

【解説】 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

本解説では、計画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) 計画被ばく状況における物品搬出管理
 - (2) 物品搬出基準の設定根拠
 - (3) 放射線審議会基本部会が抽出した検討事項

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. 104 (放射線防護の管理方策の適用範囲)
 - (2) 国際原子力機関 (IAEA)
 - IAEA GSR Part 3 (放射線防護と放射線源の安全：国際基本安全基準)

3. ガイドラインの根拠となる考え方
 - (1) 管理区域から搬出される物品の特徴
 - (2) 物品搬出とクリアランスの関係

4. ガイドラインの線量規準に相当する表面汚染サーベイメータ指示値の一例
 - (1) 表面汚染線量評価モデル
 - (2) クリアランス線量規準に相当する表面汚染密度の比較検討
 - (3) 搬出物品の大きさを考慮した評価対象物の選定
 - (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) 搬出の可否の判断に用いる指示値の一例
 - (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

(1) 計画被ばく状況における物品搬出管理

計画被ばく状況とは、「線源の意図的な導入と運用を伴う状況」として定義される⁽¹⁾。我が国では、この計画被ばく状況に関して、「放射性同元素等による放射線障害の防止に関する法律（以下、障害防止法）」等によって、放射線管理区域の設置が義務付けられており、放射線源から放出される電離放射線への被ばくを計画的に管理することで、放射線管理区域内の放射線業務従事者及び区域外の公衆に対する安全が確保されている。

管理の対象となる放射線源には、物品の表面汚染が含まれる。障害防止法では、放射線管理区域内の人が常時立ち入る場所について、表面密度限度は、 α 線を放出する核種で 4 Bq/cm^2 、 α 線を放出しない核種で 40 Bq/cm^2 と定められている。そして、管理区域から搬出しようとする物品については、表面密度限度の10分の1（ α 線を放出する核種で 0.4 Bq/cm^2 、 α 線を放出しない核種で 4 Bq/cm^2 ）を超えている場合には、これをみだりに持ち出してはならないと定められており、物品搬出基準と呼ばれている。

(2) 物品搬出基準の設定根拠

物品搬出基準の設定根拠⁽²⁾について、表1に示す。 α 線を放出する核種について、1960年当時に日常的に用いられていた核種の中から、慢性の吸入摂取に対して最も危険度の高い代表核種として、Pu-239が選定された。国際放射線防護委員会（ICRP）のPub. 2⁽³⁾で、Pu-239の決定臓器である骨に対する空気中最大許容濃度 MPC_a （1週間あたり40時間の作業時間）が $2 \times 10^{-12} \mu\text{Ci/cm}^3$ であり、これを再浮遊係数¹の $2 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-1}$ で除することで、 α 線を放出する核種についての表面密度限度 $1 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/cm}^2$ が導出された。同様に、 α 線を放出しない核種については、3通りの代表核種（Sr-90、Pb-210、 α 核種とAc-227を含まない混合核種）が選定され、表面密度限度 $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci/cm}^2$ が導出された。

物品搬出基準の設定では、搬出先で再使用する際に接触する可能性のある公衆の被ばくを考慮し、当時の作業者と公衆の最大許容線量の比が10であったことから、管理区域内での表面密度限度の10分の1が物品搬出基準とされた。

上記の根拠に基づく物品搬出基準は、放射能の国際単位系であるベクレル(Bq)に単位が変更されたものの現在でも有効であり、物品搬出基準と同じ値が、IAEA輸送規則⁽⁴⁾における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。

(3) 放射線審議会基本部会が抽出した検討事項

我が国では、放射線障害防止の技術的基準に関する法律に基づいて、放射線障害の防止に関する技術的基準の斉一を図ることを目的に、放射線審議会が設置されている。国際放射線防護委員会（ICRP）の2007年勧告（Publ. 103）⁽¹⁾の公表を受けて、放射線審議会基本部会ではICRP2007年勧告の国内制度等への取入れ

¹ 物品搬出基準の導出に用いられた再浮遊係数 ($2 \times 10^{-8} \text{ cm}^{-1}$) は、核爆発後に行われる換気の無い閉空間での建物瓦礫の解体や救助活動での舞い上がりで観測される値であり、安全側に設定されたものである⁽²⁾。

に関する検討を2008年3月より開始し、1990年勧告の取入れ以降の国内制度の状況も踏まえて、検討事項の抽出を行った。その結果、2010年1月に中間報告⁽⁵⁾、2011年1月に第二次中間報告⁽⁶⁾が取り纏められ、15項目の検討すべき事項が抽出されている。その中には、本ガイドラインで扱う「管理区域から持ち出す物の基準」も含まれており、検討内容として、「管理区域から持ち出す物の基準については、クリアランスとの関係も踏まえて考え方の整理が必要」と述べられている。

表1 物品搬出基準の設定根拠⁽²⁾

線種	代表核種	空气中最大許容濃度	再浮遊係数	表面密度限度		物品搬出基準
		$\mu\text{Ci}/\text{cm}^3$	cm^{-1}	$\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$	Bq/cm^2	Bq/cm^2
α 線を放出する	Pu-239	2×10^{-2}	2×10^{-8}	1×10^{-4}	4	0.4
α 線を放出しない	Sr-90	3×10^{-10}		1×10^{-3}	40	4
	Pb-210	1×10^{-10}				
	混合核種 (α 核種とAc-227を含まない)	3×10^{-11}				

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では、計画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⁽¹⁾)

