

2-2 高速炉トリチウム挙動解析コード(TTT)による水素挙動の評価
土井 大輔 (ナトリウム技術開発G r.)

要旨

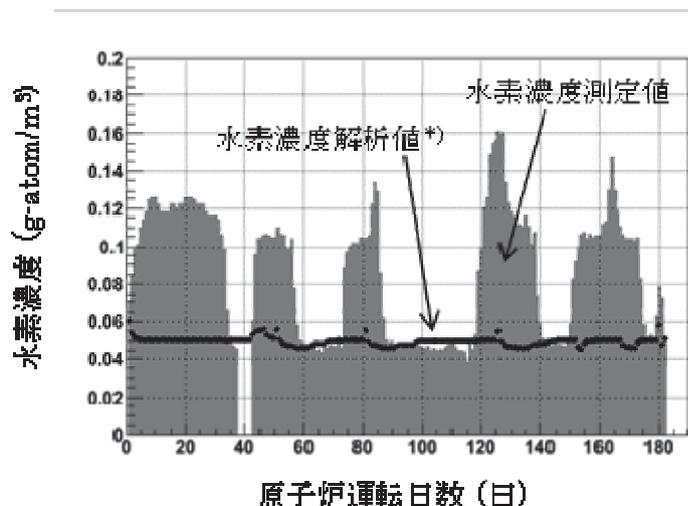
高速増殖炉におけるトリチウム挙動を評価するためには、同位体効果を通じて影響を及ぼし合う水素挙動の評価が必要である。そこで1995年に「もんじゅ」性能試験で取得された水素濃度データ、および原子力機構が開発してきたトリチウム/水素挙動を対象とした解析コード(TTT: Tritium Transport and Trap)等を利用し、蒸気発生器から2次系ナトリウムへ拡散する水素量(拡散水素量)の時間依存性および温度依存性を評価した。

1. 研究目的

高速増殖炉におけるトリチウム挙動の評価は、保守補修時の運転員の被ばく管理や、環境への放射性物質の放出量低減対策のために重要である。その評価に際しては、同位体効果を通じて影響を及ぼし合う水素挙動も同時に考察する必要がある。水素は主に蒸気発生器伝熱管の水側腐食により発生し、伝熱管壁を透過して2次系ナトリウムへ拡散すると考えられているが、実機データを用いた検証は行われていない。そこで「もんじゅ」性能試験データで取得された1次系/2次系の水素濃度データとTTTコード等を利用して、拡散水素量の原子炉運転時間依存性および蒸気温度依存性を評価する。

2. 評価方法

原子炉運転中の1次系/2次系のナトリウム及びカバーガスにおける水素濃度は、主要な水素発生源である水・蒸気側からナトリウム側へ蒸気発生器伝熱管を透過する拡散水素に加え、機器・配管のナトリウム側内表面に付着した不純物からの溶出水素、コールドトラップで捕獲される水素、ナトリウム-カバーガス間を移行する水素等により変動する。また拡散水素量も蒸気温度や流量といったプラントの運転条件に応じて、伝熱管壁に生成される酸化皮膜の成長や剥がれ等の影響を受け、水蒸気雰囲気下の酸化現象自体も十分に解明されていないため、機構論に基づいて各システムにおける水素量を推定することは難しい。そして図1に示すように、原子炉運転中に新たに発生する水素を考慮しない場合では水素濃度測定値と水素濃度解析値に乖離が生じる。



