

鹿児島大学教育学部におけるエックス線装置安全取扱の教育について

松 井 智 彰〔鹿児島大学教育学部（理科教育）〕

Training for Safe Handling of X-ray Equipment in Faculty of Education, Kagoshima University

MATSUI Tomoaki

キーワード：エックス線（X線）、安全取扱、教育訓練、鹿児島大学教育学部、エックス線装置

1. はじめに

鹿児島大学教育学部では、現在理科教育講座の鉱物学研究室においてエックス線装置（粉末X線回折装置）を用いた教育研究活動が行われている。

このエックス線装置の安全取扱については、国立大学法人化前は人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）を根拠法令として全学及び部局内規則が整備されてきた。法人化後教育学部では、労働安全衛生法、労働安全衛生法施行令、電離放射線障害防止規則（電離則）及び鹿児島大学放射線安全管理規則等に基づき、新たなエックス線障害予防規程が整備され、X線障害の防止と安全の確保が図られている。

このような一連の法令等の変更によって、鹿児島大学においても建物ごとに1事業所とみなされることになり、教育学部でもエックス線作業主任者の国家資格を持った者が作業主任者に任命されることになった。また全学放射線安全管理規則により、管理区域に立ち入らなくても放射線装置の取扱いに従事する者はエックス線等取扱者として定義され、部局長の責任において該当者に対して放射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）を実施することが規定された。

教育学部では平成17年度から学部独自の教育訓練が実施されるようになり、学部内利用者への安全教育の徹底と利便性の向上が図られてきた。平成22年度からは教育訓練の全学一元管理がスタートしたことにより、これまで各部局（各学部）単

位で実施されてきた教育訓練は終了し、郡元地区・下荒田地区と桜ヶ丘地区に分けて全学的に教育訓練が実施されることになった。

本報では、鹿児島大学においてエックス線等取扱者に対する教育訓練の実施体制が各部局から全学に移行したのを機会に、これまで教育学部で行われてきた教育訓練を振り返り、その実績と問題点をまとめたうえで、今後の課題について検討する。

2. X線と粉末X線回折装置

X線は波長が 10^{-12} – 10^{-8} m (0.01–100Å) 程度の電磁波であり物体によって散乱される。X線回折で用いるX線はその波長が原子やイオンの大きさと同程度であって、物体を構成する原子やイオンが規則正しく並んでいて（このような固体物質を結晶という。）、それらによって散乱されるX線の位相がよくそろって互いに強め合う場合に回折線が観測される。X線回折法は結晶構造を解析するための最も有力な研究手段である。

教育学部に設置されている粉末X線回折装置では試料となる粉末に単色化したX線（CuK α 線）を照射して試料中の原子やイオンから散乱されるX線のパターンを記録し、これを手がかりとして逆にX線を散乱する原子やイオンが配列しているパターンを調べることができる。試料が鉱物結晶の場合、鉱物種に特有の規則的な原子配列をしているので、散乱（回折）X線のパターンも鉱物種に特有なものとなり、鉱物種の同定が可能になる。

本文中での「エックス線」と「X線」の使い分けについて：学内規則の文中において特別な意味を持って使われている用語に対しては「エックス線」を用い、規則とは関係なく一般的な意味を持って使われている場合には「X線」を用いることとした。

3. 教育訓練の内容

鹿兒島大学教育学部では平成17年度からエックス線等取扱者に対する教育訓練が毎年一回は6月に実施されてきた。平成21年度の実施訓練における受講者への配布資料は表1の通りである。(1)～(4)は教育訓練中に使用するものであり、(3)の教育訓練スライド縮小版（一部変更）については付録を参照、(4)のX線回折装置使用マニュアルは図1に示す。、(5)のエックス線等取扱者の登録申請書（図2）も同時に配布した。また実際に鉱物学研究室に設置された粉末X線回折装置を取扱う際には、別途、安全取扱講習を実施するので、(6)の「地学実験Ⅱ」テキスト（粉末X線回折実験）も添付した。

教育訓練の内容は表2に示す通りで、学部エックス線障害予防規程に規定された実施項目をすべてカバーするように工夫された。まず初めに「鹿

表1. 配布資料

- | | |
|-----|-------------------------------|
| (1) | 鹿兒島大学放射線安全管理規則 |
| (2) | 教育学部エックス線障害予防規程 |
| (3) | 教育訓練スライド縮小版 |
| (4) | X線回折装置使用マニュアル |
| (5) | エックス線等取扱者の登録申請書 |
| (6) | 学部授業「地学実験Ⅱ」テキスト
(粉末X線回折実験) |

