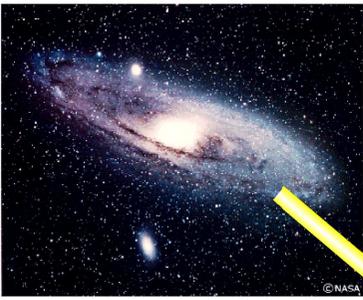


最新放射線安全管理学特論

管理技術

秋吉 優史



宇宙からの放射線



宇宙ステーション



医療での放射線



食品からの放射線



ラジウム・ラドン温泉

大地からの放射線



ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

宇宙からの放射線

大気で地球上の生物は守られている

太陽から帯電した粒子が大量に放出されています。
地球の磁場に捉えられた一部がオーロラとして観測されます。

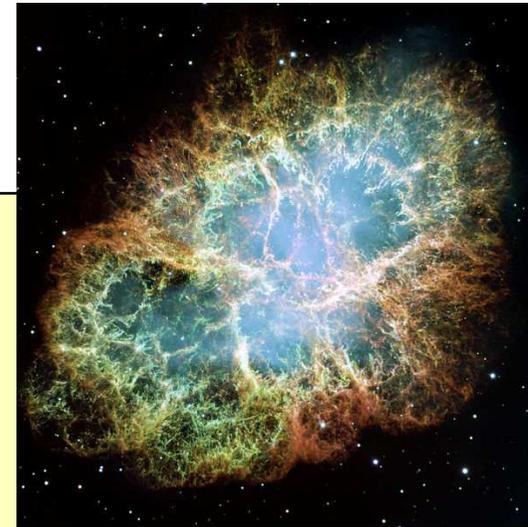


アラスカ、フェアバンクスで観察されたオーロラ

CERN の LHC 加速器でも数 TeV(10^{12} eV)程度。

超新星爆発などで発生した非常にエネルギーの高い ($\sim 10^{20}$ eV) **銀河宇宙線**も飛んできています。上空で大気とぶつかって核反応により**放射性核種の生成**が起きています。

(一年間に C-14: 10^{15} Bq(1PBq), H-3 (トリチウム): 7×10^{16} Bq(70PBq) 程度が生成されています)



おうし座のかに星雲。
超新星爆発の残骸。

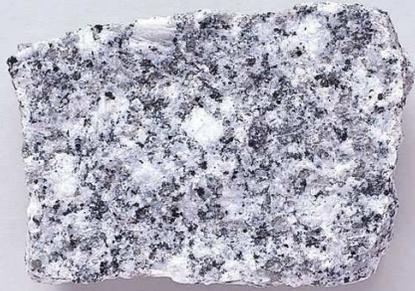


国際宇宙ステーション ISS の完成予想図

大気で遮蔽されていない上空では放射線量が増加します。
欧米への飛行機での往復で100~200 μ Sv程度被ばくします。
宇宙ステーション (ISS: 高度400km) では、1日当たり0.5~1mSv程度にもなります。

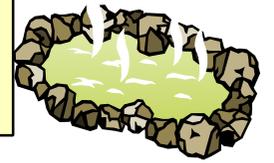
大地からの放射線

ウランは地殻中でありふれた元素



花崗岩

地中の岩石の中には少しずつウランが含まれていて、平均で1トンあたり2.4g、花崗岩には11gも含まれていて、140kBqに相当します。ウランの娘核種もまた放射線を出して別の放射性核種となる、壊変系列を形成しています。



ラドン温泉

地球の内部が暖かく、温泉が出るのも、地球の内部の放射性物質の崩壊によるエネルギーだと言われています。



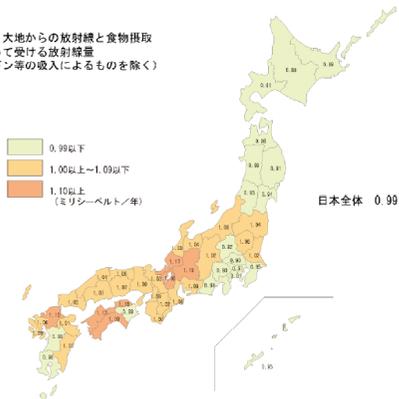
トンネルの中は周囲を岩石に囲まれてるため地表よりも放射線量が高くなります。

(東名高速の日本坂トンネルで0.13 μ Sv/h など地表の倍程度)

壊変系列の中に気体の放射性核種、ラドンが含まれていて、石の中から出てきて空気中を飛んでいます。これが肺の中で α 線を放出して内部被曝を起こします。

全国自然放射線量

宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線量(ラドン等の吸入によるものを除く)



世界には日本よりはるかに自然放射線量が高い(年間10mSv以上)地域があります。国内でも岩盤が多く露出している地域では比較的放射線量が高く、火山灰で覆われている地域などは低く、県単位の比較でも年間で300 μ Sv程度異なります。



ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

食品からの放射線

福島事故以前から
含まれる放射能



カリ肥料

天然のカリウム1gには30BqのK-40が入っています。カリウムは作物に、そして人間にとっても必須の元素の一つです。昆布や椎茸、キュウリなどに沢山含まれており、人間の体の中にも体重60kgで4000BqのK-40が含まれていて一年間で170 μ Sv被曝しています。

60kgの日本人の体の中にはおよそ20BqのPo（ポロニウム）-210と言う放射性核種が含まれています。K-40が β 線/ γ 線を放出するのに対して、このPo-210は α 線を放出するため、内部被曝量は年間で800 μ Svにもなります。



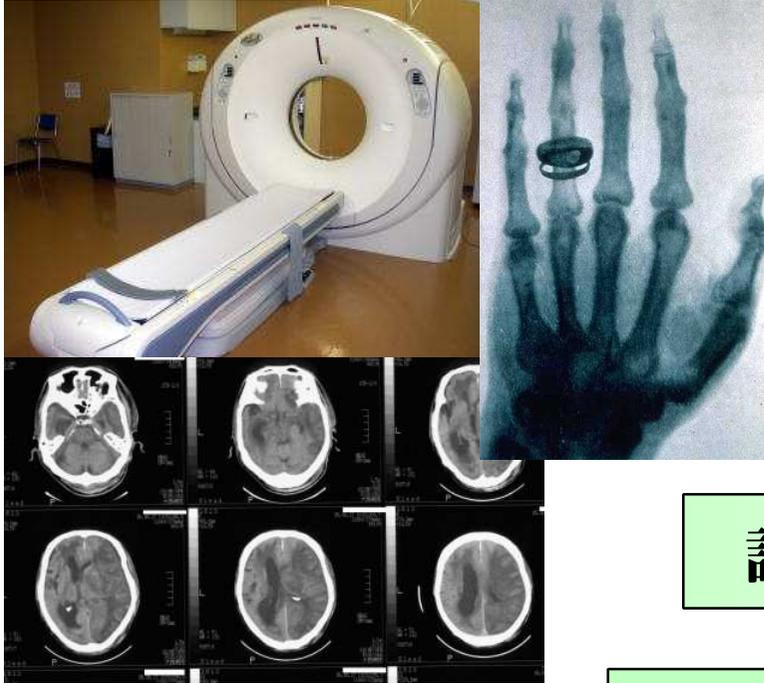
タバコ1本には0.024BqのPo-210が含まれており、一日一箱の喫煙で年に100 μ Sv被曝します。

医療での放射線

先進医療により
被曝線量は増える

胸のX線検診で $50 \mu\text{Sv}$
胃のX線検診で $600 \mu\text{S}$ 、
CT スキャンでは **数mSv**

被曝によるリスク \leftrightarrow ケガ 病気のリスク
どちらが大きいかをよく考える必要があります。
★100mSv でガンによる死亡率 0.5% 上乗せ



診察だけでなく、「治療」にも放射線が使われています

多方向からの照射や画像誘導でのピンポイントの照射
甲状腺ガン: $3.7 \sim 7.4 \text{GBq}$ の大量のヨウ素-131を投与

体の奥の手術が難しいガン:
加速器からの**イオンビーム**で
特定の深さを集中攻撃

広範囲に分散したガン:
ホウ素を取込ませた癌細胞に
中性子をあてる

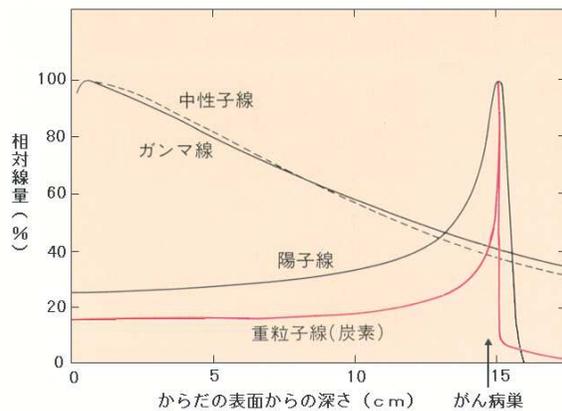
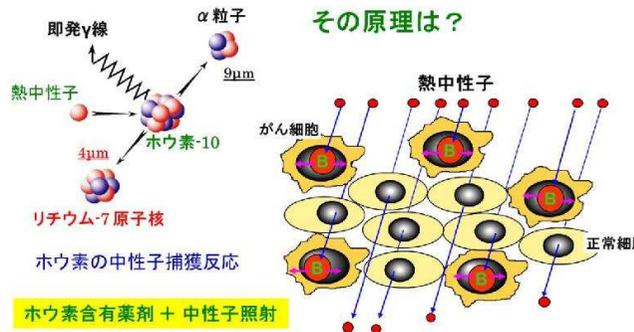


図2 重粒子線照射治療の利点(2)

この図では深さ約15cmのところにおいて最大線量となり、がん病巣に大きな線量を与えることができる。深さは調節できる。

【出典】放射線医学総合研究所：重粒子線がん治療装置HIMAC、1995年8月

ホウ素中性子捕捉療法
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)



ホウ素含有薬剤 + 中性子照射

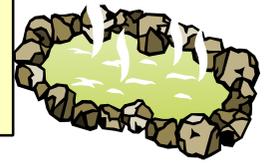
大地からの放射線

ウランは地殻中でありふれた元素



花崗岩

地中の岩石の中には少しずつウランが含まれていて、平均で1トンあたり2.4g、花崗岩には11gも含まれていて、140kBqに相当します。ウランの娘核種もまた放射線を出して別の放射性核種となる、壊変系列を形成しています。



ラドン温泉

地球の内部が暖かく、温泉が出るのも、地球の内部の放射性物質の崩壊によるエネルギーだと言われています。



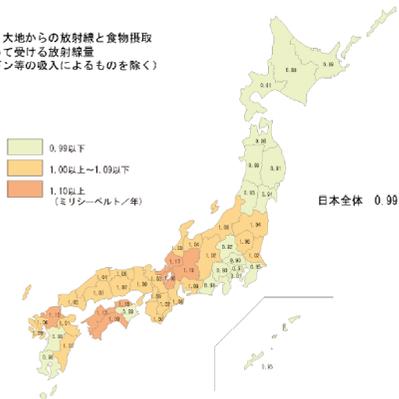
トンネルの中は周囲を岩石に囲まれてるため地表よりも放射線量が高くなります。

(東名高速の日本坂トンネルで0.13 μ Sv/h など地表の倍程度)

壊変系列の中に気体の放射性核種、ラドンが含まれていて、石の中から出てきて空気中を飛んでいます。これが肺の中で α 線を放出して内部被曝を起こします。

全国自然放射線量

宇宙、大地からの放射線と食物摂取によって受ける放射線量(ラドン等の吸入によるものを除く)



世界には日本よりはるかに自然放射線量が高い(年間10mSv以上)地域があります。国内でも岩盤が多く露出している地域では比較的放射線量が高く、火山灰で覆われている地域などは低く、県単位の比較でも年間で300 μ Sv程度異なります。