水素濃度解析値に乖離が生じる。

原子炉運転中に発生した水素量がこの差分にほぼ相当すると考えられるため、各システムの水素濃度データ、およびTTTコード内の移行モデルによるプラント

*)：拡散水素量を考慮せずに、初期水素濃度およびTTT内の移行モデルのみを用いた解析結果

図1 拡散水素量を考慮しない場合の2次系ナトリウム中水素濃度推移

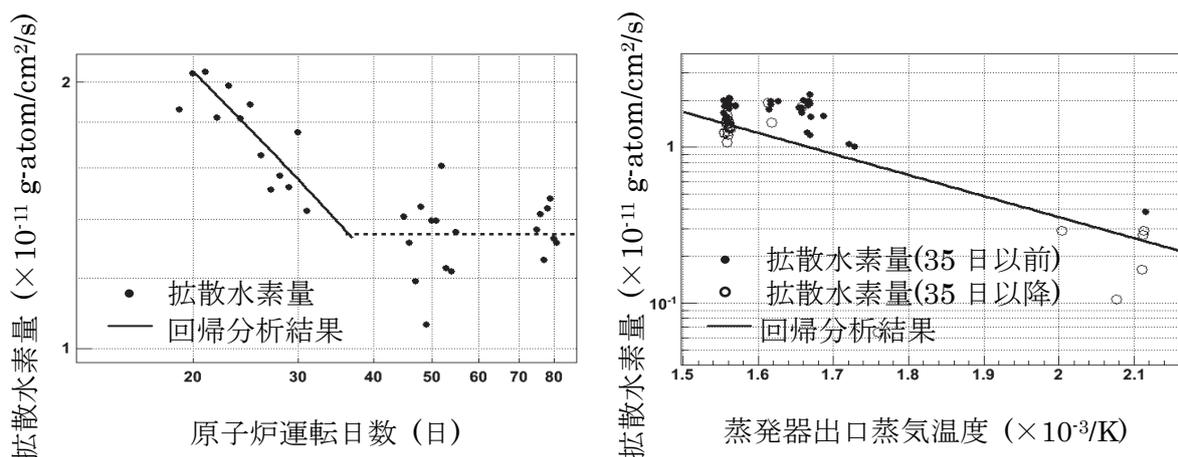


図2 拡散水素量の時間依存性(左)、温度依存性(右)

全体の水素挙動(1次系-2次系間の移行、コールドトラップによる捕獲、ナトリウム-カーバゲス間の移行など)等を考慮して、各系統の水素濃度測定値と整合するように、各時刻において発生した拡散水素量を推定した。

3. 評価結果

図2に拡散水素量の原子炉運転時間依存性および蒸気温度依存性を示す。定常温度で運転された期間における拡散水素量は、30日~40日まで経過時間の-0.5乗で単調減少する傾向を示す。一方、水蒸気酸化による酸化皮膜は、酸化皮膜厚(x)、時間(t)、放物線速度定数(k_p)を用いて以下のように表される。

$$x^2 = k_p t \quad \therefore \text{拡散水素量} \propto \frac{dx}{dt} = \frac{\sqrt{k_p}}{2} \frac{1}{\sqrt{t}}$$

これより、酸化皮膜厚の形成速度は時間の-0.5乗となり、図2の解析結果と合わせると、拡散水素量の時間依存性は酸化皮膜形成に起因することが示唆される。50MW蒸気発生器試験施設では詳細な時間依存性は評価されていないが、通水開始後10日程度、50日程度まで、それ以降でそれぞれ6~10×10⁻¹¹、4×10⁻¹¹、1~2×10⁻¹¹[g·atom/cm²/s]であったと報告されており、同様の減少傾向が見られた。また35日以降における拡散水素量については、従来よりも広範な温度域でアレニウス型の温度依存性を示しており、伝熱管の腐食過程および伝熱管壁中の拡散過程の活性化エネルギーの文献値(それぞれ326、42.7[kJ/mol])と得られた活性化エネルギーの値(25.8[kJ/mol])との比較により、伝熱管壁中の水素拡散過程が支配的となっていることを確認できた。

本稿に関する投稿論文

- [0] Doi, D., Nakagiri, T., "Evaluation of Hydrogen Transport Behavior in the Power Rising Test of Japanese Prototype Fast Breeder Reactor Monju", Proceedings of the 2012 20th International Conference on Nuclear Engineering Collocated with the ASME 2012 Power Conference (ICONE20-POWER2012), Anaheim, USA, 2012, Paper ICONE20POWER2012-54176, 6p., in CD-ROM.