

「コヒーレント X 線回折による次世代の構造可視化研究」

高橋幸生

大阪大学大学院工学研究科/理研放射光センター

X線のコヒーレンスを利用した構造可視化法であるコヒーレントX線回折イメージング[1]は、従来のX線顕微鏡を凌駕する高い空間分解能を有し、X線による構造可視化/物性研究のフロンティアを開拓する次世代のX線顕微法技術として注目されている。コヒーレントX線回折イメージングでは、試料にコヒーレントX線を照射し、遠方で観測される回折強度パターンに位相回復計算を実行することで試料像を再構成する。コヒーレントX線回折イメージングは、その測定系に応じていくつかに分類され、近年、走査型コヒーレントX線回折イメージングであるX線タイコグラフィが放射光施設で盛んに研究されるようになった。これはX線タイコグラフィが従来のコヒーレントX線回折イメージングの苦手とする非孤立物体の観察を得意とすることに加え、位相回復計算の収束性が良いことが理由として挙げられる。

我々は、これまで SPring-8 の理化学研究所専用ビームラインにおいて X 線タイコグラフィの高空間分解能化・高感度化[2,3]に関する研究を推進し、X 線タイコグラフィを金属ナノ粒子の元素識別イメージング[4]やシリコン単結晶薄膜中の転位歪み場のイメージング[5]に応用してきた。また、最近ではマルチスライスアプローチを用いた X 線タイコグラフィ[6]やインラインホログラフィを組み合わせた暗視野 X 線タイコグラフィ[7]など X 線タイコグラフィの更なる高空間分解能化・高感度化を指向した研究を推進している。今後、X 線タイコグラフィの研究開発を迅速に行い、実試料観察による構造可視化/物性研究を展開していくために、日本の放射光施設においてコヒーレントX線回折イメージング専用のビームラインが建設されることが希求される。一方、諸外国のいくつかの放射光施設では、コヒーレントX線回折イメージング専用のビームラインが建設され、常設装置によるユーザー利用実験を通じて様々な試料観察が行われている。

次世代の放射光源では、X線のコヒーレントフラックスの増大が見込まれ、コヒーレントX線回折イメージングの更なる高分解能化・高感度化・高スループット化が可能となる。また、最近、部分的にコヒーレントなX線を用いてもX線タイコグラフィの像再生が可能なマルチモード位相回復法[8]が開発され、X線

タイコグラフィの方法論も更に進化を遂げている。次世代放射光源ならびに位相回復計算技術を駆使することで、例えば、10nm 分解能での触媒粒子のイメージング XAFS や 100 μ m 以上の大きさを有する生体試料の三次元 10nm 分解能イメージングなど未踏の構造可視化/物性研究が実現するかもしれない。

- [1] H. N. Chapman and K. A. Nugent, *Nat. Photonics* **4**, 833–839 (2010).
- [2] Y. Takahashi, A. Suzuki, N. Zettsu, Y. Kohmura, Y. Senba, H. Ohashi, K. Yamauchi, and T. Ishikawa, *Phys. Rev. B* **83**, 214109 (2011).
- [3] Y. Takahashi, A. Suzuki, S. Furutaku, K. Yamauchi, Y. Kohmura, T. Ishikawa, *Appl. Phys. Lett.* **102**, 094102 (2013).
- [4] Y. Takahashi, A. Suzuki, N. Zettsu, Y. Kohmura, K. Yamauchi, T. Ishikawa, *Appl. Phys. Lett.* **99**, 131905 (2011).
- [5] Y. Takahashi, A. Suzuki, S. Furutaku, K. Yamauchi, Y. Kohmura, T. Ishikawa, *Phys. Rev. B* **87**, 121201(R) (2013).
- [6] A. Suzuki, S. Furutaku, K. Shimomura, K. Yamauchi, Y. Kohmura, T. Ishikawa, Y. Takahashi, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 053903 (2014).
- [7] A. Suzuki and Y. Takahashi, *Opt. Express* **23**, 16429-16438 (2015).
- [8] P. Thibault and A. Menzel, *Nature* **494**, 68-71 (2013).