

放射性同位元素使用施設の火災対策

松尾邦夫

筑波大学研究基盤総合センター アイソトープ部門

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

放射性同位元素に関わる不祥事は JCO の大事故に限らず紛失、湧出、許可外の不正使用等些細な事例を入れても毎年発生している。世界で唯一の被爆国である我が国は、とりわけ放射線に対しては敏感に反応し、放射線関連の不祥事は大きく報道等で扱われている。しかし、残念ながらそれらの報道内容は、単に危機感を強調し理論的に正確な考察がなされているとは思えないものも見受けられる。一方、近年において、国際的なテロの危機が身近に発生するようになり、国の関係当局もテロ対策等の危機管理に対して真剣に取り組まざるを得ない状況になってきている。本報告はこのような状況を踏まえて、医学放射線施設を例に火災発生時における種々の問題を考察した。

1. はじめに

昨年6月1日に大幅に改正された放射線障害防止法が施行された。これは1996年IAEA(国際原子力機関)がFAO(国連食糧農業機関)やILO(国際労働機関)等と共同で「電離放射線に対する防護及び放射線源の安全のための国際基本安全基準(BSS)を刊行した^[1]。我が国もBSS及びNRPB(英国放射線防護庁)で示された核種における免除レベルを取り入れ、放射性同位元素の規制値を大幅に改訂した。この規制値の元になる概念は通常使用時と火災等事故時における使用者及び公衆の被曝を合理的に評価し、核種毎に規制を免除する放射能と放射能濃度を決定する事にある。一方、この改訂と相俟って、米国の同時テロ以来、我が国においても対テロ対策に真剣に取り組む必要性から、文部科学省や茨城県等の通達によりテロの対象となりうる原子力施設や放射性同位元素等取扱施設に対し危機管理に関し尚一層の対策を求められているところである。また、これらの事とは別に、数年前より文部科学省や消防庁等からも放射線施設における火災対策の強化と所轄消防署との情報交換等の連携が求められている。

2. 施設の現況

当然の事であるが放射線傷害防止法においても、放射線施設の設置にあたっては、火災、地震等の危険に対して放射性同位元素等が散逸し、放射能汚染や放射線が環境に影響しないように十分厳しい設置基準を満たしていなければ許可は得られない。例え

ば、主要構造部は耐火構造とし、放射性同位元素の廃棄物は耐火性の容器に保管、放射性同位元素の貯蔵室や廃棄物保管室の扉は特定防火設備防火戸とし、貯蔵室のダクトには防火ダンパーを有す事などがある。また、火災以外の危機管理対策では、放射線施設の管理区域及び貯蔵室の出入りは特定の有資格者のみに貸与したカードがなければ解錠できず、扉が開閉する瞬間に監視カメラによってVTRに記録されるようになっている。したがって、有資格者が不正をしない限り他の者がこれらの施設に侵入することはできない。当該医学放射線施設以外の学内の放射線施設においても、概ね同様の措置がなされているはずである。しかし、悪意の第三者が大きな力を用いて故意に侵入を試みた場合は、これらの対策が万全であるかは不明である。また、使用者等の過失により、火災を発生させることも十分考えておかなければならないであろう。

3. 総務省消防庁の原子力施設等消防活動対策マニュアルの概要

3.1 事前対策(あらかじめ放射線施設と協議し定めておくもの)

- ・消防隊の誘導
- ・消防隊への情報提供
(事故現場の経路、緊急避難口、注水及び破壊禁止場所、立ち入り禁止場所とその理由、被曝と汚染のおそれ、放射性同位元素の概要とその影響、放射線測定データ等)
- ・消防隊への提供可能資機材
- ・隊員の汚染検査及び除染体制
- ・施設との共同訓練

3.2 火災等事故時の対策

- ・通報受信時の情報収集
(発生時刻、火災等の種別、場所、被曝或いは汚染のおそれ、放射線量率、放射性同位元素拡散危険の有無等)
- ・先着隊の活動にあたって
(隊員の安全確保のため情報収集の相手として放射線取扱主任者を適任としている。)
- ・放射線の検出活動
- ・消防警戒区域の設定
- ・汚染検査及び除染

以上は、平成14年6月に文部科学省原子力安全課放射線規制室長通知において、放射線関連の火災事故に関し、所轄消防機関との連携について述べた通知文に添付されたマニュアルの概略である^[2]。本報告ではこれらのマニュアルにおける幾つかの項目を含め以下検証を進めてみる。

