

安全・安心に貢献する放射線管理ソリューション

Radiation Management Solutions Contributing to Safety and Security

中島 定雄 NAKASHIMA Sadao

石倉 剛 ISHIKURA Takeshi

松下 智行 MATSUSHITA Tomoyuki

富士電機は、商用の原子力発電が始まった1970年代から、放射線取扱施設における人、物、施設および周辺環境の放射線管理ソリューションを開発し提供することで、放射線（能）に対する安全・安心に貢献してきた。2011年3月の東日本大震災に伴い発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故以来、放射線測定機器のニーズが大幅に高まっており、震災復旧・復興に向けた放射線管理ソリューションとして放射線測定機器を開発し、提供している。また、海外の放射線取扱施設向けに、その国の法令や国際規格に適合した放射線管理ソリューションも展開している。

Since the 1970s, when commercial nuclear power generation established, Fuji Electric has been contributing to safety and security for radiation (radioactivity) by developing and providing radiation management solutions for humans and objects in radiation handling facilities and the facilities themselves together with the surrounding environment. Ever since the accident at the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station in the wake of the Great East Japan Earthquake in March 2011, needs for radiation measuring instruments have greatly increased. Fuji Electric has thus been continuously developing and offering radiation measuring instruments as well as radiation management solutions for recovery and reconstruction from the earthquake disaster. In addition, radiation management solutions conforming to the national legislation of each country and international standards have been rolled out for overseas radiation handling facilities.

1 まえがき

富士電機は1970年代からの長きにわたり、人、物、施設および環境の放射線に対する安全・安心を得るための放射線管理ソリューションについて取り組んできた。国内の既存市場に加えて、震災復旧・復興および海外市場向けの放射線管理ソリューションに力を入れている。

本稿では、安全・安心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 富士電機の放射線管理ソリューション

放射線管理ソリューションは、図1に示すように、大別すると、人、物、施設および環境に関するものに分類できる。富士電機は、電離箱、シンチレーション検出器、半導体検出器などのセンサからデータ監視・処理までのさまざまな技術を融合して、各種放射線管理ソリューションを実

現してきた。主に、原子力関連施設、大学および病院を対象として、個人の外部・内部被ばく線量を測定・評価するための機器、放射線管理区域内で使用する物品や衣服の汚染測定を行う機器、ならびに原子力施設の内部およびその周辺環境の放射線（能）レベルを監視するシステムを提供してきた。さらに、2011年3月の東日本大震災以降は、富士電機が培ってきた放射線管理技術を地域住民の安全・安心のためのソリューションとして展開している。

3 震災復旧・復興を支援する放射線管理ソリューション

東日本大震災に伴い発生した福島第一原子力発電所（福島第一原発）の事故を受けて、全ての原子力発電所が運転を停止することとなった。原子力施設者は、再稼働に向けて耐震性の強化工事や緊急時モニタリング設備の整備など、安全性の強化を進めている。国や地方自治体は、福島地区住民の個人被ばく線量の測定を行うとともに、福島県と近県における環境放射線の広域サーベイを行っている。また、事故の教訓から環境モニタリングと緊急時モニタリングの体制強化、および放射線測定設備の整備を進めている。さらに、放射性物質で汚染された地域の除染活動や廃棄物の処理を進めている。農業や漁業、食品流通の関係業者は、放射能汚染に対する消費者の不安を解消するため、食品中の放射能測定を実施している。

このような、多種・多様な放射線管理ソリューションに対する高いニーズに応えるため、富士電機では製品や技術の開発と提供を行い、震災復旧・復興での放射線および放射能に対する安全・安心に貢献している。

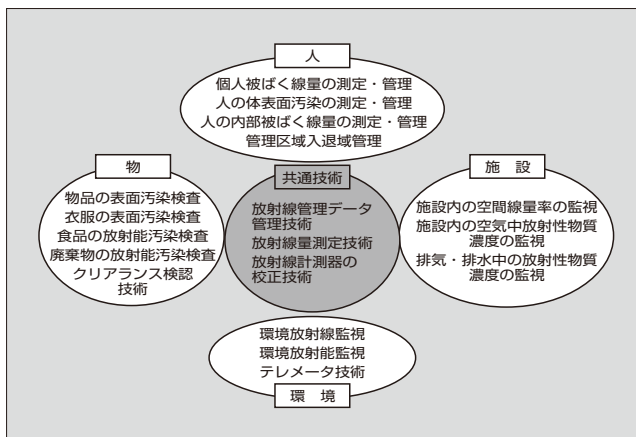


図1 安全・安心に貢献する放射線管理ソリューションの概要

3.1 人の放射線に対する安全・安心

富士電機は、耐久性と高機能を兼ね備えた個人被ばく線量計を提供している。これは、人の外部被ばく線量をリアルタイムで表示し、遮蔽壁損傷などでの予期せぬ被ばく時には警報を発して退避を促し、被ばく線量の低減を図ることを目的としたものである。

