

事業所における放射線事故対応

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所

富永 隆子 Takako Tominaga

1. はじめに

放射線は、工業、農業、医療など様々な分野で使用されており、全国各地の事業所に放射線源、放射性物質は存在している。日本国内でも放射線を取り扱っている事業所が関連する放射線事故は、高い頻度ではないが発生している。放射線の事故は、放射線に被ばくする事故、放射性物質が漏えいして汚染が拡散する事故に大別される。また、汚染の事故は、漏えいした放射性物質を経気道や経口摂取で体内に取り込む体内汚染の事故につながる。本稿では、事業所で取り扱われている放射線源、事業所での放射線事故の事例、事故対応について紹介する。

体内から放射線を浴びる場合は内部被ばくである。外部被ばくでは、線源から離れて放射線にさらされなくなれば、それ以上の被ばくが生じることはなく、被ばくした身体から放射線が放出されることはない。身体への影響は、被ばく線量と線量率^{※1}に依存し、両者が高くなれば急性障害として、骨髄障害、消化管障害などの症状が出現する。内部被ばくでは、体内に放射性物質が存在する限り被ばくが続くが、低線量率の被ばくであり、ほとんどの場合、急性障害が生じることはなく、発がんのリスクが増加する晩発性影響が主な健康影響である。

放射性物質が身体や機材などに付着することを汚染という。表面汚染物質からは、放射線が放出されるが、管理区域からの持ち出し基準程度の放射性物質の濃度であれば、皮膚に外部被ばくを生じることはない。放射線管理区域での表面密度限度^{※2}を表1に示す。 α 核種（ α 線を放出する核種）は体表面に汚染があっても皮膚障害は起きないが、 β 核種（ β 線を放出する核種）は高濃度の皮膚汚染によって皮膚障害が生じる場合がある。体表面に放射性物質が付着している場合は、汚染した環境にいたことが原因と考えられ、経気道、経口摂取による体内摂取があれば、内部被ばくが生じる。

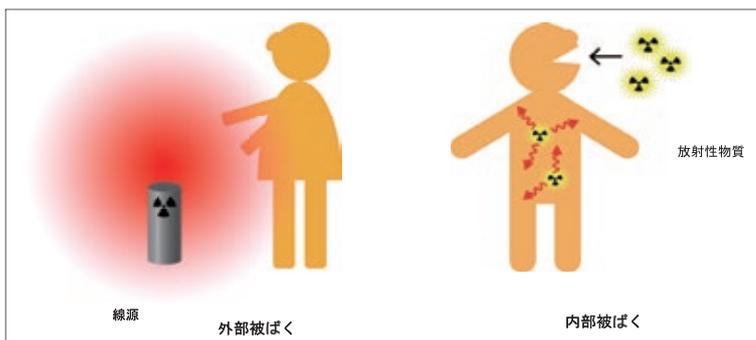
2. 被ばくと汚染

放射線を身体に浴びることを被ばくといひ、概念を図1に示す。身体の外にある線源から放出される放射線を浴びる場合は外部被ばくであり、放射性物質を体内に取り込んで、

※1
線量率
単位時間当たりの放射線量。

※2
表面密度限度
放射線管理上定められた物の表面の放射性物質の濃度の上限。

図1 外部被ばくと内部被ばく



外部被ばく：放射線を身体の外から浴びること
内部被ばく：体内に取り込んだ放射性物質からの放射線を体内から浴びること

3. 事業所で扱っている放射線源

放射線の利用を届け出ている全国の事業所

表1 放射線管理区域の表面密度限度

核種	表面密度限度	持ち出しの表面密度限度
α線を放出する核種	4 Bq [※] /cm ²	0.4 Bq/cm ²
α線を放出しない核種	40 Bq/cm ²	4 Bq/cm ²

※ベクレル

表2 使用許可・届出事業所数（機関別、利用形態別）

機関	総数	事業所数 [※]	延べ計 [※]		
			非密封線源	密封線源	発生器
総数	7,577	2,833	718	1,921	1,120
医療機関	1,080	987	169	483	916
教育機関	526	335	280	156	44
研究機関	448	273	177	149	56
民間企業	4,430	1,009	75	928	85
その他の機関	1,093	229	17	205	19

※表示付認証機器届出事業所を含まない。 出典：日本アイソトープ協会 放射線利用統計2016

数は、2016年3月時点で7,577であり、機関別、利用形態別の事業所数を表2に示す¹⁾。これらの事業所では、様々な形態で放射線源を利用しており、それぞれの放射線源の特徴は次のとおりである。

