

使用済み放射線源管理の改善

工業や医療分野での使用済み放射線源の問題は、より安全な取扱いの必要性が注目されている

IAEA は 1992 年をはじめ、使用済みの放射線源で事故が起きないように各国、特に発展途上国での努力を支援するための計画に着手した。これまで放射線源に関係した事故は、危険な除染作業も含めて、人々に対し重大な過剰被爆をもたらしてきただけでなく、除染やその他の浄化作業のために多額の経費を要してきた。

放射線源は一般的に、工業や医療、研究用として使用されており、この中にはラジオグラフィや放射線療法などの各種の有益な利用が含まれている。

こうした放射線源の使用が終わる時に適切な措置がとられていないことが重大な問題を引き起す。放射線源を使用している間は、これが放射能をもっているという意識が働いているだけでなく、ともかく基本的な放射線防護が施される。しかし、使用を中止するときの処置が適切に行われないと、線源の安全な管理や監視処置がおろそかになってしまうことが考えられる。放射線源の使用中止が受け身で行われるようだと、放射線防護や廃棄物管理対策にだれも責任を持たないような状況に陥ることも考えられる。こうなると、線源がどこにあるかはもちろん、線源や機器データについての情報が失われてしまい、災害や事故を起こしやすい状況が醸成されることになる。悲惨な放射線事故が実際に何件か起きている。

本記事は、使用済みの放射線源の不適当あるいは、もしくは不十分な管理に関連したいくつかの重要な問題について検討している。また、IAEA が新たに着手したプログラムを通じて現在行われている努力について、とくに公衆の健康や安全性に危害を与えようと考えられる、使用済みの放射線源を確認し、安全に管理するうえで各国に対して向けられている支援について報告する。

B・G・ペターソン¹⁾

密封放射線源

密封放射線源は、特別注文の機器の一部であり、関連した安全面での考慮はもちろん、使用目的によって課せられた条件をもとに設計されている。また、これは放射能を中に閉じ込めるために容器の中に入れられていることから、密封線源と呼ばれている。容器には普通、ステンレス鋼が使われるが、とくにガンマ線源の場合は容器を二重にすることがある。ステンレスの代わりに、本質的に不活性の他の物質、たとえばプラチナやチタンが使われることもある。初期のラジウム線源では、金や銀、シンチュウ、ガラスが容器として使われていた。

最新の放射線源は、国際的に合意された基準に従うとともに、最終使用者の使用目的に基づいて製造されている。放射性物質自体は、たとえば金属やセラミックなどのような不溶性の形で製造されている。基準では、放射性物質が漏れでないことを確認するための線源の検査が要求されている。こうした線源は通常、あやまって火中に投げられたような状況にも耐えることができる。

1) ペターソン氏は IAEA の原子力安全部のスタッフ。本論の詳細については、最近刊行された IAEA 報告「Nature and Magnitude of the Problem of Spent Radiation Sources, IAEA TECDOC-620, Vienna (Sep, 1991) に掲載されている。

年	場所	放射線源のタイプ/用途	死亡者	
			作業者	一般
1962	メキシコシティー	ラジオグラフィー線源の紛失		4
1963	中国	種子用照射器		2
1975	ブレッシア(イタリア)	食品照射装置	1	
1978	アルジェリア	ラジオグラフィー線源の紛失		1
1981	オクラホマ(米国)	工業用ラジオグラフィー	1	
1982	ノルウェー	滅菌装置	1	
1984	モロッコ	ラジオグラフィー線源の紛失		8
1987	ゴイアニア(ブラジル)	遠隔治療用線源の盗難		4
1989	エルサルバドル	滅菌施設	1	
1990	イスラエル	滅菌施設	1	
			5	19

合計：10 件の事故で 24 人が死亡

注：X 線や加速器，治療，原子炉あるいは燃料集合体によって起こった事故は含まれていない。
出典：オークリッジ連合大学 (米国)

