

鹿児島大学理工学研究科
X線装置等取扱者
安全教育

平成21年5月13日

機械工学科 中村祐三

内線 8262

nakamura@mech.kagoshima-u.ac.jp

メニュー

- ・法律、規則のこと

国の法律：電離放射線障害防止規則

研究科：理工学研究科エックス線予防規定

- ・放射線と放射能のこと

- ・X線の発生原理のこと(→実地は装置使用講習会)

- ・放射線と物質の相互作用のこと

- ・放射線の計測・単位のこと

- ・放射線の生体に与える影響のこと

- ・放射線障害防止に関すること

鹿児島大学大学院理工学研究科エックス線障害予防規程

(趣旨)

第1条 この規程は、鹿児島大学放射線安全管理規則(平成16年規則第105号。以下「安全管理規則」という。)第4条第2項の規定に基づき、鹿児島大学理工学研究科(以下「本研究科」という。)における教育及び研究に関するエックス線発生装置の使用及び取扱いを規制することにより、これによるエックス線障害を防止し、安全の確保を図ることを目的とし、必要な事項を定めるものとする。

(定義)

第2条 この規程において、「エックス線発生装置」とは、電離放射線障害防止規則(昭和47年労働省令第41号)に規定するエックス線を発生させる装置(以下「エックス線装置」という。)をいう。

2 この規程において、「取扱者」とは、エックス線装置の使用及び取扱いに従事する者をいう。

3 この規程において「管理区域」とは、外部放射線による実効線量と空気中の放射性物質による実効線量との合計が3月間につき1.3ミリシーベルトを超えるおそれのある区域をいう。

(エックス線装置、使用室及び管理区域)

第3条 本研究科で使用するエックス線装置の種類及び使用室並びに管理区域は、別表第1のとおりとする。

(組織)

第4条 本研究科におけるエックス線障害の防止に関する業務は、**研究科長**が総括する。

2 研究科長は、前項の職務を遂行するに当たって、第6条に定めるエックス線作業主任者の意見を尊重しなければならない。

3 本研究科におけるエックス線障害の防止に関する安全管理組織は、別図のとおりとする。

(放射線障害防止委員会)

第5条 本研究科にエックス線障害の予防に関し必要な事項を審議するため、放射線障害防止委員会(以下「防止委員会」という。)を置く。

2 防止委員会については、別に定める。

(エックス線作業主任者等)

第6条 本研究科に、エックス線障害の発生防止について指導督を行わせるため、エックス線作業主任者(以下「主任者」という)を置く。

2 主任者は、主任者となる資格を有する者のうちから研究科長が推薦し、学長が任命するものとする。

(エックス線装置管理責任者)

第7条 研究科長は、エックス線障害の発生を防止するため、エックス線装置管理責任者(以下「エックス線管理責任者」という。)を各エックス線装置ごとに任命しなければならない。

2 エックス線管理責任者は、エックス線装置の使用に当たってエックス線障害防止のために必要な措置をとるとともに、主任者がエックス線障害防止のために行う指示等を、指導教員等を通じて、取扱者に遵守するよう徹底させなければならない。

3 エックス線管理責任者は、次の標識を掲示しなければならない。

(1) エックス線装置使用室の入口に、エックス線装置を設置する室であることを表示する標識及びエックス線装置の種類を示す標識

(2) エックス線装置又はその付近の場所に、エックス線装置の定格出力を明記した標識

(3) エックス線装置表面又はしゃへい装置表面に管理区域を明示する標識

4 エックス線管理責任者は、エックス線装置に電力が供給されている場合にその旨を警報する装置をエックス線装置使用室の入口に設けなければならない。

(取扱者の登録)

第12条 取扱者は、エックス線管理責任者の承認を受け、取扱者名簿に登録されなければならない。学生の取扱者は、指導教員とエックス線管理責任者の承認を受け、取扱者名簿に登録されなければならない。

2 エックス線管理責任者は、取扱者名簿を主任者を経て研究科長に提出しなければならない。

3 登録の有効期限は、登録をした年度内とする。

(取扱者の遵守事項)

第13条 取扱者は、エックス線装置の使用に当たって、**備付けの使用簿にあらかじめ使用目的、使用条件、取扱者名等を記載するとともに、次に掲げる事項を遵守しなければならない。**

- (1) **エックス線装置の取扱いに熟知していること**
- (2) エックス線装置使用室内でエックス線装置を使用する場合には、**放射線測定器を装着すること**
- (3) **エックス線障害の発生の防止に努めること**
- (4) 異常が生じたときは、直ちに**エックス線管理責任者に報告すること**

(注意事項の掲示)

第14条 エックス線管理責任者は、エックス線装置の取扱いに関する注意事項を設置場所近くの目のつきやすい場所に掲示しなければならない。

(維持管理及び自主点検)

第15条 エックス線管理責任者は、エックス線装置使用室の適正な維持及び管理を図るため、別表第2に掲げる項目についてエックス線装置を定期的に点検するとともに、別表第3に定める項目に従い、年1回以上の自主点検を行わなければならない。

2 エックス線管理責任者は、前項の点検の結果、異常を認めるときは、施設管理責任者に報告するとともに、修理等の必要な措置を講じなければならない。

3 エックス線管理責任者は、前2項の結果を取りまとめ、主任者を經由して研究科長に報告しなければならない。

(エックス線装置の設置、移転、変更及び廃棄)

第16条 エックス線装置を設置、移転、変更及び廃棄する場合は、その30日前までにエックス線作業主任者及び使用施設管理責任者に届けなければならない。

2 エックス線装置の移転に伴い、エックス線管理責任者を変更する場合は、速やかにエックス線作業主任者及び使用施設管理責任者に届けなければならない。

(緊急時の措置)

第17条 エックス線管理責任者及び取扱者は、エックス線装置に異常が生じエックス線障害が発生したとき、又は発生のおそれがあるときには、直ちに電源を切る等の適切な措置を講じるとともに、主任者及び研究科長に通報しなければならない。

2 研究科長は、取扱者が実効線量限度又は等価線量限度を超えて被ばくした場合、速やかに本人に医師の診察又は処置を受けさせなければならない。

3 研究科長は、第1項の通報を受けた場合には、その状況を判断し、必要に応じて警察署又は消防署に通報するとともに、文部科学省その他関係機関への届出に必要な書類を遅滞なく学長に提出しなければならない。

4 主任者は、第1項による通報を受けた場合は、健康管理担当者を通じて、直ちに防止委員会等関係者に報告しなければならない。

5 研究科長は、あらかじめエックス線装置使用室の所在場所を所轄の警察署及び消防署に通知し、事故対策等について協議しておかなければならない。

(測定)

第18条 エックス線管理責任者は、エックス線障害のおそれのある場所の線量当量率の測定、及びエックス線装置使用室に立ち入る取扱者の被ばく線量の測定を主任者の監督のもとに行わなければならない。

2 主任者は、前項の場所の測定結果を評価し、記録するとともに、エックス線装置使用室内の見やすい場所に掲示することによって、取扱者に周知させなければならない。

3 取扱者の被ばくによる線量の測定は、外部被ばくによる線量について行わなければならない。

4 研究科長は、前項の測定結果の記録、算定した実効線量及び等価線量の記録を記録のつど対象者に対しその写しを交付しなければならない。

(教育訓練)

第19条 研究科長は、取扱者に対し、エックス線障害を防止するために必要な教育及び訓練(以下「教育訓練」という)を施さなければならない。

2 教育訓練の実施項目は、次に掲げるとおりとする。

- (1) 放射線の人体に与える影響
- (2) エックス線装置の安全取扱い
- (3) エックス線障害の防止に関する関係法令
- (4) 予防規程

3 取扱者は、教育訓練を、初めてエックス線装置使用室に立ち入る前又は取扱いを開始する前、及びエックス線装置使用室に立ち入った後又は取扱いを開始した後にあっては1年を超えない期間毎に受けなければならない。

4 前項の規定にかかわらず、第2項に掲げる項目について十分な知識及び技能を有すると研究科長が認める者に対しては、その理由を付して記録することにより教育訓練を省略することができる。

5 研究科長は、必要に応じ一時立入者に対してエックス線障害の発生を防止するために必要な教育を実施しなければならない。

(健康診断)

第20条 取扱者は、安全管理規則第20条の規定により実施される健康診断を受けなければならない。

2 研究科長は、前項の結果を記録の上、永久に保存するとともに、その写しを本人に交付しなければならない。

3 研究科長は、エックス線障害を受けた者及び健康診断の結果、医師が異常又はそのおそれのあると認めた者については、安全管理規則第12条に規定する放射線健康管理医と協議の上、主任者及び防止委員会に報告し、エックス線装置使用室への立入禁止、作業時間の短縮等必要な措置を講じなければならない。

(保存)

第22条 研究科長は、第20条の健康診断の結果の記録を永久に保存しなければならない。

2 前条の記録帳簿のうち取扱者の被ばく線量の測定結果については、永久に保存し、その他については5年間保存しなければならない。

(記録等)

第21条 エックス線管理責任者は、次に掲げる事項について記録を作成し研究科長に報告しなければならない。

(1) 第18条第1項の規定によるエックス線障害のおそれのある場所の線量当量率の測定結果及びエックス線装置使用室に立ち入る取扱者の被ばく線量の測定結果並びにこれに基づいて算定した実効線量及び等価線量、並びに年度の実効線量が20ミリシーベルトを超えた場合は年度ごとの累積実効線量

(2) 第17条第2項の規定により医師の診察又は処置を受けた取扱者の実効線量及び等価線量

(3) エックス線装置の使用又は検査に従事した者の作業内容等

2 エックス線管理責任者は、前項の記録帳簿を各年度の初めに開設し、当該年度の終了の日に閉鎖しなければならない。

3 前項の規定により閉鎖した記録帳簿は、主任者の監査を受けなければならない。ただし、取扱者の被ばく線量の測定結果については、そのつど主任者の監査を受けなければならない。

4 研究科長は、第18条第1項の規定に基づき線量を測定された取扱者に、第1項第1号の記録の写しをその都度本人に交付しなければならない。

放射能

(1) 原子核が放射性崩壊をする性質のこと

(→放射性物質、放射性同位元素《ラジオアイソトープ》)

α 崩壊、 β 崩壊、 γ 崩壊など

(2) 放射能の強さ

単位時間当たりに放射性核種が崩壊する頻度をいう。

単位 ベクレルBq (1Bq = 1dps、崩壊/秒)

 キュリーCi (1Ci = 3.7×10^7 Bq)

原子力基本法

(定義)

第三条 この法律において次に掲げる用語は、次の定義に従うものとする。

一 「原子力」とは、原子核変換の過程において原子核から放出されるすべての種類のエネルギーをいう。

二 「**核燃料物質**」とは、ウラン、トリウム等原子核分裂の過程において高エネルギーを放出する物質であつて、政令で定めるものをいう。

三 「**核原料物質**」とは、ウラン鉱、トリウム鉱その他核燃料物質の原料となる物質であつて、政令で定めるものをいう。

四 「原子炉」とは、核燃料物質を燃料として使用する装置をいう。ただし、政令で定めるものを除く。

五 「**放射線**」とは、電磁波又は粒子線のうち、直接又は間接に空気を電離する能力をもつもので、政令で定めるものをいう。

放射線(法律)

第4条(放射線)

原子力基本法第3条第5号の放射線は、次に掲げる電磁波又は粒子線とする。

(1) アルファ線、重陽子線、陽子線その他の重荷電粒子線及びベータ線

(2) 中性子線

(3) ガンマ線及び特性エックス線(軌道電子捕獲に伴って発生する特性エックス線に限る。)

(4) 1メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線

放射線 (radiation)

= 物質を電離する能力のある粒子や電磁波を言う。

	電磁波	γ 線	X線	
電離放射線		1次電離放射線 (直接電離)	β 線 α 線	電子 陽子 加速イオン
	粒子		荷電粒子 核分裂片 中性子線 非荷電中間子 中性微子	荷電中間子
		2次電離放射線 (間接電離)		

単位

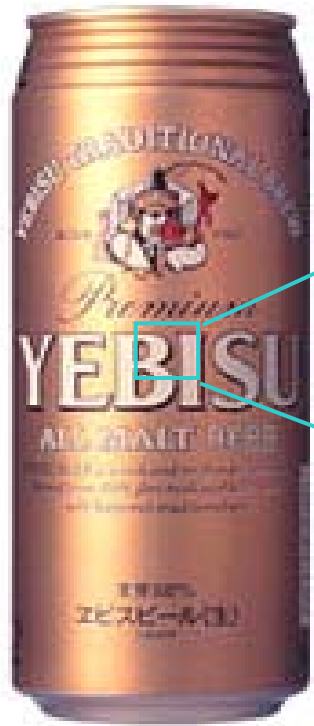
- 1) 吸収線量: 1 Gy (グレイ) = 1 kgの物資中に1Jのエネルギーが吸収される。
- 2) 生物に与える影響の単位として、Sv (シーベルト) を用いる。

物質と原子

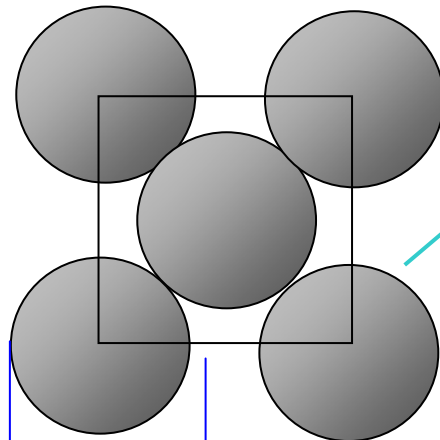
肉眼

電子顕微鏡

加速器(電子、イオン)



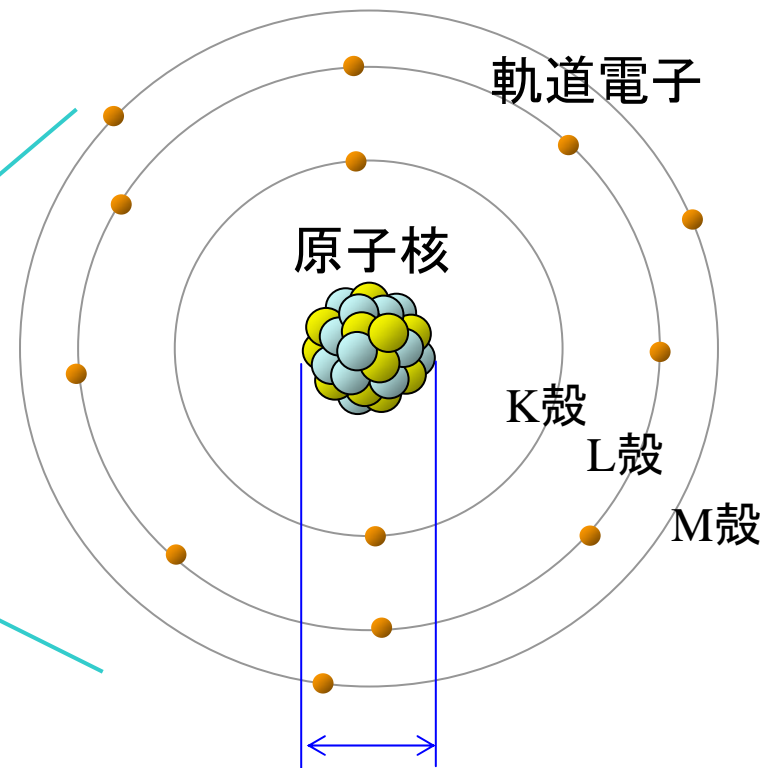
アルミの原子



0.286 nm

(1 nm = 10^{-9} m)

ナノ(1億分の1)



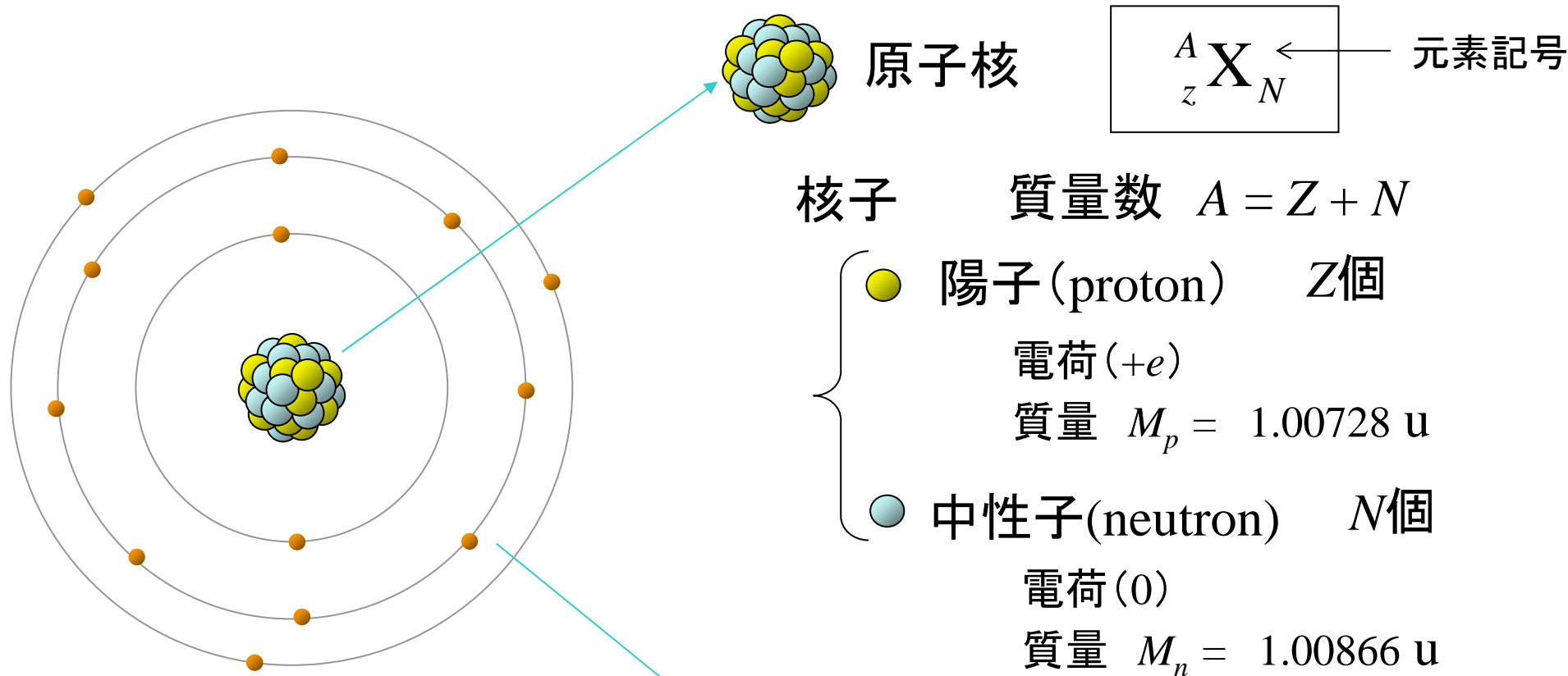
3.6 fm

(1 fm = 10^{-15} m)

フェムト(100兆分の1)

アルミ缶

原子と原子核の構造



原子番号 = Z
化学的性質

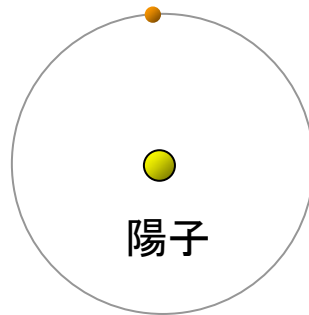
● 電子 (electron) Z 個
電荷 $(-e)$
質量 $m_e = 0.000549 \text{ u}$

※ $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$

同位体 = 陽子の数が同じで、中性子の数が異なる原子核

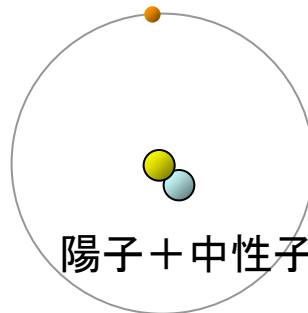
水素 ${}^1\text{H}$

自然界の存在比99.9885%



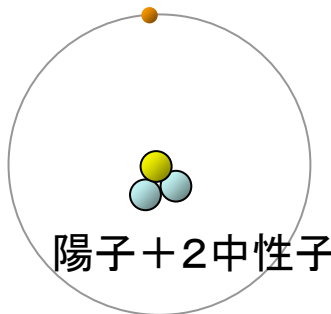
二重水素 ${}^2\text{D}$
(デュートリウム)

存在比0.0115%



三重水素 ${}^3\text{T}$
(トリチウム)

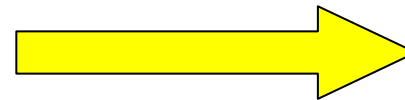
宇宙からの放射線が空気の分子と衝突して形成



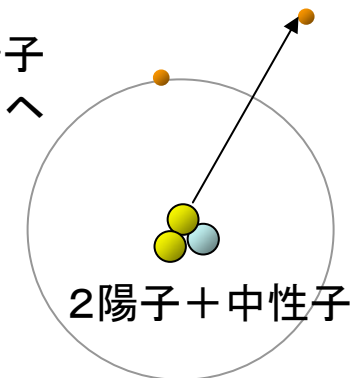
放射性同位体

自然界に安定に存在する
安定同位体

原子核の1個の中性子が陽子に変わり、電子を放出して、ヘリウムに変換する。



放射性崩壊

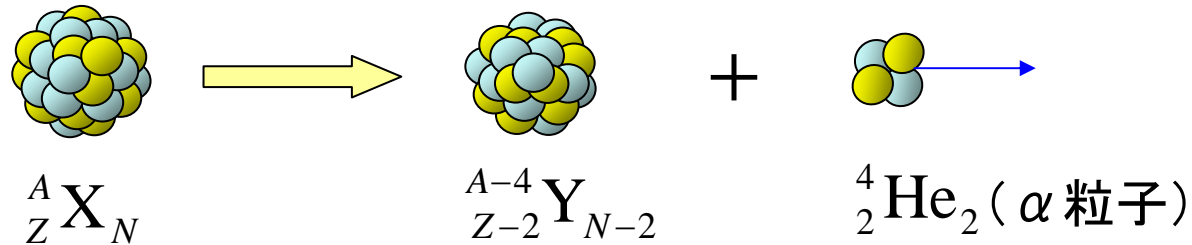


ヘリウム ${}^3\text{He}$

放射性崩壊の種類1

α 崩壊

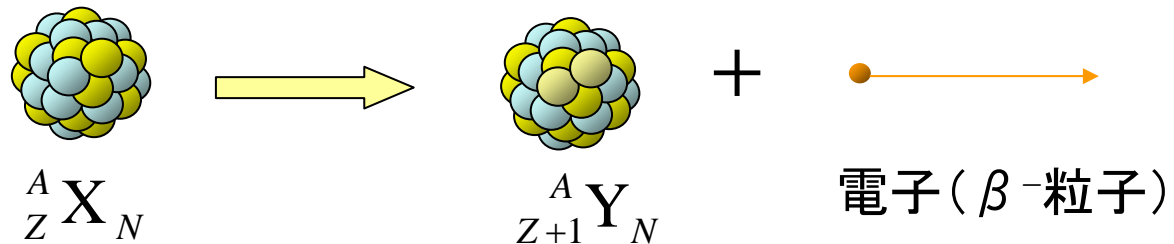
ヘリウムの原子核である高速で運動する α 粒子を放出し、原子番号が2、質量数が4少ない原子核に崩壊する。重い原子核でおこりやすい。



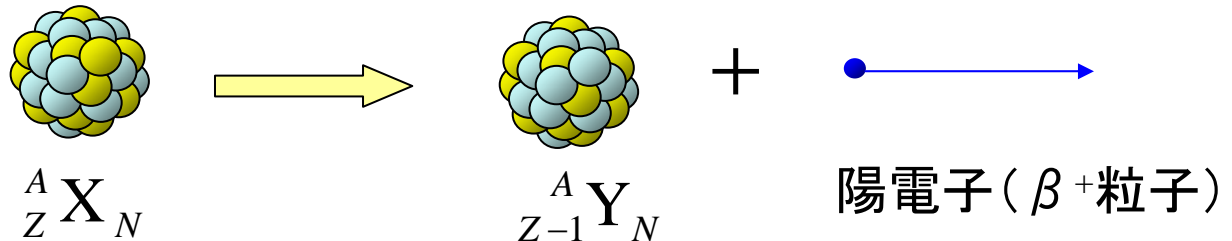
β 崩壊

中性子(または陽子)の数が過剰であるときに、これらを減らす方向に原子核の崩壊が起こる。このとき、電気的中性を保つために、高速で運動する電子(または陽電子)が放出される。

β^- 崩壊
(中性子過剰のとき)



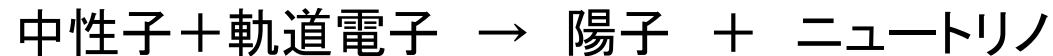
β^+ 崩壊
(陽子過剰のとき)



放射性崩壊の種類2

β 崩壊の続き

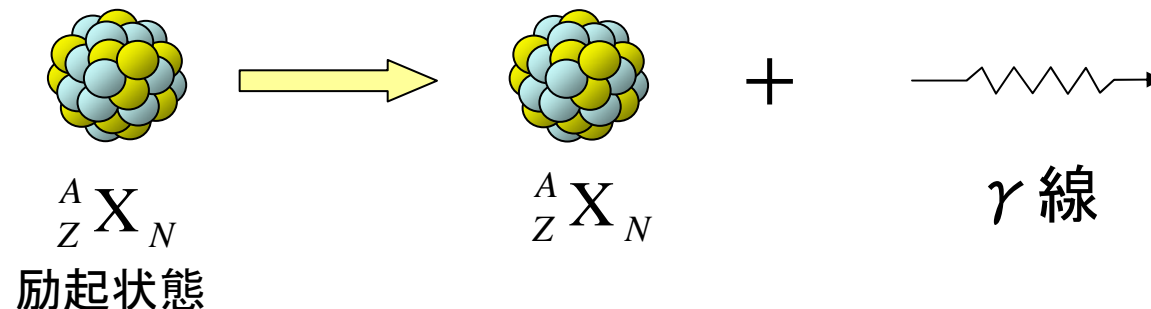
- 1) ニュートリノ: β 崩壊では、電子や陽電子以外にニュートリノと呼ばれる粒子が放出される。
- 2) 電子捕獲(EC): 陽子が過剰なとき、K殻軌道電子を取り込み、原子核内で、



