

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24年 5月15日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20360420

研究課題名（和文） 動的照射環境下で形成されたマトリクス欠陥の組織評価

研究課題名（英文） Microstructure of RPV steels under dynamic irradiation environment

研究代表者

渡辺 英雄 (WATANABE HIDEO)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：90212323

研究成果の概要（和文）：

本研究では原子炉実機により近い動的照射環境（負荷応力・照射強度が変化）でのマトリクス欠陥（格子間原子及び空孔型転位ループ）形成過程に注目して、鉄イオン照射中の内部組織及び磁気（電気）的特性評価を実施することにより、本材料の脆化メカニズムを明らかにする目的で平成20年度から4年計画でスタートした。圧力容器鋼（A533B鋼）及びそのモデル合金としてFe-1.4Mnを用いて研究を実施し、室温での照射では、弾性領域内での負荷応力においても硬さが無負荷に比べ10～20%程度上昇し、これは応力により導入された転位密度とサイズの上昇に密接に関連することが明らかになった。また、モデル合金の詳細な検討を実施すると同時に、実用鋼における脆化機構についてモデル合金と比較を行った。また、既存のHVEMホルダーを用いて電子線のその場観実と結果の応力下での組織変化に関する理論的考察を行い、研究成果の一部を照射効果に関する国際会議にて数件の口頭発表を行った。

研究成果の概要（英文）：

In this study, small tensile test machine was inserted in beam line of tandem type accelerator. After the 2.4 MeV Fe²⁺ ion irradiation, the microstructure and hardness changes of the specimens with and without stress conditions were studied. In without stress, formation of small interstitial typed dislocation loop is prominent in matrix and also in the vicinity of dislocation in Fe-1.4wt%Mn alloy. The radiation induced hardening of the samples with stress condition was more prominent than without stress condition at room temperature. But at 563K, the effect of stress on hardness changes is minor. The study revealed that the formation of interstitial type dislocation loops which enhanced by Mn addition was essential for irradiation hardening of these samples in with and without stress conditions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2009年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学原子力学

キーワード：圧力容器、高経年化、マトリクス欠陥、照射脆化、イオン照射、内部組織

1. 研究開始当初の背景

軽水炉の高経年化に伴う圧力容器鋼 (A533 B鋼) の照射脆化は監視試験により評価されているが、本試験片は無荷重の状態では照射が実施されている。また、加圧水型軽水炉 (PWR) は沸騰水型 (BWR) に比べ照射速度が1桁程高く、材料試験炉ではさらに3桁程高い照射強度で実験が実施されており、より信頼性の高い脆化予測を行う為には、これらの影響を考慮した脆化モデルの解明が不可欠である。本研究では、動的照射環境下 (負荷応力・照射強度が変化) でのマトリクス欠陥 (格子間原子及び空孔型転位ループ) 形成過程に注目して、鉄イオン照射中の磁気的特性のその場測定及び照射後の内部組織や照射誘起の組成変化を観察することにより、本材料の脆化メカニズムを明らかにする。

2. 研究の目的

近年の原子力発電所の新規建設が困難な状況下で、既存の軽水炉を可能な限り長期に亘り使用する対策 (高経年化対策) が重要となっている。本研究の対象である原子炉圧力容器は運転中に交換することの出来ない主要構造物であり、原子力発電所の余寿命を決定する。従って、この構造物の内部で発生している微視的な現象を把握し、今後数年間或いは数十年間に発生する現象をいかに的確に予測・評価することにより高精度な脆化予測式の作成が本構造物を長期に亘り安全に使用することのキーポイントとなる。

3. 研究の方法

応力を負荷した状態で重イオン照射を行うため、小型引張試験機を用いて実験を行った。図1(a)に本研究費により開発した小型引張試験機全体写真を、図1(b)にチャック部を拡大した模式図をそれぞれ示す。これを九州大学応用力学研究所設置のタンデム型加速器チャンバー内に設置し実験を行った。実験に用いた試料は、実用鋼であるA533B鋼、そして同程度のMn含有量であるモデル合金Fe-1.4(wt%)Mnを使用し、試験片は全長16(mm)、試料厚さ0.1(mm)、有効長5(mm)に加工を行った後に熱処理を施してある。小型引張試験機より得た応力-歪み曲線を基に負荷応力を決定し、単軸引張負荷を保った状態で、2.4(MeV)の Fe^{2+} を、室温から563(K)で1(dpa)まで照射した。照射を行った後、エリオニクス社製の超微小押し込み硬さ試験機を用いて硬度の測定を行い、照射硬化と応力の関係の評価を行った。硬度測定を行った後に、背面研磨法によりTEM試料を作製し内部組織観察を行った。

