

# 原子力防災体制

原子力災害医療 基礎研修  
原子力災害基礎-1

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201909

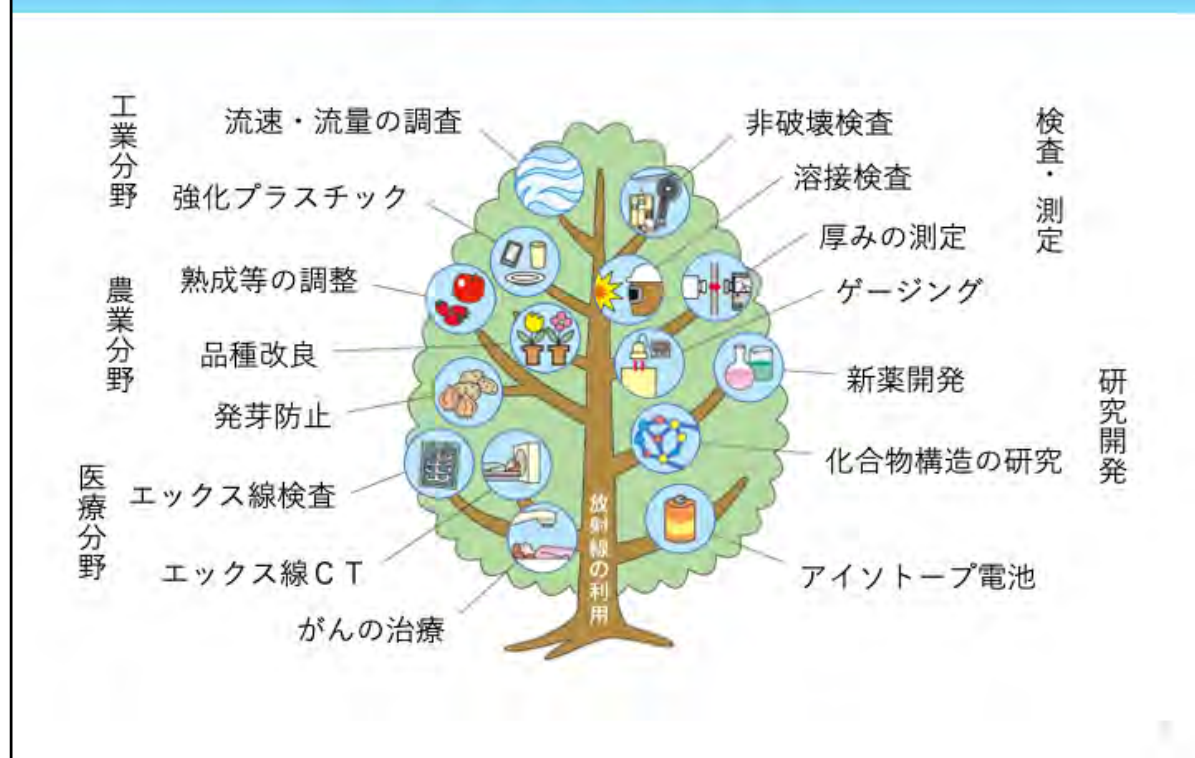
本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間：30分

内容

- 放射線の様々な利用
- 放射線事故・災害の種類
- 原子力災害
- 関連文書
- 原子力災害対策指針
- 原子力災害対策重点区域
- 緊急事態の段階
- 緊急事態区分及び緊急時活動レベル(EAL)
- 運用上の介入レベル(OIL)
- OILの初期設定値と防護措置の内容
- 原子力災害時の防護の考え方・基準
- 安定ヨウ素剤の予防服用の体制
- 緊急時モニタリング
- 避難退域時検査及び除染
- 原子力災害時の医療体制

## 放射線の様々な利用



放射線は、医療のみならず、農業、工業などの様々な分野で利用されています。

医療の分野では、診断に利用するX（エックス）線撮影、X（エックス）線の透過度の差から臓器を画像化するCT（コンピューター断層撮影）、注射器、手術用の手袋やガウンなどの滅菌、ガンの治療にも利用されています。

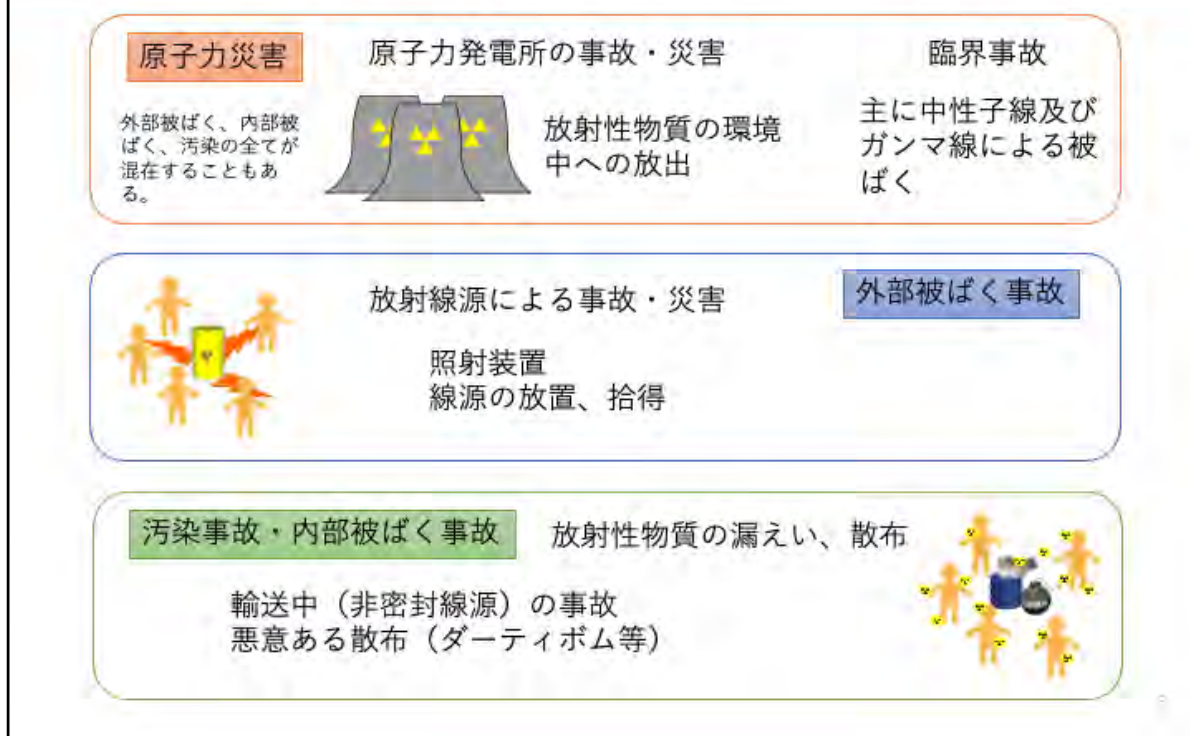
農業分野では、放射線を照射することで突然変異を惹起して、病気に強い品種や栄養価値を高めた品種の開発などの品種改良やジャガイモの発芽防止にも利用されています。また、不妊化した成虫を野外に放し、繁殖を抑制することによる害虫の駆除にも役立っています。

工業の分野では、自動車のタイヤなどの高分子化合物に放射線を当てると、熱が強くなり、機械的強度も増します。また、医療のX（エックス）線撮影と同じように物を壊さないで内部を検査する非破壊検査や連続的に物の厚さや密度を測るのにも利用されています。

また、半減期を使用した年代測定や放射性物質の熱を使用したアイソトープ電池等にも利用されています。

出典：原子力・エネルギー図面集2016

## 放射線事故・災害の種類



原子力災害は、原子力発電所や原子力施設などの事故・災害です。原子力災害対策特別措置法では、原子力災害とは、原子力緊急事態により国民の生命、身体または財産に生ずる被害を指します。ここでいう原子力緊急事態とは、原子力事業者の原子炉等の運転等により放射性物質または放射線が異状な水準で当該原子力事業者の原子力事業所外へ放出された事態を指します。

その他、放射線の事故・テロ・災害には、放射線源による外部被ばく、放射性物質の拡散による汚染と内部被ばくを生じるものがあります。爆発物を使用した放射性物質の拡散の場合は、被災者に放射性物質による汚染や体内への吸入等による内部被ばくに加えて爆傷の被害が生じます。また原子力施設の破壊行為や核兵器の使用では、外部被ばく、内部被ばく、汚染の全てが混在することになります。

放射線事故や災害の種類は、

原子力施設の事故

放射性物質及び放射線の使用施設の事故

核物質や放射性物質の輸送中の事故

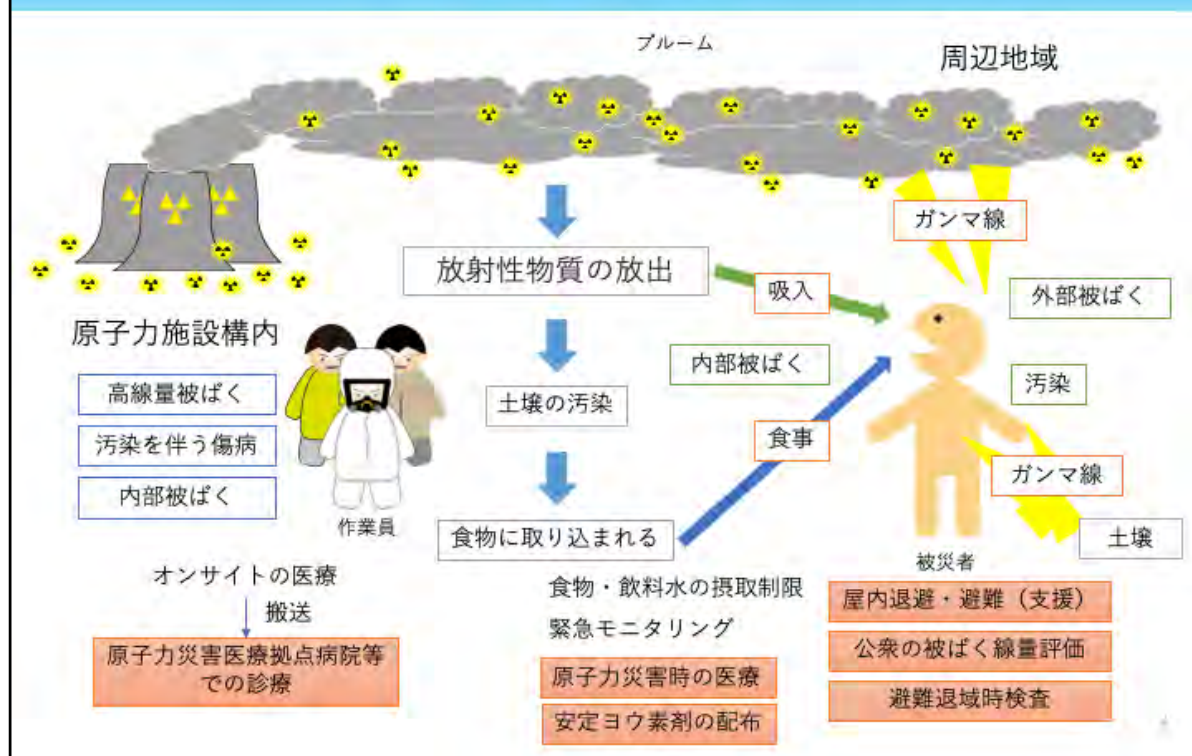
小規模な核兵器

原子力発電所や放射線使用施設への破壊行為、いわゆるテロ

放射性物質を意図的なまき散らし、いわゆる、ダーティボムなど、

様々種類が考えられます。

# 原子力災害

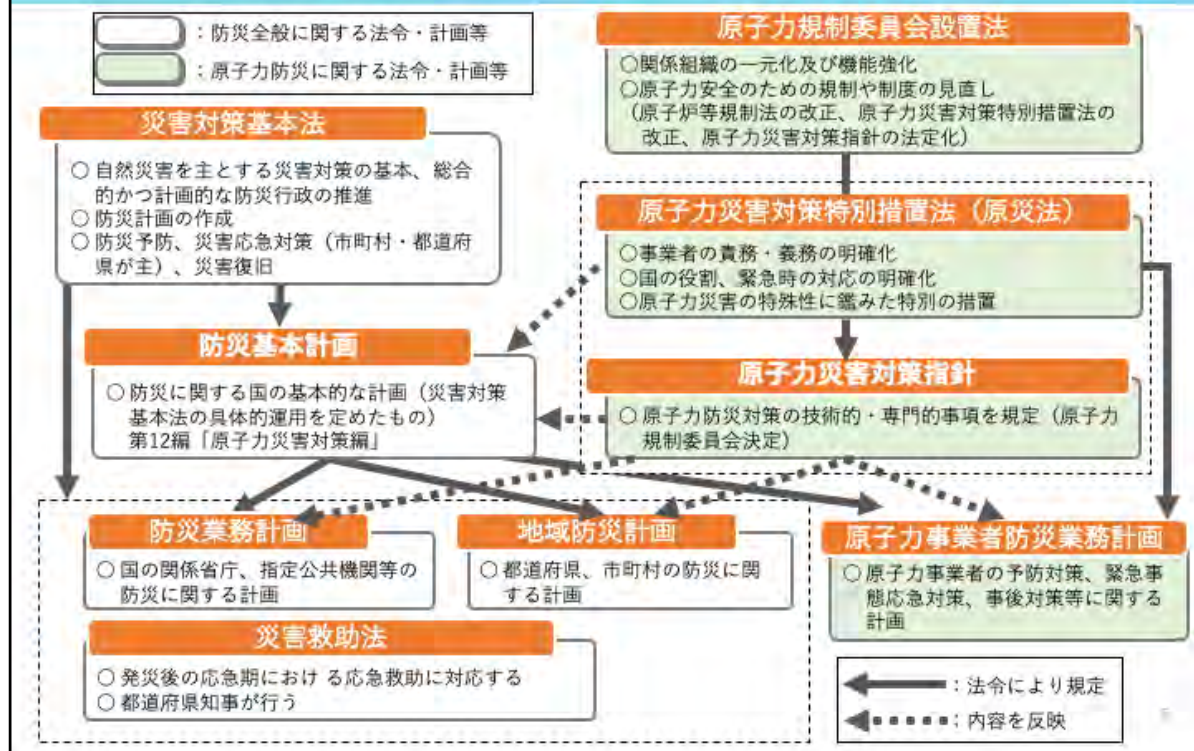


原子力発電所では、ウランが核分裂して発生する熱を発電に利用しています。この核分裂によって生じたものが核分裂生成物で、放射性物質を多く含んでいます。主に、キセノン、クリプトンなどの放射性希ガス、ヨウ素-131、ヨウ素-133、セシウム-134、セシウム-137、ストロンチウム-90など粒子状物質の気体や液体が生じます。事故で燃料のペレットや被覆管が破損すると、これらの放射性物質が外部へ漏れ出ます。

福島第一原子力発電所の事故では、津波によって全電源が喪失し、そのために原子炉を冷却できなくなり、原子炉内の温度や圧力が上昇して大量の放射性物質が環境中に放出されました。放出された気体状の放射性物質は、雲のような状態で大気中を流れます。このプルームから降ってきた放射性物質が地表に沈着したり、野菜などの食物に取り込まれます。そこで、プルームが通過した地域にいと汚染したり、プルームからのガンマ線や地表からのガンマ線による外部被ばくをしたり、吸入や食事から内部被ばくをしたりします。

原子力災害時における医療対応には、通常の救急医療、災害医療に加えて被ばく医療の考え方が必要となります。すなわち、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供する事です。

# 原子力防災に関する主な法令及び計画



原子力災害も他の災害と同じように「災害対策基本法」と、「災害対策基本法」等の特別法である、「原子力災害対策特別措置法」が基本になります。

また、「災害対策基本法」に基づき、中央防災会議は、内閣の重要政策に関する会議の一つとして、内閣総理大臣をはじめとする全閣僚、指定公共機関の代表者及び学識経験者により構成され、防災基本計画の作成や、防災に関する重要事項の審議等を行います。

この防災基本計画は、政府の防災対策に関する基本的な計画で、災害の種類に応じて、災害予防・事前準備、災害応急対策、災害復旧・復興という災害対策の時間的順序に沿って記述され、国、地方公共団体、住民等、各主体の責務を明確にするとともに、それぞれが行うべき対策をできるだけ具体的に記述されています。その第12編が原子力災害対策についてです。

さらに、原子力災害対策指針は、「原子力災害対策特別措置法」に基づき、原子力規制委員会が、原子力災害策を円滑に実施するために、専門的・技術的事項について定めたものです。

この防災基本計画及び原子力災害対策指針に基づき、指定行政機関及び指定公共機関は防災業務計画を、地方公共団体は地域防災計画を作成し、災害に備えます。

## 原子力災害対策指針

- 原子力災害対策指針は、原子力災害対策特別措置法に基づき、原子力事業者、指定行政機関の長及び指定地方行政機関の長、地方公共団体、指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者が原子力災害対策を円滑に実施するために定めるもの。
- 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、緊急事態における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し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を確実なものとする。
- 原子力災害特別措置法では、本指針で次の事項を定めるとされている。
  - 一 原子力災害対策として実施すべき措置に関する基本的な事項
  - 二 **原子力災害対策の実施体制**に関する事項
  - 三 原子力災害対策を重点的に実施すべき区域の設定に関する事項
  - 四 前三号に掲げるもののほか、**原子力災害対策の円滑な実施の確保に関する重要事項**

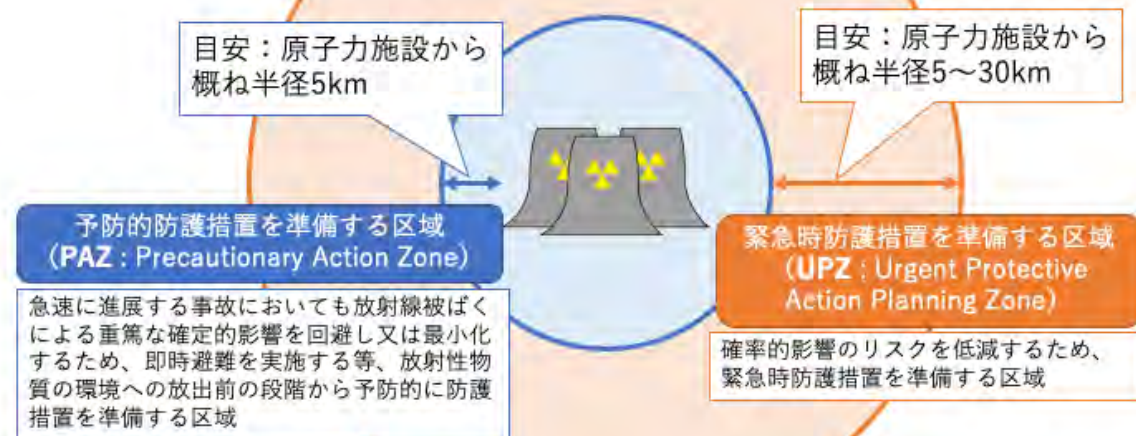
本指針は、原子力災害対策特別措置法(平成11年法律第156号。以下「原災法」という。)第6条の2第1項に基づき、原子力事業者、指定行政機関の長及び指定地方行政機関の長、地方公共団体、指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者が原子力災害対策を円滑に実施するために定められたものです。

本指針の目的は、「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、緊急事態における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し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を確実なものとする」とあります。

この指針を十分に理解し、関係者の間で共通認識としておくことは、原子力災害に対応するにあたって、極めて重要です。また、様々な防護措置等についても基本的事項、実施体制等が策定されています。

# 原子力災害対策重点区域

実用発電用原子炉の場合の  
原子力災害対策重点区域



## 予防的防護措置を準備する区域 (PAZ : Precautionary Action Zone)

PAZとは、急速に進展する事故においても放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、緊急事態の区分に応じて、即時避難を実施する等、通常の運転及び停止中の放射性物質の放出量とは異なる水準で放射性物質が放出される前の段階から予防的に防護措置を準備する区域です。発電用原子炉施設に係るPAZの具体的な範囲については、IAEAの国際基準において、PAZの最大半径を原子力施設から3～5 kmの間で設定すること（5kmを推奨）とされていること等を踏まえ、「原子力施設からおおむね半径5km」を目安としています。

## 緊急防護措置を準備する区域 (UPZ : Urgent Protective Action Planning Zone)

UPZとは、確率的影響のリスクを低減するため、緊急防護措置を準備する区域です。発電用原子炉施設に係るUPZの具体的な範囲については、IAEAの国際基準において、UPZの最大半径は原子力施設から5～30kmの間で設定されていること等を踏まえ、「原子力施設からおおむね半径30km」を目安としています。

ただし、炉規法第43条の3の33の規定に基づく廃止措置計画の認可を受け、かつ、照射済燃料集合体が十分な期間冷却されたものとして原子力規制委員会が定めた発電用原子炉施設については、原子力災害対策重点区域の範囲は原子力施設からおおむね半径5kmを目安とし、当該原子力災害対策重点区域の全てをUPZとしています。

## 緊急事態の段階

### 1. 準備段階

- ・原子力事業者、国、地方公共団体等がそれぞれの行動計画を策定
- ・関係者に周知
- ・訓練等で検証・評価し、改善

### 2. 初期対応段階

- ・情報が限られた中でも、放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置等の実施

### 3. 中期対応段階

- ・放射性物質又は放射線の影響を適切に管理
- ・環境放射線モニタリングや解析による放射線状況の把握
- ・初期対応段階で実施した防護措置の変更・解除や長期にわたる防護措置の検討

### 4. 復旧段階

- ・復旧段階への移行期に策定した被災地域の長期的な復旧策の計画に基づき、通常の社会的・経済的活動への復帰の支援

緊急事態においては、事態の進展に応じて、関係者が共通の認識に基づき意思決定を行うことが重要です。

すなわち、緊急事態への対応の状況を、準備段階・初期対応段階・中期対応段階・復旧段階に区分し、各段階の対応の詳細について検討しておくことが有効です。

・準備段階では、原子力事業者、国、地方公共団体等がそれぞれの行動計画を策定して関係者に周知するとともに、これを訓練等で検証・評価し、改善する必要があります。

・初期対応段階では、情報が限られた中でも、放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置等の対応を行う必要があります。

・中期対応段階では、放射性物質又は放射線の影響を適切に管理することが求められ、環境放射線モニタリングや解析により放射線状況を十分に把握し、それに基づき、初期対応段階で実施した防護措置の変更・解除や長期にわたる防護措置の検討を行う必要があります。

・復旧段階では、その段階への移行期に策定し被災した地域の長期的な復旧策の計画に基づき、通常の社会的・経済的活動への復帰の支援を行う必要があります。



## 緊急事態区分及び緊急時活動レベル(EAL)

- 緊急事態区分の判断基準：緊急時活動レベル(Emergency Action Level ; EAL)
- 緊急事態区分
  - 原子力施設の状況に応じた3区分
  - 各区分での原子力事業者、国及び地方公共団体の果たすべき役割の明確化
    - **警戒事態**；その時点では公衆への放射線による影響やそのおそれがある緊急のものではないが、原子力施設における異常事象の発生又はそのおそれがあるため、情報収集や、緊急時モニタリングの準備、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者の避難等の防護措置の準備を開始する必要がある段階
    - **施設敷地緊急事態**；原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性のある事象が生じたため、原子力施設周辺において緊急時に備えた避難等の主な防護措置の準備を開始する必要がある段階
    - **全面緊急事態**；原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性が高い事象が生じたため、重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置を実施する必要がある段階

緊急事態の初期対応段階においては、情報収集により事態を把握し、原子力施設の状況や当該施設からの距離等に応じ、防護措置の準備やその実施等を適切に進めることが重要です。このような対応を実現するため、以下のとおり、原子力施設の状況に応じて、緊急事態を、警戒事態、施設敷地緊急事態及び全面緊急事態の3つに区分し、各区分における、原子力事業者、国及び地方公共団体のそれぞれが果たすべき役割を明らかにしています。この緊急事態の区分を判断するための基準として用いるのが緊急時活動レベル(Emergency Action Level ; EAL)です。

これらの緊急事態区分に該当する状況であるか否かを原子力事業者が判断するための基準として、原子力施設における深層防護を構成する各層設備の状態、放射性物質の閉じ込め機能の状態、外的事象の発生等の原子力施設の状態等に基づき緊急時活動レベル(Emergency Action Level ; EAL)を設定しています。

## 運用上の介入レベル（OIL）

- OIL（Operational Intervention Level）とは、防護措置導入の判断に用いられる測定器による測定値などより求めたレベル
- OILは、事故の態様、放出放射性核種の別、気象条件、被ばくの経路（外部、吸入、食物摂取）等を仮定して、包括的判断基準（個々の防護措置の実施によって予想される線量あるいは既に受けてしまった線量によって表わされる判断基準）に相当する計測可能な値として導き出される。
- OILとしては、空間線量率、表面汚染密度、食品中の放射性核種濃度から初期設定値が定められている。

緊急時活動レベル（EAL）の他に、放射性物質の放出後、緊急時モニタリングの結果等の実測値に基づいて防護措置を実施する必要があります。この防護措置を実施すべき基準が、運用上の介入レベル（OIL）です。

次項に初期設定値と防護措置の内容を記載しています。

## OILの初期設定値と防護措置の内容

	基準の種類	基準の概要	初期設定値 <sup>1</sup>	防護措置の概要		
緊急防護措置	OIL 1	地表面からの放射線、放射性物質の吸入等による被ばくを防止するため、住民等を避難や屋内退避等させるための基準	地上1mでの線量率 <sup>2</sup> 500 $\mu$ Sv/h	数時間内に区域を特定し、避難等を実施		
	OIL 4	経口摂取、皮膚汚染からの被ばくを防止するため、除染を講じるための基準	$\beta$ 線：40,000cpm <sup>3</sup> $\beta$ 線：13,000cpm <sup>4</sup> 【1ヶ月後】	避難者のスクリーニング、除染		
早期防護措置	OIL 2	地表面からの放射線、放射性物質の吸入等による被ばく影響を防止するため、地域生産物 <sup>5</sup> の摂取を制限、住民等を1週間程度内に一時移転させるための基準	地上1mでの線量率 <sup>2</sup> 20 $\mu$ Sv/h	生産物の摂取制限、1週間程度内に一時移転		
飲食物摂取制限 <sup>6</sup>	飲食物のスクリーニング基準	OIL6による飲食物の摂取制限を判断する基準として、飲食物中の放射性核種濃度測定を実施すべき地域を特定する際の基準	地上1mでの線量率 <sup>2</sup> 0.5 $\mu$ Sv/h <sup>5</sup> (BGIによる寄与も含めた値)	数日内に飲食物中の放射性核種濃度の測定区域を特定		
	OIL 6	経口摂取による被ばく影響を防止するため、飲食物の摂取を制限する際の基準	核種 <sup>7</sup>	飲料水 牛乳・乳製品	野菜類、穀類、肉、卵、魚、他	基準を超えるものは摂取制限
			ヨウ素	300Bq/kg	2,000Bq/kg <sup>8</sup>	
			セシウム	200Bq/kg	500Bq/kg	
			プルトニウム、超U元素 $\alpha$ 核種	1Bq/kg	10Bq/kg	
ウラン	20Bq/kg	100Bq/kg				

- ※ 1 「初期設定値」とは緊急事態当初に用いるOIL の値であり、地上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OIL の初期設定値は改定される。
- ※ 2 本値は地上1mで計測した場合の空間放射線量率である。実際の適用に当たっては、空間放射線量率計測機器の設置場所における線量率と地上1mでの線量率との差異を考慮して、判断基準の値を補正する必要がある。
- ※ 3 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20cm<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120Bq/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、この表面汚染密度より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。
- ※ 4 ※ 3 と同様、表面汚染密度は約40Bq/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。
- ※ 5 「地域生産物」とは、放出された放射性物質により直接汚染される野外で生産された食品であって、数週間以内に消費されるもの（例えば野菜、該当地域の牧草を食べた牛の乳）をいう。
- ※ 6 実効性を考慮して、計測場所の自然放射線によるバックグラウンドによる寄与も含めた値とする。
- ※ 7 その他の核種の設定の必要性も含めて今後検討する。その際、IAEAのGSG-2におけるOIL6値を参考として数値を設定する。
- ※ 8 根菜、芋類を除く野菜類が対象。
- ※ 9 IAEAでは、飲食物摂取制限が効果的かつ効率的に行われるよう、飲食物

中の放射性核種濃度の測定が開始されるまでの間の暫定的な飲食物摂取制限の実施及び当該測定の対象の決定に係る基準であるOIL3等を設定しているが、我が国では、放射性核種濃度を測定すべき区域を特定するための基準である「飲食物に係るスクリーニング基準」を定める。

# 原子力災害時の防護の考え方・基準

		PAZ	UPZ	UPZ外
警戒事態	地方公共団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力</li> </ul>
	国	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難準備の指示</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力の要請</li> </ul>
施設敷地緊急事態	地方公共団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難</li> <li>住民避難の準備</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>屋内退避の準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ</li> <li>住民の避難準備への協力</li> </ul>
	国	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難の指示</li> <li>住民避難の準備の指示</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備の指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋内退避の準備の指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ要請</li> <li>住民の避難の準備への協力の要請</li> </ul>
全面緊急事態	地方公共団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>住民避難</li> <li>住民等への安定ヨウ素剤の服用の指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>屋内退避</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備の指示</li> <li>防護措置基準に基づく防護措置への対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>住民避難の受け入れ</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備</li> <li>防護措置基準に基づく防護措置への対応</li> </ul>
	国	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民避難の指示</li> <li>地方公共団体への安定ヨウ素剤の服用の指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋内退避の指示</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備の指示</li> <li>防護措置基準に基づく防護措置への対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民避難の受け入れ要請</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備の指示</li> <li>防護措置基準に基づく防護措置への対応</li> </ul>

原子力発電所の事故が発生した場合、防護措置が開始されます。

防護措置は、緊急時活動レベル（EAL）に基づいた緊急事態区分に基づいて予め定められている防護措置と、緊急時モニタリング等で得られた測定値を基準値とした運用上の介入レベル（OIL）に基づいて実施されます。

緊急時活動レベル（EAL）に基づいた防護措置の考え方

予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、確定的影響を回避するために、警戒事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難準備を行い、施設敷地緊急事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難、住民避難の準備及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行い、全面緊急事態にいたった場合は、住民避難及び安定ヨウ素剤服用が指示されます。

また、緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、確率的影響のリスクを低減するために、施設敷地緊急事態において、屋内退避の準備を行い、全面緊急事態において、屋内退避及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行います。

放射性物質の放出後、UPZ及びUPZ外においては、OILに基づいて、防護措置が実施されます。

施設敷地緊急事態要避難者

避難の実施に通常以上の時間がかかり、かつ、避難の実施により健康リスクが高まらない災害時要援護者等（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦その他の災害時に援護を必要とする者をいう。）、安定ヨウ素剤を事前配布されていない者及び安定ヨウ素剤の服用が不適切な者のうち、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者をいいます。

## 安定ヨウ素剤の予防服用の体制

- 放射性ヨウ素は、身体に取り込まれると、甲状腺に集積し、数年～十数年後に甲状腺がん等を発生させる可能性がある。このような放射性ヨウ素による内部被ばくは、安定ヨウ素剤をあらかじめ服用することで低減することが可能である。このため、放射性ヨウ素による内部被ばくのおそれがある場合には、安定ヨウ素剤を服用できるよう、その準備をしておくことが必要である。
- 服用の指示は、原子力規制委員会が判断する。  
[服用の方策] 投与指示は、原子力規制委員会が判断
  - PAZ：事前配布し、原則として、避難の際に服用の指示に基づき服用し、服用できない者は、施設敷地緊急事態において避難する。
  - PAZ外：避難や一時移転等と併せて、原子力施設の状況等に応じて必要性を判断して配布・服用を指示。

原子力発電所で事故が発生した場合、放射性ヨウ素を含む放射性物質が環境中に放出される場合があります。放射性ヨウ素が体内に取り込まれると甲状腺に集積し、将来ガンなどを発生させる可能性があります。

そのため、事前に安定ヨウ素剤を服用すると、血中のヨウ素濃度が高くなり、甲状腺ホルモンの合成が一時的に抑えられ、甲状腺へのヨウ素の取り込みが抑制されます。これが、安定ヨウ素剤の予防服用です。

安定ヨウ素剤の服用に当たっては、甲状腺に対する被ばく防止以外に効果がないこと、抑制効果は1日程度しか続かず、服用するタイミングが重要なこと、副作用の可能性があること、避難や屋内退避等の防護措置と組み合わせ実施されることにも注意しなければなりません。

通常は、市販されている丸薬を大人が2丸、小児が1丸、3歳未満には、ヨウ化カリウムゼリー剤またはヨウ化カリウム末から調整した水薬を服用してもらいます。

服用の指示は、原子力規制委員会が判断し、予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、事前に配布し避難の際に服用します。緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、プラントの状況、空間放射線量率等に応じて避難や一時移転等の防護措置が講じられ、その際に服用が指示されます。

## 緊急時モニタリング

- 国、地方公共団体、原子力事業者及び関係指定公共機関は、緊急時モニタリング実施計画に基づいて緊急時モニタリングセンターの指揮の下、緊急時モニタリングを実施する。初期モニタリングにおいては、**OILによる防護措置の判断に必要な空間放射線量率の測定**を重視する。また、**放射性ヨウ素を中心とした空气中放射性物質濃度の測定**も行う。
- 緊急時モニタリングの結果は、緊急時モニタリングセンターで妥当性を判断した後、国が一元的に集約し、必要な評価を実施して、OILによる防護措置の判断等のために共有し、活用する。また、国は、集約及び共有した全ての緊急時モニタリング結果を分かりやすく、かつ迅速に公表する。

施設敷地緊急事態において、国は、地方公共団体の協力を得て、緊急時モニタリングセンターを立ち上げ、動員計画に基づき必要な動員の要請を行い、緊急時モニタリングを開始する等の初動対応を行います。

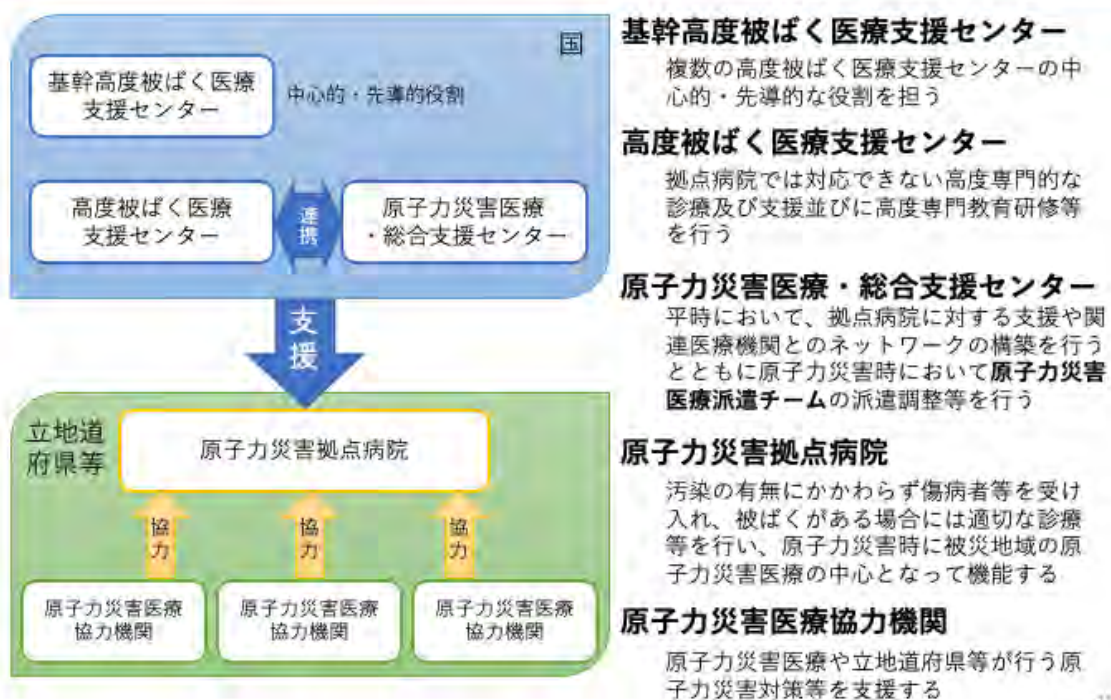
## 避難退域時検査及び除染

- 避難退域時検査等による汚染程度の把握は、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、汚染の拡大防止のためには不可欠であり、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。
- 避難退域時検査等の実施に当たっては、それが必要な対象全てに対して実施できるような場所を選定すべきであり、この避難退域時検査等は、可能な限りバックグラウンドの値が低い所で行うことが望ましい。
- なお、OILに基づく防護措置としての避難又は一時移転の対象となった住民等については、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場所において、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等を行うことが必要である。

立地道府県等は、OILに基づく防護措置として避難又は一時移転を指示された住民等(ただし、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及び簡易除染を実施します。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います。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<sup>3</sup>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十分配慮します。



# 原子力災害時の医療体制



原子力災害時における医療対応には、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供することが必要となります。そのためには、各地域の状況を勘案して、各医療機関等が各々の役割を担うことが必要であり、平時から救急・災害医療機関が被ばく医療に対応できる体制と指揮系統を整備・確認しておくことが重要です。

次の体制が整備されています。

- 原子力災害時において、被災地域の原子力災害医療の中心となって機能し、汚染の有無にかかわらず傷病者等を受け入れ、被ばくがある場合には適切な診療等を行う「原子力災害拠点病院」
- 原子力災害医療や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援する「原子力災害医療協力機関」
- 拠点病院では対応できない高度専門的な診療及び支援並びに高度専門教育研修等を行う「高度被ばく医療支援センター」
- 複数の高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的な役割を担う「基幹高度被ばく医療支援センター」
- 平時において、拠点病院に対する支援や関連医療機関とのネットワークの構築を行うとともに原子力災害時において原子力災害医療派遣チームの派遣調整等を行う「原子力災害医療・総合支援センター」
- 拠点病院等に所属し、原子力災害が発生した立地道府県等内において救急医療等を行う「原子力災害医療派遣チーム」

## 各地域の担当



量子科学技術研究開発機構は、基幹高度被ばく医療支援センターと高度被ばく医療支援センターに指定されています。

弘前大学、福島県立医科大学、広島大学、長崎大学は、高度被ばく医療支援センターと原子力災害医療・総合支援センターに指定されています。

原子力災害医療・総合支援センターの担当地域は次のようになっています。

- 弘前大学；北海道、青森県、宮城県
- 福島県立医科大学；福島県、新潟県、茨城県、神奈川県、静岡県
- 広島大学；富山県、石川県、福井県、岐阜県、滋賀県、京都府、大阪府、鳥取県、島根県、岡山県、山口県、愛媛県
- 長崎大学；福岡県、佐賀県、長崎県、鹿児島県

## まとめ

- 原子力施設においては、原子力災害の発生を未然に防止するため、炉規法\*、原災法等に基づき、原子力災害予防対策が講じられる。
- しかし、原子力災害予防対策を講じているにもかかわらず、原子力災害が発生した場合には、原子力事業者、国、地方公共団体等が、住民の健康、生活基盤及び環境への影響を、事態の段階に応じた最適な方法で緩和し、影響を受けた地域が可能な限り早く通常の社会的・経済的な活動に復帰できるよう、様々な行動をとらなければならない。
- これらの行動が、事態の段階に応じて有効に機能するためには、平時から、適切な緊急時の計画の整備を行い、訓練等によって実行できるように、準備を十分に行っておく必要がある。

\*核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

## 確定的影響の包括的判断基準(IAEA)

包括的判断基準	防護措置あるいは他の措置の例
<b>急性外部被ばく (10時間未満)</b> 赤色骨髓 <sup>*1</sup> : 1 Gy 胎児: 0.1 Gy 体組織 <sup>*2</sup> : 25 Gy (深部0.5cm) 皮膚 <sup>*3</sup> : 10 Gy (100cm <sup>2</sup> )	線量が予測されたら、包括的判断基準以下に線量を保つための予防的緊急防護措置(困難な状況下においても) ・ 公衆への情報提供及び警告 ・ 早期除染等の防護活動を予防的に行う
<b>急性摂取による内部被ばく AD (Δ)</b> (Δ=30日間 <sup>*4</sup> ) 赤色骨髓: 0.2 Gy (原子番号90以上の核種 <sup>*5</sup> ) 2 Gy (原子番号89以下の核種 <sup>*5</sup> ) 甲状腺: 2 Gy 肺 <sup>*7</sup> : 30 Gy 結腸: 20 Gy 胎児 <sup>*8</sup> : 0.1 Gy	もし被ばくを受けたら、以下を実施: ・ 迅速な医療診断、問診及び所要の処置 ・ 汚染管理 ・ 直ちに体内除染 <sup>*6</sup> (適用可能な場合) ・ 長期医療追跡調査の登録 ・ 包括的な心理カウンセリング

出典: IAEA GSR Part7 TABLE II.1.

\*1 均一な放射場での強い透過性放射線の照射によって生じる赤色骨髓、肺、小腸、生殖腺、甲状腺、水晶体に対する外部被ばく  
 \*2 (手やポケットに入れて携帯される放射源などとの)接触により、組織の深さ0.5cmで100cm<sup>2</sup>にもたらされる線量  
 \*3 線量は、表皮から40mg/cm<sup>2</sup>の深度(すなわち0.4mm)で100cm<sup>2</sup>の皮膚組織に対するものである。  
 \*4 AD (Δ)は、被ばくした人の5%に健康影響を生じるような摂取量(I<sub>05</sub>)

によって期間Δの間にもたらされる吸収線量を指す。  
 \*5 放射性核種の摂取量閾値の違いを考慮するため異なる基準を使用。  
 \*6 体内除染に対する包括的判断基準は、体内除染なしの予測線量に基づく。  
 \*7 本文書の目的上、「肺」とは、気道の肺胞-間質領域(AI)を意味する。  
 \*8 子宮内での成長期間における吸収線量。

国際的には、重篤な確定的影響を回避する為の包括的判断基準Generic Criteria (以下GC)、確率的影響のリスクの低減に関する緊急のGC、確率的影響のリスクの低減に関する早期のGC、飲食物制限に関するGC、の4つのGCが定められて、GCを達成するべく種々の基準値が定められている。

## 確率的影響の包括的判断基準(IAEA)

包括的判断基準		防護措置あるいは他の措置の例
以下の包括的判断基準を超える予測線量：緊急防護措置と他の対応措置を実施する		
甲状腺等価線量	50mSv (最初の7日間)	安定ヨウ素剤予防服用
実効線量	100mSv (最初の7日間)	屋内退避、避難、除染、食物やミルク、水の摂取制限、汚染管理、公衆の安心確保
胎児等価線量	100mSv (最初の7日間)	
以下の包括的判断基準を超える予測線量：緊急時の早い段階での防護措置と他の対応措置を実施する。		
実効線量	100mSv (年間)	一時的避難、除染、食物やミルク、水の摂取制限、汚染管理、公衆の安心確保
胎児等価線量	100mSv (子宮内発育全期間)	
以下の包括的判断基準を超えて受けた線量：放射線に起因する健康影響を検出し効率よく対処するため、長期医療対策を実施する。		
実効線量	100mSv (月間)	(医療追跡調査の基礎としての) 特定の放射線感受性の高い臓器の等価線量に基づくスクリーニング、カウンセリング
胎児等価線量	100mSv (子宮内発育全期間)	個々の状況で告知に基づく決定を実施するためのカウンセリング

出典：IAEA GSR Part7 TABLE II.2.

79

確率的影響に関する包括的基準に関しては、ALARAの概念に従い、可能な限り無理なく達成することを目標としています。

ALARAとは、国際放射線防護委員会が1977年勧告で示した放射線防護の基本的考え方を示す概念であり、“as low as reasonably achievable”の略語です。

## 飲食物に関する包括的判断基準(IAEA)

包括的判断基準		防護措置あるいは他の措置の例
食物、牛乳、飲料水の摂取および他の商品の使用により以下の包括的判断基準を超える予測線量：防護措置と他の対応措置を実施する		
実効線量	10mSv (年間)	食物、牛乳、飲料水の消費、流通、販売を制限し、他の商品の仕様と流通を制限する。必要な食物、牛乳、飲料水をできるだけ早く交換するか、代替品が入手できない場合は影響を受ける人々を避難させます。食物、牛乳、飲料水を摂取あるいは他の商品を使用した可能性のある人の線量を推定して、表II.2に従って、医療上の注意が必要な線量になったかどうかを判断します。
胎児等価線量 (子宮内発育全期間)	10mSv	

出典：IAEA GSR Part7 TABLE II.3.

食品、牛乳、飲料水を制限すると、脱水症状、深刻な栄養失調、その他の深刻な健康への影響が生じる可能性があります。したがって、必要不可欠な食品、牛乳、飲料水は、代替品がある場合に限り制限されるべきです。

# IAEAと原子力災害対策指針のOIL比較

	IAEA (EPR-NPP-OILs)			原子力災害対策指針				
	包括的判断基準 (実効線量)	初期設定値		初期設定値				
避難等	100mSv/週	OIL1	1,000μSv/h	OIL1	500μSv/h 【GC: 50mSv/週に相当】			
除染	皮膚線量10Gy/10時間 100mSv/週	OIL4	γ線: 1μSv/h β線: 60,000cpm	OIL4	β線: 40,000cpm 【GC: 50mSv/週に相当】 β線: 13,000cpm (1ヶ月後の値)			
一時移転等	100mSv/年	OIL2	100μSv/h (炉停止後10日間) 25μSv/h (11日以降)	OIL2	20μSv/h 【GC: 20mSv/年に相当】			
飲食物 摂取制限	10mSv/年	OIL3	1μSv/h	飲食物に係るスクリーニング基準  OIL5 (放射線ヨウ素は 甲状腺等価線量 50mSv、それ以外は 実効線量5mSv/年)	0.5μSv/h 【GC: 5mSv/年に相当】			
	10mSv/年	OIL7	核種		飲料水 牛乳 食べ物	核種	飲料水 牛乳・乳製品	野菜類、穀類、肉、魚、その他
			I-131		1,000Bq/kg	放射性ヨウ素	300Bq/kg	2,000Bq/kg*
	10mSv/年	OIL6 (GSG-2より、 核種合計 で評価 I≤1)	357核種ごとの値を設定。 うち、 I-131: 3,000Bq/kg Cs-137: 2,000Bq/kg U-238: 100Bq/kg Pu-239: 50Bq/kg		放射性セシウム	200Bq/kg	500Bq/kg	
			ウラン	20Bq/kg	100Bq/kg			
健康調査対象 スクリーニング	幼児の甲状腺 等価線量100mSv	OIL8	0.5μSv/h	OIL8	—			

\* : 根菜、芋類を除く野菜類が対象

出典：平成 30 年 4 月 11 日 原子力規制庁 資料2 「包括的判断基準 (GC) 及び運用上の介入レベル (OIL)について」

# 放射線の基礎

原子力災害医療 基礎研修

原子力災害基礎-1

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

講義時間；30分

内容

- 放射線、放射能、放射性物質
- 放射線の種類
- 放射線の性質
- 原子の構造と周期律
- 壊変
- 物理学的半減期
- 放射性核種と半減期
- 放射線の作用
- 放射線の作用と放射線測定器
- 放射線の単位
- 補助単位
- 身の回りの放射線
- 大地の放射線
- まとめ



# 放射線、放射能、放射性物質

**放射線**  
放射性物質から出てくるエネルギー  
ガンマ ( $\gamma$ ) 線  
ベータ ( $\beta$ ) 線  
アルファ ( $\alpha$ ) 線 など

空間中、物質を通過するときのエネルギーの放出あるいは伝播

X線は原子核の外で発生する電磁波  
放射線発生装置から放出される。  
(病院や検診でのレントゲン撮影)

**放射線源  
放射性物質**  
放射線を出す物質  
気体、液体、固体、エアロゾル（液滴）といった形状がある。  
放射性物質を漏れないように容器に密封したものが密封線源

**放射能**  
放射性物質が放射線を出す能力  
数値が大きいほど、放射性物質からたくさんの放射線が出ている。

五感で感じられないが、測定器で検知できる

放射線の事故、災害対応、マニュアルを使用する際には、放射線、放射性物質、放射能という用語を知っておく必要があります。

放射線とは、放射性物質から出てくるエネルギーです。種類としては、高いエネルギーを持つ電磁波のガンマ線、エックス線と高速で動く粒子線のアルファ線、ベータ線などがあります。中性子線は、電荷を持たない放射線です。放射線は原子核が不安定な状態から安定な状態に変化（壊変）するときに出したり、原子核以外では発生装置からも放出されます。

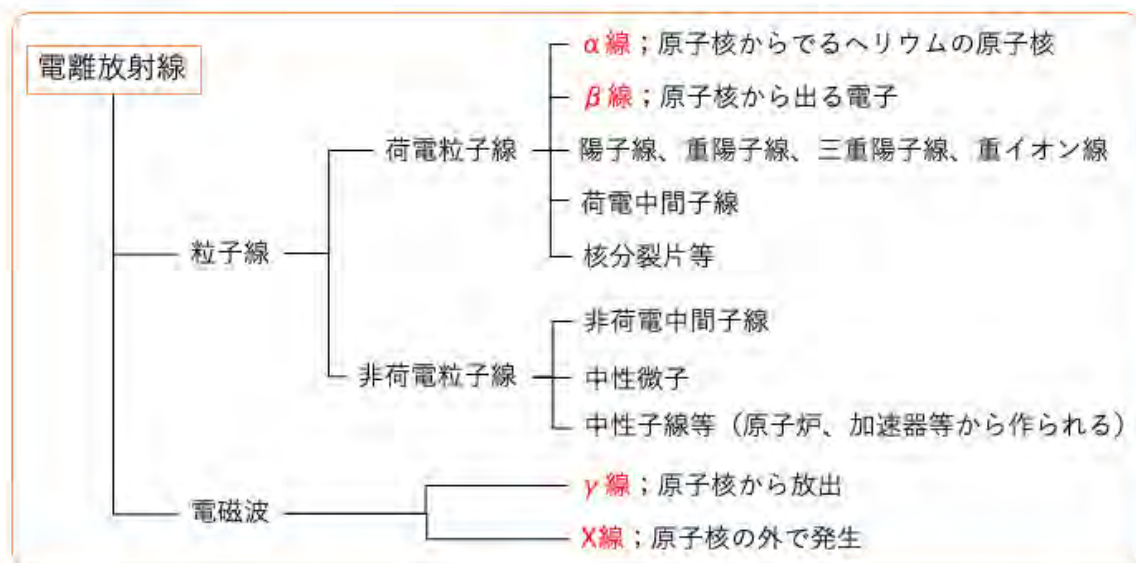
原子は原子核とその周りを回る電子から構成されており、原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。原子核がエネルギー的に不安定な場合、安定になろうとして放射線を出します。原子核から放射線を出すことを壊変といい、壊変は大きく分けると $\alpha$ （アルファ）壊変と $\beta$ （ベータ）壊変があります。

放射線は五感で感じることはできませんが、測定器で検知、計測ができます。

放射性物質とは、放射線を出す物質のことです。形状としては気体、液体、固体などがあります。放射性物質を放射線源ということもあります。

放射性物質が放射線を出す能力のことを放射能といいます。放射能の単位はBq（ベクレル）であり、数値が大きいほど放射性物質からたくさんの放射線が出ていることとなります。

## 放射線の種類



### 非電離放射線

紫外線、可視光線、赤外線、マイクロ波、電波

※一般的に放射線といった場合は、電離放射線を指す。

放射線には、物質を構成する原子を電離（+電荷のイオンと-電荷の電子に分離）する能力を持つ電離放射線と原子を電離する能力を持たない非電離放射線があります。

放射線と一般的にいった場合は、電離放射線を指します。

電離放射線には、粒子の粒の流れの粒子線と光の仲間の電磁波があります。粒子線の仲間には、 $\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線、中性子線等が含まれます。

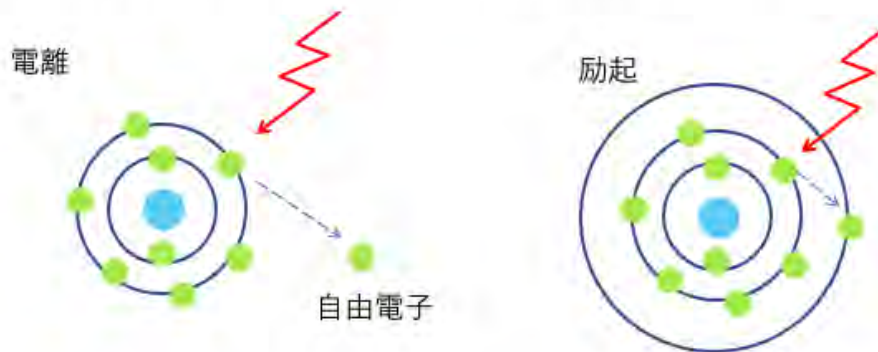
$\alpha$ （アルファ）線は、原子核から放出された陽子2個と中性子2個とが一つになった、ヘリウムの原子核の流れです。 $\beta$ （ベータ）線は、原子核から放出された電子の流れです。

中性子線は、原子核を構成する、中性子の流れです。

電磁波には、X（エックス）線、 $\gamma$ （ガンマ）線があります。X（エックス）線は原子核の外側で発生し、 $\gamma$ （ガンマ）線は原子核の内側で発生し、発生機構で区別しています。

## 電離と励起

- 放射線が物質を通過するとき、放射線が原子や分子にぶつかり相互作用が起こる。
  - 電離：分子（原子）がエネルギーを受けて電子を放出したり、外から電子を得ること
  - 励起：軌道電子が原子から出ず、外側の軌道に移ること



放射線は、物質を通過する際に、物質を構成する原子や分子と互いに影響を与えます。これが放射線と物質の相互作用です。

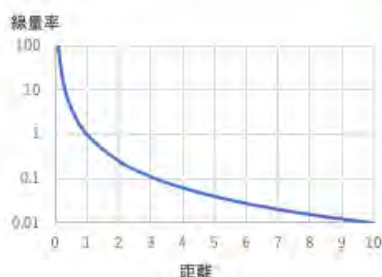
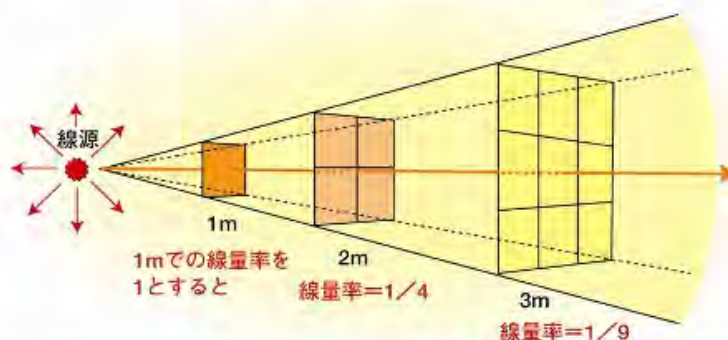
放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（または陽イオンの分子）と自由な電子（自由電子）とに分離します。軌道電子が原子の外に弾き出してしまうことを電離と言います。

軌道電子が原子から飛び出さず、外側の軌道に移ることを励起と言います。励起原子では、外側の軌道電子が内側の空の軌道に移ろうとします。内側の軌道電子が持つエネルギーは小さいので、電子は余分なエネルギーを光（電磁波）の形で放出します。この励起原子から出る光は蛍光と呼ばれます。

## 放射線の性質；等方性

### 等方性

放射線は、放射性物質（線源）から全方向に均一に放出される。



放射線の密度は線源からの距離の二乗に反比例して減少する（逆二乗則）。

線源からの距離が2倍だと線量率は1/4となり、1/10の距離であれば線量率は100倍となる。

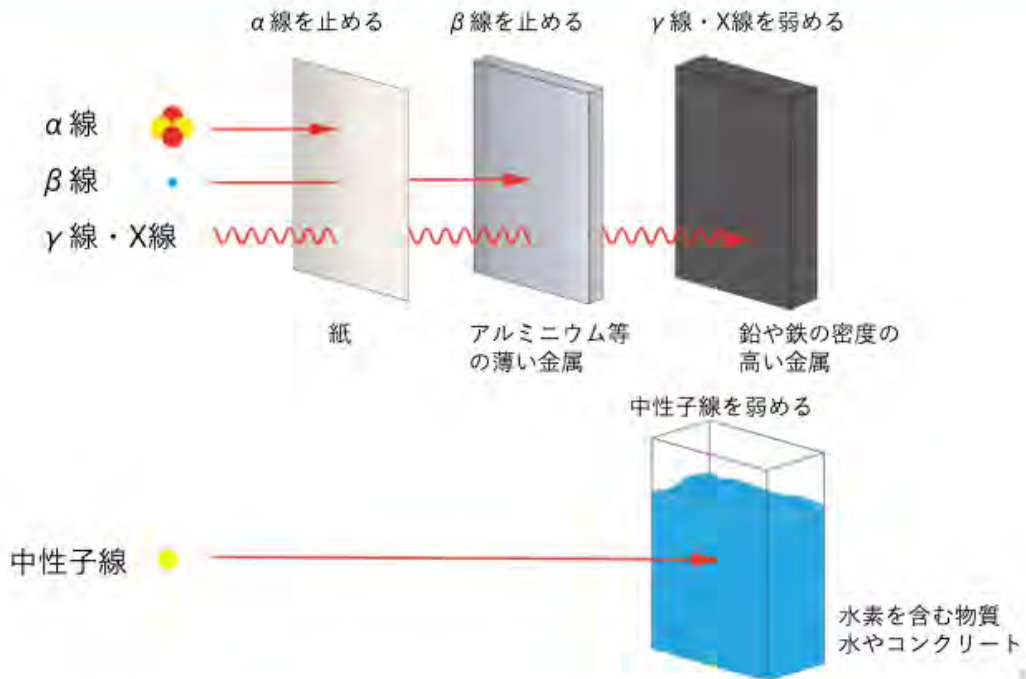
放射性物質からの放射線は光と同様に全方向に均一に放出され、これを等方性といいます。

電球の近くでは明るく、遠くでは暗いのと同様に、放射性物質の近くでは放射線の量は多く、遠くでは少なくなります。放射線の密度は放射性物質からの距離の二乗に反比例することから「逆二乗則」といいます。

例えば、1 mの距離の放射線量率を1とすると、2 mの距離では4分の1、3 mの距離では1/9になります。

なお、逆二乗となるのは放射線源が点線源かそれに近い場合で、点線源とみなせない場合は、必ずしも当てはまらないことには注意が必要です。（例えば、地表などに沈着した放射性物質や空気中の放射性物質からの放射線、リニアック、コリメートされた線源形状、加速器等からのビーム状の放射線等）

## 放射線の性質；透過力



放射線には物質を通り抜ける力（透過力）があります。物質内に入った放射線（電荷を持つ粒子や電磁波）は、電気、磁気的作用によってエネルギーを失い、最終的には止まります。つまり、遮へい物によって放射線を遮ることができます。

アルファ線は、透過力が弱いので、紙一枚で止めることができます。ベータ線は、核種ごとのエネルギーに依存しますが、アルミニウムやアクリルなどの薄い板で止めることができます。ガンマ線、X線は、透過力が大きく、密度の高い鉛や鉄の板で弱めることができます。中性子線は、電荷を持たないため、透過力が大きいですが、水素原子の弾性衝突で止めることができます。そのため、水素原子の密度が高い、水やコンクリートで弱めることができます。

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」を改変

# 原子の構造と周期律

原子



原子核

- 陽子；+（プラス）の電荷を持つ
- 中性子；電荷を持たない

電子；-（マイナス）の電荷を持つ

化学的性質；陽子の数で決まる。  
 質量数 = 陽子 + 中性子  
 同位元素；陽子の数が同じで、中性子の数が異なる元素

		族																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	1	1 H 1.008																	2 He 4.003
	2	3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
	3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
	4	19 K 39.1	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.61	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
	5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)*	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
	6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 193.2	77 Ir 195.1	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
	7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (261)*	105 Db (262)*	106 Sg (263)*	107 Bh (264)*	108 Hs (265)*	109 Mt (268)*	110 Ds (269)*	111 Rg (272)*	112 Cn (277)*	113 Nh (278)*					
		57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 151.9	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0			
		89 Ac (227)	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np (237)*	94 Pu (242)*	95 Am (243)*	96 Cm (247)*	97 Bk (247)*	98 Cf (251)*	99 Es (252)*	100 Fm (257)*	101 Md (258)*	102 No (259)*	103 Lr (260)*			

\* 括弧内は、その元素の代表的な放射性同位体の質量数である (IUPAC) 文部科学省 「一家に一枚周期表第6版」

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されています。原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。

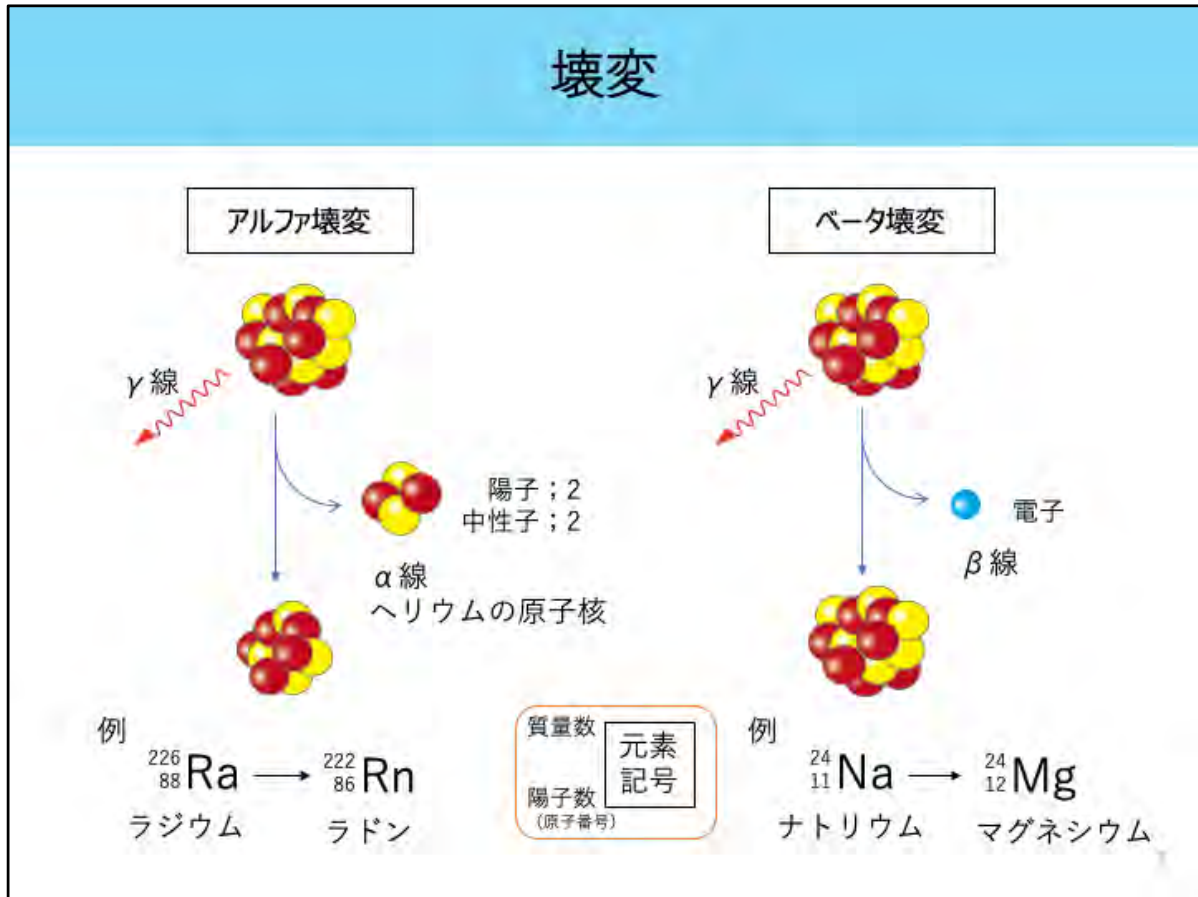
原子の化学的性質は陽子の数で決まります。例えば炭素は陽子が6個の元素ですが、中性子が5個のもの、6個のもの、7個のもの、8個の炭素などが存在しています。

陽子と中性子の数を足したものを質量数と呼びます。

例えば陽子が6個の炭素は、中性子が5個のものは質量数11、中性子が6個のものは質量数12、中性子が7個のものは質量数13、中性子が8個のものは質量数14となります。陽子の数が同じで、中性子の数が異なる元素を放射性同位元素と言います。

これらの原子を区別して呼ぶ場合は、元素名のあとに質量数を付けて、炭素11、炭素12、炭素13、炭素14と呼びます。

# 壊変



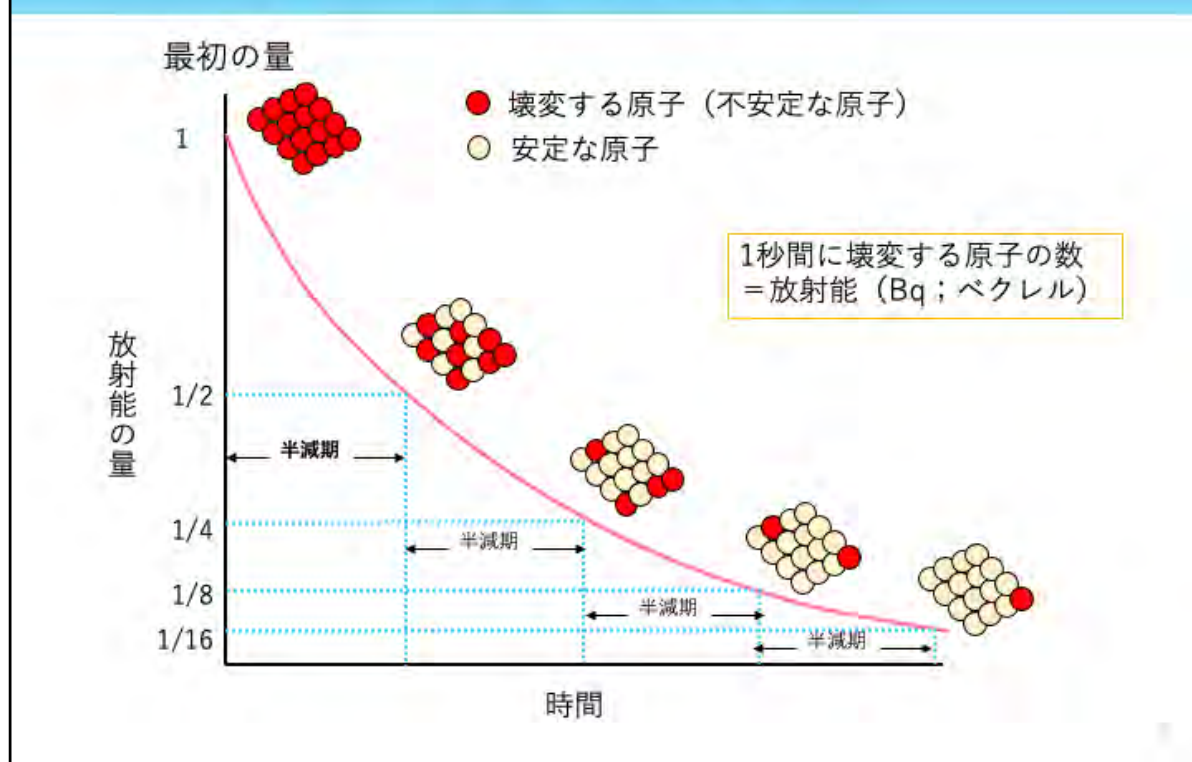
原子核がエネルギー的に不安定な場合、安定になろうとして放射線を放出します。原子核から放射線を放出し、別の原子核に変化する現象を壊変といいます。壊変は大きく分けると $\alpha$ 壊変と $\beta$ 壊変になります。

$\alpha$ 壊変は、原子核から陽子2個と中性子2個が一塊の粒子（ヘリウムの原子核）となって放出される壊れ方で、このヘリウムの原子核が $\alpha$ （アルファ）線です。多くの場合、 $\alpha$ 線の放出に伴って電磁波である $\gamma$ 線も放出されます。比較的質量数の大きい原子核で起こり、質量数が4、原子番号（陽子の数）が2つ減ります。

$\beta$ 壊変は、原子核から電子が放出される壊れ方で、この電子が $\beta$ 線です。 $\alpha$ 壊変同様、多くの場合、 $\beta$ 線の放出に伴って電磁波である $\gamma$ 線も放出されます。 $\alpha$ 壊変を起こす質量数より小さい原子核で起こり、質量数は変わらず、原子番号（陽子の数）が1つ増えます。中性子線はウランやプルトニウムが核分裂したときや、 $\alpha$ 壊変に伴って放出される中性子です。

例えば、炭素14は、窒素14に宇宙線の一つである中性子が当たり、陽子を追い出してできる自然界に存在する放射性物質です。原子核には陽子が6個、中性子が8個ありますが、両者の数のバランスが悪く、エネルギー的に不安定な状態です。一つの中性子が陽子になると、陽子も中性子も7個ずつになって安定します。このとき、余分なエネルギーが電子として放出されます。これが $\beta$ 線の正体です。つまり、炭素14は $\beta$ 線を出すことで、陽子数が7個の窒素に戻り、エネルギー的に安定になります。

## 物理学的半減期



放射能の単位にはBq（ベクレル）が用いられます。放射能は、単位時間当たりに放射性物質に含まれている原子核が「どれだけ壊れるか」で定義され、1 Bqは1秒間当たり1個の原子核が壊れることを表します。Bqは単独で使う以外に、単位体積、単位面積あるいは単位重量当たりの放射能を表す、 $Bq/cm^3$ 、 $Bq/cm^2$ 、 $Bq/kg$ などを使います。

放射性核種が壊れて別の原子核に変わるということは、時間の経過とともに放射性物質に含まれる放射性核種の数々が減っていくこととなります。したがって、放射能も段々減っていきます。この変化の時間は、核種(放射性物質)の種類ごとに決まっており、元の放射性物質が半分減少するまでの期間を「物理学的半減期」と呼んでいます。

半減期は放射性核種の種類によって異なり、数十億年という長いものから1秒以下の短いものまで色々あります。



## 核分裂反応

- 核分裂反応；不安定核が分裂してより軽い元素を二つ以上作る反応

- U-235原子核に低速の中性子が当たるといったん複合核を形成した後、2個の核分裂片XとYに分裂し、その際2～3個の中性子が放出される。

- 核分裂によって膨大な熱エネルギーが発生する。



- 核分裂生成物；核分裂反応によって発生する核分裂片

- 核分裂では、原子番号の和と質量数の和は、いずれも分裂の前後で保存されるが、A、B、a、bの値が一意的には定まらず、分裂パターンは多様化し、核分裂生成物の質量数は、72～162まで広く分布する。

熱中性子による核分裂で生じる主な核分裂生成物

生成物	U-235収率	Pu-239収率	半減期
セシウム133	6.70%	7.02%	安定
ヨウ素135	6.28%	6.54%	6.57h
ジルコニウム93	6.30%	3.80%	1.53My
セシウム137	6.19%	6.61%	30.17y
テクネチウム99	6.05%	N/A	211ky
ストロンチウム89	4.73%	1.72%	50.53d
ストロンチウム90	5.75%	2.10%	28.9y
ヨウ素131	2.83%	3.86%	8.02d
プロメチウム147	2.27%	N/A	2.62y
サマリウム149	1.09%	1.22%	安定
ヨウ素129	0.54%	1.37%	15.7My
キセノン133	6.70%	7.02%	5.2475d

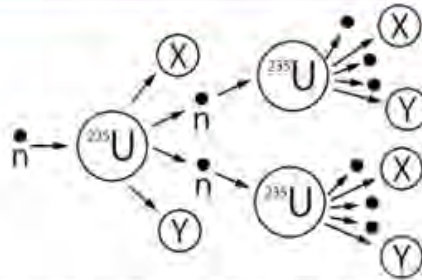
U-235原子核に低速の中性子が当たるといったん複合核を形成した後、2個の核分裂片XとYに分裂し、その際2～3個の中性子が放出されます。さらに核分裂を伴って膨大な熱エネルギーが発生します。これを核分裂反応といい、核反応の一つです。核分裂はU-235だけでなく、Th-232やU-233、U-238、Pu-239でも起こります。

核分裂片は核分裂生成物（FP; Fission Products）と呼ばれます。核分裂生成物の大部分は、強い放射能を帯びており、放射性廃棄物になります。核分裂では、原子番号の和と質量数の和は、いずれも分裂の前後で保存されますが、A、B、a、bの値が一意的には定まらず、分裂パターンは多様化し、核分裂生成物の質量数は、72～162まで広く分布します。

ウラン238、カリウム40のように半減期が長い放射性物質は、遠い昔に宇宙で作られ、地球が誕生する時に地球に取り込まれたものです。

セシウム137、ストロンチウム90、ヨウ素131、プルトニウム239は、原子力発電所が事故を起こすと環境中に放出されることがあります。

## 臨界



- **連鎖反応**；核分裂の際に放出された中性子が、近くのU-235原子核に当たると、そこでも核分裂が起こる。このように中性子が担い手となって次々にねずみ算式に次々と増大しながら進む反応
- **臨界**；中性子の数が増えもせず、減りもしない状態で、核分裂の連鎖反応が一定に持続している状態
  - 原子炉は連鎖反応が徐々に進み、それを制御できるようにした装置
  - U-235の濃度や量が少ないと核分裂で生じた中性子が次のU-235に当たらないので、連鎖反応が起こらない。

核分裂の際に放出された中性子が、近くのU-235原子核に当たると、そこでも核分裂が起こります。このように中性子が担い手となってねずみ算式に次々と増大しながら進む反応を連鎖反応と言います。

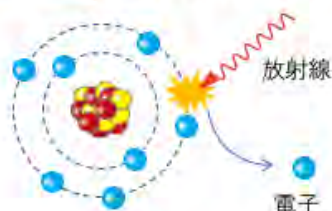
原爆は連鎖反応が瞬時に進むようにしたものであり、原子炉は連鎖反応が徐々に進み、それを制御できるようにした装置です。

中性子の数が増えもせず、減りもしない状態で、核分裂の連鎖反応が一定に持続している状態を臨界と言います。U-235の濃度や量が少ないと核分裂で生じた中性子が次のU-235に当たらないので、連鎖反応が起こりません。連鎖反応が起こるためには、一定量以上のU-235が必要になります。その最小量を臨界量と言います。

臨界量は、核燃料の種類、濃度、量、形状、溶液の有無などのよって変わります。そのため、臨界量以上の核燃料を1箇所に集めると、連鎖反応が一気に進み、危険です。これが臨界事故となります。

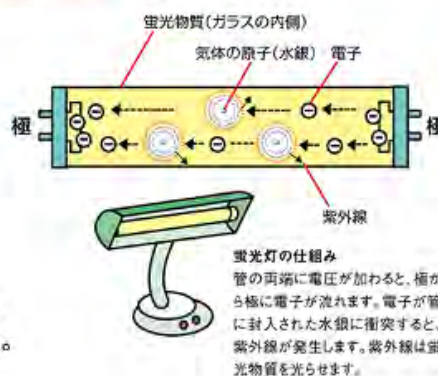
# 放射線の作用

## 電離作用 電子をはじき出す



直接作用；物質を直接電離する。  
間接作用；物質との相互作用によって発生した二次電子によって間接的に電離する。

## 蛍光作用 光を出させる



## 透過作用

物質を通り抜ける



放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（または陽イオンの分子）と自由な電子とに分離します。これを電離作用といいます。

電離放射線の中には、直接物質を電離するものと、間接的に電離するものがあります。

$\alpha$ （アルファ）線、 $\beta$ （ベータ）線等の電気を持った粒子線は、物質を直接電離します。特に $\alpha$ 線は、 $\beta$ 線等の数百倍の密度の電離を引き起こします。

$\gamma$ （ガンマ）線、X（エックス線）は、物質との相互作用によって発生した二次電子によって、物質を間接的に電離します。

蛍光作用とは、紫外線や放射線などが特別な物質に当たった時、その物質から特殊な光を出させる働きのことです。

透過作用とは、前述の通り物質を通り抜ける作用です。物質を通り抜けるときに、放射線（電荷を持つ粒子や電磁波）は、電気、磁気的作用によってエネルギーを失い、最終的には止まります。

放射線の他の作用として写真作用や化学作用もあります。写真作用の原理は、原則としてフィルムの写真と同じです。放射線が写真乳剤中の原子・分子に電離作用を及ぼしてイオンや自由電子を発生させます。このイオンを還元すると像として残ります。この像を現像、定着すると放射線の写真ができます。

出典；「原子力・エネルギー図面集2015」より改変

## 放射線の作用と放射線測定器

検出方法	測定器の例	主な測定対象放射線
気体の電離作用を利用	電離箱式サーベイメータ	γ線
	GM計数管式サーベイメータ	β線, γ線
固体の電離作用を利用	電子式ポケット線量計	γ線
蛍光作用を利用	シンチレーション式 サーベイメータ	γ線, α線
	TLD、蛍光ガラス線量計	γ線, β線

放射線は人間の五感に感じないので、なんらかの手段によって検出する必要があります。放射線の検出（測定器）は、電離作用、蛍光作用などを利用して、放射線を検出し、測定することができます。

放射線の検出方法と測定器の例及び主な測定対象放射線を示します。

気体の電離作用を利用した放射線測定器に、電離箱式サーベイメータがあります。電離箱式サーベイメータは、放射線の電離作用によって生じた、電離箱内の空気中を流れる電流を測定することにより、放射線の量を測る測定器です。

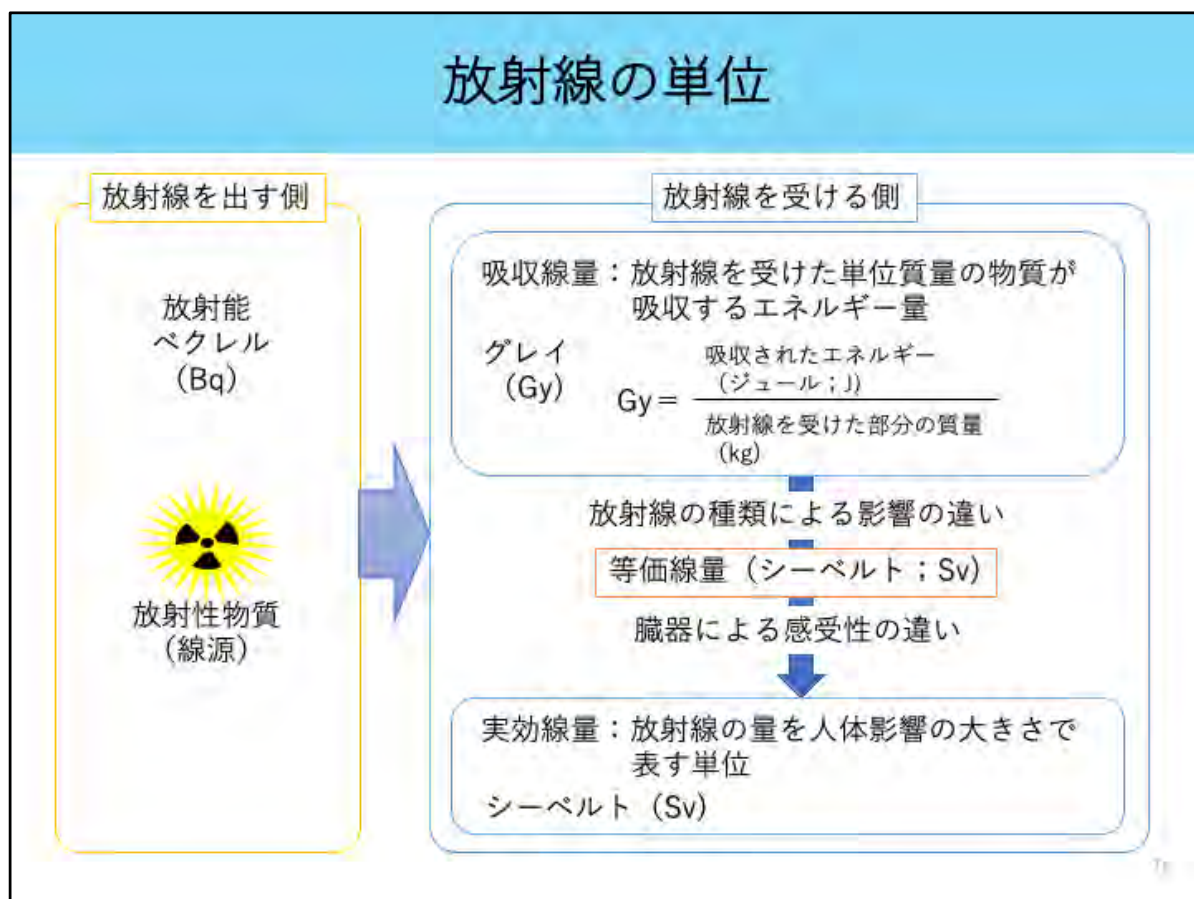
GM計数管式サーベイメータも放射線の電離作用を利用した測定器ですが、GM計数管は信号を増幅しているため電離箱よりも感度がよく、微量な放射線の測定に適しています。

個人線量計の一つである電子式ポケット線量計は固体（半導体）の電離作用を利用した測定器です。同じ作用を利用したものに、γ線のエネルギーの違いから放射性核種の種類を判別するために用いられるゲルマニウム半導体γ線スペクトロメータがあります。

蛍光作用を利用した放射線測定器に、シンチレーション式サーベイメータがあります。シンチレーション式サーベイメータはシンチレータと呼ばれる蛍光物質が出す光を電気信号に変えて計測することにより、放射線の量を測定する測定器です。

TLD（熱ルミネセンス線量計）及び蛍光ガラス線量計は、放射線を照射した後、に所要の処理を施すことにより蛍光を発する作用を利用しています。

# 放射線の単位



放射線が物質に当たった場合、放射線の「エネルギーがどれだけ物質に吸収されたか」を表す量を吸収線量といいます。吸収線量の単位にはGy（グレイ）を用います。1 Gyは、物質1 kg当たり1ジュールのエネルギーが吸収されたときの放射線量です。

人が被ばくしたとき、放射線が人体に与えた影響の大きさを表す単位がSv（シーベルト）です。人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」といいます。等価線量、実効線量ともにSvで表します。

放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その部位により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定します。

Svは単独で使う以外に、単位時間当たりの線量としてのSv/h（1時間当たりの線量）やSv/年（年間当たりの線量）のような使い方があります。自然界のバックグラウンド線量率は $\mu$  Sv/h又はn Sv/hで表され、緊急時の防護対策ではmSv/hやmSvが多く使われます。

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」より改変

# 放射線の影響と単位



人が被ばくしたとき、放射線が人体に与えた影響の大きさを表す単位がSv (シーベルト) です。

人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」で表します。等価線量、実効線量ともに単位はSvです。

放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い (放射線荷重係数) を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。

各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方 (感受性) が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い (組織荷重係数) を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定することになります。

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」より改変

## 補助単位（接頭語）

- 非常に大きな数値や小さな数値を扱う場合、その数値をそのまま表現したら分かりにくいので、補助単位（接頭語）を使用する。

大きい数値を表す補助単位

補助単位	よみ	大きさ
k	キロ	$10^3$
M	メガ	$10^6$
G	ギガ	$10^9$
T	テラ	$10^{12}$

小さい数値を表す補助単位

補助単位	よみ	大きさ
m	ミリ	$10^{-3}$
$\mu$	マイクロ	$10^{-6}$
n	ナノ	$10^{-9}$
p	ピコ	$10^{-12}$

$$1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv} = 1000000 \text{ }\mu\text{SV}$$
$$1 \text{ }\mu\text{SV} = 0.001 \text{ mSv} = 0.000001 \text{ Sv}$$

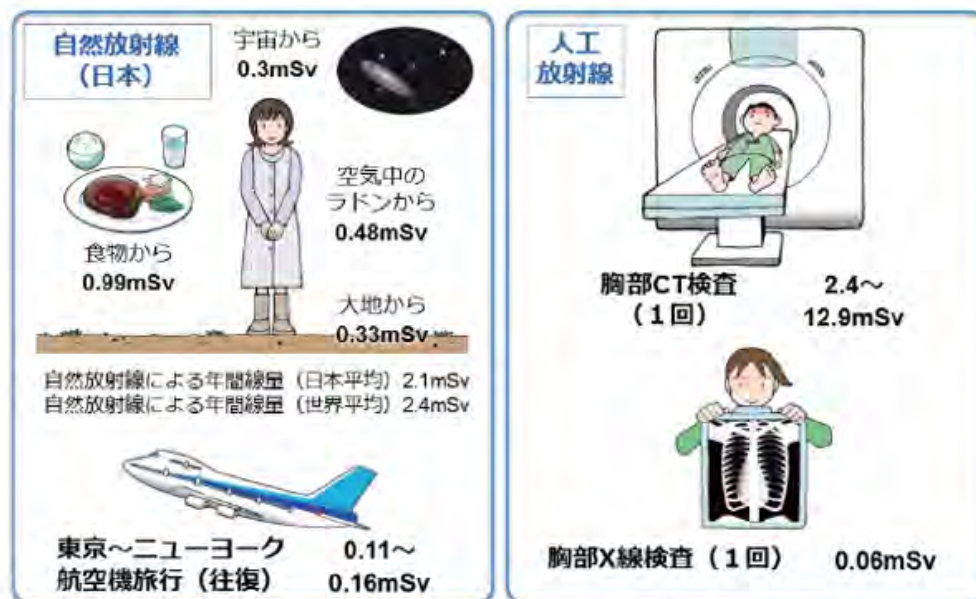
Bq、Sv、Gyなどの単位の他に、接頭語が使われます。

これは、放射線分野で扱う数値が非常に大きいものから小さいものまであり、その数値をそのまま表現したら分かりにくいいため、特に、M（メガ、百万倍）、m（ミリ、千分の一）、 $\mu$ （マイクロ、百万分の一）、n（ナノ、十億分の一）などの接頭語が多く使われます。

1Svは1000mSvであり、1,000,000 $\mu$ Svということになります。



## 身の回りの放射線



mSv : ミリシーベルト

出典：国連科学委員会〔UNSCEAR〕2008年報告、  
原子力安全研究協会「新生活環境放射線（平成23年）」、ICRP103 他より作成

17

日常生活をする中で、知らず識らず、私たちは放射線を受けています。

宇宙からそして大地から受ける自然放射線による外部被ばくや、食物や空気中のラドンから受ける自然由来の放射性物質から受ける内部被ばくは、合計すると年間で2.4mSv になります(世界平均)。また日本においては放射線検査等で受ける医療被ばくの割合が大きいことが知られています。これは一回の検査あたりの被ばく量が多いCT検査が広く普及していることや胃がん検診で上部消化器検査が行われているためと考えられます。

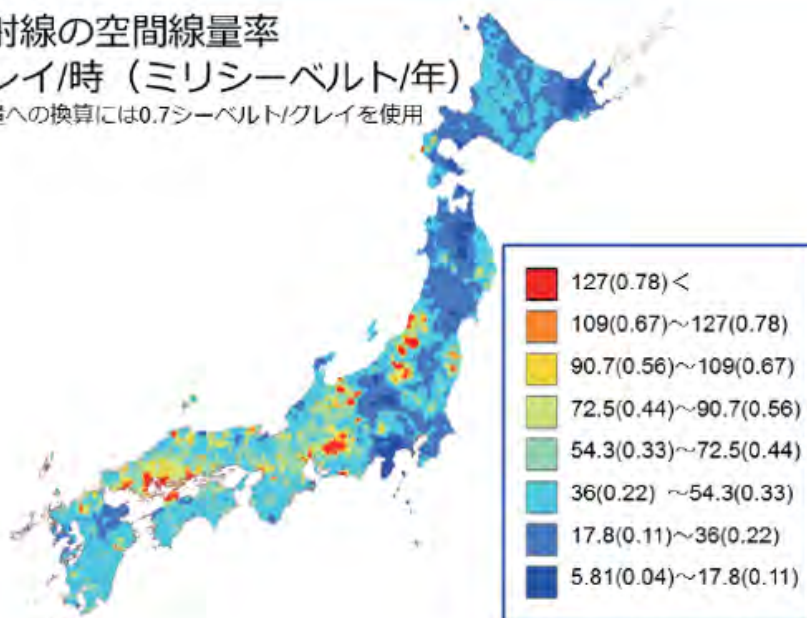
日本人が欧米諸国に比べて食品からの線量が高い理由は、魚介類を多く摂取する日本人の食生活が関係しています。魚介類にはポロニウム210が多く含まれているため、その分、実効線量が大きくなっています。一方、ラドン・トロンによる被ばくが少ないのは、日本家屋は通気性が良く、地中から屋内に侵入したラドン・トロンが速やかに屋外に拡散するためと考えられています。

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」

## 大地の放射線

### 自然放射線の空間線量率 ナノグレイ/時 (ミリシーベルト/年)

・実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



出典：日本地質学会ウェブサイトより

19

日本国内でも、大地からの放射線レベルにはわずかに差があります。

関東ローム層が大地からの放射線を遮へいする関東平野では、おおむね大地からの放射線量は少なくなっています。一方、花崗岩が直接地表に露出した地質が多い西日本では、東日本より大地からの放射線の量が高い傾向にあります。

最も高い岐阜県と最も低い神奈川県では年間0.4ミリシーベルトの差があるといわれています。しかし、だからといって、西日本に住んでいる人達に、放射線による悪影響がある、ということではありません。そのような事実はありません。この高低差はあくまで、低い自然放射線のレベルの中での高低差であって、日常生活の範囲での話です。事故時などのレベルは、これよりもはるかに高いレベルになります。

自然放射線量を計算で求めるには、大地に含まれるウランとトリウムとカリウム（放射性K-40）の濃度を用いますが、すでに公表されている元素の濃度分布図である地球化学図のデータを用いることができます。

地上1mの高さでの線量率D(nGy/h)の計算

$$D = 13.0 C_K + 5.4 C_U + 2.7 C_{Th}$$

ここでCK(%), CU(ppm), CTh(ppm)はそれぞれカリウム、ウラン、トリウムの濃度です。単位はナノグレイ(nGy)であるのでこれをマイクログレイ( $\mu$ Gy)に換算して表したのが上図です。

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」（日本地質学会ウェブサイトより引用）

産総研地質調査総合センターウェブサイト  
(<http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>)

参考：<https://gbank.gsj.jp/geochemmap/>  
<https://gbank.gsj.jp/geochemmap/setumei/radiation/setumei-radiation.htm>

## まとめ

- 放射線 ( $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線、X線、n線) と放射能 (放射線を出す能力)
- 放射線的作用による、電離 (電子の放出) と励起 (外側の軌道に移転)
  - 電離作用、蛍光作用→放射線測定器、透過作用→X線撮影、CT
- 等方性による距離の2乗減衰と遮蔽減衰 ( $\alpha$ :紙、 $\beta$ :7 $\mu$ m、 $\gamma$ :鉛、n:水)
- $\alpha$ 壊変 ( $\alpha$ 線+ $\gamma$ 線)、 $\beta$ 壊変 ( $\beta$ 線+ $\gamma$ 線)、核分裂 (n線+ $\gamma$ 線)
- 臨界 (連鎖反応に至る限界) →連鎖反応 (核分裂が次々に増大)
- 放射線により透過力が違う。
- 核種毎固有の半減期を有し、放射能は1半減期で1/2、2半減期で1/4
- 放射線の単位
  - ベクレル(放射能の単位)
  - グレイ(物質が吸収したエネルギーを表す単位)
  - シーベルト (放射線量、被ばく線量の単位)
- 自然界にも放射線は存在する。
  - 日本の年間自然放射線の量 2.1mSv
  - 世界の年間自然放射線の量 2.4mSv

# 放射線の影響

原子力災害医療 基礎研修

原子力災害基礎-3

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

講義時間；30分

内容

- 外部被ばくと内部被ばく
- 放射線の影響と単位
- 放射線とDNA損傷
- 生存率曲線
- ベルゴニー・トリボンドーの法則
- 実質細胞の放射線感受性
- 放射線の人体影響
- 確率的影響
- 確定的影響（組織反応）
- しきい値
- 被ばくの種類
- 急性放射線症
- 放射線皮膚障害
- 晩発障害
- 放射線によるがんの増加

# 外部被ばくと内部被ばく

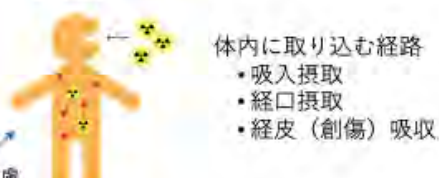
## 外部被ばく

外部被ばくとは、放射性物質（線源）から放出される放射線を体の外から浴びること。被ばく後、身体には放射線は残らない。



## 内部被ばく

内部被ばくとは、身体に取り込んだ（吸入、摂食）放射性物質からの放射線を体内で浴びること。



## 体表面汚染



放射線を受ける事を放射線被ばくと言います。

体の外から放射線を浴びるのが外部被ばく、放射性物質を体内に取り込んで体の中から放射線を浴びることが内部被ばくです。

外部被ばくには、全身あるいは体幹部の重要な臓器の大部分を被ばくする全身被ばくと、手指や四肢の一部など身体の一部だけを被ばくする局所被ばくがあります。局所被ばくでは、被ばくした部分の皮膚や骨の影響が現れます。

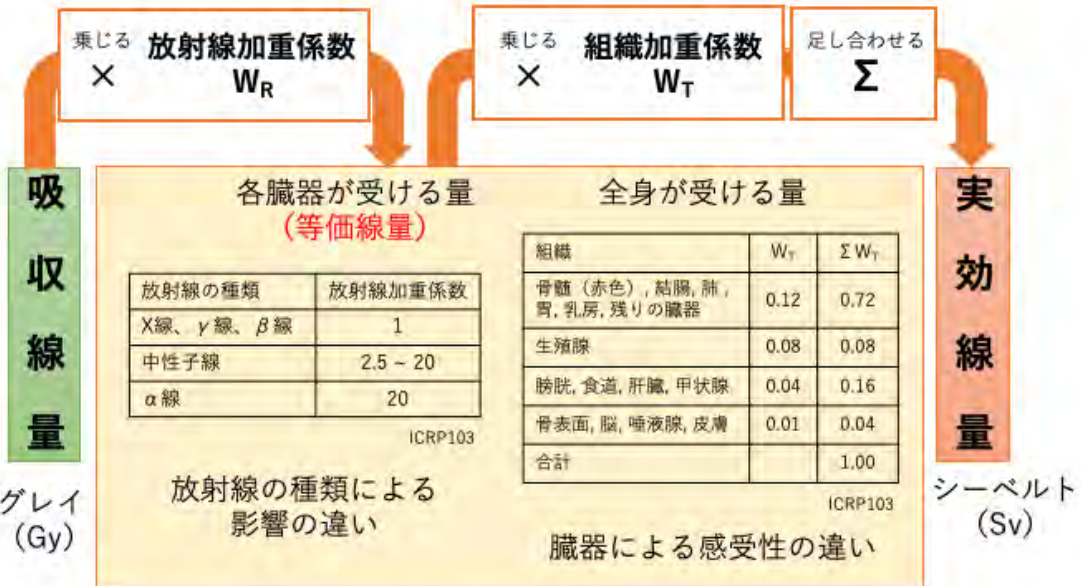
内部被ばくには、吸入摂取、経口摂取、経皮（創傷）吸収の3つの経路があります。

放射性物質が体の表面や衣服等に付着した状態が汚染です。頭部や顔面に体表面汚染がある場合は、噴霧あるいは放出された放射性物質を吸入したり、放射性物質が浮遊していた空間に滞在していた可能性があるため、内部被ばくの可能性を考えます。

体表面汚染のある部位からは、放射線を検知できますが、局所被ばくの症状が出現するほどの被ばくは通常はありません。ただし、とてもエネルギーが高い放射性物質が高濃度に付着した場合は、皮膚が外部被ばくすることもあります。表面汚染がある人から、周囲の人が外部被ばくするのはとても低いレベルです。

汚染に接触すると汚染拡大するため、注意が必要です。

# 放射線の影響と単位



放射線を受ける側の単位としては、グレイ (Gy)とシーベルト (Sv)があります。放射線が通ったところでは、放射線のエネルギーを吸収します。この吸収線量の単位がGyです。

人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」で表します。等価線量、実効線量ともに単位はSvです。

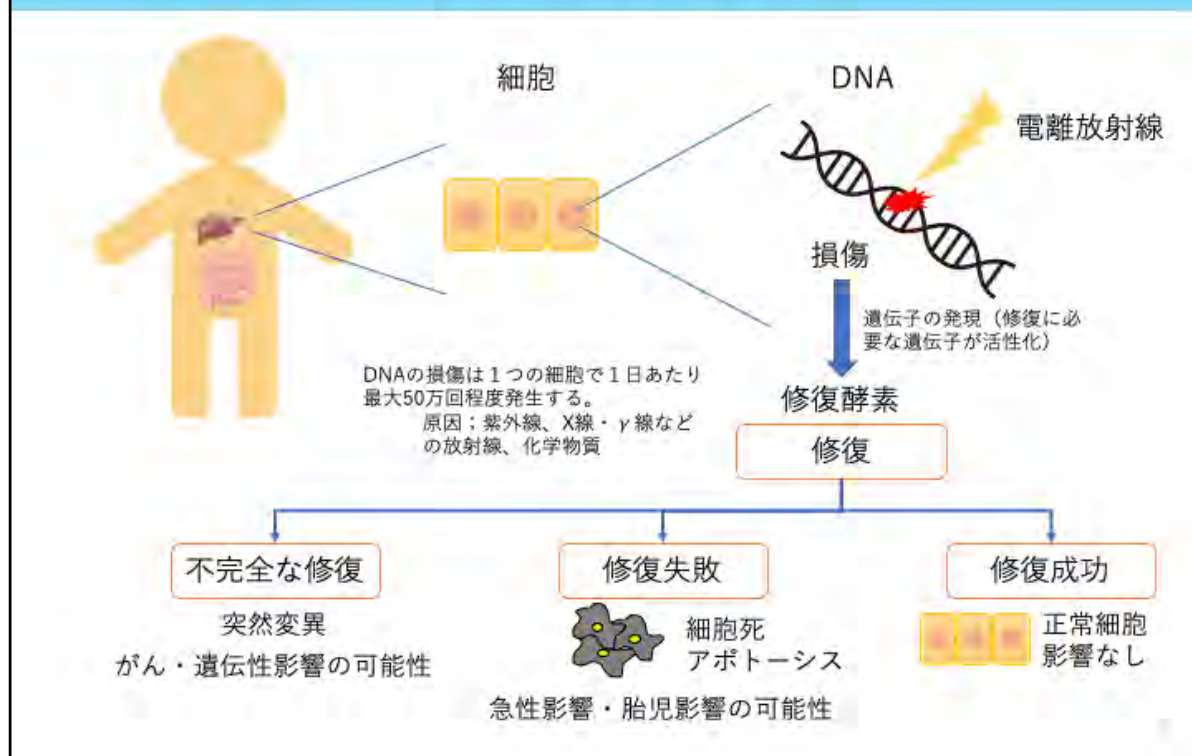
放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。

各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定することになります。

このようにシーベルトは、全身が受ける放射線の量（実効線量）、内部被ばくによって受ける放射線の量（預託実効線量）、ある場所だけ放射線を受ける局所被ばくの量（等価線量）の単位として用いられます。

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」より改変

## 放射線とDNA損傷



放射線の生物影響は、生体を通過してエネルギーを与える際の連鎖反応の結果です。

細胞での放射線のターゲットはDNAです。DNAの傷は体の中に備わっているシステムで修復されます。少しの傷なら修復が成功し、元に戻ります。傷が多ければ修復できずに細胞自体が死んでしまいます。また修復が不完全のまま、この細胞は生きながらえた場合、この細胞からがん細胞などが生じる可能性があります。

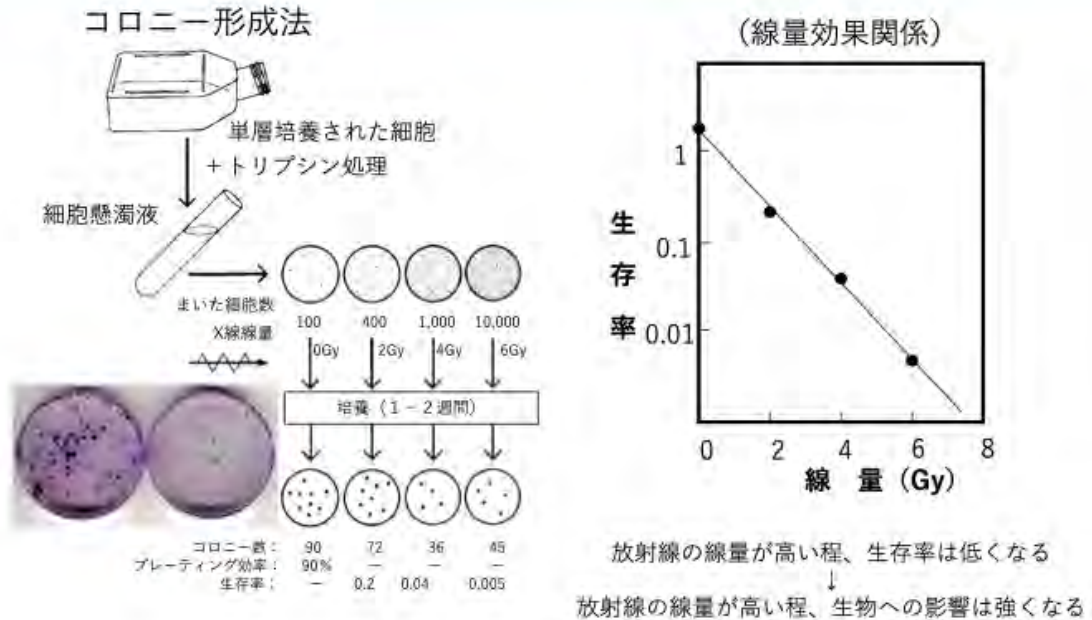
放射線による人体影響は、細胞が死ぬか、あるいは突然変異を起こすかのどちらかによるものです。

放射線の物理的相互作用は $10^{-15}$ 秒（ $10^{-5}$ 秒）で起こります。がんが発症するまでには年単位での時間がかかります。

遺伝性影響とは被ばくした個体の子孫に現れる影響を指しますが、ヒトでは観察されていません。



# 生存率曲線



自己増殖する細胞をシャーレに播いて培養すると細胞が増殖を繰り返し、シャーレに細胞塊（コロニー）が形成されます。この細胞の増殖を定量的するために用いられる方法がコロニー形成法です。

放射線を照射した細胞は、増殖が出来なくなりコロニーの形成が少なくなります。放射線を照射していない細胞群を1としたとき、放射線を照射した細胞群でコロニーが形成される割合を生存率と言います。放射線の線量が高くなるほど生存率は低下します。

生存率 = コロニー数 / (まいた細胞数 × プレーティング効率)

## ベルゴニー・トリボンドーの法則

細胞分裂頻度が高い（細胞周期が短い）細胞  
将来、長期にわたって分裂を続ける細胞  
形態的・機能的に未分化な細胞

→ 放射線感受性が高い



放射線の影響を受け易い

基本的に“未分化で増殖盛んな細胞の放射線感受性が高い”


細胞の種類によっても放射線の感受性が異なり、その細胞の再生能力に比例し、分化の程度に反比例します。

細胞分裂の頻度が高い細胞ほど、将来、長期にわたって分裂を続ける細胞、形態や機能が未分化な細胞ほど放射線の感受性が高いため、放射線の影響を受けやすくなります。これをベルゴニー・トリボンドー（Bergonie and Tribondeau）の法則といいます。

この法則は、組織内の細胞の放射線感受性について細かい比較にまで当てはまるものではないが、基本的に“未分化で増殖盛んな細胞の放射線感受性が高い”ことを示しています。

細胞レベルでの放射線の影響は、細胞周期と関連します。細胞が分裂して再び分列を終了するまでの期間を細胞周期といい、G<sub>1</sub>期（DNA合成が始まるまでの準備期間）、S期（DNA複製が行われる期間）、G<sub>2</sub>期（細胞分裂に必要なタンパク質が合成される細胞分裂準備期間）、M期（細胞分裂が行われる期間）に分けられます。また、G<sub>1</sub>期から静止期(G<sub>0</sub>期)に移行します。放射線感受性はM期が最も高く、G<sub>1</sub>初期から中期にかけていったん低下し、G<sub>1</sub>後期からS期にかけて再び感受性が高まります。S期に入ると再び感受性が低下し、この状態がG<sub>2</sub>期まで続きます。G<sub>0</sub>期は一般に感受性が低いです。このことから盛んに細胞分裂を繰り返している組織や器官では、放射線の感受性が高くなります。

## 実質細胞の放射線感受性

感受性	グループ	増殖、分化	実質細胞の例
 高い	増殖幹細胞	分裂 未分化	造血幹細胞、小腸クリプト (幹細胞)、精原細胞、表皮 幹細胞、リンパ球
	分化している幹細胞	分裂 分化	血液系の分化した幹細胞、精 母細胞、食道上皮細胞、膀胱 上皮細胞
	(血管系、線維芽細胞などの結合組織系)		
	再生可能な分裂頻度の低い 細胞	通常はほとん ど分裂しない 分化	肝臓、腎臓、膵臓、副腎、甲 状腺、脳下垂体、成人の骨、 成人の軟骨
	低い	分裂終了細胞	分裂終了 分化

出典：日本放射線技術学会「放射線生物学（改訂2版）」

細胞分裂が盛んで、分化の程度の低い細胞ほど、放射線感受性が高い傾向にあります。

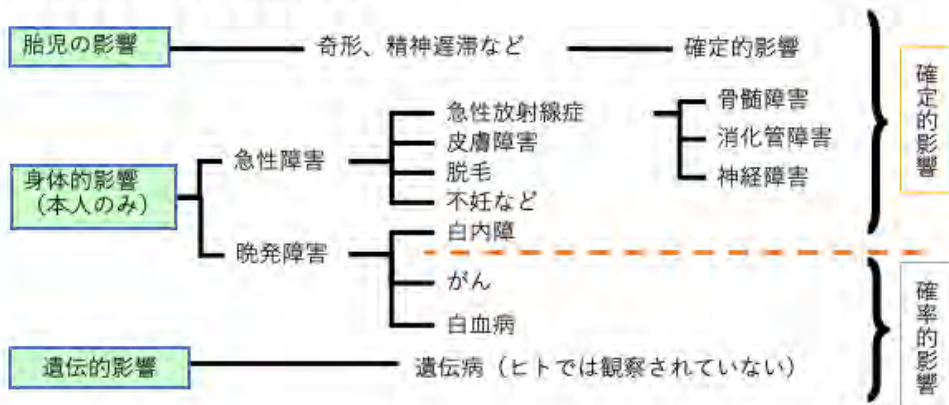
例えば、骨髄にある造血幹細胞はさかんに分裂しながら、血液中の各種細胞に分化する細胞です。幹細胞から分裂（増殖）が進んだ未成熟（未分化）な造血細胞の放射線感受性は極めて高く、分化した細胞よりも少量の放射線で細胞死が起こります。

その結果、血液細胞の供給が止まり、血中の各種の細胞の数が減少します。また消化管の上皮も常に新しい細胞に置き換わる新陳代謝が激しい臓器なので、放射線感受性が高くなります。

一方、細胞分裂をしない神経組織や筋組織は放射線に強いことが知られています。

# 放射線の人体への影響

- 急性障害
  - 急性放射線症：全身に短時間で1Gy以上の線量を被ばくしたときに生じる
  - 放射線熱傷：放射線による皮膚障害、体の一部分の被ばくでも生じる
- 晩発障害
  - 白内障：数年～十数年後に現れる目の症状
  - 悪性腫瘍：がんや白血病など



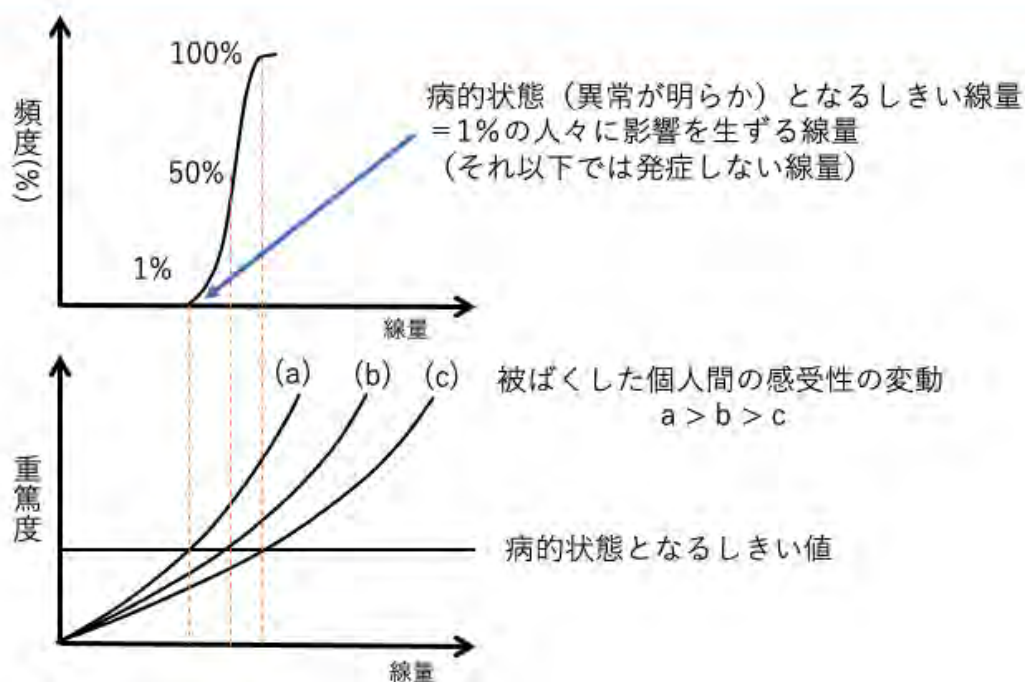
放射線の人体への影響は、医学的な観点から被ばくした本人に現れる身体的影響と被ばくした人の子孫に現れる遺伝的影響があります。遺伝的影響は人では観察されていません。

身体的影響は、被ばくした本人の体に症状が現れる時期によって急性障害と晩発障害に分けられます。急性障害は、被ばくして数週間以内に現れる症状で、全身に短時間で1 Gy以上の線量を被ばくした時には、骨髄障害、消化管障害、神経障害などの全身の症状が現れます。これを急性放射線症といいます。また、体の一部分だけを被ばくする事を局所被ばくといい、高線量の局所被ばくをした場合は、皮膚の障害として、熱傷のような症状が現れます。

被ばく後数年から数十年経ってから現れる症状を晩発障害といいます。晩発障害には、白内障、がん、白血病などがあります。

母親の胎内にいた時に被ばくした場合は、胎児の影響があり、奇形や精神遅滞などが現れます。

## 確定的影響（組織反応）



確定的影響とは、大量の放射線を被ばくした場合に、死滅する多くの細胞を補う正常な細胞の分裂増殖が十分でないために発生すると考えられているもので、ある線量以上の被ばくを受けた場合にだけ現れます。この線量を「しきい値」といい、しきい値を超えた線量を被ばくすると、症状の現れ方には多少の個人差はありますが、誰にも同じように症状が現れます。

確定的影響の特徴を整理すると、次のようになります。

- ・症状は、しきい値以上の放射線を被ばくした場合に現れる。
- ・症状の重さは、被ばくした放射線の量に依存する。
- ・同じ程度の量の放射線を被ばくした人には、誰にでも同じような症状が現れる。

なお、症状の発生する頻度が1%の値をしきい値としています。

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」より改変

## しきい値

影響	器官/組織	発症までの期間	受けた線量 (Sv)	出展
			1%の人に生じる	
<b>罹患率:</b>				
一時的な不妊	精巣	3-9週間	~0.1	a, b
永久不妊	精巣	3週間	~6	a, b
永久不妊	卵巣	< 1週間	~3	a, b
造血能低下	骨髄	3-7日間	~0.5	a, b
皮膚の発赤	皮膚 (広範囲)	1-4 週間	<3-6	b
放射線熱傷	皮膚 (広範囲)	2-3 週間	5-10	b
一時的な脱毛	皮膚	2-3 週間	~4	b
白内障 (視力障害)	水晶体	数年	~1.5	a, c
<b>死亡:</b>				
骨髄症候群:				
- 治療なし	骨髄	30-60 日間	~1	b
- 適切な治療	骨髄	30-60日間	2-3	b, d
胃腸の障害:				
- 治療なし	小腸	6-9日間	~6	d
- 適切な治療	小腸	6-9日間	>6	b, c, d
肺臓炎:	肺	1-7ヶ月	6	b, c, d

放射線の確定的影響は、それぞれ被ばく後から発現するまでの期間としきい値が決まっています。この表はICRPによって示された、全身γ線被ばく後の成人の臓器および組織にかかわる罹病の1%発生率と死亡に対する、急性吸収線量のしきい値の予測推定値です。急性に1回で被ばくした場合の値です。

出典：ICRP Publication 103

a) ICRP (1984)

