

Contributing through Innovation

先端計測分析技術で被災地復興に貢献する

先端計測分析技術・機器開発プログラム 放射線計測領域成果集 2015



放射線計測領域の 発足とその期待

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

平井 昭司

(東京都市大学名誉教授)

「放射線計測領域」の発足が決定したのは、平成24年1月である。平成23年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の重大事故から約10カ月後のことである。東日本を中心に放射性物質が広く飛散し、環境や食物などに放射性物質の汚染を引き起こし、われわれの生活に厳しい影響を与えてしまった。そのため、生活環境の放射線量率や食物などの放射能濃度を信頼性高く測定しなければならない状況になった。

事故が起きる以前の放射線測定は、原子力関係者などの専門家に限定され、一般の人々にはあまり関心がないことであった。そのため、放射線測定器の数量が限定されるとともに、信頼性高く扱える人も限りがあった。そのような中、安価な信頼性のない放射線測定器が国内および国外から出回り、数値だけが独り歩きして、多くの混乱を招いた。また、膨大な食物や広範囲な環境を効率よく信頼性高く測定できる放射線測定器が皆無であったことから、新たな放射線測定器

および関連機器などの開発が急務となり、本プログラムが企画された。

従来の放射線測定器の全体あるいは要素の多くは外国製であるので、本プログラムの発足にあたっては、わが国独自の新しい信頼性ある放射線測定器が開発されることを願って公募を行った。

その結果、平成24年度の短期開発型に17件(採択6件)、中期開発型に40件(採択8件)、二次公募に38件(採択9件)および平成25年度の公募に16件(採択5件)、合計111件(採択28件)の応募があり、新たな放射線測定器の開発に関し多くの人々の熱意と関心の高さを伺い知ることができた。現在のところ、全体の約80%以上は開発を終了し、一部必要とする市場に供されている。その評価は利用者により厳しくなされるものと思うが、開発者はより信頼性が高く、高性能かつ安価な測定器を今後とも開発していただきたい。

研究成果展開事業 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】(平成24～27年度)

研究成果展開事業「先端計測分析技術・機器開発プログラム」は、わが国の将来の創造的・独創的な研究開発活動を支える基盤の強化を図るため、先端計測分析技術・機器およびその周辺システムの開発を推進します。

平成24年度に重点開発領域として「放射線計測領域」(領域総括：平井 昭司 東京都市大学名誉教授)を設定し、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、行政ニーズ、現地ニーズ等が高く、開発に一定期間を要する高度な放射線計測技術・機器およびシステムの開発を行います。

特長

2つの開発タイプで、広く開発提案を公募し、産学連携による研究開発を推進。領域全体の運営を行う「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。

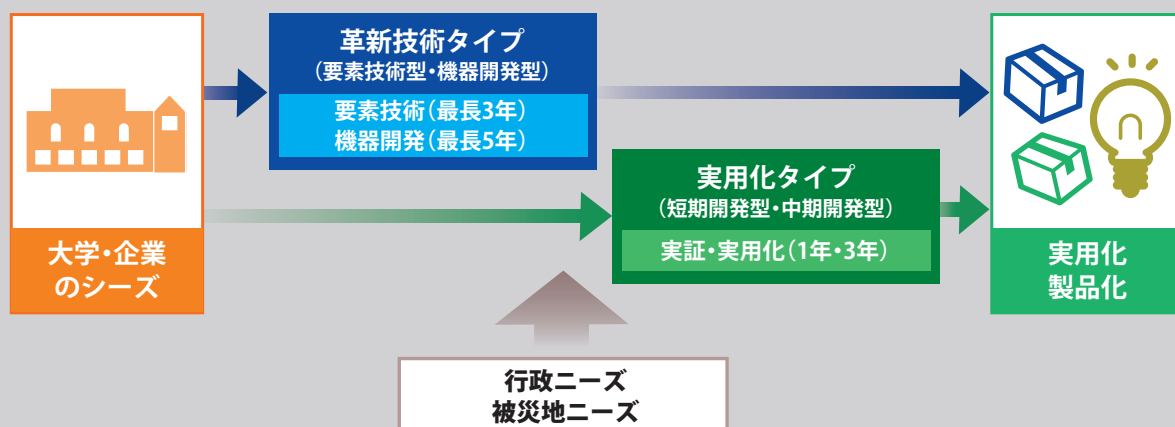
革新技术タイプ(10課題)

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することのできる要素技術、もしくは既存の技術・機器から飛躍的に性能を向上することのできるプロトタイプ機を開発。

実用化タイプ(18課題)

被災地ニーズ、行政ニーズが極めて高い、食品・土壌などに含まれる放射線量および放射能濃度の迅速かつ高精度・高感度な把握などを可能とし、被災地で早期・確実に活用できる計測分析機器やシステムを開発。

2つの開発タイプ





Contributing through Innovation

先端計測分析技術で被災地復興に貢献する

C O N T E N T S

魚や農作物をそのままの状態で 測定できる放射能検査装置を実現 4

複雑形状食品の放射能検査装置の開発：株式会社 テクノエックス

除染土壌を大幅に減らす装置の開発に成功 6

除染土壌の放射能濃度測定装置の開発：株式会社 北川鉄工所

■ 食品・環境中の放射能分析 8

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：株式会社 島津製作所／食品放射能検査システムの実用化開発：富士電機株式会社／低価格・高速・高精度放射能測定装置の実用化開発：三菱電機株式会社／放射能環境標準物質の開発：武蔵大学／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：理化学研究所／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：株式会社 千代田テクノル／ハンディタイプCsIスマートベクレルカウンター (Smart Becquerel Counter) の実用化開発：新日本電工株式会社／土壌放射能濃度の深さ分布モニタ：富士電機株式会社／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：日本バイリーン株式会社／放射性核種自動分離測定装置の実用化開発：株式会社 柴崎製作所／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：工学院大学

■ 放射線モニタリング (ホットスポット検出) 20

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：日本放射線エンジニアリング株式会社／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：日立アロカメディカル株式会社／革新的超広角高感度ガンマ線可視化装置の開発：宇宙航空研究開発機構／高感度広視野ガンマ線画像分析装置の実用化開発：株式会社 堀場製作所／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：古河機械金属株式会社／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：浜松ホトニクス株式会社／集水域に着目した自然浄化モニタリングシステムの開発：大阪大学／耐放射線性を有するアクティブ駆動HEEDの開発：パイオニア株式会社／高線量率環境に対応する線量測定方法の実用化開発：株式会社 千代田テクノル／エネルギー弁別・位置検出型α線サーベイメータの要素技術開発：北海道大学／海底土放射能分布測定ロボットの開発：三井造船株式会社

■ その他 32

軽量・小型電子式個人線量計の大量校正システムの実用化開発：株式会社 千代田テクノル／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：放射線医学総合研究所／微量放射線の生物影響評価システム (装置) の開発：日美商事株式会社／高感度広域ガンマ線望遠鏡の開発：明星電気株式会社

魚や農作物を そのままの状態で測定できる 放射能検査装置を実現

X線分光解析を長年研究してきた株式会社テクノエックスの谷口一雄社長は、安全・安心な食品を届けたいという被災地の生産者の声に応じて、平成25年度より水産物や農産物をそのままの状態ですばやく検査できる「複雑形状食品の放射能検査装置」の開発を進めてきました。すでに2種類の検査装置を完成し、福島県の漁港や農業協同組合などで実証試験を行っており、生産者だけでなく食品加工会社などに広く普及することが期待されています。

■中核機関：株式会社テクノエックス ■参画機関：大阪電気通信大学
■開発期間：平成25～27年度



自家消費食品用簡易スクリーニング
装置 Legumes (レギューム)

生産者のニーズに応じて

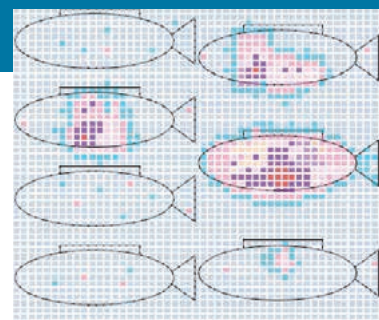
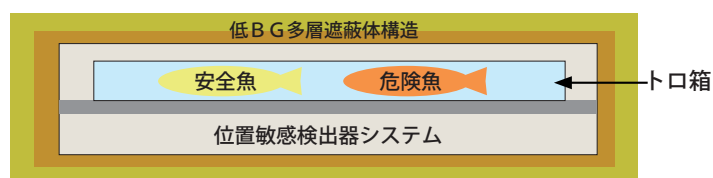
福島県の小名浜漁港は、東日本大震災の津波被害から復興し、活気が戻りつつあります。現在は、検査で基準値を安定的に下回ることが確認できた魚を対象に、小規模な操業と販売を行う試験操業を行っています。試験操業では、水揚げした魚介類は一旦漁港の検査室で魚介ごとに放射能検査を行い、安全性を確認した後に出荷されます。

その魚市場の検査室の一角に、テクノエックスの放射能検査装置「自家消費食品用簡易スクリーニング装置 Legumes (レギューム)」が設置されていました。小型冷蔵庫ほどの装置で、魚などの放射能検査が迅速に行えます。

開発した谷口さんは、大阪電気通信大学教授としてX線分光分

析の研究に携わり、平成21年にX線を主とした研究開発、理科学機器の製造販売を目的にテクノエックスを設立しました。原子力発電所事故にともない食品の放射能検査のニーズが高まると、直ちに「オートサンプラー式放射性セシウム測定装置」などを開発し、福島県内の漁協、農協、給食センターなどに納入してきました。これまでの検査装置は、魚をミンチ状にして調べる必要があり、サンプル量も約1リットル必要だったため、前処理に時間がかかり検査時間も半日近くかかっていました。オートサンプラー式はサンプル量が10分の1ですみ、測定時間も数十分程度になりました。しかし、それでも現地の「トロ箱ごと魚の検査がしたい」「パック詰めしたままで果物を検査できないか」という強い要望が寄せられることもあり、谷口さんは新たな開発を進めることにしました。

複雑形状食品スクリーニング検査装置の概要と 個体識別スクリーニング・濃度分布測定結果のイメージ





その開発製品のひとつが「Legumes」です。大型のCsI検出器を複数個備えており、比較的低量の放射性セシウムでも数分という短い時間で測定できます。しかも、魚をミンチにしないで検査でき、どの部分の濃度が高いかという大まかな分布も知ることができます。平成25年から漁港や農協などの協力を得て性能を確かめ、現場の意見を取り入れて改良を重ね製品化を進めてきました。

また、「汎用位置分解能複雑形状食品スクリーニング検査装置」は、5cm角の検出器を格子状に配置した装置で、食品の放射能濃度の分布を精密に検査することができます。



Legumesは魚をミンチにしないで検査できるのが特長



利用者の声



小名浜機船底曳網漁業協同組合

前田 久さん

消費者の食卓に安心をお届けするために

事故後、何とか安全を証明したい、消費者の食卓に安心をお届けしたいと願って、放射能検査装置を導入しましたが、ミンチにする前処理や測定に時間がかかってしまい、鮮度が命である魚では実態として十分ではありませんでした。結局、出荷後に検査結果を届けるという形でしか対応できませんでした。今回開発した装置は、ミンチにする必要がなく、しかも5分もしないで測定できるので、出荷前検査が迅速に行えます。今後は、試験操業の魚の種類も量も増えていくので、台数も増やしていければと考えています。将来的には、ベルトコンベア式の検査装置の開発も期待しています。

今後の展開

「Legumes」は、福島県内に38台納入されており、農産物向け、水産物向けの検査装置として活躍しています。

「スクリーニング検査装置」についても、5cm角の検出器を備えた検査装置を商品化するとともに、さらに、1cm角の検出器を採用した高位置分解能の検査装置の実証実験も進めています。

テクノエックスでは、本研究成果をもとに、より幅広い食品に対応する高性能な検査装置の開発を進めていくことにしています。

現地生産者の声を取り入れて装置を改良・高度化

当社は、事故後、米などを対象とするベルトコンベア式の非破壊式放射能測定装置を製品化し、福島県内に約50台納入してきました。しかし、魚や根野菜、果物のように、同じ種類でもそれぞれ形状が異なる(複雑形状)食品を、均一に検査する装置の開発は容易ではありません。特に魚の場合、実際に食べることのできる部分だけを重点的に測定できる高精度の検査装置が必要です。

今回の開発では、放射性セシウムに感度が良い小型CsIシンチレーターを採用したことで、低放射能濃度の試料でも精密・短時間で測定でき、精度の良い分布測定が可能になりました。

お問い合わせ先

株式会社テクノエックス 石井 秀司
〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島5-18-20
TEL: 06-6323-1100 E-mail: ishii@techno-x.co.jp

「Legumes」は、本研究の基礎実験装置として開発したのですが、食品をなるべくそのままの形で測定したいという現地の強い要望にお応えして小名浜漁港などに持ち込んで実証実験を重ね、関係者のご意見をもとにハード、ソフトの改善を進めてきました。

平成28年3月には実証実験を完了する予定ですが、さらなる改良を進めて、これからも安全安心な地元食品に貢献していきます。



谷口チームリーダー

チームリーダー

谷口 一雄

(株式会社テクノエックス・代表取締役社長)

サブリーダー

松浦 秀治

(大阪電気通信大学 電気電子工学科・教授)

除染土壌を 大幅に減らす装置の 開発に成功



福島第一原子力発電所の事故後、除染などによる周辺地域の表土や汚泥などを取り除いた結果、膨大な量の除染土壌が生まれました。その処理が大きな課題となっており、安全を確保しながら除染土壌を減らす「減容」が求められています。

株式会社 北川鉄工所は、この減容に資するため、平成23年度の経済産業省の事業で放射性物質の吸着性の高い粘土とそれ以外の砂礫を分ける装置の開発を行いました。さらに、平成25年度からはJST先端計測プログラムにおいて、分けたあとの砂礫の放射能濃度を測定する装置の開発を進め、平成27年9月に実証試験に成功しました。

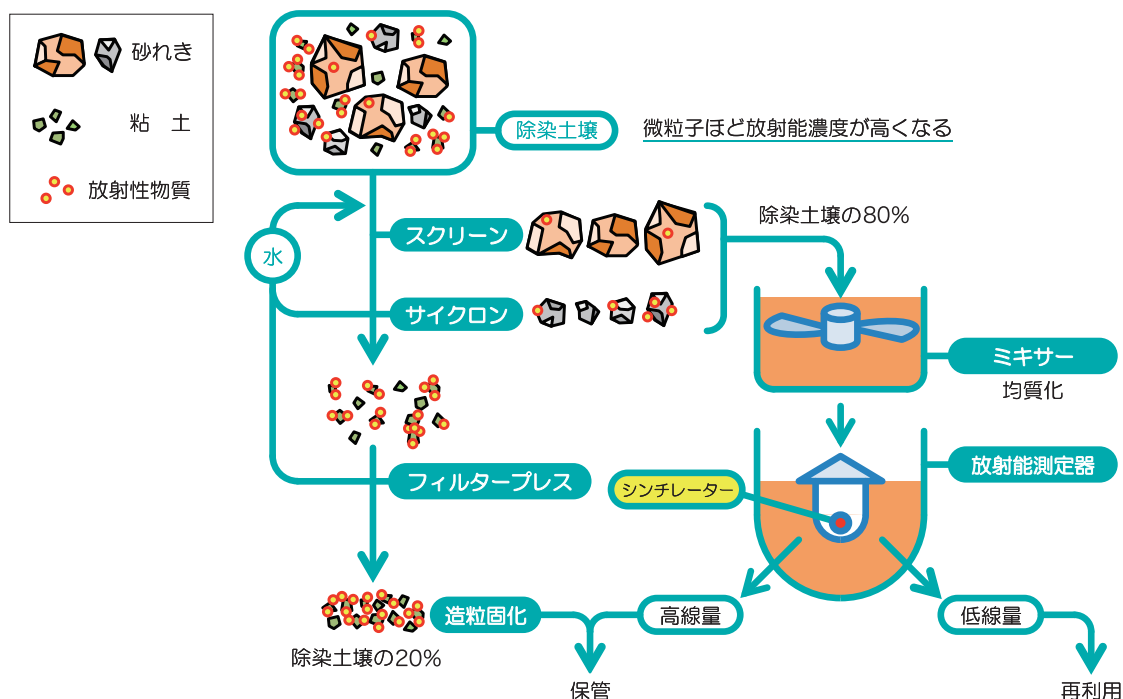
■中核機関：株式会社 北川鉄工所 ■参画機関：広島大学、日立アロカメディカル株式会社 ■開発期間：平成25～27年度

