



# 2025

## 放射線取扱者再教育訓練資料 No.43 (2025)

---

- 1** 1. トリチウムの特徴とその人体及び環境への影響  
柿内秀樹
  
- 3** 2. さまざまな加速器の特徴と利用上の留意点  
山下真一・坂上和之
  
- 6** 3. 核燃料物質の特徴とその法令上の位置づけ  
飯塚裕幸
  
- 8** 4. 研究用エックス線装置の種類と構造  
飯尾智
  
- 11** 5. 東大放射線取扱者登録管理システム UTRadMS  
の概要と利用上の留意点  
久木田沙斗里



# 1

## トリチウムの特徴とその人体及び環境への影響

**ト**リチウムは $^3\text{H}$ またはTと表され、陽子1個と中性子2個からなる水素の放射性同位体です。このトリチウムは半減期12.3年で $\beta$ 壊変してヘリウム-3になります。自然界において、トリチウムは高層大気中で宇宙線と大気中の窒素や酸素との核反応で日々作られており、その量は年間200g程度と見積もられています。このように生成したトリチウムは主に空気中の水蒸気、雨水、海水中に水として存在し、普通の水と共に自然界を循環しています。一方、人間の活動によって環境中に放出されるトリチウムもあります。過去には大気圏核実験から大量にトリチウムが放出され、1963年には東京の降水においてトリチウム濃度は自然界のレベルと比較して最大100倍以上上昇したことが観測されました。この降水中トリチウム濃度は大気圏核実験停止後に漸次減少して、60年以上経過した現在ではほぼ自然界の定常レベルに落ち着いています。また、平和利用として原子力発電所や使用済み燃料再処理施設等の原子力関連施設では主に $^{235}\text{U}$ や $^{239}\text{Pu}$ の三体核分裂によりトリチウムが生成します。運転に伴い生成したトリチウムは通常の運転でもわずかに環境へ放出されますが、事故等の非常時にも環境へ放出されます。例えば、2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故では、環境中に放射性セシウムが放出され、環境中に拡散されましたが、同様にトリチウムも事故直後に海洋、陸上に拡散したと考えられ、観測により裏付けされています。現在、福島第一原子力発電所では廃炉に向けて作業が進んでいますが、炉内には多くの放射性物質を含んだ水が存在し障害となっています。その水からほとんどの放射性核種を取り除くことができますが、トリチウムだけは取り除くことができないため、社会的に関心が高まったことは記憶に新しいところです。さらに、将来のエネルギーとして期待され、現在研究開発が進められている核融合炉は燃料としてトリチウムを用います。現在フランスで建設中の核融合炉ITERでは、燃料としてトリチウムを最大4kg保持することになると考えられています。この量は、地球上に存在するトリチウムをすべて集めた量に匹敵する量です。そのため、核融合発電ではこれまで人類が経験したことのない高濃度の大量トリチウムを使用するため、今後その取り扱いには細心の注意が必要と考えられています。

トリチウムは水素の同位体であるため、環境中では水素を含む物質のすべてにトリチウムが存在しています。したがって、環境中に存在するトリチウムの化学形としては、自然界に存在する水に含まれるトリチウム水、大気中の水蒸気に含まれるトリチウム水蒸気 (HTO)、大気中に存在する分子状トリチウム (HT) や炭化水素状トリチウム ( $\text{CH}_3\text{T}$ )、動植物体内に含まれる組織内自由水に含まれるトリチウム (Tissue free water tritium; TFWT)、動植物の体を作っている有機物として存在する有機結合型トリチウム (Organically bound tritium; OBT) が代表的なものです。それぞれに含まれるトリチウムはその存在場所や化学形の違いにより、環境中の動き方も大いに異なるため、それぞれ分けて考える必要があります。そしてトリチウムは $\beta$ 線放出核種であるため、人への影響を考える場合は体内摂取、すなわち内部被ばくが重要です。国際放射線防護委員会 (ICRP) が提示しているトリチウムの化学形別の線量係数 (Sv/Bq)、すなわち単位摂取放射能当た

りの吸入摂取による実効線量は、トリチウム水蒸気 (HTO) が、分子状トリチウム (HT) の 10000 倍とされています。また、有機結合型トリチウム (OBT) は、経口摂取により人の体内に摂取された場合、体内の各臓器で消化され、その多くは体外へ排出されますが、一部は組織に取り込まれてタンパク質、脂肪、糖などの生体分子の一部になるため、水に比べて体内から出にくい性質があります。その結果、体内での残留時間が長くなるため、線量評価をする際、OBT の線量係数はトリチウム水の約 2.3 倍と見積もられています。したがって、トリチウムによる被ばくを評価する場合には、その化学形を考慮して分析することが重要です。

