

【解説】 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

本解説では、現存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
2. ガイドラインの策定に参考となる考え方
 - (1) ICRP Publ. 82 (長期放射線被ばく状況における公衆の防護)
 - (2) ICRP Publ. 103 (国際放射線防護委員会の2007年勧告)
 - (3) ICRP Publ. 111 (原子力事故または放射線緊急事態後の長期汚染地域に居住する人々の防護に対する委員会勧告の適用)
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 1 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

[†] 「現存被ばく状況下における廃棄物の管理に関する防護のガイドライン」を別途定めるものとする。

1. ガイドラインの背景

現存被ばく状況とは、「管理についての決定がなされる時点で既に線源が存在している状況であり、放射線防護方策を正当化するか、あるいは少なくとも放射線防護方策を考えなければならないほど高い被ばくを生じる状況」として定義される⁽¹⁾。

住居内又は作業場内のラドンや自然起源の放射性物質（NORM）は現存被ばく状況としてよく知られた事例であり、環境中の残渣、原子力事故や放射線緊急事態によって汚染された土地もこれに該当する。放射線防護標準化委員会では、「現存する被ばく状況に関する防護の安全規準」を2009年3月24日に制定し⁽²⁾、同安全規準の下に、「ラドンに関する防護のガイドライン」「NORM等に対する防護のガイドライン」「航空機被ばくに関する防護のガイドライン」を定めてきたところである。

福島第一原子力発電所事故の発生後に開催された放射線審議会基本部会における検討⁽³⁾では、事故によって拡散した線源は放射線防護方策を計画する時点で存在しており、計画被ばく状況に適用されるように完全に制御可能なものではないという認識のもと、線源を制御することにより公衆の線量限度1 mSv/年を担保しようとするのは適切ではなく、現存する線源からの被ばく線量を計画的に低減させる放射線防護方策を適用する必要があるとしている。この考え方に基づけば、事故によって汚染した物や土壌、食品等については、現存被ばく状況の放射線防護の考え方を適用し、公衆が受ける被ばく線量を計画的に通常に近いレベルにまで低減させる必要がある。

このうち、汚染した物の取扱いについて、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、警戒区域（当時）から搬出される物を除染するための基準（以下、汚染拡大防止スクリーニングレベル）を一般的なGM管式表面汚染サーベイメータの指示値で100,000 cpmと設定した⁽⁴⁾。そして、事故発生から5ヶ月が経過した段階で、「スクリーニングレベルについては、モニタリングの結果や入退域の状況等を総合的に勘案し、適切に定めて段階的に低減していくことが望ましい」との原子力安全委員会の助言を踏まえ、同年9月16日以降は、汚染拡大防止スクリーニングレベルを13,000 cpmに変更した⁽⁵⁾。

表1に、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ついて整理した結果を示す。厚生労働省が同年12月22日に定めた「除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン」⁽⁶⁾においても、除染等作業者が作業場所から持ち出す物の搬出基準は40 Bq/cm²と定められ、一般的なGM管式表面汚染サーベイメータの指示値で13,000 cpmに相当するとされている。

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

国際放射線防護委員会（ICRP）は、現存被ばく状況における公衆の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。

(1) ICRP Publ. 82（長期放射線被ばく状況における公衆の防護）⁽⁷⁾

- ・ 自然と人工の放射性核種はまた、過去の活動や事象あるいは事故からの放射性残渣で汚染された環境から商品中に取り込まれることもある。これは、商品の汚染がもっと広がる仮定であり、制御の方法は介入に対する放射線防護体系による。しかし、主として市場の国際化のために、商品中の放射性核種の介入免除レベルをケースバイケースで確立することができず、むしろそれらを 標準化 する必要がある（パラグラフ 124）。
- ・ 公衆の構成員が受ける現存年線量が約 10 mSv を下回るような状況では介入は正当化されそうもない。商品に起因し、介入を受け入れる年線量の成分がこのレベルに近づくことさえそれを許すのは不合理であろう。自然バックグラウンドの被ばくは少なくとも年当たり数 mSv の年線量をもたらし、許可された行為から起こりうる年線量を考慮すると、介入から免除すべき全ての商品からの年線量について年当たり数 mSv のオーダーの上限値が残される。数種類の商品が同時にある特定の個人に対して高められた長期被ばくの源となることはありそうもない（パラグラフ 125）。
- ・ ある状況において長期被ばくの重要な要因となるある種の建材のような、介入を受け入れる主な種類の商品からの予測される個人年線量に対しては、およそ 1 mSv の一般介入免除レベルを勧告する。この勧告に基づき、関係する国の機関および、該当する場合には、国際機関は、個々の商品、特に特定の建材に対して、放射性核種別の一般介入免除レベルを誘導すべきである（パラグラフ 126）。

