食のコミュニケーション円卓会議【カフェ円卓】
タワーホール船堀：2012年6月22日（金）

生肉やレバ刺しを安全に食べる技術のひとつ
放射線殺菌について
～食品照射技術のご紹介～

小林 泰彦

kobayashi.yasuhiko@jaea.go.jp

(独)日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 研究主席
マイクロビーム細胞照射研究グループリーダー
群馬大学重粒子線医学研究センター　客員教授

放射線“非加熱”殺菌の用途

- 熱に弱いプラスチック製の医療器具
- 医薬品、医薬品原材料、包装材
- 衛生用品、化粧品
- 輸血用血液製剤（リンパ球の不活性化）
- 実験動物用飼料
- 食品や飲料の容器、包装材
- 食品そのもの

○殺菌線量10 kGy＝10^4 J/kg＝2.4 cal/g＝温度上昇は2.4°C

○殺菌より低い線量では、殺虫や芽止めができる

食品照射技術とは

- 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」
- 食品照射技術の用途、目的

（1）食料・農産物の保存（芽止め、防虫）

（2）食品の衛生確保と食中毒防止

（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、生薬

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

照射殺菌した唐辛子と加熱殺菌した唐辛子の色の違い

【食のコミュニケーション円卓会議】
ガンマ線殺菌した香辛料と過熱水蒸気殺菌した香辛料でそれぞれカレーを作って（ブラインドで）味比べ！
http://food-entaku.no.coocan.jp/garlicweb/garlic-5.pdf

2.8 kGy照射　　非照射

サランラップで包んだイチゴにコバルト60のγ線を照射、
4℃で５日間保存し、さらに室温で２日間置いた

高崎女子高校スーパーサイエンスハイスクール
2006年研究課題「放射線の殺菌作用」より

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

照射食品の安全性試験

日本で行われた動物飼育試験（1971-1988）の7品目

ジャガイモ、タマネギ（芽止め）　米、小麦（殺虫）
ソーセージ、カマボコ（殺菌）　ミカン（表面殺菌）

慢性毒性試験：体重、死亡率、血液学的検査、病理組織学的検査

世代試験：　照射食品で飼育したマウスおよびラットを交配、
妊娠中と授乳期、離乳後の子供へ照射食品を投与、
これを３世代繰り返し、催奇形性、遺伝的毒性を試験

変異原性試験：細菌を用いた突然変異誘発試験、
哺乳動物培養細胞に対する染色体異常試験、
マウス成体を用いた染色体異常試験など

いずれも、照射によると認められる影響は無かった

国際機関による安全性評価

1961年　FAO／IAEA／WHO合同委員会：照射食品の健全性（安全性＋栄養適性）は食品添加物と同様に評価する

1976年　FAO／IAEA／WHO合同委員会：照射は物理的処理であり、食品添加物としての扱いは妥当でない

1980年　FAO／IAEA／WHO合同委員会：いかなる食品を10kGy以下の線量で照射しても毒性学的・栄養学的・微生物学的に全く問題ない。今後は個々の食品の健全性試験は不要

1983年　FAO／WHOの国際規格委員会（Codex）「照射食品に関する一般規格（Codex規格）」と「食品処理のための照射施設の運転に関する国際基準」を採択、加盟国に受け入れを勧告

1992年　豪州政府の要請に応えWHO専門家委員会が照射食品の健全性を再評価：10kGy以下の照射食品の健全性を再確認

1997年　WHO専門家委員会：10kGy以上照射した食品の健全性に問題はないとして、「10kGy」の制限を撤廃するように勧告

2003年　FAO／WHOの国際規格委員会（Codex）：原則10kGy以下、技術的必要性が認められれば超えても可とCodex規格を改訂

FAO：照射の効果　IAEA：照射施設の安全性　WHO：照射食品の安全性

食品照射のメリット
(放射線を使うメリット)

