

## BL20XU 医学・イメージングⅡ

### 1. 背景

BL20XUで多用されているX線CT法やラミノグラフィー（トモシンセシス）のような3次元イメージングは、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。BL20XUはアンジュレータビームラインであるため、高分解能CT実験においてもX線フラックスには余裕があり、データ収集のスループット向上には画像撮影に使用するカメラの高速化が最重要ポイントとなっている。

### 2. 高精度高速 CMOS カメラを用いたハイスループット CT

従来のCTやラミノグラフィー（トモシンセシス）のような3次元イメージングでは試料の回転走査に従って多数の（1000枚以上）投影像を計測するため、効率的な計測には大量の2次元像を高速で収集する必要がある。一般的なビデオ撮影用のCCDやCMOSカメラを用いればTVレート（30フレーム/秒）での高精細画像（一般的な規格で1920×1080画素）のデータ収集ができる。しかしながら、TV画像に要求されているダイナミックレンジは8ビット以下であり、CTやラミノグラフィーでの高精度計測には不十分である。これまでのCT測定では、科学計測用高精度CCDと呼ばれる低速読み出しによりreadout noiseを低減させたダイナミックレンジ4000以上が可能な計測用CCDカメラが使われていた。しかしながら、この種のカメラでは読み出し速度のためにthroughputに限界があった（1フレーム/秒程度）。現時点での高フレームレートの極限を追求した画像計測装置は並列読み出しのCMOSカメラに大容量オンボードRAMを実装したものであり、2048×2048画素で1000フレーム/秒の速度が実現されている。また、この種のカメラではRAMからPCへのデータ転送がボトルネックとなっており、実際のCT計測ではスループットの限界がデータ転送速度で決められている。

最近新しいシリコン撮像素子として、高精細（～2000×2000画素）、高速フレームレート（数十フレーム/秒）、広ダイナミックレンジ（4000以上）を実現した並列読み出し型の科学計測用CMOS（sCOMS）が実用化されている。また、浜松ホトニクスから発売されている

sCMOSカメラであるORCA-FlashではCamera linkインターフェースを用いることによりPCのHDへの書き込み速度を含めた実効的なスループットとしてビデオレート（30 Hz）以上のフレームレートが可能となっている。SPRing-8でのCT等の画像計測に標準的に使われているシンチレータと光学レンズを組み合わせたビームモニタではLSOやP43等のシンチレータでの残光特性は十分に早い（数ミリ秒以下）。またBL20XUにおけるflux densityは上流ハッチで10E13 photons/s/mm<sup>2</sup>以上であり、下流ハッチでも10E12 photons/s/mm<sup>2</sup>以上が実現されていることから、ビームモニタと高速sCMOSを用いることにより従来のCT計測時間を格段に短縮できる可能性がある。

ハイスループット試験に用いたCMOSカメラは浜松ホトニクス社のORCA-Flash 2.8である。フォーマットは1920×1440画素、画素サイズ3.63 μm、最速読み出し速度45 frame/s、公称ダイナミックレンジ4000以上である。このカメラをビームモニタ3型（LSO単結晶シンチレータ、厚さ10 μm）と組み合わせた。ビームモニタのレンズ系としてニコン社の顕微鏡対物レンズ（CF Plan 20x）を用い、CMOSカメラ側の×1/2コンバータレンズを組み合わせることによって、実効画素サイズ0.498 μmとなっている。図1にこの条件でのテストパターンを用いた投影像計測結果を示すが、0.8 μm線幅のラインスペースまで明瞭に分解されている。

この条件でCT像計測試験を行った結果を図2に示す。試験試料は鉛筆の芯（直径0.5 mm）であり、on-the-fly scan法により180度を0.2度ステップで測定した900枚の投影像から断層像を再構成したものである。各投影像の露光時間は120ミリ秒であり、全測定時間は約5分である。

