

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

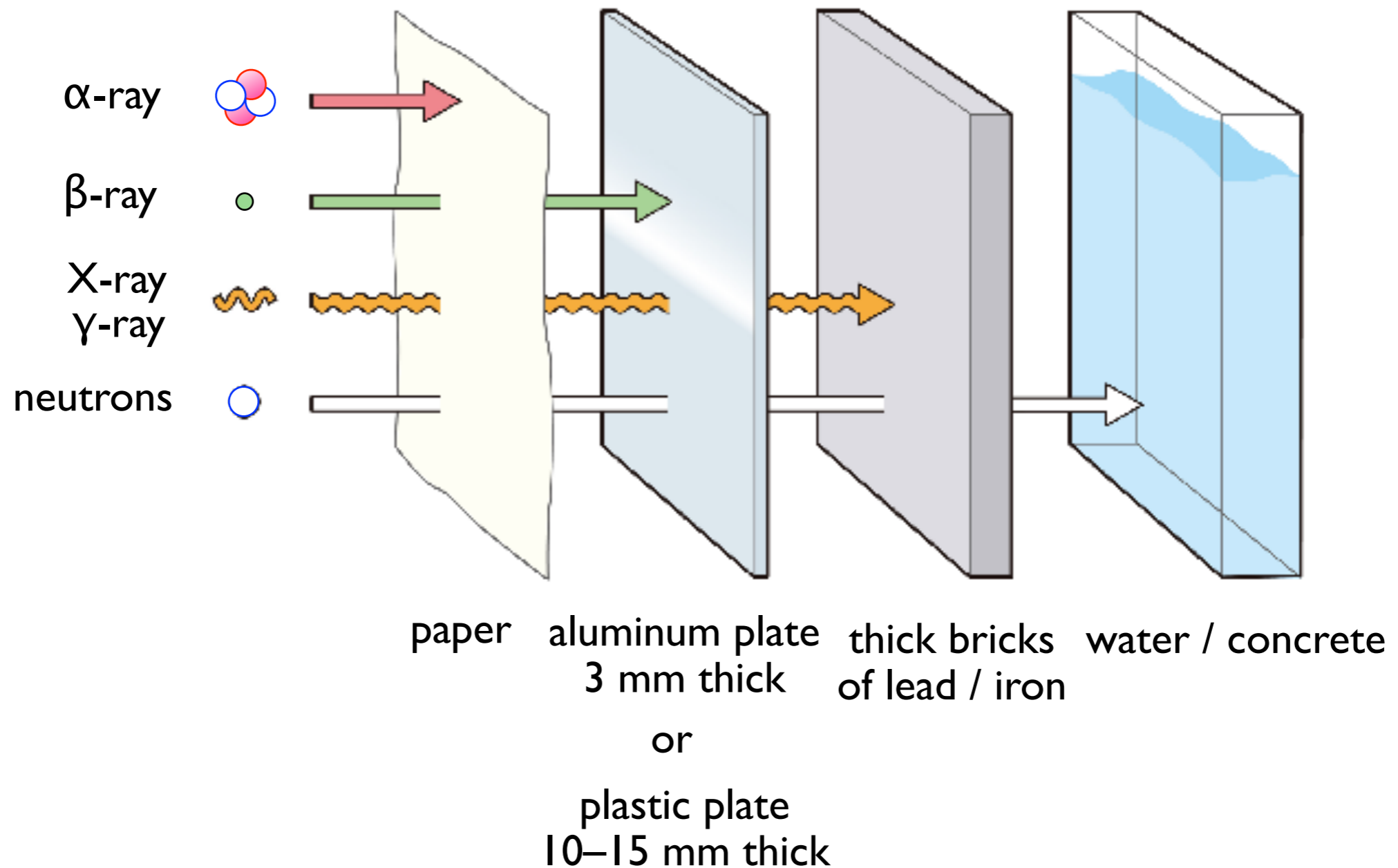
Safe Handling of Sealed Sources & X-ray devices

2024年度

School Year 2024

Penetration of radiation

Shielding is easier for radiation with stronger interaction.



Exposure to different radiations

- **α -ray** : a few cm of range in the air.
Stops at surface cells of organism.
Internal exposure needs attention :
all the energies are given to cells within
a short range.
- **β -ray** : **external exposure** to the **skin**
& **internal exposure** need attention.
- **γ -ray** : **penetrates through the body**,
some without any interaction while the
others with some interaction
(photoelectric effect / Compton scattering)
and get **absorbed inside the body**.
The interior of the body are equally exposed
to radiation even in the case of external exposure.
- **X-ray** (> 500 keV): **analogous to γ -ray**.
X-ray (< 50 keV): **damage mainly to skin.**

