

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24246151

研究課題名(和文) 高負荷粒子・エネルギー環境に耐える高信頼性対向壁用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・工学研究科・教授

研究者番号：80241545

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,500,000円

研究成果の概要(和文)：核融合炉の不純物排気装置であるダイバータは、プラズマからの多量の中性子や水素イオンや高熱にさらされるため、高融点のタングステン材料が最も有力な候補材料である。この核融合炉条件でも溶融や脆化が起こりにくいタングステン材料を合金化や結晶粒組織制御等の工夫により開発・製造し、実験と解析により開発材料の有効性を明かにした。また米国の原子炉を使った中性子照射による耐照射性確認を行うための照射実験を完了させた

研究成果の概要(英文)：Divertor is one of component of a fusion reactor to exhaust impurities from plasma. The divertor will be exposed high-flux neutrons, hydrogen ions and high heat load. Tungsten is the most promising candidate material of the divertor component because of its high melting temperature. In this work, we developed new tungsten materials by alloying and controlling fine grain structure to suppress melting and embrittlement, and showed their superior properties compared to conventional tungsten materials by material testing and numerical analysis. Neutron irradiation experiment of these materials was also carried out using a material testing fission reactor in the United States.

研究分野：核融合炉工学

キーワード：核融合炉 ダイバータ 構造材料

1. 研究開始当初の背景

研究の学術的背景

核融合エネルギーを取り出す核融合炉のプラズマ対向壁は、プラズマからの 14MeV 中性子とプラズマ粒子の重照射を受け、高温の粒子線環境という過酷な環境（高負荷粒子・エネルギー環境）にさらされる。14MeV の中性子は核融合プラズマからエネルギーを取り出すためのエネルギー伝達媒体であり、また増殖ブランケットで燃料のトリチウム生産に不可欠なものであるが、増殖ブランケットをプラズマに直接さらすと高温と粒子線照射によって壊れてしまうので、プラズマに面する部分にはこれらの機器を守る高温と粒子線照射に強いプラズマ対向壁が必要となる。

これまで JT-60 や JET などのプラズマ実験装置、および水素やヘリウムイオンなどの粒子線照射により、多くのプラズマ壁相互作用の研究が行われ、タングステンの有効性と課題等が明らかとなってきた。しかし安全性・機器の健全性に関わる材料のそのものの特性を大きく変える可能性のある中性子照射を受けたタングステンの研究は世界的にもほとんど行われていない。1960 年代から 80 年代にかけて米国において宇宙用原子炉用の材料としてタングステンの照射データが取られたに過ぎない。申請者（長谷川晃）らは 90 年代からタングステンやモリブデンの照射効果に着目し、日本および米国の原子炉を使って、タングステン合金の系統的な研究を行い、照射による欠陥生成を抑える合金組成などを明かにした。タングステンは再結晶や照射硬化による脆化が起こることが知られているが、これらを克服する材料として、分担者の栗下により、メカニカルアロイングと炭化チタン添加し超微細粒組織を持ったタングステン合金が開発され、その優れた機械特性が世界的にも注目されている。製造規模のスケールアップなどが今後の課題である。現在、国際核融合実験炉（ITER）の建設が進みつつあるが、将来の実用炉を見据えてプラズマ対向機器用材料としてタングステンが再び着目され、ITER 参加各極でプラズマ対向機器用のタングステンの開発が開始されている。

2. 研究の目的

本申請では、これまで我々が得てきた先駆的成果を活かし、かつ今後想定される中性子照射環境でも劣化が起こらないロバストなタングステン系材料の開発に資するために、(1)これまでのタングステンの照射材の研究において明確になっていなかった、(a)照射脆化や延性脆性遷移などの機械的特性、(b)組織制御と合金元素を組み合わせることによる耐照射性対策、(c)核融合炉で起こるタングステンの核変換も考慮した合金化による照射脆化抑制、の 3 点に注目して、中性子照射材

