

磁気閉じ込め原型炉第一壁の双方向水素透過に関する研究 A Study on Bi-directional Hydrogen Permeation through the First Wall of a Magnetic Fusion DEMO Reactor

廣岡慶彦^{1,2}、周 海山²、芦川直子^{1,2}、室賀健夫^{1,2}、相良明男^{1,2}
Yoshi HIROOKA^{1,2}, Haishan ZHOU², Naoko ASHIKAWA^{1,2},
Takeo MUROGA^{1,2} and Akio SAGARA^{1,2}

核融合研¹、総研大²
NIFS¹, Sokendai²

背景・目的

ITER までの磁気閉じ込め核融合実験装置の「第一壁」は、基本的にプラズマと環境を隔てる真空容器壁である。ところが、原型炉では、トリチウム増殖率 >1 を達成するため核融合容器壁をブランケット要素群で構成するように設計される。したがって、原型炉の第一壁は、プラズマと増殖材を隔てる壁であると言える。

熱交換器としてのブランケットは、高温運転を要求されるが、一方、熱機械的応力の観点から第一壁の薄肉化も必要である。その結果、多くの実証炉研究が第一壁の薄肉設計を採用しており、例えば、FFHR の場合、第一壁設計厚みは、約 5 mm である[1]。

このような薄肉第一壁に、水素拡散係数が大きい低放射化フェライト系合金材料を用いた場合、周辺プラズマ照射による水素透過 (PDP) とブランケット内の増殖トリチウム圧力による水素透過 (GDP) に同時に起こる可能性がある。特に、FliBe や LiPb のように比較的平衡解離圧の高い増殖材では、ブランケットからプラズマ側への逆向透過、即ち、フェーエリングが起こり周辺密度の増加、強いては、閉じ込め性能の劣化にもつながる可能性がある。

第一壁を通じた双方向水素透過の結果、ブランケット内に重水素が混入し、燃料サイクル系に同位体分離設備が必要となる。一方、増殖トリチウムによる逆方向 GDP によって真空側にトリチウムが流れ込み、周辺プラズマ密度制御を困難にする可能性もある。本研究は、このような観点から第一壁材料の双方向水素透過挙動に関する基礎的知見を得る事を目的とする。

方法

本研究では、直線型定常プラズマ実験装置：VEHICLE-1[2]を用いて、水素 PDP・GDP 実験を行った。PDP 実験に関しては、プラズマ密

度： $10^{10}/\text{cm}^3$ 台、電子温度： $3\sim 5\text{eV}$ 、照射フラックス $10^{16}/\text{cm}^2/\text{s}$ 台、イオン衝撃エネルギー： $50\text{-}100\text{eV}$ 、また、GDP 実験に関しては、上流側水素気体圧力 $100\text{-}760\text{Torr}$ とした。なお、実験試料としては、低放射化フェライト系合金：F82H を選択した。また、実験データは、DIFFUSE コード[3]を用いて解析された。

結果

図-1 に 5mm 厚の F82H の 500°C でのプラズマ照射透過とガス圧透過挙動を示した。PDP 入射フラックス：約 $10^{16}/\text{cm}^2/\text{s}$ 、イオン衝撃エネルギー： $\sim 100\text{eV}$ 、GDP 水素圧力 100Torr とした。これから、前述のように GDP による水素逆行透過の方が、PDP より 1 桁以上高い事が分かった。例えば、第一壁表面積が 3000m^2 の原型炉の場合、ブランケットからのフェーエリング量は、 $1000\text{Torr}/\text{s}$ のオーダーとなり、周辺プラズマ密度の増加が危惧される。また、最近、同時双方向 PDP+GDP の予備的実験データも取得され、現在、その解析が行われている[4]。

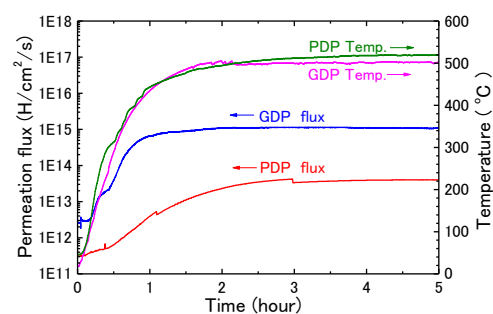


図-1 F82H 材のプラズマ照射・ガス圧透過挙動。

- [1] A. Sagara et al., Fusion Technol. **39**(2001) 753-757.
[2] Y. Hirooka et al., J. Nucl. Mater. **337-339**(2005) 585-589.
[3] M. I. Baskes, "DIFFUSE83", SAND 83-8231.
[4] Y. Hirooka et al., Presented at ICFRM-16(2013).