

BL20B2 医学・イメージング I

1. 概要

BL20B2は偏向電磁石を光源とした中尺のビームラインであり、蓄積リング棟内の実験ハッチ（上流ハッチ1）及び医学利用実験棟内の実験ハッチ（下流ハッチ2、3）において、X線イメージングを中心としたユーザー利用実験が行われている。X線イメージングは、空間分解能10～30 μm程度の領域で行われることが多い。基本的には単純投影型の実験が多く、場合によっては試料と検出器の距離を離れた屈折コントラスト法が用いられる。この実験は画像検出器が重要な役割を果たす。画像検出器は通常、レンズカップル式の可視光変換型の物を用いるが、これは構成要素である蛍光面・レンズ・カメラを交換することで、その特性を容易に変更できることが主な理由である^[1]。

2. sCMOSカメラの導入と画像検出器の最適化

ビームラインが建設された当初から2011年頃までは、高ダイナミックレンジ型や高速読み出し型のCCDカメラを使用していたが、2011年頃から科学計測用のCMOSチップ（Scientific CMOS, sCMOS）が販売されるようになった。

BL20B2で導入したsCMOSカメラである浜松ホトニクス製ORCA Flash 4.0は、画素数2048×2048 pixels、フレームレート100 Hz、ダイナミックレンジ約30000と

いう、これまでのカメラでは実現不可能であった読み出し速度と広いダイナミックレンジを同時に達成している。また、このデータ量（最大で800 MB/sec）でも、Camera Linkインターフェイス（CameraLink Full Configuration V2.0, 10-tap/8-bit）を用いることで、画像取得と同時にPCへデータ転送可能である。ただし、通常のケーブルでは実験ハッチ内のカメラとハッチ外のPCを直接接続することはできないので、STAC製のCLE-600LC等のエクステンダーを用いることとなる^[2]。

2012年度はこのORCA Flash 4.0に検出器全体を最適化することを行った。BL20B2実験ハッチ1では空間分解能10 μm程度の実験が多いので、本項ではこれに関する最適化について記述する。視野は実験ハッチ1でのビームサイズとの兼ね合いや試料の透過率の問題などで、4～5 mm程度確保できれば十分なことが多い。このため、検出器内のレンズ構成をビームモニター側f=35 mm、カメラ側f=85 mmとすることで、実効画素サイズを約2.7 μmとした（ORCA Flash 4.0の画素サイズは6.5 μm）。これで視野は約5.5 mmとなる。

次に蛍光面であるが、Tab. 1にあげる5種類を試した。これらの蛍光面を使用して、MTFを計測するためのテストチャートのX線画像を撮影した（Fig. 1）。測定エネルギー

Tab. 1 試験した蛍光面とその特性。

名称	化学式	発光波長	減衰時間	形状
P43	Gd ₂ O ₂ S:Tb ⁺	545 nm	1.5 ms	powder
P46	Y ₃ Al ₅ O ₁₂ :Ce ⁺	530 nm	60 ns	powder
LSO	Lu ₂ SiO ₅ :Ce ⁺	420 nm	40 ns	single cryst.
YAG	Y ₃ Al ₅ O ₁₂ :Ce ⁺	550 nm	70 ns	single cryst.
CsI	CsI:Tl ⁺	545 nm	900 ns	needle-like

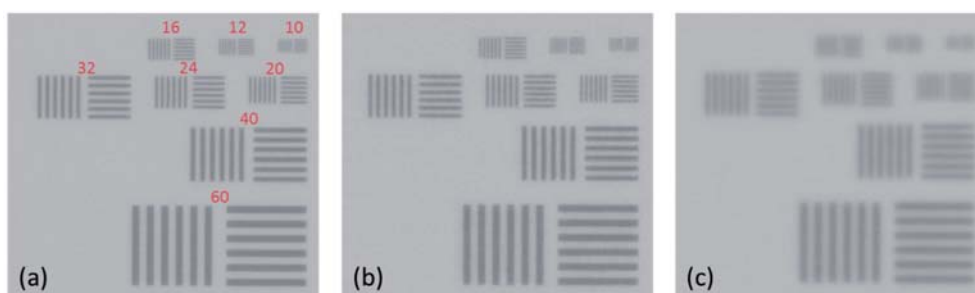


Fig. 1 ライン&スペースの解像度チャートの代表的なX線画像。10 keVにて撮影。画素サイズは2.76 μm/pixelである。(a)の画像にはチャートのピッチを数値で示している。単位はミクロン。(a) YAG単結晶150 μm-thick。(b) P43粉末7 μm-thick。(c) P43粉末20 μm-thick。

