

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01887

研究課題名(和文) 先進的ろう付接合法の多段階適用によるW/ODS-Cu製ダイバータ受熱機器の開発

研究課題名(英文) Development of the W/ODS-Cu divertor heat removal component by using the Advanced Multi-Step Brazing (AMSB)

研究代表者

時谷 政行 (Tokitani, Masayuki)

核融合科学研究所・研究部・准教授

研究者番号：30455208

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者が発明した世界初のろう付接合法「先進多段階ろう付接合法(Advanced Multi-Step Brazing: AMSB)」を用いて、酸化物分散強化銅(ODS-Cu)をヒートシンク材料に、タングステン(W)をアーマー材料とした世界最高性能の核融合炉用ダイバータ受熱機器の設計・製造技術を確立させた。同製造技術を用いて「新構造ダイバータ受熱機器」の試験体を設計・製造し、電子ビーム熱負荷試験を行った。その結果、当初の目標であった20 MW/m²を大きく超える30 MW/m²の定常熱負荷に対して安定した除熱性能を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究代表者が発明した世界初のろう付接合法「先進多段階ろう付接合法(Advanced Multi-Step Brazing: AMSB)」は、核融合炉のダイバータ受熱機器に対する革新的製造技術に位置付けられ、学術的価値の高いものである。一方で、本技術は異分野や産業界で要求される除熱機器の性能向上や高電圧の接点材料への応用に展開できる可能性を秘めている。今後、産学官連携活動を進めていくことで産業界への技術移転に繋がる可能性が期待される。

研究成果の概要(英文)： Manufacturing technology for new type of divertor heat removal component with ultra-high heat removal performance was established via "Advanced Multi-Step Brazing (AMSB)". The new component was basically consisted by tungsten (W) armour with oxide dispersion strengthened Cu alloy (ODS-Cu) heat sink.

The new type of divertor heat removal component showed excellent heat removal performance under a steady-state heat loading of 30 MW/m², in which this heat loading value is far above the initial target value of 20 MW/m².