- ・ 委員会勧告があらゆるレベルとタイプの放射線被ばくに関わっているという事実は、その適用のために法体系又は規制体系を確立する際に、すべての被ばく、すべての線源、及びすべての人間の行動を同じように考慮することが可能あるいは必要であることを意味していない。むしろ、ある特定の線源又は被ばく状況を規制する上での管理へのなじみやすさ、及びその線源又は状況に関連する被ばく／リスクのレベルに応じて、段階的な責任の負担を予測しなければならない (パラグラフ 51)。
- ・ 放射線防護管理の範囲を区別する2つの明確な概念が存在する。すなわち、(i)規制手段で制御することになじまない (規制できない) という根拠に通常基づいた、特定の被ばく状況の放射線防護の法規制からの“除外”、及び(ii)多くの場合 制御のための努力が関連するリスクに比べて大きすぎる (規制の必要がない) と判断される という根拠で、そのような管理が是認されないとみなされるような状況に対する、一部又はすべての放射線防護の規制要件からの“免除”である。放射線防護に関する法体系は、第1に、法体系

の範囲内に含めるべきものと、法体系の範囲外とし、したがって法律とその規則から除外すべきものを定めるべきである。第2に、法体系は、規制対策が不当であるという理由で、一部又はすべての規制要件から免除すべきものを定めるべきである。この目的のため、法的枠組みは、規制当局がある被ばく状況を、特定の規制要件、特に届出及び認可、あるいは被ばく評価と検査などの行政的な性質を持つ規制要件から免除することを許すべきである。除外は管理体系の適用範囲を定めることと強く関連しているが、適用範囲を決める1つの仕組みにすぎないので、十分ではないかもしれない。一方、免除は、ある線源又は行為を規制管理の一部又はすべてに従う必要はないと決定する規制当局の権限に関係している。除外と免除の区別は絶対的なものではない；各国の規制当局は、特定の線源又は状況を免除あるいは除外するかどうかについて、異なる決定を下すかもしれない（パラグラフ 52）。

- ・ 除外と免除に関する更なるガイダンスは、Publication 104⁽⁷⁾に提供されている（パラグラフ 54）。

（ICRP Publ. 104: 放射線防護の管理方策の適用範囲⁽⁷⁾）

- ・ 計画被ばく状況を管理するための規制手段は、放射線防護がすでに最適化されていると見なされ、規制要件の適用は是認されないと考えられる場合には、これらの適用を免除するよう規定すべきである。過去何年かにわたって、免除の概念は国際的に適用されてきた。この概念は、1990年勧告において、委員会によって次のように勧告された。すなわち、「過度の規制手続きを避けるために、たいいていの規制体系は、免除を認める規定を含んでいる。委員会は、線源の免除が規制機能の重要な一部であると信ずる。線源あるいは環境の状況を規制上の管理から免除する根拠は2つある。1つは、その線源が小さな個人線量と小さな集団線量しかもたらさないことである。もう1つは、どのような合理的な管理手段も、個人線量および集団線量の有意な低減を達成することができないことである。わずかな線量を理由とする免除の根拠が強く求められているが、確立するのは非常に困難である。個人線量あるいは集団線量がどのようなときに、規制の目的から無視できるほど十分に小さいかを決定する難しさは別としても、線源を決めるうえでかなりの困難さがある。線量がわずかであるということは本来個人に関連しているのに対し、免除は必然的に線源に関連したプロセスであるという問題が根本にある」（285-290項）。委員会はさらに、「免除の第2の根拠は、防護の最適化において必要とされるのと同様の考察を要する。それは、わずかな線量を理由とするだけでは免除できないが、どんな合理的規模の規制も、ほとんどあるいはまったく改善をもたらさないような線源に対して免除を行うことに、論理的根拠を用意することである（1990年勧告、290項）」と述べている（パラグラフ 59）。
- ・ Publication 64において、委員会は免除のための判断基準を次のようにまとめた。すなわち、「通常被ばくの場合、行為は正当化されているが規制条項は不必要であることが明確なときには、ほとんどの規制体系は、その規制体系からの免除を認める条項を含んでいる。免除の根拠は、線源が小さな個人線量（1年あたり10μSvのオーダー）しか与えず、防護が最適化されていることである。すなわち、規制条項によって、線量低減がわずかしか、あるいはまったく改善されないということである。（もし、集団線量が小さく、例