水として存在するトリチウムを測定するには、蒸留・精製して、不純物を取り除いてから、液体シンチレーションカウンターを用います。この液体シンチレーションカウンターとは、放射線が作用すると光を出す物質 (蛍光物質) を溶かしてある液体 (これを液体シンチレーターという) にトリチウムを含む水を混ぜ合わせて、出てくる光を測定する装置です。トリチウムガス (HT)、トリチウム化メタン ( $\text{CH}_3\text{T}$ )、有機結合型トリチウム (OBT) など水以外の化学形を持つトリチウムを測定するには、これらを燃焼させて含まれるトリチウムをトリチウム水に変えてから水と同様にして測定することが一般的です。現在の降水中トリチウム濃度は、大気中核実験により一時的に上昇が認められましたが、先に述べたように自然界のバックグラウンドレベルまで減衰し、その濃度は年間平均として  $1 \text{ Bq L}^{-1}$  を大きく下回ります。液体シンチレーションカウンターは感度の高い測定装置ですが、高感度のもので検出下限値は  $0.3 \sim 1 \text{ Bq L}^{-1}$  であり、現在の一般環境の降水中トリチウム濃度水準を評価するには感度が不十分です。したがって、その分析には水試料を電気分解してトリチウムを濃縮する操作を組み合わせることで行われています。一方、原子力関連施設からもわずかにトリチウムが生成され、法規制の濃度限度 (実用発電用原子炉の設置・運転等に関する規則の規定に基づく線量限度を定める告示) を確認後放出されることになっています。周辺監視区域外の水中濃度限度は  $60,000 \text{ Bq L}^{-1}$  とされていますが、日本では飲料水についての基準は特に定められていないのが現状です。しかし、ICRP (publication 72) によれば、一般成人男子が  $76,000 \text{ Bq L}^{-1}$  の水を 1 日当たり 2 L、1 年間経口摂取した場合に約 1 mSv と見積もられており、施設から排出されたトリチウムによる一般公衆に対する線量が 1 mSv を超えることはないと考えられます。実際にトリチウムが  $60000 \text{ Bq L}^{-1}$  の濃度で放出された場合、トリチウムは環境中を拡散・希釈されます。したがってその影響を受けたとしてもその濃度は放出時より低くなり、1 mSv を超えることはないと考えられます。福島第一原子力発電所では炉内に貯留された水を多核種除去装置によりトリチウム以外の核種を取り除く処理を行っています。この処理水について、政府はさらに厳しい基準としてトリチウム濃度を  $1500 \text{ Bq L}^{-1}$  を上限として管理放出しています。この濃度は周辺監視区域外の濃度の  $1/40$  であり、処理水の放出により一般公衆に対する影響が 1 mSv を超えることはないと考えられます。

柿内秀樹  
環境科学技術研究所  
教育項目：法令・人体影響

# 2

## さまざまな加速器の特徴と利用上の留意点

**医**療（診断、治療、等）、製造業（半導体、タイヤ、等）、農業（品種改良、食品照射、等）など、放射線は様々な分野で利用されている。一方で、放射線を被ばくしてしまうと様々な障害が起きえる。放射線障害の防止のために、放射線発生装置や放射性同位元素等の取り扱いは法律（放射性同位元素等の規制に関する法律、以下 RI 規制法）によって規制されている。この法律において、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政令で定めるもの」と定義されており、加速器のことと理解できる（ただし、表面から十センチメートル離れた位置における最大線量当量率や加速エネルギー等による除外規定もある）。

加速器 (accelerator) とは荷電粒子を電場で加速する機器の総称で、大まかには静電加速器と高周波加速器 (RF 加速器)<sup>1</sup> に分類される。コッククロフト・ウォルトン型やバンデ・グラーフ型といった静電加速器は静電場（時間的に変動しない電場）により荷電粒子を加速する。高電圧が常に印加されるため放電が起り易く、これによって 20 MV 程度に加速電圧が制限され、加速エネルギーにも限界が存在する。一方、リニアック、サイクロトロン、シンクロトロンといった高周波加速器では周期的に変化する高周波電場を用いる。高周波の波に合わせて集群された荷電粒子を連続的に加速することができ、高いエネルギーに到達することができる。加速器の種類や特徴については高エネルギー加速器セミナー OHO のテキスト等を参照されたい<sup>[1]</sup>。

