

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次世代計測技術の開拓と、多彩な光源を自在に活用できる分析・評価支援環境による量子光科学研究拠点を構築し、複雑系/不均一系の機能や物性評価と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。分子科学研究所の UVSOR 施設の資産と計測・分析基盤技術を効果的・発展的に継承し、先端光の未利用分野への啓発と、次世代産業の応用基盤を創発するための数多くの基礎学術分野の基盤強化に資する。

② ビジョンの内容

先端コヒーレント光源を高度に利用した未踏の量子計測による新たな学術基盤開拓が求められる。物理・材料研究者による科学技術の深化を進めるとともに、先端光源の利用障壁を排除し、化学・バイオ系研究者らに先端計測設備と支援環境パッケージを提供する。異分野融合を通じて複雑・不均一・非平衡系の機能・物性の理解が深まり、新たな学理開拓へと誘う。UVSOR の研究環境資源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学術の開拓、2) 分子やバイオ機能・材料物性のための多変数・広帯域計測による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。先端放射光・レーザー光の包括的光源供給体制とし、ユーザーが求める先端光源を安定的に提供し、テーラーメイドな光源利用環境を構築する。極限光オートノミー探究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/AI 技術の導入で計測・分析環境を改善し、新たな研究発想と連携活動を促進する。「使い易い」光源と「挑戦的な」特殊光源を利用できる計測拠点構築と多彩な学問領域への貢献を目指す。

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 余年の運転実績があり、UVSOR-III 光源は低エネルギー帯において高い国際競争力をもつ。しかし施設老朽化問題から、更なる高度化や 2030 年度以降の長期的利用に限界が見えている。これまで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。ミッションとして量子ビーム開発、軟 X 線顕微鏡、スピン分解光電子運動量顕微鏡等の先端手法を強化しつつ、新たなランドスケープを獲得する。パワーユーザーの研究ノウハウや匠の技を機械学習させ、次世代型 AI エージェントの協働により汎用型計測における AI ロボット利用による高スループット実験や、AI 支援先鋭的計測へと拡張していく。今後 10 年で開発される要素技術や先端設備群と研究環境は、そのまま将来の次期施設計画へとシームレスに引き継がれ長期ビジョンの実現をより確実なものとする。次期センターの高輝度化型リングは 0.75/1 GeV の蓄積エネルギーの切替型とし、多様なサイエンス標的に適応する。

⑤ 学術的な意義

大型施設 SPring-8、中型の NanoTerasu と相補的な小型施設の位置づけとなる。国内各施設の分散型ネットワークの有効性は学会の共通認識であり、SPring8-II 計画による赤外線実験の停止措置を受け、当該分野ユーザーを UVSOR が受け入れ、我が国の施設間相補機能を担っている。小型施設の特徴として、俊敏な技術

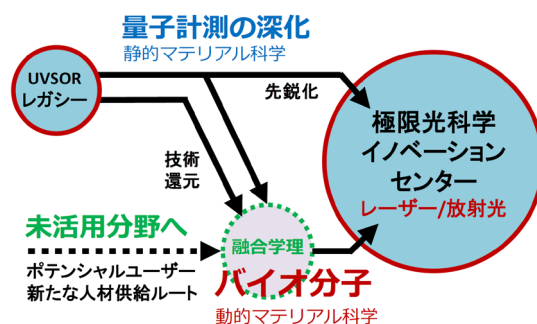


図1 量子計測の深化と未活用分野の強化へ向けた分析・評価拠点形成

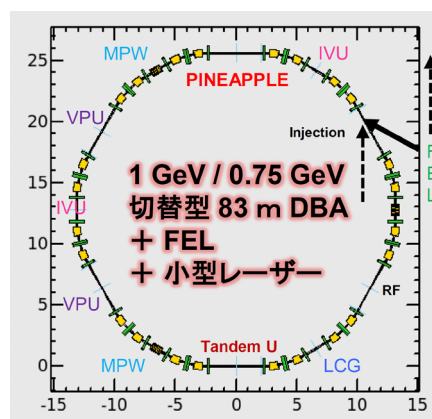


図2 高輝度小型リングと先端小型レーザー光源の複合利用共同施設 (FEL 接続は拡張計画)

