

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)**

放射線測定器

加速器・放射光施設の安全利用

密封線源・エックス線装置の安全取扱

Radiation Detectors

Safety at Accelerator & Synchrotron Radiation Facilities

Safe Handling of Sealed Sources & X-ray devices

2025年度 夏秋

Summer/Autumn 2025

空間線量率測定 表面汚染検査



β (γ)

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)

放射線の測定

γ



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

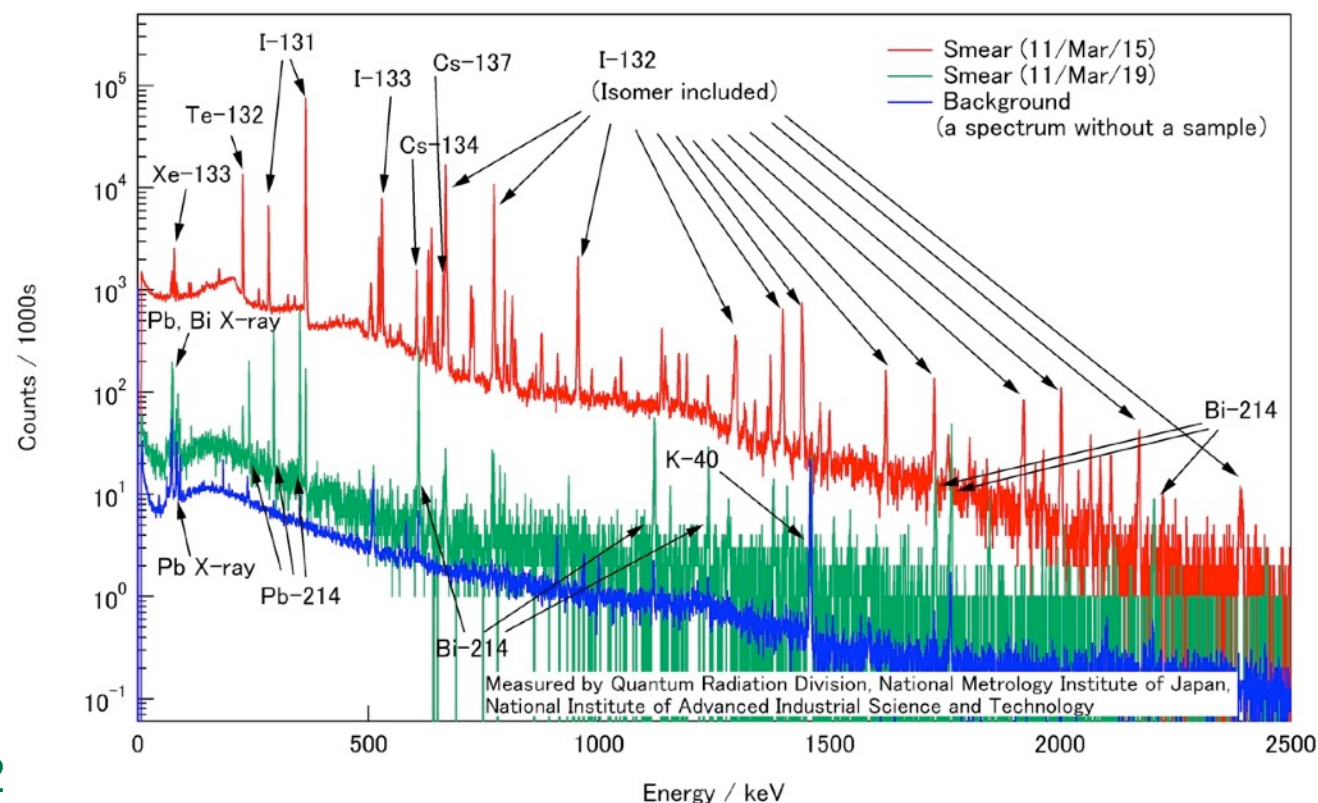
NaI, CsI, plastic scinti., ZnS

半導体検出器

Ge, Si(Li)

