

年 報

兵庫県ビームライン BL08B2

1. はじめに

SPring-8 にある兵庫県専用ビームライン BL08B2 は、兵庫県立大学放射光ナノテクセンターが管理運営している。偏向電磁石光源を有するビームラインである。産業界における材料研究開発に対して、スタンダードな分析法を基本とした実験ステーションの利用機会を産業界に対して提供している。小角X線散乱(SAXS), X線吸収微細構造(XAFS), CT, イメージング, 単色X線トポグラフィ, 粉末X線回折の各実験ステーションでは、ユーザの利用とともに、高機能化の整備にも取り組んでいる。利用分野としては、高分子材料、金属材料、触媒材料、蓄電池材料等と幅広い。各分野が求める新機能として、反応性ガス雰囲気中のその場観察や、小角X線散乱と高角X線散乱、さらにはXAFS機能も組み合わせた複合的な測定機能を提供している。限られたマシンタイムの中でユーザーが様々な情報を得ながら材料研究に取り組むよう支援している。

2. 実験ステーションの現状

各実験ステーションには専任の技術スタッフがあり、装置の維持管理やユーザー利用に対応している。ユー

ザーの利用相談や課題検討時の相談は随時受け付けている。また実験前の装置のセットアップや実験時のサポート、さらには実験後においてもデータ解析の相談など幅広く支援活動に取り組んでいる。ユーザーからの要望に応じて、実験ステーションへの機能追加等の整備も行っている。2015年度においても産業界が利用し易い実験環境の維持に努めてきた。

2015年度における各実験ステーションの状況、利用状況や整備活動について以下に紹介する。

2. 1 小角X線散乱(SAXS)

高分子材料、金属材料、ナノ粒子コンポジット材料等の長周期構造の評価を目的として、産業界ユーザーを中心に SAXS ステーションが利用されている。

BL08B2 の SAXS カメラ長は標準配置で 0.5 ~ 6 m、極小角 X 線散乱測定の長尺配置で 16 m が可能である。幅広い SAXS 分解能の選択性を有する。利用可能である光子エネルギーは 7 ~ 25.5 keV の範囲である。 SAXS/WAXS 同時測定、GI-SWAXS、Rheo-SAXS、 ASAXS、Quick-XAFS/SAXS/WAXS 同時測定の各種分析モードを提供し、産業界の様々な材料構造の分析評価に対応している。

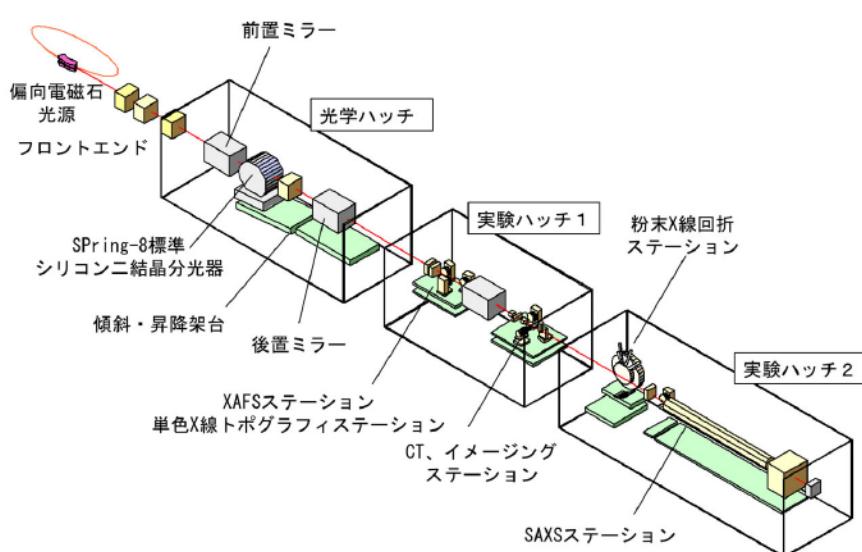


図 1. BL08B2 の構成概略。

2015 年度も高分子材料を中心として、幅広い産業分野の研究テーマが実行された。装置利用の観点では、従来と同様、加熱炉や引張機等を用いたその場観察の測定や、多検体分析を目的としたサンプルチェンジャーを利用する研究テーマが大半を占めた。特に加熱炉利用のユーザーは多くあるが、現状の設備ではユーザーが要求する一部の温度条件には対応できない状況となりつつある。このため温度範囲 $-190^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 、高速温度調整が可能である小型冷却・加熱炉を新たに導入する計画を検討し、2016 年度に整備することとした。

X 線透過率が小さい試料（高密度試料）や金属材料へも応用するため、20 ~ 25 keV の光子エネルギーを利用した測定も増えつつある。基本的な運転条件である 8 ~ 15 keV の範囲内では、エネルギー変更に伴う装置セッティングの切り替えは比較的短時間で実施できる。一方で 15 keV を超える条件へ変更の場合には、X 線ミラーの反射条件に起因して光軸位置が大きく変位するため、装置セッティングの切り替えに長時間を要した。今年度はこの調整作業の効率化を図るために、SAXS 専用であるビーム輸送用真空パイプの位置決めステージを全て自動操作化とする改造を施した。これにより広いエネルギー範囲の間での、装置セッティングの切り替えについて調整時間を大幅に短縮することができた。X 線ミラーや分光器等の各コンポーネントも含めた自動操作化の改造も引き続き取り組む。以上の整備により、7 ~ 25.5 keV の全エネルギー範囲において SAXS 調整の完全自動化を目指す。

