

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17H01364

研究課題名(和文)核融合炉ダイバータ実現に向けた高耐久性タングステン材料の開発

研究課題名(英文)Development of high durable Tungsten materials to realize divertor of a fusion reactor.

研究代表者

長谷川 晃 (Hasegawa, Akira)

東北大学・金属材料研究所・学術研究員

研究者番号：80241545

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：タングステン(W)における中性子照射影響についてのデータを収集するために、日米協力事業PHENIX計画において米国ORNLのHFIR炉を用いて中性子照射した純W材およびその合金材の微細組織発達データを取得した。照射試料として粉末焼結法によって作製した純Wの受入まま材(応力除去処理(SR))と再結晶材(R)に加えて、室温近辺での脆性を改善できるKドーピングによる微細粒材や、3%のReを添加したW-Re合金等の照射特性の評価を行い、その照射前後の特性評価を様々な手法を用いて評価し、ITERレベルの照射条件(1dpa以下)において、使用可能なタングステン材料の開発の目途が立てられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

タングステンは3400 という非常に高い融点をもつものの、室温近傍での脆性や材質改善のために導入した組織が高温領域で消滅してしまい、かつ低温での脆化が極端になる再結晶脆化が起こる条件を明確にすることが核融合炉のダイバータ機器用材料として使うための重要な要件であった。また中性子照射によってこれらの特性がどう変わってしまうかということが不明であった。本研究では核融合炉環境下での基本的な材料特性の解明とともに、粒径や組成などによる組織制御で特性を改善した材料が高温の照射環境下でどのような挙動をするかを系統的な材料開発と実験により明らかにした。これによりダイバータ用材料開発の目途が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In order to collect data on the effects of neutron irradiation on tungsten (W), data on the microstructural evolution of pure W materials and their alloys irradiated with neutrons using the HFIR reactor at ORNL in the United States under the Japan-U.S. collaboration project PHENIX were obtained. As examined samples, stress relieved pure W and recrystallized pure W prepared by powder sintering were used, and K-doped fine grain material and/or 3%Re W alloys that can improve brittleness near room temperature were also developed and used. We evaluated the irradiation characteristics of the W and W-Re alloys before and after the reactor irradiation using various methods. We made it possible to use them under ITER level irradiation conditions (1 dpa or less) and the prospects for the development of new tungsten materials could be conducted.

研究分野：核融合炉材料工学

キーワード：核融合炉 高熱流束機器 ダイバータ材料 タングステン材料 中性子照射影響 機械特性 微細組織
安定性 核変換元素効果

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

重水素(D)/三重水素(T)の核融合反応 ($D+T\Rightarrow He+n$) を使う磁気閉じこめ型核融合炉（トカマク炉等）において、核融合プラズマの燃焼を維持するために、プラズマから燃焼生成物の He や周辺の壁から混入する不純物を除去することが不可欠であり、そのための装置がダイバータである。その作動原理は、炉心プラズマから周辺プラズマに漏れ出た高エネルギーの D,T,He などのプラズマ粒子のエネルギーを除去し、中性化し、ガスとして排気するというものである。その使用環境では、使用期間中（5年程度）に $10\sim 20\text{MW/m}^2$ というロケットエンジンのノズル並みの非常に高い熱負荷と、炉心プラズマからの高エネルギー中性子やプラズマ粒子の負荷を受け続け、原子炉の炉心材料並みの中性子による照射損傷を受けることになる。これらのことからダイバータ用の材料としては、溶融し難い融点の高い材料が候補となっており、中でも金属元素中で最高の融点をもち (3420°C)、重い元素のためプラズマ粒子のスプッターによる表面減肉が少なく、核融合燃料のトリチウム（三重水素）を吸収しにくいタングステン（W）が現在建設中の ITER（国際熱核融合実験炉）のダイバータ用の材料に採用されることとなり（2010年）、その次の DEMO 炉（発電実証炉）においても W が採用される方向で検討が進められている。一方、中性子照射による W の損傷については、過去に 1970 年代に宇宙用原子炉の燃料被覆管材料として W の中性子照射の研究が米国で行われたが、その開発計画が打ち切りとなってからは W の原子炉照射はほとんど行われて来なかったため、系統だった中性子照射データがなく、その照射データの取得が急務とされていた。

W は電球のフィラメントやヒータの素材として古くから使われてきたが、ダイバータのように、厚板で、 1000°C を超える温度で、冷却機能を数年にわたって保ち続けるという用途はこれまで無く、さらに核融合炉や原子炉から発生する中性子は材料中に格子欠陥を生成し、それに加えて、中性子との反応（中性子捕獲反応等の非弾性散乱）による核変換で材料の元素組成を変えてしまうという特徴がある。これらによって W は中性子照射環境下で使っていると材料が硬く脆くなって、熱伝導率などの物性値も変わってしまうという材料特性の劣化が起こることが知られており、使用期間中の劣化の度合いを正確に予測・評価し、その対策材料を開発することはダイバータ機器システムの健全性や核融合炉の安全性に直結する重要な事項であった。

我が国の核融合コミュニティは核融合原型炉建設にいたるまでのマイルストーンを 2016 年に提言している。そこでは原型炉建設における重要な課題を絞りこみ、2020 年の「中間 Check & Review」および 2027 年の原型炉設計に移行するかどうかの「移行判断」を想定し、それまでに何を解決すべきかの検討が進められていた。その中でダイバータ用の W の材料開発については、中性子照射データ不足に対応して、(1)中性子照射装置として、当面は重照射が可能な国内外の原子炉の活用が重要で、その活用を促進するための施策が必要であること、(2)原型炉ダイバータ設計のためには、核融合炉環境を模擬しうるエネルギースペクトルを持つ中性子場での材料基礎データを取得する必要がある、移行判断前に核融合中性子源を利用したダイバータ機器構成材料に対する照射実験が必要であるとされ、具体的に、(3)中性子照射材料・機器の熱負荷試験装置の建設と運用と、(4)ダイバータ機器特性評価のための中性子照射データ整備と材料・機器開発が必要である、という答申がまとめられ、核融合科学技術委員会に上申されていた。しかし、その具体的な研究の内容（候補材料等）や活動資金などについては、研究者自身による予算獲得や裁量で進めることとなっていた。

