

2010年3月

X線 Talbot 干渉計における Visibility 低下のイメージング応用

物質系専攻 086013 河端 克幸

指導教員：百生 敦（准教授）

キーワード：X線、イメージング、Talbot 干渉計、CT

背景と目的

X線位相イメージングは、軽元素から成る物体に対して、従来の吸収イメージングより遥かに感度の高い測定が可能であることから注目を集めている。X線位相イメージングの手法として、X線 Talbot 干渉計による方法がある[1]。X線 Talbot 干渉計は二枚の回折格子を用いた簡単な光学系であり、高い機械的安定性が不要、高い空間分解能の検出器を必要としない、格子を大きくすることで大視野化が可能、準単色あるいは球面波 X線源に対しても適用できるといった特徴を持っているため、医学分野への応用が期待されている。X線 Talbot 干渉計では一度の測定で位相イメージングと吸収イメージングを同時に行うことができるが、これらに加え近年 X線 Talbot 干渉計を用いた新たなイメージングの手法として、物体の数 μm 以下の構造を反映しているとされる局所的な Visibility 低下の情報を利用する手法が提案された[2]。X線 Talbot 干渉計における位相イメージングと吸収イメージングでは、回折格子の周期(一般に数 μm)より小さい構造を観察することはできない。したがって、この新たなイメージング手法を用いることで、これまで X線 Talbot 干渉計では得られなかった、物体に関する新たな情報を得られるようになることが期待される。

しかし、X線 Talbot 干渉計における物体による Visibility 低下のメカニズムの詳細は未だ報告されていない。本研究では、当研究室において提案された Visibility 低下の理論が実験データと整合することを示す。さらにイメージングへの応用を視野に入れ、Visibility 低下の情報を CT に応用することを目的とする。

実験

実験は SPring-8 BL20XU、KEK Photon Factory (PF) BL14C1、及び実験室において、X線 Talbot 干渉計を用いて行った。SPring-8 では波長 0.5、0.7、1.0、PF では波長 0.7 の単色 X線を用いた。実験室では出力 30kV、63mA の X線管 (Mo ターゲット) 及び出力 50kV、130 μA のマイクロフォーカス X線源 (W ターゲット) から発生した連続 X線を用いた。検出器として、SPring-8 ではピクセルサイズ 3.14 μm の CCD カメラを、PF 及び実験室ではピクセルサイズ 18 μm の CCD カメラを用いた。回折格子として、SPring-8 及び PF では周期 5.3 μm の位相型格子及び振幅型格子を、実験室では周期 4.5 μm の位相型格子及び周期 5.3 μm の振幅型格子を用いた。イメージングは縞走査法[1]を用いて行った。試料を設置したときの画素毎の Visibility の値をマッピングした画像 (Visibility map) V^s を取得し、 V^s を試料を除いたときの Visibility map V^b で除算し規格化することで、試料による Visibility の低下率を表す Visibility 比 V^s/V^b が画素毎にマッピングされた画像を取得した。試料として、メラミンスポンジ (メラミン樹脂フォーム) 及び CR ゴムスポンジ (クロロプレンゴムスポンジ) を用いた。CT 撮影では、試料を 0.72° 刻みで 180° 回転し、250 枚の Visibility map を取得し、それらを用いて断層像の再構成を行った。

結果と考察

メラミンスポンジ及び CR ゴムスポンジの Visibility 低下率の Talbot 次数 p 依存性の測定を行った。 $-\ln(V^s/V^b)$ を p に対してプロットしたグラフを図 1 に示す。

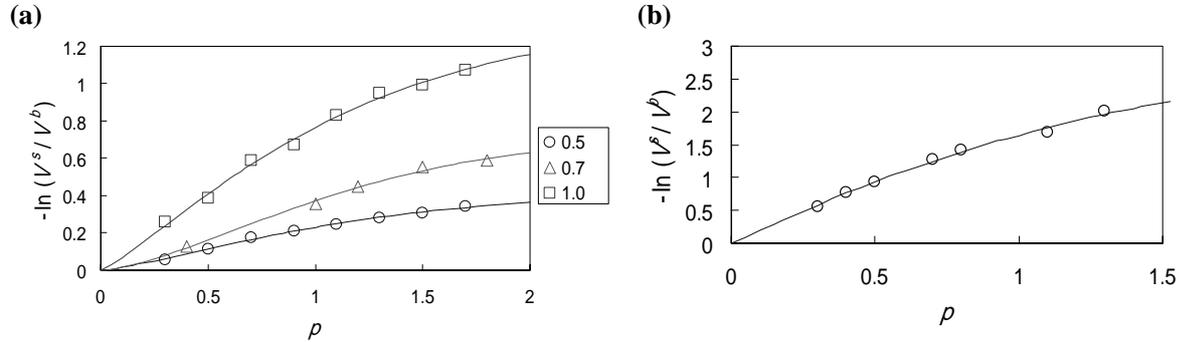


図 1 Visibility 比の p 依存性 (a)メラミンスポンジ (b)CR ゴムスポンジ

図 1 において、各プロットは理論的に導出された次の式でフィッティングしてある。

$$-\ln \frac{V^s}{V^b} \approx \sigma^2 \left[1 - \exp \left[- \left\{ \frac{pd}{\tau} \right\}^{2\alpha} \right] \right] \quad (1)$$