土壌の均質化で、重量当たりの放射能濃度を精密測定

放射性物質は、表面積の大きい粘土に付着しやすい性質があります。まずは除染土壌からこの粘土のみを取り除きます。土壌をミキサーで攪拌しながら洗浄して砂や石などをふるい分けることで粘土を取り除き、除染土壌を約8割に減らせることを実証しま

した。放射能濃度レベルが高い粘土は放射性セシウムが流れ出ないように固めて最終処分が決まるまで安全に保管します。次に粘土を取り除いた土壌の放射能濃度を大量・正確・自動的に測定し、放射能濃度の高いものと低いものに分別しなければなりません。そこで、広島大学、日立アロカメディカル株式会社と連携して除染土壌の放射能濃度測定装置の開発を進めることにしました。

■ 除染土壌処理の流れ





大容量の除染土壌の高精度な計測システム

除染土壌を均質化することで、大容量の土壌を効率よく高い精度で計測する点がこれまでにない測定装置といえます。また、NaIシンチレータで得られる γ 線ピークを1本ずつ解析するのではなく、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K 、その他天然の核種ごとに作成した応答関数を用いて得られた γ 線スペクトルにフィッティングを行うことにより、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K の放射能濃度を精度よく決定できる点も大きな特色となっています。

サブリーダー

遠藤 暁 (広島大学 大学院工学研究院・教授)

実用プラントとして導入しやすいシステム

これまで、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の弁別は、高額なGe半導体検出器を用いることが一般的でしたが、本開発では遠藤教授の研究室が作成した応答関数により、分解能が悪くても価格が安く取り扱いが容易なNaIシンチレータの利用で ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K の弁別が実現できました。これにより、実用プラントとして導入しやすい装置になったと考えます。

分担開発者

吉田 信司 (日立アロカメディカル株式会社 計測システム技術部)

本装置は、ミキサーに投入した汚染土壌を攪拌することで、ミキサー内の除染土壌の放射能濃度を均質化したのち、その土壌の一部を放射能濃度測定装置で測定します。ミキサー下部にある円筒形の計測槽に設置した放射線検出器(NaIシンチレータ)で土壌中の放射性物質から放出されるガンマ線を測定します。このデータをもとにミキサー内の土壌の重量当たりの放射能濃度を算定し、放射能濃度の高いものと低いものに分別します。

試験プラントは平成27年5月に完成し、6月から8月にかけて実証試験が進められました。試験では、広島大学の放射能濃度測定に関するシミュレーションの結果と矛盾なく ^{137}Cs 放射能濃度100Bq/kgの土壌でも5分以内の短時間で、10%以下の精度で測定できました。

今後の展開

実用プラントはミキサーを大型化し、約3 m^3 の土壌を1000Bq/kg以上なら3分以内で測定します。1ユニットで大型タンカーに相当する年間40万 m^3 の除染土壌を放射能濃度が高いものと低いものに分別することができます。これにより、中間貯蔵施設に保管する除染土壌を大幅に減らすことが可能となります。また、安全性が確認された放射能濃度の低い土壌を建設資材などに再利用することにもつながると期待できます。

ゼネコン関係者への説明会でも高い評価

除染土壌の減容に、当社の焼却灰や建設残土などを処理する環境プラント技術が役に立つと考え、平成23年度から「ふるいわけ方式による除染土壌減容試験プラント」と「放射能濃度測定装置」の開発を進めてきました。これらの開発では福島県小野町の飯岡工業株式会社のご協力を得て試験プラントを建設し、地元自治体にもご理解をいただいて実証試験を進めてきました。

要素技術では、土壌を均質化するミキサーとともに、土壌の放射能濃度を測定する計測槽の開発がポイントでした。土壌からの放射線を効率よく測定し、かつ外部放射線の影響を受けない計測槽を開発しました。また、放射性セシウムなどに感度の良い日立アロカメディカルのNaIシンチレー

ターを採用したことも成功につながりました。

実証試験では、広島大学の遠藤教授の研究室が作成した応答関数に正確に符合し、精度の高い測定ができました。平成27年7月にはゼネコン関係者などを対象とする説明会を行いました。実用プラントにおける測定精度の高さと土壌の処理量の多さが高く評価されました。

お問い合わせ先

株式会社 北川鉄工所 開発本部 岡城 康治

〒726-8610 広島県府中市元町77-1

TEL : 0847-40-0235 E-mail : okasiro@kiw.co.jp



岡城 チームリーダー

チームリーダー

岡城 康治

(株式会社 北川鉄工所 開発本部・部長)

サブリーダー

遠藤 暁

(広島大学 大学院工学研究院・教授)



食品・環境中の放射能分析

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
株式会社 島津製作所…………… 9

食品放射能検査システムの実用化開発
富士電機株式会社…………… 10

低価格・高速・高精度放射能測定装置の実用化開発
三菱電機株式会社…………… 11

放射能環境標準物質の開発
武蔵大学…………… 12

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
理化学研究所…………… 13

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
株式会社 千代田テクノル…………… 14

ハンディタイプCsI スマートベクレルカウンター
(Smart Becquerel Counter)の実用化開発
新日本電工株式会社…………… 15

土壌放射能濃度の深さ分布モニタ
富士電機株式会社…………… 16

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
日本パイリーン株式会社…………… 17

放射性核種自動分離測定装置の実用化開発
株式会社 柴崎製作所…………… 18

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
工学院大学…………… 19

米の全量・全袋スクリーニング検査に貢献

30kgの米袋をコンベアで輸送し、高速*・高感度**に放射性セシウムスクリーニング検査を行う食品放射能検査装置を開発。平成24年度産の福島県産米の全量・全袋検査に貢献しました。

*1袋当たり5秒 **測定下限値12.5Bq/kg以下

■中核機関：株式会社 島津製作所 ■参画機関：京都大学 ■開発期間：平成24年度

福島県産米の全量・全袋検査の実現に向けて

食品の中でも米は主食であり摂取量が多く、他の食品と比べて生産量も多く、長期保存が可能であることから安全性の確認が求められていました。その中で、放射性セシウムの新基準値が制定され、平成24年度産の福島県産米の全量・全袋検査の実施が計画されていましたが、実施方法や運営方法が決まっていなかった状況でした。全量・全袋検査を行うためには、できるだけ放射線の計測時間を短くするとともに、検査データを保存するサーバ機能や米袋の運搬や検査結果の印字装置などの周辺機器が必要であり、また検査装置の精度管理が重要であると考えました。

放射性セシウム暫定規制値(平成23年3月17日)

区分	規制値 (Bq/kg)
飲料水	200
牛乳・乳製品	200
野菜類	500
穀類	500
肉・卵・魚・その他	500

放射性セシウム新基準値(平成24年4月1日)

区分	規制値 (Bq/kg)
飲料水	10
乳児用食品	50
牛乳	50
一般食品	100

米のスクリーニング検査の高速化・省力化と大容量標準線源の作製

スクリーニング検査を高速化するために、検出器の高感度化などによる放射線計測時間の短縮とともに、実施方法や運営方法が決まっていなかった状況で、米袋の運搬や米袋への検査結果の自動印字装置等の検査の省力化や検査データの保存機能など、検査に必要な周辺機器を開発しました。当時、存在していなかった30kg米袋の放射能計測に対応できる大容量標準線源の作製法を開発しました。

福島県産米の全量・全袋検査での利用

食品放射能検査装置の一部である装置本体のデータサーバ機能(59台)および周辺機器の印字装置(41台)は、平成24年8月末から、福島県(本宮市、二本松市、郡山市等)で、製品として使用されています。大容量標準線源は、福島県等のご要望があれば、京都大学より大容量標準物質として供給することも検討しています。



医療機器の放射線測定技術の活用

食品放射能検査装置本体には、医療機器であるPET(陽電子断層撮影装置)の放射線測定技術を使用した放射線検出器を使用しました。この検出器は放射性セシウムから放出される高いエネルギーのガンマ線を効率よく検出することができます。医療機器で培った技術やノウハウを活用することで、短期間の開発に成功しました。開発した食品放射能検査装置は、測定下限値12.5Bq/kg、測定時間5秒/袋で30kgの米袋をスクリーニング検査することが可能で、世界最高の性能を有する装置であると考えています。

お問い合わせ先

株式会社 島津製作所 医用機器事業部 技術部 田中 和巳
〒604-8511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
TEL : 075-823-1284 E-mail : k-tanaka@shimadzu.co.jp



医療機器(PET)の放射線測定技術を応用

チームリーダー

井上 芳浩

(株式会社 島津製作所 医用機器事業部 技術部・副部長)

サブリーダー

戸崎 充男

(京都大学 放射性同位元素総合センター・准教授)

250万袋にのぼる米の全数・全量を高速で測定

農産物への風評被害を防ぐため、一般食品の放射性セシウム濃度を非破壊で効率良くスクリーニング検査できる食品放射能検査システムを開発。全量検査の実現により、米集荷場等での設置・測定を可能にしました。

■中核機関：富士電機株式会社 ■参画機関：放射線医学総合研究所、京都大学 ■開発期間：平成24～26年度

米袋の全数・全量測定を目指して

福島県産米の出荷に際しては、米袋の全数・全量検査を行い「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」に定められた方法で基準値以下であることを確認します。測定方法としては、上下に設置した放射線検出器（NaI（TI）シンチレーション検出器）により、梱包状態（箱・袋）の食品中からのガンマ線を計測するのが望ましいとされています。

しかし、従来の検査装置は食品をサンプル検査する方法であり、全量・全数を測定できません。さらに、サンプル調整（切り刻む等の加工）が必要であり、1サンプルを測定するのに数分～数十分かかります。本装置を使用することで、非破壊で米袋（30kg袋）のままの測定が高速（250袋/時）で可能となり、全数・全量の検査に対応することができます。



装置本体外観



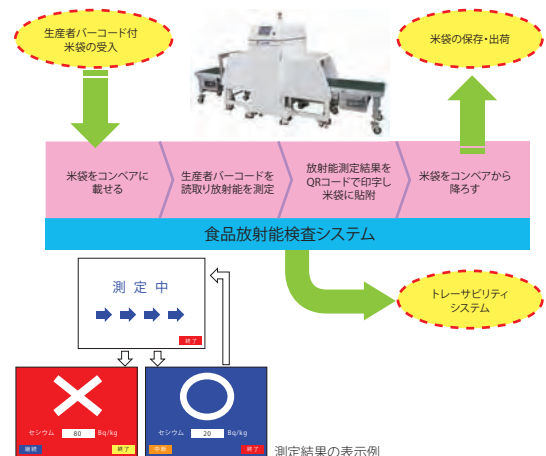
米測定風景



米袋から出る放射性セシウムだけを測定

本装置は、ダンボール箱や袋入りの食品をそのままベルトコンベアに載せ、サイズ等を入力するだけで測定が可能です。測定時間は、30kg米袋の場合、最速で約10秒/袋です。この大幅なスピードアップは、環境中の放射性セシウムからの影響が直接センサーに当たらないようなトンネル型の遮蔽構造（シャドーシールド）を採用し、周辺からの影響をできるだけ少なくして米袋から出る放射性セシウムだけを測ることによって実現しました。

また、専門家ではない作業者を考慮し、操作が簡易で専門知識がなくても使えるよう工夫しました。



米や果物検査で利用

平成24年9月より福島県内の農協等に50台以上納入し、平成24年度米の全数・全袋検査に利用されました。現在は、りんごやなしなど果物の検査にも使われています。今後、除染事業等が進んでいく中、食品だけではなく、同様の測定原理・構造等を用いることで、焼却灰や土壌の測定などへの展開も期待されています。

長年培ってきた放射線測定技術を活かす

私たちは、これまで原子力施設や放射線を扱う病院・研究所向けに、放射線測定機器などを製造してきました。これまで培ってきた技術を活用することで、鉛のシャッターを使わず、環境中にある放射性セシウムの影響を少なくして、食品から出る放射性セシウムだけを測ることに成功しました。

お問い合わせ先

富士電機株式会社 産業インフラ事業本部 産業計測機器事業部 放射線システム部 山田 宏治
〒191-8502 東京都日野市富士町一番地
TEL：042-585-6024 E-mail：yamada-kouji@fujielectric.com



山田 チームリーダー

チームリーダー

山田 宏治

（富士電機株式会社 産業インフラ事業本部 産業計測機器事業部・放射線システム部長代理）

サブリーダー

矢島 千秋

（国立研究開発法人 放射線医学総合研究所・主任研究員）

セシウム134・セシウム137の分離測定を迅速かつ容易に

新開発の信号復元技術により、ヨウ化ナトリウムシンチレーターの放射能分析能力を向上させ、従来困難であったセシウム134・セシウム137の分離測定を実現。測定時間の大幅な短縮化*と低価格化を可能にしました。

*一般的なゲルマニウム半導体検出器に比べ、約10分の1の時間での測定が可能。

■中核機関：三菱電機株式会社 ■参画機関：九州大学 ■開発期間：平成24～26年度

両者の利点を併せ持つ放射能分析装置を目指して

食品等の放射能検査では、セシウム134・セシウム137などの核種ごとに濃度を分析できるゲルマニウム半導体検出器が必要でした。しかし、ゲルマニウム半導体検出器は測定に多くの時間を要することに加え、液体窒素による冷却が必要なため運用費が高く、装置も高価なものでした。一方、汎用のヨウ化ナトリウムシンチレーターは短時間で測定でき、冷却不要で安価という利点があるものの、放射能の分析能力に課題がありました。このため、ゲルマニウム半導体検出器とヨウ化ナトリウムシンチレーターの両者の利点を併せ持つ放射能測定装置の開発が望まれていました。

ガンマ線のエネルギーを正確に識別する信号復元技術を開発

放射能を分析するためにはガンマ線のエネルギーを正確に識別することが必要です。そこで、ヨウ化ナトリウムシンチレーターのエネルギー識別性能を高めるため、ガンマ線のエネルギーを正確に求める信号復元技術を開発しました。信号復元とは、放射性物質からのガンマ線のエネルギーと測定結果の関係をあらかじめデータベースに記憶しておき、このデータベースを用いて測定結果をガンマ線のエネルギーに戻すことです。私たちは、独自の技術でデータベースの精度を高め、ヨウ化ナトリウムシンチレーターを食品等の放射能分析に適用することに成功しました。

従来の測定器との比較

	従来のゲルマニウム半導体検出器		従来のヨウ化ナトリウムシンチレーター		今回の開発品 (ヨウ化ナトリウムシンチレーター+ 信号復元)	
測定時間[*1]	10～15分	×	2～5分	△	1分	○
核種分析 (¹³⁴ Csと ¹³⁷ Csの分離測定)	可	○	不可	×	可	○
装置重量(遮蔽体含む)	1,500～2,000kg	×	150～250kg	△	30～160kg(設置環境による)	○
装置価格	1,500～2,000万円	×	数百万円	○	500万円以下	○
ランニングコスト	高い (液体窒素での冷却が必要)	×	低い (冷却不要)	○	低い (冷却不要)	○

[*1] 試料重量：2kg、検出限界：25Bq/kgの場合(Ge半導体検出器は相対効率15%の値)

実地試験を完了、受注受付を開始

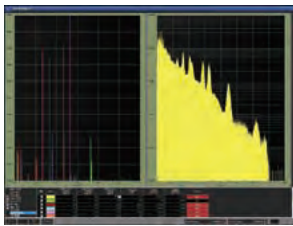
平成26年度に福島県内2カ所で実地試験を行い、平成27年3月より製品の受注受付を開始しました。本装置は、放射性セシウム等の放射性核種を測定する検査機関、自治体、食材・食品の流通・販売業者などが対象です。今後は食品だけでなく、土壌や焼却灰等の環境試料のモニタリングなどへの応用も期待されています。



福島県内での実地試験

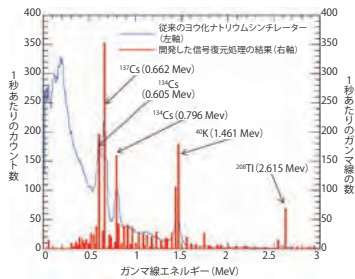
測定作業の一例

ソフトウェア画面の例



(右) 波高分布スペクトル
(左) エネルギースペクトル

測定結果の例(玄米認証標準物質の測定例)



測定容器

測定回路

独自の放射線・光学解析シミュレーション技術を活用

信号復元技術自体は従来から文献にも記載されており、空間線量の算出など一部で利用されていましたが、精度が低く、放射能を分析するには不十分でした。今回、私たちは独自の放射線・光学解析シミュレーション技術を用いることにより、放射能分析に適用することができました。また、信号復元技術は「逆問題」と呼ばれますが、逆問題の解法や誤差を少なくする方法を共同開発先の九州大学からアドバイスしていただき、実用化することができました。

お問い合わせ先

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 センサ情報処理システム技術部 西沢 博志
〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1
TEL：06-6497-7650 E-mail：Nishizawa.Hiroshi@dn.MitsubishiElectric.co.jp



