

1 MeV イオン加速器による PIXE 分析システムの開発と教育への適用

DEVELOPMENT OF PIXE SYSTEM WITH 1-MEV ION ACCELERATOR FOR EDUCATIONAL PURPOSE

宮丸広幸#, 安達 脩, 谷口良一, 奥田修一

Hiroyuki Miyamaru #, Osamu Adachi, Ryoichi Taniguchi and Shuichi Okuda
Graduate school of engineering, Osaka Prefecture University

Abstract

This paper describes recent development of PIXE (Particle Induced X-ray Emission) analysis with a 1-MeV ion accelerator at Osaka Prefecture University. The disktron-type accelerator has been developed for research and educational purpose. A video monitoring apparatus was newly installed to specify a beam irradiation position of a specimen surface. Beam current stability in time was examined and short-time drop of an acceleration voltage was found to cause large decrease of the current. A beam shape was monitored from the luminescence of a plastic scintillator. Several X-ray peaks were identified by PIXE analysis for natural minerals as a preliminary study. Further development is in progress for research and educational use.

1. はじめに

近年、大阪府立大学地域連携研究機構放射線研究センターでは 1MeV イオンビーム加速器を整備して、環境計測などに向けた PIXE 分析装置としての利用を始めた。本学ではこれまでこのような比較的エネルギーの高いイオン加速器は所有しておらず、大学院生等への加速器に関する教育効果がより高まると期待している。また今後の研究への活用も念頭に分析部周辺を整備して特色のあるシステムの開発を進めている。本論文では現状を報告する。

2. 加速器分析システムの概要

本加速器はシングルエンドの加速電圧 1 MV 未満の仕様である。加速方式はディスクトロンという円盤ディスクが回転し電荷を運搬する形式でバンデグラフの一種である。ディスク回転機構やイオン源などは直径 1m 高さ 1.8m 程の小型の金属製円筒タンク内に収められており SF6 ガスの充填により絶縁されている。加速部が小型であるため、大学の実験室にも設置できる利点がある。Figure 1 に加速器の概略図を示す。加速管を通して出てきた水素イオンビームは数十ミクロン程度まで制御可能な XY 方向の物理スリットにより絞られる。次にビームはウィーンフィルターを通過し、分子イオン等のイオン種の分離、選別がなされる。その後、2 つの円形アパーチャーを通してビームが整形され、ビームの走査を可能にする XY 方向の静電ステアラー電極板を通り、最後に四重極磁気レンズによって試料ステージ上でフォーカスされる。ビーム電流はイオン源からの引き出し直後では約 1 μ A で、試料位置では 1 nA 程度の強度が得られる。試料ホルダーは XY 方向に 1um

のステップ幅で上下左右 25mm 程度移動できる電動ステージに固定されている。ビーム径については直径が 0.2-0.3mm の円形スポットとして分析に用いている。分析チャンバー内に配置された X 線用のシリコン半導体検出器 (Amptek XR100SDD) により PIXE 分析が可能である。また、試料照射位置を観察できるようにガラス製ビューポートとビデオカメラを新たに設置して分析表面の位置決め用いている。現在は PIXE 分析を中心に整備を行っているが、分光器を用いたイオンビーム誘起光計測も検討しており、多角的な分析が可能になるよう整備を進めている。

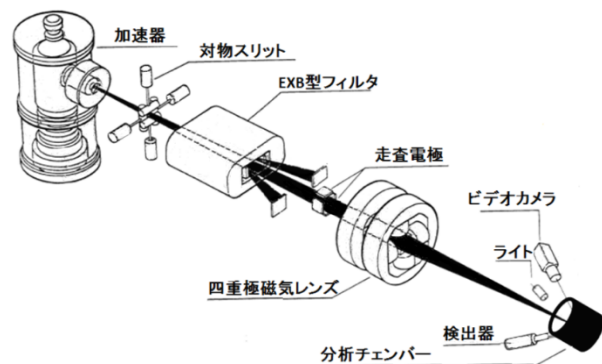


Figure 1: Schematic of the accelerator beam line.

3. ビームプロファイル測定

本加速器で得られるイオンビームのエネルギーが仕様により 1MeV 未満と限られているために主に PIXE 分析を中心に整備を進めている。PIXE 分析を精度良く行うにはビーム電流の時間的な安定性が求められる。Figure 2 には照射位置におけるビーム電流の時間的変動を測定した例を示す。このように概

miyamaru@riast.osakafu-u.ac.jp

ねビーム電流は 1.5nA を中心に安定しており、安定している時間帯だけを見るとの変動幅は平均値からの相対誤差 4%程度である。しかしながら図中の急激な電流低下に見られるように、加速電圧の一時的な低下がまれに生じその間の数秒間についてはビーム電流に大きな低下が見られることが分かった。長い測定時間による X 線ピークの積算ではこのような変動の影響は相対的に小さいが、短時間で試料を走査する場合のような各々の測定点のデータ収集時間が短い場合には問題となる。加速電圧の一時的な低下は抑制することが難しいため、これらの対策として高電圧の値を反映したアナログ出力値をモニターし変動があった際には、X 線の計測にゲートをかけるような仕組みを加えると有効である。

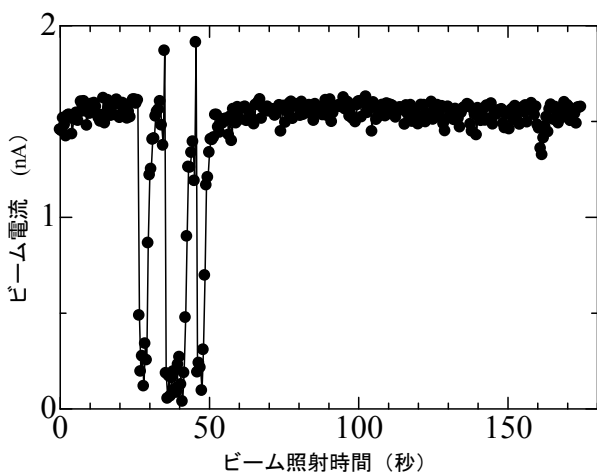


Figure 2: Fluctuations in beam current.

