

X線ストロボ位相 CT による動的観察 Dynamical observation using X-ray stroboscopic phase CT

呉彦霖、高野秀和、百生敦（東北大多元研）

広いX線エネルギーバンド幅でも機能するX線 Talbot 干渉計による位相イメージングは、白色放射光においても適用可能であり、高速X線 CMOS カメラによる高速撮影と組み合わせることで、動的な 4D 位相 CT に展開されている[1, 2]。さらに、Talbot 干渉計にストロボ法導入することで、周期的な動きを持つ試料についてマイクロ秒の高い時間分解能で動的撮影ができることも実証した[3]。

本研究では、白色放射光を用いた Talbot 干渉計を用いた4D 位相 CT をさらに高度化し、連続縞走査計測法とストロボ計測法を組み合わせることにより、マイクロ秒オーダーの繰り返し現象を高速で3次元計測する手法の開発を目的とした。

実験は KEK-PF BL-14C において行った。ウイグラーからの白色光を使用し、白色放射光からの熱負荷を低減するため高速回転シャッターを導入した。周期 5.3 μm の位相回折格子と振幅格子で、干渉に寄与する中心エネルギー28 keVに合わせて Talbot 干渉計を構築した。24 Hz の高速伸縮させるとともに水平軸を回転軸とし、53 秒に試料を3回転させ、その間に格子を一周期並進することで連続縞走査法を行った。高速 CMOS カメラに回転シャッターと伸縮モーションを同期し、露光時間 200 マイクロ秒で撮影を行った。繰り返し応力下にあるゴム試料の圧縮伸長する繰り返し現象や、それによる構造変化及び変形過程を高空間分解能・高速で捉えることに成功した。

謝辞

本研究は JST-ERATO 百生量子位相イメージングプロジェクト(JPMJER1403)の支援を受けたものである。

参考文献

- [1]. A. Momose et al., Opt. EXpress 17, 12540 (2009).
- [2]. A. Momose et al., Opt. EXpress 19, 8423 (2011).
- [3]. M. Olbinado et al., APEX 6, 096601 (2013).

放射光位相コントラスト CT を用いた嚥下食の構造解析 Structural analysis of dysphagia diet with synchrotron radiation X-ray phase contrast CT

三木宏美^{1,2}, 亀沢知夏^{1,2}, 米山明男³, 山田重人⁴, 高桑徹也⁴, 兵藤一行^{1,2}

1 総研大高エネ物構, 2 KEK IMSS・PF, 3 佐賀 LS, 4 京都大

X線の吸収コントラストを利用したイメージング法はこれまで様々な分野で利用されており、医学分野における画像診断の中でも広く用いられている画像検出法である。しかしながらX線の吸収コントラストを使用するイメージング法は、硬組織や金属の検出には優れているものの、軟組織の検出に対する感度は高くない。そのため、軟組織に対する画像検出法として位相コントラストを使用したX線イメージング法が導入されてきている。この方法は、X線が試料を通過した際に生じる位相シフトを用いた画像検出法であり、生体組織のみならず、炭素や酸素など軽元素からなる試料に広く応用できるという利点を有する。

生命維持に大きく関与する生体の機能の一つに、摂食・嚥下機能が挙げられる。摂食・嚥下機能の低下は、主に脳血管障害や神経・筋疾患、加齢による筋力の低下により生じ、本邦の死因の第7位(35740名)をしめる誤嚥性肺炎[1]の直接の原因である。また、低栄養状態では認知症リスクも増加する。そこで今回、摂食・嚥下機能との関連から、食品自体の構造に着目した。硬さや食感、粘度といった食品の性状は摂食・嚥下機能の発現に大きく関与している。食品のテクスチャー評価には、硬さや粘度、弾力性などの指標が用いられるが、測定時に構造の破壊は避けられない。そのため、構造の変形を引き起こさず内部構造を評価するために、放射光位相コントラストCTを用いることとした。試料として、本邦において食品の中でも特に摂取頻度が高く、また摂食・嚥下困難者向けの食品としても選択されることの多い米飯を選択した。PF BL-14C(縦偏光放射光利用実験ステーション)に設置された結晶分離型X線干渉計を用いた位相コントラストCTによる粥の成分の混合性および内部構造の解析(X線エネルギー:17.8keV、照射面積:約20mm角、空間分解能:約15–20 μ m)を行った結果を報告する。

