

# 東京大学理学部

Radiation Safety Course, School of Science, University of Tokyo

## 放射線取扱者講習会

(一般講習会)

### 放射線の測定

加速器・放射光施設的安全利用

密封線源・エックス線装置の安全取扱

Measurement of Radiation

Safety at Accelerator & Synchrotron Radiation Facilities

Safe Handling of Sealed Sources & X-ray devices

2020年度 前期

Spring–Summer 2020

# 空間線量率測定 表面汚染検査



$\beta$  ( $\gamma$ )

# 放射線の測定



$\gamma$

## 検出器

気体の電離を利用

電離箱・比例計数管・GM管

シンチレータ + 光電子増倍管

NaI, CsI, plastic scinti., ZnS

半導体検出器

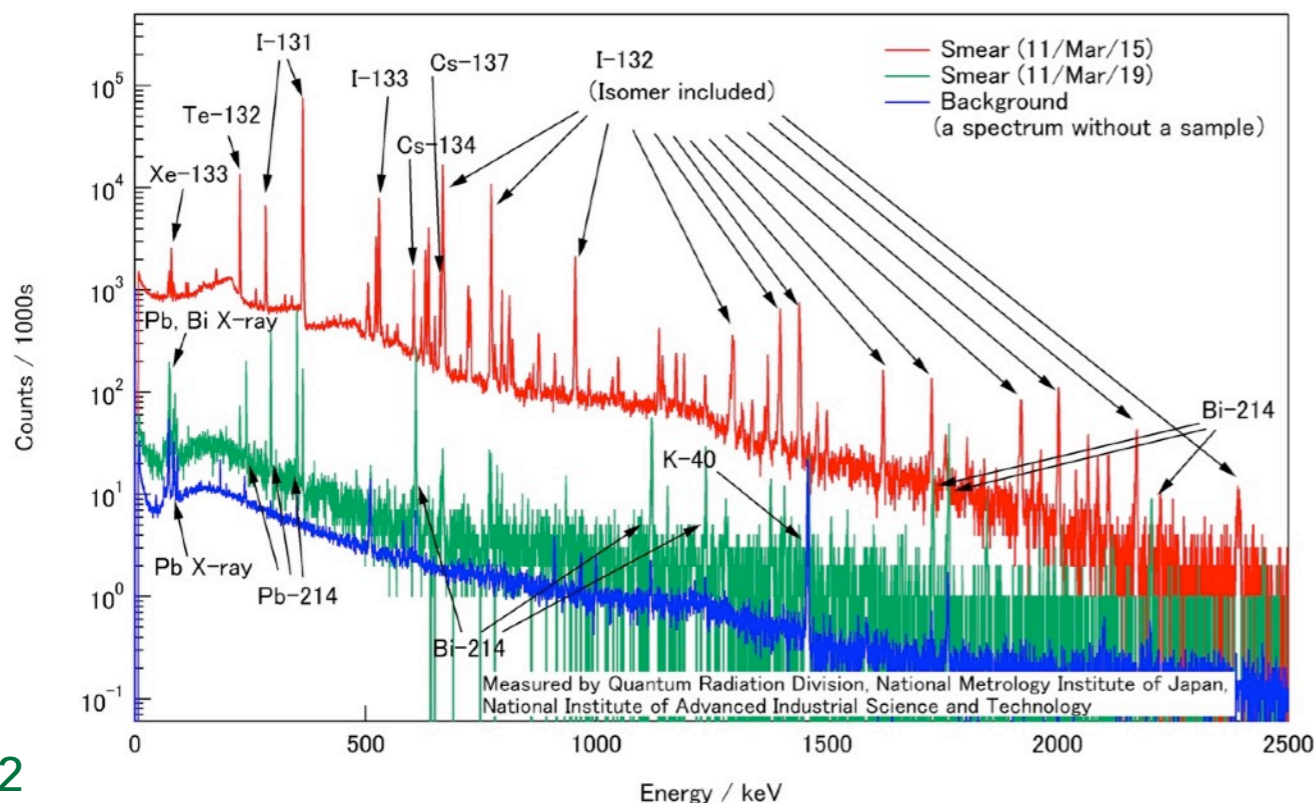
Ge, Si(Li)

計数 (cps = counts per second)

表面汚染検査計 (例: GM サーベイメータ) 空間線量計 (例: NaI(Tl) サーベイメータ)

## エネルギー分析 (核種同定)

ガンマ線スペクトル (ゲルマニウム検出器)



## 食品検査

食品検査用ゲルマニウム検出器



# 放射線の測定

計数 (cps = counts per second)

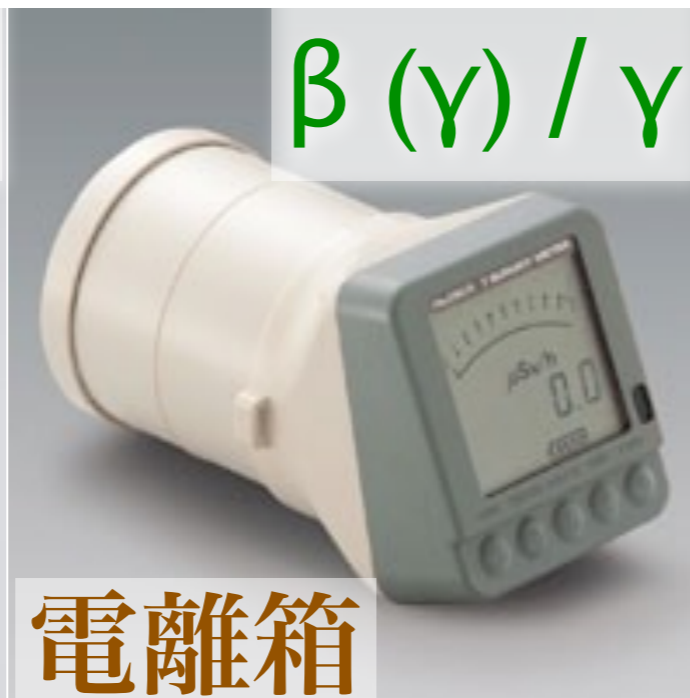
サーベイメータ 【空間線量率測定】

$\beta$  ( $\gamma$ ) /  $\gamma$



GM管

$\beta$  ( $\gamma$ ) /  $\gamma$



電離箱

$\gamma$



CsI (TI)



NaI (TI)



$\beta$  ( $\gamma$ )

【表面汚染検査】



$\gamma$

気体の電離

$\beta$  ( $\gamma$ )



GM管

シンチレーション  
(放射線照射による物質の蛍光発光)

$\alpha$



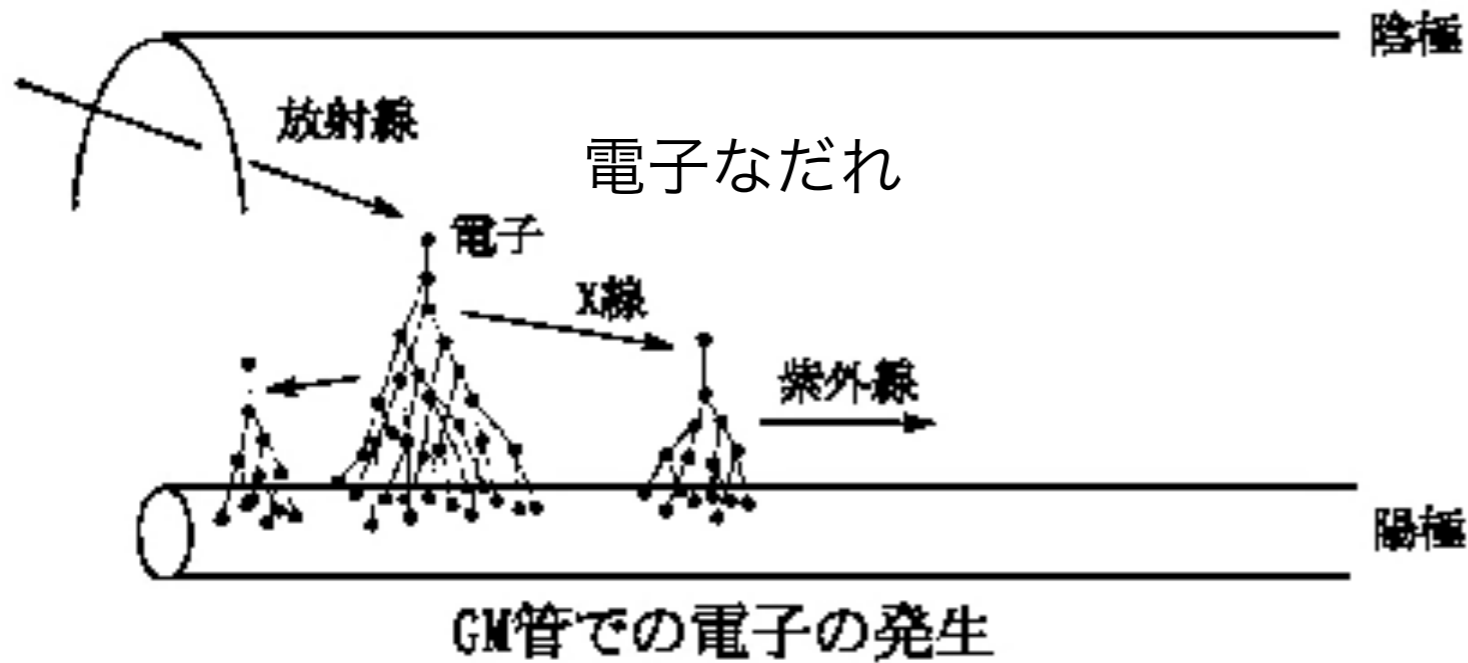
ZnS (Ag)