ピサの斜塔

イタリア・ピサの大聖堂

天然の放射性核種

地球が誕生して約50億年、未だに天然の放射性核種が残る。

放射性核種の半減期則より

10半減期の後では元の1024分の1、

40半減期では1兆分の1 となるため、半減期の短い核種は既に消滅している。

壊変系列をつくる放射性核種

親となる核種の寿命が長く (U-238 45億年, Th-232 140億年)、
 α 崩壊に伴って質量数が親核種から4ずつ小さくなる。

系列を作らない核種

大気上層で宇宙線により ^3H (10^{18}Bq/y)、 ^{14}C ($1.3 \times 10^{15}\text{Bq/y}$) が生成される。

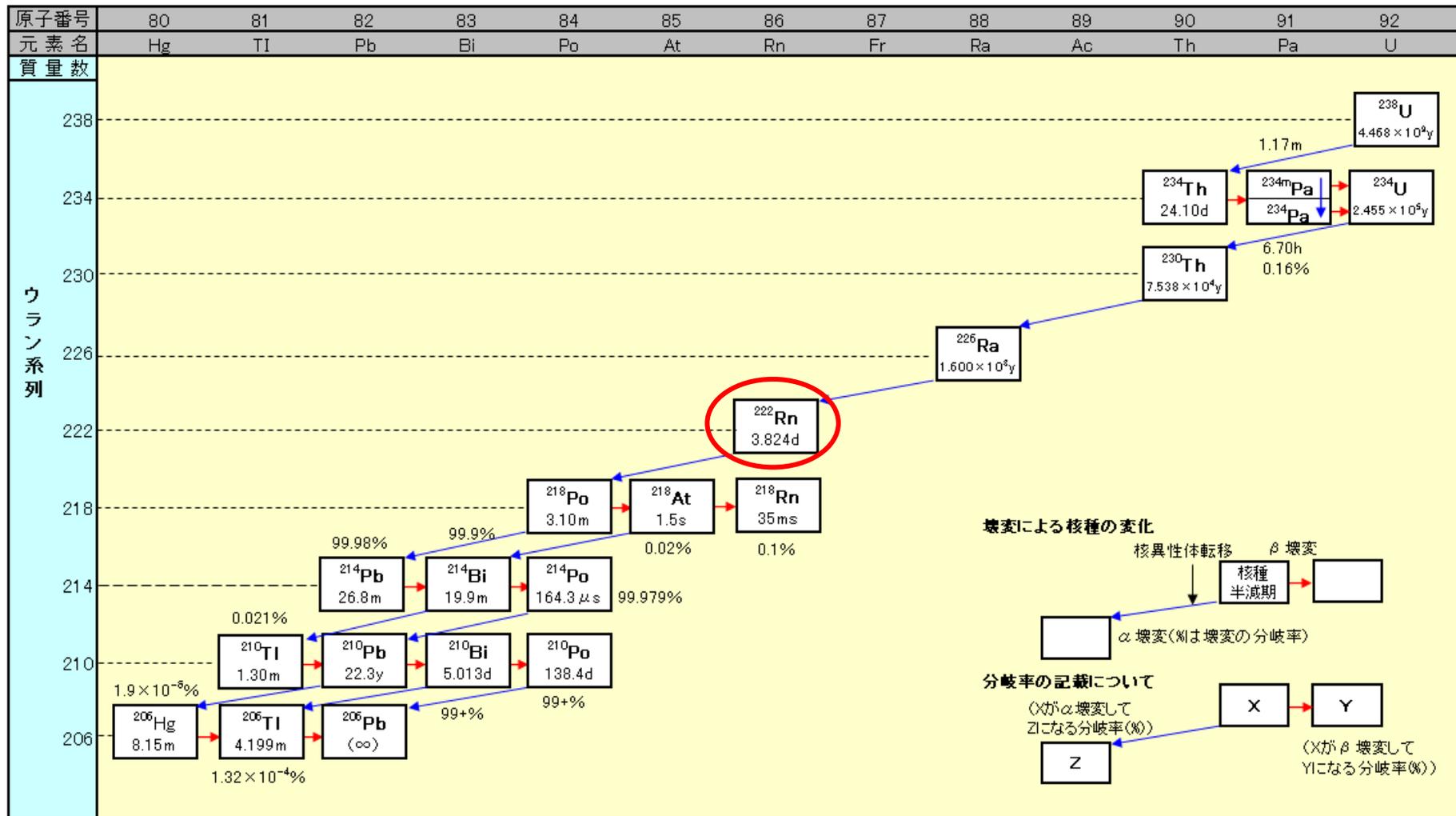
^3H は半減期12.3年、 ^{14}C は5730年と短い。

一方、地球誕生時から存在したものとして以下の核種などが知られている。

^{40}K	(半減期12.8億年, 天然のK中の存在比 0.0117%)、
^{87}Rb	(480億年, 27.8%)
^{147}Sm	(1060億年, 15.1%)
^{148}Sm	(8000兆年, 11.3%)
^{115}In	(510兆年, 95.7%)
^{113}Cd	(9000兆年, 12.2%)
^{187}Re	(400億年, 62.6%)
^{144}Nd	(2100兆年, 23.8%)

放射壊変系列 1: ウラン系列 (4n+2)

親核種: U-238



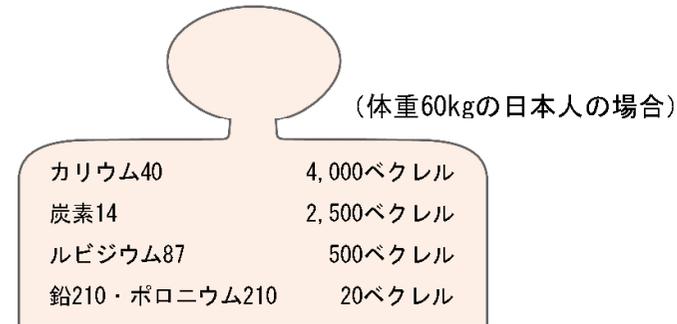
半減期の記号;s(秒), ms(10⁻³秒), μs(10⁻⁶秒), m(分), h(時), d(日), y(年)

図1-1 天然放射性核種の壊変系列図(ウラン系列)(1/4)

[出典] 国立天文台(編):理科年表 2010年版、丸善(2009年10月)、p.468-469

体内、食物中の自然放射性物質

●体内の放射性物質の量



●食物中のカリウム40の放射能量 (日本)

(単位: ベクレル/kg)

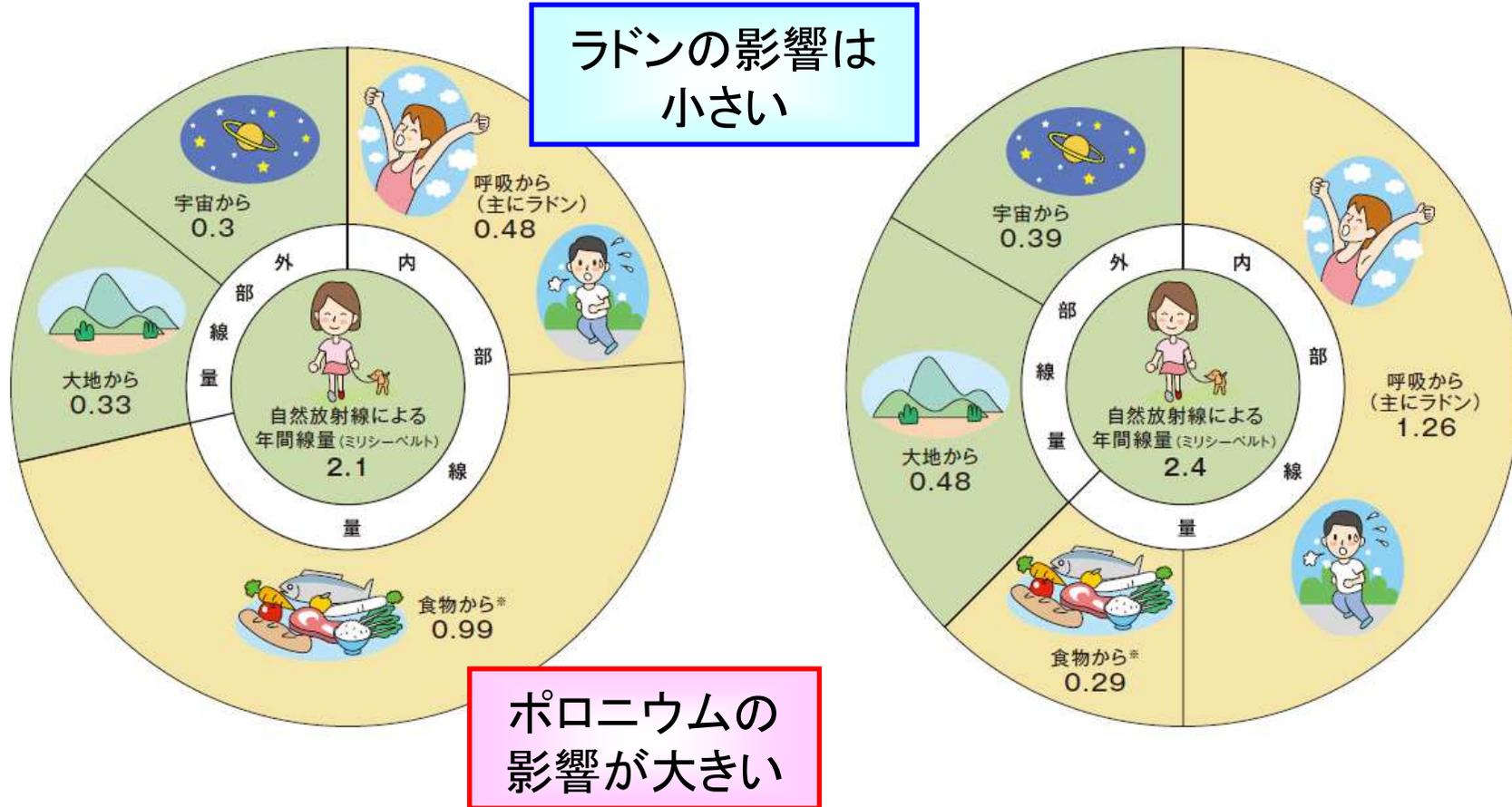


食品中のセシウムの規制値: 一般食品 100Bq/kg、
乳幼児用食品、牛乳 50Bq/kg, 飲料水 10Bq/kg (H24.4.1 より)

自然放射線から受ける線量

一人あたりの年間線量(日本平均)

一人あたりの年間線量(世界平均)



※欧米諸国に比べ、日本人は魚介類の摂取量が多く、ポロニウム210による実効線量が多い

放射線防護の考え方

ICRP (International Commission on Radiation Protection)勧告

1990年勧告 (ICRP Publication 60)

→国内法への取り入れ: 2001年(H13)施行

・放射線の影響を**確率的影響**と**確定的影響**に大別

・被ばくを増加させる「行為」と、減少させる「介入」に分類

→「行為の正当化」、「防護の最適化」、「個人の線量限度」

を人の活動の基準とする

2007年勧告の法制化への準備中

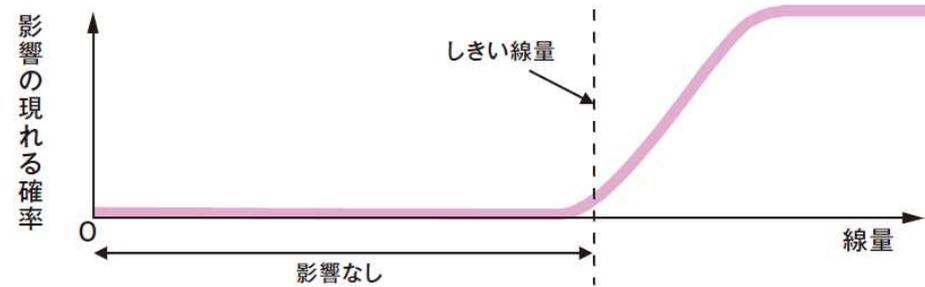
・被ばく状況を計画被ばく、緊急時被ばく、現存被ばくに区分する。

放射線防護の考え方

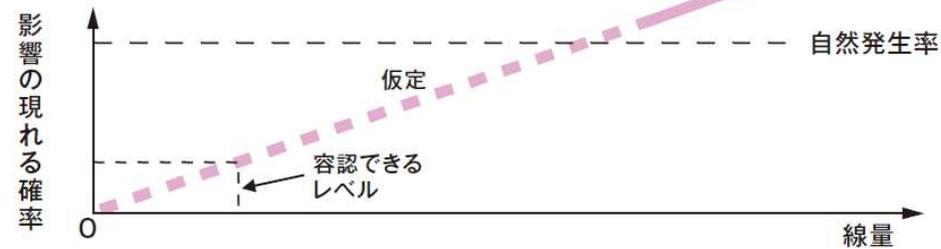
確定的影響は、しきい線量※以下に抑えることで影響をなくす。

確率的影響は、しきい線量は無いと仮定し、影響の現れる確率が容認できるレベル以下の線量を抑える。

〔確定的影響（脱毛・白内障等）〕



〔確率的影響（がん・白血病等）〕



※しきい線量:ある作用が反応を起こすか起こさないかの境の値のこと

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)

被ばく管理に用いられる量(防護量)

等価線量 equivalent dose, Sv

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

$$\sum \left(\text{組織加重係数} \times \text{等価線量} \right) \text{ (Sv)}$$

組織加重係数: 全身被ばくの場合を1とし、

各組織単体での被ばくの影響を相対評価

この場合は実効線量を表わす

グレイとシーベルトの関係

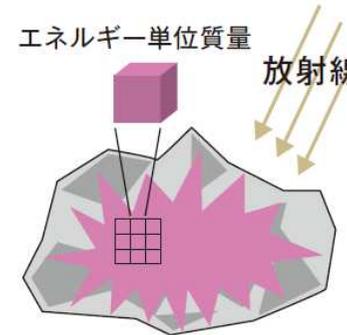
$$\text{シーベルトの値} = \text{グレイの値} \times \text{放射線加重係数}^{\ast 1} \times \text{組織加重係数}^{\ast 2}$$

シーベルトにも色々あることに注意!