西沢 チームリーダー

チームリーダー

西沢 博志

(三菱電機株式会社 先端技術総合研究所・主席研究員)

サブリーダー

渡辺 幸信

九州大学 大学院総理工学研究院・教授

環境・食品放射能分析の信頼性向上のために

測定する試料に近い材質（土壌、玄米、牛肉、大豆、しいたけ、魚）に正確に値付け（認証）した標準物質を作製。この標準物質との比較（バリデーション）によって、試料の放射能をより正確に測定できるようにしました。

■中核機関：武蔵大学 ■参画機関：環境テクノス株式会社、埼玉大学、福島大学、産業技術総合研究所、(公財)日本国際問題研究所、(公社)日本分析化学会
■開発期間：平成24～26年度

測定試料に近い材質の標準物質を目指して

放射性セシウムの放射能分析では、日本アイソトープ協会から頒布されているアルミナ製の標準線源が用いられています。しかし、実試料の比重がまちまちで、測定の信頼性に大きく影響していました。このため、比重の異なる各種の測定試料に近い材質の標準物質を作製する必要がありました。

開発した標準物質の種類と比重

標準物質の材料	密度概略値 g/cm ³
土壌	1.5
玄米	0.85
牛肉	0.45
大豆	0.8
しいたけ	0.35
魚類	0.8(内部) 1.1(骨部)

680個の標準物質を分析機関に頒布

開発にあたっては、信頼性の高い国内の試験所との共同実験による値付け（認証）を行うとともに、海外の主な研究機関とも国際比較実験を行いました。また、放射性セシウムだけでなく、魚類についてはストロンチウム90の認証も行いました。

平成24年8月末には、玄米標準物質の頒布を開始し、米の全量検査の信頼性向上に寄与しました。平成27年7月までに食品410個、土壌270個、計680個の標準物質を分析機関に頒布しています。

さらに、ハンディタイプの放射性セシウム測定機器の開発に貢献し、その参照標準物質としても使用されています。

国内共同実験 参画機関

高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター	日本アイソトープ協会
東京都市大学原子力研究所	日本食品分析センター
東京都市大学工学部	九州環境管理協会(独)産業技術総合研究所
明治大学理工学部	放射線医学総合研究所
京都大学原子炉実験所	日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター
東京大学アイソトープ総合センター	日本原子力研究開発機構バックエンド研究開発部門
茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター	農業環境技術研究所
金沢大学理工研究域物質化学系	水産総合研究センター 中央水産研究所
国立医薬品食品衛生研究所	エヌエス環境株式会社
気象研究所	株式会社環境総合テクノス
福島県原子力センター	日本ハム株式会社中央研究所
茨城県環境放射線監視センター	株式会社化研
日本分析センター	

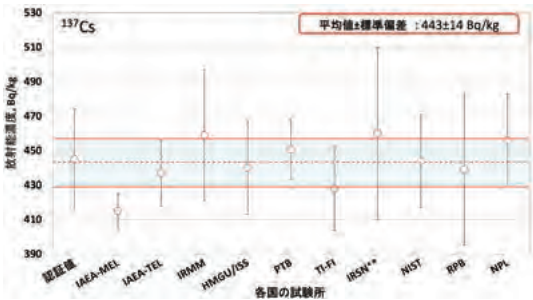
標準物質の国際的な評価を確認

福島原発事故は世界中に大きな影響を与えており、海外試験所の関心も高いことから、標準物質には国際的な評価が求められます。そのため、放射能分析で国際的に実績があると認められている試験所に、開発した玄米と魚類認証標準物質の測定を依頼し、国際同等性を確認しました。

参加国：モナコ、オーストリア、ベルギー（E U）、ドイツ（3機関）、フランス、米国、カナダ、英国より10機関（試験所）

●灰化した魚骨部の¹³⁷Cs

基準日時(日本時間) 2014年11月1日 0時0分0秒



放射能分析と標準物質のエキスパートたちのオールジャパンチーム

平成24年春、放射能分析のプロと標準物質のプロが、食の安全安心と風評被害の払拭のために集結しました。まずチャレンジしたのは米（玄米）です。全国の試験研究機関や分析化学研究者の協力により、その年の収穫期に間に合いました。そして3年後、農産品、畜産品、水産品を対象とした一連の認証値付き標準物質を開発することができ、機器開発や実試料分析の現場における信頼性の向上に貢献しています。海外でも高く評価されており、国内だけではなく世界の食の安全安心に寄与できていると考えています。

お問い合わせ先

公益社団法人 日本分析化学会 標準物質委員会 事務局
〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2 五反田サンハイツ304
TEL：03-3490-3351 E-mail：crmpmt@mljsac.or.jp



薬袋チームリーダー

チームリーダー
薬袋 佳孝

(武蔵大学人文学部・教授兼国際センター長)

サブリーダー
岩本 浩

(環境テクノス株式会社・取締役
執行役員 コンサルタント事業本
部長)

天然の放射性カリウムと放射性セシウムの割合を正確に求める

食品の中にある放射性セシウムと他の放射性同位元素からの放射線量を非破壊的に、高感度、大面積、低コストで測定できる検出器を開発。農産物の風評被害の抑制に貢献しています。

■中核機関：理化学研究所 ■参画機関：株式会社ジーテック ■開発期間：平成24～26年度

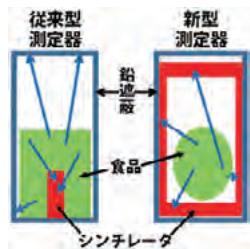
低コストで簡単に測定し、 消費者が測定結果を確認できるように

被災地の農作物などの風評被害をなくしていくためには、低コストで簡単に食品の放射線を測定し、消費者が測定結果を確認できるようにする必要があります。そこで、比較的安価なプラスチックシンチレータを使って包摂型の検出器を開発し、放射性セシウムの濃度を非破壊で評価する方法を考案しました。

食品を破壊せず測定できる包摂型の検出器

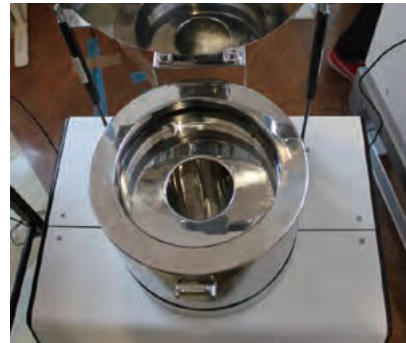
従来の食品用検出器は、検出領域が食品を入れる領域の下部にあるため、正確な測定のために食品を破碎する必要がありました。そこで私たちは、食品を包み込むようにシンチレータを配置した包摂型の検出器を開発しました。試料測定部に入る物であれば、食品に限らず、焼却灰や土壌などの測定が可能です。

またコストダウンを図るために、プラスチックシンチレータを採用しました。光子数分布を正確に測ることで、プラスチックシンチレータでも、天然の放射性カリウムと放射性セシウムの割合を正確に求められるようにしました。

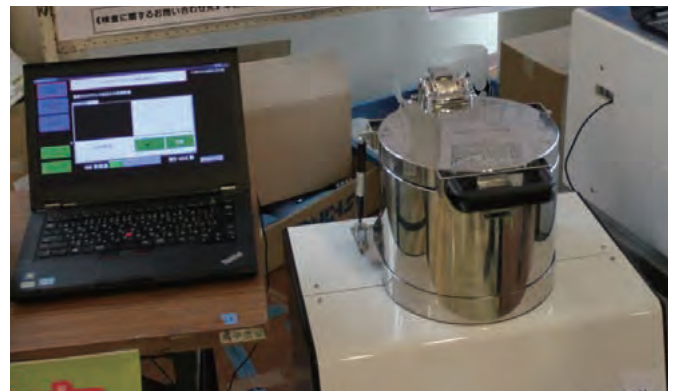


従来型の放射線測定器(左)ではシンチレータが底面にしかないため、食品を破碎し、シンチレータを囲うように置くことで検出精度を高めていました。新開発のLANFOS(右)では食品を包み込むようにシンチレータを配置しているため、食品を破碎する必要がありません。

※LANFOS: Large Area Non-destructive Food Sampler



食品の非破壊放射能検査を可能とする
低コスト検出器「LANFOS」



「JAまつり」に出展、生産者から好評を得る

福島県南相馬市で行われた「JAまつり」に参加し、LANFOSを使って実際に食品の放射能を測定しました。

生産者の方からは「測定装置の扱いが簡便で、実際の放射能がわかりやすく示されるので、消費者に安心していただける」と好評でした。

今後は大型装置への改良を図り、魚や果物をコンテナごとに迅速に測れるようにして、現場のニーズに応じていきたいと考えています。さらに、中間貯蔵施設の搬入管理のモニタとしての活用も期待しています。

被災地の風評被害をなくすために、宇宙線検出技術を応用

私たちが培ってきた宇宙線の高度な検出技術を活用することができました。コストダウンを図るため、安価なプラスチックシンチレータで包摂型の検出器を開発しました。プラスチックシンチレータは、エネルギー分解能が低く、天然由来の放射性カリウムと原発事故によって由来する放射性セシウムの区別が困難でした。そこで、光子数分布を正確に測ることで、放射性カリウムと放射性セシウムの割合を算出する手法を考案しました。天体観測のような基礎的研究が社会に役立つ製品につながりました。

お問い合わせ先

株式会社ジーテック 後藤 昌幸
〒358-0032 埼玉県入間市狭山ヶ原365-1
TEL : 04-2935-2777 E-mail : goto@ggg-tech.co.jp



Marco チームリーダー

チームリーダー

Casolino Marco

(国立研究開発法人 理化学研究所・チームリーダー)

サブリーダー

後藤 昌幸

(株式会社ジーテック・代表取締役社長)

食品中の放射性セシウムを短時間で高精度に測定

農産物の風評被害を防ぐため、食品中に含まれる放射性セシウムの濃度を短時間で高精度に測定できる検査装置を開発。全数検査に応え、国内外に流通する食品・製品の安全安心を確保します。

■中核機関：株式会社 千代田テクノロ ■参画機関：東北大学、株式会社C&A ■開発期間：平成25～27年度

放射能測定検査機器の課題

被災地のみならず、国内外における安全安心な食品・製品の流通のため、食品中の放射性セシウムの測定や核種分析への要望が高まり、食品モニターなど多くの放射能測定検査機器が開発されました。放射能測定検査機器には、汚染物質の特定を行うタイプと、1分以内の短時間で放射性セシウム汚染の基準値判定（一般食品は100 Bq/kg以下）を行う2つのタイプに大別されます。いずれも既存の技術では、測定時間が長く、冷却などの手間がかかり、高価であることに加え、自然放射線との区別が難しいなどの課題がありました。

高速・高精度測定が安価で可能な国産検査装置の開発

放射性セシウムを弁別するためには、 $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ 結晶が不可欠です。この結晶は低線量率測定にも有効な結晶ですが、潮解性があり、温度変化に弱く、結晶の育成や取り扱いが難しいため、放射性セシウムを弁別する検査機器の商品化は困難とされてきました。今回、私たちは、 $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ 結晶の製造、加工を実現したことにより、高速・高精度の核種分析を可能としました。また、国産材料でかつ純度をも高める技術を開発し、安価での提供を可能としました。

●主なシンチレーターの特性

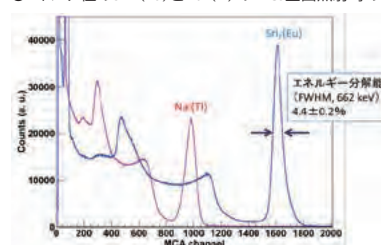
検出器	発光量 (光子/ MeV)	エネルギー分解能 (662 keV FWHM)	有効 原子 番号	密度 (g/cm ³)	内在 バック ラウンド	融点	備考
BGO	6,000	9%	74	7.13	なし	1,050	
Nal(Tl)	40,000	7%	50	3.67	なし	651	
LaBr ₃ (Ce)	60,000	3%	50	3.67	あり	918	1インチ径で100万円程度 の高価格
ゲルマニウム 半導体		0.5	32				使用時に冷却必要・高価格 測定時間2,000秒以上
$\text{SrI}_2(\text{Eu})$	80,000	3%	49	4.55	なし	538	EuSrI_2 安価になる可能性大

$\text{SrI}_2(\text{Eu})$ 結晶を用いることで、Nal(Tl) に勝る高エネルギー分解能が得られ、ゲルマニウム半導体を用いるより容易に核種分析ができるようになりました。

環境放射性核種の弁別

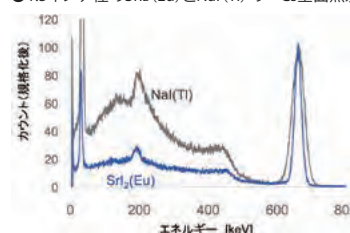
低線量率の測定ができるため、食品だけでなく、温泉地など平常時にも線量率の高い環境での核種分析、放射性セシウムの弁別に活用でき、地域の安全確保と信頼回復に貢献します。また、核種分析可能な可搬型のスペクトロサーベイメーターとしての展開も期待されています。

●1インチ径の $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ とNal(Tl)の ^{137}Cs 全面照射時の波高値スペクトル



1インチ径のEu添加 SrI_2 単結晶 (東北大学)

●1.5インチ径の $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ とNal(Tl)の ^{137}Cs 全面照射時の波高値スペクトル



1.5インチ径のEu添加 SrI_2 単結晶 (東北大学)



装置外観



装置画面図



2インチ径 $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ 単結晶 (C&A社)

これまでにない高性能・高品質の測定器の開発

長期にわたり培ってきた、千代田テクノロの放射線安全管理に係る線量計測技術と、東北大学、C&A社のシンチレーター製造技術を融合し、純国産技術による、これまでにない高性能・高品質の食品検査装置を開発しました。さらに、他の測定器への応用によって利用範囲を拡大し、衣・食・住すべての安全安心を確保することにより、風評被害の払拭への一助となるべく研究開発に邁進しています。

お問い合わせ先

株式会社 千代田テクノロ 大洗研究所 太田 朗生
〒311-1313 茨城県東茨城郡大洗町成田町3681
TEL : 029-266-3113 E-mail : ohta-a@c-technol.co.jp



竹内チームリーダー

チームリーダー
竹内 宣博

(株式会社 千代田テクノロ・常務取締役 兼 研究所長)

サブリーダー
吉川 彰

(東北大学・教授)

食品、土壌をそのままの形で、その場で計測

低コスト、小型・軽量、高精度なベクレルカウンターを開発・実用化しました。試料の前処理は不要、タッチパネル式で、誰でも手軽に現場での測定を可能とすることにより、いつでもどこでも安全・安心を提供します。

■中核機関：新日本電工株式会社 ■参画機関：大阪大学、三重大 ■開発期間：平成24年度

誰でも手軽に購入でき、 操作も簡単なベクレルカウンターを目指して

被災地の復興への道はまだ途上であり、今後も多くの支援が必要です。被災地域の方々から「もっと手軽に測定したい」「その場ですぐ測定したい」等の声を多く聞き、より低価格で軽量、高精度なベクレルカウンターの開発を目指しました。

また、コスト削減を徹底することで、自治会や小規模事業者でも購入が可能な価格帯を設定しました。

より家電製品に近い測定器となるよう工夫

製品重量は鉛遮蔽物を含めて17kgに抑え、現場への持ち運びに便利なものとししました。また、スマートフォン向けの小型バッテリーを採用することで、最大6時間程度の連続測定を実現し、その場での測定を可能としました。

また、試料容器に市販の容器(300cm³)を採用して試料の前処理を不要にし、本体に重量計を内蔵するなど、手軽さを追求しました。さらに、操作部にタブレット端末を使用し、タッチパネル式にすることで、誰でも操作可能な、より家電製品に近い測定器となるよう工夫しました。



製品外観

食品だけでなく、土壌などにも使用可能 中間貯蔵施設や教育現場にも

福島県川内村のご協力の下、測定所への貸し出し、地域住民の方への貸し出し等を順次進めています。また、大学機関へ納入し、魚等の測定検証にも実用いただいています。

今後の展開としては、①放射線教育(学校教育現場での実験機器として)、②中間貯蔵施設などへの除染土壌の移動、移動前に土壌を貯蔵していた土地の測定、除染を行っているゼネコンや関係機関などへの展開も期待されています。



福島県の住民の方々に製品を説明。当社製品の使い勝手などの感想、既存測定器の課題や要求などのヒヤリングを実施



福島県庁近隣の阿武隈川河川敷にてバックグラウンドの測定検証を実施



日本分析化学会、武蔵大学、環境総合テクノスと共同で、福島県下の魚のベクレル値測定を行う



大阪で開催された、「食の安全技術展」にベクレルカウンターを出展(その際に掲示したポスター)



