

環境保護に貢献する放射線管理ソリューション

Radiation Management Solutions Contributing to Environmental Protection

中島 定雄 NAKASHIMA, Sadao

松本 巖 MATSUMOTO, Iwao

小西 英之 KONISHI, Hideyuki

富士電機は、放射線および放射能汚染に関する環境保護活動に貢献する放射線管理ソリューションと放射線計測機器を提供している。今回、IoT 環境モニタによる環境監視サービス、よう化ストロンチウムシンチレータを搭載したスペクトルサーベイメータ、大気中の放射性浮遊じんあいをリアルタイムで監視できる大気モニタを開発した。震災復興関連の放射線計測装置としては、仮設焼却施設における排ガス放出管理に用いる排ガス放射性物質濃度監視装置、ならびに除染作業で発生した汚染土壌の中間貯蔵処理施設での放射能濃度による分別のための土壌濃度分別装置を開発した。

Fuji Electric offers radiation management solutions and radiation measurement equipment that contribute to environmental protection activities involving radiation and/or radioactive contamination. We have developed an environmental monitoring service using IoT environmental monitors, radiation spectral survey meter with a strontium iodide scintillator, and atmospheric monitor that can monitor radioactive aerosol in atmosphere in real time. We also have developed radiation measurement equipment for earthquake reconstruction: a radioactive aerosol monitor in exhaust gas from the temporary incineration facilities and a radioactive soil sorting equipment to sort contaminated soil produced from decontamination activities based on the radioactive concentration in the intermediate storage facilities.

1 まえがき

富士電機は、原子力施設や関連施設およびその周辺地域において、放射線および放射能汚染に関する環境保護活動に貢献する放射線管理ソリューションと放射線計測機器を提供している。

本稿では、東京電力福島第一原子力発電所（福島第一原発）の事故を伴った東日本大震災からの復興活動に貢献するために開発した、環境保護に貢献する放射線管理ソリューションについて述べる。

2 環境モニタリングシステム

環境モニタリングシステムは、原子力施設や関連施設およびその周辺地域において、環境の放射線および放射能を監視するシステムである。富士電機は、以前から環境モニタリングシステムを原子力事業者や周辺自治体向けに提供してきた。このたび、環境監視サービスのためのシステムを開発した。

環境モニタリングシステムは、モニタリングポストおよびモニタリングステーションの据置型環境放射線監視設備、サーベイメータ、可搬型モニタリングポスト、環境線量計などの携帯型または可搬型の環境γ線測定機器の他に、環境ダストモニタおよび環境よう素モニタなどの環境放射能測定機器、テレメータシステムで構成する。このたび、新たな構成機器としてスペクトルサーベイメータおよび大気モニタを開発した。

2.1 環境監視サービス

環境モニタリングシステムには、専用のモニタリングポストまたはモニタリングステーション、テレメータシステム

ムや監視システムの構築および監視体制の整備が必要となる。このため、高コストで設備の建設に長期間を要し、環境監視を行う人材の育成も必要となり、導入のハードルは相当高いものになる。今回、開発したIoT（Internet of Things）環境モニタによる環境監視サービスは、小型線量計測ユニットとクラウドシステムを組み合わせ提供するものであり、より多くの地域や施設において導入しやすいサービスである。環境モニタ本体である小型線量計測ユニットは、バッテリーのみで最長3か月の測定と携帯電話回線によるデータ通信が可能であり、導入や設置のコストを大幅に抑えている。

IoT 環境モニタの主要な仕様を表1に、環境監視サービスのシステム構成を図1に示す。

2.2 スペクトルサーベイメータ

サーベイメータは、施設や周辺環境の空間放射線量率の測定を人手で行うために使用されている。小型、軽量であるため持運びが便利であり、緊急時にもとても役立つ放射線測定器である。

従来のサーベイメータが測定できたのは、空間放射線量

表1 IoT 環境モニタの主な仕様

項目	仕様
測定線種	γ線 (X線)
検出器	シリコン半導体検出器
測定範囲	積算線量：1 nSv ~ 99.99 mSv 線量率：0.01 μSv/h ~ 999.99 μSv/h
データ伝送方式	携帯電話回線による通信
データ収集サーバ	クラウドサーバ
電源供給	リチウムイオンバッテリーまたは商用電源 バッテリーでの動作期間：最大3か月

