

# 原子力災害時における避難退域時検査と 除染基準に関する調査と考察

Investigations and Consideration on Contamination Inspection and  
Decontamination Criteria at a Nuclear Emergency

外川 織彦 外間 智規 平岡 大和 齊藤 将大

Orihiko TOGAWA, Tomonori HOKAMA, Hirokazu HIRAOKA and Shota SAITO

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

March 2024

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Research

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  
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
E-mail: [ird-support@jaea.go.jp](mailto: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.  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan  
E-mail: [ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

© [Japan Atomic Energy Agency](https://www.jaea.go.jp), 2024

## 原子力災害時における避難退域時検査と除染基準に関する調査と考察

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、齊藤 将大

(2023年11月28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までの経路途中において避難退域時検査が行われる。その際に、我が国では表面汚染密度の測定による  $OIL4 = 40,000 \text{ cpm}$  という値が除染を講じる基準として用いられる。しかし、この値が設定された経緯や導出方法については、系統的かつ詳細な記述や説明は公式文書には見受けられず、また原子力防災の専門家でさえも全体に亘って詳細に説明できる人はほとんどいないことを認識した。

本報告書では、我が国の避難退域時検査における除染の基準として用いられる  $OIL4$  を科学的・技術的に説明するために、その導出方法を調査・推定するとともに、それらの結果について検討と考察を行うことを目的とした。この目的を達成するために、我が国における除染基準を設定する上での根拠を示すとともに、被ばく経路毎の線量基準に対応した表面汚染密度限度を導出する方法を調査・推定した。さらに、我が国における  $OIL4$  の位置付けと特徴、 $OIL4$  の改定時における留意点という観点から、 $OIL4$  に関する考察と提言を行った。

## **Investigations and Consideration on Contamination Inspection and Decontamination Criteria at a Nuclear Emergency**

Orihiko TOGAWA, Tomonori HOKAMA, Hirokazu HIRAOKA and Shota SAITO

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 November 28, 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/relocated residents and the used motor vehicles, contamination inspection is conducted in the middle of the route from border areas of Nuclear Emergency Planning Zone to evacuation shelters. In the present inspection in Japan, a value of OIL4 = 40,000 cpm is used as decontamination criteria. For the details and derivation methods of the value, however, no official documents are found which give systematically detailed descriptions and explanation. It is also recognized that even few experts on nuclear emergencies can explain these subjects in detail as a whole.

In order to explain scientifically and technically the OIL4 value of decontamination criteria used in contamination inspection in Japan, this report aims at investigating and estimating the derivation methods of OIL4, and examining and considering these results. To achieve the objectives, we show the bases for decontamination criteria, and investigate and estimate the derivation methods for limits of a surface contamination density corresponding to the generic criteria for each exposure pathway. Moreover, we give the OIL4 value some consideration and suggestions from a viewpoint of positioning and feature of OIL4 in Japan, and cautionary points at revising the value.

Keywords: Nuclear Emergency, Protective Measure, Resident and Motor Vehicle,  
Contamination Inspection, Decontamination Criteria, OIL4,  
Derivation Method of OIL4, Limit of Surface Contamination Density

## 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と除染基準	3
2.1 避難退域時検査の概要	3
2.2 住民等や物品等の汚染検査と簡易除染	5
2.2.1 避難退域時検査の方法	5
2.2.2 簡易除染の方法	9
3. 汚染検査と除染基準に関する我が国と IAEA との比較	11
3.1 我が国と IAEA との比較	11
3.2 我が国と IAEA との共通点と相違点のまとめ	17
4. 我が国における除染基準の根拠と導出方法	20
4.1 OIL4 設定の考え方と考慮する被ばく経路	20
4.2 各被ばく経路に対する表面汚染密度限度の導出方法	22
4.2.1 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制	24
4.2.2 表面汚染からの経口摂取による内部被ばくの抑制	26
4.2.3 皮膚被ばくの低減	29
4.2.4 汚染の拡大防止	30
4.3 表面汚染密度と GM サーベイメータの計数率の関係	36
4.4 各被ばく経路に対する除染基準と OIL4 の設定	40
5. 調査のまとめとその考察	46
5.1 我が国における OIL4 の位置付けと特徴	46
5.2 避難退域時検査と OIL4 に関する考察と提言	47
5.2.1 避難退域時検査の目的と OIL4 の設定	47
5.2.2 考慮する被ばく経路と対象とする放射性物質	48
5.2.3 住民等の汚染検査の代わりに車両検査の代用	52
5.2.4 車両及び住民等に対する指定箇所検査の対象箇所	53
5.2.5 車両や携行物品に対する除染基準	54
5.2.6 避難退域時検査における GM サーベイメータの使用	55
5.2.7 避難退域時検査における BG の測定と使用	56
5.2.8 避難退域時検査と甲状腺モニタリングの連携	58
5.3 OIL4 の改定時における留意点	59
5.4 OIL4 と他の OIL 及び基準の関係	63
6. おわりに	68

謝辞 .....72

参考文献 .....73

## Contents

1. Introduction	1
2. Contamination inspection and decontamination criteria at a nuclear emergency	3
2.1 Outline of contamination inspection for residents	3
2.2 Contamination inspection and simple decontamination for residents, motor vehicles and so on	5
2.2.1 Methods of contamination inspection	5
2.2.2 Methods of simple decontamination	9
3. Comparisons of contamination inspection and decontamination criteria between Japan and IAEA	11
3.1 Comparisons between Japan and IAEA	11
3.2 Summaries of similarities and differences between Japan and IAEA	17
4. Bases and derivation methods for decontamination criteria in Japan	20
4.1 Approach to OIL4 setting and exposure pathway to be considered	20
4.2 Derivation methods for limits on surface contamination density for each exposure pathway	22
4.2.1 Control of internal exposure by inhalation from surface contamination	24
4.2.2 Control of internal exposure by ingestion from surface contamination	26
4.2.3 Reduction of skin exposure	29
4.2.4 Prevention of contamination expansion	30
4.3 Relationship between surface contamination density and counting rate of a GM survey meter	36
4.4 Decontamination criteria for each exposure pathway and OIL4 setting	40
5. Summaries of the investigations and their consideration	46
5.1 Positioning and feature of OIL4 in Japan	46
5.2 Consideration and suggestions on contamination inspection and OIL4	47
5.2.1 Objectives of contamination inspection and OIL4 setting	47
5.2.2 Exposure pathway to be considered and target radionuclides	48
5.2.3 Substitution of contamination inspection for residents by motor vehicles	52
5.2.4 Target parts of contamination inspection for the designated parts for motor vehicles and residents	53
5.2.5 Decontamination criteria for motor vehicles and carrying articles	54
5.2.6 Utilization of a GM survey meter for contamination inspection	55
5.2.7 Measurements and utilization of BG in contamination inspection	56
5.2.8 Connection of contamination inspection and thyroid monitoring	58

5.3	Cautionary points at revising OIL4	59
5.4	Relationship between OIL4 and other OILs/criteria	63
6.	Concluding remarks	68
	Acknowledgements	72
	References	73



## 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、周辺の住民等<sup>1</sup>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、原子力災害時には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が実施される。避難や一時移転を実施した住民等や使用した車両が除染を実施すべき基準以下であるか否かを確認することを目的として、原子力災害対策重点区域<sup>2</sup>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。その際には、我が国では  $OIL4 = 40,000 \text{ cpm}$  という値が除染を講じる基準として用いられる。

原子力災害時に使用する OIL を定めた我が国における現行の原子力災害対策指針<sup>3</sup>は、国際原子力機関（International Atomic Energy Agency : IAEA、以下、IAEA という）や国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection : ICRP、以下、ICRP という）の刊行物や考え方等を参考にして、具体的な防護措置を規定してきたところである。しかし、我が国における OIL は、IAEA や ICRP が設定した包括的判断基準（Generic Criteria : GC、以下、GC という）や参考レベルを採用して導出したものではなく、東京電力株式会社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）における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮して、より効果的に防護措置が行えるように設定したものである。

原子力災害対策指針によれば、避難退域時検査の目的は、表面汚染からの吸入摂取及び経口摂取による内部被ばくの抑制、皮膚被ばくの低減、並びに汚染の拡大防止を実施することである。また、避難退域時検査において使用される  $OIL4$  は、これらの措置を適切に実施するために設定された除染の基準である。実際に原子力災害が発生した際、上記の経緯と導出方法で設定された  $OIL4$  の初期設定値を改定する必要がある場合がある。本報告書の著者らは、初期設定値の改定を検討するに際して、

- i) 福島第一原発事故の当初に用いられた  $OIL4$ <sup>3</sup>  $= 13,000 \text{ cpm}$  はどのような科学的根拠により導出されたのか？
  - ii)  $OIL4 = 40,000 \text{ cpm}$  は福島第一原発事故の経験等をどのように反映させたのか？
  - iii)  $OIL4 = 40,000 \text{ cpm}$  という単一の値で、避難退域時検査の目的をすべて達成できるのか？
- という検討すべき課題があることを認識した。

上記の検討課題に関する系統的かつ詳細な記述は、原子力規制委員会や内閣府（原子力防災担当）といった原子力防災の所掌府庁から公表・刊行されている公式文書には見受けられない。また、当該検討課題に関する論文や報告書などは全く見られないので、原子力防災や被ばく線量評

<sup>1</sup> 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。

<sup>2</sup> 原子力災害対策重点区域とは、原子力災害が発生した場合において重点的に原子力災害特有な対策を講じておくことが必要な区域である。原子力施設からの距離に応じて、PAZ（予防的防護措置を準備する区域）及びUPZ（防護措置を準備する区域）という2種類の区域が定められている（脚注4と5を参照のこと）。

<sup>3</sup> 福島第一原発事故の当時には、「 $OIL4$ 」ではなく「スクリーニングレベル」という用語が使用されていた。従って、この文章では「スクリーニングレベル」を用いるべきであるが、読者の混乱を招く恐れがあるため、ここでは「 $OIL4$ 」を用いることとした。

価の専門家でさえも経緯や導出方法など全体に亘って詳細に説明できる人はほとんどいないことを認識した。以上のような状況を考慮して、ここでは我が国における OIL4 の設定根拠と導出方法を調査・推定することにより、上記の検討課題を科学的・技術的に説明することを目指した。

本報告書では、避難退域時検査の簡易除染の基準として用いられる OIL4 を科学的・技術的に説明するために、その導出方法を調査・推定するとともに、それらの結果について検討と考察を行うことを目的とする。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、住民等及び携行物品の汚染検査と簡易除染について調査する。次に第 3 章では、我が国が定めた避難退域時検査と IAEA 文書に記載された汚染検査を比較・検討する。また、検査における除染基準及びそれを超えた場合に行われる簡易除染についても比較・検討を行う。さらに第 4 章では、我が国における除染基準を設定する上での根拠を示すとともに、被ばく経路毎の線量基準に対応した表面汚染密度限度を導出する方法を調査・推定する。また、これに基づいて我が国における OIL4 を設定する方法を記述する。最後に第 5 章では、避難退域時検査と除染基準に関する調査・推定結果をまとめるとともに、我が国における OIL4 の位置付けと特徴、OIL4 の改定時における留意点を示すという観点から、OIL4 に関する考察と提言を行う。

## 2. 原子力災害時における避難退域時検査と除染基準

### 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・沈着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<sup>1),2)</sup>。

「原子力災害対策指針」（以下、原災指針という<sup>1)</sup>）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」<sup>2)</sup>（以下、避難退域時検査等マニュアルという）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」<sup>3)</sup>（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除染基準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<sup>4)</sup>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<sup>5)</sup>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<sup>6)</sup>またはOIL2<sup>7)</sup>に基づき住民等は避難や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

<sup>4)</sup> PAZ (Precautionary Action Zone) は予防的防護措置を準備する区域を意味し、実用発電用原子炉施設では半径概ね5 km 圏内である。

<sup>5)</sup> UPZ (Urgent Protection action planning Zone) は防護措置を準備する区域を意味し、実用発電用原子炉施設では半径概ね5 km～30 km 圏内である。

<sup>6)</sup> 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  $\mu\text{Sv/h}$  である。

<sup>7)</sup> 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  $\mu\text{Sv/h}$  である。

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 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、避難や一時移転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、「e) 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、「f) 医療行為を円滑に行う」ためにも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や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、避難や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。

## 2.2 住民等や物品等の汚染検査と簡易除染

### 2.2.1 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、

- ・ 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、
- ・ 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、

を考慮すると、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、

- ・ UPZ 内の自宅等において一般的に屋外に駐車されていることが多く、
- ・ 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、

を考慮すると、乗車している者よりも放射性物質がより多く付着して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。



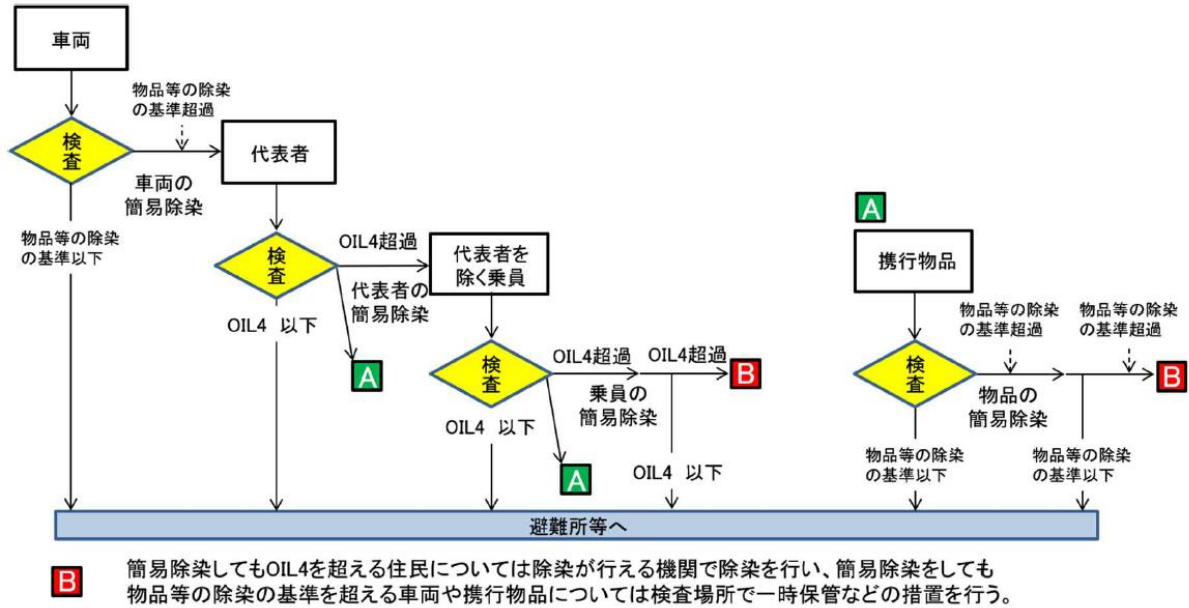


図 2-1 避難退域時検査及び簡易除染の手順<sup>2)</sup>

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）<sup>2)</sup>

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

OIL4 及び物品等の除染の基準の値である  $\beta$  線 40,000 cpm は、我が国において広く用いられている  $\beta$  線の入射窓面積が 20 cm<sup>2</sup> 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<sup>2</sup> 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  $\beta$  線

13,000 cpm は、上記と同様に、表面汚染密度は約 40 Bq/cm<sup>2</sup> 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<sup>1)</sup>。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と定められた。

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。

#### (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。

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）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<sup>2</sup>、放射能 240 kBq）の様な 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、はしご等を使用した高所作業やエンジンルーム内の検査は行わない。指定箇所検査で物品等の除染の基準を超えなかった場合は、検査済証

を交付して検査会場から退場させる。一方、基準を超えた場合には確認検査場所へ誘導し、簡易除染を行う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た場合には、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、原子力安全基盤機構<sup>8</sup>が公開した報告書<sup>4)</sup>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。

## (2) 住民等及び携行物品の検査

住民等の検査は、車両の確認検査の結果、車両が物品等の除染の基準を超える場合に、乗員の代表者に対して検査を行う。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。ただし、OIL に基づく防護措置の指示後に原子力災害対策重点区域外から入域したバス等の車両については、車両の検査において車両が物品等の除染の基準を超えない場合であっても、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。

表面汚染検査用測定器を用いた住民等の検査では、放射性物質が付着している可能性が高い以下の a) ～ c) の指定箇所検査を実施する。すなわち、

- a) 頭部、顔面
- b) 手指及び掌
- c) 靴底

が住民等の指定箇所検査の対象箇所となる。なお、検査の際には、帽子、上着等は着衣のまま、その上から検査を行う。

指定箇所検査で OIL4 を超える可能性があるると判定された場合には、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、OIL4 を超える場合は、簡易除染の場所に誘導し、簡易除染と携行物品の検査を行う。また、当該住民等が乗車していた車両の車内の検査も行い、物品等の除染の基準を超える場合には車内の簡易除染を行う。

携行物品の検査については、表面汚染検査用測定器を用いて携行物品の表面を検査する。原則として表面全面を行い、スーツケース、鞆、袋等の閉ざされたものは開封する必要はない。検査の結果、物品等の除染の基準を超える場合は簡易除染を行う。

<sup>8</sup> (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。



## 2.2.2 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や一時移転のため、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<sup>5)</sup>、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。簡易除染に当たっては、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。

### (1) 車両の簡易除染

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の調査研究の結果<sup>5)</sup>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や一時移転を行う。

### (2) 住民等及び携行物品の簡易除染

着衣が OIL4 を超える場合は、原則として住民等本人により着替えを行う。そのため、着替着用衣類は予め用意しておく。着替えの際は、衣服や身体への放射性物質の拡大を防止する必要がある。そのため、簡易除染の要員は住民等に以下の説明と指導を行う。

頭髪や皮膚が OIL4 を超える場合は、原則として住民等本人がウェットティッシュ等を用いて拭き取りを行う。なお、自分で拭き取りが行えない住民等には、簡易除染の要員が手伝う。着替えについては、着替えを行った後に確認検査を行う。拭き取りについては、1 回の簡易除染によっても OIL4 を超える場合は、2 回目の簡易除染を行い、それ以上は除染を行わずに除染後の確認検査を行う。

物品等の除染の基準を超える携行物品は、原則として、簡易除染の要員が水で濡らしたウエス等により、住民等の頭髪や皮膚の拭き取りと同様の方法で拭き取りを行う。所有者の希望があれば、所有者本人が手袋をした上で、拭き取りを行う。1 回の簡易除染によっても物品等の除染の基準を超える場合は、2 回目の簡易除染を行い、それ以上の除染は行わずに除染後の確認検査を行う。

簡易除染後も OIL4 または物品等の除染の基準を超える場合の処置に関しては、住民等の氏名・連絡先、検査の年月日及び検査結果の情報を記録する。当該住民等は、追加の除染を行う必要があるため、検査結果を記載した書面を渡すとともに、OIL4 を超える部位をタオル等で覆うなどして汚染拡大防止処置を施しておく。その後、除染に関する専門的な設備、知識及び技能を有する原子力災害拠点病院等の機関で除染や必要な措置を行う。脱衣した衣服、携行物品は、ポリ袋に入れて封をし、所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録する。その後の取扱いについては、所有者と十分相談をして対応する。

### 3. 汚染検査と除染基準に関する我が国と IAEA との比較

#### 3.1 我が国と IAEA との比較

我が国が定めた原災指針によると、原子力災害が生じた際に、OIL1 または OIL2 に基づく防護措置として避難や一時移転を指示され実施した住民等（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、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を行い、OIL4 という基準値を超えた場合には簡易除染を行うこととしている。一方、IAEA 文書には OIL4 を医療スクリーニングの基準値とした汚染検査について記載されている。原子力災害時における避難退域時検査は我が国特有のものであるが、IAEA の汚染検査と同様に OIL4 という判断基準を用いている。

ここでは、我が国が定めた避難退域時検査と IAEA 文書に記載された汚染検査を比較する。また、各々の検査における除染基準及びそれを超えた場合に行われる簡易除染についても比較を行う。本節では、我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査、並びに両者の除染基準及び簡易除染を比較することにより、我が国の避難退域時検査の特有性を示すことを目的とする。

#### (1) 汚染検査の比較

原災指針<sup>1)</sup>及び避難退域時検査等マニュアル<sup>2)</sup>に記載された我が国の避難退域時検査と、IAEA 文書<sup>6)・9)</sup>に記載された汚染検査を比較し、比較結果を表 3-1 にまとめた。ここでは、我が国の避難退域時検査（IAEA 文書記載の場合には汚染検査）の目的、方法・手順及び実施場所という項目についてそれぞれ比較するとともに、検査における測定の基本と留意事項について比較を行った。

#### (2) 除染基準と簡易除染の比較

原災指針<sup>1)</sup>及び避難退域時検査等マニュアル<sup>2)</sup>に記載された我が国の除染基準（OIL4）及び簡易除染と、IAEA 文書<sup>6)・9)</sup>に記載された除染基準（OIL4）及び簡易除染を比較し、比較結果を表 3-2 にまとめた。ここでは、OIL4 の設定目的、初期設定値及び導出方法、並びに OIL4 に関する防護措置という項目についてそれぞれ比較するとともに、簡易除染の方法について比較を行った。

表 3-1 我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査の比較 (1/2)

	我が国の避難退域時検査	IAEA の汚染検査
検査の目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面汚染からの吸入摂取及び経口摂取による内部被ばくの抑制、皮膚被ばくの低減、並びに汚染の拡大防止を行うために除染を実施するかを確認する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>皮膚に付着した放射性物質レベルが医療スクリーニングまたは防護措置を正當とすどうかを評価する。</li> </ul>
検査における測定の基本	<ul style="list-style-type: none"> <li>検査・測定要員による GM サーベイメータ等の表面汚染検査用測定器で測定した基準 (OIL4β) を基本としている。</li> <li>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。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽水炉またはその使用済燃料からの放射性物質の放出を対象とした皮膚汚染レベルを評価するためには、空間放射線量率による基準 (OIL4γ) で十分であり、その使用を推奨する。</li> <li>いくつかの加盟国ではβ線検出器を用いているため、β線計数率による基準 (OIL4β) も併せて提供する。</li> </ul>
検査の方法・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>自家用車やバス等の車両を利用して避難や一時移転を実施する住民等の検査は、乗員の検査の代用として、まず車両の検査を行い、結果が車両や携行物品の除染を講ずるための基準 (物品等の除染の基準) を超える場合は、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。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。</li> <li>車両と住民等の検査は、それぞれ指定箇所検査と確認検査から構成される。車両の指定箇所検査では、①ワイパー部 (フロントガラス下部)、②タイヤ側面 (原則として全輪) を対象とする。また、住民等の指定箇所検査では、①頭部、顔面、②手指及び掌、③靴底を対象とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UPZ 外に設立したセンターにおいて、PAZ 及び UPZ 内にいた住民等の登録、OIL4 及び OIL8* を超過するかどうかに関して、住民等に対する検査、除染、医療スクリーニングを行う。</li> <li>汚染及び被ばくした住民等の処置の準備のために病院に連絡・周知する。被ばくした住民等を処置する医師は過剰被ばくや汚染患者を扱った経験のある国の専門家の相談を受ける。また、IAEA または WHO (World Health Organization : 世界保健機関) を通じて支援が得られるであろう。</li> </ul>

表 3-1 我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査の比較 (2/2)

