

携帯型ガンマ線スペクトロメーターの種類と特徴

日本環境モニタリング株式会社代表取締役理学博士 圓入 敦仁

はじめに

平成23年3月に発生した福島第一原子力発電所の事故により、大量の人工放射性物質が自然環境に放出され、東日本の広範囲にわたり地表に降下・沈積した。特に放射性セシウムについては、文部科学省が実施した航空機モニタリング調査により、放射能汚染の範囲と程度が明らかにされている⁽¹⁾。

地表に降下した人工放射性物質は、シルトサイズの泥粒子や粘土鉱物、有機物等とともに風雨により移動・集積し、局所的に線量率が高い所謂「ホットスポット」を形成する。特に地表がコンクリートやアスファルトで覆われている都市部では、道路脇の吹きだまりや側溝等に放射性物質が集積し、放射線量が高くなる傾向がみられ

る。

このように、福島原発事故以来の東日本では、原子炉に由来する人工放射性物質が環境中に存在することから、一般市民の放射能への関心が高い⁽²⁾⁽³⁾。このため、周辺より空間線量率が高い局所的な「ホットスポット」や、上記のように放射性物質が集積した道路脇等の「マイクロホットスポット」が、個人線量計を携帯した一般市民らにより発見される事例が相次いだ⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

高線量地点が認められた場合、上記事例のように自治体を確認等の対策を講じる。しかしながら、通常の線量計やガンマ線サーベイメーターでは、現地調査にて線量の確認が可能であっても、その原因がどのような物質によるものか、すなわち福島原発事故由来の放射性セシウムか、またはその他

核種、例えばラジウムによるものかについて判断することは不可能である。この場合、現地で試料を採取し、実験室にてガンマ線スペクトロメーターを用いて核種を判定する。

一方、携帯型(可搬型)のガンマ線スペクトロメーターを用いることにより、現場において核種同定を行い、高線量の原因を突き止めることができる。ホームランドセキュリティのように迅速な初期対応が求められる場合や、東日本の各地にて行われる除染活動においては、このような装置が業務遂行にあたり有用となる。本稿では、スペクトル解析及び核種同定機能を有した携帯型ガンマ線測定装置につき、その種類と機能につき解説する。

携帯型ガンマ線スペクトロメーター

ガンマ線測定装置には、様々な種類のシンチレーションや半導体の結晶が使用される。核種を同定することが目的のスペクトロメーターでは、放射性セシウム等の主要核種が判定できる性能の結晶が求められる。ここではガンマ線スペクトロメーターにて十分な分解能を得られる、比較的安価のヨウ化ナトリウム(NaI(Tl))シンチレーション結晶、及びエネルギー分解能が高く高価な高純度ゲルマニウム(HPGGe)半導体結晶を用いた携帯型ガンマ線スペクトロメーターの製品例を紹介する。

(1) NaIシンチレーション検出器

ヨウ化ナトリウムシンチレーション結晶を用いた検出器はガンマ線スペクトロメーターに広く用いられ、国内では食品放射能測定システムの検出器として多く導入されている。NaIシンチレーション検出器は検出効率が高く、主要核種を同定するために十分なエネルギー分解能を有している事から、

図1 SARAD社製携帯型
NaIシンチレーション検出器
ガンマ線測定装置 NucScout



携帯型ガンマ線スペクトロメーター用の検出器としても、各社から複数のモデルが販売されている。NaIシンチレーション検出器は常温にて作動することから、Ge半導体検出器のように冷却手段を考慮する必要が無く、取り扱いが簡便である。携帯型コンパクトモデルとしては、ドイツSARAD社製のNucScoutが挙げられる(図1)。

NucScoutはNaIシンチレーションでは標準的サイズのφ2x2インチ結晶を搭載し、液晶パネル、マルチチャンネルアナライザー(MCA)、バッテリーを含め、重量が2.5kgと軽量型

図2 BSI社製可搬型Ge半導体検出器



のガンマ線スペクトロメーターである。NaIシンチレーション検出器により高い検出効率を実現し、256チャンネルのスペクトルにより25keVから3MeVまでのエネルギー範囲をカバーしている。

液晶タッチパネルによる操作では、測定地点において自動判定された放射性核種を確認することができ、ガンマ線スペクトルを表示することが可能。また、空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)が表示され、

