

【解説】 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

本解説では、緊急時被ばく状況における汚染した物の搬出について解説する。「物」とは、固体状であって、搬出時において再利用、再使用することが正当化される有価物で、具体的には、車両、機材及びその他の物品を指す。ただし、食料品はこれに含まない。

(個別の具体的な事例については【例題】を参照)

目次

1. ガイドラインの背景
 - (1) 体表面汚染スクリーニングレベル (対象：人)
 - (2) 汚染拡大防止スクリーニングレベル (対象：物)

2. ガイドラインの策定に参考となる考え方
 - (1) 国際放射線防護委員会 (ICRP)
 - ・ ICRP Publ. 103 (国際放射線防護委員会の 2007 年勧告)
 - ・ ICRP Publ. 109 (緊急時被ばく状況における人々の防護のための委員会勧告の適用)
 - (2) 国際原子力機関 (IAEA)
 - ・ IAEA GSR Part 7 (原子力又は放射線の緊急事態に対する準備と対応)
 - (3) 原子力規制委員会新指針における汚染拡大防止スクリーニングレベル

3. ガイドラインの根拠となる考え方

4. ガイドラインの線量規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
 - (1) 表面汚染線量評価モデル
 - (2) 表面汚染密度から年実効線量への換算
 - (3) 年実効線量 10 mSv/y に相当する表面汚染密度
 - (4) 一般的な GM 管式表面汚染サーベイメータ指示値の計算方法
 - (5) 汚染拡大防止スクリーニングレベルの一例
 - (6) 搬出の可否の判断に係る留意事項

5. 参考文献

1. ガイドラインの背景

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故により環境中に大量の放射性物質が放出され、人体や物の表面が高密度に汚染する事態が生じた。これを受け、人を対象とした「体表面汚染スクリーニングレベル」と、物を対象とした「汚染拡大防止スクリーニングレベル」が設定された。ここでは、これらのスクリーニングレベルに関する事故前の備えと事故後に講じられた措置の概要について示す（表1）。

(1) 体表面汚染スクリーニングレベル（対象：人）

事故前の備えでは、体表面汚染スクリーニングレベルは放射性ヨウ素 131 の表面汚染密度で 40 Bq/cm^2 と定められ、一般的な GM 管式表面汚染サーベイメータで 13,000 cpm に相当するとされていた⁽¹⁾。この設定根拠については、放射性プルーム（事故により飛散した放射性物質が大気に乗って煙のように流れていく現象）に曝された幼児が放射性ヨウ素 131 を呼吸によって体内に取り込むことで、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 に達する環境において、幼児の体表面に沈着すると考えられる放射性ヨウ素 131 の表面汚染密度ということであった⁽¹⁾。

しかし、事故後に周辺の放射線バックグラウンドレベルが上昇した地域では、放射線測定で 13,000 cpm の体表面汚染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 2011 年 3 月 20 日、内閣府原子力安全委員会の助言を踏まえ、体表面汚染スクリーニングレベルを 100,000 cpm と設定した⁽²⁾。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⁽³⁾に示された、皮膚から 10 cm 地点での空間線量率 $1 \mu\text{Sv/h}$ に相当するとされていた。同年 8 月 20 日までに 219,743 名に対して体表面汚染スクリーニングが実施され、100,000 cpm を超えたものは 102 名と全体の約 0.05% であった。この体表面汚染スクリーニングレベルは、同年 9 月 16 日より 13,000 cpm に引き下げられている。

(2) 汚染拡大防止スクリーニングレベル（対象：物）

事故前の備えでは、汚染拡大防止スクリーニングレベルは定められていなかった。敢えて挙げるとすれば、管理区域からの物品持ち出し基準（アルファ線を放出する核種で 0.4 Bq/cm^2 、アルファ線を放出しない核種で 4 Bq/cm^2 ）が該当するが、これは計画被ばく状況下での適用を対象としたものであって、緊急時被ばく状況での適用は考えられていなかった。政府の原子力災害現地対策本部が 3 月 20 日に設定した体表面汚染スクリーニングレベル（100,000 cpm）⁽²⁾は、物を対象とした汚染拡大防止スクリーニングレベルとしても適用され、緊急車両や機材、避難住民が持ち出した物などにも適用された。

体表面汚染スクリーニングレベルが同年 9 月 16 日より 13,000 cpm に引き下げられたことを受けて、汚染拡大防止スクリーニングレベルも 13,000 cpm に変更され⁽⁴⁾、2015 年 4 月現在でも用いられている。

