JAEA-Review
2023-013
DOI:10.11484/jaea-review-2023-013

原子力災害時における車両の汚染状況と除染措置に関する調査と検討

Investigations and Consideration on Conditions of Contamination and Measures of Decontamination for Motor Vehicles at a Nuclear Emergency

外川 織彦　外間 智規　平岡 大和

Orihiko TOGAWA, Tomonori HOKAMA and Hirokazu HIRAOKA

安全研究・防災支援部門
原子力緊急時支援・研修センター
防災研究開発ディビジョン

Nuclear Emergency Preparedness Research and Development Division
Nuclear Emergency Assistance and Training Center
Sector of Nuclear Safety Research and Emergency Preparedness

August 2023

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの転載等の著作権利用は許可が必要です。本レポートの入手並びに成果の利用（データを含む）は、下記までお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（https://www.jaea.go.jp）より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構　JAEA イノベーションハブ　研究成果利活用課
〒 319-1195　茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Reuse and reproduction of this report (including data) is required permission.
Availability and use of the results of this report, please contact
Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2023

JAEA-Review 2023-013

原子力災害時における車両の汚染状況と除染措置に関する調査と検討

日本原子力研究開発機構　安全研究・防災支援部門
原子力緊急時支援・研修センター
防災研究開発ディビジョン

外川　織彦、外間　智規、平岡　大和

（2023 年 6 月 30 日受理）

原子力災害時に大気へ放射性物質が放出された場合には、住民等の被ばくを低減するための防護措置として、自家用車やバス等の車両を利用して避難や一時移転が実施される。避難等を実施した住民等の汚染状況を確認するため避難退域時検査が行われるが、その迅速性を損なわないことが重要である。現状の検査では、車両の指定箇所検査をワイパー部とタイヤ側面で実施し、要員による GM サーベイメータ等の表面汚染検査用測定器で検査することを基本としている。また、車両の迅速かつ効率的な検査実施のため、可搬型車両用ゲート型モニタの活用も計画されているところである。

本報告書では、迅速かつ効率的な避難退域時検査に資するため、原子力災害時における車両の汚染状況と除染措置に関する調査を実施した。利用可能な関連文献や情報はごく少数であったが、当該文献等に記載された調査結果を目的に応じて抽出して整理するとともに、避難退域時検査の迅速かつ効率的な運用という観点からその調査結果について検討を行った。

原子力緊急時支援・研修センター：〒311-1206　茨城県ひたちなか市西十三奉行 11601-13

JAEA-Review 2023-013

Investigations and Consideration on Conditions of Contamination and Measures of Decontamination for Motor Vehicles at a Nuclear Emergency

Orihiko TOGAWA, Tomonori HOKAMA and Hirokazu HIRAOKA

Nuclear Emergency Preparedness Research and Development Division
Nuclear Emergency Assistance and Training Center
Sector of Nuclear Safety Research and Emergency Preparedness
Japan Atomic Energy Agency
Hitachinaka-shi, Ibaraki-ken

(Received June 30, 2023)

When radionuclides are released into the atmospheric environment at a nuclear emergency, protective measures such as evacuation and temporal relocation are carried out using motor vehicles such as private cars and buses to reduce radiation exposure to residents. To confirm conditions of contamination for the evacuated or relocated residents, contamination inspection is conducted, in which it is important not to spoil its rapidity. In the present inspection, wipers and tires are designated to first measuring parts, and they are basically inspected by persons using GM survey meters. Utilization of portable radiation portal monitors is also being considered for rapid and efficient inspection of motor vehicles.

In order to contribute to rapid and efficient operation of contamination inspection, this report investigated conditions of contamination and measures of decontaminations for motor vehicles at a nuclear emergency. Although available documents and information were quite few, results of the investigations described in the related documents were extracted and rearranged according to the objectives of this report. Furthermore, these results were considered from a viewpoint of rapid and efficient operation of contamination inspection.

Keywords: Nuclear Emergency, Protective Measure, Evacuation and Temporal Relocation, Contamination Inspection, Motor Vehicle, Condition of Contamination, Measure of Decontamination, Tire and Wiper

目次

1. はじめに …… 1

2. 原子力災害時における避難退域時検査 …… 3
2.1 避難退域時検査の概要 …… 3
2.2 車両の汚染検査と簡易除染 …… 8

3. 原子力安全基盤機構における車両汚染の調査 …… 10
3.1 調査の背景と目的 …… 10
3.2 調査結果と今後の課題 …… 13
3.3 車両汚染の部位と主な原因 …… 25

4. 原子力機構における車両汚染の調査 …… 26
4.1 調査の背景と目的 …… 26
4.2 調査結果と今後の課題 …… 28

5. 調査のまとめとその検討 …… 32
5.1 車両汚染に関する調査の意味 …… 32
5.2 車両汚染の主要な部位とその原因の考察 …… 34
5.3 車両の汚染状況の経時的変化とその除染 …… 37
5.4 2 種類の放射線検出器による測定結果の関係 …… 39
5.5 避難退域時検査の迅速かつ効率的な運用のための
避難退域時検査等マニュアルの課題 …… 41

6. おわりに …… 42

謝辞 …… 45

参考文献 …… 46

付録 NaI(Tl) シンチレーションカウンタに対する鉛板の遮へい実験 …… 47

Contents

1. Introduction ····· 1

2. Contamination inspection for residents at a nuclear emergency ····· 3
2.1 Outline of contamination inspection for residents ····· 3
2.2 Contamination inspection and simple decontamination for motor vehicles ····· 8

3. Investigations on vehicle contamination by JNES ····· 10
3.1 Background and objectives of the investigations ····· 10
3.2 Results of the investigations and subjects in future ····· 13
3.3 Vehicle parts of contamination and their main causes ····· 25

4. Investigations on vehicle contamination by JAEA ····· 26
4.1 Background and objectives of the investigations ····· 26
4.2 Results of the investigations and subjects in future ····· 28

5. Summaries of the investigations and their consideration ····· 32
5.1 Meaning of the investigations on vehicle contamination ····· 32
5.2 Main parts of vehicle contamination and consideration on their causes ····· 34
5.3 Temporal changes of vehicle contamination and their decontamination ····· 37
5.4 Relation between measurement results by two types of radiation detectors ····· 39
5.5 Subjects on a manual for contamination inspection
for rapid and efficient operation of contamination inspection for residents ····· 41

6. Concluding remarks ····· 42

Acknowledgements ····· 45

References ····· 46

Appendix Experiments of shielding using lead plate for NaI(Tl) scintillation counter ····· 47

1. はじめに

原子力災害時に施設から大気へ放射性物質が放出された場合には、周辺住民等[1]の被ばくを回避する、または最小限に抑えることが重要である。このため、運用上の介入レベル（Operational Intervention Level：OIL、以下、OIL という）に基づく防護措置の一環として、自家用車やバス等の車両を利用して避難や一時移転（以下、避難等という）が実施される。避難等を実施した住民等や使用した車両の汚染状況を確認することを目的として、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避難経路上またはその近傍の適所において避難退域時検査が行われるが、その迅速性を損なわないようにすることが重要である。現状では、車両の指定箇所検査をワイパー部とタイヤ側面で実施して、要員による GM サーベイメータ等の表面汚染検査用測定器で測定することを基本としている。また、車両の迅速かつ効率的な検査実施のため、可搬型車両用ゲート型モニタ（以下、ゲート型モニタという）の活用も計画されているところである。

日本原子力開発研究機構（Japan Atomic Energy Agency：JAEA、以下、原子力機構という）は、原子力災害時において迅速かつ効率的な避難退域時検査を実施するため、ゲート型モニタの測定方法と運用方法を検討することを目的として、株式会社千代田テクノルと「避難退域時検査における車両汚染検査の最適化手法の研究」という共同研究を実施している。この共同研究を実施するに当り、原子力災害時において住民等の避難や一時移転に使用される車両の汚染状況がどの部位でどの程度になっているのかについて調査・検討することが重要な課題であることが理解された。

本報告書では、上記の共同研究の実施に資するため、避難退域時検査におけるゲート型モニタの活用の観点から、原子力災害時における車両の汚染状況に関する文献調査を実施することを目的とした。また、車両の汚染状況と関連が深い除染措置についても本調査の対象とした。しかし、利用可能な関連文献や公開情報はごく少数であることが分かった。現状では、原子力安全基盤機構[2]（Japan Nuclear Energy Safety Organization：JNES、以下、JNES という）が、東京電力株式会社（以下、東電という）福島第一原子力発電所事故（以下、福島第一原発事故という）後の比較的早い時期（事故後の約 3 か月から半年程度の期間）及び事故の約 1 年後に調査を実施し、それぞれ平成 23 年（2011 年）及び平成 24 年（2012 年）に公表した 2 報の JNES 報告書のみであった。また、福島第一原発事故の約 1 年後に、原子力機構は所有していたモニタリングカーに対して汚染状況と除染措置の調査を実施した。その当時に測定データを記載した調査資料は公開されなかったが、本報告書を執筆するに当たり、当時の測定担当部署の許可を得てデータを公開することとした。

本報告書では、迅速かつ効率的な避難退域時検査に資するため、上記の JNES 報告書や未公開

---

[1] 当該地域に居住する住民をはじめ、就業者、旅行者などを含めて原子力災害時にその地域に滞在している公衆を総称して「住民等」という。

[2] （独）原子力安全基盤機構（JNES）は、行政改革の一環として原子力事業者の安全に関する自主検査体制を審査するため、平成 15 年（2003 年）10 月 1 日に発足した。主な業務は、原子力施設及び原子炉施設に関する検査、その安全性に関する解析・評価、原子力災害の予防などであった。平成 23 年（2011 年）3 月に発生した福島第一原発事故の後、原子力安全規制を一元的に担う新たな組織として原子力規制委員会（事務局：原子力規制庁）が平成 24 年（2012 年）9 月 19 日に発足した。平成 26 年（2014 年）2 月 28 日に JNES は活動を終了し、同年 3 月 1 日に原子力規制庁に統合された。

資料に記載された調査結果を目的に応じて抽出して整理するとともに、その内容について検討と考察を行った。本報告書の第 2 章では、国（原子力規制委員会、内閣府（原子力防災担当））が定めた関連指針やマニュアル等に基づいて、原子力災害時における避難退域時検査の概要、及び車両の汚染検査と簡易除染について調査した。第 3 章では、JNES による車両汚染及び除染措置の調査について、その背景と目的とともに調査結果と今後の課題をまとめた。また、JNES が検討・考察した車両の汚染部位と主な原因を整理した。第 4 章では、原子力機構による車両汚染及び除染措置の調査について、その背景と目的とともに調査結果と今後の課題をまとめた。以上の調査結果に基づいて、第 5 章では、車両汚染に関する調査の意義をまとめるとともに、車両汚染の主要な部位とその原因の考察、車両の汚染状況の経時的変化とその除染、2 種類の放射線検出器による測定結果の関係、避難退域時検査の効率的な運用という観点から、調査結果について検討と考察を加えた。

2. 原子力災害時における避難退域時検査

2.1 避難退域時検査の概要

原子力災害時において全面緊急事態に至った場合には、住民等への被ばくの影響を回避する、または最小限に抑えるという観点から、避難や屋内退避等の予防的防護措置を講ずる。その後放射性物質が大気へ放出された場合には、移流・拡散により比較的広い範囲において空間放射線量率の高い地点が発生する可能性がある。このため、モニタリングポスト等による空間放射線量率の測定結果に基づいて、避難や一時移転等の防護措置を講ずる。また、それらの防護措置の対象となった住民等に対して避難退域時検査を実施し、除染すべき基準を超える場合には簡易除染等を実施する[1),2)]。

「原子力災害対策指針（以下、原災指針という）」[1)]は、原子力災害時における国民の生命及び身体の安全を確保することが最も重要であるという観点から、原子力施設周辺の住民等に対する放射線の重篤な確定的影響を回避または最小化するため、さらに確率的影響のリスクを低減するため、防護措置の基本事項、実施体制、実施区域等を定めたものである。また、防護措置及びその他の必要な措置として、避難退域時検査及び簡易除染の目的、対象者、実施主体、実施場所、実施方法等に関する事項を規定している。また、「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（以下、避難退域時検査等マニュアルという）」[2)]は、避難退域時検査及び簡易除染に関する具体的な実施や運用について制定している。このマニュアルは、原子力規制庁が担当した原災指針における規定に関する「解説編」、及び内閣府（原子力防災担当）が担当した実務に関する「実務編」から構成されている。また、避難退域時検査会場の設営や検査等の具体的な運用面のより詳細な事項については、内閣府（原子力防災担当）が別途「避難退域時検査等における資機材の展開の手引き／運用の手引き」[3)]（以下、展開／運用の手引きという）を作成している。本章では、原災指針、避難退域時検査等マニュアル及び展開／運用の手引きに記載された内容のうち、避難退域時検査及び簡易除染に関する記述を目的に応じて抽出し、整理してまとめた。

原子力災害時における全面緊急事態では、PAZ[3] 内の住民等に対して放射性物質が放出される前に避難など（避難の実施により健康リスクが高まる要配慮者等は屋内退避を実施）の予防的防護措置を実施し、UPZ[4] 内の住民等に対しては屋内退避の防護措置を実施する。また、放射性物質が放出された後には、OIL1[5] または OIL2[6] に基づき住民等に避難または一時移転等の防護措置を実施する。継続的に高い空間放射線量率が測定された地域においては、地表面からの放射線による被ばく等の影響をできる限り低減する観点から、OIL1 に基づいて数時間から 1 日以内に住民等に対して避難などの緊急防護措置を講じなければならない。また、それと比較して低い空間放射線量率が測定された地域においても、無用な被ばくを低減する観点から、OIL2 に基づいて

---

[3] PAZ（Precautionary Action Zone）は予防的防護措置を準備する区域を意味し、原子炉施設から半径概ね 5 km 圏内である。

[4] UPZ（Urgent Protection action planning Zone）は防護措置を準備する区域を意味し、原子炉施設から半径概ね 5 km～30 km 圏内である。

[5] OIL1 は住民等を数時間内に避難や屋内退避させるための基準であり、具体的には 500 μSv/h である。

[6] OIL2 は地域生産物の摂取を制限するとともに、住民等を 1 週間程度内に一時移転させるための基準であり、具体的には 20 μSv/h である。

1 週間以内に一時移転等の早期防護措置を講じなければならない。さらに、これらの OIL1 及び OIL2 に基づいて避難や一時移転の防護措置の対象となった住民等に対しては、放射性物質による体表面汚染の程度を把握し、除染を実施すべき基準である OIL4 以下であるか否かを確認する避難退域時検査も実施し、除染を講ずるための基準を超える場合には簡易除染等の必要な措置を講じなければならない。

住民等が避難や一時移転を行うに当たって、皮膚表面に汚染がある場合には皮膚被ばくの恐れがある。また、放射性物質が体表面や携行物品、避難等に用いる車両等を汚染していて、その放射性物質が再浮遊等により物品等の表面から移行しやすい場合には、それらの放射性物質の吸入や経口摂取による内部被ばくの恐れがある。さらに、放射性物質による汚染がある状態で住民等が避難所に移動する場合には汚染が拡大する恐れがある。従って、避難退域時検査による汚染状況の把握は、

a) 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制
b) 表面汚染からの経口摂取による内部被ばくの抑制
c) 皮膚被ばくの低減
d) 汚染の拡大防止

を適切に実施するために不可欠である。さらに住民等の避難や一時移転（放射性物質が放出される前に予防的に避難する場合を除く）を円滑に行うためにも、また医療行為を円滑に行うためにも避難退域時検査による汚染状況の把握を実施しなければならない。

