

令和2年度 原子力防災研究事業
(内閣府受託報告書)

「その他放射線防護対策に係る調査研究の実施及び施策
への反映のための知見の整理」
第二分冊 (その2)

令和3年3月

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

目次

第1章 はじめに	1
1.1 目的	1
1.2 実施内容	2
1.3 成果概要	3
第2章 避難退域時検査及び簡易除染における個々の要員の放射線防護措置（防護服の着用等）の効果等の評価	10
2.1 避難退域時検査及び簡易除染における個々の要員の防護装備に関する調査・検討	10
2.2 「原子力災害時における防災業務関係者のための防護装備及び放射線測定器の使用方法について」の修正	16
【補足】個々の要員の防護措置に関する調査・検討	18
第3章 避難退域時検査等における水洗浄による車両の除染効果等の評価	23
3.1 原子力規制委員会で想定された事故により放出される放射性物質及び車両除染が想定される放射性物質の選定と車両汚染が見込まれる箇所の調査	23
3.2 車両除染効果調査試験（拭き取り及び水洗い）	26
第4章 避難退域時検査等において使用することが想定される測定資機材の信頼性の評価	41
4.1 ゲート型モニタの使用手法・性能調査	41
4.2 ゲート型モニタの機器性能調査試験の方法	46
4.3 ゲート型モニタの機器性能調査試験の結果	56
4.4 まとめ	64
【補足】機器性能調査試験の解析	68

第1章 はじめに

1.1 目的

防災基本計画においては、防災業務計画及び地域防災計画において重点を置くべき事項として、「原子力災害対策の充実を図るため、原子力災害対策指針を踏まえつつ、緊急事態における原子力施設周辺の住民等に対する放射線の影響を最小限に抑える防護措置を確実に行うこと」とされている。このことを踏まえ、国は、東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた新しい原子力防災対策の考え方にに基づき、地方公共団体の地域防災計画の具体化・充実化への支援、原子力防災に係る組織相互の連携体制の構築、緊急時における迅速かつ円滑な応急対策が図られるよう研修・訓練の充実を推進している。

これらを踏まえ、地方公共団体が整備を進める資機材、また、防災業務関係者等が避難退域時検査等において使用する資機材等について調査を行う。令和2年度は、防災業務関係者の防護及び避難退域時検査等の実効性の観点から、避難退域時検査等における個々の要員の放射線防護措置（防護服の着用等）の効果等の評価、避難退域時検査等における水洗浄による車両の除染効果等の評価、避難退域時検査等において使用することが想定される想定資機材の信頼性の評価を行い、これまでに得られた知見も含め、緊急時に求められる資機材の標準的な機能や性能等を調査、分析し、技術的知見を集約整理して技術標準の整備を目指す。

1.2 実施内容

原子力災害対策指針では、国際基準や福島第一原子力発電所事故の教訓等を踏まえて、緊急時に迅速で実効的な防護措置を講じることができるよう、予防的防護措置を準備する区域（以下「PAZ」という。）、緊急時防護措置を準備する区域（以下「UPZ」という。）の範囲や、緊急時における防護措置の判断基準に基づく原子力事業者、地方公共団体、国における対応の枠組みについて示している。地方公共団体では、これらのことを踏まえ、地域防災計画を策定するとともに、緊急時に迅速かつ実効性のある防護措置を実施できるよう、必要な資機材の整備を進めている。

本調査では、地方公共団体が整備を進める資機材等に関して、防災業務関係者等が避難退域時検査等において使用するにあたり、迅速で実効的な防護装備となる技術的知見を集約整理し、技術標準となるガイダンスの整備を目指す。

令和 2 年度は、昨年度までの内閣府原子力防災研究事業の成果等を踏まえ、以下を実施する。

1.2.1 その他放射線防護対策に係る調査研究の実施及び施策への反映のための知見の整理

(1) 避難退域時検査及び簡易除染における個々の要員の放射線防護措置(防護服の着用等)の効果等の評価

避難退域時検査及び簡易除染を行う要員に対して、それぞれの役割に応じて適切な防護装備を検討し、留意点等を整理する。

その際、「原子力災害時における防災業務関係者のための防護装備及び放射線測定器の使用方法について」(平成 30 年 4 月 1 日内閣府原子力防災)の日本語版及び英語版の記載についても確認するとともに、必要に応じて当該パンフレットを修正する。

(2) 避難退域時検査等における水洗浄による車両の除染効果等の評価

①原子力規制委員会で想定された事故により放出される放射性物質のうち、車両除染が想定される放射性物質を調査し、汚染が見込まれる箇所を含めて整理する。

②付着した放射性物質に対する拭き取り及び水洗による除染効果について各々調査する。調査結果は、除染の際の留意点として整理する。

(3) 避難退域時検査等において使用することが想定される測定資機材の信頼性の評価

自治体が購入している車両用ゲート型モニタ及び GM 管式サーベイメータ以外で住民の指定箇所検査に用いることが想定される測定資機材(各 3 種類程度)の測定性能の信頼性について調査し、使用の際の留意点を含めて整理する。

1.3 成果概要

1.3.1 避難退域時検査等における個々の要員の放射線防護措置（防護服の着用等）の効果等の評価

「原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（平成 29 年原子力規制庁放射線防護企画課）」（以下「避難退域時検査等マニュアル」という。）で示されている要員は、住民等や車両の検査及び簡易除染、検査会場の運営等を行う検査責任者及び補佐、検査会場の交通誘導、受付・説明、通信・連絡、空調等の運転保守等の役割がある。本調査では、要員の放射線防護措置に関して、現行の避難退域時検査等マニュアル及び関連する国の指針等で示されている情報を整理し、過度な防護装備から要員の身体的負担を軽減できるよう、防護服の効果等の評価及び個々の役割に応じた新たな防護装備例とその留意点を検討した。

また、「原子力災害時における防災業務関係者のための防護装備及び放射線測定器の使用方法について（平成 30 年 4 月 1 日改定：内閣府原子力防災）」（以下「原子力防災パンフレット」という。）の目的及び使い方については、原子力災害が発生した際に防災業務関係者が放射線から身を守るための放射線の防護装備とその使い方、汚染検査の実施方法等を記載したものであり、原子力防災の基礎研修等に合わせて活用されている。本調査・検討における修正点は、地方公共団体等の資機材の整備状況等に即して、空間線量率測定器及び表面汚染測定器の機種 of 取扱い方法等を新たに追加掲載した。さらに、防護装備の着脱方法や汚染検査の方法等、記載内容を全体的に確認し、普段は放射線業務に関わらない防災業務関係者でも容易に理解できる内容となるよう必要な修正を行った。

これらの調査の成果として、表 1.3.1-1 に個々の役割に応じた新たな防護装備案を整理した。さらに、下記の通りその留意点を整理した。

- ・ 通常の活動服又は長袖・長ズボンの着衣を着用し、肌の露出を最小限とする
- ・ 作業は車両、住民、路面や物品の汚染した箇所に体が触れないように注意する
- ・ 作業後等に身体サーベイを実施する
- ・ 帽子を着用の際は髪の毛の露出を最小限にする

また、別添資料 1、2 のように原子力防災パンフレットの修正を行った。原子力防災パンフレットの修正項目は表 1.3.1-2 に示す。

表 1.3.1-1 個々の要員の役割に応じた防護装備案

対象機関	地方公共団体、指定公共機関、原子力災害医療協力機関		
役割	車両の簡易除染（拭き取り） 住民の簡易除染 汚染物質の取り扱い	左記以外の者	【参考】現行の装備 指定箇所検査 確認検査 住民の簡易除染 車両の簡易除染（拭き取り）
サージカルマスク	○	×※1	○
防じん(DS2等)マスク	×	×	×
綿手袋	○※2	×※1	○
ゴム手袋	○※3	×	○
その他の使い捨て手袋	×	×※1	×
不織布防護服	×	×	○
帽子	○	×※1	○
シューズカバー	×	×	○
個人線量計	○※4	○※4	○
備考	※1：測定を行う場合や、汚染の可能性のある車両や住民等に直接接触する可能性のある場合には念のため着用。 ※2：ゴム手袋のインナーに着用。 ※3：放射性物質により汚染が確認されている物を取扱う場合は、二重着用が有効。 ※4：数量が不足する場合、同一作業グループの最も被ばくを受けやすい者のみが着用。		

表 1.3.1-2 修正した項目及び記載順

現行版「第2版：平成30年4月1日改定」	「第3版：改定案」
表紙	表紙
1. 防護装備	<u>本書の目的・使い方</u>
(1) マスク	1. 防護装備
(2) 防護服	<u>(1) マスク</u>
(3) 手袋	<u>(2) 防護服</u>
(4) 靴カバー	<u>(3) 手袋</u>
(5) 帽子	<u>(4) 靴カバー</u>
(6) 個人線量計	(5) 帽子
(7) 放射線測定器	<u>(6) 個人線量計</u>
2. 防護装備の装着方法	<u>(7) 放射線測定器</u>
3. 防護装備の脱ぎ方	2. <u>防護装備の装着方法</u>
4. 測定器の使用法	3. <u>防護装備の脱ぎ方</u>
(1) 空間線量率測定器の使用法	4. <u>測定器の使用法</u>
(2) 表面汚染測定器の使用法	<u>(1) 空間線量率測定器の使用法</u>
5. 汚染検査の方法	<u>(2) 表面汚染測定器の使用法</u>
6. 汚染が見つかったときの処置	5. <u>汚染検査の方法</u>
7. 測定器取り扱いの注意点	6. <u>汚染が見つかったときの処置</u>
メモ	7. 測定器取り扱いの注意点
連絡先記入欄	メモ
本書の目的・使い方	連絡先記入欄
日本語版/英語版：各版 11 ページ (表紙除く)	日本語版/英語版：各版 18 ページ (表紙除く)

1.3.2 避難退域時検査等における水洗浄による車両の除染効果等の評価

原子力災害時の避難退域時検査では、車両又は住民に付着した汚染が OIL4 の基準値（入射窓 20cm² の β 線表面汚染測定器によるカウント率 40,000cpm(120Bq/cm² 相当)) を超えた場合に簡易除染することとなっている。簡易除染の方法は、避難退域時検査等マニュアルにて、車両には拭取りもしくは水洗いで実施することとなっている。本調査では、避難退域時検査における実効的な簡易除染方法について検討するため、拭き取り除染と水洗い除染について、除染方法の違いによる除染効率の比較・評価を行った。

そのため、まずは原子力規制委員会で想定された事故等により放出される放射性物質のうち、車両除染が想定される放射性物質を調査し、汚染が見込まれる箇所を含めて整理した。次に、この調査結果を踏まえ、車両のボディとタイヤの試験片に放射性同位体 (RI) 模擬汚染を塗布させた試験片を用いて、拭取り除染及び水洗い除染の除染効率を比較する車両除染効果調査試験を実施した。

これらの調査の成果として、以下の通り整理した。

初めに、車両除染が想定される放射性物質及び汚染が見込まれる箇所について述べる。想定される放射性物質については、原子力規制委員会で試算されたソースターム（ただし、原子炉停止から放出までの時間を 24 時間としたもの）を基に検討し、セシウム及びヨウ素が該当すると結論付けた。また、車両除染が見込まれる箇所は表 1.3.2-1 に示す箇所が想定できるとした。

表 1.3.2-1 車両汚染が見込まれる箇所

分類	車両汚染が見込まれる箇所
車の外部の表面汚染	ワイパー、タイヤ、ドア部パッキン等
車の内部のエンジンルーム部	ラジエータ、エアフィルタ、ワイパーによる排水口雨どい等

次に、車両除染効果調査試験で得られた結論について述べる。表 1.3.2-2 に拭き取り除染と水洗い除染の除染効率の違いについて示す。この判定結果から、本事業の調査結果としては、車両の簡易除染では拭き取り除染と水洗い除染の間にその効果の違いはほぼ有意には見られず、拭き取り除染で十分であると結論付けた。

表 1.3.2-2 除染効率 (DF) の分散分析法による有意な差異についての判定結果

放射性物質	試験片	分散分析法による拭き取り DF と水洗い DF の比較結果
^{137}Cs	中古ボディ	有意な差異有り 拭き取り DF > 水洗い DF
^{137}Cs	新品ボディ	有意な差異無し
	タイヤ	
^{131}I	新品ボディ	
	中古ボディ	
	タイヤ	

1.3.3 避難退域時検査等において使用することが想定される測定資機材の信頼性の評価

原子力災害時の避難退域時検査では、多数の車両及び避難住民等に対する検査を行うことが想定される。避難退域時検査等マニュアルは、検査員による GM 管式サーベイメータ等の表面汚染測定器で検査することを基本としているが、効率的な避難退域時検査を実施するため、その他の測定資機材の活用も検討されている。代表的なものが、車両用ゲート型モニタ及び GM 管式サーベイメータ以外で住民の指定箇所に用いることが想定される測定資機材（以下「住民用ゲート型モニタ」という。）である。そこで、避難退域時検査等マニュアルで示されている指定箇所検査について、一部の地方公共団体が所有している車両用ゲート型モニタ及び住民用ゲート型モニタを用いて、その測定性能を試験し、これらのゲート型モニタの実効性を評価した。また、その留意点等について検討した。

これらの調査の成果として、表 1.3.3-1~1.3.3-2 に車両用ゲート型モニタの性能とその留意点について、表 1.3.3-3~1.3.3-4 に住民用ゲート型モニタの性能とその留意点について整理した。

表 1.3.3-1 車両の指定箇所検査における車両用ゲート型モニタの性能

	測定器 A	測定器 B
車両の指定箇所検査における性能	<ul style="list-style-type: none"> 警報設定値等が複数の検出器で共通に設定されている場合や検出器と汚染箇所までの距離が一定でない場合、検出のしやすさは汚染箇所毎に異なるため、40,000cpm 以上・未満の判定を複数箇所（タイヤとワイパー）で同時に行うことはできない。 	
メーカー仕様の基本的な測定方法	<ul style="list-style-type: none"> メーカー仕様に沿って調整された警報設定値及び換算係数にて、タイヤの 40,000cpm 汚染は検知可能だが、40,000cpm 未満の汚染も検知する。 また、この時ワイパーの 40,000cpm 汚染は検知できない。 	<ul style="list-style-type: none"> タイヤ汚染は、車体から測定器までの距離が 0.5m では 40,000cpm 汚染の検知は可能だが、計数率が高く 40,000cpm 以上・未満の判定ができない。
その他条件の測定方法	<p>タイヤ汚染は、検出器までの距離 1.0m 程度とすれば警報設定値を合わせることで、40,000cpm 以上・未満の判定が可能になる。ただし、この時 40,000cpm のワイパー汚染は検知できなくなる。</p>	
結論	<p>タイヤの 40,000cpm 以上の汚染は検知可能だが、40,000cpm 以上・未満の判定はできない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> タイヤ汚染は、車両から検出器までの距離や警報設定値の調整を行えば、40,000cpm 以上・未満の判定が可能になる。 地方公共団体の職員等が BG に応じて測定条件の調整を行う必要がある。
	<p>タイヤに警報設定値を合わせて 40,000cpm 以上の汚染の検知を行うことができるが、ワイパー部は別に要員による測定が必要。</p>	

表 1.3.3-2 車両用ゲート型モニタの留意点

	測定器 A	測定器 B
留意点等	<ul style="list-style-type: none"> 警報設定値は避難退域時検査場所毎に設定する必要はないが、メーカー仕様の BG (0.1μSv/h) 以下の環境にて使用する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 40,000cpm 以上・未満の判定を行うには、避難退域時検査場所ごとに BG を測定し、それに応じた警報設定値に調整する必要がある。またメーカー仕様の 0.1 μ Sv/h 以下の環境にて使用する必要がある。 車両センサが本体に組み込まれている検出器（センサ組み込み式の検出器）の場合、検出器位置が高すぎるためセダン等の車高の低い車両を適切に測定することが難しい。これは、車両通過の際に赤外線センサが窓を貫通し、測定モードが停止するためである。車両用として使用する場合は、センサ外部取付式の検出器を用い、センサ位置をボンネットの低い車かつバンパーの高い車の両方に使用できる高さに調整する必要がある。

表 1.3.3-3 指定箇所検査における住民用ゲート型モニタの性能

	測定器 B	測定器 C
住民の指定箇所検査における性能	<ul style="list-style-type: none"> 頭部汚染は、40,000cpm 以上・未満の判定ができない。 靴底汚染は、40,000cpm 以上・未満の判定ができない。 汚染箇所により検出のしやすさが異なりかつ汚染箇所の特定が難しいため、40,000cpm 以上・未満の判定を複数箇所（頭部・掌・靴底）で同時に行うことはできない。 検出のしやすさは、掌>頭部>靴底の順である。（車いす利用者も同様） 掌汚染は、40,000cpm 以上・未満の判定ができない。 	<ul style="list-style-type: none"> 検出のしやすさは、掌>靴底>頭部の順である。 掌汚染は、警報設定値を掌に調整することで 40,000cpm 以上・未満を判定できる。
メーカー仕様の基本的な測定方法	掌汚染は 40,000cpm 相当汚染の検知は可能だが、計数率が高く 40,000cpm 以上・未満の判定ができない。	ウォークスルーでは、40,000cpm 相当の汚染が検知できない。
その他条件の測定方法		測定器間で立ち止まることによって、掌汚染の 40,000cpm 相当の検知が可能である。
結論	本調査の成果としては、住民の避難退域時検査において GM 管式サーベイメータ等を使用した要員による検査と比較して、住民用ゲート型モニタを使用して効率よく検査を行うことは困難である。	

表 1.3.3-4 住民用ゲート型モニタの留意点

	測定器 B	測定器 C
留意点等	メーカー仕様の BG が 0.1 μ Sv/h 程度の環境にて使用する必要がある。	メーカー仕様の BG が自然環境下にて使用する必要がある。
	40,000cpm 以上・未満の判定を行うには、避難退域時検査場所ごとに BG を測定し、それに応じた警報設定値に調整する必要がある。	

第2章 避難退域時検査及び簡易除染における個々の要員の放射線防護措置（防護服の着用等）の効果等の評価

避難退域時検査及び簡易除染（以下「避難退域時検査等」という。）における個々の要員の放射線防護措置について、防護服着用の必要性の評価を行い、それぞれの役割に応じて適切な防護装備を検討し、防護装備案及び留意点を取りまとめた。

また、防災業務関係者を対象として活用されている「原子力災害時における防災業務関係者のための防護装備及び放射線測定器の使用方法について（平成30年4月1日改定 内閣府原子力防災）」日本語版及び英語版の記載内容を確認し、修正が必要と考えられる内容について検討し、改定案を取りまとめた。

なお、本報告書の「第3章 避難退域時検査等における水洗浄による車両の除染効果等の評価」では、避難退域時検査における車両の簡易除染方法の違いによる除染効率の比較・評価として、拭き取り除染と水洗い除染の効果の違いにはほぼ有意な差は見られず、拭き取り除染で十分であると結論付けたが、本稿は現行の「原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（平成29年原子力規制庁放射線防護企画課）」（以下「避難退域時検査等マニュアル」という。）等に即して記載した。

2.1 避難退域時検査及び簡易除染における個々の要員の防護装備に関する調査・検討

避難退域時検査等の実施場所及びその対応等について、原子力災害対策指針によれば、避難退域時検査等の実施に当たっては、それが必要な対象全てに対して実施できるような場所を選定すべきであり、この避難退域時検査等は、UPZ 圏外の可能な限りバックグラウンドの値が低い所で行うことが望ましいとされている（原子力規制委員会, 2020）。また、OILに基づく防護措置としての避難又は一時移転の対象となった住民等については、原子力災害対策重点区域の境界周辺から避難所等までの場所において避難退域時検査を行い、OIL4の基準値を超えた場合には簡易除染等を行うこととされている。

避難退域時検査等マニュアルにおいては、避難や一時移転される方の汚染状況を確認することを目的とした避難退域時検査等の方法について取りまとめられている。また、作業の要員の役割として、車両や住民等の検査（指定箇所検査、確認検査）、それらの簡易除染、さらに運営等を行う検査責任者及びその補佐、検査会場の交通誘導、受付・説明、通信・連絡、空調等の運転保守等が挙げられている。加えて、要員の防護装備が「個人防護装備の例」として一律に示されている。示されている防護装備が、マスク、防護服、帽子、手袋、靴カバー等である。その留意点として「交通誘導員等で直接、検査及び簡易除染等を行わない者は、綿手袋のみなど、装備の軽減を考慮しても良い。」との補足があるが、「個人防護装備の例」で挙げられている装備は全身を防護服等で覆うような比較的重い装備となっている。

しかし、避難退域時検査等はUPZ 圏外で実施するため、汚染されている可能性があるものは基本的に検査を受ける車両等であり、それ以外の周辺環境等から要員が被ばくを受けることは考えにくい。よって、要員が受ける被ばくの影響の違いは、個々の役割に応じて異なることが考えられる。例えば、住民等及び車両の簡易除染を行う要員は、簡易除染した際の廃棄物等に直接接触すること等が考えられるため、作業対象の汚染の程度によって被ばくや汚染の可能性があることに対し、それ以外の要員は、その可能性が低くなることが想定できる。防護装備が重装備となると、放射性防護の観点からはメリットがあるが、その反面、通常の作業服に比べて活動性が優れないため、作業の支障となり各作業を効率的に実施しにくくなる可能性がある。また、通気性が良くないことから熱中症となる可能性も懸念される。よって、防護装備は基本的に、汚染したものの又はその可能性があるものとの直接の接触を回避させることが主な目的となると考えられる。

これらのことから本調査では、要員の放射線防護措置に関して、現行の避難退域時検査等マニュアル及び関連する国の指針等で示されている情報を調査し、過度な防護装備から要員の身体的負担を軽減できるよう、防護服着用の必要性の評価及び個々の役割に応じた防護装備例とその留意点について検討した。