申請者は 1990 年代後半から W の高温特性や耐スプッタリング特性に着目し、W 材料の原子炉での中性子照射の研究を独自に進めていた。特に中性子照射による中性子捕獲反応で W がレニウム(Re)に核変換する特性に着目して、W-Re 合金などの材料を作製し、さらに低温脆性が抑制された優れた機械特性が期待される微細粒組織を持つ W 材料などを、日本の原子力研究所（現・原子力研究開発機構）の材料試験炉（JMTR）や高速中性子炉の常陽や米国のオークリッジ国立研究所（ORNL）の高中性子束同位体炉（HFIR）などで中性子照射を行って、照射下での W の特性変化を調べ、その成果を発表してきた。そのような背景もあって、日米科学技術協力事業・核融合分野の PHENIX 計画（2016-2021 年）で進められていた ORNL の HFIR を使った照射研究で、核変換を抑えてより核融合環境に近い照射環境が得られる熱中性子遮蔽型のキャプセルを使った照射実験をタスクリーダーとして企画しその準備を行って、耐照射性に優れた W 合金開発のための準備を進めていた。

2. 研究の目的

2010 年以降、申請者は科研費基盤研究（A）（課題番号：24246151,2012-2017 年）や核融合科学研究所の LHD 計画共同研究（NIFS11K0BF019,2011-2014 年）において、これまで得られていた W の照射データを基に、耐中性子照射特性が期待される材料組織を調整した W 合金を試作し、その評価を進めるとともに、PHENIX 計画で HFIR を使った中性子照射実験（HFIR-19J）への照射試料の提供などを進めてきた。しかし HFIR-19J 照射では、W を照射した場合に、HFIR が水冷却の核分裂炉であるが故に熱中性子が核融合炉よりも強く、中性子捕獲による核変換で生成する Re の量が核融合炉で想定される生成量よりも 10 倍以上多くなってしまふこ

とが課題であった。この影響をできるだけ小さくするために、炉内の照射容器を熱中性子を吸収するガドリニウム(Gd)で囲って Gd に熱中性子を吸収させ、核融合炉で W 中に生成する Re 量に近づけた照射を行った点が従来の原子炉照射とは大きく異なる特徴である。

照射挙動評価のための W 素材としては、ITER 等での使用が可能ほどの工業的規模での物量の製造ができ、材料組織が均一でその諸特性も再現性が高い粉末焼結と熱間圧延・熱処理(応力除去熱処理)により微細な加工組織をもった材料を選択した。W 材料の照射下での挙動に関しては前述の核変換で生ずる Re の影響については未知な部分が多いので、本研究では Re を全く含まない純 W 材料と、3%の Re を添加した材料を選んで照射を行った。また、W の低温脆性の抑制には加工・熱処理による結晶粒微細化が有望とされているので、いくつかある結晶粒微細化手法の中から、再現性よく大きな素材が製造可能な W にカリウム (K) 等を微量添加して、その後の加工・熱処理により W 中で揮発した K が形成する中空の微細なバブルを材料中に導入することにより、微細結晶粒組織をもち、かつ高温での再結晶温度が純 W よりも高い K ドープ W などの材料を用いた。これらの材料は非照射段階では従来の純 W 材よりも、再結晶温度が高く、DBTT が低く、高温強度が高いものを製造することができた。本研究ではこれらの材料の中性子による照射特性について、PHENIX 計画での原子炉照射の機会を活用して検証し、そのデータをまとめることで核融合炉のダイバータ環境下での高耐久性 W 材料の開発のための指針を得ることを目指した。

申請者が開発し作製したこれらの W 材料 の試験片は、2016 年の 6 月から HFIR で原子炉照射が行われ、2017 年の夏には照射が終了した。本研究では、照射終了後に試験片の放射能を冷却し、キャプセルを解体して試験片だけを 2018 年以降に日本の東北大学金属材料研究所・附属量子エネルギー材料科学国際研究センター(金研・大洗)に順次輸送し、そこで他の国内研究者とともに中性子照射後の W の基礎物性を調べ、その機械特性や組織変化などを評価し、開発合金の有効範囲を明かにし、その後の中性子重照射(10dpa 以上)に耐える材料の選定を行い、さらなる照射抵抗性を持つ改良材への知見を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

2011 年の東日本大震災以降、日本では材料照射用の原子炉は稼働しておらず、また世界的に見て材料照射研究に使える原子炉が少なくなり、原子炉での中性子照射の機会が少なくなっている。そのため米国の原子炉(HFIR)で照射した試験片は貴重な試料である。そのため、照射中の耐照射性向上が期待される組織制御を施した W 材料を照射終了後に日本に輸送し、想定使用温度条件で機械特性試験を行い、W の中性子照射による機械特性変化とそれに及ぼす材料組織制御の有効性を検討する計画とした。原子炉照射試験片は中性子照射によって放射化するため、放射性物質が取り扱える管理区域内での実験となる。そのため管理区域内で 1400°C まで試験可能な試験機と専用治具などを本研究経費により整備し、評価することを計画した。しかし、原子炉照射直後の試験片の放射能レベルが高く、さらに米国側での研究所内の放射線管理体制の変更等があるため日本への輸送が遅れる見込みになったこともあり、研究分担者が訪米して日本への輸送に先行して ORNL で引張試験や熱伝導特性などの評価を進めた。その後のコロナ禍の影響により、米国内での放射性物質の搬出がなかなかできず、そのため日本への試験片の輸送がさらに遅れたため、本研究期間を 1 年延長する 2022 年度へのくり越しを行った。結局当初予定の最終年度であった 2021 年の 1 月に金研・大洗センターに試験片が到着し、くり越した 2022 年度において、透過電子顕微鏡を用いた損傷組織と材料中の微細組織観察等を行った。

また、本研究により作製した材料と試験片については研究分担者に配付し、HFIR 以外の原子炉(BR-2:ベルギー)での稀少な照射機会を有効利用して照射データを取得し、複数の視点からの評価を行った。

