

## 放射線とは… エネルギーの運び手

### 食品照射：日本と世界の現状

- ・なぜ放射線を利用するか
- ・日本における食品照射の経緯と現状
- ・世界的な発展と展望（Yves Henon氏講演より）

小林 泰彦

kobayashi.yasuhiko@qst.go.jp

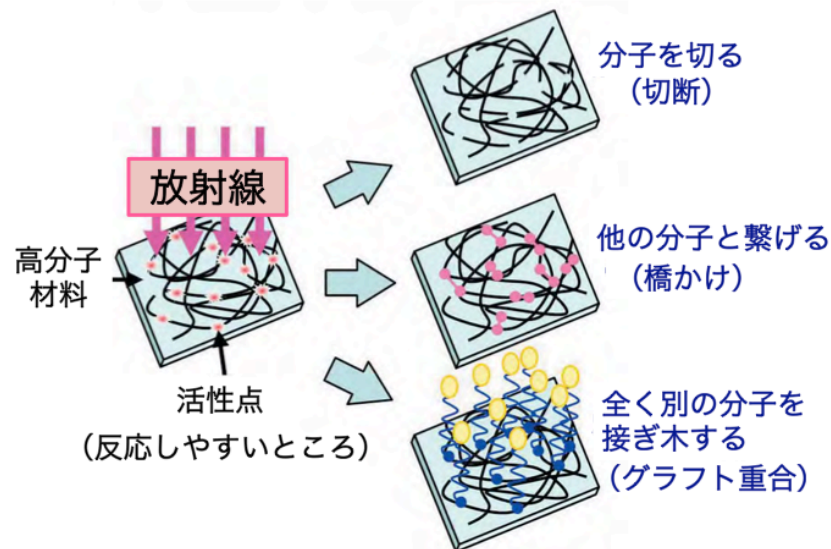
量子科学技術研究開発機構（QST）  
 高崎量子応用研究所・放射線生物応用研究部



### 放射線の特徴：

- 物体を透過する  
透過の度合いは、放射線や物質の種類によって異なる
- 容易に検出できる  
重さが測れないくらい極微量の発生源でも検出できる
- 一点に集中して**エネルギーを与える**  
物体を透過しながら、まばらに、極めて局所的に！

### 放射線がまばらに活性点を作る



3

### 放射線の2つの利用法

- **強い(多い・高線量の)放射線**
  - ・物体を透過しながら、内部にエネルギーを与える
  - ・物体の内部に、まばらに、一点だけに集中的に作用する  
(全体に一樣にエネルギーを与える加熱処理との違い)  
 → ゴムやプラスチックの改質、新しい機能の付与  
 → **非加熱での殺菌・滅菌、害虫の不妊化、芽止め**
  - ・物体に与えた**エネルギー量(線量)**が効果の目安になる
- **弱い(少ない・低線量の)放射線**
  - ・検出器に届いた放射線の飛来方向や強度などを測定する
  - ・その情報から物体内部の**構造**や**組成**、**発生源**などを推定
  - ・物体に与えるエネルギー量(線量)はわずかで無視できる

4

## 線量の単位

### グレイ (Gy)

- 放射線から物体が受け取った**エネルギー量**の単位(吸収線量)
- 1グレイ [Gy] = 1 ジュール/キログラム [J/kg]
  - 1 kg の物体が 1 ジュール (0.24カロリー) のエネルギーを吸収
- 同じ量のエネルギーでも放射線の形で与えられると生物には危険！
- 逆に言うと、非加熱で(わずかなエネルギーで)殺菌できる！

#### 全身急照射 (体重70 kg)

ヒトの半数致死線量 (LD<sub>50/60</sub>) = 4 Gy  
 吸収されたエネルギー = 70 kg × 4 [J/kg] = 280 J  
 = 280 J × 0.24 = 67 カロリー

#### 熱いお茶を飲む (60°C)

温度上昇 (°C) = 60° - 37° = 23°  
 半数致死線量と同じエネルギーを与える熱いお茶の量  
 = 67 / 23 = 3 mL

## 滅菌法の比較

	高圧蒸気滅菌	EOG滅菌	放射線滅菌
滅菌対象の材料	加熱に耐える材料に限定	多くの材料に適合	多くの材料に適合
包装材の制約	蒸気透過性	ガス透過性、耐真空性	制約なし
処理方法	バッチ式	バッチ式	連続式
処理時間	数時間	十数時間	数秒 (電子線) ~数時間 (ガンマ線)
滅菌工程管理	複雑	複雑	簡易 (線量だけ)
滅菌後の処理	乾燥	残留ガスの除去	なし
滅菌・殺菌効果	良好	良好	良好

## 放射線の利用例と線量 単位:グレイ (Gy)

- 10<sup>8</sup> Gy 人工衛星の電子部品や原子炉用電線などの信頼性や耐久性の評価、寿命の予測
  - 10<sup>7</sup> Gy 超耐熱性炭化ケイ素繊維の製造
  - 10<sup>6</sup> Gy プラスチック・ゴム製品の加工、改質 (生分解性ハイドロゲルなど)
  - 10<sup>5</sup> Gy 医療器具や食品容器の滅菌 (20~50 kGy)
  - 10<sup>4</sup> Gy 香辛料・食肉魚介類の殺菌 (1~10 kGy)
  - 10<sup>3</sup> Gy 熱帯果実などの検疫殺虫 (100~500 Gy)
  - 10<sup>2</sup> Gy ジャガイモなどの芽止め、放射線育種 (~100 Gy)
  - 10 Gy 輸血用血液製剤のリンパ球不活化 (15~50 Gy)
  - 1 Gy ヒトの致死線量 (全身急照射のLD<sub>50/60</sub> = 4 Gy)
  - 1 Gy 放射線がん治療 (X線では一度に2 Gyずつ、合計数十 Gy)
- これ以下の線量では、生物への照射効果が見られない
- 0.1 Gy X線透視、X線CT、核医学検査
  - 10<sup>-2</sup> Gy 自然界の放射線
  - 10<sup>-3</sup> Gy 空港の手荷物検査、胸部X線撮影 (集団検診)



・透過性の差異を画像化  
 ・トレーサーとして利用

## 放射線による“非加熱”殺滅菌の用途

- 熱に弱いプラスチック製の医療器具、実験器具
- 医薬品、医薬品原材料、包装材
- 衛生用品、化粧品
- 実験動物用飼料
- 食品容器、包装材 (清涼飲料水のPETボトルなど)
- 食品、農作物 (香辛料、ハーブ、冷凍肉・魚介類など)

○殺菌線量 10 kGy = 10<sup>4</sup> J/kg = 2.4 cal/g = 昇温は 2.4°C 以下

○殺菌目的よりも低い線量では、馬鈴薯やニンニクの芽止め、植物検疫における臭化メチル燻蒸 (殺虫) の代替ができる。

## 食品照射とは

- 食品や農産物に放射線を照射して、殺菌、殺虫、芽止めを行う技術
- 加熱処理や化学薬剤の代替技術
- 放射線を照射した食品 = 照射食品
- 世界で実用化されている用途と目的
  - (1) 農産物の保存（芽止め、殺虫）
  - (2) 食品の衛生確保（食中毒防止）
  - (3) 植物検疫（病害虫の侵入防止）

## 加熱や薬剤と比べた放射線照射のメリット

- 非加熱処理のため、色や香り、栄養素が高品質に保たれる
- 薬剤を使わないので、残留毒性や環境汚染の心配が無い
- 透過力が強く、包装後に内部まで均一に処理できる

### 食品照射の実用例と必要な線量

1. 芽止め（保存中の発芽防止） ~0.1 kGy  
ジャガイモ、タマネギ、ニンニク
2. 病害虫・寄生虫の殺虫 0.1~1 kGy  
穀類、熱帯果物、食肉・魚介類、切り花
3. 病原菌・腐敗菌の殺菌 1~10 kGy  
スパイス・ハーブ類、食肉・魚介類、果実、生菜
4. 無菌化（滅菌） 20~50 kGy  
宇宙食、病人食、食品容器、無菌動物用飼料



## 食品照射のデメリット

- **コストが高い。**照射の費用は線量にほぼ比例し、ジャガイモの芽止め照射では約2~3円/kg、殺菌目的の照射ではその10~100倍になる。
- **食品によって向き不向きがある。**肉類や乳製品に高線量を照射した場合の異臭の発生や色調の変化、小麦粉の粘度低下など、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。
- **放射線の負のイメージ。**消費者の誤解による風評被害、企業・商品イメージの低下、一部の団体による嫌がらせやボイコット運動などのリスクがある。

## 照射食品のリスクと安全性

### 毒性学的安全性

- 急性毒性、慢性毒性、発がん性、変異原性、遺伝毒性、催奇形性は見出されなかった
- 放射線で起こる化学反応は加熱や光でも起こり、人体に特に危険な物質は生成しない

