

## SPring-8 BL39XU 評価報告

委員長 河田 洋(高エネルギー加速器研究機構)  
飯田厚夫(高エネルギー加速器研究機構)  
城 健男(広島大学先端物質科学研究科)  
新庄輝也(財団法人国際高等研究所)  
Andrei Rogalev (ESRF)  
George Srajer (APS)

### 1. はじめに

本評価委員会は平成15年10月20～21日の2日間、SPring-8 で開催された。本委員会には予め、

- 1) Beamline Report BL39XU (Magnetic Materials)
- 2) SPring-8 Overview

の資料が送付され、全委員から事前に個別意見書が委員長に提出された。委員会当日には、4名の国内委員が出席し、施設側から SPring-8 の全体説明、ビームラインの視察、及びビームライン担当者からの詳細説明を受け、質疑・応答、意見交換を行い、個別意見書も参考にして、以下の評価報告書を取りまとめた。

BL39XU は X 線磁気円二色性(XMCD)・X 線磁気散乱(XMD)と蛍光 X 線分析という二つの異なるアクティビティーを展開するためのビームラインとして1996年に建設がスタートし、1997年には利用実験を開始している。内部スタッフとサブグループのユーザーとの協力により、2000年には当初目標としたビームラインの仕様を満足するまでに至り、2002年前期まで XMCD、XMD と蛍光 X 線分析の両方のアクティビティーが展開された。2002年後期から蛍光 X 線分析は新しく建設された BL37XU に移動し、BL39XU は XMCD、XMD に特化して運営されている。

本評価委員会ではこのような BL39XU の歴史を踏まえて、過去5年間のアクティビティーに関する評価は XMCD・XMD と蛍光 X 線分析の両者に対して行い、一方、将来に関する提言に関しては、XMCD・XMD に重きを置いて検討し、その結果をまとめた。

### 2. ビームラインの装置技術に関して

- 1) XMCD の実験において非常に特徴ある、かつ世界でこのビームラインだけで実用化しているハードウェアは X 線移相子技術であり、すべての偏光状態を実現できるだけでなく、高速偏光切り替え(100Hz)、とロッキングアンプとの組み合わせによって非常に S/N の高い計測( $10^{-5}$ )を可能としている。
- 2) XMCD の試料環境に関して通常の簡便な電磁石によって2T、20～300K までの磁場、および温度領域が実現され、また超伝導磁石を導入することによって、10T、1.7～300K までの試料環境を実現している。またユーザーとの協力で

ダイヤモンドアンビル下での実験を可能としている。このような試料環境の多彩さは高く評価される。

- 3) XMD に関しては主に 90 度磁気ブラッグ散乱実験を移相子と組み合わせた実験が展開されている。また温度、磁場、圧力領域もユーザーの持ち込み装置ではあるが、1.5 ~ 300K、6T、20GP の装置が立ち上げ中である。しかし 2 軸の回折計をベースとしているために通常の X 線磁気散乱(共鳴、非共鳴)の実験を行うことは困難である。
- 4) 蛍光 X 線分析に関しては、超微量分析、マイクロビーム分析、波長分散型分析、全反射分析の4つの重要な放射光分析手法が早い段階から整備・実現された。いずれも第3世代放射光源の高輝度特性を利用したものである。他の第3世代施設ではマイクロビーム技術に特化する傾向が強いのに対して、本ビームラインにおける分析的視点での装置技術の整備は高く評価されている。今後更なる新規性への挑戦は新しく建設された BL37XU で発展するものと考えられる。

### 3. 研究成果に関して

#### 1) XMCD

偏光変調法によって得られる高い S/N は希薄試料の測定を可能とするだけでなく、磁場変調法では測定が困難な元素選択的磁化測定 (Gd/Fe 多層膜等)、強磁場下における磁気相転移測定 (Mn<sub>3</sub>ZnC)、高圧下での磁性状態変化 (Fe<sub>4</sub>N)、Pt/Co 二層膜における Pt 中の磁化分布等で代表される研究が特筆する成果として上げられる。XMCD は軟 X 線 MCD と比較すると、Pt のような 5d 遷移金属を除いて「直接磁性を担う外殻軌道に内殻電子が双極子遷移しない」という状況にあり、更なる理論家との連携がスペクトル形状を理解するうえで重要である。一方で高圧等の試料環境を変化させて測定することが容易であり、そのような研究テーマが積極的に展開されつつあり、また今後も重要な研究分野となると理解できる。

#### 2) XMD

本ビームラインでは非共鳴磁気散乱実験が 90 度散乱法を用いてかつ磁場反転法ではなく偏光反転法を用いて測定されている。その特徴は LS 分離であるが、一方で磁場反転法では測定不可能な補償温度での測定が行われている (Ho<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)。また、共鳴磁気散乱の実験も行われているが、出版までには至っていない。

#### 3) 蛍光 X 線分析

課題数、ビームタイム、論文数の統計からも分かるように、蛍光 X 線分析関係の仕事が本ビームラインのアクティビティーの約半分を担ってきた。例えば本ビームライン関係の既掲載論文 50 報中、放射光蛍光 X 線分析に関係した文献は約 25 報ある。一方そのうち約半数が装置の開発を主たる目的とした論文とみなされるが、この間の放射光蛍光 X 線分析の主要なアクティビティーが装置開発・立ち上げにあったことを反映している。特記すべき成果はマイクロビーム分析装置