2.1.1 現行の避難退域時検査等及びその防護装備に関する整理

(1) 要員の役割

避難退域時検査等マニュアルに示されている要員の役割及び作業内容について表 2.1.1-1 に整理した。

表 2.1.1-1 個々の要員の役割と作業内容

配置	役割	作業内容
屋外	車両指定箇所検査	表面汚染検査用の放射線測定器を用いた検査等
		車両用ゲート型モニタを用いた検査等 ^{※2}
	車両確認検査 ^{※3}	表面汚染検査用の放射線測定器を用いた検査等
	車両簡易除染	拭き取りによる簡易除染等 ^{※4}
		流水の利用による簡易除染等 ^{※5}
	車両再検査	簡易除染後の効果の確認のための検査等
交通誘導	避難車両等の誘導	
屋内 ^{※1}	住民指定箇所検査	表面汚染検査用の放射線測定器を用いた検査等
		体表面モニタを用いた検査等 ^{※6}
	住民及び携行物品の確認検査	表面汚染検査用の放射線測定器を用いた検査等
	住民及び携行物品の簡易除染	拭き取りによる簡易除染等 ^{※7}
	住民の簡易除染	脱衣による簡易除染等 ^{※8}
		流水の利用による簡易除染等 ^{※9}
住民及び携行物品の再検査	簡易除染後の効果の確認のための検査等	
屋内外	検査責任者及び補佐	定期的な屋内外の BG の測定等
	その他の要員	受付、説明、住民誘導、通信、連絡、通行証交付、空調等の運転保守等

※1 住民及び携行物品の検査並びに簡易除染は、屋内で行うことが原則となるが、仮設テント等を用いて屋外で行う場合を含む。

※2 ワイパー部（フロントガラス下部）については、表面汚染検査用の放射線測定器を用いて検査する。

※3 車両の検査場所において乗員の検査を行う場合を含む。

※4 濡らしたウェス等を用いた拭き取り方法等。

※5 流水を利用して洗車用ブラシやウェスを使用して洗い流す方法等。

※6 検出器の配置等によって測定できない場合、必要によって検査員が表面汚染検査用の放射線測定器を用いて補助的に検査する。

※7 ウェットティッシュ等を用いた拭き取りによる簡易除染の説明と指導。自分で拭き取りが行えない住民への手伝い。

※8 衣類の脱衣についての説明と指導。自分で脱衣が行えない住民への手伝い。

※9 流水を利用して洗い流す簡易除染の説明と指導。自分で行えない住民への手伝い。

(2) 現行の要員の防護装備

避難退城時検査等マニュアルに示されている現行の要員の防護装備例について表 2.1.1-2 に示す。また、個別の装備に係る留意点について「オフサイトの防災業務関係者の安全確保に関する検討会報告書（平成 28 年 1 月 5 日：内閣府）」に示されている留意点を表 2.1.1-3 に示す。

要員が使用する防護服について、避難退城時検査等マニュアルによれば不織布防護服を着用することとなる。また、車両の簡易除染において流水を利用する場合は、飛沫・水しぶきができるだけ生じないように洗車用ブラシやウェスを使って洗い流すことに注意し、吸入・汚染防止用のマスクと防水用装備を着用すると示されている。

表 2.1.1-2 現行の防護装備例（原子力規制庁放射線防護企画課, 2017）

対象機関	地方公共団体、指定公共機関、原子力災害医療協力機関（原子力事業者及び実動組織は対象外）		
役割	検査責任者及び補佐 交通誘導 受付・説明 通信・連絡 空調等の運転保守 他	指定箇所検査 確認検査 住民の簡易除染 車両の簡易除染（拭き取り）	車両の簡易除染（流水利用）
防護装備（例）	キャップ（帽子）（頭部の目張り不要） サージカルマスク 不織布防護服 綿手袋、内側ゴム手袋、袖口テープ目張り、外側ゴム手袋の順で重ねる （綿手袋は汗止めのためで必須ではない） シューズカバー（靴の上から履く） 個人被ばく線量計（ポケット線量計（PD）等） ※検査場所によっては、雨具・荒天時対策の装備等の装備が必要		
備考	直接、検査及び簡易除染等を行わない者は綿手袋のみなど装備の軽減を考慮してよい	—	追加装備 ・マスク ・防水用装備

表 2.1.1-3 個別の装備に関する留意点 (内閣府, 2016)

防護装備の種類	留意点
ゴム手袋 綿手	・作業内容によっては、ゴム手袋のみでは破れやすいため、上から布手袋等をして、二重にしておくことが有効。
靴カバー	・汚染のおそれがある地域に入る段階で、靴カバーをかぶせることが必要。作業後、靴カバーを取り除くことに加え、靴自体にも汚染がないか計測し、汚染があれば拭き取りを行う。
防じんマスク	・屋外作業の場合は、作業内容によっては、地面から放射性物質を含む粉じんが巻き上げられることも考えられることから、防じんマスク等を装着することが有効である。 ・防じんマスクは、装着性が高く微粒子の側面からも侵入を防ぐ機能を具備し、捕集効率95%以上のフィルター又は同等以上の性能を持つ使い捨てマスクを適切に使用することが望ましい。
個人線量計	電子式個人線量計と積算式個人線量計を併用することが望ましい。
【その他】 ・ディスポ資材の装着。	

2.1.2 個々の要員の役割に応じた防護装備案

(1) 防護装備の前提条件とその対応策

避難退域時検査等マニュアルに示されている現行の防護装備例は、要員の作業内容に関わらず一律であるため、個々の要員の役割に対する適切な装備を具体的に検討した。検討にあたっては、被ばくや汚染の可能性がある業務の要員について、汚染した車両等に直接接触したり放射性物質を吸入したりすることで受ける被ばくの程度を推定し、防護装備に求められる前提条件とその対応策について表 2.1.2-1 に整理した。なお、要員が受ける被ばくの程度やその対策に関する詳細は、章末の補足ページに記載する。

表 2.1.2-1 防護装備に求められる前提条件とその対応策

被ばく・汚染の可能性	対応策	
拭き取りにより簡易除染を行う要員等（住民除染支援・汚染物取扱者を含む）	除染が難しい髪の毛の汚染防止	帽子を着用
	手の接触に伴う経口摂取による内部被ばくの確実な防止（吸入摂取による被ばく量は小さいと推定）	サージカルマスク
	手の皮膚汚染の確実な防止	ゴム手袋の着用（汗止め用として綿手袋をあわせて着用）
	手以外の接触抑止は可能、衣服の接触による被ばく線量は小さいと推定	上記以外の不織布防護服等の防護措置は不要
上記以外の要員	除染が難しい髪の毛の汚染防止	測定を行う場合や、汚染の可能性のある車両等に直接接触する可能性のある場合には念のため帽子を着用
	吸入摂取による被ばく量は小さいと推定	マスクは不要（ただし、測定を行う者は念のためサージカルマスクを着用）
	接触抑止は可能、衣服の接触による被ばく線量は小さいと推定	<ul style="list-style-type: none"> ・汚染の可能性のある車両等に直接接触する可能性のある場合には念のため手袋等を着用 ・上記以外の不織布防護服等の防護措置は不要

(2)要員の役割に応じた防護装備案

表 2.1.2-1 で示した防護装備に求められる前提条件とその対応策から、個々の要員の役割毎に整理した防護装備案を表 2.1.2-2 に示す。なお、除染等を行わない要員（表 2.1.2-2 中の「左記以外の要員」）については、測定を行う場合や、汚染の可能性のある車両等に直接接触する可能性のある場合には念のため、サージカルマスク、綿手袋又はその他の使い捨て手袋、帽子を着用する。

表 2.1.2-2 個々の要員の役割に応じた防護装備案

対象機関	地方公共団体、指定公共機関、原子力災害医療協力機関		
役割	車両の簡易除染（拭き取り） 住民の簡易除染 汚染物質の取り扱い	左記以外の者	【参考】現行の装備 指定箇所検査 確認検査 住民の簡易除染 車両の簡易除染（拭き取り）
サージカルマスク	○	×※1	○
防じん(DS2等)マスク	×	×	×
綿手袋	○※2	×※1	○
ゴム手袋	○※3	×	○
その他の使い捨て手袋	×	×※1	×
不織布防護服	×	×	○
帽子	○	×※1	○
シューズカバー	×	×	○
個人線量計	○※4	○※4	○
備考	※1：測定を行う場合や、汚染の可能性のある車両や住民等に直接接触する可能性のある場合には念のため着用。 ※2：ゴム手袋のインナーに着用。 ※3：放射性物質により汚染が確認されている物を取扱う場合は、二重着用が有効。 ※4：数量が不足する場合、同一作業グループの最も被ばくを受けやすい者のみが着用。		

表 2.1.2-2 にて要員の不織布防護服の着用は不要としたが、汚染のおそれのあるものに接触しないように、肌の露出を最小限にすること、車両、住民、路面や物品に体が触れないように留意することが必要である。特に、指定箇所検査や確認検査といった検査作業では、測定箇所とサーベイメータの表示値の両方を確認しながらの作業となるため、意図せずに接触する可能性が高くなると考える（図 2.1.2-1, 2.1.2-2）。また、作業後等に身体サーベイを実施することで、万が一、作業中に汚染していた場合でも早期に発見でき、無用な被ばくを防ぐことができる。帽子については、除染が難しい髪の毛の汚染防止を目的としているため、着用の際は髪の毛の露出を最小限にすることに留意することが必要である。

以上を整理すると、作業における留意点としては以下の点が考えられる。

- ・通常の活動服又は長袖・長ズボンの着衣を着用し、肌の露出を最小限とする
- ・作業は車両、住民、路面や物品の汚染した箇所に体が触れないように注意する
- ・作業後等に身体サーベイを実施する
- ・帽子を着用の際は髪の毛の露出を最小限にする



図 2.1.2-1 適切な作業姿勢の例
(車両接触なし)

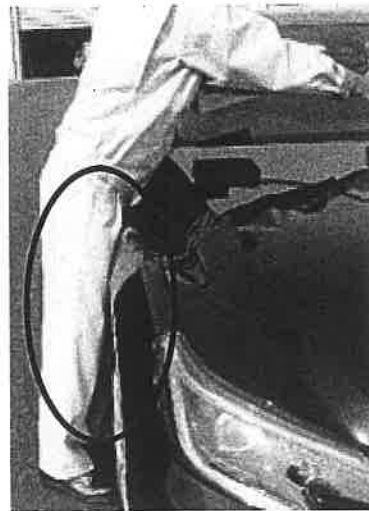


図 2.1.2-2 誤った作業姿勢の例
(車両接触あり)

2.2 「原子力災害時における防災業務関係者のための防護装備及び放射線測定器の使用方法について」の修正

「原子力災害時における防災業務関係者のための防護装備及び放射線測定器の使用方法について（平成 30 年 4 月 1 日改定:内閣府原子力防災）」（以下「原子力防災パンフレット」という。）には、原子力災害が発生した際に防災業務関係者が放射線から身を守るための放射線の防護装備とその使い方、汚染検査の実施方法等が記載されており、原子力防災の基礎研修等に合わせて活用されている。

ここでは原子力防災パンフレットの記載内容を確認し、地方公共団体等の資機材の整備状況に即して、空間線量率測定器及び表面汚染測定器の機種の手扱い方法を新たに追加掲載した。さらに、防護装備の着脱方法や汚染検査の方法等、記載内容を全体的に見直し、普段は放射線業務に関わらない防災業務関係者でも容易に理解できる内容となるよう必要な修正を行った。

修正後の原子力防災パンフレットは、第 3 版改定案として日本語版と英語版を同様の内容でまとめた。修正した項目及び記載順を表 2.2-1 の下線に示す。なお、第 3 版改定案及び新旧対照表を別添資料に添付した。

- ・別添資料 1：原子力防災パンフレット（第 3 版：改定案）日本語版
- ・別添資料 2：原子力防災パンフレット（第 3 版：改定案）英語版

表 2.2-1 修正項目及び記載順

現行版「第2版：平成30年4月1日改定」	「第3版：改定案」
<p>表紙</p> <p>1. 防護装備</p> <p>(1) マスク</p> <p>(2) 防護服</p> <p>(3) 手袋</p> <p>(4) 靴カバー</p> <p>(5) 帽子</p> <p>(6) 個人線量計</p> <p>(7) 放射線測定器</p> <p>2. 防護装備の装着方法</p> <p>3. 防護装備の脱ぎ方</p> <p>4. 測定器の使用法</p> <p>(1) 空間線量率測定器の使用法</p> <p>(2) 表面汚染測定器の使用法</p> <p>5. 汚染検査の方法</p> <p>6. 汚染が見つかったときの処置</p> <p>7. 測定器取り扱いの注意点</p> <p>メモ</p> <p>連絡先記入欄</p> <p>本書の目的・使い方</p> <p>日本語版/英語版：各版 11 ページ（表紙除く）</p>	<p>表紙</p> <p><u>本書の目的・使い方</u></p> <p>1. 防護装備</p> <p><u>(1) マスク</u></p> <p><u>(2) 防護服</u></p> <p><u>(3) 手袋</u></p> <p><u>(4) 靴カバー</u></p> <p><u>(5) 帽子</u></p> <p><u>(6) 個人線量計</u></p> <p><u>(7) 放射線測定器</u></p> <p><u>2. 防護装備の装着方法</u></p> <p><u>3. 防護装備の脱ぎ方</u></p> <p><u>4. 測定器の使用法</u></p> <p><u>(1) 空間線量率測定器の使用法</u></p> <p><u>(2) 表面汚染測定器の使用法</u></p> <p><u>5. 汚染検査の方法</u></p> <p><u>6. 汚染が見つかったときの処置</u></p> <p>7. 測定器取り扱いの注意点</p> <p>メモ</p> <p>連絡先記入欄</p> <p>日本語版/英語版：各版 18 ページ（表紙除く）</p>

【補足】個々の要員の防護措置に関する調査・検討

A 防護装備による被ばく低減の効果等

車両の簡易除染や汚染物の処理を行う要員が被ばくする場合の主な経路として考えられるのは、次の5経路である。

- ① 車両等に付着した汚染物等から直接受ける外部被ばく
- ② 接触等により汚染した被服から受ける外部被ばく
- ③ 皮膚汚染による被ばく
- ④ 車両表面から再浮遊した放射性物質の吸入摂取による内部被ばく
- ⑤ 汚染した手等が鼻や口に接触することによる経口摂取の内部被ばく

しかし、経路③は長袖長ズボンの作業服にて作業することに加え、特に汚染が見込まれる要員は手袋を着用することで抑止することができる。また、経路④及び⑤も手袋の着用に加えて、サージカルマスク等のマスクを着用することで防止できると考えられる。よって、ここでは残りの被ばく経路①、②において、その被ばくの程度や対応策について検討することとした。

経路①

経路①による被ばく影響は不織布防護服等の防護装備では低減させることはできない。また、被検査車両の数や汚染した車両の汚染の程度を推定することは難しい。よって、経路①による被ばく対策として、電子式個人線量計の着用等による被ばく管理を行い、作業時間の調整等といった対応を行うことが合理的である。

経路②

経路②は、意図しない車両接触によって被服が汚染し、そこから受ける外部被ばくを想定したものである。2.1.2(2)に示したように適切な作業姿勢によって防ぐことができるが、意図せずに被服が接触した場合、作業終了後等の要員の身体サーベイや脱衣を行うまでの間、被ばくを継続して受けることになるため、およその被ばく線量を推定することとした。

被ばく線量推定は次の式から実効線量 E を求めることで行った。この式は1回の衣服の接触で要員が受け得る被ばく線量（実効線量）を表すものである。

$$E = \left(\sum_i \sigma_i TF_i e_i \right) t \quad (2-1)$$

ここで、

- | | | |
|------------|---|---|
| σ_i | : | 核種 i の車両表面における汚染密度(Bq/cm ²) |
| TF_i | : | 核種 i の接触による衣服への移行係数 |
| e_i | : | 核種 i の線量換算係数((mSv/h)/(Bq/cm ²)) |
| t | : | 汚染の付着時間(h) |

次に式(2-1)のそれぞれのパラメータについて検討した。ここで想定する核種は、事故時に環境中に放出される割合が比較的大きくかつ半減期が比較的長い、¹³¹I、¹³⁴Cs 及び ¹³⁷Cs の3核種とした。

核種 i の車両表面における汚染密度 σ_i は、3核種分の合計で OIL4 の 40,000cpm に相当する 120Bq/cm² (原子力規制委員会, 2020) とした。各 σ_i の内訳は、表 A-1 に示す通りである。この核種割合は、原子力規制委員会試算条件(原子力規制委員会, 2014)を基に作成したソースターム (日本原子力研究開発機構, 2020) から算出した。各核種の放出量に7日分の放射能の物理減衰の比率を

かけ、残留する3核種の放射能の割合にしたがって、各 σ_i に合計120Bq/cm²を割り振ったものである。

なお、このソースタームは、Cs-137の放出が100TBqに相当するものとなるように放射性物質の放出量を設定し（希ガスは全量放出）、原子炉停止から放出までの時間を24時間としたものである。原子力規制委員会試算に示されている放出量は原子炉停止から放出までの時間が12時間とした場合であるが、放射性壊変を考慮して24時間経過後の放出量を計算したものを使用することとした。このソースタームについての詳細は、本受託報告書の「第二分冊（その1）屋内退避の効果等に関する技術的知見の高度化等」の第3章3.2.5を参照のこと。

表 A-1 想定する車両の表面汚染密度

放射性核種	表面汚染密度(Bq/cm ²)
¹³¹ I	71
¹³⁴ Cs	30
¹³⁷ Cs	19
合計	120

(日本原子力研究開発機構, 2020)を基に算出

核種*i*の接触による衣服への移行係数 TF_i は、衣服が車両に接触した際に車両表面から被服に移行する核種*i*の割合を意味する。ここでは、簡易除染等の作業中に意図せずに衣服が車両に接触した場合を想定した。一般に、放射性物質の輸送作業従事者等の被ばく評価においては、表面汚染の衣服等への移行係数は0.1として扱われる(IAEA, 2012)。しかし今回は、一般的な作業着生地を用いて比較的強く接触した場合の移行係数を実験的に取得し、再評価することとした。

この実験は、第3章3.2節で述べる車両の拭き取り試験に準じたものである。第3章3.2.1節でいうウェス等の代わりに洗濯した作業着(図A-1)を3cm×3cmに裁断した生地を使用した。この実験では、作業着生地の拭き取りによって試験片から取り除かれた放射能は全て作業着生地に移行するものと保守的に仮定し、移行係数は試験片の拭き取り前後の計数率の差から求めた。すなわち、拭き取り前後で試験片の計数率を測定し、その結果から式(2-2)を用いて移行係数 TF_i を算出した。その他、詳細な試験方法については第3章3.2を参照のこと。



図 A-1 汚染移行実験で使用した作業着（ズボン）

$$TF_i = 1 - \frac{(\bar{D} - \bar{C})}{(\bar{B} - \bar{A})} \quad (2-2)$$

ここで、

- \bar{A} : 拭き取り前の B.G. 計数率の平均値 (cpm)
- \bar{B} : 拭き取り前の測定計数率の平均値 (cpm)
- \bar{C} : 拭き取り後の B.G. 計数率の平均値 (cpm)
- \bar{D} : 拭き取り後の測定計数率の平均値 (cpm)

算出した移行係数 TF_i を表 A-2 に示す。

放射性核種	移行係数 TF_i
^{131}I	0.17
$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$	0.54

次に、核種 i の線量換算係数 e_i について検討した。線量換算係数 e_i は衣服の汚染密度あたりに要員が単位時間あたりに受ける実効線量を意味する。この線量換算係数は、PHITS コード (Particle and Heavy Ion Transport code System) (Sato et al. 2018) によるモンテカルロ計算にて推定することとした。体の中央付近の衣服が汚染し、汚染した箇所の面積が 100cm^2 あるものと仮定した。これを図 A-2 に示す通り、実効線量を評価する領域を人体に近い寸法 $30\text{cm} \times 150\text{cm} \times 15\text{cm}$ で用意し、その表面から 3cm 離れたところに汚染衣服の模擬として $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の面線源を置いた。

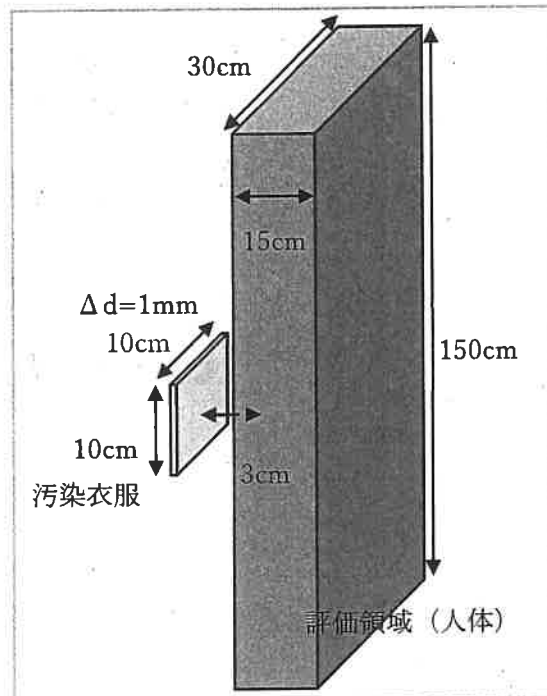


図 A-2 線量換算係数算出のための計算体系

モンテカルロ計算にて評価領域における平均的な光子フルエンス率を計算し、その結果から式(2-3)によって線量換算係数 e_i を求めた。

$$e_i = C S \int \varphi_i(E) a(E) dE \quad (2-3)$$

ここで、

- $\varphi_i(E)$: 核種 i の光子のエネルギーフルエンス率($\text{cm}^{-2} \text{ decay}^{-1}$)
- $a(E)$: 実効線量への換算係数(mSv cm^2) (ICRP, 1996)
- C : 3600 (s/h)
- S : 汚染した衣服面積 100cm^2

ここでの実効線量への換算係数 $a(E)$ は、ヒトが正面から γ 線等の光子を受けて被ばくする (AP 照射) 場合を想定したときの値である。

この計算により、表 A-3 に示す線量換算係数 e_i を得た。

表 A-3 外部被ばくの線量換算係数

放射性核種	線量換算係数 e_i ((mSv/h)/(Bq/cm ²))
¹³¹ I	8.76×10^{-8}
¹³⁴ Cs	3.31×10^{-7}
¹³⁷ Cs	1.22×10^{-7}

最後に、汚染の付着時間 t を検討した。これは、要員の衣服が車両と接触してから要員が被ばくを受け続ける時間を意味する。身体サーベイ後の除染や脱衣によって、汚染が要員から取り除かれることになるため、汚染付着から除染又は脱衣までに要する想定できる最長時間を採用することとした。1人の作業員が1日に行う作業時間は8時間であると想定し、この付着時間 t は8.0hとした。

以上から、式(2-1)に上記の値を代入すると、要員が意図しない接触等により汚染した被服から受ける外部被ばく線量(実効線量)は接触1回あたり、0.06 μ Svと推定できる。したがって、意図せずに車両接触した場合であってもその後に衣服から受ける被ばく線量は十分に小さいと考えられる。

*** 参考文献 * 第2章 避難退域時検査及び簡易除染における個々の要員の放射線防護措置（防護服の着用等）の効果等の評価**

IAEA, 2012, Safety Standard Series, "Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition)", Specific Safety Guide No. SSG-26

ICRP, 1996, "Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74", Ann. ICRP 26 (3-4).