(1) 密封線源

放射性物質が漏れないように、腐食、温度、圧力、機械的な外力から十分に耐えうる容器に密封されたものが密封線源である。容器の中の放射性物質から放射線が放出され、その放射線を利用する。例えば、非破壊検査では、イリジウム192やコバルト60などの密封線源を使用して、パイプや壁などの亀裂の有無を検査する。また、巨大なタンクの中の液面の位置を測定したり、物質の厚みを測定したりする機器にも密封線源が使用されている。他にも滅菌や材質の品質強化、植物の品種改良、病害虫防除などのために放射線を照射することがあり、これらも密封線源を内包した照射装置を使用する。

密封線源を取り扱う場合には、外部被ばくに注意する必要がある。また、容器が破損して密封性が保たれなくなった場合には、内部の放射性物質が漏えいすることによる汚染拡大にも注意が必要である。

(2) 非密封線源

放射線を放出する放射性物質のうち、密封線源以外のものを非密封線源という。これらは、特に医療で医薬品として使用されることが多く、生物学や医学の分野でトレーサー^{※3}として使用されることもある。非密封線源の取り扱い時には、汚染の拡大に注意する必要がある。

(3) 放射線発生装置

放射線発生装置は、電離放射線^{※4}を発生する装置である。医療機関で診断に使用する一般X線撮影装置いわゆるレントゲン装置やコンピュータ断層撮影装置(CT装置)があり、これらはX線管に電圧を付加してX線を発生させる。空港での手荷物検査でもX線検査装置が使用されている。また、荷電粒子を加速することで放射線を発生させるサイクロトロン、シンクロトロンなどがある。

4. 事業所での放射線事故・事件

事業所で使用されている放射線源は厳重に管理されているが、線源の紛失、盗難、所在不明などの報告が少数ではあるがなされてお

※3
トレーサー
特定の物質、細胞などを追跡するために使われる微量添加物質のことである。放射性物質をトレーサーとして使用した場合、トレーサーから放出されるγ線などを検出して追跡調査する。

※4
電離放射線
物質に電離作用(イオン化)を及ぼす放射線。

表3 日本の線源盗取・所在不明事案

年度	地域	概要
1971	千葉県	造船所構内でステンレス製の金属片を拾い、下宿に持ち帰った。下宿で5人が金属片に触れた。5日後にイリジウム192 (1.63TBq) が装着された線源の紛失に気づき、拾った金属が線源だと判明。
2008	千葉県	千葉県非破壊検査用のイリジウム192 (370GBq) が盗まれ、約1ヶ月後に神奈川県内の川の中から発見。
2009	静岡県	たばこ量目制御装置用のストロンチウム90 (166.5MBq) が所在不明となり、関係事業所を捜索した結果、解体業者のスクラップ内から当該線源を発見・回収。
2009	新潟県	道路工事現場で RI 水分・密度計の放射線源が紛失。
2010	東京都	密封されたクリプトン85 (107.7kBq×2個) を搭載した無人機のエンジンが停止し落下・海没 (位置は硫黄島から西北西約9km の海面) したため、密封された放射性同位元素が所在不明。
2011	岩手県	東日本大震災の地震、津波により水分・密度計の線源でコバルト60 (2.59MBq)、カリホルニウム252 (1.11MBq) が所在不明。
2011	三重県	装置更新のためラップフィルムの厚みを測定する厚さ計から、耐火性容器に収納されたクリプトン85 (2.96GBq) を取り外し、管理区域内に保管したが、3ヶ月後、所在不明。
2011	静岡県	陸上自衛隊開発実験団装備実験隊において、試験用拳銃3丁の解体処分時に、拳銃に装備された照準具 (当該照準部分の発光用、放射性同位元素トリチウム (2GBq) 入りのガラスチューブを装備したもの (合計6GBq) を誤って熔解処分。
2011	東京都	患者から治療用のルテニウム106 (約6MBq) を取り除いた。翌日の治療の準備のため、線源庫内の鉛容器を確認したところ、当該線源の所在が不明であった。その後、埼玉県にある焼却施設内の焼却灰を詳しくサーベイし、カウントの出た焼却灰248g を回収し、Ge 半導体検出器で計測したところ、核種がルテニウムであることが判明。
2011	滋賀県	2005年7月、ガスクロマトグラフ分析装置から線源を取り外し保管した。 2012年3月、薬品会社本社工場において、この線源の確認を行ったところニッケル63 (370MBq) が所在不明となっていることが判明。
2012	北海道	放射線障害防止法に係る販売業者からガスクロマトグラフ分析装置を販売した会社と連絡が取れず、放射性同位元素ニッケル63 (370MBq) を装備した表示付認証機器が所在不明。
2012	沖縄県	リース会社から賃借していたガスクロマトグラフ分析装置に放射性同位元素ニッケル63 (370MBq) を装着したまま返却した。当該リース会社は、当該機器の産業廃棄物処理業者金属廃棄物として選別し再販しており、他の金属とともに溶融された可能性が高い。
2012	福岡県	携帯用液化ガスレベルメータのコバルト60 (2.5MBq) を含む先端部 (長さ約30センチメートルの棒状の部品) を紛失。
2014	千葉県	水分・密度計に使用するコバルト60 (2.59MBq) とカリホルニウム252 (1.11MBq) が装着されたステンレス製の棒が所在不明。
2015	大阪府	水分・密度計に使用するコバルト60 (2.59MBq) とカリホルニウム252 (1.11MBq) が装着されたステンレス製の棒が所在不明。
2016	埼玉県	駐車場の車内に置いていた液面測定するために使用するセシウム137 (3.7MBq) が装着されたポータブルレベルメータが盗難。
2016	埼玉県	密封線源ニッケル63 (370MBq) が内蔵されたガスクロマトグラフの検出器の部品が所在不明。
2016	東京都	警視庁で保有していた予備の照準器用トリチウム1セットが所在不明

