

# 先生、ご存じですか？

理科の授業で使っているクルックス管からは  
高い強度のX線が漏洩している場合があります！



現行の教科書にも記載されているクルックス管は、製品によっては 15cmの距離で、 $70\mu\text{m}$ 線量当量率が  $200\text{mSv/h}$  にも達する高い線量率の低エネルギーX線が放出されている場合があります。知らないで近付いたりすると非常に危険です。

・20keV程度とエネルギーが低いので普通のサーベイメーターは役に立ちません

**でも、心配はいりません！**

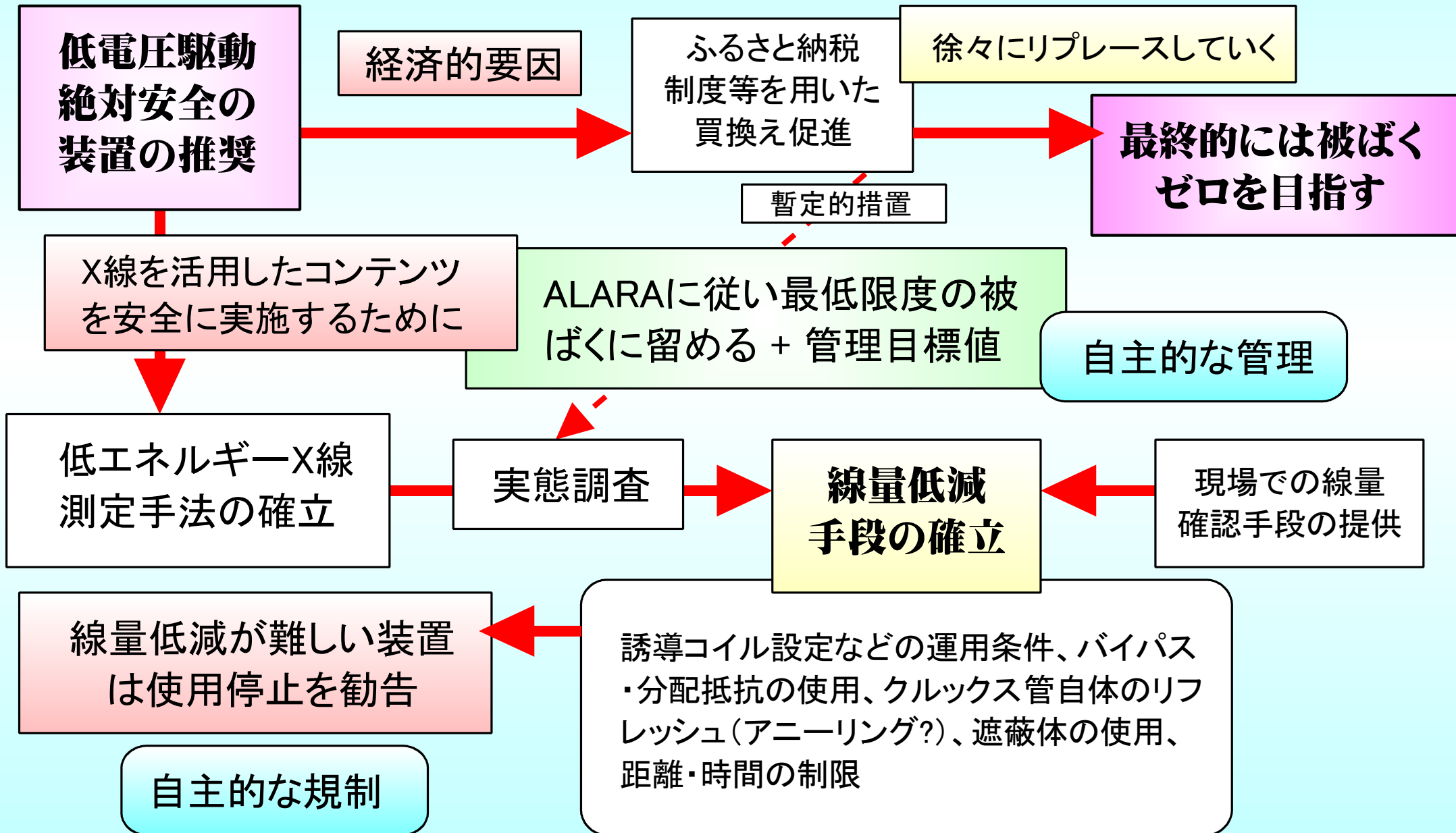
・ごく基本的な誘導コイルの設定と、距離を取って時間を短くするなどの簡単な運用法の改善で、劇的に線量を小さくすることができます。

