

## BL25SU 軟X線固体分光ビームライン

BL25SUは、ツインヘリカルアンジュレータを光源とする共用の円偏光軟X線ビームライン(BL)であり、1998年の供用開始から現在まで固体物性分野を中心に各種軟X線分光研究によって成果を挙げてきた。今回、2012年度からスタートした文部科学省・元素戦略プロジェクト(研究拠点形成型)〈磁性材料研究拠点〉において、軟X線ナノビームを利用した磁気解析が必須とされたことをはじめ、今後のより先端的な利用研究ニーズに応えるため、2013年度にBL25SUの大規模な改造を行い、ナノビーム、および、マイクロビーム利用の基盤整備を実施した<sup>[1]</sup>。改造後のBLでは、ビーム径 $\phi$ 100 nm以下の軟X線集光ビームを利用するナノビームブランチ(B-branch)と、ビーム径数 $\mu\text{m}$ ～数100 $\mu\text{m}$ を利用するマイクロビームブランチ(A-branch)の2ブランチ構成とした。各ブランチの利用は、前置鏡の切り替えによる排他選択方式となる。特徴の異なる2つのブランチにより、ナノからマクロまでの領域をカバーするマルチスケールの軟X線分光研究が可能となる。以下、2013年度について、1. BL改造前の利用状況を示した上で、2. BL改造の概要、3. BL改造に伴う各実験装置の対応、4. 2014年度の計画、の順で報告する。

### 1. BL改造前の利用状況

2013A期は16課題(計186シフト)、2013B期は17課題(計159シフト)を実施した。2013A、2013Bを通じ、BL光学系と実験装置に大きなトラブルは発生せず、順調に利用実験を完了した。図1に2013年度における各実験

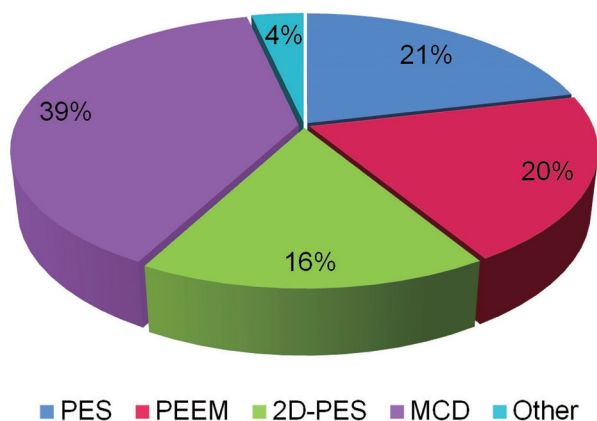


図1 2013年度におけるBL25SU各実験手法の利用割合(BL担当者調べ)。

手法の利用結果を示す。図1において、PESは光電子分光装置、2D-PESは二次元表示型光電子アナライザー、PEEMは光電子顕微鏡の利用課題を示している。また、軟X線MCD(磁気円二色性)については、電磁石式軟X線MCD装置とパルス強磁場軟X線MCD装置を同時に使用する課題が含まれるため、両装置の利用シフトを合算した。本統計は、PES以外でキッカーによる円偏光反転が利用されていることから、その利用率が約75%に達することが分かる。また、最近5年間で、各実験手法の利用割合に大きな変化はない。

一方、2013年度には、3件の萌芽的研究支援課題が実施され、そのうち1件の課題責任者でもある奈良先端科学技術大学院の松井公佑氏が第5回SPring-8萌芽的研究アワードを受賞する成果を挙げた<sup>[2]</sup>。2013年度出版された査読付き論文数は、2014年4月1日時点で22件の登録(1998年～2013年度の総数は336件)となっており、最近5年間の平均とほぼ同数となっている<sup>[3]</sup>。

### 2. BL改造の概要

本改造は、理化学研究所と高輝度光科学研究センターによるビームライン高度化事業、および、文部科学省「元素戦略プロジェクト(研究拠点形成型)〈研究磁性材料研究拠点〉」の支援を得て実施された。従来のBLでは、4～5台の実験装置がタンデムに設置された単一のBLであったが、本改造ではナノビームとマイクロビームの相補利用によるマルチスケール解析を可能にするため、ナノビームブランチ(B-branch)とマイクロビームブランチ(A-branch)の計2本のブランチを建設した(図2)。A、B各ブランチの名称は、実験ホールに近い側をA、リング側をBとしている他の既設BLでの方式に沿って定義した。また、ナノビームやマイクロビームなどの集光ビームを利用した実験では、軟X線ビームと試料の間の相対位置関係が安定に保たなければならない。しかし、従来のBL25SUにおいては、実験装置が高さ1.9 mのデッキ上に設置されていたことを原因とする振動が問題であった。改造後のBLでは、実験ホール床面上に光学コンポーネントと実験装置を配置し、振動問題が解消されたことで、集光ビームの利用に適した環境が実現した(図3)。更に、後置集光鏡を各実験装置用に専用化したことで、特に、PES装置、PEEM装置、電磁石式軟X線MCD装置の実験において、試料上でのビーム照射面積が少なくとも従来BLの1/10に縮小され、より微小な試料への対応が可能となった(詳細は文献[1]を

