

食品への放射線照射についての科学的知見の  
とりまとめ業務

報告書  
(概要版)

平成20年3月

株式会社 三菱総合研究所

## はじめに

本業務では、食品安全行政の観点から食品への放射線照射について検討を行うため、これまでに公表された科学的知見を収集し、食品へ放射線照射を行うことにより生じると考えられる危害要因について、収集した文献等を精査・分析し、リスクプロファイル原案を作成するとともに、食品への放射線照射について、我が国内におけるニーズを把握するための調査を実施した。

## 1. 食品への放射線照射に係る科学的知見の収集及び整理

### 1.1 食品への放射線照射の利用

#### 1.1.1 食品への放射線照射実用化の経緯

##### (1) 国際的な動向

1952年に Sparrow がジャガイモの発芽防止効果を報告して以来、米国を中心に食品照射の研究開発が本格的に展開された。表 1-1 に、食品照射の主要な歴史的経緯を示す。

1950年代は、米国、ソ連（当時）等で食品照射の実用化に向けた研究が始められた時期であり、米国陸軍では、50年代後半から60年代前半にかけて、ジャガイモ、小麦、ベーコン、モモなど多数の品目を対象にラットやイヌ、サルを用いた慢性毒性試験を実施している。

その後、60年代から70年代にかけて FAO/IAEA/WHO などの国際機関や各国の研究機関において安全性の検討が行われるようになった。その中には、照射小麦を摂取した栄養失調児の末梢血細胞での倍数細胞（ポリプロイド、多倍体細胞）の増加といった研究例（1975年、インド）があった。この実験は、後に WHO の報告書（1994）において、「栄養失調児に倍数細胞（多倍体細胞）を出現させる証拠にはならない」と結論された。

80年代に入ると、国際機関において、照射食品の安全性に関する基本的な合意が得られ、実用化段階に入り、1980年の FAO/IAEA/WHO の JECFI「照射食品の健全性に関する合同専門家委員会」の結論に基づき、1983年にコーデックス委員会が 10kGy 以下の照射食品の一般規格を採択した。

90年代に入ると、米国で家禽肉、赤身肉の照射が許可されるなど、米国内での利用機運が高まったほか、欧州でもオランダ、ベルギー、フランスを中心に食品照射が進んだ。しかし、80年代後半からは、環境問題に対する意識の高まりやチェルノブイリ原子力発電所の事故の影響などもあり、欧州では 2000 年以降、照射量は減少傾向となった。ドイツでは、輸出用としてのみ、香辛料類の照射が実施されており、国内での照射食品の流通は禁止されている。また、1997年、ドイツ国立栄養生理学研究所の研究グループによって、アルキルシクロブタノンの DNA 損傷のデータが発表されるなど、一部で安全性を再検討する動きも見られてきている。照射食品に関する国際的検討はその後も進められ、2003年にはコーデックス委員会において、技術的な目的を達成する上で正当な必要性がある場合には、10kGy 以上での照射も認められることとなった。

表 1-1 食品照射の主要な歴史的経緯

年代	年	主 要 な 出 来 事
50年代 研究初 期段階	1952 年	・ 米国：ジャガイモの発芽防止効果の発見（Sparrow）
	1953 年	・ 米国：陸軍によるジャガイモ、小麦、ベーコン、モモ等を用いた慢性毒性試験（ラット、イヌ、サルを用いて 1960 年代半ばまで継続）
	1958 年	・ 米国：食品照射の法律制定認可のプロセスは食品添加物と同様に食品の種類毎に個別に審査を経るもの
	1958 年	・ ソ連：ジャガイモの発芽防止許可（カナダ：1959 年、米国：1964 年）
	1959 年	・ OEEC/ENEA：食品照射研究グループ発足（1971 年まで、19 ヶ国）
60～70 年代 国際的 な安全 評価段 階	1961 年	・ FAO/IAEA/WHO：照射食品の健全性に関する合同会合開催
	1963 年	・ 米国：穀物、ベーコンの許可
	1964 年	・ FAO/IAEA/WHO：照射食品の法規制の技術的基礎に関する合同専門家委員会において、照射生成物は食品添加物とみなす旨を決定
	1967 年	・ 日本：原子力特定総合研究「食品照射研究開発基本計画」として 7 品目（ジャガイモ、タマネギ、米、小麦、ウインナーソーセージ、水産ねり製品、ミカン）の研究開始（総理府原子力委員会、87 年終了）
	1968 年	・ 米国：ベーコンの許可取り消し（提出されたデータに対し、当時の FDA がラットの死亡率の上昇、体重減少等を示唆するデータがあると判断したため）
	1969 年	・ 第 1 回 JECFI（FAO/IAEA/WHO 小麦、ジャガイモ、タマネギに関する照射食品の健全性に関する合同専門家委員会）
	1970 年	・ IFIP が発足
	1975 年	・ インド：照射小麦を 4～6 週間摂取した栄養失調児での倍数細胞（ポリプロイド、多倍体細胞）の増加に関する研究
	1976 年	・ 第 2 回 JECFI（FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会）：食品照射は食品添加物ではなく物理的加工技術とみなすとの勧告
80年代 安全性 合意・ 実用化 段階	1978 年	・ IFFIT：オランダに設置 ・ 日本：「照射ベビーフード事件」が発生（一審判決：1984 年、二審判決：1985 年）
	1980 年	・ 第 3 回 JECFI（FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会）：10kGy 以下の照射は健全性に問題がないとの見解を発表
	1983 年	・ Codex：「照射食品に関する国際一般規格」を採択
	1984 年	・ ICGFI 設置：食品照射の実用化と貿易促進をめざすことを合意（24 ヶ国が参加）
	1984 年	・ 米国：スパイスへの照射許可（30kGy まで）
	1986 年	・ 日本：食品照射の総合研究実施（日本アイソトープ協会、1991 年まで）
90年代 以降 実用 化・再 検討段 階	1988 年	・ FAO/WHO/IAEA と ITC：照射食品の受容、管理、貿易に関する合意文書を採択
	1992 年	・ 米国：家禽肉の許可（3.0kGy まで）
	1997 年	・ 米国：赤身肉(red meat) の照射許可(FDA：1997、USDA：1999)、2000 年発効
	1997 年	・ FAO/IAEA/WHO 高線量照射に関する合同研究部会：10kGy 以上の高線量健全性の宣言 ・ ドイツ：国立栄養生理研究所がアルキルシクロブタノンによる細胞の DNA 損傷についてのデータを発表
	1999 年	・ EU：放射線照射食品の枠組みを定める EU 指令の制定（2000 年より施行。EU 全体でスパイスを共通認可品目として制定）
	2000 年	・ 日本：全日本スパイス協会がスパイス（香辛料）の放射線照射による殺菌許可要望書を厚生労働省に提出
	2003 年	・ FAO/IAEA/WHO 高線量照射に関する合同研究部会：必要性がある場合には、10kGy 以上での照射も認めることを合意 ・ Codex 照射食品に関する一般規格、食品の放射線処理に関する国際規範の改訂

（出典：久米民和、新世紀の食品加工技術 藤田哲、小林登史夫、亀和田光男監修「世界の食品照射技術の動向」 シーエムシー出版(2002) をもとに「食品への放射線照射について」 原子力委員会食品照射専門部会 平成 18 年 9 月 26 日の情報を追加）

## (2) 日本における動向

日本では、1955 年に制定された原子力基本法において、「原子力の研究、開発及び利用を推進することによって、将来におけるエネルギー資源を確保し、学術の進歩と産業の振興とを図り、もって人類社会の福祉と国民生活の水準向上とに寄与する」こととされた。これを受けて、1957 年には、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（通称：放射線障害防止法）が制定され、労働安全衛生法とそれにもとづく電離放射線障害防止規則等の関連法令の整備も進められた。

以上の背景のもと、国際的な動向を踏まえて、食品への放射線照射への検討が開始された。1967 年から「原子力特定総合研究」がスタートし、ジャガイモ（発芽防止）、タマネギ（発芽防止）、米（殺虫）、小麦（殺虫）など 7 品目について、放射線照射の条件と照射の効果、食品の健全性（栄養試験、毒性試験、変異原性試験等）、検知法についての研究が行われた。

なお、食品衛生法では、食品への放射線照射は、原則的に禁止されているが、「原子力特定総合研究」の成果を踏まえて、1972 年に、放射線によるジャガイモの発芽防止が同法のもとで認可された。1974 年から北海道の土幌アイソトープ照射センターで実用照射が開始された。

こうした中、1978 年には、食品衛生法に基づく許可を得ないまま、ベビーフードの原料に用いる粉末野菜に放射線殺菌を行って販売したという問題（いわゆる「ベビーフード事件」）が発生した。この問題については、一審、二審で有罪判決が下されている。厚生省(当時)では、この問題を受けて、「食品の放射線照射業者に対する監視指導について」（1978 年 10 月 12 日付け環食第 26 号厚生省環境衛生局食品衛生課長通知）を発出し、各都道府県衛生担当に対して、事業者に対する監視指導の留意点について通知を行っている。

なお、輸入食品にあつては、食品衛生法第 27 条の規定に基づく輸入届出において、製造又は加工の方法に関する記載を求めており、検疫所において当該記載事項における放射線照射の有無の確認が行われているほか、2007 年 7 月に熱発光法（Thermoluminescence 法、TL 法）による放射線照射食品の検知法が通知され（「放射線照射された食品の検知法について」（2007 年 7 月 6 日付け食安発第 0706002 号厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知））、香辛料等について当該検知法を用いて輸入時検査が行われている。

一方、2000 年には、「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」が関連業界団体（全日本スパイス協会）から国に提出されている。

### 1.1.2 食品への放射線照射の利用分野

食品照射は、発芽防止、熟度調整、食品成分の改質、殺虫・殺菌などに有効な技術とされており、必要な線量は発芽防止、殺虫、殺菌の順に高くなっている。以下に、食品分野で利用されている放射線照射について、その目的、照射線量等を整理した（表 1-2）。

表 1-2 食品照射の利用分野

応用区分	線量 (kGy)	品目
低線量処理 (1kGy 以下)		
(A)発芽防止	0.05～0.15	ジャガイモ、タマネギ、ニンニク、ショウガなど
(B)殺虫及び害虫不妊化	0.15～0.5	穀類、豆、生鮮果実、乾燥魚、乾燥肉、豚肉など
(C)熟度調整 (成熟の遅延)	0.5～1.0	生鮮果実、野菜など
中線量処理 (1～10kGy 以下)		
(A)貯蔵期間の延長	1.0～3.0	生鮮魚、イチゴなど
(B)殺菌 (病原菌や腐敗菌)	1.0～7.0	生鮮魚介類、冷凍魚介類、生鮮鶏肉及び畜肉、冷凍鶏肉及び畜肉など
(C)品質改善 (食品の物性変化)	2.0～7.0	ブドウ (搾汁率の向上)、乾燥野菜 (調理時間短縮) など
高線量処理 (10～50kGy 以下)		
(A) 工業的滅菌 (加温との組み合わせ)	30～50	肉、鶏肉、魚介類、調理済み食品、病院用滅菌食など
(B)調味料、食品素材の殺菌	10～50	スパイス、酵素製剤、天然ガムなど

(出典：照射食品の安全性と栄養適性 コープ出版(1996) (WHO Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food, 1994 の邦訳) 文献 5 をもとに一部改変)

## 1.2 食品への放射線照射の安全性をめぐる国際的議論の状況

### 1.2.1 国際機関における議論の状況

#### (1) FAO/IAEA/WHO

世界保健機関（WHO）は 1960 年代から他の国連機関（FAO、IAEA）と協力して照射食品の安全性評価に取り組んできた。その経緯は表 1-3 の通りである。

表 1-3 国際的議論の流れ

年	国際的議論に係わる事項
1961 年	FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同会合（Joint FAO/IAEA/WHO meeting on the wholesomeness of Irradiated Foods）。栄養学的適合性と食品としての安全性についての検討を開始。
1964 年	FAO/IAEA/WHO 照射食品の法規制の技術的基礎に関する合同専門家委員会（Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee meeting on the technical basis for legislation on irradiated food : JECFI）。照射生成物は食品添加物とみなすことを決定。
1969 年	第 1 回 JECFI（FAO/IAEA/WHO 小麦、ジャガイモ、タマネギに関する照射食品の健全性に関する合同専門家委員会、Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee meeting on the wholesomeness of irradiated food with special reference to wheat, potatoes and onions）。
1970 年	食品照射国際プロジェクト（International Project in the Field of Food Irradiation, IFIP）が発足。
1976 年	第 2 回 JECFI（FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会、Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee meeting on the wholesomeness of irradiated foods）。「食品の放射線処理は物理的な処理法であり、食品添加物としての取り扱いが妥当でないこと」を結論。
1980 年	第 3 回 JECFI（FAO/IAEA/WHO 照射食品の健全性に関する合同専門家委員会、Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee meeting on the wholesomeness of irradiated foods）。「食品に総平均線量を 10kGy まで照射しても、毒性学的な問題点は認められないこと、また、栄養学的及び微生物学的な問題は生じないこと」を結論（WHO 報告書、1981 年）。
1983 年	Codex による「照射食品に関する国際一般規格」及び「食品処理のための照射施設の運転に関する国際基準」の採択。
1997 年	FAO/IAEA/WHO の高線量照射に関する合同研究部会（Joint FAO/IAEA/WHO Study Group on High Dose Irradiation）。「10kGy を超える高線量であっても安全である」との報告（WHO 報告書、1999 年）。
2003 年	FAO/IAEA/WHO の高線量照射に関する合同研究部会。10kGy 以上の放射線を照射した食品に関する関連データを再検討。その結果、「意図した技術上の目的を達成するために適切な線量を照射した食品は、適切な栄養を有し、安全に摂取できる」ことを結論。

（出典：Four decades in food irradiation, Editorial, Radiation Physics and Chemistry, vol.73, 2005, 346-347

