

講座

核融合施設における放射線計測の基礎

Basis for Radiation Measurement in Fusion Facility

1. 放射線防護の考え方と放射線障害防止法

1. Philosophy of Radiological Protection and Radiation Hazard Protection Law

甲斐倫明¹⁾, 河野孝央²⁾

KAI Michiaki and KAWANO Takao

¹⁾大分県立看護科学大学, ²⁾核融合科学研究所

(原稿受付: 2013年8月12日)

放射線施設の放射線安全管理は基本的に法令に従って行われる。そのなかには、放射線計測を伴う規定もある。本講座では、そうした法令の根底にある放射線防護の考え方についてICRP勧告の経緯を参照しながら概説する。また国内法は、ICRPの新勧告を取り入れながら変遷してきた歴史をもつが、そうした法令の中から放射線障害防止法を紹介する。

Keywords:

radiation protection, risk, dose equivalent, ICRP recommendations, radiation-related domestic law

1.1 放射線防護の考え方

1.1.1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災を契機として起きた福島第一原子力発電所の事故は歴史に残る大事故となり、我が国にとどまらず世界から事故の影響に注目が集まった。原子力発電所事故の影響は原子炉から環境中に放出された放射性物質による健康影響と社会的影響である。健康影響には、身体的影響以外にチェルノブイリ事故で問題となっている精神心理的影響が精神疫学の研究から報告されている[1]。社会的影響には、生活への直接影響を含めた経済的・文化的など、健康影響以外のあらゆる影響が含まれる。

放射線防護は、歴史的には、皮膚障害などの急性障害を防止することから出発したが、放射線防護の進展につれて、低線量における遺伝的影響と発がん影響の健康リスクに社会的な関心の重心が移ってきた。その間、放射線防護の考え方にいかなる進展があったのかをICRP（国際放射線防護委員会）勧告をレビューしながら解説する。また、福島事故を経験して、放射線防護が直面している問題を考える。

1.1.2 リスク概念の導入

放射線の影響を考える場合、その影響が発生するしきい

線量がいくらかという疑問は現在でも科学者の問題意識として存在する。一定の線量以下になれば、生物学的損傷が生じない、あるいは損傷は修復され障害に至らないという考えがあるからである。この考えは一般人には通常のものであり、この答えがないことは科学が十分に進んでいない、あるいは科学的な論争が存在している課題であるとみなされる。ここに放射線防護問題の本質がある。

1895年にレントゲン博士がX線を発見して、放射線が医学を中心に利用されるようになって100年以上の歴史がある。その間、放射線を利用することによる利益を人類は享受してきた反面、放射線の害も経験してきた。初期の放射線防護では、皮膚などの急性傷害を防ぐための方策として、傷害に至らない線量を推定し、それを超えないように放射線防護を行うことが実施された。それによって、急性傷害を防止することにほぼ成功するようになってきた。そのときに果たした線量は、耐用線量と呼ばれ、1934年、一日あたり0.2 R（レントゲン）を超えないようにICRPは勧告した。これは、しきい線量の存在を前提に、それを推定し、放射線を防護することが解決につながるという方式である。この方式を「一律の線引き方式（demarcation）」と呼ぶことにしよう。

遺伝的影響はショウジョウバエの実験から生物学的影響と

¹⁾Oita University of Nursing and Health Sciences, Oita, OITA 870-1201, Japan²⁾National Institute for Fusion Science, Toki, GIFU 509-5292, Japan

して存在することが知られていた。1945年に広島長崎で原爆が投下された。その被災者を原爆被ばく生存者としておよそ12万人を登録し、疫学調査が開始されたのは1950年である。この調査から比較的早期に明らかになったのが、原爆被ばく生存者の間で白血病発症率の増加が認められたことであった。一方、医療領域では、放射線管理により急性傷害は抑えることができたが、長い期間にわたる放射線の継続的な使用で線量の増大を招き、結果的に晩発影響である白血病が放射線科医や診療放射線技師の間で疫学的に増加していることが報告されるようになっていた。遺伝的影響がまだ人の集団で観察されていないにもかかわらず、血液のがんである白血病が放射線被ばくによって誘発されることが明らかになってきたことは放射線防護の大きな転機であった。

それまでは白血病を対象とした放射線防護は行われていなかった。ICRPは、Publication 1 (1958年勧告) [1]で、白血病と放射線の関係について次のように述べた。

