

「食品照射」 の基礎知識と最新技術動向

メリットとデメリット

第5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

照射処理のメリット

食品や農作物の殺菌・殺虫・芽止めを目的とする放射線照射処理には、加熱処理や薬剤処理と比べて以下のようなメリットがある。

メリットその1：温度がほとんど上昇しない

生鮮青果物や冷蔵・冷凍の食肉・魚介類をそのまま殺菌・殺虫処理でき、色や香り、栄養素が高



図1 照射によるイチゴの防カビ効果の実験結果。照射後4℃で5日間保存し、さらに室温で2日間置いたもの

品質に保たれる（図1～3）。熱帯果実などの植物検疫における殺虫処理では蒸熱処理^{注1)}や低温処理^{注2)}に比べて品質の劣化が少ない。冷凍食品も冷凍状態のまま殺菌できる。

特にスパイス・ハーブ類（香辛料）や乾燥野菜類は、耐熱性の芽胞形成菌^{注3)}で汚染されることが多いが、風味や色調が重要視されるため加熱殺菌が難しく、香辛料・乾燥野菜類を含む加工食品原材料の微生物制御には放射線照射が理想的である。この技術的な優位性によって、例えば米国では2005年に消費された香辛料の約3分の1が照射殺菌されている。

日本では食肉製品に使用するスパイス1g中の芽胞菌の数は食品衛生法で1,000個以下と規定され、加工食品の原料には加熱殺菌されたものが使われている。より高品質のスパイスを供給するために全日本スパイス協会は「香辛料の微生物汚染の低減化を目的とする放射線照射の許可の要請」^{注4)}を2000年に当時の厚生省に提出したが、



図2 米国向けのメキシコ産照射グアバ

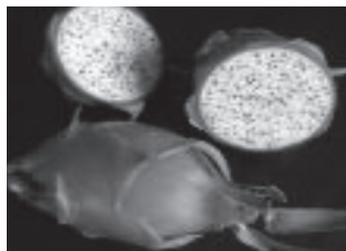


図3 オーストラリア向けのベトナム産照射ドラゴンフルーツ



図4 加熱殺菌または照射殺菌した赤唐辛子粉末と未処理品の色調の比較

2024年7月現在、まだ認可されていない。

図4は、殺菌処理前の赤唐辛子粉末と、それを10 kGyのコバルト60 (Co-60)ガンマ線で照射殺菌したもの、および140℃の過熱乾燥水蒸気で加熱殺菌(気流式殺菌)^{注5)}したものの色調を比較した写真である。照射殺菌品(中央)の色調は未処理品(左)と区別がつかないが、蒸気殺菌品(右)では赤褐色に変化している。

殺菌処理後の風味についても違いが明らかで、消費者団体「食のコミュニケーション円卓会議」が行った食品照射の体験実験の一つで、加熱殺菌香辛料と照射殺菌香辛料を使ってそれぞれ全く同様に調理したカレーを、どちらが照射香辛料で調理したものかは分からないようにして試食した食味テストでは、試食前の香りについては11人中10人が「(照射品の方が)強い」、試食中の風味については11人中9人が「(照射品の方が)強い」と回答した(コラム参照)。

「食のコミュニケーション円卓会議」による食品照射の体験実験：加熱殺菌香辛料のカレーと照射殺菌香辛料のカレーの食べ比べ

家庭科の教科書にある調理実習のレシピに従い、桂皮、カルダモン、ターメリック、コリアンダー、赤唐辛子、白コショウ、黒コショウの7種の香辛料の原体(未殺菌品と加熱殺菌品)を入手し、未殺菌品の一部をガンマ線照射(10 kGy)し、未殺菌品を標準として色や香りの官能評価を行った。その後、加熱殺菌香辛料と照射殺菌香辛料を使ってそれぞれ全く同様に調理したカレーやキャベツ炒めを

どちらが加熱品でどちらが照射品かを伏せてブラインドで試食し、①試食前の香りの違い、②試食中の風味の違い、③試食中の風味の「好み」を回答させた。その結果は照射香辛料の方が圧倒的に高評価だった。

試食後の参加者の感想の一部を抜粋する。

「文献によると蒸気殺菌では40%も失われるという香り成分が、照射殺菌では失われないので、香辛料そのものを比べたら香りの違いが分かるが、グツグツ煮込んでカレーにしたら分からなくなるのでは?と予想した。ところが実際に食べてみると混合した香辛料で作ったカレーでも差があったのは私には意外な発見だった」(香料メーカー)

