

値を使用しない場合には、その影響は漏えい線の減少と二次線への寄与率である。

- ・ 散乱線の計算に使用される照射野サイズとファントムにより、安全側に立った散乱線量が算出される。より実的な照射野サイズとファントムを使用することで、散乱線量は約 1/4 に減少する。
- ・ 管理区域外の区域に勧告する占有係数の値は高い。例えば、大半の人は職場に 100% 滞在しない。より実的な係数を使用することで、管理区域外の区域にいる個人が受ける被ばく量は減少する。
- ・ 鉛遮へいは一定の標準規格の鉛板に加工される。遮へい計算により標準厚よりも大きい値が必要ななら、使用可能な標準厚の次に厚い鉛板を一般的に使用する。この厚さを用いることでより安全側の遮へいとなる。実際の遮へい体厚の代わりに標準よりも次に厚いものを使用する (2.3.1.1、図 2.3) ことで、遮へい体透過率に顕著な減少が見られる。
- ・ 遮へい壁から人が常時滞在する区域までの最小距離を 0.3m に設定する。これは大半の壁や特にドアに対してはより安全側の評価である。0.3m より大きい値を用いた場合、放射線量は距離の増加とともに急激に減少する。

上記で議論される安全側の要素は、本報告書で提示される方法で設計された遮へい体を透過した実際の空気カーマが適切な遮へい設計目標を満たすことを、遮へい設計者に対し保証する。新規の施設は、以前に要求されたような遮へい量や費用の顕著な増加を伴わないで、本報告書で勧告される方法を用いて設計することができる。

1.4.4 X線フィルムに対する空気カーマ限度

X線撮影に使用されるX線フィルムは、以前より放射線量に対する感度は小さい。暗室で保管中のフィルムには、保管期間中空気カーマで0.1mGyを超える線量を受けないようにすべきである。フィルム保管期間は一般的に1ヶ月未満である。さらに、カセットに増感紙とともに装填されたフィルムは、ベース+カプリのフィルム濃度が0.05を超えないようにすべきである。暗室で数日間保管されるカセット装填済みのフィルムに対しては、最大空気カーマ0.5μGyを勧告する。

1.4.5 一般的な概念

本報告書にある有資格者という用語は、X線診療施設に対する遮へい設計するための適格な医学物理士または保健物理士として定義される。有資格者は米国放射線医学会、米国医学物理学会、米国保健物理学会、カナダ医学物理学会で認定された者である。

放射線遮へいは、要求される防護の達成を保証するために有資格者によって設計される。遮へい要件は、放射線施設の位置や建築様式の選択に影響するため、計画の早い段階で有資格者に相談すべきである。導入予定の放射線装置やその使用、建築形態や付近の居住地域に関する情報を有資格者に提示するべきである。着工前に再検討することで、最終的な遮へい設計図や仕様書を適切な規制当局に提出する必要もある。

この文書における遮へい設計目標 (P 値) は、新規の施設や建築物にのみ適用し、新基準に伴う既存施設の改修は要求しない。この報告書は新規施設の計画・設計および既存施設の改築に適用される。本報告書の刊行前に設計された施設において、NCRP Report

No.49 の基準を満たしている場合には再評価の必要はない (NCRP, 1993)。本報告書での勧告は、本刊行物の発刊日以降に設計された施設のみにも適用される。放射線被ばくには関連するリスクレベルをもち、全ての予想される被ばくが ALARA の原則に合致することを保証するために、有資格者が完成した施設の遮へい設計を再検証することが重要である (NCRP, 1990; 1993)。

施設完成後の修築や増築はコストがかかるため、遮へいを適切に設計し、当初の建設過程で導入することが重要である。計画には、新しい装置の将来的需要、行為や使用上の変化、稼働負荷の増加、隣接する空間の変化など、可能な限りそれらを考慮することが望ましい。

新しい装置、装置の使用上の顕著な変化、医療スタッフや一般公衆への放射線防護に影響を及ぼすその他の変化について、有資格者による評価が必要となる。最終的な計画書や仕様書は、建設が開始される前に、有資格者、州および連邦当局、地方当局によって再検証する必要がある。また、遮へい体厚の最小値を超える遮へい体増加に伴うコストは微増である。

建築後、備え付けられた遮へい体が各遮へい設計目標 (P) を満たしていることを確認するために、有資格者によって管理区域および管理区域外の区域での測定を含む性能評価 (放射線測定) が実施されるべきである。性能評価とは、遮へい設計において使用された条件が安全側に立っていることを確認するための独立した検査のことである。また、施設稼働中は実効線量 E (1.4.1 と 1.4.2 参照) がそれぞれの勧告値を超えないことを保証するために、定期的にモニタすることが放射線防護上有益なことである。

本報告書は、本書で扱う事項を管轄する様々な規制当局の規制または認可のための必要事項を要約するものではない。また、事業者が本報告書に基づいて実施することを選択するという行政的な統制についても勧告していない。

本報告書のように遮へい設計手法に関する具体的な勧告がある一方で、それにとってかわる方法が放射線防護上同等に満足させるものであると証明されるかもしれない。遮へい防護設計やその建設物の妥当性についての最終評価は、有資格者によって実施される完成後の施設検査に基づく。施設検査で遮へいが不十分と判明した場合、追加遮へいまたは装置の変更、および諸手続きを行うことになる。

2. X線診療施設に対する遮へいの基礎

2.1 基本的原則

X線診療使用時において、放射線は一次線と二次線からなる。診療に有用なビームと呼ばれる一次線は、患者のイメージングに使用される X線管から直接照射される放射線を指す。一次遮へい体は X線管から直接照射される放射線を吸収する壁や天井、床またはその他の構造物をさす。その役割とは、遮へい設計目標に合致するようなレベルまで有用なビームを減弱させることである。

二次線とは、患者や画像ハードウェアのようなその他の物質により散乱される X線と、X線管の防護容器からの漏えい線からなる。図 2.1 は、一般的な X線撮影室における一次線、散乱線、漏洩線、および透過放射線を示す。

個人の一次線、二次線による被ばくは、主に次の因子に依存する。

- ・ 線源から発生する放射線量

- ・ 線源との距離
- ・ 曝露される場所での滞在時間
- ・ 線源との間の防護遮へい体量

線源からの線量率は、線源からの距離の2乗に反比例しておおよそ変化する。遮へい体が適切な位置に設置されている時、線源からの距離を評価するのに、防護されるべき個人は線源との境界にある壁から少なくとも0.3m離れた所にいると仮定する。個人の被ばく時間は、照射時間と、人が照射野にいる間の照射時間の割合の両方にかかわる。一定の時間間隔における遮へい体を透過した線量は、その間隔における積算管電流 [ミリアンペア分 (mA・min) における稼働負荷]、散乱線量、X線管容器からの漏洩線、X線エネルギースペクトルに依存する。本報告書が扱う多くは、防護遮へい体が要求される。