	我が国の避難退域時検査	IAEA の汚染検査
検査の方法・手順 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 携行物品の検査は、これを携行している住民等が OIL4 を超える場合のみ実施する。</li> </ul>	
検査の実施場所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 可能な限り BG 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等までの避難経路上またはその近傍の適所を選定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難退域時検査という概念はなく、原則として UPZ 内では汚染検査や除染を実施しない。OIL1 または OIL2 を超過した場合は、直ちに UPZ 外へ避難や一時移転を実施することが指示される。</li> <li>・ UPZ 外 (0.5 μSv/h 未満の BG 線量率の地域) に避難者等のためにセンターを設立し、検査や除染を行う。</li> </ul>
検査における留意事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 避難や一時移転の迅速性を損なわないよう十分留意して行う。</li> <li>・ 健康リスクが高まると判断される住民等については、体調等が悪化しないように十分配慮する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ OIL4γ は、測定技術や検出器の性能にあまり依存しないので、初期設定値を変更する場合は少ないことにより、この使用が推奨される。一方 OIL4β は、検出器の効率、有効窓面積、汚染面からの距離など様々な要因に大きく依存するため、検出器の確認と初期設定値の再計算が必要になる場合がある。</li> <li>・ 皮膚汚染による健康リスクは小さいので、検査や除染がより重要な防護対策 (避難、一時移転、病傷者の処置等) の妨げにならないように配慮する。</li> </ul>

\* OIL8 は、個人の甲状腺における放射性ヨウ素の量が医学検査及び他の対応措置を正当とするか評価するために用いられる。IAEA では、放射性ヨウ素の摂取の可能性があった時から 1～6 日後に、BG 線量率が 0.25 μSv/h 未満の場所を実施し、甲状腺の前面の皮膚に接触させて測定用のプローブを設置した状況において、OIL8γ = 0.5 μSv/h (BG 以上) と設定されている。我が国では OIL8 は設定していない。



表 3-2 除染基準 (OIL4) 及び簡易除染に関する我が国と IAEA の比較 (1/3)

	我が国の除染基準及び簡易除染	IAEA の除染基準及び簡易除染
OIL4 の設定目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面汚染からの吸入摂取及び経口摂取による内部被ばくの抑制、皮膚被ばくの低減、並びに汚染の拡大防止を実施するために除染を講ずることを判断する基準</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>皮膚に付着した放射性物質レベルが医療スクリーニングまたは防護措置を正當とすか評価するための基準</li> </ul>
OIL4 の初期設定値	<ul style="list-style-type: none"> <li>β線：40,000 cpm<sup>*1</sup> (皮膚から数 cm での検出器の計数率)</li> <li>β線：13,000 cpm<sup>*2</sup> 【1 か月後の値】 (皮膚から数 cm での検出器の計数率)</li> </ul> <p>地表沈着した放射性核種組成が明確になった時点で、必要な場合には初期設定値は改定される。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OIL4γ：1 μSv/h (BG 以上) (手や顔の皮膚表面から 10 cm における空間線量当量率)</li> <li>OIL4β：1,000 cps (= 60,000 cpm) (手や顔の皮膚表面から 2 cm における β線計数率)</li> </ul> <p>IAEA 加盟国は、国内関連規制との関係、地域的な状況などを考慮して、初期設定値の変更を希望する場合がある。</p>
OIL4 の導出方法	<p>福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定した。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>体表面汚染や物品汚染のスクリーニングのためのレベルとして、福島第一原発事故の当初では、我が国で一般的に用いられている GM サーベイメータによる計測値で 13,000 cpm が用いられた。</li> <li>事故進展に伴い BG レベルが上がり、そのレベルでは汚染の有無の識別ができないなどの実効的な運用ができないう状態となり、汚染のスクリーニングレベルが 100,000 cpm に引き上げられた。</li> </ul>	<p>他の OIL の導出と同様に、GC (包括的判断基準) と計算モデルにより OIL4 を導出する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>考慮する被ばく経路は、① 皮膚汚染からの外部被ばく、② 皮膚汚染に起因する不注意な経口摂取による内部被ばくである。前者の GC は 10 Gy (最初の 10 時間での真皮の RBE 荷重吸収線量<sup>*3</sup>；重篤な確定的影響の回避のため)、後者の GC は 0.1 Sv (最初の 7 日間の代表的個人に対する実効線量または胎児に対する等価線量；確率的影響の軽減のため) である。</li> </ul>

表 3-2 除染基準 (OIL4) 及び簡易除染に関する我が国と IAEA の比較 (2/3)

	我が国の除染基準及び簡易除染	IAEA の除染基準及び簡易除染
OIL4 の導出方法 (続き)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・福島第一原発事故当初は、BG の影響が大きいため、BG のノイズに信号が埋まらないレベルとして 3 倍程度の余裕を見込む水準として、<math>13,000 \times 3 \approx 40,000</math> cpm が適当であると判断された。</li> <li>・初期の放射性ヨウ素による影響の急速な減少を考慮に入れば、OIL4 の初期設定値としての <math>40,000</math> cpm から 1 か月後には <math>13,000</math> cpm に引き下げることが必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・具体的には、計算モデルを使用して、地表沈着量 (単位沈着量とその核種組成) <math>\Rightarrow</math> 汚染媒体濃度 (体表面汚染濃度) <math>\Rightarrow</math> 被ばく形態 (① 皮膚への付着、② 不注意な経口摂取) <math>\Rightarrow</math> 生活習慣 (① 居住情報、② 摂取量) を考慮して住民等の被ばく線量を算出し、GC と比較することにより OIL4 を導出する。</li> </ul>
OIL4 に関する防護措置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・避難や一時移転の基準に基づいて、避難や一時移転を実施した住人等及び車両等に対して避難区域時検査を実施して、基準を超える場合には迅速に簡易除染 (拭き取りと着替えが基本) を実施する。</li> </ul>	<p>【即時】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・未服用であれば ITB<sup>※4</sup> 剤服用及び簡易除染 (手洗い、着替え及びシャワー) を指示する。</li> <li>・不注意な経口摂取を抑制するように指示する (手洗い、屋外における活動や子供の遊びの禁止)。</li> <li>・OIL4 を超過した場合、必要に応じて追加的除染 (簡易除染以上の除染措置) と医療スクリーニング<sup>※5</sup> を実施する。</li> </ul> <p>【数日後】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・医学検査・検診及び追跡調査の必要性を判断するため、OIL4 を超過した人々の線量を推定する。</li> </ul>

表 3-2 除染基準 (OIL4) 及び簡易除染に関する我が国と IAEA の比較 (3/3)

	我が国の除染基準及び簡易除染	IAEA の除染基準及び簡易除染
簡易除染の方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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対して簡易除染を行う。簡易除染の方法は、拭き取りや着替えを基本とする。</li> <li>• 簡易除染によっても OIL4 を超える住民等は除染が行える拠点病院等の機関で除染や必要な措置を行う。また、簡易除染によっても物品等の除染の基準を超える車両や携行物品は検査場所で一時的保管等の措置を行う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 避難や一時移転した住民等に対して、数時間以内に簡易除染を指示する。簡易除染は、手洗い、着替え及びシャワーを基本とする。</li> <li>• OIL4 を超える住民等に対して、数日以内に必要に応じて追加的除染を実施する。</li> </ul>

- ※1 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<sup>2</sup>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<sup>2</sup>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。
- ※2 ※1と同様、表面汚染密度は約40 Bq/cm<sup>2</sup>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。
- ※3 第4.2.3項及び脚注12を参照のこと。
- ※4 ITBはIodine Thyroid Blocking (ヨウ素による甲状腺ブロッッキング)を意味する。「安定ヨウ素剤の服用」と同義である。
- ※5 緊急の医学検査または医学的追跡調査のための登録が必要か否かを判断するための兆候や情報を検討するスクリーニング検査(例えば、放射線誘発がんのリスクを評価するために行われる検査や線量推定など)を意味する。



### 3.2 我が国と IAEA との共通点と相違点のまとめ

本節では、我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査、並びに両者の除染基準及び簡易除染について主な共通点と相違点を項目毎にまとめることにより、両者の共通点と相違点の特徴を把握し、避難退域時検査の特有性をさらに明確にすることを目的とする。

#### (1) 我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査

表 3-1 に示したように、我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査には、共通点と相違点が存在する。主な共通点と相違点を項目毎に以下にまとめた。以下に示すように、我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査では、共通点よりも相違点の方が多ことが分かった。

##### i) 共通点

- ・検査における留意事項（検査の迅速性）：

IAEA では、汚染検査や除染がより重要な防護対策（避難、一時移転、病傷者の処置等）の妨げにならないように配慮する。

同様に、我が国でも、避難退域時検査は避難や一時移転の迅速性を損なわないよう十分留意して行う。

##### ii) 相違点

- ・検査の目的：

IAEA の汚染検査は、皮膚汚染に起因する住民等の内部及び外部被ばくを低減することを目的として、住民等に対する医療スクリーニングまたは防護措置を正当とするか評価するために実施される。

一方、我が国の避難退域時検査は、3 つの被ばく経路（吸入摂取、経口摂取及び皮膚被ばく）からの住民等の内部及び外部被ばくを適切に抑制・低減することに加えて、汚染の拡大を適切に防止するために除染を講ずるかを確認するために実施される。

- ・検査における測定の基本：

IAEA の汚染検査では OIL4 $\gamma$  が推奨される。 $\beta$  検出器を使用する加盟国のために、OIL4 $\beta$  も提示される。

一方、我が国の避難退域時検査は OIL4 $\beta$  を基本とし、ゲート型モニタの活用も計画されている。

- ・検査の方法・手順：

IAEA では、原則として UPZ 内では汚染検査は実施せず、OIL1 または OIL2 を超過した場合は直ちに UPZ 外へ避難や一時移転を実施することが指示される。UPZ 外に設立したセンターにおいて汚染検査などを行い、そこでは OIL4 だけでなく OIL8 による甲状腺検査（表 3-1 の脚注参照のこと）も同時に実施される。

一方、我が国の避難退域時検査では、車両検査、住民等検査の順に行われ、それぞれ指定箇所検査と確認検査で構成されている。

- ・検査の実施場所：

IAEA では、UPZ 外（0.5  $\mu$ Sv/h 未満の BG 線量率の地域）に避難者等のためにセンターを設立して汚染検査等を実施する。

一方、我が国の避難退域時検査では、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避難経路上またはその近傍の適所（可能な限り BG 値が低い所）を選定する。

## (2) 我が国と IAEA の除染基準及び簡易除染

表 3-2 に示したように、我が国と IAEA の除染基準及び簡易除染には、共通点と相違点が見受けられる。主な共通点と相違点を項目毎に以下にまとめた。以下に示すように、我が国と IAEA の除染基準及び簡易除染では、共通点よりも相違点の方が多いことが分かった。

### i) 共通点

#### ・ OIL4 の初期設定値（改定の有無）：

IAEA では、いくつかの加盟国において、国内関連規制との関係、地域的な状況などを考慮して、初期設定値の変更を希望する場合があるとしている。このため、OIL4 $\gamma$  に加えて OIL4 $\beta$  も提示している。

同様に、我が国では、他の OIL と同様に、緊急事態の当初に使用する OIL の初期設定値は、地表に沈着した放射性核種の組成が明確になった時点で、必要な場合には改定されるとしている。

### ii) 相違点

#### ・ OIL4 の設定目的：

IAEA の OIL4 は、皮膚汚染に起因する住民等の内部及び外部被ばくを低減することを目的として、住民等に対する医療スクリーニングまたは防護措置を正当とするか評価するための基準である。

一方、我が国の OIL4 は、3 つの被ばく経路からの住民等の内部及び外部被ばくを適切に抑制・低減することに加えて、汚染の拡大を適切に防止するために除染を講ずるかを確認するための基準である。

#### ・ OIL4 の初期設定値：

IAEA では、OIL4 $\gamma$  = 1  $\mu$ Sv/h（手や顔の皮膚表面から 10 cm における空間放射線量率：BG 以上）が推奨される。また、 $\beta$  検出器を使用する加盟国のために、OIL4 $\beta$  = 1,000 cps（= 60,000 cpm、手や顔の皮膚表面から 2 cm における  $\beta$  線計数率）も提示される。

一方、我が国では、OIL4 $\beta$  = 40,000 cpm（皮膚から数 cm での  $\beta$  線検出器の計数率）を基本とする。また、放射性ヨウ素による影響の急速な減少を考慮に入れて、放出から 1 か月後には OIL4 $\beta$  を初期の 40,000 cpm から 13,000 cpm に引き下げる。

#### ・ OIL4 の導出方法：

IAEA では、他の OIL の導出と同様に、GC（包括的判断基準）と計算モデルを使用して導出する。

一方、我が国では、GC や参考レベルを採用することなく、福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定した。

#### ・ OIL4 に関する防護措置：

IAEA では、即時に ITB 剤服用（未服用な場合）や簡易除染等を指示するとともに、OIL4 を超過した場合は簡易／追加的除染及び医療スクリーニングを実施する。

一方、我が国では、OIL1 または OIL2 に基づいて避難や一時移転を実施した避難者等に避難退域時検査を実施して、OIL4 を超える際は迅速に簡易除染等を実施する。

・簡易除染の方法：

IAEA では、避難や一時移転した住民等に対する簡易除染は手洗い、着替え及びシャワーを基本とする。ここでは、手洗いやシャワーなど水を使用する簡易除染も推奨される。OIL4 を超えた住民等に対しては、必要に応じて追加的除染を実施する。

一方、我が国では、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対して簡易除染を行う。簡易除染の方法は、拭き取りや着替えによって行うことを基本とし、手洗いやシャワーなど水を使用する簡易除染は実施しない。

## 4. 我が国における除染基準の根拠と導出方法

### 4.1 OIL4 設定の考え方と考慮する被ばく経路

OIL4 の設定の考え方に関して、原子力規制委員会の資料<sup>10)</sup>では、「現行の原子力災害対策指針では、参考レベルや GC を設定しておらず、現在の OIL は、福島第一原子力発電所事故での経験等を踏まえて実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定したものであり、参考レベルや GC を設定して導出したものではない。」と記述されている。OIL 設定の経緯と具体的な導出方法については以下の通りである<sup>10)15)</sup>。

- ・体表面汚染及び物品汚染のスクリーニングは、福島第一原発事故の対应当初では、表面汚染密度 40 Bq/cm<sup>2</sup> に対応する 20 cm<sup>2</sup> の有効窓面積を持つ GM サーベイメータによる計測値で 13,000 cpm が用いられた。
- ・しかし、事故進展に伴い BG レベルが上がり、そのレベルでは汚染の有無の識別ができないなどの実効的な運用ができない状態となり、汚染のスクリーニングレベルが 100,000 cpm に引き上げられた。
- ・BG の影響を踏まえて実効的な水準とすることが必要であるため、OIL4 については、100,000 cpm 以下で、かつ BG の影響が相対的に低くなる数値のうち、最低の水準（BG のノイズに信号が埋まらないレベルとして 3 倍程度の余裕を見込む水準）として 13,000 × 3 ≒ 40,000 cpm が適当な水準と考えられた。
- ・上記のように設定された OIL4 値は緊急事態当初に用いる初期設定値であり、地表に沈着した放射性核種の組成が明確になった時点で、必要な場合には初期設定値は改定されることとされた。

また、原災指針によると<sup>1)</sup>、避難や一時移転を実施した住民等に対して避難退域時検査を実施し汚染の程度を把握することは、

- i) 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制
- ii) 表面汚染からの経口摂取による内部被ばくの抑制
- iii) 皮膚被ばくの低減
- iv) 汚染の拡大防止

を適切に実施するために不可欠である。また、v) 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、さらに、vi) 医療行為を円滑に行うためにも実施しなければならない。

実際に原子力災害が発生した際には、上記の経緯と導出方法で設定された OIL4 の初期設定値を改定する必要性が生ずる場合がある。初期設定値の改定を検討するに際して、本報告書の著者らは、以下に示す検討すべき課題があることを認識した。

- ① 福島第一原発事故当初に用いられた OIL4<sup>9)</sup> = 13,000 cpm という基準は、どのような科学的根拠により導出されたのか？
- ② 現行の基準である OIL4 = 40,000 cpm という値は、福島第一原発事故の経験等をどのように反映させたのか？
- ③ OIL4 = 40,000 cpm という単一の基準によって、上記の i) ~ iv) の目的をすべて達成する

<sup>9)</sup> 1 ページの脚注 3 を参照のこと。

ことができるのか？

上記の検討課題に関する系統的かつ詳細な説明や記述は、原子力規制委員会や内閣府（原子力防災担当）といった原子力防災の所掌府庁から公表・刊行されている公式文書には見受けられない。また、原子力防災や被ばく線量評価の専門家でさえも経緯や導出方法など全体に亘って詳細に説明できる人はほとんどいないことを認識した。以上のような状況を考慮して、ここでは我が国における OIL4 の設定根拠と導出方法を調査・推定することにより、上記の検討課題を科学的・技術的に説明することを目指した。

#### 4.2 各被ばく経路に対する表面汚染密度限度の導出方法

上記の3つの検討すべき課題①～③を科学的・技術的に説明するために、ここでは4つの被ばく経路 i)～iv)からの被ばく影響を回避または最小限に抑えることができるOIL4の単一の基準値を決定することとする。このため、公開されている関連文献や関連情報を参考として、放射性物質の環境中移行モデル、被ばく線量評価モデル、検出器の応答関数など数学モデルを用いて、i)～iv)の各目的を達成できるような表面汚染密度限度を推定し、その中で最も厳しい限度をOIL4（暫定値）として定めるとともに、v)とvi)の限定条件（円滑な実施）も考慮することとした。

なお、原災指針<sup>1)</sup>において、本文では、避難退域時検査による汚染程度の把握は、「表面汚染からの吸入及び経口摂取による内部被ばくの抑制及び皮膚被ばくの低減、汚染の拡大防止を適切に実施するためには不可欠」と記載されており、4つの目的を達成するための検査である。一方、同指針の表3では、OIL4は、「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」と記載されており、2つの目的を達成するための基準である。本文と表3における記載には若干の齟齬が見受けられる。本報告書では、本文に記載された4つの目的（被ばくシナリオ）を調査・推定の対象にすることとした。

表面汚染密度限度を推定する方針と手順については、最初に表面汚染密度を起点として各被ばく経路からの被ばく線量を計算し、次にその結果をGC（包括的判断基準）と比較・検討することにより、その被ばく経路に対する表面汚染密度限度を推定する。i)～iv)に対する各表面汚染密度限度を推定する方針と手順を以下に示す。

- i)： 空气中濃度 ➡ 呼吸率 ➡ 吸入摂取による内部被ばく線量 ⇔ GC
- ii)： 住民等の体表面汚染密度 ➡ 不注意な経口摂取 ➡ 経口摂取による内部被ばく線量 ⇔ GC
- iii)： 住民等の体表面汚染密度 ➡ 皮膚の外部被ばく線量 ⇔ GC
- iv)： 車両等の表面汚染密度 ➡ 再浮遊による空气中濃度 ➡ 呼吸率 ➡ 吸入摂取による内部被ばく線量 ⇔ GC

ここで、記号「➡」は計算の流れ、記号「⇔」は比較・検討を表す。上記i)の被ばく経路では、表面汚染密度ではなく空气中濃度を計算の起点としている。表面汚染密度を起点とした再浮遊による空气中濃度はiv)の被ばく経路で計算される。

i)の被ばく経路では空气中濃度を起点としており、放射性プルーム<sup>10)</sup>に曝された幼児がI-131を呼吸によって体内に取り込むことにより、甲状腺等価線量が幼児のGCに達する可能性があるという環境を考慮し、その環境において幼児の体表面に沈着すると考えられるI-131の表面汚染密度限度を推定するという考え方を取っている<sup>13)・15)</sup>。従って、この限度値を超える皮膚の放射性物質レベルは、内部被ばくに関する防護対策の実施を正当とする被ばく線量を生じる放射性物質を、幼児が不注意に吸入摂取した可能性があることを示唆するものである。すなわち、住民等や物品の表面汚染に起点とする住民等の被ばく線量を推定する他の被ばく経路とは異なり、i)の被ばく経路から計算される体表面汚染密度限度は、皮膚被ばくの低減を目的とした簡易除染を講じるための基準というよりも、幼児の吸入摂取による内部被ばく線量が医療スクリーニングまたは防護措置を講じるGCに達している可能性があることを、皮膚に付着した放射性物質レベルが

<sup>10)</sup> 放射性プルームとは、気体状またはエアロゾル状の放射性物質が大気とともに煙のように流れていく状態のことであり、「放射性雲」ともいう。



示していると言える。しかし、i) で計算される体表面汚染密度限度は安全側の推定結果ではあるものの、その環境に幼児が滞在することによって幼児の甲状腺等価線量が既に GC に達している可能性があることを考慮すると、それ以上の内部被ばくを抑制するために簡易除染を講ずることが正当化されると考えられる。

原災指針<sup>1)</sup>では、i) の被ばく経路については、「表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制」と記載されている。上記に示したように、記載内容の正確性を求めるならば、この被ばく経路は「空气中放射性物質の吸入摂取による内部被ばくの措置」というような表現にすべきである。しかし、この表現を用いると読者に混乱を招く可能性があるため、本報告書では「表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制」という原災指針の表現をそのまま一貫して使用することとする。

以下の第 4.2.1 項から第 4.2.4 項では、上記の i) ～ iv) の各被ばく経路に対する表面汚染密度限度を導出する方法を記述する。第 4.2.1 項の「表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制」及び第 4.2.4 項の「汚染の拡大防止」では、(1) 古い計算モデル及びパラメータ値による導出及び(2) 新しい計算モデル及びパラメータ値による導出という 2 種類の導出方法を調査・推定した。それは以下の理由によるものである。OIL のような基準（あるいはスクリーニングレベル）は、それらが導入された当時の科学的・技術的情報や考え方など（例えば、ICRP や IAEA の刊行物）を参考にして作成される。しかし、作成された基準が一旦法令や指針に導入されると、導入後に科学的・技術的情報や考え方が更新されたとしても、その基準を変更することには慎重な検討が必要とされる。それは、その基準の変更が関連法令及び指針に影響を及ぼす可能性があるからである。

以上のことを考慮して、第 4.2.1 項及び第 4.2.4 項では、表面汚染密度の導出方法に関する調査・推定結果から、古い情報や考え方が参考にされており、その基準自体は現在も効力を有していると考えられた。このため、まず、その基準が導入された当時の「古い計算モデル及びパラメータ値」を使用した導出方法を調査・推定した。次に、「新しい計算モデル及びパラメータ値」を使用した導出方法を調査・推定し、計算モデルとパラメータ値の新旧によって被ばく線量及び表面汚染密度の調査・推定値が同じような値なのか、あるいはどの程度異なるかを比較するとともに、可能ならばそれらの原因を考察することとした。

#### 4.2.1 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制

##### (1) 古い計算モデル及びパラメータ値による導出

当該被ばく経路については、平成 13 年（2001 年）6 月に原子力安全委員会・原子力施設等防災専門部会が作成した「緊急被ばく医療のあり方について」<sup>16)</sup>、平成 15 年（2003 年）3 月に原子力安全研究協会が作成した「緊急被ばく医療の知識」等<sup>13)・15)</sup>を参照する。これらの参考文献及び参考資料では、ICRP Pub.2<sup>17)</sup>及び ICRP Pub.10<sup>18)</sup>の計算モデルとパラメータ値が使用されており、用いられている単位も旧単位系<sup>11)</sup>である。このため、以下に示す計算式で用いられているパラメータの単位も旧単位系で示す。