[1]厚生労働省, 平成29年(2017)人口動態統計月報年計(概数)の概況

X 線干渉法を用いた 3 次元 X 線サーモグラフィーの開発 Three-dimensional X-ray thermography using X-ray interferometry

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、

²(株)日立製作所研究開発グループ、³KEK PF

持続可能な低炭素社会の実現には、熱の効率的な制御(サーマルマネージメント)が不可欠である。本研究では、同制御の開発に不可欠な非破壊で熱の分布を三次元的に可視化する「X 線サーモグラフィー」の開発を行っている。本法は物質に対する X 線の高い透過能と、位相イメージング法の高い感度特性を組み合わせ、熱膨張に伴う電子密度の変化から温度の変化を非破壊で検出する全く新しいサーモグラフィーである。これまでに、加熱した水の経時的な温度変化の可視化など原理的な観察を行い、サーモグラフィーとして機能することを確認している。今回、CT と組合せることで三次元的な温度分布の取得に初めて成功した [1]。

試用観察は PF BL14C に常設された X 線干渉計を用いた撮像システム[2]で行った。水で満たしたチューブ(直径 10 mm)の上端にヒータを取り付け、ヒータで常温に保ちながらヒートシンクにより定温に保たれている外セル内で回転して3次元像を取得した。露光時間は 1 秒、縞走査数は 3、投影数は 250/180 度で測定に要した時間は 40 分である。図1に水の三次元的な温度分布像を観察した結果を示す。ヒータに近いほど温度が高く、離れるにしたがって温度が低下すること、動径方向には温度差が小さいことなどがわかる。

[1] A. Yoneyama, et al., Sci. Rep., 2018 8:1 (2018) 8(1) 12674.

[2] A. Yoneyama, et al., Nucl. Instr. Methods Phys. Res. A, 523,217 (2004).

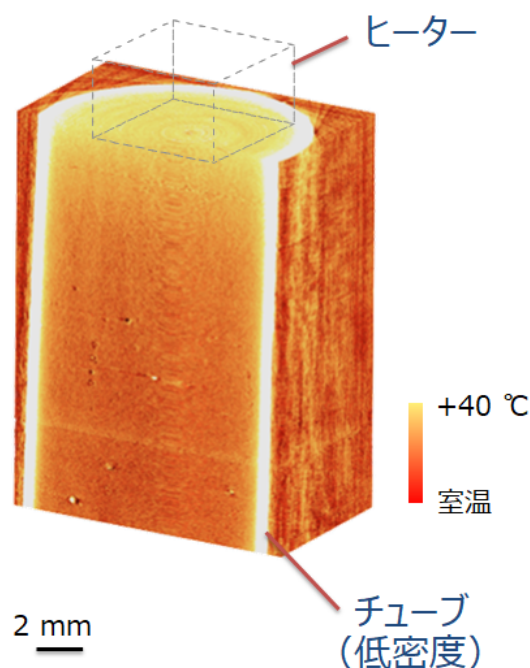


図 1 加熱したチューブ内の水の
3 次元熱分布

Al イオン注入 SiC 基板の角度分解トポグラフィーと 逆格子空間マッピング

Angle-resolved X-ray topography and reciprocal space mapping of Al ion-implanted silicon carbide crystals

高橋由美子¹, 平野馨一², 志村考功³, 長町信治⁴

¹ 日大量科研, ² KEK-PF, ³ 大阪大院工, ⁴ (株)長町サイエンスラボ

炭化ケイ素(SiC)はパワーデバイス用ワイドギャップ半導体として注目されている材料の 1 つであるが、不純物の拡散係数が小さいためエピタキシャル層にイオン注入を行ってコンタクト層を形成する必要がある。このイオン注入が材料に与える影響の詳細を把握することはプロセス技術の確立・改善において重要である。そこで各種条件でアルミニウム(Al)イオン注入を行った SiC 基板の斜入射角度分解トポグラフィーと逆格子空間マップを測定し、イオン注入が材料に与える影響を評価した。

試料は 4H-SiC(0001)基板で、膜厚 5 μ m のエピタキシャル層に基板温度 RT $\sim$ 500 $^{\circ}$ C、Al イオン濃度 $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21}$ ions /cm³ で注入後、1600 $\sim$ 1800 $^{\circ}$ Cで 5 分間アニールした。比較のためイオン注入を行っていない試料も測定した。