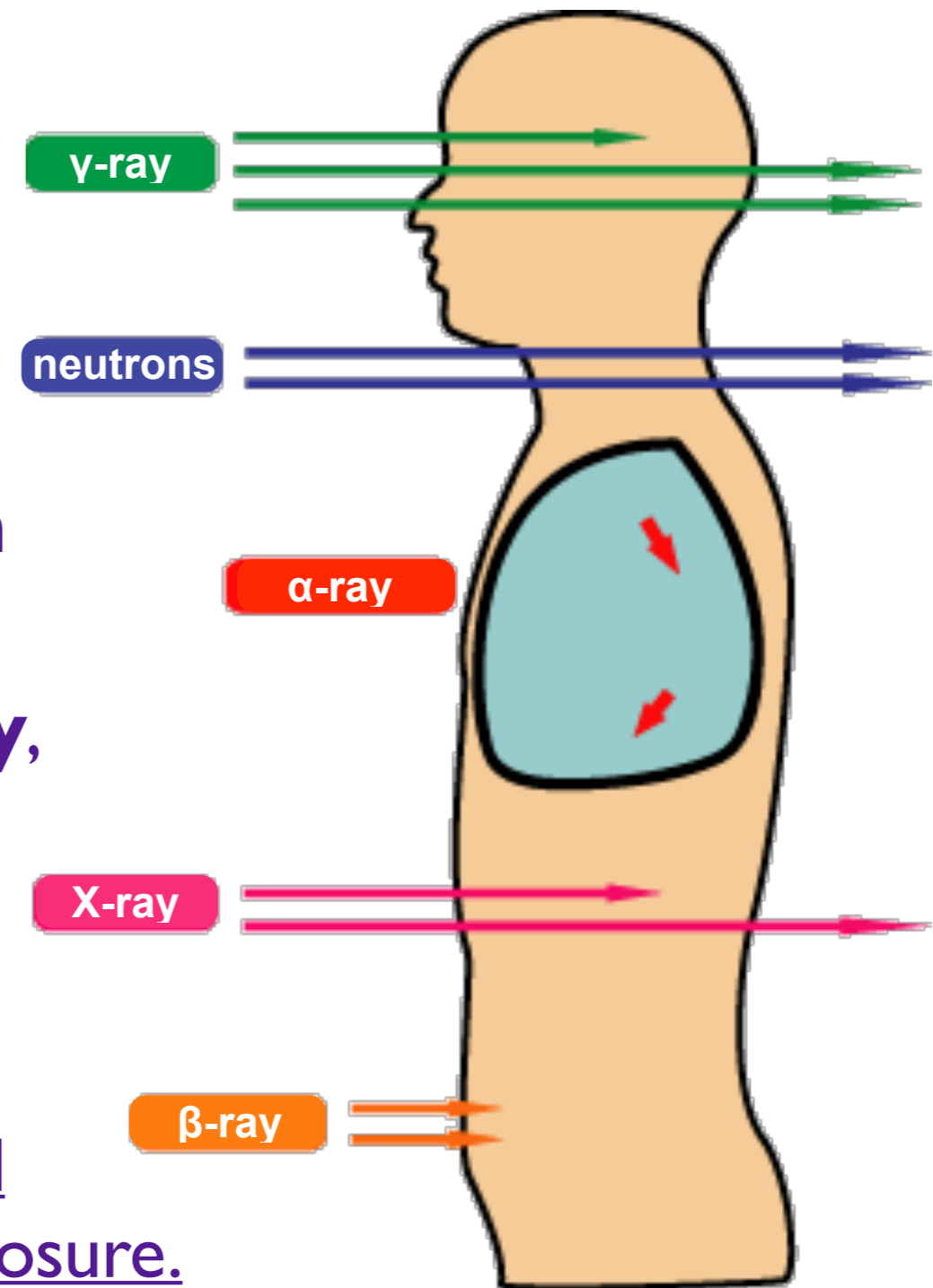


図3 人体を透過する放射線

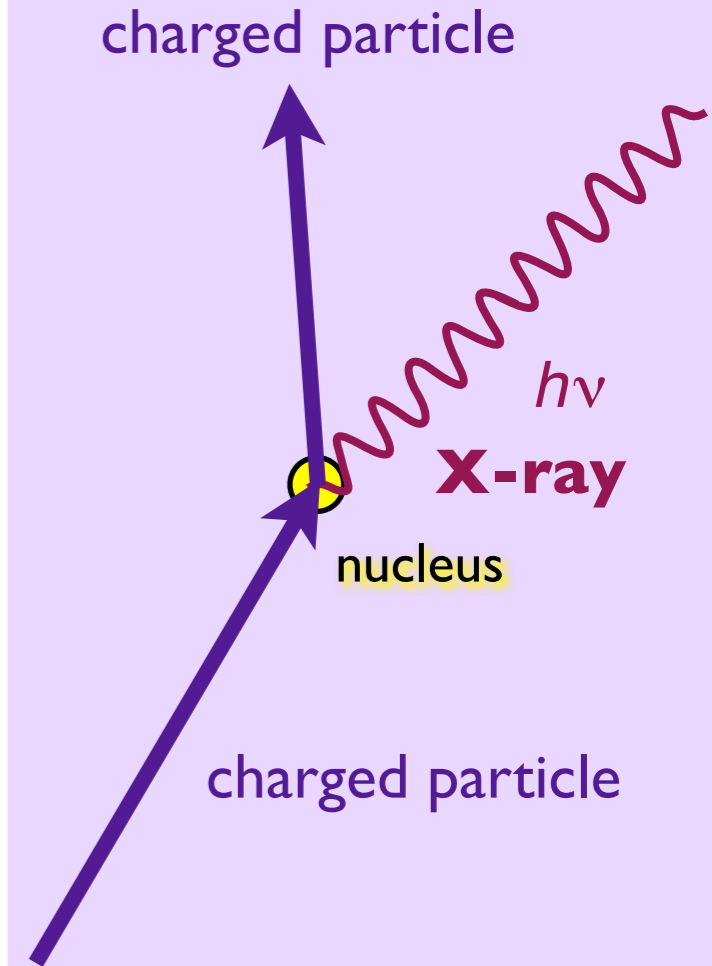
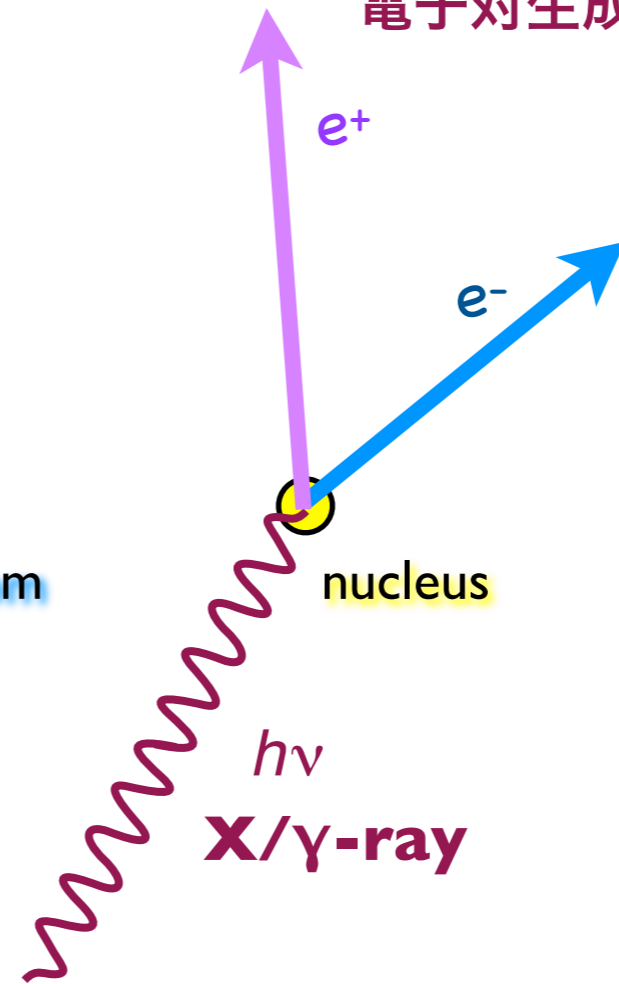
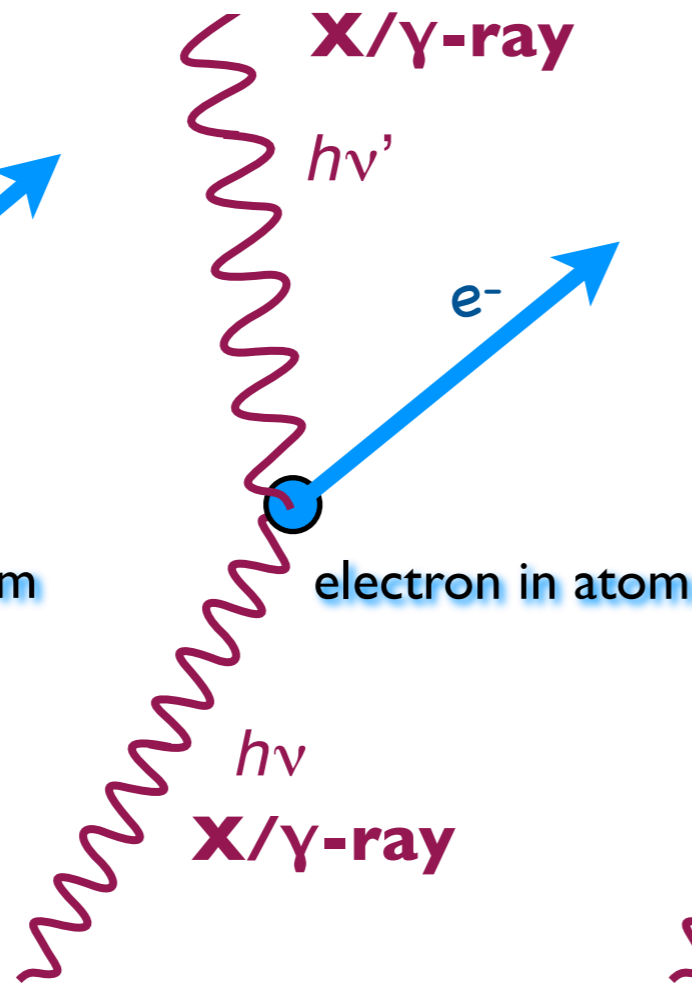
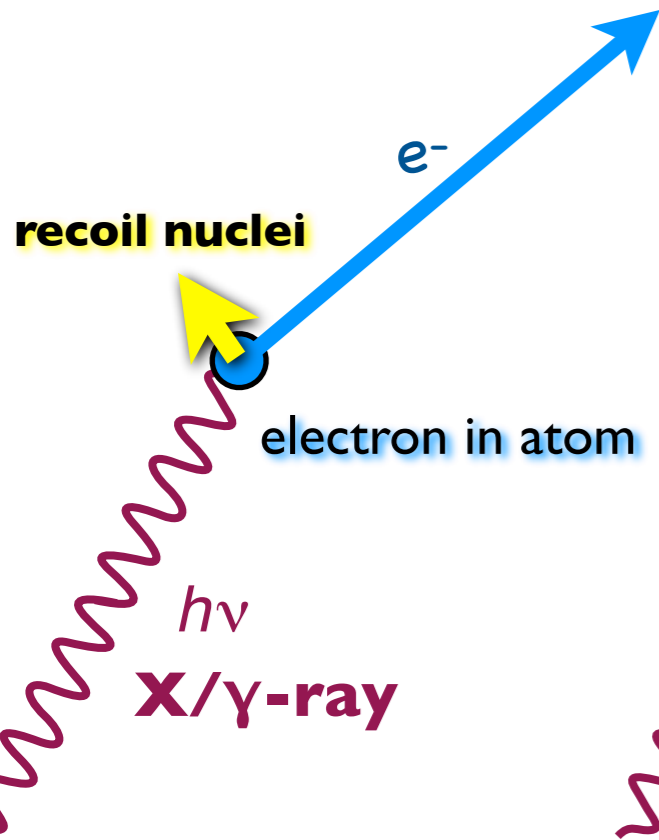
Interaction relating to photons (X-ray, γ -ray)