原子力災害時に放射性プルームに曝された幼児が空气中 I-131 を吸入摂取することによって生じる甲状腺等価線量  $D_{inh1}$  (rem)、及び幼児の体表面に沈着する I-131 の表面汚染密度  $\sigma_{inh}$  ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ) は、以下に示す 2 つの式でそれぞれ計算される。

$$D_{inh1} = \chi_T \cdot Br_1 \cdot H_{inh1} \quad (1)$$

$$\sigma_{inh} = \chi_T \cdot V_g \quad (2)$$

ここで、 $\chi_T$  は空气中 I-131 の時間積算濃度 ( $\mu\text{Ci} \cdot \text{d}/\text{cm}^3$ )、 $Br_1$  は幼児の呼吸率 =  $8 \times 10^6$  ( $\text{cm}^3/\text{d}$ )<sup>19),20)</sup>、 $H_{inh1}$  は幼児の吸入摂取による甲状腺等価線量に対する線量換算係数 (rem/ $\mu\text{Ci}$ )、 $V_g$  は放射性ヨウ素の沈着速度 =  $0.1 \sim 1$  ( $\text{cm}/\text{s}$ )<sup>21)</sup>である。また、 $H_{inh1}$  は ICRP Pub.2 の計算モデル<sup>17)</sup>を使用すれば、以下のように計算される。

$$H_{inh1} = F_1 \cdot f_a \frac{\varepsilon T_{eff}}{m \ln 2} \quad (3)$$

ここで、 $F_1$  は単位換算のための係数 =  $51.2$  ((rem $\cdot\text{g}$ )/( $\mu\text{Ci} \cdot \text{MeV} \cdot \text{d}$ ))、 $f_a$  は吸入摂取した I-131 が甲状腺に達する割合 =  $0.23$ <sup>17)</sup>、 $\varepsilon$  は I-131 の甲状腺における有効吸収エネルギー =  $0.23$  (MeV)<sup>17),18)</sup>、 $m$  は幼児の甲状腺重量 =  $4$  (g)<sup>19),20)</sup>、 $T_{eff}$  は I-131 の甲状腺における実効半減期 =  $7.6$  (d)<sup>17)</sup>である。上記のパラメータ値を式 (3) に代入すると、 $H_{inh1} = 7.4$  (rem/ $\mu\text{Ci}$ ) と計算される。

$D_{inh1}$  に甲状腺等価線量が当時の安定ヨウ素剤予防服用の指標であった  $10$  rem ( $0.1$  Sv)<sup>13)</sup>を使用して、I-131 の体表面汚染密度限度  $\sigma'_{inh}$  ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ) を求めると、

$$\sigma'_{inh} \doteq 1.4 \times 10^{-3} \sim 1.4 \times 10^{-2} \text{ (}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2\text{)}$$

と計算され、厳しくなる方向に見積もるために小さい方に近い値 ( $\sim 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ) を取ると<sup>13)</sup>、

$$\sigma'_{inh} \doteq 10^{-3} \text{ (}\mu\text{Ci}/\text{cm}^2\text{)} \doteq 40 \text{ (Bq}/\text{cm}^2\text{)}$$

<sup>11)</sup> 旧単位系と新単位系の関係及び単位換算は、線量では  $1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv}$ 、放射能では  $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$  である。



と推定される。

## (2) 新しい計算モデル及びパラメータ値による導出とその考察

上記の計算では、ICRP Pub.2<sup>17)</sup>及びICRP Pub.10<sup>18)</sup>という古い計算モデルとパラメータ値が使用された。新しい計算モデルであるICRP Pub.71<sup>22)</sup>によるパラメータ値を(1)式及び(2)式に代入して、I-131の体表面汚染密度限度 $\sigma'_{inh}$  ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ )を求めると、

$$\sigma'_{inh} \cong 32 \sim 320 \text{ (Bq}/\text{cm}^2)$$

と計算された。上記と同様に安全側の値を取ると、

$$\sigma'_{inh} \cong 32 \text{ (Bq}/\text{cm}^2)$$

と推定され、古いモデルによるパラメータ値から導出された $40 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ の値と比べて概ね一致している。ただし、(1)式及び(2)式において、 $Br_1$ は1歳児の軽活動時における呼吸率 $= 3.5 \times 10^5 \text{ (cm}^3/\text{h})$ <sup>22)</sup> $= 8.4 \times 10^6 \text{ (cm}^3/\text{d})$ 、 $H_{inh1}$ は1歳児のI-131の吸入摂取による甲状腺等価線量に対する線量換算係数(元素状ヨウ素) $= 3.2 \times 10^{-6} \text{ (Sv/Bq)}$ と読み替えるものとする。また、 $D_{inh1}$ としてIAEAのGCである $0.1 \text{ Sv}$ (放射性ヨウ素による甲状腺預託等価線量) $\eta$ を採用した。

古い計算モデル/パラメータ値と新しい計算モデル/パラメータ値による体表面汚染密度限度の計算結果は、計算モデルやパラメータ値が異なるにも拘らず、約 $32 \sim 40 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ と計算され概ね一致している。ICRP Pub.2では甲状腺を対象とした1コンパートメントモデルによって、一方ICRP Pub.71では血液、甲状腺、他臓器という3コンパートメントモデルによって、甲状腺等価線量に対する線量換算係数 $H_{inh1}$ を計算している。それにも拘らず、ICRP Pub.2では $H_{inh1} = 7.4 \text{ (rem}/\mu\text{Ci}) = 2.0 \times 10^{-6} \text{ (Sv/Bq)}$ 、ICRP Pub.71では $H_{inh1} = 3.2 \times 10^{-6} \text{ (Sv/Bq)}$ と概ね一致した値で計算される。これは、I-131の生物学的及び物理学的な性質に起因するものと考えられる。すなわち、I-131は他の放射性ヨウ素と同様に、吸入摂取または経口摂取後に甲状腺に蓄積されるという特有の生物学的性質を有している。また、I-131は物理的半減期が約8日と短く、放出される放射線のエネルギーも低い(主な $\beta$ 線： $0.606 \text{ MeV}$  (89.5%)、主な $\gamma$ 線： $0.365 \text{ MeV}$  (81.7%))<sup>23)</sup>。さらに、I-131は原子力施設の平常時運転時あるいは事故時に放出される放射性物質のうち、周辺住民等に影響を及ぼす重要な核種として、従来から環境中及び人体中における移行挙動が数多く研究されてきた。このため、提示された個々の計算モデルとそれに使用するパラメータ値に相違は見られるものの、それらを用いて計算された結果として線量換算係数を見れば、計算モデル/パラメータ値の違いが線量換算係数の違い(すなわち被ばく線量推定の違い)にそれほど大きく反映されないと想定される。

#### 4.2.2 表面汚染からの経口摂取による内部被ばくの抑制

当該被ばく経路は、表面汚染からの放射性物質の不注意な経口摂取による内部被ばくに関するものであり、表面汚染としては、(1) 地表に沈着した放射性物質による汚染と、(2) 皮膚に付着した放射性物質による汚染という 2 通りが考えられる。ここでは、これら 2 通りの内部被ばくについて表面汚染密度限度の計算を行う。ここでは、双方とも IAEA EPR-NPP-OILs<sup>9)</sup> の計算モデルとパラメータ値を適用し、I-131 を計算対象の放射性物質とした。I-131 を計算対象とした是非については第 5.2.2 項で考察する。2 通りの方法について、計算モデルとパラメータ値を以下に示す。

##### (1) 地表に沈着した放射性物質による汚染

地表に沈着した放射性物質の不注意な経口摂取による内部被ばく線量  $D_{ing1}$  (Sv)、及びその被ばく経路に対する表面汚染密度  $\sigma_{ing1}$  (Bq/cm<sup>2</sup>) は、以下に示す 2 つの式によってそれぞれ計算される。

$$D_{ing1} = \sigma_{ing1} \cdot H_{ing} \int_0^{\Delta} T_{in}(t) \cdot e^{-\lambda t} dt \quad (4)$$

$$\sigma_{ing1} = \frac{D_{ing1}}{H_{ing} \int_0^{\Delta} T_{in}(t) \cdot e^{-\lambda t} dt} \quad (5)$$

ここで、 $H_{ing}$  は放射性物質の経口摂取に対する線量換算係数 =  $1.8 \times 10^{-7}$  : 幼児 (Sv/Bq)、 $7.4 \times 10^{-9}$  : 大人 (Sv/Bq)、 $\Delta$  は早期の被ばく線量を考慮する期間 (s)、 $\lambda$  は放射性物質の物理的な崩壊定数 =  $1.0 \times 10^{-6}$  (s<sup>-1</sup>)、 $T_{in}(t)$  は地表に沈着した放射性物質の胃腸管への移行係数 (m<sup>2</sup>/s) であり、以下の示すような時間依存の式で定義される。

$$T_{in}(t) = \begin{cases} T_{in0} & : 0 < t \leq t_0 \\ T_{in0} \frac{t_0}{t} & : t_0 < t \end{cases} \quad (6)$$

ここで、 $T_{in0}$  は  $T_{in}(t)$  の初期値 =  $7.2 \times 10^{-10}$  : 幼児 (m<sup>2</sup>/s)、 $3.6 \times 10^{-10}$  : 大人 (m<sup>2</sup>/s)、 $t$  は沈着からの経過時間 (s)、 $t_0$  は  $T_{in}(t)$  が定常である期間 =  $8.64 \times 10^4$  (s) = 1 (d) である。 $T_{in}(t)$  を図示したものを図 4-1 に示す。

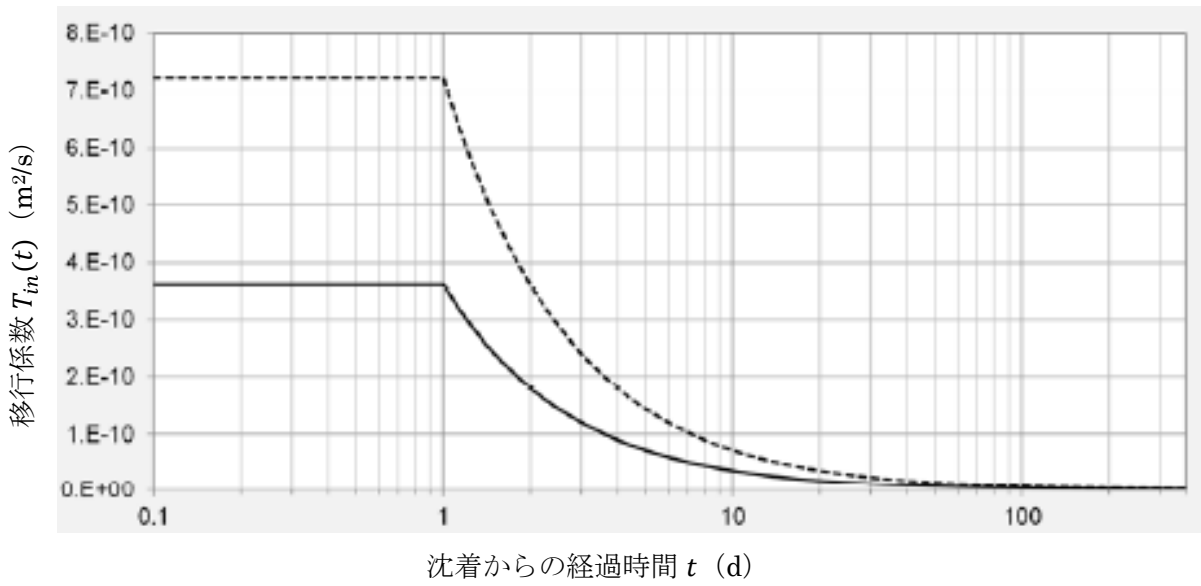


図 4-1 地表に沈着した放射性物質の胃腸管への移行係数（参考文献 9)の図を加工)  
 (点線：幼児、実線：大人)

また、 $T_{in}(t)$  の時間積分値は、 $\Delta$  として 7 日間<sup>9)</sup>を用いると、IAEA EPR-NPP-OILs において以下のように計算される。

$$\int_0^{\Delta} T_{in}(t) \cdot e^{-\lambda t} dt = \begin{cases} 1.5 \times 10^{-4} & (\text{m}^2) : \text{幼児} \\ 7.7 \times 10^{-5} & (\text{m}^2) : \text{大人} \end{cases} \quad (7)$$

$D_{ing1}$  に IAEA の GC である 0.1 Sv (幼児及び大人とも 7 日間の実効線量)<sup>9)</sup>を使用して、地表に沈着した放射性物質の表面汚染密度限度  $\sigma'_{ing1}$  (Bq/cm<sup>2</sup>) を求めると、

$$\sigma'_{ing1} = \begin{cases} 3.7 \times 10^5 & (\text{Bq/cm}^2) : \text{幼児} \\ 1.8 \times 10^7 & (\text{Bq/cm}^2) : \text{大人} \end{cases}$$

と計算される。

(2) 皮膚に付着した放射性物質による汚染

皮膚に付着した放射性物質の不注意な経口摂取による内部被ばく線量  $D_{ing2}$  (Sv) 及びその被ばく経路に対する表面汚染密度  $\sigma_{ing2}$  (Bq/cm<sup>2</sup>) は、以下に示す 2 つの式によってそれぞれ計算される。

$$D_{ing2} = \sigma_{ing2} \cdot T_{sk} \cdot \Delta_{urg} \cdot H_{ing} \quad (8)$$

$$\sigma_{ing2} = \frac{D_{ing2}}{T_{sk} \cdot \Delta_{urg} \cdot H_{ing}} \quad (9)$$

ここで、 $T_{sk}$  は皮膚に付着した放射性物質の胃腸管への移行係数 =  $6.4 \times 10^{-8}$  : 幼児 (m<sup>2</sup>/s)、 $3.2 \times 10^{-8}$  : 大人 (m<sup>2</sup>/s)、 $\Delta_{urg}$  は早期の被ばく線量を考慮する実効期間 =  $7.1 \times 10^4$  (s) である。

$D_{ing2}$  に IAEA の GC である 0.1 Sv (幼児及び大人とも 7 日間の実効線量) <sup>9)</sup> を採用して、皮膚に付着した放射性物質の表面汚染密度限度  $\sigma'_{ing2}$  (Bq/cm<sup>2</sup>) を求めると、

$$\sigma'_{ing2} = \begin{cases} 1.2 \times 10^4 & \text{(Bq/cm}^2\text{)} : \text{幼児} \\ 5.9 \times 10^5 & \text{(Bq/cm}^2\text{)} : \text{大人} \end{cases}$$

と計算される。

ここで計算された皮膚汚染起源の表面汚染密度限度は、幼児及び大人ともに地表汚染起源の限度値の 3% 程度と計算され、限度値としては厳しい値となっている。従って、皮膚汚染起源からの経口摂取に比べて地表汚染起源からの経口摂取の影響は小さいと考えられる。

#### 4.2.3 皮膚被ばくの低減

当該被ばく経路については、IAEA EPR-NPP-OILs<sup>9)</sup>の計算モデルとパラメータ値を適用し、I-131 を計算対象の放射性物質とした。I-131 を計算対象とした是非については第 5.2.2 項で考察する。IAEA の文献において、皮膚被ばくの GC として採用されているのは実効線量でなく、皮膚に対する RBE (生物学的効果)<sup>12)</sup>荷重吸収線量である。皮膚に付着した放射性物質による外部被ばく線量  $D_{sk}$  (Gy)、及びその被ばく経路に対する表面汚染密度  $\sigma_{sk}$  (Bq/cm<sup>2</sup>) は、以下に示す 2 つの式によってそれぞれ計算される。

$$D_{sk} = \sigma_{sk} \cdot \Delta_{acu} \cdot H_{sk} \quad (10)$$

$$\sigma_{sk} = \frac{D_{sk}}{\Delta_{acu} \cdot H_{sk}} \quad (11)$$

ここで、 $\Delta_{acu}$  は緊急の被ばく線量を考慮する実効期間 =  $2.8 \times 10^4$  (s)、 $H_{sk}$  は皮膚に付着した放射性物質に対する線量率換算係数 =  $1.1 \times 10^{-14}$  : 全年齢 ((Gy/s)/(Bq/m<sup>2</sup>)) である。

$D_{sk}$  として IAEA の GC である 10 Gy (皮膚 100 cm<sup>2</sup> が 10 時間に受ける RBE 荷重吸収線量 : 年齢に無関係)<sup>9)</sup>を採用して、皮膚に付着した放射性物質の表面汚染密度限度  $\sigma'_{sk}$  (Bq/cm<sup>2</sup>) を求めると、

$$\sigma'_{sk} = 3.2 \times 10^6 \text{ (Bq/cm}^2\text{)} : \text{全年齢}$$

と計算される。

---

<sup>12)</sup> 放射線に被ばくした場合に、同じ吸収線量であっても放射線の種類やエネルギーの違いにより生物に及ぼす効果に量的な差があり、その違いを比で表したものが生物学的効果比 (Relative Biological Effectiveness : RBE) である。通常 RBE は、X 線、 $\gamma$  線、 $\beta$  線では 1、エネルギー 2 MeV 以上の陽子では 5、 $\alpha$  線では 20、中性子はエネルギーにより 5~20 とされている。

#### 4.2.4 汚染の拡大防止

##### (1) 古い計算モデル及びパラメータ値による導出

汚染拡大防止のためのスクリーニングは、原子力発電所（以下、原発という）の敷地内や原子力災害対策重点区域等から出る住民等や物品に放射性物質が付着して、特定の区域の外に移動することを防ぐ「汚染拡大防止」を目的とするものである。当該被ばく経路については、IAEAの放射性物質輸送規則<sup>24)</sup>の考え方に基づいて表面汚染密度限度を推定する。IAEA輸送規則の刊行の前後に、Fairbrainの報告書とDunsterの論文<sup>25)</sup>がそれぞれ公表され、記載内容の一部がIAEA輸送規則に引用された。その後IAEAは輸送規則を随時見直して刊行しており<sup>26),27)</sup>、輸送物表面の汚染限度値として国際的に用いられている。一方、我が国ではIAEA輸送規則等を参考にして国内関係法令が定められた。放射性同位元素規制法<sup>28)</sup>では、放射線管理区域内における表面密度限度と物品搬出基準が定められている。

ここでは、IAEA輸送規則、Dunster論文及び我が国の関係法令や関連文献<sup>24)-31)</sup>を参照して、汚染の拡大防止の基準について設定根拠を推定した。この際、放射線作業従事者（大人）が物品表面から再浮遊した放射性物質を吸入摂取することによる内部被ばくを計算対象とした。参照とする関連文献等では、ICRP Pub.2の計算モデルとパラメータ値<sup>17)</sup>が使用されており、用いられている単位も旧単位系である。このため、以下に示す計算式で用いられているパラメータの単位も旧単位系で示す。放射線管理区域内のある室内において、物品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線量 $D_{inh2}$  (rem)は、以下に示す式で計算される。

$$D_{inh2} = \sigma_{res} \cdot K \cdot Br_2 \cdot \Delta_{res} \cdot H_{inh2} \quad (12)$$

ここで、 $\sigma_{res}$  は物品の表面汚染密度 ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ )、 $K$  は物品表面からの放射性物質の再浮遊係数 ( $\text{cm}^{-1}$ )、 $Br_2$  は作業従事者の呼吸率 ( $\text{cm}^3/\text{d}$ )、 $\Delta_{res}$  は内部被ばくを考慮する期間 (d)、 $H_{inh2}$  は作業従事者の吸入摂取に対する線量換算係数 ( $\text{rem}/\mu\text{Ci}$ ) である。上記の式では、以下に示す仮定の下で計算されている。

- i) 対象室内では換気がなく、室内の空气中濃度は常に最大許容濃度が維持される。
- ii) 物品の表面汚染は全て遊離性の汚染 (loose contamination) と考える。
- iii) 汚染面積は十分に広く (数  $\text{m}^2$  以上)、かつ汚染は均一に分布しているものとし、また汚染表面から汚染が浮遊するような作業が連続して行なわれている。

また、物品の表面汚染密度限度 $\sigma'_{res}$  ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ) は、ICRP Pub.2のモデル<sup>17)</sup>を使用すれば以下のように計算される。

$$\sigma'_{res} = \frac{D_{inh2}}{K \cdot Br_2 \cdot \Delta_{res} \cdot H_{inh2}} = \frac{(MPC)_a}{K} \quad (13)$$

ここで、 $(MPC)_a$  は空气中最大許容濃度 ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ) であり、次の式で定義される。

$$(MPC)_a = \frac{D_{inh2}}{Br_2 \cdot \Delta_{res} \cdot H_{inh2}} \quad (14)$$

また、 $(MPC)_\alpha$  は「対象とした環境下において、放射線作業従事者が 50 年間仕事を続けた時、決定臓器<sup>13</sup>に最大許容負荷量<sup>14</sup>の蓄積が起きる空气中放射性物質濃度」と定義される。ただし、放射線作業従事者は週 40 時間、年間 50 週という労働条件の下で作業を行い、作業中の呼吸率は  $10 \text{ m}^3/\text{d}$  として計算される。

$(MPC)_\alpha$  については、個々の放射性核種に対する値の代わりに対象線種の中で最も危険（すなわち、被ばくへの寄与が最も大きい）と考えられる特定の核種に対する値をその線種の代表値として採用する。対象線種として、a)  $\alpha$  線を放出する核種として Pu-239 の値、b)  $\alpha$  線を放出しない核種として Sr-90 (+ Y-90)、Pb-210、混合核種（ $\alpha$  核種と Ac-227 を含まない）に対する値を ICRP Pub.2 に記載された値<sup>17</sup>から採用し、また物品表面からの放射性物質の再浮遊係数  $K$  として  $2 \times 10^{-8} (\text{cm}^{-1})$ <sup>25)</sup>を使用する。対象核種に対する空气中最大許容濃度  $(MPC)_\alpha$  と表面汚染密度限度  $\sigma'_{res}$  を表 4-1 に示す。

表 4-1 汚染の拡大防止に関する対象核種の空气中最大許容濃度と表面汚染密度限度<sup>25),31)</sup>

線種	代表核種	空气中最大許容濃度 $(MPC)_\alpha$	表面汚染密度限度 $\sigma'_{res}$		物品搬出基準
		$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$	$\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$	$\text{Bq}/\text{cm}^2$	$\text{Bq}/\text{cm}^2$
$\alpha$ 線を放出する核種	Pu-239	$2 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-4}$	4	0.4
$\alpha$ 線を放出しない核種	Sr-90	$3 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-3}$	40	4
	Pb-210	$1 \times 10^{-10}$			
	混合核種	$3 \times 10^{-11}$			

表 4-1 において、各核種の空气中最大許容濃度  $(MPC)_\alpha$  から  $\alpha$  線を放出しない核種の表面汚染密度限度  $\sigma'_{res}$  を計算すると、 $1.5 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-2} (\mu\text{Ci}/\text{cm}^2)$  と計算される。しかし、

<sup>13</sup> 決定臓器とは、生体が放射線被ばくを受ける際に、放射線感受性が大きく身体機能上重要であるために本質的に最も重大な機能の損傷を起こす可能性が大きい臓器をいう。例えば、全身が外部被ばくした場合には、放射線によって影響を受けやすく放射線防護上特に注目する必要のある臓器である造血器官、生殖腺、眼の水晶体、肺、甲状腺、皮膚などがこれに相当する。

<sup>14</sup> 最大許容負荷量 (Maximum Permissible Burdon : MPB) とは、決定臓器に対して毎週 0.3 rem (3 mSv)、全身が対象の場合は毎週 0.1 rem (1 mSv) をもたらず蓄積放射エネルギーである。ただし、骨については別扱いであり、ラジウムダイアルペインターなどのデータを基に、Ra-226 の骨に対する MPB は  $0.1 \mu\text{Ci}$  とされた。Pu-239 については、Ra-226 よりリスクが大きいということにより、骨に対する MPB は  $0.04 \mu\text{Ci}$  とされた。



Dunster 論文では、これらの値を丸めて  $1 \times 10^{-3}$  ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ ) を提案している。

$\alpha$  線を放出しない放射性物質を計算対象とすれば、

$$\sigma'_{res} = 1.0 \times 10^{-3} (\mu\text{Ci}/\text{cm}^2) \doteq 40 (\text{Bq}/\text{cm}^2)$$

と計算される。

Dunster 論文では、物品の表面汚染密度限度及び物品搬出基準を設定する上で最も危険と考えられる特定の放射性核種のうち、 $\alpha$  線を放出しない核種として Sr-90 (+ Y-90)、Pb-210、混合核種 ( $\alpha$  核種と Ac-227 を含まない) が計算対象となった。しかし、原子力災害の初期段階において放射線影響に最も寄与すると考えられる I-131 が計算対象とはならなかった。I-131 に対する空气中最大許容濃度 ( $MPC$ )<sub>a</sub> の値は、ICRP Pub.2 によると  $9 \times 10^{-9}$  ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ) と計算される。表 4-1 に記載された計算対象核種に対する ( $MPC$ )<sub>a</sub> の値と比較すると、I-131 に対する値は 30 ~ 300 倍と計算される。従って、放射性物質の再浮遊係数  $K$  が同一の値であると仮定しても、I-131 に対する表面汚染密度限度は 30 ~ 300 倍緩い値になる。放射性ヨウ素の物品への吸着性が強いことを考慮すれば、I-131 に対して推定された値は安全側の推定になっていると考えられ、I-131 に対する表面汚染密度限度はさらに緩い値になるだろう。

