放射線管理技術

(XI), (XII)

放射性物質の安全取扱い†

桜井 保孝

放射線医学総合研究所

千葉市穴川

1. 放射線防護の原則

放射性物質を取り扱う場合には、量のいかんにかかわらずかならず被曝を伴うと考えなければならない。被曝の危険性の程度は、取り扱う核種、量、取扱方法、使用施設の設備の状況などにより大きく変わるので、具体的な管理、安全取扱いの問題は、それぞれの事業所の状況に応じて考えることが必要である。

放射線の生物学的効果に関しては、まだ未解明な点が多いが、限界値(しきい値)なし、とする考え方と、限界値あり、とする考えの2つがある。放射線防護の立場からは「不明なことは安全側に考える」ことが原則であるから、限界値なしとする考え方がある以上、不必要な被曝はたとえ許容線量の範囲内であっても極力さけるべきである。また取扱い者自身が注意して不必要な被曝を受けないようにすることはもちろんであるが、その取扱いをあやまれば漏えい放射線、放射性汚染のひろがりによる環境汚染等により、一般の人々に影響をおよぼすかもしれないことを十分考えて行動しなければならない。

放射性物質を安全に取扱うにはいかなる場合でも、程度の差はあるが、体外にある線源からの体外被曝と、体内に放射性物質を摂取しておこる体内被曝についての防護を考えなければならない。

1・1 体外被曝に対する防護

体外被曝に対する防護においてはつぎの3つが原則である。

- 1) 線源から距離をとること
- 2) 線源との間にしゃへい物をおくこと
- 3) 被曝時間を短くすること

この3つの手段を適宜に組み合わせればよいのであるが、どれを重要視すべきかは一概にはいえない。一般的には可能なかぎりしゃへいし、つぎに距離、最後に被曝時間を考慮するという順になるであろう。

これら防護の基準となるものが障害防止法で定められた最大許容線量、最大許容濃度である。

1・1・1 距離による防護

γ 線、X線の場合ある場所における線量率は線源からの距離の自乗に逆比例すると考えてよい。また α 線は空気中の最大飛程が数cm、 β 線は数m程度なので、最大飛程以上はなれていれば被曝の危険はないと考えてよい。

ここに γ 線源、 β 線源の点状線源からの線量率を求める近似式を示すとつぎのとおりである。

 γ 線の線量率

$$D(R/h) = \frac{5.2 \times 10^3 QE}{d^2}$$

† Radiation Safety Technique (XI) Safe Handling of Radioactive Substances, Yasutaka SAKURAI: National Institute of Radiological Sciences, Anagawa, Chiba-shi.

β 線の線量率

$$D(\text{rad/h}) = \frac{3 \times 10^5 Q}{d^2}$$

D ：線量率

Q ：線源の放射能の強さ(Ci)

E ： γ 線のエネルギー(MeV)

d ：線源からの距離(cm)

したがって放射性物質を取り扱う場合は、汚染防止の意味も含めて線源や放射性物質がはいっている容器を素手で扱ってはならず作業の困難さとのかね合いであるが、できるだけピンセット、長柄はさみ等の用具を使って距離をとって扱うようにする。

1・1・2 シャへいによる防護

シャへいに関しては Vol. 19, No. 7 に詳細に述べられているのでここでは概略を述べることにする。

1) α 線のシャへい

α 線は飛程が短く空気中でもわずか数cmであるから α 線のみのシャへいは厚手の紙1枚で十分である。しかし多くの α 核種は γ 線放射を伴っているため、この γ 線に対するシャへいは考慮しなければならない。

α 線の空気中の飛程はそのエネルギーが4～7 MeVの間では近似的に次式が成立する

$$R = 0.318 E^{3/2}$$

R ： α 線の空気中の飛程(cm)

E ： α 線のエネルギー(MeV)

2) β 線のシャへい β 線は α 線と比べればその飛程は大きいがふつう1.0～1.5cm程度の厚さのガラス板、プラスチック板か数mm程度のアルミニウム板で十分シャへいすることができる。

β 線の飛程はどの材料についてもその材料中の最大飛程を g/cm^2 であらわせればアルミニウム中の飛程を求めるつぎの式を用いても大きな差はない

$$R = 0.542 E - 0.133$$

R ：最大飛程(g/cm^2)

E ： β 線の最大エネルギー(MeV)

β 線そのもののシャへいは上述のごとく簡単であるが、 β 線と物質の相互作用により制動放射線をともらうことも考慮しなければならない。とくにエネルギーの高い β 線源に対してシャへいするときはまずプラスチックのような原子番号の低い物質を用いて β 線をシャへいし、さらに鉛、鉄等でシャへいすればよい。