に対応した新たな測定装置を作製するとともに、国内諸機関の共同研究者のネットワークを使って材料評価とともに将来の大型部材の機器設計に反映できる材料データの取得を目指した。(2)上記の知見を活かして、国内外の原子炉や加速器を用いた照射実験とともに、疲労やクリープ試験、熱負荷試験、水素透過試験などに供することが可能で、さらに将来の製造規模のスケールアップをめざし耐照射性材料の開発と試作を行い、その目標特性の実証を目的とした。

3. 研究の方法

タングステンの市販の板材は圧延などの熱間加工で結晶粒が加工方向、すなわち板の表面長手方向に引き伸ばされ、それが薄い層状となることで破壊の抵抗が生まれている。これが加熱によって再結晶すると粗大な結晶粒組織となる。粗大粒では粒界破壊しやすく、加工組織が残る方が脆化を起し難いとされている。このような組織を材料中に残すために、ランタンやカリウムなどのドーパントを添加したり、熱処理を低温で実施する応力除去処理などが行われている。一方超微小粒組織は、メカニカルアロイングで粉碎した原料粉末を等方熱間プレスで押しつぶしたもので通常の結晶粒よりも遙かに細かな粒からなる。これにさらに熱処理と高温での加工を加えることで、結晶粒は大きくなるものの粒界が強化され靱性を示す材料となる。層状構造や微細粒のような結晶粒配置を制御することで粒界脆化を抑制するのがタングステンの耐照射性付与の一つの方策である。一方、結晶粒の中には中性子の照射で微細な気泡（ボイド）が出来て、純タングステンでは照射の初期の 1dpa 程度でボイドによる体積変化が 1%程度になること、ボイド形成は結晶粒の形状制御にほとんど影響を受けないこと、レニウム添加によってボイド形成を抑制できることを申請者らは見いだしている。従って、層状構造あるいは微細粒構造を保ち、粒界脆化を抑制しながら照射による欠陥生成を抑制するには適量量の合金元素の添加が有効と考えられる。プラズマ対向機器用材料としては、これら層状組織や微細粒が高温の照射下でどこまで安定かを確認し、温度と照射量で決まるデザインウィンドを決めることが必要となる。本研究では試作した組織・組成制御材における評価を行い、組織の最適化を行いつつスケールアップを図り、ロバストな対向壁材料の開発を目指した。

4. 研究成果

平成 24、25 年度においては、本計画以前に得られていた知見を基に粉末焼結法を用いて、微細組織制御を持った数種類のタングステン合金を作製し、強度試験用の引張り試験片や曲げおよび熱伝導率評価が可能な試験片の作製を進めた。また弾性ひずみや熱応力の緩和の挙動を曲げ応力緩和試験法を使

ってひずみ回復挙動を明かにした。さらに1300℃までの高温・真空環境下での機械特性評価可能な試験装置や、原子炉での中性子照射実験を念頭においた微小試験片専用の高温試験治具などの製作と整備を行った。

26年度以降においては、作成した合金における組織微細化により引き延ばされた結晶粒組織の高温加熱後の結晶粒組織の安定性や、高温加熱による結晶粒組織変化に起因する機械特性の異方性や、強度の試験温度依存性、および変形挙動の歪み速度依存性について詳しく調査した。

試験合金の中の参照材料としての純タングステン (pure-W) と、高温でも安定な結晶粒微細化を狙ったカリウム (K) ドープタングステン (K-doped W)、さらに低温での延性改善を狙ってレニウム (Re) を3%添加した合金 (K-doped 3%Re W) の高温熱処理後の結晶粒組織の安定性を、各温度で1時間熱処理した後に電子線後方散乱スペクトル (EBSD) によって調べた。