研究分野：核融合炉材料学

キーワード：先進的ろう付接合 ダイバータ タングステン 銅合金 微細構造解析

1. 研究開始当初の背景

「ダイバータ受熱機器」は、核融合炉において $10\text{MW}/\text{m}^2$ を越える高い熱負荷を受け止め、除熱するための“超高熱流プラズマ対向機器”である。核融合炉開発研究の動向としては、ダイバータ受熱機器のヒートシンク材料は、熱伝導率の高い銅合金の使用が必須となりつつあり、また、熱と同時に飛来するプラズマ粒子によるスパッタリング損耗に耐えるため、銅合金の表面はタングステン(W)のアーマー材料を冶金的に接合することが必要と考えられている。本事実、研究開始当初から現時点までにおいて共通の事項である。国際熱核融合実験炉(ITER)のダイバータ受熱機器では、ヒートシンクに析出強化型銅合金(PH-Cu)である CuCrZr が採用され、W とのろう付接合法が開発されたが、核融合炉での使用を想定した場合、CuCrZr は高温強度に懸念が残る。研究代表者は、CuCrZr の欠点を補える酸化物分散強化銅(ODS-Cu)の一つである GlidCop® の優位性に着目し、平成 29-31 年度・基盤研究 (C)「先進的ろう付接合法を用いた W・ODS-Cu 製核融合炉用ダイバータ受熱機器の開発」において、BNi-6(Ni-11%P)ろう材を使用し、W と GlidCop® の間に緩衝材(層)を挟まない直接ろう付接合法「先進的ろう付接合法」の開発に成功した。この基盤研究 (C) において、3 つの特筆すべき成果が得られている。1 つ目の成果は、ろう付接合部(W/GlidCop®)の詳細な微細構造解析により、先進的ろう付接合法による W と GlidCop® の接合メカニズムを明らかにしたことである。具体的には、ろう材成分の P が Cu 中に固溶した瞬間に共晶反応に伴う Cu の融点降下が生じ、接合界面近傍の GlidCop® 素材がマイクロレベルで極短時間(数分間)溶融し、W 素材の凹凸に柔軟に馴染むことによるアンカー効果によって接合強度が確保されていることがわかった。2 つ目の成果は、先進的ろう付接合法で W/GlidCop® 製小型のダイバータ受熱機器試験体を製造し、 $10\text{MW}/\text{m}^2$ 以上の定常熱負荷試験において健全な除熱性能を確認した点である。3 つ目の成果が、本基盤研究 (B) の核心となる学術的問いが生まれた重要な発見(発明)である。1 つ目と 2 つ目の成果を総合的に解釈すると、「先進的ろう付接合法」では、GlidCop® に対して、原理的に GlidCop® よりも融点の高い全ての金属材料を被接合金属にできるという仮説を立てることができた、その仮説に対して実証試験を行ったところ、W 以外にも GlidCop® 同士、ステンレス鋼(SUS)や低放射化フェライト鋼を含む鉄鋼系材料、イリジウム、などの幅広い材料で接合が可能であることを確認した。特に注目すべき特性として、GlidCop® 同士(GlidCop®/GlidCop®)と SUS と GlidCop®(SUS/GlidCop®)の組み合わせでは、それぞれ $180\mu\text{m}$ 、 $20\mu\text{m}$ の極めて薄い接合層を伴う強靱な接合部が形成され、接合部はガスや流体も漏らすことの無い完全リークタイトの接合状態を広い面積で生成可能であることが確認された。同接合部は、まさに、マイクロスケールの溶接品質に相当する。上述した接合特性をダイバータ受熱機器の設計・製造に適用することで、機器設計の自由度が格段に増すことになる。通常のろう付接合では、当然ながら 1 つの機器製作に対して 1 回のろう付熱処理しかできない。なぜならば、2 回目の熱処理時に 1 回目のろう付接合部のろう材が溶けて外れてしまうからである。これに対して、先進的ろう付接合法は「マイクロスケールの溶接品質」であるために、1 つの機器製造時に同じろう付熱処理を複数回繰り返すことができる。これを応用すれば、図 4 に示すような「先進的ろう付接合法の多段階適用(Advanced Multi-Step Brazing: AMSB)」が可能となる。GlidCop® ヒートシンクに自由な冷却流路を切削加工し、同流路を 1 回目の接合で GlidCop® で完全リークタイトに封止(蓋)をする。2 回目の接合で、冷却流路の出口部に SUS 製の冷却パイプ継手を接続する。3 回目の接合で W アーマー材を接合する。といった流れである。このアイデアはブロック状の試験体で実証試験を行い、接合面積率 90% 以上でガスや液体などの漏れの無い完全リークタイトな冷却流路構造を製造可能であることを確認した。これにより AMSB は、2019 年 5 月に「アルミナ分散強化銅のろう付接合方法(特許第 6528257 号)」として特許権利化済みである。先進的ろう付接合法で形成される GlidCop®/GlidCop®, SUS/GlidCop® の気密性は極めて高く、光学顕微鏡で見ると目立った隙(空隙)のような欠陥は見当たらない。なぜこのような連続性の高い強靱な接合部がシンプルなるろう付接合手順によって得られるのかについては、学術的な問いとなる。

