

## AMSB新構造ダイバータ受熱機器試験体のLHDダイバータプラズマへの照射試験 Irradiation test of the AMSB new divertor heat removal component to the LHD divertor plasma

時谷政行<sup>1</sup>, 浜地志憲<sup>1</sup>, 平岡 裕<sup>2</sup>, 増崎 貴<sup>1</sup>, 田村 仁<sup>1</sup>, 能登裕之<sup>1</sup>, 田中照也<sup>1</sup>,  
恒吉達矢<sup>3</sup>, 辻 義之<sup>3</sup>, 室賀健夫<sup>1</sup>, 相良明男<sup>1</sup>, FFHR設計グループ<sup>1</sup>,  
林 祐貴<sup>1</sup>, 本島 巖<sup>1</sup>, 林 浩己<sup>1</sup>, 村瀬尊則<sup>1</sup>, 森崎友宏<sup>1</sup>, LHD実験グループ<sup>1</sup>  
M. Tokitani<sup>1</sup>, Y. Hamaji<sup>1</sup>, Y. Hiraoka<sup>2</sup>, S. Masuzaki<sup>1</sup>, H. Tamura<sup>1</sup>, H. Noto<sup>1</sup>, T. Tanaka<sup>1</sup>,  
T. Tsuneyoshi<sup>3</sup>, Y. Tsuji<sup>3</sup>, T. Muroga<sup>1</sup>, A. Sagara<sup>1</sup>, FFHR Design Group<sup>1</sup>,  
Y. Hayashi<sup>1</sup>, G. Motojima<sup>1</sup>, H. Hayashi<sup>1</sup>, T. Murase<sup>1</sup>, T. Morisaki<sup>1</sup>, LHD Experiment Group<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 核融合科学研究所, <sup>2</sup> 岡山理科大学, <sup>3</sup> 名古屋大学

<sup>1</sup> National Institute for Fusion Science, <sup>2</sup> Okayama University of Science, <sup>3</sup> Nagoya University

これまでに、BNi-6(Ni-11%P)ろう材を使用し、タングステン(W)と酸化物分散強化銅(ODS-Cu; GlidCop<sup>®</sup>)を中間緩衝材無しで直接ろう付接合を行う「先進的ろう付接合法」を開発し、ダイバータ受熱機器開発を行ってきた[1]。その後、「先進的ろう付接合法」を高度化して、GlidCop<sup>®</sup>同士(GlidCop<sup>®</sup>/GlidCop<sup>®</sup>)、あるいは、ステンレス鋼(SUS)と GlidCop<sup>®</sup>(SUS/GlidCop<sup>®</sup>)の接合において、流体漏れの無い完全リークタイトな接合継手の製造を可能とする技術開発に成功した。本接合技術は、①完全リークタイトな封止構造、②リークタイト接合部は面で接合可能、③熱応力や冷却水圧に耐える接合接手強度、④接合部は繰り返しろう付熱処理を受けても劣化しない、という4つの特徴を同時に満たすものであり、これらの特徴を取り入れた新しいろう付接合法「先進多段階ろう付接合法(Advanced Multi-Step Brazing: AMSB)」を開発した。

図 1(a)および(b)は、AMSB を用いて製造した W/GlidCop<sup>®</sup>製新構造ダイバータ受熱機器試験体の実物写真と断面図である。SUS/GlidCop<sup>®</sup>, W/GlidCop<sup>®</sup>の順に2段階のろう付接合を用いて製造された。GlidCop<sup>®</sup>製ヒートシンクは矩形の冷却流路を有していること、冷却流路上壁にV型スタaggerドリップ構造が切削加工されていることが特徴である。これにより、冷却流路を流れる冷却水に旋回流が生じ、高い除熱効率が得られる[2]。

本試験体の除熱性能を評価する目的で、核融合科学研究所に既設の電子ビーム熱負荷試験装置(ACT2)による定常熱負荷試験を実施した。冷却水条件は、「流速：~6.9 m/s, 入口圧力：~0.5 MPa, 入口温度：室温」とし、図 1(a)の W 表面に四角形で色付けしている領域に最大で~30 MW/m<sup>2</sup>の定常熱負荷を印可した。~30 MW/m<sup>2</sup>においても、厚さ 5 mm の W 平板中心部の温度は~1200°C, W 直下の GlidCop<sup>®</sup>の温度は~400°Cであり、構造的に問題無い温度範囲に維持された。

次に、本試験体の実機装置での除熱性能および

信頼性を確認する目的で、冷却水を流しながら大型ヘリカル装置(LHD)のダイバータプラズマへの照射実験を実施した。図 2 に、照射後の全体像とダイバータストライクポイント近傍の拡大像を示す。照射実験では、本除熱機器試験体を3体並列に並べた状態で可動式の試料駆動装置を用いてダイバータストライクポイント位置まで挿入し、合計 1180 shot のプラズマに曝露した。ダイバータプラズマの磁力線は、W アーマーに対して45度程度の角度で入射された。取り出した後のタングステン表面にはマイクロスケールのクラックやユニポーラアークの痕跡が見られたが、ミリメートルスケールの損傷および冷却水漏れなどは確認されなかった。以上の結果より、十分な除熱性能と信頼性が証明された。

[1] M. Tokitani et al., Nucl. Fusion 57 (2017) 076009.  
[2] T. Tsuneyoshi et al., JSFM (2015) C11-1

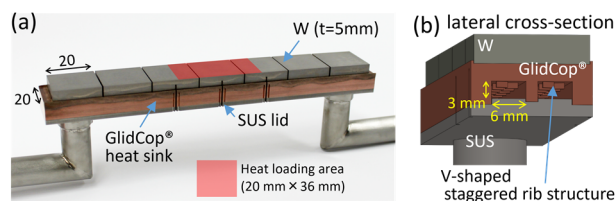


図 1. (a)AMSB を用いて製造した W/GlidCop<sup>®</sup>製新構造ダイバータ受熱機器試験体の実物写真。熱負荷試験時の面積(20mm×36mm)を図示してある。(b)熱負荷領域近傍の断面図。

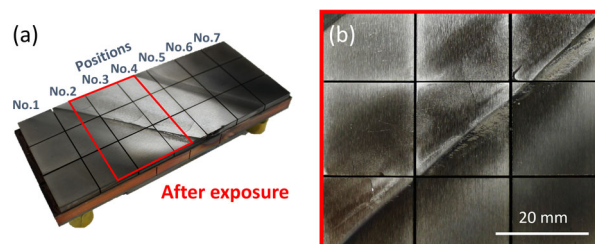


図 2. (a)LHD ダイバータプラズマに 1180 shot 曝露後の AMSB 新構造ダイバータ受熱機器試験体の全体像。(b)全体像中四角で囲んだ領域の拡大像。