原子力百科事典 <http://www.rist.or.jp/atomica/>

WHO のホームページ (<http://www.who.int/foodsafety/en/>)

## (2) コーデックス委員会 (Codex)

コーデックス委員会における照射食品に関する規格には、1983年に採択された以下の2つの基本的な規格が存在する。

- ・「照射食品に関する一般規格」(Codex General Standard for Irradiated Foods)
- ・「食品の放射線処理に関する国際規範」(Codex Recommended International Code of Practice for Radiation Processing of Food)

「照射食品に関する一般規格」では、食品照射に利用できる線源の種類と吸収線量の上限、施設管理や衛生管理の基本的考え方、再照射の原則禁止、表示などについて規定している。「食品の放射線処理に関する国際規範」では、一般規格よりも具体的に、照射前の食品の取扱い方、施設の設計・管理のあり方、線量の計測、記録の作成、HACCP(Hazard Analysis and Critical Control Point)の採用、表示などについて定めている。

1997年にFAO/IAEA/WHO合同会合が10kGyを超える高線量照射の安全性宣言を出して以降、コーデックス委員会では、これら2規格の改訂作業を進めた。

改訂作業では、吸収線量の上限撤廃と放射線分解生成物のアルキルシクロブタノンの安全性が論点となったが、最終的には、より高いレベルの放射線を食品照射に使用できることを含めた新しい規格を採択することとなり、2003年のコーデックス委員会において規格の改訂が決定した。

最大の争点であった吸収線量の上限については、「技術上の目的を達成する上で正当な必要性がある場合を除き、10kGyを超えてはならない」という記述に改められた。この結果、耐放射線性の病原菌であるクロストリジウム属のボツリヌス菌やバクテリアの芽胞も殺滅することが可能な、より高い放射線レベルの使用が認められることとなった。

これ以外には、食品照射の必要性に関する文言が消費者保護を重視する立場から改訂された。具体的には、食品の照射が正当化されるのは、技術上の要求を満たす場合と消費者の健康を保護するためであることが追加され、「照射を適正衛生規範 (Good Hygienic Practice: GHP)、適正製造規範 (Good Manufacturing Practice: GMP)、適正農業規範 (Good Agricultural Practice: GAP) の代替措置として利用してはならない」という記述に改められた。

### 1.2.2 米国における議論の状況

FDAでは、1980年に公表された報告書“Recommendations for evaluating the safety of irradiated foods, Final report, 1980”(照射食品の安全性評価のための提言 最終報告 1980年)の中で食品照射の安全性評価に関する基準を提案している。

FDAでは、この基準が適用可能と判断される場合、適宜この基準を用いて食品照射の安全審査を行い、認可を行っている。

この評価基準のポイントは、以下の通りである。

- ① 1kGy以下の食品照射は食品として安全である。
- ② スパイスなど、毎日の食事に占める割合が0.01%以下の食品類については50kGy以下の線量までは、動物による安全性試験を行わなくとも安全である。

- ③ 1kGy 以上照射された食品の許可にあたっては、遺伝毒性試験と 90 日間にわたる動物飼育試験（亜慢性試験）での安全性データを必要とし、有害な結果が得られなければ、食品として安全である。

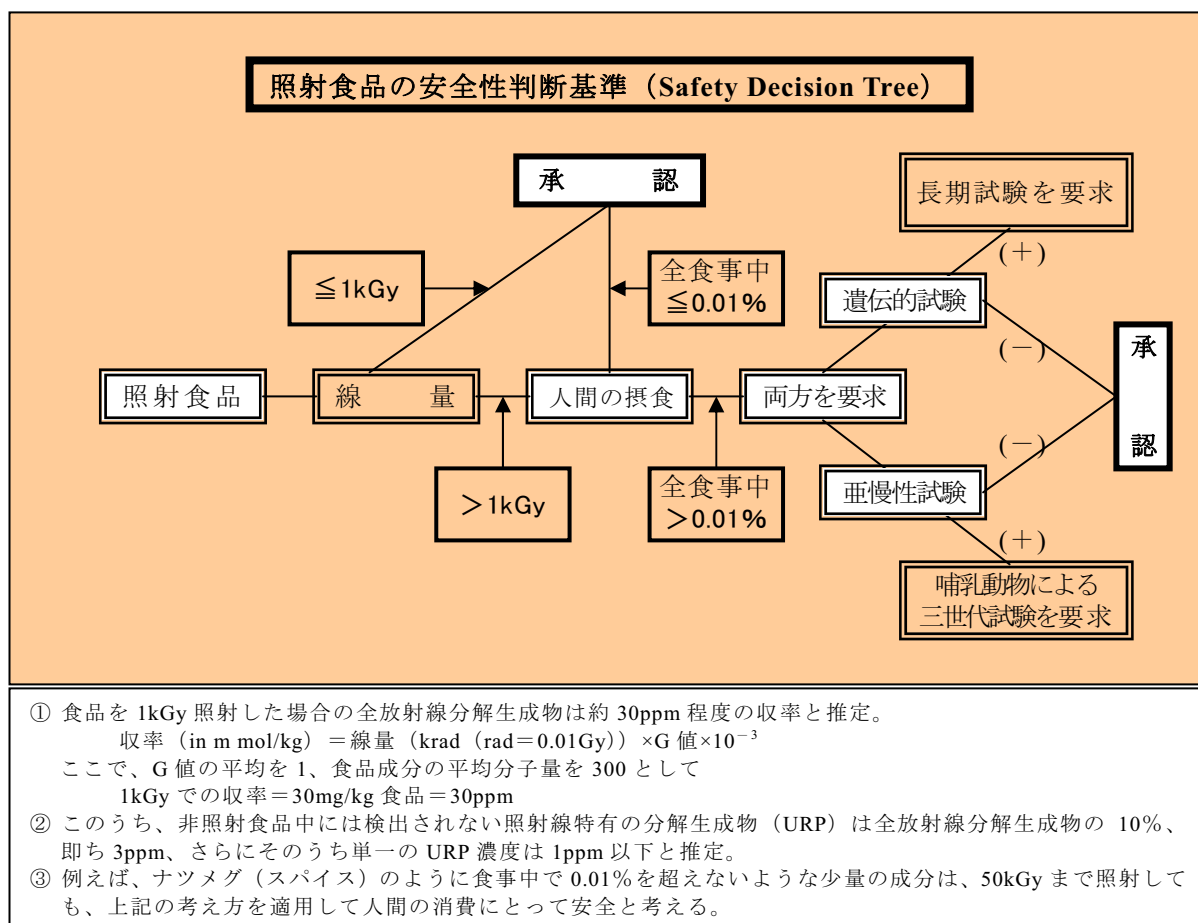


図 1-1 米国 FDA の照射食品に関する委員会（BFIFC）により提言された照射食品の安全性評価基準の概略（1980 年策定）

（出典：U.S. Regulatory Requirements for Irradiated Foods George H. Pauli, May 1999,  
<http://vm.cfsan.fda.gov/~dms/opa-rdtk.html>）

決定樹（Safety Decision Tree）はあくまでも提言という位置づけにあり、これを基にした評価方法が法的な裏付けを持っているわけではない。1994 年に WHO が信頼に足る動物給餌実験を個々にではなく、全体的に考察する委員会レポートを発行すると、FDA では照射食品の安全評価に同様のアプローチを取ることにし、赤身肉の許可にあたっては、鶏肉や他の生鮮食品に関する毒性学的評価データも考慮に入れた判断を実施している（表 1-4）。

また、この決定樹は 1990 年代に入ってからアルキルシクロブタノンの安全性といった最近の議論よりも以前に作成されたことにも留意が必要である。



表 1-4 FDA が許可している主な照射食品の安全性評価の根拠

品目	評価に用いた根拠	許可年
香辛料	BFIFC(Bureau of Foods Irradiated Food Comittee)の勧告による決定樹の考え方（摂取量の少ない食品については 50kGy まで安全とする）に従った。	1983
食鳥肉	FDA が入手していた既存の個々の研究に関するレビューに基づく（鶏肉を用いた混餌試験、遺伝毒性試験等）。	1990
赤身肉	WHO の 1994 年のレポート（1992 年の協議による）に従い、食鳥肉や他の生鮮食品に関する毒性学的評価データも考慮。	1997

（出典：内閣府食品安全委員会 平成 16 年度食品安全確保総合調査「放射線照射食品の安全性に関する文献等の収集・整理等の調査報告書」独立行政法人食品総合研究所 平成 17 年 3 月を一部改変）

### 1.3 適正な照射の確保に関する対応状況

食品への放射線照射については、FAO、IAEA、WHO といった国際機関が中心となって安全性の評価を進めてきた。こうした流れの中で、照射施設の適正な運転等に関する規則や照射された食品の検知方法の検討が進められている。

#### 1.3.1 放射線照射施設等の管理

##### (1) 照射施設の管理

照射施設の管理については、IAEA(ICGFI)や Codex で国際的な基準が設けられている。

IAEA では、食品への放射線施設に対する GMP を定め、放射性物質が食品に混入しないために事業者が遵守すべき手順を定めている。1992 年と 1995 年には放射線照射施設の運転に関するトレーニングマニュアルを作成し、照射施設の運転員の能力の向上を図っている。

Codex では、放射線照射食品に関する一般規格の中で、照射処理を行う施設は、施設の免許と認可、施設の安全管理と衛生条件、運転管理に関わる人材の適性と訓練、運転管理（線量測定）などについて、国際的な基準に従うべきであるとしている。また、食品照射実施に関する国際基準附属書 A において、全体平均吸収線量の計算方法、過剰照射を防止するための最大・最小線量についての考え方などについて定めている。

各国では、これを踏まえて照射施設の管理が行われている。

なお、WHO の報告書（1994）によれば、食品への放射線照射に際して、「線量の均一性が欠如するのではないか、特に大きな容器内では、食品が過剰線量で照射されるのではないかと疑問視されてきた」が、「これは、照射施設での技術上の問題であり、いかなる形状のどのような食品でもその最大線量を超えないように設定された特定のプロトコルを作成することで解決される」とされている。

##### (2) 作業者の被曝

放射線照射施設は、IAEA、Codex といった国際機関の定めた規定を踏まえて、各国で運用管理が行われている。作業者の被曝については、原子力委員会の 2006 年の報告書において、以下の通り記載されている。

「内外の放射線照射施設におけるこれまでの事故例からみて、当該施設に係る危険性の一つは、作業員が偶発的に電離放射線を浴びるかもしれないことである。作業員が設備故障を発見するため、あるいは作業員が何らかの原因で偶発的に放射線を浴びるのを防ぐために、放射線照射施設は幾重もの防護レベルのもとに設計されている。照射を行うために、放射線源が照射室内に露出している時には、危険な区域はモニターで監視され、またインターロックシステムの働きで、照射室への立ち入りができないようになっている。これらの設備面での対応に加え、作業員がマニュアルを遵守し、人為的な事故を避けることも重要である。以上より、放射線照射施設は、そもそも構造的に周辺環境への影響がないように設計・建設されている施設であり、また作業員の安全確保についても十分な配慮がなされているが、マニュアルの遵守等安全文化の一層の徹底が期待されている。」

### 1.3.2 再照射

Codex において、食品への再照射は、低水分量の食品類（穀類、豆類、乾燥食品、等）の殺虫を目的とした放射線処理を除き、原則的に禁止されている。ただし、低線量で照射された原料を用いて製造される食品や、照射された原料が 5%以下の食品、またはイオン化放射線の全体線量が目的とする効果を与える場合で分割照射せざるを得ない場合、再照射が認められる。なお、全体の平均累積線量は再照射の場合でも 10kGy を超えてはならないとされている。

### 1.3.3 照射された食品の検知法

照射された食品の検知法については、IAEA において検知法の技術開発が 1980 年代から進められ、1991 年の中間報告のとりまとめを踏まえて、1994 年に最終的な枠組みが定められた。これを受けて、各国で公定の検知方法が定められている。

## 2. 食品への放射線照射に関する世界各国・国際機関の規制及びその運用状況の調査

### 2.1 調査の概要

食品への放射線照射に関する世界各国・国際機関の規制（規制当局、根拠法令とその内容等）及びその運用状況を把握するため、各国の政府機関（管轄機関）を対象とするアンケート調査（中国についてはインタビュー調査）や各機関のホームページ等を通じた公開情報の調査を実施した。あわせて、照射食品に係る統計資料を収集・整理した。

#### 2.1.1 調査の実施対象国及び機関

調査の実施対象については、食品への放射線照射に関する規制を実施している、もしくは検討している国、照射食品の流通量・輸出入量が多いと想定される国を中心に抽出した。

調査対象として抽出した地域、国、国際機関は表 2-1 の通りである。

表 2-1 食品への放射線照射に関する情報収集調査の実施対象

北南米地域	米国, カナダ, チリ, ブラジル
欧州地域	EU, アイルランド, イギリス, イタリア, オランダ, スペイン, チェコ, ドイツ, ハンガリー, フランス, ベルギー, ポーランド, アイスランド
アジア地域	中国, 台湾, 韓国, インド, ASEAN, インドネシア, シンガポール, タイ, フィリピン, ベトナム, マレーシア
オセアニア	オーストラリア, ニュージーランド
国際機関	Codex, FAO, IAEA, OECD, WHO

#### 2.1.2 調査項目

本調査では、以下を調査項目とした。

- (1) 食品照射に関する法規制・ガイドライン等の有無及びその概要
- (2) 照射認可品目、照射目的、許可されている線量、年間照射量
- (3) 照射食品の表示制度
- (4) 照射施設の管理
- (5) 照射食品の記録
- (6) 照射食品のモニタリング制度及び検知法
- (7) 照射食品の輸入状況
- (8) その他（違反した際の罰則、規制の変更の提案等）

