

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2011

課題番号：19055003

研究課題名（和文） 核融合炉内複雑環境におけるトリチウム蓄積挙動の実験的研究

研究課題名（英文） Experimental Study on in-vessel tritium inventory  
in complicated environment of fusion reactors

研究代表者

上田 良夫 (UEDA YOSHIO)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30193816

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：核融合、トリチウム、プラズマ壁相互作用、照射損傷、ダスト

### 1. 研究計画の概要

本研究は、ITER 及び核融合炉に供給したトリチウムが、炉内のどこにどれだけ蓄積するかを明らかにすることである。このため核燃焼プラズマ対向壁表面の複雑環境（複数イオン（水素同位体、ヘリウム、壁材料、中性子）同時照射における、高濃度トリチウム蓄積過程をイオンビーム装置やプラズマ装置を用いた基礎実験、及びトカマク型プラズマ閉じこめ装置による実機実験により明らかにする。さらに、実験研究と、A02 班のシミュレーション研究を連携させて、核融合炉内のトリチウム蓄積量を予測し、その制御法を開発する。

### 2. 研究の進捗状況

本計画研究においては、炉内トリチウム蓄積評価のために必要な研究項目として、(1) イオン同時照射環境における水素同位体蓄積挙動、(2) 照射損傷が水素同位体蓄積に与える影響、(3) ダストの発生と水素同位体蓄積に与える影響、(4) 実機における壁材料の損耗・再堆積と再堆積層の水素同位体蓄積・放出挙動、(5) 壁材料中の水素同位体除去について、研究を進めている。これらの現状を簡単に述べる。

(1) 高フラックスイオンビーム照射装置を用いて、タングステンへの複数イオン種(D、He、C)の同時照射実験を行い、タングステン中の重水素蓄積、拡散、透過に関する実験を進め、イオン同時照射が、重水素の蓄積、拡散に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

(2) 核融合炉における中性子照射損傷を模擬するために、高エネルギーイオンにより照射損傷を与えたタングステンに対して、重水素の蓄積量の dpa 依存性を調べた。また、タングステン壁の ITER に対して、照射損傷を考慮すると一桁程度トリチウム蓄積量が大きくなることが明らかになった。

(3) 炭素材、及びタングステン材に重水素やヘリウムの高密度プラズマ照射実験を行ない、ダスト粒子の発生機構や表面損傷に伴うアーク発生機構を明らかにした。また、ダストのリテンションを調べるための昇温脱離装置を製作し、実験を開始した。

(4) JT-60U トカマク装置の炭素堆積層中の重水素蓄積量を異なった場所で詳細に測定し、堆積層の膜厚とリテンションの関係を明らかにした。また、タングステン被覆層中の重水素は、炭素と結合して存在しており、タングステン材中でもリテンションに与える炭素の影響が大きいことが明らかになった。

(5) ヘリウム、ネオン、アルゴンを用いたグロー放電洗浄法により、ステンレス鋼やタングステン中に蓄積された重水素が効果的に除去できることが明らかになった。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

(1) 同時イオン照射下での透過実験装置、ダストの昇温脱離装置など新たに導入した実験装置の整備が終わり、炉内複雑環境にお

けるトリチウム蓄積量評価のデータを得るための実験が進んでいること。

(2) JT-60U での堆積層中の重水素蓄積量の分析や、照射損傷を持つタンゲステン中の蓄積量評価の結果など、ITER や原型炉におけるトリチウム蓄積量評価に直接資する研究成果を得たこと。

(3) 複数イオン照射下でのトリチウム挙動をモデル化するための系統的な成果を得る見通しがついたこと。

(4) 学術的な成果を核融合の主たる国際会議や著名な学術論文誌に多数発表し、また国際会議等で多くの講演を行ない(国際会議招待講演 6 件を含む)、高い評価を受けたこと。

#### 4. 今後の研究の推進方策

(1) 平成 21 年度実施された領域の中間評価に関わる意見(炉内のトリチウムの除去・回収についての研究を進めることを強く期待する)に対応して、グロー放電洗浄法やレーザー脱離法の研究をさらに推進し、ITER や原型炉への適用性を評価できる成果を得る。

(2) 水素同位体蓄積に対する複数イオン照射効果や、照射損傷効果等の基礎研究成果について、A02 班と協力して基礎過程の解明、現象のモデリング、及び実機におけるトリチウム蓄積に与える影響評価を進める。

(3) イオン照射、プラズマ照射の基礎実験結果と実機でのタイル分析結果を総合的に評価し、また A02 班のシミュレーション結果と密接に連携しながら、ITER や原型炉における炉内トリチウム蓄積量評価を行なう。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 102 編)

① Y. Ueda, H. Kashiwagi, M. Fukumoto, Y. Ohtsuka, N. Yoshida, Effects of helium ions on hydrogen isotope behavior in tungsten, Fusion Science and Technology, Vol. 56, pp. 85-90, 2009, 査読有.

② N. Ohno, S. Kajita, M. Takagi, S. Takamura, Development of Divertor Plasma Simulator with High Heat Flux Plasma and its Application to Nuclear Fusion Study: A Review, Transaction on electrical and electronic engineering IEEJ Trans., Vol. 4, pp. 476-487, 2009, 査読有.

③ T. Nakano, H. Kubo, N. Asakura, K.

Shimizu, H. Kawashima, S. Higashijima, Radiation Process of carbon ions in JT-60U detached divertor plasmas, Journal of Nuclear Materials, Vol. 390-391, pp. 255-258, 2009, 査読有.

④ T. Tanabe, K. Shugiyama, T. Shibahara, Y. Hirohata, M. Yoshida, K. Masaki, M. Sato, Tritium removal by isotropic exchange, Journal of Nuclear Materials, Vol. 390-391, pp. 705-708, 2009, 査読有.

⑤ T. Hino, Y. Higashi, Y. Yamauchi, A. Komori, et al., Reduction of hydrogen and helium retention in stainless steel by argon glow discharge, Vacuum, Vol. 83, pp. 493-496, 2008, 査読有.

他 97 編

[学会発表] (計 249 件)

① Y. Ueda, Material Mixing of tungsten with low Z materials -Carbon and Helium-, ITER Summer School 2009 - Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices-, Aix en Provence (France), June 22-26, 2009, 招待講演.

② T. Tanabe, Tritium issues in plasma wall interactions, ITER Summer School 2009 - Plasma Surface Interaction in Controlled Fusion Devices-, Aix en Provence (France), June 22-26, 2009, 招待講演.

③ Y. Ueda, Tungsten R&D needs for ITER and DEMO, Asia Plasma Fusion Association 2009 Aomori (Japan), October 27-29, 2009, 招待講演.

④ Y. Ueda, T. Tanabe, N. Ohno et al., Effects of tungsten surface conditions on carbon deposition, 18<sup>th</sup> International Conference on Plasma Surface Interactions, Toledo (Spain), October 13-18, 2008, 招待講演.

⑤ Y. Ueda, Status of plasma facing material studies and issues toward DEMO, 18<sup>th</sup> International Toki Conference, Toki (Japan) December 9-12, 2008, 招待講演

⑥ T. Nakano, H. Kubo, N. Asakura, and K. Shimizu, Balance of ionization and recombination of carbon ions in high density peripheral plasmas of the JT-60U tokamak, 6th International Conference on Atomic and Molecular Data and their Applications, Beijing (China), 2008, 招待講演

他 243 件