シーベルト (Sv)

放射線が人に対して、がんや遺伝性影響のリスクをどれくらい与えるのかを評価するための単位
(1シーベルト=1000ミリシーベルト)



グレイ (Gy)

放射線が物や人に当たったときに、どれくらいのエネルギーを与えたのかを表す単位
1グレイは1キログラムあたり1ジュールのエネルギー吸収があったときの線量

◆放射線加重係数

放射線の種類	放射線加重係数
光子(ガンマ線、エックス線)	1
電子(ベータ線)	1
陽子	2
アルファ粒子、核分裂片、重い原子核	20
中性子線	2.5 ~ 20 (エネルギーの連続関数で設定)

◆組織加重係数

組織・臓器	組織加重係数	組織・臓器	組織加重係数
乳房	0.12	食道	0.04
赤色骨髄	0.12	甲状腺	0.04
結腸	0.12	唾液腺	0.01
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
生殖腺	0.08	脳	0.01
膀胱	0.04	残りの組織・臓器	0.12
肝臓	0.04		

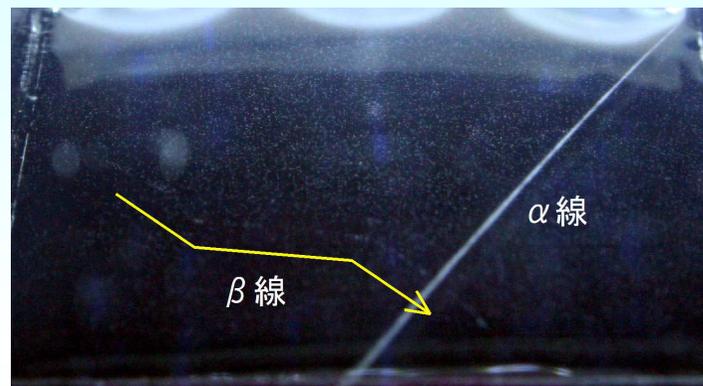
- ※1 放射線の種類による影響の違いを表す
 ※2 臓器等の組織別の影響の受けやすさを表す

放射線加重係数の説明

$$\text{実効線量(Sv)} = \text{吸収線量(Gy)} \times \text{放射線加重係数} \times \text{組織加重係数}$$

→ 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

K-40: 4,000Bq

170 μ Sv/年

β ・ γ 線のみ

Po-210: 20Bq

800 μ Sv/年

α 線を放出

空気中のラドンも 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

線量当量 dose equivalent (Sv)

整列拡張場の中に置いたICRU球の深さ 1cm, 70 μ m における微小体積に対する吸収線量が、全身の実効線量、皮膚の等価線量を代表すると見なす。

→ 1cm線量当量、70 μ m線量当量

$$\text{線量当量(Sv)} = \text{線質係数} \times \text{吸収線量(Gy)}$$

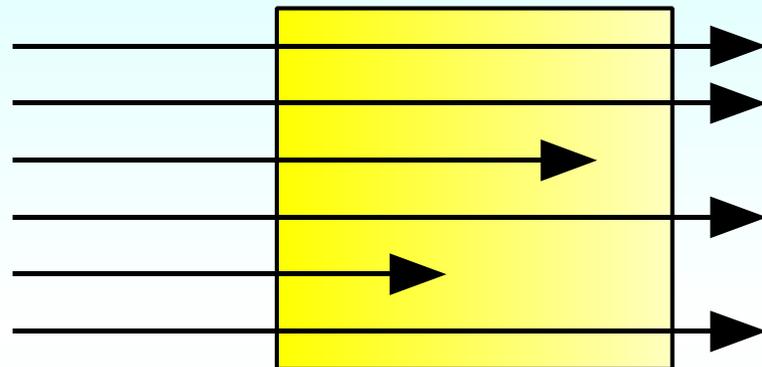
線質係数: 放射線の水中における衝突阻止能

= 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

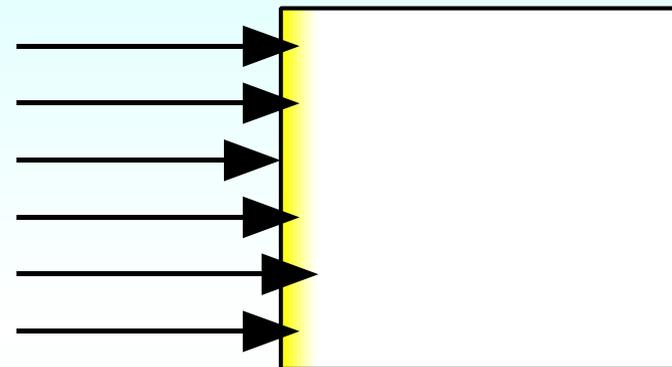
高エネルギーガンマ線などの場合透過力が高く、ほぼ均等にエネルギーを与える。

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

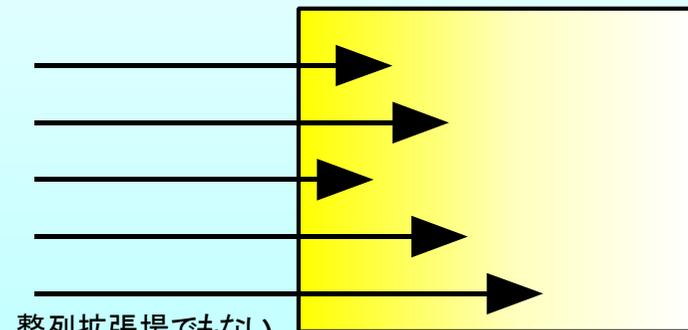
$$H_p(0.07) > 10 H_p(10)$$



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

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

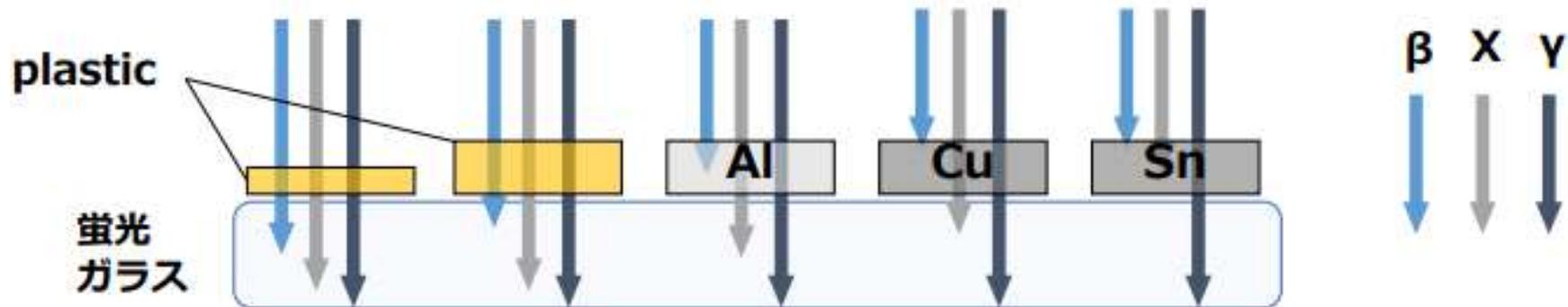
高エネルギーの光子では物質に均等にエネルギーを与えるが、荷電粒子や低エネルギーの光子では不均一なエネルギー付与をする。このとき、「対象物」をどの範囲で取るかによって吸収線量は異なる。等価線量を考える場合は、「臓器全体」で考える。

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

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ま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。

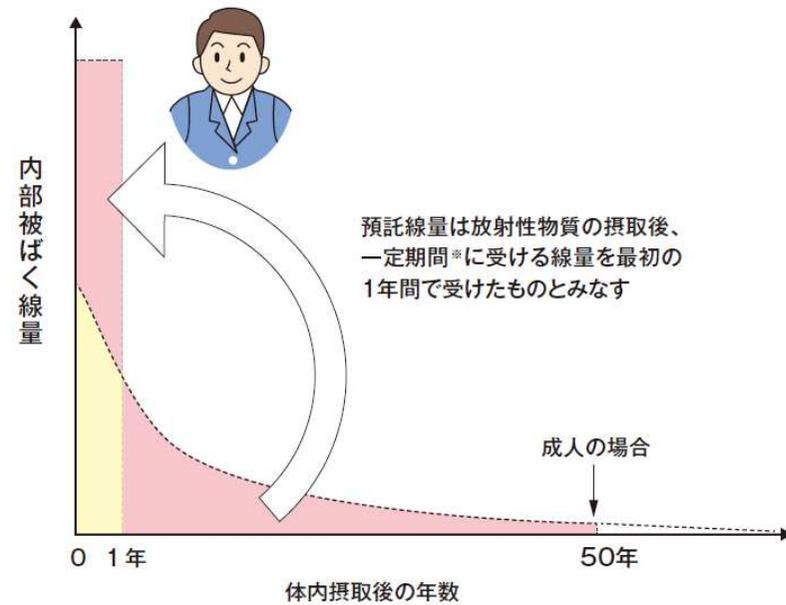
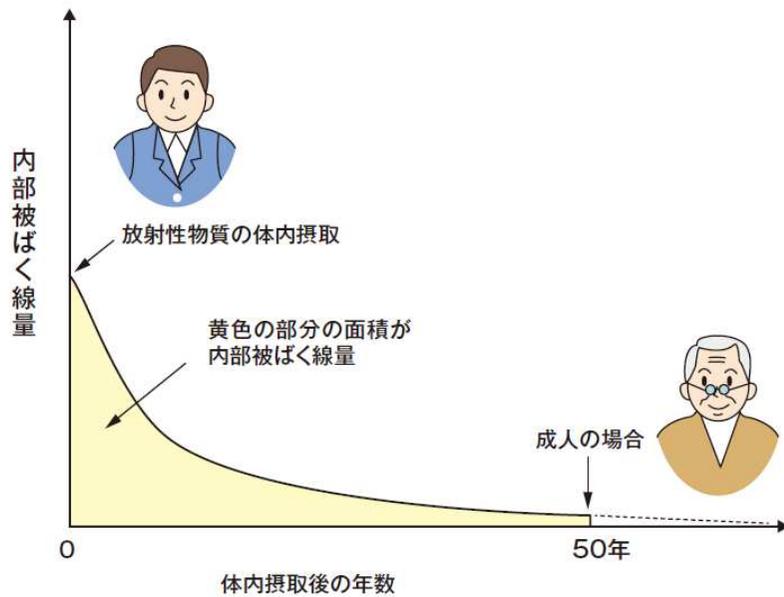
被ばく管理に用いられる量(内部被ばく)

預託線量 committed dose, Sv

体内に取込んだ放射性物質により内部被曝する場合、取込んでから50年間(子供に対しては70年間)先まで被ばくする線量を時間積分して、取込んだ時点にいったん被ばくしたとして被ばく管理を行う。線量として等価線量を用いると預託等価線量、実効線量を用いると預託実効線量である。