空气中最大許容濃度 ( $MPC$ )<sub>a</sub> の値は、放射線作業従事者について年間 5 rem = 年間 50 mSv の被ばく限度に対して計算されていること、また当時、公衆の被ばく線量限度はその値の 10 分の 1 である年間 0.5 rem = 年間 5 mSv に制限されていた。この関係から、一般公衆と接触する可能性のある輸送物品の搬出基準についても十分の一 (1/10) して、 $\alpha$  線を放出する核種に対して  $0.4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\alpha$  線を放出しない核種に対して  $4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$  が定められた。

上記のように計算された表面汚染密度限度及び輸送物品搬出基準は、上記の i) ~ iii) の仮定に加えて、代表核種の選定や輸送物品への従事者の接触時間を考慮すれば、被ばく線量の観点から見た安全係数は少なく見積もっても 100 から 1000 以上はあると考えられている。従って、OIL4 の設定においては、公衆に対して計算された輸送物品の搬出基準である  $4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$  ではなく、作業従事者に対して計算された表面汚染密度限度である  $40 \text{ Bq}/\text{cm}^2$  を採用したものと推察される。この際、

- a) 当該被ばく経路に対して計算された表面汚染密度限度の安全係数
- b) 他の被ばく経路に対する限度値とのバランス
- c) 避難退域時検査の実行性や運用の容易性

などを検討して判断したものと考えられる。

汚染拡大防止のためのスクリーニングは、被災地域周辺における住民等や物品の移動を妨げる可能性にも繋がり、避難や一時移転、事故対応、復旧作業などの妨げとなり得る。一方で、適切な汚染拡大防止のためのスクリーニングは、周辺地域への汚染拡大の危惧に根差した風評被害や、それに起因する差別の抑制に大きな効果が期待できる。従って、周辺地域の汚染状況や被ばくの状況、防護措置の実施状況等を総合的に判断して適切に運用すべきであると提言された<sup>11)</sup>。例えば、放射性物質の放出を伴う事故の直後あるいはそれ以降 (緊急時被ばく状況あるいは現存被ばく状況) においては、内部被ばくに関するスクリーニングレベル相当やそれ以上の値を設定する必要がある場合もある。汚染拡大防止のためのスクリーニングレベルは、長期的には放射線管理区域外への持ち出し基準である  $4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$  に設定されるべきであり、周囲の汚染の残留状況や



社会状況を勘案しながら段階的に引き下げていくべきであると提言された<sup>11)</sup>。

第 4.2.1 項において、表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制に関する表面汚染密度限度は 40 Bq/cm<sup>2</sup>と計算された。従って、本項で計算された汚染の拡大防止に関する表面汚染密度限度を 40 Bq/cm<sup>2</sup>という同一の基準値に合わせて設定することは、上記 a) ～ c) の検討・判断事項、特に c) 避難退域時検査の実行性や運用の容易性を考慮すれば、合理的かつ妥当な設定であると考えられる。

## (2) 新しい計算モデル及びパラメータ値による導出とその考察

上記の計算では、IAEA 輸送規則<sup>24)</sup>、Dunster 論文<sup>25)</sup>、ICRP Pub.2<sup>17)</sup>という古い計算モデルとパラメータ値が使用された。平成 28 年（2016 年）に日本保健物理学会放射線防護標準化委員会（以下、保物学会委員会という）では、「緊急時／現存／計画被ばく状況における物の搬出のためのガイドライン（学会標準）」を制定した<sup>31)</sup>。ここでは、IAEA や ICRP における最新の考え方を参考とし、2 編の関連論文における新しい計算モデル／パラメータ値（以下、それぞれ Munakata モデル<sup>32)</sup>、Ogino/Hattori モデル<sup>33)</sup>という）を採用して、本ガイドラインの線量基準に相当する汚染拡大防止スクリーニングレベルの一例を示している。

当該ガイドラインでは、敢えて現行法令とは別の独自の視点から、ICRP の新しい勧告や学会の存立基盤である学術的な知見をベースにして、汚染された物品の搬出の可否の判断基準を提示している。しかし、本ガイドラインで例示された値をそのまま現場の搬出管理には適用できないことに注意が必要である。

緊急時被ばく状況における計算例では、年実効線量 10 mSv 相当の表面汚染密度と汚染拡大防止スクリーニングレベルを計算した例が示されている。事故直後の放射性核種の存在比（I-131、Cs-134、Cs-137 が 100 : 1 : 1 の比率で存在<sup>15)</sup>）を想定すると、Munakata モデル<sup>32)</sup>では、表面汚染密度は、I-131 が 1,900 Bq/cm<sup>2</sup>、Cs-134 が 19 Bq/cm<sup>2</sup>、Cs-137 が 19 Bq/cm<sup>2</sup> となり、汚染拡大防止スクリーニングレベルは約 460,000 cpm と求められる。同じように、Ogino/Hattori モデル<sup>33)</sup>では汚染拡大防止スクリーニングレベルは 1,800,000 cpm と求められる。

この計算例では、年線量 10 mSv に相当する汚染拡大防止スクリーニングレベルが、一般的な GM サーベイメータの最大レンジである 100,000 cpm を上回る結果となった。この関係は、放射性ヨウ素が減衰し、放射性セシウムが支配的な状況となっても変わらない。以上より、福島第一原発事故後から平成 23 年（2011 年）9 月 16 日まで 100,000 cpm を汚染拡大防止スクリーニングレベルとして用いた現場の運用は、当該ガイドラインと矛盾するものではなかったと保物学会委員会では結論付けられた<sup>31)</sup>。

一方、現存被ばく状況における計算例では、年実効線量 1 mSv 相当の表面汚染密度と汚染拡大防止スクリーニングレベルを計算した例が示されている。事故から時間が経過し、I-131、Cs-134、Cs-137 が 0.01 : 1 : 1 の比率で存在したと想定すると、Munakata モデル<sup>32)</sup>では表面汚染密度は、I-131 が 0.44 Bq/cm<sup>2</sup>、Cs-134 が 44 Bq/cm<sup>2</sup>、Cs-137 が 44 Bq/cm<sup>2</sup> となり、一般的な GM サーベイメータで測定した場合の指示値は約 21,000 cpm と求められる。従って、現存被ばく状況における汚染した物品の搬出のための線量規準を 1~10 mSv とする場合、汚染拡大防止スクリーニングレベルは約 21,000~210,000 cpm と設定することができる。同様に、Ogino/Hattori モデル<sup>33)</sup>では、汚染拡大防止スクリーニングレベルは 190,000~1,900,000 cpm と求められる。

この計算例では、年実効線量 1 mSv に相当する汚染拡大防止スクリーニングレベルが、一般的な GM サーベイメータの指示値である 13,000 cpm を上回る結果となった。以上より、平成 23 年（2011 年）9 月 16 日以降に 13,000 cpm を汚染拡大防止スクリーニングレベルとして用いてい

<sup>15)</sup> 福島第一原発敷地構内における空气中放射能濃度の測定結果によれば、事故直後には Cs-134 と Cs-137 が同程度の濃度で観察されたのに対し、I-131 はこれら放射性セシウムのおよそ 100 倍の濃度で観察された。そこで、保物学会委員会では、汚染した物の表面に、I-131、Cs-134、Cs-137 が 100 : 1 : 1 の比率で存在すると想定した。

る現場の運用は、当該ガイドラインと矛盾するものではないと保物学会委員会では結論付けられた<sup>31)</sup>。

### 4.3 表面汚染密度と GM サーベイメータの計数率の関係

原災指針<sup>1)</sup>や緊急被ばく医療の知識<sup>13)</sup>等の関連文献において、体表面汚染密度から GM サーベイメータの計数率への変換に関する具体的な算出方法が示された記述は存在しない。政府事故調最終報告書（以下、事故調報告書という）<sup>12)</sup>では、福島第一原発事故当初に用いられた除染のスクリーニングレベル 13,000 cpm は、機器効率 58 % を使用して算出されたと記載されているが、この出典は明らかにされていない。また、政府事故調査委員会ヒアリング記録（以下、ヒアリング記録という）において公開された聴取結果では、体表面汚染密度：40 Bq/cm<sup>2</sup> から GM サーベイメータの計数率：13,000 cpm へ換算することに対して疑問を投げかける者もいた<sup>34),35)</sup>。本節では、GM サーベイメータの計数率：13,000 cpm の具体的な算出方法等が明らかにされていないことから、事故調報告書やヒアリング記録等を参考に推察することとした。

第 4.2 節で計算された表面汚染密度限度から GM サーベイメータの計数率を導出する方法を記述する。ここでは代表的な例として、表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの経路に関する放射性物質の体表面汚染密度限度  $\sigma'_{inh}$  (Bq/cm<sup>2</sup>) と GM サーベイメータの計数率  $C$  (cpm) を関係付けると、以下の式で表される。

$$\sigma'_{inh} = \frac{(C - C_{BG}) \cdot F_2}{\varepsilon_s \cdot W \cdot \varepsilon_i \cdot F_i} \quad (15)$$

ここで、 $C_{BG}$  は GM サーベイメータのバックグラウンド計数率 (cpm)、 $F_2$  は単位換算のための係数 (min/sec)、 $\varepsilon_s$  は体表面汚染の線源効率、 $W$  は GM サーベイメータの有効窓面積 (cm<sup>2</sup>)、 $\varepsilon_i$  は  $\beta$  線に対する機器効率、 $F_i$  は単位換算のための係数 (10<sup>-2</sup>) である。従って、 $C$  は以下の式で表される。

$$C = \frac{\sigma'_{inh} \cdot \varepsilon_s \cdot W \cdot \varepsilon_i \cdot F_i}{F_2} + C_{BG} \quad (16)$$

事故調報告書によると、福島第一原発事故当時の汚染検査において広く使用された GM サーベイメータの一つは、アロカ株式会社製の TGS-146 であった。そのカタログに記載された TGS-146 の仕様を図 4-2 に示す。図 4-2 から、 $C_{BG}$ ：バックグラウンド計数率 = 60 (cpm)、 $W$ ：GM サーベイメータの有効窓面積 = 19.6 (cm<sup>2</sup>)、 $\varepsilon_i$ ： $\beta$  線に対する機器効率 = 47.5 % /  $2\pi \pm 25$  % (40 % /  $2\pi \sim 59.3$  % /  $2\pi$ ) であることが分かる。また、 $\varepsilon_s$ ：体表面汚染の線源効率については、JIS Z 4504：2008<sup>36)</sup>によると、線源効率が明らかでない場合、安全側の数値として線源効率 = 0.5 を用いることが推奨されている（ただし、 $\beta$  線の最大エネルギーが 0.4 MeV の場合）。

1) GMプローブ	
測定放射線	$\beta$ ( $\gamma$ ) 線
検出器	大面積端窓形有機GM管
窓径	5cm $\phi$
入射窓面積	19.6cm <sup>2</sup>
窓厚	約 2.5mg/cm <sup>2</sup>
開口率	約 85% (保護メッシュ付き)
バックグラウンド	約 60min <sup>-1</sup> (当社工場にて)
機器効率	47.5%/2 $\pi$ $\pm$ 25%及び、40%/2 $\pi$ (20%/4 $\pi$ )以上 (40%/2 $\pi$ ~ 59.3%/2 $\pi$ ) ( <sup>60</sup> Cl 線源にて) 線源-プローブ間距離 0.5cm
ケーブル	カールコードケーブル
質量	約 0.5kg
2) サーベイメータ本体	
操作スイッチ	POWER、FUNCTION、MEMORY、▲、▼、 TIME CONST、RESET、□
測定範囲	0~100kmin <sup>-1</sup>
測定レンジ	アナログ (メータ) 0~100, 0~300, 0~1k, 0~3k, 0~10k, 0~30k, 0~100kmin <sup>-1</sup> 手動7段切換
	デジタル (LCD)
	指示値 (min <sup>-1</sup> )      0~999, 1.00~9.99k, 10.0~99.9k min <sup>-1</sup>
	計数                      0~999999 count
指示精度	アナログ表示 最大目盛に対する許容差 $\pm$ 3%以下、又は 指示値に対する許容差 $\pm$ 10%のいずれか
	デジタル表示 指示値に対する許容差 $\pm$ 3% $\pm$ 1digit 以内
時定数	3秒、10秒、30秒
警報設定	FUNCTION切換にてALARM MODE内で設定
警報制御方式	AUTO-HOLD (ALARM MODEにて設定可能)
警報解除	AUTO: 警報設定値未満にて自動警報解除 HOLD: RESETスイッチPUSHにて解除
警報表示	警報設定レベル以上にてメータ内LED点滅
警報音	LED点滅と同時に警報音発生
プリセットタイム	0~999秒または 0~999.9分
メータリセット	RESETスイッチPUSHによる。(RATE時のみ)
計数リセット	RESETスイッチPUSHによる。(SCALER時のみ)
データメモリー	MEMORYスイッチPUSHにて計数率測定データを記憶(最大3000データ)
インターフェース	赤外線: メモリーデータ出力 (オプションのデータ転送ソフトウェア必要)

図 4-2 GM サーベイメータ (アロカ株式会社製、型式: TGS-146) の仕様

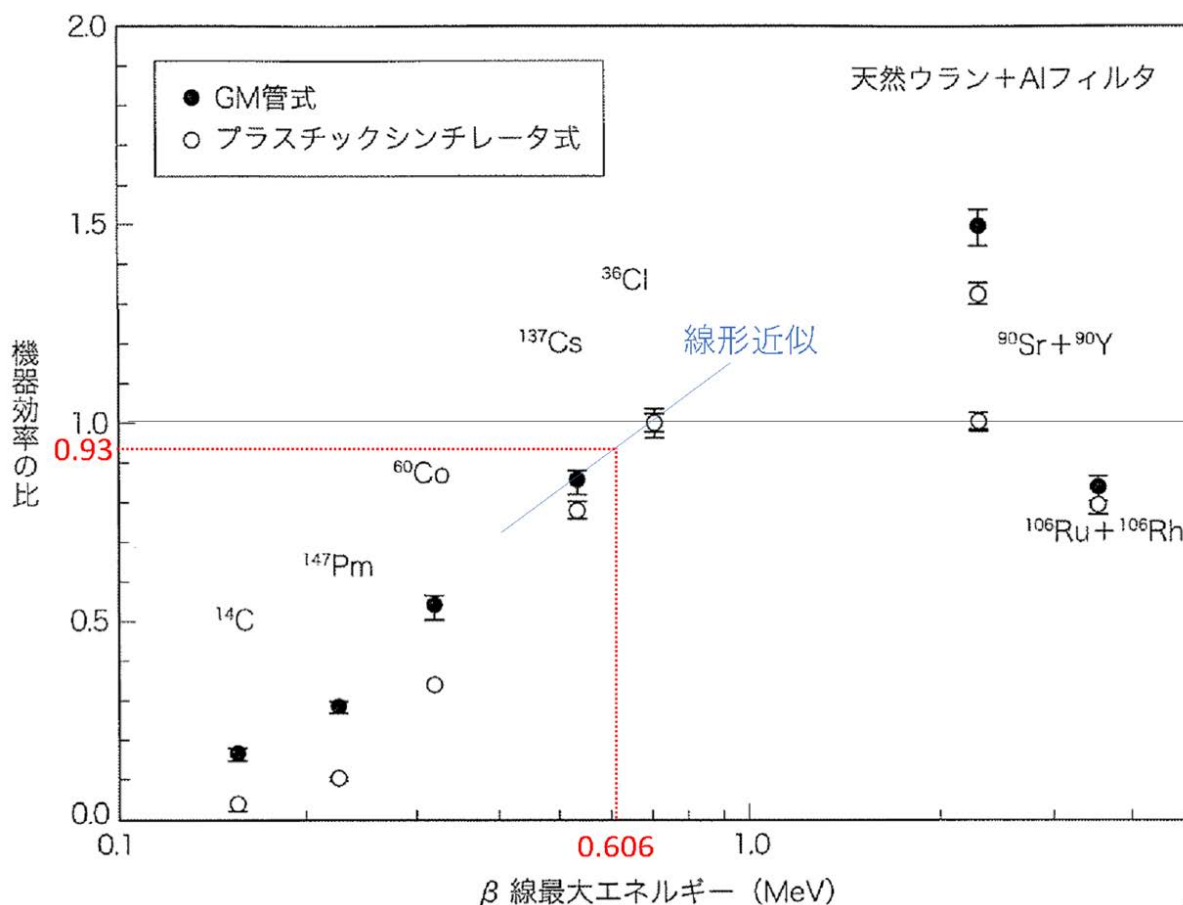


図 4-3 GM サーベイメータのβ線エネルギー特性  
(JIS Z 4329 : 2004<sup>37)</sup> に基づいて作成)

しかし、図 4-2 のカタログに示された機器効率は Cl-36 線源を用いた場合の値である。前述の通り、体表面汚染密度は I-131 による汚染を想定しているため、I-131 の機器効率を算出しなければならない。図 4-3 に JIS Z 4329 : 2004<sup>37)</sup> に記載されたβ線エネルギー特性を示す。機器効率は GM サーベイメータのβ線エネルギー特性によって決定され、一般的にβ線エネルギーが高くなるほど機器効率が高くなり、逆にβ線エネルギーが低いほど機器効率は小さくなる。図 4-3 より、Cl-36 線源 (β線最大エネルギー : 0.709 MeV) を 1.0 とした場合、I-131 (β線最大エネルギー : 0.606 MeV) の機器効率はおおよそ 0.93 となる。図 4-2 及び図 4-3 より、GM サーベイメータの I-131 測定時の機器効率は、 $44.2\% / 2\pi \pm 25\%$  ( $40\% / 2\pi \sim 55.25\% / 2\pi$ ) であると推定される。GM サーベイメータの計数率から I-131 の表面汚染密度を算出する場合、式 (16) に示した通り、表面汚染密度を厳しくなる方向に見積もるために機器効率の上限値 :  $55.25\% / 2\pi$  を採用したと推定される。

上記に示した値に加えて、 $\sigma'_{inh}$  : 放射性物質の体表面汚染密度限度 = 40 (Bq/cm<sup>2</sup>)、 $F_i$  : 単位換算のための係数 = 0.01 (10<sup>-2</sup>)、 $F_2$  : 単位換算のための係数 = 1/60 (min/sec) を式 (16) に代入すると、



$$C \doteq 13,000 \text{ (cpm)}$$

と計算される。この値は、福島第一原発事故の対応当初において、体表面汚染及び物品汚染のスクリーニングに用いられた値であり、表面汚染密度  $40 \text{ Bq/cm}^2$  に対応する  $20 \text{ cm}^2$  の有効窓面積を持つ GM サーベイメータによる計測値として使用された。

汚染の拡大防止に関する被ばく経路についても、表面汚染密度限度は  $40 \text{ Bq/cm}^2$  と計算されるので、式 (16) を使用すると、GM サーベイメータの計数率は  $13,000 \text{ cpm}$  と計算される。

#### 4.4 各被ばく経路に対する除染基準と OIL4 の設定

##### (1) OIL4 設定の経緯

第 4.1 節に示した i) ~ iv) の各目的を達成できるような各表面汚染密度限度について、第 4.2 節に記載した導出方法によって求めた結果、その中で最も厳しい限度は、

- i) 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制
- iv) 汚染の拡大防止

に対して、ともに 40 Bq/cm<sup>2</sup> と計算された。他の被ばく経路に対する表面汚染密度限度は、この限度値より緩い値と推定された。すなわち、我が国においては表面汚染密度限度を最も厳しい 40 Bq/cm<sup>2</sup> という単一の基準に設定すれば、第 4.1 節に記載された i) ~ iv) のすべての目的を達成できると言える。計算された表面汚染密度限度の値に基づいて、福島第一原発事故当時に広く利用されていた GM サーベイメータ（アロカ株式会社製 TGS-146）に対する計数率を求めると、第 4.3 節に示したように 13,000 cpm と計算された。原災指針では、福島第一原発事故時における経験等を踏まえ、求められた汚染基準（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 を OIL4 の初期設定値とした。

OIL4 = 40,000 cpm と設定された経緯について、もう少し詳しく経緯と根拠を以下に記述する。福島第一原発事故後の対応において、体表面汚染及び物品汚染のスクリーニングのためのレベルは、当初 40 Bq/cm<sup>2</sup> に対応する 20 cm<sup>2</sup> の有効窓面積を持つ GM サーベイメータによる計測値として 13,000 cpm が用いられた。この値は原子力災害時への備えとして事前に設定されたものである。この設定根拠については、第 4.2 節に記述したように、放射性プルームに曝された幼児が I-131 を呼吸によって体内に取り込むことにより、甲状腺等価線量が当時の安定ヨウ素剤予防服用の指標であった 100 mSv に達する可能性のある環境において、幼児の体表面に沈着すると考えられる I-131 の表面汚染密度を示すというものであった。

しかし、福島第一原発事故の進展に伴って BG レベルが上昇した地域では、13,000 cpm という体表面汚染密度を有意に判断することが困難となった。そこで、政府の原子力災害現地対策本部は内閣府原子力安全委員会の助言を踏まえ、平成 23 年（2011 年）3 月 20 日に体表面汚染スクリーニングレベルを 100,000 cpm<sup>16</sup> に引き上げた<sup>10),12),31),34),39)</sup>。この新たに設定された体表面汚染スクリーニングレベルは、皮膚の急性障害防止を目的とした IAEA マニュアル<sup>38)</sup>に示された空間放射線量率 1 μSv/h に相当するとされていた。同年 5 月 25 日までに 192,933 名の住民等に対して体表面汚染スクリーニングが実施され、100,000 cpm を超えた者は 102 名と全体の約 0.05 % であった<sup>10),39)</sup>。また、13,000 ~ 100,000 cpm の範囲の人数は 894 人（全体の約 0.5 %）であった<sup>10),39)</sup>。40,000 cpm を下限値あるいは上限値としたデータは測定されていないが、13,000 ~ 40,000 cpm 及び 40,000 ~ 100,000 cpm も全体の 0.5 % に満たないことは明らかである。

車両に対するスクリーニング結果は存在しないため、車両の結果が住民等の結果と似たような傾向を示すのか、別の傾向を示すのかは不明である。この体表面汚染スクリーニングレベルは、

<sup>16</sup> 体表面汚染スクリーニングレベルの 100,000 cpm という値は、IAEA が「放射線緊急事態の初期対応者のためのマニュアル」<sup>38)</sup>において規定した一般住民等の体表面汚染に対する除染の基準である 1 μSv/h（10 cm 離れた場所における空間放射線量率）に相当する GM サーベイメータの計数率とされた。なお、GM サーベイメータの計数率 10,000 cpm は、計数効率を 0.24、有効窓面積を 20 cm<sup>2</sup> とすると 350 Bq/cm<sup>2</sup> と計算され、この値は IAEA の皮膚や衣服の除染基準（10,000 Bq/cm<sup>2</sup>）より十分に低いとされた<sup>15)</sup>。

同年 9 月 16 日より 13,000 cpm に引き下げられた<sup>31)</sup>。この引き下げは、I-131 の物理的半減期が約 8 日と短いため、I-131 による影響の急速な減少を考慮に入れたものである。

