

## X線診療施設の遮へい構造設計

米国放射線防護・測定審議会（NCRP）の勧告

2004年11月19日発行

2005年1月10日改訂

## 序文

本報告書は、米国放射線防護測定審議会（NCRP）のProgram Area Committee 2（放射線業務の安全性に関する委員会）の後援のもとで作成された。本報告書では、X線診療施設に対する遮へい構造設計について取り扱い、1976年9月に刊行されたNCRP Report No.49 “*Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV*”でのX線診断施設の部分に取って代わるものである。第2弾の報告書としては、Program Area Committee 2において高エネルギーX線・ $\gamma$ 線放射線治療施設に対する遮へい構造設計について示したNCRP Report No.49の改訂版を近刊中である。

本報告書は、NCRPのScientific Committee 9と米国医学物理学会（AAPM）との合同で作成された。NCRPは、財政的なサポート、AAPMの年次会議でのScientific Committee 9との多くの会合の機会、多くの放射線防護専門家が提供した報告書の技術的な評価をしていただいたAAPMに対し深謝する。

## 1. 緒言と勧告

- 1.1 目的と適用範囲
- 1.2 数量と単位
- 1.3 管理区域と管理区域外の区域
- 1.4 X線診療施設の遮へい設計目標と実効線量
  - 1.4.1 管理区域
  - 1.4.2 管理区域外の区域
  - 1.4.3 遮へい設計条件
  - 1.4.4 X線フィルムに対する空気カーマ限度
- 1.5 一般的な概念

## 2. X線診療施設に対する遮へい設計の基本

- 2.1 基本原理
- 2.2 X線診療施設等の種類
  - 2.2.1 一般X線撮影装置
  - 2.2.2 X線透視装置
  - 2.2.3 IVR施設
  - 2.2.4 胸部撮影専用装置
  - 2.2.5 乳房撮影装置（据置型と移動型）
  - 2.2.6 CT装置
  - 2.2.7 移動型X線撮影・透視装置
  - 2.2.8 歯科用X線撮影施設
  - 2.2.9 X線骨密度測定装置
  - 2.2.10 獣医診療用X線施設
  - 2.2.11 その他のX線撮影装置
- 2.3 遮へい設計の基礎
  - 2.3.1 内壁
    - 2.3.1.1 鉛シート
    - 2.3.1.2 石膏板
    - 2.3.1.3 その他の物質
  - 2.3.2 建物の外壁
  - 2.3.3 ドア
    - 2.3.3.1 鉛で裏打ちされた扉
    - 2.3.3.2 木製の扉
    - 2.3.3.3 扉のインターロック、警告灯、警告表示
  - 2.3.4 窓
    - 2.3.4.1 鉛ガラス
    - 2.3.4.2 板ガラス
    - 2.3.4.3 鉛アクリル
  - 2.3.5 床と天井
    - 2.3.5.1 標準重量コンクリート
    - 2.3.5.2 軽重量コンクリート
    - 2.3.5.3 床建築
  - 2.3.6 床から床までの高さ

- 2.3.7 間隙空間
- 2.4 遮へい設計の考慮
  - 2.4.1 防護遮へい体の貫通
  - 2.4.2 接合部
- 2.5 建築基準
- 2.6 寸法と公差
- 3. 遮へい設計の基本
  - 3.1 戦略的な遮へい計画
  - 3.2 プロジェクト開発工程
    - 3.2.1 戦略的計画と予算
    - 3.2.2 基本計画
    - 3.2.3 仮設計
    - 3.2.4 基本設計
    - 3.2.5 実施設計図の準備
  - 3.3 文書要件
- 4. X線診療施設の遮へい計算
  - 4.1 概念と用語
    - 4.1.1 遮へい設計目標
    - 4.1.2 人が常時立ち入る区域までの距離
    - 4.1.3 占有係数
    - 4.1.4 稼働負荷と稼働負荷区分
    - 4.1.5 使用係数
    - 4.1.6 一次遮へい体
      - 4.1.6.1 遮へいされていない一次空気カーマ
      - 4.1.6.2 プレ遮へい体
    - 4.1.7 二次遮へい体
      - 4.1.7.1 漏えい線
      - 4.1.7.2 散乱線
      - 4.1.7.3 二次線による総寄与
  - 4.2 遮へい計算法
    - 4.2.1 一般的な遮へいの概念
    - 4.2.2 一次遮へい体に対する遮へい計算法
    - 4.2.3 二次遮へい体に対する遮へい計算法
    - 4.2.4 代表的な撮影室および撮影・透視室に対する付加的方法
  - 4.3 不確定要素
- 5. 遮へい計算例
  - 5.1 心血管造影室
  - 5.2 胸部専用撮影室
  - 5.3 一般X線撮影室
    - 5.3.1 撮影室の床
      - 5.3.1.1 クロステーブル真下の床に対する一次遮へい体厚の計算
      - 5.3.1.2 床に対する二次遮へい体厚の計算
    - 5.3.2 撮影室の天井