電気抵抗や磁気特性は、MBE法によりMgO基板上に純鉄を蒸着し、RHEED観察で単結晶の形成を確認した。図2に電気抵抗用試料と

照射ホルダーを示す。短冊状試料にAg線をつけターミナル板に固定した。四端子法により冷凍機(10K~室温)で、照射前に電気抵抗を測定し、Niイオンを室温照射した後、再び測定を行った。さらに別試料を用いて、VSMによる薄膜全体のヒステリシス特性評価と、磁気光学カー効果による局所的な磁区観察を行った。後者では照射時に試料の一部をAl箔でマスクし、未照射域・照射域の特性を同時観察した。鉄クロム単結晶薄膜についても同様な実験を試みた。

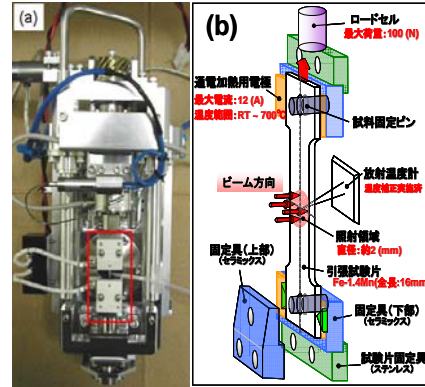


図1 小型引張試験機概要

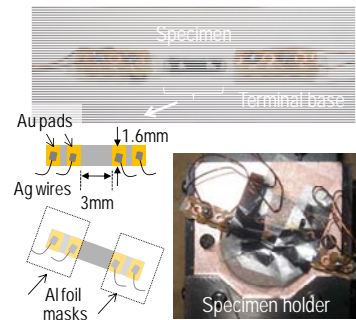


図2 電気抵抗測定用を照射ホルダーに設置した様子

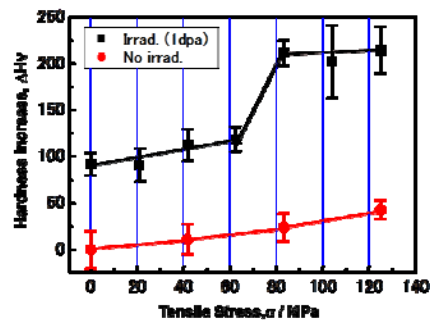


図3 内部組織 (室温, 563K)

4. 研究成果

4(1) 照射後試験結果

図3に室温におけるFe-1.4(wt%)Mn未照射-照射試料の中心部硬度差-応力の相関図を示す。

① **室温照射**：弾性領域では応力と共に緩やかに硬度が上昇し、降伏応力付近において、弾性領域の2倍程度の急激な硬度の上昇が観られた。降伏点以降では、硬度の値に大きな変化は観られなかった。

② **563(K)照射**：室温照射とは対照的に、降伏応力付近において急激な硬度上昇は観られず、弾性・塑性領域共に、緩やかに硬度が上昇する結果となった。これらの硬度上昇の形態は A533B 鋼を用いた実験でも観察され、実用鋼でも同様の現象が起きていると考えられる。硬度上昇形態の違いがどの温度域で生じるのか確認するため、塑性応力下にて温度を変化させ照射実験を行った結果、473(K)から523(K)の間で硬度上昇が抑制される事が確認された。これらの硬度上昇の差は照射欠陥の導入、応力による転位組織の形成等の形態が温度によって異なるためと考えられる。内部組織観察を行い硬度上昇の原因を検討した。

① **硬化に与える応力の影響**：一定温度以下(Fe-1.4(wt%)Mnの場合は473(K)以下)での照射では降伏応力を超えると急激な硬度上昇がみられるが、一定温度以上(Fe-1.4(wt%)Mnの場合は523(K))での照射では降伏応力を超えても急激な硬化は起きない。内部組織観察の結果、硬度上昇の6割程度は照射欠陥の導入と加工による転位組織によるものであり、残りの4割程度はクラスターや微細な欠陥によるものと考えられる。563(K)では照射を行うことで転位組織の発達を抑制されており、これが温度による硬度上昇の差と確認された。

② **内部組織に与える応力の影響**：応力を加えることで転位ループのサイズが増加、数密度が減少した。応力方向に対し垂直に転位ループが成長しやすい傾向があり、転位ループ成長方向に応力の依存性が確認された。今後実用鋼でも同様の検討を行い、より実機に近い条件での応力効果について検討が必要となる。

