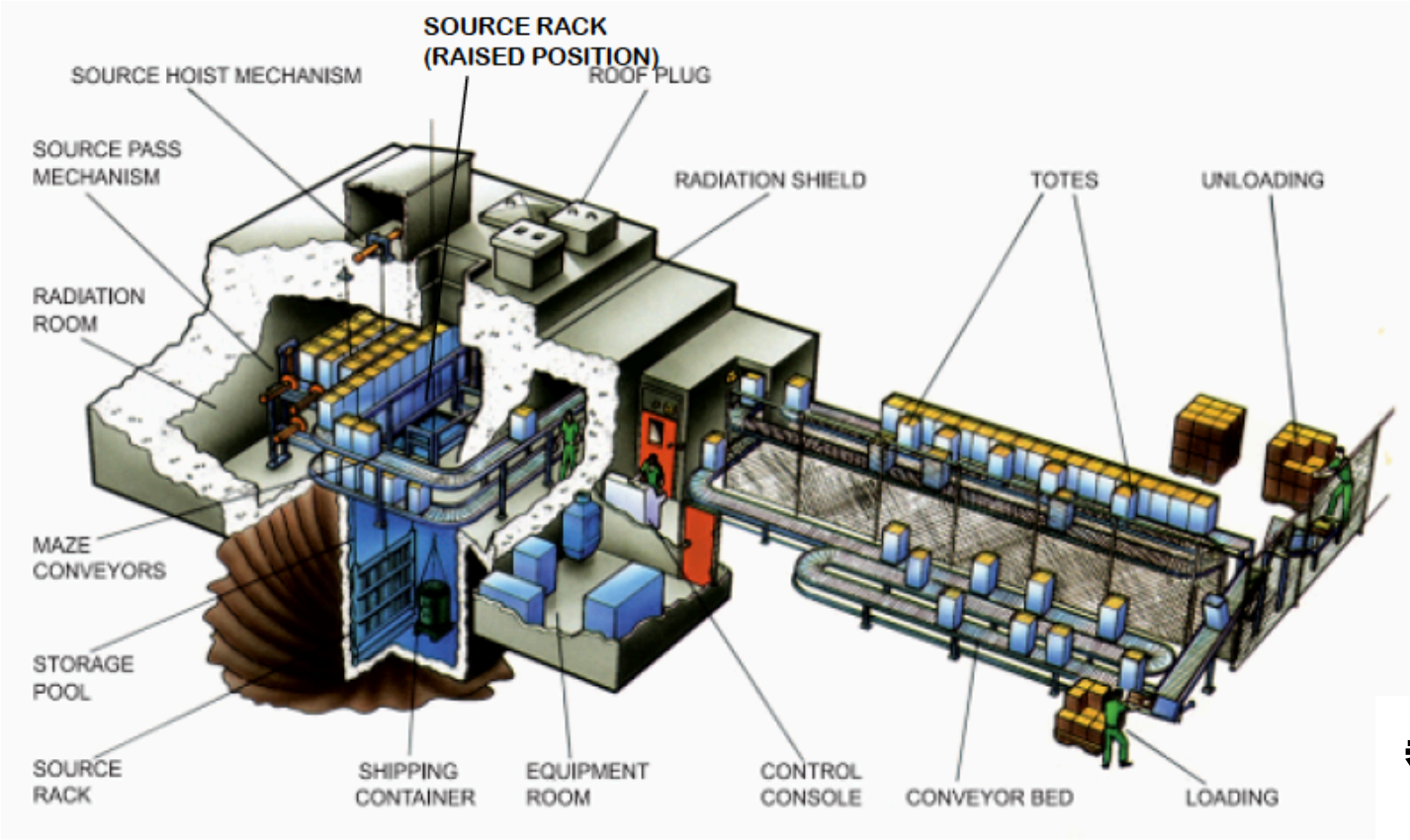
放射線の産業利用

東京大学大学院工学系研究科
原子力国際専攻
勝村庸介

内容

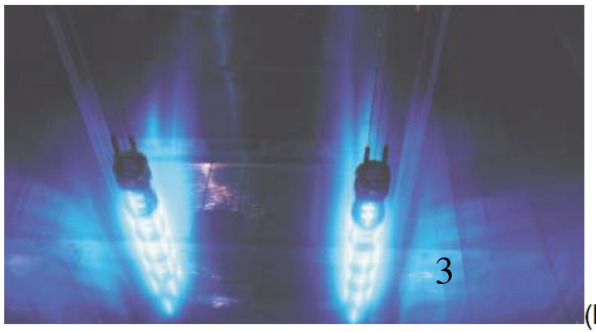
(1) 産業プロセスに活躍するCo-60γ線、
　　電子線加速器施設
(2) 放射線やビームの作用
(3) 放射線と炭疽菌？
(4) 放射線やビーム利用の具体例
(5) 食品照射
(6) まとめ

産業用コバルトγ線照射施設



Co-60γ線
1.17, 1.33 MeV
半減期: 5.271 年

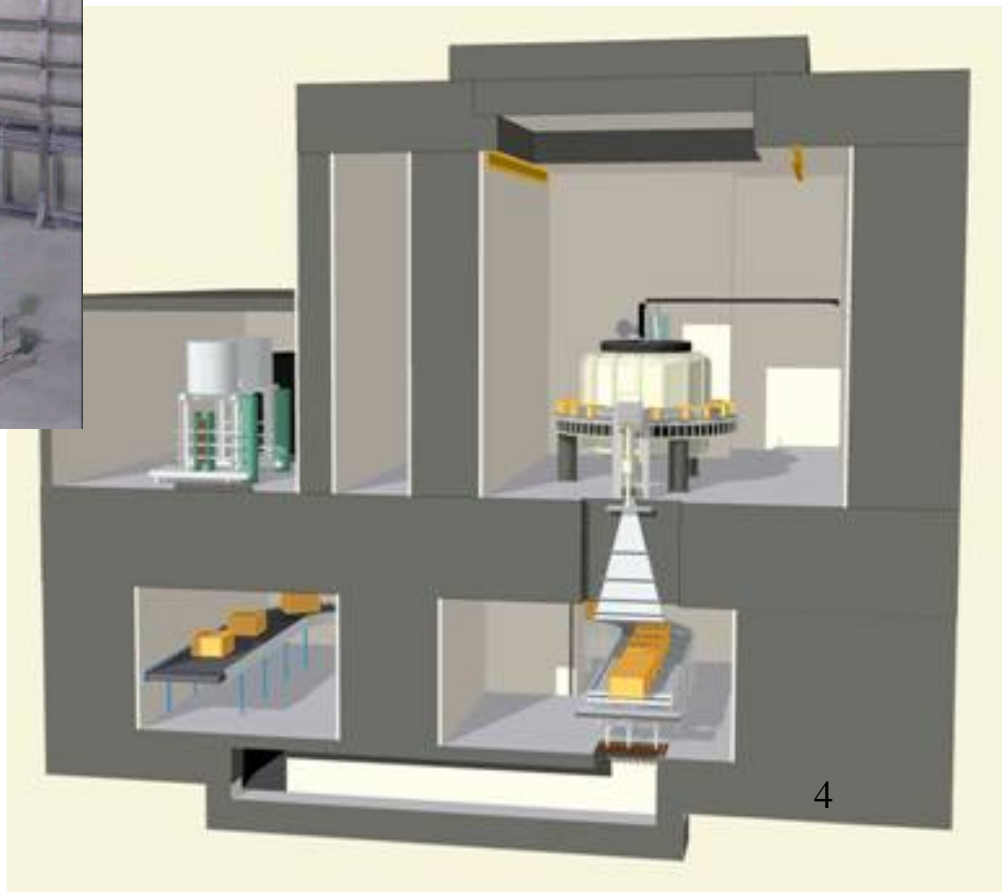
異なるラック線源からの
チェレンコフ光



(b)

MDS Nordion JS-10000
panoramic irradiator

産業用電子線加速器照射施設

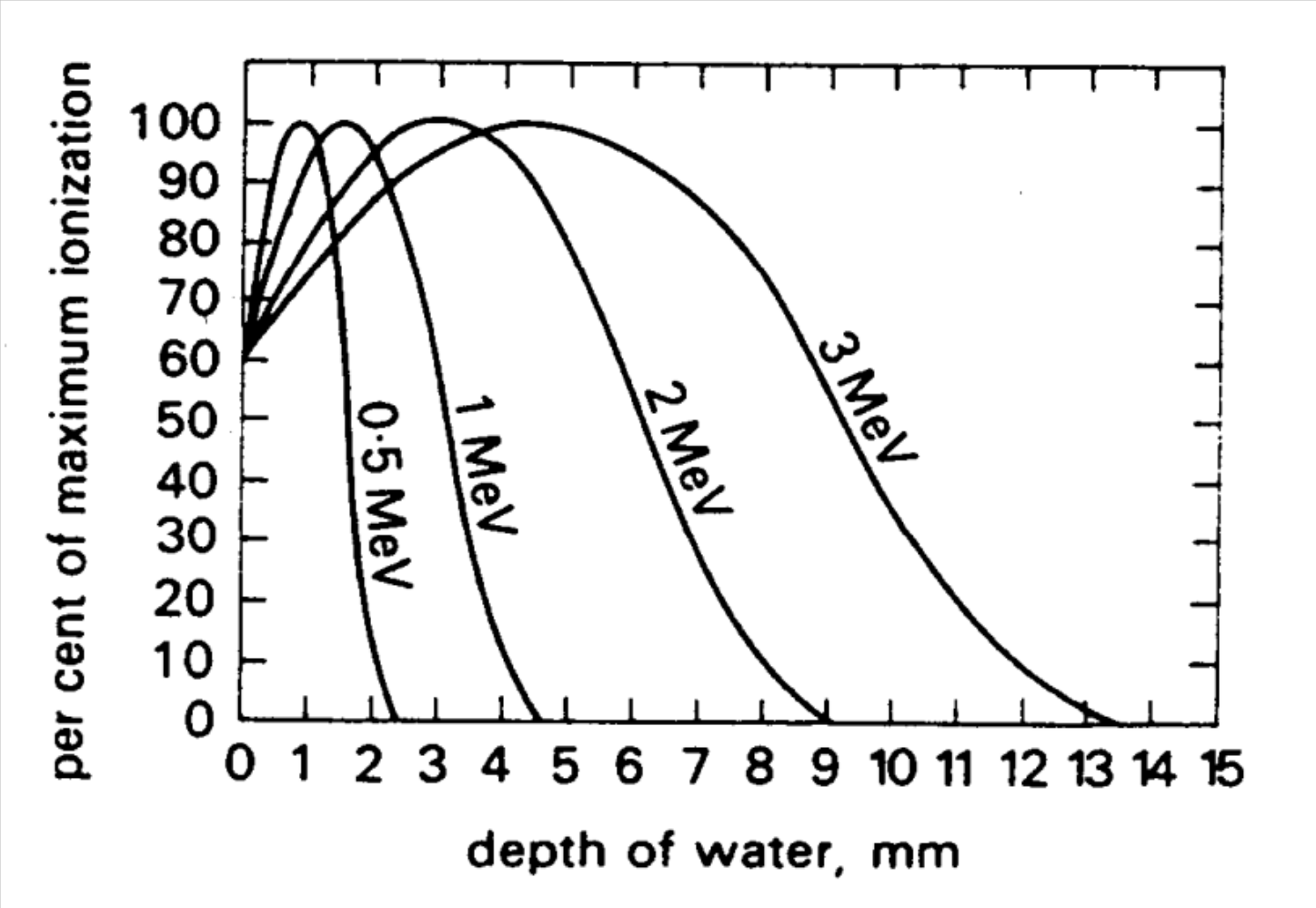


10 MeV, 200 kW
Rhodotron
IBA 社

1 MeV の各種ビームの水中での透過力

ビームの種類	水中での透過力
γ 線	10cm で半減
電子線	0.5 cm
プロトン	27 μm (27/1000 mm)
He イオン (α 線)	6 μm (6/1000 mm)