3) γ 線、X線のシャへい 利用線錐方向のみでなく、散乱線に対するシャへいを考慮し、シャへい体はできるだけ線源に近くおくとよい。

γ 線、X線に対しては原子番号の大きいものが効果

があるので鉛、鉄など、また経済的なのでコンクリートも使われる。

γ 線の物質による吸収に関する式は γ 線束が細い場合には、

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

I ：シャへい体を通過したのちの線量率

I_0 ：シャへい前の線量率

x ：シャへい体の厚さ(cm)

μ ：シャへい体の線吸収係数(cm^{-1})

であらわされる。実際のシャへい計算で問題となるのは広い線束の γ 線である。この場合は散乱線の影響がでてきてシャへい体が厚ければ厚いほどその影響が大きくなる。このためビルドアップ係数(build-up factor) B を用いてつぎの式の如く補正しなければならない。

$$I = I_0 B e^{-\mu x}$$

ビルドアップ係数 B は γ 線のエネルギー、シャへい体の材質、厚さに関係するが大体厚さの関数と考えられる。 γ 線のエネルギーが2 MeVより高い場合は $B \approx 1 + \mu x$ として計算すれば大体安全側に設計できる。これを線形ビルドアップ係数という。

1・1・3 被曝時間の短縮による防護

作業時間を短縮することによっても被曝線量を少なくすることができる。そのためにはその作業に十分習熟することが必要であり、できれば放射性物質を使用しないで予備実験を行なってみることもよい方法である。

被曝時間の短縮による防護の方法は、距離、シャへい等他の防護手段を十分にとったあとで行なわれる方法であり、無計画に作業人員のみを増して1人あたりの被曝線量を低くするようなことはさけるべきである。

距離、シャへいによる線量率の低減が不十分の場合に、やむをえず作業時間の短縮で、被曝線量を制限しなければならないときは綿密な作業計画を立て予備実験を行なったうえで、さらに放射線管理の立場にある者によって作業時間、被曝線量の管理を行なうことが望ましい。

1・2 体内被曝に対する防護

非密封の放射性物質を使用する場合は、体外被曝に対する防護以外に、放射性物質を体内に取り込まないようにつとめなければならない。

放射性物質が体内に摂取される道すじは

(1) 経口、(2) 経気道、(3) 経皮ふ、とくに傷口からなどが考えられる。これらを防ぐには具体的には

(1)に対しては放射性物質が直接人体にふれないよう

に、ゴム手袋を着用し素手または口を使う操作を行なわないようにすること、飲食、喫煙、化粧などを禁ずること、万一汚染がおこったらただちに除去すること等の習慣をつけておくことが必要である。

(2)に対しては室内につねに清浄な空気を補給し、放射性物質は必ずフード、グローブボックス内で取り扱うこととし、できるかぎり湿式で扱うようにする。とくに高濃度の空気汚染がおこるおそれのある場合にはマスク（場合によっては防毒マスク）を着用する。

(3)に対しては、ゴム手袋を着用することはもちろんであるが、実験中に汚染した器具等だけがをし、その傷口から体内にはいる場合が多いので、これに対しては作業に習熟する以外にはない。

1・3 安全取扱いの原則

体外被曝、体内被曝の防護のいずれに対しても第一に放射線源をできるだけ狭い空間にとじこめて広からないようにすること。

第二に、利用する放射線、放射能を必要最少限度にするよう努力すること。第三には十分な放射線安全管理を行なうことが大切である。この3つの考え方を“contain, confine and control”という。

この考え方をもとにまず 1)使用施設を安全なものとし、放射線管理区域と非管理区域に分け管理区域の中も危険性の程度に応じて区分する。2)その中での放射性物質の安全取扱いに心がけて、3)十分な管理、できれば使用者とは別の者による管理が必要である。

2. 使用施設

前項のごとき原則をもとに施設の配置を考える場合つぎの順序で区分を定めていくとよい。

- 1) 事業所の敷地内を放射線による被曝のおそれのある区域、すなわち管理区域群と非管理区域群とに分ける。
- 2) 管理区域群をさらに、外部被曝のみを考慮すればよい区域と、内部被曝についても考慮しなければならない汚染区域とに区分する。
- 3) 管理区域を、危険度によって区分する。たとえば線質、線量率による区分、核種の毒性による区分、作業の状態による区分等をする。