「キャベツ炒めでは、確かに風味の違いがあった(照射品の方に高い香りを感じた)。カレーでも差を感じたが、自信を持って指摘できなかった。肉を入れずシンプルにした方が分かりやすかったのでは?」(調味料メーカー)

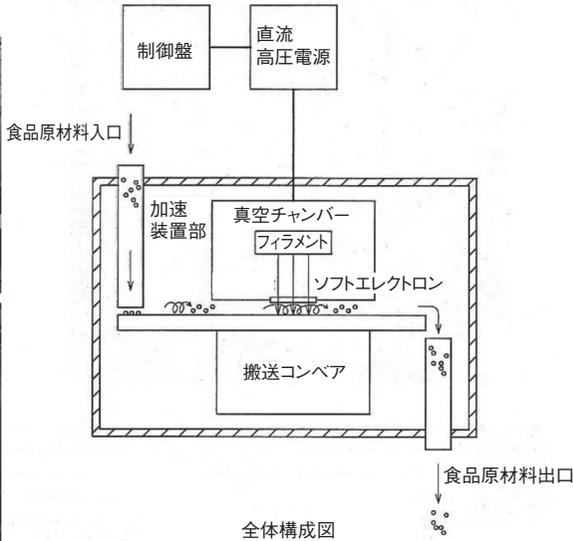
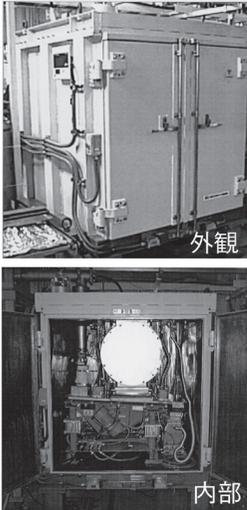
「期待したほど加熱品と照射品との差は感じられなかった。あまり疲れると感覚が鈍るためか?香辛料単体の中には見た目は差が歴然としているものがあつた。色がすごく違った。」(大学教員)

筆者自身もこの試食会に参加して、照射香辛料で作ったカレーの方がスパイシーだと感じたが、照射白コショウを爪楊枝の先に少量つけて舐めてみた時の香りのシャープさ(加熱白コショウとの違い)に驚いたことが忘れられない。

詳細は、食のコミュニケーション円卓会議・ガーリック通信No.5カレー特集号(2010.2.5) <https://food-entaku.org/img/file103.pdf> 参照。

食のコミュニケーション円卓会議では、香辛料の他にも生鮮果物やドライフルーツ、茶葉、蜂蜜、乳製品、漬物、鰹節、干し椎茸、豆類、ナッツ類、さらにはアルコール飲料など様々な食品への照射による風味の変化(の有無)を好奇心のおもむくままに調べてきた。興味のある方はぜひ、下記の一覧からご覧いただきたい。

https://food-entaku.org/garlic_letter.html



出典:林徹, 食品のソフトエレクトロン処理技術, 日本食品科学工学会誌, 49(9), 559-565 (2002)

図5 ソフトエレクトロンプロセッサ

乾燥食品の殺菌装置「ソフトエレクトロンプロセッサ」^{注6)}が2000年に日本で開発された(図5)。

本装置は、乾燥状態の食品原材料の小麦を、搬送面上で振動を与えながら回転・移動させる中で、100～150 keV程度の低エネルギーの電子線(ソフトエレクトロン)^{注7)}を小麦の全表面に均一に照射するものである。対象物に照射された低エネルギー電子は、そのエネルギーを対象物の表面に

与えて急激に自身のエネルギーを失い、内部には到達しない。この性質を利用して、小麦等の内部品質を低下させることなく表面のみを殺菌処理することが可能である。

ソフトエレクトロンで処理した微生物汚染の少ない食品原材料を使うことで加工食品の腐敗や食中毒を抑制する。そのような食品殺菌システムとして広く使われることが期待され、製粉会社で小麦粒などの試験照射を実施し、法令上の問題がないことも確認^{注8)}されたが、残念ながら実用化には至らなかった。

その後、同様のコンセプトに基づく乾燥食品用の低エネルギー電子線照射殺菌装置が2018年にドイツで実用化されている(図6)。

一方、乾燥状態で輸送・保管されて加工食品の原材料となる穀物なども、表面に細菌等の微生物が付着することが多い。それらは通常は過熱水蒸気で加熱殺菌されているが、耐熱性の微生物に対して完全な殺菌が困難な上に、高温処理のため原材料の内部品質の低下を招くという問題があった。

