

極限コヒーレント光科学イノベーション：
THz 波から X 線までの極限コヒーレント光科学と非平衡物性科学の共同研究開発拠点

① 計画の概要

THz(テラヘルツ)波から X 線までの 6 桁周波数に及ぶ、テーブルトップ高強度・高繰返・極限コヒーレント光を、レーザー科学・技術をベースに自主開発・実用化し、光科学・物性・光産業ニーズ/シーズを共同研究開発するハブ施設を、東京大学・柏キャンパス・北側土地に新設する。

近年の著しい高強度レーザーと波長変換技術の進展により、THz 波から X 線まで 6 桁周波数帯域の極限的に高いコヒーレンスを持つ光を作り出すことが可能になった。極限コヒーレンスを活かせば、アト秒超高速光、あるいは相対論的重力敏感な超精密光を発生し、それらを非平衡物性科学研究へ応用する道が拓ける。また、THz から X 線までのマルチパルスと同時に発生して組み合わせ用いれば、レーザー加工・触媒反応・光デバイスなど社会・産業ニーズにも対応したシステムや現象の超高速ダイナミクスを調べるオペランド分光が可能になる。

現在の技術的課題は、軟 X 線領域でのフォトンフラックスの不足、利用プラットフォーム未整備による光ビーム利用効率の低さである。前者は、キロワット産業用レーザー技術を極限レーザー開発に組み入れ約 100 倍の高強度化を図り解決する。後者は、加速器放射光施設で培われた物性研究ビームライン技術をレーザー施設に導入し、連携部局や協力機関のアウトステーションを設け、物性研究所で培われた全国共同利用ネットワークを活用することで解決する。同時に産学連携を推進し、産業技術利用、基礎研究、産業課題の解決、新産業技術創出のループを回転させ、開発を加速する。

本施設は、レーザー光源をベースとするので、加速器放射光・量子ビーム光源などと比べてはるかに、省予算・省スペースである。全国各地への普及や機能特化した姉妹施設との連携も可能である。全国共同利用ネットワーク構築を視野に入れ、その中心ハブとなるレーザー施設を目指す。

② 学術的な意義

本計画で THz 波・中赤外光の 100 倍の高強度化を達成し、これを用いて固体を破壊限界直前まで強励起し、同期した THz・可視・X 線の光を用いた多様な分光手法で多角的なプローブができれば、固体系の強光子場科学・限界光駆動科学が創出される。希ガス原子への高強度レーザー光照射は、高次高調波発生を生み、さらに原子・分子系の強光子場科学という新分野を生んだ。固体系にはエネルギースケールの異なる様々な秩序と素励起が存在する。それらを選択的に強駆動できれば、原子・分子系よりも多彩な新学術領域が拓ける。光電場で駆動された電子の運動の実時間追跡、内核電子遷移ダイナミクス、固体から生体物質の超高速構造変化など、未踏の物性物理の基礎学術開拓が可能になる。

固体を対象とし、レーザー照射で破壊限界を超えながら、制御性良く強励起すると、レーザー加工の科学が展開される。レーザー加工は、化学反応や電極反応・触媒反応などと同様に、非平衡・不可逆・開放系の物性科学に分類される難問である。しかし、高強度・高速の制御された光パルスを用いた反応・加工・変調の誘起と、THz・可視・X 線の光を用いた多角的なプローブを用いて、反応中・動作中の状態やダイナミクスを調べるオペランド分光や超高速非線形分光が可能である。極限コヒーレント光科学技術を用いれば、非平衡物性科学を攻略することが可能になる。

このように、物性物理学の研究対象を、伝統的な基底状態・平衡状態や線形応答から、難題として攻略不能であった励起状態・非平衡状態・非線形現象へと広げ、経験則や現象論しか存在しなかった分野に学理を築き、学術へと発展させる。物理学に根ざした光材料の根源的な両性・物性の学術的理解と制御は、翻って新たな極限的レーザー・コヒーレント光源開発に役立つ。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

レーザーと放射光施設の高度化が急速に進み、両光源に基づく光科学の融合は世界の潮流である。主要放射光施設でもレーザーとの複合実験が進展し、時間分解光電子分光は世界中に一気に拡散した。しかし、殆どは市販レーザーを用い、その性能

極限コヒーレント光科学イノベーション：THz波からX線までの極限コヒーレント光科学と非平衡物性科学の共同研究開発拠点



が制限されている。本計画の特徴は、10研究室が緊密に連携する極限コヒーレント光科学研究センターにおいて、世界無二の極限的な性能のレーザー光源を独自開発し、直ちに非平衡物性研究に用いる点である。逆に、物性物理学や分光学の観点から最良の光源性能を案出し、それにマッチした極限レーザー光源を自主設計・開発する点である。

