

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)**

制動放射とシンクロトロン放射

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

Bremsstrahlung and Synchrotron Radiation

Safety at Accelerator & Synchrotron Radiation Facilities

Safe Handling of Sealed Sources & X-ray devices

2025年度

School Year 2025

measurement of
ambient dose rate &
surface contamination

Measurement of radiation

detectors

Ionization of gas

ionization chamber, G-M tube

Scintillator + PMT (photomultiplier)

NaI, CsI, plastic scinti., ZnS

Semiconductor detectors

Ge, Si(Li)



γ

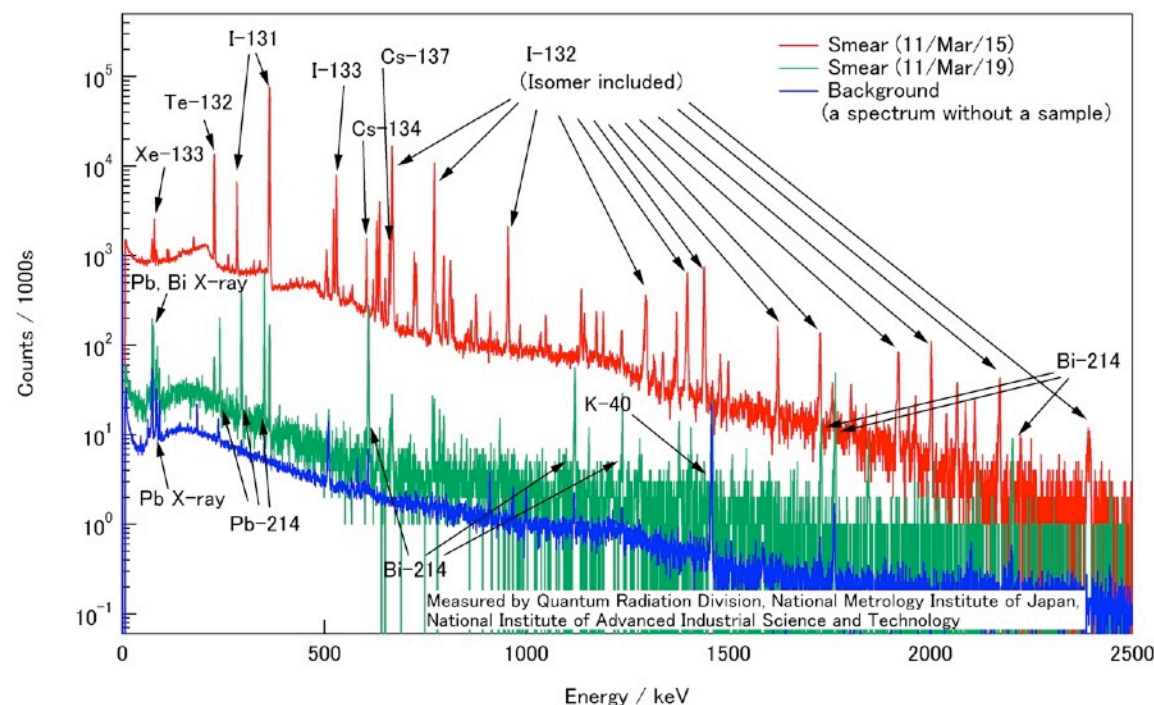


counting (cps = counts per second)

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)

energy analysis (ID of nuclide)

γ -ray spectrum of a Ge detector



measurement
for samples

食品検査用ゲルマニウム検出器
(Ge detector for food samples)



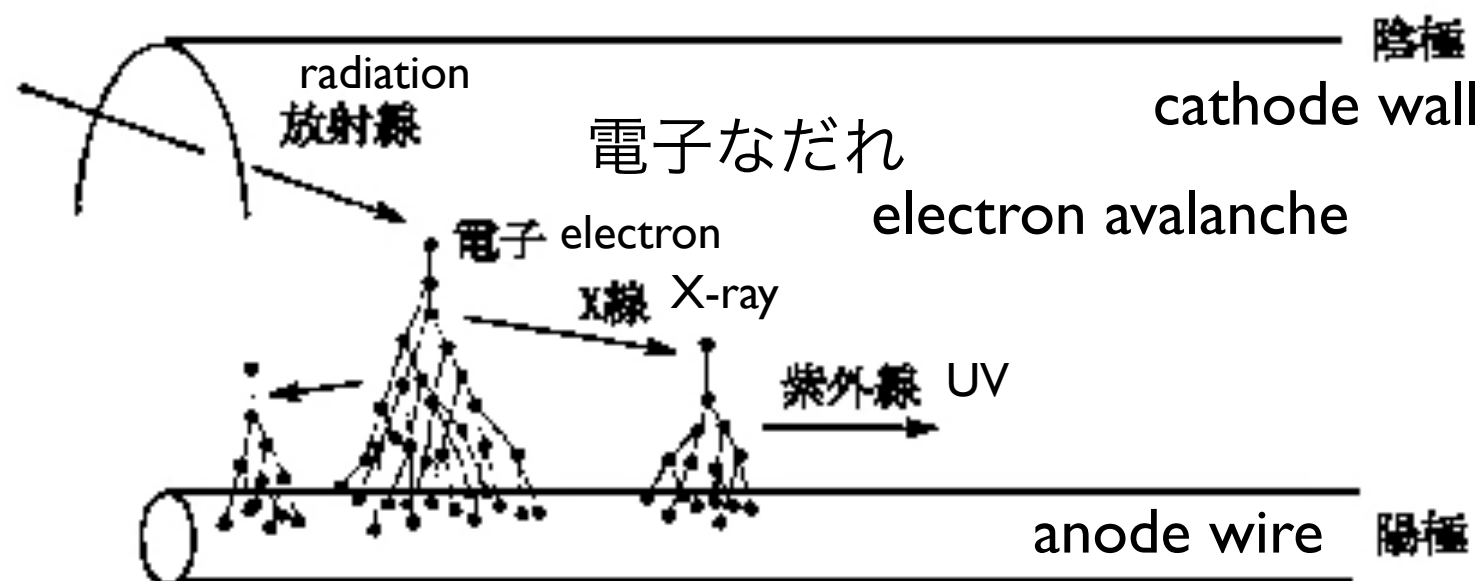
**Geiger-Müller counter
used as a survey meter
for check of surface
contamination**