- 5.3.3 撮影室における胸部受像器側を含む壁
  - 5.3.3.1 撮影室における胸部受像器側の壁
  - 5.3.3.2 二次遮へい：胸部用受像器面上の壁
- 5.3.4 撮影室における暗室側の壁
- 5.3.5 撮影室におけるクロステーブル側の壁
- 5.3.6 撮影室内の操作用防護壁
- 5.4 X線透視室
  - 5.4.1 X線透視室の床に対する二次遮へい体厚の算出
  - 5.4.2 X線透視室の床に対する一次遮へい体厚の算出
- 5.5 乳房撮影装置
- 5.6 CT室
  - 5.6.1 DLP法
  - 5.6.2 等線量マップ法
  - 5.6.3 注意事項
- 5.7 X線骨密度測定装置（二重エネルギーX線吸収測定（DEXA））
- 5.8 遮へい設計報告
- 6. 放射線防護に関する施設検査
  - 6.1 はじめに
  - 6.2 空隙検査
  - 6.3 遮へいの妥当性評価
    - 6.3.1 遮へい体の有無と遮へい体厚決定のための遮へい構造の使用前検査
    - 6.3.2 遮へい体の有無と遮へい体厚決定のための透過率測定
    - 6.3.3 遮へい体の妥当性の決定
      - 6.3.3.1 一次遮へい体：胸部ブッキー面上の壁
      - 6.3.3.2 二次遮へい体：胸部ブッキー面外の壁
      - 6.3.3.3 クロステーブル側の壁
      - 6.3.3.4 一次線の影響がない場所の二次遮へい
      - 6.3.3.5 床
      - 6.3.3.6 総括
    - 6.3.4 CT装置の検査
  - 6.4 調査報告
  - 6.5 問題の是正
  - 6.6 必要書類
- 付録A. 透過率データ
- 付録B. 一次遮へい体厚の算出
- 付録C. 二次遮へい体厚の算出
  - C.1 散乱線
  - C.2 漏えい線
  - C.3 総二次遮へい体と二次線透過率
  - C.4 一般的な事例
- 付録D. 放射線防護検査を実施するための放射線測定器

## 1. 緒言と勧告

### 1.1 目的と適用範囲

放射線遮へいの目的は、作業従事者と一般公衆への放射線被ばくを許容可能なレベルにまで制限する事である。この報告書は X 線診療施設に対する遮へい設計と遮へい設備に関わる勧告と技術情報を提示する。本報告は X 線診療施設に関する NCRP Report No.49 の勧告に取って代わる。適切な遮へい材の選択や遮へい体厚の計算において様々な要因を考慮するための議論を含む。本報告書は、主に放射線防護の専門家向けであるが、診療に X 線を使用するための新たな施設計画に関わる専門家、建築家、病院管理者にとって興味ある問題となっている。

報告書に使用される用語と記号は、152 頁の用語集にて定義される。本報告書での全ての勧告は、shall や should で示される。

- ・ shall : 放射線防護の現在許容される基準を満たす必要がある勧告
- ・ should : 実行可能もしくは実際的な場合、適用される助言的勧告 (費用対効果など)

