題名:集水域に着目した放射線の自然浄化モニタリングシステムの開発
開発機関:大阪大学、ダイナコム、福島大学

革新技術タイプ
要素技術型



○福島県水・大気環境課及び国土交通省の協力を得て阿武隈川流域のモニタリングを24年度中に実施予定。
○モニタリング結果を踏まえ、セシウム134およびセシウム137の分離検出を可能とする検出器の開発を進め、福島県内21ヶ所の温泉地に検出器を設置し観測を進めている。
○25年10月までに、51ヶ所の定点観測と20ヶ所の移動観測を実施する予定。

安全・安心な生活の確保に向けて (信頼性ある数値に依存)

信頼性がない
放射能分析・放射線計測
(測定結果の独り歩き)



- * 生活・健康の不安
- * 風評被害
- * 放射線被ばくによる障害
- * 汚染被害の拡大
- * 対外国への信頼性の失墜

➤ 放射能分析・放射線計測における品質の確保(信頼性の向上)

- * **校正した**(トレーサビリティのとれた)測定機器の使用
- * マニュアルに従った測定機器の**取り扱いの順守**
- * 測定者の**測定技術(力量)(知識を含む)の確保**(教育訓練)

分析（放射線計測）の信頼性確保

分析方法の信頼性 ●

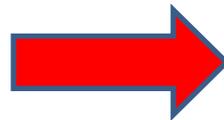
分析機器の信頼性 ●

分析の信頼性

分析技術者の信頼性

分析システムの信頼性

継続的分析の
信頼性確保



試験所認定制度

ISO/IEC 17025 (JIS Q17025)

「試験所及び校正機関の能力に関する一般的要求事項」
(管理システム・分析技術に対する要求事項)

分析の正確さ(精確さ)と信頼性の要因 (技術的要求事項)

- 人間の要因
- 施設及び環境条件
- 試験・校正方法及び方法の妥当性確認
- 設備
- 測定の特リサビリティ
- サンプルング
- 試験・校正品目の取り扱ひ



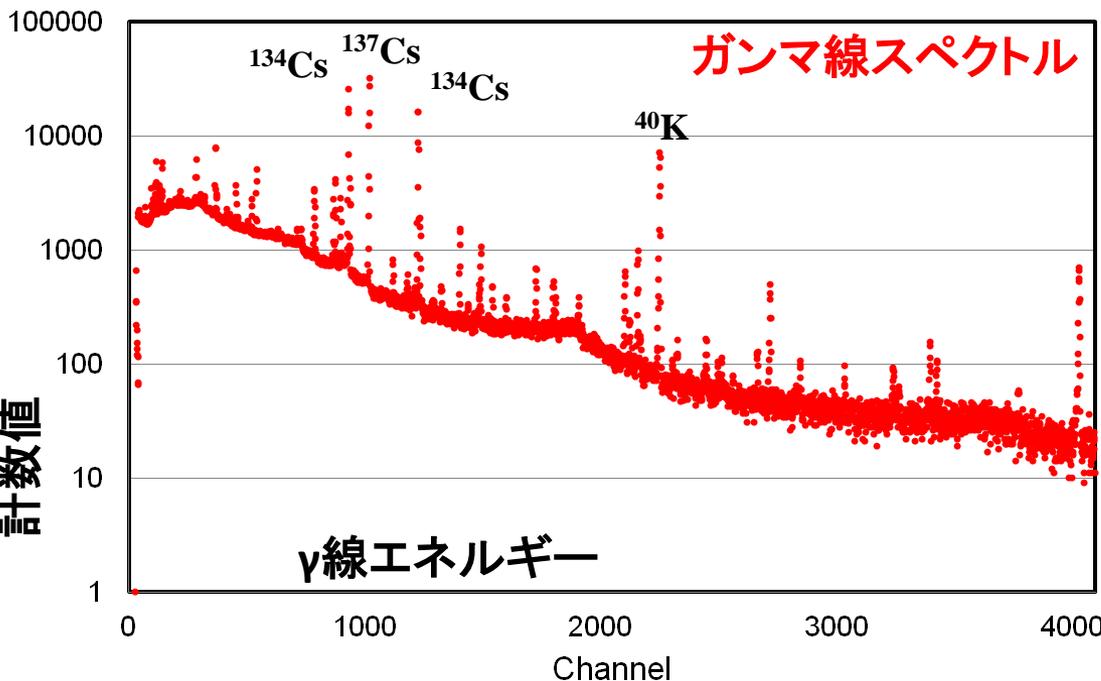
- ・分析や試験あるいは製造設備が**目的にあった精度や再現性などに信頼性**を持つこと
- ・設備から定常的に生産される製品が**規格に合致することを科学的に証明**すること (合目的性確認)