表 1. 福島第一原子力発電所事故後のスクリーニングレベル

	体表面汚染スクリーニング (対象：人)	汚染拡大防止スクリーニング (対象：物)
事故前の備え 旧防災指針 緊急被ばく医療の知識 原子力防災ポケットブック	I-131で40 Bq/cm ² GM管式サーベイメータで13,000 cpmに相当。安定ヨウ素剤予防服用基準の小児甲状腺予測等価線量100mSvに相当。	設定なし 敢えて挙げるなら、管理区域からの物品持ち出し基準（α核種：0.4 Bq/cm ² 、非α核種：4 Bq/cm ² ）が該当。
福島第一原子力発電所事故の発生 周辺バックグラウンドレベル上昇		
事故直後の措置 2011年3～9月	GM管式サーベイメータ >100,000 cpm 全身除染 13,000-100,000 cpm ふき取り除染 <13,000 cpm 処置不要 100,000 cpmは、皮膚の急性障害防止を目的としたIAEAマニュアルに示された、皮膚から0.1m地点での線量率1 μSv/hに対応。	GM管式サーベイメータ 100,000 cpm 体表面汚染スクリーニングの全身除染と同じ基準が適用。
復興期の措置 2011年9月～標準制定日	GM管式サーベイメータ 13,000 cpm (主にCs-134, Cs-137)	GM管式サーベイメータ 13,000 cpm (主にCs-134, Cs-137)

2. ガイドラインの策定に参考となる考え方

(1) 国際放射線防護委員会（ICRP）

ICRP は、緊急時被ばく状況における放射線防護の考え方について、以下の通り勧告している。本ガイドラインの策定にあたって特に参考となる考え方が示された箇所を 下線 で示す。

(ICRP Publ.103：国際放射線防護委員会の2007年勧告⁽⁵⁾)

- 100 mSv よりも高い線量 では、確定的影響 と、がんの有意なリスクの可能性 が高くなる。これらの理由から、委員会は、参考レベルの最大値は急性で受ける若しくは年間を通して受ける 100 mSv である と考える。急性あるいは年間のいずれかで受ける100 mSv よりも高い被ばくは、被ばくが避けられないか、若しくは人命救助や最悪の事態の防止のような例外的状況における被ばくのいずれかによる究極の事情の下においてのみ正当化されるであろう。他の個人的または社会的便益は、そのような高い被ばくの代償とはならない（パラグラフ 236）。
- 委員会は今回、緊急時被ばく状況における適用のための 防護の戦略を正当化し最適化することの重要性 と、最適化のプロセスは参考レベルにより導かれること を強調する。被ばく経路は複数あり、互いに独立しているが同時に作用し、また時間とともに変わる可能性があるので、防護対策を策定し履行する際には、すべての被ばく経路から生じるかもしれない被ばく全体に焦点を当てること が重要である（パラグラフ 276）。
- 緊急時被ばく状況について計画する際、最適化のプロセスに参考レベルを適用 すべきである。緊急時状況において計画される最大残存線量の参考レベル は、典型的には 予測線量 20 mSv から 100 mSv のバンドの中 にある（パラグラフ 278）。

(ICRP Publ.109：緊急時被ばく状況における人々の防護のための委員会勧告の適用⁽⁶⁾)

- 残存線量は、最適化された防護戦略を実行した後に残るすべての被ばく経路からの実効線量である。また、防護戦略を選定し、評価する際に、適切な参考レベルと比較する線量である。残存線量は、緊急時対応計画策定において被ばくを推定することによって評価するか、もしくは緊急時被ばく状況発生後の実際の線量を測定および／または計算することによって評価できる。残存線量は、できる限り現実的に計算されるべきである（パラグラフ 24）。
- 残存線量は、適切な期間にわたり計算されるべきである。被ばく期間が1年以内になると思われる緊急時被ばく状況に対しては、計算して参考レベルと比較する残存線量は、緊急時被ばく状況の結果として受ける全線量とすべきである。全線量を1年以上の期間にわたって受けることになりそうな事故に対しては、計算して参考レベルと比較する残存線量は、1年にわたって受ける外部被ばく線量と、その1年にわたる体内摂取から受ける預託実効線量の合計とすべきである（パラグラフ 27）。

(2) 国際原子力機関（IAEA）

IAEAでは、ICRP2007年勧告⁽⁵⁾を取り入れて改訂した一般安全要件 GSR Part 7⁽⁷⁾（2015年11月12日発行）において、「車両、機材及びその他の物品」と「国際間で取引される商品及び食品」に対する対応措置についての一般的判断基準について、以下の通り規定されている。

本ガイドラインの策定にあたって特に参考となる考え方が示された箇所を 下線 で示す。表番号は原文のままにしてある。

(IAEA GSR Part 7：原子力又は放射線の緊急事態に対する準備と対応⁽⁷⁾)