以上のように比較的高いエネルギー利用が増えていることから、現在の 0.5 ~ 6 m, 16 m の SAXS カメラ配置に加えて、新たに 10 m のカメラ配置を 2016 年度に新設することとした。これにより高エネルギー利用時の SAXS 分解能の選択性拡張が期待できる。また、高エネルギー測定の高効率化を目的とし、検出素子であるシリコンセンサーの厚みが 1 mm を有する PILATUS-300K の導入を検討し、2016 年度下期に整備することとした。

2. 2 XAFS

材料の構造変化を捉える上で注目されているその場観察では、放射光を利用してことで、より精密に、より迅速に計測を行うことが可能となる。SPring-8 においても、産業界が盛んに利用している測定方法である。

特に触媒開発においては XAFS によるその場観察の利用ニーズが高い。環境問題やエネルギーに伴い触媒の高機能化が求められ、高活性化や選択性反応を示す材料開発が求められている背景がある。この状況に対して、反応条件を変えながら局所構造を解析し、反応のメカニズムと材料特性との相関性を解明することが必須となっている。蓄電池の研究開発においても、合成や高温焼結などの製造過程の状況把握が必要とされており、XAFS におけるその場観察の利用ニーズは高い。

以上の状況の中で、2015 年度は反応性ガス雰囲気を利用したその場観察機能の整備を進めた。BL08B2 では、建設当初においてガス供給装置と排ガス処理装置を整備した。反応性ガス供給設備では可燃性系、支熱性系の 2 つの取付筐体を備えている。実験用途として申請済みであるガス種は、可燃性ガスとして一酸化炭素、水素、シクロプロパンが、支燃性ガスとして一酸化窒素、酸素がある。反応性ガスの供給ラインを 4 系統備えている。この状況に対して 2015 年度はガス精密制御混合装置、その場観察用反応セルの導入をはかった。

触媒や蓄電池の実験でガスを使用する場合、反応セルへの供給流量の精密コントロールが重要である。実験ハッチ外からの遠隔操作機能も必要となる。この機能を実現するために、KOFLOC 製ガス混合装置 BRENDA シリーズのガス混合装置を新たに導入した。高精度デジタルマスフローコントローラによって高い精度で高速応答が可能である。供給ラインごとの流量設定に要する比率制御等を可能とした。装置制御はネットワークを介して遠隔で行う。

試料環境としては、透過 XAFS 法に使用する石英製セルを整備した。最高設定温度は 800°C である。図 2 に石英製セルを利用したその場観察のスタディを行った際の様子を示す。

もう一つの試料環境として時間分解 XAFS 用フローセルを整備した。これはガスフロー環境下で試料とガスを反応させながら、透過法の時分割測定を行う用途のものである。カートリッジヒーターを用いて室温から 700°C の範囲の温度設定ができる。特徴として、セル内部の試料空間が極めて狭いため、ガスフロー時に速やかに試料表面における反応を進行させることができる。これにより短時間の間での反応を観察対象としうる。

構造変化の時分割測定を行うための整備として、Quick XAFS 機能の改良を進めた。測定時間の短縮化を目指し、十数秒から数分の時間において十分に解析にできる XAFS スペクトルを取得可能とした。

今後も産業界ユーザーの利用動向を捉えながら、ソフトとハードの両面において高機能化の整備に取り組む。



図 2. 透過 XAFS 用石英セルの実験配置。

2. 3 イメージング

CT, イメージングの手法は、材料を非破壊のままにその内部の実空間解析を行うことを目的として整備してきた。兵庫県ビームラインではアンジュレータ光源を備える BL24XU においてこの手法を提供していくが、偏光電磁石光源の波長可変性やワイドビームの特徴を活かして BL08B2 においても産業界の利用を今後募る予定である。特に CT, ラミノグラフィ法では、三次元的な構造情報を視覚的に理解し易い画像として表示できるため、BL24XU においても利用ニーズが高い。

BL08B2 では通常のイメージング観察に留まらず、二次元面内の XAFS 情報を取得できるイメージング XAFS にも注目し、整備を進めた。イメージング XAFS の実験では、単色ビームが有する波長を分光器により走査させながら、ワイドビームを試料に照射する。試

料後方には二次元検出器を配し、波長を走査させながら試料からの透過ビームの二次元強度分布を連続的に収集する。

この手法ではビームの断面強度分布が均一であることが望ましい。しかしながらビームライン上にあるグラファイトフィルタや分光結晶の汚染に起因し、断面プロファイル上には強度ムラが存在していた。このためデータの解析が複雑になる問題があった。この課題を解決するために、2015 年度は断面強度分布を均一とすることを目標とした整備を行った。デフューザーを利用したビームの拡散による均一化の方法を採用し、ディフューザーシステムを実験ハッチの最上流に設置した。ビームの拡散効果が大きく得られるよう、実験ハッチ内の装置レイアウトも変更した。出来る限りディフューザーから離した位置に実験ステーションを移動させた。整備の結果として、均一な断面強度を有するビームを整形することに成功した。イメージングのデータにおいて画質の向上を確認した。CT, ラミノグラフィにおいても高画質化の効果を得ることができた。

今後はグラファイトフィルタなどをビームライン上から除くなど、さらなる断面強度分布の均一化の向上の対応を行う。産業界ユーザーが解析を行い易いよう、イメージングデータの高品質化を進める。イメージング XAFS についても操作性を高めて産業界ユーザーに利用提供する。

