

放射線の管理

加藤 朗

1. はじめに

放射線は医療をはじめ原子力、産業、学術など種々の分野で利用されているが、放射線利用の前提は放射線に対する安全である。放射線管理は、放射線利用の安全を確保することを目的とする。放射線利用の安全に対する基本的な考え方、指針は、ICRP(国際放射線防護委員会)よりICRP勧告として示され、日本を含め世界各国がICRP勧告を取り入れている。ICRP勧告も時代と共に変遷し、現在、法令などは1977年のICRP 26に則っている。また、1990年ICRP 60が勧告され、近い将来、法令に導入される。

放射線に被曝すると、線量が著しく大きければ確実に影響を生じ、非確率的影響といわれている。線量がある程度以下であれば、影響は線量に応じて確率的に生じ、確率的影響といわれる。放射線に対する安全は、いってみれば放射線利用による被曝線量をできるだけ小とすることである。このことは、放射線利用安全の基本として、行為の正当化、最適化、線量制限として示されている。これらのことを簡単にいえば、行為とは放射線を利用することである。正当化とは、放射線の利用による利益が、被曝から生じる損害より十分大でなければならないということである。最適化とは、被曝線量、被曝する人数を経済的、社会的な面から合理的に低減することである。この被曝線量を合理的に低減することをALARA (As low as reasonably achievable)の原則といっている。線量制限とは被曝によるリスクが容認できないものではないとことを確実とする上限の被曝線量である。

この基本の考えをを基に非確率的影響を防止し、確率的影響への被曝線量を合理的にできる限り低減させ、職業人(放射線業務従事者、医療関係では診療放

射線従事者)、公衆の安全を確保するため行なう管理が放射線管理である。放射線管理は体系的に総合され、実際的な内容は、職業人の安全を対象とする作業環境の管理、個人の被曝管理、公衆の安全に対する施設外環境の管理がある。また、医学的な監視、教育、訓練などが入る。その他、緊急時の管理がある。

2. 線量限度(防護基準)

放射線被曝の線量に上限値がおかれていると管理手順が明確となり、容易となる。この上限値が線量限度である。線量限度はここまで被曝してもよいということではなく、管理上の上限値である。線量限度は、リスクなどを考慮し合理的に決められている。

人体の放射線の被曝には体外被曝、体内被曝がある。体外被曝は、人体が体外からの放射線に被曝することである。体内被曝は、人体が体内に摂取した放射性物質により、放射性同位元素から放出される放射線に人体が被曝することである。

放射線管理の基本的な線量は、人体の実効線量当量と組織線量当量である。実効線量当量は確率的影響に、組織線量当量は非確率的影響に対応する。組織線量当量には眼の水晶体以外の組織線量当量、眼の水晶体の組織線量当量とがある。線量限度として、これら線量に対する線量当量限度がきめられている。しかし、実効線量当量、組織線量当量を直接、測定することは事実上、不可能である。管理の上から測定できるものでなければならない。体外被曝の場合、実際の放射線管理は、日本ではいわゆる1 cm線量当量、70 μ m線量当量、3 mm線量当量で行なわれている。1 cm線量当量はICRU球の深さ1 cmの線量当量であり人体の実効線量当量に対応する。ICRU球は、組織等価物質の直径30 cmの球である。70 μ m線量当量はICRU球の深さ70 μ mの線量当量で皮膚の線量当量に、3 mm線量当量は深さ3 mmの線量当量で眼の水晶体の線量当量に

(千代田保安用品㈱)

対応する。線量当量限度は、実効線量当量、組織線量当量に対してであるが、実際上では1 cm 線量当量、70 μm 線量当量、3 mm 線量当量に対してであり、これら線量当量に対する線量限度は補助限度となっている(表1)。

