

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360388

研究課題名（和文）再結晶状態で韌性に優れるタングステン材料の核融合炉ダイバータ利用に向けた開発研究

研究課題名（英文）Development of TFGR (Toughened, Fine Grained, Recrystallized) tungsten-based material for fusion divertor applications

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：研究代表者等が開発した TFGR W（再結晶状態で韌性に優れるタングステン材料）について国内外で多くの共同研究を行い、厳しい熱と粒子の負荷に晒される国際熱核融合実験炉（ITER）のダイバータに用いるために必要な熱機械的特性、例えば、熱衝撃負荷、熱サイクル負荷、高エネルギー粒子負荷、低エネルギーの水素同位体負荷等に対する TFGR W の優れた耐損傷特性を明らかにするとともに、TFGR W の実用化に向けて高効率で経済的な製造方法を確立した。

研究成果の概要（英文）：Domestic and international research collaboration has been made on TFGR (Toughened, Fine Grained, Recrystallized) tungsten-based materials in order to examine their applicability to divertor material. It is found that TFGR W-1.1%TiC and W-3.3%TaC exhibit more satisfactory performances from the viewpoints of various thermo-mechanical properties including the ductile-brittle transition temperature, response to thermal shock and thermal fatigue loading, and irradiation tolerance behavior against energetic particle irradiations and hydrogen isotope plasma exposure. A more time saving and economical fabrication method has been established.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2011年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：タングステン、炭化チタン、炭化タンタル、ナノ組織、再結晶脆化、照射脆化、水素同位体リテンション、ITER ダイバータ

1. 研究開始当初の背景

タングステン（W）は、熱的特性を初めとして他の材料の追随を許さない数多くの優れた特性をもつため、国際熱核融合実験炉

（ITER）の最も厳しい熱負荷に晒されるダイバータ材料として使用される計画である（Full W divertor）。しかしながら、Wは熱負荷に晒されると融点（3410℃）よりはるかに

低い温度で再結晶して粒界脆化し（再結晶脆化）、また、高エネルギー中性子の照射を受けると脆化がさらに促進される（照射脆化）。そこで研究代表者らは、これらの脆化の少ないW材料の開発を進め、再結晶状態において粒界が極めて強く室温で延性を示す微細粒W-1.1%TiCを開発した。

微細粒W-1.1%TiCは、照射欠陥のシンクとして有効な分散粒子や再結晶ランダム粒界を高密度に含むとともに、弱いランダム粒界をTiC析出物との強い異相界面、あるいはTiCの構成元素が偏析した強い粒界に置き換えることにより強化したものである。この粒界強化のために、微細粒組織に特有な超塑性変形の発現を活用する。超塑性変形は、変形後も等軸結晶粒を維持できる「粒界すべり」に基づく変形様式であるため、粒界すべりに必要な粒界の移動や結晶粒の回転、生成消滅を通してTiCの粒界析出・偏析が促進されることが期待され、かつ異方性の少ない再結晶組織を維持することが可能となる。この「再結晶ランダム粒界の強化を目的とした粒界すべりに基づく組織制御法」をGSMM (Grain boundary Sliding-based Microstructural Modification) と呼び、またこの方法で作製した高靱性W-1.1%TiC焼結体をTFGR (Toughened, Fine Grained, Recrystallized) W-1.1%TiCと呼ぶ。2009年度は、この材料の核融合炉ダイバータとしての適性を調査するための国内外の主な機関との共同研究が緒についたばかりであった。

2. 研究の目的

開発したTFGR W材料について国内外の多くの機関との共同研究により、TFGR W材料の核融合炉ダイバータとしての適性を明らかにするとともに、実用化に必要な製造方法(効率化、スケールアップ化)を確立する。