- ・ 勧告された一般介入免除レベルは、注意して用いるべきである。例えば、いくつかの基本的な建材や食料品のように、ある状況においては通常生活のために代用品がなく、また欠かすことが出来ない商品がある。数多くの消費財のようなその他の商品は不必要とみなされることもある。これらの異なった状況に同じ規準を使うことは適切ではない。それに加えて、通常、数十 μSv の年線量で表される個々の消費財に対する免除についての国際的および国のガイダンスがあることを想起すべきである。介入免除レベルは、行為から放出されるかもしれない放射性核種の放射エネルギーに課される限度を緩和するために、明白にも暗黙にも使うべきでない。特に、行為の廃止に由来する材料のリサイクルを許すために用いるべきでない（これらの状況は、行為に対する規制免除規準を用いてもっとよく取り扱われる）（パラグラフ 127）。
- ・ 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。しかし、事故による被影響地域における商品の生産は、事故後数年で始めることができるかもしれない。この可能性は、事故後適用される介入戦略において考慮されるべきである（パラグラフ 130）。

表 2. 定量的勧告（ICRP Publ. 82⁽⁷⁾の表 1）

概念	量	数値 [mSv]
介入がほとんど常に正当化される一般参考レベル (それより上では、介入はほとんど常に正当化されるべきである)	現存年線量（ある与えられた場所における長期被ばくの全ての線源に起因する全ての「長期」年線量の総和）	<~100
介入が正当化されそうにない一般参考レベル (それ以下では、介入は選択肢であるが、正当化されそうになく、また、それより上では介入が必要かもしれない)	現存年線量	<~10
商品に対する介入の免除 (たとえばある種の建材のような、主要商品に対する介入免除レベルを導出するための規準)	追加年線量 (主要なタイプの商品に起因する年線量)	~1
行為に対する線量限度 (全ての関連する行為によって与えられる個人線量に適用できる)	総合された追加年線量 (全ての関連する行為に起因する全ての年線量（一時的、および長期）の総和)	1
行為に対する線量拘束値	追加年線量	<~1 & ~0.3

(行為の範囲内にある線源からの個人線量に適用できる；線源の防護の最適化に使われる)	(長期成分に対しては) ^a	(~0.1)
行為の規制免除 (行為の範囲内にある線源に対する免除レベルを導出するための規準；線源での防護は最適化されるべきであり、また線源は正当化された行為の部分であるべきである) ^b	追加年線量	~0.01

- a. 線量の組み合わせのいかなる考え得る状況の下においても、適合を保証するための線量算定法が利用できない場合に考慮する。
- b. 行為から放射性物質を含む物質が放出され、その後無制限に公衆の使用する商品としてリサイクルされるかもしれないような物質の規制免除に、一般的に適用することもできる。

(2) ICRP Publ. 103 (国際放射線防護委員会の 2007 年勧告)⁽¹⁾

- ・ 線源は多数ある可能性があり、ある個人は複数の線源からの放射線に被ばくするかもしれない。線量が確定的影響（有害な組織反応）のしきい値より下であるとすると、その状況に起因する追加線量とそれに応じた確率的影響の確率の増加との間に想定される比例関係によって、全被ばくの各成分を独立に扱い、放射線防護にとって重要な成分を選択することが可能となる。更に、これらの成分を様々な目的に関連したグループに再分割することが可能である（パラグラフ 46）。
- ・ 1990 年勧告では、個人線量が有害な確定的影響のしきい値よりも十分低いならば、ある線源の個人線量への寄与の影響は他の線源グループからの線量の影響と無関係である、と指摘されている。多くの目的のためには、個別の線源又は線源グループは、通常そのまま扱うことができた。次に、この線源又は線源グループに曝される個人の被ばくを考える必要がある。この手法は“線源関連”アプローチと呼ばれる。ある線源からの個人グループの防護を確実にするため、その線源に対し措置をとることができることから、委員会は今回、線源関連アプローチが最も重要であることを強調する（パラグラフ 197）。
- ・ 計画被ばく状況について、個人が受けるかもしれない線量に対する線源関連の制限は、線量拘束値である。潜在被ばくに対しては、対応する概念はリスク拘束値である。緊急時被ばく状況及び現存被ばく状況については、線量関連の制限は参考レベルである。線量拘束値と参考レベルの概念は、あらゆる被ばくを、社会的・経済的要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保つことの保証を支援するための防護における最適化のプロセスで用いられる。したがって、拘束値と参考レベルは、一般的な事情の下で最適な防護レベルを保証する 最適化のプロセスの重要部分 であると言える（パラグラフ 198）。
- ・ 線源関連の制限は、複数の線源がある場合には十分な防護を提供しないであろう、とい