これらの材料について室温から1300℃までの温度で引張り試験を行った。その結果、作製したタングステン素材は、圧延で製作するために圧延方向にのばされたような結晶粒組織をもつ。このとき板材の圧延方向と直角方向と圧延した板の厚さ方向で結晶粒のおおきさが異なる。このとき、試験片の破断モードを破面観察などで評価し、延性的な破断モードが観察された試験温度領域求めた。その結果から、Kドープなどにより結晶粒微細化を図った材料では引張り試験による延性脆性遷移温度が、通常の純Wにくらべて約100℃低下すること、そのために一部の材料では室温付近でも塑性変形が現れなど低温側での特性の改善が見られることを明らかにした。また組織異方性では圧延で生ずる層状組織により圧延方向には強度も伸びも向上するものの、板厚方向に強度の低下が現れること、この挙動は結晶粒微細化によっても多少は改善するものの、脆性領域の試験温度では、強度も伸びも引張り方向の数分の一にまで低下することが明らかになった。またKドープにより結晶粒を微細化した材料では、Reの3%程度の添加で高温の強度や伸びが大きくなること、また再結晶も純Wに比べて起こりにくくなることなど高温領域での特性改善が見られることが明らかとなった。これによりKドープによる結晶粒組織の微細化を狙った開発材料がこの条件下でも安定であることが示され、照射下でも脆化の抑制および高温強度が維持されることが期待されるという成果を得た。

組織安定性と高温強度のデータに加えて、熱伝導率のデータの取得と、このような実際の材料データを使って、有限要素法 (FEM) による温度や応力解析を行った。仮想的にモデル化したダイバータに対して核融合炉で想定される熱負荷を加え、加熱による温度上昇と再結晶の挙動、さらに温度上昇による熱

膨張に起因する熱ひずみとそれによる熱応力の発生と、それによるダイバータタイルの変形および破壊の可能性について検討し、開発材料の使用可能を総合的に検討した。Reを添加した材料では、室温近傍の熱伝導率が約30%程度低下するのが確認できたが、それによる冷却能力の低下からダイバータタイルの表面最高温度が約200℃上昇することが分かった。一方、再結晶温度の調査から、熱伝導率が低くなっても、再結晶温度が高くなることで、脆化の原因となる再結晶を起こす熱負荷が高くなり、材料に余裕が生まれるので総合的には開発した材料でも健全性が保たれることが分かった。

これらの材料データの取得と、それらを使っての熱応力に対する機器の健全性予測を行うとともに、原子炉を使って中性子照射を行って、核融合炉の中性子照射環境下での材料の脆化や劣化の挙動を調べるための準備を行った。中性子照射には米国のオークリッジ国立研究所の材料試験用原子炉 (HFIR) を用いた照射試験の準備を進めた。原子炉照射実験にあたっては多額の費用と手間がかかるために、日米科学技術協力事業・核融合分野のPHENIX計画のサポートを受け、本科研費では試験用素材の作製と、原子炉照射用の試験片の加工や非照射データの収集を行った。この照射実験では計画立案時より研究代表者の長谷川が関わり、材料試験炉特有の熱中性子の多い環境を、より核融合炉の照射環境に近くするために、熱中性子遮へい付きの照射キャプセルを用いて、熱中性子による核変換の少ない環境とすべく照射計画を立案した。この結果、500, 800, 1100℃の3つの温度での照射実験を実施することとなり、そのための試験片の準備を平成27年度より行った。これらの試験片は平成28年の7月からHFIRでの照射が始まり、3サイクル (1サイクル・4週間)、これに燃料交換などのインターバル期間を含めて28年の12月まで照射を行、予定通りの3つの照射温度での照射を無事完了した。照射量の暫定値として約1dpaが得られている。現在、これらの試験片は照射キャプセルとともにHFIRから取り出されて中性子照射によって発生する誘導放射能の冷却をORNLで行っているところである。これらの照射試料は、平成29年度は放射能の冷却のためにORNLに保管され、平成30年度中には、次段階であるキャプセルの解体と試験片の分別 (ソーティング) を行って日本国内 (東北大学・金研・量子エネルギー材料科学国際研究センター) のホットラボへの輸送と照射後試験の実施が期待されている。