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



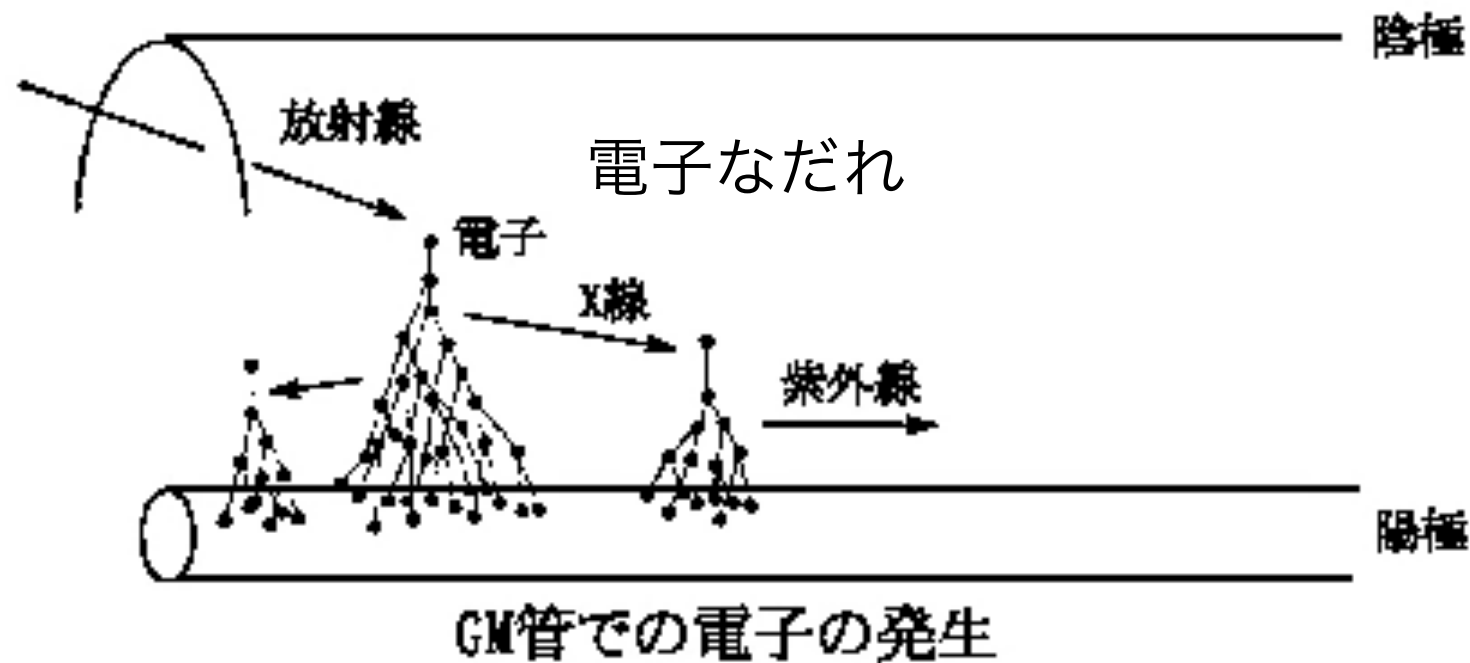
GM管 表面汚染用 サイベイメータ



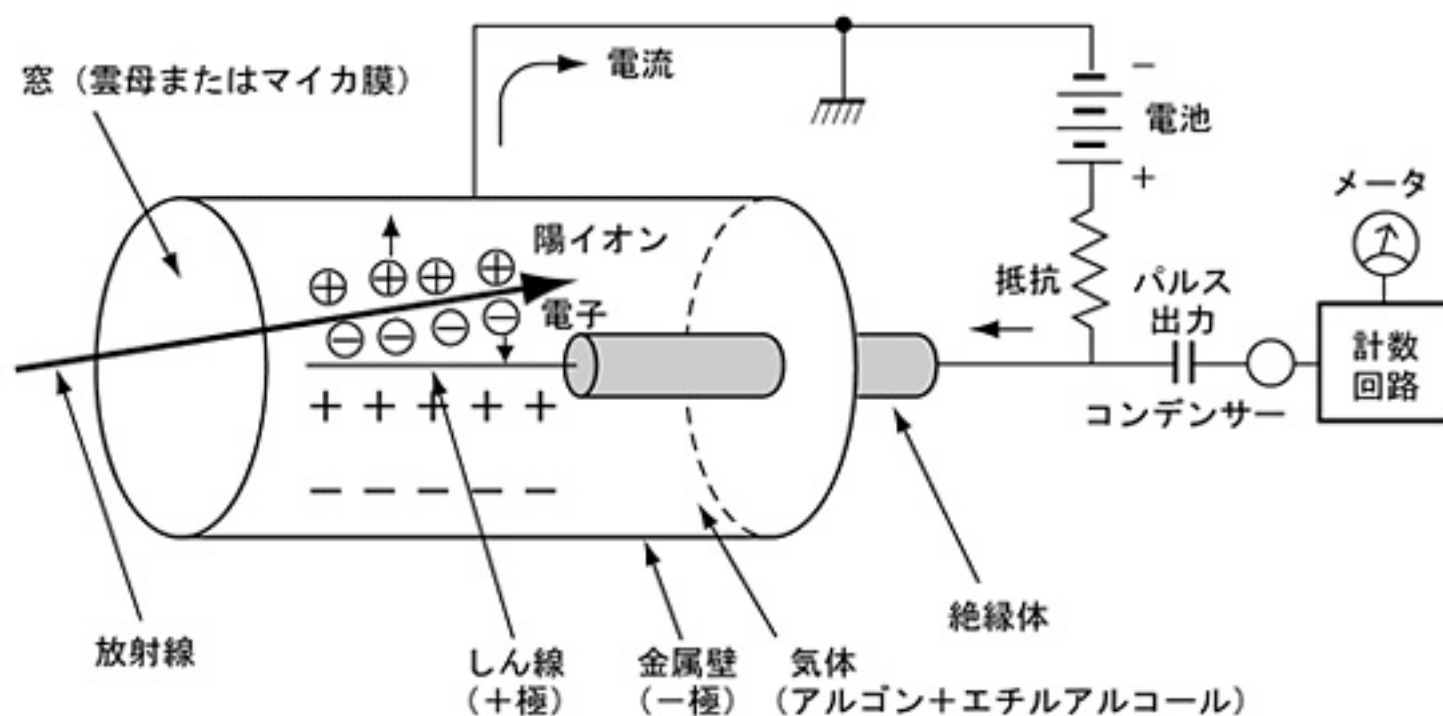
気体の電離を利用する放射線計測

電離箱, 比例計数管, GM管

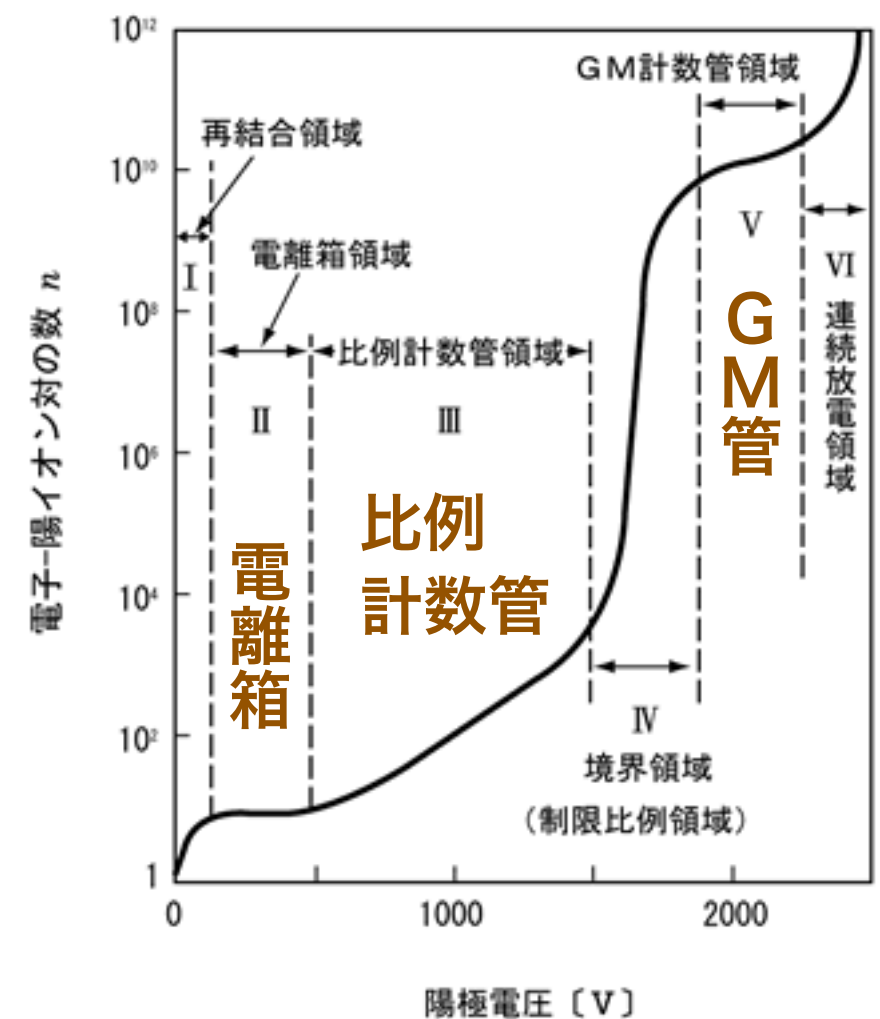
