

放射性物質の除染に伴う除去土壌などの放射能レベルを簡単に短時間測定する“ベクレルスクリーニング”装置

"Becquerel Screening" Device to Automatically Measure Activity Level of Contaminated Soil in Flexible Containers

岡田 久 山口 善久 山本 修治

■ OKADA Hisashi ■ YAMAGUCHI Yoshihisa ■ YAMAMOTO Shuji

東京電力(株)福島第一原子力発電所での事故後、発電所外区域(オフサイト)の放射性物質除染作業によって除去された土壌(除染除去土壌)や焼却処理した灰(焼却灰)の多くはフレキシブルコンテナ(フレコン容器)に詰められ、環境省の「除染関係ガイドライン」及び「廃棄物関係ガイドライン」に従って、放射能レベルに応じた管理が行われている。

東芝は、測定のために検体をフレコン容器から採取するサンプリング作業を不要とし、フレコン容器を載せるだけで放射能レベルを短時間に測定できる装置“ベクレルスクリーニング”を開発し実用化した。測定時に除染除去土壌や焼却灰に触れずにフレコン容器ごと測定できるため、測定員の被ばく低減や作業性の向上に寄与する。

Contaminated soil and incineration ash collected during offsite decontamination work following the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Co., Inc. is being stored in flexible containers. These containers are managed taking their activity level into account in accordance with the Decontamination Guidelines issued by the Ministry of the Environment.

Toshiba has developed the "Becquerel Screening" device that can automatically measure the activity level of the contents of each flexible container simply by placing the container on a palette, without the need to take samples for analysis from the container. The Becquerel Screening device is expected to contribute not only to improved operational efficiency but also to reduced exposure of operators to radiation, because it eliminates the need for direct contact with contaminated soil and ash.

1 まえがき

オフサイトでの除染作業によって除去された土壌、枯木や落葉などを含む廃棄物の焼却灰などはフレコン容器に詰められ、一時保管される。このうち焼却灰などは、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則(平成23年12月14日環境省令第33号)」⁽¹⁾(以下、施行規則と呼ぶ)に基づき管理され、放射能濃度が8,000 Bq/kgを超えた場合は指定廃棄物となる。除染除去土壌などの保管については環境省の「除染関係ガイドライン」⁽²⁾において、放射能濃度による遮へい区分が示されている。また、厚生労働省の「事故由来廃棄物等処分業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン」⁽³⁾は、10,000 Bq/kgを超える廃棄物などの処分業務に適用され、放射能濃度により保護具などの装備が異なる。

このように放射能濃度に応じた管理が求められるなかで、測定方法として、検体をサンプリングしての分析や容器表面を線量率計でサーベイする手法が取られてきた。この手法は、測定員が検体に触れる若しくは近接することによる被ばくの懸念があることや、多くの作業時間を費やし測定数量に限りがあることから、改善が求められる。

そこで東芝は、検体が設定された放射能濃度を超過してい



図1. ベクレルスクリーニング—基本構成は2台1組の検出部と制御部から成り、検出部の外形寸法は約1,820(幅)×950(高さ)×1,100(奥行き)mmである。

Becquerel Screening device

るか否かをスクリーニングする、すなわち放射能レベルを測定する“ベクレルスクリーニング”(図1)を、簡単に短時間で測定できることをコンセプトに開発した。検体のサンプリングを必要とせず、フレコン容器のまま測定台に載せて短時間で測定できる。また、専門的な測定技術も不要であり、簡単に校正できる機能を備えている。

ベクレルスクリーニングは、先に述べた放射能濃度8,000 Bq/kg及び10,000 Bq/kgをスクリーニングする測定性能を備えており、検体に触れず、容器をこの装置に載せるだけの簡単な操作で、短時間に測定できるため、測定員の被ばく低減と作業