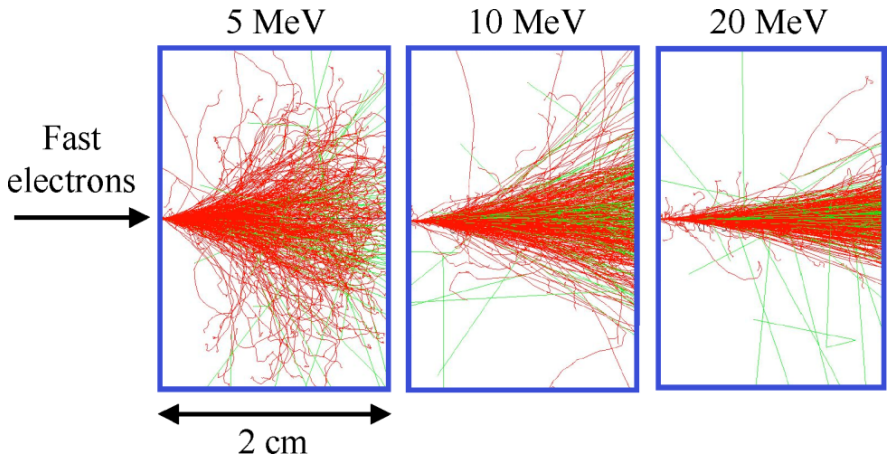
電子線の透過力：エネルギー依存性

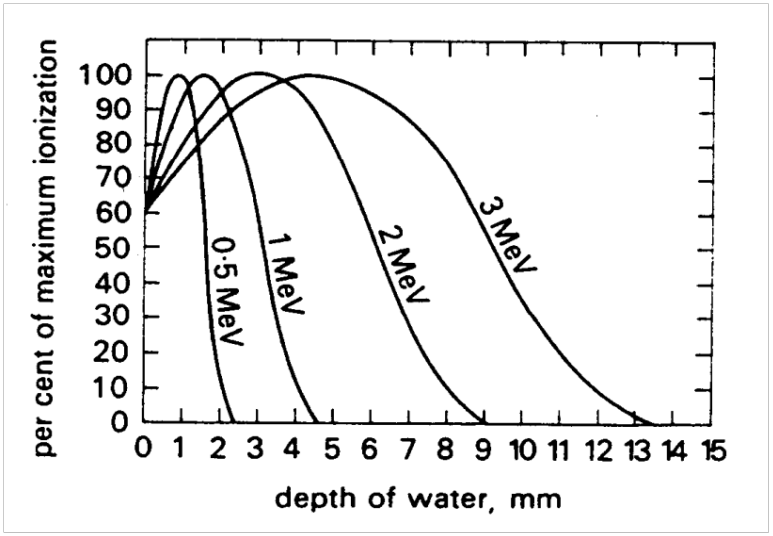


線量 － 深さ曲線　*E [MeV] / 2　[cm]*

Range

Electron beam in liquid water





Ion beam;

mass of ion >> mass of electron

straight path

$$R(E) = \int_E^{\varepsilon} \frac{dx}{dE} dE + R(\varepsilon) = \int_E^{\varepsilon} \left(-\frac{dx}{dE} \right) dE + R(\varepsilon)$$

Ranges in water

1 MeV γ-rays	Half at 10 cm
1 MeV electron	0.5 cm
1 MeV proton (H^+)	27 μm (27/1000 mm)
1 MeV alpha (He^{2+})	6 μm (6/1000 mm)

