

LHDのプラズマ放電に曝されたプラズマ対向ステンレス鋼の水素およびヘリウムの 吸蔵・放出特性

Retention and desorption of hydrogen and helium from stainless steel exposed to plasmas of LHD

吉田直亮¹, 湯上尚之², 木村陽太², 藤原正¹, 荒木邦明¹, 吉原麗子¹, 渡辺英雄¹,
時谷政行³, 増崎貴³, 波多野雄治⁴, 大矢恭久⁵, 奥野健二⁵

N. YOSHIDA¹, N. Yugami², Y. KIMURA², T. FUJIWARA¹, H. ARAKI¹, R. YOSHIHARA¹,
H. WATANABE¹, M. TOKITANI³, S. MASUZAKI³, Y. HATANO⁴, Y. OYA⁵, K. OKUNO⁵

九大応力研¹, 九大総理工², 核融合研³, 富山大水素セ⁴, 静大理⁵

RIAM Kyushu Univ.¹, GSES Kyushu Univ.², NIFS³, Toyama Univ.⁴, Shizuoka Univ.⁵

高温プラズマの定常放電に関する研究は、LHDにおける最重要課題の一つである。安定な放電を長時間維持するためには、粒子バランスを適正に保つ必要があるが、そのためにはプラズマ対向壁面を通してのプラズマ粒子の侵入・放出現象を理解し、必要に応じてコントロールできることが求められる。主にHeを用いての長時間放電が行われているLHD(ステンレス鋼壁)の粒子バランスを議論するためには、Hの吸蔵・放出現象のみならずHeについても着目する必要がある。

LHDの第16サイクルにおいて、プラズマとの相互作用が強い8Iおよび9Iポート近傍に種々のプローブ用金属試料を置き、PWIによる表面の変質とH素及びHeの吸蔵・放出特性を調べた。LHDでは、プラズマの温度や密度は年々上昇し、それに伴ってPWIによる表面の変質も一段と激しくなっている。変質は大別すると以下の3領域に類別できる。(1) ダイバータ近傍でダイバータを直接見込める領域;ダイバータから飛来する炭素の堆積が顕著でマクロには茶褐色化した領域、(2) プラズマから遠くダイバータからも直接見込めない場所(例えばポートの近傍など);変色は僅かで損耗優位な領域、(3) プラズマに近い鞍部とその周辺;プラズマとの相互作用が強く、損耗が進行し表面温度の上昇も顕著な領域。

領域(1)および(2)に置いた SS316L 試料の TEM 観察、GD-OES および XPS を用いた元素分析を行った結果以下のことが分かった。領域(1)では堆積層はほとんど認められないものの表面から 20nm の領域はナノサイズのヘリウムバブルや転位ループが密集し、炭素や酸素、わずかながら金属元素なども混ざり合った変質層となっており、内部損傷を伴った典型的なスパッタリング損耗表面となっている。領域(2)では炭素を主成分とする厚さ 140nm 程度の厚い堆積層で覆われている。大半は非晶質炭素であるが、ナノサイズの金属酸化物も混在している。膜中には最大 70nm 程度の空洞も多数見られるなど、決して均質な炭素膜ではない。図 1(a)および 1(b)は重水素イオ

ン(2keV-D₂⁺, 1x10²¹D₂⁺/m²)を室温で注入した領域(1)および領域(2)に置いた SS316L から熱放出される m=4 (D₂, He)と m=3 (DH)を焼鈍温度に対してプロットしたものである。図1(a)からわかるように、本来 390K をピークとして放出される大量の水素を吸蔵できる SS316L ではあるが、厚さ 20nm 程度の変質層が形成されることによって吸蔵量は 15%程度に減少する(ピーク A)。400K から 600K に現れる放出(ピーク B)は主に残留していた He の放出と考えられることから、領域(1)の放電時の壁温度は 400K 以下でありこの温度での H や He の吸蔵・放出が問題となることがわかった。図 1(b)に見られるように、炭素膜が厚く堆積した堆積優位領域でのガス放出の挙動は一段と複雑である。残留していた H と反応した DH の放出が 500K 以上で起こるのに対し、室温で注入した D は 500K で大きな放出ピークを持つことからこの領域は放電時に 500K 近傍まで上昇し、放電下で H の吸蔵と速やかな放出が起こっていることが考えられる。領域(3)では表面温度はさらに高温になっている。

今後はそれぞれの領域の放電時の壁温度における H 及び He の吸蔵・放出特性を詳細に評価する。

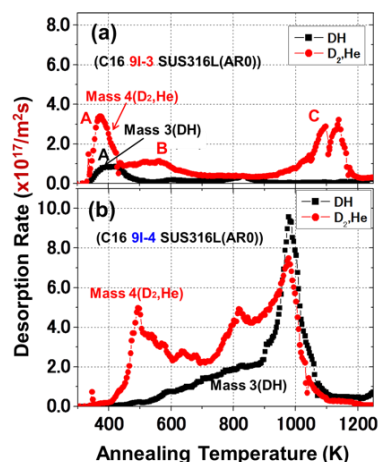


図1 プラズマ曝露後、重水素イオンを注入した SS316LからのTDSスペクトル。昇温速度:1k/s。
(a) 損耗優位領域、(b)堆積優位領域