Sato, Tatsuhiro et al, 2018. "Features of Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS) Version 3.02.", Journal of Nuclear Science and Technology, <https://doi.org/10.1080/00223131.2017.1419890> (最終閲覧：2021/3/29)

日本原子力研究開発機構, 2020, 平成31年度原子力防災研究事業（内閣府受託報告書）放射線防護対策に係る調査研究の実施及び施策への反映のための知見の整理 第二分冊（その1）

原子力規制委員会, 2014, 緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について

原子力規制委員会, 2020, 原子力災害対策指針

原子力規制庁放射線防護企画課, 2017, 原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル

内閣府, 2016, オフサイトの防災業務関係者の安全確保に関する検討会報告書

内閣府原子力防災, 2018, 原子力災害時における防災業務関係者のための防護装備及び放射線測定器の使用方法について

第3章 避難退域時検査等における水洗浄による車両の除染効果等の評価

原子力災害時に住民等が OIL (operational intervention level: 防護措置の実施を判断する基準) に基づく防護措置として避難や一時移転を行う際、車両や住民の汚染状況を確認することを目的として避難退域時検査を実施する。「原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル(平成29年原子力規制庁放射線防護企画課)」(以下「避難退域時検査等マニュアル」という。)においては、汚染が基準値(入射窓 20cm² の B 線表面汚染測定器によるカウント率 40,000cpm(120Bq/cm²相当))を超えた場合は簡易除染することとなっており、車両の簡易除染は拭き取りもしくは水洗いで実施することとなっている。本評価では、拭き取り除染と水洗い除染による除染効率を比較し、車両の簡易除染方法について検討した。

そのため、初めに原子力規制委員会で想定された事故等により放出される放射性物質のうち、車両除染が想定される放射性物質を調査し、汚染が見込まれる箇所を含めて整理した。次に、この調査結果を踏まえ、車両の鋼板(ボディ)とゴム(タイヤ)の試験片に放射性同位体(RI)模擬汚染を塗布させた試験片を用いて、拭き取り除染試験及び水洗い除染試験を実施した。

3.1 原子力規制委員会で想定された事故により放出される放射性物質及び車両除染が想定される放射性物質の選定と車両汚染が見込まれる箇所の調査

はじめに、原子力規制委員会が想定している事故により放出される放射性物質のうち、原子力災害時に車両に付着し得る放射性物質について述べる。

原子力規制委員会が想定する事故の放射性物質として挙げられるものは、事前対策において備えておくことが合理的であると考えられる事故の放出核種である 100TBq の ¹³⁷Cs 及びその他の核種(以下「原子力規制委員会試算ソースターム」という。)である(原子力規制委員会, 2018)。その他の核種の放出量は ¹³⁷Cs を基準として、米国 NRC の NUREG-1465 から得られた各核種の格納容器への放出割合に応じて比例計算して得られたものである。また、希ガスはその全量が放出されるものとしている。原子炉停止から放出開始までの時間は 24 時間としている。

この具体的な核種とその放出量は「¹³⁷Cs 100TBq 放出時の各核種放出量(原子力規制委員会)」として公開されているが、このソースタームは原子炉停止から放出開始までの時間を 12 時間として算出されたものである。そこで、本調査では、この原子力規制委員会試算ソースタームを基に原子炉停止から放出までの時間を、放射性壊変を考慮して 24 時間とした場合に放出される放射性物質を想定することとした。この場合の放射性物質の放出量を表 3.1-1 に示す(日本原子力研究開発機構, 2020)。なお、このソースタームについての詳細は本受託報告書の「第二分冊(その1) 屋内退避の効果等に関する技術的知見の高度化等」の第3章 3.2.5 に記載する。

表 3.1-1 NRA100T の各放射性核種の放出量（日本原子力研究開発機構, 2020）

核種		半減期	環境への放出量 (TBq)	核種	半減期	環境への放出量 (TBq)		
希ガス	Kr-85	10.8年	3.98E+04	Ru 類	Co-58	71日	5.12E-03	
	Kr-85m	4.5時間	2.32E+04		Co-60	5.3年	1.07E-02	
	Kr-87	1.3時間	2.87E+00		Mo-99	2.7日	7.72E+00	
	Kr-88	2.8時間	5.49E+03		Tc-99m	6.0時間	5.43E-01	
	Xe-133	5.2日	4.82E+06		Ru-103	39.3日	8.18E+00	
	Xe-135	9.1時間	2.64E+05		Ru-105	4.4時間	1.28E-01	
ヨウ素類	I-131	8日	6.99E+02		Ru-106	1.0年	2.76E+00	
	I-132	2.3時間	7.87E-01		Rh-105	1.5日	3.13E+00	
	I-133	21時間	7.02E+02		Ce類 及び La 類	Y-90	2.7日	4.35E-01
	I-134	0.9時間	9.58E-06			Y-91	58.5日	7.47E+00
	I-135	6.6時間	1.18E+02	Zr-95		64日	1.03E+01	
Cs類	Rb-86	18.7日	2.73E+00	Zr-97		16.7時間	3.87E+00	
	Cs-134	2.1年	1.61E+02	Nb-95		35日	1.02E+01	
	Cs-136	13.2日	4.44E+01	La-140		1.7日	7.26E+00	
	Cs-137	30.2年	1.00E+02	Pr-143		13.6日	8.56E+00	
Sr類	Sr-89	50.5日	1.27E+02	Nd-147		11.0日	3.64E+00	
	Sr-90	28.8年	1.18E+01	Am-241		432.2年	9.21E-04	
	Sr-91	9.6時間	2.83E+01	Cm-242		163日	2.83E-01	
	Ba-140	12.8日	2.20E+02	Cm-244	18.1年	2.22E-02		
Te類	Te-127	9.4時間	4.37E+00	Ce-141	32.5日	9.55E+00		
	Te-127m	109日	1.88E+00	Ce-143	1.4日	5.54E+00		
	Te-129	1.2時間	5.95E-05	Ce-144	285日	7.40E+00		
	Te-129m	33.6日	1.03E+01	Np-239	2.4日	8.52E+01		
	Te-131m	1.3日	4.41E+01	Pu-238	87.7年	1.98E-02		
	Te-132	3.2日	3.74E+02	Pu-239	2.41×10 ⁴ 年	2.22E-03		
	Sb-127	3.9日	2.33E+01	Pu-240	6564年	2.84E-03		
	Sb-129	4.4時間	2.35E+00	Pu-241	14.4年	8.17E-01		

また、表 3.1-1 から希ガスを除く 7 日後における放射性核種グループ毎の残留割合を算出した (表 3.1-2)。これは、希ガスを除く残留核種の総放射能を 100%としたときの、各核種グループの割合を示す。7 日後とは、UPZ の OIL2 の防護措置では 1 週間程度以内の一時移転が定められていることから、およそ放射性物質の放出から避難退域時検査にて車両の簡易除染を行うまでの最長の時間である。この算出より、ヨウ素類および Cs 類が 7 日後の主な残留核種であり、その和は全体の 6 割を占めることが分かる。なお、Sr 類は 25%を占めるグループであるがそのうち ^{140}Ba が全核種の 13%分を占める。

したがって、原子力規制委員会で想定された事故により放出される放射性物質のうち、車両除染が想定される主要な放射性物質は、放射性セシウムと放射性ヨウ素であると考えられる。

そこで、3.2 で述べる車両除染効果調査試験においても、汚染の模擬として放射性のセシウムとヨウ素を使用した。

表 3.1-2 NRA100T 放出 7 日後の残留放射性核種 (希ガスを除く)

核種	残留割合	備考
ヨウ素類	34%	
Cs 類	26%	内、Rb-86:0%
Sr 類	25%	内、Ba-140:13%
Te 類	9%	
Ce 類及び La 類	6%	
Ru 類	1%	

次に、車両の汚染が見込まれる箇所について述べる。

東京電力福島第一原子力発電所事故の際に、東京電力は現地対策本部の依頼に基づき、汚染した車両の表面とエンジンルーム内の汚染状況に関して、GM 管式サーベイメータによる計数率及び空間線量率の測定を行った (川上博人 他, 2011)。当時の汚染の状況は、車の外部の表面汚染と車の内部のエンジンルーム部の汚染に大別され、車の外部はワイパー、タイヤ、ドア部パッキン等であり、車の内部はラジエータ、エアフィルタ、ワイパーによる排水口雨どい等であることが確認されている。

車の外部の汚染の主な要因は、「外表面の直接汚染」「走行に伴う汚染泥等の付着」によるものであると想定される。当時の現地対策本部における一時立入による車の持ち出し車両の調査において、100kcpm を超えた全ての車両が外表面の拭き取り作業により、100kcpm 未満になっていたためである。

一方、車のエンジンルーム部の汚染の主な要因は、「走行に伴い汚染した粉じんがエンジンルーム内へ取り込まれることによる汚染」「雨天時の走行に伴い、前面ガラスに付着した粉じんがワイパーにより排水口雨どい付近に集積することによる汚染」であると想定される。これは、エンジンルーム部でラジエータ、エアフィルタ、ワイパーによる排水口雨どい等が比較的高い値を示すことから確認できた (川上博人 他, 2011)。

以上から原子力災害の際に車両汚染が見込まれる箇所を表 3.1-2 に整理した。

表 3.1-3 車両汚染が見込まれる箇所

分類	車両汚染が見込まれる箇所
車の外部の表面汚染	ワイパー、タイヤ、ドア部パッキン等
車の内部のエンジンルーム部	ラジエータ、エアフィルタ、ワイパーによる排水口雨どい等

表 3.1-3 によれば車の内部のエンジンルーム部であるラジエータやエアフィルタも検査対象のひとつになり得る。しかし、エンジンルーム内部に直接人が触れる機会は多くなく、避難後にこれに起因して汚染が拡大する可能性は大きくないと考え、人が直接触れる可能性がある車体外部の表面汚染について検討することとした。なお、現在の避難退域時検査では、避難と検査の迅速性を重視し、また、直接手で触れる場所ではないことを考慮して、車の内部のエンジンルーム部は指定箇所に指定されていない（原子力規制庁放射線防護企画課, 2017）。

したがって、本調査の 3.2 で述べる車両除染効果調査試験では、車の外部の表面汚染を想定し、タイヤを試験対象に選択した。ワイパーやドア部パッキンも挙げられているが、面積が大きくかつ材質が同様にゴムであるタイヤを採用することとした。加えて、車体外部の大部分を占める車両ボディも試験対象とした。

3.2 車両除染効果調査試験（拭き取り及び水洗い）

車両除染効果調査試験（以下「本除染試験」という。）の目的は、避難退域時検査における実効的な簡易除染方法について検討するため、拭き取り除染と水洗い除染について、除染方法の違いによる除染効率を比較・評価することである。

本除染試験では、車両ボディ及びタイヤの一部を切り出した試験片を用意し、セシウムとヨウ素の RI 溶液を塗布して汚染した車両を模擬した試験片を準備した。その後、この汚染させた試験片をある一定の静置期間置いた後、拭き取りまたは水洗いにて除染し、それぞれの除染効率を調べた。

3.2.1 本除染試験の試験条件

セシウムを使用した試験の条件を表 3.2.1-1、ヨウ素を使用した試験条件を表 3.2.1-2 に示す。これらの試験での共通条件として、車両ボディは新品と中古のものを使用し、タイヤは新品のものを使用した。また、拭き取りと水洗いでは除染用具や除染方法はそれぞれ同じものとした。一方で、静置期間をセシウムでは 7 日間、ヨウ素では 3 日間とした。各試験条件のより詳細な事項については以下の（1）～（3）にまとめる。

表 3.2.1-1 放射性セシウムの除染試験条件

No	除染方法	対象	使用履歴	化学形態	静置期間	除染用具	水量	拭き取り圧	拭き取り回数
1	拭き取り	ボディ	新品	Cs ⁺ (HCl)	7日間	紙ウェス	—	1kgf	2回
2			中古	Cs ⁺ (HCl)					
3		タイヤ	新品	Cs ⁺ (HCl)					
4	水洗い+ 車両洗淨用 ブラシ	ボディ	新品	Cs ⁺ (HCl)		車両洗淨用 ブラシ	50ml	—	—
5			中古	Cs ⁺ (HCl)					
6		タイヤ	新品	Cs ⁺ (HCl)					

表 3.2.1-2 放射性ヨウ素の除染試験条件

No	除染方法	対象	使用履歴	化学形態	静置期間	除染用具	水量	拭き取り圧	拭き取り回数
7	拭き取り	ボディ	新品	I ⁻ (NaOH)	3日間	紙ウェス	—	1kgf	2回
8			中古	I ⁻ (NaOH)					
9		タイヤ	新品	I ⁻ (NaOH)					
10	水洗い+ 車両洗淨用 ブラシ	ボディ	新品	I ⁻ (NaOH)		車両洗淨用 ブラシ	50ml	—	—
11			中古	I ⁻ (NaOH)					
12		タイヤ	新品	I ⁻ (NaOH)					

(1) 模擬汚染の RI 溶液

模擬の汚染として、セシウムとヨウ素の RI 溶液をそれぞれ用意した。セシウムは ^{137}Cs を含む CsCl 溶液、ヨウ素は ^{131}I を含む NaI 溶液とした。

試験片に RI 溶液を塗布した後の静置期間は半減期を考慮し、セシウム試験では 7 日間、ヨウ素試験では 3 日間とした。

(2) 試験片

① 車両ボディ

車両ボディの試験片は、大衆車の同一車種（トヨタ：プリウス）から新品及び中古のものを用意した。使用した車両ボディは共にフードパネル（ボンネット）である。

新品ボディの試験片は、未使用の車両ボディ部品（トヨタ：プリウス S：部品番号 53301-47110）である。これから使用する寸法で試験片を切り出し、凹凸がない部分を選定した。切出した試験片は、洗浄・乾燥後に上塗り・クリア塗装を実施し市販の新車同様のボディを再現した。さらに、塗装終了後、洗浄・乾燥を行った。また、試験片表面の中央部(100mm×100mm)を除き、マスキングを行った（図 3.2.1-1）。

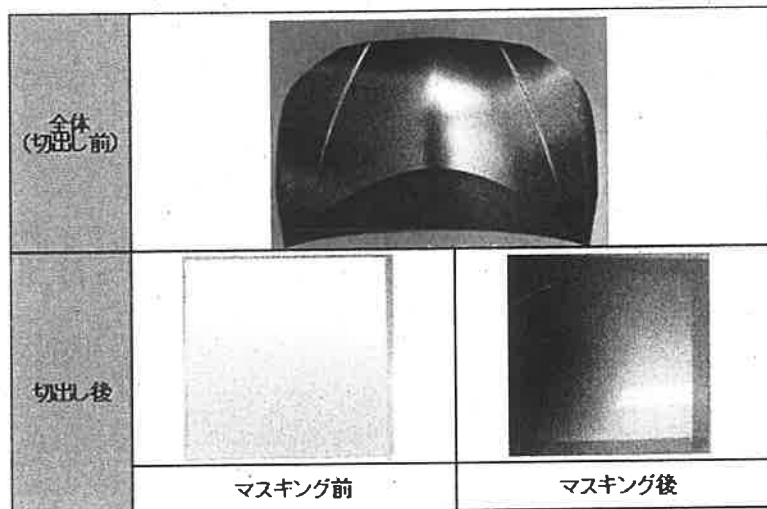


図 3.2.1-1 新品ボディの試験片

中古ボディの試験片は、市販中古のフードパネル（プリウス、トヨタ製：型式 2009 年 7 月、約 11 年使用）である。新品同様に試験片を切り出し、洗浄した。また、試験片表面の中央部(100mm×100mm)を除き、マスキングを行った（図 3.2.1-2）。

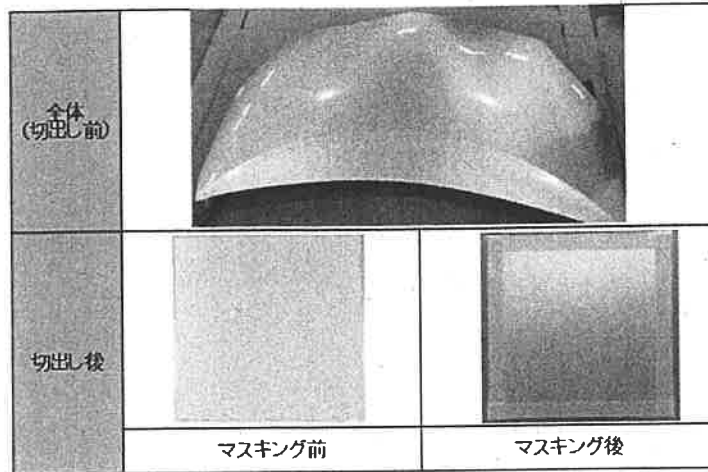


図 3.2.1-2 中古ボディの試験片

② タイヤ

タイヤは新品のものを用意した。使用した箇所は、タイヤの側面であるサイドウォールゴムである。

市販の新品タイヤ (DAVANTI 製 : 型式 TERRATOURAA/T 265/70R17 10PR 121/118T ELT) より使用する寸法を切出し、試験片とした。新品タイヤには製造時に生成する突起 (スピーア) が存在するが、走行時の初期に削れる又はちぎれることによって消失することから、予め切断し除去を行った。また、試験片は切り出したものの内、表面中央部にロゴ等による凹凸が無いものを選定した。試験片を洗浄した後、中央部(100mm×100mm)以外はマスキングを行った (図 3.2.1-3)。

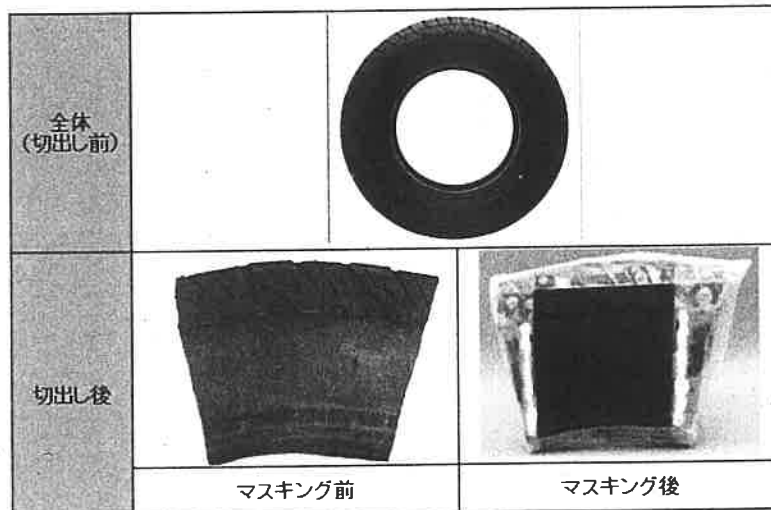


図 3.2.1-3 タイヤの試験片

(3) 除染の方法

① 拭き取り除染

拭き取り方法は避難退域時検査等マニュアルに準じて、2回拭き取りを行うこととした。除染道具として水に濡らした紙ウェスをを用い、拭き取りの際の力を 1kgf とした。

② 水洗い除染

水洗い除染の方法は避難退域時検査等マニュアルに準じて、飛沫・水しぶきができるだけ生じないようにしながら洗車用ブラシを使い、流水にて水洗いを行った。各除染での水量は 50ml とし、中央部 (100mm×100mm) の汚染を洗い流すよう除染した。

一般の洗車機において使用される水量は、1回往復洗車において 50～100L/台である (藤村葉子 他, 2008)。普通車セダンの表面積が約 20m² である (トヨタカローラカタログ記載値より概算) ことから、水量を 100L/台とした場合、5L/m² (0.05L/100cm²) となる。

したがって、本除染試験での水量は一般的な洗車の水量 (5L/m² (0.05L/100cm²)) 程度とした。

なお、本除染試験では高圧洗浄は採用しなかった。高圧洗浄に期待できる効果は、物理的な接触によって物体表面に付着した汚染を剥離させることである。しかし、同様の効果は拭き取り除染にも期待できる。また、今回の拭き取り圧はおよそ除染効率が飽和する 1kgf を採用し、比較的に高く設定した。したがって、一般的な水圧の高圧洗浄に期待できる効果は拭き取り除染にておおよそ期待できるものと推測し、本調査では高圧洗浄は試験条件に採用しないこととした。

3.2.2 本除染試験の評価方法

除染効率を求めるにあたっては、除染前後の計数率 (cpm) を測定し、その計数率の減少割合を算出することで除染効率を求めた。計数率の測定には GM 管式サーベイメータを使用し、下記の式(1)より除染効率 (DF: Decontamination Factor) を算出した。

$$DF = \frac{(\overline{B}-\overline{A})}{(\overline{D}-\overline{C})} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

- ① 除染試験前 B.G.値 . . . (A 値)
- ② 除染試験前測定値 . . . (B 値)
- ③ 除染試験後 B.G.値 . . . (C 値)
- ④ 除染試験後測定値 . . . (D 値)

各測定値は平均化を行った。測定値は検定を行い、必要に応じてデータの棄却を行った。

次に、各放射性物質、各試験片に対して、拭き取りと水洗いで除染効率 DF を比較し、有意な除染方法について評価を行った。この際、それぞれの除染効率 DF の差について、分散分析法により評価した。