次に中性子計測用プラスチックシンチレーターを試料に用い、イオンビームを走査したときの発光の様子を Figure 3 に示す。照射により青色に発光するプラスチックシンチレーターからの光をビデオカメラにより観察することで、磁気レンズによるビーム収束の調整に利用している。これまでは金属スリット等を用いてビーム形状の測定をしていたが、このプラスチックシンチレーターを用いた調整法は数百ミクロンのビーム径の領域において視覚的にも明瞭な応答が得られる。たとえば磁気レンズに流す電流を制御することで、アウトフォーカスとなればビームスポットの径が拡大、縮小し、または縦横に細長くなるようなビーム形状の変化が測定できる。これを利用して磁気レンズによる収束の性質の学習に役立てている。このフォーカスされたビームを走査するために磁気レンズより上流側にあるステアラー用の静電電極板に最大 1.5KV 印加して XY 方向にビームを走査した。図はビームスポットの動きを逐次撮影し、それぞれの発光を重ね合わせたものである。この結果からは縦 2mm×横 3mm 程度の範囲においてビームの走査が可能であることが分かった。

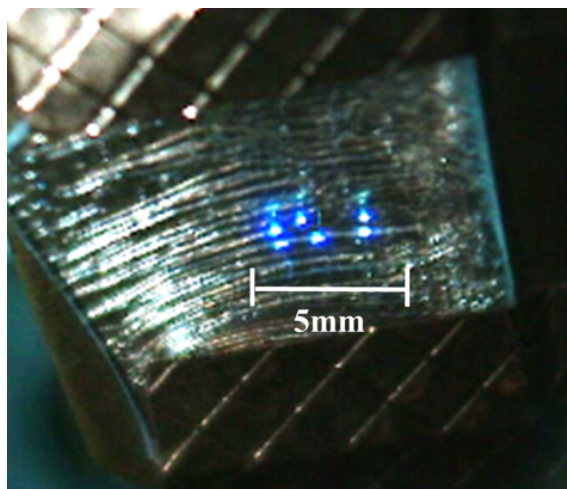


Figure 3: Luminescence of beam spots by ion irradiation to a scintillator material.

4. PIXE 分析

本加速器では PIXE による非破壊での表面元素分析とそのマッピングを特徴とするべく整備を進めている。現状では環境分析に関連した鉱物や植物試料をビデオカメラで視覚的に分析位置を選択し、その位置の PIXE 分析を行えるようになった。天然鉱物を対象とした場合にはシリカを主成分とする場合にはケイ素の K 線に対応する 1.74keV の大きなピークが得られ、硫黄やカリウムなどの少量混在元素が確認できる。また炭酸カルシウムを主成分とした鉱物ではカルシウムの K 線に加え、Figure 4 のようにイオンビームにより誘起された 2 次電子の制動放射によるブロードな信号が観測されている。軽元素を主成分とした低密度材料の表面からは制動放射による信号が大きく、微量分析に影響することが分かった。また表面状態の違いによってもこの制動放射の測定量に差異があることが分かった。

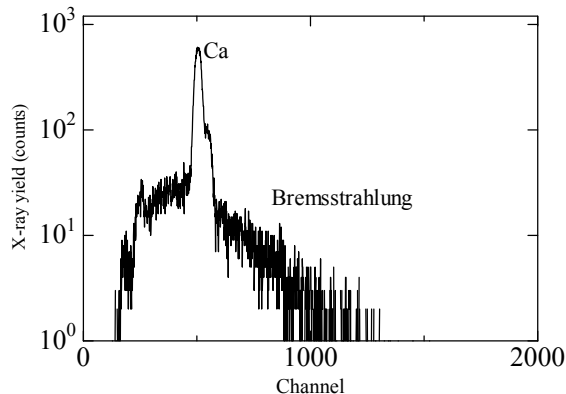


Figure 4: PIXE spectrum of a natural mineral (Calcite).

5. 教育的観点からの加速器の運転、調整

この加速器は比較的小型であることから、イオン源の立ち上げ、昇圧、ビームの取り出しとビーム形状の調整、走査など一通りの加速器の基本要素を運転者が一人で操作できる点が特徴である。この特徴を生かして大学院生への加速器教育に活用している。従来はパソコンでのマウス操作にて磁気レンズの調整などを行っていたが、より調整を実感できるように定電圧電源を配置し、アナログつまみとデジタル表示器を組み合わせることで様々なビーム条件を視覚化し、学生が自ら加速器を運転、調整することで加速器の基本要素を学習する機会を提供している。

6. まとめ

本加速器を用いた PIXE 分析のシステムは 2014 年に本学会で報告して以来、老朽化による様々な構成機器のトラブルに遭遇しつつも着実に整備や改修を進めた。現在ようやく加速器の動作は安定し、大学院生の研究教育に役立てることができるようになった。このような小型の加速器でもその性能維持や管理には多大な労力と金銭的負担が大きい。今後も様々な支援を得てこの特徴ある加速器を大学院教育と研究に活用したいと考えている。

謝辞

この研究の一部は、2015, 2016 年度 KEK 大学等連携支援事業の支援により行われた。