講座

放射線防護用機器

XVII. 放射線取扱施設の設計と防護機器の選択

2. 照射施設と防護機器

2.1 RI 線源照射施設の放射線防護対策[†]

真室哲雄

556 大阪市浪速区元町 1-4-22-803 (自宅)

Key Words: radiation protection, γ -ray irradiation facility,
radiation control, working procedures for
radiation safety

1. はじめに

医療用具や衛生材料の滅菌、包装材料、実験動物飼料などの滅菌・減菌、馬鈴薯の発芽防止、工業材料の改質、放射線化学に関する研究などの目的に、 ^{60}Co 大線源を用いる大型照射施設がわが国においても多数稼働している。

本稿では、主として施設や機器の面から、 γ 線照射施設における放射線防護対策の概要について述べる。施設の形態や運転方法は事業所ごとにかなり異なっているが、防護の基本的な考え方はあまり変わらないと思われる。(株)日本アイソトープ協会甲賀研究所の照射施設における防護対策を具体例として述べることとする。

2. 照射施設

2.1 線源

図 1 に、世界的に最も普及しているカナダ

Nordion 社 (もとカナダ原子力公社) 製の ^{60}Co 線源の構造例を示す。ペンシル型線源 1 本当たりの初期放射能は 370 TBq (10 000 Ci) に達する。これらのペンシルが線源モジュール (たとえば高さ 50 cm × 横 50 cm) にスパーサ (ペンシルと同寸法のステンレス棒、必要に応じて配列する) とともに組み込まれる。図の例では、8 個の線源モジュールが高さ約 1.2 m、横約 2 m の線源支持枠に装填されて、全体としては平板状の線源となっている (線源支持枠の大きさは施設によって異なり、わが国最大の施設では高さが 4 m に達する)。

非照射時には線源支持枠を水深約 6 m のプールの底に沈め、使用時には圧縮空気作動式ホイストにより空中の所定位置に引き上げる。水中で線源を格納するのは遮蔽と冷却のためである。線源が空気中にあるとき、ペンシルの表面温度は数百度に達し、可燃物が接触すれば火災のおそれがある。プール水を活性炭濾過装置、イオン交換樹脂カラム (使い捨て) で純化し、電気伝導度測定により純度を常時監視する。

線源購入の場合には、科学技術庁にあらかじめ申請して許可を得なければならないが、申請内容と実施結果を完全に一致させることは不可

[†] Equipments and Instruments for Use in Radiological Protection. XVII. Design of Radiation Facilities and Selection of Radiation Protection Instruments. 2. Design of Irradiation Facilities and Selection Guide of Radiation Protection Instruments. 2.1 Radiation control in γ -ray irradiation facilities. Tetsuo MAMURO :1-4-22-803, Motomachi, Naniwa-ku, Osaka 556, Japan (Residence).

図1 コバルト-60線源の構造図

能である。許可を得た後、線源が納入され、線源支持枠に収納された段階で変更申請することになる。線源には一つひとつ番号が刻まれている。それぞれがモジュールおよび支持枠のどの位置にセットされたかを変更申請書に書く。

図2は照射室および線源格納プールの断面図である。鉄筋コンクリート内の鉄筋同士の繋ぎは溶接してコンクリートの流込みに際して鬆ができないように配慮された。

照射室入口扉は厚さ10 cmの油圧スライド式鉄扉となっている。迷路の設計によっては普通の甲種防火戸で十分である。科学技術庁へ提出した許可申請書に添付する遮蔽計算書は、第三者である日本原子力研究所に作成を委託した。また、その前後、日本アイソトープ協会では、国内のいくつかの大型γ線照射施設の建設に当たって遮蔽計算のサービスを行った。

2.2 照射装置

世界中で種々さまざまな型式の照射装置が考案され、実用照射に供されている。通常、被照射物は専用の照射ケースに収納される(ダンボール箱をコンベヤに直接載せている施設も少数ながらある)。被照射物搬送機構で大別すると、①slat conveyor型、②conveyor bed型、③carrier型、と称される3種になる。slat conveyor型では強制駆動のコンベヤによって被照射物が移動する。conveyor bed型は以下に述べる甲賀研究所のタイプである。carrier型では、図3のように、天井のモノレールに吊り下げられたハンガーに製品ダンボール箱を詰める。多数のハンガーが線源の周りを相接して順次移動する。carrier型というよりはhanger型と称した方が適切であるかも知れない。大量製品の連続照射に適している。たとえば、約4 m高の線源支持枠と約3 m高のハンガー(製品収納部: 60×40×300 cm)を組み合わせると線量分布の均一性を図っている。

