

タンデム 加速器施設

タンデム加速器施設は、重イオンによる原子核物理、核化学、物性物理の基礎的研究を目的として建設され、1982年に定常運転が開始されました。1993年には後段加速器として超伝導ブースターが完成し、研究で使用できる重イオン核種が大幅に拡大されました。また、2007年に高電圧端子内重イオン入射器を更新し、加速核種を拡大し、加速エネルギー・ビーム電流を拡大しました。2015年からはRI標的利用の拡充のため、第2照射室の運用を開始しました。

将来計画

タンデム加速器の改良

現在、世界最大の加速電圧である約1600万ボルトでの安定なビーム加速を実現しています。イオン源、ビーム光学系、制御系、診断系、駆動系など、様々な分野において改良を続けており、更なる高電圧（2000万ボルト）、大強度、安定なビーム加速を目指しています。様々な利用のニーズに応えられるよう、ビームエネルギー調整時間の短縮のための半自動制御の開発などを進めています。タンデム加速器タンク内機器は、絶縁ガスの圧力、高放射線場、放電時のサージなど、過酷な環境での数か月単位でのメンテナンスフリーでの動作を求められます。安定化のための状態観測を目指し、新たな診断系の実験も進めています。

利用ニーズに応えるための環境整備

利用ニーズに対応し、RI標的利用が可能な第2照射室、液状試料の照射が可能な垂直実験室などの整備を進めてきました。また、それらの設備を有効活用するため、施設の能力を十分考慮し安全を確保しながら、大電流低エネルギービームでの照射・イオン注入や、非密封RIの標的利用を拡充するための変更許可申請を定期的に行っています。

原子力機構のタンデム加速器の特徴の一つである高電圧端子内に設置した重イオン入射器を活用して、炭素クラスタービームの加速開発を行っています。炭素クラスターの正イオンを直接入射することができるため、負イオン入射と異なり途中の荷電変換による損失がなく、世界最高水準の強度・エネルギーで炭素クラスタービームが加速できると期待されています。

イオンビーム分析・照射技術の開発

重イオンを用いたラザフォード後方散乱分光（RBS）法や、¹⁵N、¹⁹Fビームによる核反応分析（NRA）法の実験を進めてきました。エネルギー変更の時間短縮のためのシミュレーション・スケールアップなどの開発を進め、より効率的に実験が実施できるように開発研究を進めています。また、ビームラインを更新し、より大面積に均一にビームを照射することを可能としています。

社会貢献

世界最高水準の研究教育拠点を目指します

タンデム加速器の実験利用のうち、約6割が原子力機構以外の大学・研究機関などの研究者が参加して行われています。当施設を利用した実験での修士号、博士号の取得者も多く、イオンビームの発生・加速から照射装置の開発・実験・解析まで一連の研究を把握する研究マネジメントのトレーニングなど人材育成にも貢献しています。

研究成果としては、原子力機構の特色を活かし、世界的にみてもユニークな原子核構造、核化学的・原子物理的挙動の解明、測定技術の確立などを達成しています。

タンデム加速器の持つ汎用性を活かしたこれらの成果は、物理学、化学、工学だけでなく、医学や生物学、地球科学など広い分野におよび、イオンビーム加工などに応用することで産業利用への貢献も期待されています。

世界最大の静電加速器

加速器とは様々なイオンを電場で加速する装置です。

原子力機構の東海タンデム加速器は、静電加速器としては世界最大の1600万ボルトの加速電圧を発生させることができる、世界トップレベルの加速器です。

この正の高電圧は、高電圧端子と地上電位との間でペレットチェーンを走らせ、ペレットに電荷を運ばせることで発生させます。

負のイオン源で生成された負イオンは、正の高電圧端子に向かって1度目の加速をされます。高電圧端子部にはイオンの電荷を-から+に変換する電子ストリッパーがあり、負イオンは多価の正イオンに変換され、電荷分析電磁石で折り返し、再び地上電位に向けて2度目の加速をされて高エネルギーイオンになります。このように2段階でイオンを加速することから「タンデム加速器」と呼ばれています。

