

< 参考資料 >  
平成23年11月19日  
東京電力株式会社

**福島第一原子力発電所  
発電所内の放射線モニタリング**

**～放射線の計測方法～**

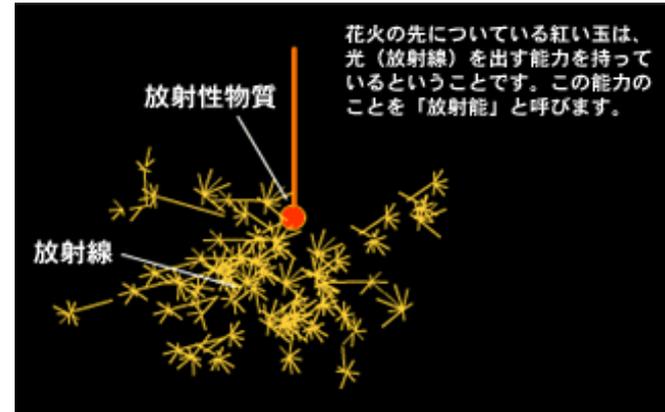
# 放射線と放射能

■放射線：放射性物質の原子（不安定な原子）が安定な状態になる際に放出される粒子線または電磁波。

■放射能：物質が放射線を出す能力。（放射性物質のことを指す場合もある）

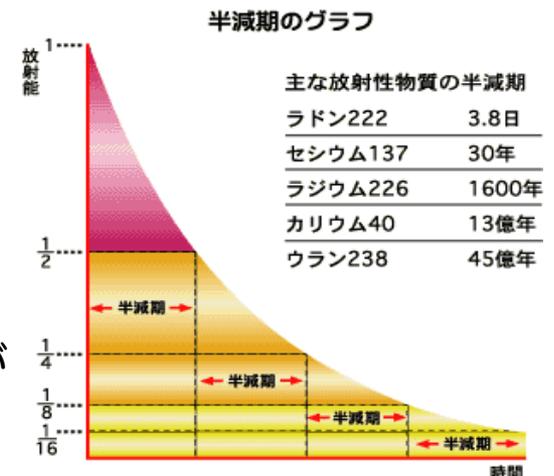
線香花火に例えると・・・

- ・ 出てくる火花＝放射線
- ・ 花火の先の火の玉＝放射性物質
- ・ 火花を出す能力＝放射能



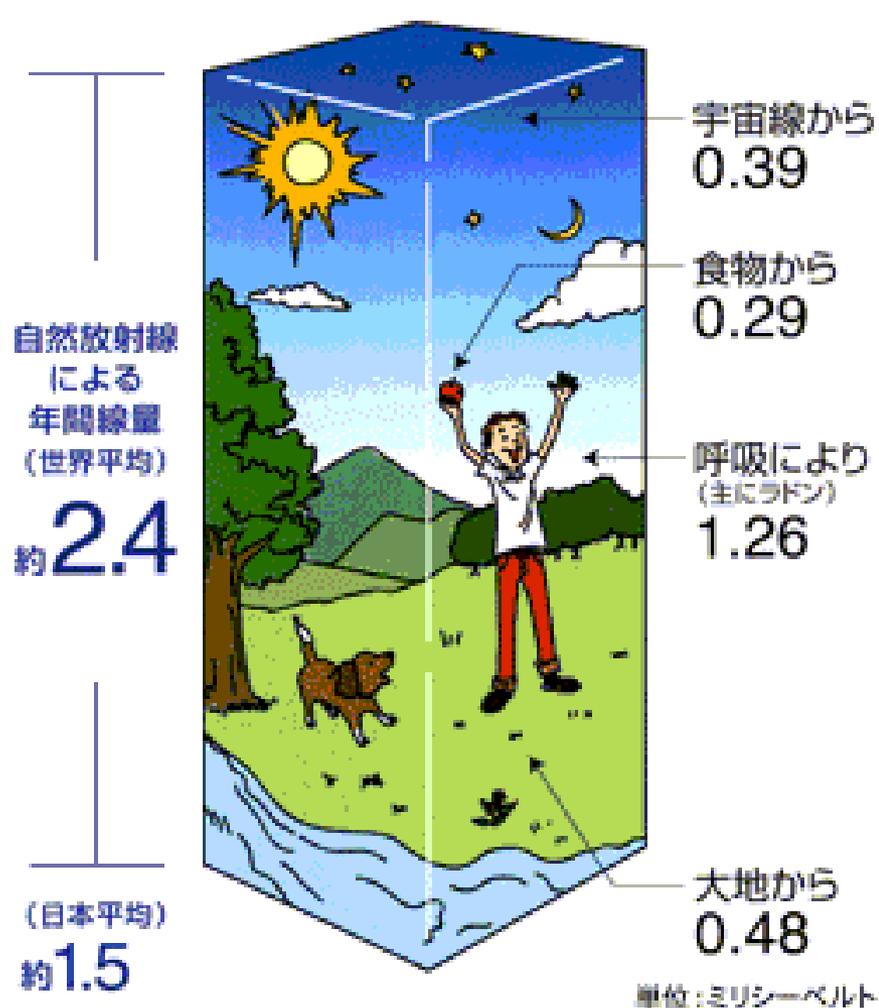
■放射性物質の崩壊：放射性物質が放射線を出しながら違う物質に変わり、最終的に放射線を出さない安定した物質に変わっていくこと。

