

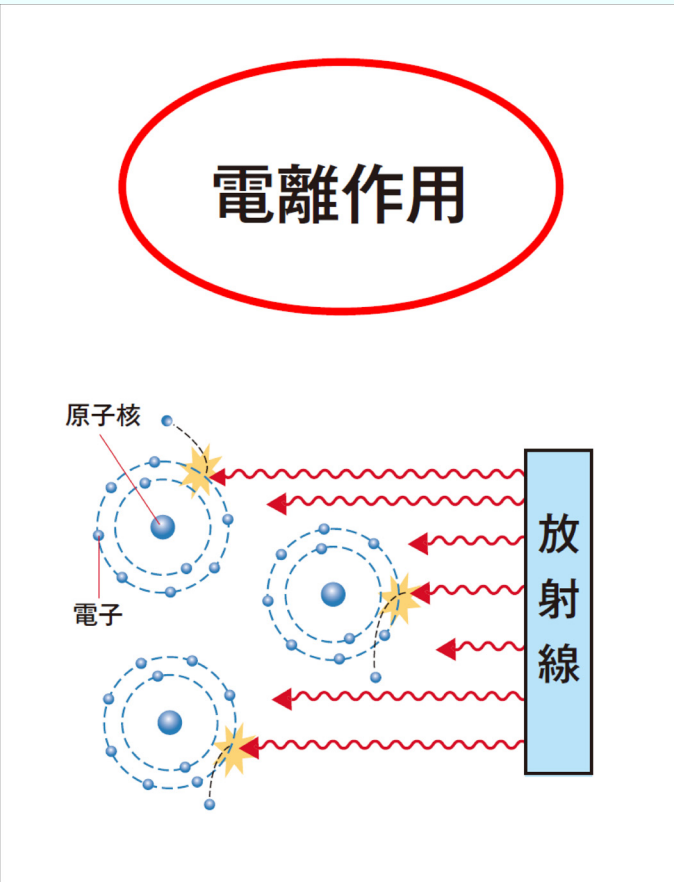
**放射線業務従事者のための
新規教育訓練講習会**

放射線安全取扱いの基礎

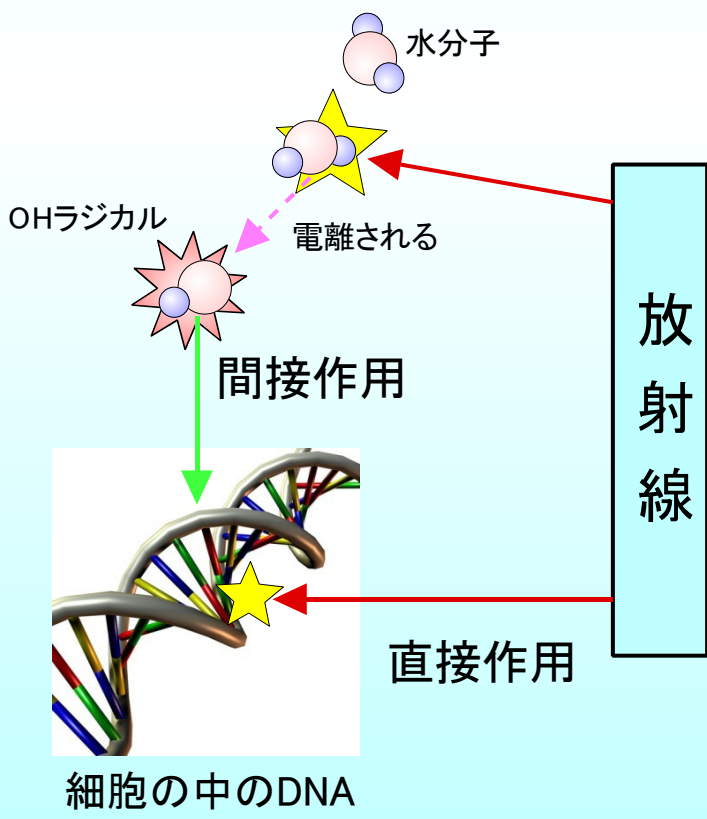
**大阪府立大学 放射線研究センター
秋吉 優史**

放射線を身体に受けると何が起こるの

放射線は原子の周りの電子を弾き飛ばしてしまい、結合している手を切ってしまう「電離作用」を示します。



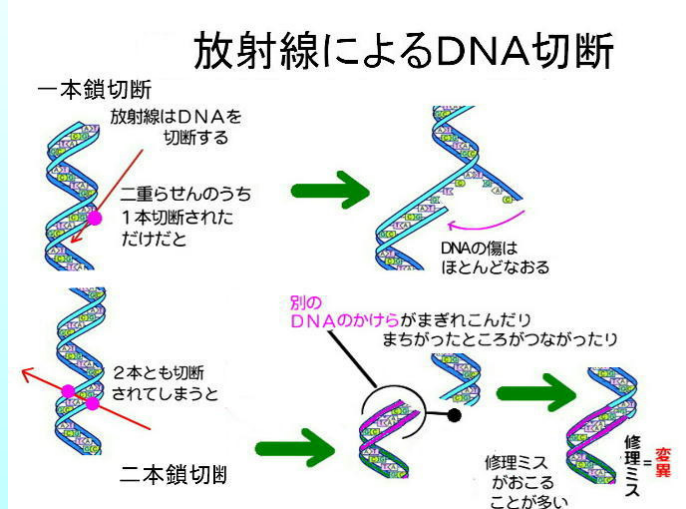
直接DNAを構成する原子を電離して切断するほかに、水を電離して、活性酸素のような化学的に活性なラジカルを作り出します。このラジカルが、間接的にDNAを切断します。



細胞のDNAは放射線以外にも呼吸により発生する活性酸素などで常に攻撃されています。

このため、細胞は切断されたDNAを元通りに修復しています。修復できないほどDNA切断が多い場合には、アポトーシス(自分のDNAを細かく切り刻む現象)によって細胞は自ら死んでしまい影響を後に残しません。

余りにもたくさんの攻撃を受けると、ごくまれに起こるDNA修復誤りによって遺伝子突然変異が起こり、発がんの原因になると考えられています。



放射線の被ばく

酸素呼吸によるエネルギー生成、紫外線や様々な化学物質

がんを防ぐ体のはたらき

放射線が直接DNA鎖を切ってしまう直接作用もありますが、6-7割程度が活性酸素による間接作用です。



偏った食事や過労などのストレスにより、体の防御機能が上手く働かなくなってしまいます。

活性酸素などの発生

放射線や紫外線、生きていく上で絶対に必要な酸素呼吸によるエネルギー生産の過程で、化学的な活性の高い、活性酸素などのラジカルが発生します

活性酸素などがDNAと反応すると、二重らせんの鎖を切断してしまいます。

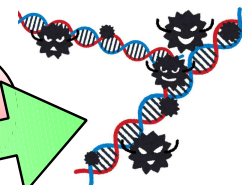
ビタミン、ポリフェノールや酵素などによる還元

DNA損傷の生成



バックアップデータからの修復

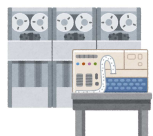
DNA損傷の修復誤り



あまりにもダメージが大きいと、完全に修復しきれなくなり、修復の際にミスが起こることがあります。

修復ミスが残ると、一部の細胞はがん化してしまいます。毎日数千個のがん細胞が発生しており、長い時間をかけて増殖しがんに成長します。刺激物などによる炎症はがん化を促進します。

野菜や果物に含まれるビタミンやポリフェノールや体内で作られる酵素には、活性酸素を還元し無害にする働きがあります。



修復を断念して死を選ぶ

がん細胞の発生

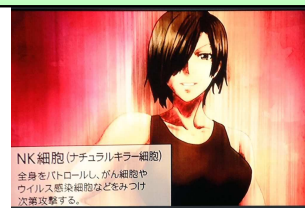


DNAはお互いペアとなる分子が1組となり2重のらせん構造を持っているため、片方の鎖が切れてももう片方のデータをコピーすることで修復することができます。また、2本とも切れてしまった場合でもほとんどの場合で修復できる働きがあります。



免疫細胞による攻撃

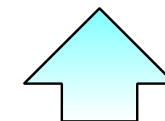
あまりにもダメージが大きいと、完全に修復しきれなくなり、修復が無理だと判断した細胞は自ら死を選ぶことで、間違った遺伝情報が残らないようにします(アポトーシス)。人の体は37兆個といわれる沢山の細胞で出来ていて、毎日沢山の細胞が死んで、また新しく生まれて機能を維持しています。



体の中には病原菌やウイルス、がんを攻撃する様々な免疫細胞がはたらいています。その中の一つナチュラルキラー細胞(NK細胞)はがん細胞を狙い撃ちすることが出来る細胞です。笑うことによって活性化する一方、ストレスに弱いことが知られています。免疫細胞の働きで、体内で発生した変異細胞のほとんどが摘み取られています。

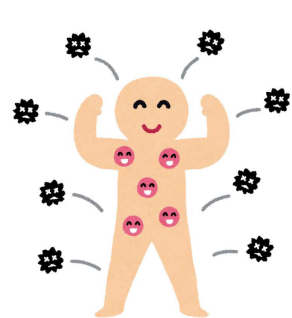
がん細胞の悪性化

放射線治療



逆に、大量の放射線のがんに集中的に照射することで、がん細胞を殺してしまう治療法があります。

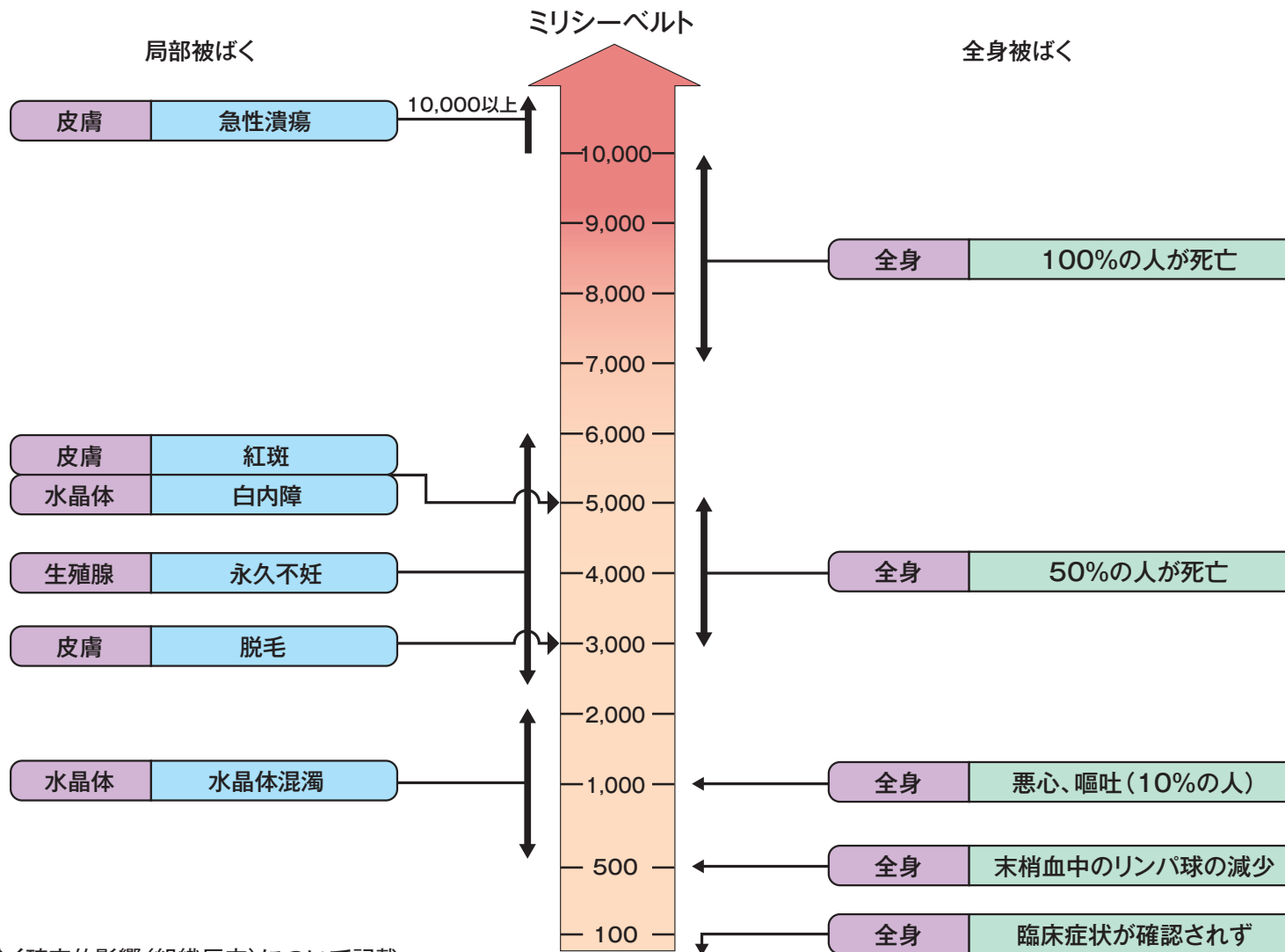
バランスの取れた楽しい食事で健康な体を保ちましょう!



→ 医療のコーナーをチェック!

放射線を一度に受けたときの症状

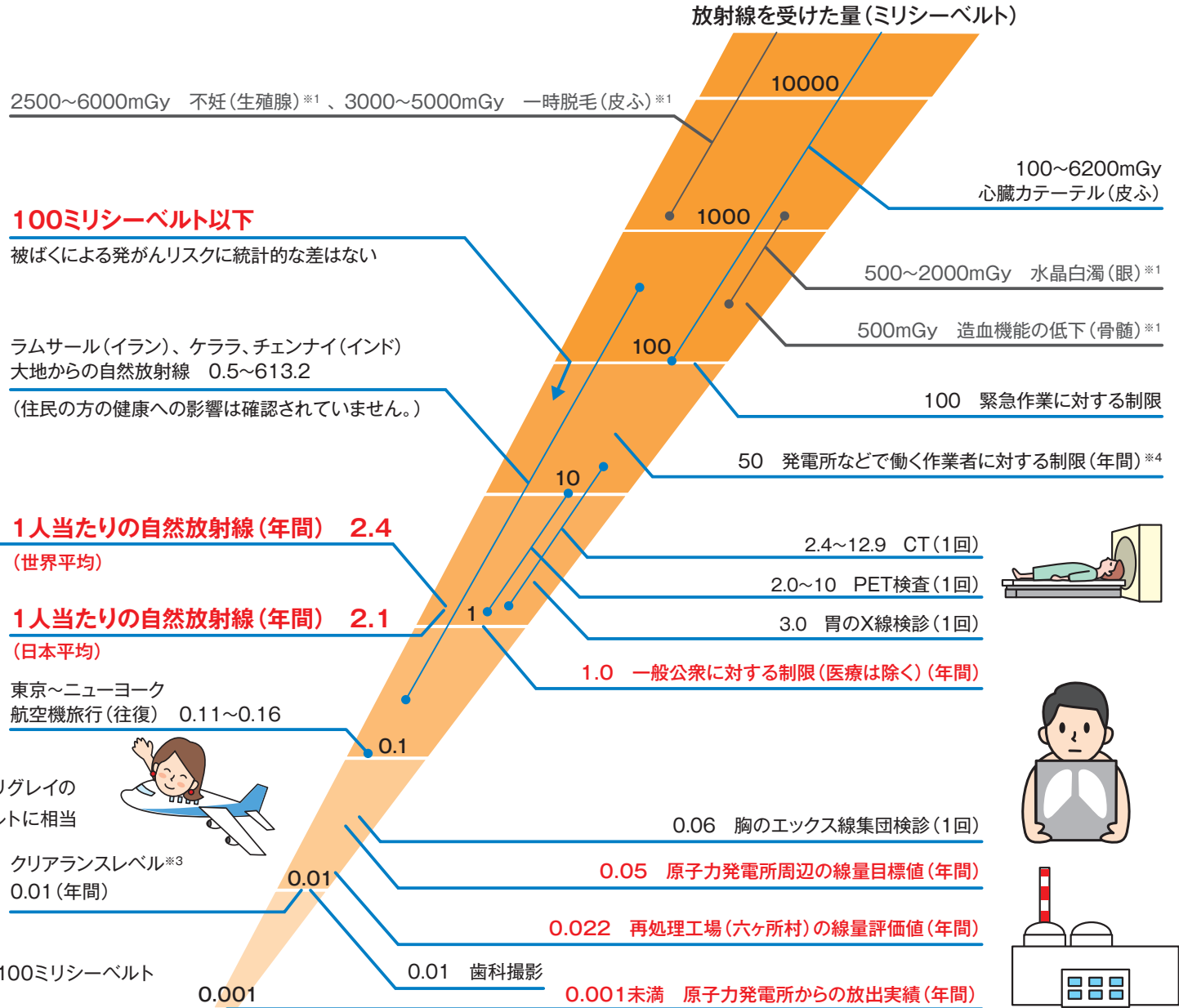
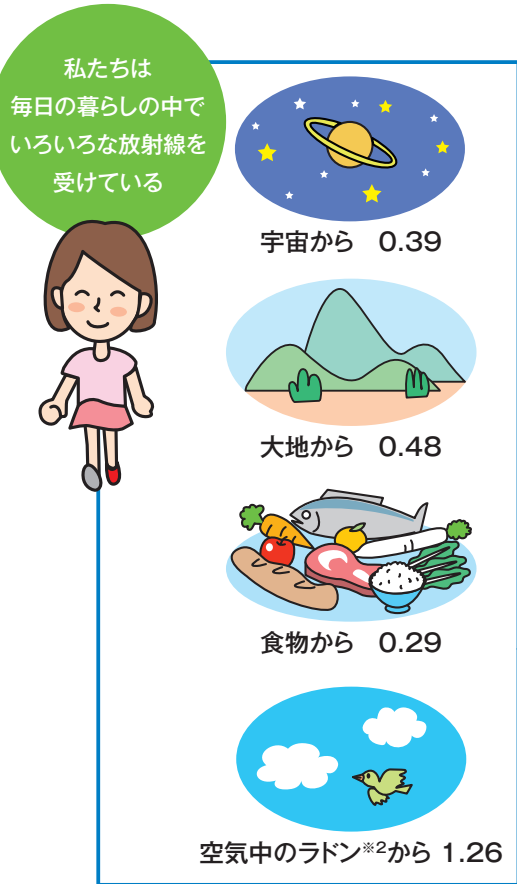
凡例 部位 症状