原子炉照射では前述のような放射化等の影響もあって 1dpa 以上の重照射が現在の原子炉(軽水炉)では難しい。そのため、原子炉照射と並行して、国内にある粒子線加速器である量子科学研究開発機構(QST)の TIARA と東北大学工学研究科のダイナミトロン加速器を使って、重イオン(W の自己イオン)と軽イオン(水素イオン)を使った照射研究手法の有効性の検証も行った。また、原子炉照射では模擬できない核融合炉特有の高エネルギー中性子との(n,α)反応によって発生する He の影響についても、東北大学サイクロトロン加速器を使った He 注入実験により調査した。金属材料中ではほとんど固溶しない He は、粒界などに析出し集まって He バブルを形成し、それが起点となって粒界破壊などの脆性破壊を起こすことが鉄鋼材料ではよく知られていた。しかし、W における He の材料特性への影響はほとんど知見が無かった。その挙動を明かにするために加速器を使って加速した 50MeV の He イオンを W の微小引張試験片などに He 注入を行った。ダイバータの使用期間(5年間)中に W 中に生成すると予測されている 20appm までの He を注入し、再結晶挙動などの材料組織への影響や、硬さや強度および延性等の機械特性への影響を評価した。高エネルギー He イオン照射では、試験片が放射化するため、放射線管理区域内に設置した上記の引張試験機や熱処理装置を用いてこれらの影響を評価した。これにより、DEMO 炉のための材料選定の第一段階として、1-2dpa における結晶粒などの組織制御による照射挙動の違いを材料改質因子と照射損傷の組織発達や核変換元素との関係を明らかにして、材料学的な視点から耐照射材料の開発に反映できる知見の整理を進めた。

4. 研究成果

本研究で対象とした W および W 合金の非照射環境下での引張試験や衝撃試験等の機械特性、再結晶挙動などの組織安定性、熱伝導特性等と、照射後の機械特性、熱伝導特性等の概要については国際会議の招待講演として研究分担者・野上修平が発表し論文化した[1]。なお、当該論文については、掲載雑誌 (J. Nuclear Materials) の 2021 年の年間最優秀論文として表彰を受けている。以下に個別の成果毎に述べる。

図 1 は HFIR で 600°C/0.4dpa, 800°C/0.7dpa, 1100°C/0.7dpa の照射温度/はじき出し損傷を受けた W の各材料の室温で測定した照射後の硬さの変化を示す。600, 800°C で中性子照射したものはいずれも硬さが増加しており、照射によって導入された照射欠陥集合体により硬化した。一方、1100°C で照射した場合、応力除去処理 (SR) 材では照射前よりも硬さが減少しており、一方で再結晶材ではわずかに硬さが増加していた。これらの材料は 1100°C では短時間 (1h) では再結晶はしないものの、約 3 ヶ月間の照射期間 1100°C に保たれたことで、製造時の加工により導入された亜結晶粒組織が回復し再結晶したことを示している。

照射後の走査電子顕微鏡 (SEM) による電子線後方散乱スペクトル (EBSD) 測定でも再結晶組織となったことが確認された。非照射環境では Re を 3% 添加した材料では、1100°C・4 ヶ月間の熱処理でも再結晶は起こらず、Re は再結晶抑制因子と考えられていたが、照射誘起の再結晶が起こっていることが始めた示唆された。このような照射誘起の再結晶はこれまで報告された例が無く、ダイバータで使用する際の上限温度の設定時に留意する必要がある。また、800°C 照射では Re 添加材で照射硬化が大きくなる傾向も見られ、照射誘起析出の影響と考えている。

純 W の透過電子顕微鏡 (TEM) 観察では、600, 800°C 照射材では微細な転位ループとボイドが観察されており、その大きさや数密度は 2 つの温度で大きな差はなく、また加工で導入された亜結晶粒組織も残っており、照射硬化が粒内のこれらの欠陥集合体形成によるものであることが分かった。1100°C 照射材の微細組織観察では転位ループは見られず、800°C よりも 4~5 倍に大きく成長したボイドが観察され、さらに亜結晶粒組織の回復も認められた。照射による微細組織発達に 800°C と 1100°C の間で大きく変わることが明確になった。

一方 Re 添加材では、1100°C 照射材ではボイドが少なくなり、ボイドよりも大きく成長した棒状の W-Re の析出物が認められた。非照射状態では Re は W 中に 25% まで固溶するので、はるかに少ない Re 濃度で W-Re の析出物が現れる照射誘起析出が明らかになった。棒状の析出物は Re を添加していない純 W や K-doped-W ではボイドとほぼ同じ程度の大きさものがボイドに隣接して散見される程度であった。核反応で純 W 中に生成した Re 量は後述する熱伝導率測定等から、0.5% 程度と同定されたことから、Re は照射下では照射による自己格子間原子と結びついて拡散が早まり、非常に小さな格子欠陥集合体などを核として容易に析出することが明らかとなった。800°C 照射では析出物は明確には観察されず、小さな 1~2nm 以下のブラックドットの状態にとどまることが分かり、照射誘起析出の温度依存性も明らかになった。

図 2 はこれらの照射材の照射温度近傍での引張試験の応力ひずみ線図である。上は 800°C 照射/700°C 引張試験、下は 1100°C 照射/900°C 引張試験の結果である。上図は各合金間の非照射材との比較を、下図は純 W (SR) の 1100°C 照射材と受入まま材と 1100°C で 4 ヶ月間保持した試験片の 900°C での結果を示す。

図 1 では 800°C 照射材の室温での硬さに合金間の違いが見られたが、700°C という高温では降伏応力に大きな違いは見られない。特徴的なのは、照射後の降伏応力が照射前の約 2 倍にまで増加している一方で、全伸びが非照射材とほぼ同じ程度という挙動を示したことである。これらの材料は照射後の 500°C での引張試験ではほとんど伸びを示さない脆性破壊を示したことから、照射欠陥集合体による塑性変形抵抗が増した一方で、最終的に脆性破壊に至る現象が高温では現れにくいということであると考えられる。