と波長分散型分析装置である。実用分析への応用は、生医学的な分野を中心に約10報と思われるが、これまでのところ特定のグループに偏っている。既報以外の分野の課題もリストに見られるが、比較的最近の提案であるので今後の新しいBL37XUでの展開と合わせて分析成果を期待する。

#### 4) その他

上記以外の研究成果として、蛍光 X 線ホログラフィー、移相子を利用した単分子膜の全反射偏光 XAFS、X 線発光分光による電子状態測定が行われている。

全体として5年間で50報の論文出版は決して低くないレベルであるが、概してXMCD、およびXMDの出版が配分マシントイムに比較して少ない状況にある。今後、磁性研究に特化していくに当たり、出版率を上げる方策を検討する必要がある。

### 4. ユーザーに対する運用と支援に関して

- 1) 申請課題の分野毎の分布と配分シフトとはほぼ比例しており、2つの異質な分野(XMCD・XMDと蛍光 X 線分析)が共存したビームラインとしてこれまでの運用に著しい不均衡は無かったようである。
- 2) 採択率が50%程度という状況は2つのアクティビティーの共存が解消された2002年後期も続いており、XMCD・XMDの分野が活発な研究活動を行っていることを示している。また50%の採択率はよい意味での競争があり、高い研究成果を生産するに当たってよい状況と考えられる。
- 3) 現在、本ビームラインには二人のビームラインサイエンティストが従事している。非常に高い実験技術を有するスタッフであり、この5年間の特筆すべきビームライン技術の構築に貢献してきている。今後、そのユニークな装置技術を生かした優れた研究が展開されることが期待できる。今後、物質科学の観点からのアドバイスを行う人材もしくは組織を有することは非常に効果的と考えられる。
- 4) 蛍光 X 線分野の発展に対しては、専門の内部スタッフを欠いていたが十分な装置開発及び利用研究が達成されている。このことはユーザーグループの貢献が大きいものと考えられる。

### 5. 技術・科学的発展の将来に関して

評価資料に提案されている 1. 測定環境の拡張(超低温、超高压、強磁場、高温)、2. XMCD 顕微鏡の開発、そして3. XMD に対して多軸回折計の導入により、基礎科学と工業的応用の両面にわたる磁性研究を展開していく構想は基本的に妥当な判断と言える。しかし一方で現有のマンパワー、および実験ハッチの大きさで、上記の3つの装置開発およびその研究を進めていくことに関しては疑問がある。いずれの項目も重要な応用を控えており展開すべきテーマではあるが、現有のスタッフでたとえば XMD の多軸回折計を十分に立ち上げていくことは手に余る可能性が高い。一方、評価委員会としても強磁性体だけを研究対象としている XMCD だけでは十分な研究環境を与えるものではないと認識している。その意味で、多軸回折計

を導入し反強磁性体までその研究分野を広げることの意味は十分に理解できる。

## 6. 提言

- 1) BL39XU の将来展開として、XMCD をベースにした研究に特化し、その部分で十分な研究環境を整備すると同時に、研究の方針に関して先で述べたようなアドバイザー役の組織を構築する。たとえば、具体的な研究の対象としては、( ) 磁性薄膜界面磁性、II) 超微粒子の磁性状態、III) 高圧等の特殊環境下での磁性の消失・出現、等々が考えられる。
- 2) XMD に関しては、6軸回折計を導入、反強磁性体まで研究分野を拡大することは非常に重要な観点である。これを導入するには人的手当てを含め、またその研究を展開するビームラインに関しては、BL39XU 以外のビームラインの可能性も含めて検討すべきである。
- 3) 磁気記録材料、たとえば磁気ドット等の応用を展開するためには、XMCD 顕微鏡の開発は重要な応用分野である。XMCD による応用は強磁場下での観察を容易にすると同時に超高真空を必要としないため、早急に展開すべきテーマである。
- 4) 今回参考としたビームラインレポートのパブリケーション・リストには、マシンタイムを利用しているにも関わらず、出版までに至っていない課題が数多く存在している。それらの出版を促進するとともに、出版には至らなかった状況を確認する必要がある。
- 5) 上記の提言であるように、XMCD 顕微鏡を推進すべきとした。一方、基本的なビームライン要素として2結晶モノクロメーターのピンポイント冷却によるパフォーマンスの劣化は、そのようなマイクロビームの実験に影響がある可能性が高く、高負荷デバイスへの転換を早急に検討すべきであろう。また高圧実験をひとつの重要な実験項目とするのであれば、ビームラインとして2次元集光システムを導入することも検討が必要と考える。

## 7. まとめ

BL39XU は今後も存続及び更なる発展を図るべきと判断する。

XMCD・XMD は本ビームラインの世界的に特筆すべき X 線偏光変調技術により高い S/N を有する実験データ - を容易に測定することが可能であり、その技術を中心にアクティビティーが展開されてきた。今後、極端条件下での計測を容易に出来るように整備する事、また研究の方針に関しては前節で述べたようにアドバイザー役の組織を構築する事によって、更なる発展を図るべきである。

蛍光 X 線分析に関しては、BL39XU ビームラインを用いて放射光蛍光 X 線分析の主要な装置の開発が終了し、それらを用いた利用研究が始められていることは十分に評価できる。今後の新しい BL37XU での更なる展開を期待する。