本当に大丈夫なのか心配・・・

暫定ガイドラインで本当に問題無いか、実証試験を行っています。ガラスバッジを用いた簡単な測定を各学校で行うことができます。詳しくはホームページをご覧ください ↓



# 今そこにあるリスクを低減するために



# プロジェクトの着地点

## Task 1: 線量計測

研究室では低エネルギーで校正された電離箱を用いて、また教育現場においてはガラスバッジを郵送しての測定により、正確な測定が可能。  
箔検電器及び Kind-Mini の貸出しによる教員自身によるスクリーニング法を開発。

## Task 2: 運用方法の検討

2018年夏に実際の教育現場における漏洩線量の実態調査を実施し、かなり高い線量を漏洩する装置が発見された。追加の検証により暫定ガイドラインを策定し、2019年度の実態調査でほとんどの装置で安全な事を確認できた。

## 暫定ガイドラインの策定

中学理科の教科書会社5社中4社の教師向け指導書に実験上の注意点を掲載

暫定ガイドラインを遵守した場合の安全性の更なる検証(今後も継続)

## Task 3: 線量評価とガイドライン

日本保健物理学会において、専門研究会を設立(2019-2020年度)。法令上の問題点やエネルギーが低く透過力の小さい低エネルギーX線の実効線量評価を行う。2022年度を目標として学会標準として運用ガイドライン、測定法、Q&A等を取りまとめる。

電圧、電流などの測定だけでは単純に危険性を判断できなかった。このためスクリーニング手法の開発を行い、ある程度高い線量が漏洩している恐れがある場合は、大阪府大に2020年度に導入した nanoDot 線量計により信頼できる測定を継続的に行える体制を確立中。

# クルックス管からのX線管理に於ける問題点

## 一般公衆に対する線量限度が法体系に取込まれていない

ICRP 1990/2007年勧告での一般公衆に対する線量限度は我が国の法体系に取込まれておらず、実効線量 1mSv/年という値も事業所境界での線量限度から導かれた値。

## X線装置の定義が明確ではない

厚労省 全国規模での規制改革要望に対する見解の確認  
<http://www8.cao.go.jp/kisei/siryu/030919/09-2.pdf>

RI法では1MeV以下のX線は対象外であり、定義されている放射線発生装置にも該当しない。電離則においては特定X線装置の定義からは外れるが、「X線装置」の免除レベルが規定されておらず、放射線安全を確保するための法令根拠が明確ではない。

↑  
エックス線装置等放射線装置については、現在、放射線審議会において、放射線を発生する装置における規制の免除の要件について検討されている状況にあることから、その検討を待ちたいと考えている。

## 不均等被ばくであり実効線量評価が困難

20keV X線 は水での半価層が 1cm程度であるため、体表からの深さによって線量が大きく変化する。またブロードなエネルギースペクトルを持ち運用条件によってピークエネルギーも変わるが、低エネルギーではわずかなエネルギー変動で大きく透過率が変化する。平面的にも一様ではない。このため、防護量である実効線量の評価は容易ではない。

# X線装置の定義が明確ではない

## 放射線障害防止法

1MeV 以下のX線は対象外。放射線発生装置も施行令第二条に列記されている物に限る。

## 電離則

**特定 X 線装置:** 令第十三条第三項第二十二号に、定格管電圧が 10kV 以下の物もしくは「エックス線又はエックス線装置の研究又は教育のため、使用のつど組み立てるもの」は**対象外**。

**X線装置: 定義が存在せず、免除規定も存在しない。**

厚労省 全国規模での規制改革要望に対する見解の確認  
<http://www8.cao.go.jp/kisei/siryo/030919/09-2.pdf>

「X 線装置」とは、「X 線を発生することを目的とした装置」であるらしい。

クルックス管がX線装置であると解釈された場合、何が必要か?

クルックス管を「X線の発生を目的に」使用した場合、X線装置ではないと言いきれるか?