Radiation detection using **ionization of gas**

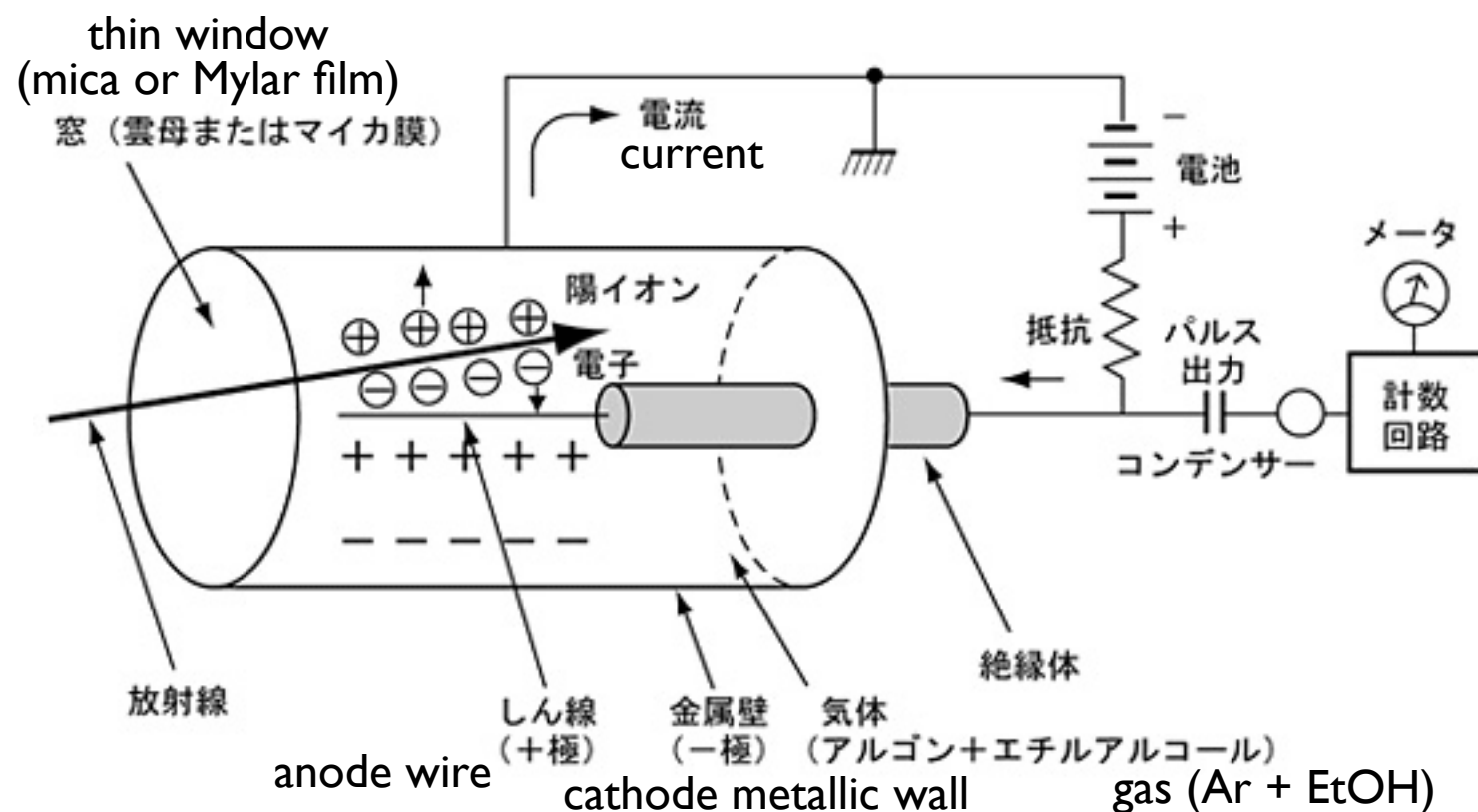
ionization chamber
proportional counter
Geiger-Müller tube