ビームや放射線の
物理、化学及び生物効果

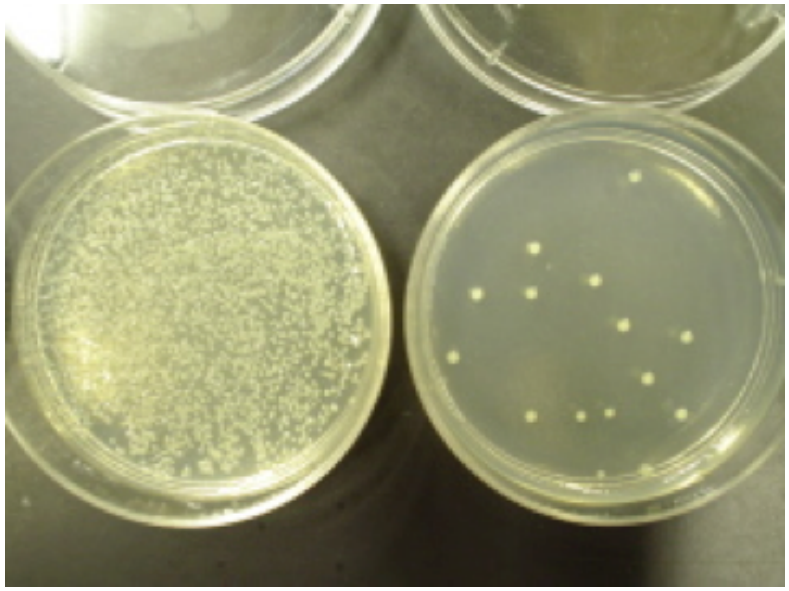
（1）原子のたたき出し → 放射線損傷
照射欠陥（金属、半導体）

（2）イオン、励起状態、ラジカル形成
化学結合の解裂、形成 → 分解や合成
酸化還元、架橋、グラフト、重合、分解

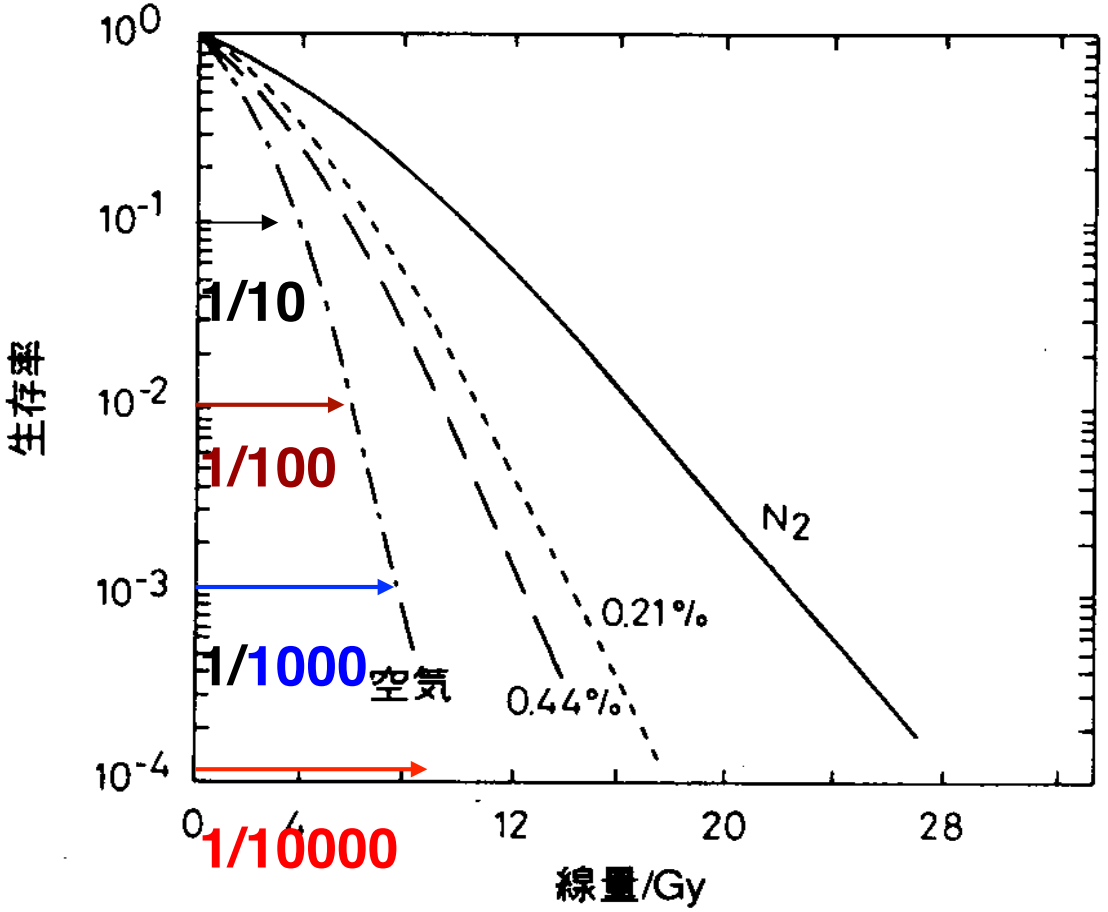
（3）生物の殺傷、不妊化
殺菌、滅菌、害虫根絶、食品照射、放射線治療

（4）突然変異
穀類 →レイメイ（稲）、
果物 →ゴールド20 世紀（梨）黒斑病克服

微生物の殺傷 → 殺菌、滅菌利用



コロニー数のカウント
による生存曲線の測定

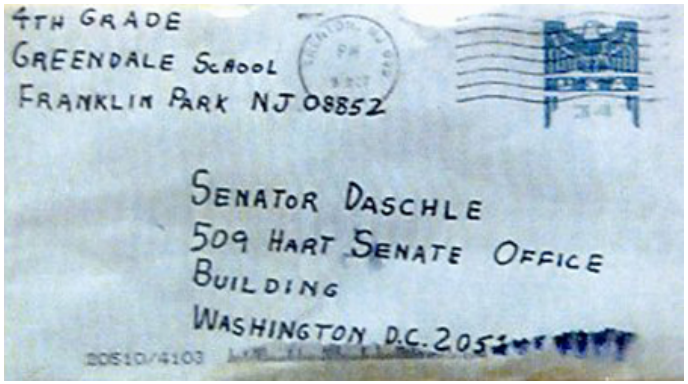


生存曲線（サバイバルカーブ）

放射線と炭疽菌？

同時多発テロと炭疽菌 Sept.11, 2001

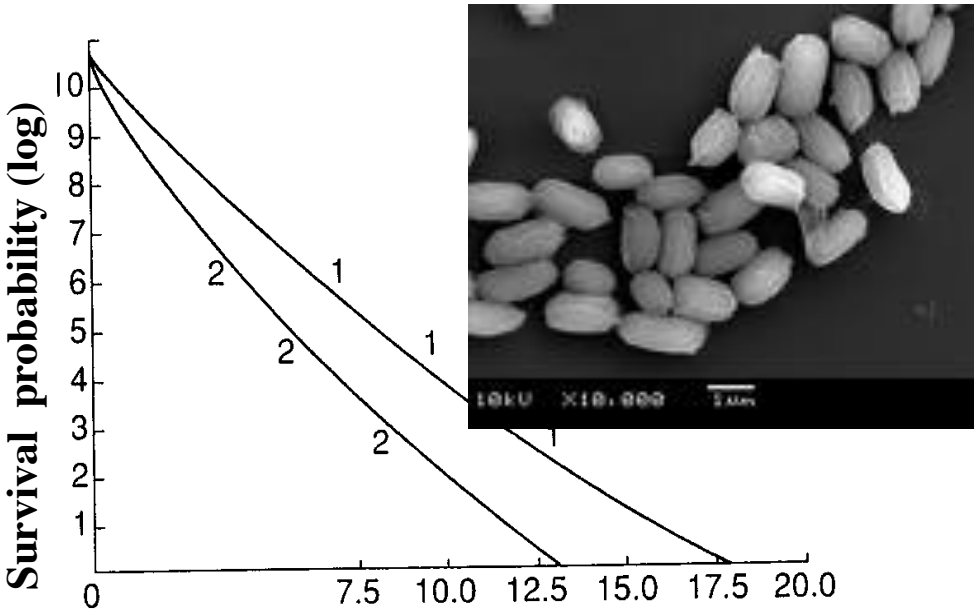
同時多発テロ



封筒に入れられた炭疽菌

5 person death

15 person appearance of disease



皮革の上の乾燥炭疽胞子の
ガンマ線照射効果

10 ～15 kGy; 伝染阻止

20 kGy; 完全滅菌、死滅

電子線による郵便物の処理

USPS (U.S. Postal Service)

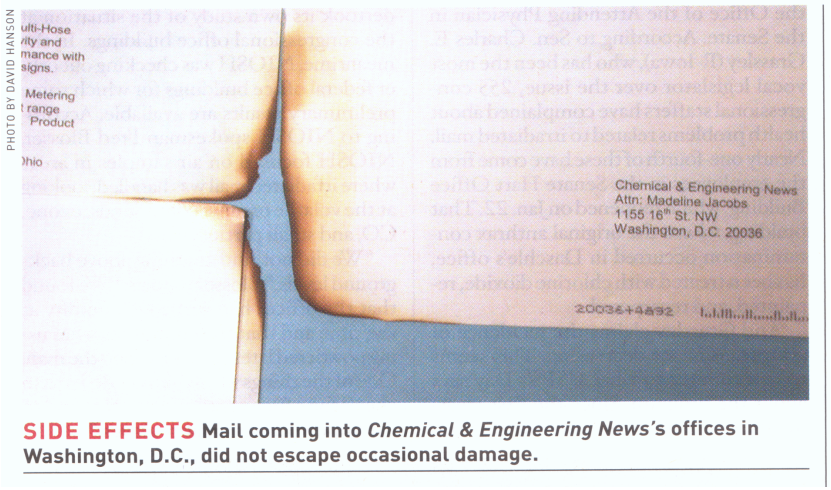
高エネルギー電子線滅菌システムの導入

***Titan Corp*, Lima, Ohio**

***IBA* (Ion Beam Applications), Bridgeport, N. J.**

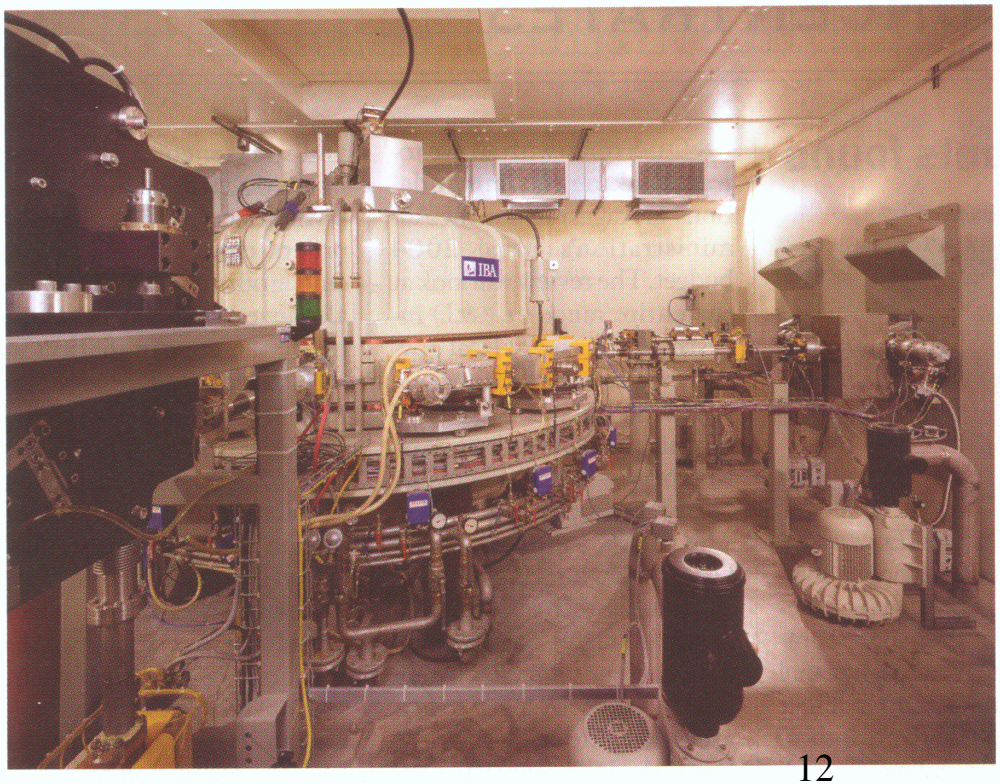
10MeV 電子線

Washington,DC; Zip codes;
20200-20599



SIDE EFFECTS Mail coming into *Chemical & Engineering News*'s offices in Washington, D.C., did not escape occasional damage.

56 kGy: 過大線量



DE-BUGGING IBA facility in Bridgeport, N.J., sanitizes mail headed for Washington, D.C., using electron-beam irradiation.

放射線やビーム利用の具体例

(1) 高分子加工、架橋、分解
(2) 医療器具の滅菌
(3) グラフト重合
(4) 半導体改質、製造
(5) 環境保全

高分子改質　架橋

ポリエチレンの放射線架橋; 架橋電線

■ 架橋材料の性質

電気絶縁性、耐摩耗性、耐熱性、耐薬品性向上

■ 効能

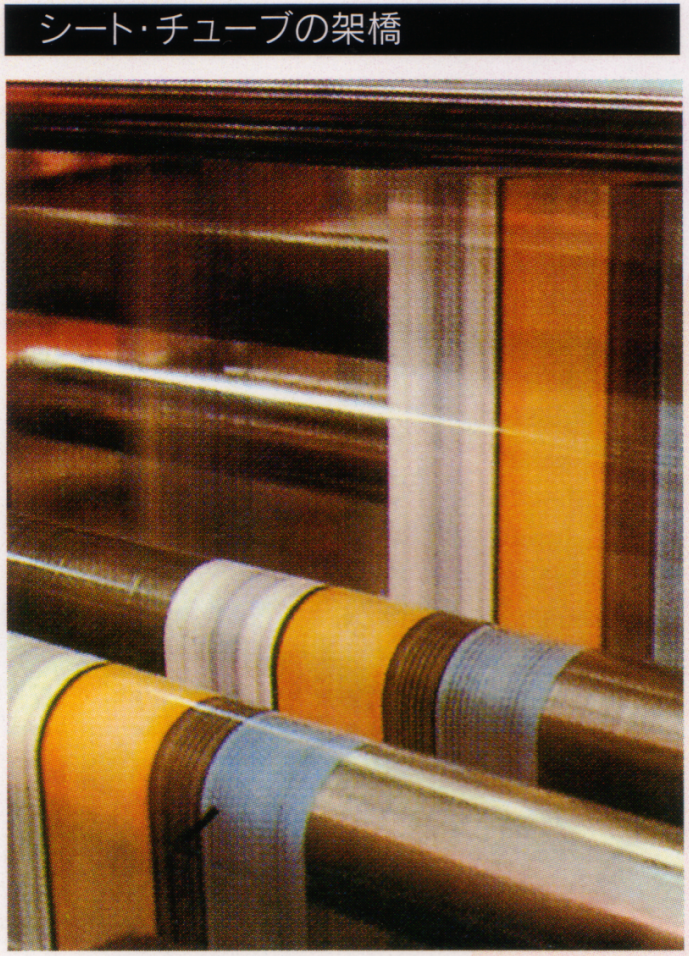
① 電気絶縁性て配線の省スペース

② 高温で形を保持し半田付け作業も容易

③ 油等にも溶けにくくなる

■ 自動車の配線に使用

主要電線メーカーは照射電線を製造
総計70台程度の電子線加速器が稼働



熱収縮材料

■ 熱収縮材料とは？

熱をかけると軟化し、もとの形状にもどる性質を持つ材料

→「記憶効果」

■ 製造法

適度な放射線架橋材料に熱を加え軟化させ、形状を拡げ急冷すると、その形状を保つ。

■ 利用法

電気配線、配管で接続部をチューブで保護、ガス管の腐食やキズ防止にチューブをかぶせ利用

発泡材料

■ 発泡材料とは？

気泡を含む高分子材料

断熱性、防音性がよい

建材部品、風呂マット、水泳ビート板

■ 発泡材料製造に架橋が活躍

■ 架橋させた後にCO_2ガス発生させ泡を導入

■放射線架橋では１つ1つの気泡が独立した材料

自動車ドア内装材

文具キット用ケース

ラジアルタイヤの製造

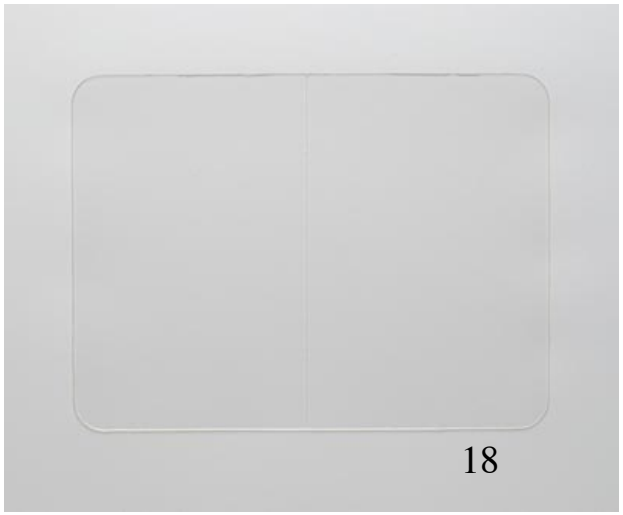
■国内 年間2億本タイヤ製造
90％以上がラジアルタイヤ

■9割以上が1MeV以下の電子線加速器にて照射される。

■タイヤは有機繊維とゴムの複合材料で、ゴムの放射線加硫をほどこすことにより精度よく成形し、強度を増し、品質の向上、使用ゴム量の削減が達成できる。

■大部分のタイヤメーカーでは電子線照射法が利用されているようであるが詳細は不明。

ハイドロゲルを利用した創傷被覆材



特長

1.創傷部を適度な湿潤環境に保ち、治癒を促進する。
2.ハイドロゲルが神経終末の刺激を抑え、痛みをやわらげる
3.乾いた創傷にも湿潤環境を与える。
4.滲出液を吸収しても、溶解したり、皮膚に残留することがない。
5.粘着性がないので、創傷面への固着はほとんどない。
6.透明なので、貼ったまま創傷部の状態が観察できる。
7.支持体のポリエチレンフィルムが外部からの水分や細菌を通ない。
8.柔軟性に優れているので、皮膚の動きによくフィットする