避難退域時検査及び簡易除染は、OIL1 及び OIL2 に基づく防護措置として避難や一時移転の対象となった住民等の防護のための措置であることから、立地道府県等が主体となって実施することが必要である。OIL に基づく防護措置として避難または一時移転を指示された住民等（放射性物質が放出される前に予防的に避難した住民等を除く）を対象に避難退域時検査を行い、基準値を超えた場合には簡易除染を行う。避難退域時検査及び簡易除染の実施には、多数の要員や資機材を必要とすることから、立地道府県等は平時から緊急対応体制を構築することが必要である。そのためには、立地道府県等のみでは体制構築が困難であることから、原子力事業者や原子力災害医療協力機関の協力が不可欠であり、これらの協力の下に要員の確保や資機材の整備等を行っておくことが重要である。

避難退域時検査及び簡易除染の実施場所については、可能な限りバックグラウンド（以下、BG という）の値が低い所であって、住民等の円滑な避難や一時移転の妨げとならない場所が望ましく、具体的には、原子力災害対策重点区域の境界周辺から避難所までの避難経路上またはその近傍の適所を選定する。なお、避難退域時検査及び簡易除染は、避難及び一時移転の迅速性を損なわないよう十分留意して行う。また、避難退域時検査及び簡易除染によって健康リスクが高まると判断される住民等については、体調が悪化しないように十分配慮する。避難退域時検査及び簡易除染の具体的な方法について、主な内容を以下に示す。

(1) 避難退域時検査の方法

避難退域時検査は、住民等の避難や一時移転の迅速性を損なわないよう科学的に合理性があり、信頼性と効率性を確保できる方法で実施する必要がある。UPZ 内の住民等は、全面緊急事態以降は屋内退避を実施し、

i) OIL に基づく避難や一時移転を自家用車で行う場合は家族が乗り合わせて行動を取ること、

ii) 避難や一時移転をバス等で行う場合は近隣の地区の住民等が集合場所に集合して乗り合わせて行動を取ること、

から、同じ車両で避難行動を取る住民等はそれぞれの集団として概ね同じような行動を取ると考えられる。また、避難行動に用いる自家用車やバス等の車両は、

iii) UPZ 内の自宅等において一般的に屋外で駐車されていることが多く、

iv) 住民等が乗車して屋外を走行して避難退域時検査場所に移動するため、屋外での駐車中や移動中に外気や路面に触れていること、

から、乗車した者よりも放射性物質がより多く付着し汚染の程度が高いと考えられる。以上のような基本的な考え方から、避難退域時検査の方法は以下の手順で行うことを基本とする。

① 自家用車やバス等の車両を利用して避難行動を行う住民等の検査は、乗員の検査の代用として、まず車両の検査を行う。

② 検査の結果が車両や携行物品の除染を講ずるための基準（以下、物品等の除染の基準という）を超える場合には、乗員の代表者（避難行動が同様の行動を取った集団のうちの 1 名）に対して検査を行う。

③ この代表者が OIL4 を超える場合には、乗員の全員に対して検査を行う。

④ 携行物品の検査は、これを携行している住民等が OIL4 を超える場合のみ検査を行う。

上述した住民等、車両及び携行物品に対する避難退域時検査の手順について、簡易除染の手順とともに図 2-1 に示す。

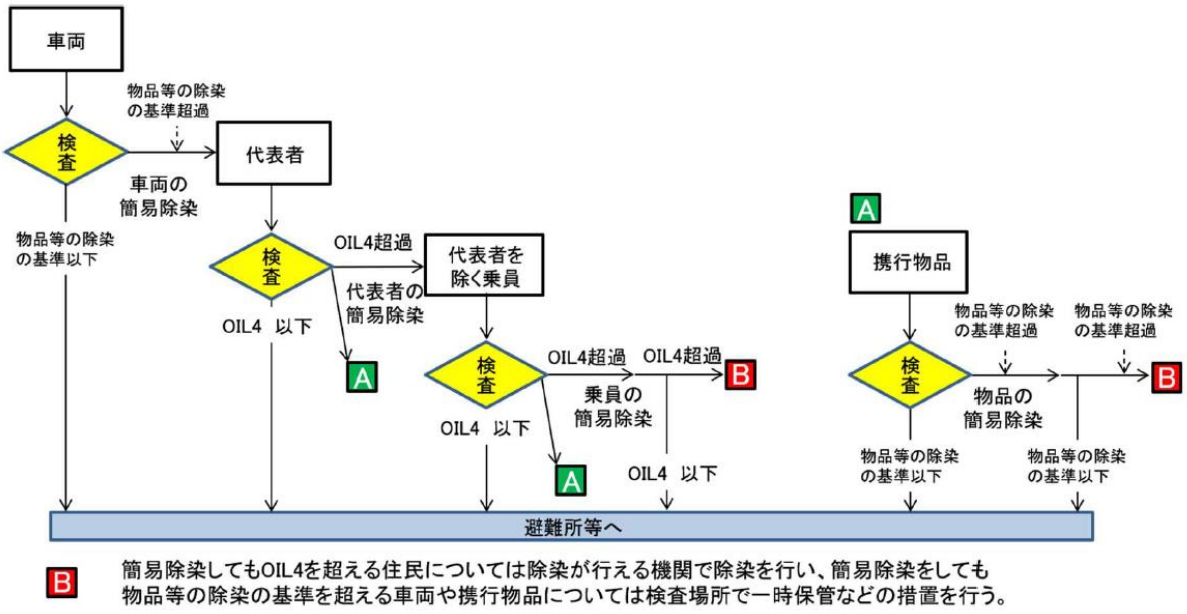

図 2-1　避難退域時検査及び簡易除染の手順 [2)]

避難退域時検査は、除染を実施すべき基準以下であるか否かを確認する検査であり、除染を講ずるための基準を超える場合には簡易除染等を行うこととしている。その除染を講ずるための基準として、住民等には OIL4 を適用し、車両や携行物品には「物品等の除染の基準」を適用する。それぞれの基準に関する初期設定値を表 2-1 に示す。

表 2-1　除染を講ずるための基準（初期設定値）[2)]

OIL4	物品等の除染の基準
β線：40,000 cpm （皮膚から数 cm での検出器の計数率） β線：13,000 cpm【1 か月後】 （皮膚から数 cm での検出器の計数率）	β線：40,000 cpm （物品等の表面から数 cm での検出器の計数率）

OIL4 及び物品等の除染の基準の値であるβ線 40,000 cpm は、我が国において広く用いられているβ線の入射窓面積が 20 cm^2 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 120 Bq/cm^2 となる。他の測定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。また、1 か月後の OIL4 の基準値であるβ線 13,000 cpm は、上記と同様に、表面汚染密度は約 40 Bq/cm^2 相当となり、測定器の仕様が異なる場合には計数率の換算が必要となる。なお、表 2-1 に記載された OIL4 及び物品等の除染の基準に関する「初期設定値」とは、福島第一原発事故の際に実施された防護措置の状況や教訓を踏まえて、実効的な防護措置を実施する判断基準として適当か否かなどという観点から当面運用できるものとして設定された [4)]。また、緊急事態当初に用いる OIL の値であり、地表沈着した放射性核種の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。

OIL4 の初期設定値をβ線 40,000 cpm としているのは、福島第一原発事故後には 100,000 cpm をスクリーニングの基準として運用したが、スクリーニング結果の人数分布を踏まえれば、スクリーニングレベルを 100,000 cpm 以下としても、簡易除染の実施は可能であったと考えられること、及び BG の影響を踏まえて実効的な水準にする必要があることを踏まえ、OIL4 の初期設定値については、旧原子力安全委員会が定めた除染の基準（13,000 cpm）の 3 倍程度の余裕を見込んだ水準として、13,000 cpm×3 ≒ 40,000 cpm に設定した。なお、I-131 の物理的半減期は約 8 日と短いため、放射性ヨウ素による影響の急速な減少を考慮に入れ、OIL4 値を初期の 40,000 cpm から 1 か月後には 13,000 cpm に引き下げることとした。

(2) 簡易除染の方法

避難退域時検査の結果、OIL4 を超える住民等、物品等の除染の基準を超える車両及び携行物品には簡易除染を行う。迅速な住民等の避難及び一時移転のため、避難退域時検査場所における簡易除染の方法は、拭き取りや着替えにより行うことを基本とする。

住民等の簡易除染の方法として、着衣の表面に汚染がある場合には、汚染のない衣服に着替え

ることで確実に除染することができる。また、手足、顔、頭部などの露出した箇所は、ウェットティッシュ等での拭き取りを基本とする。一方、車両の簡易除染は、流水による除染と拭き取りによる除染がその効果において有意な差異が認められないことが示されたことから [5]、廃水処理作業等の合理化の観点も考慮して、拭き取りを基本とする。簡易除染にあたっては、付着している放射性物質をできるだけ拡大させないようにする。そのためには、放射線は目に見えないことを念頭に置き、簡易除染に使った手袋を外さずに、自分や他の人、物に触らないよう注意する。

簡易除染を行ってもなお OIL4 を超える住民等は、除染が行える原子力災害拠点病院等の機関で除染や必要な医療行為等の措置を行う。原子力災害拠点病院は、立地道府県等が原子力災害医療の中心となる医療機関として指定するものであり、被ばくや汚染を伴う傷病者及びそれらの疑いのある者に対して、被ばく線量測定、除染措置等の適切な診療等を行う医療機関である。このため、OIL4 を超える住民等に対しては、このような適切な措置が行える機関に搬送して対応する。その際、汚染拡大の防止の観点から、念のため汚染箇所をタオル等で覆うなどの措置や対応する医療従事者は防護具を装着するなどの対応が必要である。

また、簡易除染を行ってもなお物品等の除染の基準を超える車両や携行物品は、汚染の拡大防止の観点から、避難退域時検査場所で一時保管の措置を行う。その際、自家用車やバス等の車両の場合には、代替となる移動手段を確保する必要がある。

2.2　車両の汚染検査と簡易除染

避難退域時検査及び簡易除染のうち、ここでは車両に対する汚染検査と簡易除染に関する方法について整理する[1),2)]。

(1) 車両の汚染検査

自家用車やバスといった車両の汚染検査は、β線の表面汚染密度を測定するために用いる表面汚染検査用測定器（GM サーベイメータ等）を使用した手動測定を基本とする。GM サーベイメータは、検出部の入射窓面積、時定数や測定時間、測定面と測定器の距離により、測定値が大きく変わるため注意する必要がある。このため、GM サーベイメータの機種毎の詳細は展開／運用の手引きを参照し、それぞれの使用方法に従う。

GM サーベイメータの検出部は、先の尖った物品等と接触すると破損しやすいため、取扱いに注意する。また、検出部に放射性物質が付着しないように食品用ラップ（養生用）で検出部を覆い、降雨の際に屋外で使用する場合はビニール袋等で水に濡れないように保護する。

上述したように、車両の汚染検査は GM サーベイメータを使用した手動測定を基本とするが、表面汚染検査用測定器による指定箇所検査（本節のあとの部分で説明する）のうち、タイヤ側面の検査にはゲート型モニタを代用することができる。一般的にゲート型モニタは、検出部を含むポール 2 本で構成されており、車両がこのポールの間（ゲート）を通過する際に汚染が測定される方式である。ただし、タイヤ側面の検査をゲート型モニタで代用するためには所定の条件がある。それは、当該機器の事前の性能試験により、タイヤ側面へのβ線 40,000 cpm（120 Bq/cm^2、放射能 240 kBq）の一様な I-131 の付着を検出することが可能であるという条件である。この機器では、設置方法や警報値の設定条件などメーカーや機種により相違があることから、運用する際には展開／運用の手引きを参照し、それぞれの使用方法に従う。

車両の汚染検査は、検査を迅速、効率的かつ合理的に実施するため、指定箇所検査と確認検査という 2 つの検査から構成される。車両の指定箇所検査では、車両の外側に放射性物質が付着している可能性が高いことから、

a) ワイパー部（フロントガラス下部）

b) タイヤ側面（原則として全輪）

を検査の対象とする。なお、指定箇所検査では、天候や車両の種類によらず同じ箇所を検査する。また、検査は通常手の届く高さや可能な範囲で行い、はしごを使用した高所作業等やエンジンルーム内の検査は行わない。車両の確認検査では、指定箇所検査で物品等の除染の基準を超える場合に確認検査の場所へ誘導し、簡易除染箇所を特定するための確認検査を実施する。その結果、物品等の除染の基準を超える場合には、簡易除染の場所へ誘導して簡易除染を行い、乗員については住民等の検査を行う。

車両の指定箇所検査においてワイパー部とタイヤ側面を検査の対象とした根拠として、避難退域時検査等マニュアルでは、JNES が公開した報告書 JNES-RE-2011-0003「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」[6)]を引用している。この中では、放射性物質の付着しやすい部位は「車の外部と内部のエンジンルーム部に大別され、車の外部ではワイパー、タイヤ、ドア部パッキン等であり、車の内部はラジエター、エアフィルター、ワイパーによる排水口雨どい等」と確認されている。従って、エンジンルーム内のラジエター部なども指定箇所検査の対象箇所になり得るが、検査と避難の迅速性を重視し、また手で直

接触れる場所ではないことを考慮して、ワイパー部とタイヤ側面を指定箇所とした。

避難退域時検査を実施するに当たり、BG の測定は「避難退域時検査場所の環境に変化があったか」を知る上で重要な情報となる。避難退域時検査の要員は、検査の準備段階から検査終了までの間、空間放射線量率用測定器（NaI(Tl) シンチレーションカウンタ等）を使って、所定の方法により定期的に BG の測定を行う。

(2) 車両の簡易除染

避難退域時検査の結果、OIL4 を超える住民等、物品等の除染の基準を超える車両及び携行物品には簡易除染を行う。簡易除染の方法は、避難退域時検査場所において拭き取りや着替えにより行うことを基本としている。

車両の簡易除染の方法は、国の委託事業による専門研究機関による調査研究の結果 [5]により、車両の簡易除染については流水による除染と拭き取りによる除染がその効果において有意な差異が認められないことが示されたことから、廃水処理作業等の合理化の観点も考慮して拭き取りを基本とする。物品等の除染の基準を超える車両の除染は、原則として、簡易除染の要員が水に濡らしたウエス等を用い、車両に付着している放射性物質を所定の方法で拭き取る。該当箇所に強固に泥が付着している場合は、洗車用ブラシを使うなどして泥を落とす。1 回目の拭き取りによっても物品等の除染の基準を超える場合は 2 回目の拭き取りを行うが、それ以上は除染を行わず除染後の確認検査を行う。また、携行物品の簡易除染の方法についても同様とする。

簡易除染後も物品等の除染の基準を超える場合の車両の処置については、車両のナンバー、所有者氏名・連絡先、検査の年月日及び検査結果の情報を記録する。当該車両は、汚染拡大防止のため避難退域時検査場所において一時保管を行い、乗車していた住民等はバス等の代替の移動手段で避難及び一時移転を行う。

3. 原子力安全基盤機構における車両汚染の調査

3.1 調査の背景と目的

福島第一原発事故後の比較的早い時期（事故後の約 3 か月から半年程度の期間）に、JNES は原子力災害現地対策本部からの依頼に基づき、警戒区域[7]から持ち出された車両に付着した放射性物質の放射線影響を調査するために、車両の整備士に対する外部被ばく線量を推定・評価する調査事業を行った [6)]。この事業の一環として、JNES を含めた各機関が実施した車両の汚染状況及び除染措置に関する調査結果を取りまとめた。また、この調査事業とは別に、JNES は原子力災害現地対策本部からの依頼により、復旧作業の本格化に伴う警戒区域内の国道 6 号[8] を通過する車両に対して、福島第一原発事故の約 1 年後に道路等からの放射性物質の車両への付着状況を確認・調査するとともに、それに起因する運転手への被ばく線量を推定・評価する調査事業も実施した [7)]。この事業の中では、国道 6 号を通過する車両へ放射性物質が付着する要因も検討した。