このようにするとそれぞれの危険をその区域に限定することができ、万一事故をおこしたさいにも危険の広がりを防ぐことが容易である。

なおこれら管理の基準となるものはすべて最大許容線量であるが、すでに1月号に述べられてあるのでここでは省略する。管理区域の設定については5月号を参照されたい。

2・1 危険性による放射性核種の分類

放射性核種をその危険性により分類することは、安全取扱上も、管理上も大切なことであり、ここにICRP,IAEAで採用している分類を表1に示す。この表は多数の放射性核種を単位放射能あたりの相対的危険性によって4群に分類し、それぞれの群別について

表1 危険性による放射性核種の分類*

1 群 (高)	^{210}Pb , ^{210}Po , ^{223}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{227}Ac , ^{227}Th , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{231}Pa , ^{230}U , ^{232}U , ^{233}U , ^{234}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am , ^{243}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{244}Cm , ^{245}Cm , ^{246}Cm , ^{249}Cf , ^{250}Cf , ^{252}Cf
2 群	^{22}Na , ^{36}Cl , ^{45}Ca , ^{46}Sc , ^{54}Mn , ^{56}Co , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{91}Y , ^{95}Zr , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{115\text{m}}\text{Cd}$, $^{114\text{m}}\text{In}$, ^{124}Sb , ^{125}Sb , $^{127\text{m}}\text{Te}$, $^{129\text{m}}\text{Te}$, ^{124}I , ^{126}I , ^{131}I , ^{133}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{144}Ce , $^{152}\text{Eu}(13\text{yr})$, ^{154}Eu , ^{160}Tb , ^{170}Tm , ^{181}Hf , ^{182}Ta , ^{192}Ir , ^{204}Tl , ^{207}Bi , ^{210}Bi , ^{211}At , ^{212}Pb , ^{224}Ra , ^{228}Ac , ^{230}Pa , ^{234}Th , ^{236}U , ^{249}Bk
3 群	^7Be , ^{14}C , ^{18}F , ^{24}Na , ^{38}Cl , ^{31}Si , ^{32}P , ^{35}S , ^{41}Ar , ^{42}K , ^{43}K , ^{45}Ca , ^{47}Ca , ^{47}Sc , ^{48}Sc , ^{48}V , ^{51}Cr , ^{52}Mn , ^{56}Mn , ^{57}Fe , ^{58}Fe , ^{59}Fe , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{63}Ni , ^{65}Ni , ^{64}Cu , ^{65}Zn , $^{69\text{m}}\text{Zn}$, ^{72}Ga , ^{73}As , ^{74}As , ^{76}As , ^{77}As , ^{75}Se , ^{82}Br , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{86}Rb , ^{85}Sr , ^{91}Sr , ^{90}Y , ^{92}Y , ^{93}Y , ^{97}Zr , $^{93\text{m}}\text{Nb}$, ^{95}Nb , ^{99}Mo , ^{96}Tc , $^{97\text{m}}\text{Tc}$, ^{97}Tc , ^{98}Tc , ^{97}Ru , ^{103}Ru , ^{105}Ru , ^{105}Rh , ^{103}Pd , ^{109}Pd , ^{105}Ag , ^{111}Ag , ^{109}Cd , ^{115}Cd , $^{115\text{m}}\text{In}$, ^{113}Sn , ^{125}Sn , ^{122}Sb , $^{125\text{m}}\text{Te}$, ^{127}Te , ^{129}Te , $^{131\text{m}}\text{Te}$, ^{132}Te , ^{130}I , ^{132}I , ^{134}I , ^{135}I , ^{135}Xe , ^{131}Cs , ^{136}Cs , ^{131}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{143}Ce , ^{142}Pr , ^{143}Pr , ^{147}Nd , ^{149}Nd , ^{147}Pm , ^{149}Pm , ^{151}Sm , ^{153}Sm , $^{152}\text{Eu}(9.2\text{ hr})$, ^{155}Eu , ^{153}Gd , ^{159}Gd , ^{165}Dy , ^{166}Dy , ^{166}Ho , ^{169}Er , ^{171}Er , ^{171}Tm , ^{175}Yb , ^{177}Lu , ^{181}W , ^{185}W , ^{187}W , ^{183}Re , ^{186}Re , ^{188}Re , ^{185}Os , ^{191}Os , ^{193}Os , ^{190}Ir , ^{194}Ir , ^{191}Pt , ^{193}Pt , ^{197}Pt , ^{196}Au , ^{198}Au , ^{199}Au , ^{193}Hg , $^{197\text{m}}\text{Hg}$, ^{203}Hg , ^{200}Tl , ^{201}Tl , ^{202}Tl , ^{203}Pb , ^{206}Bi , ^{212}Bi , ^{220}Rn , ^{222}Rn , ^{231}Th , ^{233}Pa , ^{239}Np
4 群 (低)	^3H , ^{15}O , ^{37}Ar , $^{58\text{m}}\text{Co}$, ^{59}Ni , ^{69}Zn , ^{71}Ge , ^{85}Kr , ^{87}Rb , $^{91\text{m}}\text{Y}$, ^{93}Zr , ^{97}Nb , $^{96\text{m}}\text{Tc}$, $^{99\text{m}}\text{Tc}$, $^{103\text{m}}\text{Rh}$, $^{113\text{m}}\text{In}$, ^{129}I , $^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{133}Xe , ^{134}Cs , ^{135}Cs , ^{147}Sm , ^{187}Re , $^{191\text{m}}\text{Os}$, $^{193\text{m}}\text{Pt}$, $^{197\text{m}}\text{Pt}$, ^{232}Th , Th-nat. , ^{235}U , ^{238}U , U-nat

