

# 「食品照射」

## の基礎知識と最新技術動向

### 照射施設の工程管理／不妊虫放飼法

第4回

食のコミュニケーション円卓会議 副代表  
(元QST高崎量子応用研究所)  
小林 泰彦

#### 食品照射を行う放射線照射施設

食品や農作物に放射線を照射して、殺菌、殺虫、芽止めなどを行う技術を「食品照射」という。食品照射は、乾燥、加熱、加圧、冷凍などと同じく物理的な食品処理技術の一つであり、食品衛生や環境問題の解決に寄与する技術的な選択肢の一つである。

食品照射の目的は、(1) 食料・農産物の品質保持と損耗防止（貯蔵期間の延長）、(2) 食品の安全性確保（病原菌や寄生虫などの制御、食中毒防止）、(3) 植物検疫における消毒措置（検疫害虫の侵入防止）であり、これらの目的で処理された食品を照射食品と呼ぶ。

医療器具や食品容器、実験動物用飼料などの放射線殺菌・滅菌は確立した技術であり、国内でも複数の商用照射施設が稼働している（連載第2回参照）。国際標準化機構（ISO）<sup>注1</sup>が定めるISO規格には、工業用の放射線照射施設の運転や管理、線量測定法、医療器具の放射線滅菌などに関する国際規格・基準が定められ、我が国の商業用施設でもこれに則った照射サービスが実施されている。食品照射に関して、2012年にISO規格「14470：食品照射—電離放射線を用いた食品の処理工程の開発、妥当性確認および日常管理における要求事項」が制定されている。

食品照射用の施設も含め、大線量の放射線を扱

う放射線加工<sup>注2</sup>施設では、放射性同位元素（主としてコバルト60：Co-60）から発生するガンマ線、電子加速器で発生させる電子線、あるいは電子線を金属ターゲットに当てて発生させる変換X線（制動X線）が用いられる。いずれにおいても、放射線照射はコンクリートなどの厚い遮蔽壁を持つ密室状態の照射室内で行われ、照射中はフェイルセーフ<sup>注3</sup>も含めたインターロック<sup>注4</sup>制御システムの働きで照射室への立ち入りや危険な作業ができないように設計されている。さらに、照射室外と周辺環境の放射線レベルが放射線量モニター<sup>注5</sup>等で常時監視されており、作業員および周辺住民の健康に影響がないことが保証されている。

食品照射を行う施設では、遮蔽された照射室内で、食品および周辺の物に照射によって放射性物質を生じさせない条件の放射線が遠隔操作で照射される。食品が放射線源に直接接触することもない。食品照射の施設には、放射線安全および適正な放射線加工のための管理に加え、食品安全や植物検疫のための規制やガイドラインも適用され、搬送・照射・貯蔵等の全工程にわたり一貫して衛生的な食品加工プロセスとして取り扱われる。

#### 照射施設の工程管理

商用照射施設における工程管理の概略を図1

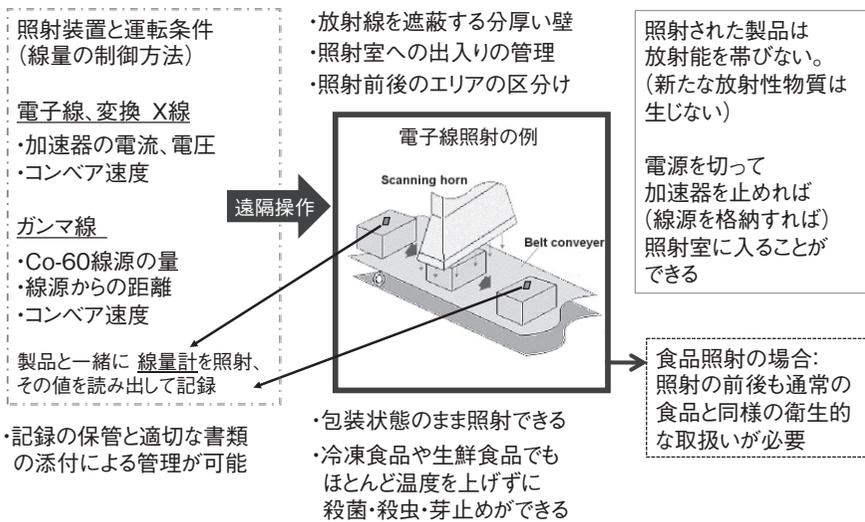


図1 商用照射施設における工程管理の概略

に示す。技術的な内容は、医療器具のような工業製品でも、食品でも、全く同じである。照射の効果は対象物の吸収線量で決まるので、照射装置の運転条件を遠隔操作して線量を制御する。

