

改訂版

よくわかる

放射線・アイソトープの 安全取扱い

現場必備！教育訓練テキスト



公益社団法人

日本アイソトープ協会

Japan Radioisotope Association

改訂版

よくわかる

放射線・アイトープの 安全取扱い

現場必備！教育訓練テキスト

改訂版 刊行にあたって

本書は、教育訓練用テキストとして、また放射線取扱入門書として1982年に刊行された「アイソトープの安全取扱入門—教育訓練テキスト—」、その後2005年に全面改訂された「放射線・アイソトープを取扱う前に—教育訓練テキスト—」の後継書として2018年に刊行された「よくわかる放射線・アイソトープの安全取扱い—現場必備！教育訓練テキスト—」の改訂版です。

近年、研究目的での放射線・RIの利用が減少する一方で、粒子線治療やRI内用療法といった医療分野での利用が大きく拡大しています。また、2011年3月の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故を契機として、放射線の正しい扱いを学ぶための放射線教育はますます重要性を増すこととなりました。

初版は、こうした放射線を取り巻く状況の変化に対応するために、初心者でも十分に理解し活用できるように内容を一新し、イラストや写真、およびコラムを充実しました。幸いに多くの事業所で教育訓練用テキストとしてご利用いただいています。

今回の改訂版では、2017年4月に改正公布された放射線障害防止法が2019年9月に放射性同位元素等の規制に関する法律（RI法）として完全に施行されたことを受けて、“第5章 法令”に新たな内容の追加、修正を行いました。RI法に対応して、「特定放射性同位元素」、「防護措置（セキュリティ対策）」などについて書き下ろしています。各事業所の実態に合わせて必要な項目を選び組み合わせることで、RI法のもとの新たな教育訓練に十分に活用できるものとなりました。

本書が、これまで以上に皆様方に活用していただき、効果的な教育訓練の一助となることを願ってやみません。これからもさらに充実したものとするために、ご使用いただいた皆様の忌憚のないご意見などをいただければ幸いです。

2020年2月

公益社団法人日本アイソトープ協会 放射線安全取扱部会
教育訓練テキスト改訂ワーキンググループ
主査 小野 俊朗

目次

第1章 はじめに	1
1.1 放射線の歴史.....	1
1.2 放射線の利用.....	4
1.2.1 医学利用.....	5
1) 診断.....	5
2) 治療.....	5
1.2.2 農業利用.....	7
1) 品種改良.....	7
2) 食品照射.....	8
3) 害虫駆除.....	9
1.2.3 工業利用.....	9
1) 計測応用.....	9
2) 機能性材料の創製.....	9
3) 滅菌・殺菌.....	10
1.2.4 そのほかの利用.....	10
1) 環境対策.....	10
2) 年代測定.....	10
第2章 安全取扱いの基礎	11
2.1 放射線および放射性同位元素 (RI) の基礎.....	11
2.1.1 原子および原子核の構造.....	11
2.1.2 放射性壊変.....	13
1) α 壊変.....	13
2) β 壊変.....	13
3) γ 線放出.....	15
2.1.3 放射線の種類と性質.....	16

1) α 線	17
2) β 線 (β^- 線と β^+ 線)	17
3) γ 線	18
4) X線	18
5) 中性子線	19
2.2 放射線の量と単位	19
2.2.1 放射能の単位	19
2.2.2 放射線量の単位	20
1) カーマ	21
2) 吸収線量	21
3) 等価線量	22
4) 実効線量	22
2.3 放射線の防護	23
2.3.1 外部被曝に対する対策	23
2.3.2 内部被曝に対する対策	23
2.4 放射線の測定	24
2.4.1 サーベイメータ	24
1) GM 管式サーベイメータ	24
2) シンチレーション式サーベイメータ	25
3) 電離箱式サーベイメータ	26
2.4.2 空間線量の測定	28
2.4.3 放射化の測定	28
2.4.4 個人被曝線量の測定	31
第3章 安全取扱いの実際	33
3.1 密封されていない RI の安全取扱い	33
3.1.1 内部被曝とその防護	33
1) 安全取扱いの3原則 (3Cの原則)	33
2) 内部被曝の経路	34
3) 内部被曝防護の5原則 (3D2Cの5原則)	34

