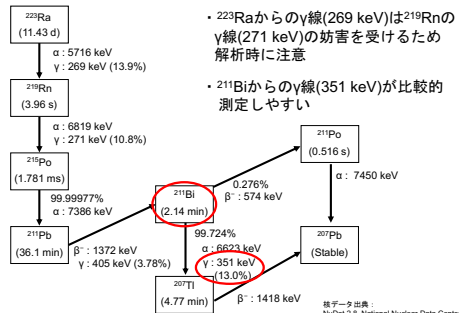




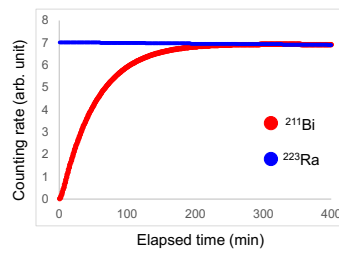
223Raの放射線測定



日本放射線保安管理学会



223Raと211Biの放射平衡



・²¹¹Biの放射線から²²³Raの放射能を測定する場合、放射平衡が成立しているかを確認する。

日本放射線保安管理学会



ガンマカウンターでのα線核種の測定

ガンマカウンター



- ・NaI検出器を用いて多数の測定サンプルを自動で測定可能。
- ・α線核種自身、または系列核種がX線、γ線を放出する場合、α線核種の定量に利用可能。
- 系列核種の放射線を利用する場合は放射平衡到達を確認する。
- ・機種によっては一度に複数サンプルの測定を行うものもあり、高エネルギーγ線(約500keV以上)の放出を伴う核種の測定では、遮蔽を貫通して互いの測定を妨害する可能性に注意する。

日本放射線保安管理学会



ドーズキャリブレータでのα線核種の測定

ドーズキャリブレータ



- ・X線やγ線により放射能を測定する井戸型電離箱測定器
- ・種々の核種が登録されており、測定したい核種を選択することで簡単に放射能測定が可能
- ・²²³Ra等は登録されていないことがあるが、換算定数の入力により、子孫核種などの放出γ線からα線核種の放射能測定が可能

日本放射線保安管理学会



ドーズキャリブレータでのα線核種の測定

ドーズキャリブレータ

・換算定数の決定には、Ge検出器等により放射能を決定した²²³Ra等の線源が必要。



線源をドーズキャリブレータに入れ、表示される放射能がGe検出器等による測定放射能に合うように換算定数を入力。



日本放射線保安管理学会



ドーズキャリブレータでのα線核種の測定

ドーズキャリブレータでの測定の注意点

- ・弱い放射能の測定精度が低く、数百kBq程度の線源の測定には注意を要する。
- ・検出部に入手するすべてのX線、γ線が検出対象であることから、α線核種が放射平衡に達しているかどうか、他の核種が混入していないかどうかを確認する事。



日本放射線保安管理学会



その他のα線測定器



ガスフロー型比例計数管



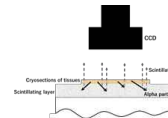
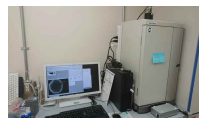
ホスウィッチ型シンチレーション検出器

日本放射線保安管理学会



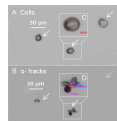
その他のα線測定器

アルファカメラ



福島県立医科大学鷺山先生より提供

CR-39



Kodaira et al. PLoS One. 2017 Jun 28;12(6):e0178472

日本放射線保安管理学会



3) 短寿命核種測定の注意点

- ・短い時間で減衰していく
 - ・取り扱い開始から終了までを迅速に行う必要がある。
 - ・コールドランにより実験手順をよく確認しておくことが重要。

- ・測定中も顕著に減衰していく
 - ・十分な放射能があれば、測定を短時間で済ませる。
 - ・測定時間を半減期に対して長くする必要がある場合は、測定中の減衰を考慮する。¹⁾

$$A_0 = \frac{\lambda \cdot t_m}{1 - e^{-\lambda t_m}} \cdot A \cdot e^{\lambda t}$$