* ICRP 専門委員会 V の報告 (1964) より

表2 放射性核種を取り扱う実験室の区分*

放射性核種の群別	それぞれの実験室で取り扱う放射能レベル		
	低レベル実験室	中レベル実験室	高レベル実験室
1	$<10\mu\text{Ci}$	$10\mu\text{Ci}$ から 1mCi	$>1\text{mCi}$
2	$<1\text{mCi}$	1mCi から 100mCi	$>100\text{mCi}$
3	$<100\text{mCi}$	100mCi から 10Ci	$>10\text{Ci}$
4	$<10\text{Ci}$	10Ci から 1000Ci	$>1000\text{Ci}$

修正係数

単なる貯蔵	$\times 100$
非常に簡単な湿式操作	$\times 10$
普通の化学操作	$\times 1$
複雑な湿式操作	$\times 0.1^{**}$
簡単な乾いた操作および揮発性放射性化合物を扱う仕事	$\times 0.1^{**}$
乾いた塵埃の出やすい操作	$\times 0.01^{**}$

* ICRP 専門委員会 V の報告 (1964) より

** 操作を密閉された箱の中で行なえば、1 桁以上増しうる。

取り扱う量によって、表2に示すように3つのレベルに実験室を分けるように定められており、さらに作業の内容による修正係数が示されている。

ここでいっている各レベルの実験室それぞれの一般的な概念を述べると、低レベル実験室は換気設備の整った設備のよい化学実験室でよいが、室内の表面仕上材料は汚染しにくい材料を用い万一汚染がおきても除染しやすい材料、構造とする。

中レベル実験室は汚染がおきた場合に洗浄可能な構造、材料とし、しゃへい、フード等に対しても十分な考慮を払う必要がある。

高レベル実験室はとくに入念に計画設計された特殊な室で、放射性物質を完全に密閉された状態で取り扱うことができるように、ホットケープ、グローブボックス等について考慮する必要がある。

ここに述べた核種、実験室の分類はあくまでも一般的な基準であるので、事業所において実際に適用する場合は個々の具体的な作業内容をもとに再度修正しなければならない。

なお核種と量による危険度の分類として「放射線障害防止法」の告示第6号（昭和42年6月30日）に示されている放射性同位元素の定義、主要構造部を耐火構造または不燃材料で造ることを要しない数量、および汚染検査室または排気設備を設けることを要しない数量等の表なども参考にするとよい。

密封線源、放射線発生装置については別に掲載されるのでここでは省略する。

2・2 実験室の配置

管理区域への出入口は原則として1か所とし、出入にさいして必要なチェックができる管理室、汚染検査室を、それを行なうに最も適した出入口付近に設け2・1によって区分した実験室を使いやすさも考慮して、低レベル→高レベルへと配置し、危険性の質と程度の異なるものを極力わけておくと、安全上も経済的にも得策である。配置の例を図1にブロックダイアグラムで示す。

図1 研究施設の実験室配置例

2・3 実験室の具備すべき要件

実験室は取り扱う核種、量、作業内容によりその具備すべき要件は異なるが、放射線障害防止関係の諸法令に従うことはもちろん、管理面も含めて施設の内部のみでなく一般の人々に対しても十分安全でなければならない。

2・3・1 構造、表面仕上材料

「主要構造部等」は原則として「耐火構造」または「不燃材料」で造ることとする。その他の部分は事故による汚染も考慮して、汚染をなるべく小さな部分に集約し除染が容易にできるような構造、材料を選定することが大切である。ここで「障害防止法」では「主要構造部」とは壁、柱、床、はり、屋根または階段をいい、構造上重要でない、間仕切壁、間柱、小ばり、ひさし、局所的な階段、屋外階段、その他これらに類する建築物の部分を除くものとする。ただし間仕切壁、間柱、付け柱等は「主要構造部等」の中でいう「当該施設を区画する壁、および柱」の中に含まれる。「耐火構造」とは鉄筋コンクリート造、レンガ造、等の構造をいう。「不燃材料」とはコンクリート、レンガ、瓦、石棉板、鉄鋼、アルミニウム、ガラス、モルタル等これに類する不燃性の建築材料をいう。