これまでの個人線量計は、線量が管理された環境における計画された作業などで、被ばくがないことや計画した線量値以下であることを確認するために使用され、作業ごとに充電する2次電池式であった。

これに対して、災害時などに使用するために1次電池(乾電池)式の線量計「DOSE i」を開発するとともに、被災地の方のための高感度で1年間の線量トレンドを測定できる高機能積算線量計「DOSE e」を開発した。また、発電所周辺の線量の測定需要に対して、軽量小型で安価な簡易サーベイメータ「ペガサス」を開発した。

(1) DOSE i

DOSE iは、災害時の救助や避難などにおいて、人を被ばくから守るための軽量小型の線量計である(図2)。一次電池を採用していつでも使用できるようにし、放射線の知識や設備がなくても使えるように単機能化した。また、樹脂ケースを採用して軽量化した。

必要に応じて確認できるように線量率を表示する機能を追加するとともに、高輝度で広視野角の有機ELディスプレイを採用し、視認性を向上させた。また、騒音環境下でも被ばく線量警報が認識できるようにバイブレーション警報機能もオプションで持たせている。装置内部に記憶している時系列の積算線量データを、赤外線アダプタで読み出すことで、計測開始から何時間後に被ばくしたかや、そのときの線量率を確認することができる。

(2) DOSE e

被災地の人々を被ばくから守るために、高機能積算線量計 DOSE e を開発した(図3)。DOSE e は、ホットスポットの測定機能や高い線量の場合の推定を行うために1年間の線量トレンド測定機能を持ち、被ばく線量の正確な測定と管理が可能である。新たに高感度半導体センサを開発し、従来の線量計では測定できなかったバックグラウンドレベルの線量率が測定でき、住居周辺のホットスポットなどを探し出すことができる。高感度でありながら携帯電話と同程度の大きさに抑えることで日中携帯でき、自宅などでの充電中にも連続して測定し、1年間の毎日の日線量(1日当たりの積算線量)や最大線量率(1日のうちの最大の線量率)の記録と確認ができる。

(3) ペガサス

ペガサスは、放射線量を簡便に測れるように、軽量小型で安価な簡易サーベイメータである(図4)。半導体センサを用いることでコンパクトで軽量化し、片手で操作できるようにした。また、単3電池で72時間使用でき、バックグラウンドレベルの0.01 μ Sv/hから高線量率の99.9mSv/hまで測定できる。野外で測定できるように、

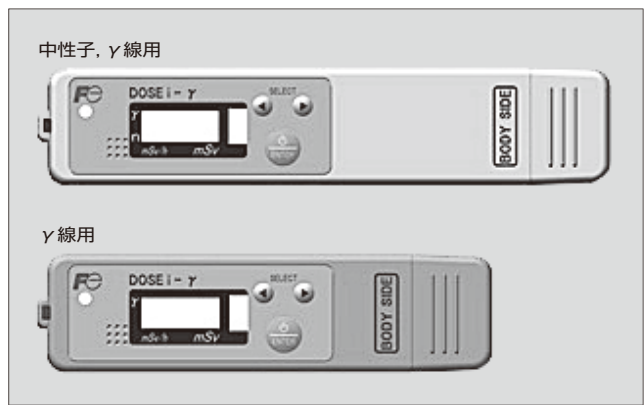


図2 「DOSE i」

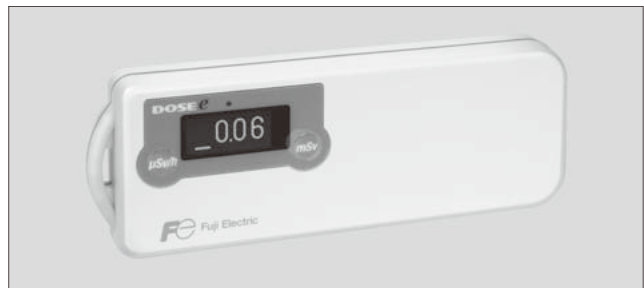


図3 「DOSE e」



図4 「ペガサス」

防じん・防滴(IP54)性を持たせている。測定したデータはメモリに保存しており、USBで接続するだけでパソコンに送ることができる。線量率を数値とバーグラフで同時に表示し、ボタン操作で最大線量率と積算線量が確認できる。