「あるしきい線量よりも被ばく線量が低ければ白血病は生じないと想定することができる。この場合、しきい線量を推定することが必要であり、被ばくからの回復も存在すれば考慮する必要がある。これらの推定をするには十分な情報がないが、750remの累積線量はしきい値を超える可能性があることが警告される。最も控えめな方法はしきい値がない、回復がないと仮定することである。この場合、低線量であっても感受性の高い人に白血病を生じる可能性があり、その発生率は累積線量に比例する可能性がある。」

白血病についても従来と同じ方法で、しきい線量を推定し、それを基に線量基準を一律に設定することもできたはずである。しかし、上記に述べるように、ICRPは、「リスク」の概念を初めて導入し、それを基礎に放射線防護を行うべきことを勧告した。この背景には、放射線の影響がまだ十分に解明されていないために、放射線利用の拡大を意識して慎重な姿勢をとったことが推察される。つまり、科学的な情報のみでは扱うことのできない状況を想定した。ICRPはリスクという概念について次のように述べた。「委員会勧告の基礎には、いかなる放射線被ばくも身体的影響（白血病と他の悪性腫瘍）と遺伝的影響の発症リスクをもたらすという慎重な仮定がある。この仮定では、疾病や障害の誘発リスクが最小の線量までも個人の累積線量と共に増加すると考えている。したがって、この仮定は放射線の完全に安全な線量は存在しないことを意味する。委員会は、これが控えめな仮定であることを認識しているし、ある影響が生じるには最小あるいはしきい線量が必要であることも認識している。しかし、明確な知識が欠如している場合、委員会は低線量で障害発症リスクを仮定する考え方は放射線防護の最も合理的な基礎となると信じる。（ICRP Publication 9, (29), リスクの概念）[2]」

1.1.3 放射線防護への実効線量当量の導入

放射線防護の考え方が整理され明確になってきたのは1977年勧告からといえる。これは、UNSCEAR1977年報告[3]で広島長崎の原爆被爆生存者の疫学データから定量的な発がんリスクが議論できるようになってきたからである。

1977年に勧告されたPublication 26 [4]は、日本の現在の放射線関係法令が改正されるまで、従っていたものである。1977年ICRP勧告では、現在の放射線防護の基礎的な存在であるがんと遺伝的影響のリスク評価が初めて行われた。リスクという定量的な概念に見合う情報がそろって、実効線量当量（現在の実効線量）と線量限度についてリスクをベースにした議論が行われた。

実効線量当量が登場するまでは、臓器組織線量当量や全身平均線量当量などが使用され、放射線防護上、重要と考えられる臓器を「決定臓器（critical organ）」と呼び、線量評価の対象として、決定臓器の線量を線量限度以下に抑えることを目標とした。外部被ばくの場合、全身と生殖腺が決定臓器であった。内部被ばくの場合、全身が均一に被ばくすることはまれで、放射性核種の化学形に依存して骨や肝臓などの一部の臓器に集積して、 γ 線を放出する放射性物質の場合には周辺の臓器への被ばく源となる。そのために、放射性核種ごとに決定臓器を決め、その臓器の線量を評価する。

実効線量当量が登場するまでの決定臓器の概念には、それぞれの感受性の異なる臓器のリスクを加算することができず、最大の臓器のリスクを一定レベルに抑えるという考え方に限界があった。

実効線量当量の考え方は、被ばくした臓器のそれぞれの放射線感受性を考慮して、それらの相対的感受性で加重した臓器線量を加算し、全身等価な線量を評価するものである。ラドンの吸入による呼吸気道の不均一な被ばく線量を扱う方法として最初に提唱されたのが実効線量当量の始まりである。

実効線量当量の導入は、外部被ばくと内部被ばくに関係なく、全身等価な線量として評価され、全身のリスクを代表する指標として、線量限度と比較できる単一の数値で表すことのできる線量として利用されるようになった。

実効線量当量は次のように定義される。

$$E = \sum_T w_T H_T, \quad (1)$$

ここで、 w_T は、臓器Tの組織加重係数、 H_T は臓器Tの線量当量である。実は、ICRP Publication 26では、実効線量当量（Effective dose equivalent）という名称は登場しない。加重平均線量当量（weighted mean dose equivalent）と記載されていた。実効線量当量という新しい名称がICRPに登場するのは、1978年のストックホルム声明である。放射線防護における実効線量当量の導入は、放射線防護の合理性を高め、その基礎となるリスク評価と線量評価の科学が注目されるようになる。線量評価の対象が明確となり、放射線防護をより科学的な基礎の上に構築するための契機となった。

1.1.4 1977年勧告における放射線防護体系と線量限度の設定

1977年勧告は、放射線防護体系として、1)正当化、2)最適化、3)線量限度という3本柱が基本であることを示した。上記に示したように、ICRPは低線量における放射線

