

核融合炉炭化物・水素化物中性子遮蔽体の核発熱および除熱解析

Nuclear Heating and Heat Removal Analyses of Carbide and Hydride Neutron Shield for Fusion Reactor

田中照也¹、相良明男¹、近藤正聡²、菱沼良光¹、室賀健夫¹Teruya Tanaka¹, Akio Sagara¹, Masayoshi Kondo², Yoshimitsu Hishinuma¹, Takeo Muroga¹¹ 核融合研、² 東海大¹ NIFS, ² Tokai Univ.

はじめに

現在、ヘリカル型核融合炉FFHR-d1設計活動^[1]の中で、放射線遮蔽体の検討を行っている。これまでのFFHRシリーズの設計では、水を使わないフェライト鋼(FS)とB₄Cの組み合わせが遮蔽体に採用されてきている。FFHR-d1においても主要な遮蔽体はFS+B₄Cとするが、炉心プラズマ中心がインボード側に寄るために、インボード遮蔽体の厚みを薄くする必要が生じる。そこで、過去の設計研究において、より効果的な遮蔽体として提案されている炭化物・水素化物の適用について検討を進めている。

炭化物、水素化物の遮蔽性能

図1に遮蔽体としてWC、ZrH₂、TiH₂を用いた場合の炉内径方向の高速中性子束の減衰を示している。中性子壁負荷は1.5MW/m²を仮定し、32cm厚のFlibe冷却ブランケットの後方に60cm厚の遮蔽体を設置する条件で計算した結果である。WC、ZrH₂、TiH₂はいずれもFS+B₄Cと同程度の遮蔽能力を約20cm薄い厚みで得られている。遮蔽体の厚みは炉のサイズや必要磁場、蓄積磁気エネルギー等の観点から、なるべく薄くすることが求められること、また、材料の安定性の観点から、FFHR-d1の設計検討ではインボード側の遮蔽体材料としてWCを第一候補としている。但し、WCは重量密度が大きいため、インボード側以外ではFS+B₄Cを主要な遮蔽体とする。水素化物遮蔽体の真空容器内での使用については、安全性確保の観点からさらに詳細な検討を行っていく必要がある。

遮蔽体の除熱

FFHR-d1のインボード遮蔽体は15cm厚のブランケットの後段に設置され、WCでは運転中の核発熱が最大6W/cm³となる。現在、遮蔽体の核発熱除去についてはヘリウム冷却を検討しているが、ヘリウム冷却流路は遮蔽能力を持たないため、遮蔽体に占める流路の体積割合は5%程度に抑える必要がある^[2]。この限られた流路体積での遮蔽体の除熱検討については、

PHOENICSコードを用いた熱流動計算を進めており、その結果について報告する予定である。

誘導放射能の比較

図2に炭化物、水素化物遮蔽体材料の誘導放射能の比較を示す。WC、ZrH₂、TiH₂の放射能強度はいずれも、運転停止後数年程度でフェライト鋼よりも低くなる。また、特に水素化物は水素の原子数密度が水と同程度であるため、低エネルギー中性子への高い遮蔽能力も期待できる。そこで、水素化物遮蔽体を真空容器外に設置し、炉外機器に対する遮蔽に適用することの有効性についても検討している。

[1] プラズマ・核融合学会誌2013年6月号小特集359-400.

[2] T. Tanaka et al., Fusion Engineering and Design, 87 (2012) 584-588.

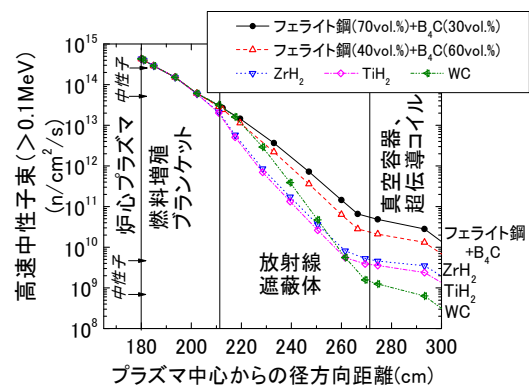


図1. 炭化物、水素化の中性子遮蔽性能

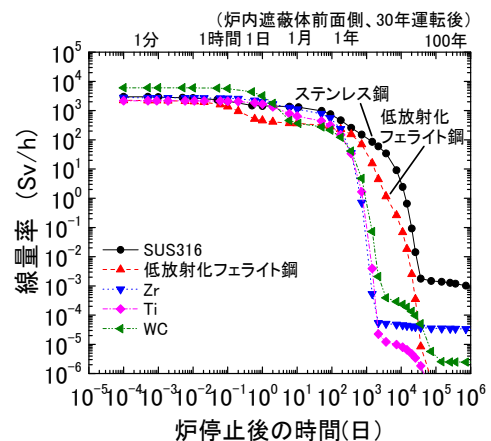


図2. 炭化物、水素化物の誘導放射能比較