

第5章 放射線源の安全取扱い

5.1 安全取扱いの原則

放射線被曝には、体外に位置する放射線源からの外部被曝と体内に取り込まれたRIによる内部被曝とがある。これらの被曝をできるだけ少なく抑えるには作業者自身ならびに管理者による注意、努力が必要である。放射線防護の方法は各放射線施設の規模・使用内容によって多少の違いはあるが、基本的には作業従事者、管理区域立入り者、その他周辺にいる人々に対し安全が確保されるよう管理することである。また、満足できる放射線防護とは、取扱い管理の対象となる放射線源の性質とその使用法を十分理解することである。

放射線防護のための基本的事項として3Cの原則がある。これは、放射線源をできるだけ狭い空間に閉じこめる（Contain）、必要最小限に放射線を取り出して使用する（Confine）、放出放射線を十分制御して使用する（Control）ことである。

さらに、外部被曝の防護に対しては、距離（Distance）、遮蔽（Shield）、時間（Time）の3原則により放射線被曝を軽減させることが可能である。

また、内部被曝の防護に対しては3D、2Cの原則がある。3Dは、希釈（Dilution）分散（Dispersion）除去（Decontamination）であり、2Cは、閉じこめ（Containment）集結（Concentration）である。空気中あるいは水中のRI濃度を限度以下のレベルに希釈処理することなどは3Dの原則の一例であり、また線源を容器内に納める、汚染区域を極力狭い範囲にすることなどは2Cの原則の一例である。

その他、外部被曝・内部被曝の別なく作業上心掛けなければならない事項として室内の清掃、整理・整頓、保守点検、作業協力が挙げられる。

作業従事者がすべて放射線の取扱いに習熟し、防護の知識を十分有するとは限らない。安全取扱いに未熟な人に対する教育訓練（p.99参照）は重要であり、また作業従事者とは別に放射線防護の専門的知識を有し、かつ取扱いに習熟した防護の責任者（p.101）が必要となる。

5.2 外部被曝と内部被曝の防護

前節で述べたとおり外部被曝に対する防護は、距離、遮蔽、時間の3原則を適宜取り入れ

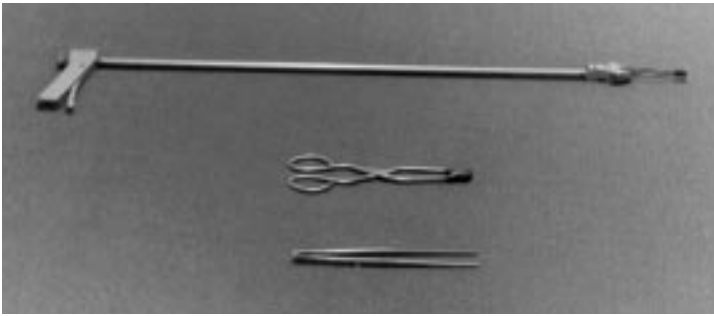


図5.1 距離をとるための用具類



図5.2 安全ピペット

ることにより達成できる。

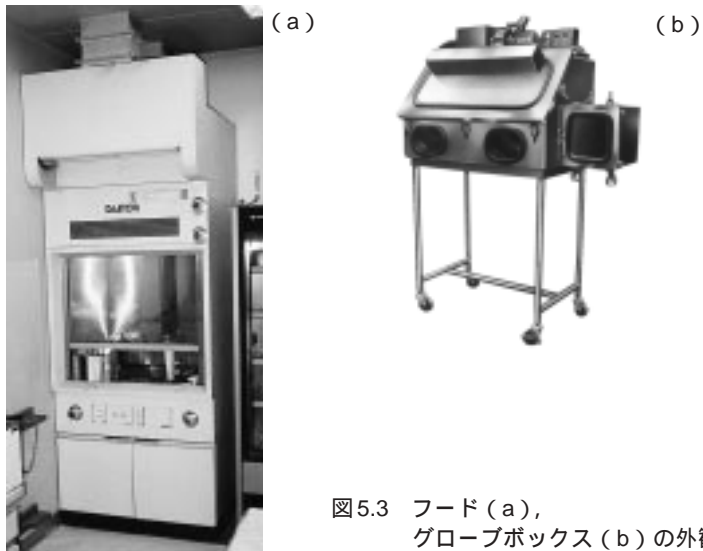
線源からの距離をとることは放射線を減弱させるので、最も容易な防護の方法である。また、放射線源を取扱う用具としてはピンセット、鉗子、トング（長柄挟み）などが使用される（図5.1）。