前者の調査事業に関する JNES 報告書 [6)]では、福島第一原発事故後における車両の汚染状況及び除染措置に関する調査として、以下に示す 3 種類の調査が実施され、その結果が報告書にまとめられた。

(1) 原子力災害現地対策本部が東電の協力を得て実施した調査

(2) JNES が日本自動車販売協会連合会の協力の下に実施した調査

(3) いわき市内の整備工場による独自の調査等

また、後者の調査事業に関する JNES 報告書 [7)]では、福島第一原発事故後における車両の汚染状況及び除染措置に関する調査として、以下の調査が実施され、その結果が報告書にまとめられた。

(4) 国道 6 号を通過する車両への放射性物質の付着状況の調査

上記の 4 種類の調査の概要を以下に示す。車両の汚染状況及び除染措置に関する調査結果は第 3.2 節に記述する。

(1) 原子力災害現地対策本部が東電の協力を得て実施した調査

原子力災害現地対策本部は、東電の協力を得て警戒区域内で行われたスクリーニングの状況及び汚染の状況を調査するとともに、この結果を踏まえて車両の整備を行う整備士の外部被ばく線量を推定・評価するよう JNES に依頼した。本調査は、警戒区域から持ち出された車両が対象となっており、

a) 原子力災害現地対策本部における一時立入による持ち出し車両のスクリーニング

b) 東電が運営する福島県 J ヴィレッジにおける公益一時立入車両及び東電関係の業務用車両

---

7 警戒区域とは、災害などによって身体などが被る危険を防ぐために、許可を得た者以外の出入の禁止や制限あるいは退去が命じられている区域である。この区域は災害対策基本法に基づいて定められ、自然災害や事故災害というすべての災害が対象とされる。福島第一原発事故の際には、平成 23 年（2011 年）4 月 22 日に原発から半径 20 km 以内が警戒区域に設定された。その後は、段階的に解除・縮小されている。

8 国道 6 号は、東京都中央区から千葉県、茨城県、福島県、宮城県岩沼市を経由して、仙台市に至る一般国道である。このうち、茨城県水戸市から太平洋沿いに北進し福島県浜通りを通る。福島第一原発事故に伴う帰還困難区域設定のため、平成 23 年（2011 年）4 月 22 日から平成 26 年（2014 年）9 月 14 日まで福島県内の一部区間は許可車両以外の通行が規制されていたが、9 月 15 日からは自動車のみ自由通行が可能となった。

のスクリーニング

という 2 種類のスクリーニングから構成された。

これまでの経験から、車体外部の比較的汚染レベルが高い対象部位（ワイパー部、タイヤ側面、ドア部パッキン等）、内部のエンジンルーム内及び運転席シートの表面汚染が測定された。表面汚染のスクリーニング判断基準は当初 100 kcpm[9] とされたが、平成 23 年（2011 年）8 月 29 日付けの原子力安全委員会による助言等を踏まえ、原子力災害現地対策本部により同年 9 月 16 日から 13 kcpm に変更された。

上記 a）については、平成 23 年（2011 年）6 月から 9 月 15 日までの期間に持ち出された車両は 4,206 台であった。このうち、100 kcpm を超えた車両は 67 台（1.6 %）であったが、車両の外表面の拭き取り除染により 100 kcpm を超える車両はなくなった。この点から、一時立入による持ち出し車両は外表面汚染が主体であると理解できる。

上記 b）については、平成 23 年（2011 年）7 月から 9 月 15 日までの期間に通過した車両総数は 17,524 台であった。1 か月当たりの通過車両台数はほぼ一定で、1 日当たりに換算すれば約 230 台であった。東電関係の業務用車両は警戒区域内外を往復している可能性もあり、上記の累計台数がすべて警戒区域外に持ち出されていることにはならない。100 kcpm を超えた車両は 132 台（0.8 %）であったが、車両表面に対する高圧ジェット洗浄後においても 100 kcpm を超える車両が 30 台あった。このことは、エンジンルーム等の内部も汚染されていることを示唆している。

(2) JNES が日本自動車販売協会連合会の協力の下に実施した調査

JNES は日本自動車販売協会連合会の協力の下に、車の整備工場において汚染状況等及び除染に関する実態調査を行った。汚染状況等に関する調査については、以下の 5 つの項目に着目して調査を行った。

i）車の整備工場でなければ測定が困難な部位の汚染状況の調査
（車のボディーの内面、ブレーキディスクやブレーキパッド、フィルター内部等）

ii）車の整備士の被ばく評価の前提となる現場作業状況の確認
（現場作業確認と聞き取り調査等）

iii）整備士の外部被ばくの他、作業環境等に依存する内部被ばく及び皮膚被ばくに係る調査

iv）車両の除染に関する調査

v）一般的車両と警戒区域からの持ち出し車両との差異に係る調査

本調査は平成 23 年（2011 年）10 月 21 日に実施された。車両の除染に関する調査は、原子力機構の協力を得て行った。調査された車両は整備中の乗用車 1 台であり、福島第一原発事故当時は福島第一原発構内に置かれていた車両である。

(3) いわき市内の車の整備工場による独自の調査等

上記 (2) の v) については、① いわき市内の車の整備工場が独自に実施した調査、② 日本自動車整備振興会連合会が取り纏めた福島県内における調査、及び ③ 日本自動車販売協会連合会

[9] 表面汚染密度の単位については、第 2 章までは原災指針等の記載に合わせて「cpm」の単位を用いたが、第 3 章以降では「1,000 cpm」以上の値が頻繁に現れるため、必要に応じて「kcpm」の単位も使用する。

の協力による調査に関して、各調査データが JNES に提供されるとともに、JNES が福島市内の車のディーラー等における一般的車両の汚染状況を独自に調査・分析した。各調査の概要は以下の通りである。

① いわき市内の車の整備工場が独自に実施した調査

いわき市内の車の整備工場が、平成 23 年（2011 年）7 月後半から 10 月中旬までの約 1.5 か月における 200 件の調査データを整理したものである。初期の段階（40 台）は GM サーベイメータによる計数率として記録され、それ以降（160 台）は主に NaI(Tl) シンチレーションカウンタによる空間放射線量率として記録された。

② 日本自動車整備振興会連合会が取り纏めた福島県内における調査

日本自動車整備振興会連合会が、福島県内の整備工場やディーラー等の 18 箇所において、GM サーベイメータを使用した車両の汚染状況の調査を行った結果を取り纏めたものである。このデータには、① のデータも含めて合計 168 台の車両が含まれている。

③ 日本自動車販売協会連合会の協力による調査

JNES が日本自動車販売協会連合会の協力の下に、福島市内の一般的車両の汚染状況について、市内のディーラー及び整備工場等の 6 箇所において、各箇所で 5 台、合計 30 台について調査したものである。調査には GM サーベイメータと NaI(Tl) シンチレーションカウンタを用い、また汚染箇所を特定するためにコリメータ付きの NaI(Tl) シンチレーションカウンタも併用した。

(4) 国道 6 号を通過する車両への放射性物質の付着状況の調査

本調査は、国道 6 号等を車両によって走行し、放射性物質の車両への付着状況、道路における空気中のダスト濃度、運転席での空間放射線量率等を実測する方法によって実施した。放射性物質の車両への付着状況調査の具体的な方法を以下に示す。

当該調査は平成 24 年（2012 年）2 月 10 日に予備調査を行い、同年 3 月 1～2 日に本調査を行った。当該調査では、国道 6 号等を通過する車両の汚染に影響を与える要因、車両の走行に伴う粉じんの巻き上げ等による汚染の可能性、及び汚染雨水の飛散等による汚染の可能性を調査項目とした。

本調査では、国道 6 号の一定区間（富岡町本岡交差点から浪江町東迫までの 14 km）を数回往復し、車両への放射性物質の付着状況を確認した（当該区間の空間放射線量率は 1.6～65 μSv/h、平均 15 μSv/h）。また、国道 114 号、県道 50 号、県道 35 号、国道 288 号の一定区間を走行し、車両への放射性物質の付着状況を確認した（当該区間の空間放射線量率は 1.4～57 μSv/h、平均 13 μSv/h）。

調査に際しては、先行車両による埃や泥の巻き上げの影響を確認するため、先行車両及び追随車両の 2 台を走行させ調査を実施した。また、先行調査の結果を考慮して、汚染しやすい部位に着目することとし、晴天時のみならず雨天時の走行も加味した。

警戒区域入域前に車体底部を含めて洗車を行い、入域前及び退域後の車体各部の空間放射線量率（NaI(Tl) シンチレーションカウンタ）及び表面汚染密度（GM サーベイメータ）を測定した。測定はいずれも対象から 1 cm の距離で実施した。さらに詳細な放射性物質の付着を確認するため、車体の外側（下半分）、車体底面及びタイヤハウスを不織布により拭き取り、ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定した。

3.2　調査結果と今後の課題

JNES は、福島第一原発事故後における車両の汚染状況及び除染措置に関する 4 種類の調査を実施し、2 編の報告書として公開した。車両の汚染状況及び除染効果という観点から調査結果を整理して、それらの概要を以下に記述する。本節では、基本的には JNES による調査結果を整理して記述するが、その調査結果を用いて本報告書の筆者が新たな解析や考察を行った部分が一部含まれる。その部分については、本報告書の筆者による解析・考察である旨を明記する。

(1) 原子力災害現地対策本部が東電の協力を得て実施した調査

東電は原子力災害現地対策本部の依頼に基づき、福島第一原発事故時に汚染した車両について、車両の外表面と内部の汚染状況に関して、GM サーベイメータによる計数率及び電離箱による空間放射線量率の測定を行った。測定対象とされた車両は以下に示す 3 種類であり、合計 5 台に対する測定結果が代表例として示された。また、高カウント及び中カウントの車両については、拭き取り除染により車両の外表面及び内部の除染作業を行い、除染後の測定も行った。

a) 高カウント車両（最大値が 100 kcpm を超える車両：2 台）

b) 中カウント車両（最大値が 10 kcpm を超える車両：2 台）

c) 低カウント車両（最大値が 10 kcpm 未満の車両：1 台）

なお、測定日については、a) と b) が平成 23 年（2011 年）7 月 5 日と 12 日、c) が同年 7 月 4 日であった。また、a) と b) については、東電福島第一原発構内に事故発生後も長期間に亘り停留していた車両であった。車両の汚染状況と除染措置の効果に関する調査結果の例を図 3-1 に示す。測定結果の概要は以下の通りである。

5 台の車両の外表面では、ルーフ、ボンネット、フロントワイパー部、リアワイパー部、ドア部パッキン、フロントグリル部、左右前輪、左右後輪、サイドステップ等の汚染状況が測定された。また、車両の内部では、ラジエター上部、エアフィルター、座席部及びトランクの汚染状況が測定された。

上記 b) に該当する中カウント車両 2 台のうち、1 台の車両（表 3-1 及び表 3-2 に記載された No.3 の車両）を例として、図 3-1 に除染前の汚染状況（上図）と除染後の除染効果（下図）に関する測定結果を示す。また、5 台の車両について、車両の汚染状況及び除染措置の効果に関する測定結果（フロントグリル部、ラジエター上部及び最大汚染部位）を表 3-1 に、車両の指定箇所検査部位の汚染状況及び除染措置の効果に関する測定結果（フロントワイパー部とタイヤ側面（全輪）及びそれらの最大汚染部位）を表 3-2 に示す。なお、後者の表 3-2 は、ワイパー部とタイヤ側面が指定箇所検査における対象部位であるという重要性を考慮して、JNES 報告書の記載データに基づいて本報告書の著者が作成したものである。

表 3-1 と表 3-2、及び JNES 報告書 [6]の記載から、除染前の車両の外表面では、フロントワイパー部、リアワイパー部、フロントグリル部、タイヤ側面の汚染が高いことが分かった。一方、車両の内部では、ラジエター上部、エアフィルターというエンジンルーム内の汚染が高かった。さらに、車両の外表面と内部を比べると、内部の汚染が高くなっている傾向が見られた。

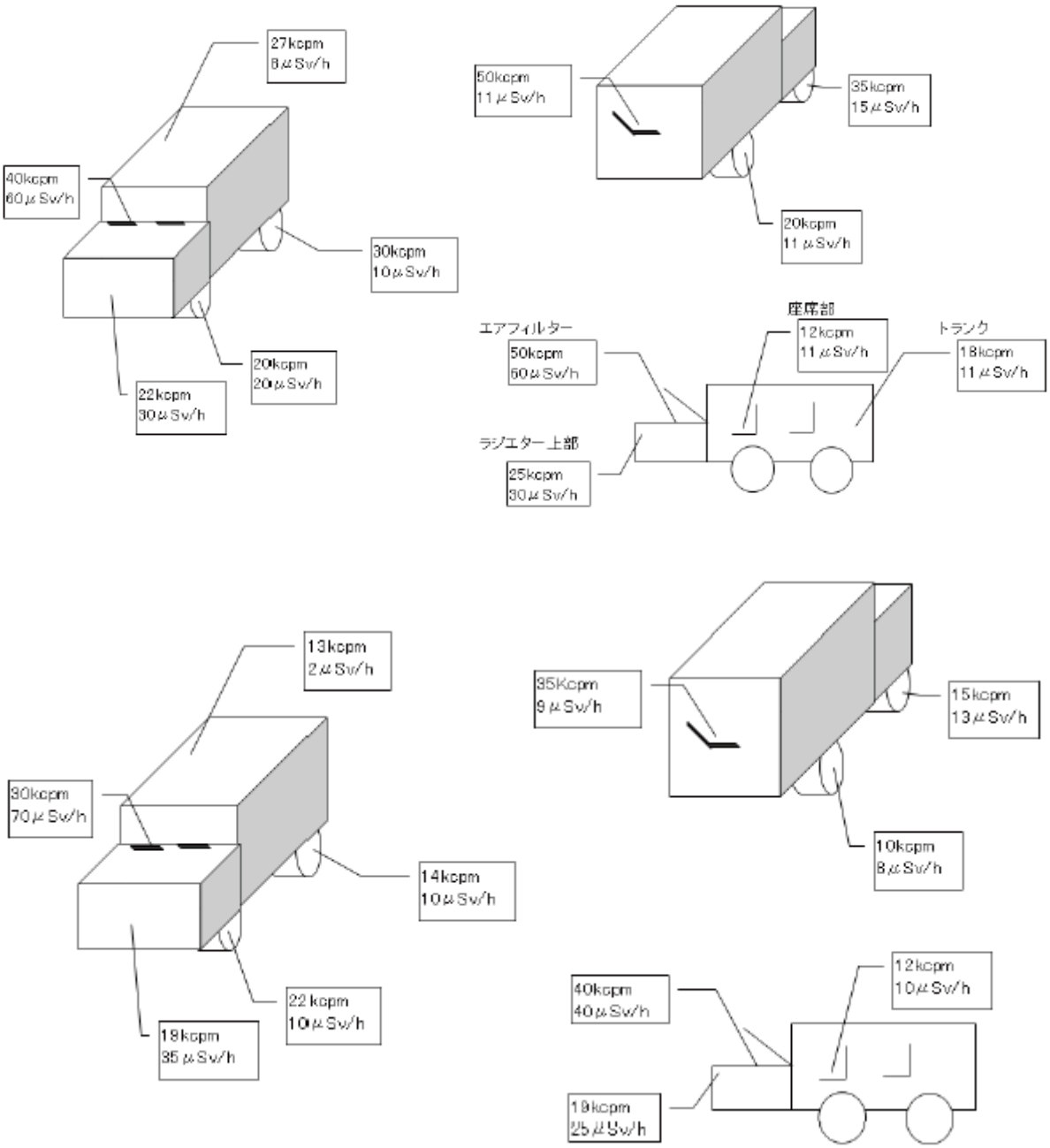

図 3-1　車両の汚染状況と除染措置の効果に関する調査結果の例 6)
（表 3-1 及び表 3-1 に記載された No.3 の車両）
（上図：除染前、下図：除染後）