photoelectric effect 光電効果

Compton scattering コンプトン散乱

pair production 電子対生成

bremsstrahlung 制動放射



A photon kicks **one electron** out of an atom. The photon is absorbed.

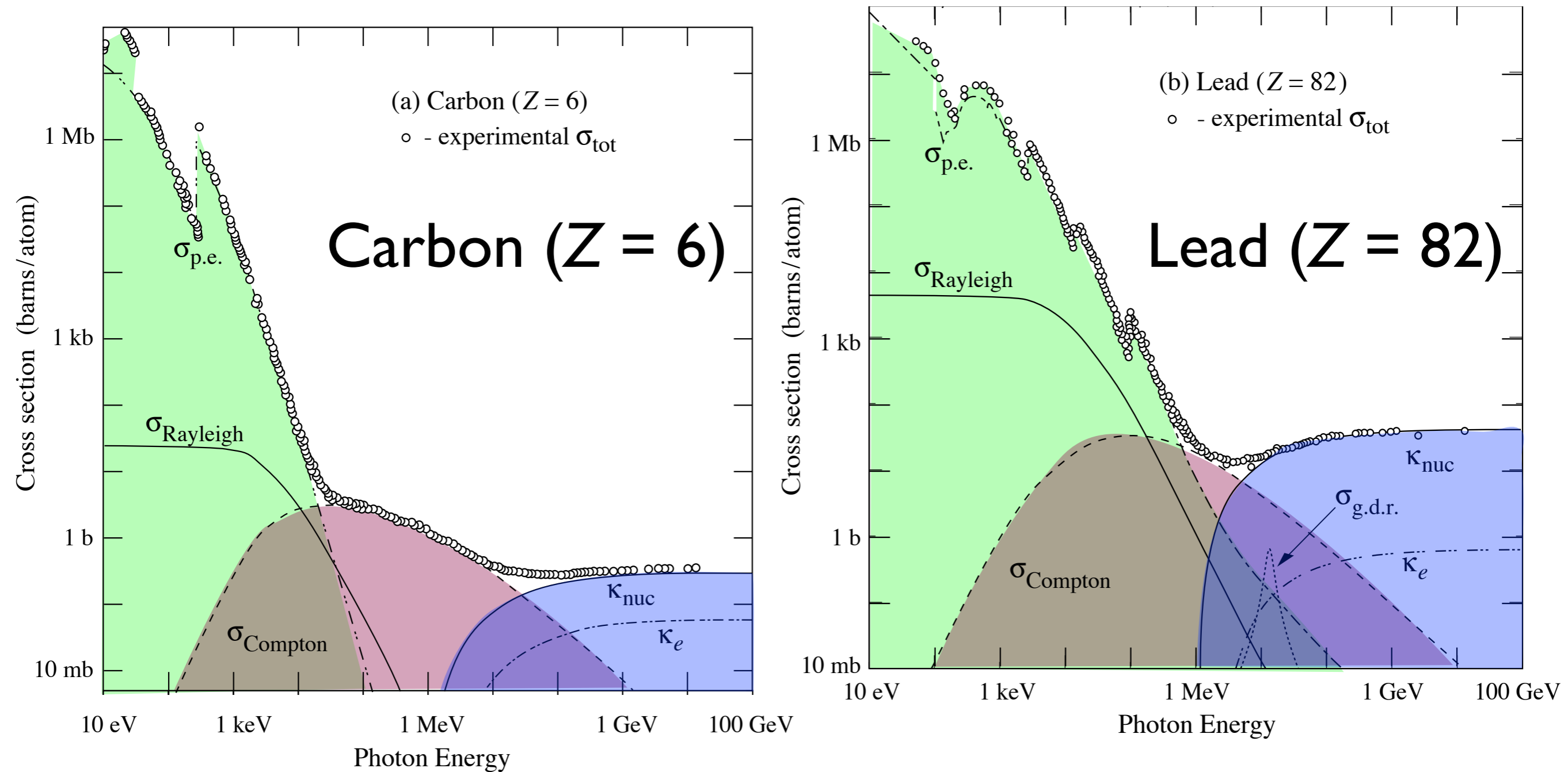
A photon is **scattered by one electron**. The photon loses a large fraction of its energy.