4. 放射性同位元素等の保管の状況

4.1 密封放射性同位元素

1階のガンマ線照射装置には、平成17年11月現在の減衰量で約93TBq（搬入時で約146TBq）の放射能を有する¹³⁷Cs線源がある。これは、半減期が約30年なので1年経過すると約2.3%放射能が減衰する。通常の使用時に線源は照射セル内に封入された状態にあるので、使用者及び周辺にはガンマ線による被曝は殆どない。図1に示したように、ステンレス封入の線源は厚さ平均1.5cmの鉛で遮蔽されており、更にその鉛は約5mm～10mmの厚さの鋼板によって覆われている。

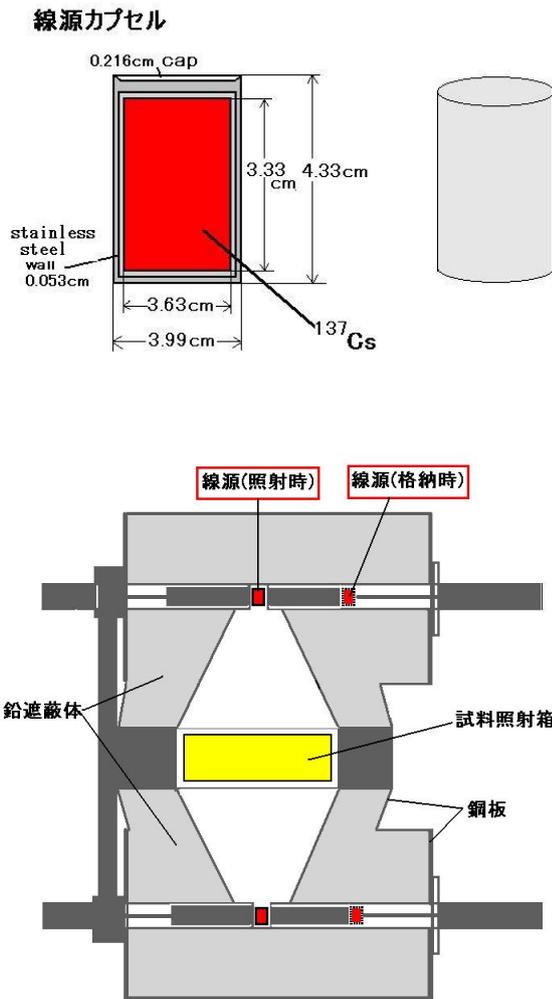


図 1. ガンマ線照射装置

4.2 非密封放射性同位元素

当該施設で使用許可を受けた放射性同位元素は19核種であるが、最近5年間に使用されている核種は表1に示す12核種である。年間使用量、年間保管量は5年間の実績値の平均量であり、単位は何れもKBqである。また、線源の保管状態は、図2のとおり、放射線の種類及びエネルギーによって遮蔽構造が適宜異なっている。使用者は、これを使用の都度、貯蔵室から持ち出してそれぞれの実験にあわせて希釈、分注等をする。

表 1. 放射性同位元素の保管量等

核種	年間使用量 KBq	年間保管量 KBq	1日最大使用 量 KBq	最大搬入 量 KBq
3-H	586860	5342275	832500	37000
14-C	55203	109389	222000	9250
32-P	4184093	264494	370000	370000
33-P	445497	23420	74000	37000
51-Cr	157005	62570	74000	74000
35-S	1454973	290008	92500	92500
125-I	511032	211229	44400	44000
45-Ca	15584		18500	18500
99m-Tc	536500		185000	185000
123-I	19400	18000	7400	7400
201-Tl	177600	70300	37000	37000
75-Se	1000		9250	9250

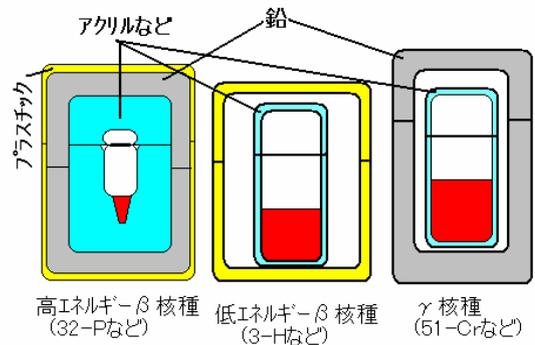


図 2. 放射性同位元素の保管状態

4.3 放射性廃棄物

放射性廃棄物は液体廃棄物と固体廃棄物に大きく分けられる。火災で問題となるのは重量や容量からでなく放射性同位元素の移行割合を考慮しなければならない。これは液体廃棄物が最も多く、概ね使用量の9割程度になる。残りの1割弱が固体廃棄物のプラスチックやゴム等の手袋になり、その他は紙等の可燃物やガラス等の不燃物となる。したがって、火災の際に注意しなければならないものは実験の際に一時的に持ち出して使われる³²P-無機廃液及びその他の核種の無機廃液である。また、消防法による危険物で低温の引火特性を有するトルエンやキシレンを主成分とする液体シン

