

第1節 はじめに

1 放射線とは

「放射線」とは、電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力をもつもので、政令で定めるもの(原子力基本法第三条第五号)である(第3節参照)。また、放射線の電離能力に注目して「電離放射線」と呼ぶこともある(労働安全衛生法 電離放射線障害防止規則第二条)。

放射線は、物質を透過する性質や電離・励起する性質を特徴としており、医療や研究で広く利用されている。一方、人間の五感(視覚、嗅覚、味覚、聴覚、触覚)では放射線を感じる事ができないため、**十分な放射線安全取扱いの知識がないと過度に被ばくしてしまう**という厄介な点がある。

放射性同位元素及び放射線発生装置から出る放射線は、それを利用することにより学術の進歩や産業の発展に大きく寄与する反面、人体に対し放射線障害を引き起こす危険性を持っている(第2節参照)。このことは、平成11年9月30日に茨城県東海村の株式会社ジェー・シー・オーで起きた臨界事故の際に犠牲者を出し、かつ広範な公衆が被ばくするという不幸な形で示された。

放射線を用いた研究中に事故を引き起こさないことはもちろんであるが、地震や火災等発生時においても安全に対処することができるようになるためには、**放射線の特徴、放射線と放射能の違い、放射線の検出法や障害の防止方法などについて基本的な理解を持つことが重要**である。

本学では、学生実験や安全教育において放射線に関する基礎実験を実施している。更に理解を深めたいと希望する者は、ラジオアイソトープセンターや極限エネルギー密度工学研究センター及び量子・原子力系にて放射性同位元素や放射線発生装置に関する進んだ教育を受けることも可能である。

2 どこで使用できるのか

放射線利用による障害を防止するため、放射性同位元素や放射線発生装置を使用できる場所は「放射性同位元素等の規制に関する法律」(以下、「RI法」という)によって厳密に定められている。本学では、ラジオアイソトープセンターで「放射性同位元素」を、極限エネルギー密度工学研究センターと原子力安全・システム安全棟で「放射線発生装置」を使用することが原子力規制委員会から承認されている。

放射性同位元素の使用については、その種類によって使用できる実験室や数量が異なり、放射線発生装置についても使用場所や使用回数等が決められている。**放射線業務に従事する場合は、あらかじめ実験計画を立て、他の研究グループと総合してこの使用数量、使用回数を超えないように調整**

する必要がある。これらの規制は、管理区域外にいる一般公衆及び放射線業務従事者の安全を確保するためのものである。

3 誰が使用できるのか

本学において放射線を使用できるのは、「長岡技術科学大学放射線障害予防規程」（以下、「予防規程」という）に定める**放射線業務従事者**(放射線業務従事者登録申請を行い、所定の教育訓練と特別健康診断を受けて、長岡技術科学大学放射線安全委員会にて承認された者)に限られている(第3節参照)。

4 何を使用できるのか

本学で使用できる放射性同位元素(密封、非密封とも)及び放射線発生装置は、原子力規制委員会の承認を受けた種類、数量、形式のものだけである。平成27年2月12日に**原子力規制委員会より承認された放射性同位元素と放射線発生装置**については表8-1の通りである。

表 8-1 長岡技術科学大学で使用できる放射性同位元素と放射線発生装置

放射 性 同 位 元 素	非密封線源	^3H , ^{10}Be , ^{14}C , ^{31}Si , ^{32}P , ^{35}S , ^{51}Cr , ^{55}Fe , ^{57}Co , ^{59}Fe , ^{85}Sr , ^{99}Tc , ^{106}Ru , ^{125}I , ^{129}I , ^{131}I , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{139}Ce , ^{141}Ce , ^{144}Ce , ^{147}Nd , ^{152}Eu , ^{169}Yb , ^{237}Np , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{243}Am , ^{244}Cm , ^{252}Cf (使用の目的 化学反応に関する研究)
	密封線源	^{57}Co 370MBq, ^{57}Co 740MBq, ^{60}Co 37MBq, ^{109}Cd 370MBq, ^{113}Sn 1.11GBq, ^{137}Cs 370MBq, ^{144}Ce 370MBq, ^{170}Tm 370MBq, ^{204}Tl 185MBq, ^{241}Am 370MBq, ^{252}Cf 18.5MBq (使用の目的 計器機器及び化学反応に関する研究)
放射線発生装置	コッククロフト・ワルトン型加速装置 1台 (使用の目的 大強度パルス軽イオンビームの発生とその応用に関する基礎実験) コッククロフト・ワルトン型加速装置 1台 (使用の目的 大強度電子ビームの発生と応用に関する基礎実験) コッククロフト・ワルトン型加速装置 1台 (使用の目的 高エネルギーイオンビームを用いた材料分析及び材料開発) コッククロフト・ワルトン型加速装置 1台 (使用の目的 試料にイオンビームを照射して、組成分析を行う)	

第2節 放射線の人体への影響

我々は、普段生活している環境において常に微量の放射線を受けている。この放射線は自然放射線とよばれるもので、宇宙線、中性子及びウラン 238、トリウム 232、ラジウム 226、ラドン 222、カリウム 40 などから放出されている。自然放射線による人体の被ばく線量は地域により多少異なるが、実効線量にして1年間に約2ミリシーベルト (mSv) である。このほかに、エックス線撮影などの医療行為の際に人工放射線を受けることがある。これら日常生活における放射線被ばくの早見図(図8-1)が国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構のホームページに掲載されている。