電子線や変換 X 線照射の場合は、電子加速器のビーム電流（出力）と加速電圧（エネルギー）を調整して線量率を制御するとともに、対象物を搬送するコンベア速度を調整して線量を制御する。

ガンマ線照射の場合は、線量率は照射装置に装着されている Co-60 などのガンマ線源となる放射性同位元素の量（放射エネルギー、単位:ベクレル [Bq]）と、線源からの距離によって決まる。線源の放射能と線量率は半減期<sup>注6)</sup> (Co-60 の場合、5.27 年) に従って漸減（同:1ヶ月ごとに約 1% 減少）するため、それに合わせてコンベア速度または照射時間を調節する必要がある。

照射室は放射線を遮蔽する厚いコンクリート壁などで囲われ、外部への影響はない。照射室への出入りの際は、照射室内の放射線量モニター<sup>注5)</sup> やインターロック<sup>注4)</sup> などの安全設備によって作業員の被曝事故を防ぐ仕組みになっている。照射前の製品と照射後の製品が混ざらないように厳重に区別するエリアの区分け（連載第 2 回、図 4 参照）

や、製品と一緒に線量計を照射して読み出した値を記録あるいは製品に添付することも求められる。

食品照射の目的によって必要な線量は異なり、照射処理における線量の許容範囲は「最小線量レベル」と「最大線量レベル」の間となる（図 2）。最小線量レベルとは、殺菌などの定められた技術的目的を達成する線量以上

のレベルであり、最大線量レベルとは、それを超えると食品の品質が何らかのかたちで損なわれる（例えば機能性や嗜好性に悪影響が生じたり、栄養価が損なわれたりする）線量である。したがって、仮に最小線量レベルと最大線量レベルが極めて近いか逆転していた場合は、その照射処理は困難または不可能ということになる。

## 照射施設における線量測定

実際に食品が受けた線量が予定の範囲に収まっているかどうかを、搬送物（製品）に貼付した線量計で吸収線量値を実測して確認し、その品質を管理する必要がある。

放射線加工処理を行う照射施設での線量測定に係る国際的な規格としては、2023 年現在、ISO/ASTM51702<sup>注7)</sup> など 26 の規格があり、電子線や

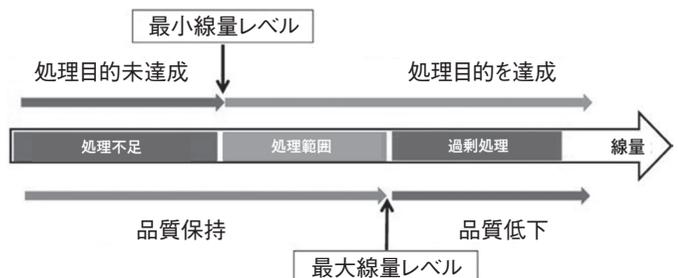


図2 最小線量レベルと最大線量レベル

表1 大線量域用の主な線量計

種類	PMMA	CTA	ラジオクロミック	アラニン
商品名	a) Radix W b) Amber c) Red	FTR-125	d) FWT-60 e) B3	FWT-50
製造販売元	a) ラジエ工業 b), c) Harwell Dosimeters (英)	・富士フィルム ・GEX (米) ・Aerial (仏)	d) Far West Technology (米) e) GEX (米)	Far West Technology (米)
測定原理	着色	着色	着色	ラジカル生成
読み取り手段	紫外可視分光光度計	紫外可視分光光度計	紫外可視分光光度計	電子スピン共鳴装置 (ESR)
線量範囲	a) 1~150 kGy b) 1~30 kGy c) 5~50 kGy	10~300 kGy	d) 5~100 kGy e) 1~120 kGy	0.01~100 kGy
形状	板状	フィルム状	フィルム状	ペレット状
測定不確かさ	±6%	±6~8%	±6%	±4~6%
関連する規格	ISO/ASTM 51276	ISO/ASTM 51650	ISO/ASTM 51275	ISO/ASTM 51607

出典：清藤一，食品照射の現状と展望 (3) 放射線照射施設における吸収線量測定，RADIOISOTOPES, 71 (2), 85-91 (2022)

X線照射施設における線量測定も含まれており、食品照射でもこれらを適用することが推奨されている。

馬鈴薯の芽止めや医療器具の滅菌、輸血用血液製剤のリンパ球の不活化などの照射処理については、厚生労働省、日本輸血・細胞治療学会などによって線量範囲が明確に定められている。特に医療機器の滅菌に関しては、ISO規格11137「医療用具の滅菌—バリデーションおよび日常管理のための要求事項」で滅菌製品の品質管理方法について線量測定に関する技術的指針が示されており、線量計測の信頼性を保証するため、放射線照射施設で測定される線量値は、その不確かさも含めて、国家・国際標準に遡って明示できること（トレーサビリティ）が求められる。そして所定の線量範囲内で照射が行われていることを吸収線量測定によって確認する必要がある、放射線に対して測定可能な応答を再現性よく示す線量計と、その読み取りシステムを用いて、吸収線量が測定される。