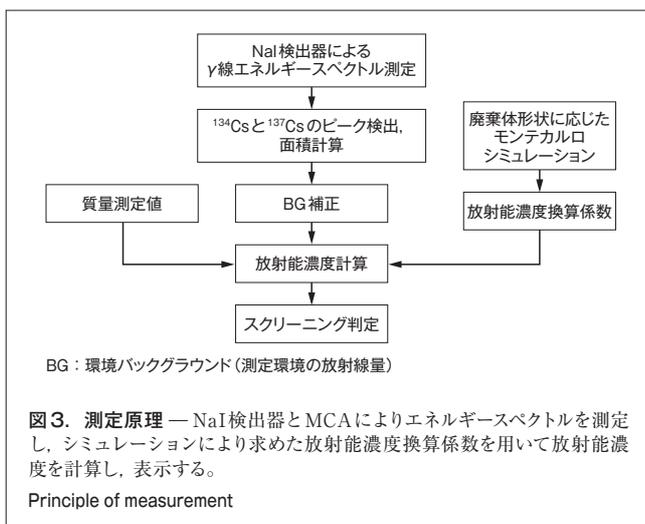
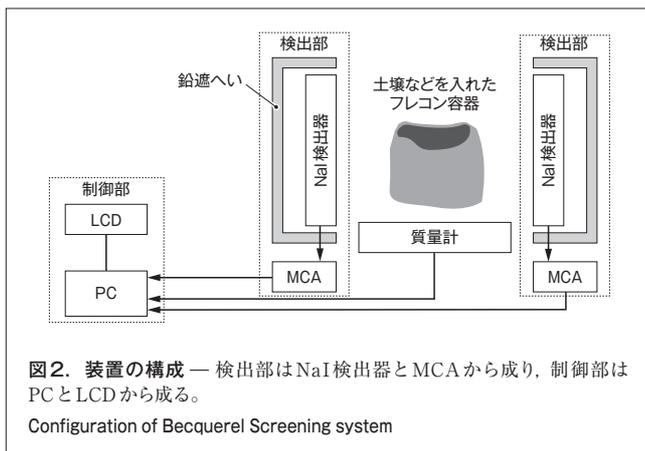
効率の改善に寄与する。

ここでは、ベクレルスクリーニングの測定方法の特長と導入例について述べる。

2 ベクレルスクリーニングの測定方法の特長

2.1 装置概要

装置の構成を図2、測定原理を図3に示す。基本構成は検出部と制御部から成る。検出部では、 γ 線検出器として波高分析ができるNaI(Tl)検出器(タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション検出器)を2台1組の対で使用し、検体(フレコン容器)を両側から挟み込む形で測定する。多重波高分析器(MCA: Multi-channel Analyzer)でエネルギースペクトル測定を行い、波高分析処理により、セシウム134(^{134}Cs)/セシウム137(^{137}Cs)^(注1)を分離し定量化する。制御部では、次項で述べる放射能濃度換算係数と質量測定値を用いて、PC(パソコン)上で演算、LCD(液晶ディスプレイ)に放射能濃度を表示する。



(注1) ^{134}Cs 及び ^{137}Cs は、「廃棄物関係ガイドライン」⁽⁴⁾において事故由来放射線物質とされる。

表1. 放射能濃度換算係数の計算条件

Conditions for calculation of conversion factors for activity concentration

項目	内容
計算コード	三次元連続エネルギー モンテカルロコードMCNP5
計算体系	3次元体系
γ 線発生数	10,000,000以上
測定対象物	110(直径)×110(高さ)cmのフレコン容器
充填率	100%, 66%, 33%(最大高さ: 110 cm)
密度	0.6~1.6 g/cm ³
元素組成	土壌(含水率0%)
γ 線源	^{134}Cs , ^{137}Cs (均一容積線源)

2.2 放射能濃度換算係数

放射能濃度換算係数は、モンテカルロシミュレーション計算コードにより評価した。この装置のように大型容器を測定する場合には、標準容積線源を作成し校正することは現実的でなく、近年ではモンテカルロシミュレーション計算により求める手法が適用されてきている。

計算条件を表1に示す。ここで、表1における充填率はフレコン容器に対する封入検体の高さを示し、3水準で評価した。ベクレルスクリーニングでは、フレコン容器の高さ(容量)に応じた放射能濃度換算係数を用いる。

計算手法の妥当性は、点状の校正用標準線源での測定結果を容器に充填された土壌などの容積まで積分し、計算値と比較することで検証した。つまり、 ^{137}Cs の校正用標準線源を用いて容器内に配置した各位置での検出器の応答を測定し、その測定の平均値を容積線源に対する検出器応答として評価した。

この他にフレコン容器の歪み(ゆがみ)及び膨らみと、フレコン容器を装置上に置いたときの位置ずれの影響、いわゆる容器変形による測定誤差を評価した。その結果、検体が均一容積線源であれば放射能濃度の誤差範囲は20%以内となり、更に実証試験で有効性を確認した。