遮蔽物を使用する場合は利用する放射線の種類、エネルギー等によって考慮しなければならない。

線の場合は1 mm厚以下の物質で、また線では1.0 ~ 1.5 cm厚程度のプラスチック板で十分遮蔽されるので比較的容易に防護できるが、 α 線、 β 線、中性子線については物質中での透過力が大きいので、 β 線、 γ 線より遮蔽能力の優れた物質、例えば、鉛、鉄、コンクリート、パラフィンなどが使用される。

一定線量率の場所で仕事する場合、被曝線量はそこでの作業時間に比例するので、できるだけ短時間に作業を終了させるよう努力することになる。しかし、時間を制限して作業することは事故を誘発する恐れもあり、あまり取り入れるべきではない。したがって、距離と遮蔽により防護した上で、なおかつ不十分なきにのみ時間の短縮を考えた方がよい。

内部被曝に対する防護は極力RI汚染の防止に努めることである。RIが体内に取り込まれる経路として経口、経呼吸器、経皮膚（傷口など）の3通りがある。の経口は汚染器具が口に触れたりピペットを口で操作するなどの場合、の経呼吸器は室内の汚染空気（RI付着塵埃、RIガス）を呼吸する場合、の経皮膚は皮膚表面から汚染RIが吸収されたり傷口から血中に入り込む場合が考えられる。したがって、非密封RIを取扱う作業ではゴム・プラスチック製手袋、安全ピペットの使用（図5.2）、排気系統に連結しているフード、グローブボックス内など閉じた空間の使用（図5.3）、またサーベイメータ、汚染モニタ（図5.4）などにより随時RI汚染の有無をチェックしながら作業を進めるよう心掛けることが大切である。特に、利用するRIが線放出核種であったり長半減期核種あるいは大量使用などの場合は、その危険性の程度を考慮することが重要である。



電離箱式
サーベイメータ



シンチレーション
サーベイメータ



GMサーベイメータ



フロアモニタ

図5.4 各種サーベイメータ, フロアモニタ

5.3 各種放射線源の安全取扱い

医療で使用される放射線源は医療法施行規則で規定されており、無制限に使用することはできない。診断領域と治療領域の放射線源に大別した場合、前者での利用が圧倒的に多い。以下、X線装置、高エネルギー放射線発生装置、密封線源、非密封RIの順にそれらの安全取扱いについて述べる。

