

放射線防護

原子力災害医療 基礎研修
原子力災害基礎-4

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
Ver.202309

時間：30分

内容

- 原子力災害時の放射線防護の目的
- 防護の三原則
- 被ばく線量限度
- 放射線測定器
- 外部被ばく防護の三原則
- 外部被ばく対策
- 空間線量率と個人被ばく線量
- 個人被ばく線量計
- 個人被ばく線量管理
- 遮へいの効果
- 遮へいと屋内退避
- 鉛入り防護服
- 内部被ばく経路の防護
- 吸入摂取の防護
- 鼻腔スワブ（鼻スメア）検査
- 汚染対策
- 汚染と被ばく線量

原子力災害時の放射線防護の目的

- 無用な被ばくをしない
 - 確定的影響の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させる
 - 外部被ばくの防護
 - 内部被ばくの防護
- 二次災害の予防
 - 対応者の無用な被ばくの防止
 - 汚染拡大防止：汚染検査、除染
 - 関係機関での安全・危険情報の共有
- 住民の保護
 - 広報：情報提供（内容、方法）
 - 避難退域時検査
 - 避難
 - 屋内退避

2

原子力災害時の放射線防護の目的は、外部被ばくと内部被ばくによる無用な被ばくをしないことと、二次災害の予防です。具体的には、確定的影響の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させることになります。このために、原子力災害時には、放射線防護を実施します。

放射線防護の方法は、外部被ばくの防護と内部被ばくの防護に分けられます。さらに二次災害の予防として汚染拡大防止対策を講じます。

防護の三原則

正当化

便益
(ベネフィット、メリット) > > 放射線のリスク

防護の最適化 個人の被ばく線量や人数を、経済的及び社会的要因を考慮に入れた上、合理的に達成できる限り低く保つこと

ALARA(As Low As Reasonably Achievable)

線量限度の適用

職業人（実効線量）		一般公衆（実効線量）	
1年間	50mSv かつ	1年間	1mSv
5年間	100mSv		

3

がんや遺伝性影響では、影響の現れ方が確率的であり、現在の放射線防護では、低線量域でも直線しきい値なし(LNT)モデルを適用しているので、安全と危険を明確に区分することはできません。そこで、国際放射線防護委員会(ICRP)は、どんなに小さくても有限のリスクがあるものとして、「リスクを容認できること」を基準に、防護のレベルを考えることを推奨しています。その防護の三原則が、「正当化」「線量限度の最適化」「線量限度の適用」です。

正当化とは、放射線を使う、被ばくの変化をもたらす行為や活動に対して、もたらされる便益（ベネフィット、メリット）が放射線のリスクを上回る場合のみ認められることです。

放射線を伴う行為のメリットが放射線のリスクを上回る場合は、合理的に達成可能な限り被ばく量を減らして、放射線を利用します。これがALARAの原則です。防護の最適化とは、社会的、経済的なバランスも考慮しつつ、できるだけ被ばくを少なくするよう努力するということで、必ずしも被ばくを最小化することではありません。

線量限度は計画被ばく状況に適用されます。ICRPの2007年勧告では、職業人の実効線量限度は5年間で100mSv、特定の1年間に50mSvと定めています。一般公衆の場合は、実行線量限度は年間1mSvです。線量限度は、管理の対象となるあらゆる放射線源からの被ばくの合計が、その値を超えないように管理するための基準値であり、安全と危険の境界を示す線量ではありません。

被ばく線量限度

電離放射線障害防止規則による線量限度

区 分	実効線量限度	等価線量限度
業務従事者	100 mSv／5年 (50mSv／年) 女子 5mSv／3月 妊娠中の女子 (出産までの内部被ばく) 1mSv	水晶体：100 mSv／5年 (50mSv／年) 皮膚：500mSv／年 妊娠中の女子 (出産までの腹部表面) 2mSv
	緊急作業：100mSv	水晶体：300mSv 皮膚：1Sv
一般公衆	1mSv／年	水晶体：15mSv／年 皮膚：50mSv／年

