

## 1. はじめに

近年の環境化学分野において、Cd,Sn あるいは希土類元素などの重金属元素の挙動、すなわち対象となる試料中に、どの元素が、どこに存在するのか、(それらの情報が得られれば)どのような状態(化学形)でどのくらいの量であるか、を解明する手法が求められている。これに対し、X線はこれらの疑問の多くに答えることができる。特に放射光を用いた場合、「どのような元素がどこに、どのような化学形で存在するか」を明らかにするのを得意としたプローブである。数ある放射光施設の中でも SPring-8 は第3世代放射光と呼ばれる非常に輝度の高い光を利用出来る施設であり、この明るいX線を使って、 $1\mu\text{m}$  をきるようなマイクロビームが得られるようになっている。このようなマイクロビームを環境分析に利用すれば、1粒子、1細胞、あるいは微細構造など、これまではマクロな状態でしか分析できなかった試料において、よりミクロな空間分解能からの情報が得られることを示している。講演では SPring-8 におけるマイクロビーム(今の”はやり”で言えばナノビーム)の現状を紹介する予定であるが、ここでは、マイクロビームの新しい可能性として高エネルギーマイクロビームを用いた蛍光X線分析について述べる。

## 2. フレネルゾーンプレート(FZP)による高エネルギーマイクロビーム

放射光を使ってマイクロビームを得るにはいくつかの光学素子があるが、高いエネルギーのX線をマイクロビーム化するにはフレネルゾーンプレート(FZP)が用いられる。FZPは図1に示すようなもので、外側にいくほど輪帯幅が狭くなる回折格子である。実際にX線領域で使用するには直径 $50\mu\text{m}$ の金を芯線としてこの周りにCu(図1での黒い輪)とAl(図1での白い輪)を積層したものを適当な厚みに切り出したものを用いている。FZP全体の直径は $80\mu\text{m}$ 、最外輪帯幅は $0.25\mu\text{m}$ となっている。

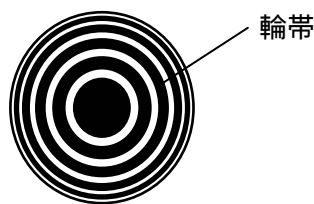


図1 フレネルゾーンプレート

FZPを利用した実験は SPring-8 BL37XU で行い、アンジュレータの高次光(10次光)と Si(111)の分光結晶を用いることにより、 $75.5\text{keV}$ のX線を得た。実験配置の模式図を図2に示す。FZPと集光点(分析点)の距離は $1350\text{mm}$ であり、集光点の手前には $20\mu\text{m}$ 角のスリットを配置した。試料はXYステージ上に保持されるので2次元スキャンが可能である。

試料から発生した蛍光 X 線は光軸と垂直に設置したエネルギー分散型検出器 ( Ge-SSD ) により計測される。

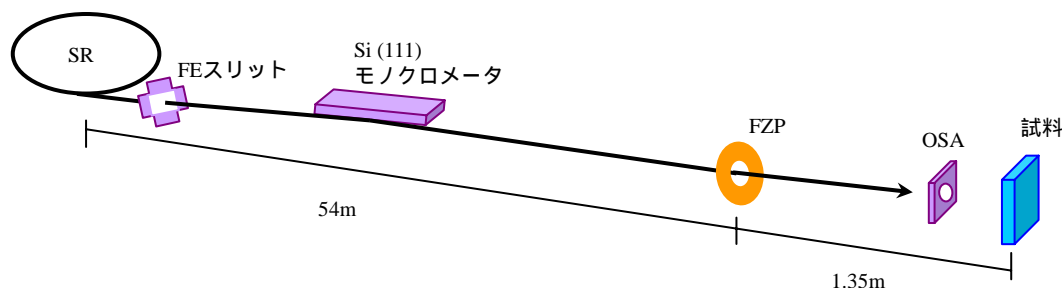


図 2 FZP による高エネルギーマイクロビーム光学系

以上の光学系において、ナイフエッジスキャン法により、75.5keV におけるビームサイズの評価を行った。その結果を図 3 に示す。焦点距離 1350mm において縦 2 $\mu\text{m}$ 、横 5 $\mu\text{m}$  のマイクロビームが得られたことが確認された。

