

シリーズ：放射線施設・設備に関する知識の伝承

第1回 放射線施設の建設

乗物 丈巳

非密封放射性同位元素の利用が活発な頃は、大学では各部局で放射線施設を新設し、基本的な知識、ノウハウ等が主任者、施設部等で共有されてきたが、近年では非密封 RI の利用が急激に減少し、老朽化も相まって廃止する施設もある。一方で、非密封放射線施設の重要性が無くなったわけではなく、各大学で最低限、非密封 RI 実験ができる施設を維持することが学問研究においても重要であることには変わりはない。また、ベテラン主任者が退職し、若手の主任者へと代変わりしている施設も多く、このような状況下で、放射線施設・設備に関する基本的な知識、ノウハウを継承することは重要であると考えられる。

このシリーズでは、現在、経験を持つ方々に執筆を依頼し、最初の2回で放射線施設を新設する際の基礎について、3~5回で具体的な事例を紹介し、6回目にまとめを掲載する予定である。

(放射線安全取扱部会 企画専門委員会)

1. はじめに

これまで大型加速器を有する理化学研究所仁科加速器科学研究センター RI ビームファクトリー (RIBF) の研究施設や放射線医学総合研究所の新治療棟の重粒子線がん治療施設、また、陽電子断層撮影法 (PET) を利用した研究及び医療施設、そして多種多様な放射性同位元素 (以下 RI) を利用する日本アイソトープ協会の川崎技術開発センターの建設等、様々な放射線施設の建設に幸いにも携わることができた。これらのプロジェクトを通じて利用する先生方や加速器メーカー、医療機器会社、専門コンサルティング会社、所属会社の諸先輩等、様々な方から惜しみなくご指導をいただき、恵まれた環境で仕事をさせていただいたことは感謝の念に堪えない。今回の企画において、若手の主任者が放射線施設の建設に携わる際の一助になることで、恩返しの一つにでもなれば幸いである。

2. 基本事項

放射線施設は、用途及び使用する RI の種類・数量が多岐にわたるため、ここでは研究における非密封 RI を利用する許可施設を念頭に配慮してお

くべき事項について記載する。

2.1 関係法令

建築基準法は、地震や火災による施設の安全性の基準や環境衛生に関する基準等を定めている。また、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律 (以下 RI 法) では、施設で RI を使用するための施設基準が定められており、これらの関係法令を順守し必要な法的手続き (申請や届出等) をする必要がある。その他施設を建設するにあたり、主に関係する法律を表 1 に示す (医療に関する法律は割愛する)。RI を安全に使用する、また、災害時に人命及び公衆への影響が無いようにそれぞれの法律の観点から十分に計画を検討する必要がある。そのためには、企画段階から主任者が参画することが望ましい。

2.2 建設の流れ

施設建設から廃止までの流れを図 1 に示す。施設を建設する際には、事業の目的を明確にし、どのような施設にするか企画することから始まる。建物に対する基本性能を明確にし、基本設計を立案する。必要諸室、機能を考慮して基本配置を決定し、目標とする構造性能 (使用・遮蔽・居住・荷重等)

表1 主な関係法令

法令	目的
RI 法	RI の使用等取扱いを規制することにより放射線障害を防止し、公共の安全を確保する
建築基準法	建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、公共の福祉の増進に資する
消防法	火災を予防し、警戒し及び鎮圧し、国民の生命、身体及び財産を火災から保護するとともに、火災又は地震等の災害による被害を軽減し、安寧秩序を保持し、社会公共の福祉の増進に資する
労働安全衛生法	労働災害の防止のための危害防止基準の確立、責任体制の明確化及び自主的活動の促進の措置を講ずる等その防止に関する総合的、計画的な対策を推進することにより職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な作業環境の形成を促進する
電離放射線障害防止規則	事業者は、労働者が電離放射線を受けることをできるだけ少なくするように努める