※ 国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められている。

ICRPの放射線防護の考え方及びその勧告に基づき、放射線障害の防止に関する法令で放射線を職業的に扱う人（放射線業務従事者）に対し、線量限度を定めています。国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められています。また、放射線業務従事者である個人の線量のほか、公衆に対する線量の寄与を把握するため、事業所の境界や、放射線を取り扱う管理区域の境界など、場所についての線量も定められています。

放射線業務従事者の線量限度は、男性では1年間で50mSv、5年間で100mSv、女性の場合は、3ヶ月で5mSvと定められています。人命救助などの緊急作業では100mSvです。一般公衆の線量限度は、1年間で1mSvです。

原子力災害や放射線事故、災害の現場活動では、被ばくを”0（ゼロ）”とすることはできません。このため、線量限度を越えないように活動計画では被ばく線量を管理しなければなりません。また、無用な被ばくをしないように対処することも重要です。

放射線測定器

対象	測定方法	測定する放射線	測定器
空間線量率	1時間あたりの線量 測定場所ごとの短時間測定	ガンマ線	NaIシンチレーション式 サーベイメーター
			電離箱式サーベイメーター
			GM計数管式サーベイメーター
		中性子線	^3He 計数管式（レムカウンタ）
表面汚染	直接法 （対象物を直接測定） 間接法 （スミア法など）	アルファ線	ZnSシンチレーション式 サーベイメーター
		ベータ（ガンマ）線	GM計数管式サーベイメーター
個人被ばく 線量	積算線量	ガンマ線 中性子線	電子個人線量計
			警報付き個人線量計

放射線を測定する場合、測定する目的と測定の対象とする放射線の種類によって、適切な測定機器を選ぶ必要があります。適切な放射線測定器を選択しないと、過剰な被ばくをしたり、身体汚染を起こすこととなり、注意する必要があります。

放射線を測定する目的は、

- ・空間放射線量率の測定
- ・表面汚染の測定
- ・個人被ばく線量の測定 があります。

空間放射線量率の測定に適している測定器は、ガンマ(γ)線を測定する場合は、NaIシンチレーション式、電離箱式、GM計数管式です。中性子線の空間放射線量率を測定する場合、 ^3He 計数管式（レムカウンタ）です。

アルファ(α)線を放出する放射性物質の表面汚染の測定に適しているのは、ZnSシンチレーション式が、ベータ(β)線（ガンマ(γ)線）を放出する放射性物質の表面汚染の測定に適しているのはGM計数管式です。

個人被ばく線量の測定に使用される、電子式個人線量計は、活動中に被ばく線量ができ、さらに、設定した線量に至るとアラーム等で警報を発する、警報付個人線量計（アラームメータ）もあります。

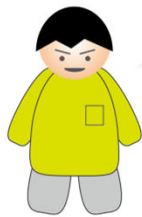
外部被ばく防護の三原則



時間

作業時間を短くする。

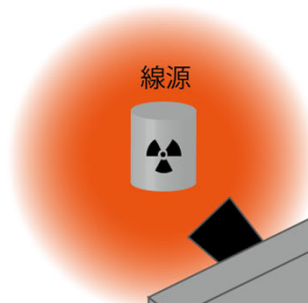
被ばく線量は時間とともに増えます。被ばく時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。



距離

線源からできるだけ離れる。

放射線の強さは遠くに離れると弱くなり、線量は距離の2乗に反比例して減ります。



線源

遮へい

線源と人の間に遮へい体を置く。

物体を間に置くと放射線を弱めてくれます。建物の壁などは遮へい体になり、空間線量率が低くなります。



外部被ばく防護のポイントは「時間」「距離」「遮へい」です。被ばくする時間を短くする、放射線源からの距離をとる、放射線を遮へいすることで、被ばく線量が低減できます。

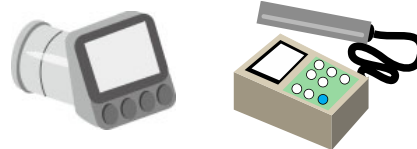
放射線にさらされる活動時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。放射線は、放射線源からの距離の二乗に反比例して減少します。そのため放射線源からの距離をとることで被ばく線量を少なくすることができます。逆に、放射線源からの距離が半分の位置(1/2の距離)に近づくと放射線量は元の位置の4倍になり、急激に空間線量が上昇することになるため、特に危険区域での活動時には注意が必要です。