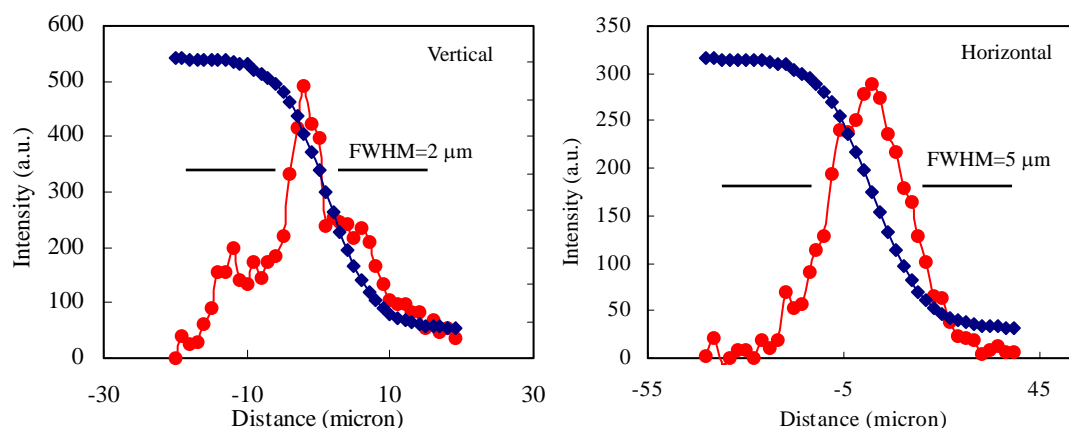


図 3 ナイフエッジスキャンによるビームサイズ評価

これらの実験は高エネルギー領域においてマイクロビームが実現できることを示したものであり、現在も継続して研究を行っている。本光学系の蛍光 X 線分析への適用例を図 4 に示す。試料は、Cd を 100ppm、Mo を 1ppm 添加したシダの茎である。あらかじめこれらの元素のマッピングを行い、濃集が見られた部分においてスペクトルを測定した。これにより、比較的短い時間で ppm オーダーの重元素を検出することができることがわかった。

本法は、これまでの放射光蛍光 X 線分析では達成出来なかった実験が可能であることを示唆している。例えば、希土類元素の K 線を検出できるのでこれを使って希土類元素個別に、しかもミクロンオーダーの空間分解能で情報を得ること可能となる。これからの環境分析には、“微小試料中に含まれる重元素のマッピング”が有用であると考えられるので、これを期に、このような実験、ひいては放射光を使った新しい環境分析にチャレンジして

頂ければ幸いです。

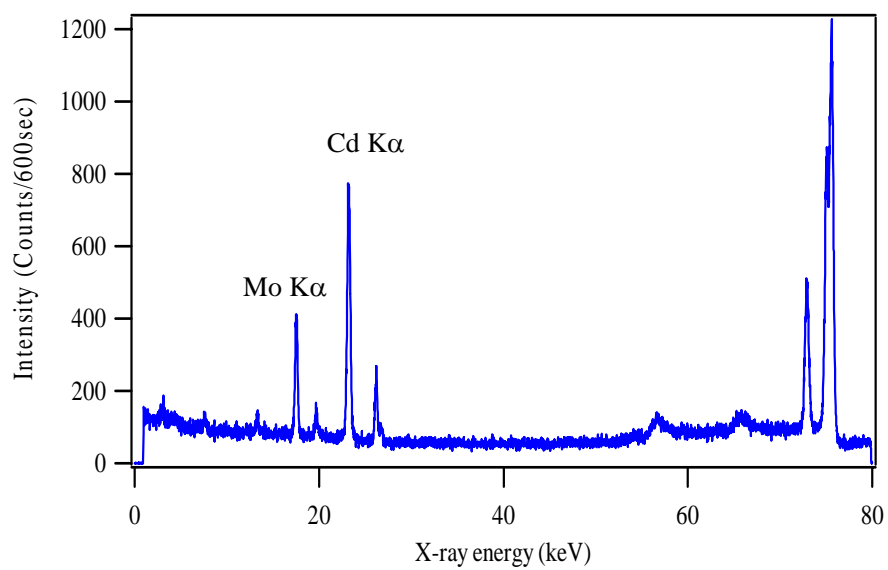


図4 植物切片のマイクロビーム XRF スペクトル