

車両放射能汚染検査装置

西沢博志* 垣内英明†
 中西正一** 松尾慶一†
 林 真照***

Radioactive Contamination Inspecting Equipment for Vehicle

Hiroshi Nishizawa, Masakazu Nakanishi, Masateru Hayashi, Hideaki Kakiuchi, Keiichi Matsuo

要 旨

放射線管理区域に出入りする車両の放射能汚染を自動で検査する装置を開発した。福島第一原子力発電所事故で発生した放射性廃棄物を貯蔵する中間貯蔵施設などでは、電離放射線障害防止規則に基づき、管理区域から持ち出す物品の汚染検査を行うことが規定されている。大型トラックも汚染検査の対象であり、現状は携帯型測定器による手作業で汚染検査がなされている。しかし、多大な時間と手間がかかるため、検査場で渋滞が発生することが予想される。このような課題を解決するため、三菱電機は迅速かつ確実な検査が実施できる“車両放射能汚染検査装置”を三菱電機プラントエンジニアリング(MPEC)と共同で開発した。中間貯蔵施設のように周辺のバックグラウンド線量率が比較的高い地域でも車両表面のわずかな汚染を検出す

るため、放射性セシウムからのβ線を高感度に検出する一方、周辺からのγ線に対する感度を極力低く抑えた大面積放射線検出器を新たに開発した。さらに、車両全体を効率良く検査するため、門型の可動検査ゲートにそれぞれ独立に動く5台の検出器ユニットを搭載した。検出器ユニットには、車両表面との距離を一定に保ちながら検査できるように距離センサを備えている。これによって、周辺線量率が数μSv/hの地域でも、特別な遮蔽体なしで車両表面の汚染を迅速かつ確実に検知できる。例えば、従来は10トンダンプトラック1台の検査に10人による手作業で10分程度かかっていたが、今回開発した装置では自動で4分以内の検査が可能である。



車両放射能汚染検査装置

門型の可動検査ゲートに複数の大面積プラスチックシンチレータからなる検出器ユニット5台が搭載されている。可動検査ゲートが車両の先端から後端まで移動する間に、検出器ユニットがそれぞれ独立に車両表面に近接して走査され、車両表面全体を検査する。これによって、車両表面の放射能汚染を迅速かつ確実に検知することができる。

*三菱電機(株) 電力システム製作所(工博) **同社 同製作所 ***同社 先端技術総合研究所
 †三菱電機プラントエンジニアリング(株)

1. ま え が き

福島第一原子力発電所事故で発生した放射性廃棄物を貯蔵する中間貯蔵施設では、除染廃棄物や土壌の搬入のため、1日当たり1,500~2,000台程度の車両が出入りすると見積もられている。厚生労働省が労働者の放射線被ばくの低減対策として施行している“電離放射線障害防止規則”では、管理区域から持ち出す物品については汚染検査を行うことが規定されており、中間貯蔵施設などで大型トラックが管理区域から出る場合にも汚染検査が必要となる。現状は携帯型測定器による手作業で検査がなされているが、多大な時間と手間がかかることが課題であり、汚染検査場で渋滞が発生することも予想される。

そこで、検査の迅速化・省力化及び作業員の被ばく低減を目的として、三菱電機は自動で検査を実施できる車両放射線汚染検査装置をMPECと共同で開発した⁽¹⁾。三菱電機が放射線検出器の基本設計と開発を行い、MPECが装置の全体設計と製作を行った。この装置は、大面積の放射線検出器によってトラック表面を自動走査して汚染の有無を確認することができる。そのため、手作業による汚染検査に比べ更に確実な検査が可能となる。また、現場で汚染検査に携わる作業員の人数や作業時間を減らすことができるため、作業員の放射線被ばくの低減に貢献できる。

本稿では、車両放射線汚染検査装置の計測方式、検出器・装置構成、評価結果について述べる。

2. 計 測 方 式

検査対象核種である放射性セシウム(¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs)からはβ線(内部転換電子を含む)とγ線が放出される。表1に放射性セシウムから放出される主なβ線とγ線(エネルギー及び1壊変当たりの放出率)を示す。

周辺線量率が比較的高い除染現場や廃棄物保管場の周辺では、汚染限度40Bq(ベクレル)/cm²以下(除染特別地域などの場合)を検出・判定するためには周辺からのバックグラウンド(BG)放射線との弁別が不可欠となる。例えば、面積100cm²、表面密度40Bq/cm²の¹³⁷Csによる汚染があったとすると、この汚染部位から数十cm離れたところに及ぼすγ線線量率の増加分は単純計算で数nSv/h程度となる。中間貯蔵施設周辺の空間γ線線量率はおよそ1~