■半減期：最初にあった放射線を出す能力（放射能）が半分になるまでの期間。



# 身の回りに存在する放射線（1）

私たちの周りにはもともと自然放射線が存在し、食べ物や呼吸によっても放射性核種を体内に取り込んでいます。たとえばカリウム40の量は体重60kgの日本人の場合で4,000Bqとされています。



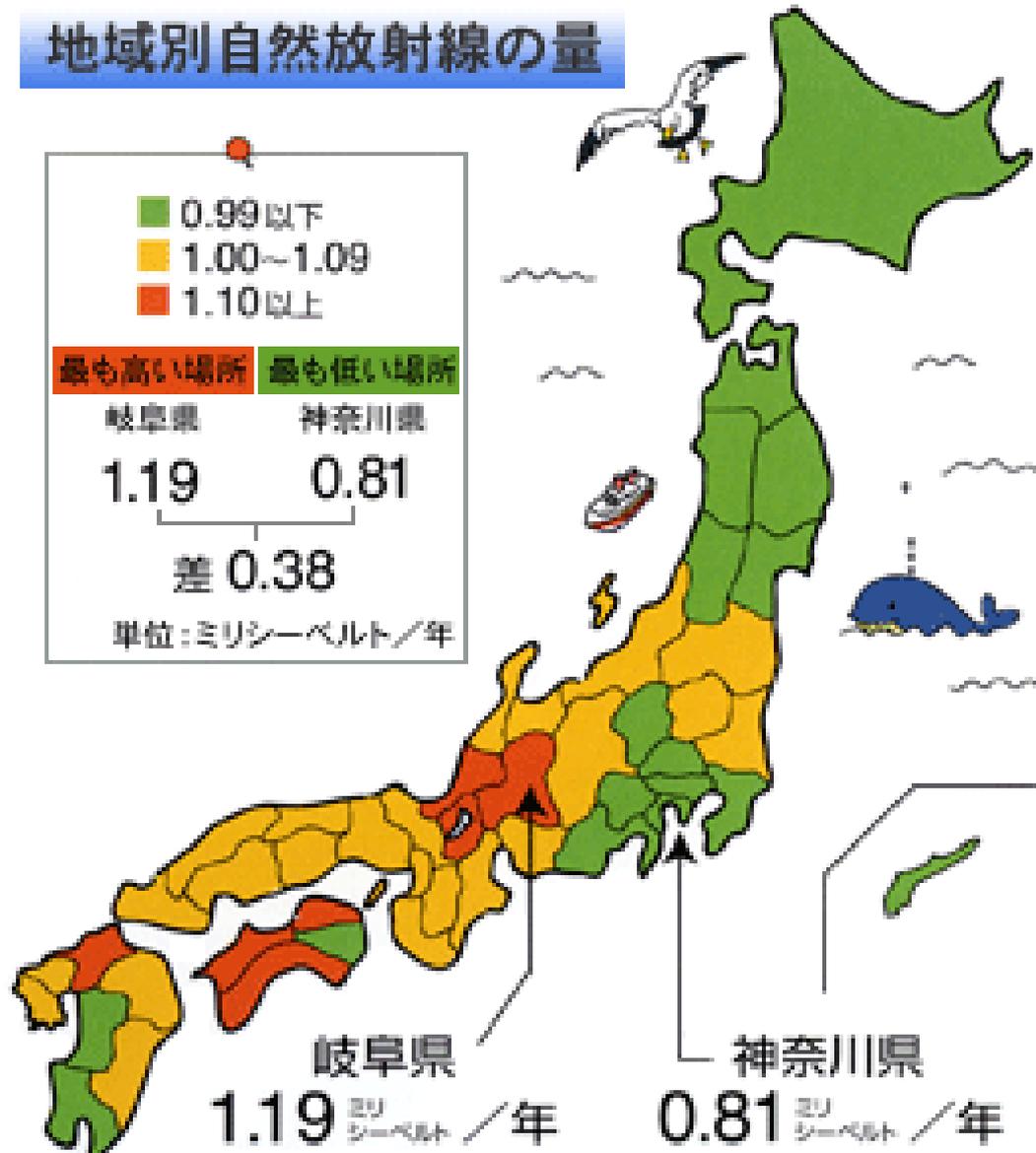
## 身の回りに存在する放射線（2）

宇宙や大地からの放射線の量は地域によって異なります。

たとえば、マグマが冷えて固まった花崗岩が多い地域は放射線量が高くなり、関東では関東ローム層が被っているので放射線量は関西より低めです。

世界に目を向けてみると、ブラジルのガラパリでは、大地から受ける放射線は10mSv/年にもなります。