3. 研究の方法

粉末冶金法であるMA (メカニカルアロイング) -HIP-GSMM法、あるいはその改良法であるMA-GSMM法によりTFGR W-1.1%TiCとW-3.3%TaCを作製して国内外の多くの研究機関に配布し、核融合ダイバータとしての適性を調べる。主な調査項目は、1) 組織、2) 延性脆性遷移温度、3) 熱衝撃負荷特性、4) 熱疲労特性、5) 重水素リテンション、6) 中性子・高エネルギーイオン照射損傷、7) 熱的特性(熱伝導度、熱膨張率)である。

4. 研究成果

弱い再結晶ランダム粒界が著しく強化されたTFGR W-1.1%TiCは、以下の様に優れた特性をもつ。

1) 酸素不純物濃度が400wppm以下であれば延性脆性遷移温度(無延性遷移温度:3点曲げにより評価)が室温ないしそれ以下である(図1)。

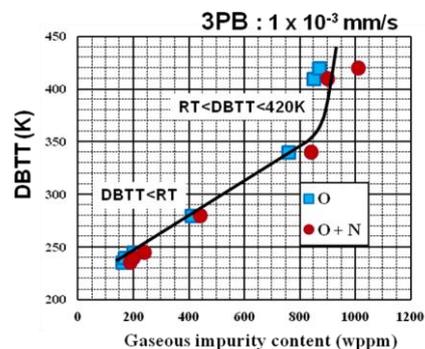


図1 DBTTの酸素・窒素濃度依存性

2) TFGR W-1.1%TiCは、電子ビームによるITER-ELMの条件下での高熱衝撃負荷を受けても、市販の純W材料や超微細粒のUFGR W-0.5%TiCと異なり、粒界亀裂や表面起伏が生じない(図2)。

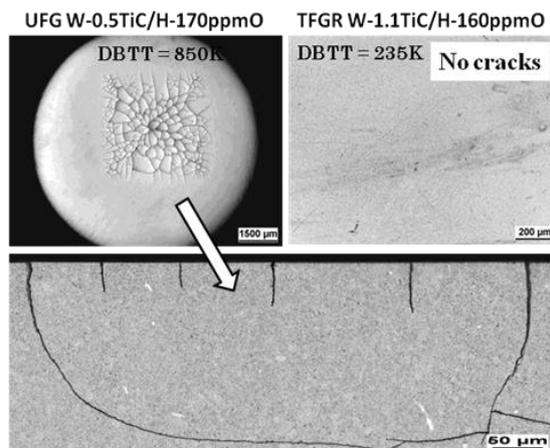


図2 試作W材料の電子ビーム熱衝撃試験結果(G. Pintsuk, H. Kurishita et al. (2011))

3) 低エネルギー重水素のプラズマに晒されても、純Wのような表面プリスタリングは観察されず、また、UFGR W-TiCで観察されたような表面の微小孔も観察されない。

4) TFGR W材料は、照射損傷を受けにくい組織をもつため、高エネルギー粒子の照射を受けた後の水素同位体のリテンションが純Wに比べて著しく抑制される。

5) ITERダイバータタイルに使用予定のサイズ(約30mm x 30mm x 12mm)のものも作製可能である(図3)。

6) TFGR W-3.3TaC は、TFGR W-1.1TiC よりも DBTT はやや高いが、耐熱性に優れており、高温プラズマに晒されても表面損傷を受けにくい。

一方、主な課題は製造コストのさらなる低減と量産性のための技術開発および熱伝導率の改善である。

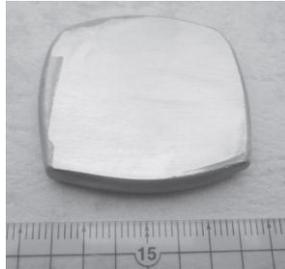


図3 MA-HIP-GSMM 法により作製した TFGR W-1.1TiC。ITER ダイバータのタイルに等価なサイズをもつ。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