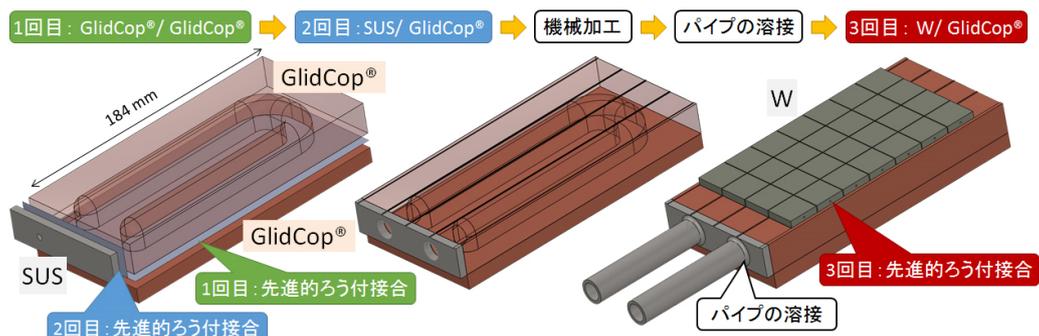


図1. 先進的ろう付接合法の多段階適用(AMSB)によるダイバータ受熱機器製造法。

2. 研究の目的

上記「1. 研究開始当初の背景」にて説明した，研究代表者が発明した世界初のろう付接合法（技術）「先進的ろう付接合法の多段階適用(Advanced Multi-Step Brazing: **AMSB**)」を用いて，酸化物分散強化銅(ODS-Cu)，具体的には GlidCop®(Cu-0.3wt%Al₂O₃等)をヒートシンクに，タングステン(W)をアーマー材料とした世界最高性能の核融合炉用ダイバータ受熱機器の設計・製造技術の確立が本研究の目的である。

W の裏側に銅合金を接合させる W/銅合金製の核融合炉用ダイバータ受熱機器の製造では，各種材料同士を接合させる技術として，従来より「ろう付法」が多用されている。AMSB は，「GlidCop® 同士」あるいは「GlidCop® と GlidCop® よりも融点の高い各種金属(例えば鉄鋼材料)」に対し，流体漏れのないリークタイト条件の接合を1つのダイバータ受熱機器製造過程で繰り返し適用可能とした特許技術である。各接合部はろう付法の性能をはるかに超えたマイクロスケールの溶接に近い品質で強靱に接合されることがわかっているが，その接合メカニズムの詳細は不明である。まず，なぜ強靱な接合部が得られるのかを材料学的な微視的視点から理解するため，①ろう付接合部の詳細な組織観察および組成分析を行った。次に，GlidCop® 同士(GlidCop®/GlidCop®)および，ステンレス鋼(SUS)と GlidCop®(SUS/GlidCop®)の接合継手部に対して破壊試験を実施し，変形から破断に至る機構を明らかにした。また，AMSB で小型のダイバータ受熱機器試験体を製造し，特性評価を実施した。主な特性評価は電子ビーム熱負荷試験装置による除熱性能試験である。

3. 研究の方法

Ni-11%P ろう材を用いた先進的ろう付接合法により，GlidCop®/GlidCop®, SUS/GlidCop®の接合試験体を作成し，曲げ試験による破壊試験を実施した。破断(破壊)後の接合継手部に対して電子顕微鏡を用いた組織観察を実施し，変形から破断に至る挙動(変形・破断挙動)を解析した。次に，AMSB を用いて新構造ダイバータ受熱機器試験体を製造し，核融合科学研究所に既設の超高熱負荷試験装置(ACT2)による除熱性能試験を実施した。図2に，新構造ダイバータ受熱機器試験体の製造手順説明図を示す。矩形の冷却流路とスタッガードリブ構造と呼ばれる突起(フィン)構造を有する点が特徴であり，SUS/GlidCop®の接合継手部で完全リークタイトの封止構造が要求される点が技術的に高いハードルとなる。