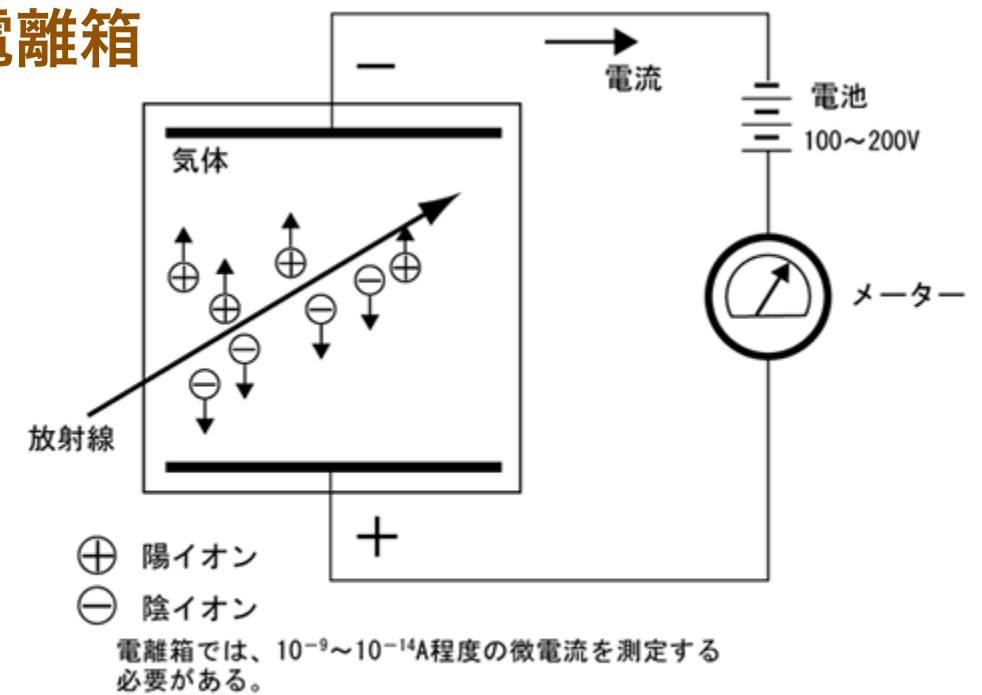
(ガイガー・ミュラー管)



GM管



電離箱



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)



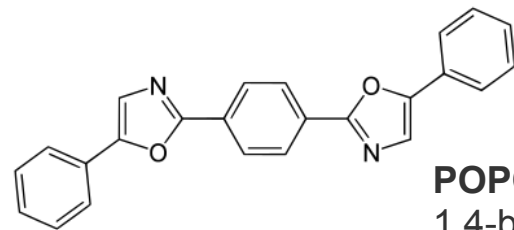
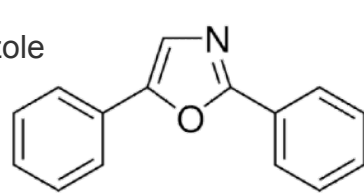
ZnS (Ag) (α線)