Tab. 2 蛍光面ごとの変換効率。測定は10 keVにて行われた。

名称	蛍光面	厚み	e-/photon
P43-20	P43	20 μm	7.79
P43-10	P43	10 μm	2.84
P43-7	P43	7 μm	1.64
P43-5U1T	P43	5 μm	0.52
YAG-150	YAG	150 μm	0.32
P46-20	P46	20 μm	0.55
LSO-100	LSO	100 μm	0.16
CsI-50	CsI	50 μm	4.44

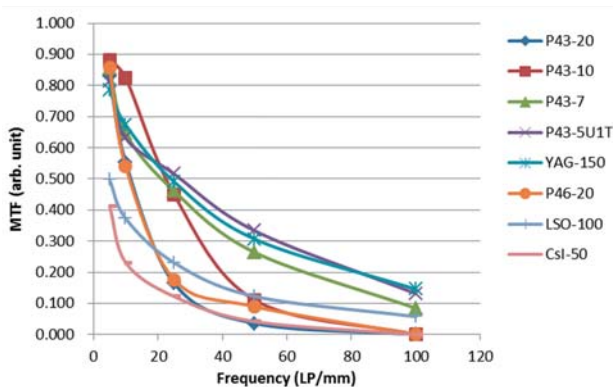


Fig. 2 蛍光面毎のMTF曲線。蛍光面毎に Fig. 1 の画像を取得し、曲線を描いたもの。

は10 keVである。この像からMTFを求めてプロットしたのがFig. 2である。また、X線光子1つがsCMOSカメラに生成する信号量も求めた (Tab. 2)。

3. まとめと今後の展望

単結晶蛍光面であるYAGは空間分解能が高いが、効率は同程度のMTF曲線を持つP43-5U1Tに比べて約60%しか持っていない。同じ単結晶であるLSOは散乱光が多く、MTFが非常に悪い。また発光波長もORCA Flash 4.0が不得意な領域にあるため、検出効率も著しく悪い。

粉末蛍光面は厚みが増せば効率は良くなるが、空間分解能が悪くなるのが明らかである。この中で効率と空間分解能のバランスが比較的良好なのはP43の7 μm -thickであろう。ただし、P43の減衰時間は1.5 msec程度あるので、超高速撮影の際には注意が必要である。

唯一の針状結晶であるCsIは検出効率が良いものの、MTFが非常に悪い。これは製造過程で発生してしまう針の間にまたがるアイランドによるものと考えられる。

今後、蛍光面の改良を行っていく上で2つの方向性がある。1つは10~30 μm 程度の空間分解能を持ち、効率をより高くする。針状結晶のCsIは有力な候補であるが、アイランドの問題を解決しなければならない。もう1つは超高分解能用の単結晶蛍光面の改良である。本項で明らかに

なったように、SPring-8において通常用いられているLSOは散乱光が強く低周波数側での特性が悪い。また発光波長もsCMOSには不適切な領域である。これらを解決するような蛍光面の開発が必要であろう。

参考文献

- [1] K. Uesugi, M. Hoshino and N. Yagi: *Journal of Synchrotron Radiation*, **18** (2011) 217-223.
- [2] K. Uesugi, M. Hoshino, A. Takeuchi, Y. Suzuki and N. Yagi: *Proceedings of SPIE* **8506** (2012) 85060I.

利用研究促進部門

バイオ・ソフトマテリアルグループ

上杉 健太朗、星野 真人