

エックス線を考える

前田浩二 (工学部技術部第一技術系第二班)

はじめに

エックス線を利用する方法は、表1に示すように透過法、散乱法、回折法及び分光法に大別できる。しかしながらそのエックス線は人体に有害である。被ばくすると、強度と場所に応じて障害が生じうる。

そこで被ばくを防止するための法令として電離放射線障害防止規則（民間を対象とする労働省令）と職員の放射線障害防止規則（公務員を対象とする人事院規則）がある。いずれも、年被ばく限度 50mSV（年5rem）、1週間 0.3mSV（30mrem）を限界とする管理区域の設定の義務を定めている。

以上のようなことから今回はそのエックス線の管理、規則及び生体に与える影響を紹介するとともに、線量計を用いてエックス線の測定を行ったので報告する。

表1 エックス線利用の用途別分類

分野	名 称	原 理	用 途
理 工 学	エックス線透過試験装置	透過(吸収)	透過写真の撮影、透視、材料欠陥の検出等
	エックス線回折装置	回 折	物質の結晶構造の解明、定性・定量分析
	エックス線応力測定装置	回 折	金属の溶接・熱処理・鋳造等による残留応力測定
	蛍光エックス線分析装置	分 光	元素の定性・定量分析
	エックス線 マイクロアナライザー エックス線厚み計	分 光 吸収,散乱	マイクロ領域の元素分析 金属の厚さ測定
医 学	診断用エックス線装置	透過(吸収)	直接撮影、間接撮影、透視
	治療用エックス線装置	透過(吸収)	表在及び深部治療

生体に対する放射線効果の特異性

生体に対する放射線効果には種々の特異性がみられる。その内でも最も重要なものを以下に述べる。

①生体が受け取った吸収エネルギーがたとえわずかであっても、生物学的な効果（障害）は大である。

例えば吸収線量にして10Gyのエックス線を全身に浴びたヒトの集団は、10～20日にほぼ全数が死亡する。しかしこの線量を熱エネルギーに換算すると、

$$1\text{Gy}=1\text{J}/\text{kg}=2.39\times 10^{-4}\text{cal}/\text{g} \quad \text{であるので、}$$

$$10\text{Gy}=2.39\times 10^{-3}\text{cal}/\text{g}$$

となり、人体の温度上昇は計算上約0.002℃にすぎない。

このように、生体にとってはごくわずかの吸収エネルギーであっても、それによって引き起こされる初期効果が、やがては大きく増幅され、最終的には重大な障害を引き起こすことになるのである。この原因は、放射線に特有な反応が生体中に起こるためである。

②放射線は、どのような場合でも生体に対しては有害な効果しか及ぼさない。

③放射線はヒトの五感に全く感じない。

以上のことは日常エックス線を取り扱う者の放射線防護上からみても常に留意しておかなければならないことである。

表2は全身被ばくによる急性障害を示したものである。このように短時間のうちに全身被ばくした場合、ある程度の線量までは目に見える症状は生じない。しかし線量が高くなるにつれ、まず放射線感受性の高い組織に障害があらわれ、次いで感受性の低い組織にも障害があらわれる。そして被ばく線量が大きくなるとついには死に至るが、その

原因, 時間的経過は線量により異なる.

表2 ヒトの急性放射線障害

線量	症 状
0.25Gy	臨床的症状なし
0.5Gy	リンパ球の減少
1.5Gy	放射線宿酔
4Gy	1~2ヶ月以内に50%が死亡 (骨髄死)
7Gy	ヒトの100%致死線量
15Gy程度	2週間以内に100%死亡 (腸死)
50Gy以上	1から2日で100%死亡 (中枢神経死)

表3 放射線関係法令

科学技術 関係	原子力基本法, 放射線障害防止法, 核原料物質・核燃料物質・原子炉規制法 等
労働関係	労働安全衛生法, 電離放射線障害防止規則, 作業環境測定法, 人事院規則 等
医療関係	診療放射線技師法, 医療法, 医療法施行規則, 薬事法 等
輸送関係	放射性同位元素等車両運搬規則 等
その他	計量法, 建築基準法, 消防法 等

法律からみたエックス線

放射線管理は, 放射線業務従事者及び一般公衆の放射線障害の発生の防止と環境汚染防止をはかることが目的である. 放射線管理を行っていく場合, 作業目的により適用される多くの法律(表3)を遵守することが要求される.

これらの法律の中で最も基本となるのが放射線障害防止法と労働安全衛生法であると思われる. これらの法令の中にある基本的な考え方や被ばく量の制限値は国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告に準拠しており, また各法令の整合性は放射線審議会によって審議・統一されており, 表4及び表5に示すように我が国の法令ではICRPの勧告する線量当量限度を受けて, 人に係る線量当量限度および場所に係る線量当量限度を設けている.

