

兵庫県ビームライン (BL24XU) の現状

姫路工業大学 理学部

松井 純爾、籠島 靖、津坂 佳幸、横山 和司
兵庫県立工業技術センター

勝矢 良雄、目崎 喜弘、兼吉 高宏、泉 宏和
日本電信電話株式会社

渡辺 義夫、川村 朋晃、内海 裕一
(財)ひょうご科学技術協会

岩崎 英雄

1. はじめに

兵庫県ビームラインは、SPring-8における初めての専用施設として施設側に認められた専用ビームラインの第1号で、1997年11月に工事を着工し、昨年5月に完成、6月にJASRIとの利用契約を結んで利用開始したものである。このビームラインの概要については、かつて本情報誌 (SPring-8利用者情報誌 Vol.2, No.2) で触れさせていただいたが、今回はこの施設の輸送部と各分岐ビームラインの立ち上げ調整、A, B, C各実験ステーションの状況、それらにおける初期的な実験成果の一部について述べさせていただくことにする。

ビームライン建設の目的は、材料とバイオメディカルの両分野で産官学の研究者間にまたがる横断的研究プロジェクトを推進するために、ユーザーに対する利用システムを整備しつつ、蛋白質結晶構造解析、金属を含む無機材料の表面分析、X線の高平行ビームや集光ビームによる単結晶評価、さらにはX

線の屈折による高分解能イメージング技術の開発等を行うことにある。これらの課題を梟に提出していただき、外部の評価委員会の議を経て採択された課題が遂行されるようになっている。

このビームラインは以下に列記するよういくつかの特徴を有する。1) 8の字アンジュレータの採用により、波長選択性が高く、また水平・垂直両偏光の利用が可能なこと、2) 大型のダイヤモンド結晶モノクロメータを新たに設計して2mオフセットの分岐ビームラインを2本設置し、三つの独立した実験を同時並行で実行可能ならしめたこと、3) Cハッチにおいて白色ビームが提供されること、4) Bハッチに化学反応ガス処理装置を備えた半導体結晶成長装置を設置したこと、等々である。したがって、この特徴を最大限に生かせる研究テーマ、特に産業の振興に役立つという背景を備えているテーマであることが望ましい。

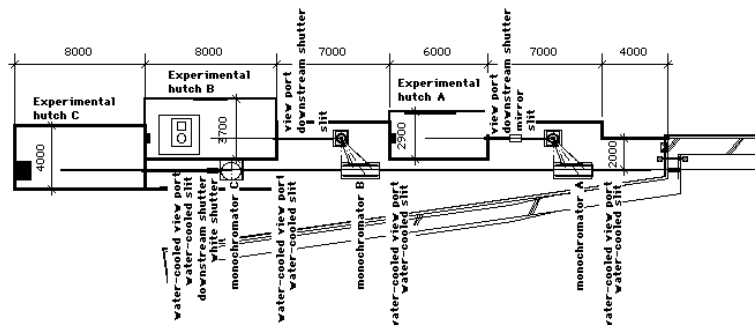


図1 兵庫県ビームライン (BL24XU) の構成図

2. ビームラインの立ち上げ状況

2.1 ビームラインの概要

このビームラインでは、光源に周期長26mm、周期数172の真空封止の「8の字」アンジュレータを採用し、水平偏光（整数次数）と垂直偏光（半整数次数）の両偏光のX線をできるだけ広い波長領域で利用可能にしている。このアンジュレータの最大放射パワーはSPring-8標準の真空封止アンジュレータの約2倍であるため、フロントエンド部のマスク、アブソーバ等一部のコンポーネントはSPring-8標準コンポーネントでは間に合わず、新たに高耐熱用として設計された部品が導入されている。

輸送部にはオフセット2mの二結晶分光器2台（分光器A、B）とオフセット40mmの二結晶分光器1台（分光器C）が設置されている。図1に輸送部の概要を示す。分光器A、Bは、分光結晶に厚さ300 μ mのダイヤモンド単結晶を用い、ビームスプリッターとしての役目も負っている。これにより、異なる三つの実験ハッチA、B、Cで同時に実験が可能である。分光器A、Bの第一結晶は第二結晶の上流側800～2000mmの範囲で移動可能であり、この平行移動と結晶面の交換によって、連続したエネルギー範囲をカバーする。分光器Cはシリコン単結晶を用いた水平分散の二結晶分光器で、その第一結晶はビームライン光軸上から退避することが可能である。これによって実験ハッチCは白色光と単色光の2つのモードでの実験が可能である。