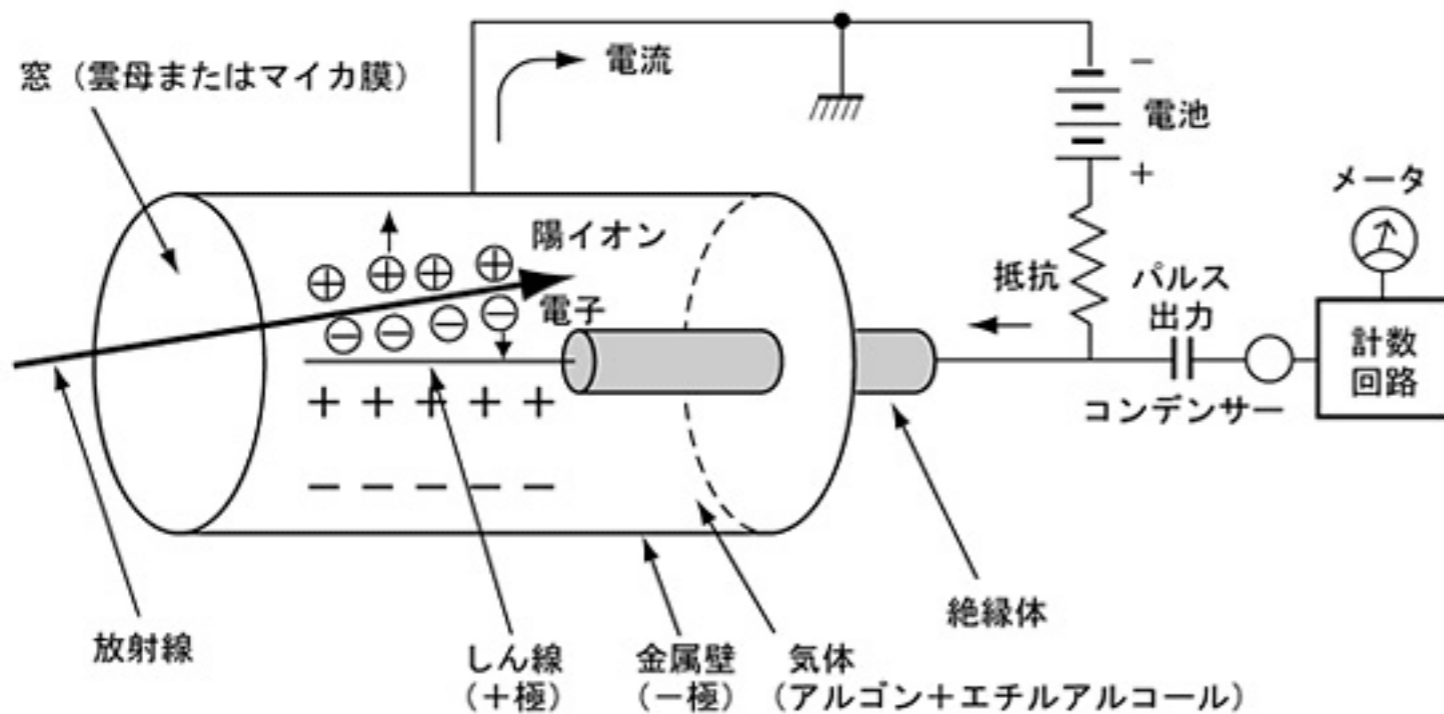
# 気体の電離を利用する放射線計測

## 電離箱, 比例計数管, GM管

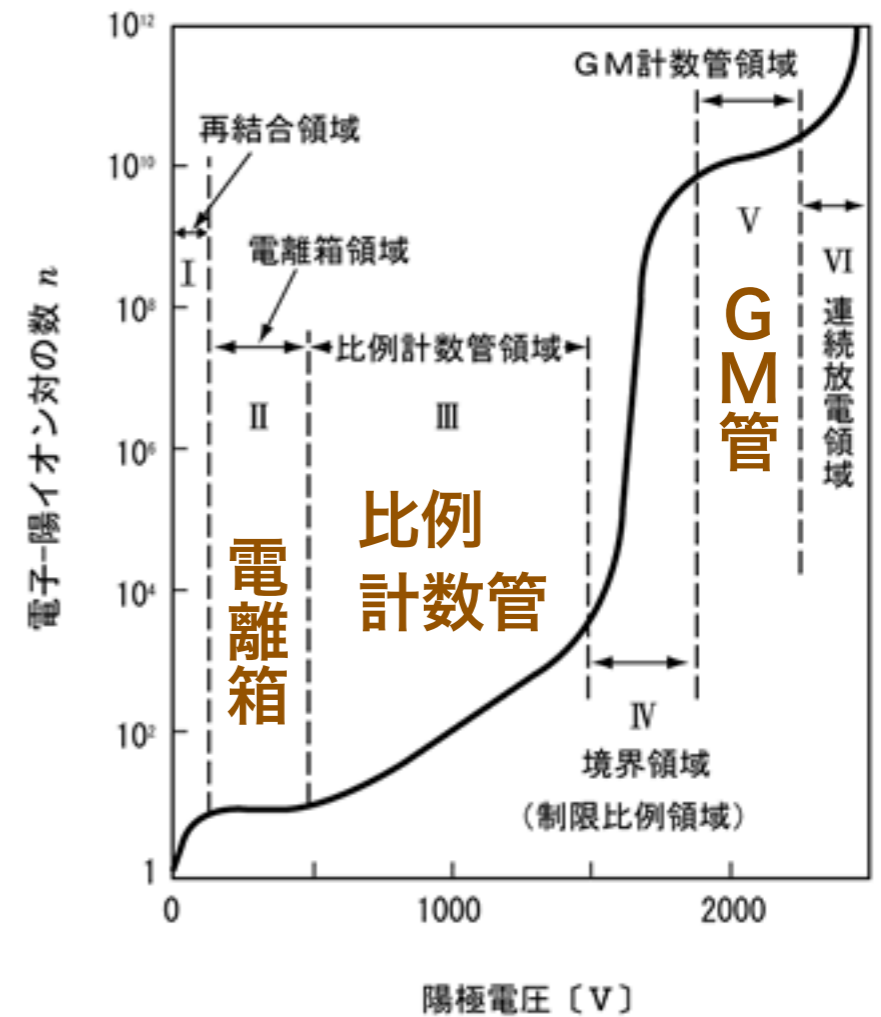
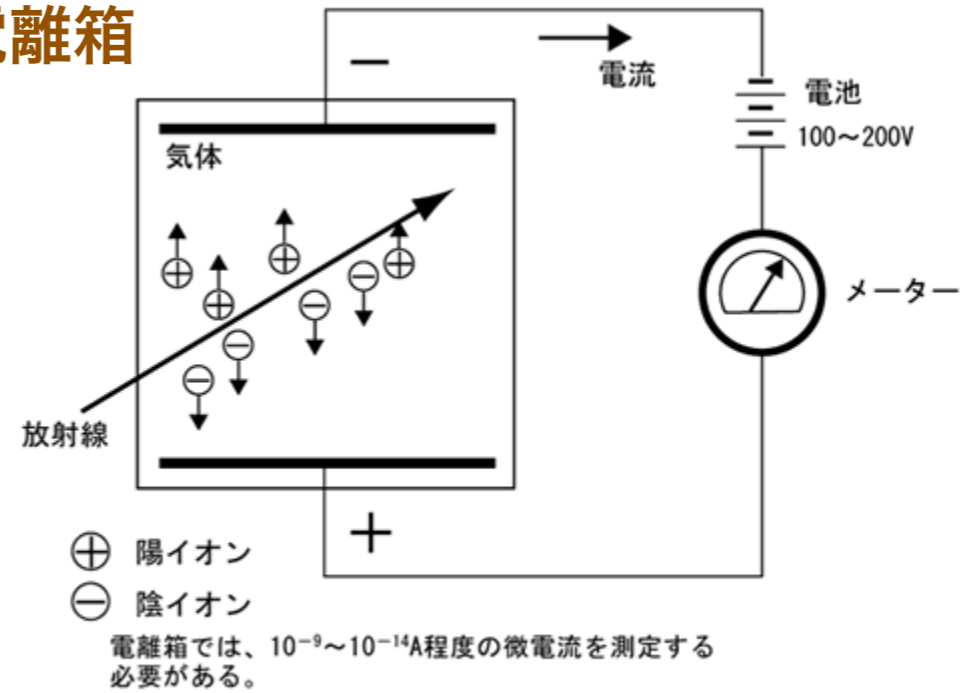
(ガイガー・ミュラー管)