放射線源との間に遮へい物があると放射線量は減少します。コンクリートの壁、鉄や鉛の金属の板などがあれば、遮へい材として使用できます。放射線源の位置、形状が明確であれば、鉛のブロックなどで線源を囲むことによって周辺の空間線量率を低減することもできます。

外部被ばく対策

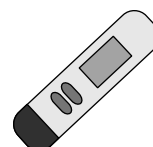
空間線量率の測定

活動する場所の安全確認、管理
危険区域の設定



個人線量計の装着

線量限度以下での活動、個人被ばく線量の管理
アラームの設定：線量限度以上の被ばくを避ける



時間管理

現場の空間線量率に応じて、線量
限度を超えないように管理

$$\text{被ばく線量} = \text{空間線量率} \times \text{活動時間}$$



外部被ばくの対策には、空間線量率を測定して、活動する場所の安全確認と管理をします。

個人被ばく線量計を装着して、被ばく線量管理を行います。

活動時間は、活動する場所の空間線量率に応じて、線量限度を超えないように管理します。

空間線量率と個人被ばく線量

実効線量

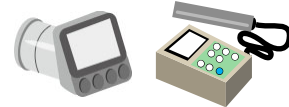
放射線被ばくによる全身の影響を表す。計算により算出し、直接測定はできない。

被ばく管理のために、実効線量の代わりに実際に測定できる線量当量を用いる。

周辺線量当量（空間線量）；Sv シーベルト

環境モニタリングで用いられる。

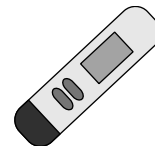
人体の組織を模した直径30cmの球の表面から深さd※で生じる線量当量測定を行った空間の線量を表す。



個人線量当量；Sv シーベルト

個人モニタリングで用いられる。

人体のある指定された点における深さd※の線量当量測定器を体に身につけて測定するときの単位



※深さd：実効線量 1 cm、水晶体3mm、皮膚70μm

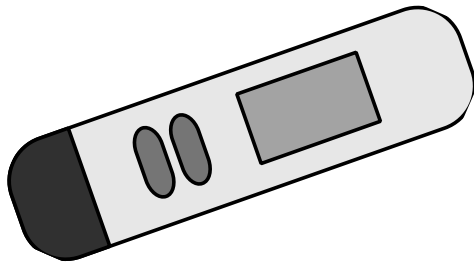
8

実効線量は計算によって算出される量で、直接測定することはできません。そこで、被ばく管理のために、実効線量の代わりに実際に測定できる量（実用量）として、周辺線量当量と個人線量当量を用います。

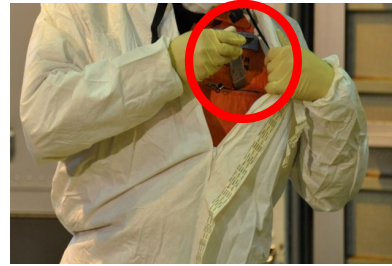
空間線量計は周辺線量当量を示し、個人線量計は個人線量当量が表示されます。

周辺線量当量は、人体の組織を模した直径30cmの球の表面から1 cmの深さにおける線量（1 cm線量当量）で表されます。人体の組織の多くは体表面から1 cmより深いところにあるので、結果的に周辺線量当量は実効線量よりも高い値となります。そのため周辺線量当量を用いることで、安全側での被ばく管理ができます。

個人被ばく線量計



電子式個人線量計



汚染させないように防護服の中あるいはビニール袋などに入れて装着する。

- 活動中の被ばく線量の積算値
- 装着の方向を確認する。
- アラームの設定ができる。
- アラーム音は小さいため、聞こえない場合がある。
- 誤計数の可能性があるので、携帯電話、PHS、高出力トランシーバーなどの装置の近辺での使用は十分注意する。

9

電子式・直読式の個人線量計を用いると、被ばくの積算線量がリアルタイムで表示されるので、一定期間ごと、あるいは作業ごとに、自分の線量を知ることができます。また、被ばく線量があらかじめ設定した値に達すると、アラームや振動で着用者に知らせてくれる、アラーム付きのポケット線量計もあります。放射線の事故や災害などの緊急時の対応にはアラーム付きのポケット線量計を使用します。