3.2 人の放射能に対する安全・安心

放射能を含んだじんあいの付着などによる人体表面汚染がないことを確認し、人体表面汚染による被ばくを防止することを目的として、体表面汚染モニタを提供している。

これまでは、放射能は放射線取扱施設の特定の区域(管理区域)でのみ使用および管理されており、体表面汚染モニタは管理区域の出口に設置して使われていた。また、震災地域の避難住民や野外の除染作業者の放射能汚染を管理するため、電源のない野外でサーベイメータを使って手作業で体表面の汚染を測っていた。



図5 簡易型体表面モニタ

表1 簡易型体表面モニタの主な仕様

項目	仕様
検出器	シリコン半導体検出器
測定線種	β 線 (γ 線)
エネルギー範囲	150 keV以上
検出感度 (測定時間)	4Bq/cm ² (Cs-137, 測定時間約5秒)
電源	AC100Vまたは鉛蓄電池
外形寸法	W885×H2,200×D750 (mm) (折り畳み時: W563×H311×D479 (mm))
質量	本体: 108 kg

そこで、持運びができ、設置や測定が簡単で、かつ体表面の測定を自動で行える簡易型体表面汚染モニタを開発した(図5, 表1)。軽量で薄型の大面積半導体検出器を開発し、体の前面、背面の2回測定する方式にすることで、構造を簡略化して軽量・小型化した。モニタ本体の質量は、約700 kgから108 kgに低減できた。

原子力災害時などには、短時間で運搬と組立てを行い、運用を開始できるようにする必要がある。そこで、本体を3分割して専用ケースに収めて運搬できるようにした。これにより、約30分で組み立てて測定が開始できる。

簡単に運用できるように、測定対象者が装置に乗るだけで測定を開始し、測定結果を表示する。設定された汚染レベルを超えると警報音とランプで汚染を知らせる。定期的にバックグラウンド放射線による計数率を自動で測定し、バックグラウンド放射線の変動による影響を少なくして正確な汚染測定を行う。

3.3 環境の放射線に対する安全・安心⁽¹⁾

(1) 可搬型モニタリングポスト

放射線取扱施設周辺や生活環境における γ 線線量率の測定および監視を行い、管理するため、可搬型モニタリングポストを提供している。測定した放射線量を、その場で表示するとともに、携帯電話回線などでリアルタイムに伝送し、管理センターで放射線量の監視および管理ができる。

震災以降、外部電源がない公園などで放射線量の連続測定および監視が必要となった。富士電機は、太陽電池と鉛

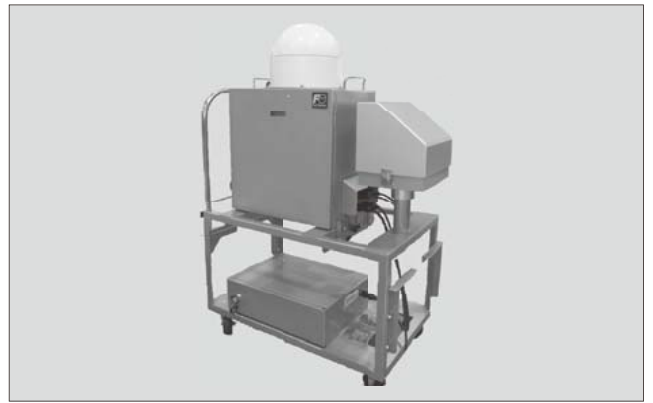


図6 可搬型モニタリングポスト

蓄電池を搭載した可搬型モニタリングポストを開発した(図6)。

線量率が低い場合は、NaI検出器で測定する。線量率が高くなると、NaI検出器では数え落とし現象が生じて、測定精度が低下してしまうので、半導体検出器に自動的に切り替えて測定する。また、ワイドレンジNaI検出器を用いて低い線量率をパルスモードで測定し、高線量率を電流モードで測定するタイプも用意している。

線量率だけでなく、感雨雪計による天候の状態や衛星利用測位システム(GPS)による位置情報による詳細な解析、ならびにMCA(Multi Channel Analyzer)による γ 線のエネルギースペクトルから γ 線源の核種の推定を可能としている。

(2) リアルタイム線量率計

可搬型モニタリングポストを簡略化したリアルタイム線量率計を、福島県内に約2,200か所設置している。リアルタイム線量率計は、可搬型モニタリングポストと同様に、太陽電池と鉛蓄電池を搭載しており、外部電源のない場所でも使用できる。また、FOMA^(注1)回線を使ってデータを伝送できる。図7に示すようにシンプルな外観であり、約1m²の場所に設置できる省スペース構造である。検出器の



