

赤外熱画像を用いた核融合実験炉ダイバータ用非破壊検査装置の開発

Development of a non destructive evaluation system using infrared images for divertor on nuclear fusion experiment reactor

原子力機構	横山 堅二	Kenji YOKOYAMA	Nonmember
原子力機構	鈴木 哲	Satoshi SUZUKI	Nonmember
原子力機構	江里幸一郎	Kouichiro EZATO	Nonmember
原子力機構	関 洋治	Yohji SEKI	Nonmember
原子力機構	榎枝 幹夫	Mikio ENOEDA	Nonmember
原子力機構	秋場 真人	Masato AKIBA	Member

An infrared thermography NDE facility which is utilized in the acceptance test of ITER divertor components has been developed in JAEA. This NDE facility can inspect the integrity of the bonding interface of the divertor components based on its surface temperature response by means of switching of hot (95 deg C)/cold (5 deg C) water. The advantages of this facility are 1) to have active coolant purging system which enables rapid temperature change and 2) to inspect the surface and the both side walls of three components at a time. We have conduct test operation for the divertor mockups and have found sufficient performance to implement the required acceptance test of the ITER divertor components.

Keywords: Thermography , NDE , ITER, Divertor , non destructive evaluation

1. 緒言

国際熱核融合実験炉 (ITER) に取り付けるダイバータは ITER 参加各極においてその割り当て分を製作することになっており、日本はダイバータ外側ターゲットの全数 (予備を含め 60 カセット分、ターゲットの本数は 1300 本以上) を製作する。製作したダイバータはその健全性を確認するため、受入検査を行う必要があるが、ITER 機構ではこの検査として超音波探傷法[1]やダイバータに温水と冷水を交互に通水し、表面の過渡的な温度変化から表面保護材と冷却管との接合状態などを検査することを要求している。後者の検査を実施可能な装置はフランスのカダラッシュ研究所に SATIR[2]という装置があり、10 年ほど前から稼働している。今回、原子力機構においても同様の赤外サーモグラフィ試験装置を開発し、その試験運転を実施して、ITER 機構の要求する検査が実施可能であることを確認した。

2. 装置概要

ITER ダイバータの接合状態の検査を実施する方法には、これまでダイバータ等の開発で用いられてきたイオンビームによる加熱試験装置(DATS)や電子ビームを用いた高熱負荷試験装置(JEBIS)を利用して、実際に加熱試験を実施する方法がある。これらは実際の熱負荷を模擬した試験が可能であるが、これらの加熱試験装置による検査は、試験体を真空容器内へ設置する必要があり、その運転方法も複雑で相当な時間と労力が要求されるため、ITER ダイバータの受入検査としてこれらを用いることは現実的でない。今回開発した赤外サーモグラフィ試験装置は、大気中で実施するためダイバータ試験体の交換が容易であり、検査時間も短く検査効率が非常に高い。Fig.1 に装置外観図、Fig.2 に系統図を示す。

連絡先: 横山 堅二、〒311-0193 茨城県那珂市向山 801-1
日本原子力研究開発機構 核融合研究開発部門
電話: 029-270-7554、e-mail:yokoyama.kenji95@jaea.go.jp

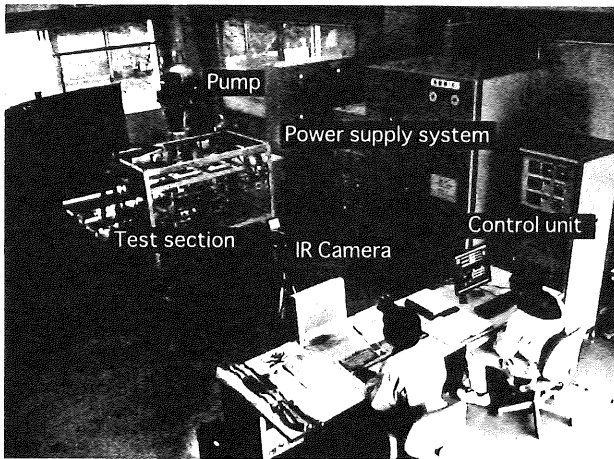
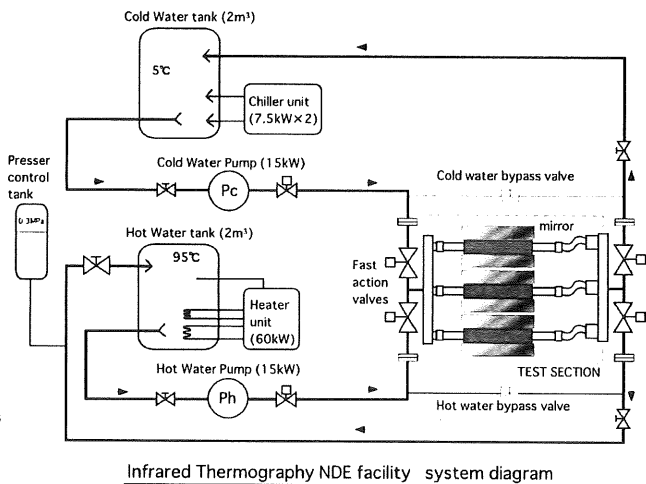