(注1) がんや遺伝性影響を除く確定的影響(組織反応)について記載

(注2) 一般の人の線量限度1.0 mSv/年、原子力発電所周辺の線量目標0.05 mSv/年

日常生活と放射線



※1 放射線障害については、各部位が均等に吸収線量1ミリグレイのガンマ線を全身に受けた場合、実効線量1ミリシーベルトに相当するものとして表記

※2 空気中に存在する天然の放射性物質

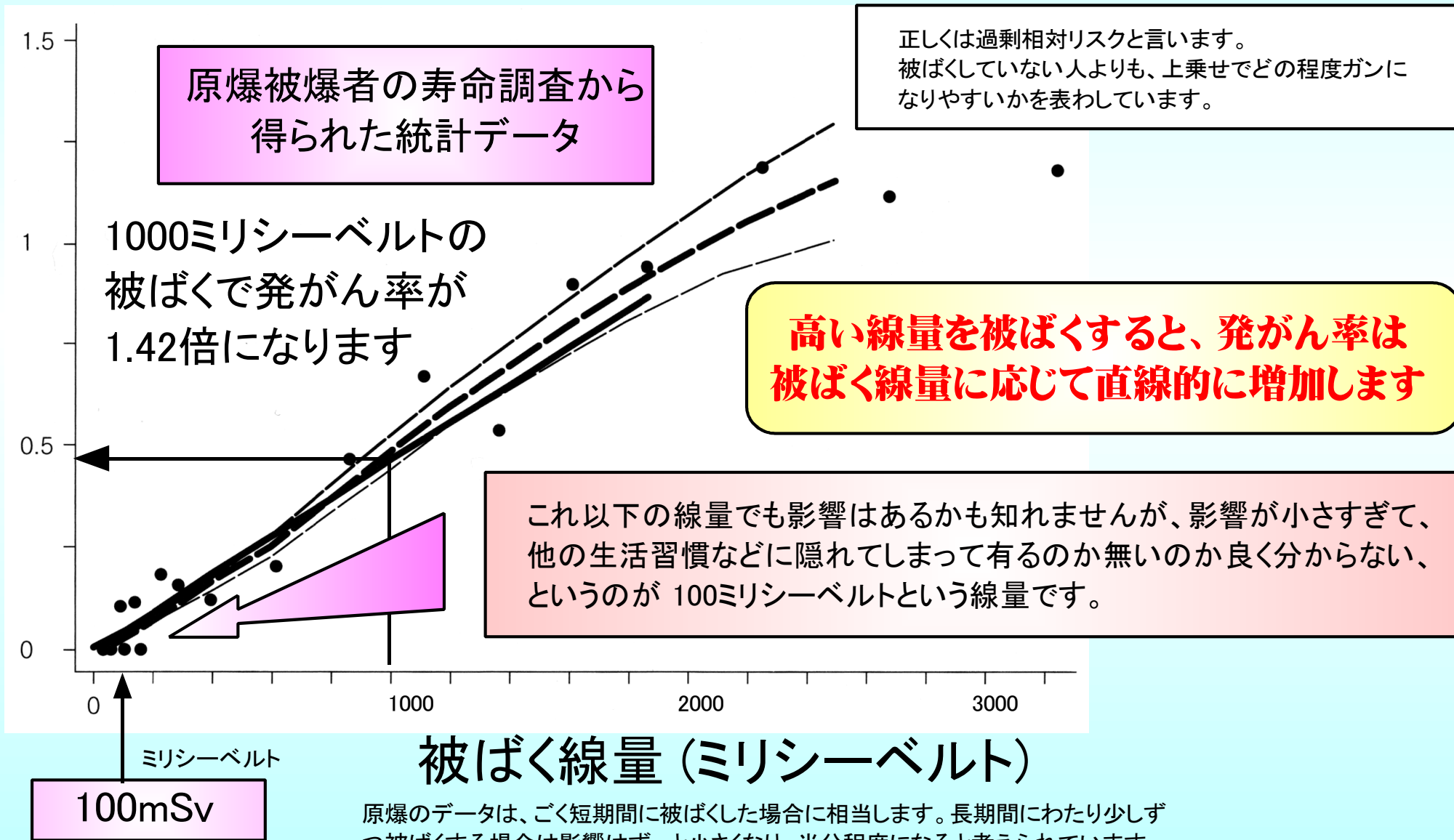
※3 自然界の放射線レベルと比較して十分小さく、安全上放射性物質として扱う必要のない放射線の量

※4 発電所などで働く作業員に対する線量は5年間につき100ミリシーベルトかつ1年間につき50ミリシーベルトを超えない

発がんへの影響はどのぐらいなの？

30歳の時に被ばくした人が、70歳になったときの上乗せのリスク

固形ガン発症の上乗せのリスク



ICRPの放射線防護体系

国際放射線防護委員会 ICRP の勧告

放射線防護の基準を決める三つの原則

正当化 Justification

リスクを上回る利益がなければならない

防護の最適化 Optimization

できるだけ被ばくを抑える(経済、社会的な要因の考慮)

ALARA(as low as reasonably achievable)の原則

線量限度 Dose Limit

線量限度を超えてはならない(緊急時と医療を除く)

線量限度について

区分		実効線量限度(全身)	等価線量限度(組織・臓器)
放射線業務従事者	平常時	100mSv/5年 ^{※1} 50mSv/年 ^{※2} 女子 5mSv/3月間 ^{※3} 妊娠中の女子 1mSv (出産までの間の内部被ばく)	眼の水晶体 100mSv/5年 ^{※1} 及び50mSv/年 ^{※2} 皮膚 500mSv/年 ^{※2} 妊娠中の女子 2mSv (出産までの間の腹部表面)
	緊急時 ^{※4}	①100mSv ②250mSv	眼の水晶体 300mSv 皮膚 1Sv ^{※5}
一般公衆	平常時	1mSv/年 ^{※2}	眼の水晶体 15mSv/年 ^{※2} 皮膚 50mSv/年 ^{※2}

(注) 上記表の数値は、外部被ばくと内部被ばくの合計線量(自然放射線による被ばくと医療行為による被ばくは含まない)

※1 平成13年4月1日以後5年ごとに区分

※2 4月1日を始期とする1年間

※3 4月1日、7月1日、10月1日、1月1日を始期とする各3月間

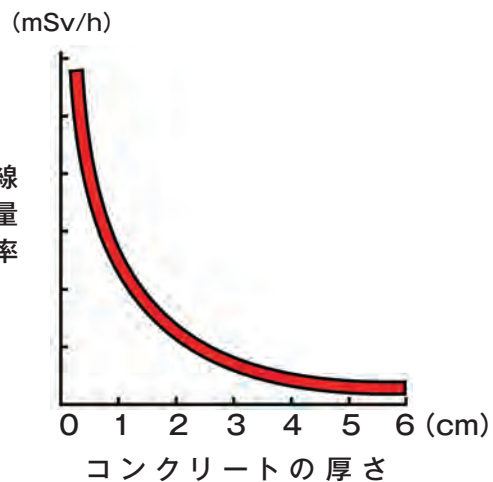
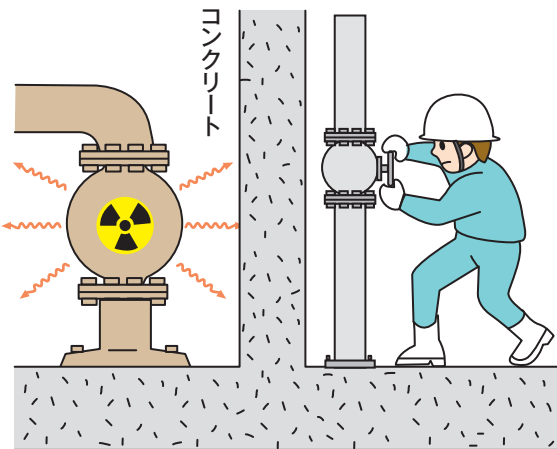
※4 ・原子力災害対策特別措置法の対象施設等における緊急作業への従事は、被ばくに関する情報提供を予め受けた上で、参加の意思を表明し、必要な訓練を受けた放射線業務従事者に限る
・被ばく線量限度は、①従来の実効線量100mSvに加え、②放射性物質の敷地外等への放出の蓋然性が高い場合の実効線量250mSv、の2段階

※5 1Sv(シーベルト) = 1,000 mSv(ミリシーベルト) = 1,000,000 μSv(マイクロシーベルト)

放射線防護の基本

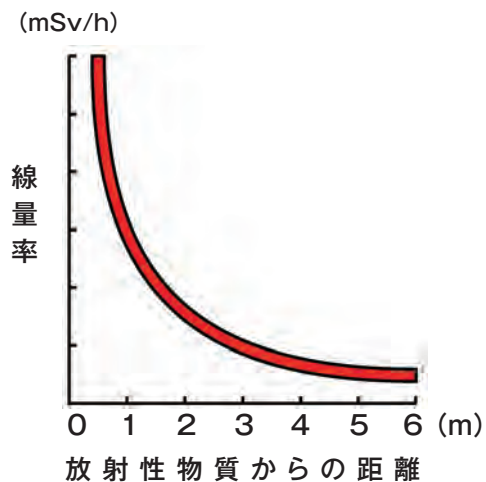
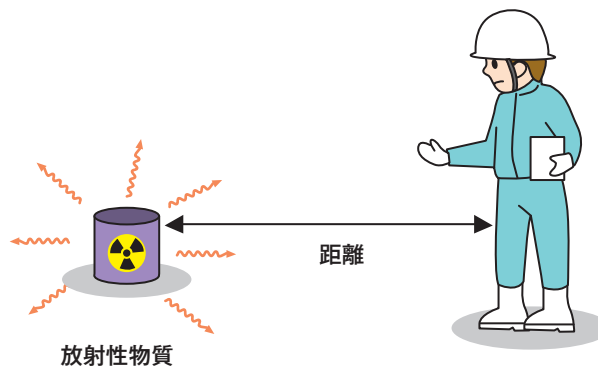
1. 遮へいによる防護

(線量率) = 遮へい体が厚い程低下



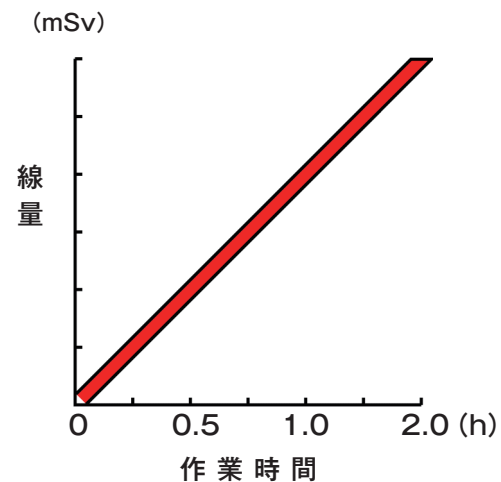
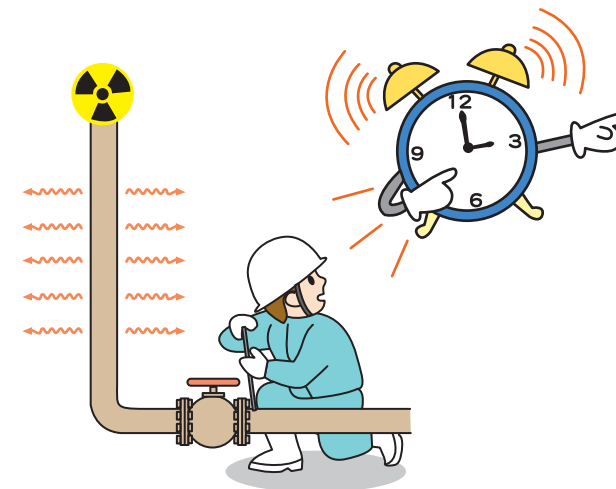
2. 距離による防護

(線量率) = 距離の二乗に反比例

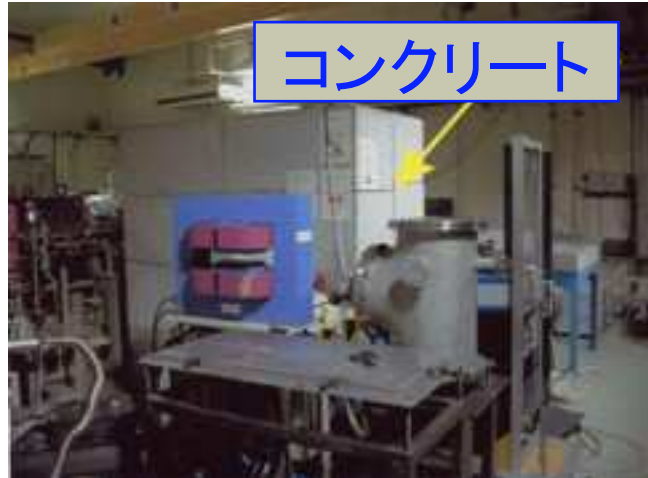


3. 時間による防護

(線量) = (作業場所の線量率) × (作業時間)



RI取扱時の遮蔽



鉛ブロック



鉛ガラス

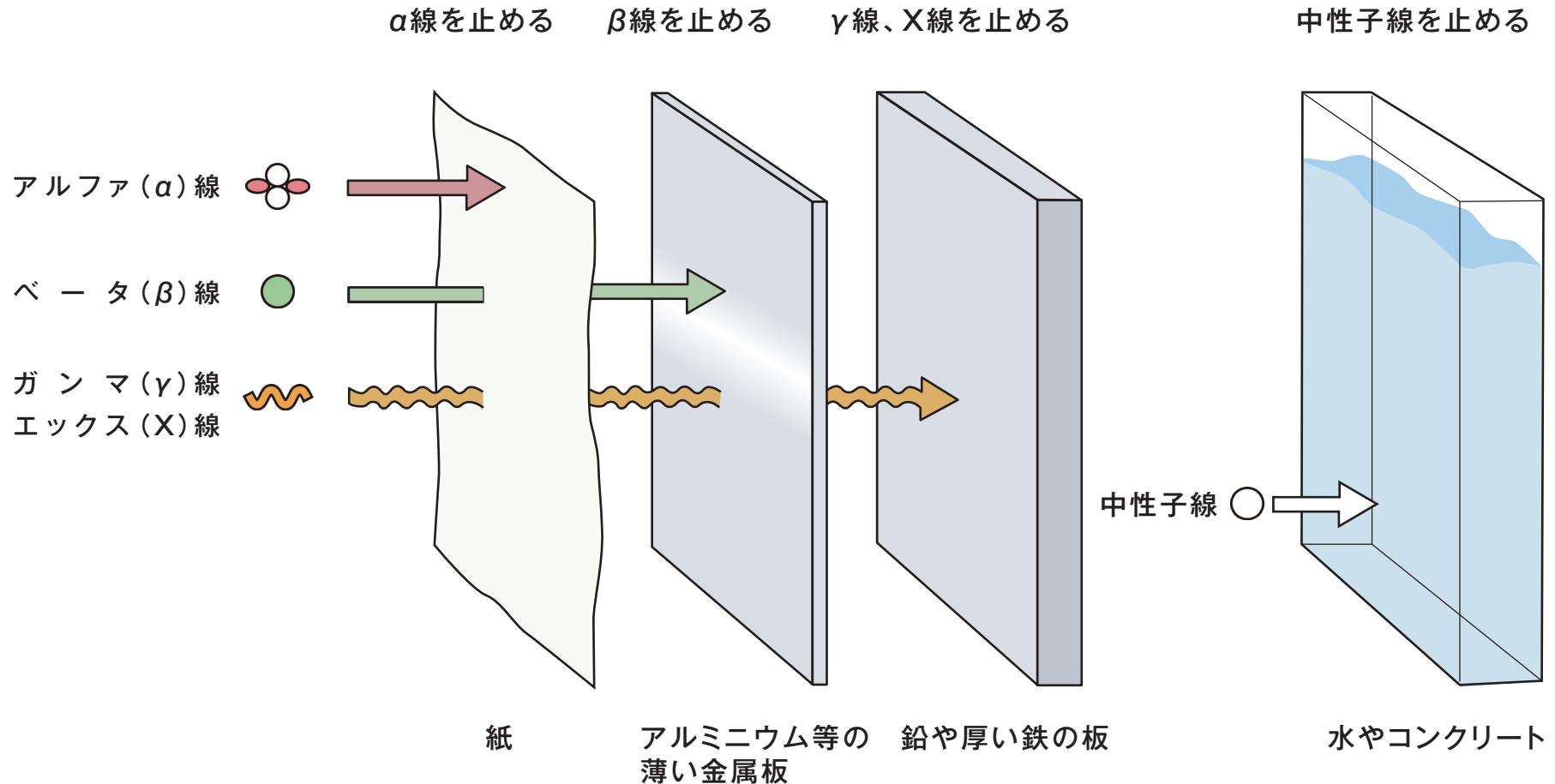
RIと作業者の間に適切な遮蔽を行い、被曝線量を可能な限り低減する。

→ 作業時間が多少長くかかっても、遮蔽による低減を行った方が有効な場合が多い

→ 事前に作業内容を良く確認して適切な遮蔽体の配置を検討する

放射線の種類と透過力

線は紙一枚で止まってしまいますが、逆に言うと紙一枚の厚さの範囲に持っているエネルギーを全部一気に放出してしまうため、体の中で線を出されるととても影響が大きくなります。

