

持続可能な社会基盤構築に繋がる重元素研究の推進

① ビジョンの概要

重イオンビームの増強による重元素領域の拡大を図り、50-100年後の出口を見据え、「核分裂現象」を中心に据えた低エネルギー原子核物理学を推進する。この目的を達成するため、国際研究拠点・国際頭脳循環拠点として中重核までの未知原子核の核構造研究で大きな成果を得てきた理化学研究所の重イオン加速器施設「RI ビームファクトリー (RIBF)」の高度化計画を実施する。

② ビジョンの内容

陽子、中性子で構成されている原子核の構造と反応を研究する分野、「低エネルギー原子核物理学」分野は、人工的に原子核を生成し、その性質を調べることで発展してきた。原子核は、核子が強相関する有限量子多体系としてユニークな研究対象であり、豊かな量子現象が発現する量子系である。

本提案では核分裂に焦点を当てる。核分裂は原子核特有の現象で、他の量子多体系では出現しない。核分裂は、多体量子トンネル効果によって分裂し、原子核の形状・内部構造が劇的に変化する動的過程である。この過程を微視的・量子的に解明することは挑戦的な課題であり、原子核の総合的な理解と多角的なアプローチが必要になる。核分裂は、宇宙での元素合成過程、特に r-過程元素合成にも重要で、ベータ遅発核分裂は、r-過程の終焉を決める重要なプロセスである。また、原子核エネルギー創成、廃棄物処理にかかわる社会的にも重要なテーマと関連している。DX・GX 社会の基盤となる安心安全なエネルギー源を確保するためには、放射性廃棄物の少ない新たなエネルギー生成法を開拓する必要がある。これを実現するための基礎科学を推進し、核分裂の理解を進め、核分裂の制御につなげることが喫緊の課題である。

本提案では、理化学研究所・仁科加速器科学研究センターが運営する重イオン加速器施設「RI ビームファクトリー (RIBF)」を高度化して、核分裂研究を飛躍的に展開することを計画している。RI ビーム強度を増強した重元素領域の生成、また多核子移行反応による重元素領域の生成により、研究対象の拡大を図る。従来の核分裂研究は、天然に存在する長寿命核種に限られてきた。その理由は、従来行われてきた中性子ビーム照射などによる核分裂研究では、研究対象となる標的が長寿命核種に限定されるからである。RIBF では、研究対象となる原子核を高速に、ビームとして取り出すことができるため、寿命に依らず研究対象を一気に拡大することができる。また、2次反応を利用して、原子核の励起エネルギーを観測(制御)し、核分裂のダイナミクスを系統的に研究することができる。このような新たな手法を導入することで、核分裂研究に大きなブレークスルーをもたらす。

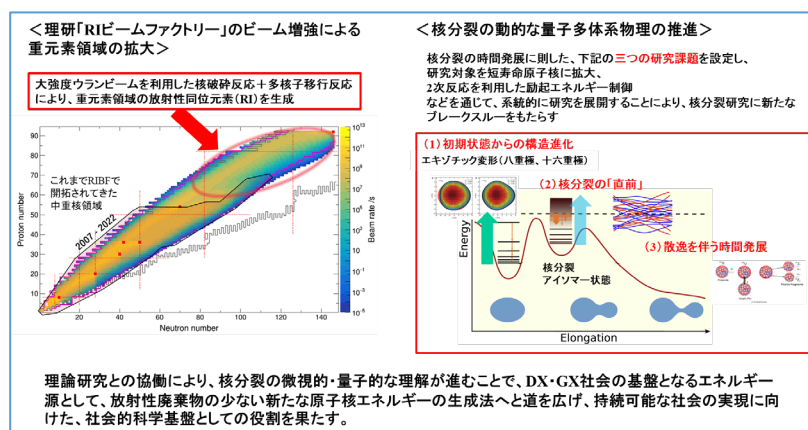


図1 本提案で推進する研究課題

③ 学術研究構想の名称

持続可能な社会基盤構築に繋がる重元素研究の推進

④ 学術研究構想の概要

核分裂の理解のため、核分裂の時間発展に関連した3つの研究課題、(1) 初期状態からの構造変化、(2) 核分裂の多体トンネル現象の直前の状態、(3) 散逸を伴う時間発展、を設定し、これらに関するデータを系統的に取得する(図1)。系統的なデータを得るために、光速の60%程度の「高速ビーム」と15%程度の「低速ビーム」を駆使し、以下の3つの柱(A)、(B)、(C)に整理する。

(A) 理化学研究所・重イオン加速器施設「RI ビームファクトリー」の不安定核(RI)ビーム発生系(重イオン加速器とRI ビーム生成分離装置)の高度化による高速RI ビーム強度の増強により、重元素領域の陽子過剰側の研究対象を大きく広げる。未知核の質量や崩壊様式などの諸性質測定、反応を利用した原子核の励起