男性は胸部に、女性は妊娠の可能性も考慮し腹部に付けることが一般的です。個人線量計は汚染させないように防護服の内側に、向きを確認して装着します。誤計数の可能性があるので、携帯電話、PHS、高出力トランシーバーなどの装置の近辺での使用は十分注意します。

個人線量計には、光刺激ルミネッセンス（OSL）線量計、ガラス線量計といったタイプのものもあります。これらは、一ヶ月等の一定期間、身につけて、積算線量を測定するもので、リアルタイム値は表示されません（現像しないと分からない写真フィルム、のようなイメージに近いです）。

個人被ばく線量管理

個人被ばく線量の測定記録票の例

記録年月日	平成 年 月 日 (曜日)							
記録者氏名								
測定条件	①天候(晴れ、曇り、雨、雪) ②その他()							
作業場所								
作業者氏名	線量計型式及び番号		作業前指示値 (μ Sv)	作業後指示値 (μ Sv)	被ばく線量 (μ Sv)	作業時間		
	型 式	番 号				作業前時刻	作業後時刻	作業時間

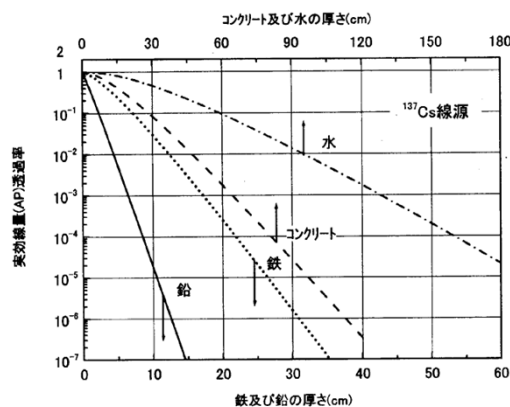
注：被ばく線量 = 作業後指示値 - 作業前指示値

活動時の個人被ばく線量を記録します。

個人線量計の中には、電源を切ると測定結果がリセットされてしまうものやホルダーに戻すとリセットされるものもありますので、注意が必要です。

遮へいの効果

遮へい材	鉛(cm)		鉄(cm)		コンクリート(cm)	
核種	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層	半価層	1/10価層
Co-60	1.2	4.0	2.0	6.7	6.1	20.3
I-131	0.7	2.4	-	-	4.6	15.3
Cs-137	0.7	2.2	1.5	5.0	4.9	16.3



放射線は透過する物質の密度が高いほど減衰する。

11

遮へい材の遮へい効果を表すのに半価層及び1/10価層がよく用いられています。半価層は入射 γ 線の線量率を1/2に減じるのに必要な遮へい物の厚さ、1/10価層は入射ガンマ(γ)線の線量率を1/10に減じるのに必要な遮へい物の厚さになります。

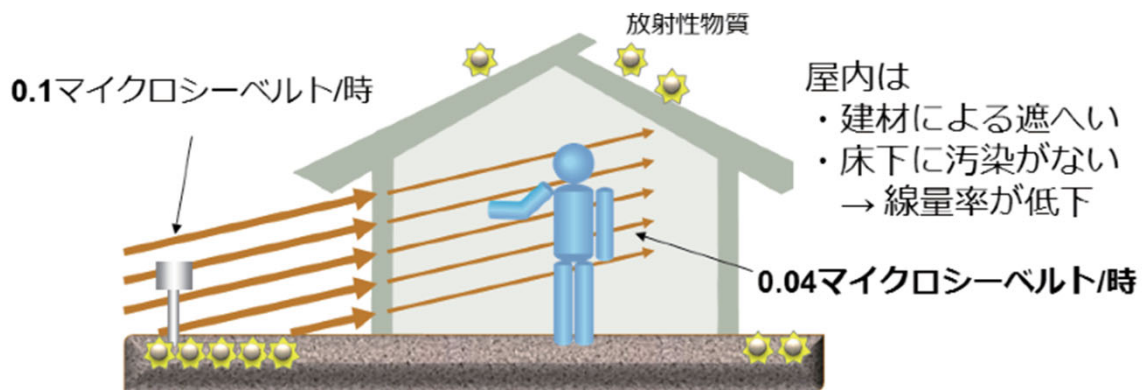
ガンマ(γ)線では、実効線量透過率を1/10程度にするのに、鉛や鉄を用いても数cmの厚さが必要なこと、コンクリートでは同程度の遮へい効果を得るには、20cm前後の厚さが必要となることが分かります。