それぞれの分光器の上・下流には水冷の4象限スリットと水冷のビューポートが設置され、ビームの整形が可能である。

2.2 ビームラインの立ち上げ

1998年2月までにアンジュレータ、フロントエンド機器の設置が終了し、時を同じくして放射線遮蔽ハッチ、輸送部の建設、制御系の導入が行われた。その後インターロック等の検査を行い、1998年5月から6月にかけて、アンジュレータ、フロントエンド、光学ハッチ及び実験ハッチCの立ち上げを行った。

「8の字」アンジュレータの放射パワーは空間的に複雑な形状をしているため、アンジュレータの光軸はパワー分布から直接求めることはできない。そこで、フロントエンド部のXYスリットを移動させながら、Heガスによってトムソン散乱されたX線のスペクトルを半導体検出器により測定することで

光軸を決定した。図2にXYスリットを垂直方向に走査したときの一次光付近のスペクトルの変化を示す。アンジュレータの光軸は、スペクトルが最も硬いところである。水平方向に関してはビームのエミッタンスからスペクトルの変化がほとんどないため、一次光の強度が最も強い位置を光軸とした。続いて、分光器Cの立ち上げを行い、理論値と同程度のロッキングカーブが得られている（図3）。

その後9月には、分光器A、Bの立ち上げと共に、実験ハッチA及びBの漏洩検査を受け、ビームラインの立ち上げを終了した。コミッショニング時に分光器Bで得られたダイヤモンド220反射のロッキングカーブを図4に示す。ここで得られた半値幅は理論値にほぼ等しい。

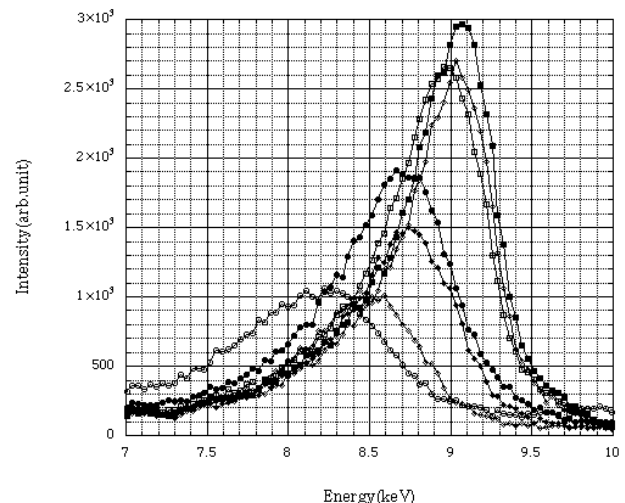


図2 半導体検出器で測定された8の字アンジュレータのスペクトル。1次光付近。ギャップは10.5mm

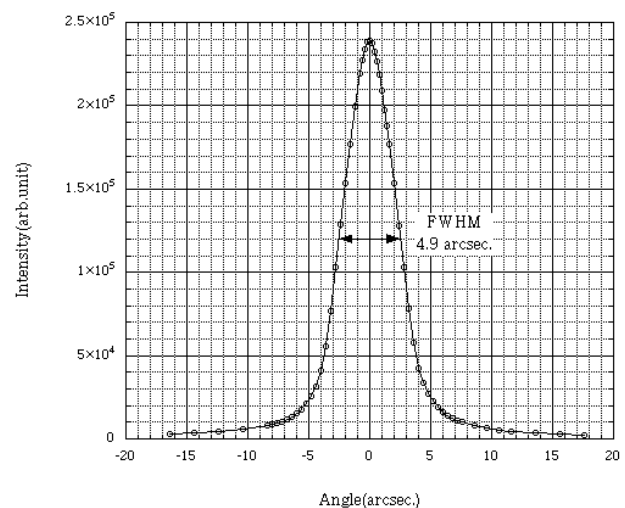


図3 分光器Cで得られたSi 111反射のロッキングカーブ。X線エネルギーは16.2keV

現在、アンジュレータのギャップは1次光を10keVとする位置で固定し、実験ハッチAは15keV(1.5次光)、実験ハッチBは10keV(1次光)のそれぞれのエネルギーで固定して利用している。それぞれの実験ハッチでは実験装置の調整がほぼ終了し、ユーザー実験が始まっている。