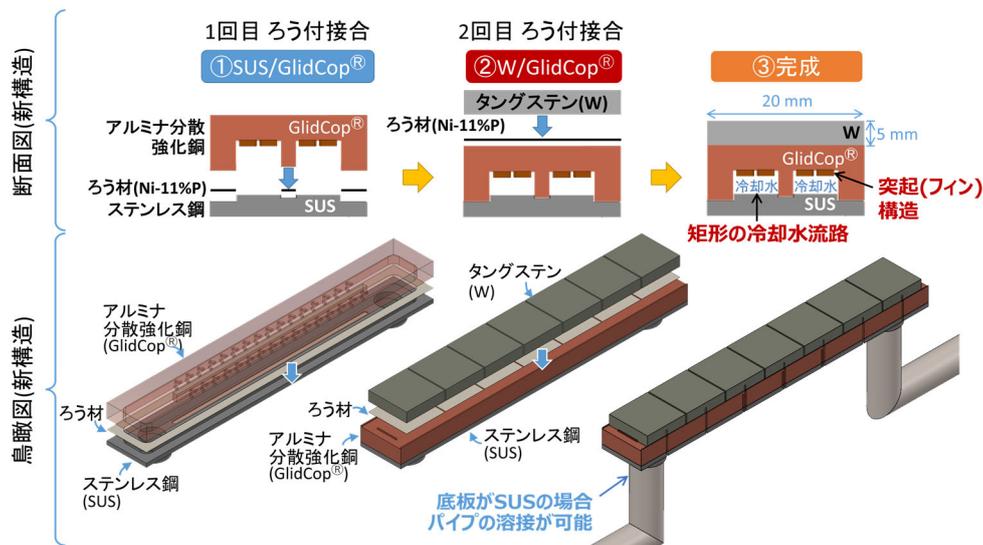


図2. 新構造ダイバータ受熱機器試験体の製造手順説明図。

4. 研究成果

GlidCop®/GlidCop®及び SUS/GlidCop®接合継手は，完全リークタイトの特性を有していることを上述したまた，同接合継手は GlidCop®母材と比較し得るほど高い接合継手強度を有していることもわかっている。同継手部の変形から破断に至る過程を詳細に解析しておくことで，更なる継手強度改善に向けた指針を得ることができる。まず，接合直後の状態を確認する目的で，集束イオンビーム加工観察装置(FIB)を用いて接合部断面のマイクロレベルでの切削研磨加工を施した。次に，走査型電子顕微鏡(SEM)およびエネルギー分散型X線分析装置(EDS)による接合部の組織および組成分析を行った。代表結果として SUS/GlidCop®接合継手部の SEM 像および EDS によるマッピング像を図3に示す。マッピング像は Fe, Cr, Cu, Ni, P について示している。約 20 μm の接合層(Bonding layer)を介してマイクロレベルの空隙等が見られない緻密な接合継手であることがわかる。また，ろう材成分である Ni, P は主に接合層に分布しており，僅かに GlidCop®側に拡散していることが明らかになった。同接合継手は 960℃の熱処理により形成されたものである