3.2.3 本除染試験の結果および考察・留意点

3.2.1 で述べた試験条件、3.2.2 で示した評価方法により試験を行い、それぞれの条件において拭き取り除染と水洗い除染による除染効率 DF の違いについて調査した。得られた除染効率 DF の差異については分散分析法にて、有意な差異があるかを検討した。

さらに得られたそれぞれの試験結果を基に、除染効率 DF の違いについて考察を行った。これらを以下に示す。

(1) セシウム

初めに、セシウムの本除染試験の結果について述べる。

新品ボディの拭き取りと水洗いの試験結果は、除染前と除染後の放射線計数率測定値 (cpm)、除染効率 DF 及びその平均値を表 3.2.3-1 に示す結果となった。除染前後の試験片放射線計数率を GM 管式サーベイメータで測定した。新品ボディの拭き取りの除染効率 DF は、平均値：25、新品ボディの水洗いの除染効率 DF は、平均値：19 となった。

表 3.2.3-1 新品ボディの拭き取りと水洗いの試験結果 (^{137}Cs)

^{137}Cs	新品ボディ					
	拭き取り			水洗い		
	放射線計数率測定値 (cpm)			放射線計数率測定値 (cpm)		
除染前	32184	31684	29234	30603	29303	24853
除染後	1576	1612	848	1734	1321	1501
DF	20	20	34	18	22	17
DF (平均)	25			19		

中古ボディの拭き取りと水洗いの試験結果として、除染前と除染後の放射線計数率測定値 (cpm)、除染効率 DF 及びその平均値を表 3.2.3-2 に示す。中古ボディの拭き取りの除染効率 DF は、平均値：2.4、中古ボディの水洗いの除染効率 DF は、平均値：1.1 となった。

表 3.2.3-2 中古ボディの拭き取りと水洗いの試験結果 (^{137}Cs)

^{137}Cs	中古ボディ					
	拭き取り			水洗い		
	放射線計数率測定値 (cpm)			放射線計数率測定値 (cpm)		
除染前	30294	28694	29794	29650	30800	29200
除染後	13335	12150	11625	26915	27710	25160
DF	2.3	2.4	2.6	1.1	1.1	1.2
DF (平均)	2.4			1.1		

タイヤの拭き取りと水洗いの試験結果として、除染前と除染後の放射線計数率測定値 (cpm)、除染効率 DF 及びその平均値を表 3.2.3-3 に示す。タイヤの拭き取りの除染効率 DF は、平均値：2.8、タイヤの水洗いの除染効率 DF は、平均値：2.4 となった。

表 3.2.3-3 タイヤの拭き取りと水洗いの試験結果 (^{137}Cs)

^{137}Cs	タイヤ					
	拭き取り			水洗い		
	放射線計数率測定値 (cpm)			放射線計数率測定値 (cpm)		
除染前	31389	37539	22439	36548	32298	31548
除染後	13426	14221	6646	15174	13269	13329
DF	2.3	2.6	3.4	2.4	2.4	2.4
DF (平均)	2.8			2.4		

以上のセシウムの本除染試験結果を整理し、表 3.2.3-4 及び図 3.2.3-1 に示す。図 3.2.3-1 のエラーバーは、標準偏差を表す (評価試験片数は、3)。

表 3.2.3-4 放射性セシウムの本除染試験結果のまとめ

除染効率 DF		平均値	標準偏差
新品ボディ	拭き取り	25	8.3
	水洗い	19	3.0
中古ボディ	拭き取り	2.4	0.15
	水洗い	1.1	0.032
タイヤ	拭き取り	2.8	0.53
	水洗い	2.4	0.034

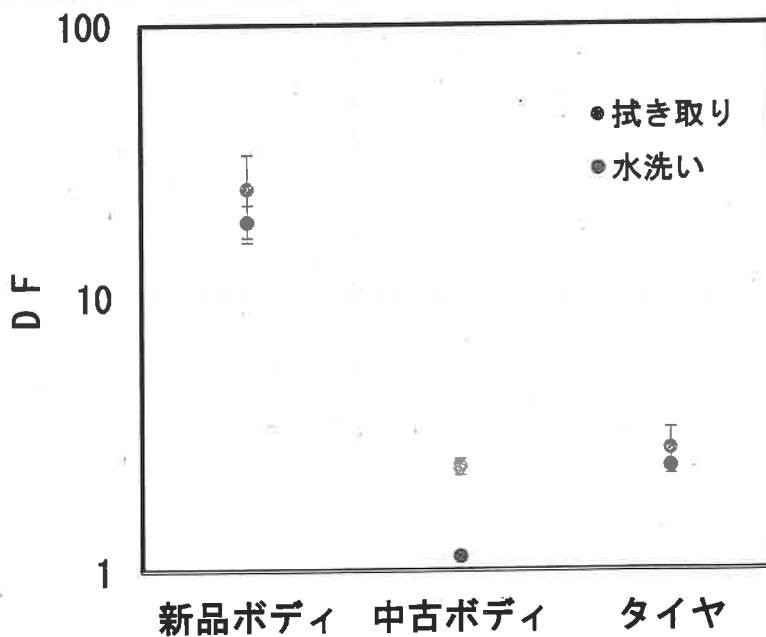


図 3.2.3-1 放射性セシウムの本除染試験結果のまとめ

ここで、各除染効率 DF の値の差異について、分散分析法により評価を行った。分散分析の結果を図 3.2.3-2 に示す。F 値を分散比が超えた場合、拭き取り除染と水洗い除染の除染効率 DF との間には有意な差異があると言える。反対に、F 値を分散比が下回った場合、両除染効率 DF との間には有意な差異が無いと解釈できる。本除染試験での F 値は 7.71 であった。

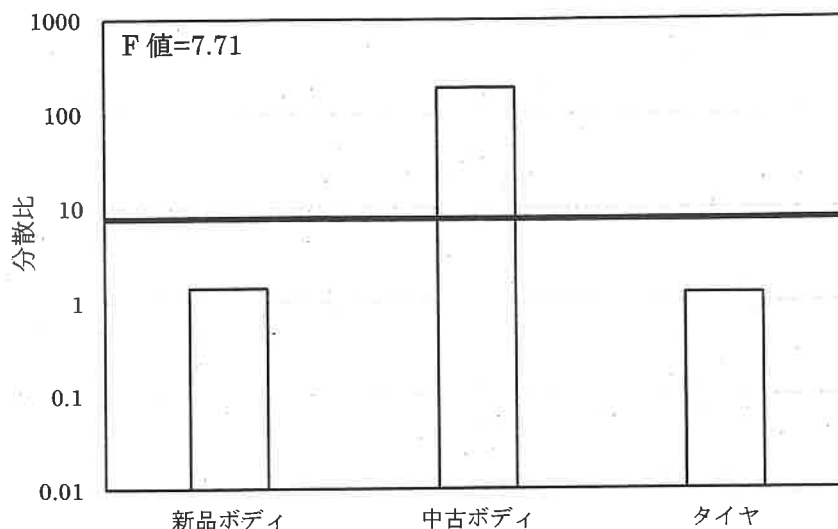


図 3.2.3-2 放射性セシウムの分散分析の結果 (F 値=7.71)
(分散比<F 値：有意な差異無し)

以上により、セシウムが車両に付着した場合、汚染箇所毎の除染効率 DF に違いが見られたが、新品ボディとタイヤでは拭き取り除染または水洗い除染の除染効率 DF に有意な差異は無く、中古ボディでは拭き取り除染が水洗い除染に比べて、その除染効率 DF が有意に高くなることを示す結果が得られた。

次に、これらの試験結果から除染効率 DF についての考察を行った。それぞれの条件に対する考察を以下に述べる。

(新品ボディ)

新品ボディを使用したセシウム除染試験の結果、拭き取り除染と水洗い除染の除染効率 DF はおおよそ 20 程度となり、分散分析法によってそれぞれの値には有意な差異はないものと判定した。

拭き取り除染と水洗い除染のそれぞれの除染効率 DF に有意な差異が生じなかった要因は、新品ボディ表面のクリア塗装（耐薬品性・対汚染性を有した保護コーティング層）によるものと考えられる。このコーティング層によってセシウムの化学吸着が阻害され、汚染が剥離しやすい状態となっており、何れの除染方法でも除染しやすくなっていたためであると考えられる。

(中古ボディ)

中古ボディを使用したセシウム除染試験の結果として、拭き取りの除染効率 DF が 2.4 であったことに対し水洗い除染での除染効率 DF が 1.1 となった。それぞれの値の差は、分散分析法によって有意な差異であると判定した。つまり、拭き取り除染は水洗い除染よりも除染効率 DF が

高いことを示す結果が得られた。

この要因は、以下の事象によるものと考えられる (図 3.2.3-3)。

- ・中古ボディでは、コーティング層の劣化によってセシウムがボディへの化学吸着が進行した。この劣化部分はアクリルポリマーから剥離しやすい状態にあると考えられる。アクリルの劣化では、主鎖の切断が生じており、この切断によって生じた不飽和結合部において化学吸着が進行する。このため、化学吸着部は Cs-137 を同伴してアクリルポリマーから剥離しやすいため、除染されやすい状態にある。
- ・このため、汚染物と除染治具 (紙ウェス/ブラシ刷毛) との接触時間が長い拭き取りの方がセシウムは剥離しやすい状態にあった (劣化した塗膜 (切断されたポリマー分子) と共に剥離したと思われる)。後述のヨウ素とは異なり、セシウムは再吸着に時間を要すると考えられる。

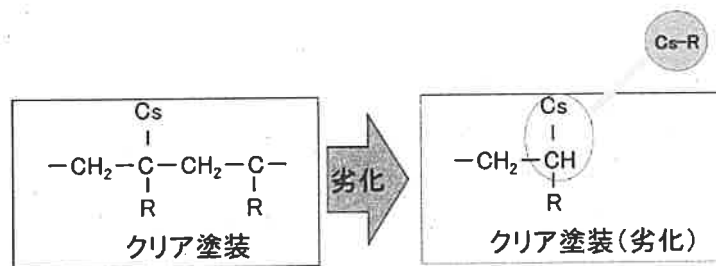


図 3.2.3-3 中古ボディにおけるセシウムの除染機構概念図

(タイヤ)

タイヤを使用したセシウム除染試験の結果、拭き取り除染と水洗い除染それぞれの除染効率 DF がおおよそ 2.5 程度となり、分散分析法によってそれぞれ値には有意な差異はないものと判定した。

有意な差異が生じなかった要因として、以下の事象が考えられる (図 3.2.3-4 参照)。

- ・本試験に使用したタイヤのサイドウォールの主成分であるブタジエンゴムは二重結合 (不飽和結合) を有しており、他の分子が結合しやすいため化学吸着が進行した。
- ・中古ボディとは異なり、ポリマー分子の切断は生じていないことから、セシウムと吸着したポリマー分子の剥離は生じなかった。

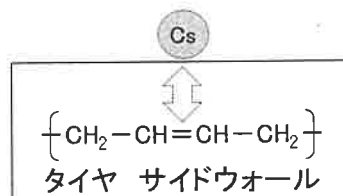


図 3.2.3-4 タイヤへのセシウムの化学吸着機構概念図

(2) ヨウ素

ヨウ素の本除染試験の結果について述べる。

新品ボディの拭き取りと水洗いの試験結果として、除染前と除染後の放射線計数率測定値 (cpm)、除染効率 DF 及びその平均値を表 3.2.3-5 に示した。データ整理等、セシウムと同様である。新品ボディの拭き取りの除染効率 DF は、平均値：2.1、新品ボディの水洗いの除染効率 DF は、平均値：2.0 となった。

表 3.2.3-5 新品ボディの拭き取りと水洗いの試験結果 (¹³¹I)

¹³¹ I	新品ボディ					
	拭き取り			水洗い		
	放射線計数率測定値 (cpm)			放射線計数率測定値 (cpm)		
除染前	1353	1515	1211	1512	1196	1362
除染後	725	641	622	806	614	642
DF	1.9	2.4	1.9	1.9	1.9	2.1
DF (平均)	2.1			2.0		

中古ボディの拭き取りと水洗いの試験結果として、除染前と除染後の放射線計数率測定値 (cpm)、除染効率 DF 及びその平均値を表 3.2.3-6 に示す。中古ボディの拭き取りの除染効率 DF は、平均値：2.4、中古ボディの水洗いの除染効率 DF は、平均値：3.2 となった。

表 3.2.3-6 中古ボディの拭き取りと水洗いの試験結果 (¹³¹I)

¹³¹ I	中古ボディ					
	拭き取り			水洗い		
	放射線計数率測定値 (cpm)			放射線計数率測定値 (cpm)		
除染前	1217	1211	1201	1593	1943	1880
除染後	523	502	508	413	685	656
DF	2.3	2.4	2.4	3.9	2.8	2.9
DF (平均)	2.4			3.2		

タイヤの拭き取りと水洗いの試験結果として、除染前と除染後の放射線計数率測定値 (cpm)、除染効率 DF 及びその平均値を表 3.2.3-7 に示す。タイヤの拭き取りの除染効率 DF は、平均値：1.5、タイヤの水洗いの除染効率 DF は、平均値：1.5 となった。

表 3.2.3-7 タイヤの拭き取りと水洗いの試験結果 (^{131}I)

^{131}I	タイヤ					
	拭き取り			水洗い		
	放射線計数率測定値 (cpm)			放射線計数率測定値 (cpm)		
除染前	2763	2267	2579	2158	4291	2246
除染後	1956	1662	1997	1793	2248	1798
DF	1.4	1.4	1.3	1.2	1.9	1.2
DF (平均)	1.4			1.5		

放射性ヨウ素の本除染試験結果をまとめて、表 3.2.3-8 及び図 3.2.3-5 に示す。図 3.2.3-5 のエラーバーは、標準偏差を表す (評価試験片数は、3)。

表 3.2.3-8 放射性ヨウ素の本除染試験結果のまとめ

除染効率 DF		平均値	標準偏差
新品ボディ	拭き取り	2.1	0.27
	水洗い	2.0	0.13
中古ボディ	拭き取り	2.4	0.043
	水洗い	3.2	0.58
タイヤ	拭き取り	1.4	0.061
	水洗い	1.5	0.39

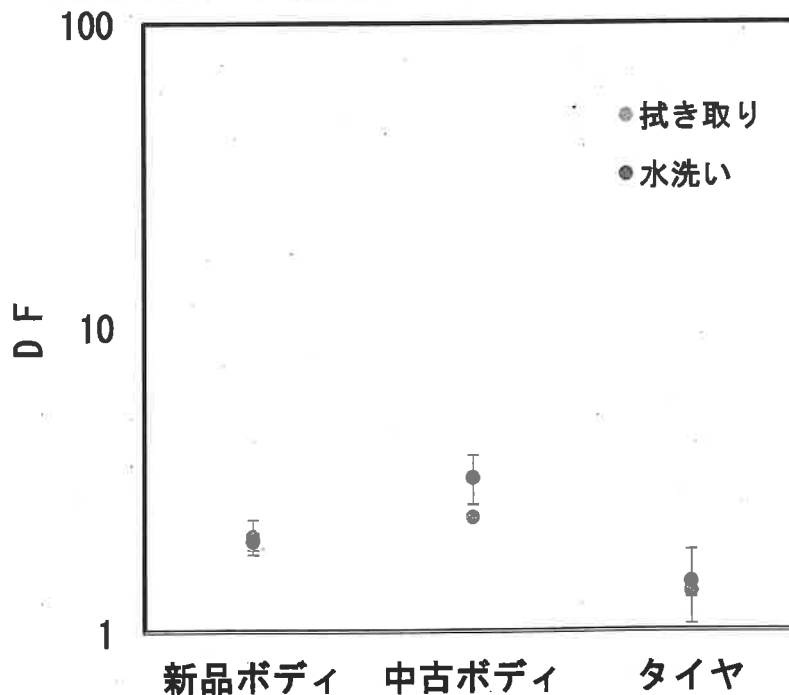


図 3.2.3-5 放射性ヨウ素の本除染試験結果のまとめ

ここで、各除染効率 DF の値の差異について、セシウムの場合と同様に分散分析法により評価を行った。分散分析の結果を図 3.2.3-6 に示す。なお、本除染試験での F 値は 7.71 であった。

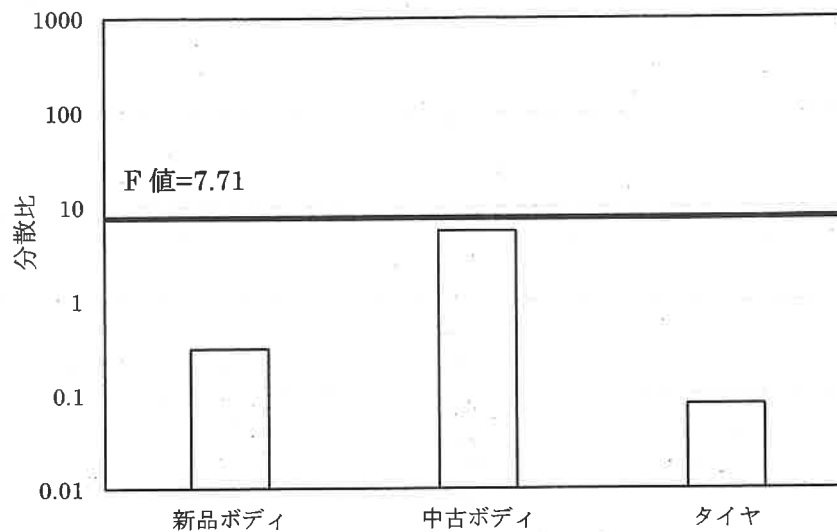


図 3.2.3-6 放射性ヨウ素の分散分析の結果 (F 値=7.71)
(分散比<F 値: 有意な差異無し)

以上により、ヨウ素が車両に付着した場合、汚染箇所毎の除染効率 DF に違いが見られたが、ボディとタイヤでは拭き取り除染と水洗い除染の除染効率 DF に有意な差異は無いことを示す結果が得られた。

次に、これらの試験結果から除染効率 DF についての考察を行った。それぞれの条件に対する考察を以下に述べる。

(新品ボディ)

新品ボディを使用したヨウ素除染試験の結果、拭き取り除染と水洗い除染の除染効率 DF はおおよそ 2.0~2.1 程度となり、分散分析法によってそれぞれの値には有意な差異はないものと判定した。

有意な差異が生じなかった要因として、以下の事象が考えられる (図 3.2.3-7)。

- ・新品ボディでは、コーティング層の劣化の原因となる部分 (例: 3 級水素) において化学吸着が進行した。
- ・吸着部分の主鎖は健全であることから、結合したヨウ素は安定であり、いずれの除染方法でも剥離しなかったと考えられる。

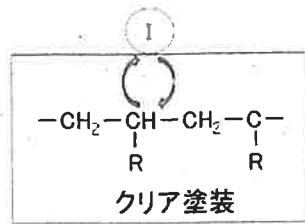


図 3.2.3-7 新品ボディクリア塗装とヨウ素の化学吸着

(中古ボディ)

中古ボディを使用したヨウ素除染試験の結果、拭き取り除染と水洗い除染それぞれの除染効率 DF がおおよそ 2.4~3.2 程度となり、分散分析法によってそれぞれ値には有意な差異はないものと判定した。

有意な差異が生じなかった要因としては、劣化コーティング層の不飽和結合において化学吸着が進行し、剥離しにくい状態になったためであると考えられる。(図 3.2.3-8)

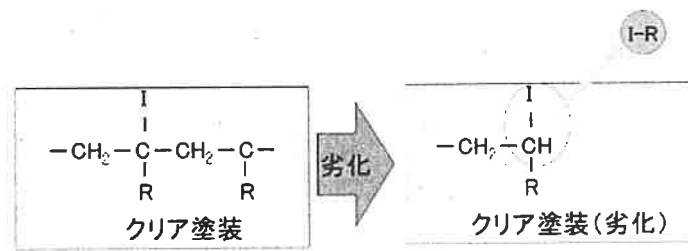


図 3.2.3-8 中古ボディにおけるクリア塗装の劣化とヨウ素の化学吸着

(タイヤ)

タイヤを使用したヨウ素除染試験の結果、拭き取り除染と水洗い除染それぞれの除染効率 DF がおおよそ 1.4~1.5 程度となり、分散分析法によってそれぞれ値には有意な差異はないものと判定した。

有意な差異が生じなかった要因としては、以下の事象が考えられる (図 3.2.3-9)。

- ・タイヤ (サイドウォール) の主成分であるブタジエンゴムは二重結合 (不飽和結合) を有しており、他の分子が結合しやすいため化学吸着が進行した。
- ・新品ゴムの性状から、主鎖が有する不飽和結合にて反応するため除染効率 DF は速やかに低下する。但し、主鎖自体が切断されるわけではないので、ポリマーがヨウ素を同伴して剥離することはない。

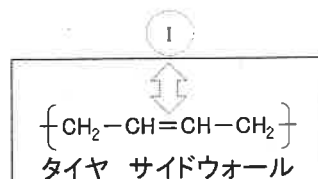


図 3.2.3-9 タイヤ サイドウォールへの I の吸着

3.2.4 まとめ

避難退域時検査において実施する、放射性物質の付着により汚染した車両(基準値を超えたもの)の除染方法について、車両ボディとタイヤの試験片に RI 模擬汚染を塗布させたものを準備し、拭き取り除染試験及び水洗い除染試験を実施した。

除染方法の違いにより生じた除染効率 DF の値の差異について、分散分析法により評価した結果を表 3.2.4-1 に示す。

表 3.2.4-1 除染効率 DF の分散分析法による有意な差異についての判定結果

放射性物質	試験片	分散分析法による各除染効率 DF の比較結果
¹³⁷ Cs	中古ボディ	有意な差異有り 拭き取りの除染効率 DF > 水洗いの除染効率 DF
	新品ボディ	
¹³¹ I	タイヤ	有意な差異無し
	新品ボディ	
	中古ボディ	
	タイヤ	

表 3.2.4-1 に示す通り、セシウムの中古ボディでは唯一、有意な差異が生じたが、それ以外の全ての条件において除染効率 DF に有意な差が生じない結果となった。さらに、そのセシウムと中古ボディの結果は、拭き取り試験の除染効率 DF の方が大きいことを示すものであった。