3. 実験ハッチAの整備

実験ハッチAは、産業分野における蛋白質結晶学研究の促進を目的として、微小蛋白質結晶を中心としたX線回折実験に使用されている。現在のところ実験ハッチAを利用しているのは、兵庫県が研究課題を承認した3つの公的試験研究機関と研究機関を含む9つの民間会社である。この他に県の機関と共同研究を行っている大学関係者が利用実験に参加し

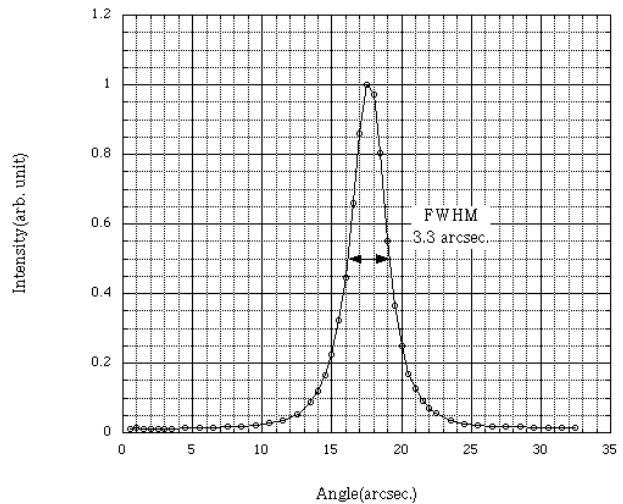


図4 分光器Bで得られたダイヤモンド220反射のロッキングカーブ。X線エネルギーは9.4keV

表1 兵庫県ビームラインにおいて現在採択されている研究課題

兵庫県ビームライン利用共同研究計画提出一覧

H11,2

ハッチ	申請機関	研究課題名	課題番号
A	兵庫県立工業技術センター	イソアミラーゼの分子認識機構の解明と新規酵素の開発	- 002
		環境健康影響物質に対する抗体の分子認識機構の解明と蛋白質工学に関する研究	- 003
		構造解析実験装置評価及び改良に関する研究	- 004
	兵庫県立高齢者脳機能研究センター	脳機能関連ホルモン及び医薬品の構造解析における位相問題に関する研究	- 005
		痴呆関連生体高分子の構造と機能の解明に関する研究	- 006
	通産省生命工学工業技術研究所	核酸結合蛋白質および核酸の構造・機能の耐熱化機構の解明	- 007
	微小結晶構造解析技術研究会(製薬9社) (塩野義、住友化学、武田、田辺、帝人、日本たばこ、三菱化学、持田) (生物分子工学研究所)	医薬または農業に関連する蛋白質の結晶構造解析	- 008
		天然物及び合成化合物の微小結晶からの構造解析	- 017
		DNA修復に関与する蛋白質群の結晶学的研究	- 025
	B	兵庫県立工業技術センター	無機材料における微量成分の分析とその状態分析
蛍光X線ホログラフィーによる無機材料の構造解析			- 027
非平衡相物質の創製と構造評価に関する研究			- 028
高品質透明導電膜の開発と構造評価			- 029
日本電信電話		反応性ガスを使った結晶成長時の表面・界面の構造及び特性のin-situ解析	- 030
財団法人 新産業創造研究機構		金属表面・界面の酸化腐食プロセスの動的観察	- 031
B, C	神戸製鋼所	遮熱コーティング膜の分析評価技術の研究	- 032
		シンクロトロン放射光による材料脆化メカニズムの解析	- 033
C	兵庫県立姫路工業大学	X線集光素子を用いた収束X線マイクロビームの形成と走査型X線顕微鏡の開発	- 034
		準平面波X線マイクロビームの形成と応用に関する研究	- 035
		屈折コントラストによる超高位置分解能X線イメージング法の開発研究	- 001
	日本電気	マイクロビームを用いた表面界面近傍の微小歪測定法の開発	- 036
		位相コントラスト法による電子材料評価技術の開発	- 037
	日本放送協会	放射光照射による炭素系、窒化物系材料の改質	- 038
	日本ビラー工業	SiC結晶の完全化	- 039
	三菱マテリアルシリコン	シリコンウェハー表面層の研究	- 040
	リコー	マイクロアクチュエーターの微細構造観察	- 041
	高エネルギー加速器研究機構	極めて平行性の高い準単色放射光を利用したイメージングの開発	- 042
	東京医科大学	放射光励起による深部ガンの検出	- 043
	神戸大学	生物試料を用いた屈折コントラスト・イメージング	- 044
	科学技術庁放射線医学総合研究所	マイクロビームを用いた超拡大撮影の研究	- 045
	科学技術庁金属材料技術研究所	バルク金属材料内部の微視組織構造と微小亀裂検出に関する研究	- 046
光源	理化学研究所	高耐熱型フロントエイド光学素子の開発研究	- 047