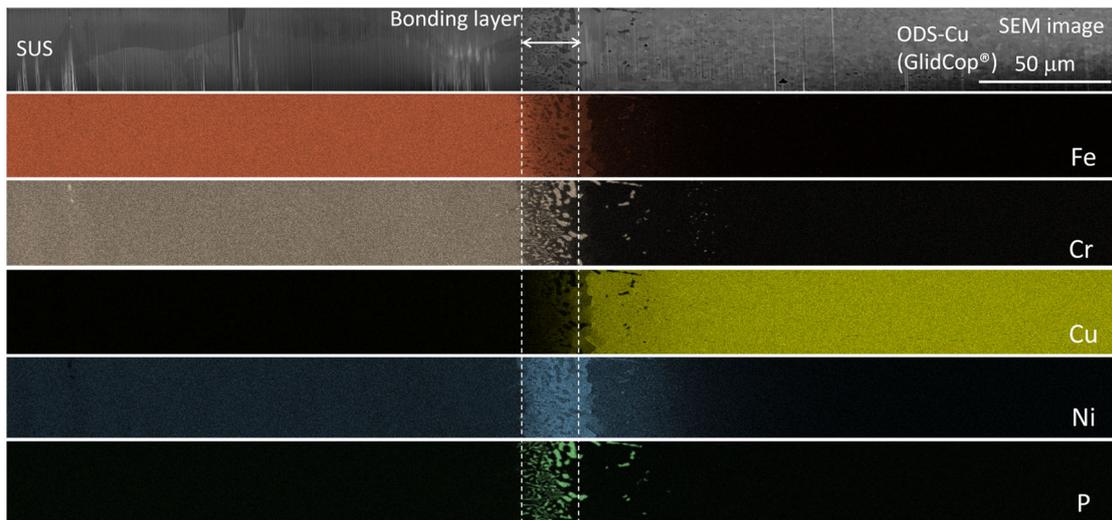


図3. SUS/GlidCop®接合継手部断面のSEM像およびEDSマッピング像。

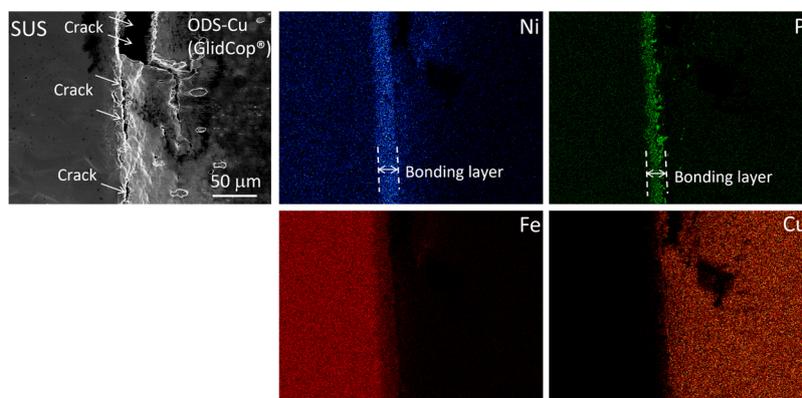


図4. 曲げ試験により破断後のSUS/GlidCop®接合部のSEM像(左図)および対応するNi, P, Fe, CuのEDSマッピング像(中央, 右図)。

が、同接合継手を再び960°Cの熱処理に供した場合であっても組織変化は確認されなかった。また、GlidCop®/GlidCop®の接合継手部においても同様に空隙等の無い接合部が確認されており、SUS/GlidCop®と同等の熱安定性を示すことも明らかになった。

同接合継手の変形・破断挙動を評価するため、図4に、曲げ試験により破断後のSUS/GlidCop®接合部のSEM像およびEDSで測定したNi, P, Fe, Cuのマッピング像を示す。ろう材の成分であるNi, Pは、この場合、接合層として界面近傍に分布していることがわかる。変形が進むにつれてSUSとGlidCop®母材の表面が波打つように変形しており、最終的な破断はNi, P接合層内部では無く、Ni, P接合層とGlidCop®の界面で発生していることが明らかになった。曲げ試験においては応力-歪曲線も取得しているが、接合継手の降伏強度は300MPaに近い値を示していた。この値は継手強度としては十分なものであるが、更なる接合強度改善を得るためには、Ni, Pを含む接合層とGlidCop®界面の強度改善が必要であることが示された。一方、GlidCop®/GlidCop®の接合継手の場合、破断位置は接合部に形成される接合層の中央付近であることが明らかとなった。被接合金属がSUSである場合とGlidCop®である場合で破断箇所が異なることは興味深い点である。この理由はまだ明らかになっていないが、おそらく、生成される金属間化合物の種類やろう

