

令和3年度

原子力防災研修（基礎編）

Q&A

新 潟 県

目次

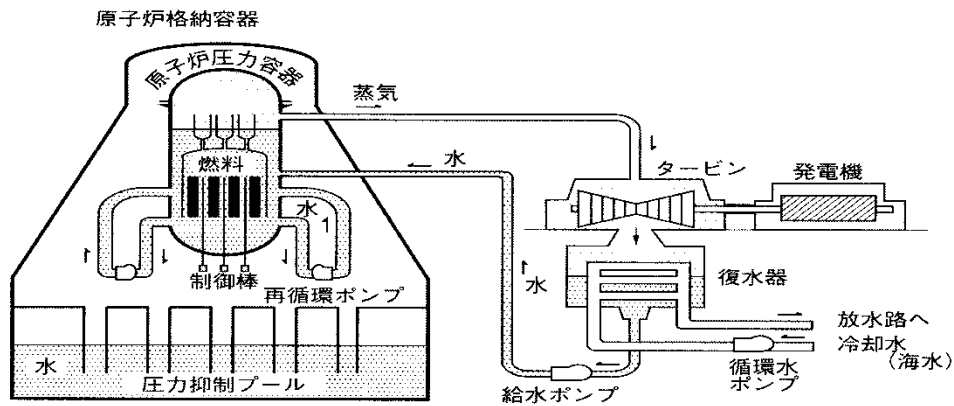
1. 原子力発電のしくみ	-----1
2. 放射能と放射線の基礎	-----5
3. 放射線の測定	-----17
4. 放射線の人体への影響	-----30
5. 放射線の防護と防護基準	-----41
6. 安定ヨウ素剤	-----56

1. 原子力発電のしくみ-1

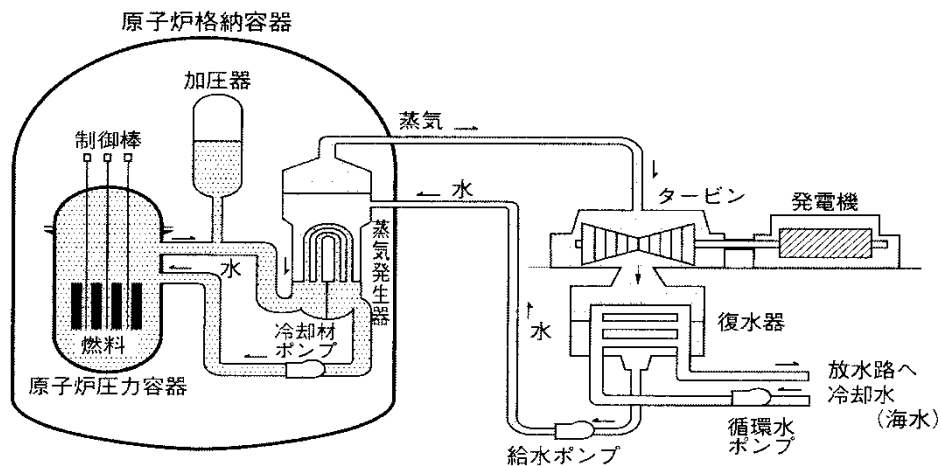
原子力発電の種類は。また、構造はどうなっているのですか。

(答)

日本の原子力発電に用いられる炉型は軽水炉が主体になっていて、沸騰水型原子炉(BWR)と加圧水型原子炉(PWR)の2つの型があります。発電の原理は、原子炉で水を加熱して蒸気を作り、その蒸気でタービンを回転させ、タービンに直結した発電機で発電します。蒸気を原子炉で直接作るのがBWRで、蒸気発生器で間接に作るのがPWRです。



沸騰水型 (BWR) 原子力発電の仕組み



加圧水型 (PWR) 原子力発電の仕組み

1. 原子力発電のしくみ-2

BWRはPWRと比較して管理区域が広いといわれますが、その理由は何ですか。

(答)

BWRでは、蒸気を原子炉で直接作るため、蒸気に放射性物質が含まれており、タービン・発電機室を管理区域に指定する必要があります。

一方、PWRでは一次冷却水の熱を利用し、原子炉格納容器内に設置した蒸気発生器で蒸気を作り、原子炉格納容器から引き出して使用するため、蒸気には放射性物質は含まれていません。このため、タービン・発電機室を管理区域に指定する必要がありません。

従って、BWRの方がPWRに比較して、管理区域は広くなります。

1. 原子力発電のしくみ-3

原子力発電所のスタック（排気筒）から普段は何が出ているのですか。また、事故時に出るのは希ガスとヨウ素だけなのですか。

(答)

原子力発電所のスタックからは、管理区域内の空気をフィルタ等を介してスタックから大気中に放出しています。

発電用原子炉は原子炉圧力容器と原子炉格納容器で護られており、原子炉事故時には外部から遮断されます。この2重の容器は原子炉の全ての想定された事故にも対応出来るよう設計されているので、固体状、液体状の放射性物質はこの容器内に閉じこめることができます。従って、事故時に放出され被ばくに寄与する可能性があるのは、希ガスとヨウ素の気体状の放射性核種ですが、これも非常用気体廃棄物処理系で除去され、放出量が最低量に抑えられます。

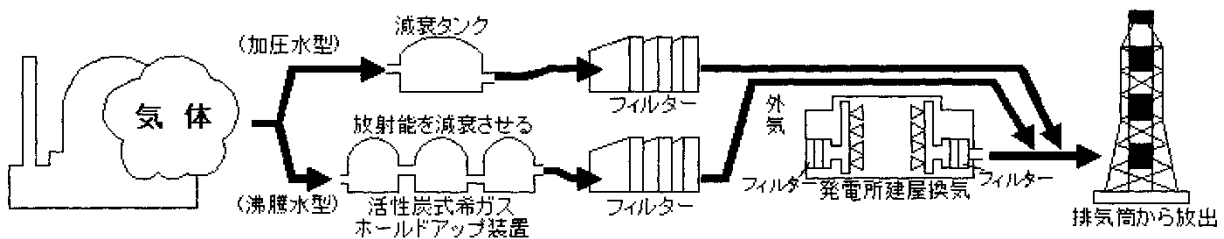
1. 原子力発電のしくみ-4

原子力発電所で発生する一次冷却水に含まれる放射性ガスの処理はどうなっているのですか。

(答)

燃料被覆管に微小な破損（例えば、燃料被覆管のピンホール等）があると、核分裂生成物のうち放射性希ガスと放射性ヨウ素が原子炉の一次冷却水系に漏れ、BWRであれば蒸気系へ、PWRであれば体積制御タンク等の接液部から気相系へ移行し、気体廃棄物処理設備で処理された後、排気筒から排出されます。

気体廃棄物処理設備は、排ガス減衰設備（PWR）、活性炭希ガスホールドアップ設備（BWR）、フィルタ等より構成され、排気中に含まれる放射性希ガスおよび放射性ヨウ素はこれらの設備で効率よく減衰させた後、HEPAフィルタ（高性能フィルタ）とチャコールフィルタで浄化し、排気筒から大気中に排出されます。



排気処理系統の例

1. 原子力発電のしくみ-5

原子力発電所の寿命は、何年ですか。

(答)

原子力発電所が建設された当時、「30年を経過した際には検査をして10年ずつ延長運転する」と定められましたが、福島第一原子力発電所事故の後に改正された法律によって、運転できる期間は運転開始から40年と規定されました。ただし、原子力規制委員会の認可を受ければ、運転期間を20年を超えない期間で、1回に限り延長できます。

1. 原子力発電の仕組み-6

通常の場合、原子炉の圧力、温度は。

(答)

原子力発電所では火力発電所と同様に効率よく熱を電気に変えるために、タービンを回す蒸気の圧力を高めています。これを実現するために、熱の発生箇所である原子炉内の水の圧力と温度も高めてあるわけです。温度はBWRとPWRでは若干異なりますが、300℃前後です。

他方圧力はBWRの場合は7.1MPa (72kg/cm²) ですが、PWRでは15.4MPa (157kg/cm²) と非常に高い圧力となっています。これは、PWRの場合、蒸気発生器を通じて熱を伝え間接的に蒸気を発生させるためです。

なお、BWRでは原子炉で直接蒸気を発生させる構造であるため、原子炉の温度は蒸気の温度でもあります。

1. 原子力発電のしくみ-7

原子力発電所の種類の選択はどこがやっているのか。また、MWe とは何か。

(答)

原子力発電のしくみは、日本では、加圧水型原子力発電 (PWR) と沸騰水型原子力発電 (BWR) があります。PWR を採用している電力会社は、北海道電力、関西電力、四国電力、九州電力です。BWR を採用している会社は、東北電力、東京電力、中部電力、北陸電力、中国電力です。また、日本原子力発電では両型式の原子炉を採用しています。どの型の原子力発電を採用するかは各電力会社が決定します。

電気出力を強調したい時は MWe (メガワットエレクトリック) と表わします。この単位は、原子炉内で発生している熱量 (熱出力という) を表す MWt (メガワットサーマル) との区別を明確にするためです。

1. 原子力発電のしくみ-8

原子炉中の蒸気量はどのくらいか。

(答)

福島第一及び第二原子力発電所のような沸騰水型軽水炉 (BWR) の場合は原子炉で直接蒸気を発生させ、その蒸気で蒸気タービンを回転させます。柏崎3/4号機の場合の蒸気流量は約6,400トン/時となっています。

一方、大飯原子力発電所のような加圧水型軽水炉 (PWR) の場合は、原子炉で発生した高温加圧水を蒸気発生器に送り、蒸気発生器を介して蒸気を発生させ、蒸気タービンを回します。大飯3/4号機の場合の蒸気流量は約6,700トン/時となっています。

2. 放射能と放射線の基礎-1

X線と γ 線の違いは何ですか（ γ 線の方がエネルギーとしては高いと認識していますが）。

（答）

X線も γ 線も光やTV、携帯電話に使われている電波と同じ電磁波の仲間です。本質的には違いはありません。しかし、X線と γ 線は発生機構の違いによって区別しており、原子核の外側から放出される光より短い波長の電磁波をX線、原子核の内側から放出される電磁波を γ 線と呼んでいます。

2. 放射能と放射線の基礎-2

放射能・放射線の単位、Bq・Gy・Svの関係は。

（答）

放射能と放射線はよく似た言葉ですが、大いに異なります。これらには、それぞれに対応した単位のBq、Gy、Svがあります。

Bq（ベクレル）は放射能の単位で、放射性核種が1秒間に壊れる（壊変と言います。）数を表します。Bqは放射線を出す能力を表す単位で、放出される放射線の数を表しているわけではありません。

Gy（グレイ）は線量の単位で、放射性核種から出る放射線が物質に当たったときに、物質が放射線のエネルギー（ジュール：J）を吸収した量（吸収線量）を表します。

放射線の種類やエネルギーにより、吸収線量（Gy）が、同じでも人体への影響の大きさが変わります。そこで、放射線の種類ごとに影響の大きさの重み付けをし（放射線加重係数）、その線量を等価線量といい、単位はSv（シーベルト）です。また、全身の被ばく線量は実効線量と言います。放射線防護のために考案されたもので、単位はSvです。

2. 放射能と放射線の基礎-3

cpmとmSv/hは同じですか。

（答）

cpmとは測定した位置でその計測器が毎分いくつの放射線を検知したかを表すものです。一方、mSv/hは測定した位置での1時間あたりの空間線量です。人に対する実効線量（または等価線量）を評価するため指標になります。cpm (min^{-1})は同じではありませんし、直接的には関連しません。

2. 放射能と放射線の基礎-4

表面汚染密度と被ばく線量との関係はどうなっているのですか。

(答)

表面汚染に起因する内部被ばくや外部被ばくによる線量は、汚染密度や汚染核種などだけでなく、空気やその他の物質などを介し、どのようにして人体に取り込まれたかなどいろいろな状況や因子に関係します。そのため、表面汚染による線量評価は非常に複雑であり、専門家に頼る必要があります。

2. 放射能と放射線の基礎-5

人体の汚染密度と被ばく線量との関係はどうなっているのですか。 Bq (ベクレル) からSv (シーベルト) への換算には標準線源は必要ですか。また、標準線源はどこで入手できますか。

(答)

作業者等が皮膚汚染を受けた場合の被ばく線量を評価する方法を次に示します。2001年4月施行された放射線障害防止法令に準拠した、被ばく線量の測定・評価マニュアル(原子力安全技術センター発行)によれば、皮膚表面の汚染密度及び汚染核種又はベータ線最大エネルギーが既知の場合、皮膚の70 μ m線量当量率 $H_{70\mu\text{m}}$ は次式で与えられます。

$$H_{70\mu\text{m}} = A \cdot D(E_{\text{max}}, h) \cdot C$$

ここで、

A : 汚染密度 ($\text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$)

D (E_{max}, h) : 核種又はベータ線の最大エネルギー E_{max} 及び線源の大きさに応じた単位汚染密度当たりの皮膚の吸収線量 ($\text{mGy} \cdot \text{h}^{-1} / \text{Bq} \cdot \text{cm}^{-2}$)
目安として、 $1 \text{ kBq} \cdot \text{cm}^{-2}$ 当たり約 $3 \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ とすると過小評価にはなりません。