そこで、穀物の微生物汚染がその表面のみであることに着目して、あえて透過力の弱い(飛程が短い)低エネルギーの電子線を用いた穀物や粉末



図6 乾燥食品用の低エネルギー電子線照射装置(ドイツ)



図7 豪州産照射マンゴーの表示

メリットその2: 有害な薬剤を使う必要がない

有毒な青酸ガス^{注9)}や発がん性が疑われるエチレンオキシドガス(EOG)^{注10)}、オゾン層破壊物質^{注11)}である臭化メチル



図8 米国の照射ひき肉と照射ビーフバーガーパテ

注¹²⁾ などの薬剤を使わないので、食品に残留した薬剤による残留毒性の懸念がない。処理施設内や周辺環境汚染などの懸念もなく、環境への負荷が小さい。また、薬剤によるバッチ式の燻蒸処理注¹³⁾とは異なり、残留ガスを除去する必要がないため連続処理が可能で効率的である。

オーストラリアからニュージーランドに輸出される照射マンゴーに貼られた照射済み表示には「環境保護のために照射」と書かれている(図7)。

食品ではなく医療用品の滅菌に関することであるが、最近米国で大手滅菌受託施設で周辺環境へのEOG(EtO)の漏洩が発覚し、大きな社会問題に発展している。”SAY NO TO ETO”で検索すると抗議運動に関連する多くの画像がヒットする。これを受けて米国食品医薬品局(FDA)は複数のEOG滅菌施設の停止措置命令を出し、放射線滅菌の規制緩和を含むEOGの代替プログラム注¹⁴⁾を検討中であり、今後は日本でもEOG滅菌から電子線または変換X線による照射滅菌へのシフトが進むことが予想される注¹⁵⁾。

メリットその3：形状を問わず内部まで均一に処理できる

均一な加熱が難しい粉末状の食品も含め、形状を問わず内部まで均一に処理できる。例えば、ひき肉や、ひき肉に香辛料などを混合するビーフバーガーパテなどの加工食品では、枝肉の表面に付着していた食中毒菌が肉塊の内部にも混入し繁殖するリスクがあるが、放射線照射によって内部まで一度に照射殺菌することができる(図8、9)。

また、密封・包装してから食品を照射すること



図9 タイの照射発酵ソーセージ(非加熱の豚肉製品)

で、微生物や害虫による再汚染を防ぐことができる。これは連載第2回(2024年6月号)で医療器具や医薬品の放射線滅菌の利点に挙げた「出荷前の最終梱包状態での処理が可能で、開封するまで滅菌状態が保たれる」というメリットと同じである。

さらに、殺菌などの照射効果は線量(吸収線量)だけで決まるため、工程管理が簡便である。これは連載第2回(2024年6月号)の表1「主要工業的滅菌法の比較」で示した放射線滅菌の利点や、連載第3回(2024年7月号)の図6などで説明した「ホスト農作物の種類や梱包資材の状態に依らず病害虫に対する吸収線量だけで処理効果が決まる」という照射による植物検疫処理の利点と同じである。

照射処理のデメリット

一方、デメリットは、対象食品や照射目的にもよるが、一般的には次のようなものがある。

デメリットその1：コストが高い

ジャガイモの芽止め照射の費用は約2~3円/kgだったといわれているが、照射のコストは線量にほぼ比例するため、殺菌目的の照射ではその10~100倍にもなる。そのため、食品照射が実用化されるのは商品価値が高くメリットが大きい場合や他に適当な方法がない場合に限られる。

照射処理のコストは、照射施設の建設費、Co-60線源の購入・交換(廃棄)費あるいは電子加速器の購入・維持管理費、「放射性同位元素等

表1 香辛料の殺菌方法の比較

処理方法	Co-60ガンマ線/ 高エネルギー電子線	ソフトエレクトロン ^{注6,7)} (低エネルギー電子線)	気流式殺菌 ^{注5)} (過熱乾燥水蒸気)	エチレンオキサイドガス (EOG、EtO) ^{注10)}
初期費用(円)	数億～十数億円	5千万～数億円	5千万～数億円	数千万円
経済性	高価格	低価格	高価格	高価格
備考	非加熱処理のため風味を損なわない。日本では禁止されている。	非加熱処理のため風味を損なわない。	過熱乾燥水蒸気のため濡れないが、加熱されることで風味が損なわれる。	処理工程が2日かかる。日本やEUでは使用禁止。米国では利用されているが、使用削減が望まれている。