例えば1年あたり1 man・Svのオーダーであれば、防護は最適化されているとみなされることが多い」(パラグラフ60)。

- ・ 免除される被ばく状況は、規制管理体系の外に置かれるものではないし、関連法規によって確立されている規制領域を超えるものではない。むしろ、免除は、通告、登録、または免許、並びに、査察や報告などのその後の遵守方策に対する要件のような、適用される規制のいくつかの側面に影響する。確かに、免除は、すべての放射線防護管理要件の放棄、と同義語として用いるべきものではない。なぜなら、大部分のケースではこのような使用は適切ではないか望ましくないからである(パラグラフ63)。
- ・ 国際的に採択されている免除の原則は、次のように要約することができる。ある行為が免除適用の候補となりうるかどうかの決定に関して、2つの基本的な判断基準がある。すなわち、(i)予測される個人のリスクへの寄与は、規制上の懸念が是認されないほど十分に低くなければならない。また、(ii)放射線防護は規制に必要な努力を考慮に入れて最適化されていなければならない。したがって、個人へのリスクへの寄与が低いと判断され、結果として生じる損害が要件の適用で達成される防護に見込まれる資財の投入に対して適切でないような場合、そのような活動に責任を負う個人は、放射線防護要件を免除されるかもしれない。また、更なる原則は、これが免除に対する最重要の条件であるが、その行為が正当化され、その線源は本質的に安全でなければならないというものである(パラグラフ65)。
- ・ IAEAとOECD/NEAによって1988年に定められた「放射線源および行為の規制管理からの免除のための国際的原則」は、免除の目的から低いと理解される典型的な個人のリスクレベルと、これに対応する個人線量について、初めてのガイダンスを提示した。これらの原則は、リスクまたは線量のレベルが低いかどうかを判定する場合に考慮できる2つの主要なアプローチを示している。最初のアプローチは、個人にとって何ら重要でないリスクレベルと、これに対応する線量を選択することであり、2つ目のアプローチは、これに関して通常程度でかつ不可避である自然バックグラウンド被ばくを参照として用いることである。このガイダンスの結論は、年に数十μSvのオーダーであれば、発生源に関わりなく、個人の放射線量は些細な量と見なされそうだということであった。この線量レベルは、ICRPによって勧告された公衆の年間線量限度の数パーセントにあたり、規制管理の対象となる行為に対し、監督官庁の定めているどの上限値よりもはるかに小さいことが注記された(パラグラフ66)。
- ・ 国際的な原則は、推測ではあるが広く支持されている見解として、10⁻⁵の年死亡リスクの軽減に自ら資財を投入しようとする人はほとんどおらず、10⁻⁶の年死亡リスクのレベルで対策を講じようとする人はさらに少ないと述べている。些細な量として判断される個人線量の値を提案している著者の大部分は、個人に何ら懸念を生じさせないと見なされる年死亡リスクのレベルを10⁻⁶から10⁻⁷に設定している。全年齢および性別における大まかな平均値として全身被ばくに対する約5×10⁻²/Svという名目リスク係数を考慮すると、些細な個人実効線量のレベルは年に10~100μSvの大きさのオーダーになる。自然バックグラウンド放射線は、平均で年に約2mSvの個人線量を与えると推定されている。この平均値には、地中や建築材料中の放射性物質の濃度のほか、標高や生活様式の違いによる広範なばらつきが隠れている。地球平均では、この線量の半分はラドンによる被ば

くであり、その線源に対する管理が提唱されている。残りの半分は、管理が実際的ではない宇宙放射線、地殻ガンマ線、および人体中の放射性核種による被ばくである。公衆の個々の構成員は、一般に、国内のある場所から別の場所へ移動する場合や、休暇で出かける場合に、自然バックグラウンド放射線による被ばく量の違いを考えない。したがって、自然放射線バックグラウンド放射線の変動と比べて小さい線量レベルは些細な量と見なすことができる。これにもとづいて、自然バックグラウンド放射線の1～数%のオーダーの実効線量、すなわち、20～100 μSvが提唱された。このように、これらの二つの考え方が、「年に数十μSv」という些細な個人線量についての判断規準をもたらしている（パラグラフ 67）。

- ・ 免除の概念は、特定の被ばく状況を規制すべきかどうかの事前の判断に広く用いられてきたが、おそらく、この概念は、事後的にも用いることが可能であると考えられる。すなわち、すでに規制要件の対象になっているが、規制の継続が是認されないような状況についても、免除を検討できる可能性がある。このような 事後的な免除のプロセスを説明するものとして、国際的な「クリアランス」という用語が使用されている。すなわち、クリアランスは、国際基準において、「認可された行為の範囲内における放射性物質や放射性の物品を、国の当局による以後の管理の対象から外すこと」と定義されている（パラグラフ 88）。
- ・ 図 4.2 は、除外、免除、クリアランスのシステムが実際にどのように機能することが予想されるかを簡単に説明したものである（パラグラフ 89）。

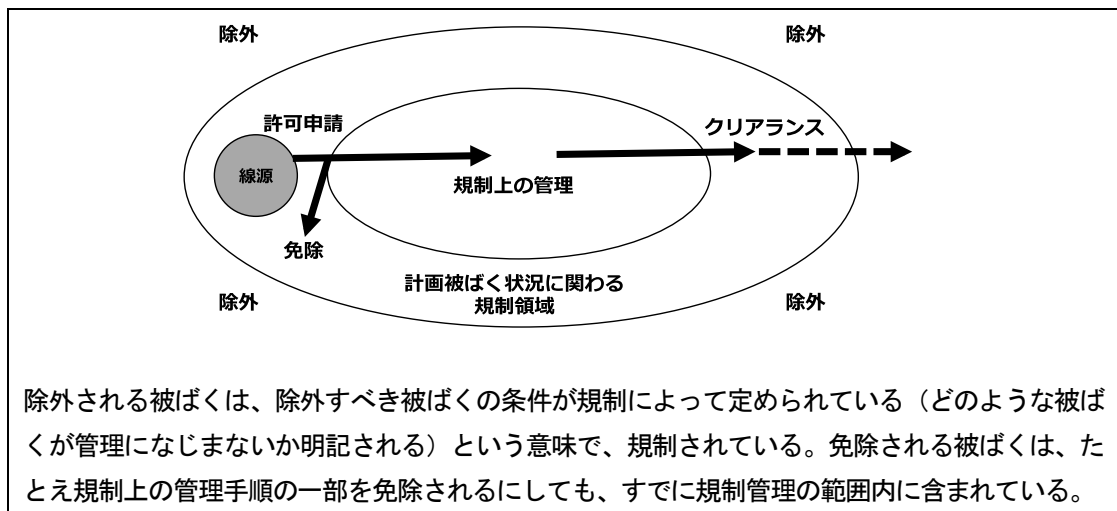


図 4.2 被ばく状況の規制（ICRP Publ. 104）

(2) 国際原子力機関（IAEA）

IAEA では、ICRP2007 年勧告⁽¹⁾を取り入れて改訂した一般安全要件 GSR Part 3⁽⁸⁾において、「免除」と「クリアランス」について、以下の通り述べている。本ガイドラインの策定にあたって特に参考となる基準が示された箇所を 下線 で示す。