A photon with more than a MeV energy produces electron-positron pair.

A charged particle emits a photon when they are abruptly decelerated or when their trajectory is curved.

Generation of high-energy electrons
(same particles as β -ray)

Material dependence of photon cross sections



photoelectric effect $\propto Z^{4\sim 5}$

Compton scattering $\propto Z$

pair production $\propto Z^2$

Bremsstrahlung

制動放射

X - r a y

Charged particles emit photons (X-ray) when their velocity is abruptly changed (i.e. decelerated or their orbits are curved).

$$\Delta E \propto Z^2$$

bremsstrahlung : energy loss S_{rad}

$$\frac{S_{\text{rad}}}{S_{\text{col}}} = \frac{(E + m_e c^2) Z}{1600 m_e c^2}$$

electrons (β -ray)

Pb (lead; $Z = 82$)

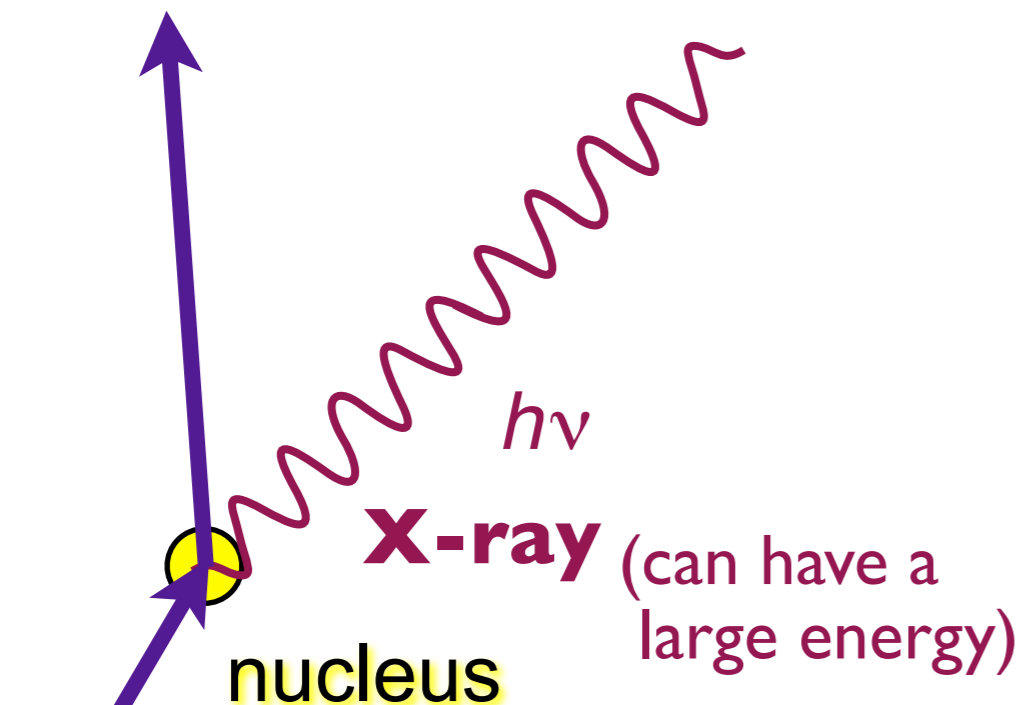
$$\frac{S_{\text{rad}}}{S_{\text{col}}} \approx \frac{E Z}{800 \text{ MeV}} \approx \frac{E / \text{MeV}}{10}$$

β -rays should not be stopped with lead.

protons or α -ray

Bremsstrahlung is negligible compared with stopping power by electron collision, unless the energy is more than the order of a GeV.

charged particle



charged particle

SPring-8 (Large SR facility in Harima)

