

放射性同位元素又は放射線発生装置の安全取扱い

安全取扱 I (基礎)

熊本大学 生命資源研究・支援センター
古嶋 昭博

人類の進化と放射線

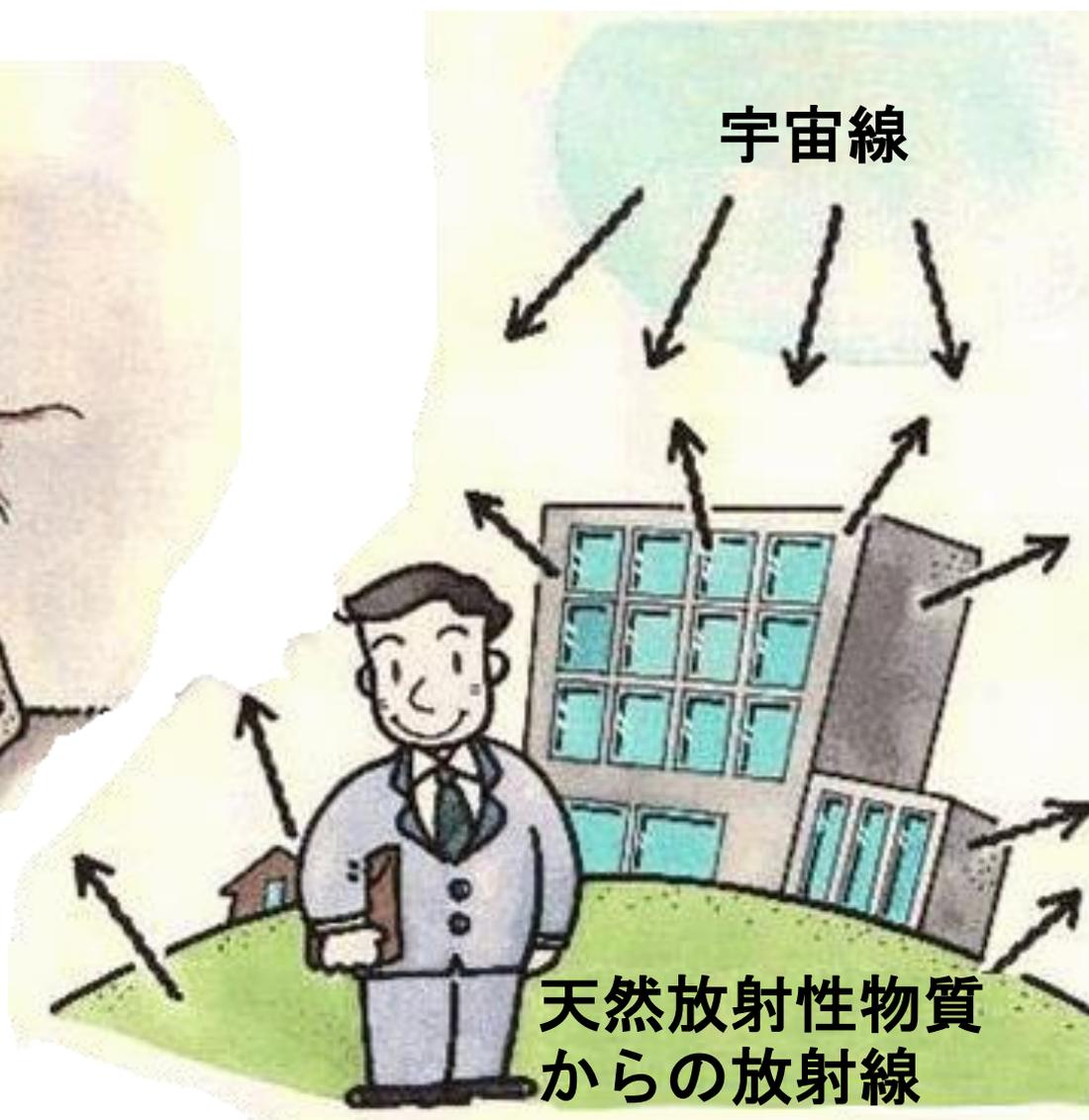
自然放射線

宇宙線



天然放射性物質
からの放射線

宇宙線



天然放射性物質
からの放射線

自然放射線

+

人工放射線

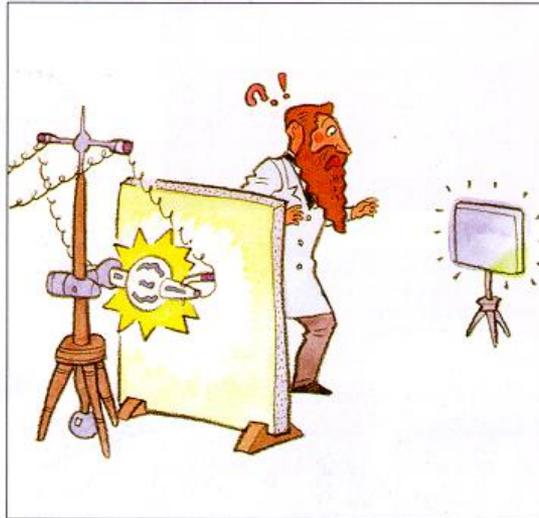
エックス (X) 線の発見

1895

レントゲン博士、エックス線を発見



ウィルヘルム・C・レントゲン
(ドイツ)



真空放電の実験



レントゲンが世界で初めて撮影した
人の手のエックス線写真

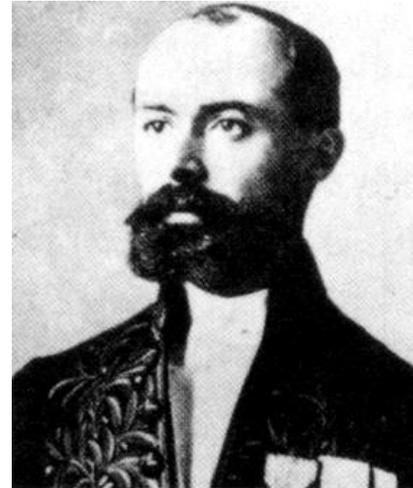
人工放射線として、医学への応用開始

放射性同位元素に関する発見

1896

ベクレル、ウラン鉱から放射線が出ることを発見

自然放射線

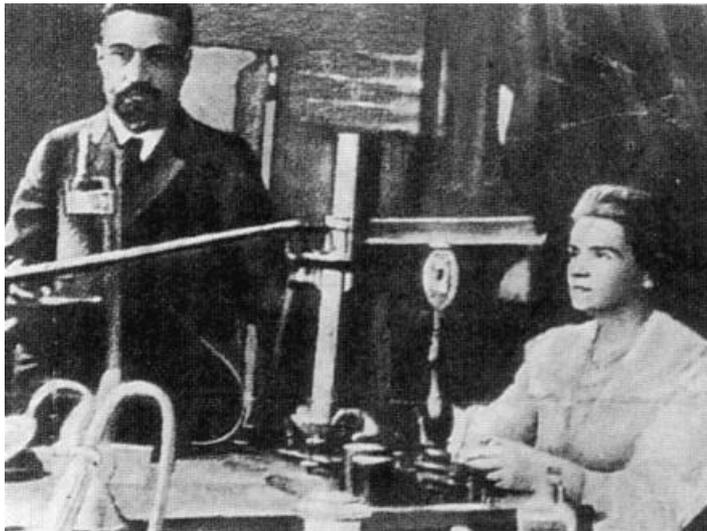


放射能

1898

キュリー夫妻、放射性同位元素を発見

ポロニウム、ラジウムと命名



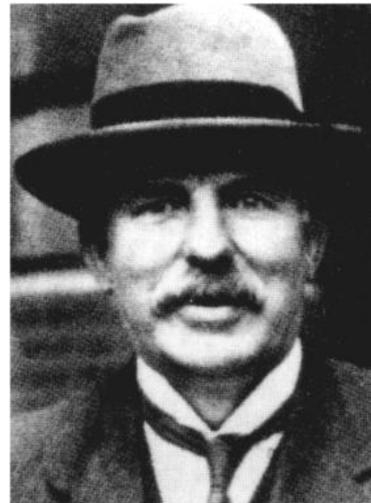
マリー・キュリー (ポーランド)

アンリ・ベクレル (フランス)

1902

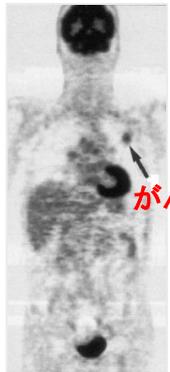
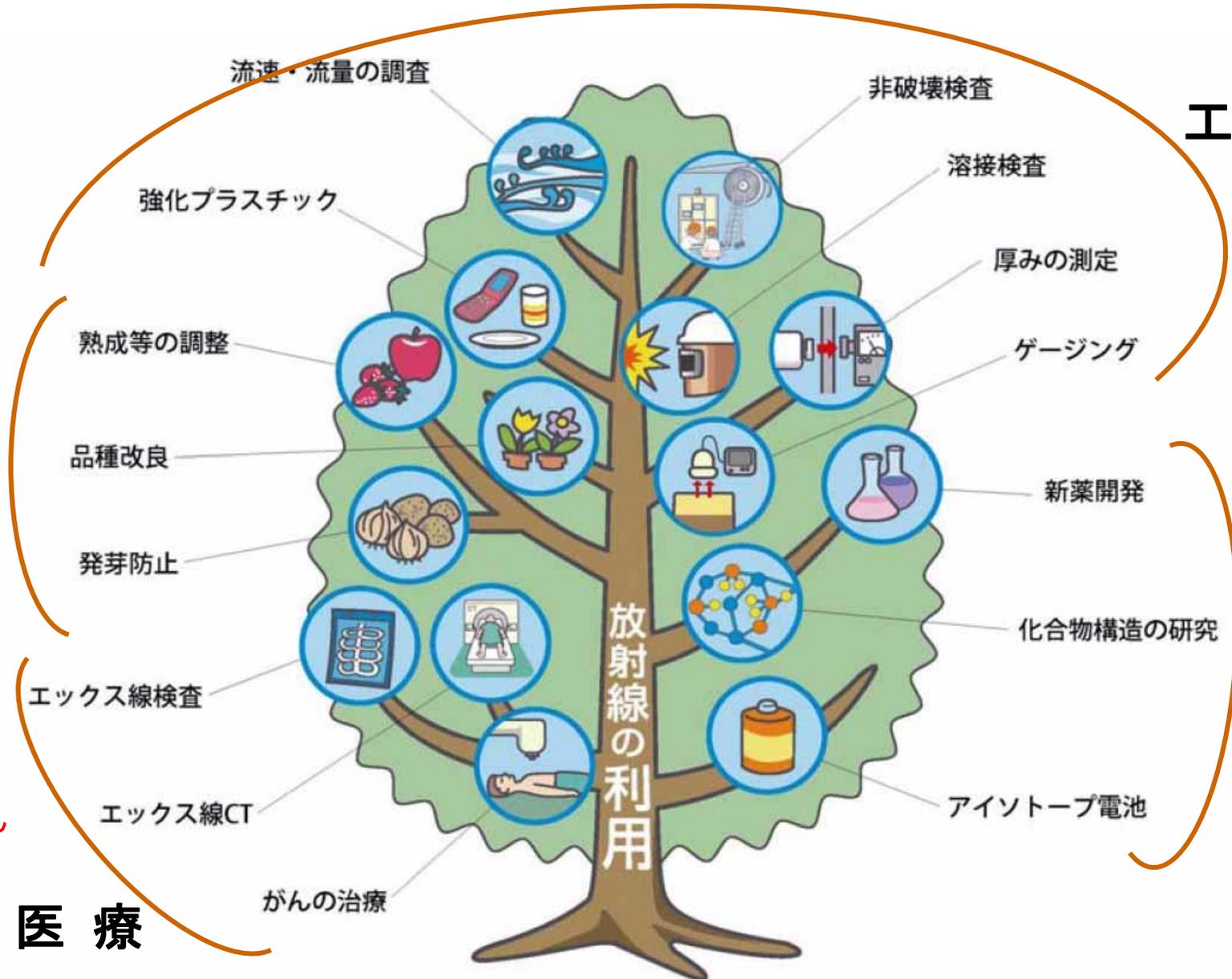
ラザフォード、放射性同位元素の壊変説

原子核から放射線が出る



アーネスト・ラザフォード (イギリス)

放射線のいろいろな分野での利用



がん検査 (FDG-PET)

主な放射線の分類

放射線

電磁波

- X線 (原子核外の現象に伴って出る, X線装置等から作られる)
- 放射光
- γ 線 (原子核内のエネルギー状態の変化に伴って放出される)