したがって、本事業の調査結果としては、車両の簡易除染では拭き取り除染と水洗い除染の間にその効果の違いにほぼ有意には見られず、拭き取り除染で十分であると結論付けられる。

*** 参考文献 * 第3章. 避難退域時検査等における水洗浄による車両の除染等の評価**

川上博人 他, 2011, 警戒区域から持ち出された車の整備による整備士の外部被ばく線量評価に関する調査報告書, JNES-RE-2011-0003

原子力規制委員会, 2018, 原子力災害事前対策の策定において参照すべき線量のめやすについて
原子力規制庁放射線防護企画課, 2017, 原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル (平成 29 年 1 月修正)

日本原子力研究開発機構, 2020, 平成 31 年度原子力防災研究事業 (内閣府受託報告書) 放射線防護対策に係る調査研究の実施及び施策への反映のための知見の整理 第二分冊 (その 1)

藤村葉子 他, 2008, 洗車排水負荷量調査 (2)

<https://www.pref.chiba.lg.jp/wit/suishitsu/report/documents/ar2008suishitsu010.pdf>

(最終閲覧:2021/3/29)

第4章 避難退域時検査等において使用することが想定される測定資機材の信頼性の評価

原子力災害時の避難退域時検査では、多数の車両及び避難住民等の検査を行うことが想定される。原子力規制庁の『原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（平成29年1月30日修正）』（以下「避難退域時検査等マニュアル」という。）は、要員によるGM管式サーベイメータ等の表面汚染測定器で検査することを基本に作成されているが、効率的な避難退域時検査を実施するため、その他の測定資機材の活用も検討されている。その代表的なものが、車両用ゲート型モニタ及び住民用ゲート型モニタである。そこで、避難退域時検査等マニュアルで示されている指定箇所検査について、一部の地方公共団体が所有している車両用ゲート型モニタ及び住民用ゲート型モニタを用いて試験し、ゲート型モニタの実用性を調査した。また、その留意点等について整理した。

4.1 ゲート型モニタの使用法・性能調査

4.1.1 現在の避難退域時検査におけるゲート型モニタの使用法

避難退域時検査等マニュアルにて、車両はタイヤ及びワイパー部（フロントガラス下部）、住民は①頭部、顔面、②手指及び掌、③靴底について、指定箇所検査を行うこととなっている。また、ゲート型モニタを使用する場合、車両用ゲート型モニタは、タイヤ接地面約2,000cm²にβ線40,000cpm(120Bq/cm²、放射能240kBq)の様な¹³¹Iが存在する場合に、これを検出できることが求められている。ワイパー部については、車両用ゲート型モニタを通過した後に、要員が表面汚染検査用の放射線測定器で検査を行うことが求められている。また、住民用ゲート型モニタと同様の用途での使用が想定される機器である体表面汚染モニタの場合では、OIL4¹相当の放射性物質を見落とさないことが求められており、必要によって要員が表面汚染検査用の測定器を用いて補助的に検査することとなっている（原子力規制庁放射線防護企画課，2017）。

4.1.2 調査対象とした車両用ゲート型モニタの仕様

本調査にて調査対象とした車両用ゲート型モニタの主な仕様を表4.1.2-1に示す。調査対象としたのは測定器A、Bの2機種である。測定器A、Bともに、測定線種はγ線である。測定器Aは、「感度：タイヤ接地面約2,000cm²に40kcpm(120Bq/cm²:OIL4基準値相当)の様な¹³¹Iが存在する場合」の判定が可能、測定器Bは、「検知可能レベル：120Bq/cm²以下」としている。測定器Aは、想定する汚染面積を明確にしているが、測定器Bは想定する汚染面積を明確にしていない。検出器間距離について、測定器Aは3.5mとしており、測定器Bは指定していない。進入センサについて、測定器A、測定器Bともに赤外線センサであるものの、測定器Aは検出器手前に設置するタイプであり、測定器Bは検出器に内蔵又は外付けのタイプである。測定器Bの進入センサは、内蔵型は高さ方向の調整が不可であるが、外付け型は高さの調整が可能となっている。警報設定値について、測定器Aはcpm単位で変更することが可能であり、測定器Bは環境バックグラウンド（以下「BG」という。）+定数×BG標準偏差（定数を設定することで、警報設定値を変更することが可能）である。なお、測定器Bの警報設定値の定数は、「9.9」が最大である。

1 OIL4：体表面に付着した放射性物質の不注意な経口摂取、皮膚汚染からの外部被ばくを防止するため、除染を講じるための基準のことです。本マニュアルでは、初期設定値の40,000cpm（β線）（皮膚から数cmでの検出器の計数率）を想定しています。（避難退域時検査等マニュアルより抜粋）

表 4.1.2-1 調査対象である車両用ゲート型モニタの仕様

	測定器 A	測定器 B※
測定線種	Y線	Y線
検出可能レベル・感度	120Bq/cm ² : OIL4 基準値相当の 一様な I-131 が存在する場合 の判定が可能	120Bq/cm ² 以下
想定汚染面積	約 2,000cm ²	車両側面に均一に汚染
線源位置	タイヤ接地面	検出器表面から 50cm 以内
検出器間距離	3.5m (2つの測定器間距離)	指定なし
通過速度・測定時間	0km/h~10km/h	5km/h 程度
進入センサ	赤外線センサ (車両が進入してくる進行方向 の検出器手前約 1.5m に設置)	赤外線センサ (内蔵型と外付け型の 2 種類。 内蔵型は調整不可、外付け型は 高さ調整可)
警報設定値	40,000cpm 相当 (変更可)	BG 値+定数×BG 標準偏差 定数: 2.5~9.9

※ 米国 FEMA の「FEMA-REP-21」に準拠している。米国において「FEMA-REP-21」は、原子力緊急時の人の除染の要否に用いられる測定器の基準であり、¹³⁷Cs について 1 μ Ci (37kBq) を検出できること等が求められている (FEMA, 1995)。本試験で想定した住民の避難退域時検査の条件 (40,000cpm 相当=¹³³Ba 8kBq) を想定した検出器ではないことに留意する必要がある。

4.1.3 調査対象とした住民用ゲート型モニタの仕様

本調査にて調査対象とした住民用ゲート型モニタの仕様を表 4.1.3-1 に示す。調査対象としたのは測定器 B、C の 2 機種である。なお、表 4.1.2-1 中の測定器 B と表 4.1.3-1 中の測定器 B は同一の機種である。

測定器 B、C ともに、測定線種は Y 線である。測定器 B は、「検出可能レベル: 120Bq/cm² 以下」、測定器 C は、「感度: <1 μ Ci」としている。測定器 B は、想定する汚染面積、線源の位置を示しているが、測定器 C は示していない。通過速度・測定時間について、測定器 B は 5 秒立ち止まったの測定であり、測定器 C はウォークスルー (測定器を通過) である。進入センサについて、測定器 B は、内蔵型は高さ方向の調整が不可であるが、外付け型は高さの調整が可能となっており、測定器 C は、位置は固定であるが、角度の調整が可能である。警報設定値について、測定器 B、C ともに BG+定数×BG 標準偏差 (定数を変更することで、警報設定値を変更することが可能) である。なお、測定器 B の警報設定値の定数の設定値は、「9.9」が最大である。

表 4.1.3-1 調査対象とした住民用ゲート型モニタの仕様

	測定器 B※1	測定器 C※1
測定線種	γ線	γ線
検知可能レベル・感度	120Bq/cm ² 以下	1μCi (37kBq)
汚染面積	100cm ²	指定なし
線源位置	検出器表面から 20cm 以内	指定なし
検出器間距離	80cm	81cm
通過速度・測定時間	5 秒停止	ウォークスルー
進入センサ	赤外線センサ (内蔵型と外付け型の 2 種類。 内蔵型は調整不可、外付け型は 高さ調整可)	赤外線センサ、角度調整可
警報設定値	BG+定数×BG 標準偏差 定数：2.5～9.9	BG+定数×BG 標準偏差※2 定数：3.0※2

※1 米国 FEMA の「FEMA-REP-21」に準拠している。米国において「FEMA-REP-21」は、原子力緊急時の人の除染の要否に用いられる測定器の基準であり、¹³⁷Cs について 1μCi (37kBq) を検出できること等が求められている (FEMA, 1995)。本試験で想定した住民の避難退域時検査の条件 (40,000cpm 相当=¹³³Ba 8kBq) を想定した検出器ではないことに留意する必要がある。

※2 仕様上変更可能であるが、今回使用した測定器については、ソフトウェア上のバグがあるため、変更不可

4.1.4 警報発報 (汚染検知) の仕組み

測定器 A、B、C いずれも、警報設定値は、測定対象とする汚染箇所に合わせて検知のしやすさ等を考慮し、任意に設定することが可能である。ただし、汚染箇所の位置と検出器の配置により検知のしやすさが異なる (図 4.1.4-1)。

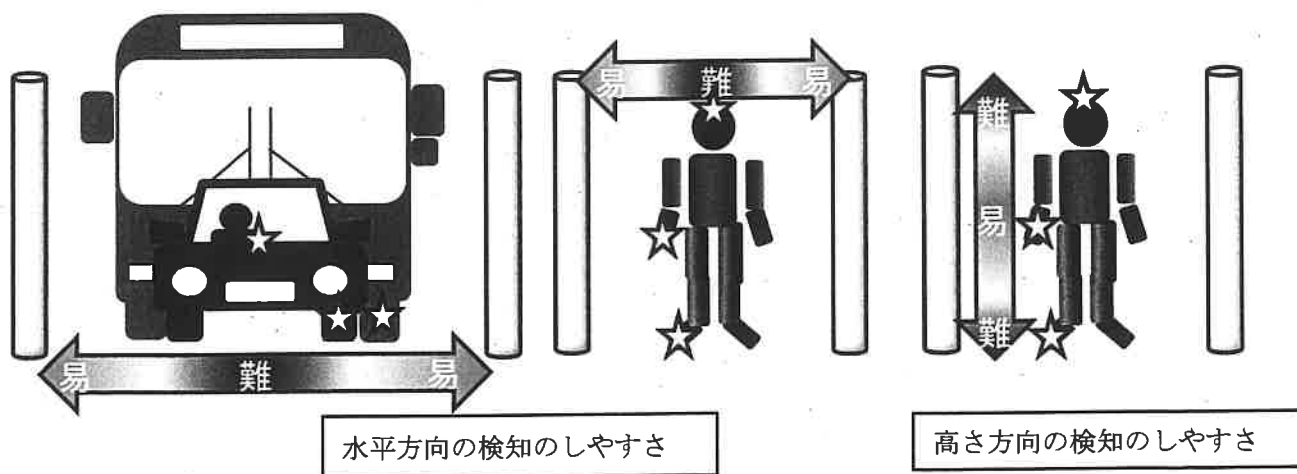


図 4.1.4-1 汚染箇所による検知のしやすさ

(1) 測定器 A の警報発報（汚染検知）の仕組み

測定器 A は、大型車両用として両側上段に検出器を追加連結させることが可能である（図 4.1.4-2）²。検出器 A は、警報発報の判定にふたつの設定値を用いている。ひとつは、メーカーが設定する換算係数であり、もうひとつは、使用者が任意に値を設定できる警報設定値である。

換算係数とは、測定した計数率の値を GM 管式サーベイメータ相当に換算する値である。測定器は常に計数率の計測を行っており、車両が通過していない間のデータは BG として保存している。車両の通過中に得た測定値（Gross 値）は BG 分を差し引いて正味の計数率（Net 値）とした後、この換算係数を掛けて GM 管式サーベイメータ相当の計数率としている。

警報設定値とは、その GM 管式サーベイメータ相当の計数率に換算された値と比較して警報を発報するか否かを判断するための基準値である。例えば、警報設定値を 40,000cpm に設定していたとき、この換算された値が 40,000cpm 以上であれば警報が発報されることとなる。

車両通過は進入センサの車両感知により把握する。進入センサが車両を感知すると各検出器が個別に計測を開始し、一定時間毎の計数を測定する。測定終了時に検出器ごとの最大値と警報設定値を比較し、1つ以上の検出器で換算値が警報設定値を超えた場合に警報を発報する。

【警報発報の条件】

GM 管式サーベイメータ相当の換算値 \geq 警報設定値

GM 管式サーベイメータ相当の換算値 = (測定値 (Gross 値) - BG) \times 換算係数

GM 管式サーベイメータ相当に換算する係数は、タイヤ接地面約 2,000cm² に一様な ¹³¹I が存在する場合等の条件をメーカーが想定し、設定された係数である。警報設定値は任意に変更が可能である。



図 4.1.4-2 測定器 A の簡略図

² 本調査では、ワイパー汚染を検証する際に検出器に入射する立体角を広く確保するため、上段の検出器も連結させて試験した。

(2) 測定器 B の警報発報（汚染検知）の仕組み

測定器 B は、検出器が両側上下に 2 本ずつあり（図 4.1.4-3）、進入センサが車両を感知すると各検出器が個別に計数を開始する。測定器 B は、測定器間を通過するモードと測定器間に所定の時間停止するモードの選択ができる。

測定器間を通過するモードでは、計測中の一定時間毎の測定値と警報設定値を順次比較し、1 つの検出器の測定値が警報の基準値を超えた瞬間に、もしくは上段 2 つ又は下段 2 つの検出器の合計の測定値が警報の基準値以上になった瞬間に、警報を発報する。警報発報時に各検出器の測定値が BG 標準偏差の倍数でモニタに表示される。

測定器間にて所定の時間、停止するモードでは、測定時間内の合計の測定値と警報設定値と比較し、1 つの検出器の測定値が警報の基準値を超えたとき、もしくは上段 2 つ又は下段 2 つの検出器の合計の測定値が警報の基準値以上になったとき、警報を発報する。警報は、計測終了時に発報し、各検出器の測定値が BG 標準偏差の倍数でモニタに表示される。

ここでいう警報の基準値とは、BG の標準偏差に警報設定値（定数）を乗算した値と BG を足し合わせた値である。測定器は常に計数率を計測しており、対象物を測定していない間に BG として取得している。警報設定値は BG を基にしているため、環境 BG 毎に警報設定値の校正が必要になる。警報設定値の定数は「9.9」を最大として、ユーザーが任意に変更可能である。

【警報発報の条件】

測定値（Gross 値） \geq BG + 警報設定値（定数） \times BG 標準偏差



図 4.1.4-3 測定器 B の簡略図

(3) 測定器 C の警報発報（汚染検知）の仕組み

測定器 C は、検出器が両側に 1 本ずつあり（図 4.1.4-4）、進入センサが測定対象を感知すると各検出器が個別に計数を開始する。計測中の一定時間毎の測定値と警報の基準値を順次比較し、2 つの検出器の合計の測定値が警報の基準値を超えた瞬間に警報を発報する。

ここでいう警報の基準値とは、測定器 B の場合と同様に BG の標準偏差に警報設定値（定数）を乗算した値と BG を足し合わせた値である。測定器は常に計数率を計測しており、対象物を測定していない間に BG として取得している。警報設定値は BG を基にしているため、環境 BG 毎に警報設定値の校正が必要になる。警報設定値の定数はユーザーが任意に変更可能である。

【警報発報の条件】

測定値（Gross 値） \geq BG + 警報設定値（定数） \times BG 標準偏差

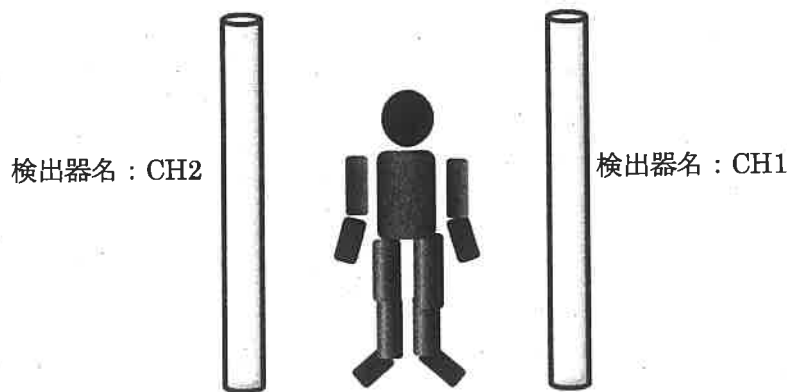


図 4.1.4-4 測定器 C の簡略図

4.2 ゲート型モニタの機器性能調査試験の方法

避難退域時検査における指定箇所検査について、車両用ゲート型モニタ及び住民用ゲート型モニタで代替可能か調査するため、機器性能調査試験を実施した。この試験では RI 密封線源を用いて車両もしくは住民の汚染を模擬し、測定器 A,B,C の測定性能を調べ、試験に使用した測定器における実効性についてとりまとめた。

試験方法は、OIL4 の 40,000cpm 相当の汚染測定を共通として、基本的な考え方を設定した。車両用ゲート型モニタと住民用ゲート型モニタの試験方法は、この試験方法の基本的な考え方を踏まえた上でそれぞれ検討した。

4.2.1 試験方法の基本的な考え方

防護措置の実施を判断する基準として、空間放射線量率や環境試料中の放射性物質の濃度等の原則計測可能な値で表される運用上の介入レベル (OIL) を設定している。表面汚染密度に関しては、表 4.2.1-1 のとおり、B 線：40,000cpm (120Bq/cm²相当) 及び B 線：13,000cpm (1 か月後の値、40Bq/cm²相当) が基準の値として示されている (原子力規制委員会, 2020)。

本試験では、避難退域時検査等マニュアルで示されている指定箇所検査 (車両：タイヤ、ワイパー部、住民：頭部、顔面、手指及び掌、靴底) をゲート型モニタで代替可能かについて調査した。

現在の避難退域時検査等マニュアルでは、車両用ゲート型モニタについて、40,000cpm を検出できるように設定することとしており、この設定が困難である場合は、一例として、BG 計数値の標準偏差の 3 倍を超える上昇を検出できるように警報値を設定することで代用可能としている (原子力規制庁放射線防護企画課, 2017)。しかし、この使用方法では 40,000cpm 未満の汚染も検知される可能性が残っている。OIL4 は 40,000cpm が基準であるため、40,000cpm 未満の汚染を検知してしまい、40,000cpm 相当汚染の汚染を検知したものとして対応することは本来適切ではない。よって、本試験では、「40,000cpm の検知能力」に加え、「40,000cpm 以上・未満の判定能力」も評価することとした。

なお、「40,000cpm の検知能力」については、40,000cpm 相当の汚染を高い割合で検知できたとき、「40,000cpm 相当の汚染を検知可能」とした。また、「40,000cpm 以上・未満の判定能力」については、40,000cpm 相当の汚染を高い割合で検知でき、かつ、30,000cpm 相当の汚染を検知する割合を低く抑えられたとき、「40,000cpm 以上・未満の判定が可能」と評価することとした。

表 4.2.1-1 OIL と防護措置について (原子力規制委員会, 2020)

	基準の種類	基準の概要	初期設定値 ^{※1}	防護措置の概要
緊急防護措置	OIL1	(省略)		
	OIL4	不注意な経口摂取、皮膚汚染からの外部被ばくを防止するため、除染を講ずるための基準	B線：40,000cpm ^{※3} (皮膚から数 cm での検出器の計数率) B線：13,000cpm ^{※4} 【1 か月後の値】 (皮膚から数 cm での検出器の計数率)	避難又は一時移転の基準に基づいて避難等した避難者等に避難退域時検査を実施して、基準を超える際は迅速に簡易除染等を実施。
(省略)				

※1 「初期設定値」とは緊急事態当初に用いる OIL の値であり、地上沈着した放射性核種組成が明確になった時点で必要な場合には OIL の初期設定値は改定される。

※2 (省略)

※3 我が国において広く用いられている B 線の入射窓面積が 20cm² の検出器を利用した場合の計数率であり、表面汚染密度は約 120Bq/cm² 相当となる。他の計測器を使用して測定する場合には、この表面汚染密度から入射窓面積や検出効率を勘案した計数率を求める必要がある。

※4 ※3 と同様、表面汚染密度は約 40Bq/cm² 相当となり、計測器の仕様が異なる場合には、計数率の換算が必要である。

試験に供する模擬汚染線源は、¹³¹I の半減期が 8.0 日と短いため、半減期が 10.5 年と長く、放出する γ 線のエネルギースペクトルが汚染想定核種の ¹³¹I と近い ¹³³Ba の密封線源とした。ただし、¹³³Ba が 34% の高い放出率で 81keV の光子を放出することが異なる (表 4.2.1-2)。本試験で対象とする測定器の検出部はプラスチックシンチレータであり、プラスチックシンチレータの厚さ 20mm~100mm で 81keV の光子の検出感度は 300~250keV 光子に対して 1.2~1.5 倍程度高い (図 4.2.1-1)。つまり、81keV 以外の光子の検出数を 10events とすると、34% 放出率の 81keV の光子の検出数は約 5events 程度となる。放射能が同じであれば、¹³¹I の検出数が 10events だとすると、¹³³Ba ではおよそ 15events 程度となり、過度に検出されることになる。測定器 B、C は入射 81keV 以下の事象を除去できないので、これらの測定器を用いて試験する場合、¹³³Ba の検出数を ¹³¹I に合わせるため、放射能を 2/3 換算した線源を用いた。一方、測定器 A は、入射 81keV 以下の事象を除去できるため、放射能の換算を行わなかった。

表 4.2.1-2 ^{131}I と ^{133}Ba の主な光子の放出割合 (日本アイソトープ協会, 2016)

核種	主な光子		放出割合 (%)
	エネルギー (keV)	放出割合 (%)	
^{131}I	$\leq 81\text{keV}$	80.2	2.6
	$> 81\text{keV}$	284	6.1
		365	81.7
		637	7.2
		723	1.8
^{133}Ba	$\leq 81\text{keV}$	53.2	2.2
		79.6	2.6
		81.0	34.1
	$> 81\text{keV}$	276	7.2
		303	18.3
		356	62.1
		384	8.9