密封放射線源に関係した事故による報告された死者の数

古い放射線源，とくにラジウム線源は現在の基準より低い基準で製造されていた。たとえば，放射性物質それ自体は粉末あるいは溶解性の塩の形をしていることがしばしばみかけられた。また容器に閉じ込めるために使われた技術も現在のやりかたに比べると劣っていた。現在，放射線源に対する適切な放射線防護管理として考えられていることも，最初から常に実施されていたわけではなく，ラジウム線源の不適切な操作や使用，あるいは貯蔵によって起こった事故の結果としてとられたものである。

ラジウム 1950 年代以前についてみると，ラジウムは放射線源として実際に利用できる唯一の放射性核種であった。ほとんどが医療用（小線源照射療法）であった。当時ラジウムは非常に高価であり，これは線源の管理が実質的に経済的理由と結びつけて考えられていたことを意味している。まもなく，細胞組織が放射線障害を起こすことがわかり，放射線防護面での考慮に基づいた規制が導入された。100 人を超えるこの分野の先駆者が放射線の大量被曝により死亡している。

ラジウムが主に利用されたのは，悪性腫瘍の治療であった。放射性物質はチューブや小さな針の中に入れられており，これが腫瘍と直接接触するように置かれる。この方法は，人体の外からしか利用できないエックス線に比べて大き

なメリットを持っていた。

またラジウムは腕時計や置き時計，計器用の蛍光塗料としても使われた。1920 年代と 30 年代には，たとえ微量であっても少量のラジウムを含む種々雑多な製品が入手できた。こうした製品は，ラジウムを放射線治療に有効に利用できるという市場での可能性からもたらされた。たとえば，この中には，“健康に良い”ラドン水をつくるためのラジウム放射器やラジウム軟膏，各種治療効果を持つと言われているラジウム含有布地などがある。しかし，こうした製品は世間で言われているほどの健康効果を持つということが科学的に証明されているだけでは決してなかった。実際，こうした製品は十分な治療に対して根拠を持ったものではなく，これを使用することが危険な場合もあった。ラジウム放射器は約 0.5 ミリグラムにおよぶラジウムを含むことさえあった。

ラジウムは 1898 年にマリー・キュリーとピエール・キュリーによって初めて抽出された。商業的なラジウムの抽出が 1960 年に中止されるまで，約 4 キログラムのラジウムが生産された。より適切で安全な放射線源が 1950 年代に利用できるようになり，次第にラジウムに取って代わるようになった。

現在，ラジウム線源は特別な問題を提起している。これは，ラジウムが持つ特性はもちろん，線源の設計や初期の商業的な価値に関連したものである。以前，ラジウム線源は発展途上国に対し寄贈されていた。あるいは，こうした国々が独立を達成する以前に引き渡されていた。ラジウムに代わる放射線源が利用できるようになったとき，しばしば適切な放射線防護策が講じられることもなく，これを管理するという経済的なインセンティブが失われてしまった。

結局，線源の最初の個数や特性，あるいはこうした線源がどこにあったかを誰も知らないということになり，時間が経過するにつれてリスクがますます増加している。もし，その後，線源を用いていた場所が閉鎖されるとか，あるい

ほどこかほかに移されてしまうと、線源の追跡は完全に不可能になってしまう。

もう1つの問題は、1600年というラジウムの半減期の長さと同様にラジウムの崩壊に関するものである。崩壊によってガスが発生するが、これはラジウムをおさめるのに使われていた容器の中の圧力が高くなることを意味している。もしこの容器が適切に密封されていないとすると、漏れが生じ、すぐ近くの環境が汚染されることになる。