粒子線

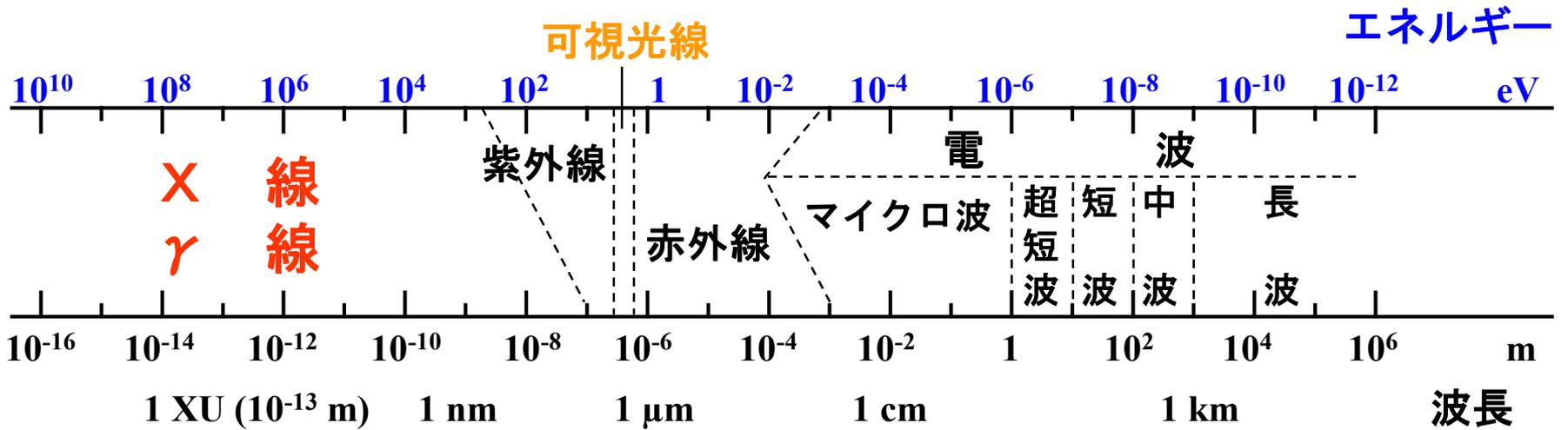
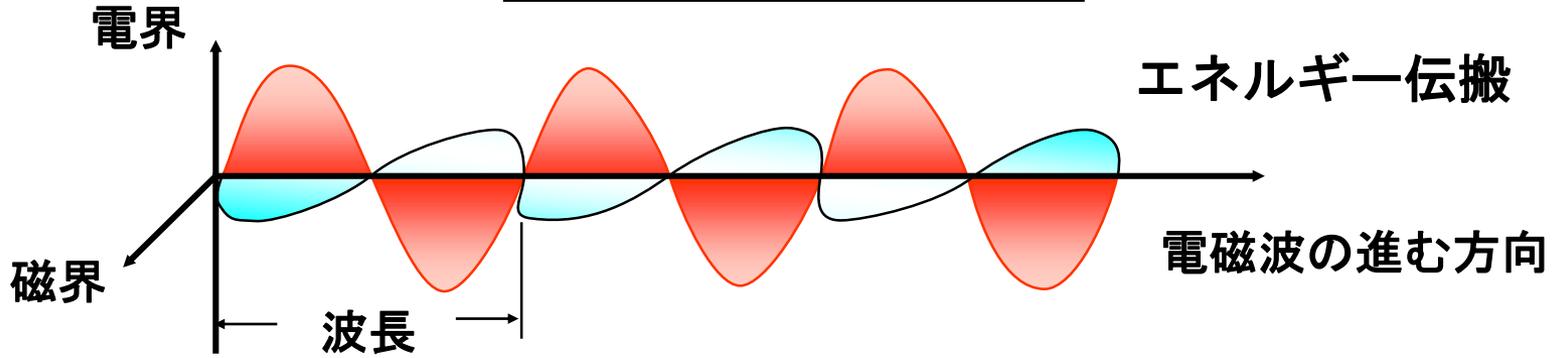
電気をもつ

- α 線 (原子核から放出されるヘリウム原子核)
- β 線 (原子核から放出される電子)
- 電子線 (加速器でつくられる)
- 陽子線 (加速器でつくられる)
- 重陽子線 (加速器でつくられる)
- 種々の重イオンや中間子線 (加速器でつくられる)

電気をもたない

- 中性子線 (原子炉、加速器、ラジオアイソトープなどを利用してつくられる)

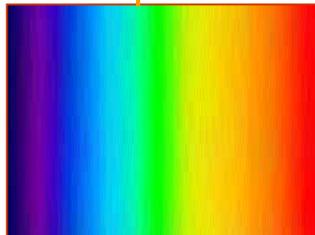
電磁波の分類



放射線治療



X線検査



光

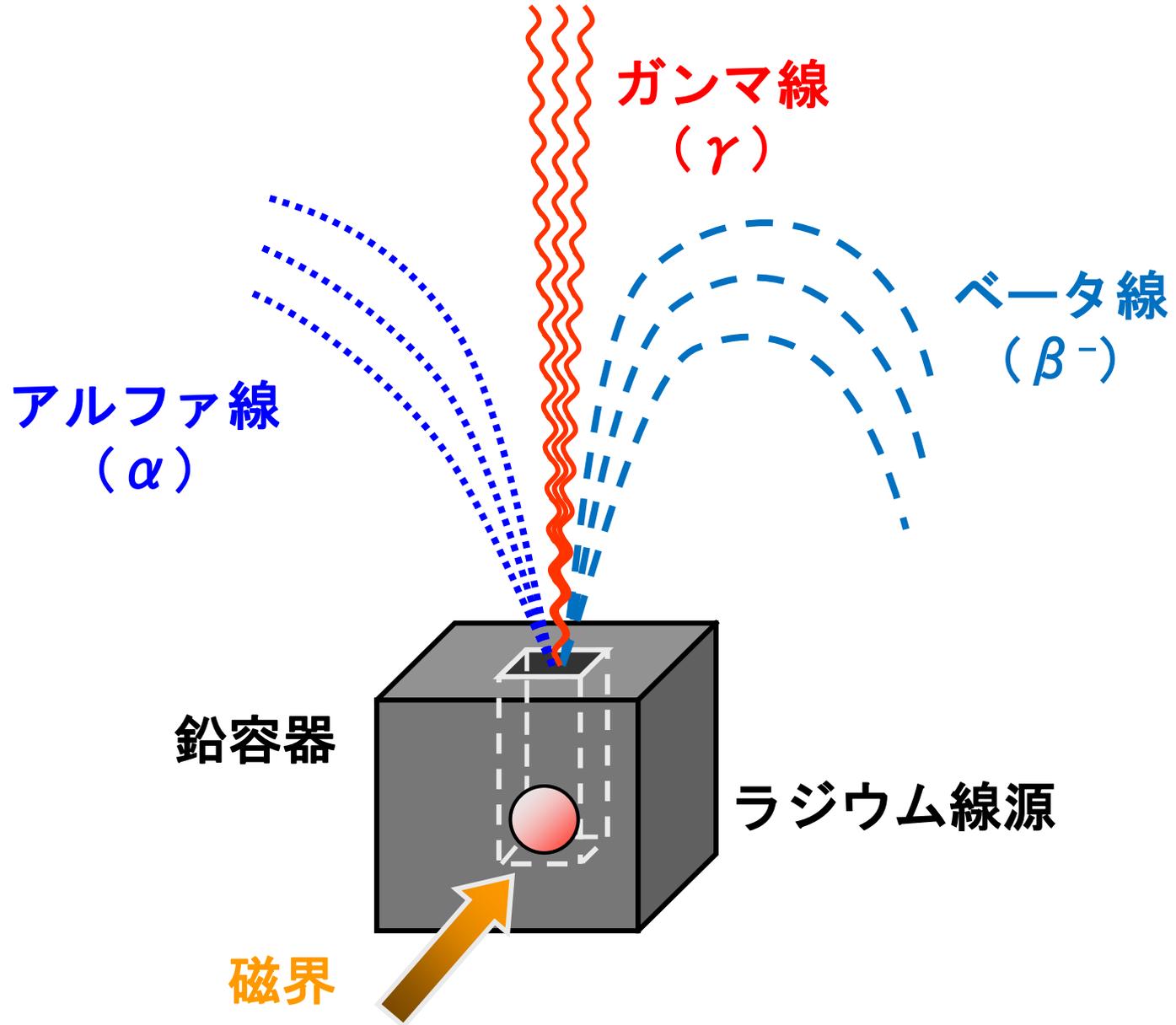


電子レンジ



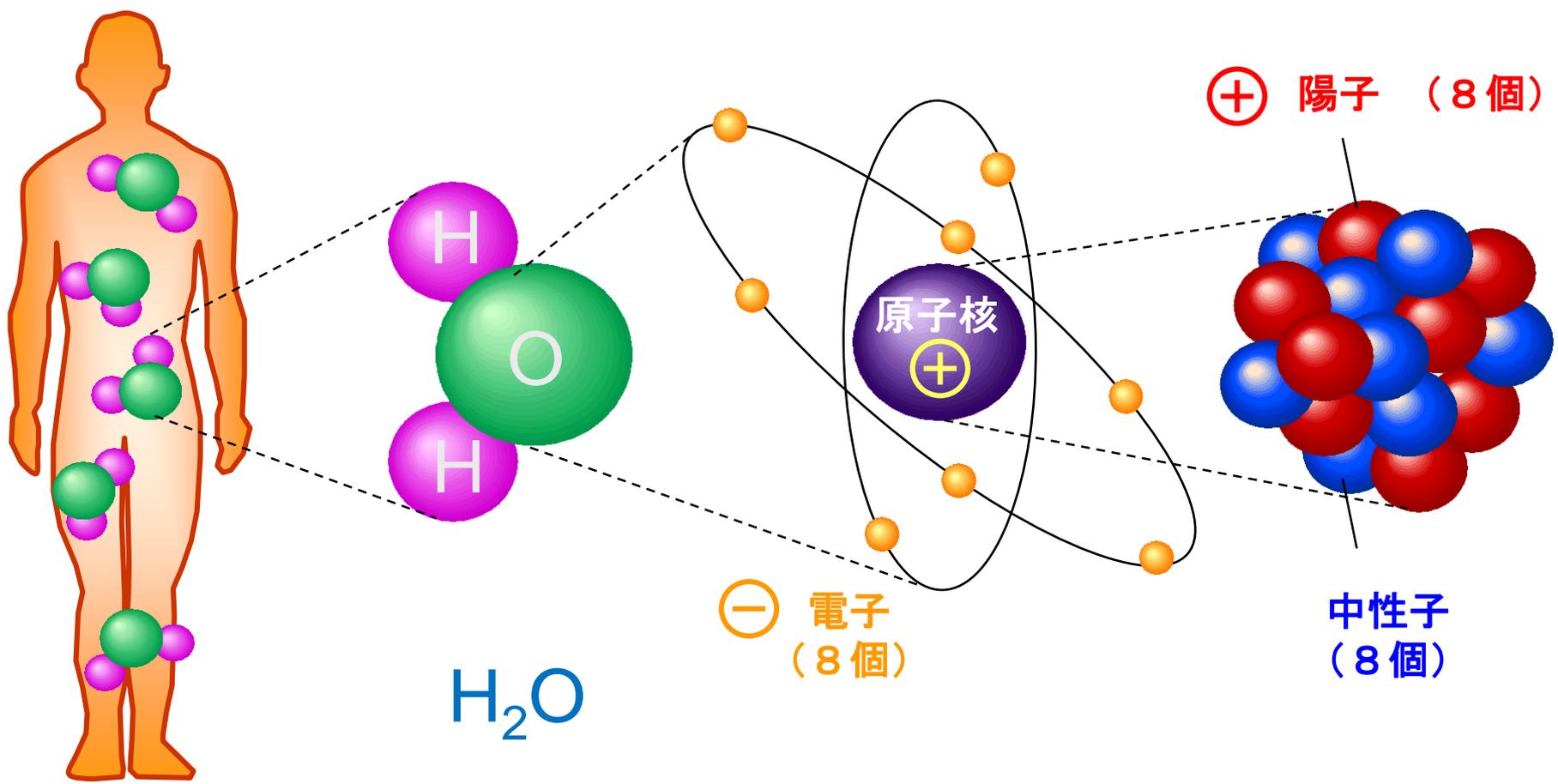
テレビ

放射線の磁界に対する性質



放射線の物理

物質の構造



物質 (人体)

~1.7 m

分子

~10⁻⁹ m

原子

~10⁻¹⁰ m

原子核

~10⁻¹⁴ m

原子の表し方

炭素

質量数
(陽子+中性子) の数

14

元素記号

C

6

原子番号
(陽子) の数

^{14}C , C-14, 炭素14

核種 : 原子番号と質量数によって決まる原子の種類

アイソトープ（同位元素、同位体）

アイソトープ ... 原子番号（陽子の数）が同じで、質量数（中性子の数）が異なる核種

ラジオアイソトープ ... 放射線を放出するアイソトープ
RI と略す

水 素 (H)



^1H	原子番号	1
	質量数	1
	陽 子	1
	中性子	0

重水素 (D) トリチウム (T)



^2H	1
	2
	1
	1



^3H	1
	3
	1
	2

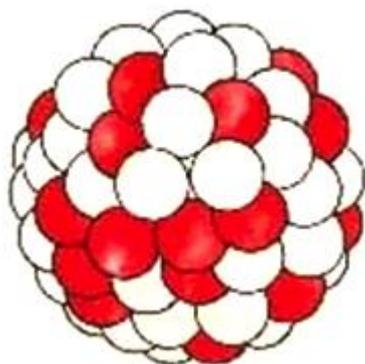
ベータ線
(β^-)

α (アルファ) 線の放出 (α 壊変)

ヘリウムの原子核
(${}^4\text{He}$)

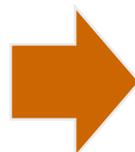
α 線 \oplus

{ 陽子 2 個
 中性子 2 個

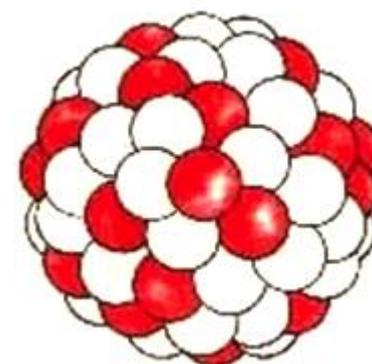
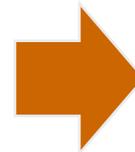


ラジウム-226 ${}^{226}\text{Ra}$

{ 陽子 88 個
 中性子 138 個



変身



ラドン-222 ${}^{222}\text{Rn}$

{ 陽子 86 個
 中性子 136 個

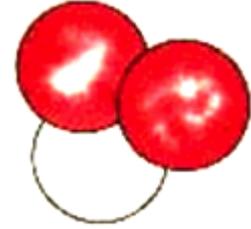
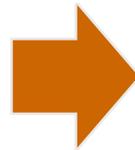
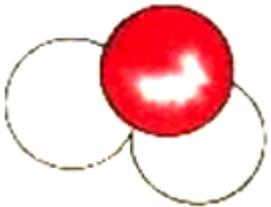
壊変 : 放射線を出しながらひとりでに別の核種に変わっていくこと。
(崩壊) そのような能力または強度を**放射能**という。

放射能の強さ (Bq, ベクレル) : 1秒あたりの壊変数

β (ベータ) 線の放出 (β 壊変)