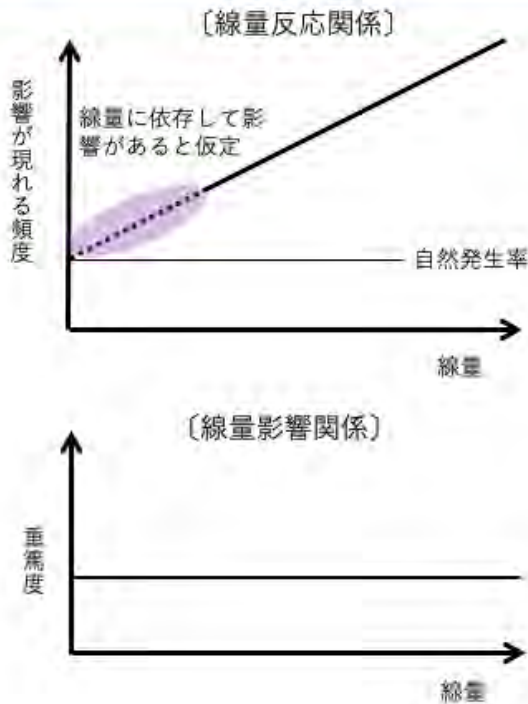
b) UNSCEAR (1988)

c) Edwards と Lloyd (1996)

d) Scott と Hahn (1989) , Scott (1993)

e) ほとんどの数値は四捨五入してGy に丸められている。範囲は、皮膚については面積依存性が、骨髄については様々な補助的治療があることを示している。

## 確率的影響



しきい線量は存在しないと仮定

確率的影響とは、**しきい値が存在しない**と考えられている影響であり、具体的には、発がんや遺伝的影響である。一定の線量以下では、喫煙や飲酒といった他の発がん影響が大きすぎて見えないが、ICRP等ではそれ以下の線量でも影響はあると仮定して、放射線防護の基準を定めることとしている。

確率的影響とは、しきい値が存在しないと考えられている影響であり、具体的には、発がんや遺伝的影響です。

これらの影響には、細胞の突然変異が関わっています。遺伝的影響の場合、生殖細胞に1回、発がんの場合、ひとつの体細胞に数回の突然変異が生じることで起こります。つまり、確率的影響は細胞が一つでも性質を変えれば、発生する可能性があります。

放射線の被ばく線量と影響の間には、しきい値がなく直線的な関係が成り立つという考え方をLNT(Liner non-threshold)仮説といいます。

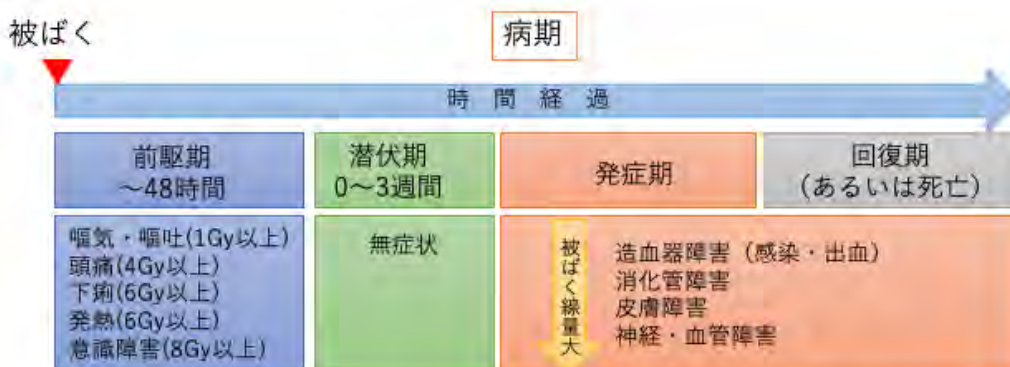
出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

# 急性放射線症

短時間に1 Gy (1000mGy) 以上の全身被ばく後、数時間～数週間後に起こる臨床症状の総称

→多くの組織や臓器障害をおこす

特に細胞増殖の盛んな組織（造血器、消化管粘膜、皮膚、生殖腺の幹細胞など）が影響を受けやすく、これらの臓器の障害による症状が主体



全身に1グレイ（1,000ミリグレイ）以上の放射線を一度に受けた場合、急性放射線症と呼ばれる、一連の臓器障害をきたすことがあります。この時間経過をみると、典型的には、前駆期、潜伏期、発症期の経過をたどり、その後、回復するか、あるいは死に至ります。

被ばく後およそ48時間以内に見られる前駆症状により、およそその被ばく量を推定することができます。

1グレイ以上の被ばくで、食欲不振、悪心、嘔吐と言った症状が見られることがあります。

4グレイ以上の被ばくをした場合、頭痛などを訴えることがあります。

下痢や発熱といった症状を示す場合は6グレイ以上被ばくした可能性があります。その後、潜伏期を経て、発症期に入ると、被ばくした線量に応じて造血器障害、消化管障害、神経血管障害が現れます。これらの障害は、放射線感受性の高い臓器や組織を中心に現れます。概して線量が多いほど潜伏期は短くなります。

皮膚は、大人で1.3～1.8m<sup>2</sup>と、大きな面積を持つ組織です。被ばく直後に初期皮膚紅斑がでることもありますが、一般には皮膚障害は被ばく後数日以上たってから現れます。

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」より改変



## 急性放射線症の前駆症状

症状と治療方法		軽度 (1-2Gy)	中等度 (2-4Gy)	重症 (4-6Gy)	非常に重症 (6-8Gy)	致死的 (>8Gy)
嘔吐	発現時期 発現頻度	2時間以降 10-50%	1-2時間以降 70-90%	1時間以内 100%	30分以内 100%	10分以内 100%
下痢	発現時期 発現頻度	なし —	なし —	軽度 3-8時間 <10%	重度 1-3時間 >10%	重度 数分以内-1時間 ほぼ100%
頭痛	発現時期 発現頻度	軽微 —	軽微 —	中等度 4-24時間 50%	重度 3-4時間 80%	重度 1-2時間 80-90%
意識	発現時期 発現頻度	障害なし —	障害なし —	障害なし —	障害の可能性 —	意識喪失 秒分のオーダー 数秒-数分 <100% (> 50Gy)
体温	発現時期 発現頻度	正常 —	微熱 1-3時間 10-80%	発熱 1-2時間 80-100%	高熱 <1時間 100%	高熱 <1時間 100%

( | AEA/WHO Safety Reports Series No.2 "Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries".1998.Vienna  
に基づき原子力施設等防災専門部会が作成)

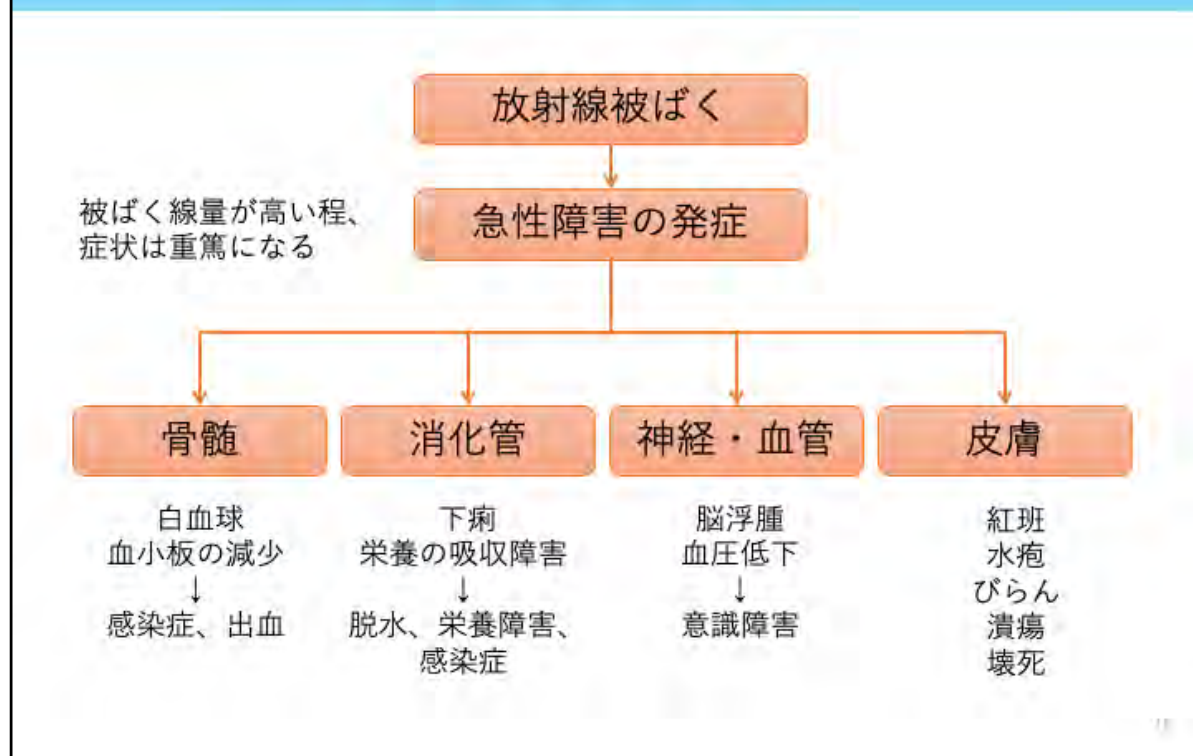
17

急性放射線症の前駆症状と被ばく線量をまとめた表です。

前駆期は被ばく後数分から数時間以内に現れ、48時間まで続くことがあります。食欲低下・悪心・嘔吐・下痢が主な前駆症状で、線量が高いほど出現までの時間が短く重篤です。

嘔吐であれば、1~2Gyの被ばくの場合、2時間以降に10~50%に症状が出現し、2~4Gyでは1~2時間以降に70~90%、4~6Gyでは1時間以内に100%、6~8Gyでは30分以内に100%、8Gy以上では10分以内に100%に症状が出現します。

## 急性放射線症の症状



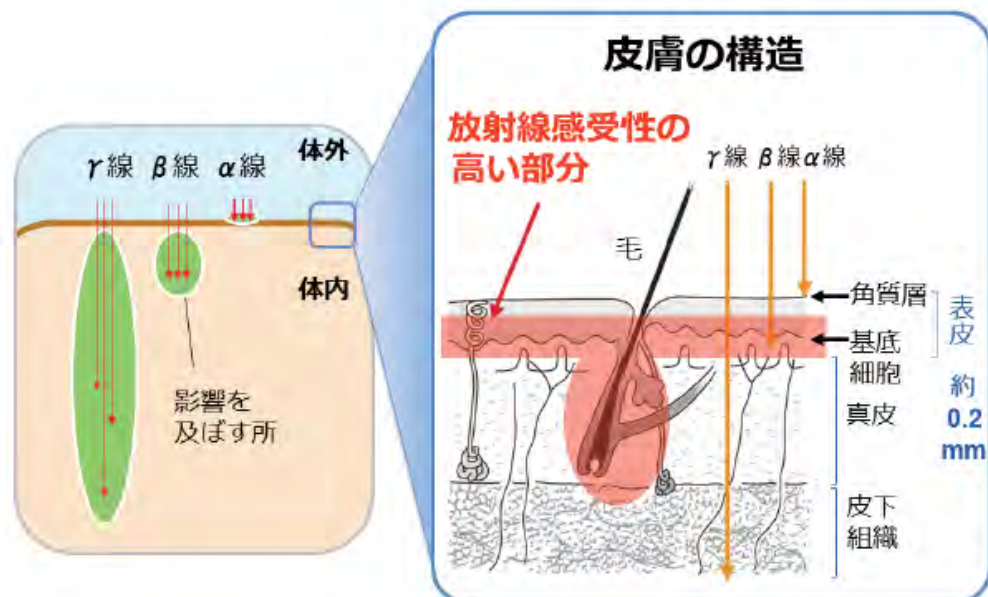
急性放射線症の症状は主に骨髄障害、消化管障害、中枢神経・循環器障害、皮膚障害に分けられます。

骨髄障害は、被ばく後に白血球、血小板が減少し、感染症、敗血症、出血症状を引き起こします。

致死的な線量の被ばくの場合、脳浮腫や血圧低下などの中枢神経と循環器障害が起こり、意識障害となります。

皮膚障害も被ばく線量に応じて、紅斑、水疱、びらん、潰瘍、壊死といった症状が出現します。

## 放射線皮膚障害



放射線による皮膚障害は、症状が熱傷に似ているため、放射線熱傷ともいいます。γ線は皮膚の基底細胞層まで透過するため、皮膚障害を発生します。透過力の弱いα（アルファ）線は表皮で止まってしまうので影響を及ぼすことはありませんが、β（ベータ）線を出す放射性物質が大量に体表面に付着し、長く放置された場合は、皮膚の放射線感受性の高い基底細胞層や毛根細胞に影響を及ぼすこともあります。

皮膚障害では、被ばくの線量と面積が予後を大きく左右する因子です。

初発症状は発赤（初期紅斑）で、通常は一過性です。およそ2-3 Gy（グレイ）の被ばくから現れます。線量により数日から1~2週間のを経て、脱毛、色素沈着、落屑、水疱、潰瘍、壊死が生じます。

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」

## 放射線皮膚障害

	熱傷	放射線皮膚障害 (放射線熱傷)
症状	すぐに痛む 激しい炎症反応 患部の細胞死 組織の破壊	始めは痛みがない 被ばくの線量に応じて症 状の発現時期は異なる
障害の 機序	高温による障害 蛋白凝固 細胞代謝障害 局所循環障害	放射線によるDNA損傷 (細胞の種類により感受 性は異なる)
エネルギー (2度熱傷)	大 (4Cal/cm <sup>2</sup> )	小 (0.0126Cal/cm <sup>2</sup> ) :30Gy

- 皮膚障害の無自覚と深達度の判断の困難性
- 遅発性；症状発現が遅い
  - 潜伏期（期間は被ばく線量による）がある
- 難治性；治りにくい
  - 例えば、中性子被ばく（線質）、高線量被ばく（線量）などにより障害がより深達性となる
- 反復性；繰り返す
  - 障害が反復したり、一度治癒した部分が血流障害の悪化により再度症状再燃する（～年単位）

放射線による局所の皮膚障害は、熱傷の症状と似ており、放射線熱傷とも呼ばれます。しかし、その発症のメカニズムは異なります。

熱傷は、高温によるタンパク凝固、細胞代謝障害、局所循環障害が原因となり、受傷直後から痛みや水疱、びらんなどの症状が出現します。

放射線熱傷の場合は、皮膚の基底細胞が放射線による影響を受けた結果、細胞分裂ができなくなり、皮膚細胞が再生されなくなるために症状が出現します。このため、始めは痛みの症状はなく、症状の出現にも時間がかかります。

## 放射線皮膚障害の線量と時期

皮膚症状は被ばく直後には出現しない  
(時間が経ってから現れる)

症状	線量(Gy)	発症(day)
紅斑	3-10	12-21
脱毛	>3	14-18
乾性落屑	8-12	25-30
湿性落屑	15-20	20-28
水疱	15-25	15-25
潰瘍	>20	14-21
壊死	>25	>21

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

国際放射線防護委員会 (ICRP) などが放射線皮膚障害のしきい線量、症状の出現時間をまとめています。

皮膚障害も被ばく線量が高くなればなるほど症状は重篤になります。さらに、症状の出現が遅いため、被ばく直後に皮膚障害の程度を判断するのは、非常に困難です。

紅斑は、被ばくから2週間ほどの時間を経て出現します。

3Gy以上の被ばくで脱毛が起こります。8~12Gyでは乾性落屑が起こり、15~20Gyでは湿性落屑や水疱が出現します。

20Gy以上では潰瘍が出現し、25Gy以上では壊死します。潰瘍や壊死などの皮膚障害は、非常に治療が難しく、一旦症状が軽快しても再び潰瘍が出現する等の難治性、再発性といった特徴があります。

# 晩発障害

晩発障害		潜伏期間	例	放射線影響の機序
影響の出現	身体的影響	数週間以内 = 急性影響 (早期影響)	急性放射線症候群 <sup>※1</sup> 急性皮膚障害	細胞死/細胞変性 で起こる 確定的影響 <sup>※2</sup> 
		数か月以降 = 晩発影響	水晶体の混濁	がん・白血病 遺伝性疾患
遺伝性影響				

※1：主な症状としては、被ばく後数時間以内に認められる嘔吐、数日から数週間にかけて生じる下痢、血液細胞数の減少、出血、脱毛、男性の一過性不妊症等。  
 ※2：一定量以上の被ばくがないと発生しない。

放射線被ばく後、数ヶ月以上経過した後に現れる影響を晩発障害といい、皮膚障害（表皮の萎縮、色素沈着など）、白内障、がん（白血病を含む）などの症状があります。

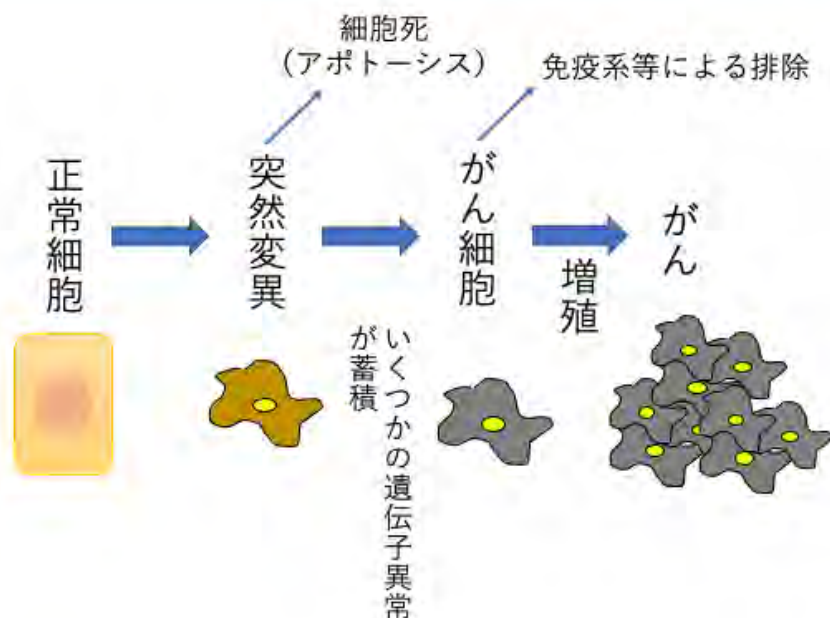
軽度の白内障である水晶体の混濁は500mSvから発症し、白内障は2,000mSv以上の線量を受けた場合に発症します。

急性障害を起こさない程度の放射線を被ばくした場合でも、数年から数十年経過した後にがんを発症することがあります。原爆被爆者の追跡調査によると、がんによる死亡リスクは100-200mSv以上では放射線の被ばく線量に正比例していますが、それ以下の被ばくについては確認されていません。

また、遺伝的影響も人では確認されていません。

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」

## 発がんの仕組み

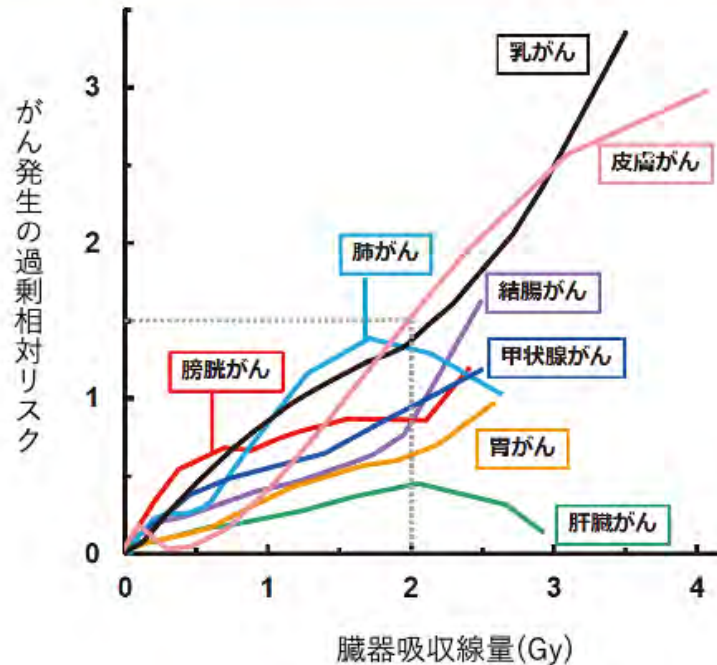


放射線ばかりではなく、様々な化学物質や紫外線等にもDNAを傷つける作用があります。しかし、細胞には傷ついたDNAを修復する仕組みがあり、大抵の傷はすぐに元どおりに修復され、また修復に失敗した場合でも、その細胞を排除する機能が体には備わっています。

ごく稀に、修復し損なった細胞が、変異細胞として体の中に生き残ることがあります。こうしたがんの芽は生じては消え、消えては生じといたことを繰り返します。その中でたまたま生き残った細胞に遺伝子の変異が蓄積し、がん細胞となることがありますが、それには長い時間が掛かります。

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」より改変

## がん発生の過剰相対リスク



原爆被爆者を対象に、どれだけの線量をどこに受けるとがんのリスクが増加するかを調べたものです。横軸は、原爆投下時の高線量率一回被ばくによる臓器吸収線量で、縦軸は、過剰相対リスクです。相対リスクは、被ばくしていない集団と比べて、被ばくした集団ではどのくらいがん発症のリスクが増加したかを調べたものです。相対リスクが1であれば影響がないことになります。過剰相対リスクは、相対リスクから1を引いたもので、過剰リスクだけを示したものです。

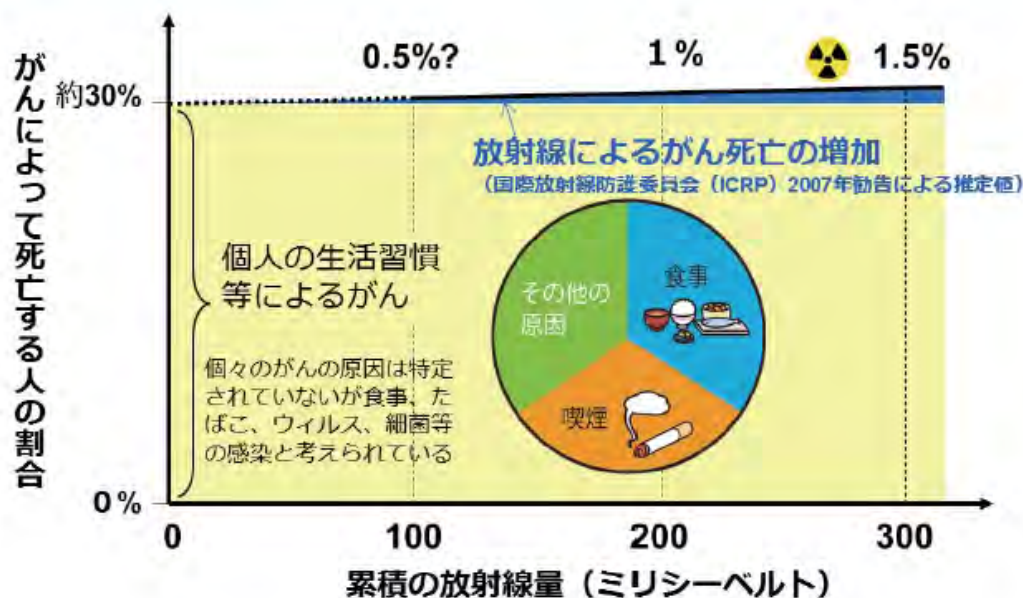
例えば、臓器吸収線量が2Gyの場合は、皮膚がんの過剰相対リスクは1.5となっています。放射線を受けなかった集団と比べて1.5倍のリスクが過剰に発症していることを意味しています。つまり、2Gy被ばくした集団では皮膚がんの発症リスクは、放射線を受けていない集団（1倍）の2.5倍（1+1.5）となります。

こうした疫学研究の結果から、乳腺、皮膚、結腸等は、放射線によってがんが出やすい組織・臓器であることがわかりました。国際放射線防護委員会（ICRP）の2007年勧告では、臓器の感受性やがんの致死性等も考慮し、組織加重係数を定めています。

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」より改変



## 放射線によるがんの増加



がんは放射線だけでなく、食事、喫煙、ウイルス、大気汚染など様々な要因によって発症すると考えられます。起こった個々のがんが放射線によるものであると特定することはできません。従って、放射線でがんが起きているかどうかを検証するには、多くの集団において、受けた線量とともにがんが起こる確率も上昇するかどうかを調べる必要があります。

原爆被爆者を主とした疫学調査では、およそ100ミリシーベルト以上の線量では、線量とともにがん死亡が増加することが確認されています。およそ100ミリシーベルトまでの線量では、放射線とがんについての研究結果に一貫性はなく、放射線によりがん死亡が増えることを示す明確な証拠はありません。しかしながら放射線防護の目的のための慎重な考え方として、年間100ミリシーベルトまでゆっくりと被ばくする場合、放射線によるがん死亡が1,000ミリシーベルトあたりおよそ5%であるとされており、国際放射線防護委員会 (ICRP) もこれを妥当であるとしています。

日本人は元々約30% (1,000人のうち300人) ががんで亡くなっています。この国際的な推定値を用いると、仮に1,000の方が100ミリシーベルト\*の線量を受けたとすると、生涯にがんで亡くなる方が300人から305人に増加すると計算できます。ただし、ICRPは同時に、この仮定は確実ではないが起こる可能性のある障害を予防するという考え方であり、100ミリシーベルトよりもごく低い線量を合計して集団で出るがんなどの症例数を計算するといった影響の評価には不確実性が大きく、適切でないとしています。

\*ここで言う100ミリシーベルトとは年間の被ばく線量ではなく、これまで受けた積算線量です。また、この100ミリシーベルトには自然界から受け

る放射線量は含まれません。

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」

## まとめ

- 各組織・臓器への影響は「等価線量」、全身への影響は「実効線量」である。
- 放射線はDNAを損傷し、その結果、修復、細胞死（急性影響）、突然変異（発癌など）が起こる。
- 確定的影響には、しきい値があり、被ばく線量に応じて重篤度が増す。
- 確率的影響には、しきい値がなく、発生頻度が被ばく線量に応じて高くなる。
- 短時間で大量の放射線を被ばくすると急性放射線症を発症する。
- 局所の被ばくでは、放射線皮膚障害を生じる。
- 癌発生リスクは被ばく量に相関する。

# 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.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

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
- 放射能防護服
- 内部被ばく経路の防護
- 吸入摂取の防護
- 鼻スワブ検査
- 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

原子力災害時の放射線防護の目的は、外部被ばく防護と内部被ばく防護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となります。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	

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ため、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、職業人の実行線量限度は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：150mSv/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	<sup>3</sup> He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	電子式個人線量計
		中性子線	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ていないと、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( $\gamma$ )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、<sup>3</sup>He計数管式（レムカウンタ）です。

アルファ( $\alpha$ )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( $\beta$ )線（ガンマ( $\gamma$ )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、線量限度を越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



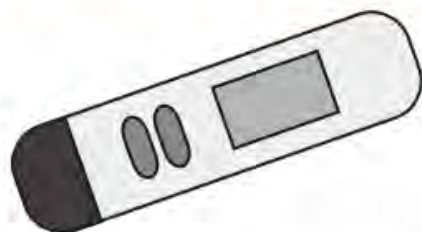
\*深さd：実効線量 1 cm、水晶体3mm、皮膚70 $\mu$ m

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示されません。

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1cmの深さにおける線量（1cm線量当量）で表されます。人体の組織の多くは体表面から1cm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ため、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。

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ため、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 ( $\mu$ Sv)	作業後指示値 ( $\mu$ Sv)	被ばく線量 ( $\mu$ Sv)	作業時間		
	型式	番号				作業前時刻	作業後時刻	作業時間

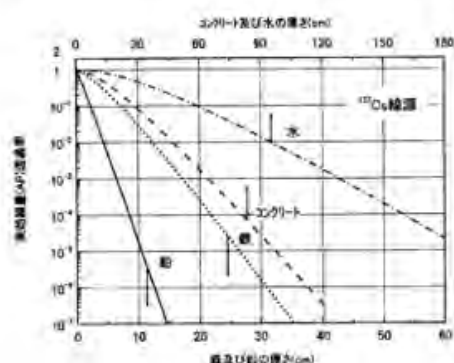
注：被ばく線量 = 作業後指示値 - 作業前指示値

①

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。

## 遮蔽の効果

核種	鉛(cm)		鉄(cm)		コンクリート (cm)	
	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。

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 $\gamma$ 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( $\gamma$ )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( $\gamma$ )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( $\gamma$ )線の実効線量率と遮へい体がある場合のガンマ( $\gamma$ )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、Co-60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 $10^{-4}$ 、すなわち、1万分の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・ベータ線制動放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 <sup>2</sup> の建物（3～4階建）の1～2階	0.05
各階900m <sup>2</sup> 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

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。

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や放射線といった低エネルギーの放射線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。

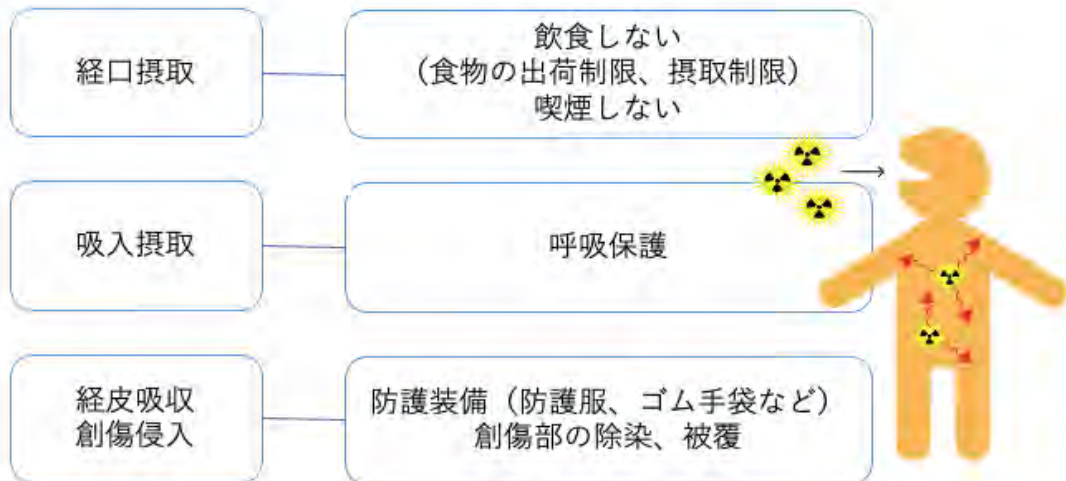
鉛入りのインナーベストや放射能防護服がありますが、その遮へい効果を実際に確認した結果を示しています。防護服一式に含まれる鉛ベストは鉛3mm相当でしかなく、アメリカシウム-241や放射線といった低エネルギーの放射線に対しては遮へい率95%前後と、有効であると言えますが、セシウム-137やコバルト-60に対しては遮へい率が10%以下となります。また、鉛ベストの側面(脇腹部分)は鉛が入っておらず、側面から被ばくをした場合、遮へい効果は期待できません。

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考えられます。

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



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摂取の三つがあります。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。

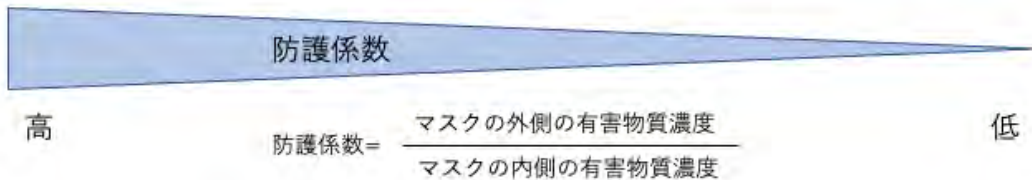
経皮摂取の防止ですが、傷口や皮膚からの放射性物質の取り込みを防ぐためには、傷口であれば保護（カバー、覆い）をする、皮膚については、次のページに例示する身体用の防護装備（つなぎ服、ゴム手袋等）を着用するなどして、放射性物質が直接、皮膚に接触しないようにします。

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、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)	 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
放射性物質の浮遊がある／疑われる			汚染対応（汚染検査、搬送など）	



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、 $\alpha$ 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。

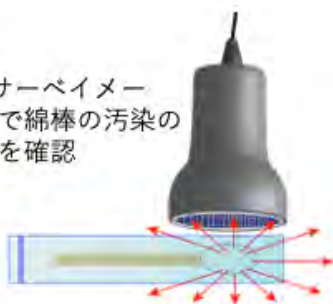
なお、派遣チームで標準的に利用することは想定されませんが、事業所内の状況によっては、陽圧式呼吸保護具など、特殊な装備が使われることもあります。

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

10

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

放射線あるいは放射性物質のみが原因の場合、放射性物質の付着防止のために防護服はタイベックスーツが選択される。  
(どんな防護服でも外部被ばくは防護できない)

タイベックスーツ

二重のゴム手袋

テープで目張り

くつカバー

靴底が全面ゴム製になったものだと野外での活動でも破れない

ゴーグル

マスク(シールド付)

必要に応じて吸収缶付きマスクを着用

・放射線を防ぐものではない  
+放射性物質の吸入、付着を防ぐことが目的

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

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

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

A：単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量 [(nGy/h)/(Bq/cm<sup>2</sup>)]  
(皮膚表面から70μm直下)で図より読取ります

D：汚染した箇所の表面汚染密度 (Bq/cm<sup>2</sup>)

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/cm<sup>2</sup>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、

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

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

A：単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量

[(nGy/h) / (Bq/cm<sup>2</sup>)] (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/cm<sup>2</sup>)

T：皮膚被ばくの継続時間 (h)

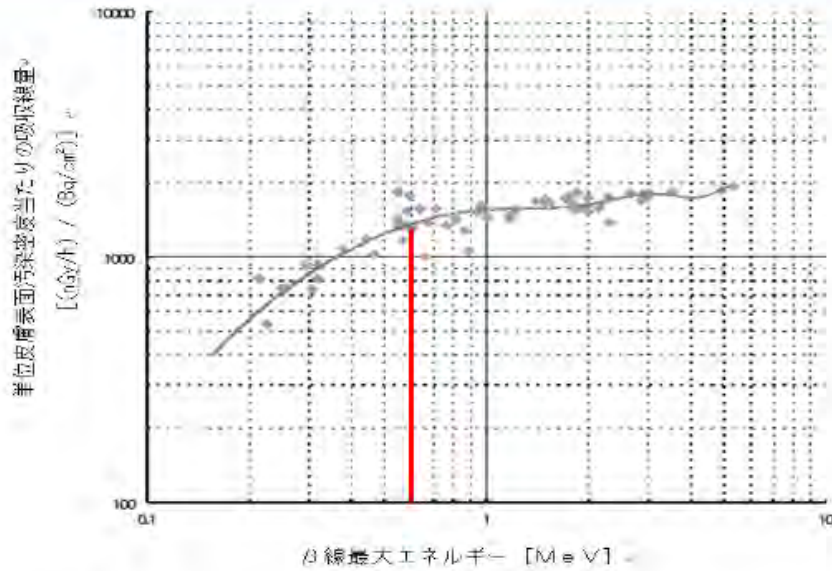
例として、I-131が表面汚染密度120 Bq/cm<sup>2</sup>で汚染して、汚染してから除染が完了するまでに2時間かかったときの、皮膚の被ばく線量は0.34mSvとなります。

放射線業務関係者の皮膚に関する等価線量限度500mSv(緊急時においては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、遮蔽体を使用
- 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、遮蔽の効果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/cm<sup>2</sup>) と読みます。

図1-5 単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量とβ線最大エネルギーとの関係 (出典: ICRU Report 56, 1997 改)

# 汚染検査・除染

原子力災害医療 基礎研修  
原子力災害基礎-5

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- 表面汚染
- 汚染検査
- 表面汚染計の使用方法
- 身体の汚染検査
- 記録用紙の例
- 表面汚染の測定時の注意点
- 表面密度の計算
- OIL4について
- 医療機関での汚染検査
- 除染
- 身体除染



## 表面汚染

- 放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態
- 表面汚染では危険な外部被ばくはしない
- 浮遊した放射性物質による内部被ばくに注意
- 原子力災害・放射線災害で汚染があれば汚染拡大防止
- **表面汚染計**で測定
- 防護服で皮膚、衣類への付着を防止



汚染の濃度が極端に高くない限り、全身または皮膚の被ばくの症状は出ない

放射性物質が体表面、衣服、資機材等に付着した状態が表面汚染です。体表面の汚染からの放射線は、それほど強くないため、近くで対応しても危険な外部被ばくはしません。

原子力災害や放射線災害で汚染が関与していれば、汚染拡大防止を行います。。そのためには表面汚染計で汚染の程度を測定し、防護服で皮膚、衣類等への付着を防止します。

## 汚染検査

- 表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定
- 表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数をもとに1分間あたりあるいは1秒間あたりの計数として表示
  - 単位；は $\text{min}^{-1}$ 、cpm (count per minute)、 $\text{s}^{-1}$ 、cps (count per second)
- 表面汚染の測定器の種類
  - GM計数管式サーベイメータ；ベータ線、ガンマ線の表面汚染を測定
  - ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータ；アルファ線の表面汚染を測定



GM計数管式サーベイメータの例

表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定します。

表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数をもとに1分間あたりあるいは1秒間あたりの計数として表示し、単位は $\text{min}^{-1}$ 、 $\text{s}^{-1}$ などを使用します。測定器の種類には、GM計数管式サーベイメータ、シンチレーション式サーベイメータがあります。ベータ線の表面汚染の計測には、GM計数管式サーベイメータが用いられ、アルファ線の表面汚染の計測には、ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータが用いられます。ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータでは、ベータ線は測定できませんし、GM計数管式サーベイメータでは、アルファ線は測定できません。

## 表面汚染計の使用法

1. 電源を入れる。
    - サーベイメーターは電池を使用するため、電池の残量を確認する。
  2. バックグラウンドレベル (B.G.) を測定する。
    - 自然界にも放射線は存在する。そのため、自然界の放射線のレベルを測定しておく。
    - 測定結果の計数値からこのバックグラウンドレベルの値を差し引くことで正味の計数値が得られる。
  3. 汚染と判断する基準値あるいは警報値の設定を確認する。
    - 同じ表面密度でも測定器ごとに測定値が異なる。
    - 測定器によっては警報値を設定することができる機種もある。
  4. 測定を開始する。
- ❖測定器は経年劣化するため年1回校正する。  
❖校正：測定器の指示値の正確さを確認する。  
❖検出部を汚染させない。ビニール等で覆う。

基本的な表面汚染計の使用法は以下です。

1. 電源を入れる。

サーベイメーターは電池を使用するため、電池の残量を確認します。
2. バックグラウンドレベル (B.G.) を測定する。

自然界にも放射線は存在するため、自然界の放射線のレベルを測定します。そして、測定結果の計数値からこのバックグラウンドレベルの値を差し引くことで正味の計数値が得られます。
3. 汚染と判断する基準値あるいは警報値を設定を確認する。

同じ表面密度でも測定器ごとに測定値が異なります。また、測定器によっては警報値を設定することができる機種もあります。
4. 測定を開始する。

放射線測定器は、経年劣化します。そのため、測定器の性能をチェックするために最低でも年1回の校正が推奨されています。放射線測定器の校正とは、国家計量標準とつながる基準測定器の値（基準値）と、測定器の値（測定値）を比較し、測定器の指示値の正確さを確認する作業です。また、検出部を汚染させないようにビニール等で覆います。使用中にビニール等が汚染した場合は、ビニール等を交換します。

## 身体の汚染検査

- 検査は、2人 or 3人 1組が望ましい。
- GMサーベイメーターを使用して体表面汚染を検査する。
- 頭部からつま先まで検査する。
- 身体表面から約1cm離し、1秒間に5cm程度のゆっくりした速さで、検出部を移動
- 全身の汚染検査には5～10分程度必要
- 汚染の箇所と数値を記録する。

### 全身汚染検査



### 簡易汚染検査（指定箇所検査）



身体の汚染検査では、GM計数管式サーベイメーターを使用して、全身を測定します。原則として、検査は2人1組で行い、1人が測定を、もう1人が記録を行います。要員に余裕があれば、検査員2人が協力して検査し、時間短縮が可能です。

全身汚染検査では、頭からつま先、背中側をまんべんなく検査します。このため、全身汚染検査には、一人当たり約10分ほど時間を要します。

簡易汚染検査では、頭部、顔面、肩、手指、靴といった汚染が付着しやすい部位を検査します。この場合は、全身汚染検査よりも検査時間を短縮することができます。

汚染検査の結果を記録用紙に記載します。

口角、鼻周囲などの顔面に汚染が確認された場合は、放射性プルームの吸入が疑われますので、体内汚染の有無を判断するために、鼻腔スワブを綿棒で採取します。汚染検査の結果、有意な体内汚染の可能性が高いと判断された場合は、WBC（ホールボディカウンター）や甲状腺モニターによる内部被ばくの評価が必要となります。これらの検査は、被ばく医療機関等に設置されているWBC、甲状腺モニターを利用します。

## 記録用紙の例

実習・汚染検査		スクリーニング測定記録票	
氏名	被災者A		<div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">記入例</div>
測定年月日	平成29年12月6日		
時間	16:30 ~ 18:40		
測定器機種	GMサーベイメータ TGS-136		
測定器番号	変則3-3		
B.G.値	70 cpm		
測定者氏名	***		
記録者氏名	***		
除染	要 <input checked="" type="radio"/> 不要 <input type="radio"/>		
備考			

除染後の値について、除染回数を○で、数値を ( ) 内に記載する。

記録用紙には、被検査者氏名、測定年月日、時間、測定器機種、測定器番号、バックグラウンド値、測定者氏名、記録者氏名、除染の要否等を記載します。

これらの情報があれば、後日、表面密度を求めることも可能となります。

測定結果は、汚染のある部位を○で囲み、計数値を記載します。

除染した場合は、除染の回数を○で示し（例；1回目の除染①、2回目の除染②）、除染後の計数値を記載します。

## 表面汚染の測定時の注意点

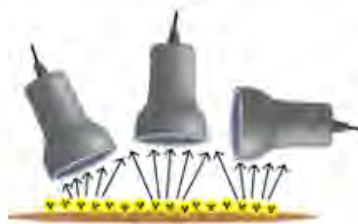
- プローブ（検出部）を汚染しないようにビニール袋、ラップ等で覆う。
- 消音とする。

### 距離を一定に保つ



- 測定する表面からの距離が離れると測定値が小さくなる。
- 除染前後で距離が異なると、正確な比較ができない。

### 角度を一定に保つ



- 測定する表面と検出部の角度が異なると、検出部との距離が異なる。
- 測定器への放射線の入射方向によって感度が異なる。

### 速度を一定に保つ



- 時定数や応答時間を意識する
- 早く動かすと、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまう。

測定器のプローブ（検出部）に放射性物質が付着しないようにします。通常はビニール袋やラップなどで覆い、汚染したらこのビニール袋等を交換します。

また、被災者の放射線被ばくに対する不安を考慮して、サーベイメータのスピーカーはオフにします。

測定時は、測定の対象物から一定の距離を保つこと、角度を一定に保つこと、ゆっくり動かすことに注意します。

計測する表面からの距離が離れると計数値は小さくなります。また、距離が異なると正確な評価ができません。

GMサーベイメータは、検出部の窓以外からはベータ線が入射しません。表面と検出部の角度が異なると検出部との距離も異なります。そのため、表面と検出部の角度を一定に保ちます。

表面汚染検査では、検出部は1秒間に5~6cmの距離を動かします。速度が速すぎると、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまいます。

## 表面密度の計算

$$\text{表面密度 } A [\text{Bq}/\text{cm}^2] = \frac{n - n_b}{\varepsilon_i \cdot W \cdot \varepsilon_s}$$

A : 表面密度[Bq/cm<sup>2</sup>]

n : 測定された計数率 [cps]

n<sub>b</sub> : バックグラウンド計数率 [cps]

ε<sub>i</sub> : β(α) 線に対する機器効率 (2π)

W : 検出部の入射窓面積 [cm<sup>2</sup>]

ε<sub>s</sub> : 対象核種の線源効率

ALOKA TGS-146の場合  
入射窓面積 : 19.6 cm<sup>2</sup>

S/N	R03011
機器効率	48.3%(2πat5mm)
校正日	平成24年7月23日
線源	Cl-36

10000 cpm (min<sup>-1</sup>) の  
汚染を検出した

計算すると・・・

35 Bq/cm<sup>2</sup>

表面汚染は、単位表面積に存在する放射能(Bq/cm<sup>2</sup>)で表され、これを表面密度といいます。

表面汚染の測定器によって得られた計数(min<sup>-1</sup>)から表面密度を求めるには、計算が必要です。

機器効率とは、標準線源に対して一定の条件で測定した時のアルファ線またはベータ線表面放出率に対する測定器の正味の計数率の比（線源から放出される放射線の量と測定器で検出される放射線の量の比率）であり、測定器ごとに異なります。測定器の校正をしている場合、校正証明書に記載されています。線源効率とは、汚染表面の材質、状態等によるアルファ線やベータ線の散乱や吸収の程度を示すものです。測定器の入射窓面積は取扱説明書に記載されています。

同じ汚染を測定しても、測定器が異なると測定器の機器効率、入射窓面積が異なるため、実際に表示される計数は異なります。そのため、同じ現場で、異なる種類の表面汚染の測定器を使用する場合、除染の適応のレベルを同じ表面密度で統一するには、あらかじめ測定器ごとに計数を設定しておく必要があります。

線源効率

β線最大エネルギーが0.4MeV以上；0.5

β線最大エネルギーが0.15から0.4MeV；0.25

α線放出核種；0.25

## OIL4について

- 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、除染を講じるための基準
- 基準を超える際は迅速に除染



40,000cpm



?? cpm  
計数率を求める

- $\beta$ 線：40,000cpm
  - 主に放射性ヨウ素を想定
  - 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 $20\text{cm}^2$ の検出器を利用した場合の計数率であり、表面密度は約 $120\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となる。他の計測器を使用して測定する場合には、この表面密度より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。
- $\beta$ 線：13,000cpm【1ヶ月後の値】
  - 放射性ヨウ素が減少し、放射性セシウムが汚染の主体となることを想定
  - 表面密度は約 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 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。

OIL4は不注意な経口摂取、皮膚汚染からの外部被ばくを低減するために、除染を講じるための基準です。

基準値を超える場合は、迅速に除染します。

原子力災害が発生し、最初の1ヶ月は $\beta$ 線で40,000cpmが基準値です。これは主に放射性ヨウ素を想定しており、さらに日本で広く用いられている入射窓面積が $20\text{cm}^2$ の測定器での計数値を想定しています。この場合、表面密度は約 $100\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となります。他の測定器を使用する場合は、この表面密度から計数値を計算します。

原子力災害が発生して1ヶ月後には、OIL4は $\beta$ 線で13,000cpmになります。これは、半減期の短い放射性ヨウ素が減少して、汚染の主体は放射性セシウムとなるためです。この場合、表面密度は約 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となります。



## 医療機関での対応

- 救命や蘇生に必要な処置を優先する。汚染検査のために医療処置が遅れてはならない。
- 創傷部位があれば優先する。
- 「可能な限り」除染するが、健常皮膚を傷めるなどは逆効果。
- 臥位の傷病者は、背部も忘れずに実施。



19

救命や蘇生に必要な処置を優先します。また、臥位の傷病者の汚染検査では、背部の汚染検査を忘れないようにします。

病院での除染は、創傷部の汚染は可能な限り除染します。また、健常皮膚部の汚染も、除染の効果があれば、可能な限り除染します。

どこまで除染をするかは、医療にかける時間（傷病者の負担を含む）と除染の効果（低減される線量）により判断されます。

## 除染

- 除染の目的
  - 汚染拡大防止
  - 内部被ばくの危険性を低減
- 除染を行う者
  - 本人による実施が基本、必要により介助
- 除染の原則
  - ①できるだけ早く行う
  - ②汚染の拡大を防止しながら行う
  - ③体内への侵入を防止しながら行う

汚染があれば、除染します。除染とは、放射性物質を拭きとったりして、除去する事です。

拭きとった布やタオルには、汚染が付着します。これらは、汚染を広げないようにビニール袋などに入れて保管し、可能であれば除染します。廃棄できる使い捨ての不織布等を使用した場合や除染ができない場合は、廃棄します。

除染は、基本的に本人が実施しますが、必要な場合は、介助します。

また、除染はできるだけ早く実施します。これは、汚染拡大防止のためでもあり、汚染からの被ばくをできるだけ低減する事にもなります。除染時には、汚染が広がらないように、汚染の中心に向かって拭きとることが原則です。なお、頭髪や顔面の除染時には、流れた水を飲み込まないように注意が必要です。

## 身体除染 衣服の除染（脱衣）

汚染した衣服は脱いで着替える



被災者の汚染は、ほとんどの場合、衣服で、脱衣によりほぼ除染ができます。脱衣がされずに搬送されてきた場合は、そこから始めます。汚染されている衣類は、ポリ袋に入れ、氏名・日時を明記したラベルを貼り、保管します。着替えやバスタオル等をあらかじめ用意しておくことが望まれます。

脱衣によって約90%の汚染を除くことができます。

## 身体除染 頭髪の除染



湿った布で拭き取る。  
拭き取りは上から下に一方向に限定



拭き取りで不十分な場合、  
シャンプーを用いて洗髪  
する。

頭髪は湿った布で毛先に向かって拭き取ります。これで除染が不十分な場合は、シャンプーで頭髪を洗う等の処置を行います。頭髪を切ることは、通常行いません。

## 身体除染 顔面の除染



目は清潔な水を用いて、洗びんなどをつかって、除染側を下にして受水器を当てながら洗い流します。水は鼻側から外側へ流れるようにします。

鼻は本人に鼻をかませてから、湿った綿棒で軽く拭き取ります。

口は口角を綿棒で拭き取り、洗ってから、うがいをします。

耳は表面を湿ったガーゼでよく拭き取ってから、聞こえや痛みなどの異常が無いことを確認後湿った綿棒で耳の穴を拭き取ります。

その他の皮膚は湿ったガーゼで拭き取ります。いずれの場合も、目、鼻、耳に除染に用いた濡れたガーゼの水（汚染水）が入らないよう注意します。

これらの処置で生じる洗い水、ガーゼ、綿棒等は、場合によっては測定・分析対象とすることがありますので、安易に廃棄扱いとしないようにします。

## 身体除染 皮膚の除染

ガーゼに水を  
しみこませる。



汚染を広げないよう、外側  
から内側に向かって拭き取る。  
使用するガーゼは、こまめ  
に取り換える。  
除染は、2回程度に止める。

皮膚の除染は湿ったガーゼ等によるふき取りで行います。

拭き取りは、常に汚染の中心に向かって行い、汚染を拡げないように注意します。このため一度使用したガーゼは再使用しません。

皮膚の除染は、除染効果が期待できるかどうかによりますが、通常は2回程度までを目安とします。

落ちないからといって、過度の除染を試みることは、健常な皮膚を傷つけ、逆効果になりかねません。

除染しても落ちないということは、汚染が拡散・拡大しない、ということでもありますので、その部分はシート等で覆って、より高度な除染が可能な機関へ搬送するなどの対応も考えられます。

## まとめ

- 身体表面の汚染検査の目的
  - 外部被ばく、内部取り込み、汚染拡大の防止 → 線量低減
- 身体表面の汚染検査の方法
  - 検出部を身体表面から約1cm離し、約5cm/秒で動かし測定
- 身体を除染
  - 衣服を除染 脱衣
  - 頭髪を除染 湿った布で拭き取る。洗髪する。
  - 顔面を除染 湿った布で拭き取る。綿棒も活用する。
  - 皮膚を除染 汚染を広げないように除染する。

## 参考 GMサーベイメーターの使い方



・電源スイッチを約2秒間押すと、液晶表示器の表示が下記のようになり、自動的に電源チェック等が行われ、問題がなければ測定状態となる。

ALOKA TGS-146 : 形名  
 ↓  
 15/02/14 13:30 : 時刻  
 ↓  
 BATT. = ■■■■ : 電池残量  
 ↓  
 ALARM OFF : 警報動作設定  
 ↓  
 HV=OK : HV状態  
 ↓  
 3 : 時定数  
 ↑  
 0 : 測定状態  
 ↑  
 計数率



なお、エラー表示については、以下のとおりである。

- ・電池残量表示

電池残量表示がBATT.= ■□□□で点滅している場合、バッテリーダウン予告表示なので電池を早めに交換する。なお、測定中に液晶表示器の左に“B”が点灯した場合も同様である。

- ・HV状態表示

HV=ERRORは、HV出力異常のため、正しい計測ができないので、調整をメーカー等に依頼する。

# 安定ヨウ素剤

原子力災害医療 基礎研修  
原子力災害基礎-6

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被災医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間：30分

内容

- 安定ヨウ素剤の服用等に関する検討チーム
- 放射性ヨウ素の摂取経路
- 安定ヨウ素剤服用の必要性
- 放射性ヨウ素による健康障害
- 安定ヨウ素剤の働き
- 服用対象者
- 服用量、服用回数
- 安定ヨウ素剤の副作用
- 過剰服用による影響
- 副作用が起こった場合の対処方法
- 服用に注意が必要な場合
- 安定ヨウ素剤配布と服用指示
- 防災業務関係者の安定ヨウ素剤服用

## 安定ヨウ素剤の服用等に関する検討チーム



令和元年7月3日 全部改訂

- 提言1：適切な服用のタイミング、他の防護措置との組み合わせ
- 提言2：服用を優先すべき対象者
- 提言3：40歳以上の方への効果
- 提言4：副作用
- 提言5：複数回の服用を避けるべき対象者
- 提言6：服用後の経過観察
- 提言7：事前配布の対象区域における事前配布方法

検討チーム会合において、「安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって」等の記載内容の確認を行い課題を抽出するとともに、関係自治体の実情等を踏まえ、安定ヨウ素剤の配布方法等に係る課題について検討し、WHOガイドライン2017年版およびそれを踏まえた課題について、7つの提言が報告書として取りまとめられました。

## 放射性物質の摂取経路

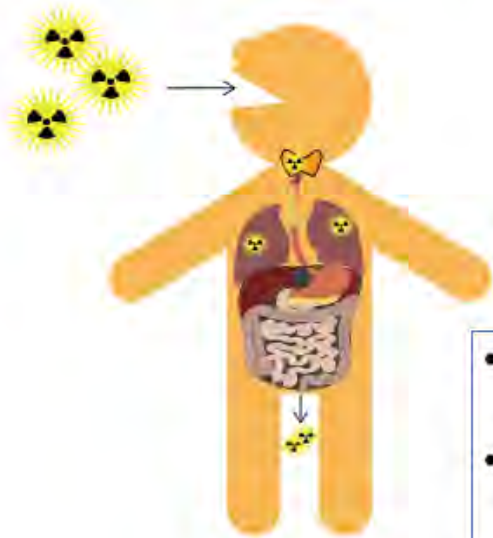


原子力発電所の事故時に大気中に放出された放射性ヨウ素を含む放射性物質の摂取経路としては、吸入摂取と経口摂取があります。

吸入摂取は、呼吸とともに放射性ヨウ素を含む放射性物質を吸い込むことで、体内に放射性ヨウ素を取り込みます。

経口摂取は、大気中に放出された放射性ヨウ素を含む放射性物質が土壌や水に沈着した後、農作物、海産物に移行したり、飲料水に取り込まれたりして、食事とともに食べることで体内に放射性物質を取り込みます。

## 放射性物質の体内動態



1. 臓器に蓄積する
2. 排泄される
3. 自然に減っていく

- 体の中に残っている放射性物質からの放射線によって被ばくする
- 体の中から放射性物質は時間が経つと減っていく
- 時間経過と共に体内残留量、排泄量に変化する

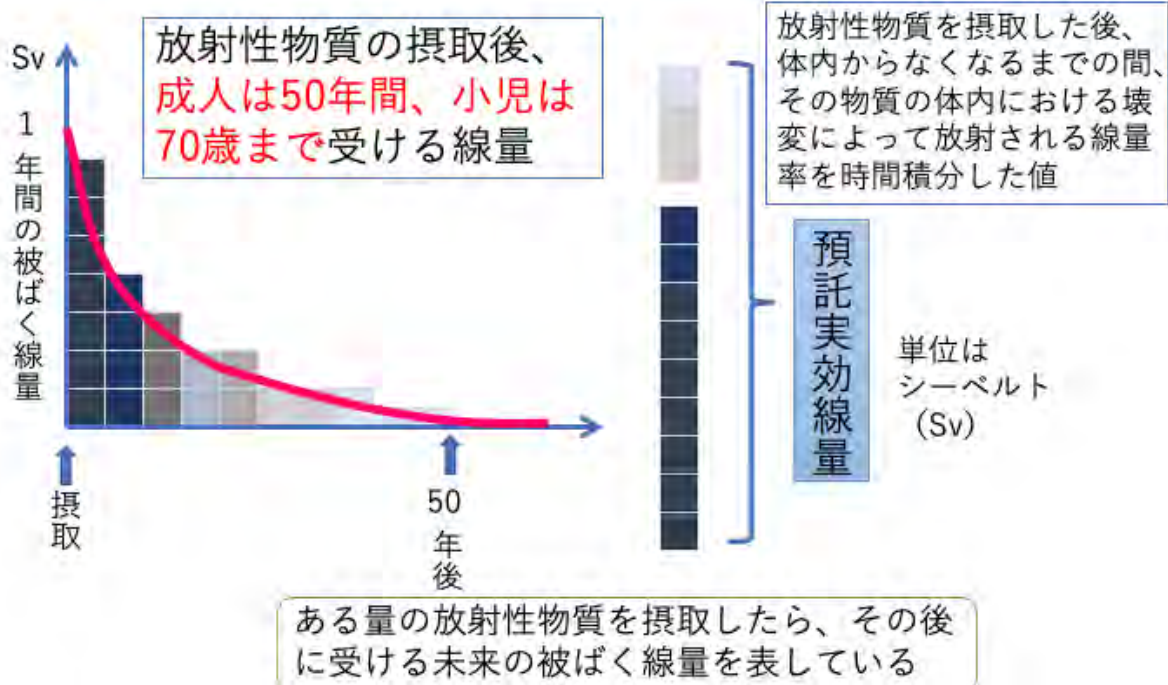
体の中に取り込まれた放射性物質は、臓器に蓄積したり、尿や便で体外に排泄されたりします。この代謝によって排泄されることで体内の放射性物質の量が半分になる時間を生物学的半減期と言います。また、放射性物質に含まれる放射能は時間とともに減っていくため（物理学的半減期）、体内の放射能も時間経過とともに減っていきます。体内に取り込まれた放射性物質が、物理的減衰と生物学的な排泄の両方で、半分の量になるまでの時間を実効半減期と言います。

内部被ばくは放射性物質が体内に存在している間は被ばくし続けることとなります。しかし、内部被ばくでは外部被ばくと異なり、預託実効線量が1シーベルト（Sv）を超えても急性の症状がでることはほとんどありません。

また、放射性物質である元素の種類によって蓄積する臓器が異なります。たとえば、放射性ヨウ素は甲状腺に蓄積し、その他の臓器にはほとんど集積しないため、全身への影響は少ないのが特徴です。放射性セシウムはカリウムと性質が似ており、量に違いはありますが、特定の臓器に集積せず、全身に分布します。

このようなことから、時間経過とともに放射性物質の体内残留量や排泄量は変化します。

## 内部被ばくの線量（預託実効線量）



内部被ばく線量は、放射性物質を摂取した後、体内からなくなるまでの間、その物質の体内における壊変によって放射される線量率を時間積分した値ということになります。

これは、成人であれば放射性物質の摂取後50年間、小児では摂取から70歳までの被ばく線量を足し合わせたもので、預託実効線量といい、単位はSv（シーベルト）で表されます。

放射性ヨウ素（I-131）や放射性セシウム（Cs-134、Cs-137）の実効半減期はそれぞれ7.5日、96日、110日\*なので、50年後まで体内に留まる量は非常に少ないです。

\*IAEA 「EPR-INTERNAL CONTAMINATION2018 Medical Management of Persons Internally Contaminated with Radionuclides in a Nuclear or Radiological Emergency」

## 安定ヨウ素剤服用の必要性

- ヨウ素は甲状腺ホルモンの成分で、体内ではほとんどが甲状腺内に存在する。
- 甲状腺ホルモンは、新陳代謝を促したり、子供では成長を促進する。
- 甲状腺は、頸部前面に位置し、重さ15～20 g、3～5 cmの蝶が羽を広げたような形をしてる。
- 放射性ヨウ素を体内に取り込んだ場合、肺や消化管から体循環に入り、10～30%が甲状腺に集積し、残りは尿中に排泄される。
- 安定ヨウ素剤を適切なタイミングで服用することで、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を阻害、低減する。



ヨウ素は甲状腺ホルモンの成分で、体内ではほとんどが甲状腺内に存在します。

甲状腺ホルモンは、新陳代謝を促したり、子供では成長を促進します。甲状腺ホルモンは、全身の細胞に作用して、呼吸量、エネルギー産生量が増大します。

甲状腺は、頸部前面に位置し、大人では15～20g、3～5cmの蝶が羽を広げたような形をしています。

放射性ヨウ素を吸入または経口摂取した場合、肺や消化管から血液中に入り、吸収された放射性ヨウ素の10～30%が甲状腺に集積します。甲状腺に集積しなかった放射性ヨウ素は腎臓から尿中に排泄され、体の外にでます。甲状腺に集積した放射性ヨウ素からはベータ線が放出されるので、甲状腺の細胞が障害を受けやすくなります。

安定ヨウ素剤を適切なタイミングで服用しておくことで、放射性ヨウ素が甲状腺へ集積するのが阻害されます。このため、原子力災害時に放射性ヨウ素の環境中への放出の可能性がある場合は、事前に安定ヨウ素剤を服用します。

# 放射性ヨウ素による健康障害

## ・急性障害

### ・甲状腺機能低下症

- ・しきい線量は5,000 mGy以上
- ・甲状腺の細胞が障害を受け、細胞死の結果、甲状腺ホルモンの分泌が低下して発症する
- ・症状：全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈

高濃度の放射性ヨウ素を吸入する可能性のある作業員のみ

## ・晩発性障害

### ・甲状腺がん

- ・予後が比較的よい乳頭がんが多い
- ・致命的なことは少ない
- ・甲状腺線量50-100 mGyを超えると増加がみられる可能性がある
- ・被ばくして数年～数十年後に甲状腺がん等を発症するリスクが上昇
- ・乳幼児の方が甲状腺がんの発生のリスクは高い
- ・I-131内部被ばくと甲状腺がんリスクとの定量的関係に関する情報は十分でない（国連科学委員会2008年報告書）

放射性ヨウ素による被ばくに関して、住民の放射線防護の目的は、晩発性障害の低減である

放射性ヨウ素が甲状腺に極めて大量に集積した場合、甲状腺の細胞が放射線の影響で細胞死を起こし、その結果、急性障害として甲状腺ホルモンの分泌が低下して甲状腺機能低下症が起こります。甲状腺機能低下症の症状は、活動性の低下、全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗の減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈などがあります。

また、晩発性障害として、放射性ヨウ素が甲状腺に集積し、放射性ヨウ素が放出する放射線によって数年～数十年後に甲状腺がんを発症する可能性があります。

広島、長崎の原爆被爆者の疫学調査やチェルノブイリ原子力発電所の事故後の調査などによって、甲状腺被ばく線量が増加するに従って甲状腺がん発生率は上昇することが示されています。また、原爆被爆者の調査では、甲状腺被曝線量と甲状腺がん発生率は線形の線量反応関係が認められることが知られており、甲状腺吸収線量で100～200mGyを超える線量から甲状腺がんの増加がみられる可能性があります。

※この資料では、被ばく線量の単位としてGyとSvが用いられています。

特定の臓器・組織に対する放射線の影響と被ばく線量との関連性を調べる時は、その臓器・組織の吸収線量（Gy）を評価します。一方、線量係数によって計算できる実効線量（Sv）は、各臓器・組織の感受性を考慮した全身に対する低線量リスクに対する指標であり、確率的影響の有意な増加がみられない低線量域において、リスクを低減する防護措置の必要性を判断する基



準として使用できません。低線量域での放射線防護は、放射線誘発がんと遺伝性疾患に対する防護に主として関係しており、影響は確率的であるとされています。

また、高線量で特に緊急時の状況においては、放射線被曝は確定的影響（組織反応）を引き起こすことがあるため、比較的高い線量の定量化または組織反応に関係する場合は、等価線量、実効線量（Sv）は用いるべきではなく、吸収線量（Gy）によって評価すべきであるとされています。

## 甲状腺の悪性腫瘍

### 甲状腺悪性腫瘍の組織分類

乳頭がん	Papillary carcinoma	一番多いタイプ
濾胞がん	Follicular carcinoma	甲状腺がんの約8%
低分化がん	Poorly differentiated carcinoma	乳頭がんや濾胞がんに比べて進行がやや早い
髄様がん	Medullary carcinoma	甲状腺がんの約1.5%
未分化がん	Undifferentiated carcinoma	甲状腺がんの約1%
悪性リンパ腫	Malignant lymphoma	甲状腺がんの約2.5%

- チェルノブイリ原発事故時(1986年4月26日)に18歳以下だった12,514人が対象
  - 2001年～2007年の2～4回目の検査で65人の甲状腺がんが診断された
    - Papillary : 61名
    - Follicular : 1名
    - Medullary thyroid cancer : 3名

Brenner et al., Environmental Health Perspectives 119(7):933 – 939, 2011

甲状腺悪性腫瘍の組織分類としては、乳頭がん、濾胞がん、低分化がん、髄様がん、未分化がん、悪性リンパ腫があります。甲状腺がんの発生率のピークは60～70歳代で、他のがんに比べると20～30歳代の若年者での発症も比較的多いです。甲状腺がんの生命予後は10年生存率約90%と比較的良好です。

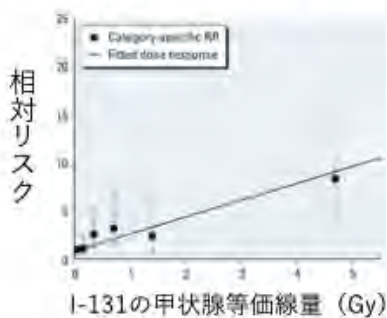
放射線被ばくによって誘発される甲状腺がんのほとんどは、甲状腺濾胞細胞に由来する乳頭がんで、一般的に予後が良いとされています。

# チェルノブイリ原発事故での甲状腺がん

ロシア、ベラルーシ、ウクライナにおける甲状腺吸収線量 (mGy)

	未就学児	就学児童	青年	成人	全人口
3カ国合計	48	19	13	12	16
汚染地域*	289	110	84	75	102

\*汚染地域とは、土壌表面のセシウム-137の量が1平方メートルあたり37キロベクレルを上回る地域 UNSCEAR 2008年報告



- \* ウクライナの研究、チェルノブイリ原発事故時に18歳以下だった人を対象
- \* 甲状腺がんのリスクは被ばく線量に依存して直線的に増加する
- \* 過剰相対リスク 1.91 / Gy
- \* 過剰絶対リスク 2.21 / 1万人・年・Gy

Brenner et al., 2011

放射線被ばくにより甲状腺がんが誘発され、その発生確率は、特に乳幼児において高くなります。

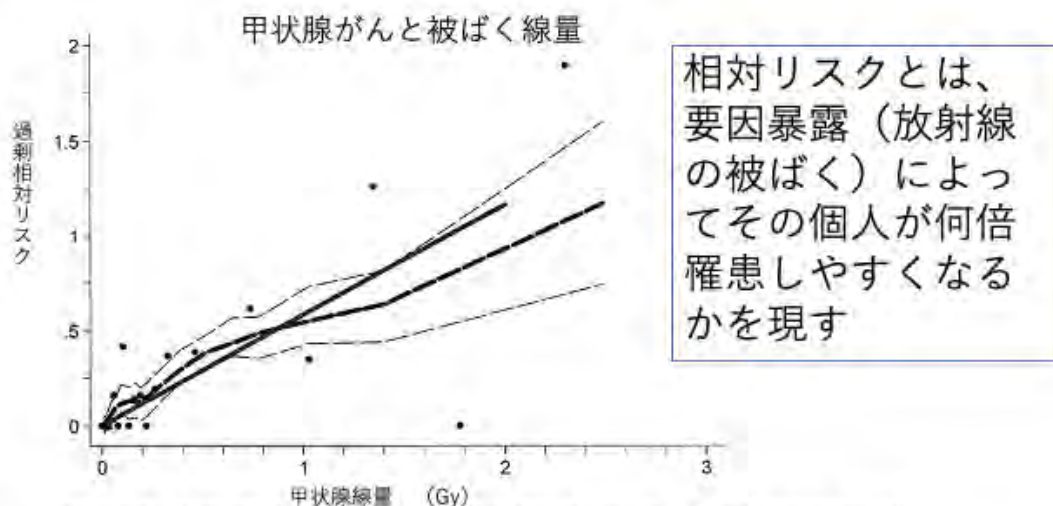
チェルノブイリ原子力発電所事故では、放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくが問題となりました。

チェルノブイリ原発事故での調査では、過剰絶対リスクの大きさは、2.21 / 1万人・年・Gyです。言い換えると、1万人の甲状腺等価線量の平均が100 mSvの場合、40年間で8.8人の甲状腺がんが過剰に発生することになります。

がんで死亡する人が被ばくのないときに比べてどれだけ増加するかの比率を表わしたのが過剰相対リスクであり、死亡率がどれだけ上乘せられたかを表わすのが過剰絶対リスクです。

## 甲状腺がんと過剰相対リスク

広島・長崎の原爆被ばく者の追跡調査



直線は、被ばく時年齢30歳の人が70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク (ERR)の線形線量反応を示す。太い点線は、線量区別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い点線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

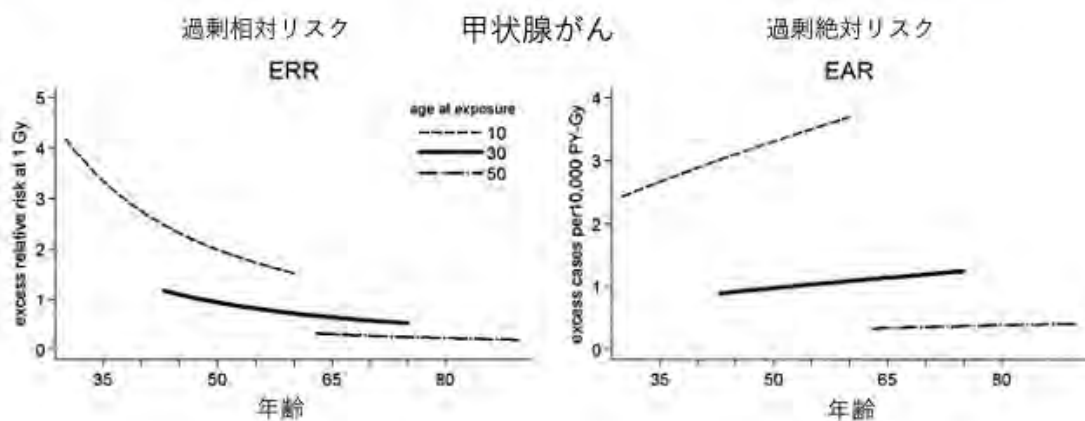
Preston, D. L., etc., Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958-1998. Radiat. Res. 168, 1-64 (2007).

甲状腺がんは、内部被ばく以外でも原爆被爆者や医療被ばくでの外部被ばくに起因するものもあります。原子爆弾被爆者の追跡調査では、甲状腺被ばく線量の増加に伴い、甲状腺がんの発生率は増加しており、線形の線量反応関係が認められています。

過剰相対リスクは、性別と年齢を一致させた対照群と比較して被ばく群のリスクが何倍になっているかを示すものが相対リスクで、相対リスクが1であれば影響がないことになります。過剰相対リスクは、相対リスクから1を引いたもので、過剰リスクだけを示したものです。いずれも対照群に対する比率を示しています。

## 甲状腺がんの年齢依存性

- 広島・長崎の原子爆弾被爆者の調査
- 被ばく時の年齢が若いほど、リスクが高い



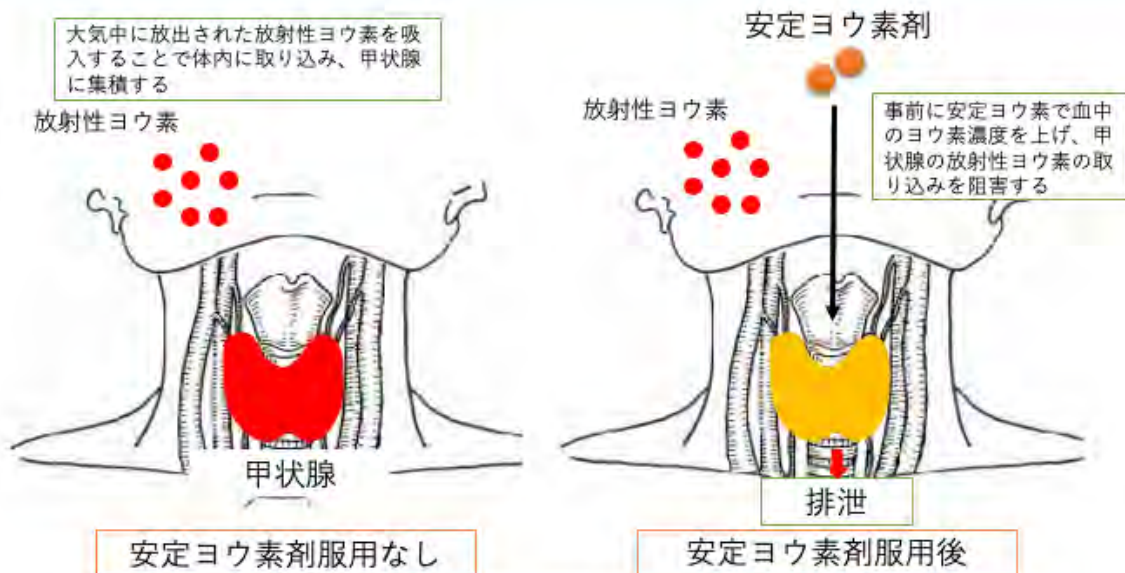
Preston, D. L., etc., Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958-1998. Radiat. Res. 168, 1-64 (2007).

11

原子爆弾被爆者の調査では、被ばく時の年齢が低いほど甲状腺がんの過剰相対リスクは増加し、リスクが高いことが示唆されています。特に5歳未満では顕著であることが示唆されています。

また、到達年齢70歳のERR/Gyは、被爆時年齢10歳で1.21、30歳で0.57、50歳で0.27となっており、被爆時年齢が10年増加するに従い過剰相対リスクが31%減少していたことも示されています。

## 安定ヨウ素剤の働き



放射性ヨウ素以外の内部被ばく及び希ガス等による外部被ばくに対する防護効果は全くないため、同時に他の防護措置と組み併せて活用することが重要である。

放射性ヨウ素は、呼吸により吸入されて、肺から血液中に移行します。また、吸入された放射性ヨウ素の一部は、食道、消化管から吸収されて血液中に移行します。取り込まれた放射性ヨウ素の約10～30パーセントは、24時間以内に甲状腺に集積し、残りの大部分は、主に腎臓から尿中に排泄されます。

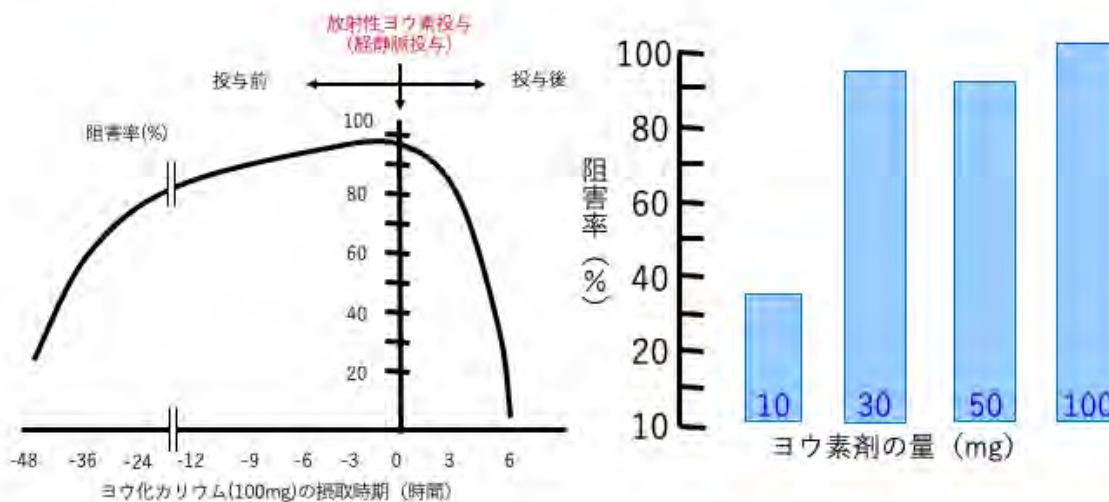
健康な人が安定ヨウ素剤を服用すると、服用後1～2時間以内に、その尿中排泄量が最大となります。その後、時間とともに排泄量は減少し、72時間後には服用した安定ヨウ素剤のほとんどが体から排泄されます。

安定ヨウ素剤の服用による放射性ヨウ素の甲状腺への集積を低減させる効果は、高濃度の安定ヨウ素剤との共存によって血中の放射性ヨウ素の甲状腺への取込みと競合することや細胞内へのヨウ素の取込みを抑制することによります。

安定ヨウ素剤は、放射性ヨウ素以外の内部被ばく及び希ガス等による外部被ばくに対する防護効果は全くないため、避難、一時移転、屋内退避、飲食物の摂取制限等の他の防護措置と組み合わせて活用することが重要です。

## 服用のタイミング、服用量と効果

放射性ヨウ素にばく露される24時間前からばく露後2時間までの服用が効果的



Becker, JAMA 1987; 258: 649-654から引用

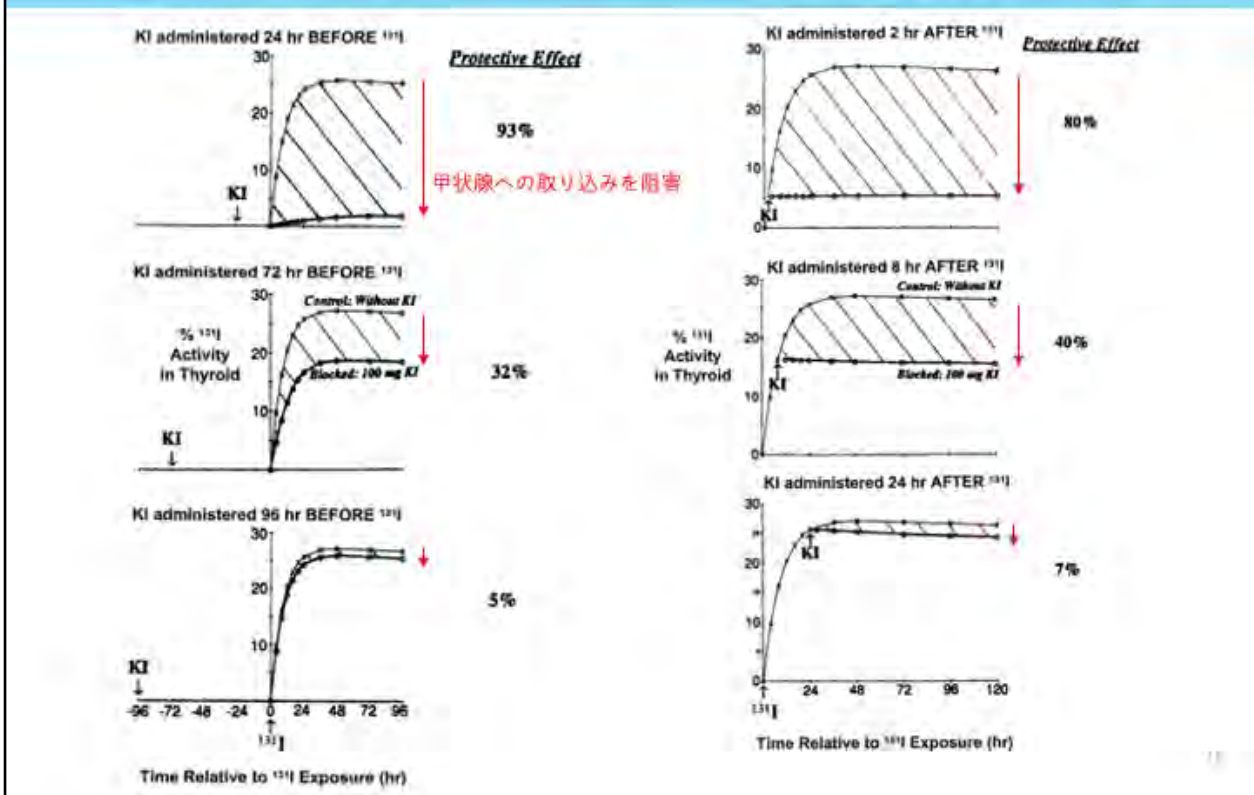
放射性ヨウ素を吸入あるいは、摂取する前24時間以内または2時間以内に、安定ヨウ素剤を服用すると、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を約90パーセント以上抑制することができます。すでに放射性ヨウ素が吸入された後でも数時間以内の服用であれば、約40パーセントの抑制効果が期待できます。

しかし、放射性ヨウ素にばく露後16時間以降であればその効果はほとんどないと報告されています。また、甲状腺機能亢進症の患者のデータでは、放射性ヨウ素にばく露後24時間以上経過して安定ヨウ素剤を服用すると、甲状腺に蓄積した放射性ヨウ素の生物学的半減期を延長させることが分かっており、服用のタイミングによっては有益性よりも有害性が大きくなる可能性があります。

成人では、ヨウ素量30 mg以上であれば、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を効果的に抑制できます。日本で医療用医薬品として承認されている安定ヨウ素剤（ヨウ化カリウム丸）50 mgはヨウ素を38 mg含有している製剤で、成人の場合1回で2丸の服用が必要となります。

出典：Becker, JAMA 1987; 258: 649-654

## 安定ヨウ素剤の効果



Zanzonicoらによると、ヨウ化カリウム（安定ヨウ素剤）100mgの経口投与のタイミングと放射性ヨウ素の摂取後を評価したところ、放射性ヨウ素の摂取24時間前、72時間前、96時間前のヨウ化カリウム服用で、それぞれ93%、32%、5%の阻害効果があると報告されています。また、放射性ヨウ素摂取2時間後、8時間後、24時間後のヨウ化カリウム（安定ヨウ素剤）100mgの経口投与では、それぞれ80%、40%、7%の阻害効果があると報告されています。このことから、放射性ヨウ素にばく露される24時間前からばく露後2時間までの安定ヨウ素剤の服用が効果的だと言えます。

出典：Zanzonico, Pat; Becker, David, Health Physics. 78(6):660-667, June 2000.



## 服用対象者

### ・服用を優先すべき対象者

- ・未成年者（乳幼児を含む）
- ・授乳婦および妊婦
  - ・母最大1/4程度が母乳に移行
  - ・母体が放射性ヨウ素にばく露された場合には、**母乳栄養を一時的に中断し**、乳児に安定ヨウ素剤を服用させる
  - ・安全性が確認されたミルクを確保できない間は、母乳栄養を継続する
  - ・母体が定められた安定ヨウ素剤を単回服用した場合、母乳栄養は継続し、乳児も定められた容量の安定ヨウ素剤を服用する
  - ・**新生児**が安定ヨウ素剤を服用した場合には、甲状腺機能低下症に関する経過観察を行う

### ・40歳以上の者への効果

- ・40歳以上の者は安定ヨウ素剤を服用する必要性は低い
- ・40歳以上であっても妊婦及び授乳婦は安定ヨウ素剤の服用を優先すべき対象者

年齢が低いほど放射性ヨウ素による内部被ばくの影響として甲状腺がん等の発症のリスクが高くなります。このため、服用を優先すべき対象者は、妊婦、授乳婦及び未成年者(乳幼児を含む。)です。授乳婦、新生児及び乳幼児については、母体が摂取したヨウ素(放射性ヨウ素及び安定ヨウ素)の最大1/4程度が母乳に移行するとされているため、母体が放射性ヨウ素にばく露された場合には、母乳を介して乳児が放射性ヨウ素にばく露されるリスクがあることから、母乳栄養を一時的に中断した上で乳児に安定ヨウ素剤を服用させることが適切です。安全性が確認されたミルクを確保できない間は、母乳栄養を継続する選択が考えられます。

一方で、緊急時に母乳栄養を一時的に中断するリスク(母体側として乳房緊満による乳腺炎、乳児側として母乳以外を受け付けない場合の脱水、低血糖等)についても十分に考える必要があり、母体が定められた用量の安定ヨウ素剤を単回服用した場合、母乳に移行する安定ヨウ素が乳児の甲状腺機能に与える健康影響は小さいことから、母体の放射性ヨウ素による内部被ばくの可能性が低いことを前提として母乳栄養は継続し、乳児自身も定められた用量の安定ヨウ素剤を服用します。なお、乳児のうち特に新生児が安定ヨウ素剤を服用した場合には、甲状腺機能低下症に関する経過観察を行うことが適切です。

原爆被爆者については、成人期以降に被ばくした者における甲状腺がんの発症について統計的に有意なリスクの上昇は確認されておらず、チェルノブイリ原発事故の被災者については、甲状腺がんの発症のリスクの上昇が明ら

かであるのは18歳未満の者で、その中でも特に6歳未満の乳幼児に甲状腺がんが多発していることから、服用を優先すべき対象者は乳幼児を含む未成年者です。また、WHOガイドライン2017年版においては、40歳以上の者への安定ヨウ素剤の服用効果はほとんど期待できないとされています。したがって、40歳以上の者は安定ヨウ素剤を服用する必要性は低いですが、40歳以上であっても妊婦及び授乳婦は、胎児及び乳児に対する放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくの影響が大きいことから、安定ヨウ素剤の服用を優先すべき対象者です。

出典：原子力規制庁原子力防災課：安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって  
(令和元年7月3日全部改正)

## 服用量、服用回数



ヨウ化カリウム丸 (50mg)



ヨウ化カリウム内服ゼリー 16.3mg



ヨウ化カリウム内服ゼリー 32.5mg

- 服用回数
  - 原則 1 回
  - 連続服用をしなくてよいように、避難等の防護措置を講じることが前提
  - ただし、放射性ヨウ素による内部被ばくの可能性が24時間以上継続し、再度の服用がやむを得ない場合は、原子力規制委員会が服用の必要性を判断し、国又は地方公共団体の指示があった場合のみ、24時間の間隔をあけて服用
- 服用方法
  - 経口摂取

対象者	ヨウ素量	ヨウ化カリウム量
生後1ヶ月未満	12.5 mg	16.3 mg (安定ヨウ素剤水薬1 ml) 16.3mgゼリー剤1包
生後1ヶ月以上3歳未満	25 mg	32.5 mg (安定ヨウ素剤水薬2 ml) 32.5mgゼリー剤1包
3歳以上13歳未満	38 mg	50 mg (ヨウ化カリウム丸1丸) 16.3mgゼリー剤1包 + 32.5mgゼリー剤1包
13歳以上	76 mg	100 mg (ヨウ化カリウム丸2丸) 32.5mgゼリー剤3包

服用回数は原則1回とし、複数回の服用をしなくてよいように避難等の防護措置を講ずることを前提としています。ただし、放射性ヨウ素による内部被ばくの可能性が24時間以上継続し、再度の服用がやむを得ない場合は、24時間の間隔を空けて服用することとなっています。

年齢に応じた服用量を表に示します。適切な服用量を超えて服用しても効能又は効果を高めることにはならないことから、適切な服用量を守る必要があります。

## 副作用（急性のアレルギー反応）

- 極めてまれな事象
- ヨード系造影剤により引き起こされるようなアナフィラキシーショックを含むアレルギー反応は、ヨウ素含有量や投与方法等が異なり、安定ヨウ素剤の服用で生じる可能性は極めて低い。
- 安定ヨウ素剤に含まれるヨウ化カリウムによりアレルギー症状が生じる可能性は極めて低く、ヨウ化カリウム以外の添加物についても、他の薬剤及び食品添加物として汎用されている使用実績や、含有量が微量である点からも安全性は極めて高いといえる。
- チェルノブイリ原子力発電所事故
  - ポーランドでの安定ヨウ素剤服用：成人5,061名
  - うち2名が緊急対応を必要とする気管支れん縮を発症
  - どちらも既に重度の気管支症を発症しており、安定ヨウ素剤の服用との明確な因果関係は示されていない
- 東京電力福島第一原子力発電所
  - 安定ヨウ素剤服用：緊急作業に従事した約2,000人
  - 急性のアレルギー反応の報告なし

地方公共団体は、救護所等での体制整備や受入れ可能な医療機関との連携等に努め、適切な対応を行う必要がある。

安定ヨウ素剤の副作用としては、急性のアレルギー反応と甲状腺ホルモンの分泌異常による中長期的な健康影響が考えられます。

### 【急性のアレルギー反応】

ヨード系造影剤により引き起こされるようなアナフィラキシーショックを含むアレルギー反応は、ヨウ素含有量や投与方法等が異なり、安定ヨウ素剤の服用で生じる可能性は極めて低いです。

安定ヨウ素剤に含まれるヨウ化カリウムによりアレルギー症状が生じる可能性は極めて低く、ヨウ化カリウム以外の添加物についても、他の薬剤及び食品添加物として汎用されている使用実績や、含有量が微量である点からも安全性は極めて高いといえます。

チェルノブイリ原子力発電所事故時に安定ヨウ素剤の服用を実施したポーランドでは、5,061名の成人のうち2名が緊急対応を必要とする気管支れん縮を発症しましたが、どちらも既に重度の気管支症を発症しており、安定ヨウ素剤の服用との明確な因果関係は示されていません。

東京電力福島第一原子力発電所の緊急作業に従事した者のうち約2,000人が安定ヨウ素剤を服用しま下が、急性のアレルギー反応の報告はありませんでした。

このように、アナフィラキシーショックを含む急性のアレルギー反応は極めてまれですが、地方公共団体は、救護所等での体制整備や受入れ可能な医療機関との連携等に努め、適切な対応を行う必要があります。

## 副作用（中長期的な健康影響）

- 甲状腺ホルモンの分泌異常による中長期的な健康影響
  - 単回服用で生じる可能性は極めて低い
  - チェルノブイリ原子力発電所事故
    - ポーランドで安定ヨウ素剤服用：34,491人（うち16歳未満12,641人）
      - 永続的な甲状腺機能障害は見られない
    - 生後1日目に安定ヨウ素剤を服用した新生児3,214人
      - 甲状腺機能低下症が12名（0.37%）に認められたが、16～20日後にはすべて正常化した
  - 東京電力福島第一原子力発電所
    - 安定ヨウ素剤服用：緊急作業に従事した約2,000人
    - 安定ヨウ素剤を連続14日間以上又は合計20丸服用した229人（すべて男性）
      - 3人（1.3%）に、血液検査で一過性の甲状腺機能低下症が疑われた
      - 4人（1.7%）に血液検査で潜在性の甲状腺機能低下症が疑われた
        - 一般人口における比率との違いは認められなかった。
- 妊婦の単回服用の場合、一般成人のデータによると甲状腺機能は正常範囲内の一過性の変化
  - 新生児は、経過観察を優先すべき対象者
  - 服用後数日以降の経過観察について、血液検査等による確認を行う

### 【中長期的な健康影響】

甲状腺ホルモンの分泌異常による中長期的な健康影響についても、単回服用で生じる可能性は極めて低い。

チェルノブイリ原子力発電所事故時に安定ヨウ素剤の服用を実施したポーランドでは、12,641人の16歳未満の者を含む34,491人において、永続的な甲状腺機能障害は見られなかった。生後1日目に安定ヨウ素剤を服用した新生児3,214人では、甲状腺機能低下症が12名（0.37%）に認められたが、16～20日後にはすべて正常化したことが報告されている。

東京電力福島第一原子力発電所の緊急作業に従事した者のうち約2,000人が安定ヨウ素剤を服用した。安定ヨウ素剤を連続14日間以上又は合計20丸服用した229人（すべて男性）中3人（1.3%）に、血液検査で一過性の甲状腺機能低下症が疑われた。また、229人中4人（1.7%）に血液検査で潜在性の甲状腺機能低下症が疑われたが、一般人口における比率との違いは認められなかった。

甲状腺ホルモンの分泌異常による中長期的な健康影響は、妊婦の単回服用の場合、一般成人のデータによると甲状腺機能は正常範囲内の一過性の変化であると考えられ、経過観察を優先すべき対象者は新生児です。

服用後数日以降の経過観察について、特に新生児が服用した場合の甲状腺機能低下症については配慮が必要であり、血液検査等による確認を行うことが考えられます。

## 服用に注意が必要な場合①

安定ヨウ素剤の成分、ヨウ素（ヨード）に対する過敏症（アレルギー）がある場合は、安定ヨウ素剤は服用できない。服用不適切項目該当者として登録。

次の場合は安定ヨウ素剤の服用の際に起こり得る症状ですが、**安定ヨウ素剤を適量服用した場合に、健康影響が生じる可能性は極めて低いです。**

- **ヨード造影剤過敏症**；ヨード造影剤により引き起こされるような過敏症は、ヨウ素含有量や投与方法等が異なり、ヨード造影剤過敏症の人が、安定ヨウ素剤服用によってヨウ素過敏症を発症するとは限りませんが、造影剤過敏症の人は、事前にヨウ素過敏症があるか医師に相談しておくことが望ましい。
- **甲状腺機能亢進症**；甲状腺機能亢進症がある場合は、ヨウ素の甲状腺摂取率が上昇しているため、安定ヨウ素剤を服用すると病状の悪化の恐れがある。
- **甲状腺機能低下症**；甲状腺機能低下が悪化する恐れがある。
- **腎機能障害、先天性筋強直症、高カリウム血症**；安定ヨウ素剤には、カリウムが含まれるため、血清カリウム濃度の上昇によって病状が悪化する恐れがある。
- **低補体血症性蕁麻疹様血管炎、ジューリング疱疹状皮膚炎**；日本では、極めて稀な病気であるが、ヨウ素に過敏であると考えられており、ヨウ素摂取により病状が悪化するとされている。
- **肺結核**；ヨウ素は結核組織に集まりやすく、結核を再燃させる恐れがある。

安定ヨウ素剤の成分、ヨウ素（ヨード）に対する過敏症（アレルギー）がある場合は、安定ヨウ素剤は服用できません。服用不適切項目該当者として登録します。

次の場合は安定ヨウ素剤の服用の際に起こり得る症状ですが、**安定ヨウ素剤を適量服用した場合に、健康影響が生じる可能性は極めて低いです。**

- **ヨード造影剤過敏症**；造影剤過敏症には種々の要因による過敏症が含まれており、その一部がヨウ素過敏症と考えられます。しかし造影剤過敏症に含まれるヨウ素過敏症の割合は推測できません。そのため、すべての造影剤過敏症の人が、安定ヨウ素剤服用によってヨウ素過敏症を発症するとは限りませんが、造影剤過敏症の人は、事前にヨウ素過敏症があるか医師に相談しておくことが望ましいです。
- **甲状腺機能亢進症**；ヨウ素の甲状腺摂取率が上昇しているため、安定ヨウ素剤を服用すると病状の悪化の恐れがあります。
- **甲状腺機能低下症**；悪化する恐れがあります。
- **腎機能障害、先天性筋強直症、高カリウム血症**；安定ヨウ素剤には、カリウムが含まれるため、血清カリウム濃度の上昇によって病状が悪化する恐れがあります。
- **低補体血症性蕁麻疹様血管炎、ジューリング疱疹状皮膚炎**；日本では、極めて稀な病気ではありますが、ヨウ素に過敏であると考えられており、ヨウ素摂取により病状が悪化するとされています。
- **肺結核**；ヨウ素は結核組織に集まりやすく、結核を再燃させる恐れがあります。

## 服用に注意が必要な場合②

現在服用している薬剤と安定ヨウ素剤を併用した場合に起こり得る症状ですが、**安定ヨウ素剤を適量服用した場合に、健康影響が生じる可能性は極めて低いです。**

- ・カリウム含有製剤：カリウム補給・・・高カリウム血症
- ・カリウム貯留性利尿剤：高血圧症・・・高カリウム血症
- ・リチウム製剤：双極性障害・・・甲状腺機能低下症
- ・抗甲状腺薬・・・甲状腺機能低下症
- ・ACE阻害剤：高血圧・・・高カリウム血症
- ・アンジオテンシンII受容体拮抗剤：高血圧・・・高カリウム血症

安定ヨウ素剤に含まれるカリウム量は、食品に含まれる量と比較すると僅かであり、成人の1回分の服用量である安定ヨウ素剤2丸中に含まれるカリウム24mgは、以下に示す食品の可食部100g中に含まれる量と比較すると、食パン1/4、バナナ1/15、納豆1/29～1/28、焼き芋1/23、カツオ生食1/18～1/16、焼きイワシ1/15と同量程度である。

**「慎重服用項目」及び「相互作用の可能性のある薬剤」について、適量の服用であれば健康影響が生じる可能性は極めて低く、該当する者が安定ヨウ素剤の配布及び服用に際し不利益を被ることのないよう、配布に携わる者への周知が必要である。**

現在服用している薬剤と安定ヨウ素剤を併用した場合に起こり得る症状ですが、**安定ヨウ素剤を適量服用した場合に、健康影響が生じる可能性は極めて低いです。**

- ・カリウム含有製剤：カリウム補給・・・高カリウム血症
- ・カリウム貯留性利尿剤：高血圧症・・・高カリウム血症
- ・リチウム製剤：双極性障害・・・甲状腺機能低下症
- ・抗甲状腺薬・・・甲状腺機能低下症
- ・ACE阻害剤：高血圧・・・高カリウム血症
- ・アンジオテンシンII受容体拮抗剤：高血圧・・・高カリウム血症

## 事前準備

- 予防的防護措置を準備する区域  
(Precautionary Action Zone; PAZ)
  - 全面緊急事態に至った場合には、避難の際に、服用指示に基づき速やかに安定ヨウ素剤を服用
  - 対象の住民に対して事前に安定ヨウ素剤を配布
  - 事前配布方法：原則として医師による説明、説明書と安定ヨウ素剤の配布
- 緊急防護措置を準備する区域  
(Urgent Protective Action Planning Zone; UPZ)
  - 全面緊急事態に至った場合には、避難または一時移転の際、原子力規制委員会が配布および服用の必要性を判断
  - 原子力防災対策本部または地方公共団体が指示
  - 地方公共団体は、避難または一時移転の際に安定ヨウ素剤を緊急配布できる体制を整備

予防的防護措置を準備する区域(Precautionary Action Zone; PAZ)では、全面緊急事態に至った場合に、避難の際、服用指示に基づき速やかに安定ヨウ素剤を服用します。このような迅速な服用を可能とするためには、地方公共団体はこの区域の対象住民に対して事前に安定ヨウ素剤を配布しておく必要があります。

事前配布方法は、原則として医師による説明、説明書と安定ヨウ素剤の配布です。説明会等において、薬剤師に医師への協力を要請することができます。

緊急防護措置を準備する区域(Urgent Protective Action Planning Zone; UPZ)では、全面緊急事態に至った場合に、避難または一時移転の際、原子力規制委員会が配布および服用の必要性を判断し、原子力防災対策本部または地方公共団体が服用を指示します。地方公共団体は、避難または一時移転の際に安定ヨウ素剤を緊急配布できる体制を整備する必要があります。



## 事前配布

- 説明会（地方公共団体が実施主体）
  - 医師（原則）による住民への説明会を定期的で開催
  - 医師による説明を受けることができる保健所等の公共施設や医療機関に住民が出向き、説明を受けた上で受領できるよう対応
  - 地方公共団体が指定する薬局等に住民が出向き、薬剤師等による説明を受けた上で安定ヨウ素剤を受領できるよう対応
- 説明内容：安定ヨウ素剤の配布目的、効能又は効果、服用指示の手順とその連絡方法、配布後の保管方法、服用時期、服用を優先すべき対象者、副作用等の留意点等
- 説明書と一緒に安定ヨウ素剤を配布
- 住民が記載したチェックシートに照らし合わせて、保健師、薬剤師等の専門職が確認書を記載し、安定ヨウ素剤の取扱いに係る留意事項について理解しているか等を確認するため、受領書に記入及び提出をさせる

地方公共団体は、住民への説明会を定期的で開催することを前提とした上で、地域の実情を踏まえ、**地域の医師会及び薬剤師会と具体的な配布方法等を協議の上、薬剤師会会員が所属する薬局等を指定し、その薬局等で、安定ヨウ素剤を配布することもできる。**

地方公共団体は、原則として医師による住民への説明会を定期的開催する必要があります。説明会においては、原則として医師により、安定ヨウ素剤の配布目的、効能又は効果、服用指示の手順とその連絡方法、配布後の保管方法、服用時期、服用を優先すべき対象者、副作用等の留意点等を説明し、それらを記載した説明書とともに安定ヨウ素剤を配布します。地方公共団体は、配布等を円滑に行うために、説明会等において、薬剤師に医師への協力を要請することができます。

地方公共団体は、説明会に参加できない住民に対しては、医師による説明を受けることができる保健所等の公共施設や医療機関に住民が出向き、説明を受けた上で受領できるよう対応する必要があります。

地方公共団体は、住民への説明会を定期的開催することを前提とした上で、地域の実情を踏まえ、地域の医師会及び薬剤師会と具体的な配布方法等を協議の上、薬剤師会会員が所属する薬局等を指定し、その薬局等で、安定ヨウ素剤を配布することもできます。

地方公共団体は、住民への説明会に参加できない住民に対して、地方公共団体が指定する薬局等に住民が出向き、薬剤師等による説明を受けた上で安定ヨウ素剤を受領できるよう対応する必要があります。

説明会又は地域の薬局等においては、住民が安定ヨウ素剤を受け取る際に、住民が記載したチェックシートに照らし合わせて、保健師、薬剤師等の専門職が確認書を記載し、安定ヨウ素剤の取扱いに係る留意事項について理解しているか等を確認するため、受領書に記入及び提出をさせることが必要

## 緊急配布

### ・配布場所

- ・ 備蓄場所と同じまたはその近隣の施設
- ・ 避難経路上、住宅地の近くで交通の便がよい場所等の住民が避難の際に容易に立ち寄れるところ

### ・配布方法

- ・ 住民が配布のために屋外に並ぶことを避け、屋内や車内で待機できるように配布場所を指定
- ・ 備蓄してある安定ヨウ素剤を地方公共団体職員等が備蓄場所から搬出して配布し、指示に従い服用させる
- ・ 受領書については、事前配布と同様に取り扱うことが望ましいが、時間的制約等により対応が困難な場合には、口頭による確認等で代替することも考えられる

### 配布場所

備蓄場所と同じまたはその近隣の施設

避難経路上、住宅地の近くで交通の便がよい場所等の住民が避難の際に容易に立ち寄れるところ

### 配布方法

住民が配布のために屋外に並ぶことを避け、屋内や車内で待機できるように配布場所を指定

備蓄してある安定ヨウ素剤を地方公共団体職員等が備蓄場所から搬出して配布し、指示に従い服用させる

受領書については、事前配布と同様に取り扱うことが望ましいが、時間的制約等により対応が困難な場合には、口頭による確認等で代替することも考えられる

## 服用指示の情報の伝達手段の確保

- 原則として、原子力規制委員会が必要性を判断



- その判断に基づき原子力災害対策本部又は地方公共団体は服用の指示



- 住民等はその指示に基づき服用

- 地方公共団体及び国は防災無線や 広報車等の地域における伝達手段とともに、テレビ・ラジオ放送やインターネット等を利用した広範な伝達手段を準備し、確実に指示が伝わる体制を整備し、伝わることを事前に確認

安定ヨウ素剤の服用は、その効果が服用の時期に大きく左右されるため、原則として、原子力規制委員会が必要性を判断し、その判断に基づき原子力災害対策本部又は地方公共団体は服用の指示を出し、住民等はその指示に基づき服用します。

ここで、住民等に安定ヨウ素剤を適切に服用させるためには、原子力災害対策本部又は地方公共団体の指示を服用すべき住民等まで速やかに伝達することが必要となります。したがって、各家庭のみならず、服用すべき対象者が集まる保育所、幼稚園、学校、病院、会社等に対しても情報提供を行う等、状況にあわせた情報伝達網の整備が必要です。

## 防災業務関係者の服用



防災関係者のうち、原子力施設内において災害に発展する事態を防止する措置等の災害応急対策活動を実施する者で、かなりの被ばくが予測される恐れのある場合は、甲状腺等価線量を瞬時に測定できる計測器がないこと、防護マスク等の装備の機能を考慮しつつ、甲状腺機能低下症の急性障害を予防するため、念のため、安定ヨウ素剤の服用について考慮します。

また、防災関係者が住民の避難誘導、連絡等のために全面緊急事態以降において屋外で災害対策業務に従事する場合は、各所属機関から安定ヨウ素剤の配布を受けて携行し、服用の指示に基づき、安定ヨウ素剤を服用します。また、作業が1日以上継続する場合は、連続服用も考慮します。業務が長期に及ぶ場合には、交代要員を確保する等により、安定ヨウ素剤を複数回服用する必要のない環境を整えることが望ましいです。これらの業務に関わる可能性があるものは、事前に教育研修を受けるか、それに相当する防護知識を習得しておくことが望ましいです。

放射性ヨウ素がほとんど存在しない場合や、原子炉の運転停止後から時間が経過して、放射性ヨウ素がほとんどなくなっている場合には、安定ヨウ素剤の服用は必要ありません。

## まとめ

- 安定ヨウ素剤は体内に取り込んだ放射性ヨウ素の甲状腺への影響のみに防護効果
- 安定ヨウ素剤は、外部被ばくの防護効果なし
- 安定ヨウ素剤服用時は、避難や屋内退避など他の防護措置も必要
- 安定ヨウ素剤は、放射性ヨウ素の放出がない場合には、服用不要
- 安定ヨウ素剤は服用のタイミングが重要であり、服用の必要性は原子力規制委員会が判断し、国又は地方公共団体が指示する
- 妊婦、授乳婦および未成年者（乳幼児含む）は、服用を優先すべき対象者
- 40歳以上でも妊婦および授乳婦は、服用を優先すべき対象者
- 服用を優先すべき対象者は、避難を優先する対象者でもあるが、服用の指示が出た際に服用を躊躇することのないよう、平時からの周知が重要

# 避難退域時検査

原子力災害医療 基礎研修  
原子力災害基礎-7

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間：30分

出典；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（原子力規制庁）より抜粋

内容

- 避難帯域時検査の概要
- 避難帯域時検査の流れ
- 検査及び簡易除染の体制
- 標準的な要員の役割と人数
- 資機材

## 避難退域時検査の概要

- 原子力災害時に放射性物質が放出された後に緊急時モニタリングの結果により必要があると判断された場合にOIL1に基づく防護措置として住民に避難や一時移転の指示される。その防護措置としての避難等の際に避難や一時移転される方の汚染状況を確認することを目的として実施される検査
- 対象者
  - OILに基づく防護措置としての避難等の指示を受けた住民等
  - 避難等の指示があった後に、この指示の対象となる区域から避難等をする住民のほか、労働者や旅行者等の一時滞在者も含む
- 国がOILに基づく防護措置の指示とともに地方公共団体に実施を指示
- 検査場所
  - 原子力災害対策重点区域の境界周辺(境界から概ね数キロメートルの範囲)から避難所等までの場所
  - 地域の実情を踏まえ選定
  - 避難経路上に複数の検査場所を設置

原子力災害時においては、国又は地方公共団体は、放射性物質が放出される前に予防的に実施する避難の指示の他、放射性物質が放出された後に緊急時モニタリングの結果により必要があると判断された場合には、「OIL1に基づく防護措置として住民に避難や一時移転(以下：避難等)」の指示を出します。

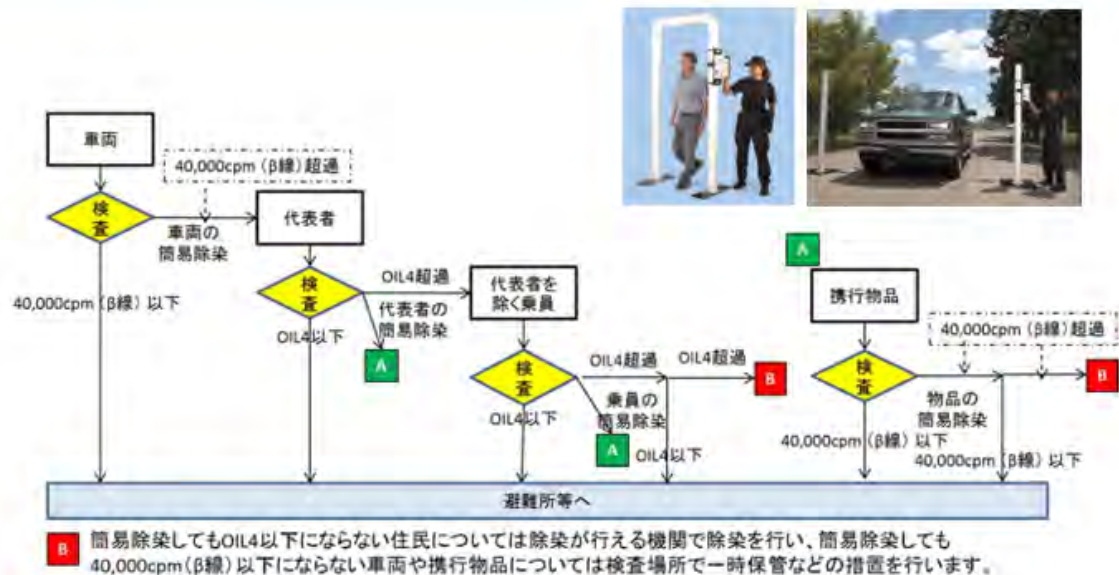
このOILに基づく防護措置としての避難等の際に、避難や一時移転される方の汚染状況を確認することを目的として実施される検査のことを「避難退域時検査」といいます。

対象者は、OILに基づく防護措置としての避難等の指示を受けた住民等で、避難等の指示があった後に、この指示の対象となる区域から避難等をする住民のほか、労働者や旅行者等の一時滞在者も含まれます。

検査の指示は、国がOILに基づく防護措置の指示とともに地方公共団体に実施を指示します。

検査場所は、原子力災害対策重点区域の境界周辺(境界から概ね数キロメートルの範囲)から避難所等までの場所で、地域の実状を踏まえ選定します。

## 避難退域時検査の流れ



自家用車やバス等の車両を利用して避難等をする住民の検査は、乗員の検査の代用として、まず車両の検査を行います。この結果がOIL4 (初期設定  $40,000\text{cpm}$  ( $\beta$ 線)) 超の場合には、乗員の代表者に対して検査を行います。この代表者がOIL4超の場合には、乗員の全員に対して検査を行います。

携行物品の検査は、これを携行している住民がOIL4超の場合にのみ検査を行います。

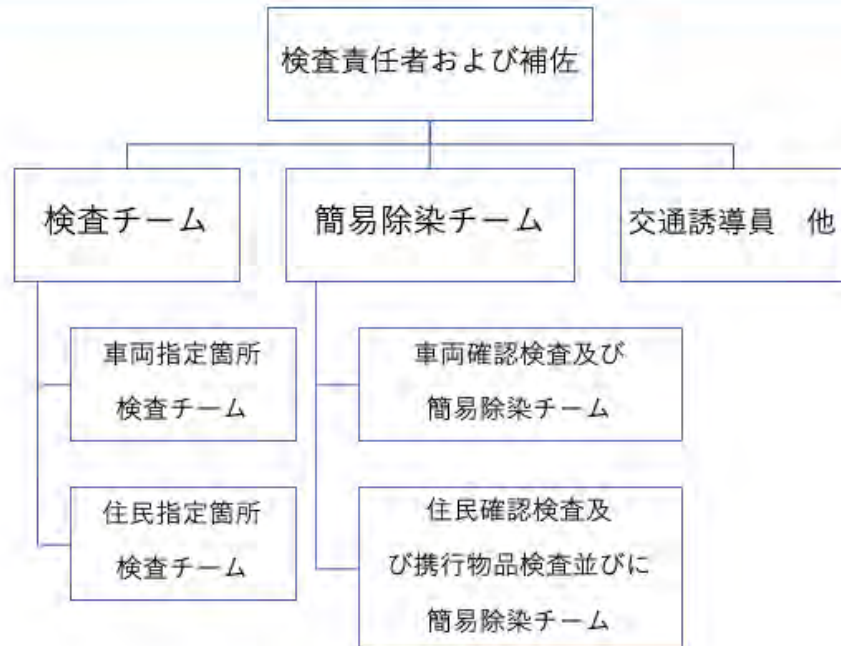
検査の結果、OIL4超の住民、車両及び携行物品には簡易除染を行います。簡易除染によってもOIL4超の住民は除染が行える機関で除染を行い、簡易除染によってもOIL4超車両や携行物品は検査場所で一時保管などの措置を行います。

なお、検査の実施に際しては、要配慮者に対する健康上の配慮等が必要です。例えば、避難所等から離れた場所で行う場合、この検査によって健康リスクが高まると判断される要配慮者及びその車両については、避難所等にそのまま向かっていただき、そこで健康上の配慮を行いつつ検査を行うことも考慮する必要があります。

出典；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（原子力規制庁）より抜粋



## 検査及び簡易除染の体制



検査及び簡易除染を行う者だけではなく、検査場所の規模に応じ、車両の誘導を行う交通誘導員、空調等の運転保守要員、受付・説明員、通信・連絡員等を配置することが望ましいです。

出典；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（原子力規制庁）より抜粋

## 標準的な要員の役割と人数

チーム区分、要員	役割	要員数
検査責任者及び補佐	<ul style="list-style-type: none"> <li>検査場所における業務の全体統括及び地方公共団体の現地災害対策本部等との連絡調整(検査及び簡易除染の状況、バックグラウンドレベル等の報告等)</li> <li>バックグラウンドの測定、検査責任者へ検査チームや簡易除染チームの活動状況等の報告</li> </ul>	2名
車両指定箇所検査チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>車両用ゲート型モニタ又は表面汚染検査用の放射線測定器による車両の指定箇所検査</li> </ul>	1名以上
車両確認検査及び簡易除染チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面汚染検査用の放射線測定器による車両の確認検査及び簡易除染後の簡易除染の効果の確認</li> <li>車両の簡易除染</li> </ul>	2名以上
住民指定箇所検査チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>体表面汚染モニタ又は表面汚染検査用の放射線測定器による住民の指定箇所検査</li> </ul>	1名以上
住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面汚染検査用の放射線測定器による住民の確認検査及び携行物品の検査並びに簡易除染後の簡易除染の効果の確認</li> <li>住民及び携行物品の簡易除染並びにその補助(説明・指導等)</li> </ul>	2名以上
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>車両の誘導 他</li> </ul>	1名以上