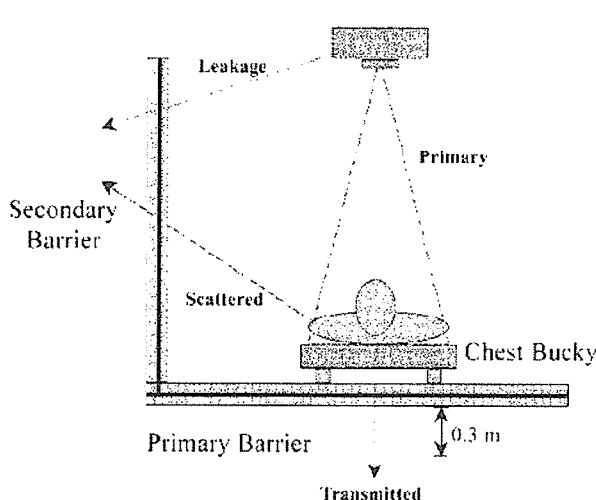


図 2.1 この図は X 線撮影室において、患者が胸部ブッキーに対し立位の状態ときの一次線、散乱線、漏えい線、および透過した放射線を示す。遮へい壁から滞在区域までの最短距離は 0.3m とする。

2.2 X線診療施設の種類

2.1.1 一般 X 線撮影装置

一般的な目的に使用される X 線撮影装置は、X 線管に 50~150kVp の管電圧を用いて、患者、X 線撮影台、最終的には床方向への短時間の放射線を発生する。しかしながら、X 線管はたいてい回転可能なので、X 線がその他の防護壁へ直接向けられる。直接照射を受けた防護壁は一次遮へい体であると考えられる。多くの一般的な X 線撮影室は、「胸部用ブッキー」もしくは「壁ブッキー」(フィルムカセットをセットするための設備)と呼ばれる胸部 X 線撮影用設備を有する。追加遮へいは、この装置の真後ろの設備に特定される。

操作者が胸部ブッキーや撮影台上にいる患者と会話し、患者を観察するための規定を作成すべきである。X 線装置の操作者は防護された領域 (操作ブース) または入射放射線を吸収するための固定型遮へい体の後ろに居る必要がある。操作ブースは一次遮へい体として使用すべきではない。照射スイッチは、操作者が遮へいされた領域外で身体を被ばくしないような位置に設置する必要がある。これは操作ブースの端から 1m 以上の距離に X 線照射スイッチがある場合に達成される。

操作ブースは最低 2.1m の高さを確保し、据え置き型の構造でなければならない。また、装置の安全な運用を可能にするために障害物のない、十分な床面積を備える必要がある。操作ブースは、減弱していない一次線もしくは減弱していない単一散乱線がブース内の操作者の位置に到達しないよう設置すべきである。患者や X 線管から操作者または操作ブース壁の後方にある充填されたフィルムカセットまでの見通し線の範囲は防護すべきである。

操作ブースには操作者が撮影室で行う全ての X 線曝射中に、患者を観察するための窓や TV モニタを用意すべきである。操作者は、ストレッチャーの患者と同様に壁ブッキーや X 線撮影台を見なければならない。観察窓を使用する場合、窓や窓枠は遮へい設計目標値まで空気カーマを減らすために必要な減弱を提示する。窓は最低 45×45cm で床から 1.5m 上部に設ける必要がある。操作ブースの一般的な設計を図 2.2 に示す。

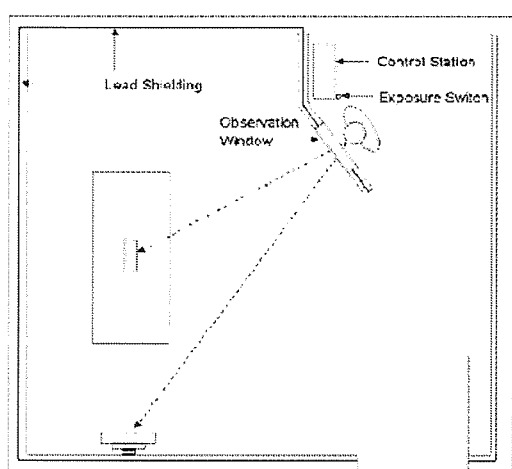


図 2.2 周囲に滞在区域がある X 線撮影室の一般的な操作ブースの配置図である。破線は X 線撮影台ブッキーと壁ブッキーまでの操作者の視線を示す。2.2.1 で説明したように、照射スイッチは操作ブースの端から 1m 以上離れた位置に設置されている。

2.1.2 X 線透視装置

X 線透視装置は管電圧 60~120kVp の範囲で使用される。一次遮へい体は受像器に組み込まれる。よって、透視撮影装置 1 台のみが設置されている透視室の防護設計は、漏えい線と散乱線に対する二次遮へいのみ考慮する必要がある。しかしながら、将来遮へい体を追加することなく部屋の機能が変更できるように、有資格者は室内に一次遮へい体を設けることを望む。最新の透視装置は撮影用 X 線管も含む。そのような部屋の遮へい条件は、撮影と透視の両装置の稼働負荷に基づく。

2.1.3 IVR 施設

IVR 施設には、末梢血管造影や脳血管造影の施設だけでなく心血管造影（心カテ）室も含む。心血管造影室や末梢血管造影室と呼ばれるこれらの施設には、それぞれ別々に評価する必要がある複数の X 線管を有する。遮へいは全ての X 線管からの空気カーマが遮へい設計目標値を超えないよう設計しなければならない。これらの施設で実施される検査の種

類はしばしば、シネ撮影やデジタルラジオグラフィ（DR）と同様に長い透視時間を要す。結果的に IVR 室における稼動負荷は一般的に高く、X 線管の位置は実施される検査毎に変わる。遮へいされた管理区域は、検査に関わる装置や医療スタッフ数名を収容できるくらい十分なスペースを確保する必要がある。

2.2.4 胸部撮影専用装置

胸部撮影専用室では、X 線照射の方向は特定の壁にある胸部用受像器である。室内のその他の壁は二次遮へい体である。胸部撮影は、たいてい 100kVp を超える管電圧を要す。一次線方向の壁では、胸部用装置の真後ろにない大部分は二次遮へいを考慮する。胸部ブツキーの真後ろまたはその周囲の壁は一次遮へいであるが、追加遮へいが必要となるかもしれない。受像器は、胸部以外の撮影領域や様々な身長 of の患者を撮影するのに、垂直方向に動かす可能性がある。それ故に、一次線で曝射を受ける側の壁全体は一次遮へい体として防護する必要がある。