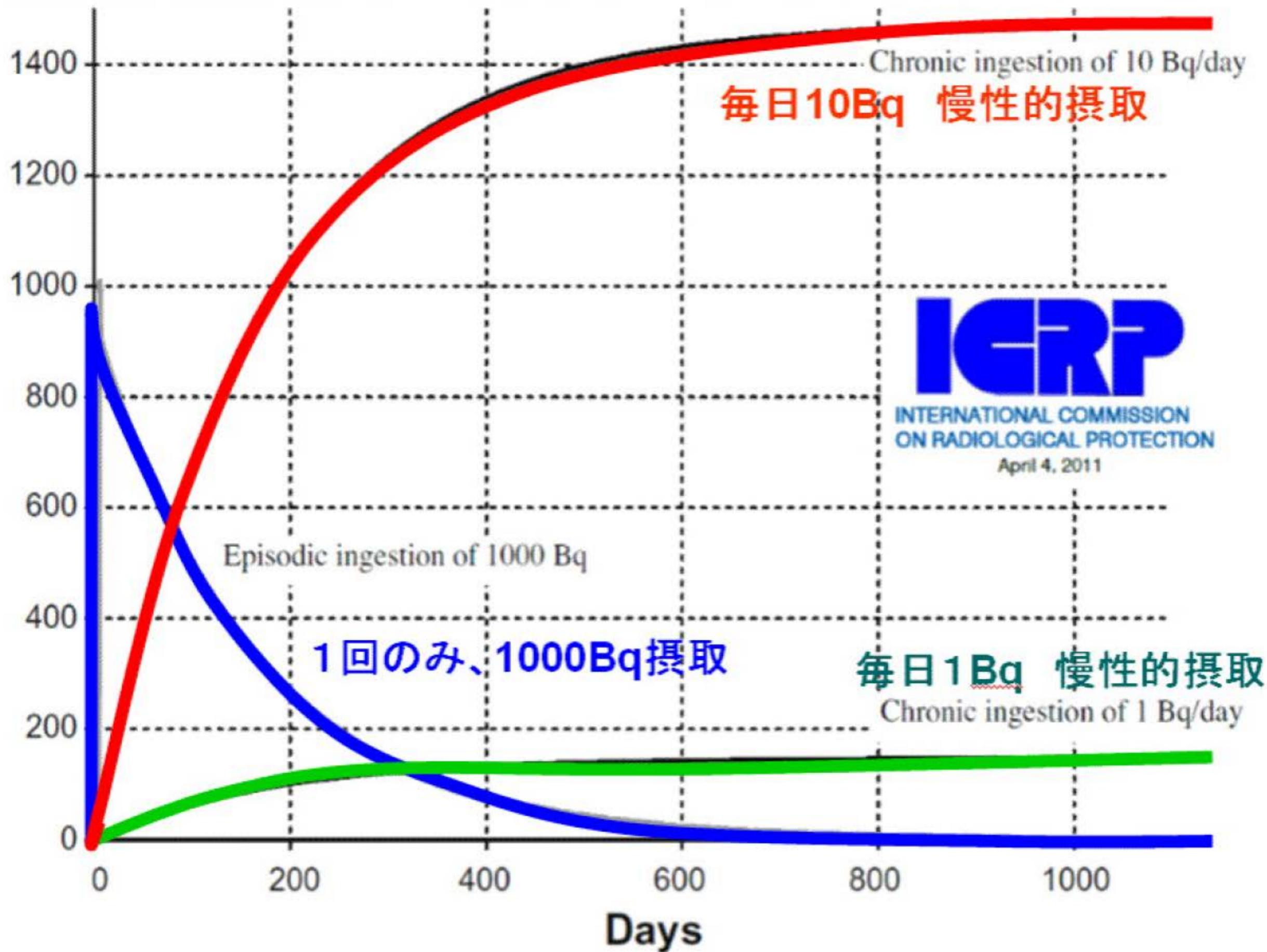
ここで被ばくする線量は、物理的な壊変や生物学的な排泄などにより時間と共に減少していき、簡単に求めることが出来ない。放射する線質、壊変速度や化学的性質から、核種ごとに**実効線量係数**(Sv/Bq)が求められており、取込んだ放射能から預託実効線量を求めることが出来る。経口及び吸入摂取についてそれぞれ定められている。

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

人間の体の中では、代謝作用によって放射性物質も排出されるけど・・・
放射性物質は体内で蓄積する！！



内部被ばく線量（預託線量）への換算方法

$$\text{預託線量 (mSv)} = \text{飲食物摂取量 (kg/日)} \times \text{摂取日数 (日)} \times \text{実効線量係数 (mSv/Bq)} \times \text{放射性核種の濃度 (Bq/kg)}$$

放射性核種	半減期	1Bqを経口または吸入摂取した場合の成人の実効線量係数 (mSv/Bq)	
		経口摂取した場合	吸入摂取した場合
プルトニウム239	2.4万年	2.5×10^{-4}	1.2×10^{-1}
セシウム137	30年	1.3×10^{-5}	3.9×10^{-5}
ヨウ素131	8日	2.2×10^{-5}	7.4×10^{-6}
ストロンチウム90	28.8年	2.8×10^{-5}	1.6×10^{-4}
トリチウム	12.3年	4.2×10^{-11}	2.6×10^{-10}

(注) 市場希釈係数（評価対象者の当該食品摂取量に対する汚染された食品の摂取割合）および調理等による減少補正については1としている
化学形等により複数の値が示されている核種については最も大きい実効線量係数を示す

被ばく管理に用いられる量(内部被ばく)

ベクレルからシーベルトへの変換

実効線量率定数 effective dose rate constant

- ・放出される放射線の種類と、エネルギー
- ・放出確率

外部
被ばく

実効線量係数 effective dose coefficient

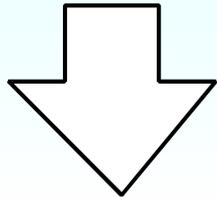
上記二つに加えて、

- ・物理的半減期
- ・生物的半減期
- ・特異臓器集積と組織加重係数

内部
被ばく

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？

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

50年間にわたる影響を積算して、
摂取した時点でいっぺんに被ばく
した物として管理する (預託線量)

実際には、少しずつ長い期間に被ばくするのと、同じ量をいっぺんに被ばくするのでは、損傷修復のメカニズムがあるため、ゆっくり被ばくした方が影響は小さい。

様々な放射性核種 (Sr-90, Cs-137, Pu-239 など) に対して、1Bq 摂取すると何mSv 内部被ばくするかという、実効線量係数が求められている。(Cs-137 では 1.3×10^{-5} mSv/Bq)

精米された状態で1kg あたりCs-137 を100Bq 含む米を、一食あたり1合 (精米で150g、炊きあがりでは330g) 食べるものとし、一日三食、365日毎日食べたとして1年間でどの程度内部被ばくするでしょうか? → 答えは 0.21mSv

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)

遮蔽

α 線

空気中の α 線の飛程 = $3.18E^{3/2}$ ($E(\text{MeV})$) mm

→たかだか数cm程度、0.25mmのゴム手袋で止まる

β 線

$R=0.407E^{1.38}$ ($0.15\text{MeV} < E < 0.8\text{MeV}$)

$R=0.542E-0.133$ ($0.8\text{MeV} < E$)

R は g/cm^2 の単位で、遮蔽体の密度で割って飛程を求める

・エネルギーが大きい β 線を、重元素で遮蔽する場合は、制動放射X線が出やすいので注意する(転換率はエネルギーと原子番号に比例)。

遮蔽

γ 線、X線

細いビーム状に絞られて強度 I_0 で物質に入射する場合、

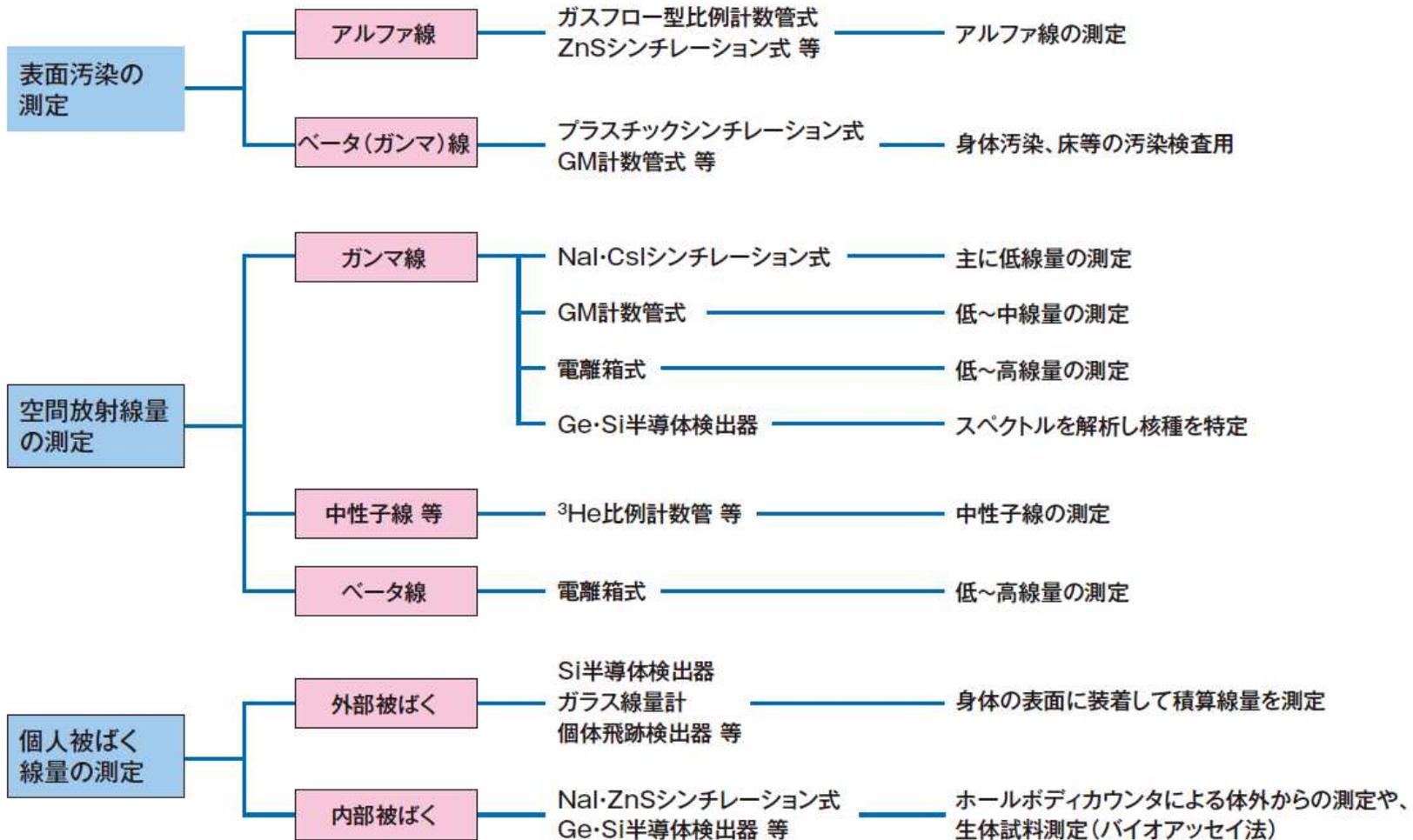
$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

μ : 物質の線減弱係数、 x : 入射後の距離 で減衰していく。

ただし、入射光が細いビーム状でない場合、広がっていった入射光の散乱線が測定位置に戻ってくる、ビルドアップが考えられるため、ビルドアップ係数 $B \geq 1$ を用いて $I = I_0 B \exp(-\mu x)$ と表わされる。

μ は物質、エネルギーによって異なる。物質を透過する間にコンプトン散乱によりエネルギースペクトルが変化して、実際には単純に指数関数的には減少しないため、数表などを用いて計算を行う必要がある。

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

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
- ・空気中濃度からの摂取量の評価 → 計算による評価

放射線取扱施設の測定、記録

法二十条第一項, 第三項に規定, 則20条に具体的な測定場所

・放射線の量の測定

- イ 使用施設
- ロ 廃棄物詰替施設*
- ハ 貯蔵施設
- ニ 廃棄物貯蔵施設*
- ホ 廃棄施設
- ヘ 管理区域の境界
- ト 事業所等内において人が居住する区域
- チ 事業所等の境界

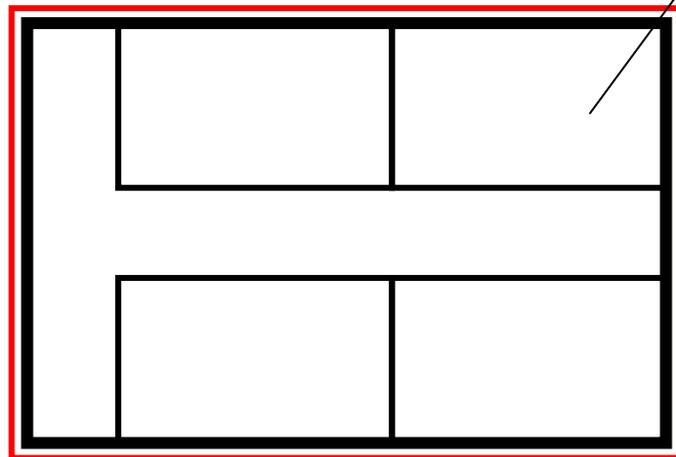
・放射性同位元素による汚染の状況の測定

- イ 作業室
- ロ 廃棄作業室*
- ハ 汚染検査室
- ニ 排気設備の排気口
- ホ 排水設備の排水口
- ヘ 排気監視設備のある場所
- ト 排水監視設備のある場所
- チ 管理区域の境界