### 地域別自然放射線の量



# 放射性核種と核分裂のしくみ

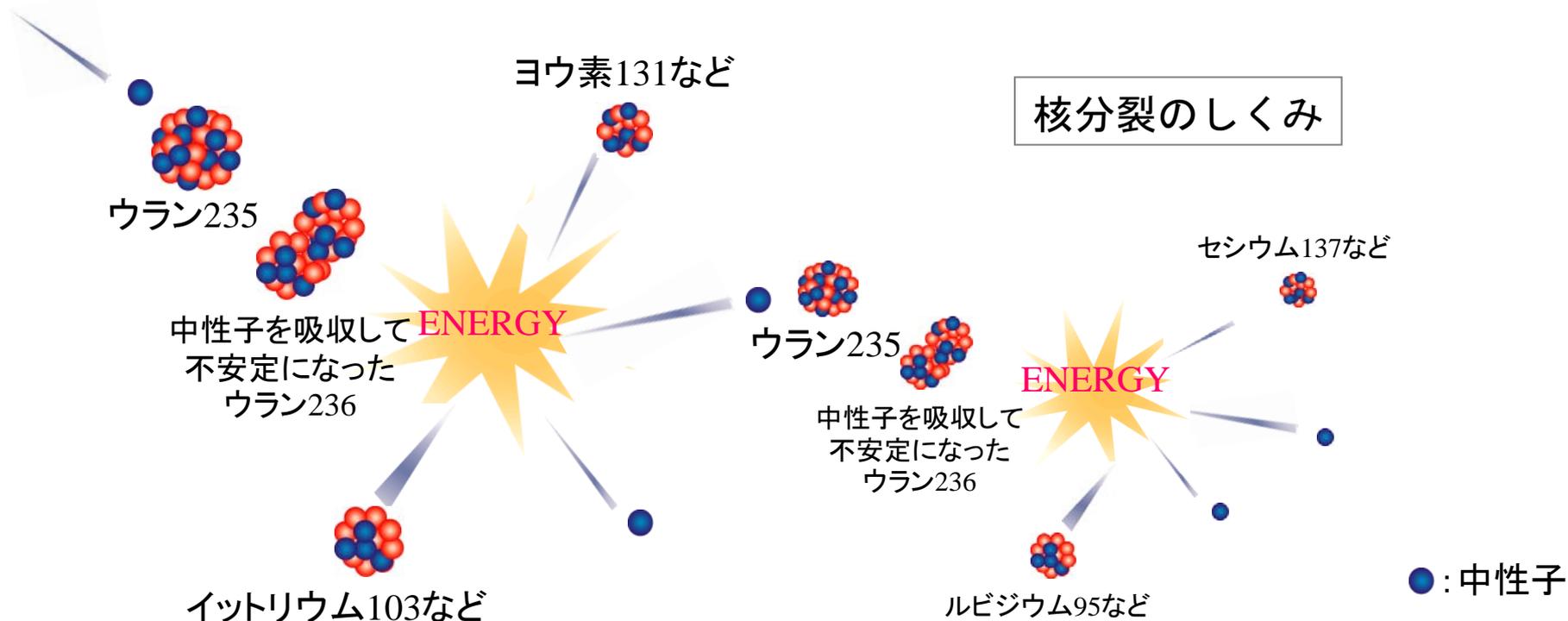
発電所で主に管理する必要がある放射性核種には、  
ウラン235などの核分裂で生成された以下のようなものがあります。

ヨウ素 (I) セシウム (Cs) : ガンマ線被ばく管理上重要な核種

ストロンチウム (Sr) トリチウム (T) : ベータ線被ばく管理上重要な核種

プルトニウム (Pu) アメリシウム (Am) キュリウム (Cm) : アルファ核種、核実験や原子力事故由来

キセノン (Xe) クリプトン (Kr) : 希ガス、臨界管理上重要な核種



- ①プルトニウム(Pu)、アメリシウム(Am)、キュリウム(Cm)などの超ウラン元素はウラン238が中性子を吸収して質量数が増え、更にベータ壊変することで生成します。
- ②またトリチウムは、水の中に含まれる重水素が中性子を吸収することで生成します。