表4 放射線業務従事者に係る線量当量限度

放射線業務従事者	
実効線量当量限度	50mSv/年
緊急作業(男子)	100mSv/年
組織線量当量限度	
目	150mSv/年
女子腹部	13mSv/3月
妊娠中女子腹部	10mSv/妊娠期間
その他の組織	500mSv/年
公衆	
実効線量当量限度	1mSv/年
組織線量当量限度	
目	15mSv/年
皮膚	50mSv/年

線量計について

被ばく線量測定用具は表6に示すように様々な種類のものがあるが, それぞれ一長一短があり, これといった万能なものはない. したがって, 測定環境にあったものを選ぶべきであり, また複数の線量計を組み合わせることも必要である.

例えば作業現場での放射線はエネルギー分布

表5 場所に係る線量当量限度

管理区域の常時人が立ち入る場所	1mSv/週
管理区域の境界	300 μ Sv/週
事業所境界及び居住区域との境界	250 μ Sv/3月
病院又は診療所の病室	1.3mSv/3月

表6 被ばく線量測定用具の特徴

	フィルム バッジ	直読式ポケッ ト線量計	ポケットチェ ンバ	蛍光がラス 線量計	熱ルミネッセ ンス線量計	半導体式ポ ケット線量計
測定可能な下限値 (μ Sv)	100	10	10	1	1	1
測定可能範囲 (μ Sv)	100~7000	10~1000	10~500	1 μ Sv~ 30Sv	1 μ Sv~ 100Sv	1 μ Sv~ 10mSv
照射線量に対する エネルギー特性	大	小	小	中	中	中
線量記録の保存性	有	無	無	有	無	無
着用中の自己監視	不可	可	不可	不可	不可	可
機械的堅牢さ	大	小	中	中	中	中
湿度の影響	大	大	大	小	中	中

が不明であるところからエネルギー特性の良いものか、エネルギー補正のできる被ばく線量測定用具の使用が望ましい。また放射線作業では思わぬ被ばくをすることもあるので、線量の測定範囲の広いものが望ましい。さらに場合によってはアラームメータを併用して被ばく状況を知ることにも必要である。

このような被ばく線量測定用具の使用は、単に作業員自身が線量を知るだけでなく、作業員の被ばくを管理し、その結果より作業場の管理を行うのが目的であるから、その測定は客観性のある測定として行わなければならない。そのため、被ばく線量測定用具は定期的にチェックして校正すべきである。

半導体式ポケット線量計

近年の半導体技術の進歩に伴って、放射線測定分野での半導体化は著しい。半導体は気体検出器に比べて密度が大きいこと、ガス増幅を行う検出器に比べ動作電圧が低く消費電力が小さいなど極めて利点が多い。

今回はこの半導体式ポケット線量計を用いて線量の測定を行った。しかしこの半導体式ポケット線量計も万能なものではない。使用する際にはその特徴を十分に理解しておく必要がある。

この半導体式ポケット線量計のエネルギー特性を図1に示す。このように半導体式ポケット線量計のエネルギー特性は、50～60keVで最もよく、20keVではその6割しか検出できない。また100keVでは8割となっている。一方、半導体式ポケット線量計の感度の方向特性を図2に示す。縦方向、横方向のいずれの場合も100keVの方が30keVよりも方向特性は少し良い結果となっている。しかし、いずれにしても方向特性はあまり良くなく、半導体の形状に依存して前方に強い指向性を示すので、測定に際しては十分に注意を払わなくてはならない。

