

量子ビーム施設統合マルチプローブ学術研究基盤

① ビジョンの概要

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、物質の表層部分や物質を破壊して取り出した試料を分析する時代から、あるがままに物質内部までをプローブする時代に突入している。この新たな時代を支えるのはX線や中性子・ミュオン・陽電子のような非破壊で物質を分析できる量子ビームであり、量子ビーム施設統合マルチプローブ学術研究基盤の構築・強化による統合型量子ビーム科学が鍵となる。

② ビジョンの内容

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（開発者人材と利用者人材）は、量子ビーム別に分かれて発展してきたが、物質の構造（原子配列と電子状態）の多次元相関を明らかにするには、単なる連携ではなく、異種量子ビームの相補利用、さらには試料の同一部位に異種量子ビームを同時に照射することによる情報の統合的取り出しが不可欠である。さらに、新しい量子ビームを利用する手法の開拓も重要である。KEKの有する超伝導加速器技術による軟X線自由電子レーザー、小型加速器による陽電子、中性子、ミュオン、さらにKEK外部との連携による高次高調波レーザーなど、新ビームを利用する手法の開拓を推進する。統合的な手法開発・人材育成をさらに進め、量子ビーム施設統合マルチプローブ学術研究基盤の構築・強化による統合型量子ビーム科学を推進する。さらに、物質に内在する階層化・ネットワーク化した情報をあるがままに引き出し、統合的に多次元相関構造を明らかにすることにより、新たな物質観を生み出していく。

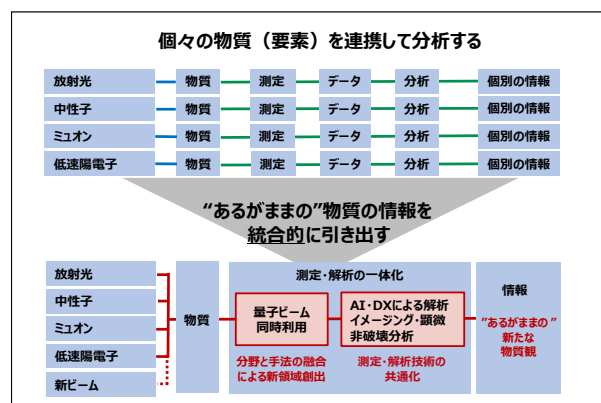


図1 統合型量子ビーム科学

③ 学術研究構想の名称

量子ビーム施設統合マルチプローブ学術研究基盤

④ 学術研究構想の概要

本構想は、量子ビーム科学の向かうべき方向に沿った現施設群の高度化・更新計画のうち、国際評価を経て絞り込まれた実施計画 KEK PIP2022 をもとに、10年で実現すべき施設計画となっている。共同利用開始後40年を越えた放射光施設では、超伝導ライナックによる軟X線自由電子レーザーを中核とした新施設の建設を計画しており、各種の量子ビームを同時利用する量子マルチビーム研究を進める。この計画の中で、軟X線との併用の需要が高いにも関わらず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。透過性の高いミュオンや中性子に関しては、ビーム収束技術の進歩により、顕微鏡への展開を進める。特に細胞などの非破壊・オペランド観測を可能とするミュオン顕微鏡は、電子顕微鏡のミュオン版として期待されている。その他、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む。

⑤ 学術的な意義

物質の原子配列の決定には放射光硬X線（水素など軽元素に鈍感）と中性子（水素などにも敏感）が特に利用される。低速陽電子は最表面の原子配列の決定に利用される。一方、電子状態の決定には放射光軟X線とミュオンが利用される。原子配列と電子状態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する必要があることは自明である。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ある。さらに物質のダイナミクスを捉えるには、最新の加速器技術によって生み出されるアト秒～フェムト秒の短パルス光が有効である。このように統合型量子ビーム科学はあるがままの物質の総合的理解を可能とするものであり、実在の複雑系や不均一系の物質を理解するには、それぞれ違った特性を持つ量子ビームを同時に同一試料に照射して観測する量子マルチビーム実験が欠かせないものとなる。