### GM管

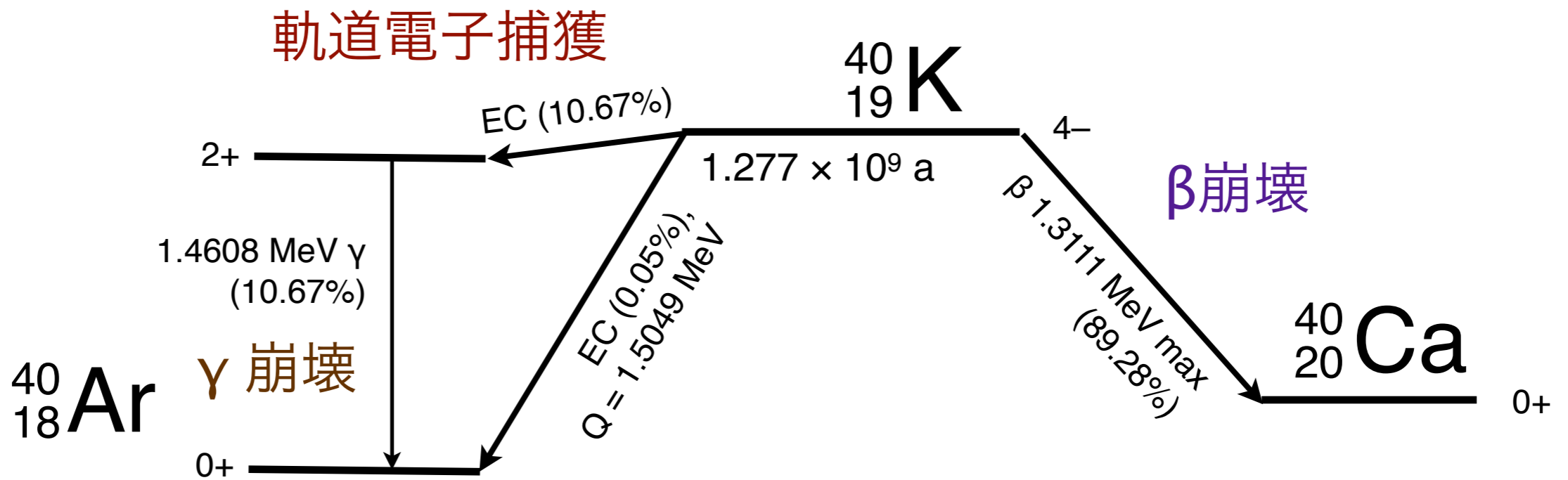


### 電離箱

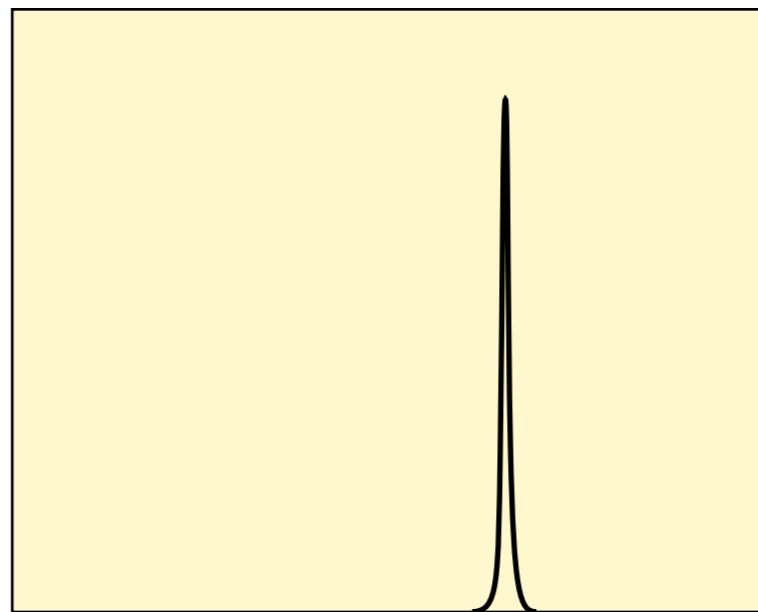


# 40K の崩壊 (壊変) 図式

原子核のエネルギー



粒子数の分布

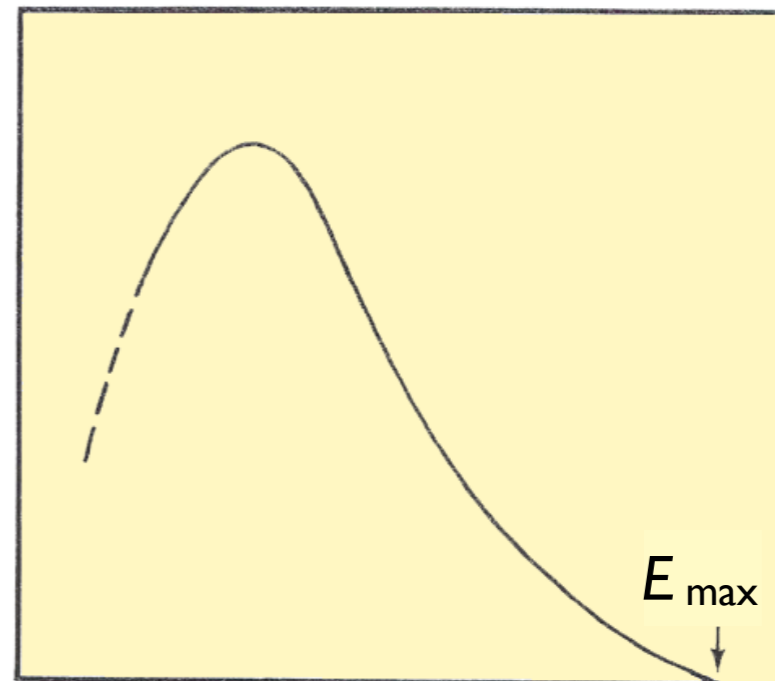


エネルギー  $E_\gamma$

$\gamma$ 線 (定まったエネルギー)



粒子数の分布



エネルギー  $E_\beta$

$\beta$ 線 (連続スペクトル)



$\beta$ 崩壊

# 放射線照射による物質の**蛍光発光** シンチレータ (Scintillators)

プラスチックシンチレータ  
およびライトガイド

無機 : NaI (Tl), CsI (Tl) (γ線、X線)

BGO, GSO など (γ線、X線)  
 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$   $\text{Gd}_2\text{SiO}_5$

ZnS (Ag) (α線)

BaF<sub>2</sub>

有機 : プラスチックシンチレータ (電子線)  
(荷電粒子)

例 : PPO, POPOP / ポリスチレン

: 液体シンチレータ (β線)

例 : p-テルフェニル

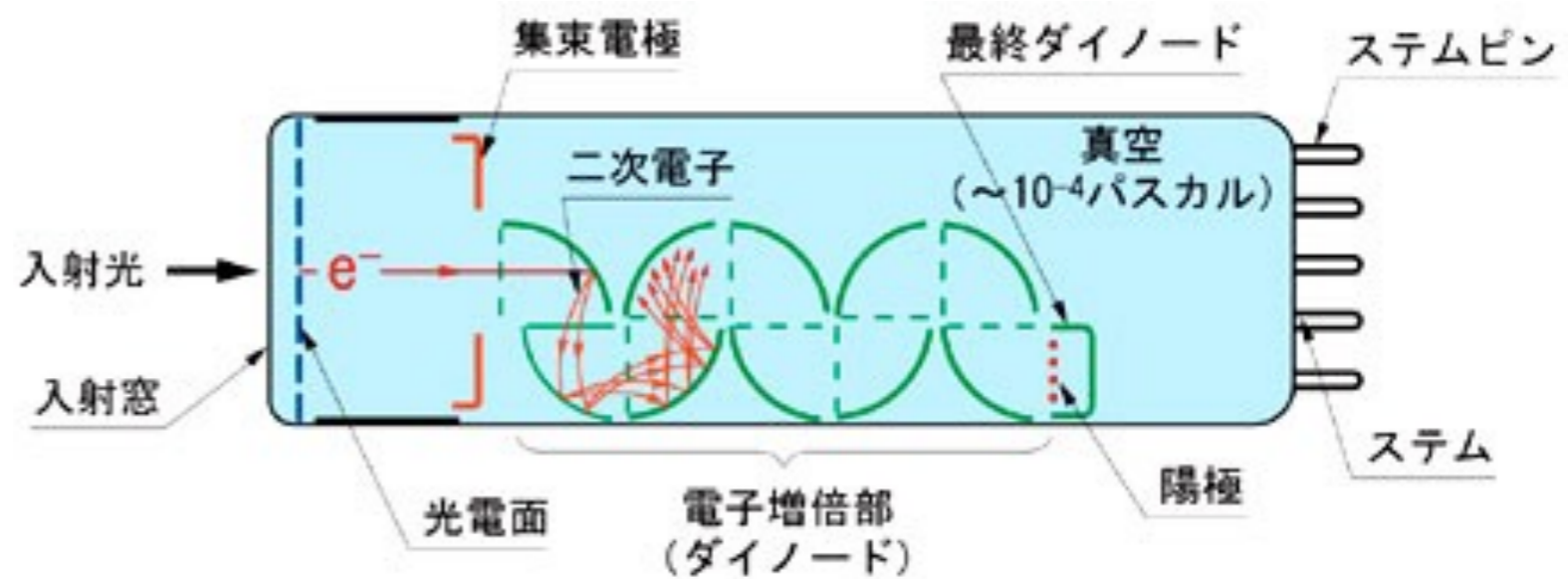
/ トルエン、キシレン

電気パルス : タイミング : 粒子透過時刻  
: パルス高 : エネルギー



液体シンチレーションカウンタ

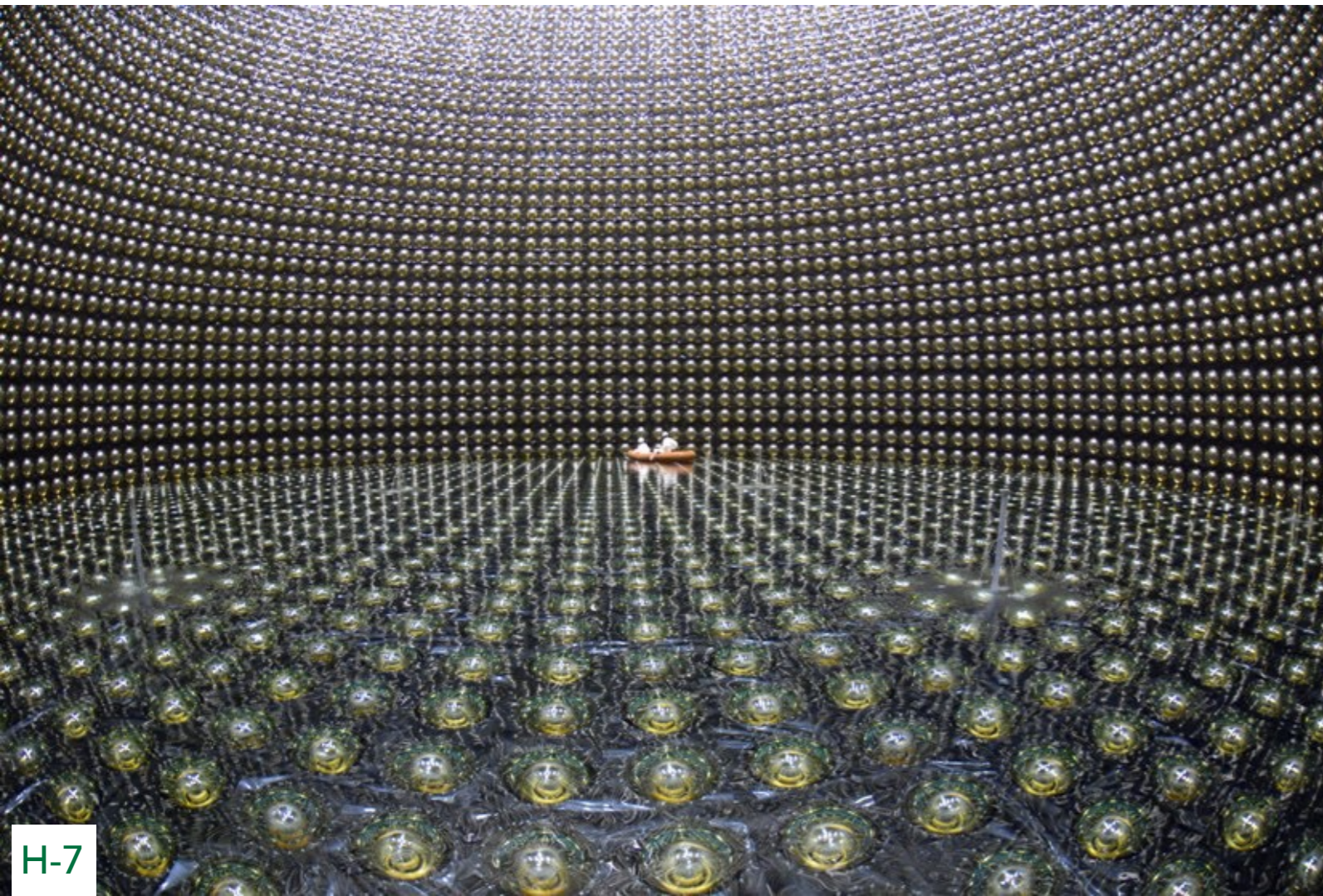
# 光電子増倍管 (PMT: Photomultiplier tube)



光 ⇒ 光電効果 ⇒ 電子増幅  
⇒ 電流

シンチレータとの組み合わせ  
Scintillator

放射線 ⇒ 分子の励起 ⇒ 蛍光  
光 ⇒ 光電子増倍管



## 第3問

放射線照射によって蛍光発光する物質のことを何と呼ぶか。

(NaI や CsI、またプラスチックや液体のものもあり、光電子増倍管と組み合わせて放射線検出に用いられている。)