電離箱
 比例計数管
 GM管

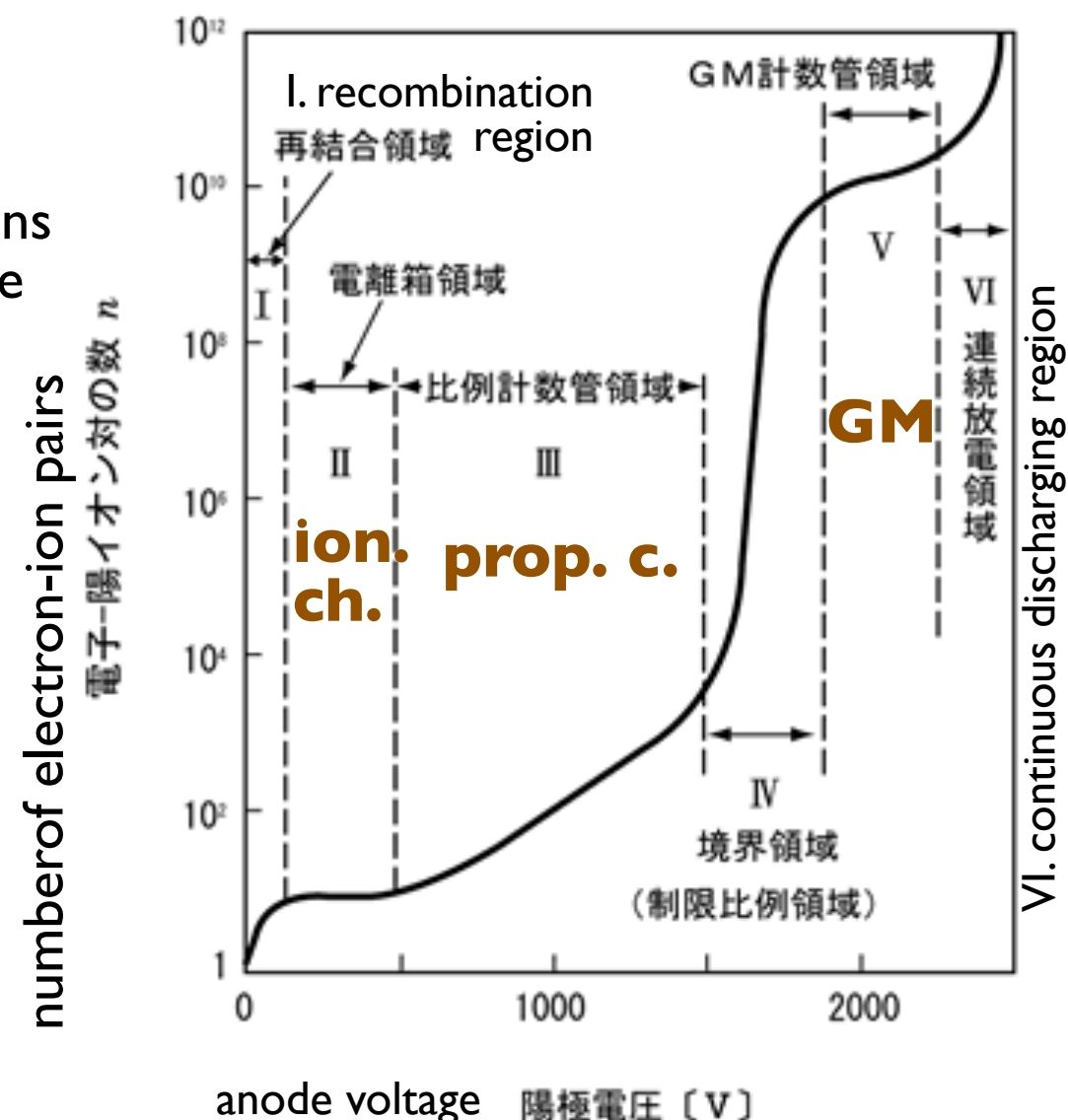
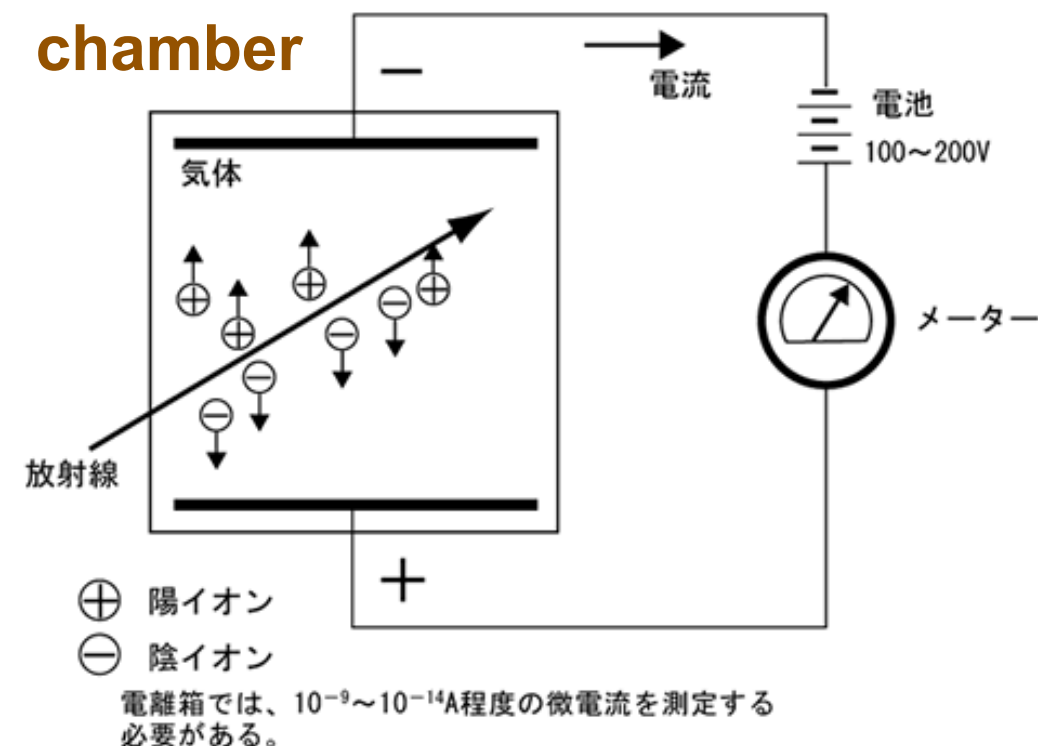


G-M tube

GM管での電子の発生 generation of electrons inside the G.-M. tube



ionization chamber



fluorescence of materials by irradiation or radiation

Scintillators

Plastic scintillator
& light guide

Inorganic : NaI(Tl), CsI(Tl) (γ -ray, X-ray)

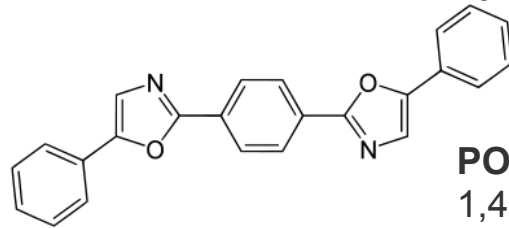
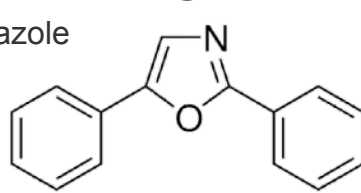
BGO, GSO etc. (γ -ray, X-ray)
 $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ Gd_2SiO_5

ZnS(Ag) (α -ray)

BaF_2

Organic : plastic scintillator (electron beam)
(charged particles)
e.g. PPO, POPOP / polystyrene

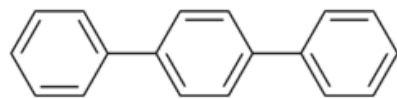
PPO :
2,5-diphenyloxazole



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

liquid scintillator (β -ray)