分析値に影響を及ぼす主要因

- 測定装置の信頼性
- 計数に伴う信頼性(計数誤差)
- 解析に伴う信頼性

放射線計測の信頼性の確保

⇒ 測定者自ら、維持・検証することが重要



・γ線エネルギー⇒核種同定

・γ線ピーク面積⇒計数率

⇒放射能
換算

不確かさの主要因

不確かさの一要因 (試料の不均質性)

* サンプルングにおける不均質性

⇒ **均質化して測定**

* 測定における不均質な試料形態

(粒径の不揃い, 不均質な空隙, 不均質なマトリックス)

⇒ **均質化(密度・形状)して測定**



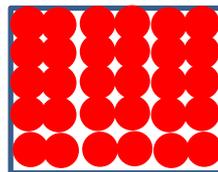
日本アイソトープ協会製
標準体積線源



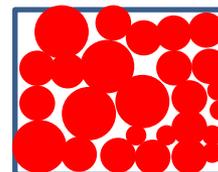
Ge検出器



Ge検出器



Ge検出器



Ge検出器



Ge検出器

放射能分析用標準物質（食品用）



100 mL (90g) 1 L (900g)

JSAC 0731(100mL)およびJSAC 0732(1L)
放射能分析用玄米認証標準物質(粒状)

^{134}Cs 放射能濃度: $141 \pm 9 \text{ Bq/kg (k=2)}$

^{137}Cs 放射能濃度: $210 \pm 13 \text{ Bq/kg (k=2)}$

^{40}K 放射能濃度: $75 \pm 7 \text{ Bq/kg (k=2)}$

Reference date for decay correction: 1 June 2012

JST先端計測分析技術・機器開発プログラムの成果

日本分析化学会で開発 2012年8月末頒布

◎今後の開発予定:大豆(粉状)、牛肉(フレーク状・乾燥)



NMIJ CRM 7541-a 玄米(U8容器81 g)
(放射性セシウム分析用)

^{134}Cs 放射能濃度: $33.6 \pm 2.6 \text{ Bq/kg (k=2)}$

^{137}Cs 放射能濃度: $51.8 \pm 4.6 \text{ Bq/kg (k=2)}$

産業技術総合研究所で開発 2012年8月末頒布

放射線計測（放射能分析）の信頼性確保

- ◆ γ 線測定・解析の**基本**を理解する
- ◆分析値に影響を及ぼす**主要因**を把握する

◆PDCAサイクルを回す

- 測定装置の信頼性
- 計数**に伴う信頼性（計数誤差）
- 解析に伴う信頼性

標準物質を活用した妥当性の検証

- ・日常管理
- ・分析法の精度管理

放射線計測分析技術・機器の開発

- 東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴う災害からの復興、成長を遂げるためには、被災地等における安全・安心の確保が不可欠であり、行政ニーズ、現地ニーズ等が高く、一方で開発に一定期間を要する放射線量の迅速かつ高精度・高感度な把握等を可能とする計測分析技術・機器の開発を推進する。
- 関係行政機関や被災地等との協議に基づき、科学技術・学術審議会において具体的な開発テーマと達成目標を設定。
- 先端計測分析技術・機器開発プログラム(JST)の枠組みの中で、「放射線計測領域」を設定し、領域総括の下で産と学官が参画したチーム編成により研究開発を推進。

