

BL20B2 医学・イメージング I

高速度CMOSカメラの導入及び評価

1. 概要

BL20B2で多く実施されているX線CT法は、物体内部の3次元構造が得られる手法である。単色X線を用いることにより物体の3次元構造を線吸収係数あるいは位相シフト量の分布として表すことができる。最近ではそれらを利用して、工業材料・隕石・生体試料などの3次元構造解析に資するデータの取得もなされており、実験数・試料数の増加によってデータ収集の高速化が望まれている。その一方で、時間分解能を持つX線CT装置（4次元イメージング装置）の開発も進められている。また、時間分解能の高い2次元イメージングの開発・利用も進められており、in-vivoライブイメージングや結晶成長観察などが行われている。2010年度はこれらのX線イメージング実験におけるデータ収集速度の向上を目的として、高速度カメラの評価を行った。

2. 高速度カメラの導入

BL20B2ではこれまでに、電子増倍型CCDカメラ（EM-CCD、浜松ホトニクス社製C9100-02）やX線サチコンを利用した高速撮影を行って来ており、ウサギ肺の発達過程や鉄鋼材料の結晶成長過程の2次元観察が行われている。また、3次元観察手法として、sub-minute CT装置^[1]を開発した。この手法では1000×1000画素のEM-CCDカメラを15～25 Hzでドライブすることにより、スキャン時間1分以下を達成した。しかし、1分の時間分解能は物体の変形や生きている生物の測定には長すぎる。また2次元観察においても、より高速で撮影する要求がある。そこで、さ

らなる高速化に対応するためにCMOS素子を利用した高速度カメラを導入した。このカメラによって原理的には数秒でCT撮影が可能と考えられる。

この高速度カメラは株式会社フォトロン^[2]が販売しているFASTCAM SA2に若干の改造を施した特殊仕様である。改造は主に2点ある。

1. 搭載メモリを64 GBに増強した。これにより、2048×2048の画像を約10900枚メモリに格納可能となった。
2. 10 Hzの低速撮影を可能にした。

Table. 現有CCDカメラと高速度CMOSカメラの主な性能の比較。

	CCD	CMOS
	C9100-02 (浜ホト)	SA2 (Photron)
画素数	1000×1000	2048×2048
フレームレート	30Hz	1080Hz
A/D 変換 bit	14bit	12bit

3. 高速度カメラの評価

読み出しノイズを考慮した場合、SA2の実効的なダイナミックレンジは約10 bitである。図1にSA2 (f=135 mm)+BM2 (f=50 mm) の組み合わせのMTF (左) とテストチャート (右) を示した。蛍光面は厚さ10 μmのP43を用いた。実効画素サイズは3.85 μm/pixelである。空間分解能は、画素サイズよりは蛍光体の厚さで決まっていると考えられる。変換効率（1つのX線光子が生成する信号量）は、0.28 ADC/photonであった。すべての測定は15 keV

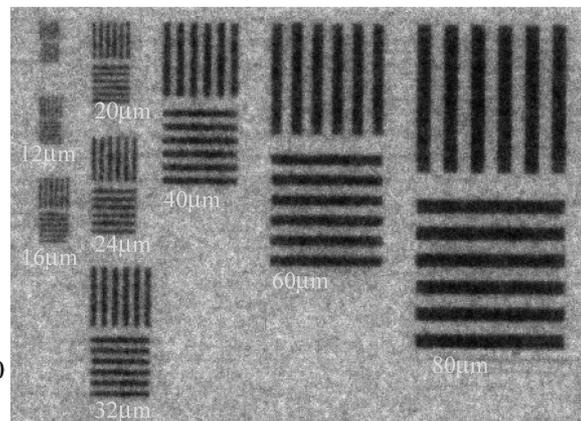
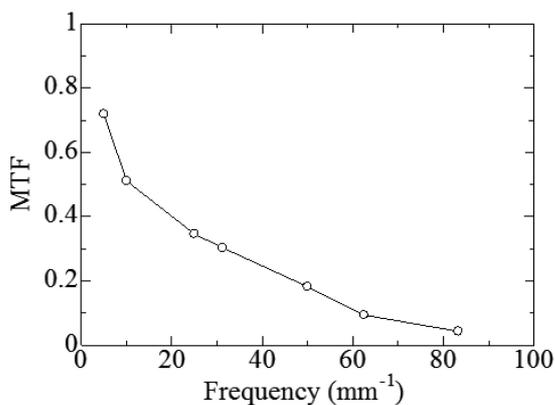


図 MTF (左) とテストチャート (右、Ta 1 μm厚、NTT-AT製)。チャートにある数値はライン&スペースのピッチを表している (線幅はその半分)。

で行った。この変換効率からBL20B2の実験ハッチ1（光束密度約 $1.0E+10$ photons/mm²/sec）ではSA2で使用されているCMOS素子のfull well分の電荷を蓄積するには1秒程度かかることが分かる。また、レンズを交換し、実効画素サイズを6.11 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ にした場合でも、変換効率は0.26 ADC/photonなので、full well分の電荷蓄積には0.4秒を要する計算となる。ただし、SA2の最大露光時間は0.1秒なので、full wellの蓄積はBL20B2ではできない。この結果から、読み出し速度からは総撮影時間数秒でのCT撮影が可能であるが、電荷蓄積量が少ないためにノイズが高く、高精度の画像は得られないことが分かった。本カメラは、他のフラックス密度の高いビームラインでのCT実験や、PIV（Particle Image Velocimetry）などfull wellの電荷の蓄積を必要としない種類の実験に適していると考えられる。

参考文献

- [1] K. Uesugi et al.: AIP Conf. Proc., **1266** (2010) pp. 47-50.
- [2] フォトロン：<http://www.photron.co.jp/>

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 健太郎、星野 真人
八木 直人