体内被曝の場合も、線量限度は実効線量当量、組織線量当量に対してである。放射性物質が汚染空気の呼吸により、また経口的に、皮膚などから侵入し、体内に摂取され滞留すると、摂取放射性同位元素からの放射線により臓器や組織が被曝し、体内被曝として実効線量当量、また組織線量当量を生じる。摂取残留放射性同位元素は、放射性同位元素自体の半減期により、また放射性物質の体外への排泄により減少していく。体内被曝として、50年間の累積実効線量当量、あるいは累積組織線量当量を取り、預託線量当量といわれる。線量当量限度に等しい預託線量当量を与える摂取放射性同位元素の放射能が年摂取限度(Annual limit on intake, ALI と略称される)となる。この年摂取限度には、実効線量当量限度に対応するALI_{SN}、組織線量当量限度に対応するALI_Nがある。両者については小の方が適用される。年摂取限度も補助限度である。実際の管理は、呼吸による摂取であれば空气中放射能濃度で行なわれ、年摂取限度から一年間に吸入する空気量を考慮して誘導された空气中濃度限度がきめられている。公衆に対しても、同様年摂取限度がきめられ、一年間に吸入する空気量から空气中濃度限度が与えられている。また年摂取限度と一年に摂取する水の量から排水中の濃度限度がきめられている。放射性物質が床や物品表面などに付着すると、表面近くでは外部被曝となり、また剝離、飛散などによって内部被曝の

表2 場所の線量限度

敷地の境界	250μSv/3 ヶ月
居住区域	250μSv/3 ヶ月
病室	1.3mSv/3 ヶ月
管理区域	
管理区域の境界	300μSv/1 週間
X線室の隔壁の外側	1mSv/1 週間
空气中濃度	告示別表
表面密度	表面密度限度

原因となる。表面汚染の場合、表面放射能密度限度が決められている。

放射性同位元素には多くの核種があり、放射性物質として化学的、物理的に様々である。年摂取限度が、それぞれの放射性同位元素核種、化学形について、また年摂取限度に対応する空气中濃度限度、水中濃度限度が規定されている(昭和63年科学技術庁告示第15号別表第1)。

作業環境の実際の管理は、1 cm、70 μm、3 mm 線量当量率で測定が行なわれ、また空气中、水中の放射能濃度、表面の放射能密度で測定が行なわれるが、これらに対する限度は誘導限度となっている。

作業環境に対する線量限度は、1 cm 線量当量、空气中濃度、表面密度で規定され表2のようになっている。

職業人、公衆に対し線量限度は表3、表4のようになっている。実効線量当量限度及び組織線量当量限度は、実際には1 cm 線量当量、70 μm 線量当量、3 mm 線量当量に対してとなる。

公衆の場合、実効線量当量、組織線量当量、皮膚の線量当量限度が職業人に対し1/10、眼の水晶体が1/3となっている。公衆に対する年摂取限度は職業人の1/10

表1 線量限度(防護基準)

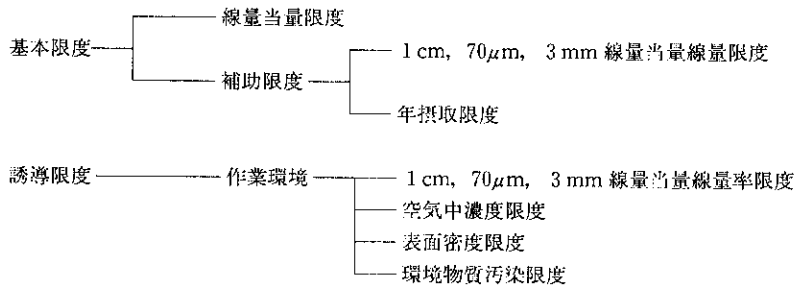


表3 職業人の線量当量限度

実効線量当量	50mSv/年
組織線量当量 (皮膚, 眼の水晶体以外)	500mSv/年
眼の水晶体	150mSv/年
皮膚	500mSv/年
女子の腹部	13mSv/3月
妊娠中の女子の腹部	10mSv 妊娠中