### 微生物学的安全性

- 生き残った微生物の影響は他の殺菌法と同じ
- 照射で病原性や毒性が増大することはない

### 栄養学的適格性

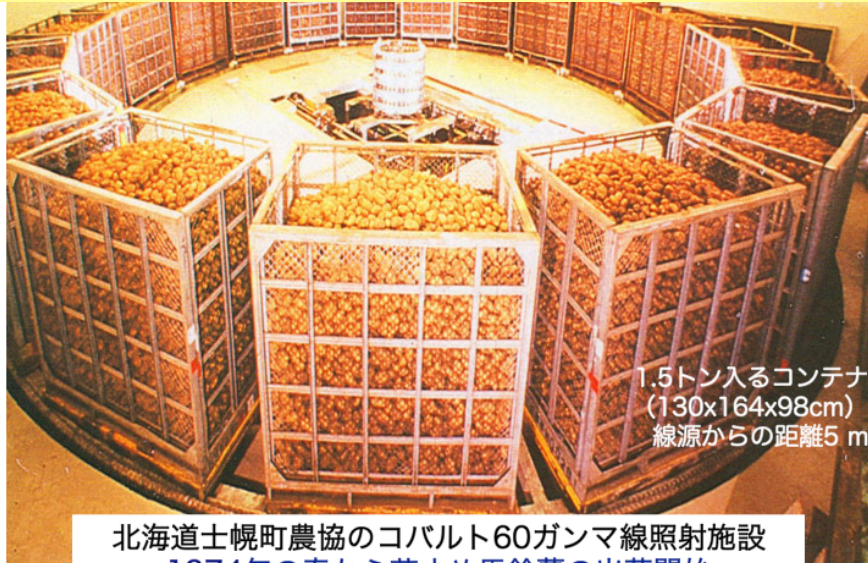
- 栄養素の損耗は特に問題とはならない

### 誘導放射能

- 核反応のしきい値以下なので生成されない



## 高品質のジャガイモを端境期にも安定供給<sup>3</sup>



北海道士幌町農協のコバルト60ガンマ線照射施設  
1974年の春から芽止め馬鈴薯の出荷開始

15

## 食品照射：日本の法規制

### 食品への放射線照射は原則禁止

- ・公衆衛生の見地から定めた規格基準に合わない食品及び添加物の製造、加工、使用、調理、保存、輸入、販売は禁止（食品衛生法第11条）
- ・食品を製造又は加工する場合は、**食品に（原子力基本法で規定する）放射線を照射してはならない。**（厚生省告示第370号：食品、添加物の規格基準、B 食品一般の製造、加工及び調理基準）
- ・ただし、食品の**製造工程又は加工工程の管理のための照射**で、**吸収線量が0.1 Gy以下**のとき、及び（D 各条で）特別な定めをする場合は、この限りでない。
- ・**発芽防止の目的で、馬鈴薯に放射線を照射する場合**は、次の方法によらなければならない（D 各条 穀類、豆類及び野菜 4. 野菜の加工基準）
  - (1) 使用する放射線は、コバルト60のガンマ線とすること
  - (2) 馬鈴薯の吸収線量が150 Gyを超えてはならない
  - (3) 照射加工を行った馬鈴薯に対しては再度照射してはならない

## 世界

## 食品照射の実用化の歴史

## 日本<sup>4</sup>

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1952 照射による芽止め効果発見（米）                      |                                      |
| 1963 穀物とベーコンの照射許可（米）                      |                                      |
| 1971-80 日本を含む24カ国で共同研究                    |                                      |
| <b>1980 FAO/WHO/IAEAの安全宣言</b>             |                                      |
| 1983 コーデックス国際食品規格採択                       |                                      |
| 1986 香辛料・乾燥調味料の照射殺菌および全食品の照射殺虫を許可（米）      |                                      |
| 1990 食鳥肉の照射殺菌許可（米）                        |                                      |
| 1991 食鳥肉の照射殺菌許可（英）                        |                                      |
| 1997 冷蔵冷凍赤身肉の照射殺菌許可（米）                    |                                      |
| <b>1997 10 kGy以上でも安全の宣言（WHO）</b>          |                                      |
| 1999 香辛料類の照射殺菌許可（EU全体）                    |                                      |
| 2001 香辛料類の照射殺菌許可（豪、NZ）                    |                                      |
| 2002 熱帯果実の検疫照射許可（豪、NZ）                    |                                      |
| <b>2003 植物検疫に関する国際基準採択、コーデックス国際食品規格改定</b> |                                      |
| 2005 牡蠣など貝類の照射殺菌許可（米）                     |                                      |
| 2007 インドの照射マンゴー輸入許可（米）                    |                                      |
| 2008 レタスなどの照射殺菌許可（米）                      |                                      |
| <b>2011 欧州食品安全機関（EFSA）安全評価</b>            |                                      |
| 2012 柿などの検疫照射許可（豪、NZ）                     |                                      |
| 2014 甲殻類の照射殺菌許可（米）                        |                                      |
| 2017 牛挽肉の照射殺菌許可（カナダ）                      |                                      |
| 1967 国家プロジェクト研究開始                         |                                      |
| <b>1972 ジャガイモの照射許可</b>                    |                                      |
| <b>1974 士幌農協で照射芽止めジャガイモを端境期に出荷開始</b>      |                                      |
|   | <b>2000 全日本スパイス協会が香辛料の照射殺菌の許可を要請</b> |
|   | 2007 厚生省、輸入香辛料のモニタリング検査開始（TL法）       |
|   | 2010 検知法の追加（2-ACB法）                  |
|   | 2012 検知法の追加（ESR法）                    |
|   | <b>2018 農水省、検疫照射の検討開始</b>            |

16

## 馬鈴薯の芽止め照射許可と実用化

### 実用化までの経緯

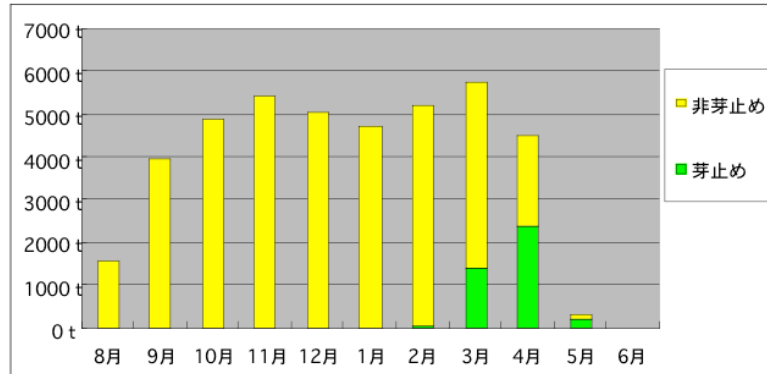
- ・1967年(S42) 9月：食品照射研究のナショナルプロジェクト開始（馬鈴薯、玉ねぎ、米、小麦、ソーセージ、水産練り製品、みかん）
- ・1971年(S46) 6月：照射馬鈴薯の研究成果を原子力委員会に報告
- ・1972年(S47) 2月：厚生大臣から食品衛生調査会に諮問  
同年 8月14日：食品衛生調査会から「安全」と答申  
同年 8月30日：答申に基づき照射を許可、必要な政省令を改正（照射基準設定、許可営業とし食品衛生管理者を設置、表示の義務）
- ・1973年(S48)：農林省の事業で北海道士幌町に馬鈴薯照射施設完成
- ・1974年(S49)：士幌町農協から照射芽止め馬鈴薯の出荷開始

### 食品衛生法下で照射を管理

- ・認可施設：JA士幌町・士幌アイソトープ照射センター
- ・施設の査察：保健所の立ち入り検査（年3回）
- ・表示の義務：放射線を照射した旨、照射日など（食品表示法）



## JA士幌町生食用馬鈴しょ月別市場出荷量（平成19年産）



平成19年産合計出荷量 41,582 t  
 非芽止め 37,470 t (90%)  
 芽止め 4,112 t (10%)

## 新聞報道とボイコット騒動

- ・ 1967(S42) 3.23 読売 原子力開発長期計画の内容 食品保存に放射線活用
  - ・ 1970(S45) 7.21 読売 食品保存の放射線の害は？ 試験結果では心配ない
  - ・ 1971(S46) 7.17 読売 照射ジャガは無害 早ければ来年から市販
- 
- ・ 1977(S52) 2.15 読売 照射ジャガは安全か 17日に集会、疑問ただす 販売の再検討も 消費者団体が業者など呼び
  - ・ 1977(S52) 2.16 朝日 照射ジャガイモ ばら売りにも表示を 東京都 消費者保護で行政指導
  - ・ 1977(S52) 2.18 毎日 放射線照射ジャガイモ安全か 政府側とホットな対話集会 回答、納得できぬ 消費者側ボイコット拡大へ
  - ・ 1977(S52) 2.20 朝日 発芽防止の放射線照射ジャガイモ 消費者から不安の声 100%安全まで自衛 不買申し合わせ団体も
  - ・ 1977(S52) 2.27 消費者リポート 照射食品には染色体傷害や異常を起こす物質が 「原子力が“平和利用”にこんなに役立っているというPRのため」
  - ・ 1977(S52) 4.21 新婦人しんぶん 照射じゃがいも はたして安全？ なぜいそぐ 「原発事故から人びとの目をそらし、平和利用を宣伝するために、急いで実用化にふみきる姿勢に改めて疑問を感じざるをえません」
- 
- ・ 1980(S55) 7.23 日経 玉ねぎの放射線照射 安全性に問題ない 科技厅結論
  - ・ 1980(S55) 7.23 毎日 放射線照射の玉ねぎ 食べても大丈夫 科技厅の研究会議が報告 消費者団体は反発

## ベビーフード事件

素材の新鮮な色や風味を残しつつ納入先の殺菌規格に対応するため、1976(S51)年～1978(S53)年にかけて、野菜ジュースパウダー等に食品衛生法の規格基準で認められていない放射線照射を行った事件。

### 【弁護側の主張】

- ・ 本件の照射によって何らの**衛生上の危害が発生しないことは明白**である。
- ・ (WHOの安全宣言に対して) 有意義な科学的反証が存在しない以上、規格基準の照射禁止規定は**時代に逆行する無意味な規定**で到底法秩序を維持するための必要的立法とは考えられないから(今回の)照射行為は何ら法益を侵害し社会秩序を害する違法な行為とは言えず**不可罰**である。

### 【一審判決の理由 1984年(S59) 6月6日 名古屋地裁】

- ・ 食品製造等にかかる行政的規制に際しては、**絶対的安全性**が要求され、安全性に対して**些かでも疑問のある食品は規制**する、いわば「疑わしきは規制する」との原則が妥当するものと解すべきである。
- ・ (反対運動側の資料を引用し) **多くの疑問**が提起されている。
- ・ (規格基準への違反は) 直ちに人の健康を損なうおそれがあるか否か、ましてや実害の発生の有無を問うまでもなく、取締りの対象となるものと解すべきである。

## スパイスの照射殺菌許可の要請 (1)

厚生大臣 殿

平成 12 年 12 月 4 日

東京都北区西ヶ原 2 丁目 13 番 1 号

全日本スパイス協会

理事長 小林 博司

### 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

香辛料の微生物による汚染の低減化を目的とする放射線照射の適用のために、食品衛生法 第 7 条 基準、規格に合わない食品又は、添加物の製造等の禁止、第 1 項に基づく告示 食品、添加物等の規格基準第 1 食品の B 食品一般の製造、加工および調理基準の 1 放射線照射の原則禁止とその例外許可に準拠して、D 各条に“香辛料”の項を追加されると共に、仮称“香辛料の加工基準(放射線処理)”を定められるよう要請いたします。