# 放射線の種類と性質

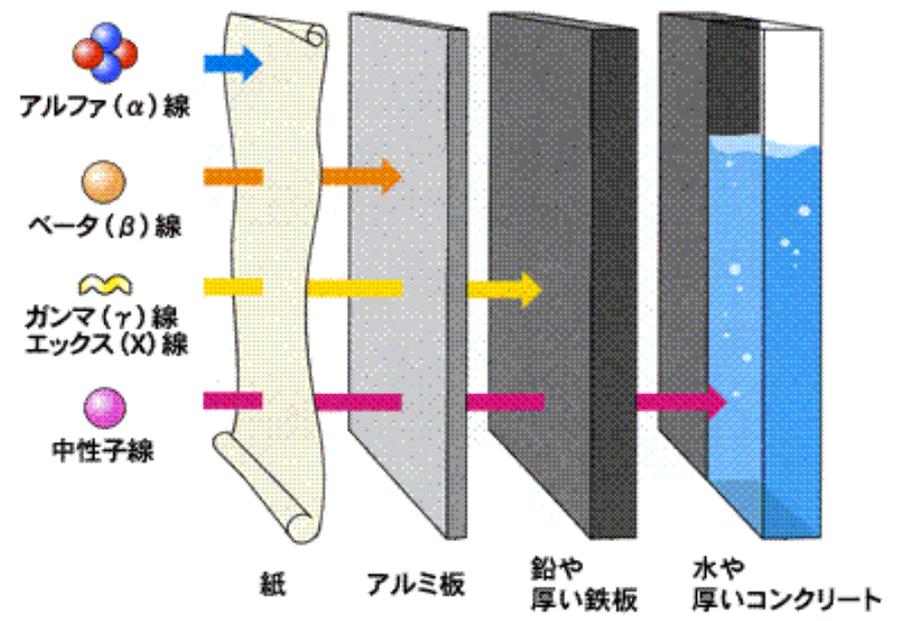
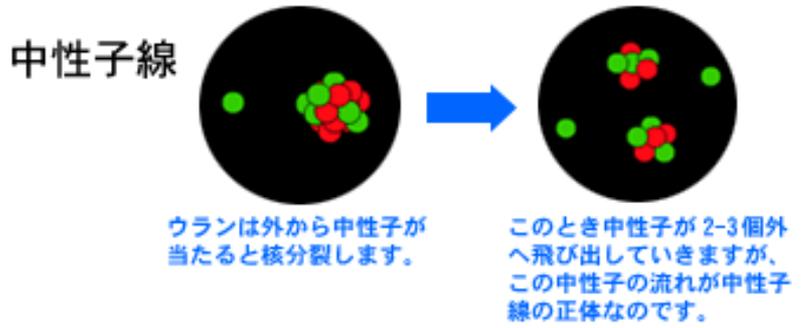
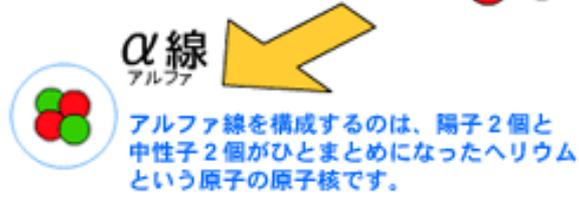
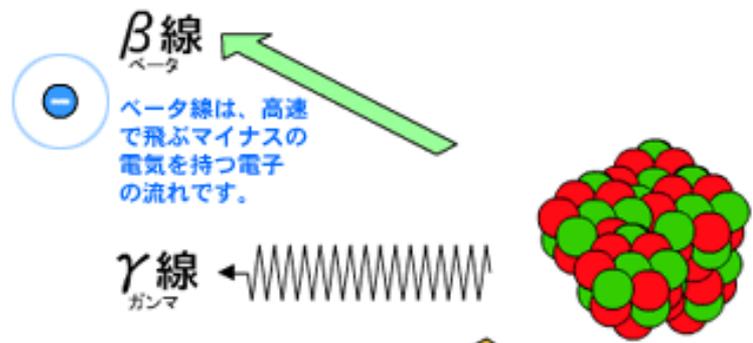


表. α粒子及びβ粒子の空気中におけるおよその飛程※(2 MeVの粒子の例)

	エネルギー (MeV)	飛程 (m)
α粒子	2	0.01
β粒子	2	8.5

出典；α粒子（アイソトープ手帳）  
β粒子（Nuclear Reactor Engineering 3<sup>rd</sup> Edition）  
※ 飛程；電荷をもつ粒子（荷電粒子）が、その運動エネルギーを全て失うまでに進む距離。  
（γ線や中性子線は電荷をもたないので、あるところまで進んで止まるというものではなく、散乱等によって減衰していく。）