- ① S. Wurster, N. Baluc, M. Battabyal, T. Crosby, J. Du, C. García-Rosales, A. Hasegawa, A. Hoffmann, A. Kimura, H. Kurishita, R.J. Kurtz, H.Li, S. Noh, J.Reiser, J. Riesch, M. Rieth, W. Setyawan, M. Walter, J.-H. You, R. Pippan, Recent progress in R&D on tungsten alloys for divertor structural and plasma facing materials, J. Nucl. Mater. 査読有, (2013) in press.
- ② K.Tokunaga, M.J. Baldwin, D. Nishijima, R.P. Doerner, S. Nagata, B. Tsuchiya, H. Kurishita, T. Fujiwara, K. Araki, Y. Miyamoto, N. Ohno and Y. Ueda, Properties of deposited layer formed by interaction with Be seeded D-He mixture plasma and tungsten, J. Nucl. Mater. 査読有, (2013) in press.
- ③ K. Tokunaga, H. Kurishita, H.Arakawa, S.Matsuo, T. Hotta, K. Araki, Y. Miyamoto, T. Fujiwara, K. Nakamura, T.Takida, M.Kato, A.Ikegaya, High Heat Load Properties of Nanostructured, Recrystallized W-1.1TiC, J. Nucl. Mater. 査読有, (2013) in press.
- ④ 宮本光貴, 西島大輔, M.J. Baldwin, R.P. Doerner, 上田良夫, 栗下裕明, 吉田直亮, 相良明男, D-He-Be 混合プラズマ環境下でのタングステンの微細組織と重水素保持特性、プラズマ核融合学会誌、査読有、2013年6月号 印刷中
- ⑤ Y. Hatano, M. Shimada, V. Kh. Alimov, J. Shi, M. Hara, T. Nozaki, Y. Oya, M. Kobayashi, K. Okuno, T. Oda, G. Cao, N. Yoshida, N. Futagami, K. Sugiyama, J. Roth, B. Tyburska-Püschel, J. Dorner, I. Takagi, M.Hatakeyama, H.Kurishita, M.A. Sokolov, Trapping of hydrogen isotopes in radiation defects formed in tungsten by neutron and ion irradiations, J. Nucl. Mater. 査読有, (2013) in press.
- ⑥ H.Kurishita, H.Arakawa, S.Matsuo, T.Sakamoto, S.Kobayashi, K.Nakai, G.Pintsuk, J.Linke, S.Tsurekawa, V.Yardley, K.Tokunaga, T.Takida, M.Kato, A.Ikegaya, Y.Ueda, M.Kawai, N.Yoshida, Development of Nanostructured Tungsten Based Materials Resistant to Recrystallization and Radiation Induced Embrittlement, Mater. Trans. 査読有, 54(2013) 456-465.
- ⑦ H.Noto, A.Kimura, H.Kurishita, S.Matsuo, Evaluation of Feasibility of Tungsten/Oxide Dispersion strengthened Steel Bonding with Vanadium Insert, Mater. Trans. 査読有, 54(2013) 451-455.
- ⑧ M. Oya, K. Uekita, H.T. Lee, Y. Ohtsuka, Y. Ueda, H. Kurishita, A. Kreter, J.W. Coenen, V. Philipps, S. Brezinsek, A. Litnovsky, K. Sugiyama, Y. Torikai, Deuterium Retention in Toughened, Fine-grained Recrystallized Tungsten, J. Nucl. Mater. 査読有, (2013) in press.
- ⑨ T. Miyamoto, S. Takamura, H. Kurishita, Recovery of Tungsten Surface with Fiber-Form Nanostructure by Plasma Exposure, Plasma Science and Technology, 査読有, 15, (2013) in press.
- ⑩ M. Kawai, H. Kurishita, H. Kokawa, S. Watanabe, N. Sakaguchi, K. Kikuchi, S. Saito, T. Yoshiie, H. Iwase, T. Ito, S. Hashimoto, Y. Kaneko, M. Futakawa, S. Ishino, Development of Advanced Materials for Spallation Neutron Sources and Radiation Damage Simulation Based on Multi-Scale Models, J. Nucl. Mater. 査読有, 431(2012) 16-25.
- ⑪ G. Pintsuk, H. Kurishita, J. Linke, T. Sakamoto, S. Kobayashi, K. Nakai, Thermal shock response of fine and ultra fine grained tungsten based materials, Phys. Scr. 査読有, T145 (2011) 014060 (5pp).
- ⑫ Y. Ueda, H. T. Lee, N. Ohno, S. Kajita, A.