- 表 II.4 は、原子力又は放射線の緊急事態によって影響を受けた区域からの 車両 (vehicles)、機材 (equipment) 及びその他の物品 (other items) の使用 によって生じる確率的影響のリスクを低減させるための防護措置及びその他の対応措置のために用いる一般的判断基準を提示している（パラグラフ II.7）。
- 一般的判断基準を 表 II.2 に示されている初期の防護措置及びその他の対応措置に関する一般基準の 1/10 とすることにより、影響を受けた区域からの車両、機材及びその他の物品を含む すべての被ばく経路から受ける線量 が、表 II.2 で示されている公衆に対する 初期活動のための一般的判断基準を超えないことを保証 するように、影響を受けた区域からの車両、機材及びその他の物品について確立している（パラグラフ II.8）。
- 表 II.5 は、国際取引の継続や再開の基礎 を与えることによって、緊急時における非放射線学的影響を低減する対応措置を効果的に実行するために一般的判断基準を提示している（パラグラフ II.10）。
- 表 II.5 にある一般的判断規準を超えるような値であっても、緊急の（一時的な）条件においては受け入れられるかもしれない（パラグラフ II.11）。
- 国際的に取引される食品の一般的判断規準は、FAO/WHO Codex Alimentarius

Commission によって使用される値から導かれる。これらの一般的判断規準と、原子力及び放射線緊急事態の結果により放射性物質を含む可能性のある国際的に取引される商品 (commodities) に対する一般的判断規準 は、表 II.2 に示されている一般的判断規準の 1/100 に定めている。これは、初期の防護措置及びその他の対応措置として公衆への線量が小さな割合となることを確実にして確率的影響のリスクを低減するためである (パラグラフ II.12)。

- 原子力又は放射線の緊急事態の結果として放射性核種が含まれている可能性のある国際的に取引される食品については、FAO/WHO 合同食品規格委員会 (Codex Alimentarius Commission) が発行した運用上の基準 (ガイドラインレベル) を使用しなければならない (要件 8 のパラグラフ 5.23 参照) (パラグラフ II.13)。

表 II.2 緊急時における確率的影響のリスクを低減させるための防護措置及びその他の対応措置に関する一般的判断基準 (IAEA GSR Part 7⁽⁷⁾)

一般的判断基準		防護措置及びその他の対応措置の例 ^a
以下の一般的判断基準を超える予測線量：緊急防護措置及びその他の対応措置を実行する。		
H _{甲状腺}	最初の 7 日間 50 mSv ^b	ヨウ素による甲状腺ブロッキング ^c
E ^d	最初の 7 日間 100 mSv	屋内退避 ^f ；避難；不注意な経口摂取の防止；食品、ミルク及び飲料水の制限 ^g と食物連鎖と給水の制限；食料以外の日用品の制限；汚染管理；除染；登録；公衆の安心確保
H _{胎児} ^e	最初の 7 日間 100 mSv	
以下の一般的判断基準を超える予測線量：初期の防護措置及びその他の対応措置を実行する。		
E ^d	最初の 1 年 100 mSv	一時的移転；不注意な経口摂取の防止；食品、ミルク及び飲料水の制限 ^g と食物連鎖と給水の制限；食料以外の日用品の制限；除染；登録；公衆の安心確保
H _{胎児} ^e	子宮内発育の全期間中 100 mSv	
既に被ばくした線量で以下の一般的判断基準を超えた線量：放射線による健康影響を検出し効果的な処置を行うため、より長い期間の医学的措置を行う。		
E ^d	一ヶ月に 100 mSv	特定の放射線感受性臓器の等価線量に基づく健康スクリーニング (医学的なフォローアップの基礎として) ^h 、登録、カウンセリング。
H _{胎児} ^e	子宮内発育の全期間中 100 mSv	個々の状況に応じて、状況説明の上での判断を下すために行われるカウンセリング。

- これらの例は、全てを示したものではなく、また、相互に相容れないものでもない。
- この一般的判断規準は、ヨウ素による甲状腺ブロッキングのみに適用される。甲状腺について、ヨウ素による甲状腺ブロッキングは、緊急防護措置として次の場合に行われるように規定される：(a)放射性ヨウ素による被ばくが生じた場合、(b)放射性ヨウ素の放出前あるいは放出直後、及び(c)放射性ヨウ素の取り込み直前あるいは直後の短期間のみ。