実効線量透過率とは遮へい体がない場合のガンマ(γ)線の実効線量率と遮へい体がある場合のガンマ(γ)線の実効線量率の比をいいます。この図は、線源から5 m離れた場所に遮へい物を置いたときに、その後方でどれだけ実効線量透過率が低下するかを示しています。例えば、**Cs-137線源の場合、厚さ30cmの鉄では、その後方で実効線量透過率は約 10^{-6} 、すなわち、100万分の1に低下します。**

出典；JAERI-Data/Code 2000-044 実効線量評価のための光子・中性子・ベータ線制動輻射線に対する遮へい計算定数

総務省消防庁 スタート！RI119 消防職員のための放射性物質事故対応の基礎知識（平成23年3月（平成27年3月一部改定））

遮へいと屋内退避



場所	低減係数※
木造家屋（1～2階建）	0.4
ブロックあるいはレンガ家屋（1～2階建）	0.2
各階450～900m ² の建物（3～4階建）の1～2階	0.05
各階900m ² 以上の建物（多層）の上層	0.01

※建物から十分離れた屋外での線量を1とした時の、建物内の線量の比

12

原子力災害時の防護措置として屋内退避があります。これは、屋内では建材による遮へいの効果、床下には汚染がないことから屋外よりも空間線量率が低くなるためです。

屋内での線量率を求める場合は、建築物による遮へいや床下に汚染がないことを考慮して、近くの屋外線量率の値に低減係数を乗じて、屋内の空間線量率を推定します。

低減係数は、建材の種類によって異なります。木造家屋は、外からの放射線の約6割を低減します。ブロックやレンガの家屋、鉄筋コンクリート家屋ではより遮へい効果が高まります。また、高層階になるに従い、土壌表面の放射性物質からの距離が離れるため、放射線量も少なくなります。

出典；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平成29年度版」

原子力安全委員会「原子力施設等の防護対策について」（昭和55年6月（平成22年8月一部改訂））

鉛入り防護服



人体ファントム（人体模型）に個人線量計を装着し、防護服の有無による遮へい効果を、3種類（Am-241 (60keV)、Cs-137 (662keV)、Co-60 (1250keV)）の線源を用いて確認した。

各鉛相当の鉛ベストにおけるエネルギーと遮蔽効果の関係

エネルギー(keV)	遮へい効果(%)
60	94.2
662	9.4
1250	4.4

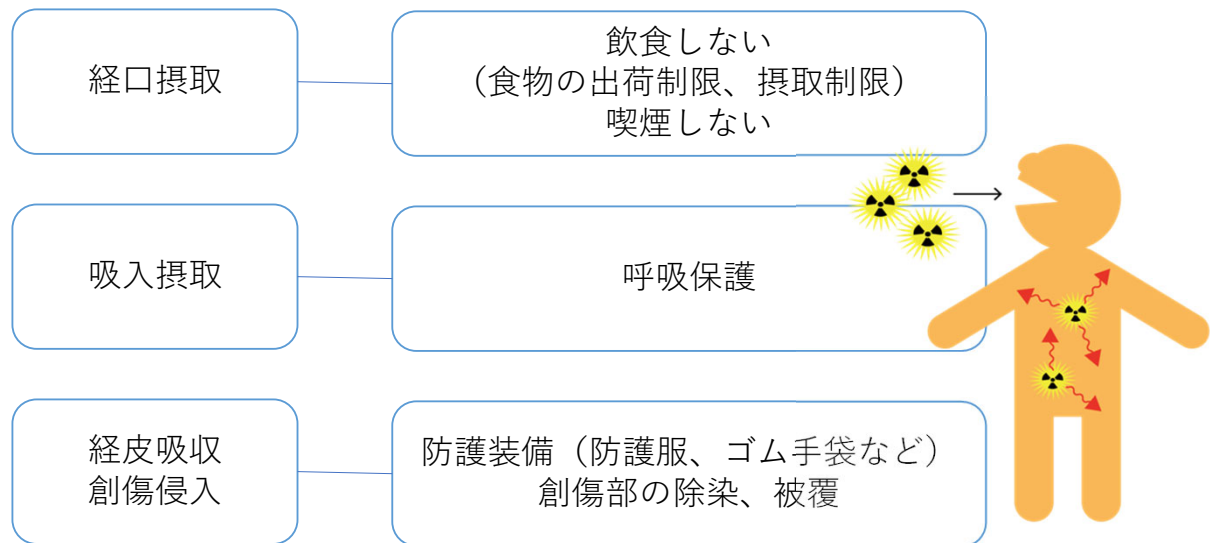
防護服一式に含まれる鉛ベストは鉛3mm相当でしかなく、アメリカシウム-241から放出される低エネルギーの γ 線などに対しては遮へい率95%前後と、有効であると言えるが、セシウム-137やコバルト-60に対しては遮へい率が10%以下となる。

