

## BL28B 2

### 白色X線回折

#### 1. はじめに

白色X線回折ビームラインBL28B2は、偏向電磁石を光源とする白色放射光X線を分光することなく、そのまま汎用的に利用することが可能なSPring-8で唯一の共用ビームラインである。したがって、研究分野や実施される実験の手法は多岐にわたっている。前年度までは、白色X線トポグラフィによる結晶欠陥などの研究、散乱トポグラフィによる回折面方位分布測定、一枚振りの分光結晶と高速シャッターを使った微小血管造影法による医学利用研究、マイクロビーム治療の基礎研究、波長分散型時分割XAFS測定による触媒等の反応過程を調べる研究、圧力媒体にヘリウムガスを使った高温高压下での構造解析研究などが行われてきた。2006年度には、新たに波長分散型ひずみ分布測定、波長分散型反射率測定の実験も行われるようになった。このように広い分野にわたる実験に対応すべくBL28B2では、構造物性IIグループ、産業利用推進室、イメージンググループ、分光物性Iグループのメンバーが協力してビームラインの管理、ユーザーのサポートにあっている。

#### 2. 主なビームラインの高度化と利用技術開発

##### (1) 高エネルギー白色X線を用いたひずみ分布評価技術の開発

実用材料に近い厚さの金属内部の応力を非破壊で評価することを目的として、高エネルギー白色X線を用いたひずみ分布評価技術の開発を行った。一般的な応力測定が、単色X線を用いて試料と検出器を回転させる $\theta$ - $2\theta$ 測定により、格子定数の変化を回折角度の変化として測定し、そこから応力を算出するのに対して、本手法では散乱角を一定に保ち、白色

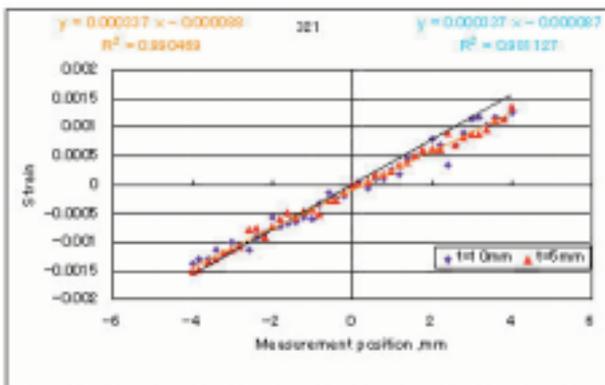


図1 高エネルギー白色X線による低合金高張力鋼内部のひずみ分布評価結果。

X線とエネルギー分解能を有する検出器を用いることで、試料の格子定数の変化を回折X線のエネルギーの変化として測定している。透過能の高い50~150 keVの高エネルギー白色X線を用いるため、mm オーダーの厚さの試料内部のひずみ測定が可能である。さらに、この測定方法は、得られるひずみの大きさが回折計の交差精度に依存しないという利点がある。手法の検証用の測定として、既知のひずみが負荷された厚い低合金高張力鋼の評価実験を行った。図1に試料の厚さが5 mm及び10 mmのときの内部ひずみ分布の評価結果を示す<sup>[1]</sup>。負荷ひずみと測定されたひずみはよく一致しており、また、結果のばらつきが小さいことから、測定精度が十分高いことが確認された。今後は実用材料の評価に向けて、さらなる高精度化を行っていく予定である。

##### (2) 波長分散型反射率測定法の開発

X線反射率測定法は、物質の深さ方向におけるサブナノメートルオーダーの微小な構造変化を調べることのできる強力な手法である。しかし、従来型の測定方法では、測定に時間がかかり、また数平方ミリから数平方センチという広い領域の平均の情報しか得られないため、空間分解能が低く、実用材料の評価が困難であるという問題があった。そこで、迅速に高い空間分解能での測定するために、波長分散型反射率測定法を開発した。この方法では、後述する白色X線マイクロスリットとエネルギー分解能を有する検出器を用いており、測定中に試料や検出器を動かす必要がないという特徴がある。図2にガラス基板上的クロム層の測定結果の例を示す<sup>[2]</sup>。測

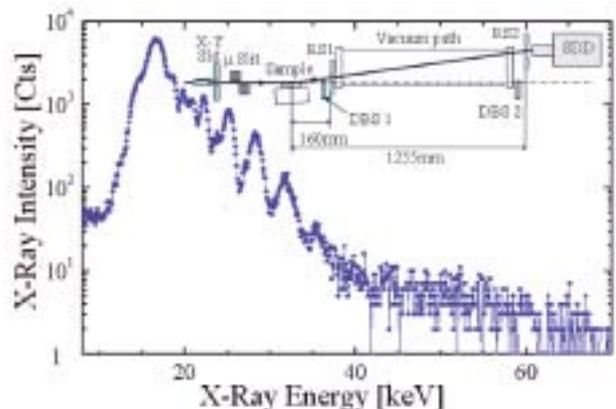


図2 波長分散型反射率測定で得られたスペクトル。図中の模式図は測定の光学系 (RS1, RS2: 受光スリット、DBS1, DBS2: ダイレクトビームストッパー、SSD: シリコンドリフトディテクター)。

定時間は2分間である。エネルギースペクトルに試料の構造に起因する振動パターンが明瞭に観測され、この手法の有効性が確認された。試料にもよるが、0.1秒程度での測定も可能と考えられる。今後は、実用材料への応用を図っていく予定である。