線源の周りに被照射物を移動する方式にも、連続移動式と間歇移動式とがある。照射ラインを1回か2回通過させて所定の線量を当てる方式が通常採用されているが、線源の利用効率を高めるために、累加線量方式(incremental dose operation)と称される運転方法もある。均一照射と高照射効率を狙って種々の考案が装置および運転方式になされている。

甲賀研究所の照射ケースは外寸法が幅60 cm、奥行き48 cm、高さ91.4 cmであり、厚さ2 mmのアルミニウム合金製である。底部だけは厚さ6 mmの特殊なポリエステル樹脂板あるいは4 mmのアルミニウム合金板である。コンベヤ式自動照射台は、図4のように、線源の両側に2列ずつ(1列に照射ケース6個が並ぶ)、かつ、上下2段に配列された軌道の上を照射ケースが順次1コマずつ移動するような構造となっている。自動照射台上には合計48個の照射ケースが載せられている(通常、照射効率を高めるために、線源を中心として両側に2列あるいは3列に照射ケースが配列される)。照射ケースを移動させるための動力として5

図2 照射室および線源格納プールの断面

kg/cm²の圧縮空気が使用される。プッシャーと称する空気圧シリンダに連結した特殊な押手で照射ケースの側面を押すことにより、照射ケースは照射台の軌道上を順次1コマずつ間歇移動する (shuffle and dwell)。照射ケースは迷路コンベヤを通して照射台の下段に入り、下段の軌道を通過し終わると、エレベータで上段に移され、上段の軌道を通過し終わると、迷路コンベヤを通して照射室外に出る。間歇移動の周期は操作盤上のタイマーによって調節される。

2・3 操作盤

操作盤上には、電源スイッチ、線源およびコンベヤの駆動スイッチ、メンテナンススイッチ (線源をプールに格納したままでコンベヤを駆動するためのもの) の他に、線量を調節する

ための主タイマー、過剰照射防止用補助タイマー、種々の異常表示灯などがついている。

3. 放射線安全対策

3・1 運転前点検および運転開始の手順

運転前点検および運転開始の手順などを以下に記す。照射室外コンベヤ上の被照射物の配列などについては点検済みとする。線源は格納され、照射室入口扉は閉まっている状態である。

(a) 操作盤電源スイッチの鍵を“ON”にする。

(b) 異常表示灯が点灯していないことを確認する (点灯していると、線源を引き上げることができないようになっている)。

(c) 主タイマーおよび補助タイマーの時間設定を行う (主タイマーは、所定線量が照射されるように、間歇移動する照射ケースの移動周期

図 3 JS 8900 型照射装置の構造図

図 4 日本アイソトープ協会甲賀研究所のコンベヤ式自動照射台

を調節する。補助タイマーは、万一主タイマーが作動しなかった場合に働いて線源を降下させて過剰照射を防止する目的のもので、設定時間は通常主タイマーの約2割増しとする。主タイマーの故障はいまだ経験していない。

(d) 操作盤上の電源スイッチの鍵を“RESET”の位置にし、再び“ON”の位置に戻し、鍵を引き抜く（この鍵はGMサーベイメータに鎖で繋がれている）。

(e) 照射室入口扉の横に設置された放射線モニタ指示装置の示す放射線レベル（照射室内の比較的入口に近い位置におけるもの）を確認するとともに、“MONITOR TEST”のボタンを押し、指針が所定の位置に達し、かつブザーが鳴ることを確認する（モニタが正常に働いていることを確認するためである）。

(f) 放射線モニタ指示装置の下部に設置されたキースwitchに、サーベイメータに繋がれた鍵を差し込み、“ON”の位置にする（ここで扉開閉装置は通電され作動可能な状態となる）。

(g) 鍵をキースwitchから引き抜く。

(h) GMサーベイメータの正常作動を確認するために、キースwitchの近くに固定された小 γ 線源（ ^{137}Cs ）に近付けてクリック音を聞く。

(i) 扉開閉装置の押しボタン（OPEN）を押し、扉を開ける。

(j) GMサーベイメータを携行して照射室に入る。

(k) 照射室内の点検を行う。照射台上の照射ケースが正常に搭載されているか、照射台のエレベータが正しい位置にあるかなどを調べる。

(l) 照射室内の最も奥まった位置に設置されている安全タイマーのキースwitchにGMサーベイメータに繋がれている鍵を差し入れ“ON”にする。この安全タイマーは90秒間作動する（90秒以内に操作盤上のキースwitchを入れないと線源を引き上げることができないようになっている。90秒経過後は、(e) - (l)の操作を再び繰り返さなくてはならない）。

