

【第三分科会】

放射線計測機器開発の現状と被災地での活用状況

**先端計測分析技術・機器開発プログラム
における放射線計測機器開発について**

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

2014年2月20日(木)
郡山ビューホテルアネックス



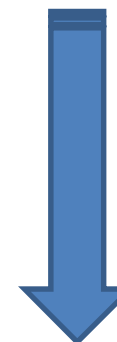
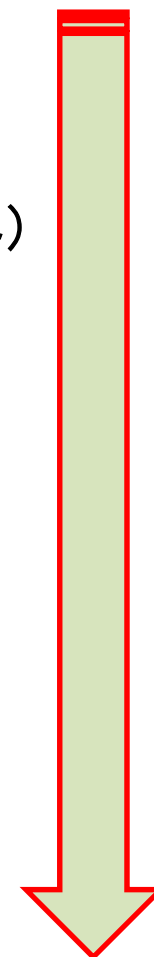
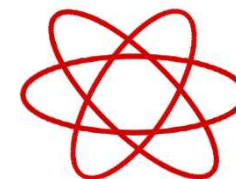
話の内容

- 放射性物質, 放射能, 放射線とのかかわり合い
- 放射線計測機器の選択
- 先端計測分析技術・機器開発プログラムの**重点開発領域: 放射線計測領域**について
- 採択課題について
- 開発内容の紹介
- 信頼性ある放射線計測機器の活用

放射性物質，放射能，放射線

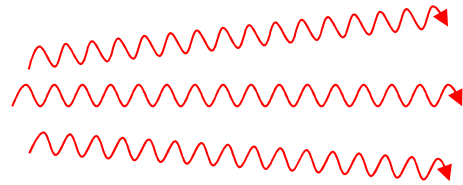
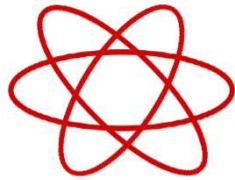
(原子の誕生から人類の誕生)

- **137億年前**: 宇宙の誕生—**原子の誕生**
原子の誕生(核融合)
- **46億年前**: 太陽系(地球)の誕生
- **38億年前**: 生命(バクテリア)の誕生
- **6500万年前**: 恐竜の絶滅(白亜紀—第三紀: K-T境界)
- **360万年前**: 人類(猿人)の誕生(アウストラロピテクス)
原人(ジャワ原人, 北京原人), 旧人(ネアンデルタール人)
- **10万年前**: **現生人類の誕生**(クロマニヨン人)
- **250万年～12万年前**: 前期**旧石器時代**
- **30万年～3万年前**: 中期**旧石器時代**
- **3万年～1万年前**: 後期**旧石器時代**
- **1万年前**: **新石器時代**
- **文明の時代**



放射能, 放射線

放射性原子



放射線 (α線, β線, β⁺線, γ線, 中性子線 等)



安定原子

放射線

★ 壊変現象: 放射能

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(強さ): 原子核の壊変する速さ

強度(強さ)を省略

原子の質量に比例

単位時間あたりに変化する割合(変化する速さ、壊変する速さ)は、そこに存在している原子核の数に比例する。

この単位時間あたりに変化する割合が、放射能あるいは放射能の強さ: 放射能の単位: ベクレル(Bq)

1Bq = 1壊変/秒 = 1個/秒

放射線計測で何を知りたいか？

放射能

- 放射性原子の**種類**の同定(放射線の**エネルギー**の利用)
- 放射性原子の**定量**⇒放射能(強度)Bq・放射能**濃度**Bq/kg

ガンマ線スペクトロメーター: Ge検出器 + 波高分析器, NaI(Tl)検出器 + 波高分析器

放射線量

- ◆ 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 $\mu\text{Sv/h}$** (モニタリング)

サーベイメーター, 被ばく線量計, 線量計, ガンマカメラ



➡ 目的に応じて放射線計測機器を選択！

先端計測分析技術・機器開発プログラム (重点開発領域:放射線計測領域)

先端計測分析技術・機器開発プログラム

わが国の将来の**創造的・独創的開発**を支える基盤の強化を図るために、**革新的な先端計測分析技術の要素技術や機器及びその周辺システム等の開発**を目的とするプログラム

独立行政法人 科学技術振興
機構(JST)における
研究成果展開事業

重点開発領域:放射線計測領域:

- ★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**などが高く、開発に一定期間を要する高度な技術・機器およびシステムを開発するために、平成24年度に新設(平成25年度も公募)
- ★具体的には、**放射線量**および**放射能濃度**の**迅速かつ高精度・高感度な把握**を可能とする**プロトタイプ機の開発、性能実証およびシステム化**を行い、プロトタイプ機を実用可能な段階まで仕上げる開発課題、また、**新たなブレークスルーを生み出す革新的な放射線計測分析技術・機器の開発課題**について公募領域
- ★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

放射線計測領域の公募内容

類型	実用化タイプ (短期開発型)	実用化タイプ (中期開発型)	革新技術タイプ (要素技術型)	革新技術タイプ (機器開発型)
開発期間	1年以内	3年以内(2年半以内)	3年以内(2年半以内)	5年以内(4年半以内)
開発内容	性能実証、システム化	プロトタイプ機の開発、 性能実証、システム化	要素技術の開発	プロトタイプ機の開発
到達目標	開発した機器・システムを実用可能な段階(開発終了時に受注生産が可能)まで仕上げる		既存の技術または機器から飛躍的に性能を向上する、オンリーワン・ナンバーワンの技術または機器を開発する	
チーム構成	産と学・官が連携(チームリーダーは企業)		産と学・官が連携	
採択件数	6件*	4件* + 3件** + 5件***	3件* + 3件**	1件* + 3件**
開発費	最低1年間以上はマッチングファンド形式(申請する開発費と原則同額以上の資金を企業側が支出)、そのほかはJST支出		全額JST支出	

*:H24一次公募, **:H24二次公募, ***:H25公募

重点的に選定する対象(実用化タイプ)

① 食品中の放射性物質の測定

放射性セシウムを**正確に識別**し、**信頼性**を維持しつつ、**操作性良く**測定できる機器の開発

(**目標**: 多量測定, 短時間測定, 測定の自動化・簡易化, 操作の簡便化 等)