から建物の構造計画が、使用する設備機器や RI の必要換気数量、排水量等により電気・給排水等の設備・機器計画が決定される。基本設計後に概算コストを算出し、具体的な実施設計に移行する。その設計図を基に詳細コストを算出し、予算との整合性を確認し、建設工事に着手する。設計図及び施工図を基に RI 使用許可申請書を作成し許可を得る。特定許可使用者の場合、建物の竣工後に施設検査に合格してようやく施設を運用することができる。運用期間中には建物や設備の更新や補修を行い維持管理する。必要に応じて RI 変更許可申請を行う。特定許可使用者においては、技術上の基準に適合しているか所定の期間ごとに定期検査を受検する。また、維持管理活動が適切になされ、安全性が確保されているか定期確認を受ける。最終的に施設の運用が終わり、除染して建物の解体に至る。

2.3 基本方針

RI 施設を建設する際には、基本方針を明確にし、設計・計画を進める必要がある。一例を以下に示す。

- ① 関連法規に定められている条件を満足する
 - ・法令順守、CSR（企業の社会的責任）を考慮
 - ・管理区域を設定、一般区域から独立させる
- ② 明確な区分とし、施設を使いやすくする

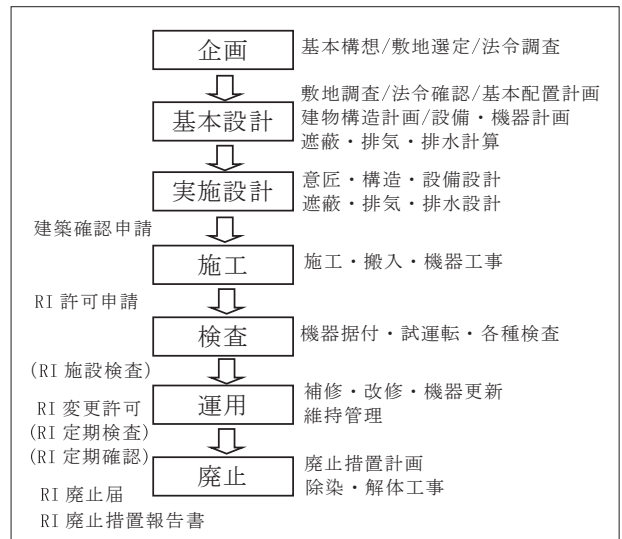


図1 RI 施設の建設から廃止までの流れ

- ・施設の機能・用途が明確でまとまっている
- ・人・物（RI を含む）・車の流れが入り乱れない（放射線業務従事者と一般作業者との動線を分ける、交差汚染を防止する）
- ・RI 空調及び衛生設備を一般の設備から独立する
- ③放射線管理を適切に実施しやすくする
 - ・RI の利用から廃棄までの流れがスムーズ
 - ・人・RI の管理が明快
- ④将来の拡張・維持管理計画に配慮する
 - ・機器更新やメンテナンスに対応できる
 - ・維持管理しやすく、耐久性がある
- ⑤環境に配慮する
 - ・周辺環境に配慮したデザイン
 - ・省エネやランニングコスト等に配慮
- ⑥安全である
 - ・災害時の対策を考慮
 - ・信頼性、ゆとり、冗長性がある
 - ・セキュリティ対策が施されている

また、イニシャルコストのみならずランニングコストを考慮したライフサイクルコスト等、経済性を考慮することも重要である。

2.4 工程

施設の計画に携わる主任者等の利用者が工程の中で配慮すべきことは、早期に RI の使用方法や核種、数量や放射線防護機器等の仕様を決めなければならないことである。施設を設計するにあたり必要な諸