以上のように当初計画した照射耐性をもった材料開発の目途が立ち、非照射データの蓄積とともに、原子炉照射を終了できたことから、本研究の目的は達することができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 23 件)

- (1) 上田良夫、波多野雄治、長谷川晃 他、日米科学技術協力事業 PHENIX 計画 前半の成果と後半の研究計画, Journal of Plasma and Fusion Research 93 巻 3 号 127-145. (2017) (査読有)
- (2) 長谷川晃, 原型炉に向けてのダイバータの研究開発課題 現状と展望 5. ダイバータ対向・構造材料の照射影響研究の現状と研究開発 5.1 タングステン, プラズマ・核融合学会誌 : 92 巻 12 号 891-896 頁 (2016) (査読有)
- (3) Ueda, Yoshio, Hasegawa, Akira et.al.; Base line high heat flux and plasma facing materials for fusion, Nuclear Fusion, in print, 2017. (査読有)
- (4) M. Fukuda, A. Hasegawa et.al., Neutron energy spectrum influence on irradiation hardening and microstructural development of tungsten. Journal of Nuclear Materials, 479, 249-254, 2016. (査読有)
- (5) Y. Hatano, K. A. V. Kh. Alimov, M. Fukuda, A. Hasegawa, et.al., Deuterium retention in W and W-Re alloy irradiated with high energy Fe and W ions: Effects of irradiation temperature, Nuclear Materials and Energy, 2016 accepted, in print. (査読有)
- (6) T. Hwang, M. Fukuda, S. Nogami, A. Hasegawa et.al. Effect of self-ion irradiation on hardening and microstructure of tungsten, Nuclear Materials and Energy, 9, 430-435, 2016. (査読有)
- (7) A. Hasegawa, M. Fukuda, K. Yabuuchi, S. Nogami, Neutron irradiation effects on the microstructural development of tungsten and tungsten alloys, Journal of Nuclear Materials, 471, 175-183, 2016. (査読有)
- (8) M. Fukuda, S. Nogami, W. Guan, A. Hasegawa, T. Muroga, Analysis of the temperature and thermal stress in pure tungsten monoblock during heat loading and the influence of alloying and dispersion strengthening on these responses, Fusion Engineering and Design, 107, 44-50, 2016. (査読有)
- (9) M. Fukuda, T. Tabata, A. Hasegawa, S. Nogami, T. Muroga, Strain rate dependence of tensile properties of tungsten alloys for plasma-facing components in fusion reactors, Fusion Engineering and Design, 2015 accepted, in print. (査読有)
- (10) M. Fukuda, S. Nogami, K. Yabuuchi, A. Hasegawa et.al., Anisotropy in the mechanical properties of potassium and rhenium doped Tungsten alloy plates for fusion reactor applications, Fusion Science and Technology, 68, 690-693, 2015. (査読有)
- (11) K. Sasaki, K. Yabuuchi, S. Nogami, A. Hasegawa, Effects of temperature and strain rate on the tensile properties of potassium-doped tungsten, Journal on Nuclear Materials, 461, 357-364, 2015. (査読有)
- (12) V. Kh. ALIMOV, Y. HATANO, A. HASEGAWA et.al., Influence of He implantation on deuterium trapping at defects induced in W by irradiation with MeV-range W ions, J. Plasma Fusion Research SERIES, 11, 2015. (査読有)
- (13) M. FUKUDA, S. NOGAMI, A. HASEGAWA, K. YABUUCHI, K. EZATO, S. SUZUKI, H. TAMURA, T. MUROGA, Thermo-mechanical analysis of tungsten and its alloys monoblock divertor under heat load conditions relevant to a fusion reactor, Journal of Plasma Fusion Research SERIES, 11, 99-103, 2015. (査読有)
- (14) M. Fukuda, K. Yabuuchi, S. Nogami, A. Hasegawa, T. Tanaka, Microstructural development of tungsten and tungsten-rhenium alloys due to neutron irradiation in HFIR, Journal of Nuclear Materials, 455, 1-3, 460-463, 2014. (査読有)
- (15) M. Fukuda, S. Nogami, A. Hasegawa, H. Usami, K. Yabuuchi, T. Muroga, Tensile properties of K-doped W-3%Re, Fusion Engineering and Design, 89, 7-8, 1033-1036, 20141001. (査読有)
- (16) A. Hasegawa, M. Fukuda, S. Nogami, K. Yabuuchi, Neutron irradiation effects on tungsten materials, Fusion Engineering and Design, 89, 7-9, 1568-1572, 2014. (査読有)
- (17) M. Fukuda, A. Hasegawa, S. Nogami, K. Yabuuchi, Microstructure development of dispersion-strengthened tungsten due to neutron irradiation, Journal of Nuclear Materials, 449, 213-218, 2014. (査読有)
- (18) S. Wurster, A. Hasegawa, A. Hoffmann, A. Kimura, H. Kurishita et.al. Recent progress in R&D on tungsten alloys for divertor structural and plasma facing materials, Journal of Nuclear Materials, 442, S181-S189, 2013. (査読有)
- (19) M. Fukuda, A. Hasegawa, T. Tanno, S. Nogami, H. Kurishita, Property change of advanced tungsten alloys due to neutron irradiation, Journal of Nuclear Materials, 442, S273-S276, 2013. (査読有)
- (20) K. Sasaki, S. Nogami, M. Fukuda, Y. Katakai, A. Hasegawa, Effect of heat treatment on bend stress relaxation of pure tungsten, Fusion Engineering and Design, 88, 1735-1738, 2013. (査読有)