② 土壌等の放射線モニタリング

土壌, 植物等に含まれる放射性物質あるいは**構造物**等に沈着した放射性物質の**放射能濃度・分布状況・移行状況**等を広域, **迅速かつ高精度**で把握できる**技術・機器・システム**の開発

(**目標**: 測定範囲の広域化, 測定対象条件の多様化, 測定手法・操作の簡易化, 測定精度の向上, 分布状況の可視化 等)

③ α 線, β 線の測定

α 線, β 線の短時間・簡便な測定できる革新的な**技術・機器・システム**の開発

(**目標**: 短時間測定, 測定手法・操作の簡易化 等)

重点的に選定する対象(革新技術タイプ)

① 要素技術型

(既存の計測分析手法にブレークスルーをもたらし、計測分析機器の性能を飛躍的に向上させることのできる要素技術の開発)

- ・大気, 水, 土壌, 食品等の放射線量及び放射能濃度の迅速かつ高精度・高感度な把握
- ・放射線の生体への影響把握

② 機器開発型

(既存の計測分析手法にブレークスルーをもたらし、計測分析機器の性能を飛躍的に向上させることのできるプロトタイプ機の開発)

- ・大気, 水, 土壌, 食品等の放射線量及び放射能濃度の迅速かつ高精度・高感度な把握
- ・放射線の生体への影響把握

- 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

平成24年度及び25年度復興特別会計及び一般会計に基づく採択課題(1)

分類		食品中の放射性物質の測定 (8課題)
平成24年度	短期型 開発課題 (1年) 2/6 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非破壊での全数検査に対応する機器 島津製作所「高速・高感度の食品放射能検査装置の開発」 ・ 食品等の放射能測定に対応する機器 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」
	中長期型 開発課題 (2～5年) 4/17 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 非破壊での全数検査に対応する機器 富士電機「食品放射能検査システムの開発」 ・ 食品の放射能測定に対応する機器 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」 理化学研究所「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」 ・ 計測の信頼性確保のための標準物質 武蔵大学「放射能環境標準物質の開発」
平成25年度	中期型 開発課題 (2.5年) 2/5 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 食品の放射能測定に対応する機器 テクノエックス「複雑形状食品の放射能検査装置の開発」 千代田テクノル「高エネルギー分解能・高スループットの国産放射能測定検査装置」

平成24年度及び25年度復興特別会計及び一般会計に基づく採択課題(2)

分類		土壌等の放射線モニタリング（10課題）
平成24 年度	短期型 開発 課題 (1年) 3/6 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌等の表面測定に対応する機器 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」 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」 ・土壌の放射能測定に対応する機器 富士電機「土壌放射能濃度の深さ分布モニタの開発」
	中長期型 開発 課題 (2～5年) 5/17 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌等の表面測定に対応する機器 JAXA「革新的超広角ガンマ線可視化装置の開発」 堀場製作所「高感度ガンマ線画像分析装置の開発」 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」 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」 ・効率的な除染作業等に役立つ機器 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」
平成25 年度	中期型 開発 課題 (2.5年) 2/5 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌等の表面測定に対応する機器 明星電気「高感度広域ガンマ線望遠鏡の開発」 ・海域等の放射能測定に対応する機器 三井造船「海底土放射能分布測定ロボットの開発」

平成24年度及び25年度復興特別会計及び一般会計に基づく採択課題(3)

分類		その他 (10課題)
平成24 年度	短期型 開発課題 (1年) 1/6 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 個人線量計に対応する機器 千代田テクノル「軽量・小型電子式個人線量計及び校正システムの開発」
	中長期型 開発課題 (2～5年) 7/17 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ α線測定に対応する機器 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」 ・ 効率的な除染作業等に役立つ機器 柴崎製作所「放射性核種自動分離測定装置の実用化開発」 日本バイリーン「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」 ・ 自然浄化のモニタリングに対応する機器 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」 ・ 放射線が生体を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器の開発」 日美商事「微量放射能の生物影響評価システム(装置)の開発」 ・ 高線量率環境下における測定に対応する機器(一般会計で実施) 千代田テクノル「高線量率環境に対応する線量測定方法の開発」 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」
平成25 年度	中期型 開発課題 (2.5年) 1/5 課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 効率的な除染作業等に役立つ機器 北川鉄工所「除染土壌の放射能測定装置」

開発機器等に利用した検出器 一覧

	食品等の放射能測定	環境の放射線量率分布測定	その他
平成24年度採択	<p>島津製作所「高速・高感度の食品放射能検査装置の開発」 BGO検出器</p> <p>富士電機「食品放射能検査システムの開発」 NaI(Tl)検出器</p> <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」 NaI(Tl)検出器</p> <p>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」 CsI(Tl) 検出器</p> <p>富士電機「土壌放射能濃度の深さ分布モニタの開発」 NaI(Tl)検出器 + CsI(Tl)検出器</p> <p>理化学研究所「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」 シンチレータ(NaI(Tl), CsI(Tl), プラスチック) + 光ファイバー</p>	<p>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」 プラスチックシンチレーションファイバー検出器</p> <p>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」 CdTe半導体検出器・ピンホール型カメラ</p> <p>JAXA「革新的超広角ガンマ線可視化装置の開発」 Si/CdTe検出器・コンプトンカメラ</p> <p>堀場製作所「高感度ガンマ線画像分析装置の開発」 電子飛跡検出型コンプトンカメラ μピクセルチャンパー</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」 Ce:GAGG (Ce:Gd₃A₁₂Ga₃O₁₂)シンチレータ・コンプトンカメラ</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」 CsI(Tl)/CsI(Tl) MPPC検出器 (Muliti Pixel Photon Counter)・コンプトンカメラ</p>	<p>千代田テクノル「軽量・小型電子式個人線量計及び校正システムの開発」 PINダイオード(半導体)</p> <p>千代田テクノル「高線量率環境に対応する線量測定方法の開発」 蛍光ガラス線量計素子(Na-Ca系:メタリン酸Caとメタリン酸Naの混合比率), Na-Al系リン酸塩ガラスを使ったガラスビーズ</p> <p>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」 GPS焼結体 (Gd₂Si₂O₇: Ce)シンチレータ</p> <p>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」 二次イオン質量分析法</p>
平成25年度採択	<p>テクノエックス「複雑形状食品の放射能検査装置の開発」 CsI(Tl)検出器</p> <p>北川鉄工所「除染土壌の放射能測定装置」 NaI(Tl) 検出器</p> <p>千代田テクノル「高エネルギー分解能・高スループットの国産放射能測定検査装置」 Eu: SrI₂シンチレーション検出器</p>	<p>明星電気「高感度広域ガンマ線望遠鏡の開発」 プラスチック蛍光体(ロッド束)</p> <p>三井造船「海底土放射能分布測定ロボットの開発」 NaI(Tl)検出器</p>	