# 放射線と放射能の単位

ベクレル  
Bq

## 放射能の強さ

放射性物質のもつ放射線を出す能力を表すもので、1秒間に壊変する原子の数で強さを表します。

$Bq/cm^2$  = 床や物品の表面に付着している放射性物質の放射能の強さを表します

$Bq/cm^3$  = 空気中や水中に含まれる放射性物質の放射能の強さを表します

シーベルト  
Sv

## 人が受けた放射線の量（線量）

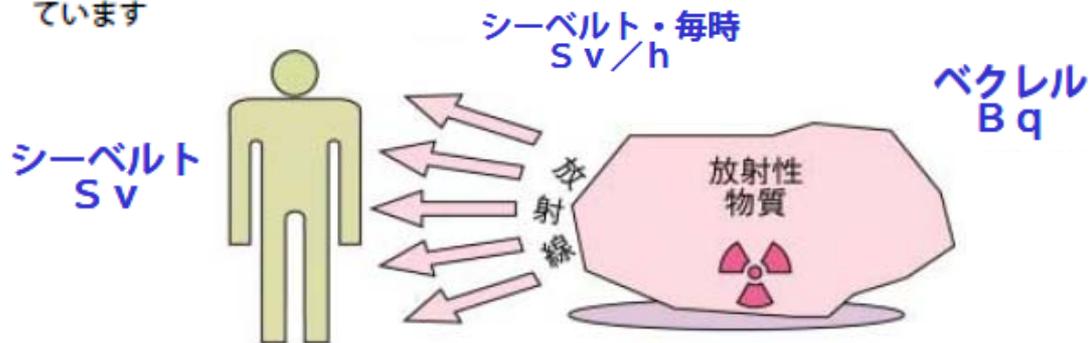
放射線が人体に与える影響の度合いを表す単位です。

この単位は大きいので通常は、1000分の1のミリシーベルト・毎時 (mSv/h) が使用されています

シーベルト毎時  
Sv/h

## 1時間あたりに受ける放射線の量（線量当量率）

この単位は大きいので通常は、1000分の1のミリシーベルト・毎時 (mSv/h) が使用されています

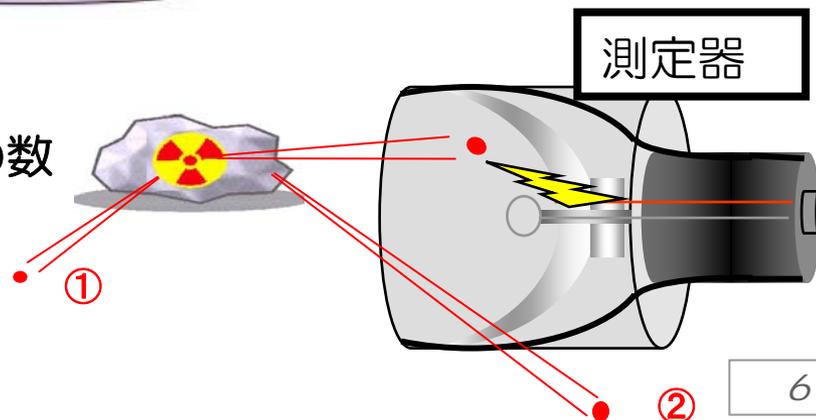


cpm (counts per minute)

= 単位時間あたりに測定器が検知した放射線の数

※測定器は放射線全てを検知するわけではない

- ①測定器に入射しないもの
- ②測定器に入射しても検知しないもの



# c p mと $\mu\text{Sv/h}$

## 1. cpmからBq/cm<sup>2</sup>への換算

既知の放射能 $a$  ( Bq/cm<sup>2</sup> ) を持つ線源 ( 標準線源 ) を使用。

標準線源を測定器で計数率 $X$  ( cpm ) を測定。

$a$ と $X$ を比較して換算定数 $f$  ( Bq/cm<sup>2</sup>/ cpm ) を求める。  $f = a / X$

## 2. Bq/cm<sup>2</sup>から $\mu\text{Sv/h}$ の推定

Bq/cm<sup>2</sup>から $\mu\text{Sv/h}$ への換算は、核種・放射能の広がり方・距離等の条件により異なる。ただし、条件を仮定することで算出は可能。

例. 放射性物質が円上に一様に分布している場合

$a$  :放射能の汚染密度 ( Bq/m<sup>2</sup> )

$c$  :放射線源の線量当量率定数(  $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2/\text{Bq}\cdot\text{h}$  )

位置(  $r, \theta$  )における点線源の線源強度 :  $a\cdot dr\cdot r d\theta$

位置(  $r, \theta$  )の点線源からの線量率

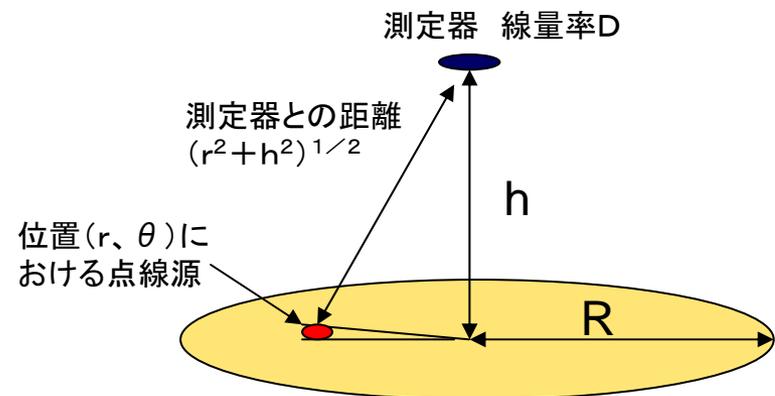
$$dD = c \cdot a \cdot dr \cdot r d\theta / (r^2 + h^2) = c \cdot a \cdot r / (r^2 + h^2) \cdot dr \cdot d\theta$$

$$[r:0 \rightarrow R, \theta : 0 \rightarrow 2\theta]$$

計測器における線量率(  $\mu\text{Sv/h}$  )

$$D = \pi \cdot c \cdot a \cdot \ln\{1 + (R/h)^2\}$$

$$D = \pi \cdot c \cdot X \cdot f \cdot \ln\{1 + (R/h)^2\}$$



Cs-137、汚染半径40cm、距離1mの場合  
13,000cpmは約0.04 $\mu\text{Sv/h}$

# 放射線の測定原理

放射線は空気中や物質の中を通過する時、通過する道筋の周りにはある原子などに放射線が持っているエネルギーを与える。代表的なものとしては・・・

①電離作用

気体などをプラスやマイナスの電気を帯びた粒子（イオン、電子）に変化させる作用。

（例）電離箱式サーベイメータ、GM管式サーベイメータ

②蛍光作用

ヨウ化ナトリウムなどの物質が放射線のあたった量に応じて光を出す作用。

（例）シンチレーションサーベイメータ

③光電作用

ゲルマニウムなどの物質が放射線のあたった量やエネルギーに応じて光電子を出す作用。

（例）Ge半導体検出器、電子個人線量計

④相互作用

中性子があたるとアルファ線を出す作用

（例）レムカウンター



電離箱式サーベイメータ



GM管式サーベイメータ



シンチレーション式  
サーベイメータ



レムカウンター  
(中性子線測定器)