う議論もありうるであろう。しかし委員会は、大抵の場合そこには 支配的な線源 があり、適切な参考レベル又は拘束値の選択が適切な防護レベルを保証する と推測する。拘束値又は参考レベルより下での最適化の線源関連原則は、状況がどのようなものであれ、防護の最も有効なツールであると委員会は引き続き考える（パラグラフ 199）。

- ・ 現存被ばく状況は、管理についての決定がなされる時点で既に存在している状況 である。放射線防護対策を正当化するか、あるいは少なくともそれを考えるほど高い被ばくを生じるかもしれない多くのタイプの現存被ばく状況がある。住居内又は作業場内の ラドン、及び 自然起源の放射性物質（NORM）はよく知られた事例である。また、ICRP の防護体系内で行われなかった作業からの放射性放出物に由来する 環境中の残渣、あるいは事故や放射線事象によって 汚染された土地 からのような、現存の人為的被ばく状況に対して放射線防護の決定を行う必要もあるかもしれない。被ばく低減対策が正当化されないことが明らかであるような現存被ばく状況もある。現存被ばくのうち、どのような構成要素が管理になじまないかの決定は、線源又は被ばくの制御可能性ばかりでなく、経済的・社会的・文化的な一般的事象にも依存する、規制当局の判断が必要である（パラグラフ 284）。
- ・ 現存被ばく状況は、複数の被ばく経路が関与 することがあり、またその被ばく状況は一般に、極めて低い線量から、稀なケースでは数十 mSv に及ぶ年間個人線量の広い分布をもたらす という点で、複雑になりうる（パラグラフ 285）。
- ・ 委員会は、個人線量で設定された参考レベル は、現存被ばく状況における被ばくに対する 最適化プロセスの履行 と関連付けて使用すべきであると勧告する。その目的は、最適化された防護戦略、あるいはそのような防護戦略の漸進的な一連の拡張を履行して、個人線量を参考レベルより下に引き下げる ことである。ただし、参考レベルを下回る被ばくは無視すべきではなく、防護が最適化されているか、又は更なる防護措置が必要かどうか確かめるため、それら参考レベルを下回る被ばく事情についても評価すべきである。最適化プロセスのエンドポイントを先験的に決めてはならず、防護の最適化されたレベルは状況によるであろう（パラグラフ 286）。
- ・ 現存被ばく状況の参考レベル は、予測線量 1 mSv から 20 mSv のバンドに通常設定すべき である。関連する個人は、被ばく状況に関する一般情報と、彼らの線量の低減手段を受けべきである。個人の生活タイプが被ばくの重要な要因となるような状況では、教育や訓練とともに、個人のモニタリング又は評価が重要な要件であることがある。原子力事故又は放射線事象の後の汚染された土地における生活 は、この種の典型的な状況 である（パラグラフ 287）。
- ・ 現存被ばく状況について参考レベルを設定する上で考慮すべき主要な要素は、その状況の制御の可能性、及び 類似状況の過去の管理経験 である。ほとんどの現存被ばく状況では、被ばくした個人と当局者が、被ばくを“通常”と考えられるレベルかあるいは同等のレベルまで引き下げる ことを望んでいる。これは特に、NORM 残渣や事故による汚染などのような、人の活動から生じる物質による被ばくの状況に当てはまる（パラグラフ 288）。