1) 室内の構造 室内の内部は凹凸が少なく仕上材の目地等が少ない構造とすること。すなわち不必要な天井露出ダクト、配管、配線、棚等は避けなければならない。

2) 表面仕上材料 表面は平滑に仕上げるとともに、使用する材料は、放射性物質が浸透しにくく、かつ腐食しにくい材料を使用すること。したがって木造、モルタル、磁製タイル張り、人造研出し等は使用してはならない。一般に床仕上材料としては、合成樹脂系のライニング、コーティング、レジンモルタル法によるものが耐薬品性、機械的強度、汚染されにくさ、除染しやすい点ですぐれている。

低レベル実験室では合成樹脂系のビニタイル、アスタイル等の仕上げでもよいが、目地が汚染されやすいので、それらに対する注意が必要である。このほかに最近では長尺物はり床材等もあるので用途、種類等によって選択するとよい。しかしどのような表面仕上材料を使用しても除染が100%可能なものはないので汚染のおそれのあるところはあらかじめポリエチレンシート等で被覆するなどして汚染がおきた場合、これらをはがすことにより除染されるよう準備しておくことが必要である。

2・3・2 換気（排気）設備、排気浄化設備

放射性物質の体内摂取の大きな原因の1つは、非密封の放射性物質を取り扱う作業室内で発生した放射性塵埃またはガスを吸入すること起因している。したがって換気設備を設けることにより室内の空気を清浄に保ち、また汚染した空気を施設外に放出するさい一般の人々に影響を与えるおそれのないように排気浄化装置を設けなければならない。

換気（排気）設備は通常他の非汚染系統と区別して再循環させずに図2のごとく天井から給気してフードから排気するのが原則であり、フードを設置しない室では塵埃が舞上って吸入することの少ないように、

1. プレフィルタ	7. 電気集塵器
2. キャピラリフィルタ	8. モニター
3. エリミネーター	9. マルチパネルフィルタ
4. //	ター
5. プレフィルタ	10. プレフィルタ
6. 高性能フィルタ	

注 充填塔および電気集塵器は必要に応じて設備する。

図2 排気系統図

なるべく床面近くから排気する。換気回数（排気量）はフードからの排気量、空調和負荷などから決められるが一般的な目安としてはつぎの値をとればよい。

高レベル実験室	20回/時 以上
中レベル実験室	15～20回/時
低レベル実験室	10～15回/時
極低レベル実験室	7～10回/時

排気浄化装置は図2に示すなかから通常プレフィルタを2層にし高性能フィルタを設けておけばおおむね目的とする許容濃度以下にすることができる。ただし放射性塵埃、ガスを発生する作業がある場合には、キャピラリフィルタ、またはエアワッシャ、ガススクラバを追加する必要がある。各種フィルタの効率その他については表3を参照されたい。

表3 各種フィルターおよび除塵装置の効率

名 称	1個あたり 容量 $\times 10^3$ (m^3/h)	風 速 (m/sec)	圧力損失 ($mmAq$)	最適塵埃量 (mg/m^3)	寿命 (年)	除塵効率 (重量比)		
						1 μ 以下	1 ~ 5	5 ~ 10
乾 き 型	大型サイクロン	2~17	入口10~20	13~63	2.4	10~20	<10	40~75
	小型 //	0.05~0.2	同 上	50~110	1.2~2.4	5~20	<10	75~95
	バフフルチェンバー			高範囲に変化			10~20 μ の粒子が比較的良くできる	
	機械式遠心力分離器	1~17	同 上		2.4~25	5~20	<10	60~80
湿 り 型	エアワッシャー	1~170	1~2.5	2.5~5	0.24~0.5	10~20	<10	20~40
	湿り充填塔	1~8	1~2.5	25~250	2.4~24	5~20	<10	60~90
	ベンチュリー		喉部60~120	250~300				
	湿式エアフィルター	0.029	1.5~2.5	1.25~7.5		1~2	85	
織 維 性	布製ふくろ型	0.1~340	0.01~0.03	5~12	0.23~2.3	1~10	90~99	95~99+
	//	0.1~8	0.03~0.20	50~100	0.23~7	1~5	90~99	95~99+
	乾式エアフィルター	1.32	1.5	10		1~5	10	55
	セルロースアスベストフィルター	0.05~1.7	0.03	25	<2.3 $\times 10^{-7}$	<1~5	99+	99+
	高性能フィルター	1.08~1.7	0.02~0.1	25	<2.3 $\times 10^{-5}$	<0.5 ~1.0 (計数法)	99+	99+
電 気 集 塵	コットレル型	0.2~340	1~2.5	6~19	<2.3	5~20	80~99+	80~99+
	ユニット型	0.2~170	1~2.0	6~13	<2.3	5~20	80~90	80~95