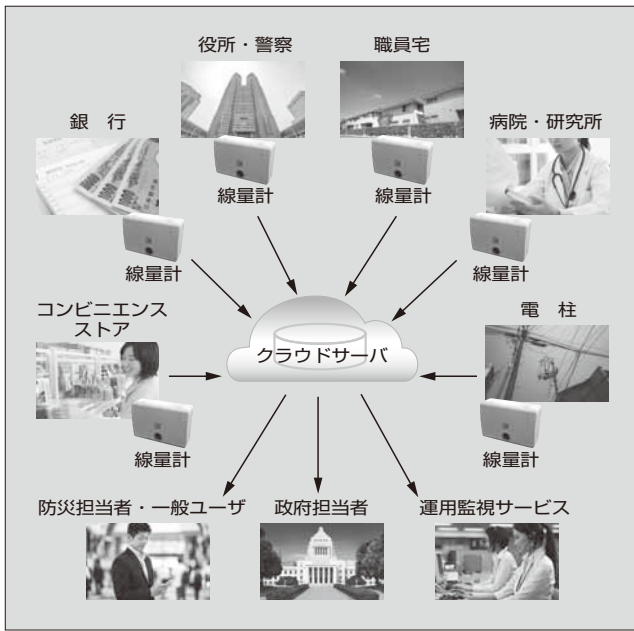


図1 環境監視サービスのシステム構成

率だけであった。福島第一原発の事故の経験から緊急時に小型で軽量なスペクトルサーベイメータのニーズがあることが分かった。そこで、緊急の環境モニタリングや復旧時の環境測定ができる核種分析機能を付加した。

富士電機では、高分解能であるだけでなく、小型軽量で安価な検出器素材として、よう化ストロンチウムシンチレータ [SrI₂ (Eu)] を搭載したスペクトルサーベイメータを他社に先駆けて開発した。表2に、よう化ストロンチウムシンチレータと、サーベイメータで一般的に使用されるよう化ナトリウムシンチレータ [NaI (TI)] の特性比較を示す。エネルギー分解能は4%と大きく減衰時間も長い核種分析に必要な性能を備えており、発光量がよう化ナトリウムシンチレータの2倍以上あり、小型サイズのシンチレータで広いエネルギー範囲の測定が可能である。図2に両者のγ線スペクトルの比較を示す。よう化ストロンチウムシンチレータの方が明瞭なフォトピークを示すことが分かる。

開発したスペクトルサーベイメータ「NHC8」の外観を図3に、主な仕様を表3に示す。特徴は次のとおりである。

- (a) 検出器に高分解能のよう化ストロンチウムシンチレータを採用し、分解能は4%以下を確保している。
- (b) 線量率やスペクトルデータなどをBluetooth^(注)で送信

表2 よう化ストロンチウムシンチレータ [SrI₂ (Eu)] とよう化ナトリウムシンチレータ [NaI (TI)] の特性比較

検出器素材	融点 (°C)	密度 (g/cm ³)	潮解性	発光波長 (nm)	発光量 (Photon/MeV)	エネルギー分解能 (662 keV)	減時間衰 (ns)	発光量比例性 5~1,000 keV	自己放射能	最大口径 (mm)
SrI ₂ (Eu)	538	4.6	非常に強い	430	80,000	<4%	800	<5%	Non	25
NaI (TI)	661	3.7	非常に強い	415	38,000	7%	230	17%	⁴⁰ K	600