開発内容 (1/14)

[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**

短期実用化



二本松市の検査の様子

- 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し、製品化
- 使用により機能を暫時バージョンアップ可能
- 福島県内では本開発で仕上げられたデータサーバー機能つきおよび印字機能をつけた機器が約60機稼働

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



- 30kgの米袋を10秒程度で測定可能な機器を24年6月に製品化を発表。7月から販売
- 福島県会津若松市、喜多方市などの農協等に50基を8月末までに納品
- 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
- 福島県の要望により、「あんぼ柿」へ対応を検討
- 上記の島津製作所と本機器の展開数は福島県内のスクリーニング機器展開数のほぼ半数の模様

会津坂下市での早場米「瑞穂黄金」検査の様子

開発内容 (2/14)

[食品等の放射能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

短期実用化



開発機器

- CsI(Tl)+MPCCCにより高感度・高分解能な測定装置
- 福島県大沼郡昭和村にて現地試験(福島県より助言)を実施
- 米、大根、白菜、蕪等の食品検査を実施
- 更に、低コスト化、量産化を目指した製品開発化(重量約10kg、価格30万円以下)
- 福島県には複数機を納品し、稼働

[計測の信頼性確保のための標準物質の開発]

開発課題名: 放射能環境標準物質の開発

開発機関: 武蔵大学、環境テクノス、日本分析化学会、産業技術総合研究所
埼玉大学、日本国際問題研究所、日本分析センター、日本アイソトープ協会

革新技術



標準物質(左:玄米, 右上:牛肉, 右下:大豆)

認証値の値付け協力機関: 15試験所

- 分析値の信頼性を確保するためには、測定対象の物質と類似した組成をもち、トレーサビリティがとれた標準物質との比較が必要
- 放射性物質においても同様であり、福島県の要望が強い玄米の標準物質を24年8月に開発し、日本分析化学会から頒布
- 25年3月及び26年1月には乾燥牛肉(高濃度・低濃度)、25年6月及び9月には、乾燥大豆(低濃度及び高濃度)の標準物質を頒布
- 被災地の要望を踏まえ、引き続き、乾燥しいたけ等食品の標準物質についても開発(26年3月予定)
- 頒布鬱数: 土壌*; 約250個, 食品; 250個。
*JSTのプログラムによらず

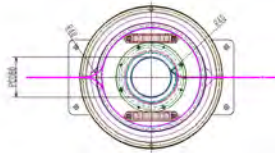
開発内容 (3/14)

[食品の放射能測定に対応する機器]

開発課題名: **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**

開発機関: **理化学研究所、ジーテック**

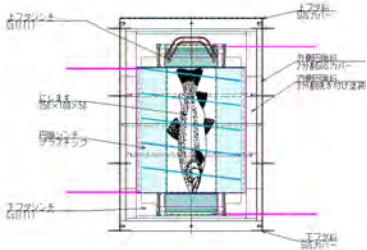
革新技術



食品用プラスチックコンテナの中に試料を入れたまま放射能を測定

下: 断面図, 上: 上面図

側面のプラスチックシンチレータに約10cmごとに光ファイバーを設置して光子を集め、試料全体の放射線量を測定。上端及び下端にあるCsI(Tl)検出器で核種の同定。

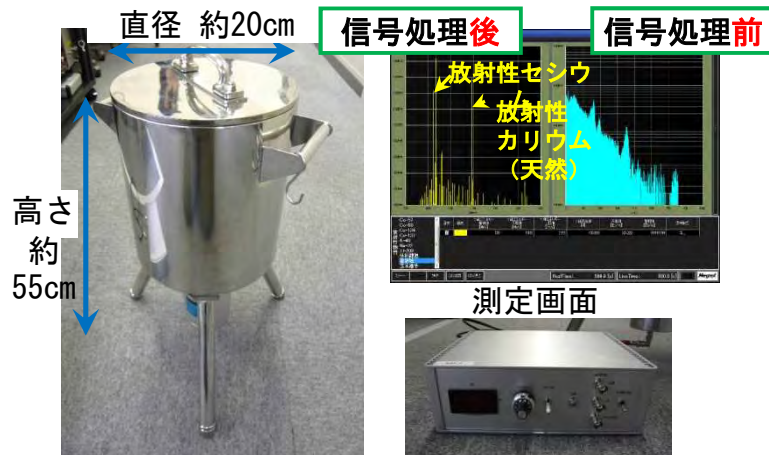


- シンチレータと光ファイバーを組み合わせ、高効率で放射線を検出
- シンチレータに光ファイバーを埋め込み、広い面積から一様な効率で受光
- 光検出器にSi-PM検出器を使い、コンパクト化
- 平成26年3月に製品化(低価格)
- 実証試験の後、幾何学的形状を考慮した製品を平成26年6月に完成予定

開発課題名: **低価格・高速・高精度放射能測定装置の実用化開発**

開発機関: **三菱電機、九州大学**

実用化



測定容器 (遮蔽体+NaI(Tl)検出器 測定回路)

- 汎用のNaI(Tl)検出器を用いて、アンフォールディング信号処理
- 検出効率の向上と分析能力の向上
- 誤差の少ない検出器応答関数を用いることで、高精度に入射ガンマ線のエネルギーと強度を分析
- 食品・飲料水等中の放射性セシウムを短時間・高精度で測定
- 実証試験の後、平成26年度中に製品化(低価格)

開発内容 (4/14)

[食品の放射能測定に対応する機器]

