

高温プラズマ閉じ込め実験装置における水素リサイクリングの能動的制御法の確立

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・藤原 正、荒木 邦 明

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

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。この核融合炉では、燃料として水素同位体を使用し、炉の定常運転には、第一壁・ブランケットにおける水素同位体のリサイクリングを能動的に制御することが不可欠である。そのためには、プラズマの制御のみならず、第一壁材料内での水素の挙動を熟知し、それに基づいて放電中の水素の吸・放出を制御することが必要である。本研究では、将来のデモ炉以降の第一壁・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する九州大学応用力学研究所のプラズマ閉じ込め実験装置である球状トカマク QUEST 装置における水素リサイクリングの能動的制御法の確立を目指す。そのため、この球状トカマク QUEST 装置及び核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 LHD の真空容器壁に設置した試料や真空容器壁近傍に導入した試料について、その表面や第一壁表面のかなりの部分を覆い水素リサイクリングの鍵を握ることがわかってきた再堆積層に注目し、これらの試料の水素の吸・放出特性に関する基礎研究を行う

2. 研究経過

W を装着したプローブヘッドを LHD の 4.5L ポート部に取り付けられたマテリアルプローブシステムを用いて、プローブヘッドの中心部分にダイバータレッグの中心が位置するようにダイバータ板部に導入した。放電条件は、(1) 磁気軸が 3.75m で NBI 加熱を行い、2s 間の水素放電を 20 回繰り返し、計 40s の放電に曝した。NBI の入射パワーは、2s 間の 7.7MW 入射に加え、最初の 1s 間には、5.1MW を加えた (第 10 サイクル)。プラズマの線平均電子密度 (n_e) は、 $5\text{--}6 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ で、ダイバータの温度 (E_{di}) は、数 10eV である。放電終了後、試料を取り出し、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて観察すると共に、核融合科学研究所の X 線光電子分光装置 (XPS) を用いて、表面の化学分析を行った。また、東北大学の加速器を使用し、2.8MeVHe²⁺ をプローブビームとして用いて、弾性反跳粒子検出法 (ERD) 及びラザフォード後方散乱法 (RBS) による同時分析を行い、注入水素や表面の組成分析を行った。また、QUEST において、真空容器壁表面に W、SUS316L、Au/SUS316L を長期設置試料と固定し、第一サイクルにおける一連の水素放電実験 (2008 年 9 月～2009 年 1 月) 終了後、試料を取り出し、上記と同様な分析を行った。

3. 研究成果

LHD のダイバータレッグに導入した W 試料表面には、ダイバータレッグに沿う方向に 4 本のライン状の変色部が観察された。また、熱電対による試料の温度測定 (W 表面から 2.5mm 内部) では、温度は放電と対応し変化しており、最高温度は、63°C 程度と比較的低く、コネクションレングスの長い領域が狭く熱流束が比較的小さいため温度上昇が低いものと考えられる。変色部の XPS 分析では、炭素が検出され、炭素の堆積により変色していることが明らかとなった。図 1 には、ERD 分析による W 試料表面における変色部分 (炭素の堆積層) 及び変色がない W 表面の部分における水素のプロファイルを示した。堆積層が形成されていない W 部分と比較し、炭素堆積部分は、水素の保持量が多く、炭素の堆積と水素が共堆積しているものと考えられる。LHD の場合、炭素製のダイバータ板が使用されており、スパッタリング等により放出した炭素が、ダイバータ部に飛来し、ダイバータの構造と関係しライン状の分布を持ち W 表面に堆積すると同時に、水素が共堆積したものと考えられる。

一方、QUEST の真空容器壁上の第一サイクルの長期設置試料では、表面がほぼ一様に変色していた。XPS 分析の結果、再表面には、炭素と酸素が存在するが、表面を Ar スパッターした後では、炭素のみ検出され、炭素の堆積層が形成されていることが明らかとなった。ERD 分析の結果では、同様に堆積膜には、水素が吸蔵されている。これらの結果から、真空容器表面は、損耗は発生しておらず、炭素が水素と共堆積しているものと予想される。この炭素堆積物は、おそらく、炭化水素等の残留ガスがプラズマ放電により分解し、その炭素が、真空容器壁に水素と共堆積したものと考えられる。これらのことは、第一壁・ブランケット表面に W を使用した際でも、再堆積層には、多量の水素が吸蔵される可能性を示している。

4. まとめ

九州大学の球状トカマク QUEST 装置及び核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 LHD の真空容器壁に設置した試料や真空容器壁近傍に導入した試料について、その表面分析を行った。特に再堆積層には多量の水素が吸蔵されていることが明らかとなった。

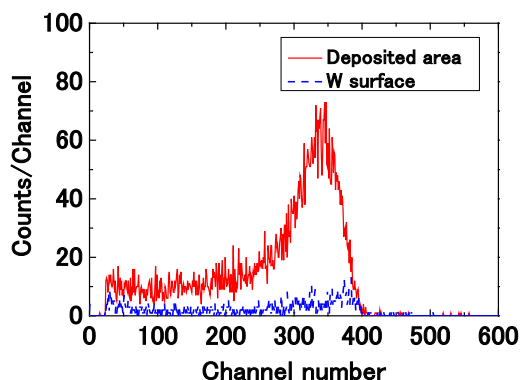


図 1 W 表面の ERD 分析結果