

X線サーモグラフィーを用いた生体試料内部における 熱伝搬の可視化の試み

Visualization of thermal propagation in biomedical sample using X-ray thermography

米山明男^{1*}, 兵藤一行²

¹九州シンクロトロン光研究センター, 〒841-0005 鳥栖市弥生が丘 8-7

²物質構造科学研究所, 放射光科学研究施設 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

Akio YONEYAMA¹ and Kazuyuki Hyodo²

¹SAGA Light Source, 8-7 Yayoigaoka, Tosu, 841-0005, Japan

²Institute of Materials Structure Science, Photon Factory,

1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

X線サーモグラフィーは、熱膨張に伴う僅かな密度の変化から試料の温度変化を検出するイメージング法である。透過能に優れた硬 X 線を利用しているために、物体内部の温度を非破壊で三次元的に検出できることが大きな特徴で、これまでにヒーターで加熱した水の温度変化の動的な観察に加え、円筒セル内で加熱した水の三次元的な温度分布の可視化にも成功している[1]。今回、本法を生体試料に適用し、加熱によって生体試料内で熱がどのように伝搬するか可視化を試みた。

2 方法及び装置

熱膨張に伴う密度の変化は極めて小さいため、数°Cの温度分解能を得るためには、非常に高い感度で密度変化を検出することが不可欠である。そこで、最も高感度に電子密度を検出できる結晶 X 線干渉計を用いた位相コントラスト X 線イメージング法を採用している。結晶 X 線干渉計はラウエ・ケースの X 線回折を利用して、入射 X 線ビームの分波・反射・結合を行うマッハ・ツェンダー型の干渉計で、物体波光路に設置した試料による位相の変化（位相シフト）を波の重ね合わせにより、干渉光の強度に変換して検出することが大きな特徴である。回折格子干渉法や屈折コントラスト法など他の位相イメージング法が試料による X 線の屈折を検出しているのに対して、本法では位相シフトを直接的に検出しているために感度が 1 桁程度高く、数°Cの温度分解能を実現できている。

現在、複数個の結晶光学素子から構成された結晶 X 線干渉計（分離型干渉計）を用いた大視野イメージングシステム[2]が BL-14C に常設され、バイオメディカルから材料に至る幅広い分野において超高感度な非破壊観察に利用されている。本課題の計測も同システムを利用して実施した。X 線のエネルギーは 17.8 keV とし、干渉像の検出にはファイバーカップリング型の sCMOS 画像検出器（Andor 製 Zyla 5.5

HF、画素サイズ 6.5 ミクロン、画素数 2560×2160、転送速度 50 fps）を用いた。また、位相シフトを定量的に検出するために走査数 3 の縞走査法を使用した。干渉像の露光時間は 0.3 秒で、位相マップ（位相シフトの空間分布）の計測時間は 1.3 秒である。

3 結果

図 1 にヒーター加熱に伴う豚赤身肉（脂肪入り）の温度変化を計測した結果を示す。下部に設置したヒーターにより、徐々に密度が低下（加熱）されていることが判る。また、黒い縦の線は脂肪に対応していることから、脂肪の熱伝導率は赤身に比べて高く、熱は脂肪に沿って伝搬していることが判る。なお、試料の厚さは 10 mm で、赤身の熱膨張率を $1.0 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ と仮定すると 1 rad が 2.67°C に相当することから、試料は約 30°C に加熱されていることになる。

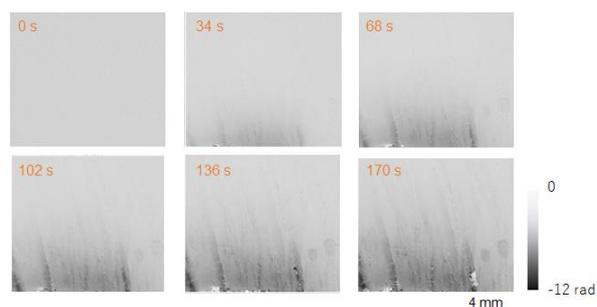


図 1 ヒーター加熱に伴う豚赤身肉の温度変化（34秒毎）。熱は脂肪に沿って伝搬している。

参考文献

- [1] A. Yoneyama *et al.*, *Sci. Rep.*, 8(1) 12674 (2019)
 [2] A. Yoneyama *et al.*, 425, 192007, *J. Phys.: Conference Series* (2013).

* yoneyama@saga-ls.jp