チレーション測定系の有機廃液も実験室に持ち出される。ただし、これらの有機廃液は、放射性同位元素の濃度としてはそれほど高くはなく、核種としても危険度の小さい³Hや¹⁴Cを主に含有している。また、これらの液体廃棄物は、保管の基準がポリエチレン等の容器に入れ、更に不燃材である鉄製或いはステンレス製の容器に収納するようになっている。

5. 火災時における放射性同位元素の状況

放射線施設が万一、火災になった場合、建屋内の放射性同位元素が如何なる状況になるかを最も考慮しなければならない。そこで、マニュアルにもあるとおり、大きく分けて被曝と汚染について考察する。まず、被曝について考えると、火災による熱損傷によって密封された放射性同位元素の遮蔽体は溶融し、遮蔽能力がなくなる可能性がある。その結果、放射能の高い密封線源の漏洩放射線量率が急激に増大する。次に、非密封の放射性同位元素は、線量率は低い、放射性物質自体が燃焼に伴う高熱による蒸発等で空気を汚染し、作業者がこの空気を吸入することにより内部被曝をもたらすことを考慮しなければならない。また、非密封の放射性同位元素は注水により放射性同位元素が飛散し、水を汚染して壁、床、人体等の周辺環境に拡大するおそれがある。一方、密封線源の損傷は、耐熱構造のカプセルに封入されているので線源自体による汚染の可能性は少ない。

5.1 密封線源による外部被曝

1階のガンマ線照射装置の¹³⁷Cs線源を覆う鉛遮蔽物は328度で溶融する。仮に、火元が1階からだと、この状況は火災の比較的初期の段階で到達するかもしれない。しかしながら、鉛は厚い鋼板に覆われているので、溶けた鉛は簡単に流出しないであろう。もし、火災の程度が更に進行した場合、鋼板の溶接部分や各連結部等が破壊され、中の鉛が流出することを考えなければならない。そこで、この鉛遮蔽がなくなった場合を想定して線量を計算すると表2のようになる。表中の線量率は何れも西側の約7.4 m離れた管理区域境界の点での計算値である。これより近い西真横の点は階段があるので計算を省略した。計算条件は、通常時の漏洩線量の計算と火災時の状況でAからDまでに示した如く、コンクリート壁を破壊したときや遮蔽の効果が全くない場合などを想定して計算した。更に、周辺の線量をできるだけ小さくするために、緊急措置として砂袋のブロックを積み上げた場合の線量率を表2に及びその遮蔽効果を図3に示した。砂による遮蔽のデータは文献^[3]にないので実際の¹³⁷Cs線源を使用して著者が実験により得たものである。線源から遮蔽体までは、僅かにコリメートされた条件なので、透過率から求めた

表2. 密封線源からのガンマ線量率

	鉛	内壁コンクリート	外壁コンクリート	砂囊の使用	線量率 (mSv/h)
通常時	15cm	18cm	20cm	-	0.0000007
火災時A	-	18cm	20cm	-	10.80
火災時B	-	18cm	-	-	42.34
火災時C	-	-	-	-	132.30
火災時D	-	-	-	20cm	7.28

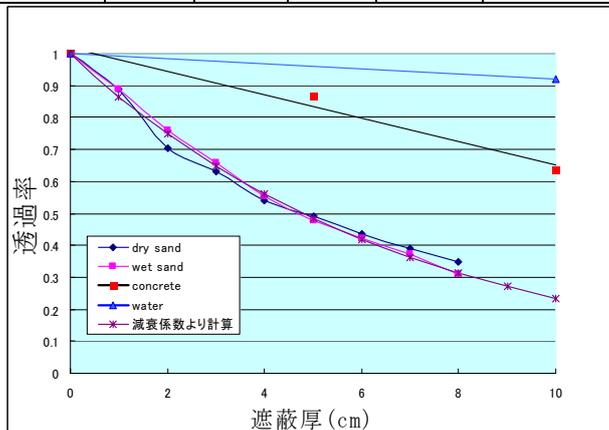


図3. 砂の遮蔽効果

減衰係数は実際より厳しい数値であるかもしれない。遮蔽体のない線源が剥きだしになった状態では、点等方線源に近似した条件になり、ビルドアップ効果の影響が大きくなって線量はもう少し過大になる事が考えられる。