・空气中放射性核種の濃度測定(→電離則)

・排気中、排水中放射性核種の濃度測定

空間線量率の測定、表面汚染の測定



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

病室

実効線量率 1.3mSv/3月

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

1週 = 40h (8h × 5day)

3月 = 500h

空气中放射性核種の濃度測定

- ・内部被曝量の評価に必要

→ 作業環境測定が電離則第五十五条に規定されており、実測による測定が不可欠である。

- ・粒子状RI, ガス状RI の測定に大別される

- ・粒子状RI → ダストサンプラで捕集、測定

- ・ガス状RI → 電離箱による連続測定、容器に捕集してのプラスチックシンチレーター、NaIシンチレーターによる測定

- ・ヨウ素、トリチウムを取り扱う場合は特に注意が必要

- ・ヨウ素 → 活性炭カートリッジにて捕集する

- ・トリチウム → ガス捕集用電離箱での測定か、空气中的水分を凝集させて液体として測定する。

- ・空气中的ラドン・トロン及びその娘核種の存在に注意する必要がある

排気中放射性核種の濃度測定

- ・則第十九条に廃棄の基準が定められており、排気中RI濃度の監視が必要
- ・連続的な測定では検出限界値が濃度限度に達していないため、実測値だけでは法定の記録になり得ない。
- ・放射能の**使用数量**、**飛散率**（試料の物理的状态、フードやグローブボックスなどの密閉性によって変化する）、**排気流量**から、計算により求める。
 - ・飛散率は、
フード内での使用 気体: 0.1, 液体・固体: 0.001
フード外での使用 気体: 1.0, 液体・固体: 0.01
とすれば十分安全側である。

排水中放射性核種の濃度測定

- ・排気中濃度同様に、則第十九条に廃棄の基準が定められており、排水中RI濃度の監視が必要
- ・連続的な水モニタでも、 γ 核種の場合は十分な精度で測定可能であるが、 β 核種の場合はサンプリング法の方が評価しやすい。
- ・水モニタには、NaIシンチレーターを用いた物、プラスチックシンチレーターを用いた物や、近年液体シンチレーターを用いた物もある。
- ・サンプリング法の場合、試料を蒸発乾固させた後、NaIシンチレーションカウンタや、ガスフローカウンタなどによって測定したり、直接液体シンチレーションカウンタにより測定する。

測定の頻度

- ・放射線量の測定、汚染状況の測定、記録
 - ・作業を開始する前に1回
 - ・開始した後は、1月を超えない期間毎に1回
 - ・密封線源、放射線発生装置のみの場合は、6月を超えない期間に1回でよい

- ・排気口、排水口での測定、記録
 - ・排気、排水の都度

(ここでの排気、排水とは、外部に放出するタイミングのことを指す)

- ・測定・記録後、帳簿を5年間保存しなくてはならない

密封線源取扱施設

- ・400GBq を超える線源

→ 「照射中」などが自動で表示できる装置

- ・100TBq 以上の線源

→ インターロックが必要

- ・下限数量の1000倍を超える線源

→ 主要構造部等を耐火構造又は不燃材料で造る

許可施設と届出施設

- ・2007年の法改正以前は放射能の寿命、エネルギーなどで線源を4群に分類

→ 下限数量1kBq～1TBqまでの10区分に分類

(国際免除レベルの導入)

- ・下限数量を超えて、1000倍以下の密封線源

→ **届出使用者**

- ・何個有っても構わない
- ・表示付認証機器は除く

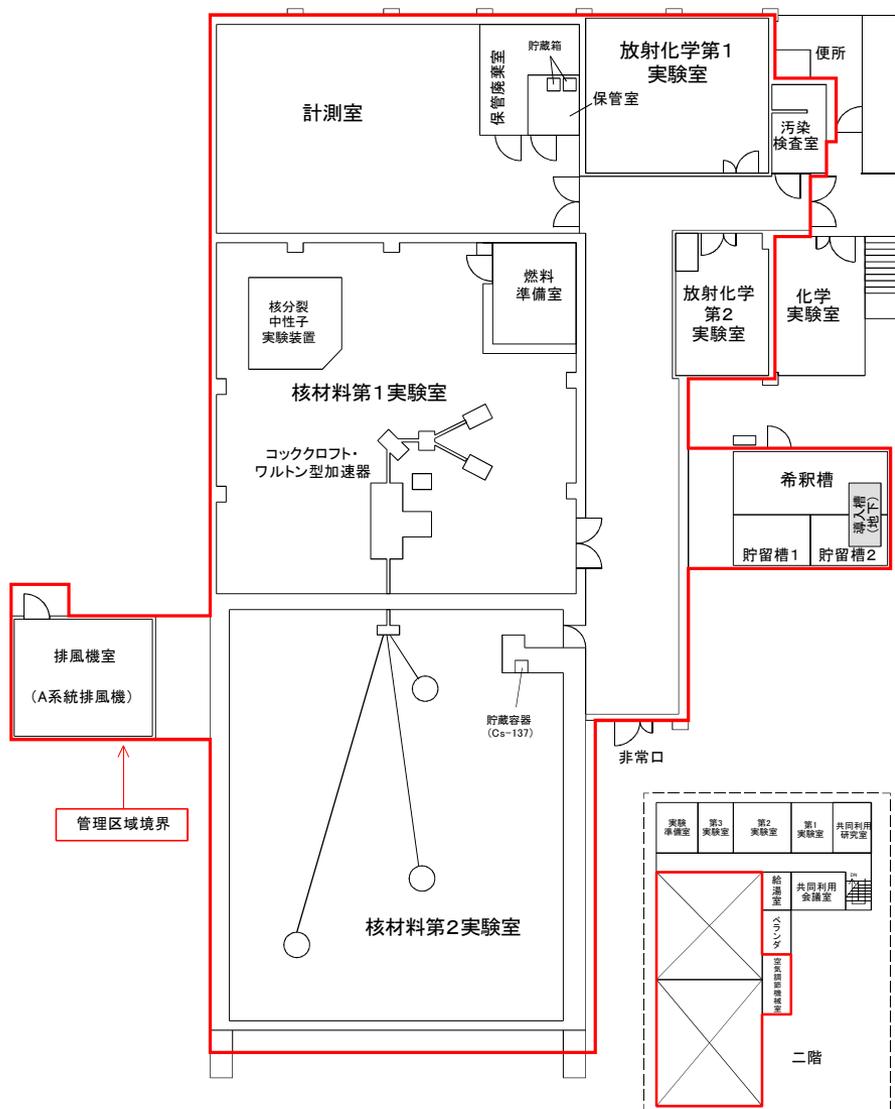
- ・下限数量の1000倍を超える密封線源、

下限数量を超える非密封線源、放射線発生装置

→ **許可(承認)使用者**

非密封で下限数量の10万倍以上になると、施設検査、定期検査の対象となる
(放射線発生装置があると即対象になる)

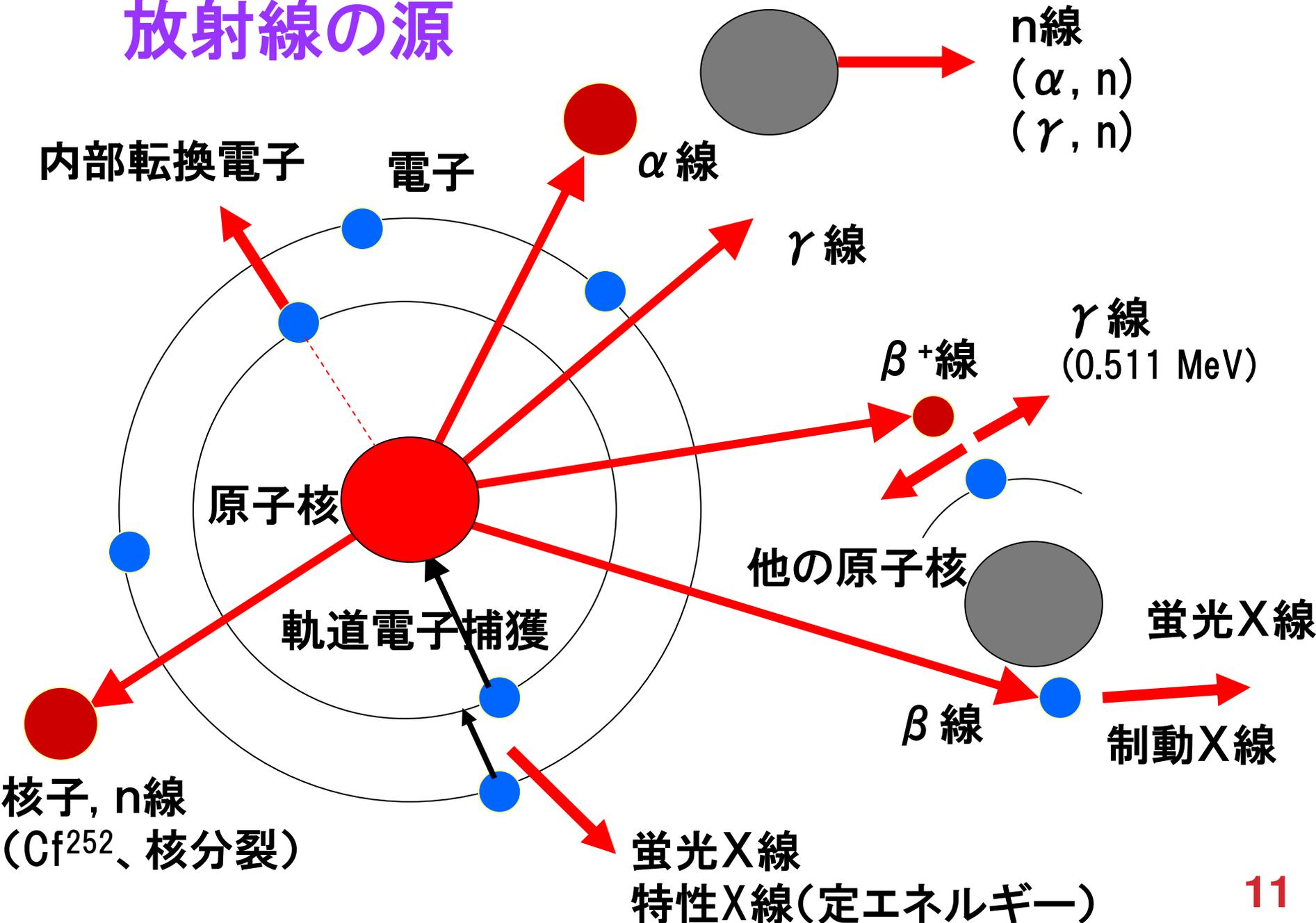
放射線取扱施設の例



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

放射線の源



代表的なRI

- ・**Sr-90 / Y-90**: 永続平衡の代表例。ミルクキングによりY-90を分離して使用できる。Y-90は2.28MeVの強い β 線源。
- ・**Cs-137 / Ba-137m**: Cs-137は662keVの γ 線を出すことで有名であるが、実はBa-137mからのもので、永続平衡の代表例である。
- ・**Mo-99 / Tc-99m**: Mo-99を吸着させたアルミナカラムから食塩水でミルクキング出来る(Tc-99mジェネレーター)。過渡平衡の代表例。核異性体転位(IT)に伴う γ 線だけを放出するため β 線を放出せず、核医学で重要。
- ・**Ba-140/La-140**: 過渡平衡の代表例の一つ。
- ・**I-131**: ヨウ素の揮発性、甲状腺に集まるという性質が重要。
- ・**H-3(トリチウム)、C-14**: 低エネルギー β 核種の代表
- ・**K-40**: 天然RIの代表。岩石の年代測定に用いられる。
- ・**²⁴¹Am-Be**: 代表的な中性子源。**²²⁶Ra-Be**と比べ γ 線が少なく安価。
- ・**Cf-252**: 自発核分裂に伴う中性子源
- ・**P-32, S-35**: 代表的なトレーサー核種

線源の種類と特性(キーワード)