管理区域の明示	(電離則第三条)
放射線装置室の設定	(電離則第十五条)
警報装置	(電離則第十七条)
立入禁止	(電離則第十八条)
X線作業主任者の選任	(電離則第四十六条)
計画の届出	(労働安全衛生法第八十八条)

# X線装置としての管理が必要な場合

## 管理項目

## 除外規定

### 管理区域の明示

(電離則第三条)

### 放射線装置室の設定

(電離則第十五条)

### 警報装置

(電離則第十七条)

### 立入禁止

(電離則第十八条)

### X線作業主任者の選任

(電離則第四十六条)

### 計画の届出

(労働安全衛生法第八十八条)

実効線量が三月間に付き1.3mSvを超える恐れがない場合。← 管理区域の定義

その外側における外部放射線による1cm線量当量率が  $20 \mu\text{Sv/h}$  を超えないように遮へいされた構造の放射線装置を設置する場合又は放射線装置を随時移動させて使用しなければならない場合。

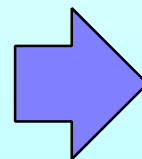
管電圧 150kV 以下の場合。

実効線量が一週間に付き 1mSv 以下の場所。

エックス線装置に例外規定はないが、主任者を選任するのは「管理区域」ごと。管理区域に該当しない場合は必要ない。また、装置内部は管理区域であっても、内部に体の一部が入ることがない場合は必要ない(標識での明示は必要)。

労働安全衛生規則第八十五条 → 別表七 → 電離則第十五条の放射線装置に該当しない場合。

クルックス管の近傍では一回の実験で1.3mSv を超える可能性が十分にある。



ガラスの水槽などで囲えばその表面の線量は距離と遮蔽で大幅に低減される。  
X線を活用した実験をする場合は遮蔽体で囲み、中に入れないようにすることが必要か？



# クルックス管からのX線評価に於ける問題点

## 20keV 程度とエネルギーが低い

一般向けに普及している半導体素子を用いた簡易サーベイメータはおろか、放射線計測で信頼されている NaI シンチレーション式サーベイメータもエネルギーが低すぎて実態とかけ離れた値が測定される。

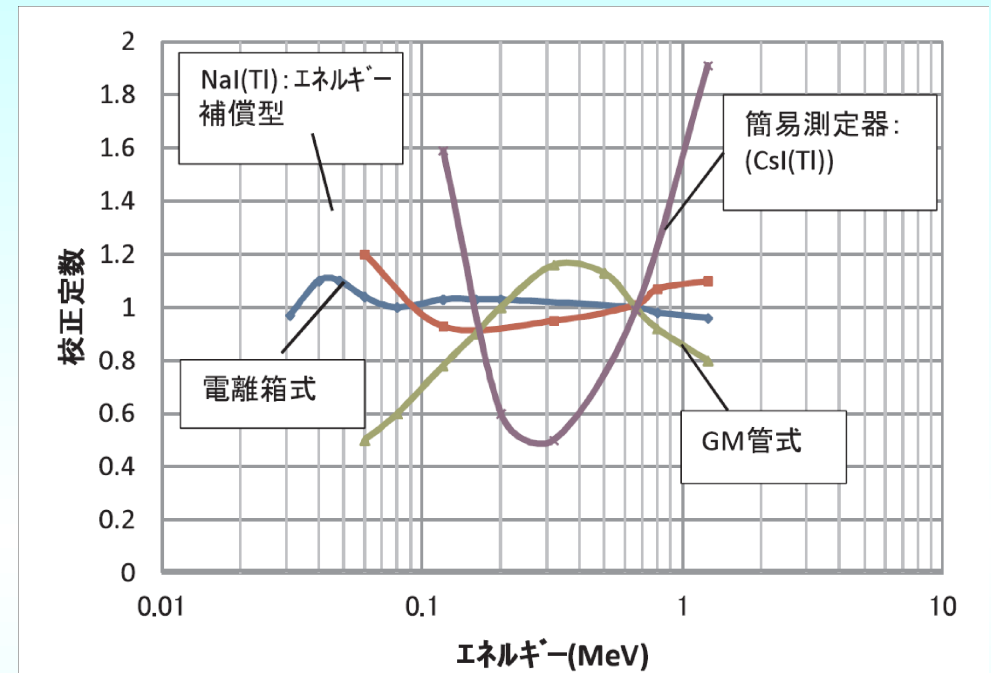
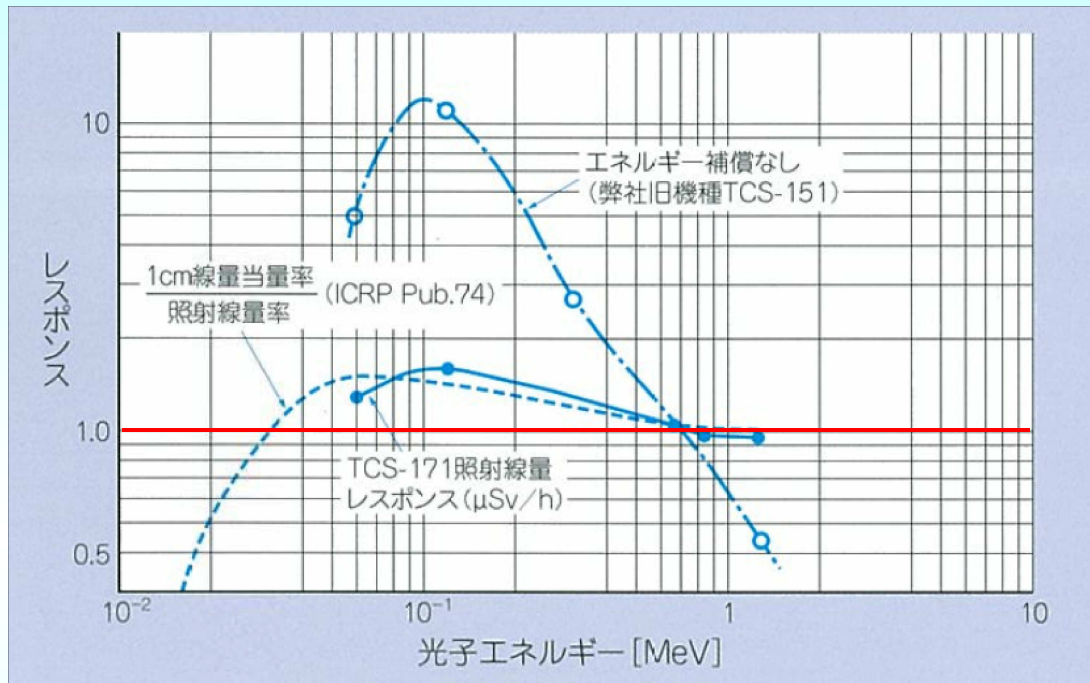
## パルス状に放出されている

