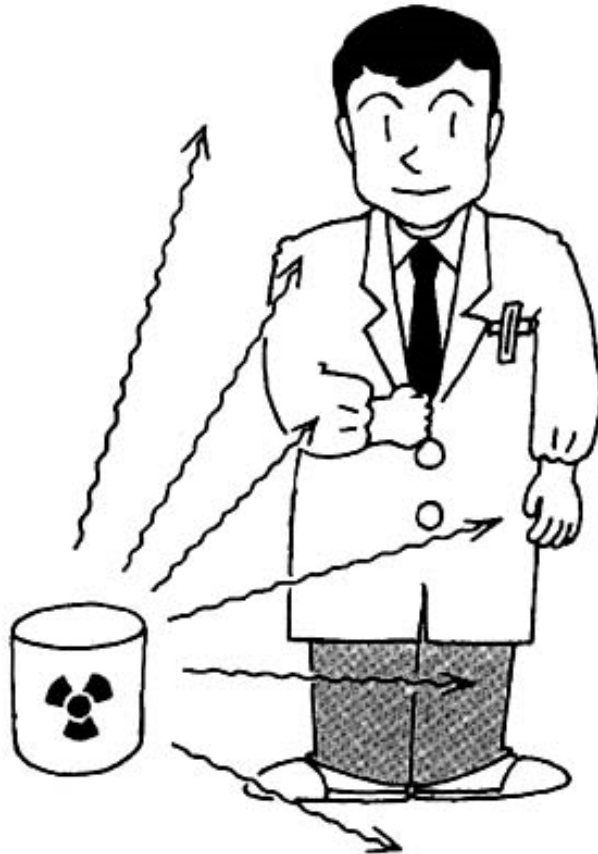


放射線とアイントープの 安全取扱の実際

ラジオアイントープ(RI)を用いる実験は、常に**放射線による被ばく、汚染**を念頭において行わなければならない。被ばくが少なく、汚染のない状況で実験を行うためには、正しい取扱法、RIに関する基礎知識を身に付けることが必要である。

Internal Exposures

内部被曝

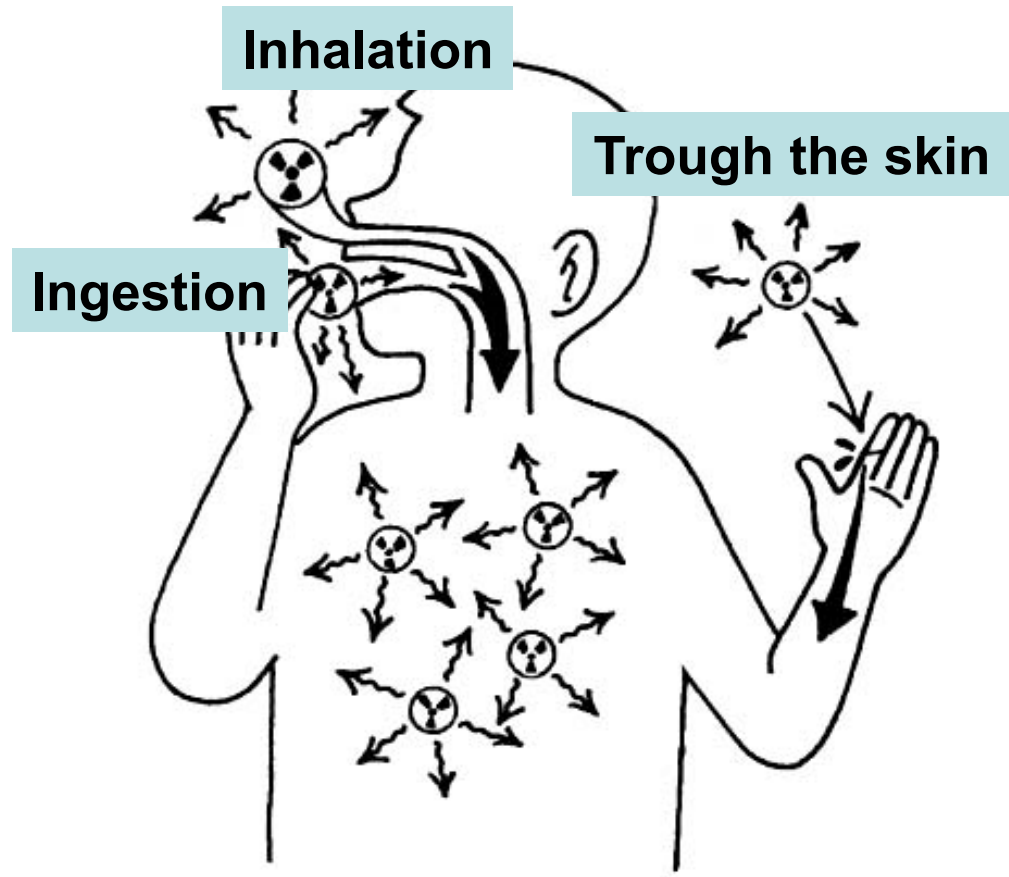


External exposure

vs.