影響を確率的影響として定義し、ある個人においては確率的なリスクとして認識し対応することを放射線防護の基本としてきた。リスクは、本質的にゼロを求めることができないため、リスクをできる限り低減するために、被ばく線量を可能な限り低くするという理論的な方針が必要となる。しかし、現実には、リスクの低減化は様々な要因とのトレードオフであるため、最適化するという原則が導入された。As Low As Reasonable Achievable の頭字語 (ALARA) は最適化と同じ概念として利用される。つまり、一律の線引き方式が適用できないリスク概念がもつ性格からくる。

線量限度には2種類ある。しきい値のある確定的影響(注) Pub.26 では非確率的影響と呼ばれていた)の防止するための限度と、しきい値がないと仮定している確率的影響を制限するための限度の2種類である。しきい値のある確定的影響の限度にはしきい線量を基礎に決定される。そこで、職業被ばくに対する線量限度は、確定的影響を防止するために、水晶体を0.3 Sv/年、その他のすべての組織を0.5 Sv/年とし、確率的影響を制限するために、実効線量当量を50 mSv/年とした。1977年勧告の限度は、Pub.1 から20年以上にわたって放射線防護に使用されてきたものである。

科学情報から一律の線引き方式が適用できない確率的影響の線量限度に対して、数値の妥当性を判断するために、この線量に相当するリスクレベルが、社会的に安全とされる職業のリスクと比較することが行われた。放射線以外の産業での非致死的な事故による時間損失を考慮しても、死亡率の頻度が100万人あたり200人を超えないことが欧米での放射線以外の産業におけるリスクを超えないことになる。ICRPは判断した。線量限度を適用すると、集団全体の平均線量は限度の10分の1程度になるので、これを考慮すると、放射線を利用する産業では、集団全体のリスクは、 $50 \text{ mSv/年} \times 0.1 \times 1.65 \cdot 10^{-5} / \text{mSv} = 82.5 \cdot 10^{-6} / \text{年}$ となる。この推論から、他の安全な産業と比べても十分にリスクは小さいと判断した。

ここで留意しなければならない点は、線量限度は線源が制御されている状況に適用される限度である。事故のように線源が制御されていない状況には適用されない。また、職業被ばくと公衆被ばくに限度を設けるのであって、医療被ばくのように、正当化と最適化は適用されるが、被ばくを伴う診療行為の便益を損なうことがないように、数値の上限値である限度は適用されない。自然放射線からの被ばくにも線量限度は適用されない。このように、線量限度は、しきい線量が存在すると考えるような影響に当てはめる一律の線引き方式ではないことがわかる。線量限度は、リスク概念を前提として、放射線防護の行う上での目標となる最適化する線量の上限値となる。ICRPは、線量限度が安全と危険の境界ではないことを繰り返し注意してきたが、線量限度という用語そのものがもつニュアンスによって与える影響と、放射線影響を防護するときに、一般に人がしきい線量を想定した一律の線引き方式をイメージするため、数値は変わっても現在もなお多くの誤解がある。

1.1.5 1990年勧告 (ICRP Publication 60) [5]

1990年勧告で大きく変わったのは、行為と介入という図式で放射線防護の枠組を捉えるようになったことである。1977年勧告では制御可能な線源を対象に放射線防護の体系を組み立てていたが、1990年勧告 (Publication 60) では、線源の制御の可能性と被ばくの制御の可能性に着目し、自然放射線被ばくと事故時の被ばくに対しても放射線防護の枠組みを示したことが大きな変更となった。

この背景には、人工放射線・放射性物質を社会的に利用する際の放射線防護に注目していたのでは、自然放射線からの被ばくは無視するには大きい線量を与える状況が明らかになってきたからである。代表的な自然放射性物質からの被ばくがラドンによる内部被ばくである。

1986年に発生したチェルノブイリ事故では、緊急時の対応や事故後の回復期において放射線防護の枠組が存在しなかったことが混乱の一つであった。放射線防護の対策を決定するときに、すでに放射線被ばくが存在する事故後や自然放射線・放射性物質に対しては、介入によって初めて被ばくが低減できる。これに対して、人工放射線・放射性物質を利用する場合、防護対策を講じることで被ばくを抑制することができることから、放射線・放射性物質を意図的に利用することで付加的な被ばくが生じることを行為と呼び、介入と対立する概念として区別した。

1990年勧告では、1977年勧告で導入された実効線量当量は実効線量として再定義された。各組織 T の平均吸収線量を D とするときに、実効線量 E は、次の式で表される。