Be窓を用いた低エネルギーX線用 NaI シンチレーション式サーベイメータなども販売されているが、パルス場であるためパイルアップしてしまい非常に小さい値しか示さない。Be窓のGe検出器や、CdTe(CZT)検出器での測定も、非常に小さなコリメーターを使いカウントレートを落とす必要がある。

## 電源装置（誘導コイル）が不安定である

同じ装置を同じ設定で動作させても測定結果が大きく異なる事がある。機械的な動作を含む誘導コイルはその日、その時の状況で出力電圧が変動するため、系統的な比較を行うには何らかの方法でモニタしながらの測定が必要。

# サーベイメータのエネルギー特性



## NaIシンチレーションサーベイメータのエネルギー特性

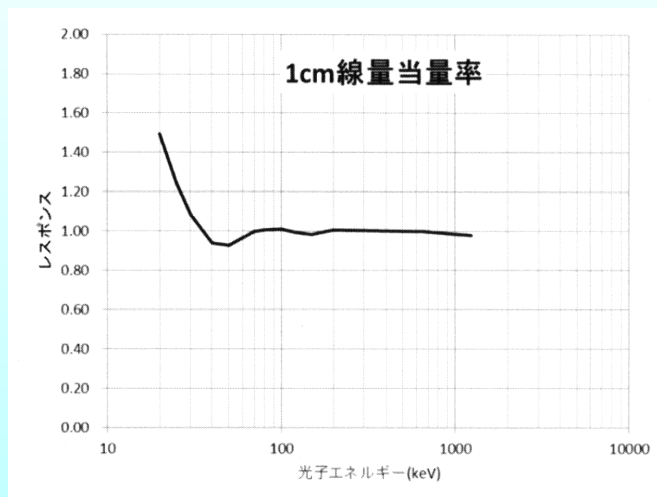
(アロカ TCS-171カタログより)

## 様々なサーベイメータのエネルギー特性

(放射線計測協会 放計協ニュース No.48, 2011, p6)

## 電離箱サーベイメータのエネルギー特性

(日立 ICS-1323マニュアルより)

