

## BL20XU 医学・イメージングⅡ

### 1. 結晶分光器液体窒素冷却装置の改造

2006年度から2007年度にかけての2カ年計画で分光結晶液体窒素冷却器の冷却能力向上を行った。

BL20XUではヘリウムガス断熱膨張冷凍機による閉鎖循環型液体窒素冷却方式を用いている。従来の冷却器容量は200W~250Wの冷却器を二台直列に用いて(メーカー保証値が200W×2、単体熱負荷試験時の最高値が一台で250W)、おおよそ450W程度の能力であった。図1に示すBL20XUの基本波フラックス角度分布から半値幅 $40\mu\text{rad} \times 15\mu\text{rad}$ と見積もられ、この角度範囲に放射の約60%が含まれる。したがって本ビームラインのビーム強度を十分に利用できるためには最低この程度の見込み角を受けられる必要がある。

この角度領域に入る放射パワーは、ピーク放射パワー密度(最小ギャップ値7mmで $630\text{kW}/\text{mrad}^2$ )から約380Wになる。この入熱は冷却器能力から考えると十分に思えるが、実際にはX線以外の入熱が250W程度あるために、実際に利用可能なフラックスはもっと小さくなっている。これまでの実績では蓄積電流100mA電流、アンジュレータギャップ7mm(基本波7.62keV相当)でのフロントエンドスリット開口の限界は $0.5\text{mm} \times 0.6\text{mm}$ であった。BL20XUではフロントエンドスリットは光源から約31mの地点にあるので、 $0.5\text{mm} \times 0.6\text{mm}$ のスリット開口は受光角で $16.7\mu\text{rad} \times 19.4\mu\text{rad}$ になり、立体角では $312\mu\text{rad}^2$ に相当する。これは熱流入197W相当であり、およそ250WがX線以外の外部熱流入であることがわかる。現状の液体窒素間接冷却での熱負荷限界は450W以上であることが確かめられており、これまでのBL20XUのフラックス限界は液体窒素冷却装置の容量で規定されていた。

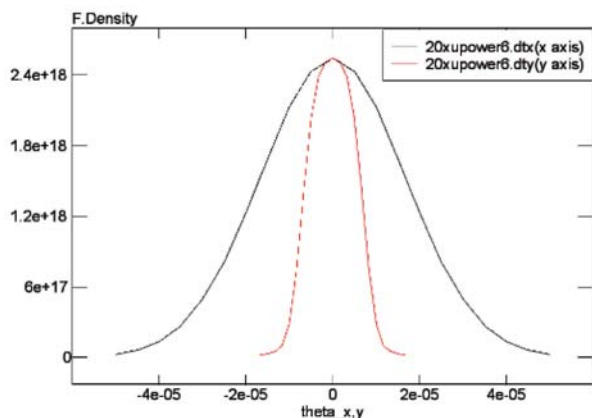


図1 放射角度分布フラックス計算値。赤線は鉛直方向、黒線は水平方向の角度分布。基本波エネルギー 7.62keV (アンジュレータ磁極ギャップ7mmに相当)。

そこで今回の改修工事では、これまで二台であったヘリウム冷却器を一台追加して合計約700Wとすることで、BL20XUにおけるアンジュレータ放射の大部分を受光出来るように改造した。図2および図3に改造した冷却器の写真を示す。図2に示すように改造により断熱膨張ピストンが三台になっている。図3の中央が新たに付加したコンプレッサである。

この改造後に、X線による熱負荷試験を行った。その結果、7mm磁極ギャップにおけるフロントエンドスリット開口 $0.75\text{mm} \times 0.76\text{mm}$  ( $= 24.2\mu\text{rad} \times 24.3\mu\text{rad} = 588\mu\text{rad}^2$ 相当)まで安定して運転可能であった。これは実効熱負荷で従来比約2倍であり、アンジュレータ放射の大部分を利用可能となったことに相当する。

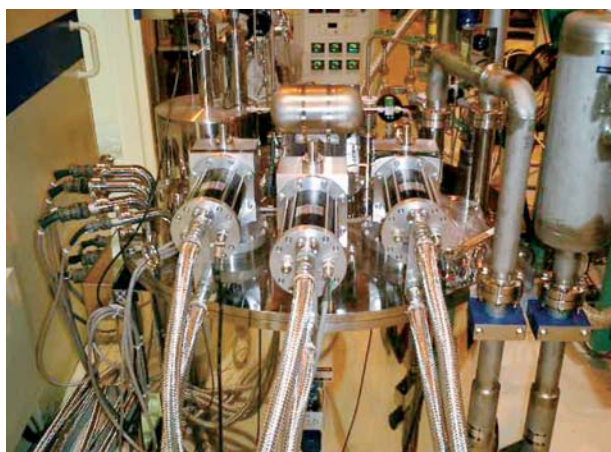


図2 改造した液体窒素冷却器の断熱膨張ピストン部分。中央が追加したもの。



図3 ヘリウムコンプレッサ。三台並ぶ中央が新たに設置したもの。

## 2. 結像顕微鏡用疑似ケーラー照明光学系

現在、フレネルゾーンプレートを結像光学素子とするX線結像顕微鏡および結像マイクロCTの開発を進めており、既にBL47XUで共同利用実験も行っている。よく知られているように顕微鏡光学系の像特性は対物レンズだけでなく照明系に強く依存する。フレネルゾーンプレートは通常のレンズと異なり、結像に寄与する+1次回折光以外の次数も同じように存在するため、これらの次数が像面に重畳しないように照明系と空間フィルタを組み合わせる必要がある。その光学系のひとつが、コンデンサゾーンプレートとビームストップの組み合わせによるケーラー照明光学系であり、図4にその光学系概念図を示す。