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R D_{T,R} \quad (2)$$

w_T は、組織 T の組織加重係数、 w_R は、放射線 R の放射線加重係数で、1990年勧告で新しい放射線影響の知見をもとに再検討し決定された。1977年勧告から10年以上経過し、科学的な知見が増えたことから、リスクも再評価された。放射線によって誘発される白血病以外のがんは10年以上の潜伏期が存在し、生涯にわたって発現すると予想された。そのために、リスク推定の基本的な情報である原爆被ばく者の追跡期間を超えて生涯に生じるがん死亡確率を推定するには、リスクを生涯で推定する必要がある。1977年勧告のリスク推定は、観察期間で放射線被ばくによって増加したがん死亡確率の年あたりの平均値を生涯継続すると仮定したモデルである(相加的リスク予測モデル)。これに対して、1990年勧告で導入された相乗的リスク予測モデルは、観察期間で放射線被ばくによって増加したがん死亡率の自然がん死亡率に対する比(相対リスク)が生涯継続すると仮定したモデルである。相乗的リスク予測モデルは相加的リスク予測モデルよりも男性で約2倍、女性で約3倍大きい評価値を与えた。このように、リスク予測モデルが白血病以外のがんの生涯死亡確率の推定値に大きな影響を与えたことで、1990年勧告でのリスク推定は、1977年勧告のリスク推定に比べて、約3倍高い結果となった。

リスク推定以外に社会的容認性の検討から ICRP は線量限度を下げた。このように、線量限度は、原爆被ばく生存

者などの疫学データから推定されるリスク（生涯死亡確率など）とその大きさの容認性の判断から決定されている。一般人についても同様で、1977年勧告では、年間 10^{-5} から 10^{-6} のリスクに相当するレベルであること、1990年勧告では、リスク推定値が下がったことと社会的容認性として年間の自然放射線レベルに相当し、リスクが十分に低いことを根拠に公衆の被ばく線量限度を年間1 mSvを勧告した。この考え方は2007年勧告でも継続している。

1.1.6 2007年勧告 (ICRP Publication 103) [6]

2007年に発行されたICRP勧告 (Publication 103) は、基本的に1990年勧告を継続しながらも、行為と介入という考え方を発展させ、放射線防護の対象とする被ばく状況を3つに分類する新しい枠組を導入した。被ばく状況は、計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、および現存被ばく状況に大別する。すべての被ばく状況に、正当化と最適化が適用されるが、線量限度が適用されるのは、計画被ばく状況だけであり、緊急時被ばく状況と現存被ばく状況は、参考レベルを適用する(図1)。これによって、自然放射線や事故時からの被ばくを含め、放射線防護は線量の大小に関係なくすべての被ばくを対象にするという基本方針を確立した。そこでは、除外と免除の概念を適切に利用することで合理的な放射線防護を実際には実施するという考え方を重視するようになった。これは、事故や自然起源の放射線被ばくに対する社会的な関心の増大と、線量の大きさから見ると人工放射線源に比べて無視できない被ばくであることが、制御された線源のみを対象とした線量限度を中心とした防護の考え方に影響を与えてきたと考えられる。

損害(デトリメント)で調整して評価した名目リスク係数(全年齢集団)は、がんの場合、1990年勧告が $6.0\% \text{ Sv}^{-1}$ 、2007年勧告が $5.5\% \text{ Sv}^{-1}$ と有意な変化はない。そのため、計画被ばく状況に適用する線量限度に変更はない。

しかし、遺伝的影響の場合、1990年勧告が $1.3\% \text{ Sv}^{-1}$ 、2007年勧告が $0.2\% \text{ Sv}^{-1}$ と約6分の1に減少した。人の自然発生遺伝病頻度とマウスから得られる倍加線量を用いた推定方法に変更はなかったが、潜在的回復可能性修正係数の導入など遺伝リスクに関する理論的な理解が進んだ。その結果、放射線誘発突然変異の遺伝病発症への寄与は最初

の2世代に限定されることに変更されたことが低減への影響をもたらした。2007年勧告では、生殖腺の組織加重係数は、0.2から0.08に低下した。がんの組織加重係数で大きな変更点は、乳房と残りの組織に与えられた係数が0.05から0.12に大きくなった。乳房は、若年齢被ばく者の乳がん症例数の増加と共に、被ばく年齢集団全体を記述するモデルが被ばく時年齢モデルではなく、到達年齢モデルになった(被ばく時年齢効果は有意ではない)ことの影響が大きいと考えられる。

