

# PF BL-4A X線マイクロビームとその応用

飯田 厚夫 (高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所)

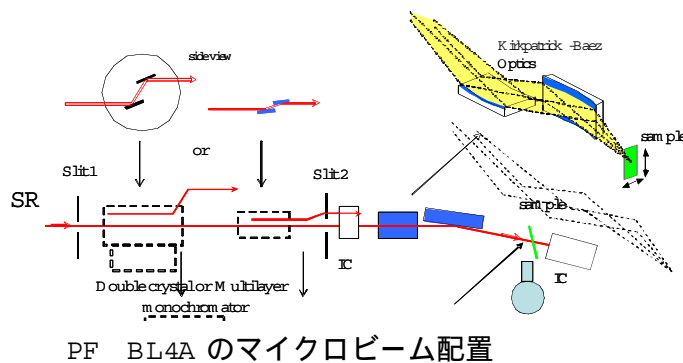
## 1. 背景

PFでは、'80年代からマイクロビーム光学系の開発が行われ、90年代からはマイクロビームを使った利用研究が発展してきた。BL4Aでは単色光マイクロビームによる蛍光X線分析を中心として、X線回折実験も行われている。本稿では、BL-4Aの現状を紹介するとともに、マイクロビーム利用研究の今後の可能性について述べる。

## 2. マイクロビーム蛍光X線分析

放射光蛍光X線分析の利用実験開始初期から放射光の特徴を最も生かした分析法はX線マイクロビームによる高感度微小領域分析であると考えられていた。逆に集光光学系の開発においても、身近な応用例として蛍光X線分析が行われることが多い。

BL4Aの光学系は楕円ミラーを用いた Kirkpatrick-Baez (K-B)型集光光学系である(下図)。標準的なビームサイズは5~6 $\mu\text{m}$ 角であるが、ピンホールを使用することにより(強度ロスに伴うものの)1~2 $\mu\text{m}$ のビームサイズも得られる。入射X線の単色化には2種類の分光器を使用している。蛍光X線分析には多層膜分光器を用い、検出限界は1ppm程度である。一方 $\mu\text{-XAFS}$ 実験には標準的な2結晶分光器を用いているが、検出限界は10ppm程度である。入射光のエネルギー範囲は、現在のところ約5 keV~16 keVである。測定雰囲気は大気中のみである。定常的にマイクロビーム蛍光X線分析に用いられている。蛍光X線分析はエネルギー分散型を標準としている<sup>1)</sup>。



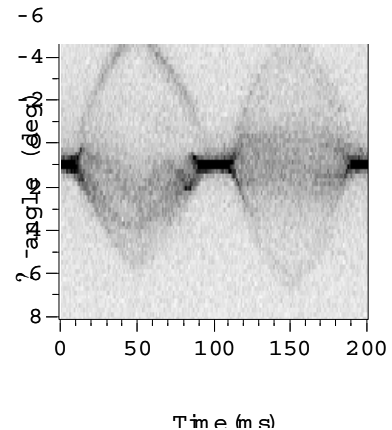
このシステムが共同利用実験に利用できるようになりほぼ10年が経つ。この間に行われた分析の対象は様々なものがあり、詳細はPF出版文献リスト<sup>2)</sup>を参照していただきたい。蛍光X線分析の非破壊性を生かした、生物系試料への応用例が比較的多い。元素の組織への蓄積状態(元素の2次元分

布)と顕微鏡観察による形態学的(病的)な所見とを対応させて検討するのが一般的である。生体に対する特定元素の毒性を組織レベルで研究した例や、がん部位における金属元素の定量を行って従来法との比較を行った結果などが報告されている。また毛髪・体毛・皮膚表皮などは、生体モニタリングの対象として広く用いられるが、元素の体内蓄積の診断にも用いられる。更に、人毛髪の成長方向の元素濃度分布を調べることにより元素取りこみの履歴についてもある程度の情報が得られる。また同様な関係は、魚類

の鱗の分析でも得られる。

### 3. X線回折実験

BL4A X線マイクロビームの運用は蛍光X線分析を中心に行っているが、一方でX線回折実験への応用も平行して行ってきた。この方面の研究には薄膜局所構造の解析、高分子成長過程の解析、液晶の局所層構造の動的解析例などがある。液晶の解析例を右図に示す。スメクティック液晶の電場印加時の局所層構造を解析するためには、試料がガラスの液晶セル中にあるため、種々の局所解析法が利用できない。これまでの長い間行われてきた偏光顕微鏡観察からの間接的評価から、始めて直接的な評価が可能になった。



スメクティック液晶の局所層構造の三角波電場に対する動的応答

### 4. 今後のX線マイクロビームの道

PF BL4A では数 $\mu\text{m}$  の空間分解能が、第3世代リングでは  $0.1\mu\text{m}$  オーダーのX線ビームが得られる。ビームサイズ(空間分解能)の面からは、X線以外のマイクロビーム手法と比較しても遜色のないものといえる。これらの集光技術はほぼ確立したものとなってきたので、今後の発展のポイントは放射光の特徴を生かした応用研究開発にある。

一方、さらにマイクロビームを高度化するための放射光源の候補の一つがE R L光源である。数  $10\text{nm}$  のビームサイズのナノビームが期待される。ナノ材料・メゾスコピック材料の直接的解析、単分子・クラスター・微粒子の構造解析、環境物質の微小粒子レベルの分析、多結晶体の単一結晶粒レベルでの解析あるいは3次元解析、などが原理的に可能になると思われる。しかし数  $10\text{nm}$  の X線ビームは、非破壊的であるとは最早言えないので、試料への適合条件の検討も必要となる。 $10\text{nm}$  レベルではナノビームと高分解能イメージングの相補的な利用が物質評価の上で重要となる。

さらにマイクロビームに対しても、今後はビームサイズ以外のビーム特性、例えば角度発散・偏光特性・単色性などが一般の放射光実験と同じように要求されることになる。これらの目的にあったマイクロビームにより、X線マイクロビームによる物質評価に新たな分野が拓けるものと期待している。

### 参考文献

- 1)PF BL-4A のホームページ : <http://pfwww.kek.jp/iida/index.html>
- 2)PF 出版文献リストのホームページ : <http://www.dbpf.pfcs.pf.kek.jp/bunken/>