なお、国際機関に対しては、上記のうち、(1)食品照射のガイドラインの有無、(6)照射食品の検知法及び安全性に関する報告書等の発表状況を調査項目とした。

### 2.2 調査結果一覧

2.1 に概要を記述した調査結果及びその他の関連文書をもとに、各国・国際機関の食品照射の規制及び実施状況を整理した結果を以降に示す。

なお、表番号及び表タイトルの一覧は以下の通りである。

表 2-2	各国及び国際機関による食品照射に関する法規制・ガイドライン等の規定状況
表 2-3	各国及び国際機関の照射認可品目（動物性食品）
表 2-4	各国及び国際機関の照射認可品目（植物性食品）
表 2-5	各国及び国際機関の照射認可品目（その他）
表 2-6	各国及び国際機関における照射食品の表示の規定状況
表 2-7	各国及び国際機関の食品照射施設及び施設検査制度

表 2-2 各国及び国際機関による食品照射に関する法規制・ガイドライン等の規定状況

国/機関名	照射条件 (線源、線量)	照射条件 (線源、線量以外)	照射に際しての禁止事項	認可品目	照射施設の認可・ライセンス	照射施設の検査	照射の記録	照射食品のモニタリング	照射食品の認可手続制度	照射食品の表示	照射食品の輸入条件	照射食品の輸入検査	違反時の処罰等	事故等の際の情報公開	その他
米国	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○		
カナダ	○	○	○	○	○	○	○	○ 食品全般	○	○	○	○	○		
チリ	○	○	○	○	—	○	○	×	—	○	○	○	—	—	
ブラジル	○	○	—	○	○	○	—	○	—	○	○	—	—	—	
EU	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	照射食品の安全性に関する情報共有
アイルランド	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	—	○	—	
イギリス	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	—	○	○	
イタリア	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
オランダ	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	—	—	—	
スペイン	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
チエコ	○	*	*	○	*	○	○	○	○	○	○	*	○	*	
ドイツ	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	—	—	—	
ハンガリー	○	○	○	○	—	○	—	○	○	○	○	—	—	—	
フランス	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
ベルギー	○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	○	—	○	—	
ポーランド	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	—	

国/機関名	照射条件 (線源、線量)	照射条件 (線源、線量以外)	照射に際しての禁止事項	認可品目	照射施設の認可・ライセンス	照射施設の検査	照射の記録	照射食品のモニタリング	照射食品の認可手続制度	照射食品の表示	照射食品の輸入条件	照射食品の輸入検査	違反時の処罰等	事故等の際の情報公開	その他
アイスランド	○	×	○	○	×	×	×	×	○	○	○	○	○	×	
オーストラリア	○	—	○	○	—	—	○	—	—	○	—	—	—	—	
ニュージーランド	○	—	○	○	○	○	○	○ 食品全般	—	○	○	○	—	—	
中国	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	
台湾	○	○	—	○	—	○	—	×	—	○	×	—	○	○	
韓国	○	—	—	○	○	○	—	○	—	○	—	—	—	—	
インド	○	○	○	○	○	○	○	—	—	○	—	—	—	—	
インドネシア	—	—	—	—	○	—	—	—	—	○	○	—	—	—	
シンガポール	○	○	○	×	×	×	×	○ (食品全般)	×	○	○	—	○	—	
タイ	○	○	○	○	—	○	—	○	—	○	○	—	○	—	
フィリピン	○	○	—	—	○	○	○	○	—	○	○	—	○	—	
ベトナム	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○	—	
マレーシア	○	—	—	—	○	○	—	—	—	○	○	—	—	—	
Codex	○	○	○	×	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	
ASEAN	○	○	○	×	×	○	○	○	×	○	○	×	○	×	技術者が満たすべき要件

(注) ・各国及び国際機関の情報はアンケート調査結果及び章末記載の文献による。

・各項目について該当する規制や活動がある場合は「○」、該当する規制や活動がないことを確認した場合は「×」、該当する規制や活動について情報が得られなかった場合は「—」とした。

・EU加盟国で、国内法が確認できていないがEU統一規則に従うと思われる場合は\*印を示した。

・上記以外の国際機関の取り組み状況:WHOはCodex基準を採用、OECDは照射食品に関する活動なし、Joint FAO/IAEA Division for Nuclear Techniques in Food & Agricultureはアンケート回答なし。

表 2-3 各国及び国際機関の照射認可品目（動物性食品）

	肉類	家畜肉			豚肉	牛肉	魚介類	エビ	貝類	カエルの脚	卵	動物性乾燥食品	
米国	右記品目のみ	○		○	○(赤身肉)		右記品目のみ	×	○	×	○	×	
		病低減	貯蔵延	寄生防	病低減	貯蔵延			病低減		病低減		
		3.00 (max)		1.00 (max)	冷凍肉 4.50 (max) 冷凍肉 7.00 (max)				5.50 (max)		3.00 (max)		
チリ	右記品目のみ	○		×	×	表3.1.4参照	×	×	×	×	×	×	
		微制御	貯蔵延										
		2.20(max)											
ブラジル	○ 寄生防：病低減：貯蔵延 情報なし	肉類と同様				○ 寄生防：病低減：貯蔵延 情報なし	魚介類と同様		情報なし	情報なし	○ 害虫防 情報なし		
イギリス	右記品目のみ	○ ニワトリ、ガチョウ、アヒル、ウズラ、 ホロホロドリ、ハト、シチメンチョウ			×	×	○ 微制御 / 貯蔵延	魚介類と同様		×	×	×	
		微制御											
		7.00 (max)											
オランダ	右記品目のみ	○		×	×	右記品目のみ	○	×	○	×	×	×	
		微制御	貯蔵延				病低減		病低減				
		7.00 (avr)					3.00 (avr)		5.00 (avr)				
チェコ	右記品目のみ	○			×	×	○ 寄生防：病低減：貯蔵延	魚介類と同様		○	○	○ 乾燥血液、血漿、凝固血液 害虫防	
		寄生防	病低減	貯蔵延						微制御	微制御	害虫防	
		3.00 (max)	7.00 (max)	7.00 (max)						5.00 (max)	3.00 (max)	10.00 (max)	
ドイツ	×	×	×	×	×	×	×	×	○ 微低減	×	×		
5.00 (max)													
フランス	右記品目のみ	○		×	×	右記品目のみ	○	×	○	×	×	○ 微制御	
		微制御	貯蔵延				微制御		微制御				
		5.00 (max)					5.00 (max)		5.00 (max)				10.00 (max)
ベルギー	右記品目のみ	○ ニワトリ、ガチョウ、アヒル、ウズラ、 ホロホロドリ、ハト、シチメンチョウ			×	×	右記品目のみ	○	○	○	○	○ 乾燥血液、血漿、凝固血液 微制御	
		微制御						微制御	微制御	微制御	微制御		
		ミンチなど加工肉:5.00 (max) その他:7.00 (max)						5.00 (max)	3.00 (max)	5.00 (max)	3.00 (max)	10.00 (max)	
中国	右記品目のみ	○		○	○	×	×	×	×	×	×	×	
		微制御	寄生防	微制御									
		2.50 (max)		0.65 (max)	2.50 (max)								
台湾	右記品目のみ	○(冷蔵)	○(冷蔵)	○(冷凍)	○(冷凍)	×	×	×	×	×	×	○(調味料) 貯蔵延	
		貯蔵延	微防	寄生防	貯蔵延							寄生防	貯蔵延
		5.00 (max)		7.00 (max)	7.00 (max)							10.00 (max)	
韓国	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○ 微制御 7.00 (max)		
インド	○ 微制御 / 貯蔵延 4.00 (max)	肉類と同様				○ 害虫防：微制御：貯蔵延 6.00 (max) 6.00 (max) 6.00 (max)	魚介類と同様		×	×	×		
インドネシア	×	×	×	×	×	○(干物) 害虫防 5.00 (max)	○ 微制御 5.00 (max)	×	○ 微制御 7.00 (max)	×	×		
タイ	右記品目のみ	○ 微制御	貯蔵延	×	×	○ 微制御：貯蔵延 2.20 (max)	○ 害虫防(干物) 1.00 (max)	○ 微制御 5.00 (max)	×	×	×	×	
フィリピン	○ 寄生防：病低減：貯蔵延 2.00 (max) 7.00 (max) 3.00 (max)	肉類と同様				○ 寄生防：病低減：貯蔵延 2.00 (max) 7.00 (max) 3.00 (max)	魚介類と同様		×	×	カビ防：害虫防：病低減 3.00 (max) 1.00 (max) 7.00 (max)		
ベトナム	○ 寄生防：病低減：貯蔵延 2.00 (max) 7.00 (max) 3.00 (max)	肉類と同様				○ 寄生防：病低減：貯蔵延 2.00 (max) 7.00 (max) 3.00 (max)	魚介類と同様		×	×	カビ防：害虫防：病低減 3.00 (max) 1.00 (max) 7.00 (max)		
ASEAN	○(生、冷凍) 寄生防：病低減：貯蔵延 0.30 1.00 1.00 2.00 7.00 3.00	肉類と同様				○ 寄生防：病低減：貯蔵延 0.10 1.00 1.00 7.00 7.00 3.00	魚介類と同様		魚介類と同じ 魚介類と同じ	×	カビ防：害虫防：病低減 1.00 0.30 2.00 3.00 1.00 7.00		

注) ・上段：認可の有無または認可品目名 中段：照射目的 下段：許可能量  
 ・max: 最大値量 min: 最小値量 average: 平均値量 単位: kGy  
 ・○: 許可 ×: 許可なし  
 ・発芽抑制 寄生防: 害虫防除 寄生防: 寄生虫防除 微制御: 微生物制御(Microbial Control) 微低減: 微生物負荷量(Microbial Load)の低減 病低減: 病原微生物の低減(Reduction of Pathogenic Microorganism)  
 検査: 検査処理 貯蔵延: 貯蔵期間延長 成熟阻: 成熟阻害 など、これらの分類はIAEA Clearance of Irradiated Food Database による。  
 ・各国及び国際機関の情報はアンケート調査結果及び参考文献の文献による。  
 ・EUの許可品目は1999年に定められた品目であり、現在品目の拡大を協議している(2.2.4章を参照)。この統一許可品目以外に加盟各国で独自の許可品目を設けることが認められている。  
 ・下記の国は認可する動物性食品がないため、表に記載していない  
 カナダ、EU、アイルランド、イタリア、スペイン、ハンガリー、ポーランド、アイスランド、オーストラリア、ニュージーランド、シンガポール、マレーシア





表 2-5 各国及び国際機関の照射認可品目（その他）

	品 目 名												
米国	酵素製剤	種子・スプラウト											
	微制御	微制御											
	10.00 (max)	8.00 (max)											
チリ	カカオ豆	デーツ(果物)	魚 (teleosteos)										
	害虫防	害虫防	害虫防	微制御	貯蔵延								
	1.00 (max)	1.00 (max)	2.20(max)										
ブラジル	複合的な食品												
	微制御												
	制限なし												
オランダ	アラビアゴム		冷凍食品										
	微制御・病低減		微制御	病低減									
	75.00 (average)		10.00 (average)										
チェコ	カゼイン	アラビアゴム											
	微制御	微制御											
	6.00 (max)	3.00 (max)											
フランス	米粉	胚芽	カゼイン	アラビアゴム									
	微制御	微制御	微制御	微制御									
	10.0 (max)	10.0 (max)	6.00 (max)	3.00 (max)									
ベルギー	米粉	カゼイン	アラビアゴム	冷凍ハーブ									
	微制御	微制御	微制御	微制御									
	4.00 (max)	6.00 (max)	3.00 (max)	10.00 (max)									
ポーランド	アガリクス (カワリハラタケ)												
	貯蔵延												
	1.0 - 2.5												
オーストラリア	薬草		ライチ	ロンガン	マンゴスチン	ランブータン	パンノキ	スターフルーツ	カスタードアップル				
	芽止め	殺菌	微制御	検疫	検疫	検疫	検疫	検疫	検疫				
	3.00-6.00		2.00-10.00	0.15-1.00	0.15-1.00	0.15-1.00	0.15-1.00	0.15-1.00	0.15-1.00				
ニュージーランド	薬草		ライチ	ロンガン	マンゴスチン	ランブータン	パンノキ	スターフルーツ	カスタードアップル				
	芽止め	殺菌	微制御	検疫	検疫	検疫	検疫	検疫	検疫				
	3.00-6.00		2.00-10.00	0.15-1.00	0.15-1.00	0.15-1.00	0.15-1.00	0.15-1.00	0.15-1.00				
中国	さつまいもの酒	肉類の調理食品	固形スープ										
	微制御	微制御	情報なし										
	4.00 (max)	8.00 (max)	8.00 (max)										
台湾	サツマイモ	シャロット											
	芽止め	芽止め											
	1.50 (max)	1.50 (max)											
韓国	朝鮮人参	栗の実	きのこ類	海藻・アロエ	粉末卵	酵素製剤	食品中の澱粉	殺菌済みの食品	しょうゆ	ソース	ペースト状調味料	粉末状イースト	粉末状調味料 (デンジャン、コチュジャン、カンジャン)
	微制御	害虫防	害虫防	微制御	微制御	微制御	微制御	微制御	微制御	微制御	微制御	微制御	微制御
	7.00 (max)	0.25 (max)	1.00 (max)	7.00 (max)	5.00 (max)	7.00 (max)	5.00 (max)	10.00 (max)	7.00 (max)	10.00 (max)	7.00 (max)	7.00 (max)	7.00 (max)
タイ	発酵ココア	ニヤム、ムーヨー (ソーセージ)	ソーセージ				ジュジュバ (ドライフルーツ)						
	微制御	寄生防	寄生防	微制御	貯蔵延		害虫防						
	5.00 (max)	5.00 (max)		5.00 (max)			1.00 (max)						
フィリピン	複合的な食品 (病院食や宇宙食、フィリピン独特の食品など)												
	検疫	病低減	殺菌										
	食品によって異なる												
ASEAN	複合的な食品	土地固有の食品	病院食	軍用食	宇宙食	増粘剤	アラビアゴム	ハチミツ	液状卵	特別なスパイス等			
	病低減、殺菌、検疫												
	食品によって異なる												