日本語版: <https://www.qst.go.jp/uploaded/attachment/22423.pdf>

英語版: <https://www.qst.go.jp/uploaded/attachment/1572.pdf>

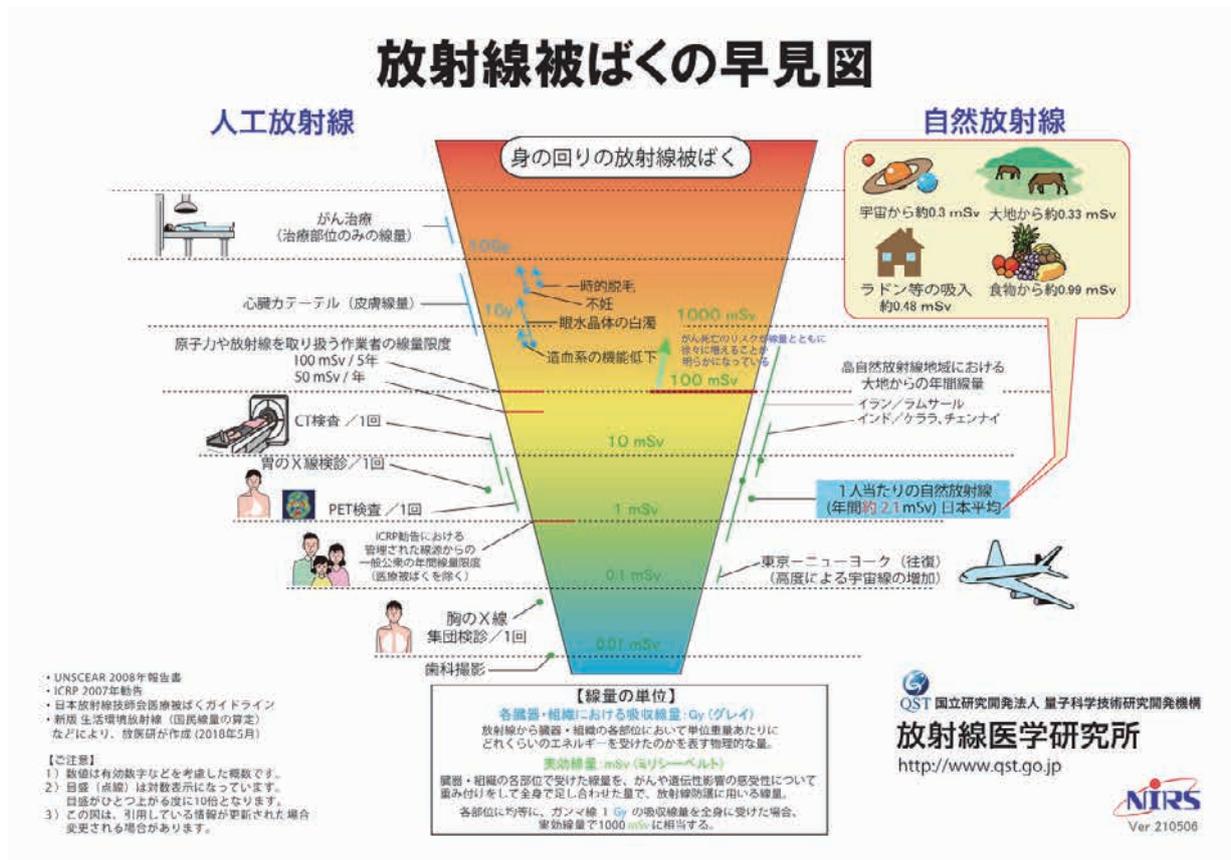


図 8-1 日常生活と放射線の関係

(量子科学技術研究開発機構のホームページより)

研究の目的で放射線を使用する放射線業務従事者の被ばく線量は、RI法によりその実効線量限度を100mSv/5年かつ50mSv/年としている。これは自然放射線の約10~25倍である。

一般的には、放射線の人体への影響は障害と考えられており、原子、分子、細胞、組織、臓器

及び個体の各レベルへの影響が進展した結果、障害が発現する。さらに、放射線による障害の一部は、子孫に影響をおよぼすこともあるとされている。

本節では、放射線の人体への影響について、被ばく線量や被ばくの仕方、その影響にどのような差が生じるかについて述べる。

1 放射線障害の発症時期による分類

放射線障害が、いつ誰に現れるのかの点から分類すると、**身体的影響**と**遺伝的影響**の2つに大別される(図8-2)。身体的影響は被ばく者自身に現れるもので、さらに身体的影響は被ばく直後から2~3ヶ月以内に発現する**早期影響**と、十数ヶ月から数年以上の長期間を経て発現する**晩発影響**に分類される。遺伝的影響はヒトでは確認されていないが、被ばくした本人ではなく子や孫に現れるもので、遺伝子に起こった変異が子孫に伝わり発現した段階で身体的影響として現れるものとされている。

- 早期影響：大量の放射線を短時間に被ばくした場合に出現する。身体の広範囲に被ばくした場合、発熱、出血、白血球の減少、下痢、嘔吐、脱水症状、皮膚紅斑・潰瘍、脱毛などの症状が現れる。
- 晩発影響：最も問題になるのは発癌。放射線発癌として人間で認められている主なものは、白血病、皮膚癌、甲状腺癌、乳癌、骨腫瘍などである。その他の障害としては白内障があげられる。

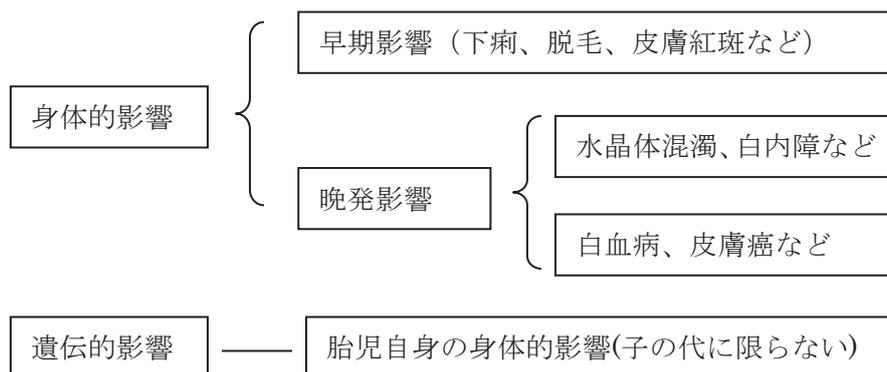


図 8-2 身体的影響(早期影響・晩発影響)と遺伝的影響

2 被ばくの仕方による分類

(1) 外部被ばくと内部被ばく

放射線被ばくは放射線源が体の中にあるか外にあるかで分類されている。線源が体内にある場合は体の内部から放射線を被ばくする**内部被ばく**と呼ばれ、体外にある線源からの放射線被ばくを**外部被ばく**と呼ぶ。その障害の程度は放射線の種類により異なるが、アルファ線放出核種による内部被ばくは、ほぼ全ての放射線エネルギーが障害に寄与し強度の障害となるため特に注意が必要である。また、内部被ばくでは、線源が体外に排泄されない限り常時被ばくし続ける。体内に摂取した放射性同位元素が排泄される生物学的半減期と、放射性同位元素そのものの物理学的半減期より求まる有効半減期が、内部被ばくの評価に用いられる。