また、高電圧端子部には高多価の正イオンを直接入射する高電圧端子内重イオン入射器が設置されており、希ガスイオンなどの大電流加速に供しています。

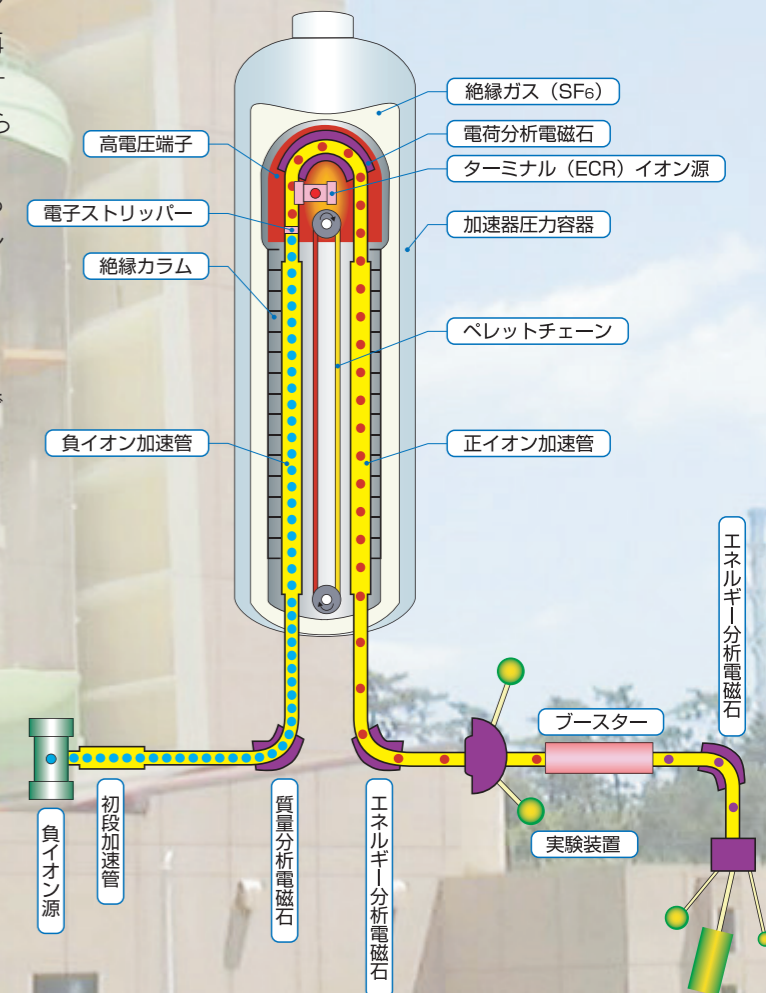
他の加速器（線形加速器、サイクロトロン、シンクロトロン）と比べて、

- 1) エネルギー変更が容易であり、任意のエネルギーが設定できし精度が高い。（～10keV）
- 2) ビーム拡がり小さい。（1mmφ）
- 3) 加速イオン種が豊富。（約50元素、200核種）などの利点があります。

タンデム加速器主要諸元

端子電圧	2.5～16MV
加速可能イオン	水素からビスマスまで
負イオン入射エネルギー	50～270keV
ビーム電流例	陽子 1μA 塩素、ヨウ素 0.2pμA
電圧分割	抵抗分割
荷電装置	2連ペレットチェーン
絶縁ガス	SF ₆ ガス、0.65MPa
圧力容器	直径8.3m、全長26.6m
絶縁支柱	直径2.74m、全長13.72m
ターゲット室	7室、ビームライン15本

タンデム加速器施設概念図



タンデム加速器を利用した様々な研究

タンデム加速器では、主として原子核物理、原子核化学、物性物理の研究が行われ、施設供用制度を用いた産業利用も実施されています。原子力機構の特徴として、核燃料やアクチノイドを標的として安全に利用することを可能としています。それらの環境を最大限に活かし、 ^{254}Es (半減期 276日) のような標的として利用できる最も重い原子核を用いたユニークな研究を実施しています。

また、ここで行われるアクチノイドなどの取扱技術の開発、測定技術開発・実証試験などは、実験グループが世界の大型加速器施設で安全・確実に実験を行うために提供されています。

イオン照射による材料研究

タンデム加速器では核分裂片に相当する質量・エネルギーのイオンビームを加速することにより、原子炉材料などの照射効果の研究が行われています。また中性子照射による実験環境整備が困難な材料の照射損傷を、イオンビームによる照射を素過程に分解して理解することによって模擬する研究も行われています。

垂直実験室では、液体鉛ビスマス共晶金属中の材料照射により材料腐食挙動を調べる実験を行っています。また、タンデム加速器のエネルギー分析電磁石では重すぎて曲げることのできないクラスターイオンや分子イオンによる実験も検討中です。



重イオン反応を用いた未知領域原子核の核分裂研究

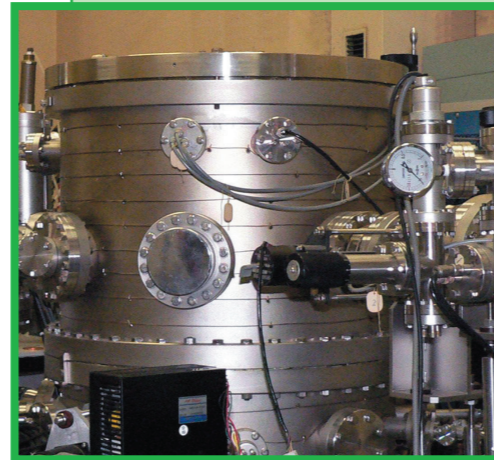
タンデム加速器で得られる重イオンビームを様々なアクチノイド原子核 (RI 標的) に照射することで多岐にわたる原子核を生成し、未知領域原子核の核分裂や内部構造を調べる研究を行っています。とりわけ、多核子移行反応を用いることで他の反応では生成できない中性子数の過剰な原子核を研究対象にしています。

