

BL14C で世界に先駆けて実現された 位相コントラスト CT と屈折コントラスト CT

湯浅 哲也

山形大学大学院理工学研究科

物質を伝搬する X 線は複素屈折率 $n = 1 - \delta + i\beta$ に影響を受ける。複素屈折率の虚部 β は Beer の法則の吸収係数に相当する。現在、医療や産業の分野で広く用いられている X 線イメージングは、吸収コントラストにより画像が形成される。言い換えれば、 β の分布を描出する撮像方式である。X 線の特性から吸収コントラストは、高い原子番号の元素はコントラスト高く描出できるものの、H, C, N, O のような低原子番号の元素に対してコントラストを得にくい。一方、複素屈折率の実部、すなわち δ は、物質中での光の伝搬を記述するための指標である。一般に、 δ の値は β に対して、約 1000 倍の大きさを有する。したがって、低原子番号元素から構成される対象も δ によれば高いコントラストで描出が可能である。 δ を描出する撮像方式は位相コントラスト、あるいは屈折コントラストイメージングと呼称される。物理量 δ を求める計測法は 4 つに大別される：(1) in-line holography^[1], (2) crystal interferometry^[2], (3) analyzer-based imaging^[3], (4) grating-based imaging^[4]。これらの方法は、低原子番号元素から構成される対象を高コントラストな投影像として取得できる。これらすべての計測法は CT イメージングに拡張されており、高精細な 3 次元位相コントラスト CT 画像は医学や産業分野に数々の重要な知見をもたらしている。ここで特筆すべきは、これら 4 種の位相 CT 撮像法のうち、(2)および(3)の 2 種類が、世界に先駆けて BL14C で実現されたことである^{[5],[6]}。これは当ビームラインの特性である縦偏光の恩恵と言っても過言ではない。

両者はともに、 δ の空間分布を描出する位相 CT イメージングではあるが、その CT 画像を得るまでのプロセスは大きく異なる。すなわち、(2)による CT は波動光学に基づいた計測であるのに対して、(3)による CT は幾何光学に基づく。これにより、後者を屈折コントラスト CT と呼称する場合がある^[7]。

本演題では、BL14C で世界に先駆けて産声を上げた 2 つの位相 CT イメージングについて、物理情報 δ の投影取得から CT 画像が再構成されるまでのプロセスを、順を追って説明する。

- [1] Snigirev A, Snigireva I, Kohn V, Kuznetsov S, Schelokov I (1995) On the possibilities of x-ray phase contrast microimaging by coherent high-energy synchrotron radiation. Rev Sci Instrum 66:5486.
- [2] Bonse U, Hart M (1965) An x-ray interferometer. Appl Phys Lett 6:155-156.
- [3] Chapman D, Thomlinson W, Johnston RE, Washburn D, Pisano E, Gmür N, Zhong Z, Menk R, Arfelli F, Sayers D (1997) Diffraction enhanced x-ray imaging. Phys Med Biol 42:2015-2025.
- [4] Momose A, Kawamoto S, Koyama I, Hamaishi Y, Takai K, Suzuki Y (2003) Demonstration of X-ray talbot interferometry. Jpn J Appl Phys 2 Lett 42:L866-L868.
- [5] Momose A, Takeda T, Itai Y, Hirano K (1996) Phase-contrast X-ray computed tomography for observing biological soft tissues. Nat Med 2:473-475.
- [6] Maksimenko A, Ando M, Sugiyama H, Yuasa T (2004) Computed tomographic reconstruction based on x-ray refraction contrast. Appl Phys 86:2105.
- [7] Sunaguchi N, Huang Z, Shimao D, Yuasa T, Ichihara S, Nishimura R, Iwakoshi A, Ando M (2020) Three-dimensional microanatomy of human nipple visualized by x-ray dark field computed tomography. Breast Cancer Res and Treat 180:397-405.