(3) 白色X線マイクロスリットの開発

2005年からマイクロビーム放射線治療の研究がBL28B2で開始され、このための装置開発を進めている。この治療法では一例を挙げれば、50~200keVの白色X線を200 $\mu$ mの間隔に並んだ縦幅25 $\mu$ mの多重スリット状コリメータを通して、すだれ状の白色ビームをガン組織に照射することを特徴とする。この方法の特長は、ガン細胞だけが選択的に死滅するが、ガン組織周りの正常細胞はほとんど損傷を受けないことである。すだれ状の白色ビームを生成するコリメータの開発は、昨年度の年報で報告した。さらに進んでこの治療法では、ビームが照射されている部分と照射されない部分との強度差が大きいことが必要である。このため、すだれ状の白色ビー

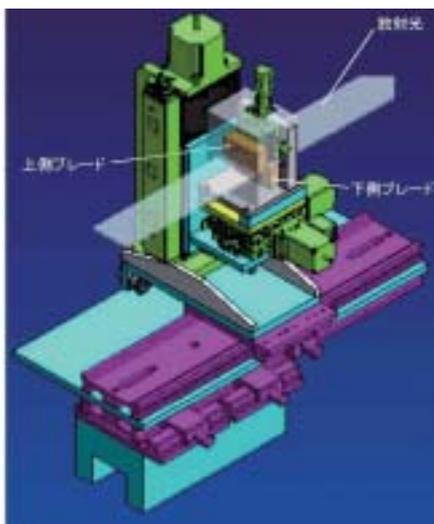


図3 白色X線スリットの構造。



図4 脳腫瘍移植ラットでの腫瘍部照射位置決め画像。

ムを生成するコリメータとは別に、タングステンブロック（高さ30mm×幅60mm×厚さが20mm）を2個使い、スリットブレードの厚さが20mmで、スリット間隔が可変の図3に示す白色X線用マイクロスリットを開発した。これを使い、新たなすだれ状コリメータを開発するための予備実験を実施する予定である。

(4) 腫瘍部照射位置決め装置の開発

マイクロビーム放射線治療の研究で、現在は培養細胞やラット・マウスでの実験が行われている。放射線医学総合研究所とJASRIの共同チームがマルチスリット状コリメータを2005年に開発し、このコリメータを使って合計4グループが実験を進めている。ここで、脳腫瘍移植ラットモデルを使用する実験のために、大脳深部に移植した腫瘍へ正確にマイクロビームを照射する位置決め装置を開発した。図4に示すように、3方向からの位置合わせ画像に、照射ビームの位置及び経路を重ねて表示した。これにより、臨床の場での放射線治療に近い方法での照射実験が可能となる。

(5) 湾曲量可変型ブラッグ配置用結晶分光器の改良

波長分散型時分割XAFS測定においては、12keV以下の低エネルギー領域の測定用に湾曲量可変型のブラッグ配置用結晶分光器を開発し使用してきた。しかし、ビームの集光状態が分光結晶の湾曲量を調整後徐々に変化し、24時間後には測定が困難になるといった問題があった。これは、分光結晶が横滑りしてしまうことによって湾曲状態が変化していたことが原因であった。そこで、図5に示すように結晶の端をバネで押す機構と止め板を取り付けた。これにより、湾曲量調整後の集光状態が安定に保持できるようになった。

(6) ガス供給排気システムの改良

これまで、触媒等の反応に対するin-situ実験に対応するた

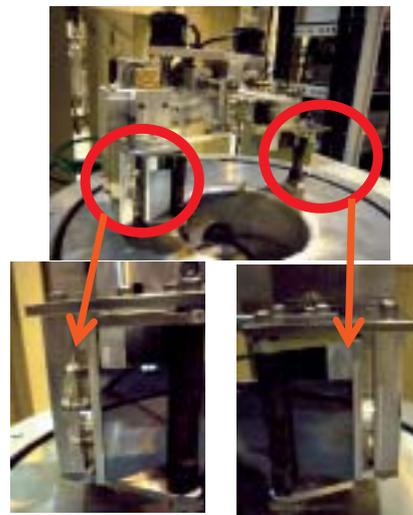


図5 結晶横滑り止め機構を取り付けた湾曲量可変型ブラッグ配置用結晶分光器。

め、ユーザー利用が多いガス種に対してガス除害設備の整備を行ってきた。2006年度は、前年度までに整備した水素ガス用の設備に加えてNO、H<sub>2</sub>S、及びNH<sub>3</sub>についても使用できるようにガス設備の改良を行った。排気ラインに吸着剤を用いたドライタイプの除害装置を導入し、反応装置からの排出ガスを連続的に無害化処理しながら屋外に排出できるように整備した。また、インターロックについても改良を行い、従来のガス漏洩や装置異常時におけるガス供給の緊急停止設備に加えて、近隣ビームラインへの自動通報設備を追加整備した。

#### 参考文献

- [1] Jun-ichi Shibano, et al., proceedings of MECASENS IV (submitted).
- [2] K. Sakurai, et al., Journal of Physics: Conference Series 83 (2007) 012001.

利用研究促進部門

構造物性Ⅱグループ 表面構造チーム

今井 康彦

産業利用推進室

産業利用支援グループ 産業利用支援チーム

梶原堅太郎

利用研究促進部門

イメージンググループ イメージングチーム

梅谷 啓二

利用研究促進部門

分光物性Ⅰグループ XAFS・分析チーム

加藤 和男