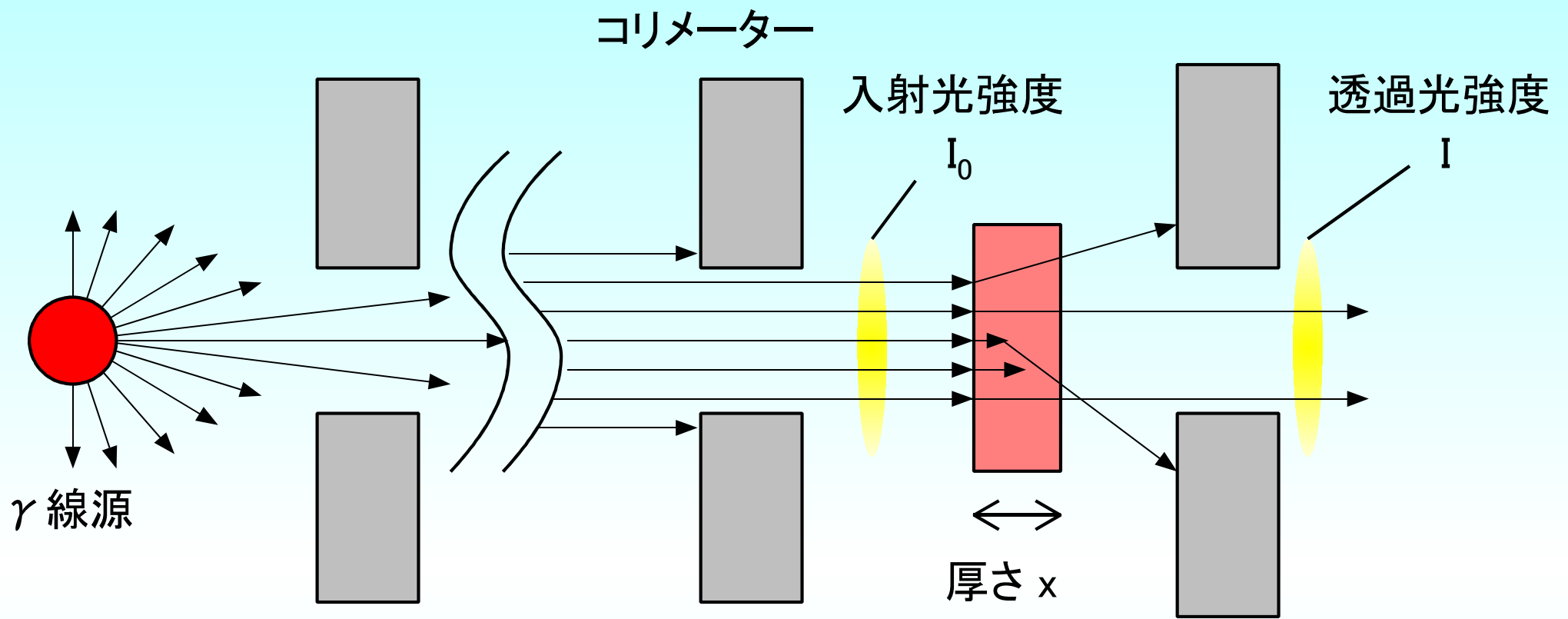


線は水の中(=体の中)を最大で2mm弱進むことが出来、細胞から見ると比較的広い範囲にエネルギーを落としていき、また体の外から来た場合はほとんど皮膚で止まります。

線は透過能力は高く、遠くから飛んできて体の中までやってきますが、逆に体内で放出されてもほとんど素通りしていきます。

放射線の種類と遮へい

種類	留意事項
α 線	<ul style="list-style-type: none">・飛程は空気中でも高々数cm
β 線	<ul style="list-style-type: none">・^{90}Y β線の飛程は、アクリルで約1cm ($\rho R \approx E_{\beta}/2$)・高エネルギー$\beta$線では、制動放射線の発生に留意する・低原子番号物質 + 鉄、鉛、コンクリートなど・β^+線の場合、消滅放射線にも留意
γ 線	<ul style="list-style-type: none">・原則として、高密度・高原子番号物質 (散乱線が発生しない光電効果の相対割合が高い方がよい)・散乱線の寄与はビルドアップ係数で表す (or 減弱割合を透過率で表す)
中性子	<ul style="list-style-type: none">・パラフィンやポリエチレン等の含水素物質中で弾性散乱によってエネルギーを落とし、その後(熱中性子を) カドミウム等による捕獲反応やホウ素等による荷電粒子放出反応によって中性子を吸収させる



単一エネルギーで狭い平行線束 γ 線・X線の減衰は、

$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

で表わされる。ここで I, I_0 は光子のフラックスであり、散乱、吸収により試料の厚さ x [m] に伴って指数関数的に減衰していく。線減衰係数 μ の単位は $[\text{m}^{-1}]$ などで、密度で除した質量減衰係数 μ_m $[\text{m}^2/\text{kg}]$ が様々な物質、エネルギーに対して与えられている。

γ 線・X線と物質の相互作用

レイリー散乱

弾性散乱。入射光のエネルギーが変化しない散乱過程。

光電効果

軌道電子に入射光子のエネルギーを全て与えて、軌道エネルギーを差し引いたエネルギーを持つ高速電子(光電子)を生成する。断面積は入射光子のエネルギーの -3.2 乗に比例する。

コンプトン散乱

軌道電子に入射光子のエネルギーの一部を与えて、高速電子(コンプトン電子)を生成する。散乱後のエネルギーは散乱角に依存し、連続スペクトルとなる。

電子対生成

入射光子のエネルギーが 1.022MeV 以上の場合、原子核近傍のクーロン場中で電子と陽電子の対を生成する。入射光子は全エネルギーを失い消滅し、電子・陽電子の静止質量エネルギーの残りは運動エネルギーとして分配される。

光核反応

高エネルギーの光子が原子核と直接反応し、様々な素粒子が放出される。 $Z=50$ 程度の核種では中性子の結合エネルギーが 10MeV 程度であり、これ以上のエネルギーの光子の入射により (γ, n) 反応を起こして中性子が放出される。

γ線・X線の減衰

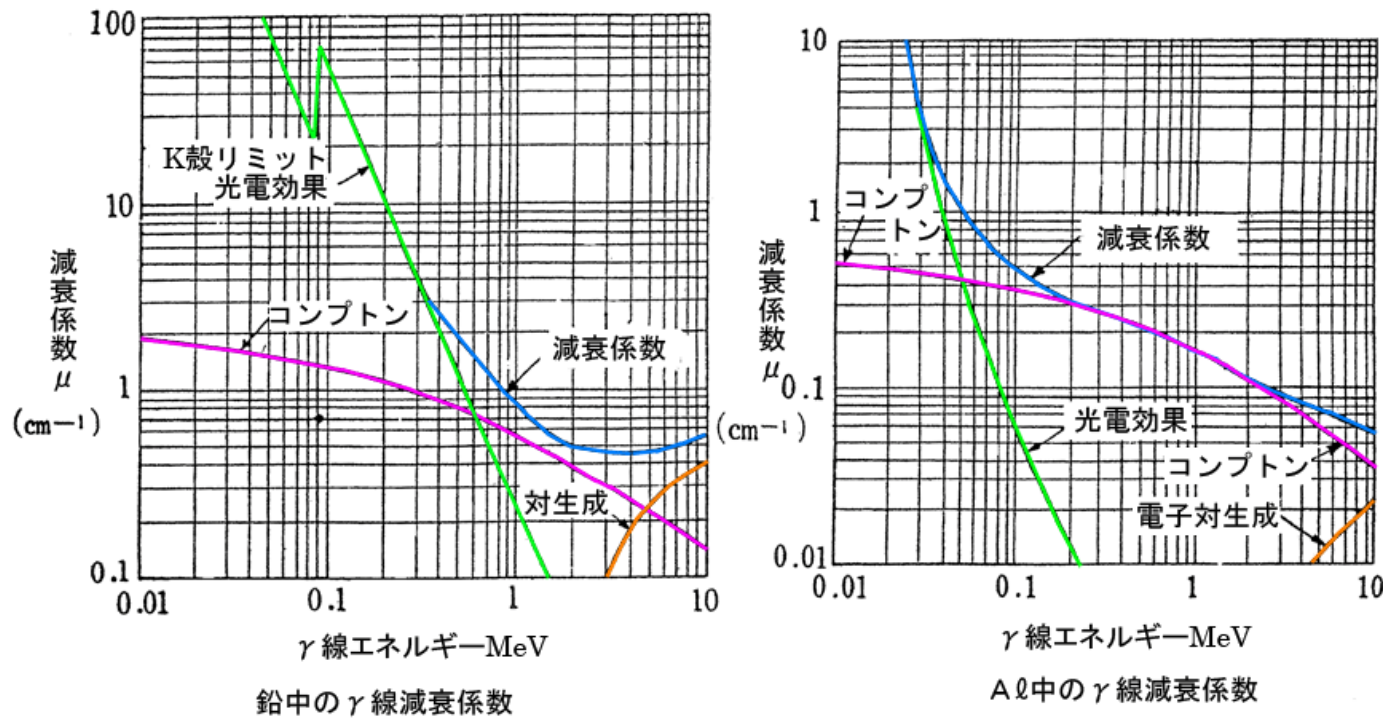


図3 γ 線のコンプトン効果

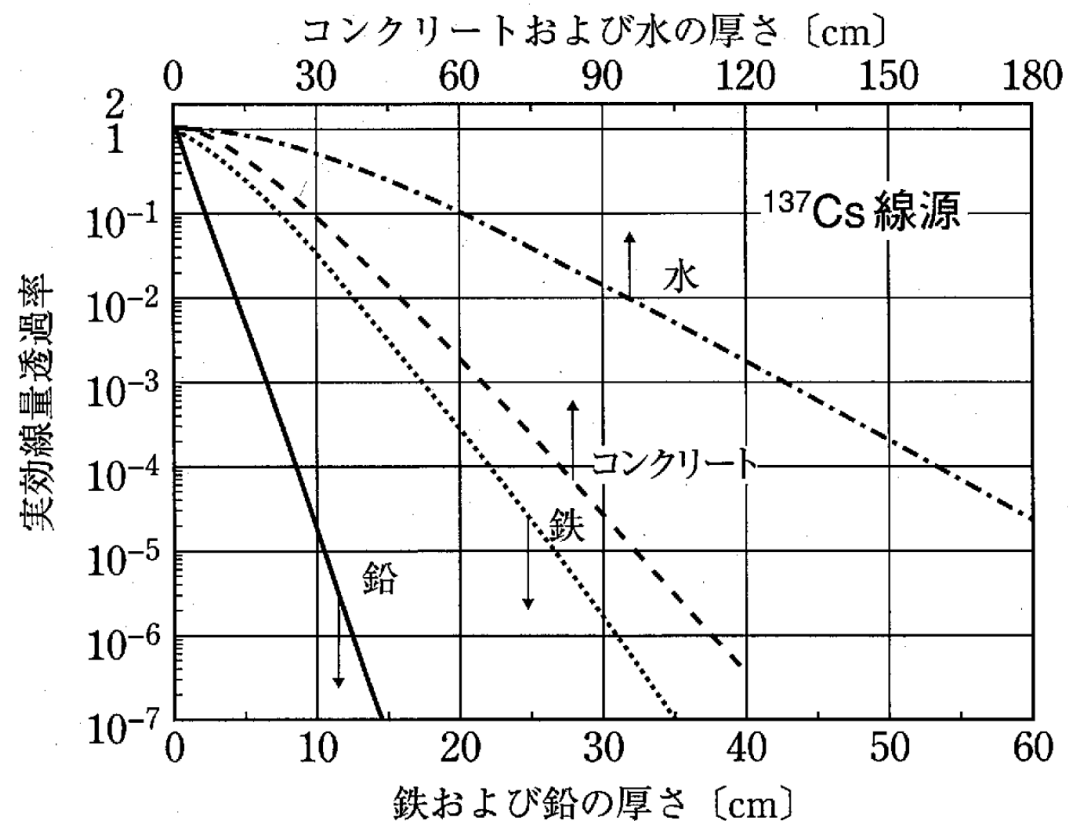
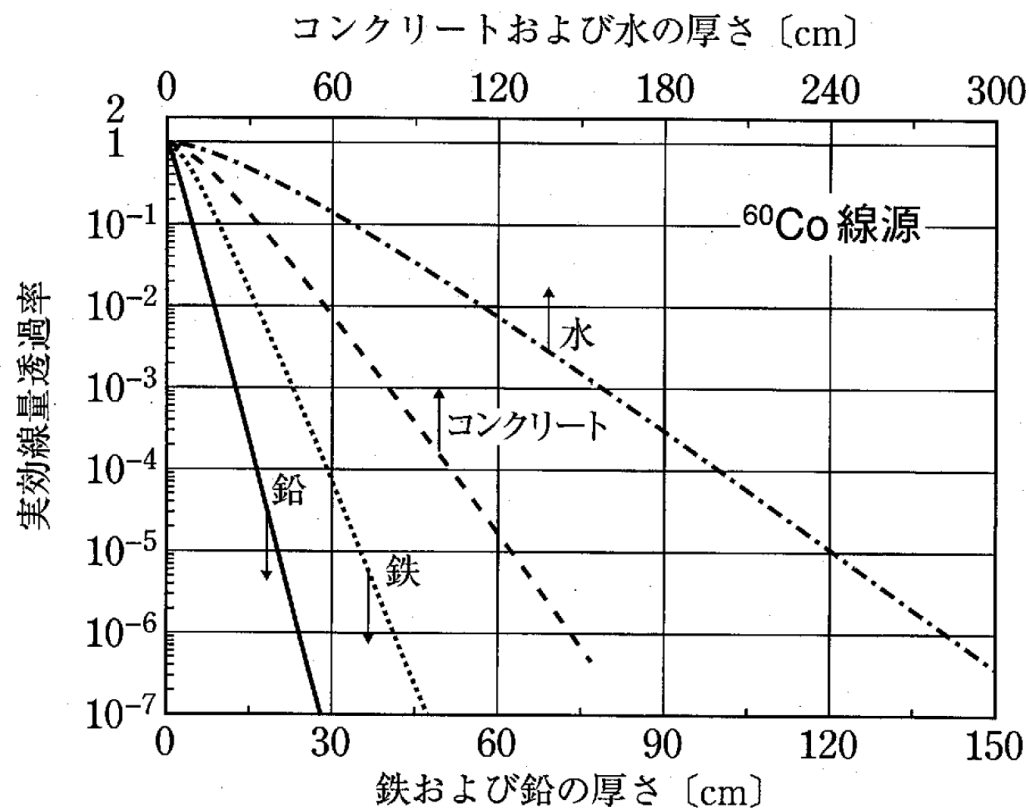
[出典] 三浦 功、菅 浩一、俣野恒夫:「放射線計測学」、裳華房、p.21

ターゲットとなる物質の原子番号 Z の増加と共に、線源弱係数は

光電効果 $Z^4 \sim 5$ に比例
 コンプトン効果 Z に比例
 電子対生成 $Z(Z+1)$ に比例
 となって Z が大きくなると急激に遮蔽能力が高くなる。

入射光子のエネルギー増加と共に、物質との相互作用を起こす効果が変わっていく。比較的低エネルギーではレイリー散乱、光電効果が主であり、次第にコンプトン散乱が支配的となる。高エネルギーでは電子対生成が主となる。光核反応は12-24MeV 付近で最大断面積となるが μ への寄与は5%程度である。また、低エネルギーではK殻電子やL殻電子の電離エネルギー以上になると光電効果を起こせるがそれ以下では起こせないため、光電効果の効率が不連続に変化する。これをK吸収端、L吸収端と呼ぶ。

代表的な γ 線源の実効線量透過率



被ばく管理に用いられる量(外部被ばく)

実効線量率定数 Γ effective dose rate constant,
 $\mu\text{ Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$

γ 線源 実効線量率定数 Γ ($\mu\text{ Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	^{241}Am	^{137}Cs	^{192}Ir	^{226}Ra	^{60}Co
	0.00576	0.0779	0.117	0.217 娘核種を含む	0.305

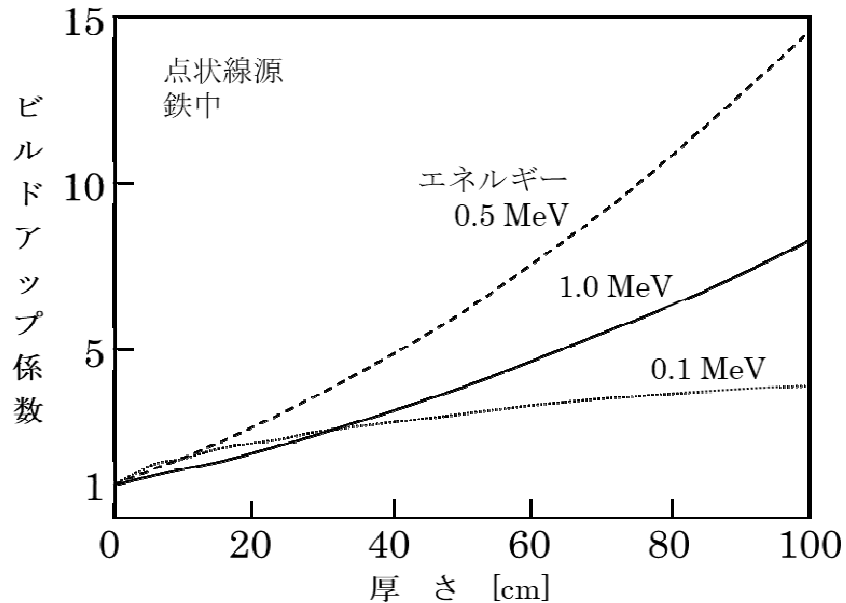
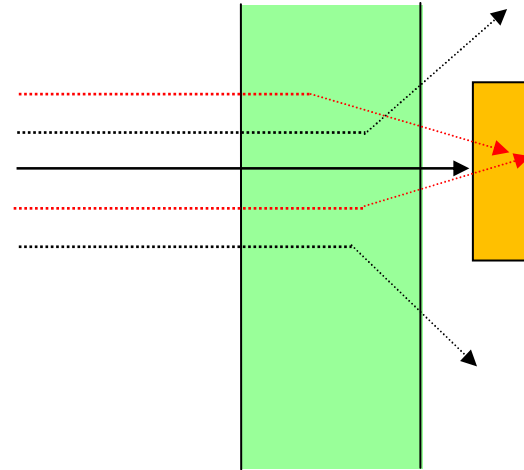
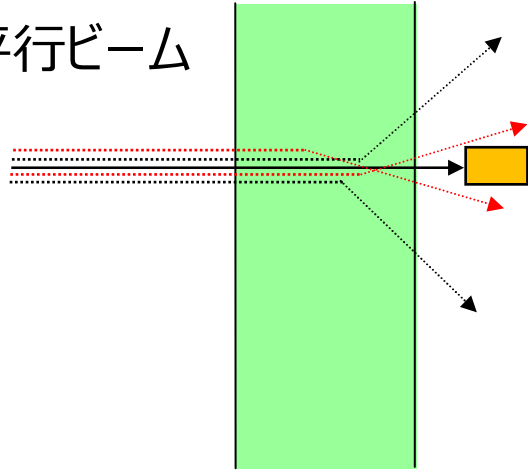
実効線量率定数が Γ である核種の放射能を Q (MBq)としたとき、距離 r (m) における実効線量率 \dot{E} ($\mu\text{ Sv/h}$) を以下の様に求められる。

$$\dot{E} = \Gamma \times Q / r^2$$

Γ は、線源が放出する γ 線のエネルギー、本数、放出確率を加味している。
 γ 線のエネルギーと線束が求めれば実効線量率は一義的に求められる。
Bq とは、一秒間の壊変数であり放射線の放出回数ではないことに注意。