○非加熱で殺菌・殺虫が可能
・冷蔵・冷凍のまま新鮮な状態で処理できる
・色や香り、栄養素などの品質が保たれる

○残留毒性や環境汚染の心配がない
・エチレンオキサイド(殺菌剤) ← 発がん性のおそれ
・臭化メチル(殺虫剤) ← オゾン層破壊物質

○透過力が大きく、効率的で確実
・形状を問わず内部まで均一に殺菌できる
・密封包装、梱包後に殺菌でき、使用時に開封するまで清潔が保たれる

食品照射のデメリット

●コストが高い

・芽止め照射で2～3円/kg。コストは線量に比例するので、殺菌線量では、その10～100倍に。

●風味や加工適性が変わることがある

・肉類や乳製品への高線量照射による異臭の発生、小麦粉の粘度低下などが、あり得る。

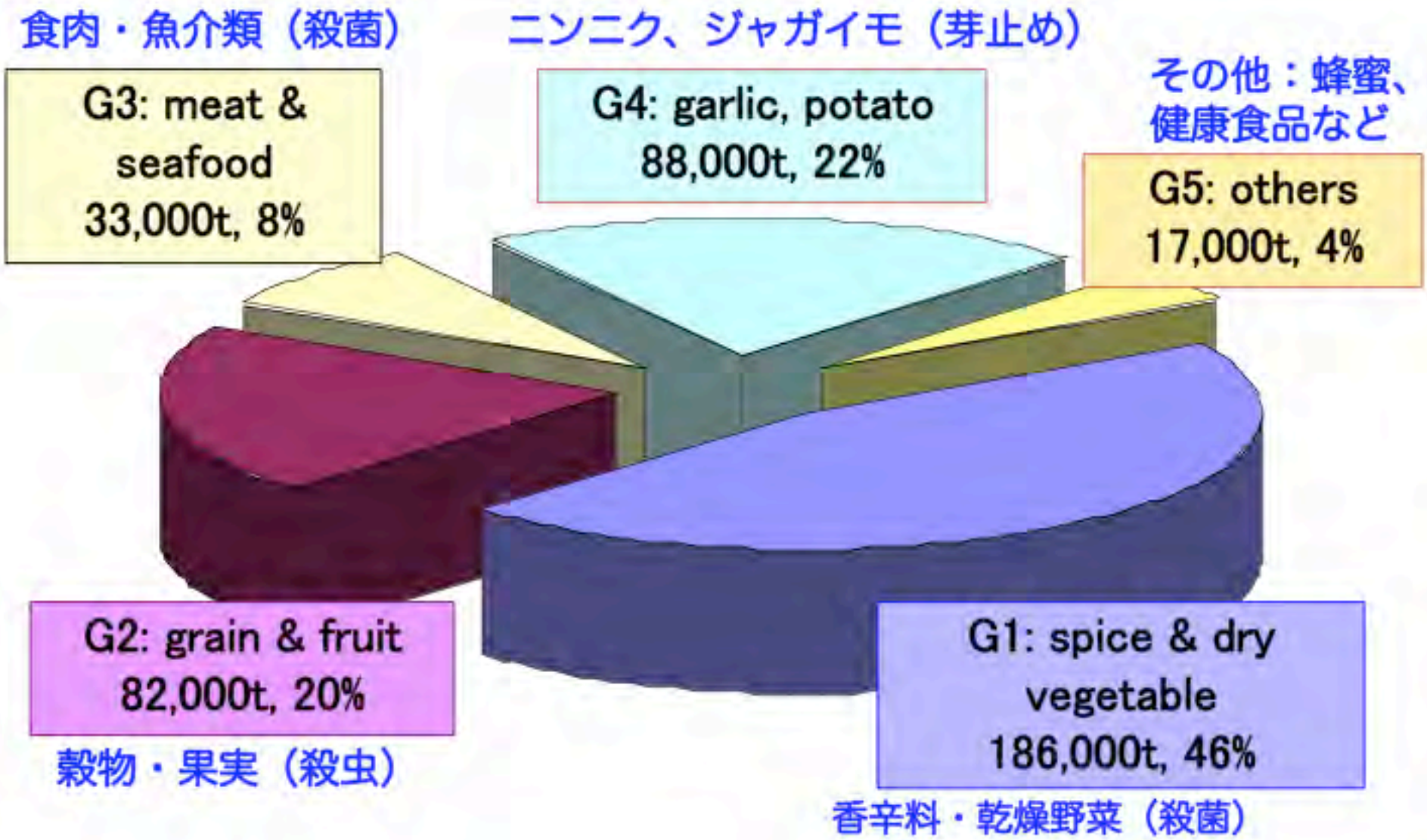
・水溶性のV.B1やV.Cなどの栄養素の損失が、（加熱処理と同程度以下だが）あり得る。