<X線回折装置“Rigaku Miniflex”使用マニュアル>

X線分析実験室(3215)管理者：松井智彰

★☆ X線回折装置使用前に ☆☆

利用者は、フィルパッチを申請して必ず着用すること。

(操作手順)

- 1) コンセントにプラグを差し込む。
- 2) Power を ON にする。（これと同時に自動的に循環冷却水が作動する。）
- 3) ALARM の3つのランプ(OLL, FCL, CW)が点灯していたら、次に進む。

OLL :
FCL :
CW : 冷却水(Cooling Water)

- 4) HV POWER SUPPLY を ON にする。
- 5) X線を ON にする。
- 6) 試料をセットする。
- 7) ギニオメーターのスイッチを ON にする。
- 8) 回転する目盛りが0になったときにチャート紙記録計を ON にする。
- 9) 終了手順は、この逆の操作をする。

★☆ X線回折装置使用後に ☆☆

利用者は、X線回折装置使用記録帳に所定の事項を必ず記入すること。

図1

児島大学教育学部エックス線障害予防規程」について全条項を関係法令と対応させて解説し、次に鉱物試料を分析することを前提として粉末X線回折装置の安全取扱について説明した。最後に放射線の人体に与える影響について関係するビデオを受講者に視聴してもらった。平成18年度までは財団法人放射線計測協会からビデオをお借りして上映した。平成19年度からは社団法人日本アイソトープ協会が作成したビデオ（社団法人日本アイソトープ協会JRIAビデオ編集委員会，2007）を

表2. 教育訓練の内容

X線回折装置の安全取扱および規則の説明	
(1) 鹿兒島大学教育学部 エックス線障害予防規程	30分
(2) X線回折装置の安全取扱 ・ 鉱物を調べる方法 ・ 鉱物の定義 ・ X線とは ・ X線の回折 ・ X線回折装置使用マニュアル	30分
(3) 教育訓練用ビデオ視聴 (見て納得放射線障害防止法入門)	60分

エックス線等取扱者の登録申請書

(平成21年度)

鹿兒島大学教育学部 管理棟・増系研究室 X線分析実験室

フリガナ	氏名	性別	生年月日
所	学部・学科及び講座・研究室	職名又は学年	内線番号
風	E-mail address:		
登	他施設における放射線作業歴		
録	期 間	施設名	作業内容
			被ばく線量 (mSv)
	修 修 等		
中	利 用 課	<input type="checkbox"/> 教育学部自然系理科実験棟・X線分析実験室 <input type="checkbox"/> 上記以外 ()	
請	本 年 度 の 研 究 計 画	題目: (内部)	
者	こ れ ま で の 研 究 歴	題目: (内部)	
指 導 教 員	学 部	学 科 又 は 講 座	氏 名
			内線
			印

図2

使用した。なお本学部設置されているエックス線装置は粉末X線回折装置であり透過写真を撮影する装置には該当しないので、教育訓練の時間については法令では規定されていないが、他大学の報告例（例えば、馬場・宮田、2006；Baba *et al.*, 2005）を参考にして十分な時間を確保した（表2）。

4. 受講者数の推移

表3に平成17年度以降の受講者数の推移を示す。教育学部からの出席者数は毎年3名から5名と少数ではあるがほぼ一定に推移している。年度によって他学部からの出席者数が変わるので、これによって全体の出席者数が大きく増減している。農学部や工学部等で実施される教育訓練に参加できなかった人が本学部の教育訓練を受けていると推測される。その意味では全学に対しても一定の貢献をしたものと理解して差し支えないであろう。本教育訓練は地学セミナー（地学演習Ⅰ・Ⅱ）の時間に開催された。教育学部からの参加者の多くは「地学演習Ⅰ・Ⅱ」の受講者でもあるので、彼らに対する本教育訓練の位置付けをより明確に示すことができれば、より効果的であったと思われる。

表3. 受講者数と登録者数の推移

年度	受講者数*	登録者数
17	3(0)	4
18	7(4)	3
19	5(0)	1
20	11(7)	1
21	5(1)	1

*：（ ）内は教育学部外からの受講者内数

5. これまでの取組みと課題

年度毎の出席者数や訓練内容と講師の問題については、全学一斉の教育訓練であれば当然議論されるところであるが、本教育学部においてはエックス線等取扱者として見込まれる母集団の規模が小さいために教育訓練を評価する項目として適当であるとは思われない。