なお、“香辛料の定義(仮称)”と“香辛料の加工基準(放射線処理)”についての試案を要請内容の概要にまとめ、また、許可要請の背景・理由等の概要説明並びに放射線照射処理に係わる詳細説明と合わせて添付いたしますので、よろしくご検討くださいますようお願い申し上げます。

## スパイスの照射殺菌許可の要請 (2)

21

【多田幹郎 部会長】実は、この申請書は1999年から1年ぐらいかけて厚生省に何回か相談に行きながらまとめられたものです。確かに、全日本スパイス協会がもっと頑張って働きかけるといようなことはなさいませんでした。私たちが関係していた者の感覚としては、きちんと文書を作って出したなら、**ここから先は厚生省の仕事**と違うだろうかという認識を持っておりました。

その後、**厚生省と何回か話しまして**、消費者の皆様のご同意を得ていますかと言われまして、消費者の皆様のご同意をどうして得たらいのか分からないながらも、何回か勉強会も開きました。それから、**使用者からの要望、いわゆる食品工業における加工でのニーズを明確に示さない**と言われましたが、これはなかなか示せませんでした。**会社の名前を挙げて、そういうニーズの要求をしてくれる会社はありませんでした**。それから、消費者にとってどのような有益性があるのかということについても、鬼武委員が説得力に欠けると言いましたけれども、**具体的においしいスパイスを提供することができる**とか、**気持ち消費期限が多少なりとも延びるようになる**というようなことを**明確には示しませんでした**。

(原子力委員会・食品照射専門部会 (第4回) 議事録 2006(H18)年3月13日)

## 当時の厚生省の対応

22

【松岡輝昌 基準審査課課長補佐】最後に、24頁でございますけれども、食品照射に関する消費者の反応について若干お話をさせていただきます。平成12年12月ですが、厚生省に、全日本スパイス協会から香辛料に対する放射線照射の許可の要請がなされました。この件につきまして、この会議でもお話があったと思いますが、その要請に先立って、**複数の消費者団体の連名で、厚生省に対し要請書を受理しないように要請がなされた**ことがございました。その理由は、まずは、放射線照射の安全性や、香辛料に放射線照射を行う必要性及び緊急性に対する**多くの質問、疑問**に対し、**回答がないこと**、それから、安全性に関するデータを消費者団体側に送付していないということだったと認識しております。

これらのことを受けまして、厚生労働省では、食品照射の要請について、**コンセンサスが得られていない**ということで、**当時の検討の跡はなく、資料として全く残っておりません**。私どもは、なぜ検討しなかったのかは推し量るしかありませんけれども、**コンセンサス**といったことがあったのだろうということで、**全日本スパイス協会からの許可の要請はそのままになっている**ということです。

(原子力委員会・食品照射専門部会 (第6回) 議事録 2006(H18)年5月16日)

## 現在の厚労省の立場

23

質問：なぜ香辛料は照射が認められないのか？

【新井剛史 基準審査課 衛生専門官】平成18年(2006年)に原子力委員会・食品照射専門部会からの要請を受けて、最近ですと、その結果を踏まえて平成22年(2010年)厚労省の薬事・食品衛生審議会 食品衛生分科会 食品規格部会でスパイスについて審議し、**科学的知見の不足と社会受容の未熟**を指摘し、関係者に引き続きの努力を要請した。

質問：スパイスの放射線照射は、平成22年から審議が開始されたが、WHOが安全としているがなぜ日本では認められていないのか？

【新井】平成22年の部会審議の中で、**アルキルシクロブタノンの問題**や、国民との相互理解の必要があるとされた。また、食品安全委員会が審査するのに必要なデータについて、**業界へ資料要求**をしているところであり、**資料がそろえば部会にて審議**を実施する予定である。

質問：許可するのに必要な資料は？一般市民がわかるように説明して。

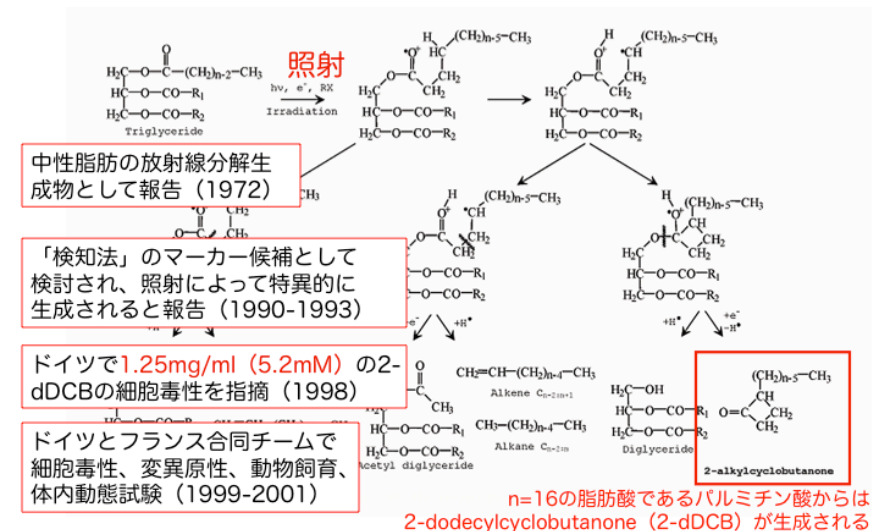
【新井】アルキルシクロブタノンの生成や濃度等、何をすると何ができるのか等を資料として提出いただきたいと考えている。

(食のコミュニケーション円卓会議 市民のための公開講座・しゃべり場 第7回 「食品照射を考える：鎖国状態から抜け出せるか？」 2016(H28)年7月8日)

## 2-アルキルシクロブタノンは危険か？

24

食品中の脂質が放射線分解する際に生成する化合物の毒性評価



## 2-アルキルシクロブタノン は危険か？

25

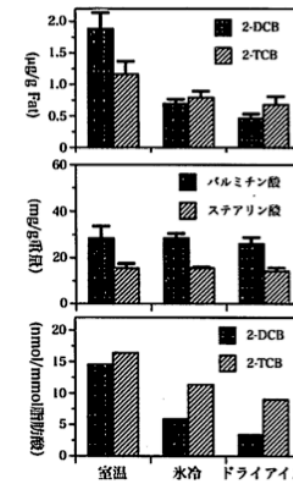
ドイツとフランス合同チームによる試験結果 (2002)

- 1) 試験管内実験で高濃度では細胞毒性があるが、25 μM以下では影響なし。
- 2) ラットに毎日体重あたり14.9 mg/kg (約 60 μM) の各種のシクロブタノン を投与すると、DNAの傷がわずかに増えるが、細胞を殺す作用は無く、投与量が1.12 mg/kg (約 5 μM) になると、全く影響は見られない。
- 3) 細胞に突然変異を起こす作用 (変異原性) はなく、従って発がん作用はない。
- 4) **ラットに毎日1 mg** (体重あたり 3.85 mg/kg、約16 μM) を投与すると、発がん剤 (アゾキシメタン) の作用を促進する効果がある。
- 5) 投与したシクロブタノンは、脂肪組織にわずかに蓄積するが、大部分は体内で別の物質に代謝されてしまうらしい。

米国の照射ビーフバーガーパテ (125g) は約6 μgの2-dDCBを含む (実測)  
ラットに毎日1 mgという投与量は、体重60kgの人間なら、  
米国の照射ビーフバーガーパテ (125g) を毎日38,500個 (4813kg)  
59 kGy照射した鶏肉を毎日136 kg も食べ続けた場合の摂取量に相当する！

## 牛ミンチ肉パテへのγ線4.7kGy照射時の温度と、2-ドデシルシクロブタノン(2-DCB)および2-テトラデシルシクロブタノン(2-TCB)の生成

26



氷冷やドライアイス冷凍で照射すると、室温で照射したときより生成量が少ない

脂肪1g当たりの生成量：  
μg (マイクログラム) = 百万分の1グラム

どの温度の試料でも、それぞれの前駆物質脂肪酸 (パルミチン酸、ステアリン酸) の濃度が同じレベルであることを確認

照射で生成したシクロブタノンの、各前駆物質 (脂肪酸) 当たりの濃度

nmol (ナノモル) / mmol (ミリモル)  
= 1 / 1,000,000

2-アルキルシクロブタノン分析と照射食品の検知, 尾花裕孝, 食品照射, 43, 2008

Mutation Research 770 (2014) 95–104

27

### Genotoxic potential and *in vitro* tumour-promoting potential of 2-dodecylcyclobutanone and 2-tetradecylcyclobutanone, two radiolytic products of fatty acids

Kohji Yamakage<sup>a,4</sup>, Hajime Sui<sup>a</sup>, Ryo Ohta<sup>a</sup>, Tomoyasu Toyozumi<sup>a</sup>, Kumiko Kawakami<sup>a</sup>, Hiroataka Matsumoto<sup>a</sup>, Toshitaka Takahashi<sup>a</sup>, Kiyoshi Sasaki<sup>a</sup>, Mayu Ikezumi<sup>a</sup>, Saki Negishi<sup>a</sup>, Keisuke Izumi<sup>b</sup>, Setsuko Todoriki<sup>c</sup>, Kondo Takashi<sup>d</sup>, Masakazu Furuta<sup>e</sup>

### 2-ドデシルシクロブタノンも、2-テトラデシルシクロブタノンも、遺伝毒性化学物質ではない。

ABSTRACT

The DNA-damaging and tumour-promoting effects of two 2-alkylcyclobutanones (2-ACBs), which are found in irradiated fat-containing foods, were investigated by use of the comet assay and in an azoxymethane (AOM)-induced colon-carcinogenesis study in rats, respectively. We conducted genotoxicity tests of 2-dodecylcyclobutanone (2-dDCB) and 2-tetradecylcyclobutanone (2-tDCB) according to the test guidelines for chemicals or drugs. In addition, a cell-transformation assay with Bhas 42 cells was performed to investigate their promoting potential *in vitro*.