電子 \ominus β 線



トリチウム ${}^3\text{H}$

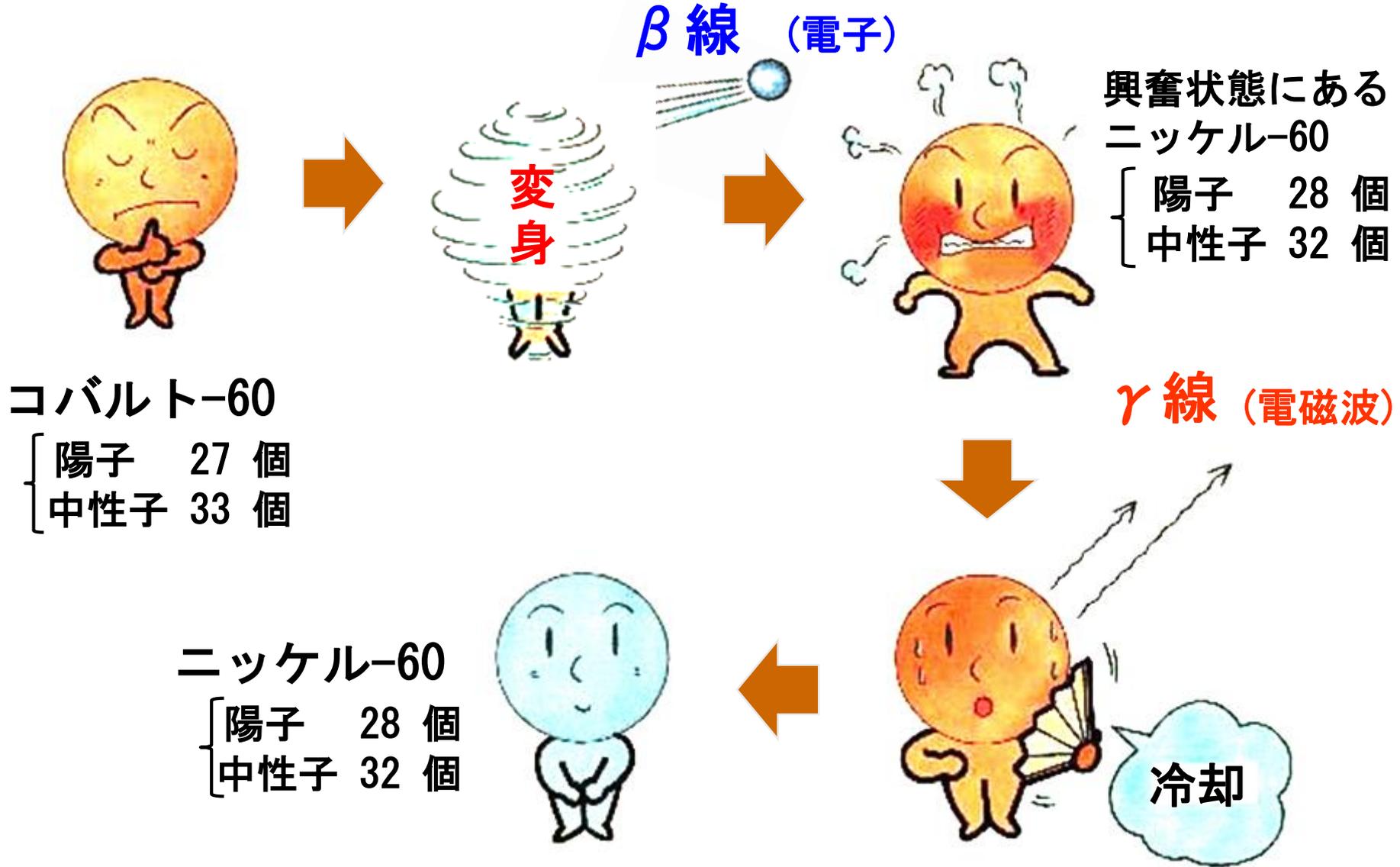
- { 陽子 1 個
- { 中性子 2 個

ヘリウム-3 ${}^3\text{He}$

- { 陽子 2 個
- { 中性子 1 個

正の電気を持った、陽電子 (β^+ 線) も放出されることがある。

γ (ガンマ) 線の放出



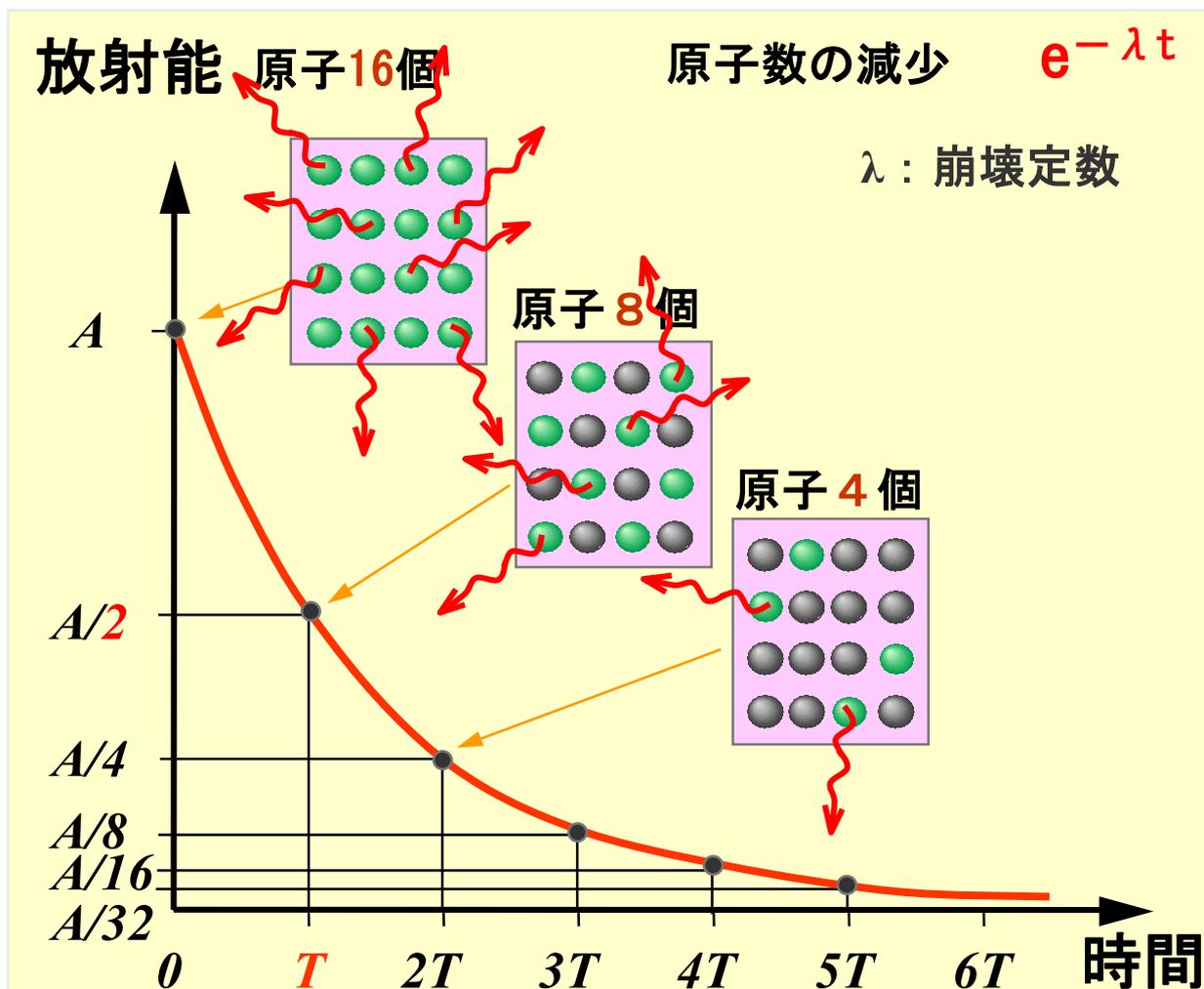
壊変直後の原子核が励起状態にあると、原子核から γ 線 (光子) を放出

放射能の減り方（半減期）

放射能（原子数）は、ある一定の速さで減衰（減少）していく。

放射能が半分になるまでの時間・・・半減期（ T ）

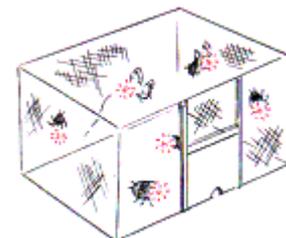
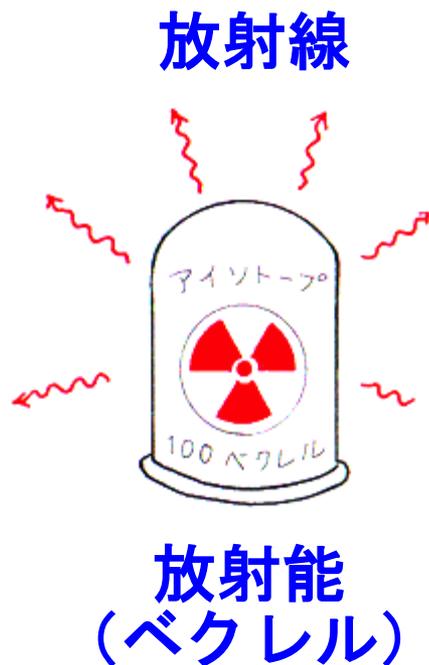
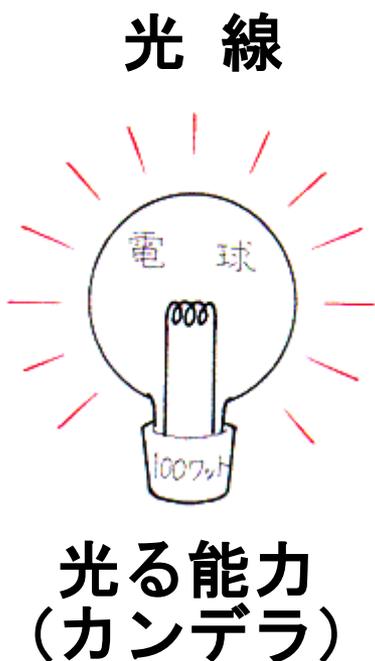
それぞれのアイソトープは固有の長さの半減期を持っている。



^3H	12.3年
^{14}C	5730年
^{32}P	14.3日
^{51}Cr	27.7日
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02時間
^{125}I	60.2日
^{131}I	8.0日
^{134}Cs	2.1年
^{137}Cs	30.1年
^{238}U	45億年
^{40}K	12.8億年

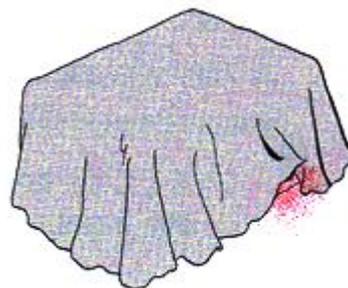
「放射線」と「放射能」のちがい

よく似た言葉で、混同されやすい

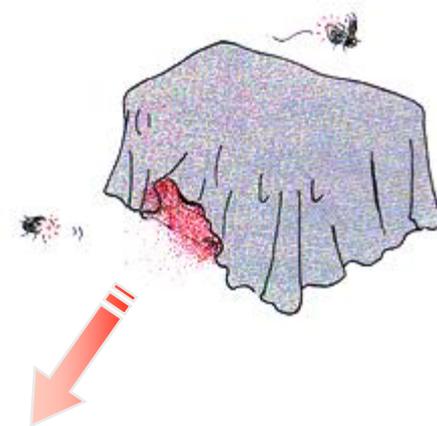


ホタル - アイソトープ
ホタルの光 - 放射線

放射線もれ



放射能もれ

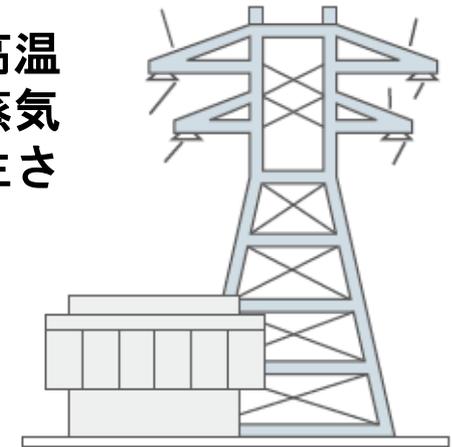


放射能を持った物質がもれている

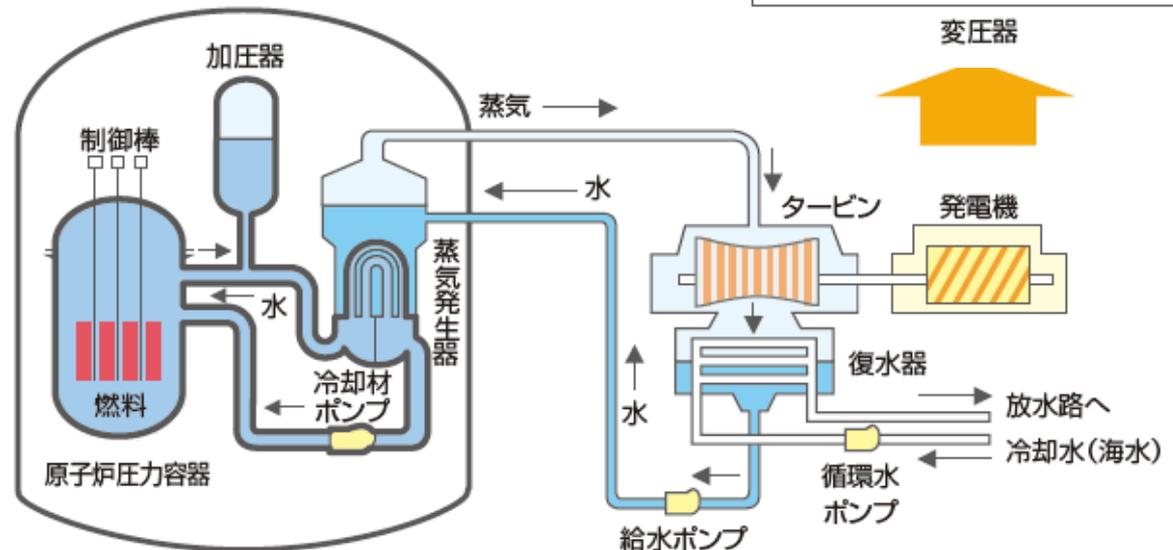
原子力発電のしくみ

加圧水型軽水炉 (PWR)