図4に室温及び563(K)における照射後の引張試験片の内部組織観察の結果を示す。室温、563(K)、ともに荷重が加わることで転位ループのサイズが増加、数密度が減少した。Orowanのモデルにループサイズ、密度を代入し硬度上昇の見積もりを計算した結果、硬度上昇の6割程度は転位組織と転位ループによるもので、残りはクラスターや微細な欠陥等と考えられる。また、硬度上昇の見積もりに応力による大きな違いはみられなかった。加工による転位組織数密度を計測したところ、非照射材では室温、563(K)、共に塑性領域に入ること転位数密度が急激に上昇しているが、563(K)照射において塑性領域に入っても転位数密度の上昇が緩やかという結果になり、563(K)照射では照射による転位組織発

達が抑制されており、この転位数密度の差が塑性領域での硬度の差の原因と考えられる。

また、照射による転位ループが応力方向に対し垂直に成長しやすい傾向がみられ、転位ループ成長方向に応力の依存性が確認された。

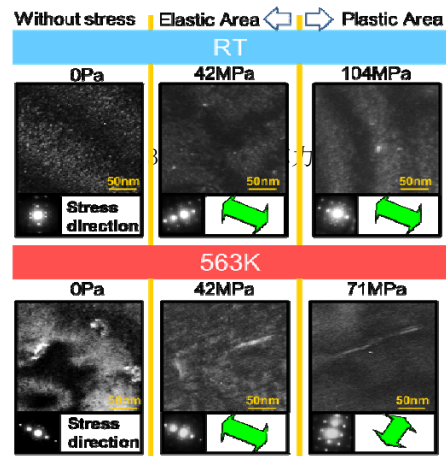


図4 内部組織(室温, 563K)

4(2) 照射による電気的特性変化

図5に鉄単結晶の電気抵抗率の温度依存性を示す。イオン照射により抵抗率が増加したことから、照射欠陥が導入されたことがわかり、主に高密度の空孔クラスターの形成に起因した増加と考えられる。一方、磁区観察では未照射・照射域で顕著な違いは見られず、ヒステリシス特性にも変化は見られなかった。これらの結果は、サブナノサイズの高密度空孔クラスターが磁気特性に大きな影響を及ぼさないことを示している。Fe-20%Cr単結晶膜について調べたところ、室温照射では磁気特性に変化が見られなかったが、475°C照射では保磁力が増加した。Crリッチ析出物形成の照射促進効果を反映した現象と考えられる。

また、イオン照射・単結晶薄膜・電磁計測を組み合わせた新しい照射損傷研究法を提案し実施した。照射欠陥の種類により抵抗率・ヒステリシス特性に違いが生じることを明らかにし、特性計測による損傷組織評価の可能性を示すことができた。

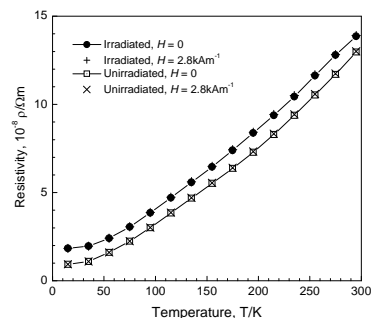


図5 鉄単結晶膜の電気抵抗率の照射前後での変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 23 件)