BaF₂

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

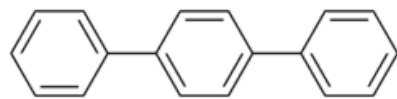
PPO :
2,5-diphenyloxazole



POPOP :
1,4-bis[2-(5-phenyloxazolyl)]benzene

：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

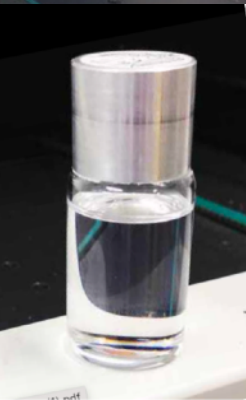


電気パルス：タイミング：粒子透過時刻
：パルス高：エネルギー

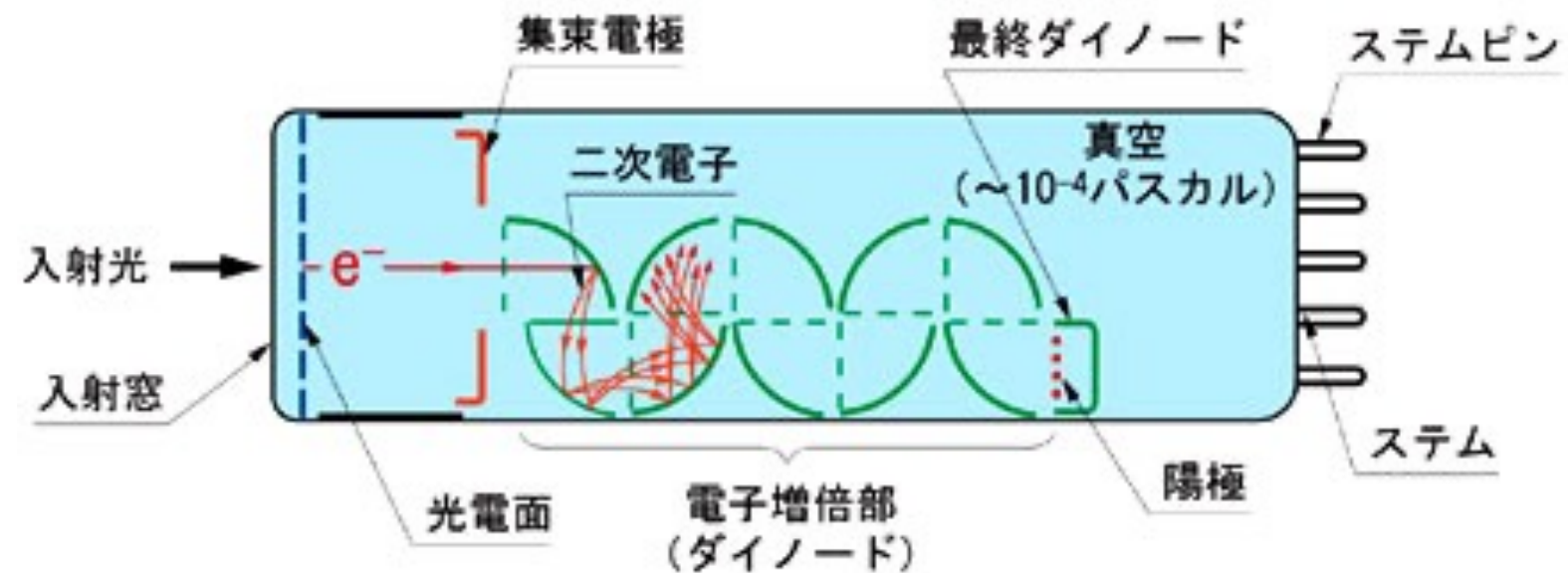


液体シンチレーション
カウンタ

特にトリチウム (³T)
(β線) の検出



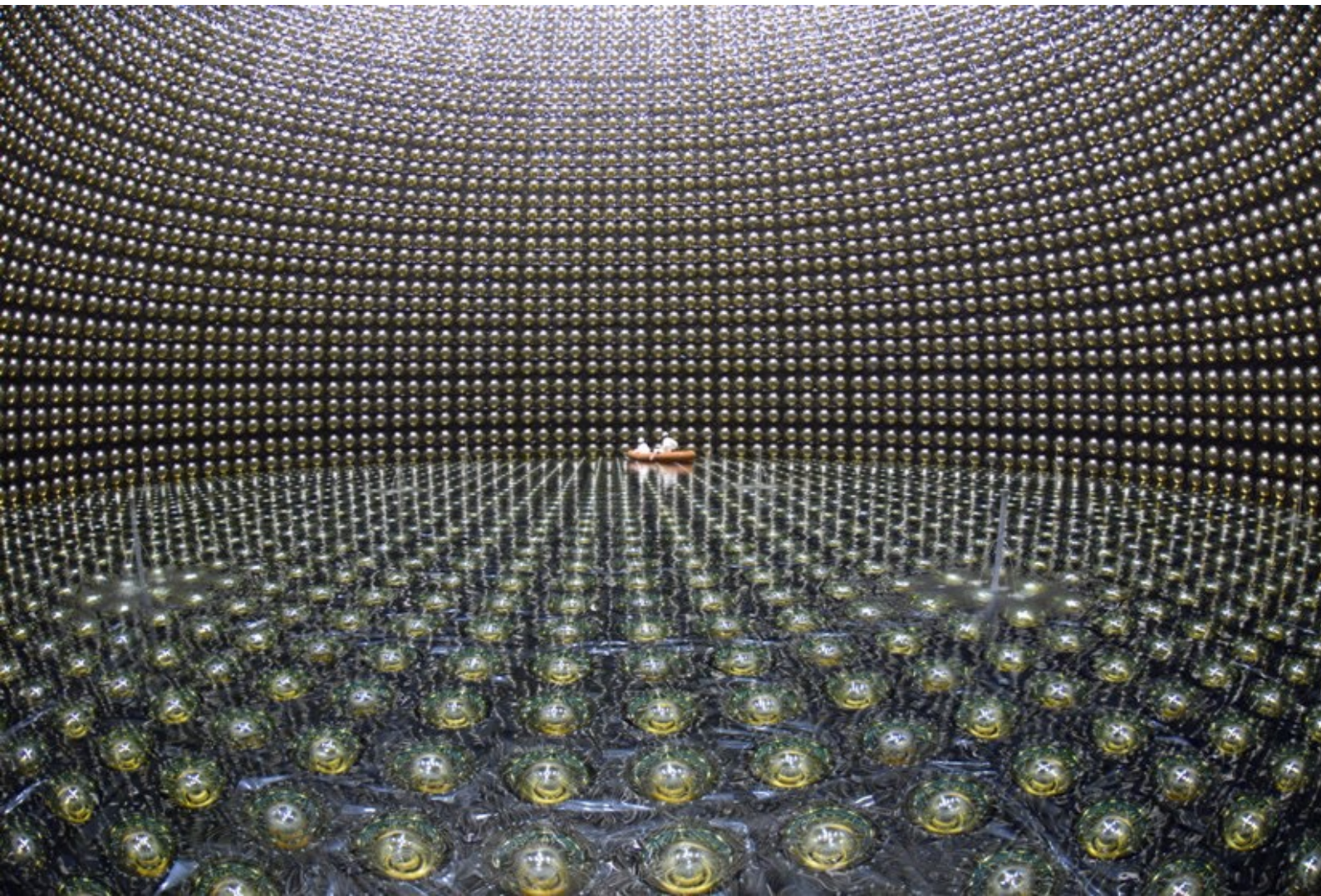
光電子増倍管 (PMT: Photomultiplier tube)



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



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)
(γ 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