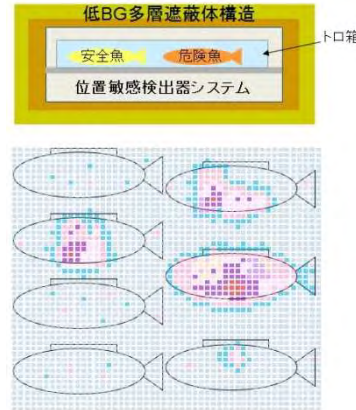
課題題名: **複雑形状食品の放射能検査装置の開発**

開発機関: **テクノエックス, 大阪電気通信大学**

実用化



自家消費食品用
簡易スクリーニング装置



装置の概要と濃度測定分布のイメージ

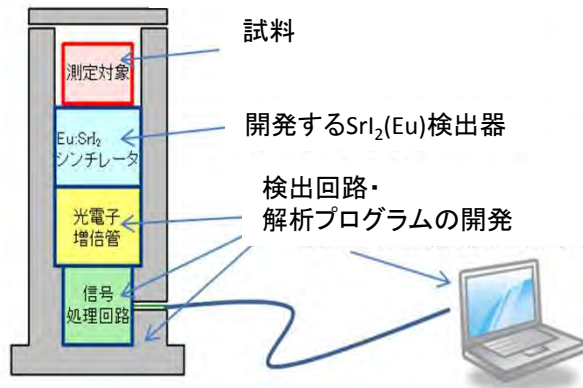
- トロ箱の中の**複数の魚**, パック内の**複数の果物等**の**個別の放射能を識別**
- 各個体の放射性Csの同時スクリーニング検査
- 小型CsI(Tl)検出器を複数設置した位置敏感検出システム**
- 複数の検出器間の検出感度の寄与**を考慮したプログラムの開発
- 短時間・高精度測定が可能
- ロードセルを設置して**放射能濃度**を算出
- 低バック鉛と高純度銅による遮へい体で, 検出限界を向上
- 検出器の数が少ないプロトタイプ機は開発終了し, 現地で実証中

課題題名: **高エネルギー分解能・高スルプットの国産放射能測定検査装置**

開発機関: **千代田テクノル, 東北大学, C&A**

実用化

放射能測定検査装置



- γ 線検出素子として新たな $SrI_2(Eu)$ シンチレータを使用
- $SrI_2(Eu)$ シンチレータは, 他のシンチレータより感度がよく, エネルギー分解能もよい
- 独自の技術で $SrI_2(Eu)$ シンチレータとなる結晶を開発・製品化
- $SrI_2(Eu)$ シンチレータをパッケージする技術の確立
- 安価な国産装置の製品化
- 測定対象は, 農作物, 農地, 肥料, 飼料等を想定

開発内容 (5/14)

[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

短期実用化



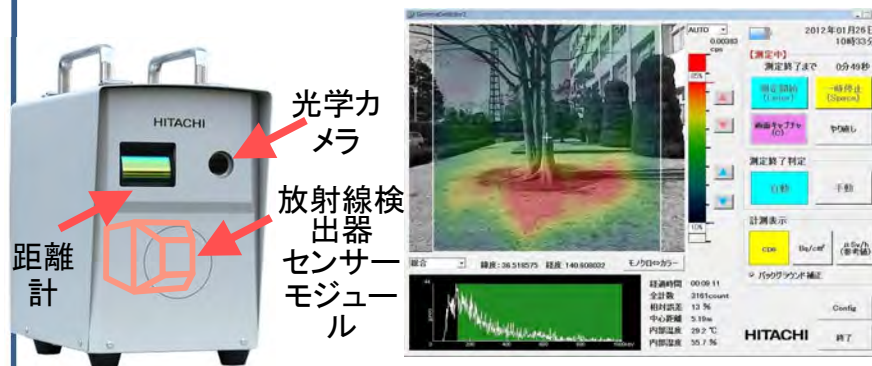
8月10日に本宮市で行われた実証試験の様子

- 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。**その様子はTVでも放映**
- 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
- 参画機関の日本原子力研究開発機構とともに各地で実地試験を実施、さらなる性能の改良を図っている
- 本機はすでに多数の問い合わせが寄せられている

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

短期実用化



開発機器での撮像結果

- CdTe検出器を複層化したピンホールカメラ
- 現地の声を反映させて、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
- $1 \mu\text{Sv/h}$ の環境下で $5 \mu\text{Sv/h}$ の表面線量のホットスポットを5mの距離から約5分間で検出
- 24年8月に製品化
- ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I の識別が可能
- 線量率距離補正のマルチスキャン機能、GUIの改善等を実現

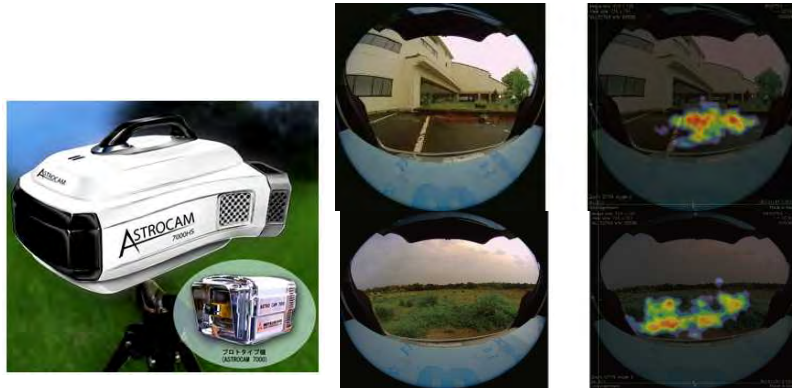
開発内容 (6/14)

[土壌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



写真左: 製品化したASTROCAM 7000HS (H25.4)

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)

○Si/CdTI検出器を用いたコンプトンカメラ

○X線天文衛星 (ASTRO-H) に搭載される世界最先端のガンマ線検出用センサ(超広角コンプトンカメラ)の技術を応用

○魚眼カメラの画像に放射性物質の分布を重ね合わせて表示

○放射線が飛来する方向を特定, 放射線のエネルギーを測定, 放射線の種類(核種)を判別

○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

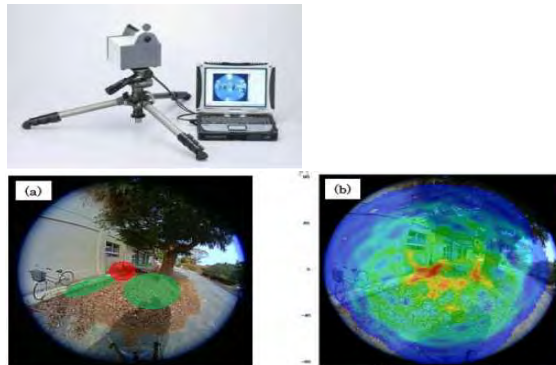
○プロトタイプ機と比べ、1/10以下の時間で撮像可能とする商用機第一弾を25年4月に販売