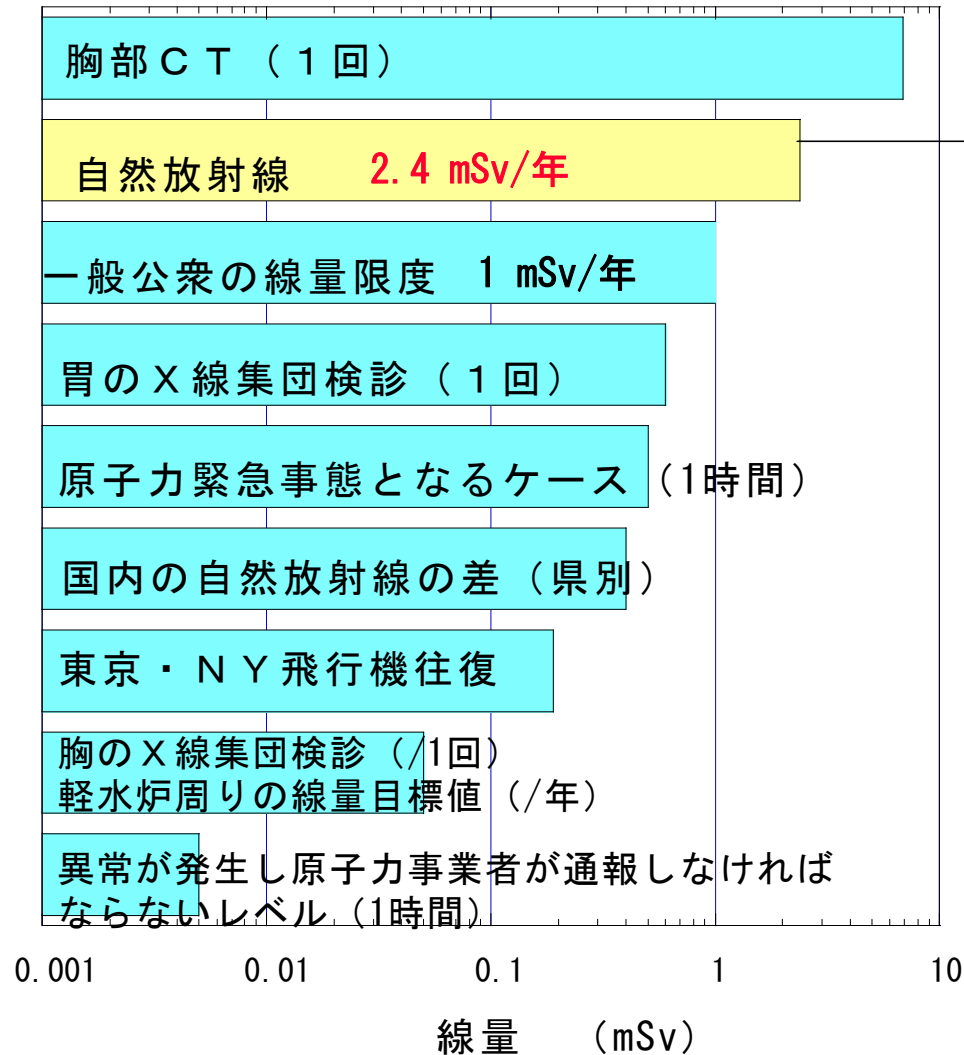
の反応が起こることがある。これを電子捕獲(EC)という。

γ 崩壊

エネルギーの高い励起状態から、電磁波の形でエネルギーが放出されてより低いエネルギー状態に遷移する過程であり、放出される電磁波を γ 線と言う。



暮らしの中の放射線



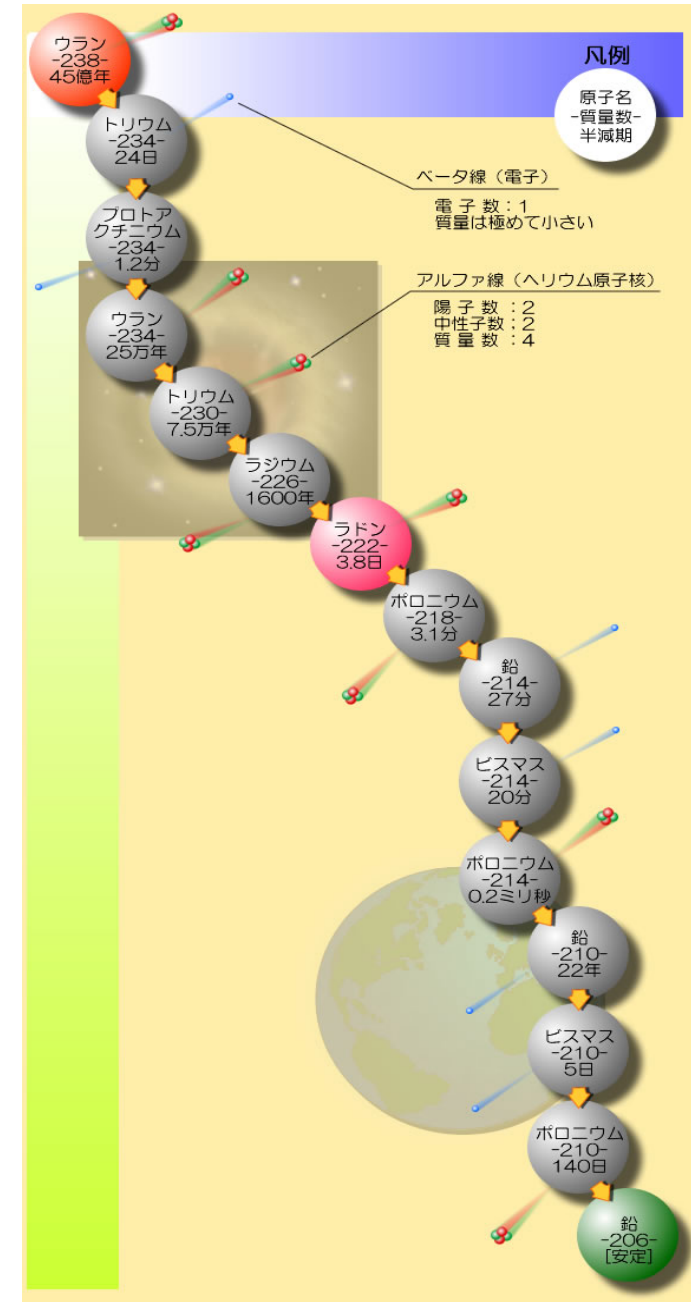
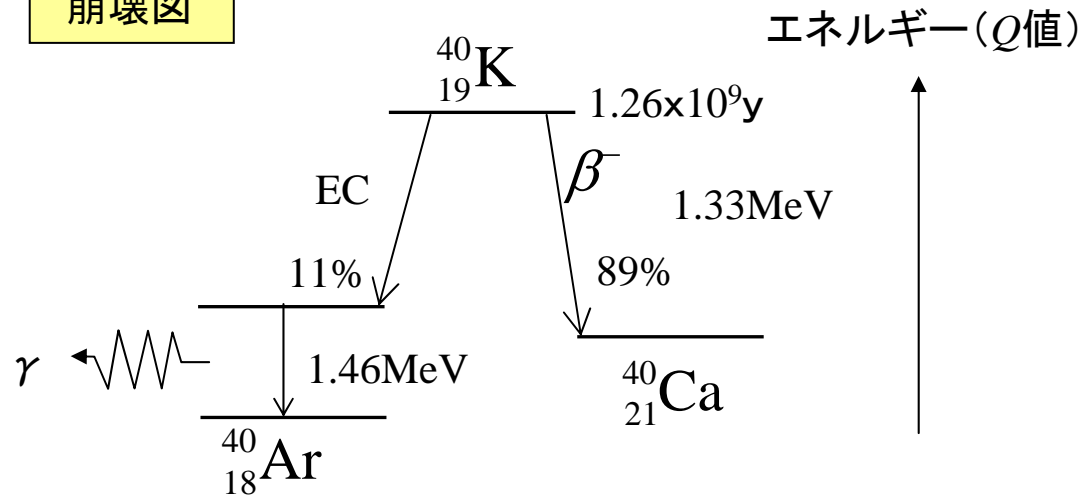
自然放射線	年間 2.4 mSv
外部被曝	
宇宙線	(0.36 mSv/y)
大地放射線	(0.41 mSv/y)
体内	
食物	(0.24 mSv/y)
ラドンなど	(1.5 mSv/y)

天然の主な放射性同位体1

例) 天然カリウムK(原子番号19)

- ^{39}K 存在度 93.2581% 安定同位体
- ^{40}K 存在度 0.0117% 放射性同位体
- ^{41}K 存在度 6.7302% 安定同位体

崩壊図



天然の主な放射性同位体2

核種	同位体存在比%	半減期(年)	放射線
$^{40}_{19}\text{K}$	0.0119	1.2×10^9	β 、 γ
$^{50}_{23}\text{V}$	0.24	6×10^{15}	γ
$^{87}_{37}\text{Rb}$	27.85	5×10^{10}	β
$^{115}_{49}\text{In}$	95.77	6×10^{14}	β
$^{130}_{52}\text{Te}$	34.49	$\sim 10^{22}$	β
$^{138}_{57}\text{La}$	0.089	1.1×10^{11}	β
$^{144}_{60}\text{Nd}$	23.9	2.4×10^{15}	α
$^{147}_{62}\text{Sm}$	15.07	1.4×10^{11}	α
$^{176}_{71}\text{Lu}$	2.6	7.5×10^{10}	β 、 γ
$^{187}_{75}\text{Re}$	62.93	4×10^{12}	β
$^{232}_{90}\text{Th}$	100	1.39×10^{10}	α
$^{235}_{92}\text{U}$	0.72	7.13×10^8	α
$^{238}_{92}\text{U}$	99.28	4.49×10^9	α



宇宙線由来の主な放射性同位元素

核種	同位体存在比%	半減期(年)	放射線
^3H		12.3	β
^{14}C		5730	β

●体内の放射性物質の量
(体重60kgの日本人の場合)

カリウム 40	4,000ベクレル
炭素 14	2,500ベクレル
ルビジウム 87	500ベクレル
鉛 210・ポロニウム 210	20ベクレル

●食物中のカリウム40の放射エネルギー(日本)
(ベクレル/kg)

米 30	ほうれん草 200	干しいたけ 700
食パン 30	魚 100	生わかめ 200
牛肉 100	ポテトチップ 400	
干しこんぶ 2,000	牛乳 50	ビール 10

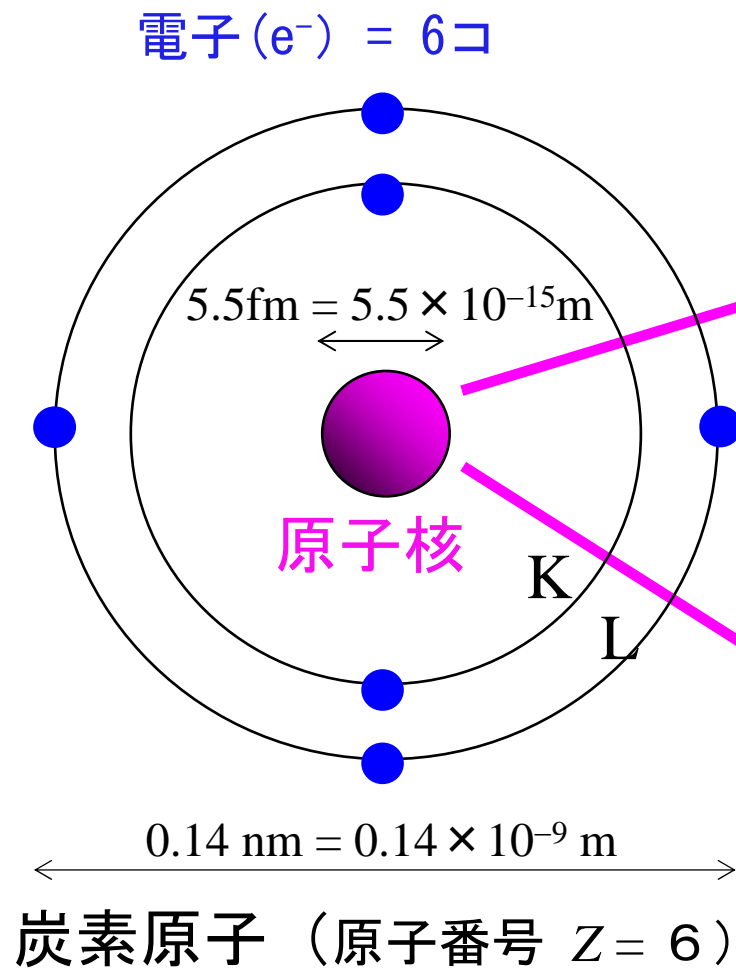
表1 電離放射線の物質との相互作用とその利用例

相互作用	利用方法	利用例(方法、製品)
透過、吸収、 散乱	計測制御	厚さ計、液面計、レベル計
	非破壊検査	γ (\times)線のラジオグラフィ
	診断	\times 線撮影、 \times 線CT
電離、励起	イオン発生	煙感知器、蛍光灯のグロー放電管
	光の発生	自発光塗料
	分析	蛍光 \times 線分析、硫黄計
化学的作用	改質	耐熱性電線、強化プラスチック、強化木材
生物学的作用	殺菌、殺虫、防虫	医療器具の殺菌、検査用具・実験動物試料・食品の殺菌、害虫防除
	保存	発芽防止、熟度調節
	育種	品種改良、生育調節
	治療	がんの治療、甲状腺治療
原子核反応	分析、治療	微量元素分析、アクチバブルトレーサ法、脳腫瘍治療

[出典]日本アイントープ協会:やさしい放射線とアイントープ 改訂版、丸善(1993)、p.40
をもとに作成

原子力百科事典(<http://mext-atm.jst.go.jp/atomica/index2.html>)より転載

原子核の結合エネルギーと崩壊



同位体
(陽子の数は同じで中性子の数が異なる)

核子12コ

陽子 (e^+) = 6コ
中性子 = 6コ

$^{12}_6\text{C}$

存在比 : 約99%

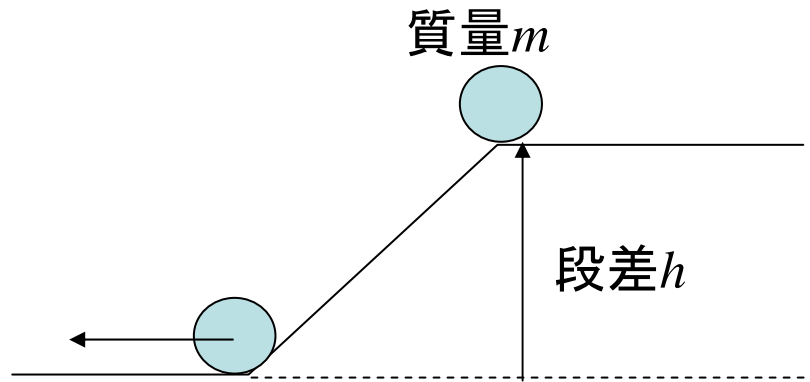
核子13コ

陽子 (e^+) = 6コ
中性子 = 7コ

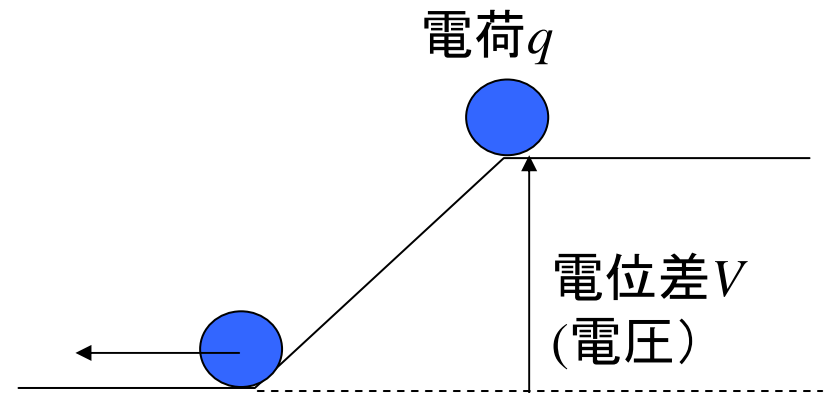
$^{13}_6\text{C}$

存在比 : 約1%

放射線のエネルギーを表す単位 = eV (エレクトロンボルト)



運動エネルギー
 $E = mgh$
(g : 重力の加速度)



運動エネルギー
 $E = qV$

電荷が1C(クーロン)、電圧が1V(ボルト)のとき、エネルギーは

$$E = 1\text{C} \times 1\text{V} = 1\text{J(ジュール)}$$

である。電子の電荷の大きさは $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ (クーロン)なので

$$E = 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$$

であり、これを1eVとする。

原子質量単位 Atomic Mass Unit (amu, u)

^{12}C の原子1個の質量を12 uとする

^{12}C の1モルの質量=12 g

1モルの原子数 = 6.022×10^{23} コ

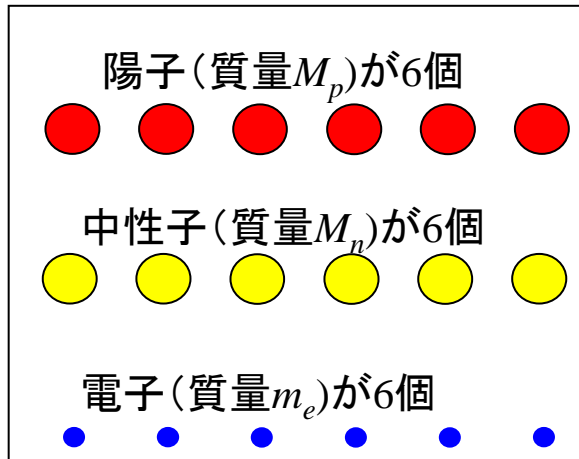
$$1\text{u} = \frac{1}{6.0221367 \times 10^{23}} \text{g} = 1.6605402 \times 10^{-27} \text{kg}$$

質量エネルギー等価則

$$E = mc^2 \quad m:\text{質量、}c:\text{光速}(2.998 \times 10^8 \text{ m/s})$$

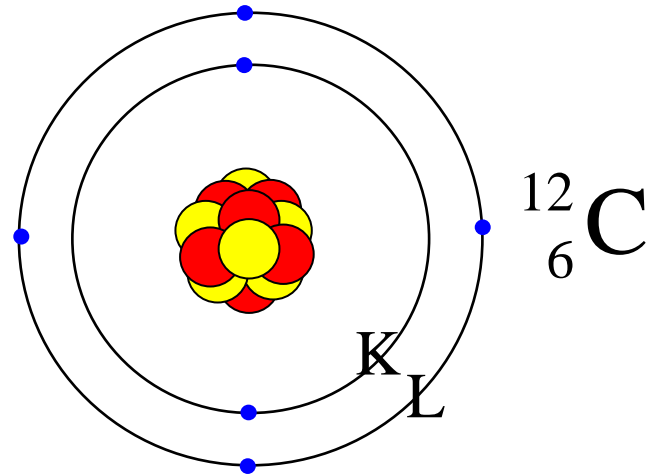
$$\begin{aligned} 1\text{u} &= 1.6605402 \times 10^{-27} \text{kg} \times (2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \\ &= 1.49238 \times 10^{-10} \text{ J} \\ &= 931.5 \text{ MeV} \end{aligned}$$

原子核の結合



核子と電子の質量

$$M_o = 6M_p + 6M_n + 6m_e = 12.09894 \text{ u}$$



— 実際の質量

$$M = 12 \text{ u}$$

実際の原子核は軽い

= 質量欠損

$$\Delta M = M_o - M = 0.09894 \text{ u}$$

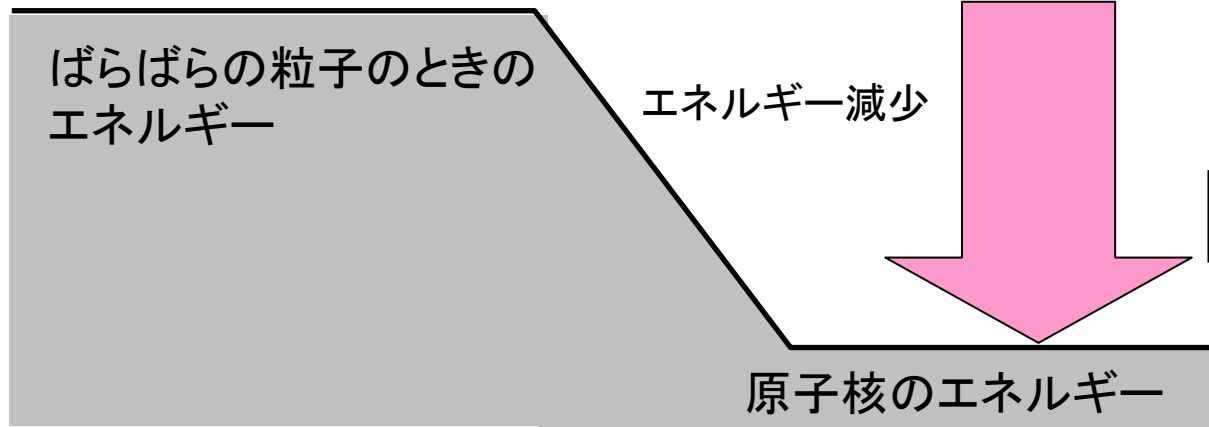
エネルギー換算

$$E = \Delta M c^2 = 92.16 \text{ MeV}$$

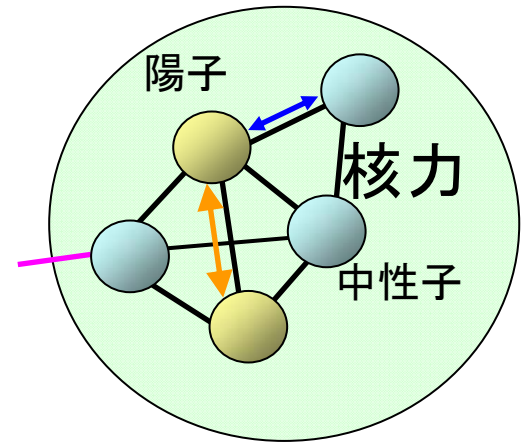
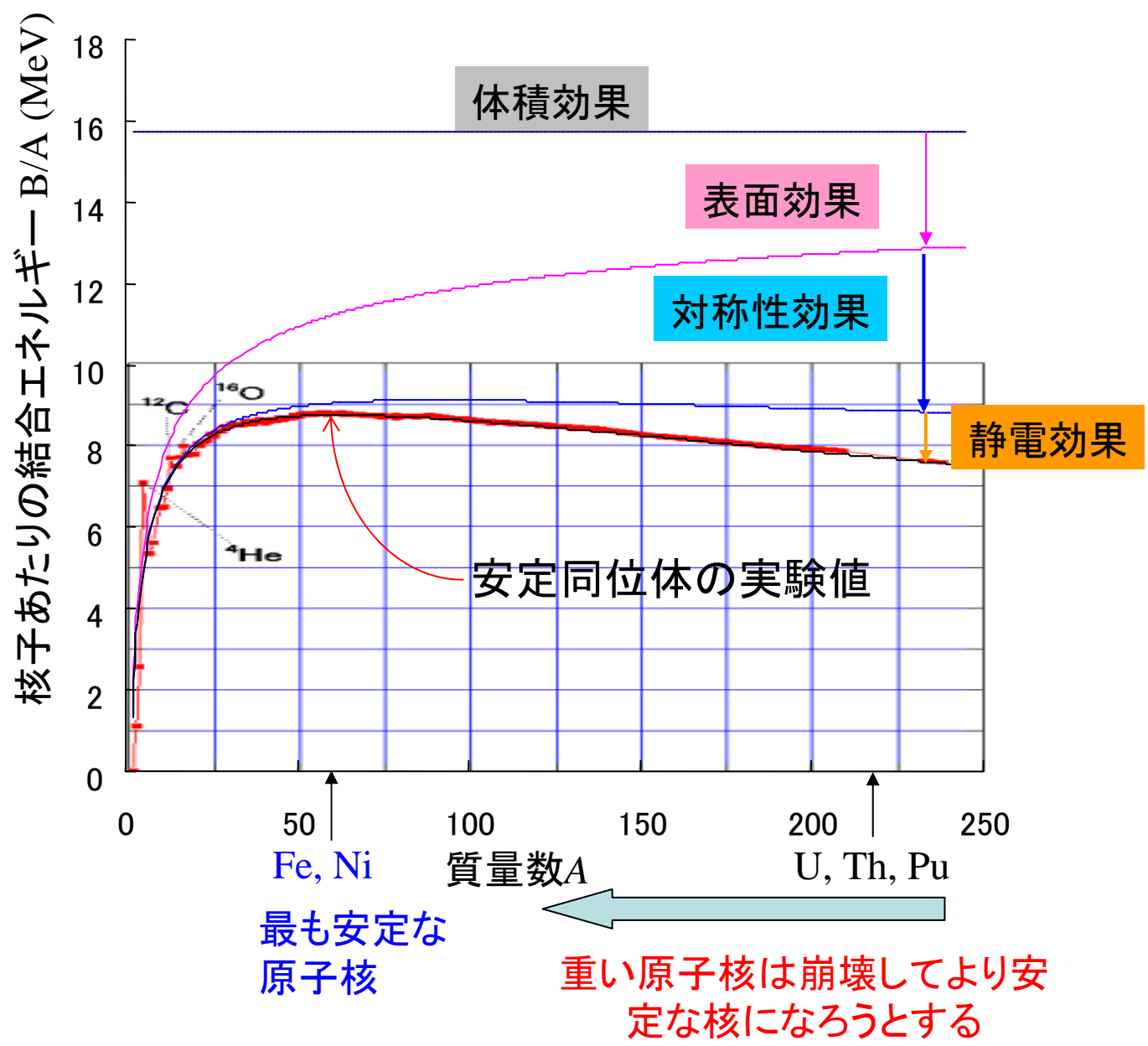
原子核結合のエネルギー B

核子1個あたりの結合エネルギー

$$\frac{B}{A} = 7.68 \text{ MeV}$$



原子核の結合エネルギー

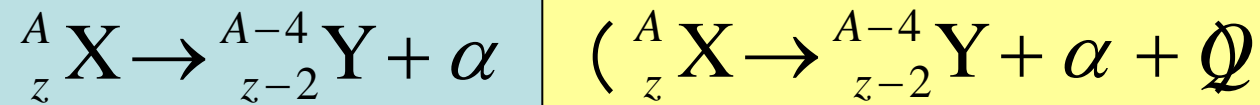


原子核
半径 $R=1.2A^{1/3}$ (fm)

- 1) 核子間の結合の数だけ結合エネルギーが高い(体積効果)
- 2) 表面で結合していない数だけ結合エネルギーが低い(表面効果)
- 3) 陽子と中性子は対になりやすいことからのずれ(対称性効果)
- 4) 陽子間の静電的な反発力の効果(静電効果)

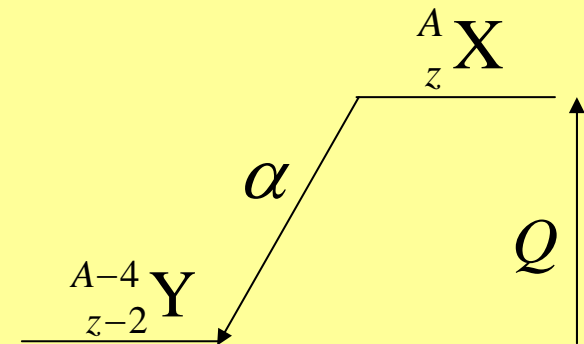
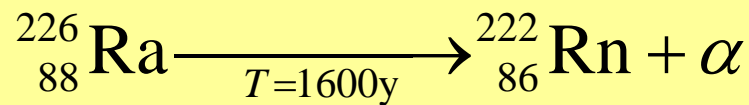
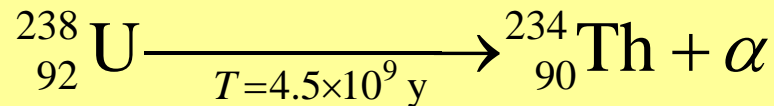
α 崩壊

α 崩壊では、 ${}^4_2\text{He}$ の原子核である α 粒子を放出して原子核の崩壊が起こる。



$$Q = (M_X - M_Y - M_{\text{He}})c^2 \quad M_{\text{He}} = 4.002604u$$

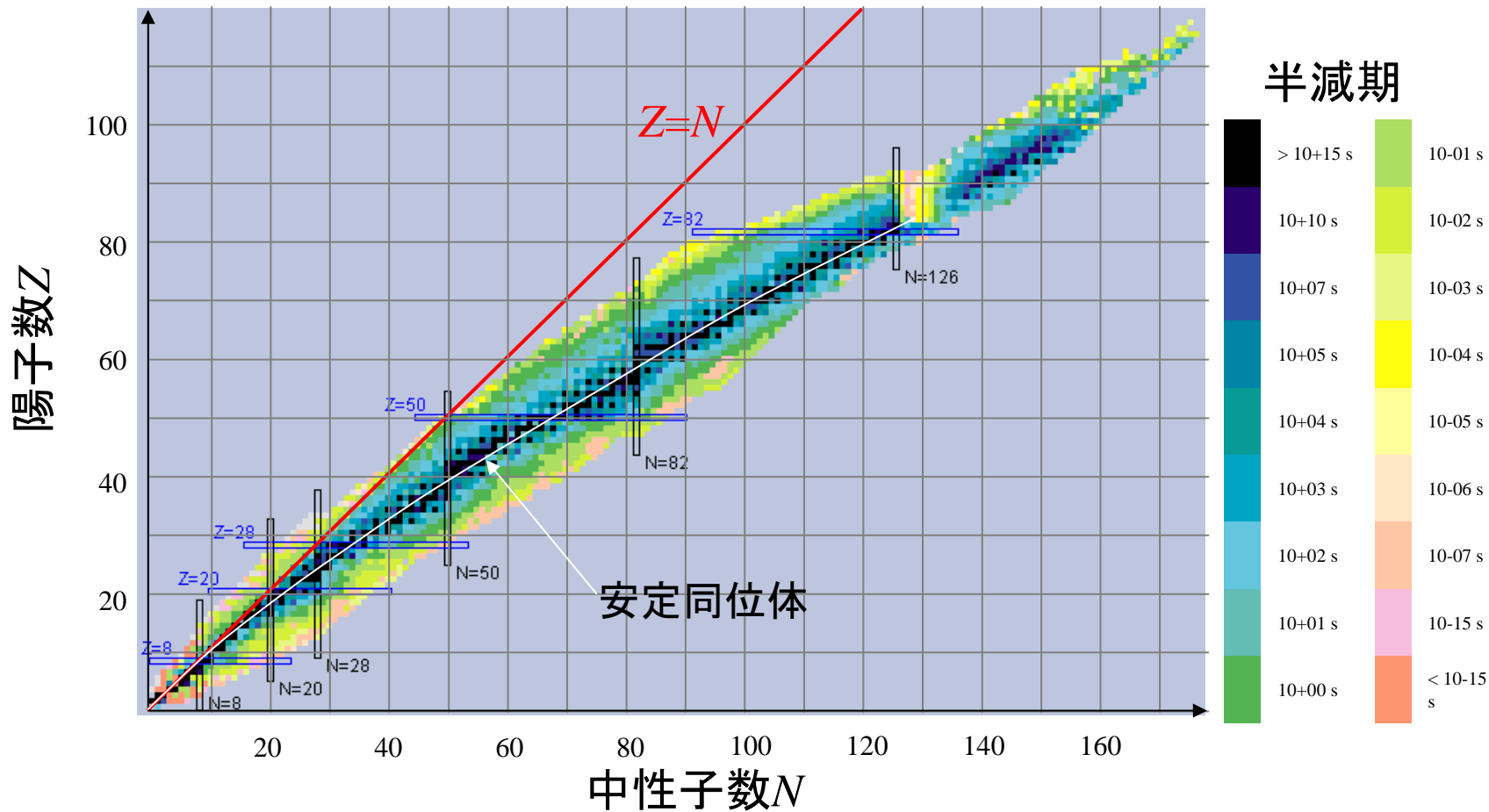
$A > 150$ 以上の重い核で、 $Q > 0$ となり、原子核は α 粒子を放出して崩壊する場合がある。