検査の効率化を図るため、検査対象となる車両、住民及び携行物品の数に応じて、上記に示すチームの複数配置や他のチームによる支援などのチーム間での役割分担の調整、必要に応じて各チームの要員の増員を考慮します。

検査責任者及び補佐は、原則、地方公共団体の職員(又は地方公共団体が指定する者)で、原子力防災に関する基礎的な研修を受講した者、同等の知識を有する者又は実務経験者等の中から、検査会場の全体統括など、その役割を果たすことができる者が担います。

また、検査責任者及び補佐を除く要員には、本マニュアルで示す検査及び簡易除染が実践できるよう、原子力防災に関する基礎的な研修及び機器の取扱い実習を、予め受講しておくことが望ましいです。

## 資機材

個人防護装備	不織布防護服、綿手袋、ゴム手袋、サージカルマスク、キャップ(帽子)、シューズカバー、個人被ばく線量計(ポケット線量計(PD)等)
放射線測定器	表面汚染検査用の放射線測定器(GM サーベイメータ等)、空間線量率用の放射線測定器(NaI シンチレーション式サーベイメータ等) (使用できる場合)体表面汚染モニタ、車両用ゲート型モニタ
養生資材	養生用シート、粘着テープ等
簡易除染用品	養生用シート、粘着テープ、ウェットティッシュ、ウエス、洗車用ブラシ、ビニールシート、大小ポリ袋、帽子、綿手袋、ゴム手袋、サージカルマスク、着替え用衣類とタオル等

このほか、地方公共団体の現地災害対策本部等との通信連絡のため、携帯電話、衛星携帯電話などの通信機器を整備する必要があります。  
また、検査場所によっては、運営に必要な仮設テントや机、照明器具、熱中症対策のための保冷剤、送風機、暖房器具、雨具、荒天時対策の装備等が必要となります。なお、自動体外式除細動器(AED)は用意することが望ましいです。

数量等はチーム数等に応じて調整します。

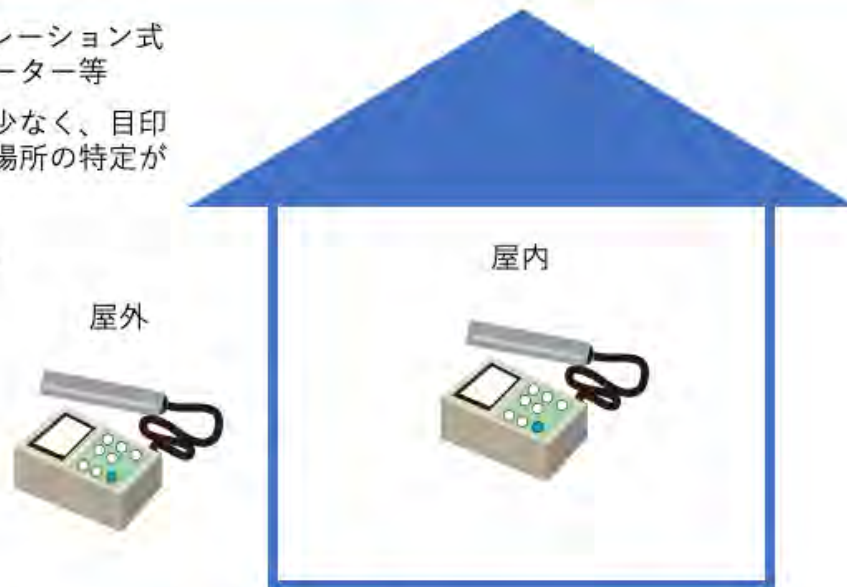
- 個人被ばく線量計は、原則として、日本工業規格(JIS Z4511)に準拠して校正された機器を用います。また、長期使用しない場合は、電池を取り外し、予備電池を用意しておきます。必要数は、要員と交代要員の数に加え、予備を考慮します。
- 空間線量率用の放射線測定器は、原則として、日本工業規格(JIS Z4511)に準拠して校正された機器を用います。放射線測定器は、定期的(半年に1回以上推奨)に動作確認を行い、バックグラウンド計測値に異常がないことを確認しておきます。また、長期使用しない場合は、電池を取り外しておくとともに、予備電池を用意しておきます。
- GMサーベイメーター(入射窓面積が $20\text{cm}^2$ )以外の表面汚染検査用の放射線測定器を使用する場合は、指示値のOIL4 (40,000 cpm)への換算を個別に確認しておきます。また、機器の仕様によっては、メーター針とデジタル表示を持つもの、デジタル表示のみのものなど、様々です。
- 体表面汚染モニタ又は車両用ゲート型モニタを使用する場合は、40,000cpmを検出できる性能であることをメーカーに確認しておきます。

## バックグラウンドの測定方法と取扱い

NaI シンチレーション式  
サーベイメーター等

車の通行が少なく、目印  
があって、場所の特定が  
容易な地点

時定数10秒

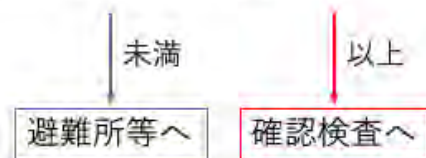


測定日時、測定場所、測定者及び測定値を記録

検査責任者の補佐は、検査の準備段階から検査終了までの間、空間線量率用の放射線測定器(NaI シンチレーション式サーベイメーター等)を使って、以下の方法により、定期的にバックグラウンド測定を行います。

1. 検査責任者の補佐は、検査場所の屋内・外の2ヶ所程度を選んで測定点(定点)とします。測定点は、車の通行が少なく、目印があって、場所の特定が容易な地点を選びます。
2. 測定器を準備し、測定点において検出部を地上から1m(腰部付近)の高差で水平に保ちます。毎回、同一の向きで測定します。
3. 時定数を10秒とし、約30秒(時定数の3倍)経過後、指示値を読み、記録します。指示値の読み方は、メーター針のある機種では、針の振れの中央を読みます。
4. 空間線量率の測定は、検査を開始する前及び検査中1時間に1回程度行います。
5. 測定結果として測定日時、測定場所、測定者及び測定値を記録します。
6. 原子力施設の状況の変化や各チームからの検出報告等、注意すべき情報が得られた場合には、連続監視等、測定の頻度を上げます。

- GMサーベイメータ（入射窓面積が20cm<sup>2</sup>のもの）を用いた測定
- 設定
  - 時定数；3秒
  - 測定レンジ；10kcpm(10,000cpm)
  - 消音
  - 距離；対象物の表面から数cm以内
  - 速度；毎秒約10cm
- 測定箇所；放射性物質が付着する可能性が高いところ(指定箇所)
- 基準値；6kcpm(6,000cpm)



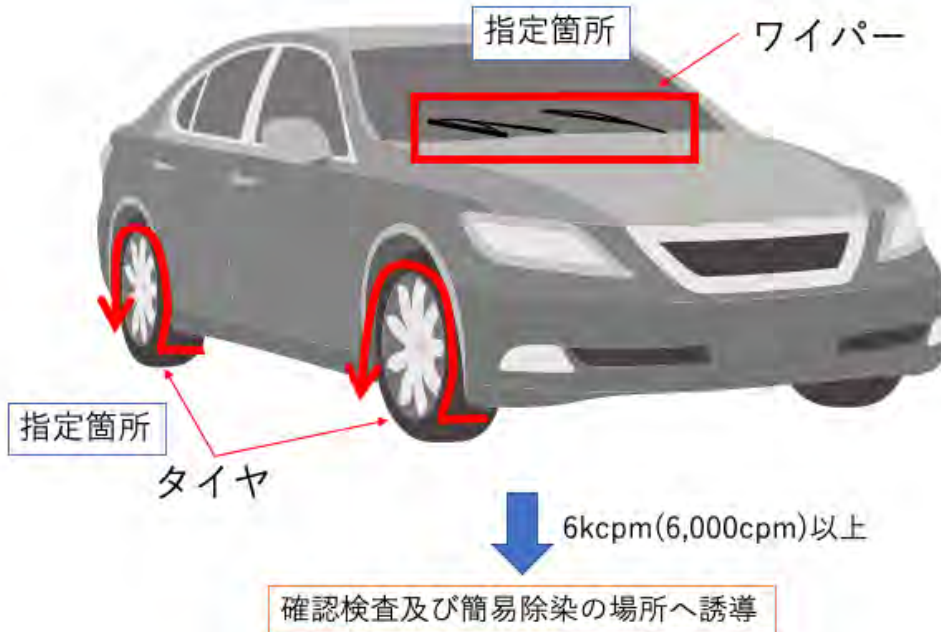
1. 時定数を3秒に設定します。
2. 測定レンジは、10kcpm (10,000 cpm)に設定します。
3. 計数音はオフ(消音)にします。
4. 検査対象の表面と検出部の距離を数cm以内に保ちながら、毎秒約10cmの速度でプローブを移動させます。
5. 検査を行う箇所は、放射性物質が付着する可能性が高いところ(指定箇所)とします。
6. 指示値が6kcpmを超えていないことを確認します。超えた場合は、次の「確認検査」に移行します。
7. 一世帯又は車両1台の検査が終わった後、バックグラウンド値に著しい変化がないことを確認します。確認の結果、著しい変化があった場合は、ラップフィルムを交換します。ラップフィルムの交換後もバックグラウンド値が戻らない場合は、他の原因が考えられますので、検査責任者の補佐に連絡します。

## 確認検査

- GMサーベイメータ
- 設定
  - 時定数；3秒
  - 測定レンジ；指示値に応じて切り替える
  - 消音
  - 距離；対象物の表面から数cm以内
  - 速度；毎秒約10cm
  - 測定箇所
- 測定箇所；指定箇所検査で検出された箇所を含めた検査対象の全面又は簡易除染を行うときはその箇所
- 有意に指示値が高い場所でプローブを縦・横に動かし、指示値が最も高くなる箇所でプローブを約 10 秒固定して、測定

1. 時定数を3秒に設定します。
2. 測定レンジは、指示値に応じて適宜、切り替えます。
3. 計数音はオフ(消音)にします。
4. 検査対象の表面と、検出面の距離を数cm以内に保ちながら、毎秒約10 cmの速度でプローブを移動させます。
5. 検査を行う箇所は、指定箇所検査で検出された箇所を含めた検査対象の全面又は簡易除染を行うときはその箇所です。原則として検査員による検査が可能な範囲とします。
6. 有意に指示値が高い場所でプローブを縦・横に動かし、指示値が最も高くなる箇所でプローブを約 10 秒固定して、測定値を読み、OIL4以下であるかを確認します。バックグラウンドの減算は行いません。
7. 有意に指示値が高い場所が複数あるときは、それぞれの箇所で同様に測定します。
8. バックグラウンド値の確認と処置は、指定箇所検査の7と同様に行います。

## 車両の検査

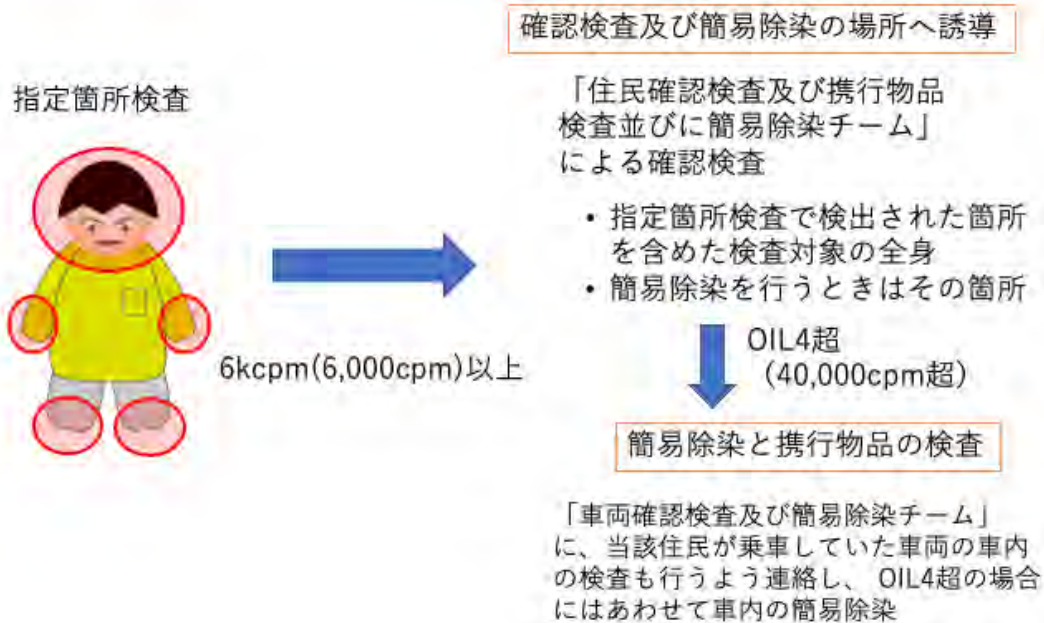


車両は以下の指定箇所検査を行います。

1. タイヤ(原則として全輪) シャーシより下部の接地面(ゴム部)を中心に、側面ゴム部も検査します。
2. ワイパー部(フロントガラス下部) ワイパーのゴム部分だけでなく、フロントガラスの下部パッキンにかけてのワイパー周辺一帯も検査します。

指定箇所検査でOIL4超の可能性があると判定(6,000cpm以上)された場合は、確認検査及び簡易除染の場所へ誘導し、「車両確認検査及び簡易除染チーム」による確認検査を実施します。その結果、OIL4超の場合は、簡易除染と乗員の検査を行います。

## 住民の検査



「住民指定箇所検査チーム」による表面汚染検査用の放射線測定器を用いた住民の検査では、放射性物質が付着している可能性が高い、①頭部、顔面、②手指、③靴底を指定箇所検査します。なお、検査の際には、帽子、上着等は着衣のまま、その上から検査します。

指定箇所検査でOIL4超の可能性があると判定された場合は、確認検査及び簡易除染の場所へ誘導し、「住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム」による確認検査を実施します。その結果、OIL4超の場合は、簡易除染と携行物品の検査を行います。また、「車両確認検査及び簡易除染チーム」に、当該住民が乗車していた車両の車内の検査も行うよう連絡し、OIL4超の場合にはあわせて車内の簡易除染を行います。



## 携行物品の検査

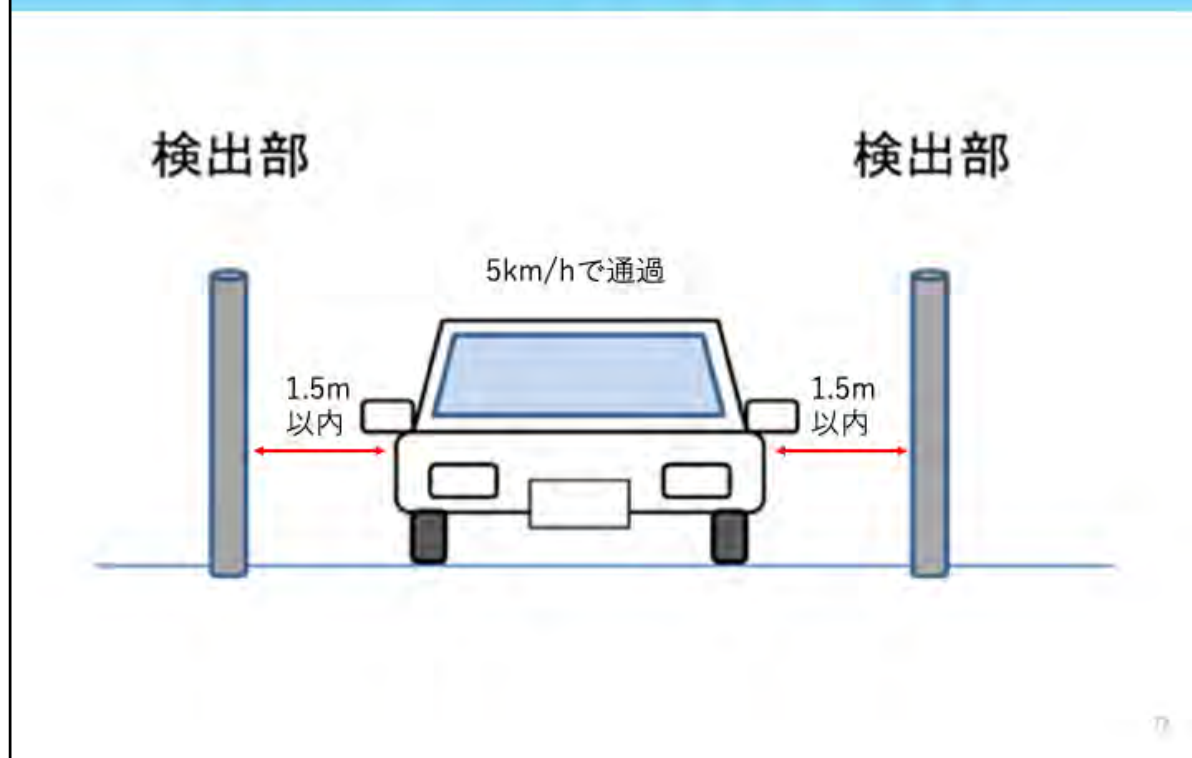
- 対象となる物品の表面検査
- 原則として表面全面の検査
- スーツケース、鞆、袋など密封されたものは、開封せずに、外側を検査



「住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム」による表面汚染検査用の放射線測定器を用いた携行物品の検査では、対象となる物品の表面を検査します。原則として表面全面を行って下さい。なお、スーツケース、鞆、袋等密閉されたものは、開封して検査する必要はありません。

検査OIL4超の場合は、簡易除染を行います。

## 車両用ゲート型モニタによる検査



一般的に車両用ゲート型モニタは、検出部に大容量のプラスチックシンチレータ等を用いており、 $\beta$ 線ではなく $\gamma$ 線を検出する方式のものが多いです。検出部は移動できる2本のポールで構成し、車両は、ポールとポールの間(ゲート)を通過する方式としたものがほとんどです。

車両用ゲート型モニタは、以下に示す検査方法等であれば、表面汚染検査用の放射線測定器による指定箇所検査に代えることができます。実際に車両用ゲート型モニタを導入するときには、その性能等をメーカーによく確認して下さい。

1. 検査員は、通過する車両の大きさ(バス、乗用車の車幅等)に合わせて、車体側面からポールまで1.5m以内の間隔となるように設置します。
2. ゲートの手前で車両を一時停止させ、ゲートの中心線に沿って、およそ5km/h以下で一台ずつ通過させます。
3. 検査員は、ゲート通過後、車両を再度、一時停止させます。このとき、要員の安全を確保するため、ギアはパーキング又はニュートラルに、また、サイドブレーキが引いてあることを確認します。
4. 検査員は、ワイパー部(フロントガラス下部)を表面汚染検査用の放射線測定器で指定箇所検査します。ワイパー部は、車体に体が触れない程度の、手の届く範囲を検査します。
5. 検査の終わった車両を、次のところに誘導します。

## 車両の簡易除染

- 原則として、簡易除染員が濡らしたタオル等を用い、付着している放射性物質を拭き取る
  - OIL4超の箇所の周囲から中心に向かって一方向に拭き取ります。
  - 1枚のタオル等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。
  - 1度拭き取りに使ったタオル等は所定の容器等へ入れます。
  - 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。

原則として、簡易除染員が濡らしたタオル等を用い、付着している放射性物質を拭き取ります。拭き取りの方法は、以下のとおりです。

- OIL4超の箇所の周囲から中心に向かって一方向に拭き取ります。
- 1枚のタオル等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。
- 1度拭き取りに使ったタオル等は所定の容器等へ入れます。

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、泥を落とします。落とした泥は、シートで受け、ビニル袋等に集めておき、一般の廃棄物と分別しておきます。

流水を利用する場合は、簡易除染員の吸入・汚染防止(マスク、防水用装備の着用)と水の拡散防止(周囲に防水シートを敷き、立ち上がりを設けて堰とします)を確保した上で行います。

## 住民・携行品の簡易除染

- 原則として住民本人による脱衣
- 手袋とマスクを着用
- 衣服の表を中に巻き込むように脱衣

### 携行品の簡易除染

- 水で濡らしたタオル等による拭き取り
- 所有者の希望があれば、本人が手袋をした上で、拭き取り



### 脱衣

衣服がOIL4超の場合は、原則として住民本人による脱衣を行ってまいります。その際、替えの衣服も予め用意しておきます。脱衣の際は、衣服や身体への放射性物質の拡大を防止する必要があります。そのため、簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で脱衣を行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- 手袋とマスクを着用します。
- 衣服の表を中に巻き込むように脱ぎます。
- 脱衣の際に皮膚に触れる場合は、テープ等で覆ってから脱衣します。

脱衣後、該当箇所の身体を確認検査し、測定の結果、OIL4超の場合は、次の簡易除染を行います。

なお、放射性物質の付着がごく一部分に限られている場合は、拭き取ることもできます。

### 拭き取り

頭髪や皮膚がOIL4超の場合は、原則として住民本人によるウェットティッシュ等を用いた拭き取りを行ってまいります。

簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で拭き取りが行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- 手袋(手の簡易除染時は着用しません)とマスクを着用します。
- OIL4超の箇所の周囲から中心に向かって拭き取ります。
- 1枚のウェットティッシュ等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。

- ・ 1度拭き取りに使ったウェットティッシュ等は所定の容器等へ入れます。
- ・ アルコールにアレルギーのある住民には、水でぬらしたガーゼ、布等を使います。

1回の簡易除染でOIL4超の場合は、2回を目安に簡易除染を行い、確認検査を行います。

#### 流水の利用

流水を利用する場合は、原則として住民本人に洗い流してもらいます。簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- ・ 目や口に水が入らないようにします。
- ・ 頭髪がOIL4超の場合は、洗髪します。
- ・ 傷がある場合には、傷口に水がかからないよう、絆創膏で保護するなどして行います。なお、創傷の程度によっては、医療処置を優先します。

携行品は、水で濡らしたタオル等で拭き取ります。所有者の希望があれば、本人が手袋をした上で、拭き取りをしてもらうこともできます。

簡易除染の効果の確認方法は、「確認検査」に準じて行います。1回の簡易除染でOIL4超の場合は、2回を目安に簡易除染を行い、確認検査を行います。

## OIL4以下にならなかった場合の処置

- 車両
  - 車両の所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録
  - 当該車両に対する取扱いについては、例えば、検査場所が避難所等に近接している場合は、検査場所に一時保管（駐車）して徒歩で移動
  - 避難所等から離れている場合は、一時保管後、バス等の代替え交通手段で移動
- 住民等
  - 住民の氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録
  - 当該住民に対しては、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以下でない部位をタオル等で覆うなどして拡散防止処置を施した上で、除染処置について専門的な知識及び技能を有する機関まで移動
- 衣服、携行品
  - 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
  - 封をしたまま避難所まで持参、廃棄処分、検査場所で一時保管のいずれか

### <車両>

車両の所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録します。

当該車両に対する取扱いについては、例えば、検査場所が避難所等に近接している場合は、検査場所に一時保管(駐車)して徒歩で移動することが考えられます。一方、避難所等から離れている場合は、一時保管後、バス等の代替え交通手段で移動することも考えられます。

### <住民等>

住民の氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録します。

当該住民に対しては、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超の部位をタオル等で覆うなどして拡散防止処置を施した上で、除染処置について専門的な知識及び技能を有する機関まで移動をお願いします。

### <衣類、携行物品>

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します。その後の取り扱いは、(イ)封をしたまま避難所等まで持参、(ロ)廃棄処分（住民が所有権を放棄した場合）、(ハ)検査場所で一時保管します。

## 汚染物等の取扱い



簡易除染で発生したタオルやウェットティッシュ等の汚染物（所有者が所有権を放棄した携行物品を含む）は、「汚染」と表記したポリ袋に入れ、一般の廃棄物と分別



流水を利用した場合等の廃水の処理については、「汚染」と表記したドラム缶やポリ容器等に封入

17

簡易除染で発生したタオルやウェットティッシュ等の汚染物（所有者が所有権を放棄した携行物品を含みます。）は、「汚染」と表記したポリ袋に入れ、一般の廃棄物と分別しておきます。なお、検査員等が使用したゴム手袋や防護服、マスク等も、汚染している可能性があるともみなし、同様に取り扱います。

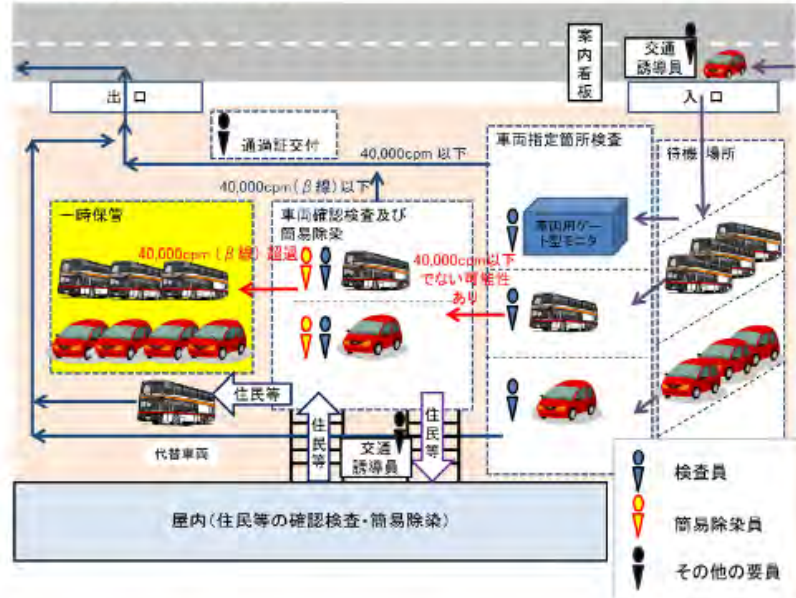
流水を利用した場合等の廃水の処理については、環境や一般の下水道へ排水することは適切でないため、「汚染」と表記したドラム缶やポリ容器等に封入し、一時的に貯留します。

これらの汚染物等は、計画に定めた保管場所に一時保管します。一時保管場所は、住民や要員の出入りの少ない場所とし、可能であれば、施錠できる場所であってコンクリート壁等に囲まれた、遮へい効果が期待できる場所を選びます。

汚染物等の引取りは、地方公共団体が、予め、国及び原子力事業者と協議の上、決めておく必要があります。

# 検査場所の例（屋外）

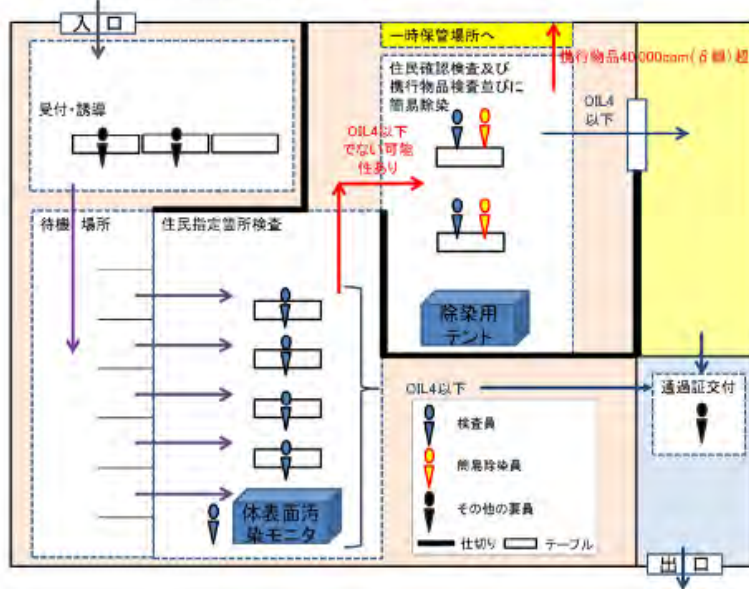
屋外の配置計画図、動線図の例





# 検査場所の例（屋内）

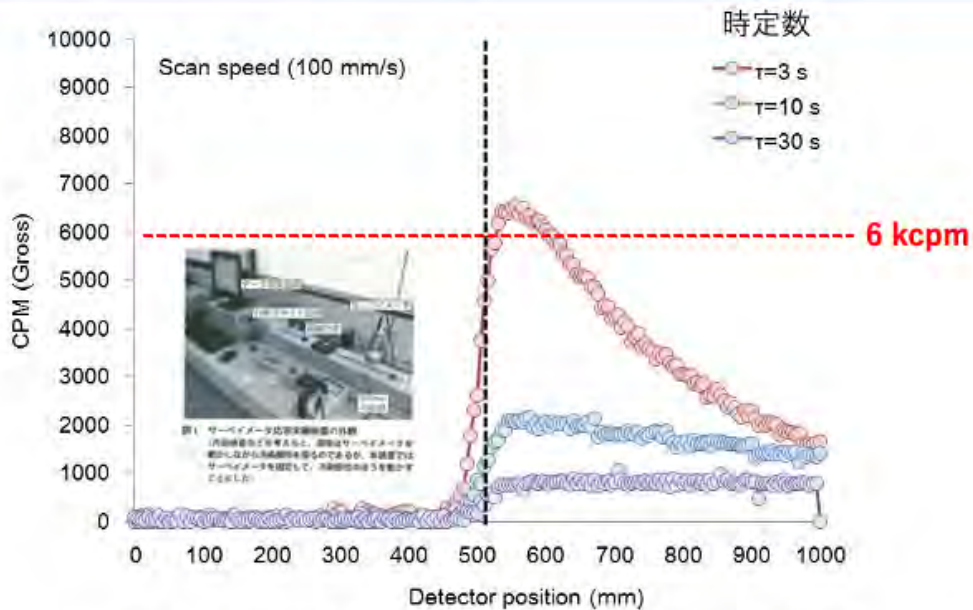
屋内の配置計画図、動線図の例(住民等の検査が必要となった場合)



## まとめ

- 判断基準：OIL4（初期値40,000cpm）
- 体制：責任者、検査チーム、簡易除染チーム、交通誘導員他
- 資機材：個人防護装備、放射線測定器、養生資材、簡易除染用品
- 車両の検査（ワイパー、タイヤ）：6,000cpm以上→確認監査、簡易除染
- 住民の検査（頭部、手、靴）：6,000cpm以上→簡易除染、携行品検査
- 携行品検査（表面全面の検査、開封しない）：OIL4超→簡易除染
- 車両の簡易除染：濡らしたウエスで拭き取る
- 住民の簡易除染：表を中に巻き込む様に脱衣しポリ袋に入れる
- 携行物品の簡易除染：濡らしたウエスで拭き取る
- OIL4超の場合：氏名、連絡先、月日、検査結果を記録（保管、飛散防止）
- 汚染物の取扱い：ゴミ袋に「汚染」と記載し、一時保管

## 補足



スキャン速度に応じたGMサーベイメータの指示値の変動  
 (コイン線源の1cm直上にプローブが静止状態にある場合の指示値は40000cpm)

白川, Isotope News 2007年3月号参考

線源と検出部の距離を10mmに固定して測定した際に40,000cpm ( $\beta$ 線)に相当する計数率が得られる場合、この線源に対し、時定数3秒、検出部入射面との高さを10mmに保ち、毎秒約10cmで水平移動させて測定できる計数率の最大値は6,000cpm以上となります(白川芳幸「サーベイメータの適切な使用のための応答実験」『ISOTOPE NEWS』第635号, 2007年3月, 19-24頁を参照)。

# 避難と屋内退避の支援

原子力災害医療 基礎研修

原子力災害基礎-8

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

Ver.201912

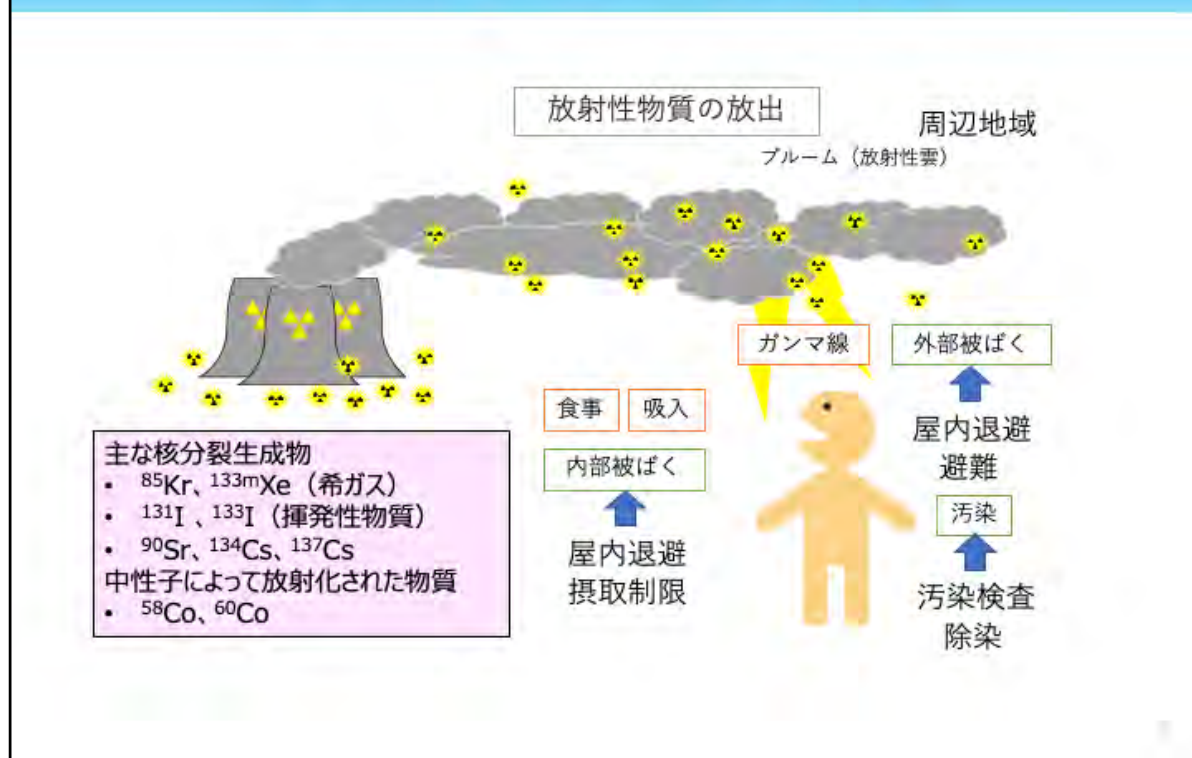
本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- 原子力発電所事故での影響
- 原子力災害時の防護措置
- 原子力発電所事故時の防護
- 防護措置の効果
- 屋内退避時の注意点
- 医療・福祉施設の避難
- 避難時の注意点
- 避難退域時検査
- 汚染検査
- 原子力災害時の病院避難
- 避難時の防護対策
- 車椅子の汚染検査
- 受け入れ先医療機関での対応
- 屋内退避・避難時のチェックリスト

## 原子力発電所事故での影響



原子力発電所では、ウランが核分裂して発生させる熱を発電に利用しています。この核分裂によって生じたものが核分裂生成物で、放射性物質を多く含んでいます。

原子力災害では、事故で燃料のペレットや被覆管が破損すると、大量の放射性物質が環境中に放出されます。

放出された気体状の放射性物質は、雲のような状態で大気中を流れます。このプルームから降ってきた放射性物質が地表に沈着したり、野菜などの食物に取り込まれます。そこで、プルームが通過した地域にいと汚染したり、プルームからのガンマ線による外部被ばくをしたり、吸入や食事から内部被ばくをしたりします。このため、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し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を講じる必要があります。

# 原子力災害時の防護措置

	主体	PAZ	UPZ	UPZ外
警戒事態	地方公共団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力</li> </ul>
	国	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難準備の指示</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力の要請</li> </ul>
施設敷地緊急事態	地方公共団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難</li> <li>住民避難の準備</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>屋内退避の準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ</li> <li>住民の避難準備への協力</li> </ul>
	国	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難の指示</li> <li>住民避難の準備の指示</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備の指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋内退避の準備の指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ要請</li> <li>住民の避難の準備への協力の要請</li> </ul>
全面緊急事態	地方公共団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>住民避難</li> <li>住民等への安定ヨウ素剤の服用の指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>屋内退避</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備</li> <li>防護措置基準に基づく防護措置への対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民への情報伝達</li> <li>住民避難の受け入れ</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備</li> <li>防護措置基準に基づく防護措置への対応</li> </ul>
	国	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民避難の指示</li> <li>地方公共団体への安定ヨウ素剤の服用の指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>屋内退避の指示</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備の指示</li> <li>防護措置基準に基づく防護措置への対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>住民避難の受け入れ要請</li> <li>安定ヨウ素剤の服用の準備の指示</li> <li>防護措置基準に基づく防護措置への対応</li> </ul>

原子力発電所の事故が発生した場合、防護措置が開始されます。

緊急時活動レベル（EAL）に基づいた防護措置の考え方

予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、確定的影響を回避するために、警戒事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難準備を行い、施設敷地緊急事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難、住民避難の準備及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行い、全面緊急事態にいたった場合は、住民避難及び安定ヨウ素剤の服用されます。

また、緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、確率的影響のリスクを低減するために、施設敷地緊急事態において、屋内退避の準備を行い、全面緊急事態において、屋内退避及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行います。放射性物質の放出後、UPZ及びUPZ外においては、OILに基づいて、防護措置が実施されます。

PAZの医療機関は施設敷地緊急事態で、避難を開始することになります。

施設敷地緊急事態要避難者

避難の実施に通常以上の時間がかかり、かつ、避難によって健康リスクが高くなる要配慮者等（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦その他の災害時に援護を必要とする者をいう。）、安定ヨウ素剤を事前配布されていない者及び安定ヨウ素剤の服用が不適切な者のうち、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者をいいます。

# 原子力発電所の事故時の防護



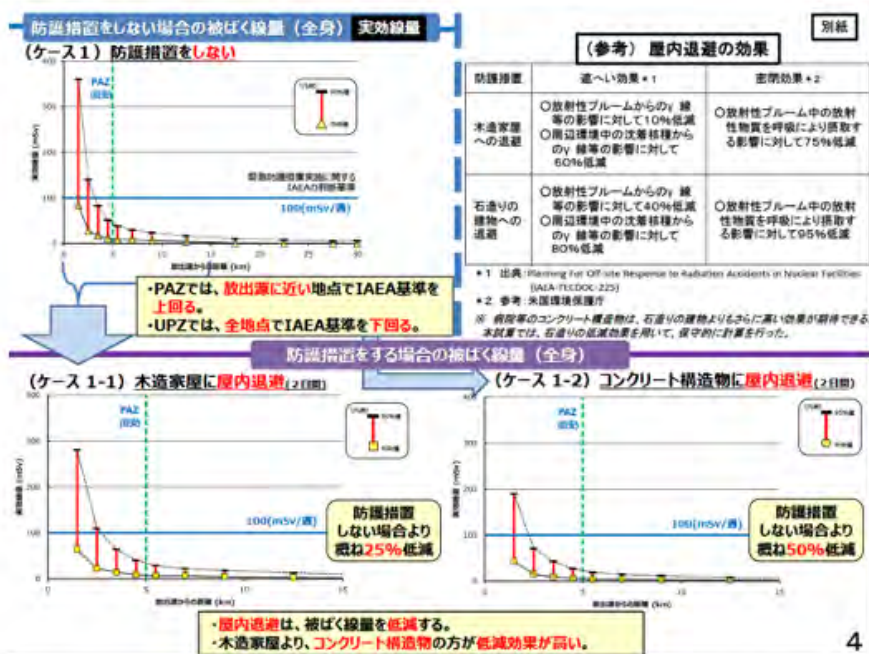
放射性物質が環境中に放出された場合、大気中あるいは地表の放射性物質からのガンマ線によって外部被ばくします。屋内に滞在した場合は、建物の壁や屋根によって放射線を遮ることができ、被ばく線量を低減できます。建物は木造建屋よりもコンクリート建屋の方が放射線の遮へい効果があります。

また、窓や扉を閉めることで、大気中の放射性物質が建物の中に入ってくることを防ぎ、放射性物質の吸入を防ぐことによって内部被ばくの防護ができます。

原子力災害が起こった時の防護の基本は、屋内退避と避難です。これらの行動の基準は、原子力災害対策指針（原子力規制委員会）に定められており、国や地方公共団体によって指示されます。医療機関や介護福祉施設等の避難に支援が必要な機関では、地域防災計画等によって定められている屋内退避や避難をします。

原子力災害時には、空間線量率が毎時500マイクロシーベルトを超えた地域は、直ちに避難をします。また、毎時20マイクロシーベルトを超えた地域は、1週間を目処に一時移転します。これらは、防護措置の実施を判断する基準として運用上の介入レベル(OIL)として設定されています。

# 防護措置の効果（全身の被ばく線量）



出典：緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について（案）  
 平成26年5月28日 原子力規制委員会

屋内退避の防護効果を示します。ここでは、セシウム137が100テラベクレル、その他核種がセシウム137と同じ割合で換算された量、さらに希ガス類が全量、環境中に放出されるような仮想的な事故を想定しています。

防護措置をしない場合に比べて、屋内退避は被ばく線量を低減することができます。さらに木造家屋より、コンクリート構造物の方が被ばく線量の低減効果は高いです。

このように、一時的には、屋内退避による防護効果が期待できるため、PAZでは、予防的な避難を行うことによって、かえって健康リスクが高まるような要配慮者については、無理な避難を行わず、屋内退避を行うとともに、適切に安定ヨウ素剤を服用することが合理的です。

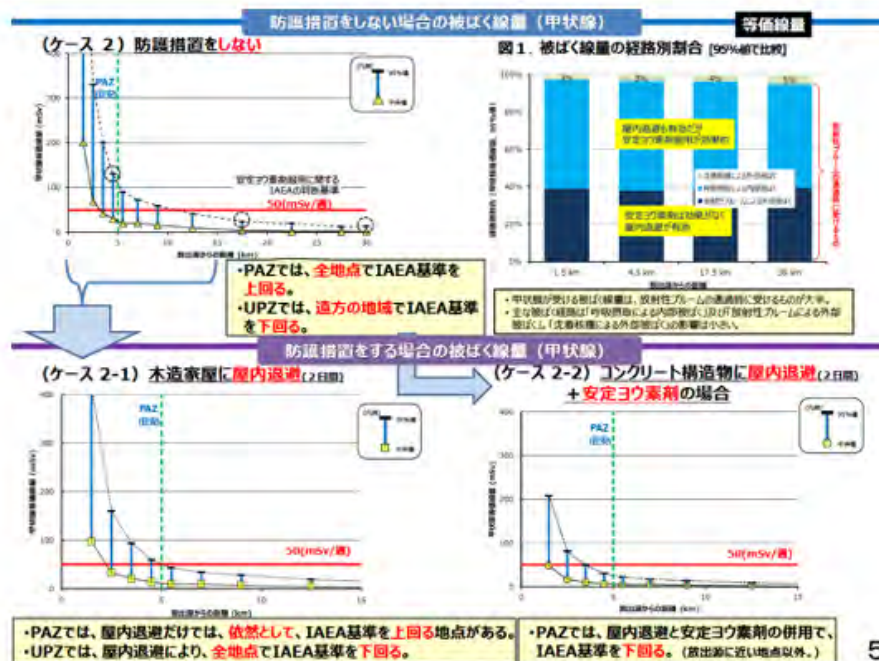
病院等のコンクリート建物に対して放射線防護機能を付加することで、より一層の低減効果を期待できます。

避難勧告・避難指示、屋内退避が長期に及ぶと予想される場合は、避難に切り替えることが必要です。

出典：緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について（案） 平成26年5月28日 原子力規制委員会



# 防護措置の効果（甲状腺）



屋内退避による甲状腺の被ばく線量の低減効果を示します。  
 木造家屋に屋内退避した場合より、コンクリート建屋への屋内退避と安定ヨウ素剤の服用の併用によって、さらに甲状腺の被ばく線量を低減する効果が高くなります。

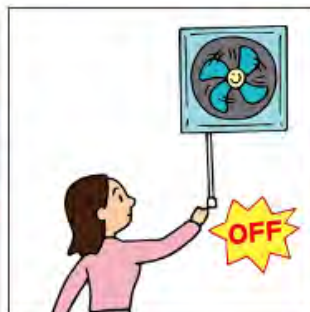
出典：緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について（案）平成26年5月28日 原子力規制委員会

## 屋内退避時の注意点

窓を閉める



換気扇を止める



冷暖房器具  
を止める。



空調を止める。



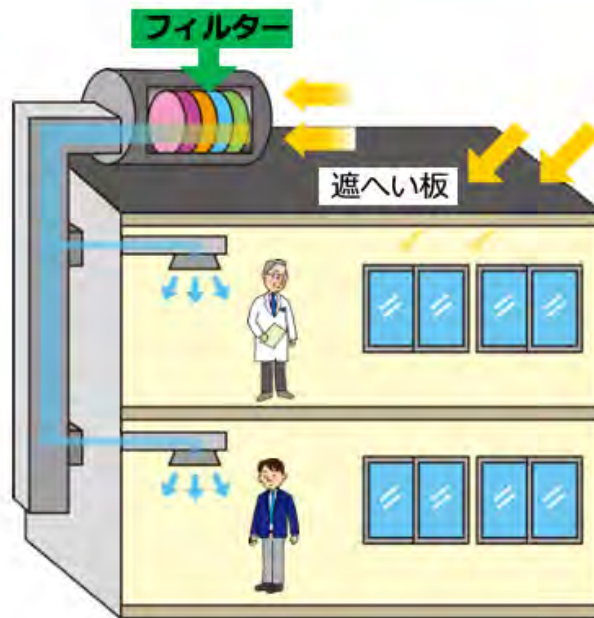
屋内退避が指示されたときの注意事項は、外気を取り入れないことがポイントです。

- ・窓や扉を閉める。
- ・換気扇を止める。（空気の流れを止める。）
- ・冷暖房器具を止める。  
ただし、家庭用のエアコンなど外気を取り入れない（熱交換だけを行う物）は、使用することができます。
- ・大きな建物などに設置されている、換気装置を止める。

その他

- ・テレビ、ラジオ、防災無線、広報車等から、正確な最新の情報を入手します。
- ・外から建物の中に入るとき、手洗い等を行います。
- ・食品を汚染させないように、食品をタッパ、ラップ、冷蔵庫等に保管します。
- ・避難、一時移転の防護措置が指示された場合に備えて、避難の際に持ち出す物品を準備します。

## 屋内退避時の注意点



避難や一時移転を実施した方が良いが、避難により健康リスクが高まる災害時要配慮者（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦等）等、実施が困難な場合、国及び地方公共団体の指示により屋内退避が実施されます。その際、一般的に遮へい効果や建家の気密性が比較的高いコンクリート建屋への屋内退避が有効です。さらに、空気の清浄装置や遮へい材の設置も考慮されます。

特に、屋内退避を実施している期間は、食料、医薬品及び日常生活の必需品等支援を受ける必要があるため、事前に市町村や道府県等の関係機関と十分調整し、実効性のある計画を策定する必要があります。

原子力緊急事態が発生した場合は、道府県や市町村の災害対策本部と連絡を密にし、上記の支援物資の提供や放射線防護について留意し、必要な情報の提供を絶えず受けます。情報が提供されない場合は、退避者側から取りに行くことも大切です。

## 医療・福祉施設の避難

- 施設内にいた患者、職員は基本的に汚染されていない。
- 放射性物質の放出後に外出した職員あるいは外から来た家族等は汚染の可能性がある。
- 放射線防護の観点から、汚染検査よりも迅速な避難が優先される。



病院や福祉施設において、屋内退避から避難に防護措置が切り替わったときは、避難者に医師や看護師が同行します。

医師や看護師は、避難先へ避難者に関する情報をできるだけ早い段階に提供することも必要です。

防災計画として、避難先と受け入れの調整を事前に実施しておくことが推奨されます。

## 避難時の注意点



戸締まりを忘れずにする。



近所の人に避難するよう声をかける。



皮膚を出さない服装をする。



常用薬、お薬手帳は必ず携行する。



元栓を閉め、ブレーカーを忘れずに落とす。

原子力災害が起こった時の防護の基本は、屋内退避と避難です。避難の時には、放射性物質が、万が一、環境中に放出された場合の対策も必要です。

外部被ばくの対策として、屋外の滞在時間をなるべく短くします。避難する場合には、車やバスなどを使用します。

内部被ばくの対策として、放射性物質を吸入しないようにマスクを使用します。マスクがない場合は、ハンカチなどで口を覆い放射性物質の吸入が少なくなります。

汚染の対策として、帽子、手袋、コートなどの長袖の衣類を一枚多く着用します。これは、汚染が髪や皮膚に付着することを防ぎ、汚染した場合には脱衣することで放射性物質を取り除くことができます。

避難する際には、戸締まりをして、電気のブレーカーを落とし、ガス・水道の元栓を閉め、近所の人に声をかけることも必要です。

医療・衛生関係では、常用薬、お薬手帳、粉ミルク、紙おむつなどは忘れずに必ず携行しましょう。

## 避難退域時検査



避難時の検査

避難時に汚染していないことを確認するために、避難退域時検査が行われます。特に、避難の初期は迅速性が重んじられ、避難車両の検査が中心に行われ、検査結果がOILの基準を超えている場合は、除染が実施されます。

## 汚染検査



GMサーベイメーターを使用して、体表面の放射性物質の付着の有無を調べます。これを汚染検査と言います。  
測定器のプローブを体表面から1 cmほど離して、毎秒5～6 cm動かしながら検査します。



頭からつま先まで腹側と背側の両方を検査します。靴底も忘れずに検査します。



車椅子やストレッチャーに乗っている場合も、全身の汚染検査をできる限り実施します。

汚染検査には、GMサーベイメーターなどの表面汚染計を使用します。人の汚染検査の場合、手や靴底の汚染検査が重要で、手指の汚染は内部被ばくの可能性を示唆し、靴底の汚染は、歩行した範囲の汚染を示唆します。

ストレッチャーや車椅子での避難時にもできる限り汚染検査を実施します。

## 原子力災害時の病院避難

地元自治体からの指示に基づき、屋内退避、避難を行う。  
搬送手段は、原則地元自治体が確保する。



入院患者は、施設敷地緊急事態要避難者であることから、PAZに立地する医療機関や介護福祉施設などは、施設敷地緊急事態となった時点で避難を開始することになります。また、避難先の選定には時間を要するため、平時にあらかじめ避難先病院群を選定し、調整しておくことが望ましいです。

搬送手段は、原則地元自治体が確保することになります。



## 避難時の防護対策

- 避難時の外部被ばくの対策
  - 屋外の滞在時間を短くする
  - 車やバスなどを利用する
- 避難時の内部被ばく対策
  - マスク、ハンカチ
- 避難時の汚染対策
  - 帽子
  - 手袋
  - コートなどの長袖の洋服



ストレッチャー等での搬送時には、使い捨てのシーツを上からかけておくと、毛布や衣服の汚染防止になる。



避難時の服装  
汚染した場合は、帽子、マスク、上着、手袋を脱ぐ。

医療・福祉施設の避難時にも、外部被ばく、内部被ばくの防護対策が必要です。これらの防護対策は入院患者も病院職員なども同じです。ストレッチャーでの搬送時には、使い捨てのシーツを上からかけておくと、毛布や衣服の汚染防止になります。

## 車椅子の汚染検査



15

車椅子を使用している避難者の汚染検査は、車椅子に乗ったまま行うか、車椅子から移動できる場合は、別の椅子や車椅子に移動してから汚染検査を行います。

車椅子を養生する場合は、車輪の養生は難しく、汚染が付着します。そのため、汚染がある区域から汚染がない区域へ移動する場合は、車椅子を変えることで汚染拡大防止ができます。また、移動中に手や衣類が車輪に触れないように注意が必要です。

ストレッチャーでの搬送の場合も同様です。

## 受入れ先医療機関での対応

- 基本的に、放射性物質が環境中に放出される前に避難が開始されるので、汚染されている可能性は小さい。
- そのため、受け入れ医療機関での安全確保、汚染対策は基本的に不要である。
  - 対応者の安全確保
    - 汚染検査と除染の対応者は個人線量計、防護装備を準備する。
      - 被ばく対策：空間線量計と個人線量計による管理
      - 汚染対策：防護装備
  - 施設の受入れ準備
    - 汚染対策
      - 汚染が院内に広がらないように汚染検査、除染のエリアを設置する。
  - 受入れ
    - 汚染検査と除染（必要な場合）を行なったのち、汚染のない区域へ移動する。

医療・福祉施設等の避難の場合、入院患者や高齢者にとって長距離の避難は負担となります。また、屋内に滞在していたのち、車両での避難である場合は、身体表面の汚染はほとんどないことが予想されます。そのため、受け入れ先の医療機関等では、汚染検査に時間をかけることで、避難してきた入院患者や高齢者等の負担を増幅することがないようにすべきです。

避難者の汚染が想定される場合には、汚染検査を実施し、必要に応じて除染します。

## まとめ

- 原子力災害時の防護措置はEAL及びOILを組み合わせて実施
- 避難は、放射線・放射性物質から遠ざかることによって防護
- 屋内退避は、建物の気密性や遮へい効果を利用して防護
- 屋内退避の注意点
  - 扉・窓を閉める
  - 換気扇を止める
  - 正確で最新の情報の入手
  - 避難等を実施すべき際の屋内退避
  - 支援を確実に受けられる体制の整備
- 避難時の注意点
  - 皮膚を出さない服装
  - 戸締まりやガスの元栓等を閉める
  - 避難退域時検査
  - 救護所
- 原子力災害時の医療機関の避難では、あらかじめ避難先病院群を選定し、調整しておくことが望ましい。

# 医療機関の 原子力災害対策

原子力災害医療 専門研修  
中核人材-1

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

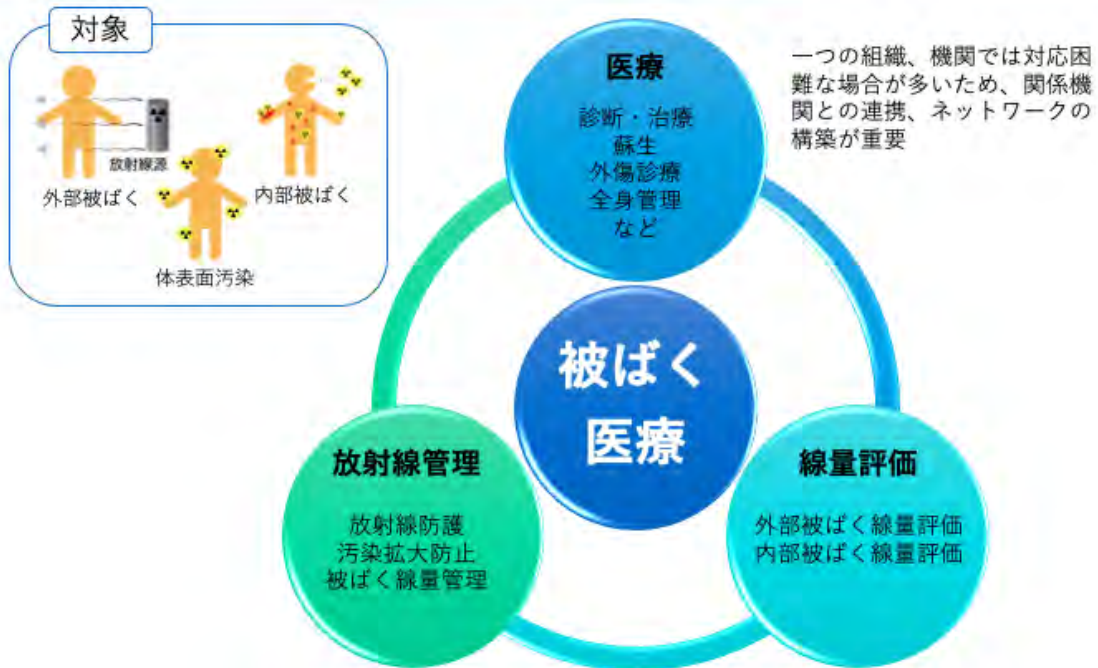
本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- 被ばく医療
- 原子力災害と被ばく医療
- 災害医療と原子力災害
- 原子力災害拠点病院
- 原子力災害医療協力機関
- 被ばく医療の診療の準備
- 汚染傷病者の診療エリア
- 記録用紙
- 防護装備
- 除染室、除染テント
- 処置室の養生
- 病室の養生
- 医療機材の養生
- 除染用紙機材
- 放射線測定器
- 体外計測機器
- 試料採取用資材
- 教育、研修、訓練

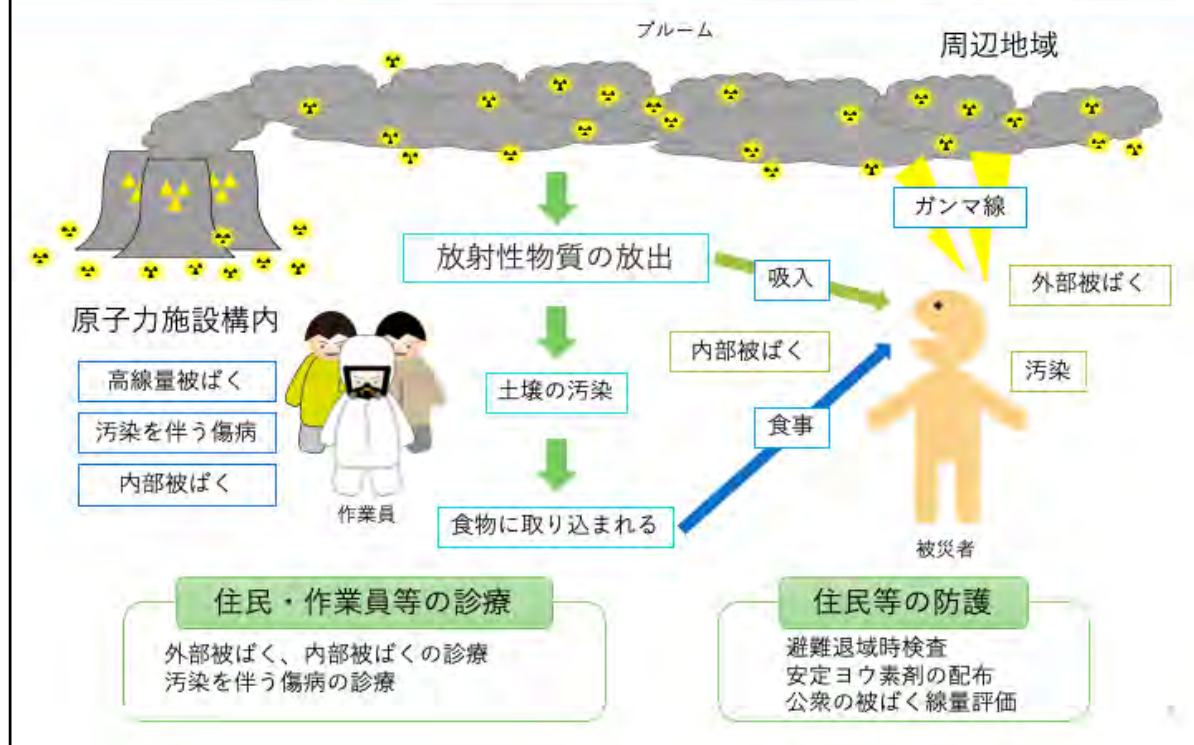
# 被ばく医療



被ばく医療の対象は、原子力施設あるいは原子力災害等で、外部被ばく、内部被ばくをした人と体表面汚染を合併した傷病者となります。

被ばく医療は、医療としての放射線障害の診断と治療、蘇生や外傷診療、全身管理と同時に被ばく線量評価と放射線管理を行う必要があります。被ばく線量評価は専門的な対応が必要なため、一つの組織や機関では対応困難なことがあります。そのため、平時に関係機関との連携やネットワークを構築して、事故や災害が発生した場合に備えておきます。また、医療機関は、原子力災害時に被ばく医療を円滑に提供できるように備えておくことが重要です。

# 原子力災害と被ばく医療



原子力災害時における医療対応には、通常の救急医療、災害医療に加えて被ばく医療の考え方が必要となります。すなわち、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供する事です。これは、住民や作業員等の被ばくや汚染を伴う傷病の診療と、住民等の防護措置に分けられます。

原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関、高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターは、外部被ばく、内部被ばくあるいは汚染を伴う傷病の診療を行います。さらに汚染または被ばくしている人々に対する検査、除染、救護所等における健康管理も実施します。

# 災害医療と原子力災害

## 防災基本計画

### 自然災害

地震災害

津波災害

風水害災害

火山災害

雪害

### 事故災害

海上災害

航空災害

鉄道災害

道路災害

**原子力災害**

危険物等災害

大規模な火事災害

林野火災

## 災害医療

災害（地震、火災、津波、豪雨水害・豪雪、火山噴火、または航空機事故などの大規模な事故）により、対応する側の医療能力を上回るほど多数の医療対象者が発生した際に行われる、災害時の急性期・初期医療

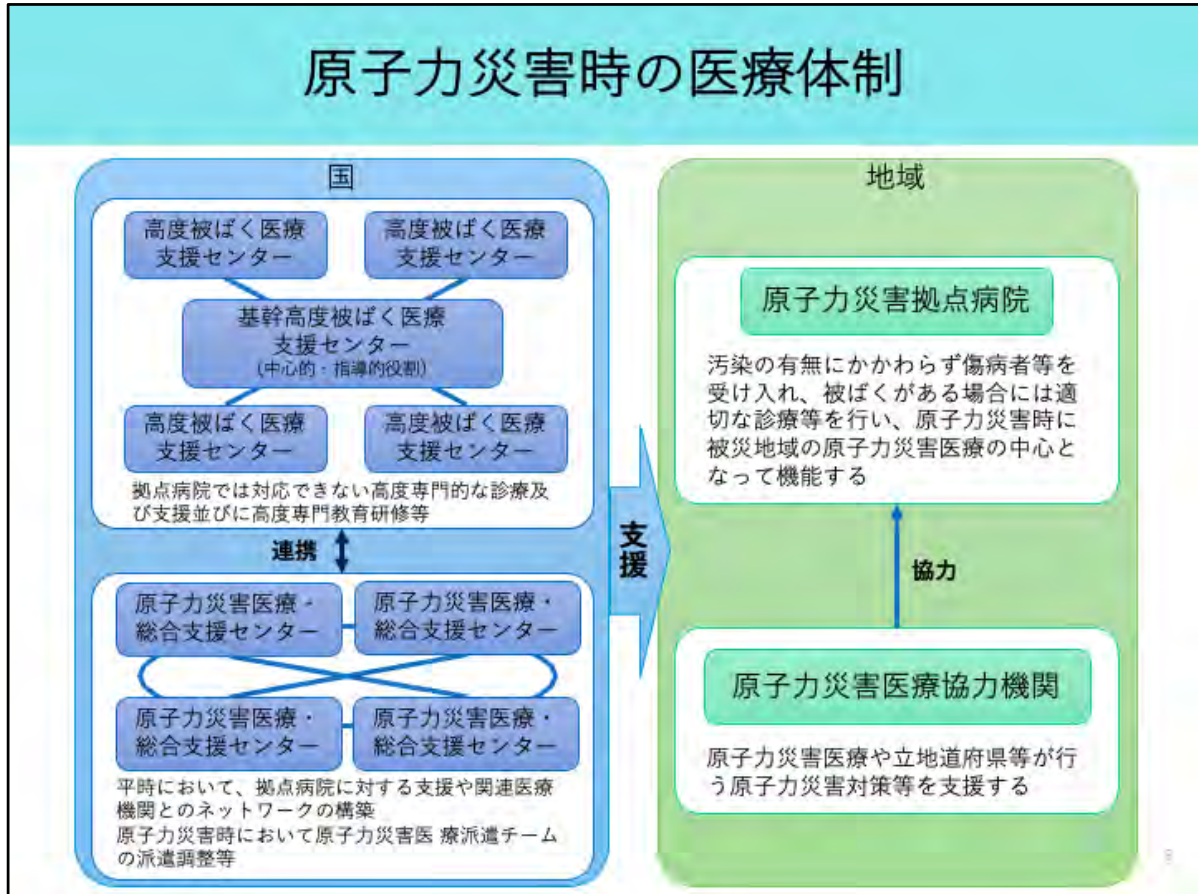
**原子力災害時の医療**  
(被ばく医療)

防災基本計画は、災害対策基本法（第34・35条）に基づき、中央防災会議が作成する基本指針を示す防災計画で、防災分野の最上位計画です。防災に関する総合的かつ長期的な計画、中央防災会議が必要とする防災業務計画および地域防災計画作成基準を示し、防災予防、発生時の対応、復旧等が記されています。行政のみではなく、住民の自治防災についても記述されています。

自然災害と事故災害が記述されており、原子力災害もその一つです。災害医療は、災害（地震、火災、津波、豪雨水害・豪雪、火山噴火、または航空機事故などの大規模な事故）により、対応する側の医療能力を上回るほど多数の医療対象者が発生した際に行われる、災害時の急性期・初期医療です。原子力災害時の医療は、原子力災害発生時に提供される被ばく医療などで、複合災害では、災害医療と同時に提供するため連携あるいは協働が必要になります。



# 原子力災害時の医療体制



原子力災害時における医療対応には、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供することが必要となります。そのためには、各地域の状況を勘案して、各医療機関等が各々の役割を担うことが必要であり、平時から救急・災害医療機関が被ばく医療に対応できる体制と指揮系統を整備・確認しておくことが重要です。

次の体制が整備されています。

- 原子力災害時において、被災地域の原子力災害医療の中心となって機能し、汚染の有無にかかわらず傷病者等を受け入れ、被ばくがある場合には適切な診療等を行う「原子力災害拠点病院」
- 原子力災害医療や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援する「原子力災害医療協力機関」
- 拠点病院では対応できない高度専門的な診療及び支援並びに高度専門教育研修等を行う「高度被ばく医療支援センター」
- 複数の高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的な役割を担う「基幹高度被ばく医療支援センター」
- 平時において、拠点病院に対する支援や関連医療機関とのネットワークの構築を行うとともに原子力災害時において原子力災害医療派遣チームの派遣調整等を行う「原子力災害医療・総合支援センター」
- 拠点病院等に所属し、原子力災害が発生した立地道府県等内において救急医療等を行う「原子力災害医療派遣チーム」

## 原子力災害拠点病院

- ❖ 地域の原子力災害医療の中心
  - ◇ 施設管理者を含め、原子力災害医療に関する専門的な研修を受講した者を配置
- ❖ 放射性物質による汚染や被ばくを伴う傷病者の受入れ、診療
  - ◇ 災害時に多発する重篤な傷病者に対し高度な診療を提供
  - ◇ 被ばく傷病者等に対して、線量測定、除染処置、集中治療等の診療を提供
  - ◇ 救急医療と被ばく医療の両方を連携して提供する
- ❖ 原子力災害医療派遣チーム
  - ◇ 災害医療の知識と技能、被ばく医療に係る専門的知見を有する医師、看護師、診療放射線技師等から構成
  - ◇ 原子力災害時に被災した立地道府県内等の原子力災害拠点病院での救急医療等を実施
- ❖ 平時から教育研修、訓練等で理解を深める
- ❖ 地域連携ネットワークの構築
  - ◇ 立地道府県等、原子力災害医療協力機関、他の原子力災害拠点病院との連携、支援、

原子力災害拠点病院は、災害拠点病院であることを原則として、災害拠点病院に準ずる医療機関であると立地道府県等が認めた施設であり、地域の原子力災害医療の中心としての役割を担い、次の要件を満たすものです。

診療機能としては、汚染の有無にかかわらず重篤な傷病者に対し高度な診療を提供し、被ばく傷病者に対して線量測定、除染処置、集中治療等の診療を提供し、救急医療と被ばく医療の両方を連携して提供できる医療機関です。また、災害医療の知識と技能、被ばく医療にかかる専門的知見を有する医師等から構成される原子力災害医療派遣チームを有しています。

そのため、平時から教育研修、訓練等で原子力災害、被ばく医療に関する理解を含め、立地道府県等、原子力災害医療協力機関や他の原子力災害拠点病院との連携と支援のための地域連携ネットワークを構築します。

## 原子力災害医療協力機関

- ❖ 原子力災害時に立地道府県等や原子力災害拠点病院が行う原子力災害対策に協力できる医療機関、職能団体等
- ❖ いずれかの機能を有する
  - ◇ 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
  - ◇ 放射性物質による汚染の測定
  - ◇ 原子力災害医療派遣チームとその派遣体制
  - ◇ 救護所への医療従事者の派遣
  - ◇ 避難退域時検査を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
  - ◇ 安定ヨウ素剤配布の支援
  - ◇ 原子力災害発生時に必要な支援
- ❖ 必要な研修、訓練を実施
- ❖ 原子力災害拠点病院が構築する地域連携ネットワークに積極的に参画

原子力災害医療協力機関は、立地道府県等が指定した原子力災害時に原子力災害対策に協力できる医療機関、職能団体等です。

以下のいずれかの機能を有し、必要な研修や訓練を実施したり、参加します。

- 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
- 放射性物質による汚染の測定
- 原子力災害医療派遣チームとその派遣体制
- 救護所への医療従事者の派遣
- 避難退域時検査を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
- 安定ヨウ素剤配布の支援
- 原子力災害発生時に必要な支援

## 被ばく医療の診療の準備

- ❖ 被ばく医療のマニュアル等の整備
- ❖ 人材；被ばく医療に関する研修・訓練を受けた人材の確保
  - ◇ 教育、研修、訓練
  - ◇ 被ばく医療チーム（医療機関での受入れ）
    - ◆ チームリーダー；被ばく医療に精通していること
    - ◆ 医師 ◆ 臨床検査技師
    - ◆ 看護師 ◆ 薬剤師
    - ◆ 診療放射線技師 ◆ ロジスティック
- ❖ 施設；被ばく医療の診療の場所、資機材の保管場所を確保
  - ◇ 汚染がある傷病者の対応が可能な除染室、処置室、入院病室等の設定
  - ◇ 動線の確認；汚染と非汚染が交差しないように設定
- ❖ 資機材；通常の診療で使用する医療機材に加え、以下のものを準備
  - ◇ 個人防護装備（PPE）
  - ◇ 養生用資機材；汚染拡大防止のための資機材
  - ◇ 除染用資機材
  - ◇ 放射線測定器
  - ◇ 試料採取用資材；染色体分析やバイオアッセイなどの試料採取用
  - ◇ 災害時の通信機器；衛星電話、衛星回線など

必要な種類、個数を  
確認、保管

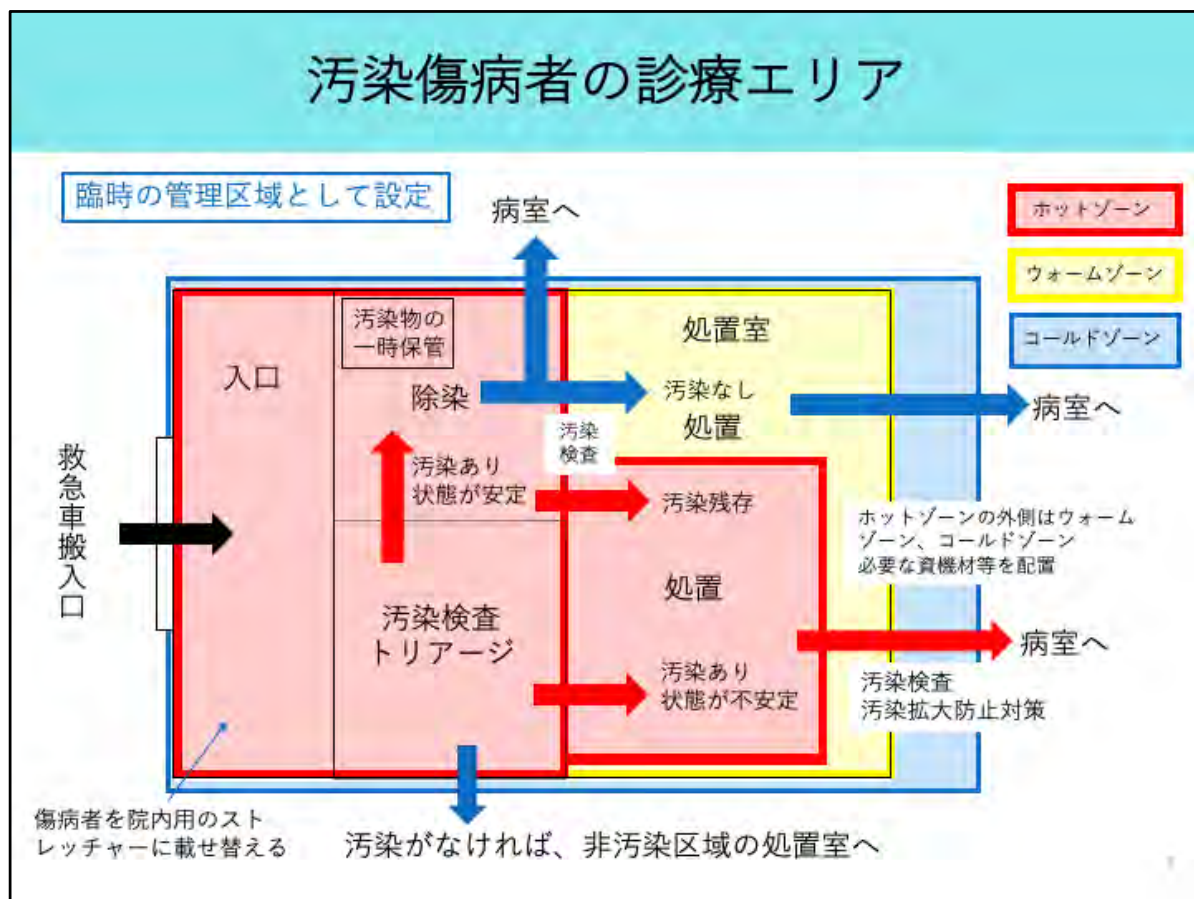
放射線障害あるいは放射性物質による汚染のある傷病者の診療をするには、準備が必要です。

まず、医療機関や地域の実情に合わせた被ばく医療のマニュアル等を整備します。マニュアル等を作成したら実効性のある体制を確保するため、教育、研修、訓練等を実施して人材育成するとともに、マニュアルの実効性も検証します。

被ばく医療の診療の場所や資機材の保管場所の確保も必要です。汚染がある傷病者の対応が可能な除染室、処置室、入院病室等を予め設定しておきます。また、汚染がある傷病者と汚染がない傷病者が交差しないように動線も確認しておきます。

通常の診療で使用する医療機材に加え、個人防護装備、養生用資機材、除染用資機材、放射線測定器、試料採取用資材、災害時の通信機器等を準備します。資機材は、必要な種類、個数を確認し、保管します。

## 汚染傷病者の診療エリア



汚染のある傷病者の診療エリアは、汚染拡大防止対策と放射線管理が行えるように、一方通行の導線、汚染のない区域との交差をしない導線となるようなエリアを設定します。救急車からの搬入口が近い場所、救急医療の処置が可能な場所が望ましいです。

診療エリアには、院内用のストレッチャーに載せ替える入り口のスペース、汚染検査やトリアージを行うスペース、除染室（除染テントでも代用可能）、汚染のある傷病者の処置室、汚染物の一時保管場所等を設定します。これらはホットゾーンとなります。医療機材等はホットゾーンの外側に配置し、汚染拡大防止対策を講じます。除染後には、汚染検査あるいは汚染拡大防止対策を実施して、入院病室等へ移動させる導線を確保します。汚染傷病者の診療エリアは、処置後の汚染検査が終了するまで臨時の放射線管理区域として設定し、対応します。

放射線管理では、区域はホットゾーンとコールドゾーンの2つに分けます。医療等で使用しているホットゾーンとウォームゾーンが放射線管理の分野で使用する用語でホットゾーンとなります。原則として、ウォームゾーンは汚染が拡大している可能性があるため、ウォームゾーンからの退域時には汚染検査を行います。



# 個人防護装備



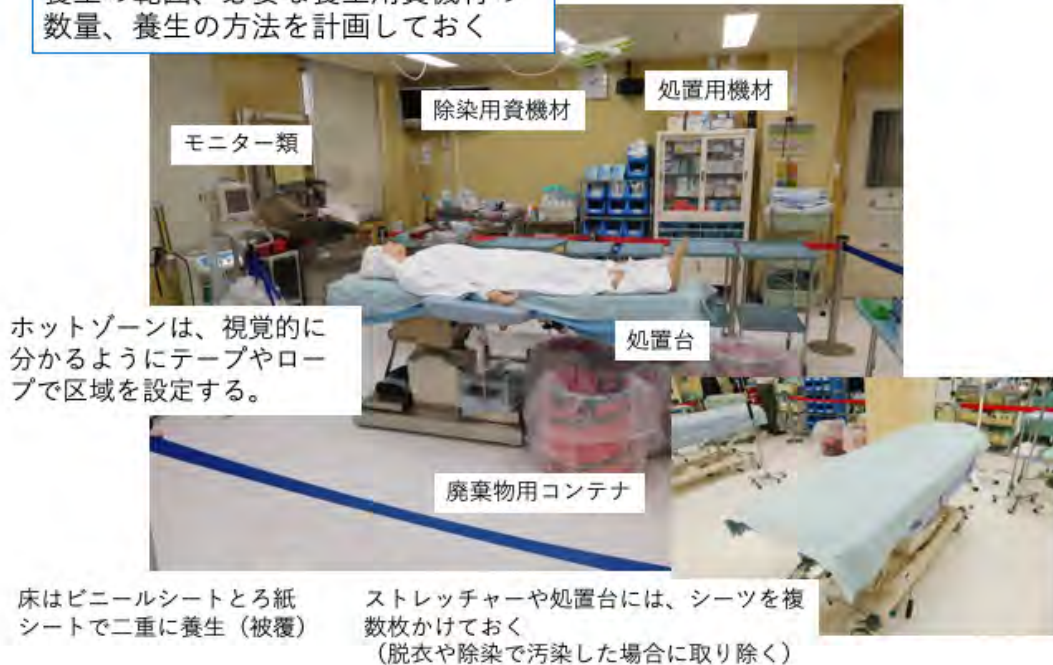
個人防護装備は、基本的にディスポのものを使用します。

院内での対応には、通常の業務でも使用しているガウンやディスポ術衣、帽子、マスク、ゴーグルを着用します。ゴム手袋は二重に装着し、外側のゴム手袋は汚染が付着するような処置を実施したら、その都度交換します。また、内側のゴム手袋と袖口、靴カバーと術衣のズボンは、テープで目張りし、放射性物質の侵入を防止します。ガウンの代わりにタイベックスーツでも良いです。被ばく線量管理のため、防護服の中に個人線量計を着用します。

また、職種あるいは所属と氏名を記載します。

## 処置室の養生

養生の範囲、必要な養生用資機材の数量、養生の方法を計画しておく



処置室は、養生の範囲や必要な養生用資機材の数量、養生方法を計画しておきます。ホットゾーンは視覚的に明確になるようにテープやロープ等で区域を設定できるようにします。また、除染後には、汚染が付着した廃棄物が多量に出るため、コンテナやゴミ袋は十分数量を準備しておきます。床は、ビニールシートで養生しますが、これだけでは、除染で水がこぼれた場合に滑りやすくなるなど危険であるため、ろ紙シートで二重に養生します。ストレッチャーや処置台には、複数枚のシーツをかけておくと、脱衣や除染で汚染した場合に、1枚のシーツを取り除いても、問題ありません。モニター類は、検知部分以外は可能な限り養生しますが、画面等は、操作あるいは表示を確認できるようにしておきます。



## 病室の養生



ベッドの養生

操作が必要なものは可能な限りビニール袋などで被覆

廊下と病室の床はビニールシートとろ紙シートで養生



ベッド本体、マットレス等を別々にビニールシートで被覆可能であれば、ディスポのリネンを使用

13

汚染が残存したままで入院する可能性がある場合は、病室の養生も行います。ベッドは本体、マットレス等を別々にビニールシートで被覆して、可能であれば、ディスポのリネン類を使用します。廊下と病室の床はビニールシートとろ紙シートで養生します。

また、操作のために汚染した手指等で触れる可能性があるリモコン等はビニール袋等で被覆します。

# 医療機材の養生

## ❖ ポータブルX線撮影装置



## ❖ 超音波診断装置



## ❖ 表面汚染計



フィルムカセットはビニール袋で養生

特に汚染が付着しやすい検出部（プローブ）はビニール袋やラップ等で覆う

## ❖ モニター等

表示が分かるように透明のビニール袋等で覆う  
ケーブルなども可能であれば、細長いビニール袋等で覆う



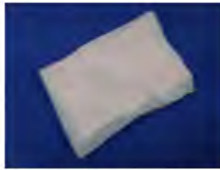
14

医療機材は、その機能や操作の妨げにならない程度に養生します。養生後には動作確認をして、正常に作動することを確認します。

## 除染用資機材



水や除染用ボトル



吸水シート

除染に使用した水を吸水し、汚染拡大防止（取扱やすくなる）



ドレープ

周辺への汚染拡大防止のため被覆用



使い捨て鑷子



ガーゼ類



膿盆  
使い捨てケリーパッド ブラシ



除染用の資機材は、除染用の水やボトルとガーゼやブラシ、ディスポの鑷子を使用して、汚染箇所を洗い流すため、汚染した水等を受ける膿盆と吸水シートを準備します。また、膿盆の代わりに使い捨てのケリーパッドを使用することもできます。

# 放射線測定器

## 空間線量計

活動する場所の空間線量の測定による安全管理



NaI(Tl)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

## 表面汚染計

表面汚染を測定  
汚染拡大防止



GM計数管式  
サーベイメーター  
 $\beta$  ( $\gamma$ ) 線を測定



ZnS(Ag)シンチレーション式  
サーベイメーター  
 $\alpha$  線を測定

## 個人線量計

活動中の被ばく線量の  
積算  
個人被ばく線量管理

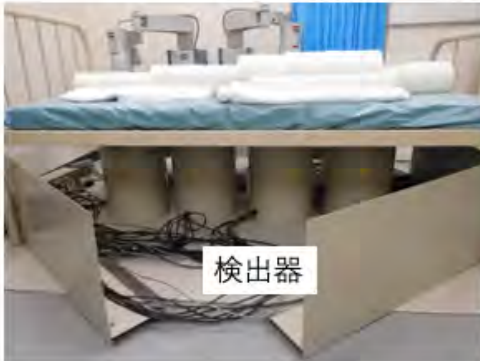


デジタル式の場合、活  
動後に被ばく線量の確  
認がすぐに出来る

放射線測定器は、空間線量計、表面汚染計、個人線量計の3種類を準備します。

## 体外計測機器

ホールボディカウンター



ベッド型



立位型

甲状腺モニター



ファントムによる校正を行い、正確な計測できるように準備しておく

内部被ばく線量評価に必要な対外計測機器には、ホールボディカウンターや甲状腺モニター、肺モニターがあります。ホールボディカウンターには、ベッド型、立位型などがあります。また、ファントムによる校正を定期的実施して、正確な計測ができるように準備しておきます。

## 試料採取用資材

### 鼻腔スワブ（鼻スメア）用



綿棒やスワブ



試料受け渡し用のビニール袋



ヘパリン採血管  
染色体分析用  
3~10ml



### ラベル

試料番号: \_\_\_\_\_

患者氏名			ID:	
試料名	鼻腔スワブ(右・左)		口角スワブ	
	創傷ガーゼ(部位: )		血液	
	除菌ガーゼ(部位: )		汚染物	
	衣服( )		その他( )	
採取日時	年	月	日	時 分
汚染検査結果	汚染なし・( )			
測定日時	年	月	日	時 分
検査科目				
担当署名				
測定・検査項目	定性・定量・生化学・( )			
結果報告	床・課 ( 年 月 日 )			
備考				

採取した試料の情報を記載

汚染の核種分析のためにガーゼを使用することもある

被ばく医療の診断のための生体試料の採取が必要となります。

内部被ばくの可能性を確認する鼻腔スワブ（鼻スメア）には、綿棒やスワブを準備します。汚染の放射性物質を分析するためにガーゼ等で拭き取った試料を使用することもあります。染色体分析にはヘパリン採血管（緑色のキャップ）を準備します。これらの試料を採取したら、患者氏名のほか、試料の採取部位あるいは試料名、採取日時、容器の汚染検査結果等を記載します。予めラベルを準備しておきます。

また、試料を採取したら、測定、分析の担当者に受け渡すためのビニール袋等を準備します。

## 教育、研修、訓練

- ❖ 原子力災害の医療に関する教育、研修
  - ◇ 原子力災害拠点病院が実施する研修
  - ◇ 高度被ばく医療支援センターが開催する研修
  - ◇ 原子力災害医療・総合支援センターが開催する研修（原子力災害医療派遣チーム） etc.
  
- ❖ 立地道府県等が行う訓練
  - ◇ 被ばく医療
  - ◇ 安定ヨウ素剤配布
  - ◇ 避難退域時検査 etc.
  
- ❖ 国が行う原子力総合防災訓練
  - ◇ 原子力災害対策特別措置法に基づき国が主体となって行う
  - ◇ 立地道府県等が行う訓練と連携して実施される

被ばく医療のマニュアル等や資機材を準備するだけでなく、原子力災害の医療に関する教育や研修、訓練に、医療従事者も参加します。原子力災害拠点病院や高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターが開催する被ばく医療の研修や、立地道府県等が行う被ばく医療、安定ヨウ素剤配布、避難退域時検査の訓練、国が行う原子力総合防災訓練などがあります。

## まとめ

- ❖ 被ばく医療は、外部被ばく、内部被ばくした人あるいは汚染を合併した傷病者に対応する医療
- ❖ 被ばく医療には、診療、放射線管理、被ばく線量評価が必要
- ❖ 原子力災害時には、医療機関等は、被ばくあるいは汚染を伴う傷病者に対応する医療と住民等の防護に関する措置を行う
- ❖ 立地道府県等では原子力災害発生時には、原子力災害拠点病院が中心となって被ばく医療を実施する
- ❖ 被ばく医療の診療の準備として、マニュアル等の整備、教育、訓練、施設や資機材の準備が必要
- ❖ 施設の動線や養生の範囲、資機材の使用方法是、対応者が熟知しておく



# 医療機関での初期対応

原子力災害医療 専門研修  
中核人材-2

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

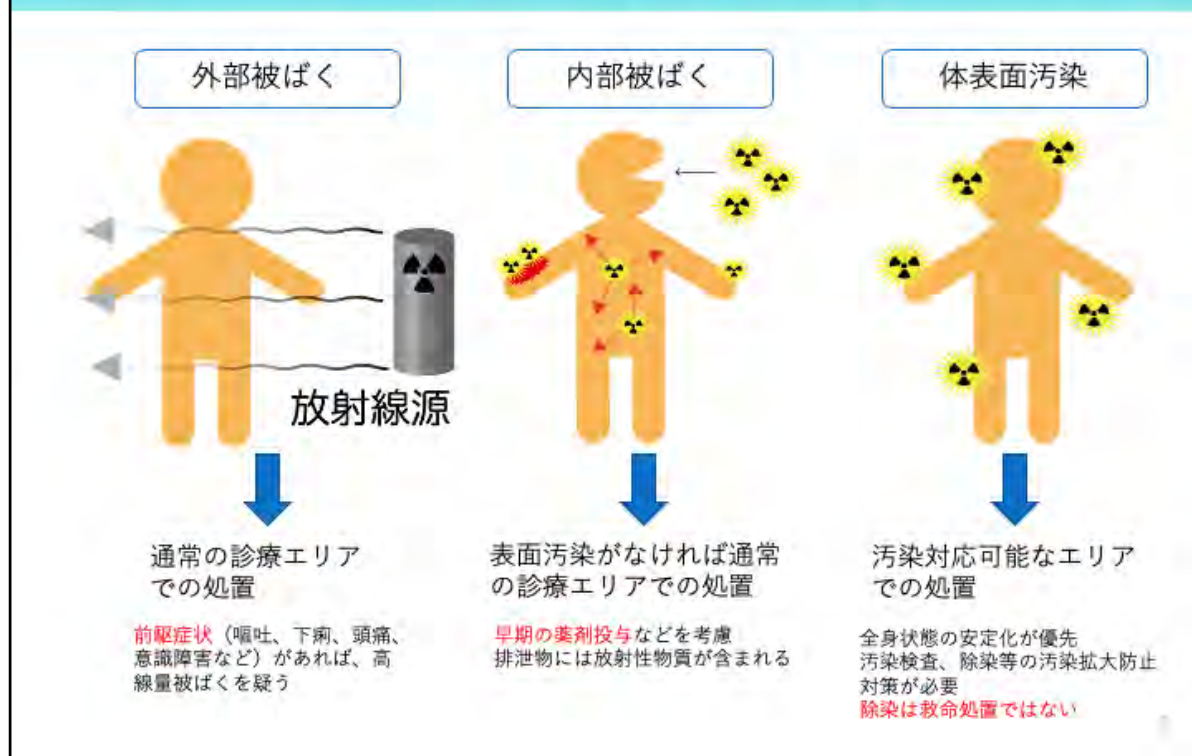
本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- 被ばくと汚染への対応
- 放射線事故・災害対応の原則
- 被ばく医療での体系的アプローチ
- 医療機関での受け入れ準備
- 対応者の安全確保
- 病院での患者対応の流れ
- 外傷診療と被ばく医療
- 被ばく医療の初期評価
- 診療の流れ
- 脱衣と表面汚染検査
- 除染
- 試料などの受け渡し
- 記録
- ホットゾーンからの移動
- 活動後の対応
- 処置室の復帰

## 被ばくと汚染への対応



被ばく医療では、放射線障害のある外部被ばく、内部被ばくの傷病者や体表面汚染のある傷病者の診療を行います。

外部被ばくのみの場合は、通常の診療エリアでの処置を行います。

内部被ばくがある場合は、表面汚染の有無を確認し、汚染がなければ、通常の診療エリアでの処置が可能です。排泄物には、放射性物質が含まれるので、取り扱いには注意します。

体表面汚染がある場合は、汚染対応可能なエリア（施設等の養生による放射線管理）での処置を行います。ただし、除染は救命処置ではないため、全身状態の安定化など重篤な病態への対応が優先されます。

## 放射線事故・災害対応の原則

### ❖ 二次災害の予防

- ◇ 救助者の安全確保、被ばく線量管理（放射線防護）
  - ◆ 外部被ばく防護：防護三原則、放射線測定器、個人線量計
  - ◆ 内部汚染の防護：マスク、喫煙、飲食の禁止
- ◇ 汚染拡大防止：防護装備、ゾーニング、汚染検査、除染、封じ込め（被覆）
- ◇ 事故状況、被ばく状況、汚染状況の把握

### ❖ 医療優先

- ◇ 傷病者の全身状態の評価、安定化は最優先
- ◇ 全身状態やバイタルサイン等が不安定な状態では最小限の拡大防止措置で早期搬送判断（早期の医療介入）
- ◇ 放射線障害による症状は一般的に被ばく後すぐには出現しない
- ◇ 被ばく・汚染だけで緊急に治療が必要なことはない

放射線事故・災害では、二次災害の予防として、汚染拡大防止対策、救助者の安全確保、被ばく線量管理を行います。

傷病者への対応としては、医療優先が原則です。傷病者の全身状態の評価、安定化は、汚染検査や除染よりも優先されます。これは、被ばくや汚染だけでは、緊急に治療が必要となることはなく、放射線障害による症状は一般に被ばくすぐには出現しないのですが、不安定なバイタルサインの状況を放置すると、さらに生理学的異常が増悪して生命の危険が増します。

## 被ばく医療での体系的アプローチ

指揮命令系統・連携の確立 Command & Control	<ul style="list-style-type: none"> <li>各機関は縦の連携、関係機関は個々の役割分担を明確にし、関係機関の連携を効率的に行う。</li> </ul>
安全管理 Safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>現場活動する自身：個人防護装備</li> <li>現場：危険・有害な物質の確認、エリア設定、ゾーニング</li> <li>被災者・患者：救助、処置、避難、汚染検査</li> </ul>
情報伝達・共有 Communication	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全、危険情報の共有</li> <li>情報不足、確認不足、協力不足が起こらないようにする。</li> </ul>
評価 Assessment	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害現場の状況（被ばく、汚染）をいち早く把握し、傷病者の数、重症度を見積もる。</li> </ul>
トリアージ Triage	<ul style="list-style-type: none"> <li>限られた資源でトリアージ（搬送先等の選定）</li> <li>救命等処置優先の判断</li> </ul>
治療 Treatment	<ul style="list-style-type: none"> <li>被ばく線量評価</li> <li>高線量被ばく、内部被ばくの治療</li> <li>創傷汚染等の除染</li> </ul>
搬送 Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力災害拠点病院への搬送</li> <li>高度被ばく医療支援センターへの搬送</li> </ul>

被ばく医療における体系的アプローチを記載します。原子力災害時には、通常の災害医療の一部として被ばく医療や原子力災害時の医療を提供します。

各機関は機関内の指揮命令系統を確立するとともに、連携の確立では、被ばく医療における様々な関係機関、組織の個々の役割分担を明確にして、関係機関間の連携を効率的に行う必要があります。また、災害医療との連携も必要です。

安全管理としては、個人防護装備、現場の安全確認、放射線管理を行います。また、放射線計測の結果等の安全・危険情報の共有や被ばくや事故状況の情報共有をおこないます。

被ばくや汚染の状況を把握し、傷病者の数や重症度、被ばくの程度を評価します。多数傷病者が発生した場合や、高線量被ばくの治療、内部被ばくの線量評価や治療など特殊な対応が必要な場合は、搬送先の選定などを状況に応じて行います。被ばく線量評価を行い、治療します。外傷等に放射性物質による汚染が合併している場合は、除染等の処置を行います。

原子力災害医療協力機関での対応が困難な場合は、原子力災害拠点病院への搬送、原子力災害拠点病院での対応が困難な場合は、高度被ばく医療支援センターへの搬送を行います。

参考：MIMMS 大事故災害への医療対応 現場活動における実践的アプローチ 第3版（MIMMS日本委員会, 永井書店）

## 医療機関での受入準備（CSCA）

- ❖ 被ばく医療の対応者の参集
  - ◇ チームリーダー、医師、看護師、診療放射線技師等を参集
  - ◇ 得られた情報の共有
- ❖ 情報収集
  - ◇ 患者情報：状態（全身状態、外傷、症状など）、数、氏名、年齢等、被ばく、汚染の有無・程度、核種
  - ◇ 事故の状況：発生日時、場所（管理区域内での事故か？）
  - ◇ 追加情報の要請、連絡先の確認
  - ◇ 事業所の専門家（放射線管理要員）の同行を要請
  - ◇ 到着予定時刻
- ❖ 放射線管理
  - ◇ 個人防護装備
  - ◇ 施設；区域の設定（臨時の放射線管理区域、ホットゾーンなど）、処置室や病室の養生
- ❖ 資機材
  - ◇ 放射線測定器
  - ◇ 除染用資機材
  - ◇ 通常の医療資機材

被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れが決定したら、計画に基づいた受入れ準備を開始します。

被ばく医療の専門的知識や技能を有した医療従事者を参集し、得られた情報を共有します。

また、施設や現場の救急隊員から患者情報、事故の状況などの情報を収集し、事業所の放射線管理要員の同行を要請します。

施設と対応者の放射線管理を実施します。また、放射線測定器、除染用資機材、医療資機材を準備します。

## 対応者の安全確保 (Safety)

### ❖ 外部被ばく対策

- ◇ 空間線量計による活動場所の測定
- ◇ 個人被ばく線量計の装着



### ❖ 内部被ばく対策

- ◇ サージカルマスク、防塵マスク等での吸入の防止

### ❖ 汚染拡大防止

- ◇ 防護服等による防護
- ◇ 汚染検査と除染

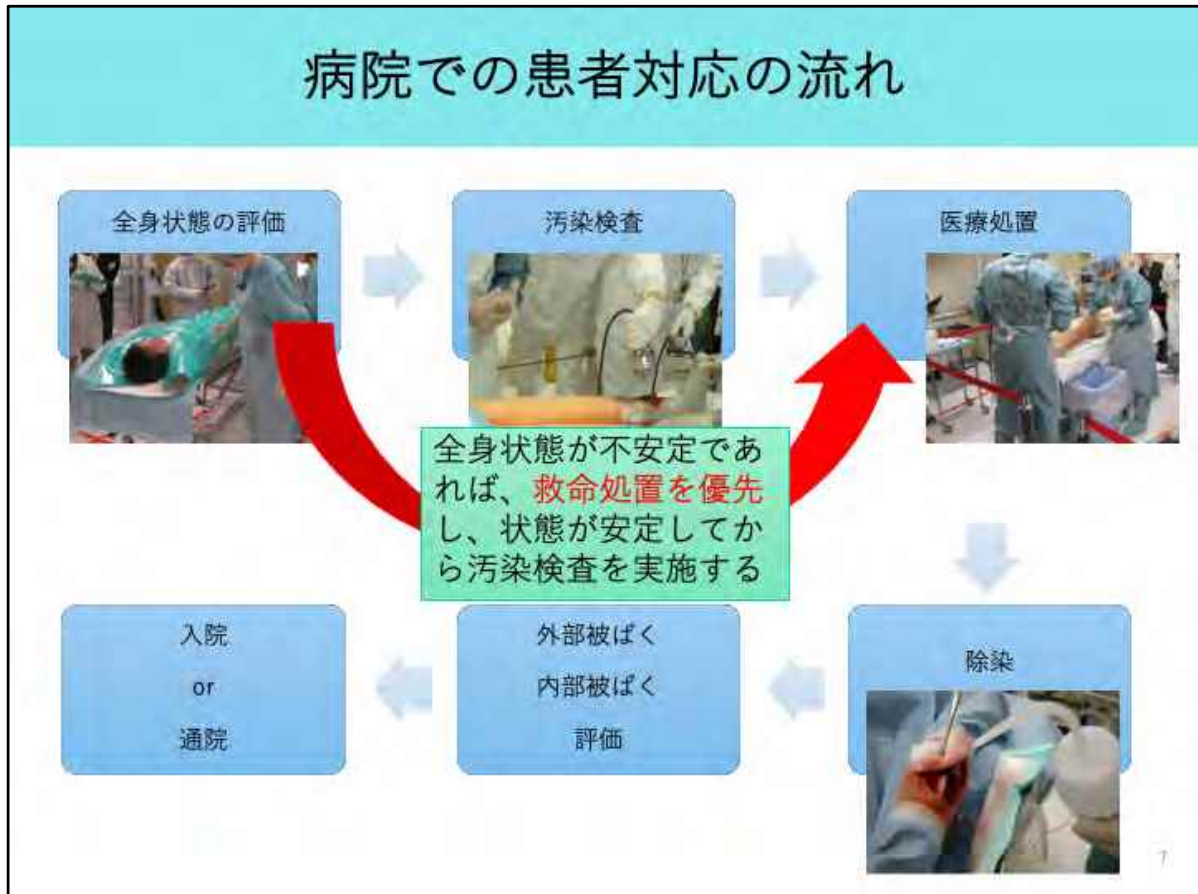


原子力災害時の対応者の安全確保としては、外部被ばく対策として、空間線量計による活動場所の測定を行い、個人被ばく線量計を装着します。

内部被ばく対策としては、呼吸保護をします。医療機関での処置では、汚染物質の性状や汚染の程度等に応じてサージカルマスクや使い捨ての防塵マスク等で対応します。医療機関での汚染検査、除染などの処置では、通常はサージカルマスクでの対応で十分です。

汚染拡大防止対策としては、防護服等による防護と確実な汚染検査、除染を行います。

## 病院での患者対応の流れ



まず生理学的評価を行います。状態が不安定であれば救命処置を行います。全身状態が安定している場合は解剖学的評価と全身の汚染検査を並行して行います。状態に応じて医療処置や除染を行います。その後、外部被ばくと内部被ばくの評価を行います。

ここまでが外来での処置となります。最後に必要に応じて入院または通院によるフォローを継続します。

## 外傷診療と被ばく医療

外傷診療		被ばく・汚染傷病者診療
第一印象	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>空間線量率の確認</li> <li>放射線線源の持ち込みの有無</li> <li>場所の安全確認</li> </ul>
Primary surveyと蘇生	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱衣（衣服に汚染があることを考慮）</li> <li>汚染検査（可能な範囲で、顔面、頸部、胸部）</li> <li>画像検査装置の汚染拡大防止</li> </ul>
Secondary survey	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>全身の汚染検査</li> <li>除染</li> <li>内部被ばくの有無の確認（鼻腔スワブ）</li> </ul>
Tertiary survey	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>被ばく線量評価</li> <li>外部被ばく（ARS、局所被ばく）→個人線量計、染色体分析</li> <li>内部被ばく→体外計測、バイオアッセイ（生体試料の測定）</li> </ul>
根本治療	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>外部被ばく（ARS、局所被ばく）の治療</li> <li>内部被ばくの治療（体内除染剤等の投与）</li> </ul>

外傷診療の流れに被ばく医療の診療を組み合わせる場合は、それぞれの外傷の処置、診療の場面ごとに被ばくや汚染への対応を追加します。

外傷診療で、第一印象を確認する間に、診療放射線技師により空間線量率を確認し、放射線源の持ち込みの有無など処置時の場所の安全確認を行います。

Primary surveyと蘇生では、ポータブルエックス線撮影、超音波検査装置の汚染拡大防止の対策を講じるとともに脱衣し、同時に可能な範囲で顔面、頸部、胸部の汚染検査を行います。Secondary surveyでは、全身の汚染検査と除染を行い、内部被ばくの有無を確認するため、鼻腔スワブを採取します。

Tertiary surveyでは被ばく線量評価に必要な情報（被ばく時の状況、個人線量計の値、前駆症状の有無と発症時期など）と試料（尿、便、染色体分析用血液）を採取します。根本治療は急性放射線症、局所被ばく、内部被ばくの治療を行います。



## 被ばく医療の初期診療

- ❖ **バイタルサインの確認**
  - ◇ 被ばくあるいは汚染以外の重篤な傷病の処置、治療
- ❖ **病歴聴取**
  - ◇ 事故等の状況
    - ◆ 外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染の可能性を確認
  - ◇ 前駆症状等の有無
    - ◆ 嘔吐、下痢、発熱、意識障害
    - ◆ 外部被ばくの可能性、その程度を評価
- ❖ **身体所見**
  - ◇ 汚染検査；汚染箇所の同定
  - ◇ 前駆症状；唾液腺の腫脹、疼痛、圧痛、皮膚の紅斑、口腔粘膜の毛細血管拡張
  - ◇ 皮膚障害の有無（局所被ばくから数日経過している場合）
- ❖ **試料採取**
  - ◇ 血液
    - ◆ 白血球数（特にリンパ球数）の経時的変化
    - ◆ 高線量被ばくが疑われ、骨髄移植を考慮する場合は、HLAタイピング用の血液試料
    - ◆ 染色体分析用の血液試料（通常は被ばくから24時間後に採取）
  - ◇ 鼻腔スワブ（鼻スメア）；内部被ばくの可能性の評価
  - ◇ 尿、便；内部被ばくのバイオアッセイ用
  - ◇ 汚染したガーゼ等；核種同定

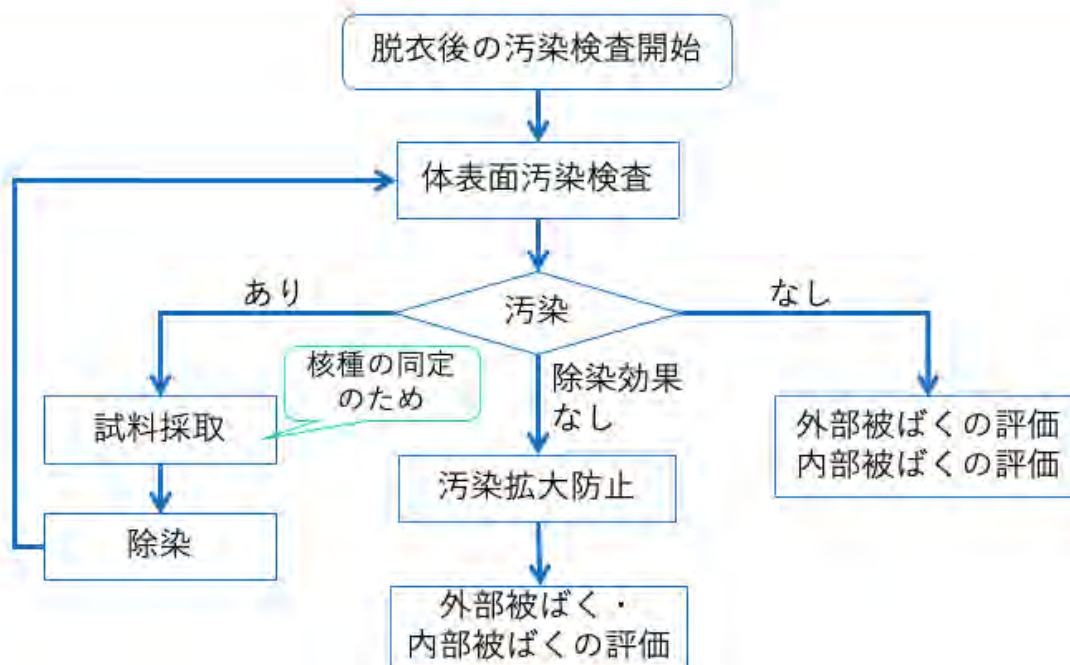
被ばく医療の初期診療としては、バイタルサインの確認により、被ばく医療の重篤な状態を評価し、処置、治療を行います。

病歴の聴取は、事故の状況から外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染の可能性を確認し、医療機関に受診する前に前駆症状等の出現がなかったか確認します。

身体所見として汚染箇所の特定、前駆症状として唾液腺の腫脹や疼痛、皮膚の初期紅斑、口腔粘膜の毛細血管拡張、皮膚障害の有無の所見を確認します。

被ばく線量評価に必要な血液、鼻腔スワブ、尿、便、汚染したガーゼ等の試料を採取します。

## 汚染検査の流れ



衣類を脱衣させた後に、全身の汚染検査を行います。その流れを示しています。

汚染検査は、体表面から約1 cmの距離を表面汚染計測器のプローブを毎秒5～6 cmずつ動かしながら、頭から足まで検査します。汚染があれば、汚染の原因の放射性核種を同定するために、汚染したガーゼなどを試料として採取します。その後、除染を行います。汚染の核種は、内部被ばくの評価に必要な情報となります。除染後に再度汚染検査を行い、汚染が残っていれば再度除染します。除染後と除染前とで汚染の程度に変化がなく除染の効果がない場合は、ガーゼ等で被覆し、汚染拡大防止を行います。

除染後に外部被ばくと内部被ばくの評価を行います。

## 脱衣と表面汚染検査



### 汚染検査

- 1.創部
- 2.開口部
- 3.健常皮膚

頭からつま先まで  
汚染のサーベイ  
背部も忘れずに

- **脱衣**→約90%の除染ができる
- 衣類、シーツ、毛布等は必ずビニール袋へ
- 衣類や汚染した物を触った後は手袋をかえる
- 粉塵が舞い散るようであれば、患者にマスクを装着し、内部被ばくを防止

11

汚染のある衣服を脱がせることで、体表面の汚染の約90%を取り除くことができます。搬送時に傷病者を包んできた毛布やシーツ、衣類は、取り除いた後にビニール袋へ入れ、汚染が拡大しないようにします。脱衣時に粉塵が舞い散るようであれば、患者にマスクを装着し、内部被ばくを防止します。

汚染した衣類などを触った後は、素早く外側のゴム手袋を交換します。

1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で汚染検査を行います。頭からつま先までの汚染検査したら、背部の汚染検査を行います。

ただし、生理学的異常があり、救命処置が必要な場合は、顔面、頸部、胸部の汚染検査を優先して行います。

参考：<https://chemm.nlm.nih.gov>

The Primary Response Incident Scene Management (PRISM) “Rule of tens”

# 除染

1.創部 → 2.開口部 → 3.健常皮膚

## ❖ 除染の方法

- ◇ ぬれたガーゼでふき取る
- ◇ 水で洗い流す
- ◇ 洗剤、オレンジオイルでふき取る
- ◇ うがい
- ◇ 全身のシャワー除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控える
  - ◆ 汚染対応のシャワー室があれば使用する

## ❖ 除染の基本

- ◇ 患者自身にできることは患者にさせる
- ◇ 創傷部を最初に行う
- ◇ 以後は汚染の程度の高い部位から順に
- ◇ 使用した綿球・ガーゼ等（一回目）は氏名・部位・日時を記して測定へまわす
- ◇ 水、ガーゼは放射性廃棄物として管理する

体表面汚染は、1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で除染します。

除染の方法は、ぬれたガーゼで拭き取ったり、部分的に水で洗い流したりします。水だけでは除染できない場合は、洗剤やオレンジオイル等を使って拭き取ります。口腔内の汚染はうがいをしてもらいます。

全身のシャワーによる除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控えます。

除染は、本人が行える場合は、自分で拭き取ったり、洗ったりしてもらいます。核種の同定が必要な場合は、使用したガーゼなどをビニール袋に入れ、患者氏名、採取部位、採取日時を記録して、測定者に渡します。

除染後の水やガーゼは放射性物質の汚染がついた廃棄物として管理、処分します。

## 創傷部の除染（例）

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆、吸水シート等で水を受ける
3. 水をかけながら ガーゼ等で創傷部を洗浄する



13

創傷部の汚染は、部分的に水をかけながら除染するので、汚染のない部分は防水のシート等を用いて被覆し、汚染した水がかからないようにします。

膿盆や紙おむつで汚染した水を受けるようにします。

創傷部は、ガーゼと鑷子を用いたり、ブラシを用いて水をかけながら除染します。除染後は再度表面汚染の検査を行います。汚染がなくなるか、除染の効果がなくなるまで除染を繰り返します。

## 顔面の除染（例）



目の洗浄



鼻は、鼻をかんだ後、綿棒で拭き取る。

耳の汚染がある場合は、耳殻は湿ったガーゼやタオルで拭き取り、外耳道は綿棒等で拭き取ります。

目の汚染は、流水をかけながら洗浄します。

鼻腔の汚染がある場合は、鼻をかんでもらい、汚染が残っている場合は、綿棒で拭き取ります。

## 皮膚の除染（例）

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆や紙おむつで水を受ける
3. 濡れたガーゼ等で外側から内側の方向に拭き取る
4. 水で除染できない場合はボディソープや石けん、スポンジを使用する

皮膚を傷つけないようにする（健常皮膚に発赤が出現しない程度に機械的刺激を抑える）



15

皮膚の汚染がある場合は、汚染のない部分を防水のシート等で被覆して、汚染した水がかからないようにします。膿盆や紙おむつで水を受けるようにします。濡れたガーゼやスポンジなどで外側から内側の方向に拭き取り、汚染を広げないようにします。水で除染出来ない場合は、ボディソープや石けん、洗剤などを使用します。

皮膚を傷つけないように丁寧に除染します。

## 試料などの受け渡し

### ❖ 試料の受け渡し

- ◇ ウォームゾーンで直接汚染に触れないように受け渡す
- ◇ ウォームゾーンではビニール袋の外側が汚染されないように受け取る
- ◇ 採取部位、日時、氏名等を記入した試料袋に入れ、測定に出す
- ◇ ウォームゾーンからコールドゾーンへは、ビニール袋の表面の汚染検査（スメア法）を実施して検体検査する測定者に渡す（確実な汚染拡大防止）

### ❖ 単純X線撮影

- ◇ フィルムカセットはビニール袋に入れる
- ◇ ポータブルX線撮影装置のアームをのばして撮影する
- ◇ ホットゾーンからカセットを出す時はビニール袋から取り出し、ウォームゾーンに渡す
- ◇ ウォームゾーンからコールドゾーンへは、カセットの表面の汚染検査をする



汚染の原因となっている核種の同定や内部被ばくの評価、その他通常の血液検査などのために採取した試料をホットゾーンからウォームゾーンの測定員に渡す必要があります。

そこで、汚染拡大防止のため、ウォームゾーンの担当者がビニール袋で試料を受け取り、ビニール袋の表面をガーゼなどでぬぐって汚染検査を実施します。汚染がなければ、試料をコールドゾーンの測定員に渡します。採取した試料の容器には、採取部位、採取日時、氏名を記入します。

外傷等がありホットゾーンでの単純X線撮影が必要な場合は、フィルムカセットをビニール袋に入れ、汚染の付着を防止します。可能であればポータブルX線撮影装置のアームをウォームゾーンから伸ばして撮影します。撮影後は、ビニール袋からカセットを取り出して、ウォームゾーンの担当者に渡します。

ウォームゾーンからコールドゾーンへ試料を受け渡す場合には、必ず表面の汚染検査を行います。

検査室等でビニール袋から検体を取り出す場合は、容器の表面の汚染検査を実施します。ウォームゾーン等で容器表面の汚染検査を実施している場合は、検査室での汚染検査は省略することも可能です。



# 記録

The form contains the following sections:

- Header:** Patient name, sex, age, date, and time.
- Flowcharts:**
  - Red:** Initial decision flowchart.
  - Yellow:** Decision flowchart for contamination.
  - Green:** Decision flowchart for internal contamination.
  - Blue:** Decision flowchart for other procedures.
- Table:** A table with columns for '汚染部位の種類' (Contamination site type) and '汚染レベル' (Contamination level).
- Figure:** A human figure with arrows pointing to various parts of the body (head, neck, chest, arms, legs).
- Bottom Right:** A table for recording '汚染検査票' (Contamination check sheet) and '個人線量計の記録' (Personal dosimeter record).