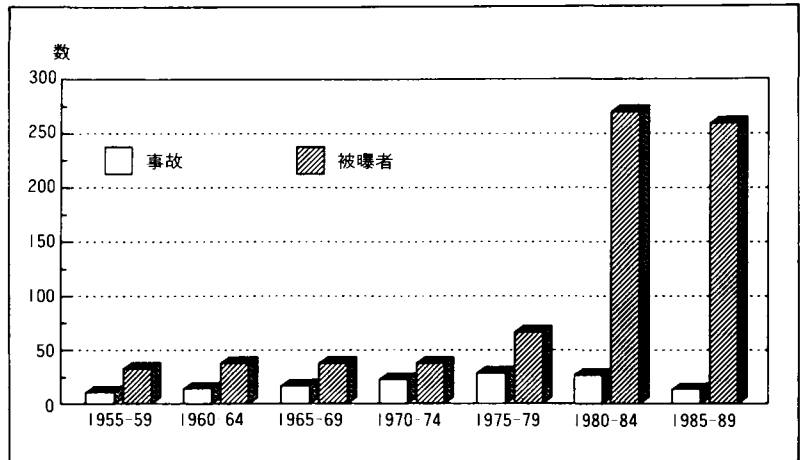
密封線源に関する事故

密封放射線源による事故や事件が科学技術文献に報告されているが、こうした事故を完全にまとめたものですぐに利用できるものはない。IAEAはこうした事象の発生に対してシンポジウムの開催に努力を向けてきた。また米国のオークリッジ連合大学研究所は情報の提供を受け登録を継続して行ってきたが、まだその範囲は限られている。

米国に登録された情報によると、密封線源に関して起こった事故で致命的な結果をともなったものは全部で10件である。このうちの5件は、それぞれ1人が死亡しているが、これらの事故では線源はまだ使用中の状態にあった。これ以外の5件の事故では、使用済みの線源が関係していた。これらの事故により19人が死亡している（表参照のこと）。

使用済み線源に関する事故は、使用中の線源で起こった事故より重大な影響をもたらすことをデータが示している。放射線源を扱っていることを人々が気づいていないということから、使用済みの線源に関する事故が起こっている。したがって、事故が起きたと分かるまでに長い時間が経過してしまい、防護のための行動がとられるより前に大量に被曝してしまうことになる。