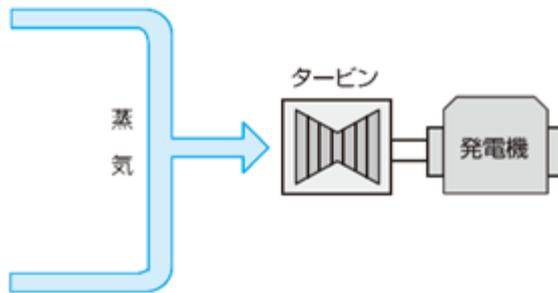
原子炉で作られた高温
高圧の水により、蒸気
発生器で蒸気を発生さ
せる。



変圧器



発電



火力発電

原子力発電

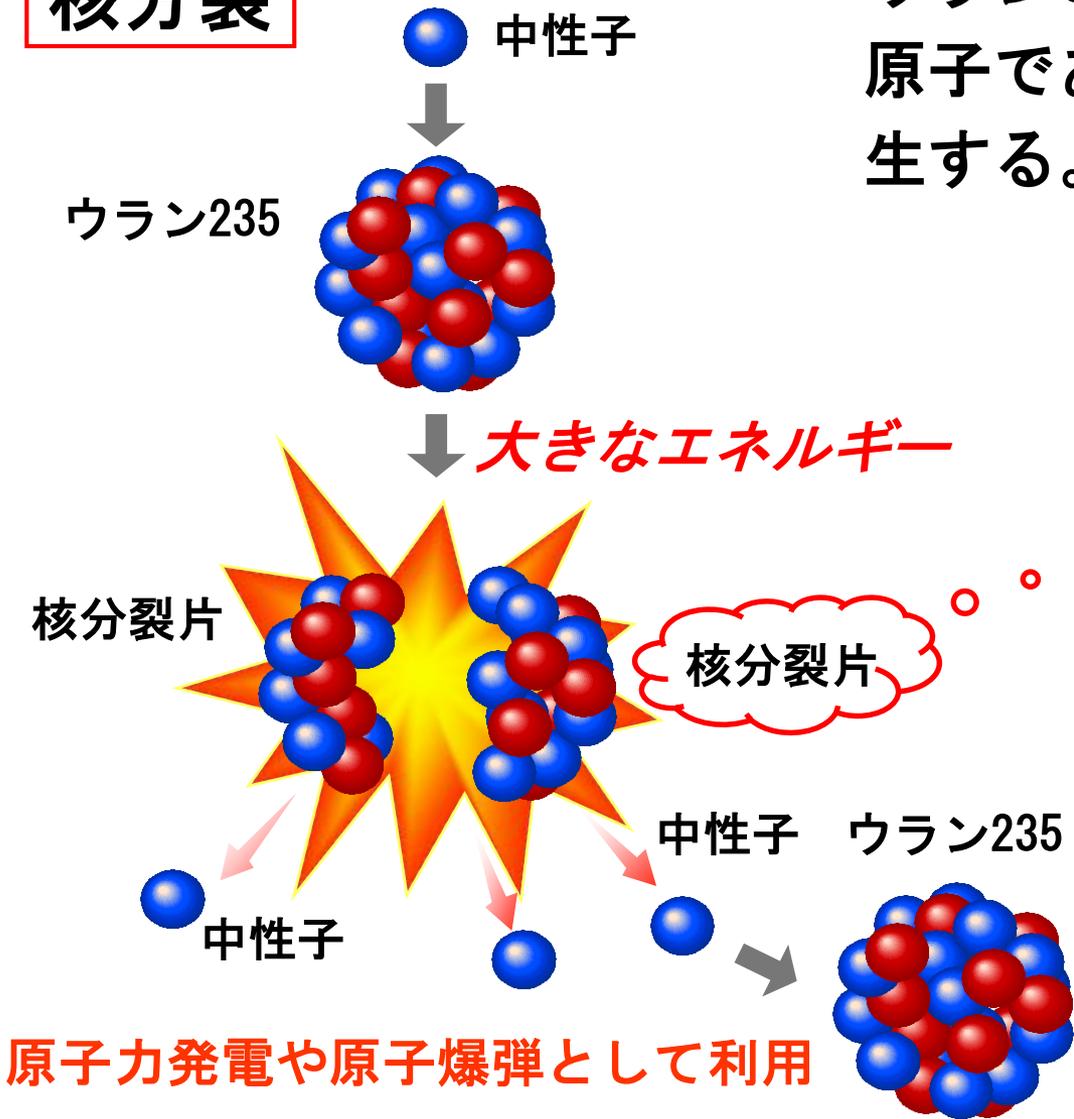
原子力は、2010年度実績
で、日本の電気の約30%
をまかなっていた。

出典：原子力コンセンサス2012

「核分裂」と「核分裂生成物」

核分裂

ウランの核分裂により、放射性的の原子である“核分裂生成物”が発生する。

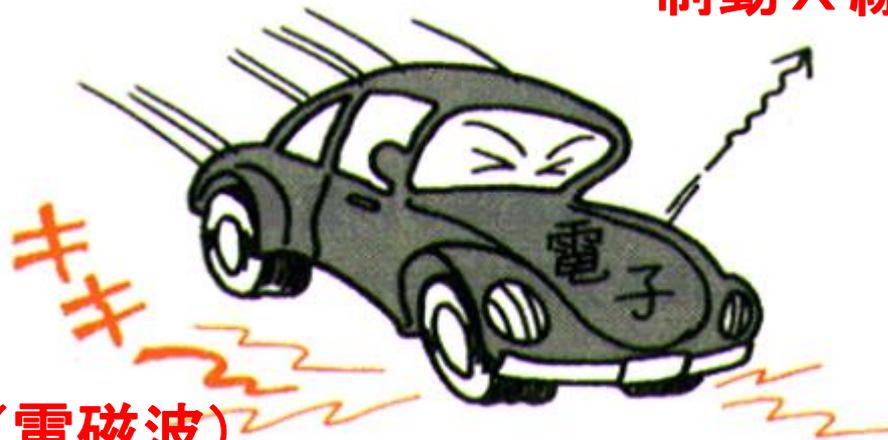


- ・ ストロンチウム90
- ・ ヨウ素131
- ・ セシウム134
- ・ セシウム137
- その他

放射線を出す

X線の発生

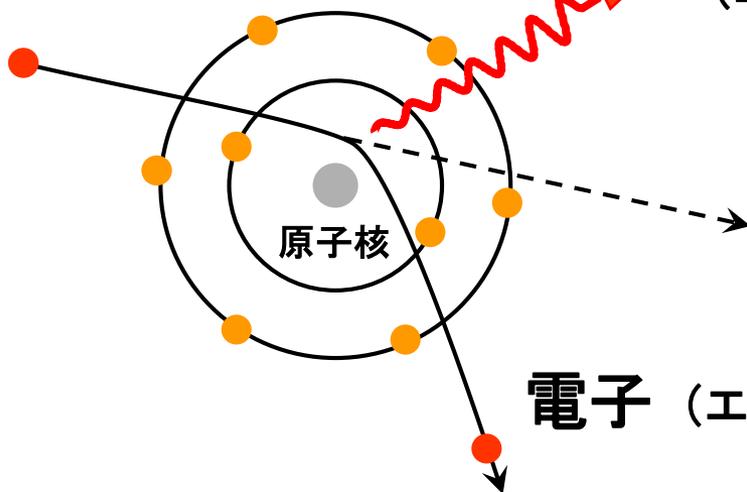
制動X線



制動X線 (電磁波)

電子 (エネルギー E_e)

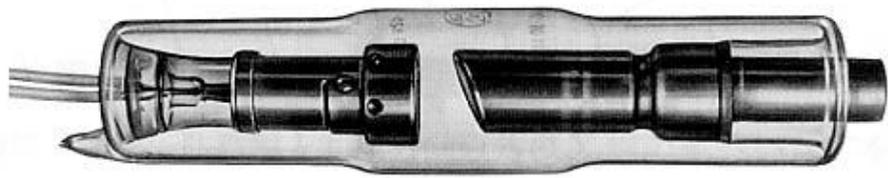
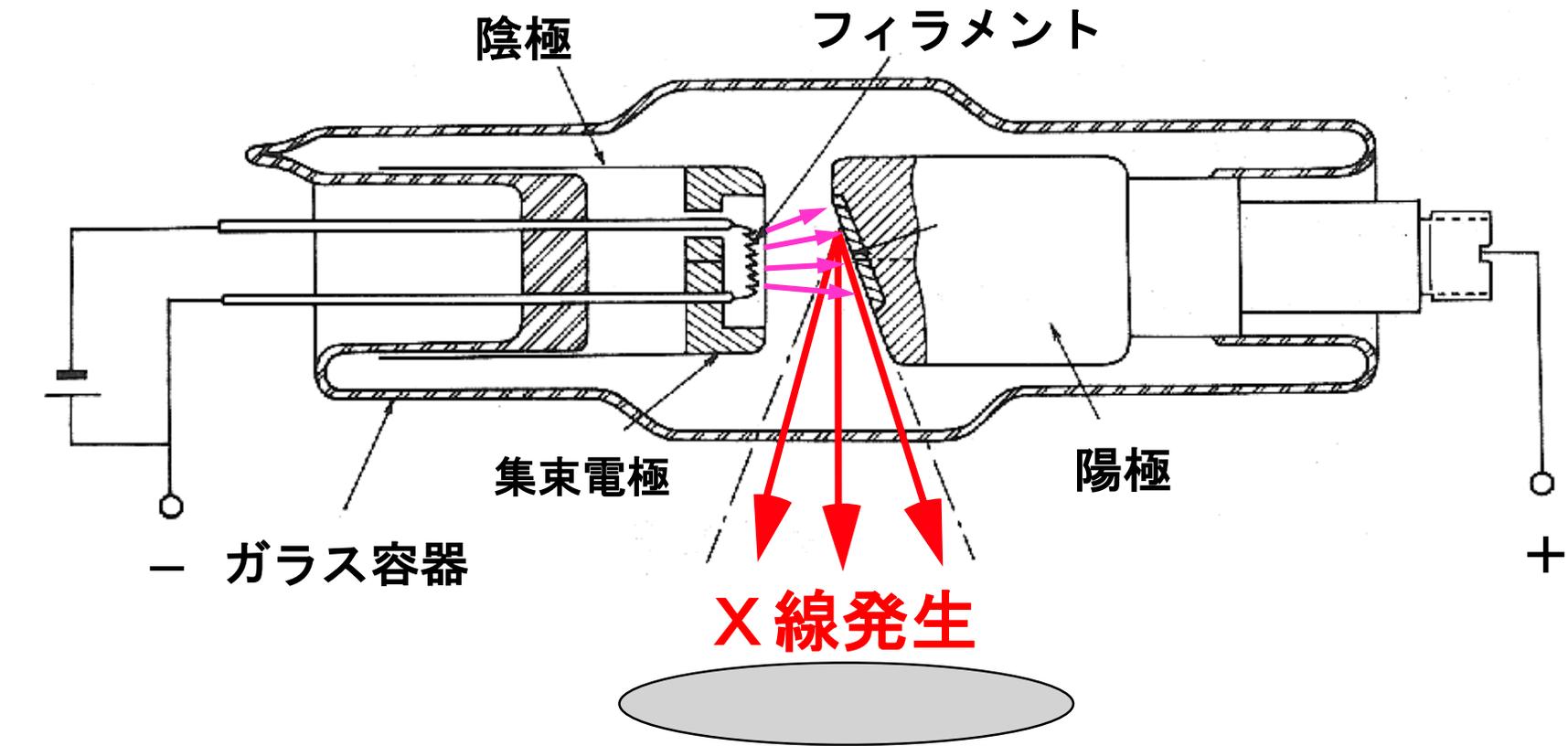
(エネルギー E_x)



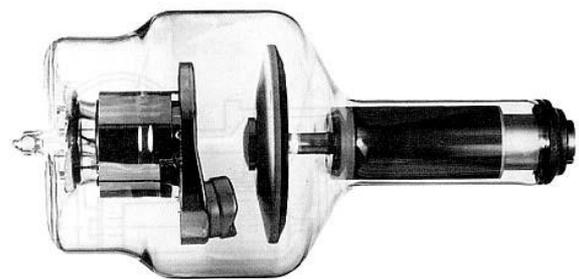
電子 (エネルギー $E_e - E_x$)

運動している電子が制動作用を受けると **X線 (電磁波)** が発生
他に、**特性X線**もある

X線管球の構造

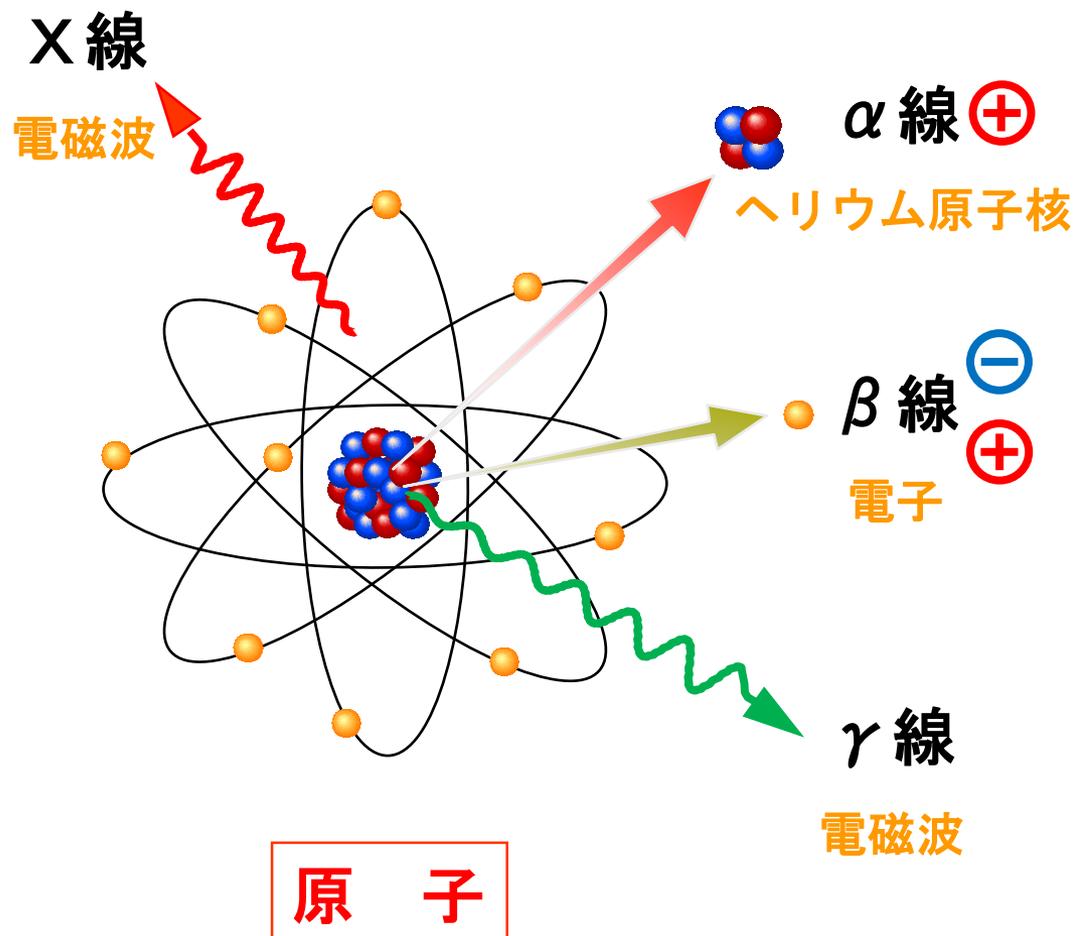


固定陽極 X線管

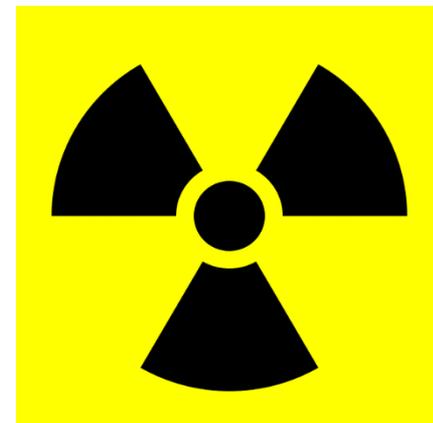


回転陽極 X線管

放射線の発生



放射能標識



ハザードシンボル
(Hazardsymbol) の一つ

“原子核から、
 α 線、 β 線、 γ 線
が飛び出している様子”
を表している。

放射線発生装置（加速器）

電子線、陽子線、重陽子線、中性子線などを発生

- サイクロトロン
- シンクロトロン
- シンクロサイクロトロン
- 直線加速装置（リニアック）
放射線治療
- ファンデグラフ型加速装置
- コッククロフトワルトン型加速装置