拭き取り除染を用いた場合の除染後の汚染状況を図 3-1 の下図、表 3-1 及び表 3-2 の下部に示す。また、表面汚染密度で表した車両の除染割合を表 3-3 に示す。ここで、除染割合は除染前の表面汚染密度に対する除染後の値の比と定義する。また、空間放射線量率の除染割合は、BG や他の部位（特にエンジンルーム内の部位）からの影響を強く受ける可能性があるため、表 3-3 では

算出・記載しなかった。なお、表 3-3 は、拭き取りによる除染効果を検討するため、JNES 報告書の記載データに基づいて本報告書の著者が作成したものである。また、次の段落の記述は、表 3-3 に基づいて本報告書の著者が除染効果に関する算出結果を示し、その考察を行ったものである。

拭き取りによる除染効果については、汚染箇所による違いが見られた。すなわち、車両の外表面のうちルーフやボンネット、及びワイパー部に対する除染効果は比較的高かった（表面汚染密度の除染割合は 0.07～0.75 であった）。しかし、車両の外表面のうちフロントグリル部やタイヤ側面、及び車両内部のうちエンジンルーム内（ラジエター上部やエアフィルター）に対する除染効果は、外表面と比較すると低い傾向が見られた（表面汚染密度の除染割合は 0.41～1.4（1.0 以上の値を除くと 0.95）であった）。ここで、除染割合が 1.0 以上の値は、除染後の表面汚染密度が除染前より高い結果であったことを意味する。これは、拭き取り除染のやり方や GM サーベイメータによる測定などに不適切あるいは不十分な部分があったことが原因の一端であろう。

表 3-1　車両の汚染状況及び除染措置の効果に関する調査結果 [6)]
（フロントグリル部、ラジエター上部及び最大汚染部位）

測定対象		高カウント車両		中カウント車両		低カウント車両
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
測定日		7 月 5 日	7 月 12 日	7 月 5 日	7 月 12 日	7 月 4 日
BG*		1.2 kcpm	2.2 kcpm	1.2 kcpm	2.2 kcpm	0.5 kcpm
		30 μSv/h	6 μSv/h	30 μSv/h	6 μSv/h	1.1 μSv/h
除染前	フロントグリル部	60 kcpm	80.5 kcpm	22 kcpm	9.1 kcpm	0.9 kcpm
		40 μSv/h	55 μSv/h	30 μSv/h	13 μSv/h	1.2 μSv/h
	ラジエター上部	100 kcpm 超	76.8 kcpm	25 kcpm	14.5 kcpm	1.2 kcpm
		54 μSv/h	40 μSv/h	30 μSv/h	11 μSv/h	1.3 μSv/h
	最大汚染部位**	100 kcpm 超	80.5 kcpm	50 kcpm	14.5 kcpm	3.5 kcpm
		54 μSv/h	55 μSv/h	60 μSv/h	11 μSv/h	4.8 μSv/h
		ラジエター上部	フロントグリル部	エアフィルター	ラジエター上部	サイドステップ部
除染後	フロントグリル部	30 kcpm	33.3 kcpm	19 kcpm	3.8 kcpm	
		40 μSv/h	50 μSv/h	35 μSv/h	5 μSv/h	
	ラジエター上部	55 kcpm	64.1 kcpm	19 kcpm	9.1 kcpm	
		40 μSv/h	40 μSv/h	25 μSv/h	5.5 μSv/h	
	最大汚染部位**	55 kcpm	64.1 kcpm	40 kcpm	9.1 kcpm	
		40 μSv/h	40 μSv/h	40 μSv/h	5.5 μSv/h	
		ラジエター上部	フロントグリル部	エアフィルター	ラジエター上部	

注 1：すべて車両表面より 1 cm 離れて測定した。

注 2：測定した車種は、No.1：普通車（ハッチバック型コンパクトカー）、No.2：普通車（ハッチバック型コンパクトカー）、No.3：軽自動車（トールワゴン型）、No.4：軽自動車（トールワゴン型）、No.5：スポーツ用多目的車（SUV（Sport Utility Vehicle）ショート）である。

＊　：バックグラウンドを表す。

＊＊：最大汚染部位は、フロントグリル部とラジエター上部だけではなく、測定した部位のうち汚染が最大となった部位を示す。

表 3-2　車両の指定箇所検査部位の汚染状況及び除染措置の効果に関する調査結果
（フロントワイパー部とタイヤ側面（全輪）及びそれらの最大汚染部位）
（参考文献 6)の別紙 2 に記載された 5 つの図から作成）

測定対象		高カウント車両		中カウント車両		低カウント車両
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
測定日		7 月 5 日	7 月 12 日	7 月 5 日	7 月 12 日	7 月 4 日
BG*		1.2 kcpm	2.2 kcpm	1.2 kcpm	2.2 kcpm	0.5 kcpm
		30 μSv/h	6 μSv/h	30 μSv/h	6 μSv/h	1.1 μSv/h
除染前	フロントワイパー部	100 kcpm 超***	12 kcpm***	40 kcpm	3.1 kcpm***	
		15 μSv/h***	13 μSv/h***	60 μSv/h	8 μSv/h***	
	タイヤ側面（全輪）	15～30 kcpm	16.5～21.2 kcpm	20～35 kcpm	4.6～5.7 kcpm	1.3～3.0 kcpm
		10～23 μSv/h	13～25 μSv/h	10～20 μSv/h	7～10 μSv/h	1.4～2.5 μSv/h
	最大汚染部位**	100 kcpm 超	21.2 kcpm	40 kcpm	5.7 kcpm	3.0 kcpm
		15 μSv/h	25 μSv/h	60 μSv/h	10 μSv/h	2.4 μSv/h
		リアワイパー部	左前輪タイヤ側面	フロントワイパー部	左前輪タイヤ側面	左後輪タイヤ側面
除染後	フロントワイパー部	30 kcpm	5.0 kcpm***	30 kcpm	2.3 kcpm***	
		40 μSv/h	9 μSv/h**	70 μSv/h	3 μSv/h**	
	タイヤ側面（全輪）	10～22 kcpm	11.1～20.2 kcpm	10～22 kcpm	2.3～6.3 kcpm	
		8～13 μSv/h	10～21 μSv/h	8～13 μSv/h	3～5 μSv/h	
	最大汚染部位**	30 kcpm	20.2 kcpm	30 kcpm	6.3 kcpm	
		40 μSv/h	21 μSv/h	70 μSv/h	3 μSv/h	
		フロントワイパー部	左前輪タイヤ側面	フロントワイパー部	右後輪タイヤ側面	

注 1 と注 2 は表 3-1 と同じ。

＊　　：バックグラウンドを表す。

＊＊　：最大汚染部位は、フロントワイパー部とタイヤ側面のうち、GM サーベイメータの測定結果（kcpm）が最大となった部位を示す。ただし、フロントワイパー部が測定されなかった場合には、リアワイパー部の測定結果を考慮する。

＊＊＊：フロントワイパー部の測定は実施されなかったので、リアワイパー部の測定結果を示す。

表 3-3　表面汚染密度で表した車両の除染割合
（参考文献 6)の別紙 2 に記載された 5 つの図に基づいて作成）

測定対象		高カウント車両		中カウント車両		低カウント車両++
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
測定日		7 月 5 日	7 月 12 日	7 月 5 日	7 月 12 日	7 月 4 日
BG*		1.2 kcpm	2.2 kcpm	1.2 kcpm	2.2 kcpm	0.5 kcpm
除染割合（大）	ルーフ&ボンネット	0.17	0.45	0.48	0.72	
	ワイパー部**	0.07	0.42	0.7～0.75	0.74	
除染割合（小）	フロントグリル部	0.50	0.41	0.86	0.42	
	タイヤ側面（全輪）	0.47～0.75	0.56～1.1（0.95）+	0.43～1.1（0.50）+	0.46～1.4（0.47）+	
	エンジンルーム内***	0.55～0.80	0.83～1.2（0.83）+	0.76～0.80	0.63～1.0（0.63）+	

注 1 と注 2 は表 3-1 と同じ。
＊　　：バックグラウンドを表す。
＊＊　：フロントワイパー部またはリアワイパー部の測定値。
＊＊＊：ラジエター上部またはエアフィルターの測定値。
＋　　：1.0 以上の値を除く最大値。
＋＋　：低カウント車については、除染前における表面汚染密度と空間放射線量率は測定されたが、除染後における値は測定されなかった。

図 3-1 の下図、表 3-1 及び表 3-2 の下部に示された調査結果は、車両に対する拭き取り除染による除染効果を示したものである。拭き取り除染の他に、高圧ジェットによる除染効果の調査が福島県 J ヴィレッジにおいて実施された。高圧ジェットによる除染効果に関する調査結果を図 3-2 に示す。拭き取り除染の場合には、車両の外表面のうちフロントグリル部やタイヤ側面、及び車両内部のうちエンジンルーム内（ラジエター上部やエアフィルター）の除染効果は比較的低いものであった。しかし、高圧ジェットによる除染は大きな効果があり、除染後は車両の外表面ばかりでなく車両内部もほぼ同等のレベルまで除染されることが分かった。ただし、高圧ジェットは車両の外表面及びエンジンルーム内の除染に大きな効果があるものの、除染に水を使用することは放射性物質を含んだ廃液の処理問題があること、エンジンルームでは電気系統や精密部品の破損の原因となる恐れがあることに留意する必要がある。なお、本段落の最後の文章は、本報告書の著者の意見である。

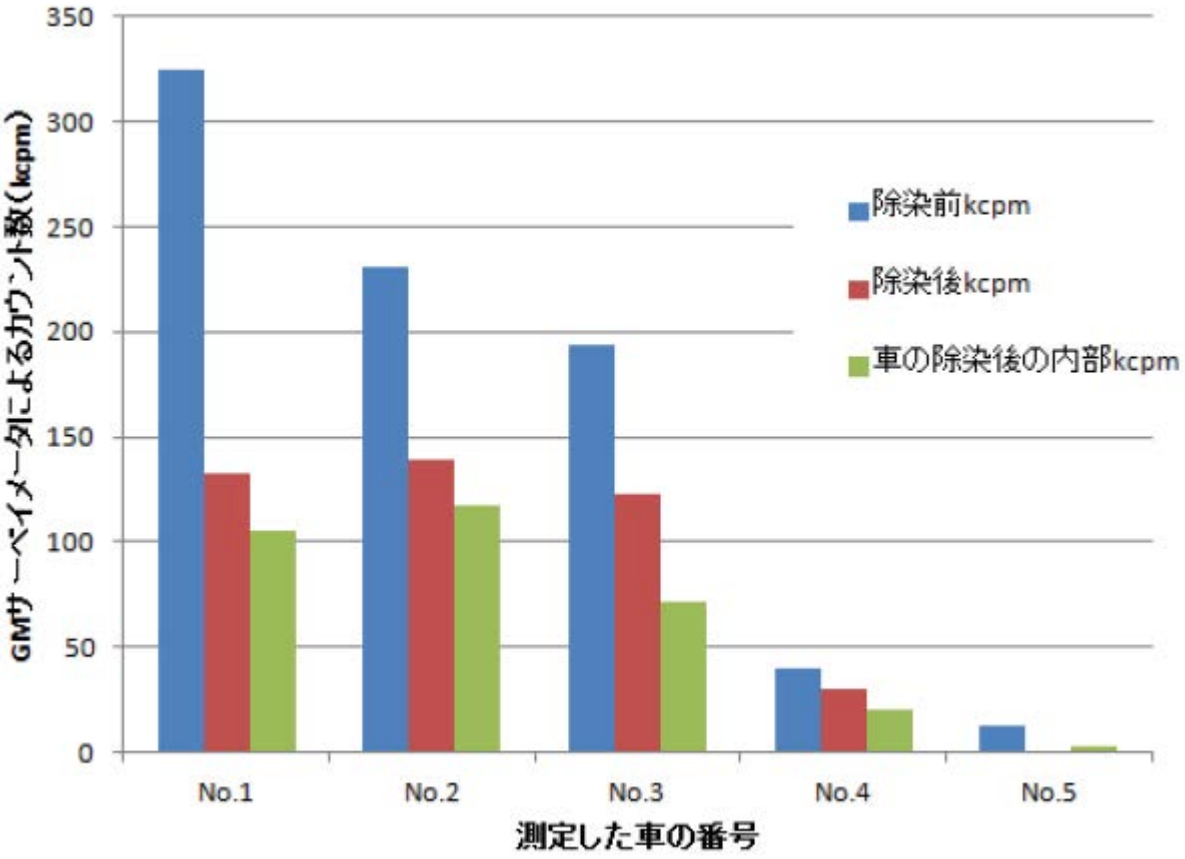

図 3-2　福島県 J ヴィレッジにおける高圧ジェットによる除染措置の効果 [6)]
（注：除染前及び除染後の測定値は、① フロントグリル部、② ボンネット、③ ルーフ、④ フロントワイパー部、⑤ リアワイパー部、⑥ ドア部パッキン、⑦ タイヤ全輪側面の測定値の合計である。ただし、車によっては、①～⑦で測定されていない部分もある。車の除染後の内部の測定値は、⑧ ラジエター上部、⑨ エアフィルター、⑩ 座席部の測定値の合計である。）

本段落の記述は、JNES 報告書の記載に基づいて本報告書の著者がその内容について考察を行ったものである。図 3-2 に記載された GM サーベイメータによるカウント数は、各部位の測定値を単に合計したものであるため、高圧ジェットによる除染効果のめやすを示しているに過ぎない。また、図 3-2 に記載された 5 台の車両（No.1～No.5）が、表 3-1～表 3-3 に記載された 5 台の車両と同じものであるかどうかは JNES 報告書 [6)]の記載からは読み取ることができない。従って、拭き取りによる除染と高圧ジェットによる除染の効果を直接比較することは困難である。

(2) JNES が日本自動車販売協会連合会の協力の下に実施した調査

JNES は、日本自動車販売協会連合会の協力の下に、車の整備工場（福島県いわき市）において汚染状況及び除染措置に関する実態調査を行った。この調査は、車の整備工場でなければ測定が困難な部位の汚染状況に関するものである。足廻り及び下回りにおける車両外表面の計数率と空間放射線量率に関する調査結果を表 3-4 に、エンジンルーム内の計数率と空間放射線量率を表 3-5 に示す。これらの表から、車両の足廻りや下回りという外表面ばかりでなく、エンジンルーム内やそれらに通ずる部分にまで車両の汚染が及んでいることが分かった。

車両の前／後面で 10 μSv/h 程度、側面は 4～8 μSv/h であったが、ゴム部はいずれにおいても比較的高い線量率を示し、特にワイパー部、ワイパー排水口雨どい部では高い汚染（それぞれ 67 μSv/h 及び 76 μSv/h：表 3-5 参照）が測定された。また、車両の下回りは 4～10 μSv/h、エンジンルーム内は 10 μSv/h 程度であったが、ラジエター前面では極めて高い線量率（88 μSv/h：表 3-5 参照）が測定されるとともに、フロントガラスからの雨水が地面に落ちる雨どい部からタイヤハウスの後端の経路は下回りも含めて線量率が極めて高かった（30 μSv/h 超過：表 3-4 参照）。特に、通常の洗浄では届かないタイヤハウス内の樹脂製のカバーの内側では、100 kcpm 以上かつ 350 μSv/h の汚染も確認されたことが JNES 報告書[6]に記載されている。

表 3-4　足廻り及び下回りにおける車両外表面の計数率と空間放射線量率[6]