図7 リアルタイム線量率計

<注1> FOMA: 株式会社NTTドコモの商標または登録商標

高さは、子供のいる空間を測定対象とする場合には 50 cm に、その他の場合には 100 cm に調整できる。

3.4 物の放射線に対する安全・安心

(1) 食品放射能測定システム^{(2), (3)}

食品の放射能濃度が基準値以下であることをスクリーニング検査で確認するために、食品放射能測定システムを提供している。食品放射能測定システムでは、食品の全量検査に対応できるように、ベルトコンベヤ式を採用して検査を高速化した(図8)。本システムは、厚生労働省の「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」に準拠している。専門的な放射線測定技術は不要であり、前処理を行わずに袋のまま連続で測定できる。

放射能濃度は、検出器の計数値から検出効率を用いて算出する。検出効率は、食品の大きさや密度により変化するため、これまでは測定物と同じ標準線源を用いて校正を行っていたが、今回は放射線シミュレーションコード MCNP 計算などを用いて代替している。

$$Q = \frac{C}{S \cdot M} - n_b \dots \dots \dots (1)$$

- Q: 放射能濃度 (Bq/kg)
- C: 検出器の計数値 (Count)
- t: 測定時間 (s)
- n_b: バックグラウンド計数率 (s⁻¹)
- S: 検出効率 (s⁻¹/Bq) (食品の大きさおよび密度に対して補正した値)
- M: 食品の質量 (kg)

低い放射能濃度を測定するためには、測定下限値を低くすることが必要となる。測定下限値はバックグラウンド計数率および検出効率から式(2)で算出する。検出器の容積を大きくして検出効率 S を高くし、厚い遮蔽体で遮蔽を強化してバックグラウンド計数率を低くすることで、測定下限値を低くしている。

$$\text{測定下限値} = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{3}{t_s} + \sqrt{\frac{3}{t_s} \cdot \frac{3}{t_s} + 4n_b \cdot \left(\frac{1}{t_s} + \frac{1}{t_b} \right)} \right) \dots (2)$$

- n_b: バックグラウンド計数率 (s⁻¹)
- S: 検出効率 (s⁻¹/Bq)
- t_s: 試料測定時間 (s)
- t_b: バックグラウンド測定時間 (s)
- M: 食品の質量 (kg)

(2) 深さ方向土壤放射能濃度分布モニタ

福島県などの土壤除染に対して、表土を削り取ることで線量を低減する。効果的な除染を実施するには、事前に土壤の深さ方向における放射能濃度の分布を測定し、最適な



図8 食品放射能測定システム

削り取り厚さを決める必要がある。現状は、測定サンプルを土壤採取現場から検査所まで運搬したのちゲルマニウム検出器により測定しているが、迅速な測定が求められている。そこで、車両に搭載して採取現場で放射能濃度分布を測定するために、深さ方向土壤放射能濃度分布モニタを開発した(図9)。



図9 深さ方向土壤放射能濃度分布モニタ

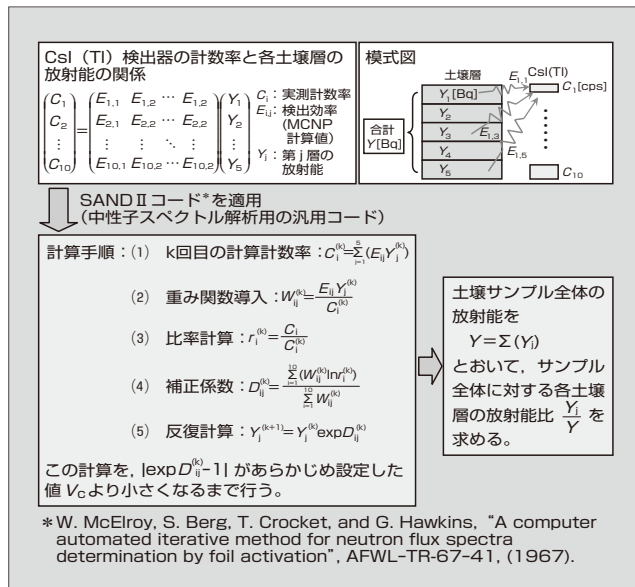


図10 CsI (Tl) 検出器のアンフォールディング計算

外形寸法は約 W500×D600×H670 (mm) とし、3 分割構造で質量 100 kg 以下に軽量化した。土壌サンプルの周囲に、深さ分布測定用の複数の小型 CsI (TI) 検出器をスパイラル状に配置し、サンプル上部に NaI 検出器を配置している。CsI (TI) および NaI 検出器のデータは、図10に示すアンフォールディング計算などで処理する。土壌の放射能濃度は、深さ方向に 1 cm 単位の分解能で、5～10 分程度で測定できる。

