

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、目に見えない物質内部をあるがままに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・ミュオンのような非破壊で物質内部に侵入できる量子ビームの研究基盤整備による統合的利用であり、目指すべき方向には統合型量子ビーム科学が存在する。

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（施設系人材と利用者人材）などは、量子ビーム別に分かれて発展してきたが、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には、単なる連携ではなく同時利用マルチビーム・施設統合マルチプローブによる情報の統合的取り出しが不可欠である。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る。本構想では、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、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。

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（施設計画）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年で実現すべき全体計画となっている。まず、共同利用開始後40年を越えた放射光施設では、異なる波長特性・ビームサイズ特性・パルス特性等の同時マルチビーム利用が可能な新施設を計画している。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ビーム収束技術が進んでいる。特に細胞などの非破壊・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が急務である。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、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）が特に利用される。低速陽電子は表面近傍の3次元構造決定に利用される。一方、電子構造決定には放射光軟X線とミュオンが利用される。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。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）が必須である。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る。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ある。こ

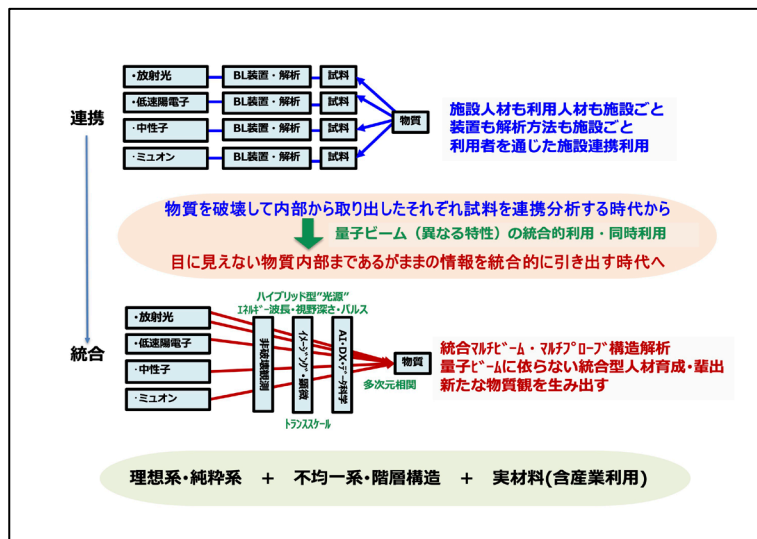


図1 統合型量子ビーム科学

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。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

物質構造科学研究所では、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研究基盤を整備し、国内外の研究者による優れた利用研究・開発研究を進めている。最近、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ようとする統合マルチビーム・マルチプローブの研究動向が強まっている。物質構造科学研究所はこのような統合型量子ビーム科学の動向に世界で唯一、単独で対応できる研究基盤を有しており、30年先も見据えながら、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と強化を推し進める必要がある。

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いる。本構想を実現し、このような情報を統合的に引き出せるようにすることで、“物質”の様々な機能の起源を知り、人間社会を豊かにするため、より高性能な機能や新たな機能を生み出していく一方、カーボンニュートラルなどの社会課題が解決できる。

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センター
(HiSOR 施設)
- ・ 大阪大学・核物理研究センター
(ミュオン施設)
- ・ スイス・ポールシェラ-研究所

実施計画と所要経費

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連合体である。

各施設の所要経費（自助努力分を含む）は以下の通りである。

「R&Dを踏まえた新放射光源」	6年間のR&D費総額	45億円 (R4-R9 R&D)
	光源建設費総額	450億円 (R10-R13 建設)
「ミュオン顕微鏡」	建設費総額	18億円 (R7-R10 建設)
「低速陽電子ビーム強度増強」	建設費総額	18億円 (R10-R13 建設)
「トランススケールイメージング設備整備」	整備費総額	20億円 (R10-R12 整備)
	10年間の合計額	551億円 (詳細設計前の試算額)

⑨ 連絡先

山内 正則（高エネルギー加速器研究機構）

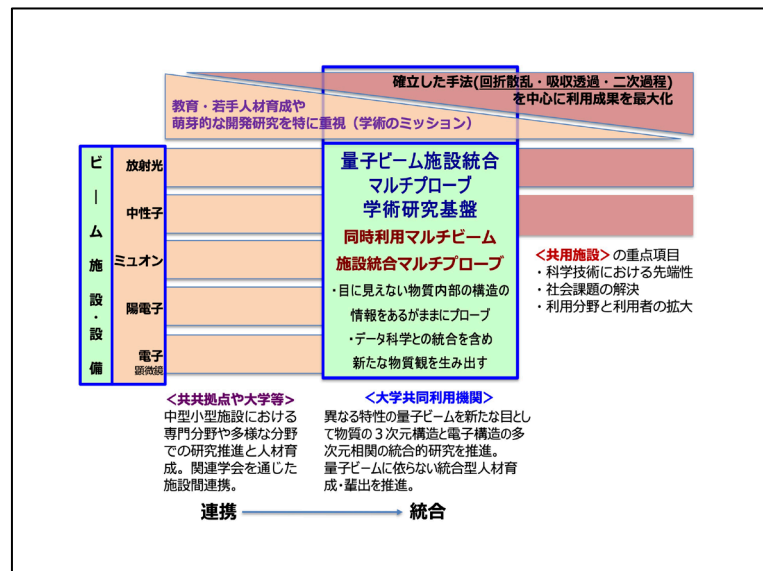


図2 量子ビーム施設の役割分担と将来動向