5.2 非密封線源による被曝と汚染

非密封の放射性同位元素使用時に火災が発生した時、使用者のとるべき行動として、余裕がある場合は放射性同位元素を貯蔵室に戻すことは間違った判断とはならないであろう。何故ならば、貯蔵室は防火ダンパーで換気が遮断され、堅牢な耐火構造になっているからである。万一、全面的延焼になっても、室内は殆ど燃えるものがないので、放射性同位元素による損害は最低レベル（高熱による放射性標識物の分解など）に抑えられるかも知れない。むやみに管理区域外に持ち出すことは、放射性同位元素が混乱にまみれて所在不明になったり、周辺に不要な汚染をもたらすことになりかねない。更に、緊急性を要求される状況では、実験室内のフードに収納することも一つの選択肢になり得る。フード内であれば消火等の際、とりえず汚染や飛散の可能性は少なくなるからである。次に、最も緊急を要する場合は最悪の想定である放射性同位元素を持ち出す余裕のない状況が考えられる。このような最悪の状況で、非密封放射性同位元素からの外部被曝線量を以下のように仮定して計算する。通常の使用状態では表1の1日最大使用量は殆ど使われない。現実的には、図2のような搬入時の保管容器から、必要量の放射性同位元素を取り出して実験を始める場合が多い。し

たがって、実験室に、ある瞬間存在する最大量の放射性同位元素は表 1 の最大搬入量と思われる。ここでは表 1 の全ての核種が同時に存在したとして、また、容器の遮蔽体はないものとし、作業員等が 50cm の近距離で受けるであろう実効線量を計算すると約 1.5 μ Sv/h となる。次に、非密封の放射性同位元素の飛散によって作業員等が呼吸する際の内部被曝を計算する必要がある。そこで、実験室に存在する最大搬入量の 50% が飛散するものとして^[4]空气中放射性同位元素濃度から内部被曝による実効線量を推定した。実験室は安全側になるように使用頻度が高く、容積が少ない室を想定し 90m³とした。その他の計算条件としては、人の呼吸率を 1.2m³/h、摂取量 Bq から実効線量 mSv に換算する係数（実効線量換算係数）等は放射線障害防止法告示別表第 2 の値を使用した（表 3.1）。この値は核種毎及び化学形によって異なるので、火災によって推測し得る物はその値を、不明の場合は最も厳しい値を採用した。例えば³H は火災による高温で元素状水素になる事を想定し、注水時の汚染では、それを水として扱った。この汚染による廃水中の放射性同位元素濃度の推測は、初期消火活動による注水（2000 l/min で 5 分間）とその後の注水の継続によって全ての水が建屋外側のコンクリートタンクヤード内（実容積 160m³）に滞留し、希釈された場合とを比較した。以上の計算結果を表 3.2 に示す。また、外部被曝、内部被曝、空气中濃度、水中濃度の計算は次式を用いた。

(1) 外部被曝による実効線量

$$\text{放射エネルギー(MBq)} \times \text{実効線量率定数}^{*1} \times \text{遮蔽体透過率} \times (1/\text{距離m})^2$$

*1 実効線量率定数：線源強度 1MBq の点線源から 1m の距離における実効線量率(μ Sv/h)。

ただし、 β 線核種に対してはガラスターゲットによる制動放射線の定数を使用した。

(2) 空气中濃度及び内部被曝による実効線量^[5]

(2)-1 空气中放射性物質濃度 C (Bq/cm³) を求める。

$$C = \text{放射エネルギー(Bq)} \times \text{飛散率}^{*2} / \text{換気量(cm}^3) \text{ }^{*3}$$

*2 : 50% *3 : 90m³ (γ 線調整実験室とした)

(2)-2 空气中放射性物質濃度 C から摂取量 I (Bq) を求める。

$$I = C \times \text{呼吸率}(1.2 \times 10^6 \text{cm}^3/\text{h}) \times \text{吸入時間}^{*4} \text{ (h)}$$

*4 : 消火作業に係わる時間を 30 分とした。この時の呼吸率は日本人の通常作業時のもので火災消防作業時では大きく変化する事が考えられる。また、この摂取量は作業時間以外の呼吸により、摂取した放射性物質の濃度が更に希釈(約 1/5000 としている)されると考えられるが^[4]、ここではその効果を考慮していない。

(2)-3 摂取量 I から実効線量(mSv)を求める。

$$\text{実効線量(mSv)} = I \times K \text{ (mSv/Bq)} \text{ }^{*5}$$

*5 : K 実効線量換算係数(核種、化学形毎)