り、表3に示す。放射線障害防止法に基づき報告された事故・トラブルは原子力規制委員会のウェブページで確認できる²⁾。

(1) 密封線源の事故・事件

1971年に千葉県の造船所でイリジウム192線源 (1.63 TBq (テラベクレル)) が紛失し、その金属片を拾った作業員が下宿に持ち帰り、本人と下宿を訪問した友人ら5人が被ば

くした。この事故では、拾われた金属片が紛失した線源であることが判明したのは5日後であった。また、2008年には千葉県で非破壊検査用のイリジウム192線源 (370 GBq (ギガベクレル)) が盗まれ、約1ヶ月後に神奈川県内の川の中から発見される事件が発生した。この事件では、被ばくした人はいなかったが、仮に線源から1 m の距離に1時間滞在した場合、毎時43.3 mSv (シーベルト) の

被ばくをすることになった^{3),4)}。

密封線源の事故の場合、全身被ばくによる前駆症状^{※5}の出現には数時間から数十時間がかかり、主症状出現には数日から数週間かかる。また、全身被ばくで急性障害を発症しない程度の被ばくであれば、症状出現による事故・事件の発覚には至らないことも多い。局所被ばく^{※6}の場合でも皮膚の症状が出現するのは、上述のように時間を要し、熱傷の症状と同様であるため、被ばくによる皮膚障害として被ばく事故・事件と早期に判明するのは困難である。

(2) 非密封線源の事故

国内の非密封線源の事例として、研究室や事業所で使用していた放射性物質を持ち出し公共の場で散布したり、他人の持ち物に塗布したりする事件が発生している。拡散あるいは散布された放射性物質を経気道あるいは経口摂取した場合、体内に放射性物質を取り込んで体内汚染となり内部被ばくする。

2017年に発生した日本原子力研究開発機構の汚染事故⁵⁾では、貯蔵容器内の核燃料物質が入ったビニルバックが破裂して、作業員5名が吸入による内部被ばくと汚染した。この事故で作業員に急性症状は全く出現しておらず、内部被ばく線量は10 mSv 未満が2名、10~50 mSv が2名、100~200 mSv が1名であった⁶⁾。

(3) 放射線発生装置の事故

放射線発生装置の事故としては、装置を設置している部屋の天井で作業をしている時に誤って天井に放射線を照射した報告がある。また、2000年には千葉県の電子部品工場、X線発生装置を使用してICチップの不良品を検出する作業において、装置のインターロックを解除しX線が発生している状況で手を入れて作業を繰り返した結果、3名に手

指の局所被ばくが発生し、皮膚移植をすることになった事例がある。

5. 放射線事故対応

放射線、放射線源、放射性物質は適切に管理、保管され、安全に使用されていれば、われわれの生活にとって非常に便利なものである。しかし、不適切な使用によって作業員や周辺にいた関係者が被ばくしたり、不適切な管理によって盗取されたり、紛失した放射線源、放射性物質を悪意ある行為に利用して一般公衆を被ばくさせたりする可能性がある。放射線事故・事件を未然に防止するには、放射線、放射線源の適切な管理、安全な使用を徹底することである。さらに、事故・事件が発生した場合には、放射線は五感では感じることができないため、放射線、放射線源、放射性物質の存在、量、核種など放射線を測定する機器を使用しながらの対応が必須である。これらの測定器は、事業所では放射線管理に使用しているものを使用することになる。

(1) 密封線源の事故対応

α 核種による外部被ばくが、人の健康に影響を与えることはない。また β 核種では、表面汚染による皮膚障害しか生じない。このため密封線源の事故では、局所のみならず全身被ばくを起す γ 線を放出する線源が問題となる。事故時には、周辺の関係者、事故対応者などが無用な被ばくをしないことが重要であり、その場の放射線量を測定しながら対応する。事故時に放射線源の所在が不明な場合もあるが、その場の空間線量率を確認し、より線量率が低く安全な場所(線源から距離をとった場所)へ避難する。線源の回収や線源の周辺で作業する場合は、空間線量率を測定しながら個人線量計による被ばく線量管理を