IAEA GSG-2 の枠組み<sup>6)</sup>において OIL4 の値を超えた汚染が観測された場合には、避難所等において簡易除染が行われることになるが、この簡易除染は利用可能な設備の容量や要員の数によって対応ができる限り多くの住民等に対して実施されることが望ましい。上記の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た。ただし、前述の通り、BG の影響を踏まえて実効的な水準とすることが必要であるため、OIL4 については、100,000 cpm 以下で、かつ BG の影響が相対的に小さくなる数値のうち最低の水準（BG のノイズに信号が埋まらないレベルとして 3 倍程度の余裕を見込む水準）として  $13,000 \times 3 \doteq 40,000$  cpm が適当な水準だと判断された。しかし、現行の設定値である 40,000 cpm に関しては、福島第一原発事故当時のスクリーニングにおいて、40,000～100,000 cpm の範囲の人数については統計値が公表されていないので、40,000 cpm という値に対して運用上の妥当性は統計データからは確認されていない。

(2) OIL4 = 40,000 cpm と設定した科学的根拠とその考察

第 4.2 節及び第 4.3 節で導出された各被ばく経路に対する表面汚染密度限度及び除染基準は、それぞれ 40 Bq/cm<sup>2</sup> 及び 13,000 cpm と計算された。計算上は OIL4 = 13,000 cpm と設定すべきであると考えられるが、原災指針<sup>4)</sup>では、OIL4 = 13,000 × 3 ≒ 40,000 cpm が適当な水準であると判断され、この値が OIL4 の初期設定値として採用された。これは、福島第一原発事故の際には、事故の進展に伴って BG レベルが上昇した地域の避難退域時検査場所において、事故当初に設定された除染基準である 13,000 cpm という値では、除染基準を有意に判断することが困難となったという経験によるものである。

ここでは、OIL4 = 13,000 × 3 ≒ 40,000 cpm と設定した科学的根拠を検討・推定し、その結果について考察する。本件に関しては、この科学的根拠が所掌府庁からの公式文書として公表されておらず、しかも科学的根拠を解説した専門家も見受けられないことから、科学的根拠を推定することは困難や無理が伴うと考えられる。それらの困難や無理を承知した上で、本報告書の著者らは科学的根拠の検討・推定を試みた。検討・推定した科学的根拠については、2 つの候補が挙げられたのでその両方を以下に紹介する。

a) 統計学分野における 3σ 法を適用する方法

第一の候補は、統計学や放射線計測学の分野における 3σ 法を適用する方法である。図 4-4 は、環境放射線の測定において測定対象とするサンプル信号（緑の分布）、BG（青の分布）及び検出限界値（赤の点線）の関係を模式的に表した 3σ 法の考え方を示したものである<sup>40)</sup>。この方法では、BG の平均値に標準偏差 (σ) の 3 倍を加えた値を検出限界値と定義する。この定義によれば、BG 計測値が 3σ より大きい時、BG 計測値が揺らぎによって 3σ を超える確率が約 0.1% であることを意味する。

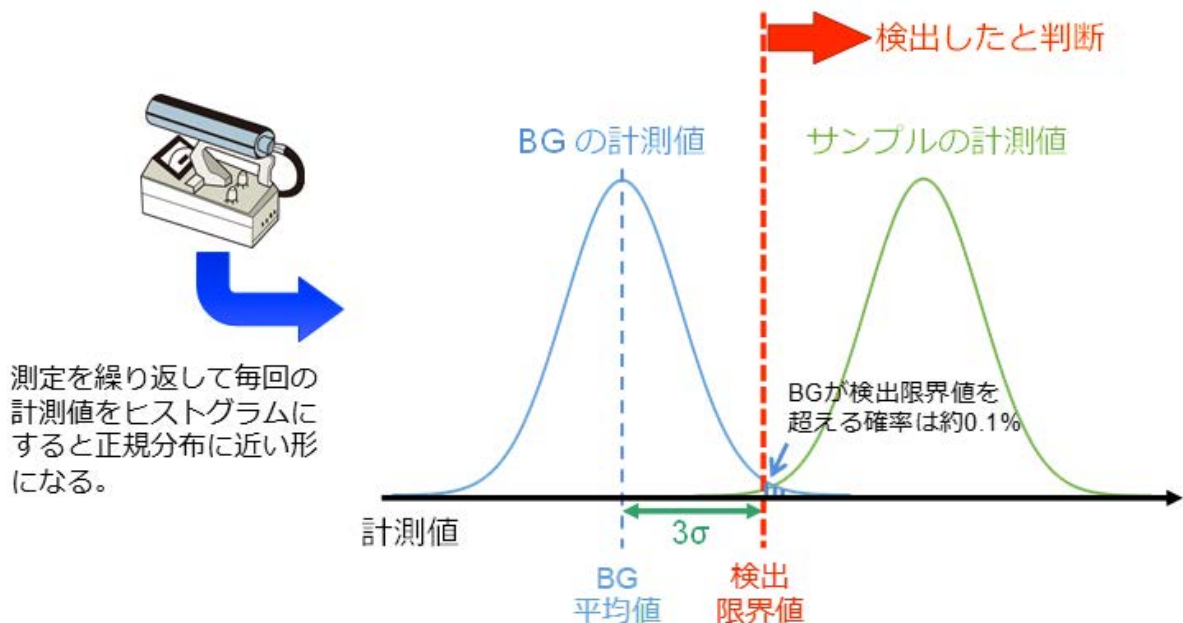


図 4-4 環境放射線測定におけるサンプル信号、BG 及び検出限界値の関係<sup>40)</sup>

福島第一原発事故の際には、BG レベルが 13,000 cpm に近くなる、あるいはその値を超えて上昇してしまい、初期設定値である 13,000 cpm では除染基準を判断できなくなったと推定される<sup>12),34)</sup> (第 4.4 節 (1) を参照のこと)。このため、原発指針<sup>1)</sup>における OIL4 の初期設定値を決定するに際して、この経験を踏まえて、3 $\sigma$ 法を適用することにより、 $OIL4 = 13,000 \times 3 \approx 40,000$  cpm と設定したものである。この方法を用いるためには、図 4-4 から分かるように、BG の平均値と標準偏差が予め判明していることが必要である。しかし、これらの値は、基本的には原子力災害時における放射線測定で得られる値であり、予め値を設定するためにはある種の仮定を用いる必要がある。

ここでは、原子力発電所事故（以下、原発事故という）の初期段階において短半減期の放射性物質の影響等によって BG レベルが上がり、そのレベルでは汚染の有無を識別できないという実効的な運用が不可能となった状態を想定する。すなわち、BG レベルが除染基準として計算された 13,000 cpm まで上昇したと仮定すると、BG の標準偏差<sup>17)</sup>は通常は 13,000 cpm より一定程度小さくなると想定される。そこで、BG の平均値として 13,000 cpm、標準偏差としてその最大値であると考えられる 13,000 cpm を仮定して、 $OIL4 = 13,000 \times 3 \approx 40,000$  cpm と設定すれば、BG のノイズに埋まらないサンプル信号として計測することができると考えられる。この方法は、「BG の 3 倍」を除染基準 (OIL4) として設定するものである。

上記の科学的根拠の説明では、原発事故の初期段階において BG レベルが 13,000 cpm まで上昇するような状況を仮定している。この状況が現実的に想定し得るものであるかどうかを検討した。第 4.2 節及び第 4.3 節では、各被ばく経路に対する表面汚染密度限度及び除染基準は、それぞれ 40 Bq/cm<sup>2</sup> 及び 13,000 cpm と計算された。これらの値は、主として I-131 を計算対象の放射性物質として導出されたものである。従って、BG レベルが 13,000 cpm まで上昇するような状況は、I-131 以外の $\beta$ 線放出核種の寄与（特に短半減期の放射性物質）、GM サーベイメータへの空間放射線 ( $\gamma$ 線) の寄与などが考えられる。この状況を再現するためには、原発事故時に放出される放射性物質の核種組成が重要な情報となる。しかし、この情報は事故の状況や事故発生からの経過時間などによって大きく異なる可能性があるため、この状況を事前に一般化することは困難であると考えられる。

#### b) 除染基準の 3 倍を設定したものという考え方

第二の候補は、除染基準の 3 倍を設定したという考え方である。ここでは、第 4.2 節及び第 4.3 節に示した通り、除染基準はあくまでも 13,000 cpm であると考ええる。原発事故の初期段階において、BG レベルが上昇した場合（例えば、除染基準の 2 倍である 27,000 cpm まで上昇した場合）には、BG を含む GROSS 値（ここでは  $13,000 + 27,000 = 40,000$  cpm）と BG（ここでは 27,000 cpm）を普通の精度で測定しても、正味 (NET) の汚染 (40,000 cpm と 27,000 cpm との差である 13,000 cpm) を定量することは誤差の伝播を考えると困難である。従って、GROSS 値で 40,000 cpm 以上ある場合には、有意に汚染が存在すると判定するのは理に適っている。この考え方では、上記 (1) に示した「BG の 3 倍」を除染基準 (OIL4) として設定したものと考え

<sup>17)</sup> 統計学分野における計数値の標準偏差は、計数値の分布が正規分布であると見做しているため、一般的に計数値の平方根で定義される。しかし、ここで想定した標準偏差は $\gamma$ 線の影響などの様々な要因を考慮している。従って、ここでは「BG の標準偏差」というよりは「BG 計数値のバラツキ」と表現する方が適切であると考えられる。

るのではなく、「除染基準の3倍」を「運用上の除染基準」として設定したと考える。

この考え方は、福島第一原発事故時における住民等や車両の汚染検査や除染作業の経験等に基づいて、原発事故の初期段階ではOIL4を3倍に引き上げることとし、時間経過に伴って短半減期核種が減衰した1か月後では、OIL4を計算された値に戻すように設定したものであり、避難退城時検査等マニュアル<sup>2)</sup>に記載された設定根拠を一定程度説明することができると考えられる。しかし、この方法では、「除染基準」と「運用上の除染基準」の関係を「3倍」としている根拠は経験的であり、「放射性物質の放出後1か月」の科学的根拠も説明されない。

上記の科学的根拠の説明では、原発事故の初期段階においてBGレベルが27,000 cpmまで上昇するような状況を例としている。BGレベルが27,000 cpmまで上昇するような状況は、I-131以外のβ線放出核種の寄与（特に短半減期の放射性物質）、GMサーベイメータへの空間放射線（γ線）の寄与などが考えられる。BGレベルが27,000 cpmより高くなった場合には、GROSSとBGの差からNETが13,000 cpm以下であることを定量することは、27,000 cpmの場合に比べてさらに困難である。すなわち、GROSSが40,000 cpm以上の場合に汚染ありと判定するのは理に適っている。一方、GROSSが40,000 cpm未満の場合には、GROSSとBGを普通の精度で測定すれば、その差が13,000 cpmを超えているかどうかを判定することは可能ということになる。しかし、避難退城時検査等マニュアル<sup>2)</sup>ではそれを求めず、除染不要と判定することになっている。例えば、BGが15,000 cpmで、GROSSが35,000 cpmの場合、GROSSとBGを普通の精度で測定すれば、その差（20,000 cpm）が13,000 cpmを超えていることを判定できるはずであるが、それは求められておらず、除染不要と判断することになる。このことの妥当性は、この考え方では説明できない。



### (3) 科学的根拠の検討・推定に関する今後の課題

以上に示した OIL4 の設定に対する科学的根拠の検討・推定においては、福島第一原発事故の経験や裕度を見込んだ値が採用されており、これらが重要な要因となっている。ここに示した 2 つの方法ともに無理な仮定や不合理な論理展開が見られるため、OIL4 設定に関して納得できる科学的根拠とは言い難いと思われる。このため、OIL4 の初期設定値は、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と見做すことができる。今後、計算された OIL4 の値を 3 倍程度の余裕を見込む水準として設定した科学的・技術的根拠をさらに明確化・具体化するとともに、3 倍に引き上げたことによる被ばく線量の評価や防護対策の実施への影響を検討すべきであろう。

OIL4 = 40,000 cpm と設定した科学的根拠に関する 2 つの説明では、それぞれ「BG」及び「計算上の除染基準」の 3 倍を OIL4 と設定している。しかし、OIL4 を議論する初期段階において、原子力規制委員会の下に設置された 2 つの検討チーム（原子力災害事前対策等に関する検討チーム、緊急被ばく医療に関する検討チーム）では、計算された値を「3 倍」という方法を使用しない科学的根拠が議論された。これは、IAEA が提案した OIL4β<sup>18</sup>（1,000 cps = 60,000 cpm）の値<sup>9)</sup>を基にして、導出のために用いた GC（最初の 7 日間における実効線量）の違い（IAEA：100 mSv、我が国：50 mSv）及び想定した GM サーベイメータの有効窓面積の違い（IAEA：15 cm<sup>2</sup>、我が国：20 cm<sup>2</sup>）を考慮して比例計算を実施し、我が国では OIL4 = 40,000 cpm と設定する案が原子力規制庁の検討チーム事務局から説明された<sup>41),42)</sup>。しかし、その後の議論・検討により、我が国では OIL の導出において GC や参考レベルを用いないことにしたので<sup>10)</sup>、上記の科学的根拠の議論は立ち消えとなった。しかし、この方法についても科学的根拠を合理的に説明できるどうかを検討する意義があると考えられる。

<sup>18</sup> 表面汚染密度による除染基準（OIL4）である。第 5.2.6 項を参照のこと。

## 5. 調査のまとめとその考察

本章では、第3章及び第4章において実施した避難退域時検査と除染基準に関する調査・推定結果をまとめるとともに、重要と思われるいくつかの側面から我が国における避難退域時検査及び除染基準について検討と考察を行った。

### 5.1 我が国における OIL4 の位置付けと特徴

IAEA の OIL4 は、

- a) 皮膚汚染からの外部被ばく
- b) 皮膚汚染に起因する不注意な経口摂取による内部被ばく

を軽減するための除染基準であり、皮膚に付着した放射性物質レベルが医療スクリーニングまたは防護措置を正当とするか評価するために設定されている。このため、手や顔の皮膚表面から 10 cm における空間放射線量率の測定による  $OIL4\gamma = 1 \mu\text{Sv/h}$  を推奨している。しかし、IAEA のいくつかの加盟国では  $\beta$  線検出器を使用しているため、手や顔の皮膚表面から 2 cm における  $\beta$  線計数率の測定による  $OIL4\beta = 1,000 \text{ cps} (= 60,000 \text{ cpm})$  も併せて提供している。IAEA の OIL4 は、GC (包括的判断基準) と計算モデルを使用して導出されている。

一方、我が国における OIL4 は、

- i) 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制
- ii) 表面汚染からの経口摂取による内部被ばくの抑制
- iii) 皮膚被ばくの低減
- iv) 汚染の拡大防止

を目的とした防護措置を適切に実施するために設定された除染の基準である。第 4.4 節に示すように、各被ばく経路からの被ばく影響を示す表面汚染密度限度のうち、最も厳しいものは i) 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制と iv) 汚染の拡大防止であり、 $40 \text{ Bq/cm}^2$  と計算された。従って、表面汚染密度限度を最も厳しいものに設定することにより、上記に示された i) ~ iv) のすべての目的を達成することができると言える。計算された表面汚染密度限度から GM サーベイメータの計数率  $13,000 \text{ cpm}$  に換算され、BG のノイズに信号が埋まらないレベルとして 3 倍程度の余裕を見込む水準として  $OIL4 = 40,000 \text{ cpm}$  が設定された。

我が国における OIL4 は、表面汚染からの吸入摂取による住民等個人の内部被ばくを抑制することばかりではなく、原子力災害対策重点区域の外側へ汚染の拡大を防止することを目的として設定されている。このため、IAEA が推奨している空間放射線量率の測定による  $OIL4\gamma$  ではなく、表面汚染密度がより正確に測定できる  $\beta$  線検出器による  $OIL4\beta = 40,000 \text{ cpm}$  を使用していることが第一の特徴である。また、OIL4 の導出について、GC や参考レベルを採用することなく、福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定されたことが第二の特徴である。

## 5.2 避難退域時検査と OIL4 に関する考察と提言

本節では、我が国における避難退域時検査と OIL4 の位置付けと特徴を考慮して、重要と思われるいくつかの観点から考察するとともに、それらに対する提言をまとめた。

### 5.2.1 避難退域時検査の目的と OIL4 の設定

IAEA の汚染検査は、皮膚に付着した放射性物質レベルが医療スクリーニングまたは防護措置を正当とするか評価するために実施される。このため、測定技術や検出器の性能にあまり依存せず、初期設定値を変更する機会が少ないというメリットがある、空間放射線量率の測定による  $OIL4\gamma = 1 \mu\text{Sv/h}$  が推奨されている。また、OIL1 または OIL2 を超えた区域の住民等は、まず UPZ 外へ避難や一時移転を行うように指示され、UPZ 外 ( $0.5 \mu\text{Sv/h}$  未満の BG 線量率の地域) に設立された避難者のためのセンターにおいて、汚染検査や簡易除染等が実施される。

一方、我が国における避難退域時検査の目的は、表面汚染からの吸入摂取及び経口摂取による内部被ばくの抑制、皮膚被ばくの低減、並びに汚染の拡大防止を適切に実施することである。また、避難退域時検査において使用される OIL4 及び物品等の除染の基準は、これらの措置を的確に実施するために設定された除染の基準である。OIL4 及び物品等の除染の基準は、第 4.2 節で示した通り、OIL4 は主として表面汚染からの吸入摂取による住民等個人の内部被ばくを抑制するために、物品等の除染の基準は主として汚染の拡大を防止するために設定された。住民等や車両等の表面汚染密度をより正確に測定するという観点から、我が国では表面汚染密度の測定による  $OIL4\beta = 40,000 \text{ cpm}$  が使用され、物品等の除染の基準も OIL4 $\beta$  と同じ値を採用している。OIL4 $\beta$  は、検出器の効率、有効窓面積、汚染面からの距離など様々な要因に大きく依存するため、使用する検出器が標準機器であるかどうかを確認し、標準機器でない時には初期設定値の再計算が必要になる場合があるということに留意すべきである。

また、汚染の拡大を適切に防止するという目的から、我が国における避難退域時検査は、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避難経路上またはその近傍の適所が選定される。すなわち、OIL1 または OIL2 を超えた区域の住民等は、UPZ 外に設置された避難所まで避難や一時移転を行うが、避難所まで一気に移動するという訳ではなく、その途中の UPZ 境界付近において避難退域時検査と簡易除染を受ける必要がある。

## 5.2.2 考慮する被ばく経路と対象とする放射性物質

### (1) 考慮する被ばく経路

第 5.1 節に記述された IAEA の OIL4 と我が国の OIL4 を比較すると、考慮している被ばく経路が異なっている。すなわち、皮膚汚染からの外部被ばくと皮膚汚染に起因する不注意な経口摂取による内部被ばくは双方に共通である。しかし、我が国の OIL4 導出では、

- a) 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばく
- b) 皮膚以外の地表に沈着した放射性物質による汚染からの経口摂取による内部被ばく
- c) 汚染の拡大

という被ばく経路を IAEA の OIL4 導出と比較して付加的に考慮しており、これらは我が国特有のものである。

a) の被ばく経路では、設定された OIL4 を超える皮膚の放射性物質レベルは、内部被ばくに関する防護対策の実施を正当とする被ばく線量を生じる放射性物質を、住民等個人が不注意に吸入摂取した可能性があることを示唆するものである。b) の被ばく経路では、第 4.2 節に示したように、皮膚汚染起源と地表汚染起源という 2 つの被ばく経路があるが、それぞれの表面汚染密度限度を比較すると、幼児及び大人ともに地表汚染起源の限度値は皮膚汚染起源の値の 3 % 程度と計算され、皮膚汚染起源からの経口摂取に比べて地表汚染起源からの経口摂取の影響は小さいと推定される。c) の汚染の拡大は被ばく経路を示しておらず、UPZ 内から避難や一時移転を行った住民等が直接受ける被ばく線量ではなく、汚染された車両や住民等が UPZ 外に汚染を持出・拡大させることによって、新たな住民等個人が特定の被ばく経路を通じてさらに被ばくするという汚染源の拡大を考慮したものである。

第 4.4 節に記述したように、a) 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくと、c) 汚染の拡大に対する表面汚染密度限度が 40 Bq/cm<sup>2</sup> という最も厳しい値と計算された。従って、我が国において表面汚染密度限度を最も厳しい 40 Bq/cm<sup>2</sup> に設定することにより、第 5.1 節に記載された i) ~ iv) のすべての目的を達成することができると言える。これら 2 つの被ばく経路は、IAEA の OIL4 設定では考慮されていないものであり、我が国特有の除染基準である。

IAEA の OIL4 導出において a) の被ばく経路を含めなかったのは、吸入摂取による内部被ばくに対する防護措置については、OIL4 による簡易除染という措置ではなく、別途 OIL8 として医療的措置を考慮しているためであると考えられる。IAEA では、原子力災害発生後に UPZ 外に設立したセンターにおいて汚染検査などを行い、そこで OIL4 による除染検査だけでなく OIL8 による甲状腺検査も同時に実施することとしている。従って、a) の被ばく経路を OIL4 に含める必要がないと判断されたと思われる。また、IAEA が b) の被ばく経路を含めなかったのは、上記に示したように、地表汚染起源からの経口摂取の影響は皮膚汚染起源からの経口摂取に比べてかなり小さいと推定され、この被ばく経路については除染という防護対策を実施する必要がないと判断されたためであると考えられる。さらに、IAEA が c) の被ばく経路を含めなかったのは、これも上記に示したように、汚染の拡大防止は UPZ 内から避難や一時移転を実施した住民等が直接受ける被ばく線量ではなく、汚染された車両や住民等が UPZ 外に汚染を持出・拡大させることを防ぐ目的で行われるため、各国の地域的状況や国内事情などによって考え方が大きく異なると想定される。このため、IAEA は標準的な方針やその計算モデルを示さなかったのではないかとと思われる。

(2) 対象とする放射性物質

原災指針<sup>1)</sup>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  $\mu\text{Sv/h}$  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  $\mu\text{Sv/h}$  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。このため、原子力災害時に避難または一時避難に利用された車両及び同乗した住民等は、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<sup>43)</sup>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 5-1 に示す。

表 5-1 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<sup>43)</sup>

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 5-1 に示された放射性物質のうち Xe-133 は希ガスなので、地表面等には沈着せず車両や住民等の汚染には寄与しない。福島第一原発事故の経験に基づくと、原発事故の初期段階において、少なくとも I-131、Te-132/I-132 及び Cs-134,137 の寄与が大きくなるであろう。車両や住民等の汚染に寄与する放射性物質は事故の状況や事故発生からの経過時間などによって異なる可能性がある。

避難退域時検査等マニュアル<sup>2)</sup>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、ゲート型モニタで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  $\beta$  線 40 kcpm（120 Bq/cm<sup>2</sup>、放射能 240 kBq）の様な 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<sup>4)</sup>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。

第 4.2 節において、各被ばく経路に起因する表面汚染密度限度を推定するに当たり、以下に示す 3 つの被ばく経路、すなわち、

- a) 地表に沈着した放射性物質の経口摂取による内部被ばく（地表汚染による経口摂取）
- b) 皮膚に付着した放射性物質の経口摂取による内部被ばく（皮膚汚染による経口摂取）
- c) 皮膚に付着した放射性物質による皮膚被ばく

においては I-131 を主たる計算の対象とした。I-131 以外の放射性物質のうち、車両や住民等の汚染及び住民等への被ばく影響に寄与すると思われる放射性物質について、各被ばく経路における表面汚染密度限度を試算し、I-131 に対する値との比較を行った。I-131 に対する各年齢群の表面汚染密度限度の値と、I-131/幼児の表面汚染密度限度に対する各放射性物質/各年齢の表面汚染密度限度の比を表 5-2 に示す。

表 5-2 I-131/幼児の表面汚染密度限度に対する  
各放射性物質/各年齢の表面汚染密度限度の比

被ばく経路	I-131/各年齢に対する 表面汚染密度限度 (Bq/cm <sup>2</sup> )		I-131/幼児の表面汚染密度限度に対する 各放射性物質/各年齢の表面汚染密度限度の比			
			I-131	Te-132/ I-132	Cs-134	Cs-137
地表汚染による経口摂取	幼児	$3.7 \times 10^5$	1.0	7.0	9.2	12
	大人	$1.8 \times 10^7$	49	208	16	7.6
皮膚汚染による経口摂取	幼児	$1.3 \times 10^4$	1.0	6.3	11	14
	大人	$5.9 \times 10^5$	49	192	18	9.2
皮膚被ばく	全年齢	$3.2 \times 10^6$	1.0	0.38	0.97	0.72