Kimura, R. Kasada, T. Nagasaka, Y. Hatano, A. Hasegawa, H. Kurishita, Y. Oya, Recent Progress of Tungsten R&D for Fusion Application in Japan, Phys. Scr. 査読有, T145 (2011) 014029 (6pp).

- ⑬ L.El-Guebaly, R. Kurtz, M. Rieth, H. Kurishita, A. Robinson, W-Based Alloys for Advanced Divertor Designs: Options and Environmental Impact of State-of-the-Art Alloys, Fusion Sci. Tech. 査読有, 60(2011) 185-190.
- ⑭ Y.Hiraoka and H.Kurishita, Low-Temperature Strengths and Ductility of Various Tungsten Sheets, Adv. Mater. Sci. and Eng., 査読有, 2011(2011) 509457 (7 pages).
- ⑮ K. Tokunaga, M.J. Baldwin, R.P. Doerner, D. Nishijima, H. Kurishita, T. Fujiwara, K. Araki, Y. Miyamoto, N. Ohno, Y. Ueda, Nanoscale surface morphology of tungsten materials induced by Be-seeded D-He plasma exposure, J. Nucl. Mater. 査読有, 417 (2011) 528-532.
- ⑯ M. Kajioka, T. Sakamoto, S. Kobayashi, K. Nakai, H. Kurishita, S. Matsuo, H. Arakawa, Effects of plastic working and MA atmosphere on microstructures of recrystallized W-1.1%TiC, 査読有, J. Nucl. Mater. 417 (2011) 512-515.
- ⑰ H. Kurehashi, Y. Ohtsuka, Y. Ueda, H. Kurishita, Effects of repeated short heat pulses on tungsten, J. Nucl. Mater. 査読有, 417 (2011) 487-490.
- ⑱ H. Kurishita, S. Matsuo, H. Arakawa, T. Sakamoto, S. Kobayashi, K. Nakai, T. Takida, M. Kato, M. Kawai, N. Yoshida, Development of Re-crystallized W-1.1%TiC with Enhanced Room-temperature Ductility and Radiation Performance, J. Nucl. Mater. 査読有, 398 (2010) 87-92.

[学会発表] (計 37 件)

国際会議

- ① H. Kurishita, S. Matsuo, H. Arakawa, T. Sakamoto, S. Kobayashi, K. Nakai, H. Okano, H. Watanabe, N. Yoshida, Y. Torikai, Y. Hatano, T. Takida, M. Kato, A. Ikegaya, Y. Ueda, M. Hatakeyama and T. Shikama, Current Status of Nanostructured Tungsten-based Materials Development, PFMC14, May 12-17, 2013, Aachen/Julich, Germany.
- ② M. Zibrov, M. Mayer, A. Pisarev, E.

Markina, K. Sugiyama, M. Betzenbichler, A. Manhard, Yu. Gasparyan, and H. Kurishita, Deuterium retention in TiC and TaC doped tungsten under low-energy ion irradiation, PFMC14, May 12-17, 2013, Aachen/Julich, Germany.