2. 4 単色 X 線トポグラフィ

シリコンカーバイド (SiC) の結晶欠陥の評価研究が取り組まれた。SiC は広バンドギャップ、高熱伝導

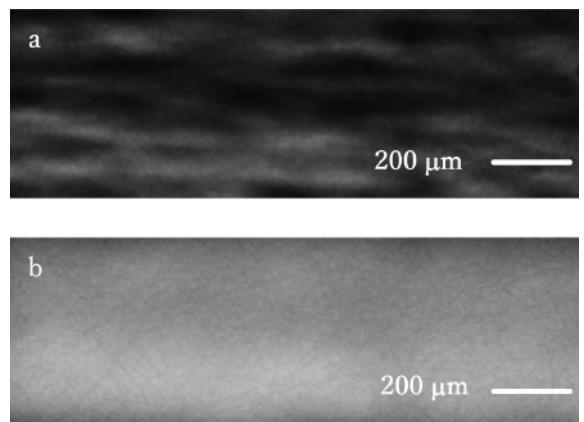


図 3. 実験ハッチ内でのビーム観察結果 a:ディフューザー無しの場合, b : ディフューザー有りの場合。

率、高絶縁破壊電圧強度などの優れた特性を有すると期待されるが、エピタキシャル膜や基板に存在する結晶欠陥が素子の大面積化の際に問題となる。高品質結晶のプロセス検討において、BL08B2 の単色X線トポグラフィが活用され、SiC 結晶中の欠陥観察が行われている。SiC 結晶中において、らせん転位、刃状転位、基底面内転位などを詳しく調べるために、X線トポグラフィが極めて有効な手段となる。BL08B2 の実験ステーションでは、ゴニオメータ、X線フィルムやX線カメラ、現像手段などが利用可能であり、実験に適する環境を備えている。コントラスト像が鮮明に得られるよう、イメージングの場合と同様に、ビームのクオリティを挙げるための工夫も施していく。

3. 産業利用の状況

BL08B2 のユーザーにおいては、その場観察のニーズや複数の分析手法を同時に利用したいとするニーズが増えている。この状況に対して今後も利用支援を継続していく。

2015 年度におけるユーザーは、企業が 16 社、大学が 1 機関であった。マシンタイムの内訳に目を向けると小角X線散乱の利用が 52%, XAFS が 28%, 単色X線トポグラフィが 15%, 粉末X線回折が 5% であった。CT, イメージングは高機能化の整備を進めており、ユーザーによる活用が期待される。粉末X線回折については SAXS と組み合わせた利用や BL24XU のマイクロビームと組み合わせた利用なアドバンスな使い方が増えており、他の実験ステーション上で利用される傾向にある。利用課題数としては多くが成果非専有で実行された。総課題数 18 件のうち 14 件が占める。

BL08B2 の利用ユーザーの中には BL24XU との併用により研究テーマに取り組むケースがあった。BL08B2 当初に提案していた BL24XU との相補的利用が実現している状況にある。

4. 2016 年度の計画

2015 年度は実験装置の切り替え操作の自動制御化などの課題が残った。これについて引き続き取り組み、ユーザーのマシンタイムを出来る限り確保するように努めたい。

XAFS のその場観察機能は、スタディで性能検証を行いながら実用化を進めていく。また SAXS 等で利用される二次元検出器を用いた測定システムについても高度化に向けた計画を立てて進める予定である。CT, イメージングについては画像データの精度を上げるなどの整備を行いながらユーザー利用を受け入れていく。

産業界における材料開発に対して新たな取り組みも検討したい。これまででも計算材料科学の利用に注目し、放射光利用に役立つよう実習機会を設けてきた。新たに情報科学の利用に注目し、材料構造データを有効活用するためのネットワークシステムの可能性を調査したい。これについては外部機関の動きに注視しながら放射光分析との融合利用を検討する。

業界における製品開発へ役立つビームラインであることを重要なミッションとした運営を続けてきたが、産業界と連携するアカデミアへの利用機会の提供も検討する。ユーザー利用が比較的少ない年初において実現の可能性がある。この利用システムを検討したい。また成果公開の実績として論文の形で残すことを今後は意識しながら利用の在り方を検討する。

兵庫県立大学 産学連携・研究推進機構 放射光ナノテクセンター

横山和司, 桑本滋生, 漆原良昌, 李雷, 野瀬惣一, 津坂佳幸, 松井純爾, 笠島靖

兵庫県ビームライン BL24XU

BL24XU は、放射光の産業利用推進を目的として兵庫県が設置した、SPring-8 初の専用ビームラインである。平成 10 年 6 月の供用開始時より、高輝度アンジュレーター光源の特性を活かすべくマイクロビーム光学系やマイクロイメージング光学系に特化した測定ステーションを配備し、継続的に高度化を進めてきている。特にマイクロビーム利用に関しては、兵庫県立大学大学院物質物理学研究科 X 線光学分野による専門的な運用を行っており、高度な技術をユーザー利用光学系として提供している。

ビームラインの概略を図 1 に示す。2 本のブランチ (ブランチ A, B) で構成されており、ダイヤモンド薄板結晶を利用した長オフセット 2 結晶分岐分光器により、モノクロ光をブランチ A, 透過光をブランチ B へ同時に供給する。各ブランチにはそれぞれ 2 つの実験ハッチをタンデムに配置 (実験ハッチ A1, A2 ; 光学ハッチ B2, 実験ハッチ B1) している。光源には 8 の字アンジュレーターを採用しており、大強度と低負荷を両立するだけでなく、半整数次の高調波を利用することで垂直、水平偏光の選択を可能としている。