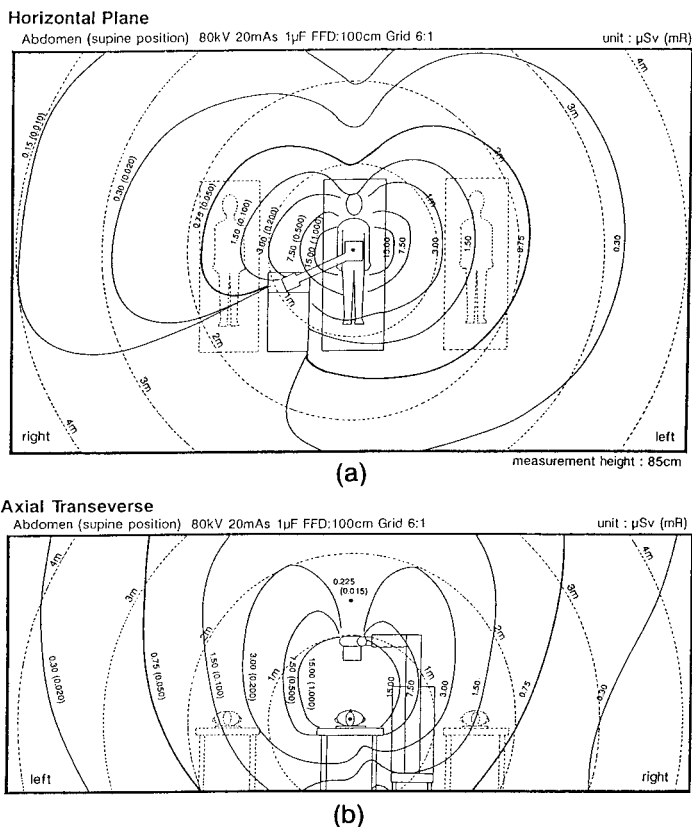


図5.5 X線照射時の装置周辺の散乱X線分布

5.3.1 X線装置

診療用X線装置には診断用と治療用がある。後者は深部治療用と表在治療用に分けられるが、深部治療用は現在ほとんど使用されていない。表在治療用は主に皮膚疾患の治療に用いられるが、軟X線（管電圧10～50kV程度）のため装置の防護は比較的簡単であり、かつ移動形が多い。この種の装置も現有台数は少なく、現在使用されているX線装置の大部分が診断用である。

X線の場合、放射線源はX線管ターゲットからのX線（一次放射線）であるが、これは照射筒からの利用線錐とX線管容器からの漏洩X線である。照射筒および容器は利用線錐以外のX線量がX線管焦点から1mの距離で、診断用は特別な場合を除き1.0mGy/h(旧0.1R/h)以下に、治療用は10mGy/h(旧1R/h)以下に、かつX線装置の接触可能表面から5cmの距離で300mGy/h以下になるよう遮蔽されているので、X線管から出るX線は大部分が利用線錐と見なせる。利用線錐が被検者に照射されると、その身体はじめ周囲の物体（装置構成器材、天井、壁、床など）から散乱X線（二次放射線）が生ずる（図5.5）。放射線診療従事者等の被曝はこれら散乱X線によるものが多い。X線被曝を避けるにはX線照射中の室内に入らないことが原則である。一般撮影ではこの原則は守ら



図5.6 X線防護衣・
エプロン

れる。被検者が乳幼児の場合でも家族に手伝ってもらうとか、乳幼児固定専用保持台を使用するなどして診療従事者等が介護のために室内に留まることはすべきでない。重症患者のいる病室等に赴き、移動型X線装置（ポータブル）でX線撮影を行う場合は、特に防護設備がないので最小限防護衣・エプロン〔鉛当量0.25 mmPb厚以上〕(図5.6)を着用するのは当然であるが、診療放射線技師の被曝をゼロに抑えることは難しい。診療放射線技師以外の患者家族・介護者等は被検者およびX線管から2 m以上離れて「照射中」を明示し、操作するよう心掛けるべきである。2 m以上離れることができない場合は、防護衣（鉛当量0.25 mm厚）等を着用させる必要がある。また、歯科用X線装置の場合据置型（パントモグラフなど）は遮蔽壁を備えた撮影室で使用されるので被曝は避けられるが、歯科診療室内で使用される移動型の場合は被検者以外の周りの人が散乱X線を受けるので注意が必要である。透視（造影）検査では一般にX線TVが使用されるが、例えば消化管X線検査では通常、操作室から遠隔操作で検査することが多く、術者がX線検査室内にいて照

射しながら透視することは限られている。しかし、血管造影、心臓血管カテーテル、脊髄腔造影、経皮経肝胆道造影など、多くの造影検査やIVR（Interventional Radiology）診療は術者が被検者の傍らでX線を照射しながら作業しなければならないので、被曝を免れることは難しい。このような場合、以下の点に心掛け術者の被曝線量を極力減らす努力が肝要である。