ビルドアップ係数

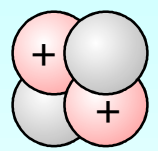
細い平行ビーム



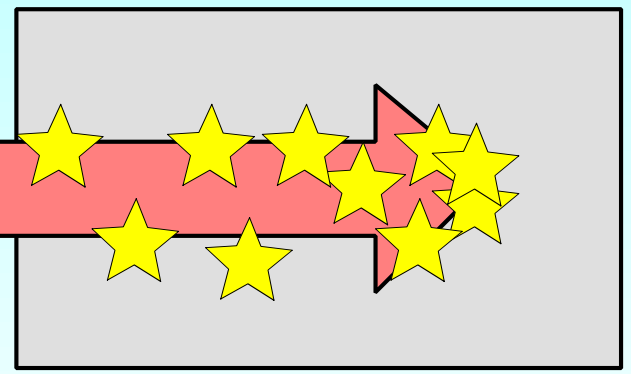
$$B = 1 + \frac{\text{散乱線}}{\text{直接線}}$$

- 光子エネルギー
- 光子ビームの広がり
- 物質の種類
- 物質の厚さ
- 散乱体からの距離

アルファ
α線



ヘリウムの
原子核



狭い範囲に一気に
エネルギーを放出します

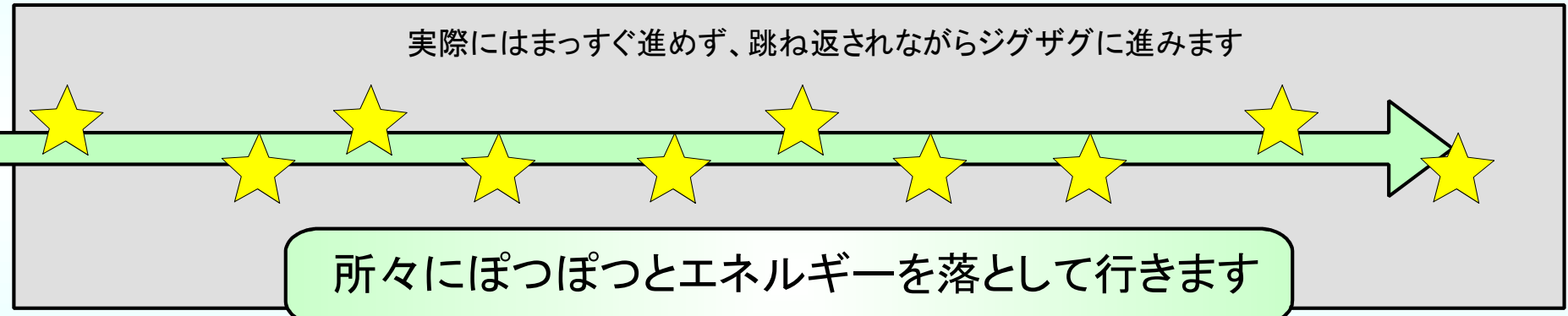
★
放射線がエネルギーを
物質に与えたところ
(電離、励起など)

水の中では数十μm程度、空気の中でも数cmしか飛ばず、紙一枚で止まってしまいますが、その範囲に一気にエネルギーを放出します。

ベータ
β線



電子
ヘリウムの原子核の7000分の1の重さしか有りません



実際にはまっすぐ進めず、跳ね返されながらジグザグに進みます

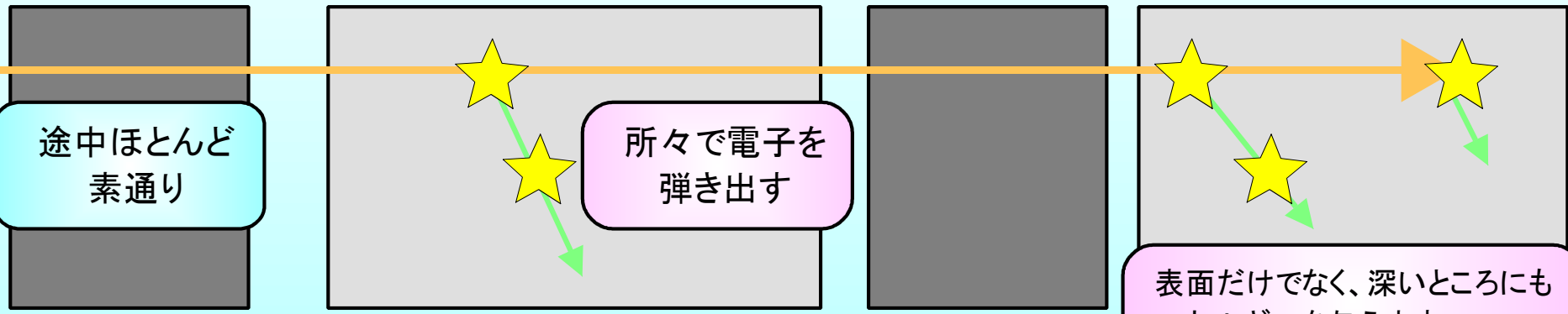
所々にぽつぽつとエネルギーを落として行きます

水の中でも1cm程度、空気の中では数m飛んでいき、少しずつしかエネルギーを落としません。

ガンマ
γ線

波長の短い
光の仲間

プラスやマイナスの電気を
持っていないため、ほとんど
素通りしていきます



途中ほとんど
素通り

所々で電子を
弾き出す

表面だけでなく、深いところにも
エネルギーを与えます。

弾き出された電子は、β線と同じように振る舞います

電子線(β線)とα線の比較

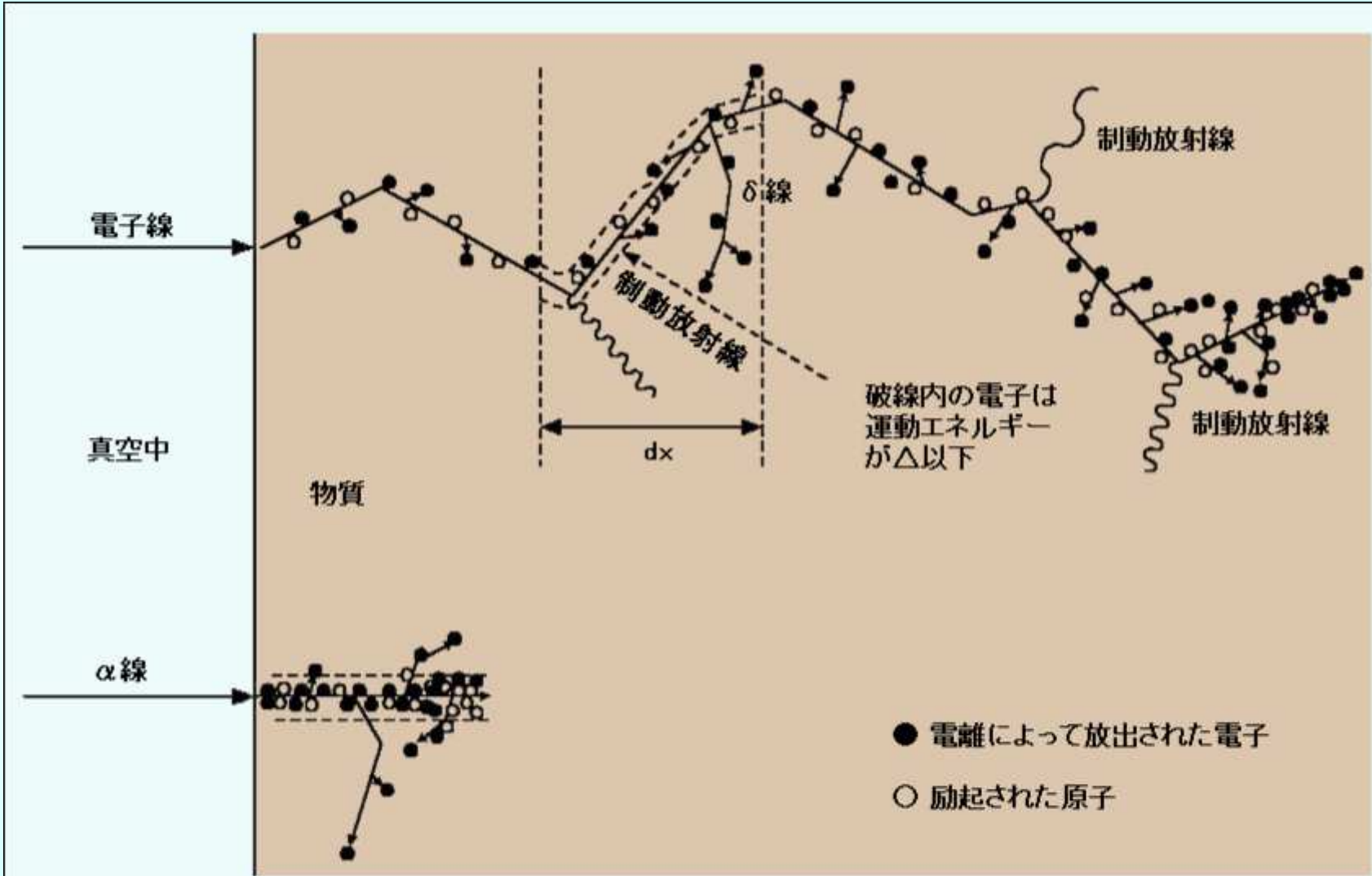
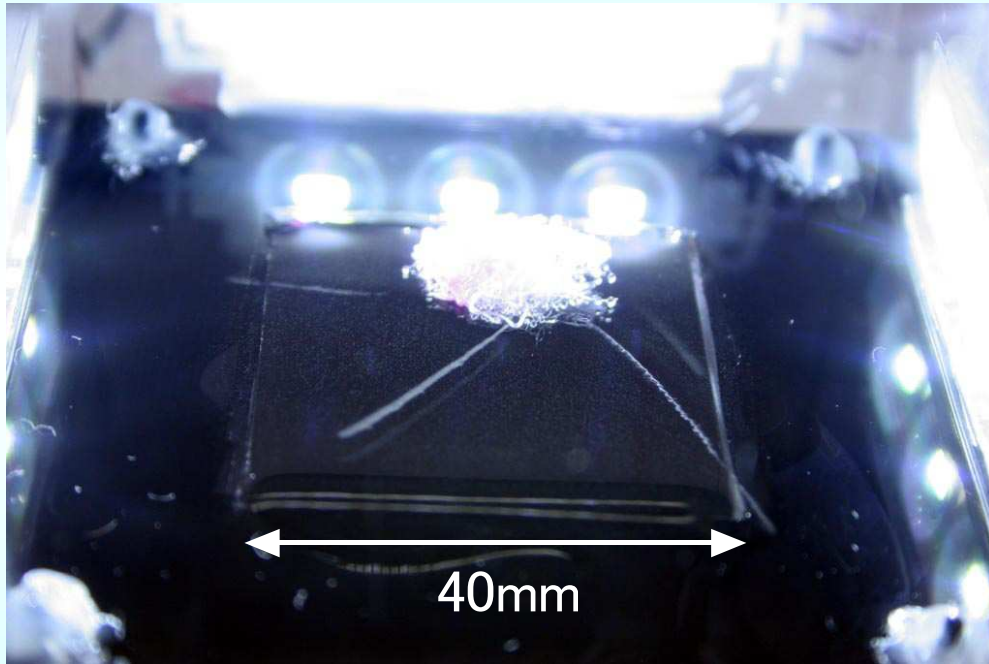


図1 荷電粒子と物質の相互作用

[出典]江藤秀雄(ほか):放射線防護、丸善(1982年12月)、p.54

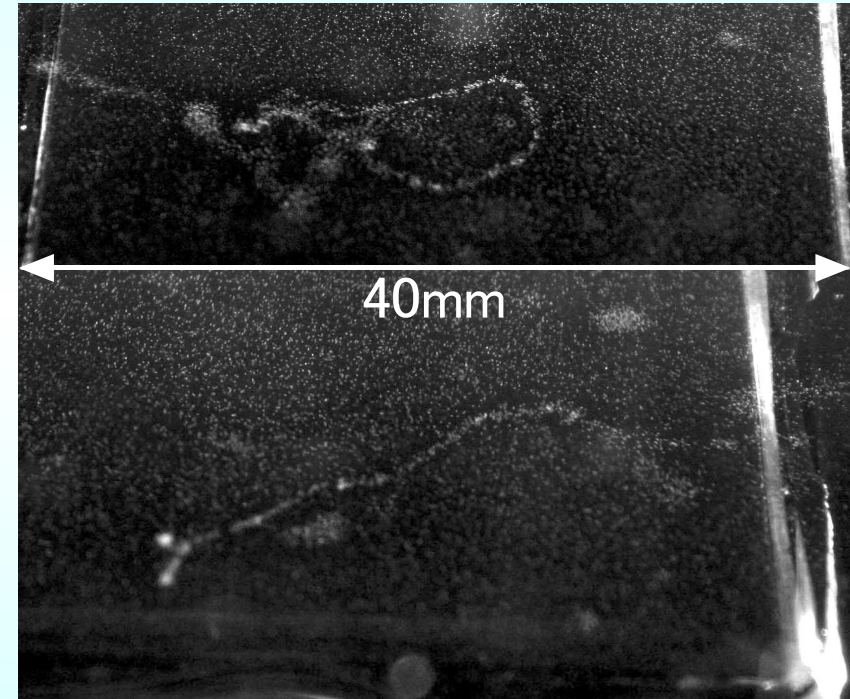
霧箱での飛跡の観察

α 線の飛跡



真っ直ぐで、はっきりとしています。
空気中を数cm飛んだだけで
止まってしまいます。

β 線の飛跡

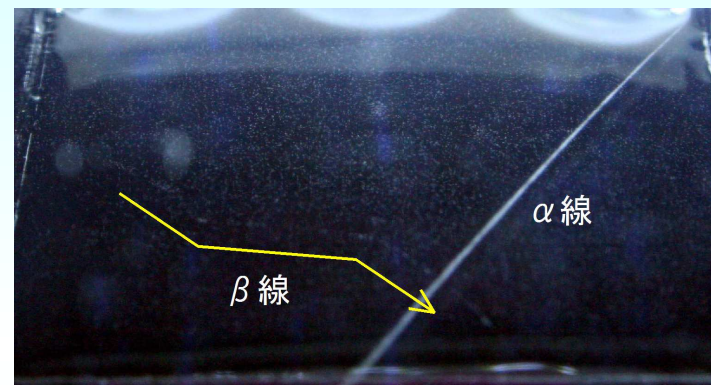


糸くずのよううっすらとした、
曲がりくねった跡を残します。
よく見ないと、見ることはできません。

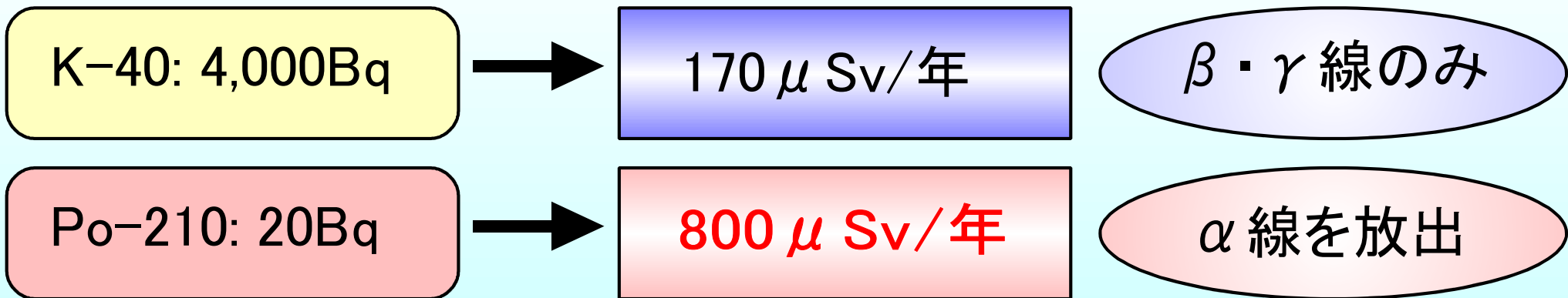
放射線加重係数の説明

実効線量(Sv) = 吸収線量(Gy) × **放射線加重係数** × 組織加重係数
→ **α線: 20, β、γ線: 1**

相互作用の違いを反映



体内の放射能 *体重60kgの日本人 年間に被ばくする実効線量



空気中のラドントロンもα線を放出 → 世界平均で 1.26mSv/年
日本は木造建築が多く比較的被ばく量は少ない → 0.48mSv/年

*そもそもの吸収線量、
組織加重係数
なども異なる

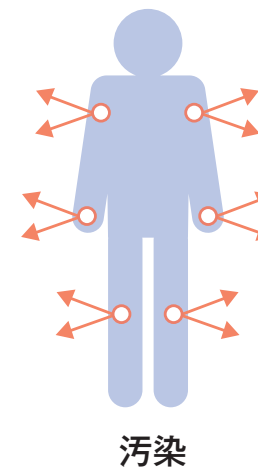
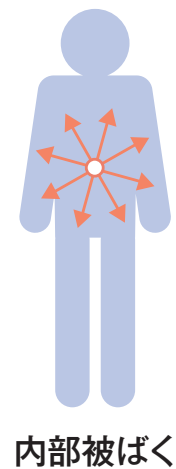
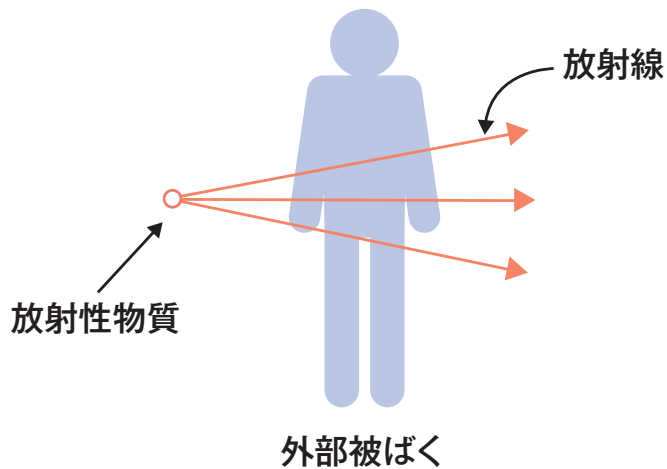
被ばくと汚染の違い