※5

前駆症状

短時間に全身に1 Sv(シーベルト)以上の被ばくをした場合に、数時間から48時間経過後に出現する悪心、嘔吐、下痢、発熱、頭痛、意識障害などの症状である。被ばく線量に応じて症状が出現するまでの時間は短くなり、状態は重篤となる。

※6

局所被ばく

手指や四肢の一部など身体の一部を被ばくすること。被ばくした部位の皮膚障害、軟部組織の障害、骨の萎縮などの障害が出現する。

行い、なるべく作業時間が短くなるように計画し、活動計画で想定した被ばく線量以上の被ばくをしないようにする。可能であれば、線源の周囲に数 cm 程度の厚い鉛や鉄の板を置き放射線を遮へいする。この「線源から離れる」「作業時間を短くする」「遮へいする」という3つの項目は外部被ばく防護の三原則である。

(2) 非密封線源の事故対応

非密封線源の事故対応では、汚染を拡大させないことと放射性物質を体内に取り込まないことが重要である。汚染の広がりの範囲、放射性物質の付着の有無を表面汚染計で確認し、汚染を拡大させないために汚染の程度を測定し、放射性物質の付着があれば除染^{※7}をするか、一定範囲に定めた区域から持ち出さないようにする。事故対応で使用する機材などは、ビニールなどで覆うことで放射性物質の付着を防止する。対応者は、不織布などの簡易防護服、手袋、靴カバーなどを装着することで、放射性物質が付着しても、簡易防護服などの脱衣によって汚染を拡大させない対応が可能となる。また、呼吸によって体内に放射性物質を取り込むことを防止するために、呼吸保護具を着用する。

環境中に大量に放射性物質が漏れいし、環境が広範囲に汚染することになると、東日本大震災での東京電力福島第一原子力発電所の事故のように多大な経済的、社会的インパクトを与えることになる。

(3) 放射線発生装置の事故対応

放射線発生装置の事故の場合、電源を遮断すれば放射線の発生は停止する。ただし、高エネルギーの放射線発生装置を使用している場合、発生装置や周辺の機材である鉄、銅、アルミニウム、コンクリート、鉛などが放射化^{※8}し、放射線を発生している場合がある。

そのため、他の事故対応と同様に空間線量計、表面汚染計、個人線量計を使用して対応する必要がある。

6. おわりに

放射線は、様々な分野で使用されており全国各地の事業所で管理、使用されている。適切な管理、使用する場合は非常に便利なものであり、われわれの生活に欠かせないものである。一方で、誤った管理、使用がなされると途端に脅威となるものである。放射線の事故・事件はまれな事象であることから、対応のノウハウを経験から得ることは難しく、事前に事故対応の資機材を準備し、対応計画の実効性を検証しておくことが重要である。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本アイソトープ協会：放射線利用統計 2016, 2016. <http://www.jriias.or.jp/report/pdf/riyout-oukei2016.pdf>
- 2) 原子力規制委員会：原子炉等規制法または放射線障害防止法に基づく報告, 2017. <https://www.nsr.go.jp/activity/bousai/trouble/houkoku/index.html>
- 3) 量研機構放射線医学総合研究所：千葉県市原市イリジウム-192所在不明事件について, 2008. <http://www.nirs.qst.go.jp/rd/rem/remat/manual/ris/080409.html>
- 4) 量研機構放射線医学総合研究所：千葉県市原市イリジウム-192所在不明事件についての追加情報, 2008. http://www.nirs.qst.go.jp/rd/rem/remat/manual/pdf/iridium_0509.pdf
- 5) 日本原子力研究開発機構：大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について, 2017. <https://www.jaea.go.jp/04/o-arai/PFRF/>
- 6) 量研機構放射線医学総合研究所：日本原子力研究開発機構から受け入れた被ばく作業員の方々の内部被ばく線量評価について, 2017. <http://www.qst.go.jp/Portals/0/pdf/information/press/170606/press170710-2.pdf>

※7 除染

放射性物質が付着した汚染を除去する方法として、脱衣、拭き取りがある。拭き取りの場合、汚染範囲を広げないように汚染の中心に向かって拭きとる。また、拭き取りには水、ボディソープ、中性洗剤などを使用する。シャワーは、汚染した水が飛び散ることで汚染が拡大するため基本的に使用しない。

※8 放射化

安定同位体が、放射線を受けると放射性同位体となり、放射線を放出するようになる。

とみなが たかこ

佐賀医科大学医学部医学科卒業。2001年佐賀医科大学医学部救急医学講座入局後、救急医として勤務。2005年より放射線医学総合研究所にて被ばく医療に携わっている。2016年から現職。日本救急医学会専門医。