（IAEA GSR Part 3:放射線防護と放射線源の安全：国際基本安全基準⁽⁸⁾）

要件 8：免除とクリアランス

- ・ 政府あるいは規制当局は、どの行為あるいは行為の中の線源がこれらの基準の一部あるいは全ての要件から免除されるか決めなければならない。規制当局は、届出のあった行為あるいは許可された行為の中のどの線源（物質や物体を含めて）が規制管理から解放されてもよいか認可しなければならない（要件8：免除とクリアランス）。

免除

- ・ 政府あるいは規制当局は、届出、登録、認可を含めて、付則Iに示された免除のための規準あるいはこれらの規準に基づいて規制当局によって特定された免除レベルに基づいて、どの行為あるいは行為の中の線源がこれらの規準の一部あるいは全ての要件から免除されるか決めなければならない（パラグラフ 3.10.）。
- ・ 免除は正当化されないと判断される行為に対して認めてはならない（パラグラフ 3.11.）。

クリアランス

- ・ 規制当局は、付則Iに示されたクリアランスのための規準あるいはこれらの規準に基づいて規制当局によって特定されたクリアランスレベルに基づいて、届出のあった行為あるいは認可された行為の中のどの線源（物質や物体を含めて）が規制管理から解放されるもよいか認可しなければならない（パラグラフ 3.12.）。

付則I：免除とクリアランス

免除のための規準

- ・ 行為あるいは行為の中の線源をこの基準の一部あるいは全ての要件から免除するための一般的な規準は、次の通り（パラグラフ I.1.）。
 - (a) 免除のための一般的な規準を満たすことの失敗につながりうる状況が発生しそうもなく、行為あるいは行為の中の線源から生じる放射線リスクが規制管理を是認しないほど低いこと。
 - (b) 行為あるいは線源の規制管理がまったく正味の便益をもたらさず、規制管理のためのいかなる合理的な手段も個人線量あるいは健康リスクの低減の観点から価値のある収益を達成しそうもないこと。
- ・ 合理的に予測可能なすべての状況において、いかなる個人（通常は安全評価に基づいて検討される）が免除された行為あるいは行為の中の免除された線源から受けると考えられる実効線量が1年で10 μSv オーダーあるいはそれ以下であるならば、パラグラフ I.1.にあるように、行為あるいは行為の中の線源は、さらなる考慮なしにこの基準の一部あるいは全ての要件から免除されるかもしれない。発生確率の低いシナリオを考慮するために、異なる規準を用いることができる。すなわち、そのような発生確率の低いシナリオでいかなる個人が受けると考えられる実効線量が1年で1 mSv を超えないことである（パラグラフ I.2.）。

クリアランスのための規準

- ・ クリアランスのための一般的な規準は次の通り（パラグラフ I.10.）。
 - (a) クリアランスされた物質から生じる放射線リスクが規制管理を是認しない

ほど低いこと。そして、クリアランスのための一般的な規準を満たすことの失敗につながりうる状況が発生しそうなこと。

- (b) 物質の継続した規制管理が正味の便益をもたらさず、規制管理のためのいかなる合理的な手段も個人線量あるいは健康リスクの低減の観点から価値のある収益を達成しそうなこと。

- ・ 合理的に予測可能な状況において、いかなる個人もクリアランスされた物質から受けると考えられる実効線量が1年で10 μSv オーダーあるいはそれ以下であるならば、パラグラフ I.10(a)にあるように、物質はさらなる考慮なしに解放されるかもしれない。発生確率の低いシナリオを考慮するために、異なる規準を用いることができる。すなわち、そのような発生確率の低いシナリオでいかなる個人が受けると考えられる実効線量が1年で1 mSv を超えないことである（パラグラフ I.11.）。
- ・ クリアランスは、パラグラフ I.10 と I.11 の規準に基づいて、特定の状況に対して、放射性物質の物理的あるいは化学的形態や、その使用、あるいはその処分の方法を考慮に入れて、規制当局によって認められるかもしれない。そのようなクリアランスレベルは、単位重量あたりの放射能濃度あるいは単位面積あたりの放射能濃度によって定められるかもしれない（パラグラフ I.13.）。

3. ガイドラインの根拠となる考え方

(1) 管理区域から搬出される物の特徴

放射線防護標準化委員会では、本ガイドライン策定のための作業を進めるにあたり、国内にある研究開発機関と原子力発電所の一部を対象に、搬出される物のうち日常の管理で頻度高く取り扱われている物品の搬出の現状について調査し、以下のとおり特徴を整理した。