注) ・上段:認可の有無または認可品目名 中段:照射目的 下段:許可線量

・max:最大線量 min:最小線量 average:平均線量 単位:kGy

・○:許可 ×:許可なし

・発芽制:発芽制御 害虫防:害虫防除 寄生防:寄生虫防除 微制御:微生物制御(Microbial Control) 病低減:病原微生物の低減(Reduction of Pathogenic Microorganism)

・微低減:微生物負荷量(Microbial Load)の低減 検疫:検疫処理 貯蔵延:貯蔵期間延長 成熟阻:成熟阻害 なお、これらの分類はIAEA Clearance of Irradiated Food Database による。

・各国及び国際機関の情報はアンケート調査結果及び章末記載の文献による。

・EUの許可品目は1999年に定められた品目であり、現在品目の拡大を協議している(2章を参照)。この統一許可品目以外に加盟各国で独自の許可品目を設けることが認められている。

※表 2-3、表 2-4 の分類に該当しない食品を認可している国のみ記載している。

表 2-6 各国及び国際機関における照射食品の表示の規定状況

国/機関名	Radura マーク	規定の文言	規定の文言以外で 照射に関する情報	原材料に照射食品が 含まれる場合の表示	その他
米国	○	"Treated with radiation" "Treated by irradiation"	×	×	牛肉、家禽肉が照射され、それが原料に含まれる場合は、原材料表示欄に照射食品であることを明記。
カナダ	○	"treated with radiation" "treated by radiation" "irradiated"	×	照射原料が10%以上の場合に記載	
チリ	○	あり(文言は未確認)	×	照射原料が5%以上の場合に記載	
ブラジル	○	"Food treated by Irradiation Process" "This product was processed in establishment controlled by CINEN"	—	—	CINEN: Comissao Nacional de Energia Nuclear (Brazil's Nuclear Regulatory Agency)
EU	×	"Irradiated" "treated with ionizing radiation"	×	比率に関わらず記載	
アイルランド	×	"Irradiated" "treated with ionizing radiation"	×	比率に関わらず記載	
イギリス	×	"Irradiated" "treated with ionizing radiation"	×	比率に関わらず記載	
イタリア	*	*	*	*	
オランダ	×	"Irradiated" "treated with ionizing radiation"	×	比率に関わらず記載	
スペイン	*	*	*	*	
チェコ	×	あり(文言は未確認)	×	比率に関わらず記載	
ドイツ	×	"Irradiated" "treated with ionizing radiation"	×	比率に関わらず記載	
ハンガリー	任意	"Irradiated" "treated with ionizing radiation"	×	比率に関わらず記載	
フランス	*	*	*	*	
ベルギー	×	*	×	比率に関わらず記載	
ポーランド	○	*	×	比率に関わらず記載	
アイスランド	×	あり(文言は未確認)	×	比率に関わらず記載	
オーストラリア	×	"treated with ionizing radiation"	×	比率に関わらず記載	
ニュージーランド		"treated with ionizing electrons" "Irradiated <i>name of food</i> "	×		
中国	独自のマーク	「放射線照射食品」または 「放射線を照射した」	×	比率に関わらず記載	
台湾	○	×	×	×	
韓国	○	あり(文言は未確認)	×	×	
インド	○	"Processed by irradiation method"	照射日、ライセンス番号、 照射目的	規定なし	
インドネシア	任意	"照射食品である" "再照射していない"	照射目的	比率に関わらず記載	
シンガポール	×	"treated with ionizing radiation" または "Irradiated ( <i>name of food</i> )"	×	比率に関わらず記載	
タイ	任意	"Irradiated ( <i>name of food</i> )"	製造者と照射施設の名称・所在地、照射の目的、 照射日	比率に関わらず記載	マークを貼付する場合は食品名の隣
フィリピン	○	"treated by ionizing radiation"またはそれに類 する表現	×	比率に関わらず記載	
ベトナム	任意	"Food Preserved by Radiation Method"	×	照射原料が5%以上の場合に記載	
マレーシア	×	×	×	×	照射食品の表示の規定はない
Codex	任意	"Irradiated" "treated by ionizing radiation"	×	比率に関わらず記載	包装されていない(バルク売り)場合は文章表示とRaduraマークを併用する
ASEAN	任意	規定あり(指定の文章はなし)	×	比率に関わらず記載	

注) ・各国及び国際機関の情報はアンケート調査結果及び章末記載の文献による。

・各項目について該当する規制や活動がある場合は「○」、該当する規制や活動がないことを確認した場合は「×」、該当する規制や活動について情報が得られなかった場合は「—」とした。

・EU加盟国で、国内法が確認できていないがEU加盟国としてEU統一規則に従う場合は「\*」を示した。

表 2-7 各国及び国際機関の食品照射施設及び施設検査制度

国名	施設数 (アンケート 回答)	施設数 (FAO/IAE Aデータ)	代表的な施設名	照射 処理量(t)	国内施設の 検査制度	国外施設の 利用 (輸入を含む)	国外施設の 検査制度
米国	未回答	18	National Center for Electron Beam Food Research	—	○	○	—
			Sadex Corporation	—			
			Hawaii Pride	—			
			STERIS Corporation, STERIS Isomedix Services	—			
			Ion Beam Applications Inc., (13ヶ所)	—			
カナダ	3	1	STERIS/Isomedix	×	×	×	×
			MDS Nordion				
チリ	1	1	Multipurpose irradiation plant	—	○	○	×
ブラジル	未回答	4	Embrarad Empresa Brasileira de Radiacoes Ltda., (2ヶ所)	—	○	—	—
			CBE-Companhia Brasileira de Esterilizacao	—			
			Multipurpose gamma irradiator CTR/IPEN	—			
EU			×	×	○	○	○(第3国)
アイルランド	0	0	×	×	○	○	×
イギリス	1	1	Isotron plc	×	○	○	×
イタリア	1	1	GAMMARAD ITALIA SPA	—	*	*	*
オランダ	2	2	Gammaster B.V. (2ヶ所)	2639.3	*	*	*
スペイン	未回答	2	Ionmed Esterilización, S.A.	—	*	*	*
			ARAGOGAMMA S.A.	—			
チェコ	1	1	Artim spol. s. r. o.	85.3	○	○	×
ドイツ	4	4	Gamma Service Produktbestrahlung GmbH	220	○	○	×
			Isotron Deutschland GmbH	217.5			
			BGS Beta-Gamma-Service GmbH&Co.KG	34.3			
			Beta-Gamma-Service GmbH & Co.	0			
ハンガリー	1	1	AGROSTER Besugázzó Részvénytársaság	110.8	○	○	×
フランス	未回答	7	Gammaster Provence SA	3111	*	*	*
			Ionisos SA (5ヶ所)				
			Radient Ouest Le Flachec				
ベルギー	1	1	IBA Mediris S.A. Zoning industriel	7.3	○	○	×
ポーランド	1	2	Institute of Nuclear Chemistry and Technology	663.6	○	○	×
			Institute of Applied Radiation Chemistry Technical University of Lodz	23.4			
アイスランド	0	—	×	×	×	○	×
オーストラリア	3	3	Steritech Pty. Ltd	—	—	○	—
			Wetherill Park	—			
			Narangba	—			
ニュージーランド	0	—	×	×	○	○	○

国名	施設数 (アンケート 回答)	施設数 (FAO/IAE Aデータ)	代表的な施設名	照射 処理量(t)	国内施設の 検査制度	国外施設の 利用 (輸入を含む)	国外施設の 検査制度
中国	不明	10	Xinsha Depot of China Grain Reserves, China Grain Irradiation Engineering Center Guangzhou	—	○	○	×
			Suzhou CNNC Huadong Radiation Co., Ltd.	—			
			Hongysifang Rad. Technique Co.,Ltd.	—			
			Nanjing Radiation Center	—			
			Beijing Yongzhu Mayak Rad. New Technique Co.,Ltd.	—			
			Yunnan Nuclear Technology Application Center	—			
			Shan Dong Irradiation Center	—			
			Human Institute for Appl. of Atomic Energy in Agriculture	—			
			China National Nuclear Corp., Dalian Institute of Applied Technology	—			
			Guangzhou R&D Center for Irradiation Technology	—			
台湾	3	—	—	—	○	○	×
韓国	2	3	Greenpia Technology Inc	—	○	○	×
			Advanced Radiation Technology Institute (2ヶ所)	—			
インド	未回答	9	Isomed	—	○	—	—
			Spice Irradiation Plant	—			
			Shriram Applied Radiation Center (SARC)	—			
			Food Package Irradiator, Food Technology Division	—			
			Krushni Utpadan & Sanrakshan Kendra, KRUSHAK, BARC	—			
			Universal ISO-MED,(A Div. of Universal Medicap Ltd.)	—			
			A.V.Processors Pvt.Ltd	—			
			VIKIRAN	—			
			GAMMA AGRO-MEDICAL PROCESSING PVT LTD	—			
インドネシア	未回答	1	Pt. Rel-ion Sterilization Research Service	—	—	—	—
シンガポール	0	—	×	×	×	○	×
タイ	3	2	Isotron (Thailand Ltd.)	—	○	○	×
			Thai Irradiation Centre	—			
フィリピン	2	1	Philippine Nuclear Research Institute (PNRI), Multi-Purpose Irradiation Facility	—	○	○	×
ベトナム	未回答	3	VINAGAMMA, Research and Development Center for Radiation Technology	—	○	○	—
			Institute for Nuclear Science and Technology	—			
			Son Son Co., Ltd.	—			
マレーシア	1	2	Malaysian Institute for Nuclear Technology Research	—	○	○	国内の施設と同じ内容で検査を行う
			Isotron Malaysia	—			

注) ・各国及び国際機関の情報はアンケート調査結果及び以下に示した参考資料による。

・施設名については、企業の合併等による名称の変更があり得る。

・各項目について該当する規制や活動がある場合は「○」、該当する規制や活動がないことを確認した場合は「×」、該当する規制や活動について情報が得られなかった場合は「—」とした。

・EU加盟国で、国内法が確認できていないがEU加盟国としてEU統一規則に従う場合は「\*」を示した。

・なお、南アフリカ、ウクライナなど2章の詳細調査対象国とならなかった国の施設については、1章を参照のこと。

参考) ・FAO&IAEA, Food & Environmental Protection Newsletter. Vol.10 No.2, 2007

・List of Approved Facilities for the Treatment of Foods and Foods Ingredients with Ionising Radiation in the Member States. (SANCO-/D/3/JLDF/LA D(2004))

・COMMISSION DECISION of 4 December 2007 amending Decision 2002/840/EC as regards the list of approved facilities in third countries for the irradiation of foods(notified under document number C(2007) 5823)(Text with EEA relevance)(2007/802/EC)

### 3. わが国における食品への放射線照射に係るニーズ及び理解を把握するための調査

#### 3.1 調査方法

我が国における食品への放射線照射に係るニーズを把握するため、一般消費者・食品関連事業者等・学会等の3者に対して食品への放射線照射に関するアンケート調査を行った。

一般消費者に対してはWEBアンケートを、事業者等・学会等については調査票（紙媒体）によるアンケートを採用した。

WEBアンケートでは、WEBアンケートシステムに登録している一般消費者モニターの中から、国勢調査における地域・年代・性別比にあわせて抽出した対象者（全国・全年齢）に電子メールで回答を依頼し、自宅のパソコン端末からアンケートに回答してもらった。

事業者等については、「(社) 日本輸入食品安全推進協会正会員」「(財) 食品産業センター会員」を対象とした。ただし、通関時の検査業や倉庫業は対象外とした。また、上記2団体の会員ではないが、香辛料に対する放射線照射の許可要望を行っている全日本スパイス協会に対しても、事業者として重要な位置を占めると考えられるため、調査対象とした。

学会等については、放射線分野の学会、食品衛生分野の学会、生物分野の学会、薬学分野の学会など、26学会を対象とした。

次ページの表に調査方法の概要を示す。

表 3-1 調査方法一覧

	一般市民	食品関連事業者等	学会等
対象	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般市民（インターネットアンケートシステムに登録している消費者モニター）</li> <li>サンプリングに偏りが生じないように、国勢調査による地域ブロック別、年齢構成別、性別の人口比率に合わせて、全国のモニター約 30 万人から対象者を抽出。地域ブロックは、北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州、沖縄、年齢層は、20 歳未満、20 代、30 代、40 代、50 代、60 歳以上の年齢層とした。</li> <li>抽出された対象者に電子メールで回答を依頼し、依頼されたモニターが PC 端末を用いてアンケートに回答した。回答数が目標の 3,000 に達した時点で調査を終了した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>（社）日本輸入食品安全推進協会正会員（94 社：通関時の検査業や、倉庫業については除く）</li> <li>（財）食品産業センター会員（189 社：（社）日本輸入食品安全推進協会正会員との重複は除く）</li> <li>許可要望団体（全日本スパイス協会）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射線分野、食品衛生分野、生物分野、薬学分野等の学会・団体 26 団体</li> <li>日本環境変異原学会、（社）日本原子力学会、（社）日本食品衛生学会、日本食品化学学会、（社）日本食品科学工学会、日本食品工学会、日本食品照射研究協議会、日本トキソロジー学会、日本放射化学会、日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会、日本放射線化学会、日本包装学会、日本保健物理学会、その他 12 団体（五十音順）</li> </ul>
調査方法	インターネット調査	郵送留置法	郵送留置法
送付日	平成 20 年 2 月 6 日	平成 20 年 2 月 15 日	平成 20 年 2 月 8 日
締切日	平成 20 年 2 月 7 日	平成 20 年 2 月 29 日（集計は平成 20 年 3 月 11 日返送分まで）	平成 20 年 2 月 29 日
アンケート項目	◇回答者プロフィール ・年齢 ・職業 ・同居家族人数 ・子供の有無  ◇食への関心 ・食生活スタイル ・食品に関する関心事項（栄養・価格・安全性・・・） ・食の安全に関する情報源	◇回答組織プロフィール ・業種分類 ・事業規模 ・業務内容（流通、販売、加工等） ・食品の入荷方法 ・輸入食品の取り扱い有無 ・放射線の利用有無  ◇照射食品の有効性認知 ・食品への放射線照射の有効性認知	◇食品への放射線照射に関する活動 ・過去に行われた議論 ・公表活動の有無  ◇自由意見 ・その他自由意見
	◇放射線・照射食品の認知 ・放射線利用状況の認知 ・食品への放射線照射の有効性認知 ・照射食品への批判に対する認識	◇照射食品導入への判断 ・照射食品の導入賛否 ・照射食品導入の条件 ・照射食品導入への危惧	
	◇照射食品への判断 ・照射食品の購入意思 ・照射食品の導入賛否 ・照射食品導入の条件	◇照射食品利用希望 ・照射食品利用希望の有無 ・利用を希望する照射食品の内容 ・照射食品を利用する際の条件（自社で照射） ・照射食品を利用する際の条件（他からの入荷・利用）	
	◇照射食品に対する要望 ・照射食品の管理施策（表示義務等）の必要性 ・照射食品に関して欲する情報 ・その他自由意見	◇自由意見 ・その他自由意見	

