

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、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 25 年程前から、フェムト秒 (1 フェムト秒 = 10^{-15} 秒) よりもさらに短いアト秒パルス光 (1 アト秒 = 10^{-18} 秒) が生成されるようになり、物質内の電子の応答がアト秒の領域で起こることが様々な現象から示された。その結果、電子の極めて早い応答の後、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、極めて重要であることが世界中の研究者の共通認識となった。

本構想は、我が国の研究者が培ってきた最先端の光源技術を基盤として、アト秒レーザーパルスを国内外の様々な分野の研究者に供給する共同利用施設として、「アト秒レーザー科学研究施設 (Attosecond Laser Facility: ALFA)」を設置することを目的とするものである。

ALFA の運用が開始されれば、超高速現象の観測を通じて物質変化の根源的な理解が深まり、基礎科学の発展に資することは言うまでもなく、アト秒領域での超高速応答が可能となる次世代半導体デバイスの開発など、電子工学分野への貢献にも期待が寄せられている。また、アト秒光源は水の窓領域 (水が透明となる 2-4 nm の波長領域) をカバーするため、細胞イメージングを通じて生物学、創薬、医療などの分野のイノベーションに貢献するものと期待されている。

また、ALFA の最先端光源を用いた研究を推進するために、国内外の研究者がユーザーとして利用研究を推進することとなり、ALFA が国際的な学術研究交流拠点となる。そのような場合は、次世代を担う我が国の若手人材の育成のための理想的な環境である。そして、ALFA が海外の大型先端大型施設とともに国際的なネットワークの一翼を担うことを通じて、アト秒科学における我が国プレゼンスを高めることとなる。

③ 学術研究構想の名称

アト秒レーザー科学研究施設 (ALFA)

④ 学術研究構想の概要

アト秒科学は、この 25 年間に急速に発展してきた分野である。ALFA の構想は、東京大学、慶應義塾大学、電気通信大学、理化学研究所、分子科学研究所、高エネルギー加速器研究機構などの研究者の議論を通じ、2007 年頃から取り纏められ、2014 年、2017 年、2020 年には、日本学術会議「重点大型研究計画」に、そして、文部科学省ロードマップ (学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップ) に選定され、2023 年には、再度、文部科学省ロードマップにおいて選定された。

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。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。



図1 アト秒レーザー科学研究施設 (ALFA)

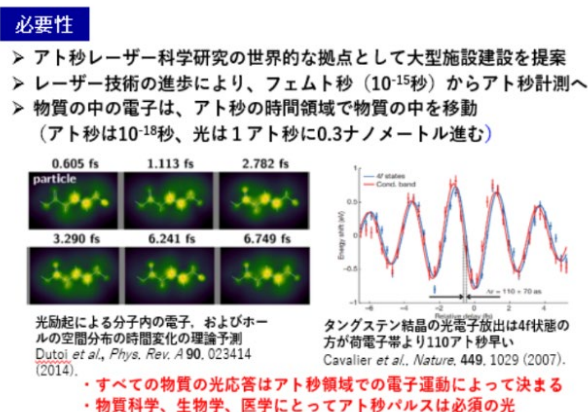


図2 アト秒科学のフロンティア

【世界の情勢】欧米、中国、韓国において、アト秒レーザー光源の開発に重点的な投資がなされ、光源施設が次々と建設されている。中国では東莞と西安の二か所に先端アト秒レーザー施設の建設が開始されている。

【必要性緊急性】先端光源開発技術を集約したアト秒レーザー光源施設を共同利用・共同研究拠点として建設・設置・運営し、日本の研究者が国際的なリーダーとしてアト秒レーザー科学を牽引する。

【施設内容】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ポンプ・プローブ計測を可能とする装置群を設置する。

【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。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。水の窓領域 (2-4 nm) をカバーできるアト秒軟 X 線パルスを用いた細胞イメージングを通じて、生物学、創薬、医療などの分野に資する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

アト秒領域の超短パルス光を提供する施設として、ELI-ALPS (ハンガリー) や SLAC (米国)、ELETTRA (イタリア) を挙げることができる。中国では、2024 年に東莞と西安の二か所に先端アト秒レーザー施設の建設が開始された。ALFA においては、軟 X 線領域のアト秒レーザーパルス光源を設置するだけでなく、テラヘルツ光から極端紫外光に亘る広い波長範囲の高輝度短パルス光を供給するとともに、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設置する。そのため、産・官・学、そして、国内外のさまざまな研究分野のユーザーの要求に応えることが可能である。

⑦ 社会的価値

アト秒領域の物質の時間応答は、ペタヘルツ (10 の 15 乗ヘルツ：ペタヘルツ) 周波数の領域での変化となり、ペタヘルツで応答する物質開発に資する。さらに、アト秒領域のレーザーパルスは軟 X 線領域の波長を持ち、特に、水の窓領域 (2-4 nm) では、細胞とその動的な挙動を 3 次元顕微画像として計測できる。アト秒光源を用いた顕微計測は、薬物応答の微視的機序を明らかにするものとして期待されている。

⑧ 実施計画等について

<実施計画・スケジュール>

2026-2027 年度：東京大学先端研 4 号館 ALFA プロトタイプ施設にて光源の設置と計測系の導入。アト秒レーザー科学研究施設の基本設計と実施設計。国内外の研究者交流と若手人材育成 (2028 年度以降も継続)。

2028-2029 年度：実施設計の下、着工と竣工。レーザー光源および計測装置群の設置と試運転・調整。

2030 年度：ALFA のビームラインのユーザー利用の開始。国内外、産・官・学からの利用研究の促進。

2030 年度以降：アト秒レーザー光をユーザーに提供するとともに、最先端光源へのアップグレードを行う。

<実施機関と実施体制>

東京大学「アト秒レーザー科学研究機構」(Institute for Attosecond Laser Facility, I-ALFA)の下に、「運営委員会」を設置し、ALFA の建屋の設計およびデザインを推進する体制が整えられている。令和 9 年度以降はアト秒レーザービームラインのユーザー利用、光源・装置の研究開発、先端的基礎・応用研究のための体制を順次整え、令和 12 年度に本格運用を目指す。

【管理・運用の体制】

I-ALFA 機構長の下に、東京大学および他の機関の研究者・技術者からなる「連携協議会」が 2022 年 5 月に発足し、産・学・官の体制の下、国内の研究者や企業の研究部門との連携体制が整えられている。

令和 9 年度以降も、全国の大学、研究機関、民間企業の研究者の協力の下にアト秒ビームラインを整備し、国内外の幅広い分野の研究者に提供する。

<総経費> 120 億円

<所要経費>

2022-2031 年度にわたる 10 年間における所要経費の概算は、施設整備費 (60 億円)、設備費 (40 億円)、運営費 (20 億円) に分けられ、総額は約 120 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)