（研究開発機関における物品搬出の特徴）

- ・ 個々の物品の大きさは小さいが、件数が多い。
- ・ 使うために一時的に管理区域に持ち込み、使い終わったので持ち出す、というパターンが多い。
- ・ 持ち出された物は再度使用されるが、管理区域内で再度使用するとは限らない。管理区域内専用品以外は管理区域内に戻るケースは少ない。
- ・ 持ち出され、管理区域に戻らない物は、いずれは、一般ごみとして廃棄されていると推定される。
- ・ 多くの場合、管理区域内でこれらの物品が使用される場所は、日常の管理によって作業環境として汚染の無い状態が維持されている。これら物品の外表面が汚染されることはまず無いと見なされている。
- ・ ただし、非密封 RI や核燃物質の系に接続された機器の内面には、汚染の可能性はある。
- ・ 施設の定期的なメンテナンス、小規模の工事や施設補修などで発生する資材くずの事例として、蛍光灯管や窓のブラインドがある。また、売却価値があるくずとして、電線や金属製窓枠がある。

(原子力発電所における物品搬出の特徴)

- ・ 表面汚染密度が法令に定める表面密度限度の 1/10 を超えないものであることはもとより、測定において放射性物質が検出されないものであることを確認してからでなければ搬出してはならない。
- ・ 測定において放射性物質が検出された場合には、法令に定められる運搬又は輸送に係る要求事項を遵守しなければならない。
- ・ 搬出後の取扱いに応じて物品を区分し、搬出後の取扱いを明確にする。形状、性状等に応じて物品を分類し、汚染形態に応じた適切な測定方法を明確にする。
- ・ 可燃物・難燃物は、再使用しない場合、汚染の有無にかかわらず原則として放射性廃棄物として取り扱われている。
- ・ 搬出確認測定で汚染が検出された場合には、除染をして非汚染物品とするか、又は、汚染物品として取り扱われている。非汚染物品の再使用は構内外を問わない。
- ・ 原子力発電所の一回の定期検査（約 4 ヶ月）では、クランプや足場パイプ、ケーブル、キャップといった物品が毎日のように搬出され、個々の物品の大きさは小さいが、総数は 20 万を超える場合がある。
- ・ 搬出後のトレーサビリティが確保されているのは一次の搬出先までである。搬出先は、発電所構内の資材倉庫が最も多く、次いで、各号機のタービン建屋、原子炉建屋、サービス建屋、計測器室、中央操作室、事務本館など。

これらの調査より、搬出される物品の数は多いものの、大きさの小さいものが圧倒的に多く、搬出先となる一般区域における再使用状況は管理されていないのが一般的であることが分かった。一方、車両のような大型の搬出物については数が少なく、汚染管理の徹底した作業環境からの搬出であることを考慮すれば、小型の物品と同様に、全面汚染の可能性は限りなく低いと考えられる。よって、本解説では、大型の搬出物の全面が汚染された状況を想定せず、大型の搬出物は小型の搬出物と同等に扱えると判断し、小型の搬出物品を対象を絞って検討することとした。

(2) 物品搬出とクリアランスの関係

ICRP Publ. 104⁽⁷⁾で勧告されているとおり、「免除」は規制上の管理の入口で事前的に適用されるのに対し、「クリアランス」は規制上の管理の出口で事後的に適用される概念である（図 4.2 参照）。本ガイドラインで取り扱う管理区域からの物品搬出において、その搬出後の取扱い方法については国内関連法令では規制要件となっていない。すなわち、搬出先となる一般区域における再使用状況は管理されていないという意味において、管理からの解放であり、「クリアランス」の概念で捉えることが可能と考えられる。そこで、IAEA の国際基本安全基準 GSR

Part 3⁽⁸⁾に挙げられたクリアランスのための一般的な規準を参考にしながら、本概念の成立性について以下のとおり検討した。

まず、一点目の規準は、「クリアランスされた物質から生じる放射線リスクが規制管理を是認しないほど低く、クリアランスのための一般的な規準を満たすことの失敗につながる状況も発生しそうにないこと (IAEA GSR Part 3 パラグラフ I.10. (a))」である。放射線リスクの程度について、具体的には、「合理的に予測可能な状況において、いかなる個人も搬出された物品から受けると考えられる実効線量が1年で10 μ Sv オーダーあるいはそれ以下であり、発生確率の低いシナリオにおいては、実効線量が1年で1 mSv を超えないこと (同パラグラフ I.11.)」である。しかし、現行の物品搬出基準は、「1. ガイドラインの背景 - (2) 物品搬出基準の設定根拠」で述べたように、管理区域内での職業被ばくを対象とした表面密度限度を単純に十分の一倍したものであり (表 1 参照)、搬出された後の物品の取扱いによって生じる公衆被ばくとクリアランス線量規準との関係を考慮して設定されたものではない。したがって、本概念の成立性を確かめるためには、クリアランス線量規準相当の表面汚染密度レベルについて検討する必要がある。詳細については、「4. ガイドラインの線量規準に相当する表面汚染サーベイメータ指示値の一例」で述べる。

次に、クリアランスのための一般的な規準の二点目は、「物質の継続した規制管理が正味の便益をもたらさず、規制管理のためのいかなる合理的な手段も個人線量あるいは健康リスクの低減の観点から価値のある収益を達成しそうもないこと (IAEA GSR Part 3 パラグラフ I.10. (b))」である。搬出物品の継続した規制管理を行うためには、例えば、すべての搬出物品に識別タグを付け、搬出先の一般区域における再使用状況を継続して管理する方法が考えられる。しかしながら、「(1) 管理区域から持ち出される物品の特徴」で示したとおり、日常的に搬出される物品の量は多く、それらのほとんどが汚染管理の徹底した作業環境からの搬出であることを考慮すれば、すべての物品に対して継続した規制管理を行うことは正味の便益をもたらすものではないと考えられる。我が国の関連法令で搬出後の物品の取扱いについて規制要件がないのは、このような継続した規制管理が正当化されず、規制管理のためのいかなる合理的な手段も個人線量あるいは健康リスクの低減の観点から価値のある収益を達成しそうもないと判断されたためと解釈することができる。