加速器から供給される荷電粒子のビーム（荷電粒子線）を利用する場合、がん治療などの非常に特殊なケースを除き、ユーザが直接このビームに曝されないことが必須となるほか、空気や試料等の物質と荷電粒子の相互作用で発生する二次的な放射線、すなわち制動放射や放射化物からの放射線にも注意が必要である。ビーム取り出し口付近の試料やビームダンプは放射化し易く、長時間あるいは高線量の照射を行った後に入室する際には慎重に放射線量の確認（サーベイ）を行う必要がある。

また、RI 規制法においては、自動表示装置とインターロックを設けることが義務付けられている。自動表示装置とは、放射線発生装置の使用を部屋の出入口に自動的に表示するもので、ユーザは前以てその位置を確認しておく必要がある。インターロックとは、放射線発生装置の使用時の入室を防止する機構のことで、部屋の出入口の扉が確実に閉じていることを確認するリミットスイッチ等が用いられる。ユーザが誤って閉じ込められることを防ぐ観点でインターロックを利用することもある。そのような場合には、個人キーを各ユーザが入室時に携行することで全てのユーザが退室しない限りインターロックが解除されないように設計される。直接のリスクではないが、遠方から来たユーザが誤って個人キーを持ち帰ってしまうと、加速器の運転に支障がでることもある。

放射線の直接の影響のほか、帯電（チャージアップ）や加熱といったリスクにも配慮が必要である。絶縁体（アクリル等）の板に対しその板厚より短い飛程の電子ビームを照射

<sup>1</sup> 高周波は英語では Radio Frequency のことであり、「高周波加速器」と「RF 加速器」は基本的に同じ意味で用いられる。本稿では「高周波加速器」を統一して用いる。

すると、ビーム中の電荷が蓄積され、あるところで絶縁破壊が起こり、分岐放電にともなうリヒテンベルク図形<sup>2</sup>が形成される。試料を保持する治具や架台の接地（アース）が適切でない場合、同様の放電により周辺機器の破損あるいは状況によっては火災につながるおそれもある。

荷電粒子は加速により高い運動エネルギーを与えられているため、これを受け止め続ける試料やビームダンプは加熱される。一般的には放熱性を十分考慮した体系を用いるが、条件が揃うと局所的な加熱が起こり得る。加速エネルギーやビーム電流（線量率）が高いと熱の供給が早く、試料等が加熱しやすい。また、荷電粒子の飛程が短いと浅い領域に密なエネルギー付与が起こり局所的な加熱が起こりやすい。この結果、試料の融点や沸点が低いと溶融や蒸散のおそれが出てくる。特に高密度な試料やビームダンプを用いて高い線量率や繰り返し数で照射を行う際には、慎重に確認する必要がある。

加速エネルギーが高いほど核反応による放射化が起きやすく、概ね核子の結合エネルギーの平均値（8 MeV 程度）以上になると重要になる。より正確には、加速される荷電粒子（種類とエネルギー）と標的物質の組み合わせによって核反応の断面積は異なり、場合によっては多段の複雑な反応も起こりうる。試料や支持治具のほか、ビーム取り出し窓やビームダンプ、さらには周囲の空気の放射化について事前の把握しておく必要がある。また、がん治療に用いられる GeV 級の重イオン加速器からのビームでは、核破砕反応（フラグメンテーション）が無視できない。核破砕が起こる際、ビーム中の粒子の速度はあまり影響を受けず、質量や電荷だけ小さくなる。例えば炭素イオンが核破砕すると、同程度の速度の陽子（水素イオン）が多く発生する。同じ速度の炭素イオンと水素イオンを比べると、飛程は後者の方が長い。核破砕は深さ方向の線量分布に影響を与える。最近ではこうした計算が可能な PHITS や Geant4 といった汎用性の高いシミュレーションツールも普及している。