●消費者に誤解され敬遠されるおそれがある

・報道による企業イメージの低下、風評被害、

・反対派によるボイコット運動、個人攻撃…

世界の食品照射処理量・品目別（2005年）



Kume, *et al.*, Radiat. Phys. Chem., **78**, 222-226, 2009

食品照射の実用化の歴史

世界	日本
1952　照射による芽止め効果発見（米）	
1958　ジャガイモの照射許可（ソ）	
1963　穀物とベーコンの照射許可（米）	
1971-80 日本を含む24ヵ国で共同研究	1967　国家プロジェクト研究開始
1980　FAO/WHO/IAEAの安全宣言	1972　ジャガイモの照射許可
1983　コーデックス国際食品規格採択	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
1986　香辛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）	
1997　冷蔵冷凍赤身肉も照射許可（米）	
1997　WHO:10kGy以上でも安全宣言	
1999　香辛料類を統一許可（EU）	
2001　香辛料類の照射許可（豪、NZ）	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
2002　熱帯果実の照射許可（豪、NZ）	
2003　照射による検疫処理基準の採択、コーデックス規格の改定	
2005　牡蠣などの照射殺菌許可（米）	
2007　インドから米国向けマンゴーの植物検疫用の殺虫照射開始	2007　厚労省、輸入香辛料モニタリング検査を開始
2008　レタスなどの照射殺菌許可（米）	2008　輸入野菜や茶にも拡大

●油脂の主成分である脂肪酸に放射線を照射することによって、2-アルキルシクロブタノンと呼ばれる化学物質ができる。

●この物質が食品中にできる量や、安全性について調べられた。

その結果を受けてのWHOの結論

「食品中にできる量はきわめて少ない。毒性は、たとえあったとしても、きわめて低いか無視できる程度だと考えられる。ゆえに現時点での科学的証拠に基づいて、消費者の健康リスクを損ねないと判断する。これまでの『放射線照射食品は安全であり、栄養学的にも適当である』という結論に疑問を持つような根拠はない。」

欧州食品安全機関(EFSA)の見解

2011年4月6日

http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2107.pdf

○ヒトに対する食品照射の安全性には喫緊の懸念事項は存在しない

○今後の許可品目を決定するに当たっては、既存の品目リストにとらわれず、照射処理が必要とされる食品の種類と、殺菌の対象となる微生物種の放射線感受性を、柔軟に考慮すること

古田雅一, 食品照射, Vol.46(1), 27-31, 2011
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jrafi/46/1/46_1_27/_pdf

EU食品科学委員会(SCF)によって照射可能と評価された食品群と線量

Food class/commodity assessed by the SCF	Overall average radiation dose (kGy)	Dose (kGy)
Fruits [a]	Up to 2	
Vegetables [a]	Up to 1	
Cereals [a]	Up to 1	
Starchy tubers [a]	Up to 0.2	
Spices & condiments[a]	Up to 10	
Fish & shellfish [a]	Up to 3	
Fresh meats [a]	Up to 2	
Poultry [a]	Up to 7	
Camembert cheeses manufactured from raw milk [b]		Up to 2.5
Frog's legs [c]	Up to 5	
Shrimps [c]		5
Gum arabic [c]		3
Casein / caseinates [c]		Up to 6
Egg white [c]		Up to 3
Cereal flakes [c]		10
Rice flour [c]		Up to 4
Blood products [c]	10	

(a): Assessed by SCF (1986)
(b): Assessed by SCF (1992)
(c): Assessed by SCF (1998)

http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/2107.pdf

米国食品医薬品庁(FDA)が許可した照射食品

米国では、毎年、
- サルモネラ菌による発症例4万件、1千人が死亡と推定。
- 腸管出血性大腸菌O157は推定7万3千人の感染。

許可年	品目	目的
1985年	豚肉（生）	寄生虫抑制
1986年	青果物	成熟抑制
	全食品	殺虫
	酵素製剤	殺菌
	乾燥香辛料／調味料	殺菌
1990年	食鳥肉	病原菌制御
1995年	冷凍肉（NASA宇宙食）	滅菌
1997年	赤身肉（冷蔵・冷凍）	病原菌制御
2000年	卵（殻付）	病原菌制御
	もやし用種子	病原菌制御
2005年	貝類	病原菌制御
2008年	レタス・ホウレンソウ（生）	病原菌制御