e.g. *p*-terphenyl / toluene, xylene

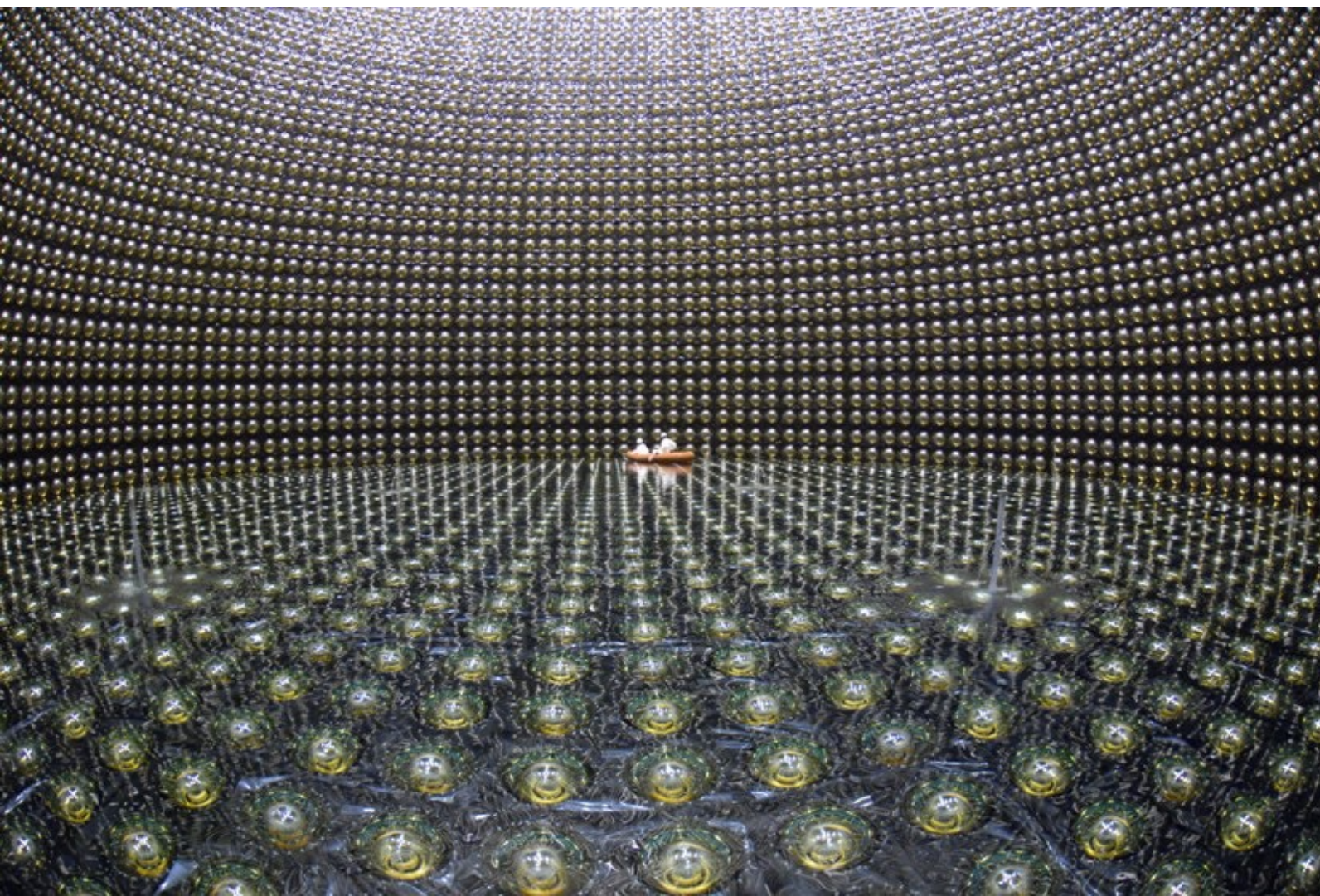
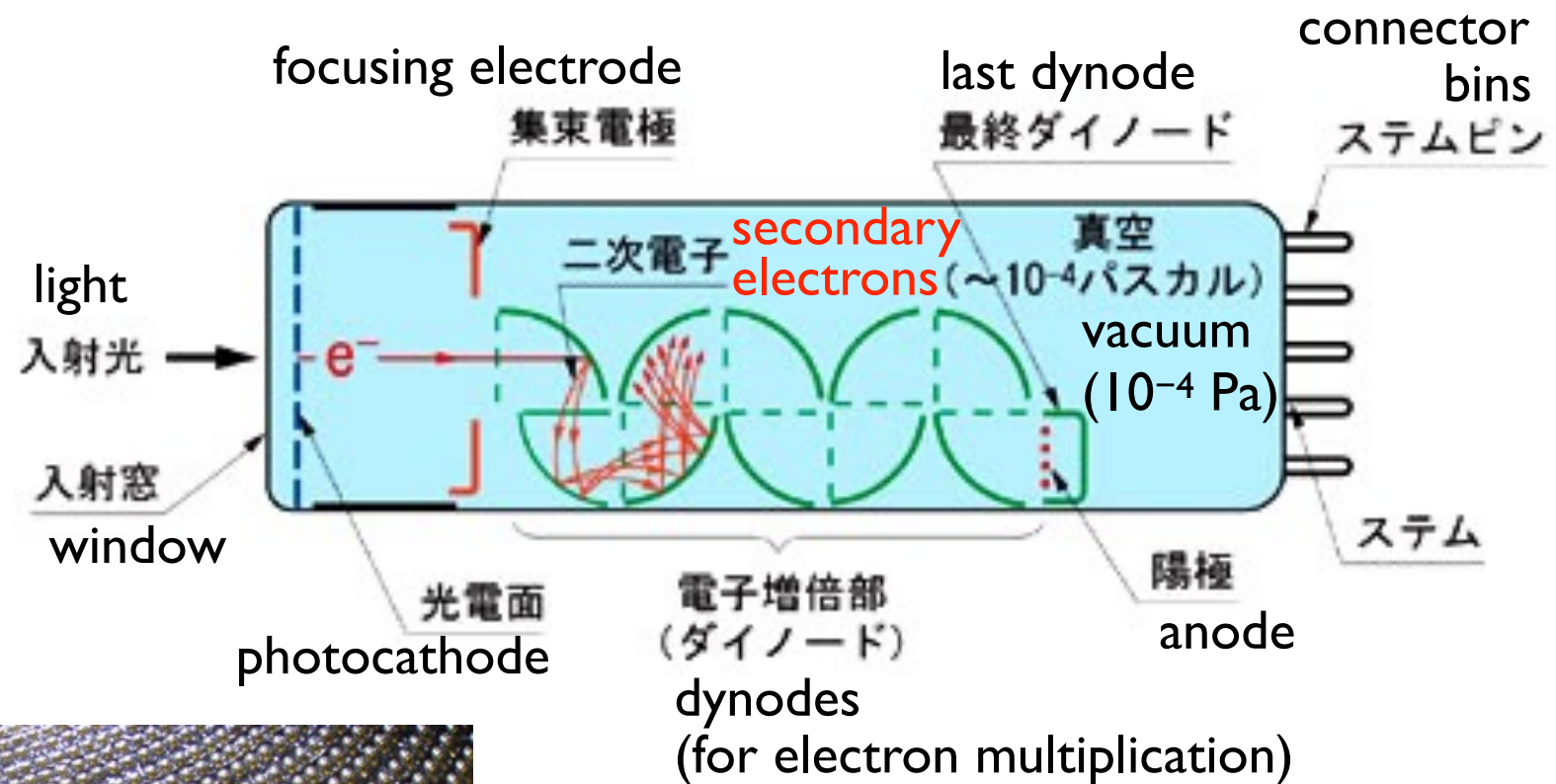


electric pulse : timing : time of particle passage
: pulse height : energy



liquid scintillation counter
detection of
tritium (^3T) (β -ray) &c.