長年培ってきた測定・解析・伝送技術を復興・教育に活かす

当社はこれまで、公共事業から半導体関連まで、さまざまな用途に向けて「計測」「解析」「制御」「伝送」製品を提供してきました。これらの経験から培った技術を活かし、低コスト、高精度だけでなく、「誰でも」「手軽」に扱える測定器を開発することができました。

お問い合わせ先

新日本電工株式会社 生産事業部 技術部 大久保 茂夫
〒574-0014 大阪府大東市寺川4-8-26
TEL : 072-871-3471 E-mail : Factory@snd.co.jp



「誰でも」「手軽」を訴求した製品パンフレット

チームリーダー

大久保 茂夫

(新日本電工株式会社 生産事業部 技術部・部長)

サブリーダー

佐藤 了平

(大阪大学 大学院工学研究科・教授)

濃度の深さ分布モニタにより、土壌剥ぎ取り除染をスピードアップ

土壌剥ぎ取り除染等のスピードアップのために、深さ何cmまで放射能濃度が高いかを測定する土壌放射能濃度の分布モニタを開発。土壌をスコップでくり抜いて装置に入れるだけで、測定が可能です。

■中核機関：富士電機株式会社 ■参画機関：放射線医学総合研究所、京都大学 ■開発期間：平成24年度

スピーディーな土壌放射能濃度分布測定を目指して

土壌の放射能濃度は、雨水の浸み込み具合や土壌の種類により、表面が高く、深くなると低くなります。土壌の放射能が高い部分だけを剥ぎ取れば、除染作業のスピードアップと廃棄物の削減が可能となります。そこで私たちは、深さ何cmまで放射能濃度が高いかを測定する土壌放射能濃度の分布モニタを作りました。野外で土を採取しその場で測定できるように、車載可能な3分割構造で重量は97kgとし、AC電源不要のモニタとしました。

●大きさφ280x420mm、重量97kg、車載可能な3分割の構造



土壌模擬円板線源の外観

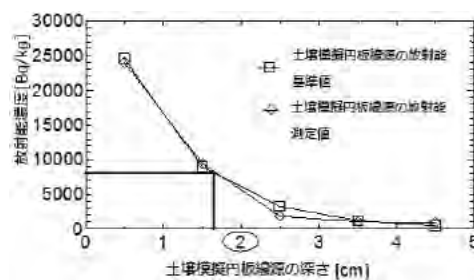
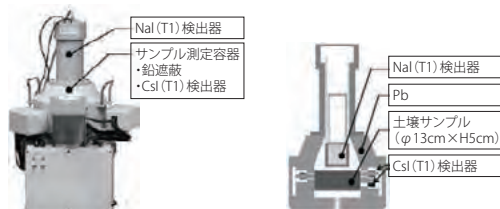
サンプルを処理せずに 1回で高速に放射能濃度の分布測定を実現

コンパクトでスピーディーな測定を目指し、土壌サンプル側面に小型のCsI検出器を高さを変えて配置し、サンプルの上部にNaI検出器を配置して、放射能濃度および深さ分布を精度良く測定できるようにしました。小型の側面検出器には色々な深さからガンマ線が入り、精度が低下するため、計算により検出器の配置や遮蔽の構造を工夫して改善しています。

土壌剥ぎ取り等の除染での利用を見込む

住宅地や農地等での土壌放射能濃度のスピーディーな測定や、土壌剥ぎ取り等の除染作業における事前測定での利用を見込んでいます。福島県等での除染に役立てていただけるよう、展示会や独立行政法人等への製品PRに取り組んでいます。

●深さ1cmの放射能濃度を検出感度100Bq/kgで測定可能



長年培ってきた放射線測定技術を活かす

私たちは、これまで原子力施設や放射線を扱う病院・研究所のために、放射線測定機器などを製造してきました。これまで培ってきた技術を活用することで、新しいモニタ構造で現場でスピーディーに土壌放射能濃度を測定するモニタを開発しました。

お問い合わせ先

富士電機株式会社 東京工場 石倉 剛
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地
TEL : 042-583-6426 E-mail : ishikura-takeshi@fujielectric.com



石倉 チームリーダー

チームリーダー

石倉 剛

(富士電機株式会社 東京工場
装置設計部・主査)

サブリーダー

高田 真志

(放射線医学総合研究所 現
防衛大学校 応用科学群応用物
理学科・教授)

測定に必要な前処理の時間を6時間から8分に大幅短縮

放射性セシウムの吸着効率がよく、広いpH範囲で安定的な性能を発揮するカートリッジを開発。前処理時間を大幅に短縮したことで、水中の放射性セシウムの環境動態の解明に役立つことが期待されています。

■中核機関：日本バイリーン株式会社 ■参画機関：産業技術総合研究所、福島県農業総合センター ■開発期間：平成24～26年度

多地点モニタリングを可能とする前処理時間の短縮化

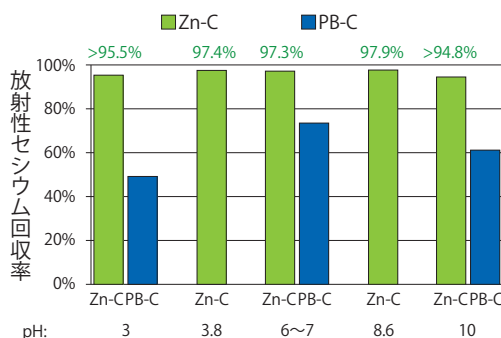
長期的な環境への影響や安全性を考える上で、環境水中の放射性セシウム濃度を明らかにすることは重要です。しかし、福島県内の多くの河川では、放射性セシウム濃度が「水1リットルあたり1.0ベクレル未満」と低いため、直接測定をすると分析に長い時間がかかります。そのため、まず20～100リットルの水をろ過し、水に溶けていない放射性セシウムを測り、さらに水に溶けている放射性セシウムについては水分を蒸発させて濃縮してから測るのが一般的です。この前処理方法は6時間から1週間もの時間がかかり、多地点での継続的なモニタリングが進まない原因となっていました。

水中セシウムの吸着効率をさらに高める

私たちは、不溶性セシウムと可溶性セシウムをそれぞれ吸着する2種類の不織布カートリッジを使ったモニタリングシステムを開発してきました。今回、水中セシウムを吸着するプルシアンブルー色素を改良し（鉄元素を亜鉛元素に置き換える）、それを付着させた不織布を用いて吸着効率をさらに高めることに成功しました。この亜鉛置換体プルシアンブルーを使った不織布カートリッジ「Zn-C」であれば、水20リットルの前処理にかかる時間を約6時間から

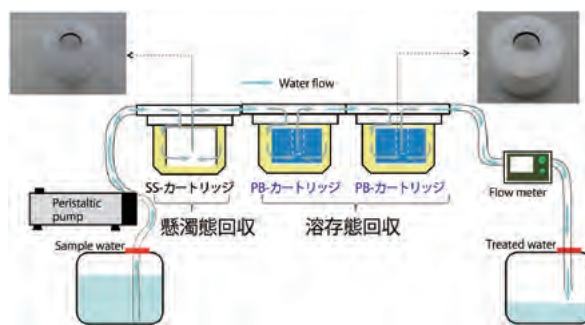
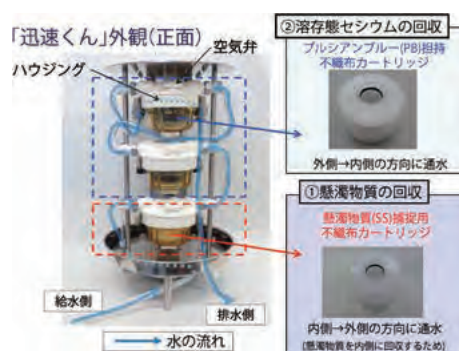
約8分に大幅に短縮することができます。さらに、この性能は広いpHの範囲（pH3～10）で保たれることもわかりました。

●放射性セシウム回収率のpH依存性（流量2.5ℓ/min、処理水量20ℓ）
PB-Cは、酸性および塩基性条件で回収率が低下したが、Zn-Cはほとんど変化せず



河川やため池などの環境水モニタリングで活用

放射性セシウムを吸着させたZn-Cの放射能を測定すれば、大量の水の放射能濃度が短時間で容易にわかるため、多地点での継続的なモニタリングなど長期的な環境への影響評価に大きく貢献することが期待されます。Zn-Cは、平成26年4月より日本バイリーンが試験販売を行い、今後、福島県内でのセシウムの環境動態モニタリングに活用される予定です。



20L～100Lを通水して、水中の放射性セシウムを濃縮

不織布カートリッジを用いたモニタリング技術の有効性を実証試験で証明

産業技術総合研究所のモニタリング技術をベースに、日本バイリーンの不織布カートリッジ技術を融合することで、放射性セシウムを現場で迅速に分離回収できるモニタリングシステムを実現することができました。また、福島県農業総合センターの参画により、福島現場での実証試験を十分に行うことで、その有効性を示すことができました。

お問い合わせ先

日本バイリーン株式会社 産業資材事業部 技術本部 第二技術部
〒306-0213 茨城県古河市北利根7番地
TEL：0280-92-7562 E-mail：yasuhiro-ito@vilene.co.jp



伊藤 チームリーダー

チームリーダー

伊藤 康博

(日本バイリーン株式会社 産業資材事業部 技術本部 第二技術部・部長)

サブリーダー

保高 徹生

(国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地圏資源環境部門 地圏環境リスク研究グループ・主任研究員)

ストロンチウム90やプルトニウムの自動分析を実現

食品に含まれるベータ線やアルファ線などの放射能濃度を自動的に分析する装置を実用化。全操作を自動的に行うことで、簡便かつ迅速な分析ができ、安全な密閉構造により、専用設備以外での測定を可能とします。

■中核機関：株式会社 柴崎製作所 ■参画機関：(公財)日本分析センター ■開発期間：平成24～26年度

作業者の安全確保、作業時間の短縮およびコスト削減を目指して

食品中の放射能測定において、放射性セシウム等のγ線放出核種は容易に非破壊検出が可能です。α線・β線放出核種である放射性プルトニウム・ストロンチウム等の測定は、文部科学省放射能測定法シリーズ(公定法)に定められている通り、①分析対象を電気炉で灰化、②灰を硝酸等で分解溶解化、③化学的な手法による試料溶液中の核種の分離・精製、④精製核種の放射線測定という複雑な手順となっており、熱濃硝酸処理等の危険で長時間を要する前処理作業が必要です。現状は熟練分析技術者による高コスト専用設備での手作業に頼っているため、作業者の安全確保、作業時間の短縮およびコスト削減が強く望まれています。

複雑な工程分析法を完全自動化

複雑な工程分析法を完全自動化するために、公定法の全工程を密閉フラスコを連結した化学ミニプラントとして設計し、放射能濃度計算までを完全自動化しました。



薬液注入、加熱、攪拌、送液、および廃液・廃ガス回収の全工程の自動制御を可能としました。また、吸引と中和を同時に行うスクラバー装置を内蔵することにより、生じた酸・塩基廃棄物の全回収を可能としました。

さらに、陰圧を利用した液送機構により、安全な密閉構造での試料の固液分離、送液、試薬の注入を可能としました。

安定ストロンチウムでの回収率

工程	回収率(%)				
	精米	大根	鮭	ワカメ	牛乳
分解部	100	100	100	96	100
炭酸塩	94	100	100	97	100
シュウ酸塩	96	100	100	88	100
イオン交換	95	95	89	87	100
鉄共沈	77	77	84	78	98

現行の手作業と同等

分析所要時間

工程	所要時間(時間)
分解部	3.7
炭酸塩	3.5
シュウ酸塩	3.6
イオン交換	8.8
鉄共沈	3.0
合計処理時間	22.7

大幅に短縮

雇用創出や経済復興に貢献

本開発により装置の実用化を完了しました。今後は、放射線防護や環境モニタリング、食品生産関連の学会または機器展示会・商談会などに参加し、積極的に研究成果の発表を行っていきます。また、環境放射能観測の指導的な機関である公益財団法人日本分析センターの協力を得ながら、研修を通して普及を図っていきます。

本装置の普及のため、地域に密着した活動を行っている地元企業に対し、拡販活動やメンテナンスサービスなど、販売代理店としての協力を仰ぎます。

こうした活動により、新事業創出による被災地域での雇用創出や経済復興に貢献したいと考えています。

産学連携による先端技術の創出

私たちは、分析機関である公益財団法人日本分析センターが保有する「長年蓄積された放射線測定技術」に、医療機器メーカーである株式会社柴崎製作所が保有する「臨床検査(血液検査)などの前処理工程の自動ロボット化技術」を活用し、放射能測定の自動迅速化を目指しました。本開発により、食品中のベータ線放出核種(ストロンチウム90)、アルファ線放出核種(プルトニウム239やプルトニウム240)の測定を「自動装置化」することで、大規模な測定設備を必要とせず、測定者の安全を確保し、原発事故後増加した測定依頼への正確・迅速な対応を可能としました。土壌など食品以外の環境試料への応用にも期待されています。

お問い合わせ先

株式会社 柴崎製作所 営業技術部 ライフサイエンス課 松江 登久
〒369-1242 埼玉県深谷市北根12-5
TEL : 048-584-2211 E-mail : matsue@precision-shibazaki.co.jp



開発チームメンバー

チームリーダー

松江 登久

(株式会社 柴崎製作所 ライフサイエンス課・課長)

サブリーダー

森本 隆夫

(公益財団法人 日本分析センター・理事)

ミクロンレベルで放射性物質の分布がわかる分析装置

土壌や植物中に含まれる放射性セシウムが、どのような部位に付着・吸収されているのかをミクロンレベルで分析し、直接イメージングできる装置と除染技術(ソフトブラスト法)を開発。ソフトブラスト法は対象物を損傷せずに除染可能な方法として注目されています。

■中核機関：工学院大学 ■参画機関：株式会社 日本中性子光学、株式会社 阿藤工務店 ■開発期間：平成24年5月～平成27年3月

植物石に含まれる放射性セシウムの検出を目指して

当初被災地域では、除染後に放射線量が上昇する現象がみられました。放射線量の増大は放射性セシウムでしたが、その再飛散の原因の一つが植物石(植物由来の鉱物)に含まれる放射性セシウムであることが判明しました。そこで、植物石のどの部位に放射性セシウムが付着・吸着しているのかをミクロな視点から明らかにする必要が生じました。また、分析試料も多く、迅速に分析する必要があるため、数十分程度で分析できることを目指しました。

現地線量測定、エアロゾルの捕集状況

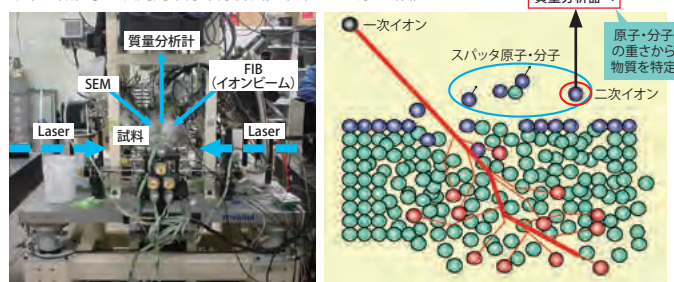


エアロゾル中に含まれる植物石をはじめ原発由来の物質が含まれているかどうか、(社)南相馬除染研究所の協力により、汚染地域およびその周辺7カ所でエアロゾル捕集を行いました。

レーザー共鳴イオン化法による放射性セシウム分析を達成

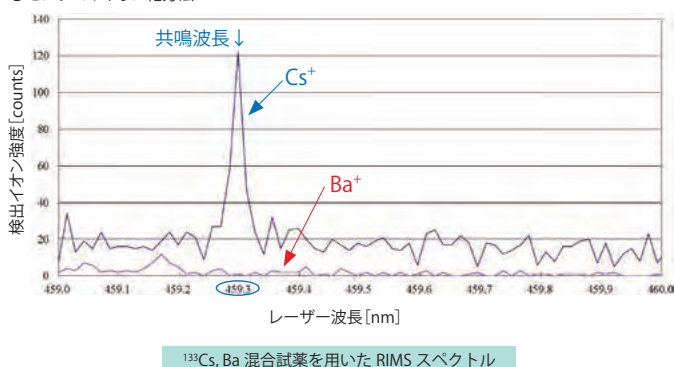
本開発装置は、レーザーの波長を調整することで、天然に多く存在するバリウムをイオン化することなく、セシウムをイオン化することにより、放射性セシウムを検出し、その存在する位置をマイクロメートルの精度で確定することが可能です。200マイクロメートル四方の分析時間は、30分～1時間程度です。

●単一微粒子三次元元素分析装置(左)とその原理(右)