信頼性確保を重点

1. 実用化タイプ

産学が参画したチーム編成により開発を進め、最大3年以内に実用化に繋げる。領域総括の下で、関係行政機関、関連企業等との連携体制を構築し開発を推進。

重点的に取り組む対象

① 土壌等のモニタリング技術・機器の高度化

- ・測定手法の簡易化、測定精度の高度化、測定範囲の広域化
- ・放射性物質量の可視化
- ・住民へのモニタリング結果の分かりやすい提供 等

② 食品中の放射性物質の計測技術・機器の高度化

- ・大量かつ短時間での測定(ハイスループット測定)
- ・低コスト化 　・操作の簡便化 等

③ アルファ核種、ベータ線核種の短時間での測定技術・機器の確立

- ・短時間かつ簡便な核種の推定 等

2. 革新技術タイプ

要素技術からの開発により、既存の計測手法にブレークスルーをもたらす革新技術を5年以内に確立。

主な開発内容

- ・大気、水、土壌、食品中の放射線量の迅速かつ高精度な把握
- ・放射線の生体への影響の把握 等

參考資料

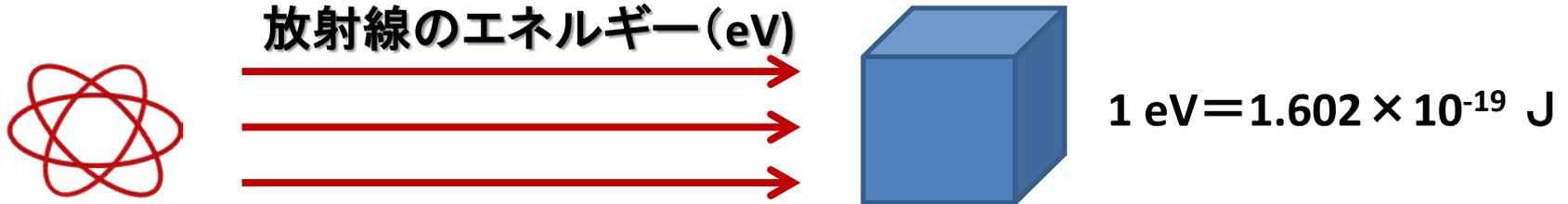
放射能と放射線の強さの単位 の比較

放射能の単位: ベクレル(Bq)

1Bq=1壊変/秒

放射能: 放射性物質の線源の強さ

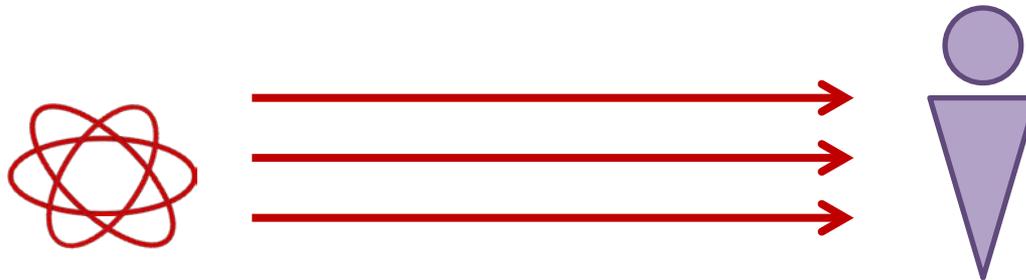
放射線量: 線源からある距離にある点の
放射線の強さ



吸収線量(D)の単位: グレイ(Gy)

1Gy=1J/kg

物理的な定義: 物質1kgが吸収する放射線のエネルギー量(J)



線量当量(H)の単位: シーベルト(Sv)

1Sv=Q × 1Gy

生物学的影響を考慮した吸収線量の単位

Q: 修正係数(γ線・電子線; 1、α線; 20、中性子線; 10)₁₈

サーベイメータのエネルギー依存性

表 4・21 エネルギー依存性の許容範囲

種類	エネルギー範囲	レスポンスの比の許容範囲
電離箱式	30 keV~1.5 MeV (30 keV~6.5 MeV) *	0.8~1.2 (0.7~1.2) *
GM 計数管式	60 keV~1.5 MeV	0.5~2.5
シンチレーション式	60 keV~1.5 MeV	0.2~5.0
半導体式	80 keV~1.5 MeV (80 keV~6.5 MeV) *	0.7~1.3 (0.5~1.3) *

(注) * 括弧内の数値は、 ^{16}N の γ 線を用いて、6.5 MeV までのエネルギー範囲についてレスポンスの比を求めたときの許容範囲として望ましい値であるが、これは参考であって、規定の一部ではない。