足廻り		計数率(kcpm)	線量率(μSv/h)*)	備考
ディスクブレーキ	ディスク	4	10.4	－
	キャリパ	11.6	15.8	－
	パット	4.3	4.98	－
	ハブ（軸）	11	14.1	－
ドラムブレーキ	シュー及びライニング	2.3	3	－
	ハブ（軸）	10.2	2.62	－
タイヤの内側	前輪	12.7	2.01	－
下回り				
ロッドアーム部		12.3	10.5	－
エンジン下部付近		8.2	8.95	－
ドライブシャフト		10	4.57	－
エキゾースト末端		5.2	3.38	ゴム部14
雨水の流れるタイヤハウス後側下部	右	67.5	＞30	－
	左	29.5	未測定	－

*)　30 μSv/h 未満の値は NaI(Tl) シンチレーションカウンタで測定した。

表 3-5　エンジンルーム内の計数率と空間放射線量率 6)

測定場所		GM計数率(kcpm)	線量率(μSv/h)*)
プラグ上部		7.2	15.1
バッテリー上部		12.7 (ｴｱﾌｨﾙﾀ除去後11)	12.4
ACエレメント		10.9 (ｹｰｼﾝｸﾞ内13)	13.7
エンジン横ベルト付近		13	16.3
マスシリンダー		13.2	21.7
カウル(ワイパー基部板)本体	右側	12.4	>30 IC(67)
	左側	5	4.8
カウルの内側（雨どい部）	右側	＞100	>30 IC(76)
	左側	未測定	
ラジエータ前面	グリルを外して直接	52	>30 IC(88)

*)　30 μSv/h 未満の値は NaI(Tl) シンチレーションカウンタで測定した。30 μSv/h 以上は電離箱型（Ionization Chamber : IC）サーベイメータで測定し、表 3-5 には IC (　) として測定値を示す。

JNES 調査では、車両の除染についても述べている。原子力機構の協力を得て調査を行った結果、通常の洗車機等による除染ではワイパー排水口の雨どい部の洗浄は困難であったが、この部分が除染されると全体的な汚染レベルは低減する可能性があることが示された。また、ワイパーゴムやドア部パッキンゴム等はかなり高いレベルで汚染されているものもあるため、これらの部品を交換することにより汚染が低減する可能性があることが分かった。

(3) いわき市内の整備工場による独自の調査等

警戒区域以外を走行する一般的車両と警戒区域から持ち出した車両の差異を分析するため、JNES は関連組織から種々の調査データの提供を受けるとともに、JNES 独自の調査・分析を実施した。調査・分析結果のまとめは表 3-6 に示した通りである。また、図 3-3 には、代表的な例としてタイヤ側面（左図）とワイパー部（右図）の空間放射線量率の頻度分布を示す。

JNES が調査データの提供を受けた、あるいは独自調査を行った福島市内の一般的車両では、一部局所的に汚染された部位がある車両が見られたが、大部分の車両はほとんど BG レベルあるいはそれ以下の汚染レベルであった。このことは、表 3-6 を見ると分かるように、平均値／最大値の値が 4～7 % と小さくなっているため、調査データが平均値あるいはそれ以下に集中していると思われることからも理解される。また、各対象部位の空間放射線量率の頻度分布は、図 3-3

（左図 : タイヤ側面、右図 : ワイパー部）に示されている代表的な分布のような形状をしており、最頻値は「0 μSv/h」となっている。汚染がない車両は福島第一原発から放出された放射性プルームからの直接汚染を受けていないことを示唆するものであろう。調査・分析された一般的車両の中には、数 % 程度 13 kcpm を超える高い汚染が確認された車両が含まれていたが、事業者による履歴調査の結果、警戒区域を頻繁に走行していた車両であることが判明した。なお、本段落の記述は、JNES 報告書に掲載された表 3-6 と図 3-3 について、本報告書の著者が調査結果とその考察を補足したものである。

表 3-6 に示されているように、一部局所的に比較的高い汚染が測定された車両の部位は、フロントワイパー部、前部バンパー及びボンネットであった。この他に、ラジエター、ワイパー雨どい部、タイヤハウスの汚染が高い車両があり、これらの部位が最も汚染しやすい箇所であることが認識された。

表 3-6　一般車両を含めた汚染状況の調査結果 [6)]

（単位　μSv/h）

	有効データ数	平均値*)	最大値*)	平均値／最大値**)
ボンネット	144	0.79	17.2	0.046
タイヤ　右前輪	133	0.52	9.8	0.053
タイヤ　左後輪	83	0.32	9.2	0.035
AC エレメント	66	0.66	9.8	0.067
エアフィルタ	77	0.38	9.8	0.039
バンパー　前	90	1.07	17.2	0.062
バンパー　後	52	0.54	9.2	0.058
ワイパー　前右	101	1.69	41.4	0.041
ワイパー　後	52	0.34	6.2	0.055

*)　平均値と最大値は BG（バックグラウンド）を差し引いたネットの値を使用している。

**)　一部では最大値が測定上限を超えたものがあるが、平均値／最大値の観点からは保守的な値となる。

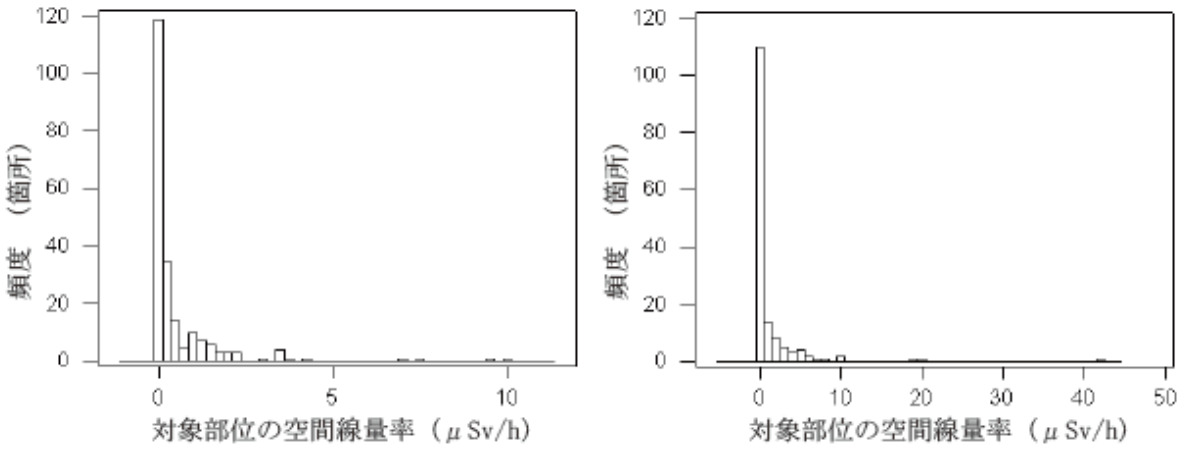

図 3-3　各対象部位の空間放射線量率の代表的な頻度分布の例 [6)]
（左図：タイヤ側面（右前輪と左後輪）、右図：ワイパー部（前右と後））

(4) 国道 6 号を通過する車両への放射性物質の付着状況の調査 [7)]

警戒区域内における国道 6 号を走行した車両の汚染レベルを境界外で測定した結果は、BG あるいはそれより若干高い数百 cpm 以下であった。車への放射性物質の付着は自車及び他車の走行による粉じんの巻き上げが想定されると考え、2 台の車で前後を並走し放射性物質の付着状況を確認したが、汚染が確認された部位は自車走行による路面の粉じんの巻き上げが主因と思われるタイヤ側面やタイヤハウスであり、ワイパー部、ラジエター等のフロント部の汚染は確認されなかった。また、前後の車でも有意な差は認められなかった。さらに、吸気口が車の前面にあるエアコン用フィルター、エンジン吸気用フィルターのいずれにおいても、付着した放射性物質は検出されないか、またはごく僅か（走行 1 時間当たり 7 Bq 以下）で、前を走る車の影響は認められなかった。

上記より、通過車両への放射性物質の付着の主因は、自車走行による粉じんの巻き上げによる表面汚染であり、国道 6 号を繰り返し走行しても、車に取り込まれる空気を介したエンジンルーム内部への汚染の蓄積は低いと言える。

国道 6 号を走行した車体の側面、底面及びタイヤハウス内に付着した粉じんによる放射性物質の表面汚染密度を測定したところ、晴天時と雨天時とも天候によらず 2 Bq/cm^2（約 470 cpm に相当）以下であり、車の外表面へ付着する放射性物質は少なかった。雨天時には道路表面のたまり水の跳ね上げが認められるものの、車体表面は粉じんが付着しにくいように加工されているので、走行後の車体の拭き取り調査では、むしろ汚染は晴天時より雨天時の方が低いことが確認された。これは、雨天時には雨水により付着物が洗い流されるためであると推測される。

上記より、国道 6 号を通過する車両に付着する汚染は僅かであると言える。ただし、国道 6 号以外の道路幅や路肩が狭い道路においては、路面に溜まっている水があること及び車両同士がすれ違う際に道路外の土の上を走行する可能性があり、この場合には土の付着により車両に汚染を生じる可能性がある。これによる汚染レベルがスクリーニングレベルを超える可能性は小さいものの、こうした場所へ入り込むような走行は注意する必要がある。

本調査の対象となった国道 6 号の一定区間（富岡町本岡交差点から浪江町東迫までの 14 km）においては、空間放射線量率は 1.6～65 μSv/h、平均 15 μSv/h であり、線量率の値が著しく高い領域は限定的であった。調査時期は福島第一原発事故からほぼ 1 年経過しており、国道 6 号の場合は車両の走行による摩擦や雨水による粉じんの流出が原因となり、既に放射性物質が道路周辺方向へ移動したと想定される。従って、車両が走行した際に車両への放射性物質の付着は、晴天時では道路表面からの粉じんの巻き上げであり、雨天時には道路表面のたまり水の跳ね上げが認められるが、双方とも放射性物質の付着は小さいものであることが理解された。

3.3　車両汚染の部位と主な原因

JNES は、上記(1)～(4)の 4 種類の調査結果から、車両において汚染が高い部位をまとめるとともに、高い汚染の主な原因を考察した。汚染の状況は、車両の外部の表面汚染と内部のエンジンルーム内の汚染に大別される。汚染が高い部位は、車両の外部ではワイパー部、タイヤ側面、ドア部パッキン等であり、車両の内部ではラジエター、エアフィルター、ワイパー排水口雨どい等であることが確認された。汚染の主な原因は次のように想定される。

a）車両の外部の表面汚染

・外表面の直接汚染

・走行に伴う汚染泥等の付着

b）車両の内部のエンジンルーム内の汚染

・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

上記 a）の汚染は、原子力災害現地対策本部における一時立入りによる車両に対する持ち出し車両の調査において、100 kcpm を超えたすべての車両が外表面の拭き取り作業により 100 kcpm 未満になっていることからも確認できる。また b）の汚染は、エンジンルーム内においてラジエター、エアフィルター、ワイパー排水口雨どい等が比較的高い汚染を示すという現地調査結果等から確認できる。その他、福島第一原発事故時において、原子炉建屋内の水素爆発時にサイト内に駐車されていたことにより、エンジンルームが爆風によって直接汚染された車両があり、こうした車両が極めて高い空間放射線量率を示すこともJNES の現地調査等で確認されている。

4. 原子力機構における車両汚染の調査

4.1 調査の背景と目的

(1) 経緯と調査目的

原子力機構 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部では、福島第一原発事故直後の平成 23 年（2011 年）3 月 12 日から、福島県内における環境モニタリングを目的として、当部が所有するモニタリングカーを、原子力機構 原子力緊急時支援・研修センターを通じて福島県に無償で貸与した。約 1 年後の平成 24 年（2012 年）2 月 27 日に当該モニタリングカーは返却されたが、NaI(Tl) シンチレーションカウンタの検出部に鉛板を巻いて（付録参照）車体に直付けして測定した結果、車体に 0.3 μGy/h 程度の汚染があることが判明した。このことから、1 年弱の貸与期間中に、事故を起こした福島第一原発から大気に放出された放射性プルームからの影響を受けて汚染したものと予想された。返却後、当該モニタリングカーを使用して走行サーベイを行う際に、0.3 μGy/h 程度の汚染は測定結果に大きな影響を与えることが懸念された。

上記の状況を鑑みて、本調査はモニタリングカーの汚染状況を把握し、除染措置を行う際の参考にすることを目的として実施した。

(2) モニタリングカーの走行及び保管状況

平成 23 年（2011 年）3 月 12 日から平成 24 年（2012 年）2 月 27 日までの 1 年弱の福島県への貸与期間において、当該モニタリングカーがどういう経路をどのように走行したか、どういう場所にどのような状態で保管されていたかなどについて詳細は不明である。モニタリングカーの汚染が 0.3 μGy/h 程度であったことを考慮すれば、破損した原発から大気に放出された放射性プルームに車体が直接曝されたこと、汚染された道路等を走行して再浮遊した泥や埃等が車体に付着したことによってモニタリングカーが汚染されたと予想された。

しかし、当該モニタリングカーの走行及び保管に関する情報がないので、汚染の時期、汚染経路や風雨等による除去効果などを推測することは困難である。今回測定した汚染状況は、測定日時点において車体内外の各部位に残留していた放射性物質の汚染密度を表している。汚染原因や除去プロセスの把握は困難であったが、原子力災害時における車両の汚染状況と除染措置に関する情報はごく少数であるという現状において貴重なデータであると考えられる。

(3) 汚染状況の測定条件及び方法

モニタリングカーの汚染状況の調査について、測定条件及び方法は以下の通りである。

・測定日時：平成 24 年（2012 年）4 月 13 日
・測定場所：核燃料サイクル工学研究所 安全管理棟 車庫
・測定器　：NaI(Tl) シンチレーションカウンタ、GM サーベイメータ

汚染測定では、NaI(Tl) シンチレーションカウンタ及び GM サーベイメータという 2 つの検出器を使用し、それぞれ空間放射線量率（μGy/h）及び表面汚染密度（cpm）を測定した。使用した 2 つの検出器の外観をそれぞれ写真 4-1 及び写真 4-2 に示す。NaI(Tl) シンチレーションカウンタについては、コリメータとして検出部に鉛板（0.5 cm 厚）を巻き、局所的な線量率を測定できるようにした。検出部に鉛版を巻いてコリメートする効果に関する実験の結果については付録に記載する。また、それぞれの測定器の仕様と条件を各写真の下に示す。仕様及び条件の最下行に

記述された「BG」は環境バックグラウンドを表す。

今回の測定では、使用した車庫における装備等の関係により、モニタリングカーの汚染状況については、車両外部と車両室内を中心とした測定を行い、車両下部やタイヤハウス、エンジンルームの詳細測定は行わなかった。

写真 4-1　NaI(Tl) シンチレーション
カウンタ
・型番：TCS131 JNC000252012332
・時定数：10 s
・BG（コリメータ有）：0.08 μGy/h

写真 4-2　GM サーベイメータ
・型番：TGS133 25201-1483
・時定数：10 s
・BG：100 cpm
・有意値の判断基準：150 cpm

(4) 除染措置の方法

モニタリングカーの除染措置の調査について、除染方法は以下のとおりである。

・除染日時：平成 24 年（2012 年）7 月 12 日
・除染場所：核燃料サイクル工学研究所 安全管理棟 車庫
・除染方法：モニタリングカー内に搭載された機器類をすべて取り外し、車両外部及び室内全体に渡って基本的には拭き取りによる除染を行い、必要に応じて高圧洗浄機による除染を実施した。この際、窓枠の外側の汚染が全体的に高いため、後部右側の窓枠 2 箇所を取り外した。また、搭載機器のうち精密機器については、高圧洗浄機の使用により電気系統や精密部品の破損の恐れがあるため、拭き取りによる除染を基本とした。

搭載機器類及び車両室内の除染作業後は、すべての搭載機器類を再設置して、除染措置の効果を確認するために、NaI(Tl) シンチレーションカウンタを用いて空間放射線量率を測定した。