ここで、 σ^2 はランダムな位相シフト量の分散、 τ は位相揺らぎの相関長、 α は波面のフラクタル次元に関係した値、 d は回折格子の周期である。なお、フィッティングパラメータ σ^2 、 τ 、 α 、及び χ^2 値を次の表 1 に示す。

表 1 図 1 のフィッティングパラメータ (a)メラミンスポンジ (b)CR ゴムスポンジ

		σ^2	τ (μm)	α	χ^2
(a)	0.5	0.42±0.046	6.3±0.96	0.66±0.056	0.00022
	0.7	0.72±0.12	6.5±1.4	0.76±0.12	0.00086
	1.0	1.4±0.19	6.2±1.3	0.60±0.066	0.0035
(b)		3.2±1.2	7.1±4.0	0.53±0.082	0.0090

図 1 及び表 1 より、実験結果が(1)式でフィッティングできることが確認できた。

また、これらの試料について Visibility 比 V^s/V^b の試料の厚さ t 依存性を測定したところ、 $V^s/V^b = \exp(-\alpha t)$ という関係が得られた。したがって、原理的に Visibility map を用いた CT 再構成が可能である。図 2 にメラミンスポンジの CT 再構成結果を示す。この試料は円柱状に加工し、内部にスマイル模様の穴を開けてある。位相 CT や吸収 CT ではコントラストがほとんど得られていないが、Visibility map から再構成した CT 像ではコントラストが得られ、内部の穴まで明瞭に観察できた。

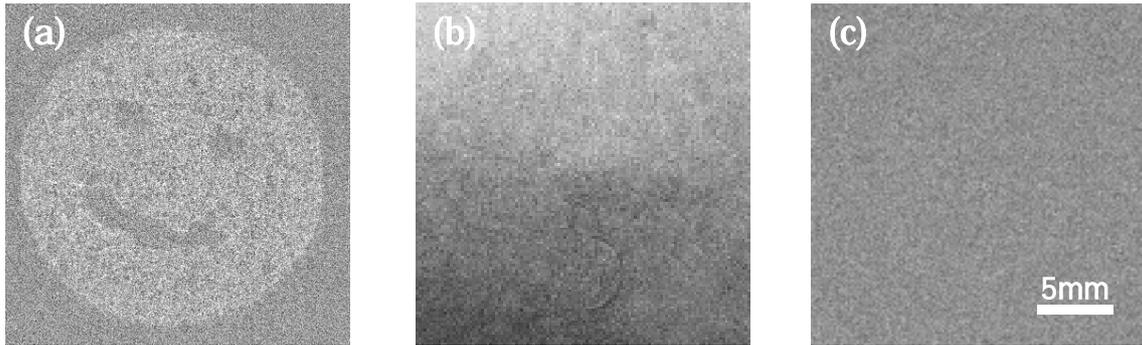


図2 メラミンスポンジの CT (a)Visibility map から再構成した CT (b)位相 CT (c)吸収 CT

次に CR ゴムスポンジの CT 再構成結果を示す。Visibility map の測定において、試料の構造の情報に感度があるのは回折格子のパターンと直交する方向であるが、この試料は異方的な構造を持つため、試料または回折格子の設置方向によって Visibility map のコントラストが変わる。図3にチューブ状の CR ゴムスポンジの CT 再構成結果を示す。(a)と(d)の再構成された値の平均値は、(a)が 5.9×10^{-4} 、(d)が 4.2×10^{-4} であった。Visibility map から再構成した CT では、回折格子の設置方向を変えると再構成される値が変わること、すなわち試料の構造の異方性の情報を含んでいることが分かった。

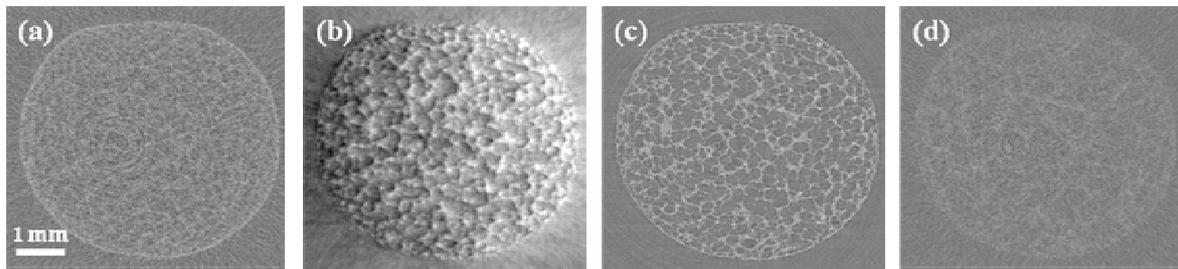


図3 CR ゴムスポンジの CT (a)Visibility map から再構成した CT (b)位相 CT (c)吸収 CT (d)Visibility map から再構成した CT (回折格子の設置方向を(a)の状態から光軸回りに 90° 回転させて撮影)

まとめ

メラミンスポンジ及び CR ゴムスポンジの測定において、実験結果を(1)式でフィッティングできた。また、Visibility map からの CT 再構成に成功した。構造に異方性のある CR ゴムスポンジの CT では、回折格子の設置方向によって再構成される値が変わることが分かった。今後は、試料の構造の異方性の情報を引き出す CT 手法への発展が期待される。

参考文献

- [1] A. Momose *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **42**, L866 (2003).
- [2] F. Pfeiffer *et al.*, Nat. Mater. **7**, 134 (2008)

学会発表

第56回応用物理学関係連合講演会「X線 Talbot 干渉計による小角散乱コントラストイメージング」