

## 【基盤研究(S)】

### 理工系(工学I)



## 研究課題名 補償光学系を駆使した多段光学系による X 線自由電子レーザーのナノメートル集光

大阪大学・大学院工学研究科・教授 **やまうち かずと**  
**山内 和人**

研究分野：超精密加工学、光学機器、X線光学

キーワード：超精密加工、光計測、X線光学

### 【研究の背景・目的】

レントゲンによって X 線が発見されて以来、X 線分析技術は、DNA の二重螺旋構造を明らかにしたように、医学・生物学・材料科学など、あらゆる分野の最先端研究の進展に不可欠な存在である。そして、今日、SPRING-8 に代表される第 3 世代放射光の高輝度 X 線を用いた X 線顕微鏡技術が飛躍的な発展を遂げつつある。このような状況のもと、当該研究グループは、精密加工学や精密計測学、X 線光学などを基盤に、集光ミラー開発の立場から X 線顕微鏡の高度化に携わっており、原子スケールで平滑なナノ精度ミラーの具現化によって、走査型顕微法においてプローブ X 線として世界最小のビーム径 7nm を実現した(Nature Physics, (2010))。また、部分コヒーレント X 線の性質を活用した透過型回折顕微法の開発では、やはり世界最高の空間分解能 3nm を達成しており(Nano Letter, (2010))、放射光 X 線光学の進展に大きく貢献している。

本研究では、次世代 X 線源「X 線自由電子レーザー(XFEL: X-ray free electron laser)」の高度利用に不可欠な XFEL のナノ集光技術の確立を目的に、これを実現し得る光学系として、ビーム拡大のための「開口数変換光学系」と極限集光のための「大開口数集光光学系」からなる多段光学系を構築し、XFEL の Sub-10nm 集光を実現する。

### 【研究の方法】

集光ミラー表面の加工技術を極限まで高度化するとともに、すべての要素に要求される極度に高い精度を回避できる新たなアプローチとして、At-wavelength ホ

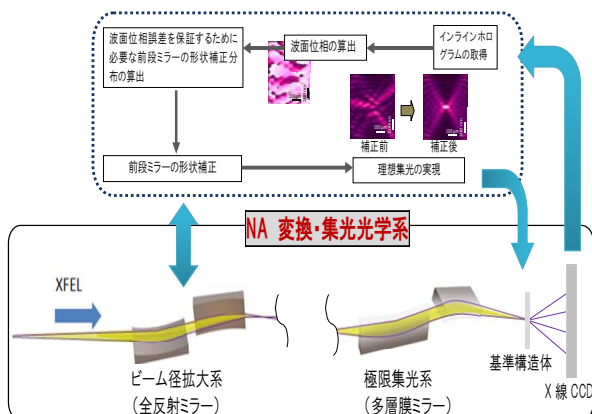


図 1 補償光学に基づく NA 変換集光光学系

ログラフィーによる集光ビーム波面の on-site 計測を提案し、これによって求められる波面誤差を前段ミラーの形状補正によって修正する補償光学システムを実現する。

### 【期待される成果と意義】

XFEL は、波長 1Å レベルの硬 X 線であり、ビーム径 200μm、完全な空間コヒーレンスを有し、ピーク強度が SPRING-8 光の 10 億倍、パルス幅が数 fs の極短パルスレーザーである。

従来の X 線の特性を超越した「夢の光」とされ、これによって、結晶化を必要としない究極の回折法である単分子による分子構造解析や、強光子場を利用した X 線領域の非線形光学など、新たな学問が拓かれるものと期待されている。特に、タンパク質の構造解析では、創薬のために極めて重要でありながら結晶化できない膜タンパク質の構造を単一分子の状態でも解き明かせる可能性がある。

しかしながら、XFEL の真の応用展開には X 線ビームの更なる高密度化が不可欠であり、集光性能が研究成果の「質」を決めるとも言われている。本研究では、フラックスロスの無い状態で、XFEL を世界最小のサイズ 5nm に 2 次元集光することを目指す。

### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] H. Mimura, S. Handa, T. Kimura, H. Yumoto, D. Yamakawa, H. Yokoyama, S. Matsuyama, K. Inagaki, K. Yamamura, Y. Sano, K. Tamasaku, Y. Nishino, M. Yabashi, T. Ishikawa, and K. Yamauchi, "Breaking the 10 nm barrier in hard-X-ray focusing," Nature Physics, vol. 6, 2010, pp. 122-5.
- [2] Y. Takahashi, N. Zetsu, Y. Nishino, R. Tsutsumi, E. Matsubara, T. Ishikawa, and K. Yamauchi, "Three-dimensional electron density mapping of shape-controlled nanoparticle by focused hard X-ray diffraction microscopy," Nano letters, vol. 10, 2010, pp. 1922-6.

### 【研究期間と研究経費】

平成 23 年度 - 27 年度  
166, 100 千円

### 【ホームページ等】

<http://www-up.prec.eng.osaka-u.ac.jp>