3. 非密封放射性物質取扱いの一般的注意

実験計画を立てるさいにつきの点を考慮する必要がある。

- 1) 放射性核種の種類、量、危険度
- 2) 半減期
- 3) 放射線の種類およびエネルギー
- 4) 化学的形態
- 5) 比放射能
- 6) 具体的な放射線防護の方法

しゃへい、安全取扱い器具（トンダ、ピンセット等）汚染除去剤、廃棄物処理等

また作業を安全に失敗なく行なえるように、前述のように放射性物質を使用しない実際と同じ作業、いわゆるコールドランを行なってその仕事の作業技術に習熟することも必要である。安全取扱法については別に詳細に記述されているので本項では基本となることのみを記すことにする。

- 1) 放射性物質を取り扱うときは原則として単独では行なわない。
- 2) 個人被曝線量測定用具を着用し、サーベイメータを携帯する。

3) 作業中は注意深く、かつ安全に行動し、自分自身はもとより他の人たちの安全を確保する。とくに汚染の拡大防止に留意する。

4) 放射線作業に関する必要な記録、たとえば作業時間、被曝線量、放射性物質の使用量、配分方法等は明確にしておく。

4. 汚染と除染

放射性汚染には、

- a) とれやすい汚染(loose contamination)
- b) とれにくい汚染(fixed contamination)

とがあるが放射線管理上とくに問題となるのは、空气中にまい上がり、呼吸器から体内にはいる危険性の大きい、とれやすい汚染である。またとれにくい汚染も体外被曝の原因となるので重要である。

表面汚染の限度についてはわが国では「放射線障害防止法」に最大許容表面密度がつぎのように定められている。

α 線を放出する放射性同位元素 $10^{-4} \mu Ci/cm^2$

α 線を放出しない放射性同位元素 $10^{-3} \mu Ci/cm^2$

放射性汚染の除去効率の表わし方についてはつぎのような表現が使われている。

汚染除去係数 (Decontamination coefficient)

$$= \frac{\text{除染前の放射能}}{\text{除染後の放射能}}$$

汚染除去指数(D.I)(Decontamination index)

$$= \log \frac{\text{除染前の放射能}}{\text{除染後の放射能}}$$

Spill index (S.I)

$$= -(\log \frac{\text{表面についた放射能} \times 100}{\text{こぼした放射能}})$$

汚染除去指数)

$$= -\log \frac{\text{除染後の放射能} \times 100}{\text{こぼした放射能}}$$

4・1 除染の一般的注意

汚染除去の操作を行なうさいにはつぎのことに留意しなければならない。

1) 早期除染 汚染を生じたらできるかぎり早く除染するのが原則であり、汚染直後であれば流水で洗うだけで容易に除染できる。経過時間が長くなるほど除染はむずかしくなり、化学的活性度の強い除染剤を使用することになる。

2) 汚染拡大防止 不用意に大量の除染剤を使用したり、汚染の所在を明確にせずには不必要な部分まで除染処理をすると、汚染面積が広がるので、汚染の範囲を確実に測定してから除染する。皮ふや床などを汚染した場合はまず口紙、布片でふきとってから除染剤を用いるとよい。

また空気中に塵埃が舞上がるような操作をすると、体内被曝の原因にもなるし、周囲に汚染を広げることにもなるので、できれば湿式除染、すなわちぬらす方法が望ましい。

3) 除染剤の選択 なるべく化学的に活性度の強い除染剤は用いないようにし、温和な除染剤から使用していく。活性度の強い除染剤を使用すれば、そのときの除染効果はあがるが表面が腐食され、つぎに汚染されたときに除染が困難になる。また同じ核種、同じ材質で同一除染剤を用いても同じ効果があがらないこともある。また、汚染核種の化学的形態によっては除染剤が制限され、場合によってはガスが発生することもある。一般に使用されている除染剤を表4に示す。

