

核融合炉材料中からのトリチウム放出予測 Prediction of tritium release from fusion reactor materials

*菊地 絃太¹, 鳥養 祐二¹

¹茨城大学

核融合では炉壁にトリチウムが蓄積するため、それらの除染が必要である。原型炉では炉内の除染法として、崩壊熱を用いたベーキングが検討されている。この場合のベーキング温度は 350 °C程度が考えられており、その際の放出速度や放出量を予測する必要がある。そこで本研究では任意の初期濃度関数に適応可能な拡散方程式を導出した。この式を用いることで実験不可能な系についての予測を可能になった。

キーワード：核融合、トリチウム

1. 緒言

核融合炉ではプラズマによりトリチウムが炉壁中に撃ち込まれ蓄積していく。その為、メンテナンス時のトリチウム放出量やベーキングにより除染した際のトリチウム放出量を見積もる必要がある。

既往の研究[1]では初期トリチウム濃度が均一な SUS316 試料を定温加熱後エッチング法により内部濃度分布が調べられている。そこから SUS316 からのトリチウムの放出は表面反応律速ではなく拡散律速であることが報告されており、一次元拡散方程式により初期濃度が均一な試料からのトリチウム放出予測がされている。しかしながら、現実的な試料ではプラズマが片面から入射するため濃度は均一ではなく不均一になると考えられる。また、トリチウム濃度が不均一な試料を再現良く製作することは難しく、実験によるデータ収集は難しい。その為、本研究では一次元拡散方程式の初期条件に濃度勾配を与え、その解析解からトリチウムの放出挙動の予測を試みた。

2. 導出

初期条件として初期濃度関数を $C(x)$ と定義、境界条件は $d(0,t)=d(a,t)=0$ とした。一次元拡散方程式を解くために $d(x,t)$ を $f(x)g(t)$ の形に変数分離を行い拡散方程式へ代入、整理を行った。その後、式が成立する条件や初期条件を満たすように $f(x)$ 、 $g(t)$ を $d(x,t)$ に戻し以下の式を得た。

$$d(x,t) = \frac{2}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \int_0^a C(x) \sin \frac{n\pi x}{a} dx \right\} \sin \frac{n\pi x}{a} \cdot e^{-D \left(\frac{n\pi}{a} \right)^2 t}$$

3. 結果

導出した関数の妥当性を検討するため、適当な拡散係数を与えることにより、既往の研究のフィッティングを行った。また、唯一ある濃度不均一な試料の実験値ともフィッティングを行い、現実の系でも十分に再現できることを確認した。

図 1 はこの式を用いて計算した結果を示す。縦軸は濃度を表し、横軸は試料厚を表す。また、各ラインは経過時間ごとの内部トリチウム濃度分布を示している。試料は SUS316、初期濃度は EXP で減衰する関数を仮定し内部には 10000 Bq のトリチウムが 0.125 cm までに存在するとした。温度は 350 °C で一定とし、その時の拡散係数は $2.63 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 / \text{s}$ である。時間経過により内部深くにまでトリチウムが拡散していき、濃度分布が均一に近づいていくため放出速度は遅くなる。その為、残存トリチウム量が 1/10 になるのに必要な時間が約 3 時間であるのに対し、1/100 になるのに必要な時間は約 50 時間となっている。

以上のように今回求めた式を用いることで、任意の初期濃度関数を設定し解析を行うことが可能になり、現実的には実験が不可能な時間スケールや再現が難しい濃度分布を持つ試料からのトリチウム放出予測が可能になった。

参考文献

[1] S.Naoe et al., Transport of tritium in ss316 at moderate temperatures, Fusion Sci. and Technol.,54,515(2008)

*Genta Kikuchi¹ and Yuji Torikai¹

¹Ibaraki Univ.

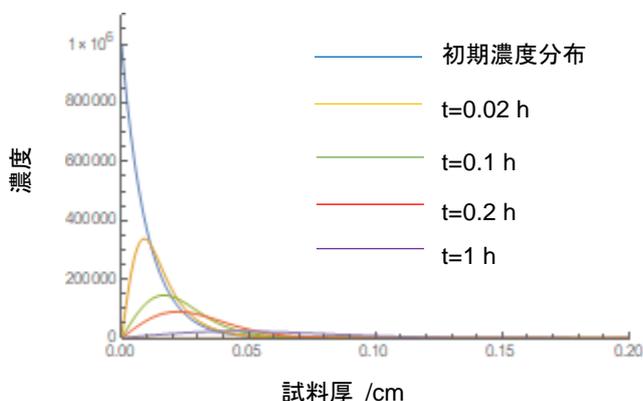


図 1 350°Cで加熱した際の内部トリチウム濃度分布変化