

昨年、日本学術会議から「未来の学術振興構想」の策定に向けた「学術の中長期研究戦略」の公募がありました。物構研における直近の最大の課題は学術のための将来放射光源計画ですが、研究所全体の学術振興構想はフォトンサイエンスを包含する量子ビーム科学が基本になっています。そのため、物構研の中長期研究戦略としては「量子ビーム施設統合マルチプローブ学術研究基盤」を提案することにしました。以下で簡単に説明します。

自然界に存在する生命体や無機物、人間によって人工的に生み出された機能性材料や文化財など、広い意味の“物質”には総合知としての情報が蓄積されています。これらの情報を統合的に引き出すことで“物質”の様々な機能の起源が解明できれば、より高性能な機能や新たな機能を生み出すことができるようになると考えられます。このように純粋な理想系から実在の複雑系や不均一系に拡大している現代の物質科学は、各実験手法に適した状態にするため物質を破壊して取り出した試料を要素還元的にそれぞれ分析・解析する時代から、可視光下の我々の目には直接見えない物質内部をいろいろな“新たな目”を駆使して“あるがままに見る”時代に突入していると言えます。この新たな時代を支えるのはX線、中性子、ミュオンのような非破壊で物質内部に侵入できる量子ビームの統合的利用であり、統合型量子ビーム科学というものが「未来の学術振興構想」のひとつになると考えられます。

物構研では、放射光、中性子、ミュオン、陽電子の4つの大型加速器施設にクライオ電子顕微鏡設備も加えた学術研究基盤を整備し、国内外の研究者による共同利用研究・開発研究を進めています。統合型量子ビーム科学の動向に世界で唯一、単独で対応できるのが物構研の特徴になっています。物質の3次元構造決定には放射光硬X線（水素など軽元素に鈍感）と中性子（水素にも敏感）が主に利用されています。低速陽電子は表面近傍の3次元構造決定に利用されます。一方、電子構造決定には放射光軟X線とミュオンが主に利用されます。このように3次元構造と電子構造の相関関係を統合的に明らかにするには異なる量子ビームをハイブリッド利用（装置的に可能であれば同時利用）する必要があることは自明です。また、X線以上に透過性の高い中性子、ミュオンは厚い物質でも観測可能です。軽元素と重元素からなる機能性材料である各種電池や触媒の動作中の機能変化のあるがままの理解には統合マルチビーム・マルチプローブ構造解析（電子構造・機能の解析を含む）が重要です。また、細胞などの厚みのある多層構造のあるがままの理解には電子顕微鏡と同じ原理でありながら透過性の高いミュオン顕微鏡やトモグラフィーのハイブリッド利用が必須となります。文化財など厚さ方向に構造が大きく違ってくる観測対象についても構成成分に応じた量子ビームのハイブリッド利用が必須です。このように統合型量子ビーム科学により、物質から引き出せる情報量が豊富に

なるとともに、それらの多次元相関構造が統合的に解明できるようになると考えられます。“新たな目”を駆使して“あるがままに見る”時代が実現すれば、観測対象とする物質群の拡大も進み、新たな物質観を生み出すことにもつながります。

これまで、非破壊観測法、顕微イメージング法などの新たな実験手法や人材育成（施設系人材と利用者人材）は、量子ビーム別に分かれて発展してきました。しかし、物質の3次元構造と電子構造・機能の多次元相関構造を明らかにするためには、量子ビームの物質との相互作用の違いを相補的に利用し、多次元に相関している情報から物質を統合的に見る必要があります。このような統合型量子ビーム科学が扱う物理現象は、量子ビームの種類によらず、共通の回折・散乱、吸収・反射、それらの二次過程であることから、相互作用パラメータが違うだけでデータ解析を統合することも容易であり、データ科学との相性も優れたものになっています。日本学術会議には、量子ビームの種類に依存しない統合的な手法開発・人材育成をさらに進めるための「量子ビーム施設統合マルチプローブ学術研究基盤（施設計画）」の構築・強化を「学術の中長期研究戦略」として提案しました。

「学術の中長期研究戦略」では今後10年で実現すべき具体的な計画を示す必要がありましたので、KEKでの国際評価を経て絞り込まれた実施計画 KEK PIP2022 をもとにまとめることにしました。まず、共同利用開始後40年を越えたフォトンサイエンスの中核施設として、波長特性・ビームサイズ特性・パルス特性等が異なるマルチビームの同時利用が可能な新放射光施設計画を含めました。顕微鏡への展開では、X線や電子より遅れていた、透過性の高いミュオンや中性子においても近年ビーム収束技術が進んできましたので、その進歩を見据え、細胞などの非破壊・オペランド観測を可能とする、電子顕微鏡のミュオン版の開発計画を含めることにしました。そのほか、放射光との併用実験の需要が高いが測定が律速となっている低速陽電子のビーム強度を2桁向上させる計画と、生命科学や材料科学で需要の高いトランススケールイメージング実現のための研究環境の整備計画を含めました。

以上のように、統合型量子ビーム科学に向けて物構研がやるべきことは山積していますが、着実に前に進めていきたいと考えていますし、国内外の関連施設との連携も重要と考えています。幸い令和5年度概算要求において、統合型量子ビーム科学の推進により新たな研究領域を切り拓いていくための新組織「新領域開拓室」が認められ、今年度から教員人件費と事業費の一部を確保することができました。今後、拡充要求を行い、量子ビーム施設連携部門、AI・DX開発部門、イメージング・顕微開発部門、非破壊分析開発部門の4部門体制の新組織を整備していくことになります。皆様のご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。