- c. 甲状腺等価線量 ($H_{\text{甲状腺}}$) は、放射性ヨウ素による被ばくのみを考慮する。
- d. 実効線量
- e. $H_{\text{胎児}}$ は、胎児の等価線量で、外部被ばくによる線量と、受精に関連した異なる化学混合物と異なる時間のための胚又は胎児への摂取によって生じるいかなる臓器に対する最大預託線量の和である。
- f. 屋内退避は、比較的混乱の少ない防護活動として、要件 5 にしたがって正当化され最適化されるのであれば、パラグラフ 4.28(2)にある参考レベルを考慮しながら、低い線量において履行されるかもしれない。
- g. これらの一般的判断規準を用いた食品、ミルク及び飲料水の制限は、食品、ミルク及び飲料水のサンプリングや分析が実施されるのよりも前に適用される。そのような制限は、食品、ミルク及び飲料水の代替や他の方法が得られる限り適用され、重篤な栄養失調、脱水症状或いはその他の重篤な健康影響が生じないようにする。
- h. スクリーニングの結果が表 II.1 にある規準を超えることを示す場合には、適切な医学的措置が付則 II (表 II.1 参照) に基づいて必要となる。

表 II.4 確率的影響のリスクを低減させるための車両、機材及びその他の物品に対する一般的判断基準 (IAEA GSR Part 7⁽⁷⁾)

一般的判断基準		防護措置及びその他の対応措置の例
以下の一般的判断基準を超過する影響を受けた区域からの車両、機材及びその他の物品の使用から生じる予測線量：防護措置及びその他の対応措置を実行する		
E^a	年間 10 mSv	(使用中止)
$H_{\text{胎児}}^c$	子宮内発育の全期間中 10 mSv	必要不可欠ではない ^b 使用をやめる。 (条件付き使用継続) 代替が利用可能となるまで、必要不可欠な車両、機材及びその他の物品を使用する。ただし、以下の条件を満足する場合に限る。 (a)その使用によって、公衆が表 II.2 で示されている一般的判断基準を超える線量とならないこと、又は付則 I で与えられている緊急時作業員の被ばくを制限するためのガイダンス値を超えないこと、及び(b)緊急作業員、緊急時に手助けをする人又は一般公衆としての使用者に対して線量を低減する処置が適切に講じられていること。 (線量推定) 表 II.2 の医療相談が必要な一般的判断基準を超える線量を受ける可能性がある、影響を受けた区域からの車両、

		機材及び物品を使用したと思われる緊急作業員、緊急時に手助けをした人及び公衆の線量を推定する。
--	--	--

- a. 実効線量
- b. 影響を受けた区域からの必要不可欠な車両、機材及びその他の物品の使用を制限することは、緊急防護措置及びその他の対応措置を行うこと又は公衆の健康又は福祉に不可欠なサービスを妨げる可能性がある（例えば、継続的な医学治療を必要とする患者の搬送など）。
- c. $H_{\text{胎児}}$ は、胎児の等価線量で、外部被ばくによる線量と、受精に関連した異なる化学混合物と異なる時間のための胚又は胎児への摂取によって生じるいかなる臓器に対する最大預託線量の和である。

表 II.5 国際間で取引される食品及びその他の商品のための一般的判断基準 (IAEA GSR Part 7⁽⁷⁾)

一般的判断基準		その他の対応措置の例
一般基準を超過する食品及びその他の商品からの予測線量：国際取引を禁止する対応措置を実行する		
E^a	年間 1 mSv	(取引禁止)
$H_{\text{胎児}}^c$	子宮内発育の全期間中 1 mSv	必要不可欠ではない ^b 国際取引を禁止する。 (条件付き取引継続) 以下の条件で、補充が可能になるまで必要不可欠な食品及びその他の商品を取引する。 (a)取引が受け取り国で承認されること。(b)取引により公衆に対する線量が表 II.2 に示す一般的判断基準を超えないこと。(c)輸送中の線量を制御し、管理するための処置が講じられること。及び、(d)食品の消費とその他の商品の使用を管理するための措置と、公衆の線量を低減する措置が講じられていること。

- a. 実効線量
- b. 必要不可欠な商品と食品の取引を制限することは、重篤な健康影響をもたらしたり、その他の国家に他の損害を与えるような状況をもたらす可能性がある。
- c. $H_{\text{胎児}}$ は、胎児の等価線量で、外部被ばくによる線量と、受精に関連した異なる化学混合物と異なる時間のための胚又は胎児への摂取によって生じるいかなる臓器に対する最大預託線量の和である。

(3) 原子力規制委員会新指針における汚染拡大防止スクリーニングレベル

原子力規制委員会が2012年10月31日に新たに制定した原子力災害対策指針では、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえ、放射性物質の放出前後に講じるべき防護措置が示されている⁽⁸⁾。その中で、体表面汚染スクリーニングレベルについては、不注意な経口摂取や皮膚汚染からの外部被ばくを防止するために、事故発生直後は40,000 cpm、1ヶ月後以降は13,000 cpmと示されている(表2)。汚染拡大防止スクリーニングレベルについても、汚染した物を取り扱う者の外部被ばくや内部被ばくの抑制及び汚染拡大防止を目的として、体表面汚染スクリーニングレベルと同じ基準が設定され、これを上回る汚染がある場合には簡易除染を行うこととされている。

