

放射線・放射能の基礎

原子力学会シニアネットワーク

野村 茂雄

私の紹介

岐阜県羽島市中島中学校(1964年卒)

岐阜高校(1967年卒)、

早稲田大学理工学部、大学院鉄鋼材料学専攻・工学博士(1977年卒)



野村茂雄

日本原子力学会シニアネットワーク(SNW)会員

E-mail : nomura.home.310@gmail.com

主な職歴

元日本原子力研究開発機構(JAEA) 理事

元原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF) 理事

元早稲田大学・東京都市大学 大学院共同原子力専攻 非常勤講師

日本原子力学会会長(2012-13年)

専門分野

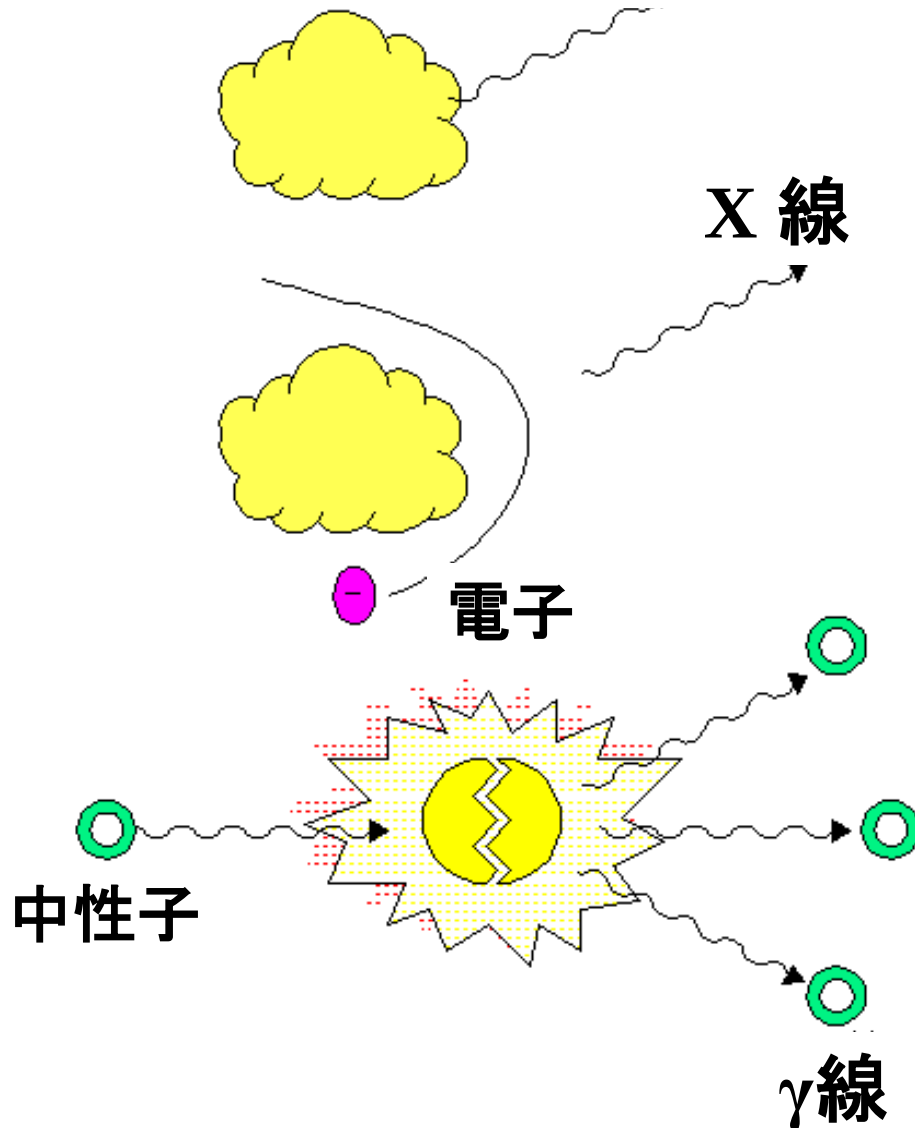
原子炉構造、核燃料・原子力材料、核燃料サイクル、放射性廃棄物の処理・処分、原子力施設の管理と廃止措置、鉄鋼材料全般

資格

核燃料取扱主任者、第一種放射線取扱主任者、第一種衛生管理者、危険物取扱者甲種、甲種防火管理者、第二種電気工事士

各種放射線の発生機構

α 線(Heの原子核)、 β (電子)、 γ 線(電磁波)



原子核の壊変

不安定な原子核のもつ余分なエネルギーを放射線の形で放出し、安定な状態になる。

制動放射

高速の電子(β 線)が原子核の近くを通過する際、電子は原子核からのクローン力によってその進路を曲げられ加速度を受ける。この電子が減速されて失ったエネルギーを電磁波(X線)のエネルギーとして放出する。

核分裂

ウラン235などの核分裂性物質が中性子を吸収した後に、核分裂を起こして元の大きさの半分くらいの核に分裂するとき、熱とともに中性子、 γ 線を放出する。

この他、加速器で作られる陽子線、宇宙から飛んでくるミュオンなどもある。

放射線・放射能について

放射線は、私たちの身の回りに日常的に存在し、放射線を受ける量をゼロにすることはできない。空気や食べ物などにも常に放射線を出す物質（放射性物質）が存在している。

病院では放射線が検査や治療に利用されている。さらに、放射線は工業分野では製品開発、農業分野では品種改良などに利用され、私たちの生活を豊かにしている。

このため、まずは放射線の種類や性質、放射線による影響について、しっかりと理解することが重要。その上で、放射線がどのようなことに使われていて、どのような影響があるのかを知ることで、私たち一人一人が今後の放射線との向き合い方を考えていくことが大切。

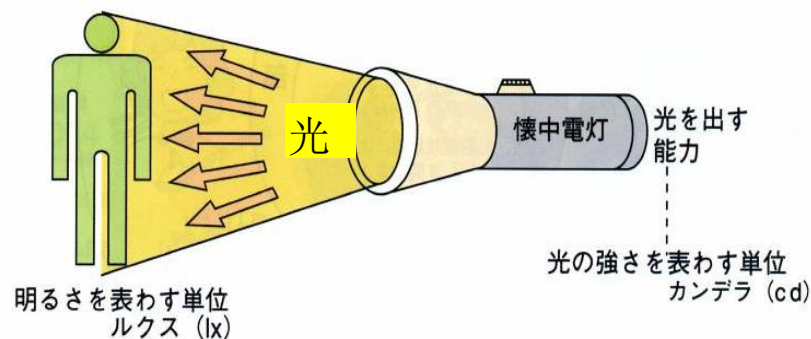
放射線、放射性物質、放射能の違いは何か？

全ての物質は原子でできている。

原子の大部分は、安定した性質をもち、他の原子に変わることはない。

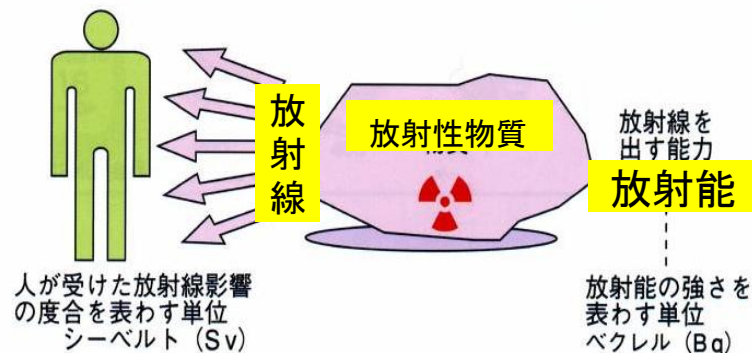
原子の中でごく一部のものは 不安定な性質を持ち、原子から**エネルギー**を放出し、別の原子に変わろうとする（原子核壊変）。

- この時放出するエネルギーが「**放射線**」
- 放射線を出す物質のことを「**放射性物質**」
- 放射性物質の原子核が壊変して放射線を出す能力を「**放射能**」という。