Spring-8 放射光

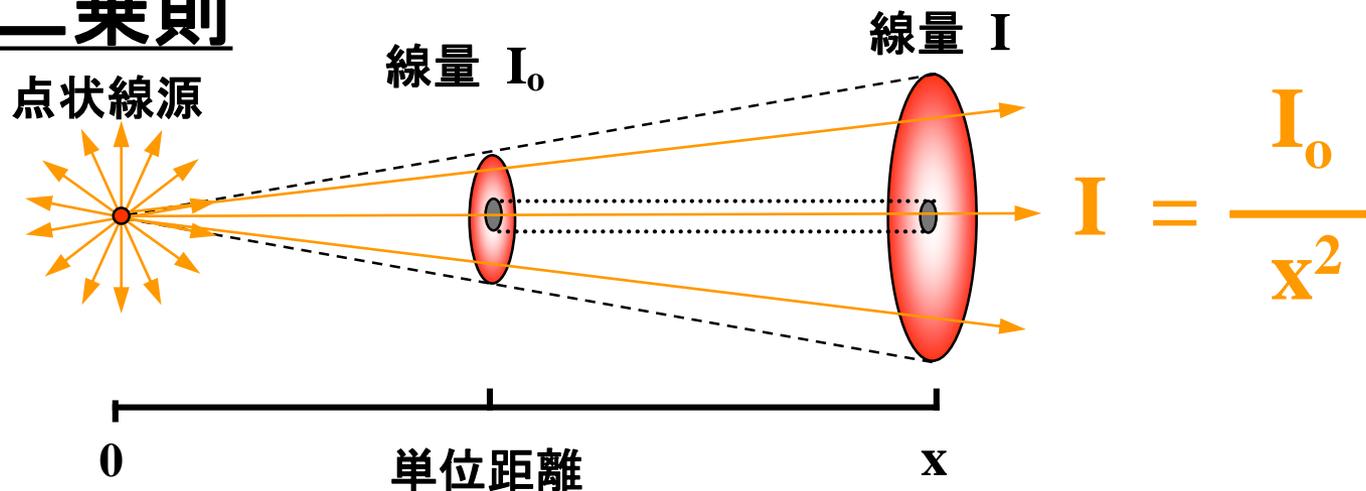
PET検査用短半減期RI
を製造できる
小型サイクロトロン



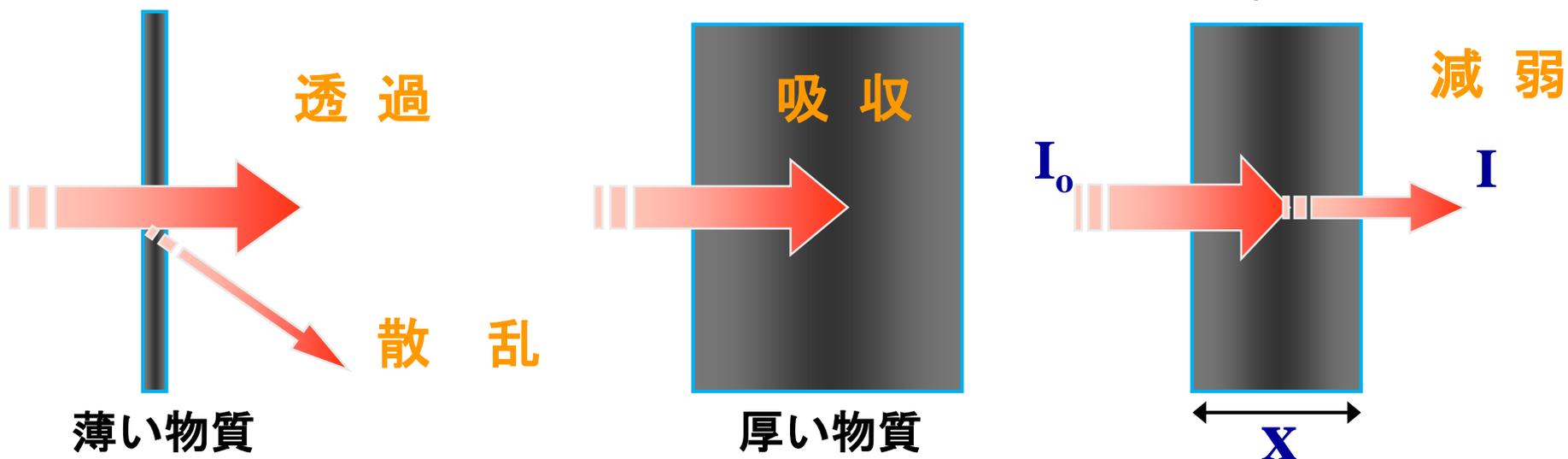
住友重機械CYPRIS-HM12S
(自己シールドタイプ)

放射線の性質

距離の逆二乗則

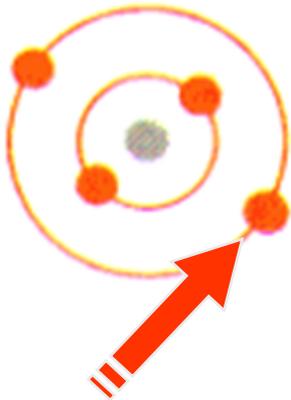


透過、吸収、散乱、減弱



電離と励起

安定状態にある
ベリリウム原子

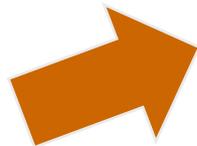


放射線エネルギー

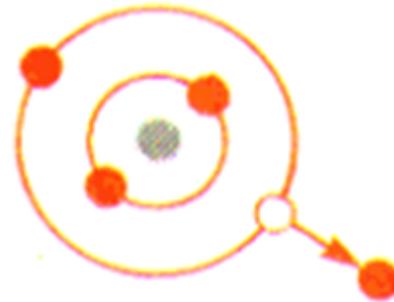
● 原子核

● 電子

電離



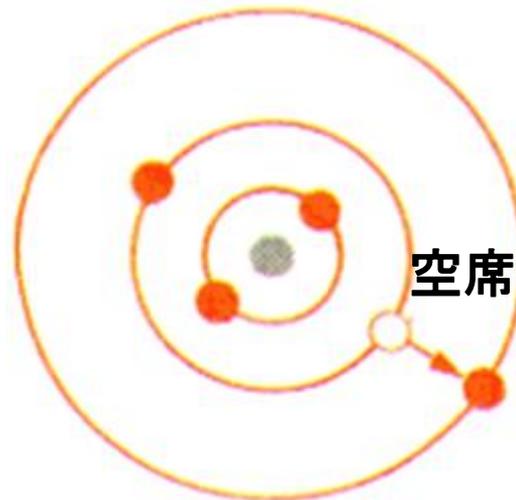
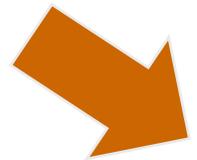
陽イオン



自由電子

イオン対

励起



空席

励起状態にある原子

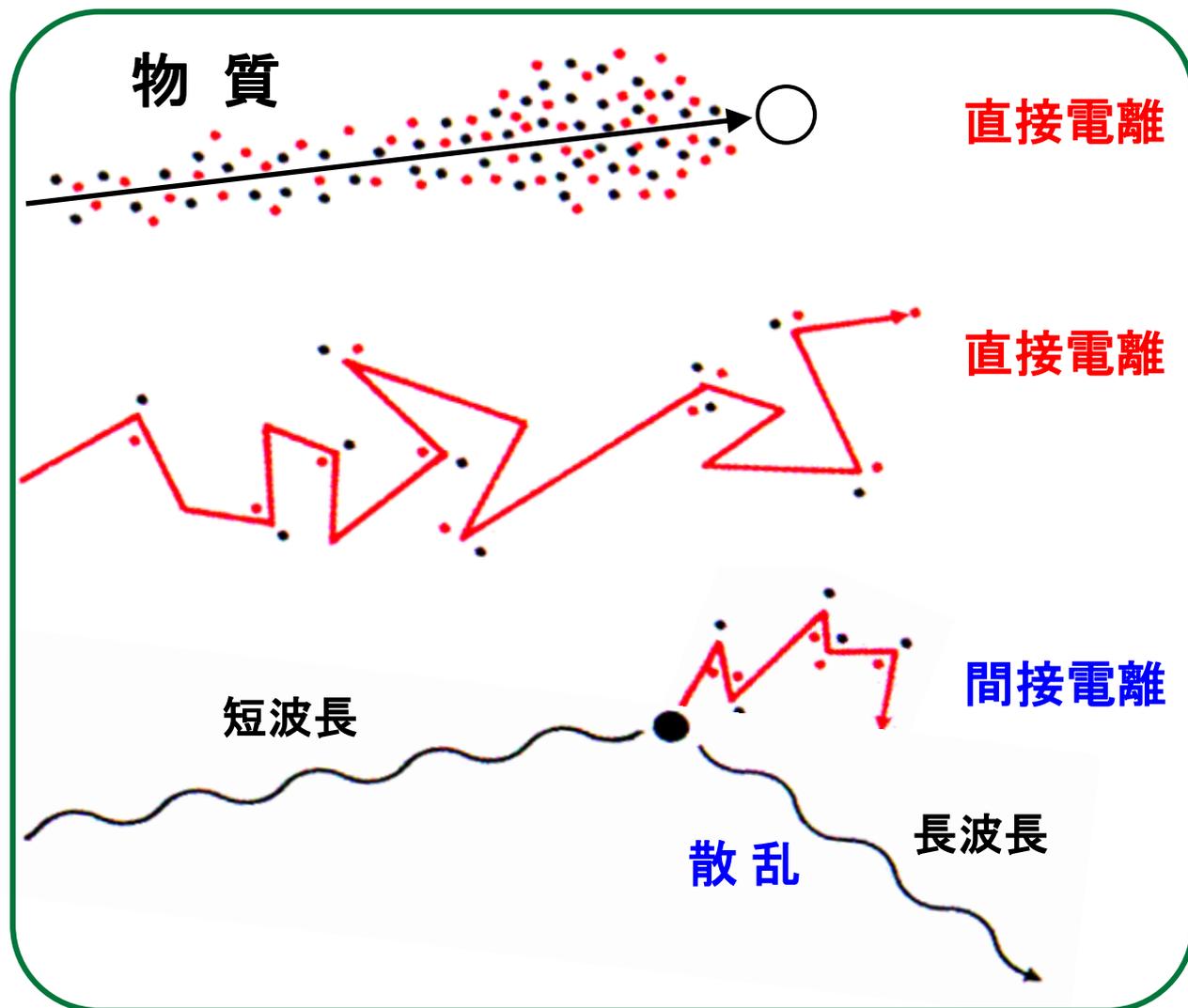
放射線による電離のちがい

- 陽イオン
- 電子

アルファ線
ヘリウム原子核
(+)