4 海外向け放射線管理ソリューション

富士電機は、これまで韓国・中国を中心として海外規格準拠の個人被ばく管理システムを提供してきた。ここでは、新たに開発した海外向け放射線管理ソリューションについて述べる。

4.1 人の放射線に対する安全・安心

海外（米国，韓国，フランスなど）では、人の表面汚染の測定には、ガスフロータイプの検出器が主流である。ガスフロータイプは、常に新しい検出ガスを流し込んで測定するもので、国内でも 20 年ほど前までは使用されていた。ガス封じ切りタイプに比べて簡単な構造で安定した計測ができるが、運用にはガスボンベおよび配管が必要となる。

ガス配管などのインフラが整備されている海外の放射線施設向けに、ガスフロータイプの検出器を使用し、全身の表面汚染の有無を判定する C2 ポータルモニタを開発した（図11）。既存の海外製品では、検出器を被検者の半身部位に対応して配列し、全身を 2 回に分けて測定する方式が主流で、検出器数の削減と装置構造の簡素化を図って低コスト化を実現している。これに対して C2 ポータルモニタは、全身部位に対応して検出器を配列し、全身を 1 回で測定することで測定時間を短縮できる。検出器やモニタ筐体（きょうたい）の構造の簡素化および低コスト材料の採用により、一般的な海外製品と遜色のないレベルにまでコストダウンを図った。

4.2 環境の放射線に対する安全・安心

海外、特に中国では、環境の放射線量率を常時計測するために、低線量率域には GM 管を、高線量率域には電離箱検出器を使用している。電離箱検出器の測定上限は、国内製品では 0.1 Gy/h であるが、中国などでは米国製の電



図11 C2 ポータルモニタ

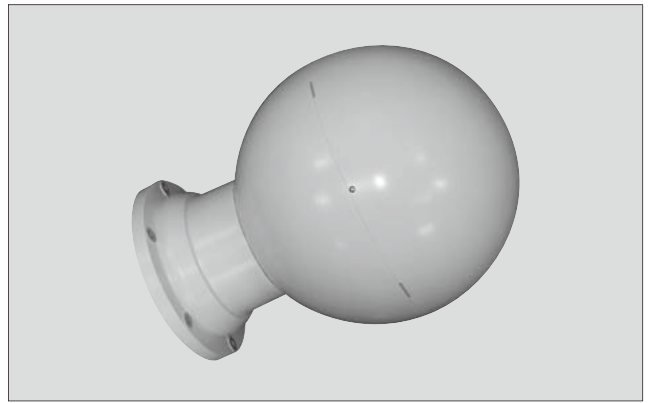


図12 高線量率対応の電離箱検出器

離箱検出器が基準となり 10 倍以上高い線量率の 1 Gy/h が要求されている。そこで、海外向けとしてプリアンプなどの線量率レンジを広げることなどで 1 Gy/h 以上を測定できるようにしている（図12）。

5 あとがき

震災復旧・復興を支援する放射線管理ソリューション、および海外向け放射線管理ソリューションについて述べた。

今後は、復旧・復興をさらに進めるために必要なソリューションを提供するとともに、海外向けを含め、安全・安心に貢献する放射線管理ソリューションの開発を進めていく所存である。

最後に、東京電力株式会社殿をはじめ、放射線・原子力利用施設の放射線安全管理関係者各位からのご助言とご指導に謝意を表す。

参考文献

- (1) 環境放射線モニタリング設備の震災対策. FAPIG. 2013-2, no.185.
- (2) 緊急時における食品の放射能測定マニュアル. 平成14年3月. 厚生労働省. <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001558e-img/2r98520000015cfn.pdf>, (参照 2013-11-29).
- (3) 食品中の放射性セシウムスクリーニング法. 厚生労働省. <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r985200000246ev-att/2r985200000246iu.pdf>, (参照 2013-11-29).



中島 定雄

主に原子力関連施設の放射線計測システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部計測制御システム事業部放射線システム部主席。日本保健物理学会会員。



石倉 剛

放射線モニタの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部東京事業所機器生産センター装置設計部課長。日本保健物理学会会員。



松下 智行

放射線汚染モニタの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社産業インフラ事業本部東京事業所機器生産センター装置設計部課長。





*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。