C : 皮膚の吸収線量から等価線量への放射線荷重係数 (mSv / mGy)
(1として計算します。)

表面汚染計により皮膚表面を走査しながら測定して得られた計数率が最大となる値P (min^{-1}) とあらかじめ線源のないところで測定したバックグラウンド計数率 P_{BG} との差から、皮膚汚染密度A (Bq / cm^2) は次式で求められます。

$$A = (P - P_{\text{BG}}) \cdot K_{\text{PA}} / W$$

ここで、

K_{PA} : 校正定数 ($\text{Bq} / \text{min}^{-1}$)

W : 表面汚染計の窓面積 (cm^2)

汚染密度を求めるためには、標準線源を用いて校正定数を求めておく必要があります。標準線源は、日本アイソトープ協会で購入できます。

2. 放射能と放射線の基礎-6

放射性核種で半減期が短いのは安全で、長いのは危険であると聞いたことがあるが本当ですか。

(答)

人体への影響を考える場合には実効半減期が重要になりますが、体内に取り込んだ放射性核種による影響は、実効半減期だけではなく放出される放射線の種類やエネルギーなどによっても異なります。従って、物理学的半減期が長いから危険だとは一概には言えません。

2. 放射能と放射線の基礎-7

放射性ヨウ素はどのようにしてできますか。

(答)

放射性ヨウ素には、ヨウ素-121からヨウ素-133まで11種類の放射性核種があります。それらの内ヨウ素-129、ヨウ素-131、ヨウ素-133の3核種はウランなどの核分裂によって生成される、いわゆる核分裂生成物です。

医療関係で用いられる短半減期のヨウ素-123、低エネルギーの光子を放出するヨウ素-125、甲状腺治療に使われるヨウ素-131は、サイクロトロンや原子炉を用いた核反応によって生成されます。

2. 放射能と放射線の基礎-8

原子力施設において、放射線業務従事者の外部被ばくを低減するためには、距離、時間、遮へいの中で、何故、遮へいが重要なのですか。

(答)

原子力施設における被ばく低減対策は、通常施設の設計段階において十分に検討されています。放射線業務従事者に対しては、外部被ばくに関する放射線源の遮へい等による作業環境の放射線レベルの軽減、遠隔操作又はロボットによる無人化（距離）、作業方法等の改善（時間）等の対策が実施されています。特に放射線源に対する恒久的遮へいは、距離をとるや、時間を短くする被ばく低減策とは異なり、放射線の漏洩線量を減らす対策です。

2. 放射能と放射線の基礎-9

原子力防災において外部被ばくを低減するために、距離、時間、遮へいの3要素はどのように関わっているのですか。

(答)

原子力施設の緊急時において、周辺住民の外部被ばくを低減するために講じられる防護対策として、屋内退避、コンクリート屋内退避及び避難の3つが挙げられます。

屋内退避は、建物の屋根、壁等の構造材による遮へい効果による外部被ばくを低減する措置です。避難は、放射性プルーム又は放射線源から距離をとることにより外部被ばくの大幅な低減を図る措置です。もちろん、屋内退避もコンクリート屋内退避も放射性プルームや線源にさらされている時間が短ければ短いほど被ばくは少なくなります。

2. 放射能と放射線の基礎-10

全国的に自然放射線量の分布を見ると四国地方（西日本）が高いのはどうしてか、また、地域分布と原子力施設のある地域との関係はありますか。

(答)

自然放射線の線量は大地と宇宙からの放射線に起因しています。平均して、四国地方（西日本）の自然放射線量が高いのは緯度、高度からみて宇宙線の線量よりもむしろ大地からの線量が影響しているものといえます。花崗岩地帯といわれる地方の大地からの放射線量は、関東ローム層で覆われた地方よりも高いといわれています。これは花崗岩に含まれる自然放射性核種の量が多いからです。全国の原子力施設がある地方の自然放射線量をみると、決して、施設設置と自然放射線量とは関わりがないことが分かります。

2. 放射能と放射線の基礎-11

等価線量と実効線量の違いは何ですか。また、等価線量は実効線量に加えて評価するのですか。

(答)

人体の組織・臓器が受ける放射線の吸収線量が同じでも、放射線の種類やエネルギーにより確率的影響が異なります。これを考慮して、等価線量は、その値が同じならば被ばくした組織・臓器の確率的影響を同じ尺度で評価できるようにしたものです。

さらに、人体に対する放射線の影響は、組織・臓器によっても異なります。実効線量は、全身均等被ばくの場合、各組織、臓器のがん発生リスクなどの確率的影響を評価できるようにしたものです。等価線量と実効線量の関係は以下の式で表せます。

実効線量 = \sum (各臓器の等価線量 × 組織荷重係数)

2. 放射能と放射線の基礎-12

γ 線や中性子線の被ばくは、遮へい材がどのくらいの厚さあれば防げるのか。また、物質によりどのくらい放射線が遮へいされるかの指標は何を見れば解るのか。

(答)

γ 線と中性子線の線量を1/100にするために必要な遮へい材とおよその厚さの例を以下に示します。

	核種	エネルギー (MeV)	線量を1/100にするために必要な厚さ (cm)			
			水	コンクリート	鉄	鉛
γ 線	Kr-85	0.52	90	43	11	3.5
	Co-60	1.17	110	60	16	8.5
		1.33				
Cs-137	0.66	95	46	12	4.5	
n 線	—	0.4	30	75	185	—
	—	1.0	28	70	180	—

このように、遮へいする放射線の種類とエネルギーによって、有効な遮へい材と必要な厚さが異なります。

2. 放射能と放射線の基礎-13

人体への汚染の観点から放射性核種の半減期と放射能の強さの関係は。

(答)

放射性核種の半減期は常に一定で、電池や人間のように急激に能力が低下し、全く能力を失うことはありません。

このため、皮膚の汚染の量、即ち放射能も徐々に低下してやがて問題の無い（放射線が検出されることのない）量になります。また、皮膚は常に新しいものと入れ変わっており、死んだ皮膚はアカとしてとれてしまいます。

なお汚染が続いている間の被ばく線量は、この半減期による放射能の低下を考慮して計算されます。

2. 放射能と放射線の基礎-14

放射線はなぜ遮へいできるのか。

(答)

放射線が遮へいされるメカニズムは放射線の種類によって異なります。

α 線や β 線のように電荷を持った粒子（荷電粒子と呼びます。）は、遮へい材を構成する物質の電荷と引き合ってエネルギーを失っていき、やがて遮へい材の中で止まってしまいます。

γ 線は、電磁波のため電荷を持っていませんので、 α 線や β 線のように、電荷による力（クーロン力）が作用する事はありませんが、遮へい材を構成する物質の原子と相互作用（光電効果、コンプトン散乱、電子対生成等）を引き起こしてエネルギーを失います。

中性子は、遮へい材を構成する原子核と衝突を繰り返して、少しずつエネルギーを失います。また、一部は原子核と核反応を起こしてとまります。

2. 放射能と放射線の基礎-15

γ 線が鉛で遮へいできる理由は。

(答)

ガンマ線は光と同じ電磁波（光子）のため、電荷を持たないので電子や陽子の電気力によるクーロン力は働きません。ガンマ線は原子と光電効果、コンプトン散乱、電子対生成等の相互作用でエネルギーを失います。

鉛は比重が11.3と重い上に比較的廉価なため、ガンマ線の遮へいによく使用されます。

2. 放射能と放射線の基礎-16

中性子が水やパラフィンで止まるのはなぜか。

(答)

中性子は電荷を持っていないので、物質中の原子に衝突し弾性散乱を繰り返してエネルギーを失って止まります。

水やパラフィンで中性子が止まりやすいのは、水素を多く含んでいるからです。

なお、中性子は原子と核反応を起こしても止まります。この時強い γ 線（捕獲 γ 線といいます）を出しますので、中性子線の遮へいには、 γ 線の遮へい効果が高いコンクリート（結晶水として水を多く含んでいる）がよく使用されます。

2. 放射能と放射線の基礎-17

距離による防護（距離の逆二乗）の計算は γ 線でも中性子線でも β 線でも同じ計算方法と考えてよいのか

（答）

放射性核種から放出される放射線は、360度方向に平均的（放射線放出の等方性）に放出されます。これは、放射線源からの距離が同じであればどの方向でも放射線の数が等しいということです。すなわち、放射線量は距離の二乗に反比例することになり、これを逆二乗則と呼んでいます。

この法則は真空中では全ての放射線に共通です。ところが、地球上には空気が存在します。このため、電荷持っているために物質との相互作用の大きい α 線や β 線は空気との相互作用で停止してしまいますので遠くまでは届きません。

一方、物質との相互作用が弱い γ 線と中性子はほぼ逆二乗則に従って減衰します。

2. 放射能と放射線の基礎-18

被ばくに付いての実効線量や等価線量も他の放射線と同じように考えて良いのか。
(中性子線だと透過力が強いから数値が変化することはないのか)

（答）

人体が放射線に被ばくした場合、放射線の種類により影響が異なります。

このため、等価線量は、人の臓器、組織が吸収した放射線のエネルギー（吸収線量）に、放射線の種類ごとに、人体へ確率的影響を考慮した係数（放射線荷重係数）を乗じて求めます。また、実効線量は、等価線量に組織荷重係数を乗じて、臓器、組織が被ばくした影響が人体全体でどれだけの影響を与えるかを考慮したものです。

このように、実効線量及び等価線量は、放射線の種類による確率的影響を考慮してあります。

2. 放射能と放射線の基礎-19

遮蔽物を通過した放射線は壁等で反射されるものもあるのか。また、 β 線を鉛遮へいしたとき、BGよりカウントが上がるのはなぜか。

(答)

放射線は光が鏡にあたって反射するのとは異なりますが、物質と相互作用して散乱します。この結果、あたかも反射したように、入射方向に戻ってくるものもあります。

β 線は急激に曲げられると、元の進行方向にX線を出し、エネルギーを失います。これは制動放射と呼ばれ、放出されるX線は制動X線といいます。制動X線は、鉛のような重い（原子番号の大きな）原子で、また β 線のエネルギーが高いほど起きやすく、薄い鉛などで遮へいした場合、 β 線は遮へいされても制動X線が鉛を通過して測定器で放射線を検知することがあります。このため β 線の遮へいにはプラスチックやガラスなどの軽い物質を使用します。

2. 放射能と放射線の基礎-20

中性子線を鉛で遮へいできるのですか。

(答)

中性子線は、原子の周囲を回っている電子とではなく、原子核と衝突をすることによりエネルギーを減少させますが、同じ重さのものと衝突したときに相手に与えるエネルギーが一番大きくなります。中性子の重さは陽子とほぼ同じですので、陽子1つの水素の原子核と衝突したときにエネルギーを多く吸収されます。しかし、鉛の原子核は中性子に比べ約200倍重いのです。このため、中性子線が鉛原子核と衝突すると、中性子線の持つエネルギーのうち極わずかしか、鉛原子核に与えられないため、中性子のエネルギーはあまり減衰しません。従って、性能のよい遮へい材とはいえません。

2. 放射能と放射線の基礎-21

放射線核種の半減期はその物質によってそれぞれ違うのか。また、放射性核種の半減期に100億年を超えるものがあるが、半減期はどうやって計算したのか。

(答)

放射性核種の半減期は核種によって決まっており、どんな物質に含まれていても変わることはありません。

何億年といった半減期を持つ核種では放射能強度測定で差が測定できないため、次のような方法をとります。

「 A (放射能) = λ (壊変定数) \cdot N (原子数)」の関係を用い、正確に放射能強度と原子数¹⁾を測定し、 λ を求めます。次に、「 T (半減期) = $\ln 2 / \lambda$ 」の関係を用いて半減期 T を計算して求めます。

1) : 質量分析装置等を用いることにより、正確な原子数を求めることができます。

2. 放射能と放射線の基礎-22

放射性同位元素とは何か。放射性核種によって放射線のエネルギーは違うのか。

(答)

陽子の数が同じなら元素名は同じですが、同一元素に属する原子の間で、原子量(陽子と中性子の合計個数)が異なる原子を同位元素といいます。このうち放射能(放射線を放出する能力)をもつ同位元素を放射性同位元素と呼びます。

また、放射性同位元素は、「放射性同位体」、「ラジオアイソトープ (RI)」或いは「放射性核種」という言い方もあり、全て同じ意味です。

2. 放射能と放射線の基礎-23

宇宙飛行士は、宇宙でどのくらい被ばくするのか。

(答)

宇宙線(宇宙放射線ともいう)は、日本の地上では年間約0.26mSvであり、1500m上昇するごとに2倍になるといわれています。高度20km~25km以上になると、1 mSv/日で一定になります。

高度約400kmの国際宇宙ステーション軌道においては、一日当たり約1 mSvの被ばく線量です。日本における年間の被ばく線量は0.99mSv(ラドンを含む)ですから、国際宇宙ステーションでは、日本の年間平均線量を一日で被ばくすることになります。

2. 放射能と放射線の基礎-24

体内に吸収する食物の被ばく量のデータについて教えてください。

(答)

食物には自然の放射性核種が含まれており、身体内に一定の量の放射性物質が存在しています。体重 60kg の日本人の場合は、主に以下の核種が体内に存在しています。

カリウム-40	4,000Bq	
炭素-14	2,500Bq	
ルビジウム-87	500Bq	
鉛-210・ポロニウム-210	20Bq	→新しい報告では増えていますが、テキストはこの値を使用（環境省資料から）。