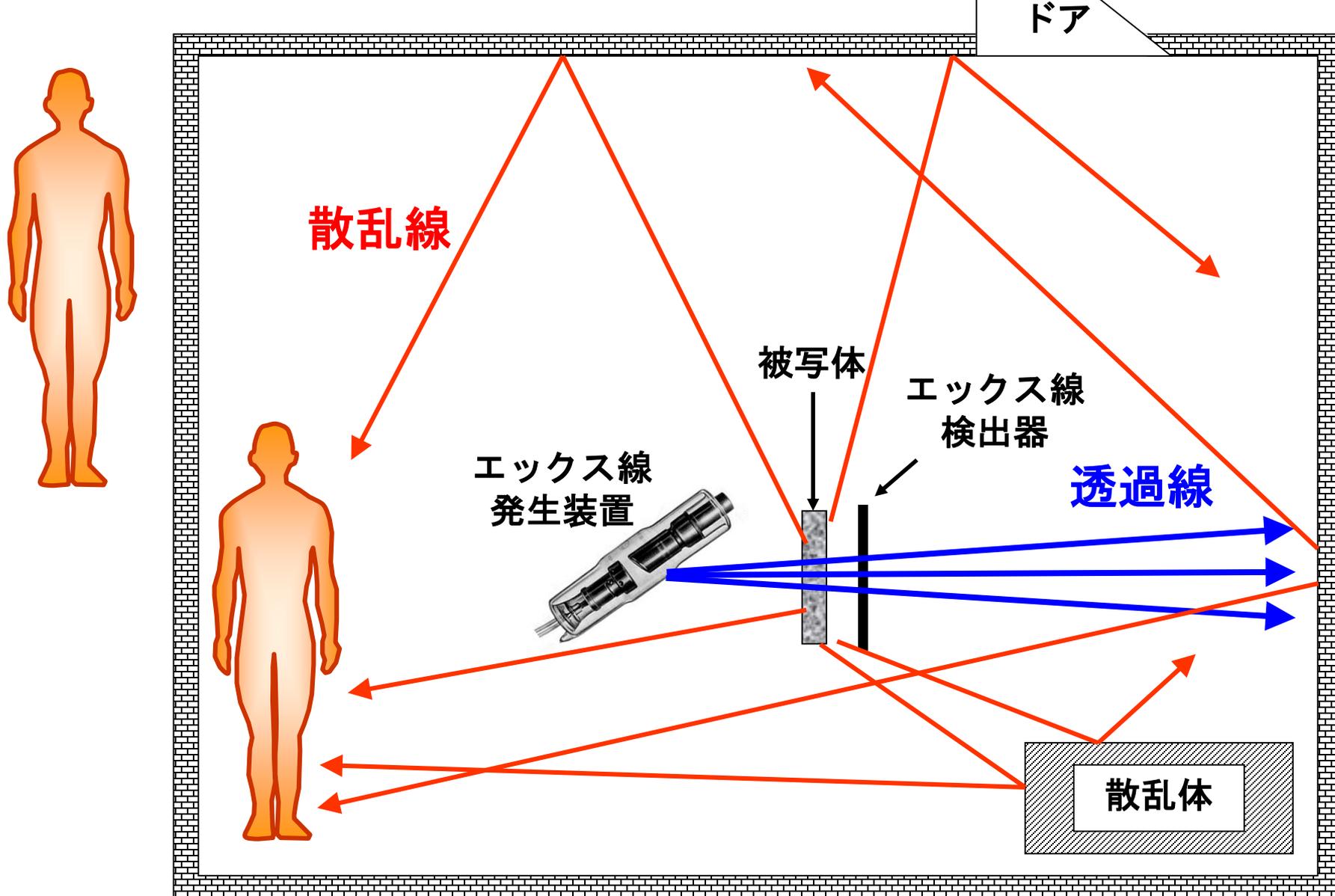
ベータ線
電子
(-) (+)

ガンマ線
エックス線
電磁波

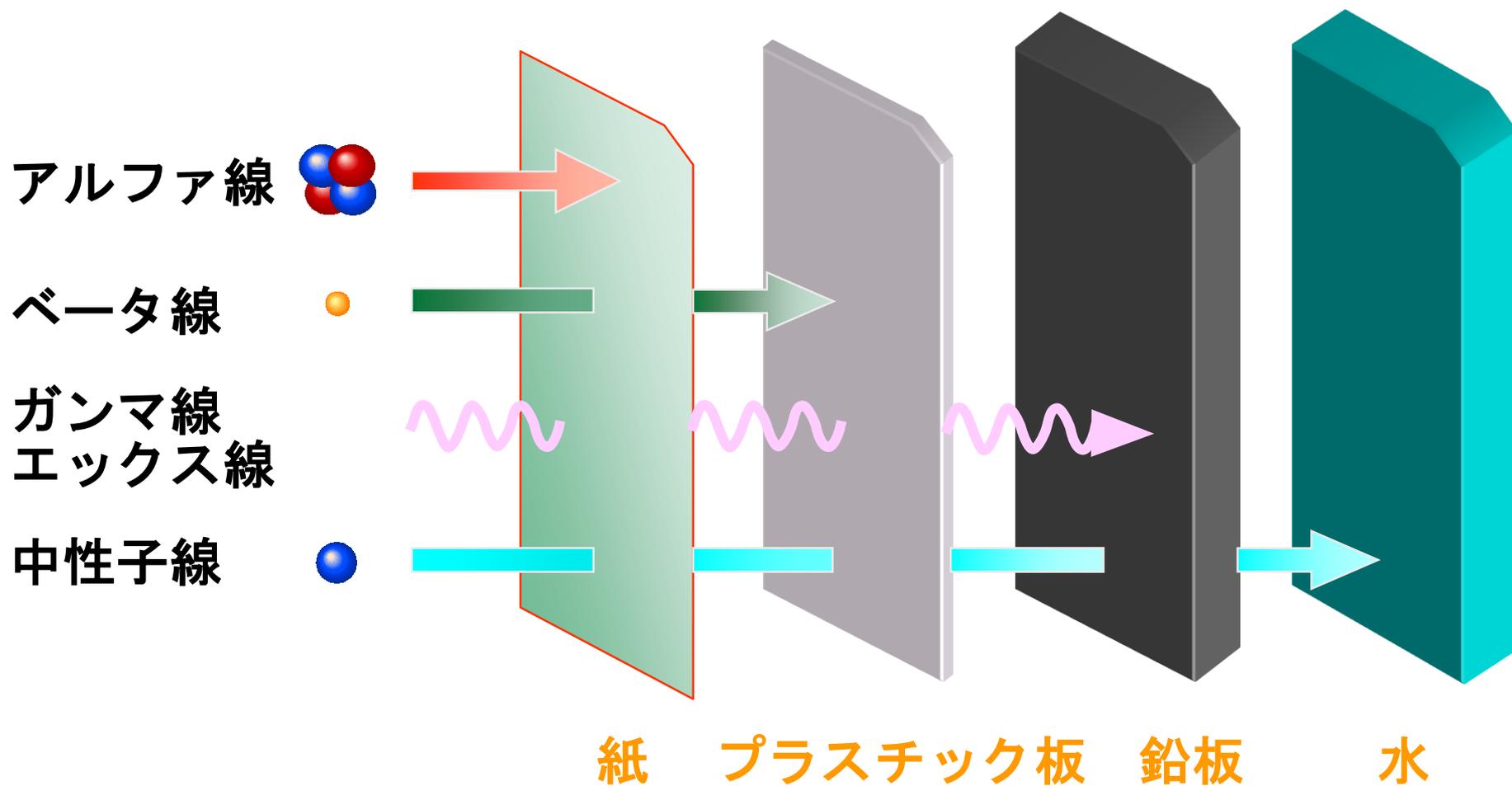


放射線が物質の中を通過するときには、持っているエネルギーをその道すじにある原子や分子に与え、**電離**や**励起**を起こす。

開放型 X 線による照射



放射線の透過作用



放射線の透過のちがい

α 線の遮へい(紙)



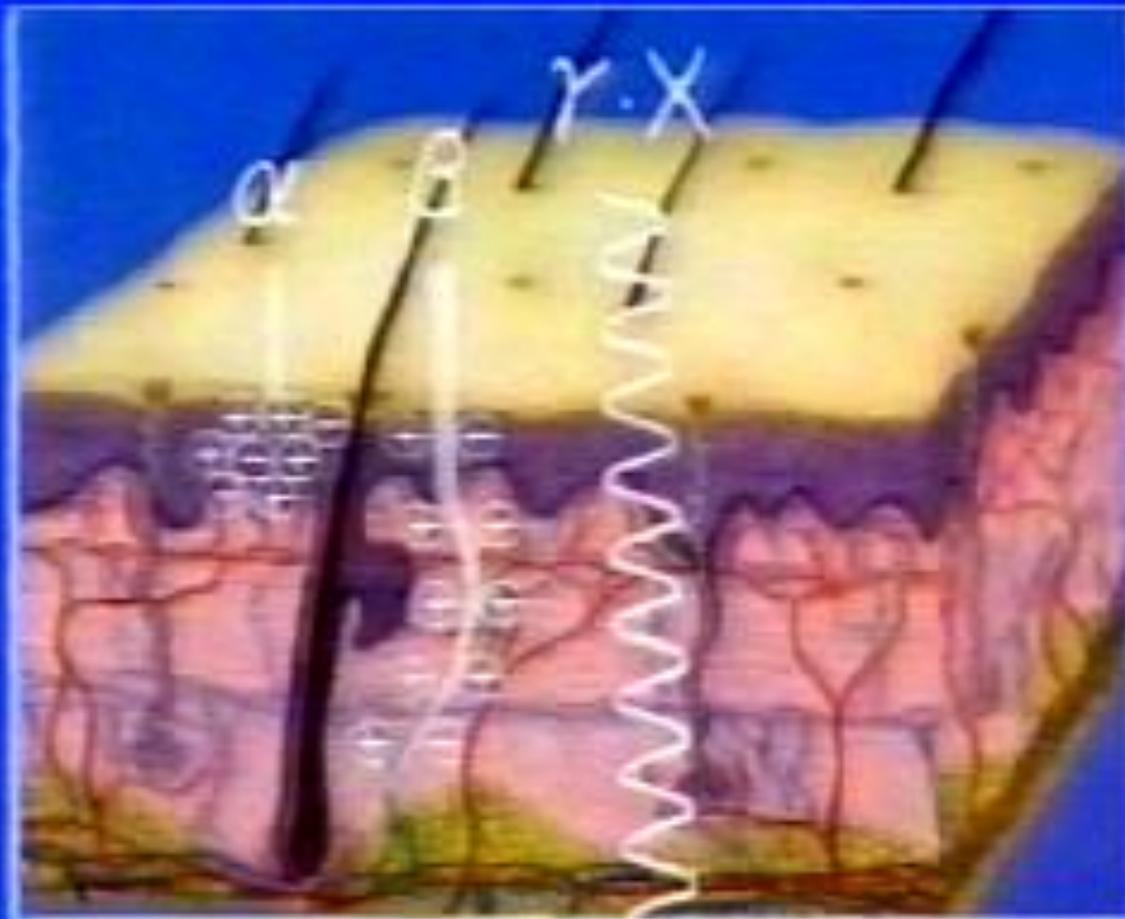
β 線の遮へい(アクリル板)



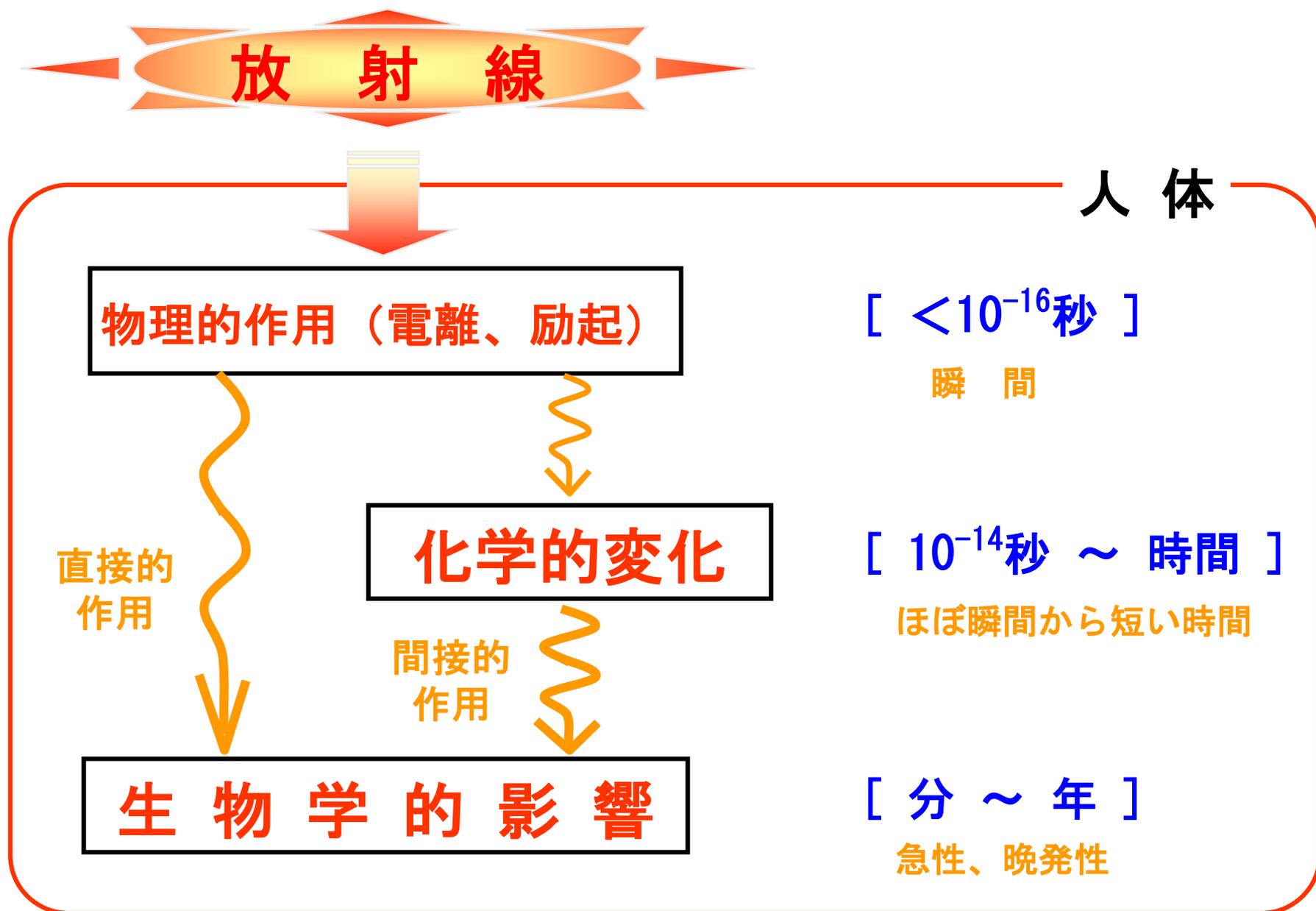
γ 線の遮へい(鉛板)