被ばく

放射線を受けること

汚染

放射性物質が皮膚や衣服に付着した状態



内部被ばくはずっと体内で放射線を出すから危ないんじゃないの？

クイズ: 1kg あたりセシウム-137 を 100 Bq 含む米を、一食あたり1合(精米で150g、炊きあがりでは330g)、一日三食、365日食べつづけたとして、そのあと50年間で被ばくする線量はどの程度になるでしょう？

答え: 0.21ミリシーベルト

現在一般食品中の放射能濃度の基準値は、放射性セシウムで 100ベクレル/kg となっており、この設定は基準値の上限値の場合となっています。現在も福島県産の米については全量検査が続けられていますがほぼ全てのサンプルで検出できないぐらい放射能は少なくなっています。ですので、今回のクイズは有り得ないぐらい高い濃度の食品だけをずっと摂取し続けた場合、と言う極端な例だとお考え下さい。



欧米に飛行機で旅行すると、宇宙線の増加により0.2ミリシーベルト程度被ばくします。

「内部被ばく」による影響

- ・どんな放射線の種類か(α 、 β 、 γ)
- ・どのぐらいのエネルギーか
- ・物理的な半減期
- ・排出されやすさ(生物学的半減期)
- ・どんな臓器に蓄積されやすいか
- ・蓄積される臓器の感受性

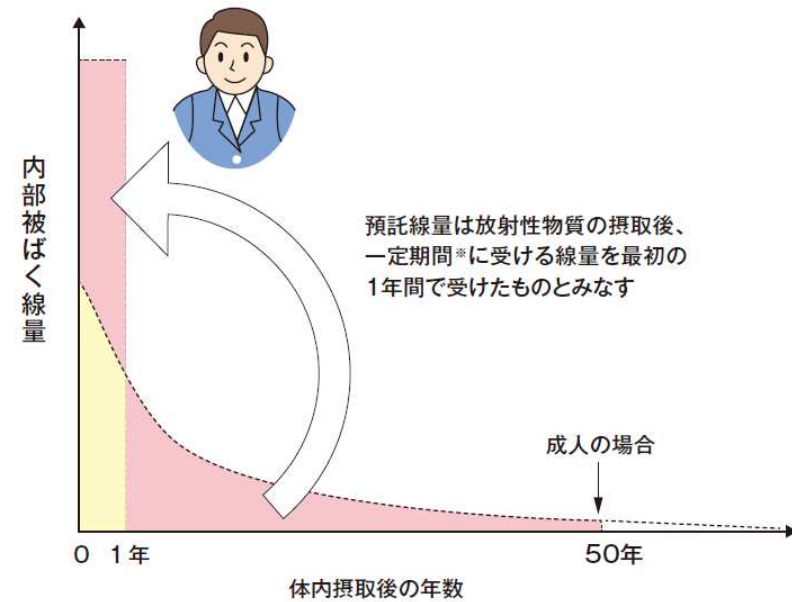
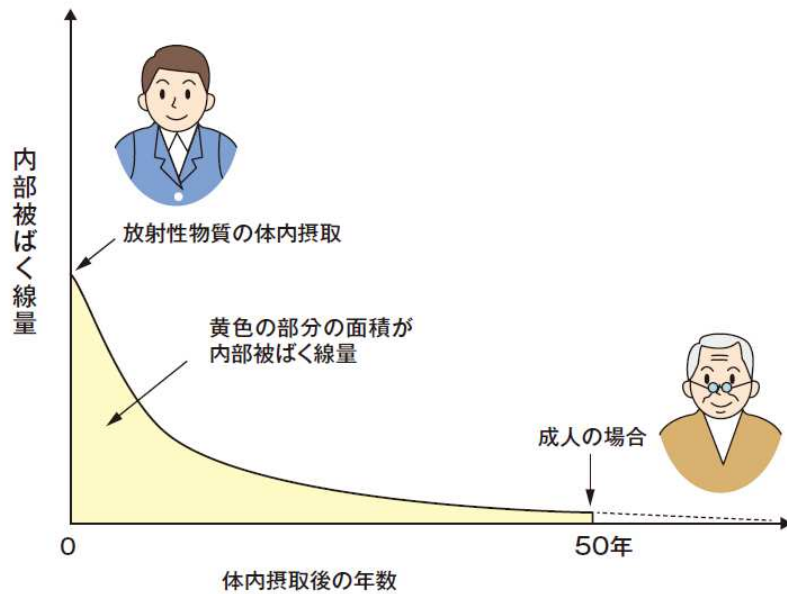
全部考慮して評価しています

その後 50年間にわたる影響を、取込んだ時点でいっぺんに被ばくしたとして被ばく線量(シーベルト)の計算をします。

このようにして求められた**内部被ばくの線量**と、**外部被ばくの線量**とは、**同じリスク**になります。

実際には、**同じ量**を**少しずつ長い期間にゆっくり**被ばくするのと、**いっぺん**に被ばくするのとでは、DNA修復のメカニズムがあるため、**ゆっくりの方が影響は小さくなります**。

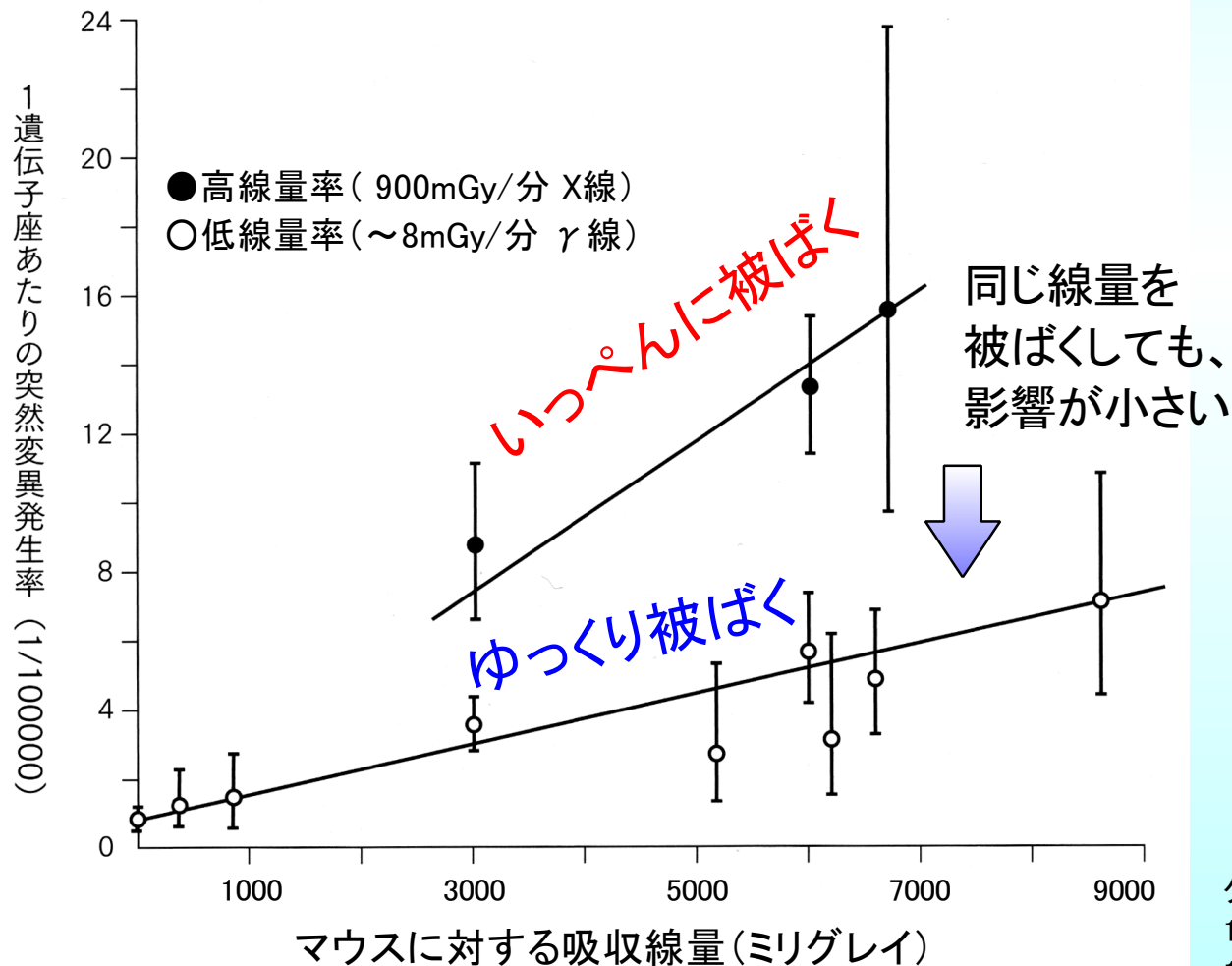
内部被ばくの評価（預託線量の概念図）



※成人:50年間、子供:取り込み時から70歳まで

長期間の被ばくの方が健康に影響が有るの？

合計で同じ線量を被ばくするなら、
時間あたりの線量が小さい方が影響は少ない！



細胞にはDNAを
修復する力が
あります

1950年代に行われた、700万匹にも及ぶマウスを用いた、「メガマウスプロジェクト」からのデータです。これほど大規模な実験は現在では国家レベルでも不可能です。

グレイは物質に吸収される放射線のエネルギーです。100ミリグレイのX線やガンマ線を人間が吸収した場合、100ミリシーベルトと同じ数値になります。

吸収線量をよく考えてみる

$$\text{吸収線量 (Gy)} = \frac{\text{吸収された放射線のエネルギー量 (J)}}{\text{物質の質量 (kg)}}$$

分子

荷電粒子の場合はそのまま、光子の場合はエネルギーが光電子(荷電粒子)となりその運動エネルギーが吸収される。高エネルギーでは再び輻射により系から出て行く寄与がある。吸収する物質が空気なのか、水なのか、鉛なのかで異なり、また入射する光子のエネルギーによって異なる。

分母

高エネルギーの光子では物質に均等にエネルギーを与えるが、荷電粒子や低エネルギーの光子では不均一なエネルギー付与をする。このとき、「対象物」をどの範囲で取るかによって吸収線量は異なる。等価線量を考える場合は、「臓器全体」で考える。

被ばく管理に用いられる量(実用量)

等価線量や実効線量は実際には

直接測定することが出来ない!

(ある放射線場に人間が居た場合の影響を計算で求めた防護のための量)

線量当量 dose equivalent (Sv)

定義: 拡張整列場(どの点を取っても均質な平行ビームの放射線場)の中に置いたICRU球の表面から1cm, 70 μ mの深さの微小体積に於ける吸収線量

→ 1cm線量当量、70 μ m線量当量

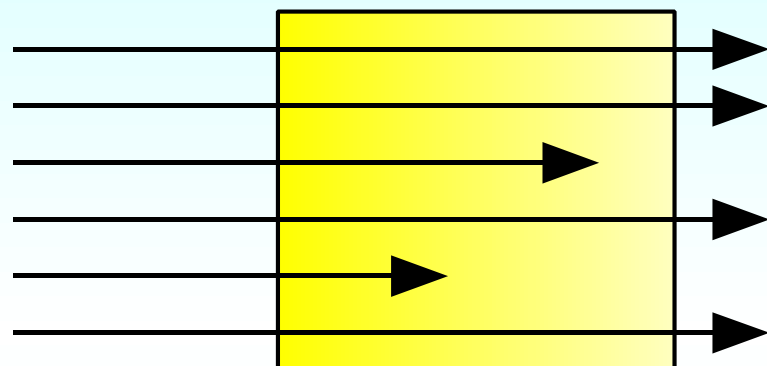
線量当量(Sv) = **線質係数** × 吸収線量(Gy) (空間の一点)

線質係数: 放射線の水中における衝突阻止能 = 線エネルギー付与 LTE の関数

エネルギー吸収の違い

強透過性放射線

$$H_p(0.07) \leq 10 H_p(10)$$



整列拡張場

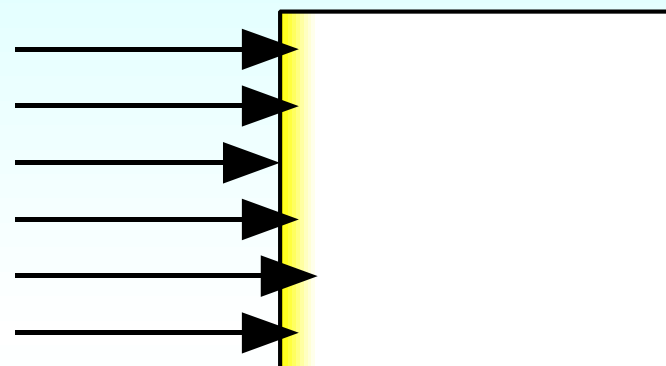
高エネルギーガンマ線などの場合透過力が高く、ほぼ均等にエネルギーを与える。

人体の場合、荷電粒子平衡を考慮して深さ1cmでの点での吸収線量(1cm線量当量)が全体を代表する。対象の厚さが大きいと、指数関数的に徐々に線量は下がっていく。

クルックス管からの20keVの低エネルギー엑스線の場合、 $H_p(0.07) = 2 H_p(10)$ 程度であり、弱透過性と言うほどでは無いが、1cmの深さでの吸収線量は体全体を代表せず、減衰を考慮する必要がある。

弱透過性放射線

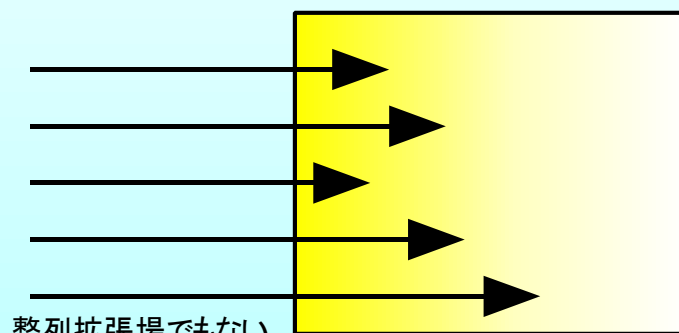
$$H_p(0.07) > 10 H_p(10)$$



整列拡張場

α 線、 β 線などの場合透過力が低く、表面近傍にのみ局所的にエネルギーを与える。

人体の場合、深さ70 μ mでの点での吸収線量(70 μ m線量当量)が皮膚の等価線量を代表する。



整列拡張場でもない

被ばく管理に用いられる量(防護量)

等価線量 equivalent dose (Sv)

組織毎の影響評価

放射線加重係数 × 吸収線量(Gy) (組織、臓器で平均)

放射線加重係数: (≠生物学的効果比 RBE、線質係数→空間のある一点)

X線、 γ 線、電子線→1

中性子 → 5~20(エネルギーにより異なる)

α 線、重イオン → 20

実効線量 effective dose (Sv)

全身への影響評価

\sum 組織加重係数 × 等価線量(Sv)