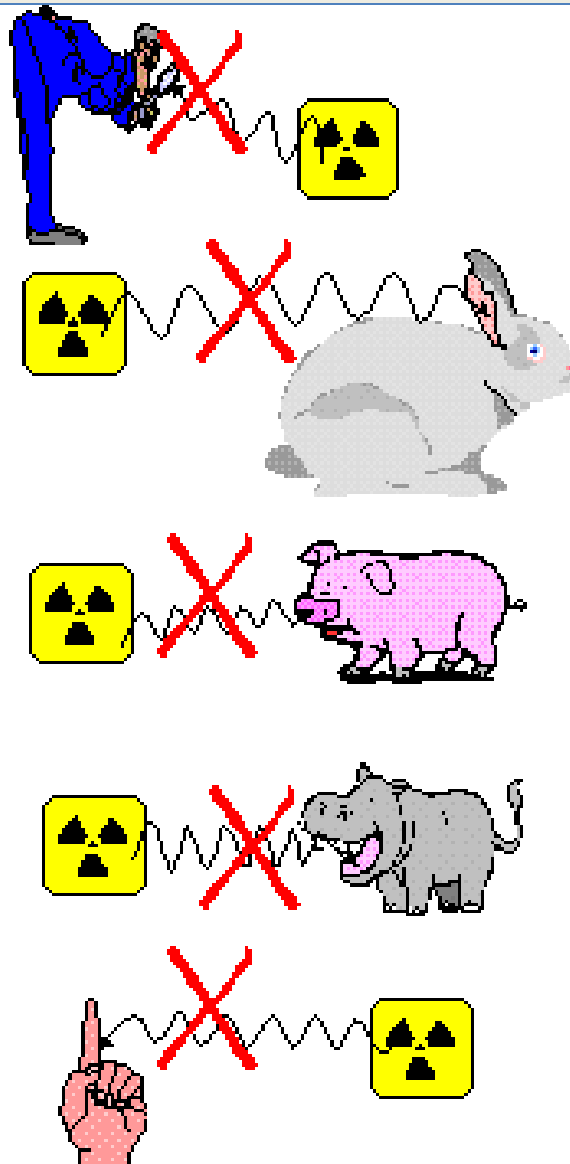


放射線発生装置

加速器、原子炉、検査・医療用機器。。。宇宙空間 など

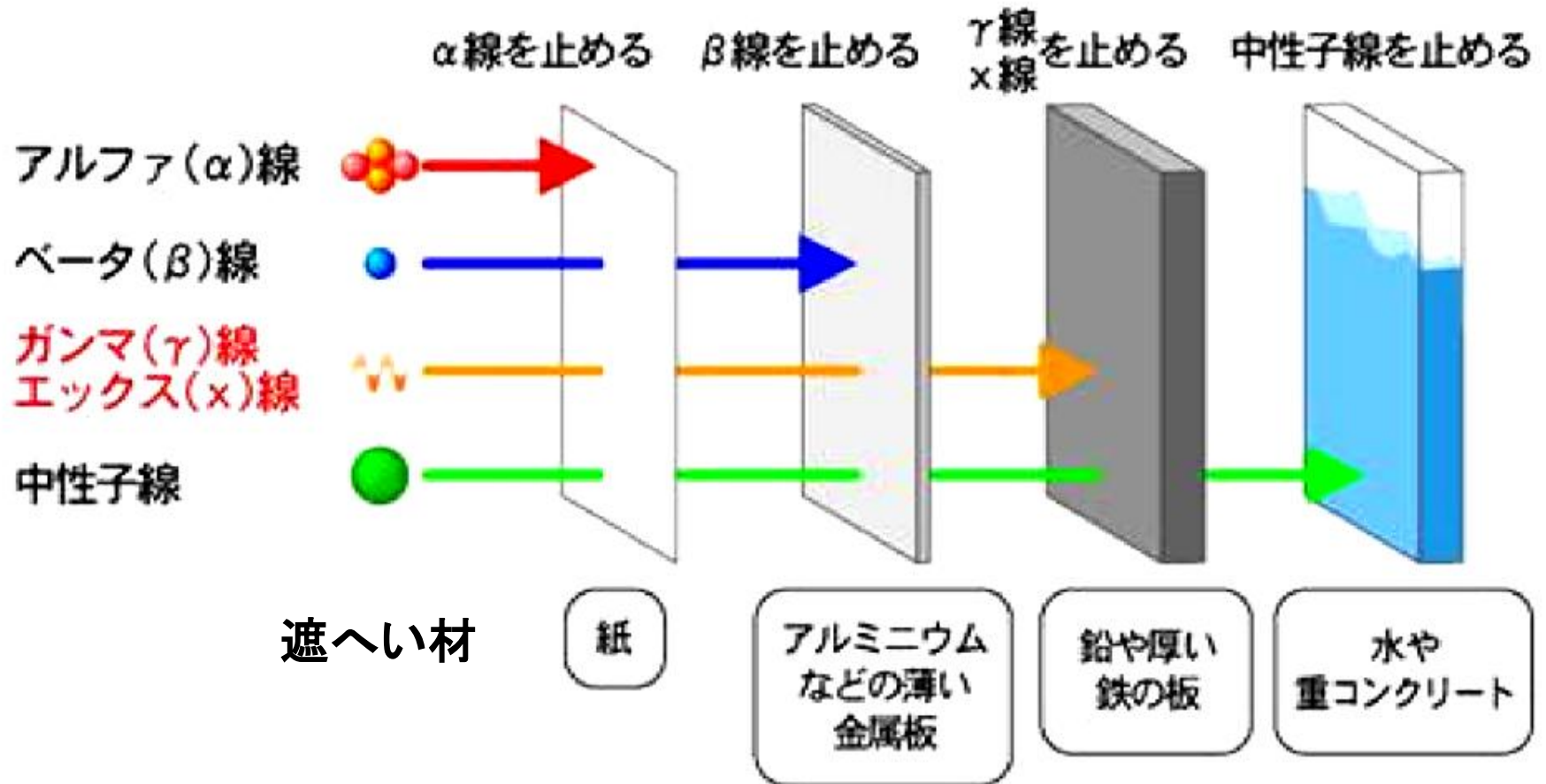


放射線は、五感で感じない



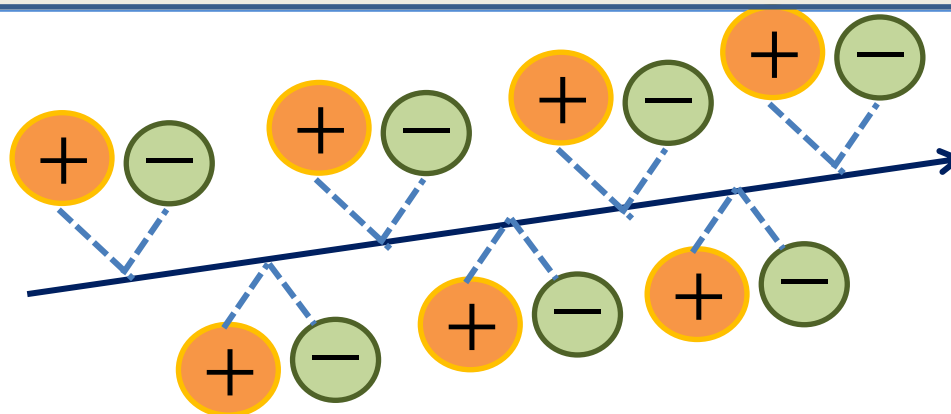
放射線の性質

放射線は種類によって、物質を突き抜ける力(透過力)が違う

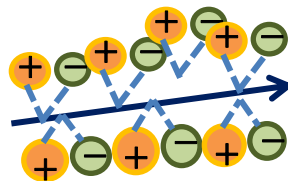


放射線が飛ぶ道には、+とーの電気ができる

放射線

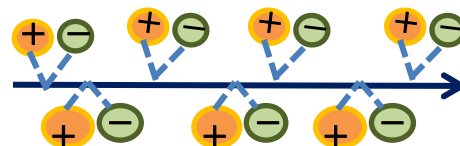


アルファ線

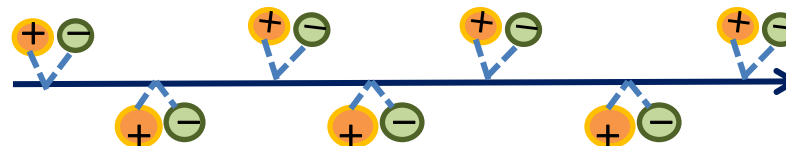


- ・ 放射線が+とーの電気を作ることを「電離」という。
- ・ 放射線の種類によって電気のでき方は異なる。

ベータ線



ガンマ線



- この原理を利用し
- 1) 放射線を測ることができる。+とーの電気を集め、その量を測る。
 - 2) 物(材料)の性質を変え、強くすることができる。
 - 3) 細菌、がん細胞を退治。
 - 4) 生物の細胞や遺伝子に傷を与え、大量に浴びると、障害が出る。
 - 5) 湿気の高い空気のなかで水滴をつくるもととなる。霧箱の実験。