〈注〉 Bluetooth : Bluetooth SIG, Inc. の商標または登録商標

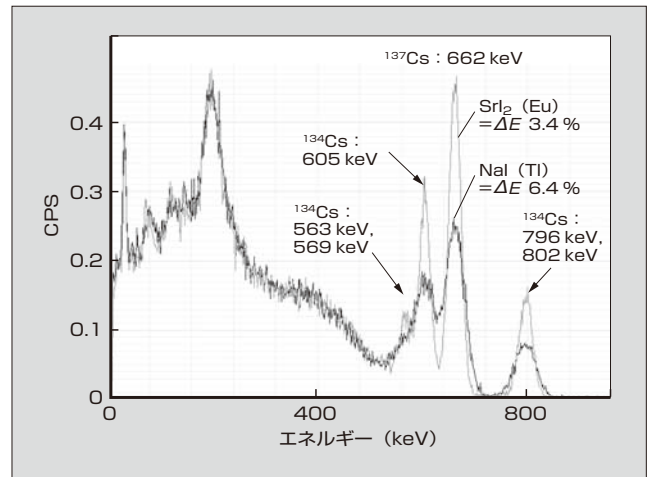


図2 よう化ストロンチウムシンチレータ [SrI₂ (Eu)] とよう化ナトリウムシンチレータ [NaI (TI)] のγ線スペクトル比較



図3 スペクトルサーベイメータ「NHC8」

し、モバイル機器またはPCで解析可能である。
 (c) MCA (Multi-Channel Analyzer) 機能は、0 ~ 2MeVの測定エネルギー範囲を、1,000チャンネルに分解し、核種同定が可能である。

2.3 大気モニタ

大気モニタは、原子力災害などの緊急事態に、屋外空気を吸引してろ紙に集めた放射性浮遊じんあいの濃度を連続監視する装置である。測定したデータは、本体に装備したUSBメモリなどの記憶媒体に保存するとともに、携帯電話回線網または衛星回線網を利用したサービスにてデータ収集サーバに送信し、リアルタイムで監視できる。また、装置の遠隔操作が可能であり、これにより平常時は待機状

表3 スペクトルサーベイメータ「NHC8」の主な仕様

項目	仕様
測定線種	γ線 (X線)
検出器	よう化ストロンチウムシンチレータ [SrI ₂ (Eu)] (サイズφ1" × 1")
エネルギー特性	60 keV ~ 1.5 MeV : ±25%以内 (¹³⁷ Cs基準)
検出器分解能	4%以下 (¹³⁷ Csにて)
有効測定範囲	線量率 : 0.000 ~ 70 (μSv/h) 計数率 : 0.000 ~ 99.9 (ks ⁻¹)
データ記録	最大1,000件
電源	単三アルカリ乾電池 (LR6) × 6本 USB給電 (オプション) ACアダプタ (オプション)
外形寸法	W100×D230×H160 (mm)
質量	約1.6kg (電池含む)



図4 大気モニタ

表4 大気モニタの主な仕様

項目	仕様
測定線種	β線
検出器	プラスチックシンチレーション検出器
最高検出感度	全β線に対して100 Bq/m ³ 以下
連続測定期間 (ろ紙交換周期)	1週間以上 (ろ紙送り周期1時間の場合)
データ伝送方式	携帯電話回線および衛星回線による通信

態であり、緊急事態になったときに稼働を開始することも可能である。図4に大気モニタの外観を、表4に大気モニタの主な仕様を示す。

3 震災復興関連の放射線計測装置

3.1 焼却施設向け排ガス放射性物質濃度監視装置

震災復興のため、福島県や周辺地域に、発生した可燃性廃棄物を焼却・減容する仮設焼却施設が多数建設された。また、現在、建設が進められている中間貯蔵施設内にも焼却施設が設置される予定である。

焼却施設の排ガスを排気口から放出するに当たっては、環境省のガイドラインに定められた排ガス中の放射性物質濃度を監視し、空気中濃度限度 (¹³⁴Cs 20Bq/m³, ¹³⁷Cs 30Bq/m³) を超える場合には、濃度限度、測定値および最大濃度地点における濃度計算値を比較して周辺環境への影響を判断することが必要とされる。

富士電機は、表5に示す要求事項を満足するため、排ガス放射性物質濃度監視装置を開発した。表6に主な仕様を示す。本装置は、排気口に設置するサンプリングノズル、サンプリング配管、装置本体および排気口への戻り配管で構成する。装置本体は、開放型計装ラック構造であり、パーティフィルタ、検出器ジャケット (検出器収納)、捕集部 (ろ紙装着)、流量計、圧力計、ポンプ、接続配管、同配管ヒータ、同温度計、制御部、操作表示器および計装空気パーシラインで構成する。図5に開発した排ガス放射性物質濃度監視装置の外観を示す。