# 可搬型の空間線量計



日立アロカ社ウェブサイトより

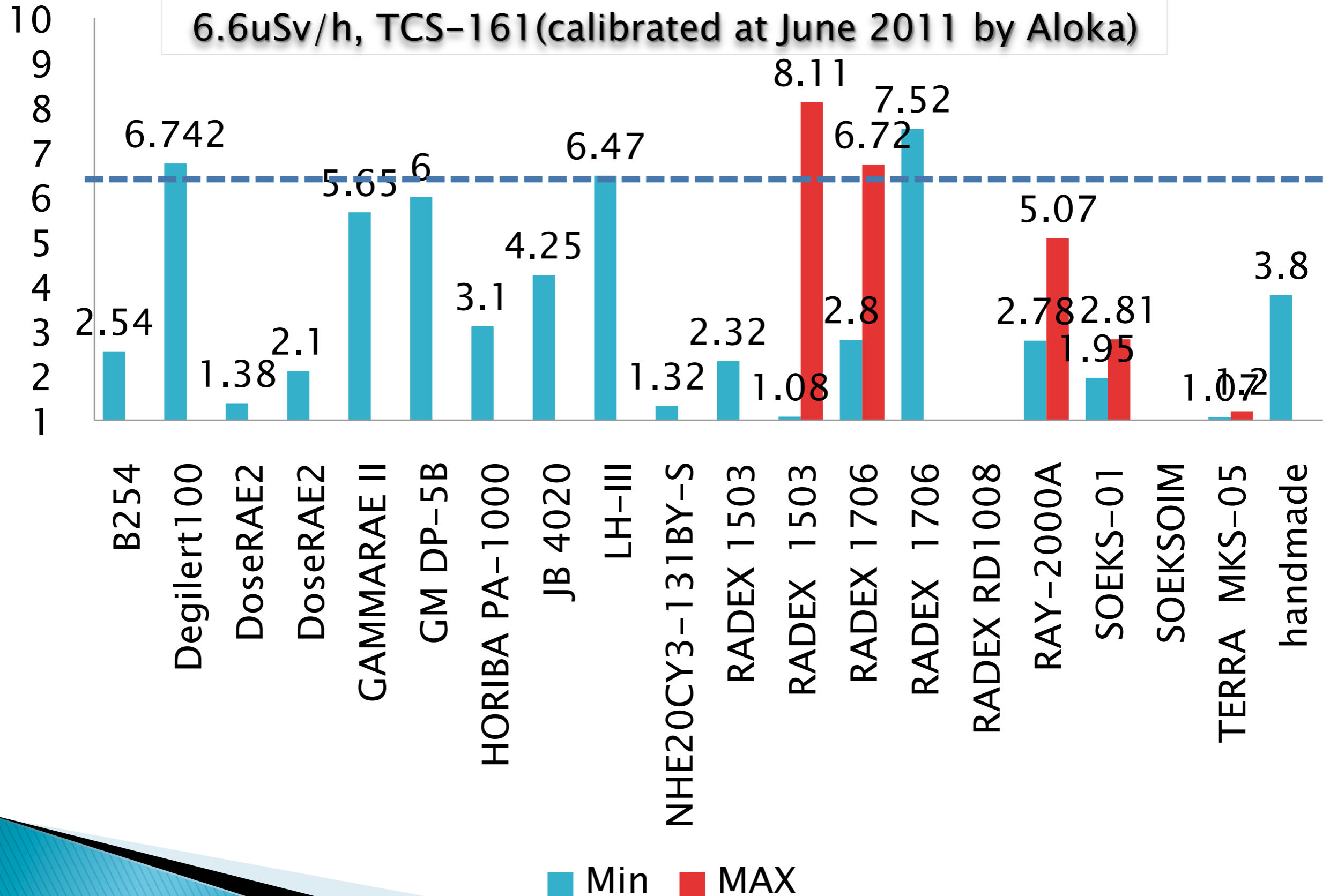


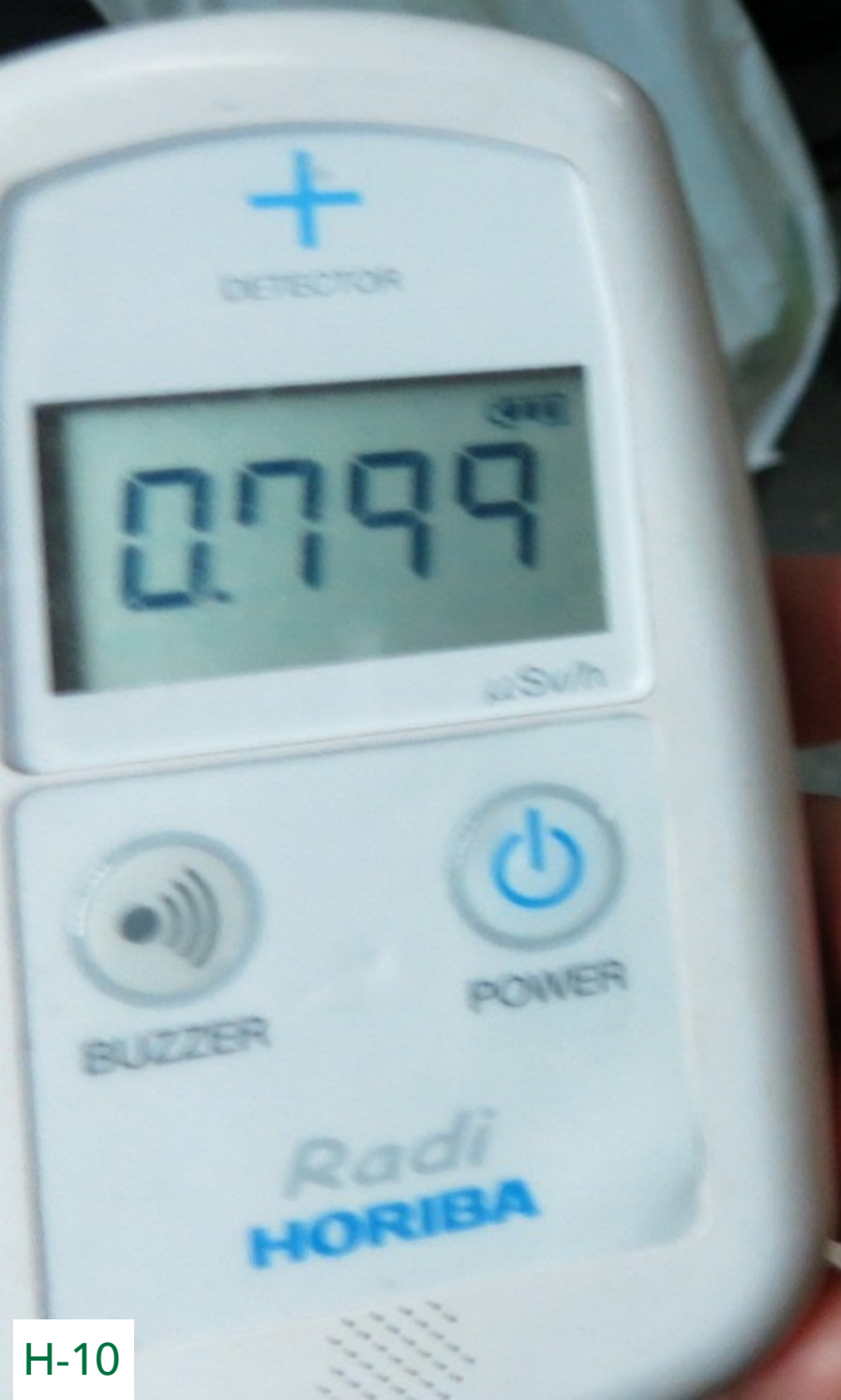
HORIBA社ウェブサイトより

- ▶ それぞれの測定器の特性と示される値の意味は何か。
- ▶ 同じ対象物を測定しているのになぜ値が異なるのか。



# 以前の勉強会での測定結果





# 放射線の測定

## 半導体検出器

(Semiconductor detectors)

例：Si(Li) 検出器 (X線)

Ge 検出器 (高エネルギー分解能)

( $\gamma$ 線・X線)

放射線  $\Rightarrow$  電離

$\Rightarrow$  電子正孔対  $\Rightarrow$  電荷測定

電気パルス：パルス高：エネルギー

**エネルギー分析 (核種同定)**

## 試料測定

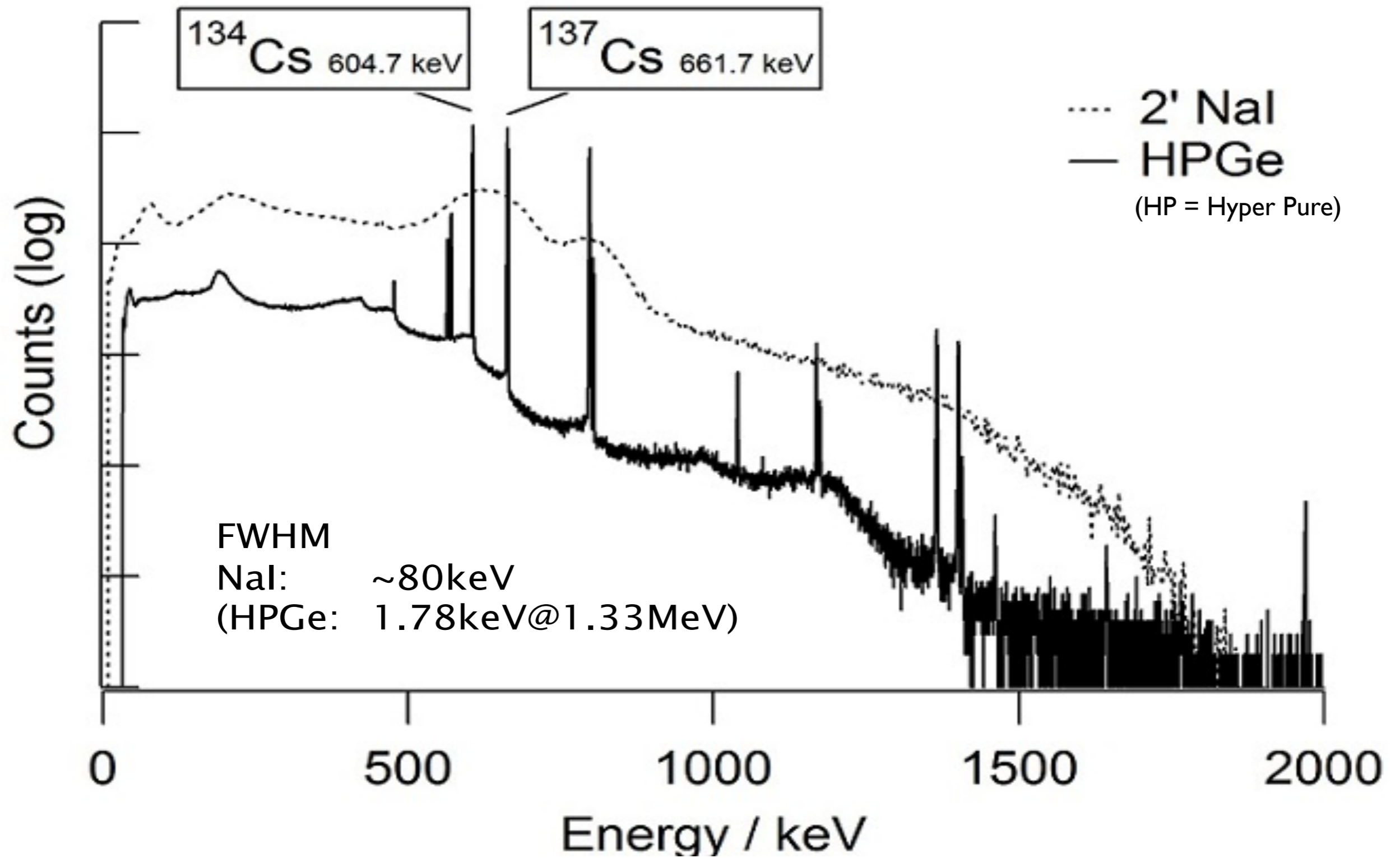
Y ゲルマニウム検出器 (Ge detector)

