

イメージング

イメージンググループではユーザーからの要望に対応するためのビームライン並びに測定装置の改良を進めている。今年度は、BL20XU、20B2、28B2、及び47XUにおいて、検出器や精密回転ステージの導入、ナノテクノロジー支援プロジェクト、戦略活用プログラム、及び新たに開始されたメディカルバイオトライアルユース等への対応の為に各種アップグレードを行った。ここではその詳細を述べる。

BL20XU 高精細CCD

BL20XUにおいては、新規に高精細CCDカメラ(図1)を導入した。これは主として投影型マイクロトモグラフィーに使用する予定である。分解能 $1\mu\text{m}$ 程度のマイクロCTの実験は主にBL47XUで行われているが、BL20XUにもほぼ同様な機能を持つCT装置が準備されており、BL47XUと相補的に利用されている。BL47XUとの大きな差異はエネルギー領域であり、113keVまでの高エネルギーでのイメージング実験が可能である。これによって重金属材料等のCT撮像が可能になっている(ただし、BL20XUでは8keV以下の低エネルギー領域は不可能である)。これまでのCT計測用CCDは1000画素タイプのものを用いていたが、視野と分解能を両立させる点に於いて問題があった。例えば、AA50型ビームモニタでは空間分解能 $1\mu\text{m}$ が可能であるが、この場合の視野は0.5mm以下に制限される。CT計測では試料サイズは視野より小さくしなければならないために、同じ分解能で広い視野を確保する必要があり、高精細カメラが要求される。

新たに導入したCCDは浜松ホトニクスC4880-41Sである。



図1 4000画素冷却CCDカメラ

画素サイズ： $5.9\mu\text{m}$ 、画素数：4000(水平)×2642(垂直)、毎秒1.7フレームのインターライン走査、14ビットADC、冷却温度： -50°C 。

この数値は現在主に使用しているC4742-98-24Aの1344画素(水平)×1024画素(垂直)と比較して約3倍になり同じ分解能で広い視野が確保出来ることから、CT計測に適している。

小型精密回転ステージ(図2)

マイクロ回折及びマイクロCTの性能向上を目的として新たに精密回転ステージを開発した。軸ぶれ精度 $0.2\mu\text{m}$ 以下の精密回転ステージは、エアベアリング機構を用いて実現されており、BL47XUのマイクロCT装置の主軸として用いられている。しかしながら、エアベアリングでは補機の大きさや調整の問題があり、操作性の面で自由度が十分とは言えなかった。また、試料軸合わせを手動で行う必要があり、マイクロ回折実験には適していなかった。本回転ステージは、マイクロ回折実験での用途を考慮し、

- (1) 任意取り付け方向で軸ぶれ $0.5\mu\text{m}$ 以下、
- (2) 自動ステージによる on-beam での試料センタリング、を目的として開発した。

任意取り付け方向の仕様は、主としてダウンフローのクライオ条件下での実験(回折実験だけでなくCT実験を含む)に対応するために垂直面内回転が要求された為である。回転軸には、ベアリング軸受でなく、摺動軸受を用いている。実際には水平面内回転条件では、実測として $0.2\mu\text{m}$ 程度の軸ぶれ精度が達成されており、サブ μm ビームでの回

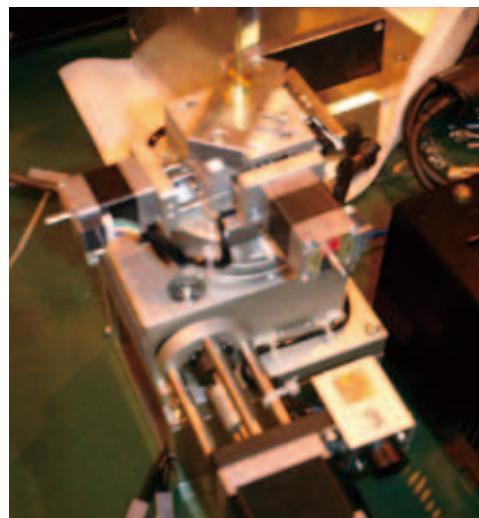


図2 小型精密回転ステージ

折実験も可能となっている。

自動ステージによる試料軸合わせ機構の採用は、マイクロ折実験での位置合わせ精度が光学顕微鏡によるoff-beam調整では不十分になりつつあった為である。図2に示すように、回転ステージの上に置いたステッピングモーター駆動XYステージのリード線を回転軸の中空シャフトに通す構造を採用し、リモートでの軸合わせが可能になっている。これにより、X線を用いたon-beamでの軸合わせに対応している。

BL20B2

BL20B2の実験ハッチ2、3では、横幅30cm以上のビームが利用可能であるが、縦幅は最大で約2cmと限られていた。しかし縦方向のビームサイズを広げることは医学利用を始めいくつかの実験で求められている。本年度はテスト実験として、縦方向のビーム拡大を行った。ビーム拡大の光学系は非対称ブラッグ反射であり、Si311の(+,-)配置の対称-非対称反射光学系を用いた。図3は実験ハッチ内に設置された、非対称反射光学系のセットアップ写真である。図4は非対称反射光学系により得られたX線像を示している。結晶のアライメントが完全でなかったためにビームが斜めに切られているが、有効サイズは48mm×20mm程度である。この実験は実験ハッチ1で行われたもので、入射ビームの縦方向のサイズは、2mm程度である。つまり10倍程度のビーム拡大がなされたことになる。