The *Salmonella typhimurium* mutagenicity assay (Ames test), conducted with five tester strains, revealed that neither 2-dDCB nor 2-tDCB possessed mutagenic activity. Moreover, both in the *in vitro* chromosomal aberration test on CHL/IU cells and the *in vivo* bone-marrow micronucleus test where mice were given 2-dDCB and 2-tDCB (orally, up to 2000 mg/kg bw/day), we did not detect any clastogenic effects. Furthermore, DNA strand-breaks were not detected in the *in vitro* comet assay with CHL/IU cells, and DNA adducts derived from 2-dDCB and 2-tDCB were not detected in the colon tissues of the mice used for the micronucleus tests, in rats from a repeated dose 90-day oral toxicity test (0.03% 2-tDCB in the diet), or in rats from the AOM-induced carcinogenesis study (0.025% 2-tDCB in the diet). An *in vitro* tumour-promotion assay with Bhas 42 cells revealed that the number of transformed foci increased significantly following treatment of cells in the stationary phase with 2-dDCB or 2-tDCB for 10 days.

Our results indicate that neither 2-dDCB nor 2-tDCB were genotoxic chemicals. However, they exhibited promoting activity, at least *in vitro*, when Bhas 42 cells were continuously exposed to these chemicals at toxic doses.

J Toxicol Pathol 2015; 28: 99–107

28

Original Article

### Modifications of azoxymethane-induced carcinogenesis and 90-day oral toxicities of 2-tetradecylcyclobutanone as a radiolytic product of stearic acid in F344 rats

Makoto Sato<sup>1</sup>, Setsuko Todoriki<sup>2</sup>, Tetsuyuki Takahashi<sup>1</sup>, Ezar Hafez<sup>1</sup>, Chie Takasu<sup>1</sup>, Hisanori Uehara<sup>1</sup>, Kohji Yamakage<sup>3</sup>, Takashi Kondo<sup>4</sup>, Kozo Matsumoto<sup>5</sup>, Masakazu Furuta<sup>6</sup>, and Keisuke Izumi<sup>1\*</sup>

### ラットに経口投与した2-テトラデシルシクロブタノンは毒性も腫瘍促進作用も示さなかった。

Abstract: A 90-day oral toxicity test in rats was performed to evaluate the toxicity of 2-tetradecylcyclobutanone (2-tDCB), a unique radiolytic product of stearic acid. Six-week-old male and female F344 rats (n=15/group) were given 2-tDCB at concentrations of 0, 12, 60 and 300 ppm in a powder diet for 13 weeks. Slight dose-dependent increases in serum total protein and albumin in male rats were found, but these changes were not considered to be a toxic effect. The fasting, but not non-fasting, blood glucose levels of the male rats in the 300 ppm group and female rats in the 60 and 300 ppm groups were lower than those of the controls. Gas chromatography-mass spectrometry analysis showed dose-dependent accumulation of 2-tDCB in adipose tissue, notably in males. Next, we performed an azoxymethane (AOM)-induced two-stage carcinogenesis study. After injection of 6-week-old male F344 rats (n=30/group) once a week for 3 weeks, the animals received 2-tDCB at concentrations of 0, 10, 50 and 250 ppm in a powder diet for 25 weeks. The incidences of colon tumors for the 2-tDCB dosages were 34%, 45%, 40% and 37%, respectively, and were not statistically significant. These data suggest that 2-tDCB shows no toxic or tumor-modifying effects under the present conditions, and that the no-observed-adverse-effect level for 2-tDCB is 300 ppm in both sexes, equivalent to 15.5 mg/kg b.w./day in males and 16.5 mg/kg b.w./day in females. (DOI: 10.1293/tox.28.2015-0002; J Toxicol Pathol 2015; 28: 99–107)

NOAEL (無毒性量)

Key words: food irradiation, 2-tetradecylcyclobutanone, 90-day oral toxicity, colon carcinogenesis

ADI (1日許容摂取量) = NOAEL x 1/100 = 16.5 mg/kg x 1/100 = 0.165 mg/kg  
米国の照射ビーフバーガーパテ (6 μg/枚) を体重1kg当たり毎日27.5枚食べる量に相当



## 消費者の疑問

29

- 【有田芳子 主婦連合会会長】身内から叩かれるかもしれないが、照射のメリットはありそう。日本の香辛料会社から声が上がらないのはなぜ？
- 【平沢裕子 産経新聞記者】関係者に聞くと、「照射は優れた技術だが、照射殺菌の利用を望んでいた企業が日本向けに新しい加熱殺菌施設を作ったこともあり、厚生省との交渉が中断したままになっている」と。
- 【阿南 久 消費者市民社会をつくる会代表理事】代替法があるなら照射は不要。もし照射するならば、外食産業でも照射香辛料を使った料理を出しているところは情報提供を。
- 【小島正美 毎日新聞元編集委員】遺伝子組換えパパイヤを店で料理として提供する場合には表示義務はない。
- 【阿南】実態を見る化していくことで、調べようという機運が生まれる。
- 【小島】ちゃんと表示して売られている照射ジャガイモに対して、いまだに「売るな」という抗議があるが？
- 【阿南】そういう団体もいるかもしれないが。
- 【有田】日本の業者は照射済みの表示をすると売れないと思っているのか？
- 【小島】照射以外の方法で検疫処理された輸入果実には、こういうふうには薬剤燻蒸しています、とは表示していない。照射食品にだけ表示をすることがマイナスイメージを与える。
- (食のコミュニケーション円卓会議 市民のための公開講座・しゃべり場 第9回「言わせて！聞かせて！食品照射に懸念を持つ・反対する理由」 2018年7月8日)

## 牛肝臓内部の照射殺菌効果 (1)

31

H29厚労科研費 食品の安全確保推進研究事業  
畜産食品の生物学的ハザードとその低減手法に関する研究 (201723017A)

分担課題名：放射線照射による微生物除去  
等々力節子、川崎 晋 (農研機構・食総研)、清藤 一 (量研・高崎研)

要旨：  
牛肝臓に $10^5 \sim 10^7$  CFU/g の *Escherichia coli* O157 DT66 株  
もしくは *Salmonella Enteritidis* IFO3313 株を接種し、4.0~8.1、  
8.0~12.3 kGyの範囲のガンマ線を照射した場合での生残試験を行った。  
昨年度までの研究で得た生残曲線に予測信頼区間を設け、その予測信頼  
区間上限の結果から、*E. coli* O157 の場合は、5.3~5.5 kGy、  
*S. Enteritidis* の場合8.2~8.5 kGy の照射により95%から99%の信頼  
度で $10^5$  CFU/g を低減させることが可能であると考えられ、ガンマ線  
による照射試験の結果はその予測を反映していた。

## 生食用牛肝臓の提供禁止と照射

30

2011年5月 *E. coli* O111 (ユッケの集団食中毒)  
5名死亡、34名溶血性尿毒症症候群(HUS)、181名入院

2011年10月  
厚生労働省：生食用食肉の成分規格と加工基準新設  
・腸内細菌科陰性、表面から深さ1cm以上の加熱

2012年7月  
生食用牛肝臓の販売・提供禁止  
・腸管出血性大腸菌O157およびカンピロバクターが牛肝臓内部で  
検出されるため、これを除去する有効な手立てが見つかるまでの間、  
生食用牛肝臓の提供を禁止する。  
・生食の安全性を確保する新たな知見が得られた際には改めて審議する。

2012年8月~2018年(予定)  
厚生労働省：牛肝臓の放射線殺菌効果の研究実施

## 牛肝臓内部の照射殺菌効果 (2)

32

Inactivation of *Escherichia coli* O157 and *Salmonella* Enteritidis in raw beef liver by gamma irradiation

Susumu Kawasaki<sup>a,b,\*</sup>, Mie Saito<sup>a</sup>, Mari Mochida<sup>a</sup>, Fia Noviyanti<sup>b</sup>, Hajime Seito<sup>c</sup>, Setsuko Todoriki<sup>d</sup>

Food Microbiology 78 (2019) 110-113  
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.10.011>

Table 2  
D<sub>10</sub> values for *E. coli* O157 and *S. Enteritidis* strains in ground beef and beef liver under frozen conditions.

Strains	Matrix	Air		Vacuum				
		D <sub>10</sub> (min)	R <sup>2</sup>	D <sub>10</sub> (min)	R <sup>2</sup>			
<i>E. coli</i> O157	466	Ground beef	0.51 ± 0.05	R <sup>2</sup> = 0.97	A*	NT		
		Beef liver	0.76 ± 0.07	R <sup>2</sup> = 0.96	B	NT		
	DT66	Ground beef	0.69 ± 0.01	R <sup>2</sup> = 0.96	Aa*	0.78 ± 0.07	R <sup>2</sup> = 0.97	Aa
		Beef liver	0.85 ± 0.11	R <sup>2</sup> = 0.95	Aa	0.95 ± 0.08	R <sup>2</sup> = 0.98	Bb
<i>S. Enteritidis</i>	3313	Ground beef	1.00 ± 0.01	R <sup>2</sup> = 0.97	Aa	1.03 ± 0.10	R <sup>2</sup> = 0.95	Aa
		Beef liver	1.38 ± 0.07	R <sup>2</sup> = 0.96	Bb	1.47 ± 0.12	R <sup>2</sup> = 0.96	Bb

Values are mean ± standard deviation. Within each row and column for each individual strain, means with different uppercase and lowercase letters, respectively, are significantly different (p < 0.05).

\*: significant differences between *E. coli* O157 466 and DT66 strains (p < 0.05).