開発や自由度の高い運用など学術研究との親和性が高く、大学共同利用機関として分子科学を中心とした研究支援と共同研究に適す。また、放射光とレーザー光を同等に提供する先端施設として、最適化されたテラレーメイドな光源を安定的に提供できる環境が分野拡大において重要である。さらに、未開拓な VUV 帯コヒーレント光源の利用における量子制御・量子計測開拓と、マルチモーダル計測・時空間イメージングによる非平衡系や複雑/不均一系の計測科学のブレークスルーを目指す。例えば、ベクトルビーム等の構造光を用いた革新的技術を広帯域波長で展開すれば、マルチビームによる新たな超解像イメージング法として期待できる。光科学のビギナーから専門家までを網羅的に支援する場を整備することで協調的研究が活性化し、有効な頭脳循環の場は人材育成としても独特の環境となる。これまで専門家の勘・コツ・経験に依存していた先端計測が AI に移植され、そしてビギナーも利用できる実験環境は、利用法や研究標的の変容をもたらす。

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開発競争の歴史は分析技術の発展に密接である。成熟期にある放射光施設は利用転換期にあり、ユーザーが求める計測に最適な先端光源を安定的に提供できる環境を整えることが重要である。ユーザー供給先も物理・材料系から、欧米並みに分子科学やバイオ分野へ拡張することも不可欠である。大型の SPring-8、中型の NanoTerasu、小型の UVSOR で全エネルギー帯において光科学の研究支援環境が整う。国内に多種多様な放射光施設が存在する強みとして、相互連携による技術開発や人材育成で大きなアドバンテージがあるといえる。バイオ・生命科学系ビジョンとの連携交流を開始している。

⑦ 社会的価値

小型光源はエネルギー消費率が良く、多様な光源の一元集約化は省エネルギー社会要請への一つの解である。光科学が切り拓く学術研究は、エネルギー・環境問題、食・薬の健康安全性など、課題解決型の研究開発において極めて有用な知見を提供し、国民生活の安心・安全を支える基盤的なツールとなる。光による分析・計測の強化のみならず、光による操作や制御によって、多彩な領域の融合学理が構築される。技術革新が著しい微小試料あるいは不均一試料中の極微細領域のイメージング法を確立し、特に生体機能にリンクする複雑階層系の複合的な要因を解明することで、原子・分子レベルでの物質の理解が可能となる。科学的根拠に立脚した次世代ものづくりは、新たな市場や社会的価値を創出し、経済的効果に直結する。未来の極限環境下での人類活動を鑑みると、生体機能のさらなる理解や宇宙材料開発の研究など課題は多く、人類への貴重な資産となる。

⑧ 実施計画等について

<実施計画・スケジュール>

1) 先端実験設備等を連携して開発・整備し、共同作業で人材育成する。世界でも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検討。2) 光の未活用分野の需要開拓と研究展開・幹旋方法や先端光源の最新技術利用に係る諸問題解決に向けた取組みを強化。3) AI ロボット技術、リモート制御技術などの DX 要素技術導入。4) マルチビーム利用研究を試行し、不均一系・複雑系の広帯域計測を国際主導。5) バイオ系機能探査計測の実証実験を軸に利用分野拡大。6) 大規模 AI エージェント要素技術開発を開始。6) 小型リング施設建設開始（8 年目）。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は取得。7) 新センターと共に運転テストを開始し調整期間に移行。10) 最終年度までに高出力レーザーによる新レーザー加速器入射システムおよび新規実験ステーション 4 基の構築を別途展開。

<実施機関と実施体制>

分子研 UVSOR 施設を基盤組織とし、小型リング UVSOR-IV、各種レーザー光源設備、汎用分析装置を集約。機構および各センターと連携強化した体制として「極限光オートノミー探究センター」を軸に組織改編。基生研や生理研を通じて周辺コミュニティへの共同研究を強化。AI 支援技術と技術推進部によるユーザー支援強化。光源開発部門、計測評価部門、データ駆動部、技術推進部、コーディネータ部門、運営部門で構成。

<総経費> 150 億円;内訳、次期光源施設建設: 110 億(建屋建設費 35 億、小型リング建設費 75 億)

先端実験設備 20 億、AI 支援設備開発システム 10 億、人件費 10 億

⑨ 連絡先

解良 聡 (分子科学研究所・極端紫外光研究施設長)