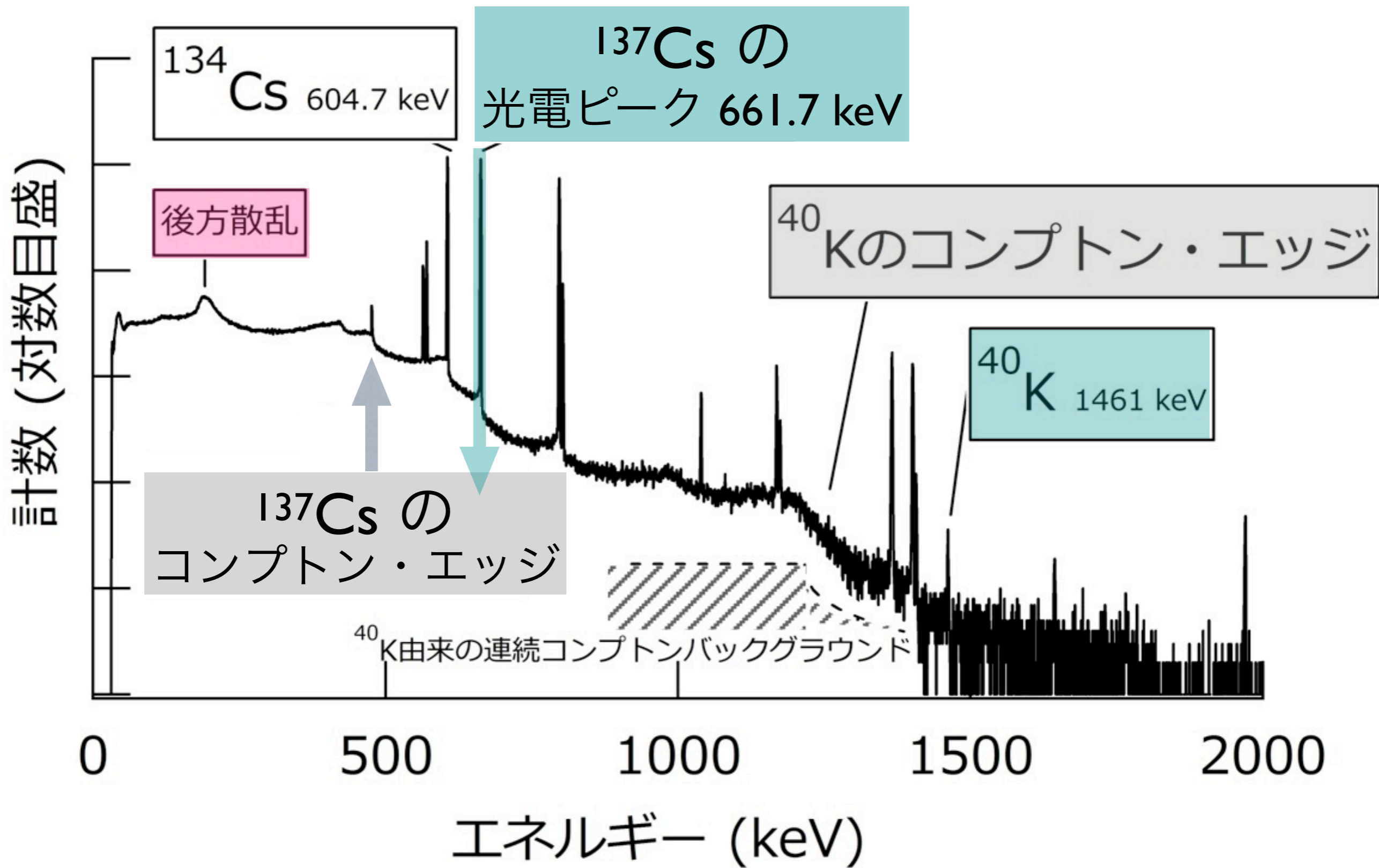


食品検査用ゲルマニウム検出器



# γ線スペクトルの比較(NaIカウンターvsGe半導体検出器)

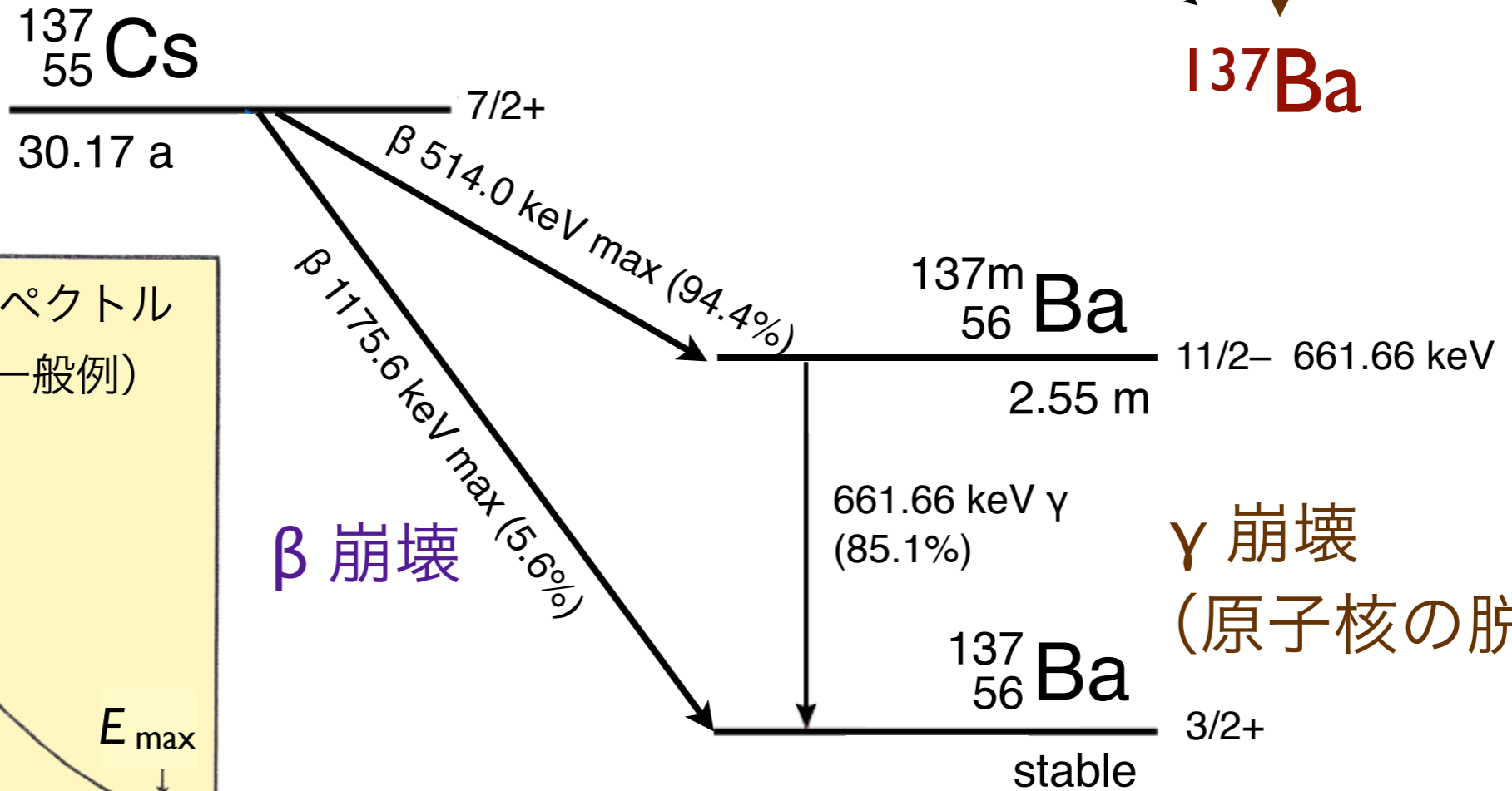




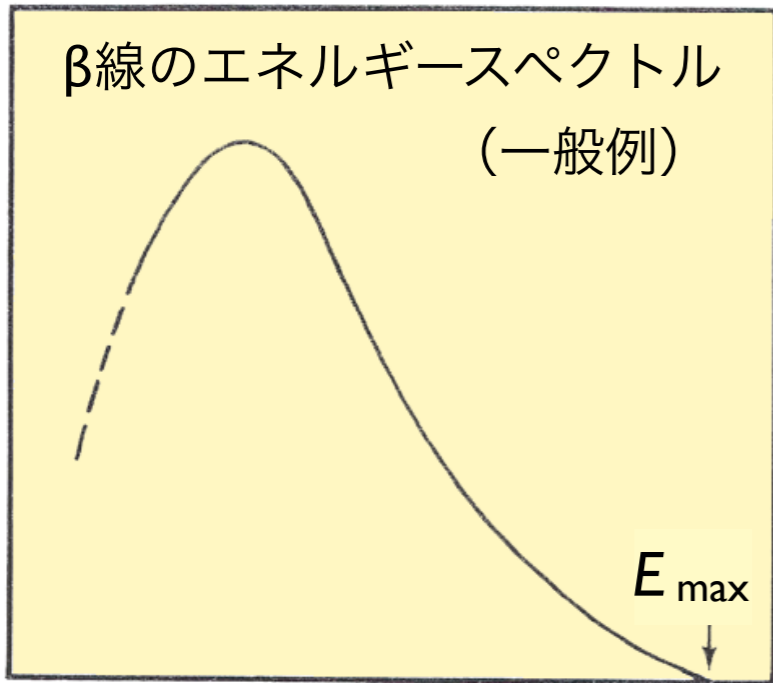


# 壊変図式

例： $^{137}\text{Cs}$

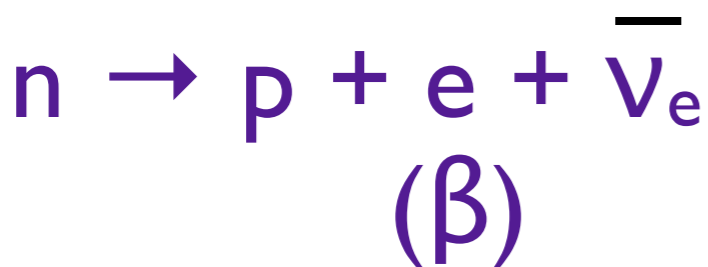


粒子数の分布

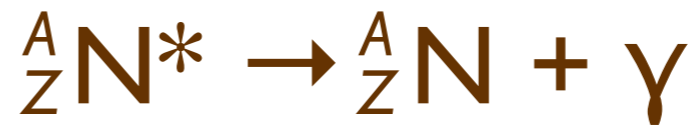


エネルギー  $E_\beta$

β線 (連続スペクトル)