### 1.2 量と単位

X 線に対する遮へい計算で使用される推奨量は、空気中のある点で測定された、非荷電粒子によって生成された単位空気量当たりの全荷電粒子の初期運動エネルギーの総和として定義される空気カーマ (K)<sup>1</sup>である (ICRU, 1998a)。

<sup>1</sup>本報告書では、記号 K は更にある数量を説明するのに適切な下付き記号を用いることで、量的空気カーマを指す (記号  $K_a$  の代わりに、 $K_p$  : 一次線による空気カーマ)。

空気カーマの単位は、特別名称グレイ (Gy) とともに、kg 当たりのジュール (J/kg) で表される。現在、米国における多くの放射線測定器は、以前の特別名称 R (レントゲン) を用いて、照射線量を測定するための設計、校正がされている (ICRU, 1998a)。

照射線量は、標的空気中の光子によって生成された荷重粒子が完全に空気中で停止するまでに空気中で生成される電荷量のことを言い、kg 当たりのクーロン (C/kg) で示される (ICRU, 1998)。この報告書で議論される放射線防護量の直接測定に関して、照射線量 (R) で校正された測定器による測定値を 114 で割って空気カーマ K (Gy) を算出する。診療用 X 線を使用する施設周辺の遮へいに対する透過率測定に用いられるレントゲン (R) で校正された測定器では、透過率は数量比であるため空気カーマへの変換の必要はない。

電離放射線源による人への被ばくの限度に対し推奨される放射線防護量は、実効線量 (E)、つまり特定の臓器や組織への荷重等価線量の合計として定義される (※各等価線量は、組織や器官に対する組織荷重係数によって荷重される) (NCRP, 1993)。特定の臓器や組織に対する  $W_T$  という値は、全身が不均一に被ばくする際、臓器や組織に起因する障害の割合 (癌や遺伝的影響から) を示す。特定の組織や臓器に対する等価線量は、電離放射線の種類や対象となる放射線の生物学的効果比を考慮して組織や臓器における平均吸収線量 ( $D_T$ ) に放射線荷重係数 ( $W_R$ ) を掛けることで得られる。本報告書で考慮される放射線、いわゆる X 線では、 $W_R$  値は 1 である。

NCRP は過去の出版物で SI 単位系を採用した (NCRP, 1985)。更に本報告書では、非 SI 単位系が建築業界では一般に使用されるので、建材の特性を表示するのに SI 単位系と非 SI 単位系の両方を時折使用する。

### 1.3 管理区域と管理区域外の区域

管理区域は、放射線による職業被ばくが放射線防護担当者の監督下にある、立入りの制限

された区域である。ここでは立入り、滞在、作業状況は、放射線防護目的のために管理される。X線診療施設では、これらの区域は、一般的にX線装置が使用される隣接エリア、すなわちX線撮影室、X線装置操作ブース、放射線防護目的で立入り、滞在、作業状況への管理を要すその他の区域をさす。これらの区域での作業者は、放射線科医や放射線技師であり、電離放射線の利用にあたり特別な訓練を受け個人被ばく量が測定される。

管理区域外の区域とは、病院、診療所内の他のすべてのエリア、事業所周辺地域をさす。訓練を受けた放射線従事者やその他の従事者と同様に、一般公衆に対してもフィルム読影室またはトイレのような管理区域付近の常時人が立ち入る区域に注意事項を掲示する必要がある。本報告書ではこれらのエリアについても管理区域外の区域として取り扱う。

#### 1.4 X線診療施設に対する遮へい設計目標と実効線量

本報告書で遮へい設計目標 (P) は、医療従事者や一般公衆の防護のために構築される遮へい体の設計計算や評価で使用される空気カーマのレベルである。管理区域、管理区域外の区域にはそれぞれの遮へい設計目標が存在する。新規施設の管理区域および管理区域外の区域に適用する場合、X線診療施設の遮へい設計のアプローチ、および遮へい設計目標と放射線診療従事者・一般公衆に対するNCRPが勧告する実効線量限度との間の関係は以下で議論される。入射空気カーマKに対する実効線量Eの関係は複雑であり、放射線感受性臓器を透過する際の身体中におけるX線吸収、X線エネルギースペクトル、線源からの曝露状況に依存する。人は常に動いており、一方向からのみ被ばくするとは限らないため、多方向からの被ばくが想定される。実効線量Eは直接測定できないため、実効線量Eに基づいて遮へい設計を行うことは現実的ではない。それ故に、本報告書の目的である遮へい設計目標は、遮へい体を透過した最も近い滞在区域のある点における空気カーマK (mGy) で記述される。例えば4章で議論されるとおり、X線診療室側の壁までの最短距離が0.3m未満にならないよう、安全側に立った想定がされる。