致命的な結果に至る使用済み線源に関する事故は、まだ線源が使用中のときに起こった同様な事故に比べ、過剰被曝した人の人数が多い



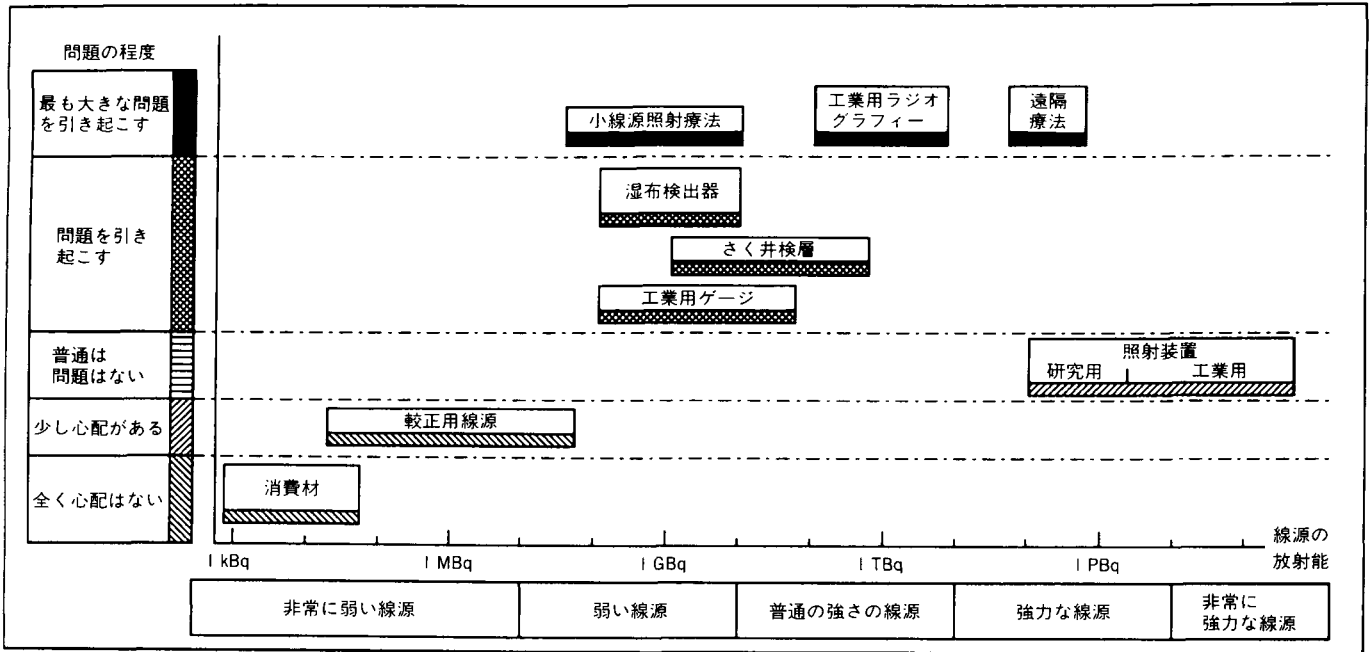
報告のあった密封放射線源
みよる事故と被曝者

のが特徴である。過去30年間についてみると、報告された事故の件数は減少してきている。しかし過剰被曝した人の人数からみると、状況は逆転してくる（グラフ参照）。

事故は、死亡原因となる外傷が現れることなく重大な結果に至ることがある。結果として生じる個人の線量は小さいが、集団線量は大きくなると考えられる。さらに除染費用も相当な額になる。

金属汚染という特殊でありみない事故が1950年代にニューヨークで起こった。使用済みのラドン線源、もっと正確に言えばラドン収納器に使われた金が、宝石業界のルートで発見された。指輪をはじめとした宝石類が、適切な除染をしないで、この金から製造されてしまった。1981年には、全部で170個の汚染した宝石が発見され、9人が皮膚に損傷を受けていたことが明らかになった。この人達は平均で17年間にわたってこうした宝石類を身につけていた。1989年も末になり、汚染した金の指輪をはめていた人が新たに3人発見された。このうちの2人は、指輪をはめていた指に皮膚ガンを起こしていた。

全体として言えることは、密封放射線源、とくにそれが使用済みである場合についての潜在的な問題の大きさは、かなり多様であるということが出来る。（図参照）



用途別に選んだ使用済みの放射線源による問題の程度

事故がもたらす経済的な影響

使用済みの放射線源を原因とする事故に関連して、経済的にどの程度のコストがかかったかは、ほんのわずかの事例を除いてほとんど明らかにされていない。致命的な障害を含む健康障害は、金額で示すことができないことから、こうしたコストの試算に完璧には算入できないということに注意する必要がある。

治療と補償 過剰被曝した人は、特殊な治療を必要とすると考えられる。またこうした人、あるいはこれ以外の人々は、事故による外傷性の異常をなおすために、その他の各種治療が必要となると考えられる。これに関連した追加費用として、事故にあった人達に対する補償費が含まれる。

製品や機械装置などの損失 これらのコストは、放射性廃棄物に分類されることが確実であるものの除染が、ある程度うまく行われなかった場合に発生する。たとえ除染がうまくいったとしても、これには時間がかかることが多く、一例として製造能力の損失につながる事が考えられる。

改善および追跡活動 事故がはっきりと確認されるより前に、事故の正確な発生原因がわかることはないと考えられる。また、こうした事

例では、線源の喪失や汚染を確認するための広範な監視、あるいはモニタリング努力が要求されるであろう。線源と汚染した物質は、放射性廃棄物として取り扱われ、処理される必要があり、最終的には安全に貯蔵・処分されなければならない。

こうしたコストの見積り、あるいは実例を示すことができる。大量の被曝をした人の専門家による治療費は非常に高価である。重度の被曝者の治療費の総額は50万ドルを超えることもある。各国の政策や法律といった要因が関係することから、被曝した人々に対する補償額を示すことは実質的に不可能である。

同じく、各事例により内容が異なることから、投資価値の損失を示すことはできない。しかし、汚染が関係してくると、こうしたコストは相当な額になり、数百万ドルのオーダーに達することさえありうる。

汚染の程度を決定するのに必要な放射線監視のためのコストは、ほんのわずかな額から10万米ドルまで幅がある。除染コストは、汚染の内容と範囲に大きくかかわってくる。繰り返して言えば、コストの範囲は百万ドルに達するか、あるいはこれを超える可能性がある。