1. 各実験ステーションの状況

1. 1 ブランチ A

ブランチ A では、ダイヤモンド結晶分光器による 10 keV の単色光が利用できる。実験ハッチ A1 では

Bonse-Hart 型超小角 X 線散乱 (USAXS) ステーション、実験ハッチ A2 では斜入射 X 線回折ステーションの運用を行っている。Bonse-Hart 型 USAXS では図 2 に示すように、単結晶を用いた角度分解光学系を利用するため一次元方向のみの測定に限られるが、通常の小角 X 線散乱 (SAXS) 光学系では測定が困難な数ミクロノの周期構造の観察が可能である。現在の測定領域は q (nm^{-1}) = 0.001~0.4、測定時間は約 5 分である。測定領域を限定することで約 90 秒間隔の時分割測定を実現しており、試料の経時変化の追跡も可能である。

斜入射 X 線回折ステーションでは 4 軸表面回折計を設置しており、斜入射条件で試料の回折測定を行なっている。表面・界面の結晶構造や薄膜構造の評価、カウンタ法を用いた粉末回折測定を行っている。さらには、回折計に加熱炉を搭載し二次元検出器を利用することで半導体試料等の反応過程のその場観察への応用も行われている。

上記に加え、実験ハッチ A2 にてマイクロビーム SAXS (μ -SAXS) の整備を 2015A 期に完了し、2015B 期よりユーザー利用を開始した。装置構成と概観を図 3 に示す。 μ -SAXS では、集光素子に屈折レンズを利用し、試料位置にて約 5 μm 、フォトン数 $1\sim 3 \times 10^9$ photons/sec. のマイクロビームを利用した局所構造評価が可能である。SAXS カメラ長は 0.5~1.5 m の範

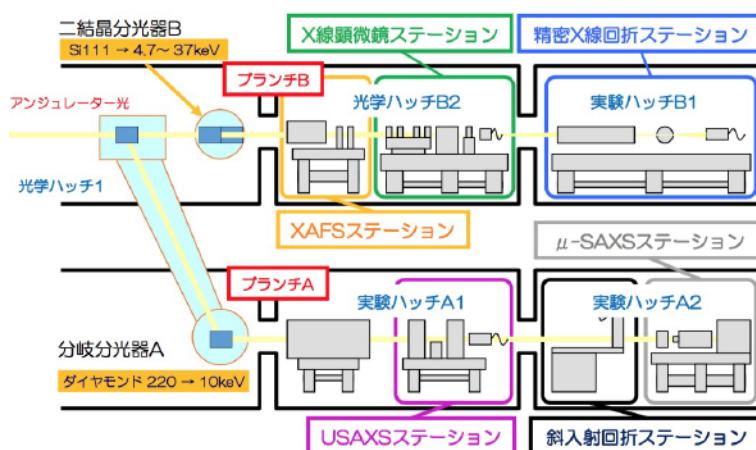


図 1. BL24XU ハッチ構成概略。

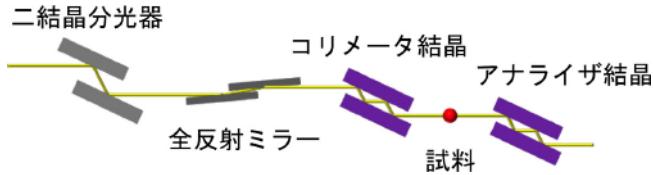


図 2. Bonse-Hart 型極小角散乱測定光学系.

図 3. μ -SAXS 装置.

囲を選択でき、WAXSとの同時測定も可能である。現在は毛髪や細纖維の1本測定、電線材料等へ応用している。また2016A期にビームサイズ $2\text{ }\mu\text{m}$ のスタディを予定しており、2016B期から利用開始する予定である。

1. 2 ブランチ B

ブランチBは水平オフセットのシリコン2結晶分光器を採用しており、5 keV~30 keVの単色光を利用することができる。タンデムハッチの上流側（光学ハッチB2）は光学ハッチ仕様であり、分光器Bの第一結晶を退避することによりアンジュレーター白色光の利用が可能である。光学ハッチB2には、マイクロビームXAFSに特化したXAFSステーション、空間分解能に特化したマイクロビーム利用光学系や高分解能イメージング光学系を利用できるX線顕微鏡ステーションを設置しており、各種材料評価に利用されている。下流側の実験ハッチB1では高平行度マイクロビーム光学系を用いた精密X線回折ステーションを運用しており、主に次世代半導体基板や電子デバイス評価に応用されている。

1) XAFSステーション

XAFSステーションは図4に示す光学系構成をしており、全反射集光ミラーにより1~2ミクロンサイズに整形したX線ビームを利用した微小領域における構造評価法として提供している。チャネルカット結晶を集光光学系に採用し、高エネルギー分解能での測

定も可能となっている。本光学系は、主に第一遷移金属の化学状態を調べ、酸素の配位構造を探るために利用されており、リチウムイオン二次電池、固体燃料電池、陶磁器釉薬の構造評価等に応用されている。

さらに、同一ステーション上で局所構造および結晶構造の両評価を実現する目的で、Pilatus 100Kを利用した二次元粉末X線回折機能も追加搭載する予定である。今後、NewSUBARUにおける軟X線吸収分光法、スペクトルの理論計算法と併せて、統合構造評価ステーションのひとつとしての活用の可能性を探る。