13

鉛入りのインナーベストや防護服がありますが、その遮へい効果を実際に確認した結果を示しています。防護服一式に含まれる鉛ベストは鉛3mm相当でしかなく、アメリカシウム-241から放出される低エネルギーの γ 線に対しては遮へい率95%前後と、有効であると言えますが、セシウム-137やコバルト-60に対しては遮へい率が10%以下となります。また、鉛ベストの側面(脇腹部分)は鉛が入っておらず、側面から被ばくをした場合、遮へい効果は期待できません。防護服一式の総重量等による機動性の低下により、活動時間が延長し、被ばく線量が増大することもあります。

出典；総務省消防庁 スタート！RI119 消防職員のための放射性物質事故対応の基礎知識（平成23年3月（平成27年3月一部改定））

内部被ばく経路の防護



14

内部被ばくの経路には、経口摂取、吸入摂取、傷口や皮膚から体内に入る経皮吸収の三つがあります。そのため、内部被ばくを防ぐためには、この三つの経路から、放射性物質が体のなかに取り込まれないようにします。

経口摂取を防ぐには、汚染している区域で飲食、喫煙等をしない、手や物品を舐めるなど、口を使った作業をしないようにします。

吸入摂取の防止は、次のページに例示するマスクなど、必要に応じて、呼吸保護具を着用します。

経皮吸収の防止ですが、傷口や皮膚からの放射性物質の取り込みを防ぐためには、傷口であれば保護（カバー、覆い）をする、皮膚については、次のページに例示する身体用の防護装備（つなぎ服、ゴム手袋等）を着用するなどして、放射性物質が直接、皮膚に接触しないようにします。

以上の3つは、人の内部被ばくにつながる三つの経路を断つという、身体に関する防護ですが、放射性物質そのものに対する防護としては、「閉じ込め」、「除染」、「整理・整頓（線源の管理）」の、内部被ばく防護の三原則があります（数は諸説あり）。これらはいずれも、「汚染状況の把握と拡大・飛散の防止」という、シンプルな原則に基づくもので、考え方は難しくないのですが、いずれも放射線計測・測定を伴うため、放射性物質の取扱い・管理について不明な場合には、放射線管理要員の助言を得ることがよいでしょう。

吸入摂取の防護

防護性能は、顔面とマスクの密着度合にも左右される。



空気呼吸器



全面マスク
フィルタ
(吸収缶)



半面マスク
フィルタ
(吸収缶)

放射性物質の浮遊がある／疑われる



使い捨て防じんマスク
(DS-2,DS-3)
粒子捕集率95%以上



サージカルマスク

汚染対応（汚染検査、搬送など）

防護係数

高

$$\text{防護係数} = \frac{\text{マスクの外側の有害物質濃度}}{\text{マスクの内側の有害物質濃度}}$$

低

吸入摂取の防護には、呼吸保護具（マスク）を装着します。このマスク性能を表す数値として防護係数があります。防護係数が高いほどマスク内への粉じんの漏れ混みが少ないことを示しています。

