

## LHD におけるダイバータ炭素の真空容器内輸送と再堆積 Transport and Re-deposition of Carbon Originated from Divertors in LHD

吉田直亮<sup>1</sup>、矢嶋美幸<sup>2</sup>、時谷政行<sup>2</sup>、永田大介<sup>2</sup>、本島巖<sup>2</sup>、波多野雄治<sup>3</sup>、増崎 貴<sup>2</sup>  
N. Yoshida<sup>1</sup>, M. Yajima<sup>2</sup>, M. Tokitani<sup>2</sup>, D. Nagata<sup>2</sup>, G. Motojima<sup>2</sup>, Y. Hatano<sup>3</sup>, S. Masuzaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学応力研、<sup>2</sup>核融合科学研究所、<sup>3</sup>富山大学水素研セ

<sup>1</sup>RIAM Kyushu Univ., <sup>1</sup>NIFS, <sup>3</sup>Univ. Toyama

LHD においては、第 19 サイクルから重水素 (D) を用いた放電実験が開始された。この放電で発生する三重水素 (T) は一旦プラズマを取り巻くダイバータ板 (等方性黒鉛) や真空容器内壁 (ステンレス鋼製保護板) 等の内部に侵入するものその多くは早晩表面から放出され回収される。しかしながら一部の T は材料内に強く捕捉されそのまま内部に留まるものと思われる。従って、T の管理にあたっては真空容器内の何処に、どれだけ、どの様な状態で捕捉されるかをあらかじめ把握しておく必要がある。

本研究 (平成 29, 30 年度核融合研一般共同研究) では代表的なプラズマ・壁相互作用が起こっている 9ヶ所 (外側鞍部保護板上、内側鞍部保護板上、等) に長年それぞれの場所で使用し第 18 サイクル終了後取り外した保護板の切片、第 18 サイクルでプラズマ曝露した試料片、未曝露の試料片 (いずれも保護壁と同じ SUS316L) 等を固定しキャンペーンを通してプラズマに曝露した。キャンペーン終了後、これらを取り出し、表面の変色、表面形状、内部の微細組織・組成、T 吸蔵量、水素同位体等の熱放出特性を色測定器、FIB/SEM、TEM/EDS、IP、TDS 等を用い総合的に調べた。これらの結果をもとに T 滞留量評価に必要な材料中での水素同位体の挙動 (滞留、移動、再放出等) 及びこれらの現象を司っているであろう材料内部および表面の変質について詳細に検討した。本発表では後者の結果を中心に報告する。なお、前者についての詳細は 3Daa8 の講演にて報告される (発表者; 矢嶋美幸)。

第 18 サイクルまでの放電では He プラズマを用いた長時間放電実験も頻繁に行われたため、内壁保護板の表面は何れの場所でも激しく変質しているがダイバータ (特に開ダイバータ) からの直接的な炭素の飛来の有無によって状況は 2 種類に大別される。それぞれの領域において第 19 サイクルで起こった現象を以下に述べる。

### <領域 1> ダイバータからの直接飛来炭素が少ない領域

この領域の保護板表面ではプラズマ (特に He) による照射効果が顕著であったため、表面は薄い炭素等の堆積層 (厚さ数 nm~数 10nm) で覆われその下には微細な He バブルなどの照射欠陥が極限的に形成された厚さ 60~100nm の強損傷領域が広がっている。この様な表面を第 19 サイクルのプラズマ (He による長時間放電無し) に曝すと第 18 サイクルで形成された表面の強損傷層は完全に消滅し水素同位体捕捉能が弱い厚さ 10nm 程度の混合層に覆われた平滑平面となる。損傷層の消滅は主に第 19 サイクル終了前に行われた長時間のグロー放電洗浄によってもたらされたと考えられ、ダイバータから炭素が直接飛来し難い領域のプラズマ対向面における水素同位体滞留量の低減に大きな効果があったことが推察される。

### <領域 2> 近接開ダイバータ表面を直視できプラズマから遠い領域

この領域ではスパッタリングによりダイバータから放出された炭素や炭化水素同位体が直接飛来し厚さ 1 $\mu$ m を超える炭素を主成分とする厚い層状の堆積層が形成され保護板表面の諸特性は堆積層によって支配される。第 19 サイクルでの堆積層は第 18 サイクルで形成された堆積層の上に水素同位体や炭化水素同位体を巻き込みながら堆積して行き、新たに積もった堆積層中には捕捉された D や T が広く分布していることが推定される。サイクル最終段階で行われたグロー放電洗浄では領域 1 で弾き出されたと思われる金属や炭素 (恐らく水素同位体も) が再堆積しており水素同位体滞留量はむしろ増加している可能性がある。実際、3Daa8 で報告する様に IP 及び TDS 測定等の結果から水素同位体の滞留はこの様な厚い炭素堆積層を持つ領域で顕著なことが明らかになった。

真空容器内壁への T 滞留量を低減するためには、ダイバータから直接飛来し堆積する炭素や炭化水素同位体を減らす必要がある。対応としては外側壁近傍で多く使われている開ダイバータを閉ダイバータに置き換えることが有効であり、最終的にはダイバータ表面の金属化が待たれる。

領域 2 で形成される厚い炭素堆積層のもう一つの課題は剥離し易いことである。特にボロニゼーション時にボロン濃度の高い層が形成されるとそこで容易に剥離が起こることが明らかになった。ボロニゼーションの最適化も課題であろう。