

2 県有ビームライン

1. はじめに

2010年度下期に6本目の県有ビームラインであるBL07の供用を開始して以来、全てのビームラインにおいて順調にシンクロトロン放射光の利用を行った。また、2018年度においても引き続き、シンクロトロン放射光利用技術の高度化を継続的に行った。これらの概要について、以下に示す。

2. 県有ビームラインの現状

表1に県有ビームラインの概要について示す。40 eVから35 keVの幅広いエネルギー範囲で、シンクロトロン放射光を利用した様々な実験が行えるようになって

ている。BL18は株式会社ニコン殿により他機関ビームラインとして設置されたものであり、同社の開発期間終了後に佐賀県に寄贈された。しばらくの期間、放置された状態であったが、本年度より真空の復帰や基礎データの取得など再稼働の準備を進めている。

3. 県有ビームラインの高度化・保守

利用者の利便性を高めるために2018年度に行った主な機器導入等の高度化は以下のとおりである。

- ① 高調波除去ミラー (BL11)

表1 県有ビームラインの概要

| ビームライン | 光源 | 光子エネルギー | 主な実験手法 |
|--------------------|-------------------|----------------------------------|--|
| BL07 バイオ・イメージング | 超伝導ウィグラー (4 T) | 5 keV – 35 keV 白色光 (ピーク 8keV) | <ul style="list-style-type: none"> ・ タンパク質 X 線回折 ・ X 線イメージング (CT) ・ 高エネルギー-XAFS ・ X 線マイクロビーム利用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 蛍光 X 線分析 ・ 照射 (放射線効果) |
| BL09 照射・結晶構造 | 偏向電磁石 | 白色光 (ピーク 4 keV) | <ul style="list-style-type: none"> ・ 照射 (放射線効果) ・ 白色・単色 X 線トポグラフィ |
| BL10 ナノサイエンス | 偏光可変 アンジュレータ | 40 eV – 900 eV | <ul style="list-style-type: none"> ・ 光電子顕微鏡 ・ 角度分解 X 線光電子分光 <ul style="list-style-type: none"> ・ NEXAFS |
| BL11 局所構造 | 偏向電磁石 | 2.1 keV – 23 keV | <ul style="list-style-type: none"> ・ XAFS ・ X 線小角散乱 ・ 蛍光 X 線分析 |
| BL12 表面界面 | 偏向電磁石 | 40 eV – 1500 eV | <ul style="list-style-type: none"> ・ NEXAFS ・ X 線光電子分光 |
| BL15 物質科学 | 偏向電磁石 | 3.5 keV – 23 keV | <ul style="list-style-type: none"> ・ X 線回折 (薄膜、粉末) ・ X 線反射率測定 ・ 単色 X 線トポグラフィ |
| BL18 | 偏向電磁石 | ～ 92 eV | <ul style="list-style-type: none"> ・ EUV 照射 |

BL11に設置した高調波除去ミラーの外観を図1に示す。ミラー基板は(株)ジェイテックコーポレーション、駆動部及びチャンバーは(株)リガク相原精機により製造された。

硬X線ビームラインでシンクロトロン光の単色化に用いられている2結晶分光器では、目的とする基本波の他に高調波と呼ばれる高エネルギー成分が原理的に混入することが知られている。この高調波混入はXAFS測定においてスペクトルを歪ませる一因となり、X線ミラー反射率の視斜角依存性を利用して集光と同時に高調波を除去することが一般的におこなわれている。しかし、BL11のX線集光ミラー設計は常用するエネルギー範囲(6~14 keV)に最適化されているため、5 keV以下の低エネルギーでは高調波除去が充分には機能しない。低エネルギー使用時にはミラー視斜角変更による除去率向上も行っているが、集光特性の劣化や装置の光軸合わせに時間を要するなどデメリットも多い。そこで、集光ミラーに依らずに低エネルギーでの高調波混入率をより低減させるため、高調波除去専用のミラーシステムを導入することにした。

本ミラーシステムでは、使用するエネルギー範囲(2.5~6 keV)に吸収端を持たないNiをコート材とする平面ミラーを2枚使用し、浅い視斜角による高い反射率と高調波除去性能を両立している。また2枚のミラーを(+、-)配置にして平行出射させることで、後段装置の光軸合わせを容易にした(図2)。

図3は、高調波除去ミラーシステム導入前と導入後の高調波の混入率を計算(破線) および実測(●、●、■)で求めたものである。XAFSスペクトルの測定の場合、高調波の混入率は一般的に、1000分の1から10000分の1程度以下に抑えることが求められている。しかしながら、導入前においては高調波を除去することが十分にできていない。一方、導入後においてはほぼ設計通りに高調波の除去効果が表れている。ミラーの反射率を考慮し、4.5 keV以上のX線を利用する場合は視斜角を0.25° (4.4 mrad) に設定して使用し、また、それ以下のエネルギーを利用する場合は0.65° (11 mrad) に設定して使用することとした。