これら内部被ばく、外部被ばくを防護する手段としては、**外部被ばくでは時間、距離、遮蔽を3原則として防護し、内部被ばくでは吸入、経口摂取、経皮侵入の3つを防ぐことが重要である。**

(2) 急性被ばくと慢性被ばく

急性被ばくとは短時間の被ばくであり、**慢性被ばく**とは長時間にわたる被ばくである。同じ線量を照射された場合でも、急性被ばくと慢性被ばくでは放射線障害の程度に違いが生じることがある。これは、細胞や組織のもつ損傷回復力が放射線による障害の発生を上まわって働くため、放射線防護の分野において吸収線量率(放射線が単位時間あたりに組織に与えるエネルギー量:Gy)が毎時0.1Gy以下である低線量率被ばくでは、放射線障害が現れることなく回復するとされている。

(3) 部分被ばくと全身被ばく

部分被ばく(局所被ばく)とは、身体の一部が被ばくすることであり、**全身被ばく**とは全身あるいは身体の広い部分が被ばくすることである。被ばくした面積と容積によって、影響の現れ方が異なる。例えば手掌が10Gy被ばくした場合には皮膚紅斑などが生じるが回復する。しかし、10Gy全身被ばくした場合には死亡する。

これは、部分被ばくで影響が現れるのは放射線を受けた組織や臓器だけであるのに対し、全身被ばくの場合は受けた線量に応じて放射線感受性の高い組織・臓器から影響が現れ始め、線量が高くなるとすべての組織・臓器に放射線の影響が発現するからである。

各組織の放射線感受性を表8-2に示す。細胞が放射線に対し最も敏感な状態は、胎児の未分化細胞が、大人の特別な組織細胞に変わっていく分化過程である。ある種の胎児細胞は成人になっても存在し、成人の生活の間に分化を続けていく。たとえば骨髄、リンパ腺、表皮、生殖腺の細胞などであり、これらの細胞は放射線感受性が高い。すなわち**放射線感受性については、細胞分裂が盛んで代謝の多い組織や器官は感受性が高い。造血臓器、リンパ組織、生**

殖腺などは最も敏感なものであり、その中で根幹細胞の感受性が高い。血管、皮膚、中枢神経の細胞は中程度、筋肉、骨、末梢神経は一般に放射線に抵抗力があると考えられている。

(4) 妊娠中の被ばくと胎児への影響

成体において細胞非再生系に属するものでも、発生途上においては細胞分裂をしていることから**胎児期の組織は高感受性である**。表 8-3 に胎児の放射線影響を示す。妊娠中または妊娠の可能性のある者については、放射線取扱による被ばく線量には注意が必要である。

3 しきい値による分類

放射線障害が発生する頻度や確率は被ばくした線量に関係し、放射線の影響が現れる最小線量を**しきい値**という。国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological Protection: ICRP)では放射線防護の立場から、しきい値の有無によって放射線の影響を**確率的影響**と**有害な組織反応(確定的影響)**の2つに区分している(表 8-4、図 8-3)。放射線業務従事者の被ばく線量限度は、有害な組織反応の発生を防止し確率的影響の発生を容認できるレベルに制限する方針で設定されている。

表 8-2 組織の放射線感受性

感受性の程度	組織
最も高い	リンパ組織(胸腺、脾臓)、骨髄、生殖腺(精巣、卵巣)
高い	小腸、皮膚、毛細血管、水晶体
中程度	肝臓、唾液腺
低い	甲状腺、筋肉、結合組織
最も低い	脳、骨、神経細胞

(放射線概論より)

表 8-3 胎児の放射線影響

胎生期の区分	期間	発生する影響	しきい線量<Gy>
着床前期	受精 8 日まで	胚死亡	0.1
器官形成期	受精 9 日～受精 8 週	奇形	0.15
胎児期	受精 8 週～受精 25 週	精神発達遅滞	0.2～0.4
	受精 8 週～受精 40 週	発育遅延	0.5～1.0
全期間	—	発癌と遺伝的影響	—

(放射線概論より)

表 8-4 放射線防護の観点からの放射線影響の分類

種類	放射線防護の目標	しきい線量	線量増加により変化するもの	例示
確率的影響	発生を容認できるレベルに制限する	存在しない	発生確率(頻度)	発がん 遺伝的影響
非確率的影響 (確定的影響)	発生を防止する	存在する	重症度	白内障、皮膚の 紅斑、脱毛、不妊

(ICRP No.26 より)