# 実際に使用している計測器 <表面汚染密度の測定>

## ■汚染測定用放射線計測器 (GM管式サーベイメータ)

- ・ 表面の汚染密度を測定
- ・ GM計数管を使用 (測定範囲 : 0~100kcpm)
- ・ 校正頻度 : 1回 / 6ヶ月
- ・ 校正方法 : 標準線源(Co-60)から放出される $\beta$ 線の数と、GM管のカウント数(cpm)との割合で校正



## ■汚染測定用放射線計測器 (ゲートモニタ)

- ・ 体表面の汚染密度を測定
- ・ プラスチックシンチレーション検出器17個を利用
- ・ 校正頻度 : 1回 / 6ヶ月
- ・ 校正方法 : 標準線源(Co-60)から放出される $\beta$ 線の数と、検出器からのカウント数(cpm)との割合で校正



# 実際に使用している計測器 <空間線量率の測定>

## ■電離箱式サーベイメータ

- ・  $\gamma$  線の測定に使用
- ・ 構造が簡単
- ・ 計測範囲が広い
- ・ 放射線の物質との相互作用の中の「電離作用」を利用
- ・ 管理区域内の線量当量率測定
- ・ 校正頻度：1回/年
- ・ 校正方法：放射線計測器校正装置(Cs-137)より照射される $\gamma$ 線線量当量率により校正



## ■レムカウンター（中性子線測定器）

- ・ 格納容器内等の中性子の可能性のある作業で使用
- ・ 中性子は電荷を有せず、直接電離能力がない  
→中性子の測定は中性子と相互作用を生じやすい物質と、二次的な荷電粒子を測定する検出器とを組み合わせる。
- ・  $^3\text{He}$  比例計数管を検出器に使用
- ・ 校正頻度：1回/年(外部の専門機関へ依頼)
- ・ 校正方法：放射線計測器校正装置(Am-Be)より照射される中性子線量率により校正



## ■外部被ばく評価用計測器

(電子個人線量計 ( $\gamma$ ・ $\beta$  APD))

- ・ 外部被ばく評価用
- ・ Si半導体検出器を利用
- ・ 高感度で、容易に積算線量の読取りが可能

(測定範囲( $\gamma$ ) : 0.01~999.9mSv、 ( $\beta$ ) : 0.1~999.9mSv )

- ・ 校正頻度 : 1回/6ヶ月 ( $\beta$ 校正は外部の専門機関へ依頼)
- ・ 校正方法 : 放射線計測器校正装置(Cs-137( $\gamma$ )、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ( $\beta$ )) より照射される  
 $\gamma$ ( $\beta$ )線線量当量率により校正



## ■内部被ばく評価用計測器 (ホールボディーカウンタ)

- ・ 内部被ばく評価用
- ・ プラスチックシンチレーション検出器を利用
- ・ 核種分析をする場合はNaIシンチレータ  
またはGe半導体検出器を使用
- ・ 校正頻度 : 1回/年
- ・ 校正方法 : ファントム線源(Cs-137、Co-60)の放射エネルギー(Bq)と  
検出器からのカウント数(cpm)との割合で校正



## ■外部被ばく評価用計測器

(電子個人線量計 (ガラスバッチ))

- ・ 外部被ばく評価用
- ・ 蛍光作用を利用
- ・ 1ヶ月間の積算線量を測定(専用の読取り装置を使用)

(測定範囲( $\gamma$ ) : 0.1~10000mSv、( $\beta$ ) : 0.1~10000mSv)

- ・ 校正頻度 : JIS等に基づいて、専門機関において実施している。
- ・ 校正方法 : 放射線計測器校正装置(Cs-137( $\gamma$ )、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ( $\beta$ ))  
より照射される $\gamma$ ( $\beta$ )線線量当量率により校正  
(外部の専門機関へ依頼)