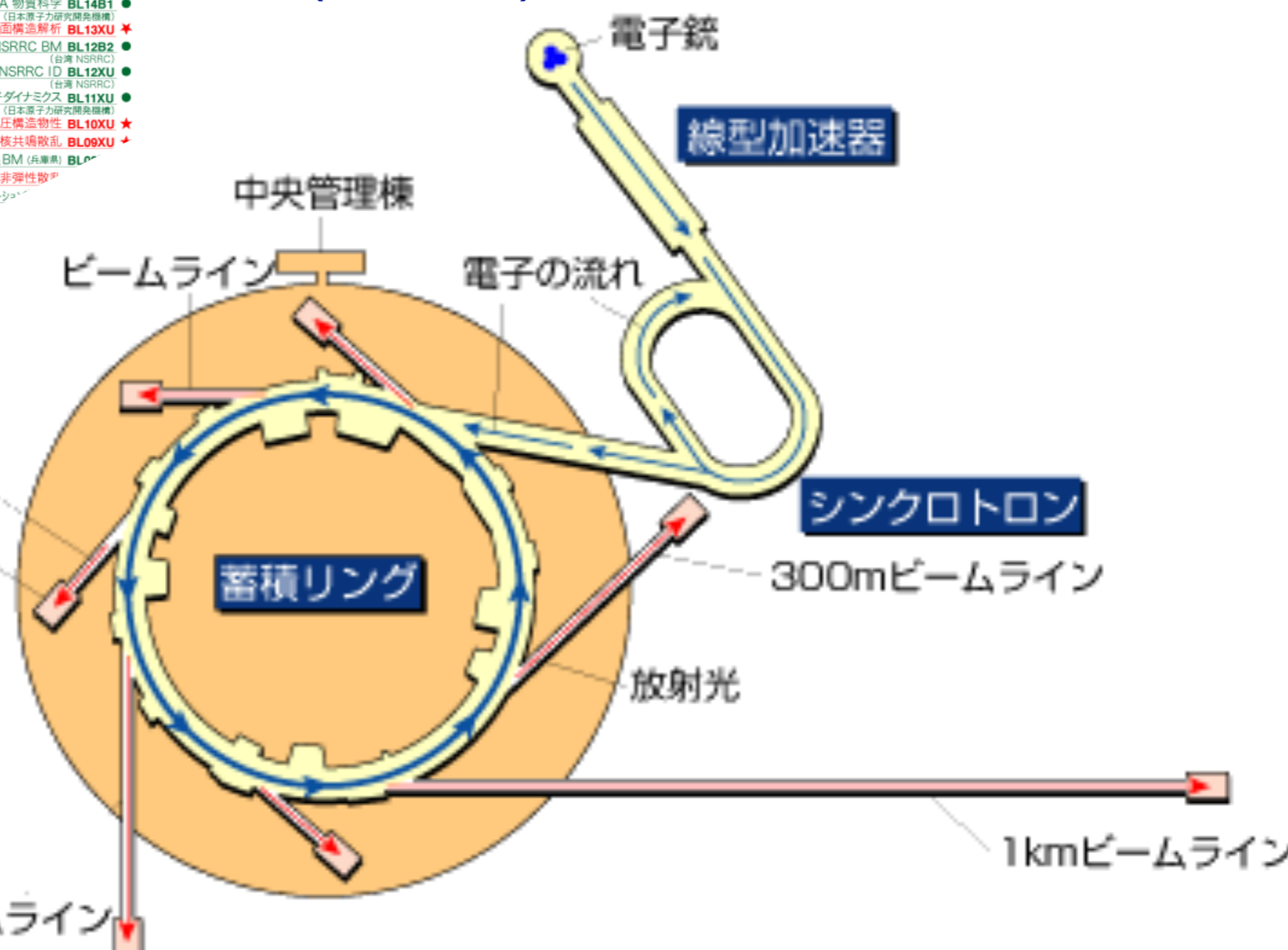
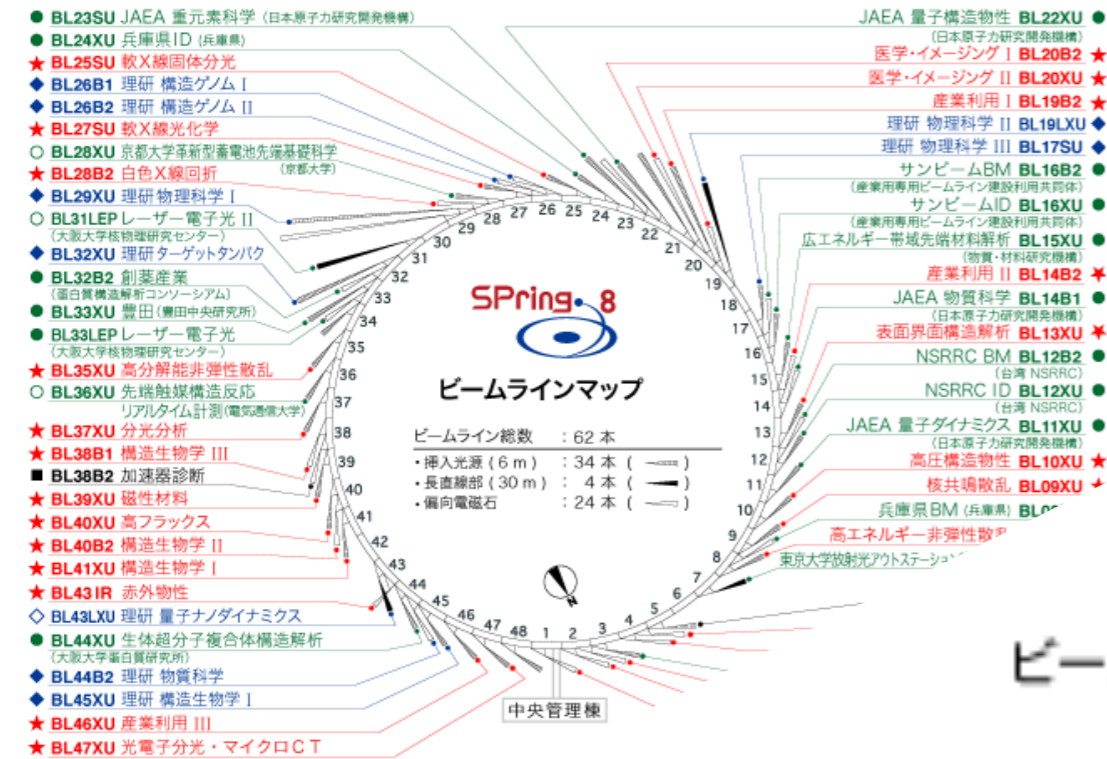
8 GeV electron beam

⇒ Synchrotron Radiation (X-ray)