新たに設定されたスクリーニングレベルの根拠について、原子力災害事前対策等に関する検討チームの補足資料⁽⁹⁾によれば、福島第一原子力発電所事故後のスクリーニングにおいて100,000 cpmを超えた人数が102名(全体の約0.05%)であったのに対し、13,000~100,000 cpmの範囲にあった人数が894名(全体の約0.5%)であったことから、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されている。そして、バックグラウンド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ことから、100,000 cpm以下で、かつ、バックグラウンドの影響が相対的に小さくなる数値のうち最低の水準(バックグラウンド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、 $13,000 \times 3 \cong 40,000$ cpmが適切な水準とされている。さらに、初期のヨウ素による影響の急速な影響を考慮に入れ、初期設定値としての40,000 cpmから1ヶ月後には13,000 cpmに引き下げることが必要とされている。

表2. 原子力規制委員会新指針のスクリーニングレベル

	体表面汚染スクリーニング (対象：人)	汚染拡大防止スクリーニング (対象：物)
<p>新防災指針 2012年10月31日制定 2013年9月5日全部改正</p>	<p>事故後 40,000 cpm (120 Bq/cm²) 1ヶ月後 13,000 cpm (40 Bq/cm²)</p> <p>福島事故後の経験に基づいて変更。 基準を超える場合は迅速に除染。</p>	<p>事故後 40,000 cpm (120 Bq/cm²) 1ヶ月後 13,000 cpm (40 Bq/cm²)</p> <p>福島事故後の経験に基づいて設定。 基準を超える場合は迅速に除染。</p>

注：福島第一原子力発電所事故後のスクリーニングレベルには、吸入による内部被ばくスクリーニング(対象：人)もあったが、原子力規制委員会新指針では、事故の経験に基づいて考え方を変更し、安定ヨウ素剤予防服用は、施設の状況と線源情報から地域毎に災害対策本部で判断し、放射性ヨウ素による被ばくが懸念される場合には、詳細測定の必要性有無を判断するための甲状腺スクリーニングも想定されている。

3. ガイドラインの根拠となる考え方

放射線防護の原則は、正当化、防護の最適化、個人線量制限であり、本ガイドラインで対象とする緊急時被ばく状況においても、正当化、防護の最適化の原則は維持される。すなわち、汚染した物の搬出はその後の放射線被ばくを伴うものであるため、被ばくする個人または社会に対して、それが引き起こす放射線損害を相殺するのに十分な便益を生むものでなければ、これを採用すべきでない（正当化の原則）。さらに、たとえ正当化された搬出であったとしても、経済的および社会的要因を考慮したうえで、個人線量の大きさと被ばくする人の数を合理的に達成できる限り低く保たなければならない（防護の最適化の原則）。

緊急時被ばく状況における防護の最適化には、20-100 mSv の参考レベルを適用し、これらの線量を受ける期間については、緊急時被ばく状況が1年以内に終結すると考えられる場合にはその継続期間（例：数日、数週間、数ヶ月）を対象とし、1年以上に及ぶと考えられる場合は最初の1年間を対象とする。緊急時被ばく状況における参考レベルの適用にあたっては、個人線量が有害な確定的影響のしきい値[†]に達するおそれがあるため、事故由来のすべての被ばく経路から生じる被ばく全体に焦点を当てる必要がある。緊急時被ばく状況においては、本ガイドラインで扱う汚染した物以外にも、事故発生現場に残った線源、プルーム、土壌に沈着した放射性核種、汚染食品など、複数の被ばく経路が存在することになる。したがって、すべての被ばく経路から受ける線量が参考レベルを超えないことを保証するために、本ガイドラインでは、汚染した物からの被ばくに対する線量規準に参考レベルの上限値である年線量 100 mSv の 1/10 を割り当てることとした。

防護の最適化は、将来の被ばくを低減することを目的とした前向きな反復過程である。このことを考慮に入れ、本ガイドラインでは、汚染した物から受ける被ばく線量が年線量 10 mSv 以下であったとしても、経済的および社会的な要因を考慮して、およそ 1 mSv の年線量に向けて、合理的に達成できる限り被ばく線量を低減する措置を講じるべきであると定めた。