高分子分解

PTFE、テフロン®

（ポリテトラフルオロエチレン）

典型的な分解型の高分子

摺動性、非粘着性、耐熱性、
撥水性・撥油性、耐薬品性、
耐候性等

照射による粉末化

粒径：100μm-0.3μm

薄膜コーティング、オイル塗料、
インクへの配合、スプレー材料

医療機器の滅菌

従来、**EOG 滅菌**

（エチレンオキサイドガス）

発ガン性、残留毒性

⇩

放射線滅菌

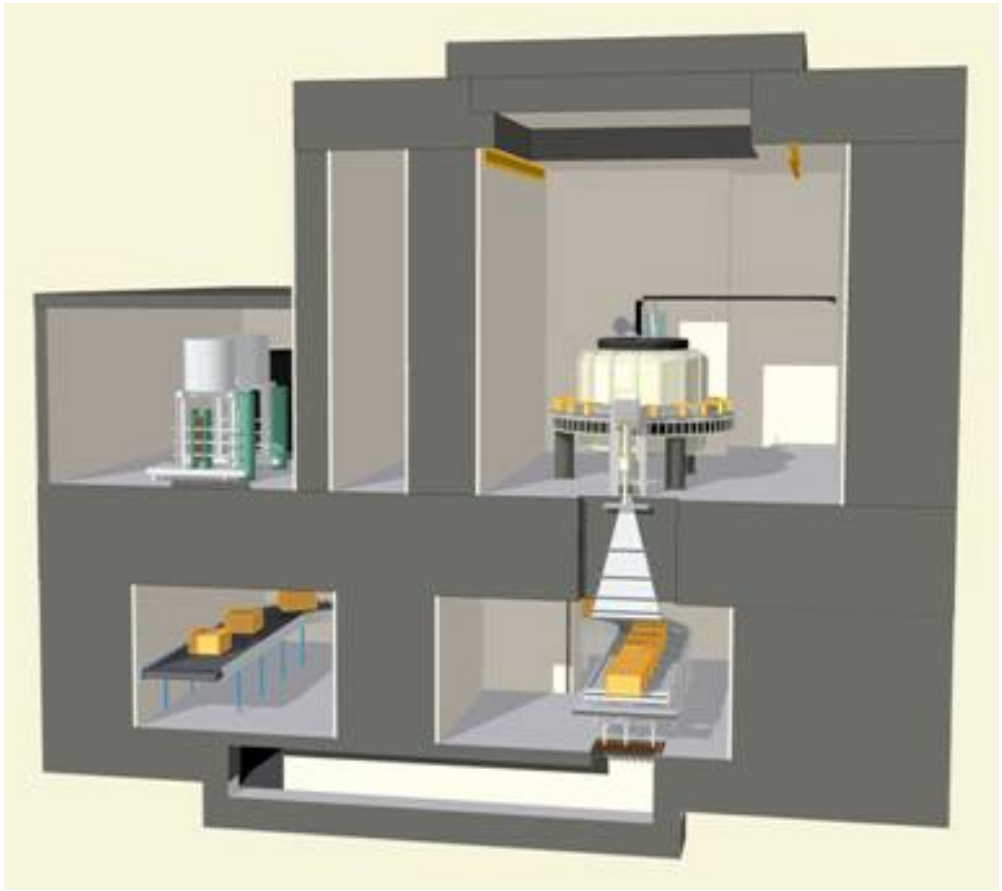
薬剤不要、非加熱処理、

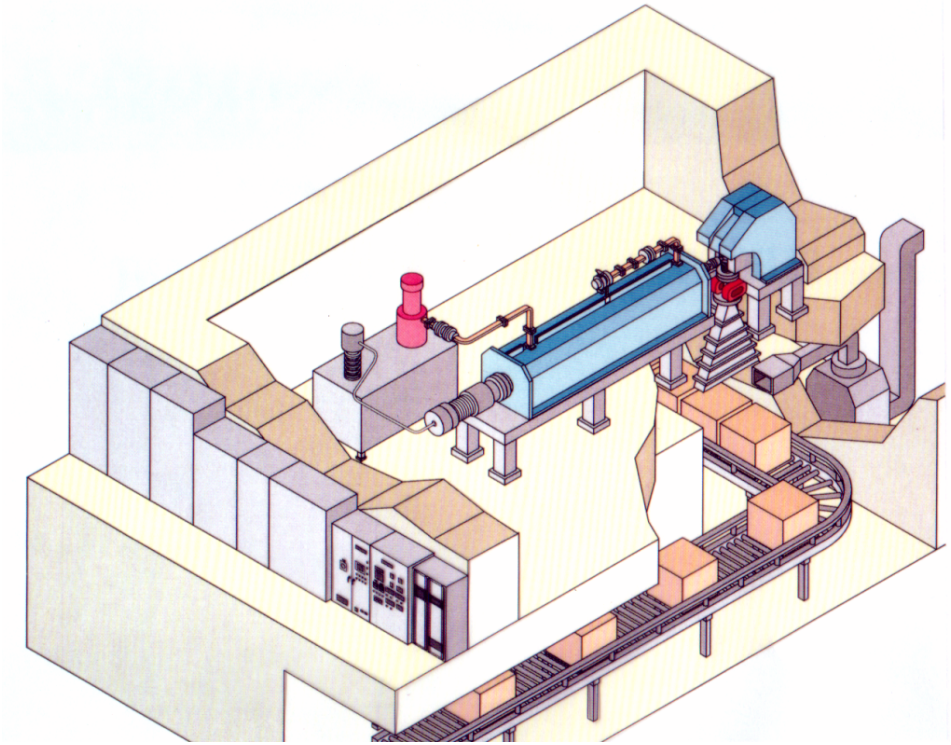
密閉包装のままで処理

使い捨て医療器具

電子線滅菌施設 (10 MeV)

ロードトロン
電子加速器





電子線
直線加速器

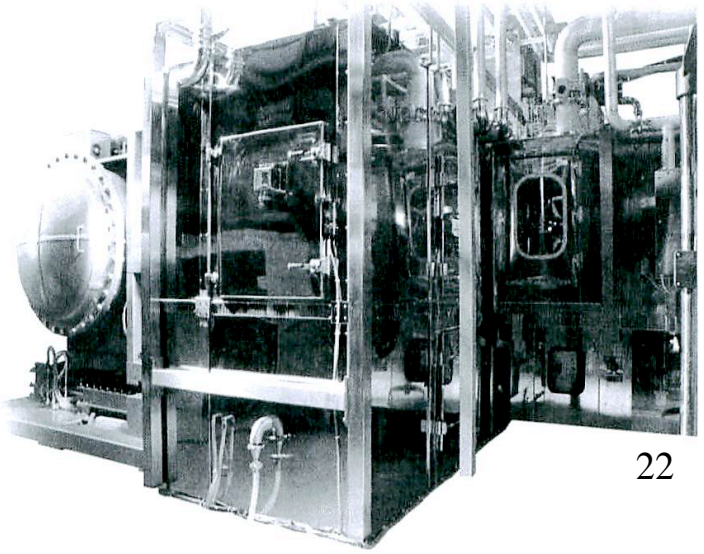
PET ボトル飲料用無菌充填システム

ボトリングライン: PETボトル飲料や食品、化粧品、医薬品等など、ボトルに入った商品を生産するオートメーションライン

従来法: 微生物による変質、腐敗防止のために、85-90 °Cの高温での充填。その温度に適合する耐熱性ボトルは肉厚で高価。

EB滅菌方式無菌充填システム:
従来殺菌では過酢酸、過酸化水素などの薬剤使用、殺菌後は無菌水で十分に洗浄後に、充填、キャッピング。
薬剤残留リスク排除、無菌水リンス、エネルギー、水の消費削減、高い経済性と経済性の両立。
電子線を利用した EB 滅菌方式の無菌充填システムの開発