A_0 ・・・基準時間における放射能
 A ・・・測定時における放射能
 t ・・・基準時間から測定開始までの時間
 t_m ・・・測定時間 λ ・・・壊変定数

¹⁾放射能測定法シリーズ7「ガリウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」平成4年改訂 文部科学省

日本放射線安全管理学会



目次

- 1) 廃棄物の取り扱い
- 2) 可燃・難燃・不燃の区別
- 3) RI液体の処理（量ごとに）
- 4) RI針
- 5) RI動物の臓器
- 6) RI動物の死体
- 7) RI動物の排泄物
- 8) 敷き藁／床敷き
- 9) オートクレーブの使い方
- 10) PET 4 核種の扱い（7日間ルール）
- 11) α 核種の廃棄（他核種との混入防止について）

日本放射線安全管理学会



引き渡せないRI廃棄物

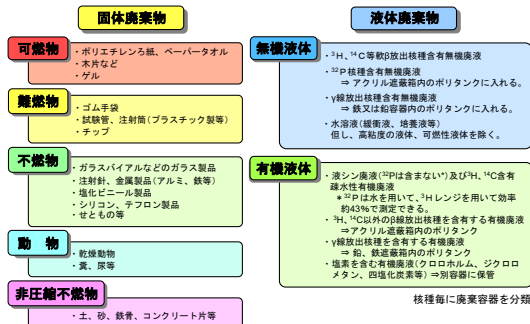
－「RI廃棄物の廃棄委託規約」から抜粋－

- ① 揮発油、アルコール、二硫化炭素等の可燃性液体
- ② 爆発物及び自然発火するおそれのある物
- ③ 腐敗した物及び腐敗のおそれのある物
- ④ 多量の気体を発生するおそれのある物
- ⑤ ^3H ガス、 ^{85}Kr ガス等の気体状の放射性同位元素
- ⑥ 人体からの排泄物、臓器、組織等、血液、血清及び病原体の付着した物
- ⑦ 以下の核種を除くアルファ線を放出する放射性同位元素を含む物
 ^{223}Ra
- ⑧ 液体シンチレータ廃液以外の有機液体、機械オイル等
- ⑨ 劇毒物、ダイオキシン類、有害物質等
- ⑩ 破碎、圧縮、焼却、乾留、熔融等の減容処理等を行った物
- ⑪ 十分に乾燥されていない物及び液体の残ったバイアル等
- ⑫ 密封線源
- ⑬ 核種、放射能が不明の物
- ⑭ その他、法令により禁止されている物

日本放射線安全管理学会



RI廃棄物の分類



日本放射線安全管理学会



8. 廃棄物の取り扱い



放射性（RI）廃棄物の処理

そのまま捨ててはいけません！

- ・希釈廃棄できるもの
 - ・気体・極低濃度の廃液
- ・廃棄業者（日本アイソトープ協会）に引き渡せるもの
 - ・所定の分別がなされた固体・液体の廃棄物
- ・永久保管するもの
 - ・その他全て

- ・RI廃棄物は一時保管、集荷が必要であり、むやみに廃棄物を増やす実験は行わない。
- ・コールドランを行い、実験器具も必要最低限で行えるよう計画する。
- ・引き渡せないRI廃棄物が生じる実験計画は極力立てないこと。

日本放射線安全管理学会



RIの使用記録

あらかじめ必要な記録事項を確認しておき、
実験終了後速やかに記録する。
廃棄まですべて記入することで、
取扱いRIの全容を把握する。

法令上、必要となる記録内容

- ・放射性同位元素の購入・保管記録
- ・使用記録
（核種・数量・年月日・目的など）
- ・譲渡譲受記録（譲渡書・譲受書）
- ・廃棄記録
（核種・廃棄量・廃棄区分など）

核種	数量	年月日	目的	譲渡者	譲受者	備考
^{32}P	100MBq	2023.10.01	実験	田中	佐藤	
^3H	500MBq	2023.10.01	実験	田中	佐藤	
^{14}C	200MBq	2023.10.01	実験	田中	佐藤	

