

## 準単色光を用いた超高速 retrospective 4D in vivo-CT の開発 Development of high-speed retrospective 4D in vivo-CT system with quasi-monochromatic beam

世良俊博<sup>a</sup>, 横田秀夫<sup>a</sup>, 上杉健太郎<sup>b</sup>, 八木直人<sup>b</sup>  
Toshihiro SERA<sup>a</sup>, Hideo YOKOTA<sup>a</sup>, Kentaro UESUGI<sup>b</sup>, Naoto YAGI<sup>b</sup>

<sup>a</sup>理化学研究所, <sup>b</sup>高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup>RIKEN, <sup>b</sup>JASRI

BL40XU で高フラックス X 線とハイスピードカメラを組み合わせた超高速 4D in vivo-CT の開発を行った。サンプルが活着しているため、心臓と呼吸によるモーションアーチファクトを軽減する必要がある。従来はそれぞれの信号に合わせて事前に露光タイミングを設定していたのに対し、本手法ではそれぞれの信号とは無関係に高速撮影し、撮影後に投影像を分類して CT 再構成を行った。本手法によって、動態観察に要する測定時間を大幅に短縮することが可能となった。

We developed a high-speed 4D in vivo-CT using high flux X-ray and high-speed camera at BL40XU. In visualization of a living animal, breathing and cardiac motion causes serious motion artifacts in the reconstructed images, including blurring of the lungs and hearts. Previously, to reduce these motion artifacts, the projections are acquired prospectively in synchrony with the ECG and airway pressure. In this study, the projections are acquired retrospectively without any triggers during acquisition and are sorted into the different number of phase bins after a complete acquisition. This method is possible to reduce scan time in visualization of airway and cardiovascular dynamics.

### 背景と研究目的：

従来より、X線CT装置は、物体内部の3次元構造を得るための手法として利用されている。特に生命科学にCTを応用する場合、動物を活着している *in vivo* の状態で撮影できることは非常に有用である。特に肺や心臓のような周期的な運動をしている臓器の3次元動態観察 (4D in vivo-CT) は、単なる生理学的な興味だけでなく、薬剤効果などを調べる際に非常に重要である。

4D in vivo-CTでは、動いている臓器を撮影するため、モーションアーチファクトを低減することが重要である。現在提案されている4D in vivo-CTの撮影方法としては、露光タイミングを心拍や呼吸と同期をとり撮影時だけX線シャッターを開く perspective法と、とりあえず高速撮影を行いCT再構築の際にタイミング毎に投影像を分類する retrospective

法の2種類がある。前者の方法の場合、スキャン毎にトリガー設定を行うため1スキャン：1時系列であり、4次元のデータを取得するには数スキャン行うため、測定時間が非常にかかる。また、それにつれて、線量も増加する。我々のグループでも、BL20B2で perspective法による4D in vivo-CTの開発を行った<sup>(1)</sup>。一方で、後者の場合は、1スキャンで4次元のデータを取得可能であり、非常に測定時間が短い。また線量も少ない。そのため、retrospective法は、臨床の4D-CTで多く採用されている。

以前開発したハイフラックスX線 (BL40XU) を用いた超高速CTシステム (2004B、課題名：準単色光を用いた、超高速CT装置の開発) は、数秒でのCT撮影が可能である<sup>(2)</sup>。また検出器にハイスピードカメラを用いることによって、短時間でも大量

の投影像を取得することが可能である。以上のことから、retrospective法による4D in vivo-CTの可能性が非常に有用である可能性が高い。そこで、本研究では、以前開発したBL40XUの準単色光を用いた超高速X線CT装置を生体サンプルのイメージングに応用、特に小動物を対象とした4D in vivo-CTを試みる。

### 実験：

BL40XU実験ハッチ内に、(1) beam diffuser (2) ビーム拡大用ミラー(縦横各1枚) (3) 回転ステージ (4) 高速検出器 を配置した (Fig. 1)。(2) と (3) の間は約3mの距離をあけ、真空パスを設置した。BL40XUのビームをそのまま使用すると視野が小さすぎるため、ミラーを用いて上下左右にビームを広げた。ビームサイズを12mm×4.8mmとして実験を行い、その時の flux density は  $1.0E+13$ (photon /mm<sup>2</sup>/sec)を超える。これにより、検出器の露光時間は10msec程度を達成できた。