### 3.2 一般消費者を対象とした意識調査

#### (1) 回答者属性

消費者アンケートの回答数は、3015 件であった。年齢別に見ると、「50 代」が特に多く約 4 割、その他の年代は概ね 1 割前後とほぼ同じであり、50 代以上の高齢層からの回答で過半数を占めた。男女比については、極端な差はなかった。

職業別に見ると、「会社員・公務員等の常勤」が最も多く 3 割強。次いで「専業主婦・専業主夫」であった。

#### (2) 主要な調査結果

##### ○技術認知

食品に放射線を照射することについては、安全性の確保を行った上で、以下の項目の目的等で利用されています。あなたはこれらの目的で、食品へ放射線照射を行う技術があることを知っていますか。それぞれ最も当てはまるもの一つずつお選び下さい。

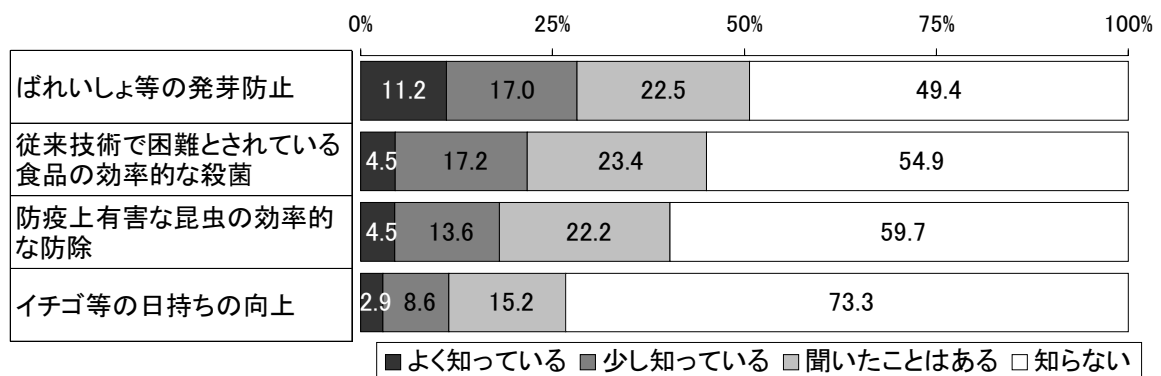


図 3-1 食品への放射線照射技術の認知度 (n=3,015)

食品へ放射線を照射する技術については、全ての目的に共通して、「知らない」と回答した人の方が多く概ね半数を上回っている。その中で「知っている」（「よく知っている」と「少し知っている」の合計）をみると、最も認知度が高かったものは、「ばれいしょ等の発芽防止」で 28.2%であった。次いで「従来技術で困難とされている食品の効率的な殺菌」（21.7%）、「防疫上有害な昆虫の効率的な防除」（18.1%）の順であった。

### ○我が国への導入賛否

科学的知見に基づく安全性評価を行った上で、有効性が確認された食品への放射線照射技術を我が国で導入することについて、あなたはどのように思いますか。最も当てはまるものを一つだけお選び下さい。

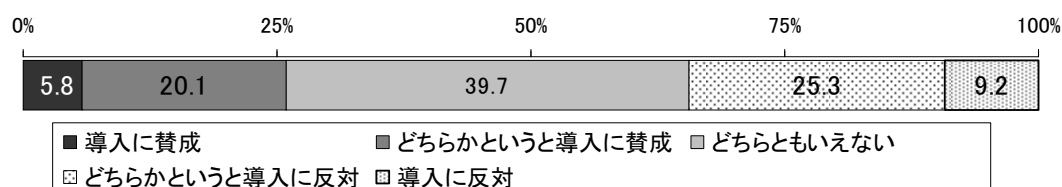


図 3-2 食品への放射線照射技術の導入について (n=3,015)

「どちらともいえない」が約4割と最も多く、「反対」「どちらかという導入に反対」の合計は約35%であった。「賛成」「どちらかといえば賛成」の合計は約25%程度であった。

### ○懸念事項

照射食品の安全性に関して、以下の項目のような意見もあります。これらの意見についてどのように思いますか。それぞれ最も当てはまるものを一つずつお選び下さい。

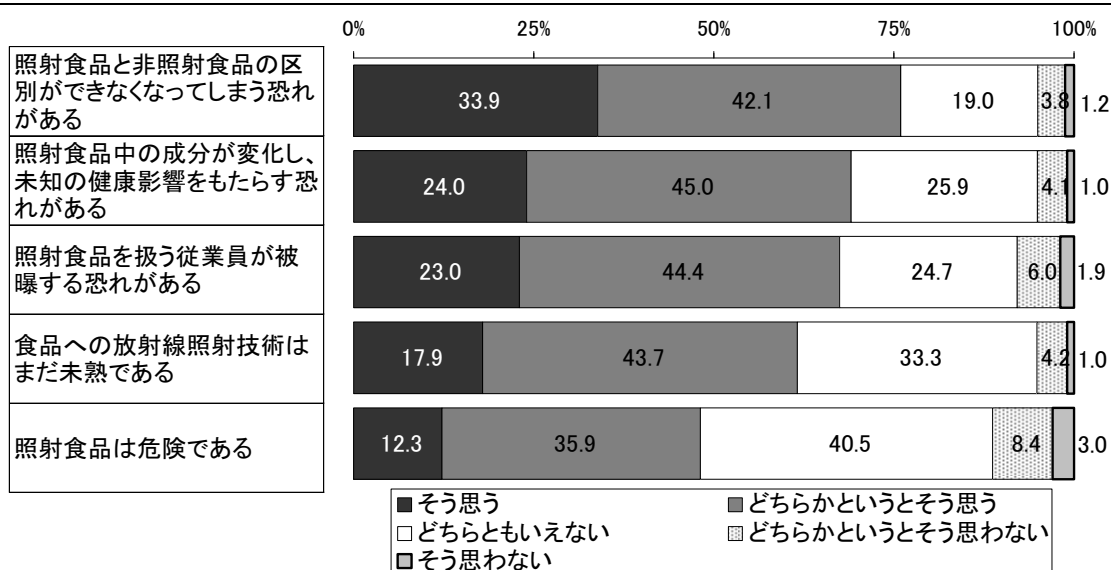


図 3-3 照射食品の安全性に関する意見 (n=3,015)

照射食品の安全性に関して、「そう思う」、「どちらかというと思う」の割合をみると、「照射食品と非照射食品の区別ができなくなってしまう恐れがある」が最も多く76.0%であった。次いで「照射食品中の成分が変化し、未知の健康影響をもたらす恐れがある」(69.0%)、「照射食品を扱う従業員が被曝する恐れがある」(67.4%)の順であった。「照射食品は危険である」との回答は48.2%となっている。



○不足情報・自由意見

食品への放射線照射技術や照射食品に関して不足していると思われる情報、入手したいとお考えの情報があれば、ご記入下さい。また、食品への放射線照射技術や照射食品に関して、その他ご意見があれば、自由に記述して下さい。

以下に主な意見を示す。

- 「不足していると思われる情報・入手したいと考える情報」に関する主たる意見
  - ・ 照射食品の科学的安全性に関する情報
  - ・ 照射食品と人体影響に関する情報（特に長期摂取の安全性）
  - ・ 照射食品の摂取に伴う被害等の事例
  - ・ 照射食品に関する海外の状況
  - ・ 照射食品が現在、我が国で流通しているのかどうか
  - ・ いつ導入するのか
  - ・ どのような食品に照射するのか
  - ・ どの程度の量の照射食品が流通するのか
  - ・ どのようなメリット・デメリットがあるのか
  - ・ 必要性があるのか
  - ・ 管理や責任体制をどのようにするのか
  - ・ 照射食品のどこに表示等がされるのか
  - ・ どこで情報を入手できるのか
  - ・ レントゲンと比較してどうなのかといった分かりやすい情報提供を望む
- その他意見
  - ・ 照射食品というものの自体を初めて知った
  - ・ よくはわからないが、放射線と聞くと怖い
  - ・ 食品は自然なままで食するのが良い
  - ・ 表示義務を課すべき
  - ・ 情報不足のため、周知・広報を進めるべき（政府・企業・マスコミ一体の広報）
  - ・ 情報がもっと欲しい
  - ・ もっと知りたい
  - ・ 現状では行政・企業の情報は信用できない
  - ・ 導入する場合は安全が大前提である
  - ・ 偽装問題等あるなかで厳重な管理が求められる
  - ・ TV等の公開でもっと議論して欲しい
  - ・ 照射は国内で行うべきである
  - ・ 照射食品かなんて考えてもいなかったが、ギョウザの事件で日本のギョウザ製造メーカーが放射線で異物をチェックしているのを知った

### 3.3 食品関連事業者等を対象とした意識調査

#### (1) 回答組織属性

回収票数は 133 件（サンプル数は 139 件）、回収率は 46.8%であった。また「民間企業」の回答が約 7 割を占め、「団体・協会」の回答は 3 割弱であった。

- 回収票数：133 件※ （回収率 46.8%）

※会員企業 7 社分の回答票を送付した団体が 1 件あるため、サンプル数を 139 件とした。

- 有効票数：139 件

表 3-2 有効回答票の構成比

全体	民間企業	団体・協会	無回答
139	97	37	5
100%	69.8%	26.6%	3.6%

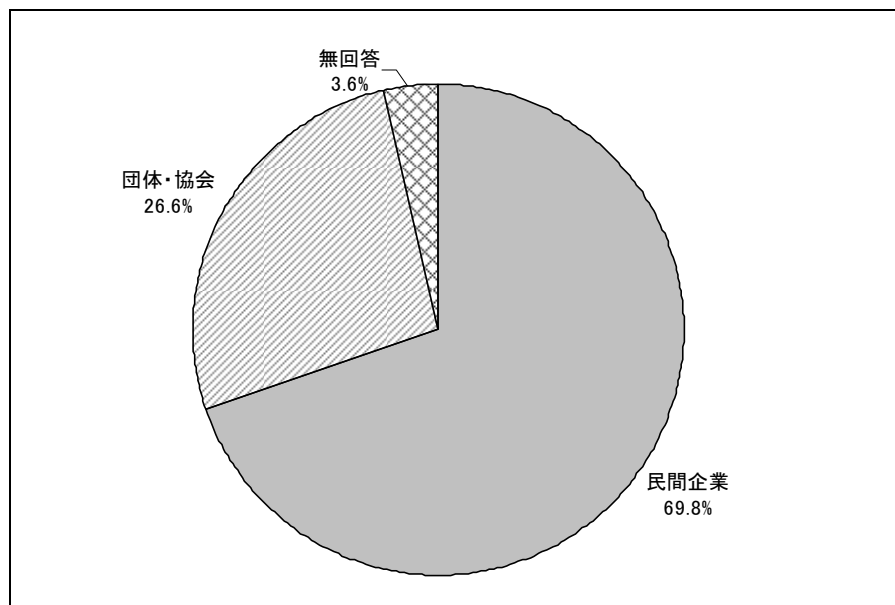


図 3-4 有効回答票の構成比

#### (2) 主要な調査結果

食品関連事業者等のアンケート結果のポイントは以下の通り。

##### ○放射線照射技術導入の意向

スパイス（香辛料）について、放射線照射による殺菌が有効であるとの主張がありますが、我が国において科学的知見に基づく安全性の評価を行った上で、有効性が確認された食品への放射線照射技術を導入することについてどのようにお考えですか。最も当てはまるもの一つだけに○をつけて下さい。

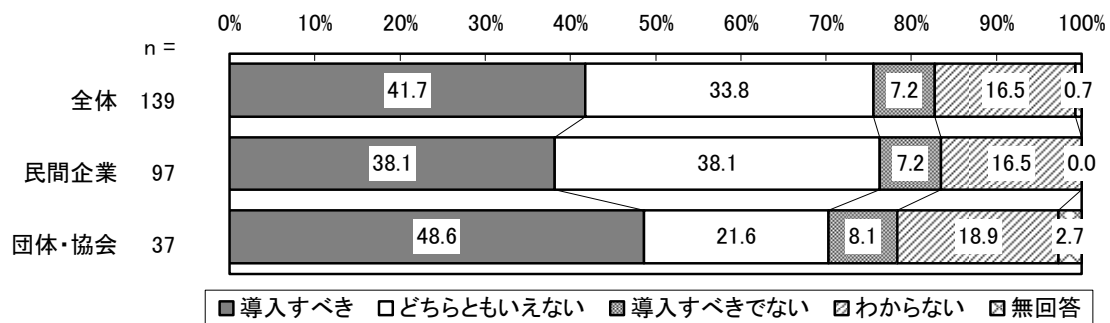


図 3-5 放射線照射技術導入の意向

全体では、食品への放射線照射技術を「導入すべき」と回答した割合は 41.7%と最も多くなっている。一方で、食品への放射線照射技術を「導入すべきでない」と回答した割合は 7.2%であり、意向が「決まっていない」（「どちらともいえない」と「わからない」の合計）と回答した割合は約 5 割程度である。