これらの放射性核種による被ばく線量は年間約 0.4mSv です。

2. 放射能と放射線の基礎-25

原子力施設において事故が発生した場合、4種類の放射線がでるのか。また、臨界の際に外部に放出された中性子はどこに行き、最終的にはどうなるのか。

(答)

原子力施設の事故時に放出される放射線は、原子力施設の種類により異なります。

原子炉施設の事故においては、施設外へ放出された放射性物質のプルームからは、 β 線、 γ 線が放出されます。

核燃料施設の火災・爆発事故で施設外へ放出される、ウランやプルトニウム及びその系列核種からは α 線、 β 線、 γ 線が放出されます。また臨界事故時には、施設の遮へいが十分でない場合、中性子線、 γ 線が施設外へ放出される可能性があります。

2. 放射能と放射線の基礎-26

放射性物質の核種で、 ^{83m}Kr の m は何を表わしているのか。

(答)

Meta-stable (メタステーブル) の m です。メタステーブルとは準安定状態のことでエネルギー的に励起された原子が長い間励起状態を保つことです。このような原子を準安定原子と言います。一般的に高エネルギー状態に励起された原子は光や γ 線等で余分なエネルギーを放出して、100 万分の 1 秒以内には基底状態(エネルギー的に低く、安定した状態)に戻りますが、数秒或いは数十時間も励起状態を保つ原子があります。 ^{83m}Kr の半減期は約 4.5 時間です。

2. 放射能と放射線の基礎-27

α 線、 β 線、 γ 線、中性子線がそれぞれどのような物質（核種）から出るのか。

(答)

元素の基である原子核は陽子と中性子で出来ており、エネルギー的に安定な原子核であるための陽子と中性子の数は元素毎に決まっています。ところが同じ元素でも中性子の数が多い原子核や少ない原子核が存在しています。中性子の数が多い原子核や少ない原子核は核分裂等により生成されます。

これらの原子核はエネルギー的に不安定なため、中性子の割合が多い元素は β 線を放出して安定な原子核を持つ別の元素に変わります。逆に中性子の割合が少ない原子核は原子核の周りの軌道電子を原子核内に取り込むか(軌道電子捕獲)、あるいは、 α 線を放出して安定な原子核に変わります。

2. 放射能と放射線の基礎-28

ブラジルの自然放射線が10mSvと世界平均値の4倍にもなるとテキストに記載があるが内訳は？(宇宙から、大地から、食物から、吸入によるものはそれぞれどれくらいの値なのか。)

(答)

ブラジルのガラパリ周辺は地表からの放射線量が高いことで知られています。この地方はブラジル大西洋岸に平行に走る山脈中の古期片麻岩（グネス岩）の長年の風化と分解によって、チタン鉄鋼ジルコナイト・モナザイトという溶けにくく硬い鉱物が自然に分離しました。そして細かい粒子にされた後、海に注ぐ多くの川によって下流に運ばれ、そこに成層して川や海に沈積し海から波とともに小さな砂石として浜に戻って来たといわれており、砂や土壌の核種分析では ^{232}Th 濃度は $\sim 38.4\text{kBq/kg}$ 、 ^{226}Ra は $\sim 4.09\text{kBq/kg}$ と ^{232}Th 含有量が多い結果が得られています。

2. 放射線と放射能の基礎-29

ベータ線の最大エネルギーとは何か。

(答)

α 壊変のように原子核が α 粒子と娘核種がエネルギーを分け合う場合はそれぞれの粒子の取り得るエネルギーは決まっており、エネルギースペクトルは線スペクトルを示します。しかし、壊変により基の粒子が3個以上に分かれる場合は、粒子が分けることができるエネルギー (Q) を自由に分配することが可能なのです。

β 壊変では娘核種と電子線及び中性微子(ニュートリノ)の3個の粒子が生成されます。このため、放出されるベータ線のエネルギーはQを最大に連続したスペクトルを示します。ベータ線の最大エネルギーとは、 β 壊変において放出されるベータ線の最大のエネルギーのことです。なお、ベータ線の最大エネルギーは核種毎に異なります。

2. 放射線と放射能の基礎-30

1cm線量等量率の単位はどのようなことを意味しているのか。

(答)

人体表面から 1cm の深さでの放射線量率のことで、外部被ばくによる実効線量を評価するために用いられる単位です。

放射線管理上もっとも重要な X 線 および γ 線を人体組織が受けた場合、被ばく線量がかつても高いのは人体表面ではなく人体組織のある深さであり、1cm 深さの被ばく線量を評価の基準とすれば、常に実効線量当量より高い値となり、安全余裕をもって被ばく管理を行うことができます。個人線量計や放射線管理用のサーベイメータ等はこの量を表示するようになっています。

3. 放射線の測定-1

放射線の測定を行うとき、測定器のレンジはどの位置にあわせれば適正ですか。

(答)

通常、サーベイメータなどでは、測定器のレンジ切り替えスイッチを最大レンジの位置にして、電源を入れます。その後、つまみを回してバッテリーなどのチェックを行い、つまみを測定の位置にして測定可能となります。そのときメータの針が振れなければ、レンジを感度の高い方にまわしていきます。フルスケールの中位のところ（針が読みやすい位置）で測定するのが適切です。メータによっては、そのレンジでのゼロ点をチェックすることが必要です。測定器によって取扱方法が異なることがありますので、測定器に付属しているマニュアルなどをよく読んでから、測定器を扱うよう心がけて下さい。

3. 放射線の測定-2

サーベイメータのプロブ（検出部）にポリ袋をかぶせる必要性は何故ですか。

(答)

サーベイメータは、空間放射線量（率）測定、或いは、その付近に放射性物質などの放射線源が存在するか否かを調べるのに使用します。

この時、β線、γ線の発生源である放射性物質がサーベイメータを使う場所に浮遊して、ほこり、土壌等が汚染している可能性がある場合には、プロブが放射性物質で汚染される可能性があります。プロブが汚染された場合、正確な測定が行えません。

事前に薄いポリ袋等をプロブにかぶせることにより、たとえ袋が汚染してもプロブの汚染は防止され、この袋を取り替えれば、サーベイメータを正常に使用できます。これがプロブにポリ袋等をかぶせる理由です。

3. 放射線の測定-3

サーベイメータ等の点検・校正はどの位の頻度で行うべきですか。

(答)

一般にサーベイメータは、放射線の種類やエネルギーに応じて種々の機種が使用されています。従って、点検・校正についても各形式で異なる点がありますが、年に1回は行ったほうが良いと思われる点検項目は、外観検査(損傷、劣化などのチェック)、測定・回路系の検査、および既知量の放射線源による校正などです。

放射線のエネルギーや入射方向によるサーベイメータの感度の依存性、線量や線量率による感度の直線性などについては製造業者の仕様書や取扱説明書に記載されています。しかし、修理などにより検出器系や測定系に手が加えられた場合などには、専門の校正機関での点検・校正が必要です。

3. 放射線の測定-4

サーベイメータの指示値のバラツキは正規分布しているように思えないが、どれほどの偏差があるのですか。

(答)

放射性核種の半減期は核種毎に決まっていますが、壊変は一定の間隔で規則的に起こるわけではありませんし、自然放射線の数もバラツキがあります。このため、サーベイメータの指示値もバラツキがあります。また、これらの放射線をサーベイメータで計った場合の指示値のバラツキ範囲は、サーベイメータの時定数によっても異なります。時定数を短く設定するとバラツキが大きく、時定数の設定が長ければバラツキが小さくなります。

サーベイメータによる測定値は、指示値が安定した後（時定数の3倍の時間経過後）ポアソン分布を示しますが、多数回の測定を繰り返すことにより、ガウス分布（正規分布）に近似できます。

また、偏差の幅は測定値、測定回数によって異なりますが、測定値が正規分布を示す場合は、標準偏差の3倍の範囲に収まります。

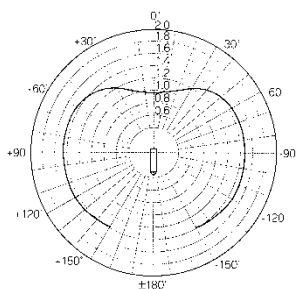
3. 放射線の測定-5

γ 線又はX線用測定器は、検出器の先端を向ける方向により効率が異なるのですか。

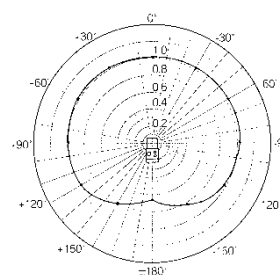
(答)

放射線の機器効率とは、測定器（計測器）が検出した放射線の数を、同じ時間内に入射した同じ種類の放射線の数で割ったものです。このため、放射線がどの方向から入射してきても機器効率としては変わりません。しかし、検出感度という見方をすると若干異なってきます。

検出器が細長い円筒形をしている場合には、端面（前方）から放射線が入射した場合と側面から放射線を入射させた場合では、放射線の入射方向に占める検出器の投影面積は側面の方が端面より大きいので、側面から検出器に入射する放射線の数が端面から入射する放射線の数より多くなります。従って、側面から放射線を入射させた方が測定値は高いことがわかります（方向特性という。）。このように、測定器は大なり、小なり方向特性を持っています。



GM計数管式サーベイメータの方向特性の例



電離箱式サーベイメータの方向特性の例

- 1) 検出器が円筒形しているのは、光電子増倍管を内蔵しているためで、放射線を検知するシンチレータの見かけ面積は、前方から見ても、側方から見てもほぼ同じです。
- 2) ユーザー又はメーカーの指定条件によっては、検出器の中心軸に対し、垂直方向を基準として校正する場合があります。

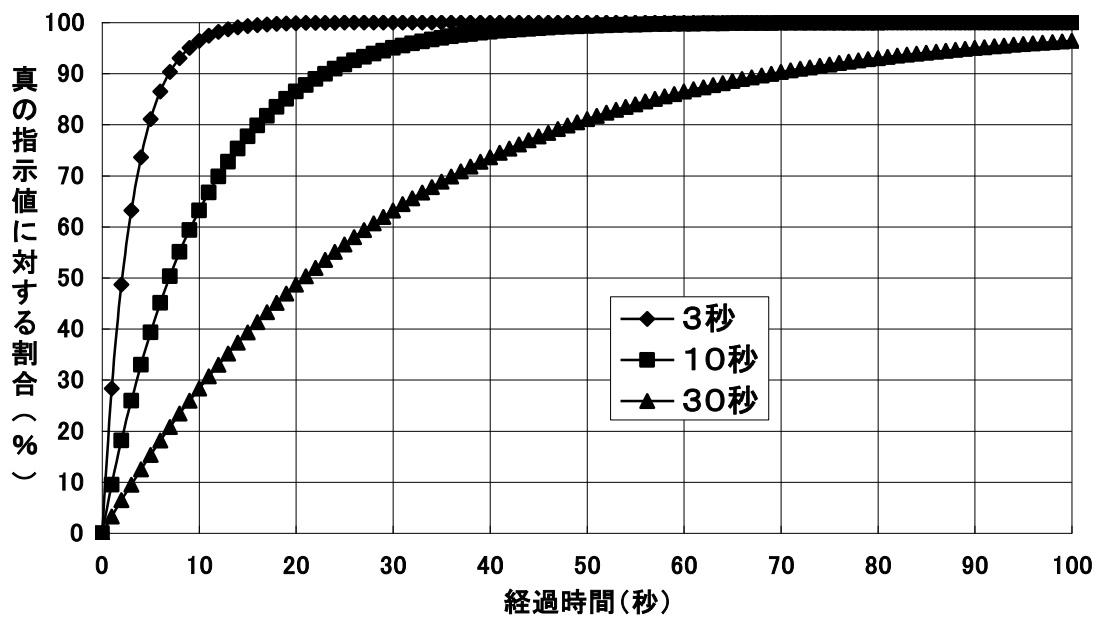
3. 放射線の測定-6

GMサーベイメータの時定数は何ですか。何故3秒の時定数では9秒後に読むのですか

(答)

時定数は電気回路に伴う定数です。サーベイメータのような放射線の計測器もまた電気回路からなる計測器の一つです。この計測器に放射線が入ると電気信号が発生し、その信号の発生量は時間経過とともに増加します。信号量が真の値の約37%になるまでの時間が、時定数と同じになります。この時定数の3倍の時間が経過すると信号量は約95%になり、真の値に近いものが得られるのです。すなわち、時定数が小さければ短時間で真の計数が得られ、時定数が大きければ真の計数を得るためには長い時間待つ必要があるということになります。

一般的には、バックグラウンドのように少ない放射線量を測るときは時定数は大きく、多い放射線量を測るときは時定数を小さく設定します。



時 定 数

3. 放射線の測定-7

GM管の口径とcpm, cpmとBq/cm²の関係はどうなっていますか。

(答)

我が国において広く用いられているβ線の入射窓面積が20 cm²の検出器を利用した場合、皮膚から数cmでの検出器の計数率は40000 cpmであり、表面汚染密度は約120 Bq/cm²相当になります。

3. 放射線の測定-8

通気式の電離箱式ガスモニタでは校正を行う際に標準ガス線源を用いるということですが、ガスを直接ゲルマニウム半導体検出器を用いて測定すれば、標準ガス線源を使用する必要はないのでは。