Ag箔(1 μm厚)から得られたAg L_α端でのXAFSスペクトル(上図)とEXAFS振動(下図)を図4に示す。

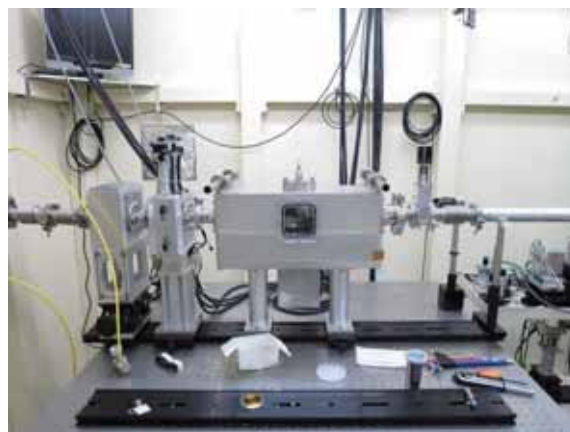


図1 BL11 第2実験ハッチ上流側の架台に設置した高調波除去ミラーシステム。



図2 (+)配置に設置した2枚のミラー。上流側(左側)ミラーは上面でX線を反射し、下流側(右側)ミラーは下面で反射する。

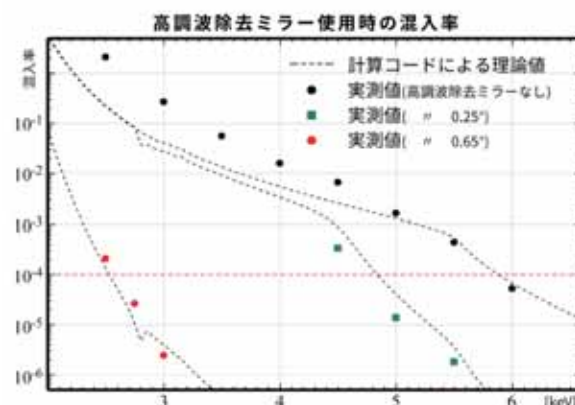


図3 高調波除去ミラー導入前後での高調波混入率の変化。破線は計算値。凡例中の数値は、ミラー表面に対するX線の入射角度(視斜角)を示している。

高調波除去ミラーを使用していないXANESスペクトル（上図、赤実線）では、他のスペクトルと比較し明らかにスペクトル形状がひずんでいる。高調波除去ミラーを使用したものでは、他の高調波除去の方法を使用して得られたスペクトルと同様な形状のスペクトルが得られていることがわかる。加えて、EXAFS振動（下図）も、高調波除去ミラーを使用したものは、その振幅は他の高調波除去の方法を行ったものと同等になっている。このようなことから高調波除去ミラーを導入することで、低エネルギーX線領域においても、精度の高いXAFSスペクトルが得られるようになった。

4. まとめ

ビームライングループでは2018年度を通じ、6本の県有ビームラインの維持・管理を行った。また、県有ビームラインの利用者に対する利用支援を継続的に行った。一方、これら日常業務に加え、ユーザー利用の利便性を高めるために、測定装置等の導入を新たに図り、それら装置の立上げや、利用技術の高度化に関する研究開発を引き続き行った。また、(株)ニコン殿より譲渡を受けたビームラインを7本目の県有ビームラインとして使えるよう整備を進めている。

九州シンクロトロン光研究センター
ビームライングループ
岡島 敏浩

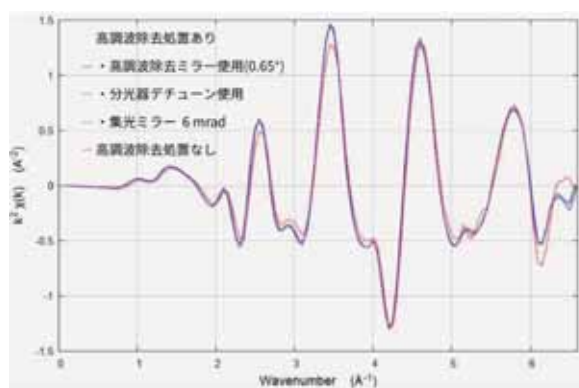
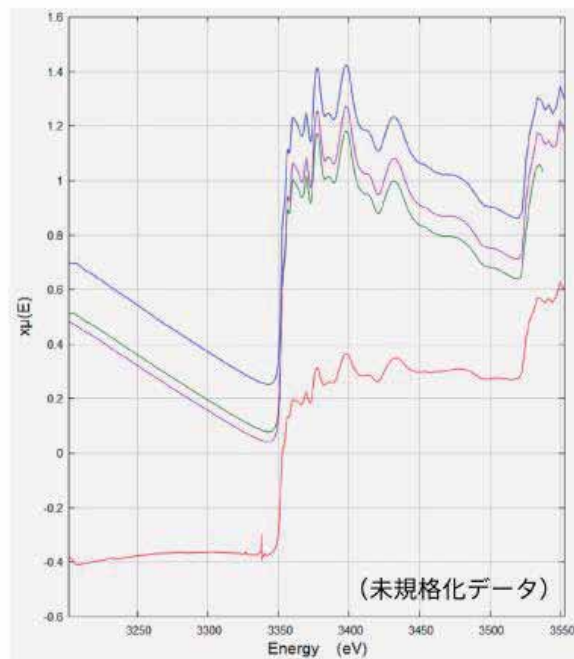


図4 高調波除去ミラーシステム導入前後のAg L₃端のXANESスペクトル（上図）とEXAFS振動（下図）。高調波の除去は高調波除去ミラー、デチューン、ビームラインに備え付けの集光ミラーの視斜角を深くすることにより行っている。