○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

開発課題名: 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

開発機関: 浜松ホトニクス、早稲田大学

革新技術



写真上: 使用したプロトタイプ機

写真下: 取得画像(赤い部分の線量が高い)

○CsI/CsI MPPC検出器を用いたコンプトンカメラ

○除染の現場で携行しながら測定することが可能な軽量(2kg程度)のガンマ線可視化装置を開発

○平成25年2月に浪江町で現地試験を実施(浪江町教育委員会、福島大学が協力)

○現地試験の結果を踏まえ、計測データから画像を生成するプログラムの補正を実施

○3.8~9.5 μ Sv/hの環境下でホットスポットを数分間で撮像

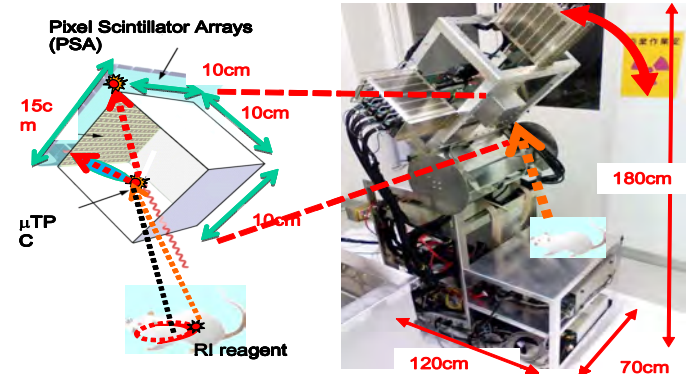
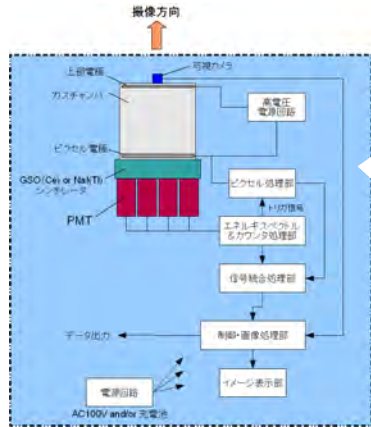
○25年9月に製品化

開発内容 (7/14)

[土壌等の表面測定に対応する機器]

開発課題名: **高感度ガンマ線画像分析装置の開発**
 開発機関: 堀場製作所、京都大学、キャノン

実用化

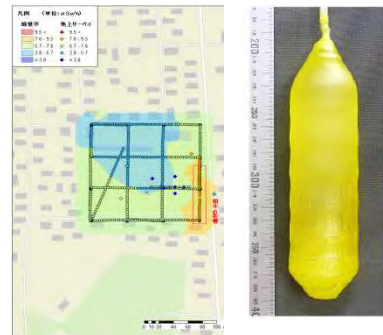


- 可視カメラ画像に放射線量分布を重ね合わせた画像表示
- 電子飛跡検出型コンプトンカメラ
- 遮蔽を用いずに高感度・広視野かつエネルギー識別可能な理想的なガンマ線撮像装置
- 空間線量率低減を阻む周辺環境からのγ線飛来方向の特定化

左: 電子飛跡型コンプトンカメラ, 右: 現行のETCCカメラ外観

開発課題名: **無人ヘリ搭載用散乱エネルギー認識型位置分解能ガンマカメラの開発**
 開発機関: 古河機械金属、東京大学、東北大学、日本原子力研究開発機構

実用化



Ce:GAGG単結晶 (2インチ)

- Ce: GAGG単結晶シンチレータを国産で量産化
- Ce: GAGGシンチレータは高発光量・高エネルギー分解能・高検出効率
- シンチレータとPDアレーとをASICに組み合わせたコンプトンカメラ
- ヘリコプターに搭載し, 位置(GPS), ガンマ線飛来方向, 線量率をリアルタイムで可視化

田畑や森林の上空を測定

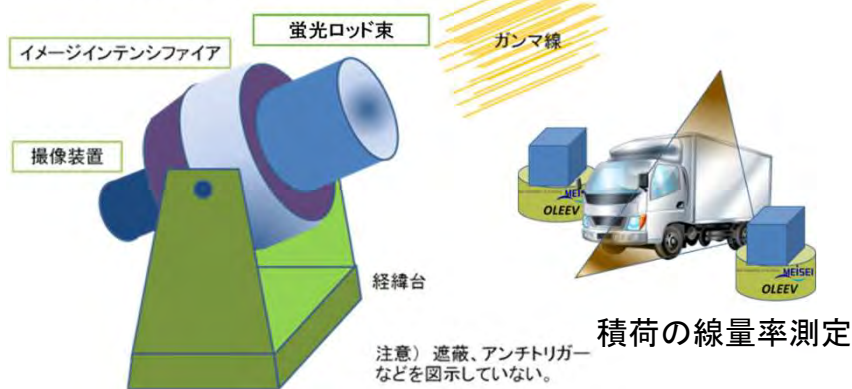
開発内容 (8/14)

[土壌等の表面測定に対応する機器]

開発課題名: 高感度広域ガンマ線望遠鏡の開発

開発機関: 明星電気、東京大学

実用化



開発するガンマ線望遠鏡のイメージ

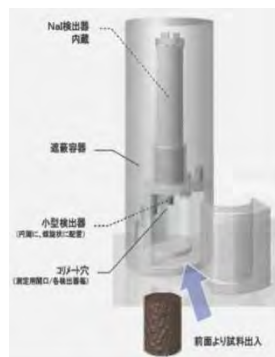
- 数100本のプラスチック蛍光体(2mm角)を束ねた**蛍光ロッド束**で、飛来するガンマ線のエネルギー、方向、 γ 線量を測定
- プラスチック蛍光体内で γ 線から生じた電子が**蛍光**を発生し、この全蛍光量からガンマ線のエネルギーを確認
- 蛍光ロッド束を短冊状にまとめることで γ 線の飛来方向を把握
- 蛍光測定に半導体画素検出器を用いることで高精度に方向撮像が可能
- トラック積荷等の放射線量率のワンストップ検査
- 広域環境での放射線量率の測定
- 製品・食品等の広域モニター