- ・牛肝臓中の細菌に対しては、ひき肉中に比べて高い線量が必要
- ・さらに、屠畜場からの流通や商業照射の条件も考慮した上で、リスク低減のための処理条件を検証し、研究を取りまとめる予定

## カナダにおける牛ひき肉の照射許可

Health Canada (カナダ保健省) は、「放射線照射が牛ひき肉中の有害細菌を低減するための、安全かつ有効な処理である」との評価結果に基づき、2017年2月22日、冷蔵・冷凍牛ひき肉を照射の許可リストに追加する規制変更を行った。  
<http://gazette.gc.ca/rp-pr/p2/2017/2017-02-22/html/sor-dors16-eng.php>

照射された牛肉製品は、他品目と同様に表示義務があり、製品パッケージの表面に国際的なシンボルであるRaduraロゴを添付することされている。

(カナダでは、照射原料を含む加工食品の場合は含有量10%以上の場合に表示を義務付け)  
[http://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/C.R.C.\\_c.\\_870/page-87.html#h-135](http://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/C.R.C._c._870/page-87.html#h-135)

- カナダ保健省は、2002年に、牛肉を含む4品目の照射食品許可を提案したが、規制変更の官報公告に至らなかった。
- 2012年、エクセル社 (XL Foods) の大規模な牛ひき肉リコール事案 (原因は腸管出血性大腸菌汚染) が発生した。独立調査委員会による報告書で、照射許可の再考が勧告された。
- 2013年5月、カナダの牧畜事業団体は、政府に、カナダ国内で販売する生鮮および冷凍牛ひき肉の照射許可の要請を行った。

## H30年度我が国の輸出に有利な国際的検疫処理基準の確立、実証委託事業

### 中課題3：放射線による殺虫効果及び果実障害試験

P5-2 果実輸出のための食品照射 —植物検疫措置としての照射技術—  
 (国研)量研・高崎 ○菊地正博、清藤 一、小林泰彦  
 (国研)農研機構 等々力節子、三代浩二

試験対象：リンゴ等に寄生するモモシクイガ  
 カンキツ (温州みかん) に寄生するミカンバエ

- 事業全体の目的：  
 国産果実の輸出を拡大するために、問題となる検疫害虫に対する処理条件を確立し、国際基準に提案すること。
- 照射以外の検討項目：
  - ・低温処理 (モモシクイガ)
  - ・高温処理 (ミカンバエ)
  - ・ヨウ化メチル処理 (モモシクイガ、ミカンバエ)

● 2016年6月、カナダ保健省は、牛ひき肉照射についての安全性評価結果を公表するとともに、食品照射規制改正案を提案、75日間のパブリックコメント期間を経て、規制改正された。

[http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt\\_formats/pdf/securit/irradiationtech\\_sum\\_food\\_irradiation\\_aliment\\_som-tech-eng.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt_formats/pdf/securit/irradiationtech_sum_food_irradiation_aliment_som-tech-eng.pdf)

● Health Canadaが受領した全18件のパブリックコメントのうち、13件は、科学的根拠に立脚した安全性と効果、食品安全の向上、既認可の照射食品の存在、施設の稼働性、WHO/FAOの見解、国外 (特に米国) での牛肉許可、消費者の選択肢の増加などを理由に、牛挽肉の照射に賛成していた。

● 一方、5件の反対意見の理由には、安全性の懸念 (照射牛肉のそのもの、及び、照射工程管理に関する懸念)、食肉の微生物汚染の現況に照射は不要、照射許可は中小の食肉加工業者や牛肉輸出業者に不利、といった産業競争力に関する潜在的な懸念が含まれていた。

● Health Canada は、照射牛肉中に生成する分解生成物は、微量であったり、短寿命であるため、照射牛肉の摂取による健康影響は認められないこと、微生物汚染には乳幼児や老人といった高リスク層も考慮した対策が必要なこと、GMPに則った適切な衛生管理は、照射の導入如何にかかわらず、全ての規模のと畜場と食肉加工業者が遵守すべき事項であること、本規制改定は照射牛挽肉の国内流通を可能にするもので、輸出に当たっては、相手国の国内規制を遵守するものである、との返答を公表し、牛挽肉の照射認可を結論した。

[http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt\\_formats/pdf/securit/irradiation/beef-irradiate-boeuf-eng.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/alt_formats/pdf/securit/irradiation/beef-irradiate-boeuf-eng.pdf)

## 国際植物防疫条約 (IPPC)

International Plant Protection Convention (<https://www.ippc.int/>)

(参考) <http://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/ippc.html>

■目的：植物に有害な病害虫の侵入・まん延を防ぐため、加盟国間の植物検疫措置の調和を図る。

■発効：1952年4月。現在177の国と地域が加盟 (日本も加盟)

■役割：植物検疫措置に関する国際基準 (ISPM)の策定、技術協力の実施、病害虫に関する情報交換等

- 具体的には、病害虫のリスク分析に関する方法や、病害虫を消毒する方法についての国際基準の策定など

### 植物検疫措置に関する国際基準 (放射線照射関係)

International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) No.18 (2003)

Guidelines for the use of irradiation as a phytosanitary measure  
 植物検疫措置としての放射線照射の使用のための指針

- 放射線照射を消毒処理として利用する際の一般要求事項、効果の確認方法、施設の要件、認可、記録などについてのガイドライン

## 放射線照射による殺虫試験及び果実障害試験

ISPM28 付属書番号	検疫害虫 学名(和名)	効果	最低 吸収線量	対象品目
PT1	<i>Anastrepha ludens</i> (メキシコミバエ)	羽化防止	70 Gy	全ての果物、野菜
PT2	<i>Anastrepha obliqua</i> (ニシインドミバエ)	羽化防止	70 Gy	全ての果物、野菜、 ナシ
PT3	<i>Anastrepha serpentina</i> (ウスグロミバエ)	羽化防止	100 Gy	全ての果物、野菜
PT4	<i>Bactrocera jarvisi</i> (和名なし:ミバエ科の一種)	羽化防止	100 Gy	全ての果物、野菜
PT5	<i>Bactrocera tryoni</i> (クインスランドミバエ)	羽化防止	100 Gy	全ての果物、野菜
PT6	<i>Cydia pomonella</i> (コドリंगा)	羽化防止	200Gy	全ての果物、野菜
PT7	fruit flies of the family Tephritidae (generic) (ミバエ科全般)	羽化防止	150 Gy	全ての果物、野菜
PT8	<i>Rhagoletis pomonella</i> (リンゴミバエ)	蛹成長防止	60 Gy	全ての果物、野菜
PT10	<i>Grapholita molesta</i> (ナシヒメシクイ)	羽化防止	232 Gy	全ての果物、野菜
PT11	<i>Grapholita molesta</i> under hypoxia (ナシヒメシクイ(低酸素下))	産卵防止	232 Gy	全ての果物、野菜
PT14	<i>Ceratitis capitata</i> (チチュウカイミバエ)	羽化防止	100 Gy	全ての果物、野菜
TPPT提案	<i>Carpocapsa sasakii</i> (モモンクイガ)	羽化防止	228 Gy	輸出対象のリンゴ

- ミバエ科全般に対する処理基準(ISPM28, PT7)を**ミカンバエ**に拡大可能か？  
照射した温州ミカンでミカンバエの羽化防止効果と果実障害を試験する。
- Technical Panel on Phytosanitary Treatments (TPPT)に提案されている線量で照射したリンゴ(ふじ)で、モモンクイガの羽化防止効果と果実障害を試験する。

## 米国の植物検疫基準

USDA/APHIS : Animal and Plant Health Inspection Service

- 植物検疫基準 7CFR305 PHYTOSANITARY TREATMENTS
- 米国で認可されている植物検疫(消毒)処理 "Treatment Manual"  
([http://www.aphis.usda.gov/import\\_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment.pdf](http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment.pdf))
- Chemical treatment (臭化メチル、ホスフィン、フッ化スルフリル)
- Cold treatment
- Quick freeze treatment
- Heat treatment
- Irradiation treatment

Non Chemical Treatment  
非薬剤処理

Treatment Schedules: 対象品目, 地域指定  
T-100 番台 Fruit & Vegetables  
T101 - Methyl Bromide Fumigation  
T102 - Water Treatment  
T103 - High Temperature Forced Air  
T104 - Pest Specific/Host Variable  
T105 - Irradiation (照射処理)  
T106 - Vapor Heat  
T107 - Cold Treatment  
T108 - Fumigation + Refrigeration  
T109 - Cold Treatment + Fumigation  
T110 - Quick Freeze

## 最小吸収線量 (害虫別)

- 個別検疫害虫 (23種類)
  - ミバエ類一般
  - 前述の害虫および鱗翅目の害虫を除く害虫
- 最小線量を規定 (FDAが規定する最大線量は1 kGy)

## Irradiation Treatment

T105 -a-1, ミバエ一般 150 Gy	T105 -a-2, 害虫一般(チョウ目以外) 400 Gy	T105-a-3 マンゴソウムシ 300 Gy
-------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------

39

## 日本の現状：まとめ

- 突然のボイコット騒動、実は原子力反対運動と連動
- 照射玉ねぎの安全性確認後も新規の許可はストップ
- スパイスの照射殺菌許可の要請、残念な水掛け論
- 事業者が本気でニーズを示さないと動かない
- 「消費者のメリット」を訴えないと理解されない
- 牛生レバーの処理条件確立に向けた研究を実施中
- 農水省、照射による植物検疫処理の検討開始



Yves M. Henon (イヴ M. エノン)

(国際照射協会 International Irradiation Association : IIA)

国立農業研究所(フランス・パリ)、ルイジアナ州立大学(米国)にて学士、修士号を取得後、1980~1987年、フランス原子力委員会カダラッシュ研究所にて食品照射の研究を行う。その後、19年間に渡り、フランス国内、タイ、マレーシアの照射施設の建設と運営に携わる。

2006年よりフリーランスとなり、各国の放射線照射事業のコンサルティングで活躍。2009~2013年、IIAのアジア・太平洋地域マネージャー。2004~2015年、食品照射専門家としてFAO/IAEAに奉職。現在、母国フランスにて、放射線照射のコンサルティング会社を運営し、FAO/IAEAの食品照射プログラムに引き続き協力している。



## GLOBAL PROGRESS OF FOOD IRRADIATION

AND

## FUTURE PERSPECTIVE

食品照射の世界的な発展と将来の展望



## Irradiated spices and herbs

照射スパイス・ハーブ類

France

原材料名：黒コショウ、白コショウ、  
コリアンダー、ピンクペッパー、グリーンペッパー、  
オールスパイス（ジャマイカペッパー）  
照射（イオン化）処理

*Ingrédients : poivre noir, poivre blanc,  
coriandre, baies roses, poivre vert,  
piment de la Jamaïque.  
Traité par ionisation*

Ionisation = Irradiation



## Most irradiated products

最も照射されている食品

### ■ Spices, herbs and dehydrated vegetables

スパイス、ハーブおよび乾燥野菜

#### ■ Irradiation must be indicated whatever the proportion in finished product

最終製品中の含量に拘らず表示が必要

e.g. European Union, South Korea

Use of irradiation very limited

例：EU、韓国

照射の利用は非常に限られている

#### ■ Irradiated must not be indicated below a certain proportion

e.g. USA, Canada

ある含有率未満の場合は

Irradiation widely used

照射の表示をしてはならない

例：米国、カナダ

照射が広く利用されている

## Irradiated spices and herbs

Not me! 照射されてません!



