

サイクル 19 以降の LHD におけるプラズマ対向壁の照射損傷と表面変質  
Irradiation Damage and Surface Modification of Plasma-Facing Surface  
of LHD since Cycle 19

吉田直亮<sup>1</sup>, 矢嶋美幸<sup>2</sup>, 増崎貴<sup>2</sup>, 時谷政行<sup>2</sup>, 永田大介<sup>2</sup>

N. Yoshida<sup>1</sup>, M. Yajima<sup>2</sup>, S. Masuzaki<sup>2</sup>, M. Tokitani<sup>2</sup>, D. Nagata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学応用力学研究所、<sup>2</sup>核融合科学研究所

<sup>1</sup> RIAM Kyushu Univ., <sup>2</sup> NIFS

## 背景

LHD では C19 以降 D-D 放電が開始され主として H、D を用いた高温プラズマ放電実験が行われている。D 放電では T が発生するため T を効率よく排気・回収するために He や H を用いたグロー放電洗浄 (GDC) が頻繁に行われ、プラズマ対向面の受けるプラズマ壁相互作用はこれまでになく複雑なものとなってきた。

本研究では C18 まで継続的に調べてきたプラズマ対向壁鞍部に加えて下部壁も含めた最大 19 ヶ所に各種試料を設置し、極めて複雑な内部構造を持ち、主要炉材料として全く異なった特性を持つ炭素材と金属材 (主に SUS316L) を共用している LHD でどのような PWI が起こっているのか、また、それによってプラズマの閉じ込めや T の安全管理にどのような影響を与える可能性があるのかについて調べた。

## 実験方法

各試料設置位置には SUS316L, W, Mo, Ta, Si の板材に加えあらかじめ薄膜化した TEM 観察用薄膜試料も設置し、SEM, TEM, FIB, SEM, TDS, ERDA, CA, IP, TD 等を用いて試料の表面や内部の組織・組成、残留 T 量等を詳細に調べた。

## 実験結果と考察

プラズマ対向面の構造が極めて複雑であること、ダイバータとプラズマ対向壁の材料が全く異質であること、GDC やボロニゼーションに He プラズマを使っていることが、想像し難い様々な PWI を引き起こしている。

プラズマに近い壁面 (全体の 40% 程度の面積) では繰り返される He プラズマを用いた GDC やボロニゼーション時の He プラズマ照射効果によってブリスタリングが起こるなどいわゆる損耗ドミナントな状況となっている。また、ダイバー

タを発生源とする C が表面直下に入り込むことによって表面層が脆化し表面剥離剥離が促進されている。

一方、外側壁に沿った開ダイバータからは化学スパッタリング等ではじき出された C や炭化水素が近接する壁に厚く堆積し壁領域では T が最も多く残留している場所になっている。H を用いた H-GDC も頻繁に行われているがこの領域の表面には He-GDC 時に損耗ドミナント領域で発生したナノサイズの金属粒子が飛来し層状に堆積しており、GDC による水素同位体除去効果を抑制している。

真空排気後に行われるボロニゼーションによって発生する B や酸化ボロンがプラズマから見ると“影”となっているこの領域に掃き寄せられ厚く堆積している。酸化ボロンは脆い物質で亀裂が発生し易くその上に積もった堆積層が容易に剥離する。実際、開ダイバータ近傍では至る所で堆積層が剥離している。問題はこの領域の堆積層はかなりの量の T を含んでいることで、T の安全管理の観点から飛来する T を軽減し剥離を抑制する有効な方法を検討する必要がある。

今回示した LHD における経験からも、水素や He に対する特性が全く異なる金属と炭素を炉材料として併用することは PWI を複雑化し、その制御が非常に難しい。

He を含む高温水素プラズマによる金属材料の照射損傷は核融合炉材料の開発を目指すに当たってこれから本格的に取り組むべき研究課題の一つであろう。LHD では壁中に大量の He が吸蔵されているため水素プラズマ放電下においても壁から徐々に放出される He が常に混入している。試料搬送装置を用いての特定の主放電へのプラズマ曝露実験を考えている。