中～大規模レーザー開発を行う組織は、国内・国外に存在するが、レーザー科学、原子分子、プラズマ、核融合など、物性物理研究とは別の使命を持つものが殆どであり、相補的關係にある。レーザー、放射光、物性研究の連携融合の必要から、光科学や物質科学のネットワーク・バーチャル組織が営まれている。本計画は、それらの連携融合を実在組織として実践・主導し、全国共同利用を通じて全国展開し、技術協力や人事交流のハブ拠点となる。

④ 実施機関と実施体制

東京大学が、実施の中心機関となる。他の参画予定機関は、京都大学、大阪大学、東京工業大学、東北大学、産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、理化学研究所。参画機関・部局は、研究チームを本施設アウトステーションに置き、従来の年度単位の客員教授・研究員や共同利用の制度を超え、レーザー物性科学から産業応用までを含む、緊密な連携研究を推進する。

⑤ 所要経費 総経費、40 億円

⑥ 年次計画

第一期： 基盤建物の整備（初年度～3年度、3年間）

初年度に、東京大学柏キャンパス北側未利用地にレーザーハブ実験棟を新たに建設する。レーザー装置に必要な、恒温・低振動、清浄空気環境をブース化して整備する。周囲に、複数の各種共同利用・分光実験ステーション、アウトステーションを配置し、高強度・極限コヒーレントレーザーとの間を、ビームラインを用いてつなぐ。平行して、レーザー光源、分光計測システムの開発を、既設実験棟(D棟)内で開始する。所内の物質・表面評価グループとの所内連携、学内部局間連携、産学連携のための新規導入実験設備の調達を行う。

2年度目、レーザーハブ実験棟の建設が完了後、準備開発したレーザー、分光計測システム、周辺実験設備の移設を行う。移設後、既存除振実験棟(D棟)の空調・実験冷却水設備の改修工事を行う。3年度目までに以上を完了する。

第二期： 光源と計測システムの整備（4年度～6年度、3年間）

従来より100倍高強度化した軟X線レーザー、高強度THz-X線マルチパルス発生システム、kW級高強度フェムト秒レーザー、超安定光周波数コムレーザーなど、極限コヒーレント性能を有するレーザー光源と、オペランド分光ステーション、超高分解光電子分光システム、高強度THz-X線時間分解分光システムなど、計測実験システムの開発・整備を行う。物性科学研究者などを対象にした共同利用・共同研究を開始する。

第三期： 光源・計測装置の高度化と共同利用の拡大（7年度～10年度、4年間）

光源の高強度化を推し進め、「水の窓」領域(300-500eV)を越え1keVまでの軟X線極限コヒーレント光の発生と利用研究や、限界光駆動・レーザー加工に関する産学連携研究などのための体制を整える。最新励起用半導体レーザーや利得媒質を組み込み、光源の格段の高出力化、コンパクト化を進める。

⑦ 社会的価値

光科学は、近年も多数のノーベル賞を生み、基礎科学と産業応用の距離が近く、国民にとって身近な最先端研究分野の一つである。本計画で開発するキロワット超高速レーザーは、キロワット産業用レーザー技術を基礎科学用超高速極限レーザー技術と融合することで達成される産学連携の産物である。この新光源は、限界駆動下の物質の様態、破壊の前駆現象、光加工や破壊などの基礎研究を可能にする。その研究成果は、逆に、壊れにくい光学部品の開発に役立ち、さらなる高強度レーザーを生み出し、産業応用と基礎科学研究の両方に貢献する。産業技術利用、基礎研究、産業課題の解決、新産業技術創出のループを回転させ、開発を加速することができる。THzからX線までのマルチパルスを同時に発生して組み合わせたオペランド分光実験技術は、動作中の触媒・光加工・光デバイスなど社会・産業ニーズに対応した現象の超高速ダイナミクス研究に役立つ。物性物理学のみならず、物質の関与するほぼすべての科学研究分野、化学、生物、医学、地球惑星科学と新産業創出に広く貢献できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

森 初果（東京大学・物性研究所）

極限コヒーレント光科学イノベーション： THz波からX線までの極限コヒーレント光科学と非平衡物性科学の 共同研究開発拠点（@東京大学・柏キャンパス、5000m²）

既存建屋(E棟)900m²での計画構想の準備試験研究（2012年～）
成果：スピン分解レーザー光電子分光、アト秒X線吸収分光の成功など