2) X線顕微鏡ステーション

X線顕微鏡ステーションでは、X線集光ビーム、X線イメージング光学系を利用した、サブミクロン~ミクロンの空間分解能と高い時間分解能を有する測定のユーザー利用を展開している。また、兵庫県立大学X線光学分野の学術研究として、次世代X線集光素子である多層膜ゾーンプレート、全反射ゾーンプレート等の開発評価や、新規X線イメージング法の開発、高度化も行われており、ユーザー利用光学系へフィードバックされている。測定光学系や測定条件は、技術相談内容によりオーダーメイド的に設定可能で、測定光学系の準備調整、実験サポート、解析アドバイスまで一貫して行っている。

集光ビームは、基本的にフレネルゾーンプレート(FZP)を用いて形成する。表1に代表的なマイクロビームの性能及びその応用測定系について示す。蛍光

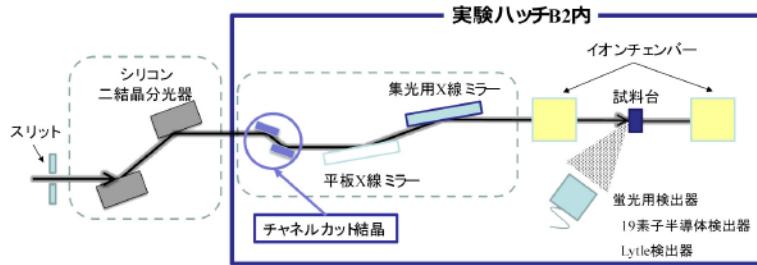


図 4. 高エネルギー分解マイクロ XAFS 光学系.

表 1. 代表的なマイクロビーム性能.

Energy (keV)	焦点距離 (mm)	集光サイズ (縦 × 横 μm)	発散角 (arcsec)	強度 (光子/s)	応用測定系
10	72	0.15×0.3	500	4×10^8	XRF, Imaging
	286	0.3×0.7	290	3×10^9	XRF, WAXD
	800	0.6×1.7	50	2×10^9	XRF, WAXD
	2000	1.5×9	25	4×10^{10}	WAXD
15	108	0.2×0.4	333	3×10^8	XRF, Imaging
	108	0.2×4	10	5×10^6	精密回折
	3000	2.5×8.5	13	5×10^9	WAXD, SAXS

X 線マッピング (μ -XRF), 2 次元検出器を用いた広角回折 (μ -WAXD), 等倍位相コントラストイメージング (CT も可能), X 線結像光学系を利用した高空間分解能 CT の利用が可能である。

イメージング光学系では, ユーザー利用の多い CT 測定系の高度化を行った. 試料を回転走査するステージを偏心精度が 0.5 ミクロン / 360° の高精度回転ステージへと交換した. さらに試料の回転中心位置調整を容易にするため, 高精度回転ステージ上に自動並進 XY ステージに搭載した. また測定時間の短縮に有効な On-the-fly スキャン型の測定プログラムを整備した. ユーザーインターフェイスも抜本的な改良を行い高効率かつユーザーフレンドリーな測定環境を整えた. フレネルゾーンプレートを対物レンズとして用いた結像

顕微鏡光学系では, 光学ハッチ B2 内で展開していた装置を実験ハッチ B1 まで拡張した. 図 5 に光学系を示す. 対物レンズの拡大倍率に直結する試料-X 線画像検出器間距離を最長 6 m まで (従来は 3 m 程度) 確保することが可能となり, X 線画像検出器面上での視野が拡大され, 空間分解能が向上した. 図 6 にテストチャートであるジーメンスパターンの顕微鏡像を示す. 左図が広い視野であり, 白い点線枠内のズームアップ像が右図である. 200 nm の lines-&-spaces まで解像できていることがわかる.

3) 精密 X 線回折ステーション

昨年度までは主に半導体結晶の微小領域高感度歪み計測を目的に, 高平行度マイクロビーム光学系を用いた微小領域精密回折実験を行ってきたが, 今年度新た

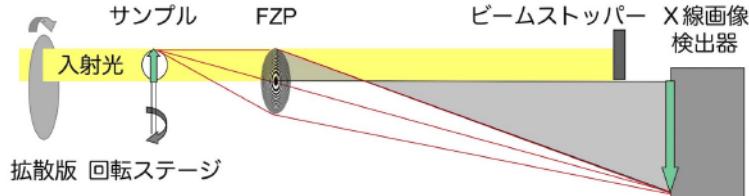


図 5. 結像型 X 線顕微鏡 CT の光学系.