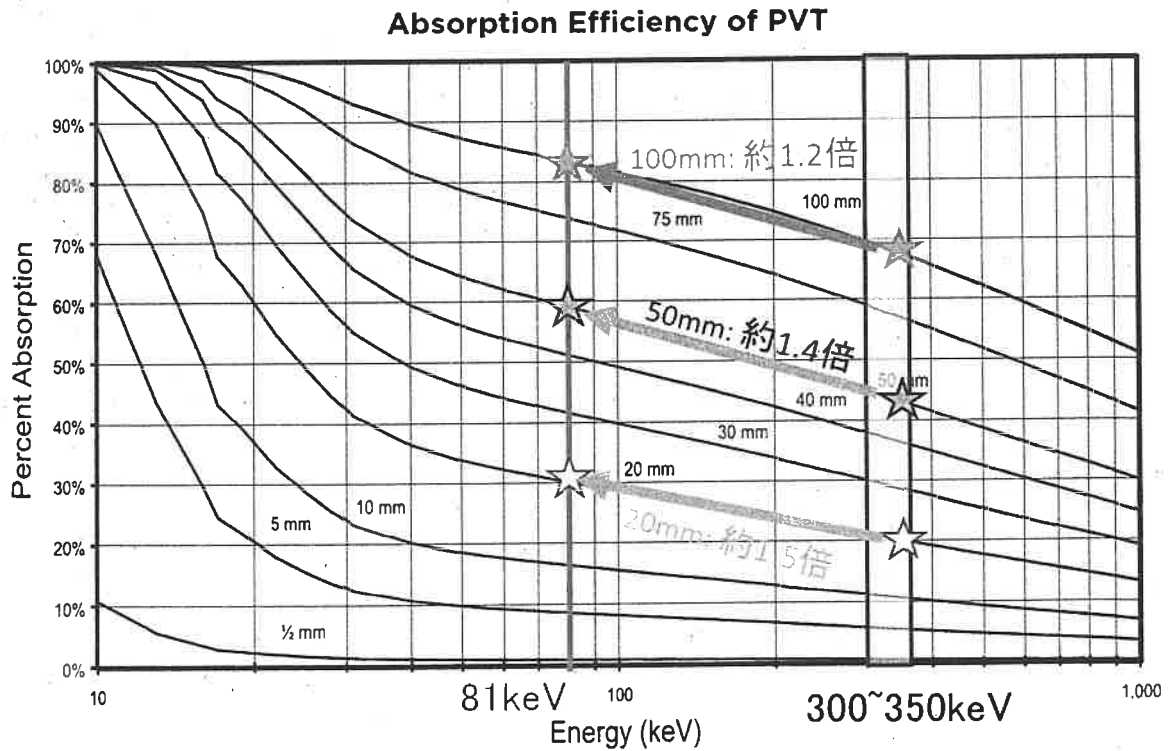


図 4.2.1-1 プラスチックシンチレータの吸収効率 (「Efficiency Calculations for Selected Scintillators」 (Saint-Gobain 社ホームページ) の図を基に作成)

4.2.2 車両用ゲート型モニタの機器性能調査試験方法

避難退域時検査等マニュアルに示されている車両用ゲート型モニタに必要な性能「タイヤの接地面約 2,000cm²に、β線 40,000cpm (120Bq/cm²、放射能 240kBq) の一様な ¹³¹I が存在する場合に、これを検出できること」と示されている。本評価では、これに着目し、指定箇所検査にて測定対象であるタイヤ及びワイパー部の汚染について、

- ① メーカーの仕様等、基本的な測定方法による 40,000cpm の検知能力
- ② メーカーの仕様等、基本的な測定方法による 40,000cpm 以上・未満の判定能力
- ③ ②にて 40,000cpm 汚染の判定ができない場合、他の条件による判定能力

という 3 つの評価項目に焦点を絞り、平常時の BG 環境下 (0.1μSv/h 未満) において、模擬汚染線源を取り付けた車両を走行させ機器性能調査試験を実施した。なお、検出器 B の警報設定値の定数は任意に変更可能だが、避難退域時検査等マニュアルの記載を参考に、本試験では警報設定値の定数の最低値は「3.0」とした。

(1) 使用機材

試験に使用した機材を以下に示す。

ア. 車両用ゲート型モニタ

- ・測定器 A
- ・測定器 B

イ. 試験車両

一般的な普通乗用車として、セダン (トヨタマーク X) を用い、バス等の大型車両のワイパー部を模擬するため、バン (日産キャラバン) を用いた。

- ・トヨタマーク X (型式: DBA-GRX130)
全長 477cm、全幅 179cm、全高 143cm、地表からワイパーブレードまでの高さ 105cm
- ・日産キャラバン (型式: CBF-VR2E26)
全長 469cm、全幅 169cm、全高 199cm、地表からワイパーブレードまでの高さ 142cm

ウ. 模擬汚染線源

装着する模擬汚染線源は、表 4.2.2-1 及び図 4.2.2-1 に示す ¹³³Ba 線源である。40,000cpm の汚染は、タイヤ部では接地面約 2,000cm²に 120Bq/cm² の一様な ¹³¹I の汚染がある場合を想定し、240kBq が相当するものとした。同様に、ワイパー部では、フロントガラス下部の 140cm×15cm 程度の範囲に 120Bq/cm² の汚染がある場合を想定し、240kBq が相当するものとした。

したがって、40,000cpm 相当の汚染として測定器 A では 240kBq の ¹³³Ba を使用し、測定器 B では 4.2.1 に示した理由から放射能を 2/3 換算した 160kBq を使用することとした。また、40,000cpm 未満の試験データを取得するため、測定器 A では 13,000cpm 相当及び 30,000cpm 相当の汚染として 80kBq 及び 180kBq、測定器 B では 30,000cpm 相当の汚染として 120kBq を使用することとした。

表 4.2.2-1 模擬汚染線源

核種 (コード番号)	線源番号	試験開始時(R2.10/13)の放射能 (kBq)
^{133}Ba (BA401)	984	38
	985	38
	986	38
	987	38
	988	38
	989	38
		合計 228

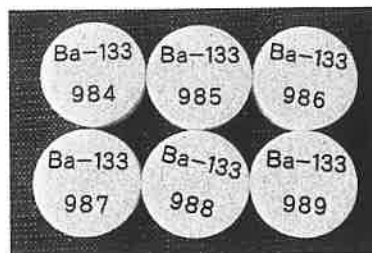


図 4.2.2-1 ^{133}Ba 線源 6 個 (BA401)

① タイヤ部に装着した模擬汚染線源の配置

本試験では車両を走行させることから、模擬汚染線源を破損する可能性があるため、タイヤの接地面に付けることができない。よって、タイヤ接地面に近いタイヤ周囲のボディ（以下「タイヤ部」という。）に模擬汚染線源を装着することとした。

装着する模擬汚染線源は、表 4.2.2-1 に示す ^{133}Ba 線源であり、タイヤ（前輪左側）周囲のボディに均等な位置になるようにテープで固定した（図 4.2.2-2 及び図 4.2.2-3）。

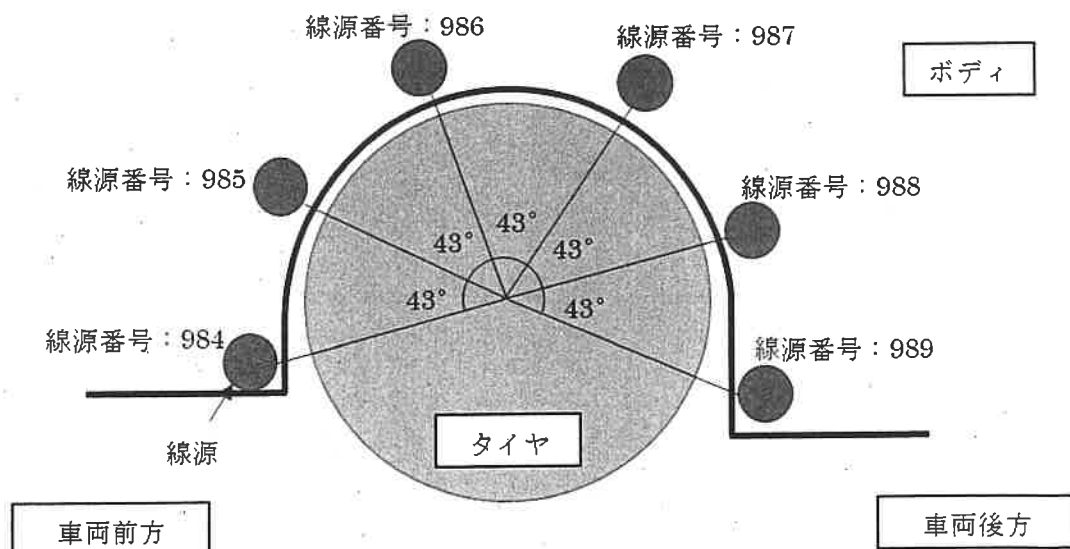


図 4.2.2-2 タイヤ部に装着する模擬汚染線源（6 個）の配置例



図 4.2.2-3 タイヤ周囲のボディに固定した模擬汚染線源例

② ワイパー部に装着した模擬汚染線源の配置

ワイパー部に装着する模擬汚染線源は、表 4.2.2-1 に示す ^{133}Ba 線源がフロントガラス下部に対して均等になるような位置又は中央に位置するようビニールシートで固定し（図 4.2.2-4、図 4.2.2-5、図 4.2.2-6）、ワイパーブレード部に（フロントガラス下部）に密着させた（図 4.2.2-7 及び図 4.2.2-8）。

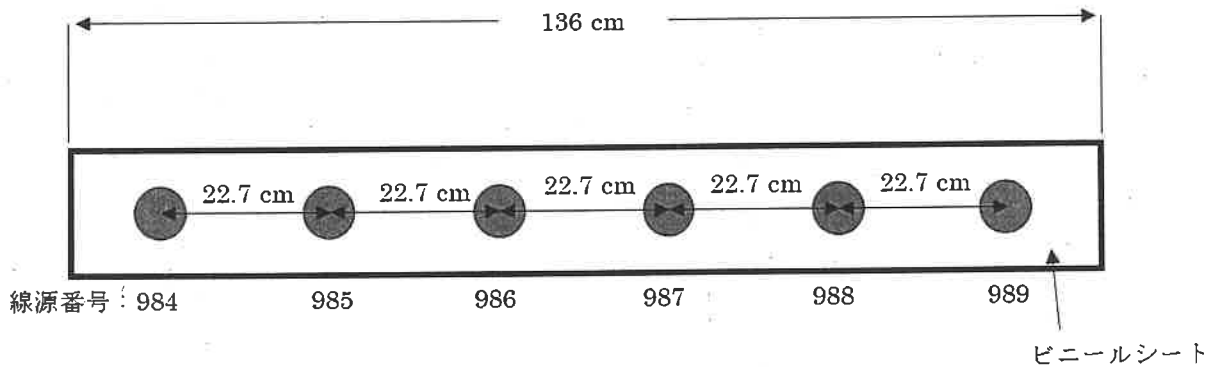


図 4.2.2-4 セダンのワイパー部に均等に装着する模擬汚染線源（6 個）の配置例

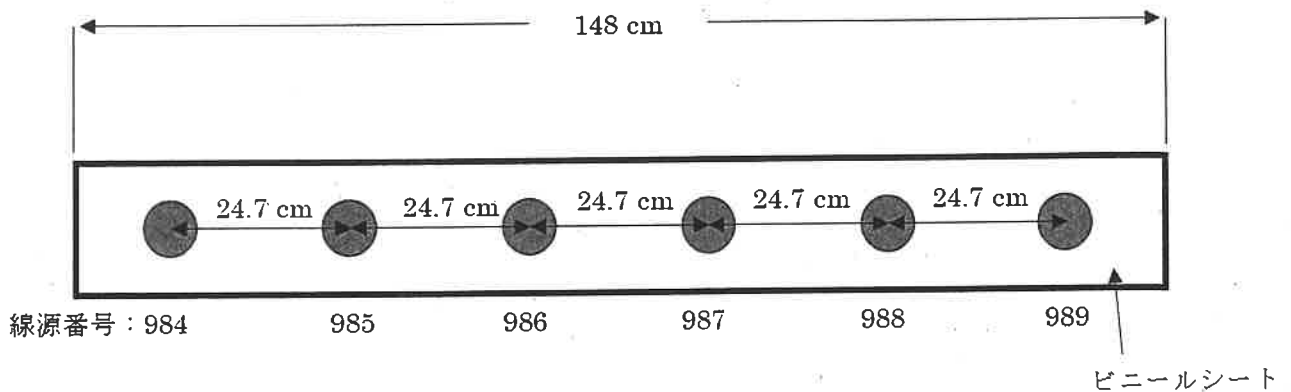


図 4.2.2-5 バンのワイパー部均等に装着する模擬汚染線源（6 個）の配置例

模擬汚染線源をワイパー部中央に2個ずつ重ねて張り付けた

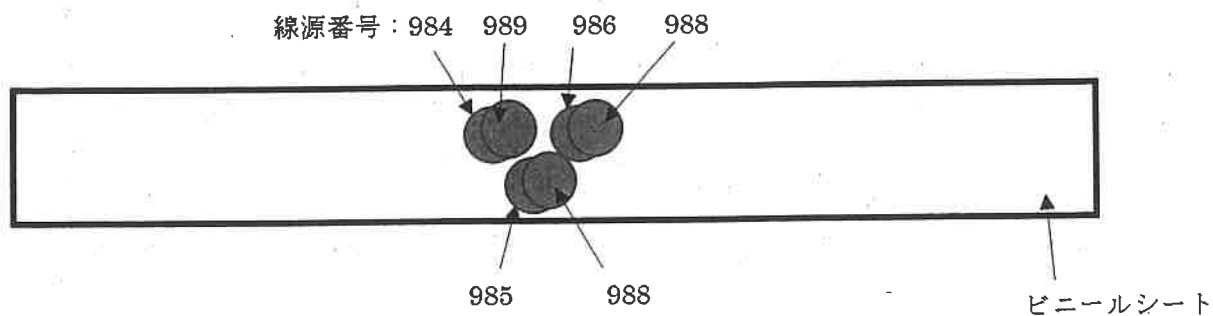


図 4.2.2-6 ワイパー部中央に装着する模擬汚染線源（6個）の配置例

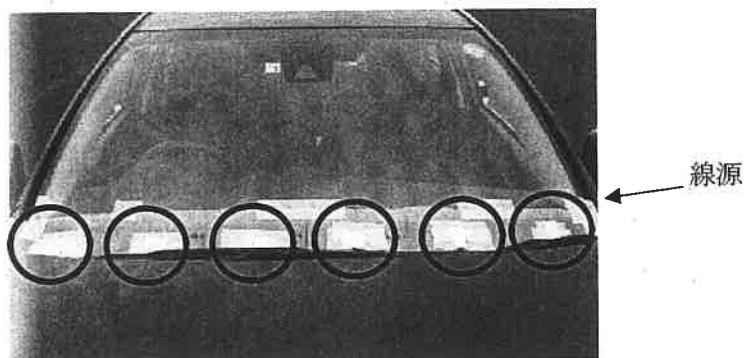


図 4.2.2-7 ワイパー部に均等に装着した模擬汚染線源（6個）

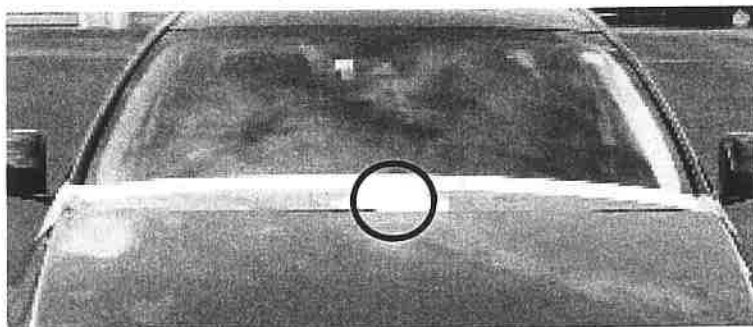


図 4.2.2-8 ワイパー部中央に装着した模擬汚染線源（6個）

エ. NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ

NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータを使用して、試験実施前に試験実施場所の空間線量率を測定した。

(2) 実施場所

日本原子力研究開発機構 原子力緊急時支援・研修センター

(3) 試験方法

模擬汚染線源をタイヤ部又はワイパー部に張り付け、車両を検出器間の中央を通るように走

行させ、車両通過後、測定器の警報発報の有無を記録した。なお測定器 A は、測定後、検出器ごとに測定中の最大の測定値（Gross 値）を表示することができるため、これも記録した。図 4.2.2-9 に試験のレイアウトを示す。

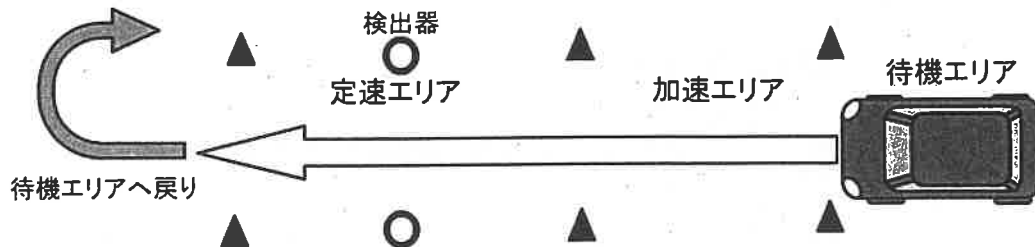


図 4.2.2-9 試験のレイアウト

4.2.3 住民用ゲート型モニタの機器性能調査試験方法

避難退域時検査等マニュアルに示されている、住民の指定箇所検査にて測定対象である頭部、顔面、手指及び掌、靴底の汚染について、

- ・メーカーの仕様の方法等、基本的な方法による 40,000cpm 以上・未満の判定能力
- ・40,000cpm 汚染の検知が難しい場合、より汚染検知のしやすい方法
- ・車いす利用者の検知のしやすさ

の 3 つの評価項目に焦点を絞り、比較的汚染されていない環境 ($0.1\mu\text{Sv/h}$ 未満) において、模擬汚染線源を取り付けた被験者をゲート型モニタで測定し機器性能調査試験を実施した。

(1) 使用資機材等

ア. ゲート型モニタ

- ・測定器 B
- ・測定器 C

※ 測定器 C の警報設定値について、仕様上変更可能であるが本試験で用いた測定器はソフトウェア上のバグがあるため、変更不可であった。

イ. 被験者

- ・被験者 A
頭頂部までの高さ 174cm、掌までの高さ 83cm、足のサイズ 25cm
- ・被験者 B
頭頂部までの高さ 182cm、掌までの高さ 87cm、足のサイズ 27.5cm

ウ. 模擬汚染線源

本試験で使用した模擬汚染線源は ^{133}Ba である。40,000cpm の汚染は、身体の「頭部、顔面」、「手指及び掌」、「靴底」のそれぞれについて、 100cm^2 の範囲に $120\text{Bq}/\text{cm}^2$ の一様な ^{131}I の汚染がある場合を想定し、 12kBq が相当するものとした。なお、汚染範囲 100cm^2 は体表面モニタが採用している (JIS Z 4338, 2006) ことを踏まえた。

したがって、40,000cpm 相当の汚染として測定器 B 及び C では共に、放射能を $2/3$ 換算した 8kBq が 40,000cpm 相当の汚染であるものとして扱った。ただし、本試験では 40,000cpm 未満・超の試験データを取得するため、30,000cpm 相当の 6kBq 及び 60,000cpm 相当の 12kBq を使用した。

装着する模擬汚染線源は、表 4.2.3-1 及び図 4.2.3-1 に示す ^{133}Ba 線源である。図 4.1.4-1 に示した検出器の検知のしやすさに基づき、最も測定が難しくなると考えられる場所として、それぞれ図 4.2.3-2 のとおり取り付けることとした。「頭部、顔面」は、帽子の頭頂部にあたる場所にテープで模擬汚染線源を固定し、帽子をかぶることとした。「手指及び掌」の場合は、掌にテープで模擬汚染線源を固定した。「靴底」の場合は、靴のつま先及びかかと部分をアクリル板で底上げし、靴の中央にあたる場所に模擬汚染線源をテープで固定した。

表 4.2.3-1 模擬汚染線源

核種 (コード番号)	線源番号	試験開始時(R2.12/18)の放射能 (kBq)	
^{133}Ba (BA401)	872	6	合計 12
	983	6	

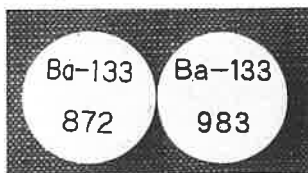


図 4.2.3-1 ^{133}Ba 線源 2 個 (BA401)

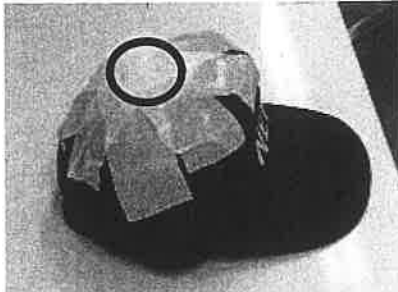
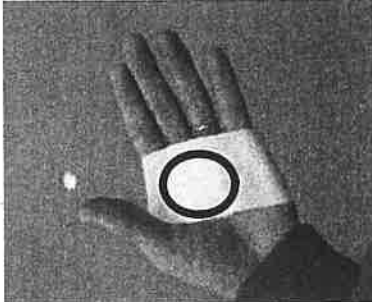
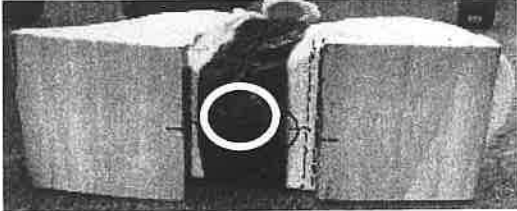
測定対象	被験者（人体）
頭部、顔面	 <p data-bbox="670 689 1101 721">帽子の頭頂部に模擬汚染線源を固定</p>
手指及び掌	 <p data-bbox="737 1064 1034 1095">掌に模擬汚染線源を固定</p>
靴底	 <p data-bbox="494 1377 1284 1440">つま先及びかかとをアクリル板でかさ上げし、靴底に模擬汚染線源を固定</p>

図 4.2.3-2 模擬汚染線源の配置

エ. NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ

NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータを使用して、試験実施前に試験実施場所の空間線量率を測定した。