2.2.5 乳房撮影装置（据置型と移動型）

乳房撮影は 25～35kVp の低管電圧が使用される。1999 年 9 月 30 日以降製造された装置は、受像器によって一次線がカットされていなければならない（FDA, 2003b）。したがって、据置型の乳房撮影装置は一般的な石膏ボードによる壁以外は防護を要しない。更に、鉛アクリルや鉛ガラスによる十分な遮へい体は、操作者を防護するために乳房撮影専用装置にたいてい組み込まれている。乳房撮影施設の壁には鉛遮へいを必要としないが、提示された設計で勧告された遮へい設計目標値を十分に満たすかどうかを決定するために有資格者に助言を求める必要がある。木製のドアは石膏ボードほど効果的に X 線を減弱させないため、乳房撮影室のドアには特別な配慮が必要である。設計者は、石膏ボードという材質が空隙や不均一な領域を有することを認識しておく必要がある。それ故に、通常の計算で算出される厚さより厚みのある石膏ボードを壁に使用することを考慮すべきである。しかしながら、5.5 で議論されるとおり、安全側にたった実質的な尺度は、乳房撮影装置のエネルギー範囲での空気カーマに対する実効線量 E の比で与えられる（ICRP, 1996; ICRU, 1998b）。

移動型装置または一時的な装置は、患者、医療スタッフおよび一般公衆の防護に特別な問題がある。これらの装置は初めて使用する前に有資格者が評価する必要がある。

2.2.6 CT 装置

CT 装置はコリメートした X 線ファンビームを使用し、その X 線は患者や検出器に吸収される。結果として二次線のみが遮へい体に入射する。通常 80～140kVp の管電圧は、稼動負荷とともに一般撮影や透視撮影よりずっと高い。多量の二次線の可能性による床、壁、天井には特別な配慮が必要である。さらに、CT 装置からの散乱線、漏えい線は等方的ではない。ガントリ方向における放射線レベルは患者寝台軸上の放射線レベルよりもずっと低い。本報告書で使用される計算モデルは、散乱線が等方的に分布するという安全側に立った仮定をしている。この考え方は、更新装置を従来の位置と異なった位置に設置する場合に重要である。

2.2.7 移動型 X 線撮影・透視装置

移動型（または携帯型）X 線撮影・透視装置は、患者の状態が悪く据置型 X 線装置への移送が無理な場合の検査に使用される。移動型 C アーム透視装置は、ペースメーカーの植え込みなどの心臓手術が行われる手術室、さらにはペインクリニックや整形外科診療室といった場所で行われる様々な検査に使用される。

移動型 X 線装置は胸部 X 線検査で広く使用され、腹部と四肢の検査で時折使用される。これらの検査は、集中治療室や一般病室のベッドサイドで実施される。病院や診療所で移動型 X 線装置の使用に関わる放射線防護事項は、NCRP Report No.133、「放射線診療部門以外で実施される検査に対する放射線防護」（NCRP, 2000）で議論される。

移動型 X 線装置を据え置いて使用するか、または同じ場所で頻繁に使用する場合には、有資格者は遮へい構造の必要性を評価すべきである。

2.2.8 歯科用 X 線診療施設

歯科用 X 線施設の遮へいと放射線防護の必要要件は、NCRP Report No.145「歯科における放射線防護」（NCRP, 2003）で示されている。

2.2.9 X 線骨密度測定装置

X 線骨密度測定装置は画像を伴わないが、電離放射線を用いる診断モダリティの一つである。有資格者は X 線撮影装置と同様の要因を評価する必要がある。これは据置型または一時的な（携帯型）X 線骨密度測定装置に適用する。最近の骨密度分析装置の大半は、患者数の多い施設（年間 2500 名）での稼働負荷に対しても、1m の地点での空気カーマ 1mGy/y を超える散乱線量は発生しない。この空気カーマレベルは、常時人が滞在する管理区域外の区域の遮へい設計目標値に等しい。それ故に、大半の場合遮へいを必要としない。しかしながら、操作コンソールは操作者の被ばくを最小限にするよう、可能な限り線源から離すことを勧める。X 線骨密度測定装置からの散乱線の遮へい計算例は 5.7 を参照する。

2.2.10 獣医診療用 X 線施設

獣医診療用 X 線施設には特別に配慮する必要がある。獣医診療の対象となる多くは小動物であるが、大動物もしばしば対象となる。遮へいと放射線防護の必要要件に対しては、施設使用前に有資格者による評価が必要である。獣医放射線診療施設の放射線安全面は、改訂版近刊予定の NCRP Report No.36「獣医療における放射線防護」（NCRP, 1970; 印刷中）で示されている。

2.2.11 その他の X 線撮影装置

新しい X 線診療技術は今後も発展し続けるだろう。施設で必要とする遮へい体の種類と構成を決定するために、有資格者は電離放射線源全てに対して評価すべきである。

2.3 遮へい設計の基礎

2.3.1 内壁

保健医療の許認可に関わる州当局は、建築基準規則や消防規則と同様に、生活安全性に

対する損害保険者研究所の基準を満たす壁材の要求事項を明記する。現在の保健医療施設における非遮へい壁には、一般的には金属製のくぎや 5/8 インチサイズの石膏ボードが用いられる。廊下側の壁は二層の石膏ボードを用いる可能性がある。数種類の遮へい材が壁に使用できる。

2.3.1.1 鉛板

鉛板は以前より X 線診療室の壁の遮へい材として用いられている。図 2.3 には、米国内の主な数箇所の供給元の調査より得られた市販されている鉛板厚 (mm、inch) と公称重量 (lb) を示す。これらの厚さすべてがあらゆる区域に使用できるとは限らない。図 2.3 に、鉛板 0.79mm 厚 1 枚あたりのコストを基準とした各鉛板厚別 1 枚当たりの相対コストを示す。

平方フィート当たりのポンド重量は公称インチ厚に 64 を掛けたものに等しい。例えば、1/16 インチは 4lb/foot² と等しい。

一般的な遮へいを行う場合、鉛板は石膏ボード板に貼り付け、木製または金属製の止め具の釘やネジで鉛に打ち込む。壁の X 線透過像は、釘やネジの挿入による重大な放射線漏えいを引き起こさないということを示す。実際、鉄製の釘やネジは、ネジを外した鉛よりも一般的に放射線を同等もしくはより効率的に減弱させる。それ故に、鉛遮へい体の固定に使用される鉄製の釘やネジに対し、鉛板や補強用鉛で覆う必要はない。また一方、2 つの鉛板が接する箇所では、接合部の遮へいの連続性を保証する必要がある (section 2.4.2)。

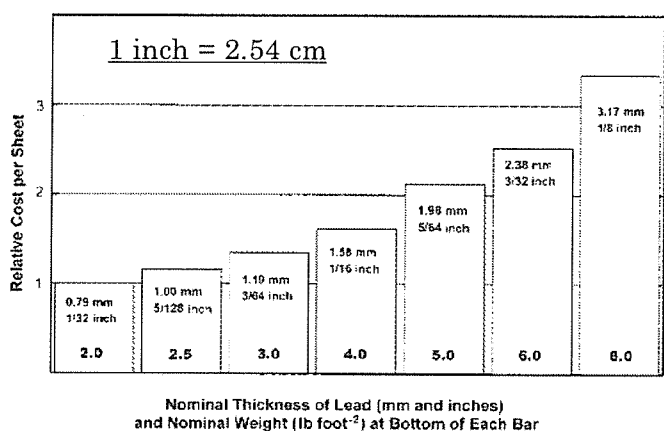


図 2.3 米国内での数箇所の供給業者の最近の調査による市販鉛板厚。各棒グラフの高さは鉛板 0.79mm 厚と比較した鉛板 1 枚当たりの相対コストを表す。グラフに示す全ての鉛板厚は米国全域では使用できないことがある。