Fig. 1 Overview of infrared thermography NDE facility



Infrared Thermography NDE facility system diagram

Fig. 2 Infrared thermography NDE facility System diagram

検査方法は、まず始めに温水を連続的に通水して試験体を高温（95℃）に保持しておき、次に瞬間的に冷水（5℃）の通水を行い、そのときの表面温度の過渡的な変化を赤外カメラで観測し、表面保護材と冷却管との接合状態を検査するものである。はじめに冷水を通水し、次に温水を通水して試験することも可能である。検査を行う際に、温水および冷水はそれぞれ2m³のバッファータンクにあらかじめ準備しておく。試験体直前までの配管についても温水および冷水を循環して、循環水温度を一定に保つ維持運転を行う。温水用ヒータ容量は60kW、冷水用チラー容量は15kW（7.5kW×2）である。ポンプは温水用、冷水用とも15kWで吐出圧力最大2.45MPa、流量200L/minである。温水通水と冷水通水の切り替えは、試験体取り付けヘッダーの入口・出口温水バルブ、入口・出口冷水バルブの計4台

の高速動作バルブを切り替えて実施する。各バルブの動作時間は1秒以下である。さらに、温水と冷水の切り替えの際に、試験体内部に残留した水を強制的に排出する機能（以下、パージ機能と言う）を有し、試験体へ通水する温水と冷水の混合量を低減することにより、試験体の表面温度変化をより急峻にすることが可能である。パージ機能は、0.7MPaの圧縮空気により試験体内部の水を強制的に排出する機能である。また、試験体の上下側面を観測するステンレスミラーを取り付けたことで、正面及び上下側面の3表面の温度変化を同時に観測することが可能であり、検査の信頼性と効率の向上を図っている。

3. 試運転結果

本装置の試験運転は、ITER ダイバータ開発用として製作したダイバータ試験体（表面保護材：炭素繊維複合材、形状：モノブロック型）を3体取り付けて実施した。その結果、本装置においてITER機構の要求する試験を十分に実施可能であることを確認した。さらに、本装置の特徴であるパージ機能と表面及びミラーによる上下側面の3表面を同時観測することの有効性を確認することができた。パージ機能を使用しない場合の観測結果をFig.3及びFig.4に示す。この場合には、冷水への切り替えを実施した直後の各試験体への水の流量配分が不均一となり、中央の試験体への冷水の通水が優先され、上下の試験体より早く冷却が行われることにより、最大で12℃ほどの温度差が生じ、精度の高い検査が実施できないことがわかる。

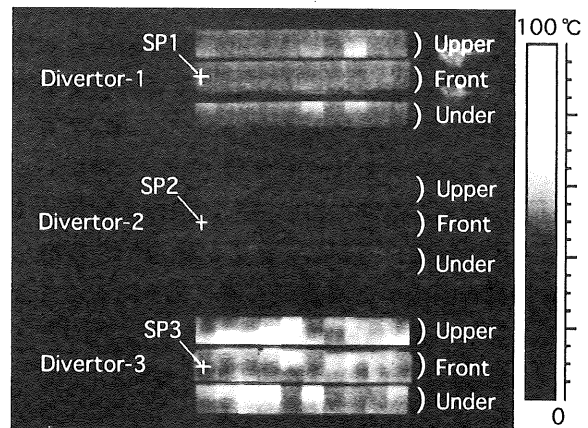


Fig. 3 IR camera image at 1 sec have passed (without purging)

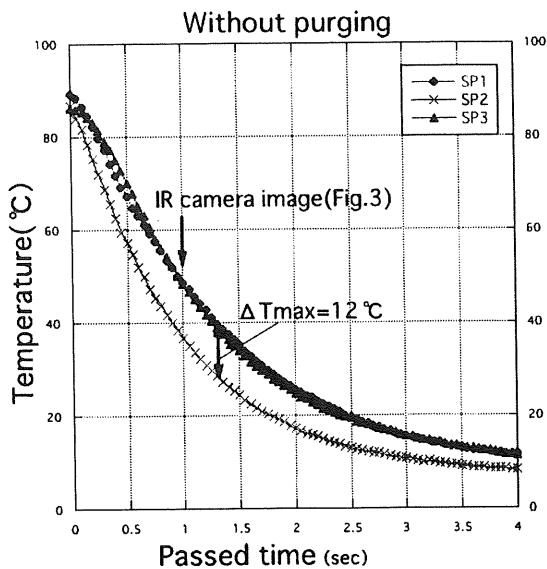


Fig. 4 Temperature response of the mock-up without purging

一方、パージ機能を使用した場合の観測結果を Fig. 5 及び Fig. 6 に示す。3 体の試験体に対して均等に通水が開始され、一様な温度変化を与えていることがわかる。この結果からパージ機能を使用することで3 体の試験体を同時に検査可能であり、パージ機能は有効で重要な機能であることが判明した。