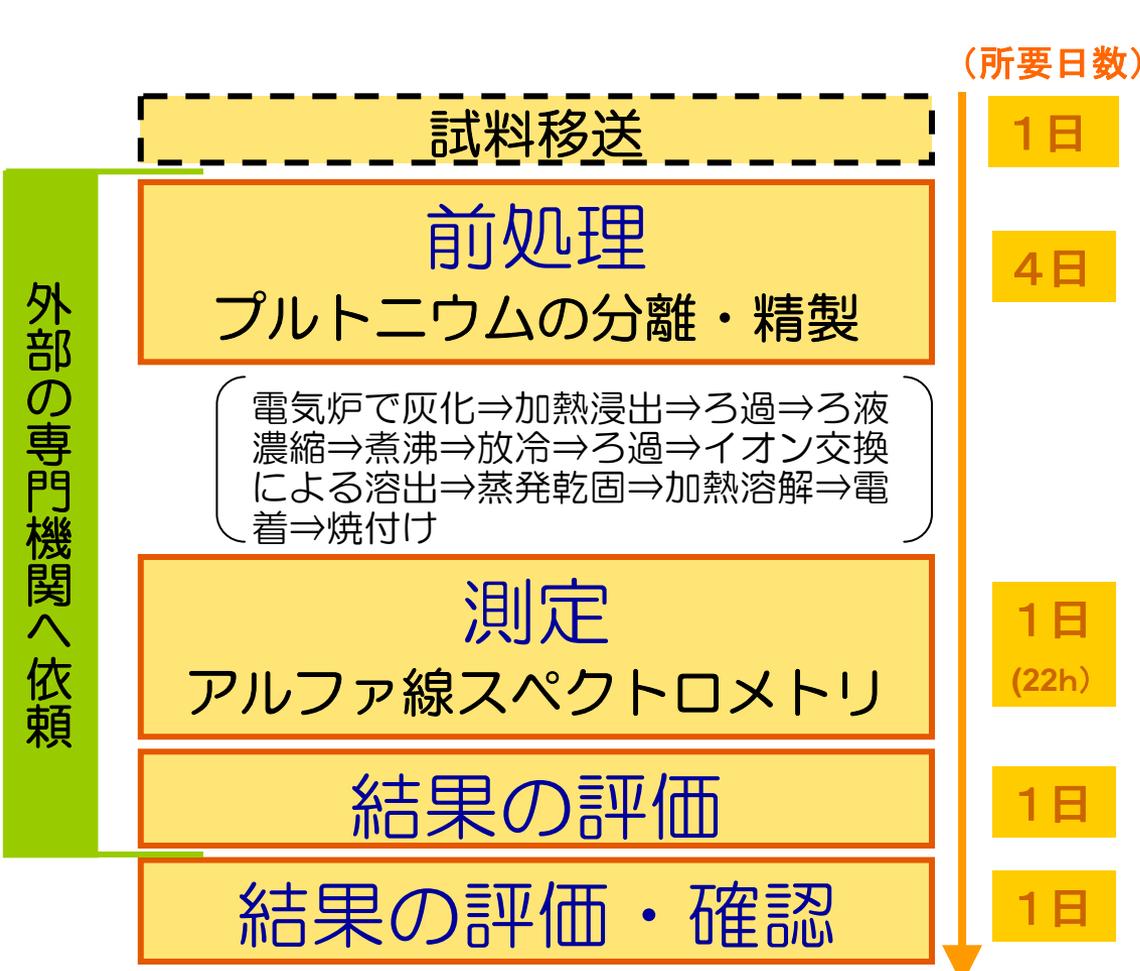
## ■外部被ばく評価用計測器

(ベータ線用ガラスリング)

- ・ 測定範囲 0.1mSv~1Sv
- ・ 1ヶ月間の積算線量を測定(専用の読取り装置を使用)
- ・ 70 $\mu\text{m}$ 線量当量を測定
- ・ 水回り作業等のベータ線被ばく管理
- ・ 校正頻度 : JIS等に基づいて、専門機関において実施している。
- ・ 校正方法 : 放射線計測器校正装置( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ )より照射される $\beta$ 線線量当量率により校正(外部の専門機関へ依頼)



# アルファ核種計測（プルトニウム）



アルファ線は物質透過力が小さいことなどから、

- ・ 試料中の不純物を除き、極めて薄い試料を作る（試料中での自己吸収を小さくする）
- ・ 真空容器内で測定（空気層での吸収をなくす）
- ・ 検出器の窓を極力薄くするか、なくす。

などが必要



低バックグラウンドα・β線測定装置

実際は計測待ちの混雑状況、最終確認時のデータ整理量などの影響により、試料採取から計測結果の最終確認まで、上記所要日数よりも多くの日数が必要です。

# ベータ核種計測（ストロンチウム）

外部の専門機関へ依頼

## 試料移送

### 前処理（１）

#### ストロンチウムの分離・精製

電気炉で灰化⇒加熱浸出⇒ろ過⇒ろ液濃縮⇒煮沸⇒放冷⇒ろ過⇒イオン交換による溶出⇒蒸発乾固⇒加熱溶解⇒電着⇒焼付け

### 前処理（２）

#### Y-90ミルキング操作

### 測定

#### ガンマ線スペクトロメトリ

### 結果の評価

### 結果の評価・確認

(所要日数)

1日

4日

7日

1日

1日

1日

- ベータ線は連続スペクトルをもつので、複数のベータ線放出核種を含む試料のそれぞれの同定、定量は困難であるため、アルファ線と同様、測定試料の自己吸収や外部吸収による分解能の低下に注意する。
- 低エネルギーの $\beta$ 線を放出する核種（トリチウム等）の場合は、液体シンチレーションカウンタを用いるため、前処理が必要。



低バックグラウンド $\alpha$ ・ $\beta$ 線測定装置

実際は計測待ちの混雑状況、最終確認時のデータ整理量などの影響により、試料採取から計測結果の最終確認まで、上記所要日数よりも多くの日数が必要です。

# ベータ核種計測（トリチウム）

## 試料移送

### 前処理（1）

蒸留

### 前処理（2）

低カリガラスバイアル瓶に分取後、  
液体シンチレータ（9mL）添加

### 測定

液体シンチレーション測定装置

### 結果の評価

### 結果の評価・確認

(所要日数)