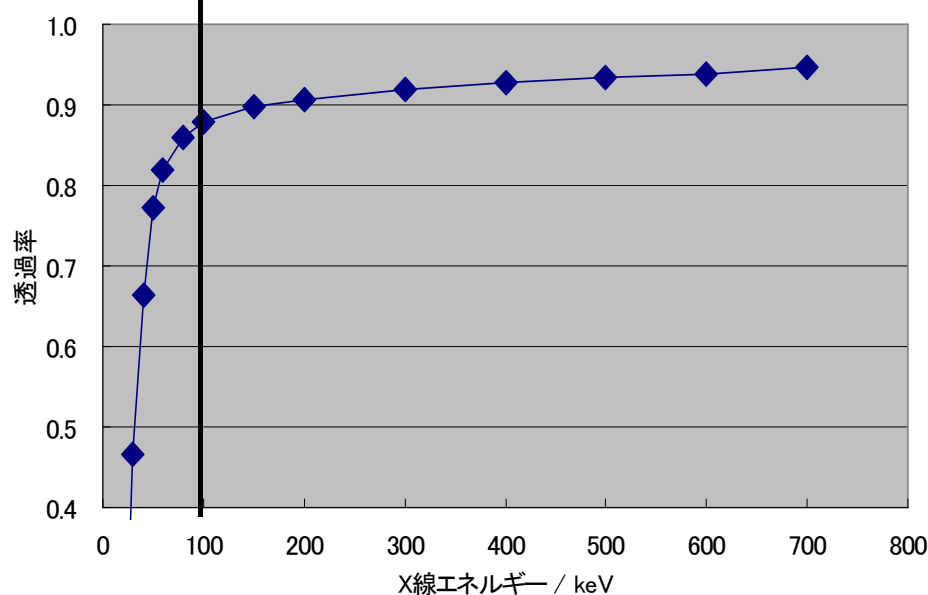




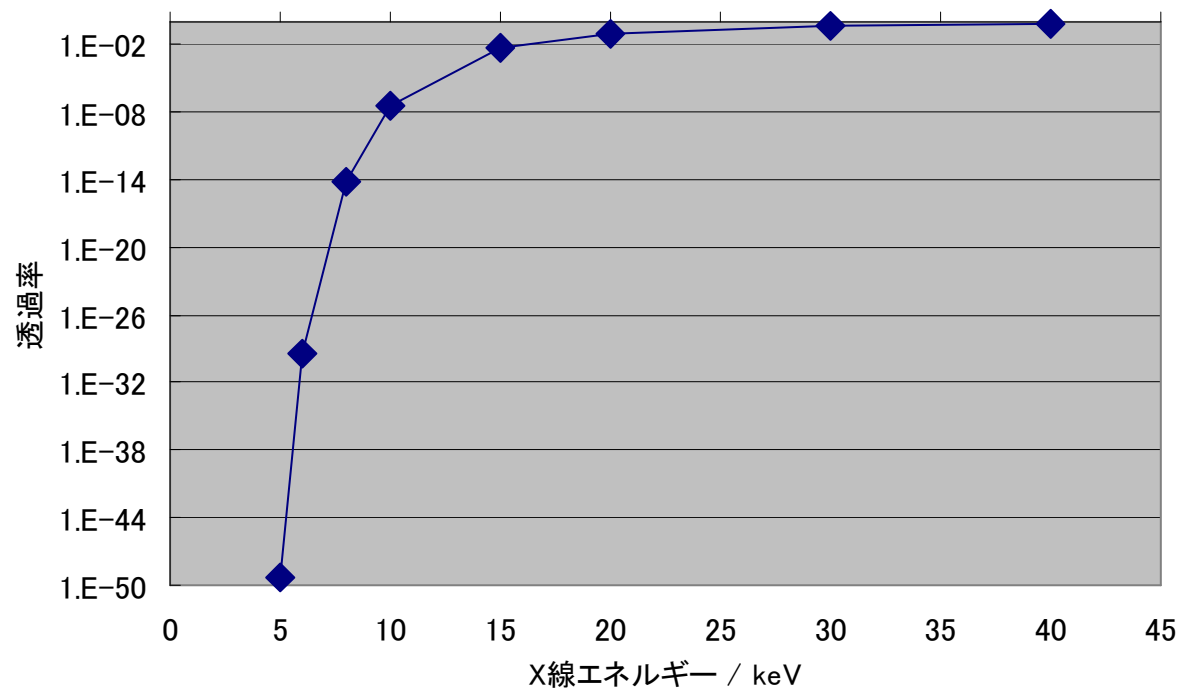
# わずかな印加電圧低下での大きな線量の変化

20keV 前後のX線は僅かなエネルギー変動により、クルックス管自体を構成するガラス管の透過率が何桁も変わる。

100keV 以上のエネルギーでは  
余り大きく変わらない



30keV と 15keV で約100倍違う。

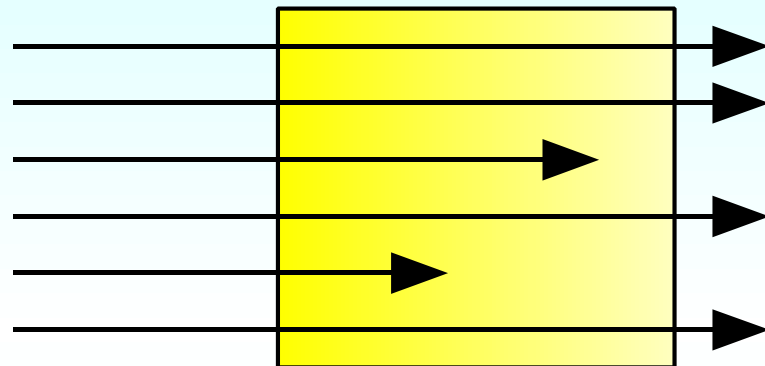


3mmのガラスに対するX線の透過率