安定同位体について

$$\frac{N}{Z} = 1.02 + 0.015A^{2/3}$$

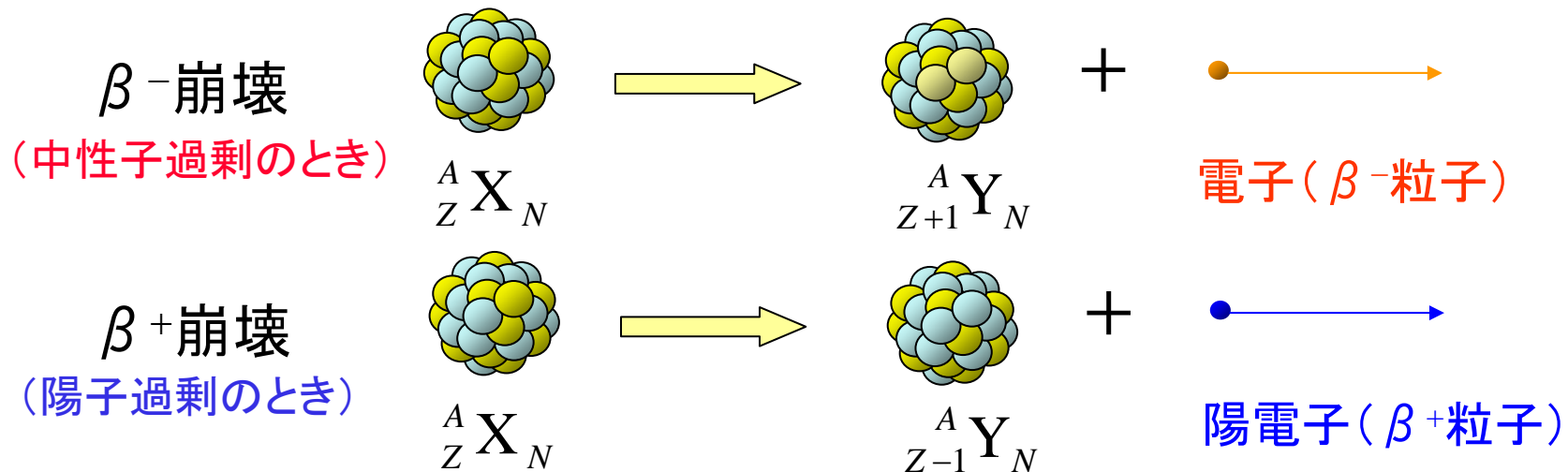
重い原子核では中性子数の方が陽子よりも多い



National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory,
<http://www.nndc.bnl.gov/chart/>より転載

放射性崩壊の種類: β 崩壊

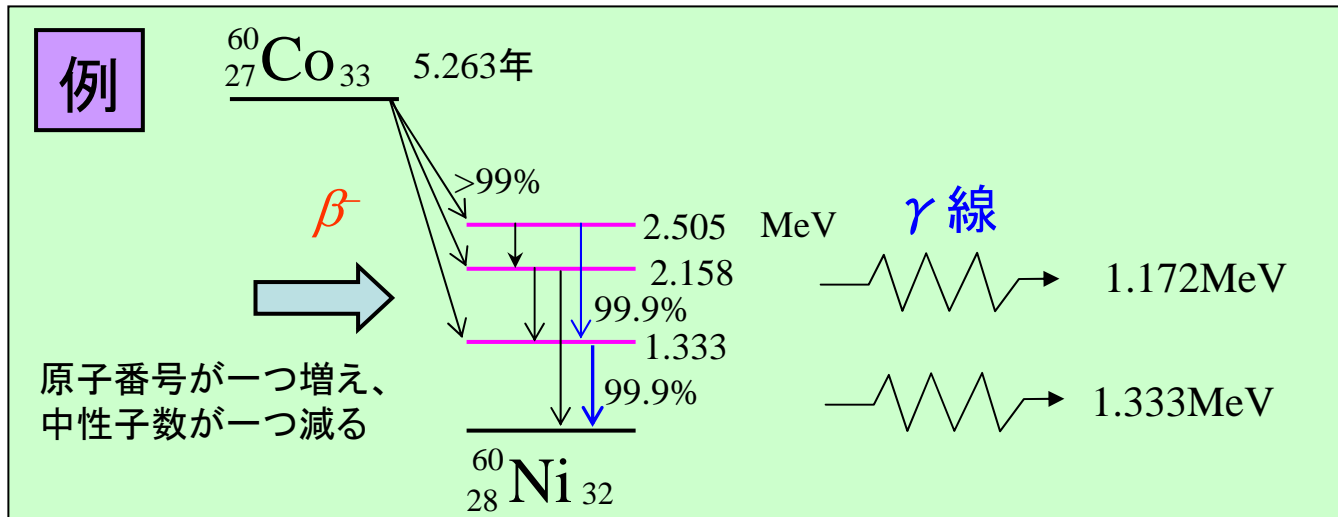
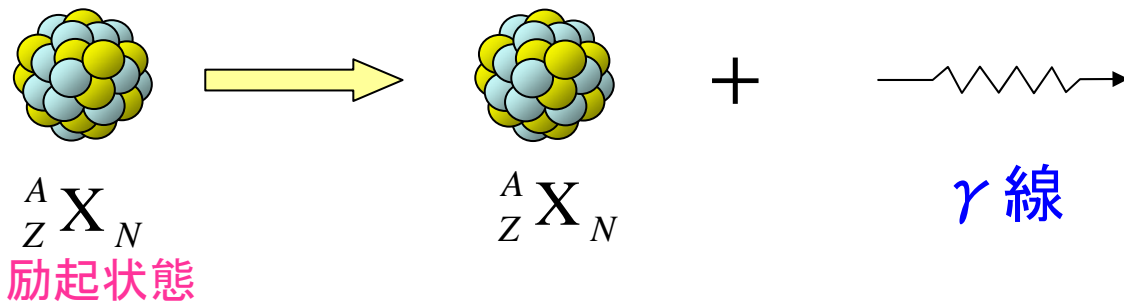
中性子(または陽子)の数が過剰であるときに、これらを減らす方向に原子核の崩壊が起こる。これを β 崩壊といい、このとき、電気的中性を保つために、高速で運動する電子(または陽電子)が放出される。



- 1) **ニュートリノ**: β 崩壊では、電子や陽電子以外にニュートリノと呼ばれる粒子が放出される。
- 2) **電子捕獲(EC)**: 陽子が過剰なとき、K殻軌道電子を取り込み、原子核内で、
中性子 + 軌道電子 \rightarrow 陽子 + ニュートリノ
の反応が起こることがある。これを電子捕獲(EC)という。

放射性崩壊の種類： γ 崩壊

一般に α 崩壊や β 崩壊を終えた原子核はエネルギーの高い励起状態にあり、電磁波の形でエネルギーが放出されてより低いエネルギー状態に移る。この過程を γ 崩壊(あるいは γ 遷移)と言い、核種は変わらないが、エネルギー状態が変わる。このとき、放出される電磁波を γ 線と言う。



※ MeV: 百万電子ボルト
 (百万ボルトで電子を加速したときのエネルギー)

放射性核種の崩壊

時刻 t において、 N 個の放射性原子核があり、続く dt の時間に崩壊する数を dN とする。崩壊の確率はどの原子核も同じであり、単位時間あたりの確率を λ とすると、 dt の時間において一個あたり λdt の確率で崩壊するから、元の原子核が減少する割合は

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

となる。第2式の両辺を積分すると、

$$\log N = -\lambda t + C = \log(e^{-\lambda t}) + \log C' \quad \therefore N = C'e^{-\lambda t}$$

である。ここで、初期($t = 0$)での原子核の個数を N_0 とすると、 $C' = N_0$ だから、

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \lambda: \text{崩壊定数(壊変定数)}$$

放射性核種の半減期と放射能の強さ

放射性核種の原子核の個数が半分になる時間を T とすると、

$$\frac{1}{2}N_o = N_o e^{-\lambda T}$$

より、壊変定数(崩壊定数) λ と半減期 T との関係

$$\lambda = \frac{0.693}{T}$$



$$N = N_o \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$$

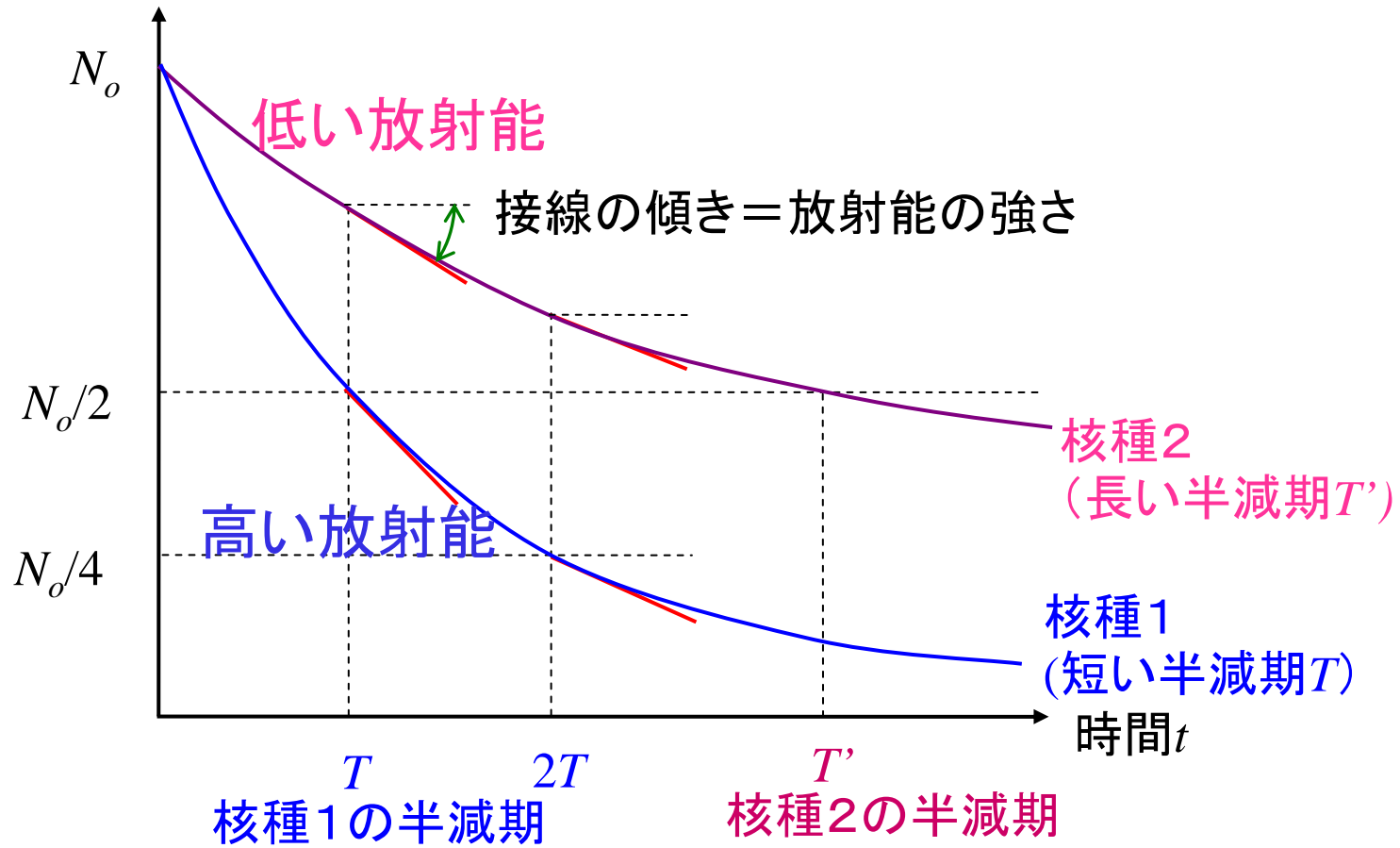
放射能の強さは単位時間あたりの崩壊数、すなわち

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \frac{0.693N}{T}$$

であたえられ、単位はBq(ベクレル) = 1 壊変/秒(dps)である。

放射性崩壊と放射能の強さ

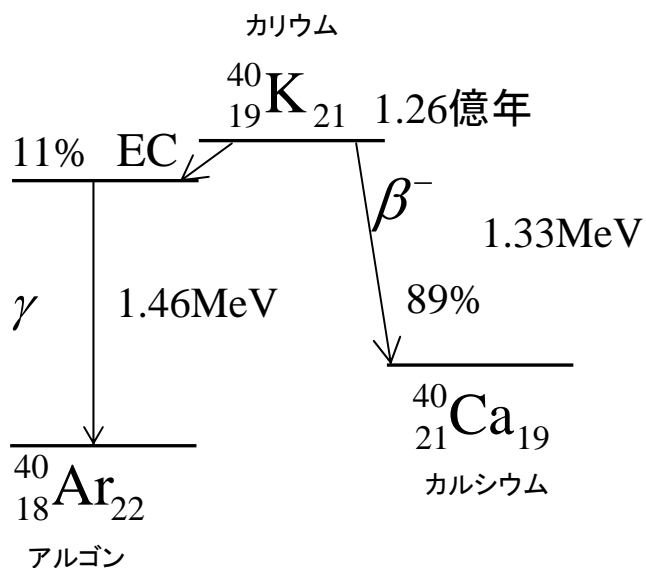
放射性同位元素の数 N



放射性崩壊の例1

例)天然カリウムK(地球創生時)

$^{40}_{19}\text{K}_{21}$ 存在比93.2581% 安定同位体
 $^{40}_{18}\text{K}_{22}$ 存在比 0.0117% 放射性同位体
 $^{40}_{20}\text{K}_{20}$ 存在比 6.7302% 安定同位体



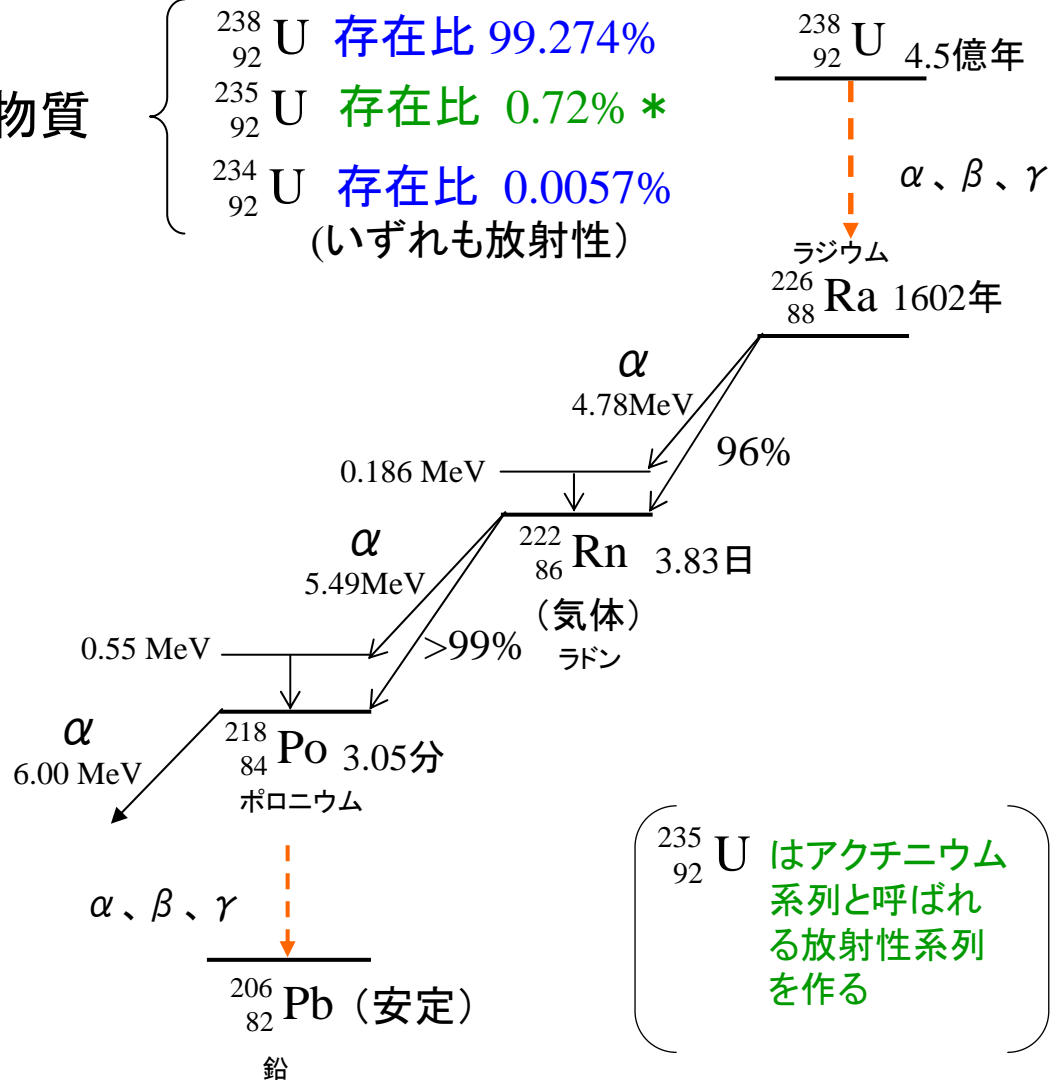
放射線	エネルギー (keV)	割合 (%)
β^+ 線	482.9	0.00104
β^- 線	1311	89.28
γ 線	1461	~11
X 線 (^{40}Ar)	0.251	0.001
	0.31	0.00072
	2.88	3.3×10^{-8}
	2.956	0.93
	3.19	0.074

放射性崩壊の例2

例) ウラニウム系列(地球創生時)

核燃料物質

- ${}_{92}^{238}\text{U}$ 存在比 99.274%
 - ${}_{92}^{235}\text{U}$ 存在比 0.72% *
 - ${}_{92}^{234}\text{U}$ 存在比 0.0057%
- (いずれも放射性)



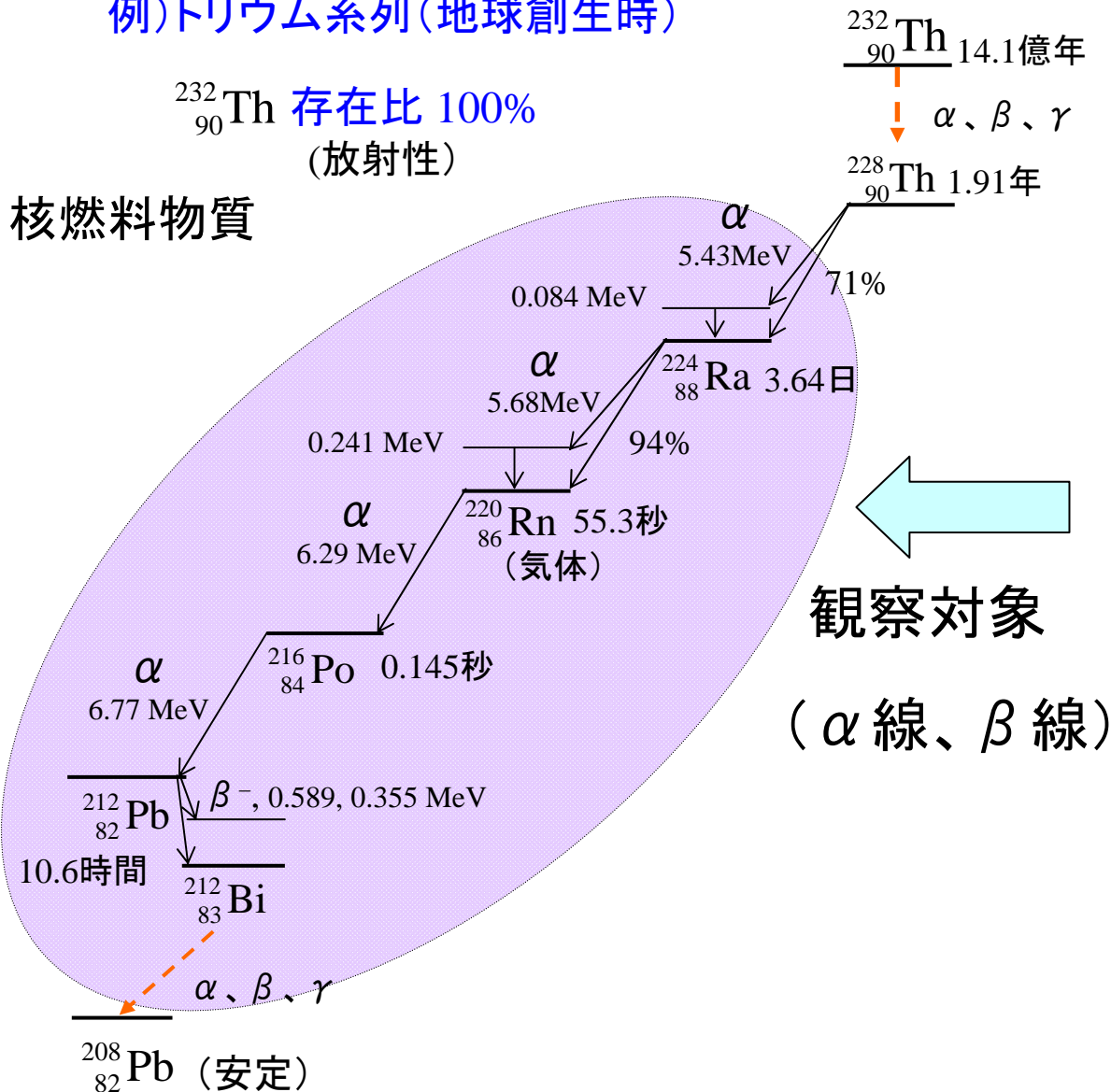
${}_{92}^{235}\text{U}$ はアクチニウム系列と呼ばれる放射性系列を作る

放射性崩壊の例3

例)トリウム系列(地球創生時)

$^{232}_{90}\text{Th}$ 存在比 100%
(放射性)

核燃料物質



観察対象
(α 線、 β 線)

原子力・放射線と環境

霧箱の実験

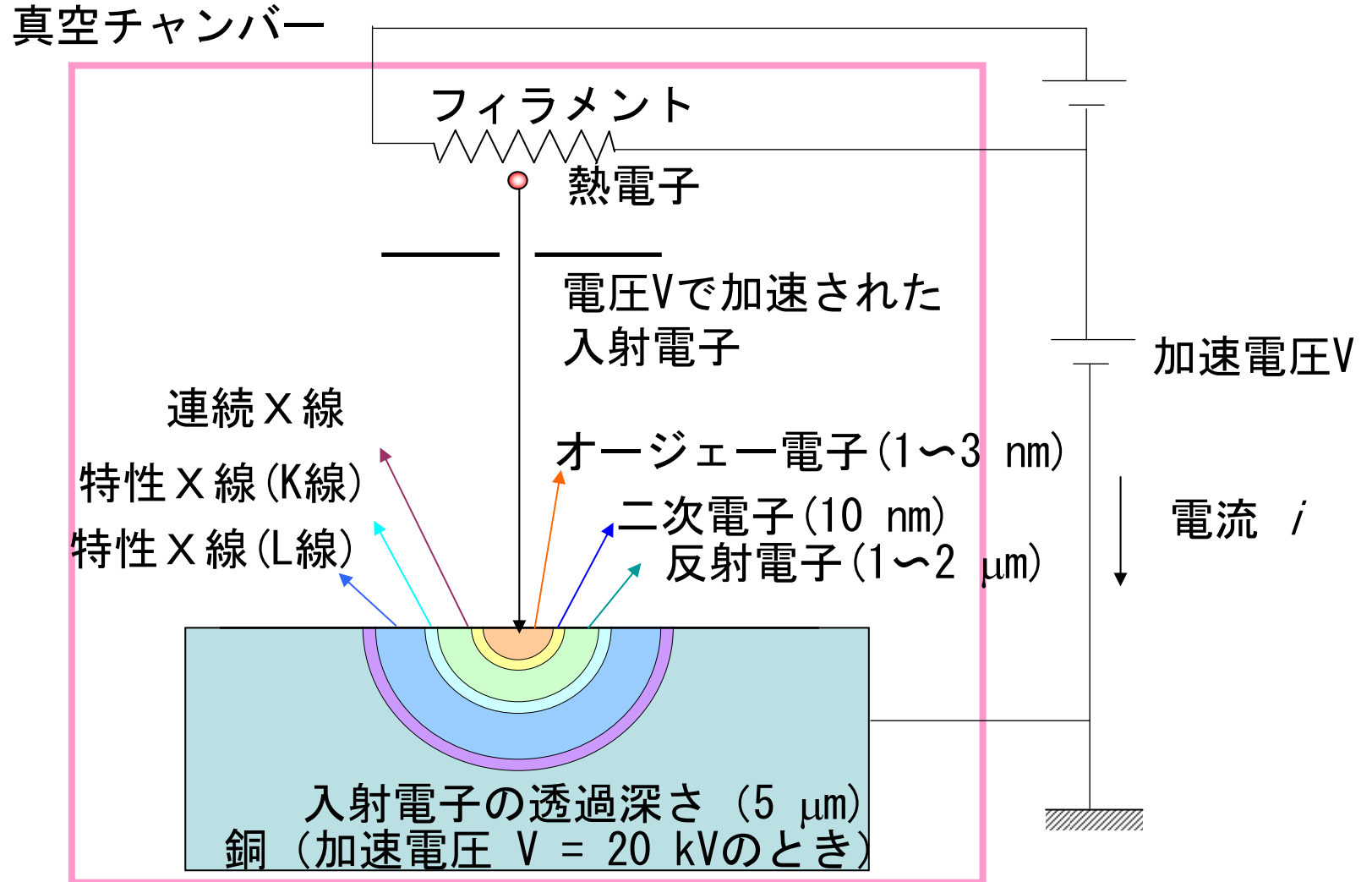
線源材料: マントル
(ランタンで炎を制御するカバー
合成繊維)

