

イオン照射法を用いた材料システムの研究

原子力国際専攻 阿部ユニット (原子力専攻重照射研究設備)

本研究の背景と目的

高温、高圧、放射線照射場、そして宇宙空間など、人類は苛酷な環境を克服することで活動の領域を増やし、知識やエネルギーを獲得してきました。

苛酷な環境に耐える丈夫な材料の開発や、機器を長期間安全に使うための保全手法の開発は、工学上もっとも重要な課題の一つです。

私達は、苛酷な状況の模擬や新材料開発の手段として、国内最高の実績をもつ大型イオン照射施設 HIT をフル活用して、多くの成果を挙げ続けています。

本研究の実施体制

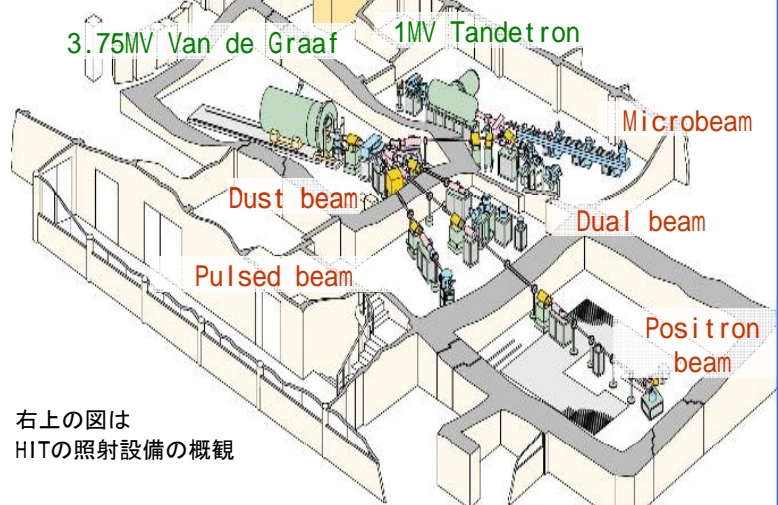
本研究は原子力専攻重照射研究設備 (通称HIT)をベースに、原子力国際専攻の関村・阿部・沖田ユニットで行われます。



HITの外観

カリフォルニア大での研究発表の様子

本研究に用いられる機器・設備



右上の図は HITの照射設備の概観

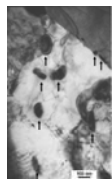
本研究で用いられる装置や機器には、他に以下のものがあります。

- 電子顕微鏡 (TEM, SEM)
- レーザーアブレーション
- 収束イオンビーム加速装置
- 熱質量分析装置
- 引っ張り試験機
- 超微小硬度計
- X線回折装置
- レーザー顕微鏡 など

軽水炉圧力容器鋼の中性子照射脆化

原子炉の炉心部を収納する原子炉圧力容器は、中性子の影響で少しずつ脆化することが知られています。私達は脆化の程度を正確に把握するために、基盤データの整備や評価手法の開発を行い、規格基準の改良を助けています。

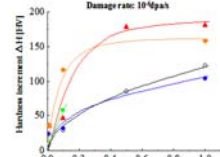
圧力容器が安全かどうか確かめるには、現在のマクロな機械特性を正確かつ漏れなく把握すること、ミクロな欠陥情報に基づいて将来の健全性を予測することの両方が必要です。私達はより詳細な機械特性を得るために、鉄鋼の相の違いに着目した硬度試験手法を提案しました。また、ごく小さな欠陥の生成・拡散挙動や微量添加元素の状態を知るために、液体ヘリウム温度からの電気抵抗測定や陽電子ビームを駆使した、新評価技術の開発を進めています。



金相写真



陽電子ビームを束ねた測定装置



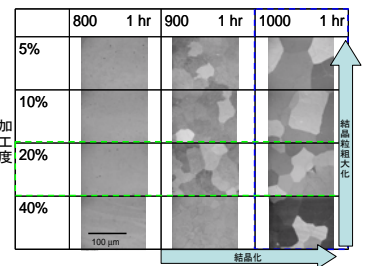
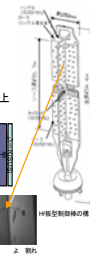
ハフニウム制御棒の照射下挙動の解明

原子炉の出力制御棒に利用されたり、水素吸蔵合金の材料として注目されたりしている元素：ハフニウムですが、その基本的な性質はあまり良く分かっていません。

私達は、冷間加工や熱処理、放射線照射と、ハフニウムの機械特性や微細組織の変化の関係を、系統的に研究することで、ハフニウム材料の適切な加工方法や保全手法を明らかにしていきます。

研究の背景

- ハフニウム(Hf)
 - 中性子吸収材⇒制御棒
 - 核的寿命が長い
 - ⇒ Bと比べて長期使用による経済性向上
- ハフニウム(Hf)板型制御棒(BWR)
 - Hf板型制御棒に割れが確認
 - ⇒ 安全上問題
 - ⇒ 機構論に基づく、抑制策

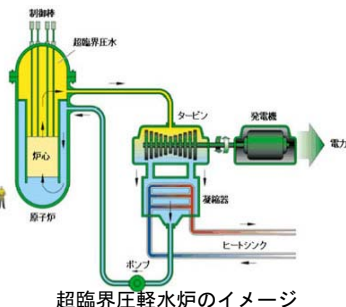


超臨界圧軽水炉用燃料被覆管の研究

東京大学では岡研究室が中心となって超臨界圧軽水炉(SCWR)の開発を進めていて、私達も材料研究の分野で貢献しています。

SCWRは高い熱効率、コンパクトな設備、低い開発コストなどから注目されている次世代原子炉です。炉心は現在の軽水炉より高温高圧で腐食の進みややすい環境にさらされるため、核燃料を覆う被覆管には極めて優れた耐熱性と防食性が求められます。

私達はオーステナイト鋼 PNC1520を中心とした被覆管候補材に対し、オートクレーブを用いた腐食試験や加速器を使った照射試験を組み合わせ、材料評価研究を行っています。



超臨界圧軽水炉のイメージ

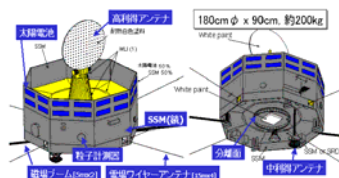
水星ダストモニタの開発

宇宙塵は太陽系・宇宙の進化を解明する手がかりです。

HITでは、多くの研究機関・研究者と共同で、2013年打ち上げ予定の水星磁気圏探査機に搭載する水星ダストモニタ(MDM: Mercury Dust Monitor)を開発しています。

原子力材料の試験等で実績あるバンデグラフ型静電加速器の技術を活用して、宇宙塵を模擬したダストをMDMに照射し、更正試験を行っています。

センサ素材や形状、コーティングの最適化が図られ、最低限の目標であるカウンタ、運動量計測は実現見通しが立ちました。入射角度、入射位置、センサ温度などの依存性について詳細なデータが取られ続けています。



他に

放射線照射を用いた異種元素内包フラーレン生成や、レーザーアブレーション法を使った機能性ナノ粒子の合成といった、新素材の開発に挑戦しています。また、既存の軽水炉燃料被覆管に使われるジルコニウム合金の研究 (脆化の原因となる水素化物の研究や、放射線を用いた表面改質) も行っています。