

今、望まれている教育訓練—整理と提案—

安全取扱Ⅲ(密封・非密封・放射線発生装置)

滝 剣朗

安全取扱Ⅲでは、基礎、Ⅰ・Ⅱをすべて含めた内容で、専ら現場における注意点に関する内容が主となり、非密封、放射線発生装置を中心とする放射線防護に関する事項が主となる。

既に、Ⅱで密封線源の取扱いが説明されており、一部重複するかもしれないが、安全取扱の観点から再認識してもらうため項目を含む場合もある。

日本アイソトープ協会が主催する放射線教育訓練は、全く初めて使用する方と、再教育訓練として既に使用経験のある方が同じ講義内容で受講するのだが、本来なら別々に実施するのが理想である。しかしながら、講習会の都合上、一緒に実施せざるを得ないのが実態である。可能ならば、初心者と再教育訓練受講者に対して教育内容を変え、受講生のレベルに応じた内容で実施した方が望ましい。

また、非密封RI実験の場合、実験環境を考慮すると、アイソトープに対する安全取扱のほかに、針刺し事故又はアガロース突沸による火傷等の事故、各種ボンベ対策、毒物・劇物・向精神薬の試薬管理、微生物・遺伝子組換え生物・実験動物へのバイオセーフティ、研究倫理に対する配慮、それらの配慮(セーフティ)のほかに、有害物質に対するセキュリティ等が重要視されている。また、地震対策、火災対策等を考慮すると、単に放射線教育だけではフォローできない事柄が多々ある。

放射線発生装置の場合、研究用と医療用では放射化物の発生の有無、サンシャイン等の発生程度の相違があるので、一概に同じ講習会で説明することも問題が生じる場合がある。

安全管理を述べる場合、これまでは放射線教育だけすれば良かったのが、やはり、安全取扱の説明をするならば、各事業所に応じた総合的な説明が必要となるのが必至であると考えられる。ただし、個々の問題に関しては、別途、議論すべきであると思うので、ほかの機会に問題提起したいと考えている。したがって、今回は、安全取扱Ⅲは非密封・発生装置を主に述べさせていただくことにする。

最後に本当の安全管理を述べるのならば、放射性物質はあくまで有害物質の1つとして考えることにし、その上で放射線防護を考慮すべきであろう。

それぞれのテーマの教育について、項目別に必須の項目(以下、必須項目)、必須項目ではないが重要な項目(選択項目A)及び必要であればふれるもの(選択項目B)に分けて表示を行った。その具体例は次の通りである。

なお、最後に身近な資料から講習会資料として活用できる例を示すので、参考にしていただきたい。

- Ⅰ. 線源の種類と透過力(選択項目A)
- Ⅱ. 密封線源の安全取扱
 - 1. 放射線管理上の注意点(必須項目)