(3) 水中濃度

$$\text{放射エネルギー(Bq)} \times \text{混入率}^{*6} / \text{排水量}^{*7} \text{ (cm}^3)$$

*6 : 混入率は空气中に飛散する量の残り 50% を使用したが、注水により空气中に拡散された放射性物質が再び注水中に溶出されることを考えるとこれより大きくなる事が考えられる。

*7 : 排水量は 5 分間の散水時における 10m³ と希釈時の 160m³ を用いた。

表 3.1 告示別表第 2 の第 2 欄、第 4 欄、第 6 欄の値

核種	実効線量(換算)係数 mSv/Bq	空气中濃度限度 Bq/cm ³	排水中濃度限度 Bq/cm ³
3-H	1.8E-12	10000(水素)	60(水)
14-C	6.5E-9	3	2
32-P	2.9E-6	0.007	0.3
33-P	1.3E-6	0.02	3
51-Cr	3.6E-8	0.6	20
35-S	1.1E-6	0.02	6
125-I	1.4E-5	0.001	0.06
45-Ca	2.3E-6	0.009	1
99m-Tc	2.9E-8	0.7	40
123-I	2.1E-7	0.1	4
201-Tl	7.6E-8	0.3	9
75-Se	1.7E-6	0.01	0.3

表 3.2 実効線量と濃度の計算値

核種	空气中濃度 Bq/cm ³	実効線量(内部被曝) mSv	注水時の水汚染濃度 Bq/cm ³	希釈時の水汚染濃度 Bq/cm ³
3-H	0.2056	2.220E-7	1.85	0.1156
14-C	0.0514	2.004E-4	0.4625	0.0289
32-P	2.0556	3.577E+0	18.5	1.1563
33-P	0.2056	1.603E-1	1.85	0.1156
51-Cr	0.4111	8.880E-3	3.7	0.2313
35-S	0.5139	3.392E-1	4.625	0.2891
125-I	0.2444	2.053E+0	2.2	0.1375
45-Ca	0.1028	1.418E-1	0.925	0.0578
99m-Tc	1.0278	1.788E-2	9.25	0.5781
123-I	0.0411	5.180E-3	0.37	0.0231
201-Tl	0.2056	9.373E-3	1.85	0.1156
75-Se	0.0514	5.242E-2	0.4625	0.0289

5.3 放射性廃棄物の影響

放射線業務従事者は、一時的に実験中の廃棄物を専用の廃棄物容器に収納しなければならない。火災時においては、無機の³²P 廃液と、有機の³H、¹⁴C 等の廃液を考慮しなければならないであろう。³H、¹⁴C 等は放射能はごく少量であるが、液体シンチレーション試料には先に述べたように発火点の低いトルエンやキシレンが含まれている。しかし、実験終了時には、これらの廃液は廃棄物保管室に戻され、鉄製のドラム缶に収納される。したがって、有機廃液の燃焼による放射線被曝や、汚染の影響は僅少と言える。

また、³²P廃液は半減期が約 14 日なので、一定日数減衰を経て排水するものであるが、1 年間のデータから推定すると廃液の放射能は瞬間の最大値が数十 MBq 前後であった。これは表 1 の最大搬入量の 1/10 程度であるので、有機廃液と同様、保管状態を考えると被曝や汚染の可能性は低い。他の固体状廃棄物も同様に放射性同位元素による影響は小さい。

5.4 貯蔵中の放射性同位元素による影響

実験終了後の放射性同位元素は全て 1 階の貯蔵室に保管される。5.2 で述べたように、貯蔵室のダクトは火災によって防火ダンパーが作動し、周囲は厚さ 25cm のコンクリートで覆われている。また、内部には可燃性のものが少ないので、この室に延焼があるとは考えられないが、周辺の加熱により、室内の温度が上昇することを考慮しなければならない。貯蔵室の放射性同位元素は殆どが図 2 のような状態で冷蔵庫、冷凍庫に保管されている。高温により、これらの遮蔽容器が溶融し、冷蔵庫類も損壊したと仮定して線量の増分と飛散による空气中放射性同位元素濃度を最大貯蔵量で計算した結果を表 4 に纏めた。