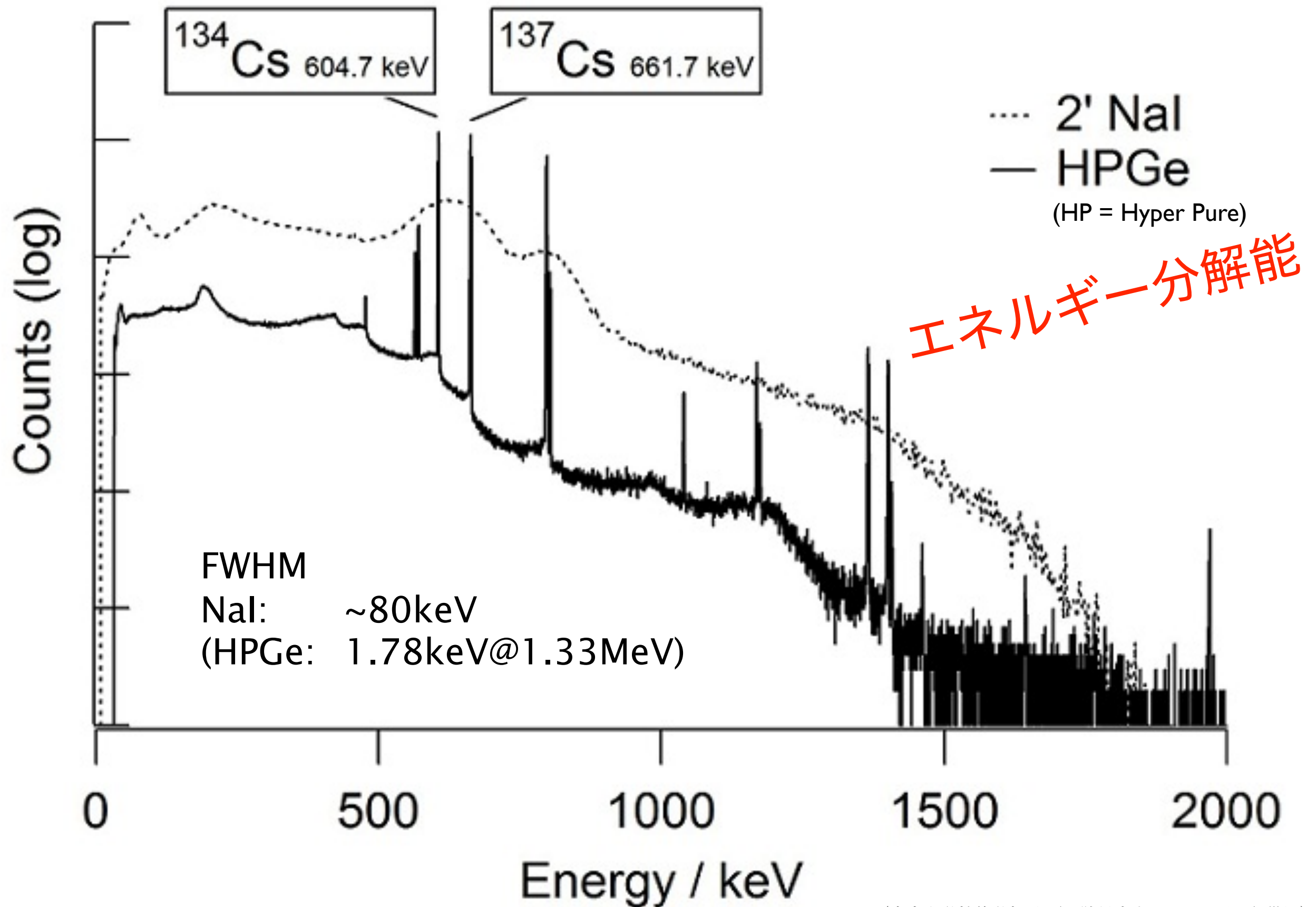
Y ゲルマニウム検出器 (Ge detector)



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)



(東京大学教養学部 小豆川勝見先生のスライドより借用)

福島米の全量全袋検査



基準値 (100 Bq/kg) 超え

0袋／ 949万袋 (2019年)

0袋／ 925万袋 (2018年)

0袋／ 998万袋 (2017年)

0袋／ 1027万袋 (2016年)

0袋／ 1050万袋 (2015年)

2袋／ 1101万袋 (2014年)

28袋／ 1101万袋 (2013年)

71袋／ 1035万袋 (2012年)



線量計（個人線量計、環境放射線測定）

フリッケ線量計 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

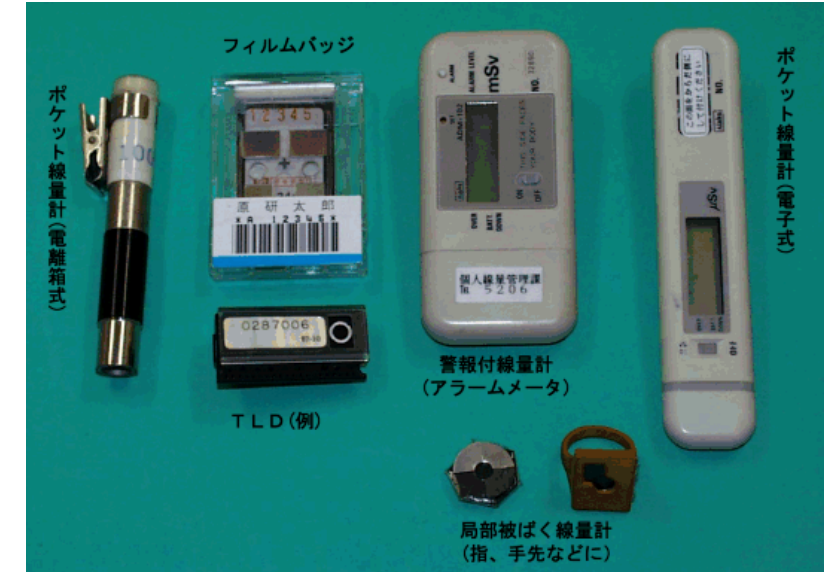
$\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Ag}^0, \text{Ag}^{++}$ 発光中心 color center ができる