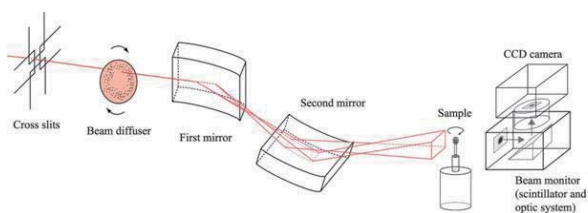


Fig. 1 Experimental apparatus <sup>(2)</sup>

サンプルには、生きたマウスを用いて、胸部CT撮影を行った。測定中は、吸入麻酔によって呼吸管理を行い、気道圧と心電をモニターした。検出器は、ビームモニター (浜松ホトニクス製BM2.5) とハイスピードカメラ (Photron製SA1) を用いた (1pixel=12 μm)。サンプル回転中は、呼吸&心拍によるトリガー信号を使わずに、とりあえず高速撮影を行

った (Fig. 2右)。この投影像には、呼吸や心拍に関する様々なタイミングでの画像が含まれているため、これらの投影像から呼吸と心電のログから任意のタイミングでの投影像を抽出し、CTの画像再構成を行った。

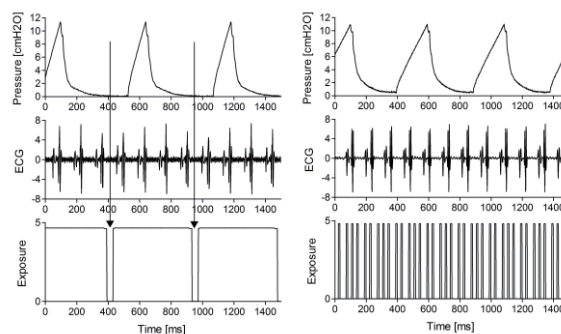


Fig. 2 Acquisition sequences

(right : perspective method <sup>(1)</sup>, left : retrospective method)

### 結果、および、考察：

Fig. 3 に本手法で得られた呼気後 (機能的残気量時) の CT 画像を示す。サンプルが180° 回転中に撮影した 15000 枚の投影像から同じ位相 (呼気後&ECG 拡張期) のみ 2000 枚を抽出し、CT 再構成を行った。肋骨や心臓周辺にモーションアーチファクトが見られるが、胸部内の気管支は比較的明瞭である。全投影像から再構成用に抽出する閾値を厳しくすればモーションアーチファクトは小さく

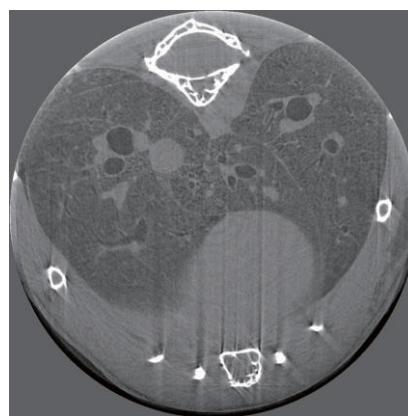


Fig. 3 The thoracic CT image of a living mouse

なるが、再構成用の投影像自体が少なるため逆にピクセルノイズなどが増える。そのため、今後は、再構成アルゴリズムも含めて撮影の最適化が必要である。

#### 今後の課題：

上記のようにモーションアーチファクトを軽減することである。その上で、空間分解能の向上も必要である。また、本実験では胸部を対象に CT 撮影を行ったが、循環器の撮影も可能である。その場合、X 線エネルギーを血管造影剤の主成分であるヨードの K 吸収端 (33.2keV) を利用すると画像のコントラストが上昇する。本実験では X 線エネルギーを 16keV としたが、今後は高い X 線エネルギーを用いた実験も必要である。

#### 参考文献：

- (1) T SERA, H YOKOTA, K FUJISAKI, H TACHIBANA, K UESUGI, N YAGI, R HIMENO, Development of high resolution 4D in vivo-CT for visualization of cardiac and respiratory deformations of small animals. *Physics in Medicine and Biology* 53(16), 4285-4301, 2008
- (2) K UESUGI, T SERA, N YAGI, Fast tomography using quasi-monochromatic undulator radiation. *Journal of Synchrotron Radiation* 13 (5): 403-7, 2006

#### キーワード：

小動物、in vivo-CT、動態観察、アンジュレータ、高速撮影