

ERL で展開可能となる X線イメージング

矢代 航

東京大学大学院新領域創成科学研究科

Prospects of X-ray imaging techniques by using ERL source

Wataru Yashiro

Graduate School of Frontier Sciences, the University of Tokyo

<Synopsis>

ERL source is one of the most promising X-ray sources in the next generation. In my talk, I will discuss future prospects of X-ray imaging techniques after the advent of ERL source. ERL source provides potentially many advantages (for example, high spatial and temporal coherence and sub-ps pulse generation) over the third generation synchrotron sources. Focusing on several X-ray phase imaging and microscopy techniques that have so far been developed for the conventional synchrotron sources, and considering their limitations, what the next generation source can provide for the X-ray imaging field will be discussed.

1895年のレントゲンによる発見以来、X線は物体内部を非破壊で画像化するためのツールとして広く利用されてきました。X線イメージングは今や回折や分光と並ぶX線の一大応用分野を形成していることは言うまでもありません。X線イメージング法の発展の歴史は、X線源、X線光学素子、画像検出器、およびX線光学理論の発展の歴史であったと言えるでしょう。特に時代の先端をリードしてきた放射光源については、世代を重ねるたびに目覚ましい発展をもたらしてきました。本講演では、次世代の放射光源の一つとして期待されているERL光源の出現によって、将来どのようなX線イメージングが展開可能であるか議論したいと思います。

X線イメージング法は、シグナルの種類（透過X線、回折X線、蛍光X線、光電子、非弾性散乱など）やマッピングの方法（投影型、走査型、結像型など）といった観点から大きく分類することができます。また被写体の位置における視野の大きさ、空間分解能、時間分解能、感度（密度分解能）、元素選択性の有無、試料の照射ダメージといったことが問題になります。ERL光源では、円に近い形状の微小光源から、サブピコ秒のパルス幅の高コヒーレンス高輝度X線が得られます。このことを積極的に活かせば、例えば10ナノメートル以下の顕

微イメージング（結像、走査、回折顕微鏡など）が比較的容易に実現できたり、100 フェムト秒オーダーの光化学反応や光誘起相転移のダイナミクスが追跡可能であったり、あるいは高いコヒーレントフラクションのビームを利用して効率の高いX線位相イメージングが実現できたり、といった可能性が以前から議論されてきました。他分野からのニーズとしては、例えば顕微鏡について挙げれば、生物の組織の内部や、あるいは三次元半導体デバイスの内部のひずみなどを、大視野で非破壊に、かつ高空間分解能で高感度に観察したいといった要望は以前から存在します。ERL 光源の出現によって、こうしたシーズ志向、ニーズ志向の研究が大いに発展すると期待されます。

本講演では特に、第三世代以前の放射光源においてしばしば用いられてきた様々なX線位相イメージング法あるいはX線顕微法が、ERL 光源の出現によってどのように高度化できるか、という立場に立って、将来の可能性について議論したいと考えています。例えば、回折格子を利用したX線位相イメージング[1]は、X線結像顕微鏡との組み合わせも可能[2,3]で、近年世界的に注目されていますが、ERL 光源を利用して通常のX線位相イメージングの実験を行う場合には、コヒーレントフラクションの高さを有効に活用するためのさらなる工夫が必要です。大きな周期の回折格子を用いて位相差分像を得るか[3]、実験ハッチの位置でのビームサイズをそのまま利用する場合には、むしろ極狭ピッチの回折格子を空間コヒーレンスフィルターとして用いて、ホログラフィのような光学配置を選択した方が ERL 光源の特性をより活かせると考えられます。また従来のX線位相イメージング法[4]の多くは、一次元方向の空間コヒーレンスが十分に大きければよかったので、光源が円形に近いことをフルには活用できません。一方で集光あるいは結像素子を含む二次元的な光学素子については、縦横両方向に空間コヒーレンス長が大きいことが有効に働きます。試料の照射ダメージについては、散乱角の大きい回折波のような非常に弱いシグナルに対しては、試料に照射されるX線のフラックスを低減し、参照光でシグナルをエンハンスするような工夫も可能であると考えられます。例えば Eisebitt らの方法[5]は XFEL よりも ERL の方がずっと容易に行えるはずですが、100 フェムト秒のパルス幅であることを考慮すると、そのままでは大きな試料には適用できません。当日はこのような従来からある方法の延長線上の話に加えて、例えばポンププローブ法などを利用したフェムト秒時間分解能を有する硬X線用の画像検出器が将来開発された場合に、どのような新しい展開が可能かといったことについても議論したいと考えています。

[1] A. Momose *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **45** (2006) 5254.

[2] Y. Takeda *et al.*, *Appl. Phys. Exp.* **1** (2008) 117002.

[3] W. Yashiro *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **103** (2009) 180801.

[4] A. Momose, *Jpn. J. Appl. Phys.* **44** (2005) 6355.

[5] S. Eisebitt *et al.*, *Nature* **432** (2004) 885.