(2) 実施場所

日本原子力研究開発機構 原子力緊急時支援・研修センター

(3) 試験方法

模擬汚染線源を頭頂部、掌又は靴底に取り付け、被験者が検出器間の中央で所定の時間停止又は通過し、測定器の警報発報の有無を記録した。なお測定器 B は、測定後、検出器ごとに測定中の計数率 (cpm) を表示するため、これも記録した。図 4.2.3-3 に試験イメージ図を示す。

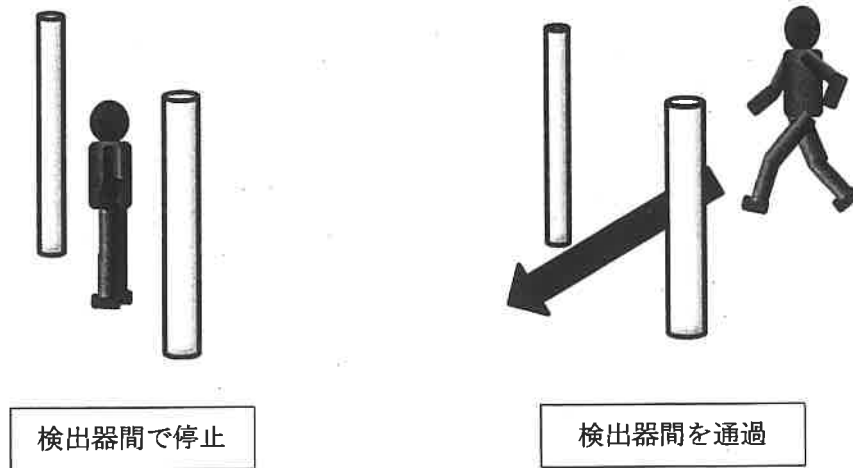


図 4.2.3-3 試験イメージ

4.3 ゲート型モニタの機器性能調査試験の結果

4.3.1 車両用ゲート型モニタの試験結果

(1) 測定器 A の試験結果

ア. メーカーの仕様等、基本的な測定方法による 40,000cpm の検知能力について

測定器 A の仕様の方法にて、試験車両のタイヤ又はワイパー部に模擬線源を取り付け、1つの条件につき 15 回試行した。

警報発報率を条件ごとに集計し、表 4.3.1-1 に示す。メーカー仕様の測定では、40,000cpm 相当のタイヤ汚染の警報発報率が高く、検知が可能であることを示す結果が得られた。ただし、ワイパー部汚染では警報発報率が低く、検知が難しいことを示す結果となった。

表 4.3.1-1 測定器 A のメーカー仕様方法での試験結果

警報設定値：40,000cpm (メーカー仕様)				
検出器間距離：3.5m (メーカー仕様)				
車種	線源位置	車両速度 (km/h)	模擬汚染線源	警報発報率 (試行回数：各 15 回)
セダン	タイヤ部	5	13,000cpm 相当 (76kBq ¹³³ Ba)	20%
			30,000cpm (推定)	100%
	10	40,000cpm 相当 (228kBq ¹³³ Ba)	100%	
	ワイパー部均等		80%	
バン	ワイパー部中央	5	40,000cpm 相当 (228kBq ¹³³ Ba)	20%
	ワイパー部均等			73%
	ワイパー部中央			67%

イ. メーカー仕様の方法による 40,000cpm 以上・未満の判定能力について

タイヤ部に 13,000cpm 相当又は 40,000cpm 相当の汚染を取り付けた試験について、模擬汚染線源を取り付けたタイヤに最も近い検出器番号：ch2（図 4.3.1-1）に着目し、測定結果が 40,000cpm 以上になる割合は、40,000cpm 相当の汚染の場合で 100%、30,000cpm の場合で約 100%となると推定した（補足 A）。この結果から、メーカー仕様の方法でタイヤ汚染の 40,000cpm 以上・未満の判定は難しいと考えられる。なお、40,000cpm 以上・未満の判定が難しい要因は、メーカーが 40,000cpm 相当の汚染を確実に検知できるよう、余裕をもって警報を発報するよう設定しているためであると考えられる。

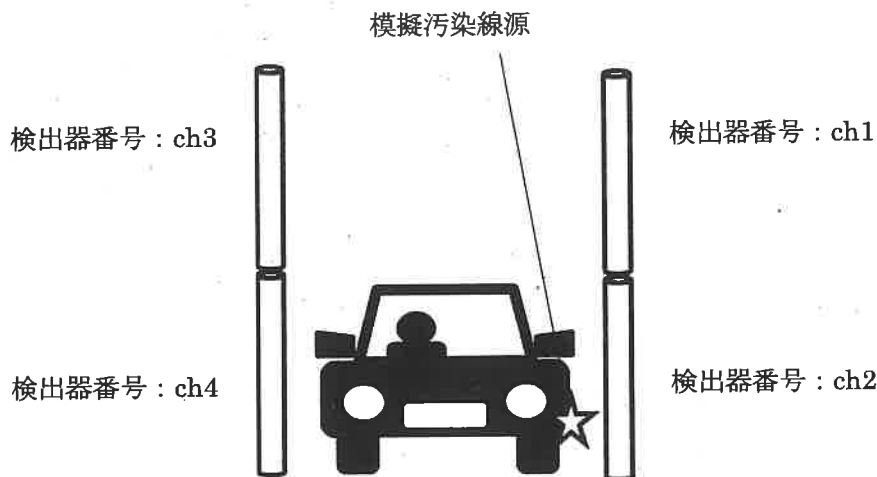


図 4.3.1-1 測定器 A の検出器の配置とタイヤ部に取り付けた模擬汚染線源の位置

(2) 測定器 B の試験結果

ア. メーカーの仕様等、基本的な測定方法による 40,000cpm の検知能力について

測定器 B の仕様の方法にて、試験車両のタイヤ又はワイパー部に模擬汚染線源を取り付け、1つの条件につき 15 回試行した。

警報発報数を条件ごとに集計し、表 4.3.1-2 に示す。30,000cpm 相当で 100%検知したことから、メーカー仕様の測定方法で、タイヤ汚染の 40,000cpm 相当の検知は可能である。また、ワイパー部の 40,000cpm 相当汚染を高い警報発報率で検知したため、検知が概ね可能であると判断できる。ただし、タイヤ汚染の方がワイパー部汚染よりも感度が高いため、ワイパー汚染が 40,000cpm 未満であっても、タイヤ汚染の影響により警報を発報する可能性もあると考えられる。

なお、進入センサが内蔵型の測定器 B（図 4.3.1-2）を用いて、セダンを測定した際、車両の進入を正確に検知できないケースが見られた。これは、車両通過の際に進入センサである赤外線センサが窓を貫通し、適切に車両を感知できなかったためと考える。

表 4.3.1-2 測定器 B のメーカー仕様方法での試験結果

車両速度：5km/h（メーカー仕様）				
検出器と車両側面間距離：50cm（メーカー仕様）				
車種	線源位置	模擬汚染線源	警報設定値	警報発報率（試行回数：各 15 回）
セダン	タイヤ部	30,000cpm 相当 （当日 114kBq）	BG + 9.9 σ	100%
	ワイパー部均等	40,000cpm 相当 （当日 152kBq）	BG +	93%
	ワイパー部中央		3.0 σ	87%

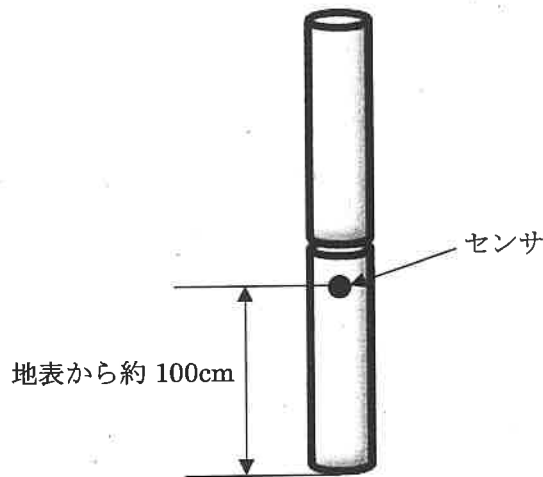


図 4.3.1-2 センサ内蔵型の測定器 B のセンサ位置

イ. メーカーの仕様等、基本的な測定方法による 40,000cpm 以上・未満の判定能力について
測定器 B で設定できる警報設定値は $BG+9.9\sigma$ である。タイヤ汚染について、表 4.3.1-2 から設定できる最大の警報設定値で 30,000cpm 相当の汚染の警報発報割合が 100%であったため、メーカー仕様の測定で 40,000cpm 以上・未満の判定は難しい。

ワイパー部の場合、検出器がワイパー部汚染に比べてタイヤ汚染に対する感度が高いため、タイヤにて 30,000cpm 相当汚染でも警報発報率が高くなることを踏まえれば、タイヤからの高い計数率の影響によりワイパー部の 40,000cpm 以上・未満の判定は難しくなると考えられる。

ウ. メーカー仕様外の方法による 40,000cpm 以上・未満の判定能力について

タイヤ汚染について、測定器と車両側面間距離をメーカー仕様である 50cm より遠い 100cm とし、ア及びイと同様に試験を実施した。警報発報率を条件ごとに集計し、表

4.3.1-3 に示した。この結果から、検出器と車両側面距離を 100cm とし、かつ警報設定値をタイヤに合わせる ($6.0 \sim 7.0\sigma^3$) ことで、40,000cpm 以上・未満の判定は可能になると推定できる。

表 4.3.1-3 測定器 B のメーカー仕様外方法での試験結果

車両速度：5km/h（メーカー仕様）				
検出器と車両側面間距離：100cm（メーカー仕様外）				
車種	線源位置	模擬汚染線源	警報設定値 (σ)	警報発報率（試行回数：各 15 回）
セダン	タイヤ部	30,000cpm 相当 (当日 114kBq)	6.0	33%
		40,000cpm 相当(当日 152kBq)		100%
		30,000cpm 相当(当日 114kBq)	7.0	13%
		40,000cpm 相当(当日 152kBq)		93%
		40,000cpm 相当(当日 152kBq)	8.0	53%

³ 本試験の BG 環境 (0.1 μ Sv/h 未満) での結果であり、環境によって異なる。

4.3.2 住民用ゲート型モニタの試験結果

(1) 測定器 B の試験結果

ア. メーカーの仕様の方法等、基本的な方法による 40,000cpm 以上・未満の判定能力について

測定器 B の仕様の方法にて、被験者の頭頂部、掌又は靴底に模擬汚染線源を取り付け、1つの条件につき 15 回試行し、警報の発報の有無及び測定した計数率を記録した。警報発報数を条件ごとに集計し、警報発報率を算出した。結果を表 4.3.2-1 に示す。靴底については、被験者 B で 30,000cpm 相当の汚染の警報発報率は 33%と低く、一方、60,000cpm 相当の汚染の警報発報率が 100%であったため、40,000cpm 相当の汚染に対する警報発報率を推定(補足 B)した結果、50%であった。これらのことから、メーカー仕様の方法で、頭部及び掌の 40,000cpm の汚染は検知可能だが、靴底の汚染の検知は難しい。

掌汚染をに対して測定値が最も高くなった検出器名: LB (図 4.3.2-1) について、得られた計数率の平均値及び標準偏差を表 4.3.2-1 に示した。測定器 B の警報設定値の上限は、 $BG+9.9\sigma$ であり、掌汚染は、30,000cpm 相当の汚染でも測定値が警報発報設定値の上限を超えるため、40,000cpm 以上・未満の判定は難しい。また、表 4.3.2-1 にて、被験者 A、B ともに、警報発報率は、掌汚染、等頭部汚染、靴底汚染の順で高かったため、頭頂部汚染及び靴底汚染は、掌汚染の影響により 40,000cpm 以上・未満の判定は難しい。

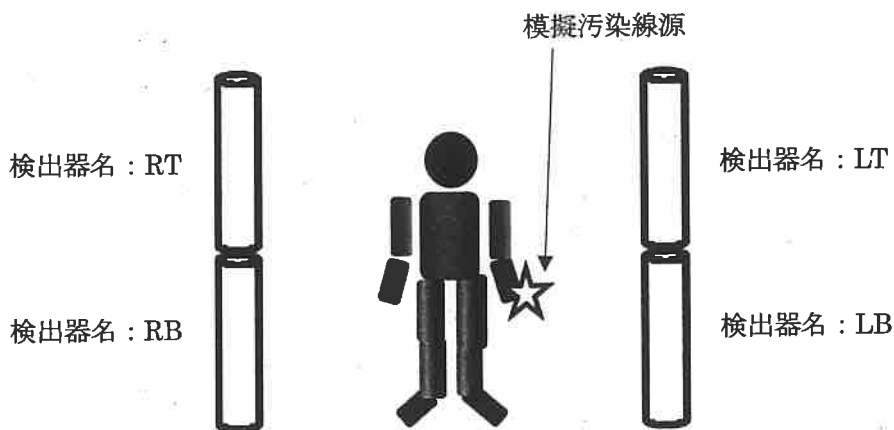


図 4.3.2-1 測定器 B の検出器の配置と掌に取り付けた模擬汚染線源の位置

表 4.3.2-1 測定器 B のメーカー仕様方法での試験結果

測定器間距離：80cm（メーカー仕様）					
測定時間：5秒停止（メーカー仕様）					
警報設定値：3.0 σ					
	測定対象	模擬汚染	警報発報率（試行回数：各15回）	測定値（検出器名：LB）	
				平均値（ σ ）	標準偏差（ σ ）
被験者 A	頭頂部	30,000cpm 相当 （当日 6kBq）	100%	—	—
	掌		100%	※a12.6	1.5
	靴底		13%	—	—
被験者 B	頭頂部	40,000cpm 相当 （8kBq、推定）	93%	—	—
	掌		100%	※a13.8	1.1
	靴底		33%	1.6	1.4
			50% （推定※b）	3.0 （推定）	1.2 （推定）
			60,000cpm 相当（当日 12kBq）	100%	4.7

※a 警報設定値の上限である 9.9 σ を超える

※b 推定方法は補足 B を参照のこと。

イ. 40,000cpm 汚染の検知が難しい場合、より汚染検知のしやすい方法について

アの結果から、靴底汚染の困難であると確認できた。そこで、警報発報率を上げるため、椅子に座って靴底を地面と垂直にすることで汚染面を検出しやすくし（図 4.3.2-2）、かつ測定時間を増やす条件で測定を実施した。その結果を表 4.3.2-2 に示した。30,000cpm の靴底汚染は、測定時間を延ばすほか、椅子に座りかかとを上げる姿勢で測定を行うことにより検知しやすくなることが示された。



【方法 A】

横向きにおいた椅子に座り、両足を椅子の下に引き込んでつま先で立ってかかとを上げる



【方法 B】

反対向きに置いた椅子に座り、両足を椅子の下に引き込んでつま先で立ってかかとを上げる

図 4.3.2-2 椅子に座って靴底汚染の警報発報率を上げる測定方法

表 4.3.2-2 靴底汚染の警報発報率を上げる測定方法での結果

測定器間距離：80cm（メーカー仕様）			
警報設定値：3.0σ			
模擬汚染線源：30,000cpm 相当（当日 6kBq）			
測定方法	被験者	測定時間(sec)	警報発報率（試行回数：各 15 回）
方法 A	被験者 B	5（メーカー仕様）	0%
方法 B			73%
	試験者 A	10	93%

ウ. 車いす利用者の検知のしやすさについて

頭頂部、掌又は靴底に模擬汚染線源を付けた被験者が車いすに乗り、メーカー仕様の方法で、各条件につき 15 回試行した。警報発報数を条件ごとに集計し、警報発報率を算出した。結果を表 4.3.2-3 に示す。頭頂部汚染と掌汚染の警報発報率はどちらも 100%であるが、図 4.1.4-1 から、検出器位置に近い掌汚染の方が検知しやすいと推定する。よって、車いす利用者での検知のしやすさは、歩行者と同様に、掌汚染、頭頂部汚染、靴底汚染の順と推定する。掌汚染については、測定位置、被験者の体勢によって発報率が大きく異なることが確認できた。そのため、検出器から手が離れないよう手をひじ掛けに置いて測定する必要があることが重要である。

表 4.3.2-3 車いす利用者を模擬したときの試験結果

測定器間距離：80cm（メーカー仕様）		
警報設定値：3.0σ		
模擬汚染線源：30,000cpm 相当（当日 6kBq）		
測定対象	測定方法	警報発報率（試行回数：各 15 回）
頭頂部	被験者の胴体が検出器の間に来る位置で停止	100%
掌	ひじ掛けに手及びひじを置き、被験者の胴体が検出器の間に来る位置で停止	100%
	膝に手を置き、被験者の胴体が検出器の間に来る位置で停止	13%
靴底	被験者の足が検出器の間に来る位置で停止	53%

(2) 測定器 C の試験結果

ア. メーカーの仕様の方法等、基本的な方法による 40,000cpm 以上・未満の判定能力について

測定器 C の仕様の方法にて、被験者の掌に模擬汚染線源を取り付け、15 回試行した。警報発報数を集計し、警報発報率を算出した（表 4.3.2-4）。60,000cpm 相当（当日 12kBq）にて実施したが、最も検知しやすい掌であっても、警報発報率が 27%と低い結果であった。したがって、メーカー仕様の方法で 40,000cpm 相当の汚染を検知することは難しく、測定器 B の結果から頭頂部汚染及び靴底汚染はさらに検知が難しいと推測した。

表 4.3.2-4 メーカー仕様方法での試験結果

測定器間距離：81cm（メーカー仕様）			
ウォークスルー（メーカー仕様）			
警報設定値：3.0σ			
模擬汚染線源：60,000cpm 相当（当日 12kBq）			
被験者	速度（m/s）	測定対象	警報発報率
被験者 A	1	掌	27%

イ. 40,000cpm 汚染の検知が難しい場合、より汚染検知のしやすい方法はあるかについて

ア. にて十分な警報発報率が得られなかったため、その他の条件にて測定を試みた。被験者の頭頂部、掌又は靴底に模擬汚染線源を取り付け、検出器間に停止し、警報が発報するまでの時間を計測した。一つの条件につき、15 回試行し、警報発報までの時間を集計し、表 4.3.2-5 に示す。頭頂部汚染及び靴底汚染については、60,000cpm 相当の汚染に対する警報発報率が低かったことから、40,000cpm 相当の汚染の検知は難しい。掌汚染については、被験者 A、B ともに 30,000cpm 相当の汚染に対する 10 秒以内での警報発報率が高かったため、40,000cpm 相当の汚染の検知は可能である。

表 4.3.2-5 メーカー仕様外の方法での試験結果

測定器間距離：81cm（メーカー仕様）				
測定器間で停止（メーカー仕様外）				
警報設定値：3.0σ				
被験者	測定対象	模擬汚染線源	警報発報率	
			5秒以内	10秒以内
被験者 A	頭頂部	30,000cpm 相当 (当日 114kBq)	13%	20%
		60,000cpm 相当 (当日 228kBq)	27%	53%
	掌	30,000cpm 相当 (当日 114kBq)	67%	100%
	靴底	30,000cpm 相当 (当日 114kBq)	53%	60%
		60,000cpm 相当 (当日 228kBq)	53%	73%
	被験者 B	頭頂部	30,000cpm 相当 (当日 114kBq)	0%
60,000cpm 相当 (当日 228kBq)			7%	13%
掌		30,000cpm 相当 (当日 114kBq)	87%	100%

4.4 まとめ

本試験では、OIL4 の初期設定値である 8 線:40,000cpm (120Bq/cm²相当)を想定し、40,000cpm の検知能力及び 40,000cpm 以上・未満の判定能力を評価した。

(1) 車両用ゲート型モニタのまとめ

4.3.1 の結果から、避難退域時検査における指定箇所検査に、本試験で調査した測定器 A,B を車両用ゲート型モニタとして用いた場合の性能及び留意事項を表 4.4-1、表 4.4-2 に示す。測定器 A,B について、40,000cpm の検知能力及び 40,000cpm 以上・未満の判定能力の評価を行った。

表 4.4-1 車両の指定箇所検査における車両用ゲート型モニタの性能

	測定器 A	測定器 B
車両の指定箇所検査における性能	<ul style="list-style-type: none"> 警報設定値等が複数の検出器で共通に設定されている場合や検出器と汚染箇所までの距離が一定でない場合、検出のしやすさは汚染箇所毎に異なるため、40,000cpm 以上・未満の判定を複数箇所（タイヤとワイパー）で同時に行うことはできない。 	
メーカー仕様の基本的な測定方法	<ul style="list-style-type: none"> メーカー仕様に沿って調整された警報設定値及び換算係数にて、タイヤの 40,000cpm 汚染は検知可能だが、40,000cpm 未満の汚染も検知する。また、この時ワイパーの 40,000cpm 汚染は検知できない。 	<ul style="list-style-type: none"> タイヤ汚染は、車体から測定器までの距離が 0.5m では 40,000cpm 汚染の検知は可能だが、計数率が高く 40,000cpm 以上・未満の判定ができない。
その他条件の測定方法	/	<p>タイヤ汚染は、検出器までの距離 1.0m 程度とすれば警報設定値を合わせることで、40,000cpm 以上・未満の判定が可能になる。ただし、この時 40,000cpm のワイパー汚染は検知できなくなる。</p>
結論	<p>タイヤの 40,000cpm 以上の汚染は検知可能だが、40,000cpm 以上・未満の判定はできない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> タイヤ汚染は、車両から検出器までの距離や警報設定値の調整を行えば、40,000cpm 以上・未満の判定が可能になる。 地方公共団体の職員等が BG に応じて測定条件の調整を行う必要がある。
	<p>タイヤに警報設定値を合わせて 40,000cpm 以上の汚染の検知を行うことができるが、ワイパー部は別に要員による測定が必要。</p>	