一日の生産量
　50 - 100万本以上
1Lの製品生産
　従来　4-6 Lの水
　新方式 2L以下
大手飲料メーカー 3 台稼働

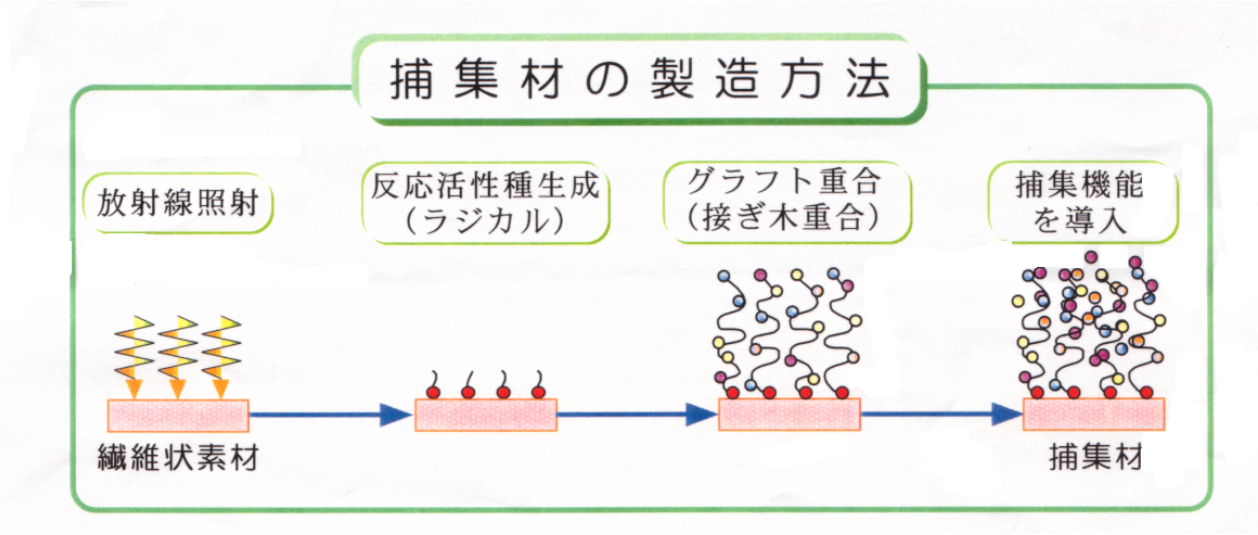


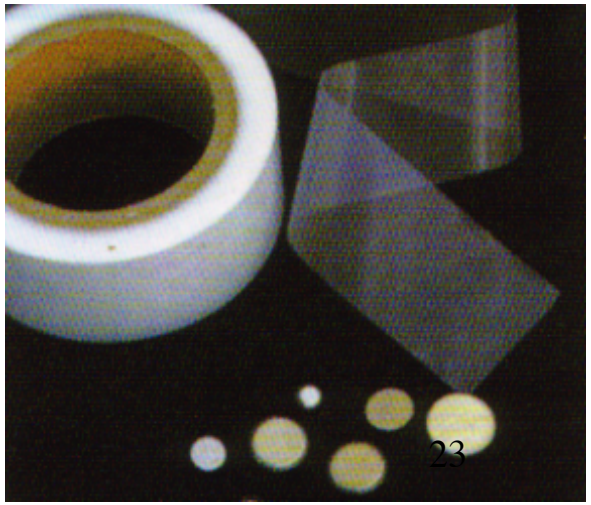
グラフト重合の活躍

海水中有用金属捕集材 – バナジウム、コバルト、ウラン

微量ガス除去フィルター、超純水製造 – 半導体製造用

防臭剤、電池用隔膜、





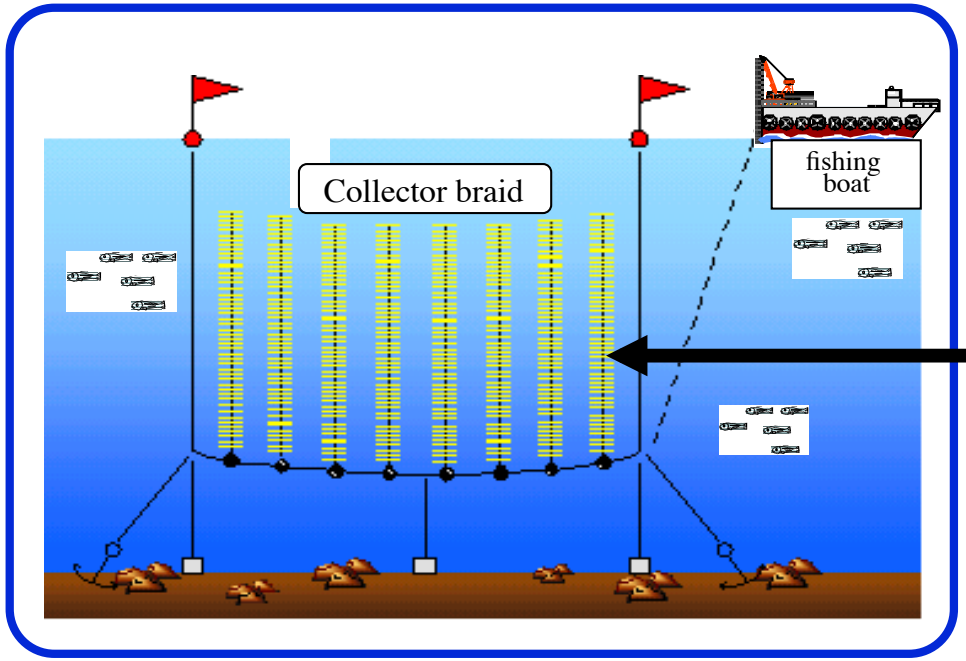
海水からのウラン回収

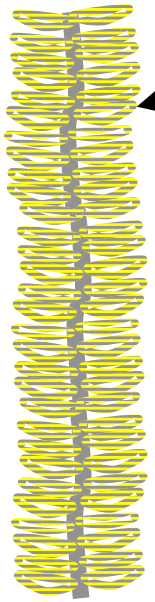
Sea Water 1ton

UO_2^{2+} 3.3mg

4.5×10^9 ton in sea water (X1000) of mine

Flow of UO_2^{2+} 5.2×10^6 t/y ～0.2% **Demand in Japan 8×10^3 t/y**





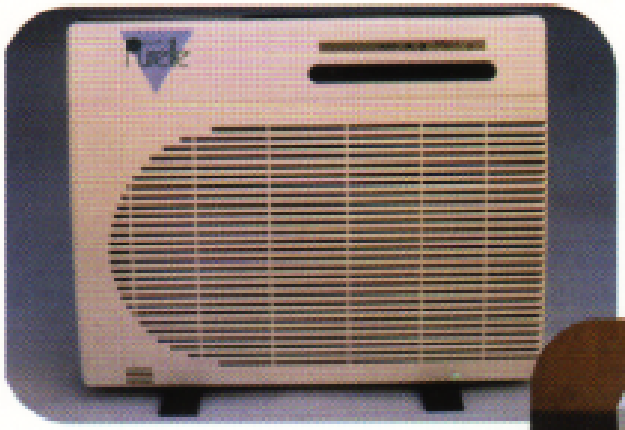
30 days in seawater

1.5g/kg braid (present efficiency)

braid 1000 ton -> 1.5 ton

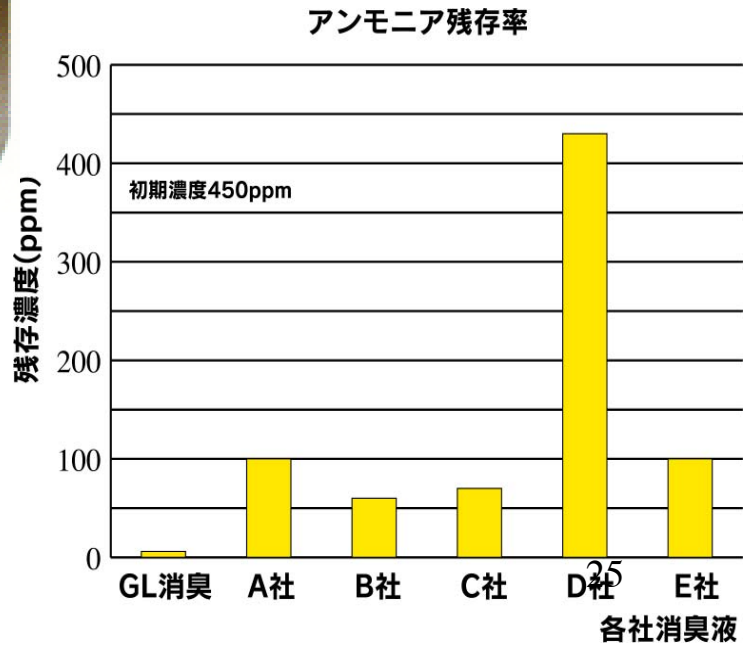
braid : 5,000,000 t -> 7500 ton

フィルター、防臭剤



空気清浄器

高性能フィルター



グラフト膜を組み込んだ高機能マスク

半導体改質

セラミック繊維の製造

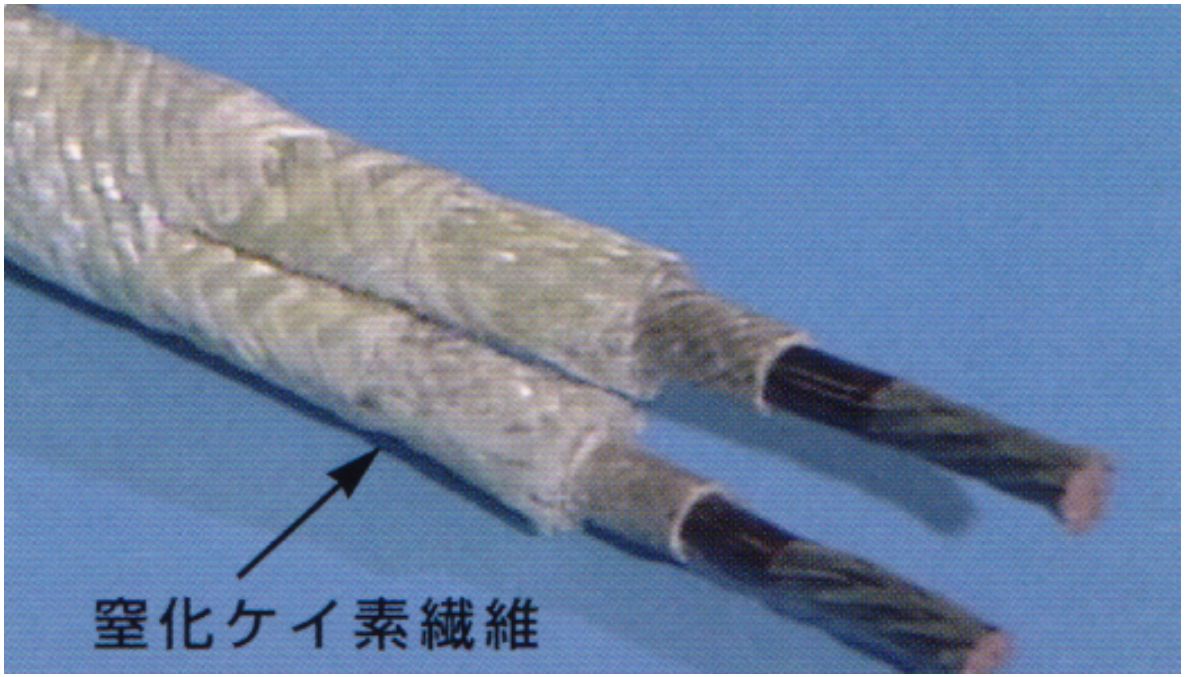
セラミック繊維の原料のケイ素系高分子は、電子線を照射すると架橋反応の結果、高温でもその形状を保持します。この処理後 1000℃以上に過熱するとセラミック繊維が出来ます。

炭化ケイ素

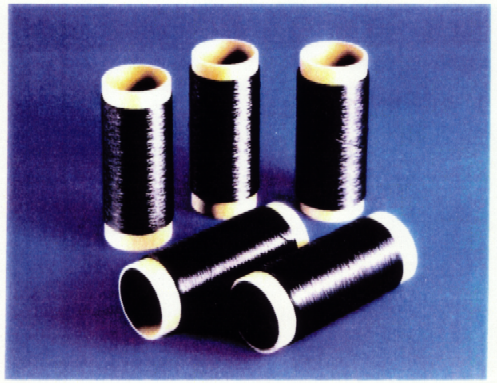
耐熱性：1700℃
強度：300kg/mm^2
ロケットエンジン、
超高速飛行機の機体
日本炭素（株）