出典：JIS Z 4333 より引用

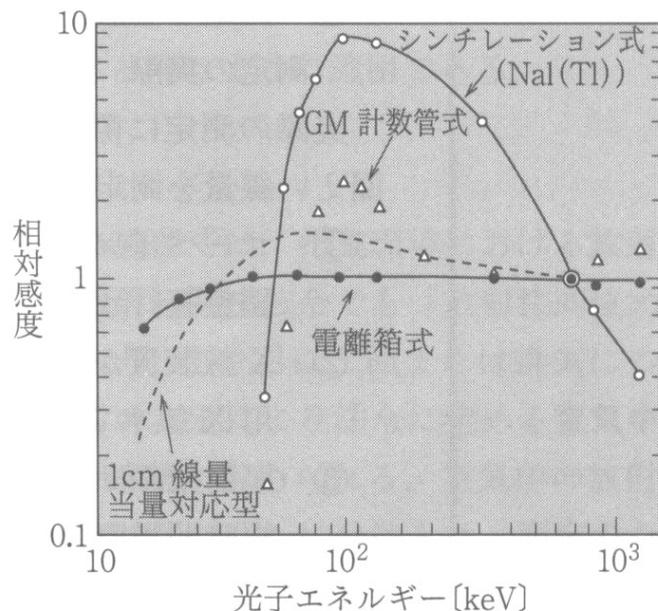


図 4・57 サーベイメータのエネルギー特性

^{137}Cs (662keV) に対するレスポンスとして表示

1.0に近いほど良好な特性：電離箱式 > 半導体式 > GM式 > シンチレーション式

感度はこれと逆



放射能分析用土壌標準物質

($k=2$)

CRM No.	Nuclide	Certified Values (Bq/kg)	\pm	U (Bq/kg)	Reproducibility SD (Bq/kg)
JSAC 0471*	^{134}Cs	85.3	\pm	5.9	4.8
JSAC 0472**	^{137}Cs	115	\pm	8	5
JSAC 0473***	^{40}K	396	\pm	26	15

* : JSAC 0471 Height 50 mm

** : JSAC 0472 Height 30 mm

***: JSAC 0473 Height 10 mm

Reference date for decay correction: 1 February 2012

高さが異なる

Height	Mass	Bottles
50 mm	135 g	250
30 mm	80 g	50
10 mm	30 g	50



日本分析化学会で開発
2012年6月頒布

先端計測分析技術・機器開発プログラム(放射線計測領域) 開発成果例(被災地で使用されている例)(参考1)

[非破壊での全数検査に対応する機器]

開発課題名: 高速・高感度の食品放射能検査装置の開発
実施機関: 島津製作所、京都大学

実用化開発タイプ
短期開発型



- 本プログラムで開発した印字機能を搭載した食品放射能検査装置が、24年8月25日からの福島県二本松市における早場米検査で利用されている。
- 検査を実施しつつ、要望、改善提案を踏まえ、既存装置を改良し、検査時の省力化や周辺システムの更なる高度化を目指す。
- 検出下限12.5Bq/kgの性能で、1袋5秒でスクリーニングを可能とする製品化を、25年4月に予定。

8月25日の二本松市の検査の様子

[サンプリングによる簡易測定に対応する機器]

開発課題名: ハンディタイプCsIスマートベクレルカウンターの開発
開発機関: 新日本電工、大阪大学、三重大学

実用化開発タイプ
短期開発型



- 24年10月末までにプロトタイプ機を開発。
- 福島県からの要望である米の測定を行うため、既に入手した汚染米で測定可能であることを確認。近日中に福島県(原子力安全課)へ持ち込む予定。
- 更に、低コスト化、量産化を目指した製品開発を進め、12月末に完成。
- 製品販売については関係機関と協議中。

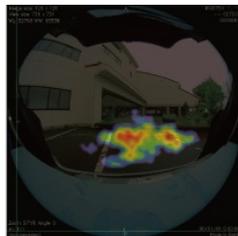
現状のプロトタイプ機

先端計測分析技術・機器開発プログラム(放射線計測領域) 開発成果例(被災地で使用されている例)(参考2)

[土壤等の表面測定に対応する機器]