γ崩壊  
(原子核の脱励起)



γ線 (線スペクトル=決まったエネルギー)

γ線のエネルギーで核種を同定

# 福島米の全量全袋検査



基準値 (100 Bq/kg) 超え

0袋 / 1025万袋 (2016年)

0袋 / 1050万袋 (2015年)

2袋 / 1077万袋 (2014年)

28袋 / 1100万袋 (2013年)

71袋 / 1034万袋 (2012年)



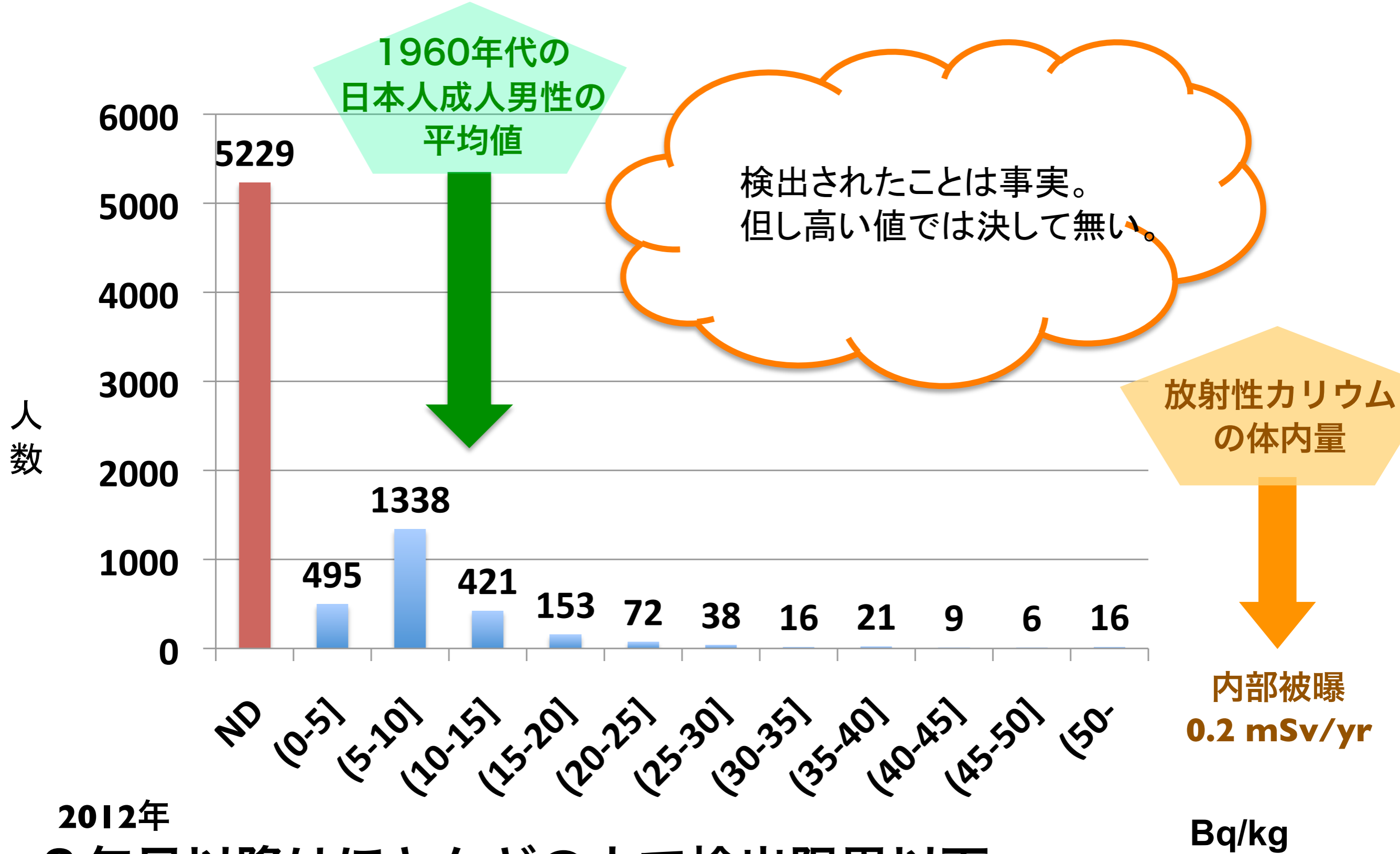
# 内部被曝の評価

## WBC による体内放射能の測定

ホールボディーカウンター



# 南相馬市立総合病院で計測したセシウム137体内放射能量別被験者数 2011/9/26～2012/3/31施行 (7814人) 高校生以上+成人対象



2012年

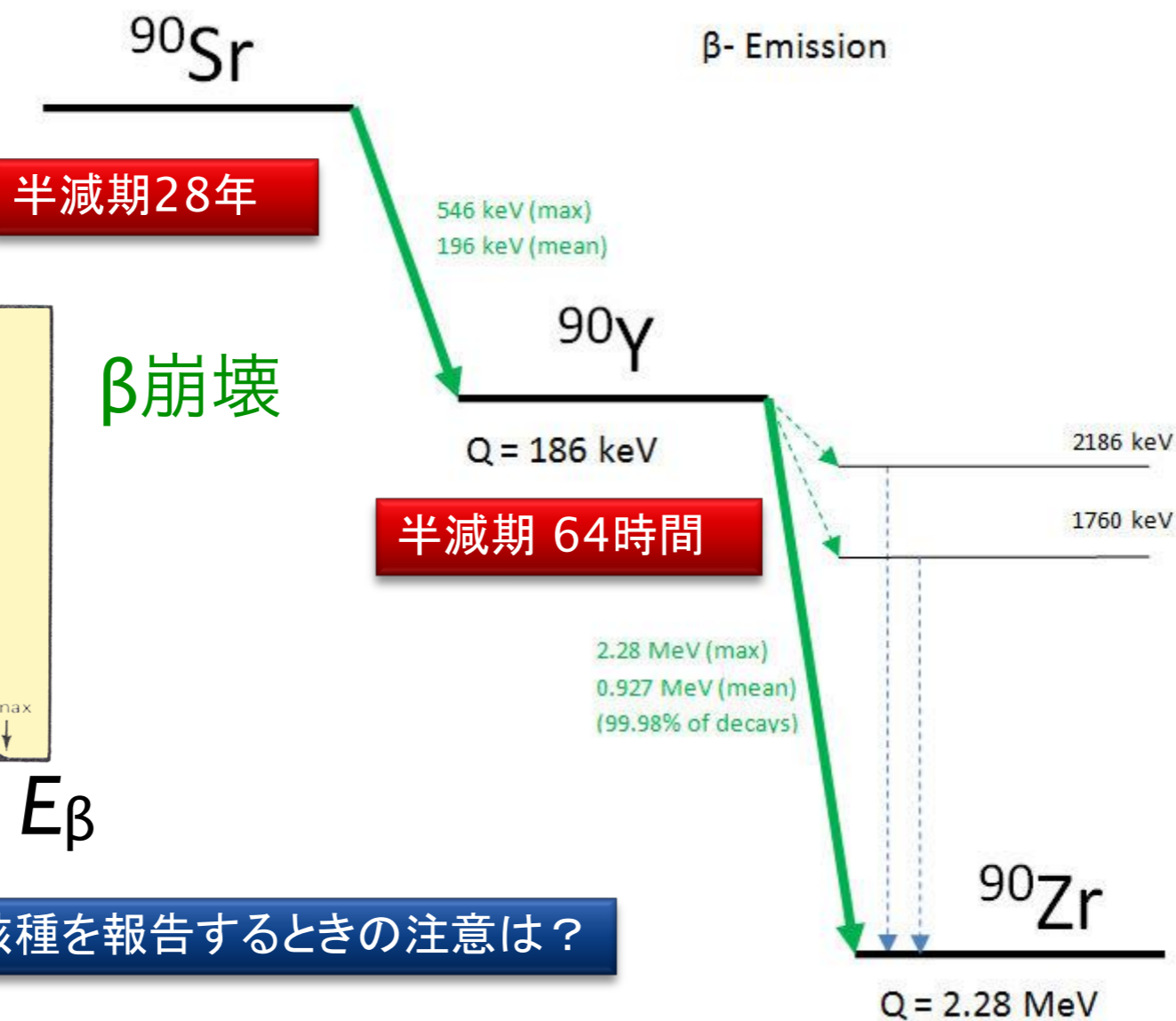
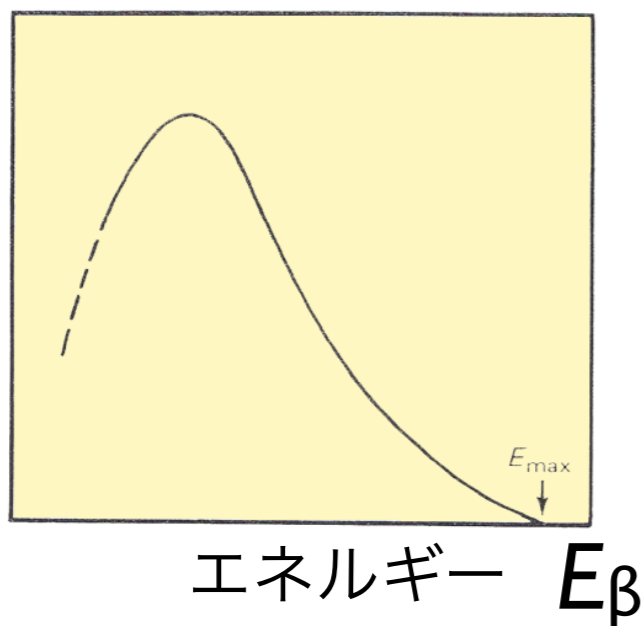
2年目以降はほとんどの人で検出限界以下。