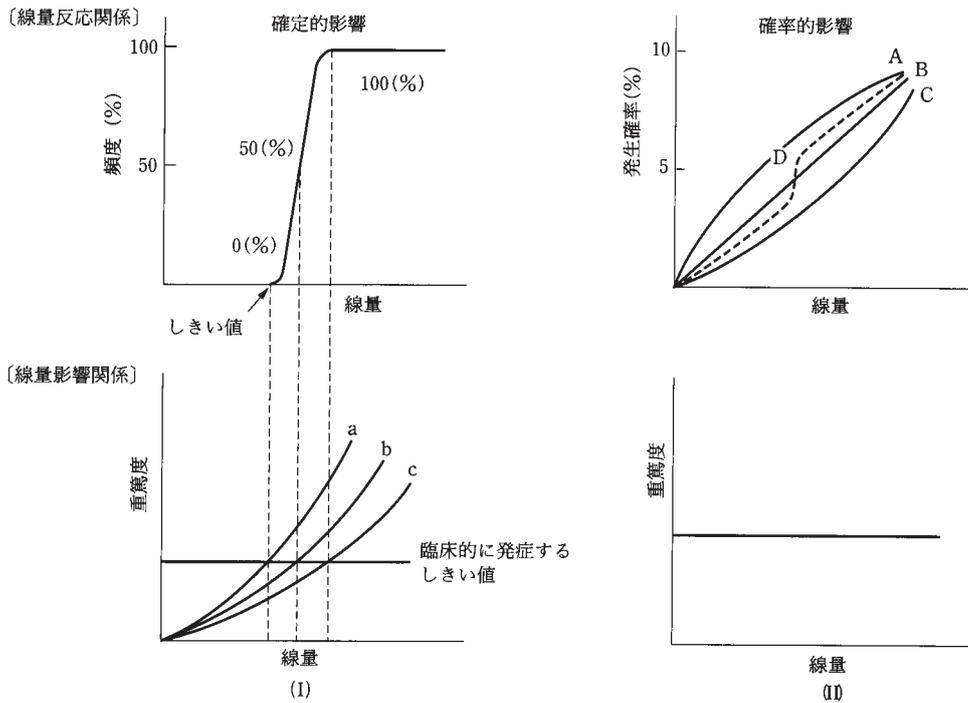


図 8-3 被ばく線量と確率的影響、有害な組織反応(確定的影響)の関係

(放射線安全取扱の基礎より)

4 放射線の種類による分類

放射線が生物の中を通過する場合、放射線と物質との相互作用によって生体にエネルギーを与える。前述した通り放射線の人体への影響はほとんど全てが障害とされており、その程度は放射線の種類によって著しく異なる。

放射線の飛跡に沿って物質に与える単位距離あたりのエネルギーのことを **LET(線エネルギー付与)**と呼び、同一エネルギーの放射線では、ベータ線やガンマ線よりもアルファ線のほうがLETは大きくなる。一般的に、ガンマ線(エックス線)やベータ線は**低 LET 放射線**であり、中性子線、アルファ線、陽子線、重粒子線は**高 LET 放射線**であるとされている。

第3節 放射線とRI、放射線発生装置

1 放射線

RI法は放射性同位元素や放射線発生装置の使用及び放射性同位元素によって汚染されたものの廃棄などを規制することによって、放射線障害を防止し、公共の安全を確保することを目的に制定された法律である。**規制の対象となる放射線とは「電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力をもつもので、以下に定めるもの」**である。

- (1) アルファ線、重陽子線、陽子線その他の重荷電粒子線及びベータ線
- (2) 中性子線
- (3) ガンマ線及び特性エックス線(軌道電子捕獲に伴って発生する特性エックス線に限る。)
- (4) 1メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線

注)1メガ電子ボルト未満のエネルギーを有する電子線及びエックス線については、電離放射線障害防止規則の対象となっており、やはり放射線防護の措置等が必要であるから注意すること。詳細は「第9章 エックス線、エックス線発生装置」参照。

以下に代表的な放射線(アルファ線、ベータ線、ガンマ線(エックス線)、中性子線)と物質との相互作用について簡単に説明する。

① アルファ線

アルファ線は、陽子2個、中性子2個からなる粒子で、ヘリウムの原子核と同じ粒子が飛んでいるものである。これは同じ荷電粒子であるベータ線と比べて非常に大きな粒子であるため、電子との相互作用による制動放射損失が少なく、ほぼ直線的に飛ぶ。そして、速度の減少とともに比電離が増加し、370keVのエネルギーのところで最大の比電離を示して停止する。**放射線が通り抜けられる物質の厚さ(飛程)は放射線の種類やエネルギー、物質の種類によって違い、普通の放射性同位元素から放出されるアルファ線の飛程は空気中で数cmしかない。**アルファ線の飛程が短いことから、遮蔽は紙1枚で十分であり、外部被ばくの危険性は極めて少ない。しかし、体内へアルファ線放出核種を取込んだ場合、生体中のアルファ線の飛程は空気中より短く数十 μm 程度となることから、生体細胞は非常に狭い領域に莫大なエネルギーを与えられる。このため局所的に重篤な障害が現れる危険性がある。このようなことから、**アルファ線放出核種の体内への取り込みは大変危険であり、安全管理上も厳しい措置がとられている。**

② ベータ線

ベータ線は、原子核から放出される電子線である。ベータ線には陽電子の β^+ と陰電子の β^- があり、どちらも荷電粒子という点では同じであるが、電荷だけが異なる。ベータ線と物質との主な相互作用は①クーロン力による原子の励起や電離、②原子核との相互作用による**制動エックス線**の放射、である。物質との相互作用によりエネルギーを失った陽電子は、陰電子と**電子対消滅**を起こし、2本の光子を放出する。また、ベータ線は励起や電離、散乱を繰り返して入射方向へ戻ってくる**後方散乱**という現象も起こるため、散乱線の遮蔽にも注意が必要である。

ベータ線の遮蔽物を選択する際は、②の制動エックス線放射を考慮しなければならない。**エネルギーの高いベータ線を遮蔽するには、原子番号の小さい物質(アクリルやアルミニウム)で遮蔽し、その外側を鉄や鉛で遮蔽し制動X線を遮蔽するというのが適当である。**

③ ガンマ線(エックス線)

ガンマ線は、励起状態にある原子核がよりエネルギーの低い基準状態に遷移するとき放出される光子である。光子は電荷を持たないため、物質中を通過するときの相互作用はアルファ線やベータ線などの荷電粒子とは異なる。光子の物質との相互作用には、トムソン散乱、光電効果、コンプトン効果、電子対生成などがある。

ガンマ線とエックス線との違いは、その発生プロセスにある。ガンマ線は原子核反応や素粒子反応により静止エネルギーが光子として放出されたもので、エックス線は荷電粒子の運動状態や束縛状態の変化により生じた余分のエネルギーが光子として放出されたものである。光子のエネルギーで分類されているものではない。