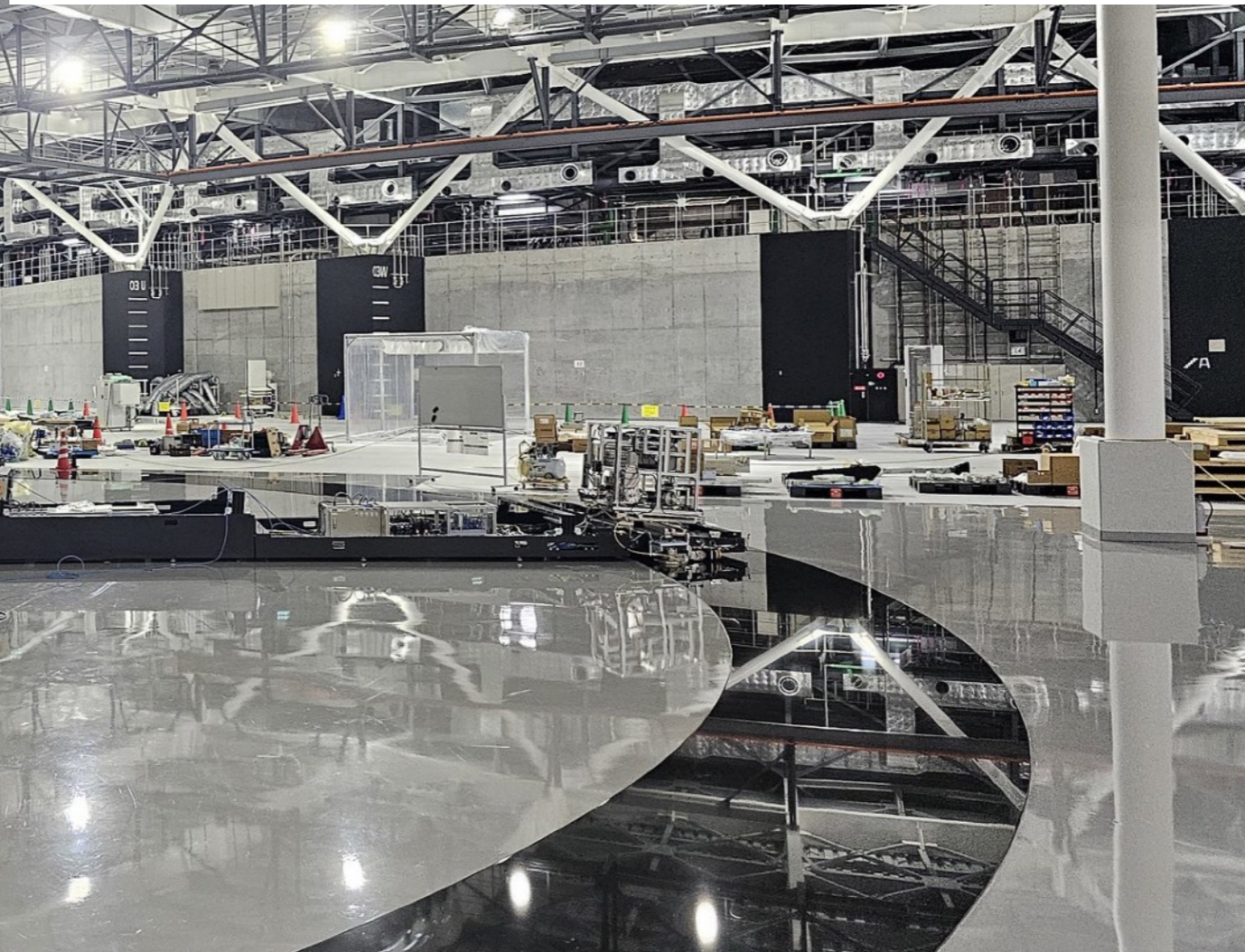


Bremsstrahlung (X-ray)

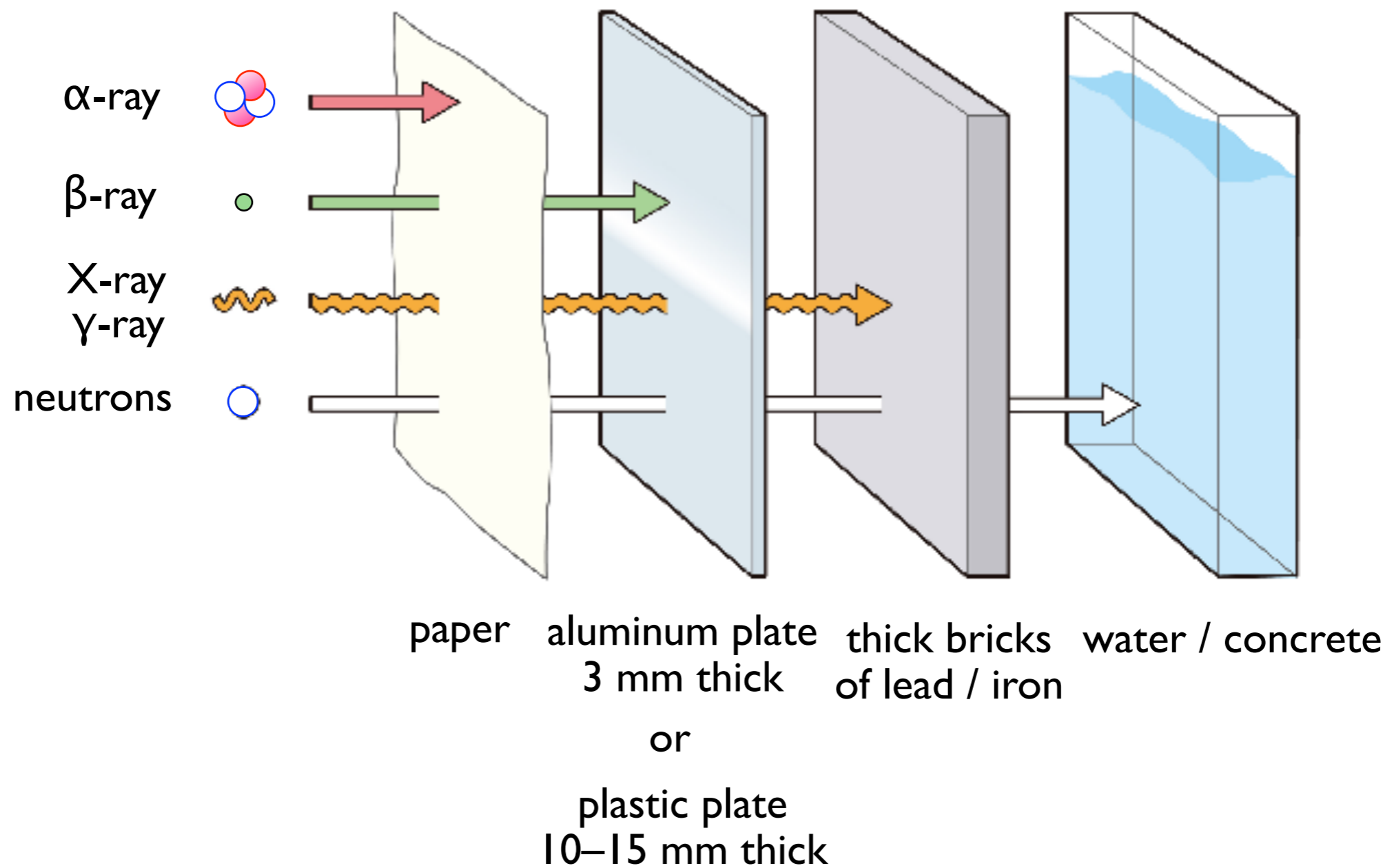
Synchrotron Radiation
(SR, SOR)



NanoTerasu (Large SR facility in Sendai)



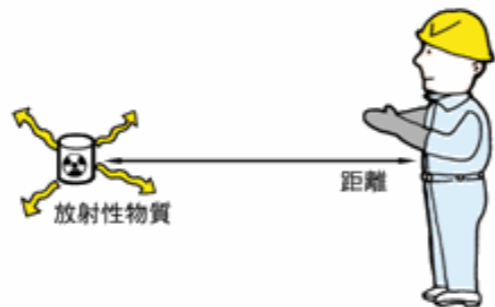
Penetration of radiation



Radiation protection

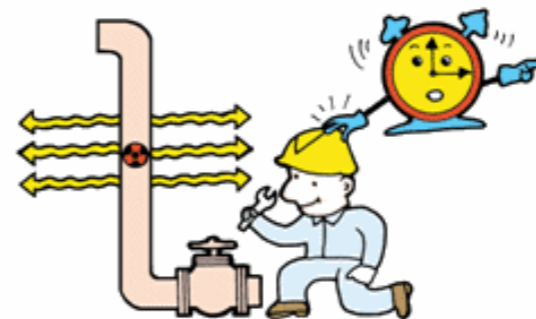
• distance

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

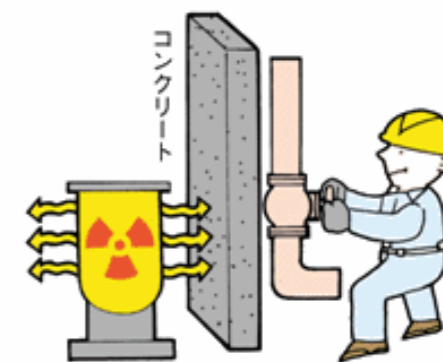


• time

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



• shielding



Prevent deterministic effect.