#### ○放射線照射技術導入に必要な条件

設問 6 で「1. 導入すべき」を選択した方にお尋ねします。放射線照射技術を導入するためには、どのような条件が必要であるとお考えですか。貴社（貴団体）の考え方に当てはまるものに○をつけて下さい。（複数回答）

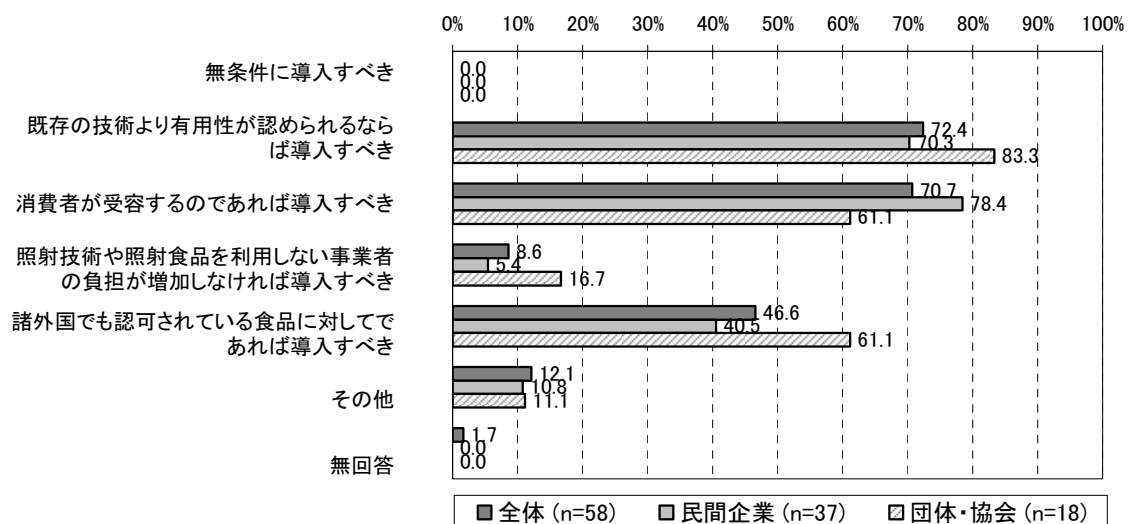


図 3-6 放射線照射技術導入に必要な条件

全体では、放射線照射技術を導入するためには、「既存の技術より有用性が認められるならば導入すべき」「消費者が受容するのであれば導入すべき」の 2 項目が高く約 7 割である。次いで、「諸外国でも認可されている食品に対してであれば導入すべき」（46.6%）であり、「無条件に導入すべき」との回答は 0%であった。

○放射線照射技術を導入するべきでないとする理由

設問 6 で「2. 導入すべきでない」を選択した方にお尋ねします。その理由のうち、貴社（貴団体）の考え方に当てはまるものに○をつけて下さい。（複数回答）

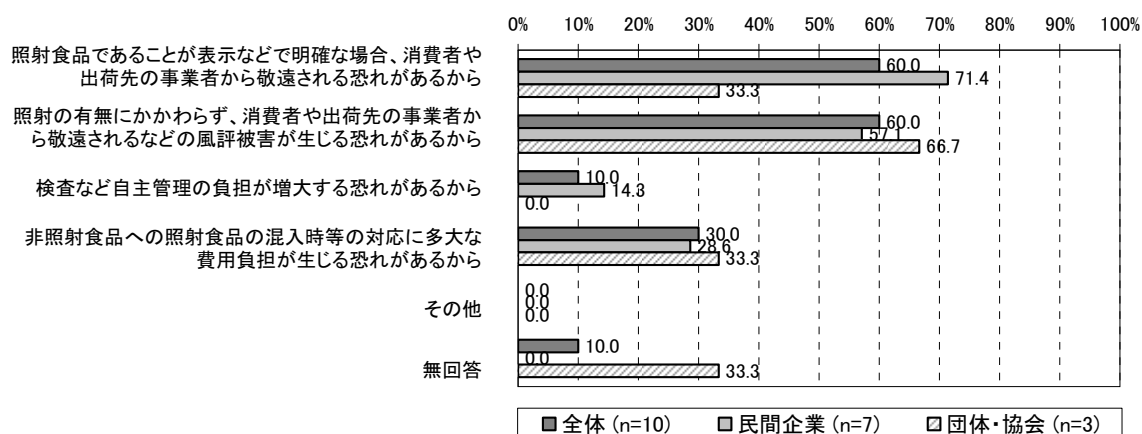


図 3-7 食品への放射線照射技術を導入するべきでないとする理由

一方、懸念事項としては、「消費者や出荷先からの敬遠」「風評被害」が特に強く、また「混入時事故への対応」なども挙げられた。

○放射線照射を行いたい、取り扱いたい食品の有無

貴社（貴団体）において放射線照射を行いたいと思っている食品、あるいは利用・取り扱いを行いたいと考えている照射食品はありますか。当てはまるもの一つだけに○をつけて下さい。

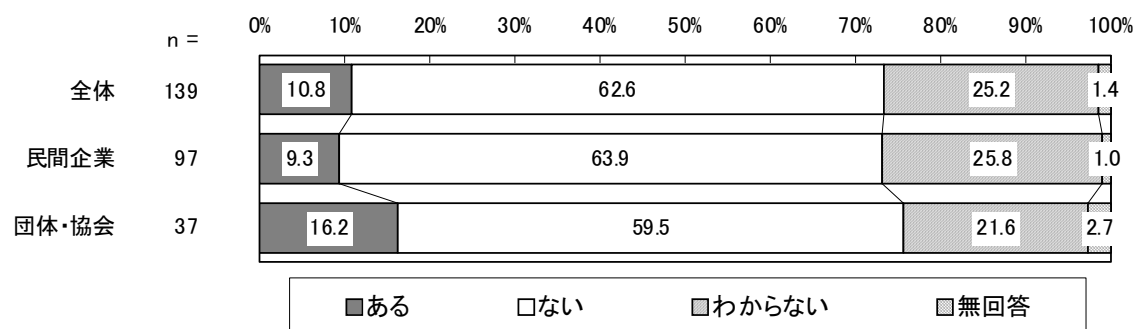


図 3-8 放射線照射を行いたい、取り扱いたい食品の有無

食品への放射線技術の導入には 4 割ほどが賛成しているが、実際に放射線照射を行いたい、あるいは取扱いを行いたいと考えている食品があるのは全体の 1 割程度である。放射線照射の利用意向が最も高い食品は、「香辛料」であった。

表 3-3 放射線照射を行いたい、取り扱いたい具体的食品名

		食品の種類 (品名)	照射を行う目的 (期待する効果)	照射を行う食品の用途
民間企業	1	香辛料	殺菌	加工用原材料
	2	香辛料	殺菌	加工用原材料
	3	香辛料	殺菌	加工用原材料
	4	香辛料	殺菌	加工用原材料
	5	香辛料	-	加工用原材料
	6	スパイス	殺菌	加工用原材料
	7	スパイス	殺菌	加工用原材料
	8	小麦	殺菌	加工用原材料
	9	米	殺菌	加工用原材料
	10	米	殺菌	加工用原材料
	11	そば	殺菌	加工用原材料
	12	大豆	殺菌	加工用原材料
	13	とうもろこし	殺菌	加工用原材料
	14	ハーブ類	殺菌	加工用原材料
	15	ばれいしょ	殺菌	加工用原材料
	16	フルーツソース等	殺菌	加工用原材料
団体・協会	1	果汁	殺菌	両方
	2	香辛料	殺菌	加工用原材料
	3	香辛料	殺菌	加工用原材料
	4	香辛料	殺菌及び殺虫	両方
	5	食肉	殺菌	両方
	6	ばれいしょ	発芽防止	直接消費用

(品名 50 音順 ただし「スパイス」は香辛料と同順とした)

### 3.4 学会等の関連団体を対象とした調査

#### (1)回答組織属性

放射線分野、食品衛生分野、生物分野、薬学分野等の 26 学会・団体に対して意見照会を行ったところ、13 団体（回答率 50%）から回答を得た。

#### (2)主要な調査結果

##### ○食品への放射線照射に対する活動

食品への放射線照射技術の安全性または放射線照射がなされた食品（以下「照射食品」という。）の安全性について、どのような議論がなされましたか。議論の内容及び見解について記載願います。

本設問に対しては 9 件の有効回答があった（原文のまま）。

- 照射食品の安全性についての議論はない。
- 検知法についての議論があった。
- 協賛で研究発表会を行い、消費者を含めた議論を行った。その際、企業・研究者による説明により、消費者の不安が大きく拭かれるとの意見があった。
- 学会誌・学術大会において研究発表されている。
- シンポジウムにおいて講演を行っている。
- 本会主催のセミナーにおいてテーマとして取り上げた。ただし、安全性に関する議論ではなく有用性や線量管理・検知などに係る議論であった。
- 学会やシンポジウムで多く扱っているが、本会としての統一の見解があるわけではない。ただし、適切な管理下で合目的的に照射された食品の健康被害の可能性は低いと考えている。また、施設の安全性や環境影響についても問題はないと判断している。
- 複数回の学術大会においてテーマとして扱った。また、研究成果発表報告もしている。
- 関心を持っており、複数回の学術大会においてテーマとしている。

##### ○自由意見

食品への放射線技術又は照射食品に関する意見を聞いたところ、以下の通り、8 件の有効回答があった（原文のまま）。

- 放射線照射による変異物のリスクは極めて低く、アフラトキシン等の極めて強い遺伝毒性・発がん性を有するカビ毒等を抑える有効な手段になりうると考えており、その研究に貢献していきたい。また危険性・安全性・有効性をバランスよく国民に啓蒙していくことも本学会の使命と考えている。
- 100%安全と言える食品は存在せず、危険要因の種類と量に基づいて定量的にリスクが評価されるべきである。WHO 等の国際機関ではすでに照射食品の安全性について十分データがあると結論しており、日本でも国際的な見解に基づいて政策的判断をすべきである。現状では海外からの照射食品が誤って輸入されてしまう

可能性が排除できず、そのような場合に正当なリスク評価がされていないと国民・事業者に不要な混乱等をもたらすことになる。リスクアナリシスの考え方を基本に、食品照射の法規制の可否の検討に早急に着手することが重要と考える。

- じゃがいもの放射線照射に対し、児童の保護者から問題視されたことがある。保護者の安全性に関する理解度が得られなければ今後も使用は難しいと考える。
- 既に国内に出回っていると思われるので基準を決めた方が良いのではないか。
- （回答者の個人的意見と断った上で）照射食品の安全性には、「放射線照射による食品そのものの変異影響」と「照射したことによる変化から毒素などが産生される影響」の二種類があると考えている。後者については事前チェックが可能であろうが、前者についてはまだ不明部分等があると考えている。（注：原文のままであるため、ここで述べられている毒素の内容は不明）
- （回答者の個人的意見と断った上で）照射食品の最大の課題は「科学的に安全とされていることをいかに公衆に理解いただくか」というリスクコミュニケーション問題であろう。食品照射の知識普及活動にあたっては、他の健康情報の正確性を確保するためにも関連諸学会との連携をとることを希望し、またそのような活動には協力していきたい。

### 3.5 わが国における食品への放射線照射に係るニーズのまとめ

前節までの調査結果を踏まえると、わが国における食品への放射線照射に対する意識状況については、おおむね次のようにまとめられる。

表 3-4 食品への放射線照射に対する意識状況

	照射食品の認知	照射食品の導入賛否	照射食品の利用意向
一般消費者	ほとんど認知されていない	賛否はほぼ均衡 (態度保留意見が最多)	購入にはやや否定的
事業者	認知はされている	賛成	一部の企業・団体において 利用意向あり
学会・関連団体	認知はされているが、メイン テーマとしての認知は少ない	賛否なし	

食品を実際に扱う食品事業者の中には、食品への放射線照射について、風味を損なわない・密閉後に行えるなど有効な殺菌の一手段として将来的に利用意向を持っている事業者がいることがわかった。ただし、その割合は有効回答票のうち、民間企業で1割程度である。利用意向の最も多かった食品としては香辛料が特に多く、その他は少数であった。これらの企業・団体は照射食品の有効性から、照射食品の利用意向を持っているが、実際の利用にあたっては消費者の理解が前提であるとの認識を示している。

上記の利用意向をもった事業者や関連団体も含めた事業者全体の傾向としても、照射食品の導入自体については、賛成が約4割、反対が約1割と賛成傾向が強い。賛成理由としては、照射食品の有効性が挙げられる他、海外で導入実績があることが挙げられる。

対して反対理由としては消費者や取引先からの敬遠・風評被害や、混入事故等への対応等が挙げられた。なお、表示の義務化等や検査体制の義務化などについては他の反対要因に比して必ずしも高くはなく、風評等のネガティブな影響が回避できるのであればそのような運用体制を必ずしも否定はしていないと考えられる。

上記のように、事業者にとっては消費者の理解が重要であり、導入に当たっては消費者の理解が前提に挙げられているが、その消費者の状況に目を向けると、そもそも「照射食品」自体をほとんど認知していない状況である。放射線の利用自体の認知はあるものの、食品への照射については極めて認知度が低い。そのため、照射食品に対する導入・購入の賛否について、いずれも明確な賛成・明確な反対は少なかった。しかしながら、傾向としては導入に対しては中立的、購入に対しては否定的であるといえる。