4) 安全取扱いの注意点	35
3.1.2 作業計画と準備	38
1) 実験計画	38
2) コールドラン	38
3) 汚染対策	39
4) 作業開始前の汚染検査	40
5) 遮蔽材	41
3.1.3 放射化物の安全取扱い	41
3.1.4 RIの取扱い上の注意事項	41
1) 一般的な注意事項	41
2) ライフサイエンス実験における注意事項	44
3) 医学利用における注意事項	46
3.1.5 汚染の評価と除去	46
1) 汚染検査の方法	46
2) 汚染の評価	48
3) 物および身体表面の汚染除去	48
4) 施設内運搬時の汚染発生への対策	49
3.1.6 RI廃棄物の分類	50
3.1.7 管理区域外における下限数量以下の非密封RIの使用	51
3.1.8 事故事例と安全対策	51
3.2 密封されたRIの安全取扱い	52
3.2.1 密封線源	52
3.2.2 密封線源の種類と用途	54
3.2.3 日常点検	54
3.2.4 使用上の注意点	56
1) 破損防止	56
2) ワーキングライフ	56
3) 破損などの異常事態の発見	57
4) 紛失の防止	57
3.2.5 事故事例と安全対策	58

3.3	加速器の種類と特徴	59
3.3.1	直線加速装置（リニアック）	59
3.3.2	サイクロトロン	60
3.3.3	加速器からの放射線	62
3.3.4	加速器を安全に使用するために	62
	1) 被曝の低減・防止	63
	2) 放射線安全設備の点検	64
3.3.5	放射化	64
3.3.6	事故事例と安全対策	64
第4章	人体への影響	67
4.1	放射線障害の歴史	67
4.2	放射線のDNAおよび細胞への作用	68
4.3	放射線の人体（個体）への作用	71
4.3.1	身体的影響，遺伝性影響	71
4.3.2	早期影響，晩発影響	72
4.3.3	確定的影響（組織反応）	72
4.3.4	確率的影響	74
4.3.5	臓器・組織による放射線感受性の違い	76
4.4	身の回りの放射線	77
4.4.1	自然放射線被曝と医療被曝	77
4.4.2	低線量・低線量率被曝	79
第5章	法令	81
5.1	放射線防護と安全規則	81
5.2	放射性同位元素等の規制に関する法律の体系	83
5.2.1	放射性同位元素等の規制に関する法律	83
5.2.2	法体系とその考え方	85
5.3	定義および規制値	87
5.4	行為基準	92

5.4.1	使用の基準	94
5.4.2	保管の基準	95
5.4.3	運搬の基準	95
5.4.4	廃棄の基準	95
5.5	放射線業務従事者等の義務	96
5.5.1	健康診断の受診	96
5.5.2	教育訓練	97
5.6	放射線障害予防規程	98
5.7	放射線取扱主任者	99
5.8	事故および危険時の対応	100
5.8.1	事故等の報告	100
5.8.2	危険時の措置	101
5.9	特定放射性同位元素の防護	102
	付録	105
	索引	114

第1章 はじめに

1.1 放射線の歴史

19世紀末、我々の物質に対する知識は大きな進歩を遂げた。放射線、放射性物質の発見である。それ以来約1世紀が経過し、これらの利用は急速に進み、新しい学問や技術を社会に生み出し続けている。

1895年、ドイツの物理学者レントゲンは真空放電という実験をしていた。この実験はガラス管の両側にプラス極とマイナス極を置いて、管の中を真空にして電流を流すというもので、真空にしていくと普段は起こらない放電が簡単に起きようになり、管内の気体によりきれいな輝きが見られるものである。この現象の身近な応用はネオンサインである。この実験の最中に、レントゲンはガラス管を覆っている黒い紙を突き抜け暗室の蛍光板を光らせているものを発見した。彼はこの不思議な光を、代数でわからない未知数をX（エックス）とする習慣にならってX線と名付け、さまざまな実験を行った(図1.1)。図1.2のように、手を蛍光板に重ねてX線を当てると、骨の形がよくわかる写真が撮れた。