表5 排ガス放射性物質濃度監視装置の開発ポイント

要求事項	開発のポイント
焼却炉排ガスは180℃の高温で腐食性物質を多量に含み露点が140℃	(1) ノズルから検出器捕集部までの配管を露点140℃以上に加熱し結露を防止する (2) γ線検出器は、ジャケットに収納して捕集部と隔離し、許容温度45℃以下に空冷する
環境省の要求水準書で排ガスの結露は禁止	(1) 捕集部出口以降の配管を露点140℃以上に加熱する (2) システム内を多数のヒーティング区分に分けて細かく温度制御し、局所的な結露を防止する (3) ポンプおよび計器類は耐高温仕様の製品を使用する

表6 排ガス放射性物質濃度監視装置の主な仕様

項目	仕様
設置方式	床置固定式
測定対象核種	¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs
測定線種	γ線 (X線) (50 keV以上)
検出器	よう化ナトリウムシンチレーション検出器 (NaI (TI))
排ガス温度	180℃ (通常運転中)
ヒータ制御温度	140℃以上 (ヒータ耐熱温度 : 400℃)
検出感度	2 Bq/m ³ 以下 (エネルギー範囲527 ~ 740 keV) BG条件 : 0.15 μSv/h (¹³⁷ Cs相当) 計数時間 : 30 min 捕集時間 : 60 min
指示誤差	5%以内
ダスト捕集材	GB-100R (ガラス繊維ろ紙)
捕集効率	99.99% (JIS Z 8901)
遮蔽	鉛シールド約5cm厚さ
サンプリング流量	50L/min以上
ポンプ構成	2台 (二重化)
外形寸法、質量	本体 (チャンネルベース含む) : W1,600×D800×H1,700 (mm), 約1,150kg ポンプ架台 : W500×D800×H950 (mm), 約100kg

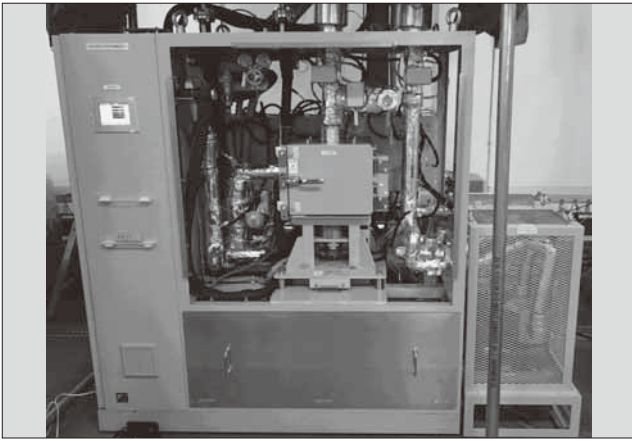


図5 排ガス放射性物質濃度監視装置

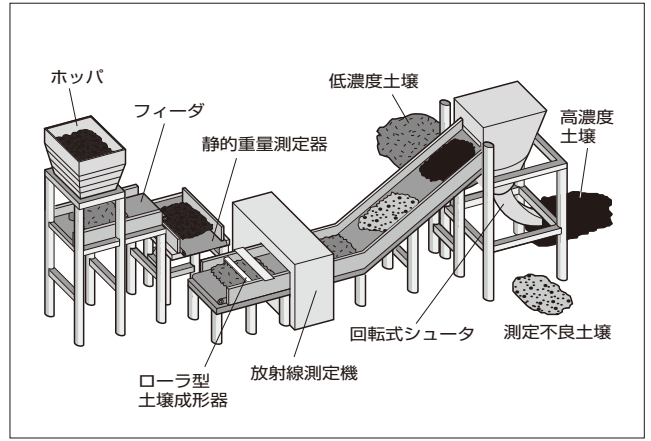


図6 土壌濃度分別装置の構成図

3.2 土壌濃度分別装置

東日本大震災から7年が経過し、福島第一原発の事故により放射性物質で汚染された土壌などの除染事業については、帰還困難区域を除き面的除染がほぼ完了している。汚染土壌は、福島県内の仮置場にフレキシブルコンテナに収納した状態で仮置きされており、早期に処理、処分、保管することが要請されている。効率的にこれらの作業を進めるためには、汚染土壌の放射能濃度により分別し、その区分に応じた処理、処分、保管を行うことが必要となる。