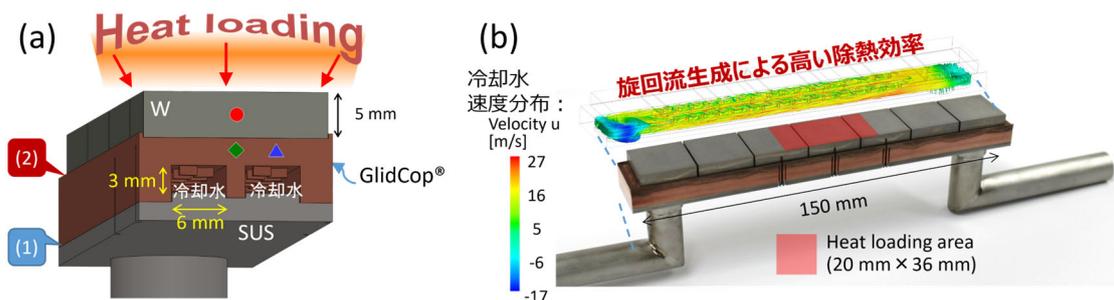


図5. (a)新構造ダイバータ受熱機器試験体の3次元断面図および(b)完成した試験体の写真と有限要素法の流体解析(ANSYS CFX)により可視化した冷却水の旋回流構造と速度分布。

材や母材元素の拡散距離の違いによって破断メカニズムが異なっているためであると現時点では推察される。

上述した結果を基に、図2の手順により新構造ダイバータ受熱機器試験体の製造試験を実施した。図5(a)と(b)に、実際に製造した新構造ダイバータ受熱機器試験体の3次元断面図と写真をそれぞれ示す。断面図中に(1)と(2)に示した箇所がSUS/GlidCop®, W/GlidCop®の接合界面にそれぞれ対応する。写真中には有限要素法の流体解析(ANSYS CFX)により可視化した冷却水の旋回流構造とその速度分布も同時に示している。矩形の冷却流路とスタガードリブ構造により広い範囲で均一な速度分布を有する旋回流が生成されていることがわかる。

図5(b)の試験体に対して、核融合科学研究所既設の電子ビーム熱負荷試験装置(ACT2)を用いた定常熱負荷試験を実施した。冷却水の温度、流量条件としては1気圧の状態で15°C、15L/minを用いた。入口(P_{in})と出口(P_{out})の水圧はそれぞれ $P_{in}=0.52\text{MPa}$ 、 $P_{out}=0.24\text{MPa}$ であった。熱電対で計測したW、GlidCop®の温度を熱負荷値に対してプロットした結果を図6に示す。温度計測位置は図5(a)中の●(CH4)、◆(CH5)、▲(CH6)であり、各位置での計測結果は図6中のシンボルに対応している。30MW/m²の定常熱負荷においてWの温度は1200°C以下、GlidCop®の温度は400°C以下に留まっており、上述した冷却水条件において極めて効率的な除熱が達成できていると言える。図6にはSimulation ANSYS (CFX)で表記される破線の温度分布を図示している。本温度分布は、有限要素法の流体解析(ANSYS CFX)計算によって求めた●(CH4)、◆(CH5)、▲(CH6)の各位置での温度分布に対応する。有限要素法計算の結果と熱電対計測結果の比較において注目すべきは、約15MW/m²の熱負荷値を超えたあたりから、計算値よりも計測値の方が低い温度を示している点である。この差はおそらく冷却水の核沸騰に伴う除熱効率の向上に起因すると考えられる。通常の冷却水の流れの場合、冷却水の沸騰は除熱性能の劣化を招く場合が多いが、同試験体の場合は冷却水が旋回流を生成しているため核沸騰が生じたとしても、そのサイズが微細であり、また発生場所もランダムとなり、除熱性能の劣化には繋がっていないと考えられる。そればかりか、除熱性能の劣化とは逆に、ランダムかつ微細な冷却水の沸騰(気化現象)に伴い、冷却水流れの広い範囲で単純な液相で存在するよりも効率的に周囲の温度を奪う効果が発現していると推察される。有限要素法の流体解析には核沸騰に伴う除熱効果は取り込まれていないため、計算値と実験値に差が生じたと考えられる。核沸騰に伴う除熱効率の向上については現時点では現象を基にした考察の段階であり、より詳細なメカニズムの解明には熱負荷試験中の冷却水流れの可視化と核沸騰を取り込んだシミュレーション技術の開発の双方が必要である。今後は、各専門分野の研究者と共に上記の詳細メカニズムの解明を進める予定である。