[土壌等の放射能測定に対応する機器]

開発課題名: 土壌放射能濃度の深さ分布モニターの実用化開発

開発機関: 富士電機、京都大学、放射線医学総合研究所

短期実用化



開発する装置内部透視図



開発した装置一式

- NaI(Tl)検出器で**全体の放射能**を測定
- 複数の小型CsI(Tl)検出器で**深さ方向の放射能**を測定
- 試料を回転させながら測定
- 電池で稼働(現地での測定可能)
- 深さ方向の分布は演算処理により精度を向上
- 1cmごとの土壌放射能濃度を算出

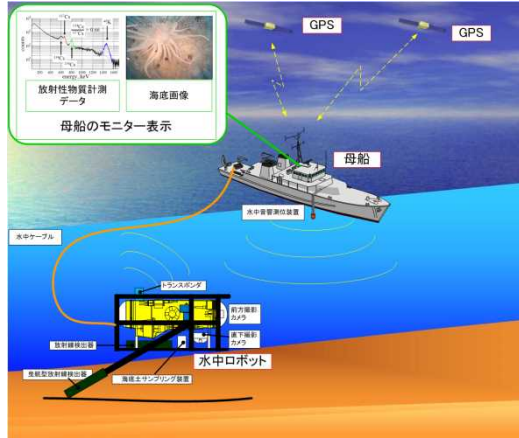
開発内容 (9/14)

[海域等の放射能測定に対応する機器]

開発課題名: **海底土放射能分布測定ロボットの開発**

開発機関: **三井造船, 海上技術安全研究所, 東京大学, 九州工業大学**

実用化



水中ロボット (ROV)

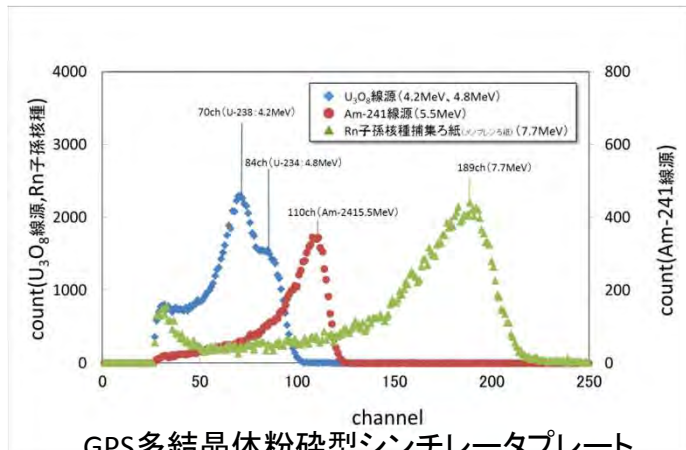
- 水中での放射能分布を測定する遠隔無人機の開発
- 遠隔無人機は, ROV, 水中ケーブル, 船上の操作装置
- 放射能測定はNaI(Tl)検出器で, 耐圧・耐水性の容器内に設置
- ROVにはNaI(Tl)検出器, TVカメラ, 水中位置検出装置, サンプル装置が設備
- 水深100mまでの海底調査が可能
- 放射能の分布測定と定点測定が可能

[α線測定に対応する機器]

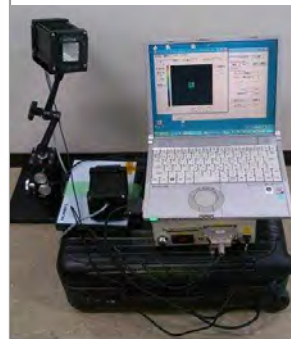
開発課題名: **エネルギー弁別・位置検出器型α線サーベーターの要素技術開発**

開発機関: **北海道大学, 日立化成, 名古屋大学, 日本原子力研究開発機構**

革新技術



GPS多結晶粉末型シンチレータプレートで測定した核燃料起因のα線放出核種



試作した可搬型装置

- 我が国オリジナルのGPSシンチレータの開発
- GPSシンチレータは高発光量・高エネルギー分解能・非潮解性・自己放射能フリー
- 単結晶の粒径を焼結することにより検出効率の向上
- 粒径の大きなシンチレータ粒を基板上に固定・研磨することで大面積化
- Pu(1Bq)とRn子孫核種(50Bq)を識別(5分間測定)

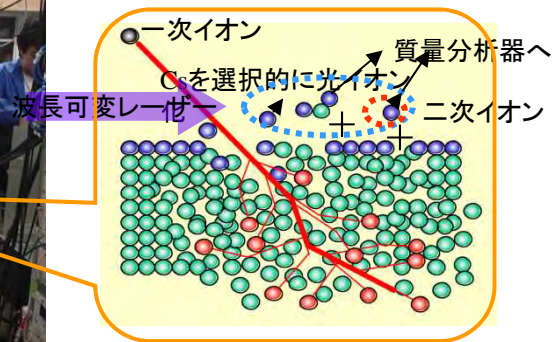
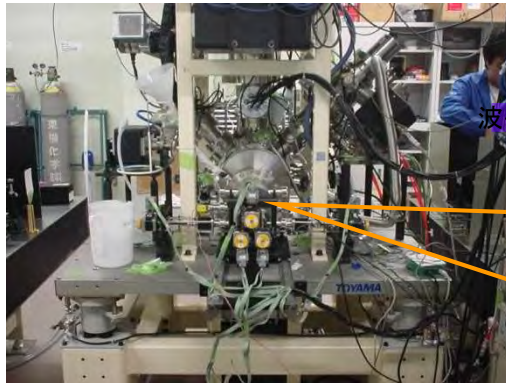
開発内容 (10/14)

[効率的な除染作業等に役立つ機器]

課題名: **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**

開発機関: 工学院大学、日本中性子光学、阿藤工務店

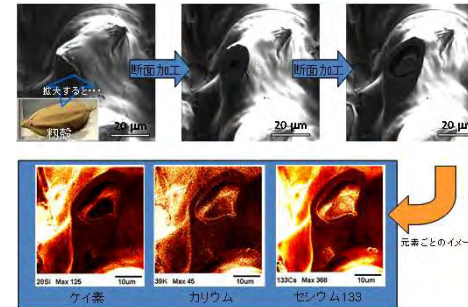
革新技術



質量分析の原理

高分解能レーザーイオン化二次イオン質量分析装置

- 微小視野(最高分解能40 nm)の元素マッピング
- 集束イオンビーム加工による粒子内部のマッピング
- レーザー共鳴イオン化によるCsの選択検出
- 植物石、粘土鉱物へのCs吸着を可視化
- 汚染実態の解明、除染技術への提供