放射能・放射線の単位

- 放射能の単位:ベクレル[Bq]

放射性物質中で毎秒何個の原子の崩壊があるかを計る
放射線を出す能力を表す(放射能の強さ)



ボクサーによるパンチの

数

1秒間に出されるパンチは
Bqで計る

- 放射線の単位:吸収線量 グレイ[Gy]

これら崩壊中に放出されたエネルギーの積算量を計る
放射線のエネルギーが物質にどれだけ吸収されたかを表す



強さ

パンチの強さに依存する
エネルギーはGyで計る

- 放射線の単位:実効線量 シーベルト[Sv]

生物に照射されたエネルギーによって引き起こされる
生物的な損傷の程度を計る、
放射線を受けたときの影響の程度を表す



種類

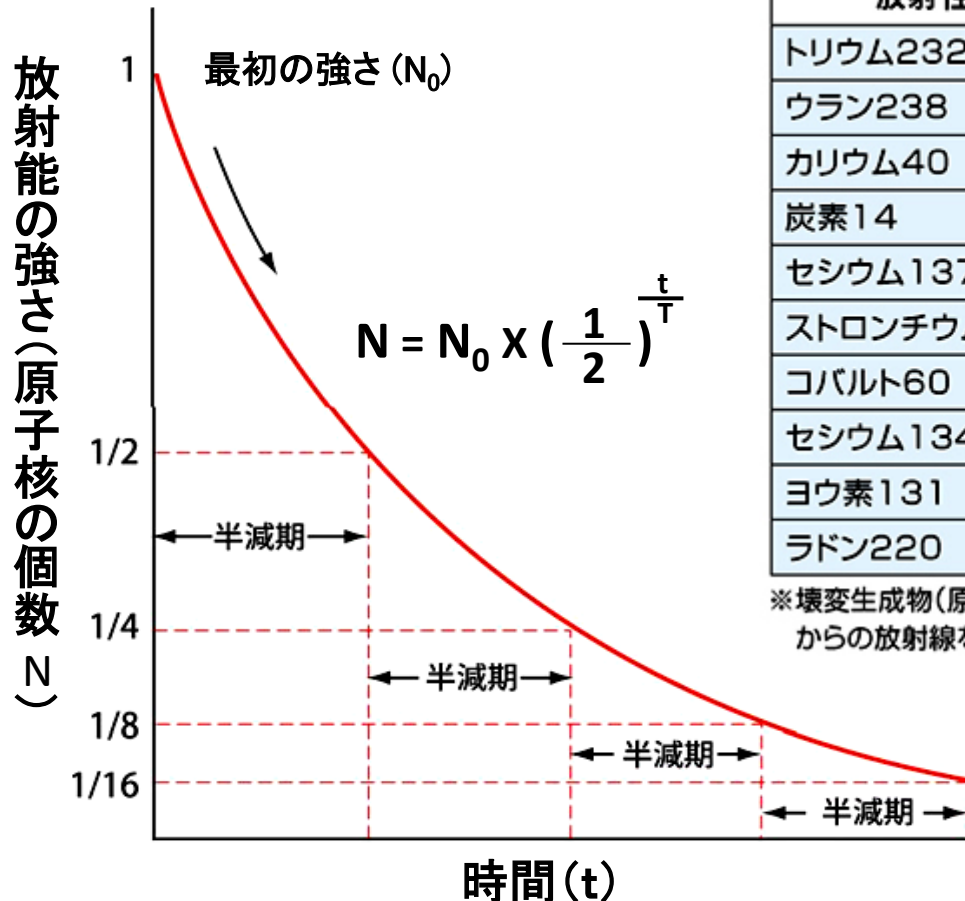
相手に与えるパンチの効果
パンチの種類(アッパーカット、
フック)、すなわち放射線の
種類や放射性物質の種類と
衝撃点によって異なるが、こ
れはSvで計る。

良く使われる単位 : mSv, μ Sv, nGy, Bq

$$1\text{ Sv} = 1,000\text{ mSv} = 1,000,000\mu\text{Sv} \quad 0.001\mu\text{Sv} = 1\text{ nSv}$$

放射能の物理的半減期

放射性物質は、原子核がエネルギー的に不安定な状態にあり、余分なエネルギー（放射線）を出して、安定な状態に変わろうとする。放射性物質の原子核が変化し、放射線を出してエネルギー的に安定になれば、放射線を出さなくなる。放射性物質の中には、安定になるまで原子核の変化を複数回繰り返すものもある。

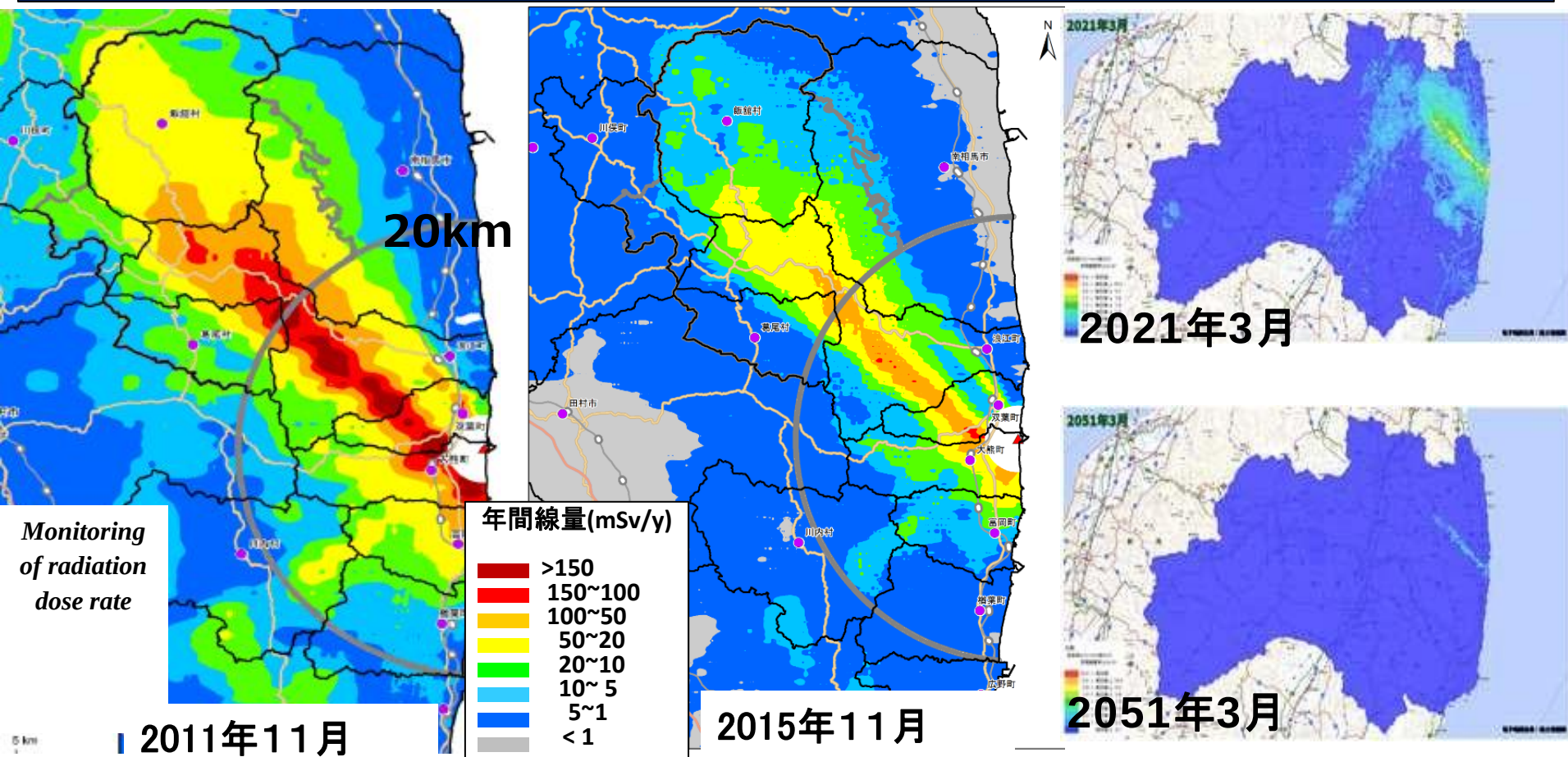


放射性物質	放出される放射線※	半減期
トリウム232	α 、 β 、 γ	141億年
ウラン238	α 、 β 、 γ	45億年
カリウム40	β 、 γ	13億年
炭素14	β	5730年
セシウム137	β 、 γ	30年
ストロンチウム90	β	28.7年
コバルト60	β 、 γ	5.3年
セシウム134	β 、 γ	2.1年
ヨウ素131	β 、 γ	8日
ラドン220	α 、 γ	55.6秒