放射線診断や非破壊検査、自然放射線のような微小な放射線量の測定とは異なり、1 Gy以上の吸収線量の測定には主に物質の放射線化学反応を利用した様々な化学線量計が使われる。大線量域の線量測定に使われている代表的な線量計を表1に示す。

食品照射の場合、照射対象物質（ほとんどが有機物）と組成がほぼ同じで、かつ固体で取り扱いが容易な小型の積分型化学線量計、例えばプラス

チック片の照射による着色変化を利用したポリメチルメタクリレート（PMMA）線量計<sup>注8)</sup>、ナイロンやポリビニルブチラールの基材に添加された色素の着色反応を利用したラジオクロミック線量計<sup>注9)</sup>、紫外域の光吸収量の増加を利用した三酢酸セルロース（CTA）線量計<sup>注10)</sup>などが使われる。

ガンマ線やX線照射施設で主に使われるPMMA線量計は、放射線照射によりPMMA中に生成する不飽和結合に起因する着色やその中に添加した色素の分解・脱色による照射前後の吸光度変化を紫外可視分光光度計で測定し、あらかじめ求めておいた線量との相関関係から線量を算出するものである。

一方、電子線は飛程が短いため、適用可能な線量計は薄いフィルム状のものに限られる。主に用いられているのはCTA線量計とラジオクロミック線量計である。いずれも特定の波長に対する吸光度が線量に比例して増加する特性を持ち、紫外可視分光光度計で読み取った吸光度変化（増加量）を線量に換算できる。しかし、これらの薄いフィルム線量計は湿度の影響を受けやすく、保管時の状態やフィルム製造時の状態などが測定結果の信頼性と安定性に影響を与えるという欠点がある。

数10~100 Gy程度のジャガイモの芽止め照射では、フリッケ線量計<sup>注11)</sup>と呼ばれる液体化学線量計が使われてきた。これは、希硫酸に硫酸第一鉄を溶かした後、酸素を飽和溶解させたもので、水の放射線分解生成物による鉄イオンの酸化

還元反応を利用して  $\text{Fe}^{3+}$  の収量から吸収線量を求めるものであるが、測定のために線量計溶液を調製してアンプル化する必要があるなど操作が煩雑で、硫酸を用いる作業には危険を伴う。

フリッケ線量計に代わってこの線領域をカバーできる線量計に、ペレット状のアラニン線量計<sup>注12)</sup>がある。アラニン分子内のアミノ基が照射によって脱離することで生成したラジカル量が吸収線量に比例することを利用するものである。生成したラジカル量は電子スピン共鳴装置 (ESR)<sup>注13)</sup> で測定され、測定可能な線量範囲は 10 Gy ~ 100 kGy と非常に広い。

アラニン線量計は室温で長期間安定に ESR 信号を保持するため、トランスファー線量計測にも利用できる。すなわち、国際標準に遡って線量計測の信頼性が担保された校正認定機関からアラニン線量計を放射線照射施設に送り、そこで使用している他の線量計と同時に照射し、照射後返送されたアラニン線量計を校正認定機関で読み取った結果に基づいて当該線量計の応答曲線を作成することができる。

## 照射施設の法的規制と管理

食品照射用の施設も含めて工業用の放射線照射施設 (放射線加工施設) には、放射線障害の防止および放射性同位元素等の防護の観点から、多重に安全設計された装置・施設の建設と稼働および作業員等の健康と環境への影響に対する措置・監視などの継続的な実施が求められており、規制当局の許可・監督の下で十分な安全性を保って運営されている。

国際原子力機関 (IAEA)<sup>注14)</sup> が発行する「IAEA 安全指針：ガンマ線、電子線、X 線照射施設の放射線安全性 (SSG-8：2010)」では、線源およびそれを備えた照射室の内部構造設計と遮蔽、照射対象物の照射室への搬送方法、作業員を含む全ての安全要因が満たされないと照射できないインターロック制御システム、放射線のモニタリングと警報標識などの安全のためのハードウェアへの要求に加え、一般的な放射線安全に配慮した作業・運営体制、作業員等の被曝線量管理や環境モニ

タリング、放射性同位元素の使用・管理におけるセキュリティ対策、機器類の動作確認試験と保守などに関する安全性の定期的検証や放射線防護プログラムが必要であるとしている。そして、照射施設の建設や運営に当たっては、放射線安全や線源管理に関与する自国の規制当局に照射施設の立地、設計、建設、取得、保管および運営についての認可申請書を提出して認可を得るとともに、施設の運営組織は、その安全性に責任を持ち、国内規制要件および放射線安全基準に従って照射施設を運営する責任があることを明記している。

