

高温高压トリチウム水およびトリチウム水蒸気からの  
金属壁を介したトリチウム移行量評価

Evaluation of tritium permeation rate through metal wall  
in high-temperature and high-pressure tritiated water and water vapor

片山一成<sup>1</sup>

\*KATAYAMA Kazunari<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 九大院総理工

<sup>1</sup> Kyushu Univ.

1. 緒言

核融合炉を安全に安定して稼働させるためには、プラント内のトリチウム移行挙動を正しく理解し、適切に管理・制御することが重要である。固体増殖・水冷却ブランケットでは、リチウムセラミックス微小球内で生産されるトリチウムをヘリウムパージガスにより回収しつつ、高温高压水を利用して、ブランケットから発電系へと熱の輸送が行われる。トリチウムは、高温環境下で容易に金属壁を透過するため、生産されたトリチウムの一部が熱の輸送に伴って、一次冷却系、二次冷却系へと移行する。図1に水冷却核融合炉の燃料サイクル概念例とトリチウム移行例を示す。発電系へのトリチウム移行量評価は、冷却水中のトリチウムインベントリー、水処理システムの規模、メンテナンス時の安全対策等を検討する際に不可欠である。しかしながら、金属壁を介した高温高压水間でのトリチウム移行に関する研究報告は少なく、高温高压水 - 金属界面での物質移動現象の理解を深める必要がある。そこで本研究では、熱交換器材料であるインコネルを試料として、二重管型透過実験装置を作製し、トリチウム水からのトリチウム透過実験を実施した。

2. 実験内容

図2に実験装置概略図を示す。ステンレス鋼(SS316)製の直管(外径12.7 mm, 厚み1.0 mm, 長さ300 mm)に片端封止 Inconel 600 相当管(外径6.35 mm, 厚み0.5 mm, 長さ400 mm)を挿入した二重管構造とした。それぞれの管内を真空排気した後、SS316 管内には精製水を吸引させ、Inconel 600 管内には0.166 MBq/cm<sup>3</sup>のトリチウム水を吸引させた。ヘリウムガスをを用いて6 MPa程度まで加圧した後、SS316 管外側に巻き付けたヒーターにより約300°Cに加熱・保持した。蒸気圧により圧力が上昇し、全圧として

は、約16 MPaにて実験を行った。放射線管理区域内での安全上の配慮から、加熱・保持は断続的に行った。透過二次側となる精製水の採取は、加熱部下部の採取ポートから行い、トリチ

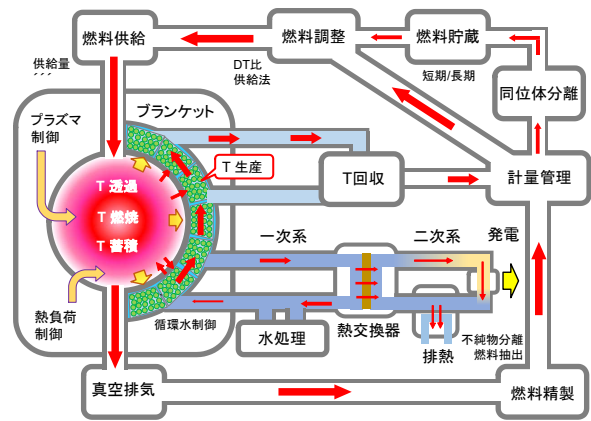


図1 水冷却核融合炉におけるトリチウム移行

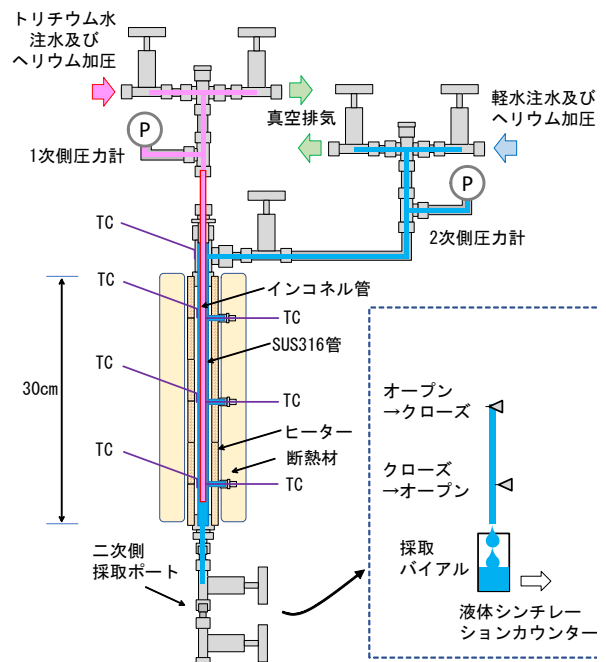


図2 トリチウム水透過実験装置概略図

ウム濃度は液体シンチレーションカウンターで測定した。一次側容積は、約 14.7 cm<sup>3</sup>、二次側容積は約 42.7 cm<sup>3</sup>である。二次側精製水量は、トリチウム濃度測定のための採取により減少することから、5 回程度採取後に、新たに精製水を供給し実験を継続した。