中性子数の多いアクチノイド原子核のデータは、超重元素の存在限界や、天体における元素合成過程を知る上で重要です。さらに多核子移行反応は、代理反応、すなわち中性子源を用いた実験では測定が困難な中性子入射核データの取得を可能にするもので、現在、核変換用核データを取得するなど、原子力利用に資する研究を行っています。



高エネルギー重イオンによる物性研究

タンデム加速器では多種類の重イオンを広範囲のエネルギーで加速することが出来るため、電子励起効果*の研究に最適であり、基礎研究から応用研究まで多くの研究が行われています。



電子励起効果の基礎過程の研究

電子励起機構の解明や、電気特性、磁気特性、光学特性に及ぼす過程について研究しています。

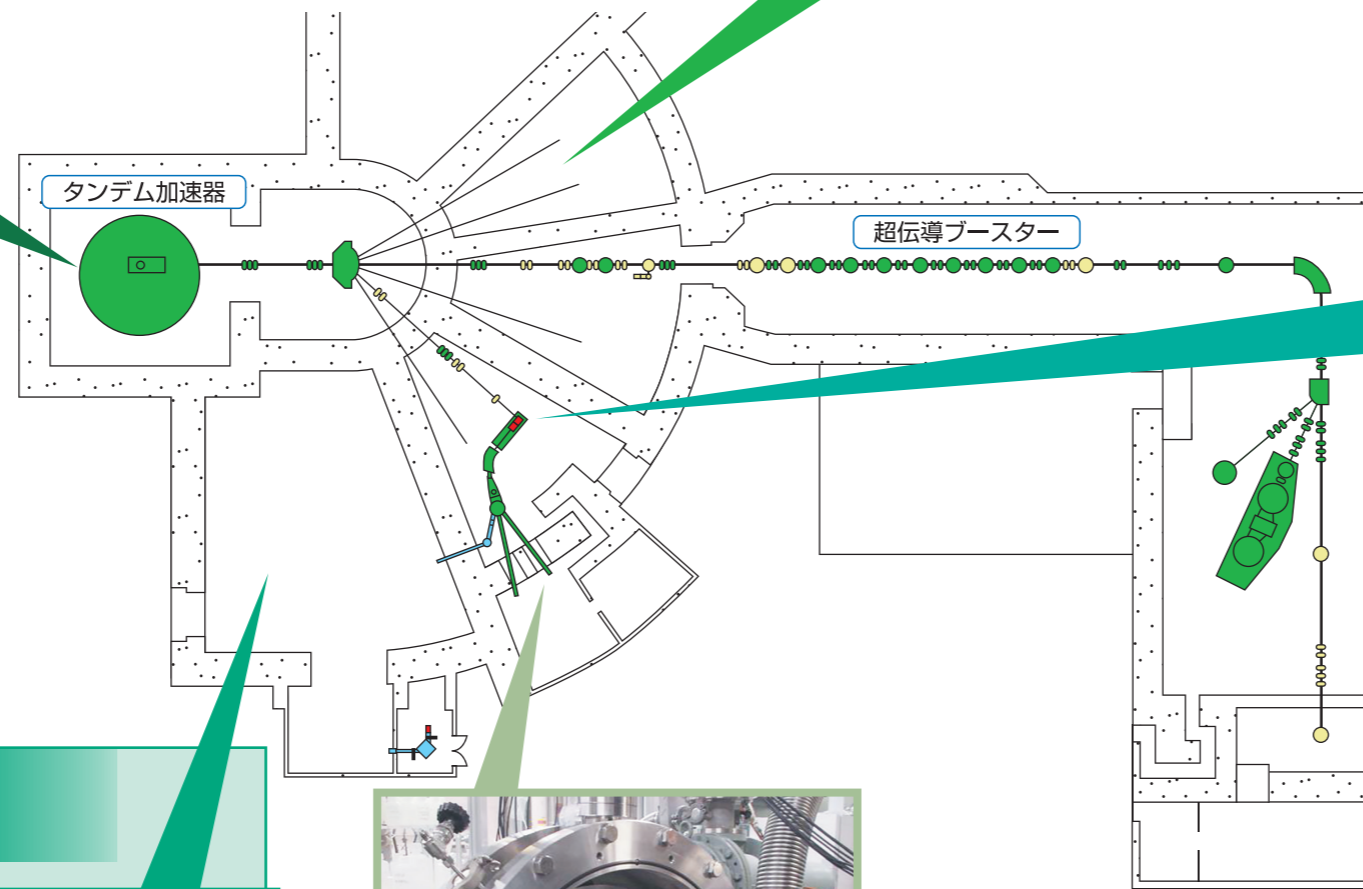
電子励起効果の応用研究

高温超伝導体の円柱状欠陥生成による臨界電流密度向上の研究、物質中のナノ粒子の変形の研究、円柱状欠陥をエッチングすることにより μ オーダーの微細穴を作成しセンサーに応用する研究。