高線量地点を特定すると同時に、ガンマ線スペクトロメーターにより、高線量の原因となる放射性核種を同定することができる。

ガンマ線スペクトル及び線量率データは、内蔵のGPSの位置情報と連動し、任意の時間設定により連続的に取得、メモリーに記録することが可能。データはパソコンに転送することができ、GPSの位置情報からGoogle Earth等により地図上に測定データを表示することが可能であ

る。また、スペクトルデータはパソコンに転送し、専用ソフトウェアにて解析することができる。

NucScoutのように、NaIシンチレーション検出器を用いた携帯型ガンマ線スペクトロメーターは、他にも国内外メーカーより多く販売されており、各モデルの機能や性能につき比較検討し、予算や目的にあった機種を選定したい。

ここで、NucScoutの語源は、Nucは核を意味するnuclear、Scoutは斥候や偵察を意味し、これら単語を合わせた造語である。このような携帯型ガンマ線スペクトロメーターは、高線量スポットの原因となる放射性核種を迅速に同定する為には極めて有用な装置であり、東日本における除染確認や、港や空港等におけるホームランドセキュリティに係る初動対応に、安価な予算にて活用することができる。

(2)液体窒素冷却型Ge半導体検出器
高純度ゲルマニウム半導体検出器は、NaI検出器に比べ検出効率が低く、使用時には検出器を冷

図3 BSI社製携帯型液体窒素冷却Ge半導体検出器ガンマ線測定装置 NitroSPEC

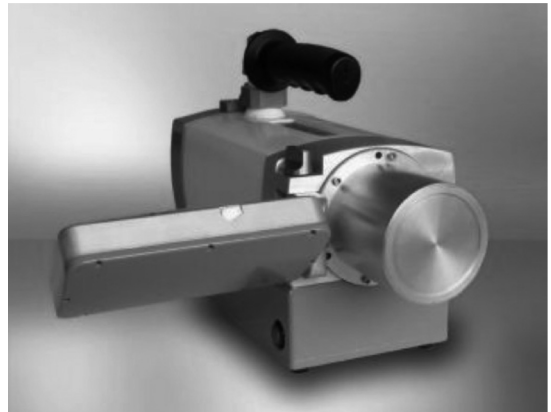
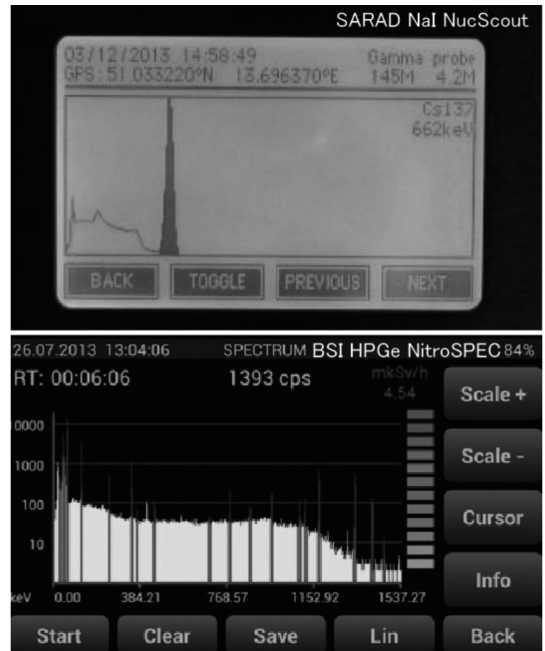


図4 NaIシンチレーション及びGe半導体検出器によるスペクトル(液晶パネル表示)



却する手間が必要であるものの、エネルギー分解能が非常に高く、高精度のガンマ線測定が可能である。このため、より正確な測定が必要な室内実験室におけるガンマ線核種同定に多く利用されている。

装置まで、Ge半導体検出器主要メーカーにより複数の機種が販売されている。ここでは、ラトビアB S I社(バルティック・サイエンティフィック・インストゥルメンツ)による製品を紹介する。NitroSPECは相対効率(φ3x3インチのヨウ化ナトリウム結晶に対し)が10%~20%のP型同軸型、又はプレナ型高純度ゲルマニウム半導体検出器を搭載した携帯型ガンマ線スペクトロメーターで、本体重量が5kgの軽量化を実現した装置である(図3)。