組織ごとの等価線量を
重み付けをして全身で
足し合わせる。

組織加重係数:各組織単体での被ばくの影響を相対評価。
全身の組織を足し併せると1になる。

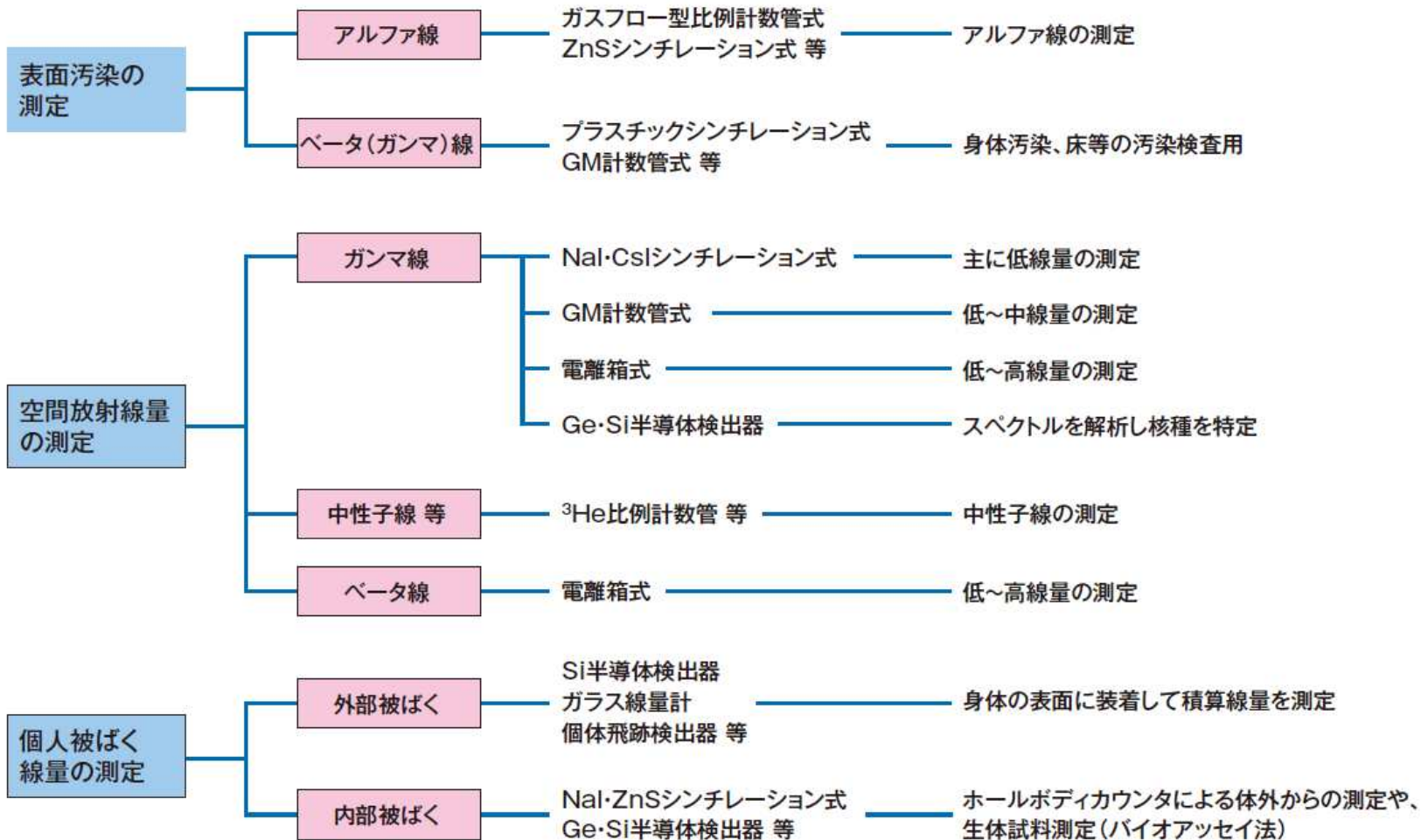
様々な放射線検出器による測定

放射性同位元素を利用する上で、施設の安全管理上、また利用者自身の安全を確保するために、使用する核種に合わせた測定器を用いて、空間線量と汚染の測定を行う必要がある。

線種やエネルギーの違いによる検出器の応答の違いを理解していないと、正しく評価できなかつたり、全く測定することが出来ない場合がある。

また、空間線量測定の際に測定機で測定されるのは様々な物理量に基づいて評価される実用量(線量当量)であり、防護量である実効線量ではない。エネルギーによって換算係数は変化するが一般に表示値は換算後の値である。また、線量当量として70 μ m線量当量か、1cm線量当量かを区別する必要がある(ほとんどは1cm線量当量)。

放射線測定の種類



個人モニタリング

外部被ばく

- ・蛍光ガラス線量計(ガラスバッジ)や半導体式線量計(ポケットメーター)、アラームメーターなどにより1cm線量当量、70 μ m線量当量をモニタリングする
- ・**体幹部**の測定は男子は胸部、女子は腹部
- ・**末端部**の測定を行う必要がある場合は、体幹部に加えてリングバッジなどにより必要な部位の測定を行う



ガラスバッジ

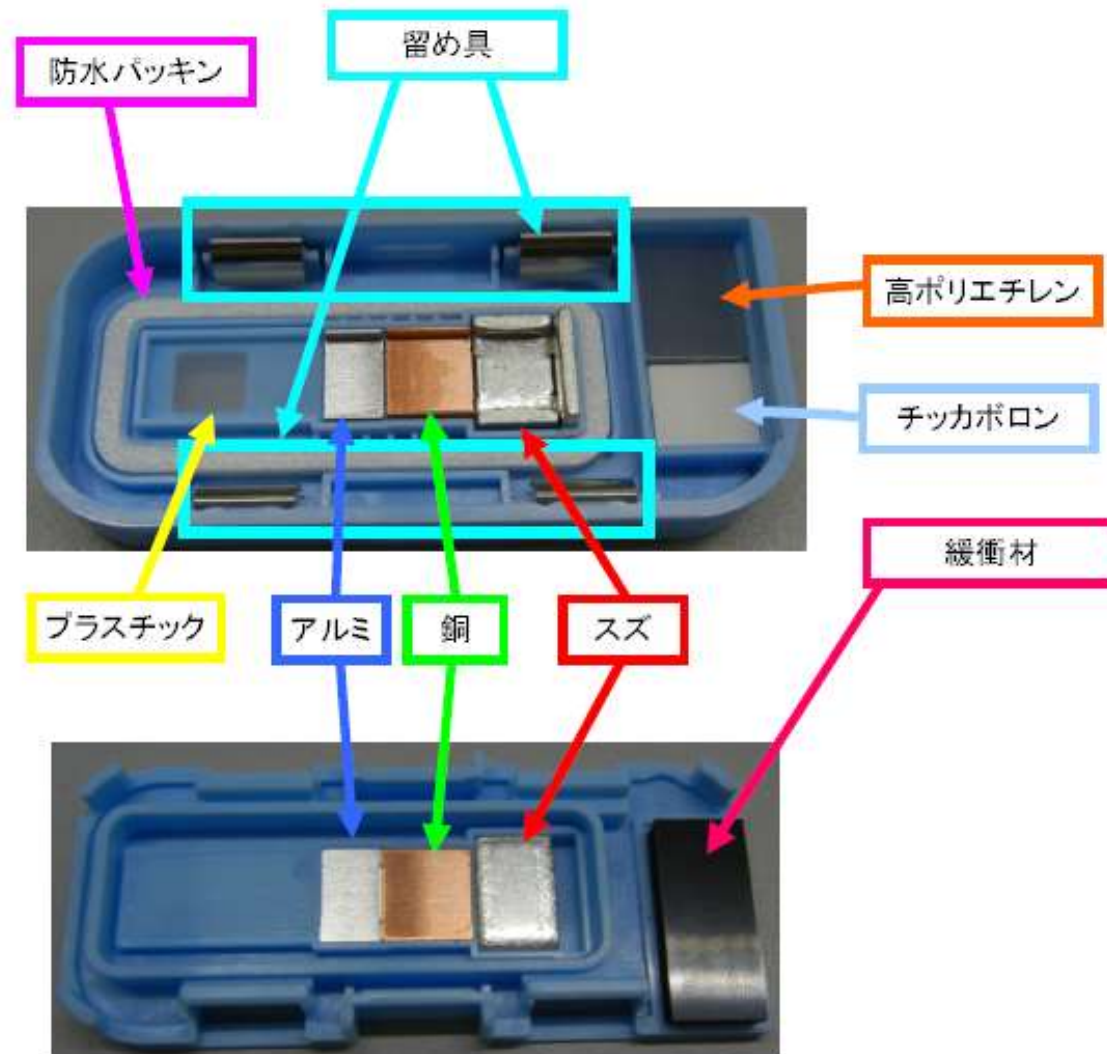


ガラスリング

内部被ばく

- ・ホールボディカウンタによる体外からの測定
- ・バイオアッセイによる排泄物からの摂取量の評価
- ・空气中濃度からの摂取量の評価 → 計算による評価

ガラスバッジホルダのフィルタ構造

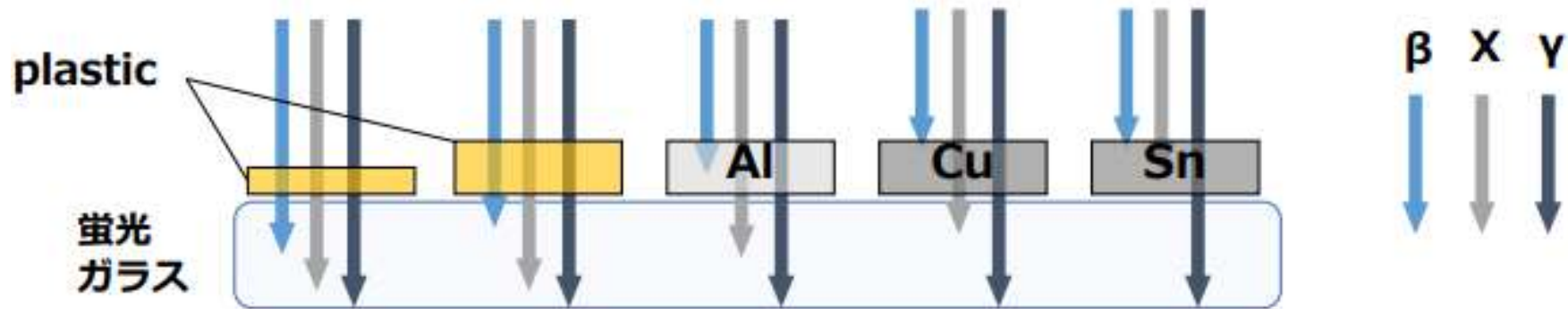


蛍光ガラスでの線量測定

人体（組織）が受けた線量を蛍光ガラスで測りますが、
人体とガラスは違います

- ⇒ 放射線に対するエネルギーレスポンスの違いを補正する必要がある
- ⇒ そのためには、ガラスバッジにどのような放射線（線種、エネルギー）が入ってきたのか知る必要がある

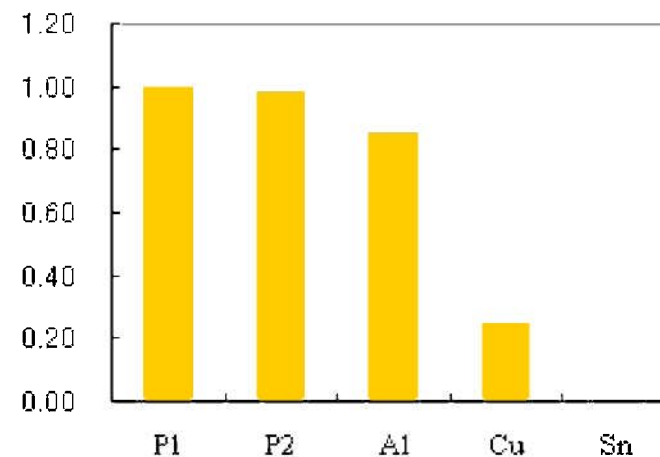
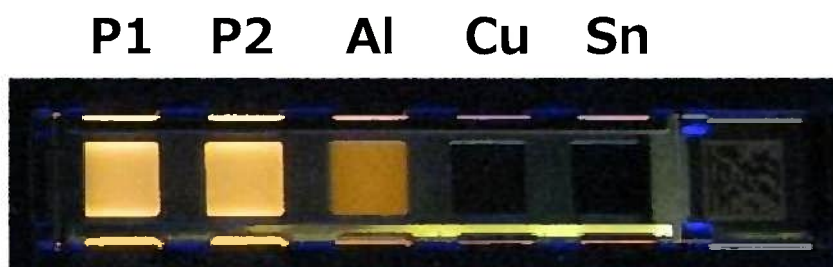
5つの放射線減弱フィルタの使用



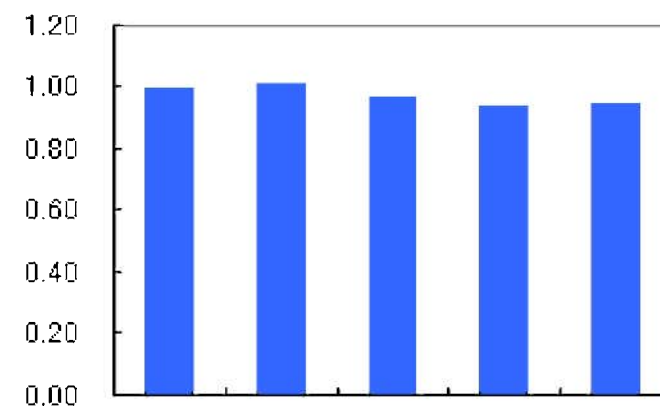
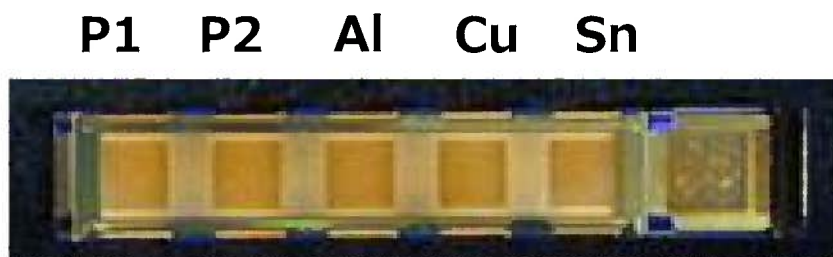
蛍光ガラスの各フィルタ下の発光パターンから、
放射線の種類やエネルギーを知り、レスポンスを補正し線量を求める

蛍光ガラスの発光パターン例

✓ 30 keV X線

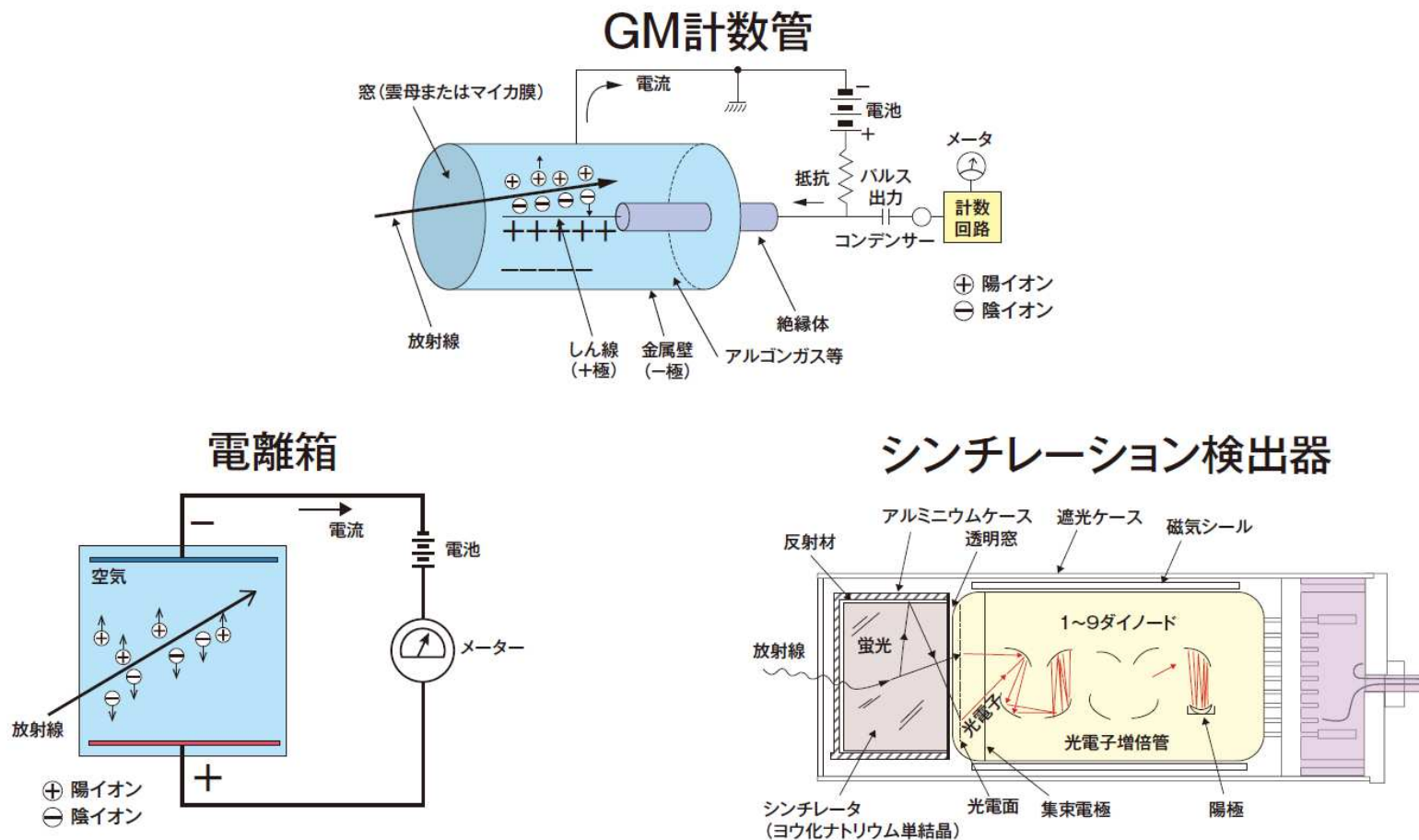


✓ ^{137}Cs γ 線(662 keV)



