02aC01

先進タングステン材料の適用による核融合炉ダイバータの長寿命化
Life Extension of Fusion Reactor Divertor by Advanced Tungsten Materials

野上修平，管文海，福田誠，長谷川晃
NOGAMI Shuhei, GUAN Wenhai, FUKUDA Makoto, HASEGAWA Akira

東北大・工
Faculty of Eng., Tohoku Univ.

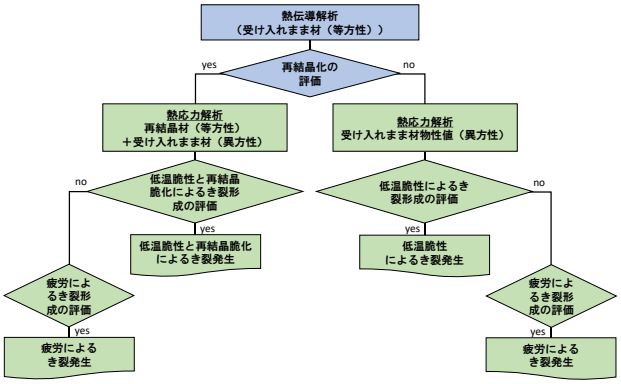
ITERダイバータは、高い熱負荷により熱応力が負荷されるため、熱負荷面中心から熱伝導経路方向にき裂が発生する場合がある。このき裂の主な発生機構としては熱疲労が有力視されているが、タングステン（W）材料の疲労特性のデータは非常に限られており、通常の発電機器などで実施されているような実験と解析に基づく疲労寿命評価はなされていない。また、ITER要求仕様の純W製ダイバータの熱負荷試験を同条件で実施した際にも、材料の本質的な違いなどに起因し、損傷の見られない試験体から、き裂のみならず溶融まで見られた試験体まで、多岐にわたる損傷状態が報告されている。よって、各種損傷の発生機構を把握するためには、使用するW材料の十分なキャラクタリゼーションが必要である。

また、ITERのダイバータでは、熱負荷試験後の性状のみで健全性を判断しているため、熱負荷試験による各種損傷の発生要因の把握が困難になっている。一部の既往研究では、解析を用いた種々の評価がなされているが、発生応力などの評価や、損傷モードの提案にとどまる報告例が多く、繰り返しの効果を考慮した疲労寿命などの定量的な評価には至っていない。また、解析に使用している物性値は引用データである場合が多く、本質的には精度の高い定量的な評価にはなっていない可能性がある。将来の原型炉などでは、現状のITERに比べ長期の安定的な運転が要求されるだけでなく、経済性やさらなる構造信頼性も求められるため、使用する材料の十分なキャラクタリゼーションを実施した上でダイバータの構造強度や寿命とそれらの機構を明らかにし、それらの理解に基づき、長寿命化に寄与する先進的な材料開発が不可欠であると考えられる。

本研究では、我々が開発した先進W材料（カリウム（K）ドープWおよびKドープW-3%レニウム（Re）合金）と、参照材としての純Wを対象に、それらの材料物性値の実測値を適用して、有限要素法による構造解析を用いた評価を実施し、ダイバータの破壊やき裂発生に関わる構造強度と寿命を定量的に明らかにすることを目的とした。また、それらの結果を基に、先進W材料の適用によるダイバータの長寿命化の可能性について検討することを目的とした。

図に、評価のフローチャートを示す。解析は、熱負荷などを入力データとして温度分布を求めるための熱伝導解析と、熱伝導解析の結果得られる温度分布を入力データとして、応力・ひずみ分布を求めるための熱応力解析から構成される。熱伝導解析は、熱負荷を10 MW/m^{2}および20 MW/m^{2}として実施した。熱伝導解析による温度分布と再結晶温度を比較することによりダイバータブロック内の再結晶化領域を定量的に導出した。熱応力解析は、再結晶化の有無により2つの条件で実施した。再結晶化が想定される条件においては、再結晶化領域には再結晶材の物性値を、非再結晶化領域には受け入れまま材の物性値を使用した。再結晶化が想定されない条件においては、全て受け入れまま材の物性値を使用した。

熱応力解析結果に基づく評価として、まず材料の引張強度と発生応力の比較により、低靭性温度域における破壊の可能性を検討した。次に、低靭性温度域における破壊の可能性がない場合には、熱負荷の繰り返しを考慮した熱応力解析結果に基づき、疲労によるき裂発生の可能性を検討した。以上の評価により、本研究では低靭性温度域における破壊や疲労を損傷発生要因としたき裂発生シナリオを明確するとともに、先進W材料の適用によるダイバータの長寿命化の可能性と先進W材料の優位性を検討した。



図．構造強度および寿命の評価フロー