また、実験ハッチ3にはメディカルバイオトライアルユースに対応するため、X線CT用の定盤を設置した(図5)。この定盤は基本的にX線CT専用定盤として設置したが、これまでのBL20B2の機器の基本デザインと同一のため、ほかの定盤と組み合わせて利用可能である。たとえば、干渉計を用いた位相計測などに用いることが出来るであろう。



図3 ビームの縦方向拡大のための非対称反射光学系。画面中央にSi結晶が配置され、その後方(右側)には大面積検出器であるフラットパネル検出器が配置されている。このフラットパネル検出器により、ビームを照射しながらの結晶アライメントが可能になった。

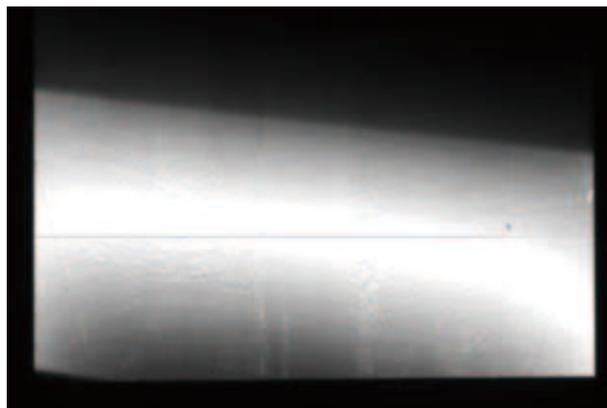


図4 拡大されたビームの像。フラットパネル検出器により撮影された。ビームの横幅は48mm程度である。



図5 メディカルバイオトライアルユースに対応するために導入された定盤(画面奥)。試料ステージ・検出器ステージおよびアナライザー用ステージから構成される。

BL28B2

放射線治療研究設備

厚さが数十 μm のシート状白色ビームを数百 μm の間隔で並べたマイクロビームを使った放射線治療の基礎研究は、放射線治療の新しい方式として提案され、放射光の特徴を生かす医学応用領域の開拓につながる可能性の高い研究と位置づけられている。このため、2005A期から白色X線を使ったマイクロビーム放射線治療の研究が開始されるようになり、これに伴ってマイクロビーム実験を実施するための設備を立ち上げた。

図6に、2004年度までの組織であった生物・医学グループが中心になり放射線医学総合研究所と北里大学が開発したマイクロビーム生成用コリメータ部分の装置構成を示す。BL28B2の最終段のチェンバーから大気中へ出射された白色ビームは、コリメータでマイクロビームとなり、イオンチェンバーを透過して実験動物や培養細胞に照射される。コリメータは、厚

さ25 μm のカプトン膜と厚さ175 μm のタングステン板を交互に積層した構造であり、カプトン部分を白色X線が透過してマイクロビームとなる。図7に、イオンチェンバーを透過したマイクロビームをビームモニターで撮影した結果を示す。

癌の放射線治療の成否は、基本的には、いかにして効率よく選択的に、癌組織に放射線量を集中し、正常組織の負担を軽くして癌細胞を死滅させるかにかかっている。マイクロビーム放射線治療の提案は、放射光の高指向性と高強度性の特徴を生かした提案で、図7のような細いビームをすだれ状に癌を含む領域に照射すると、ビーム内の線量が高線量にもかかわらず、正常組織への影響が緩和され、個体の延命率が高くなるという現象が根拠になっている。このような治療法が有効であれば、癌の放射線治療においても、放射光の医学利用の上でも、非常に画期的な概念の変更につながる可能性を持っており、検討すべき重要課題と位置づけられている。