分析装置は、基本的には飛行時間型質量分析器を持つ二次イオン分析装置です。原理は、分析試料にガリウムを照射することで、試料表面からイオンを生成させ、真空装置内を飛行する時間を測定し、質量数(質量電荷比)を測定します。レーザーを用いた分析では、矢印の方向からレーザーを照射することで、試料から出てきた原子・分子をイオン化させ質量数を測定します。

●セシウムのイオン化方法



¹³³Cs, Ba 混合試薬を用いた RIMS スペクトル

本開発では、レーザー波長を使用し天然に存在するバリウム(妨害イオン)をほとんど検出しないことを確認した上で、実際の試料を分析し放射性セシウム137を検出することができました。

廃炉作業にともなう分析装置開発へと展開

本案件は、平成27年度より、廃炉作業に伴う放射性物質の分析・イメージング装置開発プロジェクトへ引き継がれました。今後は、放射性セシウムをはじめとする放射性核種の検出・イメージング装置としての開発が継続されていきます。また、除染に使用されるソフトブラスト法は対象物を傷つけない特徴をもち、除染以外にも活用が期待されており、新たな製品化も予定されています。

レーザーを用いた分析装置開発技術を活かす

私たちは、PM2.5粒子の表面や内部分析・イメージング、微粒子中に含まれる有機物分析といった微小粒子を対象とした分析装置開発を行ってきました。今まで培ってきたレーザーを用いた分析技術を活用し、放射性セシウム137の分布を画像化することに成功しました。

お問い合わせ先

工学院大学 工学部 坂本 哲夫
〒192-0015 東京都八王子市中野町2665-1
TEL : 042-628-4872 E-mail : ct13087@ns.kogakuin.ac.jp



坂本チームリーダー

チームリーダー
坂本 哲夫
(工学院大学 工学部・教授)

サブリーダー
奥村 丈夫
(株式会社 日本中性子光学・取締役)



放射線モニタリング（ホットスポット検出）

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 日本放射線エンジニアリング株式会社……………	21
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 日立アロカメディカル株式会社……………	22
革新的超広角高感度ガンマ線可視化装置の開発 宇宙航空研究開発機構……………	23
高感度広視野ガンマ線画像分析装置の実用化開発 株式会社 堀場製作所……………	24
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 古河機械金属株式会社……………	25

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 浜松ホトニクス株式会社……………	26
集水域に着目した自然浄化モニタリングシステムの開発 大阪大学……………	27
耐放射線性を有するアクティブ駆動HEEDの開発 パイオニア株式会社……………	28
高線量率環境に対応する線量測定方法の実用化開発 株式会社 千代田テクノル……………	29
エネルギー弁別・位置検出型 α 線サーベイメータの要素技術開発 北海道大学……………	30
海底土放射能分布測定ロボットの開発 三井造船株式会社……………	31

放射線を可視化するガンマカメラ

放射性物質が放射するガンマ線の計数結果と、カメラで撮影した現場の写真を重ね合わせ、放射線量の高低を色分けして画像で確認できる装置を開発。広範囲(10m地点で視野角8m×8m)の撮影が可能です。

■中核機関：日立アロカメディカル株式会社(採択当時 日立コンシューマエレクトロニクス株式会社) ■参画機関：名古屋大学、東京大学、株式会社 日立製作所
■開発期間：平成24年度

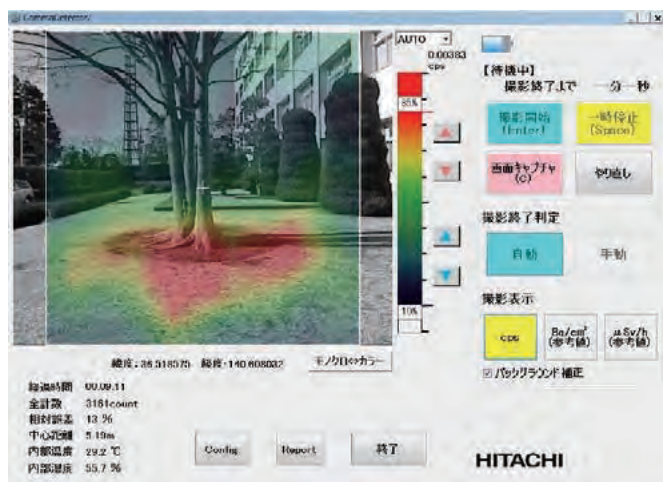
被災地の声を反映し、使い勝手を向上

被災地での利用者の声を受け、高感度な放射線検知モジュールを搭載し、より広範囲の撮影(10m地点で視野角8m×8m)を可能にするとともに、小型化やソフトウェアの改善など、従来モデルの使い勝手を向上したガンマカメラの実現を目指し、平成24年8月に製品化しました。

現在、開発フェーズ2として、さらなる高感度化を実現した装置試作と基本性能検証を完了しています。今後、市場ニーズを見極めながら製品化を検討していきます。



ガンマカメラ



使用時の画面イメージ

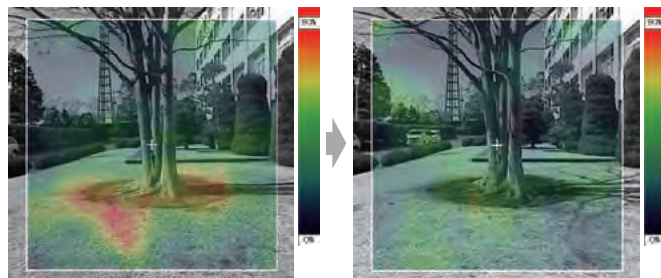
使いやすいインターフェースの実現

除染現場における豊富な撮影経験を活かし、使い勝手の良いインターフェースを実現しました。適切な撮影時間を自動判定し、撮影終了までの時間を表示します。また、撮影目的に応じてスケールの最大値を「AUTO」と「固定値」に切り替えることが可能です。

AUTOモードでは、最も高い箇所が赤く表示され、ホットスポット探索や除染効果の確認等に威力を発揮します。

固定値モードでは、スケールを固定して表示することで、除染前後など撮影結果の比較が必要な際に便利です。

オプションとして、放射線核種を識別する機能も備えています。



固定値モードの 除染前後の比較画像イメージ (左:除染前、右:除染後)

被災地での活用状況と今後の展開

平成24年度、25年度、26年度、27年度に、環境省 福島環境再生事務所の「ガンマカメラを活用した除染事業実施効果検証等事業」で当社のガンマカメラが採用され、福島県下の自治体等でリスクコミュニケーション事業を展開しました。今後も除染前後の放射線量分布の確認において、除染活動の効率向上や除染結果の検証、地域住民の方々とのリスクコミュニケーションに役立つことが期待されています。

お問い合わせ先

日立アロカメディカル株式会社 計測システム営業部 特機営業課 小林 紀夫
〒181-8622 東京都三鷹市牟礼6-22-1
TEL : 0422-45-5131 E-mail : koba5532@hitachi-aloka.co.jp

チームリーダー

茂呂 栄治

(日立コンシューマエレクトロニクス株式会社
放射線検知応用システム部・部長(採択当時))

サブリダー

井口 哲夫

(名古屋大学 大学院工学研究科・
教授)

180度×180度の超広角で、放射性物質を見える化

宇宙X線天体観測用の最先端センサ技術を応用し、建物や敷地へ飛散した放射性セシウムの分布を可視化する、次世代型ガンマカメラを開発。従来機器より10倍以上広い視野で、広範囲に可視化します。

■中核機関：宇宙航空研究開発機構 ■参画機関：三菱重工業株式会社、名古屋大学 ■開発期間：平成24～26年度

はじまりは一通のメールから

宇宙科学研究所(ISAS/JAXA)の我々のグループでは、新しい天文学を開拓することを目指して、ブラックホールや中性子星から放射される 엑스線やガンマ線を高精度に観測するための新しいセンサ技術の開発を進めてきました。2011年4月初め、その我々のもとに一通のメールが届きました。東京電力からです。それは、「宇宙の技術を使って、放射線の強いところと弱いところを、広範囲にわたって一度の測定で見分けることはできないでしょうか」というものでした。我々が持つ技術や培ってきた計測のノウハウが役に立つ可能性があるのであれば、ぜひ挑戦してみたい。我々にとってまったく新しい取り組みが始まりました。

ガンマ線用の高感度“魚眼”デジタルカメラ

放射性物質が広く分布している状況で、有力な可視化方法として考えられるのが「コンプトンカメラ」と呼ばれる検出器技術です。コンプトン再構成という手法により、あらゆる方向から入射するガンマ線を画像化し、高感度かつ超広角の撮像を実現することができます。

ISAS/JAXAと三菱重工業は、共同で地上用途として初めてのコンプトンカメラの開発に取り組みました。宇宙観測用の最先端の半導体検出器技術をベースに、実用に適した可搬型のシステムを新たに設計・試作しました。実地での実証実験を繰り返し、得ら

●放射性物質の可視化例



魚眼レンズを装着した可視光カメラの画像(左)に、超広角コンプトンカメラで撮像したガンマ線画像を重ね合わせたもの(右)。典型的なガンマカメラの視野は40度×40度に制限されるが、超広角コンプトンカメラでは180度×180度(半球)の視野を実現

れた結果をもとに、さらなる改良を加え、世界初のコンプトンカメラ商用機「ASTROCAM 7000HS」を開発しました。高いエネルギー分解能と角度分解能を有し、従来機器よりも10倍以上広い超広角撮像能力(180度×180度)で広範囲を可視化することに成功しました。

ASTROCAM 7000HS

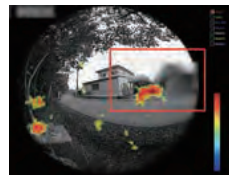


●ASTROCAM 7000HSのスペックシート

形状	445L x 340W x 235H(mm)
重量	8～13 kg 程度 (装置仕様による)
視野	180 x 180 度 (2 π ステラジアン)
エネルギー分解能	約2%(FWHM) @662 keV
角度分解能	約5度 (FWHM) @662 keV
検出効率	0.16 cps/MBq @1m, 137-Cs(標準タイプ) 2.8 cps/MBq @1m, 137-Cs(拡張タイプ)

可視化のメリットで除染作業に貢献する

ASTROCAM 7000HSの利用により、サーベイメータを携えて人力で敷地を探索する方法に比べ、容易にかつ見落とすことなく、ホットスポットの探索精度が格段に向上すると考えられます。1回の測定で広い領域をカバーできるため、放射性物質が広範囲に分布している状況で特に力を発揮します。除染前後の画像の比較により、除染作業の効果の検証にも非常に有効であることも実証されています。今後は、原子力関連施設における非破壊的な安全点検作業などのセキュリティ分野で、活躍の場が与えられる可能性があります。



2013年6月撮像 (除染前)



2014年1月撮像 (除染後)

ASTROCAMによる原発20km圏内での実地試験。除染前(左: 2013年6月取得)と除染後(右: 2014年1月取得)の比較。除染作業によって、ホットスポットが除去されていることが画像上で明らかにわかる。ホットスポットの検出だけでなく、除染作業の評価にも有用であることを示している

可視化が求められるあらゆる分野に

今回開発したコンプトンカメラは、エネルギー分解能に優れるテルル化カドミウム半導体を用いた検出器技術と、極めて高度な実装技術が開発の鍵でした。これは、15年以上にも及ぶアクロラド社と三菱重工業との共同開発により実現したものです。宇宙からの微弱なガンマ線をとらえようとする天文学の分野では、極めて高い性能が観測装置に要求されます。常に新しい装置開発が求められるため、最先端センサ技術のシーズの宝庫です。我々が開発を続けているコンプトンカメラは、原子力関連分野だけでなく、分子イメージングと呼ばれる学術分野や、放射線を用いたがん治療の分野でも活躍できる可能性を秘めています。

お問い合わせ先

三菱重工業株式会社 防衛・宇宙ドメイン 米田 宗弘
〒485-8561 愛知県小牧市東田中1200番地
TEL : 0568-79-3094 E-mail : munehiro_komeda@mhi.co.jp



高橋 チームリーダー

チームリーダー

高橋 忠幸

(国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所・教授)

サブリーダー

黒田 能克

(三菱重工業株式会社 防衛・宇宙ドメイン・部長)

一般環境レベルのガンマ線強度分布を画像表示する

京都大学の電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)技術を利用し、一般環境レベルの低線量場でガンマ線強度分布を定量的に画像表示できるガンマ線カメラを開発。外乱影響を受けない高感度な定量測定を実現します。

■中核機関：株式会社 堀場製作所 ■参画機関：京都大学、キャノン株式会社 ■開発期間：平成24～26年度

除染現場のガンマ線強度分布を定量的に画像化する

福島県を中心とする除染対象市町村の除染作業では、周辺環境からのガンマ線の飛来により、除染地域の空間線量率の大幅な低減が難しいケースがみられます。

空間線量率の低減を阻む原因を知るためには、周辺環境からのガンマ線の飛来方向と、その定量的な強度分布を画像化する必要があります。また、一般環境で0.05 $\mu\text{Sv/h}$ 程度のガンマ強度分布を定量的に画像化できる装置が実現すれば、除染実施済みの場所から放出される微弱なガンマ線の強度分布を画像化することが可能になり、除染前後の画像比較で状況の改善を定量的に確認することができます。

高感度な定量測定を実現

本装置は、ガンマ線の強度分布を単位立体角あたりの線量率($\mu\text{Sv/h/sr}$)で表示することが可能です。

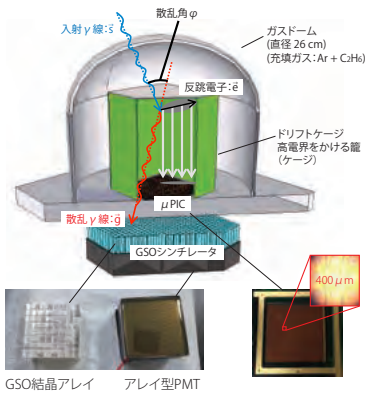
検出器内で発生するコンプトン散乱で生成される反跳電子の飛跡と、散乱ガンマ線のエネルギーや位置情報を精密に測定するこ

●電子飛跡検出型コンプトンカメラ(ETCC)の測定原理

ガンマ線のコンプトン散乱を利用

- ①GSOシンチレータ：散乱 γ 線の測定
(エネルギー、吸収点)
- ② μPIC ：反跳電子の測定
(エネルギー、飛跡)
- ③散乱点の導出
→散乱 γ 線のベクトル決定に使用
- ④入射 γ 線のベクトル決定(再構成)
：コンプトン散乱の式から計算
- ⑤入射 γ 線のエネルギー計算
：エネルギー保存則から計算

ガンマ線強度分布の画像化



とで、単一のコンプトン散乱現象から入射ガンマ線の入射方向とエネルギーを精度良く求められます。これにより、バックグラウンド等の外乱影響を受けない高感度な定量測定が実現できます。

また、専門家ではない作業者を考慮し、簡単な操作で専門知識がなくてもこなせるような操作性を目指しました。

方式	ピンホール	コンプトンカメラ	電子飛跡検出型 コンプトンカメラ(ETCC)
長所	・検出部の構造が簡単 ・ガンマ線画像作成が容易	・ガンマ線の飛来方向を 推定できる ・視野が広角	・ガンマ線の飛来方向を一意に特定 (定量測定が可能になる) ・視野が広角 ・低線量場の計測が可能
短所	・視野角が狭い ・BGの影響を受けやすいので 遮蔽が必要	・ノイズ大 ・検出部の構造が複雑	・検出部の構造がさらに複雑 ・装置サイズが大きい

除染現場等での活用に期待

福島県内のフィールドテストによって、本装置の有用性を確認しました。NaIサーベイメータで測定した空間線量率(高さ1m)との測定値の照合により、除染により全体として約半減し、特に、除染前のガンマ線強度分布が除染後に顕著に低減していることが確認されました。

今後は、除染前後の定量的な比較や、放射線強度分布の確認を必要とする自治体における試験運用を行う予定です。

●除染現場での試験

測定場所：
福島県



引用：<https://www.google.co.jp/maps>



測定結果

●除染前 (0.21 $\mu\text{Sv/h}$)
GV-100:0.08 $\mu\text{Sv/h/FOV}$



●除染後 (0.11 $\mu\text{Sv/h}$)
GV-100:0.08 $\mu\text{Sv/h/FOV}$



装置の可能性を被災地の皆さまと一緒に考えていきたい

「高感度広視野ガンマ線画像分析装置」は、一般的な生活環境の非常に低いレベルのガンマ線強度分布を定量的に画像化できる装置です。京都大学で研究されている最先端の電子飛跡検出型コンプトンカメラ技術を利用することで、この性能を実現しました。除染前後の測定画像をご覧いただければ、特にホットスポットがなく、比較的空間線量率が低い除染現場で効果を発揮することがわかりいただけると思います。今後は除染現場に限らず、この装置の可能性を被災地の皆さまと一緒に考えていければ幸いです。