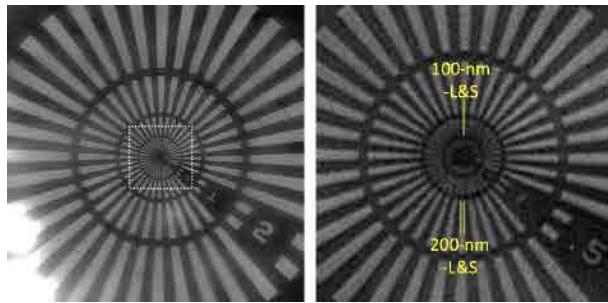


図 6. ジーメンスパターンの顕微鏡像。

に前方透過型多波回折トポグラフ法を開発・導入した。その光学系を図 7 に示す。これまでトポグラフの撮像には主に X 線フィルムや原子核乾板などが用いられてきたが、これを CMOS センサーに置き換えることで、検出器の線形性が高くなり、結果として位置分解能を改善することができる。また、通常は回折したビームのイメージから格子欠陥像を得るが、前に透過したビームのイメージを撮像することで、変形のない格子欠陥像が得られる。ただしこの場合、コントラストは通常のトポグラフの反転像となる。

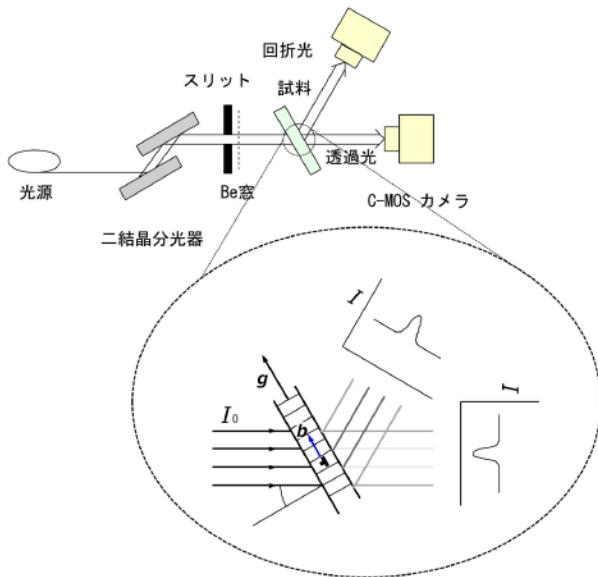


図 7. 前方透過型トポグラフの光学系。

前方透過型トポグラフ実験を同時回折条件（多波近似条件）近傍で行えば、回折ベクトルの変更を容易に行うことができる。図 8(a) は表面が c 面のサファイア結晶で、4 -2 -2 0 反射 (A) が起きるときに、3 -3 0 0 反射 (B), 3 0 -3 0 反射 (C), 1 -2 1 0 反射 (D), 1 1

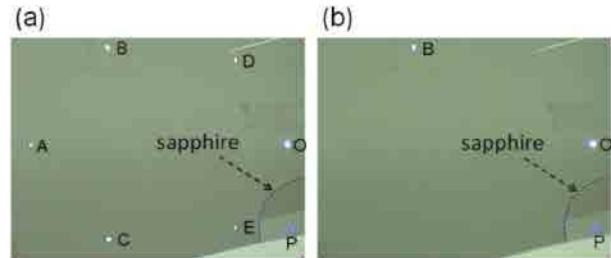


図 8. 同時回折の回折スポット写真. (a) 6 波近似, (b) 2 波近似.

-2 0 反射 (E) も同時に起きている様子を蛍光板で記録した写真である。図 8(b) は図 8(a) の状態から結晶を OB 軸まわりに約 0.1 度回転したときの回折スポットであり、それぞれ動力学的回折理論の 6 波近似と 2 波近似の場合に対応している。図 9(a), (b) は、図 8(a), (b) に対応して撮られたトポグラフ、図 9(c) は通常の回折ビームのイメージを X 線フィルムで取得したもの

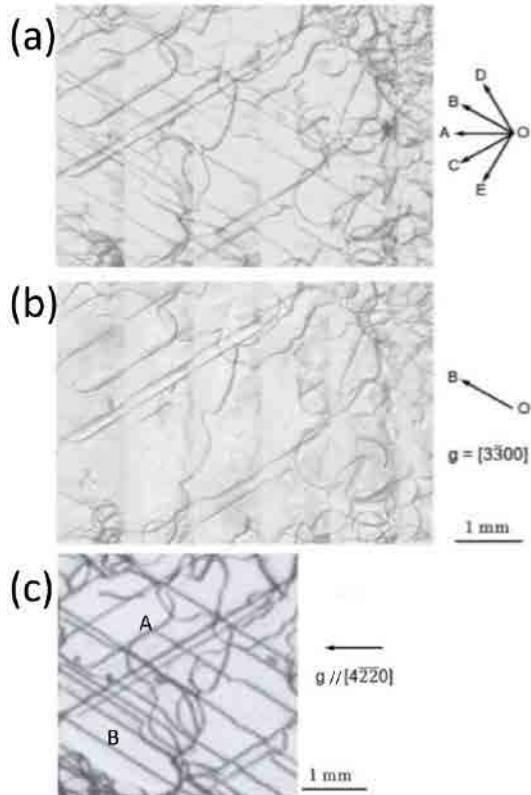


図 9. サファイア結晶のトポグラフ像. (a) 6 波近似条件での前方透過トポグラフ像. (b) 2 波近似条件での前方透過トポグラフ像. (c) 実験室のラングカメラで得られたトポグラフ像. X 線フィルムで撮影.