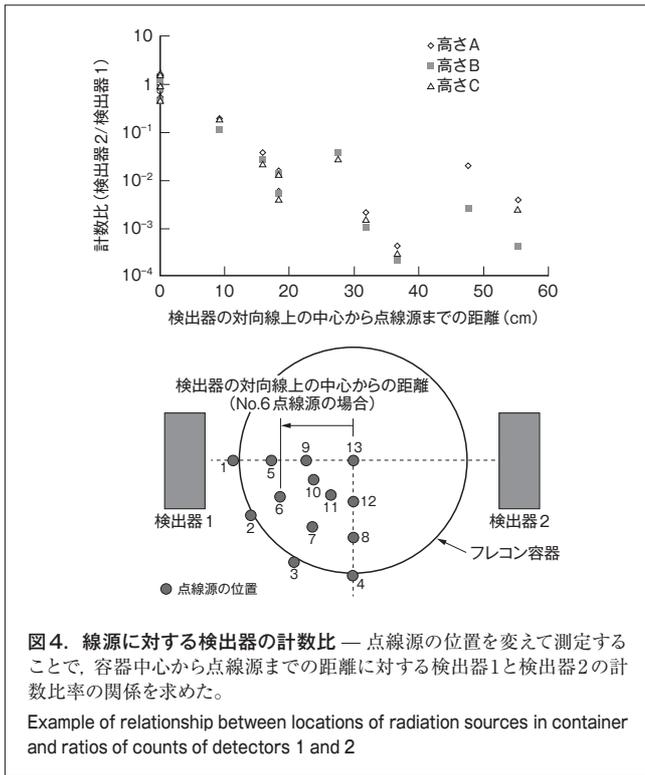
2.3 放射能濃度が不均一時の誤差低減手法

フレコン容器の中で放射能濃度分布が極端に不均一であった場合には誤差が大きくなる可能性がある。ベクレルスクリーニングでは、不均一性を識別し、不均一性に応じた放射能濃度換算係数を用いることで誤差を緩和することができる⁽⁵⁾。

不均一性を識別する手法は以下である。

- (1) 二つの検出器の計数比 ベクレルスクリーニングでは対向する二つの検出器を用いており、両検出器の計数比から不均一性を識別する。一つの点線源を用いて距離と計数比の関係性を求めた結果を図4に示す。検出器の対向線上の中心寄りに存在するの、検出器寄りに存在するのかを識別することが可能である。ただし、対向線に垂直な方向の識別はできない。

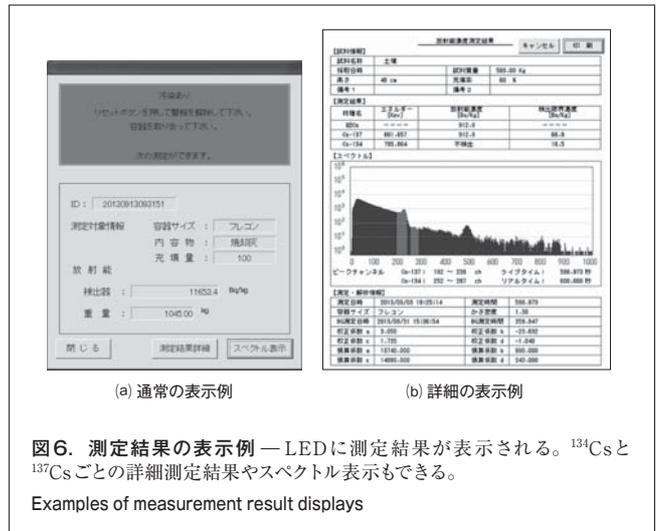
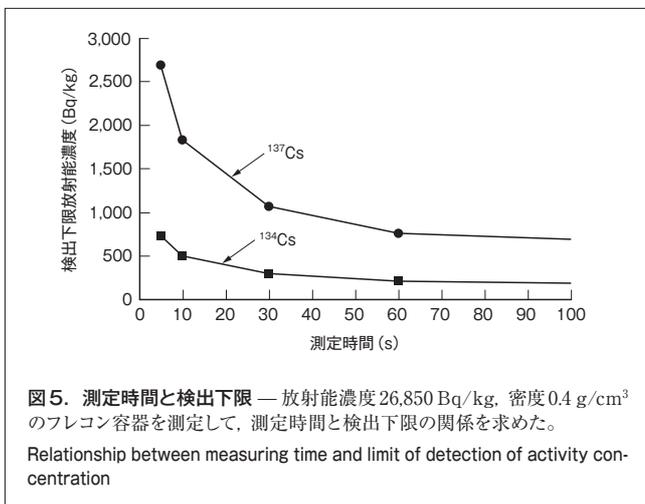
- (2) 直接成分と散乱成分の計数比 γ 線の土壌中での