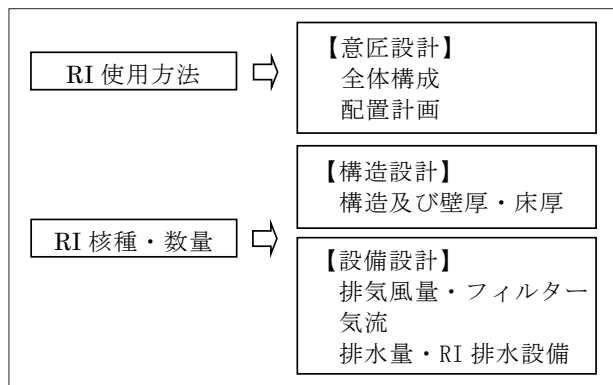


図2 RIの基本設計への影響

室、機能、動線（建築における人や物の動きの量、方向、つながり等を示す線）を考慮して配置計画を立てる。また RI の核種、使用数量から隔壁や床の遮蔽厚さや RI の排気、排水量が決まる。すなわち、要求性能を決め、仕様条件が明快になって基本設計が可能となる。一般的に放射線施設は、放射線を遮蔽するために壁が厚く、放射線防護機器も重量物になり床の積載荷重が大きく、また、RI 排気、排水設備が必要なため設備スペースも多く必要であり、構造設計と設備設計が全体計画にインパクトを与えやすい（図2）。

地震等を考慮した荷重及び遮蔽から、必要とされる壁厚等を考慮して躯体（施設の構造体）が決まり、施設の構造計算が実施される。その計算を基に確認申請（建物等を建築するときに、建築基準法の定める規定に合致しているか確認するために工事着手前に行う申請）を実施するため、基本設計の早い時期に仕様条件を決定する必要がある。一方、RI の使用許可申請書では施設の図面やそれを基にした遮蔽計算・排気設備能力計算・排水設備能力計算書等を提出し、その申請書を基に施設検査が実施され現地確認をすることから、工事着手後の最終承認の施工図を基にした図面を使用する。RI 法においては、使用許可申請から許可までの標準的事務処理期間が 90 日のため、最終承認図の受領時期に注意する。

また、設計及び工事まで考慮して仕様を決定する方が一般的に合理的である。事後の変更対応をすることにより想定外のコストが嵩む可能性があることに留意が必要である（将来の拡張計画や機器更新を見越した冗長性のある計画は必要である）。

3. 施設計画

3.1 敷地

RI 法施行規則においては、「施設は、地崩れ及び浸水のおそれの少ない場所に設けること」と規定されている。事業所の敷地は様々であるが、その敷地及び付近の地形・地質・気象・交通について調査し、通常時及び事故時に放射線施設の安全並びに周辺地区に配慮する必要がある。

3.2 配置

配置決定上の基本方針の一例を以下に示す。

- ① RI の使用、貯蔵、廃棄の場所等を明確にし、動物飼育及びクリーンエリア等の特殊環境を区分したゾーニング（空間を機能や用途別にまとめて、それぞれに必要な空間の大きさを考慮し、相互の関連を見た上で、位置関係を決定する）計画、動線計画とする。
- ② RI の核種や数量に応じた、汚染の発生及び拡大の防止がしやすいレイアウト（配置構成）とする。
- ③ 実験室、付属室の配置は使用する RI の数量や、汚染が発生する可能性が低い部屋から高い部屋へ空気が流れるように計画する。
- ④ 平面だけでなく上下方向の動線及び遮蔽を考慮する。
- ⑤ 通常の入出口に汚染検査室を設ける。また、この近傍において入退管理や RI 管理を容易に行えるようにする。
- ⑥ 廃棄物保管庫までの廃棄物の運搬や、廃棄物出荷時の動線を確保する。
- ⑦ RI 排気、排水設備の配管・排水ルートをなるべく管理区域内とする。

3.3 計画（設計）

管理区域と施設の配置イメージを図3に示す。施設は、管理区域とそれ以外の一般区域に分ける。

一般的に敷地の境界が事業所境界となり、外部放射線の実効線量を $250 \mu\text{Sv}/3 \text{月}$ とし公衆の被ばくを防止する。管理区域は、外部放射線の実効線量 $1.3 \text{mSv}/3 \text{月}$ （空気中の RI 濃度、汚染表面密度が法令基準）を超えるおそれのある場所で、作業室は、非密封の RI を使用する室で常時人が入るため $1 \text{mSv}/ \text{週}$ の制限となる。

作業室は、非密封の RI を使用するため汚染の拡大を防止する内装仕上げとなる。RI 法施行規則に

事業所境界 250 μ Sv/3月 (20 μ Sv/週)