### 3. 結果及び考察

図3に、加熱開始からの積算加熱時間として16日までの透過二次側水中のトリチウム濃度変化を示す。8日後以降、顕著な濃度上昇が見られ、トリチウムが透過していることがわかる。図4は、二次側水を入れ替えて再度加熱を開始してから22日までのトリチウム濃度変化を示す。加熱開始直後から、濃度上昇が見られ、8日以降は、濃度上昇速度が増加していることがわかる。濃度上昇速度から、トリチウム透過フラックス $J_T$ を算出すると、 $J_T = 1.12 \times 10^{-15}$  mol/m<sup>2</sup>/sと求まった。

300℃における飽和水蒸気圧とトリチウム濃度から、トリチウム飽和水蒸気圧は、 $1.19 \times 10^2$  Paと算出される。ここで、トリチウム透過フラックスが、トリチウム飽和水蒸気圧の1/2乗に比例すると仮定し、気相中のトリチウム透過フラックスの評価式を適用する。気相中の水素同位体透過実験により得られたInconel 600における水素透過係数[1,2]を用いて算出された値を図5に実験結果と比較して示す。算出された値は、実験値よりも5桁程度高く、実効的なトリチウム分圧は、トリチウム飽和水蒸気圧に比べて桁違いに小さいことが示唆される。先行研究により、水からの水素透過には金属の酸化反応が寄与していることが示されており[3]、本実験においても、一次側金属表面において、金属酸化反応が生じ、トリチウム水 (HTO) が水素状トリチウムガス (HT) に変換され、その一部が金属表面に溶解し、拡散透過したものと考えられる。透過実験終了後に、一次側気相におけるトリチウム化学形を調べたところ、水素状トリチウム (HT) が検出されたことから、金属表面での酸化に伴う水素発生が生じていたことが示された。

### 4. 結論

300℃、16 MPaの高温高压トリチウム水から軽水へのInconel 600を介したトリチウム透過フラックスとして、 $J_T = 1.12 \times 10^{-15}$  mol/m<sup>2</sup>/sが得られた。透過プロセスには、金属の酸化に伴う水素状トリチウムの発生が寄与していると考えられる。

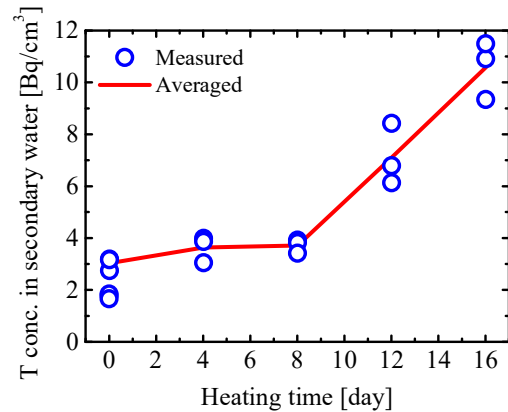


図3 透過二次側水のトリチウム濃度変化(1)

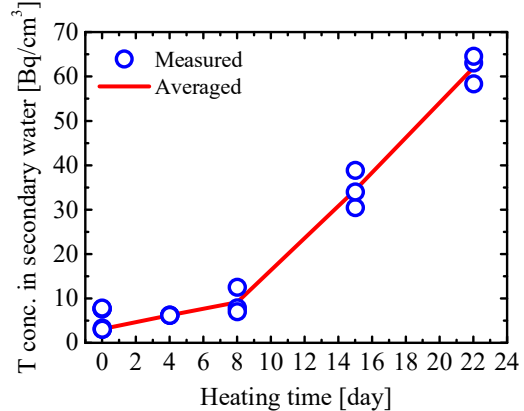


図4 透過二次側水のトリチウム濃度変化(2)

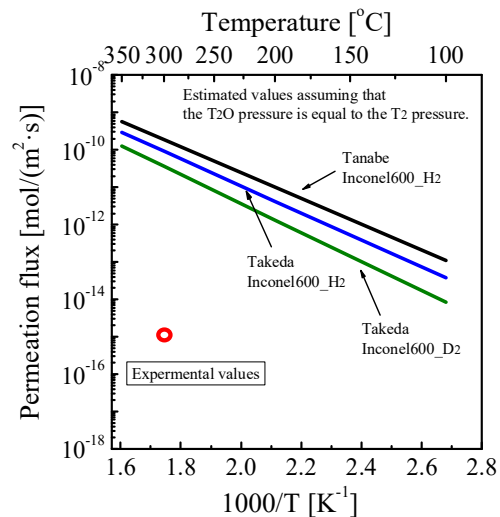


図5 T<sub>2</sub>分圧が T<sub>2</sub>O 飽和蒸気圧と等しいと仮定して Inconel600 の水素透過係数から算出した透過フラックスと実験値の比較

### 参考文献

- [1] T. Tanabe et al., J. Nucl. Mater., 122&123 (1984) 1568-1572.
- [2] T. Takeda et al., Fusion Technol., 146 (2004) 83-95.
- [3] T. Hayashi et al., Fusion Eng. Des.87 (2012) 1333-1337.

謝辞 本研究はQST原型炉研究開発共同研究の助成を受けたものである。