わが国においても、Co-60 ガンマ線、電子線または X 線による放射線照射を行うためには、「放射性同位元素等の規制に関する法律 (昭和 32 年法律第 167 号、令和 4 年法律第 68 号による改正)」<sup>注15)</sup> に基づき、国 (原子力規制委員会) からの認可を得ることが必要である。また、事業所ごとに放射線取扱主任者<sup>注16)</sup> を選任するとともに、放射線障害予防規程を制定し、主任者の監督下で、照射装置の運転、管理区域への作業員の入退室管理、管理区域<sup>注17)</sup> および周辺環境の線量モニタリング、作業員の教育訓練、被ばく線量管理と健康診断等々を適切に実施し、それらを記録・保管することなどが義務付けられている。さらに、稼働している照射施設に対しては、国の認定機関による施設検査が定期的に行われている。

加えて、IAEA による「放射性物質および関連施設に関する核セキュリティ勧告 (2016)」を踏まえた法改正により、Co-60 など特定放射性同位元素<sup>注18)</sup> を扱う事業所では、上述の管理区域を定めた放射線障害予防とは別の観点から、防護区域を定めた特定放射性同位元素の防護の実施が求められている。具体的には、防護区域の出入りの恒常的な監視体制により、盗難や不法な侵入への対策措置を講じている。なお、電源の ON/OFF で電子線や X 線の発生を制御できるいわゆる加速器施設では、このような措置は求められていない。

## 食品照射施設の法的規制と管理

食品照射施設では、工業用の放射線加工施設で必要とされる放射線安全に加え、食品安全や植



図3 ローディングドックシールの例<sup>19)</sup> および「食品

の放射線処理のための実施規範 (CAC/RCP 19-1979, Rev2003)」<sup>注20)</sup> において、食品照射施設についても他の食品加工・流通施設と同様の衛生管理を要求しており、食品中の有害な汚染微生物の低減を目的とした照射には HACCP の原則が適用される。このため、照射前後の保管や流通においても、食品の衛生状態を保ち、微生物の繁殖や汚染を防ぐ施設設計と管理が必要となる。また、温度管理が必要な食品の品質劣化を防ぐためには、照射施設に付帯して冷蔵・冷凍設備を設けている。

さらに、植物検疫処理を目的とした照射施設では、輸入する側の相手国も含め、管轄する国の植物防疫当局の認可と監査を受けることが必要である。国際植物防疫条約 (IPPC) の定める植物検疫処理の国際基準 (ISPM18 植物検疫措置としての放射線照射の利用の要件) では、農産物が照射施設に置かれている間に新たな害虫の寄生やその他の汚染が起らないような効果的な措置を講じることが求められる。例えば、飛翔性昆虫の侵入を防ぐには、二重扉やエアカーテンの他、窓などの開口部のスクリーン (網戸やメッシュ張り)、さらには、図3のようなローディングドックシール (積荷を搬出入するトラックと建物との間に生じる隙間の密閉) といった追加の設備が用い

物検疫のための規制やガイドラインに従うことが求められる。食品の国際規格を定めるコーデックス委員会は、「照射食品に関する一般規格 (CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003)」<sup>注</sup>

られる。

わが国では、食品照射は食品衛生法で規制され、食品への放射線照射はジャガイモの芽止めを目的とした吸収線量 150 Gy 未満の Co-60 のガンマ線照射のみが認可されている。そのための照射施設も食品衛生法に基づいた管理を受ける必要があるが、北海道士幌町農協の馬鈴薯照射芽止め事業が終了した現在、国内に食品照射を実施している照射施設はない。

### 不妊虫放飼法による野外の害虫根絶

食品そのものへの照射ではないが、照射による害虫の不妊化処理技術を応用して野外の害虫を根絶させた事例を紹介したい。この技術は不妊虫放飼法 (Sterile Insect Technique, SIT) と呼ばれ、防除対象の害虫を人工的に大量飼育して放射線を照射し、造精能力が阻害されたため交尾はできないが子孫を残すことができない不妊虫 (不妊雄) を大量に生産して野外に放すことで、野生虫同士の交尾頻度を大きく低下させて野外の害虫の根絶を目指すものである。