表2 ジャガイモの芽止め方法の比較

処理方法	Co-60ガンマ線照射法	低温処理法 ^{注17)}	低温エチレングス法 ^{注18)}
初期費用(円)	数億～十数億円	数千万～数億円	数千万～数億円
経済性	中価格	中価格	中価格
備考	Co-60線源のセキュリティ対策でコストが増大。RI等規制法では管理区域内における線源の24時間監視が必須。	貯蔵する施設の大きさ、周辺環境の温度、貯蔵期間の長さに依存して温度調整が必要となる。	低温処理法よりも温度条件が厳密でない。貯蔵施設の新設は高価だが、既存の冷蔵倉庫が利用できれば安価。

表3 種々の植物検疫処理法の比較

処理方法	放射線照射	低温処理 ^{注2)}	熱風処理	温湯浸漬	臭化メチル燻蒸 ^{注12,13)}
コスト	中程度	低い	中程度	低い	低い
エンドポイント	発育阻止	致死	致死	致死	致死
果実の耐性	高い	中程度	中程度	中程度	中程度
処理速度	速い	とても遅い	中程度	速い	速い
有機認証	不可	可	可	可	不可

表1～3の出典:日本アイトープ協会「食品照射の最前線～研究者が解説するQ&A～」から、一部改変
<https://www.jriias.or.jp/pdf/shokuhinshoushaQA.pdf>

の規制に関する法律 (RI 法)^{注16)}に基づく線源のセキュリティ管理の費用などである。分厚い遮蔽壁を必要とする照射施設の建設費や大型の電子加速器導入の初期費用は元々高額であり、近年は特に Co-60 線源の価格が高騰している。

一方、メリットその1で説明したソフトエレクトロン^{注17)}(低エネルギー電子線)処理は、Co-60ガンマ線照射施設や高エネルギー電子線照射施設のような分厚い遮蔽壁を必要とせず、装置自体も小型で初期費用は低くなる。また、RI法の対象とならないため管理費も安価となる。

香辛料の殺菌やジャガイモの芽止め、植物検疫処理について、照射処理と他の処理法の初期費用や経済性(ランニングコスト)を比較したものを表1～3に示す。

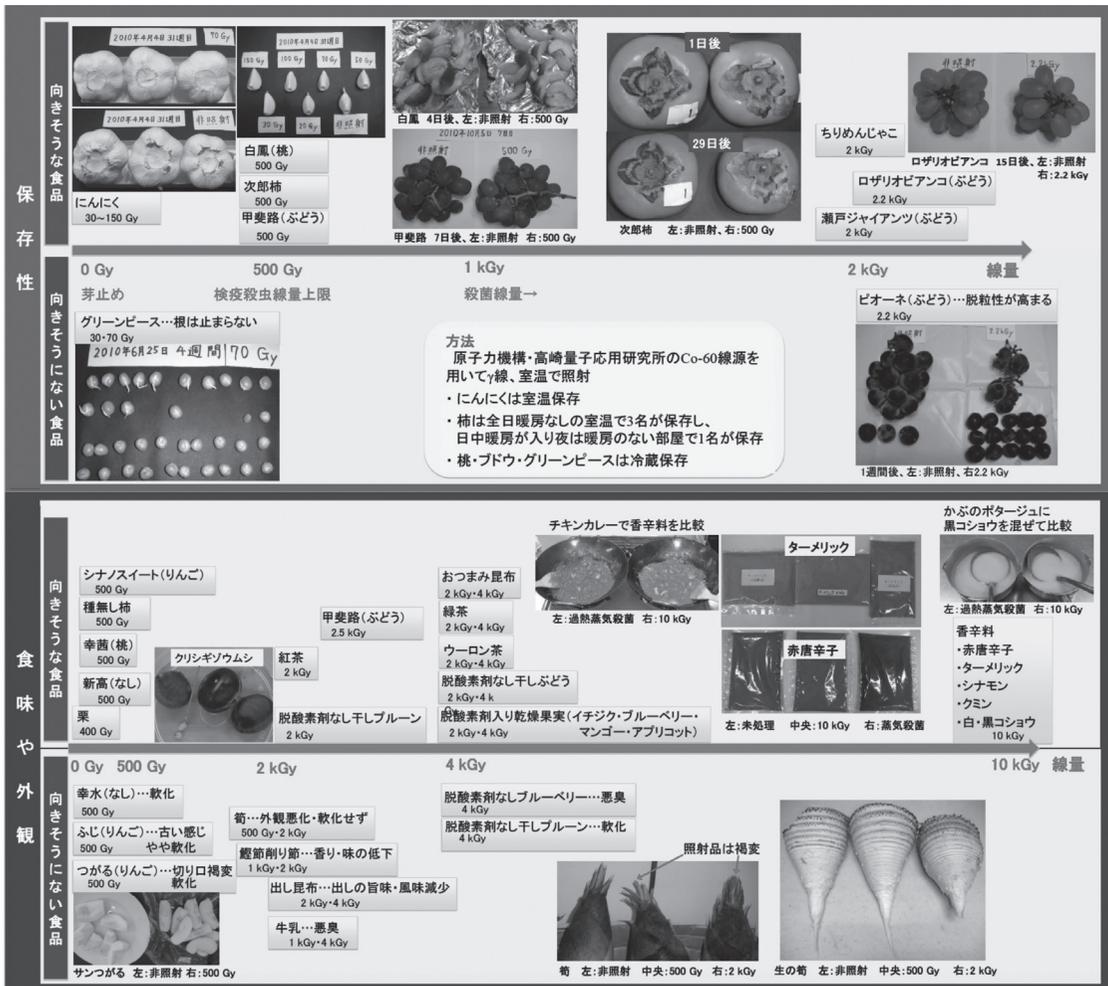
デメリットその2: 食品によって向き不向きがある
 食品に大線量の放射線を照射すると、加熱処理による変化に比べて遥かに小さいものの、風味や