# β崩壊核種の同定 (γ線を出さないもの)

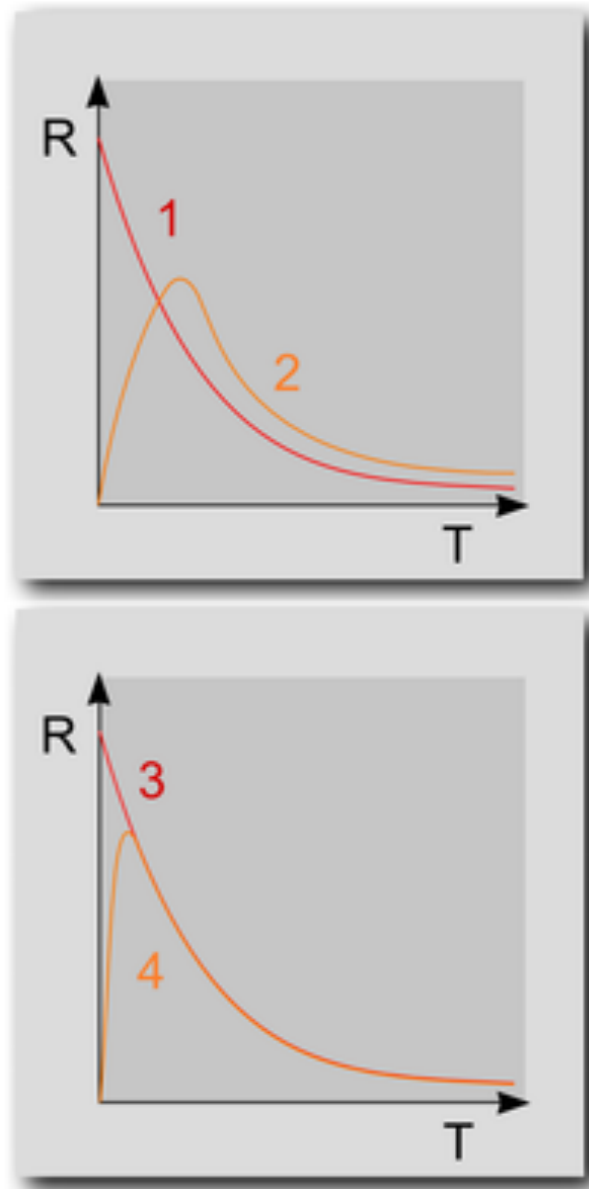
化学分離が必須

例： **$^{89}, ^{90}\text{Sr}$**

粒子数の分布



核種を報告するときの注意は？



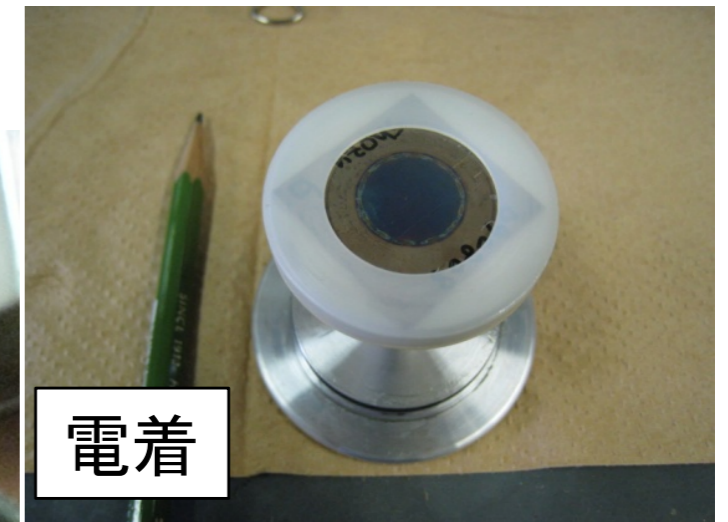
α崩壊核種の同定 ➡ アルファスペクトロメトリ

例： **$^{238}, ^{239}, ^{241}\text{Pu}$**

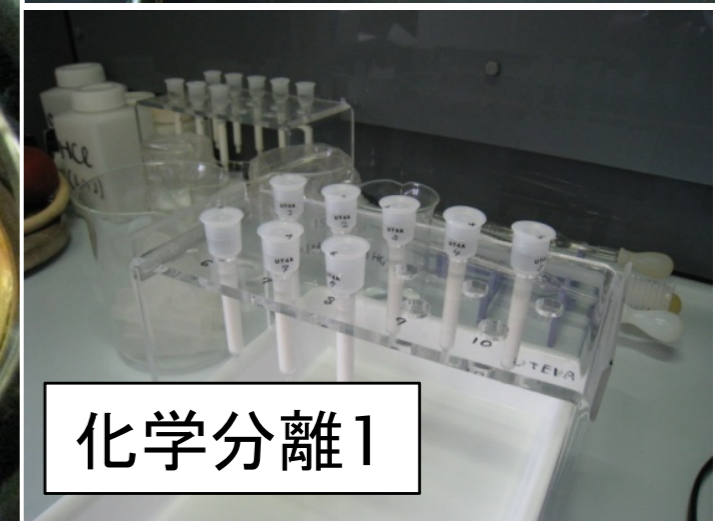
# アルファ線の測定装置

U, Th, Pu, Am, Cm...はこれ!

## ▶ アルファスペクトロメトリ



電着



化学分離1



化学分離2

分析はものすごく大変。

ターゲット元素を化学分離 → 精製 → 電着(線源を作る) →  $\alpha$ 線計測

# 線量計 (個人線量計、環境放射線測定)

フリック線量計 Fricke dosimeter

$\text{Fe}^{2+} + \text{放射線} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ , 吸光度測定

熱ルミネッセンス線量計 TLD: thermoluminescence dosimeter

蛍石などの固体結晶 + 放射線  $\rightarrow$  (加熱)  $\rightarrow$  蛍光

電子・正孔が格子欠陥に捕えられる

蛍光ガラス線量計 glass badge (RPL: radio-photoluminescence)

銀活性リン酸塩ガラス + 放射線  $\rightarrow$  (紫外線)  $\rightarrow$  蛍光

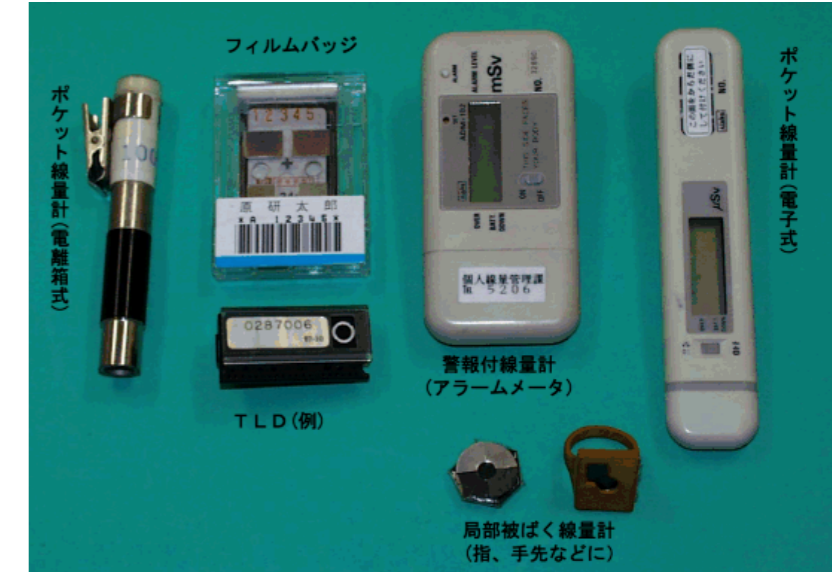
$\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Ag}^0, \text{Ag}^{++}$  発光中心 color center ができる

ガラス線量計: コバルトガラス  $\rightarrow$  発光中心 (着色)

光刺激ルミネッセンス線量計 OSL: optically stimulated luminescence

ポケット線量計: 電離箱、半導体検出器

フィルムバッジ: 銀塩写真フィルム  $\text{AgBr}$



# 他機関施設でのバッジの使用

(加速器・放射光など)

Using Your Radiation Badge

- **国内**の放射線施設を利用する場合 at domestic facilities
  - 東大理学部も**持参**することを原則とする  
Bring your UTokyo-Sci. badge to domestic radiation facilities.
  - 飛行機での**手荷物検査**によるバッジの被曝に留意  
Try to avoid X-ray survey of your badge.
- **海外**の放射線施設を利用する場合 abroad
  - 特に不要であれば、東大理学部のバッジはむしろ**持参しない**ことを推奨する  
We recommend that you do not bring your badges abroad, As long as the facility abroad takes care of your radiation protection.
  - 持参する必要がある場合、**手荷物検査**や**機内での被曝**については、後から記録の修正が必要な場合がある  
If you need to bring it abroad, give us reports on possible radiation exposure of your badge at X-ray survey and during your flights.

# 個人被曝の線量限度

## 線量限度の一覧表（作業者）

### 職業被曝（作業者 放射線業務従事者）

実効線量	100 mSv / 5年 かつ 50 mSv / 年
女子 妊娠中の女子	5 mSv / 3月 内部被曝について 1 mSv / 期間中
等価線量	150 mSv / 年
水晶体	500 mSv / 年
皮膚	2 mSv / 期間中
妊娠中の女子の 腹部表面	

	1990勧告	1977勧告
実効線量	20mSv/年（5年平均）	50mSv/年
水晶体等価線量	150mSv/年	150mSv/年 <sup>2)</sup>
皮膚等価線量	500mSv/年 <sup>1)</sup>	500mSv/年
手・足の等価線量	500mSv/年	500mSv/年 <sup>3)</sup>
その他の組織	—	500mSv/年

1) 被ばく部位に関係なく、深さ7 mg/cm<sup>2</sup>、面積1 cm<sup>2</sup>の皮膚についての平均線量に適用される。

**年リスク千分の1** (18歳から65歳までの就業期間の被曝の場合で、65歳までのリスクの最大値)

## 線量限度の一覧表（一般公衆）

### 公衆被曝（一般公衆）

実効線量	1 mSv / 年
等価線量	—
水晶体	—
皮膚	—

	1990 勧告	1977 勧告
実効線量	1 mSv/年	5 mSv/年 <sup>1)</sup> , 1 mSv/年（生涯の平均）
水晶体等価線量	15 mSv/年	50 mSv/年
皮膚等価線量	50 mSv/年 <sup>3)</sup>	50 mSv/年
その他の組織	—	50 mSv/年 <sup>2)</sup>

1) 1985年のパリ声明で主たる限度を1年につき1 mSvとして、補助的な限度を5 mSv/年とした。

2) 1985年のパリ声明で実効線量当量の制限によって不要になった。

**年リスク1万分の1** (毎年被曝の場合、65歳までの最大値) **ICRP 勧告**

〔出典〕（1990年ICRP新勧告と1977年ICRP勧告における線量限度値対照表）

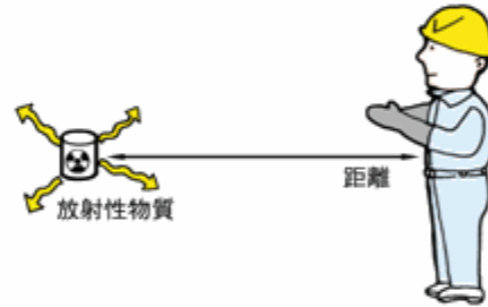
〔「ICRP1990年勧告-その要点と考え方-」、草間朋子編、日刊工業新聞社、50ページ〕