外来等での処置の内容、採取した試料、汚染の部位とその程度を記録します。放医研ホームページから対応のフロー図も記載されている記録用紙をダウンロードすることができます (URL:

<http://www.nirs.go.jp/hibaku/pdf/Karte.pdf>)。

他に試料の汚染検査票、個人線量計の記録等も記載します。

## ホットゾーンからの移動



退出  
病室へ移動

ホットゾーンの中にもろ紙シートを敷いて、新たなストレッチャーを入れ、患者を移動させる。  
ろ紙シートを汚染させないようにホットゾーンでの対応者はろ紙シートを踏まないように注意！

18

処置が終了したら、ホットゾーンから入院病室等へ患者を移動させます。

ホットゾーンで処置に使用したストレッチャーの車輪等の汚染検査を行って、ホットゾーンから移動させることも可能ですが、より確実に汚染拡大防止対策を行うには、新たなストレッチャーに乗せ換える方法があります。一つの方法としては、ホットゾーンとウォームゾーンの境界までストレッチャーを移動させ、ウォームゾーンに準備した新しいストレッチャーに乗せ換えます。別の方法としては、ホットゾーンの中に新たにろ紙シートを敷き、その上を移動させて新たなストレッチャーをホットゾーンの中に入れ、患者を載せ替えます。この時、ホットゾーンでの対応者はろ紙シートを踏まないように注意が必要です。

また、患者のストレッチャー間での移送の際にホットゾーンのスタッフが協力する場合には、両上肢や胸部前面など患者に触れる可能性のある部分について測定器で汚染がないことを確認してから行います。

## 活動後の対応

### ❖ ホットゾーンからの退出

1. 外側の手袋とテープをとる
2. 帽子とマスクをとる
3. 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
4. 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
5. 足底の汚染検査を行ってから、足をウォームゾーンにつける
6. コールドゾーンへの退域前に脱衣後の全身の汚染検査



ホットゾーンでの処置が終了したら、対応した医療スタッフは防護服を脱衣し、汚染検査を実施してホットゾーン、臨時の管理区域から退出します。

ホットゾーンでの防護服の脱衣は次の順番で行います。

1. 外側の手袋とテープをとる
2. 帽子とマスクをとる
3. 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
4. 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
5. 足底の汚染検査を行ってから、足をウォームゾーンにつける

原則として、ウォームゾーンは汚染が拡大している可能性があるため、ウォームゾーン（緩衝地帯）からコールドゾーンへの退域時に脱衣後の全身の汚染検査を行います。

## 処置室の復帰

1. 処置室から廃棄物を移動する
2. 処置室の汚染検査
3. 必要であれば除染
  - ◇ 通常の清掃と同じ
  - ◇ 再度、汚染検査を実施する
4. 臨時の管理区域の設定を解除する

### ❖ 放射性物質による汚染のある廃棄物

- ◇ 汚染のない廃棄物とは区別する
- ◇ 放射性物質の付着している廃棄物はビニール袋もしくはコンテナに入れる
- ◇ ビニール袋あるいはコンテナをサーベイする
- ◇ 放射性物質の廃棄物からの被ばくを避けるために壁での遮蔽や距離をとる



すべての処置が終了したら、ホットゾーンと管理区域を設定した処置室を復帰させます。

まず、廃棄物をすべて臨時の保管場所に移動させます。その後、処置室の床、資機材などの汚染検査を行います。汚染があれば除染しますが、あらかじめカバーなどをしていた場合は、そのカバーを取り外します。床などに直接汚染が付着している場合は、通常の清掃と同じようにモップや布などで除染し、除染後に再度汚染検査を行います。

すべての汚染検査が終了したら、管理区域の設定を解除します。

汚染のある廃棄物は、ビニール袋やコンテナに入れ、汚染が拡散しないようにします。さらに容器の外側の空間線量率を測定し、保管場所の安全を確認します。保管場所は可能なかぎり個室や人の通行から離れた場所にします。

## 退出後に汚染を検知した場合の対応

- ❖ 汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖する
  - ◇ 患者や職員の動線から推定
- ❖ エリア内の職員は、汚染検査を実施後、エリア外へ出る
- ❖ エリア内の施設、資機材の汚染検査を実施
- ❖ 汚染があれば除染する
- ❖ 汚染が広がっていても、その後の検査、除染をきちんとすれば汚染拡大防止ができます

処置後や活動後にホットゾーンや管理区域を退出した後に汚染が新たに発見された場合は、汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖します。

エリア内の職員は、汚染検査を行った後にエリア外へ出ます。エリア内の処置室や施設、資機材の汚染検査を行います。汚染があれば除染します。

汚染が後から発見されても、その後の検査、除染をきちんと対応すれば以降の汚染の拡大防止ができます。

## まとめ

- ❖ 外部被ばくの患者対応では対応者は被ばくしない
- ❖ 汚染では、患者も対応者も危険な被ばくはしない
- ❖ 汚染では即死しない
- ❖ まずは、生理学的評価を行い、必要に応じて救命処置を行う
- ❖ 汚染検査は最優先ではない
- ❖ 除染は、脱衣、拭き取り、水をかけながら洗い流すの三つの方法がある

# 放射線障害の診断と治療

原子力災害医療 専門研修  
中核人材-3

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- 急性放射線症の病態
- 急性放射線症の発症期
- 急性放射線症の診断
- ARSのPrimary Triage
- 急性放射線症の前駆期の処置
- 急性放射線症の治療方針
- 複合障害
- 放射線皮膚障害の病態
- 放射線皮膚障害の病期と初期変化
- 放射線皮膚障害の診断
- 放射線皮膚障害の治療
- 内部被ばくの診断
- 内部被ばく対応の基本方針
- 内部被曝の治療
- プルシアンブルー
- DTPA

## 急性放射線症の病態

### ❖ 急性放射線症(acute radiation syndrome: ARS)

- ◇ 1Gy（グレイ）を超える急性被ばくを全身受けると、骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現



1Gyを超える急性被ばくを全身に受けると骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現します。これらの一連の症候を急性放射線症(acute radiation syndrome: ARS)と言います。

ARSの病期は、時間的経過によって前駆期、潜伏期、発症期、回復期に分けられます。

前駆期は、悪心、嘔吐、下痢、発熱、初期紅斑、唾液腺の腫脹などの前駆症状と呼ばれる症状が一過性に出現します。これらの症状は、消化管の蠕動運動亢進や消化管ホルモン分泌亢進、皮膚、粘膜の毛細血管拡張および透過性亢進、神経血管反応亢進などの基礎病態に基づきます。

潜伏期は、比較的無症状の期間で、被ばく線量が高いほど短くなります。発症期は放射線による細胞死に伴う細胞の欠落による臓器の症状が発現する時期です。

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」より改変



## 急性放射線症の発症期

		急性放射線症の重症度と被ばく線量				
		軽症(1-2Gy)	中等度(2-4Gy)	重症(4-6Gy)	極めて重症(6-8Gy)	致死的(>8Gy)
血液細胞	リンパ球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ ) (被ばく後3~6日)	0.8 - 1.5	0.5 - 0.8	0.3 - 0.5	0.1 - 0.3	0.0 - 0.1
	顆粒球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	>2.0	1.5 - 2.0	1.0 - 1.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.1$
	血小板数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	60 - 100 10 - 25 %	30 - 60 25 - 40 %	25 - 35 40 - 80 %	15 - 25 60 - 80 %	<20 80 - 100 % <sup>※1</sup>
潜伏期	長さ(日)	21 - 35	18 - 28	8 - 18	$\leq 7$	なし
臨床症状	下痢	なし	なし	稀	被ばく後 6~9日に出現	被ばく後 4~5日に出現
	脱毛	なし	中等度、被ばく後15日以降	中等度ないし完全 11~21日	完全 11日以降	完全 10日以前
	その他の症状	倦怠感 衰弱	発熱、感染、 出血、衰弱	高熱、感染、 出血	高熱、嘔吐、 めまい、 見当識障害、 血圧低下	高熱、 意識障害
予後	致死率 死亡時期 <sup>※2</sup>	0	0 - 50 % 6-8週以降	20 - 70 % 4-8週以降	50 - 100 % 1-2週以降	100 % -2週

<sup>※1</sup>50Gyを越すような高線量被ばくの場合は、血球減少の前に死亡する。

<sup>※2</sup>治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。

1Gy以上の全身被ばくでは、骨髄症候群が発症します。これは、放射線感受性が高い骨髄の造血幹細胞が細胞死によって減少し、血液細胞の減少による機能障害が起こります。白血球が減少すると免疫不全、易感染性となり、血小板減少によって出血傾向となります。末梢血の好中球数は、4Gyでほぼ3週間、2~3Gyでほぼ4週間で、1Gyでは5週間足らずで最低となります。好中球数は、1週間ほどで回復し始め、2~3週間で正常域に回復します。

6Gy以上の全身被ばくでは、消化管粘膜からの細菌移行が起こることが実験的に示されています。10Gy以上の被ばくでは、骨髄障害に加え、水様性下痢や下血などの症状を呈する消化管障害が発現します。消化管障害の発生機序は、放射線による粘膜上皮細胞の再生障害です。10~15Gyの被ばくでは、粘膜上皮の幹細胞であるクリプト（陰窩）細胞の分化が停止し、消化管の絨毛が退縮してバリア機能が低下します。腸管蠕動障害、吸収障害、下痢が発症します。粘膜の剥奪がさらに進行すると消化管出血が生じます。

また、被ばく線量に応じて口腔粘膜に発赤、腫脹、出血、潰瘍、壊死を生じます。7~8Gyを越す被ばくでは、1~3ヶ月後に肺障害の初期症状、肺浮腫が出現します。放射線による肺障害の主なものは肺臓炎と肺線維症です。

10Gyを越す被ばくでは、2~3週間後に放射線皮膚障害が臨床上的の問題となります。20Gyを越す高線量全身被ばくでは、早期に意識障害、血圧低下などの中枢神経症状、血管透過性亢進による浮腫、胸腹水の貯留、肺水腫、下痢などを伴う神経血管症候群が発症します。

出典；青木芳朗／前川和彦「緊急被ばく医療テキスト」（医療科学社）改変

## 急性放射線症の診断

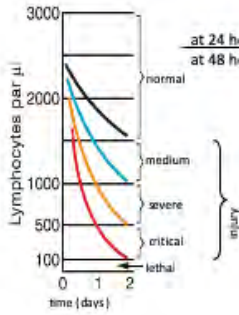
- ❖ 放射線の関与が明らかな場合
  - ◇ 事故の状況；関係者、施設の放射線管理者から事故の状況に関する情報を得る。線源の種類や大きさ等
  - ◇ 症状、徴候；嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹、疼痛、圧痛などの前駆症状
  - ◇ 事故後の血液の変化；末梢血リンパ球数の減少、血清アミラーゼ値の上昇
  - ◇ 染色体異常、個人線量計の値
  
- ❖ 放射線の関与が不明な場合
  - ◇ 原因不明の嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹、疼痛があれば、発症時期、1～2週間の生活歴、仕事内容などの問診
  - ◇ 手指や胸腹部、臀部、四肢に浮腫、紅斑、脱毛、落屑、水疱形成、潰瘍形成、壊死などの皮膚変化の診察
  - ◇ 血液検査の変化
  - ◇ 臨床症状が顕在化するまで慎重な観察と検査の繰り返し

原子力施設や大型照射施設等で起こった被ばく事故の場合は、放射線の関与があったことを認識して診療にあたるのがほとんどです。この場合は、施設の関係者や放射線管理者から事故の状況に関する情報を得ることが極めて重要です。また、前駆症状を認めればARSの可能性は高いです。診察時には、唾液腺の腫脹、圧痛を見落とさないようにします。3Gyを越す被ばくでは、皮膚の紅斑や口腔粘膜の毛細血管拡張を観察します。0.5Gyを超える全身被ばくがあれば、前駆期に末梢血リンパ球数の減少、血清アミラーゼ値の上昇が観察されます。発症期には、末梢血のリンパ球数、好中球数、血小板数の減少が認められます。

放射線の関与が不明な場合は、原因不明の嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹と疼痛などがあれば、それらの発症時期、1~2週間の生活歴、仕事の内容などについて注意深く問診を行い、放射線の関与の可能性を検討します。また、四肢、胸腹部、臀部、手指に浮腫、紅斑、脱毛、落屑、水疱形成、潰瘍形成、壊死などの皮膚障害の症状が出現していないか観察します。血液検査による血球細胞数の変化を観察します。臨床症状が顕在化するまで慎重な観察と検査の繰り返しが重要です。

# ARSのPrimary Triage : 初期の48時間

多数のARS対応が必要な場合のトリアージ



多数の急性放射線症を発症する患者が発生し、入院施設等の医療資源が限られた場合は、入院診療を必要とする被ばくした者を初期の段階でトリアージする必要があります。全ての臨床症状とその発症時期を記録します。1Gy未満と判断される場合には、外来で経過観察するだけで良いです。1Gy以上の患者は、より詳細な線量評価や治療のための入院が必要です。

出典；EBMT pocket guide

<https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%2017.pdf>

## 急性放射線症 前駆期の処置

- ❖ 線量により症状は多様であるが、**対症療法**が中心
- ❖ 悪心、嘔吐に対して（制吐剤投与）
  - ◇ 5-HT<sub>3</sub> (5-hydroxytryptamine,セロトニン) 受容体拮抗薬：  
Granisetron (カイトリル), Ondansetron (ゾフラン) など
  - ◇ 抗ドパミン薬：メトクロプラミド (プリンペラン)、ドンペリドン (ナウゼリン)
- ❖ 頭痛
  - ◇ 鎮痛剤投与
- ❖ 循環血液量減少
  - ◇ 輸液
  - ◇ 重症(4Gy~)の場合、下痢や嘔吐が激しいため輸液により電解質維持、水分補給が必要になる。非常に重症の場合、血圧低下が起こり、大量輸液、昇圧薬が必要になる。
- ❖ 粘膜炎 (→潰瘍、感染)
  - ◇ 口腔内の衛生を保つ→うがいなど
- ❖ 精神的, 社会的支援

急性放射線症の前駆期の症状は多様ですが、対症療法が中心となります。

## 急性放射線症の治療方針

(Gy)	1-2	2-4	4-6	6-8	>8
治療	経過観察	入院, 速やかに <b>無菌室</b> へ			
	サイトカイン→	速やか(1W以内)にG-CSF かGM-CSF投与開始		GM-CSF/G- CSF+EPO+TPO	
	抗生物質など→	広域スペクトル抗生物質(潜伏期が終わる頃~), 抗 真菌剤・抗ウイルス剤(必要に応じ), SDD(6Gy↑)			
	血液製剤→	成分輸血: 血小板, 赤血球(必要に応じて)			
	*1-2Gyが予測される場合、 線量が確定するまでは線 量がより高いことを想定 し対処する。			L-グルタミン, エレメンタリーダイエット 投与, 完全経静脈栄養, 電解質補正	
				血漿交換(必要に応じ第2または3週~) DICの予防(必要に応じ第2週~)	
		<b>骨髄移植</b> →	骨髄幹細胞移植(第1週)		

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

急性放射線症の治療は、症状と徴候、一般検査の結果、線量評価に基づき行います。治療法の多くは、放射線療法副作用軽減法や治療法の転用、動物実験の臨床応用、数少ない治療経験などで、科学的根拠に基づいたものはほとんどありません。

骨髄障害に起因する感染症などの合併症を予防することが重要です。骨髄機能の回復が見込まれる1~4Gyの被ばくであれば、患者を無菌室に隔離し、注意深く発熱、出血、上咽頭痛や発赤、潰瘍などについての臨床的評価を行います。細菌学的検査を継続し、感染症が起こった場合に備えて、サイトカインを含む有効な治療薬を投与できるようにしておきます。被ばく線量が4~6Gyを越すと考えられる場合は、血液幹細胞が不可逆的に障害を受けている可能性が高いため、感染症対策を入院直後から実施します。さらに複数のサイトカインを組み合わせ治療を行います。また、入院後すぐに選択的消化管除菌法(SDD; selective decontamination of the digestive tract、例えば tobramycin 80mg、polymyxin B 50万単位、amphotericin B 500mg)を行い、抗生物質の全身的投与を開始します。体表面の消毒を行なった後に、無菌室に隔離します。

3~10Gy程度の被ばく線量で造血幹細胞移植を行うことが考えられてきました。しかし移植両方の副作用とサイトカイン療法の発展から、移植の有効性が合理的に期待できるのは、6~10Gy程度と考えられています。移植の目的は、ドナー由来細胞が永久的に生着することではなく、一過性に生命を支持することです。

顆粒球コロニー刺激因子(G-CSF)や顆粒球マクロファージコロニー刺激

因子（GM-CSF）は、被ばく後の患者の造血速度を促進するので、幹細胞が残っている場合には、骨髄移植を不要のものとする可能性があります。2～6(8)Gyの被ばくでは移植を行わずにサイトカイン療法を行います。

消化管障害の治療は、現時点では確立されておらず、輸液による電解質管理、完全静脈栄養、成分輸血などの対症療法が中心となります。

放射線肺臓炎は、8Gy以上の被ばくで発症頻度が増加します。被ばく後の軟部組織の硬化、線維化を予防、治療するため、長期（半年から1年）にわたるペントキシフィリンとビタミンEの併用が有効であるとの動物実験および臨床研究の報告があります。

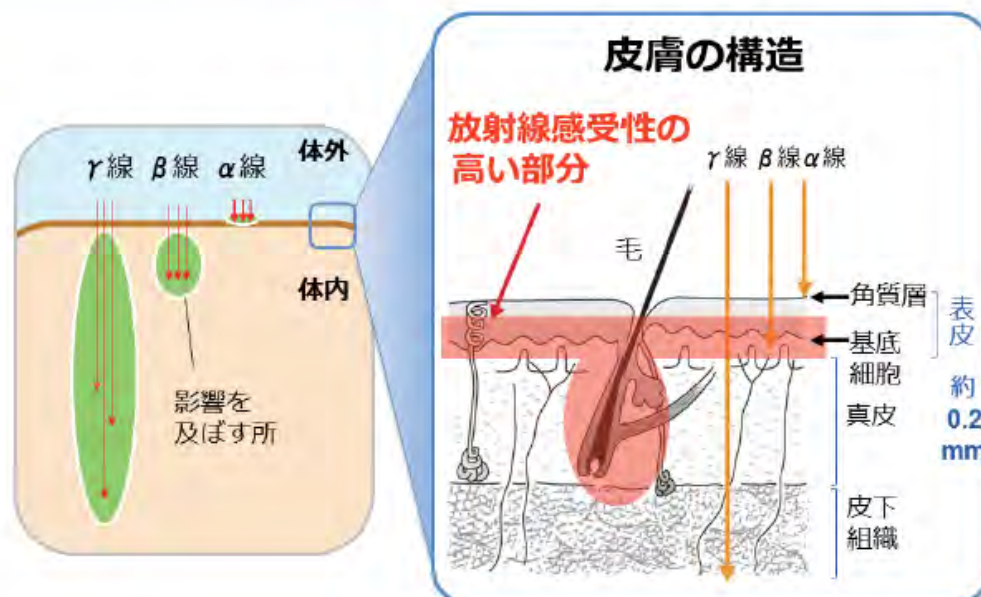
## 複合障害 (combined radiation injuries)

- ❖ 放射線による障害に外傷、熱傷、感染症、化学障害などが合併したもの
- ❖ 放射線単独の障害より予後が悪い
- ❖ 放射線事故や核爆発では、被災者の多くは放射線被ばくに熱傷や外傷を伴う
  - ◇ 広島・長崎の被爆者の60～70%に外傷を合併していた
    - ◆ 被ばく2～3週間後に合併症を発症：特に骨髄抑制の影響
    - ◆ 創傷治癒の遅滞
    - ◆ 多くの被ばく者が敗血症で死亡
  - ◇ チェルノブイリ事故の237名の被災者のうち10%に重篤な放射線被ばくと熱傷の両方を合併していた
- ❖ 免疫系の障害、感染防御機能の障害のため、少量の病原菌で感染し、症状はより重篤となる
- ❖ 初療は全身状態の安定、合併している外傷の治療を行う
- ❖ 高線量被ばくと外傷において、外科的処置が必要であれば、**被ばく後72時間以内に手術**を行う

放射線による障害に外傷、熱傷、感染症、化学障害などが合併したものを複合障害(combined radiation injuries)と言い、放射線単独の障害よりも予後が悪くなります。動物実験では、全身被ばくと熱傷が合併すると死亡率が上昇する結果があります。

放射線の事故や核爆発では、被災者の多くは放射線被ばくに熱傷や外傷を伴うことが多いです。この複合障害では、骨髄抑制の影響で、少量の病原菌で感染し、症状はより重篤となり、多くが敗血症で死亡します。また、創傷治癒の遅延が起こります。外傷等を合併している場合は、全身状態の安定と外傷等の治療をまず行います。また、外傷診療として外科的処置が必要であれば、被ばく後72時間以内に手術を行います。

## 放射線皮膚障害の病態



皮膚は表層側から表皮、真皮、皮下組織の3層から構成されます。表皮は、表層から扁平な細胞が重なった角層、数層の顆粒層、数層の有棘層、単層の基底層から構成されます。放射線による障害は、基底細胞に強く出ます。基底層の細胞は分裂が盛んで、皮膚の再上皮化を起こす場所で、ここが放射線で損傷すると皮膚障害が発生します。通常、基底層から顆粒層へ細胞増殖のための移行時間が $14 \pm 6$ 日、顆粒層から表層までには $18 \pm 6$ 日かかります。

放射線皮膚障害の重症度を規定する因子は、放射線の線質、被ばく線量、皮膚の厚さ、年齢などがあげられます。 $\alpha$ 線の場合では、軟部組織表層からの透過距離は約 $0.04\text{mm}$ であり、表皮基底層には達しません。 $\gamma$ 線、中性子線による障害は深層への透過性が極めて強く、皮膚、皮下組織、筋肉、骨にも達します。

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」



## 放射線皮膚障害の病期と初期変化

I	超急性期 ~7日	皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させる。
II	急性期 7日~6カ月	放射線によって引き起こされる表皮基底層のDNA障害は、潜伏期間（通常2~3週単位）を経て、2~3週間（細胞周期と同じ）ごとに細胞障害や組織死が段階的に進み、多彩な症状が続く。
III	慢性期 6カ月以上	表皮が再生した後は、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。

症状	線量(Gy)	発症(day)
紅斑	3-10	12-21
脱毛	>3	14-18
乾性落屑	8-12	25-30
湿性落屑	15-20	20-28
水疱	15-25	15-25
潰瘍	>20	14-21
壊死	>25	>21

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

10

放射線皮膚障害の病期は、超急性期（7日未満）、急性期（7日以後～6カ月まで）、慢性期（6ヶ月以降～数年）に分けられます。

皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させ、全身組織へのケミカルメディエーターの放出が惹起されます。そのため浮腫や紅斑が出現します。

急性期の放射線皮膚障害の程度は、被ばく線量と被ばくした組織の放射線感受性によって決まります。10Gy前後では初期の皮膚症状（発赤、紅斑、浮腫）が3～4日で消退後、潜伏期の後、3週目ごろより再度、組織腫脹、掻痒感、発赤、疼痛感、紫斑などが現れます。進行は緩徐です。

慢性期では、表皮が再生した後、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。10Gy以上の被ばくによる皮膚障害では、一度障害された皮膚が上皮化した後も、再度皮膚障害が反復し、潰瘍や皮膚剥離がおきます。また、6カ月以上経過してから皮膚の線維化や色素沈着などが出現します。真皮層には、多くの血管が存在します。血管内皮細胞は放射線感受性が高いため、被ばくした領域ではこれらの血管の内膜に障害が生じ、内膜の肥厚や微小血栓の形成を通じて微小循環障害や局所の血流障害を起こします。

## 放射線皮膚障害の診断

- ❖ 病歴の聴取
  - ◇ 密封線源の事故では、被ばくした自覚がないことが多いため、原因不明の熱傷様病変に遭遇した場合には、放射線皮膚障害を念頭に入れ、放射線の可能性を疑って診断を進める。
- ❖ 身体所見の確認
  - ◇ 全身被ばくの有無を評価；線源が大きい場合は、局所被ばく以外にも全身被ばくをしている可能性がある。
  - ◇ 極端に高い線量による局所被ばく；全身への平均被ばく線量の評価として染色体分析を実施
- ❖ 障害部位の評価
  - ◇ 皮膚病変の経時的変化の記録
  - ◇ 骨の変化の比較；X線
  - ◇ CT・MRI；炎症の波及範囲や血流を評価
  - ◇ サーモグラフィ・超音波ドップラ検査法；非侵襲的に血流の程度を評価
- ❖ 線量評価
  - ◇ 物理学的線量評価；線源と被ばく部位の位置関係、被ばく時間、周辺の遮へい物の影響、事故の再構築

111

密封線源の事故では、被ばくした自覚がないことが多いため、原因不明の熱傷様病変に遭遇した場合には、放射線皮膚障害を念頭に入れ、放射線の可能性を疑って、病歴を聴取するなどの診断を進めることが重要です。

線源が大きい場合は、局所被ばく以外にも全身被ばくをしている可能性があるため、全身被ばくの評価も同時に行います。被ばく当日を含む3日間程度は末梢血全血球数計算（CBC）を行い、リンパ球数の減少の有無を確認します。局所被ばくの線量が極端に高い場合は、全身への平均被ばく線量を正確に知るために染色体分析による線量評価を実施します。

皮膚病変の経時的変化の記録をします。骨の変化の比較のため、単純X線撮影を行います。また、CT・MRIでは炎症の波及範囲や血流を評価します。サーモグラフィ・超音波ドップラ検査法でも非侵襲的に血流の程度を評価できます。

放射線皮膚障害の範囲、深達度の判断には、線量評価が必要です。主として、物理学的線量評価を行います。線源と被ばく部位の位置関係、被ばく時間、周辺の遮へい物の影響の情報をもとに計算する他に、事故の再構築により、実際に放射線を測定してその情報をもとに計算します。これらの情報は、記憶に頼る部分があるため、結果には相当な幅があります。

## 放射線皮膚障害の治療

深達度	症状	治療
I度熱傷相当	紅斑や発疹、浮腫	・ワセリン基剤などによる皮膚の保湿
浅達性II度熱傷相当	水疱、落屑、乾皮炎、滲出性表皮炎など	・ステロイドや抗生物質含有のワセリン基剤、創傷被覆剤 ・疼痛コントロールには、モルヒネ、フェンタニルなどの麻薬あるいは非麻薬系の鎮痛剤
深達性II度熱傷相当	滲出性表皮炎、潰瘍、乾酪様壊死など	・表層のブラッシングなど外科的な処置 ・創感染症には、全身の抗生物質の投与 ・感染の悪化、2ヶ月以上上皮化傾向が認められない潰瘍では、全身状態を勘案して植皮手術も選択
III度熱傷相当	全層にわたる乾酪様壊死、壊死	・2～3ヶ月以上治癒傾向がないものは、植皮手術の対象

放射線皮膚障害の治療はその程度により異なるため、深達度の分類は重要です。原則的には、温熱熱傷の治療と同様に全身管理、局所管理からなります。全身被ばくがあれば骨髄抑制や消化管障害に対する治療も必要です。

### ・ I度熱傷相当

紅斑や発疹、浮腫などは、被ばく直後または3～4週後以内に出現します。数週から数ヶ月の経緯で徐々に消失します。ワセリン基剤などで皮膚の保湿を図ります。

### ・ 浅達性II度熱傷相当

水疱、落屑、乾皮炎、滲出性表皮炎などの皮膚障害は、10Gy以上の被ばく後4～6週で発現します。I度熱傷に相当する紅斑が被ばく後3～4週で出現した後に、4～6週でII度熱傷に相当する水疱に移行します。被ばく線量が高いとより早期から症状が出現します。感染すると皮膚の障害はより深部に及ぶ可能性があります。深度や症状が悪化しない様であれば、残存する真皮層が1～2ヶ月の保存的治療で創は閉鎖します。疼痛は、放射線皮膚障害が重症化する初期の特徴であり、疼痛コントロールには、モルヒネ、フェンタニルなどの麻薬あるいは非麻薬系の鎮痛剤を使用します。局所の治療には、ステロイドや抗生物質含有のワセリン基剤を塗布したり、創傷被覆剤を使用します。

### ・ 深達性II度熱傷相当

滲出性表皮炎、潰瘍、乾酪様壊死などの皮膚障害は、10Gy以上20Gy未満の被ばく線量で発症します。紅斑、水疱、皮膚剥離などの症状は4から8週ぐらいの時間経過で潰瘍創となります。潰瘍創表層にはフィブリン様の壊死物質

が存在し、薬剤は浸透しません。そのため、表層のブラッシングなど外科的な処置が繰り返し行われています。一般細菌や真菌などの感染を合併して、難治性潰瘍になりやすいです。創感染症には、全身の抗生物質の投与が必要となります。保存療法を第一選択として治療を開始しますが、感染の悪化、2ヶ月以上上皮化傾向が認められない潰瘍では、全身状態を勘案して植皮手術も選択されます。

- III度熱傷相当

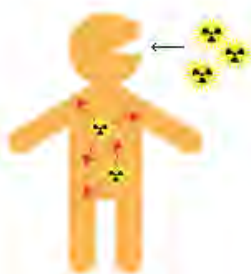
20Gy以上の高線量を被ばくすると受傷から3～4週からIII度熱傷相当の全層にわたる乾酪壊死、壊死の皮膚障害を呈します。前述の症状が出現せずに徐々に皮膚構造が崩れ始め、表皮が剥離し、真皮が露出します。潰瘍層ができ、血流に乏しく、出血は認められません。2～3ヶ月以上治癒傾向がないものは、植皮手術の対象となります。しかし、皮下脂肪や筋層の損傷もおこっており、壊死組織の切除深度や四肢の切断の適応の判断は難しいです。

- 慢性期

急性期に上皮化が終了した部分でも、真皮のダメージは慢性期で再燃して、線維化や色素沈着、再潰瘍化など新たな病像を呈します。放射線による骨壊死には高圧酸素療法が有効とされる。また、血流障害による疼痛や感染がコントロールできず、機能が廃絶している様な場合には、四肢の切断も考慮します。

## 内部被ばくの診断

- ❖ 体内からの放射性物質もしくは放射線の検出により診断
- ❖ 鼻腔・咽頭スメア；吸入による内部被ばくの可能性
- ❖ 口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染；吸入、吸収の可能性
- ❖ 問診；内部被ばくが疑われる場合は、放射性核種、化学形態、溶媒等について確認



- ❖ 生体試料（尿、便）の放射性物質の計測
- ❖ 体外計測；ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター

➡ 内部被ばくの診断

内部被ばくは、吸入による経気道、経口摂取による経消化管、創傷部からの吸収によって体内に放射性物質が取り込まれることによって起こります。体内に入った放射性物質は、安定型の核種と同じ体内動態を示すため、核種に応じた体内除染が必要になります。

初期には、口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染があれば、放射性物質の吸入や吸収の可能性ががあります。また、鼻腔や咽頭のスワブ採取によって放射性物質を検出した場合も内部被ばくが疑われます。内部被ばくが疑われた場合、事業所や施設等での事故の場合は、放射線管理要員等に放射性核種、化学形態、溶媒等について確認します。

内部被ばくの最終診断と線量評価は、尿や便の生体試料の放射性物質の計測（バイオアッセイ法）と、体内からの放射線の計測（体外計測）によって行われます。

## 内部汚染対応の基本方針

- ❖ 将来の生物学的影響の低減が目的
- ❖ 治療の原則；吸収と内部沈着の低減、体内に入った核種の除去と排泄促進
- ❖ 治療の適応；明確な指標はない。実効線量（預託実効線量）を参考に治療するメリット、デメリットを勘案して適応を決定する。
  - ◇ 実効線量20 mSvが1つの目安
- ❖ 事故時には摂取量、体内動態がすぐには判明しない。
- ❖ 治療の副作用が少なく、禁忌がない場合はすぐに治療を開始すべきである。
- ❖ 勘案すべき要素
  - ◇ 確実な汚染か疑いか
  - ◇ 体内動態
  - ◇ 治療目標の現実性
  - ◇ 治療のメリットとデメリット
  - ◇ 年齢、健康状態、精神的状態

内部被ばくでは、基本的に急性障害は起こりません。そのため、治療の目的は、体内の放射性物質からの放射線被ばくによる将来の生物学的影響の低減となります。内部被ばくの治療の原則は、吸収と内部沈着の低減及び体内に入った核種の除去と排泄の促進です。放射性物質が体循環に入っていない場合に最も治療効果が高くなります。また、標的臓器の細胞に取り込まれる前に治療を行う必要があります。しかし、内部被ばくの事故では、摂取量や体内動態がすぐに判明しないことがほとんどです。そのため、内部被ばくが疑われる場合は、治療による副作用が少なく、禁忌がない場合には、すぐに治療を開始すべきです。また、治療の適応には、明確な指標がありません。預託実効線量を参考にして、治療のメリットとデメリットを勘案して適応を決定します。

## 内部被ばくの治療

### ❖ 消化管での吸収を低減

- ◇ 胃洗浄
- ◇ 催吐剤
- ◇ 下剤
- ◇ イオン交換剤
- ◇ Prussian Blue
- ◇ アルミニウムを含む制酸剤
- ◇ 硫酸バリウム

### ❖ 阻害剤／希釈剤；安定元素で代謝過程を飽和して放射性核種の摂取を低減

- ◇ ヨウ素
- ◇ ストロンチウム
- ◇ 水分摂取
- ◇ カルシウム
- ◇ 亜鉛
- ◇ カリウム

### ❖ キレート剤

- ◇ EDTA
- ◇ DTPA
- ◇ Dimercaprol (BAL)
- ◇ Penicillamine
- ◇ Deferoxamine

### ❖ その他

- ◇ 抗甲状腺薬
- ◇ 利尿剤
- ◇ 副甲状腺ホルモン剤

内部被ばくの治療には、消化管で吸収を低減する方法、特定臓器を安定同位元素で飽和することによって放射性物質の摂取を低減する方法（阻害）、大量の安定元素または化合物の投与によって放射性物質を希釈する方法、キレート効果による排泄、利尿剤による排泄促進といった方法があります。

内部被ばくの治療は、体内からの放射性物質の排泄量などをモニタリングしながら、薬剤の投与による放射性物質の排泄が効果的にできる場合は、さらに治療を継続することを検討します。

治療した場合と薬剤の投与を行わなかった場合の尿中排泄率の比較や、ホールボディカウンターで判定した体内からの除去効果を考慮して、治療の中止を判断します。

## プルシアンブルー

### ❖ 効能・効果

- ◇ 放射性セシウムによる体内汚染の軽減
  - ◆ 生物学的半減期115日→40日

### ❖ 用法・用量

- ◇ 1回6カプセル（3g）を1日3回経口投与する。
- ◇ 患者の状態、年齢、体重に応じて適宜増減する

ヘキサシアノ鉄（II）酸鉄（III）水和物  
（ラジオガルダーゼ®カプセル500mg）



承認番号：22200AMX00966000

薬価収載：薬価未収載

承認日：2010年10月27日

プルシアンブルー（ラジオガルダーゼ®カプセル500mg）は、フェロシアン化第二鉄に属します。消化管に吸収されない毒性の低いコロイド状の溶解可能な形態を持ち、ある種の一価の陽イオンに対しイオン交換体のような働きがあります。放射性セシウムが血液に入った場合、経口投与されたプルシアンブルーが腸管から再吸収されるセシウムの取り込みを防ぎます。



# DTPA

## ❖ 効能・効果

- ◇ 超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム）による体内汚染の軽減

## ❖ 用法・用量

- ◇ ペンテト酸カルシウム三ナトリウムとして1000mg、もしくは、ペンテト酸亜鉛三ナトリウムとして1055mgを1日1回点滴静注、又は緩徐に静脈内投与する。
- ◇ 本剤は、100～250mLの5%ブドウ糖注射液又は生理食塩液で希釈して約15～60分かけて点滴静注する、又は3～4分間かけて緩徐に静脈内投与すること。
- ◇ 患者の状態、年齢、体重に応じて適宜減量する。

## ❖ プロトコール

- ◇ 単独静脈内投与
  - ◆ CaDTPAもしくはZnDTPAを1g
- ◇ 混合静脈内投与
  - ◆ 1日目 CaDTPA
  - ◆ 2～5日 ZnDTPA
  - ◆ 1～2回/週 ZnDTPA

## ❖ 使用例

- ◇ アメリカではプルトニウムとアメリシウムの体内沈着の除去のため、1995年までに610人に使用された。
- ◇ 2017年プルトニウム内部被ばく事故で日本でも5名の作業員に投与された。

ペンテト酸カルシウム三ナトリウム  
(ジトリペンタートカル®静注1000mg)



承認番号:22300AMX00609000  
薬価収載:薬価未収載  
承認日:2011年7月1日

ペンテト酸亜鉛三ナトリウム  
(アエントリペンタート®静注1055mg)



承認番号:22300AMX00810000  
薬価収載:薬価未収載  
承認日:2011年7月1日

Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)はEDTAより多価の放射性同位元素に対してより効果的です。キレート体は、安定で、体外に腎臓から排泄されます。静脈的に投与した後、DTPAは最初の1時間に尿中に約50%が排泄されます。CaDTPA、ZnDTPAは超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、カリホルニウム、ネプツニウム）をキレートします。

CaDTPAによる重篤な副作用の報告はありません。しかし長期間投与するとCaDTPAにより亜鉛欠乏症を起こします。

## まとめ

- ❖ 急性放射線症は、1Gy（グレイ）を超える急性被ばくを全身に受けた場合に発症し、骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現する。
- ❖ 急性放射線症、放射線皮膚障害の診断は、問診、身体所見、血液検査、線量評価によって行う。
- ❖ 臨床の現場では、線量が決定するまでは、高めに被ばく線量を推定し、治療を開始する。
- ❖ 内部被ばくの診断は、問診や鼻腔スワブ等により可能性を把握し、バイオアッセイ法、体外計測法により診断する。
- ❖ 内部被ばくでは核種ごとに治療に使用する薬剤が異なる。

## 用法・用量

薬品	用法・用量	
プルシアンブルー (フェロシアン化第二鉄)	水とともに1回3gを1日3回3週間 内服	0.5g/cap
アルギン酸ナトリウム (アルロイドG)	アルギン酸ナトリウム10g (アルロイドG 200ml) あるいは1.5~3gを内服	5%液
ヨウ化カリウム	成人100mg内服	50mg/tab
ジメルカプロール (バル)	1日目 1回2.5mg/kg筋注 6hr毎 2日目~1日1回を6日間	100mg/ml
CaDTPA ZnDTPA	1回1gを生食100mlで30分で1日1回静注 週5日連続投与 混合療法:1回目CaDTPA 1g、2回目以降ZnDTPA 1gを4日間投与。その後超ウラン元素の排泄率の増加が見られなくなるまで1週間に2-dose(1-doseあたりZnDTPA1g)投与。	1g/5ml
レボチロキシン (チラージンS)	1回25~100μg内服	25μg/cap
チオ硫酸ナトリウム (デトキソール)	1日1~2g 緩徐に静注	2g/20ml
マーロックス懸濁内服液	1回1.6~4.8g (1gを水10mlに懸濁)	1.2g/包
ラキンベロン液	(CF前) 1回20ml内服	10ml/本
酸化マグネシウム		1g/包
硫酸バリウム	1回100~300ml内服	
薬用炭	1回20gを水に懸濁し内服	20g/包

## 放射性核種による汚染時の選択薬剤 1

核種	直後の処置	考慮すべき薬剤	注意
アメリシウム (Am) Americium	DTPA	DTPA, CaEDTA	可及的早期にキレート化を行う。 DTPAが入手困難ならばCaEDTAを用いる。
セシウム (Cs) Caesium	プルシアンブルー、 洗浄、下剤	プルシアンブルー、 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	
コバルト (Co) Cobalt	洗浄、下剤	大量被ばくでは、ペ ニシラミンが考慮。	コバルト塩は不溶性であるから飲 んだ場合は、特に治療は要しない。
フッ素 (F) Fluorine	水酸化アルミニウ ムゲル		
ヨウ素 (I) Iodine	KI投与	KI	できるだけ早くヨウ化カリウム100 mg (ヨウ素として16 mg) を飲ま せる。
マンガン (Mn) Manganese	洗浄	DTPA	陰イオンとして存在するMnは治療 不可能。
リン (P) Phosphorus		水酸化アルミニウム (経口)	大量の時は副甲状腺ホルモンも。
プルトニウム (Pu) Plutonium	DTPA	DTPA、 CaEDTA、 DFOA	DTPAが入手困難ならばCaEDTAを 用いる。早期にはDFOAも用い る。生物学的半減期は、肝で40年、骨 は100年である。

## 放射性核種による汚染時の選択薬剤 2

核種	直後の処置	考慮すべき薬剤	注意
ルテニウム (Ru) Ruthenium	洗浄、下剤	クロールサイアザイド DTPA	クロールサイアザイドは尿中排泄を増す。DTPAの効果は一定しない。
トリウム (Th) Thorium	DTPA	DTPA DFOA	DTPA、DFOAは可溶性成分に有効で、排泄を増加。二酸化トリウムには、有効な治療はない。
トリチウム (H) Tritium	洗浄 多量の水分を採らせる	利尿剤	
ストロンチウム (Sr) Strontium	洗浄 直ちに磷酸アルミニウムゲル又は水酸化アルミニウムゲル100mlを飲ませる。硫酸マグネシウム10g服用により、消化管停留を短縮し、吸収を減少。	安定ストロンチウムステロイド剤 Potassiumrhodizoate( $C_6O_2K_2$ ) プレドニン	乳酸ストロンチウム500-1500 mg/日を経口投与し、連日数週間続ける。創傷汚染は、いかに小さくとも見逃してはならず十分水洗いするがPotassiumrhodizoate 1gを撒布すれば、Srは局所的に不溶性となり、吸収されない。コルチコステロイド投与は、放射性ストロンチウムの尿中排泄を3倍に増加。プレドニン経口5-20mg/日、又はメチルプレドニゾロン10-40mg 静注。
ウラン (U) Uranium	DTPA	DTPA 重炭酸ナトリウム	DTPAは4時間以内が有効である。重炭酸ナトリウムは、腎を保護する。
亜鉛(Zn) Zinc	DTPA、洗浄	DTPA	DTPAが入手困難ならば、CaEDTAを用いる。

71

# 外部被ばくと内部被ばくの線量評価

原子力災害医療 専門研修  
中核人材-4

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；40分

内容

- 被ばく線量評価
- 線量評価の方法
- 実効線量
- 血球数による線量推定
- 染色体解析による外部被ばく線量推定
- 前駆症状と被ばく線量
- 個人線量計による算定方法
- 線量推定
- 再構築
- 内部被ばくの特殊性
- 内部被ばく線量評価の方法
- 内部被ばくの線量（預託実効線量）
- 体外計測法とバイオアッセイ法
- 預託実効線量の算出

## 被ばく線量評価

### 外部被ばく



- どの程度被ばくしたのか？
- 今後どのような症状が出るのか？
- 健康影響のリスクはどの程度か？

### 線量評価

様々な手法がある

被ばく医療には線量評価が不可欠

診断、治療方針の決定、予後の評価

### 内部被ばく



- ◆ 絶対的なものではなく、総合的に評価する
- ◆ 正確な被ばく量が完全に決定するまで実際にはかなり時間がかかる
- ◆ 被ばく線量は幅を持たせて考える必要がある（どちらかといえば重症の方に考えて対処）

放射線に被ばくしたら、診断や治療方針の決定、予後の評価には、被ばくの程度を評価する必要があります。それが線量評価となります。線量評価には、生物学的線量評価と物理学的線量評価があります。

外部被ばくの線量評価には、染色体分析や計測、放射化分析、ESR、再構築、線量推定といった手法があります。内部被ばくの線量評価には、体外計測法、バイオアッセイ法があります。

線量評価は、絶対的な手法はなく、それぞれの評価法を用いて、総合的に評価します。また、正確な被ばく線量が完全に決定するまでには、時間がかかります。また、被ばく線量は、幅をもたせて考える必要があります。

## 線量評価の方法

	試料・資料	対象	内容
生体試料の測定・観察 放射線の影響による変化の観察、測定	血液	血球細胞数の変化	リンパ球、好中球の減少など
		染色体異常の解析	放射線による染色体異常の発現頻度
	身体所見	唾液腺の腫脹、疼痛、口腔粘膜の症状等	高線量被ばくによる前駆症状
		皮膚症状の出現	紅斑や放射線皮膚障害の症状
	スワブ	鼻腔や口腔粘膜のスワブ	汚染の有無による内部被ばくの可能性と推定
	血液、嘔吐物等	生体内のナトリウム、塩素の放射化から計測	中性子線による放射化の分析
歯のエナメル質	生体組織に生じるラジカルを測定	電子スピン共鳴(Electron Spin Resonance; ESR)	
情報の解析	問診等での病歴、事故の状況	被ばくの可能性の評価	患者本人あるいは放射線管理委員より聴取
	線源、放射性物質等の情報	計算	計算による線量推定
計測 放射線、放射性物質の計測	個人線量計	個人被ばく線量	被ばく線量の実測値
	身体、臓器	体外計測（ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター）	体内残留量の計測
	尿、便	バイオアッセイ法	排泄量の計測
	再構築	線源等の情報による事故状況の再現と実測結果からの計算	事故状況の再現、実測、計算

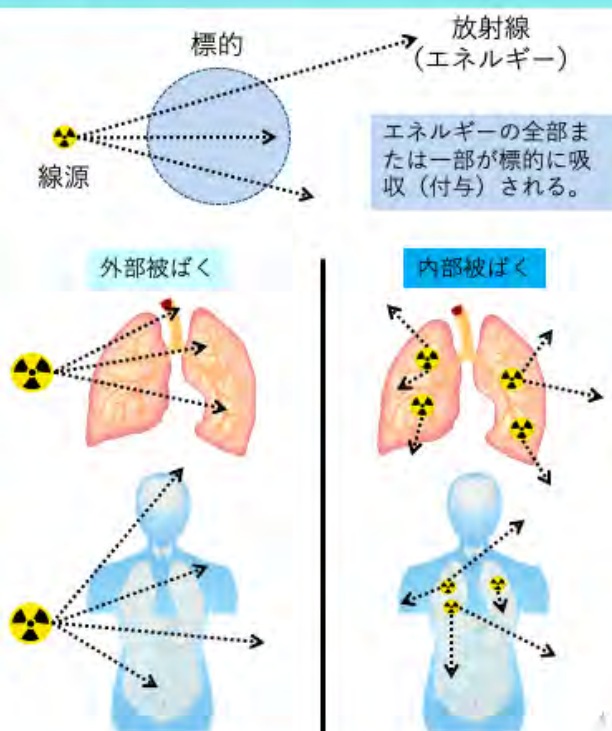
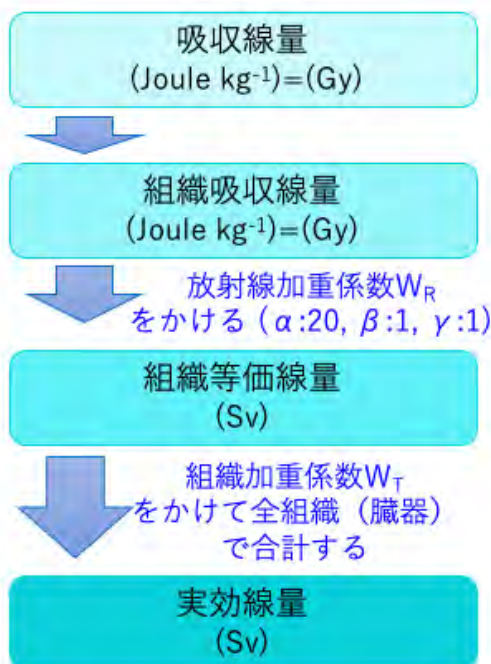
被ばく線量評価には、様々な手法があります。

生体試料を測定して、放射線の影響による実際の細胞や組織の変化を評価する方法があります。これには、血液試料による血球細胞数の変化や染色体異常の解析、身体所見による高線量被ばくの症状の確認と発症時期による線量の推定、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）の汚染検査による内部被ばくの推定、血液や嘔吐物の放射化の測定による中性子線被ばくの線量評価などがあります。これらの生体試料の測定による方法を生物学的線量評価と称します。

また、事故の状況や被ばくの時間、作業時間等を問診で確認することで被ばくの可能性の評価ができ、さらに線源や放射性物質等の情報を追加することで計算による線量推定ができます。また、実際に放射線や放射性物質を計測して評価することもできます。体外計測は、身体や臓器から放出される放射線を測定して、体内の放射性物質の残留量を計測し、内部被ばく線量を計算します。尿中や便中の放射性物質の排泄量を測定して内部被ばく線量を計算する方法がバイオアッセイ法です。また、線源や被ばくした患者の位置関係などから事故時の状況を再現し、放射線を実測した結果から、被ばく線量を計算する再構築の方法もあります。計算や計測による線量評価を物理学的線量評価と称します。



# 実効線量

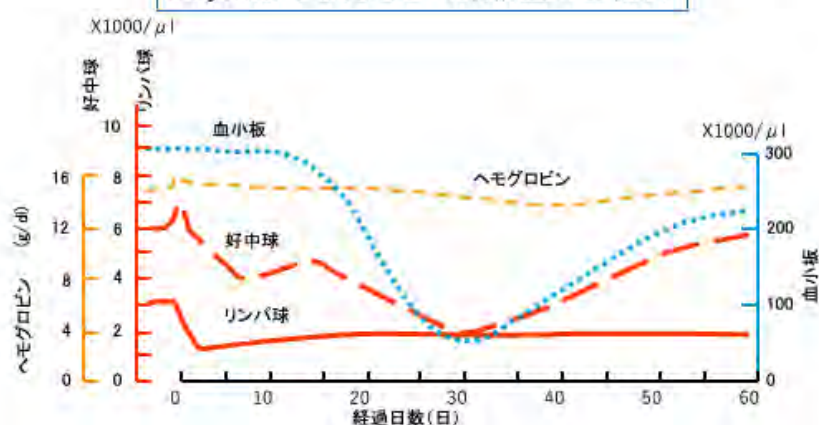


物質が吸収するエネルギーによる影響は、放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。

## 末梢血による外部被ばく線量評価

- ❖ 容易、低侵襲で確度の高い外部被ばく線量評価が可能
- ❖ 全身平均線量を評価できる
- ❖ 血算、不安定型染色体異常、安定型染色体異常、小核、遺伝子突然変異などを指標とする方法が考案されている

2Gy被ばくしたときの末梢血の変化例



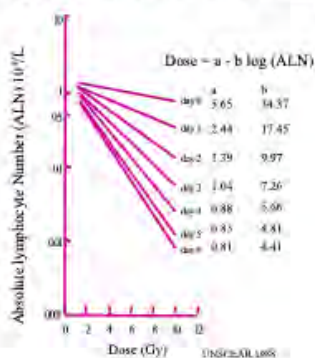
末梢血の血球による被ばく線量評価は、容易であり、侵襲の度合いの低い被ばく線量評価となります。これは、全身の平均線量を評価できます。血球数の推移による評価や染色体異常の分析による線量評価があります。2 Gyの被ばくをした場合の末梢血の血球数の推移を図に示しています。

出典：HÜBNER, K.F., FRY, S.A. (Eds), The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (Proc.REAC/TS International Conference Oak Ridge, 1979), Elsevier, Amsterdam and New York (1980).

## 血球数による線量推定

	ARSでの血球数と被ばく線量				
	1 - 2 Gy	2 - 4 Gy	4 - 6 Gy	6 - 8 Gy	> 8 Gy
リンパ球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ ) (被ばく後3～6日)	0.8 - 1.5	0.5 - 0.8	0.3 - 0.5	0.1 - 0.3	0.0 - 0.1
好中球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	> 2.0	1.5 - 2.0	1.0 - 1.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.1$
血小板数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	60 - 100 10 - 25 %	30 - 60 25 - 40 %	25 - 35 40 - 80 %	15 - 25 60 - 80 %	< 20 80 - 100 %

50 Gyを越すような非常に高線量被ばくした場合には、血球減少の前に死亡する



- ❖ 高線量被ばくが疑われる場合は、4～8時間毎に末梢血のリンパ球数を評価する。
- ❖ 血球数の減少の程度により、被ばく線量が推定される。

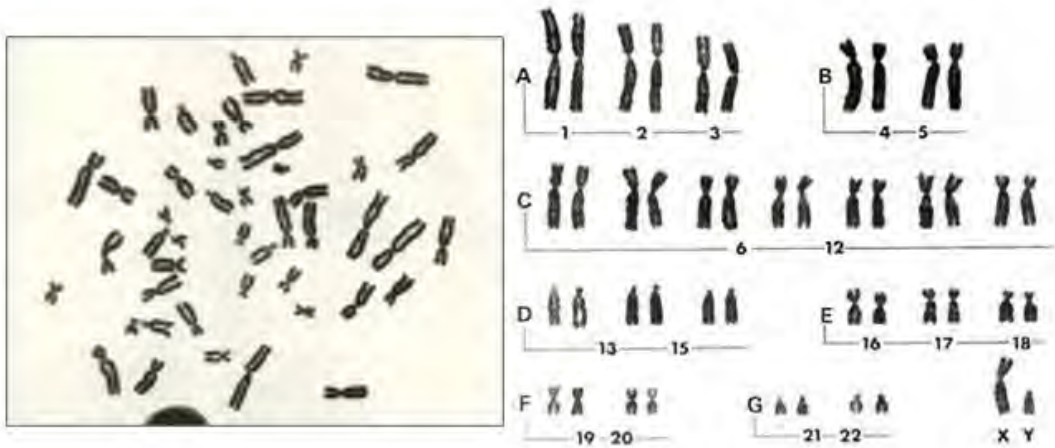
血球数の推移による線量推定の目安を表に示しています。高線量被ばくが疑われる場合は、4～8時間ごとに末梢リンパ球数を評価し、その推移によって被ばく線量を推定します。

50Gyを超える被ばくは、血球減少が出現する前に死亡してしまいます。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

## ヒト染色体

- ❖ 染色体はヒトの設計図(遺伝情報)の担体である。
- ❖ 常染色体 44本と性染色体2本がある

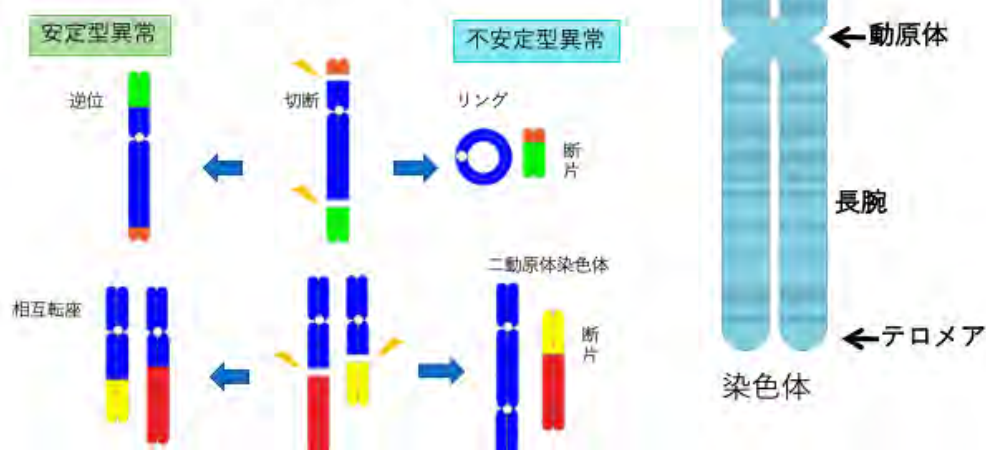


DNAはヌクレオチドという分子が長く繋がった糸状の分子で、そのほとんどが細胞の核の中にあります。DNAは核の中では、ヒストンというタンパク質に巻きついた形で存在し、これをクロマチン構造と言います。クロマチンが最大限に凝縮されたものがM期に見られる中期染色体です。

人の体細胞には、44本の常染色体と2本の性染色体があります。常染色体は第1番から第22番までの染色体が2本ずつあります。中期染色体は、動原体を挟んで両手両足を開いたような形をしています。

## 染色体解析による外部被ばく線量評価

- ❖ 末梢血リンパ球に起こる不安定型染色体異常を指標とする
  - ◇ スライドガラス上に染色体を展開し、染色して顕微鏡観察する
    - ◆ 二動原体染色体頻度；異常な染色体（二動原体染色体）の数を数える
    - ◆ PCC法
    - ◆ 染色体分染法（FISH法、M-FISH法）
- ❖ 外部被ばくの全身被ばく線量を最も正確に検出することができる
- ❖ 線量評価に採血から3日間程度の時間が必要



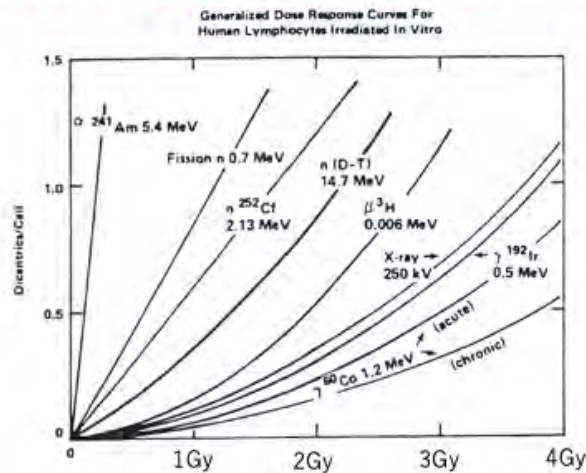
放射線により被ばくすると染色体異常が起こります。放射線によって染色体が切断され、切断面同士が再度接着するときに、染色体異常が起こります。染色体異常の頻度と線量との関係が分かっていると、染色体異常の頻度から被ばく線量を推定することができます。

二動原体染色体や環状染色体のように、細胞分裂を起こすと細胞が死んでしまうような異常を不安定型異常といい、転座や逆位のように生存への影響の少ない異常を安定型異常と言います。不安定型異常は被ばくからの年月に応じて減少しますが、安定型異常は失われずに残ります。

末梢血リンパ球をフィトヘマグルチニン（PHA）という薬剤で処理すると、細胞分裂を人為的に誘発でき、染色体構造を顕微鏡で観察することができるようになります。染色体異常の検出方法には、二動原体染色体頻度によるもの、PCC法、FISH法やM-FISH法といった染色体分染法があります。この染色体異常からの線量評価は、外部被ばくの全身被ばく線量を最も正確に検出することができます。末梢血リンパ球の培養の時間が必要なため、線量評価には採血から3日間程度の時間が必要となります。

# 染色体解析による外部被ばく線量評価

染色体異常頻度と線量には数理的な関係がある



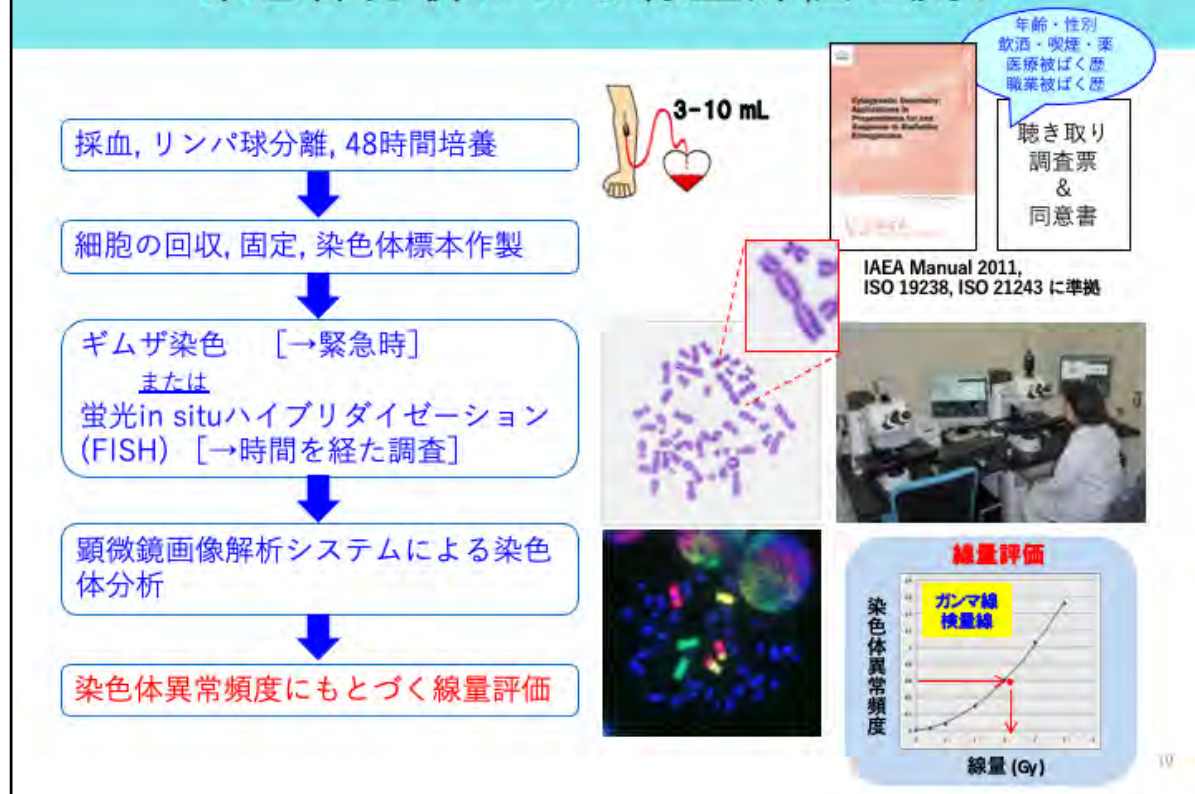
線質の異なる放射線による二動原体染色体出現頻度  
R. J. Dufrain et al., 1980 より抜粋

予め細胞のin vitro照射実験で検量線を作製しておけば、放射線被ばくを受けた人の染色体異常頻度から線量評価ができる。

染色体異常と線量には、数理的な関係があります。あらかじめ照射実験で検量線を作成しておけば、放射線被ばくでの染色体異常頻度から線量評価ができます。

また、二動原体染色体の出現頻度は、放射線の線質によっても異なります。LETが高くなると染色体上の誘発率は増加します。

## 染色体分析による線量評価の流れ

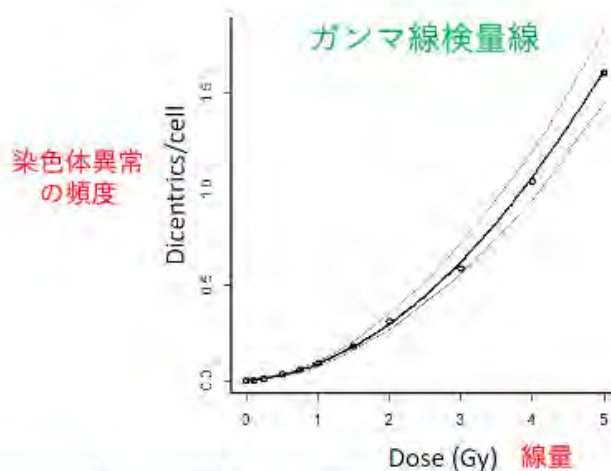


染色体分析用の採血後、リンパ球を分離し、48時間培養します。その後、細胞を回収し、標本を作成します。顕微鏡画像解析システムによる染色体分析を行い、異常の頻度に基づく線量評価を実施します。この手順は、国際標準の手順があります。

染色の手法としては、ギムザ染色、蛍光in situハイブリダイゼーション (fluorescent *in situ* hybridization; FISH) がある。

## 検量線

福島原発事故で線量評価に使用した検量線



$$Y = (0.00015 \pm 0.00017) + (0.0302 \pm 0.0044) \times D + (0.0588 \pm 0.0028) \times D^2$$

Y: 染色体異常の頻度, D: 線量 (Gy);  $p$  value of goodness of fit test :  $p = 0.73$ .

あらかじめ作成した検量線に、測定データを当てはめて被ばく線量を推定します。また、線質により同じ線量でも誘発される突然頻度は異なります。そのため放射線の種類によって検量線を使い分ける場合と、ガンマ線相当に換算して評価する場合があります。

出典；Y. Suto et al., Health Phys. (2013)



## 染色体分析の試料採取

- ❖ 染色体分析のための血液サンプルを確保する。
- ❖ 採血量：ヘパリン採血で10ml、最低3ml。（シリンジでも採血管でも良い、採血後十分に混合する）
- ❖ 採血時期：事故後24時間以降から4週間（1ヶ月）以内
  - ◇ ただし、高線量被ばくが予想される場合、血液中のリンパ球数の変化を見ながら激減するようであれば直ちに線量評価用の血液を確保する
  - ◇ 輸血などの措置が必要とされる場合は、輸血前に採血する
  - ◇ 採取した血液はただちに輸送できない場合、冷蔵（～室温）保存（凍結させない）
- ❖ 被ばく歴等の確認；線量評価の結果に影響を与えるため、次の項目を確認する。
  - ◇ 生年月日（年齢）
  - ◇ 性別
  - ◇ 医療被ばくの有無（放射線治療、X線検査、血管造影検査・治療、核医学検査・治療）
  - ◇ 既往歴
  - ◇ 服薬歴
  - ◇ 飲酒歴
  - ◇ 過去15年間のX線検査歴
  - ◇ 放射線関連作業従事歴

染色体分析に用いる血液サンプルは、ヘパリン採血管を使用します。採血量は10ml（最低3ml）です。採血時期は、被ばく後24時間以降から4週間以内です。被ばくから24時間経過すると、リンパ球が全身に均等に分布するため、正確な評価ができるようになります。ただし、高線量被ばくでリンパ球数が24時間以内に激減するようであれば、直ちに線量評価用の血液サンプルを確保します。また、輸血をする場合は、輸血の前に血液サンプルを採取します。輸血用の血液製剤は、放射線照射をしているため、正確な評価ができなくなるためです。

採取した血液サンプルを保存する場合は、凍結させずに冷蔵保存します。

また、線量評価の結果に影響を与える因子として年齢、性別、被ばく歴、既往歴、服薬歴、飲酒歴などを確認します。

## ARS 前駆症状と被ばく線量

	1~2Gy	2~4Gy	4~6Gy	6~8Gy	>8Gy
嘔吐	10-50% 2h以降	70-90% 1-2h	100% 1h以内	100% 30min以内	100% 10min以内
下痢	(-)	(-)	中等度 <10% 3~8h	重度 >10% 1~3h	重度 100% 1h以内
頭痛	軽度	軽度	中等度 50% 4~24h	重度 80% 3~4h	重度 80~90% 1~2h
意識	正常	正常	正常	混濁例あり	喪失 (50Gy ↑)
体温	正常	微熱	発熱	高熱	高熱

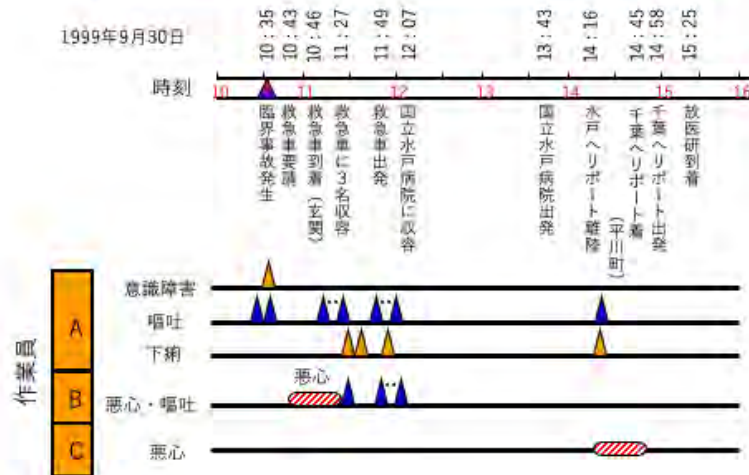
臨床症状からの被ばく線量の推定としては、急性放射線症(ARS)の前駆症状の重篤度と発症時期による推定があります。

前駆症状の発現時期が早ければ早いほど、また症状が重篤であるほど、被ばく線量は高いことが推定されます。これは、医療機関で被ばく患者を受け入れた際に、大まかな状態と高線量被ばくの可能性を推定する際に役立ちます。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

## 嘔吐と推定被ばく線量

被ばくからの時間	推定被ばく線量(Gy)
< 30 分	> 6
0.5 - 1 時間	4 - 6
1 - 2 時間	2 - 4
2 - 3 時間	1 - 4
症状なし	< 1



前駆症状の中でも嘔吐は最も現れやすい症状です。

被ばく線量が高いほど嘔吐が出現する時期は、早くなります。被ばくから30分以内の嘔吐であれば、6Gy以上の被ばく線量が疑われます。2～3時間での嘔吐は1～4 Gy程度の被ばくが疑われます。4時間以上経過しても嘔吐の症状がなければ、高線量の被ばくの可能性は低くなります。

出典；International Atomic Energy Agency, Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries. Safety Report Series No.2. Vienna, 1998.

International Atomic Energy Agency, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. Vienna, 2005.

## 個人線量計による実効線量及び等価線量の算定方法

被ばく状況	評価項目	算定方法	
均等被ばく	実効線量	胸腹部に装着した個人線量計から評価した1cm線量当量	
	等価線量	皮膚	体幹部に装着した個人線量計から評価した70 $\mu$ m線量当量（等価と見なせる場合は1cm線量当量でもよい）
		眼の水晶体	体幹部に装着した個人線量計から評価した70 $\mu$ m線量当量または1cm線量当量のうちどちらか大きい方（等価と見なせる場合は1cm線量当量でもよい）
		妊娠を申告した女子の腹部表面	腹部に装着した個人線量計から評価した1cm線量当量
不均等被ばく	実効線量	頭頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部、その他の部位に必要な応じて個人線量計を装着し、それらから得られる1cm線量当量の加重平均値を実効線量と見なす	

個人線量計による実効線量と等価線量の算定方法を示しています。

## 線量推定

- ◆ 諸条件（核種、放射能など）から被ばく線量を計算し、線量を推定する

線源で全身被ばく    線源で局所被ばく




放射線緊急事態時の評価

核種や放射能などの諸条件から被ばく線量を計算して被ばく線量を推定する方法もあります。

## 外部被ばく線量の計算

作業者が誤って $^{137}\text{Cs}$ 線源 (37TBq) から1.5m離れた場所で約10分間の照射を受けたことが判明した。この作業者が受けた外部被ばく線量を計算せよ

$\Gamma = 0.0779 (\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1})$  for  $^{137}\text{Cs}$

$$E = \frac{A \times \Gamma \times t}{d^2} = \frac{3.7 \times 10^7 \times 0.0779 \times 1/6}{1.5^2} = 2.1 \times 10^5 (\mu\text{Sv}) = 210 (\text{mSv})$$


実効線量率定数は、放射能(Ba)から被ばく線量(Sv)を算出するのに必要な定数で、核種毎に値が異なり、アイソトープ手帳の放射線同位元素表で確認する必要があります。この際、m、 $\mu$ 、M等の桁に注意して計算します。

ある線源からの外部被ばく線量を計算するには、線源の大きさ（放射能；Bq）、線源からの距離（m）、被ばくした時間（h）、核種の実効線量率( $\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$ )が必要となります。

例えば、Cs-137線源(37TBq =  $37 \times 10^6 \text{MBq}$ )から1.5m離れた場所で約10分間照射を受けた場合の被ばく線量は、上記の式となり、210mSvとなります。

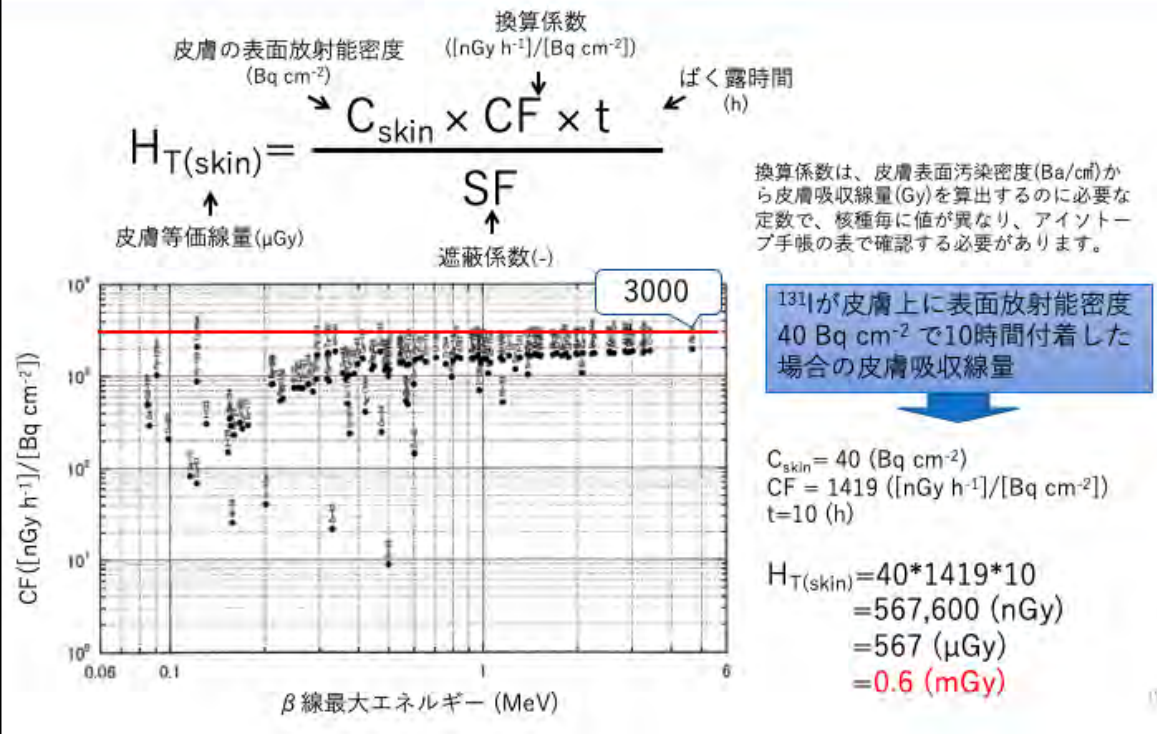
## 外部被ばく線量率定数

放射性核種	半減期	γ線エネルギー (MeV) - 放出率	1MBq, 1mでの 実効線量率( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )	1MBq, 1mでの 周辺線量当量率( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )
$^{24}\text{Na}$	2.609y	1.275 - 99.9%	0.284	0.333
$^{54}\text{Mn}$	312.1d	0.835 - 100%	0.111	0.13
$^{59}\text{Fe}$	44.5d	1.099 - 56.5% 1.292 - 43.3%	0.147	0.171
$^{60}\text{Co}$	5.271y	1.173 - 100% 1.333 - 100%	0.305	0.354
$^{85}\text{Sr}$	64.84d	0.514 - 96.0%	0.0697	0.0826
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	249.8d	0.658 - 94.0% 0.885 - 72.2% 0.937 - 34.1% 1.384 - 24.1%	0.354	0.416
$^{137}\text{Cs}$	30.04y	0.662 - 85.1%	0.0779	0.0927
$^{192}\text{Ir}$	73.83d	0.296 - 28.7% 0.308 - 30.0% 0.317 - 82.7% 0.468 - 47.8%	0.117	0.139
$^{241}\text{Am}$	432.2y	0.0595 - 35.9%	0.00395	0.0529

核種ごとに実効線量率が異なります。その代表的な各種の実効線量率を示しています。

出典：アイソトープ手帳第10版

# 皮膚線量の計算

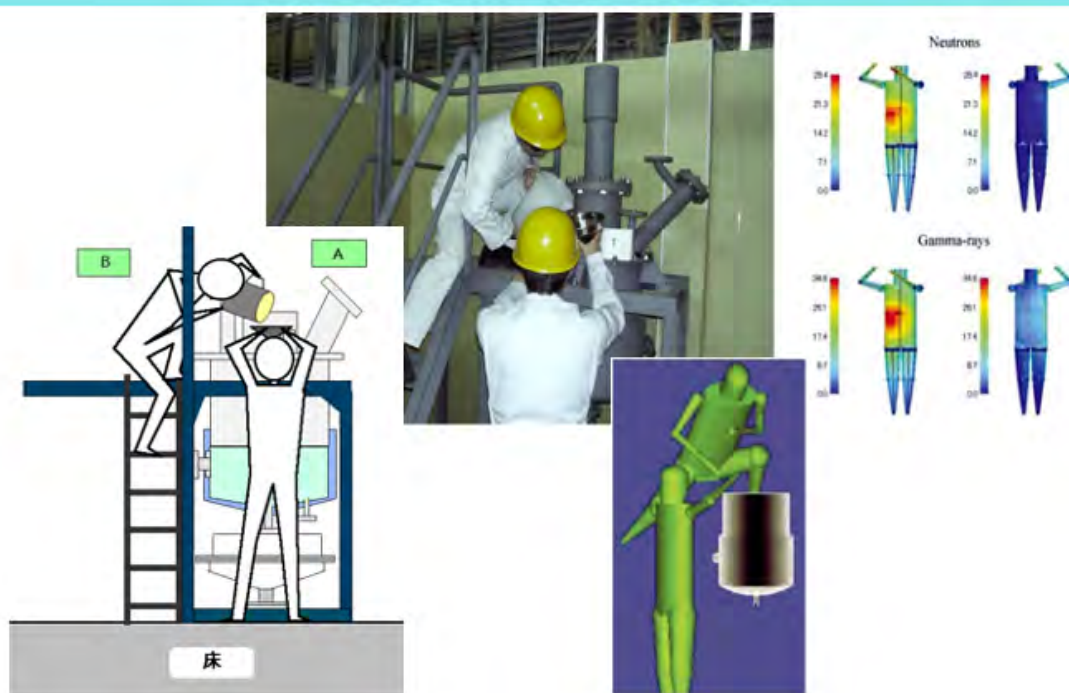


表面汚染から受ける皮膚の吸収線量（皮膚等価線量）は、表面密度 (Bq/cm<sup>2</sup>)、換算係数([nGy h<sup>-1</sup>]/[Bq cm<sup>-2</sup>])、被ばく時間(h)、遮蔽係数から計算します。

I-131が皮膚上に表面密度40Bq/cm<sup>2</sup>で10時間付着した場合の皮膚吸収線量は0.6mGyとなります。



## 再構築



20

事故時の状況を再現し、状況と実測結果から被ばく線量を推定します。

## 内部被ばくの特異性

- ❖ 体内の放射性核種からの被ばく線量が急性障害を引き起こすことはまれ → 全身の症状としては出現しない、鼻腔スワブ等での確認
- ❖ 放射性物質が体内から消失するまで被ばくが続く。
- ❖ 晩発性の健康影響として、放射線誘発がんの危険性の増加がある。
- ❖ 被ばく線量は直接測定できない。
  - ◇ 計測法、分析法、体内挙動の評価モデルなどを用いて線量を評価
  - ◇ 元素の種類によって体内での分布が異なる
  - ◇  $\alpha$ 核種の内部被ばくが特に問題
  - ◇ 線量評価には**摂取量の推定**が必要
  - ◇ 摂取量の推定にはシナリオ（放射性物質の摂取時期、摂取経路、性状などの条件）が必要



内部被ばくとは、放射性物質が体内に入り、被ばくする事です。内部被ばくでは、急性障害が起きることは極めて稀で、全身被ばくの症状は出現しません。身体所見から内部被ばくを診断することはできませんが、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）に付着した放射性物質を検出することで内部被ばくの可能性を評価できます。

しかし、放射性物質が体内から消失するまで被ばくが続き、低線量率の被ばくとなります。健康影響としては、晩発性の影響で、放射線誘発がんの危険性が増加します。

体内に取り込まれた放射性物質は、臓器に蓄積したり、尿や便で体外に排泄されたりします。この代謝によって排泄されることで体内の放射性物質の量が半分になる時間を生物学的半減期と言います。また、放射性物質に含まれる放射能は時間とともに減っていくため（物理学的半減期）、体内の放射能も時間経過とともに減っていきます。体内に取り込まれた放射性物質が、物理的減衰と生物学的な排泄の両方で、半分の量になるまでの時間を実効半減期と言います。

この内部被ばくの線量は直接測定することはできません。そこで、計測法、分析法、体内挙動の評価モデルなどを用いて、線量を評価します。また、体内に入った放射性物質は、核種によって体内での分布が異なります。内部被ばくの線量評価には、最初に取り込んだ放射性物質の量（摂取量）の推定が必要です。この推定には、放射性物質の摂取時期、摂取経路、性状などのシナリオの条件が必要です。

## 内部被ばく線量評価の方法

### 個人モニタリング

体外計測法： 残留量 ÷ 残留割合 = 摂取量  
バイオアッセイ法 排泄量 ÷ 排泄割合 = 摂取量

摂取量  
(Bq)

×

線量係数  
(Sv/Bq)

=

実効線量  
(Sv)

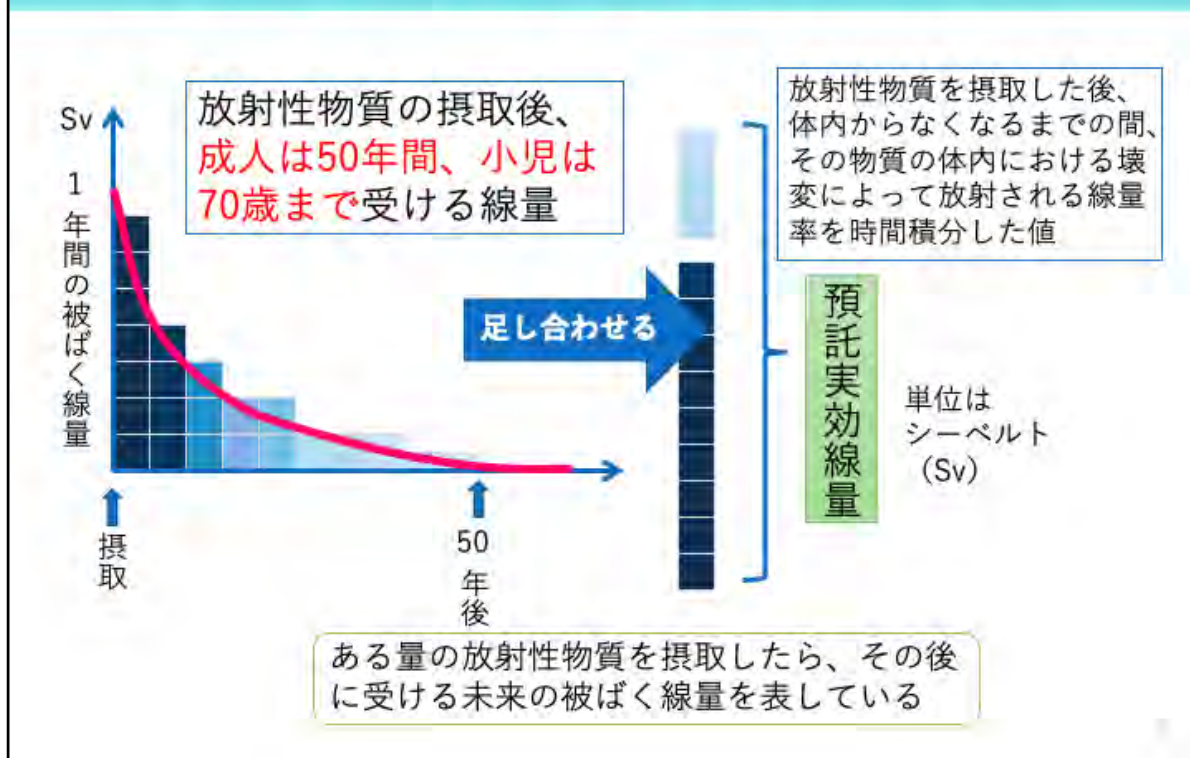
↑  
後で説明

### 環境モニタリング

空気中濃度 × 呼吸量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 再浮遊係数 × 呼吸量 = 摂取量)  
飲食物中濃度 × 食べた量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 飲食物への移行係数 × 食べた量 = 摂取量)

内部被ばく線量評価のために、まず摂取量を推定する必要があります。これには、個人モニタリングである体外計測法とバイオアッセイ法があり、環境モニタリングである空気中濃度と呼吸量からの推定、飲食物中濃度と食べた量からの推定といった方法があります。

## 内部被ばくの線量（預託実効線量）



内部被ばく線量は、放射性物質を摂取した後、体内からなくなるまでの間、その物質の体内における壊変によって放射される線量率を時間積分した値ということになります。

これは、成人であれば放射性物質の摂取後50年間、小児では摂取から70歳までの被ばく線量を足し合わせたもので、預託実効線量といい、単位はSv（シーベルト）で表されます。

放射性ヨウ素（I-131）や放射性セシウム（Cs-134、Cs-137）の実効半減期はそれぞれ7.5日、96日、110日\*なので、50年後まで体内に留まる量は非常に少ないです。

\*IAEA 「EPR-INTERNAL CONTAMINATION2018 Medical Management of Persons Internally Contaminated with Radionuclides in a Nuclear or Radiological Emergency」

## 体外計測法とバイオアッセイ法

比較項目	体外計測法	バイオアッセイ法
対象核種	ガンマ線放出核種	アルファ線放出核種 ベータ線放出核種 (ガンマ線放出核種)
測定対象	全身または局所	尿、便など
装置	ホールボディカウンタ 甲状腺モニタ 肺モニタ	前処理装置 化学分析装置 放射能測定装置
利点	体内放射能の直接測定	試料入手により遠隔地でも測定可能
弱点	核種が限定される	試料採取、化学分析操作に時間を要する
結果が示すもの	測定時点の体内残留量	測定時点の排泄量

内部被ばくの線量評価に必要である摂取量の推定には、体外計測法による残留量からの評価と、バイオアッセイ法による排泄量からの評価の方法があります。

体外計測法は、ガンマ線放出核種を対象としますが、バイオアッセイ法はアルファ線放出核種、ベータ線放出核種も対象となります。

体外計測法は、ホールボディカウンターで全身の計測をしたり、甲状腺モニターや肺モニターで局所を計測します。計測の結果は、測定時点での体内の残留量となります。

バイオアッセイ法は、尿や便の中の放射性物質を計測するため、前処理、化学分析が必要で、時間を要します。この結果は、尿中あるいは便中の排泄量となります。

## 体外計測法

❖ 体外に出てくる  $\gamma$  線を体外に配置した放射線測定器で検出

◇  $^{137}\text{Cs}$ の662keVの全吸収ピーク効率：1%程度



体内からの放射線も  
体外からの放射線も  
区別なく検出してしま  
うため、体表面汚  
染を必ず確認する。

25

体外計測法は、体内の放射性物質から放出されるガンマ線を検知して、測定しています。この時、体表面に汚染が付着していると、体内からのガンマ線なのか、体外のガンマ線なのか区別できず、正確な線量評価ができなくなります。そのため、体外計測の前には、必ず体表面汚染の有無を確認します。

# バイオアッセイ法

アクチニド核種の場合

前処理

(2日程度)



灰化



蒸発濃縮



共沈

核種分離

(1日程度)



共沈



イオン交換



試料作成

(半日程度)



電着



放射能測定 (SI)

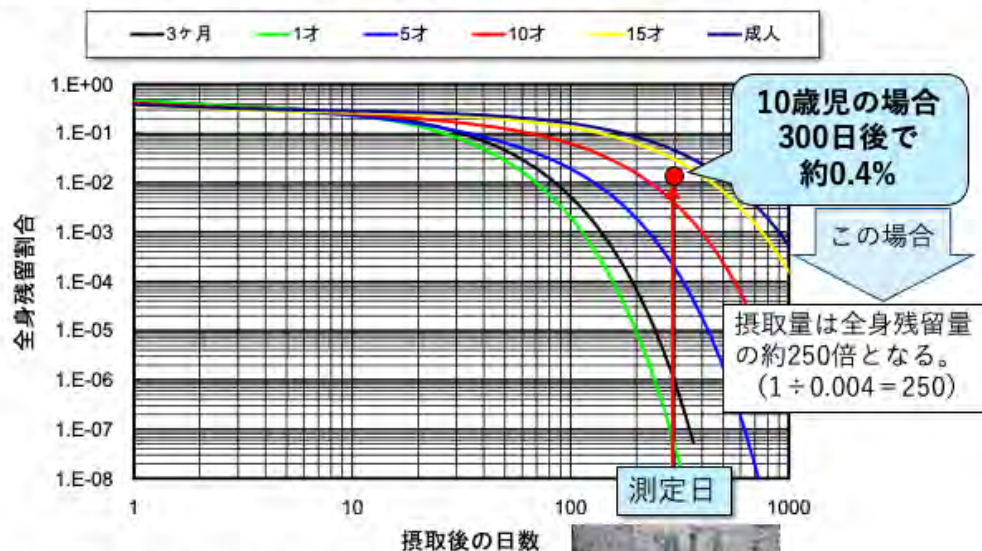
放射能定量

(1日程度)

バイオアッセイの手順を示しています。まず、前処理で便の場合は灰化し、尿の場合は、蒸発濃縮します。それを共沈作用、イオン交換によって核種分離します。その後、プレートに電着し、測定器で放射能測定を実施します。

## 放射性核種の残留割合

$^{137}\text{Cs}$ の急性摂取での全身残留割合（吸入摂取，タイプF，粒径 $1\ \mu\text{m}$ ）



摂取量は全身残留量の約250倍となる。  
( $1 \div 0.004 = 250$ )

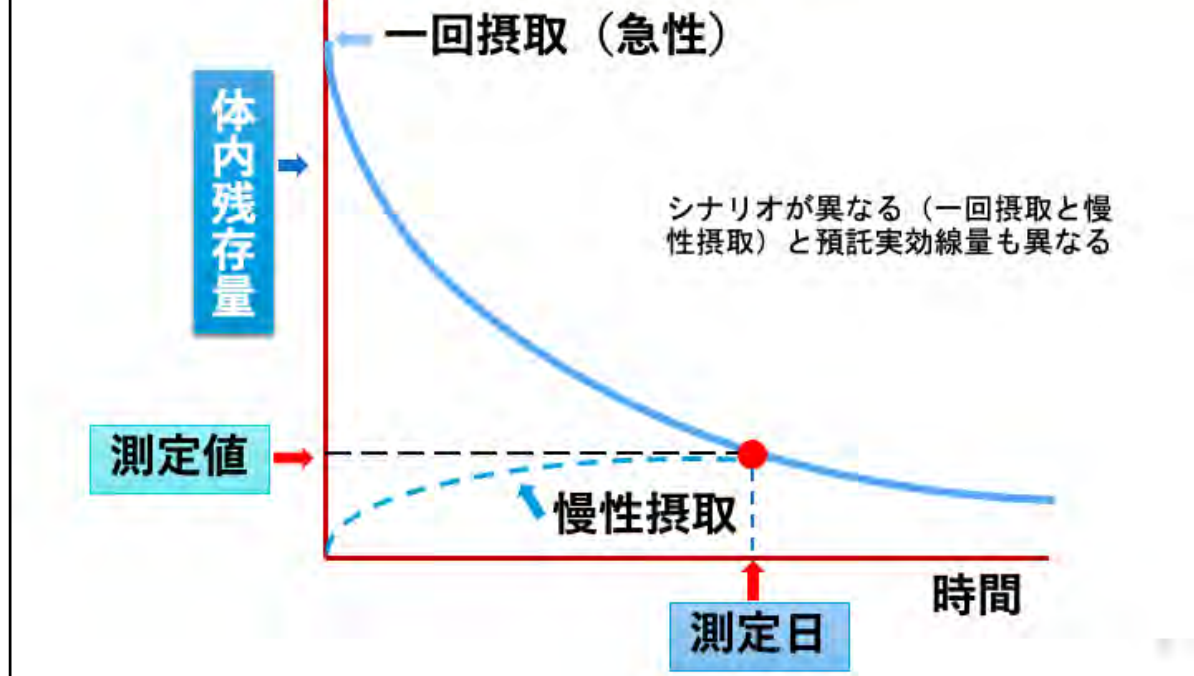


$\text{Cs-137}$ を1回の急性摂取した場合の全身残留割合を示しています。体外計測法での測定結果から摂取量を評価する場合、測定日と測定結果から、体内の残留割合を用いて、最初の摂取量を求めることができます。例えば、10歳児の $\text{Cs-137}$ の摂取から300日後の体内の残留割合は約0.4%です。そのため、最初の摂取量は、全身残留量の約250倍となります。

バイオアッセイ法の場合は、摂取からの時間経過によって体内からの排泄割合が変化します。バイオアッセイ法では、得られた結果と測定時点での排泄割合から最初の摂取量を評価します。



## WBCの計測値



また、WBCの測定結果が同じであっても、急性の1回摂取の場合と、少量を継続して摂取する慢性摂取のシナリオでは、預託実効線量は異なります。そのため、被ばく線量評価の推定には、摂取のシナリオ（急性なのか、慢性なのか）も重要です。

## 内部被ばく線量の算出

- ❖ 実効線量係数とは、摂取した放射性物質の量と被ばく線量の関係を表す係数（単位は Sv/Bq）
- ❖ 1 Bqの摂取による預託実効線量（Sv/Bq）  
(1 Bqとは1秒間に1個の原子が壊変すること)
- ❖ **預託実効線量 = 実効線量係数 × 摂取量**
  - ◇ 吸入・経口摂取により異なる
  - ◇ 核種、化学的形態、物理的形態により異なる

ある原子力発電所の定期点検作業中に作業者が<sup>60</sup>Coを含むダストを吸入したおそれのある事象が発生した。事故翌日のWBC測定によって1MBqの残留量が全身にあることが確認された。この作業者の摂取量及び実効線量を評価する。

$$\begin{aligned} \text{摂取量} &= \text{残留量} \div \text{残留率} \\ &= 1\text{E}+06 \div 0.49 = 2.04\text{E}+06 \\ &= \mathbf{2.04\text{MBq}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{預託実効線量} &= \text{摂取量} \times \text{実効線量係数} \\ &= 2.04\text{E}+06 \times 1.7\text{E}-08 \\ &= 0.0347\text{Sv} \\ &= \mathbf{34.7\text{mSv}} \end{aligned}$$



実効線量係数とは、摂取した放射性物質の量と被ばく線量の関係を表す係数です。同じ核種でも吸入摂取か、経口摂取かにより異なり、核種の化学的形態、物理的形態によっても異なります。

例えば、作業者がCo-60を吸入した場合、WBC測定で1MBqの残留量があると確認された場合、残留率は0.49、実効線量係数は $1.7 \times 10^{-8}$ であり、計算すると34.7mSvとなります。

## 内部被ばく線量評価の一例

The screenshot shows the MONDAL Ver. 3.01 software interface. The main window is titled 'MONDAL Ver. 3.01 [日本語]'. It contains several sections for input and output:

- 核種 (Nuclide):** Co-60, with half-life of 5.27 years and decay constants of 0.17 MeV/100% and 0.33 MeV/100%.
- 吸入経路 (Inhalation Route):** Checked for '作業者による吸入摂取' (Worker inhalation intake) and '作業者による経口摂取' (Worker oral intake).
- AMAD (AMAD):** 5 ミクロン (デフォルト) (5 microns (default)).
- 吸収のタイプ (Absorption Type):** タイプG (Type G).
- 測定データ (Measurement Data):** 計測量 (Measurement) set to 全身残留量 (Whole body residual amount), 放射能 (Radioactivity) set to 1000000 Bq.
- 計算結果 (Calculation Results):** 測定した日の残留割合 (Residual ratio on the day of measurement) is 4.90E-01 Bq/Bq, 摂取量 (Intake) is 2.0E+06 Bq, and 実効線量 (Effective dose) is 3.5E-02 Sv.

A callout box points to the '実効線量' (Effective dose) result, which is 35mSv.

前述の作業者のCo-60の吸入について、MONDAL 3に測定結果と必要な条件（核種、作業者の吸入摂取、粒径、吸収のタイプ、計測量、放射能）を入力すると同様の結果が得られます。

## 内部被ばく線量評価の一例

### 他の粒径と吸収タイプの条件での線量評価結果

条件	$f_1$	$e(50)$ Sv/Bq	全身残留率 (摂取1日後)	摂取量 Bq	実効線量 mSv
タイプS, 5 $\mu$ m	0.05	1.7E-08	0.490	2.0E+06	35
タイプS, 1 $\mu$ m	0.05	2.9E-08	0.346	2.9E+06	84
タイプM, 5 $\mu$ m	0.1	7.1E-09	0.485	2.1E+06	15 <b>5.6倍</b>
タイプM, 1 $\mu$ m	0.1	9.6E-09	0.340	2.9E+06	28

この数値の違いが計算結果の違いとなる。  
この係数の違いは、吸入した放射性物質の化学形態の違いによる体内における吸収速度の違いと、粒径の違いによる。

**現場の情報が重要!!**

化学形態、粒径

内部被ばく線量評価では、同じ核種でも粒径や吸収のタイプが異なると線量評価の結果も異なります。そのため、正確な被ばく線量評価には、現場からの情報が重要です。

## まとめ

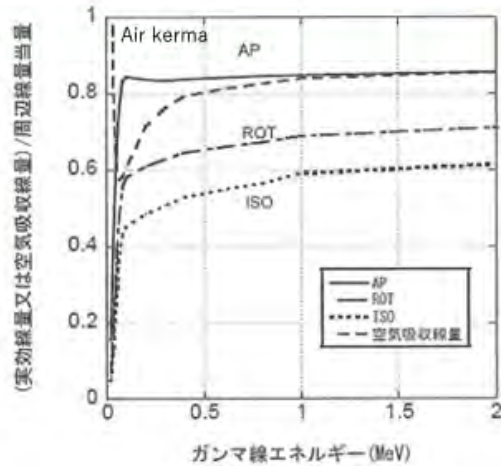
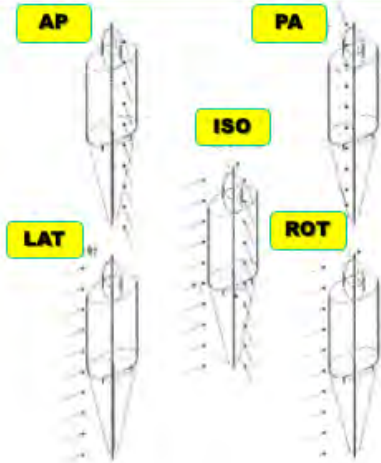
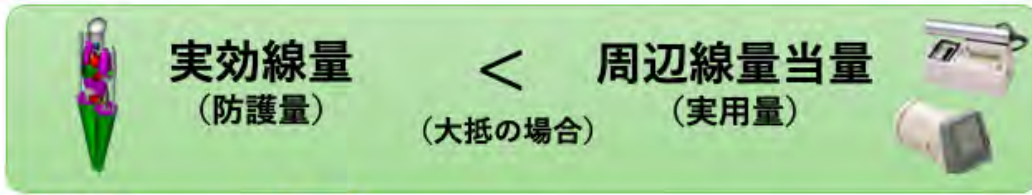
- ❖ 被ばく線量評価は、治療方針、予後の推定等に重要である。
- ❖ 被ばく線量評価は、治療方針・予後の推定等に必要であり、様々な方法を用いて実施し、総合的に判断する。
- ❖ 外部被ばく線量計算:  $Bq \rightarrow Sv$  実効線量率定数 [ $\mu Sv m^2 MBq^{-1} h^{-1}$ ]
- ❖ 皮膚等価線量計算:  $Bq/cm^2 \rightarrow Gy$  換算係数 [ $nGy h^{-1}/Bq cm^{-2}$ ]
- ❖ 内部被ばく線量計算:  $Bq \rightarrow Sv$  内部被ばく線量係数 [ $Sv/Bq$ ]
- ❖ 急性摂取の残留割合(減衰率 $\times$ 排泄率)、慢性摂取のそれぞれのシナリオから摂取量を計算し、預託実効線量として評価

## 実効線量（当量）係数-作業者

核種	Publication 68					Publication 54		
	タイプ	吸入摂取 (Sv/Bq)			経口摂取 (Sv/Bq)		吸入摂取 (Sv/Bq)	
		$f_1$	粒径1 $\mu\text{m}$	粒径5 $\mu\text{m}$	$f_1$		クラス	粒径1 $\mu\text{m}$
<sup>60</sup> Co	M	0.1	9.6 $\times 10^{-9}$	7.1 $\times 10^{-9}$	0.1	3.4 $\times 10^{-9}$	W	8.0 $\times 10^{-9}$
	S	0.05	2.9 $\times 10^{-8}$	1.7 $\times 10^{-8}$	0.05	2.5 $\times 10^{-9}$	Y	4.1 $\times 10^{-8}$
<sup>106</sup> Ru	F	0.05	8.0 $\times 10^{-9}$	9.8 $\times 10^{-9}$	0.05	7.0 $\times 10^{-9}$	D	1.5 $\times 10^{-8}$
	M	0.05	2.6 $\times 10^{-8}$	1.7 $\times 10^{-8}$	-	-	W	2.5 $\times 10^{-8}$
	S	0.05	6.2 $\times 10^{-8}$	3.5 $\times 10^{-8}$	-	-	Y	1.2 $\times 10^{-7}$
<sup>131</sup> I	F	1.0	7.6 $\times 10^{-9}$	1.1 $\times 10^{-8}$	1.0	2.2 $\times 10^{-8}$	D	8.8 $\times 10^{-9}$
	V	1.0	2.0 $\times 10^{-8}$	-	-	-	-	-
<sup>134</sup> Cs	F	1.0	6.8 $\times 10^{-9}$	9.6 $\times 10^{-9}$	1.0	1.9 $\times 10^{-8}$	D	1.3 $\times 10^{-8}$
<sup>137</sup> Cs	F	1.0	4.8 $\times 10^{-9}$	6.7 $\times 10^{-9}$	1.0	1.3 $\times 10^{-8}$	D	8.7 $\times 10^{-9}$
<sup>238</sup> U	F	0.02	4.9 $\times 10^{-7}$	5.8 $\times 10^{-7}$	0.02	4.4 $\times 10^{-8}$	D	6.4 $\times 10^{-7}$
	M	0.02	2.6 $\times 10^{-6}$	1.6 $\times 10^{-6}$	0.002	7.6 $\times 10^{-9}$	W	1.7 $\times 10^{-6}$
	S	0.002	7.3 $\times 10^{-6}$	5.7 $\times 10^{-6}$	-	-	Y	3.2 $\times 10^{-5}$
<sup>239</sup> Pu	M	5 $\times 10^{-4}$	4.7 $\times 10^{-5}$	3.2 $\times 10^{-5}$	5 $\times 10^{-4}$	2.5 $\times 10^{-7}$	W	1.1 $\times 10^{-4}$
	S	1 $\times 10^{-5}$	1.5 $\times 10^{-5}$	8.3 $\times 10^{-6}$	1 $\times 10^{-5}$	9.0 $\times 10^{-9}$	Y	8.1 $\times 10^{-5}$
			-	-	1 $\times 10^{-4}$	5.3 $\times 10^{-8}$		

作業者の実効線量係数を主な核種について示しています。  
一般公衆の実効線量係数は作業者と異なります。

# 実効線量と周辺線量当量の関係（光子）



実効線量は、人体の臓器や組織の線量から計算される量で、測定器を使って直接測ることはできません。そこで、被ばく管理のために、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が用いられています。空間線量を測定するNaI(Tl)シンチレーションサーベイメーターや電離箱式サーベイメーターといった機器では、周辺線量当量を表示するように調整されています。

実効線量と周辺線量当量の比率は、核種の違い（放出されるガンマ線エネルギーの違い）や照射条件により異なりますが、成人の場合、実効線量は、概ね周辺線量当量の0.55倍～0.85倍程度になります。

出典；特集 放射線防護に用いられる線量概念，日本原子力学会誌（2013）

# ホールボディカウンタの校正



既知量の放射性核種を封入した  
ファントム

ピークカウント：  $C$   
放射能：  $A$   
↓  
計数効率：  $C/A = \epsilon$



被検者

ピークカウント：  $C'$   
↓

放射能：  $A' = C' / \epsilon$

↑

ホールボディカウンタの校正として、既知の量の放射性物質を封入したファントムを測定し、ピークカウントと放射能から係数効率を算出しておきます。被検者を実測したときに得られたピークカウントをこの係数効率で除すると体内に残留している放射能が得られます。



# 原子力災害時の メンタルヘルス

原子力災害医療 専門研修  
中核人材-5

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

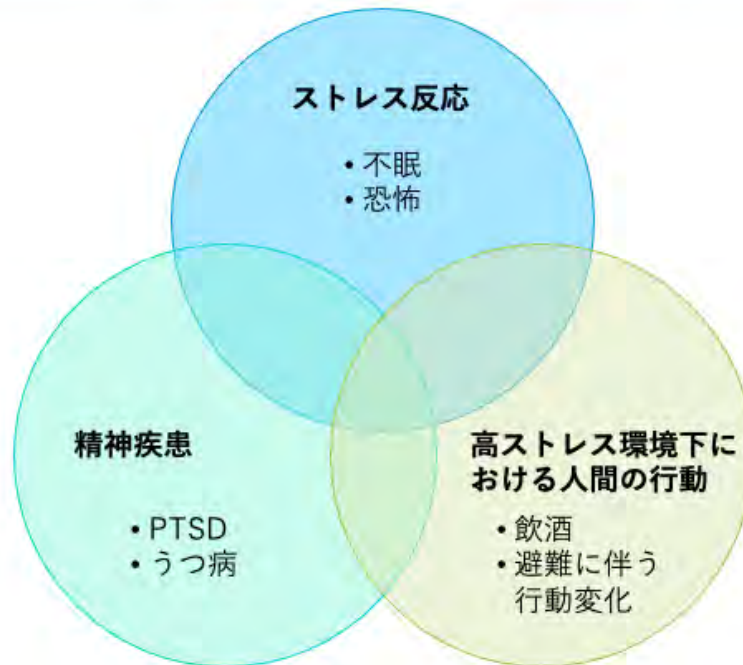
本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- 災害による心理的影響
- 災害後の心理状態の変化
- 災害に関連するストレス
- 心的外傷後ストレス障害（PTSD）
- 悲嘆反応
- 被災者の回復の二極化
- ハイリスクの被災者
- 災害支援者が被る災害ストレス
- 災害支援者のセルフケア
- 支援者の精神健康対策
- 原子力災害後の心理状態の変化
- 原子力災害の特徴
- スティグマ・差別・中傷
- 原子力災害時のメンタルヘルス対策

## 災害による心理的影響



アメリカ医学研究所は災害の心理的影響を分類する枠組みを策定し、その中で、行動の変化、ストレス反応、精神疾患の3つの大きなカテゴリーを設定しています。

行動の変化は、災害後に様々な人々の行動や生活において認められる変化を含んでいます。一般的に見られる行動変化として、退行的行動の再発や潜在的に先々問題を引き起こしうる行動をとることが挙げられます。飲酒量の増加や喫煙の再開などはその典型的な例です。

どのような体験に対してもストレス反応は生じます。その反応は異常もしくは不適応な反応であることもあれば、そうでないこともあります。これらの反応は認知、情動、身体の3つの側面に及びます。不眠は行動の変化とストレス反応のカテゴリーに重複して考えられます。認知の変化には、困惑や気が散ることも含まれます。情動的反応にもさまざまあり、典型的なものとして不安、恐怖、悲嘆、諦めなどがあります。共同体意識や精神性の高まりなどのポジティブな情動も生じ得ます。身体的原因が明らかに存在しない場合でも、被災者は頭痛や腹痛などの身体反応が生じることで医療的ケアを求めます。

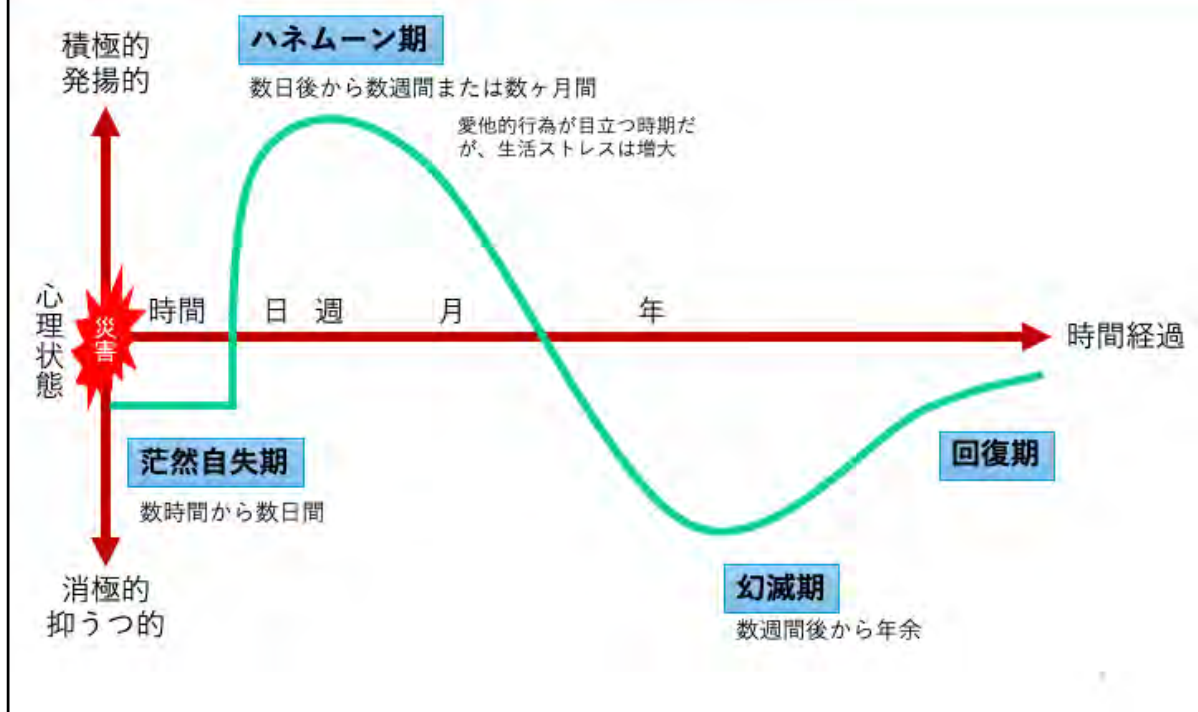
多くの場合、行動の変化やストレス反応の程度や移り変わりの早さは時間とともに落ち着きます。しかし、このような改善が見られず、いろいろな問題が重なってくると、精神疾患を発症するに至ることもあります。最もよくみられる災害後の精神疾患として、心的外傷後ストレス障害（post-traumatic stress disorder: PTSD）、うつ病、アルコール使用障害があげられます。

PTSDとは、生命や身体に脅威を及ぼし、強い不安、恐怖、無力感をもたらす

ようなトラウマ体験によって出現する心の後遺症ともいえる症候群です。

出典：フレデリック・J・スタッダードJr.他（編）「災害精神医学」（星和書店 2015）

## 災害後の心理状態の変化



災害発生後の被災者の心理状態は3相性の段階を踏んで経過します。

茫然自失期は、発災から数時間から数日間であり、誰しもがショックを受け、茫然自失の状態になる時期です。気分は消極的、抑うつ的となります。

ハネムーン期は、発災数日後から数週間または数ヶ月間続きます。被災者が被害の回復に向かい、一丸となって、積極的な気分になります。しかし一見、元気に見えるが、生活ストレスは増大します。

幻滅期は、発災数週間後から年余にかけて続きます。この時期は、メディア等が災害を報じなくなり、被災地外の人々の関心が薄れることで、被災者は無力感や倦怠感にさいなまれるようになります。また、被災者の立ち直り（心理的および経済的生活再建）状況の個人差が拡大していき、災害時要支援者、要配慮者対策の重要性が増します。

その後、復旧が進み生活の目処がつき始めると、現状を受け入れ、気分が安定し、将来のことを考えられるようになります。

このように被災者の心理状態は時間経過とともに変化します。その変化して行くニーズを把握し、柔軟に対応する必要があります。

出典：岩井圭司（金吉晴 編）「心的トラウマの理解とケア 第2版」p66,  
（株式会社じほう, 2006）より改変

CDC「Psychological first aid in radiological disasters」

# 災害に関連するストレス

## 心的トラウマ

- ◇ 災害の体験；地震の揺れや音、火災の炎や熱、爆発の音や熱風など
- ◇ 災害による被害；負傷、近親者の死傷、自宅の被害など
- ◇ 災害の目撃；死体、火災、家屋の倒壊、人々の混乱など

## 悲嘆、喪失、怒り、罪責

- ◇ 死別、負傷、家財の喪失などによる悲嘆
- ◇ 罪責；自分だけが生き残ったこと、適切に振る舞えなかったこと
- ◇ 周囲に対する怒り；援助の遅れ、情報の混乱など
- ◇ 過失による災害の場合の過失責任機関・責任者に対する怒り

## 社会・生活ストレス

- ◇ 避難、転宅；新しい居住環境でのストレス、集団生活など
- ◇ 日常生活の破綻；学校、仕事、地域生活、これまでの疾病への治療、乳幼児や高齢者・障害者のケアなど
- ◇ 新たな対人関係や情報の負担；情報の援助を受けるための対人接触、情報内容の処理
- ◇ 被災者として注目されることの負担；人目につくことのストレス、同情や好奇の対象になっているのではないかと不安など

心的トラウマは生命危機ストレスであり、災害の衝撃に直接起因するものであり、災害直後には急性ストレス反応や激しい興奮あるいは昏迷、幻覚妄想を主体とする一過性の反応性精神病状態を引き起こすことがあります。その発生率は、決して高くはないですが、医療的介入を要することがあります。

また、生命危機ストレスの大きさは、その後のPTSDの発症にも影響します。

当初の茫然自失や気持ちの高ぶりが収まった後、深刻な喪失感、悲哀感を感じる場合があります。何か自分に落ち度があるように感じ、特に犠牲者が出た時には、自分だけが生き残ったことへの負い目の気持ち（サバイバーズ・ギルト）や自分が適切に対応できなかったことなどで自分を責めることがあります。また同時に自分がそのような運命に陥ったことへの憤り、援助者や周辺の者への怒りとなることもあります。