ガンマ線(エックス線)の遮蔽には、光子のエネルギーに応じて適当な物質を用いる。一般的には密度の高い物質がガンマ線(エックス線)との相互作用が大きいことから、鉛等を用いるのが適当である。

④ 中性子線

中性子は電氣的に中性の素粒子である。半減期 10 数分の不安定な粒子で、陽子と電子に分解してしまえば、これまでに述べた β 線や α 線と同じような相互作用が起こる。また、中性子の物質との相互作用には、A 弾性散乱、B 非弾性散乱、C 荷電粒子放出反応、D 捕獲反応、E 原子核分裂などがある。このうち、A の弾性散乱では衝突する相手の原子核が小さいほど多くのエネルギーを失う事が知られており、このことから**中性子の遮蔽には水素原子を多く含むパラフィンやコンクリート、水などが適している。**

B,C,D,E 等の相互作用では、相手の原子核が陽子や γ 線等を放出することや、ウランなどの重い原子核が核分裂を起こすことがあるので、中性子の遮蔽にはこれらの相互作用も考慮する必要がある。

2 RI (Radio Isotope:放射性同位元素)

RI法で規制されている放射性同位元素とは、りん32、コバルト60等放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物（機器に装備されているこれらのものを含む。）で、放射線を放出する同位元素の数量及び濃度がその種類ごとに原子力規制委員会が定める数量（下限数量）及び濃度を超えるもの（表8-5）である。

表 8-5 放射線を放出する同位元素の数量及び濃度の例

第1欄		第2欄	第3欄
放射線を放出する同位元素の種類		数量 (Bq)	濃度 (Bq/g)
核種	化学形等		
^3H		1×10^9	1×10^6
^7Be		1×10^7	1×10^3
^{10}Be		1×10^6	1×10^4
^{11}C	一酸化物及び二酸化物	1×10^9	1×10^1
^{11}C	一酸化物及び二酸化物以外のもの	1×10^6	1×10^1

ただし、RI法での規制対象としては、次の1~5に掲げるものを除く。

1. 原子力基本法に規定する核燃料物質及び核原料物質
2. 医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律に規定する医薬品及びその原料又は材料であって同法の許可を受けた製造所に存するもの
3. 医療法に規定する病院又は診療所において行われる医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律に規定する治験の対象とされる薬物
4. 上記のほか、陽電子放射断層撮影装置による画像診断に用いられる薬物その他の治療又は診断のために医療を受ける者に対し投与される薬物であって、当該治療又は診断を行う病院等において調剤されるもののうち、原子力規制委員会が厚生労働大臣と協議して指定するもの
5. 医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律に規定する医療機器で、原子力規制委員会が厚生労働大臣又は農林水産大臣と協議して指定するものに装備されているもの

3 放射線発生装置

RI法で規定されている放射線発生装置は、サイクロトロン、シンクロトロン等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、次に掲げる装置（その表面から10センチメートル離れた位置における最大線量当量率が原子力規制委員会が定める線量当量率以下であるものを除く。）をいう。

- (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) ベータトロン
- (6) ファン・デ・グラーフ型加速装置
- (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、放射線障害の防止のため必要と認めて原子力規制委員会が指定するもの

4 放射線の単位

(1) 放射能

放射線の単位としてよく耳にするのは「放射能」である。これは、RIが単位時間に崩壊する原子数をさすものであって、1秒間に崩壊する原子数の単位はベクレル($\text{Bq} = \text{s}^{-1}$)である。

この事からわかる通り、「放射能」とは、「速さ」や「明るさ」などと同じ“能力”を示すものであり“RI”や“放射線”そのものを直接指し示すものではない。メディア等で「原子力発電所からの放射能漏れ」といった表現を見かけることがあるが、“RI”、“放射線”と“放射能”を混同しないよう注意が必要である。

なお、放射能を示す単位Bqは、旧単位では1gのラジウムの放射能を表すキュリー(Ci)が用いられていた。1 Ci = 3.7×10^{10} Bqである。

(2) 線量

物質 1 k g に放射線を照射し、物質に与えた放射線のエネルギー量を吸収線量といい、グレイ Gy (=J/kg) であらわす。

放射線が人体に与える影響は放射線の LET により異なる。各種放射線による人体への影響を同じ尺度で計算し、放射線防護のために比較したり加え合わせたりできるようにする目的で、線量が考え出された。

$$\text{線量} = \text{吸収線量} \times \text{線質係数} \times \text{修正係数}$$

放射線防護の目的においてはこの線量を使い、単位をシーベルト Sv (=J/kg) であらわす。

さらに人体組織による放射線感受性の違いを考慮して等価線量が、また、それらを加え合せて実効線量が算出されている。単位はシーベルト Sv である。

(3) 電子ボルト

RI 法で定める放射線には、「1 メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線」がある。電子が 1 V の電位差間を動いて得る運動エネルギーを 1 電子ボルト (eV) とし、

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

である。1 メガ電子ボルト (1 MeV) は 100 万電子ボルトと等しい。

第4節 RI、放射線発生装置の安全取扱いと利用手続

1 安全取扱い

RI及び放射線発生装置を安全に取扱うために予防規程及び教育訓練テキストがあり、その手引書となっている。RI管理のため、受入れ及び払出し・使用・保管・運搬・廃棄等の記録が義務づけられている。実験を行う際には作業前後に使用する器具、作業台及び床面の汚染検査を行い、作業中の空間線量率計測などを行なうことが、汚染・被ばくの防止において重要である。

2 利用手続

RI及び放射線発生装置を取扱う場合には、予防規程に規定する放射線業務従事者として登録を行わなければならない。登録は、健康診断及び教育訓練の結果により放射線安全委員会の議に基づいて学長が行う。登録後は、毎月の被ばく線量測定（ガラスバッジを使用）及び6か月を超えない期間毎に1回の健康診断を受けなければならない。