External Exposures

外部被曝



Internal exposure

【1】管理区域への入室

- (1) 管理区域専用の履き物(スリッパ、サンダル等)にする。
- (2) 管理区域専用の実験着を着、所定の位置に個人被ばく線量計(個人モニタ)を着ける。

【個人モニタ】蛍光ガラス線量計(ガラスバッジ)、OSL線量計(光刺激ルミネッセンス線量計、ルクセルバッジ)、半導体式線量計(ポケット線量計)、フィルムバッジ、TLD(熱ルミネッセンス線量計)、など。

→ 男性は胸部に、女性は腹部に着用する

指などの局所被ばくの測定が必要な場合には、リングバッジなどを使用する。

最近ではOSLや蛍光ガラス線量計が利用されており、その検出限界は $\sim 10\mu\text{Sv}$ である。

Personal dosimeters

個人線量計



Luxel badge
OSL線量計
(ルクセルバッジ)



Glass badge
蛍光ガラス線量
(ガラスバッジ)



Pocket dosimeter
半導体式線量計
(ポケット線量計)

常に



Personal dosimeter

for males

Put on the chest for males



Personal dosimeter

for females

Put on the abdomen for females

【2】管理区域内で注意すること

(1) **飲食、喫煙、化粧などはしないこと**。これらの行為は、**RIを体内に取り込む原因となる(内部被ばく)**。

→ **経皮(皮ふ)・経口(口)
経気道(呼吸器)**



Intake routes of radioisotopes



(1)

Inhalation
経気道



(2)

Ingestion
経口



(3)

**Through the skin
(wound)**
経皮

Prohibited Matters to Protect Against Internal Exposure

Eating or drinking



Smoking



Wearing make-up

【2】管理区域内で注意すること

(2) 必要なもの以外は持ち込まないこと。

Don't bring any unnecessary equipment into the controlled area

(3) 通常使用しているハンカチ等は使用せず、ペーパータオル等を使用する。

(4) 不必要に実験室内の物に触らないこと。また、実験台等には寄り掛からないこと。

【3】非密封RIの取扱上の一般的注意

- (1) **ピペットを口で吸ってはならない。**安全ピペッタあるいはマイクロピペットなどを使用する。マイクロピペットを使用することが多い。使用したチップを落として汚染させることがあるので注意が必要。



【3】非密封RIの取扱上の一般的注意

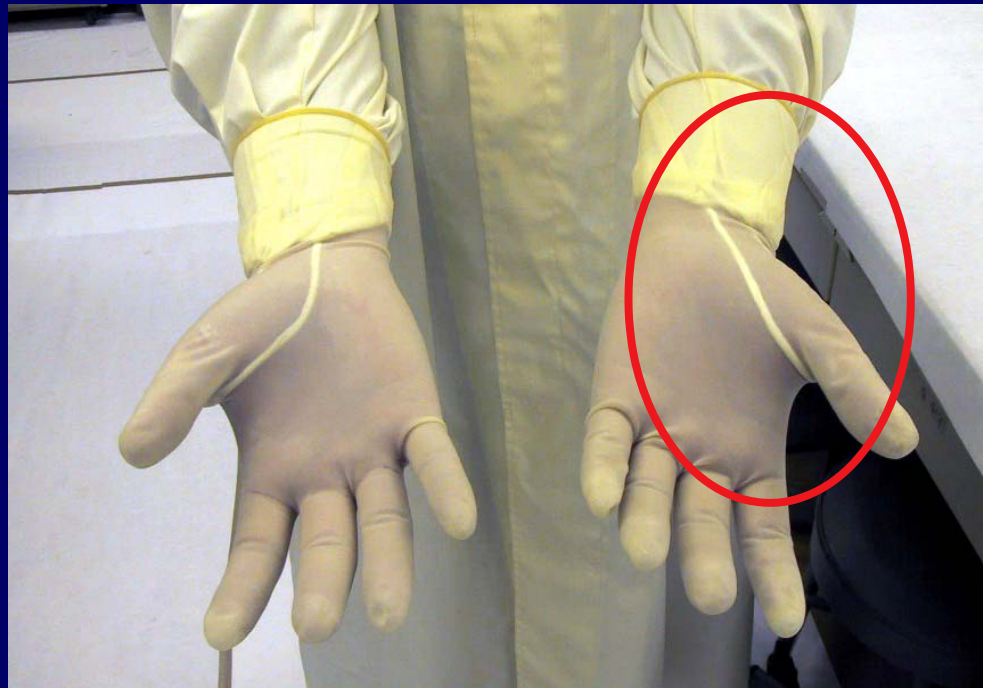
つづき

(2) 非密封RIを扱うときには必ず**手袋など適当な保護具を着用をする**。RIを扱った手袋で自分の衣服やドアのノブ、スイッチなどに触らない。汚染させてはいけないものに触るときには、ペーパータオル等を介すとよい。

(3) **手袋をはめた手は、汚染の広がりや経口摂取を防ぐため実験中もたびたび洗う**。また、静電気が起こることもあるので、微粉末の試料の取扱には注意が必要である。