放射化と加熱の事例として、2013 年の J-PARC ハドロン実験施設での放射性物質漏えい事故があげられる。当時、50 GeV シンクロトロンで陽子ビームを発生させ、金の標的に照射することで素粒子（K 中間子や  $\pi$  中間子等）の二次ビームを発生させていた。標的の加熱対策として熱電対による監視のほか冷却も行われていた。しかし、想定外の瞬間的な照射によって標的の一部が溶融してしまった。溶融した標的が大気中に流出し、事故以前の照射で蓄積していた放射性物質が漏えいするに至った、と考えられている。詳細な経緯やその後の対策についてはプレスリリース等を参照されたい<sup>[2]</sup>。

高周波加速器ではビーム利用時だけでなく、メンテナンス作業においても放射線は発生しえる。通常、超高真空に保たれている加速管に高周波電界が印加されると、加速管内部表面からの電子の電界放出や残留ガスの電離による電子発生が微量ながら起こる。高周波電界が高くなると、この電子の一部が加速位相に乗り加速されてしまう（暗電流）。このため、本来の照射と比べると遥かに低線量ではあるものの、結果的に壁面との衝突等による制動放射で X 線が発生する可能性は否定できない。メンテナンス作業においても遮蔽や個人線量測定を適切に行う必要がある。

コンクリート内の探査に用いる可搬型の X 線発生装置など、加速電圧が 1 MeV 未満（一般的には 200 keV 程度）の加速器についても注意が必要である。これらの加速器は RI 規制法で定義される放射線発生装置には該当せず、労働安全衛生法の電離放射線障害防止規

<sup>2</sup> 絶縁体表面に高電圧をかけた際の、その絶縁体表面への沿面放電の軌跡を可視化したもの（木の枝や稲妻が広がっていくように細かく枝分かれしたパターン）。

則により規制される。屋外を含め通常は放射線管理区域となっていない場所での使用が一般的であり、探査を行う周辺で被ばくが起らないよう、放射線管理区域の設定や周知の徹底が重要となる。

放射線発生装置は利用に許認可が必要であり、意図しない改造にも注意が必要となる。研究の進展に伴い、ビーム利用への要求が変化し、改造が必要不可欠な場合も多い。そのような場合でも適切に手順を踏む必要がある。許認可の申請に際しては、放射線管理区域境界や事業所の敷地境界等における線量（空間線量率）が基準を満たしている必要がある。このため、加速器から供給されるメインのビームだけでなく、制動放射や核反応で生じる二次的な放射線も含めて遮蔽計算が行われる。研究のためとはいえ、例えば照射ポートを一部でも改良する際には事前に慎重な確認が必要となる。

やや特殊なリスクとして、試料を液体窒素で冷却しながら照射した際のオゾン生成もあげられる<sup>[3,4]</sup>。窒素の沸点（ $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）は酸素の沸点（ $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）より低いため、空気中に置いた液体窒素には酸素が液化して溶解してしまう。ここに放射線があたると放射線のエネルギーで放射線分解（ラジオリシス）が起こり、反応性の高い中間活性種ができ、最終的にオゾンが生成されることがある。オゾンの生成効率は線量率が高いほど高くなる。オゾンには腐食性はあるものの一般的に爆発はしない。しかし、液体窒素中では冷凍濃縮されるうえ、そこに荷電粒子が照射されていれば放電のおそれも出てくる。結果として爆発事故の可能性が指摘される事故も報告されている<sup>[5]</sup>。

## 参考文献

- [1] 高エネルギー加速器セミナー OHO, <http://accwww2.kek.jp/oho/index.html>.
- [2] J-PARC センタープレスリリース “J-PARC ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故関連情報”, <https://j-parc.jp/HDAccident/HDAccident-j.html>.
- [3] A. Matsumoto, R. Yugeta, H. Karasawa, S. Sato, “The G-Values of Nitrogen Atoms Produced in the  $\gamma$ -Radiolysis of Liquid Nitrogen and the Ozone Formation in the  $\gamma$ -Irradiated Liquid Nitrogen Solution of Oxygen”, Bulletin of the Chemical Society of Japan 51(10) 2838-2840, 1978.
- [4] J.D. Gault, K.W. Logan, H.R. Danner, “Ozone Formation by the Radiolysis of Liquid Nitrogen: Calculation and Measurement”, Nuclear Safety 14(5) 446-451, 1973.
- [5] 渡辺博正, 綿貫孝司, 菊池栄助, “災害事例分析 照射液体窒素中におけるオゾンの爆発危険性”, 安全工学 15(5) 338-347, 1976.

