

複雑・不均一系の分子ダイナミクスに挑む量子光科学拠点の構築

① ビジョンの概要

先端光源の高度利用による未踏の挑戦的な計測技術の開拓と、多彩な光源を自在に活用できる評価・分析支援環境による量子光科学研究拠点を構築し、複雑・不均一系の機能や物性の制御に向けた時空間階層をもつ分子ダイナミクスの学術開拓を目指す。化学分野強化のために運用してきた UVSOR 施設の資産と分析基盤技術を効果的・発展的に継承し、次世代産業の応用基盤を創発するための数多の基礎学術分野の基盤強化に資する。

② ビジョンの内容

高繊細なコヒーレント光源を利用した、未踏の量子計測による持続的な学術基盤の開拓が求められる。物理・材料系研究者による計測技術の深化を進めると共に、先端光源の利用障壁を排除し、化学・バイオ系研究者に分析アイデアと、複雑・不均一系の理解を支援する評価・分析設備と環境を提供する。UVSOR 研究環境資産と計測基盤技術を効果的に継承し、1) 低エネルギー帯の高輝度光源利用による未踏の学術開拓、2) 多変数・広帯域計測による分子やバイオ機能・材料物性の階層評価システム構築、3) 持続的な技術継承と人材育成の仕組みづくりを目指す。放射光とレーザーの包括的な光源供給体制とし、ユーザーの要求に応じた先端光源を安定的に提供する。真空紫外線・軟 X 線コヒーレント光源の利用による評価手法開拓やマルチモード計測・マルチビーム時空間イメージングを通じて、化学・バイオ分野にも利用障壁が無い、充実した共同研究型の支援環境を提供する。極限光科学イノベーションセンターの設置により機能を一元化し、異分野・国際交流を誘導することで能動的に分野融合する。DX 技術の導入により評価・分析環境を改善し、新たな研究発想と研究者の参画を促進する。「使い易い」光源と「挑戦的な」特殊光源を利用した計測拠点を目指す。

③ 学術研究構想の名称

複雑・不均一系の分子ダイナミクスに挑む量子光科学拠点の構築

④ 学術研究構想の概要

UVSOR は 40 年の運転実績があり、UVSOR-III 光源は低エネルギー放射光として高い国際競争力をもつ。しかし施設の老朽化と立地環境の問題から、更なる高度化や 2030 年以降の長期的な利用には限界がある。持続的な研究施設環境の構築を目指し、次期施設建設検討会を開催してきた。これまでの、量子ビーム開発、軟 X 線透過顕微鏡やスピン分解光電子運動量顕微鏡の機能強化など持続的な先端設備開発の流れを今後も継承する。さらに低エネルギー帯の未踏計測科学の挑戦的開拓を目指し、UVSOR-IV 光源と各種レーザー光源を一元集約し先端光科学設備の開発を強化する。特にバイオ系など未活用分野への利用展開を目指したオペランド・イメージング設備の開発や技術伝承と人材育成にも注力する。これらの取り組みは、次期施設計画へとシームレスな移行を実現し、長期的なビジョン達成に繋がる。

⑤ 学術的な意義

UVSOR は大型施設の SPring8 や中型の NanoTerasu と相補的な小型施設に位置づけられる。これまで大学共同利用機関として分子科学コミュニティを中心に利用され、基礎学術的な研究成果を発信してきた。今後も

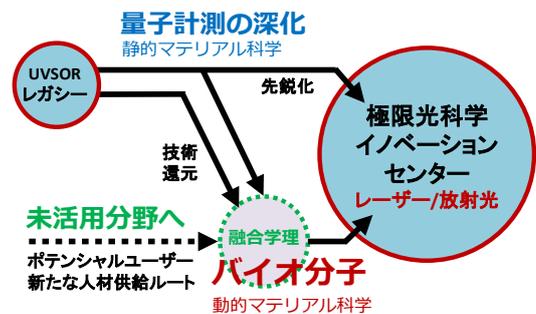


図1 量子計測の深化と未活用分野の強化へむけた評価・分析拠点形成

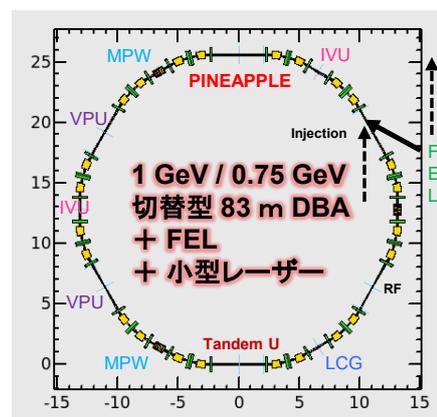


図2 先端小型リング型放射光と小型レーザー光源の複合利用共同施設 (FEL 化は拡張計画)