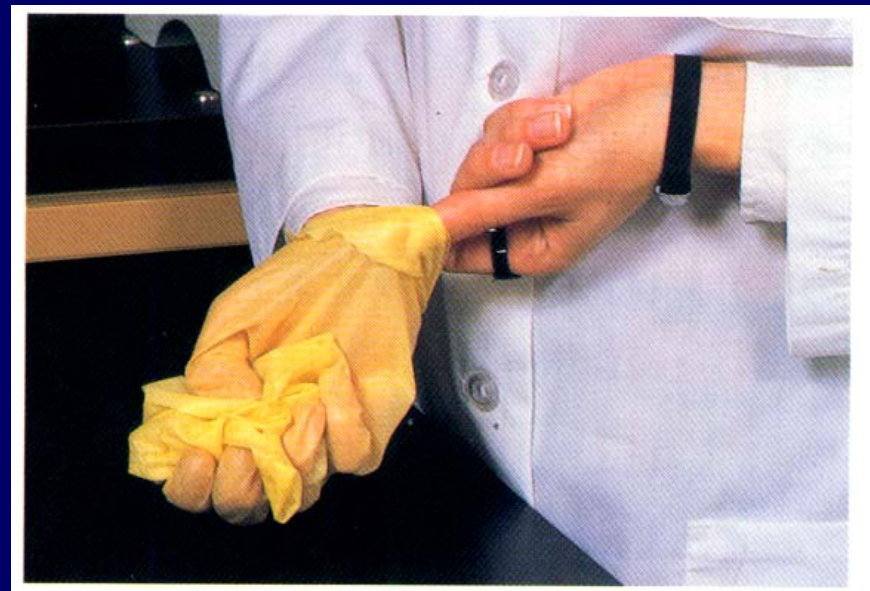
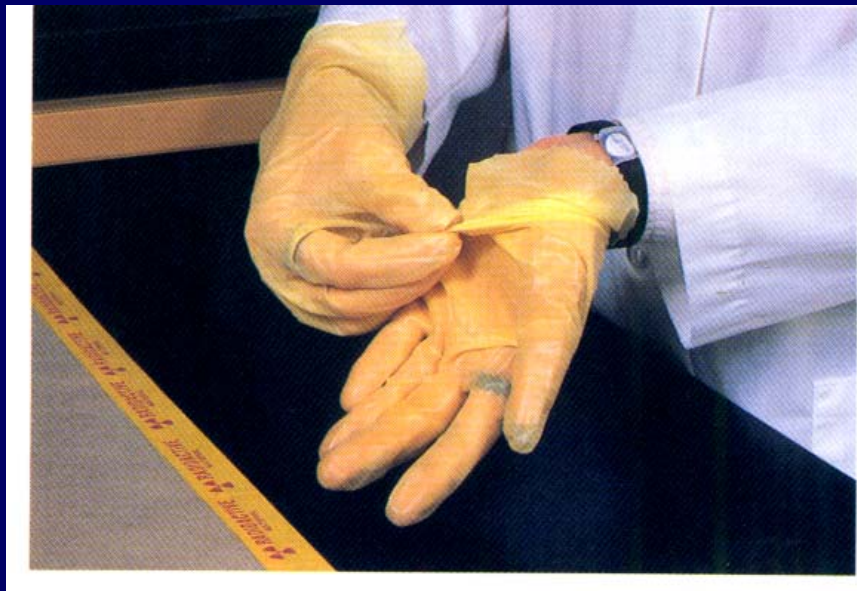


○ゴム手袋の付け方...ゴム手袋に空気を吹き込んで膨らませ、**穴のあいていないことを確認**する。手に**パウダー**を付ける。手袋をはめ、実験衣の**袖口**の**ひもに親指**をかけ、袖を手袋の中に入れる。



○ゴム手袋のはずし方

サーベイメータで汚染の有無を調べる。強い汚染があれば、ポリエチレン袋をかぶせて、汚染を広げないようにする。汚染がない場合には、ゴム手袋をはめたままで手をよく洗い、水気をペーパータオルでふきとり、パウダーを付け裏返にはずす。はずした手袋の表面にもパウダー付け、再使用できるようにしておく。そのまま、廃棄する場合には、裏返しにはずし、放射性廃棄物(難燃物)とする。



【3】非密封RIの取扱上の一般的注意

つづき

(4) 高レベルの放射能又は飛散する恐れのある作業では、**使用する実験台及びドラフト内外にポリエチレンろ紙を敷く。**(実験台の上、手前の床、ドラフト内及び手前の床など。ポリエチレンろ紙は、ろ紙の部分が上になるように敷く。)