# 3

## 核燃料物質の特徴とその法令上の位置づけ

よく「放射性物質」という言葉を聞きますが、法令的にはどのように扱われているのでしょうか。放射性核種を含む物質を一般的に放射性物質といいます。法的規則では、ある定められた値以上の放射能や放射能濃度をもつ物質を指しています。本日お話しする内容の「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」や放射線安全管理の中心となっている「放射性同位元素等規制法」では、この用語を用いず、“核原料物質、核燃料物質及び放射性同位元素”という用語を用いています。今回お伝えしたい「核燃料物質」とは、ウラン、プルトニウム、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であって、関連物質が原子炉中で核分裂を起こす物質を指します。勘違いされる言葉として「核原料物質」がありますが核原料物質とは、核燃料物質であるウランやトリウムの原料となる鉱石のことをいい、原子力基本法で「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であって、政令で定めるものをいう」と定義されています。政令では、ウラン若しくはトリウム又はその化合物を含む物質で核燃料物質以外のものと規定されています。この原子力基本法とは、1955年に我が国の原子力の平和利用を本格的に開始するときに制定された法律で、同法において先ほどの核燃料物質に関しては、別の法律で定めるところにより規制を行うことが定められており「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」が制定されています。これを受け制定された「核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令」では、少し専門的な内容となりますが、次に掲げる物質が法令上「核燃料物質」とされています。

1. 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
2. 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
3. トリウム及びその化合物
4. 上記の 1 から 3 までの物質の一又は二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
5. 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
6. プルトニウム及びその化合物
7. ウラン 233 及びその化合物
8. 上記の 5 から 7 までの物質の一又は二以上を含む物質

昭和 32 年に制定されたこの法律は、核原料物質・核燃料物質・原子炉の平和的利用・計画的利用・災害防止及び核燃料物質の防護（テロリズム等への利用防止）といった災害の防止や公共の安全の確保を目的としています。通常「原子炉等規制法」と略され、原子力・放射線の利用、安全を規定する主要な法律として、原子力基本法、原子炉等規制法、放射性同位元素等規制法の 3 つの法律があげられますが、この中の一つです。なお、具体的な規制対象は、製錬、加工、貯蔵、再処理及び廃棄の事業並びに原子炉の設置及び運転等や、国際規制物資の使用等です。なお当大学においても様々な場所で管理している国際規制物

資とは、300 g 以下の天然ウラン若しくは劣化ウラン又は 900 g 以下のトリウムである少量の核燃料物質を指します。核燃料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燃料物質を保管する場合であっても、取扱う場所を定め、その区域で一定期間に搬入・搬出される核燃料物質の増減や、現在の在庫の量を正確に管理し原子力規制委員会に報告するとともに、国はそれらの情報を国際原子力機（IAEA）に申告する義務を負っています。このため、少量の核燃料物質を使用する場合でも、国際規制物資の使用許可を取得していただき、年 2 回、核燃料物質管理報告を提出いただく必要があります。

核燃料物質に関わる主務官庁は、経済産業省外局の資源エネルギー庁電力・ガス事業部原子力立地・核燃料サイクル産業課および、環境省外局の原子力規制庁原子力規制部原子力規制企画課（旧：原子力安全・保安院核燃料管理規制課）で、原子力規制委員会および文部科学省研究開発局原子力課と連携して執行にあたっており、核燃料物質を管理する上ではこの主務官庁の動向を確認しておくことが大切です。

なお、最後に用語の定義についていくつか述べておきます。

「精錬」とは、核原料物質又は核燃料物質に含まれるウラン又はトリウムの比率を高めるために、核原料物質又は核燃料物質を化学的方法により処理することをいいます。

「加工」とは、核燃料物質を原子炉に燃料として使用できる形状又は組成とするために、これを物理的又は化学的方法により処理することをいいます。

「再処理」とは、原子炉に燃料として使用した核燃料物質その他原子核分裂をさせた核燃料物質（以下「使用済燃料」という。）から核燃料物質その他の有用物質を分離するために、使用済燃料を化学的方法により処理することをいいます。

今後、原子炉等規制法、関連法令、関係組織などにも様々な変更がなされることが予想されますが、放射線業務従事者の皆様方に関しては法令はあくまでも最低限守らなければならない事の重要性を再認識して頂き、安全な放射線取扱業務に従事して頂くことをお願いいたします。