内容のレベルとしては、教育学部理科専修開講の地学概論Ⅱ（鹿児島大学ホームページのシラバ

ス参照）を履修していれば無理なく理解できるように工夫した。教育学部に設置されているエックス線装置は粉末X線回折装置だけなので、この点では受講者の多様な専門性と知識レベルに対応することを要求される全学的な教育訓練よりも内容の焦点を絞りやすかったといえる。一方、受講者の積極的な参加を促すことを目的として理解度を評価するためのテストは必要であったかもしれない。教育訓練を終了しテストをクリアした者に修了証を与えるなどし、エックス線等取扱者として認定してもよかった。欲を言えば、テキストを用意してより体系的に訓練するのが理想であったろう。

教育訓練の頻度については、規定では一年を超えない期間に実施することになっているので本来であれば同一年度に2回実施するべきであるが、現実問題として教育訓練の内容と受講者（数）を考慮して一年に1回の実施になった。実際にX線装置を使用する際には改めてマンツーマンでの訓練が必要になるので、実質的には2回以上の教育訓練になると言える。

X線の安全確保のためには、取扱者がエックス線装置の安全取扱いに関する十分な知識と技術などの能力を有する必要がある。教育学部としての教育訓練は昨年度で終了したが、今年度からは実際に粉末X線回折装置を使用した安全取扱の実習内容をより一層充実させ、受講者（利用者）が教育訓練に積極的に参加できる環境を整備するつもりである。それによってX線施設の安全管理体制の質が高まり、目には見えないが着実な安全意識の高揚に繋がるのではないかと考えている。

また教育訓練の実施体制の実情に合わせて、今後学部内の関係する規則を全学的な動向に沿って速やかに改正していく必要があると考える。

6. おわりに

昨年度まで設置されていた旧X線回折装置であるミニフレックス2005（理学電機）は、安全性には全く問題はないものの、設置された昭和56年から28年が経過して、装置の各所に老朽化が進行していた。特に気温が上昇する夏場は極度にX線強度が低下し、鉙物の同定はもはや不可能となり、

正課授業の学生実験において支障を来たしていた。

このような状況の下、平成21年12月にビルドアップ型多機能X線回折装置Ultima IV Protectus (リガク) への更新が実現した。この新しいX線回折装置(一式)の導入によって、(1)回折X線の高速・高感度測定(短時間で高精度の実験が可能)、(2)数値データ化された測定値をパソコン上で容易に解析(パソコン上でデータを保存・加工し鉱物同定が可能)、(3)情報化に対応した理科教員養成、等が効果として期待される。加えて本装置には、(4)インターロック機構(防X線カバーの開閉を確認後、X線を発生する構造)が装備されていることから従来の装置と比べて安全性が格段に向上したと言える。X線発生停止状態でなければ管理区域に立ち入ることが出来ない構造であるので、通常の使用法であればX線による被ばくの可能性は限りなくゼロに近い。

とはいえ、いかなる装置の安全性に関してもヒューマンエラーを完全に排除することは不可能であり、取扱者は装置の装備に関係なくX線とその安全に関する十分な知識と技能を研鑽する必要がある。エックス線等取扱者に対する安全教育は防護の基本である。教育学部においては今後もこのことを大前提として、全学一斉的教育訓練を補完する方向でより実習を重視したエックス線装置安全取扱の教育が実施されることが期待される。

謝 辞

毎年度のエックス線装置安全取扱教育訓練の実施に関して鹿児島大学教育学部総務係及び会計係の事務担当者をはじめ多くの方々に協力をいただいたことに感謝申し上げます。教育学部放射線障害防止委員会の各委員、地学教室の方々には多様な側面から貴重なご助言を頂きました。財団法人放射線計測協会業務課の担当者の方にはビデオの貸出しに関して大変お世話になりました。また国立大学法人化前に教育学部所属教員のエックス線作業主任者免許取得にご尽力くださった野邊正志氏(当時教育学部総務係長)にはこの場をお借りしてお礼申し上げます。

引用文献

- 馬場譲, 宮田孝元 (2006) 放射線安全取扱の新人教育について－東北大学における現状と課題－, FB News, No.352, 6-10.
- Baba, M., Miyata, T. and Watanabe, N. (2005) Beginners Training for Safe Handling of Radiation and Radioisotopes in Tohoku University. CYRIC Annual Report 2004, 145-146.
- 社団法人日本アイソトープ協会 JRIA ビデオ編集委員会 (2007) 見て納得放射線障害防止法入門, JRIAビデオシリーズ, 丸善.