1.1.7 福島事故の経験を踏まえて

3.11の直後、100 mSvが登場し、緊急時には平常時を緩和した基準を使うことが批判された。さらには20 mSv/年が避難区域の設定に、1 mSv/年が除染の目標として利用され、社会はさまざま基準に混乱している。結果的に、従来から法律で定めていた1 mSv/年がすべての基準であるべきで、これ以外の基準を受け入れることは困難であるという雰囲気がある。放射線・放射性物質からの線量推定や健康リスクの推定は科学的な作業である。しかし、科学はリスク推定に不確かさがある低線量の領域では正確なメッセージを出すことができない。このことが社会的な対応の混乱や不安を呼び起こしているように思える。ICRPが50年以上前から採用してきたリスク概念は平常時の管理にはうまく成功してきたが、事故後のリアリティのある状況には人々の戸惑いを招いている。実際には、同様な問題点がPM2.5などにもみられるにもかかわらず、放射線が社会的に特別な反応をするのは、原子力発電所の重大事故からの影響と結びつくからである。1986年に発生したチェルノブイリ事故は世界を震撼させた。その後の放射線影響は福島事故後に何が起こるのかと多くの関係者がチェルノブイリに視察し学ぼうとした。そこから発信される情報に社会は注目し過信するあまり動揺する。一方、リスク社会心理学は次のことを教えてくれる。リスクに対する不安感はリスクが確率や統計量で伝えられるからで、人々の不安感や人々を動かしているのは、社会で発生している物語性をもった特定の個人の状況だと。分析的あるいは論理的な情報処理ではなく、拙速なイメージで捉える情報処理が人々のところで優先して働くからだ。この情報処理の仕組みがサイエンスとモラルのギャップを生んでいるとすると、リスク問題はサイエンスの問題としてだけからは解決しないことを専門家や規制当局の担当者は認識しておかなければならない。逆にこのことを認識するあまり、間違ったリスクコミュニケーションが横行してしまう危険性もでてきている。リスク問題のサイエンスと倫理的な側面の両者が絡んだ状況では、ステークホルダーを関与した意思決定支援を構築していくことが重要であることをICRP Publication 111[7]は述べている。(甲斐倫明)

図1 ICRPの放射線防護基準(公衆)

被ばく状況ごとの参考レベルは最適化の上限値

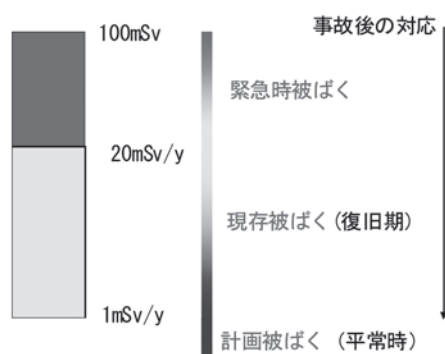


図1 ICRPの放射線防護基準(公衆)。

1.2 放射線障害防止法の概要

1.2.1 はじめに

放射線に関する国内法の中核に原子力基本法がある。その第1条で、日本における原子力の研究、開発、利用の推進は、人類社会の福祉と国民生活の水準向上に寄与するこ

とを目的に、エネルギー資源を確保し、学術の進歩と産業の振興を図るために行われることを定めている。また第2条で、原子力は民主、自主、公開の原則のもとに安全を確保した上で平和利用することを基本方針として（原子力平和利用の3原則）、国際協力に資することを規定し、さらに第20条で、放射線障害を防止し、公共の安全を確保するための規制や措置については、別に法律で定めるとしている。この第20条を受けて制定されたのが、ここで紹介する「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（放射線障害防止法あるいは障害防止法）」[8-10]である。

1.2.2 放射線障害防止法

放射線障害防止法は、昭和32年6月（法律第167号）に制定され、その後、法の規制内容を合理化するために、また国際放射線防護委員会（ICRP）や国際原子力機関（IAEA）などの新しい考え方を取り入れるために改訂が行われてきた。現在の放射線障害防止法はICRP90年勧告とIAEAの1996年国際基本安全基準がベースになっている。放射線障害防止法の内容は、いくつかに分類して考えることができる。図2は8項目に分類した結果である。以下、それぞれの項目について、使用施設のユーザーに関係する事項を取り上げ、概要を紹介する。