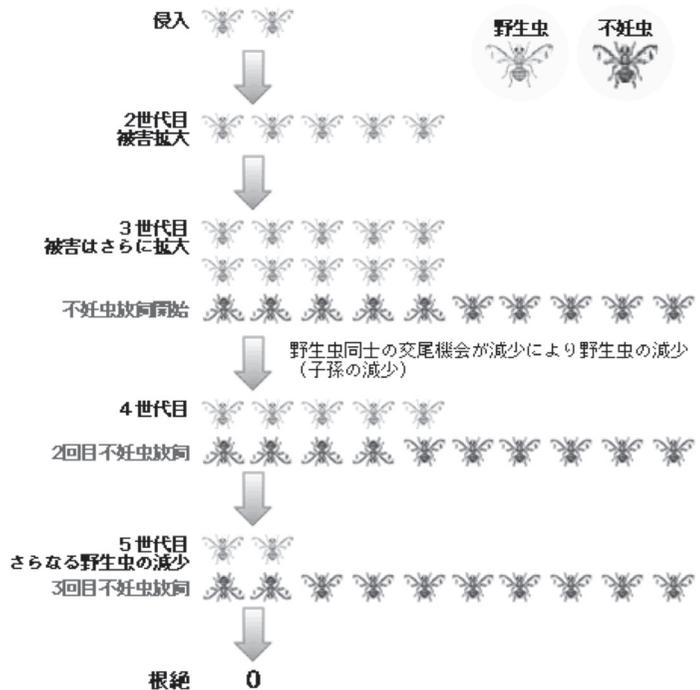
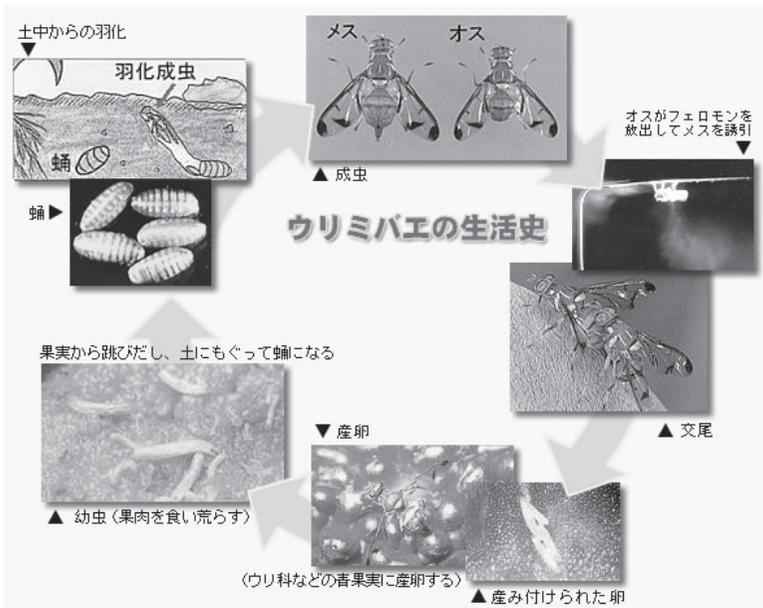


図4 不妊虫放飼法の原理



出典：沖縄県ミバエ事業所(現・病害虫防除技術センター)HP

図5 ウリミバエの生活史

防除対象地域の野生虫の個体数をはるかに上回る数の不妊虫を野外に放すことで、野生虫同士の交尾頻度を低下させる。不妊雄と交尾した雌が産んだ卵は孵化しないため次世代の野生虫の個体数

は減少する。さらに不妊虫の放飼を続けて野生虫同士の交尾の機会とその次の世代の野生虫個体数を加速度的に減少させることによって、ついには根絶が可能となる(図4)。

この手法を最初に着想したのは米国のEdward F. Knippling<sup>注21)</sup>で、1954年に南米ベネズエラ沖のオランダ領キュラソー島(面積460km<sup>2</sup>)で羊や牛につく害虫ラセンウジバエの根絶に成功した。

本手法を用いて、1972年の沖縄の本土復帰記念事業の一環として沖縄県と鹿児島県・奄美地方のウリミバエの根絶が計画された。ウリミバエは、大正年間に南方から侵入し南西諸島全域に定着していた害虫で、ウリ科、ナス科および多くの熱帯果実に産卵し、孵化した幼虫が果肉を食害しながら成長するため果実が大きな被害を受ける(図5)。そ



沖縄県病害虫防除技術センター(沖縄県那覇市)



出典：沖縄県ミバエ事業所(現・病害虫防除技術センター)HP

図6 不妊化ウリミバエの大量生産と野外放飼

してウリミバエの本土への侵入を防止するため、ゴーヤ（ニガウリ）などの野菜・果実の本土への移送が禁止されていた。

そこで、沖縄県那覇市に設置されたウリミバエ大量増殖・不妊化施設（現在の病害虫防除技術センター）でCo-60ガンマ線を60～70 Gy照射した蛹をヘリコプターなどを用いて放飼する試みが始まり、1978年に久米島（面積59 km<sup>2</sup>）での根絶成功を皮切りに、宮古群島、奄美群島、沖縄群島と根絶を進め、ついに1993年には八重山群島でも根絶を確認、南西諸島全域で根絶が達成された。その結果、ゴーヤなどの本土への出荷が可能となった。ウリミバエの再侵入・再定着防止のため今も不妊虫の放飼が続けられている（図6）。