お問い合わせ先

株式会社 堀場製作所 坂東 直人

〒601-8510 京都府京都市南区吉祥院宮の東町2番地

TEL : 075-316-9123 E-mail : naoto.bando@horiba.com



坂東チームリーダー

チームリーダー

坂東 直人

(株式会社 堀場製作所 経営戦略本部 環境・プロセス事業戦略室・放射線担当部長兼 γ 線カメラプロジェクトリーダー)

サブリーダー

谷森 達

(京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻・教授)

上空から放射性セシウム分布を高精度可視化

放射線検出器を無人ヘリに搭載し、上空から測定する装置を開発。環境中に放出された放射性セシウムの分布状況を広範囲にわたって迅速に把握し、除染作業の効率化に貢献します。

■中核機関：古河機械金属株式会社 ■参画機関：東京大学、日本原子力研究開発機構、東北大学 ■開発期間：平成24～26年度

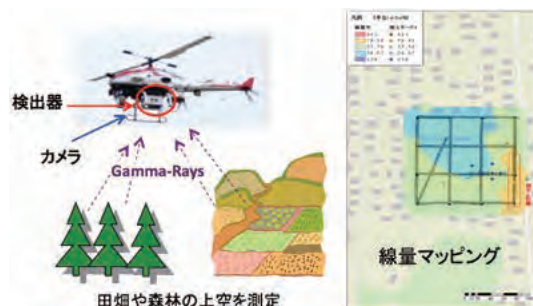
高精度の線量マップ作成を目指して

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、環境中に放出された放射性セシウムのモニタリングが行われていますが、人間や車が立ち入ることの困難な場所については計測が難しいため、ヘリコプター等による上空からの放射線量測定となります。しかし、既存の放射線測定器は下向き約45度の円錐が描かれる範囲の平均値が測定されるため、位置分解能が数十～数百mと大きく、より高い位置分解能で、なおかつ高精度の線量マップ作製が強く望まれていました。

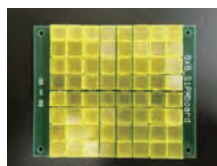
散乱エネルギー認識型ガンマカメラにより、高位置分解能を達成

今回開発した無人ヘリ搭載放射線測定装置は、装置の真下に指向性を持たせることで、数メートルという高い位置分解能を実現しました。二段構成のエネルギー認識型の検出器を採用し、放射線

●無人ヘリ搭載放射線測定装置の測定イメージ



検出器外観



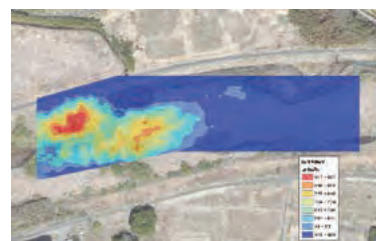
内部に搭載したGAGG検出器

のエネルギー情報を利用することで、放射線の到来方向を判別して検出器真下の所望の範囲の放射線のみの計測を可能としました。散乱角の選択によって周囲からの影響を除くことで、より詳細な放射性セシウムの汚染状況のマッピングが可能となり、広いエリアにおける除染箇所の特定や、除染効果の確認作業の効率化に寄与します。

福島県での実証試験を継続

現在、無人ヘリ搭載放射線測定装置を使用した実証試験を継続し、検出器の最適化を図っています。従来装置より位置分解能が高いため、今後、放射線モニタリング用として活用していきたいと考えています。また、無人ヘリ搭載という利点を活かし、地上測定が困難なエリアの高精度測定用途への展開も期待できます。例えば、東日本各県ではシイタケ用の原木不足が深刻となっていますが、上空からの放射線量マッピングが取得できれば、伐採可能エリアの一次判定が可能になると考えられます。

●実証試験の様子



実証試験結果(空間線量率マップ)

長年培ってきたシンチレーター応用技術を活かす

我々は、潮解性のないシンチレーター結晶を使用して放射線検出器を製造してきました。今回、東大の高橋先生のアイデアと我々の技術を融合することで、無人ヘリに搭載可能な軽量の測定器を開発することができました。実証試験では、大気の影響を受けずに地上の放射性セシウム濃度を測定し、地図上に表示することに成功しました。

お問い合わせ先

古河シンチテック株式会社 佐藤 浩樹
〒305-0856 茨城県つくば市観音台1-25-13
TEL : 029-839-2805 E-mail : hiro-satou@furukawakk.co.jp



開発チームのメンバー

チームリーダー

薄 善行

(古河機械金属株式会社 開発本部 つくば総合開発センター)

サブリーダー

高橋 浩之

(東京大学 大学院工学系研究科・教授)

放射性物質の分布を10分程度で画像化

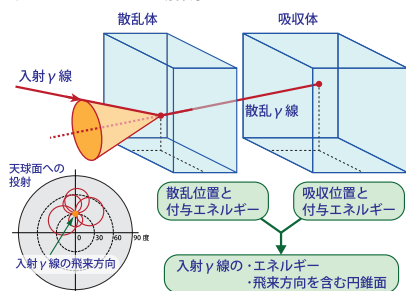
除染作業の効率化に役立てるため、放射性物質の集積箇所(ホットスポット)を迅速に画像化できる装置を開発。小型・軽量のポータブル型で、除染現場への搬入・設置が容易に行えます。

■中核機関：浜松ホトニクス株式会社 ■参画機関：早稲田大学 ■開発期間：平成24～25年度

高感度かつ携帯型の装置を目指して

被災地域における除染作業を効率的に行うためには、放射性物質の分布を画像化して集積箇所(ホットスポット)を探索し、除染前後の画像化により除染の効果を確認することが有効です。そのためのガンマ線カメラは、除染現場への搬入・設置が容易であり、迅速に画像を提示できる高感度性が求められます。そこで、本開発課題では、携行可能な大きさ・重量、そして、毎時数マイクロシーベルトの環境において10分程度で放射性物質の分布を可視化できる装置(コンプトンカメラ)を目指しました。

●コンプトンカメラの動作原理



高性能光検出器を使って小型・軽量化を実現

今回開発した高感度・携帯型コンプトンカメラは、ガンマ線飛来方向を識別し、放射性物質の分布を画像として提示する装置です。携行性にも優れ、除染現場への持ち込みと設置が容易に行えます。コンプトンカメラに使用されている2個のガンマ線検出器(散乱体検出器と吸収体検出器)は、シンチレータ・アレイドと高性能な半導体光検出器を組み合わせ、カメラ本体の小型・軽量化と高感度化を実現しました。また、独自の三次元シンチレータ・アレイドを用いた検出器構造を採用することで、放射性物質の分布画像の解像度改善を実現しています。



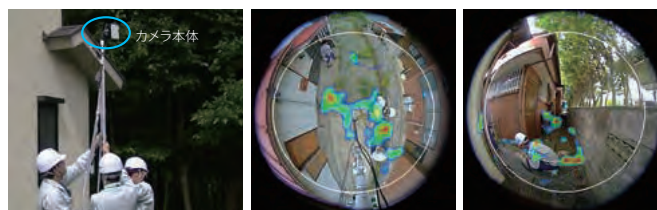
高感度・携帯型コンプトンカメラ

緒元	実用化コンプトンカメラ	試作高分解能コンプトンカメラ
大きさ(L×W×H)	15cm×13.5cm×15cm	15cm×16cm×15cm
カメラ本体重量	1.9kg	2.5kg
エネルギー分解能@662keV	9% (半値全幅)	9% (半値全幅)
角度分解能@662keV	14度 (半値全幅)	8度 (半値全幅)
感度	カメラ位置で毎時5マイクロシーベルトの空間線量率を与えるセシウム137点線源を20秒～30秒で識別可能	カメラ位置で毎時5マイクロシーベルトの空間線量率を与えるセシウム137点線源を10秒で識別可能

フィールドテストを重ねて販売へ

実用化したコンプトンカメラは、株式会社 千代田テクノルで多くのフィールドテストを行い、性能を確認した上で「ガンマキャッチャー」という商品名で販売しています。すでに福島県内の除染作業の効果を確認する業務にも使用されています。

三次元シンチレータ・アレイドを用いた高分解能タイプは、医療分野への展開も期待されています。



測定の様子

測定画像

測定画像

写真提供：株式会社 千代田テクノル

光技術と放射線計測技術を活かして

私たちが持っている技術・知識を使って、被災地の役に立つことができないか考えました。これまで培ってきた光技術と放射線計測技術を活用することで、小型・軽量で携行性に優れ、迅速に放射性物質を画像化できるコンプトンカメラの開発に成功しました。

お問い合わせ先

浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 第1研究室 大須賀 慎二
〒434-8601 静岡県浜松市浜北区平口5000番地
TEL : 053-586-7111 E-mail : ohsuka@crl.hpk.co.jp



大須賀チームリーダー



片岡サブリーダー

チームリーダー

大須賀 慎二

(浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 第1研究室・室長)

サブリーダー

片岡 淳

(早稲田大学 理工学術院総合研究所・教授)

住民自身が測定し、将来を予測できるモニタリングシステム

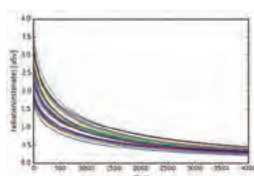
放射線量に対する「現在」と「将来」の不安に応えるため、自ら取得したデータを取り込むことができる、集水域の自然浄化モニタリングシステムを開発。物理モデル等を組み合わせることで、予測精度を上げていくことが可能です。

■中核機関：大阪大学 ■参画機関：株式会社ダイナコム、福島大学 ■開発期間：平成24～26年度

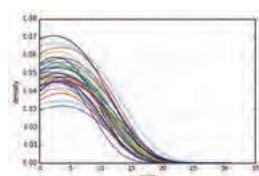
自らの測定データを取り込むことで、より高い精度で将来の数値を予測

放射性物質が滞留しやすいいつまでも放射線量が高い地域の情報、あるいは地域ごとの詳しい空間放射線量や地表の放射性物質量の分布を知りたいといった「現在の不安」。いつまでにどの程度空間放射線量が下がるのかといった「将来の不安」。これらが被災地の住民の声としてありました。そこで、モニタリングポストや航空測定データといった一般に公開されたデータだけでなく、住民自身が測定したデータも取り込むことによって、より高い精度で「将来の空間放射線量率の集水域別の予測」をすることを狙いました。

●事故から10年後(2021年11月)には、伊達市小国地区の8割は0.25～0.4 $\mu\text{Sv/h}$ 以下に収まる。



事故後10年間の空間線量率の推移



10年後における放射性物質の深度プロファイル



測定器の改良と広く公開されている地図ソフトの採用で、個人用に工夫

誰でも手軽にデータを採取できるように、既存の線量測定器をポータブルで高感度なものに改良しました。GPSによる位置情報とともに数秒間隔で測定結果を保存し、シミュレーションに使いや

すいデータが得られるようにしました。また、従来の地図情報システムは高価で、個人での利用は難しい状況であったため、本プロジェクトでは、GRASSという広く公開されている地図ソフトを採用しました。集水域の算出から空間放射線量率の長期的な変化のシミュレーションまでが可能ですが、厳密に計算する場合は、計算時間が長くなるため、ゲームPCなどに採用されている多目的グラフィック演算ユニット(GP-GPU)を活用して、計算時間を短縮できるようにしました。

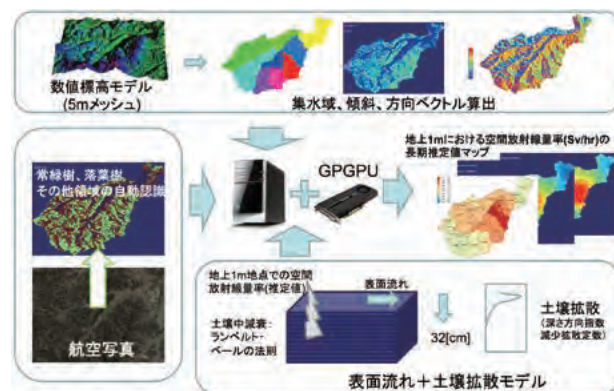


ポータブルタイプの測定器

積極的な測定データを取り込みで高精度化

継続的に公開データや測定データを取り込んだり、新たに発見された物理モデルを組み合わせたりすることにより、予測精度を上げていくことが可能となります。

また、今回開発した個人向けの線量測定器は、環境の空間線量の測定や、土壌および食品中の放射能の測定などへの展開も期待できます。



住民の方々との対話を通したシステム開発

ポータブルな線量測定器の改良を進めながら、伊達市小国地区の方々との集会で不安な点、気になっている点をうかがい、3年間にわたって道路や田畑、森林内の空間放射線量率や土壌中の放射性物質の量を計測してきました。降雪や降雨による日程の再調整、山林の傾斜による計測の厳しさなど色々と記憶に残る仕事となりました。一方、GRASSという無料の地図情報システムを採用しましたが、無料ゆえの制約や問題点が多々ありました。これらを補完することで、なんとか高精度で安価なシステムを構築できたと考えています。

お問い合わせ先

大阪大学 産学連携本部 特任研究員 辻野 泰充
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-8 テクノアライアンス棟 B206
TEL : 06-6879-4136 E-mail : tsujino@uic.osaka-u.ac.jp



開発チームのメンバーによる測定の様子

チームリーダー
兼松 泰男

(大阪大学 産学連携本部・教授)

サブリーダー
藤宮 仁

(株式会社ダイナコム・代表取締役)

高線量率領域でも鮮明に撮影できる撮像デバイス

耐放射線カメラに搭載できる撮像デバイスの開発を行い、耐性目標値を達成。高線量率環境下でもガンマ線によるノイズが極めて少ない映像の取得が可能に。半導体素子の改良により、さらなる放射線耐性向上が期待されています。

■中核機関：パイオニア株式会社 ■参画機関：東京都市大学、パイオニア・マイクロ・テクノロジー株式会社 ■開発期間：平成24～25年度

高画質な耐放射線性撮像デバイスを目指して

アクティブ駆動HEED*は、画素ごとに均一量の電子放出が可能で、パイオニア独自の平面型電子源アレイです。HEEDは真空中で光電変換膜と組み合わせることで、撮像デバイスとなります。一般的な撮像デバイスであるCCDやCMOS等のカメラを放射線環境下で使用すると、放射線の影響が画像に白点状のノイズとなって現れて画質が低下し、さらに放射線量が増えると損傷してしまいます。一方、HEEDを用いた撮像デバイスは真空構造であるため、放射線によるノイズの影響は少なくなると考えられます。こうした特性を活かした、高画質な耐放射線性撮像デバイス開発を目指して、HEED駆動ICの放射線耐性向上を中心とした取り組みを行いました。



*HEED: High-efficiency Electron Emission Device

●目標値と開発成果(平成26年3月時点)

要素項目	最終目標		開発成果
	線量率	0.1kGy/h以上	
HEED駆動IC耐放射線性	ガンマ線耐性	線量率	1kGy/h以上
	累積線量	10kGy以上	20kGy以上
アクティブ駆動HEEDを用いた撮像素子の耐放射線性	基本性能	駆動電圧	25V以下
		エミッション電流	1μA以上
	撮像素子試作(動画フレームレート)	上記線量率下で30fpsの動画	21V 5.7μA 上記線量率下で30fpsの動画

放射線照射時のメカニズム解明と特徴ある光電変換膜の採用

HEED駆動ICの放射線耐性を向上させるため、ICを構成する半導体素子へのガンマ線照射試験と評価解析を工夫しながら行い、シリコン半導体中での放射線照射により発生した電荷の移動・捕獲のメカニズムを明らかにして開発を進めました。光電変換膜としては、原子番号が小さいために放射線の影響を受け難いα-Si*膜を用いることで、高線量率領域でも極めてノイズが少ない撮像

を確認しています。また、HARP**膜を用いた場合には、低線量率(25Gy/h以下)環境下においてHARP膜の高感度特性を活かした暗所での撮像も可能です。

*α-Si: アモルファスシリコン

**HARP: High-gain Avalanche Rushing amorphous Photoconductor



「HEED-α-Si撮像板」で取得した画像(線量率 0.5kGy/h)

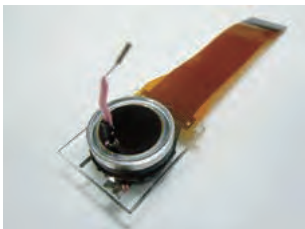


ガンマ線照射実験の様子

多用途展開も期待できる撮像デバイス

本課題は、HEED撮像デバイスの耐放射線性向上という要素技術開発であるため、カメラとして現地での検証には至っていません。耐放射線カメラのヘッド部分としては1000kGyをクリアする回路構築の見通しを得ています。この撮像デバイスを用いた耐放射線カメラは高い線量率で用いることができるため、ホットスポットでの監視用途等が期待できます。また、光電変換材料としてCdTe*と組み合わせた場合、可視光画像と放射線量画像を重畳させることができるガンマカメラの実現も期待できます。