目次へ

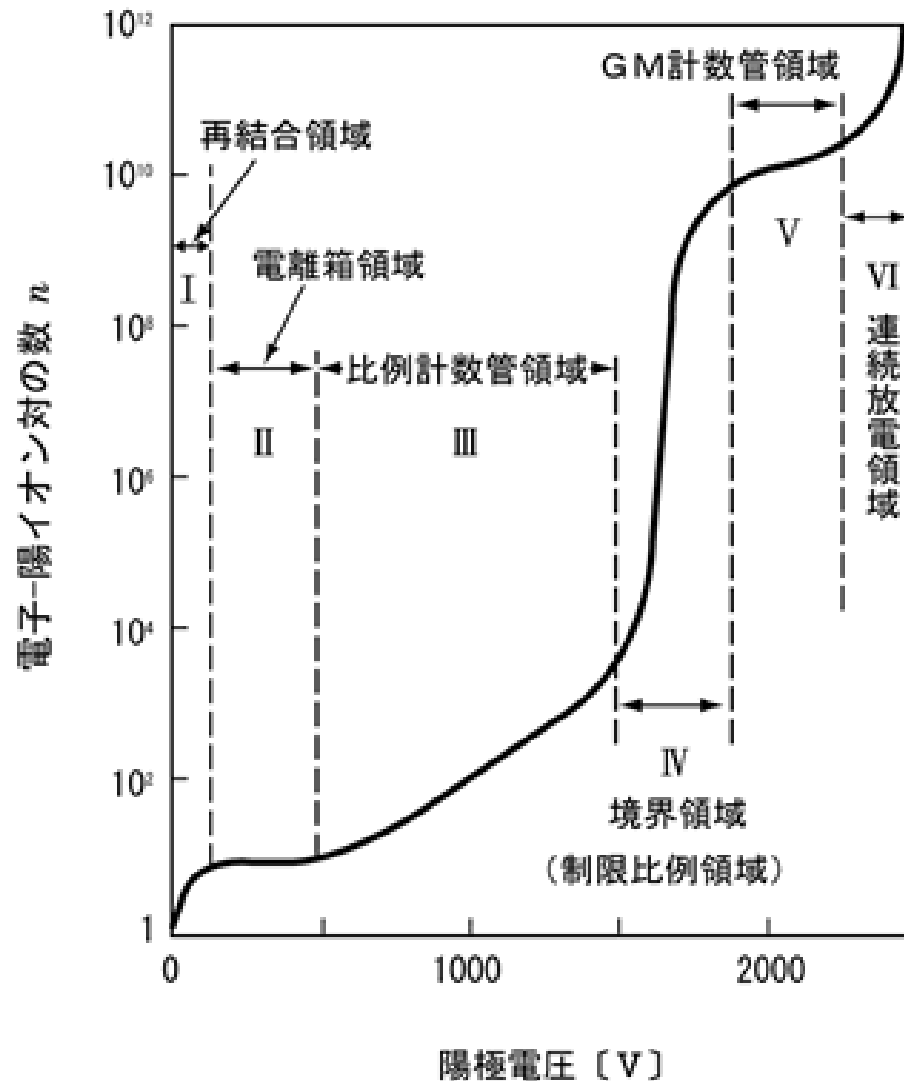
放射線計測器の測定原理



(注) 電離箱では、 $10^{-9} \sim 10^{-14}$ A程度の微電流を測定する必要がある

シンチレーション検出器では、蛍光が光電面に当たると光電子が飛び出し、これがダイノード(増倍電極)で増倍されて、大きな電気信号が得られる

印加電圧とイオン電流の関係



GMサーベイメーター



電離箱サーベイメーター

原理的には最も単純な、気体電離箱式のサーベイメーターは、放射線により気体が電離した量を電流としてそのまま取り出すため、良好なエネルギー特性と、均一な方向特性、各種サーベイメーターのうちで**最も強い放射線場でも用いることが出来る**という特徴を持つ。

しかし、一般的に感度が比較的低く、 $1 \mu\text{Sv/h}$ 程度が測定限界であるため、バックグラウンドレベル ($0.05 \mu\text{Sv/h}$ 程度) の測定は困難。

また、回路が安定するまでやや時間を要し、使用する10分程度前には電源を入れる必要がある。



NaI シンチレーションサーベイメーター

NaI(Tl) シンチレーターに光電子増倍管(フォトマル)を組み込んで、その出力パルスを計数するサーベイメーターで、**感度が高く、エネルギー特性がよい**ことが特徴としてあげられる。比較的軽元素のヨウ素を含んでおり感度が高く、バックグラウンドレベル (0.05 μ Sv/h 程度)でも測定可能である。

出力波高から検出した γ 線のエネルギーを求められるため、電子回路を用いて**エネルギー補償をした線量等量率**を求めることができる。しかし、NaI 結晶は吸湿性があるため密閉する必要があるため、ステンレスハウジングを β 線は通過できず、また 50keV 以下の γ 線も補償回路によりカットされてしまうため測定することは出来ない。このため、強度が強くても**エネルギーの低い X 線**や、遮蔽体による散乱線は**測定することが出来ない**ため、注意を要する(そのような場合は電離箱を用いる)。



ZnSシンチレーションサーベイメーター

ZnSシンチレーターは透過型電子顕微鏡やイオンビーム加速器で蛍光板として多用されているが、多結晶の粉末としてしか利用できず、透明度が低く、薄い圧粉体の膜としてしか利用できない。しかし、高い検出効率を持ち、バックグラウンド計数が殆ど無いなどの特徴から、 **α 線用のサーベイメーター**として用いられている。計測はCPS等のカウント数で行われる。

シンチレーター表面は薄いアルミ箔で覆われており、**光を通さないようにしているが、容易に破れる**ため、突起物等に注意して使用する必要がある。

なお、ZnS粉末をシート状に形成しているため、線エネルギー付与(LET)の低い β 線や、 γ 線はほとんど素通りして発光しないため検出することが出来ない。(弱く発光したとしても内部のパルス波高弁別回路によりカットされる)
→このためバックグラウンドが殆ど無い。



中性子サーベイメーター

熱中性子検出器には ^3He 比例計数管、 $^{10}\text{BF}_3$ 比例計数管、LiI シンチレータなどが存在する。それぞれ、 $^3\text{He}(n, p)^3\text{H}$ 、 $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 、 $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$ などの中性子を吸収する核反応により放出される高速荷電粒子が検出される。

厚さ10cm程度のポリエチレン製減速材で覆い、検出器の感度を線量当量換算係数に合わせてあるため、熱中性子から約 15MeVまでのエネルギー範囲で正確な中性子による線量当量を指示することが可能である。(白い減速材で丸く覆われて、重さを支える足が四本付いていることから、白豚と呼ばれることが多い)

γ 線のパルスも検出されるが、中性子線によるパルスの方が大きいため内部の波高弁別値の設定によって計数しないようになっており、中性子だけを検出することができる。



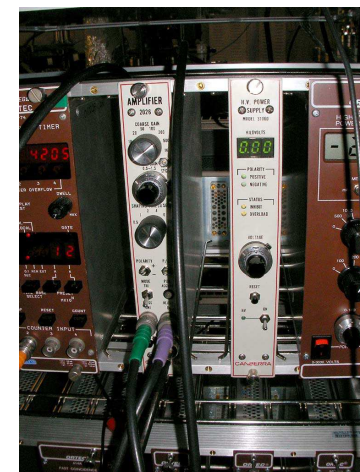
Ge半導体検出器

放射性物質はそれぞれの核種に固有のエネルギーを持った γ 線を放出するため、その γ 線のエネルギーを測定することにより未知試料中に含まれる核種を同定することが可能である

Ge半導体検出器はp層/空乏層/n層から構成されており、p-n 接合部の空乏層に電荷のキャリアがほとんど存在しないため、逆電圧を印加してもほとんど電流が流れないが、空乏層結晶中に高速の荷電粒子が入射すると、価電子帯にある電子は伝導帯におしあげられ、多数の電子-正孔対が生成される。

ただし、 β 線は(もちろん α 線も)検出器を覆うステンレス製のハウジングを透過できないため、検出することは出来ない → γ 線が結晶中に入射後に発生する光電子などを検出する。

一組の電子-正孔対を作るのに要するエネルギーはGe の場合 2.96eV であり、これがエネルギー分解能となる。



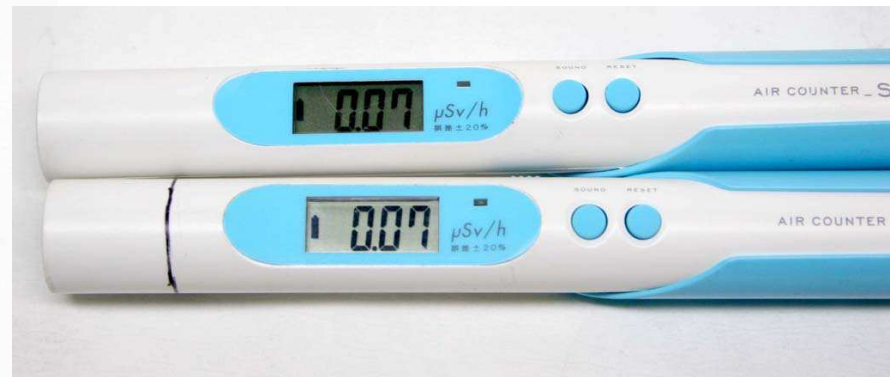
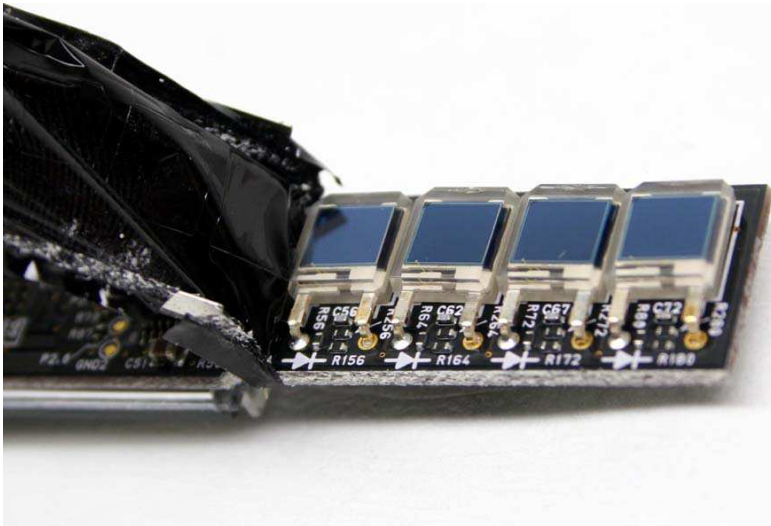
非常に高価だが詳細なスペクトルを得ることが出来る

一般人向けのサーベイメーター

・シリコン半導体センサー(フォトダイオード)を用いた計測器

フォトダイオードは、本来逆電圧をかけると電流が流れないダイオードに、光が当たると電流が流れるという、太陽電池と同様の効果を利用してフォトンを検出するセンサーである。これを光を通さない膜で包み、放射線を検出するようにしたもので、安価なサーベイメーターはほとんどこれを使用している。

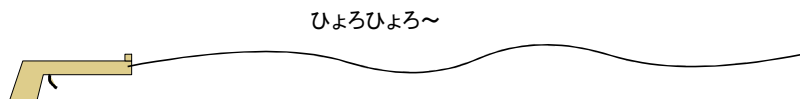
エステーが発売しているエアカウンターSはその代表格で、3000円程度と非常に安価であるが、複数の核種を用いた実験で、理論値及びNaIシンチレーションサーベイメーターと比較してほぼ同じ値を示しており、かなり優秀である。ただし、正確な測定には数分を要する。



高エネルギーの放射線



ズバツ!

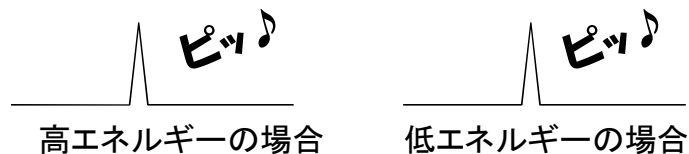


ひよろひよろ~

低エネルギーの放射線

放射線のエネルギーって何?

α 線や β 線など、粒子が飛んでくる放射線の場合はその粒子のスピードと違って頂ければ理解しやすいと思います。もちろんスピードが速いほどエネルギーは高くなります。 γ 線、X線は光の仲間で、エネルギーはその光の波長と言うことができます。赤外線、可視光線、紫外線とだんだん波長が短くなるに従ってエネルギーが高くなります。ここで光の強さ(明るさ)と、エネルギーの大きさは違います。光の強さは放射線の本数に相当します。低いエネルギーの光が何本集まっても、高いエネルギーの光になることはありません。高いエネルギーの放射線ほど、物質を突き抜ける透過力が強くなります。



GM管や、シリコン半導体検出器
(フォトダイオード)

一発は一発!

入射する放射線のエネルギーによらず、同じ大きさのパルスを出力します。一定時間内に何発放射線が飛んできたか、と言う情報だけを知ることができます。一部の製品は、Cs-137の661keVの γ 線が飛んできた、と言うことにより線量を評価しています。



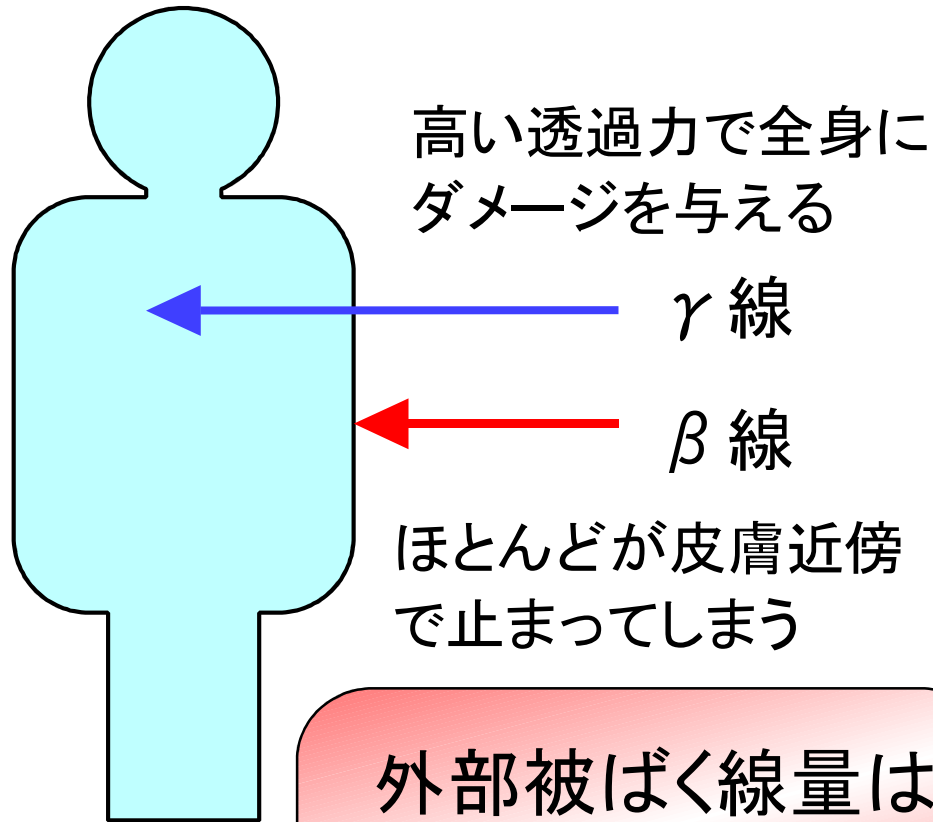
シンチレーターや、Ge半導体検出器

きちんとエネルギーを区別

入射する放射線のエネルギーによって、出力するパルスの大きさが異なります。どのぐらいのエネルギーの放射線が何発来たかという情報を合わせて、線量を評価します。

実効線量 [Sv]

人体に与えられたダメージ
→ 各臓器へのダメージを合計

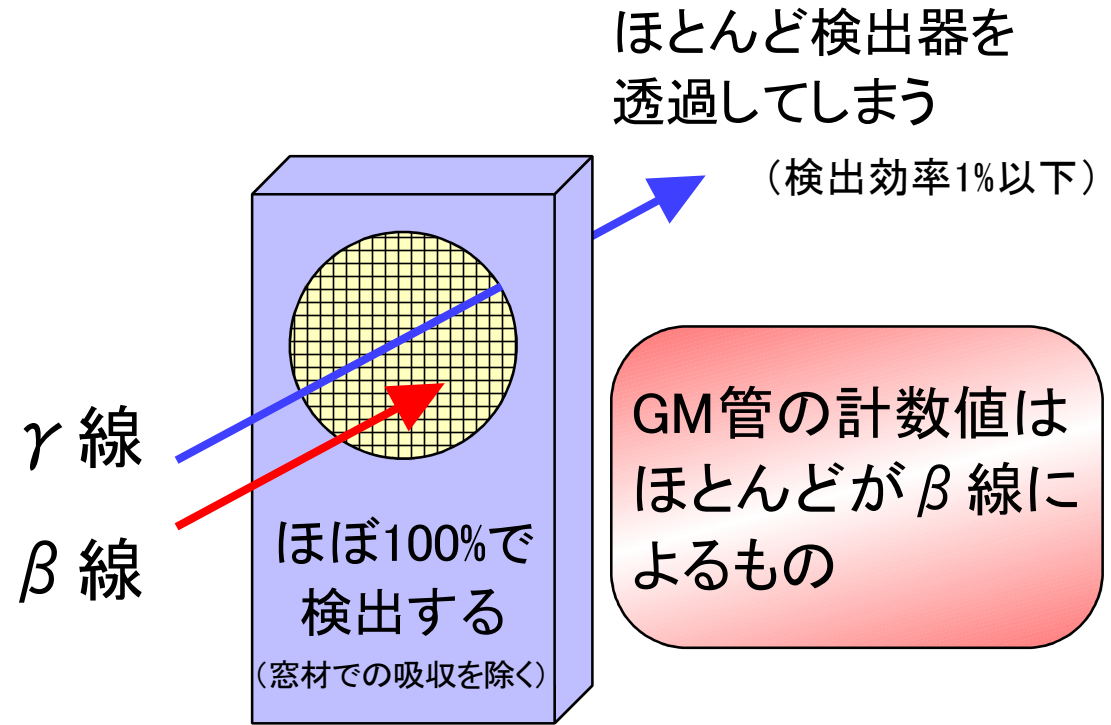


外部被ばく線量は
γ線によるもの

皮膚自体へのダメージは、別途、等価線量[Sv]
(組織ごとのダメージ)として管理されている

GM管の計数値 [count]

検出器が捕捉した放射線の数
(種類やエネルギーは分からない)