(21) A. Hasegawa, M. Fukuda, T. Tanno, S. Nogami, Neutron Irradiation Behavior of Tungsten, Materials Transactions, 54, 4, 466-471, 2013. (査読有)

(22) K. SASAKI, S. NOGAMI, M. FUKUDA, K. YABUUCHI, A. HASEGAWA, Bend Stress Relaxation of Pure Tungsten, Plasma and Fusion Research, 8, 1405006, 2013. (査読有)

(23) M. Fukuda, T. Tanno, S. Nogami, A. Hasegawa, Effects of Re Content and Fabrication Process on Microstructural Changes and Hardening in Neutron Irradiated Tungsten, Material Transactions, 53, 12, 2145-2150, 2012. (査読有)

[学会発表] (計 40 件)

・原子力学会 春の年会、東海大学 藤沢市、2017/3/26-29

(1) 長谷川晃 他, タングステンおよびタンングステン合金における損傷の組織発達における中性子・イオン照射に関する研究 [1B04]

・プラズマ・核融合学会 第 33 回年会
東北大学青葉山キャンパス, 仙台市 2016/11/29-12/2

(2) 梶島侑馬, 長谷川晃 他, タングステン合金の引張特性に及ぼす熱履歴の影響

(3) 大野悟史, 長谷川晃 他, 組織制御した微細粒再結晶タンングステンの特性評価

(4) 田島恒紀, 長谷川晃 他, 第二相を分散した タングステン - レニウム合金のイオン照射効果

(5) 土田航平, 長谷川晃 他, タングステン合金の再結晶挙動

・13th China-Japan Symposium on Materials for Advanced Energy Systems and Fission & Fusion Engineering, 第 13 回 日中シンポジウム CJS-13, Hwei, China 2016/9/26

(6) A. Hasegawa, Mechanism of Neutron Irradiated Hardening of Tungsten

・原子力学会 秋の年会、201/9/7-9 久留米シティプラザ、久留米市

(7) 長谷川晃 他, 純タンングステン及びタンングステン合金の熱履歴による引張特性変化 [1M13]

・The 7th International Symposium of Advanced Energy Science、-Frontiers of Zero Emission Energy, 2016/9/6 Kyoto University, Kyoto

(8) A. Hasegawa, Tungsten Material Developments for Plasma Facing Components of Fusion Reactor

