

中性子照射技術の開発 Development of Neutron Irradiation Technique

檜木達也¹⁾、J.L. McDuffee²⁾、長谷川晃³⁾、福田誠³⁾、J.W. Geringer²⁾、Y. Katoh²⁾、
田中照也⁴⁾、大矢恭久⁵⁾、波多野雄治⁶⁾、上田良夫⁷⁾
T. Hinoki¹⁾、J.L. McDuffee²⁾、A. Hasegawa³⁾、M. Fukuda³⁾、J.W. Geringer²⁾、Y. Katoh²⁾
T. Tanaka⁴⁾、Y. Oya⁵⁾、Y. Hatano⁶⁾、Y. Ueda⁷⁾

¹⁾京大、²⁾ORNL、³⁾東北大、⁴⁾核融合研、⁵⁾静岡大、⁶⁾富山大、⁷⁾阪大

¹⁾Kyoto Univ., ²⁾ORNL, ³⁾Tohoku Univ., ⁴⁾NIFS, ⁵⁾Shizuoka Univ., ⁶⁾Toyama Univ., ⁷⁾Osaka Univ.

諸言

PHENIX計画では、タングステン材料の各種特性に及ぼす中性子照射効果を明らかにすることが目的である。PHENIX計画では、米国のオークリッジ国立研究所にある High Flux Isotope Reactor (HFIR) を用いて、中性子照射試験を行う。しかしながらタングステンの場合、熱中性子によるレニウムの生成等核変換の影響が大きく、特に比較的高い損傷量での中性子照射効果に関しては影響が大きい。核変換効果を考慮した比較的高い線量領域での、核融合条件でのタングステンの照射効果はこれまで得られていない。また、これまでに得られているタングステン材料の中性子照射は、800℃程度までが中心であるが、ダイバータでは、最大1500℃程度までの温度が想定されている。純タングステンでは、1000℃以上での再結晶が生じるが、1000℃以上での中性子照射は非常に限られている。

本研究では、タングステンの核変換効果を抑制するための熱中性子遮蔽を行い、1000℃を超える照射温度も含めて、比較的高い線量の中性子照射を、現状候補とされる各種タングステン材料に対して行うことにより、核融合ダイバータのタングステン材料の基本となる中性子照射効果の基本的な理解を目的とする。

中性子照射試験

HFIRにおける材料照射では、主にRB*と呼ばれる比較的照射スペースの大きい(400 x 38 mm 径程度)カプセルとrabbitと呼ばれる比較的小さい(50 x 6 mm 角径程度)カプセルが用いられる。照射温度に関しては、どちらも1000℃を超える高温での実績がある。本研究では、比較的高線量での熱中性子遮蔽を検討したが、簡易的な計算においても、1mm程度の遮蔽が必要というこ

とが明らかになった。Rabbitカプセルの場合、遮蔽を考慮すると照射スペースが非常に限られてしまうため、本研究ではRB*を用いた照射試験を中心に検討することとなった。

RB*カプセルは、照射スペースが比較的大きいため、熱中性子遮蔽を考慮しても試験片の自由度は高い。照射温度に関しては、カプセルを分割して制御することにより、条件を振ることが可能であり、本研究では、約500℃、約800℃、約1100℃の中性子照射が行われている。また、別途コスト削減のため、原子力研究開発機構(現：量子科学技術研究開発機構)とのシェアも行っている。本研究では、現在候補となっている各種タングステンに対して、強度や熱等の基本特性評価試験片、熱負荷試験片、トリチウム透過試験片等多様な試験片を系統的に評価できるようなテストマトリックスを日米で作成した。500℃の温度領域で406個、800℃の温度領域で389個、1100℃の温度領域で359個の試料を日米で準備した。しかしながら、比較的高コストで照射する単位が大きいので、照射条件を振った試験には不向きである。RB*に関しては、1回のみの照射試験であり、1~1.5dpaの損傷量を目指して照射を行っているが、基本的には照射量を振ることができないため、比較的核変換の影響が小さい低線量のrabbit照射を熱中性子遮蔽なしで、800℃、1100℃で実施した。また、これまでに中性子照射した試料も活用した評価も進めている。

熱中性子遮蔽材には、酸化ユーロピウム等を含めて検討を行ったが、遮蔽能力とこれまでの実績を踏まえて、ガドリウムを最終的に選択した。図1はガドリウムによる熱中性子の遮蔽効果に関する計算結果である。カプセルの外側(図の右側)から内側(図の左側)にかけて熱中性子量が減少することが示されている。青か

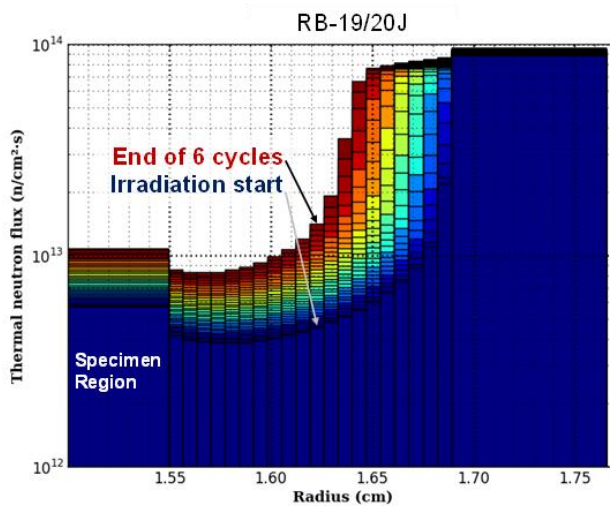


図 1：ガドリウムを用いた熱中性子遮蔽効果の計算結果

ら赤への色分けに関しては、照射サイクルごとの遮蔽効果の低下を表している。ガドリウムの熱中性子遮蔽により、HFIRの熱中性子束は約一桁以上下がると期待され、核融合炉のスペクト

ルに近い条件での照射が期待できることが明らかになった。

まとめ

Phenix 計画では、熱中性子遮蔽を行いながらも比較的大きな容積を確保できる RB*カプセルを用いることにより、タングステンで 1～1.5dpa 程度の比較的高い損傷量での中性子照射を実施している。

Phenix 計画では、ダイバータ候補となり得る様々なタングステン材料に関し、比較的低線量では、中性子照射済みの試料、rabbit 照射試料により評価を行い、高線量では、熱中性子照射を行った RB*カプセル照射試料を用いることにより、多様なタングステン材料の広範囲な温度、損傷領域での、中性子照射効果を明らかにし、ダイバータ用タングステンの適用性、開発指針を得る。