飯塚裕幸  
工学系・情報理工学系等 環境安全管理室  
教育項目：核燃料物質・安全取扱・法令

# 4

## 研究用エックス線装置の種類と構造

**X**線は発見者の名前をとってレントゲン線とも呼ばれ、研究、工業、医療など多方面で利用されています。γ線と同じく電磁波の一種であり、またγ線と同じく強い透過力を有しています。γ線の波長が $\sim 10^2$  nm であるのに対してX線の波長は $10^3 \sim 10$  nm に分布しており、波長が短いほど分解能を高くできるため、構造解析において有用です。

X線管球は陰極のフィラメントとターゲット（陽極、対陰極）で構成され、それをガラスやセラミックの筐体に真空状態で封入しています。フィラメントの素材には通常タングステンが、ターゲットにはタングステン、モリブデン、銅、ロジウム、銀などが用いられます。一部のX線管球にはX線透過窓として有毒な金属ベリリウムが使用されているものがあり、装置の廃棄の際は取り外して本体と別途廃棄する必要があります。

フィラメントに電圧をかけて加熱すると熱電子放出の原理により電子が飛び出します。その電子を陽極と陰極の間に電位差をかけることで加速し、ターゲットに高速で衝突させることでX線が発生します。投入した電気エネルギーの約1%がX線の発生に使われ、残りの約99%は熱に変換されます。この熱によりフィラメントのタングstenは2000°Cを越える温度になるため、表面から徐々に蒸発して最後には断線（焼損）します。これがフィラメントすなわち管球の寿命になっており、フィラメントの温度が高くなるほど寿命が短くなるため、流す電流が大きくなる程寿命が短くなる傾向があります。このためX線発生装置には冷却機構が必須であり、消費電力が小さい装置は空冷ですが大きい装置では冷却水や絶縁油を循環させるなどして冷却しています。また冷温状態のフィラメントに急に高い電流が流れることでも寿命が短くなるため、近年の装置では起動時に操作プログラムでエージング (aging) してそれを防ぐようになっています。

X線は物質との相互作用を利用して計測器と組み合わせることにより様々な分析や検査に利用されます。研究分野では回折を利用した結晶構造解析、蛍光を利用した元素同定、透過力を利用した写真撮影や非破壊検査などに利用されています。回折や蛍光を利用したX線分析装置は小型化が進んでおり、低出力の装置は卓上サイズのものもあります。構造解析分野では単色X線が必要とされ、管球とフィルタを組み合わせる必要な波長のX線を取り出していますが、大規模放射光施設では高輝度の単色X線の利用が可能です。

表1 東京大学における危険性が非常に低いエックス線発生装置の条件

光電子分光法を使用する装置であること
Mg (K線)、Al (K線) および Zr (L線) のエックス線を使用していること
装置内部を真空にして使用していること

危険性が非常に低いエックス線装置として認定を受け管理が免除されるのは、放射線管理部エックス線WGの確認を受けたのち登録された機種のみです。危険性が非常に低いエックス線装置として認定を受けたい場合は、まず部局の放射線管理室等にご相談ください。