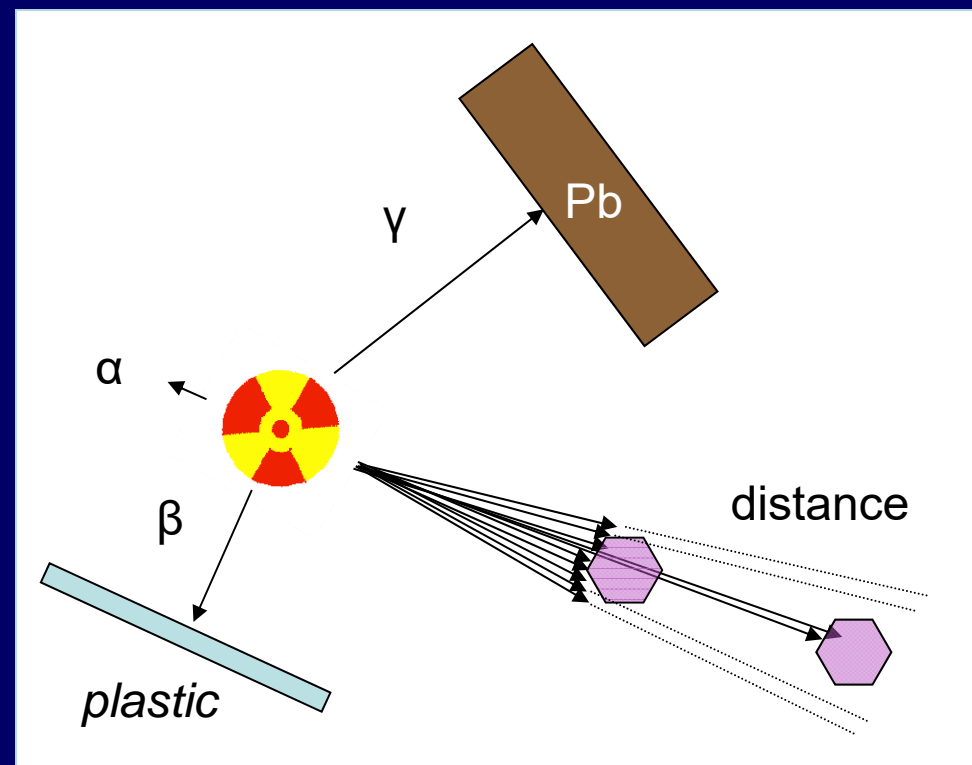
【3】非密封RIの取扱上の一般的注意

つづき

(5)RIに近づくことは必要最小限にする。**外部被ばくを少なくする3原則は**

- ① 時間、
- ② 距離、
- ③ しゃへい

である。

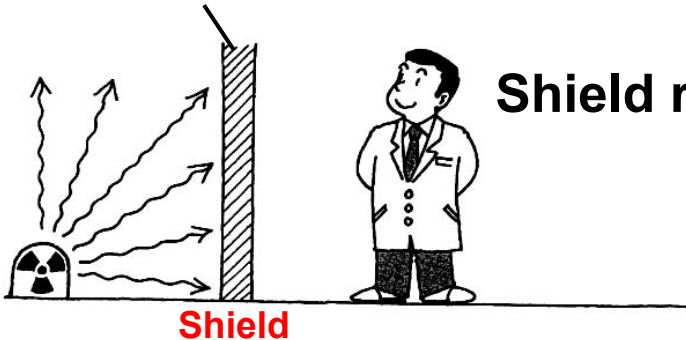


Protecting Against External Exposure

3 principles

Shielding

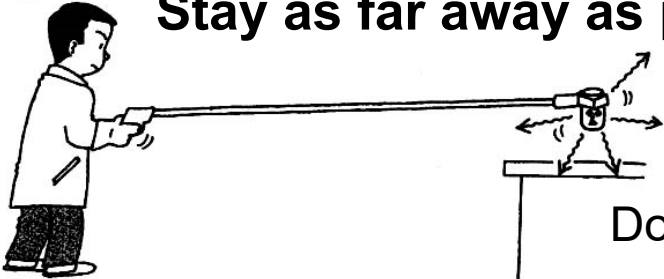
As near to the radiation source as possible



Shield radiation sources.

Distance

Stay as far away as possible.



$$\text{Dose rate} = K / R^2$$

K: constant
R: distance

Time



Keep exposure time short !

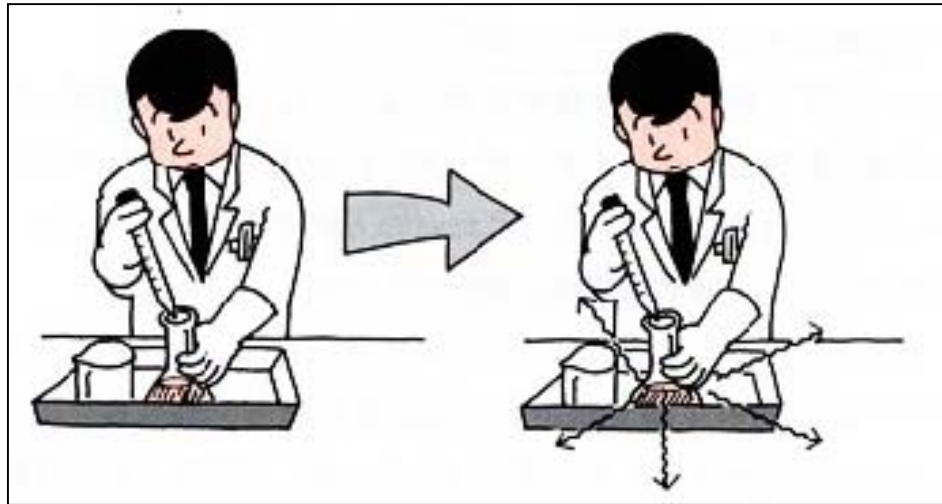
① 時間... 実験計画をたて、実験手順を頭に入れておくこと。特に、はじめての実験の場合には必ず**コールド実験**を行い、より短い時間でかつ少量で行える方法を考える。



Radiation dose increases in proportion to time.

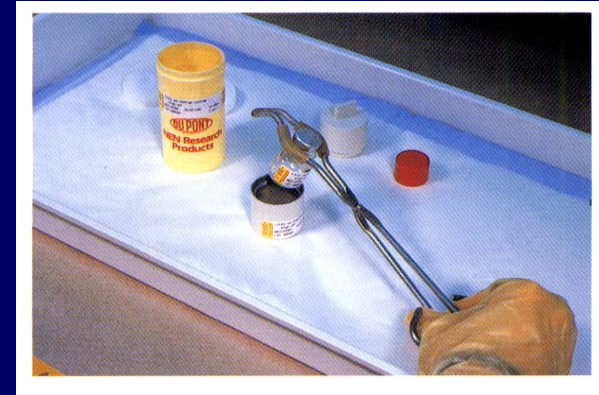
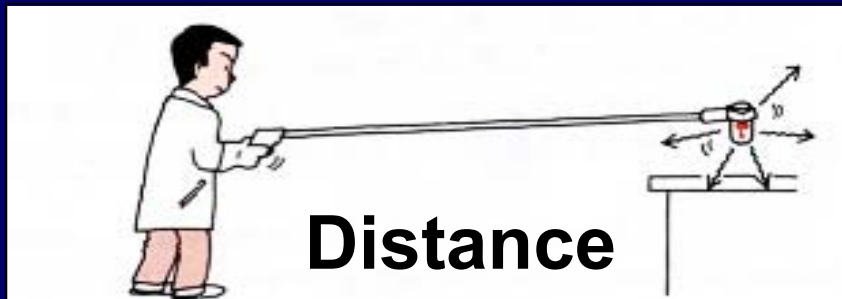
- Make the working time as short as possible!
- Do a “Cold run” practice and understand the individual steps of each procedure.