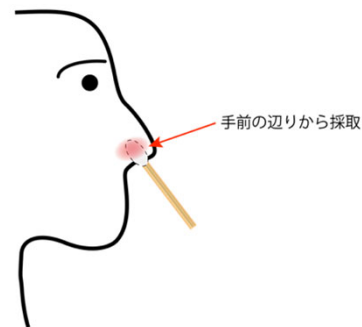
原子力災害時の対応では、使用するマスクは、空気中に舞っている放射性物質の種類と濃度によりますが、汚染の程度が低ければ、サージカルマスクやN95マスクで対応します。

放射性物質濃度が高い場合、放射性ヨウ素、 α 線放出核種等の場合には、チャコールフィルター（活性炭フィルター）等によりろ過可能な、半面マスクや全面マスクを使うこともあります。

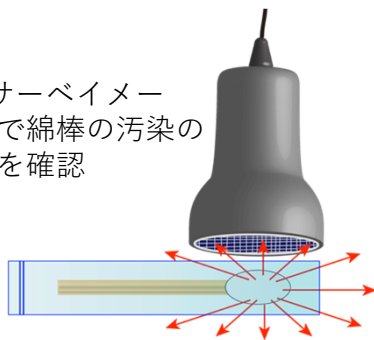
なお、派遣チームで標準的に利用することは想定されませんが、事業所内の状況によっては、陽圧式呼吸保護具など、特殊な装備が使われることもあります。

マスク着用に際しての注意点ですが、写真の例であれば、サージカル・N95などでは、鼻筋に当たる部分を密着させる（針金部を曲げて調整する）こと、面体のあるマスク（写真の例は全面マスク）では、顔にしっかり密着させることです。

鼻腔スワブ（鼻スメア）検査



GMサーベイメーターで綿棒の汚染の有無を確認



- 綿棒を生食で湿らせ、鼻腔を傷つけないように採取
- 左右別々に採取
- 採取部位、日時、氏名等を記入
- 汚染があれば、内部汚染の可能性があるため、詳細な検査（ホールボディカウンターなど）を実施

放射性物質を吸入した場合、鼻腔の粘膜に放射性物質が付着します。そこで、内部被ばくの可能性を確認する場合に鼻腔スワブの汚染検査で確認する方法があります。綿棒を生食で湿らせて、鼻腔を擦ります（綿棒を生食等で湿らせる方が粘膜を傷つけません。）。綿棒やスワブに汚染があれば、放射性物質を吸入した可能性があるため、ホールボディカウンターでの計測などで、詳細な検査を行います。

汚染対策



17

表面汚染対策としては、防護衣、マスク、ゴーグル、ゴム手袋、靴カバーを着着します。

適切な防護装備の選択には、作業環境の線量率、汚染（表面汚染密度）、放射性物質の種類（核種）等を勘案します。

例えば、汚染が低い場合は、白衣、綿手及びマスク等で十分ですが、汚染が高い場合には、より重い装備を選択する必要があります。対象となる放射性物質の種類や、作業環境の情報が得られず、不明である場合は、重装備を選びます。

汚染することが前提である場合や可能性が高い場合は、ゴム手袋を二重にし、外側のゴム手袋を交換していくなどの運用も必要です。

汚染と被ばく線量

$$H = A \times D \times T \times K \text{ (nSv)}$$

- A : 単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量 [(nGy/h)/(Bq/cm²)]
(皮膚表面から70μm直下) で 図 (参考資料) より読取ります
D : 汚染した箇所の表面汚染密度 (Bq/cm²)
T : 皮膚被ばくの継続時間 (h)
K : 吸収線量 (Gy) から皮膚の被ばく線量 (Sv) への換算係数 (1Sv/Gy)

皮膚が表面密度120Bq/cm² のI-131に汚染し、汚染してから除染が完了するまで2時間かかったときの皮膚の被ばく線量は、

$$\begin{aligned} H &= A \times D \times T \times K \\ &= 1,400 \times 120 \times 2 \times 1 \\ &= 336,000 \text{ (nSv)} \\ &= 0.34 \text{ (mSv)} \end{aligned}$$