- ① K. Ohsawa, K. Eguchi, H. Watanabe, M. Yamaguchi, M. Yagi, Configuration and binding energy of multiple hydrogen atoms trapped in monovacancy in bcc transition metals, PHYSICAL REVIEW B, 査読有、85 巻、2012
- ② Y. Kamada H. Watanabe, S. Mitani, J. Echigoya, N. Mohapatra, H. Kikuchi, S. Kobayashi, K. Takahashi, Magnetic properties of ion irradiated epitaxial Fe films, Journal of Physics:Conference Series 266, 査読有、2011、012035
- ③ H. Watanabe, S. Masaki, S. Masubuchi, N. Yoshida, Y. Kamada, Radiation induced hardening of ion irradiated RPV steels, Journal of Nuclear Materials, 査読有、417 巻、2011、932-935
- ④ H. Watanabe, N. Yoshida, T. Nagasaka, T. Muroga, The microstructure and hardness changes of neutron irradiated weld joint of vanadium alloy, Journal of Nuclear Materials, 査読有、417 巻、2011、319-322
- ⑤ 車田亮, Mohd Tusairy, 伊藤吾朗、渡辺英雄、松尾明、銅とタングステンとの接合剤の硬さと組織に及ぼすイオン照射効果、銅と銅合金 第 50 巻 1 号、査読有、50 巻、2011、110-114
- ⑥ T. Muroga, T. Nagasaka, H. Watanabe, M. Yamazaki, The effect of final heat treatment temperature on radiation response of V-4Cr-4Ti, Journal of Nuclear Materials, 査読有、417 巻、2011、310-313
- ⑦ H. Watanabe, N. Yoshida, T. Nagasaka, T. Muroga, The microstructure and hardness changes of neutron irradiated weld joint of vanadium alloy, Journal of Nuclear Materials, 査読有、417 巻、2011、319-322
- ⑧ H. Watanabe, S. Masaki, S. Masubuchi, N. Yoshida, Y. Kamada, Radiation induced hardening of irradiated RPV steels, Journal of Nuclear Materials, 査読有、417 巻、2011、932-935
- ⑨ Y. Kamada, H. Watanabe, S. Mitani, J. Echigoya, J. N. Mohapatra, H. Kikuchi, S. Kobayashi, K. Takahashi, Magnetic Properties of ion irradiated epitaxial Fe Films, Journal of Physics Conference Series, 査読有、266 巻、2011、012035
- ⑩ 關人史、鱒淵俊児、渡辺英雄、吉田直亮、電子線照射下における原子炉圧力容器モデル合金 Fe-1.4Mn のその場観察、日本金属学会誌、査読有、75 巻、2011、173-178
- ⑪ 關人史、渡辺英雄、吉田直亮、Fe-Mn 合金の応力下での欠陥形成のその場観察、九州大学応用力学研究所所報、査読無、139 巻、2010、141-144
- ⑫ 平金晶憲、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における圧力容器鋼の照射欠陥挙動、九州大学応用力学研究所所報、査読無、137 巻、2009、161-163
- ⑬ 鎌田康寛、菊池弘昭、小林悟、荒克之、高橋正岳、渡辺英雄、吉田直亮、海老根典也、鈴木雅秀、中性子照射した純鉄および圧力容器鋼の磁気特性と照射欠陥の関係、九州大学応用力学研究所所報、査読無、137 巻、2009、151-155
- ⑭ 渡辺英雄、真崎信吾、鱒淵俊児、吉田直亮、超高压電子顕微鏡による軽水炉圧力容器鋼の欠陥挙動、九州大学応用力学研究所所報、査読無、137 巻、2009、157-160
- ⑮ 土肥謙次、西田憲二、野本明義、曾根田直樹、渡辺英雄、重イオン照射された原子炉圧力容器鋼モデル合金の三次元アトムプローブ観察、Materials Science Research Laboratory, 査読無、Q08029、2009
- ⑯ 室賀健夫、長坂琢也、鈴木晶大、福元謙一、佐藤学、渡辺英雄、バナジウム合金・液体リチウムシステムの研究、Journal of plasma and Fusion Research, 査読有、85 巻、2009、260-266
- ⑰ T. Muroga, T. Nagasaka, J. M. Chen, Y. F. Li, H. Watanabe, Microstructure of creep-deformed V-4Cr-4Ti strengthened by precipitation and Cold rolling. Journal of Nuclear Materials. 査読有、386-388 巻、2009、606-609
- ⑱ Y. Kamada, H. Watanabe, N. Yoshida, S. Mitani, J. Echigoya, H. Kikuchi, S. Kobayashi, K. Takanasi, Effects of room temperature heavy ion irradiation on magnetic and electron properties of a single crystal ion thin film, Materials Transactions. 査読有、50 巻 2009、2134-2138
- ⑲ Y. Sumino, H. Watanabe, N. Yoshida. The microstructural evolution of precipitate strengthened copper alloys by varying temperature irradiation, Journal of Nuclear Materials, 査読有、386-388、2009、654-657
- ⑳ H. Watanabe, A. Higashijima, N. Yoshida, T. Nagasako, T. Muroga, The microstructure of laser welded Y

doped V-4Cr-4Ti alloys after ion irradiation, Journal of Nuclear Materials. 査読有、386-388、2009、598-601