Cold Run



You should conduct a “**cold run**” to understand each step of experimental procedures before using radioactive materials.

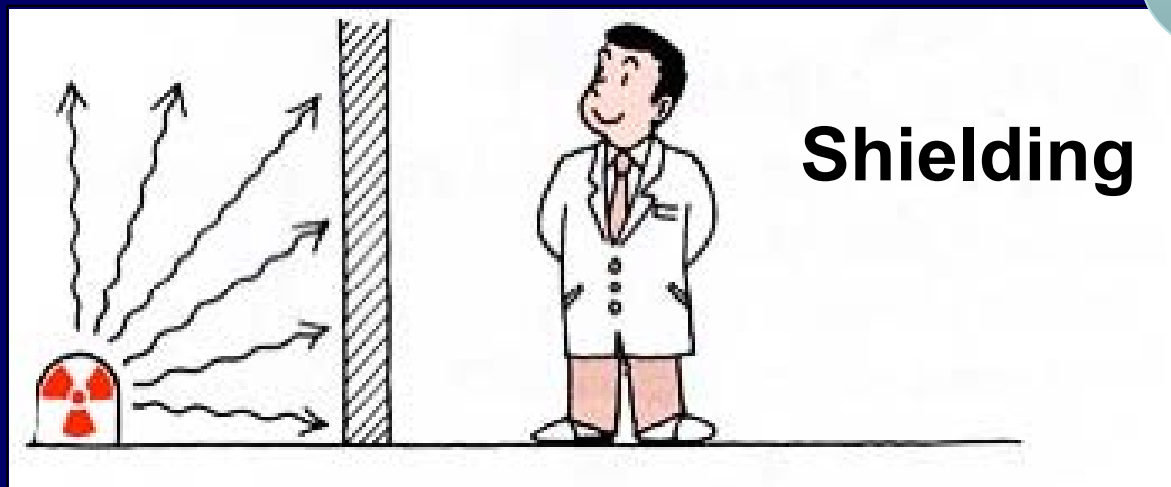
② 距離...逆二乗の法則により、**距離を2倍にとると、被ばく量は1/4になる。** tongやピンセットの利用。線源は、ドラフト内や実験台では、できるだけ後方に置く。ただし、実験台では、他の人を被ばくさせないように、周囲の状況をよく確かめること。



- The radiation dose decreases in inverse proportion to the square of the distance from the radiation source.
 - Keep as much distance between yourself and the radiation source as possible!
 - Don't touch the radiation source directly.
 - Use remote handling equipment such as tongs or forceps.

③ しゃへい...厚さ1cmの亚克力板でほとんどのβ線はしゃへいできる。エネルギーの高いβ線(^{32}P , ^{90}Sr)については制動放射線の発生に注意。X線やγ線については、適切な厚さの鉛板、鉛入り亚克力板や鉛ブロック等を使用する。鉛ブロックは、隙間のないように、かつ倒れないように積む。

取扱注意



You can protect yourself from radiation exposure by shielding the radiation source.

Shielding

Radiation type	Shielding material
β -ray	aluminum board (several mm) plastic acryl board (several cm)
γ -ray	lead block, iron block, concrete block
neutron	block containing boron, water



図1-25 : β -Safety Screenを使用した実験

High energy β (^{90}Sr , ^{32}P etc.): **Bremsstrahlung**

【3】非密封RIの取扱上の一般的注意

つづき

- (6) RIをこぼした時でも汚染が局所的になるよう、また汚染の除去が簡単に行えるように、**トレイや吸収材等を使用する。**
- (7) **放射性廃棄物を分類して入れるポリエチレン袋を用意する。**また、サーベイメータ、試薬類なども身近に置いて、作業者が歩き回らなくてもすむようにする。
- (8) 空気汚染は、呼吸器からの体内被ばくを引き起こす原因となる。**揮発性の高いRIや飛散しやすい粉末状のRIは、必ずドラフト(フード)内で取り扱う。**特に、放射性的の気体や気体が発生する場合にはグローブボックス等密封された装置内で実験すること

^3H , ^{131}I

【3】非密封RIの取扱上の一般的注意

つづき

- (9) 遠心分離の操作は生物系の実験では必須であるが汚染を起こしやすい。原理的には汚染を起こしにくい操作であるが、迅速に取り扱える遠心分離管を使用するなどのために、汚染が起きやすくなる。
- (10) 必要に応じて**保護眼鏡**を着用し、粉末や飛沫から目を保護する。

【4】容器の開け方

- (1)送られてきた運搬用の箱から缶を取り出し、缶を開け
遮へい容器を取り出す。
- (2)ゴム手袋を付け、**ドラフト内のトレイの中で**、ピンセット、
 tong等を使って、RIの入った容器を取り出す。
○ドラフトの窓はできるだけ下げ空気の流出を防ぐ。
○放射線量が高いときには局所被ばくを測定するための
リングバッジを着けたり、適切なしゃへい**衝立**を使用
する。
- (3)RIが入っている**バイアルから放
射能漏れがないかチェックする
ことも必要である。**

スミア
(ふき取り検査)