表 4 貯蔵室の放射性同位元素濃度及び線量

核種	最大年間貯蔵数量 MBq	実効線量率(遮蔽あり) μSv/h	実効線量率(遮蔽なし) μSv/h	空气中濃度 Bq/cm ³
3-H	42550	-	-	957.38
14-C	12950	-	-	291.38
33-P	5920	-	-	133.20
35-S	11100	-	-	249.75
51-Cr	7400	0.4	5.4	166.50
32-P	37000	0.3	5.0	832.50
59-Fe	185	1.0	4.4	4.16
99m-Tc	9250	0.4	26.8	208.13
123-I	740	0.1	2.7	16.65
125-I	6660	0.1 以下	13.2	149.85
131-I	370	0.3	3.2	8.33
45-Ca	1850	0.1 以下	0.1 以下	41.63
57-Co	11.1	0.1 以下	0.1 以下	0.25
75-Se	925	0.4	8.2	20.81
85-Sr	74	0.1	0.8	1.67
109-Cd	185	0.1 以下	0.1 以下	4.16
203-Hg	11.1	0.1 以下	0.1	0.25
201-Tl	3700	0.1 以下	8.4	83.25
18-F	3700	-	-	-

それぞれの放射能値(数量)は許可を受けた核種に対する最大の貯蔵量である。これは、表 1 の実際の年間保管量とは異なり、最大の収納可能量である。したがって、実際には許可された全ての核種が常に保管されている訳ではなく、その核種は平均 7 核種前後で、数量も最大年間貯蔵量の 1/10 以下である。また、¹⁸Fは半減期が 2 時間足らずなので保管はしない。しかし、ここでは最大貯蔵数量の保管時も考慮

に入れて計算した。表中の実効線量率は容器の遮蔽がないものとし、線源から扉までの平均距離が 2.5m であることから、この距離でのコンクリート遮蔽のない場合と遮蔽壁の外側での位置を計算した。また、低エネルギーのβ線放出核種は線量率に寄与しないので計算を省略した。各々の核種の実効線量率から外部被曝の影響は小さいと見積もって差し支えないであろう。表 4 で実効線量率が比較的大きい^{99m}Tcは半減期が短く(6 時間)、¹²⁵Iは低エネルギーγ線(35KeV 前後)であることから時間の経過と簡単な遮蔽で十分低減できる。また、⁷⁵Seや²⁰¹Tlは年間を通しての保管の頻度は少ない。次に、空气中濃度の値を庫内の放射性同位元素が高熱によって 90%が貯蔵室内に飛散すると仮定し、貯蔵室の容積を 40m³、防火ダンパーは作動しているため換気はないものとして計算した。なお、非密封の放射性同位元素はその物理的、化学的状態によって飛散率はかなり変わる。また、火災の場合には周辺の燃焼物等によっても飛散率は変わってくる。放射性物質が火災時の温度より低いと殆ど全量が気化し、火災温度より高いと煙等に付着し 20%~90%が大気中に拡散する^[4]。ここでは、放射性物質の状態や化学的性質が多様なので飛散率を一律 90%として取り扱った。表 4 中には記載していないが、空气中濃度の計算値が空气中濃度限度の 10 万倍を超える核種は³²Pと¹²⁵Iの 2 核種に見られた。また、その他の核種でも全て濃度限度を大きく超えてしまうことになる。これらの計算から大量の放射性同位元素が気化蒸散した場合、換気のない貯蔵室内では空気汚染による人への影響は重大な被害を与える事になる。

6. 鎮火後における対策

6.1 汚染区域の設定

前章で述べたように、¹³⁷Cs密封線源を除いた非密封の放射性同位元素は汚染とその除染の対策のみを考えればよいことが分かる。実験室では火災時に発生した空気の汚染は、窓ガラス等の破損によって、その殆どが直ちに大気中に拡散し、希釈される事が予想されるので現実には対応不可能である。原子炉の事故のように放射性プルームやフォールアウト等の問題は小規模の研究施設では殆ど起こらないであろう。したがって、周辺環境に与える影響は、注水による水の汚染と拡大が主なものと推察できる。消防活動対策マニュアルでは土地の高低等による消防残水の流失予想範囲を求めている。そこで図 4 に注水終了後の残水拡散の推定域を示した。5.2 で注水した水は全てタンクヤードに滞留すると仮定したが、実際には図 4 のように建屋周辺に飛散するものと思われる。希釈時の注水総量をタンクヤードの最大容量である 160m³と想定したが、これは消防車の注水能力と注水時間、消防車の出動台数等によって大きく異なる。また、表 3.2 の計算結果から³²Pや¹²⁵Iが存在した場合は濃度限度を超える汚染が予想されるの