(3) ICRP Publ. 111（原子力事故または放射線緊急事態後の長期汚染地域に居住する人々の防護に対する委員会勧告の適用）⁽⁸⁾

- ・ 現存被ばく状況にとっての長期目標は、“被ばくを通常と考えられるレベルに近いあるいは同等のレベルまで引き下げること”（ICRP Publ.103⁽¹⁾、パラグラフ 288）であることから、汚染地域内に居住する人々の防護の最適化のための参考レベルは、このカテゴリーの被ばく状況の管理のためにPublication 103で勧告された1-20 mSvのバンドの下方部分から選択すべきであることを、委員会は勧告する。過去の経験は、長期の事故後の状況における最適化プロセスを拘束するために用いられる代表的な値が1 mSv/年であることを示している。国の当局は、その時点で広く見られる状況を考慮に入れ、また、復旧プログラム全体のタイミングを利用して、徐々に状況を改善するための中間的な参考レベルを採用しても良い（パラグラフ 50）。
- ・ 原子力事故または他の放射線緊急事態の後には、食品以外の物品も汚染されている可能性がある。これらには、木材、紙、油などの農産物、または金属くずなど汚染された物質から再利用される他の製品が含まれる。防護の目的は、この場合もまた、社会的及び経済的因子を考慮に入れて、被ばくを合理的に達成可能な限り低減することである（パラグラフ 92）。
- ・ 委員会は、汚染の防止（例えば、汚染地域における農業は、食品以外の生産に慎重に変更することを考慮するなど、可能かつ適切であればいつでも代替によって）、および汚染された物品の管理を含む最適な戦略を策定するよう勧告する。このような汚染された物品は、条件付き、あるいは無条件で取引し、使用できる。物品の使用目的および、取引または使用条件に応じて、関連する食品向けの汚染の判断基準が決められるべきである（パラグラフ 93）。
- ・ 汚染地域内での汚染された物品の使用に対する汚染レベルは、現実的な被ばくシナリオに基づき年間線量の参考レベルから誘導されるべきである。当局は、使用に対して拘束力のある、または推奨される条件を定めてもよい（パラグラフ 94）。
- ・ 汚染された物品や汚染された物質を用いて汚染領域外で製造された消費財の取引は、国際貿易のための規則や勧告に従うべきである。それにもかかわらず、受取人と協議し、重要なステークホルダー、特に、輸出国および輸入国の規制当局の同意を得て汚染された物品を取引するための明確な規定が設けられる状況があり得る。国際機関は、汚染された物品（例えば、原子力施設の解体後）の使用または取引のための数値を勧告している；これらは、各国の当局が関連する汚染の判断基準を定める際のベンチマークとして使用できる（パラグラフ 95）。

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現存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）。

現存被ばく状況における防護の最適化には、年線量 1-20 mSv の参考レベルを適用する。そして、長期目標としては、被ばくを通常と考えられるレベルに近いあるいは同等のレベルまで引き下げるために、年線量 1-20 mSv のバンドの下方部分から参考レベルを選択する。現存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、土壌に沈着した放射性核種、汚染食品、放射性廃棄物など、複数の被ばく経路が存在することになる。

別途定める標準「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」では、汚染した物からの被ばくに対する線量規準に、緊急時被ばく状況に適用する参考レベル（年線量 20-100 mSv）の上限値である年線量 100 mSv の 1/10 を割り当てている。この考え方は、国際原子力機関（IAEA）の安全要件文書 GSR Part.7⁽⁹⁾でも採用されているように、緊急時被ばく状況に適用する参考レベルの上限値が有害な確定的影響のしきい値[‡]と同程度であることから、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であった。

線量の割り当てに関して、ICRP2007 年勧告⁽¹⁾では、線源関連アプローチについての記述の中で、「個人線量が有害な確定的影響のしきい値よりも十分低いならば、ある線源の個人線量への寄与の影響は他の線源グループからの線量の影響と無関係である（パラグラフ 197）」と述べている。現存被ばく状況における防護の最適化のために適用する参考レベルは年線量 1-20 mSv であり、長期目標として、年線量 1-20 mSv の下方部分から選択することを考慮すれば、ある線源の個人線量への寄与の影響は、有害な確定的影響のしきい値よりも十分に低い。したがって、現存被ばく状況における汚染した物から受ける被ばくに対しては、線源の重畳を考慮することなく、線量規準を設定することができると考えられる。さらに、標準「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」では、線量規準を年実効線量 10 mSv 以下と定めており、緊急時被ばく状況から現存被ばく状況への移行における整合性を考慮することで、本ガイドラインでは、現存被ばく状況における汚染した物からの被ばくに年線量 1-10 mSv の線量規準を適用することとした。

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

[‡]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⁽¹⁰⁾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。