2. 各種遮へい材の活用（選択項目 A）
 3. 線源登録制度（選択項目 B）
 4. 密封線源使用機器の例（選択項目 B）
 5. 移動使用時の注意（選択項目 A）
 6. サーベイメータ測定時の注意点（時定数、エネルギー特性、方向依存性、測定器選択理由、実用量等）（必須項目）
- Ⅲ. 非密封線源の安全取扱
1. 外部被ばくと内部被ばくの相違点（必須項目）
 2. 外部被ばく及び内部被ばくの特徴（必須項目）
 3. RI の物理的状態、化学的状态（選択項目 B）
 4. 標識化合物の安定性（分解、分解抑制）（選択項目 B）
 5. 放射性医薬品の安全取扱（厚労省放射性医薬品の製造及び取扱規則）（選択項目 B）
 6. RI 実験の計画と準備（必須項目）
 7. RI 取扱い上の注意（必須項目）
 8. 動物実験、微生物、遺伝子組換え実験時の注意（選択項目 A）
 9. ドラフトチャンバーと安全キャビネット使用時の注意点（選択項目 B）
 10. 外部被ばく及び内部被ばく防止のための設備、用具（必須項目）
 11. 保管、運搬に関する注意点（必須項目）
 12. 管理区域退出時の注意点（選択項目 A）
 13. 表面汚染の評価と汚染の除去（必須項目）
 14. サーベイメータ測定時の注意点（測定器選択理由、汚染防止対策等）（必須項目）
 15. 放射性廃棄物（液体・固体・粉体等）の分類と取扱い上の注意（選択項目 A）
- Ⅳ. 放射線発生装置の安全取扱
1. 放射線発生装置の種類と特徴（必須項目）
 2. 発生装置からの放射線防護（制動放射線、放射化、2次放射線、中性子発生、スリットビーム、スカイシャイン及びグランドシャイン等）（必須項目）
 3. 自動表示装置及びインターロック、非常停止ボタン等の安全管理システム（必須項目）
 4. 残留放射線及び放射線モニタリングシステム（必須項目）
 5. 放射化物の安全取扱（必須項目）
 6. トリチウム発生時の汚染対策（選択項目 B）
 7. 診療用放射線発生装置の安全取扱（PET 廃棄物管理も含む）（必須項目）
 8. サーベイメータ測定時の注意点（漏洩線量測定及び高線量測定等に対する測定器選択理由）（必須項目）
- Ⅴ. 事故・危険時の措置
1. 事故、危険時の定義（選択項目 A）
 2. 応急措置の原則（必須項目）
 3. 事故発生原因と対策（必須項目）
 4. 日常の防止対策（地震、火災訓練等）
 5. 緊急連絡時における注意点（選択項目 B）
 6. 被ばくに係る異常時の措置（選択項目 A）
 7. 地震、火災時の措置（選択項目 A）
 8. 再発防止対策（必須項目）
- Ⅵ. その他
1. ケミカル及びバイオハザード対策との連携（選択項目 A）
 2. ヒューマンエラー対策（選択項目 B）
 3. セーフティ、リスクアセスメント及びセキュリティ（選択項目 A）

VII. 参考

下記のフリーイラストはよくパワーポイント等で利用されているが、例として、非密封アイソトープ安全取扱の観点から、現行法令等を基準にした場合、何が問題であり、どのように対策する必要があるかを、受講生とともにディスカッションすることにより、安全に対する基本的から応用への考え方、意義等への習得に利用できるのでは紹介する。



解説例：

1. 白衣の前が開いている、手袋の未使用

等、保護具の着用が適切ではない。

2. 必要に応じた遮へいをしていない。
3. トリチウム、ヨウ素等の揮発・拡散性のあるアイソトープを使用する場合、ドラフト内で使用してない。
4. 汚染の可能性がある（汚染防護対策が不十分である）。
5. 内部被ばくの可能性がある。
6. 個人被ばく線量計を着用していない。
7. 唯一、良い点は、保護メガネを使用している。
8. その他

このような身近な資料からでも講習会資料として十分活用できる。参考にしていただきたい。

【安全取扱Ⅲ担当委員：角山雄一，庄司美樹，
滝 剣朗，山下順助】
(理化学研究所筑波研究所安全管理室)

法 令

放射線障害防止法は“放射線障害の防止”と“公共の安全確保”という2つの大きな目的があり、この目的を達成するために次の4つの基本的考え方により構成されている。①許可又は届出の制度，②放射線施設の基準，③安全管理に関する義務，④自主的な管理，である。新規の教育訓練受講者に対してはこれらの4項目について、特にそれぞれの要点を簡明に説明することが必要である。例えば“安全管理に関する

義務”については“人に関する事項”“場所に関する事項”及び“行為に関する事項”についてである。

法令に必須の項目（以下、必須項目）は大項目として2つある。1つ目は放射線障害の防止に関する諸法令について紹介し、それぞれの関係について解説する。また、法令の構成について解説する。2つ目は放射線障害防止法について、その内容を具体的に解説する。それぞれの

小野 俊朗

安全管理に関する義務

人に関する事項	教育訓練、健康診断、被ばく線量の測定
場所に関する事項	管理区域の設定、放射線の量及び汚染の状況の測定
行為に関する事項	使用、保管、廃棄、運搬等についての基準の遵守

