

## 【基盤研究(S)】

### 理工系(工学)



## 研究課題名 高精度形状可変ミラー光学系の構築と X線自由電子レーザーのアダプティブ集光

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

研究課題番号: 16H06358 研究者番号: 10174575

研究分野: 機械工学

キーワード: 精密加工、精密計測、X線光学

### 【研究の背景・目的】

回折限界での動作が可能な X 線集光光学系は第 3 世代放射光光源や X 線自由電子レーザー (XFEL) の高度利用に不可欠である。我々は、精密ミラー開発の立場から X 線光学系の高度化に携わり、これまでに世界最小の 7nm 集光や日本の XFEL(SACLA)のナノ集光を実現した。これらの光源では、ビームサイズの可変機能が実現することによって、更なる高度利用が可能な状況にある。

そこで、本研究では、超精密加工学や計測学、波動光学にもとづく X 線光学などの精密工学を駆使して XFEL が有するコヒーレント光としての性能をフルに利用できる形状可変ミラーを実現し、世界に先駆けて回折限界での動作が可能なズームコンデンサーを実現する。また、利用研究者と連携したフィジビリティ試験を必要に応じて実施し、放射光科学に具体的に貢献することを目標とする。

### 【研究の方法】

XFEL をフルに活用するために必要なビームサイズ可変アダプティブ集光を回折限界の条件で実現するため、反射 X 線の波面誤差が  $\lambda/4$  以内 (レーリー基準、 $\lambda$  は利用 X 線の波長) となる超精密非球面ミラーの創成技術を確認し、さらに、 piezoelectric 駆動によって反射面形状のその場での変更が可能なアダプティブミラーを実現する。並行して、piezoelectric のドリフト制御法など、ミラー形状制御システムを高度化するとともに、ビームサイズを変更する際の光学パラメータの調整に不可欠な X 線波面のその場観察法 (At-wavelength 法) の開発を行う。そして、これらの基盤的な技術の確立を経て、形状可変ミラーによる 2 段集光光学系 (回折限界動作可能なズームコンデンサー光学系) を実現する。同時に放射光科学への真の貢献を目指して、放射光施設でのフィジビリティ試験を適宜実施する。

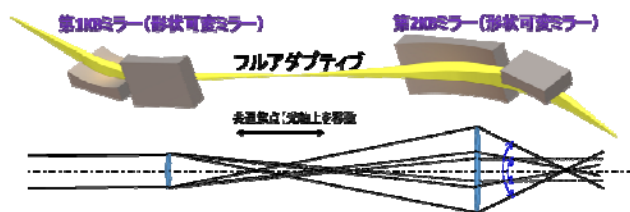


図1 ズームコンデンサー光学系の概要

### 【期待される成果と意義】

XFEL 利用研究は、現在のところ日本と米国の 2 極で進められ、激しい競争が展開されている。集光光学系の性能は SACLA が秀でており、X 線非線形光学などの展開において世界をリードしている。この間に、XFEL の利用研究の幅を大きく広げるアダプティブ光学系を世界に先駆けて実現し、SACLA でしかできない実験環境を確立する意義は極めて大きい。

また、本研究は X 線の集光光学系において真の補償光学を世界に先駆けて展開するものである。その意義は XFEL 利用分野に限定されるものではなく、X 線光学一般の学術的な進展に極めて大きな貢献が期待できる。さらに、X 線光学素子開発を目的に培った超精密加工・計測技術の更なる高度化は、日本が得意とする光学加工 (Optical Fabrication) 技術の将来に亘っての発展に大きく貢献する。

### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- S. Matsuyama, H. Nakamori, T. Goto, T. Kimura, K. P. Khakurel, Y. Kohmura, Y. Sano, M. Yabashi, T. Ishikawa, Y. Nishino, K. Yamauchi, Nearly diffraction-limited X-ray focusing with variable-numerical-aperture focusing optical system based on four deformable mirrors, Scientific Reports 6, 24801 (2016)
- K. Yamauchi, M. Yabashi, H. Ohashi, T. Koyama, and T. Ishikawa, Nanofocusing of X-ray free electron lasers by grazing-incidence reflective optics. Journal of Synchrotron Radiation, 22 (2015) 592-598
- H. Mimura, H. Yumoto, S. Matsuyama, T. Koyama, K. Tono, Y. Inubushi, T. Togashi, T. Sato, J. Kim, R. Fukui, Y. Sano, M. Yabashi, H. Ohashi, T. Ishikawa, and K. Yamauchi, Generation of 1020 W/cm<sup>2</sup> Hard X-ray Laser Pulses with Two-Stage Reflective Focusing System, Nature Communications, 5 (2014) 3539

### 【研究期間と研究経費】

平成 28 年度 - 32 年度 141,800 千円

### 【ホームページ等】

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