

Title	核融合炉高熱負荷除去のためのダイバータの研究
Author(s)	佐藤, 和義
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/58404
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	佐藤和義
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第24810号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	核融合炉高熱負荷除去のためのダイバータの研究
論文審査委員	(主査) 教授 上田 良夫 (副査) 教授 飯田 敏行 教授 田中 和夫 教授 兒玉 了祐 教授 村上 匡且 教授 堀池 寛

論文内容の要旨

ITERダイバータはプラズマから大量の熱・粒子負荷を受けるため、高熱伝導率で耐損耗特性のある材料を用いた強制冷却構造が要求されている。従来の研究では、低原子番号で溶融しない炭素繊維強化炭素複合(CFC)材料を中心に熱伝導率と強度を高める研究が進められてきた。しかし、中性子照射が、損耗や熱構造に及ぼす影響についてはほとんど評価されていなかった。本研究では、中性子照射を受けた材料の損耗特性及び接合体の熱構造特性に焦点を当て研究を進めた。また、ITERの後半では長時間DT放電が計画されているため、トリチウム吸蔵量の少ないタングステン材料の適用が有望であるが、熱構造材料との間ではく離の発生等の懸念があった。本研究では応力緩和が期待できる新たな接合法を考案し、課題の解決を図った。具体的な成果は以下に示すとおりである。

CFC材料の損耗特性について、特に損耗が激しいディスラプション時の中性子照射の影響を明らかにする研究を行った。ホットセル内に電子ビーム加熱装置を設置し、世界で初めて中性子照射後材料の損耗量を評価した。その結果、CFC材料の損耗量は中性子照射量の増加に伴い増大するが、ITERで想定されている照射量0.3dpaを受けた材料の損耗量は、未照射材に比べ1.8倍程度に収まることを明らかにした。この結果をもとに許容される損耗厚さについて評価し、想定されているディスラプション回数に対し損耗は初期厚さの最大3割程度にとどまり、CFC材料がITERでの使用に耐えることを証明した。

ダイバータ熱構造特性に対する中性子照射の影響評価がなされていなかったため、中性子照射後試験体を用いて電子ビーム加熱による熱サイクル試験を実施した。照射量約0.5 dpa (ITER設計条件の1.5倍) の場合、表面温度は4倍程度増加するが制限温度以下に抑えられており、ダイバータの想定使用サイクル数(1000回)後でも熱伝導特性の劣化が起らないことを温度応答評価より初めて実証した。このことより、ITERのような高い熱負荷領域でも十分適用できる確証を得た。

従来のタングステンドイバータは、熱構造材料との間で線膨張係数や弾性率に大きな差があるため、はく離の発生等の懸念があった。本論文では、応力緩和が期待できるロッド型タングステンによる熱間圧入法や傾斜機能を持たせた接合法

を新たに開発し検討を行った。考案した接合法による試験体を用いて高熱負荷試験を行った結果、はく離等が発生しない事を実証した。これにより熱負荷の低いダイバータ領域のみならず熱負荷の高いダイバータ領域へも適用できる見通しを得た。

論文審査の結果の要旨

本論文は、核融合実験炉 ITER において高い熱負荷を除去するために設置されているダイバータに関して、中性子照射を受けた炭素繊維複合材の損耗、接合体の熱構造特性、タングステンの接合法などについて、新たな知見をまとめたものである。本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる。

(1) CFC 材料の損耗特性について、特に損耗が激しいディスラプション時の中性子照射の影響を明らかにする研究を行い、ホットセル内に電子ビーム加熱装置を設置し、世界で初めて中性子照射後材料の損耗量を評価している。その結果、CFC 材料の損耗量は中性子照射量の増加に伴い増大するが、ITER で想定されている照射量 0.3dpa を受けた材料の損耗量は、未照射材に比べ 1.8 倍程度に収まることを明らかにしている。この結果をもとに許容される損耗厚さについて評価し、想定されているディスラプション回数に対し損耗は初期厚さの最大 3 割程度にとどまり、CFC 材料が ITER での使用に耐えることを証明している。

(2) ダイバータ熱構造特性に対する中性子照射の影響評価がなされていなかったため、中性子照射後試験体を用いて電子ビーム加熱による熱サイクル試験を実施し、照射量約 0.5 dpa (ITER 設計条件の 1.5 倍) の場合、表面温度は 4 倍程度増加するが制限温度以下に抑えられており、ダイバータの想定使用サイクル数 (1000 回) 後でも熱伝導特性の劣化が起らないことを温度応答評価より初めて実証している。このことより、ITER のような高い熱負荷領域でも十分適用できる確証を得ている。

(3) 従来のタングステンダイバータは、熱構造材料との間で線膨張係数や弾性率に大きな差があるため、はく離の発生等の懸念があったため、本研究では応力緩和が期待できるロッド型タングステンによる熱間圧入法や傾斜機能を持たせた接合法を新たに開発し検討を行っている。考案した接合法による試験体を用いて高熱負荷試験を行った結果、はく離等が発生しない事を実証している。これにより熱負荷の低いダイバータ領域のみならず熱負荷の高いダイバータ領域へも適用できる見通しを得ている。

(4) タングステンと銅の接合において、新たにタングステン・銅という中間接合材料を使用することで、熱衝撃特性が大幅に改善されることを実証している。また狭隘な空間での作業軽減のため、同軸スワール管からなる冷却管構造を提案し、その冷却特性を明らかにしている。これらの技術を用いたダイバータ試験体を製作し、ITER の熱負荷設計条件において健全性を確保することを実証している。

以上のように、本論文は高い熱負荷と中性子負荷を受ける核融合実験炉 ITER のダイバータ環境下で、その設計条件を満たすことのできるダイバータ試験体を製作するための基礎過程の解明や新技術の開発を行い、ITER のダイバータ開発に大きな貢献をしている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。