計：27機関(産業界17機関、大学4機関、国公立研・特殊法人6機関、32課題承認有効期間は3年度分(平成10～12年度末)を予定

表2 X線表面分析装置の仕様

全反射蛍光X線測定部		真空チャンバー	
半導体検出器	PINフォトダイオード	真空度	< 0.05Torr
測定エネルギー範囲	2 ~ 10keV	清浄度	< クラス100
エネルギー分解能	E / dE > 20	試料ステージ	
		試料サイズ	40mm × 40mm × 10mm
波長分散型蛍光X線測定部		自由度	6
検出器	平板型位置敏感検出器	精度 x	< 0.005mm (- 10 ~ + 10mm)
測定エネルギー範囲	2 ~ 10keV	y	< 0.005mm (- 10 ~ + 10mm)
位置分解能	< 200mm	z	< 0.001mm (- 5 ~ + 5mm)
エネルギー分解能	E / dE > 2500		< 0.001° (0 ~ 360°)
			< 0.001° (0 ~ 90°)
X線回折測定部			< 0.05° (0 ~ 360°)
検出器1	湾曲型位置敏感検出器		
角度範囲	120°		
半径	250mm		
位置分解能	< 0.08°		
時間分解能	< 5msec		
検出器2	PINフォトダイオード		
角度範囲	140°		
半径	150mm		
位置分解能	< 0.01°		

ているが、兵庫県から承認された各機関の研究課題の範囲内での共同実験者としての利用である。表1に、実験ハッチAにおける研究課題の一覧を、実験ハッチB、Cのそれとともに示した。

この実験ハッチAに導入されるX線は、エネルギーが15keV（アンジュレタからの1.5次光）である。導入するX線の波長については、異常分散を利用した同型置換法（SIRAS）による位相決定に使用できることを考慮して、蛋白質のX線構造解析において重原子誘導体の作製に常用される白金や水銀の異常分散効果の測定に適切であるように選ばれている。入射X線の整形は、試料直前のコリメーターによって行われる。

実験ハッチAでは、X線回折データの収集のために、理学電機㈱製のイメージングプレート自動回折計R - AXIS4を設置している（図5）。R - AXIS4は検出面積300mm × 300mmのイメージングプレートを2枚搭載しており、読み取りに要する時間は1枚あたり約3分である。結晶とイメージングプレートとの距離は80 ~ 500mmの範囲で調整可能である。この他に入射X線の波長を測定する目的で、理学電機㈱製の粉末X線回折計RINTを設置している。

また、照射X線による結晶の劣化を防ぐために窒素ガス自動供給式の吹き付け低温装置を設置している。この装置は空気中の窒素を抽出・冷却するもので、液体窒素の補充が不要かつ - 180 ~ 200 の範囲で温度制御が可能である。

4. 実験ハッチBの整備

4.1 X線表面分析装置

実験ハッチBには、材料評価を目的としたX線表面分析装置を設置している。本装置では、放射光を試料に斜入射させ、試料から出る蛍光X線および回折X線をそれぞれ、あるいは同時に測定することにより、組成、化学状態、構造を解析するよう設計されている。装置は主として試料駆動装置、半導体検出器（SSD）、湾曲型位置敏感X線検出器（PSPC）、分光結晶と直線型PSPCを組み合わせたX線分光器の4つの部分から構成されている。これら各部分では、SSDを用いた全反射蛍光X線分析、湾曲型PSPCによる時間分解X線回折測定、分光結晶 + 直線型PSPCを用いた高分解能蛍光X線測定を行う。これらの装置の基本仕様を表2に示す。本装置では、