(4) 溶液状のRI標識化合物は、開封前に遠心して溶液を容器の下方に集めるとよい。

(5) RIはバイアル、チューブ、アンプルなどに入っており、容器の開封方法は容器の種類によって異なる。

○バイアルの場合には、注射器又はピペットで採取する。

○チューブの場合には、金属片又は磁石を用いてシールを壊す。

○アンプルは傷付けして、傷のところで折り曲げて開封する。

【5】RIの採取・分注方法

○採取の仕方...密栓されているバイアルの中のRIを希釈して採取する場合には、

- 1) 加える溶媒分の空気を注射器を用いて抜き取る。
- 2) 希釈する溶媒を加える。
- 3) 必要量を採取する順に作業する。

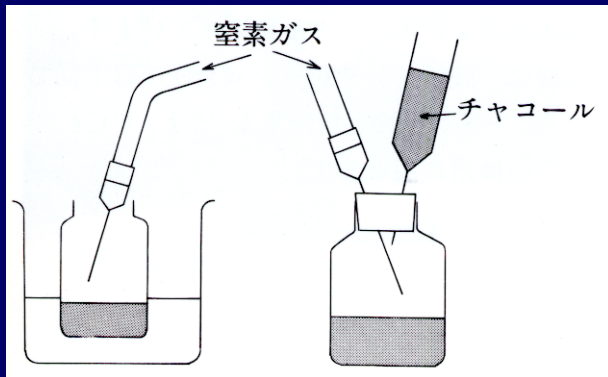
バイアル内は常に陰圧になるようにしなければならない。
ピペットで分取する際には、分取した液や残液が実験台や床に落ちないように注意する。

○分注の仕方...ピペットを用いて分注するときには、**ピ**



ペットの先をバイアルの壁面につけて流し込むように注入する。ピペットの先から飛び散ったり、液面ではねたりすると、小さな粒子となって空気中に浮遊し汚染の原因となる。

○溶媒の除去法...トルエン。エタノール。ベンゼン溶液か



らの溶媒の除去は窒素ガスを用いて行う。この際、容器を温水に浸し、溶媒の表面に窒素ガスを緩やかに吹き付ける。**ヨウ素化合物の場合には、活性炭のトラップを用いる。**

【6】 実験終了時の注意

- (1) 反応中など、使用中のRIを入れた容器、機器にはその存在を明記して、他の実験者にもわかるようにしておく。使用後のRIは貯蔵庫に保管する。
- (2) RIを入れた容器には、核種、数量、日時、使用者名、所属等を記す。
受入コード
- (3) 廃棄物は種類により厳密に分類して廃棄物保管庫に保管する。
 - 可燃物...紙類、布類、木片
 - 不燃物...ガラス、金属、塩化ビニル、針、翼状針(空缶にまとめる)
 - 難燃物...プラスチック類、ゴム手袋、ポリ手袋、ポリビン

○非圧縮性不燃物...土砂、コンクリートくず、レンガ、
機械、器具

○動物...動物死体、糞

○無機液体...水溶液の廃液でpHは3から12に調節。pH
調整には塩酸は使用しない。

(4)使用済みの容器類は直ぐに洗淨する。(使用直後だと汚れが取れやすく、容器からの汚染が防げる。)濃度の高い一次洗淨水は、廃棄物容器に保管廃棄する。

流し台の汚染に注意

(5)使用した場所や床等の汚染をサーベイメータあるいはスミア法により検査する(汚染のモニタリング)。

汚染検査 Contamination check

これ以上は汚染とみなす

Surface concentration of contamination limit
Radioisotope of α -emitter: 4 Bq/cm^2
Radioisotope of non- α -emitter; 40 Bq/cm^2

by law

バックグラウンドレベルまで除染させられることが多い

Decontamination

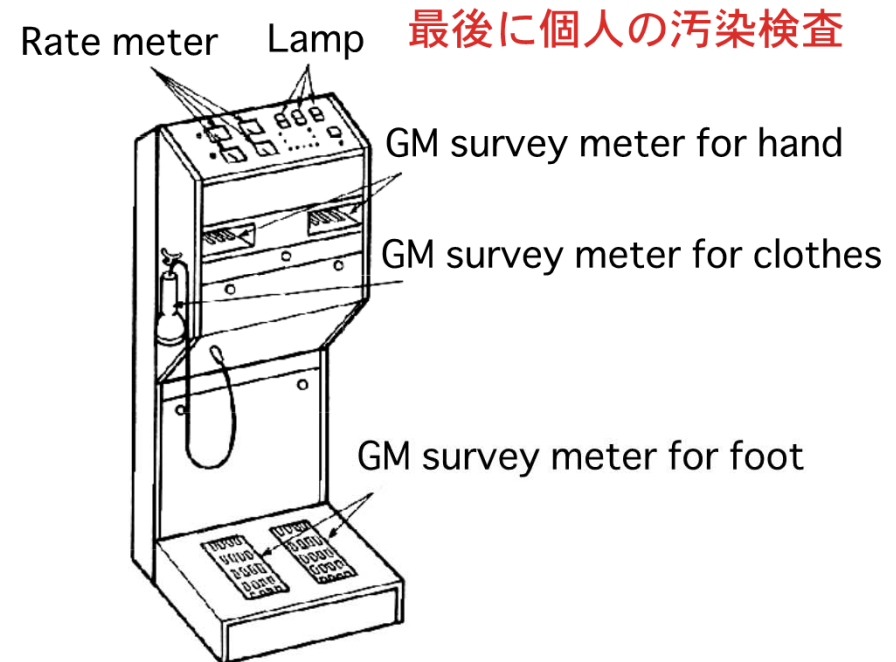
desirable \rightarrow Background level

after experiment



Check using GM-surveymeter
GMサーベイメータによる汚染検査

at Gate (Exit)



hand-foot--clothe monitor

(6) **機械、器具の汚染**を調べる。汚染があれば除染する。

(7) 汚染が発見され、容易に除去できない場合には、放射線管理担当者か放射線取扱主任者に連絡し、その指示をあおぐ。

(8) **保管・使用・廃棄の記帳**を行う。

【7】汚染除去

汚染が発見されたら、できるだけ速やかに除染する。
汚染の除去には次のことに注意する。

場所・物品

- (1) 廃棄物ができるだけ少なくなる方法で行う。
- (2) 汚染レベルの低い方から高い方へと除染する。
- (3) 表面を傷つけたり、損傷を与えない。

もし汚染を見つけたら

If contamination was found!