RI使用記録の例

日本放射線安全管理学会



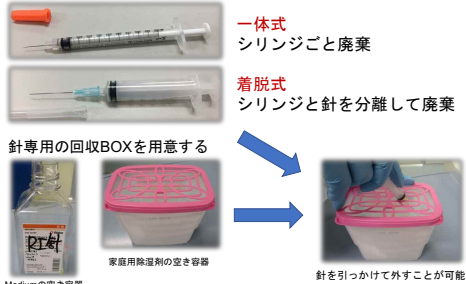
液体廃棄物の分類例



日本放射線安全管理学会

R1針

針の種類

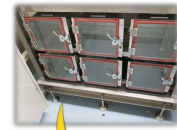


日本放射線安全管理学会

動物の飼育と廃棄 - 飼育の注意点

被ばくの低減

シールドを利用する。
換気を行い、放射性物質の滞留を防ぐ。
使用量を厳守する。



例) 飼育ケージを鉛製の扉で囲う。

床敷き・餌・水の交換

すべて放射性として扱うこと！

糞・尿などの回収

施設の指示に従う。
※ 放射性物質の飛散率に関係する。

日本放射線安全管理学会

R1動物、床敷きや排泄物の廃棄

処理方法

死体、臓器、血液をまとめて袋・ポリ容器などに入れる。
一般的には、「凍結→乾燥→R1廃棄物」の流れで処理を行うので施設の指示に従い、紙・綿類の混入を防ぐ。

床敷きの処理

核種別にゴミ袋にまとめる。
床敷きは乾燥処理する場合があるので、紙・綿類の混入を防ぐ。
量が多いので、無計画に廃棄すると廃棄物量が増える。
→ R1と非R1の分類を徹底するほか、実験計画を綿密に。
例)・ R1を投与した動物は別ケージに戻す。
・ 飼育期間を必要最低限に設定する。

糞・尿などの処理

絶食用など床敷きを使わないケージでは、糞や尿がトレイに溜まる。
これらはR1可燃物として処理するが、処理法は施設の指示に従う。
決して排水口で洗い流してはならない。紙などで拭き取ること。

日本放射線安全管理学会

オートクレーブの使い方

・ R1で汚染の恐れのある使用済みのケージ・給水瓶は直接オートクレーブ処理をせず、汚染検査及び除染を行ったうえで中性洗剤で洗浄後、エタノールまたはオートクレーブで消毒を行うこと。

・ 廃棄の際、感染の恐れのあるものはオートクレーブにより滅菌処理が必要となる。

・ 施設保管となるα核種廃棄物では、オートクレーブ処理も実施する。

日本放射線安全管理学会

PET4核種の扱い（核種別の分類）

特にPET用4核種とそれ以外の分類は重要
PET用4核種： ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F

定められた方法で製造されたPET診断薬(^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F の4核種のみ)であり、製造量が定められた数量以下の場合、他の物が入らないよう封及び表示をして7日間以上管理区域内で保管すれば、放射性汚染物としての取り扱いが不要。

ただし、以下の点に注意が必要。

- ・ 保管廃棄の際に他の長半減期核種の混入を避ける措置(密封および表示など)が行われていること。
- ・ 変更許可(承認)申請および放射線障害予防規程の変更が必要となる。
- ・ 廃棄物を7日間保管する場所については、規定する廃棄施設基準を満たしている必要があり、また、その旨を届け出る(変更届出)必要がある。

それぞれの事業所での取り扱いを確認しておくこと。

日本放射線安全管理学会

α核種の廃棄

1. 使用数量の制限

・ α核種は人体に与える影響が大きいため、その使用量もできるだけ少なくするように実験を工夫する。

2. 廃棄物の処理

- ・ ^{223}Ra 以外は永久保管である。
→他の核種の汚染物と区別する。
- ・ ^{223}Ra はα核種以外の核種と混じっても集荷して貰える。(但し、実験の都度出るR1廃棄物は他の核種の汚染物と区別する。)