不妊虫放飼法は、害虫の個体数が低密度のときにこそ威力を発揮する点で、農業散布による害虫防除とは対照的な利点を有する。放飼したウリミバエの成虫自体は作物に害を与えないという点も成功の要件だった。

沖縄県ではウリミバエと同様に東南アジアから侵入してきたサツマイモや紅イモの害虫ゾウムシ等<sup>注2)</sup>の根絶事業を進め、2013年には久米島で、2020年には津堅島（つくんじま、うるま市）でアリモドキゾウムシの根絶を達成した。さらに、イモゾウムシの根絶に向けた不妊虫増殖法などの研究が続けられている。

ところが2022年10月には浜松市でアリモドキゾウムシの侵入が確認され、該当区域では2024年5月現在もサツマイモを含めてヒルガオ科植物を栽培することが法律で禁止されている。また2024年3月と5月には鹿児島市で16年ぶりにイモゾウムシの侵入が確認され、指宿市にも侵入範囲が拡大したとのことである。2020年と2021年には、ウリミバエ根絶と同時期の1986年に南西諸島と小笠原諸島で根絶を達成した外来害虫ミカンコミバエの九州各地への再侵入が報告された。今日もこれらの外来害虫の根絶と再侵入防止のために懸命の努力が続けられている。

食品照射のメリットとデメリット、安全性評価と国際規格、照射食品の検知法、海外での実用化状況と日本の現状などについては次回以降で紹介したい。

注1) 国際標準化機構 (ISO:International Organization for Standardization):国家間の製品やサービスの交換を助けて標準化活動の発展を促進し、知的・科学的・技術的・経済的活動における国家間協力を発展させることを目的に1947年に18カ国によって発足。電気・通信及び電子技術分野を除く全産業分野（鉱工業、農業、医薬品等）に関する国際規格の作成を行う。ISOは1ヶ国1機関のみが会員となることができ、各国における最も代表的な標準化機関が加入する。日本は閣議了解に基づき1952年から日本産業標準調査会 (JISC)が加入。

注2) 放射線加工:主にプラスチックなどの高分子材料に放射線（通常、高エネルギーかつ大線量のガンマ線、X線、電子線）を照射して物性の向上・改質を行う加工法。この処理により架橋、発泡、分解、グラフト重合、硬化などが起こり、材料の耐熱性、耐薬品性、耐摩耗性、機械的強度などが向上する。放射線加工の利点は、(1) 常温で処理できるため省エネになる、(2) 重合開始剤などの添加物が不要で処理後に不純物が残らない、(3) 材料の元の形状を維持したままで処理できる、(4) 吸収線量だけで処理効果が保証できるため工程管理が容易など。

注3) フェイルセーフ (fail safe):「故障は安全側に」すなわち装置はいつか必ず壊れることを前提とし、故障時や異常発生時でも安全側に動作させることで絶対に人命を危険に晒させないようにシステムを構築する設計手法。

注4) インターロック:ある一定の条件が整わないと他の動作ができなくなるような機構のことで、安全装置・安全機構の考え方の一つ。

注5) 放射線量モニター:放射線取扱施設などにおいて放射線量(率)を連続的に測定監視する設備。検出器が置かれている場所とモニター監視盤の双方でその値を表示するとともに連続的に記録し、異常時には警報を発報する機能を持つ。これにより作業者に放射線レベルの異常を知らせて被ばく線量の低減を図るとともに、放射線安全が確保されていることを確認する。

注6) (物理的)半減期:放射性同位元素の壊変の結果、時間の経過とともに放射能が減って当初の半分になるまでの時間。ヨウ素131は約8日、セシウム137は約30年など核種によって固有の時間を示す。一方、体内に取り込まれた放射性同位元素が代謝や排泄などの生物学的な過程で体外に排出されて体内の量が当初の半分に減る時間を生物学的半減期と呼ぶ。

注7) ISO/ASTM51702「Practice for dosimetry in a gamma facility for radiation processing」:国際標準化機構 (ISO) 及びアメリカ材料試験協会 (ASTM:American Society for Testing and Materials) が定める、ガンマ線照射による放射線加工施設が用いるべき線量測定の手順に関する国際標準。製品が所定の吸収線量の範囲内で処