- ③ Y. Ueda, M. Oya, Y. Hamaji, H.T. Lee, H. Kurishita, Y. Torikai, N. Yoshida, A. Kreter, J.W. Coenen, A. Litnovsky and V. Philipps, Surface erosion and modification of Toughened, Fine Grained, Recrystallized tungsten exposed to TEXTOR edge Plasma, PFMC14, May 12-17, 2013, Aachen/Julich, Germany.
- ④ M. Oya, H.T. Lee, Y. Ohtsuka, Y. Ueda and H. Kurishita, Deuterium retention in various Toughened, Fine Grained, Recrystallized tungsten materials under different irradiation conditions, PFMC14, May 12-17, 2013, Aachen/Julich, Germany.
- ⑤ Y. Hatano, M. Shimada, Y. Oya, V. Kh. Alimov, M. Hara, J. Shi, T. Nozaki, M. Kobayashi, T. Oda, G. Cao, K. Okuno, T. Tanaka, N. Yoshida, N. Futagami, K. Sugiyama, J. Roth, B. Tyburska-Püschel, J. Dörner, I. Takagi, M. Hatakeyama, H. Kurishita, M. Sokolov, Y. Katoh, Hydrogen Isotope Trapping at Defects Created with Neutron- and Ion-Irradiation in Tungsten, 24th IAEA Fusion Energy Conference, October 8-12, 2012, San Diego, USA.
- ⑥ Y. Torikai, A. Taguchi, M. Saito, R.-D. Penzhorn, Y. Ueda, H. Kurishita, K. Sugiyama, V. Philipps, A. Kreter, M. Zlobinski, and TEXTOR team, Tritium loading study of tungsten pre-exposed to TEXTOR plasmas, 20th International Conference on Plasma Surface Interactions, May 21-25, 2012, Aachen, Germany.
- ⑦ S. Matsuo and H. Kurishita, Fine Grain Precipitate Stabilized, Recrystallized W-Alloys, International Workshop on Challenges to Developing W-Based Materials for Fusion Applications, 2/13-15/2012, UC Santa Barbara, Santa Barbara, CA, USA.
- ⑧ H. Kurishita, Development of Ductile and Radiation Tolerant Tungsten Materials, 2012 Japan-Germany Workshop on Energy Materials, February 2-3, 2012, Kyoto, Japan.
- ⑨ H. Kurishita, H. Arakawa, S. Matsuo, T. Sakamoto, S. Kobayashi, K. Nakai,

- G.Pintsuk, J.Linke, K.Tokunaga, S.Tsurekawa, T.Takida, M.Kato, A. Ikegaya, Y.Ueda, M.Kawai, N.Yoshida, Recent progress in toughening nanostructured W alloys through domestic and international research collaboration, ICFRM-15, October 17-21, 2011, Charleston, SC, USA.
- ⑩ K. Tokunaga, T. Fujiwara, K. Araki, Y. Miyamoto, K. Nakamura, H. Kurishita, K. Ezato, S. Suzuki, K. Yokoyama, M. Enoda and M. Akiba, Surface modification and erosion on tungsten materials by pulse high heat loading equivalent to disruption, ICFRM-15, October 17-21, 2011, Charleston, SC, USA.
- ⑪ K. Tokunaga, H. Kurishita, H. Arakawa, S. Matsuo, T. Hotta, K. Araki, Y. Miyamoto, T. Fujiwara, K. Nakamura, T. Takida, M. Kato, A. Ikegaya, High Heat Load Properties of Nanostructured, Recrystallized W-1.1TiC, ICFRM-15, October 17-21, 2011, Charleston, SC, USA.
- ⑫ Y. Hatano, M. Shimada, Y. Oya, M. Kobayashi, T. Oda, G. Cao, M. Hara, P. Calderoni, V. Alimov, H. Watanabe, H. Kurishita, B. Tyburska, I. Takagi, M. Sokolov, Effects of Neutron and Ion Irradiations on Retention of Hydrogen Isotopes in Pure Tungsten, ICFRM-15, October 17-21, 2011, Charleston, SC, USA.
- ⑬ H. Kurishita, Recent progress in UFG & TFGR tungsten with TiC additions through domestic and international research collaboration, 2011 Japan-U.S. Workshop on Heat Removal and Plasma Materials Interactions for Fusion, and IEA Workshop on Solid Surface Plasma Facing Components, August 29-31, 2011 CO-OP INN Kyoto, Kyoto, Japan.
- ⑭ K. Tokunaga, K. Araki, T. Fujiwara, Y. Miyamoto, K. Nakamura, T. Hotta, K. Ezato, S. Suzuki, M. Enoda, M. Akiba, H. Kurishita, Thermal behavior on tungsten materials by high heat loading, 2011 Japan-U.S. Workshop on Heat Removal and Plasma Materials Interactions for Fusion, and IEA Workshop on Solid Surface Plasma Facing Components, August 29-31, 2011 CO-OP INN Kyoto, Kyoto, Japan
- ⑮ Y. Ueda, T. Kawai, M. Nagata, Y. Kikuchi, H. Kurishita, S. Suzuki, Y. Seki, Effects of pulsed heat and particle load on tungsten materials, 2011 Japan-U.S. Workshop on