2.3.1.2 石膏

石膏ボードは一般的に医療施設における壁材に使用される。Glaze らが指摘したように、各シートの石膏は、合計 1mm の紙でサンドイッチされる。公称 5/8 インチの X 型石膏ボードには、最低でも約 14mm 厚の石膏が入っている。X 線エネルギーが高い場合には石膏ではほとんど減弱しないが、乳房撮影で使用される低エネルギー X 線では顕著な減弱を示

す。先に述べたように、石膏は一般的に空洞や不均一な部分を有するため、遮へい材として使用する際にはより安全側に見込むべきである。

2.3.1.3 その他の物質

コンクリートブロック、レンガ、タイルは内壁に使用する場合がある。一般的にこれらの材質に対する製造仕様書は利用可能であり、それらの使用に対し設定される建設基準は有資格者が建築家と相談して遮へい材としての適性を判断する一助となる。これらの遮へい材は空洞を有するため遮へい設計に特別の配慮が必要である。壁の遮へい能力を損なうおそれのあるブロックやレンガに空洞がある場合、空洞のないブロックやレンガを使用するか、もしくはグラウト、砂、モルタルで空洞を埋める方がよい。市販建材の密度については、Avallone と Baumeister の中に書かれている (1996)。

2.3.2 外壁

X線診療室の外壁は、石、レンガ、スタッコ、コンクリート、木材、ビニール、合成スタッコ、その他の材質からなる。これらの材質の減弱特性の範囲はかなり広いため、有資格者は遮へい要件の決定前に建築家から具体的な外壁設計仕様書を要求すべきである。

壁の設定方式は、一般的に実施設計図段階で作成された建築詳細とともに基本設計段階で決定される。建築家は遮へい要件構造や改修時の基本設計段階で、有資格者とともに計画を再検討すべきである。

2.3.3 ドア

2.3.3.1 鉛入りドア

ドアとその枠は、空気カーマを遮へい設計目標値まで減弱できる構造ではなくてはならない。鉛が要求される場合、隣接する遮へい体と効果的な重なり部分が出来るように、ドア枠の内側に1枚の鉛板で裏打ちし、枠の輪郭に挿入すべきである (図 2.4)。

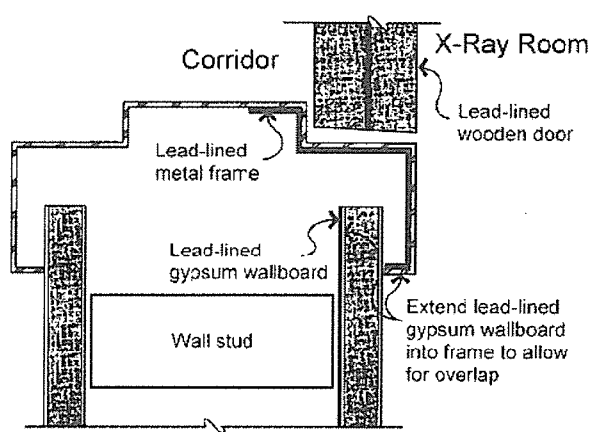


図 2.4 鉛遮へい体の適切な配置を示す鉛入りドアと枠の断面図。ドア枠の金属厚が不十分な場合、隣接遮へい体と効果的な重なり部分が出来るように、ドア枠の内側を1枚の鉛板で裏打ちしドア枠の輪郭に挿入すべきである。

2.3.3.2 木製ドア

木製ドアは減弱効率が見込まれず、全てのドアが同等の状態では設置されるとは限らない。幾つかの「drop-in-core」モデルは固定のコアと外枠（戸枠）間に大きな隙間がある。同様にして、「ランバー・コアのドア」はへりを接着剤でつけた千鳥状の木製ブロックからなるためほとんど遮へい効果はない。この種のコアは、X線撮影時には多くの隙間を示す。木製ドアとして分類されるもう一種類にミネラルコアのドアがある。主にカルシウムケイ酸塩からなるこのドアのコアは石膏ボードと同様の減弱特性をもつ。しかしながら、戸枠は木で作られているため、コア追加による減弱効果は低下する。

設計レイアウト、稼働負荷係数、X線エネルギーによっては、遮へい体として頑丈な木製ドアまたはミネラルコアの木製ドアを用いることができる乳房撮影室などの施設がある。木製ドアの妥当性を保証するのに、遮へい体への適用に対して米国木工製品協会の PC-5（頑丈な木製コア）や C-45（ミネラルコア）、またはその同等品について明記すべきである。これらのドアに対する米国木工製品協会基準（AWI, 2003）では、「しっかりと戸枠をコアに接着する必要がある」と記載されている。

2.3.3.3 ドアのインターロック、警告灯、警告表示

X線照射を遮断するドアのインターロックは、患者の検査を妨げ不必要に検査が繰り返されるため望ましくない。例外として、操作者を防護する遮へい体の主要部分である操作室ドアがある。有資格者は、インターロック、警告灯、警告表示に関して州規則およびその地域の規則を調べるべきである。

2.3.4 監視窓

X線診療施設の監視窓に適している材質には様々な種類がある。窓の材質は耐久性があり、施設の実態をよく観察できる形態が望ましい。

2.3.4.1 鉛ガラス

様々な厚さの鉛含有量の多いガラスを入手できる。鉛ガラスは、一般に特定の管電圧における mm 鉛当量で明記される。

2.3.4.2 板ガラス

通常の板ガラスは、防護要件がかなり低い場所にものみ使用することができる。観察窓を作るために、一般的に 1/4 インチ（6.35mm）厚 2 枚以上のガラスを重ね合わせる。しかしながら、重量を考慮するために、厚くて広面積の板ガラスの窓を指定する場合は注意が必要である。

2.3.4.3 鉛アクリル

この製品は透明で含浸鉛のアクリル板で、数種類の鉛当量を使用することができ、一般的な鉛当量として 0.5mm、0.8mm、1mm、1.5mm がある。鉛アクリルは、比較的柔らかい材質のために傷が付きやすく、洗浄剤で白濁する。

2.3.5 床と天井

コンクリートは床に使用される基本的な建築材である。また、既製壁板、壁、屋根に使用できる。コンクリートは標準重量または軽重量として設計され、指定される。コンクリート遮へい体の放射線減弱効果は、コンクリートの厚さ、密度、および組成に依存する。