(1) 用語の定義

放射線障害防止法では、いろいろな用語が使われている。物理、化学の分野とは、意味が異なる場合もある。その代表例として、放射線発生装置の定義を紹介する。図3は、放射線障害防止法第2条第4項、同法施行規則第2条、同法告示第2条そして科学技術庁告示第3号を整理して表現したものである[8,9]。このリストにない装置は、それが放射線を発生することができても、放射線障害防止法における放射線発生装置ではない。もうひとつ特記したのは、図3の1.(8)に指定されているプラズマ発生装置である。プラズマ発生装置は、図4に示す科学技術庁告示第3号（平成元年4月17日）で、放射線発生装置に追加指定されたが、括弧書きで「重水素とトリチウムとの核反応における臨界プラズマ条件を達成する能力をもつ装置であって、専ら重水素と重水素との核反応を行うものに限る。」と、限定されている。国内にある多くのプラズマ発生装置のうち、この条件を満たすのは、日本原子力研究開発機構（那珂核融合研究所）に設置されたJT-60のみである。なお

JT-60は現在、超伝導装置であるJT-60SAへの改修設置が進められている。

放射線や放射性同位元素についても同様に、放射線障害防止法独自の定義がなされている。放射線の場合、材料分析装置などに利用される1 MeV未満のX線や電子線は除外される。なお除外される装置の一部には、電離放射線障害防止規則や人事院規則10の5の規制を受けるものがある。また放射性同位元素では、放射線障害防止法告示別表第1（平成12年科学技術庁告示第5号）に示されている下限数量（Bq）と下限濃度（Bq/g）の両方を超えない限り、法の規制対象にはならない。ただし規制を受ける数量と濃度の放射性同位元素を、小分けあるいは希釈して下限数量あるいは下限濃度以下にすることによって、法の規制から外すことはできない。

(2) 許認可届出制度

法律の規制を受ける数量と濃度の放射性同位元素や放射線発生装置を使用する際には、一部の例外を除いて、使用を開始する前に原子力規制委員会から使用の許可を受けるか、同委員会に届け出をしなければならない制度である。使用を廃止する場合も同様に、必要な手続きが定められている。ただし、安全性の高い表示付認証機器や表示付特定認証機器と呼ばれる装置の使用については、手続きや規制内容が緩和されている。

(3) 場所に関する項目

法律第2条第4項、施行規則第2条、告示第2条、
科学技術庁告示第3号まとめて表現すると、
放射線発生装置とは

1. 荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置で、
 - (1) サイクロトロン
 - (2) シンクロトロン
 - (3) シンクロサイクロトロン
 - (4) 直線加速装置
 - (5) ペータトロン
 - (6) ファン・デ・グラフ型加速装置
 - (7) コッククロフト・ワルトン型加速装置
 - (8) その他文部科学大臣が指定するもの
 - ・変圧器型加速装置、
 - ・マイクロトロン、
 - ・プラズマ発生装置
2. ただし、表面から10cmの位置の1cm線量当量率が600nSv/時以下のものを除く。

図3 法律における放射線発生装置。

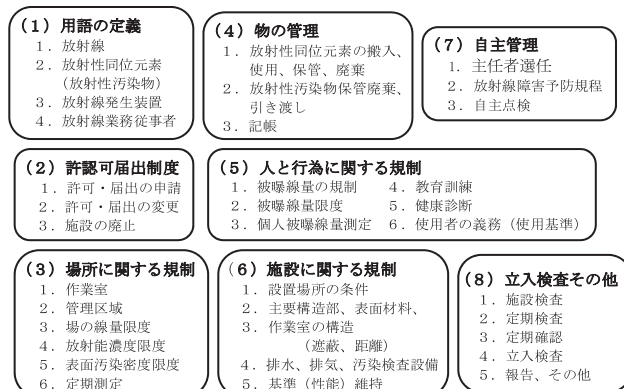


図2 放射線障害防止法の内容分類。

荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置として指定する件

昭和39年4月9日
科学技術庁告示第4号

最終改正 平成元年4月17日 科学技術庁告示第3号

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令（昭和35年制令第259号）第2条第8号の規定に基づき、荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置として次のものを指定する。

変圧器型加速装置、マイクロトロン及びプラズマ発生装置（重水素とトリチウムとの核反応における臨界プラズマ条件を達成する能力をもつ装置であって、専ら重水素と重水素との核反応を行うものに限る。）

図4 法律におけるプラズマ発生装置。

事業所に、放射線施設が設置されると、その施設を含む事業所全体が規制の対象になる。放射線障害防止法には、図5および表1に示すように、事業所内を5区分して、放射線量限度、放射性同位元素濃度限度、放射性同位元素の表面密度限度などの規制値が定められている。なおこうした規制値が守られていることを連続的あるいは定期的に測定（測定が困難な場合は計算）により、確認している。