遮へい設計目標 (P) は、一台のX線装置または一式のX線装置に対して、遮へい壁透過後の基準点で評価された実用的な値である。この報告書で推奨される安全側に立った想定で使用する場合、遮へい設計目標は管理区域および管理区域外の区域に対する本報告書での勧告値である実効線量Eのそれぞれの年間限度を超えないことを保証する。X線診療装置の稼働負荷には以前から週単位を使用していたので、遮へい設計目標は週単位の値で示す。

##### 1.4.1 管理区域

管理区域内で働く被雇用者 (放射線診療従事者) は、一連の業務分担で顕著に被ばくする可能性をもち、放射線の使用と管理に直接責任をもつか、その関わりがある者である。彼らはたいてい放射線安全管理に関するトレーニングを受けており、日常的に被ばく線量をモニタリングしている。

NCRPは累積実効線量Eが10mSvと作業員自身の年齢との積を超えないことにより、従事者個人の実効線量限度を50mSv/yと勧告している (医療被ばくおよび自然放射線による被ばくを除く) (NCRP, 1993)。そのような線量限度があるにも関わらず、NCRP (1993) では新たな施設設計の際の実効線量Eを累積実効線量限度10mSv/年にすべきであると勧告している。さらに考慮すべき事項として、妊娠している放射線作業員に対し、胎芽・胎児への等価線量限度 (HT) 0.5mSv/月を超えないようにすべきである (NCRP, 1993)。両方の勧告を満たすために、本報告書では新規施設設計のための実効線量限度E値の1/2つまり5mSv/年に基づき、週当たりの管理区域に対する遮へい設計目標として空気カーマ0.1mGy

(空気カーマ 5mGy/年) を勧告する。本報告書で採用される P 値は、妊娠中の作業者の管理区域への常時立入りを考慮している。

管理区域に対する遮へい設計目標値(P) 空気カーマ 0.1mGy/週 (5mGy/年)
--

#### 1.4.2 管理区域外の区域

管理区域外の区域とは、患者や医療施設への訪問者、放射線源を日常的に扱わない医療従事者のような人が滞在する区域をさす。X線診療施設ではない隣接区域も管理区域外の区域に該当する。

一般公衆への年間の実効線量限度に対する ICRP (1991) と NCRP (1993) の両勧告に基づき、遮へい設計では管理区域外の区域における全ての人の被ばく量を 1mSv/年を超えないように制限しなければならない。NCRP(1993)の指針を放射線診療施設に適用するための検討後、NCRP は放射線診療施設内、およびその付近の管理区域外の区域で個人を防護するのに適切な線源管理は、いかなる 1 年間においても実効線量 1mSv であると結論付けた。この勧告では、週当たりの管理区域外の区域に対する遮へい設計目標として空気カーマ 0.02mGy を適用することで、本報告書に挙げられる放射線診療施設に対して目標を達成することができる。

管理区域外の区域に対する遮へい設計目標値(P) 空気カーマ 0.02mGy/週 (1mGy/年)
---

#### 1.4.3 遮へい設計条件

上記の P 値を使用する X線診療施設は、管理区域・管理区域外の区域に対してこの報告書で勧告される実効線量 E よりも低い実効線量となる。本報告書で勧告される遮へい設計方法は安全側に立った考えを示すものである。この安全側の考え方を示す例とそれぞれの関連ある影響を以下に示す。