で、更に流失拡大を防ぐための土嚢等の構築も必要になる。

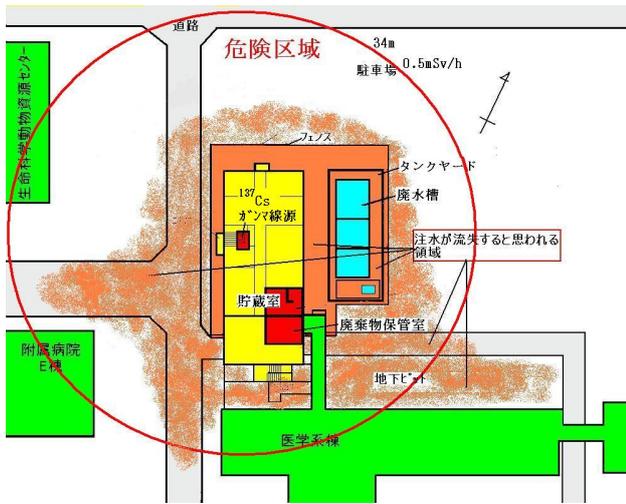


図 4. 注水後の水の流失推定域と放射線危険区域

6.2 放射線危険区域の設定

消防活動対策マニュアルでは放射線危険区域の設定を 0.5mSv/h 以上の放射線が検出される区域としている。図 4 ではガンマ線源中心から半径 34m の範囲をその区域に設定しているが、これは鉛の遮蔽体のみが損壊し、コンクリート遮蔽壁は存在した場合は想定している。このような状況にならなくとも火災時には近隣の西側病棟、生命科学動物資源センター、医学系等の居住者や教職員を退避させなければならない。仮に西側のコンクリート壁の一つが損壊する事態になった場合は、更にその区域を倍以上上げなければならないであろう。ガンマ線照射装置の東側は廃水タンクがあるので、特に満水状態であれば、約 4m の水槽により線量率は自然放射線レベルに減衰される。したがって、東側の駐車場側が緊急避難路として考えられる。しかし、現実には鉛が溶融することはあり得ることであるが、鋼板の損壊にまで至る可能性は非常に少ないので、この危険区域を設定する必要性はあまり起こらないと思われる。なお、この区域では 5 で計算した結果から、ガンマ線照射装置以外の非密封放射性同位元素による外部放射線の効果は僅かであるので考慮に入れてない。また、この危険区域で消火活動を行う隊員等は線量計の装着は必須になる。このためには、緊急用の外部被曝線量計（ガラスバッジ等）を予備に備えておかなければならない。

6.3 その他の対応

消火作業中は当然であるが、消火後の放射線量を測定することは汚染や飛散した放射性物質の捜索においても重要になってくる。このような事態では当

該施設の測定機器は使用ができなくなる場合が起こりうるので、他施設から機材を調達し、それらの施設に試料を持ち帰って測定等を行わなければならない。場合によっては超法規的判断が必要になるかもしれない。いずれにせよ、これらの事を想定し、各担当者の連携を効率よくしなければならない。また、消火活動に伴う隊員等の被曝と汚染、または、放射線障害の恐れの有無、消火活動に使用した機材等の汚染と除染の必要性等を迅速に判断しなければならない。このためにも安全な場所を想定し、汚染等の検査場所を設けなければならない。当然、この場所には放射線取扱主任者や医師、看護師が待機しなければならない。場合によっては放射性物質の汚染除去の設備、除染水の一時保管、廃棄物の保管等の設備や機材も必要になる。更に病棟、学系棟等の学内のみならず、周辺住民、報道関係者に対する広報対策も重要な要素となる。また、このような異常事態では電気系統が使用不可となる可能性が大いなので、この事も十分念頭に置いて行動しなければならない。

7. 考察

以上の計算等から ^{137}Cs 密封線源では鉛による遮蔽効果がなくなった場合、約 1 時間の被曝で放射線業務従事者の緊急作業に係わる線量限度 100mSv の $1/10$ 及び消防隊員の被曝線量限度 10mSv が西側管理区域境界の位置で達するおそれがある。鉛遮蔽は約 1cm の鋼板に覆われているが、鉛の熱膨張率は鉄の約 2.5 倍あるので、この事を考慮した設計でなければ損壊は無いとは言えない。建物の種類によって異なるが大火災の場合は 1200 度程度の温度上昇があり得る^[6]。万一、建屋の壁が崩壊し、線源が剥き出しの状態になったときは応急の砂袋による遮蔽は有効な効果を発揮すると思われる。図 3 に示すように砂の遮蔽効果はコンクリートのそれより大きいことが分かる。これは砂の主成分が酸化珪素(場所により異なるが約 80%)で実効原子番号が比較的大きい事による。ただし、このような状況では線源自体の損傷も皆無とは言えない。一方、実験中に存在する可能性の大きい非密封放射性同位元素の吸入による内部被曝実効線量は、 ^{32}P と ^{125}I が高値を示す。各々の核種の空气中濃度は、その濃度限度の 240 倍から 300 倍近くになるが、消火時には作業者は建屋の外にいる場合が殆どであり、万一、建屋内部に侵入したとしても、消火作業以外の呼吸による希釈効果や防護マスクの着用等を考慮すると、何れも空気汚染と内部被曝による影響は無視できる値になるであろう。また、これらの空気汚染は、火災のある瞬間だけ表 3.2 のような濃度になることはあるが、短時間のうちに大気中に拡散すると思われるので、この程度の濃度では環境に与える影響は殆ど発生しないと考えられる。