図 1 に X 線エネルギー 11keV で撮影した 11-28 反射の斜入射 X 線トポグラフ(a),(b)と X 線エネルギー 8keV での 0008 反射近傍の逆格子空間マップ(c),(d)を示す。イオン注入無しの試料(a),(c)と比べるとイオン注入量 1×10^{21} ions /cm³ の試料では表面近傍に広域の歪場が観察され(b)、逆格子空間マップ(d)ではさらに[-1-120]方向にシフトした弱い散乱が生じていて CTR 散乱もブラッグ反射に対し非対称になっていることからイオン注入層の結晶性が劣化しているものと考えられる。この試料ではイオン注入によってエピタキシャル層の表面近傍に生じたダメージがその後のアニーリング処理によっても完全に取り去られていないことが分かった。

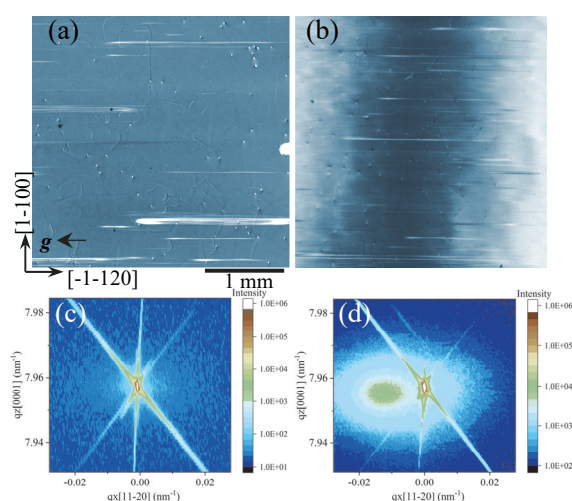


図 1 Al イオン注入 4H-SiC の斜入射トポグラフ(a),(b)と逆格子空間マップ(c),(d)
イオン注入無しの場合(a),(c)と高濃度で注入を行った場合(b),(d)

高分解能 CT による CFRP のき裂進展観察 Observation of the crack propagation of CFRP using high spatial resolution CT

渡邊稔樹¹・武市泰男^{1,2}・丹羽尉博¹・木村正雄^{1,2}

1 KEK-PF、2 総研大

我々は航空機用構造材料の特性向上のためのヘテロ構造因子の解明に取り組んでいる。炭素繊維強化樹脂(CFRP)は軽量かつ高い強度を持つため、航空機への利用など広く産業分野への応用が行われている材料である。このような構造材料の機械的性質及び耐久性の向上には、破壊現象の起点となるき裂の発生と進展をマルチスケールで理解することが重要である。CFRP は使用環境下において、様々な応力を受け材料内部にき裂が生じる。最終的に、そのき裂が許容サイズ以上に進展し材料の寿命を迎え交換・補修が必要となる。CFRP のき裂進展メカニズムは非常に複雑であり、そのメカニズムは十分に理解されていない。高空間分解能で 3D 観察が可能な放射光を用いた CT 法は、CFRP 内のき裂観察に対して非常に強力な手法であり、これから得られた情報はき裂の進展メカニズム解明のための重要な知見となる。

我々は NW2A に導入された CT 装置と荷重試験ステージを用いて CFRP 内部のき裂を材料に負荷が掛かった状態での Zernike 位相コントラスト法による in situ CT 観察を行う手法を確立した[1]。その手法を用いて、き裂に対する応力の掛かり方が単純な開口型及びせん断型の応力下における CFRP 内部のき裂進展についての in situ 観察を行った。

開口型応力を変化させてき裂の進展過程の 3D 観察を行ったところ、き裂が進展する繊維間の樹脂の厚さによって、き裂進展の形状とその進展の速さが異なることが明らかになった。また、せん断型応力下においても、樹脂層の薄い部分では、繊維に沿って直線的なき裂が発生したが、樹脂層の厚い部分では、複数の斜めに入ったき裂が観察された。繊維間の樹脂の厚さは、すなわち繊維の配置の不均一さである。CFRP 内の繊維配置の不均一性がき裂進展に大きな影響を与えることが分かった。この知見は、CFRP の長寿命化・高機能化に対する重要な情報となる。

本研究は内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「革新的構造材料」(ユニット D66)(管理法人:JST)の支援により実施した。

[1] T. Watanabe, *et al.*, *Microsc. Microanal.*, **24** (Suppl 2), 432 (2018).