ここでは、I-131 以外の放射性物質として Te-132/I-132、Cs-134 及び Cs-137 を試算の対象とした。また、各被ばく経路及び各放射性物質に対する表面汚染密度限度は、第 4.2 節に記述された式 (4) ~ 式 (11) を使用して計算した。また、I-131 以外の放射性物質に対する各パラメータ値に



についても、I-131 と同じく IAEA EPR-NPP-OILs<sup>9)</sup>に記載されている値を利用した。

表 5-2 から分かるように、地表汚染による経口摂取及び皮膚汚染による経口摂取の被ばく経路については、I-131 及び幼児に対する表面汚染密度限度が最も厳しい値となっており、I-131 を計算対象としたことは妥当であったと言える。一方、皮膚被ばくについては、I-131 に対する表面汚染密度限度は必ずしも最も厳しい値となっていない。式 (11) から分かるように、皮膚被ばくに対する表面汚染密度限度は、同一の GC を用いた場合には、緊急の被ばく線量を考慮する実効期間 ( $\Delta_{acu}$ ) と皮膚に付着した放射性物質に対する線量率換算係数 ( $H_{sk}$ ) によって決められる。すなわち、これらのパラメータ値が小さいほど限度値は大きくなる (限度が緩くなる方向)。ここで、 $\Delta_{acu}$  は対象とした放射性物質の間でほとんど差異はないが、 $H_{sk}$  は他の放射性物質では I-131 の値と同等から 3 倍程度の値である。このため、I-131 に対する表面汚染密度限度は他の放射性物質と比較して最も緩い値となっている。各放射性物質に対する  $H_{sk}$  の大小は、放出される放射線 (特に  $\beta$  線) のエネルギーの大小に関係していると推察される。

しかし、放射性物質間の限度値の比に大きな差異がないこと (0.38~1.0)、しかも限度値自体が皮膚汚染による経口摂取の限度値と比べて 1 桁半ほど緩いこと (皮膚被ばく (全年齢) :  $3.2 \times 10^6$  Bq/cm<sup>2</sup>、皮膚汚染による経口摂取 (幼児) :  $1.3 \times 10^4$  Bq/cm<sup>2</sup>) を考慮すると、計算対象の放射性物質に I-131 を選択したことによる影響は小さいと考えられる。以上より、上記 a) ~ c) の被ばく経路に起因する表面汚染密度限度を推定するに当たり、I-131 を主たる計算対象としたことは妥当であったと結論される。

原発事故時に環境に放出される放射性物質の組成や物理的/化学的形態は、対象とする原発の炉型、燃焼度、放出シナリオ、事故進展などの様々な要因によって、時間とともに変化すると予想される。従って、事故発生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の実施方法や OIL4 設定の考え方などにどのような影響をもたらすかなどについて検討することは今後の課題である。

### 5.2.3 住民等の汚染検査の代わりに車両検査の代用

我が国における避難退域時検査では、以下の手順で行うことを基本としている。すなわち、自家用車やバス等の車両を利用して避難や一時移転を実施する住民等の検査は、乗員の検査の代用として、まず車両の検査を行い、その結果が物品等の除染の基準を超える場合には、乗員の代表者（避難行動が同様の行動をとった集団のうちの 1 名）に対して検査を行う。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。避難退域時検査をこのような手順に設定したのは、以下に示す車両や住民等に対する基本的な考え方から、同じ車両に乗車した家族や住民等は同程度の汚染を有していると考えられ、しかも車両の方が乗車している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ためである。

まず、UPZ 内の住民等は、全面緊急事態以降は屋内退避を実施した後、

- 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とること、
- 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とること、

が想定される。これらを考慮すると、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。次に、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に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、

が想定される。

上記の i) ～ iv) に示した家族や近隣住民等の避難行動及び車両の汚染経路や形態など、また避難退域時検査の迅速性と効率性を考慮すれば、避難退域時検査において最初に車両の検査を行い、その結果が物品等の除染の基準を超える場合には、乗員の代表者に対して検査を行うという手順は合理的かつ妥当であると言える。ただし、住民等の代表者については、避難行動が同様の行動をとった集団のうちの 1 名としているが、住民等の行動履歴を考慮すると、野外で遊んでいた子供や野外労働者という、より汚染が高いと予想される者を代表者を選択すべきである。その際、幼児や妊婦といった放射線感受性の高い集団に対する配慮（住民等の代表者に優先的に選択するなど）も必要である。

上記のような合理的な手順を採用しても、汚染が高い住民等を見逃す可能性を否定できない。このような住民等については、汚染の拡大防止という観点よりも、表面汚染からの吸入摂取及び経口摂取による検査時点以上の内部被ばくの抑制、並びに被ばく線量が高くなる住民等への医療的措置の実施という観点から、対策や措置が必要となるであろう。

#### 5.2.4 車両及び住民等に対する指定箇所検査の対象箇所

我が国における避難退域時検査では、車両と住民等の検査は、それぞれ指定箇所検査と確認検査から構成される。車両の指定箇所検査では、

- ① ワイパー部（フロントガラス下部）
- ② タイヤ側面（原則として全輪）

を対象としている。また、住民等の指定箇所検査では、

- ① 頭部、顔面
- ② 手指及び掌
- ③ 靴底

を対象としている。車両については、指定箇所検査を行った結果、物品等の除染の基準を超える場合には確認検査を実施するとともに、乗員の代表者に対して指定箇所検査を行う。住民等についても、指定箇所検査を行った結果、OIL4 を超える場合には確認検査を行うとともに、乗員の全員に対して検査を行う。

福島第一原発事故後に実施・刊行された JNES 報告書<sup>4)</sup>や最近刊行された JAEA 報告書<sup>45)</sup>によって、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）、並びにタイヤハウス、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（原則として全輪）において総じて汚染が高いことが分かった。この結果、これら 2 つの部位が避難退域時検査における車両の指定箇所検査の対象部位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高い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、対象部位の形状や面積、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、指定箇所検査の対象部位に追加するかどうかを検討すべきである。

一方、住民等の汚染については、大気中の放射性物質からの体表面への沈着及び地表や物品等に沈着した放射性物質の体表面への移行を考慮した場合に、頭部・顔面、手指及び掌、靴底は着衣等で覆われておらず大気や地表に露出している。これにより、これらの部位は汚染した大気や地表面に直接接触する可能性があるため、指定箇所検査の対象部位となっていると考えられる。これらの対象部位については、OIL4 を超えた場合には部位によって簡易除染の方法が異なっている。頭髪部、顔部、手指・掌という身体の露出した箇所に汚染がある場合は、ウェットティッシュ等で拭き取ることによりある程度の汚染を除去することができる。一方、着衣の表面や靴底に汚染がある場合には、汚染のない衣服や靴に着替える／履き替えることにより確実に汚染を除去することができる。

### 5.2.5 車両や携行物品に対する除染基準

我が国における避難退域時検査では、住民等に対する除染の基準である OIL4 と、車両や携行物品に対する物品等の除染の基準という 2 種類の基準が設定されている。しかし、我が国の原災指針<sup>1)</sup>では、OIL4 = 40,000 cpm、物品等の除染の基準 = 40,000 cpm というように同じ値が設定されている。第 4.2 節で示したように、OIL4 は主として表面汚染からの吸入摂取による住民等個人の内部被ばくを抑制するために、物品等の除染の基準は主として汚染の拡大を防止するために設定されている。第 4.2 節に示すように、40,000 cpm という値は、各被ばく経路からの被ばく影響を示す表面汚染密度限度のうち最も厳しいものとして、

i) 表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくの抑制

iv) 汚染の拡大防止

に対して計算された 40 Bq/cm<sup>2</sup> という値から導出されたものである。さらに、この表面汚染密度限度の値から GM サーベイメータによる計数率 13,000 cpm に換算し、BG のノイズに信号が埋まらないレベルとして 3 倍程度の余裕を見込む水準として  $13,000 \times 3 \approx 40,000$  cpm と設定された。

上記のように、OIL4 と物品等の除染の基準には同じ値が設定されているが、それぞれの設定目的と導出方法が異なっていることが認識された。しかし、我が国における避難退域時検査の位置付けと実施方法を考慮すれば、OIL4 と物品等の除染の基準に同じ値が設定されていることは、避難退域時検査の実行性と迅速性にとって効率的かつ合理的であると言える。

### 5.2.6 避難退域時検査における GM サーベイメータの使用

IAEA 文書<sup>6)9)</sup>に記載された汚染検査は、皮膚に付着した放射性物質レベルが医療スクリーニングまたは防護措置を正当とするか評価するために実施され、OIL4 もその目的のために設定されている。このため、軽水炉またはその使用済燃料からの放射性物質の放出を対象とした皮膚汚染レベルを評価するためには、空間放射線量率による基準 (OIL4 $\gamma$ ) で十分であり、その使用が推奨されている。OIL4 $\gamma$  を使用するメリットは、測定技術や検出器の性能に依存しないため、初期設定値を変更する機会が少ないことである。しかし、いくつかの加盟国では $\beta$ 線検出器を使用しているため、表面汚染密度による基準 (OIL4 $\beta$ ) も併せて提供している。OIL4 $\beta$  のデメリットは、検出器の効率、有効窓面積、汚染面からの距離など様々な要因に大きく依存するため、検出器の確認と初期設定値の再計算が必要になる場合があることである。

上記の OIL4 $\beta$  のデメリットにも拘らず、我が国における避難退域時検査では、車両や住民等の汚染検査には GM サーベイメータによる OIL4 $\beta$  が使用される。これには以下のような理由が考えられる。

- i) 福島第一原発事故時の経験によると、事故進展に伴って BG が上がったため、周辺環境の放射線影響をより受けやすい OIL4 $\gamma$  では汚染の有無の識別ができないなどの実効的な運用ができない状態となった。我が国における避難退域時検査は、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避難経路上またはその近傍の適所において実施されるため、より影響を受けにくい OIL4 $\beta$  の採用が有効である。
- ii) 避難退域時検査の主たる目的は、第 4 章に示したように、OIL4 では主として表面汚染からの吸入摂取による内部被ばくを抑制すること、物品等の除染の基準では主として汚染の拡大防止をすることである。住民等及び物品の汚染検査に対しては、表面汚染密度をより正確に測定できる GM サーベイメータの方が有効である。車両汚染については、空間放射線量率の測定値は、車両の他の部位（特に、エンジンルーム内におけるラジエター、エアフィルター、ワイパー排水口雨どいなど）の汚染からの影響を強く受ける可能性があるため、空間放射線量率の測定では表面汚染密度を正確に測定できない恐れがある。
- iii) 一般的に、GM サーベイメータによる OIL4 $\beta$  は検出器の性能や測定技術などの様々な要因に大きく依存するため、検出器の確認と初期設定値の再計算が必要になる場合があることがデメリットである。しかし、我が国において広く使用されている GM サーベイメータの種類は多くないため、最も数の多い種類に合わせて一旦 OIL4 $\beta$  の初期設定値を設定すれば、それを再計算する必要はそれほど多くないと考えられる。

避難退域時検査において GM サーベイメータを利用するに当たっては、

- a) 使用する GM サーベイメータが OIL $\beta$  を判定するための「標準的な検出器」<sup>19)</sup>かどうかを確認する。
- b) 標準的な検出器でない場合、校正係数と機器係数を用いて OIL4 $\beta$  を再計算する、または、標準的な空間放射線量率測定用検出器による OIL $\gamma$  を使用する。

という作業が必須である。

<sup>19)</sup> 我が国において広く用いられている $\beta$ 線の入射窓面積が 20 cm<sup>2</sup> の検出器であり、これを利用した場合の表面汚染密度は約 120 Bq/cm<sup>2</sup> に相当する。



### 5.2.7 避難退域時検査における BG の測定と使用

原災指針<sup>1)</sup>では、避難退域時検査の実施場所については、可能な限り BG 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と記載されている。原子力災害時にすべての避難退域時検査が BG の十分低い場所で実施され、BG のノイズに信号が埋まる状況になる懸念がないということであれば、OIL4 の初期設定値を 13,000 cpm と設定することは、汚染の拡大防止や被ばく線量の低減の観点からはより合理的であるかもしれない。

しかし、福島第一原発事故の際には、事故の進展に伴って BG レベルが上昇した地域の避難退域時検査場所では、13,000 cpm という除染基準を有意に判断することが困難となった。従って、原子力災害が発生した際に、BG のノイズに信号が埋まる状況になるような懸念がある地域に避難退域時検査場所が存在する場合には、原災指針に示されているように、OIL4 の初期設定値は BG の影響を加味するとともに、汚染検査や除染作業の迅速性と実行性を考慮して設定しておくべきであろう。

避難退域時検査における BG レベルの上昇には 2 つの要因が考えられる。1 つは、原発施設からの放射性物質の放出とそれに伴う大気中移流・拡散・地表面沈着によって、検査場所を含む周辺環境が汚染されたことによるものである。もう 1 つは、避難や一時移転を実施した住民等や使用された車両が、汚染の高い場所から検査場所へ移動することによって、検査場所及びその近傍に汚染が移送されたことによるものである。

環境放射線の測定における BG は、測定しようとする対象物以外からの放射線であると定義されるため、避難退域時検査の指定箇所検査における BG は、以下の 2 つの成分から構成されると考えられる。1 つは、検査場所を含めた周辺環境の汚染による影響である。これは、周辺環境の地表面や物品等に沈着した放射性物質からの放射線が検出器に入射することによる。もう 1 つは、指定箇所検査の部位以外の汚染による影響である。これは、車両の場合にはワイパー部とタイヤ側面以外、住民等の場合には頭部・顔面、手指・掌及び靴底以外に付着した放射性物質からの放射線が検出器に入射することによる。

我が国における除染基準である OIL4 及び物品等の除染の基準は、GM サーベイメータで測定した表面汚染密度による基準 (OIL4 $\beta$ ) を基本としている。また、避難退域時検査を実施するに当たり、検査の準備段階から検査終了までの間、NaI(Tl) シンチレーションカウンタを用いた空間放射線量率の測定により、定期的に BG の測定を行うこととしている。一方、GM サーベイメータを使用した表面汚染密度の測定については、その BG の測定方法が決められていない。しかし、展開/運用の手引き<sup>2)</sup>には、GM サーベイメータによる測定では「BG の減算は行わない。」という一文が記載されている。この一文から、GM サーベイメータによる表面汚染密度の測定値には、BG を含んだ GROSS 値を使用することが示唆されているが、詳細については記述がなく不明であるため、GROSS 値を使用する意味や影響を検討する必要がある。

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が、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 が高い検査会場を使用する場合には、指定箇所検査にしても確認検査にしても、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・把握し、次に GROSS 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、NETの測定値（GROSS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<sup>2)</sup>では、NaI(Tl)シンチレーションカウンタを使用した空間放射線量率の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、NaI(Tl)シンチレーションカウンタによる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、GMサーベイメータを使用した表面汚染密度の測定については、BGを含めた測定方法さえ記載されていない。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などについては、2種類の放射線検出器（NaI(Tl)シンチレーションカウンタとGMサーベイメータ）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。

展開／運用の手引きには、車両のタイヤ側面を測定する指定箇所検査にゲート型モニタを利用した場合について、BGの取り扱い（BG計数率と警報設定値の関係、BG計数率の上限値及びそれを超えた場合の措置）が記載されている。しかし、ゲート型モニタにおけるBGの取り扱いに関する検討は本報告書の対象外であるため、別の機会に委ねることとしたい。

### 5.2.8 避難退域時検査と甲状腺モニタリングの連携

我が国における避難退域時検査及び簡易除染は、これとほぼ同時期に実施される甲状腺被ばく線量モニタリング（以下、甲状腺モニタリングという）と同じく、原子力施設の立地道府県等が実施主体となる。原子力災害の初期段階において 2 種類の検査の実施時期がほぼ重複すると想定されるため、多数の要員や多量の資機材を必要とする 2 種類の検査をほぼ同時に実施することは立地道府県等にとって大きな負担となるであろう。

また、避難退域時検査と簡易除染は、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避難経路上またはその近傍の適所において実施される。一方、甲状腺モニタリングについては実施場所がまだ明確に定められていないが、原子力災害対策重点区域の外側に設置される避難場所またはその近傍において実施されると想定される。

このため、国、関連公共機関、関係する地方公共団体などが組織的に立地道府県を支援する体制を構築することが必要である。特に、甲状腺モニタリングにおいて今後の検討課題となっている、測定結果に基づく甲状腺の被ばく線量の推定、推定結果に関する住民等への説明、住民等の健康に係る評価や健康相談等の施策への反映<sup>46)</sup>などについては、立地道府県等へ過度な負担を強いることのないように留意すべきである。また、避難退域時検査・簡易除染と甲状腺モニタリングに共通した諸業務を機能的に結び付けることにより、全体の業務量を減少させるような方策の検討が必要である。

避難退域時検査における OIL4 は、第 4.4 節に示したように、主として表面汚染からの吸入摂取による住民等個人の内部被ばくを抑制することを目的として設定されている。すなわち、甲状腺被ばく線量を推定する直接的な測定ではないとは言え、吸入摂取による幼児の内部被ばく線量が医療スクリーニングまたは防護措置を講じる GC に達している可能性があることを、皮膚に付着した放射性物質レベルが示しているものである。この意味では、避難退域時検査において OIL4 を超過した住民等については、その後で実施される甲状腺モニタリングにおいて注意深い検査を実施すべきである。

甲状腺モニタリングでは、測定対象者の行動履歴に関する情報は放射性ヨウ素を吸入した時期や様態等を把握するために不可欠であり、測定結果に基づく甲状腺被ばく線量を正確に推定する上で重要な情報である。このため、避難退域時検査において確認検査の対象となった住民等については、測定結果とともに行動履歴に関する情報を予備的に調査・記録して甲状腺モニタリングに引き継ぐことは有効だと考えられる。この際に、避難や一時移転を行う住民等の行先（指定された避難所あるいは親戚の住宅等など）も行動履歴の情報に加えておけば、甲状腺モニタリングをより円滑に実施することができると予想される。これは、避難や一時移転を行う住民等は指定された避難所に移動するとは限らず、親戚の住宅や民間の宿泊施設などに向かうことが考えられるので、甲状腺モニタリングの測定対象から漏れてしまう恐れがあるためである。

### 5.3 OIL4 の改定時における留意点

我が国における OIL4 は、福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定したものであり、GC や参考レベルを用いて導出したものではない。将来に万が一、原子力災害が発生して放射性物質が環境に放出されるような事態が発生した場合には、福島第一原発事故における経験等に基づいて設定された現行の OIL4 の初期設定値をそのまま適用できる訳ではなく、原子力災害の状況や進展など、特に地表に沈着した放射性核種の組成が明確になった状況、あるいは避難や一時移転を実施した住民等の人数が避難退域時検査や除染作業という防護対策の対応能力をはるかに超えると予想された状況などにおいて、その初期設定値の改定が必要な場合があると予想される。

そのような場合には、OIL4 の初期設定値の改定に関する方針と方法を予め検討・決定しておくことが必要である。この際には、福島第一原発事故の経験等に基づいた設定方法ではなく、GC や参考レベルを用いて導出する方法の方が、より合理的でありかつ系統的に OIL4 の初期設定値を設定できると考えられる。そのためには、本報告書の第 4 章で示した導出方法及び第 5 章で示した考察や提言を考慮して、OIL4 を簡単かつ迅速に改定できるツールを準備しておくことが有効であろう。

そのツールを準備する方法として、IAEA EPR-NPP-OILs<sup>9)</sup>に添付された CD に格納された OIL 計算用スプレッドシートを利用することを検討すべきであろう。このツールは Excel®のマクロを利用して作成されており、マクロの使用言語はマイクロソフト社の「Visual Basic for Applications (VBA7)」である。ただし、この計算ツールでは、OIL4 を初め各種の OIL は IAEA EPR-NPP-OILs に記載された方針と導出方法に従って計算される。従って、この計算ツールはあくまでも各種の OIL を簡単かつ迅速に計算するツールを検討・準備するための参考情報であり、実際に当該ツールを適用する際には我が国における方針や導出方法を考慮して、計算ツールの中身を改定する必要がある。

当該計算ツールを利用すれば、IAEA EPR-NPP-OILs に記載された方法によって、OIL4 を GC から導出することができる。IAEA が用いた OIL4 の導出方法の概要と対応する GC は表 3-2 に記載した通りである。IAEA が用いた GC と計算モデルによって OIL を導出する方法 (OIL4 の導出も含む) には、我が国における福島第一原発事故での実測値と経験等を利用した導出方法と比べて、以下に示すようないくつかの特徴とメリットが存在する。

- a) GC と計算モデルによる OIL を導出する方法では、計算モデル及びパラメータ値について最新のものが用いられているため、GC から系統的に一貫した導出が可能である。その上、設定される放射性核種 (38 核種) とその組成 (19 種類)、計算対象とする住民等の構成員 (3 つの年齢群 + 胎児)、想定し得る被ばく経路 (9 種類) とそれらに対応する線量換算係数、モデル化された放射性物質の環境中移行挙動、使用される検出器の応答などの情報がすべて明示されているため、根拠が明確となり一貫した説明が可能である。
- b) 設定されている放射性核種とその組成は、軽水炉またはその使用済燃料からの放射性物質の放出を対象としている。これにより、炉型、燃焼度及び放出シナリオといった最大範囲の条件を想定しているため、あらゆる種類の軽水炉事故に適用することが可能である。OIL を導出するに際して必要かつ重要な放出源情報については、放出される放射性物質の総放出量の絶対値ではなく、計算対象となる放射性物質の核種組成の相対値であることに留意すべきである。

- c) 計算対象となっている住民等の構成員は、1歳幼児、10歳小児、大人（17歳以上）という3つの年齢群に加えて胎児（胎芽を含む）である。住民等のすべての構成員を計算対象としているため、放射線感受性が高い幼児や胎児に対する放射線影響も的確に考慮することができる。
- d) 原発から放出される放射性物質の組成は、それらの物理的半減期の違いによって刻々変化するため、それに伴って計算される OIL の計算結果も原発のシャットダウンからの経過時間及び放射性核種組成に依存した値として計算される。IAEAによる計算結果は、経過時間及び放射性核種組成依存の値に対して最終的に各 OIL をどのように設定すべきかを比較的容易に理解することができる。

上記 d) に示した想定された放射性核種組成については、考慮する原発の炉型、燃焼度及び放出シナリオにより、19種類の放射性核種組成が設定されている。放射性核種組成の構成は以下の通りである。すなわち、

- i) 炉型：PWR/BWR
- ii) 燃焼度：標準/高燃焼度（3,000 MW(th)）
- iii) 放出シナリオ：推定値（炉心から格納容器への放出：11種類、炉心から大気への放出：4種類、使用済燃料：1種類）/実際値（チェルノブイリ事故：1種類、福島第一原発事故：2種類）

である。

IAEA EPR-NPP-OILs では、OIL4 に対して原子炉のシャットダウンからの経過時間及び放射性核種組成に依存した値（19種類）を当該計算ツールによって計算し、基本的にはそれらすべての計算結果を下回るような最大で単一の値を初期設定値として設定する。OIL4 $\beta$  及び OIL4 $\gamma$  に対する経過時間と放射性核種組成に依存した計算値（19種類）、及び設定された初期設定値（OIL4 $\beta$ ：1,000 cps = 60,000 cpm、OIL4 $\gamma$ ：1  $\mu$ Sv/h）の関係をそれぞれ図 5-1 及び図 5-2 に示す。IAEA EPR-NPP-OILs において考慮された 19種類の放射性核種組成は、炉型、燃焼度及び放出シナリオといった最大範囲の条件を想定しているため、実際に原子力災害が発生して OIL4 を改定する必要がある場合には、事故の状況や進展などに応じて条件を絞り込むことによって、より合理的かつ実行性のある OIL4 を再設定することができると考えられる。