(4) 物の管理に関する項目

放射性同位元素や放射線発生装置など物の管理について、記帳の義務に関連する作業記録の作成があげられる。この記録は、許可や届け出の内容が、日常の放射性同位元素や放射線発生装置の取り扱いにおいて、正しく守られていることを示す重要な証拠となる。(8)で触れる立入検査や定期確認では、これらの記録が検査の対象になる。記録を作成する際に、空白の部分がないようにすることが大事である。放射性同位元素の保管、放射性汚染物の保管廃棄などの記録においても同様の注意が必要である。

(5) 人に関する項目

放射線施設に立ち入って放射性同位元素の取扱いや放射線発生装置を使用する者は放射線業務従事者と呼ばれる。人に関する項目として、ここでは放射線業務従事者が忘れてはならない教育訓練、個人被ばく管理、健康診断を紹介する。

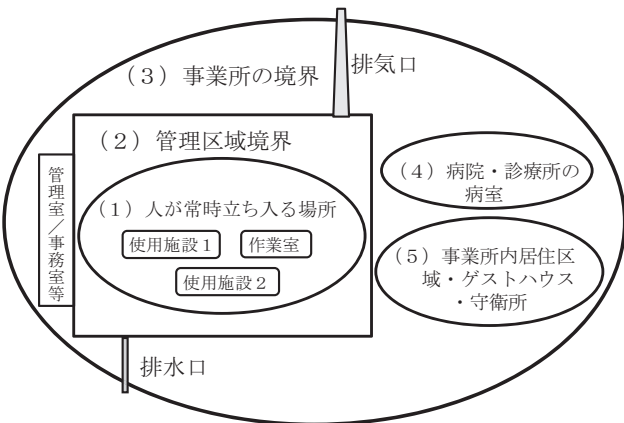


図5 放射線施設と事業所の場所5区分。

表1 場所に就いての規制値のまとめ。

	使用施設内の人が常時立ち入る場所	管理区内の境界	病院または診療所の病室	工場または事業所の人が居住する区域	工場または事業所の境界
放射線量(実効線量)	≦1 mSv(週)	≦1.3 mSv(3月)	≦1.3 mSv(3月)	≦0.25 mSv(3月)	≦0.25 mSv(3月)
空気／排気中濃度(Bq/cm ³)	≦空気中濃度限度(週平均)	≦1/10空気中濃度限度(3月平均)			≦排気中濃度限度(3月平均)
排水中濃度(Bq/cm ³)					≦排水中濃度限度(3月平均)
表面密度(Bq/cm ²)	≦表面密度限度	≦1/10表面密度限度			
	空気中濃度限度：告示別表第2の第4欄 排気中濃度限度：告示別表第2の第5欄 排水中濃度限度：告示別表第2の第6欄 表面密度限度：告示別表第4				

まず教育訓練であるが、管理区域に立ち入る前に受けなければならない新規教育とその後1年を超えない期間ごとに受けなければならない再教育がある。前者の受講は、放射線業務従事者の資格を得るための条件のひとつである。また後者は、次年度へ放射線業務従事者としての資格を更新する際の条件のひとつである。

個人被ばく管理では、測定結果を3月ごとに集計し、記録して、報告しなければならない。妊娠した女子に対しては1月ごとにこれを行う。この測定、記録、報告を実施するため、多くの施設で放射線業務従事者に集積型の個人被ばく線量計を配布し、定期的に回収・交換、測定を行っている。交換頻度は施設によって異なるが、上記の集計を行うためには3月に1回以上、妊娠した女子では1月に1回以上の頻度が必要である。表2に、個人被ばく線量測定のまとめとして、実効線量と等価線量について放射線障害防止法に定められている線量限度を示す。

健康診断では、問診と検査又は検診を、初めて管理区域に立ち入る前、立入り後は1年を超えない期間ごとに、また、何らかの異常が発生した場合にはそのつど実施しなければならない。ただし、検査又は検診については、一部を省略できる場合がある。これが障害防止法に規定された内容である。これに対し電離放射線障害防止規則や人事院規則(規則10-5)では、6月を超えない期間ごとに行うように規定されている。そのため、多くの施設で6月に1回の頻度で健康診断が実施できる体制をつくっている。

(6) 施設、設備に関する規制

放射線施設については、設置場所の条件や、放射線を取り扱う施設として必要な機能、構造、材料などが規定されている。すでに使用を開始している放射線施設はそれらの条件を満足して許可を得ているわけだが、その後も、許可を受けた施設・設備の機能を維持する義務がある。この維持管理のため放射線管理室は、日常点検や定期点検で施設内外の巡視を実施している。