4.2　調査結果と今後の課題

(1) モニタリングカーの汚染状況

モニタリングカーの汚染状況に関する調査結果について、車両外部の結果を写真 4-3 に、車両室内の結果を写真 4-4 にそれぞれ示す。写真 4-3 から分かるように、モニタリングカーの車両外部では、車両の側面より車両前部及び後部に汚染が認められた。これは、

a) 車両前部及び後部がより複雑な形状であることにより表面積が大きく、放射性物質が付着しやすいこと、
b) 車両前部及び後部を構成する部品にはゴムやプラスチック等が素材として使用されており、放射性物質が付着しやすい一方で除去されにくいこと、
c) モニタリングカーが走行した際に、車両前部は放射性プルームや再浮遊した放射性物質が直接衝突し、また車両後部は車両によって循環流が発生すること、

などが原因であろう。a) については、複雑形状で表面積が大きいフロントグリル部、バックミラーカバー、タイヤホイール等に高い汚染が認められた。b) については、ゴム製であるワイパー、タイヤ側面、ドア部パッキン等の汚染が高く、拭き取りによる除染では除去できなかった。これらは、汚染が固着している固着性汚染であると考えられる。c) については、車両前部及び後部の各部位に汚染が認められた。ここでは、ガラスのみならず車体表面の金属部にも多少の汚染があったが、この汚染は拭き取りによる除染では除去できなかった。また、高圧洗浄機による車両外部の除染を行ったが、除染前後で線量率は下がらなかった。これは、実際に車両外部の汚染が除去できなかったこと、車両外部の汚染なのか内部の汚染なのか汚染箇所が特定できなかったことなどが原因であると考えられる。

一方、写真 4-4 から分かるように、モニタリングカーの車両室内では、運転席窓際の収納部に高い汚染を確認し、除染には分解洗浄が必要であることが認識された。一方では、座席シートの汚染はほとんどなく、GM サーベイメータを用いた測定で 180 cpm 程度であった。また、車内には土や埃等が確認され汚染の一因となっていたが、これらは固着性汚染でないと思われ、拭き取りで除染が可能であった。なお、搭載機器のうち精密機器に水を使用することは電気系統や精密部品の破損の恐れがあるため、精密機器の除染は拭き取りを基本とした。一方、搭載機器をすべて取り外した車両室内に対しては高圧洗浄機による除染も実施した。

運転席窓際の高い汚染は、

i) 運転席ドアや窓ガラスの開閉によって外気や埃が入りやすいこと、
ii) ルームエアコンの使用によって運転席に外気を取り入れたと予想されること、
iii) 運転席窓際の部品は複雑な形状であることにより表面積が大きく、放射性物質が付着しやすいこと、
iv) 運転席窓際を構成する部品にはゴム、布、プラスチック等が素材として使用されており、放射性物質が付着しやすい一方で除去されにくいこと、

などが原因であろう。

車両外部と車両室内の境界領域については、車体の隙間やドア等の接続部に汚染を確認したが、これらの汚染は固着性汚染でないと思われ、拭き取りで除染が可能であった。また、車両下部の詳細測定は行わなかったが、高い汚染の可能性は十分考えられた。特に、タイヤ周り（タイヤハウス）は、第 3.3 節の考察から汚染が高いことが予想される。

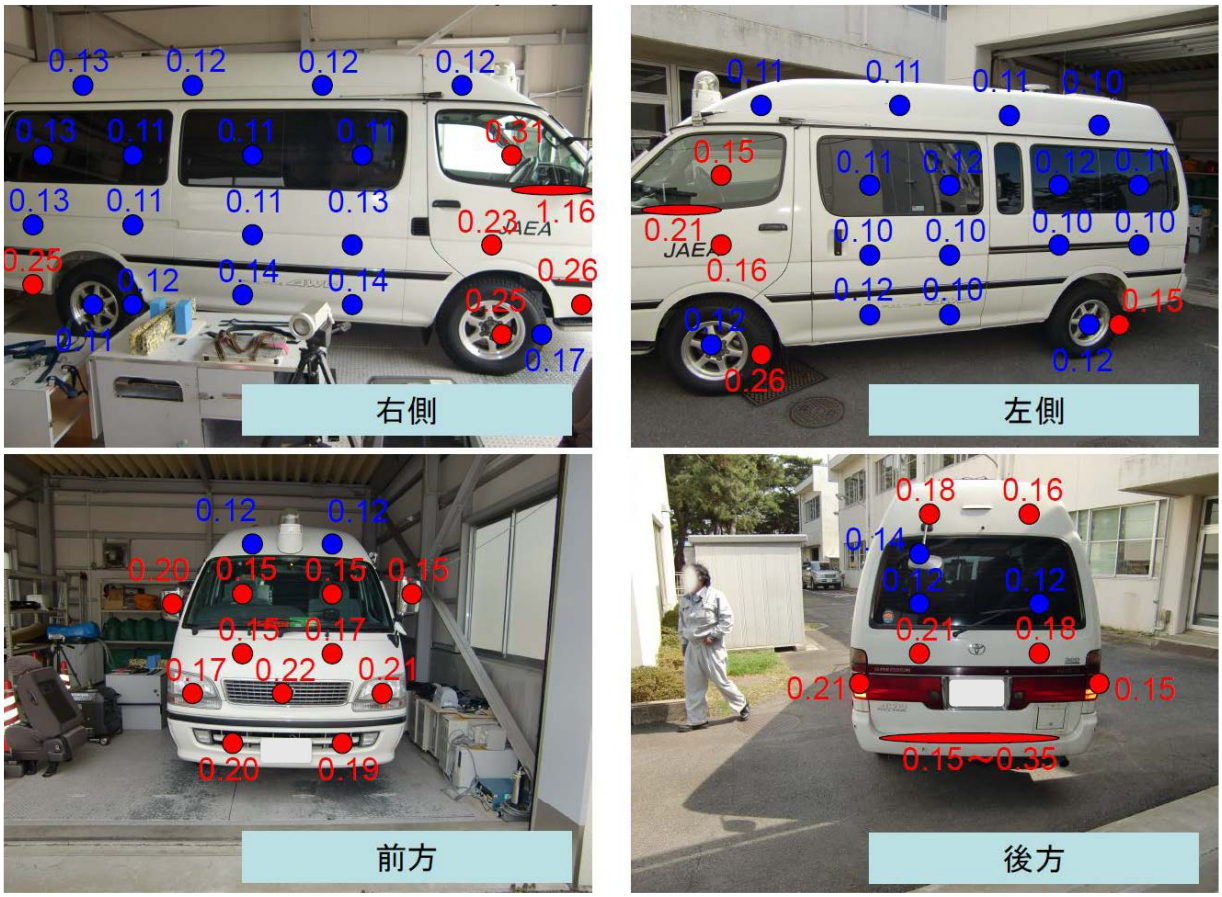

写真 4-3　NaI(Tl) シンチレーションカウンタによる
モニタリングカーの外部の汚染状況に関する調査結果
（図中の数値の単位はμGy/h、●：検出限界以下、●：有意値）

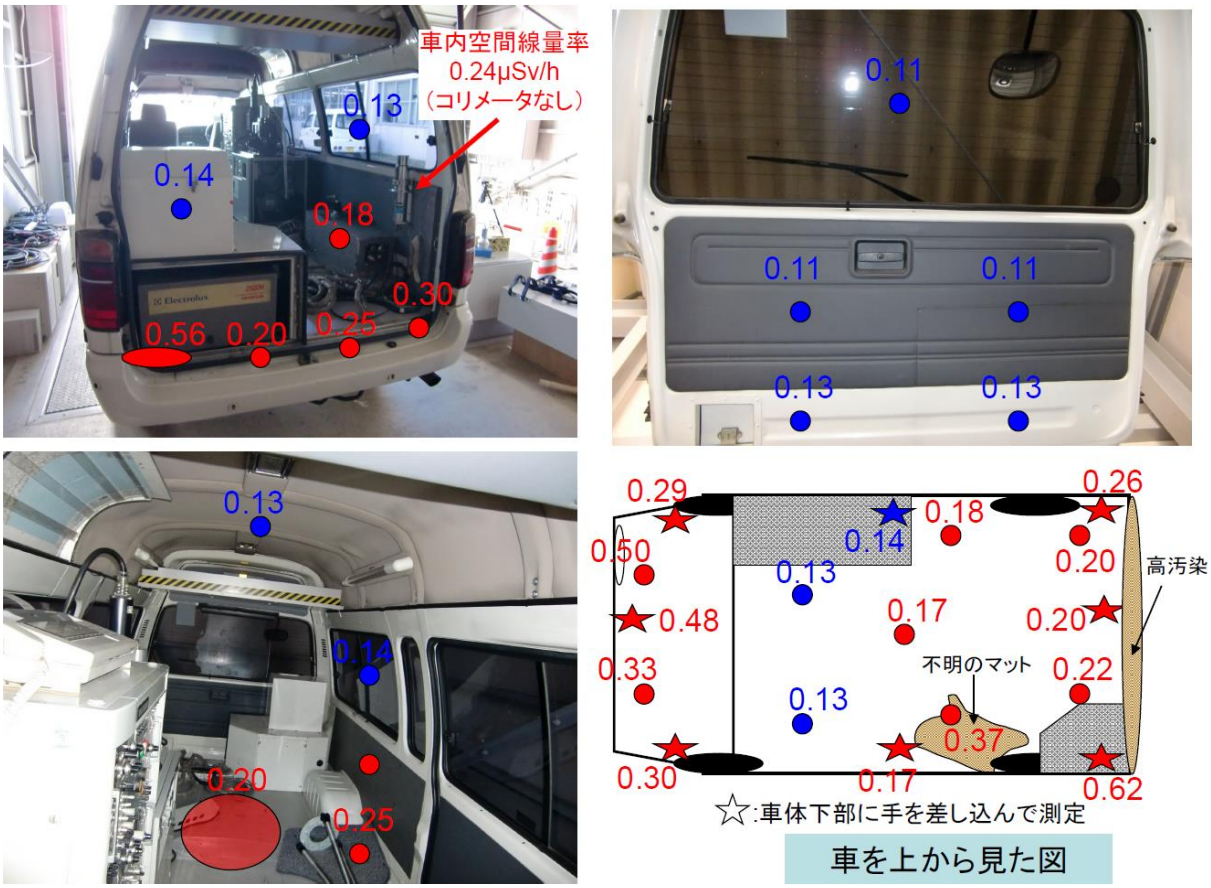

写真 4-4　NaI(Tl) シンチレーションカウンタによる
モニタリングカーの室内の汚染状況に関する調査結果
（図中の数値のμGy/h、●：検出限界以下、●：有意値）

(2) モニタリングカーの除染措置

モニタリングカーの返却後の汚染検査において、車両室内の右側後部に設置された NaI(Tl) シンチレーションカウンタ付近（室内右後方の窓付近に設置：写真 4-4 の左上写真の赤い矢印で示した部分）での空間放射線量率は 0.24 μGy/h であった。当該モニタリングカーを走行サーベイに用いるためには、車両内外の汚染の影響をできるだけ低減化する必要があった。そのため、洗剤を用いた洗浄や分解洗浄、車両室内の水拭き等が必要であると予想された。また、汚染を低減化ができない場合には、空間放射線量率の測定結果が車両汚染によるγ線の影響を受けないように、車両から離した状態での測定に限定するなど対策が必要であると思われた。

モニタリングカー内に搭載された機器類すべてを取り外した後（写真 4-5 を参照）、NaI(Tl) シンチレーションカウンタを用いて測定したところ、車両室内は約 2.5 μGy/h から 2.8 μGy/h であり、全体的に汚染されていることが確認できた。特に、運転席付近が一番高く 2.5 μGy/h から 3.5 μGy/h とかなり汚染された状態であった。なお、機器類の取り外しの際には、窓枠の外側の汚染が全体的に高かったため、車両の右側窓枠を 2 箇所取り外した。

搭載機器類及び車両室内の除染は基本的にはすべて拭き取りによって実施した。一方、搭載機

器をすべて取り外した車両室内に対しては高圧洗浄機による除染も実施した。除染作業後には、すべて搭載機器類を再設置して、除染措置の効果を確認するために、NaI(Tl) シンチレーションカウンタを用いて空間放射線量率を測定した。その結果、運転席付近で 0.28 μGy/h から 0.32 μGy/h、車両室内の中央で 0.13 μGy/h から 0.15 μGy/h、NaI(Tl) シンチレーションカウンタの設置場所付近で 0.12 μGy/h から 0.14 μGy/h であった。また、運転席下側のタイヤ内側で 0.72 μGy/h（左側）、0.55 μGy/h（右側）であった。

車両室内に設置された発電機を起動した後、すべての測定機器類に通電したところ、すべて正常に作動した。車内測定装置の測定結果は 0.147 μGy/h であった。同時に NaI(Tl) シンチレーションカウンタで測定したところ、0.12 μGy/h から 0.14 μGy/h とあまり大差はないという結果であったが、周辺環境と比較するとわずかに高めとなった。

今後の課題としては、車両外側においてエンジン下部、前輪及び後輪タイヤ内側などの除染が必要であると考えられた。また、車両室内において運転席付近がまだ少し線量率が高い所があった。このため、タイヤを取り外してタイヤハウス内部を洗浄することにより線量率が下がることが期待される。

写真 4-5　モニタリングカー内に搭載された機器類を外した状態

5. 調査のまとめとその検討

5.1 車両汚染に関する調査の意味

原子力災害時における車両の汚染状況に関する関連文献や公開情報は非常に少ない。これは、放射性物質の広域汚染を伴う原子力災害自体がごく稀にしか発生しないことに加えて、車両汚染を模擬する実験や試験の実施は困難だと考えられるため、車両汚染の調査は福島第一原発事故後の実測例に限られるためであろう。こうした状況の中で、JNES 報告書は福島第一原発事故後における車両の汚染状況や除染効果について、多岐に渡って大規模に調査・検討した貴重な公開情報である。また、原子力機構が福島第一原発事故後に実施したモニタリングカーに対する汚染状況及び除染効果の調査は、車両 1 台のみが対象であったとは言え、非常に参考となる調査データである。ただし、原子力機構の調査データは現時点まで未公開であった。

一方、精緻な計算シミュレーションモデル（例えば、放射性物質の大気中移流・拡散、数値流体力学[10]、放射性物質の車体表面への沈着及び車体からのウェザリング[11] などを組み合わせたモデル）を利用することにより、車両汚染について一定の解析結果を得ることができると考えられる。しかし、車両汚染に関する様々な前提条件や計算条件をすべて網羅することは非常に困難であろう。本報告書では、ごく少数の関連文献である 2 報の JNES 報告書 [6),7)]に記載されている調査結果、及び原子力機構が実施した調査データ（これまで未発表）を目的に応じて抽出して整理するとともに、その内容について検討と考察を行った。

第 3.3 節に記述されているように、車両の外表面の汚染は、放射性プルームからの直接沈着と地表面等から再浮遊した放射性物質の付着であると予想される。前者と後者を比較すれば、気象条件や道路の状態等にも依存するが、前者の方が車両汚染により大きな影響を及ぼすと考えられる。また、再浮遊した放射性物質の付着については、雨天時に未舗装の道路を走行すれば、汚染泥が付着することにより特定の部位の汚染が高くなる可能性がある。

また、放射性プルームからの直接沈着による汚染は乾性沈着と湿性沈着に分類され、汚染に影響を及ぼす要因として、乾性沈着では放射性物質の沈着速度のほか、沈着面の表面積や粗度等が挙げられ、湿性沈着では降雨強度や洗浄係数等が影響を及ぼすだろう。通常の地表面では湿性沈着の方が乾性沈着より大きくなる傾向がある。しかし、車両の場合には降雨量が多くなると、車両表面に沈着・付着した放射性物質が洗い流される効果がより大きくなると思われる。