色調、テクスチャーなどが変化し、食材や照射条件によっては風味や加工適性が変わることがある。

また、加熱処理と同程度以下だが、水溶性のビタミンB1やビタミンCなど特定の栄養素の損失はあり得る。

ただし、これらの変化は照射処理に特有の現象ではなく、食品の安全性にも関係ないことが確認されている。また、脱酸素状態や低温・凍結条件下で照射することで、ある程度の抑制が可能である。

肉類や乳製品に大線量の放射線を照射した場合に発生する独特の「異臭」は「照射臭」とも呼ばれる。その原因は主として蛋白質や脂質の分解で生じる揮発性物質であり、空気中の酸素存在下で照射すると発生し易く、脱酸素下あるいは低温・凍結条件下の照射では抑制される。このような「異臭」の発生は、コメの蛋白質に含まれる含硫アミノ酸の熱分解で生じた微量の硫化水素などが「ご飯が炊けた匂い」を感じさせることに似ている。いずれにしても、照射による風味の変化は、生肉



出典:千葉悦子, 他「照射が向きそうな食品、向きそうない食品」第15回放射線プロセスシンポジウム(2014.6.17-18 東京)

図10 照射が向きそうな食品、向きそうない食品

や生魚の加熱処理による風味の変化、すなわち焼肉や焼魚の匂いの発生に比べれば、相当控えめな変化と言える。

日本で最も多く流通している超高温殺菌牛乳(120～130℃、2秒)でも加熱処理による風味の変化がわずかに感じられるが、この超高温殺菌牛乳を飲み慣れた人の中には、乳等省令で定める殺菌法の原点になったパストゥール式の低温殺菌牛乳(62～65℃、30分)や未殺菌の生乳を逆に生臭く感じる人もいるという。個人差はあるとしても、嗅ぎ慣れない匂いに対する違和感を「異臭」と感じ、嗜好性に影響を与えられ考えられる。

風味の変化以外にも、コメや小麦粉への大線量の照射で粘弾性が低下するなど、食材や照射条件

によってはテクスチャーや加工適性が変わることがある。植物検疫処理での生鮮果実への照射では、品種によっては放射線に対する感受性が高く、商品価値が低下する場合もある。

食品への照射処理は、これらの変化が問題とならない用途に限って使用されており、缶詰やレトルトパウチのような加熱・加圧処理や冷凍処理、あるいはポストハーベスト農薬や食品添加物など、既存の食品加工・衛生化技術の全てが照射処理で代替される訳ではない。

また、これらの照射による風味やテクスチャーの変化は、食品の安全性には関係なく、あくまでも嗜好性や商品性(市場性)に属する問題である。香辛料や茶葉などは、照射しても香りは変化

しないか、逆に照射によって好ましい香りが強くなる場合もあるなど、食品に元々含まれる成分や商品特性に依存する部分が大きいことが知られている。現在世界で流通している照射食品は、嗜好性・商品性においてもテストに合格した例と言えよう。

食品中のウイルスの放射線照射による不活性化も原理的には可能であるが、カビやバクテリアの殺菌よりもはるかに大きな線量が必要となる。その結果、多くの場合は風味や硬さの変化やコストの増加等の問題が発生して食品としての価値が低下するため、実質的には有効でない。