- ②① 渡辺英雄、吉田直亮、イオン照射した低放射性V-4Cr-4Ti合金の表面近傍での微細チタン酸化物の形成、まてりあ、査読有、47巻、2008、631
- ②② 渡辺英雄、鱒淵俊児、吉田直亮、HVEM照射による軽水炉压力容器鋼の欠陥挙動解析、まてりあ、査読有、47巻、2008、620
- ②③ 曾根田直樹、佐藤紘一、渡辺英雄、高エネルギー粒子線照射下での照射損傷組織形成、J. Plasma Fusion Res. 査読有、84巻、2008、383-394

[学会発表] (計33件)

- ① 荒瀬史朗、進崇一郎、渡辺英雄、吉田直亮、压力容器鋼における照射欠陥挙動のCu濃度依存性(1)、日本金属学会 第150回春期大会、2012年3月29日、横浜国立大学常盤台キャンパス
- ② 進崇一郎、関人史、平金晶憲、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における压力容器鋼の照射欠陥挙動(5)内部組織・硬度相関、日本金属学会 第150回春期大会、2012年3月29日、横浜国立大学常盤台キャンパス
- ③ 荒瀬史朗、進崇一郎、渡辺英雄、吉田直亮、山本琢也、G. R. Odette、Cu含有量の異なる压力容器鋼-モデル合金の照射欠陥挙動、日本原子力学会九州支部第30回研究発表講演会、2011年12月17日、九州大学
- ④ 進崇一郎、関人史、平金晶憲、渡辺英雄、吉田直亮、压力容器鋼の照射組織に及ぼす応力の影響、日本原子力学会九州支部第30回研究発表講演会、2011年12月17日、九州大学
- ⑤ H. Watanabe、S. Shin、N. Yoshida、Y. Kamada、K. Dohi、The Effect of Stress on A533B Steels and Model Alloys under Irradiation, IGRDM16, 2011年12月4日、USA Santa Barbara
- ⑥ S. Shin、S. Aarase、H. Watanabe、N. Yoshida、Effect of applied stress on pressure vessel steels under irradiation, CSS-13, 2011年11月24日、九州大学Cキューブ
- ⑦ 進崇一郎、関人史、平金晶憲、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における压力容器鋼の照射欠陥挙動(4)内部組織・硬度相関、日本金属学会 2011年秋期大会、2011年11月7日、沖縄県宜野湾市
- ⑧ H. Watanabe、A. Hiragane、H. Seki、N. Yoshida、Y. Kamada、The Effect of

Stress on Radiation Induced Hardening of A533B and Fe-Mn Model Alloys, ICFRM-15, 2011年10月16日、USA Charleston

- ⑨ 渡辺英雄、吉田直亮、井上利彦、山下真一郎、高速炉用高ニッケルステンレス鋼の耐ポイドスエリング特性と照射温度変動効果、日本原子力学会 2011年秋の大会、2011年9月19日、北九州国際会議場
- ⑩ 関人史、進崇一郎、渡辺英雄、吉田直亮、Fe-1.4Mn合金の転位ループ形成機構におよぼす応力の影響、日本原子力学会 2011年秋の大会、2011年9月19日、北九州国際会議場
- ⑪ Y. Kamada、H. Watanabe、S. Kobayashi、S. Mitani、J. Echigoya、J. N. Mohapatra、H. Kikuchi、S. Kobayashi、K. Takahashi、Magnetic Properties of Ion-Irradiated Single Crystalline Iron and Iron-Chromium Thin Films, The 16th International Workshop on Electromagnetic Nondestructive Evaluation, 2011年3月10日、Chennai India
- ⑫ H. Watanabe、N. Yoshida、K. Dohi、The Effects of Mn on Microstructure and Hardness in A533B and Model Alloys Feb, TMS2011 Annual Meeting & Exhibition, 2011年2月28日、アメリカ
- ⑬ 渡辺英雄、応力下における照射欠陥の蓄積過程(硬度・組織相関について)、各種照射手法に基づくマイクロ-マクロ相関、2011年1月7日、北海道大学
- ⑭ 関人史、進崇一郎、渡辺英雄、吉田直亮、電子線照射下におけるA533B鋼モデル合金のその場観察、日本原子力学会九州支部会、2010年12月10日、九州大学
- ⑮ 関人史、進崇一郎、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における原子炉压力容器モデル合金の損傷形成機構、日本金属学会第147回秋期大会、2010年9月26日、北海道大学
- ⑯ 関人史、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における原子炉压力容器モデル合金の損傷形成機構、東北大学金属材料研究所ワークショップ「原子炉压力容器鋼照射脆化機構の研究最近の進展」、2010年7月30日、東北大学金属材料研究所
- ⑰ 渡辺英雄、関人史、平金晶憲、吉田直亮、構造材料の照射下での組織・硬さ変化に及ぼす応力の影響、第8回核融合エネルギー連合講演会、2010年6月11日、岐阜県高山市民文化会館
- ⑱ 鎌田康寛、越後谷淳一、菊池弘昭、小林悟、渡辺英雄、吉田直亮、三谷誠司、高梨弘毅、重イオン照射した鉄単結晶薄膜の磁性、日本金属学会 2010年春期大会、