トリウムが含まれている。



電子と物質との相互作用

X線発生装置
走査型電子顕微鏡



X線の波長と強度

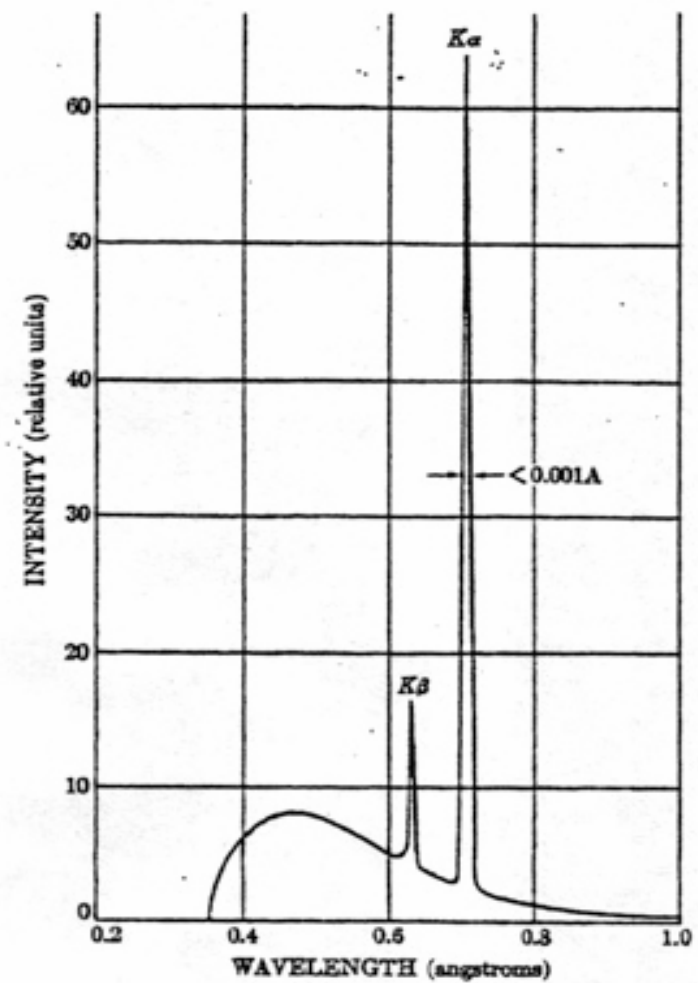
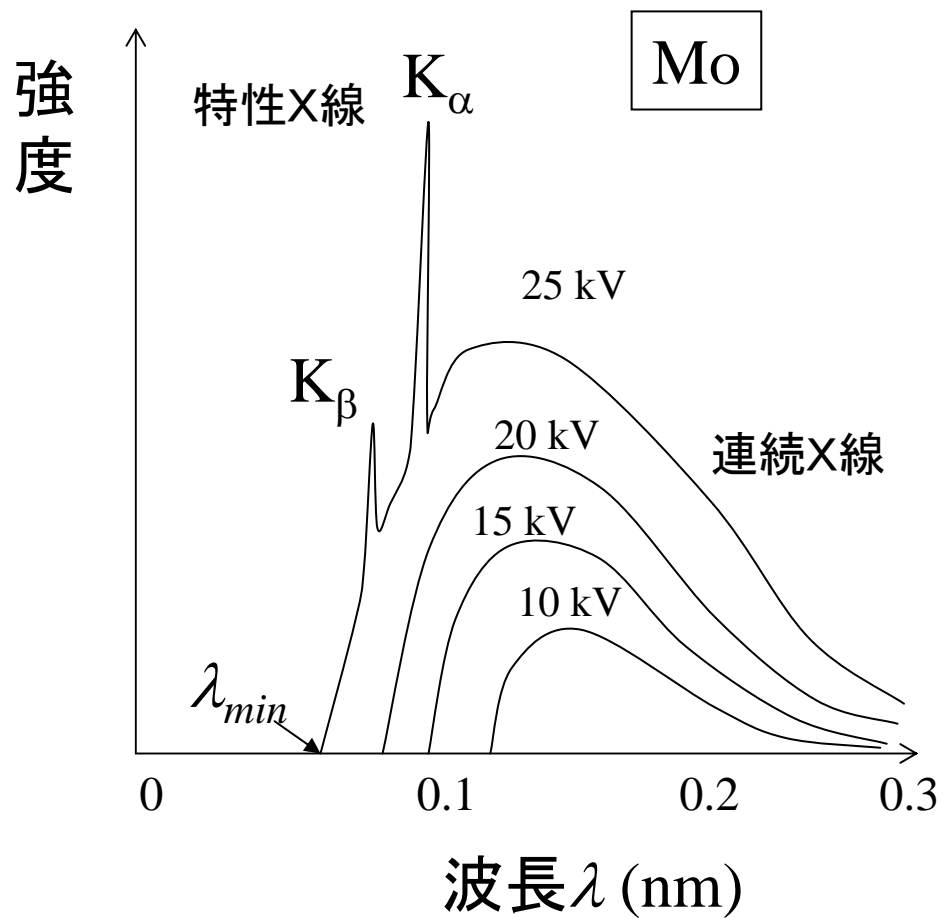
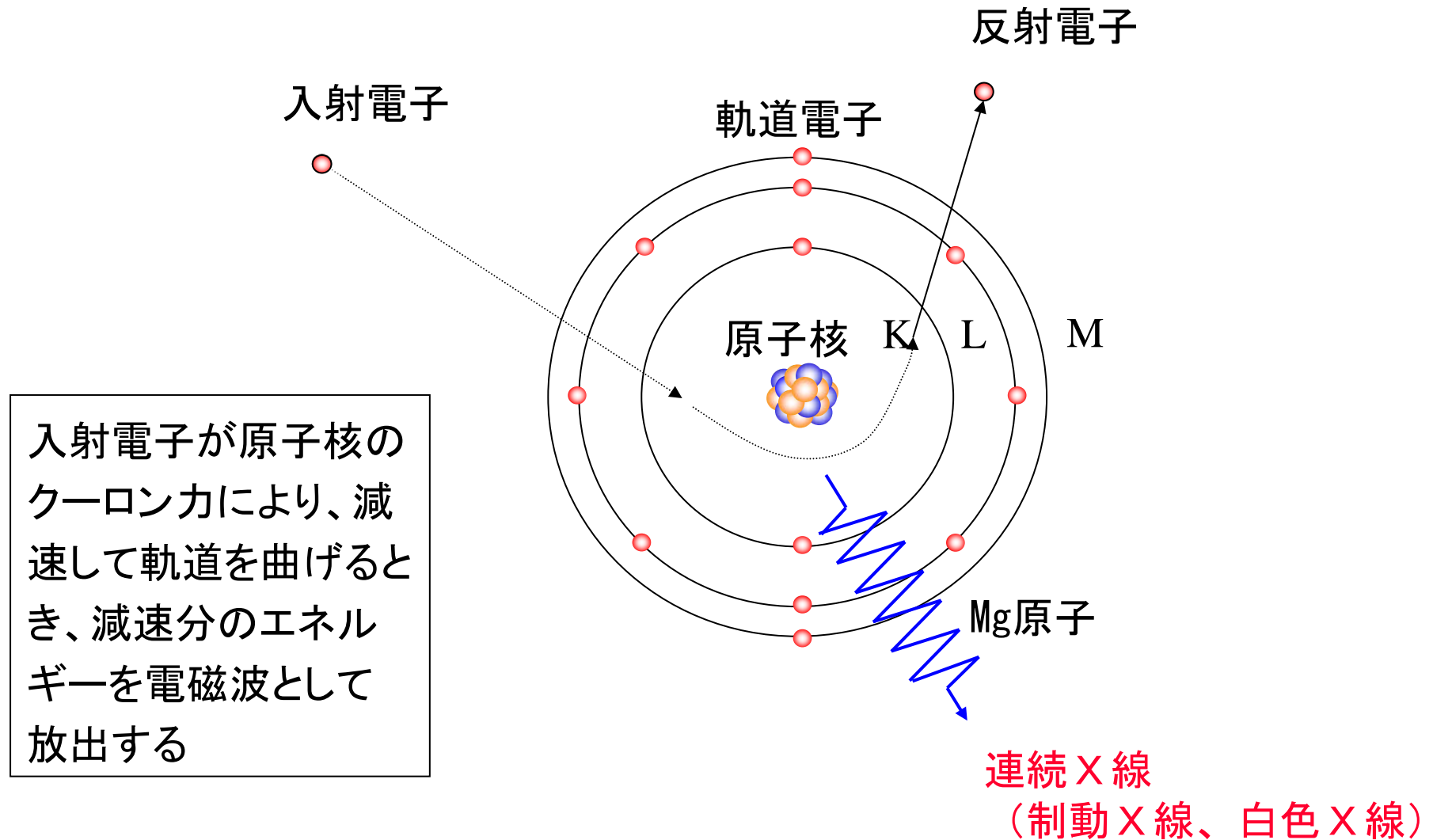


FIG. 1 Spectrum of Mo at 35 kv (schematic). Line widths not to scale.

X線発生 の原理

1. 連続X線 (白色X線)



X線発生 の原理

1. 連続X線 (白色X線)

入射電子のエネルギー

$$E = eV \text{ 単位 (eV)}$$

e ; 電子の電荷

V ; 加速電圧

連続X線の最短波長

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{eV}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{1.24}{V} \text{ [nm]}$$

ただし、加速電圧 V の単位は kV 。

光(電磁波)のエネルギー

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

h ; プランク定数(= 6.624×10^{-34} Js)

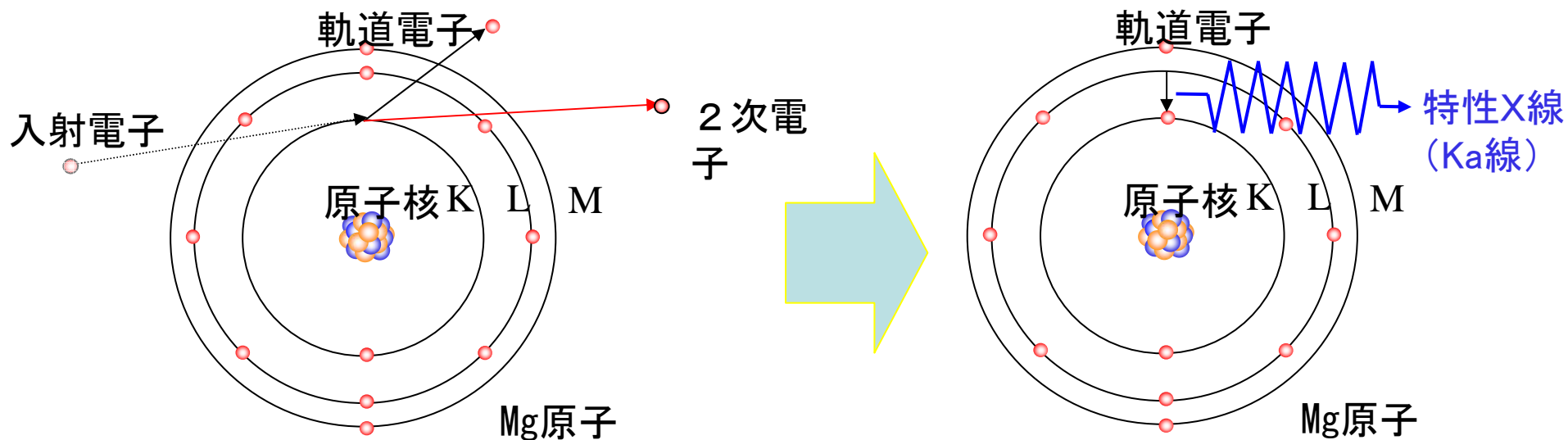
ν ; 振動数

c ; 光速

例) 30 kVで加速した
入射電子を用いたX線
回折装置

$$\lambda_{\min} = 0.41 \text{ nm}$$

X線発生 の原理 2. 特性X線



入射電子が軌道電子を叩き出した後、より高いエネルギー準位にある軌道電子が、空位になった軌道に落ち込むとき、エネルギー差を電磁波として放出する

X線発生 の原理 2. 特性X線

K線 (K α 線)

K殻軌道電子のエネルギー準位 ; E_K

L殻軌道電子のエネルギー準位 ; E_L

電磁波として放出されるエネルギー ; ΔE_K

$$\Delta E_K = E_L - E_K$$

特性X線の波長 ; λ_K

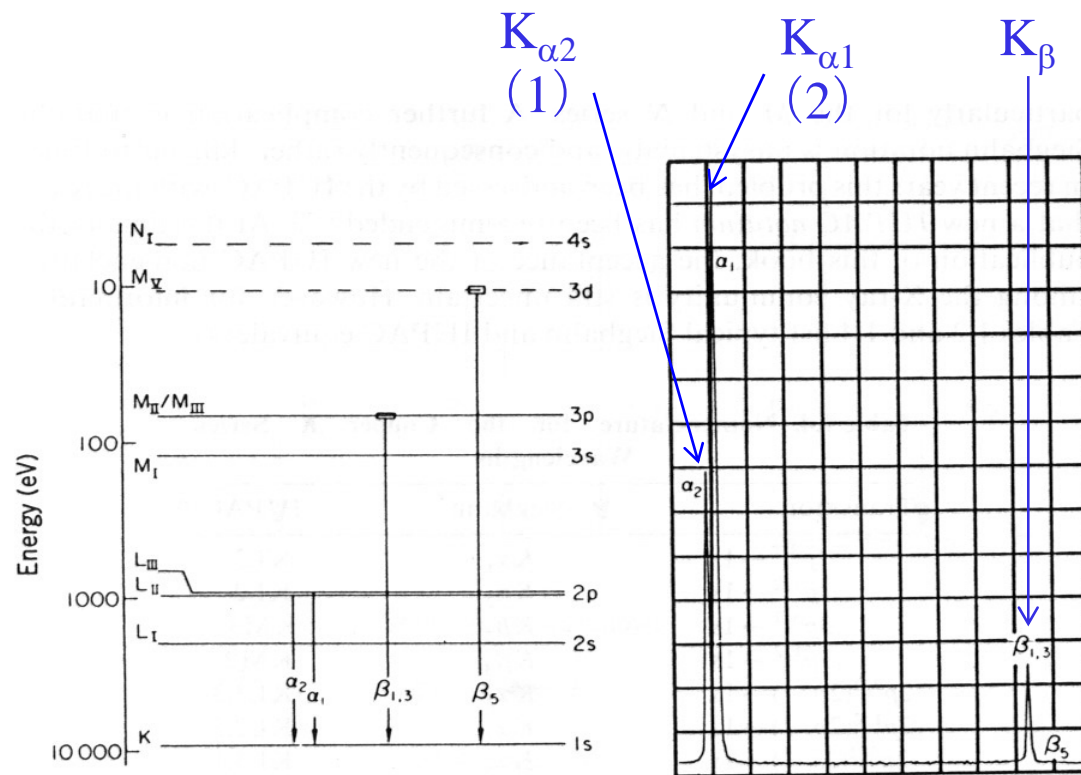
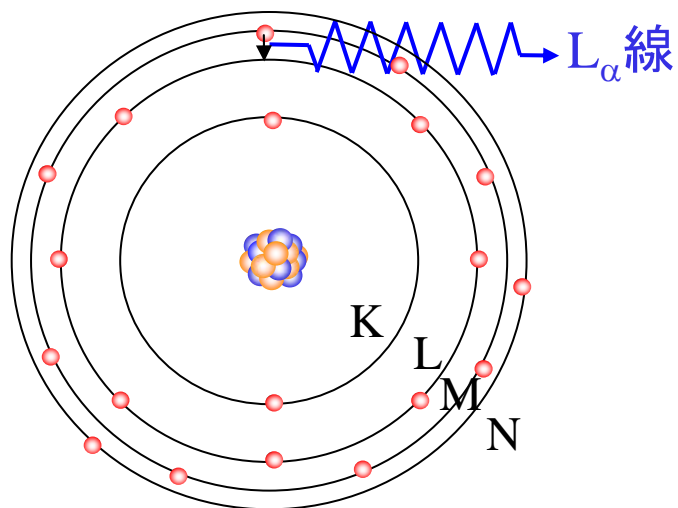
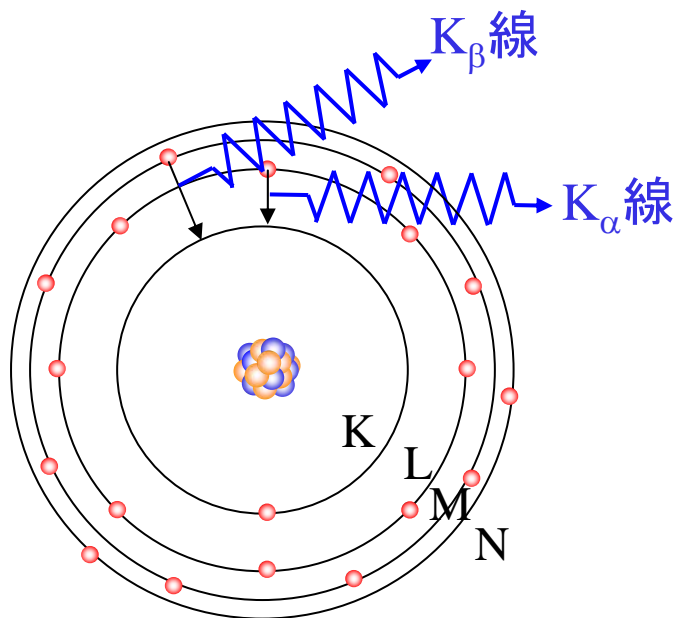
$$\lambda_K = \frac{hc}{\Delta E_K} = \frac{hc}{E_L - E_K}$$

h ; プランク定数
 c ; 光速

※K β 線

空位になったK殻にM殻の軌道電子が落ち込む際に、放出される特性X線の波長は

$$\lambda'_K = \frac{hc}{\Delta E'_K} = \frac{hc}{E_M - E_K} \text{ となり、K}_\alpha \text{線の波長よりも短い (エネルギーが高い)。$$



軌道電子の
エネルギー準位

X線のエネルギー

モーゼレーの法則

K_{α} 線

$$h\nu_{K\alpha} = I(Z-1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

L_{α} 線

$$h\nu_{L\alpha} = I(Z-7.4)^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

I : 水素原子の
イオン化エネルギー (13.6 eV)



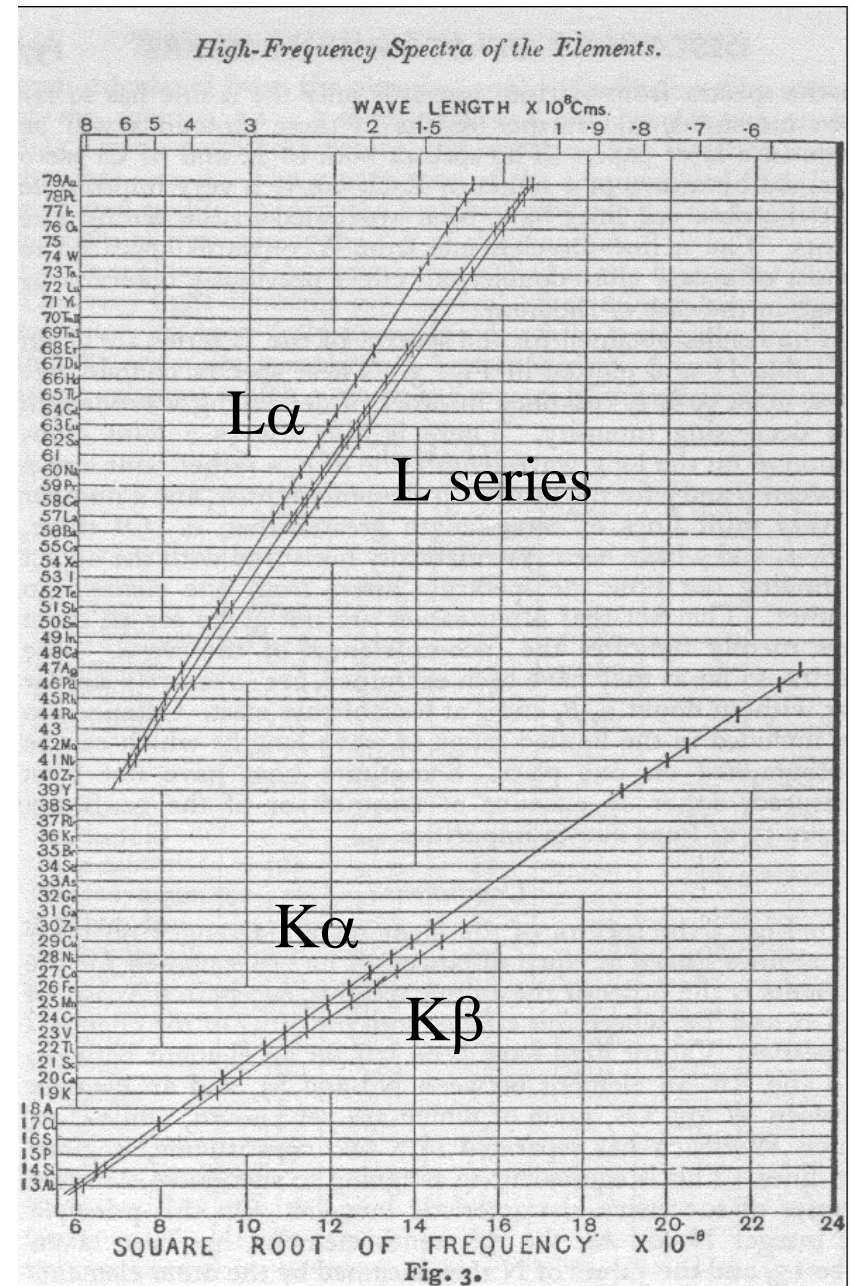
特性X線

エネルギー分散スペクトルEDS
波長分散スペクトルWDS



元素分析

↑
原子番号 Z



振動数の平方根 $\sqrt{\nu}$

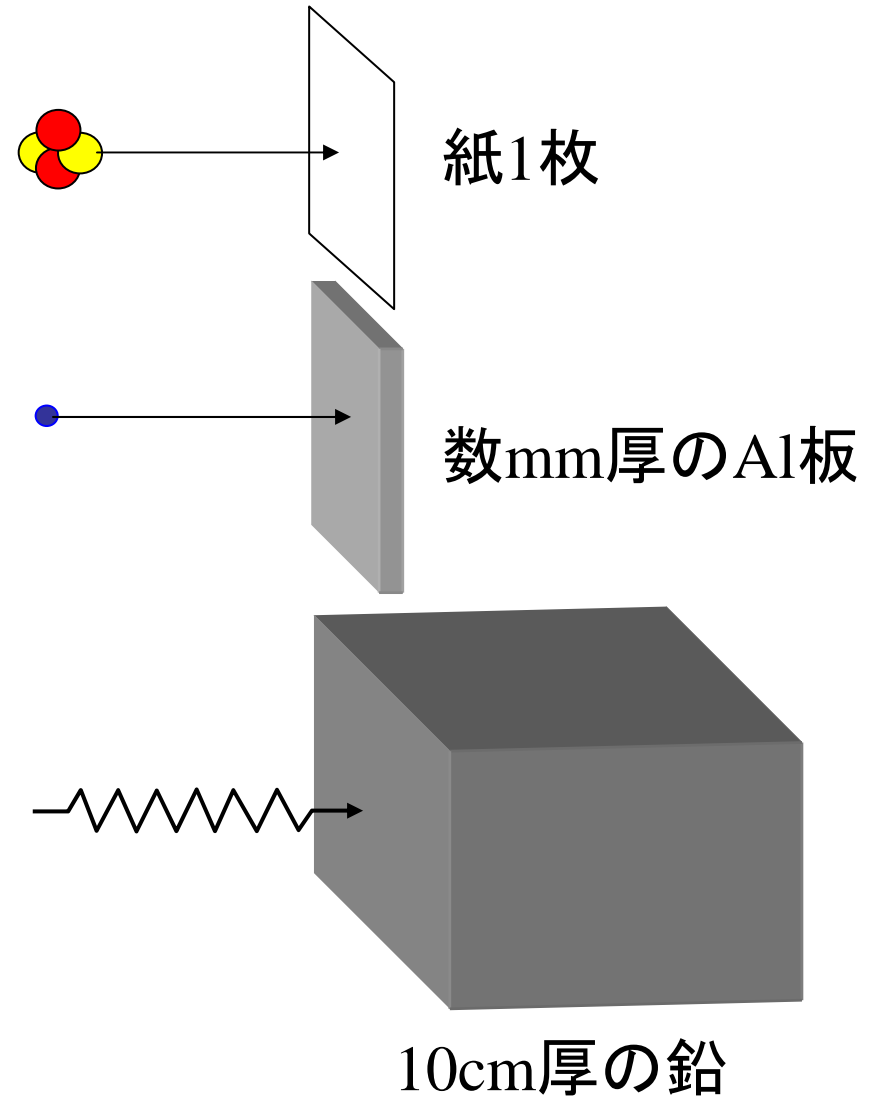
放射線と物質の相互作用

アルファ線は紙1枚程度で遮蔽できる。

ベータ線は厚さ数mmのアルミニウム板で防ぐことができる。

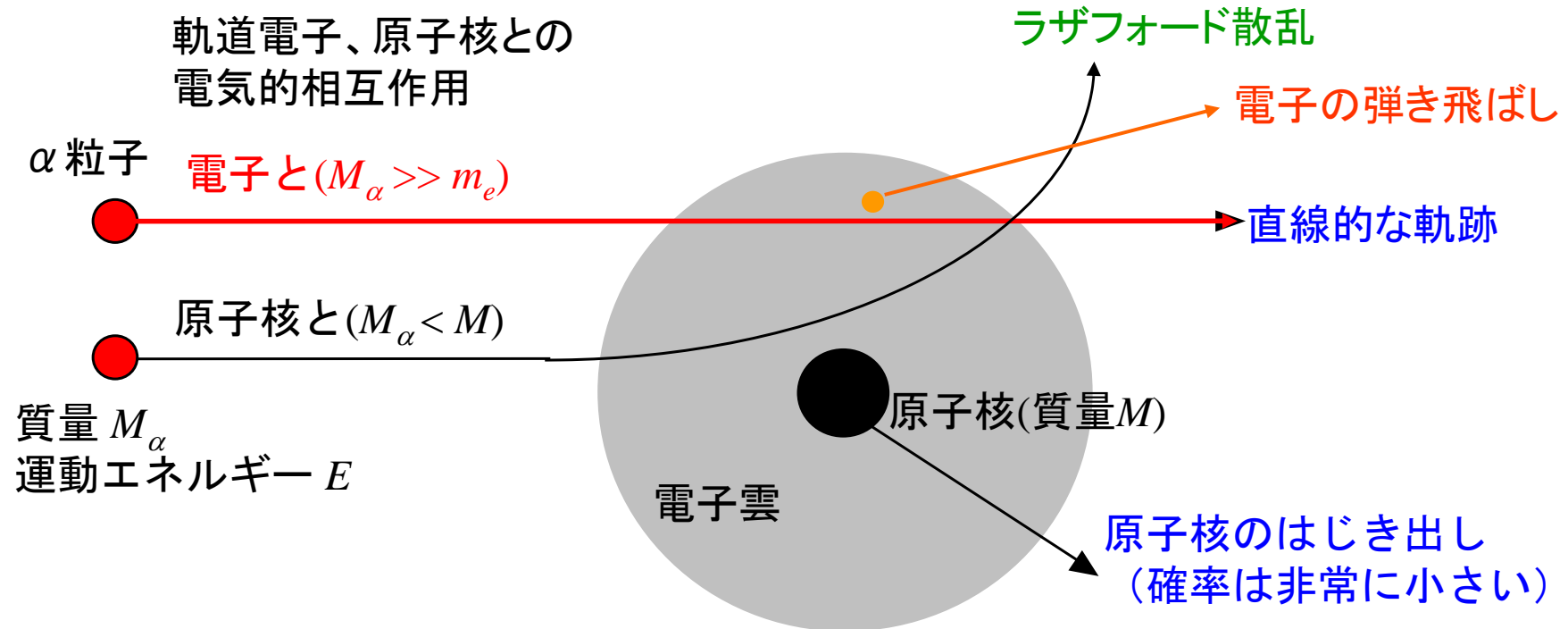
ガンマ線は透過力が強く、コンクリートであれば50cm、鉛であっても10cmの厚みが必要になる。

(X線では数mm厚の鉛)



α 粒子と物質の原子との相互作用

- 1) α 粒子はHeの原子核であり、2価の正電荷をもっている。
→ 原子核(正電荷)と電氣的に反発力、電子(負の電荷)と引力を及ぼす。
- 2) α 粒子は電子よりもはるかに重いため、衝突しても電子を弾き飛ばし、その軌道はほとんど変化しない。



電子、陽イオンの対を作る！ = 電離作用が大きい

エネルギー E の α 粒子の
空気中での飛程 R_{Air}

$E < 4 \text{ MeV}$
 $R_{Air} = 0.56 E \text{ (cm)}$

$4 \text{ MeV} < E < 8 \text{ MeV}$
 $R_{Air} = 1.24E - 2.62 \text{ (cm)}$

ただし、 E の単位はMeV

^{212}Po からの8.78MeVの α 粒子



$R_{Air} = 8.3 \text{ cm}$

原子量 M (g)、密度 ρ (g/cm³)の物質で
の飛程 R

$R = 3.2 \times 10^{-4} \sqrt{MR_{Air}} / \rho \text{ (cm)}$

$\text{Al} (M = 27 \text{ g}, \rho = 2.73 \text{ g/cm}^3)$



$R = 50 \mu\text{m}$

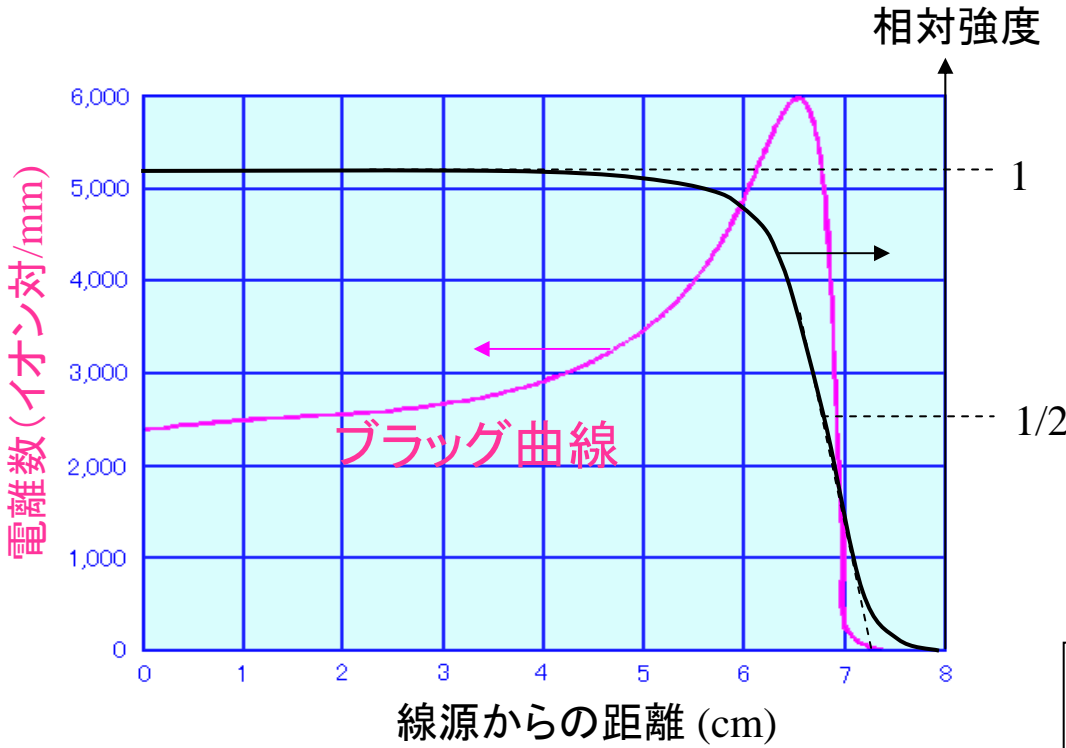
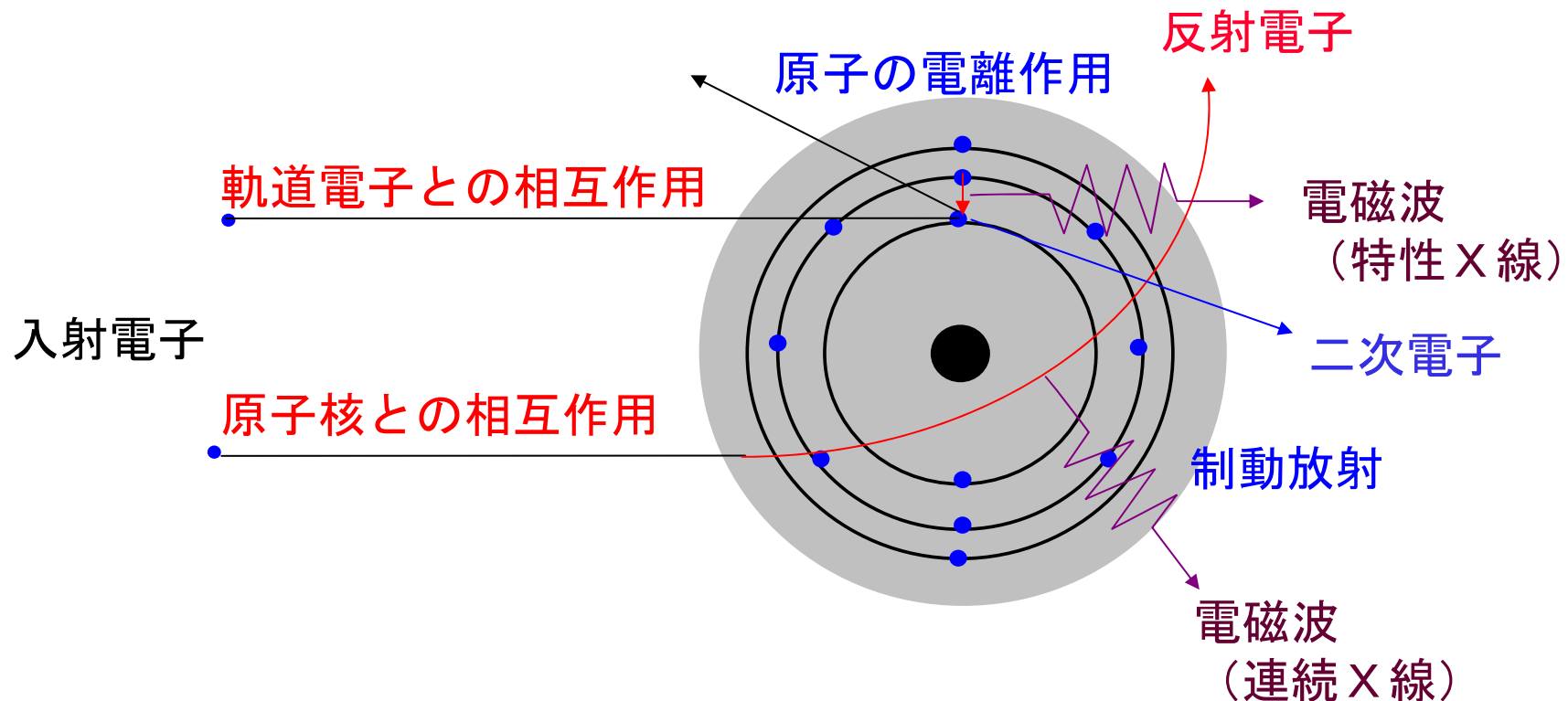