(7) 自主管理

放射線施設ではそれぞれ放射線取扱主任者が選任され、

表2 被ばく線量測定のまとめ。

実効線量	放射線業務従事者		≦100 mSv/5年(平成13年4月1日以降各5年) ≦50 mSv/1年(4月1日を始期とする1年)
	女子の放射線業務従事者		≦5 mSv/3月(4月1日、7月1日、10月1日、1月1日を始期とする3月)
	妊娠を申し出た女子		≦1 mSv(申し出から出産までの内部被曝)
	緊急作業員		≦100 mSv
	一時立入者		≦100 μSv
等価線量	従事者	眼水晶体	≦150 mSv/year(4月1日を始期とする1年)
		皮膚	≦500 mSv/year(4月1日を始期とする1年)
		妊娠を申し出た女子の腹部	≦2 mSv(申し出から出産までの腹部表面)
	緊急作業員	眼水晶体	≦300 mSv
		皮膚	≦1 Sv

原子力規制委員会に届けてある。この選任は、自主管理を目指して行われる。放射線障害防止法では「放射線障害の防止について監督を行わせるため放射線取扱主任者免状を有する者の中から放射線取扱主任者を選任しなければならない」と定めている。また、独自の放射線障害予防規程を制定するのも自主管理の一貫である。予防規程は、放射線障害防止法だけではカバーできないそれぞれの施設の特別な事情や状況を鑑みて、法令を逸脱しない範囲で作成し、30日以内に原子力規制委員会へ届けなければならない。届け出た後は、放射線障害防止法と同じレベルで、遵守する義務が生じる。そのため、理想的ではあるが実行できないような規程にするより、その施設で実際に実施できるように作成することが大事である。

(8) 立入検査

立入検査にユーザーが直接立ち会うことはほとんどないであろう。しかしながら多くの放射線管理室は、常に立ち入り検査を意識して管理業務を行っている。こうした立入検査は、ひとつではない。著者らが40年以上の間に経験した例をあげると、放射線障害防止法に基づいて原子力規制委員会や原子力規制委員会により登録を受けた検査機関より行われる立入検査、施設検査、定期検査そして定期確認、また障害防止法と別に、行政管理庁、厚生省、労働基準監督署、県保健所などが行う立入検査（当時の官公庁名を使用した）、などがあった。

以上、放射線障害防止法を8項目に分類して、その一部を紹介した。さらに詳しくは、参考文献[8-12]を参照いただきたい。

(河野孝央)

参考文献

- [1] EJ, Bromet *et al.*, A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. *Clinical Oncology*, 23, 297 (2011).
- [2] ICRP, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 1. (Pergamon Press, Oxford, UK, 1959).
- [3] UNSCEAR, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1977 report. United Nations, New York.
- [4] ICRP, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1(3), (1977).
- [5] ICRP, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3), (1991).
- [6] ICRP, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4), (2007).
- [7] ICRP, *Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency*. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39(3), (2009).
- [8] 日本アイソトープ協会：アイソトープ法令集Ⅰ－放射線障害防止法関係法令－（丸善出版，2012）。
- [9] 日本アイソトープ協会：放射線障害の防止に関する法令概説と要点（改訂9版）（丸善出版，2012）。
- [10] 柴田徳思編：放射線概論 第1種放射線試験受験用テキスト（第8版）（通商産業研究社，2012）。
- [11] 日本アイソトープ協会：放射線・アイソトープを使う前に－教育訓練テキスト－（丸善出版，2006）。
- [12] 西澤邦秀，飯田孝夫編：放射線安全取扱の基礎（名古屋大学出版会，2006）。



か い みち あき
甲斐 倫明

公立大学法人大分県立看護科学大学，教授，主な研究分野は，放射線保健・防護，リスク解析，生物機構に立脚した発がん数

理モデル，リスク論などを研究。福島事故以後，サイエンスと倫理との関係に関心をもってリスク問題に取り組んでいます。



かわ の たか お
河野 孝央

核融合科学研究所 ヘリカル研究部 装置工学・応用物理研究系 放射線安全工学部門所属，これまで大学，病院，研究機関の放射線管理室を渡り歩くこと7回，平均で

6年いましたから，放射線管理歴は40年を超えました。現在，液体・気体中微量トリチウム検出器の開発や，法の規制を受けない放射線源の開発と教育実践応用の研究を進めております。お酒は，銘柄，値段によらず，嫌いなほうではありません。