また、照射によってカビ毒産生菌の増殖抑制や害虫の害害痕からのカビ感染の予防が期待できるが、すでに蓄積したカビ毒の分解はできない。さらに、照射した食品も、滅菌されていない限りいずれは腐敗する。照射しようとする食品は、当然ながら食品としての適性を備えていることが必要であり、照射済みの食品についても、適切な取り扱いが必要である。

消費者団体「食のコミュニケーション円卓会議」では、食品照射の体験実験として様々な食品を照射し、変化の有無を観察してきた^{注19)}。外観・香り・味・風味・硬さ等の品質の観点から「照射が向きそうな食品、向きそうにない食品」を1枚の図にまとめて第15回放射線プロセスシンポジウム(2014.6.17-18 東京)でポスター発表した。その一部を図10に示す。

図10の中で、500 Gy以下の線量は芽止めや植物検疫処理に、1 kGy以上の線量は殺菌処理に相当する。ただし、この体験実験は、照射が向かない食品がかなり多いと知ることによって「今後、食品照射の許可が拡大しても、適用対象は限定的」と冷静に考えられるようになることを意図したものであり、必ずしも実際に必要とされる用途や照射条件を再現したものではない。

リンゴやブドウでは品種によって適・不適が異なるが、これは放射線ストレスに対する生きた植物(果実)の生理反応の違いを反映したものと考えられ、興味深い。また、このことから、新たな照射検疫処理を導入する際には、対象となる農作物の品種の違いはもとより、照射のタイミング

(生育ステージや収穫後の経過時間)や温度などの諸条件をきめ細かく検討する必要があることが示唆される。

デメリットその3: 消費者の誤解や感覚的な拒否反応が心配

一般の消費者に誤解・敬遠されるおそれがあり、食品メーカーや小売店、飲食店としてはマスメディアやSNSでのネガティブな情報拡散による企業・商品イメージの低下や風評被害が心配される。消費者の不安を煽る活動家や不安商法のグループによる嫌がらせやボイコット運動などのリスクもある。

照射食品に対する消費者の誤解が根強い原因の一つとして規制当局の不作為も指摘しなければならない。食品衛生法における照射禁止の規定は、「照射許可品目のホワイトリストに載せるための手続きに過ぎず、照射食品が有害だから禁止されているのではない」とう事実が全く周知されておらず、明確な説明もない。そして、誤って輸入された(国内では違法となる)照射食品の流通が発覚した際の「これまでに健康被害の報告は入っていない」というような、不勉強なメディアによる安直で不適切な報道によって、照射食品⇒食品衛生法違反⇒危険という刷り込みが繰り返され、「照射食品は有害だから禁止されている」との誤解が強化されてしまうのである。

仮に食品照射という技術が、食品安全や食料安全保障にかかわる懸念や課題の解決に役立つ可能性があったとしても、科学的データに基づいた当局の毅然とした態度と行動、そして各方面の関係者の粘り強いリスクコミュニケーションの努力によって消費者の理解と信頼が得られない限り、日本の消費者がそのメリットを享受することはできない。

放射線照射に限らず、食品に対して適用可能な処理技術の全てが実用化されている訳ではない。どこまで商業的に受け入れられるかは、他の技術と同様に、実用面と採算面の評価で決まる。すでに世界各国で実用化されている食品照射の対象品目は、様々なデメリットを克服して社会にその価値を示すことができた希少な成功例だと言えるか

