「X線自由電子レーザーを用いた極限状態の観察・開拓」特集号によせて

兒玉 了祐

大阪大学 レーザー科学研究所 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-6)

大阪大学大学院 工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

Preface to Special Issue on Investigation and Exploration of Extreme States of Matter with XFEL

Ryosuke KODAMA

Institute of Laser Engineering, Osaka University, 2-6 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

Graduate School of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871

(Received June 9, 2017)

1960年に人類は、原子・分子の世界からレーザーという新たな道具を創りだし、「光と物質との相互作用」に新しい側面を開拓できるようになった。現在、このレーザーは、最先端の量子ビーム技術を使うことでXFELという形でX線の領域まで広がり、生命科学から物質材料科学、プラズマ科学、惑星科学さらには宇宙物理学にも関係する様々な分野に大きな影響を与えようとしている。

XFELの短波長性、短パルス性、高輝度性が、高い空間分解と時間分解の構造解析を高速に実現し、蛋白質結晶構造解析を飛躍的に発展させる可能性がある。例えば、生命の存在様式とも言われている蛋白質は、生体内の効率的かつ効果的な生命現象の中心的役割を果たしている。この蛋白質結晶の構造解析は、この働き仕組みを理解するために不可欠な研究である。このような機能解析等を通した生命現象の統合的理解に加え立体構造に基づく医薬の分子設計の進展等により、医療、産業等への貢献も期待されている。また、コヒーレントなXFELを利用したX線回折イメージングは、結晶構造解析だけでなく多様な非晶質の構造を明らかにできる。これにより細胞分裂における染色体形成の分子メカニズムが明らかにできる可能性があるということで注目されている。さらにピコ秒より短いパルスの特性を生かしたX線構造解析は、化学反応中の分子構造変化を直接見ることが可能にする。得られた化学反応中間体の分子構造をもとにより効果的・効率的な化学反応設計の可能性があり、太陽電池や光触媒など光エネルギー変換デバイスの開発からも期待されている。生物分子、固体から取り扱うエネルギー密度をさらに大きくすると、固体の格子構造が崩れプラズマになっていく。あるいは固体状態でも超高圧の地上では存在できない極限環境下の状態が生まれてくる。このような大きなエネルギー密度の状態を高エネルギー密度状態と言う。近年のパワーレーザー技術の進歩により、惑星内部でしか存在しないようなこのような超

高圧の極限状態である高エネルギー密度状態が比較的容易に実験室で実現できる。XFELの高輝度性、あるいはパワー密度は、この高エネルギー密度状態という極限状態を創り出すことにも貢献できる。XFELはプローブ光源であるだけでなくポンプ光源として極限状態を創り出す新たな道具である。

以上のようにXFEL応用は、生命科学から宇宙物理学まで幅広い分野から期待されており、米国、日本に続いて2017年には欧州XFELが発振に成功するとともに世界各地でXFELの建設計画が進められている。このような状況の中で本特集号では、XFELがもつ高輝度性、短パルス性(～10 fs)、高分解能性(～nm)といった性質を利用した応用に関する研究を紹介している。

まずXFELの短波長性、短パルス性を活かした極限的なプローブ光源の応用例を示した。電子デバイス開発につながる超高速反強磁性秩序変化や光化学反応などの超高速現象をプローブする研究に関するものを紹介している。また人工光合成や人工触媒をデザインする上で必要不可欠な水分解反応機構の解明についても解説いただいている。さらに可視パワーレーザーで実現できるようになった数100万気圧以上の超高压下での極限的物質構造変化などを紹介している。またレーザー超強度場により励起された真空双極子をXFELでプローブするとい量子真空物理学へのチャレンジに関しても解説している。一方、XFELの短波長性、短パルス性に加え高輝度性を活用しXFELをポンプ光として活用することで、原子・分子を制御し新たなデバイスへの可能性につながる研究成果に関しても解説いただいている。

ここでは紙面の都合で全てを網羅することができなかった。XFELの可能性の広さや世界のXFEL建設計画を考えると、今後、学際的・俯瞰的な視点と共に目標を明確に設定した戦略的な取り組みが、より一層不可欠となるものと考えられる。