Ge半導体(結晶)に必要な冷却は、本体に内蔵する0.6Lの小型デュワー容器に液体窒素を充填し、約20時間にわたり冷却を継続することができる。

Ge半導体検出器の特長は、エネルギー分解能の高さである。参考のため、NitroSPECとNucScoutによる液晶パネル表示のスペクトルを図4に比較示す。NitroSPECは最大1万6千チャンネルのマルチ・チャンネル・アナライザー(MCA)を搭載し、通常モデルの検出器で

は、40keV~10MeVのエネルギー範囲をカバーする。低エネルギー範囲をカバーしたP型検出器も選択可能である。ガンマ線スペクトルは液晶タッチパネルに表示され、測定現場において自動ピークサーチによる迅速且つ正確な核種同定が可能である。同定された核種は、自動的に天然放射性核種、産業放射性核種、医療放射性核種、核燃料物質核種、その他の核種に分類される。

従い、NitroSPECのようにGe半導体検出器による現場測定においては、高線量の物質が発見された場合の初動対応、ホームランドセキュリティ、除染対応等、様々なシーンにおいて、正確に核種を同定することができ、その威力を発揮する。

NitroSPECにはGPS機能が搭載されており、位置情報とともに空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)及びスペクトルのデータをメモリに記録することが可能である。また、スペクトルデータをパソコンに転送し、専用ガンマ線解析ソフトウェアを用いてデータを解析することができる。特定形状の物

図5 BSI社製携帯型液体窒素冷却Ge半導体検出器
ガンマ線測定装置 HandSPEC



体や *in situ* 測定による地表面の放射能を得る場合は、パソコンによる専用解析ソフトウェアを使用し、事前の効率校正により放射能アクティビティ (Bq値) を求めることが可能である。

液体窒素冷却方式によるGe半導体検出器装置の利点は、電気冷却方式と比較した場合、冷却開始から使用可能までの時間が約1時間半と短いこと、1回の液体窒素充填にて連続20時間の測定が可能であること、及び電気冷却によるエネルギー分解能の劣化が発生しない

ことである。NitroSPECは、液晶タッチパネル、解析ソフトウェア、GPS、MCA、及び液体窒素デュワーを内蔵した携帯型Ge半導体検出器ガンマ線スペクトロメーターとしては、唯一の製品である (2013年8月現在)。

(3) 電気冷却型Ge半導体検出器

遠隔地にて液体窒素冷却方式の携帯型Ge半導体検出器ガンマ線スペクトロメーターによる測定を実施する場合、液体窒素の調達が困難な場合がある。このような場面では、電気冷却方式を使用した携帯型Ge半導体検出器を活用することができる。

HandSPECは、冷却機構以外の基本構成及び機能は、上記BSI社製NitroSPECとほぼ同等の携帯型ガンマ線スペクトロメーターである。Ge半導体結晶は、相対効率が

10%~20%のP型同軸型、又はプレナ型高純度ゲルマニウム半導体検出器を搭載する。本体には最大1万6千チャンネルのMCAを搭載し、通常モデルの検出器では、40keV~10MeVのエネルギー範囲をカバーする。P型検出器では、低エネルギー側を10keV~からカバーするモデルも選択可能である。

本体に内蔵するMCA及び液晶タッチパネル、ガンマ線解析ソフトウェアにより、HandSPECを用いて測定現場にて正確な核種同定が可能である。同定された核種はNitroSPECと同様、自動的に天然放射性核種、産業放射性核種、医療放射性核種、核燃料物質核種、その他の核種に分類される。また、HandSPECにはGPS機能が搭載されており、位置情報とともに空間線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) 及びスペクトルのデータをメモリーに記録、パソコンにデータを送りスペクトル解析を行うことができる。

HandSPECの電気冷却装置は、パルスチューブを用いたスターリングサイクルのクライオコ

ーラーを採用することにより、エネルギー分解能の劣化を抑制していることが特長である。エネルギー分解能は液体窒素冷却方式に比べ若干劣化するが、実際の測定においては、スペクトルのカウンタデータ取得、及び核種同定に際し影響は見られない。現行モデルの重量は、電気冷却装置、検出器、内蔵MCAや液晶パネル等を含め合計14kgであり、電気冷却開始から測定可能状態までの時間は約12時間である。