図5 蛋白質結晶構造解析用X線自動回折計R - AXIS4

コンパクトなSSDを用いており、走査型のX線回折測定、および任意の角度での蛍光X線測定が可能となっている。また、分光結晶+直線型PSPCは、取出角を変えることができ、硬X線領域における偏光特性を考慮した実験が可能となっている。現在、装置の立ち上げ、調整を行っている段階であり、図6に、本装置で得られたデータとして全反射蛍光X線分析の初期的結果の一部を示す。本装置は市販の装置ではなく、はじめから設計、組立を行ったため、予期しないノイズ、迷光の対策あるいはソフトウェアのバグ取りなどいくつかの課題が残っており、早急に装置の立ち上げを完了したいと考えている。

4.2 MOCVD結晶成長観測装置

MOCVD (Metal-Organic Chemical Vapor Deposition) に代表される気相成長によってGaAs やInP超格子構造を作製する場合、成長条件と表面構造の関係を把握することは良質な結晶成長を行う上で非常に重要である。しかしながら、気相成長の場合には数Torr~数十Torrのガス雰囲気中で結晶成長を行うため、RHEED、LEED等の電子線を用いた手法を表面構造の解析に適用することは困難である。また、反応性ガス中のSTM/AFMについては、耐腐食性、ガスフローの擾乱等の問題により未だ実現されていない。

X線は透過能が電子線に比べると高く、真空中のみならずガス雰囲気中も容易に用いることができるという利点があることから、気相成長中の結晶表面の構造解析を目的として、in situ表面X線回折装置を製作した。本装置では、試料ハンドリングの容易さを考慮してZ軸タイプを採用した。図7に装置の構成を示す。試料は反応チャンパー内に水平に保持し、試料表面に垂直な面で反射したX線を2テーブル上に設置したカウンターにより検出する。試料の面内回転は差動排気回転シールにより行う。また試料への入射角はチャンパーのスィベル駆動、出射角は検出器の角度を変えることにより行う。ビーム高さ、位置は装置全体をZ、Xおよび面内駆動することにより調整する。

また、MOCVDは主に化合物半導体の薄膜結晶を対象としており、加熱した試料に反応性ガスを吹き付けることによって成長を行う。反応性ガスは有機金属ガスをキャリアガスとともに用いる。リアクタ内の成長圧力および、ベント&フロー方式によるガス流量制御は自動で行う。

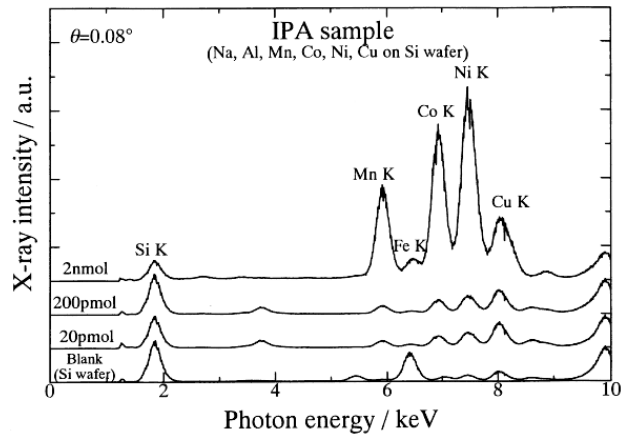


図6 全反射蛍光X線分析の測定結果 (Si基板上に滴下した種々の元素を含む溶液から得られた蛍光X線スペクトル)