# エネルギー吸収の違い

## 強透過性放射線

$$H_p(0.07) \leq 10 H_p(10)$$



整列拡張場

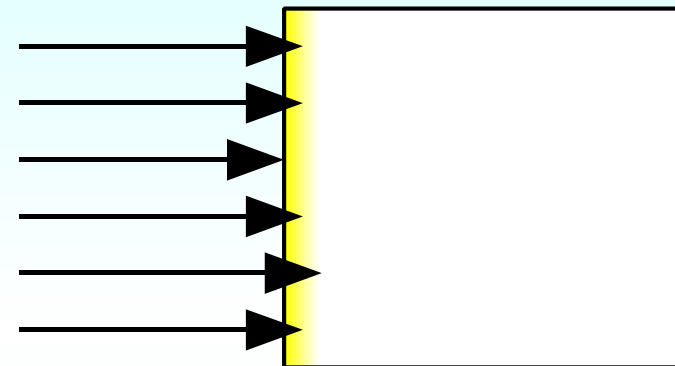
高エネルギーガンマ線などの場合透過力が高く、ほぼ均等にエネルギーを与える。

人体の場合、荷電粒子平衡を考慮して深さ1cmでの点での吸収線量(1cm線量当量)が全体を代表する。対象の厚さが大きいと、指数関数的に徐々に線量は下がっていく。

クルックス管からの20keVの低エネルギー엑스線の場合、 $H_p(0.07) = 2 H_p(10)$  程度であり、弱透過性と言うほどでは無いが、1cmの深さでの吸収線量は体全体を代表せず、減衰を考慮する必要がある。