社会・生活ストレスは、新しい生活環境によるストレスで、災害後の不自由な生活状況に起因します。被災者の全般的健康を低下させます。具体的には、種々の心身の不調、不定愁訴、不眠、苛立ちなどが増加します。特に体育館などでの集団生活が長期化した場合には、プライバシーの確保、生活環境の整備、子供や高齢者、傷病者などへのケア、避難所での感染症対策などが問題となります。また、報道取材からの保護も重要な問題です。

出典；災害時地域精神保健医療活動ガイドライン

## 心的外傷後ストレス障害 (PTSD)

- ❖ Post-traumatic stress disorder; PTSD
- ❖ 診断基準DMS-5；トラウマ体験から1ヶ月後においても症状が持続し、苦痛、社会などへの機能の障害を起こしている
  - ◇ ト라우マ体験の定義；災害体験それ自体による衝撃
  - ◇ **侵入症状**
    - ◆ 単に「思い出す」ではなく、「頭の中に入り込んでくる」「目の前にありありと、その場面が再現される」「考えたくない、嫌なのに考えてしまう」
  - ◇ **持続的回避**
    - ◆ 災害についての、苦痛な記憶、思考、感情や、それらを引き起こすような人、場所、会話、行動、物、状況などを避けようとする
  - ◇ **認知と気分の陰性変化**
    - ◆ 災害の重要な側面を思い出せないことや、過剰に否定的な信念や予想が含まれる
    - ◆ 恐怖、戦慄、怒り、罪悪感、恥などの持続や、重要な活動への意欲低下、他者からの孤立感、疎外感などのネガティブな感情に支配され、幸福や満足、愛情を感じられないなど、うつ病と重複する症状も見られる
  - ◇ **覚醒と反応性の変化**
    - ◆ 攻撃性や苛立ち、激しい怒りや無謀あるいは自己破壊的な行動
    - ◆ 過度の警戒心や過剰な驚愕反応で、集中困難や睡眠障害も伴う
- ❖ 1ヶ月未満であれば急性ストレス障害 (ASD)

2013年に改定されたDSM-5（米国精神医学会による精神疾患診断基準マニュアル、Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders）より、PTSDの診断基準が示されています。症状が発症後1ヶ月以上経ってからも続いていることを確認します。これが1ヶ月未満であれば急性ストレス障害(ASD)という診断になります。自然災害においてはPTSDの発症率は10%前後とされています。

A項目は前提となる「トラウマ体験」の定義であり、PTSD症状としてはB項目「侵入症状」、C項目「持続的回避」、D項目「認知と気分の陰性変化」、E項目「覚醒と反応性の変化」の4つのカテゴリーに分けられています。

「侵入症状」は、PTSDを最も特徴付けている症状です。単に「思い出す」ではなく、「頭の中に入り込んでくる」「目の前にありありと、その場面が再現される」「考えたくない、嫌なのに考えてしまう」ということです。解離症状、フラッシュバック、悪夢などです。また、心的外傷的出来事の側面を象徴するまたはそれに類似する、内的または外的なきっかけに対する顕著な生理的反応（動悸など）があります。

「回避」は、災害についての、苦痛な記憶、思考、感情や、それらを引き起こすような人、場所、会話、行動、物、状況などを避けようとすることです。

「認知と気分の陰性変化」は、例えば自分がどのように逃げたか覚えていないといった災害の重要な側面を思い出せないことや、「私が悪い」「誰も信用できない」「世界は徹底的に危険だ」などの過剰に否定的な信念や予想が含まれます。恐怖、戦慄、怒り、罪悪感、恥などの持続や、重要な活動へ

の意欲低下、他者からの孤立感、疎外感などのネガティブな感情に支配され、幸福や満足、愛情を感じられないなど、うつ病と重複する症状も見られます。

「覚醒と反応性の変化」は、攻撃性や苛立ち、激しい怒りや無謀あるいは自己破壊的な行動といった形で現れます。過度の警戒心や過剰な驚愕反応（特に音に対する過敏性が強くなる）で、集中困難や睡眠障害も伴います。

出典；長純一（編）「大規模災害時医療」 4章復興期（慢性期）メンタルケア：PTSD、悲嘆反応など

## 悲嘆反応

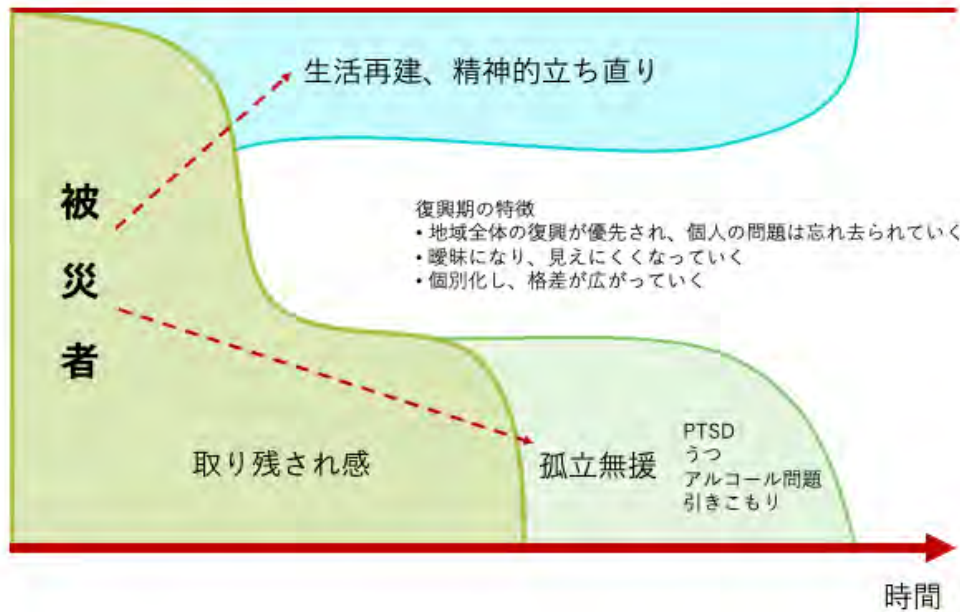
### ❖ 喪失体験の後に現れる悲嘆反応

1. ショック・茫然自失・感覚鈍麻；頭が真っ白になった状態
2. 混乱・興奮・パニック状態；泣き叫ぶなど
3. 事実の否認；喪失した事実（愛する人の死など）を認めたくない、信じたくないという心理
4. 怒り；人為災害など加害者がいる場合、また時には理不尽な怒りとして第三者やケアする救援者に向けられることもある
5. 起こり得ないことを夢想し願う；どこかで生きていると考えるなど、奇跡を願うような気持ち
6. 後悔・自責；サバイバーズギルトとも呼ばれ、「なぜ助けてあげられなかったのか」と自分を責めたりする
7. 事実に直面し、落ち込む（抑うつ）
8. 絶望・深い悲しみ
9. 事実を受け入れる
10. 再適応；新たな環境に適応する

大規模災害における喪失体験とは、大切な家族や友人との死別、家屋や家財道具やペットなどの喪失、自身の健康障害、職業や経済的な喪失、住み慣れた故郷の町の風景やコミュニティの喪失、そして未来への希望や安心感の喪失など多岐にわたります。この喪失体験の後に現れる悲嘆反応のプロセスを示しています。これらは、順番通りに現れるとは限らず、行ったり来たりします。また個人差も大きいです。



## 被災者の回復の二極化



本格的に復興が始まってくると、復興の話が増え、被災者は世間の関心が薄れてくると感じるようになります。精神的な打撃から比較的立ち直りがスムーズな人と、取り残され感を強くだき、なかなか立ち直れない人に分かれていきます。また、仮設住宅に移転した場合などは、長期的な環境や生活の変化が二次的なストレスの原因となったり、取り残され感が募ると孤立無援の心境になっていきます。中にはうつ状態、アルコール問題などが出現する人もいます。生活面でひきこもりがちになり、支援者が状況を把握できない人も出てくるため、PTSDが見過ごされてしまうこともあります。従って、PTSDをきちんとスクリーニングすることが、復興期のメンタルヘルス対策としては重要です。

出典：岩井圭司, 加藤寛 (金吉晴 編) 「心的トラウマの理解とケア 第2版」 p86, (株式会社じほう, 2006) より改変

## ハイリスクの被災者

- ❖ 生命の危険が高かった人
- ❖ 近い人を亡くした人
- ❖ 経済損失の大きい人
- ❖ 避難者
- ❖ 女性（特に妊婦）
- ❖ 子供
- ❖ 高齢者
- ❖ 外国人
- ❖ 障害者
- ❖ 支援者・救援者

強烈な体験をした者  
要配慮者  
支援者・救援者

被災者が心的外傷に起因する精神疾患を発症するリスクを引き上げる数多くの心理社会的要因が特定されています。最も顕著なリスク要因は、曝露の程度です。災害への曝露の程度が大きいほどPTSDを発症するに至るリスクが高まることは多くの研究で支持されています。曝露の程度は個人的要因や経済的要因まで様々な要因を内包し得ます。

心的外傷となる出来事の間近にいること、家族の喪失、大きな身体的外傷を受けること、年少者であること、女性であることといった要因が、災害後の子供の精神的問題に関係していることがわかってきています。さらに親の精神障害（特に不安障害）と心的外傷後ストレス症状は、子供の心的外傷後ストレスに関係していることもわかってきました。

女性の方が災害後に精神面での障害をきたすリスクが高いことが示唆されています。

高齢者は、身体合併症があることがリスク要因となる可能性があります。高齢者の年齢からくる脆弱さ、認知機能障害、身体的健康状態の不良、複数の身体疾患への罹患などがリスク要因としてあげられます。

重篤な精神疾患、持続する精神疾患、精神疾患による社会機能低下の持続、身体的健康状態の不良、複数の身体疾患への罹患、世話をする近親者の欠如などもリスク要因として挙げられます。

身体的な障害を持つ被災者は、災害現場に取り残されたままになる、避難所の運営が身体管理のニーズに対応できなかった、身体上の障害のために、一般の被災者に提供されたサービスを受けることができなかったなどが理由で、リスクが高まる可能性も示唆されます。

外国人も言葉の問題など、被災者に提供されるサービスを受けられないことも考えられます。

過酷な被災現場での作業に長期間に渡って従事すること自体、心的外傷体験に曝露する機会が高く、過去の心的外傷や精神疾患の既往のような脆弱性を引き起こすような背景がある場合、精神疾患への罹患の可能性を引き上げかねません。

このようにある種のマイノリティ集団は、災害後の困難な状況に対してとりわけ脆弱です。

## サイコロジカル・ファーストエイド(PFA)

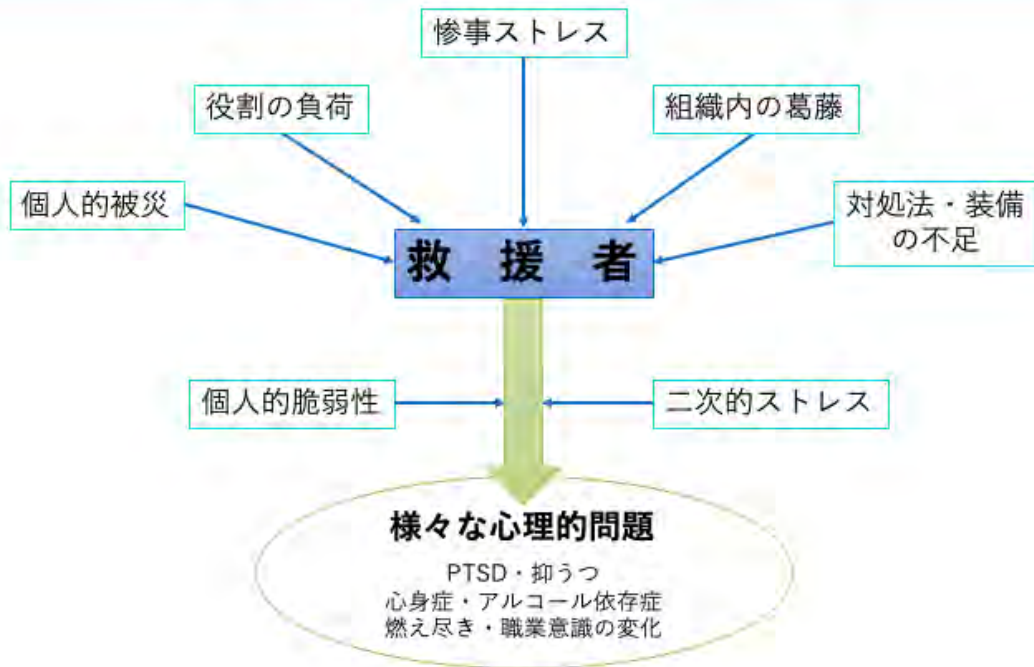
- ❖ 目的；トラウマ的出来事によって引き起こされる**初期の苦痛の軽減、短期・長期的な適応機能と対処行動の促進**
- ❖ 活動内容
  1. 被災者に近づき、活動を始める
    - ◆ 被災者の求めに応じる。あるいは、被災者に負担をかけない共感的な態度でこちらから手を差し伸べる。
  2. 安全と安心感
    - ◆ 当面の安全を確かなものにし、被災者が心身を休められるようにする。
  3. 安定化
    - ◆ 圧倒されている被災者の混乱を鎮め、見通しが持てるようにする。
  4. 情報を集める
    - ◆ 周辺情報を集め、被災者が今必要としていること、困っていることを把握する。その上で、その人にあったPFAを組み立てる。
  5. 現実的な問題の解決を助ける
    - ◆ 今必要としていること、困っていることに取り組むために、被災者を現実的に支援する。
  6. 周囲の人々との関わりを促進する
    - ◆ 家族・友人など身近にいて支えてくれる人や、地域の援助機関との関わりを促進し、その関係が長続きするよう援助する。
  7. 対処に役立つ情報
    - ◆ 苦痛を和らげ、適応的な機能を高めるために、ストレス反応と対処の方法について知ってもらう。
  8. 紹介と引き継ぎ
    - ◆ 被災者が今必要としている、あるいは将来必要となるサービスを紹介し、引き継ぎを行う。

サイコロジカル・ファーストエイド（Psychological First Aid ; PFA）は、災害や大きなトラウマ的出来事で傷ついた人々の心への、初期の段階での関わり方として、多くの組織、団体で推奨されています。これは、災害やテロの直後に子供、思春期の人、大人、家族に対して行うことのできる効果の知られた心理的支援の方法を、必要な部分だけ取り出して使えるように構成したものです。PFAは、トラウマ的出来事によって引き起こされる初期の苦痛の軽減、短期・長期的な適応機能と対処行動の促進を目的としています。その原理および手法は、次の4つの基本的規格を満たしています。

1. トラウマのリスクと回復に関する研究結果に合致する
2. 災害現場への適応が可能で、実用性がある
3. 生涯発達各段階に適切である
4. 文化的な配慮がなされており、柔軟に用いることができる

このPFAの提供者として想定されているのは災害救援活動を行う組織の一員として、被災した子供、大人、家族などへの早期支援を行う精神保健担当者、および、その他の分野の災害支援者です。

## 災害支援者が被る災害ストレス



大規模災害における救援者・支援者のストレス（惨事ストレス）は甚大です。惨事ストレスには、惨状の体験・目撃、被災者・遺族への関わり、遺体への関わり、二次災害の危険性、指揮系統の混乱、過重労働、自分自身も被災者、使命感のために自分自身のストレスを自覚しにくい、などがあります。

職業的な救援者でも、救援活動の遂行中には、気分の高揚を経験します。しかし、高揚した気分や肥大した自尊心が必要以上に長く続くと、周囲と様々な軋轢を生むだけでなく、業務の遂行にも支障をきたすこととなります。活動が十分な成果をあげられなかったり、救援を断念しなければならなかった時は、罪責感が一層強まることとなります。また、支援者自身の体験や感情と、被災者のそれを重ね合わせてしまう「同一化」、被災者が過剰に支援者に依存し、支援者の側はそれに全面的に応えようとする関係に陥る「感情転移・逆転移」に類似したもの、組織的な救援活動がうまくいかなかった場合などに組織に対しての怒りと不信感を生むこともあります。満足な活動ができなかったという不全感、罪責感に直結するとともに、職業的アイデンティティを深く傷つけ、労働意欲の低下を生みます。さらに大規模災害で支援者自らが被災した場合でも、家族の安全を確認できない場合、あるいは危険な状況に家族を送り出したという不安などから、支援者とその家族の間に葛藤が生じることもあります。

出典：加藤寛（金吉晴 編）「心的トラウマの理解とケア 第2版」 p122,  
（株式会社じほう, 2006）より改変

## 災害支援者のセルフケア

- ❖ 職務の目標選定
  - ◇ 支援業務への専念、業務の重要性、誇りを忘れない、業務請負を見失わない、日報等で頭の中を整理
- ❖ 生活ペースの維持
  - ◇ **十分な睡眠**、食事、水分摂取、酒・タバコの摂取過剰に注意
- ❖ 自分の心身の反応に気づくこと
  - ◇ 頭痛、食欲低下、睡眠障害、苛立ち、不安、怒り、罪悪感、恐怖、引きこもり、休息の必要性の否定など
  - ◇ 心身の反応が出ている場合は、休憩・気分転換を心がける
  - ◇ 支援者自身が調子を崩すとその影響が周囲に及びうる
- ❖ 気分転換の工夫
  - ◇ 深呼吸、瞑想、ストレッチ、散歩、食事、入浴など
- ❖ 一人で溜め込まないこと
  - ◇ 家族・友人などに積極的に連絡
  - ◇ 職員同士でお互いのことを気遣う
    - ◆ なるべくこまめに声を掛け合う、お互いの頑張りをねぎらう、お互いの気づきあい  
が大切、他職員の負担が強くなっている場合には、本人・管理者に伝える必要性

災害支援者は自分自身のケアなしに、他人のケアに当たることはできません。災害支援者のセルフケアは、災害支援活動中活動後に一部の災害支援者が経験する好ましくない影響を緩和する上でも他人をケアする機能を高める上でも、重要です。セルフケアで重要なのは、自分の感情と他人の感情が自分自身に与える影響を認識することです。二次心的外傷性ストレス、共感性疲労、代理性犠牲という3つの重複する概念は、潜在的に災害支援活動に伴って生じる負の影響です。その影響への対応としては、災害支援を回避するのではなく、適切なセルフケアの計画を立て、実践しながら支援活動に従事することが推奨されます。

燃え尽きは、主に感情的な疲労困憊の結果、徐々に出現するが、これとは対照的に、共感性ストレスや共感性疲労は予兆なしに突然出現する可能性があります。

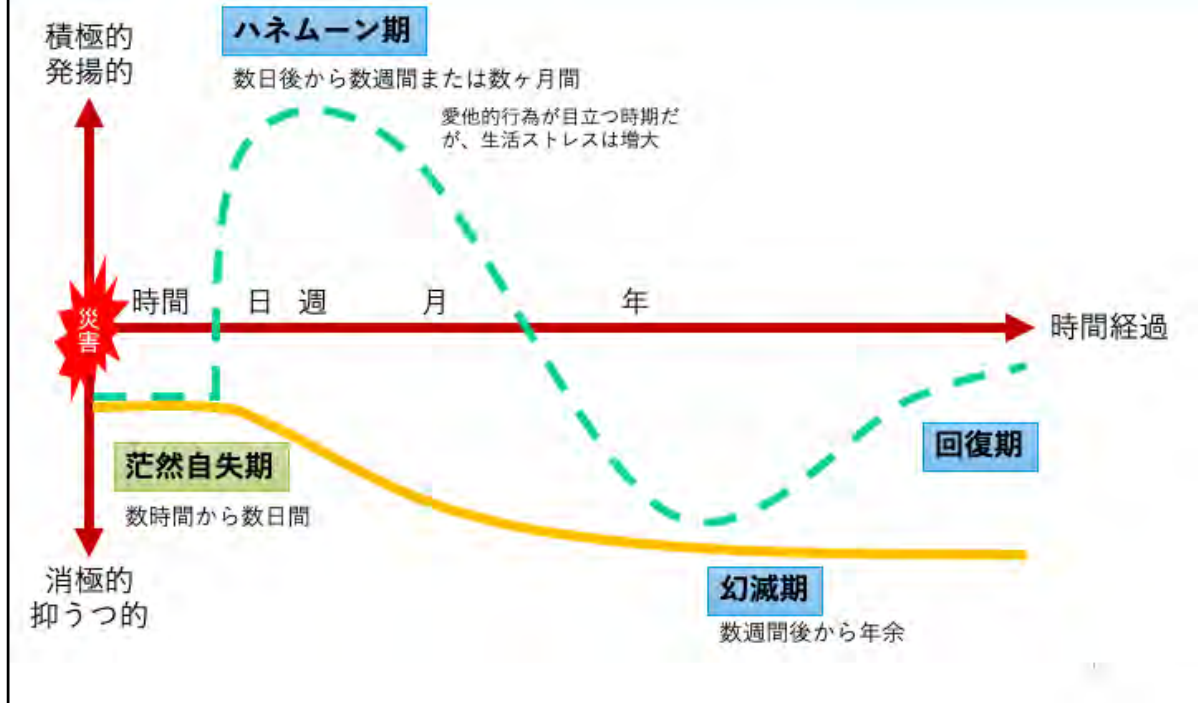
所属する組織や団体において、職員が自らのストレス状況と心身の状態を知り、対処法を知ることは重要です。日常的なストレスへの対処法だけでなく、異常な状況の現場に遭遇した場合の対処法を事前に学習しておく必要があります。経験のある同僚や上司から対処法について学ぶなどして、具体的な対処法（例えば、悲惨な死体を扱う場合は死体の顔を見ないようにする、単なる物体と思うようにするなど）を知っておくことは、その後の心理的影響を軽減するだけでなく、ストレスの高い現場で最大限に能力発揮するのにも役立ちます。また、利用しやすい相談窓口を整備する必要もあります。

## 支援者の精神健康対策

- ❖ 業務ローテーションと役割分担の明確化
  - ◇ できるだけ早期に活動期間、交代時期、責任・業務内容の明確化
- ❖ 支援者のストレスについての教育
  - ◇ ストレスは恥じるべきことではなく、適切に対処すべきことである
- ❖ 心身のチェックと相談体制
  - ◇ チェックリスト配布
  - ◇ 健康相談の体制
- ❖ 住民の心理的な反応についての教育
  - ◇ 被災者から心理的な反応として、怒りなどの強い感情を向けられる
  - ◇ 研修でのロールプレイ
- ❖ 被災現場のシミュレーション
  - ◇ 災害現場のスライド等でのシミュレーション
- ❖ 業務の価値付け
  - ◇ 支援業務の意義、効果について価値を明確にし、労をねぎらう

1. 業務ローテーションと役割分担の明確化  
できるだけ早期に、動員された支援者の活動期間、交代時期、責任・業務内容を明確にします。
2. 支援者のストレスについての教育  
支援者に生じるストレスについて、それが恥じるべきことではなく、適切に対処すべきことであることを教育しておきます。
3. 心身のチェックと相談体制  
心身の変調についてチェックリストを支援者に手渡すなどして、必要があれば健康相談を受けられることが重要です。
4. 住民の心理的な反応についての教育  
支援活動において、被災者から心理的な反応として、怒りなどの強い感情を向けられることがあることについて教育を行い、可能であれば、研修に被災者とのやりとりについてロールプレイなどを取り入れておくことが有効です。
5. 被災現場のシミュレーション  
各種災害が生じた場合の情景、死傷者の光景などについて、スライド体験などのシミュレーションを行っておくことも有効です。
6. 業務の価値付け  
支援業務について、それに従事した個々人が組織の中で評価され、報いられることは意外に少ないです。支援業務の意義、効果については、公の広報などでその価値を明確に記載し、また組織の中ではしかるべき担当者が、支援活動の価値を明確に認め、労をねぎらうことが重要です。

## 原子力災害後の心理状態の変化



原子力災害時には、自然災害時の心理状態の変化に見られるハネムーン期に大きな違いがあります（オレンジの線）。これは、放射線に対する恐怖と知識の不足から生じるもので、原子力災害の被災者に対して、時には医療関係者や家族が支援を拒否することもあり、社会的な支援等が不足するために生じます。

また、原子力災害では、環境の汚染により長期間の避難あるいは住み替えを余儀なくされることにより、心理状態が回復するのは困難であり、長期的となることもあります。さらに放射線に関連したスティグマ（stigma；他者や社会集団によって個人に与えられた負の烙印）により被災者を孤立させ、復興が遅れます。平時あるいは災害以前の精神状態に戻ることは難しく、“新たな普通の状態”を作る必要があります。

出典：CDC「Psychological first aid in radiological disasters」



## 原子力災害の特徴

- ❖ 人為災害であり、加害者（過失責任者、監督責任者）が存在
- ❖ 罪の償いを求める気持ち（怨恨感情）が強い
- ❖ 過失責任者や監督責任者から報告される情報への不信（情報不安）
  - ◇ 初期の段階での情報の錯綜
  - ◇ 過失責任者側からのみ被害や汚染に関する情報が開示されると、情報への不信が高まり、情報不安の状態から、苛立ち、精神的動揺、疑心暗鬼といった心理が被災者の間に広くみられるようになる。
- ❖ 長期にわたる健康不安、払拭しきれない不安の遷延
  - ◇ 晩発影響に関する健康不安
  - ◇ 健康不安が続くと身体愁訴が増加する。
  - ◇ 医学的に説明のつかない身体症状
- ❖ 自身の健康不安だけでなく、子どもへの後遺症への懸念
- ❖ 生活への影響
  - ◇ 転居を余儀なくされたり、農漁業などの地域産業が打撃を受けると社会的経済的な二次ストレスと、それによる心身への影響

原子力災害は人為災害であり、加害者が存在するため、被災者心理としては割り切れなさや罪の償いを求める気持ち（怨恨感情）が強く残ることが多いです。

## スティグマ・差別・中傷

- ❖ スティグマ；烙印。ある特定の人間や集団に、社会からの心ない偏見が焼き付けられてしまうこと
  - ◇ ト라우マ反応の一部として生じた言動 →本人の劣った点であるかのようにみなす。
    - ◆ PTSDの過覚醒や麻痺が、「怒りっぽい」「態度がはっきりしない」など否定的な評価につながる。
  - ◇ 社会や周囲の人がそのような事故や災害が起こってしまったことを受け入れられず、「本人が悪かった」ということを理由に、自分が落ち着こうとする。
    - ◆ 「内なる不安」を和らげるために「外を攻撃」
    - ◆ 「見えない敵」を「見える敵」に置き換える。
  - ◇ こころのケア自体も、スティグマとして受け取られる



特定集団を批判・差別・中傷の対象とする  
スティグマ

スティグマとは、ウシなどに押す焼きごての印のことで、ある特定の人間や集団に、社会からの心ない偏見が焼き付けられてしまうことを指します。

トラウマ反応の一部として生じた言動を捉えて、それが本人の劣った点であるかのようにみなすことがもっとも多いです。PTSD症状の過覚醒や麻痺が、「怒りっぽい」「態度がはっきりしない」などの否定的な評価につながることもあります。

また、このような事件や災害が起こってしまったことを社会や周囲の人が受け入れられず、「本人が悪かった」ということを理由にして、自分が落ち着こうとするものです。

こころのケアもスティグマとして受け取られることがあります。身体のケアや生活相談を並行させるなどの工夫により、スティグマへの不安を刺激しないようにすることが必要です。

# 原子力災害時のメンタルヘルス対策

## 安全の確保と生活ストレスの軽減

- 被害状況の把握
- 備蓄物資・機材の確認
- 必要物資・機材の評価
- スタッフ間での役割分担
  - 精神保健活動の担当；精神科医、精神科ソーシャルワーカー、保健師、看護師、臨床心理士など**多職種連携**

- アウトリーチ
- 宣伝活動
- 被災者ニーズの把握
- 被災者援助業務全般への評価、提言
- 精神保健領域以外の一般業務への協力

- 既存の保健医療システムでの活動
- 精神保健の基礎知識を提供
  - 被災者援助上の基礎知識
  - 救援者自身のための基礎知識
- 精神保健的ケアの提供
  - PTSD、うつ病、不安障害、アルコール症などへの個別対策

自然災害等が発生し、災害現場に派遣されたら、まずは被害状況や資機材の状況を確認、把握します。その後、精神保健活動の担当者の役割分担等を行います。被災者に見られる情動的な反応の多くは、災害によって引き起こされた生活上の問題から生じます。そのため、被害状況の把握や被災者のニーズを把握することは重要です。

一般の援助活動の一環として、地域全体（集団）の精神健康を高め、集団としてのストレスと心的トラウマを減少させるための活動を行います。これには、支援者や地域精神保健医療従事者が被災地域へ出かけていくアウトリーチ活動と、災害情報の提供、一般的な心理教育、比較的簡単な相談活動が中心となります。また、災害復旧や生活支援などの現実的な支援は、それ自体が集団の精神健康を高める効果を持ちます。特に高齢者は孤立し、また移動が難しい状況にあるため、アウトリーチ活動が必須となります。

また、個別の精神疾患に対する予防、早期発見、治療のための活動としては、疾患のある個人をスクリーニングし、受診への動機付け、個別的な心理教育、専門医への引き渡しを中心となります。

## まとめ

- ❖ 原子力災害時には、自然災害と同様に様々なメンタルヘルスの問題が生じ、さらに原子力災害特有の問題も生じる
  - ◇ 目に見えない脅威
  - ◇ 長期的な健康への不安
- ❖ スティグマ・差別・中傷が生じうる
- ❖ 高リスク者は「要配慮者」であり、対策が必要
- ❖ 平時より、既存の医療保健システムの中でメンタルヘルスを考え、多職種連携を行う

# 放射線管理要員の役割

原子力災害医療 専門研修  
中核人材-6

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間：30分

内容

- 放射線管理要員とは
- 放射線防護の必要性
- 放射線防護と放射線管理
- 放射線施設
- 放射線障害の防止に関する法規制
- 放射線障害の防止に関するその他の主な法令
- 放射線安全管理の組織
- 放射線安全管理技術
- 線源管理
- 環境管理
- 非密封放射性同位元素を取扱う施設の安全管理
- 個人管理
- 記帳・記録
- 健康診断
- 教育・訓練
- 緊急時・危険時の対応
- 医療処置と放射線管理

## 放射線管理要員とは

- ❖ 放射性物質を取り扱う事業所内で、放射性物質による人への影響を考慮し、安全で合理的な管理を行う専門家
- ❖ 放射線管理要員は、放射線生物学、物理学、化学、法令の知識を有する。
- ❖ 事業所における事故時には、被ばく患者の身体汚染検査、除染及び被ばく線量の測定、並びに医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査に協力する。
- ❖ 患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況を搬送先の医療機関に提供する。

放射線管理要員とは放射性物質を取り扱う事業所内で、放射性物質による人への影響を考慮し、安全で合理的な管理を行う専門家のことです。放射線管理要員は、放射線生物学、物理学、化学、法令の知識を有しています。放射線管理要員は、被ばく患者の身体汚染検査、除染及び被ばく線量の測定、並びに医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査に協力します。また、被ばく患者を医療機関に搬送する際には、汚染の状況を測定し、傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染の拡大防止措置を講じます。また、患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況を搬送先の医療機関に提供し、汚染の拡大防止等に協力します。事業所は、積極的に放射線管理要員の育成に務めることが求められています。ここでは、まず放射線取扱事業所での放射線管理について説明します。

## 放射線防護の必要性

### ❖ 放射線障害の歴史

- ◇ 1895年 RöntgenによるX線発見
- ◇ 1896年 Becquerelにより最初の生物影響の報告（皮膚障害）
- ◇ 1901年 Curieによる皮膚障害の報告
- ◇ 1902年 放射線による皮膚がんの報告
- ◇ 1911年 放射線による白血病の報告
- ◇ 1920年代 ダイヤル・ペインター（ラジウム）の骨肉腫
- ◇ 1930年代 トロトラストによる肝がん、白血病

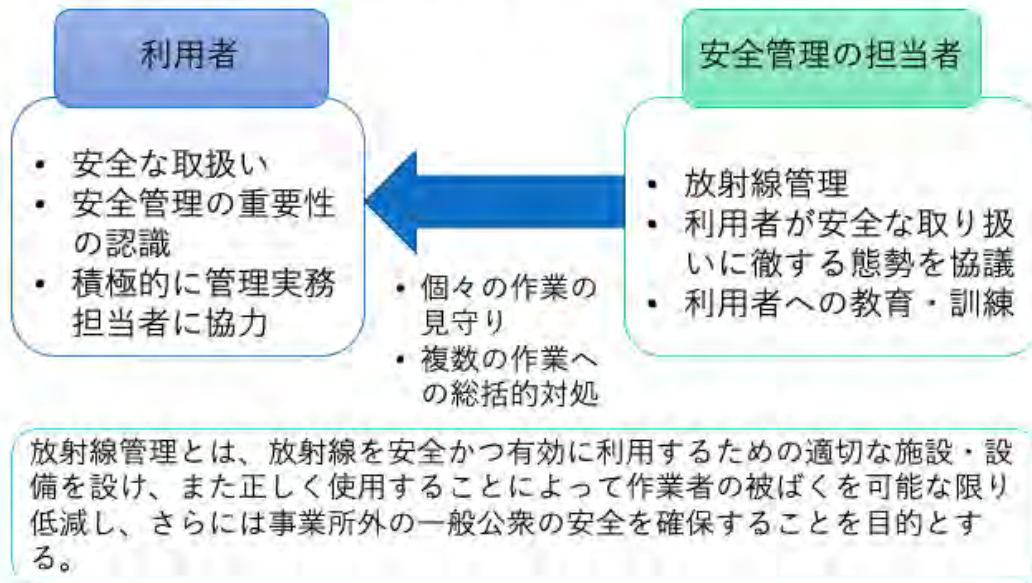
### ❖ 放射線防護

- ◇ 放射線の利用に伴う障害の防止が必要となった。
- ◇ 放射線利用に関わる線量をはっきりと定義し、放射線の影響と量的関係を知り、効率的な利用を促進するとともに障害を防ごうという動きが起こった。
- ◇ 国際的な機関が設置されるに至った。

1895年にレントゲン博士によりX線が発見されて以降、1896年にベクレル博士が放射能を発見し、以後多くの放射線に関する研究が進められてきました。それと同時に1896年にはベクレル博士によって放射線により皮膚に紅斑が生じた報告がなされ、1901年にはキュリー博士による皮膚障害が報告され、以降も放射線による皮膚がん、白血病の報告、ダイヤルペインターのラジウムによる骨肉腫、トロトラストによる肝がん、白血病といった様々な放射線障害の報告があります。このように放射線が発見直後から、研究者たちは放射線にさらされた皮膚の紅斑や脱毛、潰瘍が生じることを認めていました。放射線の医学利用が発展していきましたが、他方では、放射線利用に伴う障害が問題となっていました。そのため、放射線利用に関わる線量をはっきりと定義し、放射線の影響と量的関係を知り、効率的な利用を促進するとともに障害を防ごうという動きが起こりました。さらに国際放射線単位測定委員会（ICRU）、国際放射線防護委員会（ICRP）、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）、国際原子力機関（IAEA）、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）といった国際機関が設置されるに至りました。

## 放射線防護と放射線管理

- ❖ 放射線・アイソトープの利用に際しては、放射線防護、放射線の安全確保を常に心がけ、その方策を実践



放射線・アイソトープ利用に際しては、放射線防護、放射線安全の確保を常に心がけ、その方策を実践しなければなりません。

利用に直接携わる者は成果を早急に求めるあまり、時として防護・安全の方策をおろそかにすることが懸念されます。これを防止するためには、第三者による放射線管理が必要です。しかし管理のみで、防護・安全をもれなく確保することは困難であり、利用者の安全な取扱いが実行される必要があります。

安全管理の担当者は、利用者が安全取扱いに徹する態勢を協議または必要に応じて教育・訓練によって醸成し、個々の作業を見守るとともに、複数の作業に対しては、総括的に対処することが求められます。さらに利用者が安全管理の重要性を理解して積極的に管理実務担当者に協力する関係を構築することが強く求められます。

医療機関でも放射線・アイソトープを利用している場合は、放射線の安全管理が求められます。しかし医療機関での放射線安全については、専門部署がなく診療放射線技師または医師が業務の傍らに行っているのがほとんどの現状です。医療機関で被ばく医療を実施する場合には、診療放射線技師が放射線管理の役割を担うことが求められます。



## 放射線施設

- ❖ 放射線発生装置使用施設
- ❖ 密封された（密封）放射性同位元素使用施設
- ❖ 密封されていない（非密封）放射性同位元素使用施設
- ❖ 核燃料物質・核原料物質使用施設
- ❖ 医療施設
- ❖ その他施設

放射線施設は多種多様存在します。

- 放射線発生装置使用施設
- 密封された（密封）放射性同位元素使用施設
- 密封されていない（非密封）放射性同位元素使用施設
- 核燃料物質・核原料物質使用施設
- 医療施設
- その他施設

複数の許可を所持する施設もあります。例えば、放射線発生装置使用施設のなかの非密封放射性同位元素使用施設です。

ただし、放射線事故・災害で汚染患者に対応する救急外来等は、通常放射線施設としては許可された場所ではない施設、区域で実施することになります。対応者の安全、その他の施設の利用者等の安全を確保するために、患者受け入れ時の放射線管理は重要です。

## 放射線障害の防止に関する法規制

### 原子力基本法（昭和30年12月19日 法律第186号）

原子力利用によって社会福祉と生活の向上に寄与することを目的とし、原子力の研究、開発、および利用は平和目的に限り、安全の確保、民主・自主・公開の原則のもとに、国際協力に資することが基本方針

### 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律

放射線障害の防止と公共の安全確保が目的

### 核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律

エネルギー利用の個別法

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令

施行令

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

施行規則

放射線を放出する同位元素の数量等を定める件

告示

我が国の原子力平和利用に関わる基本の法律が1955年に制定・公布されています。これが、「原子力基本法（昭和30年12月19日 法律第186号）」で、原子力利用によって社会福祉と生活の向上に寄与することを目的とし、原子力の研究、開発、および利用は平和目的に限り、安全の確保、民主・自主・公開の原則のもとに、国際協力に資することを基本方針としています。原子力利用は、エネルギー利用と放射線・アイソトープ利用に大別されます。

エネルギー利用の個別法は、「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」（原子炉等規制法）で、放射線・アイソトープ利用の個別法は、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」が定められています。

放射線障害防止法関係法令は、法律、その条項を受けて細目を示した施行令、施行規則で構成されており、さらにこれらを補完するために特定の事項について告示が定められています。

## 放射線障害の防止に関するその他の主な法令

### ❖ 原子力関係

- ◇ 核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律
- ◇ 原子炉等規制法施行令

### ❖ 労働関係

- ◇ 労働安全衛生法
- ◇ 電離放射線障害防止規則（労働省令）
- ◇ 作業環境測定法
- ◇ 職員の保健および安全保持（人事院規則）
- ◇ 職員の放射線障害の防止（人事院規則）

### ❖ 医療関係

- ◇ 医療法
- ◇ 医療法施行規則（厚生省令）
- ◇ 薬事法

### ❖ 輸送関係

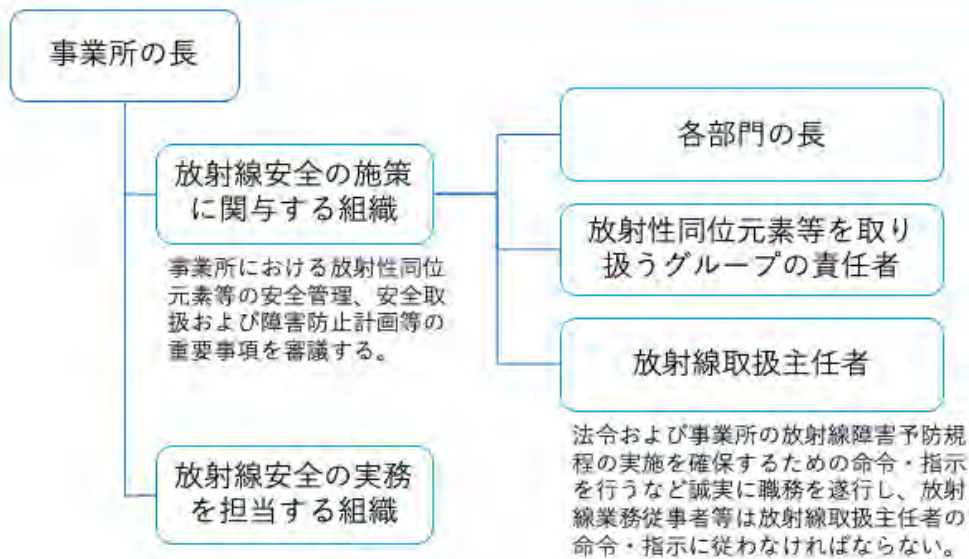
- ◇ 放射性同位元素等車輛運搬規則（運輸省令）

### ❖ その他

- ◇ 計量法
- ◇ 建築基準法
- ◇ 建築基準法施行令
- ◇ 消防法

行政機関は放射線障害の防止に関する事項を、各関係の関係法令に組み込んでおり、放射線障害防止法はそれらの技術的基準とみなされています。

## 放射線安全管理の組織



事業所における放射線安全管理の体制は、最高責任者である事業所の長を頂点として、放射線安全の施策に関する組織と放射線安全管理の実務を担当する組織によって構成されます。

また、事業所の長は放射線安全を確保するために、その事業所の実態に適合した管理組織、管理基準等を定め、法令（法第21条、則第21条）に基づく放射線障害予防規程を作成して、原子力規制委員会に届け出ます。

# 放射線安全管理技術



\*X線装置の使用・検査、原子炉の運転なども含む業務

放射線の防護・安全を確保するための管理対象は放射線源と環境と人で、それぞれの放射線管理を線源管理、環境管理、個人管理といいます。事業所の内部で行う放射線安全管理は、日常的に行う教育・訓練、放射線施設の点検に、異常時・危険時の措置のように臨機に行う業務によって遂行されます。

線源管理として、密封放射性同位元素、非密封放射性同位元素、放射線発生装置、放射性廃棄物の管理を行います。環境管理としては、作業環境の管理、周辺環境の管理を行います。個人管理としては、教育訓練の実施、定期的な健康診断、管理区域への入退域記録、外部被ばく線量と内部被ばく線量の管理を行います。

## 線源管理

### 密封放射性同位元素 (密封線源)

通常の使用状態では放射性同位元素が外部に漏出する事はないので、放射線（外部被ばく）の防護（時間・距離・遮へい）に留意する。

### 非密封放射性同位元素 (非密封線源)

放射性同位元素による汚染とその体内摂取による内部被ばくに留意する。

### 放射線発生装置

運転を停止すると放射線の発生が停止する。運転中は、放射線の防護が必要である。運転中に生成した放射化物が残留するものもあり、放射化物（非密封放射性同位元素）にも放射線防護の措置が必要である。

### 放射性廃棄物

非密封放射性同位元素によって汚染された物。除染によって発生した物は二次放射性汚染物として取り扱う。法令に定める排気中あるいは排水中の放射性同位元素の種類に対する濃度限度以下であれば、放射線施設の排気・排水設備から一般環境に放出できる。

密封放射性同位元素（密封線源）は、通常の使用では放射性同位元素が容器の外部に漏出することはないので、放射線（外部被ばく）の防護（時間、距離、遮へい）に留意して管理します。

非密封放射性同位元素（非密封線源）は、放射性同位元素等による汚染とそれに関連して発生する体内摂取による内部被ばくが起り得るため、その発生と放射線の防護に留意して管理します。

放射性発生装置は、運転を停止すると放射線の発生が停止します。運転中に生成した放射化物が残留するものもあります。前者では放射線に留意し、後者では放射線と残留する放射化物にも放射線防護措置が必要となります。

放射性廃棄物は非密封放射性同位元素によって汚染された物です。放射性汚染物の汚染を除去（除染）すると、汚染除去の行為によって発生したものは、二次放射性汚染物として取り扱います。極めて低濃度の気体状・液体状の放射性廃棄物は、法令に定める排気中あるいは排水中の放射性同位元素の種類に対する濃度限度以下であれば放射線利用施設の排気・排水設備から一般環境に放出できます。

## 環境管理

### ❖ 環境の放射線管理の目的

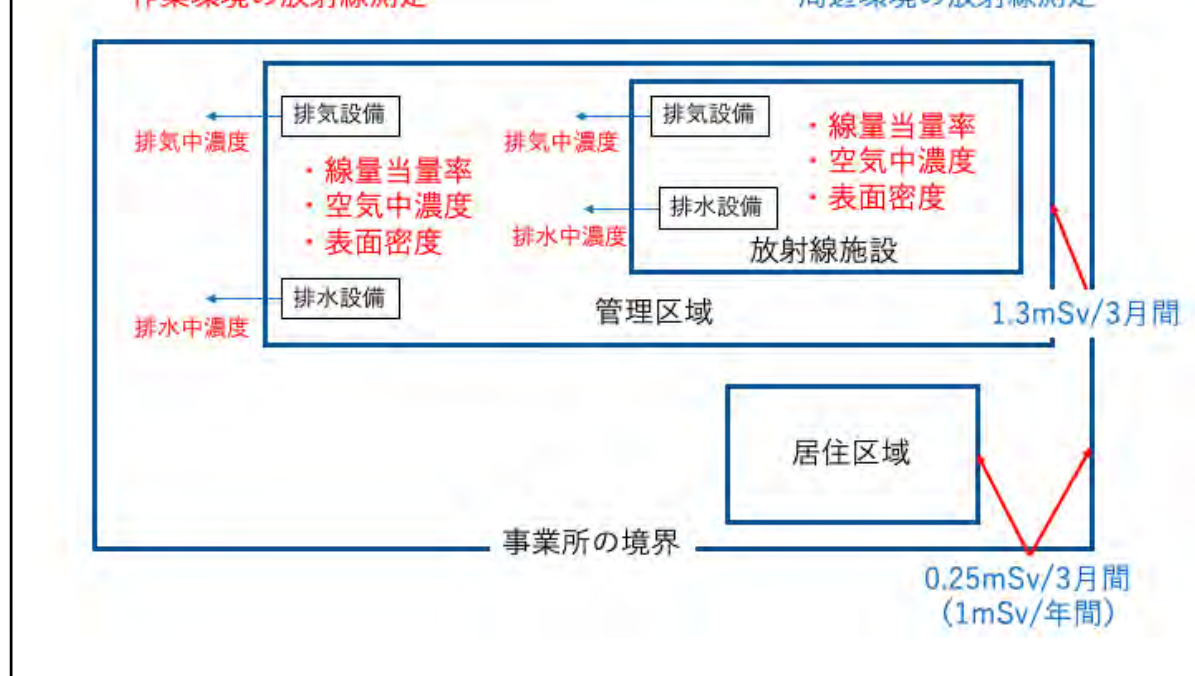
- ◇ 放射線障害の防止；放射線作業従事者等の作業環境の管理
  - 放射線管理区域とその境界の放射線管理
- ◇ 公共の安全確保；公衆が生活する一般環境の保全のための管理
  - 公衆の生活圏の境界における線量が公衆の被ばく線量限度(1mSv/年)を超えないようにする

### ❖ 放射線の測定

- ◇ 放射線の量；管理区域とその境界および事業所の境界の線量当量率または線量当量
- ◇ 空気汚染；管理区域特に作業室および排気設備の排気口における空気中および排気中の放射性同位元素の濃度
- ◇ 水汚染；排水設備から排出する放射性廃液中の放射性同位元素の濃度
- ◇ 表面汚染；管理区域とその境界および持ち出し物品等の表面の放射性同位元素の密度

放射線の防護・安全に関わる放射線管理の目的は、放射線障害の防止と公共の安全確保です。放射線障害防止とは放射線業務従事者の作業環境の管理で、放射線施設、特に管理区域とその境界の放射線管理です。公共の安全確保とは公衆の生活する一般環境の保全のための管理で、公衆の生活圏の境界における線量が、公衆の被ばく限度（1mSv/年）を越えないようにすることです。放射線量のモニタリングの場所は、管理区域内、管理区域境界、事業所の境界になります。空気汚染については、管理区域特に作業室および排気設備の排気口における空気中および排気中の放射性同位元素の濃度を測定します。水汚染については、排水設備から排出する放射性廃液中の放射性同位元素の濃度を測定します。表面汚染については管理区域とその境界および持ち出し物品等の表面の放射性同位元素の密度を測定します。

## 非密封放射性同位元素を取扱う施設 の安全管理



管理区域には、密封放射性同位元素のみを取り扱う施設のように放射線の管理のみを行う区域と、非密封放射性同位元素を取り扱う施設のように放射線と汚染の管理を行う区域があります。

非密封放射性同位元素を取り扱う施設では、汚染の管理として床、物品などの表面密度、空気中の放射性同位元素の濃度の管理を行います。表面汚染は、直接法であるサーベイ法（直接物品の表面を測定）と間接法であるスミア法（物品の表面をろ紙等でぬぐい、ろ紙等を測定）があります。

上図は、非密封放射性同位元素を取り扱う施設での作業環境および周辺環境の測定について示しています。

放射線管理区域は、外部放射線量が実効線量で3月間につき1.3mSvを声、3月間についての空気中の放射性同位元素の平均濃度が告示別表第2、第4欄に示す濃度限度の1/10を超え、表面密度限度の1/10を超えるおそれのある場所と定められています。

空気中の放射性同位元素の平均濃度が告示別表第2

[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/science/anzenkakuho/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2012/04/02/1261331\\_15\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/anzenkakuho/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2012/04/02/1261331_15_1.pdf)



## 個人管理

- ❖ 被ばく線量の管理
  - ◇ 個人モニタリング
  - ◇ 外部被ばく線量の測定
    - ◆ 個人線量計による測定
    - ◆ 個人線量計の着用部位；男子は原則として胸部、女子は原則として腹部
  - ◇ 内部被ばく線量の測定
    - ◆ 体外計測法、バイオアッセイ法、空气中濃度計算法
    - ◆ 吸入摂取、経口摂取した場合またはそのおそれのある場所に立ち入る者に3月を越えない期間ごとに実施
- ❖ 管理区域への入退域の時刻等の記録
- ❖ 健康診断
  - ◇ 初めて管理区域に立ち入る前の健康診断
  - ◇ 管理区域に立ち入った後に定期的健康診断
  - ◇ 問診と検査または検診（放射線障害防止法と労働安全衛生法で異なる）
- ❖ 教育・訓練
  - ◇ 放射性同位元素等の取扱業務に従事する者が、取扱技術を習得し、管理区域における作業習慣を会得するため

放射線障害防止法では、「放射性同位元素等の取扱い、管理またはこれに付随する業務」であり、厚生労働省令や人事院規則ではそのほかX線装置の使用・検査、原子炉の運転なども含む業務が放射線業務です。

事業所の所長は放射線業務従事者、取扱い等の業務従事者になろうとする者に教育・訓練および健康診断を受けさせます。管理区域立入後は健康診断を一定期間ごとに、また教育・訓練（再教育）を前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に受けさせます。

管理区域に立ち入る者は、入退域の時刻等を記録し、管理区域で受けた放射線の量を外部被ばく線量と内部被ばく線量として測定します。

## 記帳・記録

- ❖ 目的；現在さらに将来の状況の想定・評価に役立たせる
- ❖ 基本的な記帳・記録の種類
  - ◇ 個人（放射線業務従事者）
    - ◆ 健康診断の記録 永年保存
    - ◆ 被ばく線量の測定記録 永年保存
    - ◆ 教育・訓練の記録 1年ごとに閉鎖、5年間保存
  - ◇ 線源（放射性同位元素、放射線発生装置） 1年ごとに閉鎖、5年間保存
    - ◆ 放射性同位元素の受入れ、保管、使用、運搬、廃棄、払い出し
    - ◆ 放射性発生装置の使用
  - ◇ 環境（放射線施設の内外） 1年ごとに閉鎖、5年間保存
    - ◆ 放射線の量、汚染の状況（表面の放射性同位元素の密度）
    - ◆ 排気中、排水中の放射性同位元素の濃度
    - ◆ 放射線施設の点検及び保守・管理

記帳・記録の目的は、単に過去の事実を書き記し、集積するのではなく、現在さらに将来の状況の想定・評価に役立たせることにあります。

基本的な記帳・記録の種類は、下記の通りです。

個人（放射線業務従事者）

健康診断の記録 永年保存

被ばく線量の測定記録 永年保存

教育・訓練の記録 1年ごとに閉鎖、5年間保存

線源（放射性同位元素、放射線発生装置） 1年ごとに閉鎖、5年間保存

放射性同位元素の受入れ、保管、使用、運搬、廃棄、払い出し

放射性発生装置の使用

環境（放射線施設の内外） 1年ごとに閉鎖、5年間保存

放射線の量、汚染の状況（表面の放射性同位元素の密度）

排気中、排水中の放射性同位元素の濃度

放射線施設の点検及び保守・管理

# 健康診断

## ❖ 実施時期

放射線障害防止法

労働安全衛生法（電離則）・人事院規則

1年を越えない期間ごと

6月以内ごとに

## ❖ 初めて管理区域に立ち入る前

- ◇ 問診；放射線の被ばく歴の有無
- ◇ 検査または検診；末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査

## ❖ 定期的健康診断

- ◇ 問診；放射線の被ばく歴の有無
- ◇ 検査または検診；末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査
- ◇ 医師の判断等
  - ◆ 検査または検診の項目については、医師が必要と認める場合に限り実施する。（放射線障害防止法）
  - ◆ 検査または検診の全部または一部を省略することができる。（労働安全衛生法）

放射線の取り扱いにかかる業務に就く場合には、放射線障害防止法、労働安全衛生法および人事院規則の法令により特定の健康診断を受診することが義務付けられています。

実施時期は、放射線障害防止法では1年を越えない期間ごと、労働安全衛生法（電離則）・人事院規則では6月以内ごととされています。

健康診断の内容は、初めて管理区域に立ち入る前に行う者では、放射線の被ばく歴の有無、末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査を行います。定期健康診断では、初めて管理区域に立ち入る前に実施する健康診断の項目と変わりないですが、放射線障害防止法では、問診以外は医師の判断により必要と認める場合に限り実施するようになっています。

## 教育・訓練

### ❖ 教育及び訓練の項目と時間数

	放射線の人体に与える影響	放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い	放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程
放射線業務従事者	30分	1時間	30分
取扱等業務従事者			

平成30年原子力規制委員会告示第1号

事業者等は、管理区域に立ち入る者および放射性物質あるいは放射線発生装置の取り扱い業務に従事する者に対して、次の項目の教育訓練を行わなければなりません。

- (1) 放射線の人体に与える影響
- (2) 放射性同位元素等または放射線発生装置の安全な取扱い
- (3) 放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程

教育訓練の時期は、放射線業務従事者に対しては、管理区域に初めて立ち入る前、および立ち入った後では前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に行います。取り扱い等の業務従事者には、取り扱い等の業務を開始する前、および開始後では前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に行います。

教育訓練の時間数を上記の表に示しています。

このように放射線業務従事者あるいは放射性物質の取り扱いの業務従事者は、放射線の人体影響や放射線障害予防規程などの知識と技術を有しています。

## 緊急時・危険時の対応

- ❖ 事業所で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員は、以下のことに協力する。
  - ◇ 被ばく患者の身体汚染検査
  - ◇ 除染及び被ばく線量の測定
  - ◇ 医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査
- ❖ 被ばく患者、搬送機関関係者、医療関係者、処置室、搬送車両等（船舶及び航空機を含む。）の汚染の拡大防止措置等（養生など）を含めた放射線管理に必要な措置を行い、事業者を含む関係機関に汚染の有無を報告する。
- ❖ 患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況に関する情報を搬送先の医療機関に提供する。

事業所で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員は、被ばく患者の身体汚染検査、除染および被ばく線量の測定、医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止および汚染検査に協力します。さらに、被ばく患者、搬送機関関係者、医療関係者、処置室、搬送車両等（船舶及び航空機を含む。）の汚染の拡大防止措置等（養生など）を含めた放射線管理に必要な措置を行い、事業者を含む関係機関に汚染の有無を報告します。また、患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況に関する情報を搬送先の医療機関に提供します。

## 医療処置と放射線管理

- ❖ 医療機関で被ばく患者を受け入れる場合は、放射線管理要員として、その医療機関が放射性同位元素等を取扱う医療機関であれば、放射線施設責任者あるいは放射線管理を担当している者または診療放射線技師がその役割を担うことが望ましい。
- ❖ 蘇生や救命処置は最優先であり、被ばく患者の傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染拡大防止措置を講じる。
  - ◇ 患者受入れ時の放射線管理は、規制法に基づく平常時の管理ではなく「災害・事故対応の一部」でもある。
  - ◇ 管理区域からの退出基準；平常時であれば電離則第31条、十分な実績、治療法が確立している内用療法では退出基準がある。
- ❖ 被ばく患者対応をした医療チームや施設の放射線管理も担当する。
  - ◇ ホットゾーン等で処置した医療従事者の汚染検査、放射性廃棄物の管理、施設等の汚染検査など

医療機関で被ばく患者を受け入れる場合、その医療機関が放射線等を取り扱う施設でもある場合は、放射線施設の責任者や放射線管理を担当する者、診療放射線技師など、放射線管理、放射線防護、放射線計測を理解している職員が、被ばく医療の放射線管理の役割を担うことが望ましいです。また、事業所から随行してきた放射線管理要員との調整、協力も必要です。汚染または被ばくした患者を受け入れる際には通常状態ではないので、通常法放射線管理とは違うことを認識する必要があります。医療処置を行う際には、蘇生や救命処置は最優先であり、被ばく患者の傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染拡大防止措置を講じる必要があります。そのためには、災害・事故対応、医療処置やその他の対応との連携、調整が大切です。また、管理区域からの退出基準は、平常時であれば電離則第31条、十分な実績、治療法が確立している内用療法では退出基準があります。被ばく医療では、傷病者の状態や必要な処置を勘案して、このような基準を参考に対応します。

## まとめ

- ❖ 放射線を取扱う施設、事業所では、放射線管理を実施します。
- ❖ 放射線管理とは、放射線を安全かつ有効に利用するための適切な施設・設備を設け、また正しく使用することによって作業員の被ばくを可能な限り低減し、さらには事業所外の一般公衆の安全を確保することを目的とします。
- ❖ 事故等で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員が汚染検査、除染等の汚染拡大防止措置、医療機関等への情報提供、処置等に協力します。
- ❖ 医療機関で被ばく患者を受け入れる場合は、放射線管理要員として、その医療機関が放射性同位元素等を取扱う医療機関であれば、放射線施設責任者あるいは放射線管理を担当している者または診療放射線技師がその役割を担うことが望ましいです。

# 原子力災害事例

原子力災害医療 専門研修  
中核人材-7

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201909

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

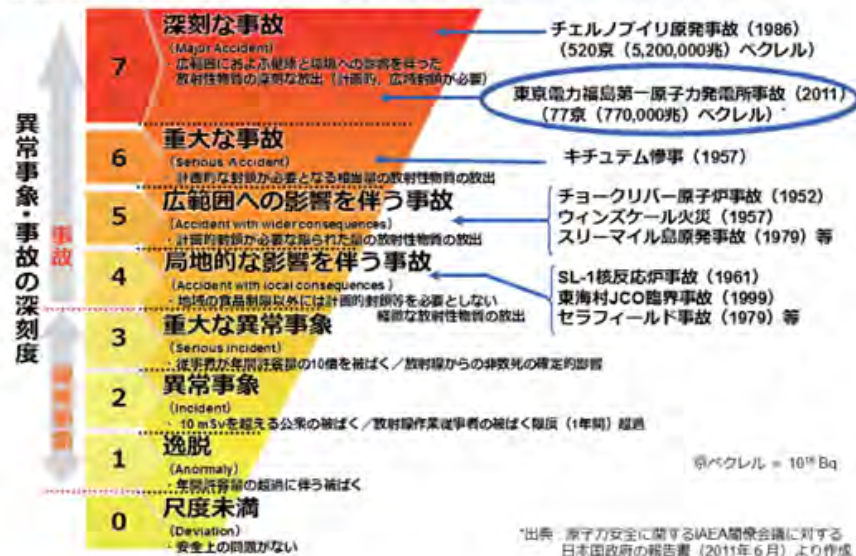
内容

- 国際原子力事象評価尺度
- 放射線事故件数と影響
- 代表的な事故
- ウラン加工工場臨界事故
- 東京電力福島第一原子力発電所事故
- ゴイアニア事故



# 国際原子力事象評価尺度 INES: International Nuclear Event Scale

- ❖ 国際原子力機関 (IAEA) 及び経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) により制定 (1992年より採用)
- ❖ 放射線源に関連して発生した事象が公衆の安全にどの程度の意味を持つのか迅速かつ一貫して伝えるための指標



国際原子力事象評価尺度 (International Nuclear and Radiological Event Scale ; INES) とは、国際原子力機関(IAEA)及び経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA)により制定された、原子力施設等の異常や事故の共通評価を目的とした指標です。

7つのカテゴリーに分類されます。福島第一原子力発電所事故は、放射性物質の放出量から最も深刻なレベル7 (暫定評価) と判断されています。また、ウラン加工工場臨界事故は、レベル4 と判断されています。

## カテゴリー

- レベル0 (尺度未満) ; 安全上の問題がない
- レベル1 (逸脱) ; 年間許容量の超過に伴う被ばく
- レベル2 (異常事象) ; 10mSVを超える公衆の被ばく / 放射線作業従事者の被ばく限度 (1年間) 超過
- レベル3 (重大な異常事象) ; 従事者が年間許容量の10倍を被ばく / 放射線からの非致死の確定的影響
- レベル4 (局地的な影響を伴う事故) ; 地域の食品制限以外には計画的封鎖等を必要としない軽微な放射性物質の放出
- レベル5 (広範囲への影響を伴う事故) ; 計画的封鎖が必要な限られた量の放射性物質の放出
- レベル6 (重大な事故) ; 計画的な封鎖が必要となる相当量の放射性物質の放出
- レベル7 (深刻な事故) ; 広範囲に及ぶ健康と環境への影響を伴った放射性物質の深刻な放出 (計画的、広域封鎖が必要)

出典；放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)  
原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書(2011  
年6月) より作成

## 放射線事故件数と影響

事故分類	1945-1965		1966-1986		1987-2007		合計	
	死亡	早期影響	死亡	早期影響	死亡	早期影響	死亡	早期影響
原子力施設	13	42	34	123	3	2	50	167
	19件		12件		4件		35件	
産業施設	0	8	3	61	6	51	9	119
	2件		50件		28件		80件	
身元不明線源	7	5	19	98	16	205	42	308
	3件		15件		16件		34件	
学術/研究作業	0	2	0	22	0	56	0	29
	2件		16件		4件		22件	
医療利用	不明	不明	4	470	42	153	46	623
	不明		18件		14件		32件	

UNSCEAR2008

1945年から2007年までの放射線事故のうち、死亡や影響が発生した件数を示しています。

最も多いのは、産業施設の事故ですが、原子力施設の事故も35件発生しています。しかし、件数は年々減少しています。

## 代表的な核兵器関連事故

### 臨界事故

発生年	発生国/施設	概要
1945 1946	アメリカ ロスアラモス研究所	デーモン・コア事故。安全でない実験操作による臨界 2名が被ばくし1名が死亡 8名が被ばくし1名が死亡
1957	旧ソ連 マヤーク核技術施設	ウラル核惨事（キシテム事故） 核分裂性物質タンクの不適切な配置により臨界 発熱によるタンク爆発で大量の放射性物質が環境に放出 6名の作業員が被ばくし、1名が死亡。INES 6
1961	アメリカ SL-1炉	炉の制御棒を素早く手で引き抜いたため臨界 炉の水蒸気爆発により3名死亡
1964	アメリカ ワッドリバー・ジャンク ション化学処理工場	人的ミスにより高濃度ウラン溶液を容器に注入 作業員3名被ばく、1名が死亡

### 環境への放出と住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故

1957	イギリス ウインズケール原子炉	火災によりI-131 740TBq ほか放射性物質の放出 INES 5
------	--------------------	--

核兵器関連の事故として臨界事故があります。全ての事故で死亡者が発生しています。

## 代表的な核兵器非関連事故

### 臨界事故

発生年	発生国/施設	概要
1983	アルゼンチン コンステイェンス 原子力研究センター	臨界実験装置 RA-2 核分裂性物質が入ったタンクから水を排出する際 の操作ミスにより臨界状態となり、1名が死亡
1999	日本 東海村 JCO	核燃料加工施設における非正規手順の作業によ って発生 3名が被ばく、2名が死亡。INES 4

### 環境への放出と住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故

1979	アメリカ スリーマイル島原発	原子炉の水位が低かったため燃料に深刻な障 害 550GBqのI-131が環境中に放出 一部住民避難を余儀なくされた。INES 5
1986	旧ソ連 チェルノブイリ原発	運転規定違反、安全手順不履行、設計不具 合など複合要因によって発生。28名が急性放 射線障害で死亡 1760PBqのI-131ほか大量の放射線物質が放 出。INES 7
2011	日本 東電福島第一原発	大地震に引き続く津波により全電源喪失 冷却機能喪失により炉心溶融 120PBqのI-131ほか大量の放射線物質が放 出。INES 7

核兵器には関連しない臨界事故もあります。その一つが日本で1999年に発生したウラン加工工場臨界事故です。この事故の詳細は後述します。

これまで住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故として、米国スリーマイル島原発事故、旧ソ連チェルノブイリ原発事故、日本東電福島第一原発事故があります。東電福島第一事故については後述します。

# ウラン加工工場臨界事故 1999年 茨城県東海村

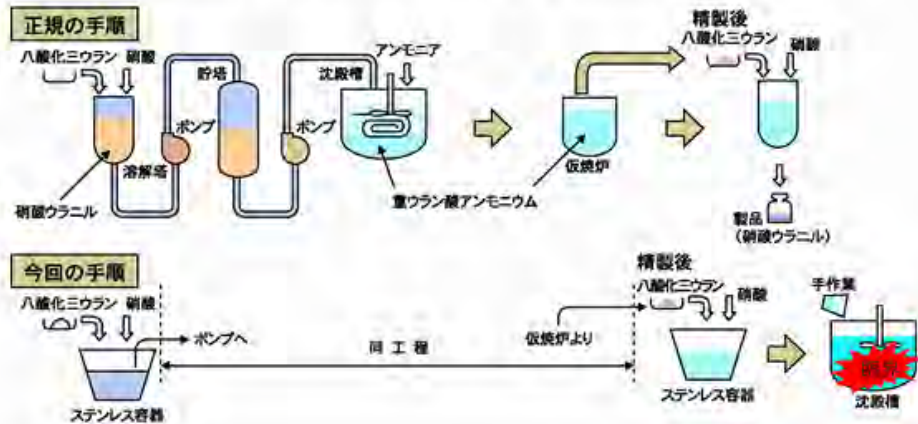
ウラン加工工場臨界事故は、1999年茨城県東海村で発生しました。

## 事故概要

正規工程を全く無視した手順：  
バケツでウランを溶かして沈殿槽に流し込んでいた



ウラン溶液濃度が臨界量を超えた(濃度18.8%)



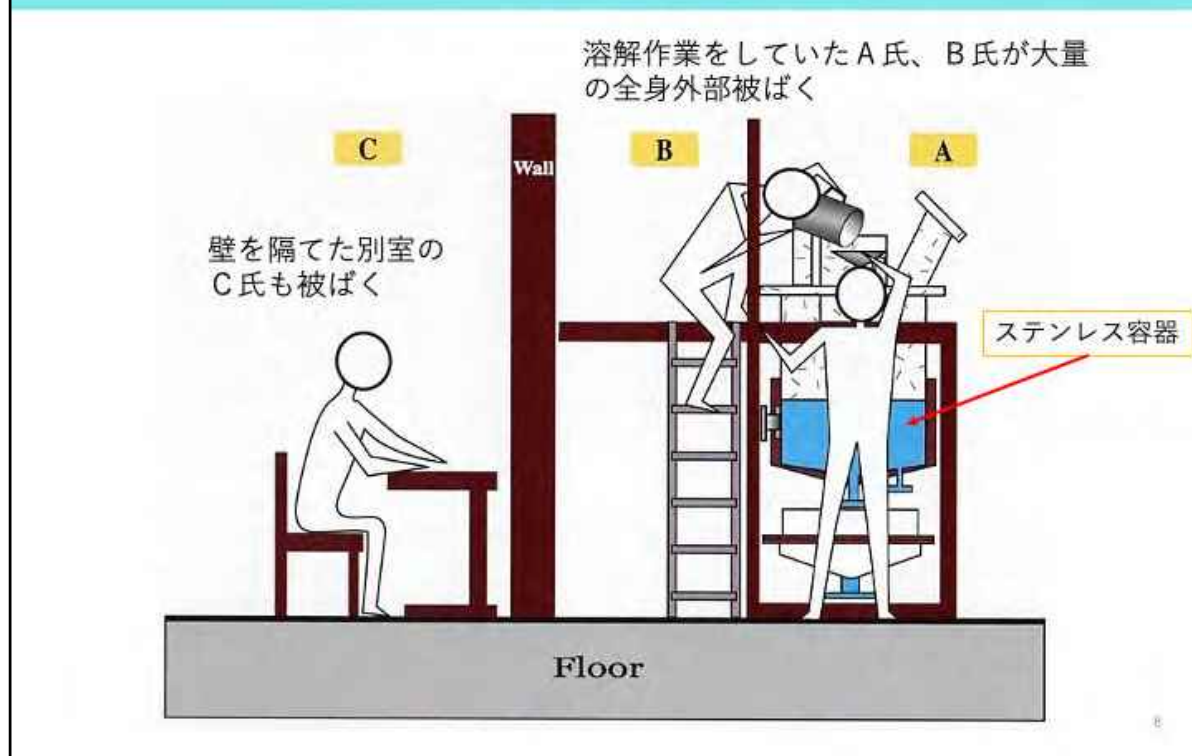
1999年9月30日午前10時35分、茨城県の原子力施設が集中する地域で、高濃度ウラン燃料の加工をしていた工場（茨城県東海村（株）JCO東海事業所 **転換試験棟**）で国内初の臨界事故が発生しました。

事故発生原因は国に提出し認められたマニュアルを改ざんし、さらに発災前日に変えていたためです。臨界条件を避けることを目的に設計された溶解タンクとバッファコラムを用いずに高速増殖炉常陽向け濃縮ウラン(18.8%の<sup>235</sup>U)の塊を硝酸の入ったバケツで溶かしては直接沈殿槽に注いでいました。

通常はウランの濃縮度が3～5%の商業用原子炉向け燃料を扱っている為、問題とはなっていませんでした。

この事故で作業員3名が重度の被ばくをし、内2名が死亡しました。周辺住民なども多数被ばくしました。

## 事故再構築



1999年9月30日の午前10：35分頃、溶解槽内の溶液が約40ℓに達しました。これはウラン16kgに相当し、臨界量です。そのため臨界状態を発生させやすい形状と構造の容器に、大量のウラン235が入ったことで、小型原子炉が臨時に設置されたのと同じ状態になり、その瞬間、核分裂連鎖反応が始まり、大量の $\gamma$ 線と中性子線の放出が始まりました。

1999年10月1日午前8時50分 臨界から約20時間後に臨界は終息しました。

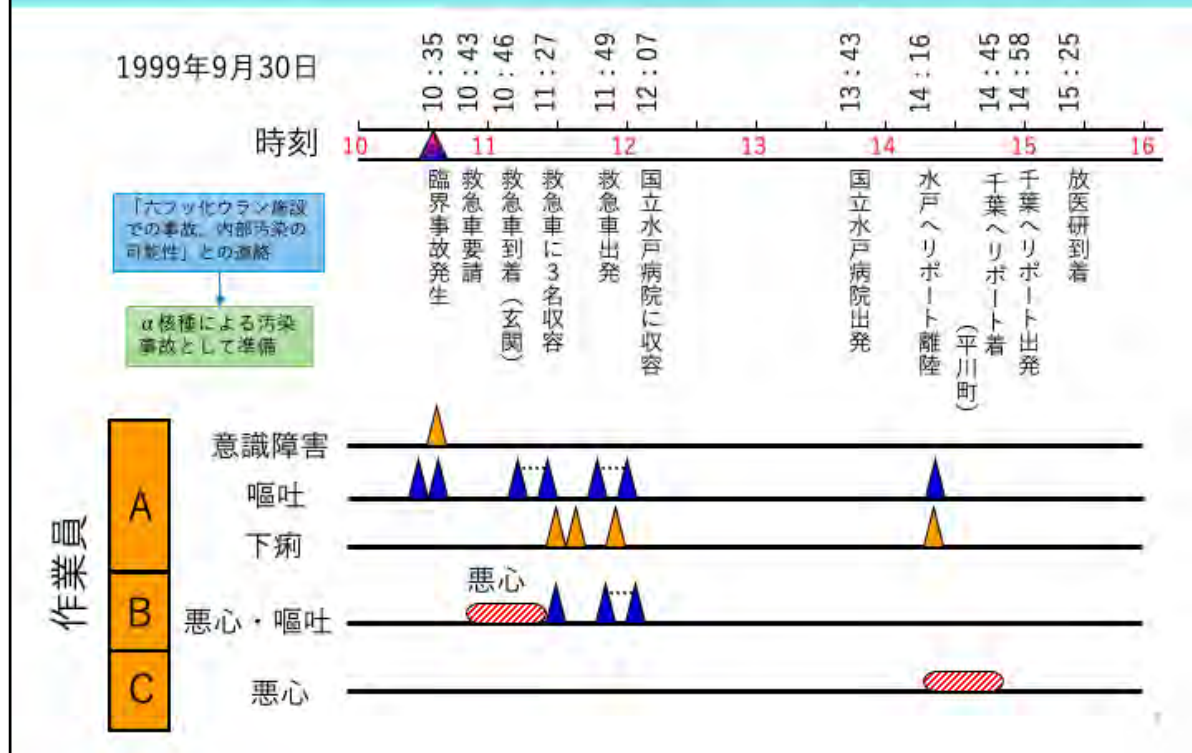
施設から350m以内に住む161人が避難を命じられ、10km圏内31万人が約18時間屋内に滞在するようにアドバイスされました。

臨界発生時の状況です。

ステンレス容器内でウラン溶液濃度が臨界量を超えたため、大量の中性子が発生し、3名の作業員が被ばくしました。特にステンレス容器の前に立っていたA氏の被ばく線量が最も高く、次にB氏となりました。C氏は壁を隔てた別室にいたため、被ばく線量が最も低かったです。



## 前駆症状



臨界事故は1999年9月30日10:35に発生しました。3名の作業員の前駆症状の臨床経過を示しています。最も被ばく線量が高いA氏は被ばく後すぐに一時的な意識障害と嘔吐の症状が出現しています。また、1時間後には下痢の症状も出現しています。

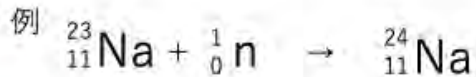
B氏は被ばくから数十分後に悪心を訴え、約1時間後に嘔吐の症状が出現しました。C氏は被ばくから約4時間後に悪心の症状を訴えていました。

この事故は、当初地元の消防署に「転換棟での事故」の通報だったため、「てんかんで人が倒れた」と認識してしまい、当初、消防は放射線の事故だと認識していませんでした。また、放医研へも「東海村ウラン加工施設から放医研に患者搬送」「六フッ化ウラン施設での事故、内部汚染の可能性」との連絡であったことからアルファ核種による汚染事故として受け入れの準備をしました。

# 放射化

もともとは放射能がない同位体が放射線を受けることによって放射性同位体に変化すること

とくに電荷を持たず運動エネルギーの小さい熱中性子は容易に原子核に接近し核反応を起こす



放射化により人体中で生成される放射性同位元素

${}^{24}\text{Na}$ 、 ${}^{42}\text{K}$ 、 ${}^{32}\text{P}$ 、 ${}^{82}\text{Br}$

${}^{32}\text{P}$ は $\gamma$ 線を放出せず周辺の要員への被ばくには寄与しない

表面汚染検査 (表面汚染はないが、放射化した放射性同位元素による $\gamma$ 線を検出する)

- ・ GMサーベーター：メーターの指針が振り切れる
- ・  $\alpha$ 線サーベーター：バックグランドレベル

患者の吐瀉物  $\rightarrow {}^{24}\text{Na}$ 、 ${}^{42}\text{K}$

患者の所持品  $\rightarrow {}^{24}\text{Na}$ 、 ${}^{56}\text{Mn}$ 、 ${}^{198}\text{Au}$  } などが検出された  
 $\Rightarrow$  中性子線の被ばくがあったことの示唆

※血漿中 ${}^{24}\text{Na}$ 濃度は中性子線被ばく量推定に用いられる

もともとは放射能がない同位体が放射線を受けることによって放射性同位体に変化することを放射化と言います。

臨界事故で発生した中性子は、核反応を起こし、体内のNa-23がNa-24となり、 $\gamma$ 線を放出します。体内のナトリウムは血液中に存在するため、全身に分布しています。このため、表面汚染検査で、表面汚染はないが、放射化した放射性同位元素によるガンマ線を検出することになります。

また、吐瀉物や所持品から放射化した同位元素を検出したことから、中性子線の被ばくが示唆されました。

血漿中のNa-24濃度は中性子線被ばく量推定に用いられました。

## 病室エリア測定記録



- ❖ 測定日：  
平成11年10月01日（金）09:40
- ❖ 測定器：  
NaI(Tl)シンチレーションサーベイメーター  
（アロカTCS-161）
- ❖ 単位：μSv/hr

患者体内のNa-23が中性子により放射化されNa-24が生成されている

患者から最大12 kcpm（GM管）を検出（α線は陰性）

放射化したNa-24からガンマ線が放出されるため、被ばくした作業員の周辺の空間線量率も上昇しました。翌日の病室周辺の測定結果を示しています。

Na-24が1MBq存在する場合、1m離れた場所での線量率は0.429μSv/hとなります。

A氏はNa-24が約6MBqでした。また、Na-24の実効半減期は14.1時間です。これから計算すると、

【事故直後のA氏から1mの位置での線量率】

$$0.429\mu\text{Sv/h} \times 6\text{MBq} = 2.6\mu\text{Sv/h}$$

となります。

これは、事故23時間後に測定した患者周辺の線量率と合致します。

このことから、患者から1mの位置にいる対応者の線量は3時間で10μSv以下です。搬送対応者、医療従事者の被ばく線量としては、健康に影響を与える値ではないことが予想されます。

出典；放射線医学総合研究所「東海村ウラン加工工場臨界事故に関する放医研報告書NIRS-M-143」（平成13年1月）

## 臨床経過

	A氏	B氏	C氏
推定被ばく線量	10 - 20 GyEq	6 - 10 GyEq	1.2 - 5.5 GyEq
被ばく直後	嘔吐、下痢、意識消失	嘔吐、下痢、意識消失	吐き気
3日後	リンパ球が0になる		血球細胞減少に対し無菌管理、輸血等
7日後	骨髄移植 人工呼吸開始 皮膚障害悪化	リンパ球が0になる	
10日後		骨髄移植	
3週間後		皮膚障害が悪化	血球細胞数が回復に転じる
4週間後	下痢の重症化		無菌室退室
7週間後	消化管出血増悪		
83日後	多臓器不全により死亡		
3ヶ月後			退院
21週間後		消化管出血増悪	
211日後		多臓器不全により死亡	

作業員3名の臨床経過をします。

骨髄障害に対して、A氏には末梢幹細胞移植が実施されました。C氏には、サイトカインが投与されました。

A氏は83日後、B氏は211日後に多臓器不全により死亡しました。C氏は、骨髄障害は回復し、3ヶ月後に退院しました。

## 環境放射線モニタリング

- ❖ 一般住民の健康や環境に影響を及ぼすものではないと判断された。
- ❖ 周辺で放射化生成物(Na-24など)やガス状核分裂生成物が微量に検出されるも粒子状物質は検出されず。
- ❖ 施設周辺の地表面、民家、農産物等のサーベイはBGレベル
- ❖ ガンマ線積算線量: 300 m 地点で270  $\mu$ Gy

周辺住民の個人線量推定

実効線量 (mSv)	東海村住民 (職員除く)	那珂町住民 (当時)	職員	合計
～5	77	24	78	179
5～10	7	0	8	15
10～15	4	0	0	4
15～20	0	0	0	0
20～25	1	0	0	1
合計	89	24	86	199

環境放射線モニタリングでは、周辺で放射化生成物(Na-24など)やガス状核分裂生成物が微量に検出されるも粒子状物質は検出されていません。また、一般住民の健康や環境に影響を及ぼすものではないと判断されました。これは臨界事故なので、放射性物質の放出による汚染は全く生じません。

出典:National Institute of Radiological Sciences 2002 NIRS M-154

## 被ばく線量

分類	人数	備考
従業員	事故発生時に作業に従事していた者	3 24.5GyEq (83日後に死亡), 8.3GyEq (211日後に死亡), 3.0GyEq (治療後退院)
	水抜き作業等に従事した者	18 ホールボディカウンタ、線量計で検出。3.8~48mSv
	ホウ酸水注入に従事した者	6 線量計等で検出。0.7~3.5mSv
	その他事故時に敷地内にいた者	49 ホールボディカウンタ、フィルムバッチで検出。0.6~48mSv 96 敷地内の端の線量評価とJCOが実施した個人行動調査から推定。0.06~17mSv
防災業務関係者	政府関係機関 (原研、サイクル機構の職員)	57 フィルムバッチ、TLDで測定した206名のうち、56名から検出。0.1~9.2mSv
	消防職員 (事故発生時に救助に従事)	3 ホールボディカウンタで検出。4.6~9.4mSv
	自治体関係者	167 行動調査に基づき推定。0.0002~7.2mSv
	国の関係者	8 行動調査に基づき推定。0.49~2.1mSv
	報道関係者	26 行動調査に基づき推定。0.014~2.6mSv
周辺住民等	実測で線量が評価された者	7 ホールボディカウンタで検出。6.7~16mSv
	居住または勤務する者	199 行動調査に基づき推定。0.01~21mSv
	一時滞在者	28 行動調査に基づき推定。0.01~3.6mSv

出典：第83回原子力安全委員会資料第4号

周辺住民や事故終息に従事した作業員、防災業務関係者等の被ばく線量をフィルムバッチ、ホールボディカウンタ、行動調査に基づいて線量推定しています。その結果を示しています。

## 社会的影響と風評被害

### 社会的影響

- ❖ 日常生活関連業務への影響
  - ◇ 10km圏内のスーパー、金融機関、ガソリンスタンド等が営業見合わせ
- ❖ 交通機関等への影響
  - ◇ JR常磐線水戸～日立間運行停止
  - ◇ 常磐自動車道、JCO周辺道路の交通規制
  - ◇ 10km圏内のバス、私鉄等運休
- ❖ 学校・公共施設への影響
  - ◇ 学校230校が休校
  - ◇ 公立の社会福祉施設等67施設が休館

### 風評被害

- ❖ 農畜産物への影響
  - ◇ 米：533トン、1億3600万円分が出荷停止
  - ◇ 青果物：一時取り引き停止、単価下落
  - ◇ 畜産物：乳業メーカー取引停止、芝浦市場で半径10km以内の豚肉・牛肉の入荷拒否
  - ◇ 水産物：シラス操業停止、消費地市場や量販店で受け入れを拒否
- ❖ 商工業への影響
  - ◇ 売上減少、取引停止、製品の返品など
- ❖ 観光への影響
  - ◇ 観光施設の予約キャンセル（1ヶ月間で17,000名以上）

この事故では、様々な社会的影響がありました。10km圏内のスーパーや金融機関、ガソリンスタンドが営業を見合わせたり、交通規制、バス私鉄等の運休、学校の休校や社会福祉施設等の休館がありました。

汚染を伴う事故ではありませんでしたが、農畜産物、商工業、観光への風評被害もありました。

## 原子力安全・防災対策

- ❖ 原子力安全規制の抜本的強化と原子力災害に係わる防災対策について、平成11年12月13日に「原子炉等規制法」の一部改正と「原子力災害対策特別措置法」が成立
- ❖ 緊急被ばく医療体制の整備
  - ◇ 「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月一部改定）原子力安全委員会 原子力施設等防災部会
    - ◆ 命の視点を最重要視し、包括的かつ一元的な緊急被ばく医療のあり方とその具体的な対策を取りまとめ
    - ◆ 原子力事業所の従事者と周辺住民等を分け隔てなく、平等に治療する共通認識の確認
    - ◆ 緊急被ばく医療に関わるすべての関係者が適切な研修及び訓練を受けることにより、被ばく患者の診療に際し不安を感じずに、円滑かつ迅速に患者を診療できる具体的体制を提言
    - ◆ 原子力関連施設での事象に限らず、放射性物質が関係した緊急事態をも視野に入れて策定

この臨界事故後に原子力安全規制の抜本的強化と原子力災害に係わる防災対策について、平成11年12月13日に「原子炉等規制法」の一部改正と「原子力災害対策特別措置法」が成立しています。また、医療体制も緊急被ばく医療体制が整備され、「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月一部改定）原子力安全委員会 原子力施設等防災部会）が示されています。この中で、緊急被ばく医療に関わるすべての関係者が適切な研修及び訓練を受けることにより、被ばく患者の診療に際し不安を感じずに、円滑かつ迅速に患者を診療できる具体的体制、原子力関連施設での事象に限らず、放射性物質が関係した緊急事態をも視野に入れて策定することを提言しています。

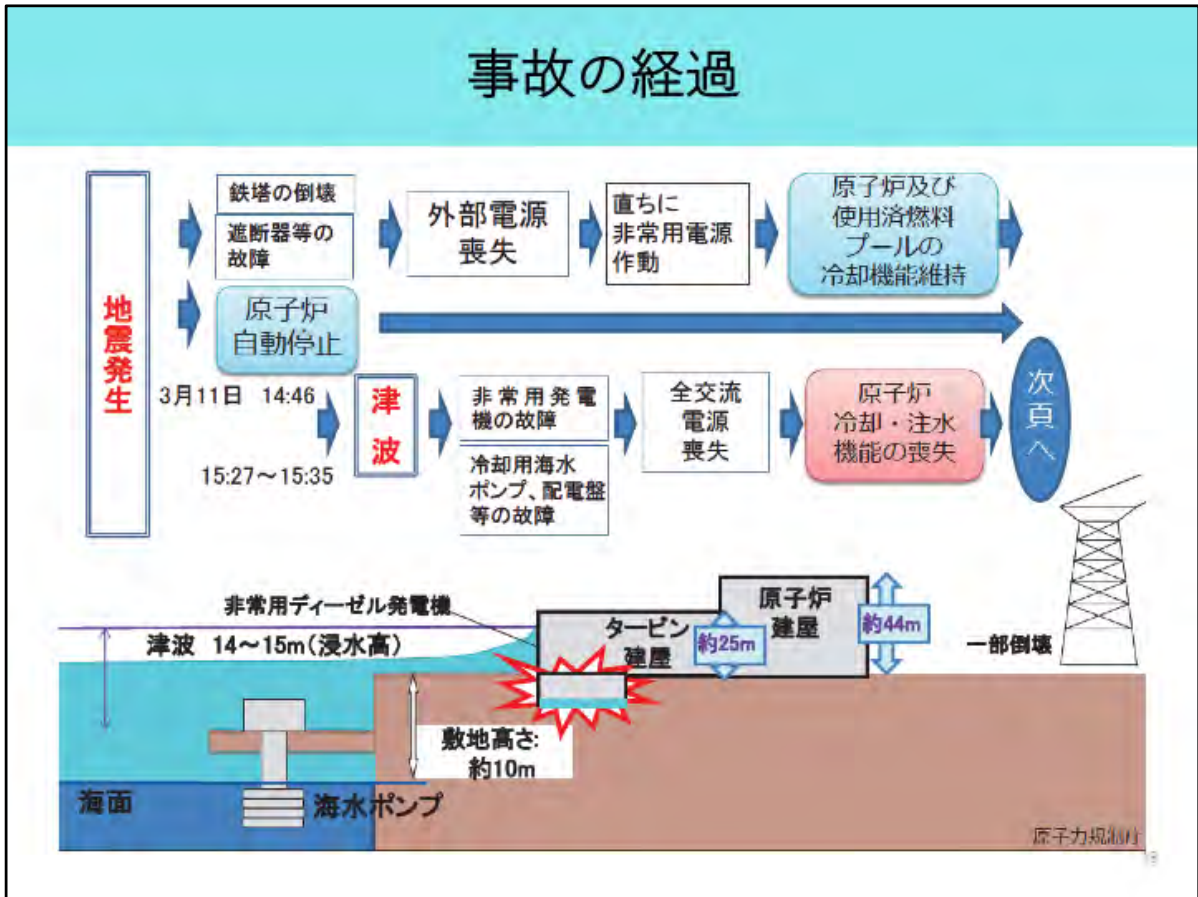
その後、19道府県に緊急被ばく医療体制が整備されました。



# 東京電力 福島第一原子力発電所事故 2011年 福島県

2011年3月11日14:46に三陸沖でマグニチュード9.0の地震が発生し、東北地方を中心に地震、津波等による大規模な被害が発生しました。

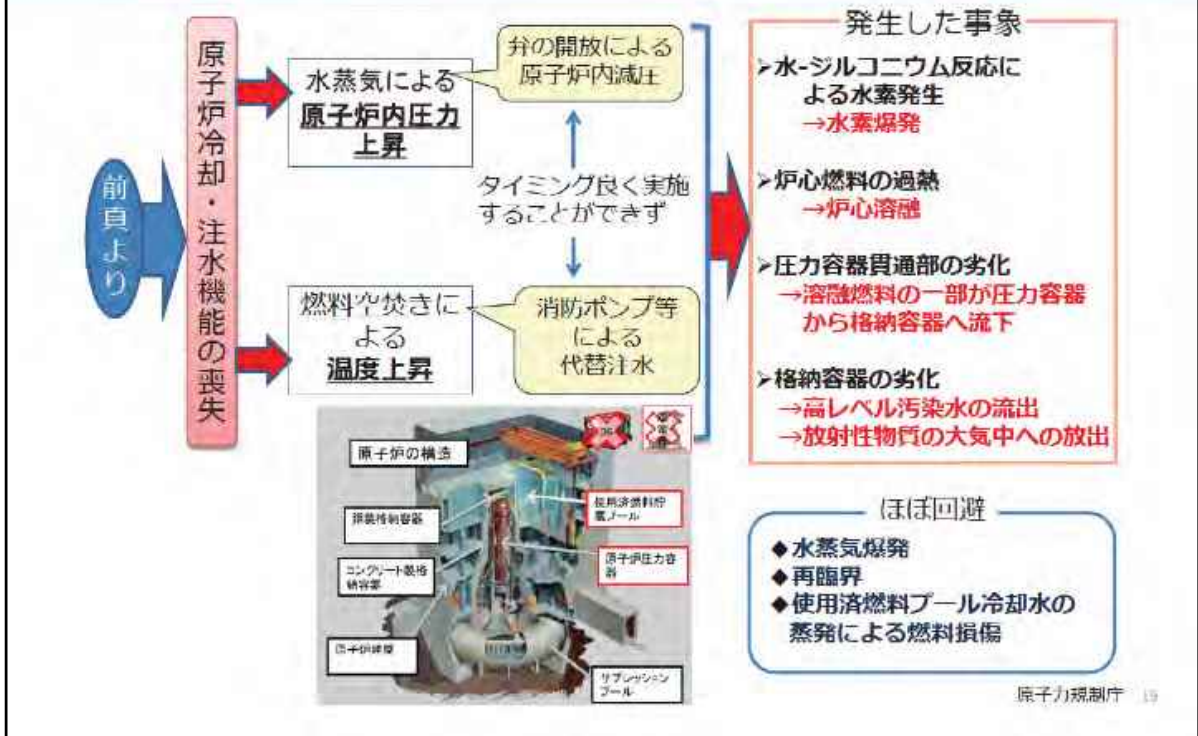
## 事故の経過



地震発生直後、運転中であつた東京電力福島第一原子力発電所の1～3号機は全ての原子炉が自動停止しました。また、送電鉄塔の倒壊等により外部電源が喪失したため、非常用ディーゼル発電機が自動起動しました。しかし、その後の津波の襲来によって非常ディーゼル発電機や配電盤等が被水、冠水したため、6号機を除いて全ての交流電源が喪失し、冷却用の海水ポンプも機能を失いました。その結果、1号機では原子炉を冷却する機能が喪失し、2号機、3号機では、交流電源がなくても駆動できる冷却設備でしばらく原子炉を冷却していましたが、やがてこれらも停止しました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成28年度版)を改変

# 事故の経過



炉心への注水が停止したことにより原子炉水位が低下して、燃料が露出しました。その結果、炉心溶融が始まり、圧力容器が損傷したと考えられます。格納容器では、炉心損傷の影響で高温・高圧状態となり、閉じ込め機能が劣化し、格納容器の外に通じる配管貫通部等に隙間が生じました。冷却のために原子炉へ注水した水が圧力容器や格納容器から漏洩し、大量の高レベル汚染水が原子炉建屋地下やタービン建屋地下に滞留し、さらにその一部は海洋へ流出しました。圧力容器の損傷や格納容器の閉じ込め機能の劣化により放射性物質を含む蒸気が漏洩したことに加え、原子炉建屋の水素爆発や格納容器ベント等によって大気中に放射性物質が放出されました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成28年度版)を改変

## 住民の避難経路



全福島県民(約202万人)を対象に福島県が調査した、原発事故発生直後からの各個人の行動パターンが、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力され、個人の外部被ばく線量評価されます。

これは、事故による放射線物質の拡散や避難等を踏まえ、県民の被ばく線量評価を行うとともに、県民の健康状態を把握し、疾病の予防、早期発見、早期治療につなげ、将来にわたる県民の健康の維持、増進を図ることを目的として福島県が実施している「県民健康調査」の基礎調査として実施されたものです。

基本調査の回答率は、福島県全体では27.6%です。

平成29年6月30日までに推計が行われた累計55万2,298人のうち、推計期間いっぱいの4ヶ月間の行動記録の提出が47万3,605人で、さらに放射線業務従事経験者を除いた46万4,420人推計結果では、県南地域では、88.2%、会津・南会津地域では99.3%が1mSv未満となり、相双地域については77.3%が、いわき地域でも99.1%が1mSv未満となっています。最大値は、相双地域の方の25mSvでした。

出典：外部被ばく線量の推計について

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/6494.pdf>

## ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査の実施結果

環境モニタリングの結果等から、他の地域に比べて外部および内部被ばく量が高い可能性がある地域（川俣町山木屋地区、飯盛村、浪江町）や避難区域等の住民に対して、平成23年6月27日からホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査を開始。順次対象地区を県内全域に拡大し、平成29年11月30日までに32万8,354名を実施。セシウム134及び137による預託実効線量で99.9%以上が1ミリシーベルト未満、最大でも3ミリシーベルト未満であり、全員が健康に影響が及ぶ数値ではなかったとされている。

①対象自治体：福島県内全59市町村

②測定実施機関（実績）

福島県、弘前大学医学部附属病院、南相馬市立総合病院、日本原子力研究開発機構、新潟県放射線検査室、広島大学病院、長崎大学病院、大津赤十字病院、杜の都産業保健会、金沢医療センター、愛媛大学医学部付属病院、放射線医学総合研究所

③ホールボディ・カウンタ車の巡回による県外での検査について

福島県では県外に避難された方が受検できるようホールボディ・カウンタ車を巡回して検査を行っており、平成28年3月までに、福島県が検査を委託している常設の機関がない38都道府県（青森県、茨城県、新潟県、石川県、滋賀県、広島県、愛知県、長崎県以外）で検査が実施された。

④測定結果（預託実効線量）（平成29年11月実施分まで；平成29年12月26日発表）

	平成23年6月27日～ 平成24年1月31日	平成24年2月1日～ 平成29年11月30日	合 計
1ミリシーベルト未満	15,384名	312,944名	328,328名
1ミリシーベルト	13名	1名	14名
2ミリシーベルト	10名	0名	10名
3ミリシーベルト	2名	0名	2名
合 計	15,409名	312,945名	328,354名

※預託実効線量：平成24年1月までは3月12日の1回測定と仮定。2月以降は平成23年3月12日から検査日前日まで毎日均等な量を継続して日常的に経口摂取したと仮定して、体内から受けると思われる内部被ばく線量について、成人で50年間、子供で70歳までの線量を合計したもの。

福島県ホームページ「ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査 検査の結果について」より作成

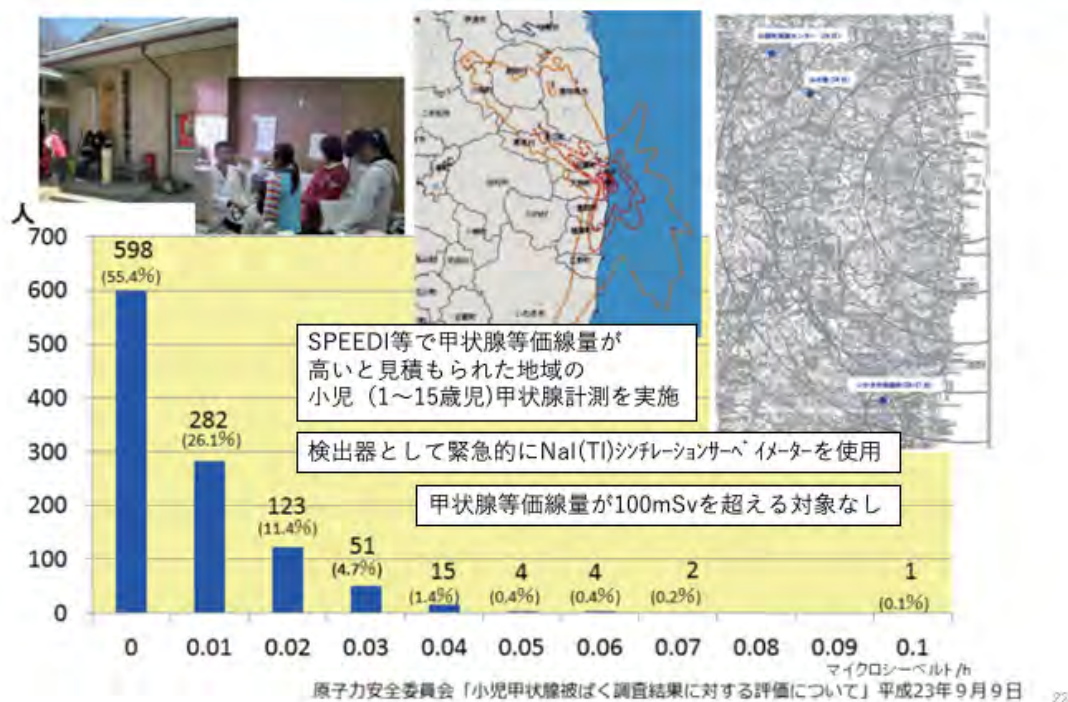
77

環境モニタリングの結果等から、他の地域に比べて外部および内部被ばく量が高い可能性がある地域（川俣町山木屋地区、飯館村、浪江町）や避難区域等の住民を対象に平成23年6月27日からホールボディ・カウンタ（WBC）による内部被ばく検査が開始されています。対象地区は順次、県内全域に拡大しています。平成29年11月30日までに32万8,354名に検査が実施されています。Cs-134およびCs-137による預託実効線量で99.9%以上が1mSv未満、最大でも3mSv未満であり、全員が健康に影響が及ぶ値ではなかったとされています。

出典：放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)

福島県ホームページ「ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査 検査の結果について」

## 小児甲状腺スクリーニング調査



平成23年3月23日のSPEEDIの試算を踏まえ、小児への健康影響を把握するため、原子力安全委員会緊急助言組織からの依頼（3月23、25日付）に基づき、現地原子力災害対策本部では小児甲状腺スクリーニング調査を実施しました。調査した1,149人のうち、適切に測定された1,080人の結果が示されています。測定場所の環境放射線量が簡易測定を行うには適当でなかった（測定場所の空間線量率が高く、簡易測定による適切な評価が困難であった）ため、適切に測定結果が出せなかった66人と年齢不詳の3人の結果は除かれていますが、調査を受けた全員が、原子力安全委員会がスクリーニングレベルとした「毎時0.2μSv」を下回っていました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)を改変

## 住民の内部被ばく評価

事故直後1年間における公衆の平均実効線量と平均甲状腺吸収線量

住宅区域	実効線量 (mSv)		甲状腺の吸収線量 (mGy)	
	成人	1歳児	成人	1歳児
避難をした地区				
予防的避難区域*1	1.1~5.7	1.6~9.3	7.2~34	15~82
計画的避難区域*2	4.8~9.3	7.1~13	16~35	47~83
避難をしていない地域				
避難が行われなかった地域の福島県住民	1.0~4.3	2.0~7.5	7.8~17	33~52
福島近隣県	0.2~1.4	0.3~2.5	0.6~5.1	2.7~15
上記以外	0.1~0.3	0.2~0.5	0.5~0.9	2.6~3.3

※1 2011/3/12~15にかけて避難を指示された地区

※2 2011/3月末から6月にかけて避難を指示された地区

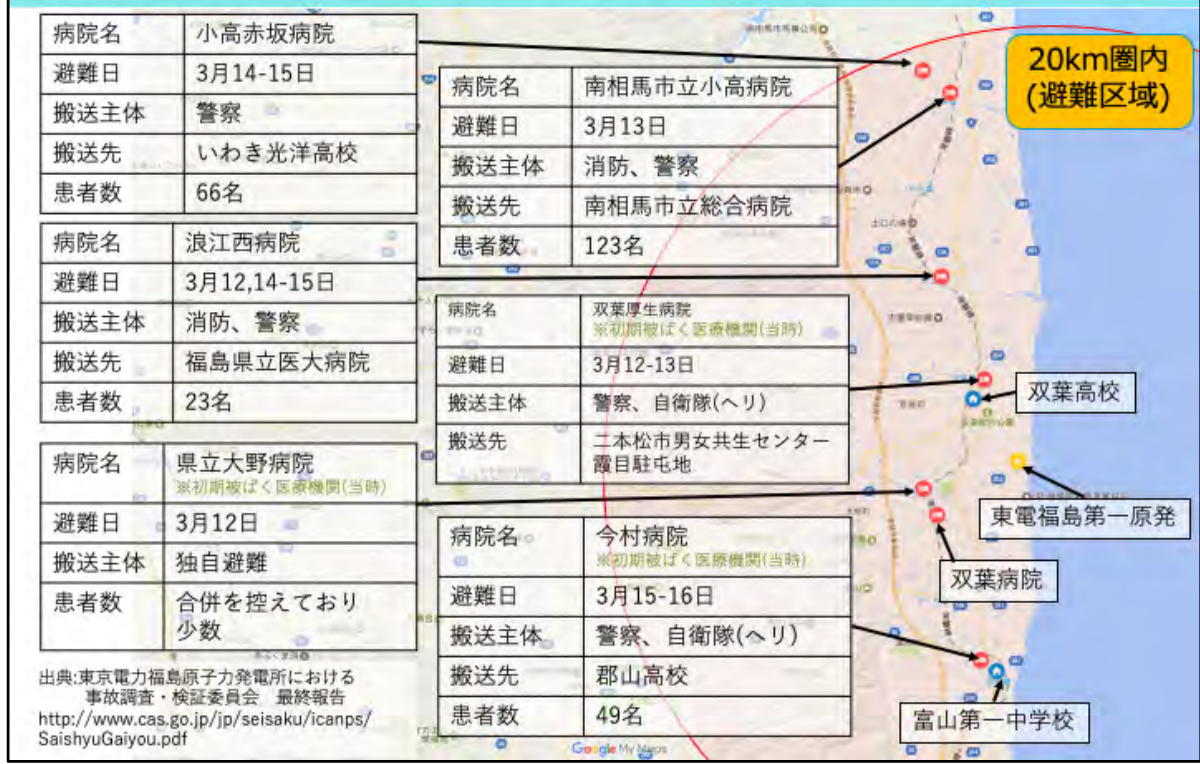
UNSCEAR Report 2013:

LNT仮説に基づけばわずかな発がんリスク増加が示唆されるものの日本人のベースラインから差を検出するには小さすぎるレベルである。

事故直後1年間の公衆の平均実効線量と平均甲状腺吸収線量を示しています。

UNSCEAR Report 2013では、LNT仮説に基づけばわずかな発がんリスク増加が示唆されるものの日本人のベースラインから差を検出するには小さすぎるレベルである、とされています。

# 病院避難



2011年3月12日から16日にかけて、20km圏内の避難区域の医療機関から入院患者の避難が実施されました。

医療機関の避難では、情報が関係者間で共有できていなかったり、搬送までに時間がかかったこともあり、搬送中の死亡が発生しています。



## 3号機原子炉建屋水素爆発



地震同時、運転中だった1～3号機は、地震とその後の津波によりその全てで交流電源が喪失、冷却システムが停止したことから、原子炉冷却ができなくなり、最終的に燃料の溶融に至りました。燃料の溶融の過程（炉心損傷に伴う高温下において、燃料被覆管の金属（ジルコニウム）と水蒸気が反応）で、大量の水素ガスが発生し、原子炉建屋内にその水素ガスが滞留した1号機、3号機では、3月12日（1号機）と14日（3号機）に水素爆発が起きました。この3号機建屋の水素爆発では、注水作業をしていた自衛官4名と東電および協力会社の作業員7名が汚染を伴う負傷をしました。大熊町のオフサイトセンターで搬送先の調整をしましたが、汚染による搬送拒否や受け入れ拒否が発生し、搬送先の決定に2～3時間を要しました。また、最後の患者が医療機関に搬送されたのは、負傷から20時間後でした。いずれも重篤な外傷と高線量の被ばくはありませんでした。

## 原子力安全・防災対策

- ❖ 災害対策基本法、防災基本計画（第12編「原子力災害対策編」）の改定
- ❖ 原子力規制委員会設置
- ❖ 原子力災害対策指針の策定
  - ◇ 予防的防護措置を準備する区域(PAZ)と緊急時防護措置を準備する区域(UPZ)
  - ◇ 安定ヨウ素剤の予防服用の体制
- ❖ 原子力災害時の医療体制の充実と強化のための見直し
  - ◇ 24道府県に医療体制の整備
  - ◇ 高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターの設置
  - ◇ 道府県による原子力災害拠点病院の指定、原子力災害医療協力機関の登録

2011年に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故により、関連する法令等が改定、策定されました。

中でも原子力災害時の医療体制は、それまでの緊急被ばく医療体制を充実、強化されています。現在も原子力災害時の医療体制は、見直しや改正が行われています。

## ゴイアニア汚染事故

- ❖ ゴイアニア（ブラジル）の病院が、治療用の線源（ $^{137}\text{Cs}$ 、50.9TBq）を残したまま移転し、1987年二人組が治療装置をこじ開け、ステンレス製カプセルに入った線源を取り出し0.5km先に移動。その後、カプセルを開け、塩化セシウムが拡散。
  - ◇ 外部被ばく→急性放射線症、皮膚障害
  - ◇ 内部被ばく→体外計測、バイオアッセイ
  - ◇ 体表面汚染→汚染検査、除染
- ❖ 調査：112,000人
  - ◇ 249人に体内 / 体外汚染
- ❖ 汚染調査道路網：2,000km
- ❖ 汚染土壌、および除染ゴミ
  - ◇ 200リットルドラム缶 14,500 個、5トンの箱 1,470 個
- ❖ 入院患者：20人（皮膚障害、体内汚染）
  - ◇ 4人が骨髄障害による出血や感染症で1ヶ月以内に死亡
  - ◇ プルシアンブルーの投与

原子力災害の事例ではないが、放射線が関与する事故として、急性放射線症、内部被ばく、環境への拡散が生じた事故として1987年ゴイアニア（ブラジル）で発生した事故がある。

これは、ゴイアニア（ブラジル）の病院が、治療用の線源（ $^{137}\text{Cs}$ 、50.9TBq）を残したまま移転し、1987年二人組がこの治療装置をこじ開けて、ステンレス製カプセルに入った線源を取り出し、0.5km先に移動しました。その後、カプセルを開けたため、塩化セシウムが拡散しました。また一部の人は、この塩化セシウムを身体に塗布しました。

この事故で、高線量被ばくによって急性放射線症や皮膚障害が生じ、4人が骨髄障害によって死亡しました。内部被ばくがあった者にはプルシアンブルーが投与されました。

表面汚染検査は、11万人以上に実施され、うち249人に体内汚染および体表面汚染がありました。

この事故の影響で、汚染された土壌とゴミは、200リットルドラム缶14,500 個、5トンの箱 1,470 個にもなりました。

## まとめ

- ❖ 原子力事故・災害には臨界事故、影響が施設内にとどまる事故、放射性物質が環境中に放出される事故、住民の被ばくを伴う事故などがある。
- ❖ 事象の重大さを表す指標としてINESがあり7つのカテゴリーに区分されている。
- ❖ 1945年～2007年までの放射線事故のうち、致死・早期影響事故件数:原子力施設35、産業施設80、不明線源34、研究22、医療32
- ❖ 日本は、1999年ウラン加工工場臨界事故、2011年東京電力福島第一原子力発電所事故があり、事故対応後には、関連する法令等の改正が実施された。

# 原子力災害医療派遣 チームの活動

原子力災害医療 専門研修  
派遣チーム-1

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

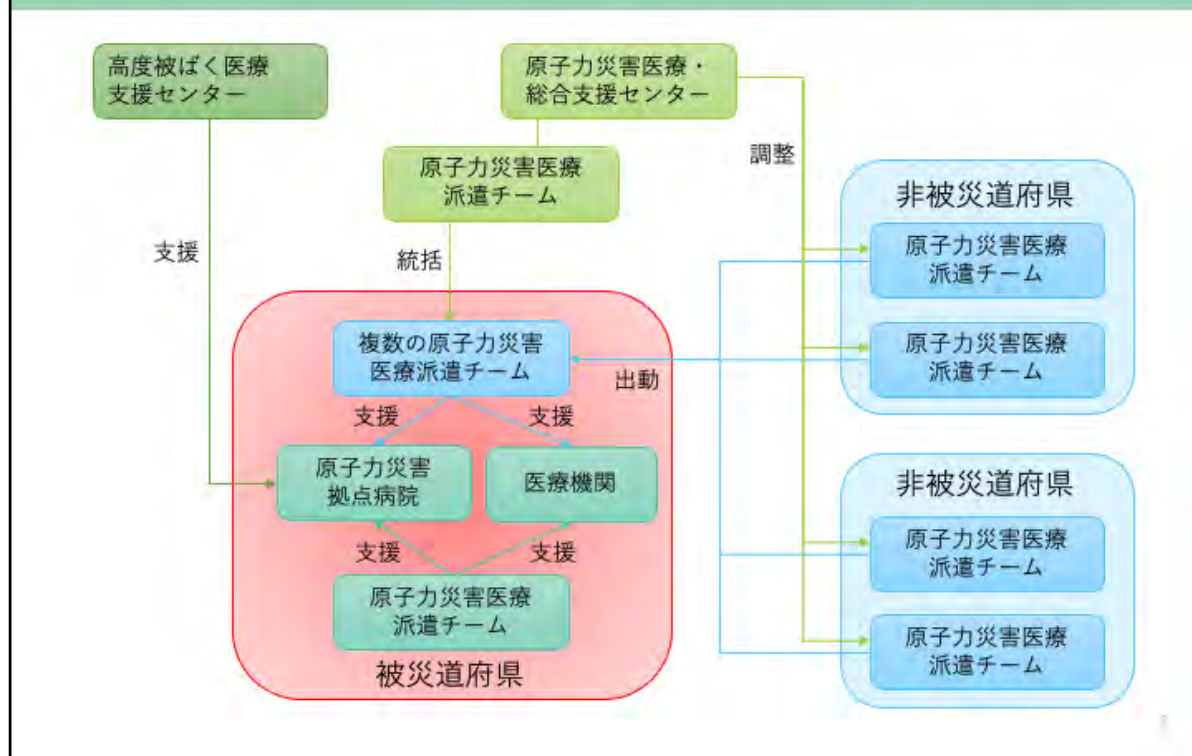
本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- 基本方針
- 関係機関・組織
- 派遣チームの準備
- 資機材
- 派遣チーム受入準備
- 原子力災害発生時の活動の流れ
- 待機要請
- 派遣要請・出動
- 基本的活動
- 安全確保
- 連絡、記録の作成と保管
- 活動の終了
- 費用の支弁

## 原子力災害医療派遣チーム活動の基本方針



原子力災害医療派遣チーム（以下「派遣チーム」という。）の活動は、平時に派遣チームを保有する医療機関と当該医療機関を管轄する道府県との間で締結された協定（以下「協定」という。）及び地域防災計画等に基づきます。

原子力災害医療・総合支援センター、非被災道府県から派遣チームを出動させることが基本となります。ただし、被災道府県の原子力災害医療調整官が必要性を判断した場合には、被災道府県内の派遣チームを出動させることもできます。

派遣チームの出動先は、被災道府県の原子力災害拠点病院を基本とし、派遣先の機関の長の指揮下で支援活動を行います。

その活動は、例えば汚染のある患者に対する救急医療等の提供など、原子力災害医療に係る活動の支援を基本としますが、出動先の原子力災害拠点病院で対応できない被ばく傷病者等が発生した場合には、高度被ばく医療支援センターまたは原子力災害医療・総合支援センターへ搬送する際の搬送支援を行います。また、原子力災害の発生時に被災道府県または被災道府県内の市町村が事前に策定した原子力防災に係る各種計画の実行に際して、他の関係する対処要員よりも派遣チームによる対応の方がより適切と判断される場合（例えば医療機関における避難計画を実施しようとした際や避難所等での救護活動を行おうとした際に計画上の人員確保が困難と判断される場合）等には、必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応します。