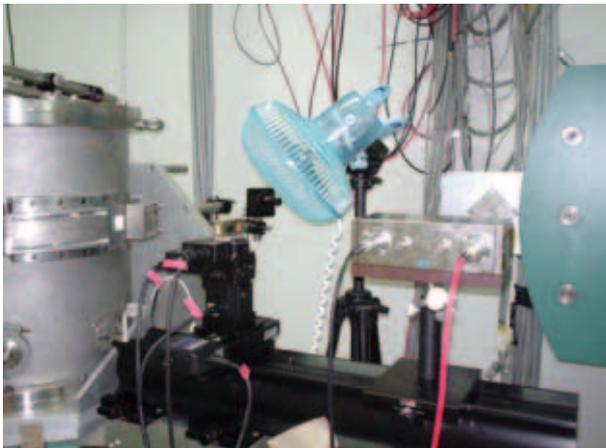


図6 マイクロビームを生成するコリメータ部分

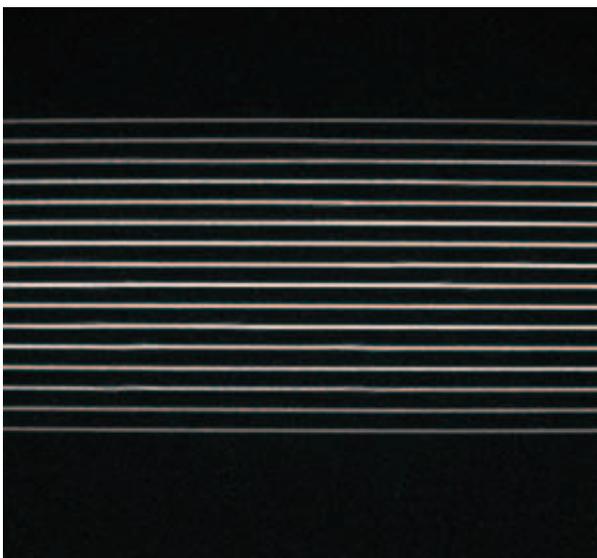


図7 マイクロビームのビームモニターでの撮影画像

BL47XU

硬X線顕微光電子分光装置（HX-PES）の導入とそれに伴うハッチ内レイアウトの変更

これまで、第一ハッチのフリースペースにて実験の都度設置されていた硬X線顕微光電子分光実験用の可動式装置とは別に、BL47XU常設用として新たに開発された硬X線顕微光電子分光装置（HX-PES、図8）が第二ハッチに導入された。替わりに、これまで第二ハッチ最下流に常設されていたX線顕微鏡装置は可動式装置扱いとして、実験時以外BL47XUハッチ外に置かれることになった。また、第二ハッチ最下流位置に新たに、ビームアライメントや高分解



図8 硬X線顕微光電子分光装置（常設型）



図9 ビームモニター用定盤

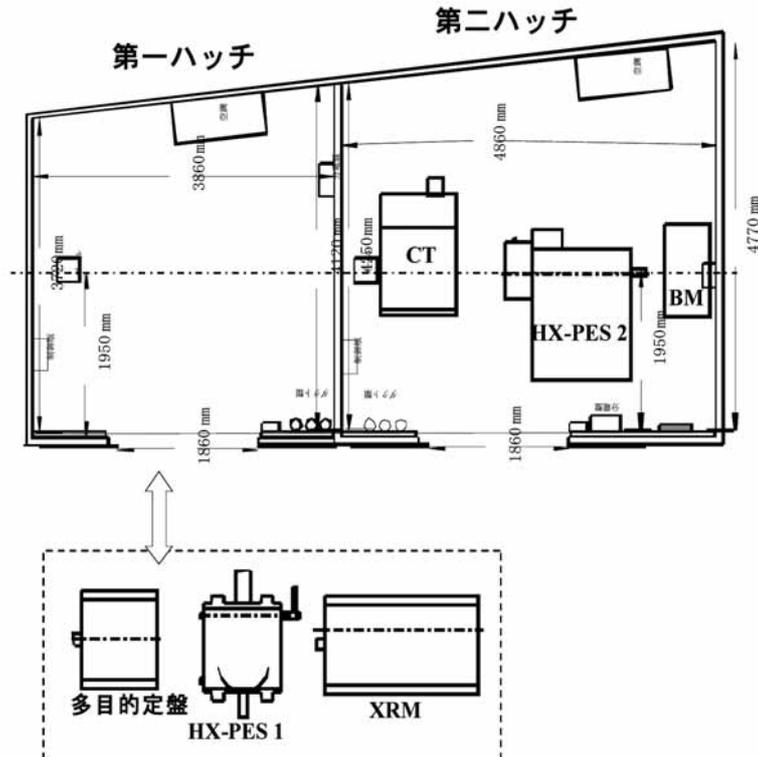


図10 BL47XUの実験ハッチ内レイアウト。
 CT：マイクロトモグラフィー装置、HX-PES：硬X線顕微光電子分光装置、
 BM：ビームモニタ用定盤、XRM：X線顕微鏡用定盤

能結像CT実験時に使われるビームモニタ、並びに光軸調整用レーザー用の定盤を設置した(図9)。このビームモニタやレーザーを使用する際は、光電子分光装置は横にスライドしてX線のパスが最下流まで通すことができるようになっている。更に、従来ポールの上に設置されていた最下流のビームストップを、ハッチの壁に取り付けることによって、これら2つの装置を入れるためのスペースを確保した。

図10に、BL47XU実験ハッチ1、2内の実験装置レイアウトを示す。第一ハッチは従来どおりフリースペースとして用いられる。X線顕微鏡装置は、マイクロビーム実験や、高分解能CT実験の際、このフリースペースにその都度設置される。また、可動式光電子分光装置も必要に応じてここに設置され実験が行われる。第一ハッチには、ここでも精度の高い光軸調整ができるように、第一ハッチ最上流から出し入れできる光軸調整用レーザーを導入した。第二ハッチは、常設の装置として上述の装置と、その上流にマイクロトモグラフィー装置が設置される。

利用研究促進部門 イメージンググループ
 上杉 健太朗、梅谷 啓二
 鈴木 芳生、竹内 晃久