表4 公衆の線量当量限度

実効線量当量	1mSv/年
組織線量当量 (眼の水晶体以外)	50mSv/年
眼の水晶体	50mSv/年

表5 表面密度限度

α 線放出放射性物質	4Bq
α 線放出のない放射性物質	40Bq

である。

また、表面汚染に対して、施設内人が常時立入る場所での表面密度限度（表5）がきめられている。

体外被曝と体内被曝のある場合は、体外被曝線量と体内被曝線量とを加算する。加算の式が与えられている。これは、被曝線量と線量当量限度との比、体内放射能と年摂取限度との比の和が1以下であることとして式で示されている。

実際の管理では、参考レベルとして記録レベル、調査レベル、介入レベルが設けられ、線量当量限度、年摂取限度の1/10をとり記録レベルとして記録し、3/10をとって調査レベルとし調査が行なわれる。介入レベルで必要な措置がとられる。

3. モニタリング

被曝の低減、線量限度に対する管理から、環境の放射線の線量や放射能、また人体が被曝した線量、体内放射能を測定することが必要である。放射線管理における線量、放射能の測定をモニタリングとっている。モニタリングには作業環境の安全確認のため環境の線量、放射能を測定する作業環境モニタリングと、個人の被曝線量、また体内放射能を測定する個人モニタリングとがある。モニタリングには測定のみならず、測

定結果から管理上の対処などが含まれるが、基本は線量、放射能の測定である。

3.1 線量のモニタリング

作業環境、施設外モニタリング、個人モニタリング共に1cm線量当量、3mm線量当量、70 μ m線量当量で行なわれる。

作業環境測定器には

サーベイメータ

エリアモニタ

などがある。サーベイメータには、電離箱式、GM計数管式、シンチレーション式、半導体素子式とがあり、それぞれ線量測定上、特長をもっている。一般的に、電離箱式はエネルギー特性がよく、GM計数管式、シンチレーション式は感度が高い。中性子用のサーベイメータとしてレムカウンタがある。

また、積算線量計であるフィルムバッジ、TLD、ガラス線量計など作業環境に設置し、一定期間の線量を測定して作業環境の安全を確認することも行なわれる。

個人線量計には

フィルムバッジ

熱ルミネセンス線量計

ガラス線量計

ポケット線量計

電子個人線量計

などがある。一般的にはフィルムバッジが使用されている。フィルムバッジの場合、個人線量を評価するには相当規模の設備と技術を要する。専門の個人線量測定サービス機関があり、機関にサービスを依頼する。測定結果が報告される。熱ルミネセンス線量計は、リーダがあれば線量を読み取れるが、一般的には個人線量測定サービス機関に依頼する。ガラス線量計も同様である。ポケット線量計は即読性があり一時立ち入者のモニタリングなど補助的に使用されている。従前の電離箱式と比較的、最近実用化された電子式とがある。電子個人線量計は、線量記録、アラーム、入退域管理など種々な機能をもち急激に発展している。主に原子力発電所など大規模施設で使用されている。

フィルムバッジ、熱ルミネセンス線量計、ガラス線量計には、X、 γ 線に加え β 線、熱中性子、速中性子の線量を測れるものもある。電子個人線量計にもX、

γ 線, β 線, 中性子を測るものがある。

職業人が放射線作業に従事しているときは, 個人線量計を装着しなければならない。男子は個人線量計を胸部に, 妊娠可能な女子の場合は腹部に装着する。また, 含鉛防護衣使用などによる不均等被曝の場合は, 複数の個人線量計を装着し与えられている算出式により, それぞれの線量計の測定値から実効線量当量(実際には1 cm線量当量)を算定する。