携帯型ガンマ線測定装置の活用

本稿では、検出器結晶及びGe半導体の冷却方式が異なる3種類の携帯型ガンマ線スペクトロメーターにつき、それぞれの性能・特徴につき製品例を挙げ解説した。各製品の機能一覧を表1に示す。

平成23年3月の福島原発事故以来、人工放射性物質が地表に降下・沈積した東日本では、放射線量が高い地点がしばしば確認されている。現場では核種の同定には至らないが、室内実験室における試料の測定により、これらの原因は放

表1 携帯型ガンマ線スペクトロメーター比較一覧

製品名	NucScout	NitroSPEC	HandSPEC
メーカー	ドイツSARAD社	ラトビアBSI社	ラトビアBSI社
検出器結晶	NaI(Tl)シンチレーション	高純度Ge半導体	高純度Ge半導体
Ge半導体冷却	—	液体窒素(内蔵デューワー)	電気冷却(内蔵)
冷却開始から使用可能まで	—	1時間半	12時間
デューワー容量	—	0.6L(冷却持続20時間)	—
MCAチャンネル	256チャンネル	最大16384チャンネル	最大16384チャンネル
ディスプレイ	液晶タッチパネル搭載	液晶タッチパネル搭載	液晶タッチパネル搭載
内蔵ソフトウェア	スペクトル表示、核種同定	スペクトル表示、核種同定	スペクトル表示、核種同定
空間線量率	μSv/h表示	μSv/h表示	μSv/h表示
GPS	搭載	搭載	搭載
本体寸法 WxHxD (mm)、質量 (kg)	210x195x270 mm、2.5 kg	154x224x324 mm、5 kg	172x346x426 mm、14 kg
パソコン接続	USB、ワイヤレス	USB、ワイヤレス	USB、ワイヤレス
パソコンソフトウェア	解析ソフトウェア附属	解析ソフトウェア附属	解析ソフトウェア附属

放射性セシウムによるものと報告される事例が見られる⁽⁴⁾⁽⁵⁾。また、福島県内においても高線量の放射性物質が発見され、その原因が現場にて特定されることなく、後の室内測定において核種が同定された事例も報告されている⁽⁶⁾。

また、東京都内においては、平成23年10月に個人線量計を携行した通勤人により、住宅地にて高線量地点が発見される事案が続いた⁽⁷⁾⁽⁸⁾。これらはいずれも夜光塗料等によるラジウムが原因であることが後に判明した。以上のような事案が発生した場合、初期対応を行う自治体が本稿に解説したような携帯型ガンマ線スペクトロメーター

を保有していれば、初動段階にて高線量の原因となる放射性核種が特定され、迅速に対策を講じることが可能となる。また、空港や港において、核燃料物質の違法輸送を早期に発見するホームランドセキュリティ分野においても、このような携帯型スペクトロメーターは不可欠であり、今後も各分野において広く導入されるべきであると考えられる。

参考資料

- (1) 文部科学省「文部科学省(米国エネルギー省との共同を含む)による航空機モニタリング結果」
<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/258/list-1.html>
- (2) AREA「首都圏で進むセシウムの「都市濃縮」放射能ホットスポットの明暗」(2012年4月30日)
- (3) サイエンス誌「Citizens Find Radiation Far From Fukushima」(2011年6月17日)
<http://www.sciencemag.org/content/332/336/1368.summary>
- (4) 横浜市記者発表資料「瀬谷区内の廃水路敷周辺の一部から高い値

の放射線量が測定されました」(2012年2月3日)
<http://www.city.yokohama.jp/ne/news/press/201202/images/pipiAc4A8.pdf>

(5) 環境省「柏市内の周辺より空間線量率が高い箇所における調査の最終報告書の公表について」(2011年12月28日)
<https://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14647>

(6) 東京電力「放射性物質の調査について」(2013年7月23日)
<http://photo.tepco.co.jp/date/2013/201307-1/130723-01.html>

(7) 文部科学省「管理下でない放射性同位元素の発見について(個人宅)」(2011年10月14日)
http://www.nsr.go.jp/archive/mext/a_menu/ankenkakuhou/news/trouble/1312167.htm

(8) 文部科学省「東京都世田谷区における現地調査について」(2011年11月1日)
http://www.nsr.go.jp/archive/mext/a_menu/ankenkakuhou/news/trouble/1312903.htm