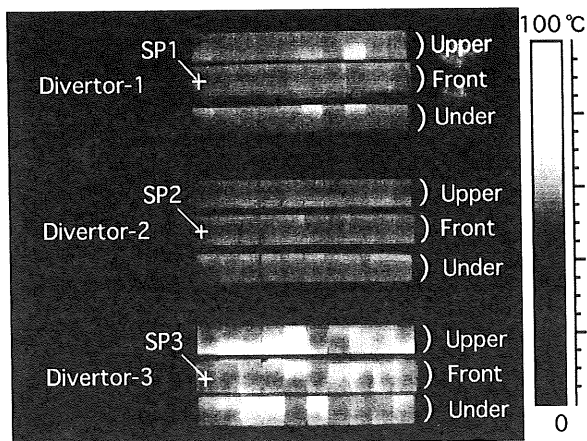


Fig.5 IR camera image at 0.7sec have passed (with purging)

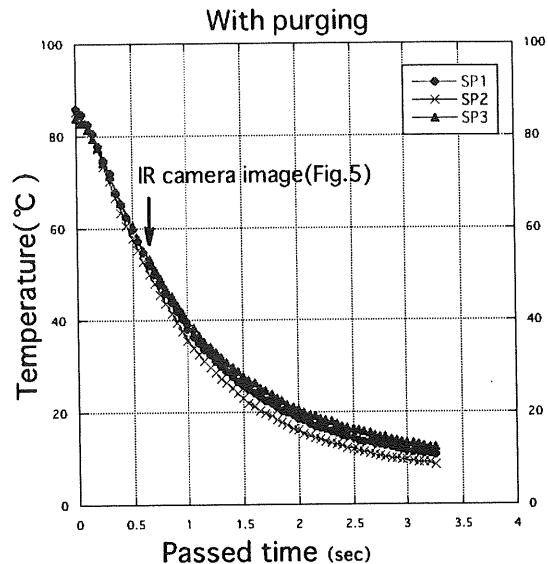


Fig.6 Temperature response of the mock-up with purging

また、試験体の上下側面の表面温度を観測するためのミラーは、かなり有効な機能であることが確かめられた。Fig.3 及び Fig.5 で示したとおり Divertor-2 は正面と上下側面とも均一な温度分布であり接合部分に大きな問題の無いことが予想される。しかし Divertor-1 は、正面の温度分布は均一でも、上下側面には一部で不均一な温度分布が観測され、裏面側に位置する接合部に欠陥があることが予想される。Divertor-3 も正面より上下側面により多くの不均一部分が観測され、ミラーによる上下側面の同時観測の有効性が確認された。

4. 検査結果の判定

実際の受入検査においては、接合状態等の良／不良の判定基準を明確にしなければならないため、欠陥の全くない健全なダイバータ試験体と検査対象のダイバータの各タイル（表面保護材）の過渡的な温度変化を個別に比較し、温度変化の差分値から判定を行うことを検討している。現在、これらのデータ処理を行うプログラムの開発を行っている。さらに、検査結果の信頼性を向上するため、赤外サーモグラフィ試験装置による検査結果と DATS または JEBIS による、同一の試験体を用いた実負荷試験の結果とも比較検討を行う必要がある、これらの試験検査は今後多くの試験体について実施し、データベースを作り上げる必要がある。

5. 結言

- 1) 今回開発した赤外サーモグラフィ試験装置は ITER ダイバータの受入検査に必要な性能を満たしていることを確認した。
- 2) 本装置の特徴の一つであるパージ機能は、温水と冷水を切り替える際に流量配分を均等に維持することが可能となり 3 体の試験体の検査を同時に実施可能であることを確認した。
- 3) 上下側面観測用ミラーによる表面温度観測は有効であり、検査の信頼性と効率の向上に寄与することが期待される。
- 4) 判定基準の検討、およびデータ処理プログラムの開発を行っており、DATS または JEBIS による実負荷試験の結果とも比較検討を行う必要がある。

参考文献

- [1] 江里幸一郎、他 4 名、核融合実験炉 ITER ダイバータ受熱機器における非破壊検査技術の開発、日本保全学会 第 5 回学術講演会、2008 年 7 月
- [2] A. Durocher, et al., Nucl. Fus., 47, 1682 (2007).