

材料内部の非破壊・高精細解析のための大型放射光 X 線 CT 技術

竹内晃久：JASRI/SPring-8、上杉健太郎：JASRI/SPring-8、上相真之：JASRI/SPring-8

物体内部の 3 次元イメージング手法として、大型放射光施設 SPring-8 では、X 線投影光学系を用いた micro-CT と、X 線光学素子であるフレネルゾーンプレート (Fresnel zone plate, FZP) を対物として用いた X 線顕微鏡光学系をベースとする nano-CT が利用可能である。これらは試料の大きさや必要とされる分解能などの用途に応じて使い分けられている。Micro-CT は測定する試料の大きさ (数百 μm ~数 cm) や X 線のエネルギー (数 keV~数十 keV) にある程度の自由度があるが、空間分解能は $1\mu\text{m}$ 程度までに限られる。一方 nano-CT は約 100nm という高い空間分解能を有するものの、利用可能なエネルギーが 10keV 程度或いはそれ以下に限られ、そのため、金属やセラミックス材料、鉱物、デバイス、電池等の利用分野においては、X 線を十分透過させるために試料の大きさも直径約 $100\mu\text{m}$ 程度以下に切り出す必要があった。しかしながら、これらの試料は、そのものの物性・挙動を調べる上では可能な限りバルク状態のまま、その内部構造を高精細に観察することが求められる。つまり、micro-CT で扱うような大きさの試料を nano-CT の空間分解能で測定する手法が求められている。これを可能にするには nano-CT の高エネルギー化が必要となるが、効率の高い FZP の製作が難しく、これまで実現は見送られてきた。FZP は一種の回折格子であり、そのパターン厚みはどれだけ高いエネルギーの X 線を効率よく回折するかを決定し、パターン幅は空間分解能を決める。つまり、パターン厚み/幅の比 (アスペクト比) が大きいほど高エネルギー X 線領域で高分解能の測定が可能となるが、高いアスペクト比の素子を製作する技術的困難さが高エネルギー化を難しくしている原因であった。我々は Fig.1 に示すようなアポダイゼーション FZP と呼ぶ素子を開発した [1,2]。この素子は比較的パターン幅の広い素子中心部の厚みを増やすことで高エネルギー領域でも高い効率が得られる。これにより、 $20\sim 30\text{keV}$ 領域で nano-CT 測定が可能となり、金属材料等をバルク状態のまま、約 200nm の空間分解能で観察できるようになった。更に、Fig.2 に示すように、micro-CT により全体を観察した後、その関心領域にフォーカスして nano-CT 測定を行うといった multiscale-CT 測定も可能になった。本稿ではこの multiscale-CT 他、X 線回折法 (x-ray diffraction, XRD) と CT を組み合わせることで試料内部の結晶粒分布を測定できる XRD-CT についてもご紹介したい。

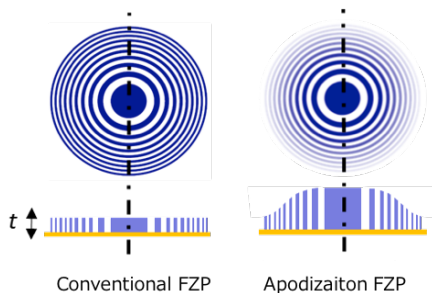


Fig.1 X 線用対物素子フレネルゾーンプレート概略図。従来 (左) のものに比べてアポダイゼーション FZP (右) は素子中心部肉厚化により高い効率が得られる。

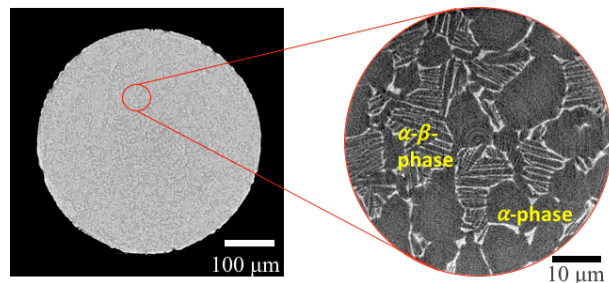


Fig.2 マルチスケール CT イメージングの測定例。試料：Ti-6Al-4V 合金。左は従来の投影型 CT による撮影。右は新たに開発された結像型 CT による関心領域 (左図中円内) 撮影。

参考文献

- [1] A. Takeuchi, et. al.; J. Synchrotron Rad. **24**, 586 (2017).
- [2] A. Takeuchi, et. al.; J. Phys. Conf. Series **849**, 012042 (2017).