(答)

β線用ガスモニタには通気型電離箱式ガスモニタ、通気型GM計数管式ガスモニタ、プラスチックシンチレーション式ガスモニタがあります。

γ線用には、NaI(Tl)シンチレーション計数管やゲルマニウム半導体検出器を用いたガスモニタがあります。しかし、両検出器ともに測定効率が100%ではありませんので、感度校正には、他のガスモニタと同様に標準ガス線源が必要です。

なお、両モニタとも、ガスが直接検出器に接するために生ずる汚染もなく、保守点検も容易ですがβ線は測定できません。感度校正には、他のガスモニタと同様に標準ガス線源が必要です。

3. 放射線の測定-9

チャコールフィルタの簡易測定は可能ですか。

(答)

緊急時環境放射線モニタリングにおいては、チャコールフィルタを用いて環境空気中の放射性ヨウ素（ヨウ素-131）を捕集し、空气中放射性ヨウ素濃度の測定を行います。このとき捕集後直ちに、放射性ヨウ素がどれくらい捕集されたのかを現場でサーベイメータ等により確認するのが簡易測定です。

3. 放射線の測定-10

内部被ばくでは重要になる、体内に入った α 線・ β 線を出す放射性物質はどのように測定するのですか。

(答)

α 線、 β 線は透過力が弱いので、体外から直接計ることは困難です。しかし、 ^{90}Sr 等ごく一部の核種を除いて、 α 線、 β 線を放出する核種は、同時に γ 線を放出します。この γ 線を測ることにより、体内に取り込んだ放射性核種の量を知ることができます。体外で γ 線を測定して体内の放射エネルギーを知るための測定装置がホールボディカウンタです。

また、体内に取り込まれた放射性物質の量を糞尿、血液等の人体から採取した試料から間接的に評価する「バイオアッセイ法」があります。

3. 放射線の測定-11

中性子を計測するものはあるのですか、また、個人線量計で測定可能ですか。

(答)

中性子をサーベイメータや個人線量計で計測することは可能です。サーベイメータとしてはレムカウンタ（中性子サーベイメータ）、個人線量計としては中性子に対応した電子式ポケット線量計、ガラスバッジ、OSL線量計、フィルムバッジなどがあります。

ただし、中性子が放出される時は γ 線も同時に放出されることが多く、レムカウンタや電子式ポケット線量計のように中性子のみしか計測できないものがあるため、他の種類の放射線測定用には他の線量計も必要となる場合があるので注意が必要です。

3. 放射線の測定-12

地表1mをサーベイする根拠は何ですか。

(答)

地表1mとは、立っている人の体のほぼ中心にあたり、また、放射線感受性の高い生殖腺をはじめ主要臓器が集まっています。このため、空間放射線量率は地表1m近辺の高さで測定し、人の実効線量を評価することになっています。

3. 放射線の測定-13

漏洩線量の測定は、ポケット線量計を使用して良いか。

(答)

ポケット線量計で空間放射線量を測定することは可能です。特に集積線量の測定には、通常のサーベイメータよりは扱いやすく、便利かもしれませんが。しかし、測定する場の線量を知るには手間と時間が必要です。

やはり、空間線量の測定には、空間線量測定用のサーベイメータを使用することをおすすめします。

3. 放射線の測定-14

シンチレーション式サーベイメータは γ 線しか測れないのか。また、測定器は用途によって使い分けた方がよいのか。

(答)

一般的に使用されているシンチレーション式サーベイメータには、NaI(Tl)式とZnS(Ag)式の2種類のサーベイメータがありますが、NaI(Tl)式は γ 線しか測定できませんし、ZnS(Ag)式サーベイメータは α 線しか測定できません。

測定器は、使用目的と測定する放射線の種類によって使い分ける必要があります。

以下に、使用目的に応じた測定器の例をまとめておきます。

使用目的		放射線の種類	測定器の種類	備考
空間放射線量の測定	・ 1時間あたりの線量の測定 ・ 積算線量の測定	γ 線	NaI(Tl)シンチレーション式	低線量の測定
			GM計数管式	低線量から中線量までの測定
			電離箱式	低線量から高線量までの測定
		中性子線	^3He 計数管式 BF ₃ 計数管式	中性子の測定
表面汚染の測定	身体・機材等の表面汚染測定	α 線	ZnS(Ag)シンチレーション式	α 線は自然界に存在する量が少ないため、微量の放射能が測定できる。
		$\beta(\gamma)$ 線	GM計数管式	
個人被ばく線量の測定	積算線量の測定	γ 線 中性子線	電子式ポケット線量計	個人被ばくの管理
			警報機付ポケット線量計	アラームの設定により、過剰被ばくの防止。主に高線量の場所での使用

3. 放射線の測定-15

放射線の種類を見分ける方法はあるのか。

(答)

異なった放射線を測定するサーベイメータを用意して、同時に測定すれば放射線の種類を見分けることができます。

サーベイメータは測定目的に応じて作られていますので、 α 線測定用のサーベイメータで測定しBG値より高い値が検出されれば α 線が存在しています。その他の測定器も同様です。但し、GM計数管式表面汚染測定用のサーベイメータは γ 線にも感度がありますので、 γ 線測定用サーベイメータの測定値と比較する必要があります。比較した結果、十分に高い値が計測された機器が対応している放射線が存在していると判定します。

3. 放射線の測定-16

GM計数管式サーベイメータでヨウ素の付着は分かるのか？

(答)

GM計数管式サーベイメータには、 γ 線測定用と β 線測定用の2種類がありますが、原子力発電所の事故時の住民や防災業務関係者の汚染検査には β 線測定用のGM計数管式サーベイメータを使用します。この測定により放射線が検出されたら放射性ヨウ素が付着していることとなります。

3. 放射線の測定-17

サーベイメータが汚染した場合水洗いしてよいか？

(答)

サーベイメータは水洗いをしないで下さい。サーベイメータは防水性を有していません。一部防滴性を謳っているものがありますが同じです。水が電子回路上に漏れると、電気的リークを起こし誤動作の可能性や高圧回路に漏れた場合、故障の可能性がります。汚染がある場合、軽く拭取ってください。そのとき、 α 線用、 β 線用の検出器は計数管の窓（放射線の入射する部分）の強度が弱くなっていますので十分注意してください。

汚染が考えられる場合は汚染防止のため、ポリエチレンキャップで検出部先端を保護したり、全体をポリエチレン袋で覆うなど注意が必要です。

3. 放射線の測定-18

α 線、 β 線、 γ 線、X線、中性子線を一度に測定できて、コンパクトなサーベイメータはありますか。

(答)

質問にあるような5種類の放射線を一度に測定できるようなサーベイメータはありません。しかし、 β 線、 γ 線の両方を測定できる検出器や指示装置を共用化したものであればあります。また、最近では、汚染測定として、 α 線、 β 線、X線、 γ 線の表面汚染測定ができるサーベイメータもあります。

サーベイメータを使用するときは、用途に合わせて放射線の性質により最適なものを選定することが重要です。

3. 放射線の測定-19

NaIシンチレーション式サーベイメータに吸収線量と実効線量の切り換えが有りますが、切り換えする理由が分かりません。

(答)

NaIシンチレーション式サーベイメータは、非常に低いレベルの放射線量が測定できるため、平常時の環境放射線測定に利用されます。環境放射線測定では、人体への影響だけでなく、多様な評価が可能な、物理量としての、吸収線量を測定します。

また、NaIシンチレーション式サーベイメータは、原子力施設等で働く人の被ばく管理の目的で、施設内外の放射線量率の測定に使用されます。この場合は、実効線量が直読できる方が便利です。

このため、NaIシンチレーション式サーベイメータは目的に応じて吸収線量と実効線量の両方が表示できるようになっている機種があります。

3. 放射線の測定-20

汚染検査用のGM管サーベイメータで $\mu\text{Sv/h}$ に換算する方法。答えの出し方を教えて欲しい。(換算係数含む)

(答)

放射線源(汚染源)の核種が分かれば、汚染検査用の GM 計数管式サーベイメータで測定した計数率から放射能を求め、以下の計算式を用いて線量率 (Sv/h) を求めることが可能です。

$$\text{計算式} : R = C \cdot Q / r^2$$

ここで、

r : 汚染源からの距離 (m)

R : 汚染源から r (m) の位置における線量率 ($\mu\text{Sv/h}$)

Q : 汚染源の放射能 (MBq)

C : 1cm 線量当量率定数 (放射性核種によって決まる比例定数で 1MBq の放射性核種から 1m の地点における 1 時間当たりの線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) に相当する。)

下表に主な核種の 1 cm 線量当量率定数を示します。

表一 主な核種の 1 cm 線量当量率定数 ($\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}$)

核種名	1cm 線量当量率定数	核種名	1cm 線量当量率定数
^{22}Na	0.333	^{131}I	0.0650
^{24}Na	0.492	^{137}Cs	0.0927
^{59}Fe	0.171	^{192}Ir	0.139
^{60}Co	0.354	^{226}Ra	0.251
^{95}Zr	0.117	^{235}U	0.0278
^{106}Ru	0.0331	^{241}Am	0.00529

「アイソトープ手帳」10 版、(社)日本アイソトープ協会, 2002.

チェルノブイリ発電所の事故で、大量に放出された ^{137}Cs を例に、GM 係数管式サーベイメータで以下の汚染が検出された場合を例に、汚染を点線源と見なして 1 m の距離での放射線量率を計算してみます。

- ・ GM 計数管式サーベイメータによる表面汚染密度 : 100 (Bq/cm^2)
- ・ 汚染面積 : 100 (cm^2)
- ・ 放射能 : $100 (\text{Bq}/\text{cm}^2) \times 100 (\text{cm}^2) = 10000 (\text{Bq}) = 0.01 (\text{MBq})$

汚染部位からの距離が 1 (m) のときの線量率 R ($\mu\text{Sv/h}$) は、

$R = C \cdot Q / r^2$ にそれぞれの値を代入すると

$$\begin{aligned} R &= 0.0927 (\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1}) \times 0.01 (\text{MBq}) \div 1 (\text{m})^2 \\ &= \underline{9.27 \times 10^{-4} \mu\text{Sv/h}} \end{aligned}$$

となります。

なお、この値は汚染を点線源と見なしているため過大評価となっています。

3. 放射線の測定-21

GMサーベイ以外に、空港のゲート（金属探知機）のようなものはないでしょうか。とりあえず、被ばくしているかどうかスクリーニングするため。

（答）

着衣や人体表面が汚染しているかどうかを短時間で測定する測定器としては、ハンドフットクロスモニターがあります。この測定装置は、人体等が汚染する可能性のある原子力発電所等の放射性物質取り扱い施設の出口に必ず設置されています。

しかし、放射線に被ばくしているかどうかを即座に測定できる機器はありません。

3. 放射線の測定-22

放射線測定器の日常点検（動作確認管理の仕方）について教えてください。

（答）

動作の確認については、バッテリー及び高電圧の点検（一回程度／月）が最低限必要ですが、可能であれば密封線源を使用し、定期的（一回程度／年）に同一の測定条件で測定し、特性の変化を確認するのが良いと思います。

3. 放射線の測定-23

空間線量の測定において、NaIシンチレーション式サーベイメータ（TCS-161型）と電離箱式サーベイメータ（ICS-313型）を使用し空間線量率を測定したが指示値が異なった。その違いは何か

（答）

それぞれのサーベイメータの機器の特性の違いによるものです。

線量が高い範囲は、NaIシンチレーション式サーベイメータの場合は $\sim 30\mu\text{Sv/h}$ であり、同じく電離箱式サーベイメータは $\sim 100\text{mSv/h}$ です。つまりNaIシンチレーション式サーベイメータは比較的低い線量率を測定し、電離箱式サーベイメータは高い線量率を測定するものです。緊急時における現場の測定では、 $\sim 30\mu\text{Sv/h}$ の場所ではNaIシンチレーション式サーベイメータの値を読み取り、電離箱式サーベイメータの値は補助的に記録します。 $30\mu\text{Sv/h}$ ～の場所では、この逆となります。

3. 放射線の測定-24

アルファ線、ベータ線用の空間線量率用のサーベイメータがないのはなぜか？

(答)

空間線量率用のサーベイメータは、空間に飛び交っている放射線量が、人体にとってどの程度影響があるか、その影響の度合いを指示する測定器です。放射線防護上、指示値は外部被ばく線量の値を示すものとして使われます。

アルファ線の場合、皮膚で遮へいされるため、外部被ばくは考慮しなくてもよいとされています。ベータ線の場合、透過力はあまり強くないため、皮膚、目の水晶体^{*1}の被ばくが問題となります。

3. 放射線の測定-25

ポケット線量計の操作及び性能は吹雪などの低温状態で問題ないか。

(答)

お使いになっているポケット線量計の取扱説明書を確認してください。使用温湿度範囲、温湿度等の使用条件などの欄に、その線量計の動作するための温度及び湿度条件が書かれています。その条件の範囲内であれば、動作については問題はありません。注意することは、条件の欄に「ただし、結露しないこと。」と付記されていると思います。温度、湿度条件を守っていても、冷たいところから急激に暖かいところに環境が変わると、結露します。

