

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、「共鳴状態」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。当該分野から派生した社会基盤として、原子核から解放されるエネルギーの平和利用を挙げることができ、原子核エネルギーは、社会・産業活動を支える重要なエネルギー源のひとつとなっている。50-100年後を見据え、低エネルギー原子核物理学分野の発見、発明が持続可能な社会を支える基盤となるよう、出口を見据えた基礎科学の推進が重要である。

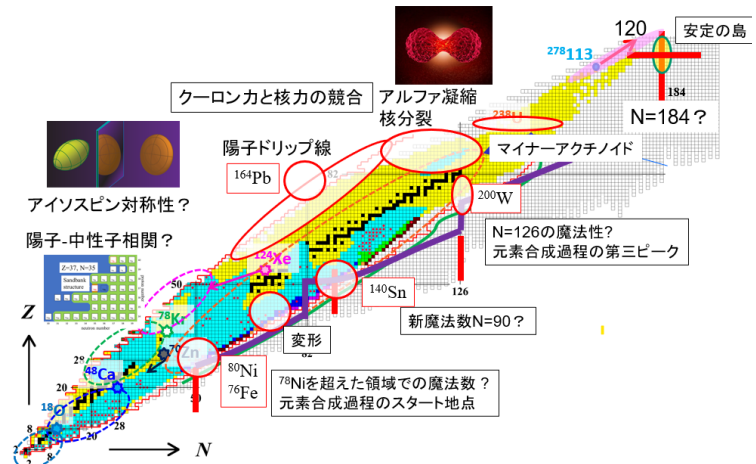


図1 本提案で推進する研究課題

本提案では、RIBFを高度化して、RIビーム強度を増強し、また多核子移行反応による研究対象の拡大を図ることにより、重元素領域の研究を推進する。

本提案での重い不安定核領域の開拓によって、核反応を促進する「共鳴状態」の研究を中心に据える。「共鳴状態」の理解は、多角的なアプローチが必要である一方、元素合成反応や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でもある。20世紀の科学技術は、相対論と量子力学により大きく発展してきた。原子核エネルギーもその一例であり、軽水炉などでは量子的な「共鳴状態」の性質を利用している。重い原子核は、核分裂やアルファ崩壊などを引き起こす、非束縛状態の原子核であり、「共鳴状態」研究の恰好の研究対象である。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り、これを実現するための基盤となる基礎科学の推進が極めて重要である。原子核の「共鳴状態」を理論的に記述するためには、原子核の構造と反応を統一的に理解することが必要であり、「非エルミート量子力学」、「開放量子系」の理論的枠組みを構築し、応用に転化する。

本提案の低エネルギー原子核物理学分野は欧米では原子核エネルギー分野の基礎科学分野としても位置付けられており、我が国においても理工連携を大きく進める必要がある。また、宇宙での元素合成過程を理解する上で「共鳴状態」の研究は重要であり、宇宙・天文学分野との接点も大きい。

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

本提案は、RIBFの(A)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ビーム強度の増強とこれによる重元素領域の拡大と反応研究、(B)高速RIビームの減速による低速RIビーム生成と低速反応研究、(C)低速重イオン1次ビームによる超ウラン領域の拡大、(D)ガンマ線観測による高励起状態の研究、の四つの柱からなり、これらの相補的な関係を活用して、重元素領域の研究を通じた「共鳴状態」の研究を多角的に進める。なお、ここで定義する「高速」は光速の60%程度、「低速」は15%程度の速度をもつビームである。

⑤ 学術的な意義

本提案では (A) と (C) により、重元素領域で数 100 におよぶ新同位元素の発見をもたらす、研究対象を拡大する。(A) により、重元素領域での反応研究を開始し、高速 RI ビームで有効なノックアウト反応などを利用して、世界で初めて原子核の励起エネルギーを制御し、アルファ放出や核分裂の研究を進める。原子炉内などで重要な中性子捕獲反応も「共鳴状態」が大きな役割を担い、「中性子を捕獲する前の原子核の基底状態」と「捕獲後に生成される原子核の高励起状態」を結びつける必要がある。(B) により、低速 RI ビームを利用した直接反応により、中性子捕獲反応の研究を進め、その研究対象を拡大することが世界で初めて可能になる。(C) では、超ウラン原子核の RI を生成し、重元素領域の諸性質を明らかにし、世界で初めて r-過程の終焉に関する情報を取得することを目指している。(D) は (B) と組み合わせ、世界初の大強度低速 RI ビームによる高励起状態の生成と観測を実施する。「共鳴状態」を理論的に記述するために、原子核の構造と反応を統一的に理解することが必要であり、「非エルミート量子力学」、「開放量子系」の理論的枠組みを構築し、他の分野に応用展開する。

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 であるが、FRIB は RIBF が開拓した中重核領域までの原子核研究が中心であり、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。また、低速 RI ビームを利用した、高励起状態を生成する研究についても世界の他の研究施設では検討されていない。超ウラン領域の RI 生成については、RIBF で得られる低速ウラン 1 次ビームの強度が世界トップであり、この強力なビームを活かして既存プログラムを発展させることで世界的な先導性を確保することができる。

⑦ 社会的価値

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。本計画により、放射性廃棄物の減容と資源化を目指した基礎データの効率的な取得だけでなく、新たに開拓する重元素領域の研究を通して、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。

⑧ 実施計画等について

本提案は四つの柱 (A) ~ (D) 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)、(D) の担当はそれぞれ、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、(D) 大阪大学・核物理研究センターであり、図 2 に実施機関ごとの実施計画と所要経費を示す。

総経費 606.5 億円 (建設費 192.5 億円、運営費 414 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)



図 2 実施機関と実施計画、所要経費