Heat Removal and Plasma Materials Interactions for Fusion, and IEA Workshop on Solid Surface Plasma Facing Components, August 29-31, 2011 CO-OP INN Kyoto, Kyoto, Japan.

- ⑯ G. Pintsuk, H. Kurishita, J. Linke, T. Sakamoto, S. Kobayashi, K. Nakai, Thermal shock response of fine and ultra fine grained tungsten based materials, PFMC13, May 9th - 13th, 2011, Rosenheim, Germany.
- ⑰ Y. Ueda, H. T. Lee, N. Ohno, S. Kajita, A. Kimura, R. Kasada, T. Nagasaka, Y. Hatano, A. Hasegawa, H. Kurishita, Y. Oya, Recent Progress of Tungsten R&D for Fusion Application in Japan, PFMC13, May 9th - 13th, 2011, Rosenheim, Germany.
- ⑱ H. Kurishita, Current Status of Toughness Enhanced W-1.1%TiC Development. 10th International Workshop on Spallation Materials Technology, October 21, 2010, 北京、中華人民共和国.

国内発表

- ① 栗下裕明 他、タングステン材料の開発研究、平成25年度テキサトル国内技術委員会、2013年4月9日、核融合科学研究所
- ② 大宅諒、大塚裕介、上田良夫、栗下裕明、TFGR W中の水素同位体挙動、日本原子力学会2013春の大会、2013年3月26日～28日、近畿大学
- ③ 栗下裕明 他、新しい高靱性化組織制御法(GSMM)の適用によるW合金開発の現状、平成24年度核融合科学研究所LHD計画共同研究中間報告会、2013年01月11日、核融合科学研究所
- ④ 栗下裕明、原型炉開発におけるW材料研究、原型炉共同研究およびサブクラスター合同会合、2013年1月7日、京都大学・東京オフィス
- ⑤ 栗下裕明、TFGR W材料開発の現状と課題、LHD計画研究「低放射化構造材料のW被覆プロセス技術開発研究」研究会・BA共同研究「Wプラズマ対向材料の評価と原型炉における課題の抽出」研究会・第4回プラ核学会「W材料科学」専門委員会、2012年12月26日、京都大学
- ⑥ 岡野拓史、内藤梓小里、二神直樹、徳永知倫、渡辺英雄、吉田直亮、栗下裕明、TiC分散強化型タングステンにおける重水素放出特性および重イオン照射効果、プラズマ核融合学会九州・沖縄・山口支部大会 2012年12月22-23日、九州大学