※壊変生成物(原子核が放射線を出して別の原子核になったもの)からの放射線を含む

放射能の強さは、放射線を出しながら、時間と共に減少。
不安定な原子核が崩壊して半分になる時間を「**半減期 T** 」という。

除染や自然減衰による環境回復 (事故直後2011年と2015年の比較)



- 2011年3月に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故により、放射性物質(主にCs137、半減期30年)が環境中に放出され、広域の放射能汚染が発生。
- 国主体の広域除汚染除去や自然減衰などにより放射線量は、大幅に低減し、2024年時点で、国内外の主要都市とほぼ同じ水準になっている。

体内に入った放射性物質はいつまで留まるか！

「生物学的半減期」

体内又は特定の組織や器官に取り込まれた放射性物質が、代謝により排出されることによって、半分になるまでの時間。

「有効(実効)半減期」

体内に取り込まれた放射性物質は、新陳代謝や排泄などの過程により体外に排泄される。取り込み量の半分になるまでの時間。

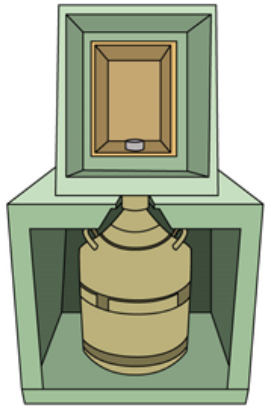
元素	対 象	生物学的 半減期(T_B)	物理的 半減期(T_P)	有効(実効) 半減期(T_E)
ヨウ素	乳児	11日	8日(I-131)	4.6日
	5歳児	23日		5.9日
	成人	80日		7.3日
セシウム	1歳まで	9日	30年(Cs-137) 2年(Cs-134)	9日
	9歳まで	38日		38日
	30歳	70日		70日
	50歳	90日		90日

$$1/T_E = 1/T_B + 1/T_P$$

(食品安全委員会(内閣府))

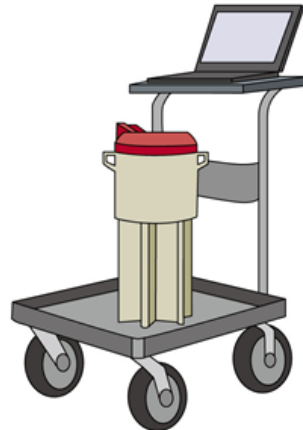
放射線は簡単に見つけ、測ることができる

放射線は、見えない、臭わないなど人間の五感に感じないが、適切な測定器を利用して数値や画像で確かめられる。



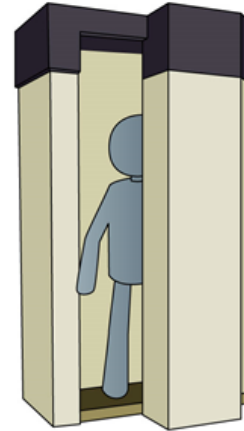
Ge半導体検出器

食品や土壌の放射能測定に用いられる。低レベルの放射能濃度測定に効果的。



NaI(Tl)食品モニタ

食品等の効率的な放射能測定に適している。

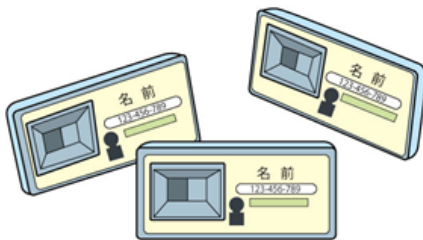


ホールボディ・カウンタ

多数のシンチレーションカウンタなどを用いて、 γ 線核種の体内放射能蓄積を評価する。



シンチレーション式サーベイメータ (空間線量率計)



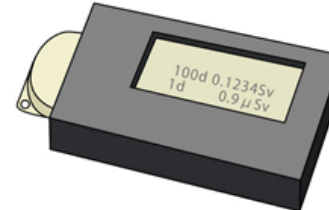
積算型個人線量計

1か月～3か月間体幹部に装着し、その間に被ばくした積算の線量を測定する。



電子式個人線量計

線量率や一定時間の積算線量を示す表示装置があり、放射線取扱施設への一時立ち入り者の被ばく線量測定・管理などに便利。



GMサーベイメータ (汚染検査・空間線量率測定用)

放射線の電離作用を利用 : GM計数管、半導体検出器等
蛍光作用を利用 : シンチレーション・サーベイメータ、蛍光ガラス線量計等

気象観測と一体化した放射線測定装置

この装置は、新たに気象観測と空間線量率を同一地点で観測できます。市街地、山間部の任意の場所における気象及び空間線量率の長期経時変化を監視します。

2012年11月に福島県内の特別除染区域(飯舘村, 浪江町, 川俣町, 富岡町)に設置した4台については、モデル除染事業のフォローモニタリングに活用されます。(設置台数: 試作機3基、製品4基)

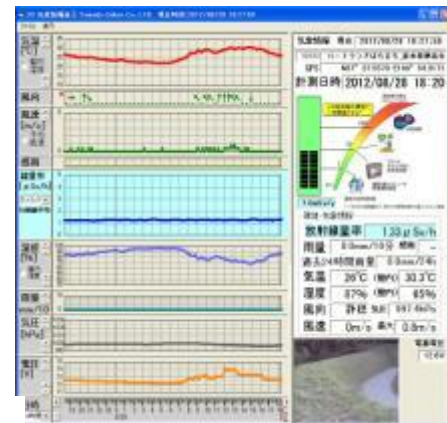


仕様	
気象観測項目	気温、湿度、気圧、雨量、風向、風速
放射線測定部	検出素子: シリコン半導体 測定放射線: γ 線 測定範囲: 0.01 ~ 99.99 $\mu\text{Sv/h}$ エネルギー範囲: 60keV ~ 1.25MeV
太陽電池	DC12V-85W
観測データ 転送間隔	10分
カメラ静止 画像間隔	10分
位置情報	GPSシステム
装置サイズ	高さ2.8m、重量 50kg