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

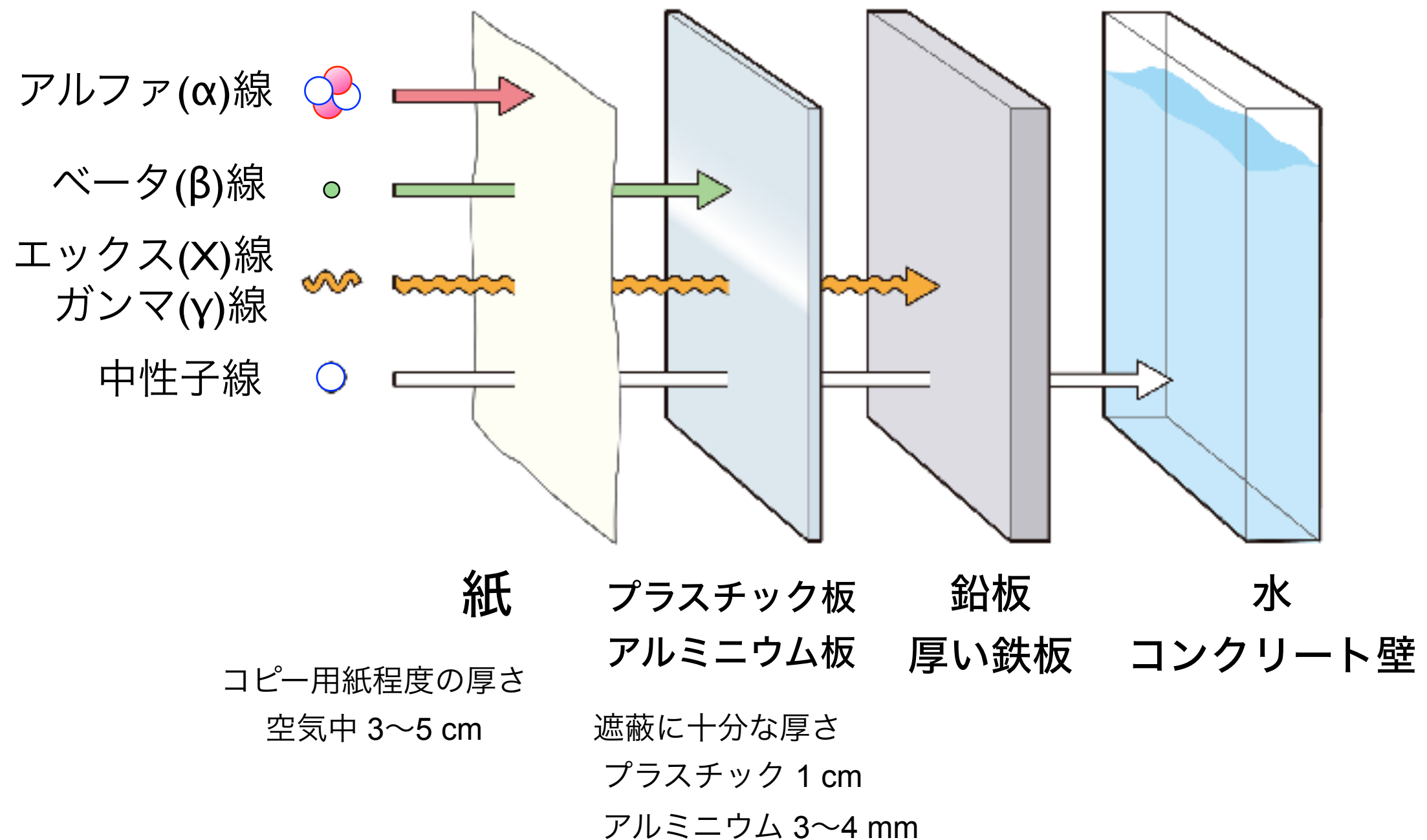
光刺激ルミネッセンス線量計 OSL: optically stimulated luminescence

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 AgBr



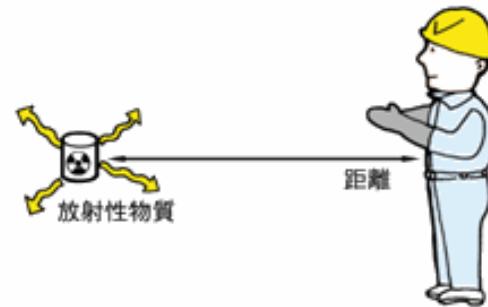
放射線の種類と透過力



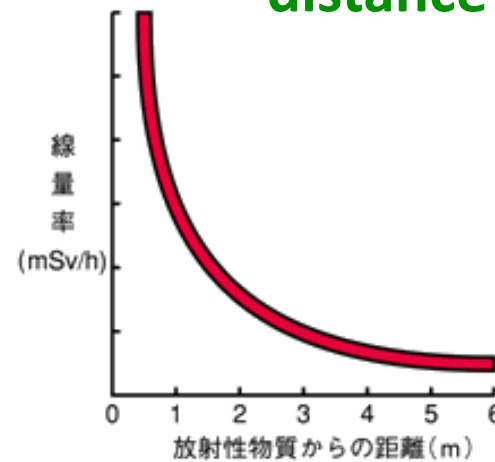
放射線防護

● 距離 による 防護

[線量率] = [距離]² に反比例

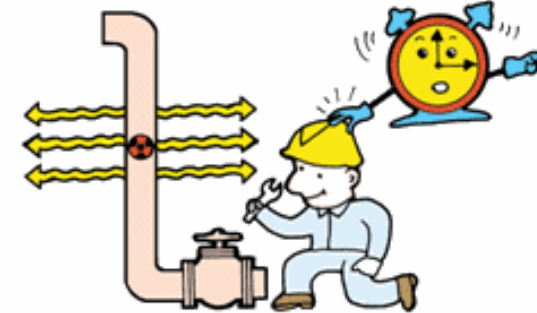


distance

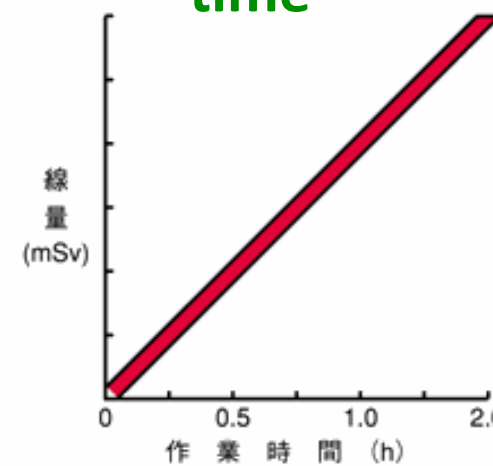


● 時間 による 防護

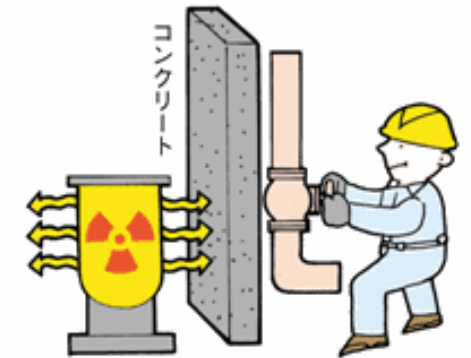
[線量] = [作業場所の線量率] × [作業時間]