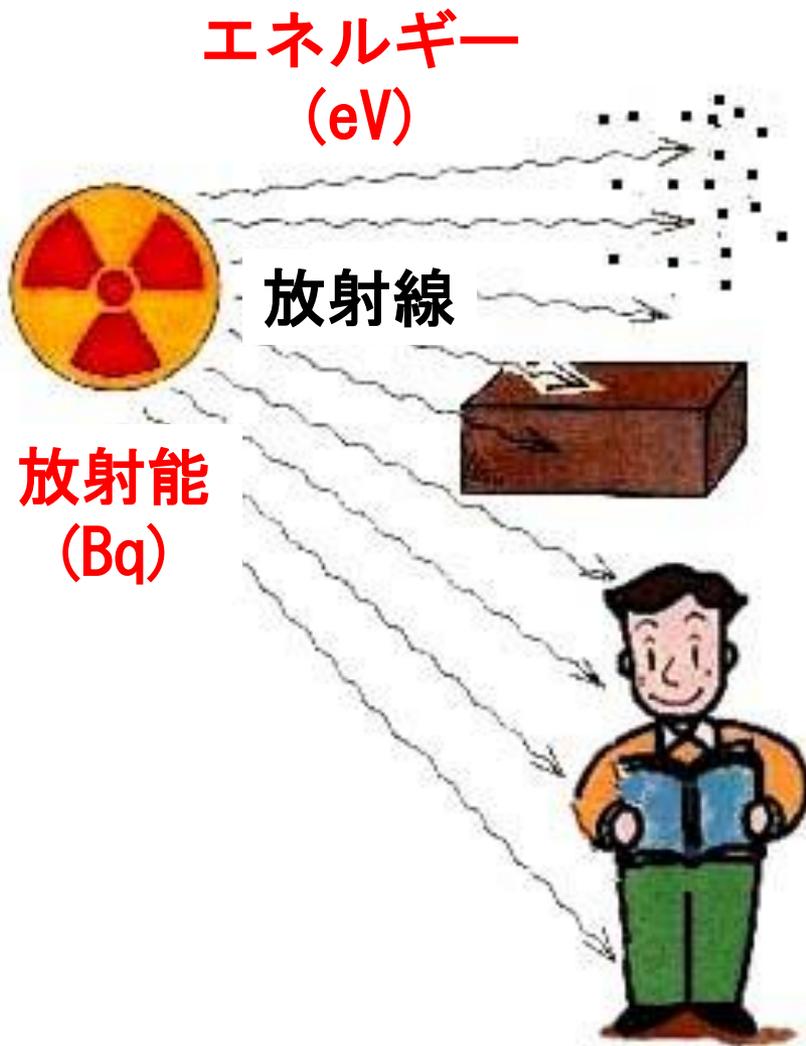
人体での透過



放射線が人体に当たると何が起こるか



放射線の単位



空気 照射線量 (C/kg)
 γ (X) 線が空気をどれだけ電離できるか

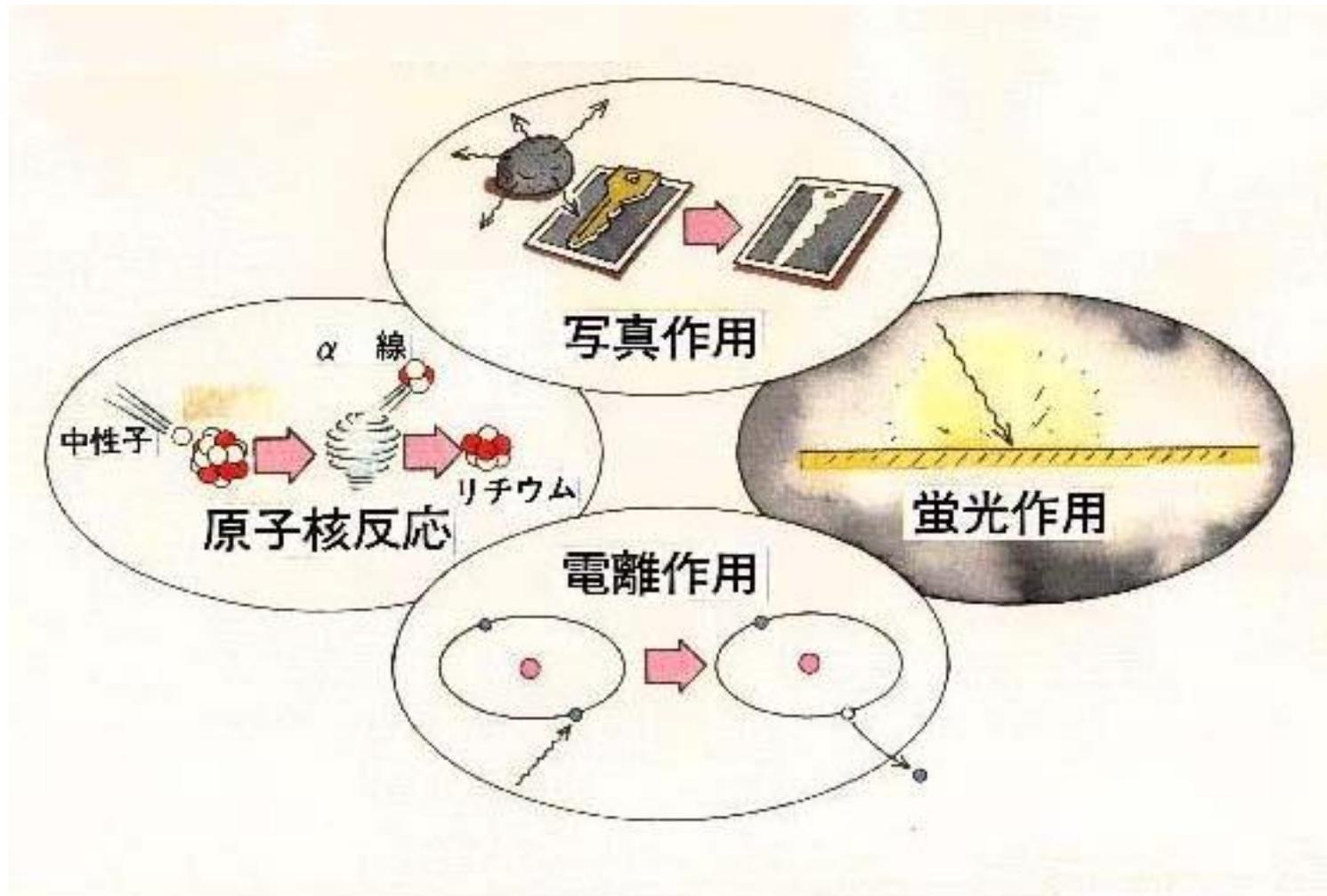
物質 吸収線量 (Gy)
 放射線のエネルギーがどれだけ物質に吸収されたか

人体 等価線量 (Sv)
 人体への影響はどれぐらいか

人体のある特定の組織が受けた線量 . . . 等価線量
 人体のいろいろな組織への影響を合計して評価する線量 . . . 実効線量

放射線の検出・測定

放射線と物質の相互作用

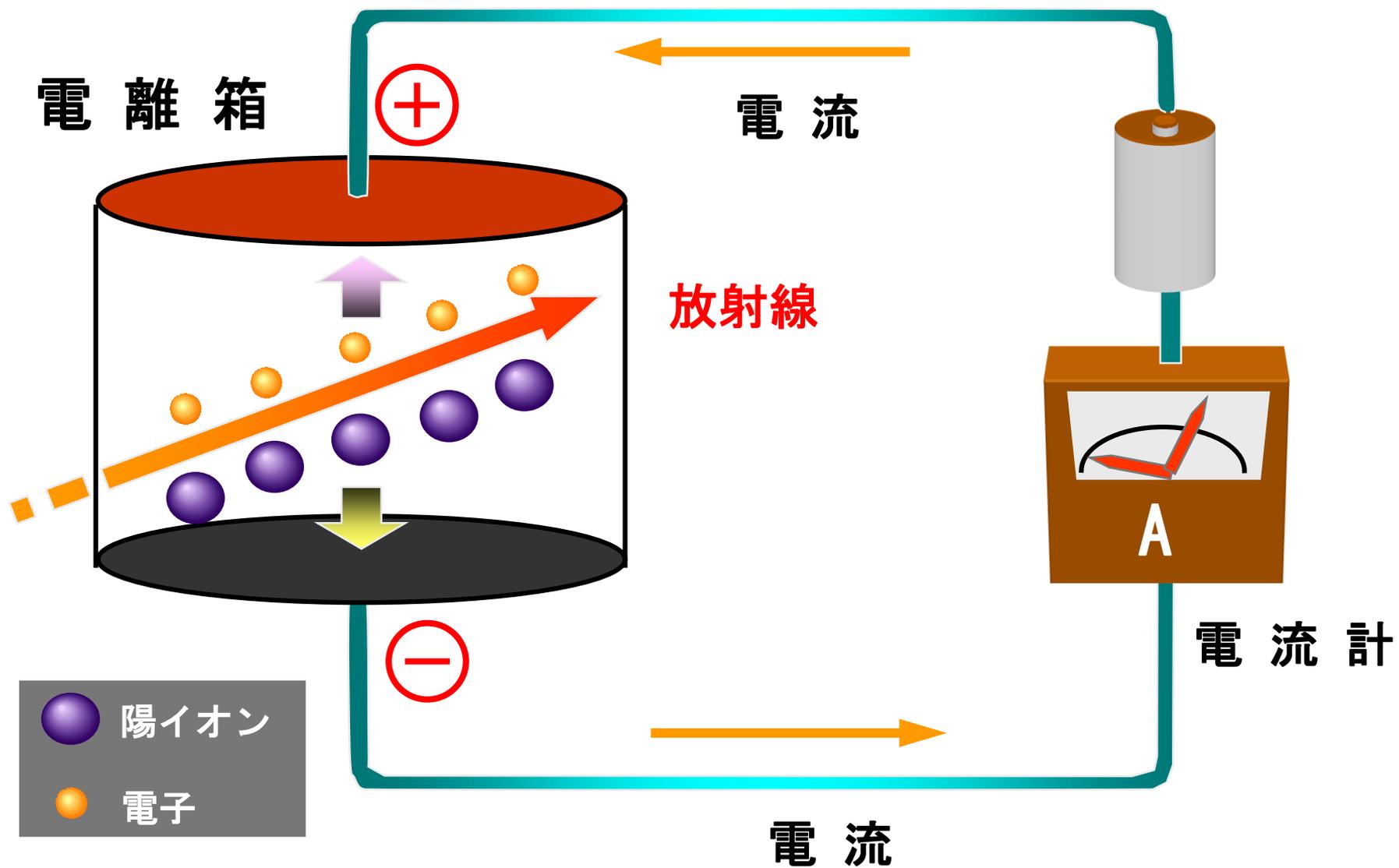


放射線は、物質にエネルギーを与える \Rightarrow 検出、測定
(電離、励起現象)

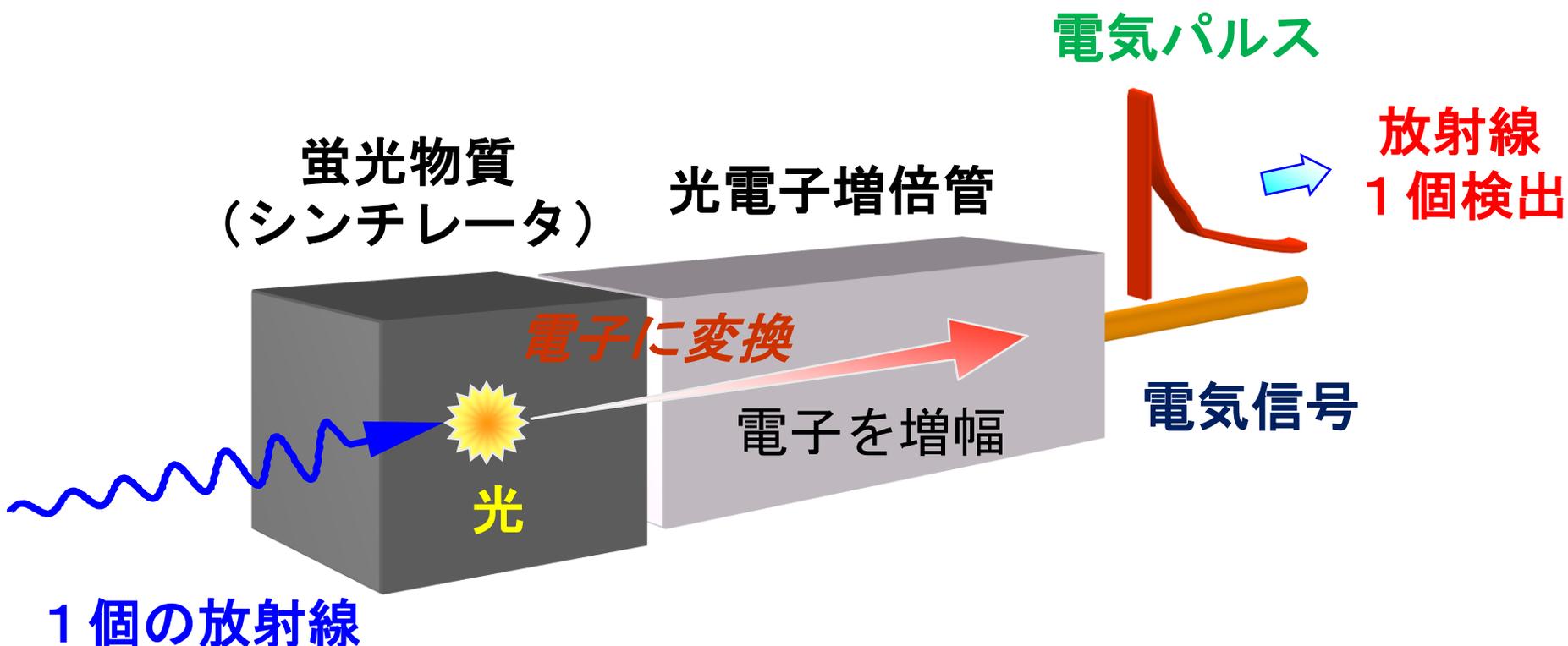
放射線の測定

1. 気体の電離作用を利用するもの
電離箱， GM計数管など
2. 固体， 液体の発光を利用するもの
シンチレーションカウンタ， 液体シンチレーション
カウンタ， 熱ルミネセンス（TLD）線量計など
3. 固体の電離作用（電子・正孔対）を利用するもの
半導体検出器
4. 化学作用を利用するもの
化学線量計， オートラジオグラフィ