18

皮膚の被ばく線量の計算式 ; $H = A \cdot D \cdot T \cdot K \text{ (nSv)}$

- A : 単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量
[(nGy/h) / (Bq/cm²)] (皮膚表面から70μm直下) で 図 (参考資料を参照) より読取ります
D : 汚染した箇所の表面汚染密度 (Bq/cm²)
T : 皮膚被ばくの継続時間 (h)

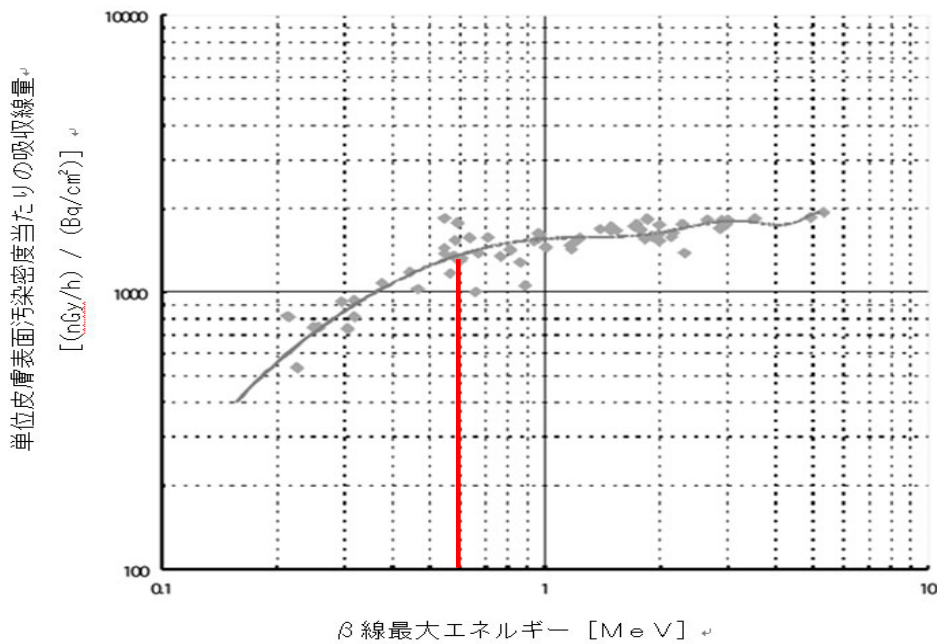
例として、I-131が表面汚染密度120 Bq/cm² で汚染して、汚染してから除染が完了するまでに2時間かかったときの、皮膚の被ばく線量は0.34mSvとなります。

放射線業務関係者の皮膚に関する等価線量限度500mSv (緊急時には1Sv(1,000mSv)) にくらべて、小さいことが分かります。

まとめ

- 防護の三原則；正当化、防護の最適化、線量限度の適用
- リスクの容認(便益>>リスク、可能な限り低く(ALARA)、線量限度の適用)
- 目的に応じた測定器の使用(空間線量率Sv/h、表面汚染cpm、個人被ばく線量Sv)
- 外部被ばく防護三原則:出来るだけ短時間、距離を離隔、遮へい体を使用
- 個人被ばく線量計:防護服内側、胸部(男)腹部(女)、向き確認、電波機器から離す
- 半価層:鉛1.2cm(Co-60)、0.7cm(Cs-137)であり、鉛ベスト(3mm)では、遮へいの効果10%
- 屋内退避が有効
- 内部被ばく防止:口、鼻、皮膚、創傷からの侵入防止、汚染の把握・拡大飛散防止
- 放射性浮遊物;空気呼吸器・吸収缶マスク、汚染検査等;防塵マスク(密着注意)
- 汚染対策:防護衣、マスク、ゴーグル、ゴム手袋(二重)、靴カバー、テープ目貼り

参考



例えば、
I-131の場合、β線の
エネルギーを
0.6MeV（横軸）とする
と、単位皮膚表面汚
染密度あたりの吸収
線量（縦軸）は
約1,400（nGy/h）/
（Bq/cm²）と読みま
す。

図1-5 単位皮膚表面汚染密度当たりの吸収線量とβ線最大エネルギーとの関係（出典：ICRU Report56、1997 改）