^{223}Ra 以外のα核種が混入した廃棄物は施設保管になるため、分類が重要。

同一日時に同一場所で他核種を使用しないなどの措置を取り、混入を防ぐ必要がある。 α核種： ^{211}At 、 ^{225}Ac など

日本放射線安全管理学会

^{211}At 使用上の注意

・ 水溶液中で開放系で置いておくと飛散の可能性がある。
→容器は必ず細口のキャップ付きのものを使用する。

・ 酸性の溶液中でテフロンに吸着しやすい。
→ディスポーザル容器、ガラス容器等を使用すること。

水溶液中で取り扱う場合は、アスコルビン酸が飛散防止剤になるので、必要に応じてアスコルビン酸の使用を検討すること。

器具の洗浄

吸着がみられた場合は、無理に取り除くことはせず減衰を待たほうが良い。
器具の洗浄は最低2回は洗浄し、全てR1廃液とすること。
基本的に廃液及び洗浄液は、排水しないこと。

日本放射線安全管理学会

^{223}Ra 使用上の注意

・ ^{223}Ra 自体に揮発性は無いが、娘核種に揮発性の ^{219}Rn がある。溶液中では、空気中への飛散の割合は大きくは無いが、フード内等の汚染が起こらない様に対応が必要。
(汚染の場合は ^{219}Rn が壊変した ^{211}Pb ($T_{1/2} = 36.1 \text{ min}$)、 ^{211}Bi ($T_{1/2} = 2.14 \text{ min}$)を検出)

→容器は必ずキャップ付きのものを使用すること。
容器とキャップの間にパラフィルムやテフロンシールを巻いたほうが良い。

器具の洗浄

器具の洗浄は最低2回は洗浄し、全てR1廃液とすること。
吸着がみられた場合は、無理に取り除くことはせず、減衰を待つことも検討すること。
基本的に廃液及び洗浄液は、排水しないこと。

日本放射線安全管理学会



225Ac使用上の注意

- ・ 225Acおよびその子孫核種には、飛散性も核種はほぼない。従って、通常非密封RIの使用と同じような点を気をつけて実験を行えばよい。

器具の洗浄

器具の洗浄は最低2回は洗浄し、全てRI廃液とすること。吸着がみられた場合は、無理に取り除くことはせず、減衰を待つことも検討すること。
基本的に廃液及び洗浄液は、排水しないこと。

日本放射線安全管理学会



アルファ核種の排水に関する注意事項 (原則として排水には流さないこと)

第一欄	第六欄	第一欄	第六欄
放射性同位元素の種類 核種(半減期)	排水中又は排水中の濃度限度 (Bq/c m ³)	放射性同位元素の種類 核種	排水中又は排水中の濃度限度 (Bq/c m ³)
C-11 (20.4 m)	4 × 10 ¹	In-111 (2.8 d)	3 × 10 ⁰
C-14 (5700 y)	2 × 10 ⁰	I-123 (13.2 h)	4 × 10 ⁰
F-18 (110 m)	4 × 10 ¹	I-124 (4.2 d)	6 × 10 ⁻²
P-32 (14.3 d)	3 × 10 ⁻¹	I-125 (59.4 d)	6 × 10 ⁻²
Ga-67 (3.3 d)	4 × 10 ⁰	I-131 (8.0 d)	4 × 10 ⁻²
Ga-68 (67.7 m)	8 × 10 ⁰	Lu-177 (6.65 d)	2 × 10 ⁰
Ge-68 (271 d)	7 × 10 ⁻¹	Ti-201 (72.9 h)	9 × 10 ⁰
Sr-89 (50.5 d)	3 × 10 ⁻¹	At-211 (7.2 h)	7 × 10 ⁻²
Zr-89 (78.4 h)	1 × 10 ⁰	Ra-223 (11.4 d)	5 × 10 ⁻³
Y-90 (64.0 h)	3 × 10 ⁻¹	Ra-226 (1600 y)	2 × 10 ⁻³
Mo-99 (65.9 h)	1 × 10 ⁰	Ac-225 (10.0 d)	3 × 10 ⁻²
Tc-99m (6.0 h)	4 × 10 ¹		