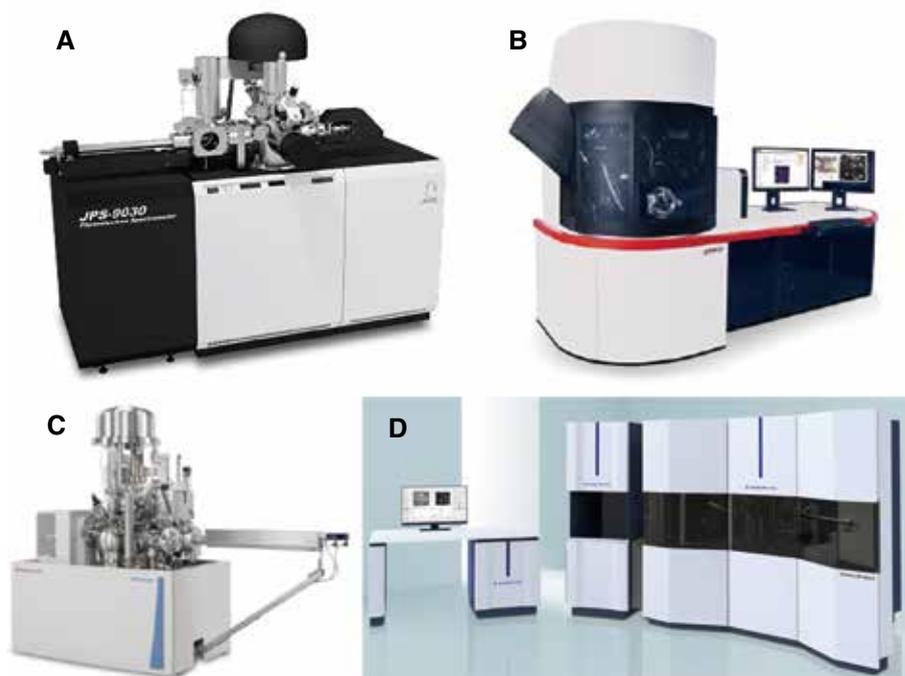


図1 XPS装置の例

A. 日本電子 :JPS-9030 ([https://www.jeol.co.jp/products/scientific/xps\\_esca/JPS-9030.html](https://www.jeol.co.jp/products/scientific/xps_esca/JPS-9030.html)) B. 島津製作所 :KRATOS ULTRA2 (<https://www.an.shimadzu.co.jp/products/surface-analysis/x-ray-photoelectron-spectrometer/axis-supra/index.html>) C. ThermoFisher SCIENTIFIC:ESCALAB Xi+ (<https://www.thermofisher.com/jp/ja/home/electron-microscopy/products/xps-instruments/escalab.html>) D. PHYSICAL ELECTRONICS : PHI VersaProbe 4 (<https://www.phii.com/products/versaprobe.html>).

励起光に～数 keV の Mg Ka 線や Al Ka 線などの軟 X 線を用いた光電効果により、試料表面から出る光電子を測定する X 線光電子分光装置 (XPS、若しくは ESCA とも呼ばれている) 装置は、装置内を絶えず高真空状態 ( $10^{-4}$  Pa 以下) にする必要がある。もし高真空状態が維持されなければ、フィラメントが焼け切れて X 線を発生できないため、東京大学では安全な装置と認定されています (表 1, 図 1)。XPS のみを利用する者は放射線取扱者登録する必要がありません。

医療分野では X 線の透過力を利用して写真撮影や X 線 CT、血管造影などによる診断に広く利用されています。また大線量の X 線の照射によるがん治療にも利用されています。

X 線装置は X 線発生部 (管球) と検出器の間、もしくは照射領域に人体が入ることで被ばくする可能性が生じます。症状が現れるのは主に皮膚で、被ばく線量に応じて脱毛、発赤 (紅斑)、水疱、潰瘍などの組織反応が生じます。また眼の水晶体は放射線感受性が高く、被ばくすると白内障を発症する可能性があります。構造解析分野の装置ではビームラインが細いため局所的な被ばくになりますが、大型の装置は出力が高いものが多いので調整の際などにそのビームラインに手指や頭が入らないように十分な注意が必要です。

医療用の X 線装置は胸部 X 線撮影 (診断) の場合、患者が 1 回に受ける放射線量は 0.06 mGy 程度、胃の X 線撮影の場合は 3.0 mGy 程度、X 線 CT スキャンでは部位などにもよりますが最大で 30 mGy 程度です。患者以外が被ばくすることは基本ありませんが、検査対象の患者や患者を固定する必要がある場合などには作業者が一緒に照射野に入り被ばくすることがあります。また IVR 装置では術者の手指や眼の水晶体が被ばくするため、線量計を用いた管理を行うなど配慮が必要です。

東京大学では X 線装置は出力に関係なく装置の安全性により A から E の 5 段階にカテ

ゴリ分けされています。X-A タイプ、X-B タイプは安全な装置と認められており、利用者は放射線教育のみ受講すればよく、放射線健康診断の受診を必要としません（前述のXPSはX-Aよりもさらに安全な装置と認定されています）。X-Aタイプの装置はセンサーなどによりX線カバーが開放状態になったことを検出するとX線の電源がオフになります。またX-Bタイプの装置はX線カバーが開放状態であることを検出するとX線を遮断するシャッターが閉まるインターロックにより安全性を確保しています。X-C～Eの装置はインターロックがない、または無効になっているため、測定時にはX線の照射領域に人体が入らないように、ビームラインに手などを入れない、X線照射中は放射線管理区域に入らない、X線の照射方向に人が入らないように配慮する、等、安全を確保して運用する必要があります。