図 2.5 は大半の保健医療施設で使用される一般的な床建設、つまり金属デッキ支持材によるコンクリート床を示す。スチールデッキのコンクリート当量は、この報告書で提示される減弱データから評価される。床厚は 4cm ほどの薄いものから 20cm を超えるものまである。遮へい目的に対しては、最小のコンクリート厚を遮へい設計に取り入れるべきである。最適な条件として、有資格者、建築家、構造工学の技術者は、床構造や遮へい設計での潜在的な影響を施設設計工程中にできるだけ早い時期に話し合うべきである。共同設計作業を行うことで、床や天井への鉛遮へい体の追加による出費の必要性がなくなる。

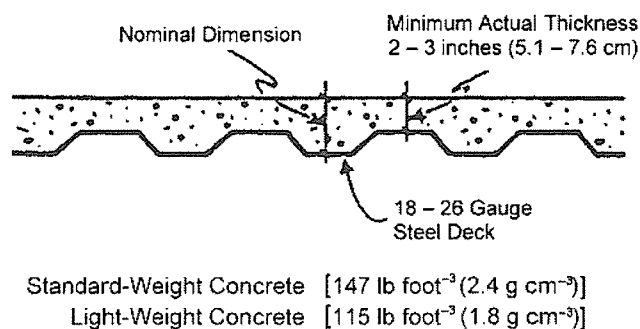


図 2.5 スチールデッキに流し込まれた一般的なコンクリート床板の図を示す。最小部分のコンクリート厚を遮へい体厚の計算時に使用すべきである。

2.3.5.1 標準重量コンクリート

標準重量コンクリートは、大部分の土台や、柱、梁、床といった主要構造体に使用される。標準重量コンクリートの密度は 2.4g/cm³である。コンクリート密度のバラツキは、成分による密度の違い、鋳造で使用される形成技術や充填技術、または混成物の異なる比率から生じることが考えられる。

2.3.5.2 軽重量コンクリート

軽重量コンクリートは、軽量化や防火対策として床に使用される。空隙孔は熱伝導を減らし、一次防火壁として分類できる。一般的には、軽重量コンクリートは使用する骨材によるが、標準重量コンクリートの約 3/4 の密度、1.8g/cm³を有する。コンクリート中の空隙の産物である「蜂の巣」構造は、遮へい特性に影響をもたらす。仮にコンクリートの総設計厚が遮へい目標値を満たす必要がある場合、空隙試験と補正対策の計画が必要となる。

2.3.5.3 床建築

一般的なコンクリート床は、図 2.5 に示すようなスチールデッキが組み込まれた可変構造を有する。コンクリートの最小厚は、たいてい提示されている公称寸法よりは小さい。最小厚は遮へい体等価厚の計算に使用すべきである。

2.3.6 床から床までの高さ

床から床までの高さとは、現在いる階の天井から上の階の天井までの垂直距離をいう。床から床までの高さは、撮影装置の使用や修理を考慮し十分な天井の高さを確保すべきである。床から床までの高さは 3~5m の範囲であるが、(天井の固有遮へい体の他に) 追加遮へい体が X 線診療室の真上の天井について要求されない限り、通常防護遮へい体は床から 2.1m の高さになるよう設置する必要がある。この前者の例では、鉛入りの壁を天井の遮へい材まで延長する必要がある。暗室の壁は、標準で 2.1m の高さを超える棚に保管してあるフィルムを保護するために、天井まで遮へい体の延長を必要とする場合がある。

2.3.7 間隙空間

一般的な間隙空間とは、高さが 1.5~2.4m であり、メンテナンスのための構造上の空間または天井裏で作業する建設要員ための空間をいう。間隙を有する床は、通常のコンクリート床よりはかなり薄く、コンクリート表層がないスチールデッキ、石膏表層を有するスチールデッキ、軽重量コンクリートデッキを有するスチールデッキである。間隙空間は X 線装置稼動中に X 線装置の上下部で人が作業する事を可能にする。この空間の占有係数は、たいていアクセスが制限されているため通常は極端に低い、ケースバイケースの原則に基づいて決定すべきである。

2.4 遮へい設計の考慮

2.4.1 防護遮へい体の貫通

空調ダクト、電線用導管、配管などの設備は、遮へい壁、床および天井を貫通するだろう。X 線診療室の遮へいは、これらの開口部や遮へい体に埋め込まれた点検ボックスなどによって防護が損なわれないように建設すべきである。このことは、補助的な鉛遮へい体で貫通箇所を裏打ちするか貫通内の周囲に巻き付けるかによって達成できる。補助的な厚さは、少なくとも取り除いた物質に等しい遮へい体を有するべきである。取り除いた遮へい体を他の物質に置換するための方法は、設置完了した装置の遮へいが十分であることを立証するために、有資格者が再検討すべきである。

可能ならばいつでも、要求される遮へいが少ない開口部を二次遮へいに位置付けるべきだ。貫通した領域の反対側の壁側を遮へいするなどの有資格者が設計する他の選択方法も効果的な可能性がある。完成した床から 2.1m 上にある X 線撮影室の隙間には、これらの部屋の遮へいは一般的にこの高さより上側に対しては要求しないため、普通は裏打ちを必要としない。

建設中のダクト経路の現場変更は一般的であり、部屋の完成後の改造工事は費用がかかる。壁や床の貫通箇所の変更が遮へい体の一部を除去することになり遮へい効果を損なうことがある場合、実施設計図ではこれらの遮へいの完全性の保証について建築家、エンジニア、有資格者に注意を喚起するための必要性に言及すべきである。

2.4.2 接合部

鉛板間の接合部は、表面が密着し、その重なり部分が 1cm 以上になるように建設すべきである (鉛遮へい体は、十分な重なりを考慮するために乾式壁の端を超える大きさの鉛板で購入できる)。レンガや石を遮へい体として使用する場合、モルタルもレンガと同様に評

価すべきである。鉛やコンクリートなどの異なる種類の遮へい材の接合部に対しては、全体の遮へい防護が損なわれないように建設すべきである。しかしながら、鉛遮へい体と床の小さなすき間については多くの場合支障はない。

2.5 建設基準

一般的に医療施設の建設は高品質であり、安全設計において最も厳しい基準が適用される。しかしながら、建設は管理された環境下で実施されるわけではない。現地条件、天候、建設スケジュール、利用可能な材料、建築要員の資格は完了した計画の妥当性に最終的に影響を与える。要求された遮へいを提供するために過度な精度を要求する遮へい設計は、現場では得られない。有資格者は、適切な遮へいを保証するために細部にいたるまでの周到な注意を要するので、建築家や各部の工事請負業者と綿密に調整すべきである。

2.6 寸法と公差

設計や建築の専門家は、公称用語または公称寸法についてシステムの構成要素の寸法を頻繁に話し合う。例えば、2×4の一片の木材は実際には1・1/2×3・1/2インチ(3.8×8.9cm)、4インチのレンガは実際には3・5/8インチ厚(9.2cm)、20cm厚のコンクリート板は最も薄い部分で15cmしかない。同様に設計公差は様々な設計寸法に対して考慮している。有資格者は、遮へい体に使用される材質やシステムに対する実際の材質の寸法や公差を要求すべきである。有資格者は、幾つかの寸法は壁、柱、梁、板の中心線までであることを把握しておく必要がある。様々な遮へい材の公称厚、公差、最小許容厚は、表2.1に示される。

TABLE 2.1—The nominal thicknesses and tolerances of various shielding materials used in walls, doors and windows (adapted from Archer et al., 1994).

