

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ビームラインであり、蓄積リング棟内の実験ハッチ1および中尺ビームライン実験施設内の実験ハッチ2、3において、X線マイクロCTをはじめとしたイメージング（画像計測）実験等に利用されている。リング棟内にある実験ハッチ1では主に高い光束密度を必要とする高分解能計測や高速撮影を行う。光源から200m以上離れた下流実験ハッチ2、3では、質の良い大面積単色X線ビームを利用することが可能であり、空間コヒーレンスを必要とするX線の位相情報を用いた画像計測を行うことが可能である。

2. 材料試験器も兼ねたCT装置の開発

X線CT法は物体の構造を3次元で取得できる手法である。BL20B2では、X線CTの計測条件の最適化や最新型の検出器を導入することで計測時間を短縮させてきており、特定の条件下（空間分解能10 μm 程度、15-30 keVあたり）では計測時間は1分以下とすることも可能である。この比較的短い計測時間を利用して、物体の変形や吸水・燃焼の様子をとらえるような実験が行われている。また繰り返しが可能な弾性変形過程では、数ミリ秒の時間分解能での変形挙動を捉えることも可能となっている。材料の破壊や変形の過程を可視化するために、材料試験機を持ち込むユーザー実験もあるが、いくつかの点で放射光画像計測実験に最適化されているとは言い難い。一つは荷重を支えるためのポリマー筒や支柱の存在である。もう一つは試験機としては非常にゆっくりとした高精度な動作を要求されるものの、それを満たすような機器が販売されていないことである。ポリマー筒や支柱は画像に偽像を発生させる。これは視野の外側における物体の存在がその理由となる。また、材料の機械的変形速度はX線画像計測（特にデータ取得に時間がかかるCT計測）においては極めて遅い必要がある。具体的には、毎秒あたり0.1ミクロンから数ミクロン程度の移動量が限界となる。これ以上の速度での動作は、CT再構成像における偽像（モーションアーチファクト）の原因となる。

2016年度はこれらの問題を克服し、非定常状態における材料の変形挙動を計測するための装置を開発し共同利用装置として公開した。装置写真を図1に示す。装置の製作は神津精機による（型式名SPU-12）。支柱内側の上下に回転機構を備えており、試料が回転しても支柱が視野

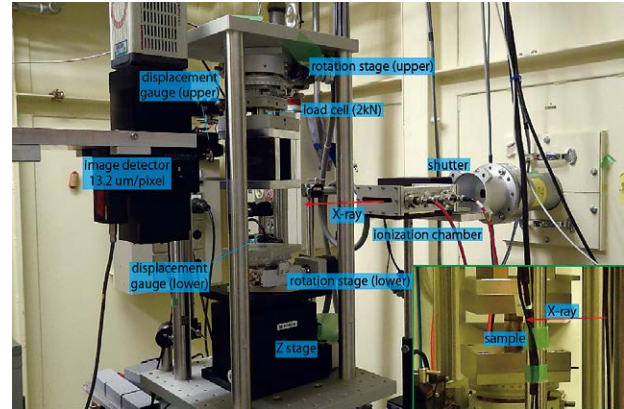


図1 BL20B2実験ハッチ1に設置された装置（神津精機製SPU-12）。最大2 kNの加重まで回転状態で計測可能。

を横切る事はない。また、加重とステージの変位を同時に計測する事が可能である。荷重計（引っ張り圧縮とも最大2 kN）はスリップリングで上側回転ステージ上に接続されており、連続回転に対応している。本稿執筆時点では、上下ともに高さ調整機構を有するように改良がなされ、試料を中心とした引っ張りおよび圧縮が可能となった。上下の取り付け板間に20 cm以上のスペースを設けているため、電気炉などの外場をかける装置が比較的簡単に設置可能である。

この装置を使用して粘弾性体であるStyrene-butadiene rubber (SBR)の引っ張り時における破壊挙動を可視化する試みを行った^[1]。計測は実験ハッチ1において行われた。主な計測条件は次のとおりである。X線エネルギー：25 keV、実効画素サイズ：13.2 μm 、露光時間：5 msec/projection、視野：26.4 mm(横) × 3 mm(縦)、投影数：900、引っ張り速度：2 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 。1回のCT撮影に要する時間は7.5 secであった。図2に400秒間(0.8 mmに相当)引っ張り、その後600秒間保持したときの画像データを示す。この計測では約130回分のCT連続撮影が行われた。総データ量はおよそ100 GB程度となった。ロードセルのデータからは、引っ張りを停止させた直後からSBRの緩和が始まり、加重が小さくなっていく様子が見られた。画像からはSBRの緩和に伴い、広がっていくボイドと収縮していくボイドの2種類が存在していることが分かった。

3. まとめと今後の展望

計測技術の進歩により高速測定が可能となった。そう

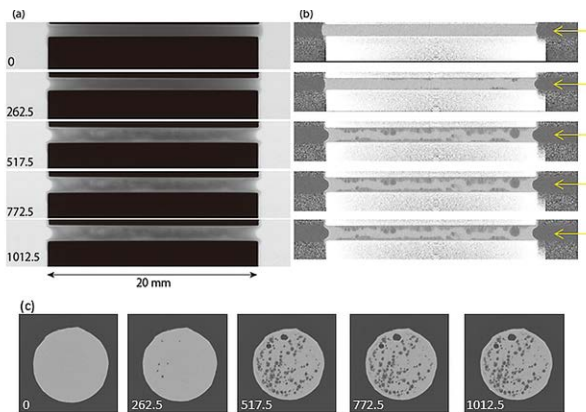


図2 SBRゴムの引っ張り試験の様子を時系列順にならべたX線画像。ゴムの上下には固定用の金属治具が貼り付けてある。各画像の数値は撮影開始からの時間（秒）を示している。開始から400秒で引っ張りの変位を停止させた。(a)透過X線。(b)CT像のスタックから中心付近の縦断面を切り出した。(c)(b)の黄色の矢印の位置のCT像。

なると動的観察への期待が高まる。実際にBL20B2で行われている実験は静的なものよりも動的な現象の観察の方が多い。そのうち1/3程度は動物実験であるが、金属材料や岩石系の実験も多い。本稿で示した装置は、すでにいくつかの課題で使用されはじめ、成果が出つつある。今後はこの装置のポテンシャルを引き出していくような試験研究が増えるであろう。具体的にはねじれの計測や電気炉による溶解や流体の計測である。BL20B2ではこれ以外にも様々な動的観察を行っており、それらで培った技術を有機的に連携させ、今後の課題遂行をスムーズに進めていく予定である。

参考文献

- [1] K. Uesugi, M. Hoshinio, H. Kishimoto and R. Mashita, *Proc. SPIE* **9967**, “Developments in X-Ray Tomography X”, 99670V (2016)

利用研究促進部門
 バイオ・ソフトマテリアルグループ
 星野 真人、上杉 健太郎