Photomultiplier tube (PMT) 光電子増倍管



light $\Rightarrow$ photoelectric effect
 $\Rightarrow$ electron multiplication
 $\Rightarrow$ current

Combination with a **Scintillator**

radiation
 $\Rightarrow$ excitation of molecules
 $\Rightarrow$ fluorescence
light $\Rightarrow$ PMT

Measurement of radiation

Semiconductor detectors

e.g. Si(Li) detector (X-ray)

Ge detector (high energy resolution)
(γ -ray, X-ray)

radiation $\Rightarrow$ ionization

$\Rightarrow$ electron-hole pair $\Rightarrow$ charge measured

electric pulse : pulse height $\Leftrightarrow$ energy

energy analysis (ID of nuclide)

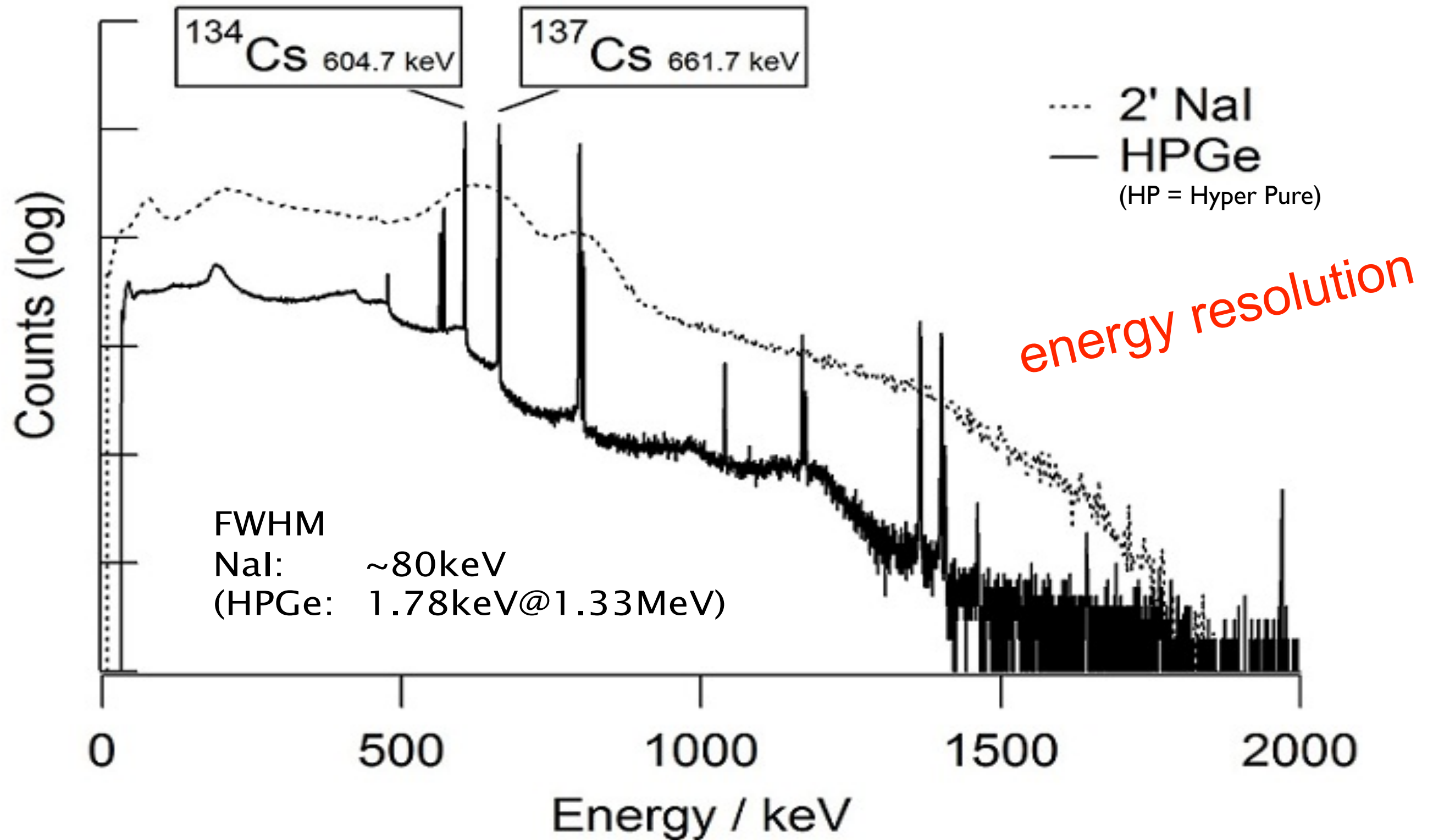
食品検査用ゲルマニウム検出器
(Ge detector for food samples)

Measurement for samples

γ ゲルマニウム検出器 (Ge detector)



Comparison of γ -ray spectra : NaI (scintillator) vs. Ge (semiconductor)



Complete check of rice produced in Fukushima



over regulation limit (100 Bq/kg)

0 / 9 490 000 sacks (2019)

0 / 9 250 000 sacks (2018)

0 / 9 980 000 sacks (2017)

0 / 10 250 000 sacks (2016)

0 / 10 500 000 sacks (2015)

2 / 10 770 000 sacks (2014)

28 / 11 000 000 sacks (2013)

71 / 10 340 000 sacks (2012)



Dosimeters (personal / environment monitoring)

Fricke dosimeter フリック線量計

$\text{Fe}^{2+} + \text{radiation} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$, absorbance measurement

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

Fluorite or other crystal + radiation $\rightarrow$ (heating) $\rightarrow$ fluorescence

蛍石

Electrons / holes are captured in lattice defects.