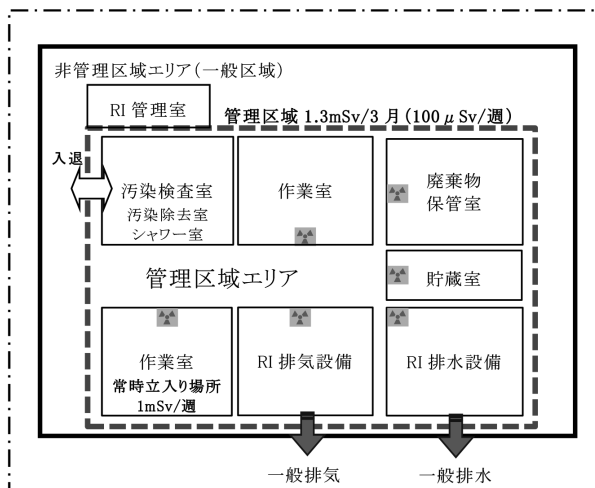


図3 管理区域と施設の配置イメージ

において、汚染されるおそれのある壁や床等は、突起物、くぼみ及び仕上材の目地等のすきまの少ない構造とし、表面は平滑であり、気体又は液体が浸透しにくく、かつ、腐食しにくい材料で仕上げるものと定められている。そのため、表面仕上材は、汚染されにくく除染しやすく、除染によって性能が損なわれず、かつ補修が容易なものが望ましい。一般的に用いられている床仕上材としては、コンクリート面に直接塗るエポキシ樹脂塗装や長尺ビニルシート等がある。エポキシ樹脂塗装は、表面硬度が高く除染性もよく、また、耐薬品性や耐摩耗性も高い。長尺ビニルシートは、目地を溶接し下地に液体が浸透しにくくする。経済性に優れ、液体がこぼれてもふき取りやすいが、傷等につきやすい素材である。

壁仕上材としては、経済性の高い合成樹脂エマルジョンペイントのような合成樹脂塗装やビニルクロス、耐薬品性や液体をふき取りやすい化粧ケイカル板等が用いられる。RI法では、特に規定の材料は無いが、コンクリート等汚染しやすい材料は露出せず仕上げを施す(汚染のおそれのある部分)。また、材料の目地はシール等で埋める。

床材は幅木まで巻き上げ、壁と壁のコーナ部(入隅部)には丸みをつけて除染しやすくする(図4)。

3.4 構造

RI法施行規則の使用施設等の基準に「主要構造物等を耐火構造とし、又は不燃材料で造ること」となっている。建築基準法において、主要構造物とは、建築物の構造上、重要な役割を果たしている壁・柱・

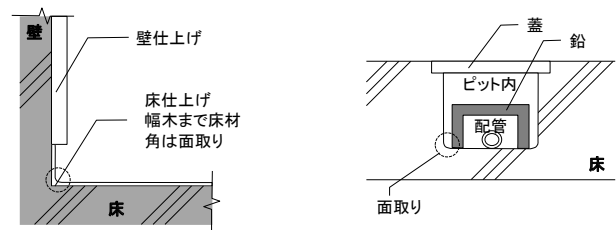


図4 除染しやすい仕上げの例

床・梁・屋根・階段を示す。ただし、構造上重要でない、間仕切り用の壁や間柱等は除外されているが、RI法では主要構造物等となっているため間仕切り用の壁や間柱等が含まれている表現となっている。

耐火構造とは、建築基準法で定める通常の火災時の熱に建築物の階数や部材ごとにそれぞれ定められている一定時間、構造耐力上支障のある変形、溶融、破壊等を生じない性能を有すると認めて国土交通大臣に指定及び認定を受けた構造である。一般的に主要構造物には、鉄筋コンクリート造(以下RC造)若しくは鉄骨に耐火被覆した鉄骨造(以下S造)が耐火構造として用いられる。

不燃材料とは、建築基準法に適合した不燃性を持つ建築材料や国土交通大臣に認定を受けた材料である。火災時に加熱開始後20分の間、燃焼せず、防火上有害な変形や損傷を生じない、避難上有害な煙等が発生させない材料とされている。コンクリートやれんが、金属板又はメーカーで認定を取得している材料等様々なものがある。