## 弱透過性放射線

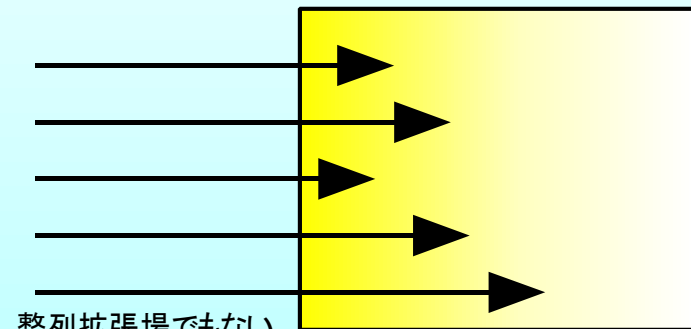
$$H_p(0.07) > 10 H_p(10)$$



整列拡張場

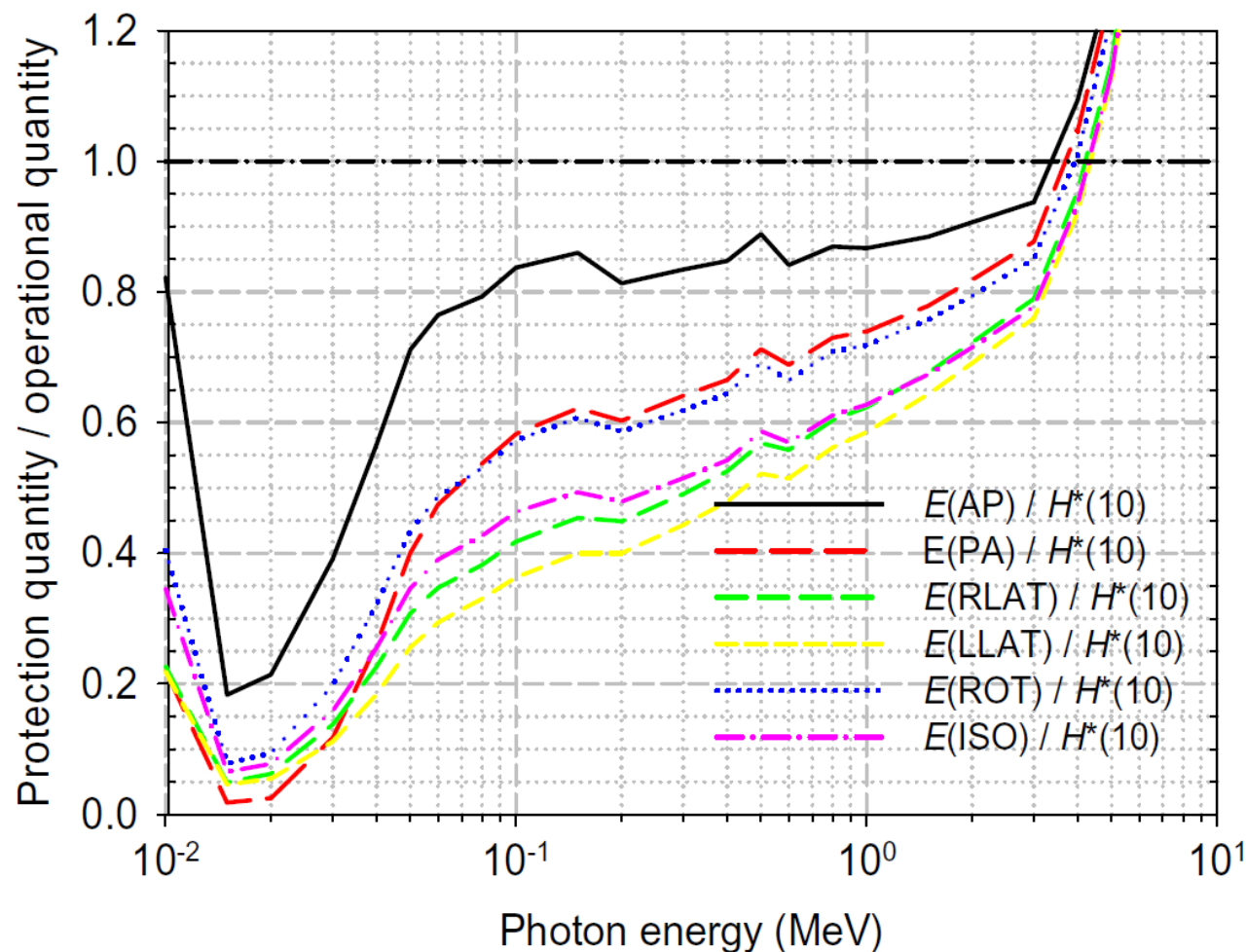
$\alpha$ 線、 $\beta$ 線などの場合透過力が低く、表面近傍にのみ局所的にエネルギーを与える。

人体の場合、深さ70 $\mu$ mでの点での吸収線量(70 $\mu$ m線量当量)が皮膚の等価線量を代表する。



整列拡張場でもない

# 防護量と実用量の違い



ICRP Pub116  
Fig.5.2

測定に際しては荷電粒子平衡は取られていない。平衡を取ってやれば高エネルギーでも安全側に評価となる。

AP, PA 等は放射線の入射方向に対する人体の向きを表わし、APは正面、PAは背面、RLAT・LLATは右・左側面、ROTは立位で水平回転、ISOは等方からの入射を表わしている。

実効線量  $E / 1\text{cm}$ 線量当量  $H^*(10)$  のエネルギーによる変化。1cm線量当量は20keVでは5倍程度の過大評価となる。100keV-3MeV程度までは変化は小さく、常に若干の過大評価となっている(安全側に評価)。

# クルックス管からのX線測定値からの実効線量の評価