放射性廃棄物の管理費用は、各事例ごとで異

なる。現場での廃棄物の收拾や検査、中間貯蔵、輸送作業、最終処分などが必要な活動の中に含まれる。最終処分の1立方メートルあたりのコストは1000米ドルから1万米ドルの範囲にあると試算されている。

問題の認識、予防

使用済みの放射線源に関係した事故が現実起こりうることを経験が示している。事故を避けるためにどのような行動が必要かということを理解するには、まず事実を知ること、どういことができるかをあわせて考えることが必要になる。

事実を知ること、使用済みの放射線源にどのような危険性があるかを理解、認識することを意味している。これに関連して、放射線源は、ある特定の分野で行われてきた、あるいは現在も使われているという基本的な認識がある。どういことができるかという能力については、こうした使用済み線源がどこにあるかを確認し、適切に管理するのに必要な条件や活動がすべて含まれる。

一般的に言って、放射線防護や廃棄物管理のためのインフラが整備されていない国は、使用済み放射線源のリスクを適切に認識できないと結論できる。使用済み放射線源があるという確証、あるいは疑いがなければ、事実の把握はできないとも言えるかもしれない。したがって、インフラという要素が非常に重要になる。放射線防護や廃棄物管理の分野で、権限や執行権を持った政府機関や適切な法律が制定されない限り、事実の把握はできないと考えられる。

ところで、事実の把握ができたとする、廃棄物管理作業を行う適切な能力を持つために、次のステップを克服しなければならない。この中には次のようなものが含まれる。

●重ねて言うが、放射線防護と廃棄物管理のためのインフラの整備が最も重要である。法律と組織の整備が必要なほか、資格を備えたスタッフが必要になる。こうしたインフラも孤立し

たものであってはならない。運営をうまく行うには、訓練や機器の供給などの面で、国内または外国の他の組織との円滑な協力が必要になる。

●発展途上国では、財政面での考慮が重要になると考えられる。関連したニーズがより大きいことから、限られた財源は他の目的にはわずかしか向けられないことになる。

●多くの場合、使用済み放射線源がどんなものかをつきとめ、所在地を確認する知識が欠けている。

IAEAの戦略と対応

IAEAは、使用済み放射線源の安全管理を向上させるうえで何が緊急に必要なかについて、多面的な戦略を展開してきた。この主な目的は以下の通りである。

●廃棄物管理のためのインフラの整備・改良を促進すること

●発展途上国向けの第一の施策として、線源供給業者に対し、使用済み放射線源の回収を呼びかける

●技術マニュアルや訓練資料を作成すると同時に、訓練機会を提供することによって、さらにはIAEAの廃棄物管理諮問プログラム(WAMAP)やこれに沿った技術協力プロジェクトによる専門家ミッションを通じ各国の国内事情を評価することによって、発展途上国における使用済み放射線源の管理を促進する

●廃棄物管理のためのインフラが整備されていない国に対し、既存の使用済み放射線源を安全に管理するための支援を行う

●短半減期の使用済み放射線源用の浅地層処分場と、長半減期の使用済み放射線源用の中間貯蔵施設の建設で地域協力を促進する。また、これらの施設が建設された場合には、許可を受けた高レベル廃棄物用の深地層貯蔵施設に長半減期の使用済み放射線源を処分するため、IAEA加盟の発展途上国の能力アップをはかることになる多国間あるいは二国間の協力を促進

する。

第一の論点である放射性廃棄物管理のためのインフラの整備については、たとえば法律や規制、所管官庁、十分な訓練を受けた経験豊富なスタッフ、線源の管理・処分に関係した作業を行う施設や機器などが、この戦略の中に含まれる。

第五番目の、中間貯蔵施設はもちろんのこと地域的な浅地層貯蔵施設を建設するためのベースについては、その地域共通の問題として解決する必要があるだけでなく、これが要求を満たす最良の方法であると、お互いに理解することが必要になる。

