

アト秒レーザー科学研究施設 (ALFA)

① ビジョンの概要

我が国が長年に亘って培ってきた先端光源の技術を集約した「アト秒レーザー研究施設 (Attosecond Laser Facility)」を、全国共同利用・共同研究施設として設置し、国内外のユーザーにアト秒ビームラインを提供することによって、物理学、化学、生物学の学際フロンティアであるアト秒科学研究の国際的中核拠点とするとともに、国際的な環境の下で次世代の研究をリードする我が国の若手人材を育成する。

② ビジョンの内容

今から 20 年程前から、フェムト秒よりもさらに短いアト秒パルス光 ($1 \text{アト秒} = 10^{-18} \text{秒}$) が生成されるようになり、物質内の電子が応答する時間領域がアト秒の領域であることが様々な現象から示された。その結果、電子の極めて早い運動が引き金となって、フェムト秒の時間領域で物質内の原子の運動が決定づけられることが明らかとなり、アト秒領域での超高速現象の観測と解明が、優先度の高い研究テーマとして世界中の研究者の共通認識となった。

本 ALFA 施設には、国内の研究者・技術者が長年にわたって培ってきた超短パルス光源の技術と軟 X 線領域の自由電子レーザーの技術に基づき、互いに同期されたアト秒レーザービームライン (3 種) とアト秒自由電子レーザーを併設する計画であり、他に類を見ない独自の先端光源施設となる。

③ 学術研究構想の名称

アト秒レーザー科学研究施設 (ALFA) ※図 1

④ 学術研究構想の概要 本構想は、我が国の研究者がこれまでにアト秒科学を発展させてきた実績を踏まえ、東京大学、高エネルギー加速器研究機構 (KEK)、理化学研究所、分子科学研究所、電子通信大学などの機関が中核となり、オールジャパンの体制で、国内外の研究者のための共同利用施設として ALFA を速やかに設置し、最先端の研究プロジェクトの推進に資することを旨とするものである。

⑤ 学術的な意義

【背景・学術的重要性】 現在の自然科学におけるフロンティアの一つは、極めて短い時間に起こる現象を解き明かすことである。近年の超短パルスレーザー技術の進歩は目覚ましく、100 アト秒を切る時間幅を持つ超短パルスの発生が可能となった。アト秒パルスを用いて、物質中の電子の動きを実時間で観測することができれば、物質内で進行する様々な素過程を根本から理解することが可能となると期待されている。

【世界の情勢】 欧州では、アト秒レーザーに特化した光源施設 ELI-ALPS (ハンガリー) が建設され、2018 年よりビームラインの一部の運用が開始されている他、軟 X 線自由電子レーザー施設 ELETTRA (イタリア) では、アト秒パルスのトレインが利用可能となっている。また、米国では、SLAC において X 線領域の自由電子レーザーが稼働しており、X 線アト秒パルスがユーザーに提供されるようになっている。

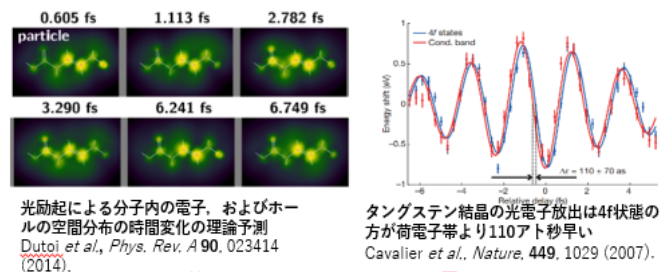
【必要性・緊急性】 これまでに、我が国において長年にわたって培われてきた先端レーザー技術と自由電子レーザー技術の優位性を維持するためにも、アト秒レーザーおよびアト秒自由電子レーザーの共同利用を目的とした「アト秒レーザー科学研究施設 (ALFA)」の早急な設置が必要である。アト秒領域の光パルスを生産することは容易ではなく、アト秒レーザー光源をさまざまな分野の研究に応用することは、光源開発技術を



図 1 アト秒レーザー科学研究施設 (ALFA)

必要性

- ▶ アト秒レーザー科学研究の世界的な拠点として大型施設建設を提案
- ▶ レーザー技術の進歩により、フェムト秒 (10^{-15} 秒) からアト秒計測へ
- ▶ 物質の中の電子は、アト秒の時間領域で物質の中を移動 (アト秒は 10^{-18} 秒、光は 1 アト秒に 0.3 ナノメートル進む)