汚染した物の搬出先に関しては、搬出先が国内の場合には、搬出先を問わないとした。なぜならば、判断規準にある年線量が長期にわたって継続することは考えにくく、健康影響の観点からは問題ないと判断され、また、ICRP は長期放射線被ばく状況における公衆の防護について、「介入戦略が最適化されたという理由で、事故による被影響地域の年線量が受け入れられるならば、被影響地域で生産された商品の別な場所での使用による個人の年線量は、被影響地域における線量よりも通常高くはならないであろうから、被影響地域の外の状況もまた受け入れることができるだろう。(Pub. 82 パラグラフ 130)⁽¹⁰⁾」と勧告していることが緊急時についても適用できると考えられるからである。また、搬出先が国外の場合には、国際間で取引される商品に対する対応措置を考慮する必要があるため、IAEA 一般安全要件 GSR Part 7⁽⁷⁾を参考に、年線量 1 mSv を満足するべきであると定めた。

[†]有害な確定的影響のしきい値の最小線量は、最新の組織反応の知見⁽¹¹⁾によれば、急性照射で 0.1 Gy（一時的な不妊（精巣））、分割照射で 0.5 Gy（白内障）、慢性照射で 0.2 Gy/年（永久的な不妊（卵巣））である。

なお、本ガイドラインは緊急時被ばく状況を対象としたものであり、現存被ばく状況と計画被ばく状況については、別途ガイドラインを定めるものとする。

4. ガイドラインの線量規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

本ガイドラインでは、緊急時被ばく状況では、汚染した物から受ける年実効線量が10 mSv 以下であれば、当該物を搬出することができるとしている。ここでは、福島第一原子力発電所事故後の状況に基づいて、年線量10 mSvの線量規準がどの程度の表面汚染密度や汚染拡大防止スクリーニングレベルに相当するのかを一例として示す。

(1) 表面汚染線量評価モデル

放射線防護標準化委員会では、本検討を進めるにあたり、年線量規準に相当する表面汚染密度を計算するための表面汚染線量評価モデルについて、これまでに国内で実施された研究等の文献調査を実施した。その結果、緊急時被ばく状況において線量評価上重要となる放射性ヨウ素¹³¹、放射性セシウム¹³⁴及び放射性セシウム¹³⁷の放射性核種について検討されたものとして、二つの表面汚染線量評価モデルを選定した。以下に各モデルの概要を示す。

A) 使用済燃料キャスク及び小型輸送物を対象にした評価例

Munakata⁽¹²⁾は、IAEA-TECDOC-1449⁽¹³⁾で示された輸送物表面汚染に対する被ばく線量評価モデルを参考に、国内における使用済燃料キャスク（直径2.3 m、長さ5.9 mの円筒）と小型輸送物（一辺0.3 mの立方体）の輸送の実態を踏まえて、輸送物表面上にある非固定性汚染から作業員が受ける被ばく線量を評価するモデルを開発している。年間被ばく時間については、輸送作業ごとに4.9時間～1,464時間が設定され、外部被ばく線量を評価する距離については、0.5 m～3.0 mが設定されている。論文⁽¹²⁾では、TECDOC-1449⁽¹³⁾で取り扱われた356核種に対して、単位表面汚染密度あたりの年間被ばく線量が計算されている。

B) 一般形状物を対象にした評価例

Ogino and Hattori⁽¹⁴⁾は、表面が汚染した物の形状を三種類に一般化し、手で扱う物（0.1 m²）、近傍で扱う物（1 m²）、遠隔で扱う物（10 m²）について、公衆（成人、子ども）が再使用することで受ける被ばく線量を評価するモデルを開発している。年間被ばく時間については、現実的パラメータとして450時間、低確率パラメータとして1,800時間が設定され、外部被ばく線量を評価する距離については、近傍で扱う物では0.2 m、遠隔で扱う物では1 mが設定されている。論文⁽¹⁴⁾では、主な原子炉施設のクリアランスで線量評価上重要となる20核種に対して、クリアランス線量規準相当の表面汚染密度が計算されている。

上記二つのモデルで設定された年間被ばく時間について、Munakata モデルでは、国内における放射性物質輸送の実績を考慮した安全側の設定をしている。Ogino and Hattori モデルでは、IAEA クリアランスレベル計算に倣って設定してい

る。

(2) 表面汚染密度から年実効線量への換算

二つの表面汚染線量評価モデルから導出された、単位表面汚染密度 (Bq/cm²) を年実効線量 (mSv/y) に換算するための係数について、表 3 と表 4 に示す。

使用済燃料キャスク及び小型輸送物を対象にした評価⁽¹²⁾では、使用済燃料キャスクの方が小型輸送物よりも安全側の結果を与えるため、表 3 では使用済燃料キャスクについての結果を示している。同様に、一般形状物を対象にした評価⁽¹⁴⁾では、近傍で扱う物の方が遠隔で扱う物よりも安全側の結果を与えるため、表 4 では近傍で扱う物についての結果を示している。