IAEA 加盟のほとんどの発展途上国では、深地層貯蔵施設を建設することはないかもしれない。というのも、こうした施設の建設コストは、量と放射能の強さの両方についてみると、使用済み放射線源の量が少ないことから、釣り合いがとれなくなることが考えられるためである。放射線防護と安全面での観点から、こうした少量のものについては、大量の高レベル放射性廃棄物を扱うために IAEA 加盟のいくつかの国で設計が行われている地層貯蔵施設に処分を受け入れることが合理的であると考えられる。法的な問題と受入れ基準については、2 国間協定の枠内で固められることになるだろう。

行動計画 IAEA は前述の戦略にもとづき、実施に向けて次の行動計画を展開してきている。

地域訓練コース ここでは、線源がどんなものか、そしてどこにあるかという確認、輸送、線源の状態、あるいは供給業者への返還、貯蔵オプション、最終処分——などに焦点をあてることになる。1 つにまとめた訓練資料を作成することが期待されており、これにより加盟国は独自の訓練コースをアレンジすることができると考えられている。

使用済み放射線源を確認するための方法 使用済み放射線源の所在地の確認をどのように実施するかについてのアドバイスは、技術文書に

よって行われることになる。これは実際的な手引きの中で、こうした線源を探すのにどのような装置が適切か、この装置をどのように使用すれば一番良いのか——などの実例を提供することになるだろう。

密封放射線源をチェックするためのデータベース汎用プログラムの開発 線源が使用済みになったときの関連情報を確実に入手するため、またその線源がどんなものか、そしてどこにあるかということの確認を容易にするため、一般目的のデータベース・ソフトウェアが記録保持のために作成されることになるだろう。パソコンを上手に使うことにより、こうした汎用プログラムは国内の所管官庁の利用に供されることになると考えられる。

事故データベースの構築 このデータベースの目的は、使用済み放射線源による事故の影響を免れる、あるいはこれを軽減するために取られる対策や、事故から得られた教訓についての情報源として役立つさせることにある。

標準化された中央中間貯蔵施設の概念設計 ここでは、わずかな放射能を持つ使用済み放射線源用の中間貯蔵施設を立地、建設、操業するのに必要な情報を発展途上国に対して提供することをめざしている。

小規模ユーザーからの放射性廃棄物を検査・中間貯蔵するにあたっての安全慣行についての文書 IAEA の放射性廃棄物管理安全基準 (RADWASS) プログラム内で、他のより概念的な RADWASS 文書に示されたアドバイスや手引きを支援・拡張するために、一連の安全慣行が作成されることになると考えられる。現行の計画では、小規模ユーザーからの放射性廃棄物の検査と中間貯蔵についての主題は、安全慣行に関する適切な RADWASS 文書の中に含まれるだろうということが示されている。

発展途上国内での既存の使用済み放射線源の確認・管理を支援するための専門家支援ミッション。原子力研究計画がなく、また廃棄物管理のためのインフラが整備されていない IAEA

加盟の発展途上国に対して援助が提供されることになる。ここでは、これまでがそうであったように、現状の問題点を“片づける”ことが唯一の目的として規定されることになる。

検査の済んだ放射性廃棄物用のある地域における中間貯蔵施設を建設するための支援努力

IAEA の支援は、すでに設立されている地域グループに属している発展途上国間の討議の開始とこれへの参加に限られるということが当初から構想されている。

行動計画は5年間の実施が見込まれている。最初の5項目が、今後の活動の柱である。

まとめ

使用済み放射線源についての IAEA による

新規プログラムは、使用済み放射線源による潜在的な事故を防ぐため、加盟国の中でもとくに発展途上国の支援を目的として編成されている。その意図するところは、各種のチャンネルを通じ、こうした国々の廃棄物管理での慣行を安全なものに改善するだけでなく、もし必要ならこうした慣行を創りあげていくうえで支援することにある。

このプログラムの最大のポイントは、効果的な廃棄物管理のため、国内のインフラを整備し人材を確保することにある。しかし、国際的な専門家のミッションにも、範囲は限られていることから、既存の使用済み放射線源を確認するとともに、所在をつきとめ検査を行う実際的な援助を各国が独自に受けることになる。