原子力災害時における車両の汚染は、放出された放射性物質の性質（組成、物理的／化学的形態等）、放出時の気象条件（風向風速、降雨の有無とその強度等）、車両の保管状態（車庫や屋根の有無、汚染区域における曝露期間と走行期間等）、車両や対象部位の状態（車両や部品の新旧や形状等）、車両が走行する道路等の状態（汚染や舗装の有無、周辺環境の状態等）という様々な要因や条件に依存すると予想される。従って、調査したデータや関連情報において、調査結果はこ

---

[10] 数値流体力学（Computational Fluid Dynamics : CFD）は、偏微分方程式の数値解法等を駆使して流体の運動に関する方程式をコンピュータで解くことによって、流れを観察する数値解析・シミュレーション手法である。計算流体力学とも言う。コンピュータの性能向上とともに飛躍的に発展し、自動車・航空機・鉄道車両・船舶・血流等の流体中を移動する機械及び建築物の設計を行うに当たって風洞実験に並ぶ重要な存在となっている。

[11] 車両を含む物体の外表面、あるいは葉菜や牧草などの植物から、放射性物質が物理的減衰以外によって減衰する現象をウェザリングという。風雨等の気象現象が主たる要因である。

れらの様々な要因や条件の一部を反映したものに過ぎないので、すべての原子力災害時における車両の汚染状況に関する一般的かつ汎用的な情報を与えるものではない。しかし、ある特定の要因や条件を反映した車両の汚染状況を示す情報を示唆するものである。

5.2　車両汚染の主要な部位とその原因の考察

JNES 報告書の記載では、車両の外表面ではワイパー部、タイヤ側面、ドア部パッキン等のゴム部及びフロントグリル部において汚染が高いことが確認された。ゴム部の汚染は、ゴム部の粗度が大きいこと、ゴム部に沈着・付着した放射性物質が除去されにくいことなどの沈着面の性質が主たる原因であると考えられる。また、フロントグリル部の汚染は、この部位が複雑な形状であることにより表面積が大きいこと、車両走行によって路面の粉じんが巻き上げられることが主たる原因であろう。一方、車両の内部（特にエンジンルーム）ではラジエター、エアフィルター、ワイパー排水口雨どい等において汚染が高かった。これらは、ラジエターでは冷却ファンにより外気をラジエターに強制通風していること、及び沈着面の表面積が大きいこと、エアフィルターでは外気を吸引してフィルターに誘導していること、及び沈着面の粗度が大きいこと、ワイパー排水口雨どいでは前面ガラスに付着した放射性物質がワイパーを作動させることにより、排水口雨どい付近に集積することが主たる原因であると考えられる。

上記の部位の他に、車両の外表面または外部ではタイヤハウス、タイヤホイール、ブレーキディスク及びブレーキパッドにおいて高い汚染が確認される場合があった。タイヤハウスの汚染は、車両走行によって路面の粉じんが巻き上げられること、あるいはフロントガラスからの雨水が雨どい部からタイヤハウスの後端を通って地面に落ちることが主たる原因であると考えられる。タイヤホイール及びブレーキディスク／パッドの汚染は、車両走行によって路面の粉じんが巻き上げられること、及び複雑形状であるため表面積が大きいことが主な原因であると思われる。

原子力機構の調査でも、車両の外表面では複雑形状で表面積が大きいフロントグリル部、タイヤホイール、バックミラーカバー等に高い汚染が認められた。また、ゴム製であるワイパー、タイヤ側面、ドア部パッキン等の汚染が高かった。ただし、原子力機構の調査では、車両外部と車両室内を中心とした測定を行い、車両下部やタイヤハウス、エンジンルームの詳細測定は行わなかった。JNES 及び原子力機構が実施した車両汚染の調査では、基本的に同じ部位に高い汚染が認められた。JNES 及び原子力機構の調査による車両汚染の主要な部位とその原因について考察した結果を表 5-1 に整理した。

表 5-1　JNES 及び原子力機構の調査による車両汚染の主要な部位とその原因

内外	主要な 汚染部位	汚染の原因についての考察
車両の外表面または外部	ワイパー部	ゴム部の粗度が大きく、ゴム部に沈着・付着した放射性物質が除去されにくい。
	タイヤ側面	車両走行によって路面の粉じんが巻き上げられる。ゴム部の粗度が大きく、ゴム部に沈着・付着した放射性物質が除去されにくい。
	タイヤハウス	車両走行によって路面の粉じんが巻き上げられる。フロントガラスからの雨水が雨どい部からタイヤハウスの後端を通って地面に落ちる。
	タイヤホイール	車両走行によって路面の粉じんが巻き上げられる。複雑形状であるため表面積が大きい。
	ドア部パッキン	ゴム部の粗度が大きく、ゴム部に沈着・付着した放射性物質が除去されにくい。
	フロントグリル部	複雑な形状であるため表面積が大きい。車両走行によって路面の粉じんが巻き上げられる。
	ブレーキディスク／パッド	車両走行によって路面の粉じんが巻き上げられる。複雑な形状であるため表面積が大きい。
車両の内部	ラジエター	冷却ファンにより外気をラジエターに強制通風している。沈着面の表面積が大きい。
	エアフィルター	外気を吸引してフィルターに誘導している。沈着面の粗度が大きい。
	ワイパー排水口雨どい	前面ガラスに付着した放射性物質がワイパーを作動させることにより、排水口雨どい付近に集積する。

車両の外表面ではワイパー部とタイヤ側面の汚染が高かったことが確認され、避難退域時検査においてワイパー部とタイヤ側面が指定箇所検査の対象となっていることについて、これまで公開されている文献の整理・再検討だけではなく当時未発表の調査データの追加によってその妥当性が示された。福島第一原発事故後の車両の汚染状況の調査データを再検討し、近い将来に指定箇所検査にはゲート型モニタが利用されて飛程の長いγ線が計測されることを考慮すれば、指定箇所は単にワイパー部、タイヤ側面とするのではなく、それら近傍の関連部位の影響も考慮して、前者ではワイパー排水口雨どいを含めたワイパー部、後者ではタイヤハウス、タイヤホイール及びブレーキディスク／パッドを含めたタイヤ側面とするのが妥当となるかもしれない。

一方、ワイパー部とタイヤ側面の汚染状況を比較すると、様々な要因や条件に依存して汚染状況が異なることが予想されるものの、ワイパー部の汚染がより高い場合とタイヤ側面の汚染がより高い場合の両方が見られた。この事実は、避難退域時検査における指定箇所検査の対象部位と

して、ワイパー部とタイヤ側面は優劣を付け難い重要性を有していることを示唆している。従って、避難退域時検査においてゲート型モニタを用いてワイパー部とタイヤ側面を同時に判別・検査することができれば、検査の時間と要員を大幅に短縮・減員することが可能であり、検査の効率化を実現できるであろう。

指定箇所検査の対象部位及びそれら近傍の関連部位以外については、車両の外表面ではフロントグリル部とドア部パッキン、車両の内部（エンジンルーム内）ではラジエター、エアフィルター及びワイパー排水口雨どいにおける汚染が高かった。これらは、指定箇所検査で対象としているワイパー部やタイヤ側面よりも汚染が高い場合が見られた。このうち、フロントグリル部は車体や車種によって様々な形状を有しており、それに応じて汚染の程度が異なると考えられる。また、ドア部パッキンは相対的に面積が小さいが、他の部位に比べて車両の汚染検査に対してどの程度の影響を及ぼすかを調査することが必要である。さらにエンジンルーム内の部位については、ラジエター部なども指定箇所検査の対象の一つになり得るが、避難と検査の迅速性を重視するとともに、手で直接触れる場所ではないことを考慮することが重要であろう。

以上のように、指定箇所検査の実施については、その目的や位置付けを考慮して、指定箇所検査の対象部位以外に高い汚染がある可能性をどう考え、検査においてどのように取り扱うかについて検討することは今後の課題である。

5.3　車両の汚染状況の経時的変化とその除染

原災指針では、原子力災害時において放射性物質の大気放出が発生した場合、放出が収束して地表面への沈着が終了した後に、UPZ 内において OIL に基づいて防護措置が実施されることになっている。OIL1 については、数時間内を目途に 500 μSv/h を超過する区域を特定し、避難などを実施する（移動が困難な者の屋内退避を含む）。また OIL2 については、1 日内を目途に 20 μSv/h を超過する区域を特定し、地域生産物の摂取を制限するとともに、1 週間程度内に一時移転を実施する。従って、避難退域時検査は、放射性物質の地表面沈着が終了してから約 1 日～数日後に開始され、約 1 週間～1 か月程度継続すると想定される。従って、原子力災害時に避難または一時移転に利用された車両は、放射性物質の大気放出が収束した後から数週間という原発事故の初期段階に汚染検査を受けると考えられる。

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation：UNSCEAR）2013 年報告書 [8]によれば、福島第一原発事故時に大気へ放出され、公衆の被ばく線量に最も大きく寄与すると考えられる放射性物質は、Te-132、I-131,132,133、Xe-133、Cs-134,136,137 である。これらの放射性物質の総放出量を、物理的半減期とともに表 5-2 に示す。

表 5-2　福島第一原発事故で大気に放出された放射性物質の総放出量 [8]

放射性物質	物理的半減期	総放出量（PBq）	放射性物質	物理的半減期	総放出量（PBq）
Te-132	3.20 日	29	Xe-133	5.25 日	7300
I-131	8.02 日	120	Cs-134	2.07 年	9.0
I-132	2.30 時間	29	Cs-136	13.2 日	1.8
I-133	20.8 時間	9.6	Cs-137	30.2 年	8.8

表 5-2 に示された放射性物質のうち Xe-133 は希ガスであるため、地表面等には沈着せず車両の汚染には寄与しない。残りの放射性物質の物理的半減期と総放出量を考慮すれば、避難退域時検査が実施される原発事故の初期段階において、車両の汚染に最も大きく寄与するのは I-131 であり、次いで Te-132/I-132 や Cs-134,137 であろう。車両の汚染に寄与する放射性物質は事故の状況や事故の経過時間などによって異なる可能性がある。JNES 及び原子力機構による車両汚染の調査は、事故後数か月から 1 年程度の期間に実施されたため、原発事故の初期段階とは車両の汚染状況が異なっていたことが予想される。すなわち、短半減期の放射性物質である I-131 は減衰するため、長半減期の放射性物質である Cs-134,137 が車両汚染の支配的な放射性物質になっていた可能性が高いであろう。

避難退域時検査等マニュアル [2]では、表面汚染検査用測定器（GM サーベイメータ等）による指定箇所検査のうち、ゲート型モニタを代用してタイヤ側面の汚染検査を実施する場合には、「事前の性能試験により、タイヤの側面にβ線 40 kcpm（120 Bq/cm^2、放射能 240 kBq）の一様な I-

131 が存在することを検出することが可能」を条件としており、避難や一時移転を実施する原発事故の初期段階（放射性物質の大気放出が収束した後から数週間）においては I-131 が主たる放射性物質であることを想定している。一方、避難退域時検査における指定箇所検査の対象部位を判断する参考となった JNES の報告書[6)]では、車両の汚染状況について調査を行った時点（福島第一原発事故後の約 3 か月から半年程度の期間）では、車両の汚染に寄与している放射性物質は Cs-134,137 であると想定している。

原発事故からの経過時間が放射性物質の組成や物理的／化学的形態の変化にどのような影響を及ぼすのか、それによって避難退域時検査や除染措置の考え方や実施方法などにどのような影響をもたらすかについて検討することは今後の課題である。

5.4　2 種類の放射線検出器による測定結果の関係

JNES 及び原子力機構が実施した車両汚染と除染措置に関する調査では、基本的には GM サーベイメータと NaI(Tl) シンチレーションカウンタという 2 種類の検出器を使用して、それぞれ表面汚染密度（kcpm）と空間放射線量率（μSv/h あるいはμGy/h）を測定した。ここでは、2 種類の検出器による測定結果の関係について検討と考察を行う。

JNES では、福島第一原発事故後に東電が用意した 2 台の汚染車両（① 乗用車、② ワンボックスカー）を対象として、GM サーベイメータによる計数率と NaI(Tl) シンチレーションカウンタによる空間放射線量率の関係を調査した。この調査で得られた計数率と空間放射線量率の関係を図 5-1 に示す。これは、2 台の車両における全測定部位の表面近傍において測定したものである。図 5-1 から分かるように、計数率と空間放射線量率の間には比例関係が見られた。計数率と空間放射線量率の比率を求めると、平均値は 1.7 μSv/h／kcpm、標準偏差は 0.38 μSv/h／kcpm となっている。

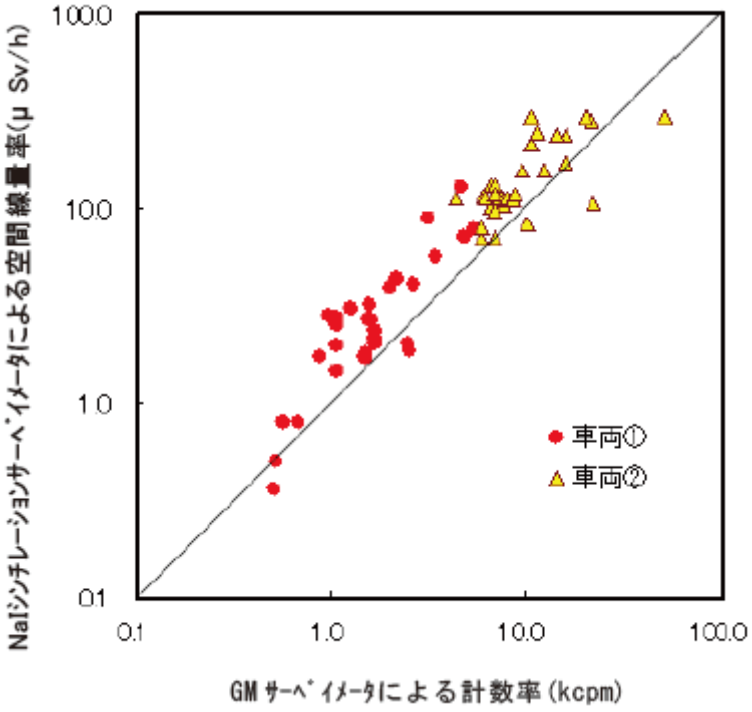

図 5-1　GM サーベイメータによる計数率と空間放射線量率の関係 [6)]
（車両①：乗用車、車両②：ワンボックスカー）

GM サーベイメータによる計数率は、車両の表面からのβ線とより広い範囲からのγ線という 2 つの成分から構成されている。従って、車両内部、特にエンジンルーム内の部位に高い汚染が存在すると、この部位からのβ線はボンネットで遮へいされるが、γ線はボンネットを通過するので、GM サーベイメータによる計数率はエンジンルームからのγ線の影響を強く受けることになると考えられる。以上より、GM サーベイメータに対するγ線の影響をどのように推定し、どのように補正するかについて検討することは今後の課題である。

本報告書の表 3-1 と表 3-2 には、福島第一原発事故後における車両汚染に関する JNES の調査結果が示されており、表の中に表面汚染密度（kcpm）と空間放射線量率（μSv/h）の BG 値が記載されている。対になっているデータの組は 3 組のみであるが、表面汚染密度と空間放射線量率の BG 値の間には上記のような比例関係は見られないようである。また、これらの BG 値がどのように測定されたのかについては JNES 報告書には記載されていない。2 種類の検出器を使用して BG 値をどのように測定し、測定結果を検査にどのように反映させるかを検討することが重要であることが実例でも示唆された。