## 関係機関・組織

機関・組織	役割	
原子炉施設等が立地する道府県と原子力災害対策重点区域がある道府県		
立地道府県等	原子力災害医療調整官	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地域の医療事情に詳しい者</li> <li>・ 医療機関、消防機関等に対して搬送する患者の汚染や推定被ばく線量に基づいて、その搬送先を適切かつ迅速に指示</li> <li>・ 必要に応じて、他の立地道府県等に対して派遣チームの派遣を要請</li> </ul>
	原子力災害拠点病院	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 被ばくがある場合の適切な診療等の提供</li> </ul>
	原子力災害医療協力機関	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力災害での医療対応や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援</li> </ul>
	原子力災害医療派遣チーム	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力災害が発生またはそのおそれがある被災道府県において救急医療等を行うことのできる専門的な研修、訓練を受けた医療チーム</li> </ul>
国等	原子力災害医療・総合支援センター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原子力災害医療派遣チームの保有と派遣調整</li> <li>・ 教育・研修、訓練の実施</li> </ul>
	高度被ばく医療支援センター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 被ばく患者の線量評価や診療等に関する指導、助言、支援等を行う専門派遣チームを保有</li> </ul>
	基幹高度被ばく医療支援センター	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的役割</li> <li>・ 地域の中核となる医療従事者等、高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターの医療従事者、専門技術者等への高度専門的な教育研修</li> </ul>
	緊急事態応急対策等拠点施設（オフサイトセンター；OFC）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 原災本部長指示、各種対策の実施</li> <li>・ オフサイト対策の支援に係る連絡調整</li> <li>・ 自治体との具体的対策の検討・調整</li> </ul>
	原子力規制庁緊急時対応センター（ERC）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 官邸の意思決定を支える情報分析、現地の対応状況のフォローアップ</li> </ul>

原子力災害とは、原子力施設の事故等に起因する放射性物質または放射線の環境への異常な放出により生じる被害を意味します。原子力災害対策特別措置法（以下「原災法」）では、原子力施設外における放射性物質または放射線の放出が一定の水準を超えた場合には、原子力緊急事態（原災法第2条第2号に規定する「原子力緊急事態」をいう。）に該当するものとされ、緊急事態応急対策が講じられます。こうした事態における原子力災害医療の対応には、通常の救急医療、災害医療に加えて被ばく医療の考え方が必要となります。この原子力災害医療を提供するのが、原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関、原子力災害医療・総合支援センター、高度被ばく医療支援センター、基幹高度被ばく医療支援センターとなります。この中で、原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関、原子力災害医療・総合支援センターは原子力災害医療派遣チームを保有します。高度被ばく医療支援センターは専門派遣チームを保有します。

また、原子力災害医療調整官は、地域の医療事情に詳しい者とし、原子力災害医療調整官を長とする複数者からなるグループを組織して立地道府県等が設置する災害対策本部内に配置することとなっています。この原子力災害医療調整官は、医療機関、消防機関等に対して搬送する患者の汚染や推定被ばく線量に基づいて、その搬送先を適切かつ迅速に指示します。その際、救急医療体制を活用し、医療機関に対して傷病者を受け入れるように指示し、その受入れを確認します。特に、重篤な傷病者については指定された原子力災害拠点病院等に搬送できるようにします。また、原子力災害医療調整官は、必要に応じて、他の立地道府県等に対して派遣チームの派遣要請を行い、立地道府県等内の原子力災害拠点病院等へ派遣します。

## 原子力災害医療派遣チームの準備

- ❖ 構成員
  - ◇ 医師、看護師、放射線防護関係者、業務調整員等の4名以上
  - ◇ 被ばく医療に必要な知識、技能を保有する者
- ❖ 資機材；7日程度の活動に必要な分量
  - ◇ 備蓄、保管、点検、校正を適切に実施
- ❖ 規程
  - ◇ チームの編成、召集、資機材や車輛の管理、整備、安否確認や情報共有、連絡体制、補償に関する事項
  - ◇ 出動手続き、活動手順、連絡方法等のマニュアル
- ❖ 教育・研修、訓練、ネットワーク構築
  - ◇ 原子力災害医療・総合支援センターが実施する研修を定期的受講、派遣調整や派遣の訓練に参加
  - ◇ 道府県内で構築される医療ネットワーク会議等及び地域原子力災害時医療連携推進協議会等に参加
- ❖ 道府県との協定締結
  - ◇ 医療機関と管轄する道府県とが派遣チームの運用に関する協定締結
    - ◆ 派遣要請等の手続き、運用、費用支弁、補償
- ❖ 記録の作成・保管
  - ◇ 構成員の教育・研修の受講記録の作成、保管

原子力災害医療派遣チーム（以下、派遣チーム）は4名以上で、原子力災害が発生またはそのおそれがある場合に提供される医療に必要な知識、技能を保有する医師、看護師、放射線防護関係者、業務調整員等から構成されます。

資機材は、移動時間も含めて7日程度の活動に必要な分量を基本として整備し、定期的に点検を行います。

派遣チームの編成や召集、資機材や車輛の管理及び整備、安否確認や情報共有、連絡体制、補償に関する事項など必要とされる規程をあらかじめ院内で整備します。また、派遣チームの出動手続きや活動手順、連絡方法等を定めたマニュアル類を事前に院内で整備しておくことが望ましいです。

原子力災害医療・総合支援センターが主催する派遣チーム研修などの教育・研修を定期的受講し、派遣調整訓練や派遣訓練等、道府県内で構築される医療ネットワークの会議等及び担当地域の原子力災害医療・総合支援センターが主催する地域原子力災害時医療連携推進協議会等に積極的に参加します。

派遣チームを保有する医療機関は、管轄する道府県と派遣チームの運用に関する協定をあらかじめ締結します。また、派遣チームの構成員の教育・研修の受講記録を作成、保管します。

参考：「原子力災害医療派遣チーム活動要領」 平成29年3月29日 原子力規制庁原子力災害対策・核物質防護課



## 資機材

項目	品目
車輜	構成員全員の乗車が可能 構成員が休憩、宿泊できるスペース
通信機器	衛星携帯電話など複数の通信手段
個人防護装備	防護服等、個人線量計、安定ヨウ素剤
放射線測定器	空間線量計、表面汚染計
除染用資機材	ガーゼ、膿盆、洗浄用ボトル、吸水シートなど
養生用資機材	ビニール袋、ビニールシート、ろ紙シート、養生用テープなど
医療資機材	救急医療、災害医療に必要な資機材
生活必需品	食料、水など7日分

原子力災害医療派遣チームの資機材です。

放射線測定器等は、定期的に点検、校正して、常に使用できることを確認しておきます。また、生活必需品は、移動時間も含め7日程度の活動に必要な分量を備蓄します。

参考 DMAT隊員養成研修会 DMAT標準資器材リスト

<http://kenkyuukai->

113.skillupjapan.tv/images/sys%5Cinformation%5C20110510100123-6B6B6D40DD150D47D0FB91F8E7521B5C6FD7E359DEF65B6C1DEF4A07C657661C.pdf#search='DMAT資器材

## 派遣チーム受入準備

- ❖ 複数の派遣チームの支援を受け入れることを想定
  - ◇ 派遣チームの待機場所、活動控室、宿泊や食事の提供場所等の体制整備
  - ◇ 院内外のスタッフの役割分担、資機材の配置等の工夫
- ❖ 情報提供・共有
  - ◇ 災害対策に係る体制、職種別の院内関係者名簿、院外からの支援者名簿、資機材等の配置場所
  - ◇ 原子力規制委員会の「緊急情報メールサービス」、管轄の道府県からの連絡による原子力災害の発生、事態推移等を速やかに把握、共有
  - ◇ 原子力災害医療・総合支援センター、高度被ばく医療支援センターとの連絡体制
- ❖ 院内原子力災害医療コーディネーター
  - ◇ 外部からの原子力災害医療の支援受入れの調整
- ❖ 職種別院内コーディネーター
  - ◇ 医師、看護師、診療放射線技師、薬剤師などの職種ごとに受入れの調整
- ❖ 複数の派遣チームと協働して活動を行うための研修の実施

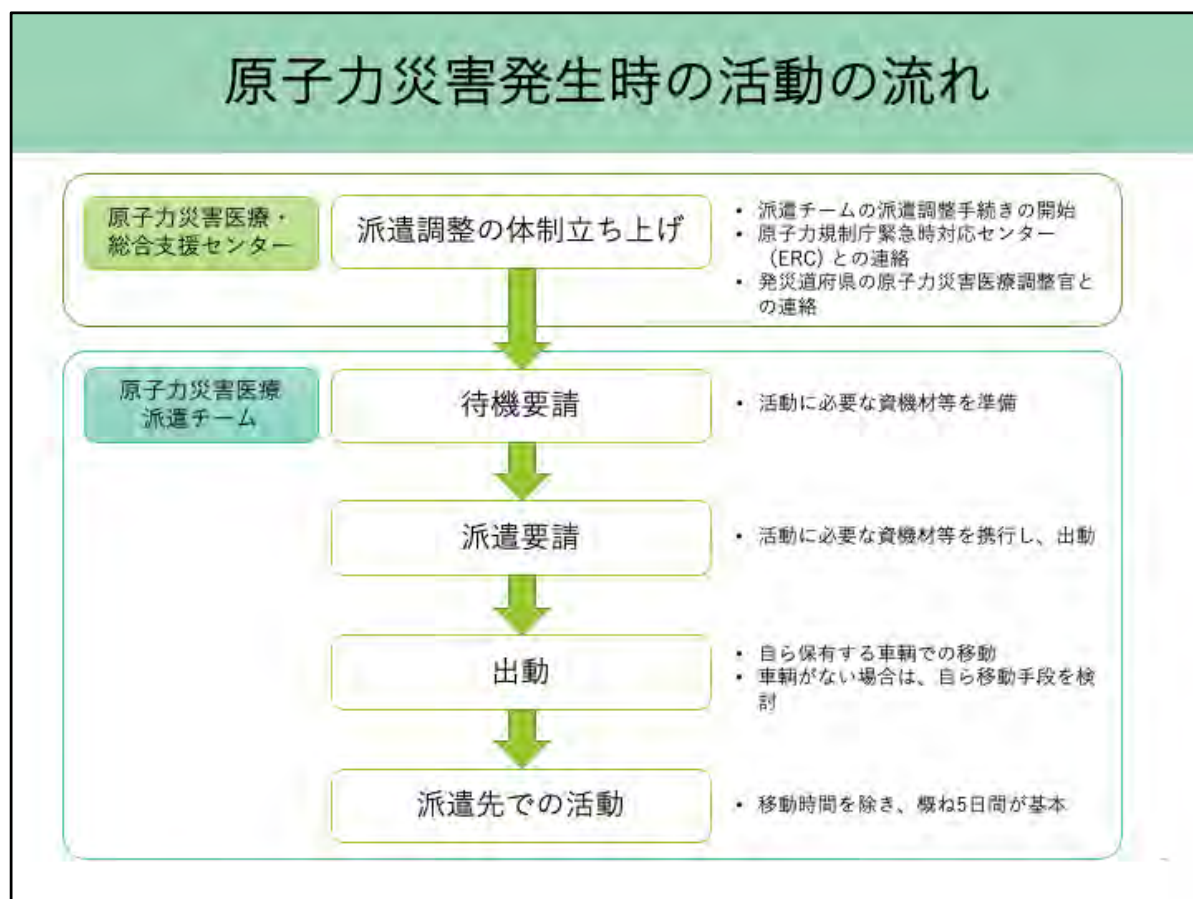
派遣チームの支援を受け入れる可能性のある原子力災害拠点病院等の医療機関は、複数の派遣チームの支援を受け入れることを想定し、外部からの原子力災害医療の支援受入に関する院内原子力災害医療コーディネーター（以下「院内コーディネーター」という。）を定めます。また、必要に応じて、医師、看護師、診療放射線技師、薬剤師といった職種ごとに受入に関する職種別院内コーディネーターを定めます。

体制整備としては、派遣チームの受入待機場所、活動控室、宿泊や食事の提供場所等、災害対策に係る体制、職種別の院内関係者名簿、院外からの支援者名簿、資機材等の配置場所の情報提供体制、原子力規制委員会の「緊急情報メールサービス」、管轄の道府県からの連絡による原子力災害の発生、事態推移等を速やかに把握、共有する体制、原子力災害医療・総合支援センター、高度被ばく医療支援センターとの連絡体制を構築します。

また、複数の派遣チームと協働して活動を行うための研修を実施し、他の機関が主催する訓練等にも積極的に参加します。

派遣チームの緊密な医療ネットワーク構築を目的とする道府県内の医療ネットワークに係る会議や地域を担当する原子力災害医療・総合支援センターが主催する地域原子力災害時医療連携推進協議会等に積極的に参加します。

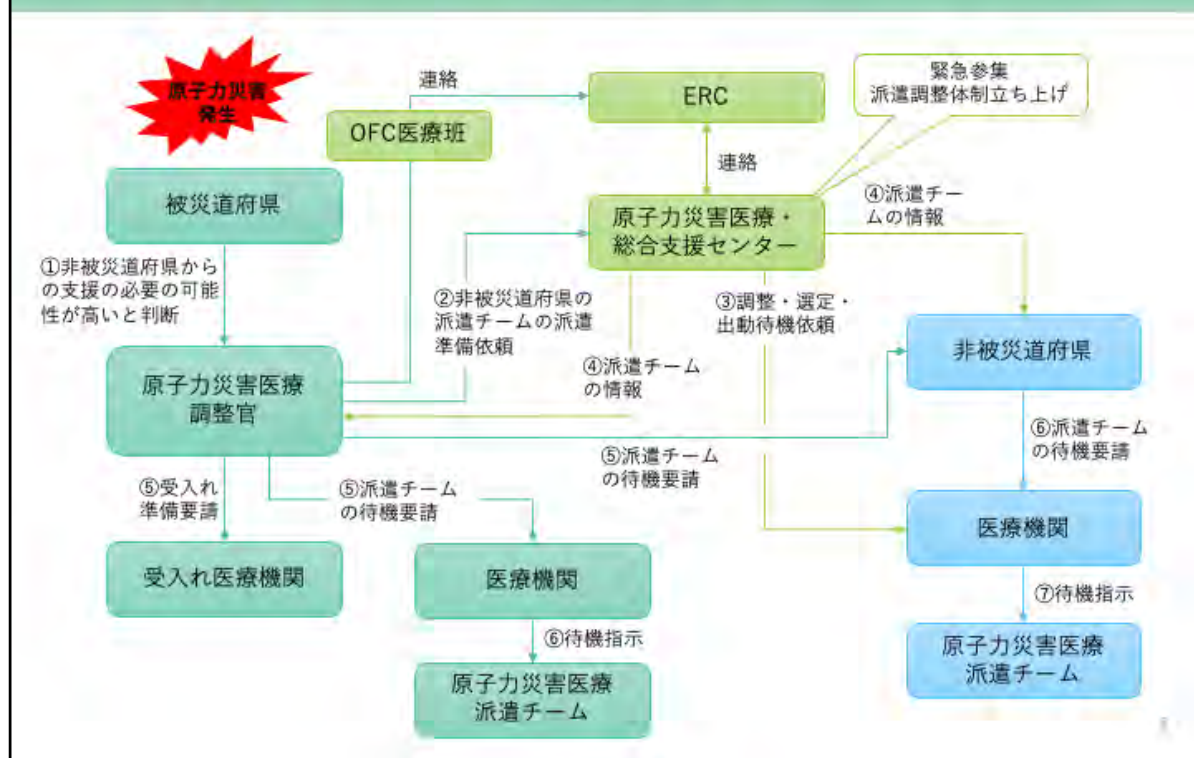
## 原子力災害発生時の活動の流れ



原子力規制委員会防災業務計画に基づき、事故警戒本部が原子力規制庁緊急時対応センター（ERC）に設置された場合には、警戒事態が発生した道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターは事務局員を当該支援センターに緊急参集させるなど派遣チームの派遣調整手続きを開始できる体制を速やかに構築します。また、原子力統合防災ネットワークシステムの接続を確認するとともに、ERC 及び警戒事態が発生した道府県の原子力災害医療調整官と緊急に連絡がとれる体制を構築します。

原子力災害医療・総合支援センターが派遣チームを保有する医療機関と調整し、派遣候補となる派遣チームを選定し、医療機関に対して出動待機を依頼します。その後、派遣チームは活動に必要な資機材等を準備し、派遣要請がなされた場合は、出動します。

## 待機要請



原子力災害が発生またはそのおそれがある場合であって、非被災道府県からの原子力災害医療に係る活動の支援が必要になる可能性が高いと被災道府県が判断した場合には、被災道府県の原子力災害医療調整官は被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センター（以下、総合支援センター）に対し、非被災道府県の派遣チームの派遣準備の調整を依頼すると同時にOFC医療班を通じてERCにも連絡します。

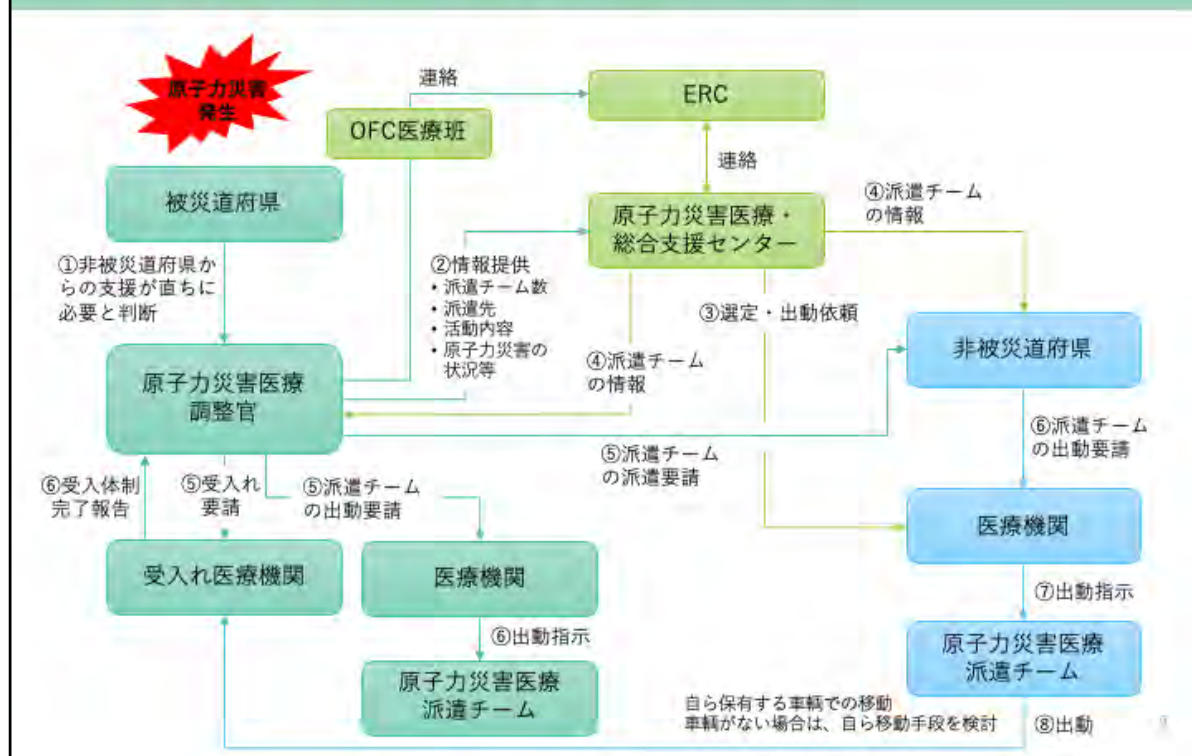
被災道府県を担当する総合支援センターは、非被災道府県の派遣チームを保有する医療機関と調整、派遣チームを選定し、派遣チームを保有する医療機関に対して当該チームの出動待機を依頼します。さらにその派遣チームの情報を被災道府県の原子力災害医療調整官、出動待機を依頼された医療機関を管轄する道府県及びERC医療班にも伝達します。

被災道府県の原子力災害医療調整官は、非被災道府県に派遣チームの待機要請を行い、支援受入医療機関に対し、派遣チームの受入準備の要請を行います。受入準備の要請を受けた派遣チームの支援受入医療機関は、速やかに院内の受入準備を開始します。

管轄の非被災道府県から待機の要請を受けた医療機関の長は、派遣候補となる派遣チームの構成員に対して待機を指示し、派遣チームの構成員は、活動に必要な資機材等を準備し、出動に備えます。

国は被災道府県からの派遣要請がない場合であっても、緊急の必要性があると認めるときは、非被災道府県に対して派遣チームの待機を要請することができます。

## 派遣要請・出動



非被災道府県からの原子力災害医療に係る活動の支援が直ちに必要であると被災道府県が判断した場合には、被災道府県の原子力災害医療調整官は被災道府県を担当する総合支援センターに対し、必要とされる派遣チーム数、派遣先、活動内容、原子力災害の状況等に関する情報を提供し、派遣チームの派遣調整を依頼すると同時にOFC医療班を通じてERCにも連絡します。被災道府県を担当する総合支援センターは、原子力災害の規模、被災道府県の所在地や派遣先となる原子力災害拠点病院等の地理的な位置関係等を考慮し、出動待機を要請された派遣チームの中から必要とされる派遣チームを迅速かつ適切に選定し、当該チームを保有する医療機関に対し、派遣チームの出動を依頼します。また、選定した派遣チームの情報を被災道府県の原子力災害医療調整官、当該チームを保有する医療機関を管轄する道府県及びERC医療班にも伝達します。

被災道府県の原子力災害医療調整官は、出動を依頼された派遣チームを保有する医療機関を管轄する非被災道府県に対し、派遣チームの派遣を要請します。さらに、派遣チームの支援受入医療機関に対し、派遣チームの受入を要請します。受入医療機関は、受入体制が整った段階でその旨を被災道府県の原子力災害医療調整官に伝達します。

管轄の非被災道府県から派遣要請を受けた派遣チームを保有する医療機関の長は、派遣チームの構成員に対して出動を指示し、出動を指示された派遣チームの構成員は活動に必要な資機材等を携行し出動します。

派遣チームを出動させる医療機関は、管轄の道府県、被災道府県を担当する総合支援センターを通じて、派遣チームの出動時刻と現地到着予定時刻等について、被災道府県の原子力災害医療調整官に伝えます。

## 基本的活動

- ❖ 1チームの活動は、移動時間を除き、概ね5日間
  - ◇ 長期の活動が必要と判断される場合
    - ◆ 被災道府県の原子力災害医療調整官は、原子力災害医療・総合支援センターの協力を得て、活動期間の延長あるいは交替について調整
- ❖ 支援受入医療機関での活動
  - ◇ 支援受入医療機関の長の指揮下で活動
  - ◇ 汚染のある患者に対する救急医療等の提供
  - ◇ 高度被ばく医療支援センター等への搬送支援
  - ◇ 必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応
- ❖ 業務の支援体制
  - ◇ 生活必需品等は、基本的に派遣チーム自らが準備、調達
  - ◇ 業務調整員の同行
    - ◆ 移動、食料、宿泊、入浴等の手配・確保
    - ◆ 活動内容の確認、調整
    - ◆ 活動に必要な医薬品や資機材、水等の調達
    - ◆ 活動内容や活動に要した費用等の記録
    - ◆ 医療機関の院内コーディネーター等と十分に調整して、派遣チームが円滑に活動できるように努める

派遣チームの1チームあたりの活動期間は移動時間を除き概ね5日間を基本とします。ただし、さらに長期に活動することが必要であると判断される場合には、被災道府県の原子力災害医療調整官は、派遣チームの派遣調整の手続きと同様、被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターの協力を得て、活動期間の延長または交替について調整します。

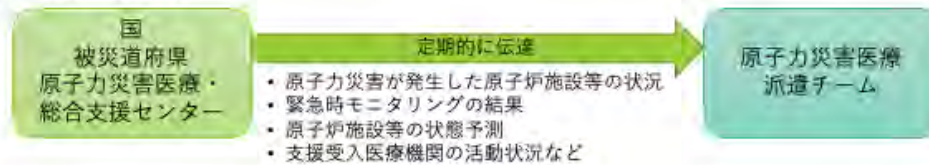
支援受入医療機関での活動は、その医療機関の長の指揮下で行います。汚染のある患者に対する救急医療等の提供、高度被ばく医療支援センター等への搬送支援など原子力災害医療に係る活動の支援が基本となります。また、事前に策定されている各種計画において、派遣チームによる対応の方がより適切と判断される場合（例えば医療機関における避難計画を実施しようとした際や避難所等での救護活動を行おうとした際に計画上の人員確保が困難と判断される場合）等には、必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応します。

なお、原子力災害医療・総合支援センターの派遣チームが出動した場合は、出動先の組織の長の指示のもと、複数の派遣チームの活動について統括するとともに、必要に応じて他の保健医療関連チームとの活動調整を行います。

関係機関からの支援がなくても単独で活動を続けられるよう、派遣チームの移動時間及び活動期間に必要な食料・飲料水、その他の生活必需品等については、派遣チームが自ら準備・調達することを基本とします。また、後方支援の業務を担う業務調整員の同行が望ましいです。

# 安全の確保

## ❖ 情報共有体制



## ❖ 防護装備

- ◇ 個人被ばく線量計（電子式が望ましい）
- ◇ 個人被ばく線量管理；作業時間、累積線量等を記録
- ◇ 放射性物質による汚染の恐れがある場合は、マスク、防護服等を装着
- ◇ 安定ヨウ素剤の携行

国、被災道府県及び原子力災害医療・総合支援センターは、原子力災害が発生した原子炉施設等の状況、緊急時モニタリングの結果や原子炉施設等の状態予測、支援受入医療機関の活動状況など必要な情報を迅速かつ的確に把握するとともに、これらの情報を派遣チームに定期的に伝達する体制を確保します。また、緊急に対応が必要な場合に迅速に連絡がとれる体制も確保します。

派遣チームを出動させた医療機関の長は構成員一人ひとりに対し、線量管理の観点から個人線量計を貸与し、作業時間、累積線量等を記録します。また、放射性物質による汚染の恐れがある場合は、マスク、防護服等を装着します。原子力施設の状況により放射性ヨウ素を含む放射性物質の放出の可能性が高まった場合に備えて、安定ヨウ素剤を携行します。

## 連絡、記録の作成と保管

### ❖ 活動状況

- ◇ 派遣チームの放射線防護関係者は派遣チームを出動させた医療機関の長及び医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに対し定期的に報告

### ❖ 活動記録

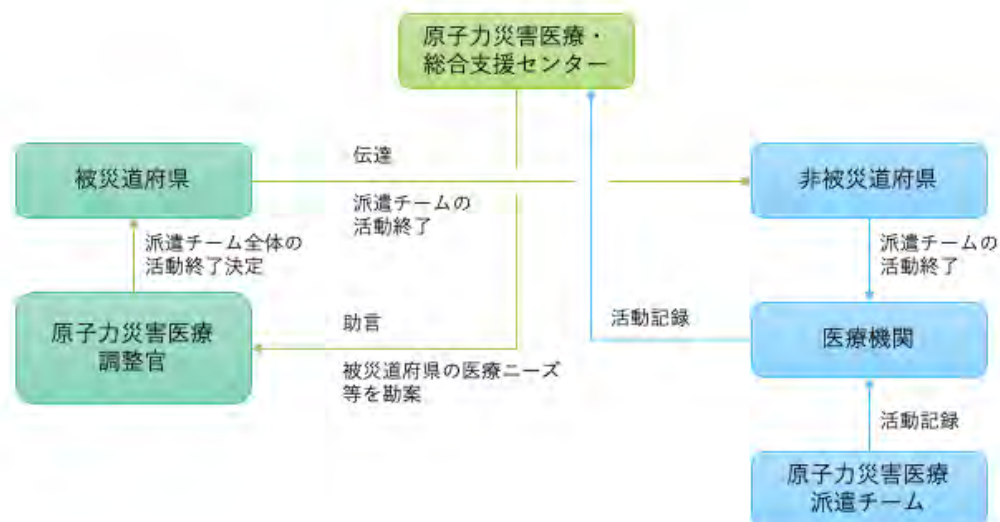
- ◇ 個々の構成員の作業期間
- ◇ 日々の作業時間
- ◇ 作業内容
- ◇ 個人累積線量
- ◇ 環境放射線の測定記録
- ◇ 移動経路、移動手段
- ◇ 所要経費、宿泊費用
- ◇ 購入・借用した資機材等

出動先での活動状況について、派遣チームの放射線防護関係者は派遣チームを出動させた医療機関の長及び医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに対し定期的に報告する。また、可能な範囲で詳細な記録を作成し、紛失または他のものによる改ざん等を受けない措置を講じるよう努めます。

派遣チームの放射線防護関係者は、活動終了後に派遣チームを出動させた医療機関の長に活動記録を提出します。また、個人情報保護に配慮した上で医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターにも活動記録の概要を提出します。



## 活動の終了



出動した個々の原子力災害医療派遣チームの活動の終了は、派遣調整または派遣中の段階であらかじめ調整された（計画された）活動の終了時点の基本とします。

被災道府県における派遣チーム全体の活動の終了は、被災道府県の医療ニーズ等を勘案しつつ、被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターの助言も踏まえ、被災道府県の原子力災害医療調整官が決定します。被災道府県が派遣チーム全体の活動の終了を決定した場合には、被災道府県から派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県に対し、派遣チームの活動の終了を伝達します。

派遣チームの活動の終了を伝達された道府県は、派遣チームを出動させた医療機関に対し、派遣チームの活動の終了を伝達します。派遣チームを出動させた医療機関の長は、被災道府県における全ての派遣チームの活動終了後に、その全記録を集約して被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに報告します。

## 費用の支弁

### ❖ 原則

- ◇ 派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県が当該医療機関に支弁
- ◇ 派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県は、派遣チームの派遣要請を行った被災道府県に対し、上記費用を求償できる。

### ❖ 災害救助法が適用された場合

- ◇ 要請を受けた非被災都道府県は、災害救助法第20条に基づき、被災道府県に対しその費用を求償できる。
- ◇ 災害救助法第20条に基づき派遣チームの活動に要した費用を求償された被災道府県は、同法第18条により求償した非被災道府県に対して費用を支弁する。

### ❖ 災害救助法が適用されない場合

- ◇ 被災道府県が非被災道府県あるいは医療機関に費用を支弁
- ◇ 原子力事業者が賠償責任を負う。

派遣チームの活動に要した費用は、原則として、派遣チームを出動させた医療機関と医療機関を管轄する道府県があらかじめ締結した協定に基づき、管轄の道府県が当該医療機関に支弁します。派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県は、派遣チームの派遣要請を行った被災道府県に対し、費用を求償できます。

災害救助法が適用された場合は、要請を受けた非被災都道府県は、災害救助法第20条に基づき、被災道府県に対しその費用を求償し、被災道府県は、同法第18条により求償した非被災道府県に対して費用を支弁します。

災害救助法が適用されない場合は、非被災都道府県が協定に基づき医療機関に費用を支弁した時は、非被災都道府県は、被災道府県に対してその費用を求償できません。協定を締結していない時は、被災道府県は、当該医療機関に対して活動に要した費用を直接支弁します。派遣チームの活動費用は、原則として、原子力事業者が賠償責任を負います。

## まとめ

- ❖ 原子力災害医療・総合支援センター、非被災道府県から派遣チームを出動させることが基本
- ❖ 医師、看護師、放射線防護関係者等の4名以上から構成され、移動時間を除く5日間の活動が基本
- ❖ 移動手段、資機材等は自身で準備
- ❖ 関係機関との情報共有、連絡体制は必須
- ❖ 活動記録の作成、保管

# 原子力災害時の 救護所活動

原子力災害医療 専門研修  
派遣チーム-2

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- 原子力災害医療協力機関の支援活動
- 原子力防災体制における救護所活動
- 救護所活動の流れ
- レイアウト、導線 1
- レイアウト、導線 2
- 役割分担
- 救護所活動に必要な防護装備
- 救護所活動での資機材
- 受付・トリアージ・スクリーニング
- 被災地住民行動記録票（例）
- 身体汚染
- 甲状腺簡易検査の方法
- 行動調査
- 行動調査・問診の内容
- 住民対応 外部被ばく線量推定
- 移動型WBC車両の紹介
- 多数傷病者発生時の救護所活動

## 原子力災害医療協力機関の支援活動

- ❖ 指定避難所等に設置した救護所においては、必要に応じて避難してきた周辺住民等に対する救護や避難等の指示を受けた住民で避難退域時検査を受けていない住民に対する検査及び簡易除染等を行うとともに、被災状況の確認を行う。また、必要に応じて安定ヨウ素剤を配布し、予防服用させる。
- ❖ 原子力災害医療協力機関の支援活動（下記のうち一つ以上を実施）
  - ◇ 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
  - ◇ 被災者の放射性物質による汚染の測定
  - ◇ 原子力災害医療派遣チームを保有し、派遣
  - ◇ 救護所に医療従事者を派遣
  - ◇ 国からの指示に基づき、避難住民等に対し、防護措置を実施すべき基準以下であるか否かを確認する検査（避難退域時検査）を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
  - ◇ 立地道府県等が行う安定ヨウ素剤配布の支援
  - ◇ その他、原子力災害発生時に必要な支援

原子力災害医療協力機関は、原子力災害時に立地道府県等や原子力災害拠点病院が行う原子力災害対策に協力できる機関であり、次の支援活動のうち一つ以上を行います。

1. 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
2. 被災者の放射性物質による汚染の測定
3. 原子力災害医療派遣チームを保有し、派遣
4. 救護所に医療従事者を派遣
5. 国からの指示に基づき、避難住民等に対し、防護措置を実施すべき基準以下であるか否かを確認する検査（避難退域時検査）を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
6. 立地道府県等が行う安定ヨウ素剤配布の支援
7. その他、原子力災害発生時に必要な支援

この中で、原子力災害時などの緊急時に設置させる救護所で行う支援活動としては、4～6があります。また、その他の支援としては、救護所・避難所等での行動調査の聴取や避難者等の心理的不安の解消、事故に関する正確な情報の伝達などがあります。

ここでは、救護所・避難所等で実施する医療に関連した支援活動を解説します。

## 原子力防災体制における救護所活動

対象；主に施設周辺の住民

活動① 健康状態の把握、救護、健康相談

活動② 汚染状況の把握、必要に応じた除染

活動③ 避難状況の確認；住民の行動軌跡の聴取

活動④ 安定ヨウ素剤の服用の支援

地方公共団体は関係機関の協力を得て、必要に応じて救護を行う場所等を指定し、周辺住民等を対象とした簡易な測定等によるスクリーニングを行うとともに、以下の情報の収集等を行います。

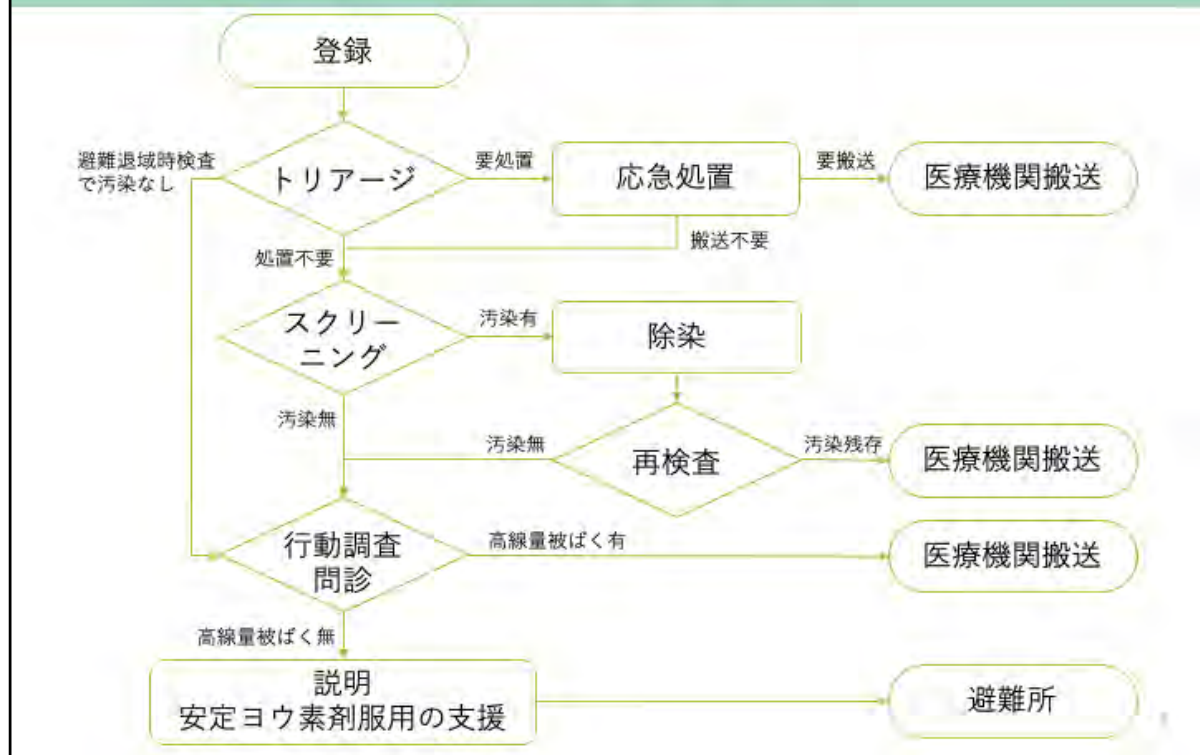
(i)避難した周辺住民等に対し放射線被ばくによる健康影響について説明を行うとともに、住民からの健康相談への対応を行います。

(ii)体表面の汚染レベルや甲状腺等の体内の汚染レベルを測定し、避難所等に到達するまでの汚染状況を把握します。汚染の程度に応じて、ふき取り等の簡易な除染等の処置や医療機関への搬送の決定を行います。

(iii)避難した周辺住民等の登録とスクリーニングレベルを超える周辺住民等の把握を行います。

(iv) 安定ヨウ素剤の服用指示がある場合は、安定ヨウ素剤の服用の支援を行います。これは、安定ヨウ素剤の服用に関連した問診を行い、安定ヨウ素剤服用ができない被災者、慎重投与となる被災者を把握します。

## 救護所活動の流れ



救護所の基本的な流れは、周辺住民の登録、移動中に怪我や具合の悪くなった人に応急処置を行うためのトリアージ、汚染の有無を測定するスクリーニングより除染が必要とされた人への除染及び再測定、外部被ばく線量を推定するための行動調査・問診、最後に救護所で行われたスクリーニングの結果等の説明となります。

特に傷口が汚染している場合や除染しきれなかった場合、また、大量の被ばくの可能性がある場合は原子力災害医療協力機関あるいは原子力災害拠点病院等の医療機関へ搬送します。

避難退域時検査で、除染の必要が無かった場合は、スクリーニングを実施せず、行動調査に移る場合もあります。

状況に応じて、安定ヨウ素剤の服用の支援も行います。

## レイアウト、導線 1



被災者が集まる避難所にスクリーニング等を行うための救護所を開設します。

救護所には、受付、待機場所、スクリーニング、除染、行動調査、説明、応急処置等のエリアを設けます。次に汚染した人の通路と汚染していない人の通路を区別します。汚染が拡大しないように検査の流れは一方通行にします。

待機場所は汚染エリアと非汚染エリアの中間にあり、緩衝地帯としての役割も果たします。検査の流れを円滑に行うために各エリアの標識を表示したり、被災者を誘導する要員を配置することも重要です。汚染した人の通路は、ポリエチレンシート等で覆います。また、傷病者の応急処置のための場所を確保します。



## レイアウト、導線 2



スクリーニングを優先して実施する場合のレイアウトの例です。  
汚染のある避難者と汚染のない避難者の導線が極力重ならないように工夫してレイアウトします。

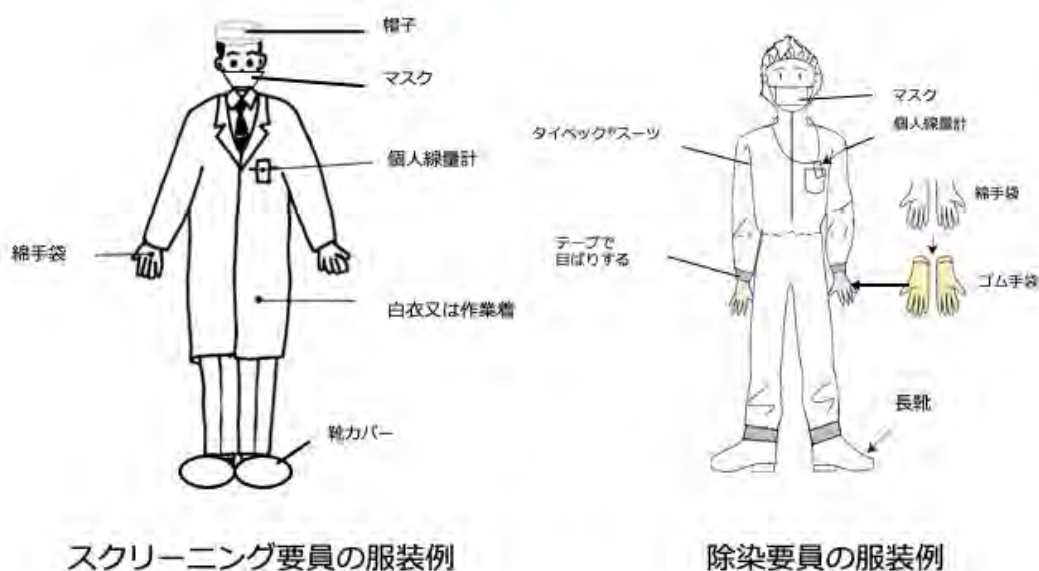
## 役割分担

チーム	役割
設置運営チーム	救護所の開設と運営、被災者の受付及び登録、トリアージ、誘導、情報収集、連絡
スクリーニングチーム	放射性物質による汚染検査、開口部の汚染検査による内部被ばくのおそれのある被災者のふるい分け
除染チーム	除染、脱衣後の再検査、甲状腺計測、鼻腔スワブ検査実施、汚染衣服の保管
調査・説明チーム	行動調査、説明、被ばく医療機関への搬送の判断、健康相談
医療チーム	医療処置の必要な被災者の応急処置、安定ヨウ素剤配布

救護所の活動を円滑かつ効率的に実施するために、以下のチームを設けることが考えられます。

- ①設置運営チーム  
救護所の開設と運営、被災者の受付及び登録、トリアージ、誘導、情報収集、連絡
- ②スクリーニングチーム  
放射性物質による汚染検査、開口部の汚染検査による内部被ばくのおそれのある被災者のふるい分け
- ③除染チーム  
除染、脱衣後の再検査、甲状腺計測、鼻腔スワブ検査実施、汚染衣服の保管
- ④調査・説明チーム及び  
行動調査、説明、被ばく医療機関への搬送の判断、健康相談
- ⑤医療チーム  
医療処置の必要な被災者の応急処置、安定ヨウ素剤配布

## 救護所活動に必要な防護装備



### スクリーニング要員の服装例

身体表面汚染検査は、スクリーニングチームが行い、検査員、記録者からなります。要員はマスク、帽子、綿手袋、白衣や作業着を着用し、個人線量計等を所定の位置に装着します。検査員は検査を受ける人には触れないようにし、またサーベイメータが汚染しないように注意します。

### 除染要員の服装例

除染チームは、住民の誘導、汚染検査、除染介助、記録などを行います。チーム要員は汚染防護服（例えば、タイベック®スーツ）、キャップ、マスク、綿手袋、ゴム手袋、長靴（もしくは靴にシューズカバーをかける）を着用します。また、要員は個人線量計を男性は胸部、女性は腹部に装着します。

被災者が自分で除染をしている間は、指導を行い、汚染拡大防止に心がけます。また、随時サーベイメータでチーム要員自身の衣服等の汚染を検査し、ゴム手袋が汚染した場合は交換します。

## 救護所活動での資機材

品目	用途
机、椅子など	救護所のレイアウトに必要な機材
筆記具	受付、問診等記録
記録用紙	受付、行動記録票、汚染検査記録票、など
放射線測定器	空間線量計（活動場所の安全確保）、表面汚染計
防護装備	白衣、帽子、マスク、綿手袋、靴カバー タイベックスーツ、マスク、ゴーグル、ゴム手袋、靴カバー
除染用資機材	ガーゼ、洗浄用ボトル、ビニール袋など簡易除染のための資機材
養生用資機材	ビニールシート、ろ紙シート、養生用テープなど汚染検査場所、 除染場所の汚染拡大防止対策
医療資機材	応急処置に必要な医療機材
通信機器	対策本部や医療機関、消防機関等への連絡

救護所活動に必要な資機材を示しています。救護所での活動内容によって適宜必要な資機材を準備します。

## 受付・トリアージ・スクリーニング

- ❖ 受付；被災者本人が氏名、住所等を被災者登録票に記載
- ❖ トリアージ；傷病等がないか確認
  - ◇ 創傷等あれば、創傷部位の汚染検査と創傷の処置
  - ◇ 救護所での応急処置では不十分であれば、医療機関へ搬送
- ❖ 避難退域時検査後に救護所に来ている場合は、スクリーニングは不要
- ❖ 避難退域時検査を未実施の場合は、スクリーニングを実施
  - ◇ 汚染があれば除染
  - ◇ 除染の基準はOIL4のレベルに準拠

救護所に避難してきた被災者は、まず受付で登録を行います。その際、傷病者の登録を優先的に行いますが、受付などで住民が戸惑ったりしないように誘導する担当者を置くことも必要です。登録手続きは、被災者登録票等を用いて行います。また行動調査票等や汚染検査記録票等も渡しますが、これらの登録票は被災者1人につき1組の登録票を渡します。

記入の際には助言や指導が必要であり、そのための人員の配置が必要です。この登録は、後の追跡調査などの大切な資料になります。受付では被災者本人に氏名、住所などの簡単な記入のみを行わせ、ここでも被災者を受付前で長時間待たせることのないようにします。

なお、被災者登録票や汚染検査記録票は、項目の重複を避けるなど平常時にその様式等について検討しておくことが重要です。

被災者登録は上記のように行っていますが、救護所には数十から数百人といった多数の被災者が避難することになります。その中には避難中にけがをしたり、具合が悪くなったりする人たちがいるかもしれません。このような場合は早期に医療処置を必要とし、外傷があれば創傷汚染の有無を速やかに評価します。また、汚染検査や行動調査などを行う際に介助が必要な被災者もいるかもしれません。受付の段階で多数の被災者の中から処置を優先する必要がある傷病者を的確に選別する（トリアージ）ことが必要です。トリアージにより医療処置が必要となれば応急処置のエリアへ誘導します。創傷があっても全身状態に問題がなければ速やかに汚染検査エリアへ誘導し、創傷汚染の有無を含め、汚染検査を優先して行います。介助が必要な被災者には誘導要員などが付き添い検査を行っていきます。創傷部に汚染があれば、

速やかに医療機関へ移送します。

登録を完了した被災者は、市町村係員の指示に従い、スクリーニングチームにより、身体汚染の有無についてのふるい分け（スクリーニング）の検査を受けます。被災者登録票等や汚染検査記録票等は、汚染検査や処置が終了するまで被災者本人に持たせます。



## 身体除染

### 身体除染の原則

除染は、本人による脱衣が基本

### 除染の留意事項

- ①できるだけ早く除去
- ②汚染の拡大防止
- ③体内への侵入防止
- ④創傷汚染者は傷の手当て後、原子力災医療協力機関等の医療機関へ

除染は汚染検査後、出来るだけ早期に行うことが重要です。時間が経過すると放射性物質が落ちにくく、体内に入ってしまうこともあります。まず、創傷部があれば、そこに汚染があるか否かを判断し、創傷部に汚染がある被災者は最優先で除染が必要です。そのため、創傷汚染のある被災者は創傷の応急処置を行い、汚染拡大防止のため汚染部位を被覆し、速やかに原子力災害医療協力機関等の医療機関へ搬送します。



## 甲状腺簡易検査の方法



1. 体表面汚染が無いことを確認した後、被検者の咽頭下部（写真）にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（A）】を読み取る。

（補足説明）

- プローブの先端はガーゼ等を被せて、汚染を確認した場合には速やかに外せるようにしておく。
- 可能であれば、プローブを頸部に密着させる前に被検者の頸部前面をウェットティッシュ等で軽く拭う。
- 一度リセットをした場合、指示値が安定するのは30秒後以降（時定数10秒の場合）



2. 着衣の汚染が無いことを確認した後、大腿部中央付近にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（B）】を読み取る。

**正味値 = 測定値（A） - 測定値（B）**



スクリーニングレベルと比較

※測定室内の空間線量率も定期的に測定する。

放射性ヨウ素が放出された場合やスクリーニングで開口部周囲に汚染が認められた場合など放射性ヨウ素の吸入が疑われる場合は、頸部を除染した後、甲状腺の線量を $\gamma$ 線量率測定用のNaI（T $\ell$ ）シンチレーション式サーベイメータ（例えば、TCS-161、171等）を用い、頸部に密着して測定します。甲状腺の位置と形状を示します。

甲状腺の被ばく線量が100mSvの場合、放射性ヨウ素131を3,000Bq程度摂取していると推定します。実際にはサーベイメータの指示値( $\mu$ Sv/h)から放射性ヨウ素131の甲状腺沈着量(Bq)を求めるためにあらかじめ換算係数を求めておく必要があります。この量を超えると被ばく医療機関で検査する必要があります。

## 行動調査

### 行動調査の目的

外部被ばく線量の推定

### 行動調査の内容

被災者の健康状態の確認

被災者が救護所に来るまでの行動の調査

### 聞き取り者

保健師、看護師等医療関係者

### 服装

白衣、手袋（使い捨て）、個人線量計

行動調査は、被災者の健康状態を確認し、また外部被ばく線量を推定し、残存汚染の程度を考え合わせて被災者を被ばく医療機関へ送るかどうか判断することを目的として行います。身体汚染検査後スクリーニングレベル未満の場合、もしくは除染後の再検査後に行います。

外部被ばく線量は行動調査と環境モニタリング情報等により推定されます。この行動調査は、除染チームや医療チームの中で、保健師や看護師等の医療職に従事している者が行うことが望まれます。

被災者登録票や汚染検査記録票等を参照しつつ、下記の項目について聞き取り、行動調査票等に記入します。聞き取り者は、白衣を着て、白衣の胸ポケット（女性は腹部）に個人線量計等を装着して被災者と対応します。

## 行動調査・問診の内容

### 健康状態の確認

①急性放射線症の前駆症状はないか？

②健康上の問題はないか？

### 事故発生後から救護所に来るまでの行動調査

①どこにいたのか？

②何時間そこにいたのか？

③服装は？

④雨に濡れたか？

⑤飲食をしたか？

現在の健康状態；急性放射線症の前駆症状などが現れていないか確認し、高線量被ばくの可能性をチェックします。また、その他に健康上の問題がないか確認します。

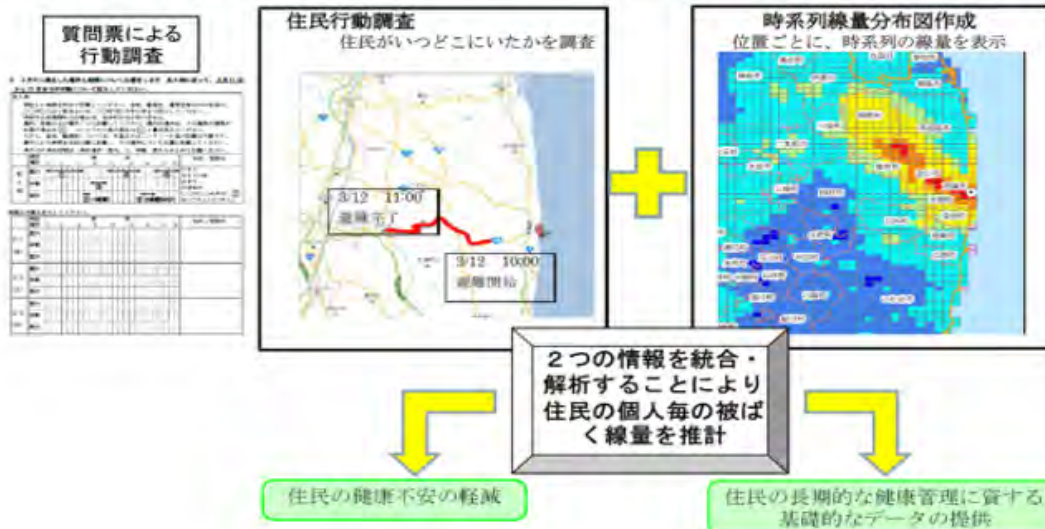
事故発生後から、救護所に来るまでに、以下のことを確認します。これらの情報から、外部被ばくの線量評価を行います。

- どこにいたか（場所、屋外か屋内か、建物の種類はコンクリートか木造か）。
- そこにどのくらいの時間いたか。
- どのような服装でいたのか。
- もし居場所が時間的に変わっていたら、それぞれについて①、②を確かめます。
- 天候によっては、雨や水に濡れたか否か。
- 飲食をしたかどうか。

さらに、安定ヨウ素剤の服用指示が出され、服用の必要がある場合は、安定ヨウ素剤の服用ができない被災者、服用に注意が必要な被災者を確認するための問診を実施します。

## 住民対応 外部被ばく線量推定

全県民（約202万人）を対象に福島県が調査した、原発事故発生直後からの各個人の行動パターンが、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力され、個人の外部被ばく線量が評価される。



東京電力福島第一原子力発電所では、福島県民を対象に原発事故発生直後からの各個人の行動パターンを調査した情報を時系列で作成された線量分布図の情報と統合して、各個人の被ばく線量を推計しました。

この外部被ばく線量の推定には、事故発生直後からの行動調査が不可欠です。そのため救護所では外部被ばく線量推計のための行動調査を実施します。

## 移動型WBC車輛の紹介

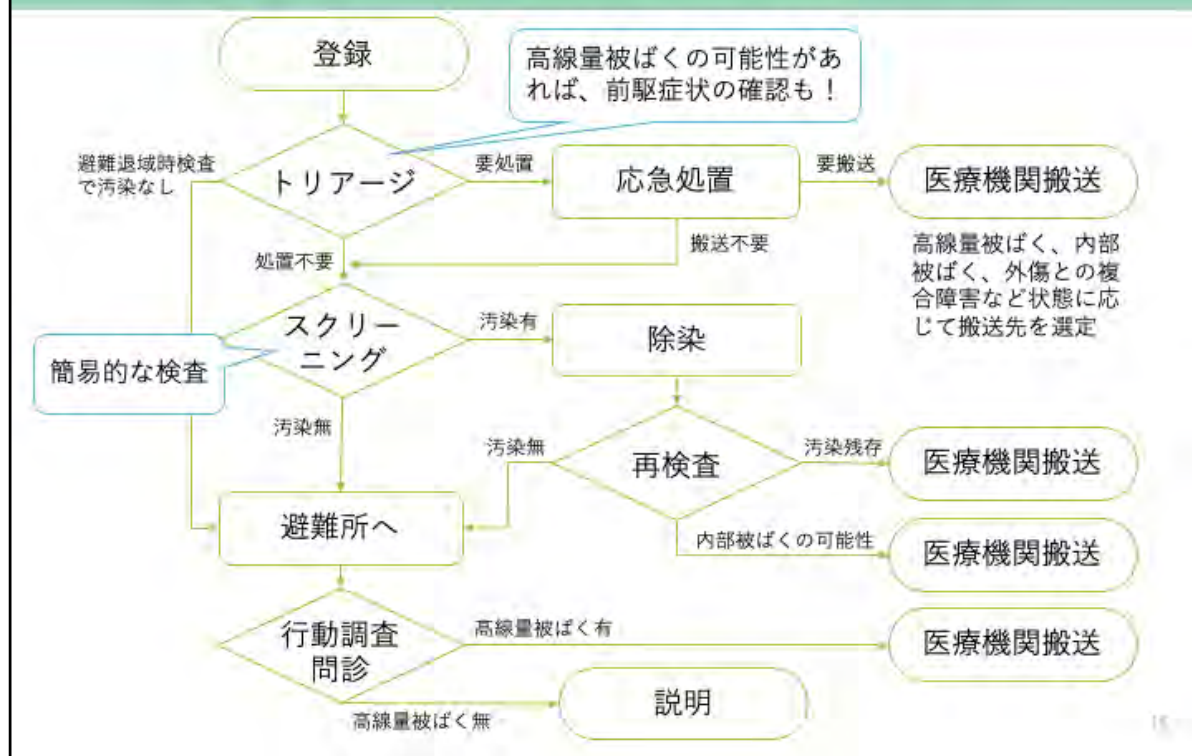
- ❖ いくつかの自治体では、救護所で内部被ばく検査を行うため、移動型WBC車輛を導入しています。
- ❖ 救護所での身体表面汚染検査によって顔面の汚染があったり、放射性プルームの吸入が疑われる場合は、このWBCによって内部被ばくの検査ができます。
- ❖ 内部被ばくがあれば、原子力災害拠点病院等へ搬送し、より精密な評価を行います。



いくつかの自治体では、救護所で内部被ばく検査を行うため、移動型WBC車輛を導入しています。救護所での身体表面汚染検査で、顔面の汚染が検出されたり、放射性プルームの吸入が疑われる場合は、この移動型WBC車輛に搭載しているWBCで内部被ばくの検査ができます。

この移動型WBC車輛での検査は、簡易検査となるため、体内の放射性物質が検出された場合は、原子力災害拠点病院等へ搬送し、内部被ばくの精密な評価が必要となります。

## 多数傷病者発生時の救護所活動



多数の汚染した被災者が発生したり、多数の負傷者が発生した場合の救護所での活動の流れの一例を示します。状況によって変更が必要です。

トリアージでは、被災者の状態を確認することと同時に高線量被ばくの可能性がある場合は、前駆症状等の有無を確認します。

高線量被ばくや内部被ばく、外傷等の複合障害があれば、状態に応じて搬送先医療機関を選定します。汚染がある傷病者と汚染がない傷病者は別の医療機関に搬送できるように調整しておくことが望ましいです。

多人数のスクリーニングを実施する場合は、頭部、顔面、手指の汚染が付着しやすい部位の汚染検査のみを実施し、短時間で多人数のスクリーニングが可能な体制で実施します。頭部や顔面の汚染があり、鼻腔スワブ等の検査で、内部被ばくの可能性がある場合は、速やかに内部被ばくの精密な検査、処置ができる医療機関へ搬送します。

行動調査や問診は、避難所に移動後実施することで、救護所に多人数が滞留することなく、対処できるようにします。

## まとめ

### ❖ 救護所活動

- ◇ 必要に応じて避難してきた周辺住民等に対する救護
- ◇ 避難退域時検査を受けていない住民に対する検査及び簡易除染
- ◇ 被災状況の確認
- ◇ 必要に応じて安定ヨウ素剤を配布、予防服用の支援

### ❖ 受付・登録

- ❖ トリアージ；傷病者の把握
- ❖ スクリーニング；汚染者の把握
- ❖ 簡易除染の実施
- ❖ 行動調査・問診；外部被ばく線量の推定
- ❖ 説明
- ❖ 甲状腺の簡易検査

# 原子力災害時の リスクコミュニケーション

原子力災害 専門研修  
派遣チーム-3

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
Ver.201912

本資料は、原子力規制庁平成31年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

時間；30分

内容

- リスクコミュニケーションとは
- 多様なリスク
- リスクコミュニケーションのフェイズ
- クライシス・コミュニケーション
- リスクに関する「知識の不定性」の度合い
- ハザード種別によるリスクの分類
- ステークホルダー（関与者）
- リスク情報の効果的発信
- 科学技術リテラシーと社会リテラシー
- リスク認知の違い
- リスクコミュニケーションの目的と機能
- リスクに関する様々な非対称性
- リスクコミュニケーションの成功
- 原子力災害の特徴
- リスクコミュニケーションの俯瞰図
- リスクコミュニケーション企画



## リスクコミュニケーションとは

- ❖ リスクへの適切な対応のために行われること
  - ❖ 多様な関係者の参加が求められること
  - ❖ 関係者の相互作用を重視していること
  - ❖ 関係者間で情報共有を図り信頼関係を構築すること
- 
- ❖ 多様な定義
    - ◇ リスクに関係した情報や意見を、リスク評価者、リスク管理者及びその他の関心ある人たちの間で、双方向的にやりとり（交換）するプロセスのこと
    - ◇ リスク分析の全過程において、リスク評価者、リスク管理者、消費者、事業者、研究者、その他の関係者の間で、情報及び意見を相互に交換すること
    - ◇ リスクのより適切なマネジメントのために、社会の各層が対話・共考・協働を通じて、多様な情報及び見方の共有を図る活動

リスクの多様性に応じて、対応の仕方にもバリエーションがあり、それに伴うコミュニケーションのあり方も様々です。多くのリスクコミュニケーションの定義に共通するのは、リスクへの適切な対応のために行われること、多様な関係者の参加が求められること、関係者の相互作用を重視していることです。

また、対象とするリスク、フェイズなどによってリスクコミュニケーションの目的、機能、方法が異なります。

# 多様なリスク

## 安全・安心を脅かす要因の分類

分類	項目	概要
人為的要因	犯罪・テロ	犯罪・テロ、迷惑行為
	サイバー空間の問題	コンピューター犯罪、大規模なコンピューター障害
	戦争	戦争、国際紛争、内乱
偶発的要因	事故	交通事故、公共交通機関の事故、火災、化学プラント等の工場事故、 <u>原子力発電所の事故</u> 、社会生活上の事故
	健康問題	新興・再興感染症、病気、子供の健康問題、医療事故
	災害	地震・津波災害、台風などの風水害、火山災害、雪害
	食品問題	O157などの食中毒、残留農薬・薬品等の問題、遺伝子組換え食品問題
社会的要因	社会生活上の問題	教育上の諸問題、人間関係のトラブル、育児上の諸問題、生活経済問題、社会保障問題、老後の生活悪化
	経済問題	経済悪化、経済不安定
	政治・行政の問題	政治不信、制度変更、財政破綻、少子高齢化
	環境・エネルギー問題	地球環境問題、大気汚染・水質汚濁、室内環境汚染、化学物質汚染、資源・エネルギー問題

日常生活の中で「リスク」という言葉を耳にしますが、そもそも「リスク」とは、個人の生活に密着したもののから、社会全体に及ぶものまで、安全・安心を脅かす様々な要因が含まれています。原子力発電所の事故もその一つです。それぞれのリスクについて、適切な対処が求められますが、個々のリスクに目を向けるだけでなく、複数のリスクが複雑に絡み合った、複合リスクも視野に入れる必要があります。また、あるリスクに対してとった行動が、別のリスクを生じさせるリスクについても考慮する必要があります。

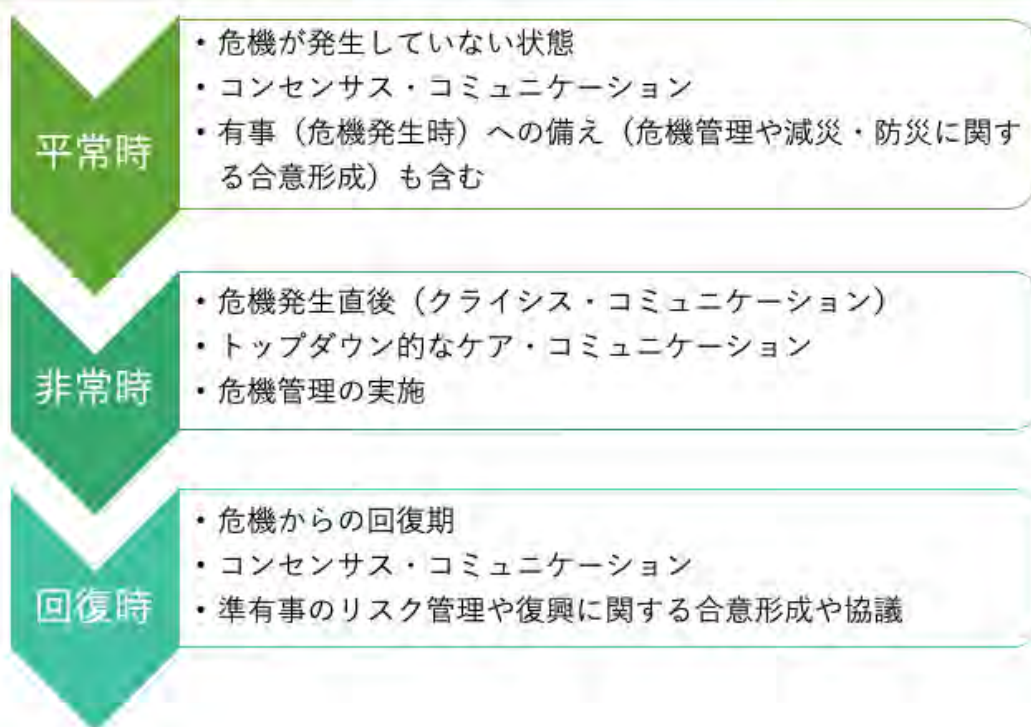
リスクとは、「ハザード（危険・危害因子）と確率の積、コストをベネフィット（利益）で割ったもの、ハザードとアウトレージ（怒りや不安、不満、不信など感情的反応をもたらす因子）の和など多様」、「危害の発生確率（発生頻度）と危害の重大性（危害のひどさ）の組合せ」、「期待される結果に対する不確かさの影響」など様々に定義されますが、多くの定義に共通するのは、なんらかの不確かさや確率、不確実性を含む点です。

出典：「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」報告書(2004年4月)

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/suishin/detail/1397354.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm)）をもとに作成

## リスクコミュニケーションのフェイズ



リスクコミュニケーションのフェイズとしては、危機が発生していない状態の平常時、危機発生直後の非常時、危機からの復興期である回復期に大別されます。危機発生直後は、クライシスコミュニケーションであり、トップダウン的なケア・コミュニケーションとなります。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

## クライシス・コミュニケーション

- ❖ 危機発生後にメディアやステークホルダーに対して危機に関する情報提供、説明を行うとともに、情報を交換し合う双方向のコミュニケーション活動
- ❖ 社会的な関心と呼ぶクライシスにおいては、社会への説明責任が強く求められる。
- ❖ 「真実性」、「透明性」、「迅速性」がカギ
  - ◇ その場限りでない組織の基本姿勢を、正直かつ誠実に語る「真実性」
  - ◇ 何事も包み隠さず積極的に情報公開する「透明性」
  - ◇ とてつもない勢いで、思いもかけない方向へと展開していく事態に対抗する「迅速性」
- ❖ 組織内外のステークホルダーのほとんどがメディアの報道を通じて状況を知り、判断する。
- ❖ 組織に変わって事態の説明をしてくれるのがメディア
- ❖ 真実を直ちに語れ

クライシス・コミュニケーションとは、危機発生後にメディアやステークホルダーに対して危機に関する情報提供、説明を行うとともに、情報を交換し合う双方向のコミュニケーション活動をいいます。特に社会的な関心と呼ぶクライシスにおいては、社会への説明責任が強く求められます。

クライシス・コミュニケーションのカギとなるのが、その場限りでない組織の基本姿勢を、正直かつ誠実に語る「真実性」と、何事も包み隠さず積極的に情報公開する「透明性」です。真実性と透明性を基本にした迅速かつ適切なコミュニケーションがとりわけ重要であり、その対象の中心となるのが、メディアです。組織内外のステークホルダーのほとんどがメディアの報道を通じて状況を知り、判断するからです。また、とてつもない勢いで、思いもかけない方向へと展開していく事態に対抗する「迅速性」も求められます。

出典：「リスクマネジメントと危機管理ーコミュニケーションの視点からー」 井上邦夫 経営論集86号 2005年11月

## リスクに関する「知識の不定性」の度合い

知識の不定性	特徴	討議のタイプと目的	意思決定への関与者	ハザード 種類
単純 simple	リスクの性質や管理方法がよくわかっている。その事が社会で広く認知されており、異論や対立が見られない。	<b>手段的討議</b> ・リスク削減措置の協力的実施	規制当局、直接的関係者、執行機関職員など	↑ 自然災害・疾病 ↑ 従来型科学技術 ↑ 先端科学技術・萌芽的科学技術 ↓
複雑 complex	リスクの評価や管理の仕方について科学的不一致がある。	<b>認識論的討議</b> ・認識の不一致を解消	上記+科学的見解を異にする専門家・有識者一般	
不確実 uncertain	リスクの評価に関して大きな科学的不確実性がある。	<b>反省的討議</b> ・不確実性・無知も考慮した上での受忍性を判断 ・規制・保護の過剰/過少も吟味	上記+主要な利害関係集団の代表(産業、直接的被影響者)	
多義的 ambiguous	<b>解釈の多義性；同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。</b> 規範的な多義性；「何が受容可能か」など、倫理、QOL、リスクと便益の分配など様々な観点から見た考え方が存在する。	<b>参加的討議</b> ・競合する議論や価値観、信念についてオープンに討議 ・共通の価値、各自の「善き生活」を実現できる選択肢、公正な分配ルール、共通の福祉を実現する方法を追求	上記+一般市民	

国際リスクガバナンス・カウンシル(IRGC)は、リスク問題をそれらに関する知識の「不定性(incertitude)」の違いによって分類しています。この分類は、リスクの管理ならびにリスクコミュニケーション(特に意思決定に直接関わる討議)の関与者の範囲やコミュニケーションの様式(討議のタイプ)を分類し、どのような目的で、誰と誰がコミュニケーションを行うかなどリスクコミュニケーションの実践の企画を立てたり、実施結果を分析・評価する際に利用する事ができます。

実際のリスク問題はこの四分類のどれか一つに1対1対応するわけではなく、一つの問題が複数の側面を併せ持つこともあること、また立場によって判断が異なることもあることは、リスクコミュニケーションを企画・評価する上で重要です。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構(2014年3月)

「リスクコミュニケーション案内」(文部科学省)

([http://www.mext.go.jp/a\\_menu/suishin/detail/1397354.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm))をもとに作成

## ハザード種別によるリスクの分類

ハザード種別	特徴・例	人為性
自然災害・疾病	地震、津波、気候災害（台風、大雨、洪水、干ばつ、酷暑、厳寒など）、感染症等の疾病	低い
従来科学技術	実用化から長い時間が経ち、社会に普及・定着した科学技術。規制も整備されリスクも低減・制御されている。	高い
先端科学技術 萌芽的科学技術	実用化から間もない（先端）か、研究開発途上（萌芽的）であるため、リスクの有無・程度についても利用のされ方についても不確か・未知の事が多い。規制も未整備。（遺伝子組み換え食品、ナノテクノロジー、合成生物学など）	高い

### 東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故

#### 津波による全電源消失

リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術が、想定を外れた事故を起こし、収束困難になる例

有害事象を発生させる可能性のある物質、生物、技術、行為などのハザードの分類には二つの基準があります。

一つ目の基準は、「人為性」による分類です。自然災害や疾病は、「人為的か、自然的か」を考えれば、人為性が低いものです。

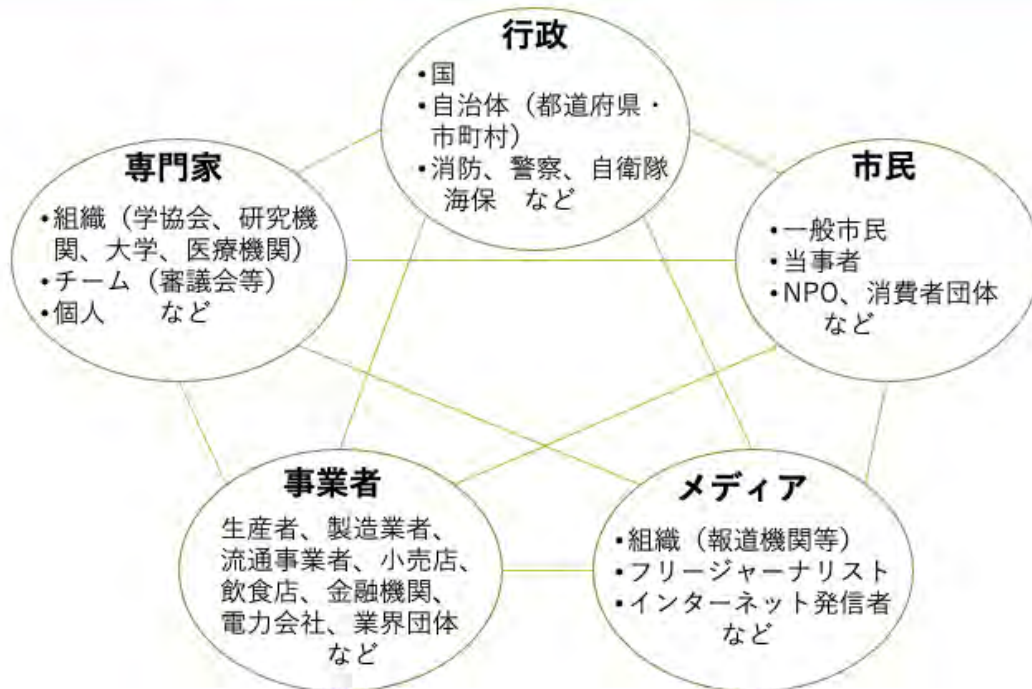
もう一つの基準は、「知識の不定性の度合いによる分類」です。これは、有害事象の発生によってどのような結果（損害）が生じる可能性があるか（発生結果）や、それがどの程度の頻度・確率で発生するのか（発生確率）、あるいはいつどこで発生するのかについての「知識」に、どの程度の不確実性や曖昧さ（多義性）がどれくらいあるか、という基準です。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/suishin/detail/1397354.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm)）をもとに作成

## ステークホルダー（関与者）



ステークホルダー（関与者）は、問題への直接的、間接的に関与する者の属性を意味し、「市民」「行政」「メディア」「事業者」「専門家」に大別されています。社会の関与者はそれぞれが「リスクのより適切なマネジメント」のために果たしうる役割があり、ステークホルダー間では対話・共考・協働が積極的になされることが望ましいです。各ステークホルダーが多様な情報及び見方を共有しようとする活動全体がリスクコミュニケーションと言えます。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

## リスク情報の効果的発信

- ❖ 不確かさや見解の相違があるリスク情報の公開は、その根拠を受け手側が検証できることが重要
  - ◇ リスク情報の根拠、検討過程、情報の修正・更新の履歴を含めた迅速な情報公開
- ❖ 情報発信の種類
  - ◇ 科学的な正確性を伝えようとする情報発信
  - ◇ **受け手側の行動変容を起こそうとする情報発信**
    - ◆ 伝えるべきメッセージを整理して明確にする
    - ◆ 端的にわかりやすい情報
- ❖ 確率論的な数値を理解しやすく
  - ◇ 1000mSvの被ばくで5%のリスク増加
    - ◆ リスクとして高いのか？低いのか？受け手側の認識に相違がある

不確かさや見解の相違があるリスク情報の公開に当たっては、その根拠を受け手側が検証できるようにすることが重要です。この検証可能性の確保には、リスク情報の根拠や検討過程、情報の修正・更新履歴を含めた迅速な情報公開が求められます。あるリスク情報やその根拠となるデータを、立場や見解のことなるステークホルダーが独立に検証し、結果の相互参照が行われた時、その情報・データは信頼性が高まると考えられます。さらに、その情報・データのみならず、発信側を含め各ステークホルダーの信頼性も高まります。

また、科学的な正確性を伝えようとする情報発信と、受け手側の行動変容を起こそうとする情報発信は、区別して考える必要があります。リスク情報の効果的な発信をするには、科学的な正確性を重視して細部の精緻な情報発信を心がけるよりも、伝えるべきメッセージを整理して明確にし、端的でわかりやすい情報を実践することが重要です。さらにリスク情報を発信する際に確率論的な数値だけが単に示されても、そのリスクを適切に理解するのは容易ではありません。確率論的な数値をどのように発信し、どのように理解してもらう必要があるのか、発信側と受け手側の共考が求められます。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）



## 科学技術リテラシーと社会リテラシー

- ❖ リスクコミュニケーションの推進には、科学技術リテラシーと社会リテラシーの向上が不可欠
- ❖ 科学技術リテラシー
  - ◇ 全てのステークホルダーが身につけることが望まれる素養
  - ◇ 人々が自然や科学技術に対する適切な知識や科学的な見方および態度を持ち、自然界や人間社会の変化に適切に対応し、合理的な判断と行動ができる総合的な資質・能力（国立科学博物館報告書）
- ❖ 社会リテラシー
  - ◇ 研究者等の発信側が身につけることが望まれる素養
  - ◇ リスクが社会においてどのように捉えられるかの把握・理解
  - ◇ 一般国民が、科学技術・学術に対し何を求めているのか、また、科学技術・学術に関する方法をどのように受けて止めるのかを、一般国民の価値観や知識の多様性を踏まえつつ、適切に推測し、理解する能力。また、こうした多様性に配慮しつつ、科学技術・学術に関する情報を適切に発信できる能力。（東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策のあり方について 平成25年1月17日科学技術・学術審議会）

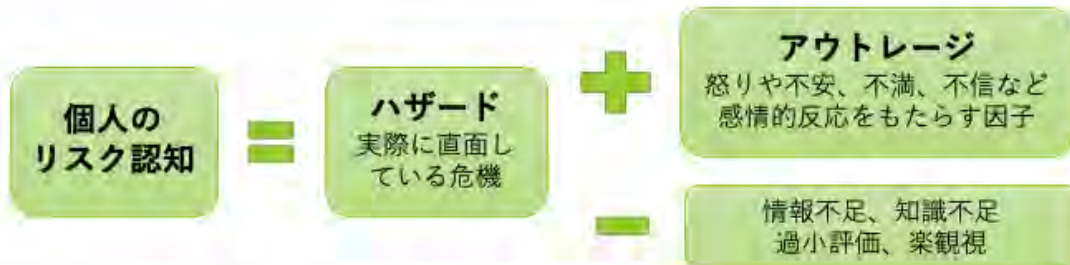
リスクに関する科学技術リテラシーは、リスクマネジメントに携わる人材のみならず、全てのステークホルダーが身につけていくことが望まれる素養です。リスクコミュニケーションが成り立つ社会であるには、今の科学の知識では、答えが一つに定まらないこともあること、不確実性のある事象について一人一人が意思決定を下さないといけない場合があることを全てのステークホルダーが理解することが重要です。

科学技術リテラシーを身につけるには、当事者が主体的に問題発見・解決策を提案する姿勢、またはそのために異なる立場や意見の人々と対話・共考・協同する姿勢を身につけるための教育が必要です。主体的に意思決定を下すことが全ての結果責任を負わなければならないことを意味するのではなく、飽くまでリスクに関する責任はリスクコミュニケーションを通じてステークホルダー間で分配されるものです。

また、リスクの問題には、倫理的・社会的問題も多く含まれるため、特に発信側においては、リスクが社会においてどのように捉えられるかを把握・理解する社会リテラシーを身につけることも重要です。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

## リスク認知の違い



- ❖ ハザードが十分小さくてもアウトレージが大きければリスクとして無視できない。
- ❖ 一方向の説得ではなく、「対話・共考・協働」が重要
- ❖ アウトレージには様々な要素がある。
  - ◇ 自己決定性、公平性、信頼性などの倫理的・社会的な要素も含む
  - ◇ 倫理的・社会的な要素を軽視したコミュニケーションを行えば、不信や不満など他の要素が増す場合がある。
- ❖ 知識を共有するだけではリスクコミュニケーションとしては不十分

個人はリスクを「ハザード」と「アウトレージ」の和として捉えるという考え方があります。アウトレージとは、怒りや不安、不満、不信など感情的反応をもたらす因子で、ハザードが十分小さくてもアウトレージが大きければ、リスクとして無視できないという認知となります。この場合、「対話・共考・協働」が重要です。アウトレージには、様々な要素があり、自己決定性、公平性、信頼性などの倫理的・社会的な要素も含まれます。これらの倫理的・社会的な要素を軽視したコミュニケーションを行えば、不信や不満など他の要素が増す場合があります。原子力災害時には、放射線のリスクやその科学的な情報、あるいは測定結果等の数値のみを発信しても、発信者への不信感等があれば、リスクコミュニケーションは成り立ちません。

個人のリスク認知と社会のリスク認知は一般に異なるものです。例えば、個人のレベルでは津波のような甚大な被害をもたらさうるリスクは対処困難として諦めてしまうなど、リスクの深刻さゆえに簡単には認知できない、向かい合えない現実があると考えられます。一方で、社会や集団のレベルでは、そのようなリスクに向き合うことに合理性があります。津波のリスクのように外的要因を認知すれば避けることができるものは、個人のレベルでもリスクを認知し、平常時からリスクコミュニケーションを通じて、このリスク認知の違いを小さくする努力が必要です。

出典：「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

## リスクコミュニケーションの目的と機能

目的	機能
1 教育・啓発と行動変容	リスクとその対象法に関する知識や情報の普及、関心の喚起。リスクに対処するために行動の仕方を変える。
2 信頼と相互理解の醸成	関係者（政府・自治体・事業者・専門家・市民・NPO/NGOなど当該のリスク問題に係るのある個人・組織・団体）の間で互いの信頼や理解を醸成する。
3 問題発見と議題構築、論点の可視化	意見の交換や各自の熟慮を通じて、テーマとなっている事柄に関して、何が問題で（問題発見）、何を社会として広く議論し、考えるべきか（議題構築）、重要な論点とは何か（論点可視化）、その問題に対する人々の懸念や期待はどのようなものであるかを明確化する。
4 意思決定・合意形成・問題解決に向けた対話・共考・協働	最終的な意思決定・合意形成や問題解決に向けて行われる対話・共考・協働。科学的・技術的な事実問題や法制度等に関する議論だけでなく、関係者間の多様な価値観や利害関心についての議論も含む。
5 被害の回復と未来に向けた和解	物理的のみならず社会的・精神的な被害からの回復を促すとともに、問題発生から現在に至る経緯を振り返りつつ、関係者間の対立やわだかまりを解きほぐし、和解を進める。

リスクコミュニケーションを行う目的あるいは機能には様々なものがあります。

国際リスクガバナンス・カウンシル（IRGC）は、リスクのより適切なマネジメントに資するリスクコミュニケーションの目的について、①リスクとその対象法に関する教育・啓発、②リスクに関する訓練等行動変容の喚起、③リスク評価・リスク管理機関等に対する信頼の醸成、④リスクに関わる意思決定への利害関係者や公衆の参加と紛争解決、の4点をあげています。我が国の事例に照らし、より具体的かつ分かりやすくリスクコミュニケーションの目的と機能を分類したものが上記の表です。

リスクコミュニケーションは、ステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけることのできる「共感をうむコミュニケーション」の場となることを目指すべきです。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

## リスクに関する様々な非対称性

専門家や行政等	要因	一般市民等
多い	情報	少ない
リスク対処の権限 責任を持つ	リスクに係る権限と責任	権限・責任はない
少ない	リスクそのものを 引き受ける度合い	多い
確率論的事象として リスクを操作的に認識 「 <b>統治者視点</b> 」	リスク認知	広く概念的および 感覚的にリスクを認識 「 <b>当事者視点</b> 」

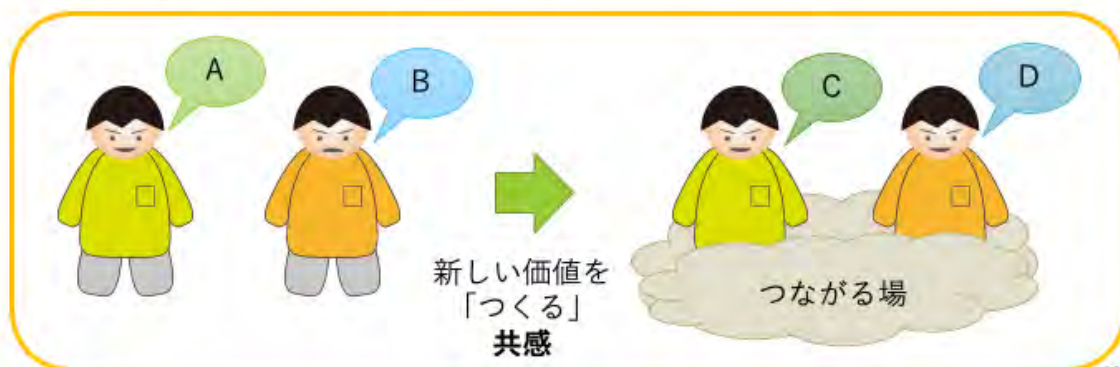
ステークホルダー間でリスクコミュニケーションを実施する際、多くの場合に、発信側（専門家や行政等）と受けて側（一般市民等）との間に、情報、リスクに係る権限と責任、リスクそのものを引き受ける度合いの非対称性の課題が伴います。いかにこの非対称性に配慮し、双方向を担保したコミュニケーションの場に近づけるかが、リスクコミュニケーション成功の重要なポイントとなります。また、情報の受け手側は、概ね発信側に行動の指針を示してほしいという意見と、情報を基に自分で判断したいという意見に大別されます。どちらが望ましいというものではなく、このような受け手側のリスク情報の理解の仕方を発信側があらかじめ意識する必要があります。

行政や専門家の「統治者視点」では、統計的・確率論的な見方をするのに対して、リスクに直面する一人一人の「当事者視点」では、危害の確率がいくらであれ、個人がその危害を受けるか受けないかの二者択一としてリスクを捉えたり、アウトレージの要素による価値判断に基づいた個別的な見方をしたりします。

統治者視点からは、責任ある意思決定のためには不確実性の高いリスク情報は、参考となる度合いが低く、開示すれば混乱を招く可能性があるとして排除されがちとなりますが、当事者視点からみれば、不確実性の高いリスク情報であっても、各自が個々の責任で行う意思決定の参考になり得るため、積極的な公開・周知が望ましいとされます。発信側はこのような視点を十分理解する必要があります。

出典：「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

## リスクコミュニケーションの成功



上の絵では、ある人のAという考えが、相手にA'という形で伝わっています。下の絵では、AとBという異なる考えを持っていた二人が、C、Dという新しい考えにたどり着いたことをあらわしています。C=Dであれば、合意が形成されたこととなりますが、コミュニケーションは必ずしも合意を目指すものではなく、様々な目的・機能があることに注意が必要です。

リスクコミュニケーションは、参加する個々人の感情や価値観にも深く関係・影響するもので、その手法に画一的な解、ゴールは存在しないと考えられ、これに十分留意する必要があります。リスクコミュニケーションは、リスクを伴う事象に対する向き合い方について一つの結論を導くものでもなく、一方向に知識を伝達し共有するものでもありません。「共感を生むコミュニケーション」の場、すなわちステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけるための場となるべきです。「共感を生むコミュニケーション」の場を適切に設定するには、ステークホルダー間の信頼関係がなにより重要で、対話・共考・協働といった実践の積み重ねが欠かせません。

出典：「科学コミュニケーション案内」 科学技術振興機構 科学コミュニケーションセンター（2015年3月31日）  
「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）  
（[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/suishin/detail/1397354.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm)）をもとに作成

## 原子力災害の特徴

- ❖ 原子力発電所は、リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術だったが、想定を外れた事故を起こし、収束困難になった。
- ❖ 同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。
- ❖ 科学的には「単純」であっても、「多義的」な問題として扱う必要性
  - ◇ 原子力発電所事故によって汚染された環境での低線量放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分低く、管理可能だとされても、当事者にとってはリスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくのように自らの意思で受けるものではないこと(非自発性)などから受け容れがたいと判断される場合がある。

東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故

津波による全電源消失

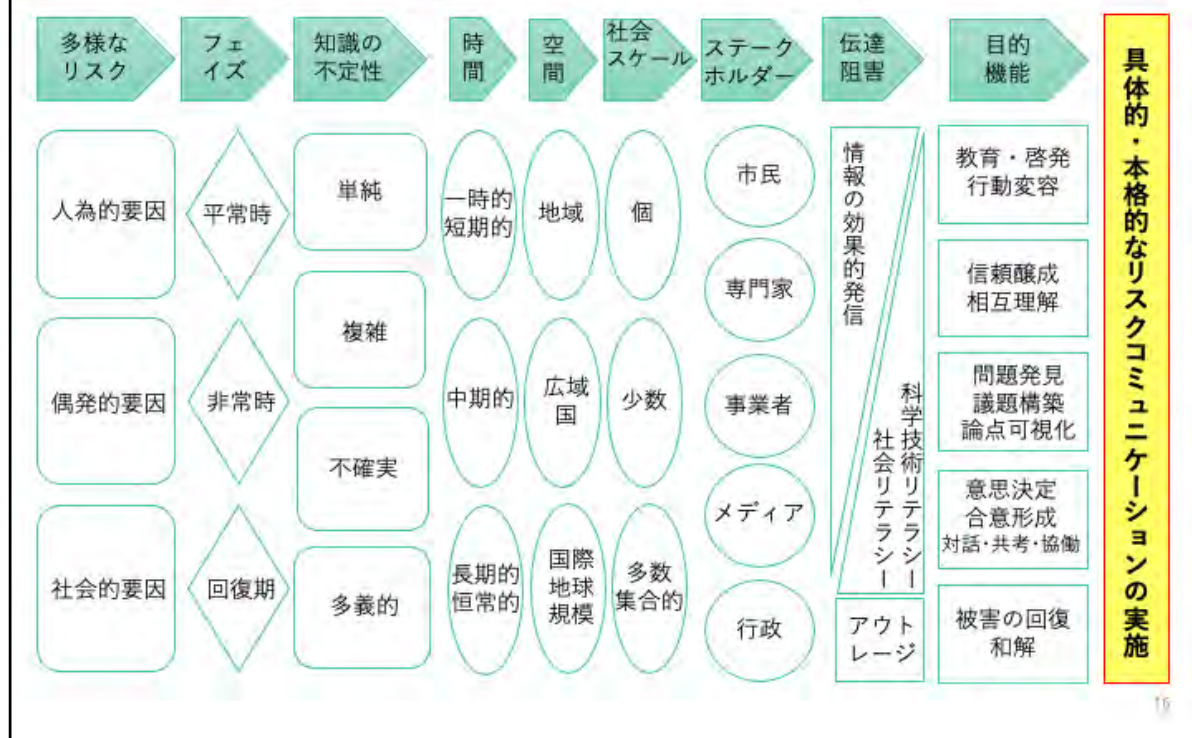
リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術が、想定を外れた事故を起こし、収束困難になる例

原子力発電所は、リスクについても十分に制御可能だと見なされていましたが、2011年の東京電力福島第一原子力発電所の事故では、想定を外れた事故を起こし、収束困難になりました。

低線量の放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分に低く、管理可能である「単純」なリスクとされても、周辺住民等の当事者にとっては、リスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくとは違って自らの意思で受け入れるものではないことなどから、受け容れ難いと判断されることもあり、「多義的な」問題として扱う必要があります。

また、同じリスクの評価結果についても、複数の解釈が存在することもあります。

# リスクコミュニケーションの俯瞰図



リスクコミュニケーションを適切に行うためには、直面している問題を俯瞰的に捉え直し、目的に応じた手法を選択しなければなりません。リスクコミュニケーションが扱う問題には、時間的・空間的なスケールや分野、人為的か自然的かの相違など、様々な種類があり、これに応じたリスクコミュニケーションの在り方（目的、対象、方法論、時期・期間など）も様々です。国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）科学コミュニケーションセンターで開発された「科学コミュニケーションの分類枠組み」を紹介しています。

リスクの問題とリスクコミュニケーションの分類軸は、問題発生・対応の「時間・空間・社会スケール」、「ハザード種別」、リスクに関する知識の「不定性」の度合い、問題発生・対応の「フェイズ」、問題に関わる「アクター」、リスクコミュニケーションを行う「目的・機能」の6つの軸による複合的な分類枠組みが提案されています。

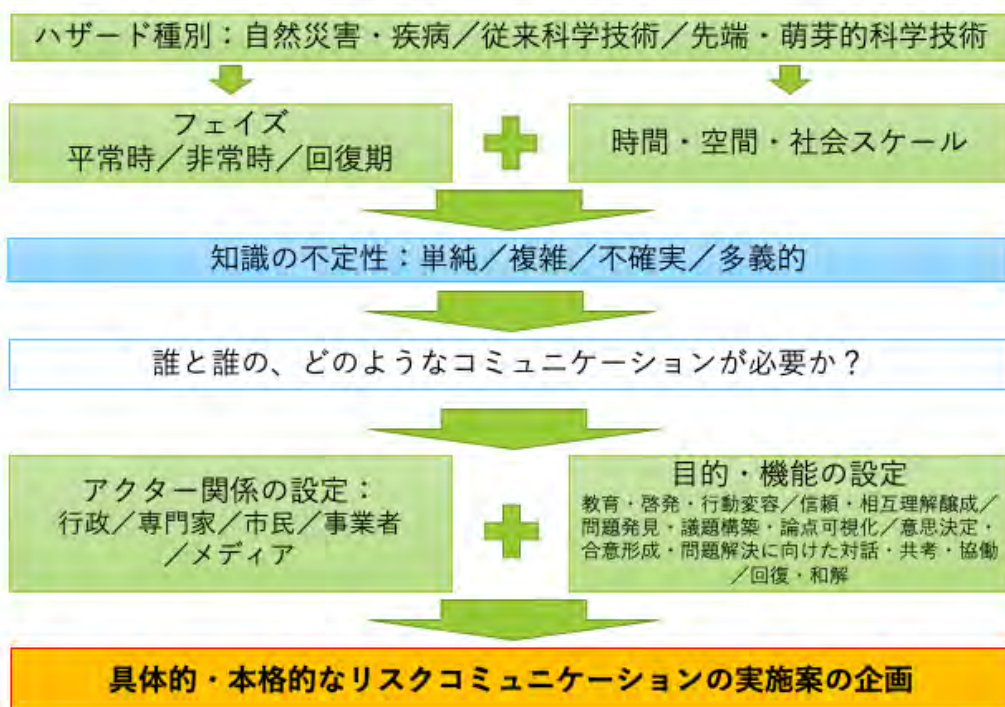
出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「科学コミュニケーション案内」 科学技術振興機構 科学コミュニケーションセンター（2015年3月31日）

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/suishin/detail/1397354.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm)）をもとに作成

# リスクコミュニケーション企画



リスクコミュニケーションの実践の企画や評価における導入的な目安として、上記のフローチャートを示しています。

例えば、「ハザード種別」が実用化間もない先端科学技術であり、具体的な被害が発生していない場合には、「フェイズ」は「平常時(下流)」となり、予期される問題の性質に応じて時間・空間・社会スケールが選ばれます。さらに「誰と誰の、どのようなコミュニケーションが必要か」を考えるために、リスクに関する知識の「不定性」がどうであるかを検討します。「単純」の場合には、意思決定に直接かかわるコミュニケーションは、規制当局スタッフ等を中心に行われます。他のアクターとのコミュニケーションはもっぱら「教育・啓発と行動変容」を目的としたものとなります。

ただし、規制当局や専門家からは「単純」に分類されるリスクでも、たとえば消費者から見ると、規制当局等に対する不信感があり、「複雑」や「不確実」に分類されることもありますし、同じ対象でも、「単純」に分類されるリスクのほかに「複雑」などに分類されるリスクも併せ持っている場合があります。その場合には、規制当局外部の一般の専門家や利害関係者、さらには一般市民も対象にしたコミュニケーションが、「信頼醸成」や「意思決定への参加」を目的に行われる必要があります。

また、科学的な観点からは「単純」に分類されるリスクであっても、リスクにさらされる当事者にとって、それを受け容れるか否かは、原理的には、QOL(生命/生活の質)も含めた当人の価値判断に依存し、かつ、この判断に基づいた自己決定が尊重されなければなりません。実際、そうした規範的な問題がリスクコミュニケーションにおいて問題化することは多々あります。た



例えば原子力発電所事故によって汚染された環境での低線量放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分低く、管理可能だとされても、当事者にとってはリスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくのように自らの意思で受けるものではないこと(非自発性)などから受け容れがたいと判断される場合があります。そうした場合には、科学的には「単純」であっても、「多義的」な問題として扱う必要があります。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

## まとめ

- ❖ 有事に行われるクライシス・コミュニケーションは、全てのステークホルダーの参加、強制でない合理的対話、明確な権限と正当性の付与がポイントとなる。
- ❖ リスクコミュニケーションは、参加する個々人の感情や価値観にも深く関係・影響する
- ❖ 「共感を生むコミュニケーション」の場
  - ◇ ステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけるための場
  - ◇ ステークホルダー間の信頼関係が重要
  - ◇ 対話・共考・協働
- ❖ 原子力災害では、同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。

# 原子力災害・放射線テロ災害 医療対応マニュアル

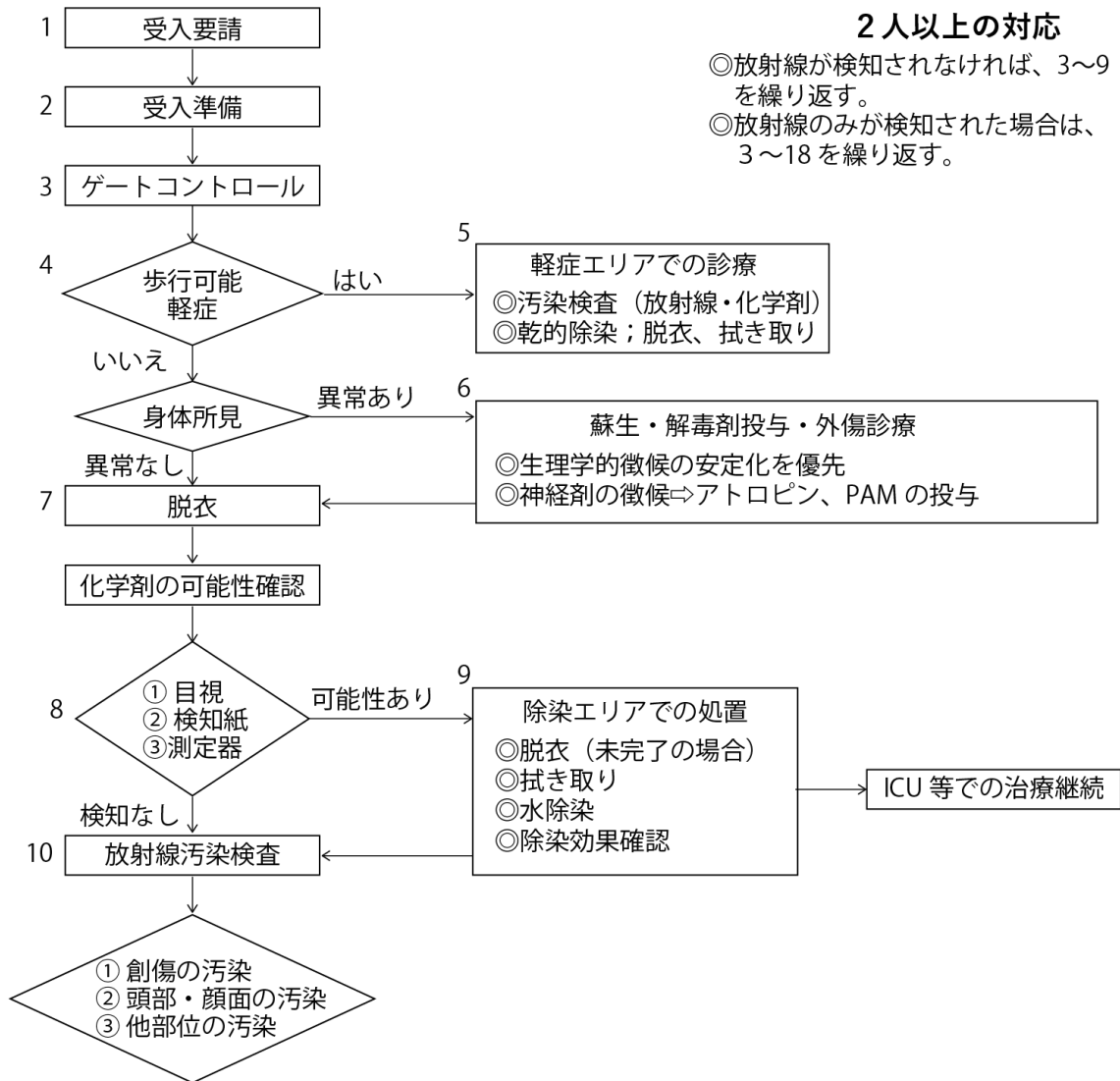
本資料は、原子力規制庁平成 31 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成されました。

## 目次

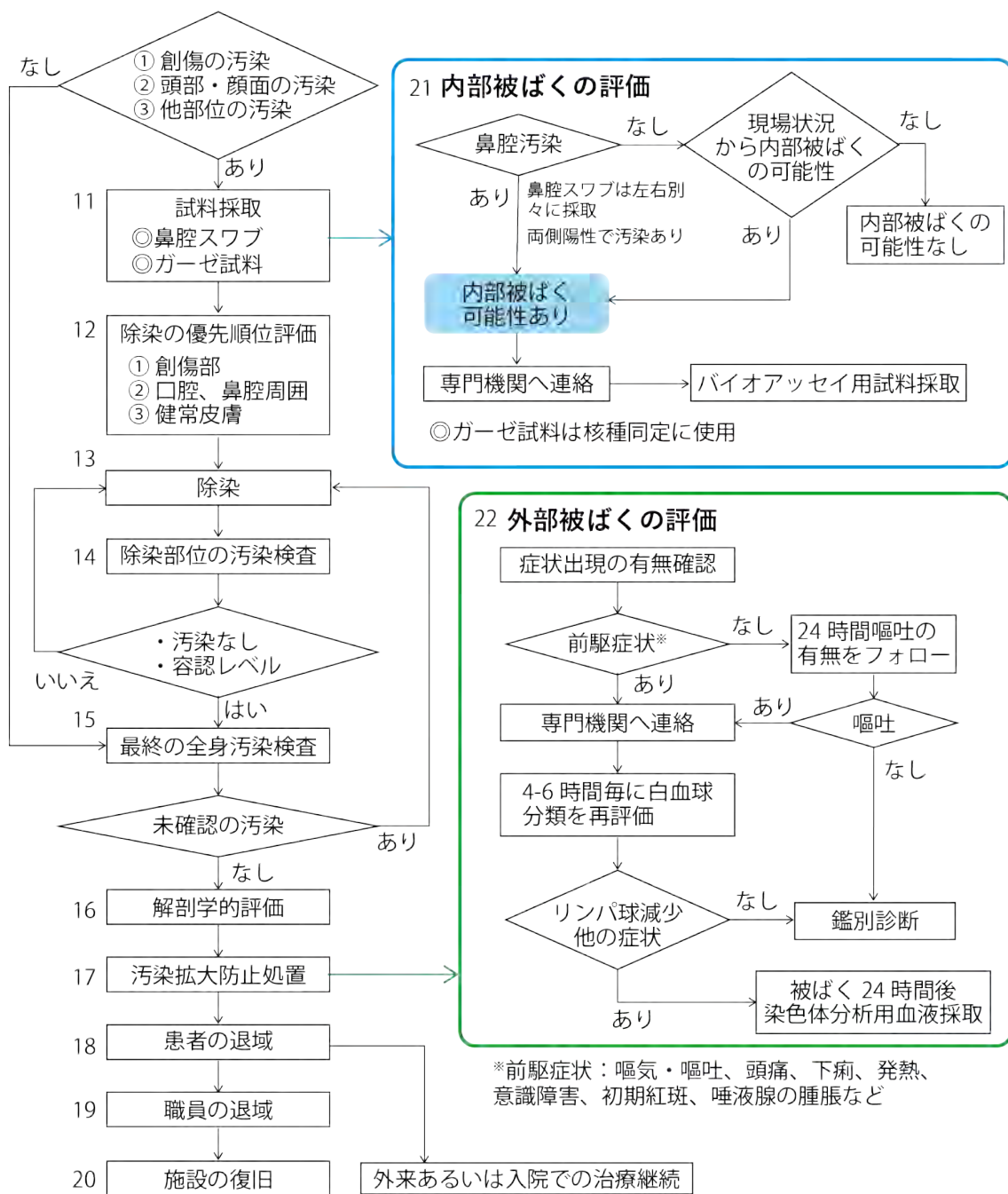
1. 受入要請.....	3
2. 受入準備.....	3
3. ゲートコントロール.....	10
4. 歩行可能・軽症の判断.....	10
5. 軽症エリアでの診療.....	10
6. 蘇生・外傷診療.....	11
7. 脱衣.....	11
8. 化学剤の可能性の確認.....	12
9. 除染エリアでの処置.....	13
10. 放射線汚染検査.....	14
11. 試料採取.....	15
12. 除染の優先順位評価.....	16
13. 除染.....	16
14. 除染部位の汚染検査.....	17
15. 最終の全身汚染検査.....	17
16. 解剖学的評価.....	17
17. 汚染拡大防止処置.....	17
18. 患者の退域.....	17
19. 職員の退域.....	18
20. 施設の復旧.....	18

21.	内部被ばくの被ばく線量評価と治療.....	18
22.	外部被ばくの被ばく線量評価.....	19

## 対応フロー



次ページに続く





## 1. 受入要請

### (1) 受信

現場において、放射線が検知された場合、または放射線による被ばくあるいは放射性物質による汚染の可能性が示唆された場合に、その傷病者の受入要請がなされたら、原子力災害あるいは放射線テロ災害対応体制を立ち上げる。

### (2) 確認する情報

現場で放射線が検知され場合には、通常の入受時に確認する項目（バイタルサインや身体所見等）の他に、表1の情報を確認する。空間線量計で放射線を検知しない場合でも、放射性物質の拡散による汚染の可能性があり、爆発物が関与している場合は、Dirty bombの可能性を考慮する。

表1 確認する情報

	確認項目
傷病者	体表面汚染の有無
	汚染の部位、程度
	脱衣の有無
	嘔吐の有無、発症時刻
現場状況	現場での放射線検知結果
	現場における内部被ばくの可能性
	現場における外部被ばくの可能性
	核種（現場での核種同定ができる場合）

## 2. 受入準備

### (1) 職員参集・役割分担

院内の原子力災害医療あるいは緊急被ばく医療等の対応体制を立ち上げ、職員を参集し、状況をブリーフィングする。対応者の役割は表2の通り。ただし、人員配置の人数は、医療機関の実状に合わせて決める。

表2 人員配置、役割分担

	担当（人数）	役割
コールドゾーン	統括・リーダー（1）	・診療方針の決定、指示 ・臨時の放射線管理区域の設定、解除の宣言
	看護師（1）	・コールドゾーンとウォームゾーン間の資材の受け渡し ・看護記録、試料情報の記録
	診療放射線技師（1）	・対応者の被ばく線量管理・記録 ・対応エリアの放射線管理

ウォームゾーン	看護師（１）	・ウォームゾーンとホットゾーン間の資材、試料の受け渡し
	診療放射線技師（１）	・ホットゾーンから出てくる職員、試料の汚染検査 ・傷病者の汚染検査の記録 ・診療後のウォームゾーンの汚染検査
ホットゾーン	医師（２）	・診療 ・除染
	看護師（２）	・診療の支援 ・試料をウォームゾーンの担当者へ渡す ・看護
	診療放射線技師（２）	・傷病者の汚染検査 ・診療後のホットゾーンの汚染検査

## (2) 診療エリア設定と養生

事前に診療エリアを決定しておき、搬入口から診療エリアまでの養生の範囲を計画しておく。診療エリアは、コールドゾーン、ウォームゾーン、ホットゾーンの区別を明確にして、患者の動線が一方通行となるように配置する。受入エリアは臨時の管理区域として設定する。

- **コールドゾーン**：放射性物質の汚染が全くない区域。診療に必要な医療資機材を配置。
- **ウォームゾーン**：放射性物質による汚染が拡大する可能性がある区域。ホットゾーンからの試料等の汚染検査を実施。コールドゾーンからの資材、ホットゾーンからの試料の中継。この区域からコールドゾーンへ退域する人、物品は全て汚染検査を実施する。
- **ホットゾーン**：放射性物質による汚染がある区域。基本的に汚染がある物品はこの区域内に止める。

養生とは、施設および資機材をビニールシート等で被覆し、放射性物質が付着するのを防止することである。資材一覧を表3に示す。養生には、時間を要するため、受け入れ決定後に養生を始めると患者到着までに間に合わない可能性があり、予め施設の養生をしておく事が望ましい。しかし、予めの養生が困難であり、受け入れまでに養生が完了しなかった場合は、ホットゾーンとウォームゾーンからの人、物品の移動については、汚染検査を徹底し、コールドゾーンへ汚染を拡大しないようにする。診療後にホットゾーンとウォームゾーンの汚染検査と除染を行う。この場合は、ホットゾーンとウォームゾーンの汚染検査、除染が終了するまで、一定期間使用できなくなる。

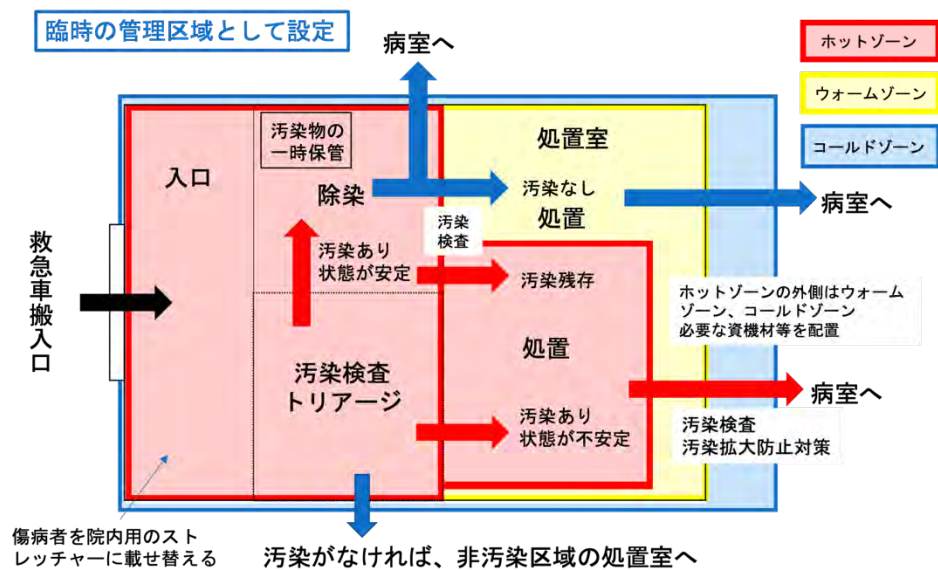


図1 診療エリアの設定 (例)

診療エリアのホットゾーン、ウォームゾーン、コールドゾーンを配置し、動線を決めておく。

汚染が残存した場合は、被覆などの汚染拡大防止対策を講じて、ホットゾーンから退域し、病室等へ移動する。

① 施設の養生



シートの縁はテープで床に隙間なく貼付する。  
ビニールシートの下に放射性物質が入り込まないようにする。

図2 廊下の養生 (例)

搬入口から処置室までの廊下等をビニールシートで養生する。ただし、搬入口で患者を院内用のストレッチャーに載せ換え、外部から同行してきた関係者が院内に入る場合には汚染検査を実施するのであれば、廊下の養生は省略できる。

養生の範囲、必要な養生用資機材の数量、養生の方法を計画しておく



図3 処置室の養生（例）

ビニールシートとろ紙シートでホットゾーンとウォームゾーンの床を覆う。



図4 病室の養生（例）

全身の汚染が残存している場合など、病室の汚染拡大防止が必要な場合は、病室の床、ベッド等を養生する。

## ② 機材の養生

### ❖ ポータブルX線撮影装置



### ❖ 超音波診断装置



### ❖ 表面汚染計



### ❖ モニター等

表示が分かるように透明のビニール袋等で覆う  
ケーブルなども可能であれば、細長いビニール袋等で覆う



図5 機材の養生（例）

ホットゾーンで使用する機材はビニール袋やラップ等を使用して養生する。養生後に機材が正常に動作することを確認する。

## (3) 個人防護装備

放射性物質が衣服、皮膚に付着するのを防止する防護衣等（図6）と被ばく線量管理のための個人線量計を装着する。防護衣としてはディスポのガウン、タイベックスーツ等を着用する。個人線量計は、診療時にリアルタイムで被ばく線量が確認できるデジタル式個人線量計もしくは警報付きのデジタル式個人線量計を装着する。

なお、化学剤への対応も必要である場合は、化学防護服を着用する。また、呼吸保護としては、防毒用の吸収缶を使用する。

## (4) 測定器の動作確認

全ての放射線測定器の電源を入れ、正常に作動するか確認し、診療エリアでのバックグラウンドを測定する。記録用紙に各測定器のバックグラウンド値を記載する。個人線量計は積算値が0（ゼロ）になっていることを確認する。アラーム音や振動の程度は事前に確認する。

表面汚染計は、本体および検出部（プローブ）をビニール袋あるいはラップなどで覆い、放射性物質の付着を防止する。プローブ先端が汚染した場合は、ビニール袋やラップを交換する。



図6 個人防護装備（例）

防護衣には前後に氏名を記載する。また、ホットゾーン担当者は赤、ウォームゾーン担当者は青など色分けすると区別しやすい。

外側のゴム手袋は、汚染したらすぐに交換する。

## (5) 資機材

表3 養生資材

品名	使用方法
ビニールシート	床に敷く。 周辺とシートの重なりの部分は養生テープで隙間なく目張りする。 水がかかると滑りやすくなるため注意が必要。
ろ紙シート	ビニールシートの上に敷く。 周辺とシートの重なりの部分は養生テープで隙間なく目張りする。 破れやすいため、ろ紙シート単独では使用しない。
養生テープ	シート等の目張り。 粘着力強くなく、剥がした時に張った箇所の材質が剥がれない。
ビニール袋	モニター類をカバーする。
エプコシート	一辺が養生テープとなっており、壁等の養生に使用する。

ラップ	聴診器等の小さな機材の養生に使用する。
ハサミ	

表4 個人防護装備

品名	備考
防護衣	タイベックスーツやディスポガウン、アイソレーションガウンなど
ディスポ術衣	ディスポガウン、アイソレーションガウンの場合に着用
帽子	頭髮、耳介の防護
ゴーグル	マスクと一体型のものでよい
マスク	医療機関での対応ではサージカルマスク、または使い捨て防護マスク
ゴム手袋	二重に装着、内側の手袋は防護衣の袖にテープで目張り 外側の手袋は、処置中に汚染したら交換
シューズカバー	防護衣にテープで目張り
個人線量計	防護衣の中に装着