3 RIの入手

RIを購入等により入手しようとする場合は、放射線取扱主任者の許可が必要となるので、購入等申込書をラジオアイソトープセンター管理室に提出すること。**放射線取扱主任者の許可なくRIを購入したり譲り受けたりする事はできない。**所定の手続き後にRIを受入れた場合、ラジオアイソトープセンター管理計算室での確認後、受入れ申込者に通知する。管理計算室にてRI管理ラベルと記録簿用紙を受取った後、使用することができる。

RIは、容器の中身を使いきり放射能がほぼ全て減衰した場合でも、RI法上は保有状態であるため、廃棄手続きが完了するまでは記帳・記録の義務があるので注意すること。長期間使用の予定がないRIは、払出しまたは廃棄の手続きを取ることが望ましい。

4 教育及び訓練

RI及び放射線発生装置を安全に取扱うために、放射線業務従事者として管理区域に入室する者は放射線障害防止のための**教育および訓練**を、初めて管理区域に立ち入る前及び管理区域に立ち入った後には前回の教育及び訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始の日から一年以内に受けなければならない。これに従い放射線業務従事者および新規登録申請者には教育訓練の案内が届くので、必ず受講すること。

5 放射線使用施設への立ち入りと注意事項

放射線使用施設内で放射線業務に従事する場合には、予防規程等を熟知のうえ、放射線障害の防止を図り、以下の(1)～(7)について注意すること。

また、放射線使用施設内の見学及び修繕等を行う場合には、放射線管理者の許可を得て一時立ち入りのための教育訓練を受講し放射線業務従事者の案内のもとに「一時立入者」として行うこと。**一時立入者は放射線取扱業務をできないので注意**すること。

- (1) 放射線使用施設内に掲示してある「注意事項」に必ず目を通すこと。
- (2) 管理区域内での飲食、喫煙や化粧をしないこと。
- (3) 管理区域内に不要な物品を持込まないこと。特に携帯電話等無線機器は個人線量計の誤作動を招く恐れがあるので、必ず電源を切ること。
- (4) 汚染検査室にて用意された上履に履きかえ、指定の実験衣を着用すること。
- (5) 管理区域内での被ばく線量を計測するための**個人線量計(図8-4)**は、**男性は胸部、女性は腹部に装着**すること。また床面と接触するような衣類を着用している場合は裾を上げること。
- (6) 管理区域内の物品は、RIによる表面汚染を測定し、表面密度限度の10分の1以下であることを確認したものでなければ持ち出すことはできない。
- (7) 管理区域退室の前に汚染検査装置(図8-5)で手足衣服の汚染検査を行う。汚染が見つかったときは放射線管理者又は放射線業務従事者の指示を仰ぎ、適切な除染を行なうこと。



図 8-4 個人線量計



図 8-5 手足衣服の汚染検査装置(ハンドフットクロスモニタ)

6 放射線の検出

使用器具、作業台等の汚染検査や、作業中の空間線量率計測には、使用する放射線に適したものを選択しなければならない。

放射線の計測機器としては、持ち運びの容易な電離箱式サーベイメータ、NaIシンチレーション式サーベイメータ、GM管式サーベイメータが一般的である。

アルファ線や軟ベータ線(エネルギーの弱いベータ線)などは、サーベイメータでは検出できない場合があるため、これらの放射線放出核種による使用器具や作業台等の汚染検査にはスミア測定法を用いると良い。この計測に用いられる計測機器としては、液体シンチレーションカウンタやガスフローカウンタが一般的である。

また、汚染箇所のRIを同定するなどの目的には、NaI(Tl)検出器やGe検出器が用いられる。図8-6にGe半導体放射線検出器・波高分析システムによる ^{60}Co (主な光子のエネルギーと放出割合 1.173MeV-100%、1.333MeV-100% : アイソトープ手帳より)のスペクトルを示す。