理されたことを保証するために、照射装置の設置適格性評価プログラム、運転適格性評価、性能適格性評価、及び日常処理において従うべき線量測定手順について概説している。

- 注8) PMMA線量計:アクリル樹脂の一つであるポリメタクリル酸メチル樹脂(Polymethyl methacrylate、略称PMMA)は組成が $(C_5H_8O_2)_n$ で、比重 $1.2\text{ g/cm}^3$ 程度であり、吸収線量を表す標準物質の水や放射線加工処理対象の高分子材料の多くと放射線との相互作用が似ていることから照射工程管理のルーチン(常用)線量計として用いられる。
- 注9) ラジオクロミック線量計(radiochromic dosimeter):放射線照射によって発色する物質が添加されたプラスチックフィルム。例えば米国のFar West Technology社製のFWT-60は無色透明なナイロン66に放射線照射によって青く発色するhydroxyethyl pararosanine-CNを混合して厚さ約 $40\mu\text{m}$ のフィルムとした線量計で、現像の必要がなく、はさみ等で容易にカットして使用でき、スキャナーを用いることにより2次元の線量分布も得られる。
- 注10) 三酢酸セルロース(CTA)線量計:三酢酸セルロース(CTA:Cellulose Triacetate dosimeter)にリン酸トリフェニル(TPP:Triphenylphosphate)を添加してフィルム状にしたもので、放射線照射によって近紫外線光の吸収率が増加することを利用した線量計。電子線、ガンマ線照射における数10 kGy以上の大線量の測定に用いる。
- 注11) フリック線量計(Fricke dosimeter):水分子の放射線分解でHとOHが生じ、その結果 $H_2$ と $H_2O_2$ ができる。H原子は線量計溶液中に溶解している $O_2$ と反応して $HO_2$ を生成する。これら化学種のうちOH、 $H_2O_2$ 、 $HO_2$ は線量計溶液中の $Fe^{2+}$ と反応し、酸化されて $Fe^{3+}$ となる。照射によって生じる $Fe^{3+}$ の量は水の放射線分解生成物であるOH、 $H_2O_2$ 、 $HO_2$ の量に比例し、さらにその量は吸収線量に比例するので、 $Fe^{3+}$ の収量から吸収線量が求められる。
- 注12) アラニン線量計(Alanine dosimeter):アミノ酸の一種であるアラニンを主成分とし、パラフィン、フィルム等で作られた固形の線量計素子。吸収線量に比例して生じるラジカルの相対濃度を電子スピン共鳴(ESR:Electron Spin Resonance)を用いて測定する。固体線量計の中では最も高精度で、室温でも長期間安定で取り扱いが容易。予め正確にある線量を照射した基準線量計として、放射線照射加工における工程管理及び品質管理に用いる参照線量計として、さらに研究機関や照射施設間で素子を郵送・運搬することによる線量保証・線量相互比較等にも広く用いられる。
- 注13) 電子スピン共鳴装置(ESR:Electron Spin Resonance):ラジカル(不対電子)を持つ試料に磁場中でマイクロ波を放射し、マイクロ波とラジカルの間で起こる吸収共鳴現象による信号を測定