告示別表第2

日本放射線安全管理学会



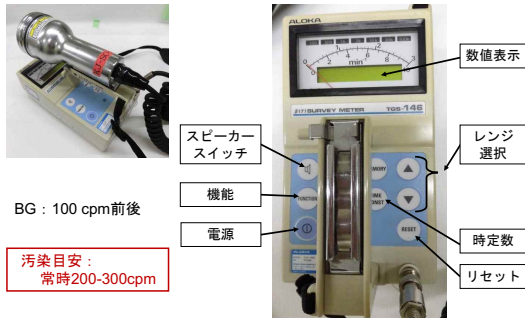
目次

- 1) 表面汚染の測定
 - GMサーベイメータの使用法
 - 場所の汚染検査 (直接法)
 - 場所の汚染検査 (スミア法・間接法)
 - 人の汚染検査
- 2) 汚染時の対応
 - 汚染拡大の防止
 - 除染するか減衰を待つか
 - 除染の方法
 - 様々な汚染物に対する除染例
- 3) α核種の測定 (汚染検査)
 - ²¹¹Atの壊変と使用するサーベイメータ
 - ²²³Raの壊変と使用するサーベイメータ
 - ²²⁵Acの壊変と使用するサーベイメータ
- 4) 手袋等の汚染検査 (α核種)

日本放射線安全管理学会



GMサーベイメータの使用法



日本放射線安全管理学会



短寿命アルファ放出核種の廃棄

使用後の廃棄物は、フード内や実験室内に放置しないこと!



廃棄物はチャック付きの袋に入れ、袋の表面にその性状(可燃、難燃、不燃、動物)、核種、数量等を書くこと。

密閉容器に入れた後、廃棄物保管室に運び、核種の減衰を待つこと。十分に減衰したら、所定の容器に移すこと。



注意!

放射性廃棄物は、一般ゴミと決して混合しないこと。廃棄の都度、廃棄の記録が必要になります。廃棄した日の当日に記録する。

日本放射線安全管理学会



9. 汚染と除染に関する項目



1) 表面汚染の測定

実験開始前

- ・ 作業開始前に実験台の汚染検査を行う。
- ・ 共通機器や共通スペースを使用する場合、汚染している可能性を考える。

実験中

- ・ 実験中は、サーベイメータの電源は常に入れておく。
- ・ 手袋の表面、実験器具類の汚染検査は随時行う。
- ・ 汚染をさせた可能性がある場合 (RIサンプルの入ったチューブを落としなど) はすぐに汚染検査を行う。

実験終了後

- ・ 手袋の表面、近くの実験器具、実験台、床面
- ・ 使用した共通機器や共通スペース
- ・ 管理区域から出るときは、ハンドフットクロスモニタによる汚染検査
- ・ 管理区域から持ち出す物品も

汚染を発見したら放射線管理室に相談する

日本放射線安全管理学会



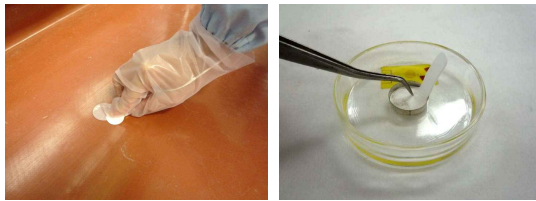
場所の汚染検査 (直接法)



- ・ サーベイメータにより、直接汚染を測定する方法
- ・ 対象物から1cm程度離して、ゆっくりと移動させる。
- ・ 汚染検査の前にあらかじめBG計数率を測定しておく。
- ・ このとき、計定数の3倍程度の時間が経過した後計数率を読み取る。

日本放射線安全管理学会

場所の汚染検査 (スミア法・間接法)