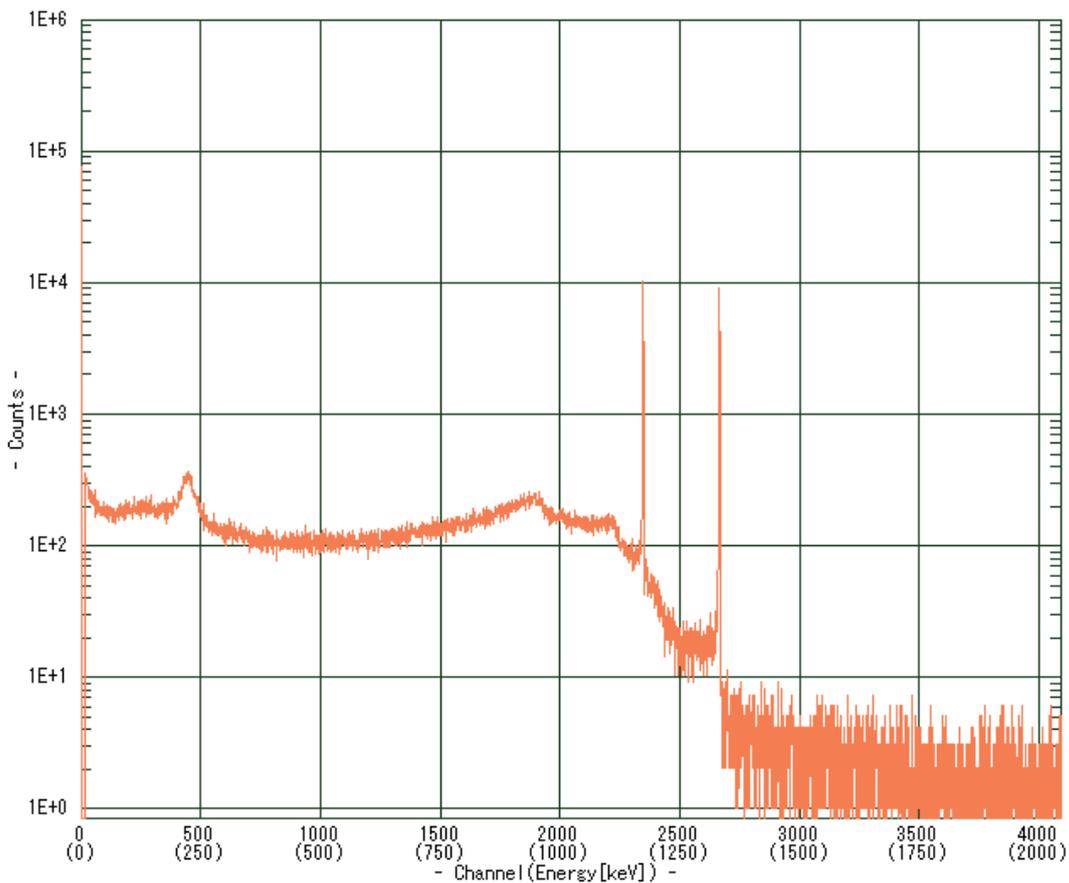


図 8-6 ^{60}Co のスペクトル(半導体放射線検出器・波高分析システムにて計測)

7 放射線の防護

放射線の防護の基本としては、

- 実験計画を立て、十分な予備実験(コールド実験)をする。
- 外部被ばくを防止する。
- 内部被ばくを防止する。
- 一人では作業しない。
- 作業前後の汚染検査と作業中の線量測定をする。

があげられる。

このうち、外部被ばくと内部被ばくの防止について以下に述べる。

(1) 外部被ばく防止

放射線による外部被ばく防止には、**遮蔽**、**距離**、**時間**の3原則がある。

A) 遮蔽による防護

放射線は、その種類及びエネルギーによって物質を透過する距離が異なるから、遮蔽物を利用し、できるだけ被ばく線量を少なくするように注意をしなければならない。

特にベータ線は制動エックス線放出するため、アクリル板での遮蔽が必要となる。

放射線の種類による遮蔽の例を図8-7に示す。

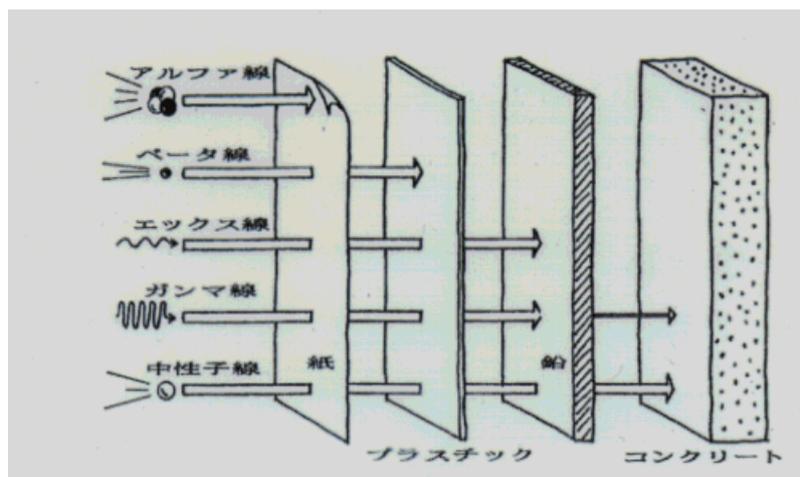


図 8-7 放射線の遮蔽の例

B) 距離による防護

放射線の強さは距離の2乗に反比例するため、線源との距離が離れるにつれて、線量は急激に減少する。R I を取扱う際に距離を取る必要がある場合は、柄の長い tong やピンセットなどを使用する。

C) 時間による防護

被ばく線量は被ばく時間に比例して大きくなるため、作業前に実験計画を立て、十分に予備実験(コールド実験)をすることにより、作業時間を短縮する。

(2) 内部被ばく防止

内部被ばくを防ぐには、**経口、経気道、経皮膚**の3つの経路に注意する。放射性同位元素の化学的、物理的性質にもよるが、これらの経路から放射性同位元素が体内に入らないようにするためには、R I が皮膚や傷口を通して体内に侵入しないようにゴム手袋等を着用し、吸入等により体内に入らないようにフード・ドラフト内で取り扱う。R I 試薬の誤飲を防ぐために、安全ピペッター等を使用する。**管理区域内では飲食、喫煙、化粧など放射性同位元素を体内に取込む危険性のある行為をしないこと。**

8 ウラン、トリウム等の取扱い

核物質が平和目的だけに利用され核兵器等に転用されないことを担保するため、たとえ数グラムの核物質を保管する場合であっても核物質を使用する場所を定め、その区域で一定期間に搬入・搬出される核物質の増減や、現在の核物質の在庫の量を正確に管理する必要がある。

原子力基本法に規定する核燃料物質（ウラン・トリウム等原子核分裂の過程において高エネルギーを放出する物質）及び核原料物質（ウラン鉱、トリウム鉱その他核燃料物質の原料となる物質）は RI 法からは除外され、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の規制対象となり、使用の許可を受ける必要がある。ただし、表 8-6 に示すように「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」第 39 条で定める種類及び数量の範囲内の核燃料物質を使用する場合には、許可は必要ではない。

表 8-6 使用の許可を要しない核燃料物質の種類と数量(原子力規制委員会 HP より)

	種類	使用の許可を要しない数量
一	ウラン 235 のウラン 238 に対する比率が天然の混合率であるウラン及びその化合物	ウランの量 300 グラム以下
二	ウラン 235 のウラン 238 に対する比率が天然の混合率に達しないウラン及びその化合物	ウランの量 300 グラム以下
三	一及び二を 1 または 2 種類以上を含む物質で原子炉において燃料として使用できるもの	ウランの量 300 グラム以下
四	トリウム及びその化合物	トリウムの量 900 グラム以下
五	四を 1 または 2 種類以上を含む物質で原子炉において燃料として使用できるもの	トリウムの量 900 グラム以下

以下のものは数量に関わらず使用の許可を必要とする。

1. ウラン 235 のウラン 238 に対する比率が天然の混合率をこえるウラン及びその化合物
2. プルトニウム及びその化合物
3. ウラン 233 及びその化合物