NON-IRRADIATED



NON-IRRADIATED

NON-IRRADIATED



## Irradiated spices and herbs

Not me (anymore)!

(もう) 照射されてません!

*Business Insider South Africa - September, 18 2018*

ユニリーバ傘下で、南アフリカでトップブランドのスパイスメーカーである“ロバートソン”は、照射処理を蒸気殺菌に置き換えると発表した […]

ガンマ線照射、または高エネルギー電子による処理はスパイスの微生物低減に用いられる。この処理により食品が放射能を帯びることはなく、広範な研究によっても、照射処理が不安であるという根拠は見出されていない。

多くの食品の専門家が、照射は他の方法と比較しても、フレーバーや色調を損なわずにスパイスの安全性を確保する最善の方法であると確信している。

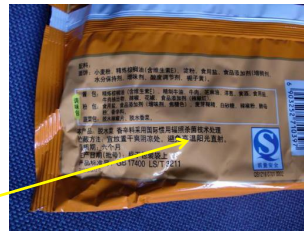
そして今、ロバートソンは、より消費者に好まれるとされる、蒸気殺菌を利用するという。その方法は、健康を増進する機能成分を減少させるという証拠があるにも関わらず。

## China leading リードする中国

- Largest volumes: 処理量最大

- Spices, condiments, sauces  
スパイス、調味料、ソース  
> 200,000 tons / year

Dehydrated vegetables and spices are irradiated according to international procedures  
脱水菜香辛料採用国際慣用辐照殺菌技術処理



即席麺の照射調味料

Irradiated seasonings in instant noodles

- Garlic ニンニク  
(China world # 1 producer and exporter)  
中国は世界最大の生産国・輸出国



- Pickled chicken snack 味付き鶏肉スナック

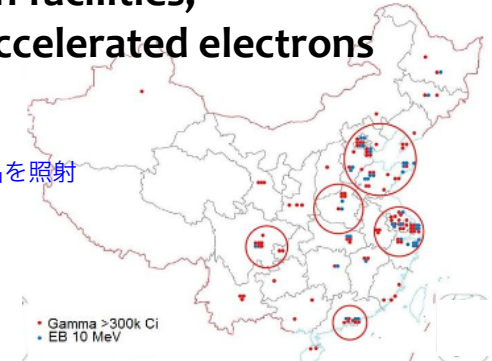
## Country irradiating food the most

最も食品照射の処理量が多い国、中国

China

- > 1 million tons of food irradiated yearly\*
- In ~100 irradiation facilities, increasingly by accelerated electrons

- ・全照射処理量の70%が食品
- ・年間100万トンを超える食品を照射
- ・約100の照射施設で処理、電子線処理が増加中



Source: K. Hsiao and Chen Hao – IMRP 2016

## China – Spicy pickled chicken feet / wings

中国の味付き鶏脚/手羽先

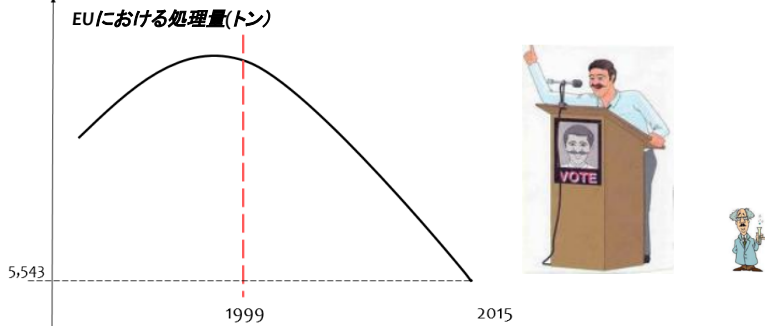
- Popular snack found in convenience stores across China.  
中国全土のコンビニで見かけるポピュラーなスナック
- Irradiation allows minimum boiling for better texture  
照射することで茹で時間を最小限にでき、テクスチャー良好
- Shelf-life at room temperature > 6 months  
室温での日持ち6ヶ月以上
- > 350,000 tons irradiated in 2017  
2017年の処理量は35万トン以上
- Two major manufacturers have own irradiator  
2つの主要生産施設は自社で照射設備を保有



irradiated



## European Union



- 世界中で処理量が減少している唯一の地域
- ターニングポイント: 1999年EU指令(統一基準)  
「基本的にスパイスに限定して使用すること」
- 含有割合にかかわらず原材料においても照射の表示が必須  
知る権利か? 警告か?

## European Union

- September 2017:



- Comments period ended October 3, 2017  
Vast majority of comments called for a revision of the Directives  
2017年3月までのコメント期間で、大多数はEU指令の改定を求めた
- Consultancy firm awarded contract by European Commission to review regulations - Report due late 2019  
コンサル会社が欧州委員会から規制の見直しを受託、2019年後半に報告

## European Union

Irradiated frozen frog legs sold in France  
フランスで販売される照射冷凍カエル脚



## Russia

- Adopted the Codex Alimentarius International Standard for Irradiated Food in early 2016  
2016年初頭、コーデックス照射食品の一般規格への適合を決定
- Various food irradiation standards became effective in 2017  
2017年、種々の食品照射の基準が発効

FOCT ISO 14470-2014	01.01.2016	食品照射 食品処理のための電離放射線を使用する照射プロセスの開発、妥当性確認および定期管理のための要求事項 (注: ISO規格を国内規格にしている 日本でいえば翻訳JISに相当)
FOCT 33271-2015	01/01/2017	乾燥スパイス、ハーブ、野菜調味料。病原菌およびその他の微生物を制御のための照射のガイダンス
FOCT 33302-2015	01/01/2017	生鮮農産物。植物検疫処理のため照射のガイダンス
FOCT 33800-2016	01/07/2017	照射食品表示のための一般的な要求事項
FOCT 33820-2016	01/07/2017	生鮮および冷凍肉類。寄生虫、病原菌およびその他の微生物を制御のための照射のガイダンス
FOCT 33825-2016	01/07/2017	包装済み畜肉加工製品。病原菌およびその他の微生物を制御のための照射のガイダンス



## Russia

- Two electron beam facilities targeting the food market started operation in 2017 in the region of Moscow.



2017年、食品市場を対象とした2か所の電子線照射施設がモスクワ近郊で操業開始

## Phytosanitary irradiation 植物検疫のための照射

First suggested by Japanese entomologist Kiyoshi Koidsumi  
日本の昆虫学者「小泉 清」が最初に提唱

*Quantitative studies on the lethal action of X-rays upon certain insects*

数種の昆虫におけるエックス線の死滅効果の定量的研究

*J. Soc. Trop. Agriculture* 1930 2: 342-363

注: 小泉清明先生が台湾時代に行った仕事?

In the Island of Formosa, a large number of fruits and vegetables such as Citrus, Mango, Bamboo-shoot, Cucumber, Melon, Luffa etc. are damaged in a considerable degree by many species of fruit fly, *Dacus*. These larvae hatching

目的は、果実や野菜あるいは包装に含まれる虫をX線照射で破壊すること

significance in the exportation of the plants.

It was the purpose of the author to destroy them within fruits or vegetables or packages which contained insects by means of X-ray radiation, and it was developed that a certain intensity of rays killed such naked insects as were not covered with any objects during any stages of development. I first determined the purely scientific relation of the rays to the death of the naked insects. This article will deal with the obtained results of interest from a scientific point of

## Phytosanitary irradiation 植物検疫のための照射

- Damage caused by invasive insects: 70 billion USD per year

侵入害虫による被害: 年間700億米ドルと推定

- International trade, tourism + Global warming = spread of insect invaders

国際貿易、観光旅行+地球温暖化=侵入害虫の拡散

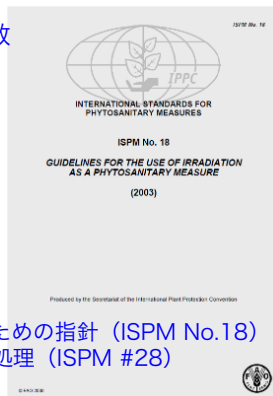
- Irradiation now recognized as an effective phytosanitary treatment by the International Commission on Plant Protection (IPPC)

現在、照射処理は効果的な植物検疫処理として国際植物防疫条約 (IPPC) で認められている

International standards: ISPM 18 and ISPM 28

国際基準:

(照射の一般指針) 植物検疫措置としての放射線照射のための指針 (ISPM No.18)  
(具体的な処理基準) 規制有害動植物のための植物検疫処理 (ISPM #28)



## Phytosanitary irradiation ISPM 28 Annex

Phytosanitary treatments (PT) based on ionizing radiation approved by the International Plant Protection Convention.

PT No.	Pests covered	Dose (Gy)
1	<i>Anastrepha ludens</i> (Mexican fruit fly)	70
2	<i>Anastrepha obliqua</i> (West Indian fruit fly)	70
3	<i>Anastrepha serpentina</i> (serpentine fruit fly)	100
4	<i>Bactrocera jarvisi</i> (Jarvis' fruit fly)	75
5	<i>Bactrocera tryoni</i> (Queensland fruit fly)	75
6	<i>Cydia pomonella</i> (codling moth)	200
7	Tephritidae (fruit flies)	150
8	<i>Rhagoletis pomonella</i> (apple maggot)	50
9	<i>Conotrachelus nenuphar</i> (plum curculio)	92
10	<i>Grapholita molesta</i> (oriental fruit moth) <sup>a</sup>	232
11	<i>Grapholita molesta</i> (oriental fruit moth) <sup>a</sup>	232
12	<i>Cylas formicarius elegantulus</i> (sweet potato weevil)	165
13	<i>Euscepes postfasciatus</i> (West Indian sweet potato weevil)	150
14	<i>Ceratitis capitata</i> (Mediterranean fruit fly)	100
19	<i>Dysmicoccus neobrevipes</i> , <i>Planococcus lilacinus</i> and <i>P. minor</i> (mealybugs)	231
20	<i>Ostrinia nubilalis</i> (European corn borer)	289, 343 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> The two *Grapholita molesta* treatments have different end points and are for irradiation in ambient and low oxygen atmospheres.