除染の原則 Principles for decontamination 報告を忘れずに！除染計画を！

1. 早期除染 Early decontamination

It can be easy to be decontaminated **immediately** after the fact

◎ Depends on the materials (floor, desk, etc.)

2. 汚染拡大の防止 Prevention of the contamination extension

In order **not to spread** the contamination

◎ **cover** the contamination place by **polyethylene filter paper** and/or **vinyl sheet**, when it can not be decontaminated immediately

3. 適切な廃棄物処理 Waste treatment

◎ appropriate method

4. 除染作業は湿式で Wet method

◎ **Not to spread** the contamination in air etc.

5. 経済的効率化 Economical efficiency is considered

人体の場合

- (1) 手足の場合には、**中性洗剤をつけ皮膚を傷つけないよう軽くこする。指先の場合には爪ブラシを用いるとよい。**
- (2) 顔の除染の場合には、**汚染が眼や口に入らないよう気をつける。**
- (3) **傷口、眼や粘膜の場合には大量の水で洗い流す。**
- (4) **誤って飲み込んだり、吸い込んだりした場合には、まず吐き出す。**

皮膚の除染

Skin decontamination method

中性洗剤(Neutral detergent): Put on the neutral detergent and wet by water, then washing out by hand brush.

酸化チタン(Titanium Oxide method) : Put on the Paste of titanium oxide on the place, then, washing out by hand brush, Furthermore, put on the neutral detergent and washing out by sufficient water

Sodium hypochlorite method (NaClO method): Soak in 5%NaClO solution 30 minutes, then washing out by sufficient water , repeat two times.

KMnO₄ NaHSO₄ method etc.

傷口、粘膜は大量の水で洗い流す

Decontamination method for materials

Clothes

- ◎ 中性洗剤 Neutral detergent
- ◎ クエン酸 Citric acid
- ◎ シュウ酸 Oxalic acid

Rubber

- ◎ 中性洗剤 Neutral detergent
- ◎ diluted HCl
- ◎ Soap

Glass tools

- ◎ 中性洗剤 Neutral detergent
- ◎ シュウ酸
Oxalic acid, several acids, EDTA
- ◎ etc.

Concrete

- ◎ diluted HCl
- ◎ Cut away

Wood

- ◎ Cut away

Metal tools

- ◎ 中性洗剤 Neutral detergent
- ◎ Sodium citrate, EDTA
- ◎ diluted HCl(stainless steel)

Plastic

- ◎ 中性洗剤 Neutral detergent
- ◎ クエン酸アンモニウム
Citric acid ammonium
- ◎ 石鹼 Soap
- ◎ EDTA

【8】汚染のモニタリング

汚染のモニタリングは、RIの取扱いにおいて重要な操作である。使用するRIの種類に適した検出器を用いて行う。

β 線放出核種はGM計数装置で、 γ 線放出核種はNaI(Tl)シンチレーションカウンタで測定する。 ^3H 、 ^{14}C の場合には液体シンチレーションカウンタで測定する。

検出器

1) 液体シンチレーションカウンタ…エネルギーの低い β 線放出核種 (^3H (18.6 keV)、 ^{14}C (156 keV)等)

液体シンチレータに試料を混合すると、 β 線のエネルギーを受けてシンチレーション光(蛍光)を発する。その光を光電子増倍管を用いて、電気信号に変えて測定する。



2) GM計数装置...エネルギーの高いβ線放出核種 (^{32}P (1.71 MeV)、 ^{45}Ca (0.257 MeV)、 ^{131}I (0.606 MeV (89.9%))等) やγ線 放出核種

放射線が気体中で作るイオンを計測することにより放射線を計測する。

3) NaI(Tl) シンチレーションカウンタ...X線やγ線放出核種の検出。

シンチレータと呼ばれる蛍光物質に放射線があたると、シンチレーション光(蛍光)を発する。その光を光電子増倍管を用いて、電気信号に変えて測定する。

放射線防護機器 Instrument for radiation protection

In order to protect outside exposure and inside exposure, it is necessary that a surveymeter chooses and uses the appropriate model.



- ◎ Sensitive **only the γ -ray** for over the energy of 100keV (flat energy characteristic is obtained)
- ◎ Detector using **NaI(Tl)** is general
- ◎ Attention for the measurement is needed in the low energy γ -ray field, because the energy characteristic greatly changes by the model.

- ◎ For originally measuring **X and γ -ray** exposure rate in a high dose
- ◎ Thin window is prepared at the part of the wall of the ionization chamber, **β -ray and γ -ray** are able to detect.