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



Ag^+ -activated Phosphate Glass + radiation $\rightarrow$ (UV) $\rightarrow$ fluorescence

$\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Ag}^0, \text{Ag}^{++}$ production of color centers

ガラス線量計

glass dosimeter : cobalt glass $\rightarrow$ color center (colored)

optically stimulated luminescence (OSL) badge

OSL Luxel badge ®

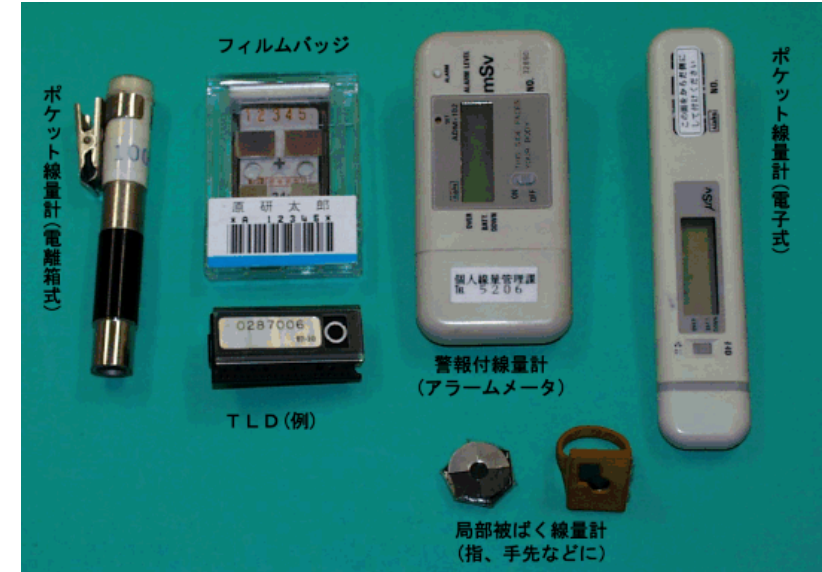


光刺激ルミネッセンス線量計

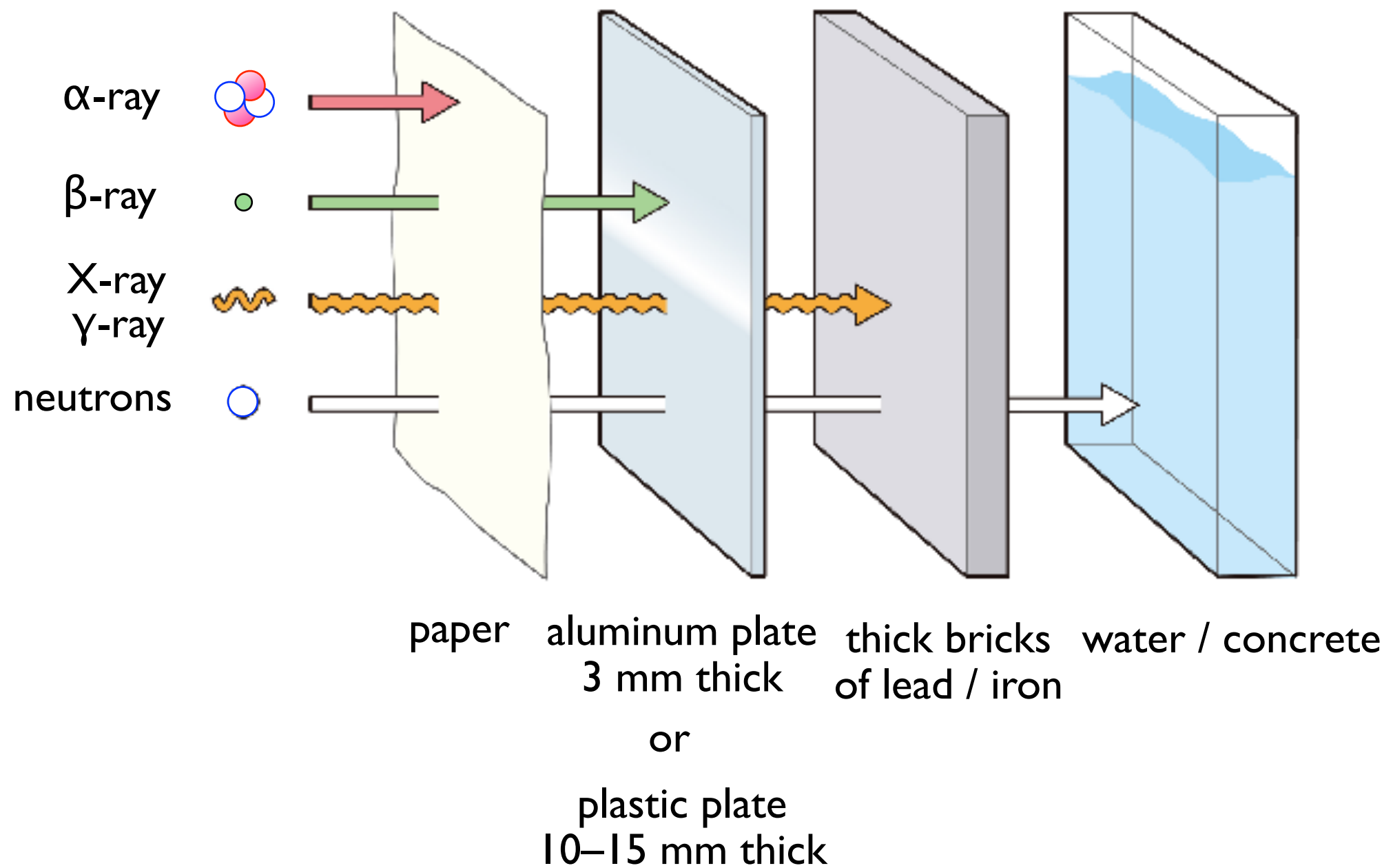
ポケット線量計

pocket dosimeter : ioniz. chamber / semiconductor detector

film badge フィルムバッジ : Silver halide film AgBr



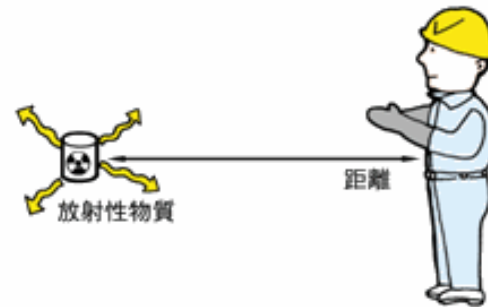
Penetration of radiation



Radiation protection

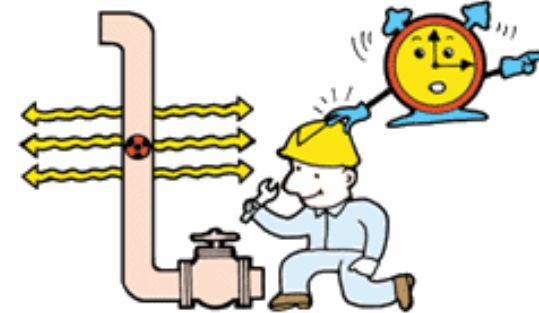
- distance

[線量率] = [距離]²に反比例

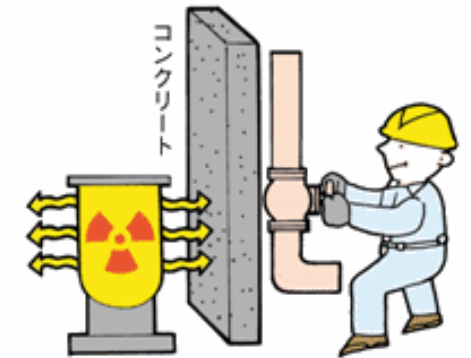


- time

[線量] = [作業場所の線量率] × [作業時間]



- shielding



Prevent
deterministic effect.
Reduce
stochastic effect.