例えば、軽元素と重元素からなる機能性材料である電池や触媒の動作中の機能変化には軟X線、硬X線、中性子などのマルチビームによる構造・機能解析が、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硬X線・中性子トモグラフィーのハイブリッド利用が有効である。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が統合的に解明できる。また、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る。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

放射光施設は世界中に多数が設置されているが、同時多次元相関解析という発想がない。表面構造解析の可能な陽電子施設は世界で唯一の存在である。世界の中性子施設数は放射光施設の1割強、ミュオン施設は1割弱であり、施設を統合的に利用ができる環境は整っていない。新たな目である量子ビームを複眼的にハイブリッド利用して”物質”に内在している総合知としての様々な多次元的な情報を、同じ観測対象から同時に引き出すという新たな研究動向“統合型量子ビーム科学”は、世界全体を見ても本構想が先導するものである。さらに、超短パルスX線利用のクリティカルマスの観点からも、相対的に低いコストで建設と運営の可能な最先端の軟X線自由電子レーザーを中核とする量子マルチビーム施設は重要であり、加速器技術の拠点である KEK ならではの研究基盤となる。

⑦ 社会的価値

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様々な情報が内在しており、その情報には時々刻々変化していくものもある。このような情報が階層化・ネットワーク化して相互作用している原子配列と電子状態を明らかにする統合型量子ビーム科学を支える施設計画は、エコシステムにも対応でき、各種 SDGs への貢献も期待できる。さらに、軟X線自由電子レーザーは、半導体リソグラフィの高度化のための技術開発を担う Beyond EUV 大強度光源としての利用も期待できる。

⑧ 実施計画等について

<実施機関と実施体制>

1) 中心となる機関

- ・高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所

2) 機構内連携組織

- ・高エネルギー加速器研究機構
加速器研究施設 共通基盤研究施設

3) 機構外連携組織

- ・自然科学研究機構 分子科学研究所 (UVSOR 施設)
- ・広島大学 放射光科学研究所 (HiSOR 施設)
- ・東京大学物性研究所 (ISSP-SOR 施設、NSL 中性子施設、LASOR レーザー施設)
- ・大阪大学 核物理研究センター (MuS I C ミュオン施設)
- ・スイス・ポールシェラー研究所

<所要経費>

施設計画である量子ビーム施設統合マルチプローブ学術研究基盤は複数の施設の協働体である。所要経費(自助努力分を含む)は以下の通りである。

「量子マルチビーム施設」	詳細設計費・R&D 費	30 億円
	建設費(試算額)	300 億円
「ミュオン顕微鏡」	建設費総額	18 億円
「トランススケールイメージング設備」	整備費総額	20 億円
10 年間の合計額(詳細設計前の試算額)		368 億円

⑨ 連絡先

浅井 祥仁(高エネルギー加速器研究機構)

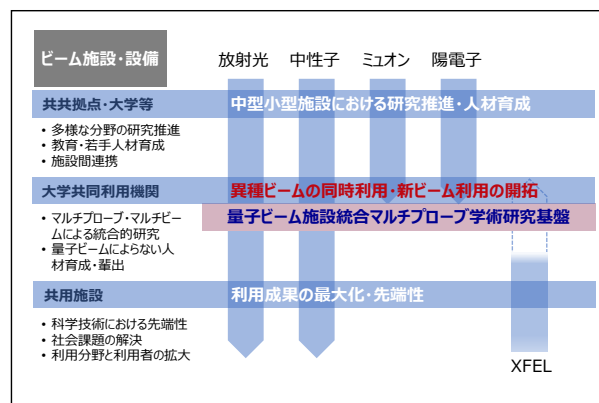


図2 量子ビーム施設の役割分担と将来動向