- ◎ Measurement of **β -ray and γ -ray** used most widely though the sensitivity for γ -ray is about 1/10 relative to the β -ray.
- ◎ Sensitivity is high for the beta ray over about 40keV **not suitable for H-3, C-14 (low β energy)**
- ◎ Attention is necessary: **Counting rate decreases as increase of the dead time on high radiation dose**

中性子サーベイメータ

Neutron surveymeter



Surveymeter widely used:

- ◎ BF3 proportional counter
 ${}^9\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ reaction
- ◎ He3 proportional counter
 ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ reaction

α 線用サーベイメータ

Scintillation surveymeter for α -ray



ZnS(Ag) scintillator is widely used

- ◎ Effective distance 3cm from surface
 - ◎ Do not cover the window
- Need a careful treatment
for the contamination of window

検出方法

- 1) 直接法... 器具や床などの表面の汚染を直接検出するには、サーベイメータを表面から **1cm以内まで近づけ、ゆっくりと移動しながら測定する** 表面に触れると、サーベイメータが汚染する恐れがある。
- 2) 間接法... バックグラウンドが高い場合には、直接測定できない。また、 ^3H 、 ^{14}C による汚染は、エネルギーが低いいため直接検出できない。このような場合には、**スミアろ紙で表面をこすり、汚染核種をろ紙に移し取る。**

【9】管理区域からの退出

(1) 手は洗剤(中性洗剤)で必ず洗う。

(2) 手足などの汚染検査

手足及び衣服の汚染を検査する(ハンドフットクロスモニタあるいはサーベイメータ)。ただし、このモニタで汚染が発見できるのは、 γ 線核種が ^{32}P のようにエネルギーの高い β 線核種に限られる。袖口や履き物の汚染が多く、履き物の汚染の場合には、RIを取り扱った部屋から汚染検査室までの歩行経路において床が汚染されている可能性が大きく、直ちに、サーベイメータなどにより、詳しく汚染の状況を確認除染しなければならない。

(3) 持ち出し物品の検査

法的には、表面汚染密度 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ (β 、 γ 線放出核種、 α 線放出核種の場合にはこの $1/10$)を超える物は、管理区域から持ち出せない。

【10】不慮の事故に対する処置

(1) 付近にいるすべての人に知らせる。

(2) 汚染区域の立ち入りを制限する。

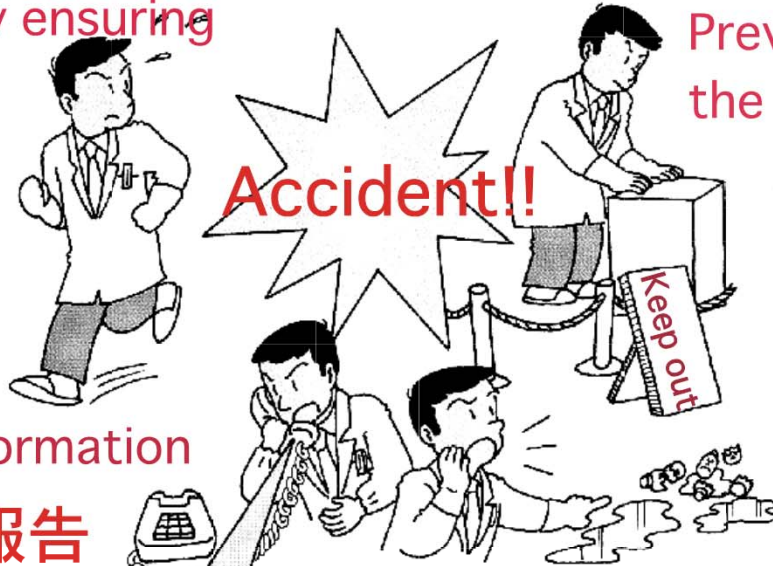
(3) 放射線管理担当者、取扱主任者等に通報し、指示をあおぐ。

(4) 一人では処理しない。

(5) 除染作業を行う。

緊急時 Emergency

安全の確保
Emergency measure for
safety ensuring



Prevention of
the accident extension
汚染拡大の防止

Information
報告

When, Where,
Who, What, How



水は汚染を広げる!!

標識化合物について

放射性核種がラベルされた標識化合物をトレーサとして利用することが多いが、標識化合物は通常の標識されていない化合物とは異なった取り扱いや保管が必要となる。

【標識位置】

酵素基質と使用する場合など、標識位置が重要となる。また、標識位置によりレセプターとの親和性が変化する場合もあるので注意が必要。

【比放射能】

単位質量当たりの放射能の強さで、標識化合物の場合には**モル(mol)当たりの放射能量**で表されることが多い。**Bq/mol、Bq/mmol**

一般に、標識化合物は次のような理由から、必ずしも高比放射能の化合物がよいとは限らず、比放射能の低いものを使用したほうが良い結果が得られる場合がある。

- 1) 高比放射能の化合物は保存中に**分解されやすい**。
- 2) 扱う量が少なくなるため**誤差を生じやすい**。
- 3) 濃度が低くなるため、ガラス器具などの**器壁に付着しやすくなる**。

比放射能の精度は通常 $\pm 2\%$ (^3H では $\pm 7\%$)以内であるが、比放射能が高い化合物では $\pm 10\%$ 以内と精度が落ちる。

【標識化合物の安定性】

放射性核種で標識されている化合物は、これらの核種からの放射線のため、**一般試薬に比べて不安定となり、保存中に予想外の分解を受けていることがある。** 飛程の短いβ線核種で標識された化合物や比放射能の高いものほど分解されやすい。³H標識化合物が最も自己分解を受けやすい。

標識化合物の分解様式

分解様式	原因	制御方法
一次（内的）分解	放射性核種の壊変	なし
一次（外的）分解	放射線による 標識化合物分子の 直接破壊	標識分子の分散
二次分解	ラジカルなどとの 相互作用	標識分子の分散 低温保存 ラジカルスカベンジャーの添加
化学的及び 微生物による分解	熱力学的不安定性 保存環境の不適性	低温保存 環境の適性化

【溶媒】

RI標識化合物の安定性を優先するため、目的の実験には**適さない溶媒**に溶解されている場合があるので注意が必要である。

溶媒除去法

トルエン、エタノール、ベンゼンなどの溶媒の除去は、**窒素ガス**を用いるとよい。容器を温水(30~35°C)に浸し、**液表面に窒素ガスを緩やかに吹きつける**。¹²⁵I化合物の場合には、チャコールトラップが必要となる。