が年線量 1-10 mSv 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。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、ICRP Publ. 82⁽⁷⁾で勧告された商品に対する介入免除レベルを参考に、年線量 1 mSv を満足するべきであると定めた。

なお、本ガイドラインは現存被ばく状況を対象としており、計画被ばく状況における汚染した物の搬出については、別途ガイドラインを設定するものとする。

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、現存被ばく状況では、汚染した物から受ける年実効線量が 1-10 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 1-10 mSv の線量規準の下限である年線量 1 mSv 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⁽¹¹⁾は、IAEA-TECDOC-1449⁽¹²⁾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⁽¹¹⁾では、TECDOC-1449⁽¹²⁾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⁽¹³⁾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⁽¹³⁾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) 年実効線量から表面汚染密度への換算

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⁽¹¹⁾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⁽¹³⁾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⁽¹¹⁾

	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⁽¹³⁾

	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結果を示している。

(3) 年実効線量 1 mSv に相当する表面汚染密度

福島第一原子力発電所事故では多くの種類の放射性核種が環境中に放出されたが、被ばく線量評価の観点から重要となるのは放射性ヨウ素 131、放射性セシウム 134、放射性セシウム 137 の 3 核種と考えられる。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、放射性ヨウ素 131 は放射性セシウム 134 や放射性セシウム 137 のおよそ 100 倍の濃度で観察されていたが、時間の経過とともに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っていった。

ここでは、緊急時被ばく状況から現存被ばく状況に移行し、仮に、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 の比率で存在したと想定する。線量規準の最下限である年実効線量 1 mSv に相当する表面汚染密度は、表 3 に与えられる係数を用いて、放射性ヨウ素 131 が 0.44 Bq/cm²、放射性セシウム 134 が 44 Bq/cm²、放射性セシウム 137 が 44 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 3.9 Bq/cm²、放射性セシウム 134 が 390 Bq/cm²、放射性セシウム 137 が 390 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⁽¹⁴⁾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⁽¹⁴⁾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の一例について示す。

事故から時間が経過し、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 の比率で存在したと想定すると、年線量 1 mSv に相当する表面汚染密度は、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 0.44 Bq/cm²、放射性セシウム 134 が 44 Bq/cm²、放射性セシウム 137 が 44 Bq/cm² となり、式 (1) に与えられた関係より、一般的な GM 管式表面汚染サーベイメータで測定した場合の指示値は、およそ 21,000 cpm と求まる。したがって、現存被ばく状況における汚染した物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およそ 21,000-210,000 cpm と設定することができる。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 190,000-1,900,000 cpm となる。

表 5. 年線量 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の一例

表面汚染 線量評価モデル	年実効線量 1 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 ⁽¹¹⁾	0.44	44	44	21,000
Ogino and Hattori ⁽¹³⁾	3.9	390	390	190,000

ここでの計算例では、表 5 に示すように、年線量 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 管式表面汚染サーベイメータの指示値の 13,000 cpm を上回る結果となった。したがって、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る現場の運用は、本ガイドラインと矛盾するものではないと考えられる。

(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。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 日本保健物理学会放射線防護標準化委員会, 現存する被ばく状況に関する防護の安全規準, 2009年3月24日制定
<http://www.jhps.or.jp/jhp/wp-content/uploads/2011/12/6dcadfc232ee746babe3b5617a79f9c2.pdf>
- [3] 放射線審議会基本部会第41回, 国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告(Pub. 103)の国内制度等への取入れ(現存被ばく状況関連)について(案), 資料第41-2号, 2011年10月6日
http://www.nsr.go.jp/archive/mext/b_menu/shingi/housha/002/shiryo/___icsFiles/afieldfile/2011/10/07/1311895_1_1.pdf
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 厚生労働省、除染等業務に従事する労働者の放射線障害防止のためのガイドライン、平成23年12月22日付け基発1222第6号、最終改正：平成25年12月26日付け基発1226第21号
<http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anzen/dl/120118-01.pdf>
- [7] 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).
- [8] International Commission on Radiological Protection, Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency, ICRP Publication 111, Annals of the ICRP, Vol. 39, No. 3 (2009).
http://www.icrp.org/docs/P111_Japanese.pdf
- [9] 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).

- [10] 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).
- [11] 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).
- [12] 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).
- [13] H. Ogino and T. Hattori, Calculation of Isotope-specific Exemption Levels for Surface Contamination, Applied Radiation and Isotopes, 67, 1282-1285 (2009).
- [14] 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).