また、照射食品の導入に当たっては、照射施設の適切な管理や、照射食品であることの表示義務等、国が管理していくことが消費者から求められている。

しかし、何よりも消費者が不安に考えているのは照射食品に関する情報の圧倒的不足であり、照射食品の安全性、危険性、有効性、必要性や海外における状況など、照射食品に関する情報の提供について多くの要望があった。なお、照射食品に関する情報の提供について、一般消費者を対象としたアンケートで、レントゲンとの比較など一般市民に理解しやすい情



報提供を求める声もあった。

一方、学会については照射食品を主たるテーマとして扱っている団体は多くないと考えられるが、一般消費者に対する適切な情報提供が重要であるとの意見を有する学会もあった。

これら3者の照射食品に関するニーズをまとめると、概ね表 3-5 となる。ただし、あくまで3者の全体的傾向を示したものであり、個々の企業・団体、個人ではそれぞれ異なっていることには留意すべきである。

表 3-5 照射食品に関する主たるニーズ

	主たるニーズ
一般消費者	<ul style="list-style-type: none"> <li>照射食品に関する種々の情報</li> <li>一般消費者にわかりやすい情報提供方法</li> <li>照射食品に対する国の管理</li> </ul>
事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>特に香辛料に対する照射</li> <li>一般消費者の理解</li> <li>風評被害の防止</li> </ul>
学会・関連団体	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般消費者へのバランスのとれた情報提供</li> </ul>

最後に、この3者の照射食品に対する認知状況と賛否状況及びそれぞれのニーズを図 3-9 に示す。

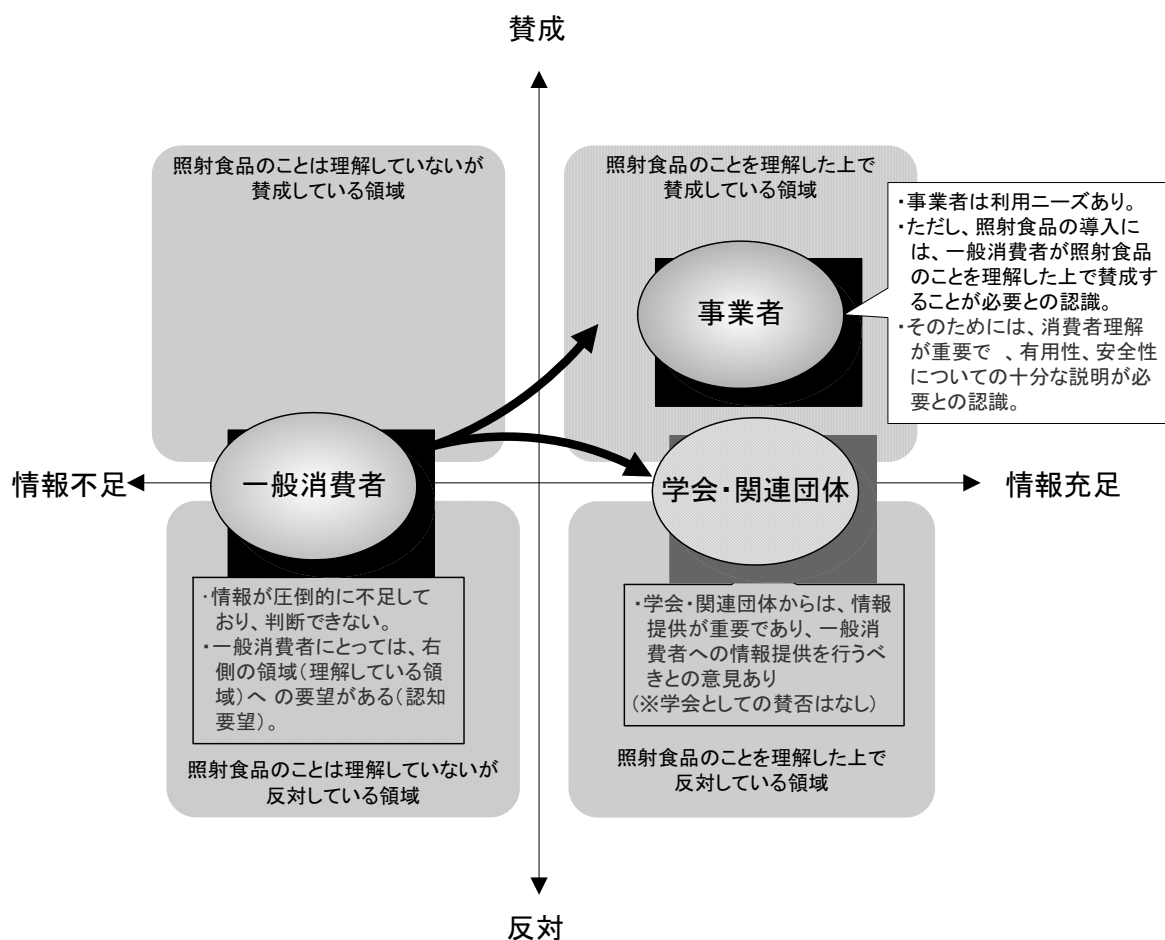


図 3-9 3者の意識状況とニーズ分類図

#### 4. リスクプロファイルの作成

##### 4.1 リスクプロファイル原案作成の考え方

WHO、IAEA 等の国際機関や米国 FDA、EC 等の諸外国の規制当局の作成したリスク評価に関する文書、国内外の科学技術文献を調査し、放射線照射食品のリスクプロファイル原案を作成した。リスクプロファイルの項目は以下の通り。

1. 照射食品の安全性に係るリスク
  - 1.1 有害物質等の生成（過酸化物質、放射線分解生成物、アルキルシクロブタノン）
  - 1.2 微生物の増殖（マイコトキシン産生菌、放射線抵抗微生物）
  - 1.3 誘導放射能の生成
2. 照射食品の栄養適性、加工適性、保存性に係るリスク
  - 2.1 栄養成分の変性（栄養価等の損失、食品の加工適性・食味・風味への影響）
  - 2.2 食品包装への影響

##### 4.2 アルキルシクロブタノンに関するリスクプロファイル

1990 年代後半より注目されている、放射線特異的分解生成物のアルキルシクロブタノンについて、表形式でまとめた。

## アルキルシクロブタノンに関するリスクプロファイルシート

	項目	内容		
1.	ハザード (危害要因)			
	①ハザードの分類	照射食品の安全性に係るリスク 有害物質等の生成		
	②ハザードの名称	アルキルシクロブタノン		
2.	注目されるようになった経緯			
	1970 年代に放射線照射によって特異的に生成する放射線特異的分解生成物（Unique Radiolytic Product, URP）として 2-アルキルシクロブタノン（以下 2-ACB）の存在が確認された <sup>1</sup> 。その後、1990 年代後半にドイツ国立栄養生理学研究所の研究グループがコメットアッセイ（個々の細胞における DNA 損傷を検出する試験法）を用いて、本物質が遺伝毒性を有する可能性を示唆した <sup>2</sup> 。			
3.	科学的特性			
	2-ACB は、食品中の脂質であるトリグリセリドの分解によって生成し、前駆体となる脂肪酸の種類によって、2-ドデシルシクロブタノン、2-テトラデシルシクロブタノンなど、各種の 2-ACB となる（表 1 参照）。アルキルシクロブタノンの構造と生成経路は図 1 の通りである <sup>3</sup> 。			
	表 1 食品中の脂肪酸から生成する 2-ACB の例			
	前駆体(脂肪酸)	名称	R	略称
	パルミチン酸(C16:0)	2-Dodecylcyclobutanone (2-ドデシルシクロブタノン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> CH <sub>3</sub>	2-DCB
	パルミトレイン酸(C16:1)	2-Dodec-5'-enylcyclobutanone (2-ドデセニルシクロブタノン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	2-DeCB
	ステアリン酸(C18:0)	2-Tetradecylcyclobutanone (2-テトラデシルシクロブタノン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>13</sub> CH <sub>3</sub>	2-TCB
	オレイン酸(C18:1)	2-Tetradec-5'-enylcyclobutanone (2-テトラデセニルシクロブタノン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH <sub>3</sub>	2-TeCB
	リノール酸(C18:2)	2-Tetradecadienylcyclobutanone (2-テトラデカジエニルシクロブタノン)	(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH <sub>3</sub>	
	このほか、ミリスチン酸からは 2-decylcyclobutanone（2-decyl-CB）が生成する。			
	(出典：文献 4 をもとに一部情報を追加)			

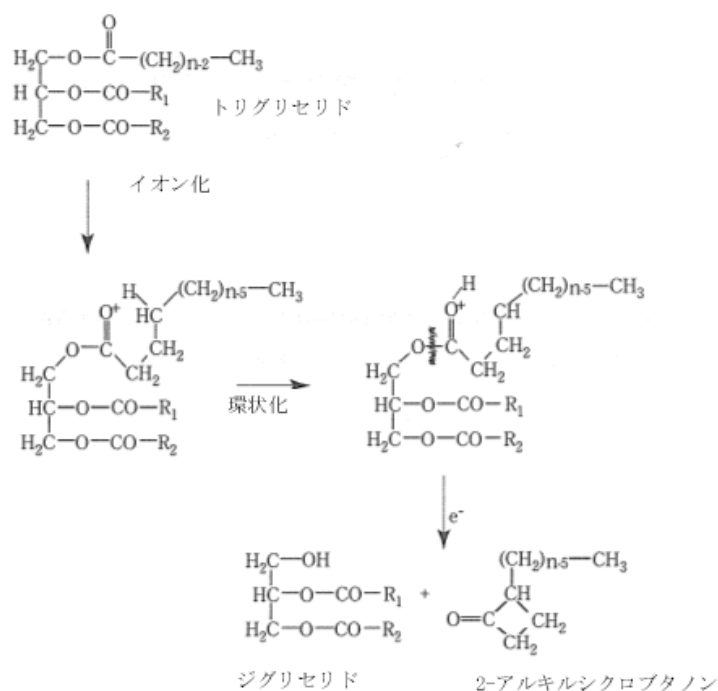


図1 アルキルシクロプロタノンの構造と生成経路

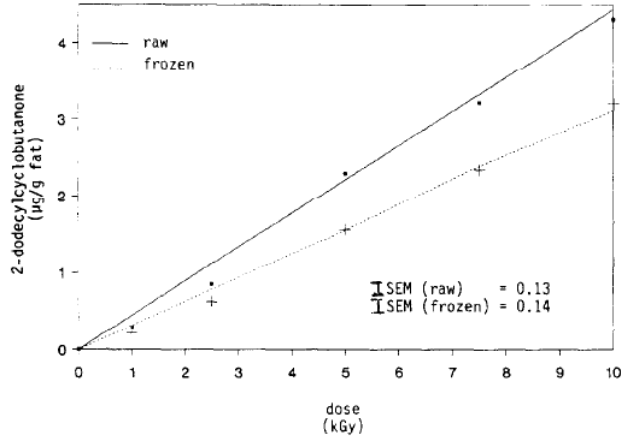
(出典：文献3 より和訳)