- ・ 患者により一次線は 1/10~1/100 に減弱するが、患者による一次線の顕著な減弱は無視する。
- ・ 勧告される遮へい体厚の計算は、X線が垂直に入射すると仮定する。仮定できない場合、その影響は入射角度により変化するが、入射角が 90 度でない場合でも遮へい体透過による減弱はある。
- ・ 遮へい計算では、特定の遮へい物質以外の X線の行程中に存在する物質(例：鉛カーテン、鉛エプロン、天井に取り付けられた遮へい体、収納設備)を無視する。付加的物質がある場合、その影響の程度は変化し、付加的物質により透過率は減少する。
- ・ X線装置からの漏えい線は、連邦基準の X線装置に対する最大漏えい線評価条件(空気カーマ 0.876mGy/h)を使用する(FDA, 2003a)。FDAの漏えい線評価条件は通常の診療には使用されないため、臨床上での漏えい線はこの値よりもずっと低い。最大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。より実際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対して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。より実用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 0.5 $\mu$ Gy を勧告する。

#### 1.5 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用なことである。

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本

### 2.1 基本原理

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。

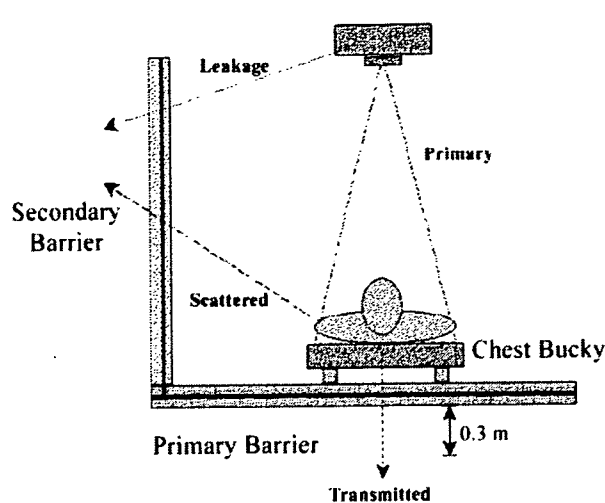


図 2.1 この図は X 線撮影室において、患者が胸部ブッキーに対し立位の状態ときの一次線、散乱線、漏えい線、および透過した放射線を示す。遮へい壁から滞在区域までの最短距離は 0.3m とする。

## 2.2 X 線診療施設等の種類

### 2.2.1 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。

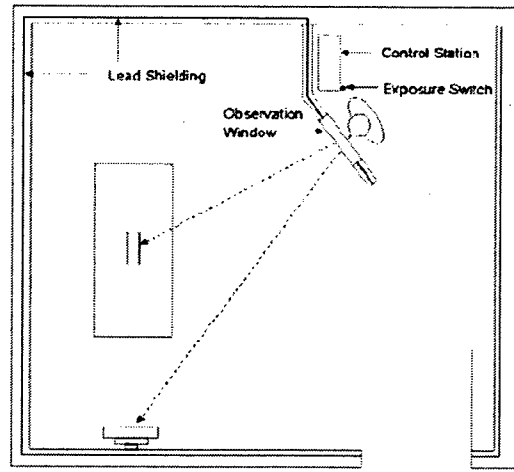


図 2.2 周囲に滞在区域がある X 線撮影室の一般的な操作ブースの配置図である。破線は X 線撮影台ブッキーと壁ブッキーまでの操作者の視線を示す。2.2.1 で説明したように、照射スイッチは操作ブースの端から 1m 以上離れた位置に設置されている。

### 2.2.2 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。

### 2.2.3 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 室における稼働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。胸部ブッ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 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、稼働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、天井には特別な考慮が必要である。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が、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示する。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 鉛シート

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枚あたりのコストと比較した各鉛板厚別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/foot<sup>2</sup>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）。