図2 Po-212 (RaC')からの α 線によるBragg曲線(空気中)

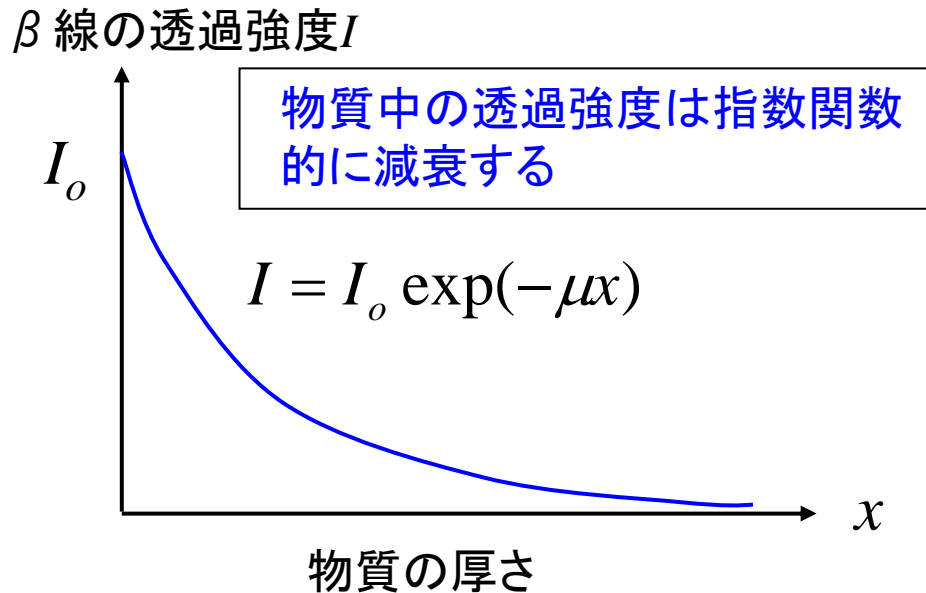
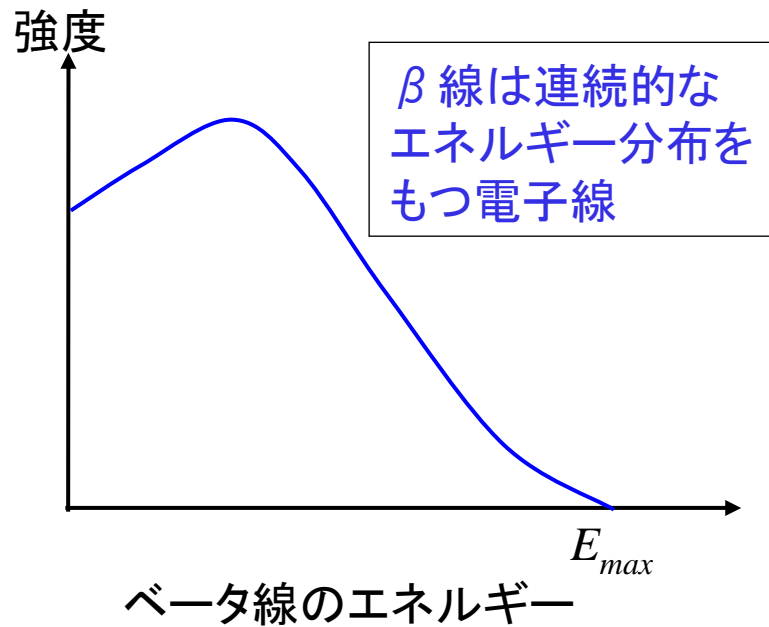
[出典] 江藤秀雄ほか: 放射線の防護、丸善(1982年12月)、p58

電子 (β 線) と物質の原子との相互作用 (X線の発生原理)

- 1) 電子線 (β 線) は、物質中の電子と同じ重さなので、軌道電子および原子核との相互作用によって大きく軌道を曲げられるが、エネルギー損失は少ない。
- 2) 電子線は原子核の静電引力により軌道を曲げられるときにエネルギースペクトルをもつ電磁波 (連続X線) を出す。また、軌道電子をたたき出した後、より高い軌道電子が空位の殻に落ち込む際、エネルギーが一定の電磁波 (特性X線) が出る。



β線の性質



β線の遮蔽(透過)実験

$$I = I_0 \exp(-\mu x)$$

μ : 吸収係数

強度が半分になる厚さ X

$$X = \frac{0.693}{\mu}$$

飛程に関する式

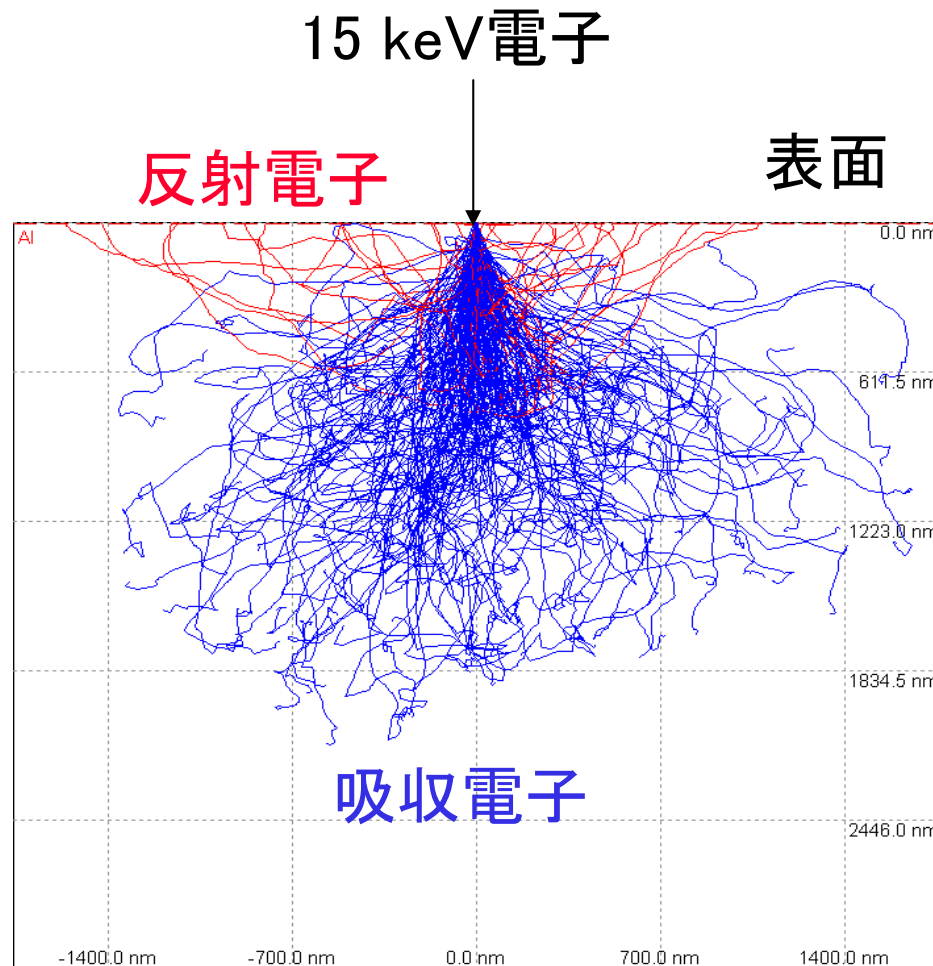
$$R\rho = 0.542E_{max} - 0.133 \text{ g/cm}^2$$

R : β線の飛程 (cm)

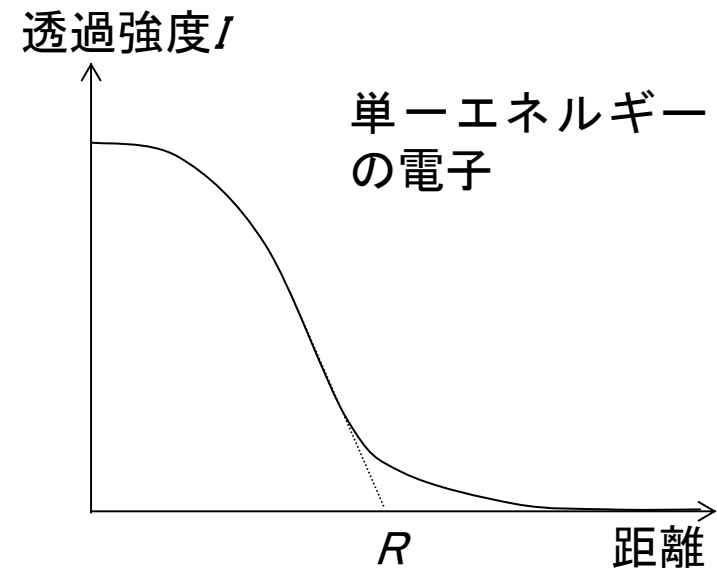
ρ : 物質の密度 (g/cm^3)

E_{max} : β線の最大エネルギー (MeV)

単一エネルギーの電子線(人工的に生成:X線管、電子顕微鏡)



15 keVの電子のAl中での軌跡
(モンテカルロ法でシミュレーション)



密度 ρ (g/cm³) の物質での飛程 R

$$0.01 < E < 3 \text{ MeV}$$

$$R\rho = 0.412E^n$$

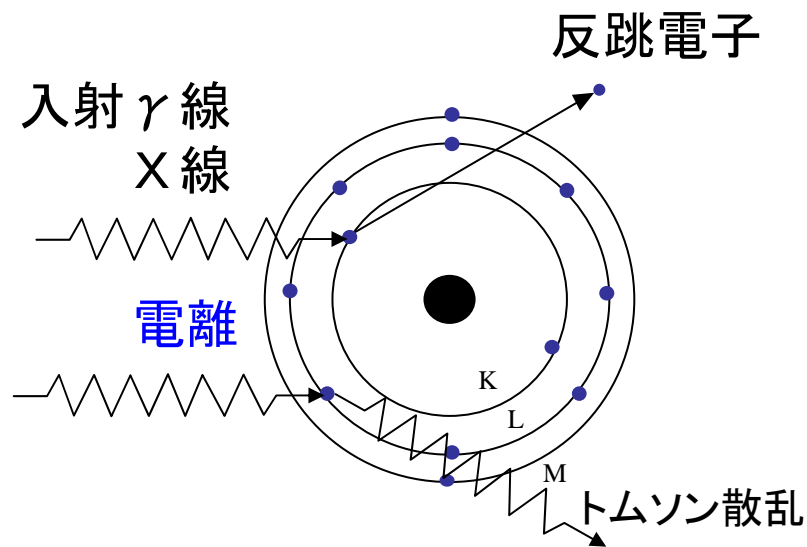
$$n = 1.265 - 0.0954 \ln E$$

$$1 < E < 20 \text{ MeV}$$

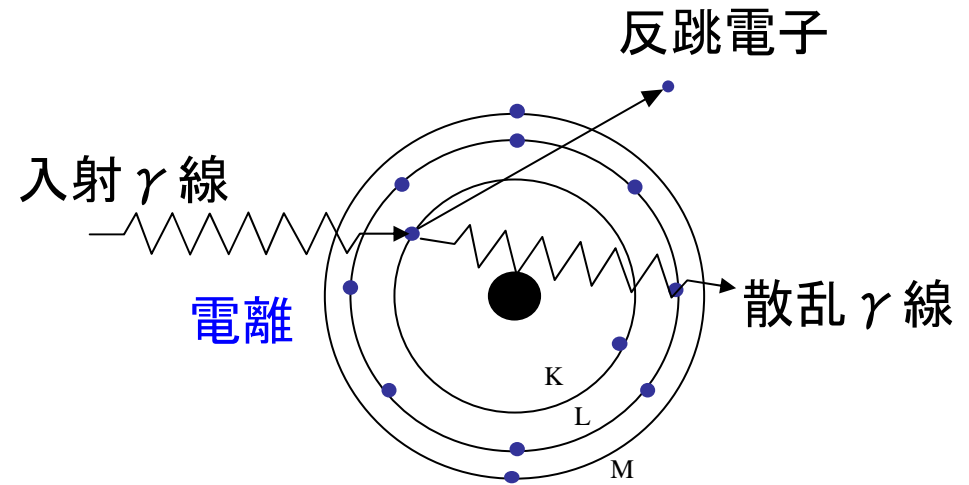
$$R\rho = 0.530E - 0.106$$

ただし R (cm)、 E (MeV)

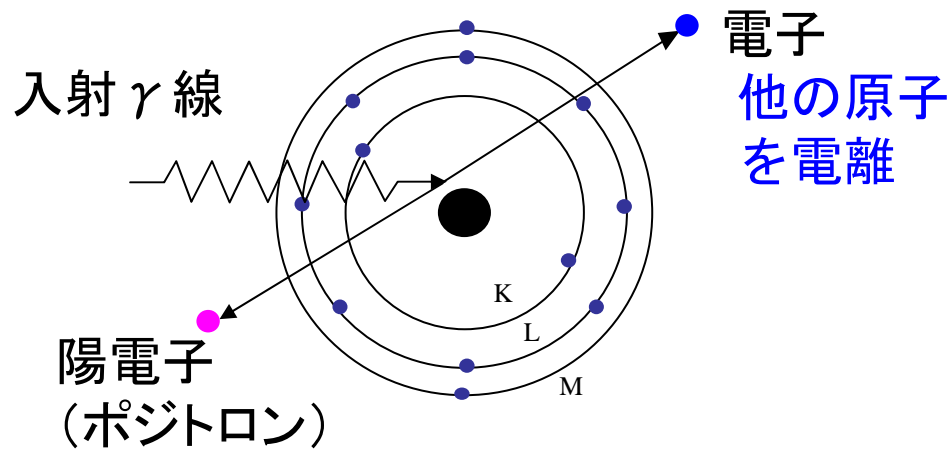
γ線（X線）と物質を構成する原子との相互作用



光電効果 ($h\nu < 200 \text{ keV}$)



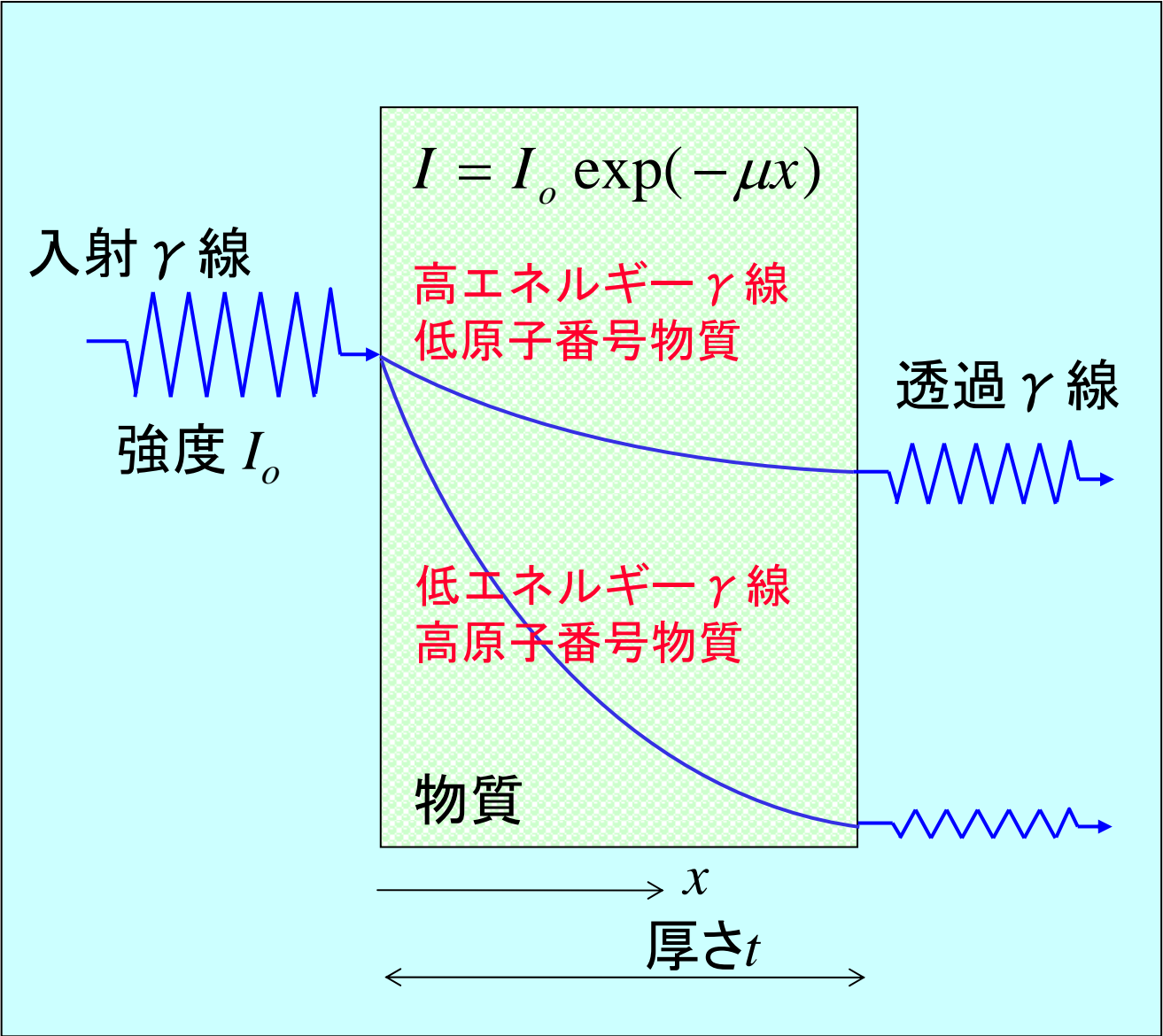
コンプトン散乱 ($200 \text{ keV} < h\nu < \text{数 MeV}$)



電子対生成 ($1.02 \text{ MeV} < h\nu$)

より高いエネルギーでは、電子の場において、電子2個と陽電子1個の生成や、原子核との反応が起こる。

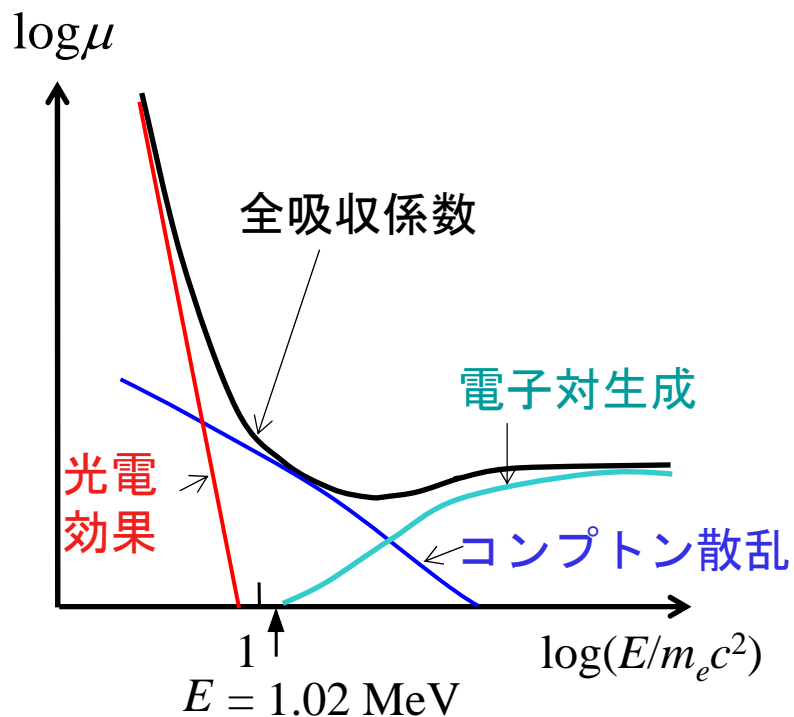
γ線（X線）と物質との相互作用



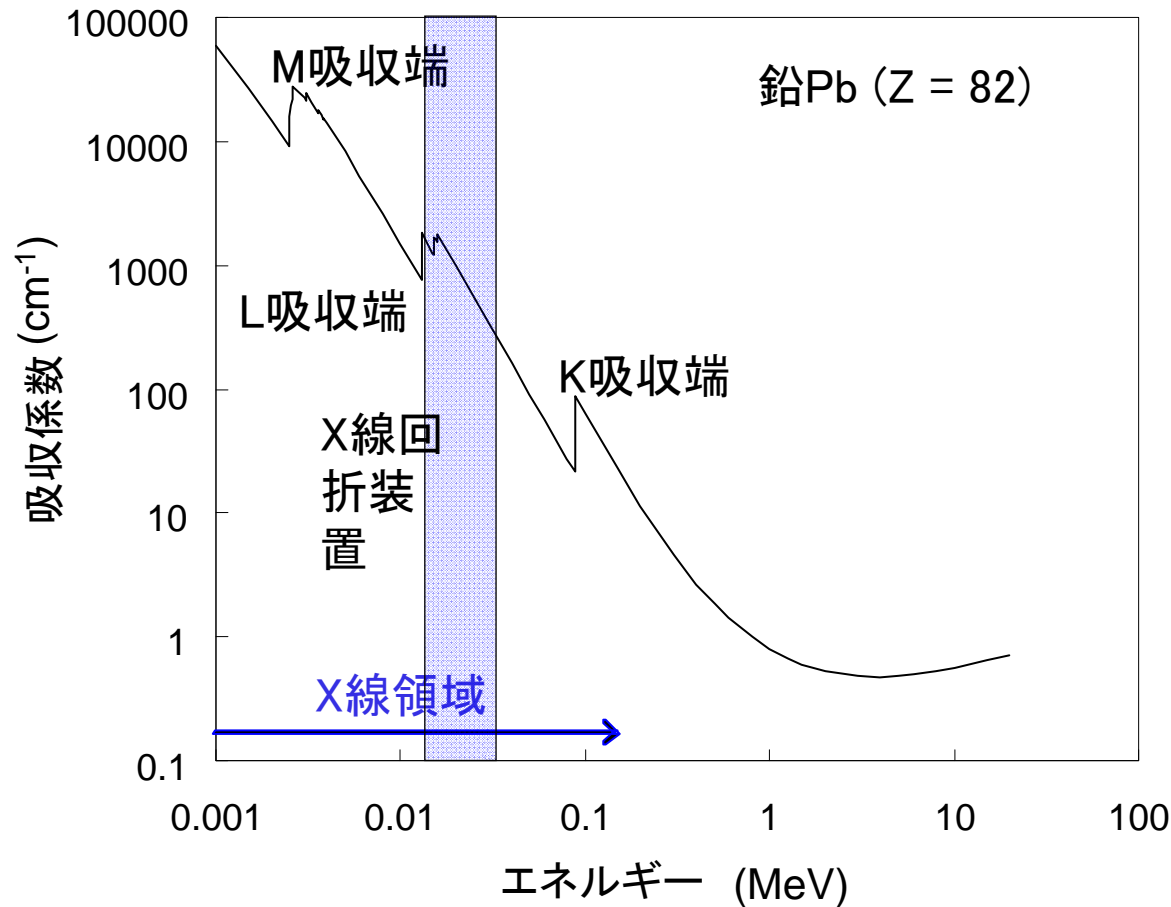
吸収係数

$\mu = \mu_{photo}$
(光電効果)
+ μ_{Compt}
(コンプトン効果)
+ μ_{pair}
(電子対生成)

γ (X)線の吸収係数のエネルギー依存性



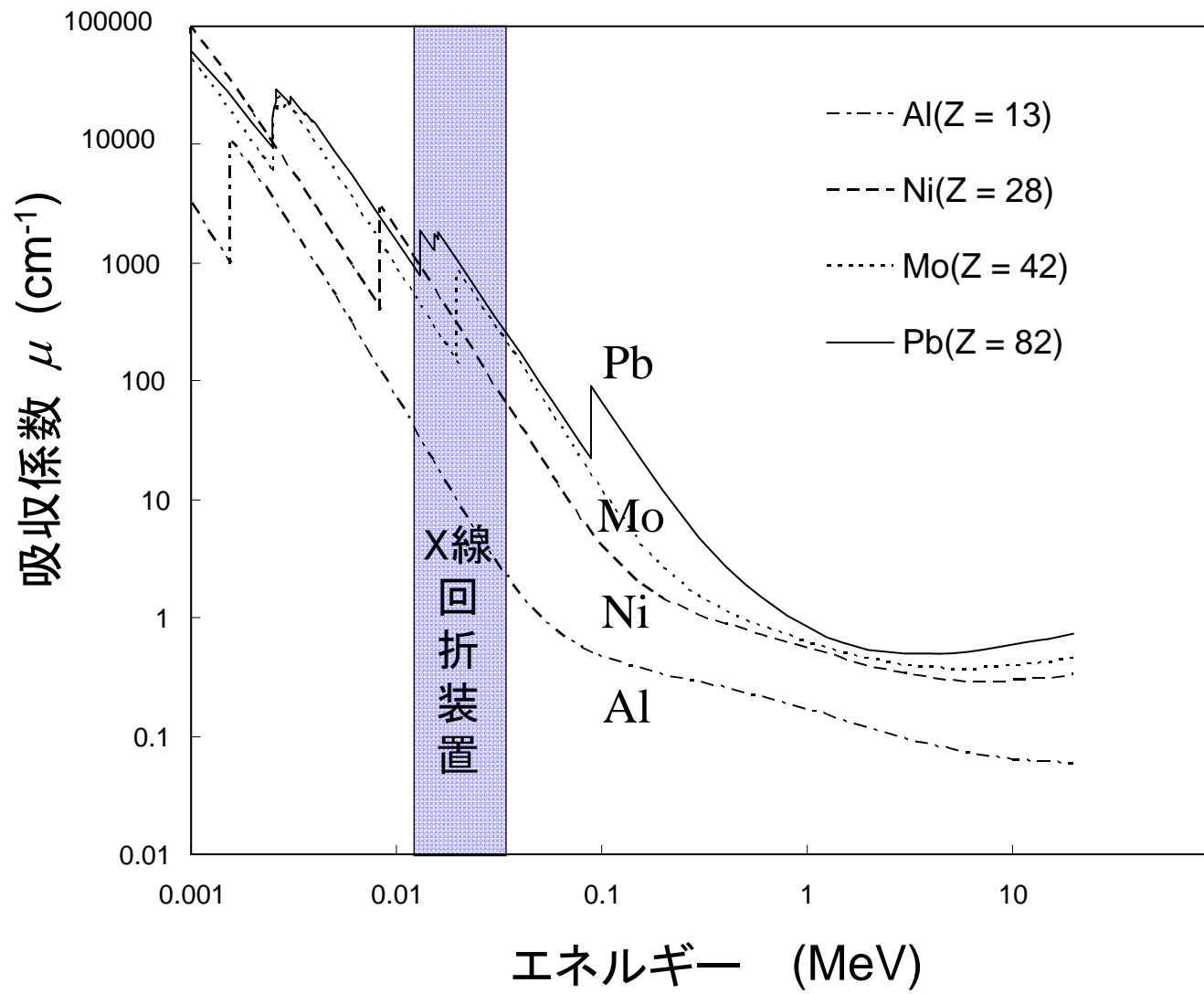
γ 線のエネルギー

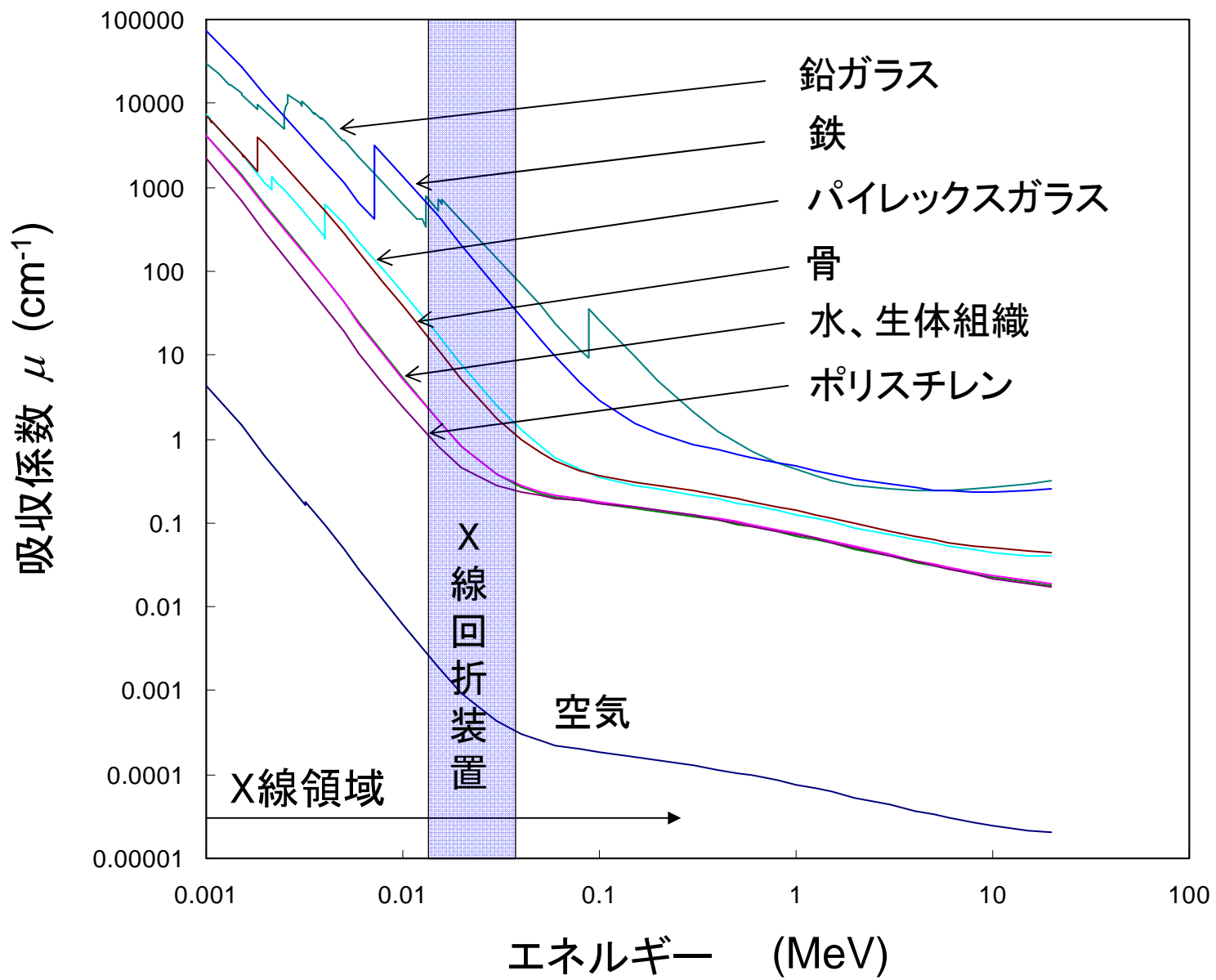


National Institute of Standards and Technology:

Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients

(<http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/cover.html>)





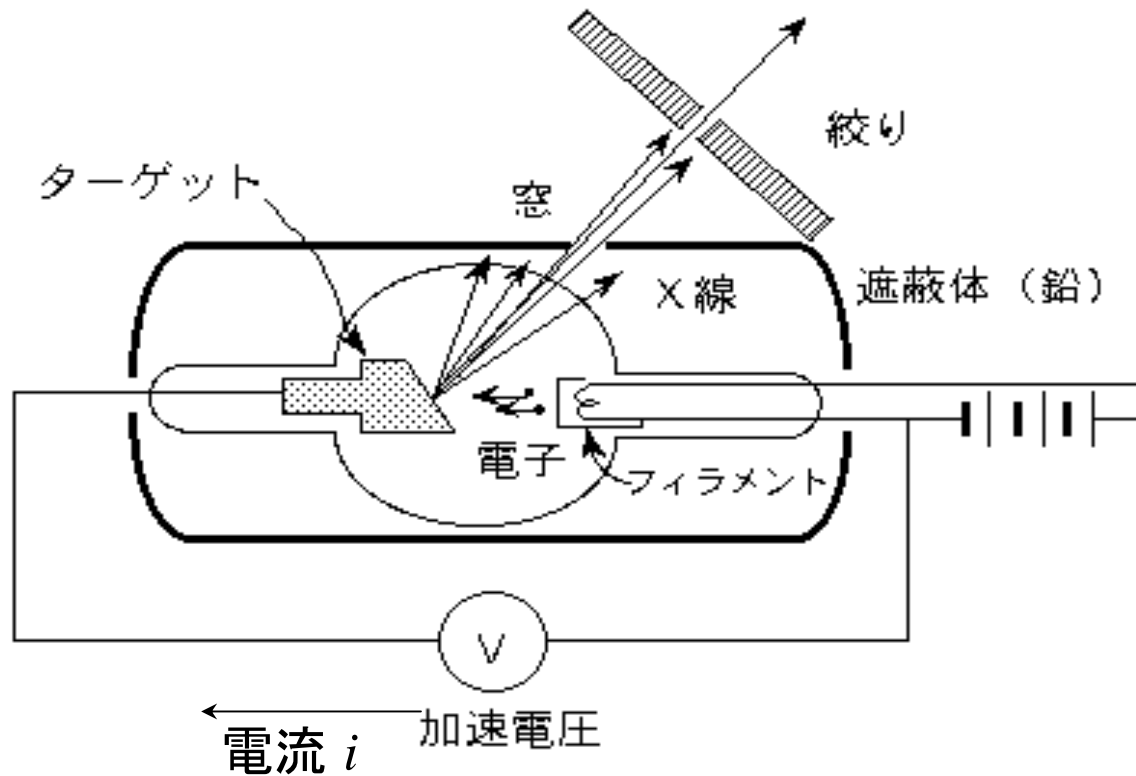
半価層＝強度が半分になる厚さ＝ $\ln 2 / \mu$

X線の エネルギー (keV)	半価層 (mm)						
	空気	水	生体組織 筋肉	生体組織 骨	アルミ	鉄	鉛
1	1.60	0.0017	0.00176	0.000955	0.00217	0.0000972	0.000117
5	143	0.163	0.155	0.0188	0.0133	0.00632	0.000836
10	1123	1.30	1.22	0.127	0.0979	0.00518	0.00468
15	3564	4.14	3.85	0.400	0.3233	0.0155	0.00547
20	7395	8.56	7.95	0.902	0.746	0.0344	0.00707
30	16259	18.5	17.3	2.71	2.282	0.108	0.0201
40	23148	25.8	24.3	5.42	4.52	0.243	0.0425
50	27655	30.5	28.9	8.51	6.98	0.451	0.0759
60	30679	33.7	31.9	11.5	9.24	0.733	0.122
80	34610	37.7	35.9	16.2	12.7	1.48	0.252
100	37328	40.6	38.6	19.5	15.1	2.38	0.110

$$\text{半価層} = \text{強度が} 1/100 \text{ になる厚さ} = \ln 100 / \mu$$

X線の エネルギー (keV)	強度が 1/100 になる厚さ (mm)						
	空気	水	生体組織 筋肉	生体組織 骨	アルミ	鉄	鉛
1	10.6	0.0113	0.0117	0.00634	0.0144	0.000646	0.000779
5	949	1.08	1.03	0.125	0.0882	0.0420	0.00556
10	7464	8.64	8.08	0.841	0.650	0.0344	0.0311
15	23679	27.5	25.6	2.66	2.14	0.103	0.0364
20	49129	56.9	52.8	5.99	4.96	0.229	0.0470
30	108019	123	115	18.0	15.1	0.718	0.134
40	153792	172	162	36.0	30.0	1.62	0.283
50	183736	203	192	56.5	46.4	3.00	0.505
60	203825	224	212	76.2	61.4	4.87	0.808
80	229947	251	238	108	84.6	9.86	1.68
100	248003	270	257	129	100	15.8	0.731

X線管



連続X線の強度

$$I = AiZV^m$$

A ; 定数

m ; 定数(=2)

i ; 管電流

V ; 管電圧

Z ; ターゲット物質の
原子番号

装置使用簿に記載すること！！

X線の波長と強度

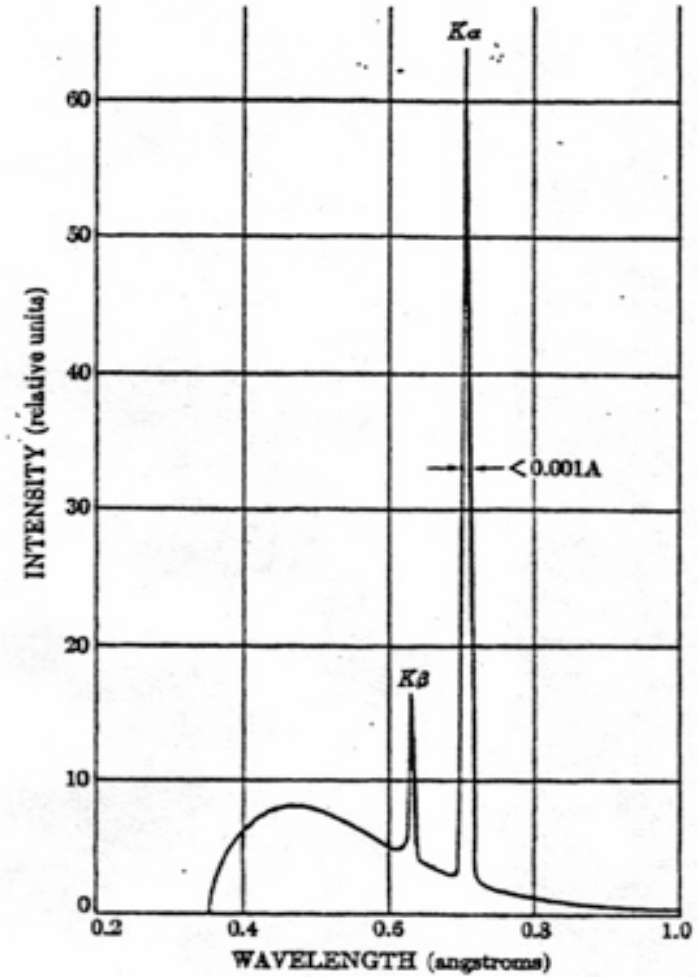
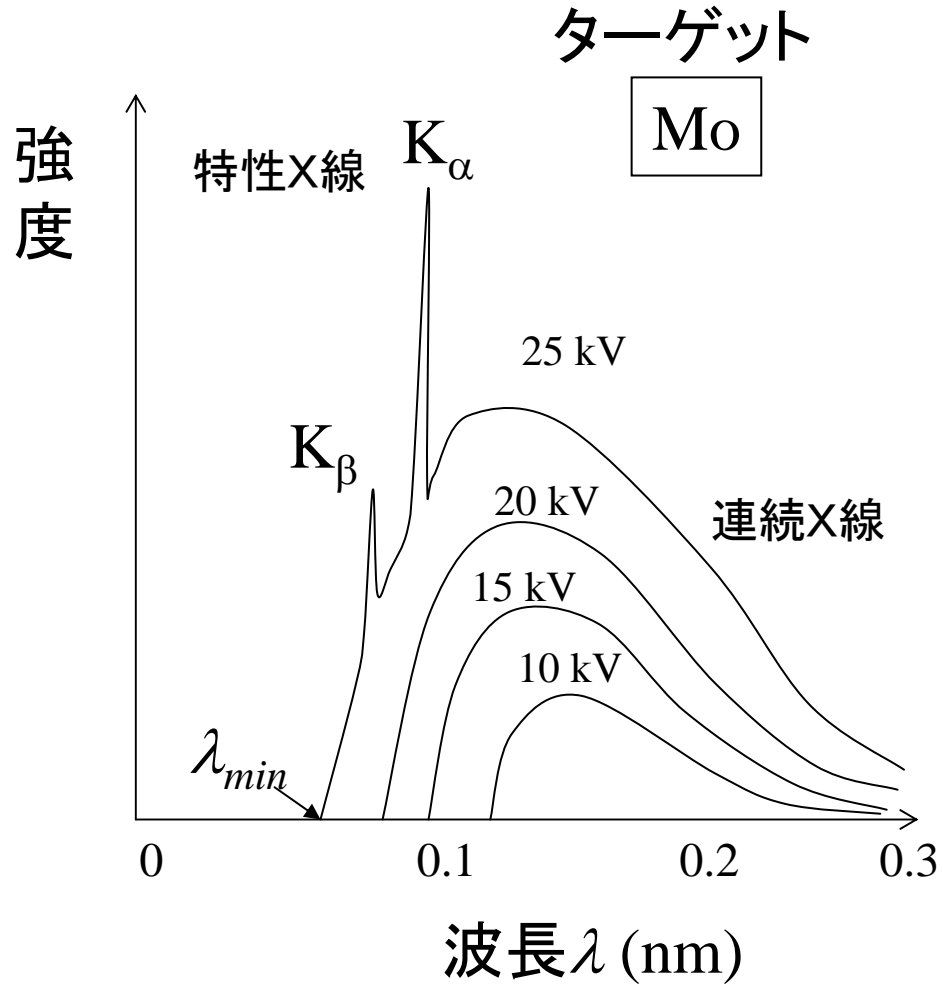


FIG. 1 Spectrum of Mo at 35 kv (schematic). Line widths not to scale.

X線の利用

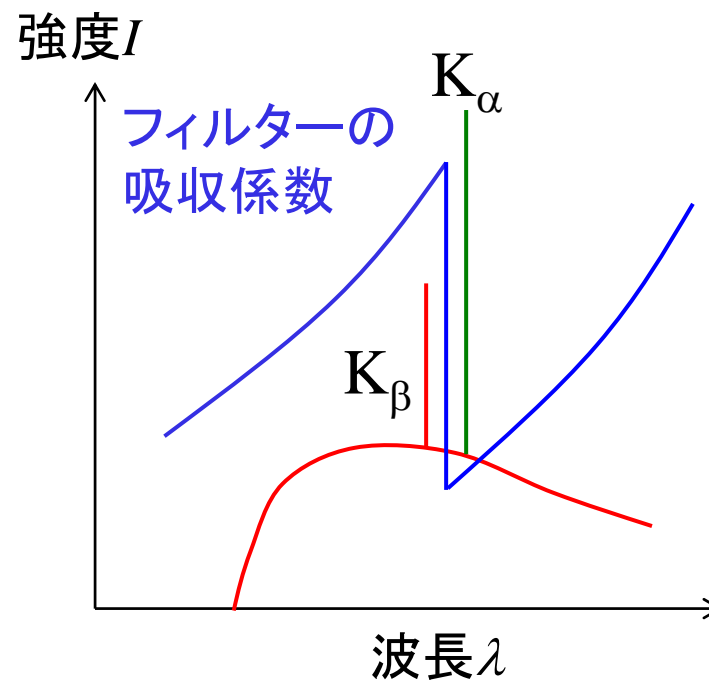
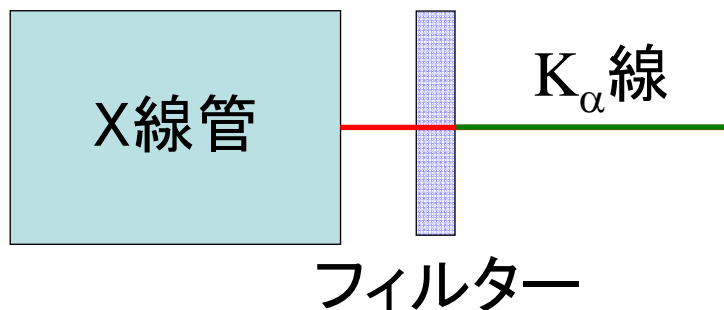
連続X線 → 透過・吸収作用がもたら

- ・医療診断
- ・手荷物検査
- ・非破壊検査
- ・厚さ測定

単一エネルギーのX線(単色X線) → 分析の利用

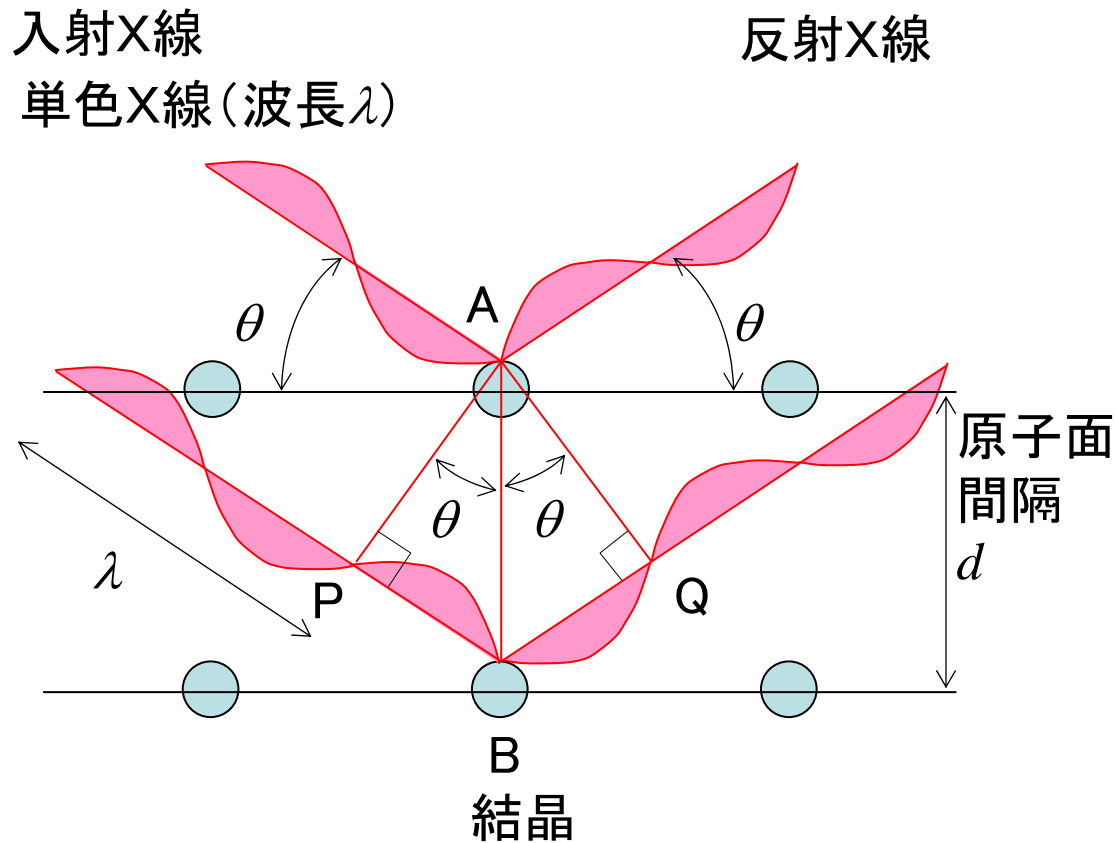
- ・X線回折(結晶構造、物質の同定)
- ・元素分析(EDS、蛍光X線)
- ・化学結合状態の分析(XPS)

X線の単色化



ターゲット		フィルター		K _α 線の透過率 (%)	K _β 線の透過率 (%)
物質	K _α 線の波長λ(nm)	物質	厚さ(μm)		
Cr(クロム)	0.2291	V(バナジウム)	11	58	3
Fe(鉄)	0.1937	Mn(マンガン)	11	59	3
Co(コバルト)	0.1791	Fe(鉄)	12	57	3
Cu(銅)	0.1542	Ni(ニッケル)	15	52	2
Mo(モリブデン)	0.710	Zr(ジルコニウム)	81	44	1

単色X線の利用→X線回折



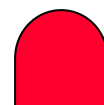
A原子からの散乱X線とB原子からの散乱X線の位相が一致するのは、行路差PBQが波長 λ の整数倍のときである。
このとき、強い回折X線が得られる。

ブラッグの法則

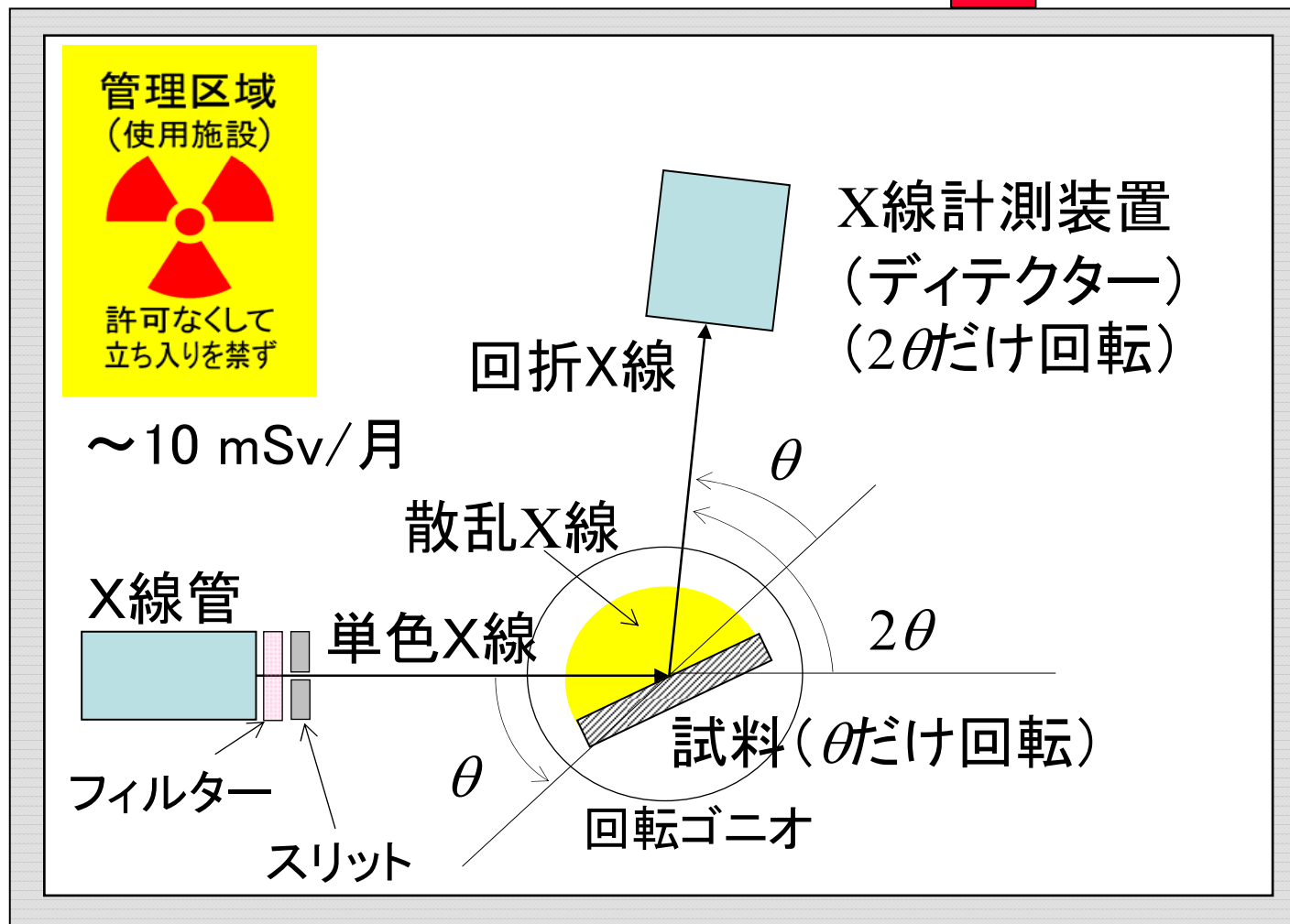
$$2d \sin \theta = n\lambda$$
$$n = 1, 2, \dots$$

結晶構造・物質の同定

X線回折装置



警告灯



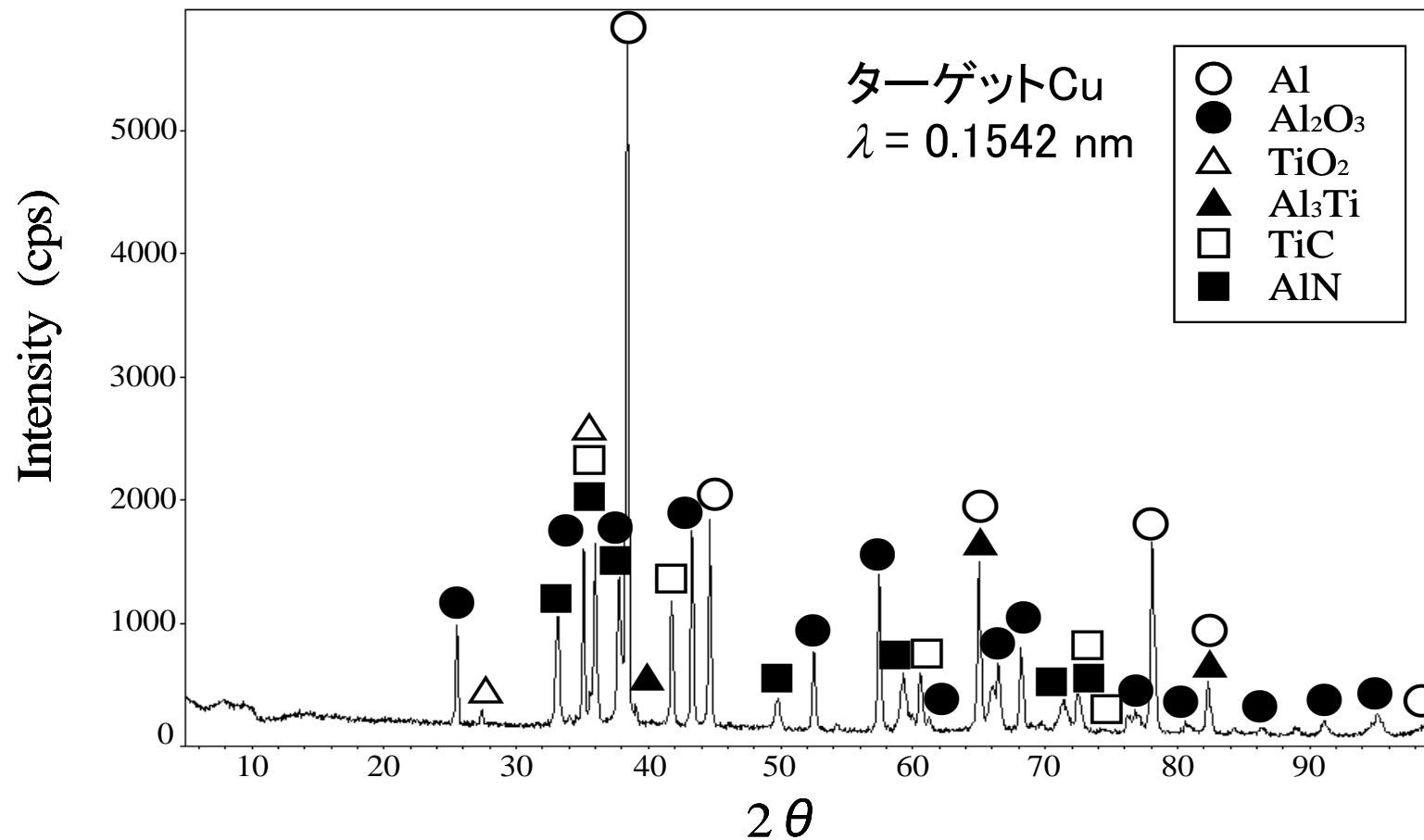
空間線量率
測定の掲示

使用簿の記帳
(名前、使用日時・
時間、管電圧・電流、
ターゲット物質、試
料等)

ガラスバッジ
の着用

緊急時の連絡
掲示

X線回折 (XRD) スペクトルの例



(hkl)面からの回折:
$$2\theta_{hkl} = 2 \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{2d_{hkl}} \right)$$

原子面間隔 (立方晶)