表1. 放射性セシウムから放出される主なβ線, γ線 (エネルギー及び1壊変当たりの放出率)

核種	β線(内部転換電子を含む)	γ線
¹³⁷ Cs	β : 最大514keV(94.4%)	662keV(85.1%)
	β : 最大1,176keV(5.6%)	
	内部転換電子 : 624keV(7.6%)	
¹³⁴ Cs	β : 最大89keV(27.3%)	569keV(15.4%)
	β : 最大658keV(70.2%)	605keV(97.6%)
		796keV(85.5%)

keV : kilo electron Volt

10μSv/h程度と想定されるため、法定限度程度のわずかな表面汚染をγ線で検出するためには、周辺からのバックグラウンド放射線の影響を大幅に低減させて検査する必要がある。

そこで、周辺からのバックグラウンドの影響を低減する有効な方法として、検査対象からのβ線を計測することが考えられる。表2にβ線計測とγ線計測の方式について、それぞれ特徴を示した。

β線計測方式の特徴は、検出器の厚さを薄くしてγ線のほとんどを透過させることによって、γ線に対する感度を低く抑えていることである。これによって周辺からのバックグラウンドγ線を遮蔽するための鉛などの遮蔽物が不要となり、数百kgから数トンの重量物が不要となるメリットがある。ただし、β線計測方式では検出器を測定対象に近づけることが必須となる。これはβ線の空気中の飛程が数十cmと短いためである。図1に検査対象核種の1つである¹³⁷Csから放出されるβ線及び内部転換電子のエネルギースペクトルを示す。エネルギーの平均は約250keVである。例えば、250keV電子の空気中の飛程は約45cmであるが、検出器入射窓でのβ線のエネルギー損失も考慮すると、検査対象物との距離は少なくとも35cm以内にする必要がある。一方で、β線の飛程が短いことは汚染部位の識別が容易になることを意味する。すなわち、遠方から飛来するβ線は検出器に入射できないため、検出器直近だけの汚染を計測できる。

それに対し、γ線の場合は飛行距離が長いので遠隔での測定が可能であるが、透過力も強いので、物体の反対側の

表2. 計測方式の比較

	β線計測方式	γ線計測方式
測定概要		
検出対象との距離	△(数10cm以内)	○(数mでも可)
γ線バックグラウンドの影響低減	◎(数μSv/hでも可)	×(0.1μSv/h以下に低減が必要)