化学剤への対応が必要な場合は、化学防護服、防毒マスク、手袋、長靴等を準備する。ただし、それぞれの化学物質の耐透過性能等は様々であるため、適切な性能の防護装備を着用すること。

表5 除染用資機材

品名	備考
滅菌ドレープ	除染部位の周囲の汚染拡大防止
滅菌ドレープ 120φ穴開きテープ	
ディスポピン（ディスポ鑷子） 23cm	
ネオ・パール EB20-3（綿球）	
ガーゼ	
歯ブラシ	
サージカルテープ	
トランスポア サージカルテープ	
吸水シート（大人用紙おむつなど）	除染した水の吸水
膿盆	
エアータイプの洗髪器	膿盆の代用
オレンジオイル	希釈して使用
シャワーボトル	
ポリ袋（各種サイズ）	

※創傷処置に必要な資材も準備する。

表6 試料採取用資材

品名	用途
綿棒	鼻腔スワブ用
ガーゼ	汚染部位の拭き取り、核種同定用
ヘパリン採血管	染色体分析用 (10ml)
尿容器	バイオアッセイ用、スポット尿、24 時間尿
ラベル	患者氏名、ID、採取日時（時刻も正確に記載）、採取部位、試料の種類、表面汚染の有無を記入

表7 放射線測定器

種類	測定する放射線	数量
空間線量計	$\gamma$ 線	処置室内に1台 + 予備1台
表面汚染計	$\beta$ ( $\gamma$ ) 線	汚染検査担当者の人数分 + 予備1台
	$\alpha$ 線	可能であれば1台
個人線量計	$\gamma$ 線	対応する職員の数分

測定器は年1回校正していることを確認する。

各線量計の予備の電池も準備しておく。

### 3. ゲートコントロール

院内施設への入り口は1カ所にする。テロ災害の現場から、負傷者は公設消防による搬送ではなく、自力で来院することもある。また、テロ災害ではなく、通常の外来受診のために来院する者もいる。このため、ゲートコントロールではテロ災害の負傷者か、否かを分けて誘導する。

さらに現場での除染の有無、歩行の可否で適切なエリアに誘導する。

### 4. 歩行可能・軽症の判断

ゲートコントロールで歩行が可能な軽症者を選別し、軽症エリアに誘導する。

歩行不能で、身体所見に異常がある負傷者は、蘇生・外傷診療のエリアに誘導する。歩行不能で身体初見に異常がない負傷者は、脱衣エリアに誘導する。

### 5. 軽症エリアでの診療

軽症エリアでの診療は、まず化学剤と放射線の検知を行う。検知の結果、化学剤が検出されたら、脱衣と目視できる汚染（化学剤の付着）に対して拭き取りを実施する。放射線が検出されたら、放射性物質の付着があるため、脱衣とその部位を拭き取る。脱衣と拭き取りは可能な限り負傷者自身に実施してもらう。

脱衣とふき取りを行ったタオル等は化学剤や放射性物質が付着しているので、ビニール袋等に入れ、汚染拡大防止に務める。

汚染検査と除染後に、負傷等の処置を行う。検知、除染を実施している間もバイタルの変化に注意しながら観察は継続する。バイタルや意識状態が変化し、重症化したら直ちに蘇生・外傷診療のエリアに移動させる。



## 6. 蘇生・外傷診療

放射線の被ばく以外の原因により全身状態およびバイタルサインが不安定であれば、蘇生および外傷診療を優先し、状態を安定させる。化学剤による急性中毒の根本治療は、薬物分析に基づいて行うのが理想であるが、治療に間に合うように分析結果を取得するのは困難である。そのため、臨床診断と緊急治療としては、トキシドローム（表8）による状態の把握と病歴聴取を行い、化学剤による徴候があれば、速やかに緊急対応を行う。特に、コリン作動生トキシドローム、オピオイドトキシドローム、窒息性トキシドロームは解毒薬が知られており、直ちに薬剤を投与する。

放射線による影響は被ばく直後には発生せず、また体表面の汚染では影響を生じさせる可能性は極めてわずかであり、汚染検査や除染よりも全身状態の安定化が優先される。

治療の継続が必要であれば、引き続き病室で治療を継続する。

表8 トキシドローム

分類	症状と徴候	解毒薬
コリン作動性 トキシドローム	縮腫、流涙、流涎、喘鳴、徐脈、低血圧、腹痛・嘔吐、便失禁、尿失禁、筋繊維速攣縮など	硫酸アトロピン PAM
オピオイド トキシドローム	意識障害、縮腫、換気量減少、低血圧、低体温	ナロキソン
窒息性トキシドローム ・ 単純性窒息 ・ 化学性窒息性物質 （一酸化炭素、シアン化水素、アジ化水素等）	頻脈、低血圧、チアノーゼ、呼吸困難感など	酸素 ヒドロキシコバラミン チオ硫酸ナトリウム 亜硝酸ナトリウム
刺激性トキシドローム	咳、くしゃみ、鼻汁、呼吸困難など	
腐食性物質 トキシドローム	粘膜刺激症状、気道刺激など	

トキシドロームは様々なものがあるが、ここでは、米国 AHLS を参考にテロで使用されやすい中毒を中心に記載している。

## 7. 脱衣

現場で脱衣しないまま搬送された場合は、外側の衣類を脱衣させる。脱衣により露出部以外の汚染は除去できる。濡れた衣服の場合は、放射性物質が溶解して、浸透している可能性も考慮する。なお脱衣時に、衣類に付着している放射性物質が浮遊する可能性がある場合は、患者にマスク等を着用させ吸入による内部被ばくを防護する。脱衣後の衣類は、ビニール袋等に入れて、放射性物質が拡散しないようにする。

#### 放射性物質の拡散を防止した脱衣の方法（例）

- ① 事前にストレッチャーにはラミシートを4～6枚ほど重ねて敷いておく。
- ② 衣服をハサミで切る。
- ③ 患者を側臥位にして、ストレッチャーに敷いているラミシート1枚で衣服を丸め込みながら患者の背中側に寄せる。
- ④ 患者を③と反対側の側臥位にして、さらにラミシートで衣服を丸め込みながらラミシートと衣服を一緒に取り除く。
- ⑤ 脱衣を介助したスタッフは外側のゴム手袋を交換する。



図7 脱衣の方法（介助が必要な場合）

脱衣後の衣類、靴、シート、毛布等は必ずビニール袋へ入れる。粉塵が舞い散るようであれば、患者にマスクを装着して内部被ばくを防止する。

#### 8. 化学剤の可能性の確認

化学剤の可能性を確認する方法は、前述の臨床症状の他に、目視による剤の付着の有無確認、検知紙による確認、検知器材による測定の方法がある。

(1) 目視による確認

液滴、粉末等の物質が付着していないか、皮膚のびらんや水疱などが出現していないか、確認する。

(2) 検知紙

台紙から検知紙を引剥し（図8）、被服や装備品に貼付するか、液滴等の汚染が疑われる場所に直接接触させ、液体を吸い取らせる。化学剤により発色するので、色と標準発色（図9）を比較し、化学剤の種類を特定する。化学剤の除染が完全に行われたかどうかの確認には使用しない。液状化学剤による汚染状況を確認するのに適しており、安価である。

注意点として、水酸化ナトリウム、石油製品等でも変色し、偽陽性となる。



台紙から引剥して使用する。

図8 検知紙

シールになっているので被覆や装備品に貼付できる。



図9 検知紙の発色

H：びらん剤、G：G剤（タブン、サリン、ソマン）、V：VX

(3) 検知器

各地域の消防機関等で使用されているのは、LCD3.3 とケミプロ 100 である。どちらもイオンモビリティスペクトル（IMS）技術を用いて化学物質の蒸気を識別する。

その他に、赤外分光吸光検出器（HazMatID Elite など）、ラマン散乱分光検出器（ACE-ID など）、ガスクロマトグラフ質量分析装置（GC/MS）、遠隔検知装置などがあるが、高価である。

9. 除染エリアでの処置

ここでは化学剤に対する除染を実施する。

ここに至るまでに脱衣が未完了であれば、脱衣を完了する。脱衣により約 90% の化学剤は除去できる。

脱衣後に、目視で化学剤の付着が確認できれば、水とタオルで拭き取りを行う。拭き取りはRSDL（拭き取り除染剤）や除染剤を使用すると、RSDL 溶液などの除染剤が化学物質と反応し、化学剤を中和することができる。

水除染は、除染テントなどの専用設備を用いて、汚染のある部位を流水で除染する専門除染の一つである。除染エリアでの処置時に化学剤が残存している可能性が高い糜爛剤などには有効であるが、生命危機が迫っている負傷者には実施しない。除染は、適切な個人防護装備（化学防護服と呼吸保護具）を装着して行う。

除染効果の確認としては、化学剤の検知器、検知紙を使用して、化学剤が検知されないことを確認する。化学剤が確認されたら、再度除染する。

## 10. 放射線汚染検査

### (1) 汚染検査の順番

次の順序で体表面の汚染検査を実施する。汚染が確認された場合は、記録用紙（図 10）に詳細（汚染の部位を○などで囲む、計測値）を記載する。

- ① ルート確保や聴診、触診をする部位
- ② 創傷部
- ③ 顔面、口腔周囲
- ④ 頭部から足先まで
- ⑤ 背面も頭部から足先まで

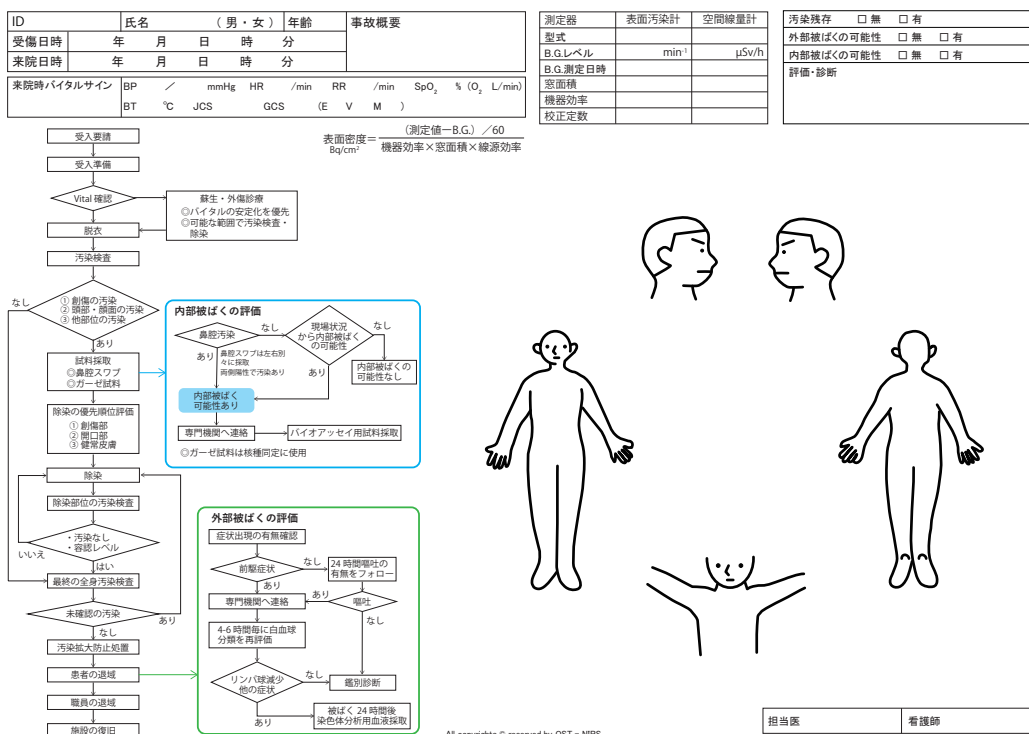


図 10 診療記録用紙の一例

汚染箇所、除染後の汚染の状況、使用する測定器の情報を記載する。

## (2) 汚染検査の方法

測定器の検出部（プローブの先端）を体表面から 1～2 cm 離し、その距離を保ちながら毎秒 5 cm 程度の速度で動かす。プローブの窓の部分でしか放射線を検知できないため、検知していない部分がないようにプローブを左右もしくは上下に動かす。

汚染を検知したら、汚染の中心部分の位置で測定器を保持し、針あるいは数値が安定するまで待ち、正確な汚染の程度を測定する。

時定数を選択できる測定器（日立アロカメディカル TGS-146B 等）であれば、最初は時定数 3 秒として汚染検査し、汚染を検知したら時定数 10 秒として汚染の程度を正確に測定する。

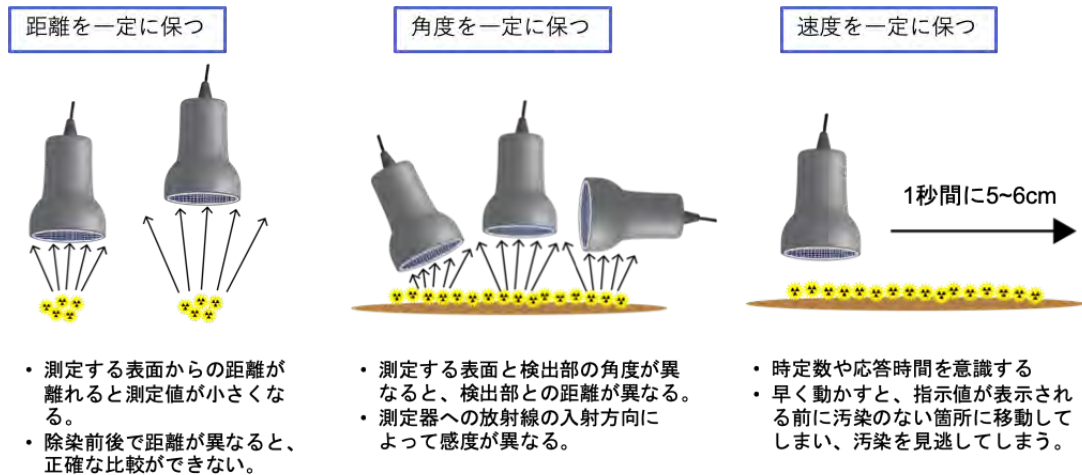


図 11 表面汚染検査時の注意点

## 11. 試料採取

体表面汚染がある場合は、放射性物質を吸入した可能性の有無の確認のための鼻腔スワブ検査と、核種同定のための汚染部位のガーゼ試料の採取を行う。採取した試料にはラベル（患者氏名、ID、採取日時（時刻も正確に記載）、採取部位、試料の種類、表面汚染の有無を記入）を貼付する。

(1) 鼻腔スワブ検査：綿棒で左右の鼻腔を別々の綿棒で拭き、放射性物質の付着の有無を確認する（図 12）。左右の鼻腔スワブが陽性で、鼻腔に放射性物質の付着がある場合は、放射性物質の吸入が疑われる。鼻腔スワブ検査が陰性であっても、現場の状況から放射性物質の吸入が疑われる場合は、内部被ばくの可能性を考慮

する。内部被ばくの可能性がある場合は、専門機関（量研機構高度被ばく医療センター等）に連絡する。

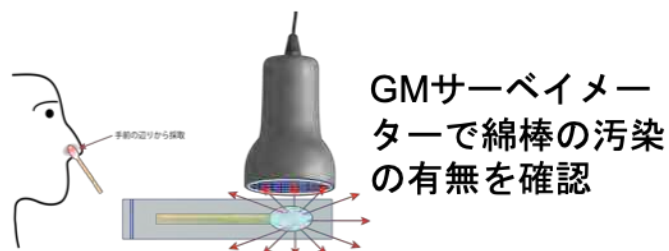


図 12 鼻腔スワブ検査

左右の鼻腔を別々に綿棒で拭い、汚染の有無を確認する。

- (2) ガーゼ試料：汚染部位をガーゼで拭き取り、核種同定のために専門機関へ渡す。核種同定の試料は内部被ばくがある場合には薬剤選択の情報となり、表面汚染については正確な表面汚染密度の評価の情報となる。

## 12. 除染の優先順位評価

汚染箇所が複数ある場合は、1) 創傷、2) 開口部（顔面）、3) 健常皮膚の順番で除染の優先順位を評価する。汚染がある創傷が複数箇所ある場合は、汚染の程度が高い方から除染する。

## 13. 除染

除染する場合は、周囲に汚染拡大防止の措置を講じて、次の要領で除染する。

### (1) 創傷部の汚染

- ① 汚染がない部分をラミシート等で被覆する。
- ② ボトルで水をかけながら創傷部を洗い流す。水は全て吸水シート等で吸水する。
- ③ ラミシートや吸水シートを取り除く。
- ④ 除染を繰り返す場合は、①～③を繰り返す。



図 13 創傷部の除染  
汚染のない部分はシート等で被覆し、汚染拡大防止する。  
水は吸水シートで吸水する。

## (2) 開口部（顔面）の汚染

- ① 口腔内の汚染はうがいで除染する。
- ② 鼻腔内の汚染は鼻をかんで除染する。
- ③ 耳介、外耳道はガーゼ、綿棒等で拭き取り、除染する。

※皮膚や粘膜を傷つけるような除染は行わない。

## (3) 健常皮膚の汚染

- ① 濡れたガーゼやタオルで汚染箇所の外側から内側に向かって拭き取る。
- ② ガーゼやタオルは一度の拭き取りで交換する。
- ③ 除染できない場合は、石鹸、ボディソープなど使用して除染する。

## 14. 除染部位の汚染検査

除染後には周囲の汚染したシート等を取り除き、除染した部位の汚染検査を実施する。除染前と除染後で測定器の検知部までの距離が変わらないように注意する（距離を一定にする）。汚染検査の結果、汚染が残存している場合は、除染を繰り返す。ただし、除染を2～3回繰り返して、除染前後で数値に変化がない場合は、除染を終了する。除染後の数値を記録用紙に記載する。

## 15. 最終の全身汚染検査

全ての除染が終了したら、全身の汚染検査（頭部から足部まで、前面と背面）を実施し、汚染の見逃しを防ぐ。未確認であった汚染箇所があれば、除染する。

## 16. 解剖学的評価

全身の汚染検査と除染が終了したら、原則として各身体部位を前面（腹側）から後面（背側）を視診、聴診、触診により診察し、神経学的所見も詳細に評価する。

汚染が残存している部位の触診は、診察後にゴム手袋を交換するか、ディスポシートを利用して直接触れないように工夫する。

## 17. 汚染拡大防止処置

汚染が残存している場合は、ガーゼ等で被覆し、直接汚染に接触しないように汚染拡大防止処置を実施する。汚染が残存している創傷部のガーゼは、ガーゼ交換時には、汚染のある廃棄物として廃棄する。

## 18. 患者の退域

全ての処置が終了したら、ホットゾーンから退域し、病室等へ移動する。

ホットゾーンからの退域は、ストレッチャーをウォームゾーンとの境界まで移動させ、新しいストレッチャーに患者を移動させる。

ウォームゾーンからコールドゾーンに移動する時に、ストレッチャーの車輪部分の汚染検査を実施し、汚染がないことを確認する。

## 19. 職員の退域

処置後にホットゾーンの職員が退域する手順は以下の通り。

- ① 外側のゴム手袋を外す。
- ② 手袋、シューズカバーのテープの目張りを取る。
- ③ 防護衣の裏面が外側になるように巻きながら脱ぐ。
- ④ シューズカバーをひっくり返すように裏面が外側になるように片足ずつ脱ぐ。足は、ホットゾーンには着地させず、靴底の汚染検査を行ってから、ウォームゾーンに着地する。
- ⑤ 帽子、ゴーグル、マスクを外す。
- ⑥ 内側のゴム手袋を外す。
- ⑦ 全身の汚染検査を実施する。
- ⑧ 汚染があれば、ホットゾーンに戻り除染する。その後汚染検査を実施する。
- ⑨ 個人線量計の値を確認して、記録する。

※防護衣、シューズカバーは、ハサミで切って脱衣しても良い。

## 20. 施設の復旧

処置が終了したら、汚染のある廃棄物はビニール袋等に入れ、封をして放射性物質が飛散しないようにする。廃棄物は、行政の指示に従って廃棄する。廃棄方法が決定するまでは、汚染拡大に注意して保管する。

職員がホットゾーンから退域したら、ホットゾーンおよびウォームゾーンの資機材と床の汚染検査を実施する。汚染がある箇所は、養生を慎重に取り除き、養生のシートは汚染のある廃棄物としてビニール袋等に封入する。養生をしていない箇所の汚染は、拭き取りによる除染を行う。除染あるいは養生を取り除いた後は汚染検査を行う。

全ての汚染検査が終了したら、臨時の管理区域を解除する。

## 21. 内部被ばくの被ばく線量評価と治療

鼻腔に汚染が認められた場合は、内部被ばくの可能性が高い。鼻腔に汚染がなくても現場の状況から内部被ばくが疑われる場合もある。内部被ばくが疑われたら、内部被ばくの被ばく線量評価（診断）を行う。

内部被ばくの被ばく線量評価の方法は、体外計測法とバイオアッセイ法がある。体外計測法は、ホールボディカウンタなどの測定機器が必要であり、医療機関にない場合はバイオアッセイ法の試料を採取する。



バイオアッセイ法の試料は、24 時間尿（事故発生時から）、全量の便であり、基本的には 5 日間採取する。採取した試料は専門機関（高度被ばく医療支援センター）へ渡す。

内部被ばくがある場合は、核種（放射性物質）に応じた薬剤を選択し、投与を開始する。核種毎の治療方法を表 9 に示す。

#### ① バイオアッセイ用試料の採取

##### 尿試料

- 採取容器：1ℓ または 2ℓ の容器を準備
- 排尿 1 回分ずつ採取
- 24 時間の全量を検体として採取（事故発生時を開始時刻とする）
- 容器に採取日時、患者氏名を記載
- 採取後は、交差汚染防止や液漏れ対策のため、ポリエチレン袋で二重に封入
- 輸送時は箱に入れ、転倒防止の対策を行い、可能であれば冷蔵輸送

##### 便試料

- ポリエチレン袋、タッパー容器を準備
- 排泄 1 回ごとに全量を採取
- 5 日間連続して採取
- 便器にポリエチレン袋を養生テープ等で固定し、採取
- 採取後は、交差汚染防止や液漏れ対策のため、ポリエチレン袋で二重に封入し、タッパー容器等に密封
- 採取日時、患者氏名を記載
- 輸送時は箱に入れ、転倒防止の対策を行い、可能であれば冷蔵輸送

## 22. 外部被ばくの被ばく線量評価

現場の状況より外部被ばくが疑われる場合は、外部被ばく線量評価を実施する。なお、外部被ばくが疑われなくても、前駆症状の有無などの所見を確認する。

外部被ばく線量評価の方法は、臨床症状、臨床検査からの推定、染色体異常の分析がある。臨床症状、検査所見と被ばく線量の相関を表 10 に示す。前駆症状がある場合は、4～6 時間毎に末梢血の白血球分画を評価し、リンパ球数の減少の有無、程度を確認する。

染色体異常分析は、被ばく 24 時間後に採血（ヘパリン採血管 10ml）を実施し、専門機関（量研機構）へ渡す。採血管は凍結しないこと。

#### ① 染色体分析用血液試料の採取

- 被ばく後 24 時間以降、4 週間未満に採血

- 極端な高線量被ばくが疑われる場合は、血球数が減少する前、輸血前に採血
- ヘパリン採血管で7～10ml 採血
- 困難な場合は1 ml（全血培養のための最大量）～3 ml（分離リンパ球培養のための標準量）の間で採血
- ヘパリン採血管がない場合は、使用した抗凝固剤を明記
- 患者氏名、採取日時を記載
- 室温（18～24℃が最適、凍結させない）で検査実施機関（高度被ばく医療支援センター等）に輸送
- 確認事項：質問票（図 14）の項目を確認



表9 放射性物質による内部被ばく時の選択薬剤

核種	物理学的特徴	直後の治療	用法・用量
アメリカシウム Am-241	物理学的半減期：432.2年 実効半減期：45年（骨） 放射線：α線、γ線 蓄積臓器：肝臓、肺、骨、 骨髄	第一選択；Ca-DTPA 第二選択；Zn-DTPA	1回1gを生食100mlに溶解し、30分で1日1回静注 週5日連続投与 混合療法：1回目Ca-DTPA1g、2回目以降Zn-DTPA1g を4日間投与。その後超ウラン元素の排泄率の増加が見 られなくなるまで1週間に2回(1回あたりZn-DTPA1g) 投与。 Ca-DTPAは妊娠または妊娠している可能性のある女性に は、投与しないことが望ましい。Zn-DTPAは妊娠または 妊娠している可能性のある婦人には治療上の有益性が危 険性を上回ると判断される場合に投与すること。 小児への投与は14mg/kg、0.5g/日を超えないこと。
セシウム Cs-134	物理学的半減期：2.0648年 実効半減期：96日 放射線：β線、γ線 蓄積臓器：全身	プルシアンブルー	水とともに1回3gを1日3回 内服 妊娠または妊娠している可能性のある女性には治療上の 有益性が危険性を上回ると判断される場合に投与す ること。 小児（2歳から12歳）への投与は、1回1gを1日3回 （2歳で0.21g/kgから12歳で0.32g/kg）
セシウム Cs-137	物理学的半減期：30.1671年 実効半減期：110日 放射線：β線、γ線 蓄積臓器：全身		
コバルト Co-57	物理学的半減期：271.74日 実効半減期：170日 放射線：電子、γ線 蓄積臓器：肝臓	Ca-DTPA 消化管の汚染には、 硫酸マグネシウム、 水酸化アルミニウム、	Ca-DTPAは1回1gを生食100mlに溶解し、30分で1日 1回静注 妊娠または妊娠している可能性のある女性には、投与し ないことが望ましい。

	コバルト-58 (Co-58)	物理学的半減期：70.86 日 実効半減期：65 日 放射線：β線、γ線 蓄積臓器：肝臓	硫酸バリウムを経口投与	小児への投与は、14mg/kg。0.5g/日を超えないこと。
	コバルト-60 (Co-60)	物理学的半減期：5.2713 年 実効半減期：1.6 年 放射線：β線、γ線 蓄積臓器：肝臓		
ヨウ素	ヨウ素-125 (I-125)	物理学的半減期：59.4 日 実効半減期：53 日 放射線：電子、X線 蓄積臓器：甲状腺	ヨウ化カリウム 代替療法； ヨウ化ナトリウム、 ヨウ化マグネシウム  (摂取後 4 時間以内に投 与)	成人ではヨウ化カリウムとして 1 回 100mg を経口投与す る。 妊婦又は妊娠している可能性のある女性には、治療上の 有益性が危険性を上回ると判断される場合に投与し、原 則として反復投与を避けること。本剤は胎盤関門を通過 し、胎児の甲状腺腫及び甲状腺機能異常を起こすことが ある。 妊娠後期に本剤を投与した妊婦より産まれた新生児に は、甲状腺機能検査を実施し、甲状腺機能の低下を認め た場合には、甲状腺ホルモン補充療法等の適切な処置を 行うこと。
	ヨウ素-129 (I-129)	物理学的半減期：1570 万年 実効半減期：120 日 放射線：β線、X線、γ線 蓄積臓器：甲状腺		
	ヨウ素-131 (I-131)	物理学的半減期：8.0207 日 実効半減期：7.5 日 放射線：β線、γ線 蓄積臓器：甲状腺		
プルトニウム	プルトニウム-238 (Pu-238)	物理学的半減期：87.7 年実効 半減期：50 年 放射線：α線、X線、γ線 蓄積臓器：骨、肝臓	DTPA  アメリカシウムの項目参照	
	プルトニウム-239 (Pu-239)	物理学的半減期：24110 年 実効半減期：50 年 放射線：α線、X線、γ線 蓄積臓器：骨、肝臓		

	プルトニウム-240 (Pu-240)	物理学的半減期：6564年 実効半減期：50年 放射線：α線、X線、γ線 蓄積臓器：骨、肝臓		
	ポロニウム-210 (Po-210)	物理学的半減期：138.376年 実効半減期：37日 放射線：α線 蓄積臓器：肝臓、脾臓、腎臓	ジメルカプロール 消化管の汚染には、 硫酸マグネシウム、 水酸化アルミニウム、 硫酸バリウムを経口投与	ジメルカプロール；2-3mg/kg筋注 4hr毎（初回は50mgを 超えないこと）。3日以上投与を行わないこと。 禁忌：妊婦、肝不全、腎不全
	ストロンチウム-85 (Sr-85)	物理学的半減期：64.853日 実効半減期：62日 放射線：γ線 蓄積臓器：骨	第一選択； 塩化アンモニウム グルコン酸カルシウム 第二選択； アルギン酸ナトリウム その他； 炭酸カルシウム、 リン酸カルシウム、 水酸化アルミニウム、 硫酸マグネシウム、 硫酸バリウム、 リン酸アルミニウム	・塩化アンモニウム：1日6g（8時間ごとに2g）経口投 与。代謝性アシドーシス、重度の腎機能障害、肝機能障 害には禁忌。 ・グルコン酸カルシウム：1日6-10g経口投与、また は、1日2g/500ml（5%ブドウ糖液）を6日間静注。 高カルシウム血症、高カルシウム尿症、循環作動薬の使 用者、カルシウムに相乗効果をもたらす薬剤の使用者に は禁忌。 ・アルギン酸ナトリウム：1日1回10g経口投与、また は、1日2回1回5g経口投与。腎機能障害には禁忌。
	ストロンチウム-89 (Sr-89)	物理学的半減期：50.53日 実効半減期：50日 放射線：β線 蓄積臓器：骨		
	ストロンチウム-90 (Sr-90)	物理学的半減期：28.79年 実効半減期：4.6年 放射線：β線 蓄積臓器：骨		
	トリチウム (H-3)	物理学的半減期：12.32年 実効半減期：8日 放射線：β線 蓄積臓器：全身	水分摂取による尿中排泄 の促進、利尿剤	水分摂取（3-4L/日）、利尿剤

DTPA；Diethylenetriaminopentaacetic acid プルシアンブルー；フェロシアン化第二鉄

表 10 臨床症状、検査所見と被ばく線量

		急性放射線症の重症度と被ばく線量					
		軽症(1~2Gy)	中等度(2~4Gy)	重症(4~6Gy)	極めて重症(6~8Gy)	致死的(>8Gy)	
血液細胞	リンパ球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ ) (被ばく後 3-6 日)	0.8 ~ 1.5	0.5 ~ 0.8	0.3 ~ 0.5	0.1 ~ 0.3	0.0 ~ 0.1	
	顆粒球数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	>2.0	1.5 ~ 2.0	1.0 ~ 1.5	$\leq 0.5$	$\leq 0.1$	
	血小板数 ( $\times 10^3/\text{mm}^3$ )	60 ~ 100 10 ~ 25 %	30 ~ 60 25 ~ 40 %	25 ~ 35 40 ~ 80 %	15 ~ 25 60 ~ 80 %	<20 80 ~ 100 % <sup>*1</sup>	
潜伏期	長さ (日)	21 ~ 35	18 ~ 28	8 ~ 18	$\leq 7$	なし	
臨床症状	下痢	なし	なし	稀	被ばく後 6 ~ 9 日に出現	被ばく後 4 ~ 5 日に出現	
	脱毛	なし	中等度、被ばく後 15 日以降	中等度ないし完全 11 ~ 21 日	完全 11 日以降	完全 10 日以前	
	その他の症状	倦怠感 衰弱	発熱、感染、出血、 衰弱	高熱、感染、出血	高熱、嘔吐、めまい、 見当識障害、 血圧低下	高熱、 意識障害	
予後	致死率 死亡時期 <sup>*2</sup>	0 6~8 週以降	0 ~ 50 % 6~8 週以降	20 ~ 70 % 4~8 週以降	50 ~ 100 % 1~2 週以降	100 % ~2 週	

\*150Gy を越すような高線量被ばくの場合は、血球減少の前に死亡する。 \*2 治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。

平成31年度

原子力規制庁 放射線対策委託費

(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)

短寿命アルファ線放出核種等の合理的安全  
規制のためのガイドライン等の作成

成果報告書

令和2年3月

国立大学法人 大阪大学





## 目 次

1. 目的及び平成 31 年度の事業計画	
1. 1. 背景と目的	1
1. 2. 平成 31 年度の事業計画	4
1. 3. 平成 31 年度の事業メンバー	4
2. 平成 31 年度の事業実施内容及び成果	
2. 1. ガイドライン等作成会議での検討内容	8
2. 2. ガイドラインの内容の主たる点	22
2. 3. 実測データの取得実験	27
2. 4. 短寿命放射性核種の安全取扱いに関する教育資料の作成のための内容検討	41
3. 平成 31 年度事業成果のまとめ	
3. 1. ガイドライン等作成会議によるガイドライン内容検討	51
3. 2. 短寿命アルファ線等の安全取扱いに関する教育資料の作成のための内容検討	51
3. 3. ガイドライン等内容に関する各関連学協会及び原子力規制庁との協議	51
3. 4. 事業進捗の PDCA	52
3. 5. 本年度の成果発表	52
4. 資料	53



## 1. 目的及び平成 31 年度の事業計画

### 1. 1. 背景と目的

#### 1. 1. 1. 背景

近年、短寿命の  $\alpha$  線放出核種を利用した放射性治療薬の研究が注目されている。日本国内では平成 28 年から  $^{223}\text{Ra}$  による骨転移のある去勢抵抗性前立腺がんに対する  $\alpha$  線核医学治療が実施されている。<sup>1)</sup> 日本国内でも放射線発生装置で製造した半減期 7.2 時間の  $\alpha$  線放出核種である  $^{211}\text{At}$  を用いた核医学治療薬の開発が行われている。海外では、 $^{225}\text{Ac}$  を用いた核医学治療薬開発と臨床導入が盛んに行われている。今後、 $^{225}\text{Ac}$  の利用は日本国内でも増々高まることが予想される。

#### 1. 1. 1. 1. 原子力規制委員会による短寿命核種の安全規制に関する事業

短寿命核種は、短時間で大きく減衰するため、長寿命の  $\alpha$  線放出核種等に対する規制運用とは異なる新しい合理的な安全管理の方法を提案する必要がある。実際に原子力規制委員会は、平成 29 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）において短寿命  $\alpha$  核種等の RI 利用における放射線管理のあり方に関する研究を重点研究テーマとしている。この公募要項に記載されている重点テーマの背景には、「国内の  $\alpha$  核種の管理体系は長寿命  $\alpha$  核種を想定したものであり、短寿命  $\alpha$  核種に適用すると過剰な管理となるとともに、使用及び管理に伴う作業の非効率化につながるということが指摘されている」との記述がある。<sup>2)</sup> 従って、短寿命  $\alpha$  核種の使用に対しては、新しい安全管理・規制が必要との認識で安全管理に関する研究が進められてきた。原子力規制委員会が実施した短寿命放射性核種の利用における安全規制に関する委託事業は、平成 29 年度から令和 2 年度の間で 3 つの事業が実施されている。

平成 29 年度及び平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）により「短寿命  $\alpha$  線核種の合理的規制ためのデータ取得による安全性検証と安全管理・教育方法の開発」（代表：篠原厚（大阪大学））（以下、安全規制研究篠原班）<sup>3)</sup> 及び「短寿命  $\alpha$  線核種等の RI 利用における合理的な放射線安全管理のあり方に関する研究」（代表：細野眞（近畿大学））（以下、安全規制研究細野班）<sup>4)</sup> の 2 事業が実施された。大阪大学が実施した事業では、主に  $^{211}\text{At}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、及び  $^{225}\text{Ac}$  を含む溶液からの短寿命核種の飛散率等の実験データ取得、 $^{223}\text{Ra}$  を使用する医療施設での患者の呼気からの RI の飛散データ取得について報告されている。また、この事業では、短寿命  $\alpha$  線放出核種のガイドラインの作成に向けた論点が整理されている。近畿大学の事業では、短寿命  $\alpha$  線放出核種を使用している海外及び国内施設への実態調査が報告されている。近畿大学の事業及び文献で報告されている海

外施設のうちスウェーデンの放射線施設の特徴的な点として、以下が挙げられている。<sup>4)-6)</sup>

- 1) 非密封 RI の許可量の取得においては、実測値を用いている。
- 2) 線量評価の上で実質的に安全かつ免除されるレベル ( $^{211}\text{At}$  の場合、10 MBq) が導入されている。
- 3) グローブボックスの排気配管が施設の排気ダクトに連結されていない。これは、フィルターを透過した量を実測し、被ばくのリスクが極めて少ないことが確認されているためである。
- 4)  $\alpha$  線源の廃棄物は一時的に保管された後、他の放射性廃棄物と同様に専門業者によって回収・処分されている。

平成 29 年度原子力規制委員会の放射線対策委託費にて、日本アイソトープ協会が「短半減期核種の合理的な規制に向けた調査」(以下、RI 協会委託事業)として、調査研究を実施している。<sup>7)</sup> 今後、医療機関での利用が見込まれる RI について、過大な評価により空气中濃度限度や排気、排水中濃度限度が設定されている核種を洗い出すために、国内外の文献を調査したところ、放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成 12 年科学技術庁告示第 5 号)で定められている数量告示別表の数値は特に保守的に設定されているものではない旨、報告されている。また、この委託事業では、今後の RI の利用ニーズ調査が実施され、以下の点が挙げられている。

- 1) 核医学分野に関する利用ニーズとしては、陽電子放出断層撮影法(PET)に用いられるポジトロン核種や $\alpha$ 線放出核種がますます増加していく傾向がある。
- 2) 利用核種に $\alpha$ 線放出核種が導入されてきていることから、従来の安全管理手法では対応出来ないケースも想定すべきである。
- 3) 医薬品開発における毒性試験等の合理的な実施のために、生物等に RI を投与した後、放射線事業所外での評価を実施する必要性が求められている。

前述のとおり、原子力規制委員会が実施した先行の委託事業により、短寿命放射性核種(特に $\alpha$ 線核種)については、国内及び海外の放射線施設の実態調査、飛散率等の基礎的データの取得、ニーズ等の情報が揃ってきたところである。

### 1.1.2. 目的

短寿命の放射性核種を使用した医学関連研究が盛んに実施されており、近い将来、放射線施設でこれらの核種の大量利用が期待される。用いられる $\alpha$ 線放出核種は、短時間で大きく減衰するため、長寿命の $\alpha$ 線放出核種等に対する規制運用とは異なる新しい方法を提案する必要がある。そこで、各施設での短寿命放射性核種の許可使用数量を算定する際の新しい

評価方法とその評価方法の担保の方法をまとめたガイドライン等を作成する。この評価手法に関しては $\alpha$ 線放出核種以外にも適用できるものとする。これらに加えて、医薬品開発における毒性試験等の実施のために、生物等に RI を投与した後、放射線事業所外での評価を実施する場合の安全管理に関する方法についてもまとめる。作成したガイドライン等の案については、原子力規制庁及び放射線安全管理に関係する学協会と協議し、意見、要望も盛り込めるよう検討する。作成したガイドライン等については、関連する学協会等にオーサライズしていただくことを目標にしている。

各施設が定める行為等を業務従事者に遵守させるためには教育の実施が必須である。そこで、この事業では、短寿命放射性核種の安全取扱を教えるために、日本放射線安全管理学会に必要な教育内容を検討と、教育資料の作成を担当いただいている。この資料は、令和 2 年度に日本放射線安全管理学会を通じて公開される予定である。

### 1.1.3. 本事業の特色・独創的な点

本グループのほとんどの者は、平成 29 年度より安全規制研究篠原班にて、 $^{211}\text{At}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$  の合理的規制のための実験データ取得研究を実施してきた。RI 協会委託事業では、短半減期核種の合理的規制に向けた調査を実施している(委員長：畑澤順、WG 主査：久下裕司、渡部浩司は本研究メンバー)。また、同じく安全規制研究細野班の一部のメンバーにも参加いただいている。本研究メンバーは、様々な学協会の中核の役職に就いている。従って、研究途中で学協会等の有識者からの要望、意見の取り入れを円滑に行うことが可能である。

### 1.1.4. 期待される成果

本ガイドラインの各放射線事業所内外への効果を以下にまとめる。

- 1) 各許可事業所は、ガイドラインに基づく評価の方法、評価に対する信頼性を担保する方法及び短寿命核種取扱に関する教育及び訓練を実施することによって従来の評価の方法と同等の被ばくのリスクで短寿命核種を取り扱うことができる。
- 2) ガイドラインに記載した活動により、許可事業所は合理的に安全性が担保され、各許可事業所の実態に即した規制となる。本ガイドラインはその根拠となるものである。合理的に安全性が担保される場合とは、例えば十分な教育体制が整っており、使用手順等を遵守できる場合を言う。
- 3) ガイドラインは関連学協会にてオーサライズされると共に、各許可事業所の許可申請における使用数量設定の根拠となり、かつ原子力規制委員会が使用数量の許可を判断する上でも、科学的に検証された合理的な判断基準として取り扱われる存在となる。
- 4) 国内での短寿命核種を利用した研究・医療の発展を放射線管理の点から後押しすること

に繋がる。

## 1.2. 平成 31 年度の事業計画

### 1) ガイドライン等作成会議によるガイドラインの内容検討

本事業の研究協力者及び研究参加者の専門分野ごとにガイドライン等作成の際に盛り込むべき内容、必要な事項を洗い出した上で、ガイドライン等作成会議にて検討する。第 1 回目はキックオフ全体会議とし、今年度の事業の計画を共有するとともに、今後の方針を議論する。第 2 回目以降は、洗い出された検討事項の議論及び安全規制研究篠原班が提示したガイドライン等の論点として議論すべき内容、安全規制研究細野班の成果及び RI 協会委託事業の成果からガイドラインに盛り込むべき内容も加味し、議論する。ガイドライン等作成の検討材料とするために、 $^{211}\text{At}$  のフィルター捕集に関する実験と実験動物の管理区域からの退出に関する要件に関する実験を実施する。

### 2) 短寿命アルファ線等の安全取扱に関する教育資料の作成のための内容検討

次年度に作成する短寿命アルファ線等の安全取扱に関する教育資料作成のための準備段階として、本年度は、教育資料作成に必要な情報を収集し、その内容を検討する。ただし、日本放射線安全管理学会に外注して実施すること。日本放射線安全管理学会はアドホック委員会を設置し、事業を実施する。

### 3) ガイドライン等内容に関する各関連学協会及び原子力規制庁との協議

ガイドライン等作成の検討材料とするために、放射線安全に係る関連学協会等及び原子力規制庁が任命するプログラムオフィサー及び PO 補佐等と協議を実施する。

### 4) 事業進捗の PDCA

PO 及び PO 補佐に対し、ガイドライン等作成会議の進捗状況等を隔月程度の頻度で報告する他、事業実施内容について疑問が生じた場合、その都度助言を仰ぐ。本事業における会合の委員を選定するときは、あらかじめ原子力規制庁担当官の確認を受けるほか、会合を開催する際には原子力規制庁に通知し、その職員の出席を認めることとする。

## 1.3. 平成 31 年度の事業メンバー

本年度の事業は、以下のメンバーで事業を実施した。なお、ガイドライン等作成会議メンバーのうち、大江及び永田は、若手研究者である。両名が、文献検索及び  $^{211}\text{At}$  の飛散率測定実験を実施した。

1) ガイドライン等作成会議メンバー

委員長:

吉村崇 (大阪大学)

委員:

久下裕司 (北海道大学)

巽光朗 (大阪大学)

渡部浩司 (東北大学)

兼田加珠子 (大阪大学)

白崎謙次 (東北大学)

渡部直史 (大阪大学)

永津弘太郎 (量子科学技術研究開発機構)

大江一弘 (大阪大学)

羽場宏光 (理化学研究所)

永田光知郎 (大阪大学)

山村朝雄 (京都大学)

山口和也 (大阪大学)

藤堂剛 (大阪大学)

神谷貴史 (大阪大学)

畑澤順 (大阪大学)

川口修平 (大阪大学)

篠原厚 (大阪大学)

中島覚 (広島大学)

豊嶋厚史 (大阪大学)

オブザーバー:

伊藤拓 (日本メジフィジックス)

白神宣史 (大阪大学)

アドバイザー:

米倉義晴 (日本アイソトープ協会)

原子力規制委員会放射線安全規制研究戦略的推進事業

プログラムオフィサー:

中村吉秀 (日本アイソトープ協会)

プログラムオフィサー補佐:

原子力規制庁 長官官房 放射線防護グループ 放射線規制部門職員



2) 日本放射線安全管理学会短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料作成アドホック委員会メンバー

委員長：

久下裕司（北海道大学）

委員：

右近直之（福島県立医科大学）

大江一弘（大阪大学）

柴 和弘（金沢大学）

西 弘大（長崎大学）

桧垣正吾（東京大学）

古澤 哲（東京ニュークリア・サービス株式会社）

渡辺茂樹（量子科学技術研究開発機構） 渡部浩司（東北大学）

## 文献

- 1) 日本アイソトープ協会医学・薬学部会 全国核医学診療実態調査専門部会, 第8回全国核医学診療実態調査報告書, *RADIOISOTOPES*, **67**, 338-387 (2018).
- 2) 「平成29年度放射線対策委託費(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)」に係る新規研究課題及びネットワーク事業の公募要項,  
<https://www.nsr.go.jp/data/000186956.pdf>.
- 3) 篠原厚ら, 平成30年度放射線安全規制研11究戦略的推進事業費「短寿命 $\alpha$ 線核種の合理的規制のためのデータ取得による安全性検証と安全管理・教育方法の開発」成果報告書, <https://www.nsr.go.jp/data/000274474.pdf>.
- 4) 細野真ら, 平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費「短寿命 $\alpha$ 核種等のRI利用における合理的な放射線安全管理のあり方に関する研究」成果報告書,  
<https://www.nsr.go.jp/data/000274474.pdf>.
- 5) 桧垣正吾, スウェーデンにおける短寿命 $\alpha$ 線放出核種の放射線安全管理の実例, 日本放射線安全管理学会誌, **17**, 29-33 (2018).
- 6) 永津弘太郎, 右近直之, 山田崇裕, 細野真, 外国における放射線安全管理の事例について-スウェーデン・ヨーテボリ大学の例, 日本放射線安全管理学会誌, **18**, 36-40 (2019).
- 7) 公益社団法人日本アイソトープ協会, 平成29年度放射線対策委託費「短半減期核種の合理的な規制に向けた調査」事業調査報告書,  
<http://www.nsr.go.jp/data/000256459.pdf>.

## 2. 平成 31 年度の事業実施内容及び成果

この章では、ガイドライン等作成会議で議論された内容に基づいて決められた事項とガイドラインに内容についてまとめる。内容決定までの手順としては、ガイドライン等作成会議の開催の前に幾つかのワーキンググループで内容検討いただいた。その結果を元に、ガイドライン等作成会議の委員の中から一部の委員が素案を作成した上で、ガイドライン等作成会議で議論する形で進めた。

### 2.1. ガイドライン等作成会議での検討内容

#### 2.1.1. ガイドラインの適用範囲

ガイドラインは、RI 等規制法内での規制に関するものである。医療機関におけるガイドラインの適用範囲については、RI 等規制法に基づいて規制を受ける範囲になる。そこで、「RI 等規制法に基づき、非密封 RI の使用の許可を受けた放射線事業所が対象である。ガイドラインは、RI 等規制法に基づく規制を受ける範囲内に適用される」とした。

#### 2.1.2. ガイドラインの対象核種の検討

表 2.1-1 に医療使用されている非密封の核種又は利用が期待されている核種の例を示す。各核種については、文献から抽出した。<sup>1)-9)</sup>  $\alpha$ 線放出核種では、 $^{227}\text{Th}$  の半減期が一番長く、18.72 日である。ただし、 $^{227}\text{Th}$  は核燃料であるため、2.1.1 で示したガイドラインの適用範囲には入らないので除外した。したがって、 $^{225}\text{Ac}$  の親核種で  $^{225}\text{Ac}$  のジェネレータとしての利用が期待される  $^{225}\text{Ra}$  の半減期が 14.9 日で一番長い。SPECT 核種および PET 核種は診断用の核種であるため、半減期が短いものが用いられる傾向にある。そのため、最長のものでも  $^{133}\text{Xe}$  の 5.243 日になる。 $\beta$ 核種は治療を目的として使用されている又は利用が期待されている核種である。これらの核種は主に日オーダーの半減期の核種が用いられているが、50.53 日の  $^{89}\text{Sr}$  を除くと半減期は 15 日未満のものが使用されている。 $^{89}\text{Sr}$  の半減期は、1 ヶ月を超え、短寿命核種とは言い難いため、ガイドラインの対象核種となる短寿命核種は、 $^{225}\text{Ra}$  の半減期に合わせて 15 日以内を目安とすると設定した。

現状、短寿命核種に関する飛散率等のデータは一部の核種に限られているが、ガイドラインに記した活動を実施することによってデータを取得していない核種についても従来の評価の方法と同等の安全性を担保した上で短寿命核種を取り扱うことができると判断できるため、ガイドラインでは、ここでの短寿命核種の定義にある「半減期 15 日以内を目安とする」を適用できる全ての核種に使用できるものとした。ただし、この定義、特に「目安とする」という文言については、今後の議論によって、変更の可能性がある。

表 2.1-1. 医療で使用されている非密封の核種又は利用が期待されている核種の例

α 核種		β 核種		SPECT 核種		PET 核種	
核種	半減期	核種	半減期	核種	半減期	核種	半減期
<sup>149</sup> Tb	4.118 h	<sup>32</sup> P	14.26 d	<sup>67</sup> Ga	3.261 d	<sup>11</sup> C	20.39 m
<sup>211</sup> At	7.214 h	<sup>47</sup> Sc	3.349 d	<sup>81m</sup> Kr	13.10 s	<sup>13</sup> N	9.965 m
<sup>212</sup> Pb	10.64 h	<sup>67</sup> Cu	2.576 d	<sup>99m</sup> Tc	6.01 h	<sup>15</sup> O	2.037 m
<sup>212</sup> Bi	60.55 m	<sup>89</sup> Sr	50.53 d	<sup>111</sup> In	2.805 d	<sup>18</sup> F	109.8 m
<sup>213</sup> Bi	45.59 m	<sup>90</sup> Y	2.667 d	<sup>123</sup> I	13.27 h	<sup>44</sup> Sc	3.927 h
<sup>223</sup> Ra	11.44 d	<sup>131</sup> I	8.021 d	<sup>133</sup> Xe	5.243 d	<sup>62</sup> Cu	9.74 m
<sup>225</sup> Ra	14.9 d	<sup>153</sup> Sm	1.929 d	<sup>155</sup> Tb	5.32 d	<sup>64</sup> Cu	12.70 h
<sup>225</sup> Ac	10.0 d	<sup>166</sup> Ho	1.118 d	<sup>161</sup> Tb	6.88 d	<sup>66</sup> Ga	9.49 h
<sup>227</sup> Th	18.72 d	<sup>177</sup> Lu	6.734 d	<sup>201</sup> Tl	3.038 d	<sup>68</sup> Ga	67.63 m
		<sup>186</sup> Re	3.718 d			<sup>76</sup> Br	16.2 h
		<sup>188</sup> Re	17.01 h			<sup>82</sup> Rb	1.273 m
		<sup>198</sup> Au	2.695 d			<sup>86</sup> Y	14.74 h
						<sup>89</sup> Zr	3.267 d
						<sup>110m</sup> In	1.152 h
						<sup>124</sup> I	4.176 d
						<sup>152</sup> Tb	17.5 h

d: 日、h: 時間、m: 分、s: 秒を示す。

### 2.1.3. 空气中 RI 濃度、排気口中の空气中 RI 濃度、排水中の RI 濃度に対する実測に基づいた数値の適用

実測に基づいた数値を導入することに対する説明が分かりやすくなるよう、この項ではまず、従来の評価方法を述べた後、ガイドライン等作成会議の検討を述べる。

#### 2.1.3.1. 従来の非密封 RI の使用の許可申請のための評価方法

従来、国内での非密封 RI の使用の許可申請は、モデル計算を元に放射線の量、RI の空气中濃度、排気口における空气中濃度、排水中の濃度が評価されている。基本的にほとんどの許可事業所は、平成 12 年 10 月の国際放射線防護委員会の勧告 (ICRP Pub.60) の取り入れ

等による放射線障害防止法関係法令の改正について（通知）<sup>10)</sup>で示されている飛散率等の数値を用いて評価をしている。これらの飛散率等の数値は、固体や気体、通常使用と動物実験といった、性状や使用方法に応じて、大まかな形で分けられている。この従来から行われているモデル計算に基づく評価の方法は、施設・設備の能力についてのデータがあれば許可使用量を算定することが出来るため便利な方法である。また、現状では、飛散率、透過率等のデータは報告例が少ないので、一律に決められている数値を使わざるを得ない場合が多い。実際のところ、飛散率等の数値は、核種の種類、その性状、及び使用方法に応じて大きく異なることは、安全規制研究篠原班での飛散率データで示されており、過去の $\beta$ 、 $\gamma$ 線放出核種等に関する飛散率導出実験の結果でも報告されている。<sup>11)–18)</sup> 一律に決まっている飛散率の数値は、文献で報告されている飛散率の実測の数値と比較すると多くの核種にとっては、かなり安全側に立った形に設定されている。例えば、動物実験において生存している動物に RI を投与した場合は、モデル計算で使用される飛散率が 1（糞尿を処理した場合は 0.1）に設定されている。ここで、短寿命の放射性核種を用いた場合、使用中に減衰していくため、動物実験で設定されている飛散率 1 という数値はかなり安全側に立った設定と言える。

### 2. 1. 3. 2. 許可申請のための評価方法への実測を基づいた値の導入に関する検討

$\alpha$ 線放出核種の場合、数量告示別表で定められている空气中濃度限度、排気中又は空气中濃度限度、排液又は排水中濃度限度の数値は $\beta$ 線放出核種等に比べてかなり小さい。例えば、 $^{225}\text{Ac}$ のハロゲン化物、硝酸塩、酸化物及び水酸化物以外の化合物での空气中濃度限度は $2 \times 10^{-5} \text{ Bq/cm}^3$ である。 $^{225}\text{Ac}$ と同じく核医学治療研究で用いられている $^{177}\text{Lu}$ の空气中濃度限度は $2 \times 10^{-2} \text{ Bq/cm}^3$ であるため、 $^{225}\text{Ac}$ を現状どおりの評価方法で評価すると、使用量をかなり少なく設定せざるを得ない。平成 29 年にアイソトープ協会で実施された短寿命核種の事業報告にあるように、数量告示別表で定められている数値は、諸外国に比べて保守的に設定されている訳ではないことが分かっている。<sup>19)</sup>したがって、安全側に設定されている一律の飛散率の値を使用することと、各放射線事業所がそれぞれの使用の条件に基づいて実測し、その値を適用することを各事業所が選択できるのが適当と結論づけた。実際、 $^{225}\text{Ac}$ の飛散率は、文献では $10^{-5}$ のオーダーであり、通知で示されている飛散率の値である $10^{-2}$ に比べて極めて小さい。したがって、RI の使用にあたっては、適正な飛散率を使用して空气中 RI 濃度等を評価する方法を用いることは合理的と言える。

IAEA 基本安全原則では、「安全のための一義的な責任は放射線リスクを生じる施設と活動に責任を負う個人または組織が負わなければならない」とされており、令和元年 9 月 1 日

施行の RI 等規制法の改正にあたっては、事業者責務の取り入れが行われている。ガイドラインで記載されている評価方法とその評価に対する信頼性を担保する方法は、各許可事業所が安全のための一義的な責任をもって活動することを念頭に定められている。

現在、各核種の許可使用数量を算出する際に対象となる遮へい能力、空气中 RI 濃度、排気口の空气中 RI 濃度、排水中の RI 濃度の評価方法としては、通知で示されたモデル計算による評価法が使用されている。このため、短寿命  $\alpha$  線放出核種の許可使用数量を決める空气中濃度等をより精確に評価するためには、現在、一律で使用している飛散率等の数値を使用するのではなく、海外施設のように、そのデータを実験的に導出した上で、その値を用いて評価することが必要である。一方で、国内で従来から行われているモデル計算に基づく評価も便利な方法である。したがって、従来の方法とは大きくかけ離れた評価方法を採用するよりも既存のモデル計算に実測の数値を採用する方が適切とガイドライン等作成会議では判断した。そこで、ガイドラインでは、通知に基づいたモデル計算の方法を使用するが、飛散率等については、実測に基づいた数値を適用できるようにすることとした。

使用する全ての核種について、各事業所が飛散率等のデータを実験的に求めることは実用的ではない。実測に基づいた数値を適用するのは、目的とした放射線作業を行うにあたって、通常の評価方法では取り扱うことができない数量を使用したい場合に限られると思われる。そこで、複数の核種の使用許可を有している施設においては、現行の評価方法と新しい実測に基づいたデータを取り入れた評価方法が混在した形で空气中濃度等を評価することは、当然のことながら可能とガイドライン等作成会議は判断した。

実測の数値には、不確かさがある。したがって、実測の数値に基づいた数値の設定とは、不確かさを考慮して安全側に立った数値を用いることを意味している。現段階では、その数値の決定方法は、IAEA 基本安全原則に則り、各放射線事業所が責任をもって判断をすればよいと考えているが、次年度に改めてガイドライン等作成会議内で議論する。

### 2.1.3.3. 飛散防止装置の導入

安全規制研究細野班の研究では、海外施設においては、グローブボックスの排気配管が施設の排気ダクトに連結されておらず、グローブボックスの排気は活性炭を通過したものが解放される形で運用されていること、また、実測によって解放されている  $^{211}\text{At}$  に含まれるリスクが極めて少ないことが確認されていることが報告されている。<sup>20)</sup> RI を隔離するフィルター付きボックス（飛散防止装置）の使用は、ボックス内の圧力調整が容易にできるメリットをもつ。実際に排気ダクトと連結してなくても、フィルターから透過してくる RI の量を実測することにより、飛散防止装置から排出される RI が作業室に飛散する量とできる。

したがって、安全規制研究細野班の報告に基づいて、設備に関しては、飛散防止装置内で RI を取り扱い、装置に適正な RI フィルターを設置した場合は、装置の排気口から放出される RI の排出率を考慮して、作業室内の空気中濃度や排気中濃度を評価できることにした。また、安全規制研究篠原班が実施した実験及び 2.3.1 に示す今年度実施した実験により短寿命核種はそれぞれの物理的・化学的性状に応じて適切なフィルターがあるため、「飛散防止装置に設置する RI フィルターに関しては、適切なフィルターを使用すること」とガイドライン作成会議で決定した。ただし、上記の飛散防止装置という名称については、次年度改めてガイドライン等作成会議で議論する。

#### 2.1.4. 評価のためのモデル計算への減衰の全面的な導入

短寿命核種の最大の特徴は短期間で大きく減衰することである。従って、使用数量等の許可を得るための評価を行う上で減衰を考慮することこそ、科学的に合理的である。そこで、本ガイドライン等作成会議は、核種の許可申請のための評価に対して、短寿命核種の減衰を導入すると判断した。現段階では、1 回あたりの使用時間や使用回数等を設定することでモデル計算をすることをガイドライン案に盛り込んでいるが、減衰のモデル計算の方法は、ガイドライン等作成会議内で次年度に詳しく議論する。

#### 2.1.5. 実測の数値の信頼性担保の方法

現在でも飛散率等について実測の数値を使用することは認められているが、その数値が論文発表されていることが求められており、現実的にはハードルが非常に高く、実行性が乏しいことが懸念される。繰り返しになるが、IAEA 基本安全原則では、「安全のための一義的な責任は放射線リスクを生じる施設と活動に責任を負う個人または組織が負わなければならない」とされており、令和元年 9 月 1 日施行の法改正では事業者責務の取り入れが行われている。そのため、許可使用数量算定のための評価に飛散率等の実測に基づいた数値を取り入れることに関しても、各事業所が責任をもって行うことが重要である。そこで、ガイドライン等作成会議では、実測データの信頼性を担保する方法について検討し、以下の方針とした。

「実験等に関係する事項を承認する委員会等の組織体制を構築する。」

「実測のデータの取得に際しては、各事業所がピアレビューする体制を構築して実験方法やその結果についてレビューする。レビューアーの任命は、その実験に関する事項等を承認する委員会等の組織の長が行う。」

「実測データ取得実験に関係した記録及びデータや、レビューの過程は、記録に残す。」

上記の方針は、放射線リスクを生じる事業所を使用する個人及び組織が、その活動において安全のための一義的な責任を負う形に合致している。また、論文の投稿にあたってピアレビューを受けることは、研究者にとっては極めて普通のことであるため、上記の方針は各施設にとっても受け入れ易い形になっていると考えている。なお、上記の一連の手続きは、放射線障害予防規程又はその細則内に記載する必要があると判断している。

#### 2.1.6. 教育及び訓練

実測データに基づいた評価をした核種については、特定の実験手順での飛散率等のデータを評価に使用している。従って、対象核種を使用するための実験手順を定め、使用者には、その手順を遵守させる必要がある。そのため、実験手順を訓練として教える必要がある。RI センターのような各放射線業務従事者が様々な研究を行っている事業所では、通常の教育訓練とは別に教育訓練を実施するのが現実的と思われるが、施設の事情等により全ての業務従事者を対象にして教育訓練を実施しても問題はない。ガイドラインでの教育項目の例としては、対象核種の許可使用数量等、使用場所を定めている場合はその場所、使用する測定機器の取扱方法、対象核種の使用方法と使用上の注意、保管方法、廃棄方法、定められた手順通りに実験を実施出来ない場合の対処方法、緊急時の対応等が挙げられる。また、上記の教育及び訓練の手順については、放射線障害予防規程又はその細則内への記載が必要と判断している。

#### 2.1.7. 下限数量以下の RI の使用

動物等に対する放射性薬剤の毒性試験等は薬剤開発のために重要であり、先行事業でもそのニーズがあることが述べられている。<sup>19)</sup> 短寿命核種は短時間で規制の対象外と考えるより下限数量以下にまで減衰するため、RI の投与後、下限数量以下にまで減衰した動物や試料について、非密封線源の許可使用者ではない事業所にて様々な試験が可能にすることが合理的かつ経済的である。そのため、ガイドラインには、非密封線源の許可使用者以外の者による下限数量以下の非密封短寿命放射性核種の使用のガイドラインをまとめた。この項では、従来の方法について述べ、続いて下限数量以下の線源の使用におけるガイドライン検討内容について説明する。

##### 2.1.7.1. 非密封線源の許可使用者以外の者による下限数量以下の非密封線源の使用の事務連絡内容

非密封線源の許可使用者以外の者による下限数量以下の非密封線源の使用については、



法令の規定は無いが、その方法が平成 17 年 6 月の事務連絡で示されている。<sup>21)</sup> その内容を以下に記す。

下限数量以下の非密封線源の使用は、その使用・保管・運搬・廃棄について規制を要しないレベルである。一方で、放射性同位元素等の規制に関する法律（以降「RI 等規制法」）では、所持の制限があるため、事業所に所持する非密封線源の数量の和が下限数量を超えるときは、あらかじめ使用の許可を受けることが必要になる。許可使用者以外の者による下限数量以下の非密封線源の使用については上記を踏まえた運用を図る。

事業所内における非密封線源の数量は、使用する数量のみならず、保管している非密封線源等、事業所内にある非密封線源の数量の全てを加えて計算し、総数量が下限数量以下であれば、許可は要しない。総数量が下限数量を超えれば、使用の許可を受けることが必要である。

RI 等規制法の許可事業者が、許可事業所に有している非密封線源を下限数量以下に小分けして、RI 等規制法の許可・届出事業所ではない事業所に引き渡すには、使用の目的、使用の方法にそのことを追加するほか、RI の流通の経路把握のために、RI 等規制法の販売業の届出をすることが示されている。事務連絡では Q&A が示されているが、そのうち、ガイドラインに関係するものについて、ここで記す。

- 1) 事業者が下限数量を超えるものを廃棄したのではないかという懸念が生じたとき、事業者自身が下限数量以下であることを証明することが求められると考えられる。
- 2) 許可使用者以外の者の「汚染された物」の取扱いは、法令の廃棄の基準ではないため、事業所内の「汚染された物」に付着している数量を事業所内における数量に含めて計算する必要がある。
- 3) 譲渡を継続して行う場合、無償譲渡であっても販売業の届出が必要である。譲渡を継続して行う行為は、通常、使用の目的の範囲外であり、「使用」としては馴染みにくい。このような行為は、販売業の届出の上、行うことが適切と考える。

#### 2.1.7.2. 非密封線源の許可使用者以外の者による下限数量以下の非密封線源の使用

短寿命放射性核種を払い出す事業所（非密封 RI の許可事業所）を甲とし、受け入れる事業所（非密封線源の許可使用者ではない事業所）を乙とする。平成 17 年の事務連絡<sup>21)</sup>により、RI の流通の把握のために下限数量以下の非密封線源を RI 等規制法の許可・届出事業所ではない事業所に引き渡すには、使用の目的、使用の方法にそのことを追加するほか、RI 等規制法の販売業の届出をすることが示されている。したがって、甲は許可申請の際に使用の目的、使用の方法にそのことを追加するほか、RI 等規制法の販売業の届出をする必要が

ある。これらに加えて、非密封線源の許可使用者以外の者による下限数量以下の非密封短寿命放射性核種の使用を安全に行うために、ガイドラインでは非密封線源の許可使用者でない事業所の範囲、非密封線源の許可使用者ではない事業所の責任、受入れ・運搬・使用、払出し・廃棄、記帳、教育を求めることとした。

#### 2.1.8. 安全規制研究篠原班でまとめられたガイドライン策定に向けた論点の整理に対するコメント

安全規制研究篠原班で述べられた論点の整理<sup>18)</sup> に対してコメントを記す。

##### (1) ガイドライン策定の目的

各放射線事業所での短寿命アルファ線放出核種の許可使用数量を決める新しい施設設備基準及び行為基準をまとめるために、ガイドライン等を作成する。

- 1) 本ガイドライン等はこれまでの安全規制研究のデータを元に作成され、合理的に安全性が担保される場合には一律の規制でなく、施設の状態に応じて、規制を緩和する根拠となるものである。(十分な教育体制が整っており、必要な基準を遵守できる場合に限る。)
- 2) 本ガイドライン等は関連学協会にてオーサライズされると共に、各事業所の許可申請における使用数量設定の根拠となり、かつ原子力規制委員会が使用数量の許可を判断する上でも、科学的に検証された合理的な判断基準として取り扱われる存在となる。

コメント：短寿命アルファ線放出核種の許可使用数量を決める施設設備基準及び行為基準は、法律に基づく基準になるため、この文言は法令改正を意識しているようにみえるとの原子力規制庁放射線規制部門から助言があった。本研究では、当初より法令改正の必要はなく、法令のもつ許容性の範囲内での運用に対するガイドラインを作成しているため、各施設での短寿命放射性核種の許可使用数量を算定する際の新しい評価方法とその評価方法の担保の方法をまとめたガイドライン等を作成する形としている。

##### (2) ガイドラインの対象となる研究目的と用途

ガイドラインで対象とするのは、短寿命アルファ線放出核種を使用する施設を対象とするのではなく、その研究目的と用途を限定して適応すべきと考える。

- ◆ 医学での利用及び医学利用を目的とした研究に特化するのが適当と考える。

コメント：ガイドラインの研究提案時には、アルファ核種についてのガイドラインを作成することにしていたが、研究提案のヒアリングを通して、原子力規制委員会より「ガイドラインの検討にあたり、短寿命アルファ核種に限定せずに、ベータ核種等も含め短半減期核種について包括的に検討すること」との留意事項が示されたため、ガイドラインの対象核種の定義はアルファ核種をベースとして考えるが、検討するガイドラインの内容について、ベータ線放出核種やPET核種等も含めることができる場合は、それらの核種も含めることとした。原子力規制委員会の留意事項は、ガイドラインを広く利用してもらうことを念頭において事業を進めるべきとの判断があったと考えられるので、次の(3)でのガイドラインの対象となる施設を全ての許可事業所に適用可能とするとの判断とも整合している。

### (3) ガイドラインの対象となる施設

前項で示すとおり、特定の目的（例えば、医学利用を目的とした研究等）で使用する施設が対象と考えられるが、平成12年10月23日付け科学技術庁「国際放射線防護委員会の勧告(ICRP Pub.60)の取り入れ等による放射線障害防止法関係法令の改正について(通知)」で通知された飛散率等の数字を利用する形で、原子力規制委員会より各核種の使用許可（承認）を得る従来から一般的に行われている方法も便利な方法である。従って、従来からの方法を使用しつつ、ガイドラインで設定された施設、設備基準及び行為基準を満たした時に、原子力規制委員会はアルファ核種に特化して使用数量の増加を許可（承認）すべきである。

- ◆ 医学での利用及び医学利用を目的とした研究に特化するのが適当と考える。

コメント：元々、安全規制研究篠原班は、短寿命アルファ線放出核種に限定して研究が実施されており、近年、盛んになっているアルファ核種の医療への利用を念頭においていた。そのため、ガイドラインの策定に向けた論点として、医学利用及び医学利用を目的とした研究に特化すべきとの意見であった。しかしながら、今年度の事業において、ガイドライン等作成会議での議論の中で、このガイドラインの主たる対象は、医療及びそれに関連した研究を実施する許可事業所であるが、特定の目的だけに適用することは公平性に欠けるとの結論になったため、「ガイドラインについては、全ての許可事業所に適用可能とする」とした。なお、ガイドラインは医療を目的とした場合に限らず、適用できるように配慮して作成している。また、評価の方法には、従来からの方法を使用している。

### (4) 短寿命アルファ線放出核種の定義

ガイドラインで対象とする短寿命のアルファ線放出核種は、上記（２）で規定される目的や用途を考慮した上で、定義しておく方がよいと考える。

- ◆ 現時点では、本研究で対象とした  $^{221}\text{At}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、および  $^{225}\text{Ac}$  が挙げられる。

コメント：(2)で述べたとおり、原子力規制委員会より「ガイドラインの検討にあたり、短寿命アルファ核種に限定せずに、ベータ核種等も含め短半減期核種について包括的に検討すること」との留意事項が示されたため、短寿命核種の定義内の核種は全てガイドライン適用可能とした。

#### (5) 使用方法

短寿命アルファ線放出核種の使用方法は、例えば、医学系での研究としても多様であり、以下の４つの利用方法が挙げられる。

- ① 病院等での使用
- ② 研究施設における動物への投与
- ③ 研究施設における非密封 RI 実験（動物実験を除く）
- ④ 放射線発生装置を使用した RI 製造

それぞれ、使用方法はかなり異なる。そのため、上記各項目における使用方法を精査した上で、利用方法に関してガイドラインに盛り込む内容があるかを検討する必要があると考える。

コメント：上記の４つのカテゴリーに合わせて委員より意見をいただいた上で、ガイドラインの素案を作成している。

#### (6) 設備要件

前項の使用方法とも密接に関連するが、核種と使用方法に基づいて合理的安全規制を実施する際に必要な設備要件を検討する必要がある。

- ◆  $^{223}\text{Ra}$  や  $^{225}\text{Ac}$  の通常使用では、本研究の結果、飛散率は十分に小さく、娘核種の飛散も十分に小さいことが分かったため、特別な設備要件は必要ないと考える。
- ◆  $^{211}\text{At}$  については、揮発性の高い薬品に対する一般的な飛散防止措置を考える必要がある。特に、 $^{211}\text{At}$  を飛散しやすい状態で使用する場合は、特別な飛散防止装置を検

討すべきである。現行の法令では、グローブボックスは排気設備への接続が必須であるが、本研究で得られた結果では、飛散する  $^{211}\text{At}$  は、HEPA フィルターで除去できることが分かった。そのため、法令には無い新しいカテゴリーとして、安全取扱のための RI アイソレーションボックス (RI フィルター付隔離操作ボックス、排気系に接続しないグローブボックス) の使用を認める形にできるか検討したほうが良い。

コメント：指摘どおりにガイドライン案に盛り込んでいる。

#### (7) 個別の飛散率等を設定するのに必要な条件

アルファ核種では、内部被ばくの影響が大きいいため、飛散率が使用量を決めるのに大きな影響を与えていると考えられる。そこで、本ガイドライン作成においては、飛散率をどのように設定していくかを検討し項目として含める必要がある。また、排水中の濃度限度の数字もアルファ核種は非常に厳しい。ただし、現行の許可 (承認) 申請においても、「排水しない」形で、使用許可 (承認) は認められているため、そういった許可 (承認) 申請方法もあることは、ガイドラインに記載しても良いのではと思われる。

- ◆  $^{225}\text{Ac}$  及びその子孫核種については、存在状態がイオン種であるため、非常に飛散しにくい。従って、この場合は、ある程度の安全側に立った飛散率を使用して、全ての使用に用いることが可能と考えられる。
- ◆  $^{223}\text{Ra}$  の場合は、ゾーフイゴとしての使用がほとんどと考えられるため、今回、研究で用いた飛散率の数字を適用出来るものとする。
- ◆  $^{211}\text{At}$  では、条件によって飛散率が大幅に変化するため、エビデンスに基づいて飛散率を決定するのか、又は、ある程度の範囲ごとに条件を括って、飛散率の数字をガイドライン中で設定するのか、検討が必要である。本研究では、アスコルビン酸の添加が飛散を抑える効果が大きいことが示されたが、このような条件付きの設定も有用と考える。

コメント：飛散率の設定は実測に基づいて、安全側を設定するよう記載している。アルファ核種は排水しないという方法もあるが、病院では排水しないという方法はないとの意見が出たため、現時点のガイドラインには盛り込んでいない。次年度に作成する予定のマニュアルに盛り込むことは検討すべきである。 $^{211}\text{At}$  で提案されている飛散率のある程

度の範囲は、各施設がどのように実測し、それをどのように実験手順書に盛り込むのかに依存するため、各事業所が個別に考える案件と判断している。

#### (8) 安全管理の方法

施設の規模やその施設での RI の使用の用途にも依存するため一概には言えないが、一般的には、施設の利用者全てが、ガイドラインで設定された短寿命アルファ線核種を使用する者にならないことの方が多いいものと思われる。特に、大学の RI センター等では、多種多様な目的で RI が使用されるため、ガイドラインに適合する者はごく一部となると思われる。従って、ごく一部の者を適正に従事者管理することは必要と考える。また、後で述べるように、それらの者に短寿命アルファ核種利用方法を確実に遵守させるための教育を実施することが必要である。この様に、ごく一部の者が使用する場合は、使用区域を管理区域全域とはせず、特定の場所に限定する方法も考えられる。

使用においては、飛散率の設定等があるため、そのルールに従って行えば良いと思われる。一方、廃棄物からは  $^{210}\text{Rn}$ 、 $^{211}\text{At}$  の飛散が起こる可能性はゼロではないので、十分に減衰するまでは密閉した容器で廃棄物保管をしておく等、ガイドライン作成の際に、飛散防止対策への検討は必要と思われる。

コメント：一部の者に対して教育及び訓練を実施することを想定して、ガイドライン案の教育訓練は作成されている。廃棄物に関しては、当初の提案とは異なり、ガイドラインが特定の核種に限って作成されるものではなくなったため、次年度に作成する予定のマニュアルの中に盛り込むことを検討している。

#### (9) 安全管理の合理的運用の根拠となるエビデンスの取得の必要性

本研究の結果でも示しているように、画一的に安全規制の合理的運用をするのは困難である。従って、(7) でも示しているように、安全管理の合理的運用においては、根拠となるデータは必要と思われる。安全管理の合理的運用の根拠となるエビデンスは、各施設固有の作業条件下で、必要に応じ個々に取得することを要請するかどうかは検討が必要である。

- ◆ エビデンスの取得が必要な場合は、その施設の実際の使用方法に合わせて、実際にその施設で短寿命アルファ線放出核種を取り扱う者が取得したデータをエビデンスとすべきと考える。

- ◆ エビデンス取得の際に用いる測定器の要件や方法も重要な条件であるが、施設により測定機等も限られることも考慮した対応を検討する必要がある。

コメント：基本は各施設が独自にエビデンスを取得することを想定してガイドラインを作成している。ただし、病院での利用に場合は、手順は完全に固まった状態で使用されると考えられるため、実測に基づいた数値は、他の許可事業所で得られたデータと同じと考え、よい根拠を示すことが出来れば、その値を用いて評価して良いことと記している。測定器の使用方法については、教育資料の作成プロジェクトで検討がされている。

#### (10) 使用施設の等級別的扱いの導入

(3) で示すとおり、ガイドラインの対象となる施設は、従来の放射線施設で使用されている平成12年10月の科学技術庁の通知で規定されている飛散率等の数字を使用した施設とは異なり、ガイドラインで設定された施設、設備基準及び行為基準を満たした施設である。従って、等級別的な扱いを導入した形になり、一般の非密封放射線施設よりはより高いグレードを持った施設とする位置づけになる（正規に等級を導入することは法改正を伴う?）。その場合、利用者の経験の有無や期間についても条件として検討する必要がある。

コメント：ガイドライン等作成会議内でも、当初は、利用者の経験や期間等による等級的な扱いを導入したほうが良いのではないかと検討した。しかしながら、実測のデータを取得することは、まず通常の方法での許可をとった上で、飛散率等取得実験を実施することになり、そのことが出来る施設は、結果的に高いグレードをもった事業所に限られるため、わざわざ等級的な扱いを導入する必要は無いと判断したため、その導入はしない。

#### (11) 教育及び訓練の実施体制

前項までに記載した設備の充実や経験、管理方法の検討は、非常に重要であるが、その内容について、短寿命アルファ核種を使用する放射線業務従事者に十分に理解させ、その技術的能力が担保されるようにするためには、教育及び訓練の実施が必須である。従って、必要な基準を遵守できる十分な教育体制が整っていることは極めて需要であり、その実施体制について、ガイドラインで考慮すべきである。

コメント：教育及び訓練の内容はガイドラインに盛り込んでおり、特に訓練を実施できることが、実施体制が出来ていることになると判断している。

#### (12) 教育及び訓練での教育内容

短寿命アルファ線核種の安全取扱についての教育内容は、各施設の実情に合わせて十分に検討が必要である。従って、ガイドラインの作成においては、その作業と平行して、教育のモデルプログラムを作成することが必要である。

◆ 本研究では、大阪大学放射線科学基盤機構附属ラジオアイソトープ総合センター（吹田本館）（阪大 RI センター（吹田））の実情に合わせて教育方法を作成し、教育訓練を行った。その際に挙げた項目は以下の通りである。

- ① 使用核種の数量と使用場所
- ② 大量使用する場合における管理者への承認について
- ③ 使用するサーベイメータ
- ④ 短寿命アルファ核種使用上の注意（ヒヤリハットを含む）
- ⑤ 使用の際の一般的な事項に関してのヒヤリハット事例
- ⑥ 短寿命アルファ核種の保管
- ⑦ 短寿命アルファ放出核種の廃棄
- ⑧ その他の注意
- ⑨ 緊急時の対応

コメント：指摘に沿ってガイドライン案を作成している。また、上記の内容は教育訓練資料にも盛り込まれる予定になっている。

#### (13) その他、ガイドライン作成において要望すること

原子力規制庁では、短寿命核種の合理的な規制に向けて、いくつかの調査研究が実施されている。本事業で得られた結果に加えて、他の事業で得られた結果についてもガイドライン作成には、ぜひ考慮いただきたい。

ガイドライン策定は、より合理的な安全管理を、法令の改正を伴わず、規制の運用により実現するためのもので、国外の主要機関で取られている対応が参考になると思われるが、その前提条件、特に人的環境の違いに留意すべきである。



コメント：本事業は、安全規制研究篠原班及び細野班、RI 協会委託事業のメンバーで構成されており、先行事業で指摘されている内容やニーズがガイドラインに盛り込まれている。近畿大学の海外施設の視察の報告でも指摘されているとおり、諸外国では、ステークホルダーである規制側と利用側双方が利益とリスクをよく議論した上で合理的な規制の下で安全を確保しつつ利用されていることが報告されている。我が国においても今まで以上に規制側と利用側双方がよく議論する場ができることが望まれる。

## 2.2. ガイドラインの内容の主たる点

ガイドラインの内容を以下にまとめる。なお、あくまでも現時点での内容であり、次年度にも原子力規制庁及び関係学協会との協議の結果によっては、変更もありうる。

### ○ガイドライン適用の対象となる放射線事業所とその適用範囲

「RI 等規制法に基づき、非密封 RI の使用の許可を受けた放射線事業所が対象である。ガイドラインは、RI 等規制法に基づく規制を受ける範囲内に適用される。」

### ○ガイドラインの適用対象となる短寿命放射性核種の目安

「ガイドラインの適用対象となる放射性核種は、半減期が 15 日以内を目安とする。」

### ○遮へい能力の評価

#### ・人が常時立入る場所における評価

通常の遮へい計算を行うことになるが、減衰を考慮する場合は、1 回あたりの使用時間を規定し、使用時間を遵守していることを証明することができるようにする必要がある。

「作業室については、放射線業務従事者が 1 日最大使用数量を使用している状況を想定する。ただし、短寿命核種については減衰を考慮するか否かを許可事業所が選択できる。

減衰を考慮する場合は、1 回の使用あたりの使用時間を規定すること。」

「貯蔵室には、貯蔵能力分の数量が保管されているものとして評価する。ただし、短寿命核種については、減衰を考慮するか否かを許可事業所が選択できる。減衰を考慮する場合は、1 回の使用あたりの使用時間を規定すること。」

#### ・管理区域境界における評価

「使用中の非密封線源及び貯蔵中の非密封線源について、短寿命核種については、減衰を考慮するか否かを許可事業所が選択できる。減衰を考慮する場合は、3 月間のうち、短寿命放射性核種を受入れる頻度を仮定し、評価すること。」

・事業所境界における評価

「使用中の非密封線源及び貯蔵中の非密封線源について、短寿命核種については減衰を考慮するか否かを許可事業所が選択できる。」

○作業室（人が常時立入る場所）の空气中 RI 濃度の評価

「各作業室の空气中の RI 濃度の算出に用いる飛散率は、実測に基づいた数値を使用するか否かを許可事業所が選択できる。ただし、実測に基づいた数値を使用する場合は、不確かさを考慮して安全側に立った数値を用いること。」

「フードで取扱う場合は、フードから作業室内への逆流率として  $10^{-1}$  を使用する。理論計算等で逆流率を算出できる場合は、その数値を使用してもよい。」

「RI を捕集する能力をもつ排気フィルター付きの RI 飛散防止装置(以下、飛散防止装置)を使用した場合、飛散防止装置の排気口から放出される RI の排出率（以下、排出率）の実測に基づいた値から平均濃度を算出する方法を用いる。ただし、実測に基づいた数値は、不確かさを考慮して安全側に立った数値とすること。飛散防止装置はフード内に設置するか、飛散防止装置の排気口を排気ダクトの吸気口に向けて設置すること。」

「飛散防止装置をフード内に設置した場合は、フードから作業室内への逆流率として  $10^{-1}$  を使用する。これは、飛散防止装置の排気口をフード内に設置した場合にも適用される。」

「短寿命核種については減衰を考慮するか否かを許可事業所が選択できる。」

ただし、上記の飛散防止装置という名称については、次年度改めてガイドライン等作成会議で議論する。

○排気口空气中の RI 濃度の評価

「排気口における空气中 RI 濃度の算出に用いる飛散率及び透過率は、実測に基づいた数値を使用するか否かを許可事業所が選択できる。ただし、実測に基づいた数値は、不確かさを考慮して安全側に立った数値とすること。」

「飛散防止装置を用いた場合は、排出率の数値から平均濃度を算出する方法を用いる。」

「短寿命核種については、使用中の減衰を考慮するか否かを許可事業所が選択できる。」

「短寿命核種については、使用中に作業室から排気口に至るまでの減衰を考慮するか否かを許可事業所が選択できる。」

#### ○排水中の RI 濃度の評価

「排水に係る RI 濃度の算出に用いる混入率は、実測に基づいた数値を使用するか否かを許可事業所が選択できる。ただし、実測に基づいた数値は、不確かさを考慮して安全側に立った数値とすること。」

「貯留槽に貯留されている期間の減衰を考慮してもよい。なお、貯留中の RI の数量は、以下の式に基づいて算出し、排水時又は 3 月間に貯留槽に貯まった排水の量で除することによって、排水中の RI の濃度を求めてもよい。」

#### ○責任体制の構築

「実験には原則として実験責任者を任命すること。許可事業所は、実測データの取得実験等に関する事項を審議・承認する組織体制を構築すること。」

「実測データの取得に関して、許可事業所は、実験方法やその結果についてピアレビューする体制を構築すること。レビューアーの任命は、その実験に関する事項等を審議・承認する組織の長が行う。レビューアーは、上記の実験等に携わっていない者とする。また、適任者であれば、組織外の者でもよい。」

「許可申請や立入検査等の際に、データが実測されたものであることを証明することが求められる場合に備えて、実測データ取得実験に関係した記録及びデータは、許可事業所内にて保管すること。保管にあたっては、実測データの取得実験等に関する事項を審議・承認する組織の長が保管責任者を任命すること。また、実測データの取得実験等に関する事項を審議・承認する組織が保管期間を規定すること。」

「許可事業所が規定した実測データの信頼性担保に関する組織の役割については、放射線障害予防規程又は下部規程に記載すること。」

#### ○許可後に装備すべきマニュアル等

「許可事業所は、許可の範囲内で使用できるように、使用手順を規定したマニュアル等を作成すること。また信頼性担保の観点から、許可事業所は、マニュアル等に記載された使用手順に従って、実際に運用されていることがわかる記録簿等を整備しておくこと。」

「何らかの要因により、決められた手順通りに実施出来ない場合の対処法についてマニュアル等を作成すること。」

#### ○教育及び訓練の位置づけ

「ガイドラインに基づいて使用許可を得た核種の安全取扱に関する教育及び訓練は、RI 等規制法に従った教育及び訓練として実施すること。」

○教育及び訓練の対象者

「ガイドラインに基づいて使用許可を得た核種の受入れ、払出し、使用、保管、廃棄を行う放射線業務従事者が対象である。」

○教育の内容

「ガイドラインに基づいて使用許可されている核種」、「ガイドラインに基づいて使用許可されている核種の使用の場所」、「ガイドラインに基づいて使用許可されている核種の使用手順」、「ガイドラインに基づいて使用許可されている核種使用時の放射線測定機器の操作方法」、「ガイドラインに基づいて使用許可されている核種の保管方法」、「ガイドラインに基づいて使用許可されている核種についての記帳の方法」、「定められた手順通りに実施出来ない場合の対処方法」、「緊急時の対応」、「その他、施設特有の事項」

○訓練の内容

「ガイドラインに基づいて使用許可されている核種の使用手順と定められた手順通りに実施出来ない場合の対処方法」

○非密封線源の許可使用者以外の者へ譲渡できる試料及び数量

ここでは短寿命放射性核種を払い出す事業所（非密封 RI の許可事業所）を甲とし、受け入れる事業所（非密封線源の許可使用者ではない事業所）を乙とする。以下の甲、乙についても同様である。

「甲は、短寿命放射性核種を投与した動物や短寿命放射性核種を含む試料で、当該核種の数量が下限数量以下まで減衰したものを乙に譲渡できる。放射性廃棄物は譲渡できないので注意すること。」

○非密封線源の許可使用者ではない事業所の範囲

「乙は、許可事業所が存在しない一定の場所とする。」

○非密封線源の許可使用者ではない事業所の責任

「乙は、短寿命核種管理責任者を選任し、施設内での当該核種の管理を行うこと。」

「乙は、下限数量以下の放射性核種を使用することに関して、使用者以外にも説明をする機会を設け、当該核種の使用に関する十分な理解を得ること。」

○非密封線源の許可使用者ではない事業所への受入れ・運搬と当該事業所での使用

「乙が短寿命核種を受入れる場合は、甲と譲渡・譲受書を取り交わすこと。」

「乙の短寿命核種管理責任者は、乙における短寿命核種の総数量が下限数量を超えないことを確認して受け入れること。なお、複数の核種を使用する場合は、下限数量に対する比の和が1を超えないことを確認して受け入れること。」

「乙は受入れた短寿命核種を第三者に転売及び譲渡をしないこと。」

「短寿命核種の運搬は、原則としてL型放射性輸送物に準じて運搬しなければならない。」

「乙における短寿命核種の使用は、乙の短寿命核種管理責任者の責任において適切な場所で使用しなければならない。」

「乙における短寿命核種使用者は、乙の短寿命核種管理責任者の指示に従い、目的外の使用はしないこと。」

#### ○非密封線源の許可使用者ではない事業所からの払出し、廃棄

「乙の短寿命核種管理責任者は、乙における短寿命核種使用後の払出し、廃棄についての対応に責任をもつこと。」

#### ○記帳

「乙の短寿命核種管理責任者は、総数量が下限数量以下であることが確認できるよう、受入れ、払出し、保管、使用、廃棄の帳簿を作成し、保管すること。この際に、乙でRIの量を決めることは困難であるため、減衰を考慮する場合は、甲から払い出された時点からの物理学的半減期に基づいて考慮すること。なお、減衰を考慮するか否かは、乙が判断すること。」

#### ○教育

「乙の短寿命核種管理責任者は、使用者に対して下限数量以下の放射性核種の取扱に関して、教育を実施すること。」

#### 2.2.9. 原子力規制庁及び関連学協会との協議

本年度、原子力規制庁放射線規制部門と協議を1回実施した。その議事メモは資料に添付のとおりである。現在は、そこで指摘された点について、修正を行って再提出し、その案にコメントをいただいたところである。原子力規制庁との協議で、まだガイドライン案の中身について変更点が数多くあることが分かったため、本年度は、関連学協会のうち、放射線安全管理の専門家集団である大学等放射線施設協議会と日本放射線安全管理学会に絞って、両学会では理事会ベースでガイドライン案について意見をいただいている。日本アイソトープ協会とは、下限数量以下のRIの使用について協議するとともに、PO及びアドバイザーの所属であるため、今年度は、PO及びアドバイザーとガイドライン案について協議をする形で実施した。

### 2.3. 実測データの取得実験

ガイドライン作成に向けた実験的なエビデンスの取得のために、 $^{211}\text{At}$  の飛散率測定の実験と実験動物の管理区域外への退出に関する情報を得るために、マウスに投与した RI の排出についての実験を  $^{211}\text{At}$  及び  $^{225}\text{Ac}$  に対して実施した。

#### 2.3.1. 化学実験における $^{211}\text{At}$ の飛散率等のデータ取得

##### 2.3.1.1. $^{211}\text{At}$ について

原子番号 85 のアスタチン (At) は安定同位体が存在しない放射性元素である。現在知られている 39 種の At 同位体はいずれも半減期が短く、 $^{210}\text{At}$  の 8.1 時間が最長である。そのため、周期表ではハロゲンとしてヨウ素 (I) の下に位置しているものの (図 2.3-1)、研究例は限られており、その物理的・化学的性質の理解は依然不足している。その一方、 $\alpha$  壊変をする  $^{211}\text{At}$  は  $\alpha$  線核医学治療 (内用療法) への利用が期待されている。物質中における  $\alpha$  線の飛程は短く、線エネルギー付与は 100 keV/um と高い。そのため、 $^{211}\text{At}$  をがん腫瘍に集積させることができれば、周辺組織への影響を抑えつつ腫瘍のみを効果的に殺傷できる革新的ながん治療法が可能になると注目されている。

1																	18	
H																	He	
3	2											13	14	15	16	17	18	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
11	12											13	14	15	16	17	18	
Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	
Lanthanides		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Actinides		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103		
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

図 2.3-1. 周期表における At

図 2.3-2 に  $^{211}\text{At}$  の壊変図式を示している。 $^{211}\text{At}$  は 42% が  $\alpha$  壊変し、58% が電子捕獲 (EC) 壊変を起こす。また、EC 壊変後に生成する  $^{211}\text{gPo}$  は 0.52 秒の半減期で  $\alpha$  壊変する。そのため、実質的には  $^{211}\text{At}$  の一回の壊変当たり、 $\alpha$  粒子が 100% 放出される。次に、表 2.3-1 に  $^{211}\text{At}$  ならびにその娘核種  $^{211}\text{gPo}$  と  $^{207}\text{Bi}$  の主な  $\gamma$  線、X 線、 $\alpha$  線のエネルギーならびに放出率を示している。 $\gamma$  線の放出率は  $^{211}\text{At}$ 、 $^{211}\text{gPo}$  とも低いですが、 $^{211}\text{At}$  の EC 壊変の際に放出される 79 keV の X 線は 20% 程度の放出率を持つ。そのため、ゲルマニウム半導体検出器や NaI シンチレーション検出器などを用いて高効率に検出することができる。また、単一光子放射断層撮影 (SPECT) を用いたイメージングにもエネルギー的に適している。

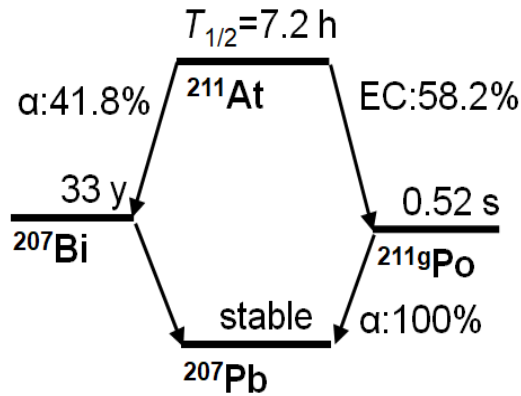


図 2. 3. -2.  $^{211}\text{At}$  の壊変図式

表 2. 3-1.  $^{211}\text{At}$  と娘核種  $^{211\text{g}}\text{Po}$ 、 $^{207}\text{Bi}$  の放出放射線

核種	半減期	$\gamma$ 線エネルギー ギー / keV	放出率 / %	X線エネルギー ギー / keV	放出率 / %	$\alpha$ 線エネルギー — / keV	放出率 / %
$^{211}\text{At}$	7.214 h	669.60	$3.5 \times 10^{-3}$	79.29 ( $K_{\alpha 1}$ )	21.24	4997	$\approx 4.2 \times 10^{-4}$
		687.0	0.26	76.86 ( $K_{\alpha 2}$ )	12.69	5141	$9.6 \times 10^{-4}$
		742.64	$9.5 \times 10^{-4}$	89.80 ( $K_{\beta}$ )	9.53	5210.0	$3.6 \times 10^{-3}$
						5869.5	41.8
						6568.3	0.544%
$^{211\text{g}}\text{Po}$	0.516 s	328.12	$3.3 \times 10^{-3}$			6568.3	0.544%
		569.702	0.545			6891.5	0.557%
		897.80	0.561			7450.3	98.89%
$^{207}\text{Bi}$	31.55 y	328.12	0.00067	74.97 ( $K_{\alpha 1}$ )	36.84		
		569.702	97.74	72.80 ( $K_{\alpha 2}$ )	21.77		
		897.80	0.121	84.90 ( $K_{\beta}$ )	16.34		
		1063.662	74.5				
		1442.20	0.130				
		1770.237	6.87				

At は周期表でヨウ素 (I) の下に位置するため、すでに核医学治療に利用されている  $^{131}\text{I}$  に対する標識合成法を  $^{211}\text{At}$  へも応用できると期待される。そのため、国内では難治性のがん

に対して、動物実験レベルでの高い治療効果が近年盛んに報告されており、治験に向けた薬剤開発が加速している。

### 2.3.1.2. $^{211}\text{At}$ の供給

$^{211}\text{At}$  は、埼玉県和光市の理化学研究所仁科加速器科学研究センターから供給された半減期 7.2 時間の  $^{211}\text{At}$  を実験に使用した。陸路の特別宅配便により大阪大学まで 6-8 時間で輸送した。

### 2.3.1.3. 飛散率測定実験

大気中への飛散が懸念される  $^{211}\text{At}$  は飛散防止装置内での取扱いが想定される。そこで、飛散防止装置の排気部分に取り付けることが想定される各フィルターへの吸着特性を明らかにするため、フィルターの構成を変更して  $^{211}\text{At}$  の飛散率測定を行った。実験装置は、安全規制研究篠原班で用いたものを用いた。そのセットアップを図 2.3-3 及び図 2.3-4 に示す。

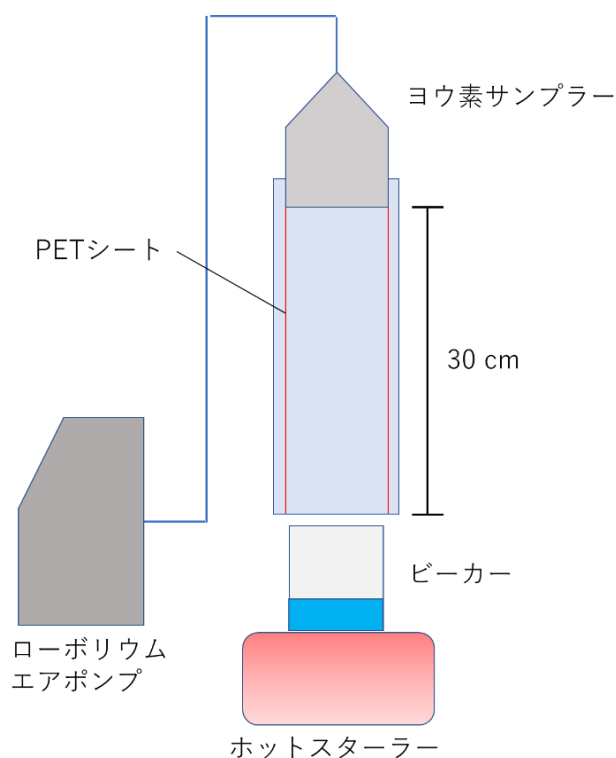


図 2.3-3. 飛散実験の実験セットアップの概略図



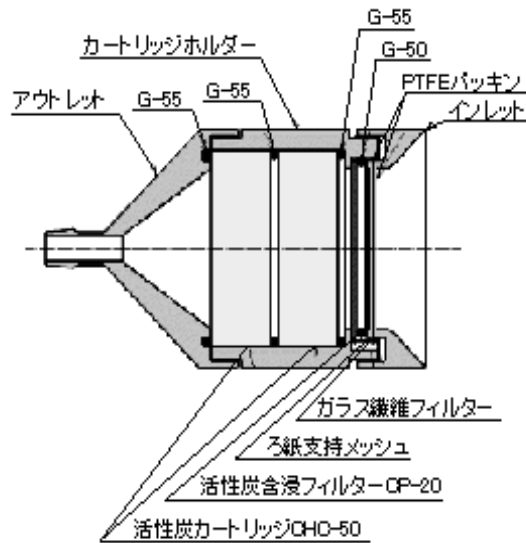


図 2.3-4. サンプラーおよび各捕集材セットアップ図

実験手順も安全規制研究篠原班で報告されたものと同様に行なった。まず、100 mL ビーカーにスターラーを入れて重量を測定した後、0.025 M リン酸緩衝液 (pH7) を入れ、重量を測定した。これに  $^{211}\text{At}$  ストック溶液を 1-2 MBq/20  $\mu\text{L}$  加え、手で振って溶液を攪拌した後再び重量を測定した。塩化ポリテープとシールテープを用い、長さ 330 mm のアクリル筒の上端をサンプラーと密着固定させ、アクリル筒の内部長を 300 mm に調整した。サンプル管の内容積は  $\phi 75 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$  であった。サンプラー内には、ガラスフィルター、活性炭含浸フィルター、活性炭カートリッジを装着し、o-リングを用いて密閉した。アクリル筒の内壁には、付着した  $^{211}\text{At}$  を定量するため、PET シートを取り付けた。また、サンプラーをゴムホースによって吸引ポンプと接続した。前述の  $^{211}\text{At}$  溶液を入れたビーカーをポリフィルムで覆い、ポリフィルムで覆ったマグネチックスターラーに乗せ、ビーカーの上端をアクリル筒の下端と同じ高さになるよう調整した。この系内の空気を 30 L/min の流速で吸引しつつ、スターラーで  $^{211}\text{At}$  溶液を攪拌しながら、1 時間、飛散実験を行った。

吸引終了後、 $^{211}\text{At}$  溶液の重量を測定し、容積 1.5 mL のエッペンドルフチューブにマイクロピペットを用いて 500  $\mu\text{L}$  の溶液を分取した。汚染防止のため、ポリチャック付きビニール袋にチューブを封入した。次に、サンプラーからガラスフィルター、活性炭フィルター、活性炭カートリッジ 2 つ、および o-リングを取り出して、別々にビニール袋に封入した。また、アクリル管内壁の PET シートを 40-50 mm 角となるように切断し、ビニール袋に封入した。さらに、ビーカーとマグネチックスターラーを覆ったポリフィルムもそれぞれビニール袋に封入した。

$^{211}\text{At}$  の定量には、 $^{211}\text{At}$  が EC 壊変した際に娘核種  $^{211}\text{Po}$  から放出される特性 X 線 (79 keV) を用いた。高純度ゲルマニウム半導体検出器 (Canberra 製、BE2020) ならびに波高分析器 (セイコー・イーザーアンドジー製、MCA-7700) を用いて X 線/ $\gamma$  線を測定した。スペクトルの解析には SEIKO EG&G 製 Gamma studio を用いた。高純度ゲルマニウム半導体検出器のエネルギーおよび検出効率の校正は日本アイソトープ協会製の放射能標準試料を用いて行った。また、体積線源試料のジオメトリ補正は、同体積の試料を、体積効果が無視できるほど遠距離で測定し、その位置での効率との比較により行った。各試料は、ゲルマニウム半導体検出器から一定の距離 (5 cm) に固定して測定した。

なお、今回の実験条件は、すでに  $^{211}\text{At}$  の飛散は  $^{211}\text{At}$  溶液の大気への露出面積や pH に依存することが判明しているため、前年度までの実験で最も  $^{211}\text{At}$  が飛散率が高かった 100 mL ガラスビーカーと 0.025 M リン酸緩衝液 (pH7) を用いて実験を行なった。

また、本研究で用いたフィルターおよびカートリッジの既知の性能を示す。

- 硝子フィルター : Merck 製 品名 : AP-2005500 直径 : 55 mm

大気中のエアロゾルである PM2.5 を捕集可能

- 活性炭含浸フィルター : ADVANTEC 製 品名 : CP-20 直径 : 55 mm

大気中のヨウ素捕集用で、90%以上の  $\text{I}_2$  を捕集可能

- 活性炭含浸カートリッジ : ADVANTEC 製 品名 : CHC-50 直径 : 60 mm

大気中のヨウ素捕集用で、~100%の  $\text{I}_2$  を捕集可能

#### 2.3.1.4. 飛散率測定結果

表 2.3-2 に飛散率測定の結果を示す。硝子フィルター、活性炭含浸フィルター、活性炭カートリッジ、o-リング、アクリル管内壁の PET シート、スターラーおよびビーカーに巻いたポリフィルムに検出された  $^{211}\text{At}$  を定量した。各条件において、検出された  $^{211}\text{At}$  の総計は誤差範囲内でほぼ 100%となった。前年度の実験と同様に飛散した全ての  $^{211}\text{At}$  が本実験装置を用いて捕集された。

既に飛散した  $^{211}\text{At}$  の半数程度は硝子フィルターに捕集されることが判っているが、硝子フィルターを 2 枚重ねても 2 枚目にはほとんど捕集されることなく、その後ろの活性炭カートリッジに残りの  $^{211}\text{At}$  が捕集されることが判明した。この結果から、硝子フィルターは  $^{211}\text{At}$  の捕集に有効であるが、 $^{211}\text{At}$  を捕集し切ることにはない。余剰の  $^{211}\text{At}$  は活性炭カートリッジを硝子フィルターの後ろに配置することで、より確実に  $^{211}\text{At}$  を捕集できることが判明した。また、活性炭カートリッジは 2 個目の  $^{211}\text{At}$  の割合が 1 個目と比較して非常に低いことから、活性炭カートリッジは 1 個で 99%以上の  $^{211}\text{At}$  を捕集する性能を有することが判

明した。

表 2.3-2. フィルターの構成の違いによる各捕集部位の検出割合と飛散率

フィルター構成 / <sup>211</sup> At 検出割合 / %	硝子 F 1 枚 活性炭 F 1 枚 活性炭 C 2 個	硝子 F 2 枚 活性炭 C 2 個	活性炭 C 2 個
硝子フィルター(上)	11±3	16±4	–
硝子フィルター(下)	–	0.17±0.02	–
活性炭含浸フィルター	15±3	–	–
カートリッジ(上)	2±1	4±1	15±4
カートリッジ(下)	0.8±1.0	0.006±0.003	0.07±0.03
o-リング	0.7±0.2	0.22±0.02	0.9±0.05
PET フィルム	0.8±0.3	0.9±0.3	2.0±1.1
スターラーカバー	0.3±0.3	0.03±0.02	0.03±0.01
ビーカーカバー	0.3±0.3	1.0±0.3	1.2±0.4
飛散率	30±2	27±3	24±5
ビーカー残存率	69±4	73±5	75±4
回収率	99±2	97±5	96±4

\*硝子 F：硝子フィルター、活性炭 F：活性炭含浸フィルター、  
活性炭 C：活性炭カートリッジ

### 2.3.1.5. 結論

本研究によって <sup>211</sup>At の各フィルターへの吸着特性が明らかとなった。硝子フィルターを用いることで飛散した <sup>211</sup>At の半数以上を吸着することはできるが、吸着しきことは困難であり、活性炭カートリッジを用いた方がより確実に捕集することが可能である。結果として、飛散防止装置の排気口に取り付けるフィルターの構成としては、硝子フィルターの後段に活性炭フィルターを取り付けることが望ましい。

上記の結果も考慮して、ガイドラインには、飛散防止装置を用いる場合は、各核種の性状に応じた適切な RI フィルターを用いること、とすることをガイドライン等作成会議で判断した。

## 2.3.2. 実験動物の管理区域外への退出検討のためのマウスに投与した RI の排出に関する実験

### 2.3.2.1. 背景

短寿命アルファ線放出核種等の利用においては、放射性同位元素の製造、化学分離・標識等の非密封放射性同位元素等の利用、生物・医学利用のそれぞれにおいて、使用方法が異なる。本項では動物実験におけるガイドライン等作成の検討材料とするために、実験動物の管理区域からの退出に関する要件に関する実験を実施する。

### 2.3.2.2. 実験

実験動物の管理区域からの退出に関する要件を決定するためには、実験動物からの核種の排出状況を実測する必要がある。核種によってはナトリウム塩等の状態で投与することもあるが、多くは化合物に標識することで用いられる。しかしながら、適切に分子ターゲティングされた標識化合物であっても、壊変過程において標識が外れる可能性もある。そこで、本項では実験動物の管理区域からの退出要件の決定の基礎データとして、 $^{211}\text{At}$  および  $^{225}\text{Ac}$  を用いて正常な動物における投与核種の排泄状況を測定する。

### 2.3.2.3. 実験手順

#### 投与核種の調整：

##### $^{211}\text{At}$ ：

埼玉県和光市の理化学研究所仁科加速器科学研究センターから供給された  $^{211}\text{At}$  を実験に使用した。陸路の特別宅配便により大阪大学まで 6-8 時間で輸送した。理研から輸送された Bi ターゲットを大阪大学ラジオアイソトープ総合センター（吹田本館）に移管し、材料調製室において  $^{211}\text{At}$  の分離精製を行った。乾式蒸留分離装置を用いて分離精製を行い照射した Bi ターゲットを石英管に封入して  $840^{\circ}\text{C}$  に加熱し、気化した  $^{211}\text{At}$  をキャリアガス流によって冷却トラップに搬送した。分離後、トラップに捕集した  $^{211}\text{At}$  を 100  $\mu\text{L}$  の蒸留水に溶かし、 $^{211}\text{At}$  ストック水溶液として得た。

##### $^{225}\text{Ac}$ ：

東北大学金属研究所より  $^{229}\text{Th}$  よりミルキングにて取得したものを使用した。L 型輸送箱を用いて大阪大学まで輸送した。溶液は終濃度 0.025M 酢酸アンモニウム溶液で投与に供した。

#### 使用動物：

正常動物としてクローズドコロニーである ICR マウス 5 週齢（一群として雌雄 3 頭ずつ）

を日本 SLC 社より購入した。購入動物は大阪大学ラジオアイソトープ総合センター（吹田本館）内の飼育室にて1週間の馴化の後、RI 投与実験に使用した。

#### 投与方法：

$^{211}\text{At}$  は1頭あたり 1 MBq/100  $\mu\text{L}$  に調整し、27G 1 mL のシリンジ（テルモ）を用いて、経静脈投与を行なった。安定剤として終濃度 1 % のアスコルビン酸ナトリウムを添加した。 $^{225}\text{Ac}$  は1頭あたり 10 kBq/100  $\mu\text{L}$  に調整し、 $^{211}\text{At}$  同様に経静脈投与を行なった。核種は雌雄 3 頭ずつに投与し、投与後経時的にサンプリングを実施した。なお、投与後に投与部位周辺には発赤等は認められず、観察期間中も形態的な異常は認められなかった。

#### 使用器具：

使用ケージは KN-60105-T または KN-600-T TPX 製マウスケージ（夏目製作所）を使用した。

##### KN-60105-T

寸法：W140×D320×H140 mm

本体：TPX（ポリメチルペンテン樹脂）製

フタ：ステンレスワイヤー製

##### KN-600-T

寸法：W220×L320×H135 mm

本体：TPX（ポリメチルペンテン樹脂）製

フタ：ステンレスワイヤー製

\* KN-600-T を用いる場合は、インナーケージ（夏目製作所, KN-800-600）を使用する。

餌：CRF-1（オリエンタル酵母、ガンマ滅菌済）5 g/頭/日

給水：トランスポートアガー（オリエンタル酵母）2 個/頭/日

床敷：SSP 社のアルファドライ。100 g/ケージ。

活性炭含浸フィルタは、1.8 mm 厚（活性炭 150 g/m<sup>2</sup>, エスコ）を金属蓋に合わせてカットして使用した。金属のフタを覆うように活性炭含浸フィルタを貼り付け、床敷および呼吸からの蒸散分を捕集した。



図 2.3-5. 飼育ケージ KN-60105-T。給水瓶を右図のように装着すると活性炭含浸フィルタで覆うことができないため、トランスポートアガーを用いた。

図 2.3-6. 飼育ケージ KN-600-T。給水瓶を装着すると KN-60105-T 同様に活性炭含浸フィルタで覆うことができないため、トランスポートアガーを用いた。

**サンプリング：** $^{211}\text{At}$  および  $^{225}\text{Ac}$  共に同様の手順でサンプリングを行う。

24 時間後、およびその後数日ごとにサンプリングを実施する。

糞：全て回収し、測定する。

尿：床敷に吸収されたものを標本抽出(N = 5)して測定する。

呼気、蒸散分：活性炭含浸フィルタに吸着したものを測定する。

全てのサンプルはポリエチレンチャック付きビニールバッグ(セイニチ 0.08 mm 厚)に入れる。フィルタは裁断して入れる。さらに全ての床敷・糞を取り除いた後のケージをペーパータオルで拭き取って測定を行う。その後、20 mL の蒸留水で 10 回振盪して洗浄液を回収し、洗浄液は液体シンチレーション用バイアル(Wheaton, 20 mL)に入れ、測定する(5 回洗浄)。

#### 2.3.2.4. 測定および測定機器

**測定機器：**

オートガンマカウンター2480 WIZARD<sup>2</sup> (PerkinElmer)

全てのサンプルは、5 連ラックを用いて測定した。 $^{211}\text{At}$  はサンプリング後速やかに測定を行った。 $^{225}\text{Ac}$  は娘核種が放射平衡となるまで 12 時間放置した後に、測定を開始した。

コントロールサンプルとして、投与溶液と同一のものを 1.5 mL マイクロチューブに分取し、ポリエチレンチャック付きビニールバッグに入れて使用した。

セミマイクロ天秤（メトラートレド）

風袋重量およびサンプル重量の測定に用いた。

汚染確認用機器：

α線用シンチレーションサーベイメータ TCS-232B（日立製作所）

実験場所周辺の汚染確認、測定前のポリエチレンチャック付きビニールバッグの外側の汚染確認、および活性炭含浸フィルタの外側からの漏れの有無の確認に使用した。

### 2.3.2.5. 実験結果

24 時間での  $^{211}\text{At}$  の排出量は雌雄に差が認められた(表 2.3-3)。しかしながら、床敷の増量 (=尿量) が、雄は雌の 1.34 倍であったことから、単純に尿量の違いによるものと推測された。48 時間以降では雌雄共に、総排出量は大幅に減少した。24 時間では主な排出経路は尿であったが、48 時間以降では主な排出経路は糞であった(表 2.3-4)。

表 2.3-3. 24 時間での  $^{211}\text{At}$  排出量 (% ID)

	雄(N = 3)	雌(N = 3)
活性炭含浸フィルター	3.23%	2.63%
糞	6.04%	5.03%
床敷	86.03%	67.62%
合計	95.29%	75.28%

表 2.3-4. 48-96 時間での  $^{211}\text{At}$  排出量 (% ID)

	雄(N = 3)	雌(N = 3)
活性炭含浸フィルター	0.0019%	0.0016%
糞	2.59%	2.58%
床敷	0.013%	0.0064%
合計	2.61%	2.59%

24 時間以上後は積算値。

96 時間以降はバックグラウンド値に等しくなった為、測定せず。

$^{225}\text{Ac}$  の主な排出経路も尿であった。排出のピークは  $^{211}\text{At}$  と同様に 24 時間であった(表 2.3-5)。その後経過時間によって排出量は著明に低下する(表 2.3-6, 2.3-7)。我々は  $^{225}\text{Ac}$  が骨および肝臓に集積することを確認しているが、一旦臓器に集積した  $^{225}\text{Ac}$  は排出されにくいことが確認できた。また、1 半減期経過すると、排出量は検出限界以下となった。

表 2.3-5. 24 時間での  $^{225}\text{Ac}$  排出量 (% ID)

	雄(N = 3)	雌(N = 3)
活性炭含浸フィルター	0.0063%	0.27%
糞	1.12%	3.64%
床敷	5.98%	12.95%
合計	7.10%	16.86%

表 2.3-6. 48-120 時間での  $^{225}\text{Ac}$  排出量 (% ID)

	雄(N = 3)	雌(N = 3)
活性炭含浸フィルター	0.21%	0.013%
糞	0.57%	0.16%
床敷	0.99%	2.51%
合計	1.76%	2.68%



表 2.3-7. 144-288 時間での  $^{225}\text{Ac}$  排出量 (% ID)

	雄(N = 3)	雌(N = 3)
活性炭含浸フィルター	0.043%	0.13%
糞	0.21%	0.20%
床敷	0.26%	0.73%
合計	0.52%	1.06%

24 時間以上後は積算値。

288 時間以降はバックグラウンド値に等しくなった為、測定せず。

飼育機材における  $^{211}\text{At}$  の付着は非常に微量であった(表 2.3-8)。十分な量の床敷を使用することにより、飼育機材への付着を抑えることが可能であった。また、洗浄前に拭き取りを行うことにより、汚染を低減することが可能であった。

表 2.3-8. 飼育機材における  $^{211}\text{At}$  の付着 (% ID)

	24 時間後		48-96 時間後	
	雄	雌	雄	雌
拭き取り	0.43%	0.32 %	0.031 %	0.14 %
洗浄液 1	0.0090%	0.0061 %	N.D.	N.D.
洗浄液 2	0.0046%	0.0047 %	N.D.	N.D.
洗浄液 3	0.0025%	0.0030 %	N.D.	N.D.
洗浄液 4	0.0022%	0.0027 %	N.D.	N.D.
洗浄液 5	0.0021%	0.0023 %	N.D.	N.D.