9 長岡技術科学大学にある原子力安全教育機器と実験例

本学には、原子力安全教育の目的で、ラジオアイソトープセンターに以下の機器を保管している。これらの機器を用いることで、放射線に対する基礎的な知識を習得することができる。本学で使用するのことができる機器一覧を以下に、これら機器を使用した実験例を次ページに示す。

- ・ ベーシックスケーラ、アロカ TDC-105、1台
- ・ GM管、アロカ GM-5004、1台
- ・ 測定台、アロカ PS-202、1台
- ・ ベータちゃん、千代田テクノル、5台、鉛板・鉄板・アクリル板付
- ・ シンチレーションサーベイメータ、アロカ TCS-171、5台、チェックングソース(^{137}Cs)付
- ・ 鉛ブロック、PBBLOCK2B、10個、放射線遮蔽材
- ・ 低温拡散型霧箱、島津 WH-50、1台、アルファ線源(^{241}Am)付
- ・ 低温拡散型霧箱用 CCD カメラ、1台

A. 目に見えない放射線を観測する

実験目的：

放射線は五感で感じるができないが、霧箱を用いて実験を行なうことにより実際に放射されている事を観測する。

教育項目：

放射線は五感で感じられない。線源からは放射状に放射線が放出される(図8-8)。α線の飛程は短く、紙で完全に遮蔽されるくらいに物質を透過する力は弱いですが、それだけにエネルギーをすべて物質に与えるので危険である。



図 8-8 α線の飛跡

実験材料：

低温拡散型霧箱、氷、氷水容器、氷水循環用ポンプとホース、エタノール(10ml)、スポット(1本)、ビーカー(50ml)、紙キャップ(α線遮蔽用、手製)、CCD カメラ、カメラ支持台(クランプまたは三脚)、モニタ(各系実験室のものを使用)、カメラ・モニタ接続ケーブル

手順：低温拡散型霧箱を使用する場合

- 1、低温拡散型霧箱、CCD カメラ、モニタ、氷水、循環用ポンプをセットする。
- 2、霧箱用のα線源を取り出し、放射線放出スリットから出ている放射線が目には見えないことを学生に確認させる。
- 3、霧箱内のフェルトにエタノールを染み込ませてα線源を霧箱に装着し、霧箱の電源と氷水循環用ポンプの電源を入れる。
- 4、霧箱窓内に放射線の飛跡が見えたら CCD カメラとモニタをセットして学生に観察させる。
- 5、α線の放出過程と性質及び遮蔽物質の選択について説明し、霧箱からα線源を抜き出す。
- 6、α線源の先端に紙製のキャップを装着し、霧箱に戻す。
- 7、しばらくして霧箱窓から放射線の飛跡が見えたら紙での遮蔽が可能なことを観察させ、説明する。

B.放射線の安全管理について

実験目的：

ガンマ線源(チェックソース)とシンチレーションサーベイメータを用いて放射線の遮蔽及び距離によるカウント数の変化を確認し、放射線を取り扱う際の時間・遮蔽・距離による安全管理を学習する。

教育項目：

ガンマ線源の性質(物質を透過する力が強い)、遮蔽材料の選択について。放射性同位元素を安全に使用するための「放射線源からの距離」、「放射線源との間に設ける遮蔽」「放射線源を取り扱う時間」について。

実験材料：

シンチレーションサーベイメータ、チェックソース、鉛ブロック

手順：

- 1、シンチレーションサーベイメータの電源スイッチを押して、計測可能な状態にする。
- 2、シンチレーションサーベイメータを適当な場所に置き、放射線源のない状態での測定値を記録する。時定数は30秒とし90秒以上経過後の数値を記録するのが望ましい。これをバックグラウンド値 A_{BKG} とする。
- 3、次にチェックソースを測定する。測定値から A_{BKG} を引いた正味の値が放射線源由来の値となる。
- 4、チェックソースとサーベイメータの間に鉛ブロックを置いた場合の測定値の変化から、鉛ブロックの遮蔽効果について確認する。
- 5、チェックソースとシンチレーションサーベイメータとの距離を2、3、4倍に伸ばした場合の測定値の変化から、線源との距離の効果について確認する。放射性同位元素からの距離と被ばく量との関係(距離2乗則)が確認できるが、この実験では点線源を用いていないので理論通りの減少は見られない。

C. 自然放射線の観測

実験目的：

自然界に存在するいくつかの物質中にも放射性同位元素が含まれていることを確認し、自然放射線及びその年間被ばく量について学習する。

教育項目：

自然放射線の存在と、ベータ線の性質(カリウム肥料など)。

実験材料：

ベータちゃんを含む測定実験キット

実験方法：

- 1、ベータちゃんの電源を確認し、実験キット内の各測定試料(花崗岩：80～100cpm、乾燥コ
ンブ：100～120cpm、塩化加里肥料：バックグラウンドの10倍程度、リン酸加里肥料：塩化
加里よりは低い値、湯の花：バックグラウンドの20倍程度、クリスタルガラス：60～80cpm
を測定してみる。
- 2、測定試料とベータちゃんの間には鉄板、アクリル板、鉛板を入れ、遮蔽の効果について確認
する。
- 3、測定試料とベータちゃんとの距離を2、3、4倍にしてカウント数の減少を確認し、距離を
とることの意味を確認する。

以上の他にも、放射性同位元素の半減期や遮蔽材厚さの効果に関する実験(GM計数装置)や放射性同位元素の計測分析による核種同定(放射線波高分析システム)などの原子力安全教育が可能である。

参考図書

1. よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱い、公益社団法人日本アイソトープ協会(2018)
2. 放射線安全取扱いの基礎、西澤邦秀編、名古屋大学出版会(2013)
3. わかりやすい放射線物理学、多田順一郎、オーム社(2018)
4. 放射線概論、柴田徳思編、通商産業研究社(2018)
5. アイソトープ手帳、社団法人アイソトープ協会
6. アイソトープ法令集(Ⅰ)、公益社団法人日本アイソトープ協会