GM管の計数値は
ほとんどがβ線によるもの

実効線量率を表示する検出器 →
Cs-137のγ線の検出効率から逆算して
計数値から実効線量を計算している

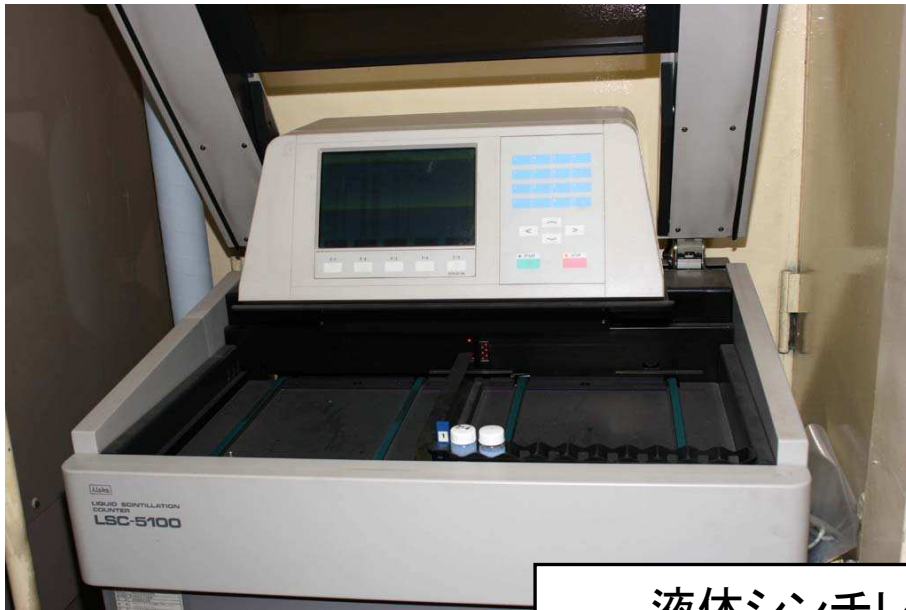
β線は遮蔽されていることが前提

直接測定法とスミヤ法

汚染検査を行いたい場所の空間線量率が高かったり、通常のサーベイメーターでは測定できないトリチウムなどを測定したい場合、その場で対象物を測定する直接測定ではなく、スミヤろ紙で表面をぬぐって、バックグラウンドの低い場所で測定を行う、スミヤ法が用いられる。

対象物の表面汚染密度を求める場合には、拭き取る面積と、どの程度の効率で表面の汚染を拭き取ることが出来るかという拭き取り効率を知る必要がある。

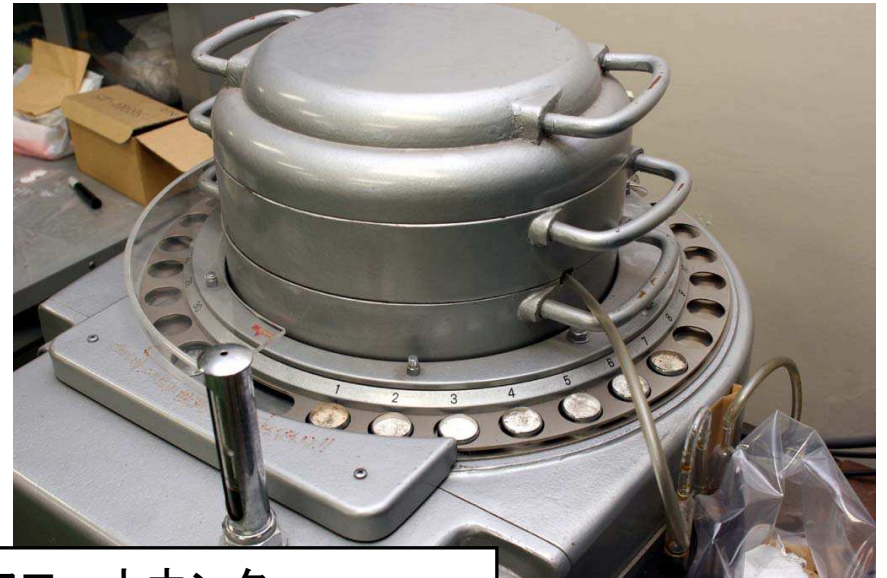




液体シンチレーションカウンター



2π ガスフローカウンター



液体シンチレーションカウンター

シンチレーターとは放射線が入射すると発光する性質を持った物質の総称であり、固体の物と液体の物があり、後者は液体シンチレーションカウンターとして使用される。

試料をシンチレーターに浸して測定するため、非常にエネルギーの低い β 線(^3H からの18.6keVの β 線など)も検出可能である。

液体シンチレーターは一種の有機溶媒であり、測定毎に捨て、バイアルを洗浄する必要があるため、手間と費用がかかるが、 ^3H や、 ^{14}C による汚染の恐れがある場合、この液体シンチレーションカウンターか、後述のガスフローカウンターを用いて検査する必要がある。

シンチレーターであるため、発光強度からエネルギーを評価できる。このため、ある程度の核種同定が可能である。

ガスフローカウンター

原理はGMサーベイメーターと同じであり、放射線による気体分子の電離に伴う電子雪崩をパルスとして測定するが、クエンチガスを雲母の膜などで密封したGM管と異なり、試料を入れたチャンバーの中に流し込んで測定を行うため、液体シンチレーションカウンター同様、非常にエネルギーの低い β 線(^3H からの18.6keVの β 線など)も検出可能である。

据置のチャンバーに試料を回転台などを用いて挿入する、 2π ガスフローカウンターと、ハンディタイプのプローブに小型のガスボンベからクエンチガスを供給し、プローブ表面のメッシュから垂れ流し続けるサーベイメーターが存在する。

GMサーベイメーター同様にエネルギー評価はできず、countだけが出力される。

Radiation?

空間線量率が問題か、

or

表面汚染が問題か？

Contamination?

非密封の RI を使用する実験で、
GM サーベイメーターや、NaI シンチレーションカウンターなどで
空間線量率を測定して大した値でなければ問題無い、というのは

大間違い!

表面が少しぐらい汚染されていても空間線量率は大して変わらないが、
汚染によって内部被ばくの危険があり、RIを「管理」して使用する施設で
有ってはいけないところに汚染が広がると、大問題!

管理区域とは

放射線を放出する同位元素の数量等を定める件 第四条

- (1) 外部線量 1.3 mSv/3月以上
- (2) 空気中のRIの3月間平均濃度が空気中濃度限度の10分の1以上
- (3) RIの表面密度が表面密度限度の10分の1

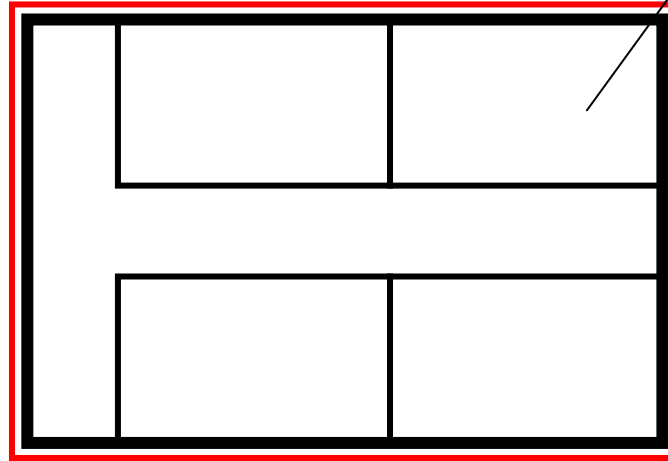
を超えるおそれのある場所

- (1)、(2)が複合する場合は、それぞれの割合の和が1を超えるおそれのある場所

場所に対する防護基準

1週 = 40h (8h × 5day)

3月 = 500h



常時人の立ち入る場所

実効線量率 1mSv/週

表面汚染密度

α 核種 4Bq/cm²

それ以外 40Bq/cm²

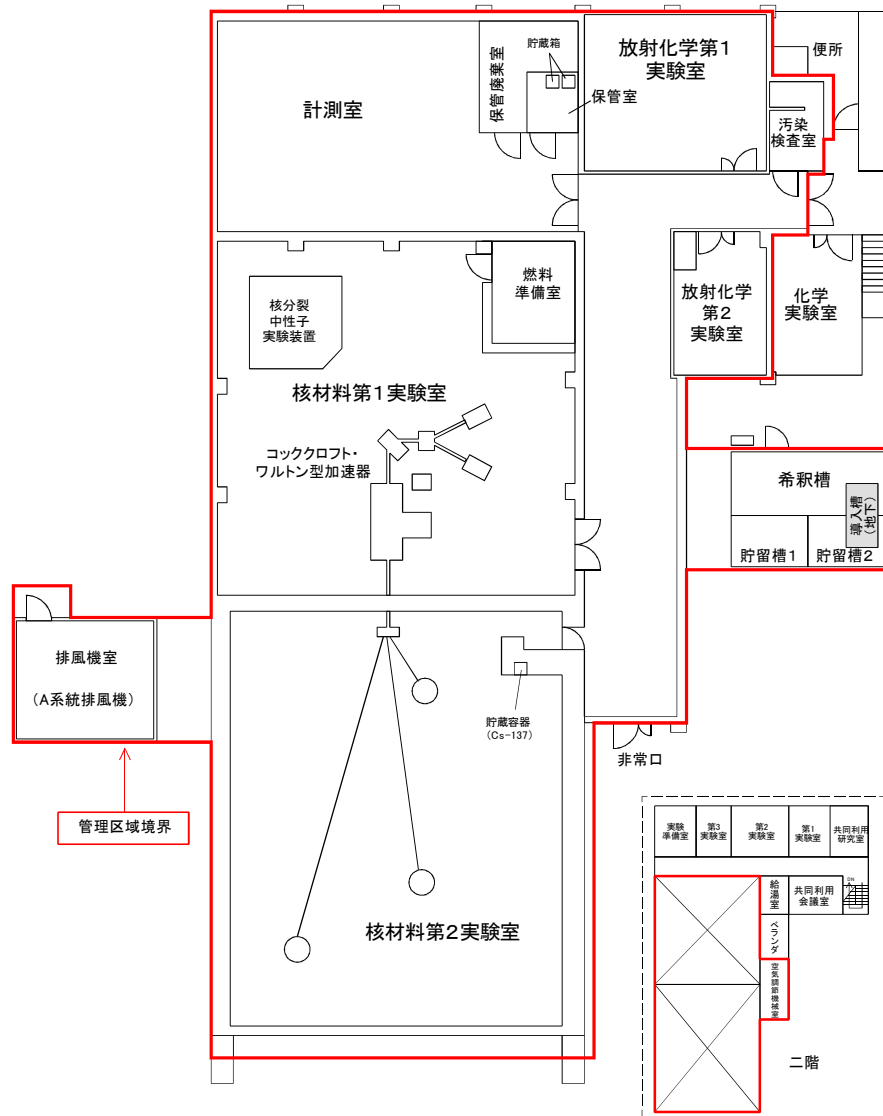
管理区域の境界

実効線量率 1.3mSv/3月

表面汚染密度 α 0.4Bq/cm², 非 α 4Bq/cm²

事業所の境界 250 μ Sv/3月

放射線取扱施設の例



主要な施設

- ・管理室
- ・汚染検査室(シャワー室)
- ・測定室
- ・作業室
- ・貯蔵室 もしくは 貯蔵箱
- ・汚染除去室
- ・廃棄物保管室
- ・機械室
- ・貯留槽
-
- ・給排気設備、空気浄化装置
- ・フード(ドラフトチャンバー)、グローブボックス

放射線管理区域標識



線源棟への入退室



注意事項

1. 入棟者名簿に必要事項を記入すること
2. 入口で所定のはきものにはきかえること
3. 照射室に立ち入る場合は室主任又は運転者の指示に従うこと
4. 照射室に立ち入る者はインターロックのセーフティキーとサーベイメーターを携帯すること
5. RI及び核燃料物質を取り扱うときは定められた手続、取扱い方法によること
6. 施設内に立ち入る者は、放射線業務従事者の指示に従うこと
7. 施設内の物品、装置等に許可なくみだりに触れないこと
8. その他詳細については「使用心得」に従うこと



- ・鉛筆などで記入せず、ボールペンなどの消えない筆記具で記入すること。
- ・氏名は、フルネームで記入すること
- ・所属はどこかの誰だか分かるように記入する



使用・保管・廃棄記録簿

貯蔵庫から RI を出し、使用又は減衰により数量が変化し、廃棄物として保管廃棄した量がどうなったのかという、RI の流れが分かるように、使用することにより記録を行う。

様式第6号の2

主任者	管理部長	施設責任者

RI使用・保管・廃棄記録簿

RI登録番号		核種	
保管者名		化学状態	
保管場所		物理状態	
保管方法	冷凍・冷蔵・室温	使用の目的	

使用・保管・廃棄記録

年 月 日	保管量 (MBq)	使用量または減衰量 (MBq)	使用場所	使用者	保管廃棄		備考
					性状	数量	
							(保管開始日)
					難燃物		
					不燃物		
					可燃物		
					無機液体		
					有機液体		
					難燃物		
					不燃物		
					可燃物		
					無機液体		
					有機液体		
					難燃物		
					不燃物		
					可燃物		
					無機液体		
					有機液体		
					難燃物		

密封線源の定義

法令では「密封」の厳密な定義は与えていない。ただ、密封線源の使用の基準として、密封されたRIは常に次のような条件に適合する状態において使用することとしている。

イ) 正常な使用状態においては、開封又は破壊されるおそれのないこと

ロ) 密封されたRIが漏えい、浸透等により散逸して汚染するおそれのないこと

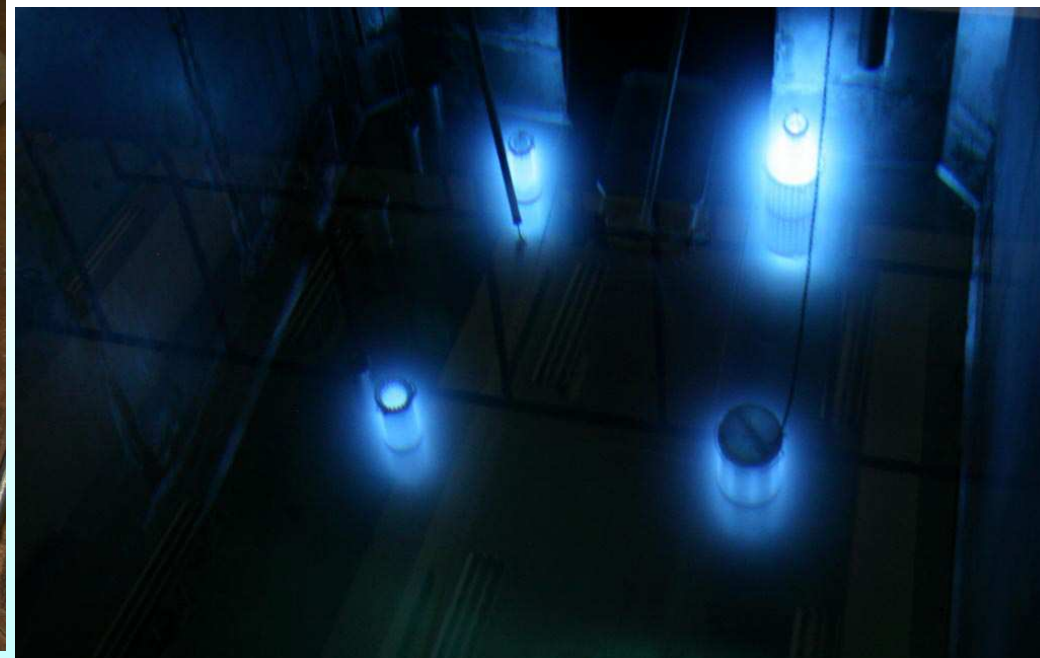
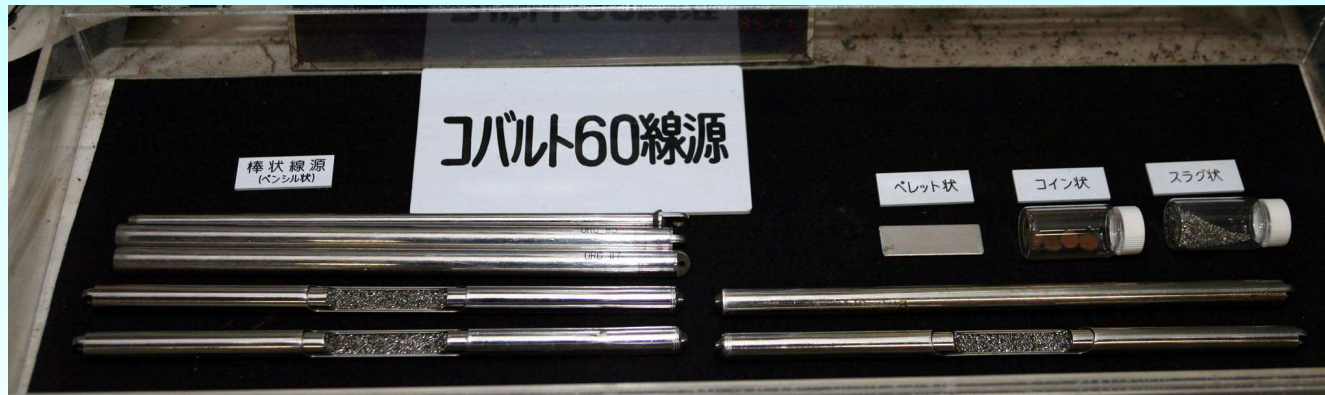
実際には、JIS Z4821-1及びJIS Z4821-2によって、次のように規定。

「放射性物質の散逸及び他の物質との接触を避けるために、カプセルを密閉するか、カバーを接着した放射性線源」

様々な密封線源



放射線研究センターの Co-60 密封線源



密封線源取扱の特徴

被曝管理

線源の取扱

線源の廃棄

密封線源

線源の強度が高く、取扱を誤ると大線量の被曝になる

適切な遮蔽を行い、十分距離を取る事が必要

線源が破損しない限り取扱は容易であるが、線源を移動して用いる場合など紛失してしまう事があり得るので、徹底した数量管理が必要。

専門の業者に引き取ってもらう。下限値以下の小線源も同様。装置内蔵の校正用線源に注意。

非密封線源

線源の強度は低いが、内部被ばくのリスクがあるのでマスク、手袋などの保護具が必要

液体や粉末状の試料をこぼしたり飛散させたりしないように、取扱に細心の注意が必要。下限数量以下のRIの管理区域外取扱は予防規程に従う。

可燃、不燃などの分類をしてアイソトープ協会に引き取ってもらう。薄めてRI廃水に流したりしない事。