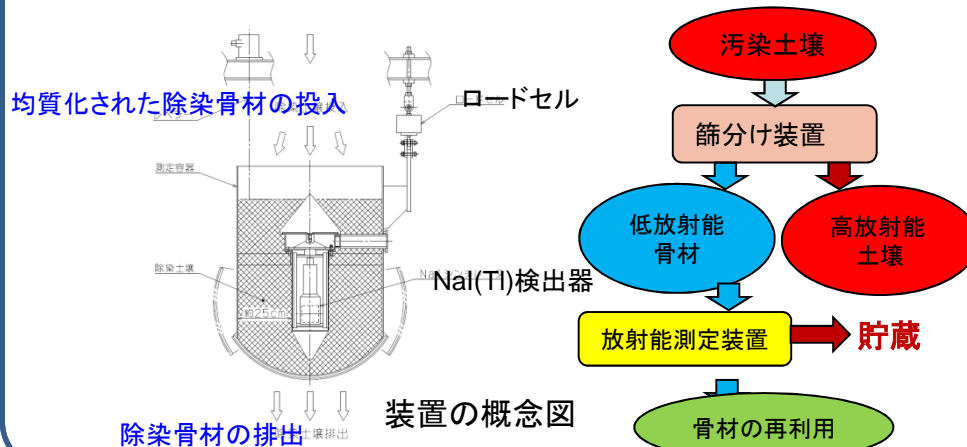


Csを添加した土壌で栽培した稲のもみ殻中のCsのイメージ

課題名: **除染土壌の放射能濃度測定装置**

開発機関: 北川鉄工所、広島大学、日立アロカメディカル

実用化



- 放射性物質で汚染された土壌の減容化のための装置
- 予め汚染土壌を既開発装置での篩分けにより、汚染が少ない骨材(砂、小石等)を分離し、効率的に放射能を測定
- 基準以下の骨材を復興資材として再利用
- 放射能濃度測定装置は均質化された骨材の重量と放射能を同時に測定
- 検出器は一定の厚さの土壌で覆われるため、遮へい体は不要で測定

開発内容 (11/14)

[効率的な除染作業等に役立つ機器]

課題名: 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

開発機関: 日本バイリン, 産業技術総合研究所, 福島県農業総合センター

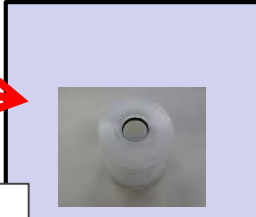
実用化



② 溶存態セシウムの回収

プルシアンブルー(PB)担持
不織布カートリッジ

外側→内側の方向に通水



① 懸濁物質の回収

懸濁物質(SS)捕捉用
不織布カートリッジ

内側→外側の方向に通水
(懸濁物質を内側に回収)

給水側

排水側

低濃度放射性セシウムの回収装置

- 水中の低濃度放射性セシウムの濃縮・回収装置
- 装置は、懸濁態の放射性Csと溶存態放射性Csを別々に回収
- 懸濁態は、プリーツ型の不織布のSSカートリッジにより、溶存態は、プルシアンブルーを不織布に吸着させたPBカートリッジにより回収
- 環境水を通水するだけで濃縮
- カートリッジを取り外すか、あるいは直接放射能測定をする
- 迅速・安価な装置
- 両カートリッジ及び装置は製品化

課題名: 放射性核種自動分離測定装置の実用化開発

開発機関: 柴崎製作所, 日本分析センター

実用化



自動化検証用プロトタイプ機



イオン交換処理部の自動化装置

- 食品中のα放射体(プルトニウム等)あるいはβ放射体(⁹⁰Sr等)を分離・回収を自動化する装置
- 放射性核種を分離回収するには、高い専門的技術と設備が要求される
- 開発された装置では、全工程が自動化され、高い技術を要しないで迅速に回収
- 装置の活用により多くの情報が提供される

開発内容(12/14)

[自然浄化のモニタリングに対応するシステム]

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

線量率測定

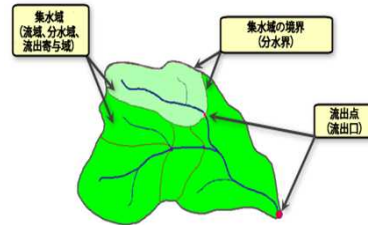
地形情報

気象情報



モニタリングポストデータ
航空機計測データ
河川サンプリングデータ

自然浄化モデル



集水域(雨水が河川に集まる
稜線に囲まれた領域)ごとに
自然浄化を検証

- 地形情報、河川情報、放射線量率情報とを組み合わせ、周水域での放射性セシウムの挙動を把握できるシステムの構築化
- 放射性物質の動態に最も影響の大きい降雨・降雪に着目し、集水域を単位にして自然浄化の予測モデルを構築し、今後のホットスポットの可能性や各地点での空間放射線量率などを予測推定するシステムの開発
- 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
- 福島県小国地区において開発システムの評価を実施

[個人線量計に対応する機器]

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

短期実用化



線量計の大量校正装置



個人線量計と表示器

- 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
- 評価に基づき、実用化への開発
- 小型・軽量で1年間駆動(電池式)
- 積算線量: $0.1 \mu\text{Sv} \sim 99.9999\text{mSv}$, 1日の積算線量と累積日数の確認が容易(専用の表示器による)
- 福島県内の複数箇所に個人線量計を納品

開発内容 (13/14)

[高線量率環境下における測定に対応する機器]

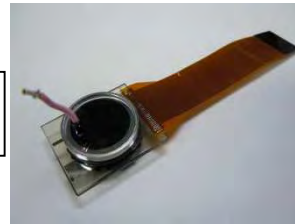
課題題名: **耐放射線性を有するアクティブ駆動HEEDの開発**

開発機関: **パイオニア, 東京都市大学, パイオニアマイクロテクノロジー**

革新技術



HEED撮像素子を搭載した監視カメラ



アクティブ駆動HEEDと
光電変換膜HARPを
組み合わせた撮像素子

- パイオニア独自の**アクティブ駆動HEED**は, **冷陰極アレイ**である平面型**電子源アレイ**で, 低い駆動電圧で, 均一な量の電子を真空中に放出
- 光電変換膜のHARP**と組み合わせると**耐放射線性に優れた撮像素子**となる
- 高放射線量環境下**での監視カメラ等に利用できる
- 低電圧**で駆動可能であるので, 消費電力が少なく, **高線量率下**での作業ロボットに付設可能