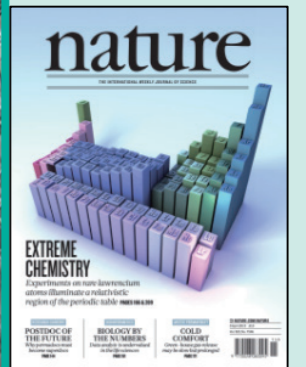
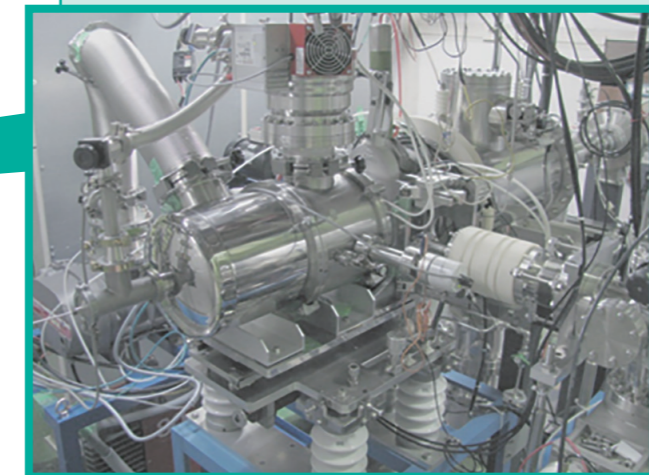
軽水炉燃料体の電子励起効果

タンデム加速器は核物質や放射性同位元素をターゲットにすることが可能です。酸化ウランの重イオン照射による放射線損傷の研究を行っています。

*電子励起効果…高エネルギー重イオンが固体を通過する時に起す原子の電離・励起が起こり、固体の原子の一部を動かしたり結晶構造自体を変えてしまったりする効果です。

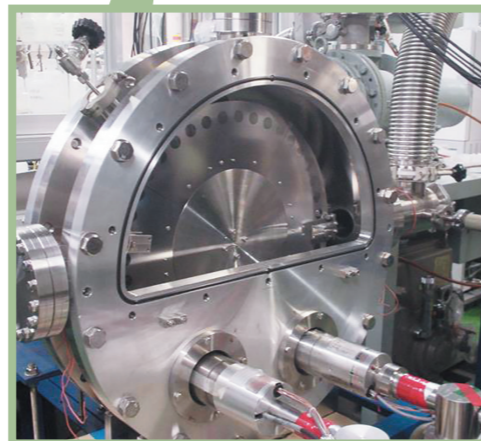


超重元素の価電子状態研究



タンデム加速器から得られる軽・重イオンビームと標的核の核反応で生成する重アクチノイドや超重元素の核化学的研究を行っています。特に、このような重い原子では、中心の原子核電荷と軌道電子の特異な相互作用 (相対論効果) が生じ、元素の周期表から類推される化学的性質に従わない振る舞いが予測されています。独自に開発しているユニークな実験装置を利用し、これら超重元素のイオン化エネルギーの測定や、溶液あるいは気相における化合物形成など様々な化学挙動研究を進め、例えば、これまでも103番元素のローレンシウム (Lr) のイオン化エネルギー測定で、価電子の電子軌道に特異性を発見しNature誌の表紙を飾るなど、重元素に特有な価電子状態について原子力機構でしかできない特徴ある研究を展開しています。

重・超重核の核構造研究



タンデム加速器から得られる重イオンビームをアクチノイド標的に照射して重・超重核を合成し、その崩壊によって放出される α 線、 γ 線、電子線などの分光測定から原子核の励起準位構造を調べ、重・超重核領域の殻構造や変形状態を明らかにする研究を行っています。特に、核反応で合成される多種多様な原子核の中から目的とする原子核のみを一秒以内に分離できるオンライン同位体分離装置を用いることで、半減期が短く、生成量の少ない原子核の測定が可能であり、これまで測定されたことのない未知不安定核の研究を推進しています。重・超重核領域の核構造は、超重元素の安定性や、アクチノイド核の核反応、核分裂特性などとも密接に関係しており、核物理から原子力応用まで幅広い分野でその知識が利用されています。