気体の電離作用による検出



物質の蛍光作用による検出



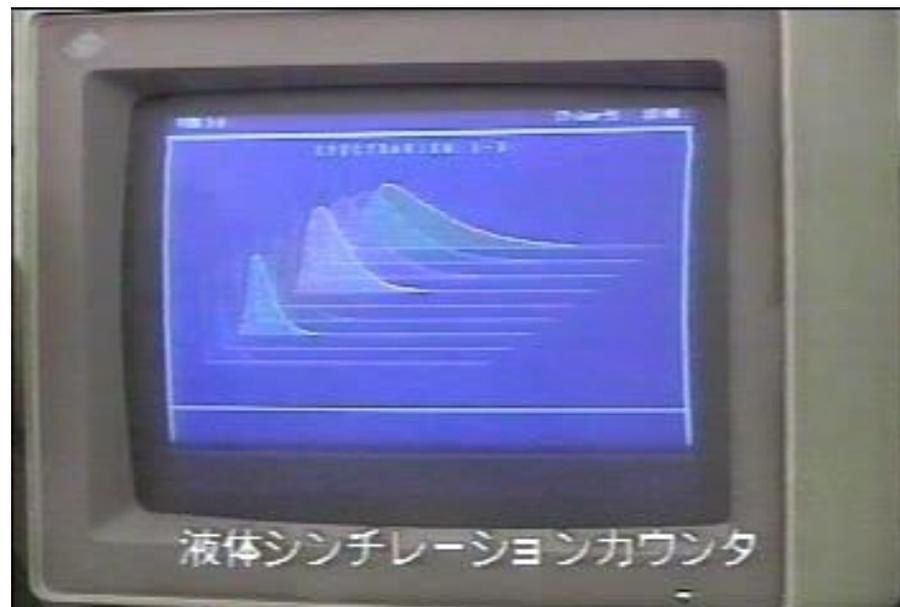
放射線 ⇒ 光 ⇒ 電気信号 ⇒ 測定

シンチレーション検出器

固体シンチレータ



液体シンチレータ



γ 線測定

β 線測定

放射線 \Rightarrow 光 \Rightarrow 電気信号 \Rightarrow 測定

放射線の測定（半導体検出器）

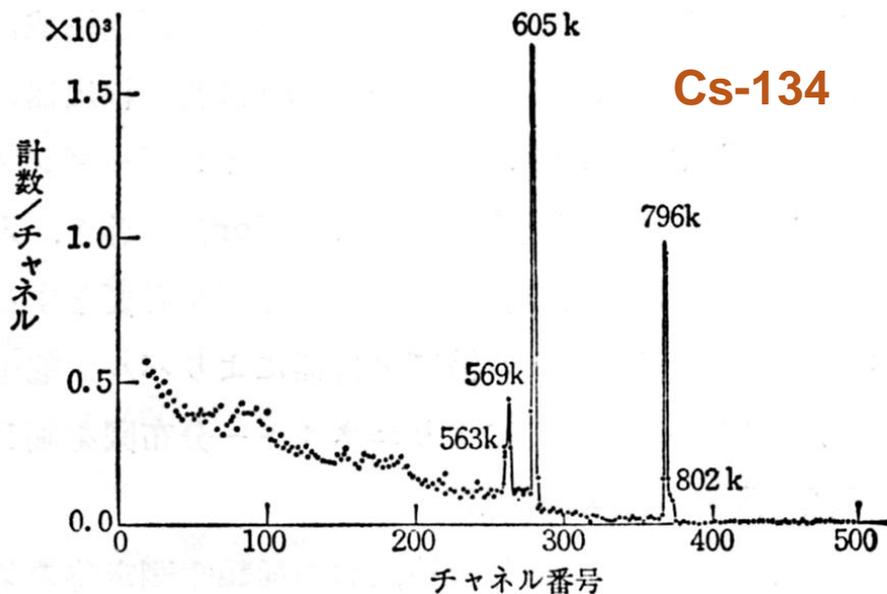
固体の電離作用（電子・正孔対） を利用するもの



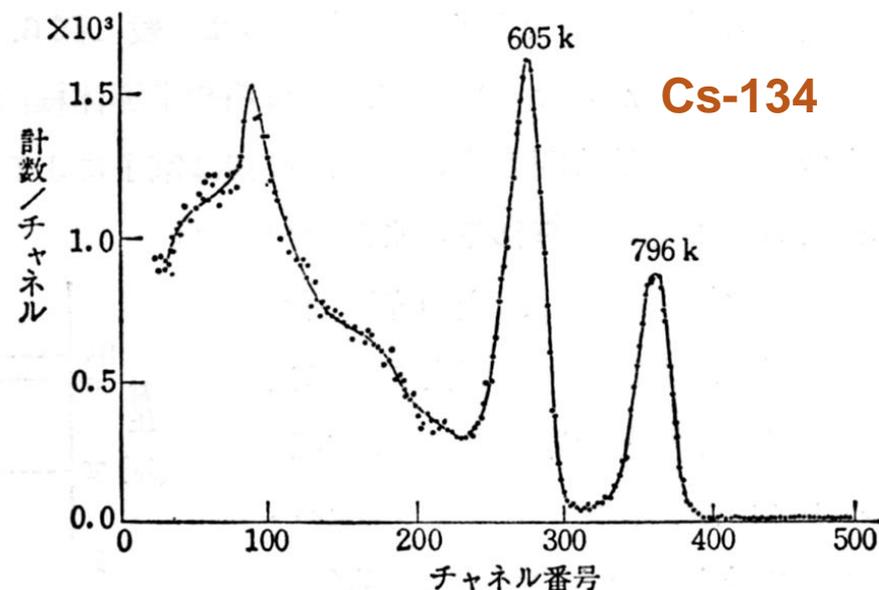
Ge半導体検出器システム

エネルギースペクトル分析の比較

Ge (Li) 半導体検出器



NaIシンチレーション計数管



サーベイメータ

ポータブル型放射線測定器



電離箱式



GM管式



シンチレーション式



放射線の検出

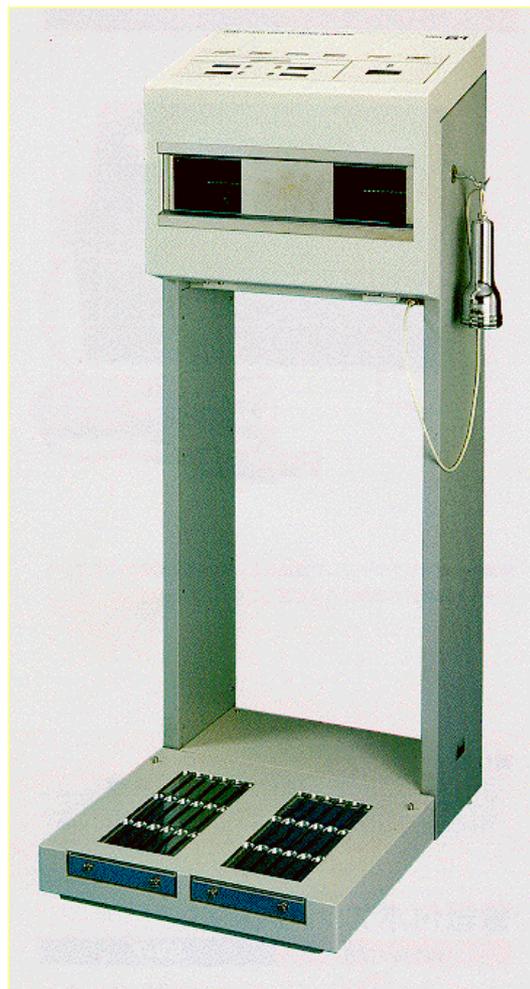
GMサーベイメータによる測定実習



RI汚染の発見

ハンドフットクロスモニタ

RI汚染検査 (管理区域退出時)



GM計数式



手・足のチェック



実験衣のチェック

個人被ばく線量測定器

放射線被ばく

放射線を浴びること	...	被曝	○
爆弾でケガをすること	...	被爆	×



OSL線量計
(バッジ型)

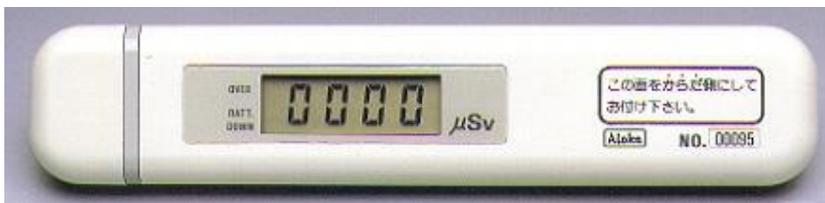


ガラス線量計
(バッジ型)

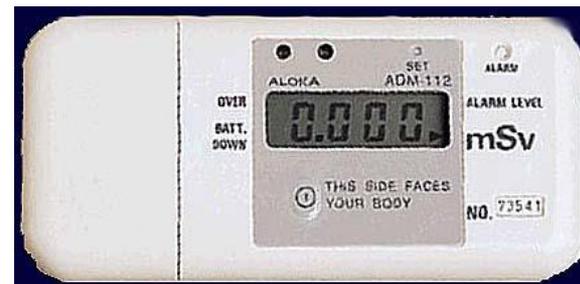


(指輪型)

- 定期的 (毎月) 交換
- 測定は業者へ依頼



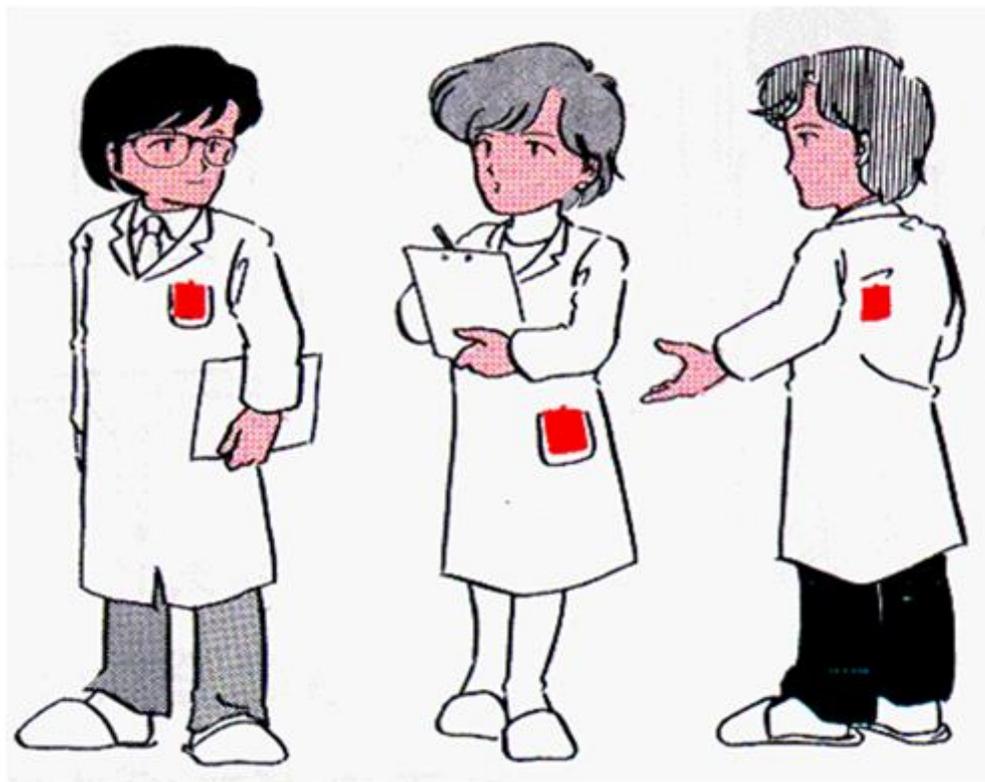
電子ポケット線量計 (直読タイプ)



アラームメータ

個人被ばく線量計の着用位置

外部被曝 に対する **等価線量** および **実効線量** の推定

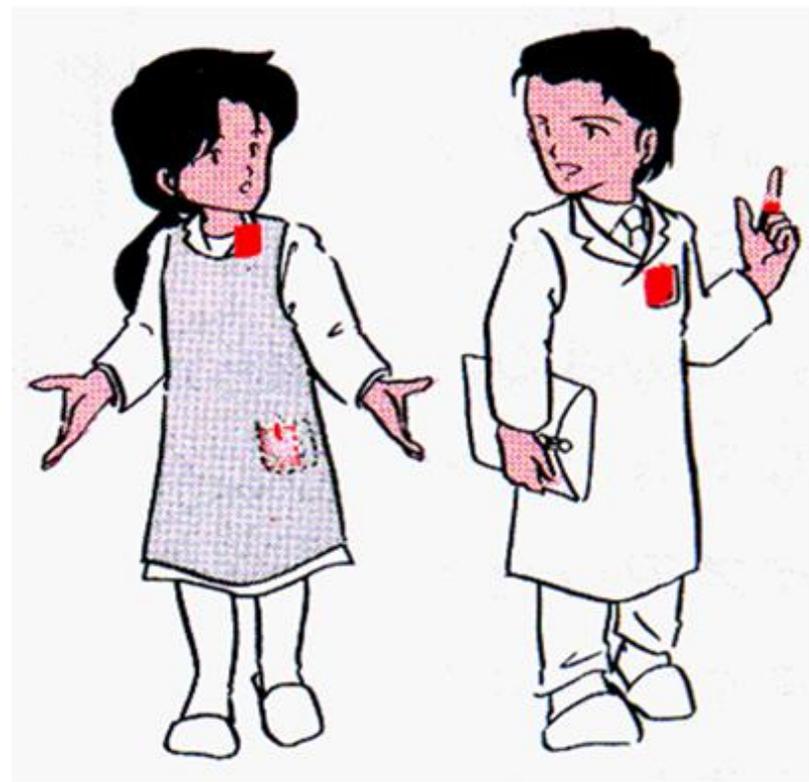


胸部

腹部

背部

単一使用



頸部
+ 防護衣内部

胸部
+ 指部

複数使用

内部被ばく線量測定

体内に摂取された**放射性物質**による**内部被ばく線量**を測定・推定

1. ホールボディカウンタ法

体内から直接放出される γ 線を外部検出器で測定

2. 鼻スミア法

吸入摂取の有無を判断する簡便法

ろ紙付きの綿棒で鼻腔内をスミアして試料採取

3. バイオアッセイ法

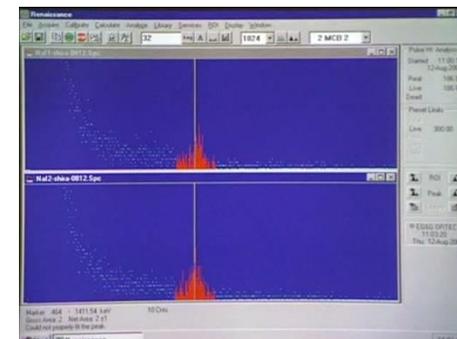
排泄物（尿，糞，唾液，呼気）や生体組織（皮膚，毛髪，血液）などに含まれている放射性物質の放射能を測定

4. 空气中放射能濃度測定法

現場でダストモニタやガスモニタで気体試料をサンプリングして空气中の放射能濃度を測定



立位型ホールボディカウンタ
(放射線総合医学研究所)



K-40測定結果