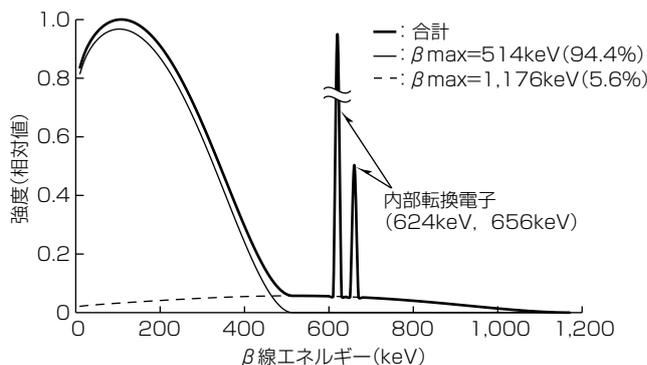


図1. ¹³⁷Csから放出されるβ線及び内部転換電子のエネルギースペクトル

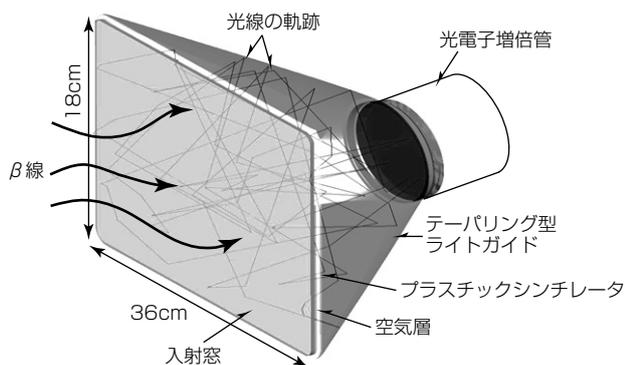


図2. 検出器の光線追跡シミュレーション

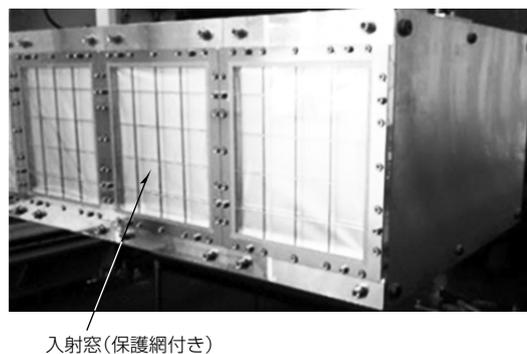


図4. 検出器

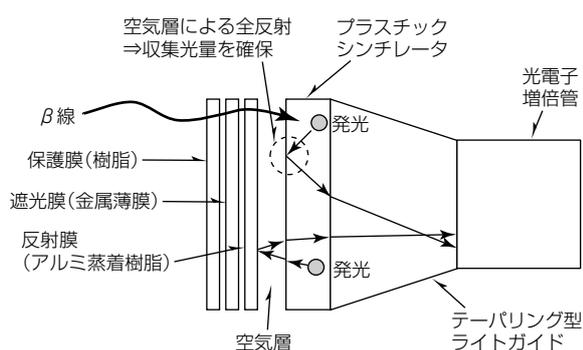


図3. 検出器構成の模式図

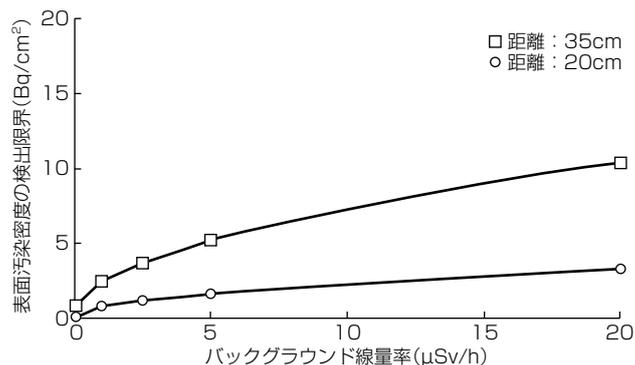


図5. 検出限界の評価結果(検査時間3秒)

面を含めたあらゆる方向からのγ線を計測してしまう。そのため、汚染部位を特定するにはコリメータを設けるなどの特殊な機構が必要となる。

これらから、車両放射能汚染検査装置ではβ線計測方式を採用することにした。実現の課題は、高感度かつ大面積のβ線検出器を開発することと、検出器を車両表面から一定の距離に近づけ、これを車両表面全体にわたり自動走査することである。

3. 大面積放射線検出器

3.1 構成

トラック車両など、広い検査対象面積を持つ物体の表面汚染を効率良く検査するためには、薄い平板状の大面積プラスチックシンチレータの適用が考えられる。しかし、検出器を大面積化する場合、一般的にはシンチレーション光の収集効率が低下し、感度の低下と不均一性の問題が生じる。そこで、図2に示すように、発生した光を効果的に収集するため、光線追跡シミュレーションを用いてライトガイドと反射体の形状を最適設計した。また、検出器入射面でのβ線のエネルギー損失を抑制しつつ、発光したシンチレーション光を効率良く回収できるようにするための入射窓構造を考案した。

図3に検出器の構成、図4に外観を示す。有感部の面積は約18×36(cm)であり、一般的なGM(Geiger-Mueller)管式サーベイメータ(有感部直径5cm)の約30倍の面積を

持つ。長方形のシンチレータと円形の光電子増倍管受光部は、テーパリング型のライトガイドで結合した。シンチレータの入射窓側には薄い空気層を設け、屈折率差による全反射によって、発生したシンチレーション光を効率良く反射して光電子増倍管受光部へ導光されるようにした。

3.2 性能評価

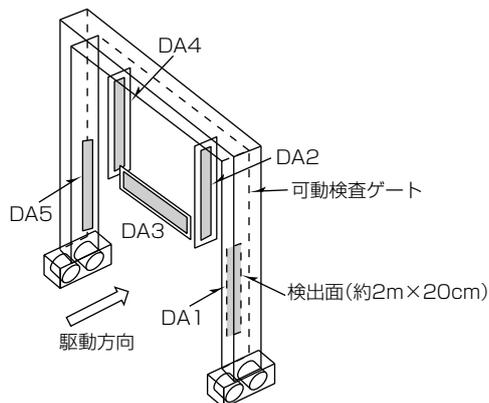
試作した検出器の表面汚染密度の検出限界を評価した。検出限界は、¹³⁷Csのβ線標準面線源を用い、検出器と検査対象物の距離に対する機器効率を求め、γ線バックグラウンドに対する応答の実測値からCurrieの式(危険率5%)を用いて評価した。検査時間3秒、距離20cm及び35cmの場合の評価結果を図5に示す。バックグラウンド線量率が20μSv/hでも、検出限界がおおむね10Bq/cm²以下を達成できる⁽²⁾。