*CdTe: テルル化カドミウム



アクティブ駆動HEEDとα-Si光電変換膜を組み合わせた撮像デバイス「HEED-α-Si撮像板」



目指す耐放射線カメラのイメージ
HEED撮像素子を搭載した監視カメラ

それぞれの強みを生かした共同開発

HEEDの中に組み込まれる半導体(IC)の耐放射線性を上げることに取り組んだパイオニア・マイクロ・テクノロジー、HARP膜以外の光電変換膜開発と放射線照射試験を主導した東京都市大学、それらを組み合わせた撮像デバイスを作製し評価するパイオニアの3者間の連携が円滑に行われ、耐放射線性を有する撮像デバイスの要素技術開発として目標を達成することができました。

お問い合わせ先

パイオニア株式会社 新規事業部 研究開発部 第2研究部 研究2課 酒村 一到
〒400-0053 山梨県甲府市大里町465
TEL: 055-241-8610 E-mail: kazuto_sakemura@post.pioneer.co.jp

チームリーダー

渡辺 温

(パイオニア株式会社 新規事業部 研究開発部 第2研究部・HEED担当部長)

サブリーダー

持木 幸一

(東京都市大学 工学部 原子力安全工学科・名誉教授)



左: 持木サブリーダー、中: 渡辺チームリーダー、右: 吉沢分担開発者

放射線安全確保のためにガラス線量計による線量可視化技術を利用

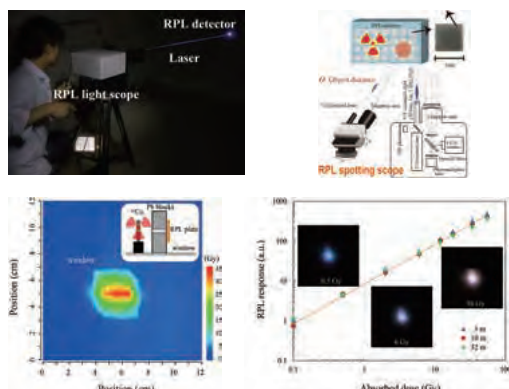
Agドープリン酸塩ガラスのラジオフォトルミネッセンス(RPL)現象を利用した蛍光ガラス線量計を、ビーズ状およびシート状に作製することで、放射性物質の汚染分布や状況を簡便に観測モニタリングするシステムを開発。広範囲の放射性物質の汚染観測、悪環境下での使用が可能で、適応性、順応性が高いのが特長です。

■中核機関：株式会社 千代田テクノル ■参画機関：大阪大学、金沢工業大学、EMFジャパン株式会社 ■開発期間：平成24～26年度

悪環境下における線量計の信頼性向上と多角的利用

福島第一原子力発電所の周辺地域では、居住区域を中心に広範囲にわたって放射性物質の除染作業が現在も行われています。除染の確認・検証と多くの作業従事者の被ばく線量評価は重要であり、これらに応えるため、前例のない悪環境下での線量計の使用が課題となっていました。そこで、悪環境にも耐えられる信頼性の高い線量計の開発と、その多角的な使用法の検討を行い、安定性に最も優れたガラス線量計を中心に、復興のための実用的研究を進めてきました。具体的には、ガラス線量計の組成の最適化と多角的使用に向けた形状工夫等を行いました。

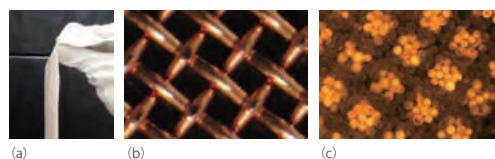
●RPLライトスコープで測定されたガンマ線漏洩観測とRPL応答



多角的使用に向けたビーズ状微小ガラス線量計の大量製造法を確立

蛍光ガラス線量計を放射性物質の汚染観測に有効に利用するためには、観測対象の状況に合わせて線量計の形状を自由に設定することが大切です。そのためには、素材となるビーズ状微小ガラス線量計を大量に製造する必要がありました。ガラス粉碎法、熔融自然球状化法等の工夫により、ビーズ状微小ガラス線量計の大量

製造法を確立し、大面積で柔軟なシート状ガラス線量計の作製技術を確認し、広範囲に広がる放射能汚染状況の簡便な観測を可能にする計測手段を実現しました。また、ビーズ状微小ガラス線量計を適当な容器に封入することにより、汚染水の流路や貯水池の簡便な放射性物質の汚染観測が可能となりました。



シート状ガラス線量計(a)とそのRPL応答(b, c)の例

これまで使用してきた蛍光ガラスは、最小でも1mm×10mm程度の円柱ガラスでしたが、シート型、ビーズ型ガラス線量計の線量の分布を測定するためには、読取り範囲を数十μmサイズに絞り、制御することが求められました。



シート状ガラス線量計の読取り装置

放射線医療や非破壊検査等他分野への応用展開

福島県富岡町でシート状ガラス線量計を用いた放射性物質の汚染観測のフィールド試験を実施しました。ビーズ状微小ガラス線量計は、容易に設置環境に合わせた形状に変えることができます。例えばシート状にして、配管の曲面や作業者の防護衣へ貼り付けることで、管の放射化の程度や管内液体の放射能濃度や作業環境の放射性物質の汚染の程度が推定できます。さらに、シート状ガラス線量計は、2次元の線量分布が得られることから、非破壊検査や放射線医療のイメージング技術に有効に利用できると考えられます。



フィールド試験の様子

カプセルに封入した蛍光ガラス

長きにわたり培ってきた線量計測技術をもとに

千代田テクノルは、半世紀を超える長きにわたり、個人の被ばく線量管理に関する線量計測技術を培ってきました。本開発課題は、これまでの線量計測の蓄積技術に基づく成果であり、廃炉作業支援を含め、福島復興に大いに貢献できると考えています。

お問い合わせ先

株式会社 千代田テクノル 柳田 由香
〒311-1313 茨城県東茨城郡大洗町成田町3681
TEL : 029-266-3113 E-mail : miyamoto-y@c-technol.co.jp



山本チームリーダー



飯田サブリーダー

チームリーダー

山本 幸佳

(株式会社 千代田テクノル・大洗研究所長)

サブリーダー

飯田 敏行

(大阪大学 工学研究科・教授)

現場での迅速なプルトニウム検出を可能に

高濃度の天然ラドン子孫核種が存在する環境でも、プルトニウム(Pu)を5分以内に検出できる装置の要素技術を完成。既存装置ではまったく不可能であった現場での迅速なPu測定を可能にしました。

■中核機関：北海道大学 ■参画機関：日立化成工業株式会社、名古屋大学、日本原子力研究開発機構 ■開発期間：平成24～26年度

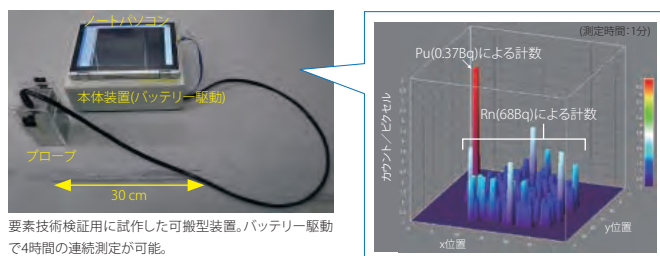
現場でのPuの迅速な測定を目指して

事故当時、Puの存在の有無を現場で短時間に判断できる検出器が存在せず、またPuの同定に化学分析が必要であることから、測定には数日以上かかりました。一般に使用されているZnS:Agシンチレータは、エネルギー弁別性能を持たないため、天然に存在するラドン子孫核種とPuの区別がつきません。一方、半導体放射線検出器はエネルギー弁別性能に優れるものの、湿気や電磁ノイズに対して脆弱で耐久性に劣り、野外での使用に適していません。以上の理由から、高いラドン子孫核種が存在する環境の現場で、迅速にPu汚染の有無を確認する有効な手段がありませんでした。

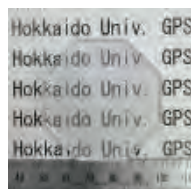
Puとラドン子孫核種を5分以内に弁別・検出

こうした問題を解決するため、高いエネルギー弁別性能を有し、β線、γ線の影響を受けず、高い耐久性をもったGPS焼結体シンチレータプレートを開発しました。さらにPuが凝集しやすい特性を利

●可搬型エネルギー弁別・位置検出α線計測装置



要素技術検証用に試作した可搬型装置。バッテリー駆動で4時間の連続測定が可能。



焼結体GPSシンチレータプレート
(シンチレータ層 約40 μmの均質膜)

用し、位置検出器装置と組み合わせることで、高濃度の天然ラドン子孫核種が存在する環境(Pu:ラドン子孫核種存在比=1:100)でもPuとラドン子孫核種を弁別し、5分以内の検出を可能としました。

目標性能	到達度	数値性能等
大量のγ線・β線放出核種存在下での正常動作	○	γ線:90μSv/h、β線:45,000cpmまでは問題なく測定可能
7.7MeVを中心としたラドン子孫核種からのα線から核燃料起因のα線放出核種をエネルギー弁別により精度よく測定可能	○	除去率60%以上
固着性汚染物へ対応	○	汚染時にはAl蒸着マイラー膜の現場での交換可能。またシンチレータプレートの水洗いも可能。
ノートパソコンを除いた本体重量10kg以下の可搬型装置	○	ノートパソコン込みで10kg以下、連続動作4時間が可能
同装置によりPu:Rn子孫核種存在比率1:50の環境において1 BqのPuを5分以内の測定で識別	○	Pu:Rn子孫核種存在比率 1:100の環境において1Bq以下のPuを5分以内で識別可能。さらなる性能向上の可能性大。
ダストモニタとしての応用可能性	○	1.2BqのPuの検出に成功

廃炉作業などでの活躍も期待

試作検出器のレベルであるものの、福島県内でフィールド試験を行い、3回の大きな装置改良を実施しました。最も放射線量率レベルの高い福島第一原子力発電所正門付近でも動作試験を行い、90μSv/hの高いバックグラウンドβ線・γ線場でも問題なく動作することを確認しました。今後、廃炉作業などでの活躍も期待できます。



福島第一原子力発電所正門付近でのフィールド試験の様子

各機関の特長を活かした開発

北海道大学、日立化成(シンチレータプレート開発)、名古屋大学(装置開発)、日本原子力研究開発機構(Pu等評価試験)が協力し、2年半という短期間で、従来装置ではまったく不可能であった、Puの現場での検出が可能な可搬型装置の開発に成功しました。各機関の特長を活かし、有機的に連携することで、当初の目論見を超える性能を実現できました。

お問い合わせ先

北海道大学 大学院工学研究院 金子 純一
〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目
TEL : 011-706-6681 E-mail : hikedon@eng.hokudai.ac.jp



金子チームリーダー

チームリーダー

金子 純一

(北海道大学 大学院工学研究院・准教授)

サブリーダー

石橋 浩之

(日立化成工業株式会社 無機材料事業部・担当部長)

ロボットで海底を撮影し、ホットスポットを特定

海中で海底地形をTVカメラで確認しながら、リアルタイムで放射性物質の濃度が高いポイント(ホットスポット)を特定できるシステムを開発。TVカメラ、3Dマッピングシステムにより、水深200mまでの調査が可能です。

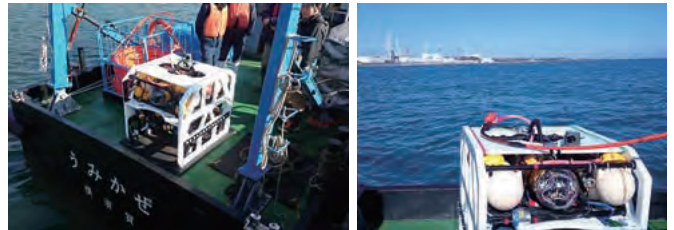
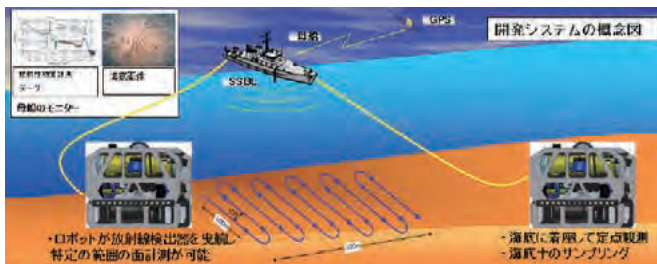
■中核機関：三井造船株式会社 ■参画機関：海上技術安全研究所、東京大学、九州工業大学 ■開発期間：平成25～27年度

ホットスポットの詳細調査を目指して

海洋の汚染状況の調査では、船から採水や採泥などを行う定点サンプリングが実施されてきました。その結果、2012年の曳航式放射線検出器を用いた調査において、周辺海域よりも局所的に放射性物質の濃度が高いホットスポットが発見されました。被災地の漁業復興に必要な海底除染・覆土等の対策立案のために、海洋中に放出された放射性物資の拡散・沈着・移動の把握などの汚染メカニズムを解明し、局所的に濃度が高いホットスポットの詳細なモニタリングが必要とされています。

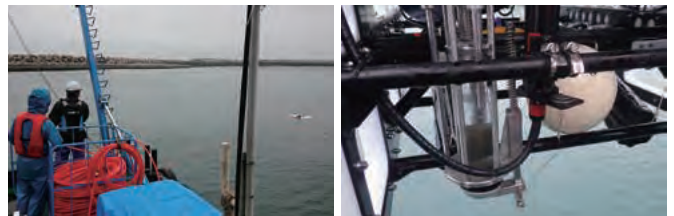
海底の放射線計測に特化した水中ロボットを開発

今回開発した水中ロボット(ROV: Remotely Operated Vehicle)は、放射線検出器による海底土の連続的な放射能分布測定、特定範囲の面計測機能、採泥、3Dマッピングシステムにより、海底の様子を3D画像として撮影する機能を有しています。水中ロボットに関する制御・設計・製造技術と、放射線に関する専門知識・技術をもった専門機関の協力によって、海底の放射線計測に特化した水中ロボットが実現できました。



水中ロボットによる海洋調査を実施

平成25年10月より、福島第一原子力発電所沖合2km圏内の海域で、水中ロボットを使った海底土の放射性物質濃度の計測試験を実施しています。汚染水の流出は現在も続いており、沖合の海洋汚染が問題となっています。漁業復興に向けた対策を立案するには、局所的に濃度の高いホットスポットの詳細調査が必要ですが、今回開発した水中ロボット1台では、広い海を調査しきれません。汚染調査を迅速に進めるためには、多数の水中ロボットによる同時調査が必要であり、水中ロボットの技術が広く活用されることが望まれます。



海洋調査の様子

ROV情報表示画面

実用機の開発で、被災地の漁業復興に貢献

私たち開発チームは、各機関の専門分野・技術を結集して、被災地の復興に役立つ実用機の開発を目指してきました。今回開発した水中ロボットは、これまで調査できなかったホットスポットの詳細調査を行うことが可能です。被災地の漁業復興に向けた活動を加速できるよう開発した水中ロボットを広く活用していただきたいと思います。

お問い合わせ先

三井造船株式会社 特機・水中機器部 昭島分室 小池 敏和
〒196-0012 東京都昭島市つつじ丘1-1-50
TEL: 042-543-6581 E-mail: toshik@mes.co.jp



小池チームリーダー

チームリーダー

小池 敏和

(三井造船株式会社 船舶・艦艇事業本部 艦船・特機総括部 特機・水中機器部 昭島分室・課長)

サブリーダー

小田野 直光

(国立研究開発法人 海上技術安全研究所 水中工学系・水中工学副系長)



その他

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 株式会社 千代田テクノル	33
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 放射線医学総合研究所	34
微量放射線の生物影響評価システム(装置)の開発 日美商事株式会社	35
高感度広域ガンマ線望遠鏡の開発 明星電気株式会社	36

電池駆動で1年間計測可能な軽量・小型の線量計

子どもやお年寄りでも負担なく利用できる軽量・小型の電子式積算線量計を開発。電池交換なしで1年間の連続長期間駆動が可能、誰でも容易に時間ごとの線量や一定期間の積算量を把握することができます。

■中核機関：株式会社 千代田テクノル ■参画機関：産業技術総合研究所 ■開発期間：平成24～25年度

誰でも線量を正確かつ容易に測れるシステムを目指して

インターネットなどで購入できる電子線量計の中には、放射線被ばく量を正しく測れていない製品や適正に校正されていない製品がみられます。また、電子線量計は、一般家庭で利用するように開発されていないため、電磁波による誤動作が起きることがあり、スイッチが硬くて大きく重い製品が多いのが現状です。これらの課題を解決するため、本開発では、線量計を大量かつ正確に校正できるシステムを構築し、子どもやお年寄りでも取り扱いが容易な軽量・小型の電子式線量計を目指しました。本開発によって、住民の方々自らが時間ごとの線量や一定期間の積算量を把握することが可能になります。