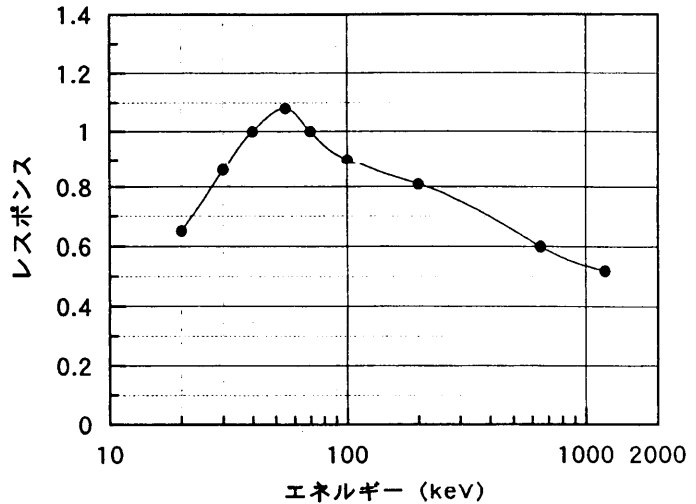


図1 半導体式ポケット線量計のエネルギー特性

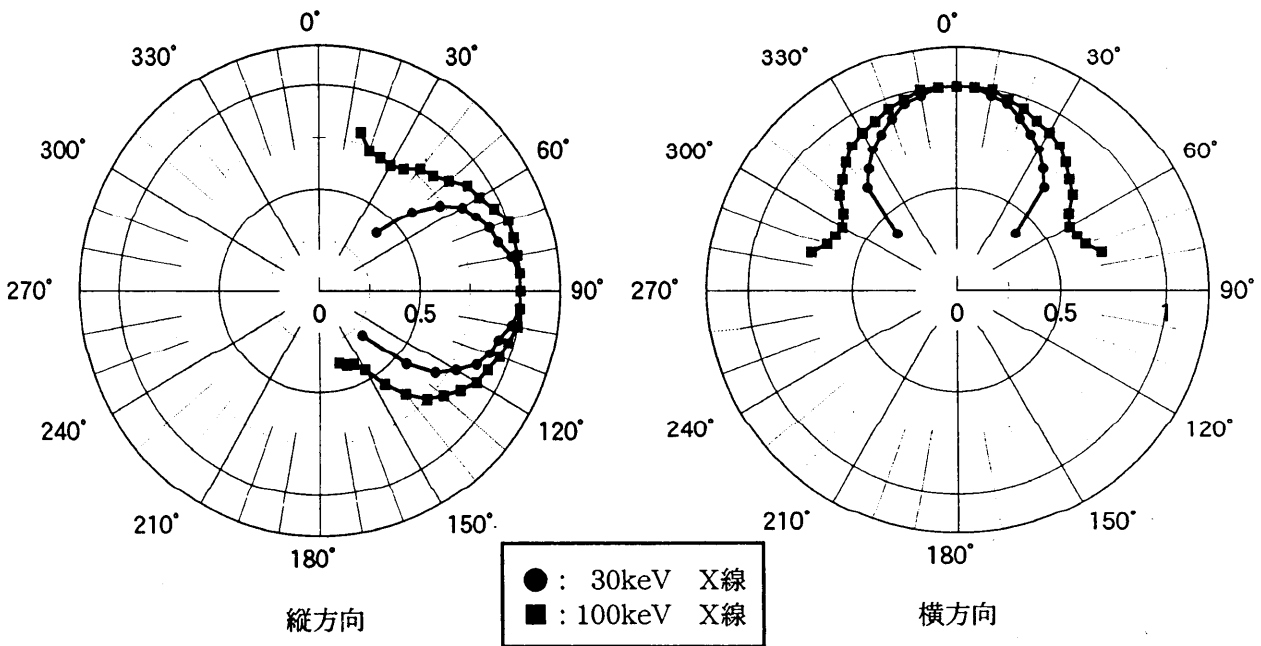


図2 半導体式ポケット線量計の方向特性

X線回折装置を用いての測定結果

X線回折装置はX線管放射口をX線吸収の少ないベリリウム板で作成し、ろ過板の無いものが多いが、試料の設定中に放射口附近に誤って手が接近することがあると、このようなX線は軟X線で、かつ、線量率が高いため、数十秒でX線皮膚障害を起こすことがある。

そこで、研究室にあるX線回折装置を用いて、回折装置の内外の線量率を調べ、その危険度と安全性を確認した。尚、X線の強度は表7に示すように管電流、管電圧、ターゲット元素の原子番号によって決まるが、測定条件は管電流40mA、管電圧40kVで、ターゲットはCuである。

測定結果としてX線回折装置の試料位置でのX線の線量率は、300mSv/minであり、装置内壁の位置で30mSv/minであった。この値は数分で年間の放射線許容レベルに達するものである。このようなことからX線回折装置では、試料の交換時、試料ホルダーの調整時、各種アタッチメントの取付け時、およびスリットの調整時において指先の被ばくが最も危険である。事故例として、回折装置の試料位置の指先が、20kV-20mAのダイレクトビームに1分間当たった場合は1Sv程度の被ばくとなり、軽度の皮膚炎を生じたという報告がある。また、それらの操作は当然のことながら前面ガラス扉を開けて作業するために指先だけに限らず、上半身全体に散乱X線を被ばくする可能性もあるので、シャッターだけを過信せず、十分な注意が必要である。

以上のことからX線に対する安全性を少しでも高めるために、例えば前面ガラス扉を開ける時には、必ず計数管の値が0になっていることを確認する。また試料交換時には、管電圧-管電流を下げる、スリットの幅を絞る、X線放射口の前に金属板を遮へい板として用いる、等の方法が考えられるので、シャッターだけに頼らず、自己防衛手段として一つでも意識をもって作業することが大切である。

一方、X線回折装置の外側での線量率は、限り無く0に近く、半導体ポケット線量計では検出できず、遮へいが充分になされていることが確認できた。このような外部X線の測定は定期的に行い、安全を確認しておくことが必要である。

まとめ

現今のX線回折装置は、防X線カバーやプロテクター（散乱X線の量を減らすための金具）が用いられているため、頻繁に回折装置を使う人でも、注意すれば被ばく量を法定限度の千分の1以下にできる（これは自然放射能による被ばくの1/10以下である）。しかし事故による被ばくは、例えば安全装置を取り外したり、取り外したことが他の作業者に伝わらなかった場合に起こりうる。事故防止の最後のよりどころは安全装置ではなく、各人の注意であるという自覚が大切である。

表7 エックス線の強度

X線の強度 I は、	
$I = k i V^2 Z$	によって決まる。
i : 管電流	
V : 管電圧	
Z : ターゲット元素の原子番号	
Cr:24	
Fe:26	
Co:27	
Cu:29	
Mo:42	
W :74	