Material	Traditional Designation	Nominal Thickness	Thickness Tolerance	Material Thickness
Sheet lead (ASTM, 2003a)	lb foot ⁻²	≤2.54 mm >2.54 mm	-0.13 mm, +0.20 mm ±5% of specified thickness	—
Steel (SDI, 2003)	16 gauge	0.057 inch	-0.004 inch	1.4 mm ^a
	18 gauge	0.045 inch	-0.003 inch	1.1 mm ^a
	20 gauge	0.034 inch	-0.002 inch	0.86 mm ^a
Plate glass (ASTM, 2001)	1/4 inch	0.23 inch (0.58 cm)	0.22 to 0.24 inch (0.56 to 0.62 cm)	5.6 mm ^b
Gypsum wallboard (ASTM, 2003b)	5/8 inch	5/8 inch (1.59 cm)	±1/64 inch (±0.04 cm)	14 mm ^c
Wooden doors (AWI, 2003)	1 3/4 inch	1 3/4 inch (4.45 cm)	±1/16 inch (±0.16 cm)	43 mm ^d

^aThis value represents the thickness of a single sheet of steel of the indicated gauge. For shielding applications, two sheets of steel of a given gauge are used in steel doors (e.g., for 16 gauge, the steel thickness in the door would be 2.8 mm).

^bThis value represents a "single pane" of 1/4 inch plate glass.

^cThis value represents the gypsum thickness in a single sheet of 5/8 inch "Type X" gypsum wallboard.

^dThis value represents the thickness of a single, solid-core wooden door.

X線診療施設の遮へい設計方法論に関する主要変更点 —NCRP Report No. 147における勧告の概要—

B. R. Archer and J. E. Gray, Important changes in medical x-ray imaging facility shielding design methodology. A brief summary of recommendations in NCRP Report No. 147, Med. Phys. 32, 3559-3661 (2005)

1. Report No. 147での新しい考え方

NCRP Report No.49 は、1976 年から 2004 年まで X 線診療施設に対する放射線遮へいに関して明確化した米国における「有資格者」のための最初の指針であった。Report No. 147 は、Report No.49 で考慮されなかった CT、乳房撮影装置、デジタル画像装置といったモダリティに対応し、使用係数、居住係数および施設稼働負荷が見直されている。

その他の重要な変更点は線量限度と評価に用いる放射線量である。Report No.49 で用いた放射線量は照射線量(R)であった。現在、放射線源からの被ばく限度に対して勧告している放射線防護量は実効線量 E (Sv)である。個人の職業被ばくに対して、NCRP Report No.116 は「すべての新規施設および新しい検査手法を導入したすべての施設については、累積線量限度 10mSv/y を個人職業被ばくの年線量限度として設計すべきである」と勧告している。Report No.147 は、管理区域での個人の年実効線量限度を、職業被ばく線量限度の 1/2、すなわち 5mSv/y とすることでより安全側の値を勧告している。

しかし、直接測定できない実効線量 E は基本遮へい設計には実用的でないため、Report No.147 では遮へい設計計算で測定可能な量として空気カーマ(Ka)の使用を勧告する。遮へい設計目標値(P)は、管理区域と管理区域外における個人被ばく防護のために構築する遮へい体の設計・評価時に使用する空気カーマ Ka レベルとして定義する。入射空気カーマ Ka に対する実効線量 E の関係は複雑であり、放射性感受性器官への X 線透過による体内での X 線減弱、X 線エネルギースペクトル、線源に対する作業者の作業状態に依存する。Report No.147 は次に示す空気カーマ値を管理区域における遮へい設計目標値(P)として勧告する：0.1mGy/week (5mGy/y)

一般公衆の年実効線量限度に関して、管理区域外での被ばく防護に対する Report No.147 で示された独自の言い回しは以下のとおりである。

「ICRP60 と NCRP Report No.116 での一般公衆に対する年実効線量限度の勧告に基づき、遮へい設計は管理区域外でのすべての個人被ばく線量を実効線量で 1mSv/y を超えないように制限すべきである。放射線診療施設への NCRP Report No.116 (1993)の指針適用の検討後、NCRP は管理区域外または放射線診療施設近辺での個人を防護するための適切な線源管理はどの一年においても実効線量 1mSv

であると結論付けた。」したがって、管理区域外に対する勧告は空気カーマ 0.02mGy/week (1mGy/y) を遮へい設計目標値(P)としている。

前述の P 値を使用する X 線診療施設は、管理区域と管理区域外に対する勧告値 E より低い E 値になることが予想される。これは Report No.147 で勧告する遮へい設計法がより安全側であることの結果である。

これまで、一次遮へい要件の決定は、前述の遮へい設計目標値(P)のみならず、距離(d)、稼働負荷(W)、使用係数(U)および居住係数(T)を含むいくつかのパラメータの適用に依存した。Report No.147 は、これらの各パラメータの従来値を批判的な目で見、いくつかの修正を行った。

居住区域の評価点までの距離 d は、線源から遮へい体に最も近い人の感受性器官までを指す。この壁までの距離は、従前のレポートと同じ 0.3m のままである。しかし、Report No.147 ではいくつかの新しく提案された距離を取り入れてある。居住区域として可能性の高い部屋の階上に位置する線源に対しては、階下の人の感受性器官が階下の床から 1.7m 以下と仮定できる一方で、天井の X 線透過に対しては階上の床から少なくとも 0.5m の距離が一般的に妥当である。

Report No.147 は、より現実的な滞在時間の評価に基づいて提示された居住係数の新しい指針を示す。例えば、X 線診療室に隣接する屋外区域に対しては、居住係数 $1/40$ が合理的に割り当てられる。これは、1 年間毎週 X 線を出している中で、ある特定の一般公衆が週平均 1 時間をその区域で過ごすことを示している。従前の Report から変更したその他の勧告値は、廊下に対して $T=1/5$ 、廊下の居住係数より合理的に低いと仮定できる X 線診療室扉の真後ろの区域に対して $T=1/8$ である。

X 線診療室の稼働負荷 W および現在臨床的に使用されている他のパラメータを検証するために、AAPM Task Group13 は現代の医療施設の実態調査を行い、その調査結果を 1996 年に Simpkin が発表した。調査は X 線撮影室における様々な種類の撮影条件、週平均患者数 N、W の管電圧分布、使用係数 U によって稼働負荷 W を決定した。Report No.147 ではこれらの調査データを使用し、様々な種類の放射線診療装置に対する遮へい要件を算出するために、調査より得られた管電圧ごとの「稼働負荷区分」に基づく理論的モデルを適用している。