HEED: High-efficiency Electron Emission Device

HARP: High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor

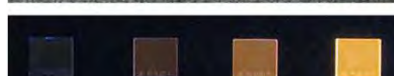
課題題名: **高線量率環境に対応する線量測定方法の実用化開発**

開発機関: **千代田テクノル, 大阪大学, 金沢工業大学**

実用化



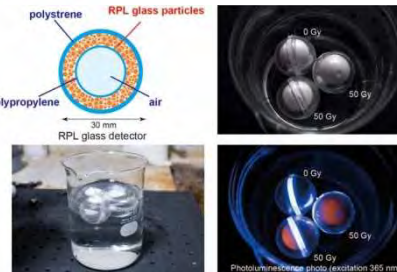
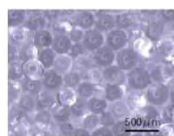
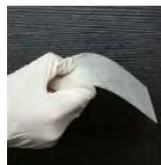
紫外線ライト (消灯)



紫外線ライト (点灯)

放射線量 低 → 高

蛍光ガラスの放射線応答



- 蛍光ガラス線量計の基盤となる蛍光ガラス素子を新たに開発**
- 過酷環境用ガラス線量計を開発**
- 耐高温性 (~250°C), 高フェーディング特性, 広線量測定範囲 (1mGy~100Gy) を目標**
- 高温・高湿度・高線量率環境での線量測定が可能**
- ビーズ型あるいはシート型で製品化**
- 特別仕様の発光用の紫外線ランプ及び読み取り装置の開発**

シート型蛍光ガラス ビーズ型蛍光ガラス ビーズをカプセルに封入

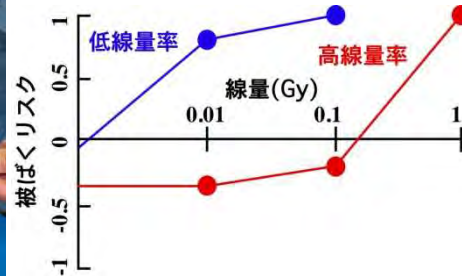
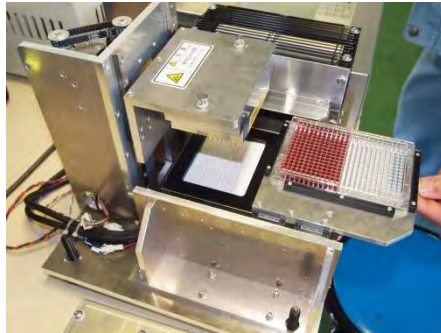
開発内容 (14/14)

[放射線が生体に与える影響の評価システム]

課題題名: 微量放射線の生物影響評価システム(装置)の開発

開発機関: 日美商事, 理化学研究所, 柴崎製作所, 国立保健医療科学院

革新技術



被ばくリスク評価の概念図

半自動スポティング装置(逆相タンパク質アレイ)

- 微量放射線による生物影響を予測するシステムの開発
- 細胞内タンパク質の量の網羅的变化から予測
- 逆相タンパク質アレイの利用により微量放射線に影響する特定のタンパク質を定量し, 網羅的な統計学的解析
- 被災地と同様な条件で実験し, 被ばくリスク評価を実行

逆相タンパク質アレイ:

膜上に多数のタンパク質サンプルをスポットし, 抗体により特定のタンパク質を特異的に定量
レプリカを多数作成することにより網羅的解析が可能

課題題名: 生物学的線量計測用の分裂中期細胞自動検出装置

開発機関: 放射線医学総合研究所, 三谷商事

革新技術



分裂中期細胞自動検出装置

- 顕微鏡によりスライドガラス上で染色体異常の細胞を自動的に検出
- 検出位置及び内容から異常染色体である二動原体の数を計数
- あらかじめ用意した線量曲線から被ばく線量を推定
- 開発する装置はデジタル光学顕微鏡, 電動スライド, コンピュータから構成され, 開発した画像処理ソフトウェアで解析
- 分裂中期細胞(異常染色体)と思われる画像を表示
- 低価格で高速処理の装置を開発
- 本装置は研究機関や病院に設置され, 低線量被ばくと思われる人々の不安を解消する

安全・安心な生活の確保に向けて

(信頼性ある数値に依存)

信頼性ある機器を
開発しても

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

標準物質・標準線源の利用

➤ 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)

測 * **校正した**(トレーサビリティのとれた)測定機器の使用

定 * マニュアルに従った測定機器の**取り扱いの順守**

者 * 測定者の**測定技術(力量)(知識を含む)の確保**(教育訓練)



認証標準物質の活用

(**精確性の確保・維持・向上**)

ISO/IEC 1702 (JIS Q17025)

試験所認定制度に基づく要求事項による

★ 分析の妥当性確認

・分析能パラメータの算出

(正確さ, 検出限界, 選択性, 直線性, 繰返し性, 再現性, 頑健性, 相関感度)

・分析装置の性能確認と合目的

・日頃の分析システムの適合性

・技能試験の受験⇒精度管理

*試料の密度効果の検証

⇒ **密度の異なる**標準物質を**同一の形状の容器**に,
同体積(高さ:一定)に充填し, 測定する

- 土壌標準物質: **1.35** g/cm³ U8容器充填
- 玄米標準物質: **0.9** g/cm³
- 大豆標準物質: **0.75** g/cm³ U8容器充填
- 牛肉標準物質: **0.4** g/cm³



おわりに

- 信頼性が高く、ニーズに合った放射線計測技術・機器開発は、着実に成果を収めたが、それらの普及によりさらに発展することが期待される。
- 汎用のシンチレータ検出器や半導体検出器以外の新たな検出器の活用及び開発が目覚ましい。
- 従来の検出器を利用し、システムを工夫した放射線計測器が開発されている。
- 安価で高性能な機器が開発され、多くの利用に期待される。
- 信頼性を支える放射線計測機器の開発とその信頼する活用が要求される。