

超高流束水素の制御と応用 Control and Application of Ultrahigh Flux Hydrogen in Materials

小林 真^{a,b}、波多野雄治^c、原 正憲^c、大矢恭久^d、
山内有二^e、大塚哲平^f、長坂琢也^{a,b}

M.I. Kobayashi^{a,b}, Y. Hatano^c, M. Hara^c, Y. Oya^d, Y. Yamauchi^e, T. Otsuka^f, T. Nagasaka^{a,b}

^a核融合研、^b総研大、^c富山大学、^d静岡大学、^e北海道大学、^f近畿大学

^aNIFS, ^bSOKENDAI, ^cUniv. of Toyama, ^dShizuoka Univ., ^eHokkaido Univ., ^fKindai Univ.

本 文

多くの産業・システムの至る所で、水素同位体と材料の相互作用を見出すことができる。特に水素同位体である重水素(D)・トリチウム(T)を燃料とするD-T核融合炉の真空容器内では、高温・高密度な水素同位体プラズマが真空容器壁に曝される。また、真空容器から排気された水素同位体はサブシステム内にて、広い圧力範囲、温度範囲、様々な化学形態で輸送・処理され、その間、配管材料などとの相互作用が発生する。さらに、水素は将来の有望なエネルギー媒体として期待されており、大量の水素を生産、輸送、貯蔵し、消費する社会が到来することが予測される。

材料が高圧水素同位体ガスや高密度プラズマと接触することで、水素同位体が材料内部へ侵入し、格子間位置を占有していく現象が進行する。この際、水素同位体は材料内部の原子空孔等の照射欠陥と相互作用し、水素同位体・空孔クラスターを形成し安定化することが知られるが、このような安定化により、材料中に水素同位体の存在しない場合と比較して大量の原子空孔が材料中に存在できるようになる。その結果、水素同位体捕獲密度の高い欠陥含有構造が生成する。また、材料構成原子の拡散は隣接する格子点が空孔であると、その位置を交換するように進行する。このため、空孔密度の上昇によりこの拡散過程が促進される。このように、材料に水素同位体流束を曝すことで、欠陥含有構造が誘起され、水素同位体捕獲密度の向上と劇的な材料構造の変化が起こると予測される。

材料内における水素同位体の流束は、水素同位体の入射速度と入射面からの再放出速度の差分で決定する。プラズマ曝露などでは水素同位体は材料表面に注入される。この際の水素同

位体の飛程は数nm程度であることから、殆どの水素同位体は入射面で再結合し系外へ放出してしまい、結果的に材料内部に高い水素流束は発生しない。このような課題の克服には、表面改質が有効である。材料表面に水素同位体溶解度、拡散係数の小さい酸化物等のセラミックス薄膜を蒸着すると、プラズマ中の運動エネルギーを有した水素同位体は薄膜を貫通し基板材料に到達、熱化するが、表面不純物層により入射面への拡散と水素同位体再結合が著しく阻害されるため、結果的に大部分の水素同位体が材料深部方向へ拡散し透過する。この現象は水素同位体超透過現象として知られる。超透過現象下においても、材料内部の水素同位体拡散係数は不変であると考えられるため、材料内部にて高い水素同位体の流束が形成される。

本シンポジウムにおいては、このような表面改質とその結果生じる高流束水素を応用した研究について議論を行う。例を挙げると、特に核融合炉開発においては、高流束水素に曝された材料の欠陥含有構造の形成や材料特性の変化、効率的な低分圧水素同位体回収システム、物理スパッタリングを利用した低トリチウムインベントリ水素同位体分離法開発である。また、超透過現象を利用した、核融合炉機器からの高効率なトリチウム除染方法の実現可能性について議論する。さらに、表面改質により材料中に固溶した水素同位体が相対的に安定化すること、高流束水素により誘起される欠陥含有構造が新たな水素捕獲状態に寄与することから、これらの効果が重畳することで、材料構成原子と複数個の水素原子の局所的な相互作用により準安定な水素化物相形成を誘起し、過飽和量の水素が材料中に貯蔵された状態を形成させるという、新材料創生研究についても議論する。