<sup>b</sup> The two doses for *Ostrinia nubilalis* have different end points.

## 他の植物検疫処理に対する『照射の特殊性』

この手法の効果のエンドポイントは“即死”ではなく  
将来の成長や次世代の再生の抑制である

照射処理時に存在していた規制有害生物は、  
輸入国の入国時にまだ生きているかもしれない

YES !

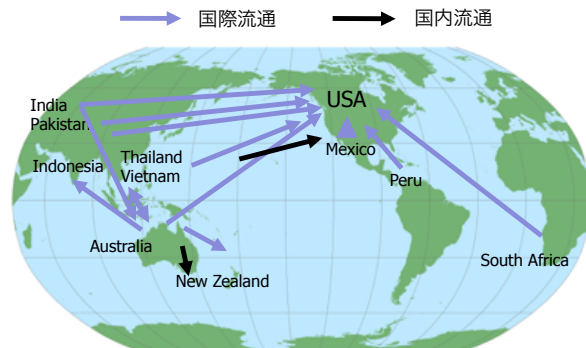


植物検疫規制当局にとっては  
まさにパラダイムシフト

「各国の植物検疫当局（NPPO）は、  
適切に照射され、検疫要件を満たす場合、  
生きている規制有害生物を含む製品の貨物を  
拒絶してはならない」

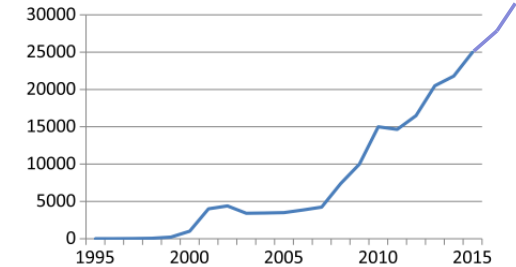
## 植物検疫照射の動向

- より多くの国々が照射生鮮物の貿易に関与するように
- より多くの種類の生鮮物が照射されるように
- より多くの処理基準が国際基準に採択（ISPM 28付属書）



2017年の照射生鮮物の国際貿易 30,000 トン以上

## 植物検疫手段としての照射の急速な成長



1995年に商業利用が開始されてからの年間当たりのトン数

成長の理由は、

- ・ 高品質な熱帯生鮮物への需要が増加した
- ・ 広範囲な害虫および農産物に照射処理が適用できた
- ・ 農産物に影響の少ない低い線量での処理が求められた
- ・ 他の処理法と比べて品質が優れた果物が供給できた

## ベトナム産ライチ、オーストラリアへ



ベトナムのライチはオーストラリアで  
引っ張りだこ

JUNE 30, 2015 BY ROBERT — LEAVE A COMMENT

## ベトナムは10トン超のライチをオーストラリアに出荷

中国のライチとの強い競争にもかかわらず、ベトナムのライチはその並外れた繊細な味のおかげでオーストラリア市場で支持され続けています。6月20日にオーストラリア農業水資源省は、ハノイ照射センターを正式に認可し、オーストラリア市場への新鮮なベトナムのライチの輸出を承認した。これは、ホーチミン市にあるソン・ソン（Son Son）とアン・プー（An Phu）の2社の放射線照射会社に続き、オーストラリアの認定を獲得したベトナムの3番目の放射線照射施設である。ハノイセンターでは、以前のように照射のためにホーチミンにライチを輸送する時間とコストを節約し、ライチ輸出価格と…

## Peruvian figs and pomegranate to USA

ペルー産イチジクとザクロ、米国へ

### FEBRUARY 2017:

North Bay Produce, Traverse City, Michigan began importing fresh irradiated pomegranates and figs from Peru.

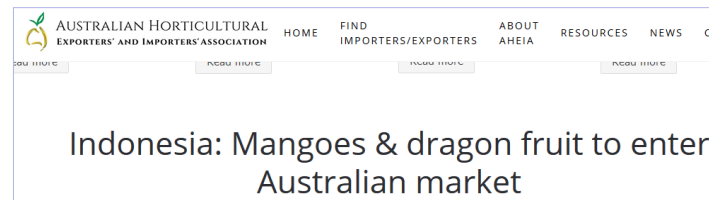
The USDA-APHIS approved shipments came from Agricola Athos in Lima, Peru. Mark Girardin, President of North Bay Produce, credits the vision of Jorge Checa of Agricola Athos, the valuable cooperation of SENASA PERU, USDA-APHIS, Gateway America, Gulfport, Mississippi and Federal Strategies, to make this vision become a reality. The black mission



このイチジクはリマから空輸され、ミシシッピ州GulfportのGateway Americaで照射された後、直接各地の流通倉庫に、またはイリノイ州のNorth Bay Produce社の施設に出荷された。

## Indonesian mangoes and dragon fruit to Australia

February 16, 2018



### インドネシア産マンゴーとドラゴンフルーツが豪州の市場へ

During the 21st meeting of the Working Group on Agriculture, Food and Forestry Cooperation (WGAFFC) between Australia and Indonesia - held in Melbourne from Feb. 14 to 15 - it was agreed that Indonesia will soon start exporting mangoes and dragon fruit to Australia.

The head of the Indonesian Agriculture Ministry's Agriculture Quarantine Agency, Banun Harpini, said Australia had agreed to irradiate the fruit to assure the products would meet Australian standards.

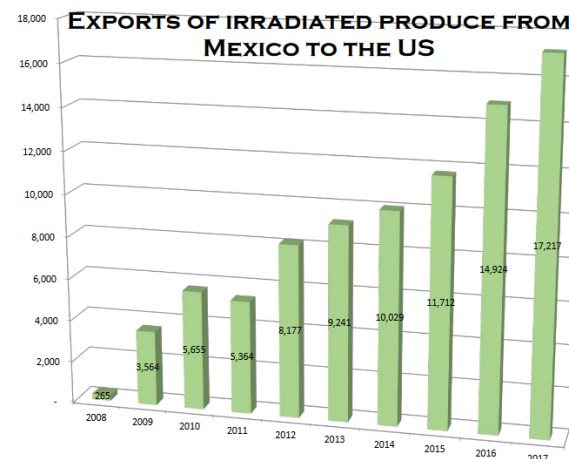
## Exporters of irradiated fresh produce - 2017

照射生鮮物の輸出国（地域） - 2017年

	Tons	Main products
Mexico	17,200	Guava, mango, chili manzano トウガラシ
Hawaii	~ 8,000	Sweet potato, papaya (to continental USA)
Vietnam	6,000	Dragon fruit, longan (米国本土向け)
Australia	4,000	Mango, lychee, cherries



## Export of irradiated produce from Mexico



78% はグアバ

全米 3,300 店舗で販売





## Export of irradiated produce from Australia

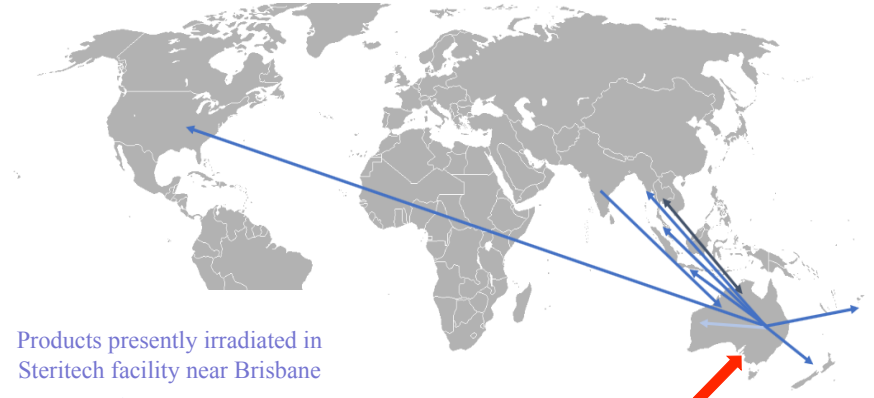
### オーストラリアからの照射農産物の輸出

2017-18 (estimate Feb 2018)		2016-17	
Product	Exported to	Tons	Tons
Table Grapes	Viet Nam	1 780	1109
Mangoes	New Zealand	1 290	982
Cherries	Viet Nam	370	0
Tomatoes	New Zealand	220	134
Lychees	New Zealand	200	72
Mangoes	USA	100	141
Papaya	New Zealand	22	0
Mangoes	Malaysia	14	0
Lychees	USA	12	6
Capsicums	New Zealand	9	0
Mandarins	Viet Nam	6	161
Strawberries	Indonesia	2	0
Blueberries	Indonesia	1	0
<b>TOTAL</b>		<b>4 027</b>	<b>2 723</b>



+50%

## Australia



Products presently irradiated in Steritech facility near Brisbane

現在はブリスベン近郊の Steritech 社で照射処理 (ガンマ線照射施設)

2019: new X ray facility in Melbourne

## New EB facility for the phytosanitary treatment of fresh produce

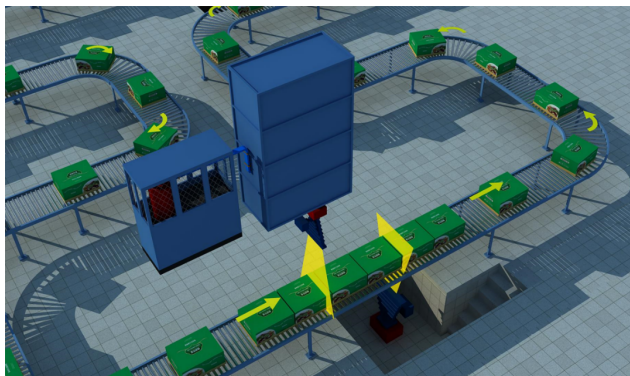
### 植物検疫処理用の新しい電子線照射施設 (中国)