窒化ケイ素

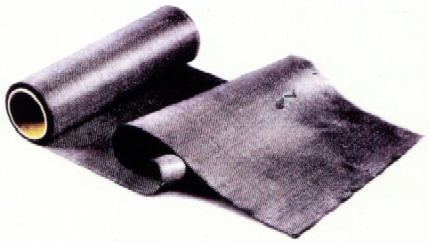
耐熱性：1300℃
絶縁性
高温の電線
日立電線（株）



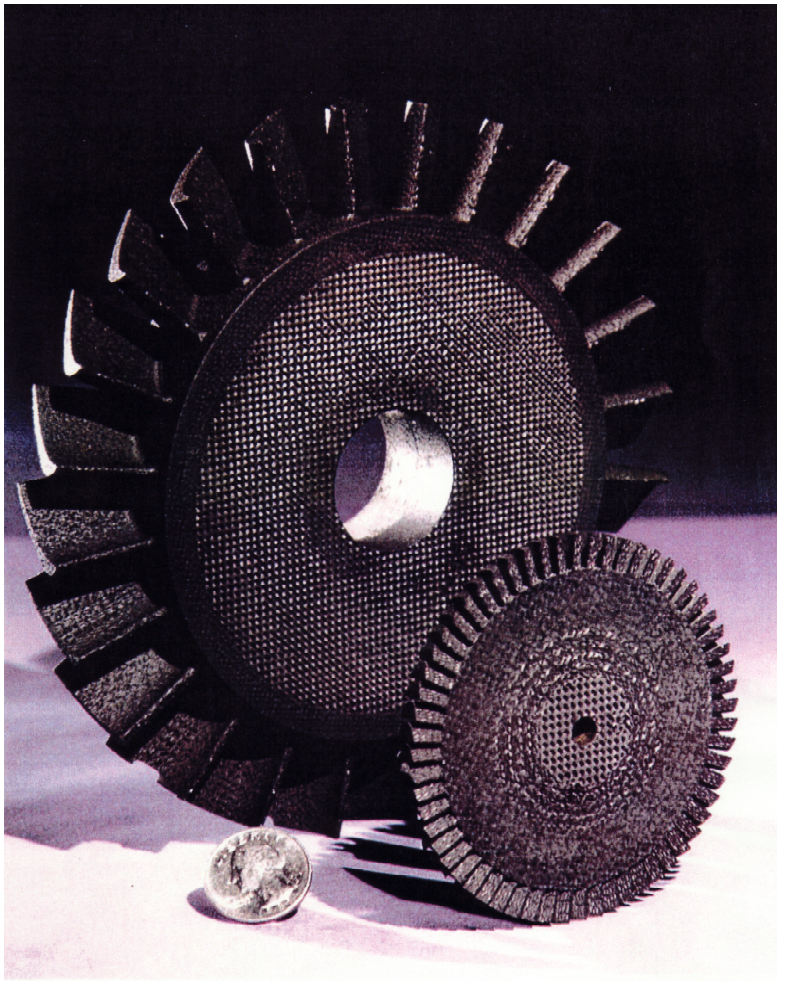
耐熱性 SiC とその利用



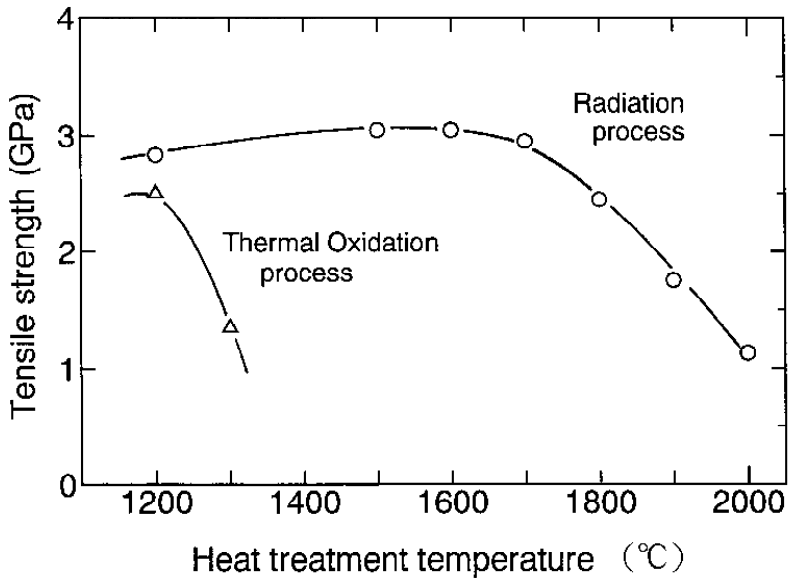
HI-NICALON YARN



HI-NICALON CLOTH

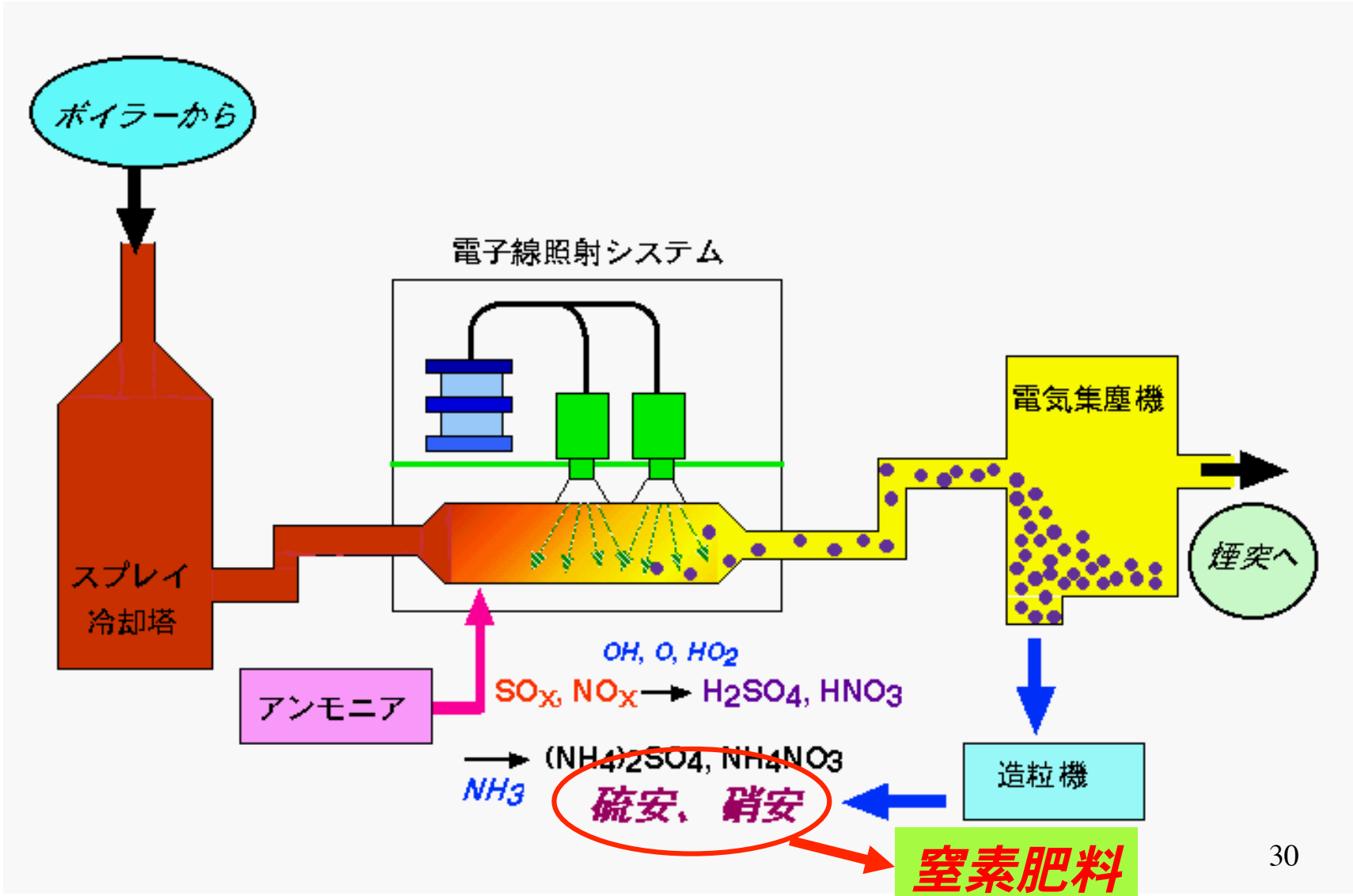


日本炭素（株）



シリコンカーバイドの耐熱性

火力発電所の排煙処理
NOx, SOx の除去

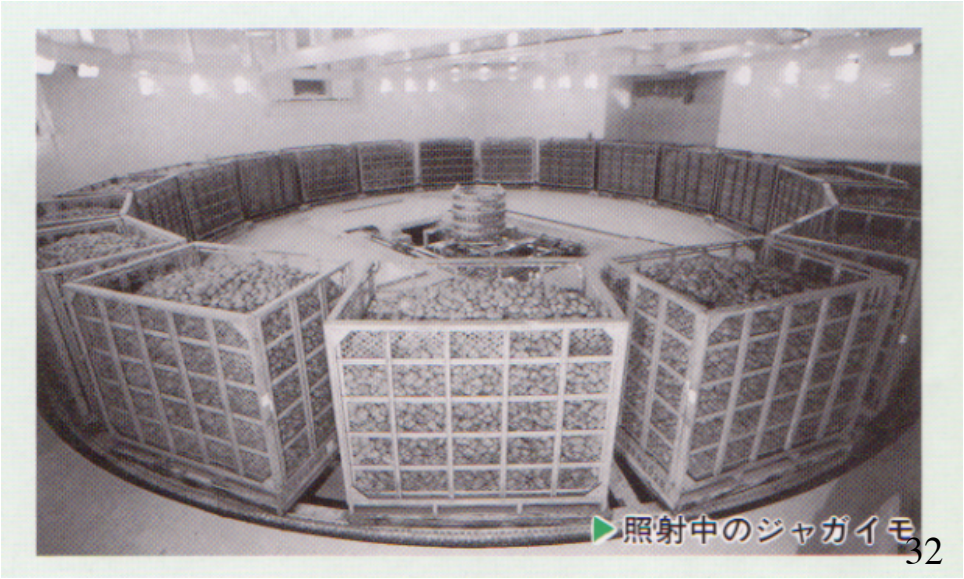


食品照射

ジャガイモの照射

1972 年食品衛生法許可

▶照射したジャガイモ(下)と照射しないジャガイモ(上)