表 3. 使用済燃料キャスクにおける単位表面汚染からの年間被ばく線量⁽¹²⁾

放射性核種	線量換算係数 ((mSv/y)/(Bq/cm ²))		
	外部被ばく	経口摂取	吸入摂取
I-131	3.9×10^{-3}	1.1×10^{-3}	5.2×10^{-5}
Cs-134	1.5×10^{-2}	9.5×10^{-4}	7.4×10^{-6}
Cs-137	5.8×10^{-3}	6.5×10^{-4}	3.2×10^{-5}

表 4. 近傍で扱う物における単位表面汚染からの年間被ばく線量⁽¹⁴⁾

放射性核種	線量換算係数 ((mSv/y)/(Bq/cm ²))		
	外部被ばく	経口摂取	吸入摂取
I-131	7.7×10^{-5}	1.2×10^{-3}	1.8×10^{-6}
Cs-134	1.5×10^{-3}	1.9×10^{-4}	5.6×10^{-6}
Cs-137	6.7×10^{-4}	1.5×10^{-4}	4.8×10^{-6}

注：経口摂取についての値は、手で扱う物についての計算結果を示している。

(3) 年実効線量 10 mSv に相当する表面汚染密度

福島第一原子力発電所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、事故直後には放射性セシウム 134 と放射性セシウム 137 がおよそ同程度の濃度で観察されていたのに対し、放射性ヨウ素 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ていた。そこで、仮に、汚染した物の表面に、放射性ヨウ素 131、放射性セシウム 134、放射性セシウム 137 が 100 : 1 : 1 の比率で存在すると想定し、表 3 に与えられる係数を用いて年実効線量 10 mSv に相当する表面汚染密度を計算すると、放射性ヨウ素 131 が 1,900 Bq/cm²、放射性セシウム 134 が 19 Bq/cm²、放射性セシウム 137 が 19 Bq/cm²と求まる。同様に、表 4 に与えられる係数を用いると、放射性ヨウ素 131 が 7,600 Bq/cm²、放射性セシウム 134 が 76 Bq/cm²、放射性セシウム 137 が 76 Bq/cm²と求まる。

事故から時間が経過すると、物理学的半減期が約 8 日と短い放射性ヨウ素 131 は減衰し、放射性セシウムが支配的となる。仮に、汚染した物の表面に、放射性

ヨウ素 131、放射性セシウム 134、放射性セシウム 137 が 0.01 : 1 : 1 の比率で存在すると想定し、表 3 に与えられた係数を用いて年線量 10 mSv に相当する表面汚染密度を計算すると、放射性ヨウ素 131 が 4.4 Bq/cm²、放射性セシウム 134 が 440 Bq/cm²、放射性セシウム 137 が 440 Bq/cm²と求まる。同様に、表 4 に与えられた係数を用いると、放射性ヨウ素 131 が 39 Bq/cm²、放射性セシウム 134 が 3,900 Bq/cm²、放射性セシウム 137 が 3,900 Bq/cm²と求まる。

(4) 一般的な GM 管式表面汚染サーベイメータ指示値の計算方法

放射性表面汚染の直接測定における表面汚染密度と放射線測定器の指示値の関係は、日本工業規格 JIS Z 4504⁽¹⁵⁾によって、以下の式 (1) の通り与えられる。

$$n - n_b = A_s \times \varepsilon_i \times W \times \varepsilon_s \quad (1)$$

ここで、 n は総計数率 (s^{-1})、 n_b はバックグラウンド計数率 (s^{-1})、 A_s は表面汚染密度 (Bq/cm²)、 ε_i はベータ線に対する機器効率、 W は放射線測定器の有効窓面積 (cm²)、 ε_s は表面汚染の線源効率である。

事故後の汚染拡大防止スクリーニングにおいて一般的に用いられた GM 管式表面汚染サーベイメータの有効窓面積 W は 20 cm²であった。また、放射性ヨウ素 131、放射性セシウム 134、放射性セシウム 137 から主に放出される β 線の最大エネルギーはそれぞれ、0.606 MeV、0.658 MeV、0.514 MeV であり、 β 線の最大エネルギーがすべて 0.4 MeV 以上であるため、JIS Z 4504⁽¹⁵⁾に準拠し、式 (1) の線源効率 ε_s は 0.5 を代入することができる。機器効率 ε_i については、測定器ごとに標準線源を用いて校正される値であるが、ここでは一律に 0.4 を与えることにする。汚染拡大防止スクリーニングレベルは 1 分間あたりの正味計数率 (counts per minute: cpm) として与えられるため、式 (1) から計算される 1 秒あたりの正味計数率 ($n - n_b$) を 60 倍する。