透過距離が長くなると、その放出エネルギーに相当する直接成分（光電ピーク）が減衰し、これよりも低エネルギーの散乱成分（コンプトン散乱）が増加する。この計数比の関係から、線源がフレコン容器の中心部に偏在するのか、フレコン容器の表面部に偏在するのかを絞り定めるため、垂直方向の識別が可能になる。

2.4 検出下限と測定時間

検体の放射能濃度を測定するときには、環境バックグラウンド（測定環境の放射線量：以下、BGと略記）を差分処理する必要があるため、検出下限はBGの影響を受ける。また、検出下限と測定時間も相関関係があり、図5のようになる。



8,000 Bq/kgをスクリーニングレベルとした場合の基本仕様を以下に示す。

- (1) 検出下限 2,000 Bq/kg以下（施行規則における指定廃棄物に対する処理の基準値（8,000 Bq/kg）の1/4以下）
- (2) 測定時間 60 s以下
- (3) BG 3 μSv/h (Sv：シーベルト)

2.5 測定結果

測定時間後に、制御部のフラットスイッチ操作により測定結果をLCDに表示できる。

表示例を図6に示す。通常は¹³⁴Csと¹³⁷Csを一定比率とした放射能濃度（Bq/kg）を表示する。画面切替えボタンで¹³⁴Csと¹³⁷Csの放射能濃度の個別詳細表示やスペクトル表示ができる。

3 実証試験

ベクレルスクリーニングは、環境省の平成25年度除染技術実証事業「容器単位での放射能濃度の簡易測定技術の検証」で、除染除去土壌及び焼却灰を使用しての実用性評価を行い、その有効性を確認した⁽⁶⁾。

4 導入例

除染除去土壌の一時保管や中間貯蔵施設及び仮設焼却施設の建設及び運用に向けてのベクレルスクリーニングの適用例とその応用技術を以下に示す。

4.1 除染除去作業場所への適用例

ベクレルスクリーニングはほろ付きトラックなどの荷台に積載可能であり、除染作業場所への移動もできるため、フレコン容器への詰込みと同時に測定することができる。また、電子タグなどとの組合せにより、除染作業場所から貯蔵施設までの管理が可能である。

4.2 一時保管場所への適用例

除染除去作業場所からのフレコン容器を受け入れる際、搬入時にトラッククレーンなどで荷降ろしし、更にクレーンなどの重機で保管場所へ移動させるなど積替え作業が発生する。ベクレルスクリーニングの測定時間は約1分であり、積替え時間を利用して受入れ作業の中で放射能レベルを測定できる(図7)。

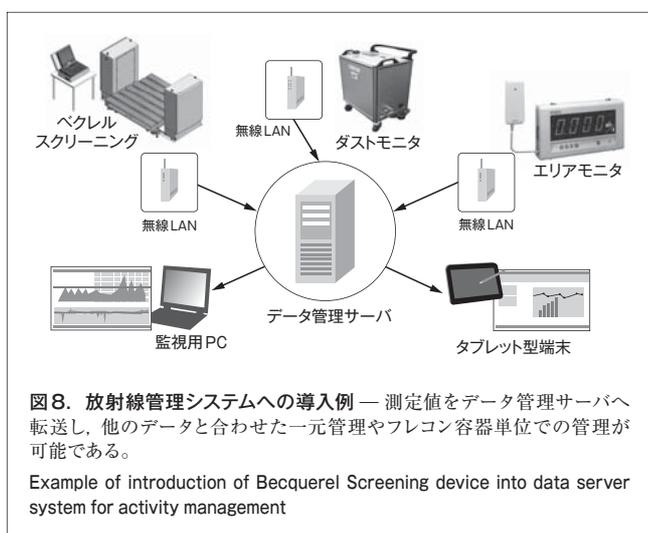
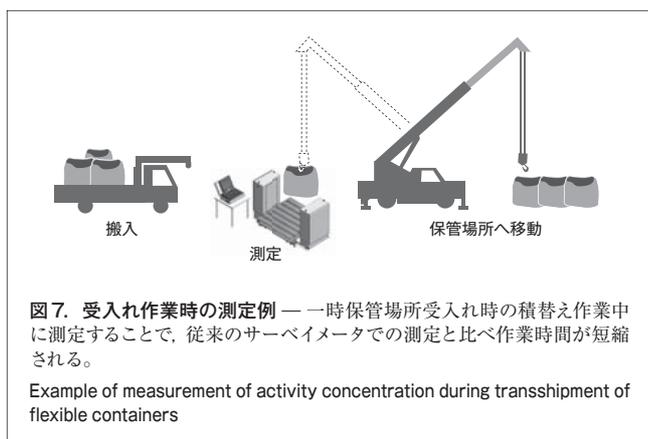
受入れ後に放射能レベルを把握できていないフレコン容器を移動させる際にも、移動作業工程中での測定が可能である。

