

プラズマ対向材料の課題 Issues of plasma facing materials

上田良夫
Yoshio Ueda

大阪大学
Osaka University

ITERのダイバータ戦略において、フルタングステン(W)ダイバータを最初から(H放電、He放電から)使用することが決まる見通しとなった。それに先立ち、この場合にどのようなリスク要因があるか、あるいはDT放電までを見通した場合のWダイバータで解決すべき課題は何か、についてITPAのSOL/DIV部門の会議において、検討が進められてきた。本講演ではこれらの内容を概観し、さらに将来の原型炉を見据えて、Wプラズマ対向材料のR&D課題について説明する。

ダイバータへは定常熱負荷に加え、非定常の熱負荷が加わる。ディスラプションについては、まだ精度の高い見積もりはできていないが、Wを熔融させうる熱負荷が加わる可能性がある。Wは熔融すると再凝固時の材料の脆化や表面の凹凸などが生じて、その後の放電に悪影響を及ぼす可能性があり、その抑制あるいは緩和は必須である。ELMについても、ITERの非放射化フェーズ、および放射化フェーズで、Wを熔融させうる熱負荷を及ぼす可能性が大きく、やはりその抑制や緩和は必須である。しかしながら、ITERの特に初期の実験フェーズでは、完全に抑制することは難しいと考えられ、ディスラプションやELMのパルス熱負荷がタングステン材料に与える影響の評価が必要である。特にELMの場合は、繰り返しパルス熱負荷が加わりその回数が非常に多くなるため(ITERで $10^6\sim 10^7$ 回と想定)、パルス熱負荷印加時に表面温度が融点以下であっても、その影響(粗面化、亀裂、局所熔融)が無視できないことが指摘されている。さらにITERの非放射化フェーズではHe放電が予定されているが、WにHeプラズマが照射されると、Heバブルと呼ばれる微細構造が発生し、材料表面近傍の熱機械特性が劣化することが知られている。またDTプラズマでも、5~10%程度のHeイオンが照射されるため、He照射の影響評価が同様に重要になる。

これらを鑑み、パルス熱負荷影響とプラズマ(H/D/T、He)照射影響の解明、それによるWの寿命の評価、および長寿命化の方策の検討が今後行わなければならない課題である。しかしながら照射影響はそれぞれ独立に加わるのではなく、HあるいはHe照射とパルス熱負荷照射は同時に起こり、さらに時々ディスラプションによる表面熔融や、非接触プラズマから接触プラズマによる表面温度一時的上昇など、さまざまな現象が同時にあるいは時系列的に加わるため、現象は非常に複雑であり、今後さらに研究を進める必要がある。

ITERからさらに原型炉を見た場合には、放電の長時間化(定常化)と中性子重照射影響が新たな課題として加わる。放電の長時間化により、壁材料が受けるイオンの積算照射量(フルエンス)は、ITER($10^{29}\sim 10^{30}$ m⁻²)に比べてさらに1~2ケタ大きくなり、また高熱負荷にさらされる時間が長くなることで、再結晶化効果や熱クリープ効果なども問題になる。中性子照射については、タングステン材料自身の熱機械特性に大きな影響を与える要因であるが、プラズマ対向材料表面へのプラズマ照射による損傷影響は大きく、表面損傷への直接的な影響は少ない。ただ、熱伝導率が変化することによる表面温度変化を通じて、表面損傷に影響する。さらに、内部照射欠陥の形成によるトリチウム蓄積への効果も大きく、これらの影響評価も重要である。

本講演ではこれらの課題についてその概要をまとめて紹介し、参加者との活発な議論を期待する。