のであり、(a), (b) の位置分解能が格段に向上していることが分かる。また、図 9(b) では [1 -1 0 0] 方向の転位線がみられないことから、透過像でも $\mathbf{g} \cdot \mathbf{b} = 0$ (\mathbf{g} は回折ベクトル, \mathbf{b} はバーガースペクトル) による転位像の消失ルールが成立していることが分かる。この多波回折トポグラフィは、Si 結晶、SiC 結晶、GaN 結晶などの結晶でも適用可能である。

兵庫県立大学産学連携・研究推進機構放射光ナノテクセンター

竹田晋吾、横山和司、漆原良昌、桑本滋生、高野秀和*、
津坂佳幸、籠島 靖

*現所属：東北大学多元物質科学研究所

施設運用および利用状況

大型放射光施設 SPring-8 を活用した新材料開発等を促進するため、兵庫県では 2 本の県専用ビームラインを整備し、2013 年度からは公立大学法人兵庫県立大学産学連携・研究推進機構放射光ナノテクセンター（以下、「放射光ナノテクセンター」という）が兵庫県から委託を受け管理・運営を行っている。放射光ナノテクセンターでは、兵庫県ビームラインの設置目的である放射光の産業利用推進を図るために、企業の研究開発へ利用提供するとともに、企業の利用支援や共同研究、受託研究を通して産業界の利用支援を実施している。

2 本ある兵庫県ビームラインは、異なる種類の光源を持ち、その得意とする分析手法も違っている。

まず、1 本目のビームラインはアンジュレータ光源の BL24XU である。BL24XU は SPring-8 の供用開始とともに整備を始め、1998 年度に供用を開始、マイクロビームを使った各種イメージング、回折装置等を活用して、半導体材料、生体材料、高分子材料等幅広い材料分野での局所分析に対応し、具体的な研究成果を挙げてきた。

2 本目のビームラインは偏向電磁石光源の BL08B2 である。BL08B2 は 2005 年度より供用を開始した。産業界において、より製品化に直結する技術開発段階での材料分析ニーズが増加、また材料利用技術の高度化に伴って、新しい機能を有する材料の開発等が盛んになってきたことなどから、BL24XU が有する手法に

加え、小角 X 線散乱 (SAXS)、広域 X 線吸収微細構造解析 (XAFS)、高精度粉末 X 線回折、単色 X 線トポグラフィ等の手法についても対応している。

2008 年 1 月には、この 2 本の兵庫県ビームラインの産業利用推進拠点として、兵庫県放射光ナノテク研究所の供用を開始した。当研究所は、多くの産業界で実施されている新材料開発上必要な分析評価に放射光を積極的に適用することを目的に設置され、電界放出型走査電子顕微鏡、走査プローブ顕微鏡、共焦点レーザーラマン顕微鏡などの分析装置や試料準備室を備え、利用企業等を支援している。

また、大学や企業との共同研究を行うための共同研究室、会議室なども備えた多機能施設であり、コーディネーターや研究員が配置され、利用企業等からのさまざまな相談・要請に対応するとともに、兵庫県ビームラインの利用企業等に対し、各種申請、実験準備、分析アドバイス等を行っており、放射光利用が未経験である企業に対しても、技術相談・トライアル的な利用機会の提供を通じて技術的支援を行っている。

さらに、SPring-8 サイト内には同大学が保有する軟 X 線放射光施設である NewSUBARU があり、組織的な連携を図ることにより、産学共同研究に対する体制を強化し、産業界における放射光利用の裾野の拡大にも取り組んでいる。

一方、産業界における放射光の利用が進み、また世界トップレベルのスーパーコンピュータ「京」や産



図 1. 兵庫県ビームラインの利用体制

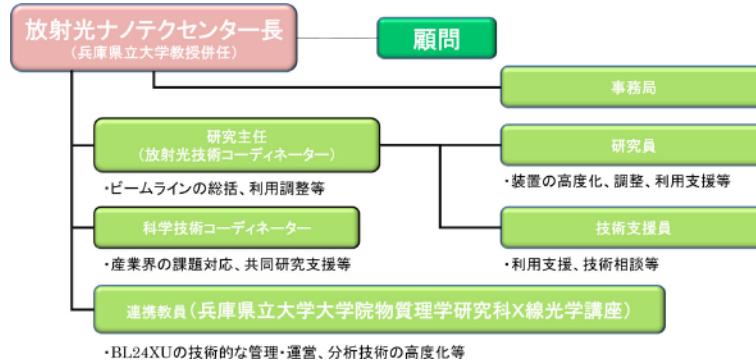


図2. 兵庫県ビームラインの運営体制

業利用専用のスーパーコンピュータである「FOCUS」が兵庫県内に設置され、放射光の解析とスーパーコンピュータによるシミュレーション技術を組み合わせた革新的な材料開発のニーズが高まっている。放射光ナノテクセンターでは、放射光施設及びスーパーコンピュータの相互利用を促進するため、企業の技術者等に材料シミュレーション技術の習得支援を行ってきたところであり、今後も継続して支援していきたい。

これまで以上に、利用企業等にとって使いやすい環境を整え、産業分野における放射光の利用が円滑に進むよう努めるとともに、技術相談・受託研究等の実施を通じて、県内に立地する多数の中堅・中小企業や地場産業への放射光利用が進むよう、放射光利用の裾野の拡大にも取り組んでいく。

また、関西地域に止まらず、全国の先端的技術開発を進める企業にも兵庫県ビームラインを積極的に提供し、新材料の評価・開発等に多くの知見を蓄積することで、利用企業等のニーズに応じた高度な技術的課題に対応できるよう努めていく。

利用体制

兵庫県ビームラインの利用に至る過程を図1に示す。

運営体制

兵庫県ビームラインの利用に関わる運営体制を図2に示す。

受託研究（分析サービス）

兵庫県ビームラインが備える汎用的な分析ツールを活用し、産業界が放射光を利用しやすいシステムを提

供するとともに、産業界における潜在的ニーズの開拓を進めるため、2009年度より、企業等からの委託を受けて放射光ナノテクセンターの研究員が、試料の測定・解析を行う受託研究を実施している。