これら作業環境測定器, 個人線量計は校正を必要とする。測定器による測定結果に保証があるためには, 測定器のトレーサビリティが明確であることが必要である。トレーサビリティとは測定器が校正を通じて国家標準につながりをもつことである。また測定器は一般的にエネルギーや入射方向などが異なるとレスポンス(指示値と線量の比)が異なる。したがって, 測定器が要求される測定精度に応じてエネルギー特性など測定上の特性が良好であることが必要となる。

3.2 放射能のモニタリング

放射性物質を吸入, 経口により摂取したとき, またそのおそれがあるとき, 放射能のモニタリングが必要になる。作業環境のモニタリングには, 空気中の放射能濃度の測定, 排水中の濃度, 表面密度の測定などがある。空気中濃度の測定にはガスモニタ, グストモニタ, 水中濃度測定には水モニタがある。測定結果から摂取量が推定される。放射性表面汚染があると体外被曝, 汚染の剥脱により空気汚染や皮膚汚染となって体内被曝を生じる。表面汚染の測定にはスミヤ法(表面汚染を濾紙などで拭取り, 放射能を測定し表面汚染の放射能を評価する), 表面汚染を直接, 測定する表面汚染モニタなどがある。

体内への摂取放射能はホールボディカウンタによる体内放射能の直接の計測, 排泄物の放射能から体内放射能を評価するバイオアッセイ法などで測定される。簡便な手段として鼻スミヤ法がある。測定結果から呼吸器系のモデルを適用して摂取量が推定される。

3.3 環境放射線モニタリング

原子力発電所のような原子力施設等の周辺では, 線量率, 施設からの放射性物質の放出が基準以下であり, 安全を確認するためモニタリングが定期的に行なわれている。放射性物質取扱施設では定常的なモニタリングは行なわれないが, 必要があれば原子力施設に準じ

て行なう。モニタリングは原子力施設の周辺モニタリング上, 重要な箇所に連続モニタを設置して環境 γ 線の線量率を連続的に測定する。測定データは施設センターに転送される。また施設周辺の相当数箇所にモニタリングポストを設置し, 熱ルミネセンス線量計などをポストにおいて一定期間の積算線量を測定する。連続モニタによる測定データまた熱ルミネセンス線量計による測定結果を解析し安全であることを確認する。環境放射線モニタリングの場合, 線量は空気吸収線量である。

環境放射能は汚染され易い, また処理, 測定のしやすい試料を選択し, 放射能を測定し安全を確認する。自然の放射線や放射能, フォールアウトなどとの弁別が重要であり, あらかじめ自然の放射線, 放射能を把握しておく。

4. その他の管理

4.1 放射性廃棄物の処理

放射性廃棄物は, 時間において半減期により減衰させる, 濃縮など容積を小として保管する, 空気, 水などで希釈して放出するなどして処理される。放射性物質は物理的, 化学的に種々であり, 適切な方法を適用する。

4.2 緊急事故

放射線施設の火災など, 事故の場合, まず安全の保持が第一である。また放射線取扱主任者への報知, 汚染の拡大などを防がなければならない。

4.3 医学的監視

放射線管理としての健康診断は, 健康状態の確認と共に放射線障害の早期の発見である。健康診断は法令で義務づけられており, 管理区域に初めて入るとき, 立ち入った後は1年を越えない期間毎に実施する。記録は永久保存する。線量当量限度の1/3をこえないものは健康診断を除外してよいことになっている。その他, 事故時の健康診断, 離職後の健康診断などがある。

4.4 教育訓練

放射線作業の職業人は, 放射線安全の知識を有していなければならない。そのため職業人に対し教育, 訓練が法的に6時間以上義務づけられている。教育内容は放射線の人体への影響, 放射性同位元素, 放射線発生装置の扱い, 法令などである。

5. ICRP 60 (90年勧告)

現在の放射線管理の体系は1977年に出されたICRP 26の勧告に基づいているが、1990年ICRP 60(90年勧告)が出され、90年勧告に対応して近い将来、法令が改正されることになっている。90年勧告では、いくつかの勧告がだされているが、新しい概念や用語の導入、線量限度の変更などがある。