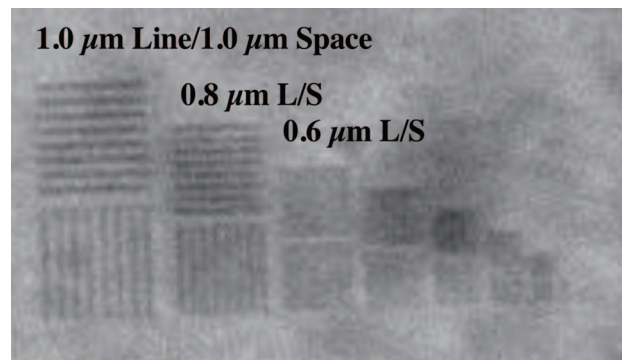


図1 テストパターンを用いた分解能評価結果。  
X線エネルギー：8 keV。

また、図3に図2の断層像の一部を拡大して示すが、CT像としての分解能としても1  $\mu\text{m}$ 程度が実現しており、ナノキスト限界に近い分解能になっていることが確かめられている。

この結果、従来法と比較して同程度の画質を保持した条件で、3倍～5倍程度の高速化が実現できることが確かめられた。ここで述べた高速CTは2011B期から一般ユーザー実験に供せられている。

参考文献

- [1] K. Uesugi, M. Hoshino, A. Takeuchi, Y. Suzuki and N. Yagi: Proceedings of SPIE 8506, 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 健太郎、星野 真人

竹内 晃久、鈴木 芳生

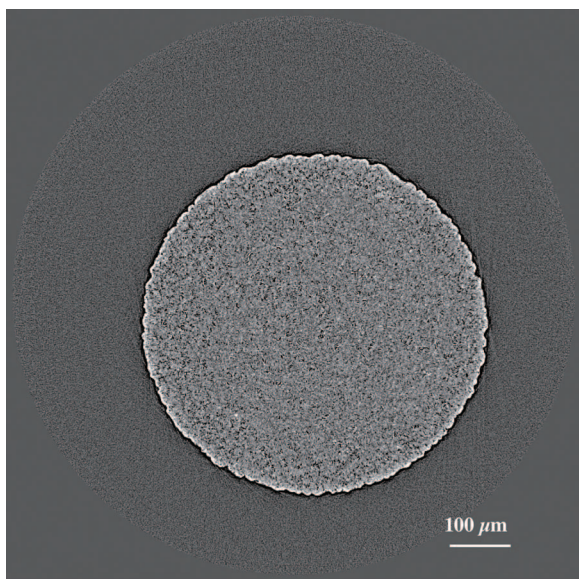


図2 投影CT計測試験結果。

試料：鉛筆の芯（直径0.5 mm）  
 X線エネルギー：8 keV、900 投影/180度  
 露光時間：120 ミリ秒/投影  
 全測定時間：約5分。

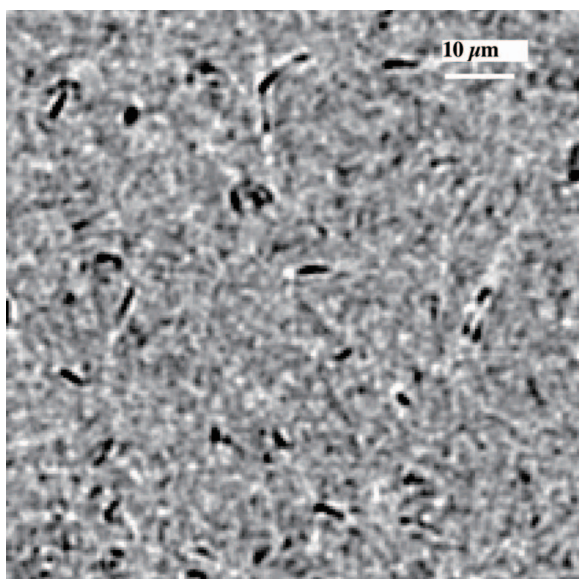


図3 図2の画像の一部を拡大表示したもの。  
 1  $\mu\text{m}$ 程度のサイズのボイドや不純物粒子が識別可能である。