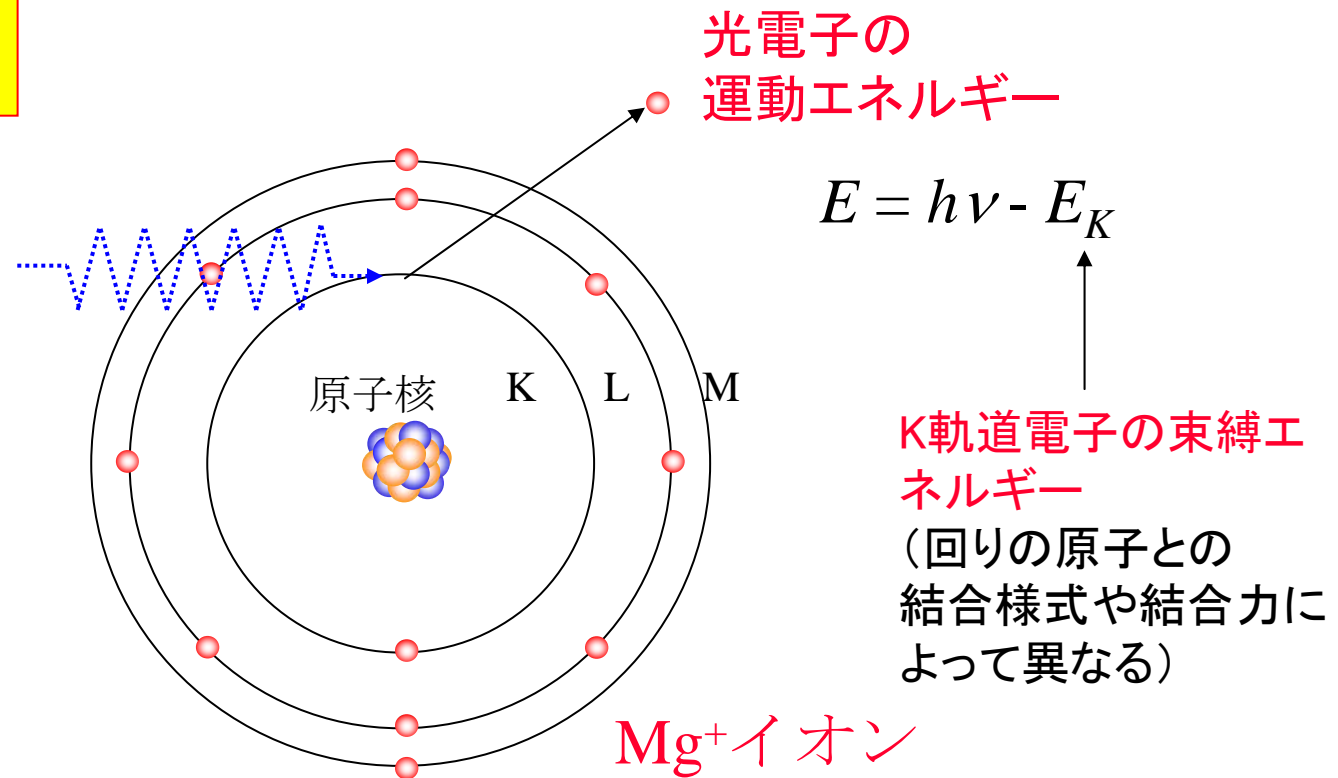
$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

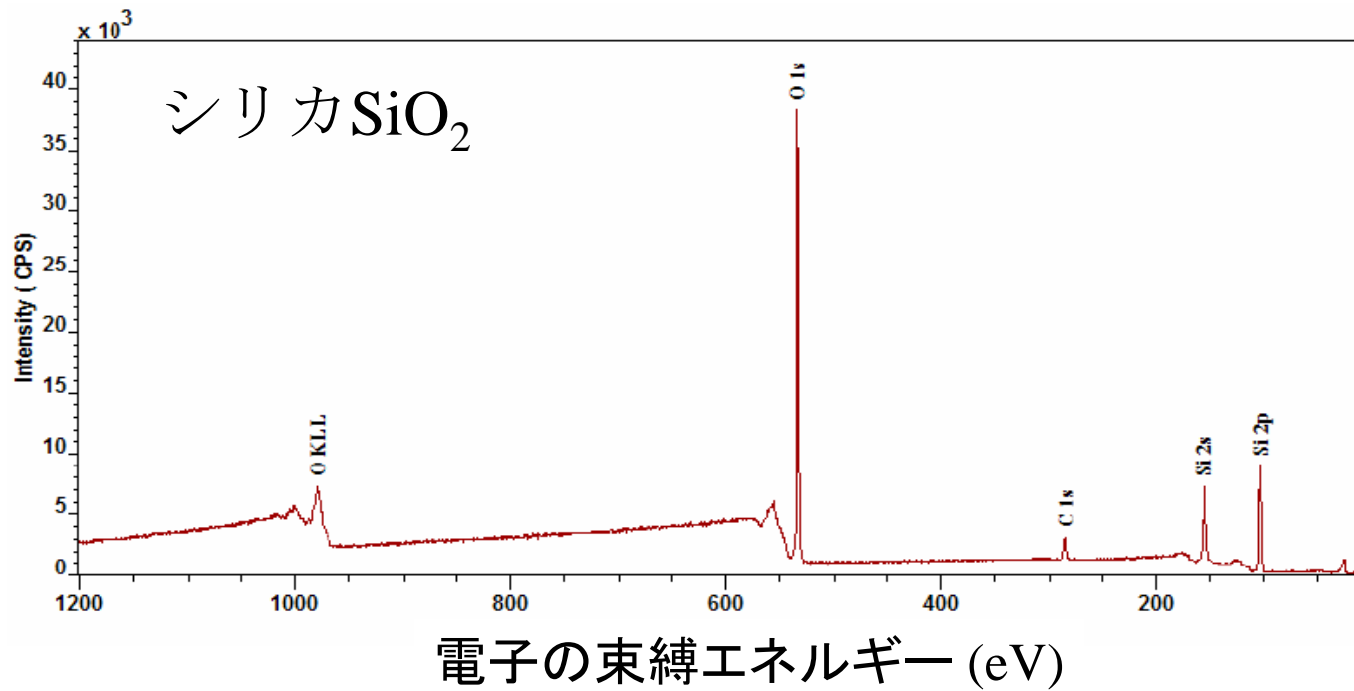
X線光電子分光（XPS）の原理

X線光電子分光では、単色X線を試料に照射して表面から出てくる光電子のエネルギーを測定することにより、元素の同定や、化学結合状態の情報を得ることができる。

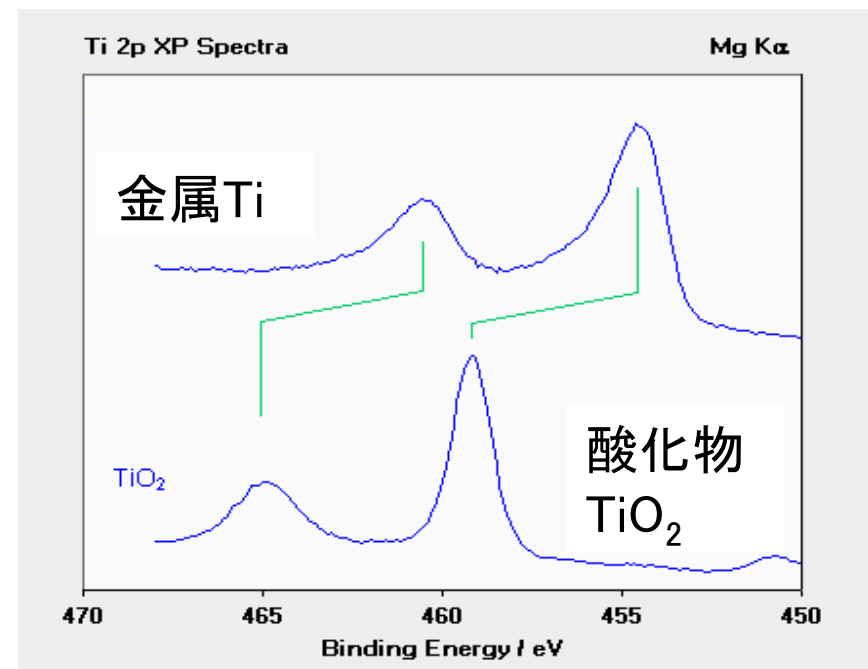
光電効果

入射X線のエネルギー
 $= h\nu = hc/\lambda$





↑
 元素の同定
 化学状態の同定 →



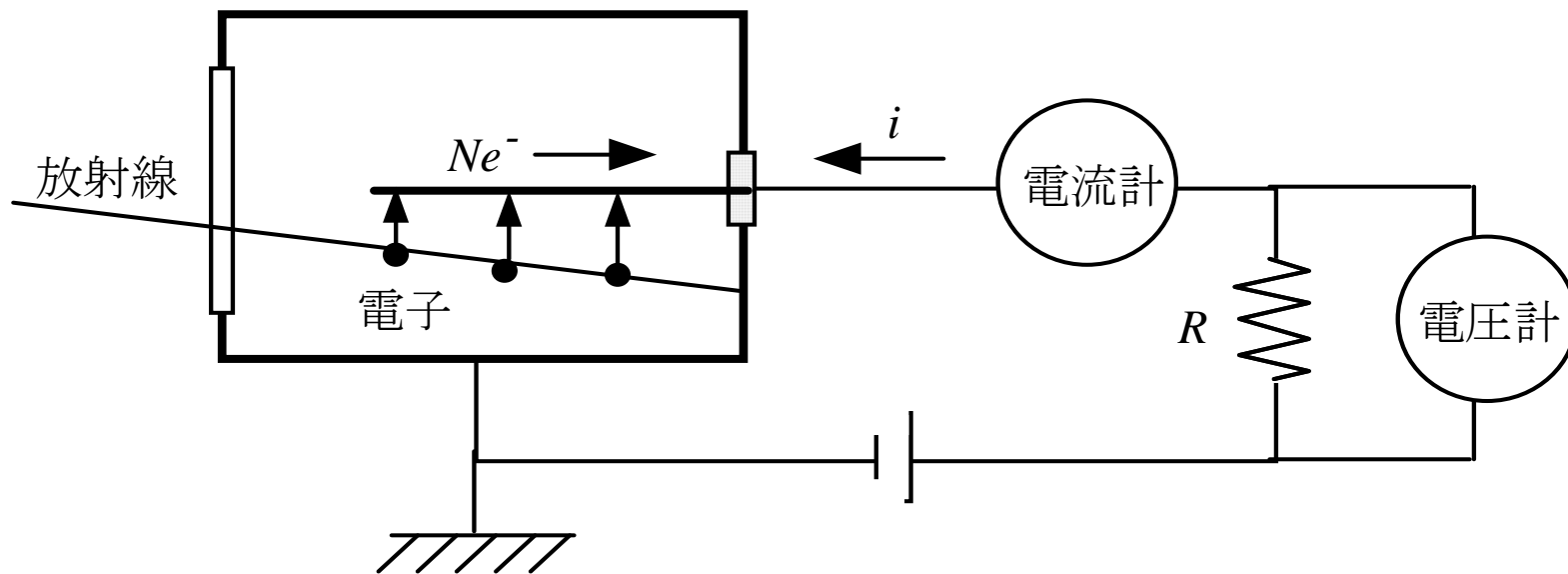
放射線計測1

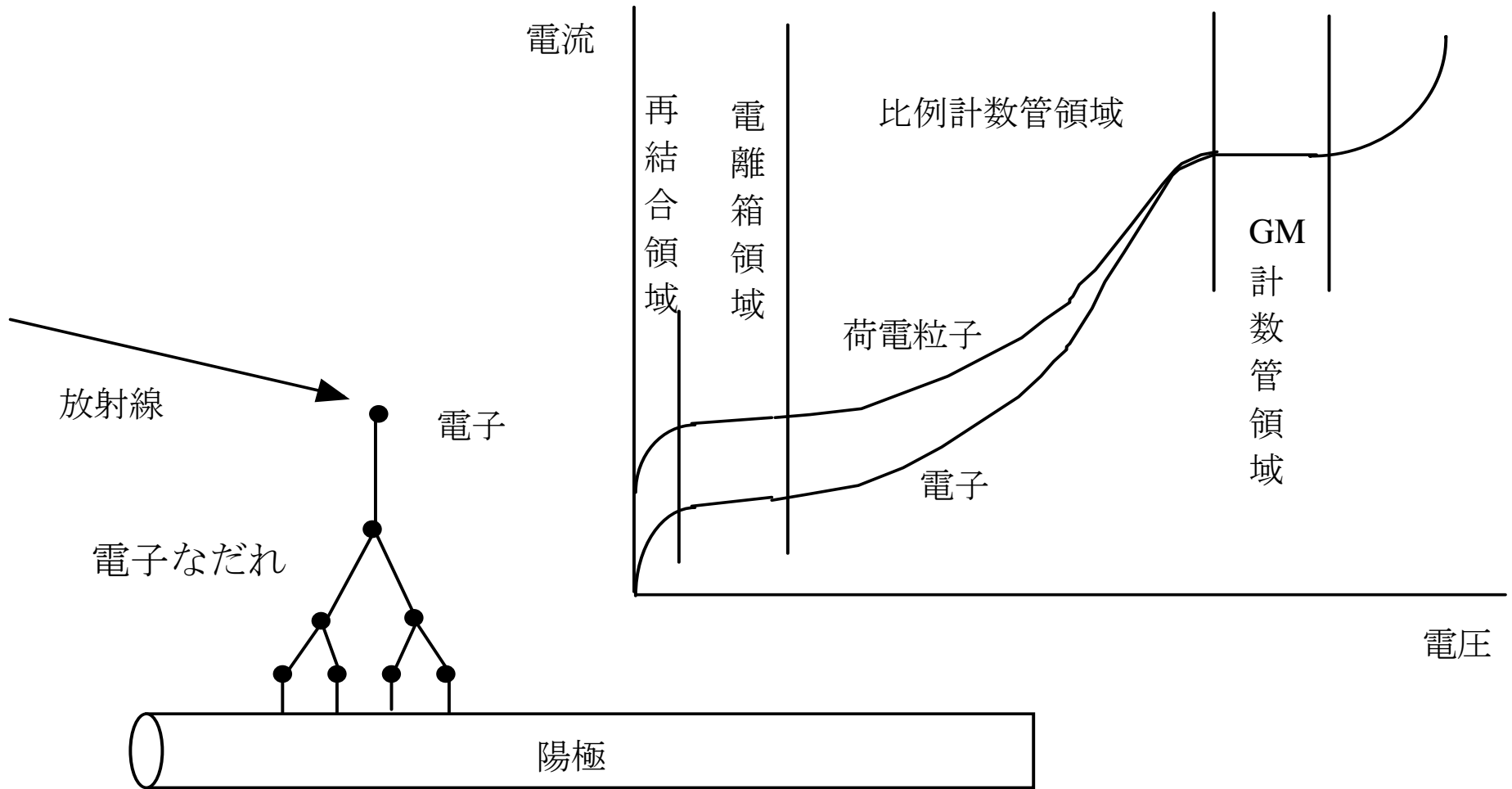
α 線、 β 線、 γ 線(X線)が物質中に入射すると、物質を構成する原子と相互作用して、原子を電離あるいは励起する。これらの電離・励起作用の結果、物理的・化学的・生物学的効果が生じる。また、電離・励起作用を利用して、放射線の計測が可能である。

(1) 気体電離

放射線による物質の電離作用で、正に帯電するイオンと電子の対が形成される。空気のイオン対形成に要するエネルギーは35 eV程度であるから、4 MeVの α 線によって $\sim 10^5$ 個のイオン・電子対が形成される。この電荷の量は非常に小さいが、これを増幅することによって、放射線を計測することが可能である。

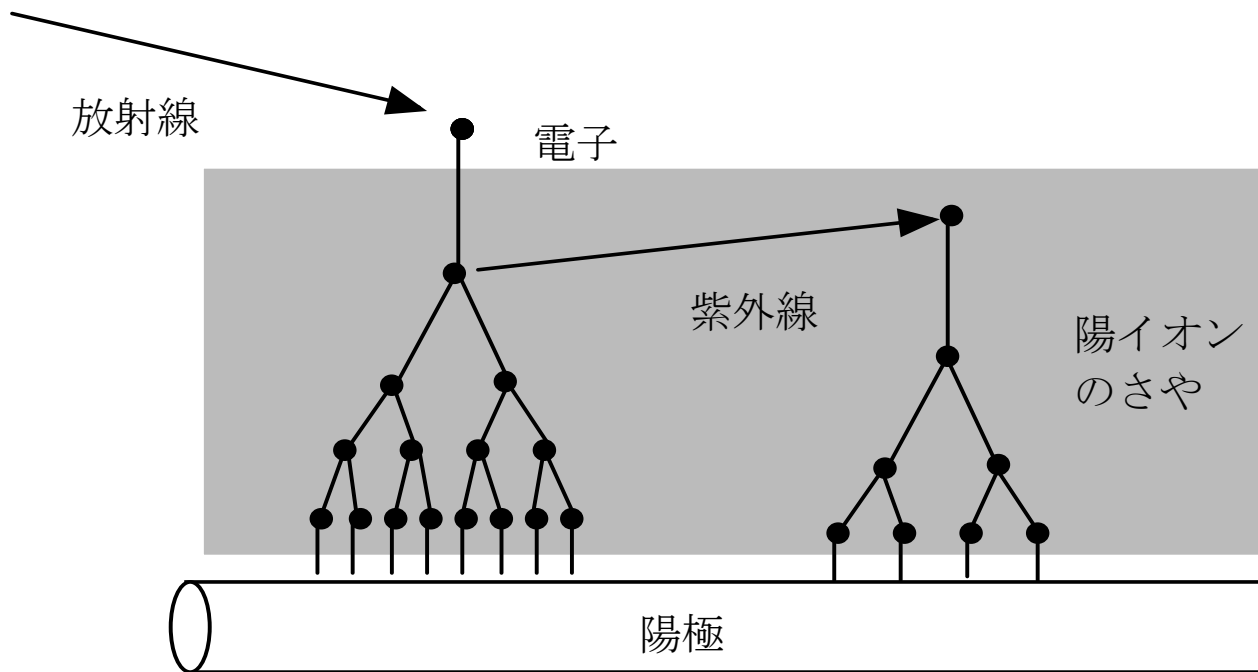
電離箱





比例計数管領域

GM計数管

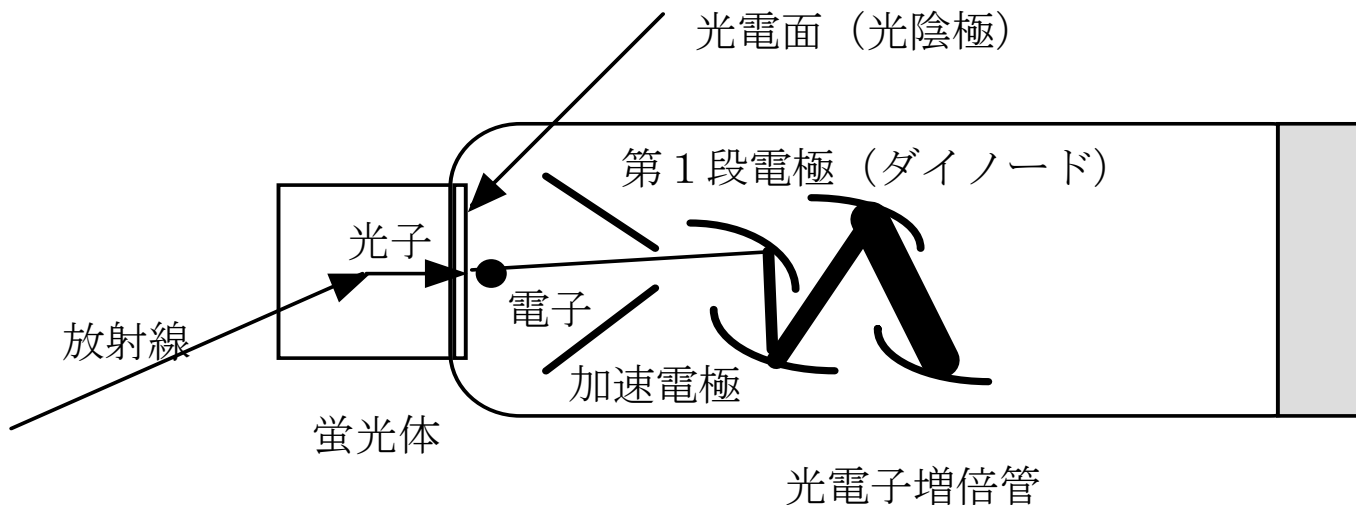


1回の電離によって増幅される信号パルスの大きさは 10^8 倍！

放射線計測2

(2) 蛍光作用: シンチレーションカウンター

放射線との相互作用により、原子は電子的に励起された状態になる。イオン性結晶や絶縁体では、原子の励起状態から安定である基底状態に遷移するときに、蛍光を発する。よって、その蛍光量を測定すれば、放射線の量を見積もることができる。

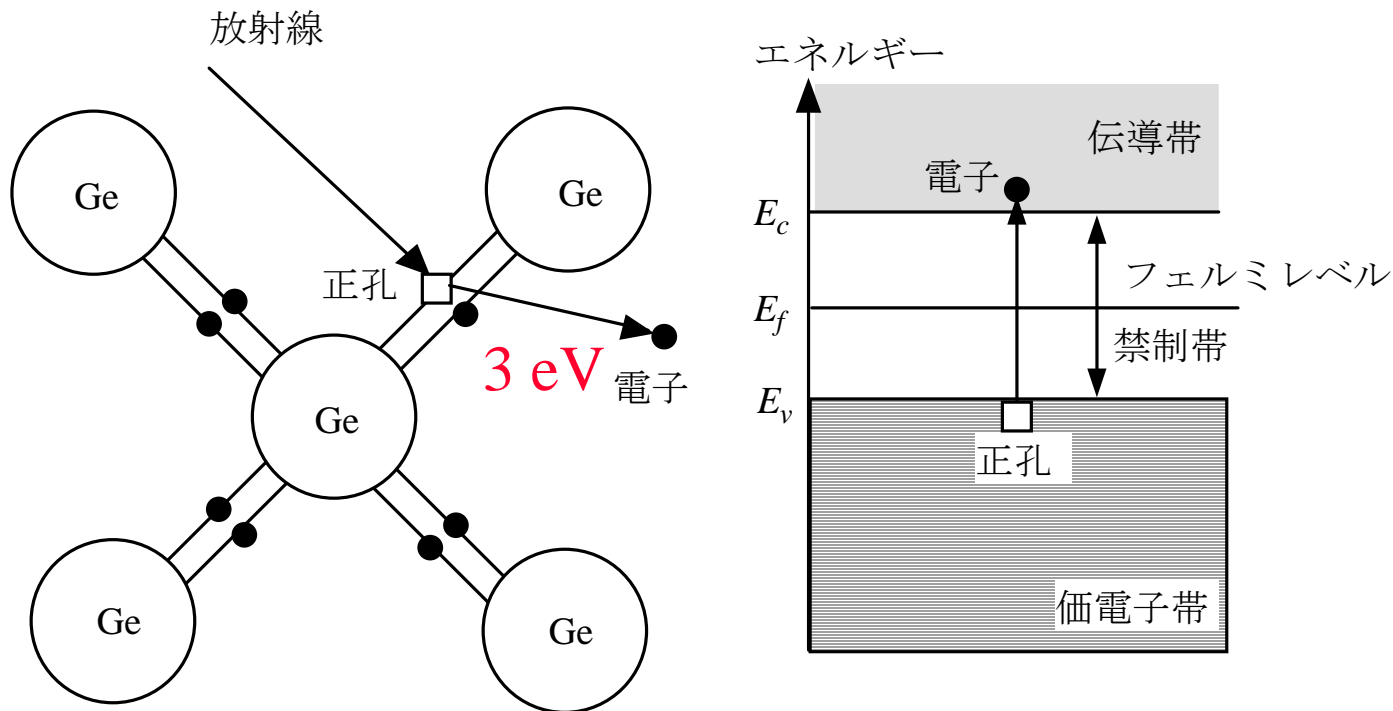


一つのダイノードで増倍する電子の数を5個とすると、10段のダイノードがある場合、 $5^{10} \approx 10^7$ 個の電子が形成される。

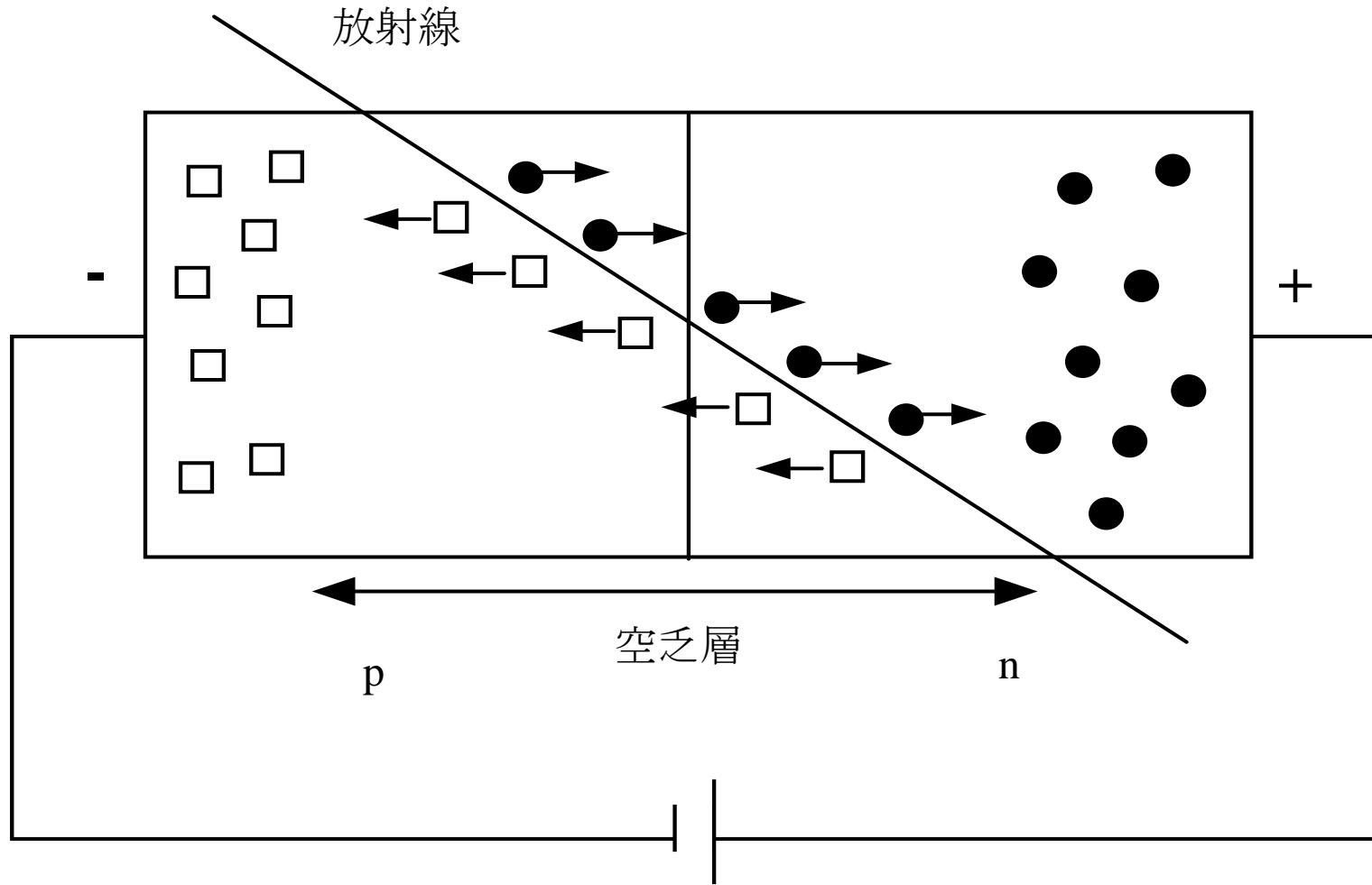
放射線計測3

(3) 半導体の利用

シリコンSiやゲルマニウムGeのような半導体物質では、放射線との相互作用によりエネルギーを受け取った電子が原子の束縛を離れて、伝導電子帯にあげられ、また価電子帯には正の電荷を持つ正孔が生じる。これらの電子・正孔対は、電圧のかかった半導体中を運動し、電流として検出できる。



pn接合型半導体検出器の原理



放射線計測4

(4) 化学反応

放射線による原子の電離・励起は、化学反応をもたらす。例えば、写真乳剤の臭化銀 AgCl は、放射線の飛跡にそった電離作用により、 Ag^+ イオンが還元され、銀として析出し黒化の写真現象が生じる。

(5) 熱的効果

放射線が物質中に入射して損失したエネルギーの一部は、物質の熱振動に使われ、温度があがる。このため、放射線照射によって付与された熱量を測定することで、放射線の量を見積もることができる。

線量に用いる単位1

吸収線量

電離放射線により1kgの物質中に1Jのエネルギーが付与されたとき、1Gy(グレイ)とする。

自由空気の空気カーマ(照射線量)

電離によって1kgの空気中に作られる家電粒子の運動エネルギーの合計。単位はGyを用いる。

$$1 \text{ Gy} = 2.97 \times 10^{-2} \text{ C/kg}$$

線量(線量当量)

放射線の種類、エネルギーにより物質(生体)に及ぼす影響が異なる。このため、各放射線に対する線質係数(X、 γ 線;1、エネルギー不明の中性子;10、エネルギー不明のアルファ粒子;20等)を掛けて、等価な線量とみなす。