4. ガイドラインの線量規準に相当する表面汚染サーベイメータ指示値の一例

本ガイドラインでは、計画被ばく状況では、汚染した物から受ける年実効線量が0.01 mSv オーダーまたはそれ以下であれば、当該物を搬出することができるとしている。ここでは、年線量0.01 mSv オーダーまたはそれ以下に相当する搬出物品の表面汚染レベルを判断するためのサーベイメータ指示値の一例を示す。

(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、本ガイドライン策定のための作業を進めるにあたり、クリアランス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、三つの表面汚染線量評価モデル（A, B, C）を選定し、クリアランス線量規準に相当する表面汚染密度を比較検討した。以下に各モデルの概要を示す。

A) 主な原子炉施設の解体に伴って発生する金属機器を対象とした評価例

原子力安全委員会の放射性廃棄物安全基準専門部会は、報告書「主な原子炉施設におけるクリアランスレベル」⁽⁹⁾の付属資料4において、原子炉施設の解体に伴って発生する金属機器を再使用する場合の代表例として、表面が均一に汚染した円柱状の金属（直径1.27 m、長さ2.5 m）を想定し、運搬作業、積み下ろし作業、前処理作業、溶融・鑄造作業における作業員の被ばく線量を評価するモデルを開発し、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を計算している。線量規準は年実効線量で0.01 mSvとしている。

B) 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⁽¹⁰⁾は、IAEA-TECDOC-1449⁽¹¹⁾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。論文⁽¹⁰⁾では、TECDOC-1449で取り扱われた356核種に対して、単位表面汚染密度（1 Bq/cm²）あたりの年間被ばく線量（mSv/y）を計算している。

C) 一般形状物の再使用を対象にした評価例

Ogino and Hattori⁽¹²⁾は、表面が汚染した物を一般化した三種類の形状、すなわち、手で扱う物（0.1 m²）、近傍で扱う物（1 m²）、遠隔で扱う物（10 m²）に分類し、公衆（成人、子ども）がこれらの物を取り扱うことによって受ける被ばく線量を評価するモデルを開発している。論文⁽¹²⁾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を計算している。線量規準は、現実的なパラ

メータを用いる場合は年実効線量で 0.01 mSv、低確率なパラメータを用いる場合は年実効線量 1 mSv としている。

(2) クリアランス線量規準に相当する表面汚染密度の比較検討

上記三つの表面汚染線量評価モデルを用いて、年実効線量 0.01 mSv オーダーまたはそれ以下に相当する表面汚染密度 (Bq/cm²) を比較した (表 2)。クリアランスレベルの設定方法に倣い、計算値に対して対数丸めを行っている。対象核種は、原子力安全委員会報告書⁽⁹⁾の付属資料 4 で取り上げられた 20 核種とした。

表 2 クリアランス線量規準に相当する表面汚染密度の比較

核種	表面汚染密度 (Bq/cm ²)					
	原子力安全委員会 ⁽⁹⁾		Munakata ⁽¹⁰⁾		Ogino and Hattori ⁽¹²⁾	
	丸め値	計算値	丸め値	計算値	丸め値	計算値
H-3	100,000	8.4E+04	1,000	1.2E+03	100	2.8E+02
C-14	1,000	2.6E+03	100	1.2E+02	1,000	5.2E+02
Cl-36	1,000	1.7E+03	100	9.3E+01	100	1.3E+02
Ca-41	10,000	4.3E+03	-	-	1,000	1.6E+03
Mn-54	100	4.7E+01	-	-	10	1.5E+01
Fe-55	10,000	6.4E+03	1,000	3.3E+02	1,000	4.0E+02
Co-60	10	1.7E+01	1	4.7E-01	10	4.0E+00
Ni-59	10,000	5.5E+03	1,000	1.8E+03	1,000	2.5E+03
Ni-63	10,000	9.5E+03	100	7.3E+02	1,000	1.0E+03
Zn-65	100	6.4E+01	-	-	10	2.7E+01
Sr-90	100	4.0E+01	10	4.0E+00	10	1.2E+01
Nb-94	10	2.3E+01	-	-	10	5.4E+00
Tc-99	10,000	4.2E+03	-	-	100	1.7E+02
I-129	10	1.9E+01	-	-	10	3.8E+00
Cs-134	10	2.5E+01	1	7.0E-01	10	6.5E+00
Cs-137	100	7.7E+01	1	1.7E+00	10	1.5E+01
Eu-152	100	3.5E+01	-	-	10	7.7E+00
Eu-154	100	3.2E+01	1	1.0E+00	10	8.2E+00
Pu-239	1	9.9E-01	0.1	1.4E-01	1	4.3E-01
Am-241	1	9.9E-01	0.1	1.7E-01	1	5.1E-01

(単位はすべて Bq/cm²)

(3) 搬出物品の大きさを考慮した評価対象物の選定

クリアランス線量規準に相当する表面汚染密度を計算するための評価モデルとして取りあげた三例では、表面汚染の拡がりを想定する対象物の大きさが異なっている。すなわち、原子力安全委員会モデル⁽⁹⁾では大型機器 (直径 1.27 m、長さ 2.5 m の円柱)、Munakata モデル⁽¹⁰⁾では使用済燃料キャスク (直径 2.3 m、長さ 5.9 m の円柱) と小型輸送物 (一辺 0.3 m の立方体)、Ogino and Hattori モデル⁽¹²⁾では、手で扱う物 (面積 0.1 m²)、近傍で扱う物 (面積 1 m²)、遠隔で扱う物 (面積 10 m²) を想定している。