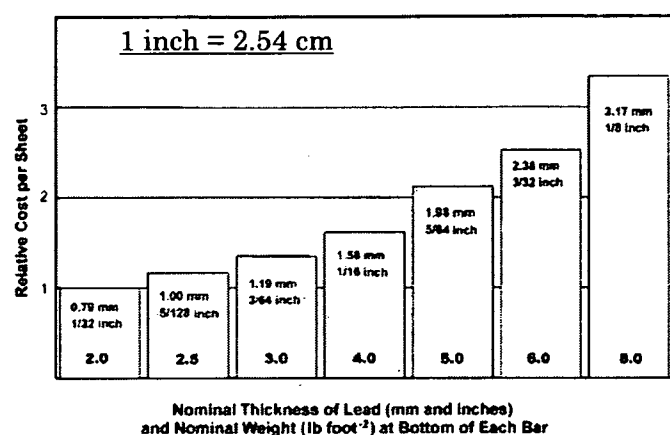


図 2.3 米国内での数箇所の供給業者の最近の調査による市販鉛板厚。各棒グラフの高さは鉛板 0.79mm 厚と比較した鉛板 1 枚当たりの相対コストを表す。グラフに示す全ての鉛板厚は米国全域では使用できないことがある。

### 2.3.1.2 石膏板

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な配慮が必要である。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 建物の外壁

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範囲はかなり広いので、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共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、有資格者と共に計画を再検討すべきである。

## 2.3.3 ドア

### 2.3.3.1 鉛で裏打ちされた扉

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できるように、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）。

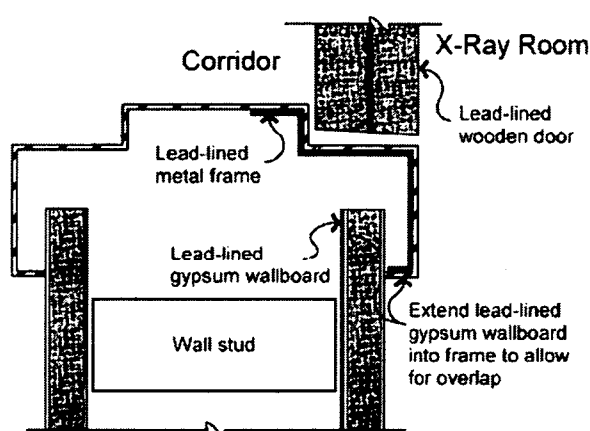


図 2.4 鉛遮へい体の適切な配置を示す鉛で裏打ちされたドアと枠の断面図である。ドア枠の金属厚が不十分な場合、隣接遮へい体と効果的な重なり部分ができるように、ドア枠の内側を1枚の鉛板で裏打ちしドア枠の輪郭に挿入すべきである。

### 2.3.3.2 木製の扉

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 扉のインターロック、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。

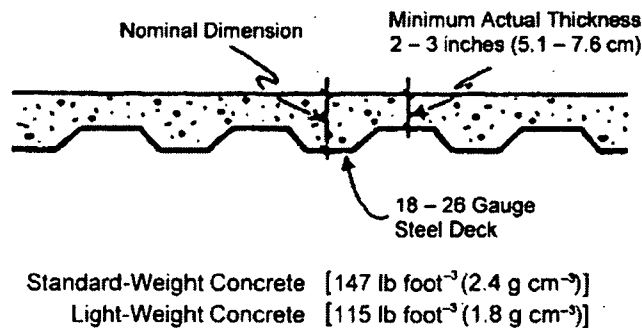


図 2.5 スチールデッキに流し込まれた一般的なコンクリート床板の図を示す。最小部分のコンクリート厚を遮へい体厚の計算時に使用すべきである。

### 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  $2.4\text{g/cm}^3$  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、鑄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、  $1.8\text{g/cm}^3$  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  $3\sim 5\text{m}$  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要求されない限り、通常防護遮へい体は床から  $2.1\text{m}$  の高さになるよう設置する必要がある。追加遮へいが必要な場合には、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  $2.1\text{m}$  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  $1.5\sim 2.4\text{m}$  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。この空間の居住係数は、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が、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、実施設計図では遮へいの完全性を保証するのに建築家、エンジニア、有資格者に注意を喚起するための必要性について言及すべきである。

## 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もは、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 建築基準

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、建設は管理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・寸法に関するシステムの構成要素の寸法について頻繁に打ち合わせを行う。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。表 2.1 に様々な遮へい材の公称厚、公差、最小許容厚を示す。

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 <sup>-2</sup>	≤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 <sup>a</sup>
	18 gauge	0.045 inch	-0.003 inch	1.1 mm <sup>a</sup>
	20 gauge	0.034 inch	-0.002 inch	0.86 mm <sup>a</sup>
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 <sup>b</sup>
Gypsum wallboard (ASTM, 2003b)	5/8 inch	5/8 inch (1.59 cm)	±1/64 inch (±0.04 cm)	14 mm <sup>c</sup>
Wooden doors (AWI, 2003)	1 3/4 inch	1 3/4 inch (4.45 cm)	±1/16 inch (±0.16 cm)	43 mm <sup>d</sup>

<sup>a</sup>This 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).