2008.8.23(土)

レタス殺菌にも放射線照射

米FDA 業界要望で対象拡大

【ワシントン＝勝田敏彦】米食品医薬品局（FDA）は21日、サルモネラ菌や大腸菌などを殺す処置のため、生の玉レタスと生のホウレンソウへの放射線照射を許可したと発表した。FDAは、人体影響などの問題はなく「安全」としている。

米国では、香辛料や肉などについては食中毒対策として放射線の照射がすでに認められている。今回、業界団体の要望を受けて品目を広げた。照射した場合は包装への表示が義務づけられる。

米国の冷凍照射牛挽肉のビーフバーガーパテ

食品への放射線照射技術の安全性に関する欧米の取組状況調査（平成16年3月）

http://jrafi.ac.affrc.go.jp/shokuanzeniH1603.pdf

食品安全委員会は、食品への放射線照射技術の利用が進む欧米における食品照射技術の試験研究、技術開発、規制、流通および消費状況に関する文献調査および実地調査を行ない、食品照射技術に関するリスク評価のための基礎資料を収集した。（株式会社 三菱総合研究所）

「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」（平成17年3月）

http://jrafi.ac.affrc.go.jp/shokkenH1703.pdf

食品安全委員会は、今後の照射食品の安全性評価のための基礎資料とするため文献収集を実施。これまで国際機関や各国政府が行った照射食品の安全性評価結果や評価基準、また評価の根拠として用いられた研究文献および資料を収集し整理した。（独立行政法人 食品総合研究所）

原子力委員会食品照射専門部会報告書「食品への放射線照射について」（平成18年9月）

http://jrafi.ac.affrc.go.jp/senmonbukaiH1809.pdf

平成17年10月の原子力政策大綱の基本的考え方を踏まえて、原子力委員会は食品照射専門部会を設置し、食品照射に関する調査および審議を行った。食品照射を巡る内外の現状を把握した上で、食品照射の有用性、照射食品の健全性の見通し、食品照射を巡るその他の課題について整理し、わが国における食品照射に関する今後の取組みについての考え方を示した。

食品への放射線利用について（平成21年12月）

http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/training/pdf/091225.pdf

農林水産省消費・安全局が局内研修資料として作成した資料がサイトにて公開されている。食品への放射線利用とは何かについて一般向けに紹介しており、わかりやすい。

「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」（平成22年5月改訂）

http://jrafi.ac.affrc.go.jp/mitsubishisokenH2205.pdf

厚生労働省は、平成18年10月の原子力委員会食品照射専門部会の報告書を受け、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、わ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。とりまとめられた報告書は平成20年3月付けで発表され、平成22年5月に改訂された。（株式会社 三菱総合研究所）

【註】改訂報告書では不足している科学的知見として、（1）2-アルキルシクロブタノン（2ACBs）の暴露量評価の根拠となる香辛料（ナツメグ、ゴマ等の高脂質含植物性食品）を照射した際の2ACBs生成等に関する知見、（2）遺伝毒性を中心とした照射食品中に存在するアルキルシクロブタノンの毒性発現に関する知見の2点があげられているが、平成20年以降に、ナツメグやゴマ中の2ACBs含量について、2ACBsの体内代謝についての論文等が発表されている。

詳細は、日本食品照射研究協議会 http://jrafi.ac.affrc.go.jp/index.html
「食品照射情報」→「2-アルキルシクロブタノンに関する情報」などを参照

日本食品照射研究協議会

http://jrafi.ac.affrc.go.jp

事務局 E-Mail jrafi@naro.affrc.go.jp

7月9日（月）～7月11日（水） 第49回アイソトープ・放射線研究発表会

第49回アイソトープ・放射線研究発表会（日本食品照射研究協議会共催）が、2012年7月9日（月）～7月11日（水）、東京大学弥生講堂にて開催されます。皆様奮ってご参加ください。
なお、プログラムおよび「市民のための公開講座・しゃべり場」への事前登録等、詳細につきましては下記をご覧ください。