項目の具体例は次の通りである。

1. 放射線障害の防止に関する諸法令

1-1 原子力基本法

原子力基本法の目的とその三原則について説明する。

1-2 原子炉等規制法

1-3 放射線障害防止法

放射性同位元素および放射線発生装置による放射線障害の防止に関する法令

- 原子力基本法（1955年） 原子力利用は平和目的に限定。
民主・自主・公開の三原則
 - 民主的な運営のもとに、
 - 自主的にこれを行い、
 - その成果を公開する。
 - 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）（1957年）
 - 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）（1957年）
- 目的：放射線障害を防止し、公共の安全を確保する。

制定の背景
原子力の平和利用の推進
—原子力発電
第五福竜丸事件

2. 放射線障害防止法

2-1 目的

“放射線障害の防止”と“公共の安全確保”の2つの目的について説明する。さらに、この目的達成のための4つの手段について詳しく説明する。

2-2 定義

2-2-1 放射線発生装置

2-2-2 放射線

2-2-3 放射性同位元素

密封された放射性同位元素と密封されていない放射性同位元素について法令定義数量とともに説明する。特定設計認証、設計認証機器等の密封線源についても説明する。

法令定義数量

核種名	数量 (MBq)	濃度 (Bq/g)
H-3	1,000	1×10^6
S-35	100	1×10^6
P-32	0.1	1,000
Ni-63	100	1×10^5
I-125	1	1,000
Co-60	0.1	10
Cs-137	0.01	10
Sr-90	0.01	100

密封線源



2-2-3 放射線業務従事者

2-2-4 線量

実効線量，等価線量について説明する。

2-3 表面密度限度

2-4 測定

“場所”及び“個人被ばく線量”の測定について説明する。“個人被ばく線量”の測定については外部被ばく線量及び内部被ばく線量についてそれぞれ説明する。

2-5 放射線業務従事者の線量限度

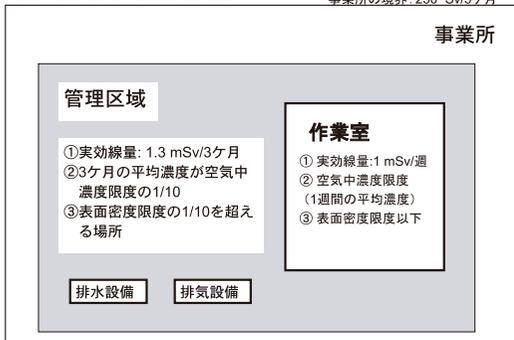
実効線量限度，等価線量限度について説明する。女性の線量限度も説明する。緊急作業に係る被ばくにも言及する。

2-6 使用施設の基準

放射線施設と作業室，管理区域，事業所の境界等の線量限度等の法規制値について説明する。

場所等に関する法規制値

事業所の境界: 250 Sv/3ヶ月



- 2-7 記帳
- 2-8 放射線障害予防規程
- 2-9 取扱基準 (行為基準)
 使用, 保管, 廃棄, 運搬の基準についてそれぞれ説明する。

行為基準

使用の基準

- 実効線量限度、等価線量限度を超えない
- 表面汚染密度を超えない
- 飲食、化粧、喫煙の禁止
- 空气中濃度限度を超えない
- 作業着、保護具を着用すること
- 退出時の汚染の検査と除染
- 表面汚染密度の1/10を超える汚染物は管理区域から持ち出さない
- 放射性廃棄物の適正な分別廃棄
- 注意事項の掲示
- みだりに人が立ち入らないための措置

ICRP とその勧告及び放射線防護体系について、“放射線障害の防止に関する諸法令”の前に説明する。

- 2. “放射線障害の防止に関する諸法令”の中で“国内の法律体系”(法律, 政令, 規則, 告示の関係)及び「各種の放射線源に係る法令」, 特に電離放射線障害防止規則にふれる。さらに, “放射線障害防止法の適用外の放射性物質”を説明する。
 必要であればふれるもの(選択項目 B)としては次のものがある。
 1. 講義の最初に“放射線と放射能の発見”などの歴史的な背景を入れるのもよいと思われる。
 2. 必須項目の“放射線取扱主任者”の項目の中では“定期講習”がこれに相当する。