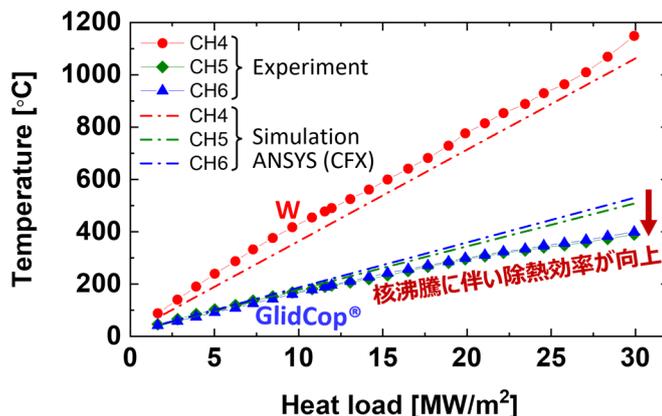


図6. 電子ビーム熱負荷試験による熱負荷値に対する各測定位置でのW、GlidCop®の温度。温度計測は熱電対により実施。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Masayuki Tokitani, Yukinori Hamaji, Yutaka Hiraoka, Yuki Hayashi, Suguru Masuzaki, Hitoshi Tamura, Hiroyuki Noto, Teruya Tanaka, Tatsuya Tsuneyoshi, Yoshiyuki Tsuji, Gen Motojima, Hiromi Hayashi, Takanori Murase, Takeo Muroga, Akio Sagara, Tomohiro Morisaki	4. 巻 79
2. 論文標題 Plasma Wall Interaction of New Type of Divertor Heat Removal Component in LHD Fabricated by Advanced Multi-Step Brazing (AMSB)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Fusion Science and Technology	6. 最初と最後の頁 651-661
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15361055.2023.2176184	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 時谷政行	4. 巻 57
2. 論文標題 ろう付の適用事例 先進的ろう付接合法を用いたタングステン / 銅合金製超高温流プラズマ対向機器の開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ぶれいず (一社)日本溶接協会 ろう部会	6. 最初と最後の頁 39-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Tokitani, Y. Hamaji, Y. Hiraoka, S. Masuzaki, H. Tamura, H. Noto, T. Tanaka, T. Muroga, A. Sagara, the FFHR Design Group	4. 巻 184
2. 論文標題 Deformation and fracture behaviour, and thermal stability of ODS-Cu/ODS-Cu and SUS/ODS-Cu joints fabricated by advanced brazing technique	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 113312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2022.113312	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Tokitani, Y. Hamaji, Y. Hiraoka, S. Masuzaki, H. Tamura, H. Noto, T. Tanaka, T. Tsuneyoshi, Y. Tsuji, T. Muroga, A. Sagara, the FFHR Design Group	4. 巻 61
2. 論文標題 Advanced multi-step brazing for fabrication of a divertor heat removal component	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Fusion	6. 最初と最後の頁 46016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-4326/abdfdb	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Tokitani, Y. Hamaji, Y. Hiraoka, S. Masuzaki, H. Tamura, H. Noto, T. Tanaka, T. Muroga, A. Sagara, the FFHR Design Group	4. 巻 538
2. 論文標題 Application of the Advanced Multi-Step Brazing for fabrication of the high heat flux component	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2020.152264	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 M. Tokitani, Y. Hamaji, Y. Hiraoka, S. Masuzaki, H. Tamura, H. Noto, T. Tanaka, T. Tsuneyoshi, Y. Tsuji, T. Muroga, A. Sagara, the FFHR Design Group, Y. Hayashi, G. Motojima, H. Hayashi, T. Murase, T. Morisaki, the LHD Experiment Group
2. 発表標題 Advanced Multi-Step Brazing (AMSB) for fabrication of new type W/ODS-Cu high heat flux component