<sup>b</sup>This value represents a "single pane" of 1/4 inch plate glass.

<sup>c</sup>This value represents the gypsum thickness in a single sheet of 5/8 inch "Type X" gypsum wallboard.

<sup>d</sup>This value represents the thickness of a single, solid-core wooden door.

### 3. 遮へい設計の基本

#### 3.1 戦略的な遮へい計画

X線診療部門の戦略的な遮へい計画には、基本計画、ALARAの原則、および遮へい原則の知識を取り入れる。戦略的な計画の概念は、施設内の放射線源、隣接区域の居住状況および用途、特定の壁、床、天井が一次または二次遮へい体であるかどうかの判断で決定した補助的な遮へい体の使用を含む。

有資格者と建築家は、例えば水平または垂直の両方向の外壁と隣接区域を利用することが放射線遮へい設計において費用対効果の高い要素であることを認識する必要がある。図3.1に示すとおり、事務室などをX線撮影室に隣接させるよりはむしろ、廊下を設けることで事務室などをX線撮影室から離す。この戦略により、遮へい設計目標を満たすための必要遮へい量を減らすことが可能となる。廊下は居住率が低い区域であり、居住区域（事務室やラウンジ）はX線源から少なくとも2.5mの所にある。同じ戦略が上下階の区域にも適用できる（事務室の上下よりも廊下や機械室の上下階にX線撮影室を設置する方が遮へい要求事項を減らす効果的な戦略である）。建築基準や安全基準で要求される特定の壁やドアの材質は、鉛遮へいに代わる費用対効果の高いものである可能性がある。

遮へい材の効果的・効率的な使用と最適な設計戦略の策定には建築家、施設代表者、および有資格者間のコミュニケーションと連携が必要である。

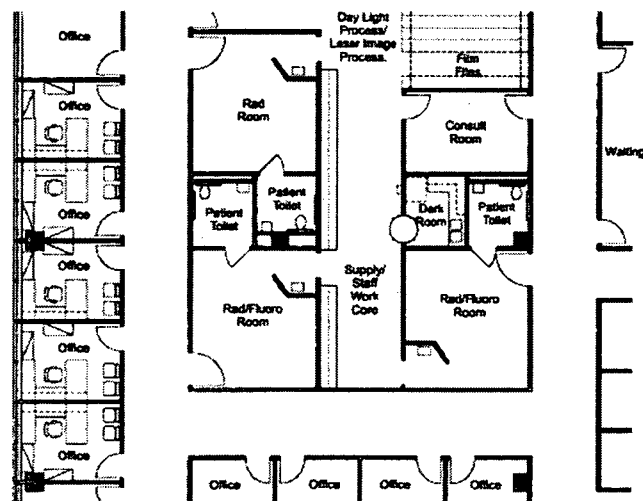


図3.1 事務室をX線撮影室に直接隣接させるよりはむしろ、上図に示すような廊下を設けてX線撮影室から離すことで遮へい設計目標を満たすための必要遮へい量を減らすことができる。廊下は居住率が低い区域であり、居住区域（事務室やラウンジ）は線源から少なくとも2.5mは離れている。

#### 3.2 プロジェクト開発工程

プロジェクト開発工程は施設により様々である。また、小さなプロジェクトは大きなプロジェクトとは別に進められる。しかし、プロジェクト開発工程は、セクション3.2.1から3.2.5で議論される5つの段階から成る。

##### 3.2.1 戦略的計画と予算

全ての公的機関や企業は、年間予算過程を経る。大半の施設では2-3年おきに主要な戦略