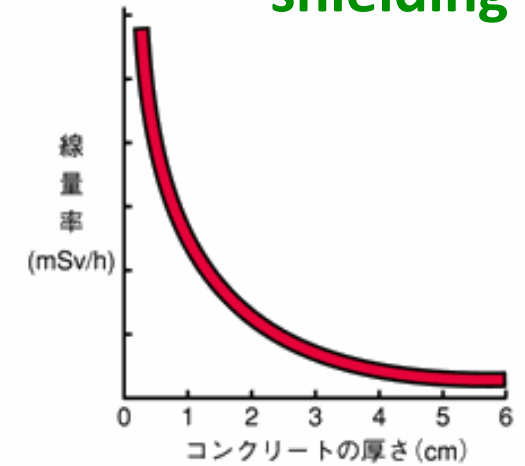
time



● 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)

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 水晶体	100 mSv / 5年 かつ 50 mSv / 年
皮膚 妊娠中の女子の 腹部表面	500 mSv / 年 2 mSv / 期間中

	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 ²⁾
皮膚等価線量	500mSv/年 ¹⁾	500mSv/年
手・足の等価線量	500mSv/年	500mSv/年 ³⁾
その他の組織	—	500mSv/年

1) 被ばく部位に関係なく、深さ7 mg/cm²、面積1 cm²の皮膚についての平均線量に適用される。

2) 1980年のブライトン声明で200mSv（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）
3) 1978年のストックホルム声明で適用された。

年リスク千分の1

線量限度の一覧表（一般公衆）

	1990 勧告	1977 勧告
実効線量	1 mSv/年	5 mSv/年 ¹⁾ , 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 ³⁾	50 mSv/年
その他の組織	—	50 mSv/年 ²⁾

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5mSv/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 ICRP 勧告
(毎年被曝の場合、65歳までの最大値)

〔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]

公衆被曝（一般公衆）

実効線量	1 mSv / 年
等価線量 水晶体 皮膚	— —

国内法令による防護基準

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
 - 原則として東大理学部のパッジも**持参する(身につける)**こと
Bring your UTokyo-Sci. badge to domestic radiation facilities.
 - 飛行機での**手荷物検査**によるパッジの被曝に留意 (**身につける**)
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、東大理学部のパッジはむしろ**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.

放射線管理区域

管理区域
(使用・貯蔵施設)



許可なくして
立入りを禁ず

放射性同位元素
使用室



第 2 種

←開閉→



管理区域（監視エリア）用靴履
Shoeshoes for Controlled Area
(Maintenance Area)

管理区域（監視エリア）用靴履
Shoeshoes for Controlled Area
(Maintenance Area)

管理区域（監視エリア）用靴履
Shoeshoes for Controlled Area
(Maintenance Area)

管理区域（監視エリア）用靴履
Shoeshoes for Controlled Area
(Maintenance Area)