分析の内容としては、当初、XAFSと小角X線散乱の両測定法を対象としてスタートしたが、産業界の要望を踏まえ、X線イメージング、トモグラフィなど、順次分析サービスの測定法を充実させている。

維持管理・経費負担

兵庫県ビームラインおよび兵庫県放射光ナノテク研究所の維持管理、機器整備、ユーザーサポートについては、放射光ナノテクセンターが一元的に管理を行っている。なお、BL24XUの技術的な管理・運営部分に関しては、同大学大学院物質理学研究科X線光学講座の教員が、放射光ナノテクセンターとともに担っている。

兵庫県ビームラインの維持管理にかかる費用については、設置者である兵庫県が負担しているが、実験に必要な機器等の整備費や研究費等については、利用企業等に負担いただいている。

なお、ビームラインの利用については、ユーザータイムの配分に応じた利用料金（59.4万円/日）を負担いただいている。

利用状況

兵庫県ビームラインの利用に当たって、利用申請は隨時受付けており、利用時期についても、毎月実施しているスケジュール会議において、兵庫県ビームライ

ンの効率的な運用を考慮しつつ、企業の意向となるべく尊重する形で日程調整を行っており、SPring-8 の全ビームタイムに対する兵庫県ビームラインの稼働率は、ほぼ 100 % となっている。

兵庫県ビームラインにおける、最近 3 年の装置別利用割合を図 3 に示すが、マイクロビームを用いた局所分析や小角 X 線散乱 (SAXS)、X 線吸収微細構造 (XAFS) の利用が高い割合で推移している。

また、利用分野については図 4 のとおりであり、兵庫県の主たる産業である鉄鋼や金属関係の利用割合はごく僅かで、「関西イノベーション国際戦略総合特区」において、次世代省エネルギー関連材料の開発を最重点課題として取り組んでいることも関係していると思われるが、県内及び関西企業のニーズが高い電池や半導体といった省エネ、次世代エネルギー関連分野の利用が多い。

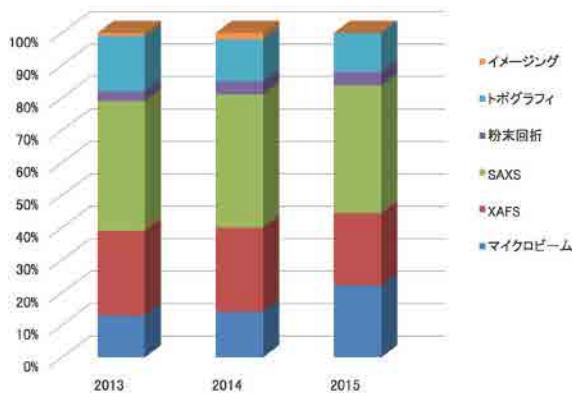


図 3. 兵庫県ビームラインの装置別利用割合

兵庫県立大学産学連携・研究推進機構
放射光ナノテクセンター事務局
福永敏広

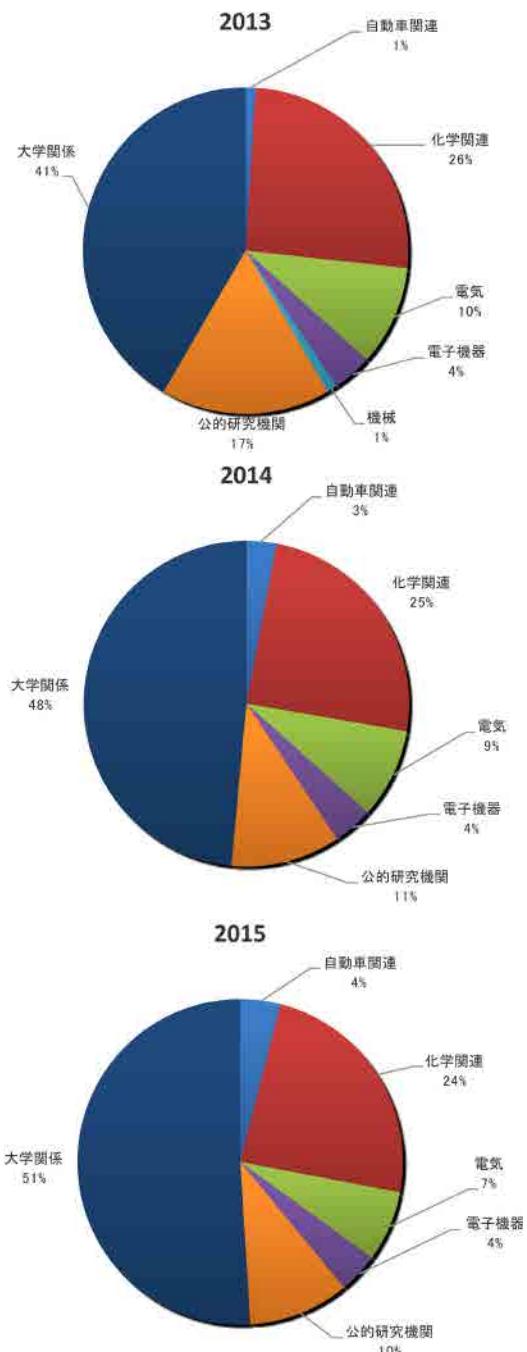


図 4. 兵庫県ビームラインの分野別利用割合