上記の方法などにより再設定された OIL4 に基づいて簡易除染などの防護措置をより合理的かつ実効的に実施することが可能となる。ただし、OIL4 に関連する被ばく影響による健康リスクは比較的小さいと思われるので、汚染検査や簡易除染がより重要な防護対策の妨げにならないように十分に配慮することが重要である。すなわち、OIL1 に基づいて実施される避難、OIL2 に基づいて実施される一時移転、病傷者の処置等が汚染検査や簡易除染に優先する必要があることに留意すべきであろう。



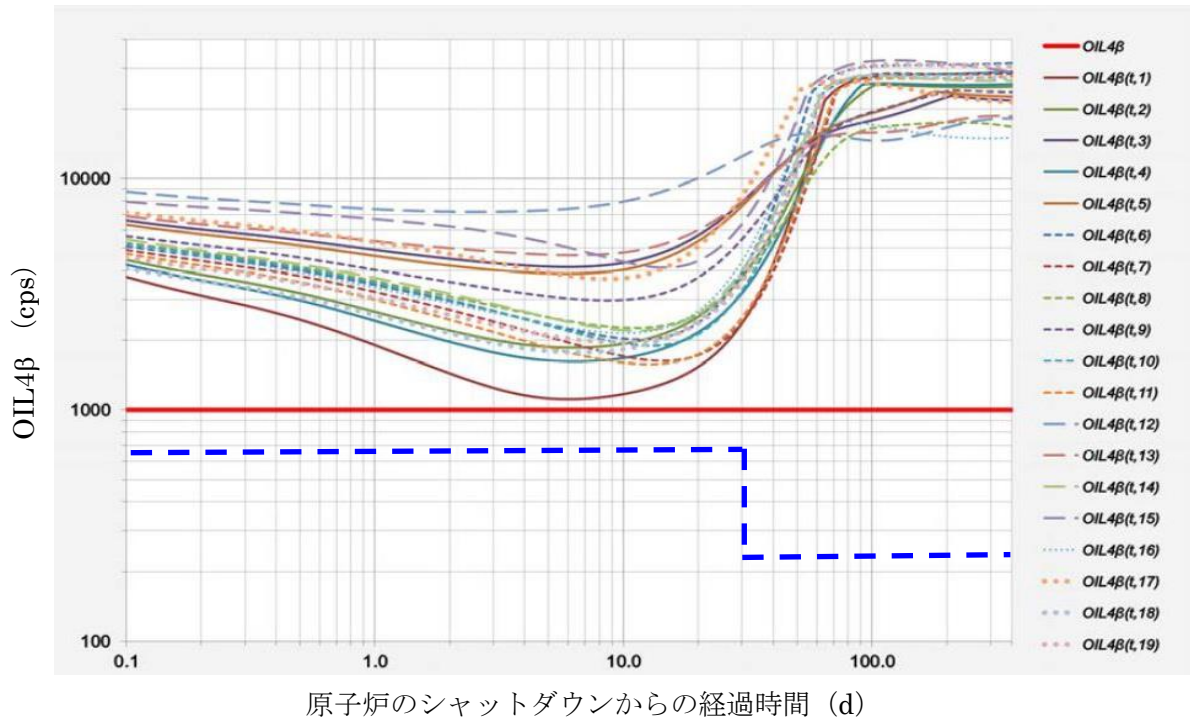


図 5-1 経過時間及び放射性核種組成に依存した OIL4β の計算値（19 種類の曲線）と設定された初期設定値（参考文献 9）の図に一部加筆  
 (IAEA (赤の実線) : 1,000 cps、  
 我が国 (青の点線) : 1 か月までは 670 cps、それ以降は 220 cps)

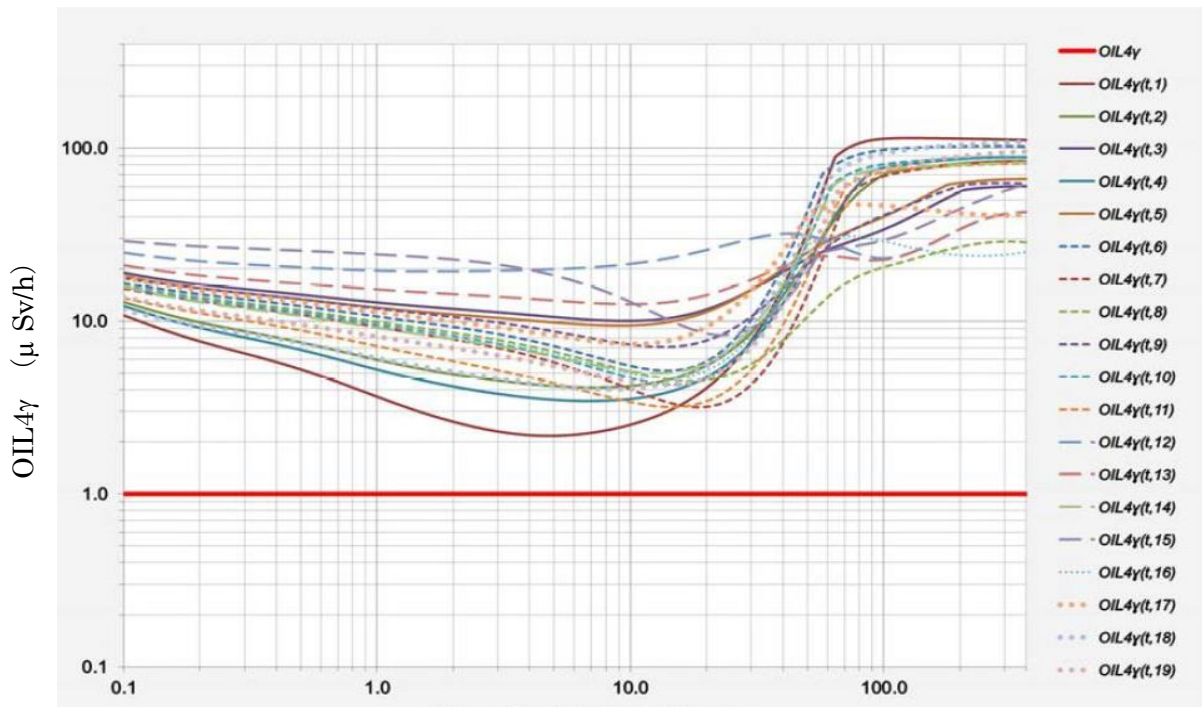
図 5-1 には、我が国における OIL4β の初期設定値（青の点線）も同時に示した。IAEA の OILβ と我が国における OILβ では、設定の考え方、考慮している被ばく経路、導出の方法などが異なっているため直接的な比較はやや困難であるが、我が国における OIL4β にはいくつかの特徴が見られる。第一の特徴は、IAEA の初期設定値より低く設定されていることである。すなわち、住民等への被ばく影響を最小限に抑えるという観点からは、IAEA が設定した値より厳しい値となっている。しかも、IAEA の OIL4β 値は一定の値（1,000 cps）に設定されているが、我が国では初期の 40,000 cpm = 670 cps から 1 か月後には 13,000 cpm = 220 cps に引き下げられている。これは、OIL4β を設定する上で重要な放射性物質である I-131 の物理的半減期が約 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たことによる<sup>2)</sup>。

第二の特徴は、IAEA によって計算された 19 種類の経過時間及び放射性核種組成依存の OIL4 は、1 か月から数か月後において急激に上昇しているにも拘らず、我が国の OIL4β は逆に 3 分の 1 に引き下げられていることである。我が国の OIL4β が低下している理由は、上述した通り、放射性ヨウ素による影響の急速な減少を考慮に入れたことによる。一方、IAEA による計算値の上昇は、設定の考え方、考慮した被ばく経路、導出の方法が関係していると考えられる。

IAEA の OIL4 では、皮膚汚染からの外部被ばくと皮膚汚染に起因する不注意な経口摂取による内部被ばくという 2 つの被ばく経路を考慮している。計算対象としている 2 つの被ばく経路では、皮膚に付着した放射性物質の皮膚からの除去について、14.7 時間という短期間の除去半減期

が設定されている<sup>9)</sup>。このため、OIL4 の計算方法では、原子炉のシャットダウンからの経過時間後における放射性核種組成が重要な要素であり、これによって OIL4 はほぼ決定付けられる。すなわち、事故初期では短半減期核種の寄与が支配的であるが、ある程度時間が経過して短半減期核種が減衰すると長半減期核種の寄与が支配的になる。この理由により、IAEA の計算モデル及びパラメータ値を使用した経過時間及び放射性核種組成依存の計算結果は、10 日前後を極小値としてその後 1 か月から数か月後において急激に上昇している（緩くなる方向）と想定される。

一方、我が国の OIL4 は 1 か月後に 3 分の 1 に低下している（厳しくなる方向）。これは、主として汚染検査における OIL4 の導出に関する考え方の違いに起因していると思われる。すなわち、我が国では福島第一原発事故時における住民等や車両の汚染検査や除染作業の経験等を踏まえ、原発事故の初期段階では短半減期の放射性物質の影響によって BG レベルが上がり、そのレベルでは汚染の有無の識別できないという実効的な運用が不可能の状態となった。このため、事故の初期段階では OIL4 を 3 倍に引き上げる方策を取り、時間経過に伴って短半減期核種が減衰したために、OIL4 を計算された値に戻すように判断したためであると考えられる。事故の初期段階において OIL4 を 3 倍に引き上げる方策については、その経緯と科学的根拠に関して第 4.4 節に記載している。



原子炉のシャットダウンからの経過時間 (d)

図 5-2 経過時間及び放射性核種組成に依存した OIL4 $\gamma$  の計算値 (19 種類の曲線) と設定された初期設定値<sup>9)</sup>  
(IAEA (赤の実線) : 1  $\mu$ Sv/h)



## 5.4 OIL4 と他の OIL 及び基準の関係

### (1) 他の OIL との関係

第 5.3 節で取り扱った OIL4 だけではなく、現行の原災指針<sup>19)</sup>で定められた他の OIL についても、それらの初期設定値の導出には GC や参考レベルを設定しておらず、福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定したものである。

他の OIL の初期設定値の改定についても、福島第一原発事故の経験等に基づいた設定方法ではなく、GC や参考レベルを用いて導出する方法の方が、より合理的でありかつ系統的に各種の OIL の初期設定値を設定できると考えられる。ここでも、IAEA EPR-NPP-OILs<sup>20)</sup>に添付された OIL 計算用スプレッドシートを利用することを検討すべきであろう。当該計算ツールを利用すれば、IAEA EPR-NPP-OILs に記載された方法によって、OIL4 と同様に他の OIL も簡単かつ迅速に GC から導出することができる。

OIL1 及び OIL2 に対する経過時間及び放射性核種組成に依存した計算値（19 種類）及び設定された初期設定値（OIL1：1,000  $\mu\text{Sv/h}$ 、OIL2：最初の 10 日間は 100  $\mu\text{Sv/h}$  でそれ以降は 25  $\mu\text{Sv/h}$ ）の関係をそれぞれ図 5-3 及び図 5-4 に示す。OIL4 とは異なり、設定された初期設定値は計算値の一部を上回っていることが特徴である。これは、OIL1 や OIL2 が避難や一時移転という住民等の移動を伴う防護措置に使用されるため、初期設定値が過度に小さく設定されないようにしたものであると考えられる。

図 5-1 ～ 図 5-4 に示された経過時間及び放射性核種組成依存の計算結果（19 種類）には、極小値や不連続点が見られる。これは、IAEA のモデル計算による OIL の導出において、Max 関数や Min 関数<sup>20)</sup>が用いられているためであると考えられる。Max 関数は、被ばく線量計算において最大の被ばくを受ける年齢群を設定するために用いられる。すなわち、第 5.3 節に記述した 3 つの年齢群及び胎児に属する仮想的な個人が受ける最大の被ばく線量を計算するために使用される。一方、Min 関数は、計算された被ばく線量と GC を比較することにおいて、最小の健康影響を設定するために用いられる。すなわち、設定された各種の GC に対して健康影響が発現する最小の地表沈着量を計算するために使用される。

また、図 5-1 ～ 図 5-4 から分かるように、各種の OIL に対する経過時間及び放射性核種組成に依存した計算値（19 種類）には 1 桁～2 桁の時間的変動が見られる。設定された各 OIL の初期設定値は、基本的には経過時間及び放射性核種組成依存のすべての計算結果を下回るような最大で単一の値として設定される。従って、IAEA EPR-NPP-OILs において考慮された 19 種類の放射性核種組成は、炉型、燃焼度及び放出シナリオといった最大範囲の条件を想定しているため、実際に原子力災害が発生して OIL を改定する必要がある場合には、事故の状況や進展などに応じて条件を絞り込むことによって、より合理的かつ実行性のある OIL を再設定することができるだろう。特に、OIL1 と OIL2 は避難や一時移転という住民等の移動を伴う防護措置に使用されるため、諸条件に応じた最適な値を設定することは非常に重要である。

図 5-3 及び図 5-4 には、我が国で設定された OIL1 及び OIL2 の初期設定値を青の点線で示した。我が国の初期設定値は、OIL4 の設定と同様に、GC や参考レベルを用いて導出したものでは

<sup>20)</sup> Max 関数とは、関数の引数の中から最大値を求める関数である。逆に Min 関数とは、関数の引数の中から最小値を求める関数である。

なく、福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定したものである。2つの図から分かるように、我が国における OIL1 と OIL2 の初期設定値は、IAEA の初期設定値より低く設定されている。すなわち、住民等への被ばくの影響を実行可能な範囲で最小限に抑えるという観点から、双方とも IAEA が設定した値より厳しい値となっている。

OIL1 や OIL2 を過度に高く設定すれば、住民等への被ばく線量を適切に抑制または減少させることができなくなり、健康リスクが増大すると予想される。逆に、OIL1 や OIL2 を過度に低く設定してしまうと、避難や一時移転の実施を指示される住民等の人数が多くなり、汚染検査や除染などの防護対策を実施する要員やそれに使用する資機材などの資源が増加することが予想される。さらに、道路や各種の施設において激しい渋滞を引き起こし、避難や一時移転を行うことにより却って健康が損なわれることも想定される。

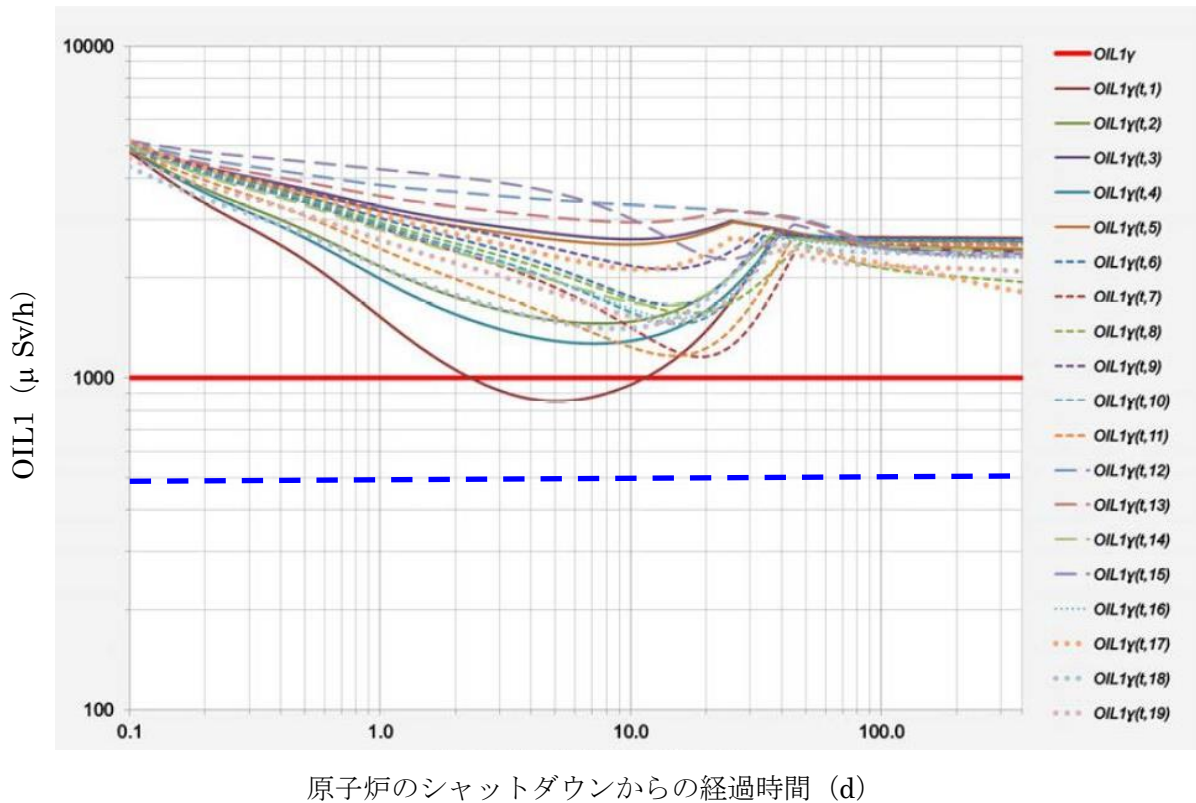
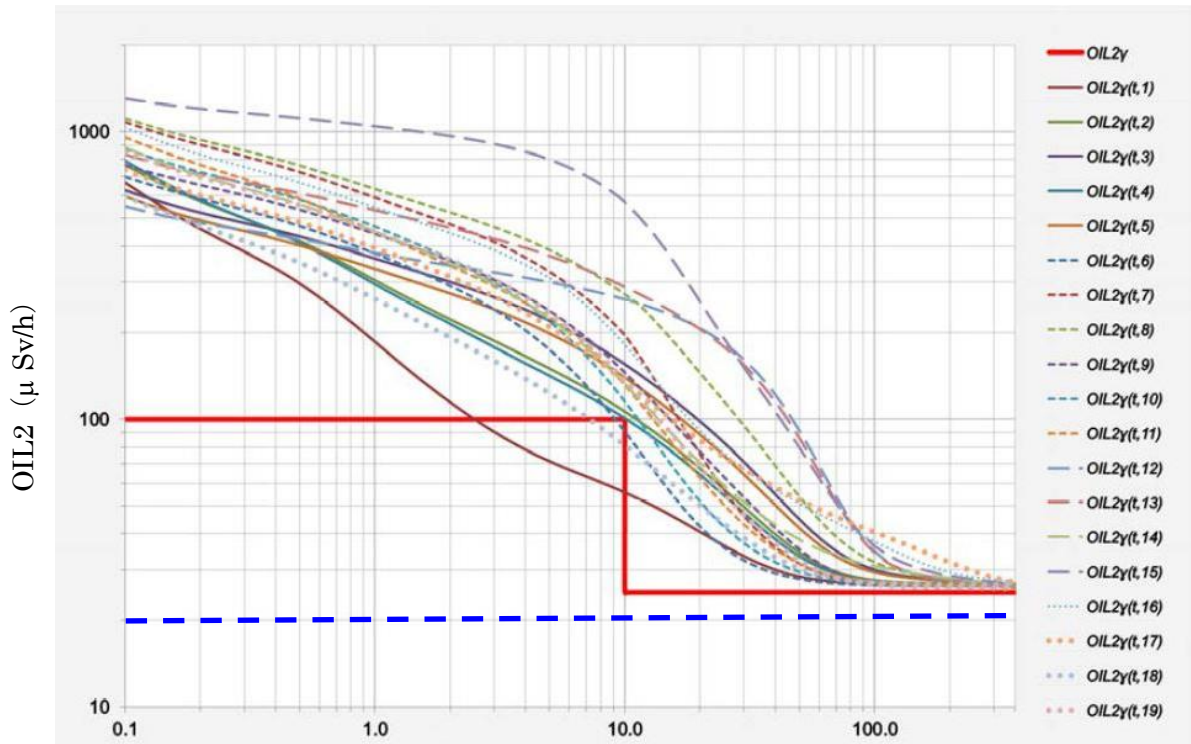


図 5-3 経過時間及び放射性核種組成に依存した OIL1 の計算値（19 種類の曲線）  
と設定された初期設定値（参考文献 9）の図に一部加筆  
（IAEA（赤の実線）：1,000 μSv/h、我が国（青の点線）：500 μSv/h）



原子炉のシャットダウンからの経過時間 (d)

図 5-4 経過時間及び放射性核種組成に依存した OIL2 の計算値 (19 種類の曲線) と設定された初期設定値 (参考文献 9)の図に一部加筆  
 (IAEA (赤の実線) : 最初の 10 日間は 100  $\mu\text{Sv/h}$ 、  
 それ以降は 25  $\mu\text{Sv/h}$ 、我が国 (青の点線) : 20  $\mu\text{Sv/h}$ )

IAEA EPR-NPP-OILs<sup>9)</sup>に記載された OIL の導出方法では、放射性物質の地表沈着量を起点として、最初に環境中移行挙動モデルを使用して環境媒体中濃度を算出し、次に被ばく形態や生活習慣等を考慮した被ばく線量評価モデルを用いて住民等の被ばく線量を計算し、最後に GC と比較することによって OIL を導出する。計算モデルによって導出された OIL を実際に適用する際には、いくつかの留意事項がある。第一に IAEA では、経過時間・放射性核種組成依存の OIL を計算する最終段階において、「荷重係数 (Waiting Factor : WF)」という概念を導入している。具体的には、OIL1 では  $WF_{OIL1} = 3$ 、OIL2 では  $WF_{OIL2} = 1$  が用いられている。この係数は、「正当でない」防護対策が実施されることを回避するために用いられるものである。「正当でない」とは、上記で示したように、防護対策の実施が全体として「利益より損害」をもたらすと予想されるような状況を考慮したものである。

第二に、計算モデル、パラメータ値、仮定や条件などには、不十分な情報、一般化、運用上の考慮などが原因となる「安全側評価」が存在するため、その度合を事前に見極めておくことも重要である。我が国において GC と計算モデルを使用して OIL を導出するような場合には、我が国に適応した WF や安全側評価の度合について、原子力防災あるいは被ばく線量評価の専門家によって適切に判断・決定されることが重要である。

第一の留意事項について、IAEA EPR-NPP-OILs では、OIL1 に関して  $WF_{OIL1} = 3$  とした科学的・技術的根拠として、計算モデルを用いて OIL1 を算出する期間と関連する防護対策を講ずる期間のずれを補正するためであるとしている。すなわち、OIL4 を算出する期間（GC の設定期間）は 7 日間であるにも拘らず、住民等に対する被ばく線量の大半は数時間から 1 日程度以内に発生し、それに伴う避難という防護対策も 1 日程度以内実施されることによる。このため、 $WF_{OIL1} = 3$  というように OIL1 を大きく設定する荷重係数が妥当であると判断された。一方 OIL2 については、一時移転という防護対策を講ずるのに 1 週間から数週間の時間的余裕があり、効率的な防護対策を講ずるために設定された OIL2 の初期設定値は合理的であると考えられた。このため、 $WF_{OIL2} = 1$  というように荷重係数は変更しないことが妥当であると判断された。

また、第 5.3 節において議論した OIL4 については、IAEA は OIL4 $\gamma$  及び OIL4 $\beta$  とも  $WF_{OIL4} = 0.5$  を採用している。これは、OIL4 を超えるような皮膚汚染は、この検査と同時に評価される甲状腺への内部被ばくの基準（OIL8）を超えるような放射性ヨウ素の吸入摂取または経口摂取を示唆していること、原発事故時に OIL4 に基づく除染を受ける住民等の人数は限定されると予想されることにより、 $WF_{OIL4} = 0.5$  というように OIL4 を小さく設定する荷重係数が妥当であると判断された。一方我が国では、第 4.4 節で議論したように、最終段階において OIL4 を大きく設定するような方策、すなわち  $WF_{OIL4} = 3$  に相当するような方策が取られている。これについては、IAEA と我が国では、OIL4 を設定する上での目的、被ばく経路を含めた導出方法、福島第一原発事故の経験の取入れなどが異なっているため、これらの違いが反映されて荷重係数（WF）を逆方向に設定する状況が生じたものと考えられる。