Beam Power 520 W

更衣室

静かにお乗りください
Please step on the foot detector with care

△注意
RPCM の故障の疑いにかりますので
靴底にテープ等が付着していない
ことを確認してください。
放射線安全セクション

△注意
RPCM の故障の疑いにかりますので
靴底にテープ等が付着していない
ことを確認してください。
放射線安全セクション

△注意
RPCM の故障の疑いにかりますので
靴底にテープ等が付着していない
ことを確認してください。
放射線安全セクション



密封小線源

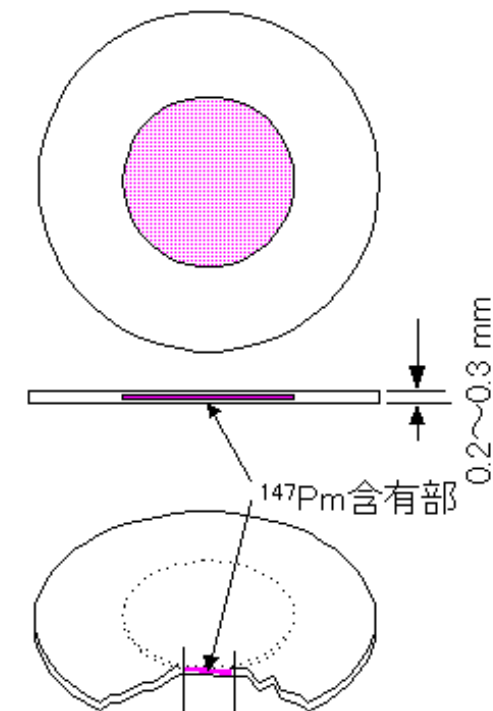
Sealed sources



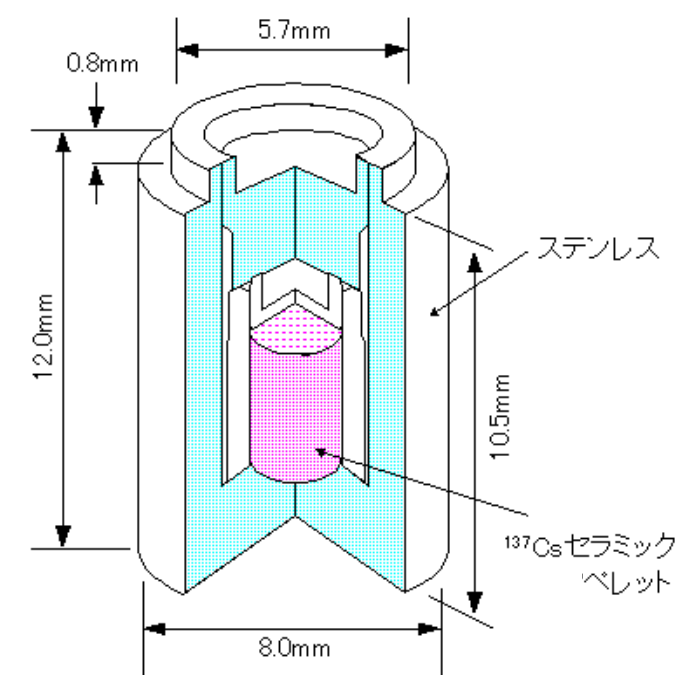
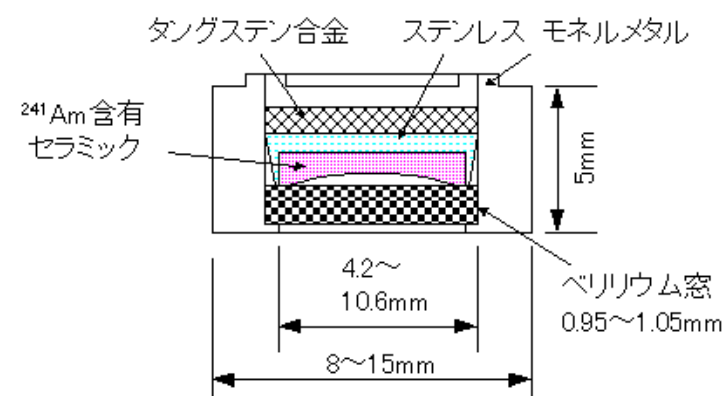
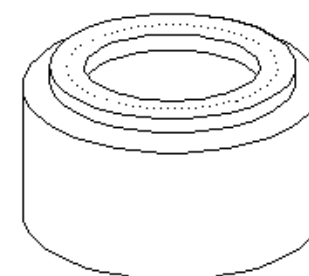
α 線源



β 線源



γ 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

エックス線装置の安全取扱

Safe Usage of X-ray devices

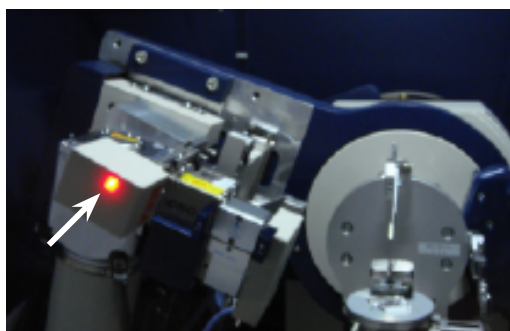


図2 シャッター付近の照射ランプ

複数の表示で
シャッターの開閉状態を
意識して確認する。



図3 外部照射ランプ

C分類でインターロックを
解除するときは十二分に
確認する。

ビームの調整やメンテナンス
等では、装置の電源を切り、
シャッターが閉じて
いることを確認する。

使用記録を作成し、
整備すること。



図4 PC上のシャッター状況



図5 装置制御板上の表示

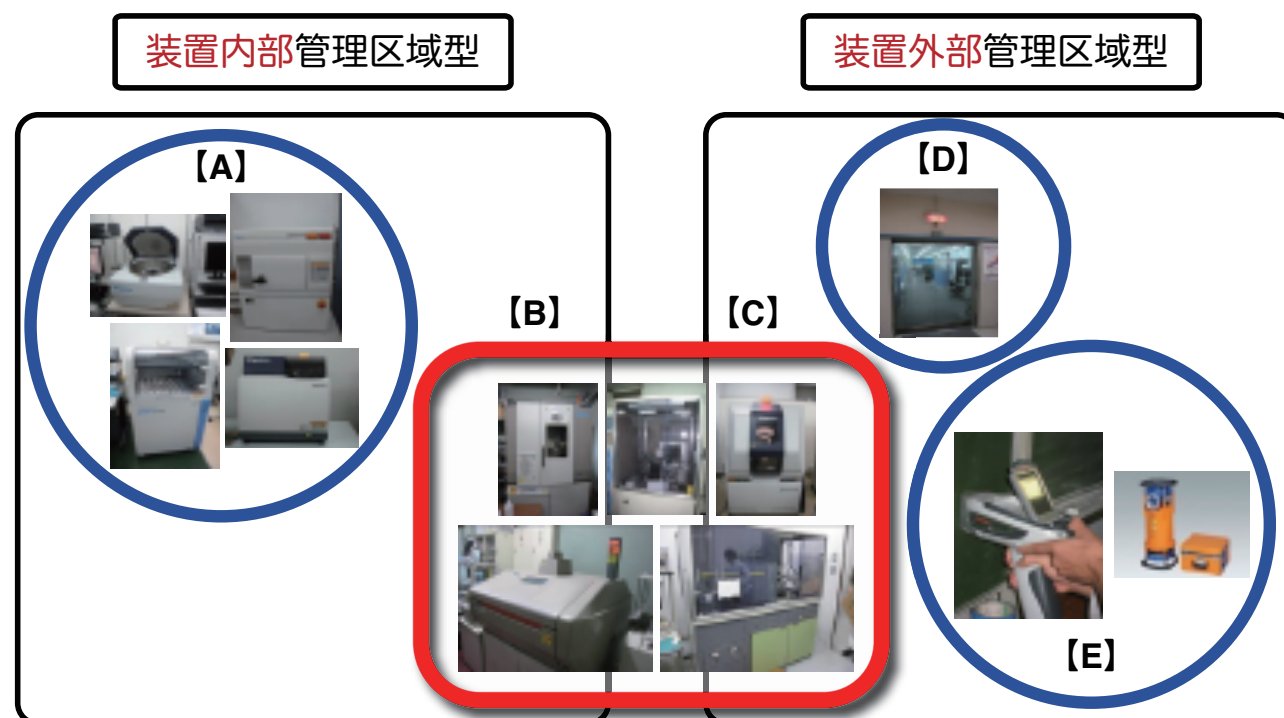


図1 東京大学における研究用エックス線装置の分類

東京大学におけるエックス線装置の分類

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

Classification of X-ray devices at UTokyo

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