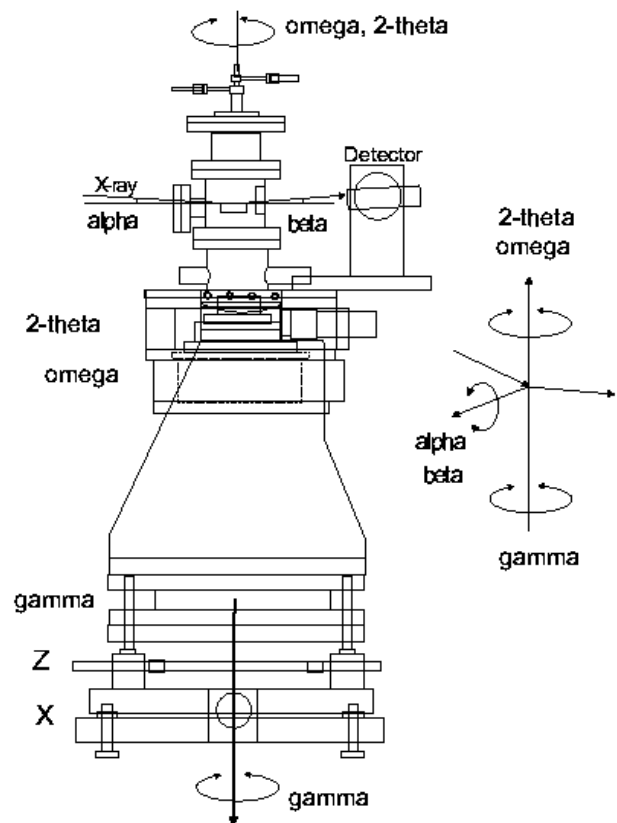


図7 In situ結晶成長表面X線回折装置

5. 実験ハッチCの整備

実験ハッチCは、「マイクロビーム形成技術の開発と材料評価への応用」と「新しいイメージング技術の開発とその医学への応用」を基幹プロジェクト研究と位置づけ推進している。

5.1 マイクロビーム形成技術の開発と材料評価への応用

1) 平面波マイクロビームの形成

半導体をはじめとする最近の電子デバイスの構造は、超高集積回路に代表されるように極めて微細かつ複雑になりつつある。デバイスサイズの縮小化によって結晶構造や応力の分布もまた多様化しており、局所的な解析が不可欠となりつつある。本研究は、平面波マイクロビームを形成し、数ないし $1\mu\text{m}$ の位置分解能をもって空間分布を測定することを目的としている。これにより将来のわが国の産業を支える電子デバイスの発展、プロセス改良に寄与するための基礎研究を行う。

2) 球面波マイクロビームの形成

物質、生体、プラズマあるいは天体における構造や生起する現象を原子レベルで解明するには、軟X線から硬X線領域での空間的、エネルギー的、時間的に高い分解能による計測が不可欠である。それには高性能のX線光学素子や光学系の開発が重要である。本研究は $1\mu\text{m}$ 以下の高空間分解能の収束X線マイクロビームによる走査型X線顕微鏡の開発を行い、生体試料、工業材料・機能素子の微小領域における分光、極微量元素分析とその空間分布マッピング測定等への応用を図る。

5.2 新しいイメージング技術の開発とその医学への応用

現在の物理学、生物学、医学など、さまざまな分野でX線撮像技術は大きな役割を担っている。しかしながら、レントゲン撮影で代表される吸収コントラスト像では、物質の吸収係数の差が小さい場合、鮮明な像を得ることが困難である。また反対に鮮明な像を得るためにはある程度のX線吸収量が必要で、この場合被写体の放射線被曝量が問題になることが多い。一方最近注目を浴びている屈折コントラストによるイメージング技術は、その原理の違いから吸収がほとんどない場合でも、その境界の微小な密度差による屈折で鮮明な像を得ることが可能である。本研究では、X線平面波を用いる方法と微小疑似点光源を用いる方法の二つの手法によって屈折コントラストによる超高位置分解能イメージング技術の確立を目指す予定である。

また、被写体の三次元像を得るには、X線CTの技術が不可欠である。例えば、初期ガンの $10\mu\text{m}$ の太さの血管を見るには極めて空間分解能の高いX線

CT技術の開発が求められる。このために、前述の球面波マイクロビーム形成技術との融合を図ることも考えている。

上述の研究を推進するための基盤実験装置として、実験ハッチCでは、(a)平面波・球面波マイクロビーム形成装置、(b)X線CT装置、(c)キャピラリー集光装置、といった実験装置群を整備した。これらは、精密光学定盤の上に複数の高精度回折計や高精度ステージを備え、必要に応じてその配置が変えられるようになっている。また周辺機器として、(a)半導体検出器、(b)シンチレーションカウンタ、(c)イオンチャンバー、(d)直接撮像型X線CCDカメラ、(e)X線テレビ、(f)ズーミング管、(g)計測機器、等を整備した。平面波マイクロビーム形成装置は、SPring-8のアンジュレータの高輝度性(強度と平行性がともに高い)によって初めて可能となる、高精度X線回折実験を行うために整備した実験ハッチCで最も重要な装置の一つである。