開発課題名:革新的超広角ガンマ線可視化装置の開発
開発機関:宇宙航空研究開発機構、三菱重工業、名古屋大学

革新技術タイプ
機器開発型



○24年5月29日ー6月1日にかけて福島県富岡町、浪江町で、開発中のプロトタイプ機を用いて、自治体が行った除染効果の確認を実施。
○実証試験を踏まえ、24年11月にプロトタイプ機の10倍以上の感度をもつ装置を開発し、プレスリリース(11月15日)。
○また、プロトタイプ機と比べ、1/10以下の時間で撮像可能とする商用機第一弾を25年2月に上市予定。
○除染現場で強く求められる更に数倍の感度向上を目指して検出器の開発を進め、26年度に実地投入を予定。

写真左:開発中のプロトタイプ機

写真中央:除染前の通常写真

写真右:除染前のガンマカメラの画像(赤い部分の線量が高い)

開発課題名:半導体検出器を用いた環境測定用ガンマカメラ

開発機関:日立コンシューマエレクトロニクス、名古屋大学、東京大学、日立製作所

実用化開発タイプ
短期開発型



○福島県飯館村、川内村、南相馬市等で、除染活動に取り組む自治体等や放射線測定の実験家から、放射線測定装置に対する要望や製品への改善提案等についてのヒアリングを実施。

○ヒアリングを踏まえ、既存のガンマカメラを改良し、操作性の向上、距離補正の性能向上、小型化(容量約30%減)の技術を開発。

○24年8月2日より受注開始。

○高度化を踏まえた改良機についても、製品化を目指す。

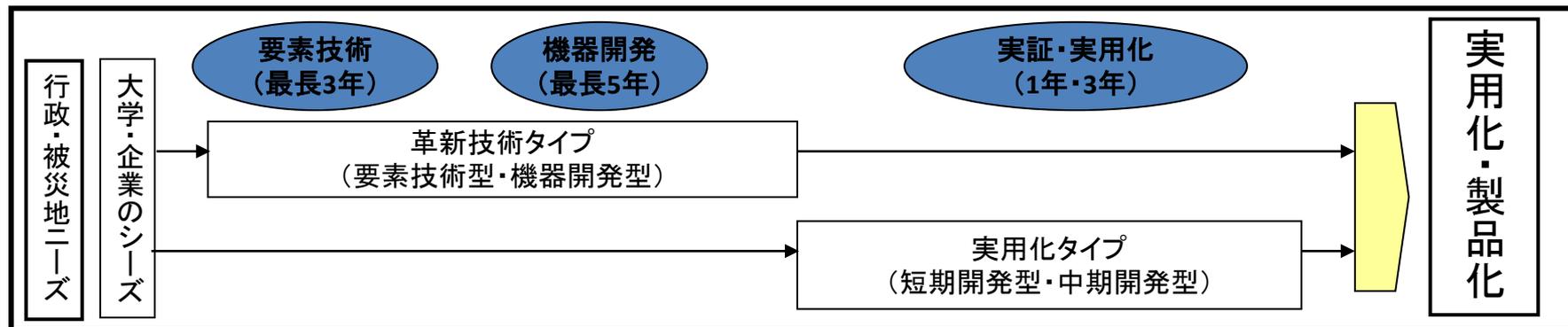
プロトタイプ機での撮像結果

重点開発領域「放射線計測」(H24～)

東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴う放射性物質の影響から復興と再生を遂げるため放射線計測に関して、行政ニーズ、被災地ニーズ等の高い高度な技術・機器及びシステムの開発を行います。本領域全体を俯瞰する「領域総括」(プログラムオフィサー)の下、開発課題の選定、マネジメントを行い、開発成果の早期社会還元に向け、必要なサポート等を実施します。

開発タイプ

被災地ニーズ・行政ニーズ等に迅速に対応する「実用化タイプ」と放射線計測に関する革新的な技術・機器の開発を目指す「革新技術タイプ」



開発課題一覧

実用化タイプ(短期開発型)

開発課題名	チームリーダー
土壌放射能濃度の深さ分布モニタの実用化開発	石倉 剛(富士電機(株))
高速・高感度の食品放射能検査装置と大容量標準線源の実用化開発	井上 芳浩((株)島津製作所)
軽量・小型電子式個人線量計の大量較正システムの実用化開発	大口 裕之((株)千代田テクノ)
ハンディタイプCsIスマートベクレルカウンターの実用化開発	大久保 茂夫(新日本電工(株))
シンチレーション光ファイバーを用いた2次元マッピングシステムの実用化開発	宮崎 信之(日本放射線エンジニアリング(株))
半導体検出器を用いた環境測定用ガンマカメラの実用化開発	茂呂 栄治(日立コンシューマエレクトロニクス(株))