線量計	特徴
大きさ・重さ	約68mm×32mm×14mm・約23g (世界最小・最軽量の線量計)
電池寿命	1年(長期間稼働)トップレベル(他製品1カ月)
トレンドデータ	400日分(時間ごとの線量を保存)
PCグラフ化	過去24時間の線量のトレンドグラフ 過去1週間の線量のトレンドグラフ 1時間ごとの線量のトレンドグラフ 日ごとの線量のトレンドグラフ 1カ月ごとの線量のトレンドグラフ

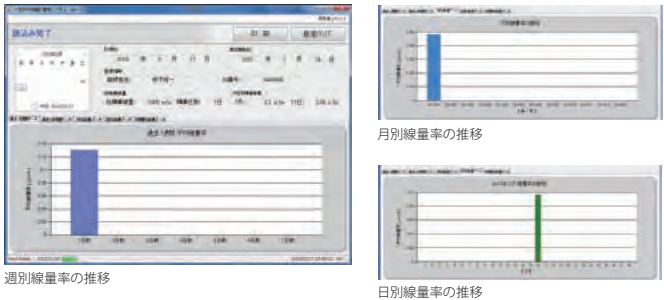
世界最小・最軽量、長期間計測可能な電子線量計

今回開発した線量計は、子どもやお年寄りでも負担なく利用できるように、500円硬貨2枚程度の大きさで、重量はわずか23gと、世界最小・最軽量を実現しました。また、誤動作を抑えるため、スイッチをなくしました。

この線量計の特徴は、400日分の線量データを不揮発性メモリとして保存することができ、1年間電池交換の必要がありません。また、PCを利用して、日・週・月、あるいは指定日の時間ごとの線量をグラフ化し、高線量の時間帯を発見しやすいようにしました。



●PCを利用した線量データのグラフ化



住民の皆さまの要望に応えるべく開発された製品

個人の被ばく線量を正しく知るには、使用する線量計が、正しく校正され、エネルギー特性等が取得され、さらに実際の場で評価できる必要があります。また、日々の生活の中で使いやすく、負担のかからない重さで、いつでも線量を把握できるシステムが求められています。

「D-シャトル線量計システム」は、こうした住民の皆さまの要望に応えるべく開発された製品です。

長年培ってきた放射線測定技術を活かす

本開発課題は、放射線業務従事者の被ばく管理用として、個人モニタリングサービスで利用してきた個人線量計の技術を活かして商品化したものです。特に、エネルギー特性、温度環境試験、電磁波試験に対する性能を重点に設計を行い、一般住民が取り扱っても負担にならない製品を目指しました。また、電池寿命を延ばすため、落下、接触不良がないよう工夫し、さらに1年間駆動できるように、さまざまな材料を考慮しました。

お問い合わせ先
株式会社 千代田テクノル 大口裕之
〒311-1313 茨城県東茨城郡大洗町成田町3681
TEL : 029-266-3113 E-mail : ohguchi-h@c-technol.co.jp



チームリーダー
大口 裕之
(株式会社 千代田テクノル 大洗研究所・主席研究員 線量計測技術統括責任者)

サブリーダー
齋藤 則生
(国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター 分析計測標準研究部門・副研究部門長 放射線標準研究グループ長)

大口チームリーダー

被ばくを測る染色体検査を自動・高速に

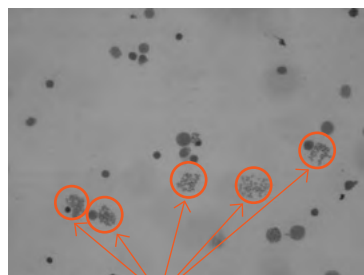
生物学的線量計測のための染色体を高速に観察するのに役立つ、分裂中期細胞を自動的に検出する「分裂中期細胞自動検出装置」を開発。1分当たり20細胞以上の検出ができ、800万円以下での市販が可能です。

■中核機関：放射線医学総合研究所 ■参画機関：三谷商事株式会社 ■開発期間：平成24～25年度

生物学的線量計測の自動・高速化を目指して

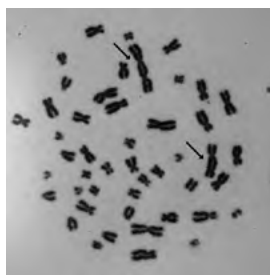
放射線の計測方法の一つに、生物学的線量計測法があり、そのための試料としてよく用いられているものに、染色体に見られる二動原体型異常があります。しかし、線量が低い場合、あるいは被験者が多い場合には、多数の細胞を顕微鏡で観察する必要があり、自動化による作業の支援が求められていました。そこで、放射線医学総合研究所では早くからこの自動化に着目し、技術開発を進めていました。今回、分裂中期細胞を自動的に検出する「分裂中期細胞自動検出装置」を製作し、従来より小型・安価で、計測速度の速い装置の開発に成功しました。

●ヒトリンパ球の顕微鏡像



(対物レンズ10倍)

これらの位置を検出するのが
分裂中期細胞自動検出装置



(対物レンズ100倍)

矢印が二動原体型染色体

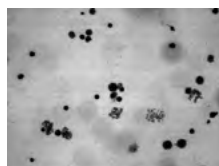
ウェアで処理し、分裂中期細胞と思われる像が検出されたらステージ上の位置を表示します。



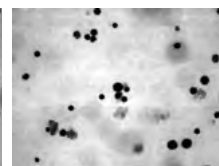
全体構成

●画像処理ソフトウェアによる処理画像

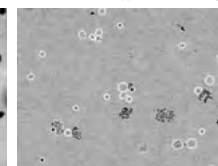
(特許第4344862号)



①原画像



②Aを膨張させたのち収縮させる



③AからBを引き算



④Cを二値化



⑤Dを膨張させたのち収縮させる



⑥Eを収縮させたのち膨張させる

独自の画像処理ソフトウェアで自動・高速化を実現

本装置の構成は、電動XYZステージとデジタルカメラが一体となった顕微鏡、顕微鏡の電源、コンピューター、そしてディスプレイ1枚です。スライドガラスをステージ上に置き、動作開始ボタンを押すと、スライドガラス上を走査するようにステージが動き、デジタルカメラで顕微鏡像を撮像します。それを独自の画像処理ソフト

住民の皆さまにも広く利用いただけるように

本手法は、染色体の転座を蛍光顕微鏡で見る方法と比べ、高速であり、また放射線以外に起因する異常は見えにくようになっていきます。原子力発電所の作業員のみならず、広く住民の皆さまにも利用していただけたと思います。

“日本製”を実現

ソフトウェアは「三谷商事株式会社」、ハードウェアは「株式会社ニコンインステック」と日本企業のものを使わせていただくことにより、“日本製”を実現しました。最近のこの種の装置には珍しい画期的なことです。これからも日本の産業を応援したいと思います。

お問い合わせ先

放射線医学総合研究所 被ばく線量評価研究プログラム 古川 章

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1

TEL : 043-206-3081 E-mail : furukawa@nirs.go.jp



古川チームリーダー

チームリーダー

古川 章

(国立研究開発法人 放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター 被ばく線量評価研究プログラム・主任研究員)

サブリーダー

竹島 哲

(三谷商事株式会社 情報システム事業部 ビジュアルシステム部・部員)

細胞内で起こるタンパク質の微量な変化をとらえる

低レベルの放射線を浴びた細胞や多数の細胞集団からなる組織を対象に、細胞内にあるタンパク質の量を高い精度で測定。微量放射線の生体リスク評価への活用が期待されています。

■中核機関：日美商事株式会社 ■参画機関：理化学研究所、国立保健医療科学院、株式会社 柴崎製作所 ■開発期間：平成24～26年度

微量放射線の生体リスク評価の必要性

被災地での被ばく線量が正確にわかったとしても、それに対応した生物影響はどのようなものが予想されるか、どの程度のリスクが予想できるか、という問いに対して答えることができません。このことが被災地での混乱の一因となっていると思われます。つまり、微量放射線被ばくが細胞に与える影響(被災地での線量、線量率、被ばく形態にできるだけ近い条件下)を評価し、発がんをはじめとするリスクの推定を行うことが必要となります。

安価に精度の高い高密度アレイの製作

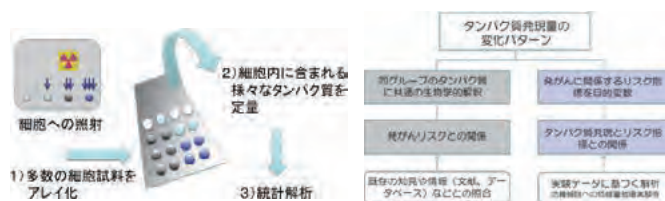
本開発では、単純な構造の試料ピンやメンブレンシートを活用し、安価に精度の高い高密度アレイの製作を可能としました。また、簡単な操作で全自動で大量のアレイを作製しました。

●サンプル調製法、アレイ染色法の確立

細胞内タンパク質の抽出に用いた溶液がアレイ作製に適していることを確認。アレイを蛍光標識抗体で処理することで精密なタンパク質の定量を可能にしました。

●統計解析とソフトウェアの開発

大量のサンプルの画像データを読み取り、タンパク質発現量として定量化します。さらに、これらのデータについて、単純な記述統計から探索的な統計学的解析までの実行を可能にしました。



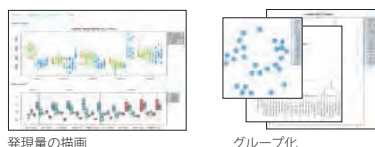
●全自動高密度マクロアレイの完成



●マクロアレイの自動計測および定量解析ソフトの完成



●タンパク質発現量と既存知見や情報をもとに統計的解析



●低線量被ばくによる生体影響の評価研究への活用

タンパク質発現量変動パターンの解析 → 放射線の定量的リスク評価

2～3年後にシステムを製品化

本開発の終了後、さらに開発を2～3年継続することで、システムの製品化が可能になる見通しです。完成した製品は放射線の生物影響を評価する大学などの研究機関で利用されることが見込まれます。装置のサイズが小さく、作業の半自動化が可能で、値段も比較的安く提供できるため、医療現場での病理評価や薬理評価への利用も考えられます。潜在的な応用範囲は、微量放射線被ばく以外にもあり、環境因子や医薬品などの薬効、毒性の評価に応用することもできます。



製品化に向けた開発の様子

タンパク質の網羅的解析手法を微量放射線のリスク評価につなげる

膨大なサンプルを精度高く定量し、統計解析できる高効率の全自動システムができあがり、タンパク質の網羅的解析技術を微量放射線のリスク評価に応用するための道が拓けました。開発にあたり、工学的技術に加え、生物学、統計学といった多分野にわたる専門知識が必要となりましたので、各機関の連携を密接にとり、相互理解を図りながら開発推進することに留意しました。

お問い合わせ先

株式会社 柴崎製作所 ライフサイエンス課 松江 登久
〒369-1242 埼玉県深谷市北根12-5
TEL : 048-584-2211 E-mail : matsue@precision-shibazaki.co.jp



藤野 チームリーダー

チームリーダー

藤野 亮

(日美商事株式会社・代表取締役)

サブリーダー

森島 信裕

(国立研究開発法人 理化学研究所・専任研究員)

宇宙の技術で放射線を見る

迅速かつ高信頼度の計測を実現する、高感度広域ガンマ線望遠鏡の開発。ほぼリアルタイムの汚染計測で、除染作業の汚染測定的时间効率化に貢献します。

■中核機関：明星電気株式会社 ■参画機関：東京大学 ■開発期間：平成25～27年度

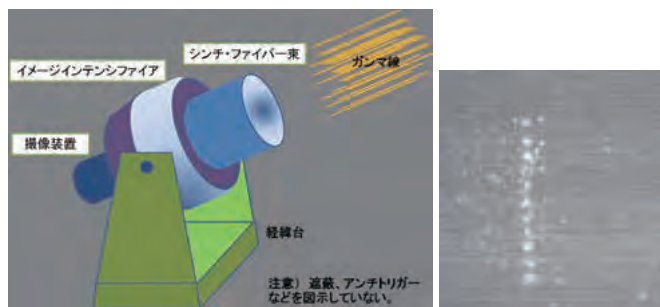
汚染物の放射線量率計測の迅速化を目指して

被災地の復旧・復興が強く求められる現段階においては、放射線量率の迅速かつ高精度・高感度な計測を可能とする大きな感受体積をもつ放射線量率モニター検査装置が必要です。

本開発では、除染作業における汚染物の放射線量率計測の迅速化を目的に、産業振興や製造・物流の活性化、日常業務・作業をできるだけ阻害しないような信頼性の高い装置を目指しました。

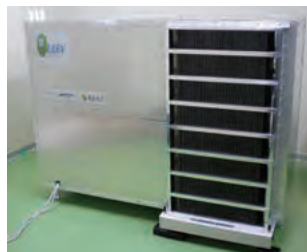
ほぼリアルタイムのガンマ線計測を視野に

開発中の装置は、ガンマ線を光に変換し、その軌跡を撮像、データ処理することにより、ほぼリアルタイムで、ガンマ線のエネルギーおよび線量率を高精度かつ高感度に検出します。ガンマ線を光に変換する装置や高精度で測定する撮像管があるため、かなり



装置概念図

ミュオン粒子飛跡のトリガー撮像



1/4面積試作検出器



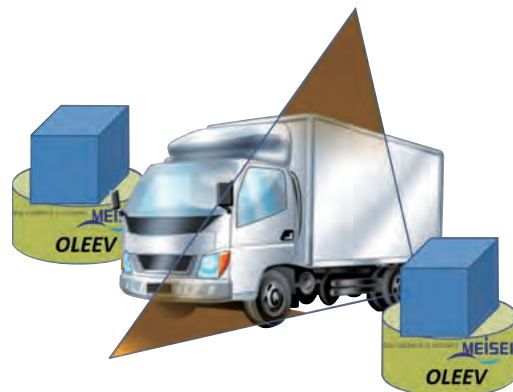
検出器搭載駆動系システム試作

大がかりなシステムとなっています。今後の開発課題として、装置の可搬性の考察およびガンマ線の検出精度（エネルギー、線量率）の向上を目指しており、自然放射線量率0.1マイクロSv/h、10秒間、精度5%以下での検出感度性能を目標としています。

さまざまな分野への展開が可能に

現在は実験室レベルで検証作業を行っており、今後、屋外での検証作業に進み、外部環境での実地観測の結果を製品開発にフィードバックしていきます。

ほぼリアルタイムでのガンマ線計測が可能になることで、①大量の瓦礫、除染土壌・廃棄物・排水の放射線の検査の効率化、②放射線源特定物の輸送トラックの汚染状況を特定するドライブスルー検査、③倉庫内や加工ライン上での作業を阻害しない食品や製品の放射線広域モニター検査などが実現し、除染作業にともなう汚染物の検査などへの応用も期待できます。



測定例（ドライブスルー検査）

先端的な高感度イメージングγ線検出を開発中

私たちは、これまでさまざまなロケット搭載機器、衛星搭載機器を製造してきました。私たちの放射線を計測する宇宙技術に加え、東京大学宇宙線研究所の参画を得ながら、「高感度広域ガンマ線望遠鏡の開発」に取り組んでいます。解決すべき課題はすでに整理されており、広域放射線汚染モニタ、広域除染確認、農産物などの食品汚染確認、物流での汚染確認等、さまざまな分野に応用可能な汚染計測装置の基礎研究開発を進めています。

お問い合わせ先

明星電気株式会社 宇宙防衛事業部 営業部 小林 忍
〒135-8115 東京都江東区豊洲3-1-1 豊洲IHIビル10階
TEL : 03-6204-8252 E-mail : kobayashis@meisei.co.jp



谷本チームリーダー

チームリーダー

谷本 和夫

(明星電気株式会社 宇宙防衛事業部・事業部長)

サブリーダー

佐々木 真人

(東京大学 宇宙線研究所・准教授)

JST先端計測分析技術・機器開発プログラムから生まれた

開発成果のご紹介

本冊子でご紹介した開発成果にとどまらず、JST先端計測分析技術・機器開発プログラムを利用して、多くの研究開発ツールが実用化されています。

▶▶▶ 詳しくは、本プログラムのホームページをご覧ください。

URL : <http://www.jst.go.jp/sentan/>



JSTへのアクセス



国立研究開発法人

科学技術振興機構 (JST) 産業連携展開部 先端計測グループ

〒102-0076

東京都千代田区五番町7 K's五番町(東京本部別館)

TEL : 03-3512-3529 E-mail : sentan@jst.go.jp