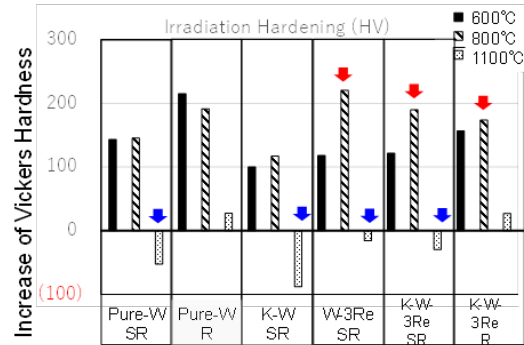


図 1 各照射温度での中性子照射硬化[2]

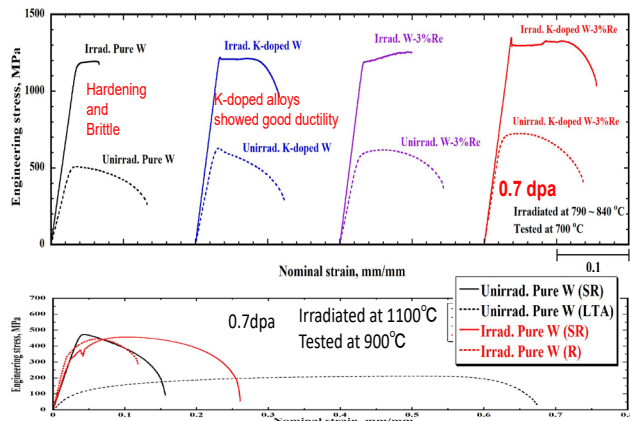


図 2 照射材の応力ひずみ線図 上: 800°C 照射/700°C 試験、下: 1100°C 照射/900°C 試験[3]

図2の下図では、照射下で再結晶した純WのSR材と、非照射のSR材と長時間焼鈍で再結晶させたもの(R材)を比較している。室温での硬さ測定では大きく軟化した照射したSR材も、亜結晶粒組織が残っている非照射材とほぼ同じ応力ひずみ関係を示している。これは高温での変形においては照射欠陥集合体が亜粒界組織とほぼ同じような変形抵抗を持つことを示している。この1100°C照射材は500°C試験でもほぼ同程度の伸びを示していることから、1100°Cで照射誘起の再結晶を起こしても、必ずしも500°C程度の低温領域で照射脆化挙動を示す訳ではないことが示された。

図3は純WとW-3%Reの照射前(黒)と、純Wの600°C照射後(青)の熱拡散率の試験温度依存性の結果である。純Wでは照射後に熱伝導率が低下した。照射していないW-1%Re合金(赤)や3%Reデータなどから、照射した純Wの熱拡散率の低下は照射中に形成された0.52%程度のReによるものであることを明かにした。同一製法のW合金の熱拡散率のRe濃度依存性のデータと微細組織観察の結果等を関連づけた研究はこれまでになく、中性子照射によってはじき出し損傷と核変換元素が導入されたダイバータ材料における冷却能力の変化がどのように起こるのかの予測が初めて可能となった。

図4は(n,α)反応の核変換で発生するHeの影響を純W(SR材)への20appmのHeを注入の有無による硬さの焼鈍温度の変化で示したものである。通常は1200°C・1時間の熱処理で再結晶して軟化する純W(SR材)であるが、SR材の強度と延性を発現する組織である加工によって導入された粒内の亜結晶粒界が、注入したHeがその亜結晶粒界上に析出し、その高温での回復時における亜結晶粒界の移動をピン止めすることで回復を抑制し、回復と前後した起こる再結晶粒の核形成と成長を抑制することを始めて明かにした。この効果は2appmでは起こらないことから、2~20appmの間のHe濃度で発現することも明かにした。またHe注入した試験片を1500°Cで焼鈍して亜粒界上にHeバブルを析出させた試験片を、300°Cという純Wの脆性領域や1100°Cの延性領域で引張試験を行ったが、いずれも粒界破壊による脆性破壊は起こらなかったことから、Wにおいては、たとえ粒界にHeバブルが発生しても、鉄鋼材料で見られるような粒界脆化が起こらないであろうことを始めて明かにした。

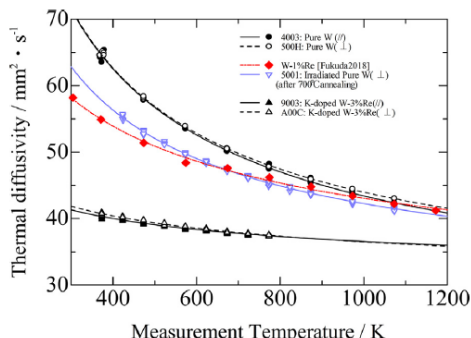


図3 純Wの照射前後の熱拡散率[4]

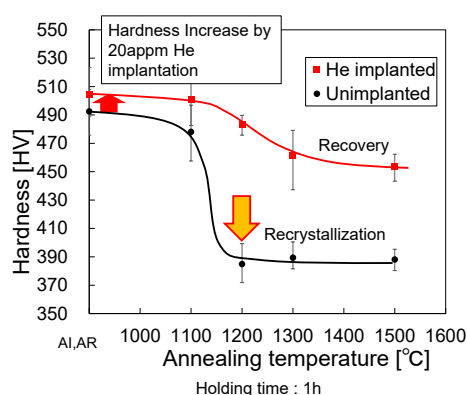


図4 20appmHe注入した純Wの焼鈍後の硬さの変化[5]