- 拭き取ったスミヤろ紙を、GM管や液体シンチレーションカウンタなどで測定する方法
- サーベイメータで測定できない核種や、バックグラウンドが高い状況で有効

日本放射線安全管理学会



2) 汚染時の対応

- ① 管理室への連絡
- ② 汚染拡大の防止
- ③ 汚染の除去
(適切な除染法の選択)

日本放射線安全管理学会



除染するか減衰を待つか

- 早期除染を原則とするが、ポリ濾紙をかぶせて減衰待ちをすることもある。(管理者側の判断)
 - 短半減期核種の場合
 - 汚染が拡がるおそれがない場合
 - 外部被ばくを与える程の強い汚染でない場合
- その際、汚染箇所を明示するとともに、実験室の入口には、汚染の場所、状況について掲示しておくことが望ましい。

日本放射線安全管理学会



除染の方法

皮膚汚染の場合の処置

- 汚染が他の部位に広がらないように注意
- 直ちに温和な中性洗剤を汚染部位にふりかける
- 水で濡らしてハンドブラシ等で軽くこする
- 大量の流水で十分洗い流す

* 温水の方が効果的

日本放射線安全管理学会



人の汚染検査

ハンドフットクロスモニタ

管理区域からの退出時に

- Hand
- Foot
- Cloth

の汚染がないことをチェックする。
(使用時にスリッパを着用するかどうかは施設に確認する事)

汚染が発覚した場合は、施設の管理者の指示に従い、除染など適切な対応をとること。



日本放射線安全管理学会



汚染拡大の防止

実験中にろ紙等に汚染が発見された場合の対応例

実験途中で、フード内の汚染が発見されたら**汚染拡大防止**の処置をとること



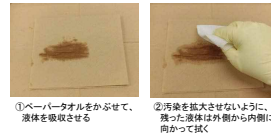
ろ紙上の汚染箇所の上に養生テープを貼るだけでも汚染拡大の防止には有効

日本放射線安全管理学会



除染の方法

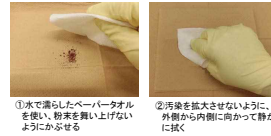
RIをこぼした時の処理方法(液体の場合)



①ペーパータオルをかぶせて、液体を吸収させる
②汚染を拡大させないように、残った液体は外側から内側に向かって拭く

- ポリ濾紙を敷いていれば、汚染部分を切り取れば良い
- 切り取った部分は放射性廃棄物として廃棄する

RIをこぼした時の処理方法(粉末の場合)



①水で濡らしたペーパータオルを使い、粉末を舞い上げないようにかぶせる
②汚染を拡大させないように、外側から内側に向かって静かに拭く

- 除染できない場合には削り取るようになるが、二次汚染に注意する
- 手が汚染した場合には、洗剤を使ってよく洗うこと

日本放射線安全管理学会



様々な汚染物に対する除染例

対象物	除染剤	除去法	備考
手・皮膚	中性洗剤粉末	粉末を汚染箇所にもりかけ、水で濡らして、ハンドブラシでこすりながら、大量の流水で洗い流す。	皮膚に対する作用が少ない
	酸化チタンペースト	ペーストを汚染箇所にもりつけ、ハンドブラシでこすり、中性洗剤をふりかけ、流水中で十分洗い流す。	酸化チタン粉末:0.1N塩酸=5:3 (重量比)
衣類類	中性洗剤(0.1~0.5%)	30~50℃の溶液で洗濯約20分間、水洗5分間3回	専用の密閉型洗濯機を用いる
	(切除補修)	汚染部位を切除し、補修布を当てる	汚染部位の高度の汚染の除去に適す
ガラス器具	中性洗剤と水 シュウ酸とEDTAなど	3~5%の塩溶液	
実験器具	中性洗剤と水 ステームクリーニング	機械的こすり作用を利用	
金属器具	希硝酸、10%クエン酸アンモニウムまたはフッ化水素酸アンモニウム溶液		最後の手段としてステンレス鋼に塩酸を使用
プラスチック	中性洗剤、クエン酸アンモニウム、EDTA、希酸		
ペーパー類 後面	10%リン酸ナトリウム溶液	溶解作用	
	濃厚アルカリ溶液(水酸化ナトリウム、水酸化カリウム、水酸化カルシウム)	ペンキ軟化、除去(激しい方法)	