使用係数 U は、ある特定の一次遮へい体に入射する一次線稼働負荷の割合である。Report No.49 で示された U 値 (X 線診療室の床面に対して $U=1$ 、4 方向の壁面に対して $U=1/4$) は不当に高い値である。Simpkin が指摘したように、これらの条件を用いると「遮へい体面への一次線強度を無意図的に倍増させる」。Report No.147 は一般的な X 線撮影室に対する一次線使用係数を勧告するために AAPM の調査データを使用した。一般的な X 線撮影室に対する一次線使用係数は次のとおりである： $U_{\text{floor}}=0.89$ 、 $U_{\text{cross-table wall}}=0.09$ 、 $U_{\text{wall No.3}}=0.02$ 、ここで wall No.3 はクロステーブル側の壁または立位受像器を有する側の壁以外の不特定の壁を指す。

一次遮へい体の計算では、減弱されていない一次線が一次遮へい体である床や壁

に入射すると以前より仮定している。Report No.147 では一次遮へい体を決定するための新しい手法が提示されている。患者、受像器、受像器を構成する構造物による吸収によって一次線強度がかなり低下することを認識している。より安全側の適切な手法は、患者による有意な X 線減弱を無視し、撮像構成機器による X 線減弱のみ考慮することである。この撮像構成機器による X 線減弱は遮へい材の等価厚として提示される。例えば、撮影台の受像器はコンクリート 72mm または鉛 0.85mm の遮へい体厚に相当する。

二次遮へい体は撮像設備によって生成された散乱線や漏えい線による空気カーマを制限するものである。稼働負荷区分が示すとおり、大半の X 線撮影は管電圧 100kVp 以下で行われるため、NCRP Report No.49 での漏えい線計算法である 150kVp・3.3mA を用いた撮像条件はかなり安全側である。Report No.147 では X 線診療室別稼働負荷区分における各管電圧の使用状況に応じた稼働負荷の総和に基づき、鉛等価厚の管容器で減弱した 1m の地点での 1 患者当たりの遮へいされていない漏えい空気カーマを示す。

散乱線による空気カーマの大きさは、散乱角の関数、患者に入射する一次光子数とエネルギー、患者に入射する X 線の位置、患者の体格による。さらに、Report No.49 で示された二次遮へい体に対し「一半価層分を加える」という過剰に安全側の手法は、一般的な稼働負荷区分を取り入れる汎用モデルに変更された。二次線の透過と減弱に関するより正確なデータとモデルについては Report No.147 に示す。

施設がより安全側の遮へい設計で建築されたことを確認するために、Report No.147 では建築後の有資格者による性能評価を勧告する。この放射線防護調査は、「有資格者」の指示の下または実際の指示によって実施する X 線診療施設の現地評価である。調査は 2 つの基本要素から成る。一つは、遮へいが適切な場所に設置され、切れ目がないこと、隙間や欠陥がないこと、を検証するための調査である。もう一つは、関係する遮へい設計目標値を適切な居住係数で割った値 (P/T) について、隣接する居住区域への遮へいが十分に線量を減弱させているかを検証する遮へいの妥当性評価である。

2 まとめ

NCRP Report No.147 は、X 線診療施設に対する構造遮へいの設計と仕様に関係する新しい勧告と多くの新しい技術情報を示す。その中には、適切な遮へい材の選択や遮へい体厚の計算で考慮するための様々な要因の議論も含んでいる。遮へい設計を行う有資格者は、これらの変更点や勧告のみならず、Report No.147 でのその他の事項についても認識しておくべきである。また、遮へい要件を評価する際には有資格者を活用すべきである。

平成18年度厚生労働科学研究費補助金
分担研究報告書

医療放射線分野における法令整備等
含めた管理体制に関する研究

国際免除レベルの医療法への取り入れに
付随する関連事項に関する研究

平成19年3月

分担研究者 小林 一三

目次

課題（１）： NCRP Report No. 147におけるエックス線診療室の しゃへい算定に使用される透過率について	1
研究要旨	1
A 研究目的	2
B 研究方法	2
C 研究結果	8
D 考察	16
E 結論	18
参考-1 改訂版 医療放射線管理の実践マニュアル p206～219	19
参考-2 JISZ4501 防護用品類の試験	20
参考資料	22
課題（２）： 移動型エックス線撮影装置の遠隔操作に関する必要性の検討	23
研究要旨	23
A 研究目的	23
B 研究方法	23
C 研究結果	23
D 考察	29
参考資料	30
課題（３）： 複合しゃへい体の組合せ順の違いによるしゃへい効果への影響に関する 研究	31
研究要旨	31
A 研究目的	32
B 研究方法	32
C 研究結果	33
D 考察	36
E 結論	37
参考文献	38

平成18年度厚生労働科学研究費補助金（医療安全・医療技術評価総合研究事業）
「医療放射線分野における法令整備等含めた管理体制に関する研究」

分担研究報告書

「国際免除レベルの医療法への取り入れに付随する関連事項に関する研究」
（課題1）

－NCRP Report No. 147におけるエックス線診療室の
しゃへい算定に使用される透過率ついて－

分担研究者 小林 一三 国立国際医療センター 放射線診療部

研究要旨

平成13年3月12日医薬発第188号通知が出され、それまでのエックス線診療室の管理区域等の適合評価をしゃへい体の厚さで評価する方法から、数値として評価できる漏えい線量評価に変更された。この医薬発第188号通知の漏えい線量計算の透過率等の基礎データはNCRP Report No. 49およびNo. 102から読み取った値が使用されている。その後、Simpkinらがフィッティング定数（ α （ mm^{-1} ）、 β （ mm^{-1} ）、 γ （ mm^{-1} ））を用いた近似式から算出した透過率（参考-1）を提案し、鉛、コンクリート以外に、石膏、鉄、ガラス、木材においても漏えい線量の評価が可能となったとされている。NCRP Report No. 147においても、エックス線診療室のしゃへい壁を算出する適性パラメータとして、このフィッティング定数が採用されている。今後、NCRP Report No. 147が報告しているような考え方、方法が医療法施行規則に取り入れられることになれば、エックス線診療室のしゃへい壁の決定は、このフィッティング定数から導き出される透過率データが使用されることになる。