「3. (1)管理区域から搬出される物品の特徴」で述べたとおり、本解説では、大型の搬出物の全面が汚染された状況を想定せず、大型の搬出物は小型の搬出物と

同等に扱えると判断し、小型の搬出物品を対象を絞って検討する。したがって、表面汚染サーベイメータの指示値の一例の設定にあたっては、Munakata モデル⁽¹⁰⁾の「小型輸送物」及び Ogino and Hattori モデル⁽¹²⁾の「手で扱う物」と「近傍で扱う物」の3つに絞り、クリアランス線量規準相当の表面汚染密度について検討することとした。以下に、Co-60 と Cs-137 についての結果を示す。

① Co-60

Co-60 についてのクリアランス線量規準相当の表面汚染密度 (Bq/cm²) の結果を表 3 に示す。最小値は、両モデルとも外部被ばくが決定経路となり、それぞれ 3.1 Bq/cm² と 4.0 Bq/cm² である。国際基本安全基準 GSR Part 3⁽⁸⁾ に示された免除、クリアランスレベルの設定方法に倣い、対数丸めを行うと、いずれも 10 Bq/cm² となる。

表 3 Co-60 に対するクリアランス線量規準相当の表面汚染密度について

表面汚染 線量評価モデル	クリアランス線量規準相当の 表面汚染密度 (Bq/cm ²)			評価対象物
	外部被ばく	吸入摂取	経口摂取	
Munakata ⁽¹⁰⁾	3.1	12,000	33	小型輸送物
Ogino and Hattori ⁽¹²⁾	4.0	2,100	33	手で扱う物、近傍で扱う物

② Cs-137

Cs-137 についてのクリアランス線量規準相当の表面汚染密度 (Bq/cm²) の結果を表 4 に示す。最小値は、Munakata モデル⁽¹⁰⁾では経口摂取が決定経路となり 8.5 Bq/cm²、Ogino and Hattori モデル⁽¹²⁾では外部被ばくが決定経路となり 15 Bq/cm² であり、対数丸めを行うといずれも 10 Bq/cm² となる。

表 4 Cs-137 に対するクリアランス線量規準相当の表面汚染密度について

表面汚染 線量評価モデル	クリアランス線量規準相当の 表面汚染密度 (Bq/cm ²)			評価対象物
	外部被ばく	吸入摂取	経口摂取	
Munakata ⁽¹⁰⁾	11	1,800	8.5	小型輸送物
Ogino and Hattori ⁽¹²⁾	15	2,100	65	手で扱う物、近傍で扱う物

(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⁽¹³⁾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/cm^2)、 ε_i はベータ線又はアルファ線に対する機器効率、 W は放射線測定器の有効窓面積 (cm^2)、 ε_s は表面汚染の線源効率である。

(5) 搬出の可否の判断に用いる指示値の一例

以下に、Co-60、Cs-137 の 2 核種についての指示値の一例を示す。なお、ここで示すサーベイメータの指示値は一例であり、表面の浸透性や平滑度によっては線源効率が変わり⁽¹⁴⁾、測定器の種類によっては窓面積や機器効率が変わることに注意が必要である。

① Co-60 で表面が汚染した物品について

Co-60 から放出されるベータ線最大エネルギーは 0.318 MeV (99.9%) であり、0.4 MeV より低いため、JIS 規格⁽¹³⁾に準拠して、線源効率 ε_s を 0.25 とする。ベータ線の表面汚染測定に一般的に用いられる GM サーベイメータ (大面積端窓形有機 GM 管、窓径 : $\Phi 50$ mm) について、Co-60 に対する機器効率を $35\%/2\pi$ と仮定する。窓径 $\Phi 50$ mm の窓面積は 19.6 cm^2 である。

Co-60 が 10 Bq/cm^2 の表面汚染密度 A_s で存在する場合のサーベイメータの指示値 (バックグラウンド計数率を含まない) は、式 (1) の右辺より、約 17 cps ($=10 \times 0.35 \times 19.6 \times 0.25$) となり、1 分間あたりに換算すれば、およそ $1,000$ cpm となる。

② Cs-137 で表面が汚染した物品について

Cs-137 から放出されるベータ線最大エネルギーは 0.514 MeV (94.4%) であり、0.4 MeV 以上であるため、JIS 規格⁽¹³⁾に準拠して、線源効率 ε_s を 0.5 とする。GM サーベイメータの Cs-137 に対する機器効率を $40\%/2\pi$ と仮定する。

Cs-137 が 10 Bq/cm^2 の表面汚染密度 A_s で存在する場合のサーベイメータの指示値 (バックグラウンド計数率を含まない) は、式 (1) の右辺より、約 39 cps ($=10 \times 0.4 \times 19.6 \times 0.5$) となり、1 分間あたりに換算すれば、およそ $2,300$ cpm となる。

ここでの計算例では、年線量で 0.01 mSv オーダーまたはそれ以下に相当する表面汚染レベルが、代表的なベータ線放出核種である Co-60 と Cs-137 に対

して、いずれも 10 Bq/cm²であり、現行法令にある物品持出基準（アルファ線を放出しない核種については 4 Bq/cm²）は、本ガイドラインと矛盾するものではない。