もしれない。

照射食品の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) 蒸熱処理:高温の水蒸気を利用して虫を殺す植物検疫処理の一つ。庫内を飽和水蒸気で満たして処理を行うため、気化熱が奪われることによる果実温度の低下や果実の萎凋がなく、果実温度を均等に上げることができる。蒸熱処理による消毒基準は、100%殺虫できる温度と時間、果実の商品性を損なわない温度と時間という、相反する条件の接点を探索して決められる。ミバエ類の寄生している生果実の消毒には通常43~48℃の温度が用いられているが、果実の種類によって高温耐性が異なるため、例えば、ミバエ類を対象にパパイヤ、マンゴー等の果実中心温度45~47.5℃、10~70分間処理などの条件がISPM28の付属書で規定されている。
- 注2) 低温処理(植物検疫):主に、有害動植物が内部に寄生する生鮮物に対して用いられる。船舶の冷蔵船室や冷蔵海上コンテナを用いた輸送中に適用することもできる。例えば、ミバエ類を対象にオレンジ、グレープフルーツ等かんきつ類の果実中心温度、1~3℃、14~23日間処理などの条件がISPM28の付属書で規定されている。
- 注3) 芽胞形成菌:一部の細菌が作る芽胞は極めて高温に強く、100℃の煮沸でも不活化できない。芽胞を高温で完全に不活化するには、オートクレーブ処理(約2気圧の飽和水蒸気中で121℃、15分以上)、乾熱処理(180℃、30分あるいは160℃、1時間以上)などが必要となる。放射線殺菌の場合も通常の細菌と比較して大きな線量を要する。乾燥状態にあるスパイス・ハーブ類や乾燥野菜では、土壌等に由来する芽胞菌が孢子の状態が存在し、加工食品中に添加したのちに発芽・増殖するため、原材料の状態での菌数低減が求められている。
- 注4) 香辛料の微生物汚染の低減化を目的とする放射線照射の許可の要請:より高品質で衛生が確保された香辛料を上市するために、殺菌・殺虫効果が確実に保証でき品質劣化が少ない非加熱殺菌法として国際レベルで高く評価されている放射線殺菌法の法的許可を求めて全日本スパイス協会が2000年に当時の厚生省に提出した要請。食品照射, 36 (1,2), 49-61 (2001)「香辛料の放射線照射による許可申請をめぐって」参照。
- 注5) 気流式殺菌法:粉末状や粒状の食品をホッパーに入れ、飽和水蒸気をさらに加熱した加圧過熱乾燥水蒸気の気流に短時間接触させて殺菌する方法。蒸熱殺菌と異なり、食品中の水分の増加や団塊の形成が生じない利点がある。

- 注6) ソフトエレクトロンプロセッサ:低エネルギー電子(ソフトエレクトロン)による穀物などの殺菌技術。
①回動装置を用いて穀物表面に均一な電子ビームを照射した場合、玄米、粉、小麦、ソバの微生物数を10 CFU/g以下にするために必要な最低のエネルギーは、75、160、75および130 keVである。
②玄米、小麦、ソバを上述の殺菌に必要な最低の電子エネルギーで処理した場合の粘度は、無処理のものとは比べて有意な低下は無く、低エネルギー電子処理は、穀物内部の澱粉に影響しない。
③殺菌可能なエネルギー条件の電子(60 keVあるいは75 keV)で、玄米(コシヒカリ)を処理し、90%以下あるいは88%以下の歩留まりのとう精を行うと、処理によって酸化した脂質は除かれ、可食部のTBA値は無処理と同等の値を示す。
④玄米を75 keVまでのエネルギーの電子ビームで処理し、90%の歩留まりにとう精した後に炊飯し、物理特性を測定したところ、炊飯米の物理特性(堅さ、粘り)に影響を与えない。以上から、低エネルギー電子の処理により、穀物の可食部の品質には影響を与えること無く、効率の良い殺菌ができる。特許登録3696730号(穀物の殺菌法)平成12年10月10日、特許登録3079516号(食品原料の連続殺菌法)平成12年6月23日。<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/nfri/2000/nfri00-04.html>
- 注7) ソフトエレクトロン:300 keV以下の低エネルギー電子線を定義した用語。通常の高エネルギー電子線(数MeV以上)に比べて透過力が小さく、照射対象物の表面(深さ数百μm以下)のみに作用する。低エネルギー電子線を発生させる加速器の場合、高エネルギー電子加速器やCo-60線源のような厚い壁で遮蔽された照射室は不要で、電子加速装置と照射場を一体的に遮蔽する小型の自己遮蔽型装置として食品製造ラインに組み込み、インライン・インハウスの処理が可能である。
- 注8) 本装置で発生させる加速電圧150 kVの電子線は、原子力基本法の放射線の定義「1MeV以上のエネルギーを有する電子線」に該当しないため、食品への放射線照射を禁止する食品衛生法の規制を受けず、表示義務もないこと厚生省(当時)に確認済み、のちに厚労省にも再確認済み。
- 注9) 青酸ガス:気体のシアン化水素(Hydrogen Cyanide)。分子式HCN、沸点26℃。植物検疫処理では、バナナなどの青果物や切り花に付着するアブラムシ類、アザミウマ類、カイガラムシ類等の消毒に用いられる。
- 注10) エチレンオキシドガス(Ethylene Oxide Gas:EOGまたはEtO):酸化エチレンとも呼ばれる。分子式C₂H₄O、分子量44.05のエポキシド。食品容器や医療器具の滅菌などのために用いられている薬剤であり、食品中に残留するとエチルクロロヒドリンなどの有害物質が生じるため、食品については、わが国やEU等、多くの国で食品への使用は認められていない。