国内法令による防護基準

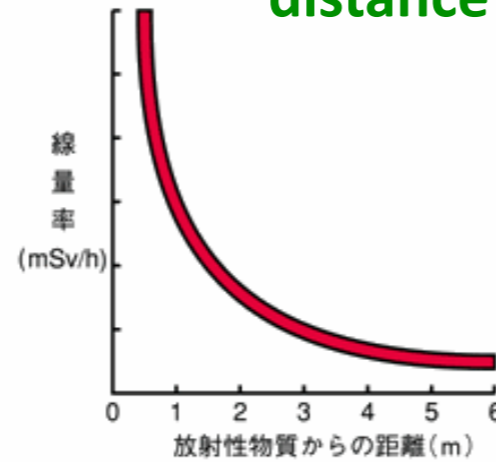
# 放射線防護

## ● 距離による防護

$$[\text{線量率}] = [\text{距離}]^2 \text{に反比例}$$

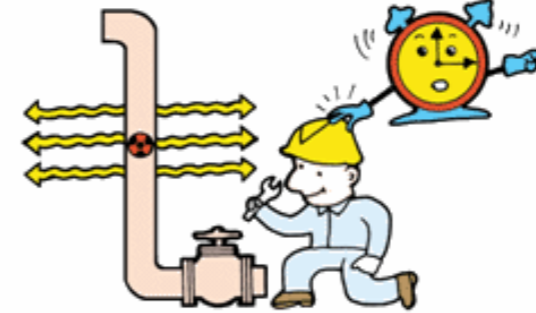


distance

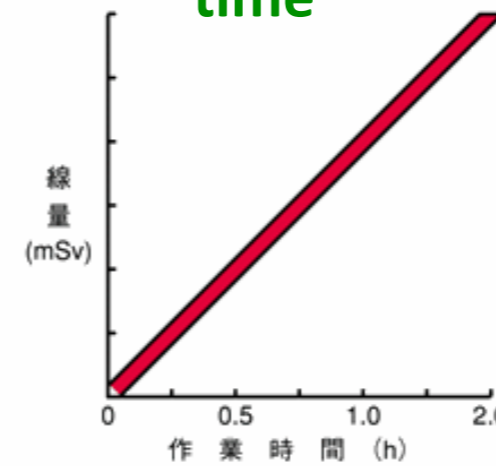


## ● 時間による防護

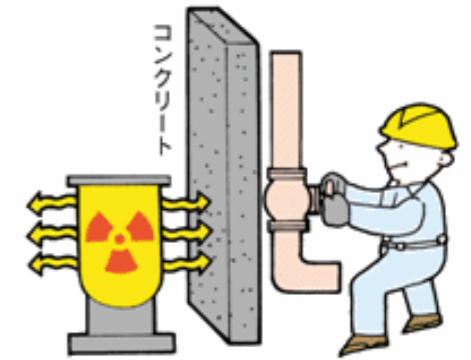
$$[\text{線量}] = [\text{作業場所の線量率}] \times [\text{作業時間}]$$



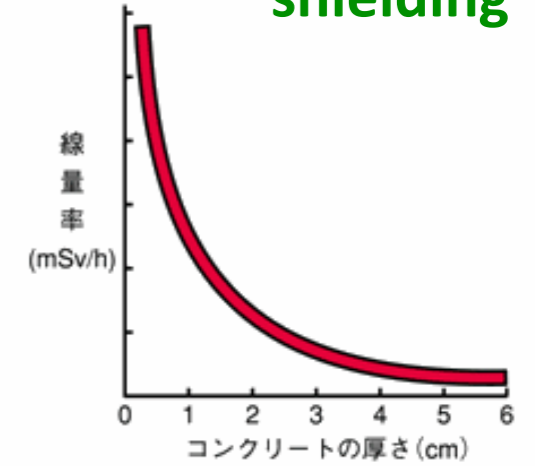
time



## ● 遮蔽による防護



shielding



Prevent deterministic effect.

Reduce stochastic effect.

確定的影響は発症させない。

確率的影響をできるだけ減らす。

図1 遮へい3原則の図

[出典] 電気事業連合会:「原子力・エネルギー」図面集2003-2004、p.130

Optimization : all exposures shall be kept as low as reasonably achievable, economic and social factors being taken into account.

**防護の最適化**：個人線量、被曝人数、潜在的被曝の可能性のすべてを、経済的および社会的要因を考慮に入れたうえで、合理的に達成できる限り低く保つべきである。

**(ALARA の原則 = As Low As Reasonably Achievable)**



# 放射線管理区域

管理区域  
(使用・貯蔵施設)



許可なくして  
立ち入りを禁ず

放射性同位元素  
使用室



第 2 種

←開閉→



# 密封小線源

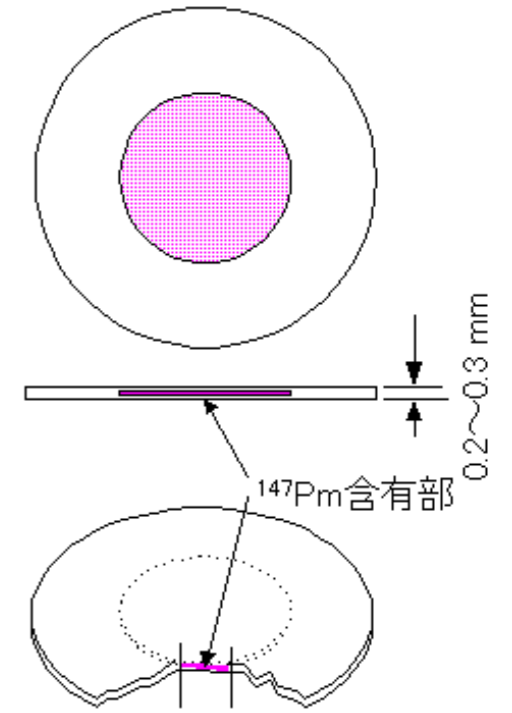
Sealed sources



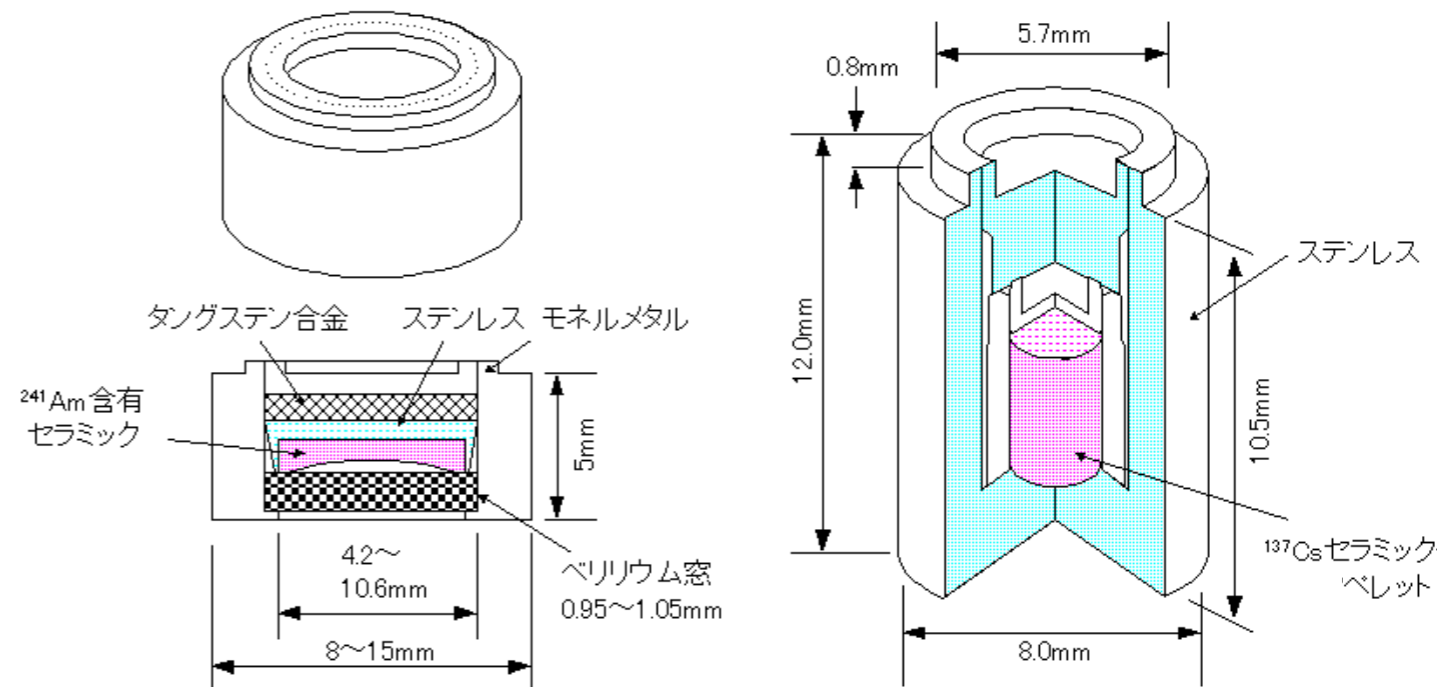
$\alpha$  線源



$\beta$  線源



$\gamma$  線源



# エックス線装置の安全取扱

## Safe Usage of X-ray devices



### ①X線警告灯（黄色）

X線の発生を防X線カバーのX線警告灯の黄色LEDで表示します。

### ②防X線カバー（側面）

防X線カバーにより、ゴニオメータ等の光学系部が覆われています。

### ③防X線カバーの扉（インターロック）

前面パネルにロック機構が付いており、「DOOR」ボタン（黄色）が消灯している時は扉ロックが掛かり、防X線カバーは開けることができません。

### ④「DOOR」ボタン

防X線カバーを開ける時に使用します。

### ⑤HV ENABLE キー

キーを右に回し、装置ロックを解除しPOWER ONを可能な状態にします。

## 東京大学における エックス線装置の分類

### Classification of X-ray devices at UTokyo

密閉型 closed system	A	完全密閉式
	B	安全機能連動式
非密閉型 non-closed system	C	インターロック解除式
	D	放射線装置室設置式
	E	固定困難・常時移動式

# エックス線装置等の設置・廃止

## Registration of a new X-ray device

### エックス線装置

- **設置**、**移転**または**変更**を行う場合は、予定日の**3ヶ月前**までに、まずご相談ください。遅くとも 60 日前までに。理学系から環境安全本部への報告期限が 50 日前です。
- 使用**中止**、使用**再開**または**廃止**は、事前に連絡願います。

### 定格加速電圧が 100 kV 以上の電子顕微鏡

- 定格加速電圧が 100 kV 以上の電子顕微鏡の設置、移転、変更または廃止を行う場合は、事前に放射線管理室に連絡願います。

# 装置責任者に対するお願い

## Responsibility of device managers

- 装置の安全管理
  - 定期検査での装置の安全の点検（年度1回）
  - エックス線装置CDEは作業環境測定が必要  
（Cの場合、設置時および6カ月に1回）
  - 平素の安全点検
- 使用者の指導
  - 装置の使用を開始する学生等に対する  
**安全指導**
  - 使用状況を確認し、問題がある場合は、  
使用者に注意を与える

# 今日の問題一覧

**第1問**：放射線取扱いの認可には、

「RI・加速器」「X-CDE」「X-AB」の3種類がある。そのうち認可の手続きで健康診断が不要なのは「○○○」である。

「○○○」は、3つのうちどれか？

**第2問**：放射線被ばくによるがんの発生は、「確定的影響」と「確率的影響」いずれの影響に分類されるか？

**第3問**：放射線照射によって蛍光発光する物質のことを何と呼ぶか。(NaI や CsI、またプラスチックや液体のものもあり、光電子増倍管と組み合わせて放射線検出に用いられている。)

**解答を出席票に記入して提出すること**