N.D. not detected

飼育機材における  $^{225}\text{Ac}$  の付着も  $^{211}\text{At}$  同様に非常に微量であった(表 2.3-9)。洗浄水においては、全く検出されなかった。十分な量の床敷を使用することにより、飼育機材への付着を抑えることが可能であった。また、洗浄前に拭き取りを行うことにより、汚染を低減することが可能であった。

表 2.3-9. 飼育機材における  $^{225}\text{Ac}$  の付着 (% ID)

	24 時間		48-120 時間		14-288 時間	
	雄	雌	雄	雌	雄	雌
拭き取り	0.026 %	0.16 %	N.D.	0.0055 %	N.D.	N.D.
洗浄水 1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
洗浄水 2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
洗浄水 3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
洗浄水 4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
洗浄水 5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D. not detected

### 2.3.2.6. 考察

短寿命アルファ線放出核種を核医学治療薬として利用する場合は標識体を利用する機会が多い。 $^{211}\text{At}$  はナトリウム塩の状態で投与する場合も考えられるが、 $^{225}\text{Ac}$  は標識体でのみ投与される。標識が脱離しなければ標識体に依存する挙動となるが、本検討は脱離した核種の排出の基礎データとしての位置付けも期待できる。 $^{211}\text{At}$ ,  $^{225}\text{Ac}$  共に 24 時間が排出のピークと思われた。核種投与動物からの排出は 24 時間までが最も多く排出される為、投与後 24 時間までは、動物を注意して扱う必要があると考えられた。また、排出に若干の性差が認められた。今回の検討においては、尿量の違いが理由の一つであると考えられる。しかしながら、既存の報告では雄性マウスにおける検討しか行われていない為、<sup>22)</sup> 雌性マウスにおける検討も必要であると思われた。また、雄性マウスでは生殖器である精巣への集積が認められている為、生殖器における集積の比較は必須であると考えられた。 $^{211}\text{At}$  の排泄において、24 時間以降は糞中排泄が主となっている。 $^{211}\text{At}$  はそのまま投与すると甲状腺、胃、膀胱に集積が認められる<sup>1)</sup>ことから、糞中の排泄量は胃内容物由来と考えられた。

動物実験においては、呼気からの排出はほとんどないため、排泄物の取り扱いの安全性に特に留意する必要がある。また、ケージの拭き取りにより排泄物により付着した線量を下げ、洗浄水の汚染も下げることが可能であった。投与動物のメンテナンスにおいては、使用器具の洗浄前の拭き取りは必須である。我々はすでに  $^{225}\text{Ac}$  を水溶液として投与すると骨と肝臓に集積することを確認しているが、体内に一旦集積した  $^{225}\text{Ac}$  が、24 時間以降に多量に排出されることはないことが確認された。

$^{225}\text{Ac}$  は標識体として利用される。予備的に DOTA(1,4,7,10-テトラアザシクロドデカン-1,4,7,10-テトラ酢酸)をキレート剤として用いる化合物である FAPI-04<sup>23)</sup> に  $^{225}\text{Ac}$  を標識

して投与を行った上で排出を確認したところ、 $^{225}\text{Ac}$  単独よりも排出量が増大することが確認されたが、排出期間が遷延することはない、排出のピークは 24 時間であった。

核種の体内挙動は標識される化合物次第であるが、 $^{211}\text{At}$ ,  $^{225}\text{Ac}$  も投与後 24 時間で速やかに排出されることが明らかとなった。安全性の面から実験動物の退出は 24 時間以降が適切であろうと考えられた。また、今後の医学利用においては、投与すぐの患者の排泄物の取り扱いには十分に安全性を担保する必要があると思われた。

今回得られた結果については、ガイドライン内に記載するよりも、投与後 24 時間以内が RI の排出が多いので排泄物の管理に注意すべきとこのことを教育資料の中に盛り込むことが適当と判断した。

## 2.4 短寿命放射性核種の安全取扱に関する教育資料の作成のための内容検討

### 2.4.1. 目的

2.3で記したとおり、ガイドラインに基づいて許可を得た場合、その方法は、「ある特定の  
方法」に基づいて得られた値に基づいて、評価の数値が得られている。したがって、放射線  
業務従事者が短寿命核種を安全に取り扱うには、許可が得られた方法を教育及び訓練する  
必要がある。このためにも、短寿命核種の安全取扱教育資料の充実は極めて重要である。そ  
こで事業の一環として、次年度に作成する短寿命放射性核種の安全取扱に関する教育資料  
作成する計画となっている。本年度は、その準備段階として、教育資料作成に必要な情報を  
収集し、その内容を検討した。短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料は様々な分野  
の方に広く利用いただくことが望ましい。そのために、教育資料の作成については、放射線  
安全管理の専門家で、かつ様々な研究のバックグラウンドをもつ分野の研究者で構成され  
ている日本放射線安全管理学会に担当いただくのが最適と考え、教育資料作成の業務を引  
き受けていただいた。本年度は、教育資料作成の準備ために、既に出版されている教育資料、  
利用可能な資料の確認と資料の収集が実施されている。また、教育資料の目次案が検討され  
た。

### 2.4.2. 活動・作業内容等に関する報告

#### ① アドホック委員会

教育資料作成に関する検討を行うため、日本放射線安全管理学会内に「短寿命放射性核種  
の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会」を設けた。本委員会の委員は以下の通  
りである。

委員長：久下裕司（北海道大学アイソトープ総合センター）

委員：右近直之（福島県立医科大学，先端臨床研究センター）

大江一弘（大阪大学大学院医学系研究科）

柴 和弘（金沢大学学際科学実験センター）

西 弘大（長崎大学原爆後障害医療研究所）

桧垣正吾（東京大学アイソトープ総合センター）

古澤 哲（東京ニュークリア・サービス株式会社）

渡辺茂樹（量子科学技術研究開発機構高崎量子応用研究所）

渡部浩司（東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター）

## ② 活動・検討内容等に関する報告

「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会」を開催するとともに、適宜、電子メール等の電子媒体による情報交換を行い、教育資料作成に必要な情報を収集した。アドホック委員会の開催実績、及び作業・検討内容の詳細を以下に記載する。

### ②-1 アドホック委員会の開催実績

#### ・第1回 アドホック委員会

日時： 2019年8月16日（金） 15：00～16：00

場所： 名古屋大学工学部 5号館2階230号室 材料会議室

#### ・第2回 アドホック委員会

日時： 2019年12月5日 12：00～13：00

場所： 東北大学農学部総合研究棟会議室3

#### ・第3回 アドホック委員会

日時： 2020年2月21日 9：30～12：00

場所： 東京大学アイソトープ総合センター 講義室

上記の委員会の議事録は資料にまとめた。

### ②-2 作業及び検討の内容

#### 1) 「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料」の作成方針

教育資料作成の方針、すなわち「どのような教育資料が適切であるか・必要であるか等」について検討し、資料作成の方針・方向性を決定した。

表 2.4-1. 資料作成の方針・方向性

資料作成の方針・方向性	
1	主として利用者を対象とした教育資料を作成し、適宜、放射線管理担当者用資料も加える
2	基本的な項目に加えて、詳細な事象に関する資料も作成する
3	対象核種については、医療利用を目的とする短寿命放射性核種とする
4	$\alpha$ 核種を中心に短寿命核種を使用する際の細かな注意事項に関する教育資料とする
5	既存の資料にはない細かな取り扱い方法や防護の具体的方法などを充実させる
6	ヒヤリ・ハット事例などを含める。
7	パワーポイントなどを用いて、講義・プレゼンテーションを行える資料を作成する

上記、方針・方向性に従い、教育資料に必要な項目等を調査・検討し、作成する資料の目次案を作成した。

表 2. 4-2. 作成する資料の目次案

「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料」目次案		
1	放射能・放射線の基礎に関する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射能と放射線の違い</li> <li>・放射性壊変</li> <li>・半減期</li> <li>・放射線の種類</li> <li>・荷電/非荷電粒子</li> <li>・光子（制動 X 線、特性 X 線、<math>\gamma</math> 線、消滅放射線）</li> <li>・放射線と物質の相互作用</li> <li>・<math>\alpha</math> 核種の特 性（<math>^{223}\text{Ra}</math>, <math>^{211}\text{At}</math>, <math>^{225}\text{Ac}</math> など）</li> <li>・単位</li> </ul>
2	防護に関する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギーと LET</li> <li>・放射線の人体影響</li> <li>・単位 (Sv)</li> <li>・距離、遮蔽、時間</li> <li>・個人線量計の使い方</li> <li>・<math>\alpha</math> 核種の防護</li> </ul>
3	取り扱いに関する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非密封線源の取り扱い</li> <li>・使用記録</li> <li>・最大使用数量</li> <li>・実験中のモニタリング (NaI、GM、<math>\alpha</math>サーベイメーター、ハンドフットクロスモニタ)</li> <li>・作業環境 (ドラフトチャンバー、安全キャビネット、グローブボックス)</li> <li>・安全取扱い器具</li> <li>・汚染防止策</li> <li>・動物の取り扱い・諸注意</li> <li>・測定器使用時の諸注意</li> </ul>

		<p>(機器校正:ドーズキャリブレーションでのα線核種の放射能測定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 廃棄物の取り扱い <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ごみの減量について</li> <li>・ 可燃・難燃・不燃の区別</li> <li>・ RI 液体の処理 (量ごとに)</li> <li>・ RI 針</li> </ul> </li> <li>・ 動物廃棄物の取り扱い <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PET 4 核種の扱い (7 日間ルール)</li> <li>・ α 核種の廃棄 (他核種との混入防止について)</li> </ul> </li> </ul>
4	汚染と除染に関する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 表面汚染の測定 (GM)</li> <li>・ 場所の汚染検査</li> <li>・ 人の汚染検査</li> <li>・ 汚染時の対応 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 管理室への連絡</li> <li>・ 除染するか減衰を待つか</li> </ul> </li> <li>・ 除染の方法</li> <li>・ α 核種用の測定器や除染・測定</li> </ul>
5	法令、予防規程	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 安全管理体制</li> <li>・ 関係法令</li> <li>・ 業務従事者の義務</li> <li>・ 管理区域の入退室記録</li> <li>・ 管理室内での作法</li> <li>・ 核種ごとの使用場所</li> <li>・ 緊急時連絡網</li> </ul>
6	その他	



## 2) 参考となる既公表資料に関する情報収集

教育資料作成に必要な資料・参考となる資料等に関する情報収集を行った。参考となる資料の一部を以下に挙げる。

(参考資料例)

- ・「放射性医薬品について—教育資料—」(公益社団法人日本アイソトープ協会)
- ・前臨床 PET、SPECT による分子イメージング研究ガイド(公益社団法人日本アイソトープ協会)
- ・塩化ラジウム(Ra-223)注射液を用いる内用療法の適正使用マニュアル(日本医学放射線学会、  
日本核医学会、日本泌尿器科学会、日本放射線技術学会、日本放射線腫瘍学会)
- ・放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(環境省)  
(<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h30kisoshiryo.html>)

## 3) 本委員会委員等が所有し、利用可能な資料・参考となる資料に関する情報収集

本委員会委員等が所有し、教育資料作成に利用できる資料・参考となる資料に関する情報収集を行った。資料の一部を以下に挙げる。

(使用可能資料・参考資料例)

- ・短寿命アルファ核種の安全取扱教育資料  
(大阪大学放射線科学基盤機構附属ラジオアイソトープ総合センター)
- ・機械知能・航空実験テキスト II.  $\alpha$ 線計測(東北大学工学部 機械知能・航空工学科)
- ・看護師教育資料(長崎大学)
- ・核医学・放射性医薬品講義資料(北海道大学)
- ・放射線教育訓練・教育実習用資料(東北大学・東京大学・金沢大学 他)

## 4) 収集した整理と不足部分に関する検討

上記、3)で収集した資料を整理し、新たに作成すべき項目と既存資料を流用できる項目の仕分けを行った。

## 5) 追加資料作成に向けての検討

追加資料作成に向けて、図 2.4-1 に示す資料例を作成するとともに、役割分担を決定した。



#### 4. 次年度の活動・作業計画

以上のように、次年度に作成する短寿命アルファ線等の安全取扱に関する教育資料作成のための準備段階として、本年度は、教育資料作成に必要な情報を収集し、その内容を検討した。

次年度は、実際に教育資料を作成する。資料の形式は「パワーポイント資料+論文(解説)」の形式とし、本学会誌(JRSM誌)に特集号として掲載するとともに、本学会及び関連学会にて発表することを計画している。また、作成した資料の有効利用を促進するため、本学会ホームページ上で公開する予定である。

日本放射線安全管理学会 会長 中島 覚

## 文献

- 1) 日本アイソトープ協会医学・薬学部会放射性医薬品専門委員会、放射性医薬品について—教育資料— 2019年4月
- 2) 日本アイソトープ協会放射線利用統計 2018年版
- 3) 細野眞,  $\alpha$ 線内用療法の現状と展望, *Isotope News*, **711**, 2-7, (2013).
- 4) E. Boros, A. B. Packard, Radioactive transition metals for imaging and therapy, *Chem. Rev.*, **119**, 870-901 (2019).
- 5) T. I. Kostelnik, C. Orvig, Radioactive main group and rare earth metals for imaging and therapy, *Chem. Rev.*, **119**, 902-956 (2019).
- 6) K. D. Mjos, C. Orvig, *Chem. Rev.*, **114**, 4540-4563 (2014).
- 7) G. R. Morais, A. Paulo, I. Santos, Organometallic complexes for SPECT imaging and/or radionuclide therapy, *Organomet.*, **31**, 5693-5714 (2012).
- 8) S. Bhattacharyya, M. Dixit, Metallic radionuclides in the development of diagnostic and therapeutic radiopharmaceuticals, *Dalton Trans.*, **40**, 6112-6128 (2011).
- 9) S. M. Ametamey, M. Honer, P. A. Schubiger, Molecular imaging with PET, *Chem. Rev.*, **108**, 1501-1516 (2008).
- 10) 国際放射線防護委員会の勧告 (ICRP Pub.60) の取り入れ等による放射線障害防止法関係法令の改正について (通知) , <https://www.nsr.go.jp/data/000045569.pdf>.
- 11) A. Toyoshima, A., K. Nagata, K. Ooe, Z. Zhang, T. Ikeda, S. Ichimura, H. Obata, T. Yoshimura, A. Shinohara, Dispersal rates of astatine-211 from aqueous solutions and chloroform, *Radiat. Saf. Manage.*, **18**, 16-22 (2019).
- 12) K. Nagata, K. Shirasaki, A. Toyoshima, K. Ooe, T. Yamamura, A. Shinohara, T. Yoshimura, Dispersal rate of radon-219 from aqueous radium-223 solution containing sodium chloride/citrate, *Radiat. Saf. Manage.*, **19**, 1-9 (2020).
- 13) T. Yamamura, K. Shirasaki, H. Kikunaga, K. Washiyama, K. Nagata, Z. Zhang, A. Toyoshima, T. Yoshimura, A. Shinohara, Dispersal rates of  $^{225}\text{Ac}$  in exhaust, surface, and waste water under chemical operations, *Radiat. Saf. Manage.*, *Accepted*.
- 14) 武藤利雄, 高田茂, 伊藤伸彦, 北原明治, 千坂治雄, 池田正道, 放射性物質の飛散の測定-溶液の一般的操作における飛散率の核種間相互作用-, *RADIOISOTOPES*, **31**, 641-647 (1982).

- 15) 高田茂, 武藤利雄, 伊藤伸彦, 北原明治, 千坂治雄, 久世逸郎, 立石恒夫, 中村吉秀, 池田正道, 放射性物質の種々の取扱条件での飛散率の概算法, *RADIOISOTOPES*, **32**, 260-269 (1983).
- 16) 山田昭司, 水野徹, 放射性ヨウ素(<sup>125</sup>I)の飛散と飛散したヨウ素の活性炭カートリッジによる捕集, *RADIOISOTOPES*, **46**, 20-27 (1997).
- 17) 戸塚善三郎, 土井正博, 宮沢映次, 川上猛雄, ラジオアイソトープを用いた動物実験での文献調査-飛散率について-, *RADIOISOTOPES*, **47**, 855-863 (1998).
- 18) 篠原厚ら, 平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費「短寿命  $\alpha$  線核種の合理的規制のためのデータ取得による安全性検証と安全管理・教育方法の開発」成果報告書, <https://www.nsr.go.jp/data/000274474.pdf>.
- 19) 公益社団法人日本アイソトープ協会、平成 29 年度放射線対策委託費「短半減期核種の合理的な規制に向けた調査」事業調査報告書, <http://www.nsr.go.jp/data/000256459.pdf>.
- 20) 細野真ら, 平成 30 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費「短寿命  $\alpha$  核種等の RI 利用における合理的な放射線安全管理のあり方に関する研究」成果報告書, <https://www.nsr.go.jp/data/000274474.pdf>.
- 21) 文部科学省原子力安全課, 放射線障害防止法及び関係政省令等改正の内容, 平成 17 年, [https://www.jrias.or.jp/statute/pdf/betu\\_01\\_20050704.pdf](https://www.jrias.or.jp/statute/pdf/betu_01_20050704.pdf)
- 22) T. Watabe T, K. Kaneda-Nakashima, Y. Liu, Y. Shirakami, K. Ooe, A. Toyoshima, E. Shimosegawa, M. Fukuda, A. Shinohara, J. Hatazawa, Enhancement of <sup>211</sup>At Uptake via the Sodium Iodide Symporter by the Addition of Ascorbic Acid in Targeted  $\alpha$ -Therapy of Thyroid Cancer., *J Nucl Med.*, **60**, 1301-1307 (2019).
- 23) T. Watabe, Y. Liu, K. Kaneda-Nakashima, Y. Shirakami, T. Lindner, K. Ooe, A. Toyoshima, K. Nagata, E. Shimosegawa, U. Haberkorn, C. Kratochwil, A. Shinohara, F. Giesel, J. Hatazawa, Theranostics targeting fibroblast activation protein in the tumor stroma: <sup>64</sup>Cu and <sup>225</sup>Ac labelled FAPI-04 in pancreatic cancer xenograft mouse models. *J Nucl Med.*, doi:10.2967/jnumed.119.233122 (2019).

### 3. 平成 31 年度事業成果のまとめ

#### 3.1. ガイドライン等作成会議によるガイドライン内容検討

ガイドラインに盛り込むべき内容、必要な事項を洗い出し、3回のガイドライン等作成会議と2回の打ち合わせにて内容検討の上、以下の内容を盛り込むこととした。

- 1) 適用範囲は、RI等規制法に基づく非密封RIを使用する許可事業所
- 2) 短寿命核種の定義は半減期15日以内を目安
- 3) 許可申請の際に必要な評価に使用するモデル計算の形は維持しつつ、各許可施設は、使用する飛散率等の数値に各施設が導出した実測に基づく値を使用
- 4) 飛散防止装置の導入
- 5) 評価のためのモデル計算への減衰の全面的な導入
- 6) 実測の数値の信頼性担保
- 7) 教育及び訓練の内容
- 8) 非密封線源の許可使用者以外の者による下限数量以下の非密封線源の使用

また、飛散防止装置についてのRIフィルターへの検討材料及び動物の退出に関する検討材料とするために、 $^{211}\text{At}$ のフィルター捕集に関する実験と実験動物の管理区域からの退出に関する要件に関する実験を実施し、ガイドライン案作成に役立てた。

#### 3.2. 短寿命アルファ線等の安全取扱に関する教育資料の作成のための内容検討

次年度に作成する短寿命アルファ線等の安全取扱に関する教育資料作成のために、日本放射線安全管理学会に資料作成の準備を外注した。日本放射線安全管理学会はアドホック委員会を設置し、目次案を作成した。続いて、目次案の中から、既存の資料を使用できる項目と新たに資料を作成する項目に仕分け、資料作成の役割分担を行った。

#### 3.3. ガイドライン等内容に関する各関連学協会及び原子力規制庁との協議

原子力規制庁放射線規制部門と協議を1回実施した。原子力規制庁との協議で、まだガイドライン案の中身について変更点が多くあることが分かったため、本年度は、関連学協会のうち、放射線安全管理の専門家集団である大学等放射線施設協議会と日本放射線安全管理学会に絞って、両学会では理事会ベースでガイドライン案について意見をいただいた。日本アイソトープ協会とは、下限数量以下のRIの使用について協議するとともに、PO及びアドバイザーの所属であるため、今年度は、PO及びアドバイザーとガイドライン案について協議をする形で実施した。他の関連学協会は、ガイドラインの利用が主になるとと思われるため、次年度、さらにガイドラインの内容がより固まってきた段階で協議をお願いする予

定である。

### 3.4. 事業進捗のPDCA

原子力規制庁及び同庁が任命するプログラムオフィサーに対し、進捗報告し確認をいただくとともに、的確な助言をいただいた。

### 3.5. 本年度の成果発表

本事業と密接に関連する学協会にて、3件の招待講演を行うとともに、文部科学省の共同利用・共同研究拠点で、大学として随一のアルファ線放出核種を使用できる施設の研究会にて、本事業を紹介した。

招待講演、3件

- ・「短寿命アルファ核種等の安全規制のガイドライン」  
吉村崇、日本放射線安全管理学会、仙台、12月
- ・短寿命放射性核種の安全取り扱いのための教育資料  
久下裕司、日本放射線安全管理学会、仙台、12月
- ・短寿命アルファ線放出核種の合理的な安全規制のための研究  
吉村崇、  
第59回日本核医学会学術総会、第39回日本核医学技術学会総会学術大会  
松山、11月

口頭発表1件

- ・Ra-223 および Rn-219 の飛散率の測定と短寿命アルファ線放出核種等の安全規制に関するガイドライン等の作成  
吉村崇、東北大学金属材料研究所 2019年度大洗アルファ合同研究会  
仙台、10月

上記の事業成果のまとめに示すように、本年度の事業は全て計画どおり実施された。

#### 4. 資料

##### 資料 1. 平成 31 年度原子力規制委員会放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）短寿命アルファ線放出各種等の合理的な安全規制のためのガイドライン等の作成 第 1 回会議議事要旨

日時：令和元年 7 月 4 日（木） 17:00~19:00

場所：大阪大学ラジオアイソトープ総合センター（吹田本館）会議室

出席者：久下（北大 RI セ）、渡部（東北大 CYRIC）、白崎（東北大金研）、永津（量研機構）、米倉（アイソトープ協会）、山村（京大複合研）、畑澤（阪大核）、藤堂（阪大放射線機構）、篠原（阪大院理）、豊嶋（阪大放射線機構）、兼田（阪大放射線機構）、渡部（阪大院医）、巽（阪大病院）、山口（阪大病院）、神谷（阪大病院）、川口（阪大病院）、永田（阪大放射線機構）、中島（広大 N-BARD）、吉村（阪大放射線機構）  
中村（PO、アイソトープ協会）、永崎（規制庁）、土居（規制庁）

議事要旨：

##### 1) 事業概要説明

吉村より、本事業の概要について説明があった。

##### 2) 過去の短寿命核種の安全規制に関する研究の成果報告

・アイソトープ協会「短半減期核種の合理的規制に向けた調査」事業

久下より、原子力規制庁平成 29 年度放射線対策委託費協会「短半減期核種の合理的規制に向けた調査」で実施された事業成果のうち、文献調査、利用ニーズ調査、及び使用方法調査の結果について報告があった。

・「短寿命アルファ核種等の RI 利用における合理的な放射線安全管理のあり方に関する研究」

永津より、平成 29-30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）で実施された「短寿命アルファ核種等の RI 利用における合理的な放射線安全管理のあり方に関する研究」の成果のうち、海外での使用施設での短寿命の非密封アルファ核種の使用実態について報告があった。

・「短寿命  $\alpha$  線核種の合理的規制のためのデータ取得による安全性検証と安全管理・教育方法の開発」



篠原より、平成 29-30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）で実施された「短寿命  $\alpha$  核種の合理的規制のためのデータ取得により安全性の検証と安全管理・教育方法の開発」の成果について報告があった。

3) 「ガイドライン作成に向けて」

PO の中村より、本事業のガイドライン作成に向けてのスタイル・項目、適用範囲、スケジュール等について、提案があった。

4) 日本放射線安全管理学会アドホック委員会「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成」

久下より、日本放射線安全管理学会に外注する短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成に向けて学会内でアドホック委員会を設立することを、現在、学会理事会で審議中との旨、報告があった。

（7 月 9 日付け日本放射線安全管理学会理事会で承認済み）

アドホック委員会委員

委員長 久下裕司（北大）

委員 柴和弘（金沢大）、渡部浩司（東北大）、西弘大（長崎大）、右近直之（福島県立大）、桧垣正吾（東大）

オブザーバー 吉村 崇（阪大）

5) 今後の予定等について

・たたき台を作成するための WG を作成することになり、久下、渡部（東北大）、永津、渡部（阪大）、山口、吉村が担当することになった。

・次回の会議は 9 月ないし 10 月に開催されることとなった。

資料 2. 平成 31 年度原子力規制委員会放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）短寿命アルファ線放出各種等の合理的安全規制のためのガイドライン等の作成 第 2 回会議に向けた打ち合わせ議事要旨

日時：令和元年 10 月 29 日（火）10:00～12:20

場所：日本アイソトープ協会

出席者：中村（PO、アイソトープ協会）、米倉（アイソトープ協会）、吉村（阪大）

協議事項

- ・ 第二回会議に向けて作成したガイドライン案への各委員からのコメントの確認
- ・ コメント内の疑問点に関する回答内容協議
- ・ コメントを踏まえたガイドライン案改訂内容の協議

資料 3. 平成 31 年度原子力規制委員会放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）短寿命アルファ線放出各種等の合理的安全規制のためのガイドライン等の作成 第 2 回会議議事要旨

日時：令和元年 11 月 12 日（火）10:00～12:40

場所：大阪大学放射線科学基盤機構附属ラジオアイソトープ総合センター吹田本館

参加者：久下（北大 RI セ）、白崎（東北大金研）、羽場（理研）、

米倉（アイソトープ協会）、山村（京大複合研）、畑澤（阪大核物理）、

藤堂（阪大放射線機構）、篠原（阪大院理）、豊嶋（阪大放射線機構）、

兼田（阪大放射線機構）、山口（阪大病院）、川口（阪大病院）、

渡部（阪大院医）、大江（阪大院医）、中島（広大 N-BAND）、

永田（阪大放射線機構）、吉村（阪大放射線機構）、

中村（アイソトープ協会 PO）、古賀（規制庁）、西尾（規制庁）、

オブザーバー：白神（阪大放射線機構）、伊藤（日本メジフィジックス）

欠席者：渡部（東北大 CYRIC）、永津（量研機構）、神谷（阪大病院）

#### 報告事項

##### 1. 前回の議事要旨の確認

資料 1 に基づいて、前回の議事要旨が確認された。

##### 2. オブザーバー参加について

日本メジフィジックス Theranostics 開発センター 伊藤氏及び阪大放射線科学基盤機構の白神先生にオブザーバ参加いただくことが報告された。

##### 3. 日本放射線安全管理学会短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会活動状況報告

8 月 16 日に開催された日本放射線安全管理学会アドホック委員会について、久下先生より報告された。12 月初旬の日本放射線安全管理学会開催時にアドホック委員会の開催を予定している旨、報告があった。

#### 協議事項

##### 1. ガイドライン等内容について

ガイドライン案について議論し、以下について合意を得た。

○本ガイドラインの適用範囲

適用範囲は半減期が 15 日程度とすることとした。

○放射性同位元素濃度の評価

a. 作業室の空気中の放射性同位元素濃度

- ・飛散率等に関しては実測値を用いて良い。
- ・使用中の減衰を考慮して良い。
- ・実測の数値は、他の施設等で得られたデータと同じと考えて良い根拠を示すことが出来れば、その値を用いて評価して良い。
- ・動物実験の飛散率は呼気等からの実測が困難な場合、動物の糞尿および体内残存率から算定して良い。

b. 排気中の放射性同位元素濃度

- ・飛散率、透過率等に関しては実測値を用いても良い。
- ・使用中の減衰を考慮して良い。
- ・動物実験の飛散率は呼気等からの実測が困難な場合、動物の糞尿および体内残存率から算定して良い。
- ・ $^{15}\text{O}$ （半減期：約 2 分）等の極めて短寿命の核種は、作業室から排気口までに減衰を考慮して良い。

○短寿命 RI の持ち出しおよび廃棄

非臨床での組織切片等の作成のために短寿命 RI の持ち出しが必要。動物実験における病理切片等の持出条件については、渡部(直)先生と久下先生が中心となって、問題点を抽出する。案を作成して、次回の全体会議で議論することとなった。

○実測データの取得及びその管理に必要な事項と責任体制

- ・各施設がピアレビュー体制を構築して、実測の結果についてレビューする体制をとる。
- ・レビュー者の任命は実験などに関する事項を承認する委員会等の組織の長
- ・レビュー者は、内部の者でも良い（実測のプロジェクトに関わっていない者に限る。）。外部の者でも良い。

○許可核種使用の適用範囲

- ・飛散率等の実測データについては、新たに実験を始める場合であっても、科学的に問題の無い範囲の変更であれば、許可を得た際に用いた実測データを適用できるものとする。
- ・飛散率測定の実測データの取得および承認が煩雑にならない手順および方法を整える必要がある。

## 2.今後の検討課題と日程

- ・ RI の持出と廃棄と具体的な飛散率実測データ取得事例に関して再度議論する。
- ・ 12 月中にガイドライン骨子を固める。
- ・ 来年度初めに各学協会とガイドライン策定に関する議論を開始。

## 3.次回会議について

12 月中旬に開催を予定

## 4.その他

・ 本ガイドライン策定にあたっては、RI 等規制法及び他の法令に支障がないように配慮して作成する。

- ・ ガイドライン策定後も意見を聞き、責任を負う事務局を組織する必要がある。本研究グループだけでなく、放射線安全管理学会など関連学協会の有識者によって構成すべきとの意見あり。

- ・ 短寿命核種に関する審査ガイド等

原子力規制庁では規制に係る審査ガイド等の整備が進めている。審査ガイドには本安全研究の成果内容を反映することが中長期的な課題とされており、短寿命核種の審査ガイドは再来年に発行されるものと予想される。12 月には安全管理学会、大学等放射線施設協議会等に対して事前の意見聴取の実施が予定されている。

資料 4. 平成 31 年度原子力規制委員会放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）短寿命アルファ線放出各種等の合理的な安全規制のためのガイドライン等の作成 第 3 回会議議事要旨

日時: 12 月 19 日(木) 16:00~17:55

場所: 大阪大学放射線科学基盤機構附属ラジオアイソトープ総合センター吹田本館

出席者: 豊嶋 (阪大)、兼田 (阪大)、巽 (阪大)、藤堂 (阪大)、

渡部 (阪大)、大江 (阪大)、永田 (阪大)、川口 (阪大)、神谷 (阪大)、

久下 (北大)、中島 (広大)、米倉 (アイソトープ協会)、山村 (京大)、

渡部 (東北大)、永津 (量研機構)、篠原 (阪大)、吉村 (阪大)、

中村 (アイソトープ協会、PO)、古賀 (規制庁)、西尾 (規制庁)

オブザーバー参加: 白神 (阪大)、伊藤 (日本メジフィジックス)

欠席者: 畑澤 (阪大)、山口 (阪大)、白崎 (東北大)、羽場 (理研)、

## 議題

### 1. 前回の議事要旨の確認

前回の議事要旨について確認した。

### 2. 医療用 RI 廃棄物のクリアランスに関する ISO の紹介

資料に基づいて、それらの内容が紹介された。以下にポイントをまとめた。

- ・放射性廃棄物はクリアランスレベルに達するまで、放射性廃棄物の現場保管が強く勧められる。
- ・ジェネレータなどは、製造元に返却する。
- ・放射性廃棄物中の放射能の不均一な分布に基づく線量の違いを減らすために、1 m または、特定の長い距離に測定器を配置して測定する。又は、いくつかの点で測定を行って最大値を採用する。すなわち、ここでは、廃棄物中の放射能が均一にならなければいけないといった記述は無い。
- ・放射性不純物に関する記述は無い。

### 3. RI 投与動物等の管理区域外持ち出しについて

資料に基づいて現状についての説明があった。

- ・現状は、販売業の資格をとれば、下限数量以下の RI を払出しすることは可能。しかし、下限数量以下の RI の払出しのために、多くの RI 施設が販売業を取得すると目的外の運用との意見が出てくるのが危惧される。

以下の提案がなされ、了承された。

- ・下限数量以下に減衰した場合に管理区域外への持ち出すことを認める（この場合は、払出しではなく、あくまで持ち出しとする）。ただし、持ち出し先の総量が下限数量を超えないように確認が必要。下限数量以下に減衰したことの確認方法は、実測することが望ましいが、実測が困難な場合は、例えば投与した量に基づき、減衰を考慮して算定する等、計算で求めても差し支えない。

ただし、アイソトープ協会から現在の運用方法等の詳細を教示いただく等の上、検討することとなった。

- ・手順書等の作成等、持ち出し先での取り扱いルールについて
- ・持ち出し後の廃棄方法 現状は、持ち出し元に全て持ち帰る案が考えられるが、そのまま廃棄することは可能か否か

#### 4. アスタチン飛散実験の報告と飛散防止装置のフィルターについて

資料とパワーポイントを使用して、今年度アスタチンの飛散の追加実験した結果が報告された。その後、飛散防止装置のフィルターの種類について議論され、「飛散防止装置に使用するフィルターは核種の性状に応じた適切なフィルターを使用すること」とすることとした。

#### 5. 第 47 回原子力規制委員会に提出された審査ガイド資料案について

資料に基づいて原子力規制庁が審査ガイド資料案の内容が説明された。以下の意見が出され、12月20日に開催される審査ガイドの公開の意見聴取に大学等放射線施設協議会から参加される者に以下の意見を述べていただくよう依頼することとなった。

- ・ガイド案に記載されている放射能の減衰を考慮しない点については、放射能の減衰は自然現象であるため、本会議で提案しているガイドライン案の中でも指摘しているように減衰を認めるべきとの意見が出された。
- ・審査ガイド案では問診について、「問診とは医師が口頭で受診者に健康状態を尋ね、それによって健康状態を診ることをいう。」と定義されているが、口頭で訊く作業は医師

の膨大な業務量の増加になり、非現実的である。Webでの調査（質問-回答）や問診票を使用した形式で医師は被ばく歴の有無を十分把握可能である。

- ・「放射線の被ばく歴の有無は、管理区域内における取扱等業務の履歴の有無」と定義されているが、他の法令との整合性はとれているのか。各法令で定義が変わることは、避けていただきたい。

#### 6. 短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会活動状況

資料に基づいて、第2回目のアドホック委員会が12月5日に開催され、 $\alpha$ 線放出核種の取り扱い資料を充実させるため、安全管理学会の非会員も含めて取り扱い経験を有する者に協力を依頼することになった旨、報告があった。

#### 7. 次回の会議について

次回の会議については、今年度は特に日時は決めず、必要に応じて開催することとなった。

#### 8. その他

特に無し。



資料 5. 平成 31 年度原子力規制委員会放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）短寿命アルファ線放出各種等の合理的な安全規制のためのガイドライン等の作成 日本アイソトープ協会との打ち合わせ議事要旨

日時: 2 月 20 日(木) 15:00～17:00

場所: 日本アイソトープ協会

出席者: 久下（北大）、渡部（東北大）、吉村（阪大）、中村（アイソトープ協会）、北岡（アイソトープ協会）、難波（アイソトープ協会）

議題

1. 下限数量以下の RI の事業所外使用の方法作成に向けて検討

アイソトープ協会より、下限数量以下の RI の販売に関して説明を受けた。その後、下限数量以下の RI の事業所外使用について意見交換した。基本的には、下限数量以下の RI の販売に関して、アイソトープ協会が売り渡し先に依頼している管理の方法が参考になることが分かった。

2. ガイドライン案の打ち合わせ（久下、渡部、中村、吉村）

1 月末に作成したガイドライン案について、2 月 28 日の原子力規制庁との協議に向けて修正点を確認した。

資料 6. 平成 31 年度原子力規制委員会放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）短寿命アルファ線放出各種等の合理的な安全規制のためのガイドライン等の作成 原子力規制庁放射線規制部門との打ち合わせ議事メモ

日時：2020 年 2 月 28 日（金）10：00－13：00

場所：原子力規制庁 7 階会議室

出席者：吉村様（阪大）久下様（北大）、渡部様（東北大）、永津様（量研機構）、渡部様（阪大）  
中村 PO（アイソトープ協会）、鶴園（規制庁）、宮本（規制庁）、土居（規制庁）、西尾（規制庁）

（第 1 章ガイドラインの概要について）

- ・ガイドライン案の外枠として以前の成果報告書（平成 30 年度 短寿命  $\alpha$  線核種の合理的な規制のためのデータ取得による安全性検証と安全管理・教育方法の開発）からの流れ（背景）をガイドラインに入れるべきである。
- ・成果報告書についても過去の安全研究との流れを記載していく。

（第 5 章 短寿命放射性核種の事業所外施設での使用）

- ・事業所外施設での使用は今回の安全研究の枠組みに入っているのか。  
→研究推進委員会にて前回の安全研究事業（近大、RI 協会）を踏まえて了承されている。
- ・本ガイドラインでは規則改正ではなく、運用の改善を落とし込んでいく。
- ・非密封線源になると総量規制になるので事業所外になると譲渡譲受を行う必要あり。現状だと 7 日間ルール（PET4 核種）の適応しかない。
- ・規則にはねるかどうかは規制庁側と話し合いをし、検討しなければいけない。
- ・持ち出しについてもガイドラインに RI 協会が行っているように下限数量以下のものを小分けして確認して事業所に渡す場合は販売という形で手続きをし帳簿つける前提の背景を記載して書いていないと行政としては違和感がある。
- ・アイソトープ協会が行っているような販売業で行うのではなく、条件付をしてしぼる必要がある。

（第 3 章放射線測定機器及び装置、6 章信頼性担保の方法、7 章教育及び訓練について）

- ・平成 12 年の通知（国際放射線防護委員会勧告（ICRP Pub.60）の取り入れ等による放射線障害防止法関係法令の改正について）について緩和ができないかとなっており、（要件を

満たせば実測値として使用できる) ガイドライン案の内容は必要性の議論のみになっており、許容性の議論がなされていない。

・第3章、6章、7章の活動をきちんと行えば問題ないということから書かなければいけないがガイドライン案からは見えてこない。

→1章の概要に書き下しておく必要がある。

・3章、6章、7章は4章(評価の方法)を緩和していくものであるが読んだだけでは分かりにくい。章の組み立てについても再検討する必要がある。

・実験から得たデータに保証を付けて、実験内容のマニュアルとガイドラインの関係を描く必要である。同等であるというエビデンスとして認められれば良いという形にするべきである。

・ある一定の例示を示すべきではないか。事業所毎でレベルが異なるため、どこで誰がやるかを示す必要がある。例示をガイドライン内に入れるかマニュアルに入れるかは今後検討する必要がある。

・吉村先生としては例示としてきっちり固めるのではなく、ある程度緩めて記載したい。  
→ガイドラインに沿ってロジカルに信頼性確保や教育訓練、測定関連をやったうえでの実測データを適切な方法で評価する流れとなっているかそれぞれの章でここまでやっていけばよいとするのか。審査側としては最低限ここまで求めるようなラインがあれば審査しやすい。

#### (第6章 信頼性担保の方法)

・ガイドライン中の抽象的な表現(例えば6.1 責任体制の構築での組織体制を構築することが強く推奨される。)などはどこまでの体制を組めば良いのかを考察した方が良い。

・信頼性を確保するために何を求めているのか(実験データの再現性など)を考えていけば最低限何が求められているのかを把握することができる。

・信頼性確保には学术论文になっているものは査読を行っているため信頼性が高いため、学术论文に従うという書き方でもいいのか。

→データを見るのではなく信頼性確保のシステムが取られているかが重要になる。

・基本的にはデータを引用するのではなく、事業所で実験を行い、実験内容が正当であることを審査してもらうべきである。

・ガイドラインについてはすべての事業所が行えるのではなく、しかるべき事業所(10施設程度)が行えるものにしておくべきではない。

#### (第7章 教育及び訓練)

・教育資料については来年度予算で放射線安全管理学会に依頼を行っている。

・ガイドラインの教育については特定の人だけでなく事業所施設全体で行っている教育訓練に追加して行うのか。

→この教育については通常のものに追加して行うものではなく、限られた特定の人について行うものである。実測数字に合わせた訓練になるため、特定の人に行うものである。ガイドラインにはそのことについても明記する。

・教育訓練は At などの飛散率は容器の大きさによって変わるので教育訓練でどのような容器を使うなど手順について教育する必要がある。

(第3章放射線測定機器及び装置、6章信頼性担保の方法、7章教育及び訓練について)

・核種の物理的・化学的性質については今回のガイドラインには入れていないという理解でいいのか。

→3章、6章、7章で定義付けをして実測をしているのであれば良い。スタンスしてはすべての規制を緩めるわけではなく、データとしてトレーサビリティがあるものはそれを使用する考え。

・化学的根拠が無しに半減期 15 日程度と決める場合は、3章、6章、7章で細かく規定をして無秩序に広がらないようにする又は 15 日程度にした根拠付けをする必要がある。

・P-32 は焼却できるのでガイドラインに記載する必要があるか。

→対象としては入っているが医学利用に主を置いているのでガイドラインには焼却炉までは書かなくて良いのではないか。

・安全研究で研究してきた核種以外も適応するのかまた、加速器で製造するような核種まで展開するのか安全研究の位置づけとガイドラインで何処まで認めるかをしっかりしなければいけない。

・現在、3 核種で想定しているが半減期 15 日程度で一般化した場合、飛散率などに数値的な基準をガイドラインで論じることができるか。

(第3章 放射線測定器及び装置)

・3.1 (アルファ核種を取り扱う事業所が持つ) 6章 (教育訓練) に移動した方がいいのではないか。

・半減期については減衰について考慮できると書いてあるが、時間を適切に置かないと過小評価になってしまうため、丁寧に書く必要がある。現状の PET4 核種も一律で 8 時間の減衰にしている。

・前提条件を付けて評価を行っているので過大でもなく過小でもない減衰時間評価につい

て整理しなければいけない。

・許可上の数値の最大の濃度時間であり、その数値を常に使い続けるという考え方から脱しなければ話が進まない。規制庁側としても柔軟に考えなければならない。

資料 7. 「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会」 2019  
年度 第1回委員会 議事録

日時：8月16日（金） 15：00～16：00 （理事会終了後）

場所：名古屋大学工学部 5号館2階230号室 材料会議室

<http://www.nagoya-u.ac.jp/access-map/higashiyama/engg.html>

（工学部・工学研究科 C2③の建物）

出席者：久下裕司（委員長）、渡部 浩司、西 弘大、右近 直之、吉村 崇（オブザーバ）

欠席者：柴 和弘、桧垣正吾

議題

1. 本委員会の目的の確認と、平成 31 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）「短寿命アルファ線放出核種等の合理的安全規制のためのガイドライン等の作成」事業について

吉村氏より「短寿命アルファ線放出核種等の合理的安全規制のためのガイドライン等の作成」事業について説明をいただいた。

2. 作成する「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料」について

- 1) 現在すでに利用可能な資料について

事前配布された以下の①、②に加えて、各委員が所有する、または作成に関与している資料を可能な範囲で共有することが合意された。例として、下記③、④、⑤

（参考資料）

- 1 「放射性医薬品について—教育資料—」（2019.04）

下記ページの申込フォームにて氏名、所属機関、職種等の事項を登録すれば、PDF形式のファイルとしてダウンロード可能。

<https://www.jrias.or.jp/report/cat4/421.html>

- 2 大阪大学放射線科学基盤機構附属ラジオアイソトープ総合センター（吹田本館）

短寿命アルファ核種の安全取扱教育資料（吉村 崇先生より）

- 3 東北大学教育実習用資料（渡部委員）

- 4 長崎大学看護師教育資料（西 委員）

- 5 日本アイソトープ協会分子イメージングテキスト（作成中）（西 委員）

2) どのような教育資料が適切であるか・必要であるか等、に関する意見交換

以下の意見交換・方向性の検討が行われた。

- 教育資料は、利用者を対象とするが、適宜、放管担当者用資料も作成する。
- 内容としては、基本的な項目に加えて、詳細な事象に関する資料も作成する。
- 上記①、⑤にはあまり書かれていない、細かな取り扱い方法（下記参照）や防護の具体的方法などを充実させる。
- ヒヤリ・ハット事例などを含める。
- アルファ核種を中心に短寿命核種を使用する際の細かな注意事項に関する教育資料が必要
  - ・アルファ核種は、原則として排水には流さない。
  - ・測定の際の注意事項など（特に、壊変系列を形成する核種での測定法など）
  - ・放射性ヨウ素、アスタチンなどの飛散に関する注意事項
- 対象核種については、医療利用を目的とする短寿命放射性核種とする。
  - ・まずは対象となる核種をリストアップする。
  - ・半減期は10日くらいが適切かと思われるが、上記リストの結果により検討する。
- 資料の形式は「パワーポイント資料+論文（解説）」の形式、すなわちJRSM誌に特集号として掲載することを一つの目的とする。
- 上記、議論を踏まえ、資料の目次案を作成する。

3) 資料作成に向けての役割分担など

- 資料の目次案の作成：アルファ核種については右近委員、それ以外の核種については西委員が中心となり作成する。（目途として次回委員会までに）

3. その他

- 疑問点、検討事項などについては、随時、メールで意見交換を行う。
- 次回委員会は、12月5-7日の安全管理学会学術大会時に行うが、必要に応じて開催を検討する（例えば、11月1-3日の日本核医学会総会時など）

以上

資料 8. 「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会」 2019  
年度 第2回委員会 議事録

日時：12月5日 12:00-13:00

場所：東北大学農学部総合研究棟の会議室3

出席者：久下裕司（委員長）、柴 和弘、渡部 浩司、西 弘大、右近 直之、桧垣正吾、  
中島 覚、（オブザーバ：吉村 崇）

欠席者：なし

議題

1. 前回議事メモの確認

前回議事録が確認・承認された。

2. 作成する「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料」について

1) 西委員、右近委員の作成した教育資料目次、及び「短寿命アルファ線放出核種等の合理的な安全規制のためのガイドライン(案)」に基づき意見交換を行った。その結果、以下の事項が確認された。

- ・ α線放出核種の取扱の詳細に関する資料を充実させる必要があるが、本学会の非会員も含めて取扱経験を有する人に協力を依頼すること。なお、その候補者として、渡辺茂樹氏（量研・高崎）、大江一弘氏（阪大）が挙げられた。
- ・ 放射能測定に関する項目を追加すること。
- ・ 資料に用いる図等は、環境省資料（下記）が有用であること。

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h30kisoshiryo.html>

2) 資料作成に向けての役割分担・スケジュールの再確認など

以下の役割分担・スケジュールで進めることが了承された。

2020.1月末までに	各委員は利用可能な手持ち資料（PPT）をクラウドにアップロード。なお、クラウドは久下が学会広報委員会・事務局と相談して設定する。
2020.2～3月	PPT資料の整理と不足分の追加。3月に第3回アドホック委員会開催。
2020.3～4月	PPT資料のドラフト版作成。PPTドラフト案理事会確認。第4回アドホック委員会開催。



2020. 5 - 7 月	学会誌への投稿原稿作成、PPT 資料の完成。
2020. 8 月	学会誌への投稿原稿作成、PPT 資料の理事会承認。
2020. 9 月	安全管理学会誌への投稿

資料 9. 「短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料作成アドホック委員会」 2019  
年度 第3回委員会 議事録

日時：2020年2月21日 9:30-11:00

場所：東京大学アイソトープ総合センター 講義室

出席者：久下裕司（委員長）、右近直之、西 弘大、桧垣正吾、渡部浩司、大江一弘、  
古澤 哲、渡辺茂樹 オブザーバ：吉村 崇

欠席者：柴 和弘

議題

1. 前回議事メモの確認

資料に基づき、前回議事メモが確認・承認された。

2. 作成する「短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料」について

1) クラウドにアップロードされた短寿命核種教育訓練資料（PPT）について

久下委員長から、資料、クラウドデータに基づき、アップロードされた短寿命核種教育訓練資料（PPT）の現状について説明があった。

2) 上記1)の整理と不足部分について（右近委員、西委員、渡辺委員）

久下委員長、右近委員から、資料、クラウドデータに基づき、資料の不足部分について説明があった。その後、不足部分、作成する資料の方向性について、確認と合意が行われた。主な論点は以下の通りである。

- ・  $\alpha$  核種・短寿命核種の特殊性に関する資料が不足している。
- ・ 運搬に関する資料が不足している。
- ・ 揮発性 RI、ガス状 RI に関する資料を追加する必要がある。
- ・ 規制庁からは、一般利用者（ $\alpha$  核種、短寿命核種を使用しない利用者）の教育にも利用できる資料が望まれている。

3) 追加資料作成に向けての役割分担の再確認など

追加資料作成に向けての役割分担を決定した。各自の役割は以下の通りである。また、各自の分担分の資料を3月末までにクラウドにアップすることが同意された。

委員名等	役割分担
右近	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>\alpha</math> 線の防護</li> <li>・ (<math>\alpha</math> 線に関わる不足部分全般)</li> </ul>
大江	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <math>\alpha</math> 核種の特性 (223Ra, 211At, 225Ac など)</li> <li>・ 測定器使用時の諸注意 (機器校正: ドーズキャリブレーションでの <math>\alpha</math> 線核種の放射能測定)</li> </ul>
久下	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Ra-223 の測定</li> <li>・ 核医学診断、治療の基本的事項の整理と不足分の追加</li> <li>・ 全体の確認 (重複・不足分に関するコメント)</li> </ul>
柴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 運搬に関する資料 (学内、学外、下限数量以下等)</li> <li>・ 全体の確認 (重複・不足分に関するコメント)</li> </ul>
西	<p>下記項目のうち短寿命核種 (非 <math>\alpha</math>) に関する内容</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 動物実験</li> <li>・ 臓器、排泄物等の廃棄</li> <li>・ 臓器の保管、測定</li> </ul>
桧垣	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 荷電/非荷電粒子</li> <li>・ <math>\alpha</math> 核種の特性 (223Ra, 211At, 225Ac など)</li> <li>・ 放射線の人体影響</li> <li>・ 最大使用数量</li> <li>・ 汚染防止策</li> <li>・ <math>\alpha</math> 核種用の測定器や除染・測定</li> <li>・ 管理区域の入退室記録</li> <li>・ 管理区域内での作法</li> </ul> <p>(図の取捨選択、著作権や RI 協会の図の許諾など)</p>
古澤	<p>下記現場の状況について調査、資料作成</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 作業環境</li> <li>・ 安全取扱器具</li> <li>・ 保管、保管廃棄</li> </ul>
渡辺	<p>以下のうち <math>\alpha</math> 核種に関する項目</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 作業環境 (ドラフトチャンバー、安全キャビネット、グローブボッ</li> </ul>

	クス) ・動物実験
渡部	・放射性ガスの取扱い ・内部被ばく ・ $\alpha$ 核種の測定（専門性が高いためオプション扱い）

なお、吉村氏には、全体の構成等に対するアドバイスをいただく。

### 3. 2019年度報告書について

久下委員長から、2019年度報告書（案）について説明があり、日付を修正して、会長に提出することが承認された。

### 4. その他

#### 1) 次回の会議開催について

4月または5月の理事会の日程に合わせて開催する。

資料 10. 短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料目次案のうち、現在、新たに教育資料として作成すべき項目（白黒反転）

「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料」目次案：不足分の検討		
1	放射能・放射線の基礎に関する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射能と放射線の違い</li> <li>・放射性壊変</li> <li>・半減期</li> <li>・放射線の種類</li>   <li>・光子（制動 X 線、特性 X 線、<math>\gamma</math> 線、消滅放射線）</li> <li>・放射線と物質の相互作用</li>   <li>・単位</li> </ul>
2	防護に関する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エネルギーと LET</li>   <li>・単位 (Sv)</li> <li>・距離、遮蔽、時間</li> <li>・個人線量計の使い方</li> </ul>
3	取り扱いに関する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非密封線源の取り扱い</li> <li>・使用記録</li>   <li>・実験中のモニタリング (NaI、GM、<math>\alpha</math>サーベイメーター、ハンドフットクロスモニタ)</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>・動物の取り扱い・諸注意</li>   <li>・廃棄物の取り扱い <ul style="list-style-type: none"> <li>・ごみの減量について</li> <li>・可燃・難燃・不燃の区別</li> </ul> </li> </ul>
4	汚染と除染に関する項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・表面汚染の測定 (GM)</li> <li>・場所の汚染検査</li> <li>・人の汚染検査</li> <li>・汚染時の対応 <ul style="list-style-type: none"> <li>・管理室への連絡</li> <li>・除染するか減衰を待つか</li> </ul> </li> <li>・除染の方法</li> </ul>
5	法令、予防規程	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全管理体制</li> <li>・関係法令</li>   <li>・核種ごとの使用場所</li> <li>・緊急時連絡網</li> </ul>
6	その他	

\*白黒反転文字：新たに教育資料を作成すべき項目



短寿命アルファ線放出核種の  
合理的な安全規制のための研究

大阪大学放射線科学基盤機構  
附属ラジオアイソトープ総合センター  
吉村 崇



### 短寿命アルファ線放出核種の安全規制研究

- 平成29—30年度 原子力規制委員会放射線安全規制研究戦略的推進事業  
「短寿命 $\alpha$ 線核種の合理的規制のためのデータ取得による  
安全性検証と安全管理教育方法の開発」  
 $^{211}\text{At}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{225}\text{Ac}$ 及びその壊変核種の飛散率等の測定
- 平成31—令和2年度 原子力規制委員会放射線安全規制研究戦略的推進  
事業  
「短寿命アルファ線放出核種等の合理的安全規制のためのガイドライン等  
の作成」  
放射性同位元素等の規制に関する法律に係る安全規制のための  
施設設備基準及び行為基準をまとめる



## 短寿命 $\alpha$ 線放出核種の安全規制研究

- 近年、短寿命 $\alpha$ 線核種の核医学応用のための研究が精力的に進められている。近い将来、これらの核種の大量製造と医学利用が盛んになると期待される。
- その際、作業者、公共の安全を確保しつつ、研究開発を支えるための合理的な放射線管理がより一層望まれる。このためには、法令および安全管理の根拠となる飛散量等のデータを取得し、その安全取り扱いや管理手法の開発が必須である。

原子力規制委員会放射線安全規制研究戦略的推進事業

**重点テーマ**：短寿命 $\alpha$ 核種等のRI利用における合理的な放射線安全管理のあり方に関する研究（H29～H30）

「短寿命 $\alpha$ 線核種の合理的規制のためのデータ取得による安全性検証と安全管理教育方法の開発」 篠原厚（大阪大学）

$^{211}\text{At}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ および $^{225}\text{Ac}$ とそれらの壊変核種について空気中への飛散量、表面汚染、排水中への混入量のデータ取得



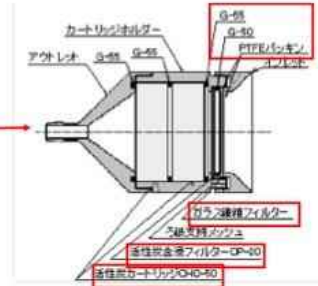
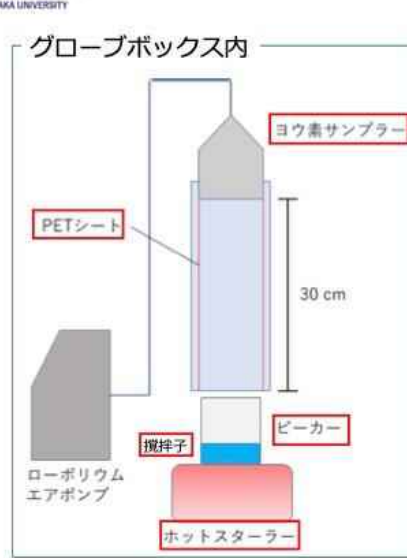
## 研究組織

阪大院理	篠原 厚（代表）、兼田（中島）加珠子、張子 見
阪大放射線機構	吉村 崇、豊嶋厚史、永田光知郎
阪大院医	畑澤 順、渡部直史、大江一弘
京大複合研	山村朝雄
東北大金研	白崎謙次
東北大ELPH	菊永英寿
理研仁科セ	羽場宏光
福島医大先端臨床研究セ	鷺山幸信



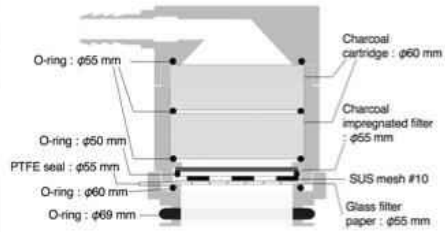


# 実験セットアップ



溶液量：20 mL in 100 mLビーカー  
 吸引量：30 L/min  
 吸引時間：60分間 with 溶液攪拌  
 溶液の種類：pH 1 using  $H_2SO_4$  aq.  
 pH 7 using  $H_3PO_4$  aq. buffer  
 pH 13 using  $NaOH$  aq.  
 $CHCl_3$

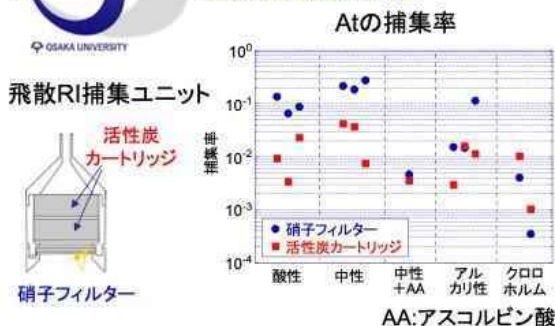
吸引後、溶液0.5 mL を分取  
 測定した部位





## 211 At飛散率測定実験の結果

### ○飛散率測定実験



### ○実操作実験



#### 各溶液条件での飛散率

溶液条件	飛散率
酸性	0.11±0.03
中性	0.26±0.02
中性+AA	0.0082±0.0003
アルカリ性	0.06±0.04
クロロホルム	0.008±0.005

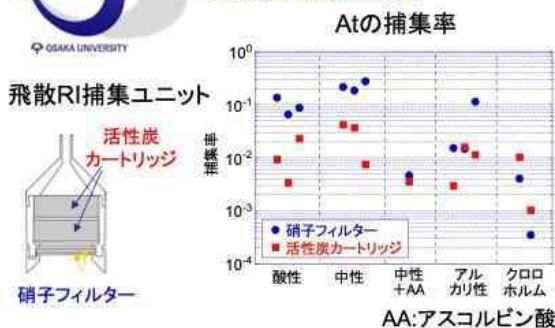
#### 各実験操作での飛散率

実験操作	飛散率
振とう	
ビニール袋(内)	0.03±0.01
ビニール袋(外)	0.02±0.01
遠心分離	
ビニール袋	0.02±0.01



## 211 At飛散率測定実験の結果

### ○飛散率測定実験



### ○実操作実験



#### 各溶液条件での飛散率

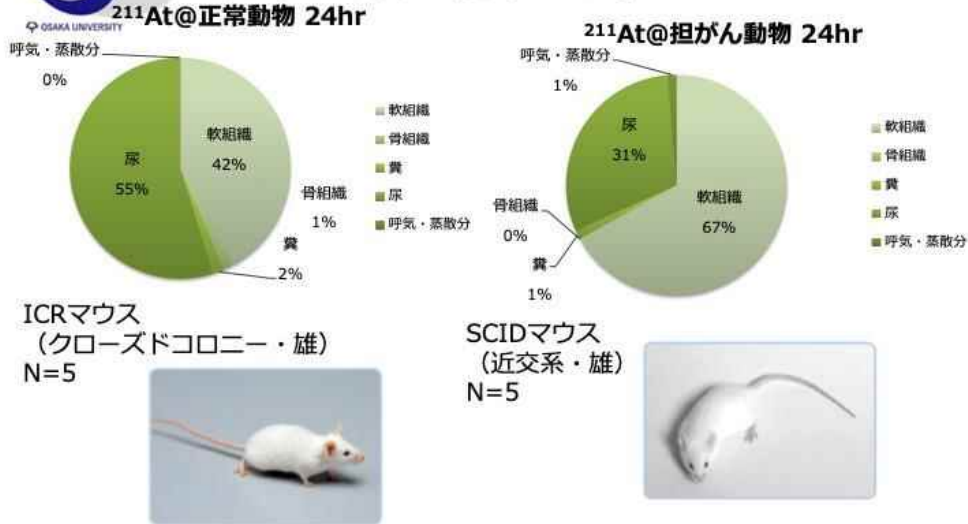
溶液条件	飛散率
酸性	0.11±0.03
中性	0.26±0.02
中性+AA	0.0082±0.0003
アルカリ性	0.06±0.04
クロロホルム	0.008±0.005

#### 各実験操作での飛散率

実験操作	飛散率
振とう	
ビニール袋(内)	0.03±0.01
ビニール袋(外)	0.02±0.01
遠心分離	
ビニール袋	0.02±0.01



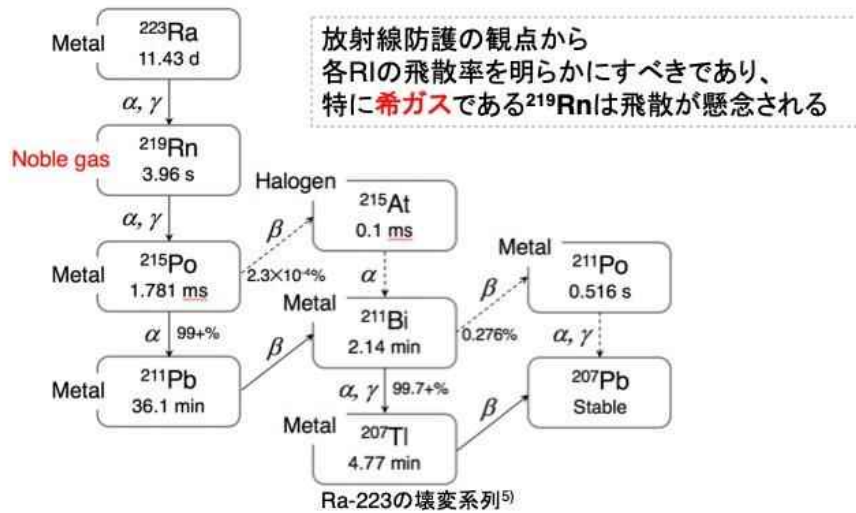
## 飛散率等の基礎データの取得の結果 (動物実験の結果の例)



投与した量は、ほぼ全て体内に残存か、糞尿へ移行  
動物実験の飛散率1はかなり過大評価



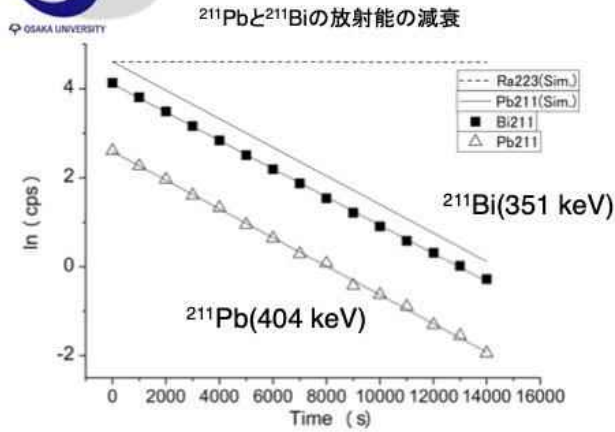
## 223Raおよびその子孫核種



5) (公社)日本アイソトープ協会, アイソトープ手帳(11版), 2011年



## ガラスフィルター上の<sup>211</sup>Pbと<sup>211</sup>Biの減衰挙動



$T_{1/2}$  Simulation

<sup>223</sup>Ra : 274.4 h

<sup>211</sup>Pb : 0.602 h

$T_{1/2}$  Exp. data

<sup>211</sup>Pb : 0.607 h  
±0.004

<sup>211</sup>Bi : 0.598 h  
±0.006

<sup>211</sup>Pbおよび<sup>211</sup>Biの半減期  $T_{1/2} =$  <sup>211</sup>Pbの半減期  $T_{1/2}$

金属イオン( $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$ ,  $\text{Tc}^{7+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Pm}^{3+}$ )は $10^{-8} \sim 10^{-9}$ の低飛散率を示す。<sup>6)</sup>

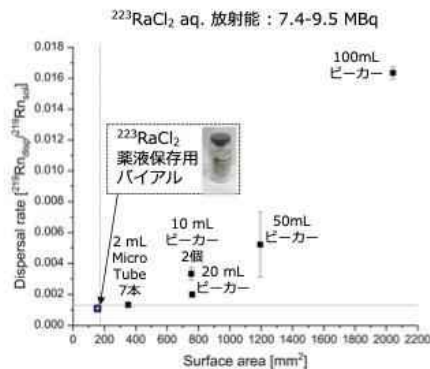
→ <sup>223</sup>Raは飛散しておらず(検出限界未滿)、希ガスである<sup>219</sup>Rnの飛散が原因と特定

6) Y. Nakamura et al., RADIOISOTOPES, 1983, 32, 260-269.



## <sup>223</sup>Raの飛散実験

### 3. <sup>219</sup>Rnの飛散率の液面の表面積依存性



<sup>223</sup>Ra保存用バイアル(内径:11 mm)の蓋を開放した状態であっても、空气中へ飛散する<sup>219</sup>Rnの飛散率は1時間当たり $1.3 \times 10^{-3}$ 以下  
⇒シリンジを用いるのでほぼ飛散しない

### 4. 実際の実験操作を想定した飛散率測定

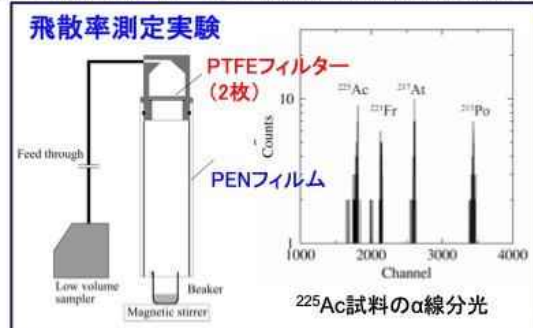


実験操作	<sup>223</sup> Ra 飛散率	<sup>219</sup> Rn 飛散率	<sup>219</sup> Rn 検出限界    <sup>211</sup> Pb 検出限界 (7.6 Bq)未滿
振とう	N.D.	N.D.	
遠心分離	N.D.	N.D.	

⇒実際の実験操作においても  
ほとんど飛散しない

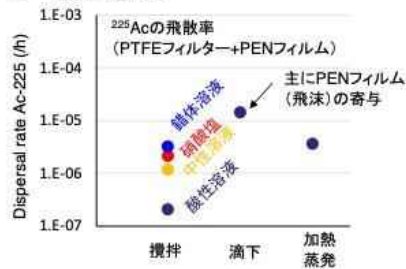
## 225Ac飛散率測定実験の結果(東北大学)

- 225Acの飛散率、表面汚染、排水中濃度のデータ取得
- 具体的各種化学実験における225Acの飛散率、表面汚染、排水中濃度のデータ取得



### ○結果

#### 1. 225Acの飛散率



#### 2. 具体的各種化学実験における225Acの飛散率

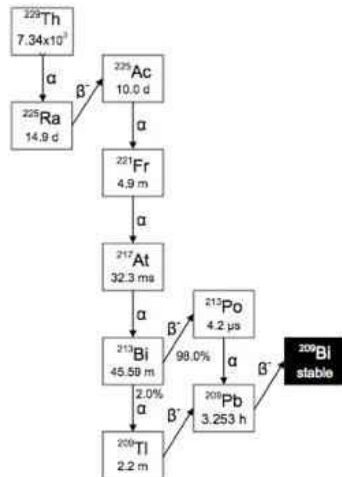
各実験における225Ac飛散率測定(酸性水溶液)

実験操作	225Ac飛散率(%)
振とう	N.D.*
遠心分離	N.D.*

\* 225Ac検出限界未満



## 225Acの飛散



いずれの試料もAc-225は検出されず  
飛散率は極めて小さい

225Acの飛散は無い。

動物実験における225Acの動態  
投与した量は、ほぼ体内に残るか  
糞尿へ移行



## 飛散率実験のまとめ

OSAKA UNIVERSITY

### **$^{211}\text{At}$ の飛散率実験**

- ・有機溶媒（クロロホルム）中では、ほとんど空気中への飛散は無い
- ・水溶液中では、溶液のpHによって飛散する割合が変化する。アスコルビン酸を加えると飛散はほぼ無くなる。

### **$^{223}\text{Ra}$ の飛散率実験**

- ・ $^{223}\text{RaCl}_2$ 溶液からの $^{223}\text{Ra}$ の飛散はしない
- ・ $^{211}\text{Pb}$ ,  $^{211}\text{Bi}$ のフィルターへの吸着がみられる →  $^{219}\text{Rn}$ としての飛散が原因
- ・ $^{219}\text{Rn}$ の飛散は容器口径により大きく依存する。
  - 医薬品としての利用では、バイアルに封入し、シリンジで分取、投与のため $^{219}\text{Rn}$ が空気中に飛散することはほとんど無い。

### **$^{225}\text{Ac}$ の飛散率実験**

- ・ $^{225}\text{Ac}$  は飛散は僅か（最大で $10^{-4}/\text{h}$ レベルと推定）

平成31年度～ 原子力規制委員会放射線安全規制研究戦略的推進事業  
 「短寿命アルファ線放出核種等の合理的安全規制のためのガイドライン等の作成」  
 代表：吉村 崇（大阪大学）

## 短寿命α核種安全規制のためのガイドライン等作成

短寿命α線放出核種： $^{211}\text{At}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{225}\text{Ac}$

- ・医学利用の拡大が大いに期待
- ・短時間で減衰、消滅するため、長寿命のα核種と同様の規制を課すのは合理的ではないのでは？

### 問題の解決へのアプローチ

- ・法令根拠となる基礎データ（飛散率（空気中濃度）、表面汚染、排水への移行率）の取得
- ・使用実態の調査
- ・国外の先行事例の調査
- ・短寿命α線核種取扱に関する教育及び訓練方法の開発

合理的規制のためへの次のステージ

短寿命α核種安全規制のためのガイドライン等作成

## 本事業の目的・目標

放射性同位元素等の規制に関する法律に基づく

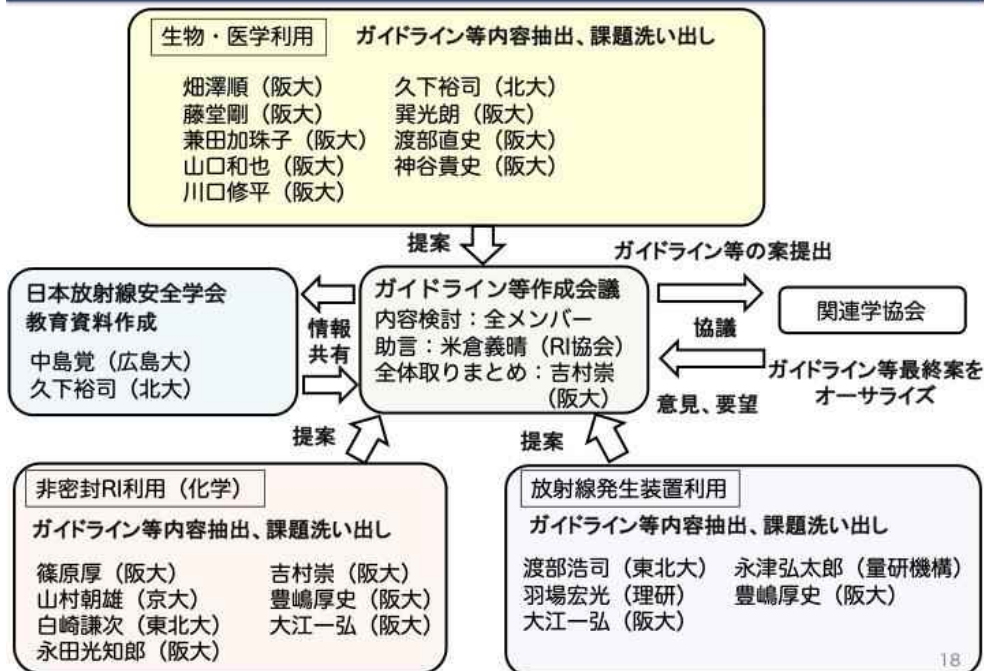
各放射線事業所での短寿命α線放出核種等の許可使用数量を決める新しい施設設備基準及び行為基準をまとめるために、ガイドライン等を作成する

○本事業で作成するガイドライン等の位置づけ

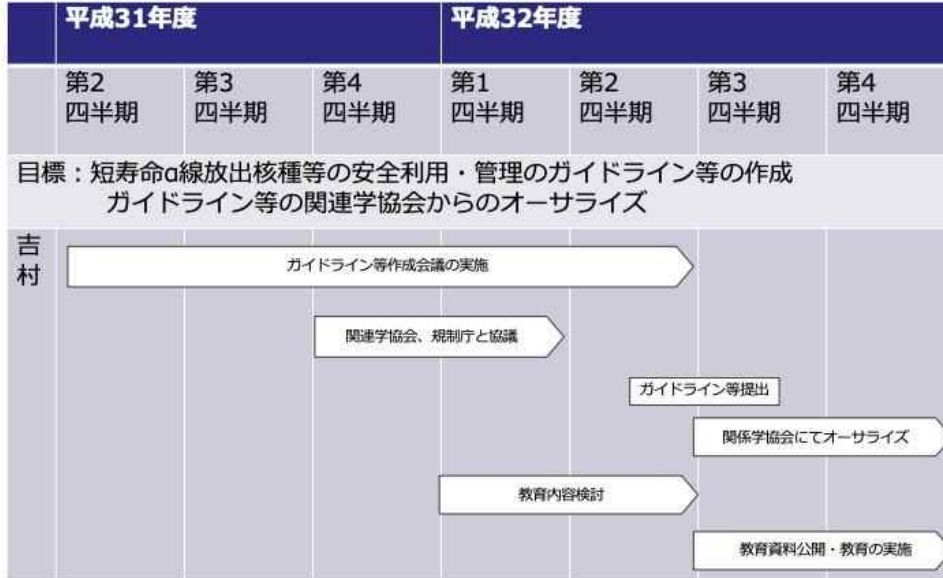
- 1) 本ガイドライン等は、合理的に安全性が担保される場合には一律の規制でなく、施設の状況に応じて、規制を緩和する根拠となるものである。（十分な教育体制が整っており、必要な基準を遵守できる場合に限る。）
- 2) 本ガイドライン等は関連学協会にてオーサライズされると共に、各事業所の許可申請における使用数量設定の根拠となり、かつ原子力規制委員会が使用数量の許可を判断する上でも、科学的に検証された合理的な判断基準として取り扱われる存在となる。

17

## 実施体制



## 事業計画



19

## まとめ

### 短寿命α核種の合理的規制のためへの次のステージ

#### 短寿命α核種等安全規制のためのガイドライン等作成

短寿命アルファ線放出核種の合理的規制のガイドライン等作成のために、経験豊かな者からなる研究グループを形成

- ・ 非密封α核種等取扱のプロフェッショナルである放射化学が専門のメンバーが多数参画
- ・ 核医学の専門家が多数参画
- ・ 放射線安全管理の専門家も多数参画



- ・ 短寿命α線放出核種を使用する各ステップでガイドライン等に盛り込むべき内容、必要な事項を洗い出す
- ・ ガイドライン等作成会議を行い、その内容及び課題について議論、検討し、ガイドライン等の案を作成
- ・ 関連学協会及び原子力規制庁と協議し、内容をブラッシュアップ
- ・ 作成したガイドライン等は、関連学協会のオーサライズを得る
- ・ ガイドライン等に即した短寿命α線核種等取扱のための教育及び訓練方法開発・資料作成





短寿命アルファ線放出核種等の合理的  
安全規制のためのガイドライン等の作成

- 短寿命アルファ核種等の安全規制のガイドライン (吉村)  
事業概要  
進捗状況
- 短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料 (久下)

## 短寿命核種安全規制のためのガイドライン等作成

短寿命 $\alpha$ 線放出核種： $^{211}\text{At}$ ,  $^{223}\text{Ra}$ ,  $^{225}\text{Ac}$

- 医学利用の拡大が大いに期待
- 短期間で減衰、消滅するため、長寿命の核種と同様の規制を課すのは合理的ではないのでは？

問題の解決へのアプローチ

- 法令根拠となる基礎データ（飛散率（空气中濃度）、表面汚染、排水への移行率）の取得
- 使用実態の調査
- 国外の先行事例の調査
- 短寿命核種取扱に関する教育及び訓練方法の開発

合理的規制のためへの次のステージ

短寿命核種安全規制のためのガイドライン等作成



本グループが関係した短寿命アルファ核種等の安全規制に関する研究・調査（1）

○平成29～30年度 原子力規制庁放射線安全規制研究戦略的推進事業  
「短寿命 $\alpha$ 線核種の合理的規制のためのデータ取得による安全性検証と安全管理・教育方法の開発」

代表：篠原 厚（大阪大学）

- $^{211}\text{At}$ 、 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ の非密封化学実験、動物実験における飛散率、表面汚染、排水混入率の測定データの取得
- 医療従事者の安全確保のための $^{223}\text{Ra}$ 医療現場調査
- ヒヤリハット事例の収集、安全管理、教育法開発



## 本グループが関係した短寿命アルファ核種等の安全規制に関する研究・調査（2）

○平成29～30年度 原子力規制庁放射線安全規制研究戦略的推進事業  
「短寿命 $\alpha$ 線核種等の合理的な放射線安全管理のあり方に関する研究」  
代表：細野 真（近畿大学）

- ・ 国外施設での短寿命アルファ核種の使用方法調査

○平成29年度 放射線対策委託費  
「短寿命核種の合理的な規制に向けた調査」  
日本アイソトープ協会  
委員長：畑澤 順（大阪大学）、WG主査：久下裕司（北海道大学）  
渡部浩司（東北大学）

- ・ 文献調査による各国（米国・欧州）が定める濃度基準等の収集
- ・ 利用ニーズ調査
- ・ 使用方法調査

## 規制庁安全規制研究での成果（篠原）（その1）

### ○ $^{211}\text{At}$ の飛散率実験での結果

- ・ 有機溶媒（クロロホルム）中、ほとんど空気中への飛散は無し
- ・ 水溶液中、溶液のpHによって飛散する割合が変化
- ・ pH 7 水溶液から $^{211}\text{At}$ の飛散が起こる（およそ20%程度）が、アスコルビン酸を加えると飛散はほぼ無くなる（Atイオンの還元が起こり、飛散しにくい化学種に変化したと推定）
- ・ 遠心分離と振とう実験においては、ほとんど飛散は無し

### ○器具等の洗浄

酸性溶液以外：2回洗浄すれば、容器内のRIの割合が使用量の1/100未満になる  
→ 従来どおりの排水混入率(0.01)が適用可能。  
酸性溶液：洗浄してもRIが残存し続ける。（酸性溶液は通常排水しない）  
→ 洗浄はせずにRI廃棄物とするか、減衰待ちした上で洗浄する

### ○動物実験時における $^{211}\text{At}$ の飛散

ほぼ全て体内に残存か、糞尿へ移行しており、呼吸による飛散は1%以下

6

## 規制庁安全規制研究での成果（篠原）（その2）

### ○ $^{223}\text{Ra}$ の飛散率等

- $^{223}\text{RaCl}_2$ 溶液からの $^{223}\text{Ra}$ の飛散は検出限界未満 →  $^{223}\text{Ra}$ は飛散しないとして良い
- $^{211}\text{Pb}$ ,  $^{211}\text{Bi}$ のフィルターへの吸着がみられる →  $^{219}\text{Rn}$ としての飛散が原因
- $^{219}\text{Rn}$ の飛散は容器口径により大きく依存
  - 実際は、 $^{223}\text{Ra}$ は医薬品としての利用がほとんどである。この場合、バイアルに封入し、シリンジを用いるため、 $^{219}\text{Rn}$ が空气中に飛散することはほとんど無いと考えられる

### ○ $^{225}\text{Ac}$ の飛散率等

- $^{225}\text{Ac}$ は液体（攪拌）では、酸性 $2 \times 10^{-7}/\text{h}$ 、中性 $2 \times 10^{-6}/\text{h}$ 、中性錯体 $1 \times 10^{-5}/\text{h}$ 、固体（乾固硝酸塩）では $3 \times 10^{-6}/\text{h}$
- 実験操作（酸性液体）に関しては滴下 $1.4 \times 10^{-5}/\text{h}$ （飛沫）、蒸発 $3.5 \times 10^{-6}/\text{h}$ となる →  $^{225}\text{Ac}$ は飛散は僅か（最大で $10^{-4}/\text{h}$ レベルと推定）

### ○器具等の洗浄

- 2回洗浄すれば、容器内のRIの割合が使用量の1/100未満になる  
→ 従来どおりの排水混入率が適用可能

### ○動物実験 $^{223}\text{Ra}$ 、 $^{225}\text{Ac}$ の動物からの飛散は無し

7

## 本事業の目的・目標

放射性同位元素等の規制に関する法律に基づく

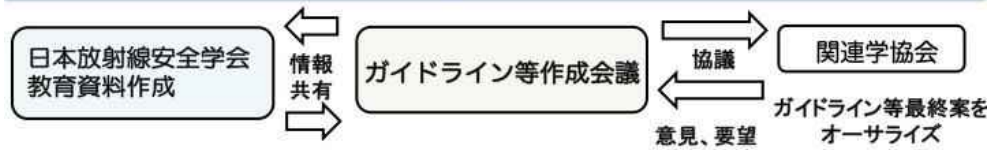
各放射線事業所での短寿命核種等の許可使用数量を決める  
新しい施設設備基準及び行為基準をまとめるために、  
ガイドライン等を作成する

### ○本事業で作成するガイドライン等の位置づけ

- 1) 本ガイドライン等は、合理的に安全性が担保される場合には一律の規制でなく、施設の状況に応じて規制する根拠となるものである。  
(十分な教育体制が整っており、必要な基準を遵守できる場合に限る。)
- 2) 本ガイドライン等は関連学協会にてオーサライズされると共に、各事業所の許可申請における使用数量設定の根拠となり、かつ原子力規制委員会が使用数量の許可を判断する上での合理的な判断基準として取り扱われる存在となる。

8

## 実施体制



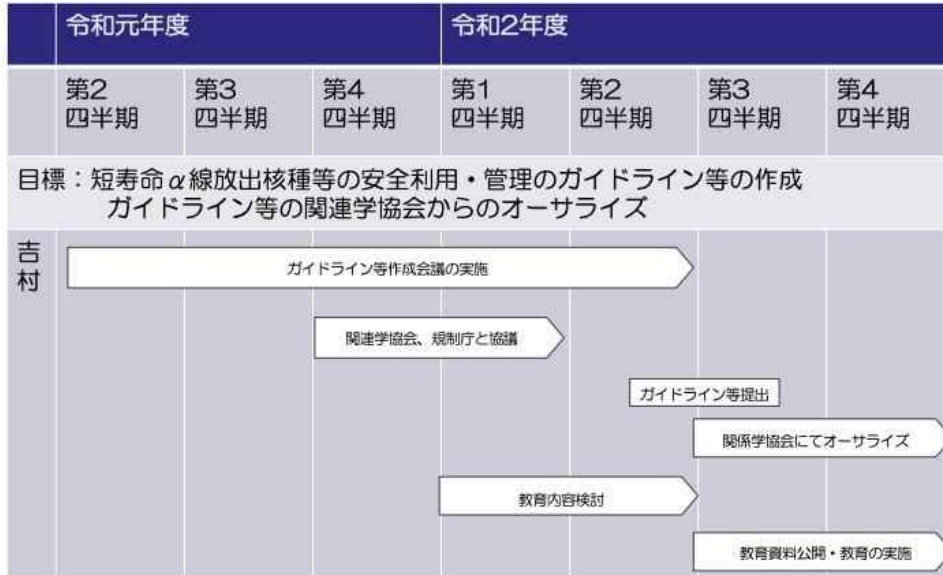
### ガイドライン等作成会議メンバー

全体取りまとめ：吉村崇（阪大）  
 PO：中村吉秀（RI協会）  
 助言：米倉義晴（RI協会）

- |             |           |              |
|-------------|-----------|--------------|
| 中島覚（広島大）    | 畑澤順（阪大）   | 篠原厚（阪大）      |
| 久下裕司（北大）    | 藤堂剛（阪大）   | 豊嶋厚史（阪大）     |
| 渡部浩司（東北大）   | 巽光朗（阪大）   | 大江一弘（阪大）     |
| 白崎謙次（東北大）   | 兼田加珠子（阪大） | 永田光知郎（阪大）    |
| 永津弘太郎（量研機構） | 渡部直史（阪大）  |              |
| 羽場宏光（理研）    | 山口和也（阪大）  | オブザーバー       |
| 山村朝雄（京大）    | 神谷貴史（阪大）  | 白神宣史（阪大）     |
|             | 川口修平（阪大）  | 伊藤拓          |
|             |           | （日本メジフィジックス） |

9

## 事業計画



10

## 現在の作成会議での検討状況（1）

### ○ガイドラインの目的・必要性

作業者や公共の安全を確保しつつ、合理的な放射線管理を行うために短寿命核種等の合理的安全規制のための施設設備基準及び行為基準を定めるガイドライン等を作成する

### ○ガイドラインの適用範囲

「放射性同位元素等の規制に関する法律」に基づく規制に適用される

放射性同位元素等の規制に関する法律で密封されていない放射性同位元素を取扱う許可（承認）を受けた放射線事業所が対象である。

従って、医療機関における本ガイドラインの適用範囲については、放射性同位元素の規制に関する法律に基づいて規制を受ける範囲

（例えば、短寿命アルファ線放出核種を用いた治験薬や臨床研究薬の製造部分）とする

### ○本ガイドラインの適用核種の範囲

半減期が15日程度までの短寿命放射性核種とする

## 現在の作成会議での検討状況（2）

### ○使用等における評価方法の概要

従来から行われている計算による使用数量等の評価法を使用するが、飛散率等については、**実測の値を適用できるようにする。**

また、使用時間を設定可能にし、さらに各核種について、**減衰も考慮に入れて評価できるものとする。**

実測の数値は、他の施設等で得られたデータと同じと考えて良い根拠を示すことが出来れば、その値を用いて評価して良い。

従来から実施されている平成12年10月23日付け科学技術庁

「国際放射線防護委員会の勧告(ICRP Pub.60)の取り入れ等による放射線障害防止法関係法令の改正について(通知)」(以下、通知という

。)で通知された飛散率等の数字を利用する形で、

原子力規制委員会より各核種の使用許可（承認）を得る方法も

便利な方法である。

そこで、**従来からの方法を使用しつつ、ガイドラインで設定された**

**設備基準及び行為基準を満たした時に、原子力規制委員会は使用数量の増加を許可（承認）する形をとることにする。**

## 現在の作成会議での検討状況（3）

### ○設備

作業室内への飛散防止装置を使用した場合、その飛散防止装置の排気口から放出される放射性同位元素の排出率から平均濃度を算出する方法を用いて良い。その例として、法令には無い新しいカテゴリーとして、RIアイソレーションボックス（RIフィルター付隔離操作ボックス、排気系に接続しないグローブボックス）が挙げられる



## 現在の作成会議での検討状況（4）

### ○実測データの取得及びその管理に必要な事項と責任体制

- ・各施設がピアレビュー体制を構築して、実測の結果についてレビューする
  - ・レビュアーの任命は実験などに関する事項を承認する委員会等の組織の長
- (1) 飛散率等の実験では、各施設内でプロジェクトチームを作り、実験責任者を規定する事が望ましい
  - (2) 実験等に関係する事項を承認する委員会等の組織体制を構築することが望ましい
  - (3) 施設内で実験方法やそのデータについて、ピアレビューする体制を構築すること
  - (4) レビューの過程は、記録に残すことが望ましい
  - (5) プロジェクトチームは、実験報告書を作成し、施設内の委員会で承認を受けること
  - (6) 実験に関係した記録、データは保管責任者を任命して保管すること
  - (7) 上記の一連の手順については、放射線障害予防規程に記載すること
  - (8) 上記の一連の手続きを許可申請の際の添付資料等にすることや、ヒアリング等を受けることによって、原子力規制委員会から使用の許可を得る

## 現在の作成会議での検討状況（5）

### ○教育及び訓練

- ・通常の教育及び訓練とは別に実施することが望ましい
- ・前回の教育訓練を実施した年度の次の年度の開始日から1年以内とする

### 教育の内容

以下の内容について、教育することが望ましい

- (1) 許可核種について
- (2) 許可使用核種の数量と使用場所
- (3) 大量使用する場合の管理者の承認
- (4) 使用する測定機器の使用方法
- (5) 許可核種の使用方法と使用上の注意（ヒヤリハットを含む）
- (6) 記録方法、保管方法、廃棄方法
- (7) 定められた手順通りに実施出来ない場合の対処方法
- (8) 緊急時の対応
- (9) その他、施設特有の事項

### 訓練の内容

定められた実験手法に基づいた訓練を実施する。

### 教育及び訓練の手順の放射線障害予防規程への記載

上記の教育及び訓練の手順については、放射線障害予防規程へ記載すること

## まとめ

短寿命核種の合理的規制のためへの次のステージ


### 短寿命核種等安全規制のためのガイドライン等作成


短寿命アルファ線放出核種の合理的規制のガイドライン等作成のために、経験豊かな者からなる研究グループを形成

- ・非密封核種等取扱のプロフェッショナルである放射化学が専門のメンバーが多数参画
- ・核医学の専門家が多数参画
- ・放射線安全管理の専門家も多数参画

- ・短寿命核種を使用する各ステップでガイドライン等に盛り込むべき内容、必要な事項を洗い出す
- ・ガイドライン等作成会議を行い、その内容及び課題について議論、検討し、ガイドライン等の案を作成
- ・関連学協会及び原子力規制庁と協議し、内容をブラッシュアップ
- ・作成したガイドライン等は、関連学協会のオーサライズを得る
- ・ガイドライン等に即した短寿命核種等取扱のための教育及び訓練方法開発・資料作成



 北海道大学アイソトープ総合センター  
Central Institute of Isotope Science, Hokkaido University




## 短寿命放射性核種の 安全取扱のための教育資料

日本放射線安全管理学会  
「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会」

委員長: 久下裕司 (北海道大学アイソトープ総合センター)  
委員: 右近 直之、柴 和弘、西 弘大、桧垣正吾、渡部 浩司  
オブザーバ: 吉村 崇

2019.12.06. 9:30-10:30 (10分)  
日本放射線安全管理学会 第18回学術大会 規制研究セッション

平成31年度放射線対策委託費(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)  
**放射線安全規制研究推進事業**



**短寿命アルファ線放出核種の安全規制のためのガイドライン等の作成**  
代表: 吉村 崇 (大阪大学)

短寿命  $\alpha$ 核種の合理的規制のためへの次のステージ  
短寿命  $\alpha$ 核種安全規制のためのガイドライン等作成

短寿命アルファ線放出核種の合理的規制のガイドライン等作成のために、  
経験豊かな者からなる研究グループを形成

- ・ 非密封  $\alpha$ 核種取扱のプロフェッショナルである放射化学が専門のメンバーが多数参画
- ・ 臨床利用も含むRIの医学系利用のプロフェッショナルが多数参画
- ・ 放射線安全管理の専門家も多数参画

↓

- ・ 短寿命  $\alpha$ 線放出核種を使用する各ステップでガイドライン等に盛り込むべき内容、必要な事項を洗い出す。
- ・ ガイドライン等作成会議を行い、その内容及び課題について議論、検討し、ガイドライン等の案を作成
- ・ ~~関係学協会及び原子力規制庁と協議し、内容をブラッシュアップ~~
- ・ **短寿命  $\alpha$ 線核種取扱に関する教育及び訓練方法の開発**

## 「短寿命放射性核種の安全取扱 のための教育資料」の作成



平成31年度放射線対策委託費(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)

### 放射線安全規制研究推進事業

短寿命アルファ線放出核種の安全規制のためのガイドライン等の作成

代表: 吉村 崇 (大阪大学)



## 「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料」 の作成



一般社団法人

日本放射線安全管理学会

Japanese Society of Radiation Safety Management



一般社団法人

日本放射線安全管理学会

Japanese Society of Radiation Safety Management



## 「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成 アドホック委員会」

委員長: 久下裕司

委員: 右近直之、柴和弘、西弘大、桧垣正吾、渡部浩司

オブザーバ: 吉村 崇

第一回委員会

日時: 8月16日(金)

場所: 名古屋大学工学部 5号館2階230号室 材料会議室

## 短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料 (方針・案)



対象:主に利用者、副として放射線管理担当者  
核種:医療利用を目的とする短寿命放射性核種  
(半減期<15日程度、アルファ核種を中心)

### 内容:

- アルファ核種を中心に短寿命核種を使用する際の細かな注意事項に関する教育資料とする。
- 基本的な項目に加えて、詳細な事象に関する資料とする。
- 既存資料に書かれていない、細かな取り扱い方法や防護の具体的方法などを充実させる。
- ヒヤリ・ハット事例などを含める。

## 短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料 目次(案)



### 【基本的項目】

- ・放射能と放射線の違い
- ・放射性壊変
- ・半減期
- ・放射線の種類
- ・荷電/非荷電粒子
- ・光子(制動X線、特性X線、 $\gamma$ 線、消滅放射線)
- ・放射線と物質の相互作用
- ・ $\alpha$ 核種の特性(223Ra, 211At, 225Acなど)
- ・単位
- ・エネルギーとLET
- ・放射線の人体影響
- ・単位(Sv)
- ・距離、遮蔽、時間
- ・個人線量計の使い方
- 【法令、予防規定】
- ・安全管理体制
- ・関係法令
- ・業務従事者の義務
- ・管理区域の入退室記録
- ・管理室内での作法
- ・核種ごとの使用場所
- ・緊急時連絡網

### 【取り扱いに関する項目】

- ・非密封線源の取り扱い
- ・使用記録・最大使用数量
- ・実験中のモニタリング(NaI, GM、 $\alpha$ サーベイメーター、ハンドフットクロスモニタ)
- ・作業環境(ドラフトチャンパー、安全キャビネット、グローブボックス)
- ・安全取扱い器具
- ・汚染防止策
- ・動物の取り扱い・動物実験中の諸注意
  - ・RI動物の解剖・RI動物の臓器の測定、保管
- ・測定器使用時の諸注意(機器校正、 $\alpha$ 線核種の放射能測定)
- ・廃棄物の取り扱い
  - ・ごみの減量について
  - ・可燃・難燃・不燃の区別・RI液体の処理(量ごとに)
  - ・RI針・RI動物の臓器・RI動物の死体・RI動物の排泄物
  - ・敷き藁/床敷き・オートクレープの使い方
  - ・PET 4核種の扱い(7日間ルール)
  - ・ $\alpha$ 核種の廃棄(他核種との混入防止について)

### 【汚染と除染に関する項目】

- ・表面汚染の測定(GM)・場所の汚染検査・人の汚染検査
- ・汚染時の対応
  - ・管理室への連絡・除染するか半減期を待つか・除染の方法

## 短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料 (方針・案)



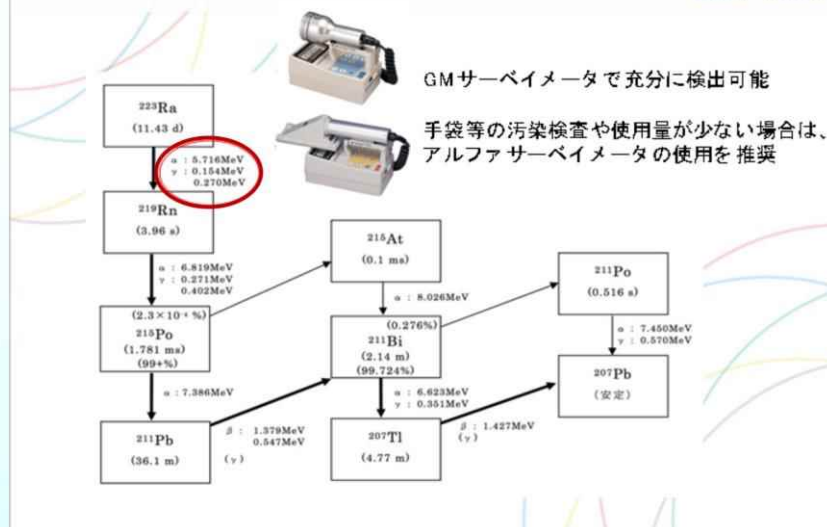
### 内容の例:

- 測定の際の注意事項(特に、壊変系列を形成する核種での測定法など)
- 放射性ハロゲン、特にアスタチン-211の飛散に関する注意事項
- アルファ核種の排水に関する注意事項(原則として排水には流さないこと)

- 測定の際の注意事項(特に、壊変系列を形成する核種での測定法など)の例



### $^{223}\text{Ra}$ の壊変と使用するサーベイメータ





➤ アルファ核種の排水に関する注意事項  
(原則として排水には流さないこと)



第一欄	第六欄	第一欄	第六欄
放射性同位元素の種類 核種 (半減期)	排液中又は排水中の 濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )	放射性同位元素の種類 核種	排液中又は排水中の 濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )
C-11 (20.4 m)	4 × 10 <sup>1</sup>	In-111 (2.8 d)	3 × 10 <sup>0</sup>
C-14 (5700 y)	2 × 10 <sup>0</sup>	I-123 (13.2 h)	4 × 10 <sup>0</sup>
F-18 (110 m)	4 × 10 <sup>1</sup>	I-124 (4.2 d)	6 × 10 <sup>-2</sup>
P-32 (14.3 d)	3 × 10 <sup>-1</sup>	I-125 (59.4 d)	6 × 10 <sup>-2</sup>
Ga-67 (3.3 d)	4 × 10 <sup>0</sup>	I-131 (8.0 d)	4 × 10 <sup>-2</sup>
Ga-68 (67.7 m)	8 × 10 <sup>0</sup>	Lu-177 (6.65 d)	2 × 10 <sup>0</sup>
Ge-68 (271 d)	7 × 10 <sup>-1</sup>	Tl-201 (72.9 h)	9 × 10 <sup>0</sup>
Sr-89 (50.5 d)	3 × 10 <sup>-1</sup>	At-211 (7.2 h)	7 × 10 <sup>-2</sup>
Zr-89 (78.4 h)	1 × 10 <sup>0</sup>	Ra-223 (11.4 d)	5 × 10 <sup>-3</sup>
Y-90 (64.0 h)	3 × 10 <sup>-1</sup>	Ra-226 (1600 y)	2 × 10 <sup>-3</sup>
Mo-99 (65.9 h)	1 × 10 <sup>0</sup>	Ac-225 (10.0 d)	3 × 10 <sup>-2</sup>
Tc-99m (6.0 h)	4 × 10 <sup>1</sup>		

告示別表第2

短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料



目次(案)

【基本的項目】

- 放射能と放射線の違い
- 放射性壊変
- 半減期
- 放射線の種類
- 荷電/非荷電粒子
- 光子 (制動X線、特性X線、γ線、消滅放射線)

- 放射線と物質の相互作用
- α核種の特性 (223Ra, 211At, 225Acなど)
- 単位
- エネルギーとLET
- 放射線の人体影響
- 単位 (Sv)
- 距離、遮蔽、時間
- 個人線量計の使い方

【法令、予防規定】

- 安全管理体制
- 関係法令
- 業務従事者の義務
- 管理区域の入退室記録
- 管理室内での作法
- 核種ごとの使用場所
- 緊急時連絡網

【取り扱いに関する項目】

- 非密封線源の取り扱い
- 使用記録・最大使用数量
- 実験中のモニタリング (NaI, GM、αサーベイメーター、ハンドフットクロスモニタ)
- 作業環境 (ドラフトチャンパー、安全キャビネット、グローブボックス)
- 安全取扱い器具
- 汚染防止策
- 動物の取り扱い・動物実験中の諸注意
  - RI動物の解剖・RI動物の臓器の測定、保管
- 測定器使用時の諸注意 (機器校正、α線核種の放射能測定)
- 廃棄物の取り扱い
  - ごみの減量について
  - 可燃・難燃・不燃の区別・RI液体の処理 (量ごとに)
  - RI針・RI動物の臓器・RI動物の死体・RI動物の排泄物
  - 敷き藁/床敷き・オートクレープの使い方
  - PET 4核種の扱い (7日間ルール)
  - α核種の廃棄 (他核種との混入防止について)

【汚染と除染に関する項目】

- 表面汚染の測定 (GM)・場所の汚染検査・人の汚染検査
- 汚染時の対応
  - 管理室への連絡・除染するか半減期を待つか・除染の方法

## 短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料



一般社団法人  
日本放射線安全管理学会  
Japanese Society of Radiation Safety Management

資料の形式:「パワーポイント資料+解説(論文)」  
JRSM誌に掲載



平成31年度放射線対策委託費(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)

### 放射線安全規制研究推進事業

短寿命アルファ線放出核種の安全規制のためのガイドライン等の作成

代表: 吉村 崇 (大阪大学)



北海道大学アイソトープ総合センター  
Central Institute of Isotope Science, Hokkaido University



## 短寿命放射性核種の 安全取扱のための教育資料

- アドホック委員会に加わって、資料作成にご協力いただける方を募集しています。
- 興味をお持ちの方は、久下までご連絡ください。

日本放射線安全管理学会

「短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会」

委員長: 久下裕司

委員: 右近 直之、柴 和弘、西 弘大、桧垣正吾、渡部 浩司

オブザーバ: 吉村 崇

資料 14. 成果報告会での発表資料



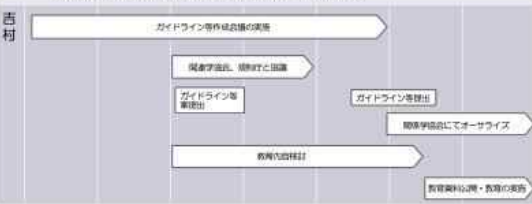
## 短寿命アルファ線放出核種等の 合理的な安全規制のための ガイドライン等の作成

大阪大学放射線科学基盤機構  
附属ラジオアイソトープ総合センター  
吉村 崇

### 概要

**課題名**  
短寿命アルファ線放出核種等の合理的な安全規制のためのガイドライン等の作成

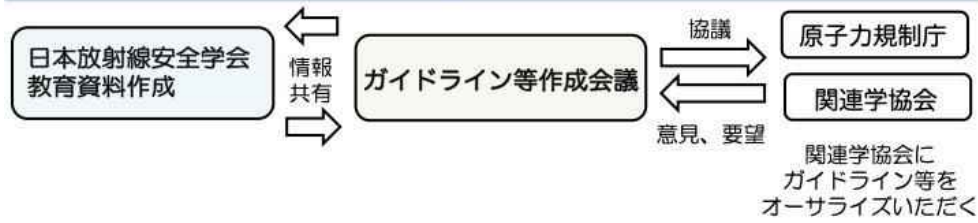
**目的**  
放射性同位元素等の規制に関する法律に基づく各放射線事業所での短寿命核種等の許可使用量を算定する評価についての新しい方法をまとめるために、ガイドライン等を作成する。

	令和元年度			令和2年度			
	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
<b>目標：</b> 短寿命 $\alpha$ 線放出核種等の安全利用・管理のガイドライン等の作成 ガイドライン等の関連学協会からのオーサライズ							
<b>吉村</b>							
<b>実施状況：</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>作成会議（3回）</li> <li>PO及びアドバイザーとの打ち合わせ（1回）</li> <li>教育資料内容検討会議（2回）</li> <li>実験的エビデンス取得</li> </ul>							
2月より 学会及び原子力規制庁との協議開始予定							
現時点での達成度: 全て実施							

**期待される成果**  
本研究により作成されたガイドライン等は、放射線規制の運用に直接寄与し、各事業所では、合理的な安全性が担保された状態で短寿命アルファ線放出核種等を使用することが可能になる。



## 実施体制



### ガイドライン等作成会議メンバー

全体取りまとめ：吉村崇（阪大）

PO：中村吉秀（RI協会）

助言：米倉義晴（RI協会）

PO補佐：西尾貴史（原子力規制庁）

古賀匡祥（原子力規制庁）

中島覚（広島大）

畑澤順（阪大）

篠原厚（阪大）

久下裕司（北大）

藤堂剛（阪大）

豊嶋厚史（阪大）

渡部浩司（東北大）

巽光朗（阪大）

大江一弘（阪大）

白崎謙次（東北大）

兼田加珠子（阪大）

永田光知郎（阪大） 赤字：若手研究者

永津弘太郎（量研機構）

渡部直史（阪大）

羽場宏光（理研）

山口和也（阪大）

オブザーバー

山村朝雄（京大）

神谷貴史（阪大）

白神宣史（阪大）

川口修平（阪大）

伊藤拓（日本メジフィジックス）

## 本年度の研究の概要（1） 研究の進め方

### 令和元年度

○ガイドライン等作成会議の開催  
前年度まで実施された放射線安全規制研究、放射線対策委託費での研究成果をもとに、内容及び課題について議論、検討し、ガイドライン等の案を作成  
（ガイドライン等作成会議での議論に必要な有識者がいれば、参加いただく）

ガイドライン等の作成に必要な新たな実験的なエビデンス等の取得

各関連学協会等及び原子力規制庁と協議を実施

### 令和2年度

引き続き、各関連学協会等及び原子力規制庁と協議を実施

第二四半期後にガイドライン等の内容を確定

関連学協会からのオーサライズを得る

・ガイドライン等の内容の公開  
・短寿命放射性核種の安全取扱教育資料の公開

## 本年度の研究の概要（2）

### ○教育資料の作成

各事業所が規定する行為等を従事者に遵守させるためには、教育の実施が必須である。本研究では、日本放射線安全管理学会と協力して、短寿命核種等の安全取扱を教授するために必要な教育内容を検討する。

日本放射線安全管理学会に外注  
短寿命放射性核種の安全取扱のための教育資料作成アドホック委員会  
が資料作成

委員長：久下裕司（北大）

委員：渡部浩司（東北大）、柴和弘（金沢大）、桧垣正吾（東大）、  
西弘大（長崎大）、右近直之（福島県立医大）

赤字：若手研究者

令和元年度：次年度の教育資料作成のための調査

### ○新たな実験的なエビデンス等の取得

・前年までの事業：ガラスフィルターとチャコールフィルターを両方使用  
→  $^{211}\text{At}$ について、チャコールフィルターのみを使用して捕集

・実験動物の管理区域からの退出に関する要件決定のための基礎的データの取得  
 $^{225}\text{Ac}$ 及び $^{211}\text{At}$ を投与した動物からのRIの排出について測定

## 今年度の研究計画ロードマップ

令和元年度			
	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
目標：短寿命 $\alpha$ 線放出核種等の安全利用・管理のガイドライン等案の作成			
吉村	ガイドライン等作成会議の実施		関連学協会、規制庁と協議  ガイドライン等案提出  教育内容検討

達成状況：ガイドライン等案の提出と学会、規制庁との協議は、2月より開始予定であるが、現時点では、計画通りに研究を実施

## ガイドライン等作成会議での現在の検討状況（1）

ガイドライン等作成会議3回、  
PO、アドバイザーとの打ち合わせ1回 開催

### ○ガイドラインの目的・必要性

作業者や公共の安全を確保しつつ、合理的な放射線管理を行うために  
各放射線事業所での短寿命核種等の許可使用量を算定する評価についての  
新しい方法をまとめたガイドライン等を作成する。

### ○ガイドラインの適用範囲

「放射性同位元素等の規制に関する法律」に基づく規制に適用される。

放射性同位元素等の規制に関する法律で密封されていない放射性同位元素を  
取扱う使用許可事業所が対象である。

従って、医療機関における本ガイドラインの適用範囲については、  
放射性同位元素の規制に関する法律に基づいて規制を受ける範囲

### ○本ガイドラインでの適用核種の目安

半減期が15日程度までの短寿命放射性核種対象とする。

## ガイドライン等作成会議での現在の検討状況（2）

### ○使用等における評価方法の概要

従来から行われている計算による使用数量等の算定のための評価法を  
使用するが、

飛散率等については、**実験に基づいた値を適用できるようにする。**  
さらに各核種について、**減衰も考慮にいれて評価できるものとする。**

### ○実測データの取得及びその管理に必要な事項と責任体制

- ・各施設が**ピアレビュー体制を構築**して、実験の結果についてレビューする。
- ・レビュアーの任命は**実験などに関する事項を承認する委員会等の長。**

### ○教育及び訓練

- ・通常の教育及び訓練とは別に実施することが望ましい。
- ・前回の教育訓練を実施した年度の次の年度の開始日から1年以内とする。
- ・訓練の内容：**定められた実験手法に基づいた訓練を実施する。**

### ○下限数量以下に減衰した試料等の事業所外での使用の検討

大変重要な課題であり、実現できる方策を検討中。

## ガイドライン等作成会議での現在の検討状況（3）と実験

### ○設備

飛散防止装置に適正なRIフィルターを設置した場合は、その飛散防止装置の排気口から放出される放射性同位元素の排出率を作業室内の平均濃度や排気中濃度を算出する際に考慮することができる。その例として、隔離操作ボックスのフード内の設置などが挙げられる。

### ○エビデンス取得実験1

<sup>211</sup>At飛散率実験データの取得（若手研究者が研究を実施）

- ・チャコールフィルターのみでの<sup>211</sup>Atのフィルター捕集データを取得

ガイドライン等の案としては、

「飛散防止装置の排気口に使用するRIフィルターは、核種の性状に応じた適切なフィルターを使用すること」とした。

### ○エビデンス取得実験2

<sup>225</sup>Ac及び<sup>211</sup>Atの投与動物からの排出量測定

<sup>225</sup>Ac及び<sup>211</sup>Atともに、投与後24時間以内が排出のピーク

## 安全管理学会アドホック委員会教育資料検討状況

委員会を2回開催

### ○短寿命放射性核種の安全取扱いのための教育資料について

今年度：次年度の教育資料作成のための準備

- ・既に出版されている教育資料、利用可能な資料について確認
  - それらの教育資料を委員が共有できるよう、クラウドのフォルダを作成し、各自アップロードして、資料を収集。
- ・目次案を作成
  - 委員の中で役割分担し、「基本的項目」、「法令、予防規程」、「取扱いに関する項目」、「汚染と除染に関する項目」に関して、項目出しを行った。
- ・ $\alpha$ 線放出核種の取扱いの詳細に関する資料を充実させる必要がある。本学会の非会員も含めて取扱い経験を有する者に協力を依頼し、3名に新たに委員となっていただくことになった。
  - 渡辺茂樹（量研機構高崎）、大江一弘（阪大）、古澤哲（東京ニュークリア・サービス）
- ・次年度の教育資料作成に向けたスケジュール決定

## 本年度の成果発表

### 学会発表

#### 招待講演、3件

- ・「短寿命アルファ核種等の安全規制のガイドライン」  
吉村 崇、第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会、  
仙台、12月
- ・「短寿命放射性核種の安全取り扱いのための教育資料」  
久下裕司、第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会、  
仙台、12月
- ・「短寿命アルファ線放出核種の合理的な安全規制のための研究」  
吉村 崇、  
第59回日本核医学会学術総会、第39回日本核医学技術学会総会学術大会  
松山、11月

### □頭発表

- ・「Ra-223およびRn-219の飛散率の測定と短寿命アルファ線放出核種  
等の安全規制に関するガイドライン等の作成」  
吉村 崇、東北大学金属材料研究所 2019年度大洗アルファ合同研究会  
仙台、10月

## 自己評価

評価の視点	自己評価	コメント
評価時点までの研究の実施が研究計画に沿って行われているか	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 計画を上回る</li> <li>② 概ね計画どおり</li> <li>3 計画を達成できない</li> <li>4 計画を達成できないが代替手段によって今年度の目標を達成した</li> </ol>	<p>計画どおり事業を実施したため、概ね計画どおりとした。</p> <p>下限数量以下に減衰した試料等の事業所外での使用は、大変重要な課題であり、実現できる方策を検討していく必要がある。</p>
今年度の進捗や達成度を踏まえて、次年度の研究計画に変更が必要か※1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 必要ない</li> <li>② 軽微な変更が必要※2</li> <li>3 大幅な変更が必要※2</li> </ol>	<p>追加実験の予算を計上していたが、必要無しと判断した。</p>