- 「第49回アイソトープ・放射線研究発表会」 プログラム
  http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6.17595.103.212.html
- 「市民のための公開講座・しゃべり場」 低線量被ばくのリスクをどう思いますか？
  http://jrias.sm@tg.jp/public/seminar/view/39

6月28日（木）～29日（金） 第14回放射線プロセスシンポジウム

第14回放射線プロセスシンポジウム（日本食品照射研究協議会協賛）が、2012年6月28日（木）・29日（金）、東京大学弥生講堂にて開催されます。皆様奮ってご参加ください。
なお、開催案内等、詳細につきましては下記をご覧ください。

- 「第14回放射線プロセスシンポジウム」 開催案内
  http://www.rada.or.jp/sympu/symps.html

食品照射で認められている放射線
（放射化が起こらない条件に限定）

^{60}Coまたは^{137}Csからのガンマ線

・透過力が大きく、厚い梱包物が照射できる
・扱いやすく、もっともよく利用されている

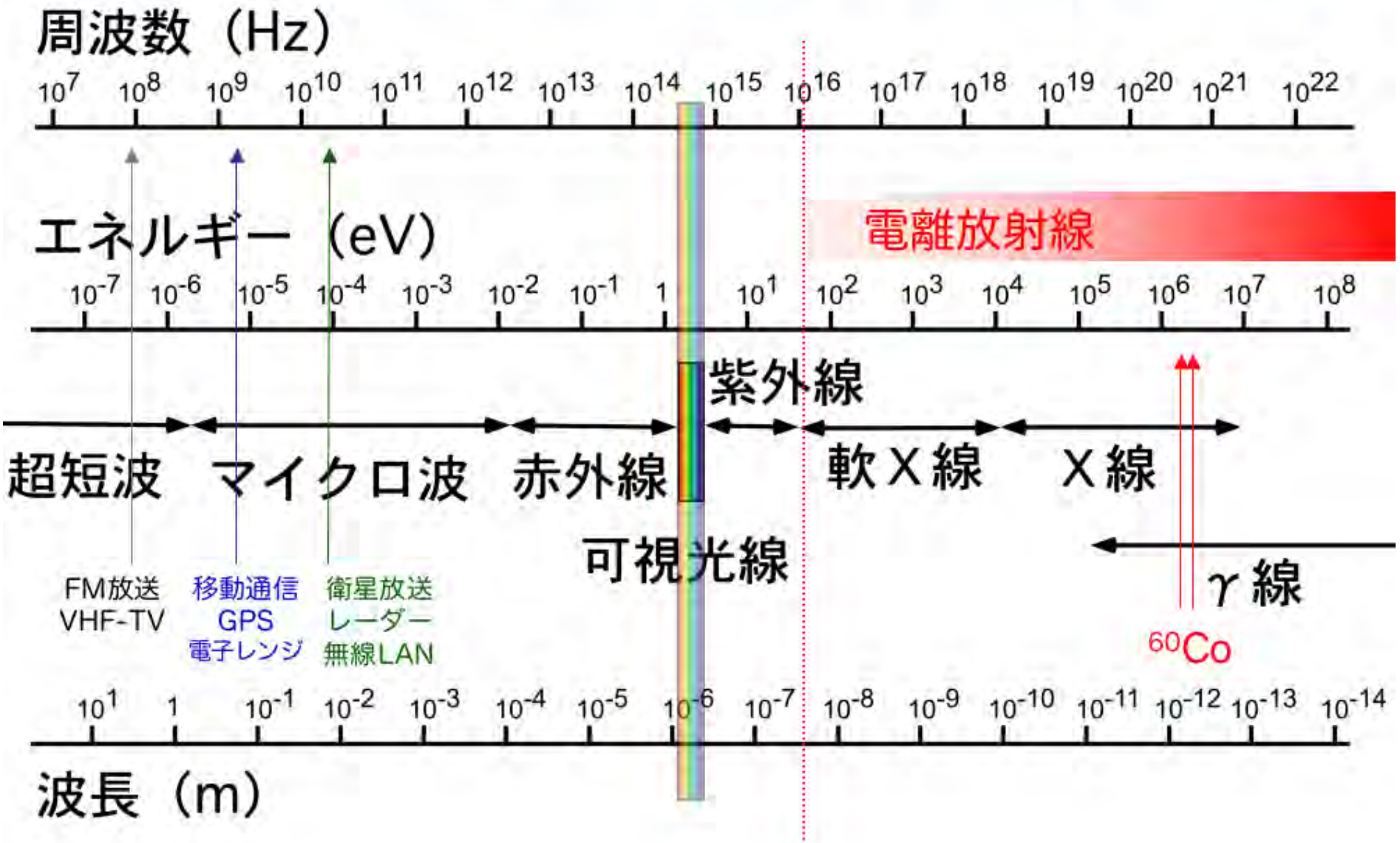
10 MV以下の電子線加速器から得られる電子線

・透過力は弱いが、線量率が非常に高い