専用ビームラインの特長である課題選定の自由度が、実験ハッチCにおいてもユニークな研究テーマの選定を可能にしており、表1に見られる通り、先述の二つのプロジェクト研究(「マイクロビーム...」と「新しいイメージング...」)に合致する研究テーマが遂行されつつある。また、現状、BL24XUでのみ得られるアンジュレータの白色光を利用する研究テーマ(038)も本ビームラインの特徴の一つである。

本分岐ビームラインにおける主要な研究テーマの一つに、X線マイクロビームを用いた走査型X線顕微鏡の開発がある。ここでは、034の課題で行われたX線顕微鏡の予備実験を紹介する。走査型顕微鏡は、X線微小スポットに対して試料を機械的に2次元走査しながら試料とX線との相互作用の大きさ(例えば、透過X線強度や蛍光X線強度等)を測定し、コンピュータ上で画像化するものである。予備実験では、集光光学系は用いず分光器で 10keV に単色化したX線ビームを $50\mu\text{m}$ 四方のスリットでコリメートして試料に入射させた。従って空間分解能は $50\mu\text{m}$ である。入射強度(I_0)と透過強度(I)はイオンチャンバーで測定した。測定プログラムはLabViewで開発した。図8に実験系の概念図と得られた「にいりこだし」の顕微鏡像を示す。背骨の構造がよく観察されている。今後は集光光学系を用いて高い空間分解能を目指していく予定である。

6. 兵庫県ビームラインを利用するためには

兵庫県ビームラインを利用希望されるユーザーは、先ず兵庫県知事公室審議員（科学技術担当）にSPring-8兵庫県ビームライン利用共同研究計画書を提出することになる。兵庫県では年3回程度の頻度で「兵庫県ビームライン評価委員会」を開催し、当初のビームライン設置方針、研究内容、兵庫県ビームラインを利用する必要性等の観点から審議し、採否を決定する。

（財）ひょうご科学技術協会は、兵庫県より採択課題とユーザータイム配分方針の通知を受け、JASRI利用業務部へ新規採用課題の報告を行うことになっている。さらにここでは、ユーザーの利用実験開始に当って、JASRIに対する諸手続きの窓口業務や、ユーザータイムの配分調整等の研究支援業務を行っている。当協会には、利用研究を促進させるための兵庫県ビームライン利用委員会を設置している。加えて、各実験ハッチ間の調整、ビームライン・ハッチ内機器の高度化、ユーザータイムの配分方法・調整、その他利用研究を効率的に行うための課題について議論を行う場になっている。

謝辞

この報告の著者は、直接立ち上げ作業に携わった方々にさせていただいたが、本ビームラインの完成は多くの方々のバックアップに支えられている。特に、設計の当初期間にデザインに関わられた文部省高エネルギー加速器研究機構、安藤正海教授、兵頭一行助手、杉山弘助手、また実験ハッチ内の各実験装置の整備や所員を激励された兵庫県立工業技術センター、吉岡秀樹主任研究員、尾野凱生部長、元山宗之部長、さらには、本プロジェクト全体の進行と専用ビームラインの実現の初期からプロジェクトを推進された先端科学技術支援センター千川純一所長、および予算の確保ならびに関連機関やJASRIとの事務的折衝や調整に努力された兵庫県知事公室岡田泰介審議員、落合正晴係長に紙面を借りて深く感謝する。最後になったが、姫路工業大学理学部の方々、特にX線光学講座博士前期課程の高井健吾、竹田晋吾両君の不眠の協力が無ければ本ビームラインは完成しなかったであろう。感謝します。