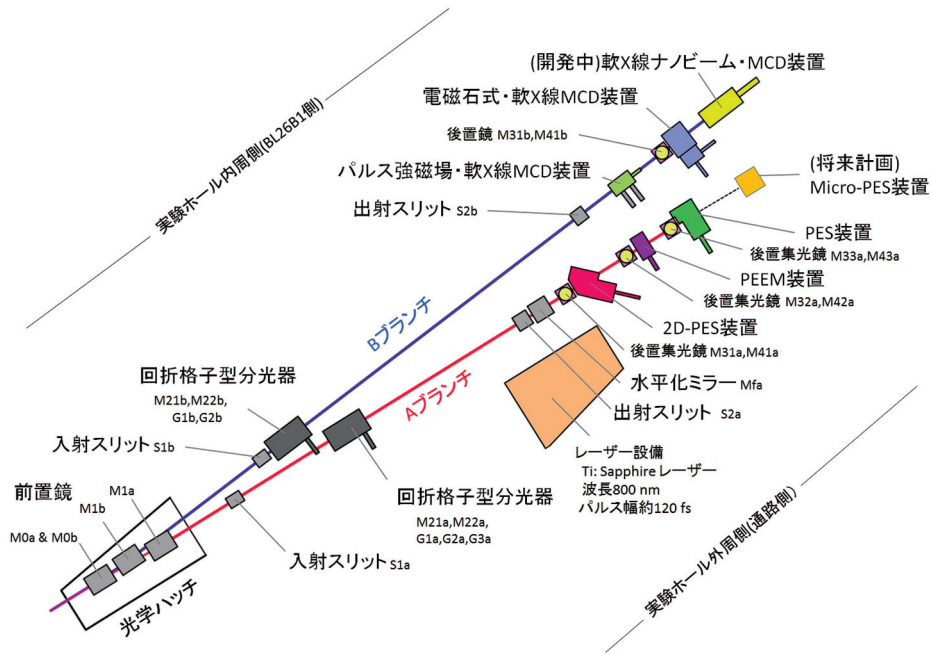


図2 改造後のBL25SUレイアウト<sup>[1]</sup>。Mはミラー、Gは回折格子、Sはスリットを表す。各光学コンポーネントに添えた記号a, bは、それぞれ、A, Bブランチ用のコンポーネントであることを示す。

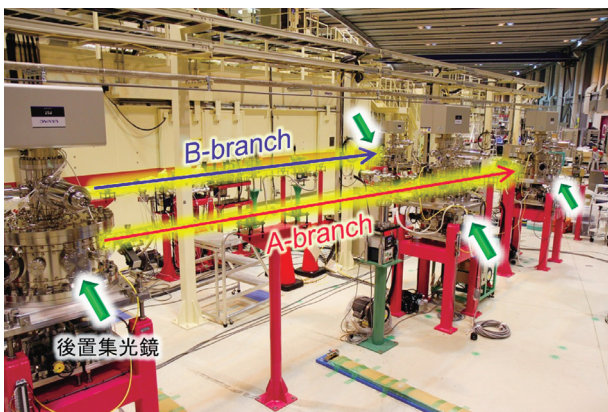


図3 改造後のBL25SUにおいて各実験装置設置前の様子。緑の矢印は各実験装置専用の後置集光鏡。

参照)。一方、B-branchの最下流では、集光レンズにFresnel Zone Plate (FZP) を用いて $\phi 100 \text{ nm}$  (FWHM)の軟X線ナノビームを生成し、そのMCD実験により元素戦略プロジェクトの磁石材料研究を推進する。

### 3. BL改造に伴う各実験装置の対応

旧BL25SUでは、デッキ床面からのビーム高さが約1200 mmであった。一方、改造後には、A-branchで1532 mm、B-branchで1344 mmとなるため、各実験装置では光軸高さの調整等を行った。以下、各実験装置の対応について示す。各装置の試料位置におけるビームサイズの設計値については文献 [1] を、また、実測値については2014年度の年報等で報告する予定である。