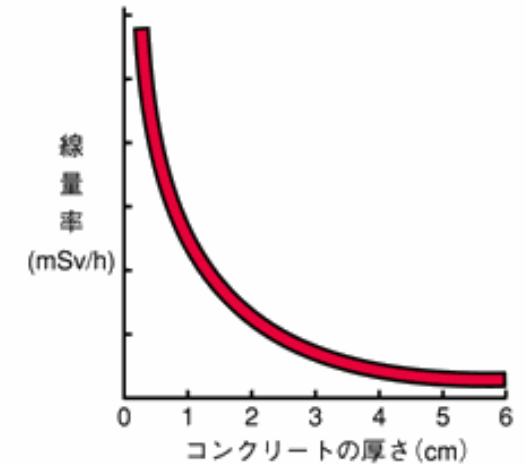
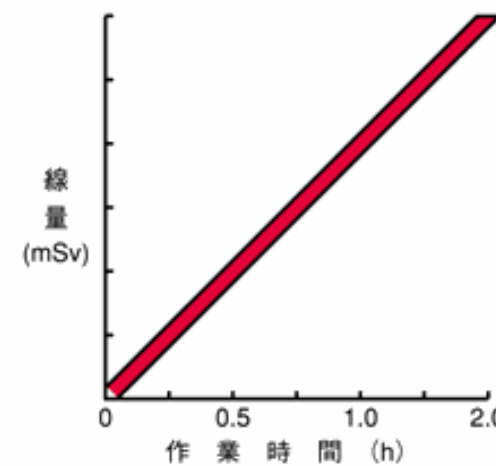
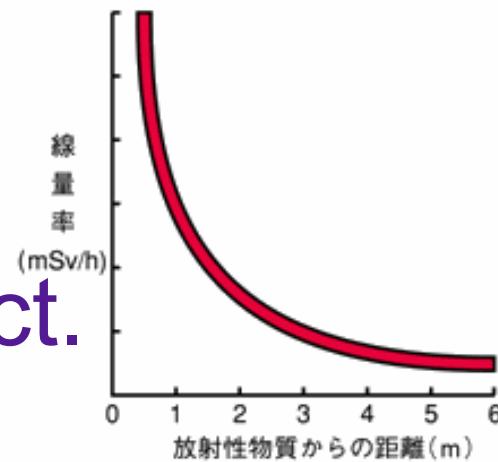


図1 遮へい3原則の図

[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.

(**ALARA** principle = As Low As Reasonably Achievable)

Dose limit : **1 mSv/yr** for general public (in addition to natural BG).

100 mSv/ 5 yrs and 50 mSv/yr max. for male radiation workers.

Dose limit for individuals

Occupational exposure for Radiation workers

Effective dose	100 mSv / 5 yrs and 50 mSv / yr
women	5 mSv / 3 mo.
pregnant women	1 mSv / period of pregnancy
Equivalent dose	
eye lens	100 mSv / 5 yrs and 50 mSv / yr
skin	500 mSv / yr
abdomen surface of pregnant women	2 mSv / period of pregnancy

Public exposure for General public

Effective dose	1 mSv / yr
Equivalent dose	
eye lens	—
skin	—

Protection by Jpn domestic law

線量限度の一覧表（作業者）

	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7mg/cm²、面積1cm²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300mSv/年（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）

Annual Risk 1/1000

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1mSv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。

Annual Risk 1/10,000 ICRP recomm.
(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〕

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 (at accelerators, SR facilities)

- **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.