気象・放射線情報
伝送イメージ

装置外観

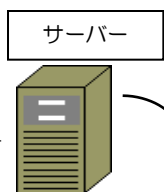
画面イメージ



山田技研株式会社(福井県福井市)と(独)日本原子力研究開発機構が共同研究で開発したものです。

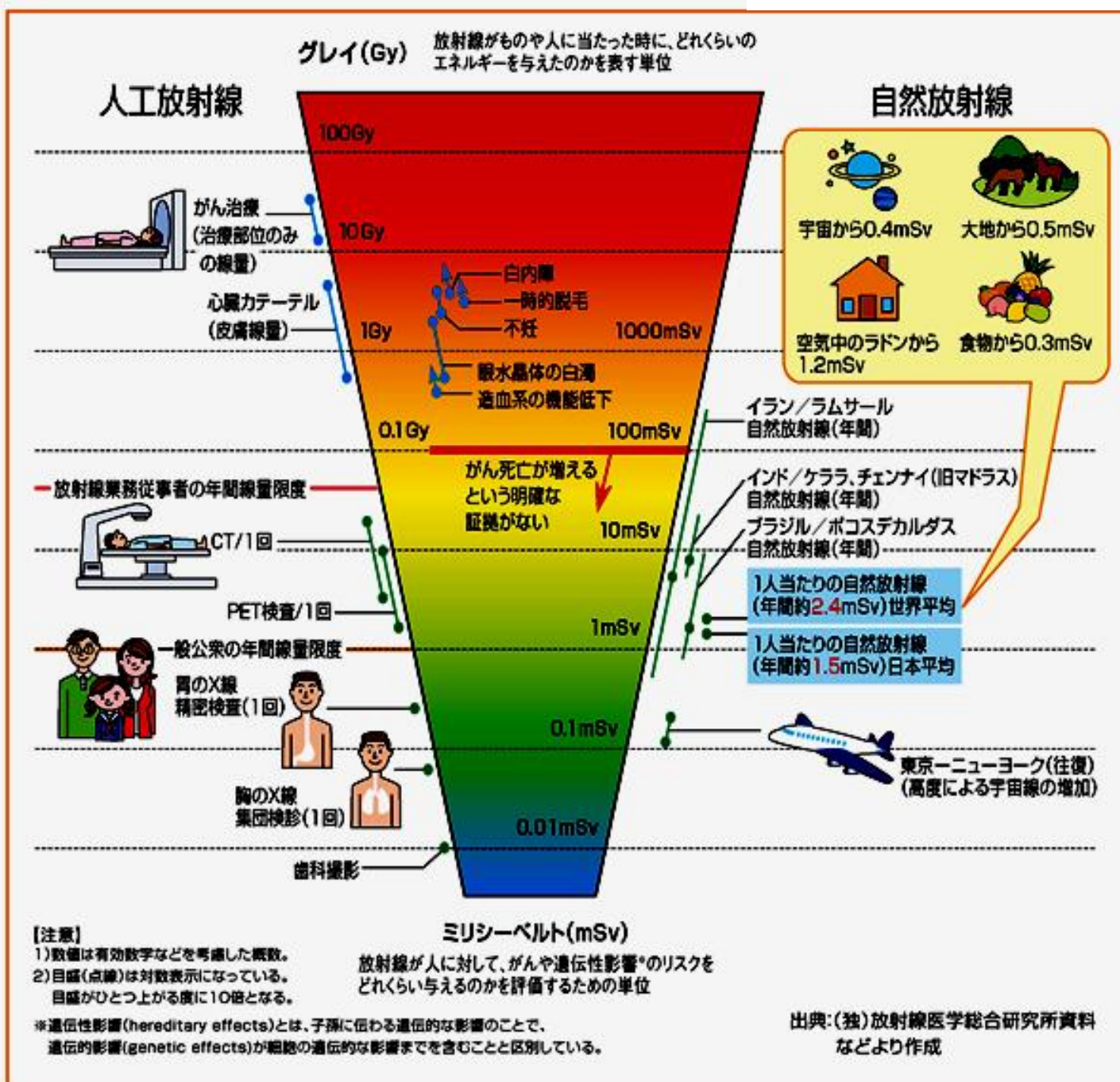


NTT FOMA
インターネット

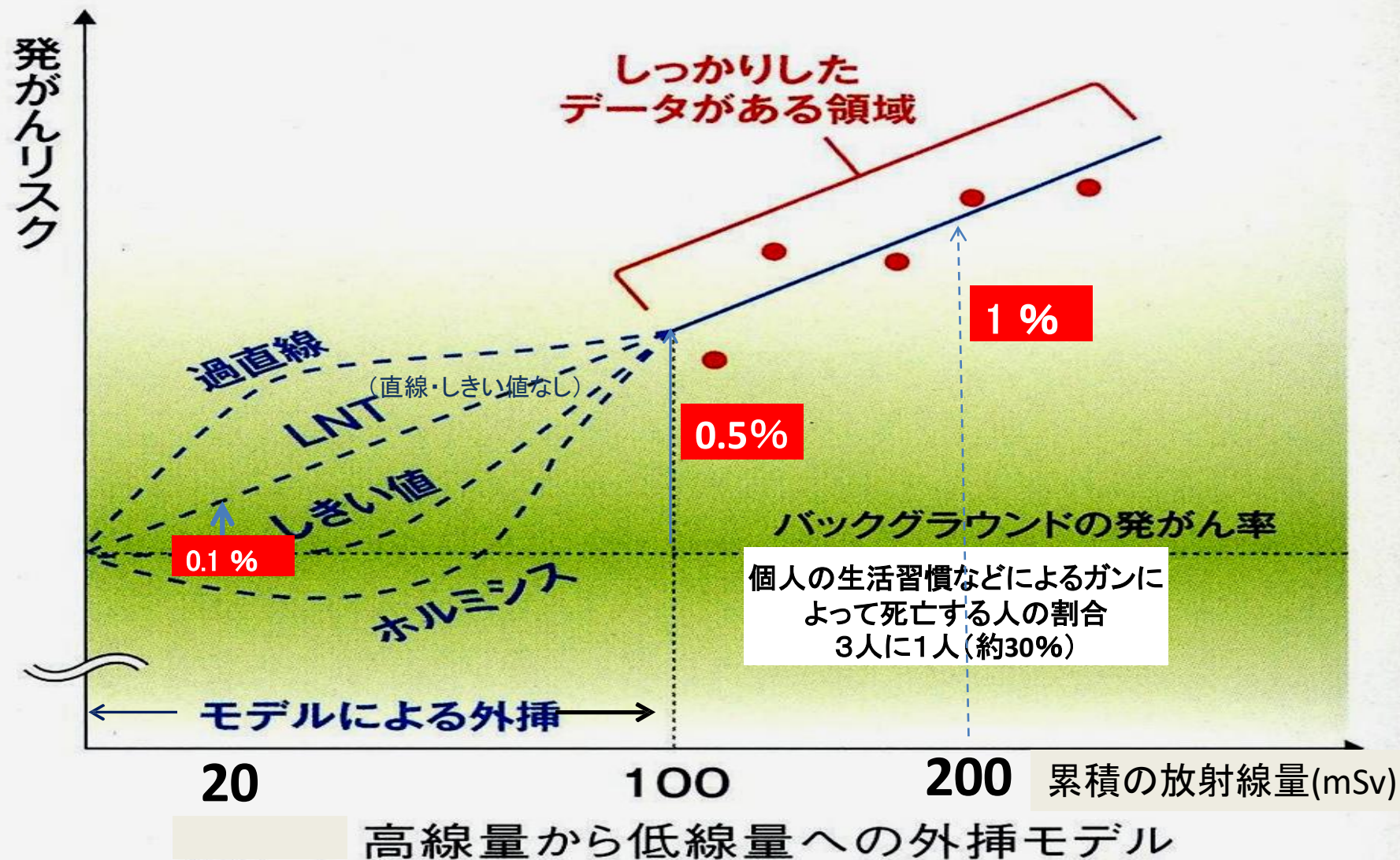


インターネット



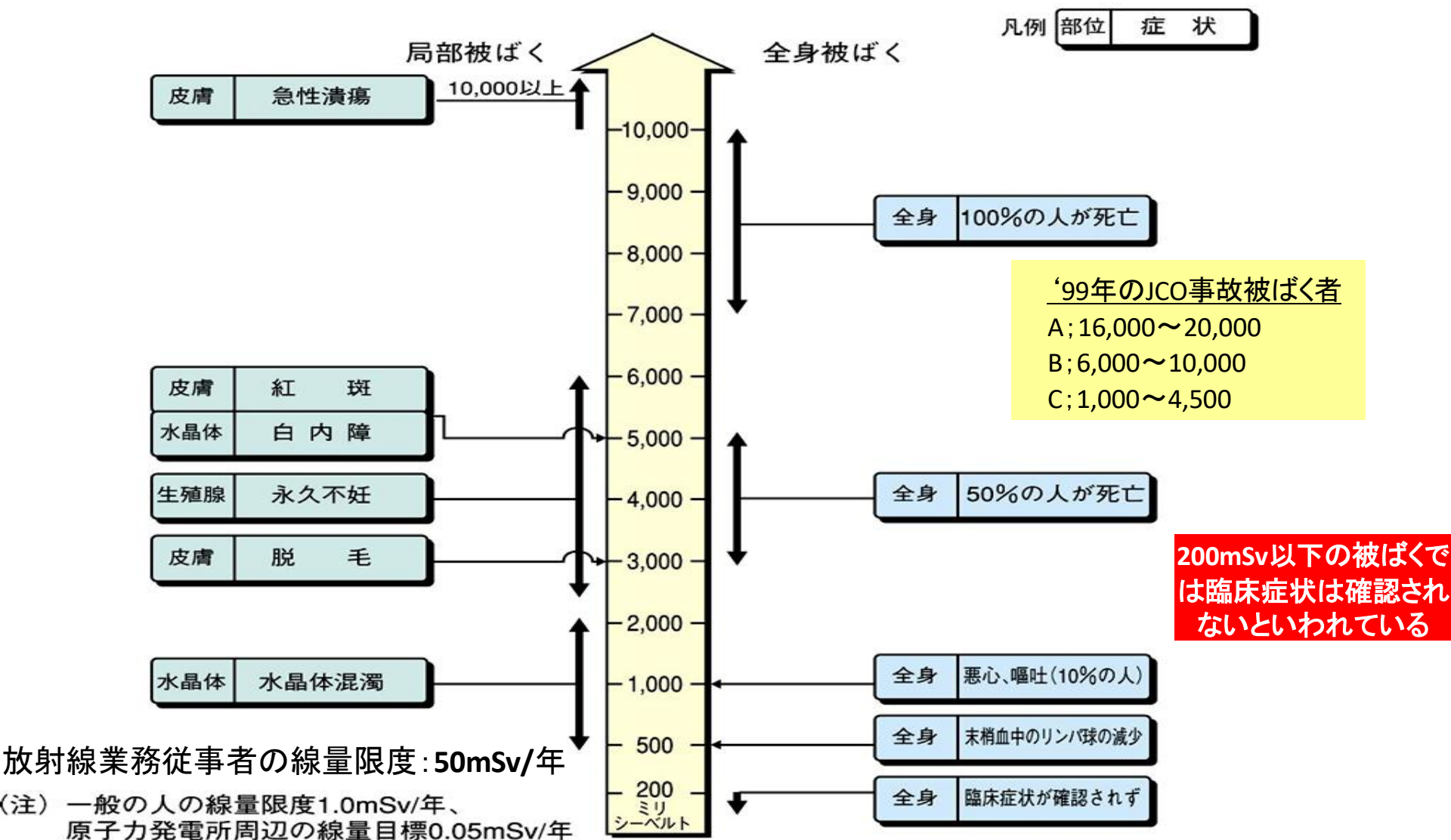


放射線被ばくの人体への影響 (確定的影響)



急性の放射線影響

(単位mSv)



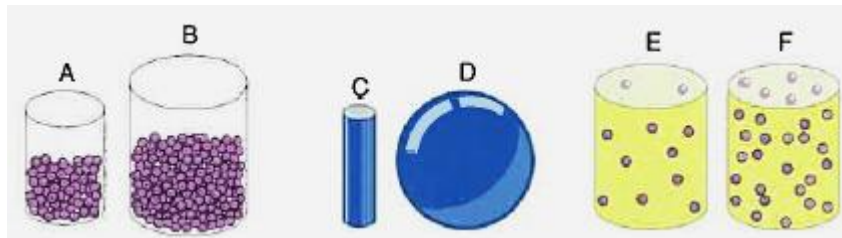
日常、我々は自然放射線の環境下で生活しているので、放射線を怖れる必要はない。
しかし過度の放射線をあびることは、極力避けなければならない。

参考: JCO濃縮ウラン臨界事故 1999年9月30日

「臨界事故」 JANTI(日本原子力技術協会) 2008

- JCO東海事業所の核燃料加工施設内で、濃縮ウラン溶液処理中に、ウラン溶液が臨界状態に達し核分裂連鎖反応が発生。この状態が約20時間持続。これにより、至近距離で中性子を浴びた作業員3名中、2名が死亡、1名が重症となった他、667名が被曝。
- 濃度の異なる硝酸ウラニル溶液を混合して均一濃度の製品に仕上げる均質化工程において、臨界に至りづらい形状の「貯塔」(背が高く、内径が狭い)を使用すべきところを、臨界安全形状に設計されていない「沈殿槽」(背が低く、内径が広く、冷却水ジャケットに包まれている)を使用し、臨界質量以上のウランを含む硝酸ウラニル溶液を注入。臨界管理しない独自判断で作業効率を優先。
- 表面積が小さく、中性子が容器外に出にくい構造の上、水冷ジャケットがあり中性子が反射される。このため、背の高い貯塔では起こらなかった臨界状態が、沈殿槽の使用で起こった。
- アルゴンガス注入による冷却水の抜き取り、ホウ酸投入などの作業を行い、連鎖反応を止めることに成功し、事故は収束。