表 4.4-2 車両用ゲート型モニタの留意点

	測定器 A	測定器 B
留意点等	<ul style="list-style-type: none"> 警報設定値は避難退域時検査場所毎に設定する必要はないが、メーカー仕様の BG (0.1μSv/h) 以下の環境にて使用する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 40,000cpm 以上・未満の判定を行うには、避難退域時検査場所ごとに BG を測定し、それに応じた警報設定値に調整する必要がある。またメーカー仕様の 0.1 μ Sv/h 以下の環境にて使用する必要がある。 車両センサが本体に組み込まれている検出器（センサ組み込み式の検出器）の場合、検出器位置が高すぎるためセダン等の車高の低い車両を適切に測定することが難しい。これは、車両通過の際に赤外線センサが窓を貫通し、測定モードが停止するためである。車両用として使用する場合は、センサ外部取付式の検出器を用い、センサ位置をボンネットの低い車かつバンパーの高い車の両方に使用できる高さに調整する必要がある。

(2) 住民用ゲート型モニタのまとめ

4.3.2 の機器性能調査試験の結果から、避難退域時検査における指定箇所検査に、本試験で調査した測定器 B,C を住民用ゲート型モニタとして用いた場合の性能及び留意事項を表 4.4-3、表 4.4-4 に示す。車両用ゲート型モニタと同様に、40,000cpm の検知能力及び 40,000cpm 以上・未満の判定能力の評価を行った。

表 4.4-3 指定箇所検査における住民用ゲート型モニタの性能

	測定器 B	測定器 C
住民の指定箇所検査における性能	<ul style="list-style-type: none"> ・頭部汚染は、40,000cpm 以上・未満の判定ができない。 ・靴底汚染は、40,000cpm 以上・未満の判定ができない。 ・汚染箇所により検出のしやすさが異なりかつ汚染箇所の特定が難しいため、40,000cpm 以上・未満の判定を複数箇所（頭部・掌・靴底）で同時に行うことはできない。 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・検知のしやすさは、掌>頭部>靴底の順である。（車いす利用者も同様） ・掌汚染は、40,000cpm 以上・未満の判定ができない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・検知のしやすさは、掌>靴底>頭部の順である。 ・掌汚染は、警報設定値を掌に調整することで 40,000cpm 以上・未満を判定できる。
メーカー仕様の基本的な測定方法	掌汚染は 40,000cpm 相当汚染の検知は可能だが、計数率が高く 40,000cpm 以上・未満の判定ができない。	ウォークスルーでは、40,000cpm 相当の汚染が検知できない。
その他条件の測定方法		測定器間で立ち止まることによって、掌汚染の 40,000cpm 相当の検知が可能である。
結論	本調査の成果としては、住民の避難退域時検査において GM 管式サーベイメータ等を使用した要員による検査と比較して、住民用ゲート型モニタを使用して効率よく検査を行うことは困難である。	

表 4.4-4 住民用ゲート型モニタの留意点

	測定器 B	測定器 C
留意点等	メーカー仕様の BG が 0.1 μ Sv/h 程度の環境にて使用する必要がある。	メーカー仕様の BG が自然環境下にて使用する必要がある。
	40,000cpm 以上・未満の判定を行うには、避難退域時検査場所ごとに BG を測定し、それに応じた警報設定値に調整する必要がある。	

【補足】機器性能調査試験の解析

A 測定器 A のタイヤ部の警報発報率の推定

メーカー仕様の基本的な測定方法における 40,000cpm 以上・未満の判定能力を調べるため、40,000cpm 未満の汚染として 30,000cpm 相当の汚染の警報発報率を推定した。この推定には、実験で得られたふたつの結果（13,000cpm 相当及び 40,000cpm 相当）を用いた。

まず、13,000cpm と 40,000cpm 相当汚染での GM 管式サーベイメータ相当の換算値の平均値及びその標準偏差を算出した（表 A-1）。次に、平均値と標準偏差のそれぞれのプロット点を 1 次関数で線形近似し、この 1 次関数を用いて 30,000cpm 相当での平均値及びその標準偏差を推定した。（図 A-1、図 A-2）。

なお、13,000cpm と 40,000cpm 相当汚染での GM 管式サーベイメータ相当の換算値の平均値及び標準偏差は、p44 で示した【警報発報の条件】の関係から以下の式により算出した。このときの換算係数にはメーカーの設定値を用いた。

$$\begin{aligned} \text{換算値の平均値} &= (\text{測定値(Gross 値)の平均値} - \text{BG の平均値}) \times \text{換算係数} \\ \text{換算値の標準偏差} &= \sqrt{\text{測定値(Gross 値)の標準偏差}^2 + \text{BG の標準偏差}^2} \times \text{換算係数} \end{aligned}$$

また、GM 管式サーベイメータ相当の換算値の変動係数（標準偏差／平均値）は線源の放射能が低い程、大きな値を示し、ばらつきが大きいことが分かった。この理由は、測定値（Gross 値）に対して BG がそのほとんどを占める大きさであり、線源による正味の計数率に相当する量（測定値(Gross 値)の平均値 - BG）が小さくなったためであると考えられる。

表 A-1 検出器番号：ch2 の正味計数率の平均値及び標準偏差

警報設定値：40,000cpm（メーカー仕様）						
検出器間距離：3.5m（メーカー仕様）						
車種	線源位置	車両速度 (km/h)	模擬汚染線源	検出器番号：ch2 GM 管式サーベイメータ相当の換算値 (cpm)		
				平均値	標準偏差	変動係数
セダン	タイヤ部	5	13,000cpm 相当 (76kBq ¹³³ Ba)	33628	17375	0.52
			40,000cpm 相当 (228kBq ¹³³ Ba)	129324	20712	0.16
セダン	タイヤ部	5	30,000cpm (180kBq 推定)	99727	19653	0.20

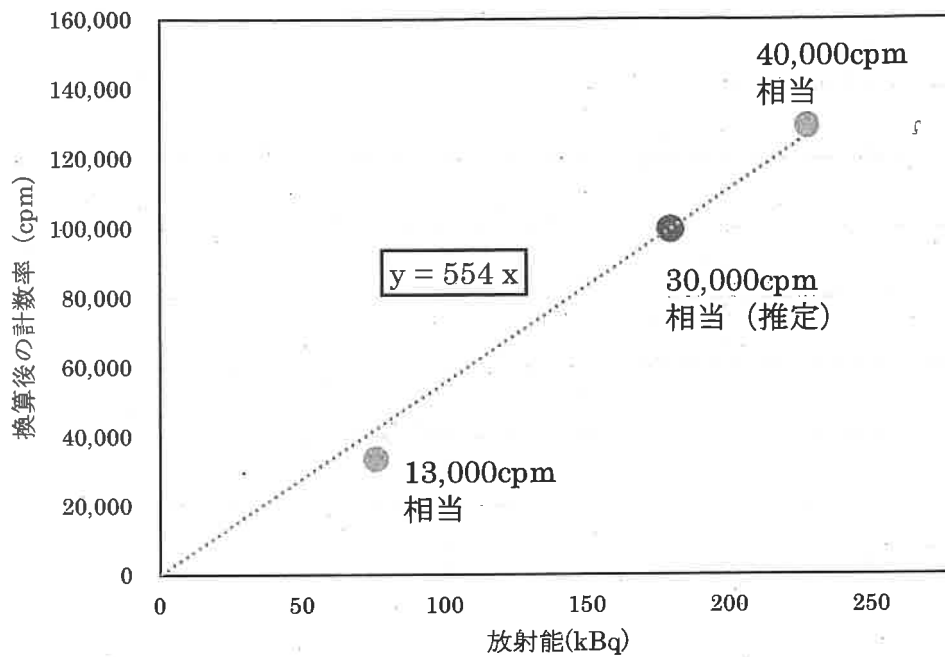


図 A-1 タイヤ部汚染 30,000cpm 相当の換算後の計数率の推定

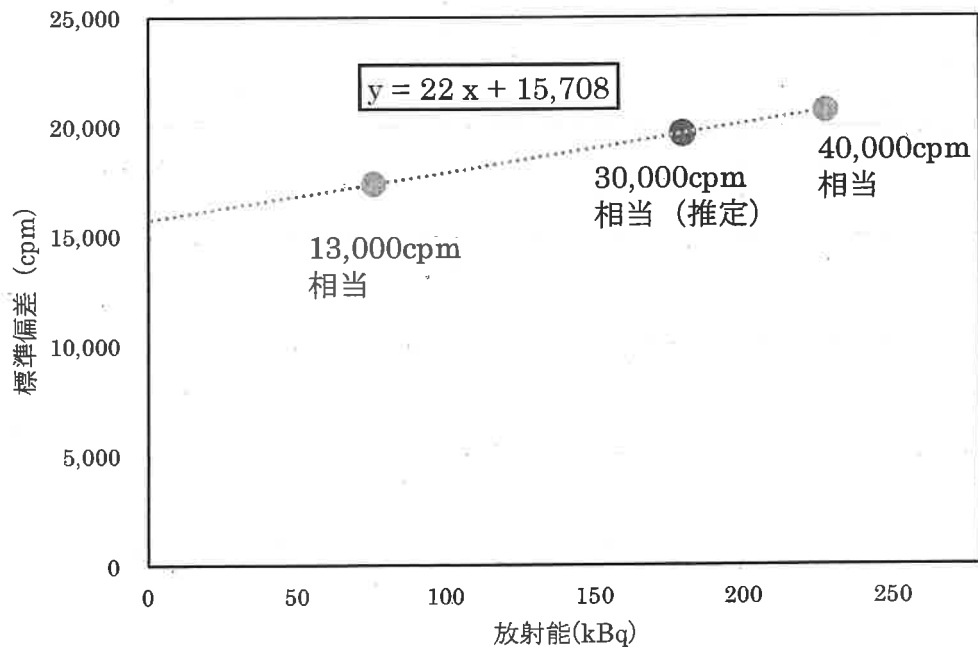


図 A-2 タイヤ部汚染 30,000cpm 相当の換算後の標準偏差の推定

最後に、放射線計数のゆらぎにより換算後の計数率は正規分布するものとし、40,000cpm 及び 30,000cpm 相当の汚染にて、警報設定値 40,000cpm 以上となる事象の割合を求めた。その結果、警報設定値以上となった割合、すなわち警報発報率は 40,000cpm 相当の汚染の場合で約 100%、30,000cpm の場合で約 100%となると推定した (図 A-3)。

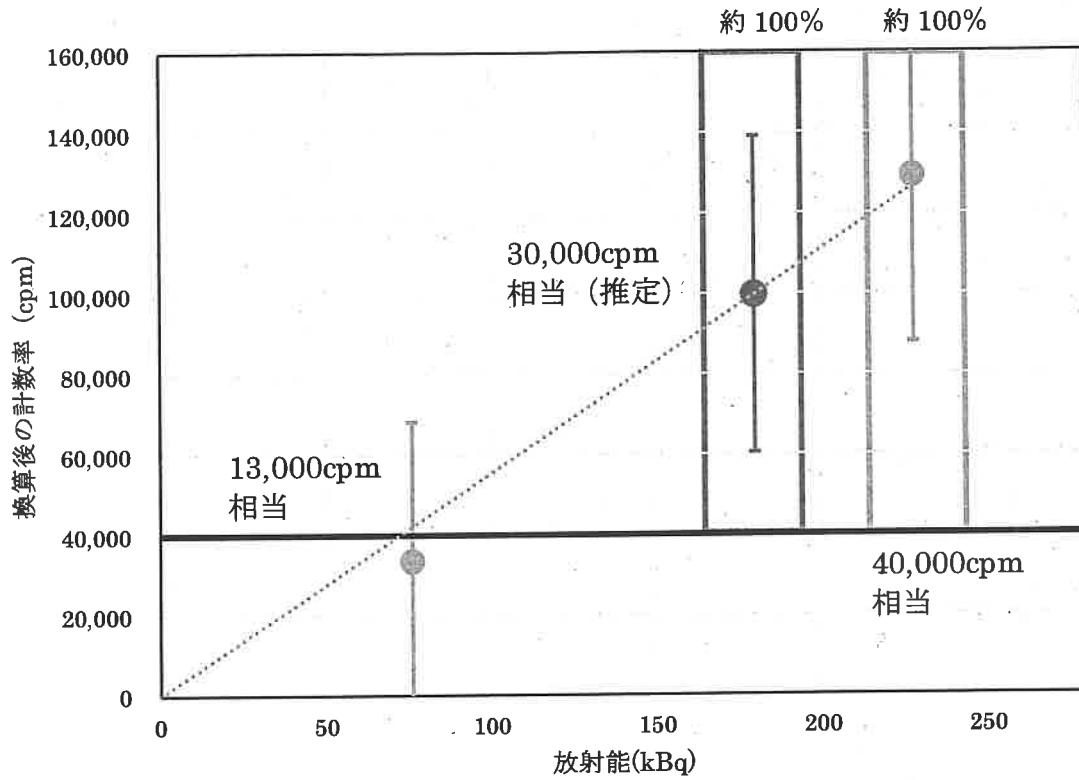


図 A-3 警報設定値 40,000cpm に対する警報発報率の推定
エラーバー : $\pm 2\sigma$

B 測定器 B の靴底の 40,000cpm 相当の汚染に対する警報発報率の推定

住民用ゲート型モニタとしての測定器 B の試験にて、40,000cpm 相当汚染の検知能力を調べるため、被験者 B の靴底における 40,000cpm 相当汚染の警報発報率を推定した。この推定には、実験で得られたふたつの結果（30,000cpm 相当及び 60,000cpm 相当）を用いた。

まず、30,000cpm と 60,000cpm 相当汚染での測定値の平均値及びその標準偏差を算出した（表 B-1）。次に、平均値と標準偏差のそれぞれのプロット点を 1 次関数で線形近似し、この 1 次関数を用いて 30,000cpm 相当での平均値及びその標準偏差を推定した（図 B-1、図 B-2）。

表 B-1 検出器名：LB の測定値の平均値及び標準偏差

測定器間距離：80cm（メーカー仕様）				
測定時間：5 秒停止（メーカー仕様）				
警報設定値：3.0 σ				
	測定対象	模擬汚染	測定値（検出器名：LB）	
			平均値（ σ ）	標準偏差（ σ ）
被験者 B	靴底	30,000cpm 相当（6kBq ^{133}Ba ）	1.6	1.4
		60,000cpm 相当（12kBq ^{133}Ba ）	4.7	0.9
被験者 B	靴底	40,000cpm（8kBq 推定）	3.0	1.2

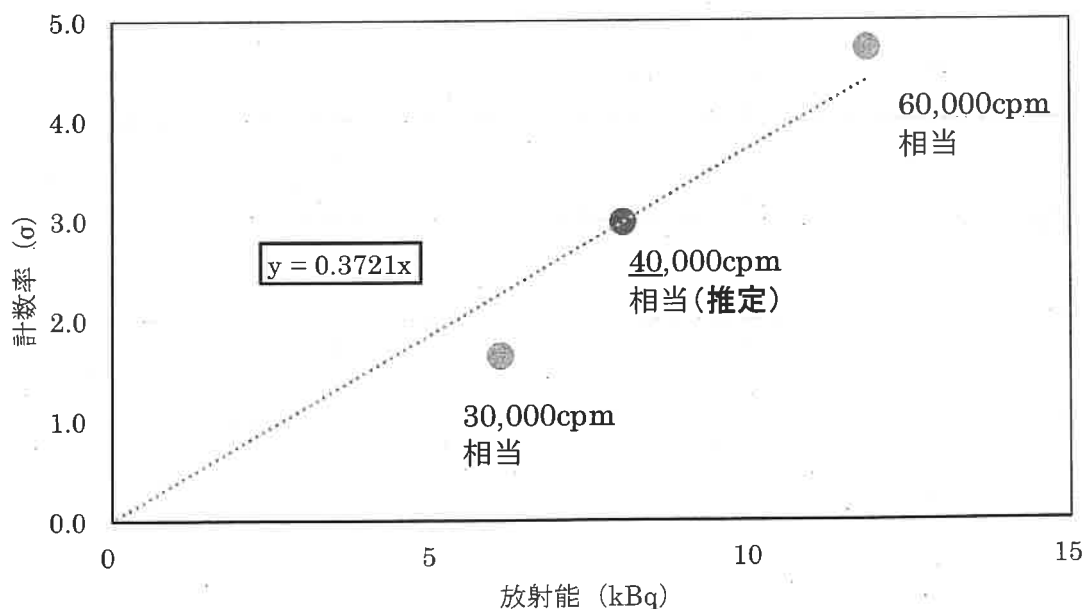


図 B-1 靴底汚染 40,000cpm 相当の測定値の推定

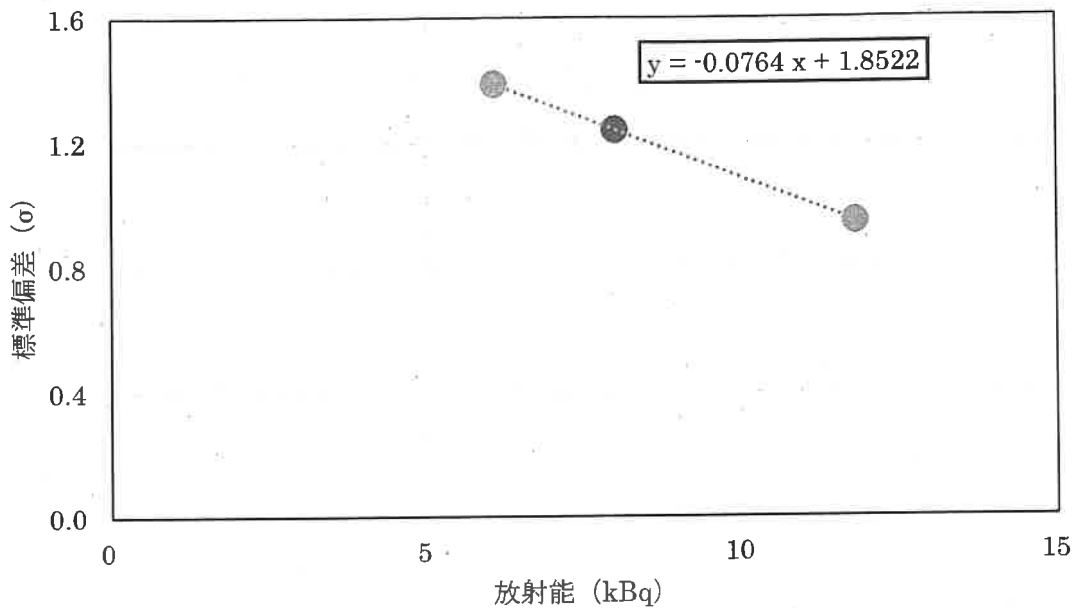


図 B-2 靴底汚染 40,000cpm 相当の標準偏差の推定

最後に、放射線計数のゆらぎにより測定値は正規分布するものとし、40,000cpm 相当の汚染にて、警報設定値 3.0σ 以上となる事象の割合を求めた。その結果、警報発報率は約 50% となると推定した (図 B-3)。

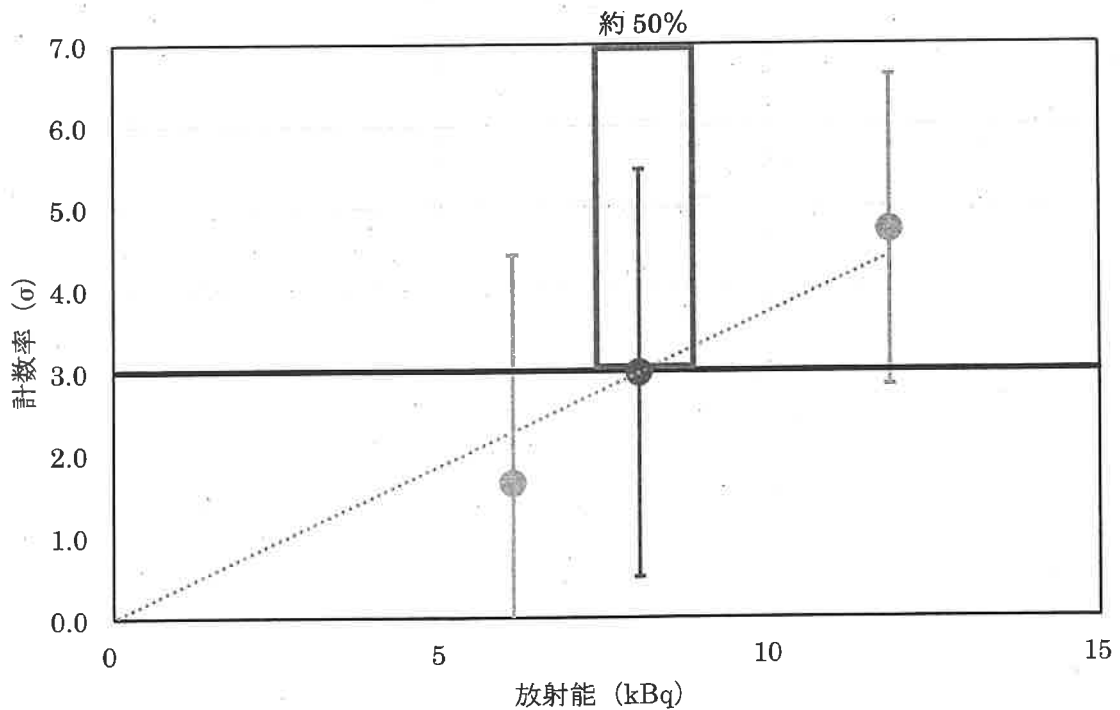


図 B-3 警報設定値 3σ に対する 40,000cpm 相当の汚染の警報発報率の推定

***参考文献* 第4章 避難退域時検査等において使用することが想定される測定資機材の信頼性の評価**

FEMA, 1995, "FEMA-REP-21:Contamination Monitoring Standard For A Portal Monitor Used For Radiological Emergency Response", <https://www.hsdl.org/?view&did=785007>.

(参照：2021年3月10日)

JIS Z 4338, 2006, ハンドフットモニタ及び体表面汚染モニタ - α 線及び/又は β 線用ハンドフットモニタ及び体表面汚染モニタ-

Saint-Gobain 社ホームページ, "Efficiency Calculations for Selected Scintillators", <https://www.crystals.saint-gobain.com/sites/imdf.crystals.com/files/documents/efficiency-calculations.pdf>, (参照：2021年3月4日)

原子力規制委員会, 2020, 原子力災害対策指針 (令和2年10月28日一部改正)

原子力規制庁放射線防護企画課, 2017, 原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル (平成29年1月修正)

日本アイソトープ協会, 2016, アイソトープ手帳 11版