・核融合エネルギー連合講演会、2016/7/14 九州大学伊都キャンパス、福岡市

(9) 土田航平, 長谷川晃 他, 核融合炉ダイバータへの適用に向けたタンングステン合金の熱履歴による組織及び機械特性変化挙動の評価

(10) 黄泰現, 長谷川晃 他, 重イオン照射による純タンングステン及びタンングステン合金の照射影響評価

(11) 長谷川晃, 原型炉に向けたダイバータ開発研究の加速方針タンングステンダイバータ材料開発

・日本原子力学会 2016 年春の年会、2016/3/26-28 東北大学、仙台市

(12) 福田誠, 長谷川晃 他, レニウム及びカリウムドーブしたタンングステン材料の再結晶による結晶粒組織及び引張り特性変化、

(13) 長谷川晃 他, 核融合炉プラズマ対向機器用タンングステン材料の高温変形挙動

(14) 田島恒紀, 長谷川晃 他, 重イオン照射したタンングステンの挙動 (1) レニウム添加したタンングステンの重イオン照射による硬化挙動

(15) 黄泰現, 長谷川晃 他, 重イオン照射したタンングステンの挙動 (2) タングステンの照射硬化に及ぼすレニウム及びカリウムドーブの複合影響

・日本金属学会 2016 年春期大会, 2016/3/26 東京理科大学葛飾キャンパス、東京都

(16) 福田誠, 長谷川晃 他, タングステン-レニウム合金中の照射誘起析出物形成挙動

・国際核融合炉材料国際会議 17th International Conference on Fusion Reactor Materials, 2015/10/12-16, Aachen, Germany

(17) A. Hasegawa et. al., Tungsten Alloys Development and Evaluation for Radiation Resistant Materials of Fusion Reactor

(18) M. Fukuda, A. Hasegawa et. al., Neutron Energy Spectrum Influence on Microstructure Development and Irradiation Hardening of tungsten

(19) T. Hwang, A. Hasegawa et. al., Effect of Self-Ion Irradiation on Hardening and Microstructure of Tungsten

・12th International Symposium on Fusion Nuclear Technology (ISFNT-12)

2015/9/14-19, ICC JEJU, Jeju Island Korea

(20) M. Fukuda, A. Hasegawa et. al., Strain Rate Dependence on Tensile Property of Tungsten Alloys for Plasma Facing Components in Fusion Reactor

・日本原子力学会 2015 年 秋の年会 2015/9/9-11、静岡大学、静岡市

(21) 田島恒紀, 長谷川晃 他, 核融合炉プラズマ対向機器用タンングステン合金開発 (3) レニウム添加したタンングステンの引張強度に及ぼすひずみ速度の影響

(22) 管文海, 長谷川晃 他, 核融合炉プラズマ対向機器用タンングステン合金開発 (4) タングステンロッド材における延性発現機構に関する検討

(23) 野上修平, 長谷川晃 他, 核融合炉プラズマ対向機器用タンングステン合金開発 (5) タングステンの変形およびき裂発生に及ぼす応力 3 軸度と組織異方性の影響