唯一問題となるのは実験中の放射性同位元素による水の汚染である。その値は注水の状況によるが排水濃度限度の数倍になることもあるので、どの核種

も同様であるが、特に³²P及び¹²⁵I等の濃度限度の厳しい核種については速やかに移動し、出来るだけ実験室に放置しないようにしなければならない。いずれにせよ、空気及び水の汚染の程度は飛散率や注水の規模によって変わってくるので正確に推定する事は難しい。また、貯蔵中の放射性同位元素の計算では空气中濃度が大きな値(表4)を示しているが、爆発などを伴う相当程度の火災でない限り、庫内の冷蔵庫類の損壊までは至らないと思われる。しかし、貯蔵室内には存在しないが、他の実験室内には各種の酸やアルカリ及びキシレン、トルエンなどの危険物及び高圧、可燃性のガス類などが存在し、それらの組み合わせによっては発火や爆発の可能性は高い。万一、遮蔽容器の効果が無くなっても、冷蔵庫の扉が開放しなければ空気の汚染は免れるかもしれない。しかし、貯蔵室に関しては、火災の程度とその時の放射性同位元素の保管数量によっては、空气中放射性同位元素濃度限度の数万倍を超える核種によって室内空気が汚染される可能性があるため、扉の密閉の対策、庫内空気の取扱いは慎重にしなければならない。

8. まとめ

消防活動対策マニュアルでも指摘しているように、小規模の放射性同位元素使用施設での火災では、外部被曝よりも内部被曝を受ける可能性を予測している。本報告の考察でも、ガンマ線照射装置を除けば、空気と水の放射性同位元素による汚染が重要な要素となった。このことから、もし、作業員等が表3.1の濃度限度レベルを超える放射性同位元素を体内に摂取したときは内部被曝の評価をしなければならない。しかし、内部被曝の計算は放射性同位元素の化学形、粒子の大きさ、吸入区分、体内への侵入経路、排泄、個人差等様々な要因により大きく異なってくる。このため国際放射線防護委員会(ICRP)では幾つかの内部被曝の評価法を公表している。例えばICRP Publication 68^[7]では摂取量(急性摂取)から50年間の預託実効線量(放射性同位元素の摂取時から人体が50年間に受けることになる総線量)や臓器又は組織毎の預託等価線量を求める方法を掲載している。その他にも日本原子力研究所による簡易内部被曝線量評価コードなどがある。本報告の予測では放射性同位元素の使用量や保管量を過大に見積もり、最悪の条件下で計算している。幸い日常の使用状況からはこのような事態になるのは非常に希なことと思われるが、一つの可能性として肝に銘じるべきである。昨年3月、ある大学の放射性同位元素実験室でフード内のホットプレートの過熱により火災が発生した。この事故では大事には至らなかったようであるが、このような事は使用者等の不注意で放射線施設のみならず何処の施設でも起こりうる事である。要は放射性同位元素使用施設では絶対に火災事故を起こさぬよう日頃からの管理体制や教育訓練並びにマニュアルの作成及び所轄消防機関との防災訓練等綿密な連携が必要と思われる。

参考文献

- [1] 放射線障害防止中央協議会 原子力安全技術センター編 「放射線安全管理講習会」資料 平成14年
- [2] 総務省消防庁 原子力施設等における消防活動対策マニュアル検討委員会 編 「原子力施設等における消防活動対策マニュアルー第3編 放射性同位元素等取扱施設における消防活動対策」平成17年7月18日
- [3] 原子力安全技術センター編 「放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル」 2000年 p-153
- [4] 日本アイソトープ協会編 丸善発行 「放射線施設の火災対策・地震対策」 1996年8月1日 p42-45
- [5] 原子力安全技術センター編、発行 「被曝線量の測定・評価マニュアル」 2000年10月 p79
- [6] 日本アイソトープ協会編、発行 「放射線施設の火災対策」 1972年7月1日 p18
- [7] 日本アイソトープ協会編、発行 「ICRP Publication68 作業員による放射性核種の摂取についての線量係数」 1996年5月20日