日本における放射線関連研究

長岡半太郎	1903年	原子模型 (土星状模型) の発表
寺田 寅彦	1913年	結晶構造分析を開始
飯盛 里安	1920年	アイソトープに「同位体」「同位元素」の日本語訳
湯川 秀樹	1934年	中間子説の発表
仁科 芳雄	1937年	宇宙線の研究 (ミュー粒子の発見一米のグループより2ヶ月遅れの発表)
	1937年	26インチ (28トン) サイクロトロン の完成 -放射線の化学・生物学への利用
	1940年	速中性子によるウラン核分裂生成物の同定
	1944年	60インチ (200トン) サイクロトロン の完成
	1950年	米よりラジオアイソトープ (^{125}Sb , ^{131}mI) の輸入

- 2-10 教育訓練
- 2-11 健康診断
- 2-12 放射線取扱主任者
- 2-13 危険時及び事故時の措置
 地震, 火災その他の危険時, 及び放射性同位元素の盗取, 所在不明の際にとるべき措置と行為について説明する。
 必須項目ではないが重要な項目 (選択項目 A) としては次のものがある。

1. 国際放射線防護委員会 (ICRP)

新規教育訓練受講者にとり, “法令”は具体的にイメージできないものであると予想される。放射線取扱主任者あるいは安全管理担当者には必須の項目すべてが受講者にも必要な項目であるということではない。1時間の講義をあきさせないで集中してもらうためには, 具体例 (施設の写真等を活用して) を示しながら, 簡明に要点をしぼって説明して理解してもらう努力が私たちには求められる。そのためにも, 例えば講義の冒頭で放射線利用の歴史等を入れるの

主任者 コーナー

も効果がある。この例のように世界的水準にあった日本における放射線関連研究の歴史を紹介し、その後の原子力基本法の制定の背景（政治的背景も含まれる）についても解説することで、

関係諸法令への理解も深まると考えられる。

【法令担当委員：小野俊朗，島崎達也，
滝 剣朗，山下順助】

（岡山大学自然生命科学研究支援センター）

人体影響

角山 雄一

放射線の人体影響について学ぶことの最大の目標は、受講者各個人が“どのように放射線が人体に作用を及ぼすのか？”ということについて、その仕組みを危険性と併せて具体的に理解することにある。作業従事者として放射性同位元素や放射線を取り扱う際には、過度に臆することなく、かつ適切な防護措置を取ることが要求されるが、人体影響で取り上げる内容は、このような防護上の知識として大変有益である。

講師の立場から見ると、人体影響の科目は比較的教えやすい教科であるという印象がある。なぜなら、受講者の大半が高い当事者意識を持って講義に臨むという傾向があるからである。聴講生の真剣さを感じれば、自ずと教える側のモチベーションも高まることであろう。しかしその一方で、講師が受講生の多様なバックグラウンドに合わせて説明内容を調節しなければならないという難しさも併せ持つ。受講者が医師の場合もあれば、DNAの理解すら曖昧な者に生物学の基礎から解説しなければならない場合もあるだろう。また、生物学や医学に関する知見というものは日進月歩で、常に更新され続けている。したがって、講師がそれをどこまで取り入れるべきなのか、取捨選択の判断に悩むのもこの科目の大きな特徴の1つである。

以下、多様な受講生のニーズに的確に対応することを想定し、人体影響に関する項目を整理する。併せて各項目についてランク付けを行い、その上で今後の検討課題について簡単な考察を試みたい。

人体影響に関する項目

最低限の知識として教えるべき事項を“必須項目”，必須ではないが重要だと思われる事項を“選択項目A”，講義時間や受講生のバックグラウンドに応じて必要であれば説明すればよい事項を“選択項目B”とし、本教科で受け持つべき項目を列記する。なお、各項の番号は講義において教える順番を示すものではない。また、分類が困難な項目については“その他”にまとめた。

1 放射線影響の時間的流れ（必須項目）

分子レベルから細胞，組織，個体のレベルに至るまで，放射線被ばくにより様々なスケールで起こる生体反応を時間軸に沿って俯瞰的に概説する。

2 生物作用の初期過程

水分子や生体高分子のレベルで生ずる放射線影響について解説する。

2-1 ラジカル

2-1-1 ラジカル, 水和イオン(必須項目)

2-1-2 スカベンジャー, 増感剤
(選択項目 A)

2-2 直接作用と間接作用 (必須項目)

2-3 線エネルギー付与 (LET), 生物学的
効果比 (RBE) (必須項目)