▶照射中のジャガイモ

香辛料の放射線照射

薬剤処理、高温処理不可

放射線処理実用国：25ヶ国

アルゼンチン、ベルギー、ブラジル、カナダ、チリ、クロアチア、チェコ、デンマーク、フィンランド、フランス、ドイツ、ハンガリー、インド、インドネシア、イラン、イスラエル、イタリア、韓国、オランダ、ノルウェー、南アフリカ、、タイ、英国、米国、ユーゴスラビア

許可国：33ヶ国

IAEA 資料、2001年2月

香辛料処理への要望 －Ⅰ

平成１２年１２月　４日

厚 生 大 臣　殿

東京都北区西ケ原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

香辛料の微生物等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,よろしくご検討下さいますようお願い申し上げます。

香辛料処理への要望 - II

香辛料殺菌に放射線を照射

業界が国に認可要請

2000/2/05(Y)

香辛料メーカーなどで作る全日本スパイス協会（小林博司理事長）は4日、香辛料への放射線照射を殺菌法として認めるよう、厚生省に要請した。食品への放射線照射は国内では原則として認められておらず、消費者団体は「安全面に疑問がある」と反発している。

食品衛生法では、食品の製造・加工工程で、食品に放射線を照射してはならないと定め、照射された輸入食品の流通も認めていない。1972年にジャガイモの発芽を抑えるためとして例外的に認められたが、その後は消費者の反対運動などもあって、新たな照射認可申請はされていない。

▼消費者団体は反発

同協会は要請理由を、①香辛料の殺菌・殺虫のために行われる蒸気蒸熱では味や香りが失われる②香辛料への放射線照射はすでに30か国以上で認められているなどを挙げている。

これに先立ち、14の消費者団体などで作る食品照射ネットワーク、東京都地域婦人団体連盟など約30の消費者団体が、同協会に正式な申請を断念する申し入れ書を相次ぎ送った。同ネット代表世話人の里見安さんは「消費者団体は11月初めに協会から説明を受けた際、安全の根拠となるデータを出すよう求めていた。協会はその返答を出す前に申請をしようとしており、消費者の理解は得られない」と話す。

厚生省食品保健課は「照射は、現在の科学水準では安全と言われているが、認めるかどうかは慎重に検討する」と話している。

香辛料に放射線

メーカー、国に解禁要請

殺菌強化で「有効」

2000/2/05(M)

消費者団体反発強く「安全性に疑問残る」

香辛料メーカーなど三十三社でつくる全日本スパイス協会（事務局・東京）は四日、厚生省に対し、殺菌目的でコショウやガーリックなど香辛料への放射線照射を認めるよう求める要請文を提出した。食品への放射線照射は欧米などでは認められているが、国内では原則禁止されている。この計画に対し、日本消費者連盟など二十五の消費者団体は安全性に疑問があるとして、同協会や厚生省に反対を文書で申し入れた。

同協会などによると、香辛料の原料は熱帯の途上国で生産されているものが多く、現在、高圧蒸気により、殺菌、殺虫処理されている。しかし、蒸気では風味が落ちてしまうほか、確実に殺菌できないとして、放射線の照射が有効と判断した。同協会には、ハウス食品やエスビー食品など大手も加盟している。同協会の小林博司理事長は「一部の消費者団体に反対があるようだが、利点や安全性を十分に説明し、理解を求めたい」と話している。

食品への放射線照射は、数の国で腐敗防止や殺菌の目的で解禁されている。米農務省は昨年、O157対策から牛肉や畜産加工品への照射を新たに認めたほか、欧州各国も香辛料については認めている。国内では食品衛生法の規格基準などで原則禁止されている。一九七二年に北海道の一部農協に対し、発芽防止のためにジャガイモへの照射を認めたのが唯一の例外だ。

日本消費者連盟や食品照射ネットワークなどは「安全性に疑問が残るのに、香辛料で解禁されれば、一般食品への照射の突破口になりかねない」と同協会に公開質問状を出したほか、厚生省にも認めないよう申し入れた。

厚生省の食品保健課は「国際的な動向や安全性データもみながら、慎重に対応したい。まず、どのように検討、審査したらいいか議論が必要で、結論には時間がかかる」としている。

食品照射とは

60年の歴史

① 誘導放射能の有無
② 毒性物質の生成の有無
③ 発がん物質の生成の有無
④ 栄養素破壊の程度
⑤ 子孫に及ぼす遺伝的影響

FAO: 国連食糧農業機関
IAEA: 国際原子力機関
WHO: 世界保健機構

1980年: 10kGy以下の総計平均線量でいかなる食品を照射しても毒物学的、栄養学的及び微生物学的に全く問題ない

供給確保; 食糧の損傷回避

- 十分で安定な食糧供給

1988 WHO; 収穫後 15-50% の損失

■害虫やバクテリアによる損傷
■ 球根、塊茎（ジャガイモ）の発芽

薬品使用不可

安全確保;

食品の微生物汚染除去、
寄生虫不活性化

食中毒 - 十分把握できず 経済的打撃
サルモレラ菌、O157:H7
寄生虫 -
豚肉; ラテンアメリカ、アジア、アフリカ

薬品使用不可

食品照射の分類と対象品目

照射目的	線量(キログレイ)	主な対象品目
発芽防止	0.02～0.15	ジャガイモ、タマネギ、ニンニク
殺虫及び不妊化	0.1～1.0	穀類、豆類、果実、豚肉(寄生虫)
熟度調整	0.5～1.0	熱帯果実、きのこ(開傘抑制)
改質	2.0～10	乾燥野菜(復元促進)、デンプン低粘度化
殺菌(貯蔵期間延長)	1.0～7.0	果実、水産加工品、畜産加工品
殺菌(食中毒防止)	1.0～7.0	冷凍魚介類、食鳥肉、卵
殺菌(衛生化)	3.0～10	香辛料、乾燥野菜、酵素製剤
滅菌	20～50	病人食、宇宙食、食品包装材

宇宙食は照射食品 ！

向井千秋さんもこれを食べました。

照射処理のマーク

米国の赤肉の放射線処理許可

1994 Isomedix Inc.(NJ) の放射線処理申請
米国内、食中毒で 9000 人/年の犠牲者
(US Centers for Disease Control)
1997. 10 汚染ハンバーグ肉 10,000 ton 回収

USA TODAY® 1997. 10. 7
“放置によって病気と死を招いた !”
“1994 年より申請を握りつぶしていた !”

FDA (The Food and Drug Administration) Dec. 2, 1997

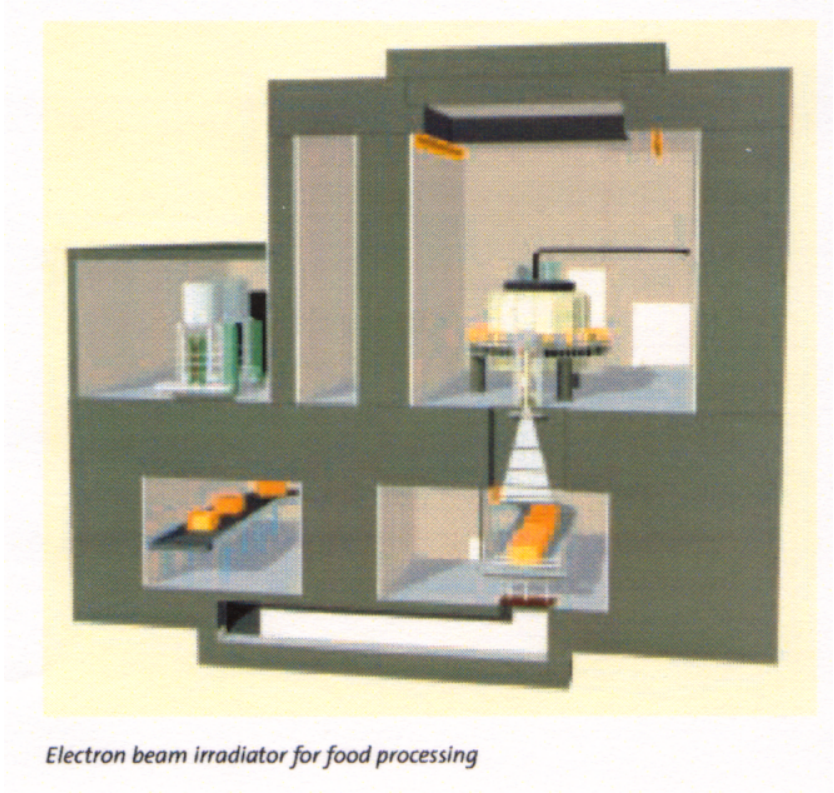
生あるいは冷凍の食肉製品（牛肉、豚肉）の放射線処理による微生物による病害の抑制法の許可