4) 被汚染物の材質と構造 被汚染物の材質によ

表4 一般に使用されている除染剤

種 類	代 表 例	濃度(%)	適 用 物	備 考
有 機 洗 剤	中 性 洗 剤 (アルキルアリルスルホン酸塩) 非イオン活性剤 (ポリエチレンアルキルエーテルまたはエステル)	0.5~1 0.5~1	全 般	水質、適用物、核種に効力支配される。 皮膚はアルカリ強き石鹼不可。
	キレート剤	ク エ ン 酸 ク エ ン 酸- (Na または NH ₄) EDTA-Na	5~10 1~10 2~5 10	全 般
無 機 洗 剤	Na ₃ PO ₄ ヘキサメタリン酸ナトリウム NH ₄ F・HF	10 0.1M 0.1~5	ガラス、ペイント プラスチック ガラス、磁器	加熱使用有効 ワックス除去可能
鉱 酸	HCl H ₂ SO ₄ HNO ₃	10 10 10~30	金属、ガラス プラスチック ペイント	耐薬品性材質にはきわめて有効。表面侵食のおそれあり。
強 酸 化 剤	KMnO ₄ (a) H ₂ SO ₄ (b) NaHSO ₃ (c) クロム酸混液	飽 和 10 10	皮 膚 ガラス	用時(a)(b)等量混合 (c)は脱色用 最終手段 ¹⁴ C, ¹³¹ I など 気化性核種には不可
固 剤	TiO ₂ 0.1 N HCl	600 g 60ml	皮 膚	ナトリウムに Na ₂ SO ₄ 混合 塗布、吸着

っては表面をぬらすことのできないもの、あるいは削りとらなければ除染ができないものなどがあり除染法に制約を受けることもある。

また複雑な構造をしたものは分解するか、一部を交換するかなど、汚染した物の構造からも除染の手段が異なってくる。

4・2 器具、実験台、床等の除染

実験室内は平滑であることが原則であるから、特殊な除染を必要とすることはあまりなく、中性洗剤とか薄い酸などで十分である。これらを布片、ペーパータオル、ブラシ等につけて、あまり強くこすらずに洗う。

除染剤は1回だけではなく数回とりかえて洗うとよい。2～3回で除染効果があがらなくなったときは除染剤の種類をかえてみるとよい。

除染剤では除去できないこともあるが、その場合はたとえば表面をけずりとるとか、逆にうめ込んでしまうなど物理的な方法を用いることになる。

4・3 皮ふ等の除染

中性洗剤を散布し、ぬるま湯でよく泡だててハンドブラシ、爪ブラシ等でよく洗う。とくに爪の間、指の股、毛髪には注意する。これを数回くりかえしても除染できないときは表に示すような皮ふ用の薬品を使用するが、このさいは汚染核種、その化学的性質を十分に考慮して選定しなければならない。有機溶剤は皮ふから浸透することがあるので使用してはならない。

5. 廃棄物処理

廃棄物処理でいちばん大切なことは、その発生する場所において確実に分類することである。廃棄物処理の原則はつぎの4項目である。

- 1) 容積をできるかぎり小さくする。
- 2) それぞれの区分にしたがってたとえば不燃物、可燃物とかレベル別に分けて廃棄する。
- 3) 廃棄する核種の種類、数量等を明確にしておく。
- 4) 放射性汚染を広げない。

5・1 廃棄物の区分

放射性廃棄物は大別するとつぎのようになる。

- 1) 気体廃棄物 放射性物質を使用する施設で生ずる気体、および液体状、固体状粒子を含んだ空気
- 2) 液体廃棄物 実験室、病院などで実験、治療、除染のさいに出る廃液である。
 - a) 酸性液体廃棄物

b) 塩基性液体廃棄物

c) 有機溶媒

3) 固体廃棄物

a) 可燃性廃棄物

b) 不燃性廃棄物

4) その他の廃棄物

a) 動物性廃棄物

動物の死体およびその部分、動物の排泄物、しきわらなど腐敗のおそれのあるもの。

b) スラリー状廃棄物

ピットの沈殿物、かゆ状、泥状のもの。

5・2 気体廃棄物の処理

純粋な気体、すなわちガス状の気体廃棄物に対しては現在適当な方法がなく、ほとんどの気体廃棄物、とくにアルゴン、クリプトンのような不活性ガスは除去が非常に困難である。