(6) 搬出の可否の判断に係る留意事項

① 指示値の平均化の範囲

上記の(5)で示したサーベイメータの指示値を、搬出の可否の判断に適用する場合には、指示値の平均化の範囲に十分留意する必要がある。

クリアランス線量規準に相当する表面汚染密度は、小型輸送物（一辺 0.3 m の立方体）と近傍で扱う物（面積 1 m²）を取り扱うことによって生じる被ばくシナリオから導出されており、汚染が表面に一様に存在することを想定している。しかし、被ばく線量を評価する観点からは、汚染の偏在があつたとしても、表面の汚染の総量が同じ、若しくは、表面全体で測定された指示値の平均値が同じであれば、汚染が表面に一様に存在する場合と同一として扱うことができる。

したがって、サーベイメータで物品の表面を測定する場合には、物品の表面全体で測定した指示値の平均値として満足すれば良く、(5)で示したサーベイメータの指示値を一箇所でも超えれば搬出不可と判断する必要はないことに留意が必要である。

汚染の偏在の程度に関しては、我が国におけるクリアランスレベル制度化にあたっての留意事項が参考となる。原子力安全委員会は、クリアランスレベル再評価報告書「原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもののうち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について」⁽¹⁵⁾において、クリアランス対象物内部の放射能分布に関する偏りについて、以下の留意事項を挙げている。

クリアランス制度化にあたっての留意事項

(4) 前者①（生体遮蔽コンクリートなどの放射化大型コンクリート構造物類や貯槽・配管類等の表面汚染金属で大型機器類のような、大量の発生が見込まれるものの、その内部の放射能濃度分布をあらかじめ把握しやすいもの）については、実際に解体する前にクリアランスレベルとの比較を行うことが可能であり、クリアランス以下で「放射性物質として扱う必要のないもの」（以下、「クリアランス対象物」という）を特定するに際しては、必要に応じ除染等を行うなどにより、その平均放射能濃度がクリアランスレベルの値を下回ると同時に、クリアランス対象物内部の放射能分布に関する偏りに起因する最大放射能濃度を制限する観点から、放射能濃度が最も高いと推定される対象物内表面の値が高くてもクリアランスレベルの、例えば 10 倍を超えない範囲で適切なレベルに設定して、それとの比較によって特定することが考えられる。対象物の内表面の最大放射能濃度自体をクリアランスレベル以下とすることも考えられるが、それは、対象物の平均放射能濃度に着目するというクリアランスレベルの本来の趣旨にそぐわない

ばかりでなく、発生量等から判断すると、結果的に平均濃度を著しく低く規制するという過剰規制を強いることになる可能性が高い。

(原子力安全委員会クリアランスレベル再評価報告書⁽¹⁵⁾ 23-24 ページより)

下線部に示す汚染の偏在に関する考え方を、本解説の「(5) 搬出の可否の判断に用いる指示値の一例」に同様に適用する場合、例えば、Cs-137 で表面が汚染した物品については、「平均正味計数率が指示値 2,300 cpm を下回ると同時に、物品表面の放射能分布に関する偏りに起因する最大放射能面密度を制限する観点から、放射能面密度が最も高いと推定される対象物表面の値が高くても 2,300 cpm の例えば 10 倍 (23,000 cpm) を超えない範囲で適切なレベルに設定して、それとの比較によって特定することが考えられる。」と解釈することができる。

② 現行法令との関係

本ガイドラインでは、原子炉等規制法及び放射線障害防止法で定められた管理区域からの物の持ち出しに係る基準が将来的に再検討される可能性を視野に入れ、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) International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, 37 (2-4) (2007).
- (2) H. J. Dunster, Surface contamination measurements as an index of control of radioactive materials, Health Phys., 8, 353-356 (1962).
- (3) International Commission on Radiological Protection, Permissible dose for internal radiation, ICRP Publication 2 (1959).
- (4) International Atomic Energy Agency, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2012 Edition, IAEA Safety Standard Series No. SSR-6 (2012).
- (5) 放射線審議会基本部会、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に係る審議状況について—中間報告—、平成 22 年 1 月
https://www.nsr.go.jp/archive/mext/b_menu/shingi/housha/sonota/__icsFiles/afieldfile/2010/02/16/1290219_001.pdf
- (6) 放射線審議会基本部会、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について—第二次中間報告—、平成 23 年 1 月
https://www.nsr.go.jp/archive/mext/b_menu/shingi/housha/toushin/__icsFiles/afieldfile/2011/03/07/1302851_1.pdf
- (7) International Commission on Radiological Protection, Scope of radiological protection control measures, ICRP Publication 104, Annals of the ICRP, 37 (5) (2007).
- (8) European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Office, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standard Series No. GSR Part 3 (2014).
- (9) 原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会、主な原子炉施設におけるクリアランスレベルについて、平成 11 年 3 月 17 日
- (10) 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).
- (11) 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).
- (12) H. Ogino and T. Hattori, Calculation of isotope-specific exemption levels for surface contamination, Appl. Radiat. Isot., 67, 1282-1285 (2009).
- (13) 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).
- (14) 伊知地猛、荻野晴之、様々な材質の表面汚染に対する線源効率の実験的評価、日本原子力学会和文論文誌, 6, 370-375 (2007).
- (15) 原子力安全委員会、原子炉施設及び核燃料使用施設の解体等に伴って発生するもの

うち放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度について、平成 16 年 12 月 16 日（平成 17 年 3 月 17 日一部訂正及び修正）