臨界管理法



質量管理

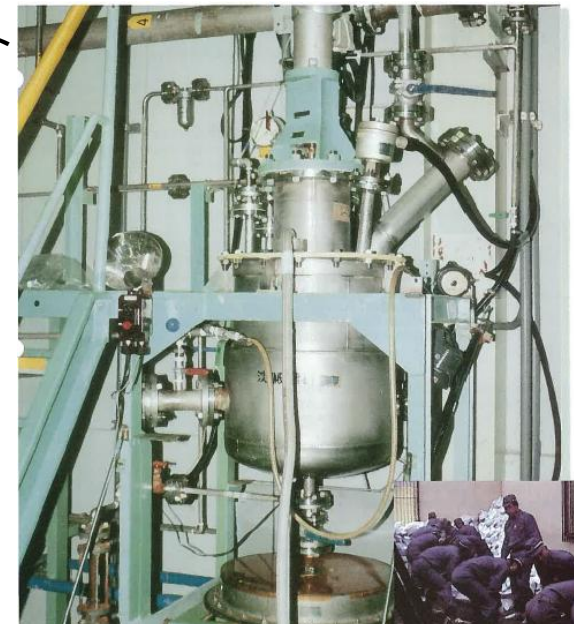
最初から入る量を制限
→小さいAの方が安全

形状管理

球体のものは中性子が外に逃げ難いので、連鎖反応が起きやすい→棒状のCの方が安全

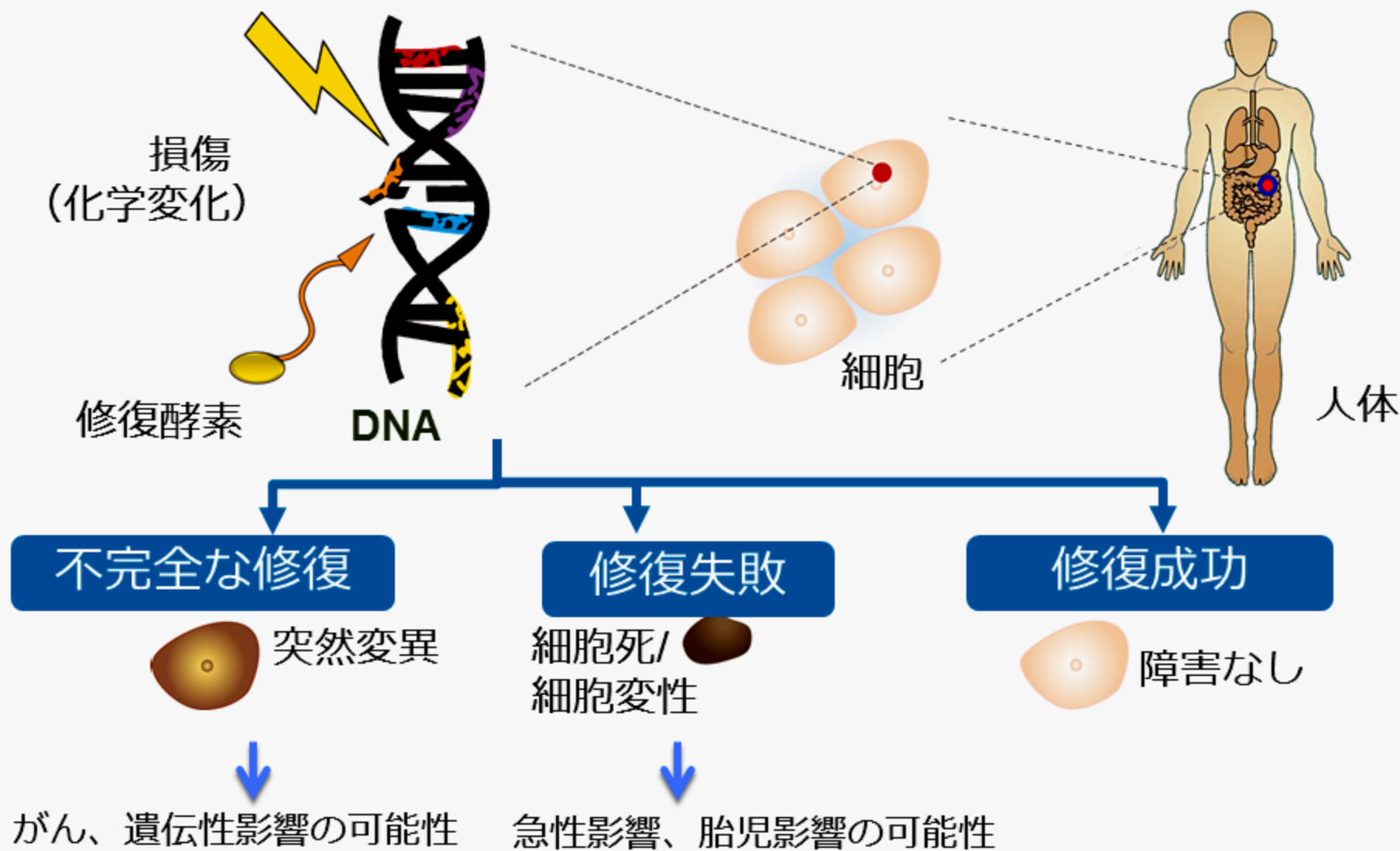
濃度管理

U235原子核の数を制限
→濃度の薄いEの方が安全



転換試験棟内の沈殿槽

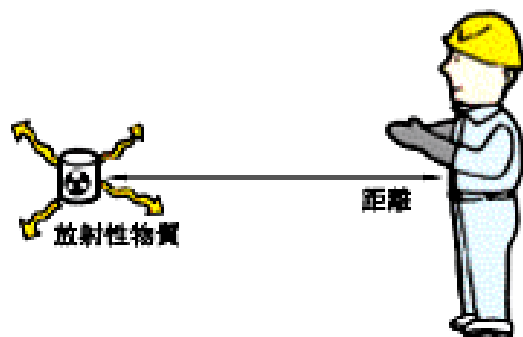
放射線遮へい用土のう積み



放射線による被ばく防護の基本

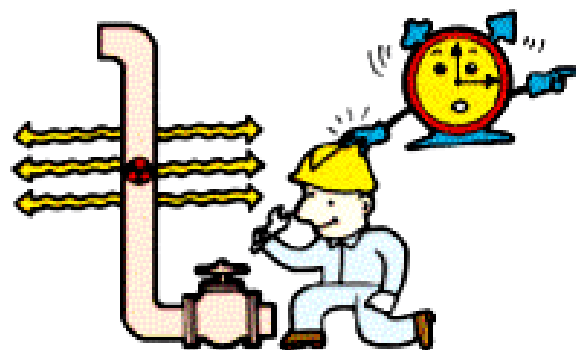
● 距離による防護

〔線量率〕＝〔距離〕²に反比例

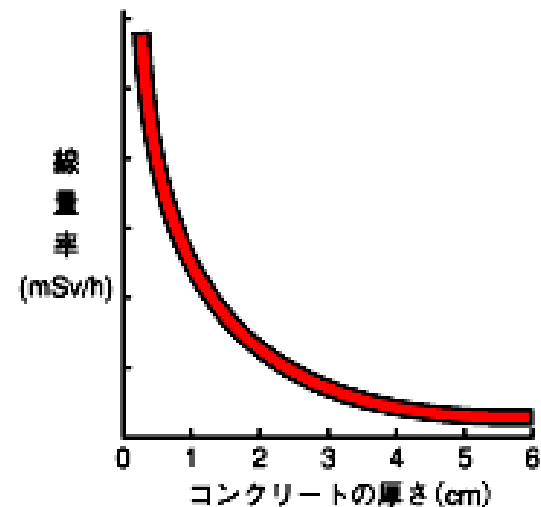
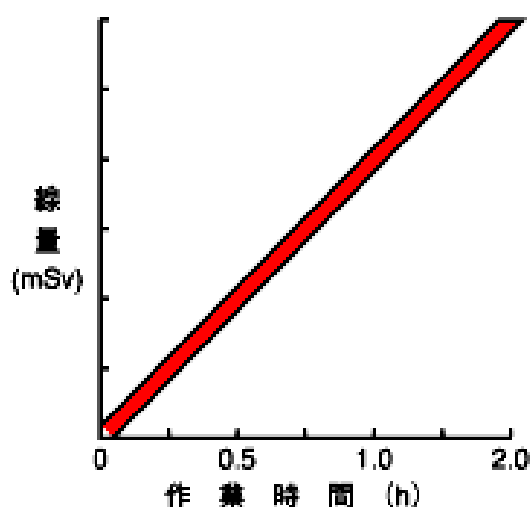
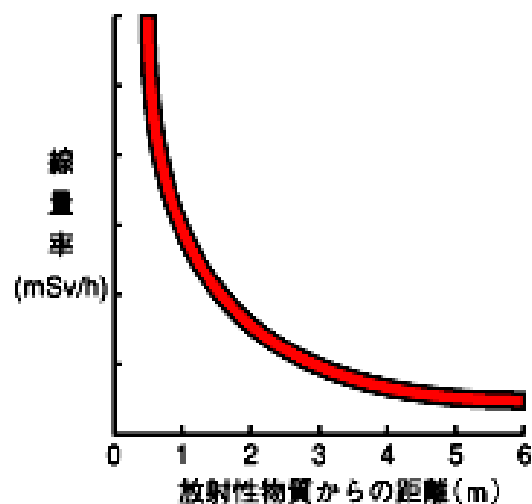
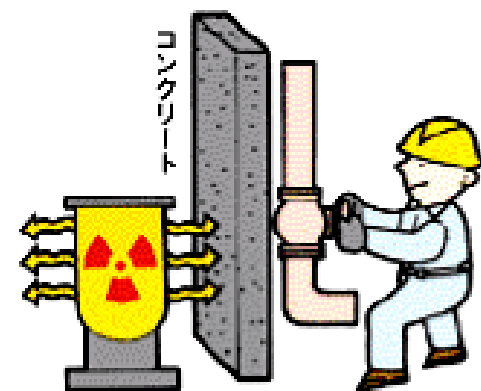


● 時間による防護

〔線量〕＝〔作業場所の線量率〕×〔作業時間〕



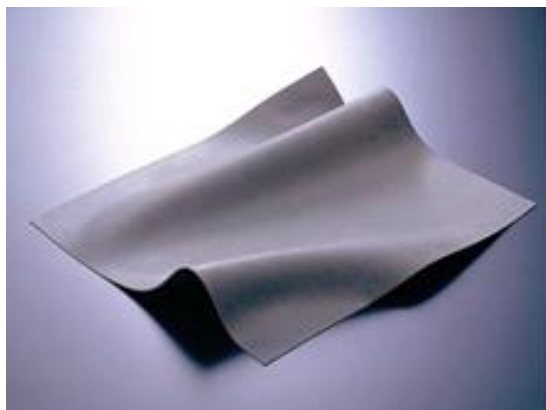
● 遮へいによる防護



ガンマ線、X線、中性子線の遮へい適用例 (1)