兵庫県ビームラインホームページアドレス

http : //www.sci.himeji-tech.ac.jp/material/x-ray_optics/SP8/hyogo-bl.html

Preliminary experiment of scanning x-ray microscope

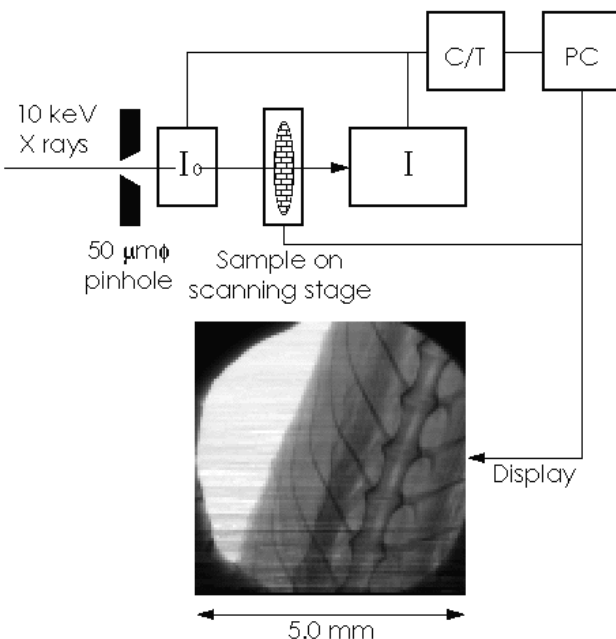


図8 X線マイクロビームを用いた走査型X線顕微鏡概念図と「にいりこだし」の顕微鏡像

松井 純爾 MATSUI Junji

姫路工業大学 理学部物質科学科 教授
〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1475-2
TEL : 0791-58-0233 FAX : 0791-58-0236
e-mail : matsui@sci.himeji-tech.ac.jp

籠島 靖 KAGOSHIMA Yasushi

姫路工業大学 理学部物質科学科 助教授
〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1475-2
TEL : 0791-58-0230 FAX : 0791-58-0236
e-mail : kagoshima@sci.himeji-tech.ac.jp

津坂 佳幸 TSUSAKA Yoshiyuki

姫路工業大学 理学部物質科学科 助手
〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1475-2
TEL : 0791-58-0231 FAX : 0791-58-0236
e-mail : tsusaka@sci.himeji-tech.ac.jp

横山 和司 YOKOYAMA Kazushi

(財)新産業創造研究機構 研究二部 主任研究員
〒650-0047 神戸市中央区港島南町1丁目5-2
キメックセンタービル 6F
TEL : 078-306-6803 FAX : 078-306-6812
e-mail : yokoyama@creta.sci.himeji-tech.ac.jp

勝矢 良雄 KATSUYA Yoshio

兵庫県立工業技術センター 開発部 主任研究員
〒678-1201 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1479-6
TEL : 0791-58-1410 FAX : 0791-58-1411
e-mail : katsuya@cast.gr.jp

目崎 善弘 MEZAKI Yoshihiro

兵庫県立工業技術センター 開発部 研究員
〒678-1201 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1479-6
TEL : 0791-58-1410 FAX : 0791-58-1411
e-mail : mezaki@cast.gr.jp

兼吉 高宏 KANEYOSHI Takahiro

兵庫県立工業技術センター 無機材料部 主任研究員
〒678-1201 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1479-6
TEL : 0791-58-1410 FAX : 0791-58-1411
e-mail : tkane@hyogo-kg.go.jp

泉 宏和 IZUMI Hirokazu

兵庫県立工業技術センター 無機材料部 研究員
〒678-1201 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1479-6
TEL : 0791-58-1410 FAX : 0791-58-1411
e-mail : izumi@hyogo-kg.go.jp

渡辺 義夫 WATANABE Yoshio

NTT物性科学基礎研究所 先端デバイス研究部 主幹研究員
〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮3-1
TEL : 0462-40-3425 FAX : 0462-40-4711
e-mail : wata@will.brl.ntt.co.jp

内海 裕一 UTSUMI Yuichi

NTT物性科学基礎研究所 先端デバイス研究部 主任研究員
〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮3-1
TEL : 0462-40-3485 FAX : 0462-40-4711
e-mail : utsumi@will.brl.ntt.co.jp

川村 朋晃 KAWAMURA Tomoaki

NTT物性科学基礎研究所 先端デバイス研究部 主任研究員
〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮3-1
TEL : 0462-40-3494 FAX : 0462-40-4711
e-mail : kawamura@will.brl.ntt.co.jp

岩崎 英雄 IWASAKI Hideo

(財)ひょうご科学技術協会 審議役
〒678-1201 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1479-6
TEL : 0791-58-1402 FAX : 0791-58-0236
e-mail : iwasaki@cast.gr.jp