

# プラズマ X 線レーザーの現状と X 線 FEL への期待

永島圭介

日本原子力研究所 光量子科学研究センター X 線レーザー研究グループ

レーザーはその発明直後からより短波長へ向けた研究開発が進められ、X 線領域でのレーザー開発については、1984 年に波長 21nm 付近で X 線の誘導増幅が初めて観測された。それ以来、高強度レーザーを励起源に用いて高密度プラズマ中に反転分布(レーザー媒質)を生成する方法で極めて多くの研究が行なわれてきた。この方法では、励起レーザー光を直線状に集光してターゲットに照射し、ターゲット面上に X 線レーザー媒質となる多価イオンプラズマを生成している。この場合、プラズマ密度はターゲット面から離れるにつれて急激に減少するため、ターゲット面に沿って増幅される X 線レーザー光は屈折する。この影響によって、X 線レーザーの空間コヒーレンス及び指向性が低下すると考えられる。

私達の研究グループでは、プラズマの時間的・空間的なダイナミクスを考慮することによりプラズマ増幅媒質の発生領域を制御し、屈折の影響を回避することに成功した。これにより、世界で初めて空間的にフルコヒーレントの X 線レーザー(波長 13.9 nm の単色光)の発生に成功した。ここでは、2 つの X 線レーザー媒質を用いて、第 1 媒質から得られる X 線レーザー光をシード光として用い、適切な距離だけ離れた第 2 媒質によって空間的にコヒーレントな部分だけを増幅した。ここで第 2 媒質はアクティブな空間フィルターとして機能している。この結果、従来に比べて 1 桁以上高い指向性(0.2 mrad)を持つ X 線レーザービームの発生に成功した。この X 線レーザービームについて、ダブルスリットを用いたヤングの干渉実験を行い、このビームが空間的にフルコヒーレント条件(空間的なコヒーレント長がビーム径より大きくなる条件)を満足していることを明らかにした。

さらに、時間的にもフルコヒーレントな X 線レーザーを発生させるため、フェムト秒レーザー(X 線レーザーの発振波長に一致するよう波長を調整したもの)から得られる高次高調波をシード光として用い、これを X 線レーザー媒質によって増幅する実験を行った。この場合、高次高調波の波長幅に比べて X 線レーザーの増幅波長帯域は桁違いに狭いため、X 線レーザー媒質はアクティブな波長フィルターとして働く。増幅された高次高調波は、X 線レーザー媒質によって狭帯域化され、トランスフォームリミットのパルス幅を持つことになる。従って、この増幅光は時間的にフルコヒーレント光である。シード光増幅によって時間的にフルコヒーレント光を得る方法は、将来の X 線 FEL でも適用が検討されており、ここで行った先駆的なシード光増幅実験が持つ意義は大きい。

こうしたフルコヒーレント X 線レーザーを用いた利用実験も開始している。X 線レーザーを物質表面に照射した時に得られる反射干渉光(スペckル光)を測定する手法により、強誘電体であるチタン酸バリウムの表面分域構造をピコ秒の時間分解能で測定することに成功している。また、多様な干渉計測法もトライしており、将来の X 線 FEL による本格的なコヒーレント X 線利用を考慮した先駆的な技術開発へ繋がることを期待している。