密封線源の試験と等級：温度，圧力，衝撃，振動，パルク

γ 線源：高エネルギー線源： ^{60}Co ， ^{137}Cs ， ^{192}Ir

低エネルギー線源： ^{241}Am ， ^{226}Ra

ECによる特性X線： ^{55}Fe ， ^{57}Co

β 線源：高エネルギー線源： ^{90}Sr - ^{90}Y ， ^{32}P

中エネルギー線源： ^{204}Tl ， ^{85}Kr

低エネルギー線源： ^{63}Ni ， ^{147}Pm ， ^3H ， ^{14}C

α 線源： ^{241}Am ， ^{226}Ra ， ^{210}Po

中性子線源：自発核分裂： ^{252}Cf

(α , n) 反応： $^{241}\text{Am-Be}$ ， $^{226}\text{Ra-Be}$

(γ , n) 反応： $^{124}\text{Sb-Be}$

密封RIの安全取扱・管理

密封線源とは

- ・正常な使用状態では、開封または破壊される恐れがない
- ・密封された放射性同位元素が漏えい、浸透等により逸散して汚染する恐れがない

線源であるが、 α 線源や低エネルギーの β 線源などは、容器に密封すると α 線を取り出せないため、極薄い金属箔で覆ったり、表面に電着してあるだけであり、取扱を誤ると放射性同位元素が漏出する恐れがあるため注意する。

JIS Z4821における線源の等級 例：C-64344

衝撃：鋼鉄ハンマー（平面）の落下試験

パンク：鋼鉄ハンマー（ピン状）の落下試験

C	6	4	3	4	4
↓	↓	↓	↓	↓	↓

CまたはE 温度試験 圧力試験 衝撃試験 振動試験 パンク試験

等級6 等級4 等級3 等級4 等級4

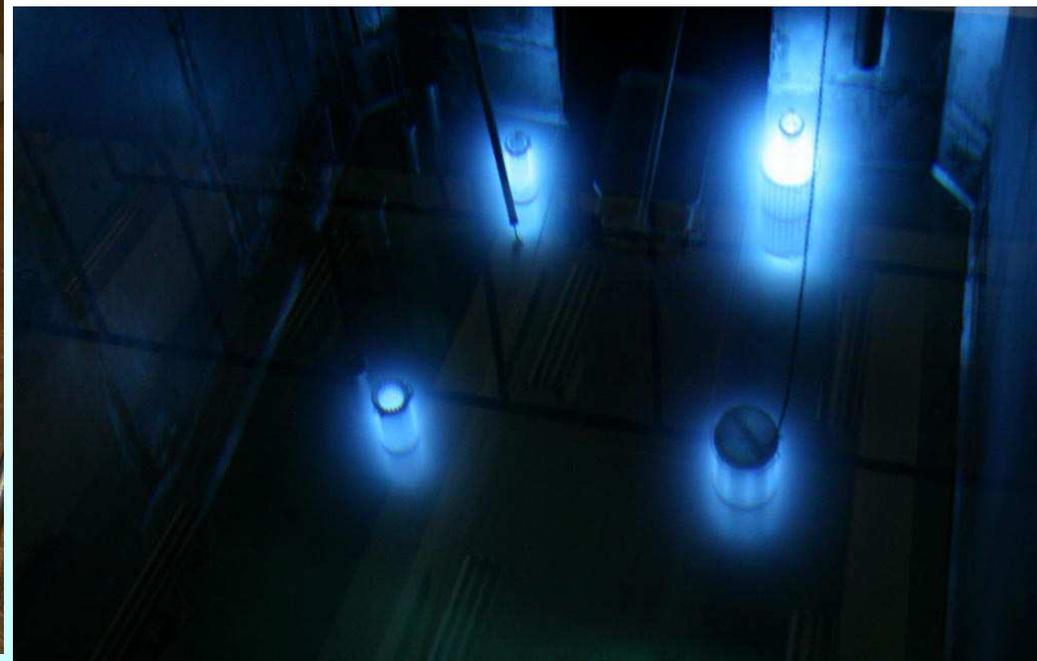
初めの記号は密封線源が開封され放射性同位元素が散逸したときの危険度の大小を表わす（Cは定められた数量以下，Eは数量を超えていることを示す）。その後の5個の数字はそれぞれの試験に対して数字で示された等級に適合していることを示す。等級1は無試験で数字が大きくなるほど試験条件が厳しくなる。また，JISで規定された試験条件以外で試験が行われたときにはその試験に対する等級はXで示す。

この試験は法律で定められていない
法律上密封の意味は明確でない、密封がこわれるおそれもある

様々な密封線源



放射線研究センターの Co-60 密封線源



JIS Z4821における線源の等級 例：C-64344

衝撃：鋼鉄ハンマー（平面）の落下試験

パンク：鋼鉄ハンマー（ピン状）の落下試験

C	6	4	3	4	4
↓	↓	↓	↓	↓	↓
CまたはE	温度試験	圧力試験	衝撃試験	振動試験	パンク試験
	等級6	等級4	等級3	等級4	等級4

初めの記号は密封線源が開封され放射性同位元素が散逸したときの危険度の大小を表わす（Cは定められた数量以下，Eは数量を超えていることを示す）。その後の5個の数字はそれぞれの試験に対して数字で示された等級に適合していることを示す。等級1は無試験で数字が大きくなるほど試験条件が厳しくなる。また，JISで規定された試験条件以外で試験が行われたときにはその試験に対する等級はXで示す。

この試験は法律で定められていない
法律上密封の意味は明確でない、密封がこわれるおそれもある

密封線源に用いられる代表的な核種

γ 線源: 高エネルギー線源: Co-60, Cs-137, Ir-192

低エネルギー線源: Am-241, Ra-226

EC による低エネルギーの特性X線: Fe-55, Co-57

β 線源: 高エネルギー線源: Sr-90, P-32

中エネルギー線源: Tl-204, Kr-85

低エネルギー線源: Ni-63, Pm-147, H-3, C-14

α 線源: Am-241, Ra-226, Po-210

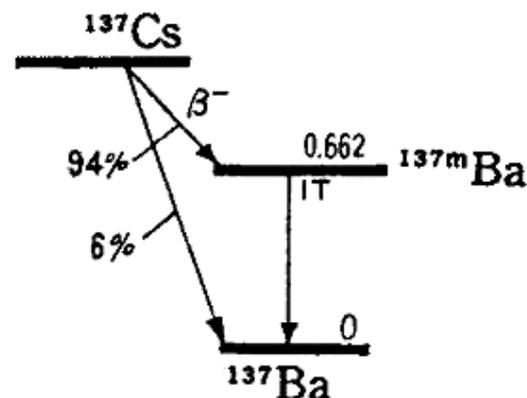
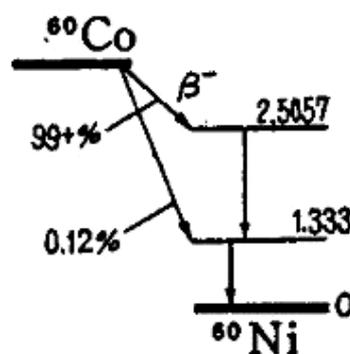
中性子線源: 自発核分裂: Cf-252

(α, n) 反応: $^{241}\text{Am-Be}$, $^{226}\text{Ra-Be}$

高エネルギーγ線源



(1) コバルト60



$^{60}_{27}\text{Co}$. 半減期は5.271年, 低いエネルギー (0.318MeV) の β^- 線及び1.173 MeVと, 1.333MeVの2本の γ 線を放出して $^{60}_{28}\text{Ni}$ (安定) となる. 代表的な高エネルギー γ 線としてよく用いられている. 金属コバルトを原子炉で照射し, ^{59}Co (n, γ) ^{60}Co により製造し, これをステンレス鋼カプセルに2重に溶封する.

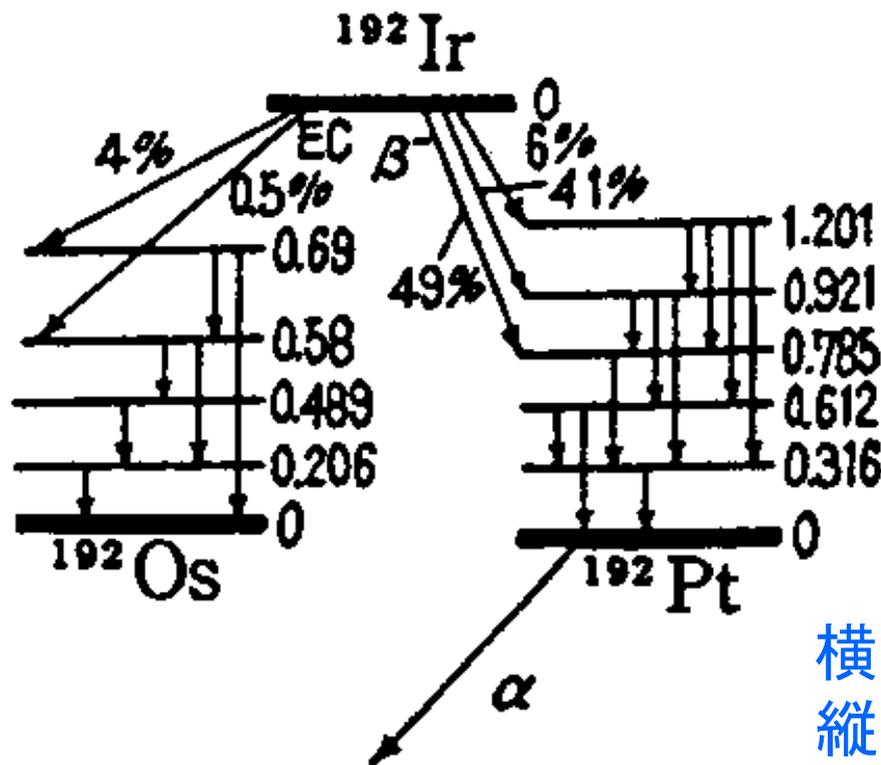


(2) セシウム137

$^{137}_{55}\text{Cs}$, 半減期は30.04年, 0.514MeV (94%) の β^- 壊変して $^{137}_{56}\text{Ba}$ となる. (6%は1.176MeVの β^- 線を放出し, γ 線を放出せずに直接 $^{137}_{56}\text{Ba}$ になる.) $^{137}_{56}\text{Ba}$ は半減期が2.552分で, $^{137}_{55}\text{Cs}$ と永続平衡の関係にある. したがって ^{137}Cs は本来は β^- 放出体であるが, $^{137}_{56}\text{Ba}$ から放出される0.662MeVの γ 線により γ 線源として取り扱われる. 核分裂生成物から分離製造され, 通常は塩化物 (CsCl) として, ステンレス鋼カプセルに2重に溶封する.

(3) イリジウム 192

$^{192}_{77}\text{Ir}$. 半減期は73.83日で割に短い. β^- 壊変 (95%), γ 放射により $^{192}_{78}\text{Pt}$ ($\sim 10^5$ 年, α) になる一方, 軌道電子捕獲 (5%), γ 放射によって $^{192}_{76}\text{Os}$ (安定) になる. γ 線は0.3MeV付近のものが多い. 金属イリジウムを原子炉で照射して ^{191}Ir (n, γ) ^{192}Ir により製造し, これをステンレス鋼カプセルに2重に封入する.



横軸: 原子番号

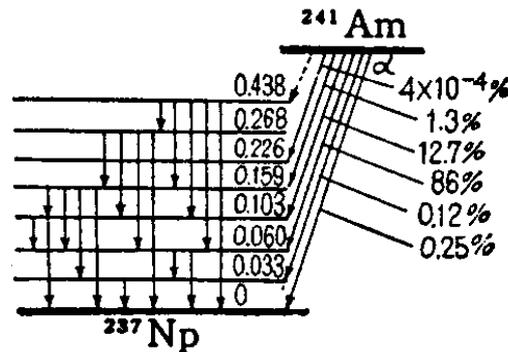
縦軸: エネルギー準位

低エネルギー γ 線源

(1) アメリシウム 241



$^{241}_{95}\text{Am}$. 半減期は 432.2 年, α 壊変して $^{237}_{93}\text{Np}$ になる. α 線のエネルギーは 5.486MeV ほか, 非常に低いエネルギー (0.0595MeV) の γ 線を放出する. ^{241}Pu の娘核種, α 線源としても, γ 線源としても用いられる. α 線源としては, 不溶性かつ揮発性の化合物を金のマトリックス中に均一に分散焼結し, 金-パラジウム合金の薄膜でカバーしたものを用い, 低エネルギー γ 線源としては, 酸化物又はセラミックスとしてステンレスカプセルに封入したものを用いる. また酸化物とベリリウム金属とを均一に混合し, ステンレス鋼カプセルに2重に溶封して中性子線源として用いる. [(α , n) 反応利用, $^9\text{Be} + ^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + ^1_0\text{n}$].