1日

2日

1日

1日

1日

1日

- ベータ線は連続スペクトルをもつので、複数のベータ線放出核種を含む試料のそれぞれの同定、定量は困難であるため、アルファ線と同様、測定試料の自己吸収や外部吸収による分解能の低下に注意する。
- 低エネルギーの $\beta$ 線を放出する核種（トリチウム等）の場合は、液体シンチレーションカウンタを用いるため、前処理が必要。



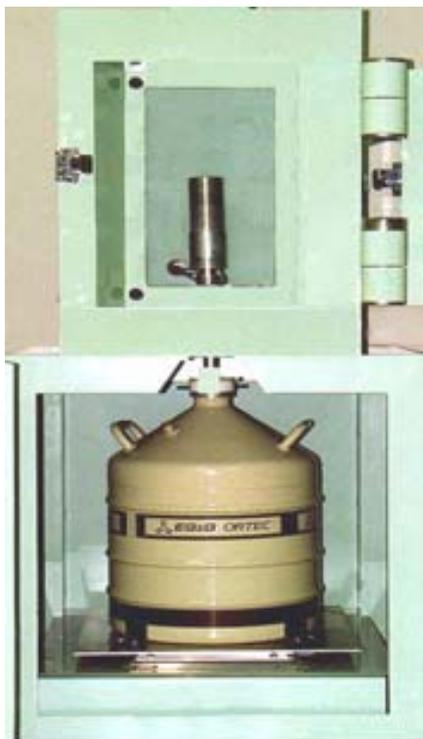
アロカ(株)HPより

液体シンチレーションカウンタ

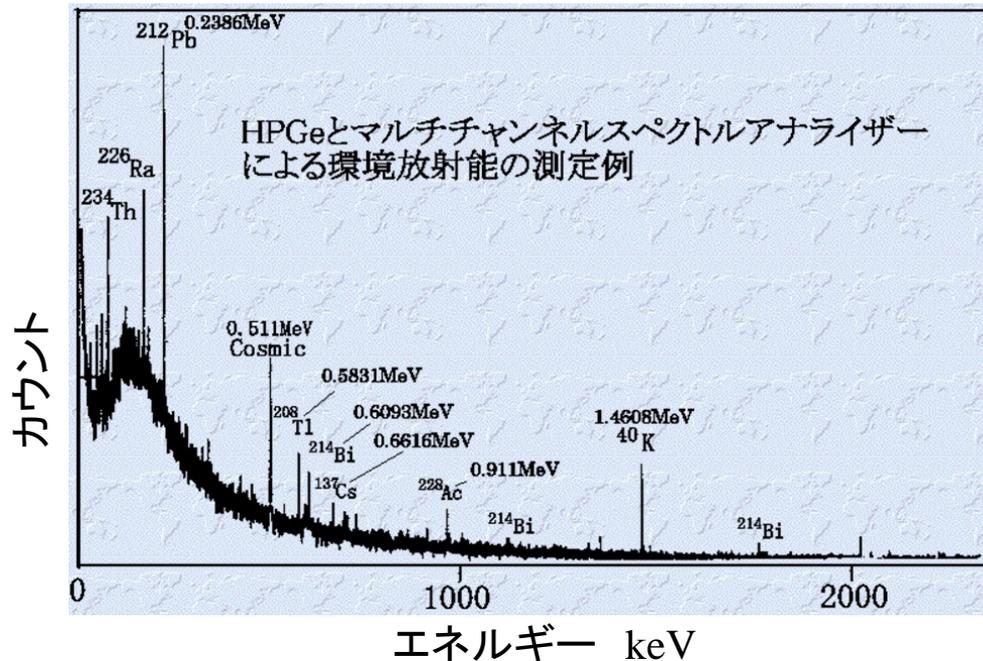
実際は計測待ちの混雑状況、最終確認時のデータ整理量などの影響により、試料採取から計測結果の最終確認まで、上記所要日数よりも多くの日数が必要です。

# ガンマ線測定

- $\gamma$ 線は放出される核種毎に特定のエネルギーを持つエネルギー毎の計測値から核種毎の放射能の同定が可能。
- $\gamma$ 線測定は、以下に示す利点により応用面が広い。
  - ・ 多くの放射性核種が $\gamma$ 線を放出する
  - ・  $\gamma$ 線の透過力が高く自己吸収が少ない
  - ・ 試料の化学分析などの前処理を必要としない



ゲルマニウム(Ge)半導体検出器



# おわりに

以上のように、放射性物質の測定体制を整え、現場の作業環境を適切に監視しております。

特に、作業現場の空間線量率やダスト中の放射性物質の量を把握した上で、個人の被ばく線量を適切に管理することで、作業員の安全確保に努めております。

あわせて、人体や物品（車両等を含む）の表面をサーベイし、放射性物質の域外への持ち出しを的確に監視しております。

これらを確実に遂行しながら、今後も引き続き事故収束に向けた作業を進めていきたいと考えております。