する。核磁気共鳴(NMR:Nuclear Magnetic Resonance)とは観測対象が異なるが、基本的な原理は同じ。

- 注14) 国際原子力機関(IAEA:International Atomic Energy Agency):原子力の平和利用を促進するために、国際連合の下に設立された国際的な協力機関。1957年発足。平和利用に関する技術情報の交換、原子力施設の運転の安全基準作成、軍事目的への転用の防止などを行う。
- 注15) 放射性同位元素等の規制に関する法律:昭和32年法律第167号として成立(旧名:「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」から改正)。略称RI法。原子力基本法(昭和三十年法律第百八十六号)の精神にのっとり、放射性同位元素の使用、販売、賃貸、廃棄その他の取扱い、放射線発生装置の使用及び放射性同位元素又は放射線発生装置から発生した放射線によって汚染された物(放射性汚染物)の廃棄その他の取扱いを規制することにより、これらによる放射線障害を防止し、及び特定放射性同位元素を防護して、公共の安全を確保することを目的として制定された。
- 注16) 放射線取扱主任者:日本の「放射性同位元素等の規制に関する法律(略称:RI法)」に基づく国家資格の一つ。RI法に基づいた放射性同位元素あるいは放射線発生装置の使用者(一般には法人等をさす)、販売業者、賃貸業者及び廃棄業者は、同法に基づき、放射線障害の防止について監督を行うために放射線取扱主任者を事業所ごとに1名以上選任し、原子力規制委員会に届け出なければならない。
- 注17) 管理区域:放射線の不必要な被曝を防ぐため、放射線量が一定以上ある場所を明確に区画・区別し、人の不必要な立ち入りを防止するために設けられる区域。RI法、医療法令、労働安全衛生法令、人事院規則などによってそれぞれ管理区域の設定基準が定められている。
- 注18) 特定放射性同位元素:放射性同位元素の中で、その放射線が発散された場合において人の健康に重大な影響を及ぼすおそれがあるものであって、その種類又は密封の有無に応じて(セキュリティ対策の観点から)原子力規制委員会が定める数量(D値)以上の放射性同位元素: $^{241}\text{Am}$ 、 $^{252}\text{Cf}$ 、 $^{244}\text{Cm}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{153}\text{Gd}$ 、 $^{192}\text{Ir}$ 、 $^{147}\text{Pm}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{75}\text{Se}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{170}\text{Tm}$ 、 $^{169}\text{Yb}$ 、 $^{198}\text{Au}$ 、 $^{109}\text{Cd}$ 、 $^{57}\text{Co}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ 、 $^{63}\text{Ni}$ 、 $^{103}\text{Pd}$ 、 $^{210}\text{Po}$ 、 $^{106}\text{Ru}$ 、 $^{204}\text{Tl}$ 、 $^{124}\text{Sb}$ の24核種。
- 注19) 照射食品に関する一般規格(General Standard for Irradiated Foods):コーデックス国際食品規格の一つ。1983年、10 kGy以下の照射食品について採択され、さらに、2003年に技術的必要性があれば10 kGy以上の照射を認める、とする改訂案(現行規格)が採択された。照射食品の製造に関し、利用する線源、吸収線量、施設とその管理、衛生上の取扱い、技術的な条件、照射後の確認(検

知)、表示などについて規定されている。

- 注20) 食品の放射線処理のための実施規範 (Code of Practice for Radiation Processing of Food): 食品照射施設における照射工程の要件を対象とした実施規範。食品の効果的な放射線処理を実現するために、照射施設が実施すべき施設のレイアウト、目標線量の決定、線量測定等の工程管理に加え、照射処理の対象産物の一次生産、収穫、収穫後の処理、保管及び出荷、包装、表示、照射後の保管及び取り扱い、作業者の訓練など、照射工程に附随する他の側面も考慮している。
- 注21) Edward F. Knipling:アメリカの昆虫学者 (1909.3.20~2000.3.17)。長年の同僚だった Raymond C. Bushlandとともに、害虫の脅威を根絶または抑制する不妊虫放飼法を開発した共同業績で1992年に世界食糧賞 (World Food Prize:食料問題に多大な貢献をした人物に対して米国のWorld Food Prize Foundationが授与)を受賞。
- 注22) ゾウムシ類 (アリモドキゾウムシ、イモゾウムシ):熱帯・亜熱帯地域に広く分布し、さつまいも等のヒルガオ科植物の一部を加害し、大きな被害をもたらす重要な害虫。幼虫に食害された塊根が防御物質として生成するイボメアマロンなどのフラノテルペノイドやクマリン類による臭気と苦みのため、食用はもちろん家畜の飼料にもならない。日本ではその発生国・地域からの寄主植物の輸入を禁止する

とともに、沖縄県、奄美群島及び小笠原諸島の一部地域において発生が確認されていることから、当該地域から国内未発生地域への寄主植物の移動制限又は禁止措置が講じられている。

#### 参考資料

- 等々力節子, 食品照射とは -技術の概要及び評価と研究開発の歴史-. *RADIOISOTOPES*, 71(1), 55-62(2022)
- 清藤一, 食品照射の現状と展望(3)放射線照射施設における吸収線量測定. *RADIOISOTOPES*, 71(2), 85-91(2022)
- IAEA, Manual of Good Practice in Food Irradiation. Technical Reports Series No.481, (2015) <https://www.iaea.org/publications/10801/manual-of-good-practice-in-food-irradiation>
- 土肥野利幸, 植物検疫の仕組みと放射線照射処理の国際基準. *RADIOISOTOPES*, 71(2), 93-99(2022)
- 日本アイソトープ協会, 食品照射の最前線 ~研究者が解説するQ&A (2024年3月全面改訂版) <https://www.jrias.or.jp/pdf/shokuhinshoushaQA.pdf>
- 伊藤嘉昭, 虫を放して虫を減ぼす 沖縄・ウリミバエ根絶作戦私記. 中公新書(1980)
- 伊藤嘉昭・垣花廣幸, 農業なしで害虫とたたかう. 岩波ジュニア新書(1998)
- 農林水産省 消費・安全局 植物防疫課, アリモドキゾウムシに関する情報. [https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k\\_kokunai/arimodoki.html/arimodoki.html](https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kokunai/arimodoki.html/arimodoki.html)