RI法施行規則で貯蔵室は、その主要構造物等を耐火構造とし、その開口部には、特定防火設備に該当する防火戸を設ける、また給気並びに換気ダクトに防火ダンパーを設けることとなっている。

3.5 遮蔽

放射線を遮蔽するために、管理区域や作業室の隔壁や床、天井等を遮蔽する(図5)。材料はRCや鉛等を用いて遮蔽することが一般的である。遮蔽に関する注意事項を以下に示す。

①隔壁・境界

RCの場合、必要遮蔽壁厚さを考慮するため、目地底等最低厚さで管理する。床はピットがある場合は欠損になるので注意する。遮蔽材はその密度により必要な厚さが変わるため、施工上の密度管理が重

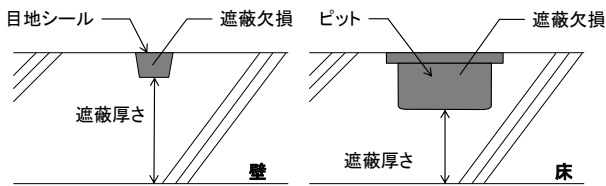


図5 壁や床のコンクリートの断面欠損例

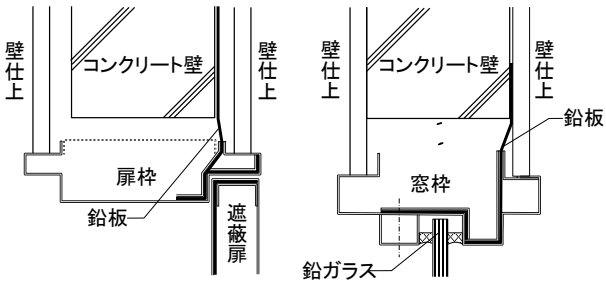


図6 遮蔽扉上部断面図(左)
遮蔽ガラス上部断面図(右)

要となる。

②開口部(扉, 窓, 配管等)

一般に放射線施設の遮蔽は、直接線に対する遮蔽が十分であるように計算に基づいて設計されている。

施設すべてが完全に遮蔽壁で取り囲まれていることはなく、人の出入口や物品の搬入、配管、配線ピット、ビーム輸送ライン等、様々な開口が遮蔽壁に設けられる。特に、強い放射線(γ線, 中性子線)に対して、開口部の扉等の開口や目視するための窓ガラス等が遮蔽の弱点にならないように注意する。更に、枠周辺が遮蔽の弱点とならないようにする(図6)。また、機能上必要となる隙間等からの漏えい線量が少なくなるように工夫する(図7, 図8)。

③遮蔽機材(貯蔵箱・鉛ブロック等)

RIの種類, 量, 取扱いによっては、貯蔵箱や鉛ブロック等の遮蔽機材を用いることにより、合理的に施設の遮蔽体(壁, 床)を薄くし、コストを低減することができる場合もある。遮蔽機材を用いる場合は、そのRI, 使用位置, 遮蔽機材を主任者が十分理解し準備する必要がある。

3.6 設備

RIの設備等の詳細については、次号で記載されるので、ここでは概略の基本事項のみを示す。

①照明

作業しやすい照度とする。高線量の場合、半導体

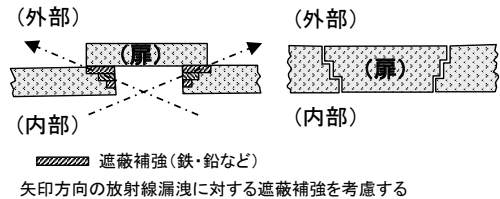


図7 遮蔽扉対策例(断面図)

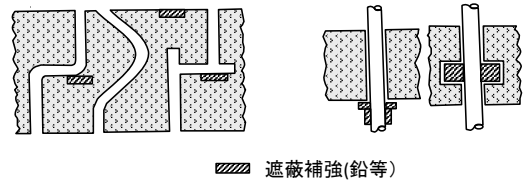


図8 開口部の遮蔽対策例(断面図)