翌1896年、フランスのベクレルが、ウラン化合物からもX線と似たようなものが出て

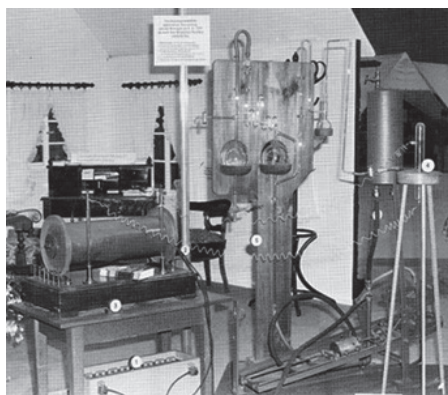


図1.1 X線発見当時の実験装置一式



図1.2 X線写真

いることを発見した。偶然、写真乾板の上に十字架の文鎮を置き、さらに重しが必要であったため、とりあえずウラン化合物の結晶を載せて机の引き出しに入れておいた。あとでそれを思い出し現像したところ、乾板に十字架がはっきりと写っていることを発見した（[図 1.3](#)）。ウラン化合物から何か不思議な光線のようなものが出ており、それには写真作用や蛍光作用、あるいは空気を電気の伝導体にする電離作用があることを知った。この場合には X 線の時のような特別な装置は何もなく、ウラン化合物自身から出ているので X 線とは違うものであると考え、ベクレル線と名付けて発表した。

これに注目したのが、当時フランスのパリにいたマリー・キュリー（キュリー夫人）で、夫のピエール・キュリー（[図 1.4](#)）とともに、ピッチブレンドというウランなどが多く含まれている鉱石から放射線を出す 2 種類の元素を発見し、彼女の祖国にちなんだポロニウム、ラテン語で放射を意味するラジウスという言葉からラジウムとそれぞれ名付けた。キュリー夫人は感光作用や電離作用、蛍光作用を示す能力に対して**放射能**、放射能をもつ物質から出る物を**放射線**と呼ぶことにした。

その後、キュリー夫人の放射能の発見に興味を持ったイギリスの物理学者ラザフォードは、1898 年に放射線には α （アルファ）線、 β （ベータ）線があること、またヴィラルの発見していた透過性が高く電荷を持たない放射線が電磁波であることを証明し、 γ （ガンマ）線と名付けた。

これらの成果を称えられて、レントゲン、キュリー夫妻、ベクレルそしてラザフォードへ、ノーベル賞が授与された。

放射線の発見、そしてその後の研究は、原子の内部構造を解き明かしていき、現代の物理学や化学の基本概念を構築した。

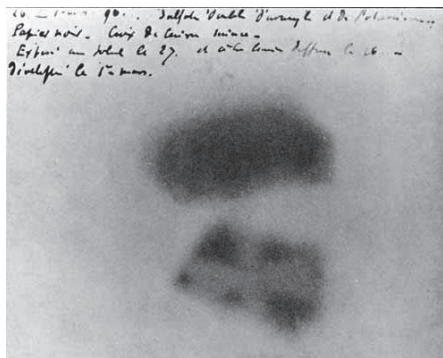


図1.3 写真乾板の十字架像

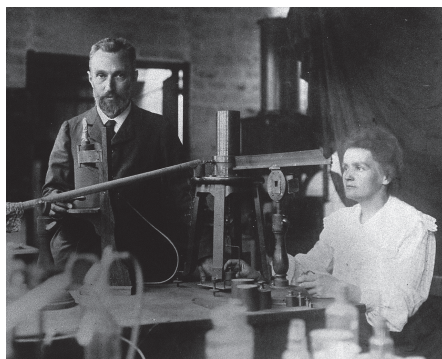


図1.4 マリー・キュリーとピエール・キュリー