本研究では、核融合炉での高温・中性子照射環境下での耐照射耐性を持ったWダイバータ材料の開発を目指し、工業的規模で実際のダイバータ規模の需要を満たせる粉末冶金法で作製した純Wや、さらにその結晶粒組織を微細化し安定化させたKドープWを中心として、核変換で生成し照射誘起析出による照射硬化を促進すると言われるReの影響と、結晶粒形状や亜粒界組織などの微細粒組織の影響について、さまざまな視点から原子炉での中性子照射の有無における影響を系統的に調査した。また、粒界脆化の起点となることが想定されていた核変換Heの機械特性への影響を、加速器を使った手法で調査した。その結果、粉末焼結・熱間圧延・応力除去熱処理というプロセスで作製したWおよびW合金においてははじき出し損傷量0.7dpa、1100°Cまでの温度領域における照射挙動を明らかにできた。この損傷量は現在建設中のITERのダイバータのレベルに相当し、実機における材料の照射挙動の予測に貢献できた。照射材は500°C以下の温度では脆性的に破壊したが、高温領域では照射硬化が起こっても伸びが低下しないという挙動を始めて明かにした。またW-Re合金(SR)材では1100°C照射で照射誘起再結晶が起こることを始めて明かにした一方、Kドープ材では亜結晶粒の回復により硬さが軟化し再結晶は起こるものの、純Wに比べて微細な結晶粒組織となることが分かり、この製法での耐照射性W材料の可能性が認められた。加速器を使った核変換Heの影響の評価により、Heは亜結晶粒界の安定性を向上させるものの、照射初期のHeの蓄積量の少ない時期においてはその影響は無いこと、また使用期間末期のHe量でも粒界にHeが蓄積してHeバブルを形成しても、粒界脆化は起こりにくいことを始めて明かにし、今後の耐照射性材料開発の指針を得た。

[1] S. Nogami et al., J. Nucl. Mater. 543 152506 (2021)
 [2] 長谷川晃他、日本原子力学会、2022年秋の年会、3H03
 [3] T. Miyazawa et al., J. Nucl. Mater. 542 152505 (2020)
 [4] M. Akiyoshi et al., J. Nucl. Mater. 543 152594 (2021)
 [5] A. Hasegawa et al., Physica Scripta T171(T171) 014016 (2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 24件/うち国際共著 14件/うちオープンアクセス 24件）

