

コヒーレントX線回折を利用したイメージング研究

高橋 幸生

大阪大学大学院工学研究科

X線イメージングは、物質内部の構造を可視化する手法として様々な分野で利用されている。X線はオンゲストロームオーダーの波長を持った電磁波であるため、潜在的に原子分解能のX線顕微鏡を構築することが可能である。しかしながら、X線レンズの作製が困難であるという理由から、~10nmを超える空間分解能を達成することは容易でない。近年、コヒーレントX線回折を利用したレンズレスイメージング技術であるコヒーレントX線回折イメージング(Coherent X-ray Diffractive Imaging: CXDI)が、従来のX線顕微鏡の空間分解能を上回るX線イメージング手法として大きな注目を集めている。

CXDIでは、試料からのコヒーレントX線回折パターンに位相回復計算を実行することにより試料像を取得する。また、その空間分解能は、高Q回折パターンのS/N比によって決まる。我々は、CXDIの空間分解能を向上させるために、大型放射光施設 SPring-8 において、X線集光ミラーを駆使した高分解能平面波照明型 CXDI 装置を開発し[1,2]、世界最高分解能の 2nm を達成した[3]。また、これを形状制御合成法によって作製された金属ナノ粒子の三次元電子密度マッピングに応用した[4]。平面波照明型 CXDI は、試料は孤立物体に限定されるという問題があるが、走査型 CXDI(通称: X線タイコグラフィ)に拡張することで、非孤立物体の観察も可能になる。近年、我々はX線集光ミラーを駆使した高分解能X線タイコグラフィ装置の開発も行い、非孤立物体の高分解能 CXDI を実現した[5]。また、X線異常散乱を利用した元素識別イメージング[6]やブラッグ回折を利用した歪イメージング手法[7]の開発も行い、多元的なイメージング手法として CXDI を確立しつつある。

2012年3月より、SPring-8 キャンパスにおいて X線自由電子レーザー(X-ray Free Electron Laser: XFEL)施設 SACLA の供用運転が始まった。我々は、SACLA を用いたシングルショット CXDI の研究をスタートさせた。放射光を利用した CXDI 実験では、究極的には空間分解能は試料の放射線損傷によって制限されるが、パルス時間幅の極めて短い XFEL を用いることで、試料が破壊される前に回折データの取得が可能となる。すなわち、放射線損傷による制限を超えた究極的な空間分解能を達成可能である。また、SPring-8 キャンパスでは、SPring-8 の放射光と SACLA の XFEL を同じ実験ハッチで利用することも可能であり、放射光と XFEL を相補利用し広範囲な空間・時間スケールをカバーするマルチスケール CXDI への展開が期待されている。

参考文献

- [1] Yukio Takahashi *et al.*, Journal of Applied Physics **105**, 083106 (2009).
- [2] Yukio Takahashi *et al.*, Physical Review B **80**, 054103 (2009).
- [3] Yukio Takahashi *et al.*, Physical Review B **82**, 214102 (2010).
- [4] Yukio Takahashi *et al.*, Nano Letters **10**, 1922 (2010).
- [5] Yukio Takahashi *et al.*, Physical Review B **83**, 214109 (2011).
- [6] Yukio Takahashi *et al.*, Applied Physics Letters **99**, 131905 (2011).
- [7] Yukio Takahashi *et al.*, submitted.