## (2) 他の基準との関係

原災指針<sup>43)</sup>及び甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル<sup>46)</sup>では、UPZ外に設置される避難所またはその近傍の適所において甲状腺モニタリングが実施されると記載されている。甲状腺モニタリングでは、測定対象者に最初に簡易測定を行い、次にスクリーニングレベル（以下、SLという）を超える者を対象として詳細測定を行う。ここでは、SLは0.2 µSv/hを目安とし、我が国において空間放射線量率の測定のために広く用いられているNaI(Tl)サーベイメータを利用する。また、実際に原子力災害が発生してSLを適用する場合には、原子力災害等の状況に応じてSLを適切に見直す必要があるとされており、この考え方は必要に応じてOILを改定するという考え方と同じである。

甲状腺モニタリングの簡易測定に使用するSLの見直しについても、OILの初期設定値の導出と同じように、SLの見直しに関する方針と方法を予め検討・決定しておくことが必要である。この場合でも、福島第一原発事故の経験等に基づいた導出方法ではなく、GCや参考レベルを用いて導出する方法の方が、より合理的でありかつ系統的にSLを見直すことができると考えられる。原子力機構では、量子科学技術研究開発機構によって開発され、放射性ヨウ素の体内動態モデルが組み込まれている線量計算ソフトウェア<sup>47)</sup>を用いて、原子力災害が発災した時の住民等の甲状腺モニタリングの簡易測定を行うに当たって、SLを変更した際の甲状腺中ヨウ素放射能と甲状腺被ばく線量、測定可能期間の関係を計算し、スクリーニングの実行可能性を評価した<sup>48)</sup>。この結果は、必要に応じて今後SLが見直される際の技術的参考情報となるものである。

各種のOILや甲状腺SLなどの基準を改定する際には慎重に判断・決定することが必要である。すなわち、これらの改定した値が我が国における他の基準や規制値と整合性があり、矛盾がないことが非常に重要である。



## 6. おわりに

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、周辺の住民等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、原子力災害時には OIL 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が実施される。この際、避難や一時移転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。ここでは、我が国では OIL4 = 40,000 cpm という値が除染を講じる基準として用いられる。我が国の OIL は、IAEA や ICRP が設定した GC や参考レベルを採用して導出したものではなく、福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定したものである。

原災指針<sup>1)</sup>によれば、避難退域時検査の目的は、表面汚染からの吸入摂取及び経口摂取による内部被ばくの抑制、皮膚被ばくの低減、並びに汚染の拡大防止を的確に実施することである。また、避難退域時検査において使用される OIL4 は、これらの措置を適切に実施するために設定された除染の基準である。原子力災害が発生した際、上記の経緯と導出方法で設定された OIL4 の初期設定値を改定する必要がある場合がある。本報告書の著者らは、初期設定値の改定を検討するに際して、福島第一原発事故当初に用いられた OIL4 = 13,000 cpm はどのような科学的根拠により導出されたのか、OIL4 = 40,000 cpm は福島第一原発事故の経験等をどのように反映させたのか、そして、OIL4 = 40,000 cpm という単一の値で、避難退域時検査の目的をすべて達成できるのか、という検討すべき課題があることを認識した。

上記の検討課題に関する系統的かつ詳細な記述は、原子力規制委員会や内閣府（原子力防災担当）といった原子力防災の所掌府庁から刊行・公表されている公式文書には見受けられなかった。また、原子力防災や被ばく線量評価の専門家でさえも経緯や導出方法などを全体に亘って詳細に説明できる人はほとんどいないことを認識した。このような状況を考慮して、本報告書では、避難退域時検査の簡易除染の基準として用いられる OIL4 を科学的・技術的に説明するために、その科学的根拠や導出方法を調査・推定するとともに、それらの結果について検討と考察を行うことを目的とした。

上記の目的を達成するため、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、我が国における避難退域時検査の概要について調査した。ここでは、本報告書の対象となっている住民等、車両及び携行物品に対する汚染検査の手順・方法と検査で用いられる除染基準及びそれを超えた場合に行われる簡易除染の手順や方法について調査した。

次に第 3 章では、我が国が定めた避難退域時検査と IAEA 文書に記載された汚染検査を比較・検討した。ここでは、我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査の目的、方法・手順及び実施場所という項目についてそれぞれ比較するとともに、検査における測定の基本と留意事項について比較を行った。我が国の避難退域時検査と IAEA の汚染検査では、共通点よりも相違点の方が多いことが分かった。特に、検査の目的については、IAEA の汚染検査では、皮膚汚染に起因する住民等の内部及び外部被ばくを低減することを目的として、住民等に対する医療スクリーニングまたは防護措置を正当とするか評価するために実施される。一方、我が国の避難退域時検査は、3 つの被ばく経路からの住民等の内部及び外部被ばくを適切に抑制・低減することに加えて、汚



染の拡大を適切に防止するために実施される。検査の目的が異なるために、検査の方法・手順や実施場所、検査における測定の基本も異なっている。

また、検査における除染の基準（OIL4）及びそれを超えた場合に行われる簡易除染についても比較・検討を行った。ここでは、OIL4 の設定目的、初期設定値及び導出方法、並びに OIL4 に関する防護措置という項目についてそれぞれ比較するとともに、簡易除染の方法について比較を行った。我が国と IAEA の汚染検査と簡易除染では、共通点よりも相違点の方が多いことが分かった。特に、OIL4 の設定目的については、上述したように検査の目的自体が異なっているために、それに応じて OIL4 の設定目的も異なっている。さらに、OIL4 の導出方法については、IAEA では、他の OIL の導出と同様に、GC と計算モデルを使用して導出した。一方我が国では、GC や参考レベルを採用することなく、福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定した。OIL4 の設定目的と導出方法の違いに応じて、初期設定値、それに関する防護措置、簡易除染の方法も異なっている。

本報告書の第 4 章では、最初に、我が国における OIL4 設定の考え方と考慮する被ばく経路という除染基準を検討する上での根拠を示した。被ばく経路については、原災指針における避難退域時検査の実施目的及び OIL4 の設定目的に従って、表面汚染からの吸入摂取及び経口摂取による内部被ばくの抑制、皮膚被ばくの低減、並びに汚染の拡大防止という 4 つの被ばく経路を考慮することとした。次に、被ばく経路毎の線量基準に対応した表面汚染密度限度を導出する方法を調査・推定した。さらに、表面汚染密度と GM サーベイメータの計数率の関係に基づいて、我が国における OIL4 を設定する方法を記述した。我が国における OIL4 の導出方法を調査・推定した結果、上記の 4 つの被ばく経路のうち、OIL4 は主として表面汚染からの吸入摂取による住民等の内部被ばくを抑制するために、物品等の除染の基準は主として汚染の拡大を防止するために設定されたものであることが理解された。

最後に第 5 章では、避難退域時検査と除染基準に関する調査・推定結果をまとめるとともに、我が国における OIL4 の位置付けと特徴、OIL4 の改定時における留意点を示すという観点から、避難退域時検査と OIL4 に関する考察と提言を行った。主な考察と提言を以下に示す。

- i) 我が国の OIL4 は、表面汚染からの吸入摂取による住民等の内部被ばくを抑制することのみではなく、汚染の拡大を防止することを目的として設定されている。このため、IAEA が推奨している OIL4 $\gamma$  ではなく、OIL4 $\beta$  = 40,000 cpm を使用していることが特徴である。また、GC や参考レベルを採用することなく、福島第一原発事故における経験等を踏まえて、実行可能性も考慮してより効果的に防護措置が行えるように設定されたことも特徴である。
- ii) 住民等や車両等の表面汚染密度をより正確に測定するという観点から、OIL4 $\beta$  = 40,000 cpm が使用され、物品等の除染の基準も OIL4 $\beta$  と同じ値を採用している。OIL4 $\beta$  は、検出器の効率、有効窓面積、汚染面からの距離など様々な要因に大きく依存するため、使用する検出器が標準機器であるかどうかを確認し、標準機器でない時には初期設定値の再計算が必要になる場合があるということに留意すべきである。
- iii) 原発事故時に環境に放出される放射性物質の組成や物理的／化学的形態は、対象とする原発の炉型、燃焼度、放出シナリオ、事故進展などの様々な要因によって、時間とともに変化する。従って、事故発生からの経過時間によって放射性物質の組成や物理的／化学的形態がどのように変化するのか、それによって避難退域時検査の実施方法や OIL4 設定の考

え方にどのような影響をもたらすかなどについて検討することは今後の課題である。

- iv) 避難退域時検査において最初に車両の検査を行い、その結果が物品等の除染の基準を超える場合には、乗員の代表者に対して検査を行うという手順は合理的かつ妥当であると言える。ただし、住民等の代表者については、避難行動が同様の行動をとった集団のうちの 1 名としているが、住民等の行動履歴を考慮すると、野外で遊んでいた子供や野外労働者というより汚染が高いと予想される者を代表者に選択するべきである。
- v) 避難退域時検査の車両検査において、ワイパー部とタイヤ側面が指定箇所検査の対象部位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に高い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、対象部位の形状や面積、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。
- vi) 避難退域時検査において OIL4 と物品等の除染の基準には同じ値が設定されているが、それぞれの目的と導出方法が異なっていることが認識された。すなわち、OIL4 は主として表面汚染からの吸入摂取による住民等の内部被ばくを抑制するために、物品等の除染の基準は主として汚染の拡大を防止するために設定された。我が国における避難退域時検査の位置付けと実施方法を考慮すれば、OIL4 と物品等の除染の基準に同じ値が設定されていることは、検査の実行性と迅速性にとって有効かつ合理的であると言える。
- vii) 避難退域時検査における BG の測定について、NaI(Tl) シンチレーションカウンタを使用した空間放射線量率の BG の測定方法は詳細に決められている。しかし、その 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議論されていない。一方、GM サーベイメータを使用した表面汚染密度の測定については、BG を含めた測定方法さえ決められていない。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などについては、上記 2 種類の放射線検出器を用いた BG の測定結果の関係とその取り扱いを含めて今後の検討課題である。
- viii) 甲状腺モニタリングにおいて今後の検討課題となっている、測定結果に基づく甲状腺の被ばく線量の推定、推定結果に関する住民等への説明、住民等の健康に係る評価や健康相談等の施策への反映などについては、立地道府県等へ過度な負担を強いることのないように留意すべきである。また、避難退域時検査・簡易除染と甲状腺モニタリングに共通した諸業務を機能的に結び付けることにより、全体の業務量を減少させるような方策の検討が必要である。
- ix) 万が一将来、放射性物質が環境に放出されるような事態が発生した場合には、福島第一原発事故での経験等に基づいて設定された OIL4 の初期設定値をそのまま適用できる訳ではなく、原子力災害の状況や進展など、特に地表に沈着した放射性核種の組成が明確になった時点で、初期設定値の改定が必要になる場合がある。その場合には、初期設定値の改定に関する方針と方法を予め検討・決定しておくことが必要である。その際、福島第一原発事故の経験等に基づいた設定方法ではなく、GC や参考レベルを用いて導出する方法の方が、より合理的でありかつ系統的に OIL4 の初期設定値を設定できると考えられる。これは、各々の被ばく経路及び公衆構成員に適合する GC から、被ばく形態や生活習慣などを考慮した上で、一貫した考え方と計算方法により OIL4 を導出しているためである。これ

により、OIL4 設定の科学的根拠の説明及び初期設定値の改正をより容易に行うことができると考えられる。

- x) 我が国において GC と計算モデルによって OIL を導出するような場合には、我が国に適応した WF（荷重係数）<sup>21</sup>や安全側評価の度合について、原子力防災あるいは被ばく線量評価の専門家によって適切に判断・決定されることが重要である。また、各種の OIL、甲状腺 SL（スクリーニングレベル）<sup>22</sup>などの基準値を改定する際には慎重に検討・判断することが必要である。すなわち、これらの改定した値が我が国における他の基準や規制値と整合性が取れており、矛盾がないことが非常に重要である。

最後に本報告書では、著者らが関連文献や関連情報を調査・検討することにより、OIL4 の導出方法を調査・推定したが、調査範囲は広範囲に亘り一部は古い情報であったために、調査不足や認識不足などがある可能性があることが懸念された（特に、第 4.4 節 (2) の「OIL4 = 40,000 cpm と設定した科学的根拠とその考察」及び同節 (3) の「科学的根拠の検討・推定に関する今後の課題」の部分）。この報告書の読者の方々には、それらの調査不足や認識不足を見出した場合には意見やコメントなどを著者に送っていただければ幸いである。著者らはそれらの意見やコメントに基づいて、職場内及び国内における原子力防災や被ばく線量評価の専門家とさらに議論・検討することにより、本報告書の内容の改善に反映させることに役立てていきたい。

---

<sup>21</sup> 第 5.4 節 (1) を参照のこと。

<sup>22</sup> 第 5.4 節 (2) を参照のこと。

## 謝辞

本報告書を作成するに当たり、現在著者らが所属している日本原子力研究開発機構 原子力緊急時支援・研修センター内に設置された「緊急時への備え (Emergency Preparedness) ミーティング」に避難退域時検査と除染基準に関する資料を提出し、メンバーの方々に議論していただいた。有益な議論と情報を提供していただいたメンバーの方々に感謝致します。特に、第 4.4 節 (2) の「OIL4 = 40,000 cpm と設定した科学的根拠とその考察」及び同節 (3) の「科学的根拠の検討・推定に関する今後の課題」の部分では、山口徹治氏 (当時は原子力緊急時支援・研修センター 副センター長、現在は福島研究開発部門 福島研究開発拠点 廃炉環境国際共同研究センター センター長代理) 及び渡辺文隆氏 (原子力緊急時支援・研修センター 防災支援研修ディビジョン) には、貴重な議論と有益な情報提供をし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 2023-11-27).
- 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 2023-11-27).
- 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 5 年 4 月），available from  
[https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/shiryoku/pdf/12\\_tenkai\\_1r.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryoku/pdf/12_tenkai_1r.pdf)  
[https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/shiryoku/pdf/12\\_tenkai\\_2r.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryoku/pdf/12_tenkai_2r.pdf)  
[https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/shiryoku/pdf/12\\_unyou\\_1r\\_2.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryoku/pdf/12_unyou_1r_2.pdf)  
[https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/shiryoku/pdf/12\\_unyou\\_2r.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryoku/pdf/12_unyou_2r.pdf)  
(accessed on 2023-11-27).
- 4) 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)，available from  
<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10207746/www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000120250.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 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) International Atomic Energy Agency (IAEA): “Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency”, IAEA Safety Standards Series No. GSG-2 (2011).
- 7) International Atomic Energy Agency (IAEA): “Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor”, IAEA-EPR-NPP Public Protective Actions (2013).
- 8) （監修）本間俊充，（訳）高原省五，飯島正史，佐藤宗平，木村仁宣，嶋田和真：「軽水炉の過酷な状況に起因する緊急事態において公衆を防護するための措置（翻訳資料）」，JAEA-Review 2016-013 (2016), 162p.

- 9) International Atomic Energy Agency (IAEA): “Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies and Methodology for Their Derivation”, IAEA EPR-NPP-OILs (2017).
- 10) 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://www.da.nsr.go.jp/file/NR000051447/000226743.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 11) 被ばく医療分科会：「スクリーニングに関する提言（案）」，原子力安全委員会 原子力施設等防災専門部会 被ばく医療分科会 第30回会合、資料：医分第31-4号（平成24年2月24日），available from <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9483636/www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/hibakubun/hibakubun031/siry04.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 12) 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会：「(5) 住民の被ばく」，政府事故調最終報告書（概要・本文編・資料編），pp.254-259（平成24年7月23日）。
- 13) 原子力安全研究協会：「緊急被ばく医療の知識－避難所等における初期被ばく医療活動－」（平成15年3月）。
- 14) 衣笠達也：「緊急被ばく医療のスクリーニングレベル」，原子力安全委員会 原子力施設等防災専門部会 被ばく医療分科会，第22回会合，資料：医分第22-4号（平成22年1月26日），available from <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9483636/www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/hibakubun/hibakubun022/siry04.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 15) 山田克典，藤井克年，神田浩志，東大輔，小林稔明，中川雅博，深見智代，吉田圭佑，上野有美，中嶋純也，清水勇，吉澤 道夫：「東京電力（株）福島第一原子力発電所事故に関する放射線管理の基準の根拠及び課題について」，JAEA-Review 2013-033 (2013), 51p.
- 16) 原子力安全委員会 原子力施設等防災専門部会：「緊急被ばく医療のあり方について」（平成13年6月，平成20年10月一部改訂）。
- 17) International Commission on Radiological Protection (ICRP): “Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation”, ICRP Publication 2, Pergamon Press, London (1960).
- 18) International Commission on Radiological Protection (ICRP): “Report of Committee IV on Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure”, ICRP Publication 10, Pergamon Press, Oxford (1968).



- 19) 原子力委員会：「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針について」（昭和 51 年 9 月 28 日），available from <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/wp1977/ss1010105.htm> (accessed on 2023-11-27).
- 20) 原子力安全委員会決定：「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」（昭和 50 年 5 月 13 日、平成 13 年 3 月 29 日原子力安全委員会一部改訂），原子力安全委員会指針集，改訂 13 版，pp.404-469，大成出版社（2011）。
- 21) G.A. Sehmel: “Particle and Gas Dry Deposition: A Review”, Atmospheric Environment, Vol.14, pp.983-1011, Pergamon Press (1980).
- 22) International Commission on Radiological Protection (ICRP): “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients”, ICRP Publication 71, Annals of the ICRP, Vol.25, Nos.3-4 (1995).
- 23) 日本アイソトープ協会：「アイソトープ手帳 11 版」，丸善出版株式会社（2011）。
- 24) International Atomic Energy Agency (IAEA): “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, Notes on Certain Aspects of the Regulations”, IAEA Safety Series, No. 6 (1961).
- 25) H.J. Dunster: “Surface Contamination Measurements as an Index of Control of Radioactive Materials”, Health Physics, Vol.8, No.4, pp.353-356 (1962).
- 26) International Atomic Energy Agency (IAEA): “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2012 Edition”, IAEA Safety Standards Series, No. SSR-6 (2012).
- 27) International Atomic Energy Agency (IAEA): “Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2018 Edition”, IAEA Safety Standards Series, No. SSR-6 (Rev.1) (2018).
- 28) 放射性同位元素等の規制に関する法律（昭和 32 年法律第 167 号、令和 4 年法律第 68 号による改正），available from <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=332AC0000000167> (accessed on 2023-11-27).
- 29) 文部科学省放射線規制室，同原子力規制室：「放射線障害防止法及び原子炉等規制法における考え方」（資料第 90-3 号），available from <https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002v852-att/2r9852000002v8fh.pdf> (accessed on 2023-11-27).

- 30) 穴沢豊, 吉田芳和, 南賢太郎:「作業環境の放射線モニタリング(IV) : 表面汚染のモニタリング」, RADIOISOTOPES, Vol.26, No.4, pp.276-283 (1977).
- 31) 日本保健物理学会 放射線防護標準化委員会:「緊急・現存・計画被ばく状況における汚染した物の搬出のためのガイドラインに対する意見募集の結果並びに標準の制定について: 緊急時被ばく状況における汚染した物の搬出のためのガイドライン及び参考資料(解説, 例題), 現存被ばく状況における汚染した物の搬出のためのガイドライン及び参考資料(解説, 例題), 計画被ばく状況における汚染した物の搬出のためのガイドライン及び参考資料(解説, 例題)」(平成28年6月2日), available from  
<http://www.jhps.or.jp/cgi-bin/news/page.cgi?id=34>  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/kinkyujihibaku\\_guideline.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/kinkyujihibaku_guideline.pdf)  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/kinkyujihibaku\\_commentary.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/kinkyujihibaku_commentary.pdf)  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/kinkyujihibaku\\_exercise.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/kinkyujihibaku_exercise.pdf)  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/genzonhibaku\\_guideline.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/genzonhibaku_guideline.pdf)  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/genzonhibaku\\_commentary.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/genzonhibaku_commentary.pdf)  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/genzonhibaku\\_exercise.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/genzonhibaku_exercise.pdf)  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku\\_guideline.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku_guideline.pdf)  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku\\_commentary.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku_commentary.pdf)  
[http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku\\_exercise.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku_exercise.pdf)  
(accessed on 2023-11-27).
- 32) M. Munakata: “Applicable limits on non-fixed surface contamination for safe transport of radioactive materials”, Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material, Vol.24, No.4, pp.191-206 (2013).
- 33) H. Ogino and T. Hattori: “Calculation of Isotope-specific Exemption Levels for Surface Contamination”, Applied Radiation and Isotopes, Vol.67, Nos.7-8, pp.1282-1285 (2009).
- 34) 内閣府:「政府事故調査委員会ヒアリング記録: 福島県のスクリーニングレベル引上げについて」, available from  
[https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/fu\\_koukai/pdf\\_2/676.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/fu_koukai/pdf_2/676.pdf)  
(accessed on 2023-11-27).
- 35) 内閣府:「政府事故調査委員会ヒアリング記録: サーベイメータ及び数値の換算について」, available from  
[https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/fu\\_koukai/pdf\\_2/509.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/fu_koukai/pdf_2/509.pdf)  
(accessed on 2023-11-27).

- 36) 日本産業規格：「放射性表面汚染の測定方法-β線放出核種（最大エネルギー 0.15 MeV 以上）及びα線放出核種」, JIS Z 4504 : 2008, available from <https://kikakurui.com/z4/Z4504-2008-01.html> (accessed on 2023-11-27).
- 37) 日本産業規格：「放射性表面汚染サーベイメータ」, JIS Z 4329 : 2004, available from <https://kikakurui.com/z4/Z4329-2004-01.html> (accessed on 2023-11-27).
- 38) International Atomic Energy Agency (IAEA): “Manual for First Responders to a Radiological Emergency”, IAEA EPR-First Responders (2006).
- 39) 原子力規制委員会：「平成 25 年 2 月の原子力災害対策指針改定における防護措置の実施の判断基準（OIL：運用上の介入レベル）の設定の考え方」, 第 8 回原子力災害事前対策等に関する検討チーム会合, 参考資料（エ）（平成 26 年 10 月 2 日）, available from <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11402581/www.nsr.go.jp/data/000050027.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 40) 環境省：「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和 4 年度版）, 第 2 章 放射線による被ばく, 2.4 線量測定と計算, 検出限界の考え方（3σ法）」, available from <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kiso-02-04-04.html> (accessed on 2023-11-27).
- 41) 原子力規制委員会：「原子力災害事前対策等に関する検討チーム 第 3 回会合 議事録」（平成 24 年 12 月 13 日） available from <https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11402581/www.nsr.go.jp/data/000050034.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 42) 原子力規制委員会：「緊急被ばく医療に関する検討チーム 第 3 回会合 議事録」（平成 24 年 12 月 19 日）, available from <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11105588/www.nsr.go.jp/data/000049371.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 43) 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).

- 44) 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), available from <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/10207746/www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000122709.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 45) 外川織彦, 外間智規, 平岡大和 :「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」, JAEA-Review 2023-013 (2023), 48p.
- 46) 原子力規制庁 :「甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアルの制定案及び意見公募の実施」, 令和 4 年度第 73 回原子力規制委員会, 資料 4 (令和 5 年 2 月 15 日), available from <https://www.nra.go.jp/data/000420507.pdf> (accessed on 2023-11-27).
- 47) 量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所 計測・線量評価部 :「MONDAL3 (Monitoring to Dose Calculation Ver.3: Support system for internal dosimetry)」, available from <https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3j.php> (accessed on 2023-11-27).
- 48) 外間智規, 木村仁宣, 外川織彦 :「原子力災害時における甲状腺中放射性ヨウ素放射能の簡易測定のスクリーニングレベル見直しに係る検討」, JAEA-Research 2023-010 (2024), 57p.