国際競争力を維持するために、先端計測設備の技術開発を進め、ユーザーと共同利用・共同研究を推進する必要がある。放射光とレーザー光の利用スタイルの転換期と捉え、両者を同等に提供する共同利用支援体制を構築することも重要である。UVSOR-IVは特徴的に紫外線帯のコヒーレント光源としての活用が期待できるが、その展開は世界的にも進んでいない。長期計画に基づく計測技術開発や国内外の協力研究を通じて、量子制御・量子計測手法の開拓やマルチビームによる超解像度イメージングなど、我が国主導で計測科学のブレークスルーを目指す必要がある。UVSOR-IVの成功により、先端計測の利用範囲が拡大し、幅広い研究者が活躍できる環境が整い、協調的研究活動が活性化すると共に、持続的な人材育成に貢献すると期待される。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

放射光とレーザー光の技術開発競争の歴史は分析科学の進化に重要な意味をもつ。放射光施設は成熟期にあり、先鋭的光源の開発だけでなくユーザー目線の運用へ転換すべき時期である。テーマに即して各種光源を安定的に供給し先端光科学を推進するために、利害関係や競争差別意識を越えて、独創的かつ強力なワンストップ支援体制を構築する必要がある。また供給先を現状の材料・物理系から、欧米並みに分子科学やバイオ分野に拡大することも不可欠である。日本は9施設（10リング）の複数施設が学術と産業利用の役割分担を担い、全エネルギー帯において世界トップレベルの光科学の研究環境を提供できる強みを持つ。このような独特な環境は技術開発や人材育成において大きな利点である。

⑦ 社会的価値

小型光源はエネルギー消費率が良い。多様な光源を一元化利用することは省エネルギー社会の要請に応える解決策である。光科学により開拓される学術分野は、エネルギー・環境問題、食・薬の安全性など、現代社会が直面する課題解決型の研究開発に非常に有用な情報を提供し、国民生活の安心と安全を支える基盤的なツールとなる。光による分析や計測の強化だけでなく、光による操作や制御によって、多彩な異領域の融合学問が築かれる。近年、微小試料や不均一試料中の極微細領域のイメージング法の革新があり、特に階層的な生体機能に関連する複雑な要因を解明することで、原子や分子レベルで物質を理解することが可能となる。このような科学的根拠に基づいた新材料や環境課題解決、医薬品の創造により、国内産業の国際的な優位性と競争力を向上させ、新たな市場の創出や経済的な効果をもたらすことができる。

⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール：(1) 既施設をもとに、先端実験設備を開発・整備し、連携を通じた共同作業で人材育成。世界初となるスピン分解光電子運動量顕微鏡の完成を目指す。独自の量子ビーム研究開発を強化し、新たな放射光利用法の展開を提案。(2) 未活用分野の需要開拓と研究展開・斡旋方法や先端光源の最新技術利用に係る諸問題を日本全体で議論。(3) DX 要素技術導入を進める。(4) マルチビーム利用研究を試行し、複雑・不均一系の広帯域計測を国際主導。(5) バイオ系機能探査計測を主軸に利用分野拡大を加速する。(6) 8年目に次期施設建設開始。建設中も旧施設の平行運転により共同研究は継続し成果取得。9年目に新センターと共に運転テストを開始しUVSOR-IIIの一部設備を元に調整期間に移行しつつ、新規実験ステーションの開発。10年事業終了後も継続的に技術更新し、ビームラインおよび分析装置のアップグレードを継続。以後はレーザー入射加速器を分岐し、長期的には自由電子レーザーによる実験ビームライン構築の展開も想定。実施機関と実施体制：分子科学研究所極端紫外光実験施設を基盤組織とし、放射光UVSOR-IVに、各種レーザー光源設備、汎用分析装置を集約。NINS 機構と研究所の各センターとの連携を強化できる新体制として極限光科学イノベーションセンターを組織化する。基生研や生理研を通じて、光科学と疎遠な周辺コミュニティのニーズ開拓を強化。技術推進部とコーディネータ部門による支援強化と充実化。多彩な学問領域への利用拡大は先端光科学のコモディティ化を意味し、自ずと民間企業利用における研究支援としても高く貢献する。総経費合計 79 億円（内訳：先端分析装置2基の開発：12 億、人材育成と支援環境整備：7 億（組織再編：極限光科学イノベーションセンター：既存スタッフ約 30 名に追加スタッフ約 30 名）、次期光源施設建設費用：60 億：うち建屋建設費 20 億、小型 83m リング建設費 30 億、新設実験設備 2 基 10 億）物価高騰の影響は申請時点で未検討。

⑨ 連絡先

解良 聡（分子科学研究所・極端紫外光研究施設）