(2) ラジウム 226

α 線源の項を参照.

EC 特性X線源

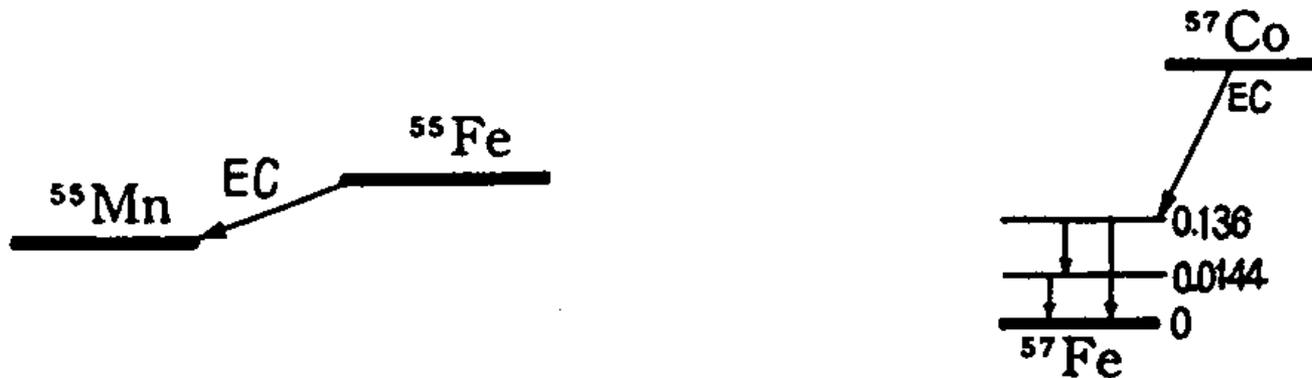


(1) 鉄55

$^{55}_{26}\text{Fe}$. 半減期は2.73年, 軌道電子捕獲して $^{55}_{25}\text{Mn}$ (安定) となる. 軌道電子捕獲に伴って発生する特性X線, すなわちMnのK X線のエネルギーは5.9keV, 6.5keVで, また220keVにいたる弱い制動放射線が放出される.

(2) コバルト57

$^{57}_{27}\text{Co}$. 半減期は271.7日, 軌道電子捕獲と低いエネルギー (0.122MeV, 0.136MeV) の γ 線を放射して $^{57}_{26}\text{Fe}$ (安定) となる. $^{56}\text{Fe} (d, n) ^{57}\text{Co}$ 又は $^{60}\text{Ni} (p, \alpha) ^{57}\text{Co}$ により製造される. 金属板に電着し, ステンレス鋼カプセルに溶封して線源とする. 6.4 keV Fe-X



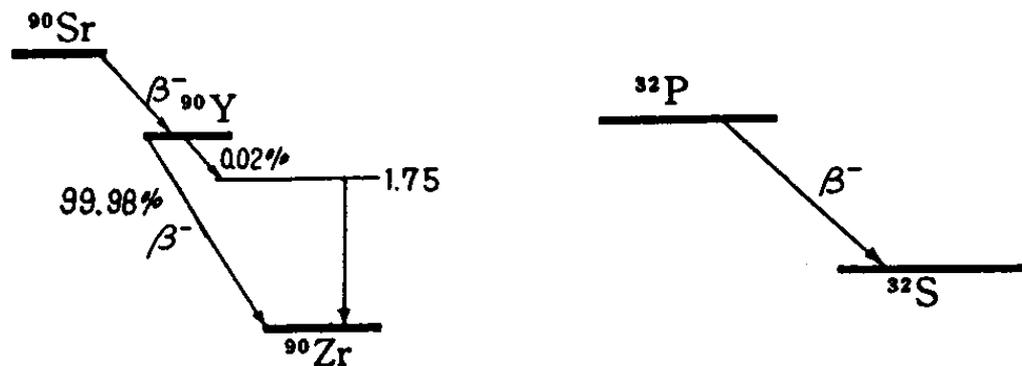
高エネルギーβ線源



(1) ストロンチウム90

$^{90}_{38}\text{Sr}$. 半減期は28.74年, β^- 壊変して $^{90}_{39}\text{Y}$ となる. $^{90}_{39}\text{Y}$ は半減期64.1時間の β^- 放出体で, 2週間以上放置すると ^{90}Sr と ^{90}Y との間に永続平衡の関係が成立する. ^{90}Sr の β 線のエネルギーは比較的low, 最大エネルギーは0.546MeVであるが, ^{90}Y の β 線エネルギーは非常に高く, 最大エネルギーは2.28MeVである. ^{90}Sr は β 線源として用いられるが, これは主として ^{90}Y の高エネルギーの β 線が利用される. 核分裂生成物から分離製造され, チタン酸ストロンチウム (SrTiO_3) として焼結したもの, 焼成してセラミックスペレットとしてステンレス鋼カプセル

放射平衡
(永続平衡)



に封入したもの, ガラスビーズとしてステンレス鋼カプセルに封入したもの, 円板状箔をステンレス鋼カプセルに溶封したもの等がある.

中エネルギーβ線源

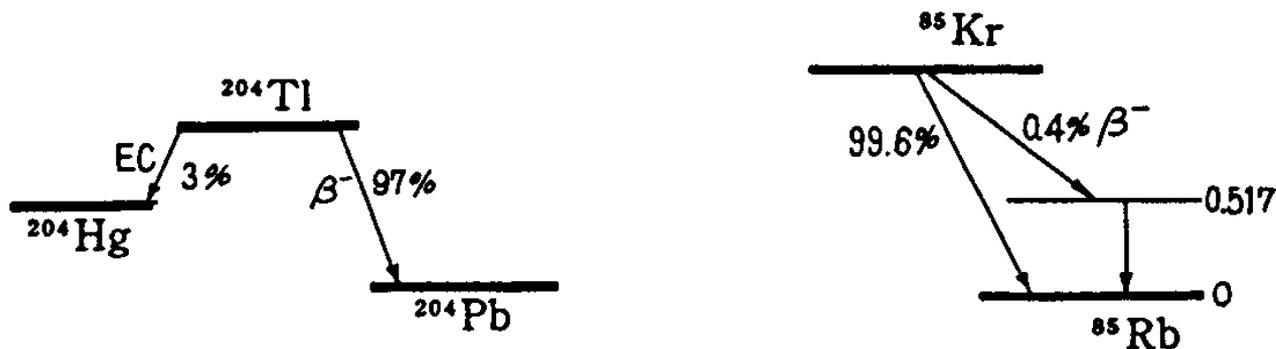
(1) タリウム 204

$^{204}_{81}\text{Tl}$. 半減期 3.78 年, β^- 壊変 (97%, 最大エネルギー 0.763MeV) して $^{204}_{82}\text{Pb}$ (安定) となり, 軌道電子捕獲 (EC, 3%) して $^{204}_{80}\text{Hg}$ (安定) となる. γ 線は放出しない.



(2) クリプトン 85

$^{85}_{36}\text{Kr}$. 半減期は 10.76 年, β^- 壊変して $^{85}_{37}\text{Rb}$ になる. β^- 線のエネルギーは中程度で,

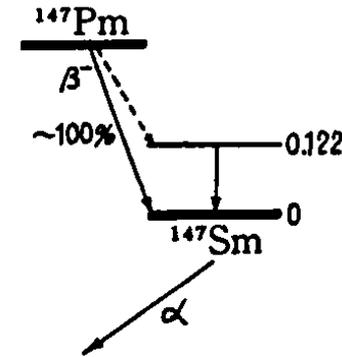
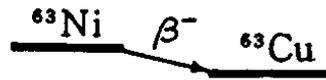


最大エネルギーは 0.687MeV (99.6%), 0.15MeV (0.4%), きわめてわずか (0.43%) の γ 線を放出する. そのエネルギーは 0.514MeV. クリプトンは周期表で 0 族に属し, 常温で気体である. 核分裂生成物から分離製造され, 直接又は活性炭に吸着させて, Ni 製カプセル等に封入して線源とする.

低エネルギーβ線源

(1) ニッケル63

^{63}Ni . 半減期は100.1年, β^- 壊変して ^{63}Cu (安定) となる. β^- 線エネルギーは非常に低く, 最大エネルギーは0.0669MeV. γ 線は放出しない. 金属ニッケルを原子炉中で照射し, $^{62}\text{Ni} (n, \gamma) ^{63}\text{Ni}$ により製造し, ニッケル又はニッケル合金の箔に電着して用いる.



(2) プロメチウム147

^{147}Pm . 半減期は2.623年, β^- 壊変して ^{147}Sm となる. ^{147}Sm は α 壊変し, その半減期は非常に長く (1.05×10^{11} 年) ^{143}Nd (安定) となる. ^{147}Pm の β^- 線の最大エネルギーは0.224MeVで, 極めてわずかに0.121MeVの γ 線を放出する. 核分裂生成物から分離製造され, 酸化物 (Pm_2O_3) 粉末を焼結し, 銀板ではさんだ面状線源, ステンレス鋼カプセルの一端に取り付けた点状線源, アルミナと組み合わせた制動放射利用線源などがある.



(3) トリチウム (水素3)

${}^3\text{H}$. Tとも書く. 三重水素ともいう. 半減期12.33年, β^- 壊変して ${}^3\text{He}$ になる. γ 線は放出しない. β^- 線のエネルギーは非常に低く, 最大エネルギーは0.0186MeV, ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ で製造される.



(4) 炭素14

${}^{14}\text{C}$, 半減期 5.73×10^3 年, β^- 放射体, β^- 線の最大エネルギーは0.156MeVと低い. β^- 壊変して ${}^{14}\text{N}$ となる. γ 線は放出しない. 天然に存在する誘導放射性核種である. 空気中の窒素原子核に宇宙線からの中性子が当たり, ${}^{14}\text{N}(n, p){}^{14}\text{C}$ により生成する.

制動放射X線源



γ 線源は核種に固有のエネルギーで単色 γ 線を放射するが、必要なエネルギーの γ 線がすべて得られるわけではない。制動放射X線源では、 β 線が標的物質との相互作用によって発生する制動放射X線を利用する。このX線の最大エネルギーは β 線の最大エネルギーを超えることはないが、標的物質の選択によって違ったスペクトルが得られる。 β 線のX線への変換効率があまり高くないので、使用される β 線源の量は放射線出力に比べてかなり多くなり、10~100GBqである。したがってその取扱には注意を要する。

(a) トリチウム/チタン、トリチウム/ジルコニウム線源 $^3\text{H}/\text{Ti}$ 、 $^3\text{H}/\text{Zr}$ 線源（半減期12.3年）

厚さ0.5mmの円板状タンゲステン基板上にチタンまたはジルコニウムを0.01mmの厚さに付け、その中に70GBq程度の ^3H を吸蔵させたものである。そのチタンまたはジルコニウムが標的物質になっている。チタンの場合、X線の平均エネルギーは4~8 keV、ジルコニウムでは5~9 keVである（図5.7(a)）。

(b) プロメチウム-147/アルミニウム線源 $^{147}\text{Pm}/\text{Al}$ 線源（半減期2.6年）

焼結した酸化プロメチウムとアルミニウム箔とを、雲母箔のカバーを付けた金属ホルダーに取り付けたものである。反射型と透過型がある（図5.7(b)）。X線の平均エネルギーは12~45keVである。

(c) プロメチウム-147/シリコン線源 $^{147}\text{Pm}/\text{Si}$ 線源（半減期2.6年）

^{147}Pm の酸化物を微小な球形に焼結したセラミックビーズをステンレス鋼カプセルに取り付けたものである。放射窓は厚さ0.1mmのアルミニウム、制動X線の平均エネルギーは20~50keVである。

陽電子 (β^+) 線源

陽電子を取り出すために、非常に薄い窓をもった線源である。白金に電着したもの、または $2\text{mg}/\text{cm}^2$ の雲母箔窓をもつ、直径 18mm 、厚さ 3.5mm のアルミニウム容器中にエポキシ樹脂で密封したものが用いられている。

(a) ナトリウム-22 ^{22}Na (半減期2.6年、 β^+ 線 0.546MeV 、 γ 線 1.28MeV 、消滅 γ 線 0.511MeV)

白金基板に塩化ナトリウム ($^{22}\text{NaCl}$) を蒸着してある。

(b) コバルト-58 ^{58}Co (半減期71日、 β^+ 線 0.475MeV 、 γ 線 $0.81\sim 1.68\text{MeV}$ 、消滅 γ 線 0.511MeV)

白金基板に金属 ^{58}Co を電着してある。

α 線源



(1) ラジウム 226

$^{226}_{88}\text{Ra}$. ウラン系列中の主要核種の一つとして、天然に存在する。半減期は 1.6×10^3 年, α 壊変 [α 4.784MeV (94%), 4.602MeV (6%)] して $^{222}_{86}\text{Rn}$ (気ガス) となる (γ 線のエネルギーは 0.186MeV). $^{222}_{86}\text{Rn}$ は周期表の 0 族に属する元素で常温で気体, α 壊変 (半減期 3.824 日) して $^{218}_{84}\text{Po}$ となる. ^{226}Ra は α 線源としても γ 線源としても用いられるほかベリリウムと組み合わせて中性子線源 (RaBr_2 と Be 粉末とを混ぜて白金管中に封入) としても利用される.