実用化タイプ(中期開発型)

開発課題名	チームリーダー
無人ヘリ搭載用散乱エネルギー認識型高位置分解能ガンマカメラの実用化開発	薄 善行(古河機械金属(株))
高感度広視野ガンマ線画像分析装置の実用化開発	坂東 直人((株)堀場製作所)
高線量率環境に対応する線量測定方法の実用化開発	山本 幸佳((株)千代田テクノル)
食品放射能検査システムの実用化開発	山田 宏治(富士電機(株))
水中の低濃度放射性セシウムのモニタリング技術の実用化開発	伊藤 康博(日本パイロン(株))
低価格・高速・高精度放射能測定装置の実用化開発	西沢 博志(三菱電機(株))
放射性核種自動分離測定装置の実用化開発	松江 登久((株)柴崎製作所)

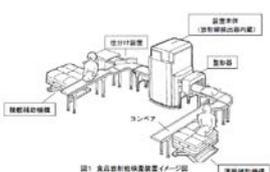
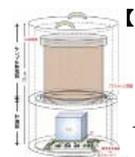
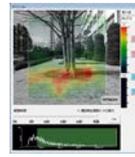
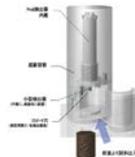
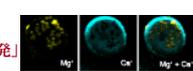
革新技术タイプ(要素技術型)

開発課題名	チームリーダー
放射能環境標準物質の開発	薬袋 佳孝(武蔵大学)
放射性物質の高分解能3次元・直接イメージング技術の開発	坂本 哲夫(工学院大学)
耐放射線性を有するアクティブ駆動HEEDの開発	渡辺 温(バイオニア(株))
エネルギー弁別・位置検出型α線サーベータの要素技術開発	金子 純一(北海道大学)
集水域に着目した放射線の自然浄化モニタリングシステムの開発	兼松 泰男(大阪大学)
微量放射線の生物影響評価システム(装置)の開発	藤野 亮(日美商事(株))

革新技术タイプ(機器開発型)

開発課題名	チームリーダー
革新的超広角高感度ガンマ線可視化装置の開発	高橋 忠幸((独)宇宙航空研究開発機構)
高感度かつ携帯可能な革新的ガンマ線可視化装置の開発	大須賀 慎二(浜松ホトニクス(株))
生物学的線量計測用の分裂中期細胞自動検出装置の開発	古川 章((独)放射線医学総合研究所)
LANFOS:食品の非破壊放射能検査を可能とする低コスト検出器の開発	マルコ カソリーノ((独)理化学研究所)