3 DNA 損傷と修復

DNA が損傷し, それらが修復されるまでの過程や仕組みを解説する。

3-1 DNA の構造 (選択項目 B)

3-2 紫外線による損傷と修復(選択項目 B)

3-3 電離放射線による損傷(一本鎖切断,
二本鎖切断) (必須項目)

3-4 相同組換修復と非同源末端結合修復
(選択項目 A)

3-5 突然変異(点突然変異, フレームシフト,
欠失, 重複, 挿入) (選択項目 A)

3-6 染色体異常 (選択項目 A)

4 細胞における放射線影響

細胞への放射線影響について, 細胞周期や細胞死との相関を解説する。

4-1 細胞周期と放射線影響

4-1-1 細胞周期の基礎 (選択項目 B)

4-1-2 放射線感受性の細胞周期依存性
(必須項目)

4-1-3 チェックポイント (選択項目 B)

4-1-4 増殖死と間期死 (選択項目 A)

4-2 ネクロシスとアポトーシス
(選択項目 B)

4-3 細胞生存率曲線 (選択項目 A)

4-4 標的理論とヒット理論 (選択項目 B)

4-5 亜致死損傷回復と潜在的致死損傷回復
(選択項目 A)

5 放射線生物影響の分類

ICRP1977年勧告(Pub.26)に基づいた放射線障害の分類の解説, 並びに組織荷重係数の高い組織への放射線影響の機序を組織ごとに紹介

する。

5-1 急性障害と晩発障害 (必須項目)

5-2 確定的影響と確率的影響(しきい値)
(必須項目)

5-3 各組織への影響

5-3-1 組織荷重係数(バルゴニー・トリ
ボンドの法則) (必須項目)

5-3-2 各組織での影響や障害(造血組織,
皮膚, 水晶体, 生殖腺, 胎児)
(選択項目 A)

6 発がん

発がんの仕組みの基礎を知り, 確率的影響についての理解を深める。

6-1 発がんの基礎

6-1-1 DNA 損傷を介した発がん機構
(選択項目 A)

6-1-2 DNA 損傷以外の因子を介した発
がん機構 (選択項目 B)

6-2 LNT 仮説 (必須項目)

6-3 原爆被爆と白血病 (選択項目 B)

6-4 チェルノブイリ原発事故と小児甲状腺
癌 (選択項目 B)

6-5 重粒子線治療(ブラッグピーク, 酸素
増感比, バイスタンダー効果)
(選択項目 B)

7 遺伝的影響

動物実験や広島・長崎の被爆データにより明らかになっていることを概説する。

7-1 遺伝的影響の種類 (選択項目 A)

7-2 動物実験における遺伝的影響
(選択項目 B)

7-3 ヒトにおける遺伝的影響(選択項目 A)

8 外部被ばくと内部被ばく

外部被ばくの影響, 内部被ばくに至る経路, 及び内部被ばくに関する注意事項などについて解説する。

8-1 外部被ばくと内部被ばく (必須項目)

- 8-2 内部被ばくの経路（経口，吸入，経皮接種）（必須項目）
- 8-3 実効半減期（選択項目B）
- 8-4 臓器親和性（ボーンシーカー等）（選択項目A）
- 8-5 被ばくのモニタリング（ホールボディカウンター，バイオアッセイ等）（選択項目A）

9 その他

前記8項に網羅されていない以下の専門用語について解説する。ほかの教科との重複に注意。

- 9-1 放射線荷重係数と等価線量（必須項目）
- 9-2 組織荷重係数と実効線量（必須項目）
- 9-3 集団等価線量と集団実効線量（選択項目B）
- 9-4 預託等価線量と預託実効線量（選択項目B）
- 9-5 線量預託（選択項目B）

今後の検討課題

このように列記してみると、項目が非常に多岐にわたるため、短時間の講義ですべてを教授することがいかに困難であるかが分かる。また、今回は古典的な教科書レベルに準じて項目を整理したため、最新の生物学的・医学的見地とは一致しないものもあるように見受けられる。さらに、東日本大震災に起因する長期低線量被ばくに対する一般市民の懸念という深刻な問題も重なるため、これらの up to date な情報や知見をどこまで取り入れていくのか、ということも今後の課題である。