- 注11) オゾン層破壊物質:人間活動により排出され、成層圏オゾン層を破壊する物質。塩素原子や臭素原子を含有し、大気中の寿命が極めて長いもの。対流圏大気中に蓄積した後、大気の運動を通じて成層圏に輸送され、そこでオゾン層で遮蔽されない短波長の太陽紫外線によって分解され、反応性の高い物質に変換され、さらに、連鎖反応により成層圏オゾン層を破壊する。「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」(1987年)によって規制対象とされたオゾン層破壊物質は、わが国では「特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する法律」において「特定物質」として規制されている。
- 注12) 臭化メチル (Methyl Bromide, CH₃Br):農作物への被害が少なく、多種類の害虫や線虫、糸状菌、ウイルスに対して安定した効果を発揮する極めて汎用性のある農薬。植物検疫処理では、切り花、青果物、穀類、豆類等に付着するカメシ類、ハダニ類、ガ(蛾)類、コウチュウ(甲虫)類の消毒に用いられる。1992年に「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」第4回締約国会合においてオゾン層破壊物質に指定され、1995年以降は検疫用途以外の製造・使用が国際的に規制されることになり、日本を含む先進諸国では同締約国会合で承認された特別の用途(検疫用途、緊急用途、不可欠用途)を除き2005年までに、発展途上国では2015年までに、原則廃止することが決定されている。
- 注13) バッチ式の燻蒸処理:主に害虫駆除や防カビ・殺菌の目的で、気体の薬剤を対象に浸透させる処理方法。燻蒸は密閉した無人の状態で行われ、燻蒸終了後は人が入る前に十分に換気される。従来、植物検疫処理における燻蒸剤としては、効力と使用性の良さから臭化メチルが多用されてきたが、これがオゾン層破壊物質であるとされたため、物理的な方法も含む代替法への転換が勧告されている。
- 注14) FDAによるEOGの代替プログラム:<https://www.fda.gov/medical-devices/general-hospital-devices-and-supplies/sterilization-medical-devices> 参照
- 注15) 数年前から環境省がEOGの環境測定を全国規模で調査したところ、発がん性の基準濃度を超える地点が多くあることがわかり、EOG滅菌を使用している病院、医療機器団体などに注意喚起している。環境省の中央環境審議会大気・騒音振動部会「有害大気汚染物質排出抑制対策等専門委員会での審議も始まっている。『事業者による酸化エチレンの自主管理促進のための指針の策定について(通知)環水大大発第 2210181号 令和4年10月18日」<https://www.env.go.jp/content/000082485.pdf>、「有害大気汚染物質排出抑制対策等専門委員会 議事次第資料・議事録一覧」<https://www.env.go.jp/council/07air-noise/yoshi07-13.html>
- 注16) 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(昭和三十一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17) 低温処理法(ジャガイモの芽止め):北海道産のジャガイモは、一般にはイモが休眠期に入る秋に収穫され、休眠明け後も低温で貯蔵することで強制的に休眠を延長できるため、翌年5月頃まで長期にわたって供給されることが多い。特に生食用ジャガイモは、萌芽・減耗抑制を目的に2~4℃付近の温度、80~90%以上の湿度で貯蔵するのが望ましいとされている。多くのジャガイモ品種は、8℃より低い温度で貯蔵すると、デンプンが分解してブドウ糖に変換され、さらにその一部が果糖に変換される低温糖化が起こる。
- 注18) 低温エチレングス法:ポテトチップスのようにジャガイモを高温で油加工すると、低温貯蔵中に増加したブドウ糖や果糖などの還元糖がメイラード反応と呼ばれる現象を通して茶褐色の色素を生成し、製品に苦み・焦げ色を生じさせる。これを避けるため、加工用のジャガイモの貯蔵法として、植物ホルモンであるエチレンを利用した貯蔵法が用いられている。具体的には、低温(8℃)に管理(冬期は外気導入)された貯蔵庫内に、エチレングスを空気で希釈して間欠的に噴霧し、制御装置を介して所定の濃度(4 ppm程度)を保つ。
- 注19) 食品照射の体験実験・ガーリック通信(食のコミュニケーション円卓会議):https://food-entaku.org/garlic_letter.html参照

参考資料

- WHO(世界保健機構), 食品照射の安全性と栄養適正. コープ出版(1996)
- 林徹, 食品・農業分野の放射線利用. 幸書房(2008)
- 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)
- 小林泰彦, 食品照射の実用状況と消費者の受容. RADIOISOTOPES, 71(1), 63-83 (2022)
- 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>