放射線計測領域 平成24年度採択課題の開発ニーズへの対応状況

分類	食品中の放射性物質の測定	土壌等の放射線モニタリング	その他
短期型 開発課題 (1年) ※6課題	<p>【非破壊での全数検査に対応する機器】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・米のスクリーニング検査用機器 島津製作所「高速・高感度の食品放射能検査装置の開発」 → 30kgの米袋を5秒で測定 (検出下限12.5Bq/kg)  <p>【サンプリングによる簡易測定に対応する機器】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・土壌、食品中の放射性物質を安価かつ簡易に測定できる機器 新日本電工「ハンディタイプCsIスマートベクレルカウンターの開発」 → 低価格(150~515万円→15万円)、 小型化(10~166kg→5kg)を実現 	<p>【土壌等の表面測定に対応する機器】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モニタリングの広域化、時間短縮、簡易化が可能な機器 日本放射線エンジニアリング「シンチレーション光ファイバーを用いた2次元マッピングシステムの開発」 → 軽量化(15kg→3kg)、高分解能(100cm→30cm)、低価格化等を実現 水中測定にも応用可  <ul style="list-style-type: none"> ・モニタリング結果の可視化を可能とする機器 (ホットスポット検出、除染効果確認など) 日立コンシューマエレクトロニクス「半導体検出器を用いた環境測定用ガンマカメラ」 → 5m先のホットスポット(注)を5分で検出(従来約20分) (注)1μSv/hの環境下で5μSv/hの表面線量のホットスポットの場合  <p>【土壌の内部測定に対応する機器】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地表深さ方向の放射性物質の分布状況把握 富士電機「土壌放射能濃度の深さ分布モニタの開発」 → 土壌中の放射性セシウムを深さ1~2cmごとに測定。 車載可。現場(農地土壌の放射能分析、除染時の剥き取り厚さ決定)での 試料採取・迅速測定を実現。 	<ul style="list-style-type: none"> ・個人積算線量を安価かつ簡易に測定できる機器 千代田テクル「軽量・小型電子式個人線量計及び校正システムの開発」  <ul style="list-style-type: none"> ・電池式で6ヶ月以上連続駆動可能。 ・時間毎の積算線量が把握できる。 ・大きさ(約3×5cm)で軽い(約20g)。 ・本体価格6000円を実現 <p>高線量率環境下における測定 千代田テクル「高線量率環境に対応する線量測定方法の開発」 → 紫外線で発光するビーズを開発 250℃の環境で100Gyまで測定可 → ビーズをシート状に加工することで、 多目的に使用可能</p>  <p>パイオニア 「耐放射線性を有するアクティブ駆動HEEDの開発」 → 高線量下での誤作動を防ぐ技術開発により、ホットスポットで使用可能なカメラ用撮像素子を開発</p> <p>河川・海域等における放射性物質の放射能濃度や分布状況の測定 大阪大学「集水域に着目した放射線の自然浄化モニタリングシステムの開発」 日本バイリン(株) 「水中の低濃度放射性セシウムのモニタリング技術の開発」</p>
中長期型 開発課題 (2~5年) ※17課題	<p>【非破壊での全数検査に対応する機器】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一般食品(野菜、魚介類等)のスクリーニング検査用機器 富士電機「食品放射能検査システムの開発」 → 形状が複雑な食品に対応 1台800万円で製品化 水、牛乳の測定にも応用 米30Kg袋の場合、最大1時間当り 250袋測定可能。  <p>三菱電機「低価格・高速・高精度放射能測定装置の実用化開発」</p> <p>理研「LANFOS:食品の非破壊放射能検査を可能とする低コスト検出器の開発」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・計測の信頼性確保のための標準物質の開発 武蔵大学「放射能環境標準物質の開発」  <p>【高精度測定機器の革新】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ゲルマニウム半導体検出器の高度化 ・ゲルマニウム半導体検出器に代わる革新的機器 <p>【革新的な要素技術開発】 工学院大学「放射性物質の高分解能3次元・直接イメージング技術の開発」 → 質量分析技術開発により、農林畜産物等について分子・元素レベルで放射性物質の蓄積状況を把握</p> 	<p>【土壌等の表面測定に対応する機器】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・屋外(市街地、農地等)の放射能濃度の可視化を可能とする機器 (ホットスポット検出、除染効果確認など) 堀場製作所「高感度ガンマ線画像分析装置の開発」 → 高感度(0.05μSv/h)、大視野角(100°程度)、軽量、安価(1千万円) な機器を実現 <p>JAXA「革新的超広角ガンマ線可視化装置の開発」 → 高分解能、超広角(180度)の測定が可能 数mから数十m先のホットスポットを検出</p>  <p>古河機械金属「無人ヘリ搭載用散乱エネルギー認識型 高位置分解能ガンマカメラの開発」 → 高分解能(50m→1m)のカメラを無人ヘリに搭載 10m上空から20m×20mの区画を1分で測定可能</p>  <p>浜松ホトニクス「高感度かつ携帯可能な革新的ガンマ線可 視化装置の開発」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・アルファ線放出核種、ベータ線放出核種の目的核種別の高精度・短時間測定 北海道大学「エネルギー弁別・位置検出型α線サーベーターの要素技術開発」 (株)柴崎製作所「放射性核種自動分離測定装置の実用化開発」 ・放射線が生物に与える影響の評価システム 放射線医学総合研究所「生物学的線量計測用の分裂中期細胞自動検出装置」 日美商事(株) 「微量放射能の生物影響評価システム(装置)の開発」 ・大量の瓦礫、水、廃棄物中の放射性物質の測定