(24)黄泰現、長谷川晃 他,核融合炉プラズマ対向機器用タングステン合金開発(6) レニウム添加したタングステンの自己イオン照射による微細組織発達
・日本原子力学会 2015 年春の大会, 2015/3/20 茨城大学、日立市
(25)管文海、長谷川晃 他, カリウムドープしたタングステンロッドの結晶粒組織と機械特性
(26)福田誠、長谷川晃 他, 核融合炉プラズマ対向機器用タングステン材料の開発
(27)酒井泰幸、長谷川晃 他, 高温真空中におけるタングステンの変形およびき裂発生挙動のその場観察・計測技術の開発
(28)黄泰現、長谷川晃 他, 自己イオン照射したタングステンの照射挙動
・TMS-2015, 2015/3/18, Florida, USA,
(29)A. Hasegawa, Neutron irradiation effects on microstructure development of Tungsten and Tungsten alloys
・25th IAEA Fusion Energy Conference IAEA-FEC2014, 2014/10/1, Saint Petersburg, Russian Federation
(30)A. Hasegawa, Neutron Irradiation Effects on Grain-refined W and W-alloys
・12th Japan-China Symposium on Materials for Advanced Energy Systems and Fission & Fusion Engineering 第12回日中シンポジウム 2014/9/19, Shizuoka, Japan
(31)A. Hasegawa, Development of Tungsten Alloys for Divertor of Fusion Reactors
・日本原子力学会 2014 年春の大会, 2014/3/26-28 東京都市大学、東京都
(32)福田誠、長谷川晃 他, 核融合炉プラズマ対向壁用タングステン合金の開発及び評価 [E48]
・日本原子力学会 2013 年秋の大会, 2013/9/3-5 八戸工業大学、八戸市
(33)福田誠、長谷川晃他, 純 W 及び W-Re 合金の中性子照射による微細組織発達と照射硬化に及ぼす核変換の影響 [B40]
(34)岩田拓也、長谷川晃 他, 純タングステンの機械特性に及ぼす応力除去および再結晶化熱処理の影響 [B41]
・日本原子力学会 2013 年春の大会, 2013/3/26-28 近畿大学、大阪府
(35)野上修平、長谷川晃他, 純タングステンの疲労特に及ぼす熱処理の影響[K02]
(36)佐々木健太、長谷川晃 他, 純タングステンのクリープ変形挙動に及ぼす熱処理の影響 [K39]
・The Nuclear Material Conference. NuMat 2012 2012/10/22-25 大阪国際会館、大阪市
(37)長谷川晃 Effects of Anisotropy of Powder Metallurgy Processed Tungsten Alloys on Material Properties for Fusion Application
・日本原子力学会 2012 年春の大会, 2012/3/19-21 福井大学、福井市
(38)福田誠、長谷川晃 他, 微細組織制御し

たタングステン合金の機械特性[A35]
・日本原子力学会 2011 年秋の大会, 2011/9/20-22 北九州国際会議場 北九州市
(39)長谷川晃 他, 核融合炉で中性子重照射したタングステンの照射挙動予測[H04]
(40)福田 誠、長谷川晃 他, 先進 W 合金の電気抵抗率変化に及ぼす中性子照射効果 [H05]

[図書] (計 0 件)
[産業財産権]
○出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)
[その他]
ホームページ等 特に無し

6. 研究組織

- (1) 研究代表者 長谷川 晃 (HASEGAWA Akira) 東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 80241545
 - (2) 研究分担者 野上 修平 (NOGAMI Shuhei) 東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 00431528
 - (3) 研究分担者 佐藤 裕樹 (SATOU Yuki) 東北大学金属材料研究所・准教授
研究者番号: 20211948
 - (4) 研究分担者 徳永 和俊 (TOKUNAGA Kazutoshi) 九州大学・応用力学研究所・准教授
研究者番号: 402275838
 - (5) 研究分担者 長坂 琢也 (NAGASAKA Takuya) 核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授
研究者番号: 40311203
 - (6) 研究分担者 栗下 裕明 (KURISHITA Hiroaki) 東北大学金属材料研究所・准教授
研究者番号: 50112298
 - (7) 研究分担者 谷川 博康 (TANIGAWA Hiroyasu) 日本原子力研究開発機構・六ヶ所核融合研究所・核融合炉材料研究開発部研究主幹
研究者番号: 50354668
 - (8) 研究分担者 藪内 聖皓 (YABUUCHI Kiyohiro) 東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 70633460
 - (9) 研究分担者 波多野 雄治 (HATANO Yuji) 富山大学・水素同位体科学研究センター・教授
研究者番号: 80218487
 - (10) 研究分担者 福田 誠 (FUKUDA Makoto) 東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 70757666
- (3) 連携研究者 無し
(4) 研究協力者 無し