- 2010年3月29日、筑波大学
- ①9 關人史、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における原子炉圧力容器鋼モデル合金の損傷形成その場観察、日本金属学会2010年春期大会、2010年3月29日、筑波大学
- ②0 渡辺英雄、平金晶憲、吉田直亮、応力下における圧力容器鋼の照射欠陥挙動(3)内部組織・硬度相関、日本金属学会2010年春期大会、2010年3月29日、筑波大学
- ②1 渡辺英雄、吉田直亮、長坂琢也、室賀健夫、低照射性V合金のLi雰囲気下での中性子照射効果、日本原子力学会2010春の大会、2010年3月28日、茨城大学
- ②3 關人史、渡辺英雄、吉田直亮、電子線照射下における原子炉圧力容器鋼モデル合金の損傷発達機構、第28回日本原子力学会九州支部大会、2009年12月11日、九州大学Cキューブ
- ②4 平金晶憲、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における圧力容器鋼の照射毛刊挙動、第28回日本原子力学会九州支部大会、2009年12月11日、九州大学Cキューブ
- ②5 H. Watanabe, Y. Kamada, Defect structures of ion and electron irradiated RPV steels and model alloys, Korea-Japan Joint Workshop, 2009年12月10日、Daejeon, Korea
- ②6 渡辺英雄、平金晶憲、吉田直亮、井上利彦、山下真一郎、応力下における照射欠陥の蓄積過程(1)、日本原子力学会秋の大会、2009年9月17日、東北大学(仙台)
- ②7 平金晶憲、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における圧力容器鋼の照射欠陥挙動(2)硬度・内部組織観察、金属学会秋期大会、2009年9月16日、京都大学
- ②8 H. Watanabe, N. Yoshida, T. Nagasaka, T. Muroga, The microstructure and hardness changes of neutron irradiated weld joint of vanadium alloy, 14th International Conference on Fusion Reactor Material, 2009年9月8日、Sapporo
- ②9 T. Muroga, T. Nagasaka, H. Watanabe, et al. The Effect of Final Heat Treatment Temperature on Radiation Response V-4Cr-4Ti at 673K, 14th International Conference on Fusion Reactor Material, 2009年9月8日、Sapporo
- ③0 H. Watanabe, S. Masaki, S. Masubuchi, N. Yoshida, Radiation induced hardening of ion irradiated Fe alloys, 14th International Conference on Fusion Reactor Material, 2009年9月8日、Sapporo

- ③1 平金晶憲、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における圧力容器鋼の照射欠陥挙動(2)装置作製と予備実験、平成21年度九州大学応用力学研究所研究集会、2009年7月10日、九州大学応用力学研究所
- ③2 渡辺英雄、A533鋼及びモデル合金におけるマトリックス欠陥形成、平成21年度東北大学金属材料研究所大洗研究会、2009年6月26日、東北大学東京分室
- ③3 平金晶憲、渡辺英雄、吉田直亮、応力下における圧力容器鋼の照射欠陥挙動(1)装置の設計と作製、日本金属学会春季大会、2009年3月28日、東京工業大学

[産業財産権]

○出願状況(計2件)

名称：電子顕微鏡の計測装置

発明者：渡辺英雄

権利者：本田技術研究所・九州大学

種類：K2012-0004

番号：

出願年月日：平成24年5月(予定)

国内外の別：国内

名称：小型光学顕微鏡

発明者：渡辺英雄

権利者：本田技術研究所・九州大学

種類：K2012-0003

番号：

出願年月日：平成24年5月(予定)

国内外の別：国内

[その他] ホームページ等

<http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/koenezai/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺英雄 (WATANABE HIDEO)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：90212323

(2) 研究分担者

鎌田康寛 (KAMADA YASUHIRO)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：294025

(3) 連携研究者

吉田直亮 (YOSIDA NAOAKI)

九州大学・応用力学研究所・特任教授

研究者番号：127317

(4) 連携研究者

酢屋徳啓 (SUYA NORIYOSI)

放射線総合医学研究所・主任技師

研究者番号：70606988