「鉛充填鉄棒遮へい衝立」 ヨシザワLD



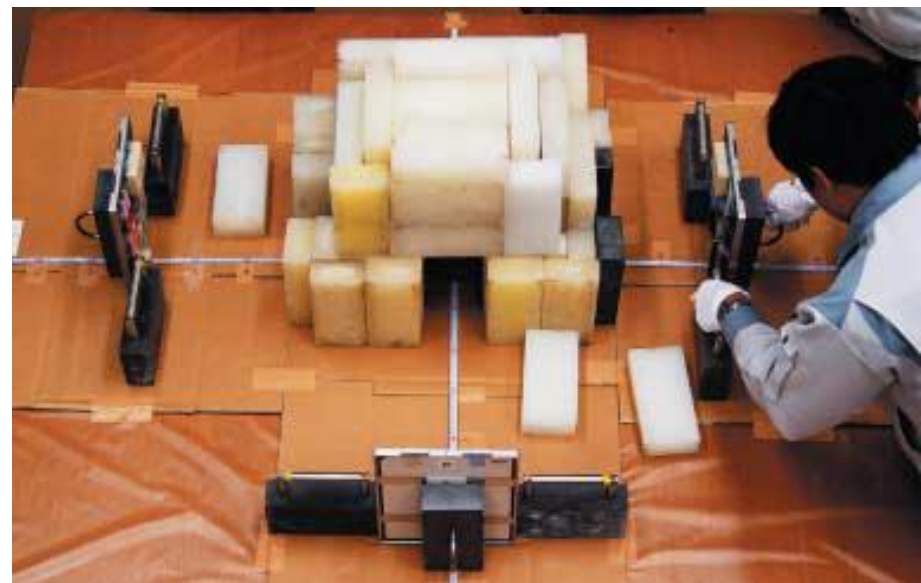
「樹脂Wシート」日本タングステン



「放射線遮へい服」ASK社



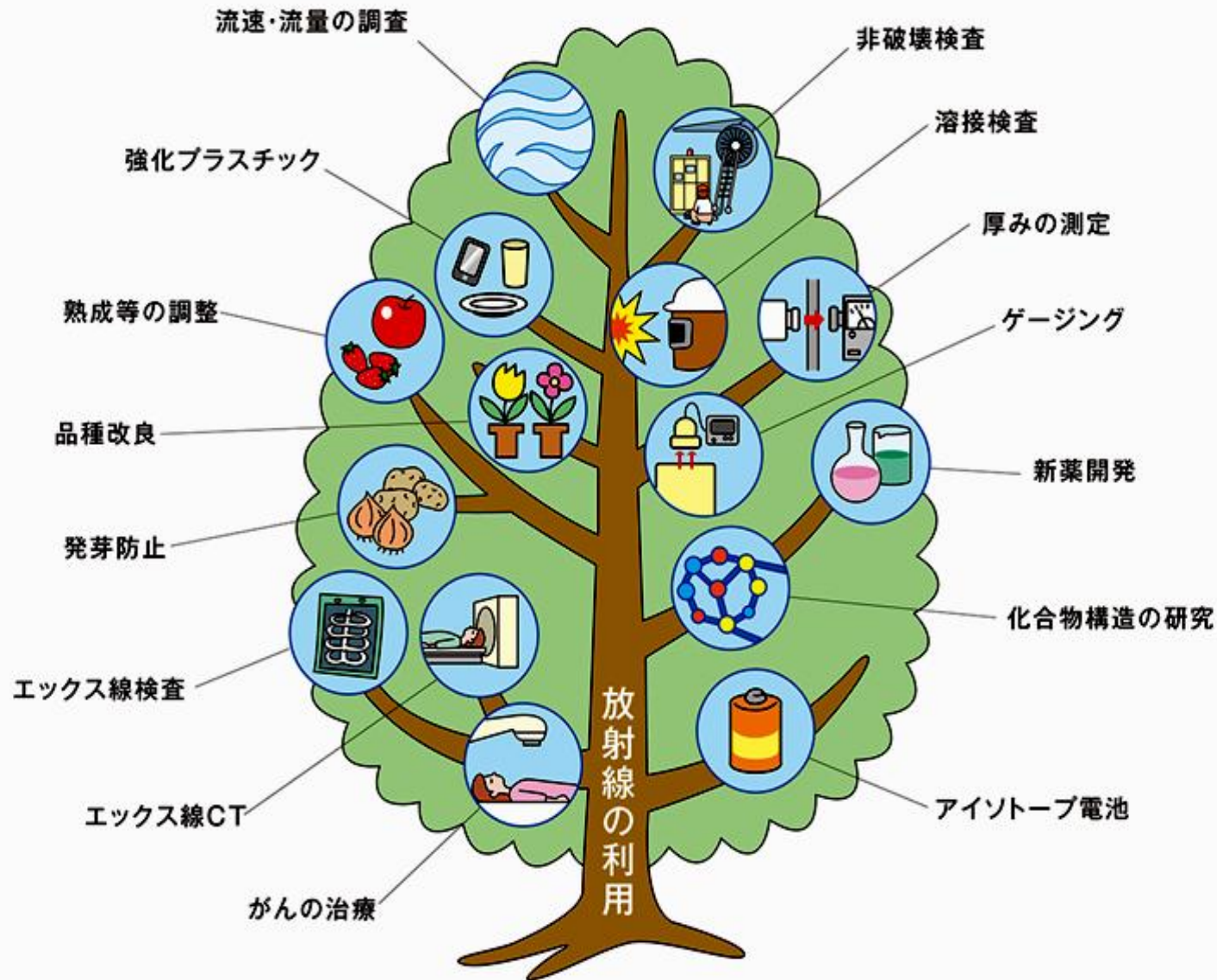
タングステンベスト



照射線源を用いた実験例

開口部以外は、パラフィン・ブロックで中性子を、鉛ブロックで γ 線を遮へい、小林勝利:教育実験ノート RI協会

放射線のいろいろな利用



2015 年度の我が国における放射線利用の経済規模

原子力白書 2023.7

医療・医学利用

粒子線治療：140億円



PET・CTがん検診
150億円



画像診断：1兆4,600億円
放射線治療：1,400億円
乳がん検査：200億円 など

医療・医学利用
1兆9,100億円
44%

農業利用

突然変異育種 ジャガイモ芽止め



・食品照射
・放射能分析 など

農業利用
2,400億円
5%

設備・装置：3,900億円

- 加速器
- 診断用X線装置
- 医療放射線関連装置・製品 など

工業利用

半導体加工
1兆2,300億円



放射線滅菌
3,100億円

- 注射針・注射筒
- 真空採血管
- 人工関節・人工骨 など

計測・検査
1,800億円

- 放射線測定器
- 非破壊検査 など

ラジアルタイヤの製造などの
高分子加工：1,100億円



工業利用
2兆2,200億円
51%

4兆3,700億円

放射線を正しく理解し、正しく恐れよう

物事を必要以上に恐れたり、全く恐れ
を抱いたりしないことは、容易だが、
物事を正しく恐れることは難しい

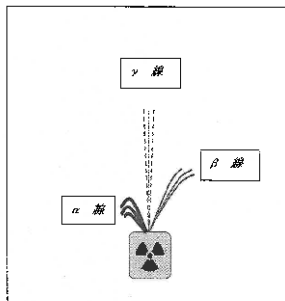
物理学者、寺田 寅彦 1881（明14）-1935（昭10）

「基礎的参考文献」

それぞれPDFで編成、ダブルクリックでアクセス可能

- 亀井満:放射線豆知識
- 亀井満:放射線測定豆知識
- 河田東海夫:放射線とはなにか？ その影響とは？

放射線豆知識



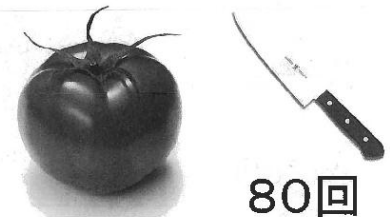
放射線 測定 豆知識

1. 王冠で検知出来ない
2. 放射線と相互作用: 電離作用
励起作用
化学作用
3. 自然放射線と人工放射線
4. 検出器の種類
5. 電離式放射線検出器: 基本概念、ポケット型計測器
サーベイメータ
6. 比例計数管: 基本要素、比例脈衝
比例+電式放射線検出器: G-M式放射線検出器
G-M式放射線検出器: 動作原理、プラトー
7. G-M式放射線検出器: 動作原理、プラトー
8. シンチレーション式放射線検出器: 動作原理
シンチレータ
固体シンチレーション式放射線検出器
α線、β線測定用検出器
液体シンチレーション式測定器の概念
9. 半導体式放射線検出器: 原理、概念
電圧ポケット型計測器
ポケットサーベイメータ
10. フィルムバッジ
11. TLD (熱発光線量計)
12. 蛍光ガラス線量計
13. 化学線量計
14. 中性子線検出器: 原理、概念
荷電粒子法
熱中性子法

放射線とはなにか？ その影響とは？

2012年8月22日
除染情報プラザ「放射線教室」
講師: 河田 東海夫

... ?



どのようにして学ぶのか？

1. 何を知りたいのかを自問自答

2. 調べる方法

- 基礎基盤から応用まで、インターネットで検索。いくらでも深掘できる。
海外(英語圏)の情報も有用。
- それでも解決できない時は、専門家(先生、関係者)に聞く。
- 課題を探し当て、自ら探求する。

3. 留意すべきこと

- プロセス、手段に間違いはないか？
- 科学技術的客観性を見極める。
- 多様な見解があり、結論に至っていない迷路に入らない。