3. 放射線の測定-26

セシウム-137からはガンマ線とベータ線が出るが個人線量計ではガンマ線のみ計量するが、よいのか。

(答)

外部被ばく線量を測定するためには、個人線量計を使います。個人線量計には、様々な種類があり、測定する放射線の種類などにより使い分ける必要があります。

緊急時において防災業務関係者が被ばくする原因は、放射性プルームの下での作業などがありますが、この場合ガンマ線による全身被ばくが問題になります。ベータ線については、透過力がガンマ線ほど強くないため、特に被ばく線量を測定し、管理する必要はありません。ベータ線源がある近くで作業する必要が生じ、皮膚や目の水晶体の被ばくを考慮する必要がある場合、ベータ線を測定します。

3. 放射線の測定-27

測定器は、新しい電池をいれてからどのくらい持つか。

答)

測定器によって異なりますので、各説明書等をご覧ください。

代表的な測定器の例を示します。

		一次電池※1	二次電池※2
GMサーベイメータ	TGS-146B	連続 100 時間以上	連続 30 時間以上
NaI シンチレーションサーベイメータ	TCS-172B	連続 30 時間以上	連続 10 時間以上
ZnS サーベイメータ	TGS-362	連続 60 時間以上	連続 20 時間以上

※1 単 2 形アルカリ乾電池 4 本、 ※2 リチウムイオン 2 次電池

4. 放射線の人体への影響-1

外部被ばくと内部被ばくでは、どちらが危険ですか。

(答)

一概には外部被ばくと内部被ばくの何れが危険であるとかは言えません。吸収線量、或いは、実効線量が同じであれば外部被ばくも内部被ばくも人体に与える放射線の影響は同じと考えられています。何れにしても放射線の種類と被ばく量、そして内部被ばくの場合は核種が問題になります。

4. 放射線の人体への影響-2

α 線・ β 線・ γ 線と放射線の種類がありますが、被ばくしたときの影響は同じですか。

(答)

人体の組織・臓器の吸収線量が同じであれば確定的影響は同じといえます。しかし、将来がんが発生する等の確率的影響は放射線の種類とエネルギーによって異なります。例えば、同一吸収線量の β 線と γ 線による確率的影響は同じですが、 α 線ではがん等の発生確率は20倍になります。

4. 放射線の人体への影響-3

全身被ばくと局部被ばくは実際分けることはできないのではないですか。

(答)

放射線を全身に受けた場合を全身被ばく、身体の一部だけに受けた場合を局部被ばくと言っています。

内部被ばくの場合は、人体に取り込んだ元素が特定の臓器等に沈着する特性から局部被ばくと言えます。また、放射線源の汚染による被ばくは局部被ばくです。

しかし、 γ 線・中性子線による外部被ばくの場合は厳密な区分は困難な場合がありますが、ビーム状の放射線による被ばく、及び放射線源の直近での被ばくは局部被ばくと考えられます。また、放射線源から数メートル以上離れた場所での被ばくは全身被ばくと考えて差し支えないでしょう。

4. 放射線の人体への影響-4

α 線による被ばくはあるのですか。またそれはどの核種ですか。

(答)

α 線は、外部被ばくの原因となることはほとんどなく、内部被ばくのみを注目する必要があります。

アルファ線を出す放射性核種には、プルトニウム-239、プルトニウム-238、ポロニウム-210、ウラン-235、それに超プルトニウム群(アメリシウム-241、キュリウム-242、と244、バークリウム-249、カリフォルニウム-252、アインシュタインウム-253)などの他、ラドンが壊変してできる核種などがあります。

4. 放射線の人体への影響-5

がんの治療で大量の放射線を当てますが、大丈夫ですか。

(答)

放射線治療においては、がん組織ばかりでなく周辺の正常組織も同時に照射されますので、なるべく正常組織を痛めないように、いろいろな工夫がなされています。たとえば、放射線が発生する装置をがんの組織を中心に回転しながら放射線を照射します。こうすることにより、中心のがん組織は常に放射線が照射されていますが、まわりの正常な組織の被ばくは低減されます。

4. 放射線の人体への影響-6

妊娠中のレントゲン撮影による胚や胎児への健康影響はどのように考えているのですか、また、その影響や被ばくを防ぐためにどのような対策が講じられているのですか。

(答)

細胞増殖が盛んな細胞は放射線致死感受性が高いため、従来、胚や胎児は放射線感受性が高いとされ、放射線による奇形や小児がんなどの生後の赤ちゃんへの影響を重視してきました。精神遅滞児の発生が約100mSv以上であることからすれば、通常のX線診断における胎児の被ばく線量は、母体の骨盤CT検査でさえ25mSvであり、胎児に重篤な影響を与える線量ではないとしています。しかし、胎児に対する放射線影響については、一般的に十分理解されていません。胎児が直接被ばくするようなX線診断では、医療関係者は、特に事前に患者に被ばくによる影響について納得のいく説明をし、患者の不安を和らげることが必要です。

4. 放射線の人体への影響-7

γ線による内部被ばくを考える必要がありますか。

(答)

放出される放射線がα線か、β線か、γ線か或いはその混合の場合もあり、ほとんどの核種はα線やβ線とともにγ線を放出します。放射線の種類によっても影響が異なります。線量評価は線質ごとに評価されるのではなく、体内に取り入れた各核種についてまとめて評価されます。しかし、Svという単位で表される場合は、がんの発生のリスクは放射線の種類によって変わりません。

どの様な核種が、どの位の量体内に取り込まれたか、その物理的性質と生物学的性質が重要です。

4. 放射線の人体への影響-8

人体で計測される半減期は実効半減期ではなく生物学的半減期ではないのですか。

(答)

生体内に取り込まれた放射性核種が、放射性壊変及び生体内からの排泄過程によって元の数の半分になるまでの時間のことを実効半減期と云い、物理学的半減期を T_p 、生物学的半減期を T_b 、実効半減期を T としますと $1/T=1/T_p+1/T_b$ の関係があります。

放射性ヨウ素の場合、ヨウ素が生物学的半減期で体外へ出て行くと同時に、それ自体物理学的半減期で減衰していきます。従って甲状腺に入った放射性ヨウ素の減り方は生物学的半減期と物理学的半減期の両方が効いてきます。この両者が相乗して減る早さが実効半減期と云われているものです。

4. 放射線の人体への影響-9

放射線が人体に当たった場合にどのような化学的变化が生じるのですか。

(答)

電離放射線が人体に当たると、細胞内物質との相互作用により励起と電離（イオン化）を起こします。続いて、生体内分子にいろいろな化学変化を生じます。特に生体内に最も大量に含まれている水が励起されたり電離されたりすると、DNAに損傷を与えるOHラジカルやHラジカルが生成されます。このため、放射線量が高く、電離作用も大きいと酵素機能の低下や細胞分裂の遅れ、遺伝子損傷などの影響が現れます。このようにラジカルを通して起きる変化を間接作用と言ひ、放射線がDNA分子などと直接に相互作用をして損傷を起こす場合を直接作用と言っています。

4. 放射線の人体への影響-10

放射線の人体に対する健康影響、発病率はどうなっているのですか。

(答)

放射線が人体に当たった場合、ある程度の線量を受けると症状が現れ、かつその重篤度が受けた線量に依存するしきい値のある確定的影響（血液の変化、脱毛、皮膚紅斑等）と、がんや遺伝的影響のように影響の現れる頻度が線量に依存するしきい値のない確率的影響に分けることができます。

確定的影響は、しきい値以下の線量では影響の無いことがはっきりしているもので、ある線量以上になると影響が出る現象を言います。

一方、確率的影響は必ずしも影響が出るというのではなく、受ける線量が多くなるほど影響の出る確率が高くなる場合を言い、がんや遺伝的影響がこれに相当します。

4. 放射線の人体への影響-11

一般の火傷と放射線による火傷の症状の違いは何ですか。また、すぐに症状がでるのですか。

(答)

一般に放射線が皮膚にあたって火傷を生じるのは数Gy以上とされています。

放射線火傷も熱火傷と同様皮膚の損傷程度により第1度から第4度まで分けられています。

第1度皮膚反応：3～4Gyの被ばく後、上皮基底細胞の増殖阻害が起き、皮膚が薄く乾燥し、一過性の脱毛や、毛細血管の拡張による紅斑（初期紅斑）が生じます。

第2度皮膚反応：6～19Gyの被ばく後、約2週間から強い紅斑が生じ、34週間続きますが、びらんにはなりません。（乾性放射線皮膚炎）

第3度皮膚反応：20～25Gyの被ばくになると、強い紅斑と水疱が現れるようになり、それが破れると皮下組織が露出してびらんとなります。これらは被ばく後約1週で始まり、45週間続きますが、この段階では上皮の再生は可能です。（湿性放射線皮膚炎）

第4度皮膚反応：30Gy以上の被ばくをすると、1週間以内に深紅色の紅斑が現れ、水疱、びらん、皮下組織の壊死となって潰瘍まで進みます。例え治癒しても瘢痕が残ります。（放射線潰瘍）

4. 放射線の人体への影響-12

一般の火傷と放射線による火傷の症状の変化に違いはありますか。

(答)

熱によるいわゆる熱傷と放射線熱傷では多くの点で違っています。熱による障害では、直後に痛み・激しい炎症反応・患部の細胞死・組織の破壊が起きます。一方、放射線熱傷では、初めは痛みが無く、細胞死や組織死が明らかになるのは再生が起きなくなった結果表皮が脱落してからです。熱傷では一般に患部の細胞・組織全てが障害を受けますが、放射線の場合は皮膚細胞を生み出している幹細胞が主に障害を受けます。

4. 放射線の人体への影響-13

放射線障害は何故しきい値以下では起こらないのですか。確率的影響はどうなのか。

(答)

人体が放射線を受けると、ある線量を超えた場合に症状が現れ、かつ影響の重篤度が受けた線量に依存するというしきい値のある確定的影響（血液の変化、脱毛、皮膚紅斑等）と、がんや遺伝的影響のように影響の現れる頻度が線量に依存するしきい値のない確率的影響に分けることが出来ます。

確定的影響はしきい値以下では影響の無いことがはっきりしているもので、ある線量以上になると影響が出る現象を言います。

一方、確率的影響は必ずしも影響が出るというのではなく、受ける線量が多くなるほど影響の出る確率が高くなる場合を言い、がんや遺伝的影響がこれに相当します。

4. 放射線の人体への影響-14

広島・長崎では遺伝的障害の事例は無いとのことであるが、データ（3世代位）が少ないためなのですか。

(答)

被ばく者の子供に関する遺伝調査は世界中で実施されたこの種の調査としては最大規模のものですが、遺伝性の疾患や異常の増加は見つかっていません。

4. 放射線の人体への影響-15

放射性プルームを浴びると放射性物質はどのように取り込まれるのですか。皮膚からも取り込まれるのですか。

(答)

放射性プルームとは、原子力施設等から放出された放射性物質が風下に向かって流れる煙状の一団のことです。

放射性プルームから放出されるガンマ線による外部被ばくと、放出された放射性ヨウ素等の放射性物質の吸入による内部被ばくです。皮膚からの吸収は、上皮に傷がなければ極僅かで、内部被ばくは問題になりません。

4. 放射線の人体への影響-16

放射線を一度に受けるのと、数回に分けて受ける場合の影響の違いはあるのですか。

(答)

放射線を全身に一度に大量に受けると、身体内の放射線感受性の高い細胞(造血臓器、腸上皮、皮膚などの幹細胞)が大量に死滅します。そうすると残っている正常な幹細胞による分裂増殖が死んだ細胞の数を埋め合わせることができないため、3Gy~4Gy程度の放射線を受けると2カ月程度で約半数の人が急性障害(腸管出血、造血器障害など)を起こして死亡し、7Gy以上では即死となります。また、部分的に大量の放射線を受けるとその部分の幹細胞が死ぬため、その部分に皮膚紅斑や脱毛などの障害が生じます。

一方、少量の放射線(1Gy未満)を長期にわたって受けると、細胞や遺伝子に傷が付きます。その傷は多くの場合、修復機構や修復遺伝子によって直されますが、時に修復間違いを起こします。この間違いを突然変異と言います。この突然変異が細胞分裂の際に、他の細胞へ受け継がれていくことによって、10~20年も経ってからがんが発症するのだと考えられています。

急性障害を起こすような線量、数Svの放射線を長期にわたって受けた場合には、上述の修復遺伝子などが十分に働く期間があり、放射線を受け傷ついた細胞や遺伝子は修復されますので、影響は低くなります。

4. 放射線の人体への影響-17

外部被ばくを受けた場合、影響は蓄積しないのか。また、被ばくした人の線量は、時間がたてば減少するのか。

(答)

放射線に被ばくすると細胞が傷つけられ、一部の細胞は死んでしまいますが、時間が経過すれば死んだ細胞は新しい細胞と置き換わり、傷ついた細胞も修復されます。このように異常をきたした組織を元に戻す力は、人間に限らず全ての生物が本来備えている能力です。

このことから、放射線被ばくによる影響は蓄積されないといえます

4. 放射線の人体への影響-18

プルトニウムやウランはどの臓器に蓄積するのか。

(答)