を用いるものにおいては使用場所等に留意する。

②RI排気設備

原則, 全外気方式とし管理区域の系統を独立する。ダクトの構造, 接続に留意する。また, 管理区域内を一般区域より陰圧となるように設定する。排気中のRIを除去するため, 浄化装置を設置し, モニタリングをする。HEPA フィルター等は焼却減容型とする。排気ダクトは結露する可能性があることに注意する。

③RI排水設備

管理区域から出る排水は, 専用の排水管によってRI排水処理設備(貯留槽, 希釈槽等)を經由して規定濃度以下として放流できるようにする。万が一の槽の漏洩対策として堤やピットを設ける。建物外のRI排水管は, 埋設せず, 万が一, 損傷及び破裂しても問題無いようにピット内に配管しておくことと安心である。

④放射線管理システム

RI施設の安全を施設の内外で確保するため, エリア, 排気, 排水に含まれるRIをサンプリング測定して管理室にてデータを集中管理する。

また, 管理区域への入退管理や個人の被ばく管理及びRI在庫管理等を行うシステムとする。

3.7 非常時

地震・火災等の災害時において重大な事故が起こらないように配慮する。特に防護機器等は遮蔽のため重量が重いことから, 非構造部材においても耐震

表2 施設検査に必要となる主な書類

分類	資料
建築	建築竣工図, 遮蔽体の図面
	遮蔽体(躯体・扉等)厚さ施工記録, 密度証明
設備	設備竣工図(空調・衛生), 排気仕様, 排水仕様
	排気の試験成績書, 風量・風向測定記録, 施工記録
	排水設備の試験成績書, 通水試験記録, 施工記録
機器・備品	仕様書, カタログ, 試験成績書, (遮蔽材の証明)
モニタ	完成図, 試験成績書(校正記録)

性を考慮する。

また、非常時において、RI排気が拡散することがないように、ダンパーを閉塞することで拡散を防ぐ機構とする。

作業室や貯蔵室においてパニックオープンで人身保護優先となる場合のRIの管理についても考慮する。

3.8 防護措置

RI法の改正に伴い、特定放射性同位元素の防護措置(セキュリティ対策)が義務づけとなった。対象施設については事前に検討を実施する。

4. 許可と施設検査(RI法)

原子力規制委員会は、RIの使用許可申請書に記載した建物・設備が完成することを前提とし、申請書による書類審査のみで使用許可を下す。申請書には、法令様式の他に施設の図面や遮蔽・排気・排水設備の設備能力を記載するため、その後の計画の変更や修正は放射線管理上の問題に加え、許認可上問題となる。特定許可使用者においては、許可後に施設検

査が必須となり、申請書通りの施設であるかどうか合格の判定基準となる。施設検査では、書類審査(施工記録・材料証明・竣工図)(表2)及び現場確認(目視確認, 測定検査, 作動検査)を実施し、RI法令上の施設に関する技術上の基準に適合しているか検査する。検査資料には、施設の遮蔽体(壁・床等)の厚さ測定写真や密度測定の記録等施工時に対応すべきものがある。そのため主任者は、記録の整備等について事前に建設関係者に依頼し、必要に応じて立会をする等対応することが望ましい。

5. おわりに

以上、RIを利用する許可使用施設を新設する際の基本事項等について述べてきた。RIの利用は、先端科学技術等の研究分野, 医療分野, 産業分野等, 広範囲にわたっている。また、施設の形態や機能も多種多様となるが、基本事項は概ね共通のものである。若手の主任者が施設建設の上流段階から参画し、関係者と議論を重ねながら質の高い施設をつくることを期待する。本稿が施設建設に携わる主任者の参考となり、よりよい施設づくりやRIの利用発展に少しでも貢献できれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本建築学会原子力建築委員会編, 放射線施設の設計法, 技報堂, 昭和39年6月
- 2) 日本建築学会編, 建築設計資料集成I, 丸善株式会社, 2002年9月
- 3) 岩沢二郎, 建築物としての放射線施設, 原子力安全技術センター, 平成4年3月
- 4) 日本アイソトープ協会, アイソトープ法令集I 放射線障害防止法関係法令, 2018年6月
- 5) 日本アイソトープ協会, 放射線施設の火災・地震対策, 1996年8月

((株)竹中工務店)