X-Bタイプの装置では点検やビームラインの調整のために鍵を使用してインターロックの機能を停止状態にできるものがあります。この状態ではX-Cタイプの装置と同等になり、X線の経路に人体が入ると被ばくする危険性が生じます。2021年に日本製鉄のX線施設で作業員が100 mGyを超える被ばくをする事故が発生しました。この事故は装置のインターロックを停止中に安全手順が徹底されず、シャッターが開いてX線の照射中であることに気づかないまま照射領域で作業してしまったことが原因でした。インターロック停止中にX線を発生させる際は作業手順書を遵守して、ビームライン上に人体が入らないよう十分に確認する必要があります。

X線装置は故障によりX線の漏洩が発生する可能性があるため、法律で年次点検が義務づけられています。東京大学では主に各部局の放射線管理部署がサーベイメータを用いて漏洩検査を行っています。

飯尾 智  
工学系・情報理工学系等 環境安全管理室  
教育項目：エックス線・安全取扱

# 5

## 放射線取扱者登録管理システム UTRadMS の概要と 利用上の留意点

**東**京大学では放射線取扱者登録管理システム（UTRadMS）を用いて放射線取扱者の管理を行っています。UTRadMS は本学独自のシステムで、作業する場所が学内外に関わらず本学の構成員が放射線作業を行う際は必ず登録する方針としており、現在およそ 4500 名が利用しています。ここでは UTRadMS を利用する際の留意点をまとめていますが、詳細については環境安全・安全衛生ポータル EHS に掲載している各種マニュアルをご覧ください。

UTRadMS の取扱者ページでは、放射線を取扱うための各種申請や放射線健康診断の Web 問診、全学教育の受講申請等を行うことができます。なお、UTRadMS は UTokyo Account と連携しており、取扱者ページにログインをする際は共通 ID と PW が必要ですので、お持ちでない方はご担当者にお問い合わせください。



図 1 UTRadMS 取扱者ページのトップ画面

- 登録申請**：新規または再登録申請を行うためのボタンです。すでに登録しているにも関わらずこのボタンをクリックできる場合は、重複登録の可能性がありますので部局の放射線管理室等にご連絡ください。
- 他部局利用申請**：複数の部局に立ち入って作業する場合は、複数の部局に登録申請をすることができます。主となる部局に登録し、必要な全学教育、部局講習および RI 健診を受けた後、他部局利用申請から手続きを行ってください。なお、他部局利用申請をする際は、必ず事前に所属研究室等にご相談ください。
- 登録内容変更申請**：登録内容変更申請のボタンは、登録申請後、必要な全学教育、部局講習および RI 健診が完了するとクリックできるようになります。このボタンをクリックできない段階で登録内容を変更する場合は、部局の放射線管理室等にご相談ください。
- 取扱中止申請**：放射線の取扱を中止する場合は、速やかに中止申請を行ってください。なお、取扱を中止しても過去の健診受診歴や被ばく線量結果はマイページにて確認できます。
- 問診受診**：放射線取扱前健診や年に 2 回実施している定期 RI 健診を受ける際は、必ず問診受診から Web 問診に回答してください。また、Web 問診による一次判定後に RI 健診の受診案内メールが届いた場合は、速やかに血液検査を含む RI 健診を受診してください。一次判定の有効期限は 6 カ月です。一次判定日や健診の進捗状況はマイページの RI 健診受診歴にて確認できますので、併せてご利用ください。
- 受診票**：RI 健診を受診する際は、受診票をダウンロードし、A4 サイズの用紙に印刷したものを受診当日に受付にご提出ください。なお、印刷に不備があると受け付けられませんので、用紙サイズに収まるように印刷をし、余計な罫線やかすれ等がないようご注意ください。
- マイページ**：管理者により各種申請や Web 問診が差し戻された場合は、マイページから再提出する必要があります。取扱者ページにログインした際にマイページにお知らせが届いている場合は、必ず確認するようにしてください。

UTRadMS では、各種申請や Web 問診が行えるだけでなく、法令で定められている健康診断や被ばく線量の結果を確認することができます。法令を遵守し、安心して放射線を取り扱うためには、必要な教育や健診を受けるとともに、定期的に取り扱者ページにログインし、健診受診歴や被ばく線量結果を確認するようにしてください。

## 参考

UTokyo Portal | UTRadMS

[https://univtokyo.sharepoint.com/sites/EHS\\_portal/SitePages/d/UTRadMS.aspx](https://univtokyo.sharepoint.com/sites/EHS_portal/SitePages/d/UTRadMS.aspx)

久木田 沙斗里  
環境安全本部  
教育項目：安全取扱・法令