放射性物質が体内に摂取された場合、核種や化学形によって体内での分布は異なったものになります。このため、主として被ばくする組織や器官が異なります。

可溶性のプルトニウムを摂取すると、大部分は肝臓と骨に集まり、肝臓がん、骨腫瘍、白血病を引き起こします。また、粉塵としてプルトニウムを吸入すると肺に沈着して肺がんを引き起こします。

ウランを体内に取り込んだ場合、腎臓、骨、肺に集まり、骨腫瘍、肺がん、白血病を引き起こします。

4. 放射線の人体への影響-19

γ 線による外部被ばくに関し、局部被ばくと全身被ばくで甲状腺に与える影響は異なるのか。

(答)

結論から言いますと、同じ線量による組織・臓器への影響を局所被ばくと全身被ばくとで比較した場合、影響は同じになります。

ガンマ線により全身が均等に照射されたということは、13の臓器・組織の等価線量は全て等しいことになります。また、全身の被ばく線量（実効線量）が1 Svということは、各臓器が被ばくした等価線量に組織荷重係数を掛けて合計した線量が1 Svということです。

4. 放射線の人体への影響-20

半減期が同じ物質でも人体への影響は異なるのか。

(答)

外部被ばくは放射線の種類とエネルギーによって決まりますので、同じ半減期の放射性核種でも影響は異なります。

一方、内部被ばくは、取り込んだ放射性核種の放射線が人体の組織・臓器に影響を与えるわけですので、放射性核種の半減期が短ければ、体内の放射性核種が早くなくなるので放射線による人体への影響は当然少なくなります。このように、内部被ばくは取り込んだ放射性核種の半減期だけで決る訳では有りませんので、外部被ばく、内部被ばくとも、半減期が同じでも人体への放射線影響は必ずしも同じではありません。

4. 放射線の人体への影響-21

事故のときの被ばくは全身被ばくになるのか。25Gy で甲状腺の機能が低下するとあるが、全致死線量を超えていて死なないのか。

(答)

事故の時の被ばくは、放射性プルームからの放射線による被ばく、つまり空中に漂っている放射線源からの被ばくになりますので、全身被ばくとなります。

25Gy の放射線を受けて甲状腺機能低下が生じるというのは、甲状腺の部分が限定的に放射線を受けた場合のことです。火傷の場合を考えて貰えば良いのですが、腕の1部に重度の火傷をしても死に至りませんが、全身に重度の火傷が生じると死に至ることがあります。このように身体の一部へ障害が発生しても、全身の障害とは異なります。

4. 放射線の人体への影響-22

内部被ばくを起こす可能性があるのは「ヨウ素」だけか？内部被ばくをした場合、どういう処置をすればよいのか。

またどのくらいの時間で元の状態に戻るのか。

(答)

原子力発電所の場合、環境へ放出される放射性物質は、放射性ヨウ素、放射性希ガス（クリプトン、キセノン）とされています。放射性希ガスは、化学的に非常に安定なガスなので、呼吸で肺に入り込んでも血中に溶け込むことなく排出されます。従って、内部被ばくを起こす可能性があるのは、放射性ヨウ素だけになります。放射性ヨウ素を取り込んだ場合、放射性ヨウ素は甲状腺に蓄積されますが、安定ヨウ素剤を飲むことによって甲状腺から放射性ヨウ素を追い出すことが可能となります。この処置は、放射性ヨウ素を取り込んだことが分かっただけ早く行います。体内に取り込んだ放射性ヨウ素は、24時間以内にその殆どが尿とともに体外へ排出されますが、甲状腺にとりこまれた放射性ヨウ素は実効半減期7.5日（日本人の実測では6.5日）で減衰します。

4. 放射線の人体への影響-23

放射線の遺伝的影響について人では確認されていないとの事だが、人以外の知見も知りたい。

(答)

放射線の遺伝的影響については、ショウジョウバエとマウスなどを使った実験があります。

ショウジョウバエの場合には、羽が短い、目の色の変異などの指標で調べられています。マウスの場合には、毛の色の違い、骨格の異常、目の色の変異などの指標で調べられています。ショウジョウバエを用いた実験では 50mGy 以上の線量で遺伝的影響があると報告されています。マウスの場合には、約 1 Gy 以上で遺伝的影響があると報告されています。

4. 放射線の人体への影響-24

幹細胞が放射線に対して感受性が高い理由は？放射線を被ばくするとなぜがんになるか。

(答)

細胞分裂が盛んな細胞は放射線致死感受性が高いことが分かっています。幹細胞は、絶えず自分と同じ細胞と血液細胞や皮膚細胞などになる細胞の2つを毎回の細胞分裂で作出し、失われた細胞を補充しています。従って、放射線致死感受性が高いのです。

放射線がDNAに障害を及ぼし、異常をきたしたDNAは、通常は修復されるか、死んでしまいましたが、異常のまま生き残ったDNAの障害は遺伝子の障害に結びつき、その障害が細胞増殖遺伝子や細胞増殖抑制遺伝子に及んだ場合には、正常な細胞分裂ができなくなり、増殖異常となってがんになるのです。

4. 放射線の人体への影響-25

専門機関以外では、被ばくしているかどうかの確認（測定）しかすることができないのか。被ばくしていたときの対処方法。

(答)

専門機関以外では、被ばくの有無の確認しかすることができません。

高線量を被ばくした場合は自覚症状がありますが、放射線の被ばくによりどのような障害が生じているかは、専門の医療機関で検査することになります。

しかし、低線量ばくでは急性障害は発生しませんので、専門機関といえども、検査だけで被ばくしていることの確認は困難です。0.25～0.5Sv 程度の被ばくをすると白血球の一時的減少が起こりますので、一般の医療機関でも血液検査をすれば 0.25SV を超えて被ばくしたことが推定されます。

4. 放射線の人体への影響-26

水晶体の被ばく線量はどのように求めるのか。また、水晶体を守るために目を保護する対策が必要か。

(答)

水晶体の被ばく線量は、サーベイメータで測定した水晶体付近の線量率（単位：Sv/h）に被ばく時間（単位：h）を乗じて簡易的に求められますが、事業所周辺で行う原子力防災業務では特に水晶体の被ばく線量を求めたり、保護する必要はありません。

通常は、水晶体の被ばくを評価しなければならないような状況では、水晶体での吸収が大きい低エネルギーγ線及びβ線の被ばくを測定できる個人線量計を目の近くに着用することになります。

また、このような作業での目の被ばく低減には、めがね、ゴーグル等が有効です。

4. 放射線の人体への影響-27

プルーム中のKr、Xeを吸入して内部被ばくすることはないのか。

(答)

クリプトン、キセノンは不活性化ガスといわれ、他の原子(分子)と結合せず単独で存在します。そのため、肺に吸入しても血液中には取り込まれません。また、肺の組織に沈着することもなくすぐに排気されます。厳密に言うと、肺に滞在する時間ベータ線による被ばくはありますが非常に僅かです。問題となる被ばくは人体周辺にある放射性クリプトン及びキセノンのガンマ線による外部被ばくです。

放射性のクリプトンやキセノン等の希ガスは「サブマージョン」核種と言われ、被ばく評価はガンマ線による外部被ばくだけを評価すればいいことになっています。

4. 放射線の人体への影響-28

防護基準の50mSv、100mSvの線量を被ばくした場合、がんの発生確率はどの位になるのか。

(答)

放射線被ばくによるがんの発生確率は、100~200mSvを超えるとほぼ直線的に増加し、1Svの被ばくで自然発生率より約5%増加します。100mSv以下の被ばくではがんの発生が増加するというはっきりした結果は得られていません。しかし、100mSvを超えた被ばくでは被ばく線量とがんの発生確率の増加が比例するため、「100mSv以下の被ばくでも放射線被ばくに起因するがんが被ばく線量に比例して発生すると仮定して放射線管理をしましょう。」というのがICRPの考え方です。この考えからしますと、100mSvでは、0.5%、50mSvで0.25%増加することになります。

5. 放射線の防護と防護基準－1

緊急時における被ばく線量限度とその根拠はなんですか。

(答)

原子力施設で災害が発生し又は発生するおそれがある場合、人命救助や災害の拡大防止等緊急かつやむをえない場合には、防災業務関係者を緊急作業に従事させることができます。その特別の作業に対して認められた被ばく線量限度は、職業人に定められている緊急時における被ばく線量限度と同じく、実効線量が100mSv、眼の水晶体の等価線量が300mSv、皮膚の等価線量が1 Svです。

これらの線量限度の指標は、ICRP勧告やIAEA及び放射線審議会の意見具申を考慮して定めたものです。

5. 放射線の防護と防護基準－2

防災業務関係者が被ばくする作業から外れる線量はどのくらいですか。

(答)

防災業務関係者の線量限度は原子力防災指針に以下のように示されています。

- ① 災害応急対策活動及び災害復旧活動を実施する防災業務関係者の被ばく線量は、1回の防災活動で50mSvが上限です。
- ② ただし、防災業務関係者のうち、事故現場において緊急作業を実施する者が、災害の拡大防止、及び人命救助等緊急かつやむをえない作業を実施する場合の被ばく線量限度は、実効線量で、100mSvが上限です。また、作業内容に応じて、必要があれば、眼の水晶体については等価線量で300mSv、皮膚については等価線量で1 Svを上限とします。

これらの値が上限値として決められていますが、一般的には一個人に被ばく線量が片寄らないように、これらの値の数分の1に計画し、その後の作業等は交代要員に引き継ぎます。

5. 放射線の防護と防護基準 -3

事故において消防関係者が管理区域に立ち入る際の線量限度は定められているのですか。また、定められている場合その値はいくらですか。

(答)

消防関係者が管理区域に立ち入る場合として、管理区域内での消防活動が想定されます。「原子力施設等における消防活動対策マニュアル（総務省消防庁、平成26年3月）」においては、原子力防災指針に定められている防災業務関係者の放射線防護に係わる指標線量を考慮して、消防活動に従事する者の線量限度を下表のように定めています。

活 動 の 分 類	被ばく線量限度
通常の消防活動	10mSv 以下
人命救助等の緊急時活動	100mSv
繰り返し活動を行う場合	決められた5年間の総量が100mSv（但し、任意の1年に50mSvを超えるべきではない。）

通常の消防活動では、隊員の交代等を行い、隊員1人あたりの被ばく線量は、「消防活動対策マニュアル」に従い10mSv以下に抑えることとなります。

5. 放射線の防護と防護基準-4

原子力事故が発生して、警察活動する上で警察官が被ばくする放射線量は安全だということですが、どのような場合危険となるのですか。また、どのサーベイメータを携帯すればよいのですか。

(答)

被ばくが多くなると考えられる任務としては、必要に応じて行う避難区域内のパトロールですが、当該作業現場周辺の線量率等はモニタリング班などにより把握されており、災害対策本部の指示等により、50mSvを超えないように管理して作業することとなります。

このため、平常時の環境測定等の低線量率測定にはシンチレーション式あるいはGM計数管式サーベイメータが適していますが、原子力緊急事態に防災業務を実施する場合は、高線量率が測定できる電離箱式サーベイメータあるいは高線量率用GM計数管式サーベイメータが適切です。

最後に、放射線被ばくの可能性がある作業には必ず個人線量計を装着してください。

5. 放射線の防護と防護基準-5

女性がポケット線量計を誤って胸に付けた場合はどうするのですか。

(答)

着用部位の誤りに気がついた時点で腹部に着用するように指示します。

なお、誤って付けていた期間の腹部の被ばくについては、その者の作業場所や作業内容等を調査して胸部の被ばくと比較して過大な被ばくがなかったかどうか評価します。過大な被ばくが考えられる場合は再現法などの手段を用いて、腹部の被ばく線量を再評価し、記録します。ただし、一般の作業では腹部と胸部では問題になるような大きい差はありません。

5. 放射線の防護と防護基準-6

防護具の取扱いの実習で、使用した半面マスクで覆われていない部分の安全性は、どうなのですか。

(答)

半面マスクや全面マスク等を着用する目的は、汚染した空気を呼吸することによって生じる内部被ばくを防止するためです。高放射能濃度環境や汚染物が顔面等に付着するような環境で作業する場合には、全面マスクを着用します。

もし、半面マスクを着用して作業した結果、万が一顔面等に汚染が検出された場合には、湿らせた綿布による拭き取りや、中性洗剤と流水を使った洗顔等によって付着した汚染を除去します。

5. 放射線の防護と防護基準-7

防護服（例タイベックスーツ）を着用する目的及び作業内容はどのようなものですか。また、放射線を遮へいする防護服はないですか。

(答)

タイベックスーツは空気汚染のおそれのある区域内での作業等、さらに、原子力事故時の防災業務関係者の活動時に、作業者の身体、作業着等の汚染を防護または予防する目的で、それらの上から着用します。タイベックスーツは薄い不織布製ですから汚染した水で濡れるような作業には不向きです。汚染区域での作業終了後はタイベックスーツが汚染している可能性が高いため、はさみで静かに切り裂いて汚染をまき散らさないように、内側から巻き取るように脱がせます。

原子力防災時には機敏な動作が要求されますので、放射線を遮へいする実用的な防護服はないと考えていいでしょう。

5. 放射線の防護と防護基準-8

防護服はどのようなものですか。また、防護服の着用基準、使用限度はどうなっているのですか。

(答)