1. 著者名 Miyazawa Takeshi, Kikuchi Yuta, Ando Masami, Yu Ju-Hyeon, Yabuuchi Kiyohiro, Nozawa Takashi, Tanigawa Hiroyasu, Nogami Shuhei, Hasegawa Akira	4. 巻 575
2. 論文標題 Microstructural evolution in tungsten binary alloys under proton and self-ion irradiations at 800 °C	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 154239 ~ 154239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2023.154239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nogami Shuhei, Ozawa Itsuki, Asami Daisuke, Matsuta Naoya, Nakabayashi Seiji, Baumgrtner Siegfried, Lied Philipp, Yabuuchi Kiyohiro, Miyazawa Takeshi, Kikuchi Yuta, Wirtz Marius, Rieth Michael, Hasegawa Akira	4. 巻 566
2. 論文標題 Tungsten-tantalum alloys for fusion reactor applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153740 ~ 153740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2022.153740	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Gietl Hanns, Koyanagi Takaaki, Hu Xunxiang, Fukuda Makoto, Hasegawa Akira, Katoh Yutai	4. 巻 901
2. 論文標題 Neutron irradiation-enhanced grain growth in tungsten and tungsten alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 163419 ~ 163419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.163419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Miyazawa Takeshi, Matsui Kento, Hasegawa Akira	4. 巻 30
2. 論文標題 Effects of microstructural anisotropy and helium implantation on tensile properties of powder-metallurgy processed tungsten plates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 101122 ~ 101122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2022.101122	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nogami Shuhei, Terentyev Dmitry, Zinovev Aleksandr, Yin Chao, Rieth Michael, Pintsuk Gerald, Hasegawa Akira	4. 巻 553
2. 論文標題 Neutron irradiation tolerance of potassium-doped and rhenium-alloyed tungsten	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153009 ~ 153009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2021.153009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nogami Shuhei, Hasegawa Akira, Fukuda Makoto, Watanabe Shotaro, Reiser Jens, Rieth Michael	4. 巻 152
2. 論文標題 Tungsten modified by potassium doping and rhenium addition for fusion reactor applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 111445 ~ 111445
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2019.111445	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Miyazawa, Y. Kikuchi, M. Ando, J.H. Yu, K. Yabuuchi, T. Nozawa, H. Tanigawa, S. Nogami, A. Hasegawa	4. 巻 575
2. 論文標題 Microstructural evolution in tungsten binary alloys under proton and self-ion irradiations at 800oC	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 154239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2023.154239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shuhei Nogami, Itsuki Ozawa, Daisuke Asami, Naoya Matsuta, Seiji Nakabayashi, Siegfried Baumgartner, Philipp Lied, Kiyohiro Yabuuchi, Takeshi Miyazawa, Yuta Kikuchi, Marius Wirtz, Michael Rieth, Akira Hasegawa	4. 巻 566
2. 論文標題 Tungsten-Tantalum Alloys for Fusion Reactor Applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2022.153740	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hanns Gietl, Takaaki Koyanagi, Xunxiang Hu, Makoto Fukuda, Akira Hasegawa, Yutai Katoh	4. 巻 901
2. 論文標題 Neutron irradiation-enhanced grain growth in tungsten and tungsten alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds	6. 最初と最後の頁 163419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.163419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takeshi Miyazawa, Kento Matsui, Akira Hasegawa	4. 巻 30
2. 論文標題 Effects of microstructural anisotropy and helium implantation on tensile properties of powder-metallurgy processed tungsten plates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 101122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2022.101122	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shuhei Nogami, Dmitry Terentyev, Aleksandr Zinovev, Chao Yin, Michael Rieth, Gerald Pintsuk, Akira Hasegawa	4. 巻 553
2. 論文標題 Neutron irradiation tolerance of potassium-doped and rhenium-alloyed tungsten	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 153009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2021.153009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Miyazawa Takeshi, Garrison Lauren M., Geringer Josina W., Echols John R., Fukuda Makoto, Katoh Yutai, Hinoki Tatsuya, Hasegawa Akira	4. 巻 542
2. 論文標題 Tensile properties of powder-metallurgical-processed tungsten alloys after neutron irradiation near recrystallization temperatures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152505 ~ 152505
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2020.152505	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Akiyoshi Masafumi, Garrison Lauren M., Geringer Josina W., Wang Hsin, Hasegawa Akira, Nogami Shuhei, Katoh Yutai	4. 巻 543
2. 論文標題 Thermal diffusivity of irradiated tungsten and tungsten-rhenium alloys	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152594 ~ 152594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2020.152594	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Nogami Shuhei, Hasegawa Akira, Fukuda Makoto, Rieth Michael, Reiser Jens, Pintsuk Gerald	4. 巻 543
2. 論文標題 Mechanical properties of tungsten: Recent research on modified tungsten materials in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 152506 ~ 152506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2020.152506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hasegawa Akira, Sato Yusuke, Hattori Takaya, Kanamaru Ryota, Du Luo, Miyazawa Takeshi, Nogami Shuhei	4. 巻 29
2. 論文標題 Helium effects on tensile properties of powder metallurgical-processed tungsten for fusion reactor applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 101076 ~ 101076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2021.101076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Katoh, L.L. Snead, L.M. Garrison, X. Hu, T. Koyanagi, C.M. Parish, P.D. Edmondson, M. Fukuda, T. Hwang, T. Tanaka, A. Hasegawa	4. 巻 520
2. 論文標題 Response of unalloyed tungsten to mixed spectrum neutrons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 193-207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2019.03.045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Lauren M. Garrison, Yutai Katoh, Josina W. Geringer, Masafumi Akiyoshi, Xiang Chen, Makoto Fukuda, Akira Hasegawa, Tatsuya Hinoki, Xunxiang Hu, Takaaki Koyanagi, Eric Lang, Michel McAlister, Joel McDuffee, Takeshi Miyazawa, Chad Parish, Emily Proehl, Nathan Reid, Janet Robertson and Hshin Wang	4. 巻 75
2. 論文標題 Phenix U.S.-Japan Collaboration Investigation of Thermal and Mechanical Properties of Thermal Neutron-Shielded Irradiated Tungsten	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fusion Science and Technology	6. 最初と最後の頁 499-509
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15361055.2019.1602390	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Michael Rieth, Russell Doerner, Akira Hasegawa, Yoshio Ueda, Marius Wirtz	4. 巻 519