エネルギー観測（制御）により、研究課題（3）を推進する。また核分裂アイソマーをビームとして取り出し、研究課題（2）に関するデータを取得する。（B）高速 RI ビームの減速による低速 RI ビーム生成と、低速 RI ビームによる核融合反応などを利用して高励起束縛状態を生成し、脱励起ガンマ線を観測することで、核分裂課程で発現されると考えられているエキゾチック変形・エキゾチック構造を探索し、研究課題（1）に関する情報を引き出す。（C）（A）の方法では生成できないウラン領域の中性子過剰な RI を、多核子移行反応を利用して生成し、新同位元素の発見、精密レーザー核分光や質量分光などによる未知核の諸性質の測定、自発核分裂やベータ遅延核分裂などの崩壊特性の測定により、研究課題（1）と（3）を推進する。

⑤ 学術的な意義

本提案では、四つの観点で大きなブレークスルーをもたらす。まず、（ア）核分裂研究の対象となる重元素領域を、短寿命原子核を含む広い領域に拡大でき、陽子数、中性子数依存性などの系統的研究を行うことができる。（イ）重い領域の原子核を高速 RI ビームとして取り出すことで、2次反応による研究を進めることができ、原子核の励起エネルギーを観測・制御して、励起エネルギー依存性などの系統的研究を実施することができる。

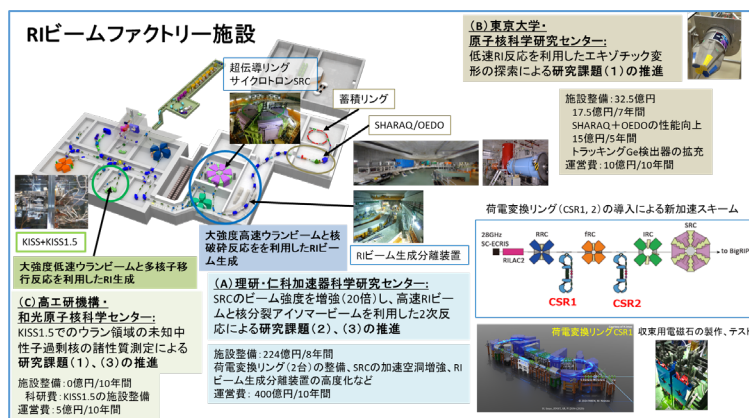


図2 実施機関と実施計画、所要経費

（ウ）核分裂アイソマーをビームとして取り出すことで、核分裂直前の情報を取得することが可能である。さらに（エ）重元素領域の原子核を低速 RI ビームとして利用することで、核分裂直前に現れると考えられる高励起なエキゾチックな形状などの研究を推進できる。これらの研究を組み合わせ、核分裂の時間発展に関連した（1）初期状態からの構造変化、（2）核分裂の直前の状態、（3）散逸を伴う時間発展、にアプローチし、核分裂の完全理解に挑戦する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

RIBF に追随する、次期計画が米独中韓で進んでいる。目下、RIBF の最大のライバルは米国ミシガン州立大学の FRIB である。FRIB では、本計画が目指している重元素領域の研究は考慮されていない。⑤の学術的意義を意識した計画は諸外国にはなく、世界的な先導性を確保することができる。

⑦ 社会的価値

資源の乏しい我が国において優秀な人材を生み出すことが国家的な課題であり、本計画は、原子核科学の知的基盤をもった優秀な人材を創出する重要な役割を担い、原子力研究の根本的な基礎基盤を担うものである。すでに RIBF では理工連携で放射性廃棄物の減容と資源化を目指した基礎データを取得しており、本提案では核分裂研究を通して、安心安全な新たな原子核エネルギー創出につながるデータを取得することができ、原子力基礎工学分野・社会への波及効果が非常に大きい。また、アルファ崩壊核アクチニウム等の核医薬品製造、新たな半導体製造技術開発、多様な RI ビームの利用による物性・材料科学等、幅広い学際的融合研究が期待できる。日本の加速器産業は世界でも群を抜いた経験と技術があり、本提案により加速器産業のさらなる底上げを図ることもできる。

⑧ 実施計画等について

④で述べた通り、本提案は三つの柱（A）～（C）からなり、これらを実現するために施設を高度化、整備する。（A）、（B）、（C）の担当はそれぞれ、（A）理化学研究所・仁科加速器科学研究センター、（B）東京大学・原子核科学研究センター、（C）高エネルギー加速器研究機構・和光原子核科学センターであり、図2に施設機関ごとの実施計画と所要経費を示す。

総経費 677 億円（建設費 262 億円、運営費 415 億円）

⑨ 連絡先

櫻井 博儀（理化学研究所仁科加速器科学研究センター）