付録. 配布資料(4) 教育訓練スライド縮小版

平成21年度

エックス線等取扱者に対する教育訓練

実施日時：平成21年6月2日(火) 13:00～

実施場所：教育学部 管理棟・理系研究棟3F 地学大実験室

訓練内容：X線発生装置の安全な取り扱い及び規則の説明

(1) 鹿児島大学教育学部エックス線障害予防規程

(2) X線回折装置ミニフレックス2005の安全取り扱い

♥ 鉱物を調べる方法

♥ 鉱物の定義

♥ X線とは

♥ X線の回折

♥ X線回折装置使用マニュアル

(3) 教育訓練用ビデオ視聴(見て納得放射線障害防止法入門)

教育学部地学教室：松井智彰(内線：7808)



エックス線障害防止に必要な教育及び訓練について

学部エックス線障害予防規程第18条が、毎年最低一回は教育訓練を実施することを定めている。(安全管理規則第19条第5項の規定により、学部長が取扱者に、教育及び訓練を施す。)

・実施項目

(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

教育学部に設置(登録)されているエックス線装置は、
X線回折装置ミニフレックス2005(理学電機社製)

(3) エックス線障害の防止に関する関係法令

労働安全衛生法、電離放射線障害防止規則

鹿児島大学放射線安全管理規則(関係HP参照)

(4) 予防規程

鹿児島大学教育学部エックス線障害予防規程

(1) 鹿児島大学教育学部エックス線障害予防規程

平成16年7月20日制定

(趣旨)

第1条 この規程は、労働安全衛生法(昭和47年法律第57号)、労働安全衛生法施行令(昭和47年政令第318号)、電離放射線障害防止規則(昭和47年労働省令第41号、以下「電離規則」という。及び鹿児島大学放射線安全管理規則(平成16年4月1日制定。以下「安全管理規則」という。)第4条第2項の規定に基づき、鹿児島大学教育学部(以下「本学部」という。)におけるエックス線装置の使用及びその他の取扱いによって起りうるエックス線障害の防止に関し、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、「エックス線装置」とは、電離規則に規定するエックス線を発生させる装置をいう。(電離規則第2条)

2 この規程において、「放射線業務」とは、エックス線装置の使用若しくはエックス線の発生を伴う当該装置の検査の業務又はエックス線管若しくはエックス線の発生を伴うこれらの検査の業務のことをいい、「取扱者」とは、エックス線装置の使用及びその他の取扱いに携わる者をいう。

(エックス線装置及び管理区域)

第3条 本学部で使用するエックス線装置の種類及び使用場所並びに管理区域は、別表第1のとおりとする。

2 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。

別表第1(第3条関係)

規定第3条に規定するエックス線装置の種類等

種類	設置場所	管理区域
エックス線回折装置	理科 エックス線分析実験室(地学)	しやへい(装置内)

実効線量 E ：身体すべての臓器・組織にわたって荷重された等価線量

$E = \sum w_T H_T$ (w_T ：組織荷重係数、 H_T ：等価線量)、単位はSv シーベルト

等価線量：放射線荷重係数 w_R で荷重された臓器・組織当たりの吸収線量

$H_T = \sum w_R D_{T,R}$ ($D_{T,R}$ ：放射線Rに対する臓器・組織当たりの吸収線量)

吸収線量：(エックス線によって)単位物質に付与されたエネルギー

(組織)

第4条 本学部におけるエックス線障害の防止に関する業務は、学部長が総括する。

2 本学部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、別表第2に掲げたとおりとする。

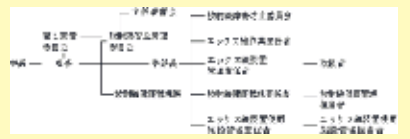
(放射線障害防止委員会)

第5条 本学部におけるエックス線障害の予防に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。

別表第2(第4条関係)

教育学部放射線障害防止安全管理組織



(放射線障害防止委員会)

第5条 本学部におけるエックス線障害の予防に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) **第6条** ・松井智彰

(エックス線装置管理責任者) **第7条** ・松井智彰

(放射線健康管理責任者) **第8条** ・事務長

(放射線健康管理担当者) **第9条** ・総務係長

(エックス線装置使用施設管理責任者) **第10条** ・事務長

(エックス線装置使用施設管理担当者) **第11条** ・会計係長



付録. (つづき)

(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。

2 エックス線管理責任者は、取扱者名簿をエックス線作業主任者を経て学部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) 管理区域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。