日本放射線安全管理学会



3) α核種の測定 (汚染検査)

ZnS(Ag)シンチレーション式サーベイメータ

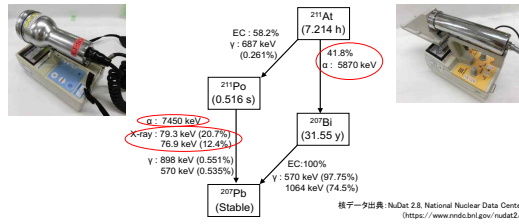
- α線測定専用
- 表面汚染検査用: cpm
- 他の測定器では測定しにくいα線を測定できる
- α線以外の測定ができない



日本放射線安全管理学会



²¹¹Atの壊変と使用するサーベイメータ

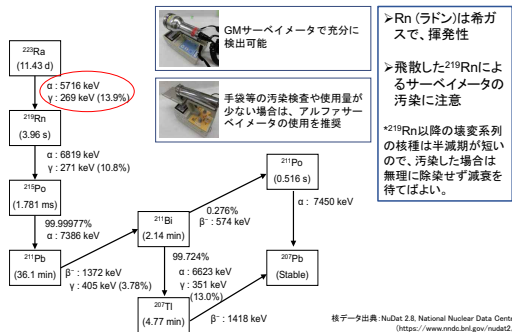


- 使用量が多い場合及び大まかに汚染箇所を特定する場合は、GMサーベイメータが良い
- 使用量が少ない場合、細かく汚染部位を特定する場合は、アルファサーベイメータを使用すること

日本放射線安全管理学会



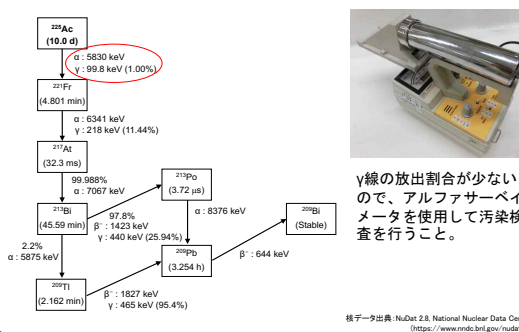
²²³Raの壊変と使用するサーベイメータ



日本放射線安全管理学会



²²⁵Acの壊変と使用するサーベイメータ



日本放射線安全管理学会



4) 手袋等の汚染検査 (α核種)

指が一番汚染が起こりやすい。アルファ核種使用時は、頻りにアルファサーベイメータを用いて汚染検査を行うこと。



薄い箔になっているので、破らないように注意
サーベイメータ自身の汚染に注意すること
検出面をビニール袋等で覆わないこと



使用終了後は、検出面保護のために、カバー等をつけておくことが望ましい

日本放射線安全管理学会



10. 法令・予防規程



目次

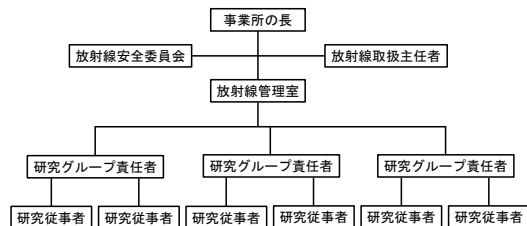
- 1) 安全管理体制
- 2) 関係法令
- 3) 法律の目的
- 4) 放射線業務従事者の義務
- 5) 線量限度
- 6) 管理区域の入退出記録
- 7) 管理区域内での作法
- 8) 核種ごとの使用場所
- 9) RIの管理
- 10) 緊急時の措置・連絡体制
- 11) 動物実験・PET4核種・α核種特有の法規制

日本放射線安全管理学会



1) 安全管理体制

• 事業所の安全管理体制の例



日本放射線安全管理学会