汚染土壌の放射能濃度を精度良く測定し、正確に分別するための土壌濃度分別装置を清水建設株式会社と共同開発した。本装置の開発ポイントを表7に示す。

本装置の構成図を図6に、外観の例を図7に、主な仕様を表8に示す。

本装置は、土壌を受け入れるホッパ、土壌を一定量切り出すフィーダ（コンベヤ）、切り出した土壌の重量を測定する静的重量測定器、土壌を搬送する搬送コンベヤ、土壌を成形するローラ型土壌成形器、土壌の放射能を測定する放射線測定機および土壌を仕分けする回転式シュータで構成する。放射線測定機は、搬送コンベヤのベルト下部に検出器6本をコンベヤ幅方向に配置し、これらの検出器を鉛シールドで前後左右下の5面から取り囲み、バックグラウンド放射線を低減させる構造にしている。放射線測定機と上流のローラ型土壌成形器の間には形状測定機をコンベヤ上部に設置し、流れる土壌ロットの形状測定（長さ、傾斜

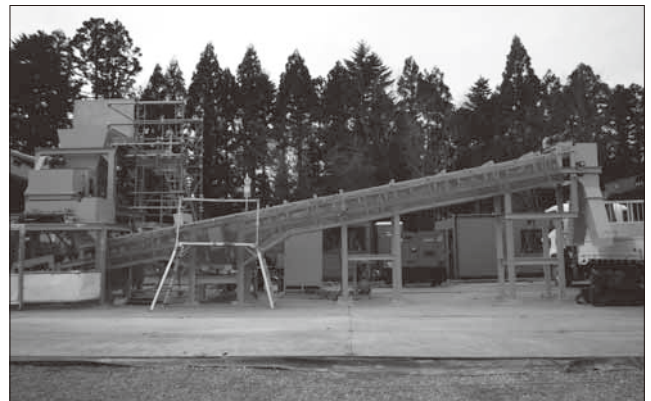


図7 土壌濃度分別装置の例

表8 土壌濃度分別装置の主な仕様

項目	仕様
設置方式	床置固定式
測定対象核種	^{134}Cs , ^{137}Cs
測定線種	γ 線 (527 ~ 740 keV)
検出器	よう化ナトリウムシンチレーション検出器 (NaI (TI)) 6本
BG線量率	2.5 $\mu\text{Sv/h}$ 以下
土壌ロット形状 (標準形状)	台形土壌 上底: 1,423 mm 下底: 1,900 mm 幅: 650 mm 高さ: 200 mm
測定誤差	$\pm 10\%$
コンベヤ速度	400 mm/s
基準値	8,000 Bq/kg
スクリーングレレベル	7,200 Bq/kg
仕分方法	回転式シュータにより分別 (放射能高, 放射能低, 測定不良)
処理能力	70 t/h以上

表7 土壌濃度分別装置の開発ポイント

要求事項	開発のポイント
高精度の測定	(1) 所定量の土壌を切り出して一定形状にローラ成形した土壌ロットを測定するバッチ測定方式とする (2) 土壌ロットの質量および形状寸法を測定し、放射能濃度補正を行う
正確な分別	土壌ロット単位で仕分けを行うことで正確な分別
処理能力の確保 (70 t/h以上)	(1) 大量の土壌を処理するため、土壌の搬送はコンベヤ方式とする (2) 仕分けは高速の回転式シュータを採用する

部安息角、高さ)を実施している。

これら装置本体の他に、検出器の制御、信号処理および濃度演算を行う測定機モニタ盤、ならびにコンベヤなどを駆動・制御する動力盤がある。

4 あとがき

環境保護に貢献する放射線管理ソリューションについて述べた。今後は、さらなる環境モニタリングの強化や品質向上、震災復興への貢献および廃炉に使用する機器・システムの開発を進めていく所存である。

最後に、土壌濃度分別装置の共同開発者である清水建設株式会社殿のご指導、ご鞭撻に謝意を表す。

参考文献

- (1) アンペール産業機器. “シンチレータ ヨウ化ストロンチウム”. <http://fa.ampere.co.jp/products/scintillator/>, (参照 2017-12-14).
- (2) 環境省. 第五部 放射能濃度等測定方法等ガイドライン. 平成25年3月第2版.



中島 定雄

放射線計測機器・システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム事業本部環境ソリューション事業部放射線システム部長代理。日本保健物理学会会員。



松本 巖

放射線測定器の開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム事業本部生産統括部東京工場放射線・計測装置部。



小西 英之

放射線計測装置の開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム事業本部生産統括部東京工場放射線・計測装置部課長。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。