防護服は基本的に人体等を放射性汚染から防護するために着用する保護衣類です。

保護衣類には、下着、服（作業着、実験着、上下つなぎ服（ワンピース）、エプロン、タイベックスーツ、アノラック、エアラインスーツ、加圧服）、手袋、靴下、靴（短靴、長靴）、靴カバー、腕カバー、帽子（綿帽、ヘルメット）、防護眼鏡等が適時使用されます。

使用限度は、手袋、腕カバー、靴カバー、タイベックスーツ等は使い捨てで放射性廃棄物となります。その他の防護衣類は汚染検査をし、破損等不具合のないことを確認して再使用します。実験着、ワンピース等は放射能汚染の検査をし、汚染のないことを確認し、汚れを洗濯して、再使用しています。

5. 放射線の防護と防護基準-9

マスク等の着用の目安は。また、どの程度まで防護できるのですか。

(答)

原子力防災活動時使用される呼吸用保護具は次の2つに分類されます。

1) 浄気式呼吸用保護具

口と鼻の部分のみをカバーする半面マスク、顔全体をカバーする全面マスクなど肺力によって作業場所の空気を面体に取り付けた粒子フィルタあるいは吸収缶でろ過しながら呼吸するもので、小型軽量であるため使用頻度が高いものです。この場合、マスク面体と顔との密着性が防護効果を大きく左右し、例えば、髭をよく剃っておくことが重要です。

2) 自給式呼吸用保護具

いわゆる呼吸器と呼ばれるもので、ボンベに充填した圧縮空気を、あるいは化学反応で発生させた酸素を全面マスク内に供給するものです。吸い込む時に面体内部が負圧になるもの（デマンド型）と、常に陽圧に保たれているもの（プレッシャーデマンド型）があり、後者は大きな防護効果が得られます。

呼吸用保護具を実際に着用したときに得られる防護効果は、個人の顔面と面体との密着性などで一概には決まりませんが、防護係数が1つの目安となっています。

防護係数＝作業場所の濃度／マスク内の濃度

この係数が大きいほど防護効果は大きいことを表し、例えば、この係数が50であれば、マスクを着用すると体内への摂取量は1／50に低下することを意味しています。

下表にマスクの防護係数を示します。

表 防護マスクの防護係数

マスクの種類	空气中放射性物質	
	塵埃 ^{注)}	ヨウ素
半面マスク（塵埃フィルタ）	10	1
全面マスク（塵埃フィルタ）	50	1
（ヨウ素用吸収缶）	50	20

注)：防護マスクの集塵能力は非常に高く、防護性能は通常顔とマスクの密着の度合いで決まる。

5. 放射線の防護と防護基準-10

内部被ばく者は線源になりますか。内部被ばく者からは外部被ばくしないのですか。また、内部被ばく者の搬送はどのようにすればいいのですか。

(答)

内部被ばく者は、体内に放射性物質を取り込んでいるため線源となります。しかし、内部被ばく者から他の人が受ける外部被ばく線量は非常に少なく、ほとんど問題になりません。

従って、内部被ばく者を搬送するに当たっては、体表面汚染がない場合はシートでくるむなどの措置は必要ありませんが、嘔吐物など体内からの排泄物には放射性物質が含まれている可能性を考慮し、搬送車の内部をプラスチックシートで養生することが必要でしょう。また、内部被ばく者やその体内からの排泄物に素手で直接触れないよう、ゴム手袋などをすることも必要でしょう。なお、内部被ばく線量の評価などの資料として使用するため、排泄物は出来るだけポリ袋等に回収し、氏名や日時などを記入しておいてください。

5. 放射線の防護と防護基準-11

避難誘導をするときは夏でもカッパのようなものを着るのか。また、住民を避難させるときはビニールの袋のようなものを頭から被らせた方が良いのか。また、避難誘導の作業をするときに水を被った方が効果が良いのか。

(答)

住民の避難誘導では、長時間にわたり屋外にいることはありませんので、ご質問にあるような服装までは必要ないでしょう。ただし、放射性物質による汚染を避けるためには肌を露出しないことですので、長袖の服、長ズボンを着用し、頭には帽子を被るようにしてください。

また、四つ折りにした木綿のハンカチや、タオル等をぬらし2～3回おりたたんで口と鼻を覆うことで、放射性物質の吸入を $1/5 \sim 1/10$ に減らすことができます。

なお、水を被る件ですが、放射性物質はプルームの中で塵と同じように漂っており、服や頭の上に降ってくる訳ですので、衣服等が濡れているとかえって付着しやすく、また落ちづらくなります。体や服はぬらさない方が良いでしょう。

5. 放射線の防護と防護基準-12

船の中にいれば、放射線、放射性物質は止まるか。

(答)

一般の船舶は鉄板等の金属が使用されているので α 線及び β 線は遮へいされます。また、 γ 線も鉄板によりある程度遮へいされるので、外部被ばく低減の効果は十分あるでしょう。特に大きな船舶の船底に近い部分では、途中に何重かの鉄板があることになり、船室の側面は水がありますので、 γ 線及び中性子線も遮へいされ、放射線による外部被ばくはほぼ防護できると思います。

また、船舶は荒天時に雨や海水の進入を防ぐため、防水（気密）構造になっています。防水扉を閉め、換気を止めて船室内にいれば、放射性物質の吸入は防止できるでしょう。

5. 放射線の防護と防護基準-13

一般公衆の線量限度は1 mSvの根拠はなにか。

(答)

一般公衆は、主に成人男性から構成される職業人とは異なり、放射線に感受性の高い胎児や乳幼児が含まれています。従って、一般公衆の線量限度は、これらの者が一生涯放射線を継続して受け続けた場合の死亡リスクを考慮して設定されています。

大地からの自然放射線による年被ばく線量は、ほとんどの国々で約1～2 mSvです。

国際放射線防護委員会は、これらの事を考慮して、人工放射線からの一般公衆の年線量限度を1 mSvと勧告しているのです。

5. 放射線の防護と防護基準-14

防災業務関係者の線量限度で「1回あたり50mSv」の、1回の意味は。

(答)

放射線取扱い等の業務を職業にしている人（放射線業務従事者という。）の線量限度は、50mSv／年及び100mSv／5年と定められています。防災業務関係者の線量限度もこれと同じ考えで提案されています。しかし、避難等の原子力防災対策を実施する必要があるような事故が起こる可能性は極めて低く、まして、ある個人が原子力事故に遭遇し、防災業務関係者として防災業務に携わるような事態が、1生の内に2度以上起こることは、可能性としてはほとんどないであろうと考えられます。このような理由で、防災業務関係者の被ばく限度は、1事故あたり50mSvという値が示されています。

5. 放射線の防護と防護基準-15

中性子を遮へいする防護服はあるのですか。

(答)

中性子を遮へいする防護服は、現在のところありません。

中性子を遮へいする場合には、これらの2次放射線の遮へいも合わせて考慮する必要があり、特にガンマ線の場合は鉛などの重い物質が必要となります。

これらのことより、防護服の材料としては、軽い物質と重い物質を組み合わせた材料を使用する必要があり、形状が複雑で重いものとなり、実際の活動を考えた場合実用的とは言えません。

5. 放射線の防護と防護基準-16

100mSv/hを越える区域に入って救助活動しなければならない時はどうするのか。500mSv/h以上の線量率のエリアでは人命救助も出来ないのか。

(答)

ご承知のように、原子力防災関係者の被ばく限度は、緊急作業で100mSv以下という指標が示されています。このため、この指標を超える被ばくはさける必要があります。

質問の100mSv/hの区域では1時間滞在すると、100mSvを被ばくするということです。30分では50mSvの被ばくになります。作業が長時間に及ぶときは人が交代しながら救助作業等を行うことになります。500mSv/hを超える区域でも（数1000mSv/hを超えるような場所では難しいでしょうが）、基本的には同じ考えで人命救助は行えます。

なお、高線量の区域で作業を行う場合は、必ずアラーム付きの線量計の装着を忘れないようにしてください。

5. 放射線の防護と防護基準-17

救急救助で100mSvと言われていますが、アラームメータの設定は何mSvにしておけば良いのか。

(答)

数10mSv/hの区域では80～90mSvに設定しておけば大丈夫ですが、100mSv/hを超える区域で作業する場合は、アラームが鳴ってから退避するまでかなりの被ばくをする場合がありますので、半分の50mSv程度に設定の方がよいでしょう。

5. 放射線の防護と防護基準-18

原子力発電所の警戒に当たる機動隊員として、携帯している線量計がどの数値になったらいかなる行為を取るべきか。

(答)

防災関係者の事故時における防護指標として50mSv／回が提案されています。これは1回の事故あたり防災活動での被ばく線量を50mSv以下にすべきであるということです。活動中及び退避中の被ばく線量を合わせて50mSv以下にする必要がありますので、最大でも40mSvを超えたら退避することになるでしょう。原則的には、原子力緊急事態等に放射線被ばくのおそれのある区域での任務は、災害対策本部や県警本部等からの指示に基づいて行動することになります。なお、海上保安庁の防災活動においては「ポケット線量計のアラーム設定レベルを25mSvとし、この線量に達したときは即時退避する」ことが決められております。また、消防庁マニュアルでは消防活動時の被ばくは10mSvと規定してあります。

5. 放射線の防護と防護基準-19

緊急出動した場合、どれだけの被ばくになるか分からないのでその判断はどうするか。線量計から警察官退避時間等をどう予定して行けば良いか。

(答)

放射線による被ばくが予想される場合、線量計を必ず身に付けて出動することになります。緊急時の被ばく線量の指標は、50mSvです。線量が一定であるとは限りませんので、時々線量計の指示値を確認しながら、余裕を持って活動することが重要です。

例えば、測定時間が30分で被ばく線量が1mSvの場合、線量率は2mSv/h (1mSv÷0.5h)となります。活動現場での線量率が一定であると仮定すると約12時間で被ばく線量が25mSvとなります。従って活動出来る時間は12時間以内ということになります。

5. 放射線の防護と防護基準-20

放射性物質の吸入を防ぐマスクのフィルターは、こういった性質のものが使われているのか。防護マスクに使用されているフィルターカートリッジには有効期限があるのか。全面マスクのフィルターは核種により使い分けるのか？

(答)

フィルターは放射性物質の性状により使い分けます。核種によって使い分ける訳ではありません。塵埃（プルトニウム等）に対しては、フィルター付カートリッジを用い、放射性ヨウ素などの揮発性物質に対しては活性炭カートリッジを用います。

フィルター付カートリッジに使われるフィルターは、粒子捕集方式により、メカニカルフィルターと呼ばれるもの及び静電ろ過材と呼ばれるものと2種類あり、メカニカルフィルターの保存期間は製造日から10年です。静電ろ過材と呼ばれるものは同じく製造日から2年です。活性炭カートリッジは、2年（常温、常圧）の保存期間があります。これらはいずれも未開封の状態での期間です。

5. 放射線の防護と防護基準-21

防災業務関係者が50mSvをすでに浴びた場合、何日ぐらいしたらまた浴びても問題ないのか。

(答)

防災指針では、防災業務関係者の事故時における防護指標として、実効線量で50mSvを上限として用いることが示されています。

しかし、職業人に対する防護基準（被ばく限度値）は、「実効線量100mSv/5年（50mSv/年）」と規制されています。このことを考えると、問題に示された防災業務関係者の被ばくした50mSvは、特別な1年間の被ばく線量の上限値と解釈されます。従って、被ばくをしたその年度内において、さらなる被ばくはあり得ないと考えられます。次に被ばくが許されるのは翌年度以降となります。なお、100mSv被ばくした場合は5年間を経過した年度まで放射線に被ばくするような作業はできません。

5. 放射線の防護と防護基準-22

巡視船で立ち入り禁止区域入域船の警戒を実施することとなったが、巡視船の空調設備を運転していたほうが良いのか。放射線を浴びたほこりを入れない為、空調及び送風機は完全に停止したほうが船内の被ばくを防ぐことができるのか。どちらが正しいのか教えてください。

(答)

核燃料加工施設の臨界事故等で放射性物質の放出がわずかで、 γ 線、中性子線の放出が主な場合は空調を止める必要はありません。原子力発電所の事故で、放射性プルームの中で警戒活動等実施する場合は、内部被ばく防護の観点で、放射性物質の侵入を防ぐために船室は閉め切り、空調も止める必要があります。もし、吸気側に高性能フィルターが設置してある場合は、空調を止める必要はありません。

内循環式ならば、止める必要はありません。

5. 放射線の防護と防護基準-23

避難住民の汚染に対する基準値はあるのか。また、表面汚染密度には人体に対する安全基準のようなものはないのか。

(答)

原子力施設から放射性物質等が異常に放出された場合に、放出された放射線あるいは放射性物質から放出される放射線により身体が被ばくします。また、身体が放射性物質を含む空気に囲まれると、放射性物質を吸入するとともに身体表面に付着します。身体に付着した放射性物質は比較的容易に除去出来ますし、付着による被ばくは健康に影響を与える程ではないので、身体表面における放射性物質の付着量（表面汚染密度）に関する直接的な安全基準のようなものはありません。

しかしながら、避難又は一時移転の基準に基づいて避難等した避難者等に避難退域時検査を実施し、汚染が基準を超える場合は、迅速に簡易除染等を実施することになっています。その基準は、窓面積 20cm^2 のGM管式サーベイメータを使用した場合、 $40,000\text{cpm}^*$ （皮膚から数cmでの検出器の計数率）、事故より1か月を過ぎた場合は、同様に $13,000\text{cpm}$ となっています。

