

## 高温プラズマ閉じ込め実験装置におけるプラズマ・壁相互作用による 水素挙動と材料損傷

研究代表者名

九州大学・応用力学研究所・徳永和俊

研究分担者名

九州大学・応用力学研究所・荒木 邦明、藤原 正、宮本 好雄

東北大学・金属材料研究所・永田 晋二

名城大学・理工学部 土屋 文

核融合科学研究所 時谷 政行

富山大学・水素同位体科学研究センター 松山 政夫、阿部 信介

### 1. はじめに

次世代の基幹的なエネルギー源として磁場閉じ込めによるプラズマを用いた核融合発電が計画・研究されている。これまで、既に、核融合反応が発生することが実証され、今後、プラズマ放電の定常化及び炉工学的な課題に関して研究が進められる予定である。この核融合炉において定常運転を行うには、プラズマの熱・粒子制御を行うダイバータを開発する必要がある。このためには、特に、燃料である水素同位体のダイバータ板表面での挙動及びプラズマ照射時の熱負荷によるダイバータ材料の表面損傷挙動を第一壁表面挙動と関連づけて明らかにし、これに基づいた材料及びプラズマ制御法の開発を進める必要がある。

九州大学応用力学研究所に設置された高温プラズマ閉じ込め実験装置である球状トカマク QUEST 装置では、将来の核融合原型炉以降のダイバータ板及び第一壁・ブランケットの表面材料の候補材料となっているタングステンをプラズマ対向材料とし、プラズマ放電実験が行われている。本研究では、この QUEST 装置において真空容器壁やダイバータ板表面に設置した試料や真空容器壁近傍に導入しプラズマ照射を受けた試料について、ダイバータ板や第一壁表面のかなりの部分を覆い水素挙動の鍵を握ることがわかってきた再堆積層に注目し、その表面の水素の吸・放出特性に関する基礎研究を行うと共に、プラズマ照射による熱負荷による材料損傷過程について明らかにする。

### 2. 研究経過

昨年度、加速器(RBS、ERD)及び X 線光電子分光分析器(XPS)分析後、壁温度と同じ 100°C の T 曝露実験を行ったが、本年度は、水素同位体が拡散しやすい高温での T 曝露実験の結果を報告する。試料は、第 9 サイクル(2012 年 11 月から 2013 年 3 月)に九州大学応用力学研究所の球状トカマク QUEST 装置の真空容器壁表面に長期設置し、一連のプラズマ放電実験後の大気開放時に取り出した SUS316L、W である。T 曝露実験は、T 曝露装置を用いて T を含む水素同位体に曝露し、イメージングプレート(IP)法及び Ar 中での  $\beta$  線誘起 X 線計測(BIXS)法により T の吸収・保持特性を調べた。T の曝露時間は 4 時間、曝露圧力は 1.3 kPa、T 濃度は 5% である。また、予備排気及び曝露時の温度は、400°C 及び 350°C である。

### 3. 研究成果

第 9 サイクル時に設置した SUS316L 及び W の試料表面には、これまでの試料とは異なり、Fe、O、W、C、Cr を主成分とする再堆積層が形成されていた。この再堆積層の厚みは、C が主成分であった第 3 サイクルより薄い、Fe が主成分であった第 7 サイクルよりは 6 倍程度厚い。これらの再堆積層は、それぞれの実験期間のプラズマ放電のパラメータや真空容器内機器、真空容器壁等の表面の状況を反映し、組成や厚みが異なっているものと考えられる。T 曝露実験において、400°C 排気、350°C 曝露後冷却後の IP 測定結果を図 1 に示した。曝露後の SUS316L 及び W では、それぞれ、真空容器壁設置試料では未設置試料の 7.0 倍及び 11.3 倍、さらに分析のためスパッターされた部分では、2.1 倍及び 3.7 倍の T が検出された。これまでの実験と同様に堆積層が形成されることにより T の保持量は大幅に増加することがわかった。また、100°C 曝露の場合と比較すると、たとえば、長期設置された W で 86 倍増加する等温度が高くなることにより T 保持量が大幅に増加することがわかった。さらに、BIXS 測定では、表面近傍に保持されている T から放出される  $\beta$  線により発生する Ar からの  $K_{\alpha}$  線と共に、それぞれ、Fe、Cr や W の特性 X 線や深部に T が存在することに由来するプロファイルを持つ制御 X 線が検出され、表面近傍だけではなく、さらに深部に T が拡散し保持されていることがわかった。真空容器壁が金属材の場合においても、水素や真空中の残留ガスである O や C が表面を構成する金属元素や作動ガスの H と共堆積することにより再堆積層が形成され、T の保持量を大きく増大させることが明らかとなった。

### 4. まとめ

長期設置された試料の表面分析及び T 挙動について調べた。再堆積層の形成や高い T 曝露温度により T 保持量が増加した。また、それらを定量的に評価し T インベントリ評価の基礎データを得ることができた。

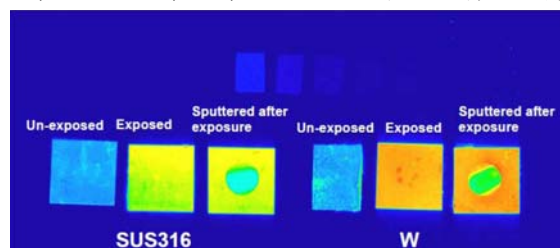


図 1 第 9 サイクルに真空容器壁に設置された試料(SUS316L 及び W)の T 曝露(400°C 排気、350°C 曝露)後の IP 測定結果