- ⑦ 大宅諒、大塚裕介、上田良夫、栗下裕明、TFGR W中の水素同位体挙動、プラズマ核融合学会第29回年会、2012年11月27-30日、福岡
- ⑧ 栗下裕明 他、原子力用高靱性タングステン材料開発の主な成果と課題 平成24年度大洗研究会、2012年9月26-27日、秋葉原
- ⑨ 阪本辰顕、高橋壮史、仲井清真、小林千悟、栗下裕明、松尾 悟、荒川英夫、酸素濃度の低い高靱性化処理 W-(2.2-3.3)%TaCの微細組織、日本金属学会秋期大会 2012年9月17日~19日 愛媛大学
- ⑩ 栗下裕明、Several comments on hydrogen embrittlement and hydrogen retention in W materials、W-H 相互作用研究会、2012年2月25日、九州大学
- ⑪ 栗下裕明：高靱性再結晶タングステン合金の開発と高効率引張試験治具の開発、第122回東北大学金属材料研究所講演会、2011年11月25日、仙台
- ⑫ 徳永和俊、荒木邦明、藤原正、宮本好雄、中村一男、堀田智宏、栗下裕明、繰り返しパルス高熱負荷によるタングステン材の表面損傷、プラズマ・核融合学会第28回年会/応用物理学会第29回プラズマプロセス研究会/日本物理学会(領域2) 2011年秋季大会、2011年11月22日~25日、石川県立音楽堂
- ⑬ 栗下裕明 他、再結晶状態で室温延性を示す高靱性W-1.1%TiC焼結体の特徴と課題、日本金属学会 2011年秋期(第149回)大会、2011年11月9日、沖縄コンベンションセンター
- ⑭ 栗下裕明 他、粒子分散等軸粒ナノ組織をもつ金属材料の粒界すべり活用による高靱性化軽金属学会中国四国支部 平成23年度 第1回研究会 — 微細組織の生成機構とその物性に及ぼす効果 — 2011年10月14日 愛媛大学
- ⑮ 栗下裕明、タングステンの諸特性、第1回「タングステン材料科学」専門委員会、2011年10月11日、京都大学
- ⑯ 中山 将人、鳥養 祐二、齋藤真貴子、磯部 兼嗣、山西 敏彦、栗下裕明、核融合炉材料のトリチウムの汚染とその除染(I) —タングステンへのトリチウムの蓄積とその除染—、日本原子力学会「2011年秋の大会」、2011年9月20日、北九州国際会議場
- ⑰ 栗下裕明 他、核融合炉高熱流束機器用先進タングステン材料の製造、LHD 計画

共同研究キックオフミーティング、2011年6月28日、東北大学東京分室

- ⑱ 松尾悟、栗下裕明、Recent Progress in Toughened W-1.1%TiC、第11回核破砕材料の科学と工学の研究会 2010年12月15、16日 いばらき量子ビーム研究中心
- ⑲ 栗下裕明、荒川英夫、松尾悟、鳴井實、山崎正徳、阪本辰顕、小林千悟、仲井清真、連川貞弘、瀧田朋広、加藤昌宏、耐照射特性、低温靱性および高温強度に優れた高融点遷移金属の開発、平成22年度大洗研究会、2010年9月22日、東北大学東京分室

〔図書〕(計1件)

- ① 長坂琢也、栗下裕明、これからの原子力システムを担う新原子力材料 - 次世代原子力システムのための材料開発の現状と課題 - 連載講座、第5回 VおよびW合金、日本原子力学会誌「アトムス」55(2013)48-52.

〔産業財産権〕

○出願状況(計2件)

- ① 名称：遷移金属炭化物入りタングステン合金およびその製造方法
発明者：栗下裕明、荒川英夫、松尾悟
権利者：同上
種類：特許
番号：PCT/JP2012/69190
出願年月日：2012年7月27日
国内外の別：国外
- ② 名称：遷移金属炭化物入りタングステン合金およびその製造方法
発明者：栗下裕明、荒川英夫、松尾悟
権利者：同上
種類：特許
番号：特願2011-166630
出願年月日：2011年7月29日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

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

(2)研究分担者

仲井 清真 (NAKAI KIYOMICHI)
愛媛大学・理工学研究科・教授
研究者番号：60038114