その他のものは完全ではないが、適当なフィルタを使用すれば大部分を除去することができる。フィルターの性能、組合わせの例は換気設備の項を参照されたい。

5・3 液体廃棄物の処理

一般につぎのような処理方法が考えられている。

- 1) 貯蔵法
- 2) きしゃく法
- 3) 濃縮法
 - a) 凝集沈殿法
 - b) イオン交換法
 - c) 蒸発濃縮法

5・3・1 貯蔵法

これは廃液を容器に入れて貯蔵し、減衰を待つ方法であり、廃液を陶製容器、耐薬品性の容器、たとえばステンレススチールのタンクに入れて、隔離された場所に貯蔵する。

5・3・2 きしゃく法

低レベルの廃液はきしゃくだけで一般環境に放流できる場合がある。たとえば構内の一般排水が放射性廃液に比して多量でかつ定常的であれば可能である。

5・3・3 貯留きしゃく法

前記の2つを併用したもので、ある程度の減衰を待ってからきしゃく放流する方法で、必要があれば後述の凝集沈殿を簡易な形で行なうこともできる。その1例をブロックダイアグラムで図3に示す。

5・3・4 濃縮法

図3 貯留きしゃく法

a) 凝集沈殿法 低レベル放射性廃液の処理には、薬品による凝集沈殿法が最も効果的かつ経済的であるといわれている。この方法は薬品を加えてフロックを作らせて沈殿させ、上澄液のみを流す方法である。凝集剤としてリン酸ソーダ、水酸化アルミニウム、塩化第一鉄、塩化第二鉄などが有効である。しかし除染係数は10くらいで、100まで得ることは困難であるが、どのような廃液にも一応効果があるので広く用いられている。

b) イオン交換法 イオン交換剤としてはイオン交換樹脂、イオン交換膜、天然イオン交換物質が用いられている。除染係数は、イオン交換塔として用いる場合、陽イオン交換樹脂だけでは約50くらいであるが、これを約2倍の陰イオン交換樹脂と混床にして使用すれば除染係数 10^3 くらいを得ることができる。この方法は小規模な事業所では経費がかさむので日常用いるには適しない。

c) 蒸発法 蒸発法は蒸留水製造の原理と同じものである。除染係数は他の方法とくらべて最もよく、 $10^3 \sim 10^7$ 、平均 10^4 くらいであるが、経費が高い。

5・4 固体廃棄物の処理

固体廃棄物は前述のように可燃性と不燃性とに分けられる。内側をポリエチレンで貼ったカートンボックス（円形の紙筒）を足踏みにより蓋の開閉する鉄製の

容器に入れ、それらに可燃性、不燃性と明示して、各室に設置して固体廃棄物を回収する。固体廃棄物のなかで液体の浸出するおそれのあるものは、あらかじめポリエチレンの袋に入れて廃棄する。この容器が一杯になれば、カートンボックスのみを取りだして、ポリエチレンの袋に入れて、さらに専用の容器に入れて廃棄物処理機関（日本放射性同位元素協会）に引渡す。

可燃性廃棄物は焼却によって減容しうが、このさい煙の中に灰が飛散するので、この煙の処理のために排気浄化装置を設けなければならない。

不燃性廃棄物は最終的には機械的に圧縮して減容し、上記の灰やイオン交換能のなくなった樹脂、凝集沈殿法によって生じたスラッジ、蒸発法によってできた濃縮液などとともに、コンクリートでかため、ドラム缶につめて保管廃棄設備に半永久的に貯蔵するか、あるいは2000米以上の深海に投棄することもできる。現在は地中に埋没することは禁止されている。

5・5 その他の廃棄物の処理

a) 動物性廃棄物の処理 現在は同容積のホルマリン溶液（10～20%）に浸し、陶製容器の約8分目まで入れて処理機関に引渡す。動物をそのままの形でホルマリン浸けにすると、動物の内部までホルマリンが浸透せず腐敗してガスを発生し、容器を破損したり、内部の液があふれることがあるので、たとえばマウスのような小さな動物でも必ず開腹してホルマリンづけしなければならない。

b) スラリー状廃棄物 ビットの沈殿物、凝集沈殿法によって生じたスラッジ、液体とろ紙などがいっしょになってどろどろになったような状態のもの、泥状のものなどであるがそのまま処理機関に引渡すか、脱水して不燃性廃棄物として処理する。

非密封放射性物質の安全取扱い†

白石 義行

放射線医学総合研究所

千葉市穴川

1. 非密封放射性物質の安全取扱上の目標

非密封放射性物質を安全に取り扱うには、(1)取扱い中における被曝を、最大許容線量よりもできるだけ低いレベルにたもつようにする、(2)取扱いによる汚染を最小にたもつようにする、この2点を目標として行な

わなければならない。

(1)については、密封線源、非密封線源を問わず、そ

† Radiation Safety Technique (XII) Safe Handling of Unsealed Radioactive Substances, Yochiyuki SHIRAISHI: National Inst. of Radiological Sciences, Anagawa, Chiba-shi.