2. 論文標題 Behavior of tungsten under irradiation and plasma interaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 334-368
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2019.03.035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takeshi Miyazawa, Lauren M. Garrison, Josina W. Geringer, Makoto Fukuda, Yutai Katoh, Tatsuya Hinoki, Akira Hasegawa	4. 巻 520
2. 論文標題 Neutron irradiation effects on the mechanical properties of powder metallurgical processed tungsten alloys	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 151910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2019.151910	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Akira Hasegawa, Takeshi Miyazawa, Daichi Itou, Takaya Hattori, Kenta Yoshida, Shuhei Nogami	4. 巻 T171
2. 論文標題 Helium effects on recovery and recrystallization of powder metallurgically processed tungsten	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IOP Publishing Physica Scripta	6. 最初と最後の頁 151910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1402-4896/ab408d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takeshi Miyazawa, Taehyun Hwang, Kohei Tsuchida, Takaya Hattori, Makoto Fukuda, Shuhei Nogami, Akira Hasegawa	4. 巻 15
2. 論文標題 Effects of helium on mechanical properties of tungsten for fusion applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 154-157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2018.04.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kohei Tsuchida, Takeshi Miyazawa, Akira Hasegawa, Shuhei Nogami, Makoto Fukuda	4. 巻 15
2. 論文標題 Recrystallization behavior of hot-rolled pure tungsten and its alloys plates during high-temperature annealing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy	6. 最初と最後の頁 158-163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2018.04.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Taehyun Hwang, Akira Hasegawa, Keiko Tomura, Naoaki Ebisawa, Takeshi Toyama, Yasuyoshi Nagai, Makoto	4. 巻 507
2. 論文標題 Effect of neutron irradiation on rhenium cluster formation in tungsten and tungsten-rhenium alloys	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Materials	6. 最初と最後の頁 78-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnucmat.2018.04031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Makoto Fukuda, Akira Hasegawa, Shuhei Nogami	4. 巻 132
2. 論文標題 Thermal properties of pure tungsten and its alloys for fusion applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Fusion Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fusengdes.2018.04.117	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計51件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 長谷川晃、吉田健太
2. 発表標題 熱中性子遮へいを施して中性子照射した純WおよびW合金の 損傷の微細組織解析
3. 学会等名 金属学会 2023年春の大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長谷川晃
2. 発表標題 核融合炉用材料という新しい分野でのタングステン材料の適用を通じた材料科学の進展の状況 核融合炉用タングステン合金の開発
3. 学会等名 金属学会シンポジウム タングステン材料科学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川晃
2. 発表標題 HFIRで中性子照射したWおよびW合金の 照射後特性評価
3. 学会等名 金属学会 材料照射研究会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川晃、宮澤健、野澤貴史、安堂正己、兪周炫、黒滝宏紀
2. 発表標題 ダイバータへの適用をめざすタングステン材料の照射データベースの構築
3. 学会等名 プラズマ核融合学会 2022年
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川晃、吉田健太
2. 発表標題 HFIRにて熱中性子遮へいを施して中性子照射したWの損傷の微細組織解析
3. 学会等名 金属学会 2022年 秋の大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長谷川晃、吉田健太、宮澤健
2. 発表標題 HFIRで照射したタングステンの中性子照射特性と微細組織発達
3. 学会等名 原子力学会 2022年秋の大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮澤健、松井賢斗、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 タングステン圧延材の引張特性に及ぼす組織異方性と注入ヘリウムの影響
3. 学会等名 日本原子力学会 2021年 春の大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮澤健、佐藤祐輔、羅杜、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 タングステン材料の組織安定性と引張特性に及ぼすヘリウム注入濃度の影響
3. 学会等名 日本金属学会第166回講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 A. Hasegawa, T. Miyazawa, T. Hattori, D. Itou, S. Nogami, K. Yoshida
2. 発表標題 Helium Effects on Recovery and Recrystallization of Powder-Metallurgical Processed Tungsten
3. 学会等名 17th Plasma Facing Materials and Components (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Hasegawa, Takaya Hattoria, Takeshi Miyazawaa and Shuhei Nogami
2. 発表標題 Study of effects of low concentration Helium on tensile properties of Tungsten by Helium implantation using a cyclotron
3. 学会等名 Fifth International Workshop on Structural Material for Innovative Nuclear Systems (SMINS-5) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Seiya Nishimura, Shuhei Oizumi, Takeshi Miyazawa, Suhei Nogami and Akira Hasegawa
2. 発表標題 Proton irradiation effects on the microstructural development of tungsten
3. 学会等名 Fifth International Workshop on Structural Material for Innovative Nuclear Systems (SMINS-5) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Sato, Daichi Ito, Takaya Hattori, Takeshi Miyazawa, Shuhei Nogami, Akira Hasegawa, Kenta Yoshida
2. 発表標題 Microstructure development of tungsten exposed to helium implantation
3. 学会等名 Fifth International Workshop on Structural Material for Innovative Nuclear Systems (SMINS-5) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Miyazawa, Lauren M. Garrison, Josina W. Geringer, Yutai Katoh, Tatsuya Hinoki and Akira Hasegawa
2. 発表標題 Tensile behavior of tungsten materials irradiated with a thermal neutron shield
3. 学会等名 Fifth International Workshop on Structural Material for Innovative Nuclear Systems (SMINS-5) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira. Hasegawa, Takeshi. Miyazawa, Takaya. Hattori, Daichi. Itou, and Shuhei. Nogami
2. 発表標題 Helium Effects on Recovery and Recrystallization behavior and tensile properties of Powder-Metallurgical Processed Tungsten
3. 学会等名 19th International Conference of Fusion Reactor Materials (ICFRM-19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takeshi Miyazawa, Lauren M. Garrison, Josina W. Geringer, Yutai Katoh, Tatsuya Hinoki and Akira Hasegawa
2. 発表標題 NEUTRON IRRADIATION EFFECTS ON MECHANICAL PROPERTIES OF TUNGSTEN ALLOYS
3. 学会等名 19th International Conference of Fusion Reactor Materials (ICFRM-19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川晃、服部剛弥、井藤大智、宮澤健、野上修平
2. 発表標題 粉末焼結タングステンの高温における組織安定性と機械特性に及ぼす 注入ヘリウムの影響
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年 秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮澤健、L. M. Garrison、J.W. Geringer、福田誠、加藤雄大、檜木達也、長谷川晃
2. 発表標題 再結晶温度域にて中性子照射したタングステン材料の機械特性
3. 学会等名 日本金属学会第165回講演大会 2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮澤健、L. M. Garrison、J.W. Geringer、福田誠、加藤雄大、檜木達也、長谷川晃
2. 発表標題 タングステン材料の再結晶温度域における中性子照射後機械特性
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会 2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村星耶、宮澤健、三輪 美沙子、兪周炫、安堂正己、谷川博康、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 タングステン-レニウム合金の微細組織発達に及ぼすイオン照射による影響
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会 2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 祐輔、羅 杜、宮澤 健、野上 修平、長谷川 晃
2. 発表標題 タングステン材料の引張特性に及ぼすヘリウム注入濃度の影響
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会 2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 羅杜、佐藤祐輔、宮澤健、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 タングステン材料の高温組織安定性に及ぼすヘリウム注入濃度の影響