4.3 中間貯蔵施設への適用例

ベクレルスクリーニングは上位計算機へのデータ送信が可能である。エリアモニタやダストモニタなどの中間貯蔵施設内の放射線管理システムと接続することにより、受入れ時に測定したデータを自動的に一元管理することが可能になる(図8)。

4.4 仮設焼却施設への適用例

震災瓦れきを焼却処理した後の灰に放射能が含まれるケースもあり、焼却灰の放射能レベルを把握することは重要である。ベクレルスクリーニングの基本型は図1であるが、応用技術として、灰搬送装置への組込みも可能である。例えば、容器に入った灰がコンベヤ上を搬送される場合、その途中にベク



レルスクリーニングを組み入れることで、自動測定が可能になる。また、灰がサイロに一時保管されている場合には、サイロ下部にベクレルスクリーニングを取り付けて排出する放射能レベルの把握ができる。

基本仕様は100,000 Bq/kg程度まで測定可能であり、放射能濃度が更に高い焼却灰をスクリーニングする場合には、放射線量の低減を図る方法などで対応できる。

5 あとがき

除染除去土壌や除染廃棄物などを安全に管理していくうえで放射能濃度のスクリーニングが重要であるとともに、測定員の被ばく低減、膨大な作業量に対するの効率化が必要である。

ベクレルスクリーニングは、簡単で短時間の測定を基本とし、測定者の被ばく低減と作業の効率化に貢献できる。測定環境に応じた適用も可能であり、福島県ほかの復興の一助となるよう今後も取り組んでいく。

文献

- (1) 環境省. “平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則(平成23年12月14日環境省令第33号)”. <http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/mo_h23-33a.pdf>, (参照 2014-09-19).
- (2) 環境省. “除染関係ガイドライン”. <http://www.env.go.jp/jishin/rmp/attach/josen-gl-full_ver2.pdf>, (参照 2014-09-19).
- (3) 厚生労働省. “事故由来廃棄物等処分業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン”. <<http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyokuanzeneiseibu/0000030856.pdf>>, (参照 2014-09-19).
- (4) 環境省. “廃棄物関係ガイドライン”. <http://josen.env.go.jp/material/pdf/haikibutsu-gl00_verh2.pdf>, (参照 2014-09-19).
- (5) 東芝. 放射能検査装置及び方法. 特許出願番号P2013-253246. 出願2013-12-06.
- (6) 日本原子力研究開発機構. “容器単位での放射能濃度の簡易測定技術の検証(株式会社東芝)”. 平成25年度除染技術選定・評価等業務報告書. <http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat01/entry07_25.html>, (参照 2014-09-19).



岡田 久 OKADA Hisashi

電力システム社 原子力事業部 原子力計装設計部主査。
原子力計装システムのエンジニアリング業務及び設計業務に従事。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



山口 善久 YAMAGUCHI Yoshihisa

電力システム社 原子力事業部 原子力計装設計部主幹。
原子力計装システムのエンジニアリング業務及び設計業務に従事。
Nuclear Energy Systems & Services Div.



山本 修治 YAMAMOTO Shuji

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 電気計装システム開発部主務。放射線計測システムの開発に従事。
日本原子力学会会員。
Power and Industrial Systems Research and Development Center