

⑩ 量子ビームを用いた極限世界の解明と人類社会への貢献

概要：加速器による高エネルギー粒子の強度増強、放射光・レーザー光施設の増強を進め、物質の究極構造や機能の解明を目指す。量子ビームは、科学研究の最先端を切り拓くとともに、共通ツールとして分野間の融合研究を促進し得る。基礎科学の推進とともに、工学研究や文理融合研究の促進によって、産業・文化的な貢献も果たしていく。

キーワード：加速器科学、大強度ビーム、レーザー科学、時空間イメージング、物質の構造・機能とダイナミクスの解明

ア 背景

加速器による電子、陽子、イオン等の荷電粒子や、中性子、ミューオン、中間子、ニュートリノ等の二次粒子、さらに放射光、レーザー光等の様々な量子ビームが物質探究の有効な手段として用いられ、その応用範囲は、素粒子・原子核物理学における物質起源の探究から、物質科学、生命科学、材料科学等の広範な分野に広がっている。従来の加速器開発は、素粒子・原子核研究で見られたように、より高いエネルギーと強度を実現して、研究対象を高空間分解能で精密測定することを主軸に進んできたが、近年では、ビームのコヒーレンスを利用した高時間分解能による時空間イメージング等の新計測技術も発展し、物質内部や生命体で起こる現象や機能の動的機構の解明等へ研究対象が大きく広がった。また、マイクロ領域だけでなくマクロな構造物、例えば、橋梁や古墳の透視といった工学研究や文理融合研究等も進んでおり、産業界や文化の発展に貢献し得るツールにもなってきている。

イ 目的・目標

量子ビームは、自然現象では得難い極限的な量子状態を人工的に作り出し、最先端の科学研究を切り拓くとともに、共通ツールとして分野間の融合研究を促すことができる。量子ビームの開発課題としては、加速器による一次ビーム（電子、陽子、重イオン）及び二次ビーム（陽電子、中性子、ミューオン、中間子、ニュートリノ）の強度の増強と高品質化（低エミッタンス化）、放射光、自由電子レーザー、超短パルスレーザー、高強度レーザー等の光子ビーム生成等に加え、さらに新たな加速技術の開発があり、これらを発展させる基盤技術と施設の一層の充実を図っていく。同時に、各研究対象の先端測定技術の高度化や量子ビームの複合利用によって、高時空分解能イメージング技術や、非破壊で物質内部の現象のあるがままの姿を捉える「その場観測」（オペランド計測）技術等を発展させる。量子ビーム施設の高度化と最先端計測技術の開発推進を同時に進めることにより、宇宙や物質の起源に迫る基本的対称性や極限的な量子状態の探究、身の回りの物質や生命体における新たな量子現象や量子物質の発見、その時間的发展と機能発現のメカニズムの解明等を進める。さらに、量子ビームの超精密加工プロセス等の工業応用、新型メス等の医用産業応用、それらの社会実装を通じて、より良い社会の実現に貢献する。

ウ 国内外の学術研究の状況・動向

多くの科学研究の基盤となる量子ビーム施設計画が世界各地で進展し、国際競争が加熱している。我が国も各地に様々な量子ビーム研究施設を有し、それぞれの特徴を活かした素粒子・原子核、物性物理、材料とその加工、生命科学・医学、新エネルギー科学等に関わる独創的な研究で世界をリードしてきた。今後も量子ビーム技術を活用した研究を深化・拡充し、日本の研究の優位性を維持していく必要がある。国際協力による高度技術開発の推進や、研究施設の公開利用による積極的な世界貢献も、我が国の優位性維持、将来的各種資源確保にとっても必要不可欠である。

エ 中長期の学術構想

まずは、加速器による高エネルギー粒子の強度増強、放射光・レーザー光施設の増強を進め、それらを基盤として極限的量子状態を生成・解明し、その時間的发展を追うことで、物質構造と機能の起源解明を目指す。時空間イメージング等の先端測定技術を充実させ、複数の量子ビームで得た多次元情報の統合的解析技術を開発する。膨大となる多次元データ解析のためには情報科学との連携も必要である。さらには、超伝導技術を活用した効率的な加速技術の開発、AI ロボットや機械学習支援による装置運転、計測・分析環境の一層の充実、技術継承のための人材育成等も重要事項である。他の学術構想とも連結させ、それらが掲げる目標達成と分野融合による新たな学術創成を目指していく。量子ビームを共通ツールとし、物質の究極の姿を解明しようとする人類の知的好奇心を満たすとともに、工学や文理融合研究を通じて、広く人類社会への貢献も果たしていく。

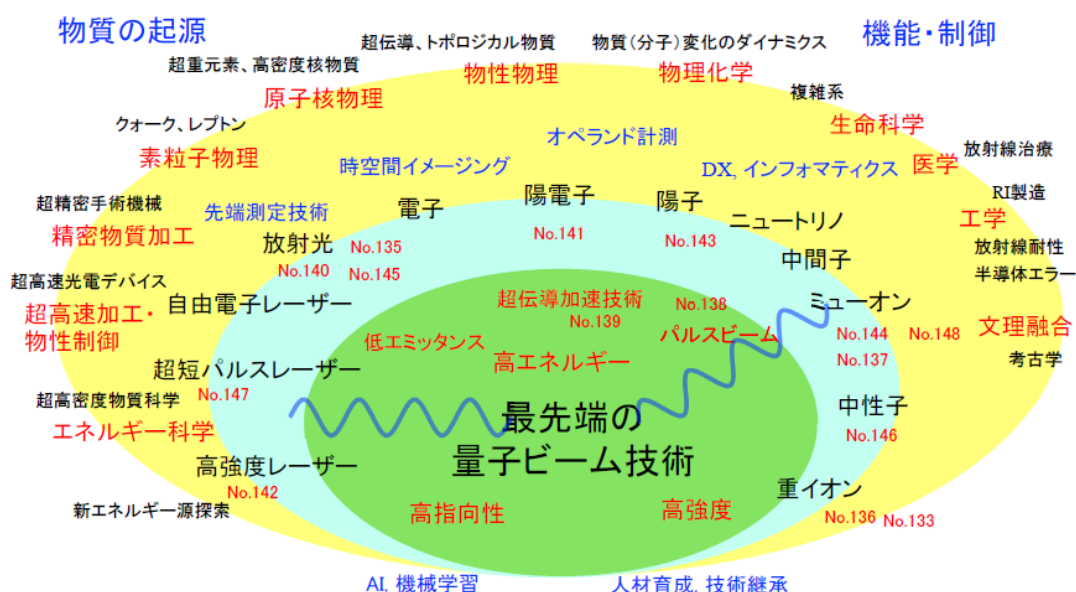


図 17 量子ビームを用いた極限世界の解明と人類社会への貢献の概要

(出典) 本提言にて、独自に作成