4. 車両放射能汚染検査装置

大面積放射線検出器を用いて、トラックの表面汚染を自動で検査できる車両放射能汚染検査装置を開発した。図6に装置全体の写真を示す。測定対象車両は10トンダンプトラックであり、車両の外表面と荷台面の汚染を計測するために、検出部を5つのユニットに分けている。1つの検出器ユニットには5台の大面積放射線検出器が内蔵されており、検出面は全体で約2m×20cmである。図7に検出器ユニットの構成と検査部位を示す。5つの検出器ユニットが搭載された門型の可動検査ゲートが車両の先端から後



図6. 車両放射能汚染検査装置



検出器ユニット	検査部位
DA1, DA5	車両側面
DA2, DA4	荷台内部側面
DA3	車両前後面, 天井面, 荷台面

図7. 検出器ユニットの構成

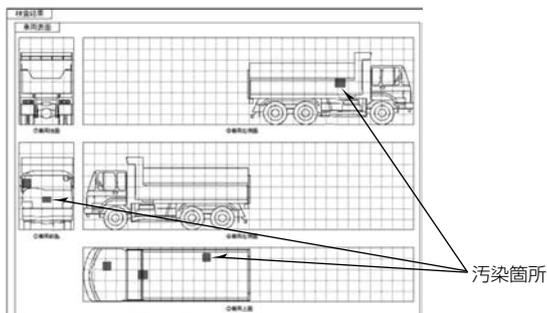


図8. 検査結果の表示例

端まで移動する間に、DA1からDA5の5つのユニットが独立に直進及び回転運動し、車両表面全体を走査する。車両側面はユニットDA1とDA5、荷台の内側側面はユニットDA2とDA4、車両の前後面・天井面、荷台面はユニットDA3が受け持つ。各検出器ユニットに搭載された距離センサによって、検出器と車両表面の間は一定の距離が保たれる。その結果、β線の検出効率がほぼ一定となるため校正定数の不確かさが小さくなり、検査精度が確保される。汚染検査結果は、例えば図8のように判定基準を超えた箇所が画面に表示される。これによって、従来のサーベ

表3. 車両放射能汚染検査装置の主な仕様

測定環境	屋内
測定対象車両	10トンダンプトラック
測定線種	β線
放射線検出器	プラスチックシンチレータ
周辺線量率	2.5μSv/h以下
検出限界	15Bq/cm ² 以下
検査部	車両前後面, 側面, 天井面, 荷台面 (タイヤ, タイヤハウス, 車両底面は除く)
検査時間	可動検査ゲート1台: 4分以内 可動検査ゲート2台: 2分以内
検査結果	トラック全体のイメージ図上に汚染部位を赤色表示 検査結果を検査データとして保存可能

イメータを用いた手作業に比べて更に確実に効率的な検査が可能となる。

福島県内で標準面線源を用いた機能試験を実施した結果、表面汚染40Bq/cm²を確実に検知することを確認できた。従来は10トンダンプトラック1台の車両表面の汚染検査に、10人による手作業で10分程度かかっていたが、今回開発した装置では約3分30秒で検査することができ、作業員の人数と負担を大幅に削減できる。さらに、可動検査ゲートを増設して2台にすることで、更なる時間短縮(1分50秒程度)も可能である。開発した車両放射能汚染検査装置の主な仕様を表3に示す。

5. む す び

中間貯蔵施設などの放射線管理区域に出入りする車両の放射能汚染を自動で検査する装置を開発した。この装置によって、従来は多くの作業員で行ってきた手作業による検査の時間・手間を大幅に削減でき、かつ確実に検査を実施できる。東北地方や福島県の復興・再生には、現在は仮置場に保管されている膨大な量の除染廃棄物を速やかに中間貯蔵施設に運搬・搬入することが不可欠である。また、30年後の福島県外での最終処分も決定しており、廃棄物や施設に出入りする物品・車両などの管理を確実に実施し、周辺環境の保全にも努めなければならない。この装置が、東日本大震災からの復興・再生に役立てば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 三菱電機プラントエンジニアリング(株)ニュースリリース 2015年7月13日: 除去土壌などの運搬車両の汚染検査の効率化, 省力化に貢献 放射性物質による車両汚染の自動検査装置を開発 <http://www.mpec.co.jp/documents/20150713.pdf>
- (2) 西沢博志, ほか: 測定的大幅な効率化が可能な表面汚染検査用大面積β線検出器, 第4回環境放射能除染研究発表会・国際シンポジウム, P2-04 (2015)