(施設及び装置の維持管理)

第15条 エックス線管理責任者は、別表第3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4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。

別表第3 (第15条関係)

規定第15条第1項に規定するエックス線装置の検査

検査	検査の項目
エックス線装置	1 表に掲げる部分の異常又は機能の有無
	(1) エックス線管装置及び加速管装置
	(2) 高電圧発生装置、エックス線制御装置及びエックス線管装置附属器具
	(3) ギニオメータ装置
	(4) カメラ装置
防護装置の点検	2 防護装置の有無
	3 エックス線装置室の構造
	4 管理区域の設定の必要性の有無
	5 遮えい放射線の有無及びその線量又は線量率

[注] エネルギー分散型エックス線装置については、試料室及び検出器は、ギニオメータ装置に含まれる。

別表第4 (第15条関係)

規定第15条第1項に規定する自主点検項目

区分	点検項目	実施者
施設の位置等	1 位置	エックス線管理責任者 施設管理責任者
	2 地盤れのおそれ	
	3 浸水のおそれ	
	4 周囲の状況	
主要構造部等	1 構造及び材料	施設管理責任者
	2 しゅうへい	
	3 線量	
管理区域	1 区域及び閉鎖設備	施設管理責任者
	2 床壁等の構造・表面仕上げ	
	3 線量	
	4 標識	

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たときは、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、エックス線作業主任者を経由して学部長に報告しなければならない。

(緊急時の措置)

第16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の発生のおそれがある場合には、直ちに電源を切る等の適切な措置を講じるとともに、エックス線作業主任者及び学部長に連絡しなければならない。

2 学部長は、取扱者が突如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 学部長は、前項の連絡を受けた場合には、速やかにその旨を学長を経て文部科学省その他関係機関に報告しなければならない。

(測定) 第17条

(教育訓練)

第18条 学部長は、取扱者に対し、安全管理規則第19条第5条の規定によりエックス線障害を防止するために必要な教育及び訓練を施さなければならない。

2 教育及び訓練の実施項目は、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 教育及び訓練の実施は、エックス線装置を初めて使用する場合にあっては使用前に、使用開始後にあっては1年を超えない期間ごととする。

4 前項の規定にかかわらず、第2項各号に掲げる項目に関し十分な知識及び技能を有していると学部長が認める者に対しては、その理由を記録することにより教育及び訓練を省略することができる。

(健康診断)

第19条 取扱者は、安全管理規則第20条第1項の規定により健康診断を受けなければならない。

2 学部長は、健康診断の結果に関し、その記録の写しを本人に交付しなければならない。

(記録等) 第20条 記録の作成と報告

(保存) 第21条 健康診断結果の記録の保存等

(雑則)

第22条 この規程の実施に関し、必要な事項については、防止委員会の議を経て、学部長が別に定める。

附 則

この規程は、平成19年7月17日から施行し、平成19年4月1日から適用する。

付録. (つづき)

(2)X線回折装置ミニフレックス2005の安全取り扱い

教育学部に設置されているX線回折装置ミニフレックス2005

設置年月日:昭和56年3月15日

製造元:理学電機

定格出力:30kV, 10mA

X線回折装置とは、結晶性物質にX線を照射して回折されるX線(の角度と強度)を測定する装置。回折されたX線の角度と強度の組み合わせ(回折X線プロファイル)から、測定した結晶性物質を同定する。

現在、教育学部における教育・研究用として利用されている

♥ 鉱物を調べる方法

簡単な方法から、より精密な分析へ

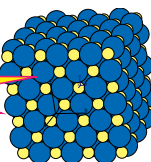
◆ 肉眼による観察

◆ 偏光顕微鏡による観察

◆ 粉末X線回折実験

◆ 化学組成分析

◆ 結晶構造解析

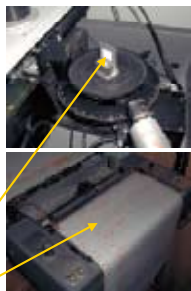


◆ 粉末X線回折実験

鉱物結晶の対称性と、X線の散乱(回折)現象を利用。未知鉱物の結晶構造と既知鉱物の結晶構造と比較して鉱物同定。



粉末X線回折装置



粉末試料

X線回折図形

◆ 化学組成分析

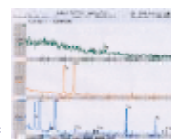
鉱物の化学組成を決定(湿式分析や各種非破壊分析による)。1960年代からは電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)が一般的に



電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)
(鹿児島大学FSRC機器分析施設)
EPMAによる定性分析結果



電子顕微鏡写真



◆ 結晶構造解析

単結晶の回折X線データを基に解析プログラムを使用し構造決定



4軸単結晶X線回折装置(鹿児島大学FSRC機器分析施設)

♥ 鉱物の定義

IMA(国際鉱物学連合)の新鉱物・鉱物名委員会によると、

A mineral is an element or chemical compound that is normally crystalline and which has been formed as a result of geological processes (Nickel, 1995).