Pinxiang, Guanxii Province, Vietnamese border

萍郷市、広西チワン族自治区、ベトナム国境

2 x 7.5 kW – 10 MeV linear accelerators (Nuctech)

Irradiation from top + bottom 直線加速器で上下から両面照射



## Main importers of irradiated fresh produce

### 照射生鮮産物の主な輸入国

	Tons (2016)	Main products
USA (incl. from Hawaii)	30,000	Guavas, mangoes, sweet potatoes
New Zealand	1,190	Mangoes, tomatoes, lychee
Vietnam	1,120	Grapes, mandarins, oranges



## Growing interest in using irradiation for citrus

柑橘類の照射処理への関心が増加

### Citrus sensitive to low doses of irradiation: peel pitting

柑橘類は放射線感受性が高い：果皮のピットング（くぼみ？）

### Research at USDA-APHIS exploring new path:

米国農務省-動植物検疫局 (Animal and Plant Health Inspection Service) で研究

### Combination of

低線量の照射と短時間の低温処理の組み合わせ

low dose irradiation (30-100 Gy)

+

short cold treatment (5 days)

## In summary: 要約

- Food irradiation making [slow] progress in most countries  
食品照射はほとんどの国で [緩やか] に発展している
  - Spices and herbs most commonly irradiated product  
スパイス・ハーブ類が最も共通的に照射されている製品である
  - Use of irradiation as a quarantine measure is the most remarkable development in many years  
ここ数年、植物検疫処理としての照射利用の進展が目覚ましい
  - Now enough evidence that consumers do buy irradiated food -- though a fraction won't  
現在、消費者は照射食品を購入するという、十分な証拠がある。たとえ一部の消費者は拒否していても。
- Retailers' persuasion to come before consumers' education  
消費者の教育よりも、流通事業者の納得が先！
- Wider adoption of the technology might require a new approach  
より広範な照射技術の採用には新しいアプローチが必要

## Interest in using irradiation for citrus

USDA  
United States Department of Agriculture

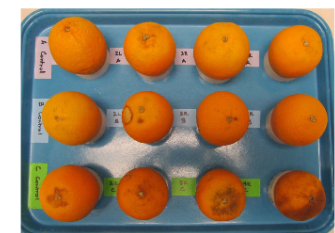
### Valencia oranges after 2 weeks at room temperature n=96

treatment	°Brix (mean n=10)	Weight final (g)	% unsalable
Pre-treatment	12.89	---	0
150 Gy	13.20	173.33	3.13
50 Gy	12.56	172.37	6.25
0 Gy (control)	12.90	174.51	15.63

室温で2週間保存したパレンシアオレンジ



150 Gy + cold



Control (0 Gy)

## Changing the future of food irradiation?

通常の食品処理技術は、自らの製造ラインで実施

Conventional food processes happen in-house / in-line



Washing  
Cutting  
Cooking  
Cooling  
Freezing  
Drying  
Freeze drying  
Pasteurization  
Heat sterilization  
Vacuum Packing



自己遮蔽型の加速器や新型の電子線/X線管で新しいアプローチが可能に  
Self-shielded accelerators and new types of EB / X lamps may allow new approach

## In-line EB treatment spreading in industry

製造ラインに組み込まれた低エネルギー電子線の利用が拡大

液体の無菌充填包装システム  
**Liquid Packaging**

Tetra Pak® E-beam  
aseptic filling system



医薬品の滅菌装置  
**Biopharma**

Getinge E-beam Tub  
Steristar Sterilizers



## Low energy electrons 低エネルギー電子線



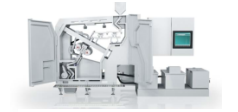
New generation of metal  
ceramic lamps producing low  
energy electrons (300 keV)

低エネルギー電子線を発生させる  
新世代のメタルセラミックランプ



Proper product  
presentation

適切な取り扱い技術

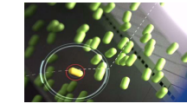


Adequate surface  
decontamination

適切な表面殺菌



COMET



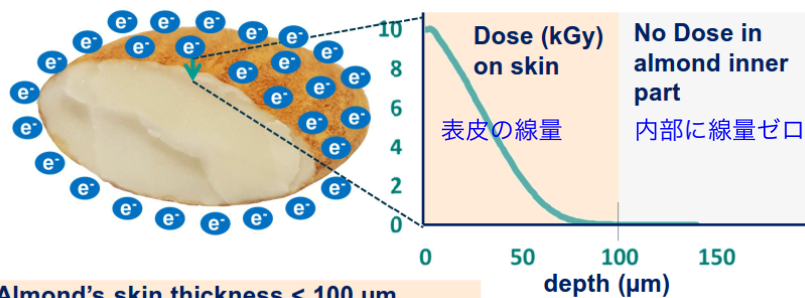
BUHLER



## Low energy electrons 低エネルギー電子線

Microbial decontamination of the surface of almonds

アーモンドの表面の殺菌



Almond's skin thickness < 100 µm

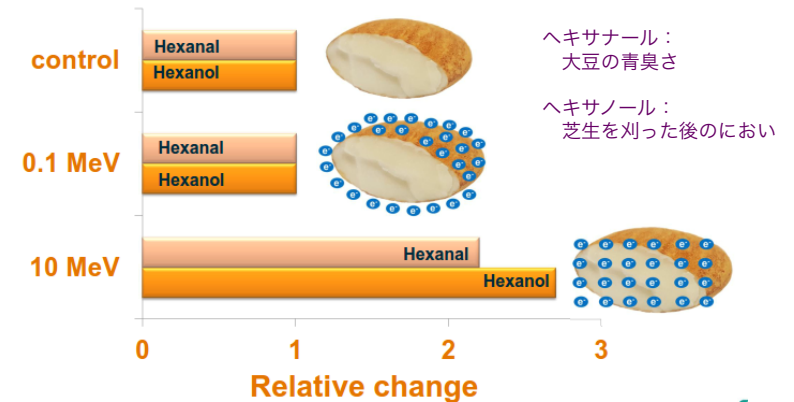
アーモンドの表皮の厚さ

by permission of **BUHLER**

## Low energy electrons 低エネルギー電子線

No oxidation of unsaturated fats

不飽和脂肪酸の酸化なし



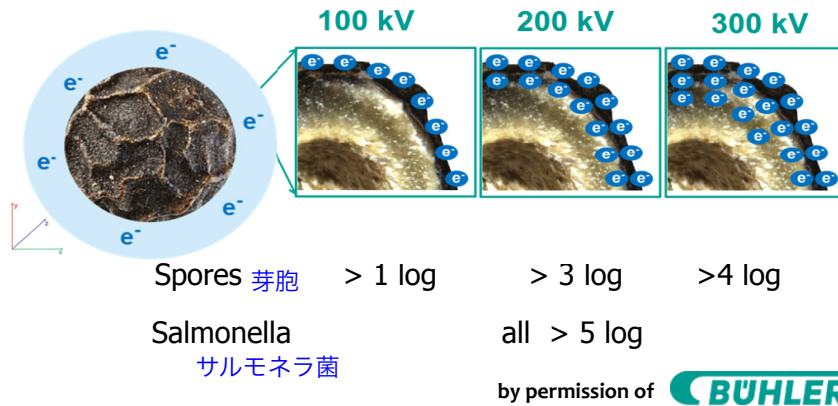
by permission of **BUHLER**



## Low energy electrons 低エネルギー電子線

Peppercorn: 黒コショウ

Penetration depth can be adjusted to reach microorganisms  
殺菌対象の微生物に届くように透過力(到達深度)の調節が可能



## New concept low energy EB 新しいコンセプトの低エネルギー電子線装置

First LEEB unit successfully tested for dried food under industry conditions in Germany in 2017-2018

2017-2018年にドイツで最初の低エネルギーEB装置による産業規模の乾燥食品の処理に成功

Two LEEB units about to be installed in USA and Spain to treat spices

2機の低エネルギーEBユニットがスパイス殺菌の目的で米国とスペインに導入される見通し



## 低エネルギー電子による穀物の殺菌

食品総合研究所 2000年の研究成果

低エネルギー電子(ソフトエレクトロン)による照射処理により、品質には影響を与えることなく穀物の殺菌を行うことができる。

従来のガンマ線照射と比べた利点

- ・線源維持の必要がない
- ・不必要な部分への放射線の照射を避けられる
- ・装置が安価
- ・食品衛生法上は「放射線」に該当しない

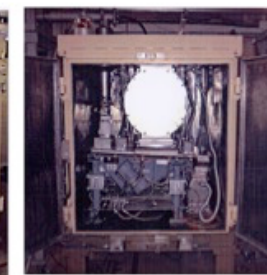
- 発表論文等:1)Hayashi, T.et al: J. Food Protection ., 61 (1), 73-77(1998)  
2)Hayashi, T.et al: Radiat. Phys.Chem., 52(1-6), 73-76 (1998)  
3)Hayashi, T.et al: J. Food Sci. 62 (4), 858-860(1997)  
4)林徹,等々力節子:日本食品科学工学会誌, 46(6), 422-427(1999)  
5)特許登録:3696730号(穀物の殺菌法)平成12年10月10日  
6)特許登録:3079516号(食品原料の連続殺菌法)平成12年6月23日

## ソフトエレクトロンプロセッサー (NHV Co.Ltd.) 実用機

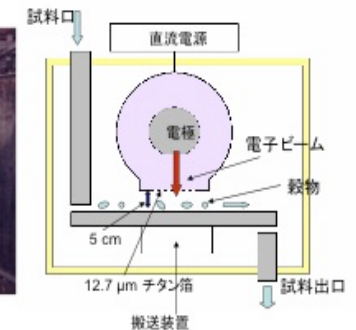
- ・日清製粉の研究所で2000年(平成12年)に試験照射を実施
- ・法令上の問題がないことも厚労省基準審査課に確認済み



Outside



Inside



Beam current: 50 mA  
Acceleration voltage: 150 kV  
Width of beam scanning: 45 cm  
Size: W1.6 x L2.7 x H2.1 (m)

処理能力  
0.5 ~ 2 t/h