防護衣・エプロン等を着用する。

利用線錐内に身体を曝さない。

X線の照射時間を短くし無用な透視は避ける。

高感度の蛍光増倍管（イメージインテンシファイヤー）を使用する。

散乱X線の増大を防ぐため照射野をなるべく絞る。

5.3.2 診療用高エネルギー放射線発生装置

外部照射で使用される放射線治療装置は、医療法施行規則では1 MeV以上のエネルギーを有する電子線またはX線の発生装置をいい、リニアック（ライナックともいう）、ベータトロン、マイクロトロン、サイバ-ナイフなどがこれに該当する（図5.7）。これらの治療装置はコンクリートの遮蔽画壁を有する治療室内に設置され、また制御盤のある操作室は画壁により防護されているので、放射線照射中に診療放射線従事者等が被曝する恐れは少ない。防護壁は十分安全率を加味した設計が行われるので、通常はX線の漏洩が無視できる程度である。照射中に治療室出入口扉を開けたりした場合は治療を中断するよう安全装置（インターロック）の取り付けが義務付けられており、誤っての被曝は避けられる。また、光子エネルギー7～8 MeV以上のX線発生装置の場合は光核反応

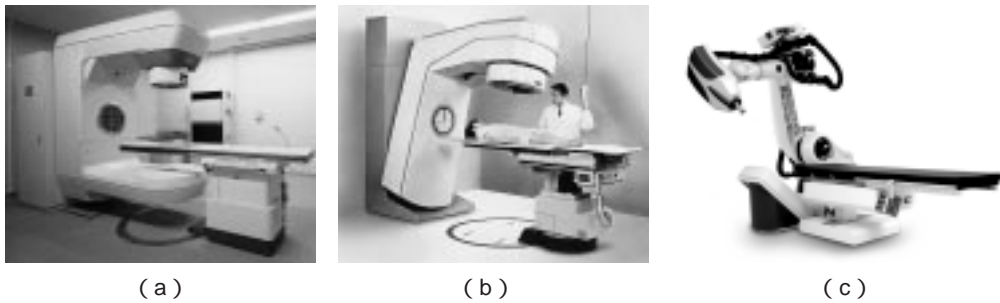


図5.7 ライナック (a), マイクロトロン (b), サイバーナイフ (c) の外観

[(γ, n) 反応] による中性子が放出される。この中性子線が治療室扉外側に漏洩するので、防護扉は散乱X線と漏洩中性子線に対する防護を講じたものでなければならない。そのため、出入口扉にはX線用遮蔽材 (Fe, Pb など) および中性子線用遮蔽材 (水素を多く含むポリエチレン, パラフィンおよび熱中性子を吸収するCd, B など) が使われる。

5.3.3 診療用放射線照射装置

この節および次節で述べる診療用放射線照射機器の違いは使用する密封RIの数量の大きさのみで区分される。前節の発生装置と同様、外部照射の治療装置であるが、下限数量*の1,000倍を超える密封RI線源を装備する診療用放射線照射装置では、テレコバルトが該当する (図5.8)。テレセシウムは現在ほとんど使用されていない。一般に、37 ~ 111 TBq (旧1,000 ~ 3,000 Ci) 程度の ^{60}Co (半減期5.27年) 密封大線源を装備した照射装置が多いが、10年経過すると放射能が約1/4に減衰するので、この種の装置の使用も年々少なくなっている。特殊な装置としては、ガンマナイフ (^{60}Co 線源を使用: 脳腫瘍治療の専用装置) がある。その他、血管内放射線治療線源 (密封RIは ^{32}P , ^{90}Y , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ の3核種に限る) も使用されている。通常、密封線源は容器の破損、接合不良などが生じない限り汚染の心配はないので、特に外部被曝だけに注意すればよい。

