

X線干渉法を用いた三次元 X線サーモグラフィーの検討 Feasibility study of 3D X-ray thermography using X-ray interferometric imaging

米山明男^{1,2*}, 兵藤一行³

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 (株) 日立製作所研究開発グループ基礎研究センタ, 〒350-0395 比企郡鳩山町 2520

³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 YONEYAMA^{1,2*} and Kazuyuki Hyodo³

¹SAGA light source, 8-7 Yayoigaoka, Tosu, 841-0005, Japan

²Research and Development Group, Hitachi Ltd., 2520 Hatoyama, Saitama, 350-0395, Japan

³Institute of Materials Structure Science, Photon Factory,
1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

持続可能な低炭素社会の実現には、廃熱等の効率的な制御技術（サーマルマネージメント）が不可欠である。しかし、現在普及しているサーモグラフィーは赤外線を使用しているために、物体表面の測温に限定され、内部の温度分布を非破壊かつ三次元的に計測することはできなかった。そこで、X線の高い透過能と位相イメージング法の高感度特性に着目し、熱膨張に伴う密度の変化から温度の変化を非破壊に検出する全く新しい原理に基づいた「X線サーモグラフィー」を開発した[1]。

2 方法及び装置

本法では BL-14C に常設されている結晶分離型 X線干渉計を採用した位相コントラスト X線イメージングシステム[2]を利用する。本干渉計はマッハ・ツェンダー型と同様な構成をしており、物体波の光路に設置したサンプルによって生じた位相シフトを、波の重ね合わせにより干渉光の強度に変換して検出している。他の位相イメージング法が密度の空間微分量を検出しているのに対して、本法では位相シフトを直接検出しているため、1桁程度感度が高いという特徴がある。このため、高感度に密度の変化、すなわち温度の変化を検出することができる。

これまでに、水中に設置したヒーターの加熱に伴う水の温度変化を計測し、加熱された高温領域がヒーターから柱状になって上部に広がっていく様子を鮮明に捉えることに成功している。そこで、今回はサンプル全体を回転する機構を設け、CTと組み合わせることで三次元的な熱分布の計測を試みた。図1に本機構の模式図を示す。加熱用ヒーターと内部チューブ、チューブ回転機構、及び外部セルから構成されており、ヒーターと内部チューブを X線に対して±90度回転できる構造となっている。このため、ヒーターによって加熱されたチューブ内の水の温度変化を非破壊で三次元的に計測することができる。

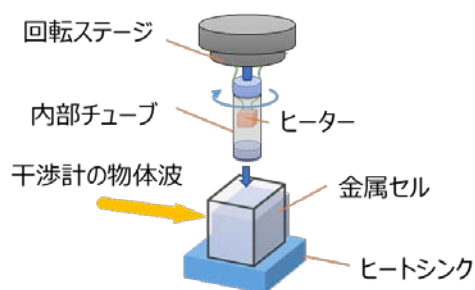


図1：3次元計測用のサンプル回転機構。ヒーターと内部チューブがX線に対して回転する。

4 結果とまとめ

ヒーター加熱により温度を一定に保った状態で計測したチューブ内水の3次元温度分布を図2に示す。ヒーター近傍の温度が高く、離れるにしたがって温度が低くなっていることや、動径方向には大きな温度差がないことなどがわかる。今後は、バイオメディカルから材料開発まで様々な分野に本法を適用していく予定である。

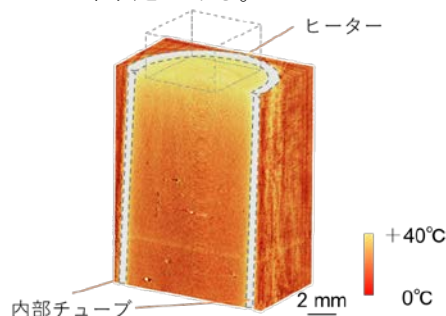


図2：ヒーターで加熱したチューブ内の水の3次元温度分布

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