今回、われわれは、医療施設で使用される一般的なエックス線装置を使って、市販のしゃへい体材料である石膏、ガラス、アルミニウム、コンクリート、鉄、銅について、管電圧50kVp、80kVp、120kVpの透過線量を測定した。その測定結果から管電圧-厚さに対応する透過率曲線を作成した。一方、Simpkinらが提案しているフィッティング定数（ α （ mm^{-1} ）、 β （ mm^{-1} ）、 γ （ mm^{-1} ））を用いた近似式から得た透過率をNCRP Report No. 147に付属する表から、今回実測した材料の管電圧-厚さに合致した数値を読み取り、Simpkinらが提案するフィッティング定数の透過率とした。この実測した透過率とフィッティング定数から導いた透過率とを比較することにより、各管電圧毎の両方の透過率の相似性をグラフによって確認した。

結果として、医療施設で使用される一般的なエックス線装置の管球容量の問題、測定材料の入手の問題、材料の正確な密度の問題が有り、相似性を確認できたしゃへい体材料は、石膏、ガラス、鉄の3種類だけであった。この中の石膏、鉄にあっては、実測による透過率データとフィッティング定数から導いた透過率データとは相似性が認められたことからフィッティング定数から導いた透過率は管電圧-厚さに関する透過率として使用することが可能であることが検証された。

研究協力者

小高 喜久雄 国立がんセンター中央病院 放射線治療部

塚田 勝 国立病院機構 東京医療センター

A 研究目的

Simpkin らが提案したフィッティング定数から導いた透過率データは、鉛、コンクリート、石膏、鉄、ガラス、木材の6種類からなり、この6種類が実測された透過率曲線に近似しているとされている。NCRP Report No. 147 においても、エックス線診療室のしゃへい壁を算出する適性パラメータとして、このフィッティング定数が採用されている。

本研究の目的は、医療施設で使用される一般的なエックス線装置及び市販されている石膏ボード、ガラス、アルミニウム、コンクリート、鉄、銅を使って管電圧 50kVp、80kVp、120 kVp の透過線量を測定し、透過率を算出する。その透過率と、Simpkin らが提案したフィッティング定数から導いた透過率データを比較することにより、Simpkin らの透過率データを検証することである。

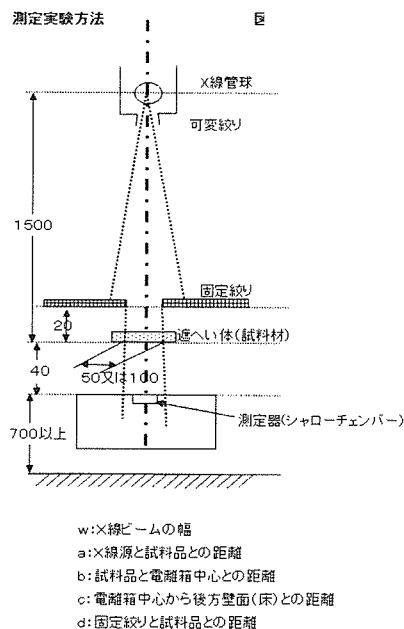
検証方法は、シャローチェンバーを装備した線量計を用いて透過線量を測定し、厚さに対する透過率を算出する。その透過率と Simpkin らが提案したフィッティング定数から導いた透過率を比較する方法とした。

B 研究方法

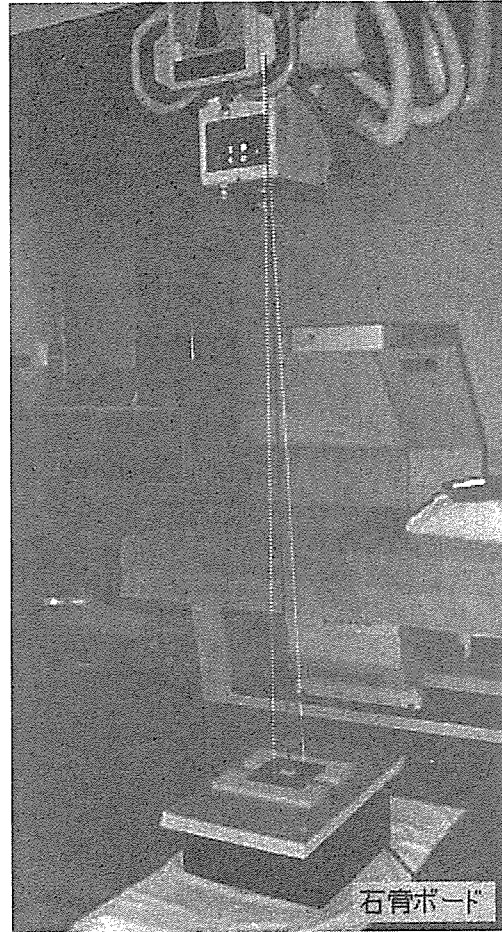
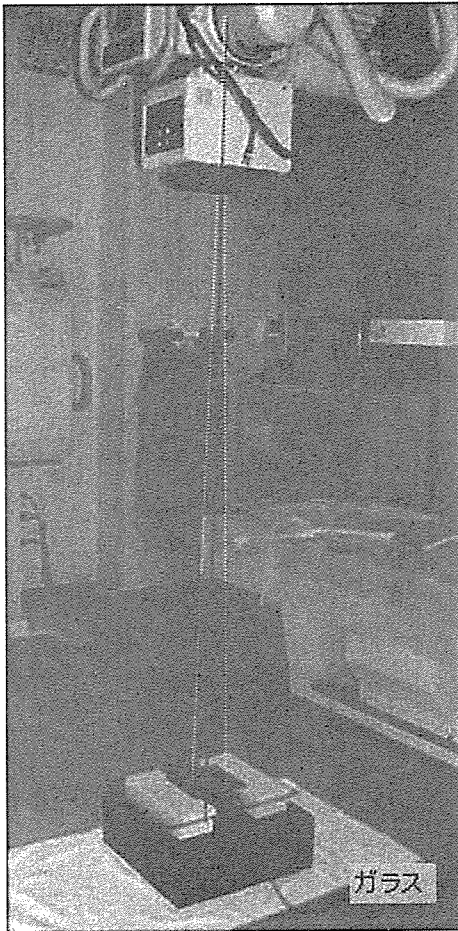
1. 透過線量の実測

(1) 実測は以下の方法を用いて行った。

- ① 測定方法は、JISZ4501 防護用品類の試験を採用した。(参考—2)
- ② 管球—測定器 (シャローチェンバー) の配置は、図—1、図—2 に示す。



図—1



1. 前方からの1次線のみを評価するため照射野は5×5cmとした。
2. 使用線量計はシャローチェンバーを使用した。
3. 後方(床)からの2次線を遮断するため20cm以上の散乱吸収体タフウオータを使用した。
4. 遮へい体からの2次線の入射を無くすために40mmの空間を設けた。

図-2

③ 使用機器一覧

東芝

KX0-80G

定格 最大管電圧 150kV、最大管電流 800mA

HU 300 k H U

測定器

PAMTEC1000plus

シャローチェンバー

NACP02

しゃへい体

石膏ボード、ガラス、アルミニウム、コンクリート、鉄、銅の6種類

コリメータ

固定絞り鉛厚 50 × 50 mm

後方散乱防護材

タフウオータ 20cm