

原型炉ダイバータの概念設計および熱応力解析の進展

Progress of DEMO Divertor Conceptual Design and Thermal Stress Analysis

朝倉伸幸¹、角舘聡¹、宇藤裕康²、染谷洋二²、坂本宜照²、日渡良爾²、
原型炉設計合同特別チーム

ASAKURA Nobuyuki¹, KAKUDATE Satoshi¹, UTOH Hiroyasu², SOMEYA Youji²,
SAKAMOTO Yoshiteru², HIWATARI Ryoji², and Joint Special Design Team for Fusion DEMO

¹QST那珂、²QST六ヶ所
¹QST, Naka, ²QST, Rokkasho

日本の原型炉設計では核融合出力パワーを 1.5GW 程度に設定しており、ダイバータ設計は不純物入射により主プラズマおよびダイバータで放射損失を高めるとともに、ダイバータレッグ長を ITER よりも 1.6 倍長くして 2 倍程度大きな熱処理パラメータ ($P_{sep}/R_p = 30-35 \text{ MWm}^{-1}$, SOL への排出パワー: $P_{sep} = 250-300 \text{ MW}$) に対応する考えている。一方、定常プラズマ運転では中性子照射フルーエンスが ITER の 50-100 倍に増加するため、タングステン (W) モノブロックの冷却配管はブランケットと同様に低放射化フェライト鋼 (F82H) の使用を考えている。ただし、高熱負荷 (最大 10 MWm^{-2} 程度の定常熱負荷) に対応するターゲット部は比較的照射量が低く、ITER と同様に銅合金配管 (CuCrZr) を使用する一方で定期的な交換を行う設計を検討している (図 1)。銅合金配管の冷却ユニット (内・外ターゲット) へは 200°C , 5 MPa の加圧冷却水を並列に供給し、F82H 配管の冷却ユニット (内・外パッフルおよびカセット) へは 290°C , 15 MPa の PWR 冷却水を並列に、内・外リフレクターとドームへは直列に分配する。

本発表では最近検討した銅合金配管冷却ユニットへの高熱負荷照射時の弾塑性熱応力解析、およびカセットの冷却構造と応力解析結果について報告する。

前者は、ベース温度 200°C から定常熱負荷の限度 (W 表面温度 1200°C) を越える高熱負荷分布 (ピー

クが 15.2 MWm^{-2}) を 15 回繰り返す、特に構造材である銅合金配管の機械ひずみと応力の変化を熱応力解析 (ABAQUS) により評価した (図 2)。冷却配管のモノブロック側表面には、モノブロック間で軸 (Z) 方向に最大の収縮ひずみが生じ、冷却水側の表面ではモノブロック下に最大の引っ張りひずみが生ずる。その応力と機械ひずみ (弾性及び塑性ひずみの和) の変化をトレースしたところ、熱負荷の繰り返し毎に移動が見られたが、急激な変化はなかった。機械ひずみの変動幅は 0.3% 以下であり、繰り返し使用は可能と思われる。また、W 表面が 1200°C に達する程度の最大熱負荷条件 (ピークが 13.5 MWm^{-2}) ではほぼ同じ軌跡を往復するため弾性変位域と思われる。今後、実証 R&D が望まれる。

カセット構造は F82H 構造材を使用し、真空容器に対して中性子遮蔽ができる様、厚みは 25cm として、図 1 の様に内部はトロイダル方向に円筒形の水路を 2 列配置し核発熱の冷却を行う。PWR 冷却水は外側の主マニフォールドから内側と外側の上部へ供給され、両トロイダル側面の流路を流れ (矢印で示す)、排気口上部のマニフォールドへ排出され、外側の主マニフォールドへ回収される。円筒形の水溜はカセット両側面の流路を結び、冷却水の最大流速 1.8 ms^{-1} で 1 カセットあたり 0.7MW (全体で 32MW) の核発熱に十分対処可能 (最大 335°C 、ただしカセット切欠き部は最大 403°C) である。3 次元構造のカセットに核発熱分布を与え、PWR 冷却水の圧力および温度分布に対する熱応力が集中する箇所の解析評価を示す。

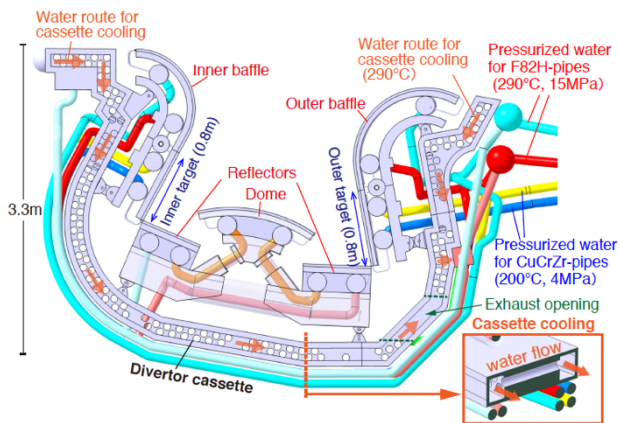


図 1 ダイバータ冷却ユニットの配置とカセット内の冷却水配管、カセット冷却構造案: 右側が低磁場(トーラス外)側

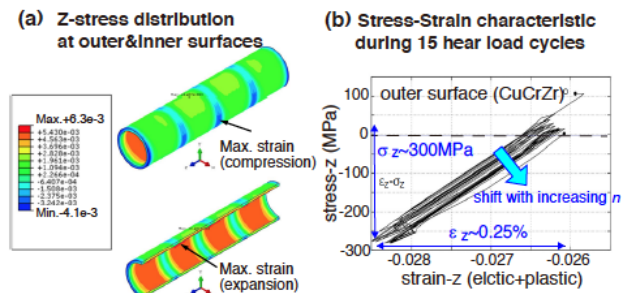


図 2 (a)高熱負荷照射中、銅合金配管の軸方向圧縮及び引張りひずみの最大箇所、(b)軸方向圧縮ひずみの最大箇所における応力とひずみの時間応答 (熱負荷繰り返し 15 回)