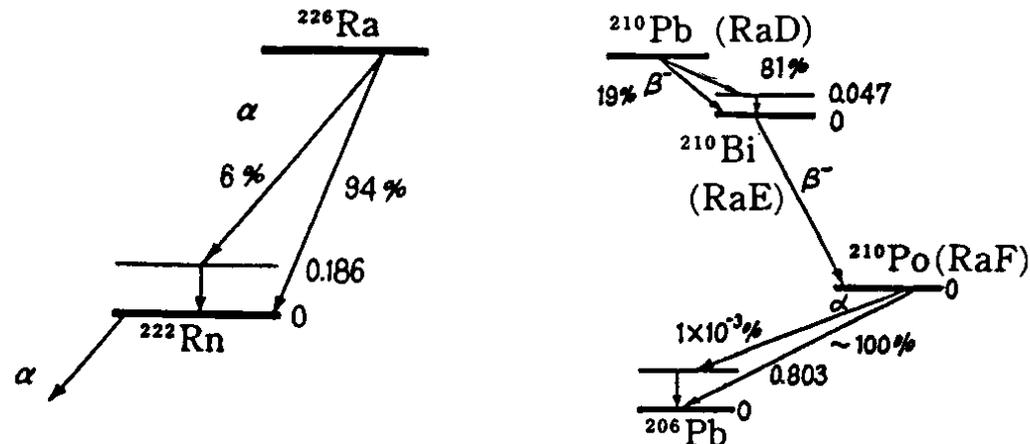


(2) アメリシウム 241

γ 線源の項を参照.

(3) ポロニウム 210

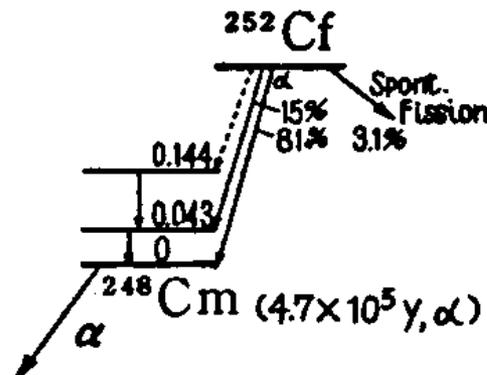
$^{210}_{84}\text{Po}$. 半減期 138.4 日の α 放出体, α 壊変して $^{206}_{82}\text{Pb}$ (安定) となる. $^{238}_{92}\text{U}$ の壊変生成物として天然に存在する核種. ラジウム F とも称し, α 線のエネルギーは 5.304MeV.



中性子線源

(1) カリホルニウム 252

$^{252}_{98}\text{Cf}$. 半減期は2.645年, 自発核分裂 (3.1%) し (特色), α 壊変 (96.9%, 平均6.11MeV) と γ 線, 低エネルギーX線放射を伴う. 1グラム当たり毎秒 2.3×10^{12} 個の中性子を発生し, 1個の核の自発核分裂により 平均3.76個の速中性子を放出する (平均エネルギーは2.4MeV). 酸化物を焼結したセラミックス又はパラジウム粉末との混合物を焼結したサーメット合金をステンレス鋼カプセルに2重溶封してある.



中性子線源

(2) 核反応を利用した中性子線源



① (α, n) 反応によるもの： $^{241}\text{Am} - \text{Be}$, $^{226}\text{Ra} - \text{Be}$

どちらもエネルギースペクトルは連続であり， $^{241}\text{Am} - \text{Be}$ は平均約5MeV，最大11.5MeV， $^{226}\text{Ra} - \text{Be}$ は平均約4.3MeV，最大13.0MeVである。

② (γ, n) 反応によるもの： $^{124}\text{Sb} - \text{Be}$

^{124}Sb (アンチモン) は半減期60.2日で β -崩壊する。主として，1.691MeVの γ 線による23keVの中性子を利用する。実際には，線源内部の散乱等の影響があるため，エネルギースペクトルは単色とはならない。

実効線量率定数 Γ

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	0.305

娘核種を含む

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ま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。

RIの貯蔵施設

貯蔵室

- ・主要構造部等を耐火構造とし、防火戸を設ける。
- 不燃材料は NG（使用施設と異なる）

貯蔵箱

- ・耐火性の構造の物。
- ・貯蔵室もしくは貯蔵箱のいずれかに保管する。

耐火性の構造の容器

- ・密封線源については、耐火性の構造の容器に入れて保管すればよい

- ・貯蔵施設の扉、ふた等には鍵などを設けること

RIの保管

- ・液体RIはこぼれにくく、浸透しにくい容器に入れる
- ・気体や、揮発しやすいRIは気密容器に入れる
- ・破損する恐れのある容器は、受け皿、吸収材等を設ける
- ・濃度の高い液体RIは
 - ・容器に吸着されやすい
 - ・有機物などが放射線分解しやすい

ため、可能な範囲で濃度を低くして保管することが望ましい

- ・有機物は特に分解しやすいため、スカベンジャー(遊離基捕獲剤)を加えたり、低温で保管するなどする必要がある。

RIの運搬

L型輸送物

則第十八条の四

少量、容易に、安全に扱える

容器の表面汚染密度<限度の1/10

容器表面の1 cm線量当量率<5 μ Sv/h

開封した場合に表示「放射性」又は「RADIOACTIVE」

A型輸送物(事業所内輸送もこの内容と同じ) 則第十八条の五

外接する直方体容器の各辺が10 cm以上

容器表面の1 cm線量当量率<2 mSv/h

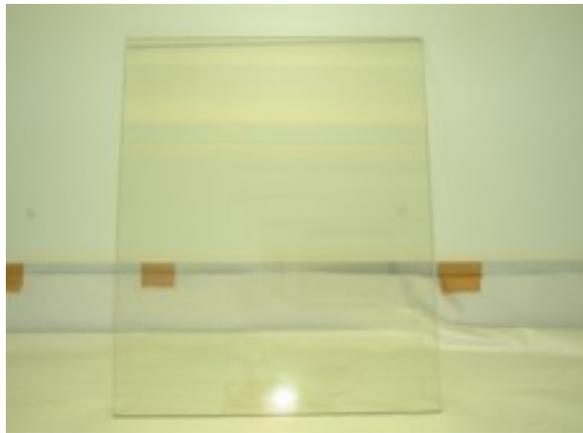
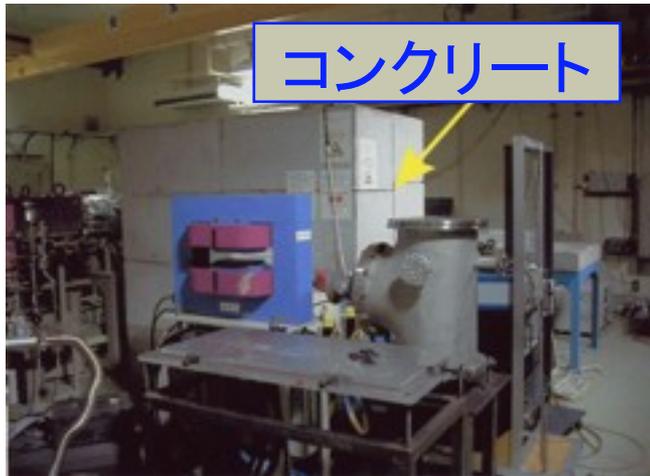
表面から1 mの1 cm線量当量率<100 μ Sv/h

BM型輸送物

則第十八条の六

表面から1 mの1 cm線量当量率<10 mSv/h

RI取扱時の遮へい



RIと作業者の間に適切な遮へいを行い、被ばく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、遮へい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へい体の配置を検討する

非密封**RI**の安全取扱・管理

核種と危険度

体内摂取の後の組織や臓器への集積

取扱いと危険度

取扱いに係る修正係数

PET(陽電子断層撮影法)のための**RI**

^{18}F ^{15}O ^{13}N ^{11}C

短寿命

内部放射線に対する防護

内部被ばく防止の5原則

2C 閉じ込め、集中化

3D 希釈、分散、除去

非密封**RI**の安全取扱・管理

・取扱い前

- ・事前の Cold 試験での問題点の抽出
- ・遮蔽体や、除染器具、放射線測定器の準備など
- ・実験内容の周知、使用するRI数量の確認

・取扱い時

- ・基本的に二人以上で作業を行う
(記録などは直接RIを取り扱う作業者以外が行う)

・取扱い後

- ・線源の管理、廃棄物の処理、記帳
- ・汚染検査(作業場所及び作業者)と除染

RIの管理区域外での使用

管理区域外使用

下限数量以下であるRIは、管理区域外で使用できる。

- ・許可を得た使用の目的、方法、場所の範囲内

→管理区域外使用の許可が必要

- ・障害防止予防規程に所内ルールを定める。

・予防規程で管理区域外での使用を禁止している事業所もある。

・事業所外での下限数量以下のRIの使用は特に規制はないが、現実問題として困難

RIの廃棄

- ・固体、液体の廃棄物: 保管廃棄室で**保管廃棄**を行い、日本アイソトープ協会に引き渡す
 - 可燃、難燃、不燃、非圧縮不燃、動物、有機液体、無機液体、焼却型/通常型フィルターなどの区分がある。
Sr-90, Tc-99など核種によっては分類が異なる。
液シン廃液以外の有機液体(オイルなど)、 **α 核種**などは受入れてもらえない。
- ・気体、ごく薄い液体: **排気、排水設備**から濃度限度以下であることを確認の上廃棄
- ・密封線源: **下限値以下の小線源**や表示付認証機器などについても製造元もしくは販売業者に引き渡す。

管理区域からの物品の持出し

- ・管理区域に持ち込んだ物品は、非密封のRIを取り扱わないエリアでしか使用していないなど、明らかに汚染していない場合を除いて、適切な方法でサーベイを行い、汚染がないことを確認する必要がある。
- ・管理区域→管理区域の移動など、**一時的な持出し**に対しては、 $4\text{Bq}/\text{cm}^2$ (α 核種は $0.4\text{Bq}/\text{cm}^2$) 以下という基準がある。
- ・しかし、持ち出して管理区域外で使用したり廃棄したりする場合は、**「有意な汚染がないこと」**を確認する必要がある
- ・**「有意な汚染がないこと」**の確認は難しく、十分高い精度を持つ測定方法で、統計的にバックグラウンドの変動の範囲内に入っていることを確認する必要がある。また、表面だけでなく、**機器内部**についても確認が必要。
- ・**不必要な物品は持ち込まないことが重要**

放射線発生装置の安全取扱・管理

放射線発生装置

- ・核反応による中性子の発生

- ・制動放射エックス線の発生

 - 光核反応による中性子の発生

 - 放射性同位元素(放射化物)が発生する

照射ターゲットだけでなく、照射室の空気や冷却水も放射化する

加速器放射化物の取扱(2012年4月1日改正法の施行)

管理、保管、運搬、使用、廃棄について、

密封・非密封RIに準じた取扱が求められる

(核子あたり2.5MeV未満のイオン加速器、

6MeV以下の電子加速器は対象外)

緊急時の措置

放射線事故時の対応

予防措置

マニュアル化、点検等

応急措置

安全保持、通報、拡大防止、線量の過大評価

事故時の措置

内部被ばく時の体内汚染の除去 希釈、錯体形成、吸着

火災、地震時の対応

緊急時における連絡通報(原子力規制委員会へ)

事業所内の火災、震度4以上(一定規模以上の事業所)