(m) 照射室内に人がいないことを確認し、自分では照射室外に出る最後の人となる。

(n) 出入口通路にある安全鎖をかける（入室

する際には安全鎖を外す）。この安全鎖は、照射室入口扉から少し内に入った迷路にある（この鎖がかけられると、線源昇降用ホイストを作動させる空気圧シリンダーが働いて線源を上昇させることができるが、鎖が外されていると、バルブが開き、空気圧シリンダーは圧力不足のために働かず、線源は上昇できない）。

(o) 照射室外に出て、扉開閉装置の押しボタン（CLOSE）を押し、扉を閉める。

(p) 操作盤上のキースwitchを“START”にし、手を離す。キーは“ON”の位置に戻り、“MACHINE READY”の表示灯が点灯すると同時に線源が上昇し始め警報ベルが鳴り出し、“SOURCE DOWN”の表示灯が消える。それと同時に“照射中”の自動表示灯が点灯する。線源が所定の位置に達すると“SOURCE UP”の表示灯が点灯する。警報ベルは60秒後に鳴り止む。ここでコンベヤの運転が開始する。

3・2 異常事態発生時の線源降下

照射中に下記のような異常事態が発生したときには、線源は自動的にプール内の所定位置に降下する。それと同時に照射室内の自動照射台や迷路内コンベヤなどの運転が自動的に停止し、操作盤上の異常表示灯が点灯する。

(a) 線源の昇降時間が異常である場合（たとえば、線源の上昇および降下の時間はいずれも約25秒であるが、これが60秒を超えた場合に線源は降下する。未経験）。

(b) 迷路内コンベヤには安全扉がある。この扉は管理区域内にあって、照射ケースが通過するときだけ開く。人が誤って通ることを防止するためのものである。この安全扉の付近に設置されたエリヤモニタ（GM計数管式）が放射線レベルの異常を検知した場合（搬出される被照射物に放射能汚染があった場合などである。未経験）。

(c) 線源昇降用ホイストおよび照射室内コンベヤ駆動用の圧縮空気の圧力が一定限度以下に低下した場合（この異常はときたま起こる。圧縮空気パイプライン内の残留塵によって起こることが多い）。

(d) 緊急停止装置が働いた場合。下記の場合に緊急停止装置が働く。

(1) 操作盤上の緊急停止ボタンを押したとき（必要に迫られて照射を中断するときに利用される）。

(2) 照射室内の壁には安全紐が張り巡らされているが、これを引っ張ったとき（万一照射内に閉じ込められたような場合に役立つ。使用経験なし）。

(3) 照射室天井には、線源運搬用鉛容器などの搬出入のために開口部が設けられており、これは常時コンクリートプラグで塞がれている。このプラグが正常の位置にないとき（未経験）。

(e) 照射室内の温度が熱感知器の設定温度（約 45℃）に達した場合（火災予防のためのものである。作動経験なし。万一照射室に火災が発生した場合にはフロンガスが噴射される）。

(f) 操作盤上の補助タイマーがその設定時間に達した場合（主タイマー故障経験なし）。

(g) 照射室換気用の排気装置の排気機器が停止した場合、あるいは排気流量が一定限度以下に低下した場合（照射中には多量のオゾンが発生するので排気の必要があるが、照射室内の湿度を低下させるために非照射中であっても排気する方がよい。未経験）。

(h) 自動照射台の要所要所につけてあるリミットスイッチが所定の動作条件を満たしていない場合（照射台上に照射ケースが正しく搭載されていない状態で運転が続行されると、照射ケースの破壊、ケースの線源接触などの危険が起こりうる。リミットスイッチ間の正しい関係が崩れないように注意しなければならない。リミットスイッチは比較的頻繁に交換されているが、高線量率下で使用されるので接触不良による異常はときどき起こる。なお、建設数年後に配線類は被覆絶縁体が放射線耐性の無機物質のものに変えた）。