(5) 汚染拡大防止スクリーニングレベルの一例

表 5 に年線量 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の一例について示す。

事故直後の核種の存在比 (放射性ヨウ素 131、放射性セシウム 134、放射性セシウム 137 が 100 : 1 : 1 の比率で存在) を想定すると、年実効線量 10 mSv をもたらす汚染物品の表面汚染密度 (Bq/cm²) は、表 3 に与えられる係数を用いた場合には、放射性ヨウ素 131 が 1,900 Bq/cm²、放射性セシウム 134 が 19 Bq/cm²、放射性セシウム 137 が 19 Bq/cm²となり、式 (1) に与えられた関係より、汚染拡大防止スクリーニングレベルは、およそ 460,000 cpm と求まる。同様に、表 4 に与えられる係数を用いた場合、汚染拡大防止スクリーニングレベルは 1,800,000 cpm となる。

表 5. 年線量 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の一例

表面汚染 線量評価モデル	年実効線量 10 mSv 相当の表面汚染密度 (Bq/cm ²)			汚染拡大防止 スクリーニン グレベル (cpm)
	I-131	Cs-134	Cs-137	
Munakata ⁽¹²⁾	1,900	19	19	460,000
Ogino and Hattori ⁽¹⁴⁾	7,600	76	76	1,800,000

ここでの計算例では、表 5 に示すように、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 管式表面汚染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。したがって、福島第一原子力発電所事故後から 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、本ガイドラインと矛盾するものではなかったと考えられる。

(6) 搬出の可否の判断に係る留意事項

本ガイドラインでは、現行法令とは別の独自の視点から、ICRP の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、汚染した物の搬出の可否の判断規準を提示することとした。一方、本ガイドラインを実運用することで、現行の法令違反を促してしまうとの懸念を受け、本ガイドラインの適用にあたっての注記を例題に記載した。

5. 参考文献

- [1] 原子力安全委員会原子力施設等防災専門部会防災指針検討ワーキンググループ, 「原子力施設等の防災対策について」の見直しに関する考え方について, 中間とりまとめ, 平成 24 年 3 月 9 日
<https://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/sisetubo/sisetubo024/siryo1.pdf>
- [2] 原子力安全委員会 (当時)、除染のためのスクリーニングレベルの変更について、平成 23 年 3 月 20 日
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/ad/pdf/20110320_1.pdf
- [3] Comité Technique International de Prévention et d’Extinction du feu, International Atomic Energy Agency, Pan American Health Organization, World Health Organization, Manual for first responders to a radiological emergency (2006).
http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/epr_firstresponder_web.pdf
- [4] 原子力安全委員会 (当時)、避難区域 (警戒区域) から退出する際の除染の適切な実施について、平成 23 年 8 月 29 日
http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/ad/pdf/20110829_1.pdf
- [5] International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, Vol. 37, No. 2-4 (2007).
http://www.icrp.org/docs/P103_Japanese.pdf
- [6] International Commission on Radiological Protection, Application of the Commission’s Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations, ICRP Publication 109, Annals of the ICRP, Vol. 39, No. 1 (2009).
http://www.icrp.org/docs/P109_Japanese.pdf
- [7] Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Civil Aviation Organization, International Labour Office, International Maritime Organization, Interpol, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, United Nations Environment Programme, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, World Health Organization, World Meteorological Organization, Preparedness and Response for a Nuclear and Radiological Emergency, IAEA Safety Standard Series No. GSR Part7 (2015).
- [8] 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 (平成 25 年 9 月 5 日全部改正)
https://www.nsr.go.jp/activity/bousai/data/130905_saitaishishin.pdf
- [9] 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, 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, 平成 25 年 3 月
https://www.nsr.go.jp/committee/yuushikisya/pre_taisaku/data/121220_hosoku.pdf
- [10] International Commission on Radiological Protection, Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure, ICRP Publication 82, Annals of the ICRP, Vol. 29, No. 1-2

- (1999).
- [11] International Commission on Radiological Protection, ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissues Reactions in a Radiation Protection Context, ICRP Publication 118, Annals of the ICRP, Vol. 41, No. 1/2 (2012).
 - [12] M. Munakata, Applicable limits on non-fixed surface contamination for safe transport of radioactive materials, Packaging, Transport, Storage & Security of Radioactive Material, 24, 191-206 (2013).
 - [13] International Atomic Energy Agency, Radiological aspects of non-fixed contamination of packages and conveyances, Final report of a coordinated research project 2001-2002, IAEA-TECDOC-1449 (2005).
 - [14] H. Ogino and T. Hattori, Calculation of Isotope-specific Exemption Levels for Surface Contamination, Applied Radiation and Isotopes, 67, 1282-1285 (2009).
 - [15] 日本工業規格, 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).