シンクロトロン放射のように比較的エミッタンスが小さ

く平行光に近い光源においてケーラー照明光学系を構成する方法として、図4に示したような等間隔同心円回折格子を用いる方法と回転ミラーを用いる方法が知られている。回転ミラーは光学系としては理想的であり、全反射鏡を用いることでほぼ100%の効率が得られる。しかしながら、光学系の調整が容易でなく長い調整時間を要するため、効率的なビームライン運営の観点ではユーザー利用装置として好ましくない。そこで、これまでのBL47XU等における結像マイクロCTでは図5に示すような同心円等間隔回折格子を用いていた。この場合の問題点は視野内の強度が均一でなく、強度分布は $1/R$ の関数型になり（ $R$ は視野中心からの距離）、中心に強いピークを示す。したがって中心付近の狭い視野に限った場合は優れた特性になるが、広い視野

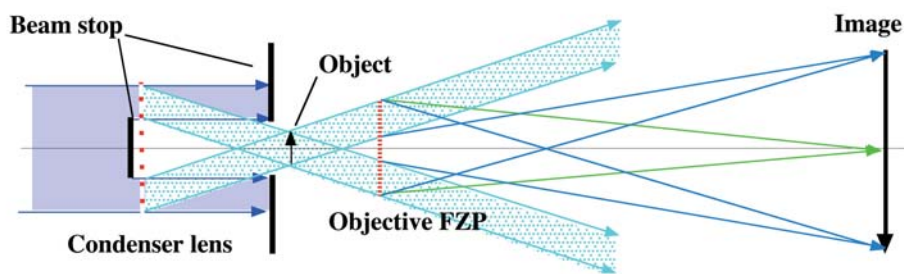


図4 同心円等間隔コンデンサゾーンプレートによるケーラー照明光学系を用いた結像顕微鏡の光学系概念図。

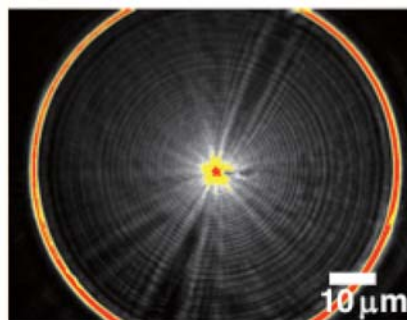
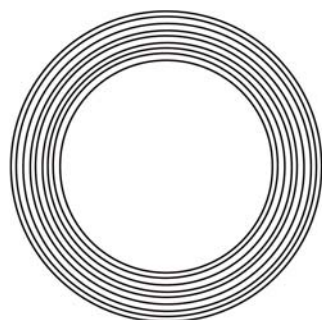


図5 等間隔同心円回折格子コンデンサの概念図と実際の視野における強度分布実測例。

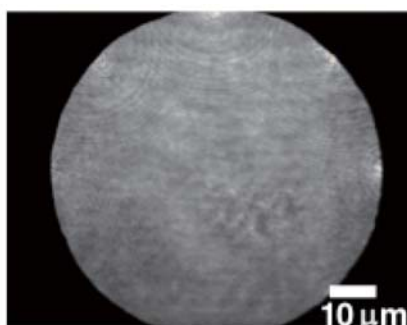
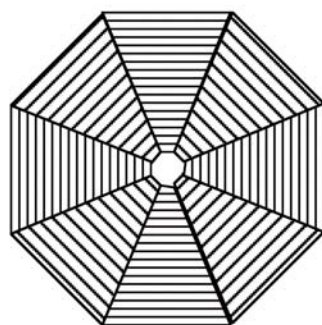


図6 多角形コンデンサの概念図と実際の視野における強度分布実測例。

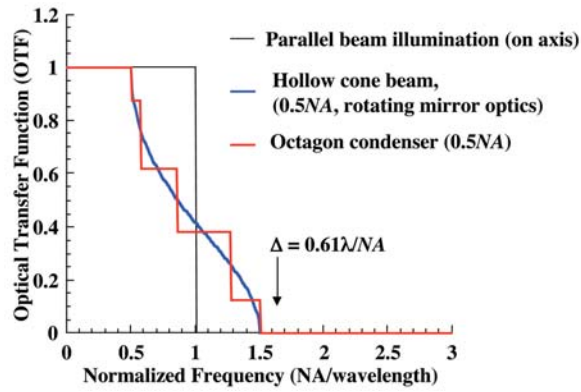


図7 平行照明、回転ミラーコンデンサ、および八角形コンデンサゾーンプレート照明系を用いた場合の空間周波数応答特性理論計算値。

を要求される条件では適切ではなかった。

この問題を解決するために、図6に示す多角形コンデンサを開発した。多角形（図に示した例では八角形）コンデンサゾーンプレートは等間隔回折格子を放射状に配置し、これにより近似的なケーラー照明と視野内での均一な強度分布を両立させたものである。多角形コンデンサを用いた場合の空間周波数応答特性は図7に示すように理想的なケーラー照明の応答関数に沿った階段状の特性を示す。

利用研究促進部門

バイオ・ソフトマテリアルグループ

鈴木 芳生