3. 学会等名 19th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications (PFMC-19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Tokitani, Y. Hamaji, Y. Hiraoka, Y. Hayashi, S. Masuzaki, H. Noto, T. Tsuneyoshi, Y. Tsuji, G. Motojima, H. Hayashi, T. Murase, T. Muroga, T. Morisaki
2. 発表標題 Irradiation experiment of new type of divertor heat removal component fabricated by AMSB to LHD divertor plasma
3. 学会等名 Global Plasma Forum in Aomori (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 時谷政行
2. 発表標題 銅および銅合金の先進的ろう付接合法とその応用
3. 学会等名 一般社団法人日本溶接協会 2022年度 第3回ろう部会 技術委員会 先端材料接合委員会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Tokitani, T. Yamashita, Y. Hamaji, Y. Hiraoka, H. Noto, S. Masuzaki, T. Tsuneyoshi, Y. Tsuji, T. Muroga, S. Shimabukuro, N. Yoshida, H. Idei, K. Kono, M. Oya, T. Onchi, R. Ikezoe
2. 発表標題 Advanced Multi-Step Brazing (AMSB) for fabrication of the new type W/ODS-Cu plasma facing components
3. 学会等名 ISPlasma2022/IC-PLANTS2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 時谷政行
2. 発表標題 銅及び銅合金の先進的ろう付接合法
3. 学会等名 (社)溶接学会 第118回界面接合研究委員会 講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Tokitani, Y. Hamaji, Y. Hiraoka, S. Masuzaki, H. Tamura, H. Noto, T. Tanaka, T. Tsuneyoshi, Y. Tsuji, T. Muroga, A. Sagara, the FFHR Design Group, Y. Hayashi, G. Motojima, H. Hayashi, T. Murase, T. Morisaki, the LHD Experiment Group
2. 発表標題 Advanced Multi-Step Brazing (AMSB) for fabrication of the new type W/ODS-Cu divertor heat removal component
3. 学会等名 20th International Conference on Fusion Reactor Materials (ICFRM-20) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 時谷政行, 浜地志憲, 平岡 裕, 増崎 貴, 田村 仁, 能登裕之, 田中照也, 恒吉達矢, 辻 義之, 室賀健夫, 相良明男, FFHR設計グループ
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第38回プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 時谷政行, 浜地志憲, 平岡 裕, 増崎 貴, 田村 仁, 能登裕之, 田中照也, 恒吉達矢, 辻 義之, 室賀健夫, 相良明男, FFHR設計グループ
2. 発表標題 先進多段階ろう付接合法(AMSB)によるダイバータ受熱機器の開発
3. 学会等名 日本原子力学会 2020年秋の年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Tokitani, Y. Hamaji, Y. Hiraoka, S. Masuzaki, H. Tamura, H. Noto, T. Tanaka, T. Muroga, A. Sagara, the FFHR Design Group
2. 発表標題 Deformation/fracture behavior and thermal stability of ODS-Cu/ODS-Cu and SUS/ODS-Cu joint fabricated by the advanced brazing technique
3. 学会等名 30th Symposium on Fusion Technology (SOFT2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 時谷政行, 浜地志憲, 平岡 裕, 増崎 貴, 田村 仁, 能登裕之, 田中照也, 恒吉達矢, 辻 義之, 室賀健夫, 相良明男, FFHR設計グループ
2. 発表標題 先進的ろう付接合法によるODS-Cu/ODS-CuおよびSUS/ODS-Cu接合部の変形・破断挙動および熱的安定性
3. 学会等名 第37回 プラズマ・核融合学会年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 銅および銅合金のろう付接合方法	発明者 時谷政行	権利者 自然科学研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6852927号	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------