No. 155　（グランドビジョン⑯）

紫外線域の高輝度小型放射光源を基盤とする国際研究・人材育成拠点の形成と動的局所構造解析による量子物質科学・量子生命科学の推進

①　ビジョンの概要

紫外線域の高輝度小型放射光源を基盤とした精密解析・動的イメージングの国際研究拠点として、超伝導・トポロジカル物質等における動的量子現象の微視的メカニズムや生体高分子などのキラル物質における機能発現メカニズムを解明する。WPI、共同利用・共同研究拠点等と連携して異分野融合研究を推進し、学部・大学院と連携して放射光先端計測・AI・DX 技術を一貫して学ぶことができる人材育成拠点を構築する。

②　ビジョンの内容

【紫外線域の高輝度小型放射光源による国際研究拠点の形成】放射光の持つ超広帯域性、指向性、偏光性、コヒーレンス性などの特性を活かした多角的・複合的な精密解析・イメージング計測技術は、理学・工学・農学・薬学・医学などの学術分野のみならず、SDGs、カーボンニュートラル、Society5.0 に向けた機能性材料の開発、環境浄化用の触媒の開発、電池の開発、疾患の原因究明、創薬など、well-being に直結する産業や社会における課題解決にも貢献する。わが国には 11 の放射光施設があり、基礎・応用研究から産業利用まで多種多様なニーズに応えている。広島大学放射光科学研究所の小型放射光源 HiSOR は世界的にも希少な紫外線領域の利用に最適化された放射光源であり、本計画で自動トップアップ運転が可能な小型放射光源へと高度化することにより我が国の紫外線領域の放射光利用研究の基盤を格段に強化し、世界中から研究者や学生が集まる国際研究拠点を形成する。

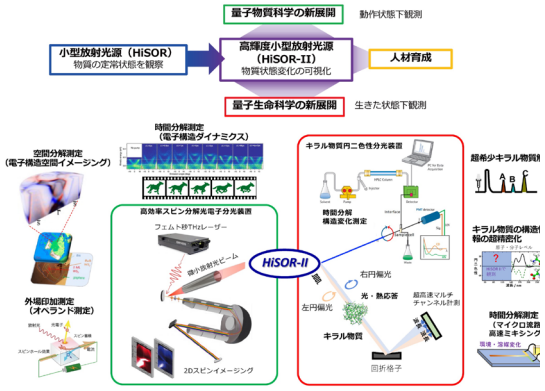

図１　ビジョンと学術構想の概要

【特色ある学術研究の推進】紫外線域の放射光を使うことが必要不可欠な学術研究として、スピン角度分解光電子分光を用いた量子物質科学研究、円二色性吸収分光を用いた溶液中の生体高分子などのキラル物質の機能や構造に関する量子生命科学研究があり、これらはいずれも HiSOR が世界を牽引している。スピン角度分解光電子分光は、固体物性を決める電子のエネルギー、波数、スピンを完全決定できる唯一の計測手法であり、紫外線域の放射光を用いることで多彩な量子現象の超高精度計測が可能となる。一方、紫外線域の円二色性吸収分光については、溶液中の生体高分子の高次構造、結晶化が困難なアミロイド線維の構造情報が得られる優れた手法である。放射光源を高度化することでエネルギー、空間および時間分解能が格段に向上し、外場を受けて変化する物質の局所的な電子状態や生命現象・機能にかかわるキラル物質の動的構造情報を初めて得ることができる。また放射光先端計測により得られるビッグデータを AI や機械学習により解析し、超伝導・スピントロニクス材料における量子現象の微視的発現メカニズムや生体高分子などのキラル物質における機能発現メカニズムを解明する。

【異分野融合研究・人材育成への貢献】広島大学内にある WPI（持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点）や共同利用・共同研究拠点（半導体産業技術研究所、原爆放射線医科学研究所）と連携し、放射光先端計測技術を活用した異分野融合研究を推進する。また DX 化を推進し、学内外の幅広い分野の研究者や技術者が簡便に放射光実験にアクセスできる仕組みを構築する。さらに学部・大学院と連携し、国際的・先進的な教育研究環境の中で、放射光源、ビームライン、計測技術、AI・DX 技術をオンザジョブで一貫して学ぶことができる人材育成拠点を構築する。

③　学術研究構想の名称

紫外線域の高輝度小型放射光源を基盤とする国際研究・人材育成拠点の形成と動的局所構造解析による量子物質科学・量子生命科学の推進

④　学術研究構想の概要

自動トップアップ運転ができるようにして放射光強度を安定化させ、放射光と同期した超短パルスレーザーをビームラインに導入する。これにより、高解像度スピン・電子構造解析のエネルギー分解能を５倍、空

