

ITER のプラズマ対向材料選択への戦略

(4) タングステン壁の可能性と課題

Potential and Issues of Tungsten Wall

吉田直亮

九大応力研

YOSHIDA, Naoaki

Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

ITER の設計においては、荷電交換中性粒子束の大きいダイバータのバッフル板及びドームにスパッタリング損耗が少なくまたトリチウムの吸蔵も少ないタングステンが採用されることになっている。また、将来的には、プラズマ内への蓄積の抑制に目途が立てば、ダイバータターゲットや第一壁にもその使用範囲を広げることが議論されており、大きな可能性を持った材料といえる。しかし一方では、タングstenは使用条件によっては極めて脆い材料であり中性子やプラズマ粒子による苛酷な照射環境下で十分な機能を果たしうるのか予断を許さないのが現状である。

バッフル板や第一壁は比較的エネルギーの高い荷電交換中性粒子に曝されるため、そのことによって材料が受ける影響を予め評価する必要があるが、水素同位体やヘリウムの影響については着実に基本的な理解が進んできている。影響は当然ながら温度によって大きく異なる。例えば 600 - 700 以下の場合、材料内部に侵入した水素同位体が集合することによって巨大プリスターが形成されることがわかってきた。この現象は表面の耐熱特性を劣化させ、剥離を伴えば大きな損耗やダストの形成につながる。また、表面から多量の水素が打ち込まれると、温度によっては表面のみならず材料の内部まで脆化することも報告されており、耐熱衝撃性の劣化が懸念される。ヘリウムは水素にもまして厄介な元素である。たとえエネルギーが低くても自ら集合し非常に広い温度範囲で容易にヘリウムバブルを形成することが明らかになってきた。特に 800 - 1000 を超えるとバブルの移動・合体が容易になり大きな体積膨張をもたらす。バブルは粒界で優先的に形成され粒界破断が起こることも報告されている。

タングstenでは中性子照射により急激に DBTT が上昇することが知られている。回復が活発になる 600 - 700 以上での照射では問題は低減されるがこれ以下の温度では大きな問題となろう。核燃焼プラズマ環境下では、プラズマ対向材料はプラズマからの粒子と中性子に同時に曝されその相乗的な効果も無視できない。表面から侵入した水素やヘリウムは一気に材料内部に拡散し、その量は 14MeV 中性子の核変換効果によって発生する水素やヘリウムより桁違いに多い。中性子照射によって発生した原子空孔には瞬時にこれらのヘリウムや水素が侵入し、特に、原子空孔との結合力が強いヘリウムは空孔内に滞留することによって照射損傷の回復を妨げることがわかってきた。

タングstenのいま一つの大きな課題は、ディスラプションや ELM による溶融である。このことは材料の問題というよりむしろプラズマ制御の問題であるが、タングsten壁を実現するためには解決しなければならない重要な課題である。

タングstenをダイバータ材や壁材として安心して使用する上で懸念される課題を列挙したが、これらが実際に ITER でタングstenを使用する上で重大な障害となるかどうかの判断は現状では難しい。ITER での使用条件を想定したより定量的な評価試験を早急に実施することが当面の課題である。