(i) 停電になった場合（操作室内に設置してある地震感知器は震度 5 以上の地震に感じて操作盤電源を遮断するが、この場合を含む。落雷停電などで経験有り）。

3・3 インターロック装置

照射室出入口の扉およびコンベヤ開口部にそれぞれインターロックが設けられている。

3・3・1 照射室出入口扉のインターロック

GM 計数管式放射線モニタが照射室内に設けられ、前述したように、その指示装置が照射室入口扉の横に設置されている。操作盤上の電源スイッチが“ON”になっており、かつ線源がプール内の格納装置にある限り、放射線モニタに電力が供給され、これが作動状態になる。扉が閉じている場合、これを開くためには前述した、3・1 (e) - (i) の操作を行わなければならない。

3・3・2 コンベヤ開口部のインターロック装置

線源使用中にコンベヤの開口部から誤って人が侵入し、照射室内に入ることを防止するために、管理区域内に安全扉（3・2 (b) で述べた）が設けられている。搬入、搬出コンベヤのいずれも、それらの開口部付近に照射ケースがないときには安全扉が自動的に閉じるようになっており、しかもその扉は空気圧式シリンダに連結されており、人力で開くことはできないようになっている。

3・4 プール水汚染監視

万一線源の密封性が損なわれたり、線源に表面汚染があったりすると、プール水や照射室内が汚染する。汚染監視が必要である。

プール水は濾過装置とイオン交換樹脂カラムを通して常時循環している。プール表面から蒸発して失った量だけ水道水から補給され、一定の水位が保たれる。濾過装置に近接して 3"φ×3" の NaI (TI) シンチレーション検出器が設置され、50 kBq 程度（数 μCi）の ⁶⁰Co が捕集されると警報が発せられるようになっている。さらに、検出器の出力は常時レコーダに記録される。

なお、定期的にプールで採取した水 1 リットルをシンチレーション検出器（⁶⁰Co γ 線エネルギーにウインドウを合わせたシングルチャネル型）によって放射能測定を行っている。きわめ

て微量の段階で ^{60}Co の漏出を検出することができる。

3・5 排気浄化装置

照射室内の空気中に万一漏出した ^{60}Co は照射室内吸気口より排気浄化装置に導かれ、高性能フィルタに捕集されるようになっている。

3・6 その他

3・6・1 線源昇降用ワイヤロープ

線源昇降用のワイヤロープが切断した場合には、線源はプールへ落下する。線源保持枠は両側2本のガイド用ワイヤロープに沿って落下するので、プール壁に衝突することなどはない。線源はプールの底で衝撃を受けるであろうが、線源ペンシル自体が直接衝撃を受けるのではなく、線源支持枠→線源モジュール→線源ペンシルの順に衝撃力がかなり緩和されるので、線源ペンシルが破損するおそれはきわめて低い。線源昇降用のワイヤロープおよび巻取り装置は頻繁に点検され、早目に交換される。

3・6・2 プール水レベル

プールにはレベル計が設けられているが、万一これが作動せず、プール水がオーバーフローした場合には、水は照射室と迷路に設けられたトレンチを経由して、床下の貯溜槽に流下する。この貯溜槽には満水レベル警報装置が設けられている。プール水が施設外へ勝手に流出することはない。

プールは、ステンレス製の箱の周囲にコンク

リートを流し込んで造られた。建設直後に嚴重な漏水検査を行った。水面からの蒸発があるので微量の漏水を検出することはかなり困難である。円筒状容器に水を張ってプール内に吊るし、プール水面と容器内水面のレベルを長時間にわたって比較して調べる方法によって漏水無しを確認した。

3・6・3 周辺放射線レベルの測定

管理区域の境界、敷地境界の線量当量率を測定記録することが法律で決められている。立地の際の地元住人の要望により、半年ごとに第三者機関の手により研究所から1 km 前後離れたところにある民家の線量率を住民立会いのもとに測定し、甲賀町役場へ測定結果報告書を提出している。なお、理化学研究所岡野博士に依頼して研究所内および周辺放射線レベルを数回正確に測定した。

3・6・4 定期点検とメンテナンス

機器類について行う定期的安全点検とメンテナンスの必要性はいうまでもない。定期的にメンテナンスを入念に実施すべきものの例は、プッシャーシリンダのゴムパッキンの交換、放射線耐性潤滑油の補給、プール底の沈殿物の除去、照射室機械類や壁の塗装などである。

4. おわりに

^{60}Co 大線源を用いる照射施設では、通常の放射線測定器で十分に放射線防護の目的を達成できる。安全確保のためには、施設の良い維持管理と安全取扱い手順の遵守が肝要である。