

LHDプラズマ対向面の特徴と定常運転への影響評価

Special Characteristics of PFS of LHD and its Influence on Long Duration Discharges

吉田直亮¹, 木村陽太², 藤原正¹, 宮本好雄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, Y. KIMURA², T. FUJIWARA¹, Y. MIYAMOTO¹, 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維持に関する研究は、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。我々は、第12サイクル以来、プラズマとの相互作用が最も強いと思われる内側の内壁上に様々な評価実験に対応する多数の金属プローブ試料を置き、プラズマ放電により壁面がどのように変質しそれが水素の挙動にどのような影響を与えるか調べてきた。これまでに明らかになったLHD内壁表面のPWIによる変質の特徴は以下のようにまとめられる。

1. 各実験キャンペーンにおいて、運転開始に先立ち行われるネオンやヘリウム、水素を用いた長時間のグロー放電洗浄により表面構造はまず大きく変化する。すなわち、ネオンやヘリウムの照射により最表面の吸着物や酸化膜は除去されるものの、表面直下10nm程度の領域では、下地の元素、炭素などの再堆積元素、酸素などが混ざりあったミキシング層が形成される。特にヘリウムグローによる影響は顕著で、ナノサイズのヘリウムバブル等、水素の捕捉サイトとなる大量の格子欠陥が発生する。この現象は内壁全体で起こるものと思われる。水素によるグロー放電により発生した炭素系の不純物は影の部分にまで回り込み例えば実験開始前にミラーの光反射率を低下させるなど思わぬ影響が現れるともある。
2. 主放電が始まると壁面ではエネルギーの高い中性粒子による表面スパッタリングや表面直下領域での照射損傷が起こる。またダイバータ表面から放出された炭素原子の堆積も顕著になる。
3. プラズマ対向壁面の状態は堆積優位領域と損耗優位領域に大別できる。前者では堆積層が原因の着色(厚くなると濃い茶褐色)が顕著であるが、後者でもわずかな変色が見られる。前者ではグロー放電洗浄によって形成された表面ミキシング層の上に炭素を主成分とする堆積層が形成される。一方、後者では表面ミキシング層が20nm程度まで厚くなる。ヘリウム放電が多く行われるLHDではヘリウム照射損傷が顕著でヘリウム自身を含めガスの吸放出に大きな影響を与えている。内側の内壁面では主にダイバータ板を直接見通せる場所で堆積優位となるが外側の内壁面では広い領域で堆積優位となっている。堆積優位領域と損耗優位領域が炉内でどのように分布するかは実験キャンペーンにより変化する。
4. 表面変質により堆積優位領域のみならず損耗優位領域においても水素の吸蔵能は大幅に増大する。ステンレス鋼の場合には本来高い吸蔵能を示すが、吸蔵能が低いタンゲステンでも表面層は水素を大量に吸蔵する炭素材に近い吸蔵能を持つようになる。水素の放出温度は損耗優位領域では室温から500Kまで、変色の激しい堆積優位領域では室温から1200Kの広い温度領域で放出が起こる。このような装置の運転温度領域での活発な水素の吸蔵と放出は長時間放電で不可欠な粒子コントロールを難しくする可能性がある。

これらの実験結果は、強い水素吸蔵能をもたらす主な原因はダイバータを源とする炭素の共堆積とヘリウム放電であることを示唆しており、定常放電を目指すにあたってはこれらに対する適切な対応によって水素吸蔵能を格段に抑制することが必要だと思われる。炭素の軽減化にはダイバータ板のタンゲステン化が最も直接的で有効な方法であると考えられる。なお、ヘリウムの存在は核融合環境の良いシミュレーションであると考えられる。