E.Coli O157:H7, *Listeria*, *Camplobacter* and *Salmonella*

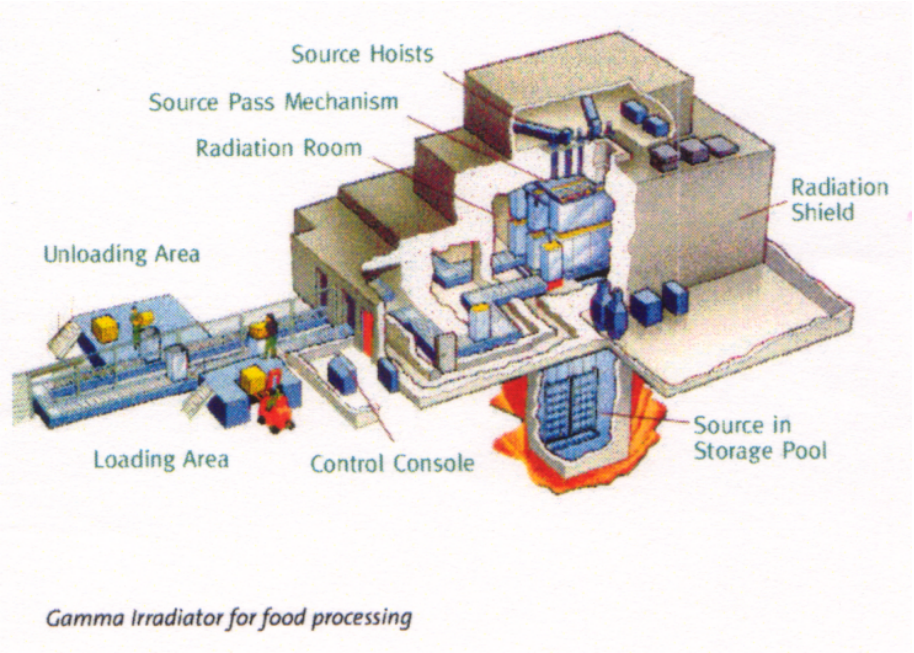
米国内の食品照射施設の増加

■ Sioux City（Iowa）, Hilo（Hawaii）
電子線照射システム稼働中

■ 国防省軍用食品の牛肉、鶏肉の
放射線処理



Electron beam irradiator for food processing



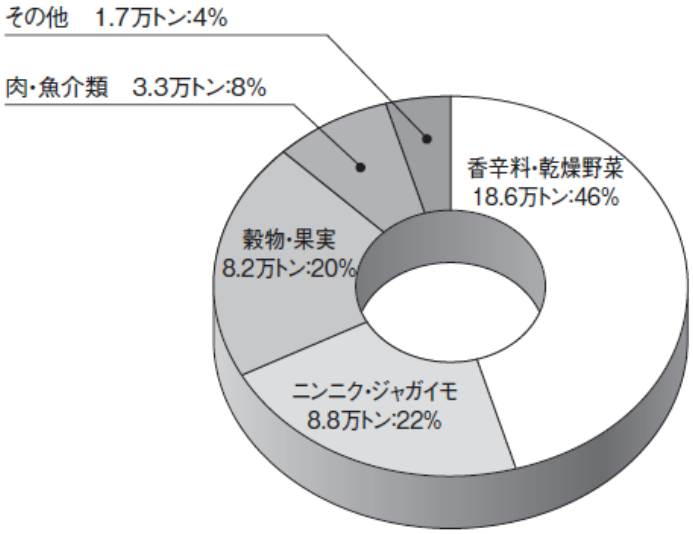
Gamma Irradiator for food processing

■ 2001年末シカゴに生肉、冷凍肉他、
香辛料処理施設 2 基稼動開始予定

■炭疽菌駆除　United Postal Service へ
turn-key 契約
　$26 million/8基の SureBeam®

世界における食品照射、処理量と経済規模

国	主な照射食品	処理量（トン）
中国	ニンニク、香辛料、穀物	146,000
米国	肉、果実、香辛料	92,000
ウクライナ	コムギ、オオムギ	70,000
ブラジル	香辛料、乾燥ハーブ・果実	23,000
南アフリカ	香辛料、ハチミツ	18,185
ベトナム	冷凍エビ	14,200
日本	ジャガイモ	8,096
ベルギー	カエル脚、トリ肉、エビ	7,279
韓国	乾燥農産物	5,394
インドネシア	冷凍食品、乳児食、香辛料	4,011
オランダ	香辛料、乾燥野菜、トリ肉	3,299
フランス	トリ肉、カエル脚、香辛料	3,111
タイ	香辛料、発酵ソーセージ	3,000
インド	香辛料、タマネギ	1,600
カナダ	香辛料	1,400
イスラエル	香辛料	1,300
その他		2,929
合　計		404,804



2005年データ

アジアにおける食品照射処理量 (2010)

	2005年	2010年	照射品目
中国	146,000	>200,000	ニンニク、スパイス、穀物、健康食品、他
インド*	1,600	2,100	スパイス、乾燥野菜、果物
インドネシア	4,011	6,923	ココア、冷凍魚介類、スパイス、他
日本	8,096	6,246	ジャガイモ
韓国	5,394	300	乾燥野菜
マレーシア	482	785	スパイス、ハーブ、他
パキスタン		940	豆類、スパイス、果物、他
フィリピン	326	445	スパイス、乾燥野菜
タイ	3,000	1,484*	果物、他
ベトナム	14,200	66,000	冷凍魚介類、果物、他
合計	183,109	285,223	

*民間処理量含まず

久米民和 第14回放射線プロセスシンポジウム（2012）

マレーシア

スパイス、ハーブ　785トン

（SINAGAMMA）

1997-1999	100 トン
2005	475
2006	800
2007	728
2008	691
2009	826
2010	785

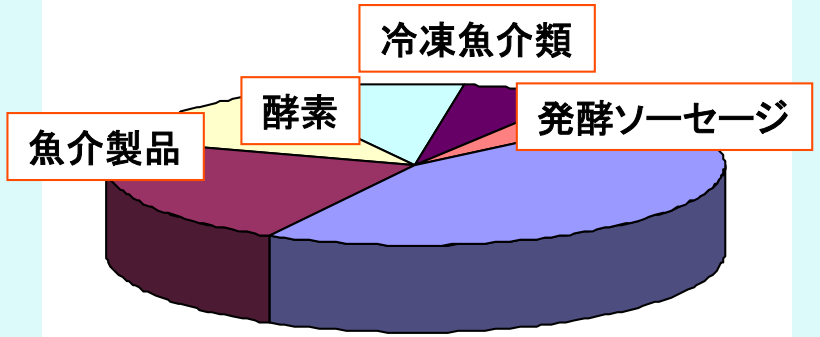
照射果実の米国への輸出協議中

タイ

果物、他　1,484 トン

（民間1社の処理量含まず）

TICにおける照射



照射果実の米国への輸出

＊2007年6品目

マンゴスチン、ロンガン、ランブータン

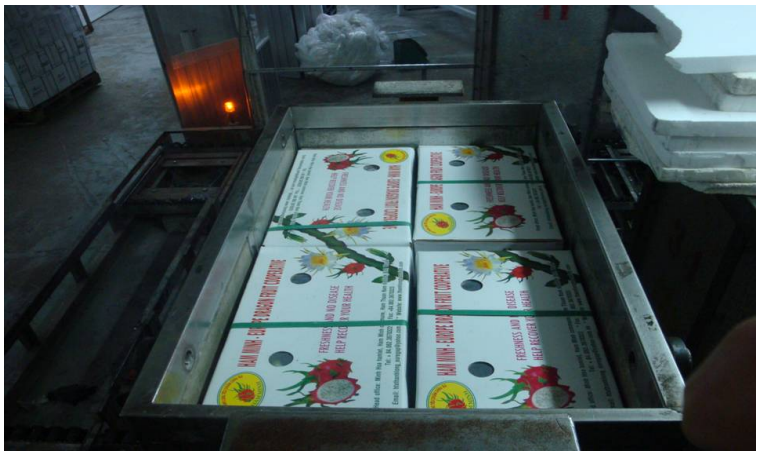
マンゴー、ライチ、パイナップル

＊2011年新品目

＊日本向けは46℃、30分加熱処理

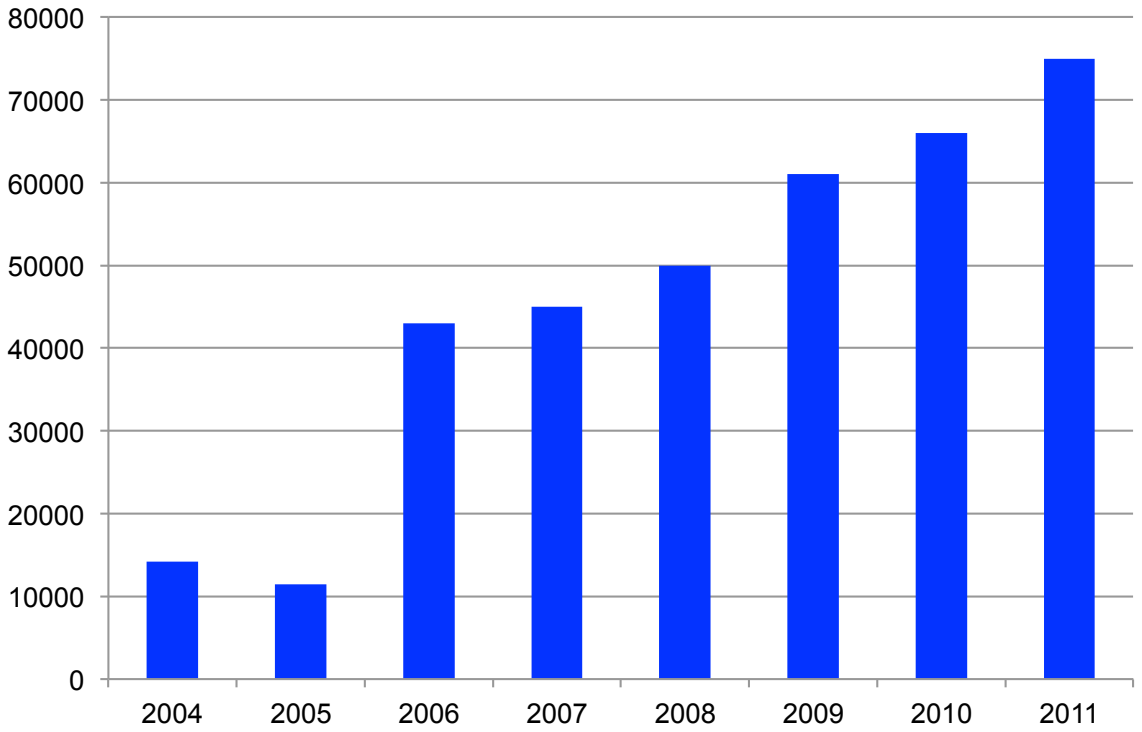
久米民和 第14回放射線プロセスシンポジウム（2012）

ドラゴンフルーツの照射（米国向け検疫処理）



ベトナムの食品照射

冷凍魚介類、果物、他　66,000トン



VINAGAMM, Son Son

API

Thai Son, API

輸出用の冷凍魚介類や果物(ドラゴンフルーツ、ランブータン)の照射を目的とした施設が急増

久米民和 第14回放射線プロセスシンポジウム（2012）

牛生レバー、放射線で殺菌
厚労省が研究開始へ 効果確認なら提供禁止解除も

2012/7/27 22:30 日本経済新聞

７月から提供が禁止された牛の生レバー（肝臓）について、厚生労働省の研究班が８月にも放射線照射による殺菌効果の研究を始めることが27日、分かった。強い毒性を持つ腸管出血性大腸菌O157がレバー内部で見つかっているが、有効な殺菌方法がないのが現状。研究で効果が確認されれば、同省は提供禁止の解除を検討する。

同省は、近く研究班を立ち上げ、殺菌の有効性のほか、照射後に食べたときの安全性などを確認する。ただ、安全性について消費者団体などが反発する可能性もあり、実用化には難航も予想される。

牛の生レバーを巡っては、内部のO157を殺菌する方法がないとして、厚労省は７月から飲食店などでの生食用としての提供を禁止。提供には中心部まで十分火を通すことを義務づけた。一方で、生食の安全性が確保できる殺菌方法が見つかれば禁止解除を検討するとしていた。

厚労省によると、海外では牛肉の殺菌に放射線照射を導入している国もある。日本では現在、ジャガイモの発芽防止用としてのみ利用が認められている。

まとめ

放射線というと怖いというイメージ

放射線: 病院で大活躍
診断、医療を含む医学の分野では不可欠
善玉の放射線というイメージ

放射線の工業利用: 生活を豊かにする
古くから、実績多い。しかし、一般には知られていない。

わが国の食品照射は遅れている

レポート課題

(1)「放射線を利用した害虫の駆除」について調べ A4 二ページにまとめよ。

(2) なぜ食品照射は進まないのか？

各自でその理由を考えて述べよ。A4 一ページにまとめよ。

注意事項

参考文献等については出所を明確に記載すること