



「放射光 X 線の微小ビーム形成」

(平成 18～22 年度 特別推進研究 (課題番号: 18002009))

「硬 X 線 Sub-10nm ビーム形成と顕微鏡システムの構築」

所属 (当時)・氏名: 大阪大学・工学 (系) 研究科 (研究院)・
教授・山内 和人

1. 研究期間中の研究成果

・背景

SPring-8 などの第 3 世代放射光技術の具現化によって, X 線顕微鏡の高度化に大きな注目が集まり, このために必要な, 高性能な X 線光学系の開発競争が世界中で展開されていた.

・研究内容及び成果の概要

精密に計測された集光ビームのプロファイルから位相回復法によってミラー上での波面誤差を知る「At-wavelength 波面計測」と, これに基づく「in-situ 波面補正」など, 従来にはない概念に基づいた光学システムを実現し, これによって Sub-10nm サイズの硬 X 線ナノビームを世界に先駆けて, 波動光学的な回折限界の条件で実現した. また, 開発した集光システムをもとに, 様々な物質を分子スケールで分析可能な Sub-10nm 分解能の X 線顕微鏡システムを実現した (図 1, 2).

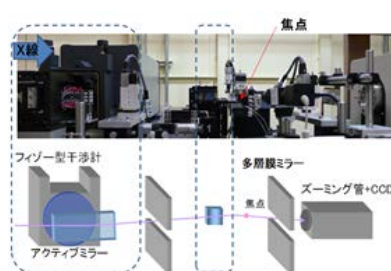


図 1 X 線顕微鏡システムにおいて初めて実現した補償光学システム

2. 研究期間終了後の効果・効用

・研究期間終了後の取組及び現状

期間終了後は, 中心的な研究成果であった X 線波面のその場計測法を発展・高度化し, まず, 色収差を伴わない全反射を利用した結像光学系や X 線自由電子レーザー (XFEL) のナノビームの形成に応用した. その結果, 世界で初めての多色 X 線を同時にイメージング可能な結像型 X 線顕微鏡を実現した. また, 日本の XFEL である SACLA の 50nm 集光を実現し, 可飽和吸収, 2 光子吸収, 内殻準位によるレーザー発振など, X 線領域における非線形光学現象の観察に初めて成功した. さらに, 補償光学をフルに活用した多機能 X 線光学系として, 回折限界条件を常に維持したビームサイズ可変光学系の開発にも成功した.

・波及効果

X 線顕微鏡は, 材料科学や生命科学の発展に欠くことのできない道具に位置づけられている. 本研究や継続して行った研究の成果は, これらの分野における新たな科学的知見の獲得に大いに貢献するものと考えられる.

現在, SACLA の極限的集光 (ビーム径 5nm) に挑戦しており, この成果によって, 世界最高の強光子場の形成が可能になる. 人類が未踏の X 線科学を拓きたいと考えている.

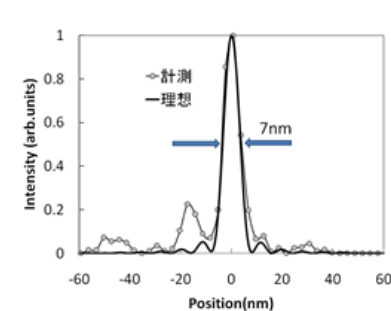


図 2 補償光学システムにより実現した世界最小の 7nm ビーム

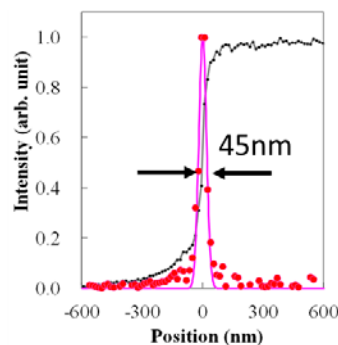


図 3 SACLA の 50nm 集光ビーム形成. $10^{20} \text{W}/\text{cm}^2$ を達成し, 様々な X 線非線形光学現象の観察に成功