- ・すべての物質の光応答はアト秒領域での電子運動によって決まる
- ・物質科学、生物学、医学にとってアト秒パルスは必須の光

図 2 アト秒科学のフロンティア

持たない研究者にとっては至難である。この状況を解決するために、共同利用が可能なアト秒光源施設を設置することが急務となっている。我が国において、この ALFA 構想は、今から 15 年程前から提案されていたものであるが、国からの設備や建設のための予算支援が得られないまま時間が経過したことから、緊急性が高まったばかりでなく、国内研究者の要望が高まることとなり、一刻も早くその設置が待ち望まれている。

【施設内容】 設置場所としては、KEK つくばキャンパス内を予定しており、ALFA が国内外のユーザーの国際的な研究交流の場となるとともに、国際的な環境の下で我が国の将来を担う優秀な若手研究者人材の育成の場となることを目指している。アト秒レーザービームライン 3 本〔(ビームライン A (汎用型)、ビームライン B (高繰り返し型)、ビームライン C (高強度型)) および、アト秒自由電子レーザー (ビームライン D) の計 4 本のアト秒光源ビームラインを擁する。

【期待される成果】 ALFA が擁する最先端のアト秒レーザー光を用いて、物質中や界面での「電子の動き」を実時間で追跡することができれば、人類の物質観・自然観を格段に深めるものと期待される。また、アト秒領域の応答をもつ素子の開発を通じて、ペタヘルツ応答が可能となる超高速デバイスが開発されると期待される。一方、水の窓領域 (水が透明となる 2-4 nm の波長領域) をカバーできるアト秒軟 X 線パルスを用いた生体細胞イメージングを通じて、細胞内のオルガネラの構造や機序が明らかになると期待されるため、生物学、創薬、医療などの分野のイノベーションに資するものと期待される。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

ALFA のように、レーザービームラインと自由電子レーザービームラインが併設され、互いに同期がとれるアト秒光源施設は、現時点では他に存在しない。また、レーザービームラインの場合でも、ALFA のように単一アト秒パルス (50 as) を常時提供する光源施設は現時点では他に存在しない。また、ALFA のビームライン D においては、テラヘルツ加速器を用いた電子バンチ圧縮技術を用いるため、高輝度アト秒軟 X 線パルスを全長 170 m の加速器によって達成する。これは、SLAC のアト秒ビームライン (全長 1.7 km) と比べると 10 分の 1 以下である。ALFA が設置されれば、前例の無いコンパクトかつ高性能なアト秒自由電子レーザー施設となる。

⑦ 社会的価値

物質中の電子系が光刺激に如何に応答するかをアト秒領域の時間分解能で計測することは、「人類がこれまで成し得なかった最も短い時間領域での物質の観測」という自然科学のフロンティア研究における基本的意義を持つ。したがって、ALFA を用いた基礎および応用研究が、これまで我々が持っていた電子の運動に関する概念を革新し、人類に新しい自然観を与えるものと期待される。

⑧ 実施計画等について

2027 年には、ビームライン A、B、C のすべてについてユーザー運転を開始し、2029 年には、ビームライン D のユーザー運転を開始し、ユーザーにビームタイムを提供する。また、さまざまな研究分野のユーザーの要求に応えるために、軟 X 線領域のアト秒レーザー光と同時に、テラヘルツ光から極端紫外光まで幅広い波長範囲の高輝度短パルス光を供給し、アト秒時間分解能での時間分解ポンプ・プローブ計測を可能とする装置群を利用研究のためにユーザーに提供する。そして、東京大学、KEK、理化学研究所、分子科学研究所、電気通信大学、慶應義塾大学、東京都立大学などの国内の研究者が中核となって、ALFA 施設における利用研究を推進するオールジャパンの運営体制を構築する。

汎用型、高繰り返し型、高強度型の 3 つのビームラインについては、東京大学アト秒レーザー科学研究機構、アト秒レーザー科学研究センターが理化学研究所量子工学研究センターの協力を得て光源開発を行う。また、次世代型ビームライン (ビームライン D) については、東京大学アト秒レーザー科学研究機構およびアト秒レーザー科学研究センターが KEK の加速器研究施設および理化学研究所播磨研究所の協力を得て光源開発を行う。

総経費は、約 200 億円 (2022-2031 年度にわたる 10 年間の概算) であり、その内訳は、施設整備費 (112 億)、設備費 (70 億円)、運営費 (10 億円) である。

⑨ 連絡先

山内 薫 (東京大学アト秒レーザー科学研究機構)