・電源を切れば放射線の発生も止まる
・表面だけを選択的に照射殺菌することも可能

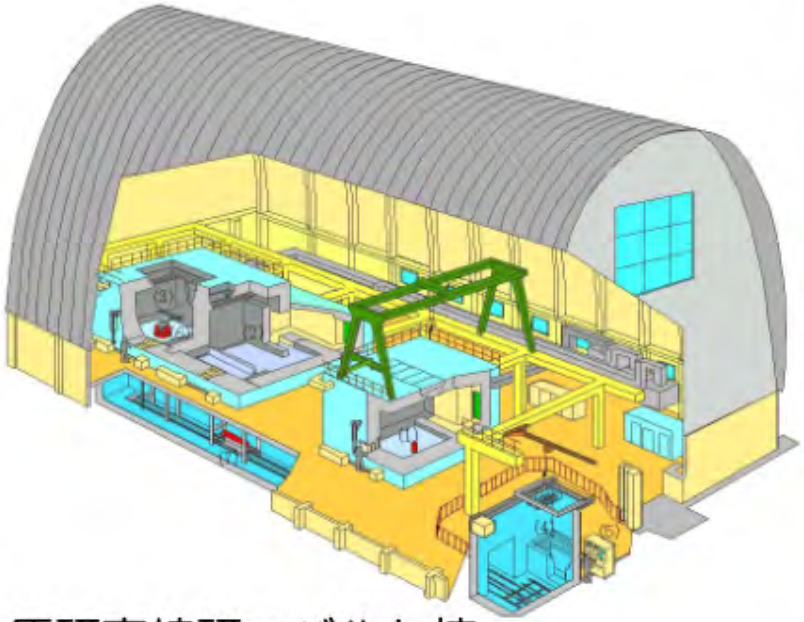
5 MV以下の電子線加速器から得られる変換X線

・透過力に優れていて、電源を切れば止まる
・エネルギーの変換効率が悪く、耐久性に懸念がある
・技術革新とコストダウンが期待でき、将来は有望

電磁波（電波と光）のスペクトル



コバルト60の崩壊とガンマ線の発生



原研高崎研コバルト棟

プールの底の^{60}Co線源とチェレンコフ光

放射線利用の線量（単位：グレイ）

10^8 Gy ← 原子炉・宇宙用材料の耐放射線性評価

10^7 ← 放射線架橋による超耐熱性
炭化ケイ素繊維の製造

10^6

← 高分子材料の加工

10^5

← 医療用具の滅菌

10^4

← 香辛料など食品の殺菌

10^3

← 熱帯果実の検疫殺虫

10^2 ← ジャガイモ、ニンニクの芽止め

← 害虫不妊化、輸血用血液、イオンビーム育種

10 ← ヒトの致死線量

1 ← 放射線がん治療（分割照射の1回当たり）

ヴィエントフラミンゴ
平成19年登録出願

0.1 *これ以下の線量では、生物（ヒト）への影響が見られない*

10^{-2} ← 医療診断

10^{-3} ← 自然環境での放射線

ガンマ線やX線では、1 Gy（グレイ）＝ 1 Sv（シーベルト）