5. 放射線の防護と防護基準-24

長時間作業する場合、フィルターカートリッジは交換しなくても良いか。

(答)

放射物質吸入防護マスクのフィルターは塵埃捕集用とヨウ素捕集用の2種類が有り、フィルターの種類により交換時期が異なります。

塵埃捕集用フィルターは劣化に強く、長時間使用しても捕集効率は安定しています。通常環境においては、目詰まりを起こすことは考えられませんが、息苦しくなるようでしたら交換します。放射性物質が存在するような環境下での使用の場合、一度きりの「使い捨て」とします。長時間の作業の場合、一度着脱する場合には交換するようにします。

ヨウ素捕集用には活性炭が一般的に使用されており、活性炭カートリッジは、塵埃捕集用フィルターと異なり湿気に弱く、開封すると劣化が進みます。使用する直前に開封するようにしてください。「使い捨て」とすることおよび長時間の使用に関する交換については塵埃捕集用フィルターと扱いは同じです。開封したものの再利用は行わないで下さい。

5. 放射線の防護と防護基準-25

α 線、 β 線の防護はできるが、 γ 線(X線)と中性子線にあつては、防護する事ができないので、どう対処するのか。そもそも γ 線、中性子線が放射性プルームとして外に出ることが考えられるのか。

(答)

γ 線、中性子線の被ばく低減は、外部被ばく防護の3原則、「遮蔽」、「距離」、「時間」によります。

外部被ばくの原因になる、 γ 線や β 線を放出する放射性希ガスや、事故によっては、セシウム-137等はプルームとして放出されますが、中性子線を放出する放射性核種は、ほとんどありませんのでプルームとして放出されることもありません。核分裂等の原子核反応により発生する中性子線は、事故施設から直接放射されることが考えられます。

5. 放射線の防護と防護基準-26

100mSv被ばくした場合、その後の被ばく管理方法は？

(答)

対象者が防災関係者の場合は、健康診断を年2回継続して行うとともに、100mSv/5年の被ばく基準に基づき、5年間は放射線関連業務に就けないように管理します。

対象者が一般住民の場合は、一端、緊急被ばく医療機関で健康状態を検査した後、継続して年1~2回健康診断を行うことになると思います。

5. 放射線の防護と防護基準-27

放射線業務従事者と一般人で線量限度が異なるのはなぜか？

(答)

一般人の中には、放射線感受性の高い子供、妊婦が含まれています。また放射線測定器を用いて被ばく線量の管理を行っていません。そのため、知らずに高い被ばく線量を被ばくすることになる可能性があります。このような理由から放射線従事者と異なる線量限度を設けています。

5. 放射線の防護と防護基準-28

汚染区域の中において消防活動をし、汚染区域の外に出る（患者の搬送のような）場合、汚染区域でない区域を汚染してしまうことも考えられる。このようなときどうしたらよいのか？

(答)

傷病者の状態にもよりますが、一刻を争うような状況の場合は、汚染している衣類を脱がせるか、脱がせられない場合はカッター等で切り裂いて汚染した衣類を身体から取り除きます。可能であれば濡れたタオル等で傷病者の身体の汚染を拭き取ります。搬送する場合は、傷病者の身体をシート等にくるみ搬送車両にのせます。汚染した傷病者の衣類は廃棄されます。病院に到着した後、傷病者をくるんだシートあるいは搬送車両の養生に使用したポリエチレンシート等については、汚染が拡大しないようにポリエチレン袋等に収納し廃棄します。搬送者も汚染する可能性がありますから衣類等に汚染がある場合は、同様に廃棄します。

5. 放射線の防護と防護基準-29

100mSv以上ある場所での人命救助の際の服装はどのようなものか？

(答)

汚染がある場合と無い場合では服装が異なります。汚染がある場合は線量にかかわらずタイベックスーツなどの放射線防護服及び防護マスクの着用が必要になります。汚染が無い場合は、通常の活動服で問題はないと考えられます。線量計は必ず着用します。

5. 放射線の防護と防護基準-30

防護服が汚染した場合再使用は可能か？

(答)

通常、汚染した防護服は廃棄されます。ただし、汚染核種が分かっている、かつ、半減期が短い場合は、放射性物質が減衰した後、使用することは可能です。また、高価な防護服の場合、除染を行った後、再使用することも考えられます。

5. 放射線の防護と防護基準-31

モニタリングしながらどのように現場に近づけば良いのか。また、どのようなレベルで（退避等の）判断すればよいのか？

(答)

モニタリングをする場合、線源から十分離れた場所から測定を始め、徐々に線源に近づいて行くのが原則です。消防隊員が車両で現場に急行するような場合は、車両に搭載した測定器のスイッチを出発時に入れ、測定しながら現場に近づくなどの配慮も必要です。可能であれば複数の種類の異なる測定器で測定するのが望ましいでしょう。

消防活動では通常の消防活動及び人命救助等の緊急時活動についてそれぞれ線量限度が決められており、前者は10mSv、後者は100mSvとなっています。個人線量計の警報設定レベルは通常の消防活動では10mSv以下、緊急時活動については30mSv～50mSvとなっており、退避等の判断基準（レベル）は個人線量計の設定レベルに準じて決めて良いと考えられます。なお、退避の判断基準（レベル）は退避完了までの時間を考慮し、個人線量計の警報設定レベルより低めに決定すべきです。

5. 放射線の防護と防護基準-32

放射線業務従事者の線量限度は100mSv/5年、一般公衆（周辺監視区域の外側）は、1mSv/年となっているが、一般公衆の人が発電所等に立ち入った場合線量限度を20mSv/年と考えてよいのか？

(答)

放射線業務従事者になるには、教育や放射線業務従事者手帳が必要となります。また、原子力施設（原子力発電所等）に立ち入るには、入構許可が必要となります。一般公衆が原子力施設に立ち入ることは出来ないことになってはいますが、もし原子力施設に立ち入った場合でも線量限度が放射線業務従事者と同じように5年100mSv、1年50mSvになることはありません。原子力施設内で事務職として働かれているかたは、一般公衆と同じ1年で1mSvと決められています。

5. 放射線の防護と防護基準-33

小児の予測甲状腺等価線量で予測される吸入時間が24時間の場合は、小児活動時、小児一日平均のうちどちらの値を採用したらよいか？

(答)

予測される吸入時間が24時間の場合は、小児一日平均を採用して方がいいと思いますが、安全側にたった場合、小児活動時を採用する方が良い場合があります。

6. 安定ヨウ素剤-1

ヨウ素剤は備蓄しているのですか、また、代用物（ヨウ素系造影剤）はありますか。

（答）

原子力施設のある地方公共団体などでは、緊急時に備えて安定ヨウ素剤として、ヨウ化カリウム剤を必要量分、保管しています。

ヨウ素剤の代用として、ヨードチンキ、甲状腺ブロック剤、昆布などの使用が検討されましたが、やはり医薬品ヨウ化カリウムにかなうものはないようです。

6. 安定ヨウ素剤-2

ヨウ素剤の保管方法（保存温度等）と有効期限はどのくらいですか。また、事前に各家庭に配布されるのですか。

（答）

PAZの区域の、飲んではいけない人以外については、各家庭で配布を受け備蓄しています。

保存は遮光された、湿気のない通常の薬品等の保管場所がよいでしょう。

医薬品ヨウ化カリウムは非常に安定な化合物ですので、保管が適切に行われれば、かなり長期にわたり有効ですが、メーカーにより保証期間が異なりますが3年間を保証期間としているのが一般的です。薬剤に記載された有効期限を確認して適切に交換してください。

6. 安定ヨウ素剤-3

ヨウ素剤の服用で副作用はありますか。また、服用していけない病気はあるのですか。

(答)

放射性ヨウ素の甲状腺への取り込みを低減するために服用するわけですが、副作用などがありますので、服用にあたってはいくつかの注意事項を守らねばなりません。

・服用対象者

安定ヨウ素剤の服用は、すべての年代の方が対象となります。ただし、ヨウ素にアレルギー等がある服用不適切者や自らの意思で服用しない者を除きます。

・服用回数

服用回数は原則として1回です。安定ヨウ素剤の2回目の服用を考慮しなければならない状況では避難を優先させます

- ・一般に成人の場合1回100mg（ヨウ素としては76mg）の経口投与では、副作用は起きません。服用後、じん麻疹、関節痛、発熱等の副作用が生じた場合は、医療関係者が対応します。
- ・ヨウ素過敏症のある者、造影剤過敏症の既往歴のある者、低補体性血管炎の既往歴のある者又は治療中の者、ジューリング疱疹状皮膚炎の既往歴のある者又は治療中の者は、副作用発生のおそれがあるため、服用してはなりません
- ・安定ヨウ素剤の服用によってアレルギーなどの副作用を起こす場合もある（ただし、副作用は軽度といわれています）。
- ・大量に、もしくは頻回に服用すると、甲状腺機能低下症を発症することがあります。

その他

- ・新生児については、安定ヨウ素剤服用後に甲状腺機能低下症を発症することがあるので、その早期発見治療のために甲状腺機能を追跡調査する必要があります。
- ・妊婦にも服用させること。その出生児については、甲状腺機能の追跡調査を行う必要があります。
- ・授乳婦にも服用させ、母乳を飲んでいる乳児には、その代替えとして人工乳を与えてください。

6. 安定ヨウ素剤-4

ヨウ素剤を飲み、尿を出して溜めておいた場合の放射線は問題ないのですか。

(答)

被災者が放射性ヨウ素を吸入し、甲状腺に3kBqを超える取り込みがある場合に安定ヨウ素剤を投与しますが、この場合の甲状腺表面の線量率は約0.1 μ Sv/hになります。甲状腺に30kBqの放射性ヨウ素を取り込んだ被災者に安定ヨウ素剤ヨウ素剤投与した結果、放射性ヨウ素を全て排出したとして、排泄物を回収した容器表面線量率は1 μ Sv/h以下ということになり、容器から数メートル離ればバックグラウンドと区別できないでしょう。

6. 安定ヨウ素剤-5

ヨウ素剤の効果はどのようなのですか。

(答)

安定ヨウ素剤による効果は、成人では少なくともヨウ化カリウムの製剤30mgの服用量で、放射性ヨウ素の甲状腺への集積の95%を抑制することが出来ます。服用時期に関しては、放射性ヨウ素の吸入あるいは体内摂取される前24時間以内または直後に服用すれば、放射性ヨウ素の甲状腺への集積の90%以上を抑制することが出来ます。また、放射性ヨウ素の摂取後であっても、8時間以内の服用であれば約40%の抑制効果が期待できますが、24時間以降では約7%となります。

この効果は、安定ヨウ素剤服用後、少なくとも1日は持続することが認められています。

6. 安定ヨウ素剤-6

スリーマイル事故の時、ヨウ素剤は配られたのですか。

(答)

FDA（米国食品医薬品局）はTMI事故のためにヨウ化カリウム(KI)を服用することが甲状腺被ばく低減に有効であるとして、多くの製薬会社に依頼したところ、1社が緊急製造を引き受けました。これに要した費用は、35万ドルでした。

5万本の小瓶に入った液体ヨウ化カリウム（20万人で10日分）が用意され州に送り込まれましたが、ヨウ化カリウムの配布による心理的な影響が考えられること、またその副作用もあることから、その使用には慎重を要するとして実際には配布されませんでした。

6. 安定ヨウ素剤-7

40歳以上の方は、何故ヨウ素剤を服用する必要がないのか。

(答)

以前は、40歳以上の方は、放射性ヨウ素を摂取しても甲状腺がんのリスクの増加が認められないことから服用の必要はないとしていましたが、甲状腺がんのリスクが高齢者でも残存し、安定ヨウ素剤の効果が認められるという報告もあり、副作用のある人や、拒否をする人を除き、服用することになっています。

しかしながら、一方で、一時的な甲状腺機能低下等の副作用が生じる可能性は年齢が上がるとともに増加するとの報告もある。

6. 安定ヨウ素剤-8

ヨウ素剤の服用は、事故が継続する場合、何回にも分けて服用することが必要なのではないのか

(答)

ヨウ素剤の服用は1回限りで、原子力施設での事故が継続しており、ヨウ素剤の服用が2回以上必要となる場合は、別の地域への避難が優先されると防災指針に記載されています。

従って、被災住民がヨウ素剤を何回にも分けて服用するという状況はなく、防災業務関係者の場合には必要に応じて、一回限り飲むということになると思われます。

しかしながら、どうしても必要な場合は、24時間以上間をあけて服用します。

6. 安定ヨウ素剤-9

現場に出動する人は、ヨウ素剤を飲んでから行ったほうがよいのか。

(答)

現時点では大気中放射性ヨウ素濃度は十分低いですが、状況が急変する可能性のある場所で防護対策等に携わる必要がある場合、事前に安定ヨウ素剤を服用するケースがある可能性はあります。しかし、放射性ヨウ素等放射性物質の吸入はさける或いは極力低くするのが原則です。基本的には大気中放射性ヨウ素濃度が高い場所で作業する場合は、放射性物質吸入低減のために「防護マスク」の着用が原則です。