間分解能を 100 倍向上させ、外場を受けて変化する物質の局所的な電子状態の動的変化を明らかにする。また、円二色性吸収分光実験の時間分解能を 1000 倍向上させる。

⑤　学術的な意義　これまでは空間的に均一な定常状態にある系の精密計測が主であったが、今後は不均一な物質の局所電子状態の動的変化や、生体物質が機能している状態の精密計測へと展開することが研究者コミュニティから求められている。本施設計画により、微小領域に集光した放射光ビームによる不均一物質の特定部分のみを選択的に観測する空間分解測定（イメージング）、放射光とレーザー光を複合した時間分解測定、さらに外場（電場、磁場、圧力など）印加下の動的な電子状態の観測（オペランド計測）が可能となり、多次元計測による量子物性研究を飛躍的に発展させる。円二色性吸収分光については、生体環境下で生体高分子の構造変化を従来比 1000 倍の時間分解能で動画的に捉えることにより、生命機能発現メカニズムを解明することができる。また DX 化を推進し、学内外の幅広い分野の研究者や技術者が簡便に放射光実験にアクセスできる仕組みを構築する。さらに学部・大学院と連携し、国際的・先進的な教育研究環境の中で、放射光源、ビームライン、計測技術、AI・DX 技術をオン・ザ・ジョブで一貫して学べる人材育成拠点を構築する。

⑥　国内外の研究動向と当該構想の位置付け

【国内外の研究動向】従来の測定は定常状態にある空間的に均一な系の観測が主であったが、今後は不均一な物質の局所状態や、生体物質が機能している状態の動的精密計測が必要である。それを実現するために最適な紫外線域の放射光源が世界的に必要とされている。

【当該構想の位置付け】紫外線域の放射光を用いた固体のスピン電子構造解析や生体物質の構造解析については HiSOR がこれまで研究を牽引してきており、様々なノウハウの蓄積や 20 年以上にわたる研究実績、国際共同研究ネットワークの構築を行ってきた。本構想では、この実績をさらに発展させ、学内にある WPI や共同利用・共同研究拠点と連携して、紫外線域の高輝度放射光を利用する国際研究拠点および人材育成拠点の形成を図るものである。

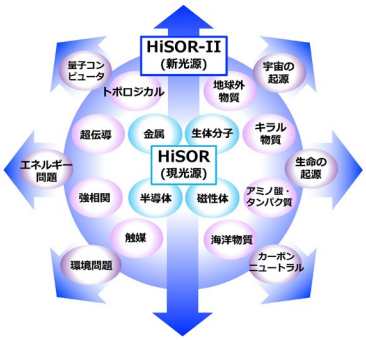

図２　新高輝度小型放射光源の波及効果

⑦　社会的価値

広島大学東広島キャンパスに隣接して広島中央サイエンスパークがあり、広島大学デジタルものづくり教育研究センター、産業技術総合研究所、理化学研究所、酒類総合研究所、企業の研究所等が集積している。放射光を広く共同利用に供することにより、産学官リサーチコンプレックス機能を強化し、SDGs やカーボンニュートラルなどの重要な社会課題の解決に貢献する。また、放射光先端計測・AI・DX 技術に通じた専門人材を育成するとともに、STEAM 教育、理系女性研究者の育成、放射光施設の活用を目指す企業人材へのリカレント教育にも貢献する。

⑧　実施計画等について

【設計・建設】

・新放射光源（HiSOR-II）：光源加速器の基本設計は KEK などの協力を得て完了している。電子蓄積リング（HiSOR-II）は周長約 40m、電子エネルギー600MeV、挿入光源数４である。トップアップ入射により蓄積電流を保ったままの自動運転が可能となり、現光源に比べておよそ 100 倍の輝度向上が図られる。

・測定装置：従来比 1000 倍以上の高効率マルチチャンネルスピン検出器を導入する。さらにフェムト秒レーザーを導入し、ピコ秒レベルの時間分解オペランド測定機能を付与する。その他の装置は現有装置を移設し、経費を圧縮する。

【運用】光源の自動トップアップ運転、ビームライン制御と実験ステーションの DX 化を進める。先端計測ビームラインに加え、汎用ビームライン、教育用ビームラインも整備し、共同利用と人材育成に供する。

【総経費】64 億円

（内訳）建設・整備費：40 億円（実験ホール：10 億円、新電子蓄積リング：12 億円、ブースターシンクロトロン及び入射路：13 億円、ビームライン移設、機器共用の整備：５億円）運営費：４億円×６年= 24 億円

⑨　連絡先　島田　賢也（広島大学放射光科学研究所）