

Non-destructive test for mono-block divertor target in JT-60SA

中村誠俊、櫻井真治、尾崎豪嗣、逆井章、関洋治、横山堅二

Shigetoshi Nakamura, Shinji Sakurai, Hidetsugu Ozaki, Akira Sakasai, Yohji Seki, Kenji Yokoyama

独立行政法人日本原子力研究開発機構

Japan Atomic Energy Agency

JT-60SA のダイバータ及び第一壁は、100s のプラズマ加熱パワー41MW に耐える必要があり、CFC (Carbon Fiber Composite) モノブロックダイバータターゲットは、外側ダイバータで 15MW/m²、内側ダイバータで 10MW/m² の熱負荷に耐える除熱性能が要求される。本発表では、スクリーニングを目的としたモノブロックダイバータターゲットの赤外面像検査を示す。

赤外面像検査では、冷却管に 95°C の温水を通水し、定常状態となったところで 5°C の冷却水を急激に冷却管に通水して生じるモノブロック表面の温度応答を赤外線カメラで計測することで、除熱性能を評価する。Tore Supra や ITER では、欠陥が含まれないブロックと検査対象のブロックの最大温度差から除熱性能を評価している^[1,2]。

JT-60SA のモノブロックターゲットは、冷却水の熱伝達率が高いスクリー管を採用しており、平滑管と比較して冷却時間が短いため、温度応答の差が最大になる時間(~1 s)に対して温水から冷水への切替え時間(~0.1 s 程度)に生じる流量不安定性及び、流れの乱れの影響が無視できない。そのため、冷水から温水への切替え時の影響を受けにくいブロック表面の冷却時間の相対比較から、除熱性能を評価する手法を考案した。

種々の位置と幅の接合欠陥を仮定した有限要素法解析で、15MW/m² 時の最高表面温度の約+10% の変化は、温度評価箇所によるが、赤外面像検査での 90~60°C の冷却時間(約 0.6 s)の+6~20% に相当することが判った。無欠陥及び、人工欠陥を設けた試験体を製作し、電子ビーム照射による熱負荷検査、赤外面像検査及び、伝熱解析で比較し、解析の妥当性を確認すると共に、計測誤差を評価した。赤外面像検査装置では、3 体の試験体が取

り付けられた入口側ヘッダへの供給バルブを切替えることで約 0.1 s で 95°C の温水から 5°C の冷水に切替えている。各流路の流量、水温等の時間変化を記録し後述の誤差が十分小さくなる条件でデータを取得している。未知の外的要因による測定結果のバラツキを避けるため、3 体中 1 体を同一の無欠陥試験体とし、その冷却時間を基準に、他 2 体の冷却時間を規格化する。各試験体の両側にミラーを設けて熱負荷面と両側面の温度変化を赤外線カメラで記録する。熱負荷面上の 3 点と両側面の各 1 点の計 5 点の温度評価箇所の 90°C から 60°C の規格化冷却時間で各ブロックの除熱性能を評価する。

下記の要因による除熱性能評価への影響を考察した。(1) CFC の密度、熱伝導率 (2) 冷水の流速と熱伝達率、(3) CFC 表面の輻射率、(4) 冷却時間の定義範囲、(5) 気温、(6) 赤外カメラ補正值、(7) 流路による差、(8) ブロック上の温度評価箇所の設定誤差、(9) 冷水および温水の温度。一部を以下に示す。CFC の密度には、平均値から±5% のバラツキがあるため、赤外面像検査の冷却時間に対して 5% 以上影響し、熱負荷検査でも、CFC の熱伝導率のバラツキが表面温度に 5% 以上影響する。CFC の密度と熱伝導率が比例する性質から、除熱性能でスクリーニングするために、両検査で補正が必要になる。赤外面像検査時の各流路の冷水の平均流速のバラツキが 4% 以下ならば、冷却水への熱伝達率変化による規格化冷却時間への影響は 2% 以下となる。詳細や他の要因の影響は、ポスター発表で議論する。

[1] A. Durocher et al., Nucl. Fusion 47 (2007) 1682–1689

[2] Y. Seki et al., Fusion Engineering and Design 85 (2010) 1451–1454