放射線照射が行われている食品のうち、主要な脂質の一種であるトリグリセリドの含有量の多い食品ほど2-ACB生成との関連性が強くなる。

#### 4. 毒性評価

	2-ACBの毒性については、遺伝毒性・発がん性との関連性を中心に1990年代後半から多くの報告が出されている。これまでの研究結果の概要は以下の通り。
①体内動態	<p>○ラットへの給餌試験</p> <p>飲料水(1%エタノール)中に2-ACB(2-TCB、2-TeCB)を添加してラットに4ヶ月給餌した(ラット一頭当たり約1mg/日)。その結果、2-ACBは腸管バリアを通過して、脂肪組織から検出された。その濃度は、2-TCBが0.31 μg/g脂肪、2-TeCBが0.07 μg/g脂肪であった。ラットの脂肪組織の重量を30gと仮定すると、脂肪組織への蓄積量はそれぞれ9 μg、2 μgで、ラットの摂取量の10万分の1程度であった。糞中に排泄されたのは、摂取した2-ACBの1%未満であった。このことから、これらの化合物は動物体内で代謝されるとともに、糞中にも排泄されることが明らかになった<sup>5</sup>。</p>
②一般毒性	<p>◆急性毒性</p> <p>2-ACBの急性毒性に関する研究例はない。</p> <p>◆亜急性毒性、慢性毒性</p> <p>亜急性毒性試験(28日間、90日間)又は慢性毒性試験(12ヶ月以上)の試験データは検索されなかった。ただし、WHOによる1970年代に行われた米国陸軍の実験データの再解釈については、後述のリスク評価の項目を参照のこと。</p> <p>◆その他の細胞毒性試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サルモネラ菌 TA97 株に対して、2-decyl-CB、2-DCB 及び 2-TCB の影響を調べたところ、2-decyl-CB、2-DCB といった短鎖長の 2-ACB に細胞毒性(増殖率の減少)が認められた<sup>6</sup>。</li> <li>・ヒト結腸がん細胞(HT29 stem cells, HT29 clone19A)を2-TCBに曝露させたところ、37℃、30分では細胞毒性(テトラゾリウム塩を用いた生細胞のミトコンドリア酵素活性測定法)が見られなかったが、1～2日間の曝露では、細胞毒性が観察された<sup>7</sup>。</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒト結腸正常細胞、前がん状態の細胞（LT97 adenoma cells）、及びヒト結腸がん細胞（HT29 clone19A）の 2-DCB に対する感受性を調べたところ、正常細胞及び前がん状態の細胞においては、細胞毒性（トリパンプルー色素排除試験による細胞の生死判定法）が用量依存的に示された。一方、がん細胞においては、細胞毒性は観察されなかった<sup>8</sup>。</li> </ul>
③変異原性・遺伝毒性	<p>○微生物を用いた試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サルモネラ菌を用いた復帰突然変異試験（Ames 試験）では、変異原性は認められなかった<sup>3,6,9</sup>。</li> <li>・その他、大腸菌、酵母等を用いた試験でも変異原性は認められなかった<sup>10,11</sup>。</li> </ul> <p>○哺乳類培養細胞を用いた遺伝毒性試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ヒト結腸正常細胞、前がん状態の細胞（LT97 adenoma cells）、及びヒト結腸がん細胞（HT29 clone19A）の 2-DCB に対する感受性を調べたところ、正常細胞及び前がん状態の細胞においては、DNA 鎖切断が用量依存的に示された。一方、がん細胞においては、DNA 鎖切断は観察されなかった<sup>8</sup>。</li> <li>・ヒト結腸がん細胞（HT29stem cells, HT29clone19A）を用いた <i>in vitro</i> コメットアッセイにおいて、2-ACB 類は DNA 損傷の増加を引き起こさなかった<sup>3</sup>。</li> <li>・ヒト HeLa 細胞及びヒト結腸がん細胞（HT29 stem cells）に対する 2-TCB、2-TeCB、2-DCB、2-decyl-CB の影響を調べたところ、2-TCB 及び 2-TeCB については、細胞傷害が見られる高濃度でしか酸化的 DNA 傷害を引き起こさなかったが、2-DCB、2-decyl-CB については、細胞傷害が見られるより低い濃度で、酸化的 DNA 傷害を引き起こした<sup>3</sup>。</li> <li>・ヒト HeLa 細胞及びヒト結腸がん細胞（HT29 stem cells）に対する 2-TCB、2-DCB、2-decyl CB の影響を調べたところ、細胞傷害が見られるより低い濃度で、2-TCB は DNA 鎖切断を引き起こし、2-DCB 及び 2-decyl CB は、酸化的 DNA 傷害を増加させた<sup>6</sup>。</li> <li>・2-DCB の染色体異常誘発性に関して、ヒトのリンパ芽球細胞（TK6 lymphoblasts）を用いて、サイトカラシン B で細胞分裂を阻害した状態での小核形成を調べたところ、最高濃度（53μM）で小核の有意な増加が見られた<sup>12</sup>。</li> </ul> <p>○ラットを用いた <i>in vivo</i> 試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2-DCB を 2 段階の濃度（1.12mg/kg/bw、14.9mg/kg/bw）でラットに経管投与し、16 時間後に結腸細胞を採取してコメットアッセイにより、DNA 損傷を観察した。その結果、低用量投与群 6 頭のうち 2 頭、高用量投与群 6 頭のすべてで陰性対照群に比べて DNA 損傷の頻度と損傷量が増加した<sup>13</sup>。</li> </ul>
④発がん性	<p>○ラットを用いた発がんプロモーション作用に関する試験</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ラットを用い、発がん物質である azoxymethane（AOM）単体、AOM+2-TCB、AOM+2-TeCB の 3 投与群において、結腸における腫瘍発生を観察したところ、AOM+2-TeCB を投与した群において、AOM 単体を投与した群と比較して、投与 6 ヶ月後に前がん状態の傷害の促進が認められた（投与 3 ヶ月には有意差なし）。また、投与 6 ヶ月後に腫瘍が発生した個体数に有意な差は見られなかったものの、AOM+2-TCB を投与した群、AOM+2-TeCB を投与した群において、AOM 単体を投与した群と比較して、個体あたりの腫瘍の数やサイズの増加が見られた。これらの結果より、2-ACB は発がんプロモーション作用を有していると示唆されている<sup>14</sup>。</li> </ul>

5.	暴露評価	
	①含有実態	<p>WHO の声明（2003）によれば、「2-DCB の照射食品中の生成量は極めて少なく、食品中での安定性も考慮すると、食品から摂取される 2-DCB の量は生の食品中の分析値よりも低い可能性がある<sup>15</sup>。」とされている。この理由として、「一般的に、低用量から中程度の照射による 2-DCB の食品中の生成量はわずかなレベルであり、室温で保存した鶏肉中では安定であっても、熱、光、酸素にさらされるとある程度の分解が起こること」が指摘されている<sup>15</sup>。</p> <p>これまでに、肉類（牛肉・鶏肉）、卵・乳製品、魚介類（サーモン）、アボガド、ヘーゼルナッツ、カカオ豆等で、2-ACB が検出されたとの報告がある<sup>3</sup>。</p> <p>なお、鶏肉を用いた実験によれば、2-DCB の生成量と照射線量（10kGy 以下）の間には直線性が見られる<sup>16</sup>（図2）。</p> <div></div> <p>図2 鶏肉に放射線を照射した時のアルキルシクロブタノン生成量 （出典：文献 16 による）</p> <p>また、スパイスの中にはゴマの種子、マスタードの種子、ナツメグ等、比較的脂肪含有量の高いものがあるが、これらについて、高線量照射を行った際の詳細な 2-ACB 生成量に関する研究はない。</p>
	②推定摂取量	<p>・鶏肉を例とした試算例</p> <p>殺菌線量（3kGy）における 2-ACB の生成量は、鶏肉の脂質含量を 10%とすると、0.4µg/g 鶏肉（調理後）と算定され、成人（70Kg）が 200g の鶏肉を一度に摂取すると仮定すると、摂取量は 80µg（体重 1kg 当たり約 1 µg）となる<sup>13</sup>。</p> <p>なお、スパイスからの推定摂取量に関する研究例はない。</p>
6.	耐容量	
	①耐容摂取量	2-ACB に関する耐容摂取量、急性参照値は設定されていない。
	②急性参照値	
7.	国際機関及び各国の取組状況	
	①基準値及び検出方法	
	(a)基準値	2-ACB についてはこれまでに基準値は設定されていない。
	(b)検出方法	EU の照射食品の標準分析法（EN1785）、Codex の標準分析法（EN1785 を採用）として、食品中の脂質を抽出し、カラムで精製した後、ガスクロマトグラフ質量分析（GC/MS）（ガスクロ／マススペクトル）で分離検出する方法が定められているほか、MS 以外には、TLC、ELISA による検出方法も報告されている <sup>17</sup> 。

	②リスク低減方法	現在、国際的あるいは各国における規制はとられていない。
	③リスク評価の状況	<p>○WHO</p> <p>WHO の声明（2003）によれば、「2-DCB 及び他のシクロブタノン類の影響は、あったとしても極めてわずかに無視できる」とされている<sup>15</sup>。</p> <p>これらの根拠となるデータは次の通り。</p> <p>◆1970 年代の米国陸軍の実験データの再解釈</p> <p>米国陸軍で 1970 年代に-30℃で保存した鶏肉に高線量照射（59kGy）を行い、長期毒性試験を実施した。この実験条件によれば、鶏肉中には約 1.5μg/g 鶏肉の 2-DCB が生成していたと推定されるが、この鶏肉をイヌ等に長期投与したり、細菌や哺乳類培養細胞を用いた遺伝毒性試験を行っても影響が見られなかったことから、2-DCB 及び他のシクロブタノン類による影響は、あったとしても極めてわずかに無視できる。</p> <p>◆その他、最近の実験データの評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実験に使用された 2-DCB が分解している可能性を否定できず、原因物質が特定できない。</li> <li>・コメットアッセイは、疑陽性の結果が得られやすく、国レベルの規制機関によって正式な遺伝毒性試験方法としては採用されていない。</li> </ul> <p>◆体内動態</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ラットへの給餌試験<sup>5</sup>（上述）によれば、2-ACB は脂肪組織に蓄積せず、速やかに代謝される。</li> </ul> <p>○EC</p> <p>EC の食品科学委員会の声明（2002）によれば、「これまでに 2-ACB の悪影響を示すとされたデータのほぼすべてが <i>in vitro</i> 試験であり、これらの結果にもとづいて、脂質を含む照射食品中の 2-ACB 類をヒトが摂取した際の健康リスクを評価することは適当でない（not appropriate）。2-ACB の遺伝毒性は標準的な遺伝毒性試験法によって確認されたものではなく、各種 2-ACB 類に対する NOAEL を定めるための適切な動物給餌実験データも存在しない<sup>18</sup>。」とされている。</p> <p>○米国 FDA</p> <p>FDA の貝類への照射許可に関する官報（2005）によれば、「2-ACB が大腸がんを引き起こす可能性があるとの論文<sup>14</sup>があるが、この論文の著者も述べているように、実験で用いたラットの 2-ACB の曝露量（mg/kg 体重）は、予想されるヒトの曝露量（μg/kg 体重）より 3 桁も大きい。実験動物モデルや実験計画の限界、データの曖昧性、実験で用いられた化学物質の曝露とヒトの曝露との間に密接な関係が存在しないことを考慮すると、大腸がんを引き起こすと考えだけの科学的な確実性と信頼性をもった情報ではない」とされている<sup>19</sup>。</p> <p>○IARC（国際がん研究機関）</p> <p>2-ACB の発がん性については国際がん研究機関（IARC）の評価書は出されていない。</p>
8.	消費者の関心・認識	<p>食品への放射線照射に関するアンケートによれば、一般消費者の食品への放射線照射に対する認知度は現状では高くない（p.22）。</p> <p>ただし、同アンケートでは、照射食品について「食品中の成分が変化し、未知の健康影響をもたらす恐れがある」と思うかという設問に対して、69%の回答者が「そう思う」または「どちらかというと思う」と回答しており、この問題に対する潜在的な関心は高いと考えられる（p.23）。</p>
9.	不足しているデータ	各照射食品中のアルキルシクロブタノンの生成量及びその推定曝露量については、さらにデータの蓄積が望まれる。また、アルキルシクロブタノンの毒性（特に、遺伝

		毒性、発がんプロモーション作用) についても、今後の研究の動向を注視し、データを充実させていく必要がある。
10.	出典	<sup>1</sup> Letellier PR and Nawar WW., 2-Alkylcyclobutanones from the radiolysis of triglycerides., Lipids, Vol.7, p.75-76, (1972) <sup>2</sup> Delincée H. et al., Genotoxic properties of 2-dodecylcyclobutanone, a compound formed on irradiation of food containing fat Radiat. Phys. Chem. 52, p.39-42, (1998) <sup>3</sup> Boumouf D. et al., Etude toxicologique transfrontaliere destinee a evaluer le risque encouru lors de la consommation d'aliments gras ionises. Toxikologische Untersuchung zur Risikobewertung beim Verzehr von bestrahlten fetthaltigen Lebensmitteln. Eine franzoesisch-deutsche Studie im Grenzraum Oberrhein. In Marchioni et al. (ed.) Rapport final/Schlussbericht INTERREG II. Project/Projekt No.3.171, Karlsruhe: Bundesforschungsanstalt fuer Ernaehrung <sup>4</sup> 内閣府食品安全委員会 平成 16 年度食品安全確保総合調査「放射線照射食品の安全性に関する文献等の収集・整理等の調査報告書」独立行政法人食品総合研究所 平成 17 年 3 月 <sup>5</sup> Horvatovich P et al, Detection of 2-alkylcyclobutanones, markers for irradiated foods, in adipose tissues of animals fed with these substances., J Food Prot. Oct;65(10), p.1610, (2002) <sup>6</sup> Hartwig et al., Toxicological potential of 2-alkylcyclobutanones--specific radiolytic products in irradiated fat-containing food--in bacteria and human cell lines., Food Chem Toxicol. 45, p.2581-2591, (2007). <sup>7</sup> Delincée et al., Genotoxicity of 2-alkylcyclobutanones, markers for an irradiation treatment in fat-containing food - Part I: cyto- and genotoxic potential of 2-tetradecylcyclobutanone., Radiat.Phys.Chem. 63., 431-435 (2002) <sup>8</sup> Knoll et al., 2-Dodecylcyclobutanone, a radiolytic product of palmitic acid, is genotoxic in primary human colon cells and in cells from preneoplastic lesions., Mutat Res. 594, 10-19 (2006) <sup>9</sup> Gadgil.P and Smith JS., Mutagenicity and acute toxicity evaluation of 2-dodecylcyclobutanone., J.Food Sci. 69, C713-716, (2004) <sup>10</sup> Sommers CH., 2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutations in the Escherichia coli tryptophan reverse mutation assay., J Agric Food Chem. 51, p.6367, (2003) <sup>11</sup> Sommers CH. and Schiestl RH., 2-Dodecylcyclobutanone does not induce mutations in the Salmonella mutagenicity test or intrachromosomal recombination in Saccharomyces cerevisiae., J. Food Prot. 67, p. 1293, (2004) <sup>12</sup> Sommers CH., Induction of micronuclei in human TK6 lymphoblasts by 2-dodecylcyclobutanone, a unique radiolytic product of palmitic acid J.Food Sci. 71, C281-284, (2006) <sup>13</sup> Delincée H. et al., Genotoxitaet von 2-Dodecylcyclobutanon In: Knoerr M et al., (ed.) Lebensmittelbestrahlung 5. Deutsche Tagung, Karlsruhe: Berichte der Bundesforschungsanstalt fuer Ernaehrung. 11-12 Nov. 1998; BFE-R-99-01, p.262-269 (1999) <sup>14</sup> Raul F et al, Food-borne radiolytic compounds (2-alkylcyclobutanones) may promote experimental colon carcinogenesis., Nutr Cancer 44(2), p.88, (2002) <sup>15</sup> WHO, Statement on 2-Dodecylcyclobutanone and Related Compounds. (March 2003) <sup>16</sup> Stevenson M.H. et al., The use of 2-dodecylcyclobutanone for the identification of irradiated chicken meat and eggs, Radiat. Phys. Chem. Vol.42, no.1-3, p.363-366, 1993 <sup>17</sup> Ndiaye B. et al., 2-Alkylcyclobutanones as markers for irradiated foodstuffs III. Improvement of the field of application on the EN 1785 method by using silver ion chromatography Journal of Chromatography A, 858, p.109-115, (1999) <sup>18</sup> EC: Statement of the Scientific Committee on Food on a Report on 2-alkylcyclobutanone <a href="http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html">http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html</a> (2002) <sup>19</sup> U.S.Federal Register vol.70,157 Aug.16.(2005)
		(注) アルキルシクロブタノンの毒性に関する文献は、論文として発表された情報もしくは WHO の報告書等に引用されている論文に準じた学術的情報に限定した。