Reduce stochastic effect.

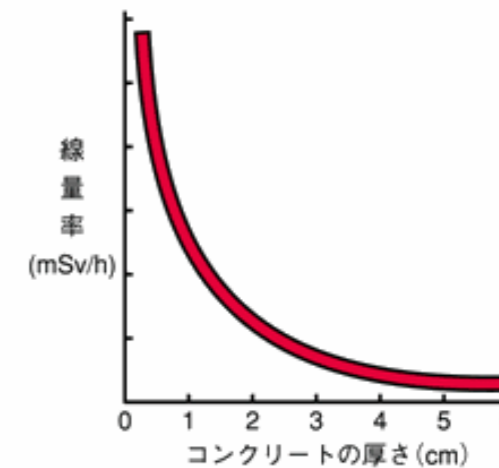
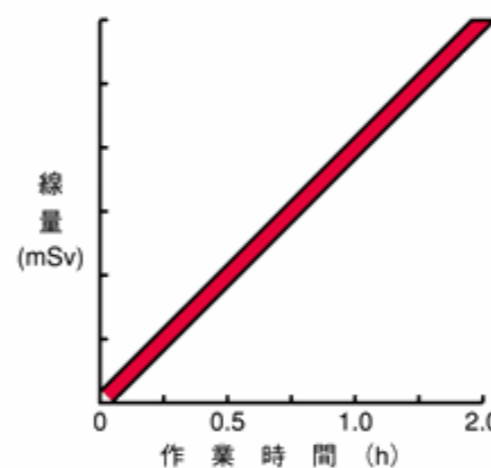
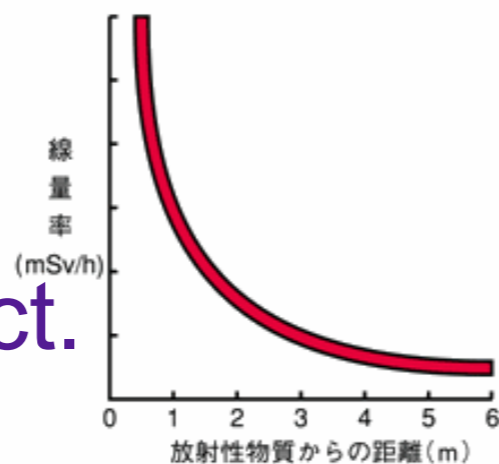


図1 遮へい3原則の図

[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	100 mSv / 5 yrs and 50 mSv / yr
eye lens	500 mSv / yr
skin	2 mSv / period of pregnancy
abdomen surface of pregnant women	

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300mSv (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。

Annual Risk 1/10,000
(毎年被曝の場合、65歳までの最大値)

ICRP recomm.

(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**バッジも**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**によるバッジの被曝に留意 (**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**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.

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
立ち入りを禁ず

放射性同位元素
使用室



第 2 種

←開閉→

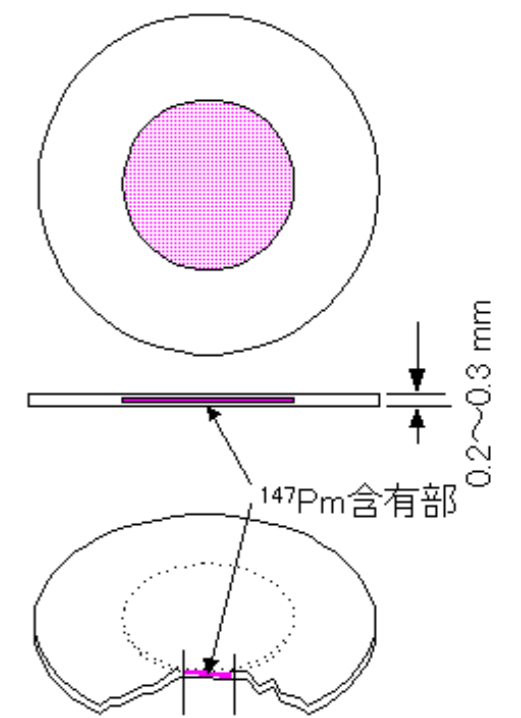


Sealed sources

密封小線源

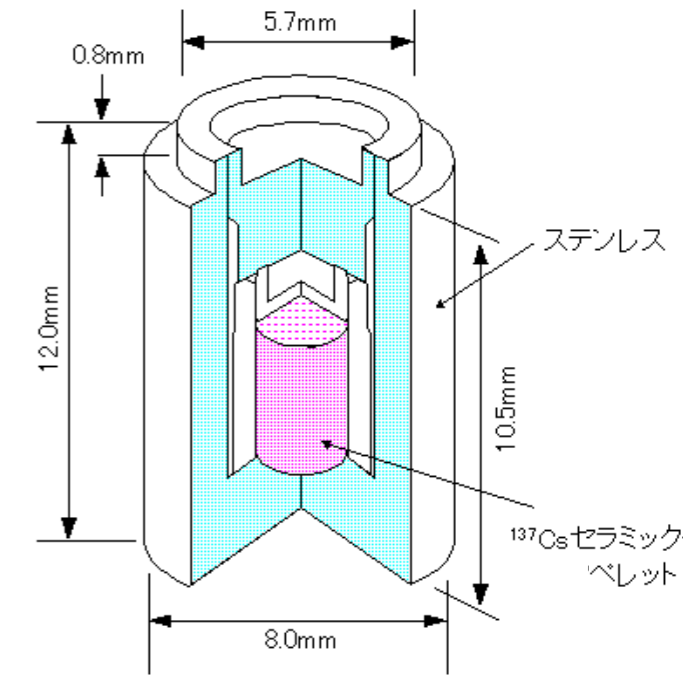
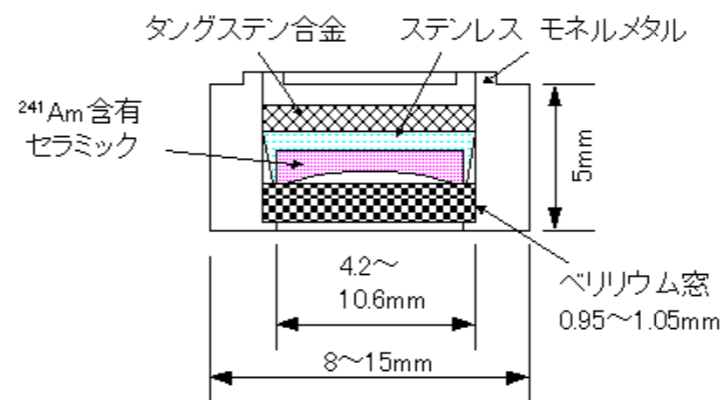
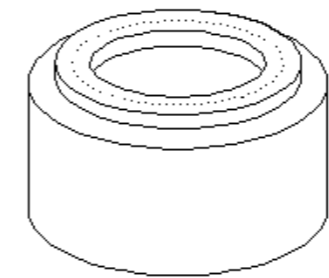