3. 学会等名 第36回プラズマ・核融合学会年会 2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮澤健、佐藤祐輔、羅杜、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 タングステン材料の組織安定性と引張特性に及ぼすヘリウム注入濃度の影響
3. 学会等名 日本金属学会第166回講演大会 2020年
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akira Hasegawa
2. 発表標題 Current Status of Irradiation Research of Tungsten Materials for Fusion Applications
3. 学会等名 14th Japan-China Symposium on Materials for Advanced Energy Systems and Fission & Fusion Engineering(JCS-14) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Hasegawa
2. 発表標題 Current Status of Irradiation Research of Tungsten for Fusion Reactor Application in Japan
3. 学会等名 The 14th International Workshop on Spallation Materials Technology (IWSMT-14) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川晃、野上修平、宮澤健
2. 発表標題 核融合炉中性子照射環境下におけるタングウテン中の照射欠陥集合体形成と核変換による材料特性変化
3. 学会等名 第12回核融合エネルギー連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺田樹、宮澤健、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 タングステン材料の再結晶挙動に及ぼすレニウム添加の影響
3. 学会等名 日本原子力学会 2018年秋の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川晃
2. 発表標題 材料照射研究の現状と今後の課題 タングステン照射研究の現状と課題
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部剛弥、宮澤健、長谷川晃
2. 発表標題 核融合炉用タングステン材料の高温引張り特性に及ぼすヘリウム注入の影響
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大泉周平、宮澤健、野上修平、長谷川晃、安堂正己、谷川博康
2. 発表標題 ナノインデンテーション法によるタングステン材料の照射硬化評価
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮澤健、Lauren M. Garrison, 加藤雄大、檜木達也、長谷川晃
2. 発表標題 熱中性子遮へいを施して照射したタングステンとタングステン合金の機械特性
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井藤大智、宮澤健、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 核融合炉用タングステン材料の微細組織発達に及ぼすヘリウム注入の影響
3. 学会等名 第35回 プラズマ・核融合学会 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮澤健、ローレン ギャリソン、加藤雄大、檜木達也、長谷川晃
2. 発表標題 核融合炉用タングステン材料の照射効果 (1) 中性子照射したタングステン材料の高温引張り特性
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年春の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村星耶、大泉周平、宮澤健、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 核融合炉用タングステン材料の照射効果 (2)軽イオン照射した段グステン材料の照射効果
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年春の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤祐輔、井藤大智、服部剛弥、宮澤健、野上修平、長谷川晃
2. 発表標題 核融合炉用タングステン材料の照射効果 (3)ヘリウム注入したタングステンの微細組織および高温引張り特性
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年春の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長谷川晃、服部剛弥、井藤大智、宮澤健、野上修平
2. 発表標題 タングステンの再結晶挙動に及ぼす高エネルギーHeイオン注入の影響
3. 学会等名 日本金属学会 2019年春期(第164回)講演退会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira HASEGAWA, Michael Rieth, Yutai Katoh
2. 発表標題 Irradiation Effects of W Current understandings and remaining subjects
3. 学会等名 18th International Conference on Fusion Reactor Materials(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Makoto Fukuda, Akira Hasegawa, Shuhei Nogami
2 . 発表標題 Thermal properties of pure tungsten and its alloys
3 . 学会等名 18th International Conference on Fusion Reactor Materials (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Kohei Tsuchida, Akira Hasegawa, Shuhei Nogami, Makoto Fukuda
2 . 発表標題 Recrystallization Behavior of Hot Rolled Pure Tungsten and Its Alloy Plates during High Temperature Annealing
3 . 学会等名 18th International Conference on Fusion Reactor Materials (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Hattori, A. Hasegawa, S. Nogami, Y. Kajishima, M. Fukuda
2 . 発表標題 Effect of High Temperature Annealing on Tensile Properties of W and K-doped W Alloys
3 . 学会等名 18th International Conference on Fusion Reactor Materials (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 aehyun Hwang, Tunenori Tabata, Makoto Fukuda, Kazumi Ozawa, Hiroyasu Tanigawa, Shuhei Nogami, Akira Hasegawa
2 . 発表標題)Effect of Self-Ion Irradiation and Irradiation Temperature on Microstructural Development and Nano-Indentation Hardness of Tungsten and Tungsten-Rhenium Alloys
3 . 学会等名 18th International Conference on Fusion Reactor Material (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi, Miyazawa, Kento Niki, Taehyun Hwang, Kohei Tsuchida, Takaya Hattori, Makoto Fukuda, Shuhei Nogami and Akira Hasegawa
2. 発表標題 Study of Helium Effects on Mechanical Properties of Tungsten for Fusion Applications
3. 学会等名 18th International Conference on Fusion Reactor Material (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira HASEGAWA
2. 発表標題 Impact of Neutron Irradiation on Tungsten Materials
3. 学会等名 The 26th International Toki Conference (ITC-26) - New Era in Plasma and Fusion Research -& The 11th Asia Plasma and Fusion Association Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黄 泰現、戸村 恵子、海老澤 直樹、外山 健、永井 康介、長谷川 晃、福田 誠、宮澤 健、野上 修平
2. 発表標題 原子炉照射した純タングステンとタングステン合金における核変換元素のクラスター形成挙動
3. 学会等名 日本原子力学会 2017秋の年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮澤健、田畠恒紀、黄泰現、福田誠、長谷川晃、野上修平、谷川博康
2. 発表標題 重イオン照射したタングステン材料の照射硬化挙動
3. 学会等名 日本原子力学会 2017秋の年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 土田 航平, 黄 泰現, 宮澤 健, 福田 誠, 野上 修平, 長谷川 晃
2. 発表標題 高温長時間保持によるWおよびW合金の再結晶挙動
3. 学会等名 日本原子力学会 2017秋の年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 宮澤 健, 土田 航平, 野上 修平, 長谷川 晃
2. 発表標題 熱間圧延したタングステン板材の高温熱履歴による再結晶挙動
3. 学会等名 日本原子力学会 2018春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野上 修平, 渡邊 捷太郎, 服部 剛弥, Jens Reiser, Michael Rieth, 土田 航平, 宮澤 健, 長谷川 晃
2. 発表標題 核融合炉用タングステン合金の熱機械的特性 (1)純タングステンの熱機械特性と合金開発の概要
3. 学会等名 日本原子力学会 2018春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 服部 剛弥, 野上 修平, 渡邊 捷太郎, Jens Reiser, Michael Rieth, 土田 航平, 宮澤 健, 長谷川 晃
2. 発表標題 核融合炉用タングステン合金の熱機械特性 (2)タングステンの熱機械特性に及ぼすカリウムドーブの影響
3. 学会等名 日本原子力学会 2018春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊 捷太郎, 野上 修平, 服部 剛弥, Jens Reiser, Michael Rieth, 土田 航平, 宮澤 健, 長谷川 晃
2. 発表標題 核融合炉用タングステン合金の熱機械特性 (3) タングステンの熱機械特性に及ぼすレニウム添加の影響
3. 学会等名 日本原子力学会 2018春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川晃, 黄泰現, 宮澤健, 野上修平, 戸村恵子, 海老澤直樹, 外山健, 永井康介, 田中照也
2. 発表標題 中性子エネルギースペクトルの異なる原子炉で照射された純WおよびW-10Re合金における照射誘起Reクラスターの形成と照射硬化の挙動
3. 学会等名 日本金属学会 2018春の年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮澤 健, 仁木 健人, 黄 泰現, 野上 修平, 長谷川 晃
2. 発表標題 ヘリウム注入したタングステン材料の高温引張特性
3. 学会等名 日本金属学会 2018春の年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究 分 担 者	野上 修平 (Nogami Shuhei) (00431528)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	宮澤 健 (Miyazawa Takeshi) (00733726)	東北大学・工学研究科・助教 (11301)	
研究分担者	安堂 正己 (Ando Masami) (30370349)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・六ヶ所研究所 核融合炉材料研究開発部・主幹研究員 (82502)	
研究分担者	長坂 琢也 (Nagasaka Takuya) (40311203)	核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授 (63902)	
研究分担者	外山 健 (Toyama Takeshi) (50510129)	東北大学・金属材料研究所・准教授 (11301)	
研究分担者	谷川 博康 (Tanigawa Hiroyasu) (50354668)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・六ヶ所核融合 研究所 核融合炉材料研究開発部・グループリーダー（定 常） (82502)	

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		
米国	Oak Ridge National Laboratory		
ドイツ	Karlsruhe Institute of Technology	Forschungszentrum Julich GmbH	
米国	Oak Ridge National Laboratory		
米国	オークリッジ国立研究所		
ドイツ	カールスルーエ工科大学		

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	オークリッジ国立研究所			
アメリカ合衆国	オークリッジ国立研究所			
ドイツ	カールスルーエ工科大学			