(鉱物とは、地質学的作用の結果として生成された通常は結晶質の単体または化合物である。)

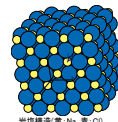
結晶:空間的に周期的な原子配列をもった固体物質

例外等

・いくつかの準鉱物(非晶質鉱物)

・氷(したがって雪の結晶も鉱物。しかし水は鉱物とみなさない。)

・水銀(液体でも鉱物とみなす。)



岩塩構造(実:Na, 青:Cl)

付録. (つづき)

♥ X線とは

◆ X線は電磁波

X線は波長が $10^{-12} \sim 10^{-8}$ m($0.01 \sim 100\text{\AA}$)程度の電磁波

電磁波: 電磁場の振動が伝播する現象

太陽コロナで発生し放出されるX線の一部は地球に届くが、大気層に吸収され地上には届かない

◆ X線の利用

X線を物体に照射した際に起こる主な現象

- ・熱
- ・透過X線・X線透過法(診療用X線装置、X線透視装置)
- ・蛍光X線・X線分光法(特性X線を分光分析して化学分析)
蛍光X線分析装置、X線マイクロアナライザー
- ・散乱X線・X線回折法(結晶質物質の結晶構造を解析)
- ・光電子: 光を吸収し、そのエネルギーを得て物質から外部に放出された自由電子(光電効果)

♥ X線の回折

◆ X線の発生

X線管球(真空管の一種)を用いる

フィラメントを加熱 \Rightarrow 熱電子発生

対陰極に高電圧 \Rightarrow 熱電子加速、対陰極に衝突 \Rightarrow X線発生

◆ X線スペクトルの特徴

・連続スペクトル・連続X線(白色X線)

最短波長(λ_{\min})は電子の全運動エネルギーで決まる
(電圧により変化) $\lambda_{\min} = hc/eV = 12.4/V$

h : プランク定数、 c : 光速度、 e : 電荷、 V : 加速電圧

電流を増減すると強度が増減する

・特性X線・X線を発生させた金属特有の波長をもつ
高速電子により電子軌道から電子が叩き出され、よりエネルギーレベルが高い軌道から電子が落ちて原子を安定化
このエネルギーの差 $\Delta E = h\nu$ (ν : 振動数)を
波長 $\lambda (= c/\nu)$ のX線に変換し放出

◆ X線の回折現象

- ・入射したX線と同じ波長のX線が発生し、原子を中心に球面状に広がっていく
- ・結晶の原子列にX線をあてると、各原子から同心円状に散乱X線が広がる

波の山と山の重ね合わせ \Rightarrow 強め合う

波の山と谷の重ね合わせ \Rightarrow 打ち消し合う

波の干渉

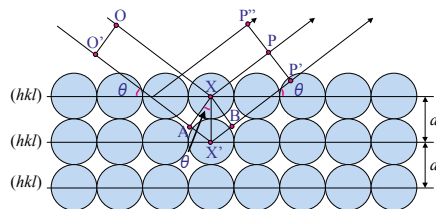
◆ ブラッグの条件

結晶に入射するX線が回折する基本原理(ラウエが明らかにした)の物理的意味を平易に示す

格子面間隔 d_{hkl} の結晶の(hkl)に角度 θ で入射し同じ角度 θ で反射する回折波を想定する

強め合う条件 \Rightarrow 光路差 = 波長の整数倍

◆ ブラッグの式



点O、O'で揃っている波の位相が、点P、P'においても揃うには、

光路差 $(AX' + X'B) = \text{波長の整数倍}$

すなわち、

$2d \sin \theta = n\lambda$ (n : 整数) ブラッグの式

♥ X線回折装置“Rigaku Miniflex”使用マニュアル

エクسس線装置管理責任者: 松井智彰

★ X線回折装置使用前に ★

利用者は、フィルムパッチを申請して必ず着用すること!!



(操作手順)

- 1) コンセントにプラグを差し込む。
- 2) PowerをONにする。(これと同時に自動的に循環冷却水が作動する。)



付録. (つづき)