90年勧告で考え方、表現に変わりがあるが、放射線管理の基本的な概念は、行為の正当化、防護の最適化、線量限度である。90年勧告で放射線防護上の概念として行為と介入がある。行為とは、被曝を全体的に増大させる活動、介入は放射線被曝を減少させる活動を行っている。介入は正当、最適でなければならないとしている。

線量限度は、ICRP 26に対比し、放射線被曝による確率的影響に対する知見、リスクの考え方、損害の評価などからきびしい数値となっている。

また、確率的影響はそのままであるが、非確率的影響は確定的影響となった。従来、線量当量に対する吸収線量は一点が対象であったが、90年勧告では臓器の平均吸収線量がとられ、放射線荷重係数を平均吸収線量に乗じて等価線量となった。この放射線荷重係数は、従来の線質係数に対応するが、RBE(生物学的効果比)を基として定められている。等価線量は、通常の場合、対象同一組織の組織線量当量に対応する。

等価線量に対応して実効線量が導入された。この実効線量は従来の実効線量当量に対応するが、実効線量の場合、等価線量と共に考慮する臓器が実効線量当量の場合に比し大きく増加している。実効線量当量での組織線量当量に対する荷重係数が組織荷重係数となって数値も変更され、実効線量当量の場合の生殖線、赤色骨髄、肺、乳房、甲状腺、骨表面に、結腸、胃、膀胱、肝臓、食道、皮膚の臓器、組織が新に加えられている。90年勧告による線量限度は表6、表7のようになっている。

職業人の線量限度として、実効線量が定められた5年間の平均が20mSv、どの1年でも50mSvを越えないに対しては、管理期間と共に線量の割振りにいくつかの考え方があり、案が検討されている。また90年勧告では管理区域と共に監視区域がある。管理区域は、管

表6 職業人の線量限度

実効線量	定められた5年間の平均が20mSv どの1年でも50mSvを越えない
等価線量	
眼の水晶体	150mSv/年
皮膚	500mSv/年
手、足	500mSv/年
妊婦の腹部	申告後、2mSv/妊娠中

表7 公衆の線量限度

実効線量	1mSv/年
等価線量	
皮膚	50mSv/年
目の水晶体	15mSv/年

理上、定められた手順に従うことが必要であり、監視区域では、作業状況は監視下となるが特別な手順は必要としないとしている。管理区域、監視区域に対するレベルの具体的な数値は示されていない。屋内ラドンは被曝について重要であるが、屋内ラドンの介入レベルを検討中としており、それまではICRP 39の数値を勧告している。

また、90年勧告では線量拘束値が提案されている。これは放射線作業が複数の放射線発生装置や放射線施設にまたがるような場合、個々の線源、施設について線量限度以下の線量制限を設け、全体として線量限度以下の最適化を図ろうとするものである。

6. おわりに

放射線の利用は、放射線に対する安全が基礎となっており、放射線管理が適切に行なわれることが必要である。ICRP 60(90年勧告)がだされており、近い将来法令へ導入される。90年勧告に、新しい概念や用語など、また線量拘束値などの手順の導入があり、従前に比しきびしい線量限度への実際的な対応が入ってくる。放射線に対する安全の要求はきびしくなる趨勢であり、90年勧告への的確な対応が必要となる。

参考文献

- 1) 辻本忠:放射線管理, 日刊工業新聞社, 1983
- 2) 草間朋子:ICRP1990年勧告, 日刊工業新聞社, 1991

- 3) 石川友清編：放射線概論 2 版。通商産業研究社，1994
- 4) 日本保健物理学会医療放射線防護研究専門委員会：医療領域の放射線マニュアル 2 版。医療放射線防護連絡協議会，1993
- 5) 日本歯科放射線学会・放射線防護委員会：歯科診療における放射線の管理と防護。医歯薬出版株式会社，1994