Radiation control area 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→

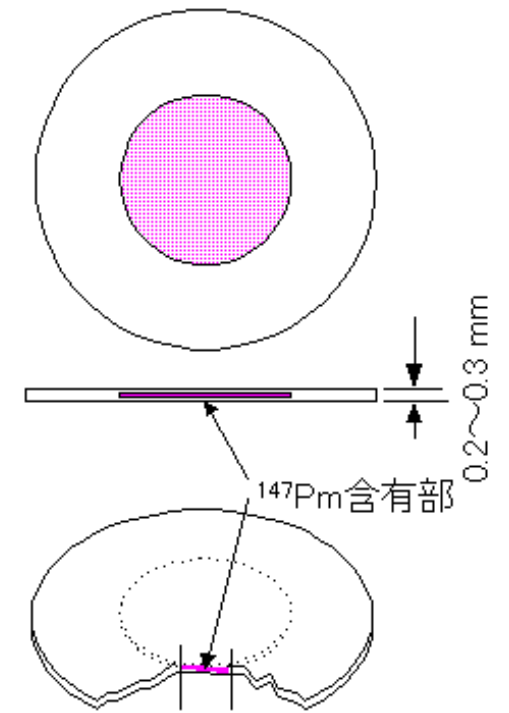


Sealed sources

密封小線源

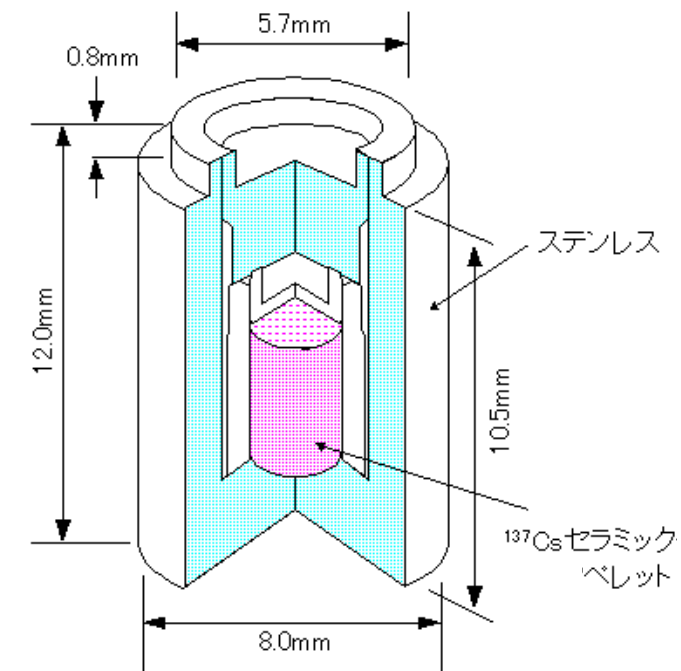
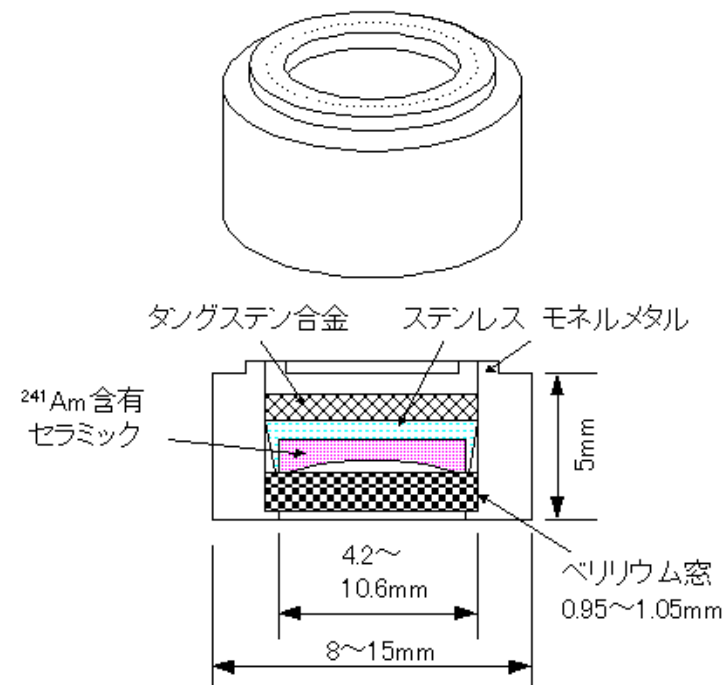


β -ray source



α -ray source

γ -ray source



Safe Usage of X-ray devices

エックス線装置の安全取扱



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） **Interlock**

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	Completely sealed
	B	Interlock used all the time
非密閉型 non-closed system	C	Interlock used appropriately
	D	Equipments installed in a room
	E	Not fixed / mobile

エックス線装置の安全取扱

Safe Usage of X-ray devices

Check open/close of the shutter with multiple indicators.

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。

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。

Be extremely careful when
you unlock the interlock

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。

Turn off the power of the device **密閉型**
before beam adjustment
and/or maintenance.

使用記録を作成し、
整備すること。

Make records of usage

装置内部管理区域型

装置外部管理区域型

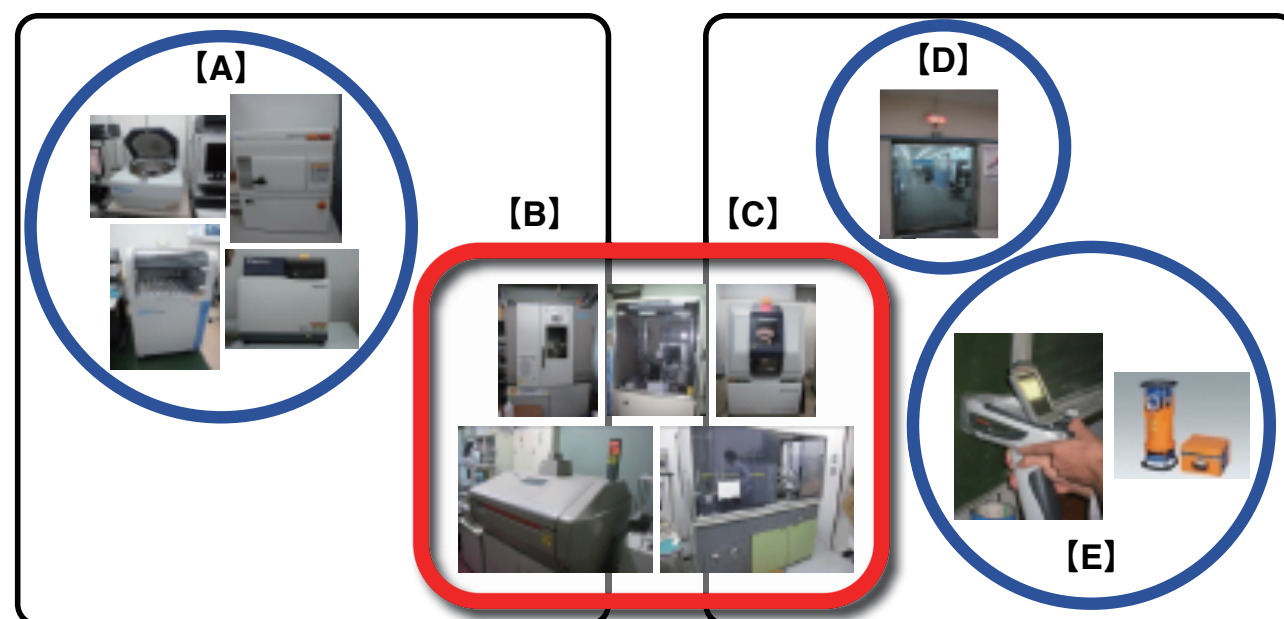


図1 東京大学における研究用エックス線装置の分類

東京大学におけるエックス線装置の分類

密閉型 closed system	A	Completely sealed
	B	Interlock used all the time
非密閉型 non-closed system	C	Interlock used appropriately
	D	Equipments installed in a room
	E	Not fixed / mobile

Classification of X-ray devices at UTokyo

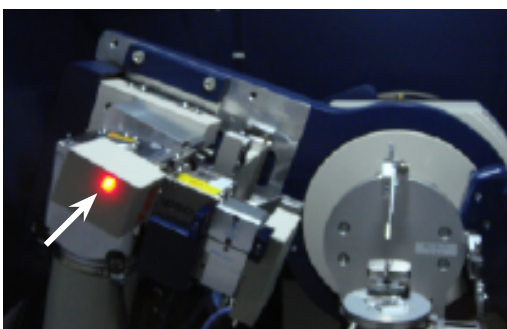


図2 シャッター付近の照射ランプ



図3 外部照射ランプ



図4 PC上のシャッター状況



図5 装置制御板上の表示