以下、これらの検討課題について述べる。

①項目選択の基準と解説順序

受講者にある程度の生物学的な背景や知識がある場合には、ほぼ前記の順に従って講義を進めても差し支えがないものと思われる。すなわ

ち、生体影響の全体の俯瞰から始まり、放射線が体内で引き起こす種々の反応を時間経過に沿って解説していくという手法である。講義時間に余裕があれば、DNA 損傷や修復を軸に発がんをはじめとする放射線が起因となる諸症状の機序についてより詳細な講義内容を展開することも可能であろう。しかし生物系ではない受講者を対象とする場合、例えばDNA について、言葉としては理解をしてもその詳細を知る者はまれである。このような受講者に対して、生物学の基礎から解説する時間的余裕はほとんど望めないであろう。先の主任者部会年次大会（山形テルサ）では、このようなケースの時は、順序を逆に被ばく影響による症状から解説を始めた方がよいのではないか、という指摘があった。十分検討に値する御意見だと思われる。

②発がん説の再検討

従来の教科書的な解説では、発がんはDNA の修復ミス等による変異の蓄積によって引き起こされるという説が採用されてきた。いわゆるDNA を主軸とした二段階発がん説や多段階発がん説である。これらの説は、生物学の初心者に対して発がんのメカニズムを説明する場合には、概ね十分である。しかし学際的には、低線量被ばくに関わる様々な問題を正確に理解しようとするのであれば、DNA の変異だけでは発がんは説明し切れないというのが近年の傾向である。教育訓練においても、次第に明らかになりつつある新たな知見と矛盾が生じないように、放射線被ばくによる発がんについて教科書レベルから内容の再検討を始めるべきであろう。

③東京電力福島第一原発事故に関連する事柄

原発事故を契機に、一般市民の放射線に対する不安が相当高まっている。特に、長期低線量被ばくについては深刻な懸念が広がっている。受講者たちも低線量被ばくによる影響について

は大いに興味のあるところであろう。教育訓練は、できるだけ多くの人材に正しく放射線影響を理解していただくための絶好の機会と成り得ると考えられる。しかし、市民の生活や利害に直結するような内容を提供する以上は、まず担当講師自身が正しい知識を有していなければならないのは当然のことである。防護単位シーベルトの算出・評価方法、実効線量と等価線量、預託線量、LNT仮説と100 mSvの根拠、発がんなどの人体影響発生の仕組み、外部被ばくと内部被ばく、原爆やチェルノブイリ原発事故と福島第一原発事故との違い等について、ある程

度統一した見解や基準を我々講師たちが共有しておく必要がある。

以上、検討課題も含め今後更に各項目の一つひとつについて丁寧に考えていく必要があるものばかりであるが、せめて今回の試みが本教科を担当される講師の皆様の議論の緒となれば幸いである。

【人体影響担当委員：宮越順二，滝 剣朗，
角山雄一】

(京都大学環境安全保健機構
放射性同位元素総合センター)

アイソトープ手帳 (11版)

編集・発行 (社)日本アイソトープ協会 【2011年1月発行】
変型 A6判・195頁 定価 2,100円 会員割引価格 1,890円 (消費税込)

RI・放射線に関する基礎から応用、保健物理までを含めた放射線取扱者必携のデータ集です。

11版では、「おもな放射性同位元素の表」のデータを全面的に見直し、収載核種も405と大幅に増強(10版・319核種)。実効線量率定数・空気衝突カーマ率定数・1 cm線量当量率定数は、核種から放出されるエネルギー10 keV以上/30 keV以上のすべての光子を対象として計算値を示しました。また、ICRPの1990年勧告と2007年勧告の対比、最新のUNSCEAR 2008年報告にも目を配った編集となっています。



〒113-8941 東京都文京区本駒込 2-28-45
TEL (03) 5395-8082 FAX (03) 5395-8053

- ◆ご注文はインターネットまたはFAXにてお願いいたします。
JRIA Book Shop : <http://www.bookpark.ne.jp/jria>
BookPark サービス : FAX (03) 5227-2060
- ◆書店でご注文の際は「発売所 丸善出版」とお申し付け下さい。