#### A-1. 2D-PES装置

本装置はA-branchに設置する実験装置のうち最上流に位置するため、PEEM装置またはPES装置を使用する際には、2D-PES装置内、または、別途真空パスを設置してビームをそのまま通過させる必要がある。2D-PES装置内には光軸に沿って最狭部 $\phi 5 \text{ mm}$ の筒状アパチャーがあるため、使用エネルギー等の条件によっては、全光量が下流に通過できない場合がある。そのため、架台の嵩上げ分(332 mm)を利用して、装置全体をビームラインに設置、または、ビームラインから退避するためのレール式移動機構を設置した。原則として、2D-PES装置よりも下流側で実験する場合には、このレール式移動機構を利用した装置退避を予定している。

#### A-2. PEEM装置

装置本体を光軸高さに調整するため、332 mm相当の嵩上げ架台を製作して対応した。また、時分割実験用のレーザー設備は、新設のレーザーブース内に設置した(図2参照)。レーザー光は、主にケーブルラダーに沿った遮光パスを設置してPEEM装置に導入する予定である。

#### A-3. PES装置

微小試料における電子状態解析を推進するため、本装置をA-branchの第3ステーションに設置した。その際、試料準備チャンバーユニットについては332 mm相当の嵩上げ架台を製作してビーム高さの変更に対応した。また、後置集光鏡チャンバーとの干渉を回避する必要を生じた測定チャンバーユニットについては、架台を新規製作して対応した。

## B-1. パルス強磁場軟X線MCD装置

本装置は、S2bスリットから後置集光鏡を介さずに試料に軟X線ビームを照射する場所に配置した。ミラーによる光量低下を回避してフラックス重視の実験を行うためである。また、下流側にビームを通過できない装置構造を有するので、B-branchで必要とする144 mmの嵩上げ分を満たす移動式レール機構を製作し、実験終了後にビームラインから容易に退避可能とした。

利用研究促進部門

分光物性IIグループ

中村 哲也、小谷 佳範

辻 成希、木下 豊彦

応用分光物性グループ

室 隆桂之、大河内 拓雄

制御・情報部門

制御グループ

松下 智裕

## B-2. 電磁石式軟X線MCD装置

本装置では、144 mmの嵩上げ分を既存の架台定盤と測定チャンバーの間に150 mm分のスペーサーを挿入して調節した。新たに生まれたスペースにより、測定チャンバーへの検出器等の取り付けに関して拡張性が増した。

## B-3. 軟X線ナノビームMCD装置

本装置は、局所的な軟X線吸収分光、および、高空間分解能の磁気イメージングを行うことを目的として設置した。2013年度内に、石定盤を備えた精密架台に測定用超高真空チャンバーと4軸試料マニピュレーター、ターボ分子ポンプ等の排気ユニットの組み付けを行い、初期真空立ち上げまでを完了した。また、その際、測定用超高真空チャンバー内に、 $\phi$ 100 nmの軟X線ナノビームを生成するためのFZP集光レンズユニットを導入した。

## 4. 2014年度の計画

2014A期は、光学調整と実験装置設置のためのコミッションングとし、2014B期からの供用を予定している。2014B期に向けては、まず、既存装置を利用した実験が実施できるように調整し、その後、数年をかけて各装置でのマイクロビーム化を順次進めていく。A-branchでは、10  $\mu$ mの空間分解能（あるいは試料サイズ）での角度分解光電子分光の実現を4～5年以内の中期目標とし、「光・量子融合連携研究開発プログラム（JST）」の支援を得て、高集光素子を備える光電子分光装置の開発を開始した（図2に示したMicro-PES装置）。2014年度は、本装置用に新たに導入した角度分解光電子分析器の調整実験を行う予定である。

一方、B-branchの軟X線ナノビームMCD測定については、PUグループ（課題番号2014A0079）との協力の下で利用技術の開発を急ぐ。2014年度には、試料用精密ステージの追加整備の他、試料への磁場印加を目的とした最大磁場8テスラの超伝導磁石の整備を予定している。

## 参考文献

- [1] 中村哲也ら：SPring-8利用者情報 **19** (2014) 102-105.
- [2] 高田昌樹：SPring-8利用者情報 **18** (2013) 25-27.
- [2] JASRI利用推進部：SPring-8利用者情報 **19** (2014) 196-199.