β -ray source



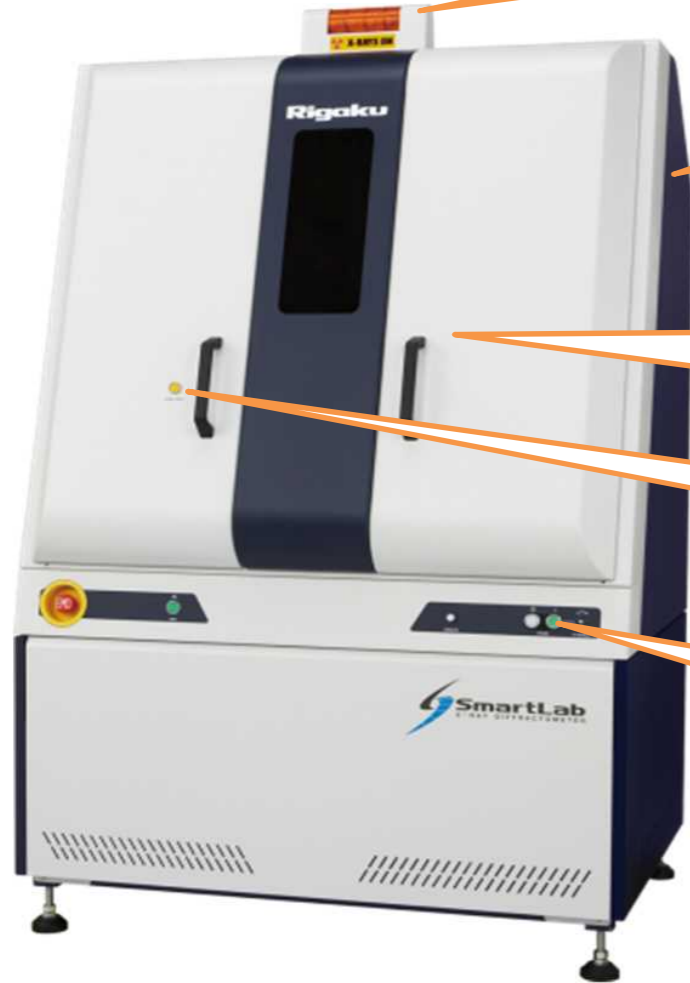
α -ray source

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 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

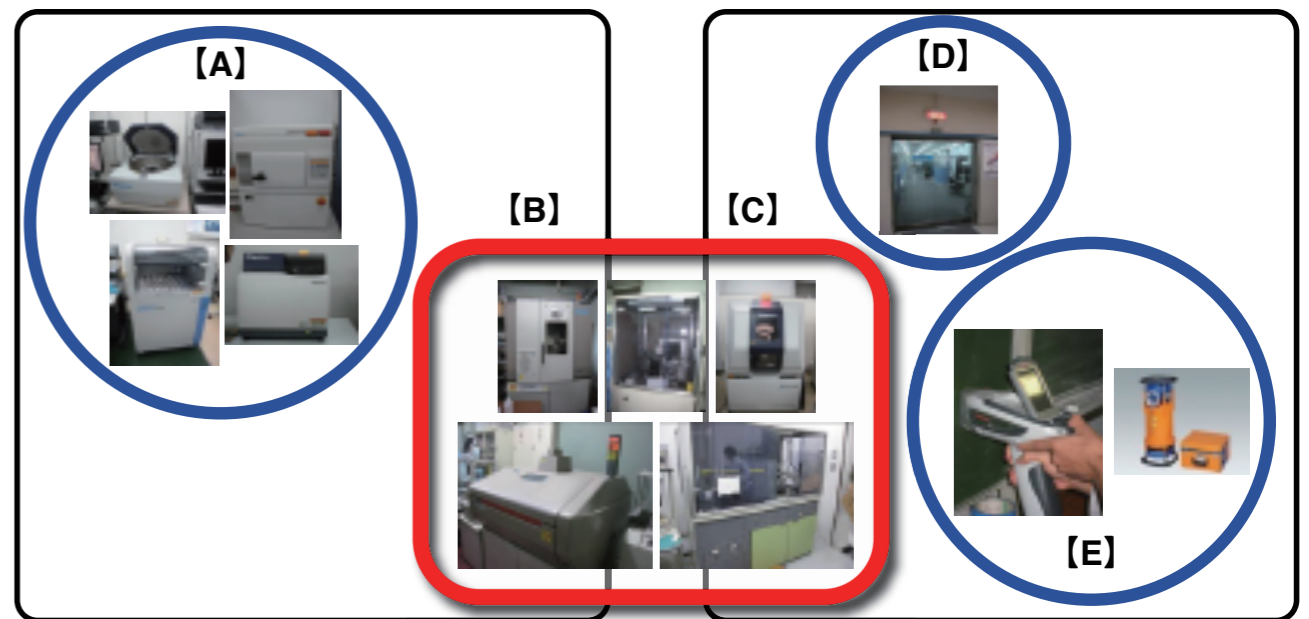


図1 東京大学における研究用エックス線装置の分類

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

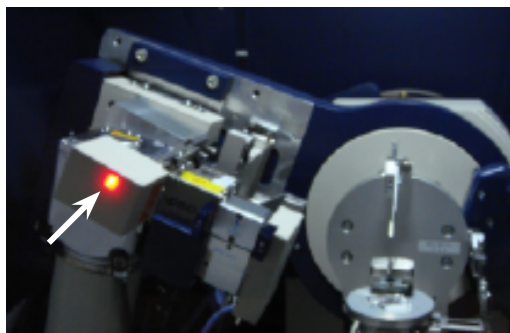


図2 シャッター付近の照射ランプ



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

Quiz #3

Which is the material not suitable for shielding beta-rays?

{ plastic plate / aluminum plate / lead plate }

Summary of Quizzes

#1 : True or False ?

All the Radiation Workers at SoS (School of Science), the University of Tokyo must attend the SoS Radiation Course annually.

#2 : The Japanese average of exposure dose by cosmic rays is _____ mSv.

#3 : Which is the material not suitable for shielding beta-rays?

{ plastic plate / aluminum plate / lead plate }

Write your answers in the Google Form for submission of your Attendance Sheet