5.5　避難退域時検査の迅速かつ効率的な運用のための避難退域時検査等マニュアルの課題

第 2.1 節（1）の表 2-1 に示されているように、原災指針では、OIL4 及び物品等の除染の基準の「初期設定値」として、現状では単一で同一の値が採用されている。この初期設定値は、

a）表面汚染からの吸入摂取による内部被ばく

b）表面汚染からの経口摂取による内部被ばく

c）皮膚被ばく

という 3 つの経路からの住民等の被ばく及び汚染の拡大を適切に抑制・低減、あるいは防止するために使用される基準である。また、原災指針には「初期設定値とは緊急事態当初に用いる OIL の値であり、地表沈着した放射性核種の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」と記述されている。単一の基準値で計 4 つの目的を達成できるのか、その基準値をどのように導出するのか、OIL4 または物品等の除染の基準に関する初期設定値をどのような方法と手順で改定するのかについての検討は、別の機会に委ねることとしたい。

原災指針では、避難退域時検査は可能な限り BG の値が低い所で実施することが定められている。この留意事項をできるだけ遵守するとともに、検査予定会場の BG が高い場合には、予備の会場に変更するなどの措置が必要である。止むを得ず BG が高い会場を使用する場合には、指定箇所検査でも確認検査でも、使用する測定器の種類やその特性等に応じて、最初に BG を適正に測定し、次にグロスの測定値（BG を含んだ測定値）から BG 値を適切に差し引くことにより、ネットの測定値（グロスの測定値から BG を差し引いた値）が極端な過小評価あるいは過大評価にならないように留意すべきである。

避難退域時検査等マニュアルでは、空間放射線量率用測定器（NaI(Tl) シンチレーションカウンタ等）を使用したその BG の測定方法（測定点、検出部の高さと向き、時定数と指示値の読み方、測定の頻度、測定値の記録方法など）が詳細に記載されている。しかし、空間放射線量率用測定器による BG の測定結果を車両や住民等の汚染検査の実施において、どのように反映させるかについては記載されていない。一方、表面汚染検査用測定器（GM サーベイメータ等）を使用した表面汚染密度の測定については、その BG の測定方法さえ記載されていない。表面汚染検査用測定器に対して BG が及ぼす影響の程度やその取り扱いなどについては、2 種類の放射線検出器を用いた BG の測定結果の関係と取り扱いを含めて今後の検討課題である。

避難退域時検査等マニュアルでは、車両の汚染検査を実施する際には、指定箇所検査と確認検査という 2 段階の方法で実施することとされている。車両の指定箇所検査では、車両の外側に放射性物質が付着している可能性が高いことから、

i）ワイパー部（フロントガラス下部）

ii）タイヤ側面（原則として全輪）

という 2 か所を検査の対象とする。また、車両の指定箇所検査は、車両を停止させ、GM サーベイメータを使用した手動測定を基本とするが、タイヤ側面の検査にはゲート型モニタで代用することができる。この測定方法に従えば、タイヤ測定の時間及び要員をある程度削減することが期待できるが、ゲート型モニタによる測定の前あるいは後で、要員の手動によるワイパー部測定が必要となることに変わりはない。ゲート型モニタを代用する現在の測定方法では、検査時間及び要員の削減効果は限定されると考えられるため、ゲート型モニタを利用してタイヤ側面とワイパー部の汚染の有無を同時に判別・検査する方法を開発することができれば、検査時の車両の停止が不要となるため検査の時間が短縮でき、さらに要員を大幅に削減することが期待できるだろう。

6. おわりに

原子力災害時に大気へ放射性物質が放出された場合には、住民等の被ばくを低減するための防護措置として、自家用車やバス等の車両を利用して避難や一時移転が実施される。避難等を実施した住民等の汚染状況を確認するために避難退域時検査が行われるが、その迅速性を損なわないことが重要である。現状の検査では、車両の指定箇所検査をワイパー部とタイヤ側面として、要員による GM サーベイメータ等の表面汚染検査用測定器で検査することを基本としている。また、車両の迅速かつ効率的な検査実施のため、ゲート型モニタの活用も計画されているところである。

本報告書では、迅速かつ効率的な避難退域時検査の実施に資するため、原子力災害時における車両の汚染状況及び除染措置に関する調査を実施した。利用可能な関連文献や公開情報はごく少数であった。これは、放射性物質の広域汚染を伴う原子力災害自体がごく稀にしか発生しないことに加えて、車両汚染を模擬する実験や試験の実施は困難だと考えられるため、車両汚染の調査は福島第一原発事故後の実側例に限られるためであろう。このような状況において、本報告書では、数少ない文献等に記載された調査結果を目的に応じて抽出して整理するとともに、避難退域時検査の迅速かつ効率的な運用の観点からその調査結果について検討と考察を行った。

本報告書で調査した情報はごく少数であり、現状では JNES が福島第一原発事故後の比較的早い時期（事故後の約 3 か月から半年程度の期間）及び事故の 1 年後に調査を実施し、平成 23 年（2011 年）及び平成 24 年（2012 年）に公表した 2 報の JNES 報告書のみである。また、原子力機構は福島第一原発事故の約 1 年後に、所有していたモニタリングカーに対して汚染状況と除染措置の調査を実施した。その当時、測定データを記載した調査資料は公開されなかったが、本報告書を執筆するに当たり当時の測定担当部署の許可を得てデータを公開することとした。

JNES の報告書では、車両の汚染は外部の表面汚染と内部のエンジンルーム部の汚染に大別されることが分かった。車両の外表面ではワイパー部、タイヤ側面、ドア部パッキン等であり、車両内部のエンジンルーム内ではラジエター、エアフィルター、ワイパー排水口雨どい等であることが確認された。また、汚染の主な原因については、車両の外表面では、大気からの直接沈着と走行に伴う汚染泥等の付着が想定された。一方、車両内部のエンジンルーム内では、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たこと、及び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へ集積されたことによると想定された。

拭き取りによる除染の効果については、汚染箇所による違いが見られた。すなわち、車両の外表面のうちルーフやボンネット、ワイパー部に対する除染効果は比較的高かった。しかし、車両の外表面のうちフロントグリル部やタイヤ側面、及び車両内部のうちエンジンルーム内に対する除染効果は、外表面と比較すると低い傾向が見られた。一方、高圧ジェットによる除染は大きな効果があり、除染後は車両の外表面ばかりでなく車両内部のエンジンルーム内もほぼ同等のレベルまで除染されることが分かった。しかし、高圧ジェットの使用では、放射性物質を含んだ廃液の処理に問題があること、エンジンルーム内では電気系統や精密部品の破損の原因となる恐れがあることに留意する必要がある。

原子力機構が実施した調査でも、基本的には JNES の調査結果と同様の結果が得られた。モニタリングカーの外表面では、ゴム製であるワイパー、タイヤ側面、ドア部パッキン等の汚染が高くなっていた。この他、複雑形状であるため表面積が大きいフロントグリル部、バックミラーカバー、タイヤホイール等に汚染が認められた。また、モニタリングカーの前部及び後部の各部位

に汚染が認められ、ガラスのみならず車体表面の金属部にも多少の汚染があった。車両の外表面の汚染は、調査時点では固着性汚染であると考えられ、拭き取りによる除染では除去できなかった。また、モニタリングカーの室内では、運転席窓際の収納部に高い汚染が確認されたが、座席シートの汚染はほとんどなかった。また、車内には土や埃等が確認され汚染の一因となっていたが、これらは固着性汚染でないと思われた。

JNES 及び原子力機構による調査結果より、車両の汚染状況については、ワイパー排水口雨どいを含めたワイパー部（フロントガラス下部）、及びタイヤハウスとタイヤホイールを含めたタイヤ側面（全輪）において総じて汚染が高いことが分かり、これら 2 つの部位が避難退域時検査における車両検査の指定箇所に設定されている現状の検査方法について、その妥当性と合理性が確認された。しかし、指定箇所検査の対象部位以外、例えば、ドア部パッキン、フロントグリル部、エンジンルーム内のラジエター上部やエアフィルターに大きな汚染が生じている場合が多く、指定箇所検査の部位の汚染より高い場合も見受けられた。これらの部位については、車種による相違、部位の面積、手で直接触れる場所か否か、避難や検査の迅速性や効率性などを考慮して、指定箇所に追加するかどうかを検討すべきである。

車両の汚染状況及び除染措置に関する今回の調査は、避難退域時検査における車両の汚染検査と簡易除染を迅速かつ効率的に実施するために役立つ情報であろう。一方、今回の調査において、以下に示すような項目が今後の検討課題として挙げられた。

a) 原子力災害時における放射性物質の大気への放出開始からの経過時間が放射性物質の組成や物理的／化学的形態の変化にどのような影響を及ぼすのか、それによって避難退域時検査や除染措置の考え方や実施方法などにどのような影響をもたらすか？
b) 原災指針に示されている OIL4 と物品等の除染の基準が単一かつ同一の値で、避難退域時検査における 4 つの目的を合理的に達成できるのか、その基準値はどのようにして導出されたのか、OIL4 または物品等の除染の基準に関する初期設定値をどのような方法と手順で改定するのか？
c) 避難退域時検査における指定箇所検査の対象部位（ワイパー部とタイヤ側面）以外に大きな汚染がある可能性をどう考え、検査においてどのように取り扱うか？
d) 避難退域時検査における車両や住民等の汚染検査に使用される GM サーベイメータに対するγ線の影響をどのように推定し、どのように補正するか？
e) 避難退域時検査において、NaI(Tl) シンチレーションカウンタによる BG の測定結果をどのように適用するのか？GM サーベイメータに対して BG が及ぼす影響の程度やその取り扱いについてはどのように考慮するのか？
f) 避難退域時検査の指定箇所検査を迅速かつ効率的に実施するために、ゲート型モニタを利用してワイパー部とタイヤ側面の汚染の有無を同時に判別・検査する方法を開発することができるか？

これらの検討課題については、避難退域時検査や除染措置の目的や方針に従って、各々の重要度や実施可能性などを考慮することにより、優先順位を付けて検討を進めていくことが必要であろう。

最後に、本報告書に取り扱った車両の汚染状況及び除染措置について、JNES 及び原子力機構が実施した調査は自家用車や業務車（普通車あるいは軽自動車）を対象としており、原子力災害時に住民等の避難や一時移転に用いられるもう 1 つの移動手段であるバスについては調査が行わ

れなかった。しかし、自家用車等とバスでは大きさや構造などの違いはあるものの、指定箇所検査の部位（ワイパー部とタイヤ側面）といった基本的な汚染状況については、自家用車等の調査結果をある程度適用できるであろう。しかし、構造的な違い等により指定箇所検査の対象部位以外に高い汚染が生じる可能性があるかどうかを検討することは今後の課題である。

謝辞

原子力機構と株式会社千代田テクノルは、原子力災害時に迅速かつ効率的な避難退域時検査の実施に資するため、可搬型車両用ゲート型モニタの測定方法と運用方法を検討することを目的とした共同研究を実施しています（令和 3 年 8 月 26 日～令和 6 年 6 月 30 日まで実施予定）。本共同研究を実施するに当たり、原子力災害時において住民等の避難や一時移転に使用される車両の汚染状況がどの部位でどの程度になっているかを調査することが重要な検討課題であることが理解されました。本報告書は、当該共同研究をきっかけとして実施し、原子力災害時における車両の汚染状況と除染措置に関する調査及び検討結果をまとめたものです。本共同研究先である株式会社千代田テクノルの方々のご協力に感謝致します。

第 4 章に記述した原子力機構におけるモニタリングカーの車両汚染及び除染措置の調査は、原子力機構 核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部 環境監視課で実施されたものです。本報告書を作成するに当たり、福島第一原発事故の 1 年後に測定された当時未発表のデータを使用させていただいたことに感謝致します。

参考文献

1) 原子力規制委員会：「原子力災害対策指針」（平成 24 年 10 月 31 日制定、令和 4 年 7 月 6 日一部改正），available from
https://www.nra.go.jp/data/000396853.pdf (accessed on 2023-07-18).

2) 内閣府（原子力防災担当），原子力規制庁：「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」（令和 4 年 9 月 28 日制定），available from
https://www.nra.go.jp/data/000119567.pdf (accessed on 2023-07-18).

3) 内閣府（原子力防災担当）：「避難退域時検査等における資機材の展開の手引き／運用の手引き」（令和 4 年 5 月）.
https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryou/pdf/12_tenkai_1r.pdf
https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryou/pdf/12_tenkai_2r.pdf
https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryou/pdf/12_unyou_1r.pdf
https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryou/pdf/12_unyou_2r.pdf
(accessed on 2023-07-18).

4) 原子力規制庁：「包括的判断基準（GC）及び運用上の介入レベル（OIL）について」，平成 30 年度第 2 回原子力規制委員会，資料 2（平成 30 年 4 月 11 日），available from
https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12358250/www.nra.go.jp/data/000226743.pdf
(accessed on 2023-07-18).

5) 日本原子力研究開発機構：令和 2 年度内閣府原子力防災研究事業「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）.

6) 川上博人，山田憲和，佐々木聡，川崎智：「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」，原子力安全基盤機構，JNES-RE-2011-0003 (2011).

7) 川上博人，佐々木聡，下村雅則，高野仁，林宏樹，井上亮，山田憲和，：「警戒区域内の国道 6 号等の通過に伴う車両への放射性物質による影響及び運転手の被ばく評価に関する調査報告書」，原子力安全基盤機構，JNES-RE-2012-0002 (2012).

8) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: “Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly, with scientific annexes, Volume I: Report to the General Assembly, Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami” (2013).

付録　NaI(Tl) シンチレーションカウンタに対する鉛板の遮へい実験

A.1　実験の目的

NaI(Tl) シンチレーションカウンタを使用して対象物の汚染状況を測定する場合、BG が高い環境では、対象物の表面ばかりではなく検出部の横方向からも放射線が入射するため、ピンポイントでの測定が困難である。このため、検出部に鉛板を巻くことにより、横方向から入射する放射線を遮へいし、その影響の低減を試みた。本実験は、鉛板の遮へい能力の把握を目的として、遮へい条件を変えて比較測定を行った。

A.2　測定条件及び方法

NaI(Tl) シンチレーションカウンタに対する鉛板の遮へい能力に関する実験について、測定条件及び方法は以下の通りである。

・測定日時：平成 24 年（2012 年）4 月 13 日

・測定場所：核燃料サイクル工学研究所 安全管理棟 車庫

・測定器：　NaI(Tl) シンチレーションカウンタ（型番：TCS131 JNC000252012332）

鉛板の遮へい能力に関しては、以下に示す 3 種類の体系について実験を実施した。3 種類の遮へい体系の写真を写真 A-1 に示す。

a) 鉛板と鉛ブロックはなし

b) 鉛ブロックで検出部先端を遮へい

c) 鉛板と鉛ブロックで完全包囲

実験に使用した鉛ブロックは 10 cm（幅）×5 cm（高さ）×20 cm（長さ）の大きさであり、鉛版は 0.5 cm の厚さであった。

A.3　実験結果

NaI(Tl) シンチレーションカウンタに対する鉛板の遮へい能力に関する実験について、3 種類の遮へい体系に対する測定結果を、写真 A-1 における各図の下部に赤字で示す。鉛板と鉛ブロックがない環境における空間放射線量率は 0.24 μGy/h であった。また、検出部先端を鉛ブロックで遮へいして測定したところ、空間放射線量率は 0.15 μGy/h であった。さらに、検出部先端を鉛板と鉛ブロックで完全に包囲して測定したところ、空間放射線量率は 0.10 μGy/h であった。

以上の実験結果より、空間放射線量率が 0.24 μGy/h の環境下では、検出部に鉛板を巻くことで、横方向から入射した放射線を 0.05 μGy/h（約 33 %）遮へいできることが分かり、汚染箇所の特定に役立った。遮へい効果をより高めるためには、さらに鉛板を厚く巻く必要があると考えられる。

写真 A-1　NaI(Tl) シンチレーションカウンタに対する
鉛板の遮へい実験の体系及び空間放射線量率の測定結果
左上：鉛板と鉛ブロックはなし
右上：鉛ブロックで検出部先端を遮へい
下　：鉛板と鉛ブロックで完全包囲