1 MeV α 線



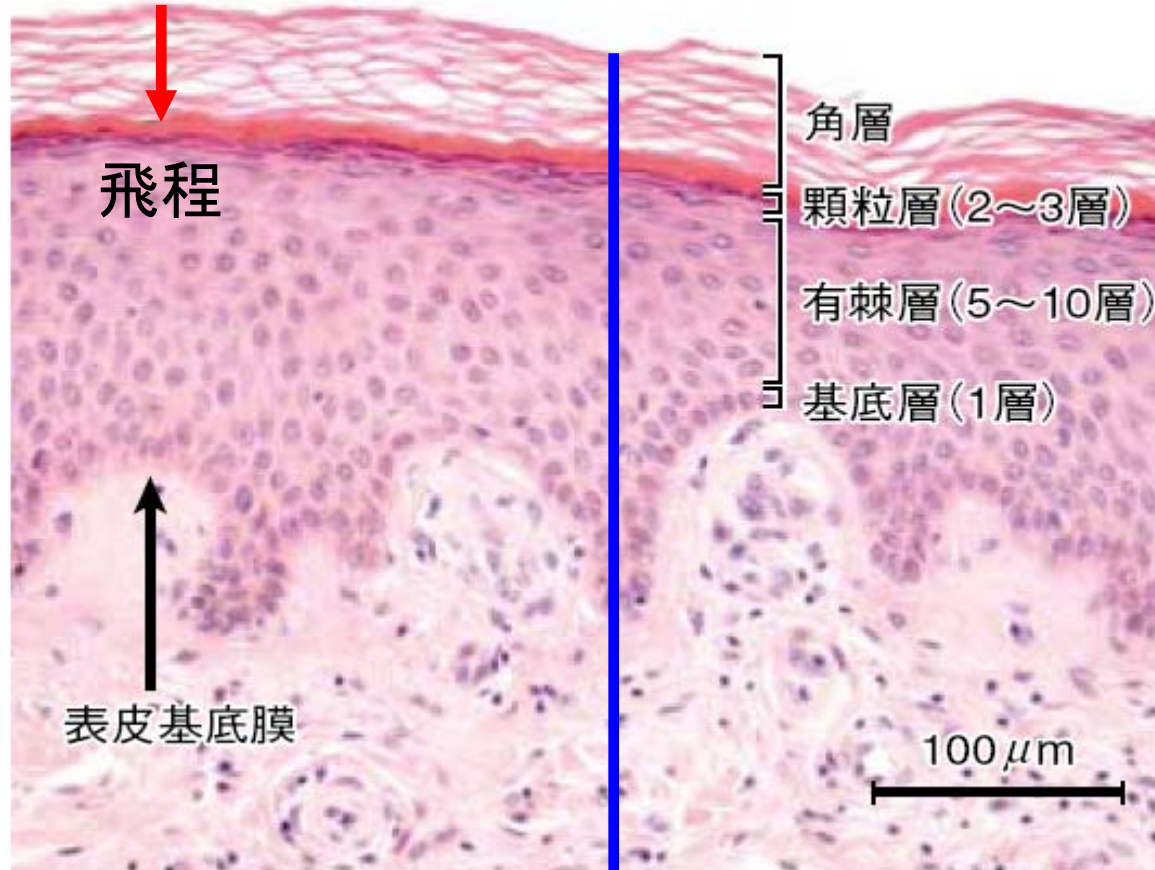
1 MeV β 線



1 MeV γ 線

表皮

真皮



射程

表皮基底膜

角層

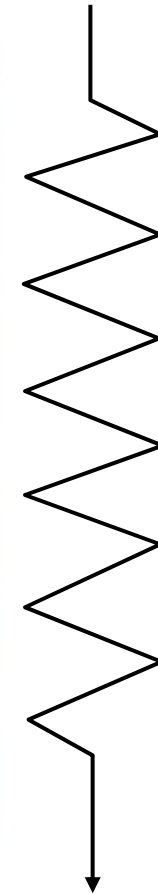
顆粒層 (2~3層)

有棘層 (5~10層)

基底層 (1層)

100 μ m

半徑層



透過

線量に用いる単位2

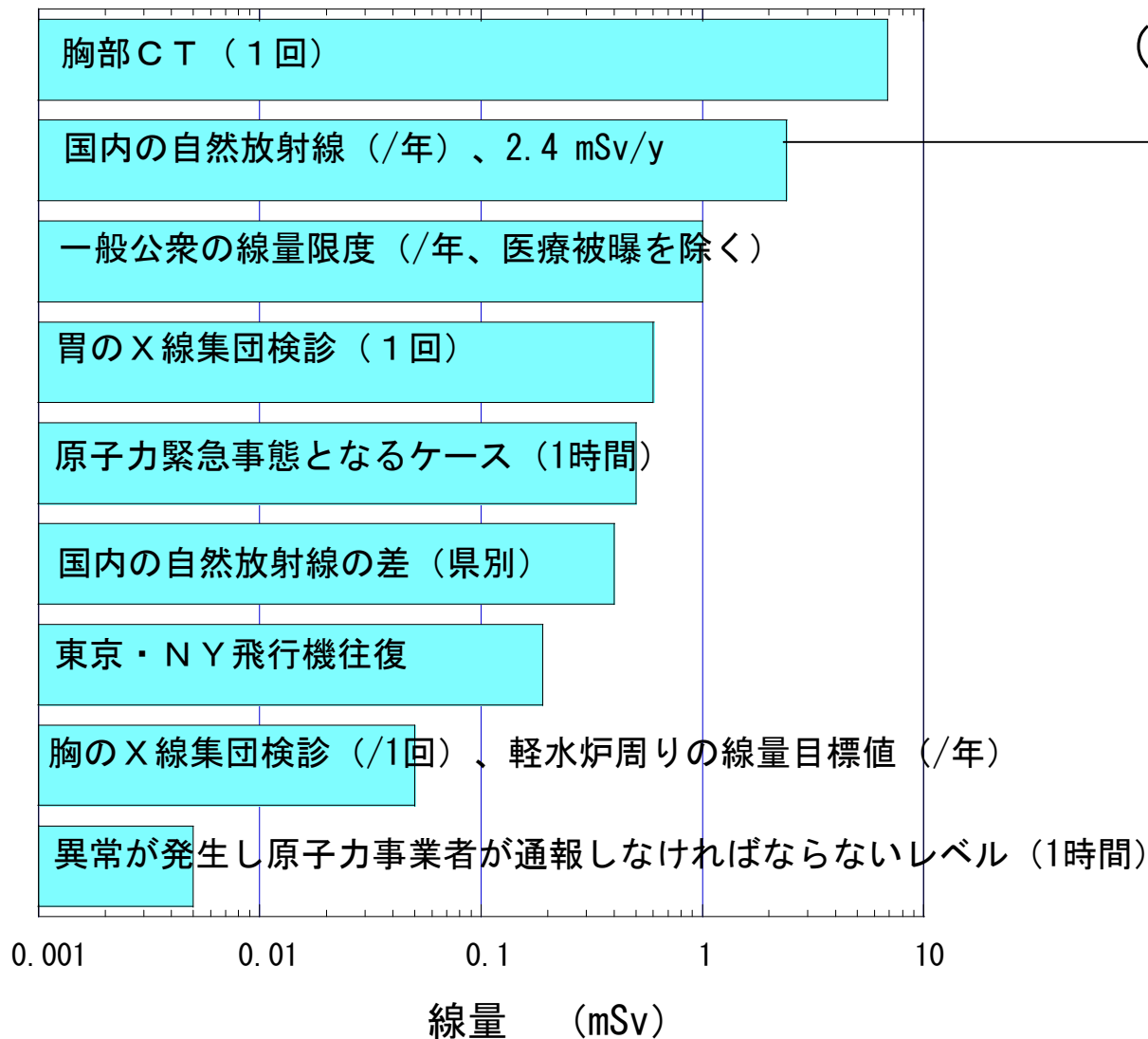
実効線量(実効線量当量)

発癌、遺伝的欠陥等が発生する頻度は放射線の線量を関数とする確率で表される。実効線量当量は、この確率的影響を容認できるレベルに制限するために導入された線量であり、**Sv(シーベルト)**の単位で表される。

等価線量(組織線量当量)

放射線照射の量によって障害の重傷度が変わり、しきい値がありうるような非確率的影響(皮膚の赤斑、白内障など)を防止するために導入された線量である。単位は、**Sv(シーベルト)**である。

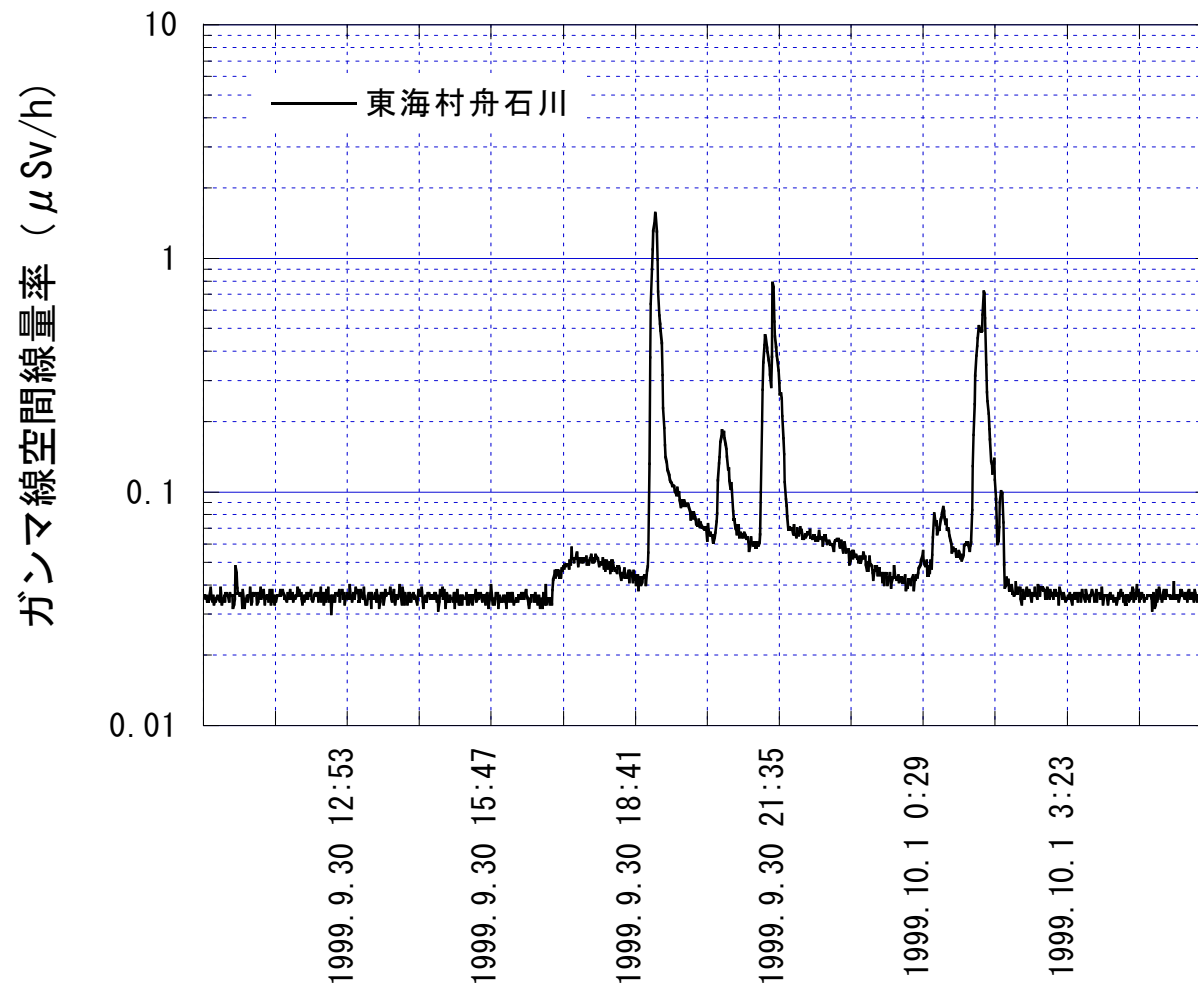
暮らしの中の放射線



自然放射線
年間 2.4 mSv
(時間平均 0.27 μ Sv/h)

- 宇宙線 (0.36 mSv/y)
- 大地 γ 線 (0.41 mSv/y)
- 体内全部 (1.63 mSv/y)
- K-40 (0.18 mSv/y)
- ラドンなど (1.5 mSv/y)

JCO臨界事故(1999年9月30日)



JCO

(茨城県東海村再転換工場)

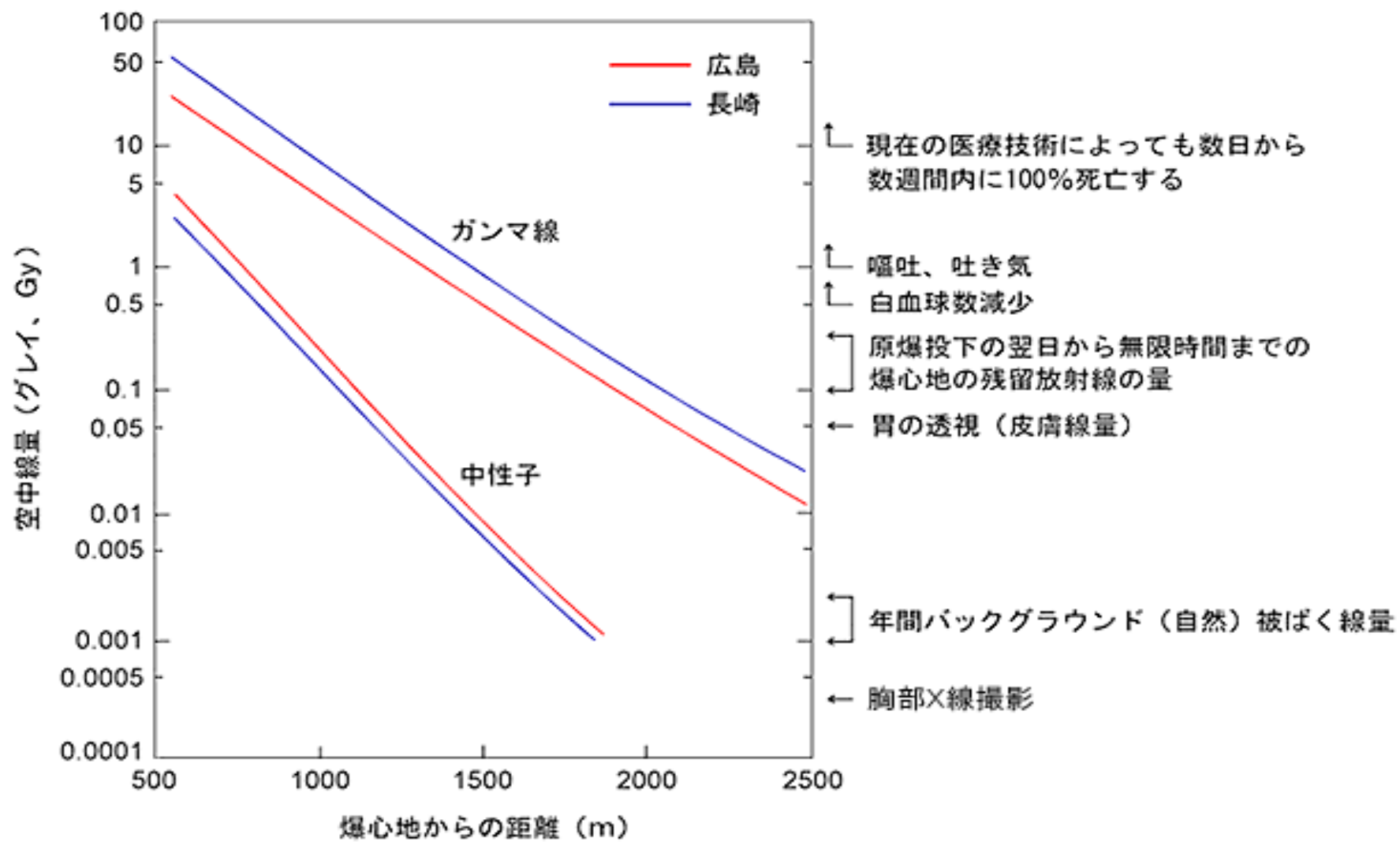
3人の職員が、注濃縮(18.8%)の硝酸ウラニル約16kgをバケツで沈殿槽に入れたところ、臨界事故発生。

2人死亡

被爆量 17Sv

10 Sv

8SV



<http://www.rerf.or.jp/nihongo/radefx/dosereco/doseesti.htm>より転載

放射線の生体に与える影響1

放射線障害の過程

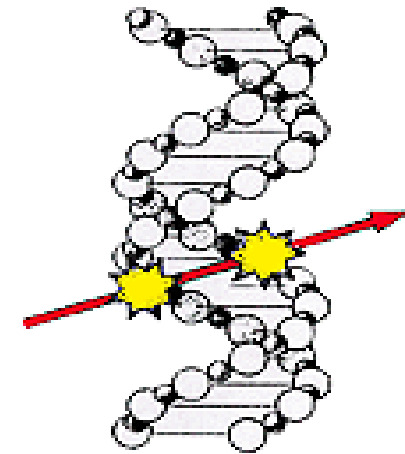
- 1) **物理的過程**: 放射線が生体に照射されると、細胞内分子に電離あるいは励起の形でエネルギーが吸収される。
- 2) **化学変化**: 電離あるいは励起された分子が生体構成物質の化学変化を引き起こす。
- 3) **初期障害**: 細胞構成物質の重要な分子(DNA、RNA、蛋白質等)の化学変化が起こる。
- 4) **拡大過程**: 初期障害が細胞内の物質代謝によって拡大され、検出可能な生化学的障害となる。
- 5) **最終効果**: 初期障害が拡大されると最終的に細胞死が起こる。さらに個体の死にも導く。

放射線の生体に与える影響2

直接作用と間接作用

1 直接作用

放射線が重要分子(DNAなど)に命中して、これらの分子を直接電離(励起)するために障害が生じる。



2 間接作用

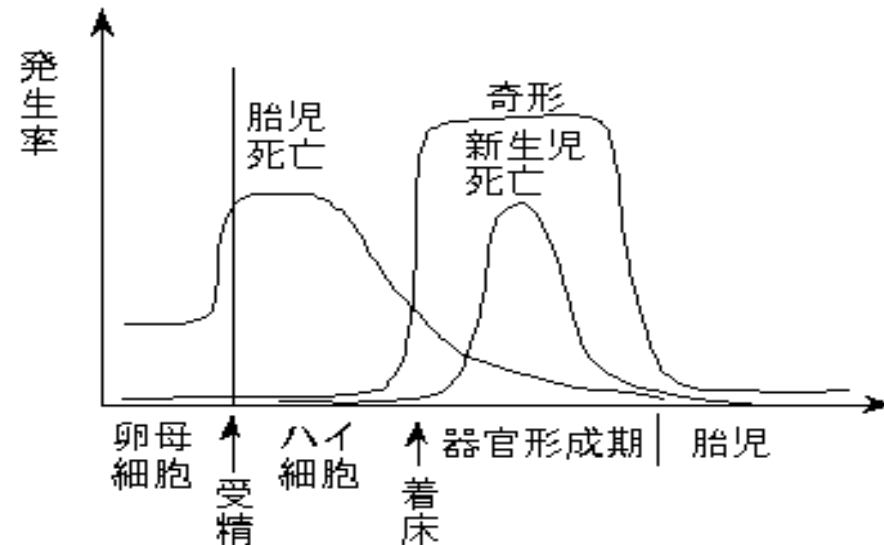
放射線が水分子に作用して、反応性の高いラジカル(遊離基; H^* 、 OH^* など)や分子(H_2O_2)が形成され、これらが重要分子と反応して障害が生じる。

放射線の生体に与える影響3

放射線障害の感受性

細胞の増殖能力が大きいほど感受性が高く、分化の進んだ細胞ほど感受性が低い。

胎児、小児：高感受性



妊娠各時期に高線量被爆したときの胎児の異常発生率

成体 高感受性：生殖腺、骨髄、胸腺リンパ組織、ひ臓

中程度の感受性：皮膚、腸上皮、眼

低感受性：筋肉、結合組織、中枢神経、脂肪組織

放射線の生体に与える影響4

放射線被爆による障害

急性障害

低照射量レベル;細胞再生系の減少
血球数の変化(0.20 Sv以上)
骨髄死
腸障害(腸死 10 Sv以上)

高照射量レベル;
中枢神経障害による死(100 Sv)

慢性放射線障害、晩発性障害

悪性新生物(癌、白血病)誘導、免疫力低下
放射線白内障、遺伝性異常の誘発、等

電離放射線障害防止規則

放射線業務従事者

実効線量(第4条)

< 500 mSv/5年

< 50 mSv/1年

妊娠可能女性 < 5 mSv/3ヶ月

等価線量(第5条)

< 150 mSv/年(目の水晶体)

< 500 mSv/年(皮膚)

妊娠中女性(第6条)

内部被爆 実効線量 < 1 mSv

腹部の表面被爆 等価線量 < 2 mSv

工学部の方針: 一般公衆の1年の線量1 mSvを学生には適用

電離放射線障害防止規則

第七条(緊急作業時における被ばく限度)

事業者は、第四十二条第一項各号のいずれかに該当する事故が発生し、同項の区域が生じた場合における放射線による労働者の健康障害を防止するための応急の作業(以下「緊急作業」という。)を行うときは、当該緊急作業に従事する男性及び妊娠する可能性がないと診断された女性の放射線業務従事者については、第四条一項及び第五条の規定にかかわらず、これらの規定に規定する限度を超えて放射線を受けさせることができる。

2 前項の場合において、当該緊急作業に従事する間に受ける線量は、次の各号に掲げる線量の区分に応じて、それぞれ当該各号に定める値を超えないようにしなければならない。

1) 実効線量については、100mSv

2) 眼の水晶体に受ける等価線量については、300mSv

3) 皮膚に受ける等価線量については、1 Sv

3 前項の規定は、放射線業務従事者以外の男性及び妊娠する可能性がないと診断された女性の労働者で、緊急作業に従事するものについて準用する。

X線測定装置

1) X線通過の際に生じる気体の電離作用を利用し、生成した電荷を測定するもの

電離箱、GMカウンター、シンチレーションカウンター、
ポケットチェンバー等

2) X線通過の際に生じる固体内の化学反応、励起反応を利用したもの
ガラスバッジ等(取扱時着用義務)

工学部でX線発生装置等周りの空間線量率に用いているのは、電離箱、GMカウンターならびにシンチレーションカウンターである。個人用モニターとしてはガラスバッジを用いている。

X線発生装置責任者は、空間線量率が法定限度以下であることを確認し、掲示する義務を負う。

被爆歴の記録

1) X線発生装置等を使用する際には、必ずガラスバッチを着用しなければならない。

着用部位

男子および妊娠不能女子：胸部

妊娠可能女子：腹部

局所被爆が予想される場合はその部位

2) ガラスバッチは2週間毎に交換し記録を集積していくので、無くしたり損じてはならない。

3) 測定した記録は各個人に通達するので、被爆の有無を各自で確認しなければならない。

4) X線発生装置等を使用する際には、氏名、使用条件、使用時間等を備え付けの記録用紙に記さなければならない。

使用上の注意

- 1) X線の遮蔽は、高原子番号の物質(鉛等)で行う。あるいは、低原子番号物質を用いる場合、遮蔽が行えるように十分厚みをとる。
- 2) 電子顕微鏡等では、X線の遮蔽が十分に行われているが、X線回折装置では発生装置からX線が洩れないように遮蔽をするとともに、X線を照射している試料より回折又は反射するX線があるので、備え付けの遮蔽窓を必ず閉め、ならびに装置を使用中であることを示す警告灯をつけなければならない。
- 3) 決して、X線を直接あびるような行動をしてはならないし、また間接的な被爆を受ける恐れのないよう各装置の管理責任者の指示に従って放射線防護措置を施し操作しなければならない。

健康の個人管理

X線等発生装置取扱者に、特別定期健康診断の受診、ガラスバッヂの着用を義務づけている。これを怠った場合には、取扱者登録を抹消する。

- 1) 放射線を取り扱う者は、使用開始前に1回血液検査を受けなければならない。
- 2) 健康管理医による被爆歴の有無、内容等の問診、皮膚、眼球及びその他の健康診断を6カ月を越えない期間中に1回受けなければならない。
- 3) 上記問診においては、放射線被爆の有無に関して、自己申告をしなければならない。
- 4) 上記の特別定期健康診断は、指定された日時にしか行わない。
- 5) 万一放射線被爆を受けた場合には、取り扱っているX線発生装置の責任者に直ちに申し出ること。
- 6) 健康診断の結果は各個人に通達するので、自ら異常がないか確認する。
- 7) 健康診断の記録は晩発性障害の恐れがあるので、保存する。

日本人の正常な血液所見

正常血球数(/mm³)

白血球数 6000-7000

赤血球数 男 500×10^4

女 450×10^4

血色素量 100%

(17mg/dl)

血小板数 $30-50 \times 10^4$
(栓血球数)

白血球分率

リンパ球 20-25%

単球 5%

顆粒球

好中球 60-70%

好酸球 0.5-2%

好塩基球 0.5%

プラズマ細胞 0.5%

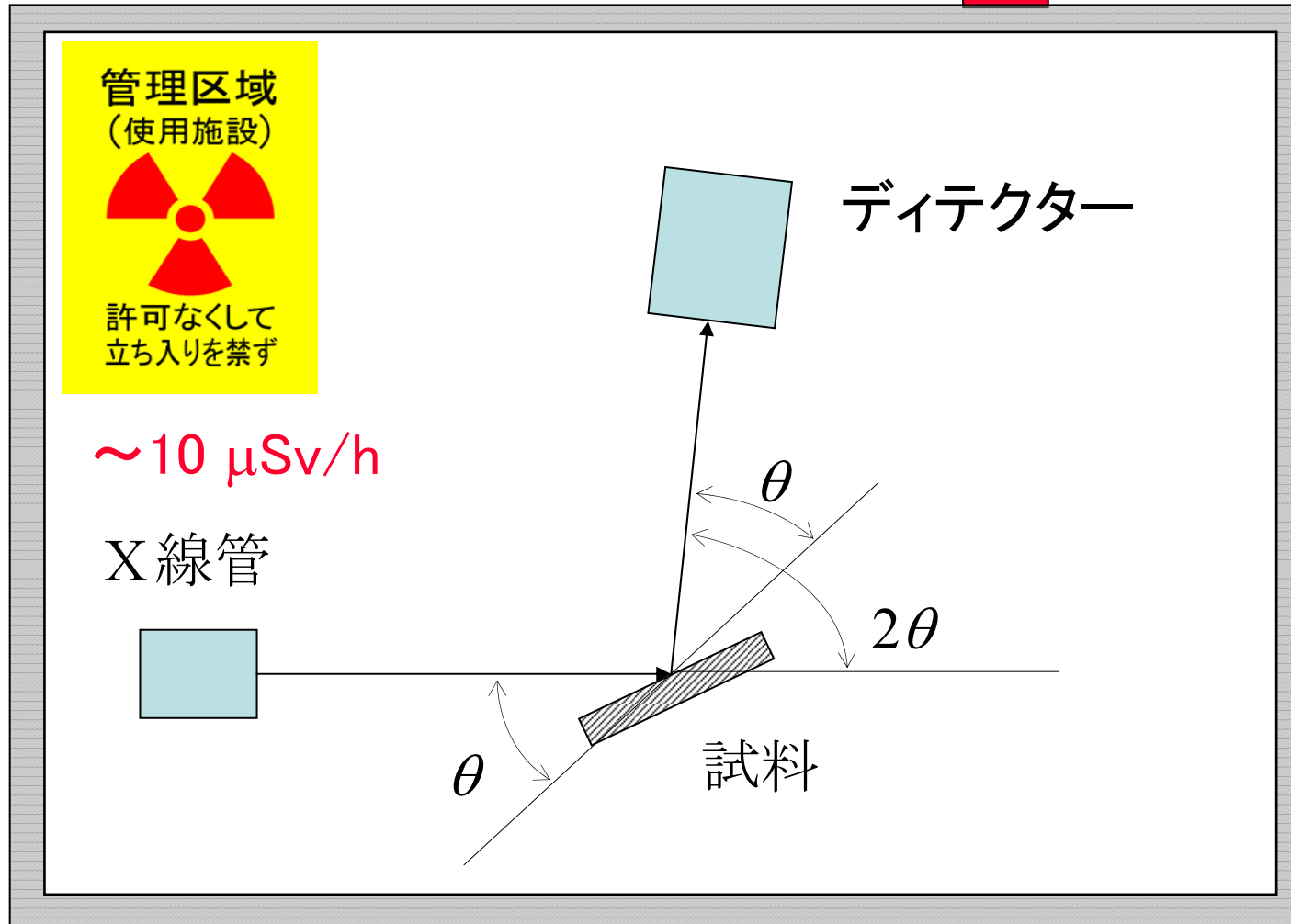
被爆の恐れがある場合

- 1) 万一被爆した場合、あるいはその恐れがある場合には、直ちにX線発生装置管理責任者に通知しなければならない。
- 2) 被爆した場合、被爆量と被爆した部位が重要であり、これらがわからない場合には装置の使用状況から算出する。このため、X線発生装置の使用条件の記録を義務づける。
- 3) エックス線装置管理責任者は、放射線障害防止委員会委員長もしくはエックス線作業主任者に事故の報告を行わなければならない。責任者、防止委員会委員長ならびに作業主任者は、被爆したあるいは被爆の恐れのある取扱者に対して医師の診断を行わさせなければならない(研究科長)。

放射線防護の三原則

- (1) 遮蔽をする。
- (2) 線源から距離をとる。
- (3) 被爆時間を短くする。

X線回折装置



空間線量率
測定 の 掲示
緊急時 の 連絡
掲示

使用簿 の 記帳
(名前、使用日時・時間、
管電圧・電流、ターゲッ
ト物質、試料等)

ガラスバッジの
着用

特別健康診断
の受診

空間線量率 $< 0.1 \mu\text{Sv/h}$ (管理区域外) 遮蔽

その他注意して欲しい事項

1. 装置の使用に関しては管理責任者あるいは指導教員・技術職員等に聞くこと。ゴニオについている遮蔽カバーなどは外さないこと。
2. 電源のON/OFFの機構を使用前に必ず確かめること。装置使用前後においてはX線管のエージングを行うこと。(マニュアルを必読のこと)
3. 装置を動かすときには、必ず冷却水が所定の圧力以上で流れており、X線管を冷却していることを確かめること。停止後も同じ。
4. 異変等(恐れの場合も含めて)の時には、ただちに装置を停止すること。停止のための緊急電源の位置を覚えておくこと。
5. ガラスバッジは使用しないときには所定の場所に保管すること。決してガラスバッジを着用したまま学外に出ないこと。
6. 初等的な参考書として、カリティ、X線回折要論(アグネ社)を勧める。