非照射時密封RI線源は、収納容器に納められ照射口が閉じた (シャッター閉の) 状態にあるとき、収納容器の遮蔽能は線源から1mの距離での漏洩放射線量率が $70\mu\text{Gy/h}$ 以下になるよう、また照射口には適当な二次電子濾過板 (Cu, Cd板など) を設けるよう決められている。収納容器の遮蔽材はタングステン、鉛で構成されているが、非照射時でもわずかな放射線の漏洩が認められ患者体位の固定、照射野の設定などのためヘッド近くで作業するときは被曝の一因となる。また、100 TBq以上の密封線源を装備している場合は前節で述べたと同じインターロックの設置が義務付けられている。しかし、一般にはこれより少ない数量でもインターロックは設置されている。この種の装置

*下限数量とは医療法施行規則第24条(2)により別表第2に定めるRI (核種・化学形毎) の数量を、また、RIとは「別表第2に示されたRI毎の数量 (Bq) 及び濃度 (Bq/g) を超えるもの」をいう。 ^{60}Co : 10^6Bq , ^{137}Cs : ^{142}Ir : 10^6Bq である。



図5.8 テレコバルト装置外観



図5.9 リモートアフターローダーの外観

にはヘッド固定式とガントリー回転式があるが、多くは回転照射できる装置が望ましいので後者が一般的である。したがって、照射方向によっては遮蔽画壁の厚さ、迷路・出入口への散乱線の寄与を十分考慮しなければならない。このことは5.3.2の発生装置の場合でも同様である。

現在、下限数量の1,000倍を超える密封線源を装備する照射装置としてリモートアフターローダー（遠隔操作式後充填装置；RALS）がある（図5.9）。高線量率用線源として密封大線源と次節で述べる密封小線源のちょうど中間の線源（数量37 GBq～数100 GBq程度で仮に密封中線源とする）が使用されている。使用核種は古くは ^{60}Co が、最近は ^{137}Cs 、 ^{192}Ir など中エネルギー線源のものが多い。腔内照射と組織内照射があるが、腔内照射用がほとんどである。治療中は密封中線源が患者体内に挿入されるので、線源の遮蔽は画壁のみであり十分な防護壁が必要である。遠隔操作で行われるので術者が被曝する恐れは少ない。ただし、収納容器からの線源出し入れにワイヤを使用している装置が多いので線源の脱落、ワイヤのねじれ・切断などの事故を起こす恐れもあり、ふだんの整備、点検を怠ってはならない。その他、血管内に継続的に挿入して放射線治療を行う照射装置もある。

5.3.4 診療用放射線照射器具

下限数量の1,000倍以下の密封RIを装備している診療用照射機器（次節5.3.5を除く）で、密封小線源に相当する。表5.1にこれまで使用されてきた放射線照射器具を示す。核種として ^{226}Ra 、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{192}Ir 、 ^{125}I 、 ^{198}Au 、 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 、 ^{252}Cf などがあり、形状は針、管、シード（グレイン）、セル、ビーズ、ワイヤ（ヘアピン）の他、眼科用アプリケータ、血管内放射線治療などである（図5.10）。1個当たりの数量（放射能）は18.5 MBqから1110 MBqの範囲が多いが、まれに高放射能（4.44 GBq）の器具もある。線放出核種がほとんどであるが、一部線放出核種（ ^{90}Sr 眼科用、血管内放射線治療用）、中性子線放出核種（ ^{252}Cf ）もある。線源の大きさは ^{198}Au グレイン（185MBq、0.8mm × 2.5mm）、 ^{125}I シード（26～30MBq、0.8mm × 4.5mmチタン製カプセル）、 ^{192}Ir シードのように小さいもの、 ^{192}Ir ワイヤのように細長いもの、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs の針・管などさまざまである。 ^{226}Ra 線源は ^{222}Rn ガスによる汚染事故を起こす恐れがあり、1981年ICRPから強く廃棄の勧告が出されたため漸次使用されなくなっている。密封線源の患者への使用は医師または歯科医師に