

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02643

研究課題名（和文）超微小試験技術による照射脆化のミッシングリンク解明

研究課題名（英文）Exploring the missing link in irradiation embrittlement using ultra-small testing technologies

研究代表者

笠田 竜太（KASADA, RYUTA）

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：20335227

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ナノインデンテーション法やマイクロピラー圧縮試験等の超微小試験技術を駆使して、原子力・核融合材料のミクロスケールでの変形・破壊現象を直接的に評価することに成功した。酸化物分散強化合金、原子炉圧力容器鋼、タングステン被覆界面における変形・破壊挙動のスケール性に及ぼす微細組織因子や照射影響を明らかにした。特に照射脆化の要因とされるミクロ組織変化とマクロな変形・破壊現象の間にあるミッシングリンクを繋ぐ析出物や界面の力学特性を直接評価することが可能となり、これまでに考慮されていなかった微細組織因子に対する照射影響を照射脆化モデルに統合するための道筋を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回の研究では、既存の原子炉に用いられている圧力容器鋼や、未来のエネルギー源として開発が進められている核融合炉の厳しい環境に耐えるために必要とされる構造材料の強度特性をミクロスケールの試験法によって評価することに成功するとともに、小さなものから大きなものの強度を予測するための要件やモデルを提示することができた。特に金属材料の脆化に関わる第2相や被覆界面のような微細組織要素そのものの強度特性や変形挙動を明らかにした成果は、安全安心に関わる材料の劣化評価技術の高度化に繋がるものであり、マルチマテリアル化が進む様々な産業分野における構造材料の安全性向上に貢献できる技術として発展しうるものである。

研究成果の概要（英文）：This study succeeded in directly evaluating deformation and fracture phenomena of nuclear fission and fusion materials at microscale by using ultra-small testing technologies such as nanoindentation and micropillar compression tests. Microstructural factors and irradiation effects on the scale-factor of deformation and fracture behavior of oxide dispersion strengthened alloys, reactor pressure vessel steels, and tungsten coating interfaces were clarified. In particular, the mechanical properties of precipitates and interfaces, which are the missing links between microstructural changes and macroscopic deformation and fracture phenomena that are considered to be factors of irradiation embrittlement, can be directly evaluated, providing a method to integrate irradiation effects on microstructural factors that have not been considered in irradiation embrittlement models.

研究分野：原子力材料

キーワード：超微小試験技術 照射硬化 照射脆化 析出物 界面 イオン照射

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

原子炉や核融合炉の構造材料であるフェライト系鉄鋼材料等の体心立方晶系金属は、中性子照射を受けることによって、延性脆性遷移温度 (DBTT) の上昇や破壊靱性値の低下、すなわち「照射脆化」を示す。照射脆化の評価と予測は、高い安全性が要求される機器の構造健全性を確保するために極めて重要である。実際に、国内外の原子炉圧力容器鋼の照射脆化は、監視試験片に対するシャルピー衝撃試験や破壊靱性試験によって評価され、照射脆化予測モデルに基づき実機材の照射脆化の進行度が予測されている。近年の国内外の照射脆化モデルは、次のような段階を踏む構成となっている。

- (a) 照射下微細組織変化に関する反応速度論モデル
- (b) 微細組織変化 材料強度変化相関モデルによる照射硬化量の導出
- (c) 材料強度変化 照射脆化相関モデルによる照射脆化量の予測

(a)については、近年の3次元アトムプローブ法等の高度な微細組織観察手法によって、かつては見えなかった照射欠陥集合体まで定量評価可能となっており、妥当性を実験的に確認できる環境が整っている。(b)については、TEM内引張試験その場観察法によって、すべり変形の直接観察を行い、Orowan機構におけるすべり転位の障害物となる照射欠陥集合体の強化因子を実験的に評価可能である。しかし、(c)については、Ludwig-Davidenkovモデルに基づく照射硬化と照射脆化の線形的な関係性を示す半経験的な予測モデルとなっており、例えば非硬化型脆化が生じる場合には適用できないことや、原子炉圧力容器鋼と低放射化フェライト鋼における相関則の線形係数(すなわち照射脆化感受性)や破壊の統計性が大きく異なる要因を説明できない、塑性変形の不均一性や局所化の影響による強度特性や破壊現象のスケール性を考慮していない、などの多くの課題を有している。

以上のように、照射後の強度特性変化と照射脆化のモデルの間にはミッシングリンクが潜在している。これは、照射脆化がマイクロスケールの微細組織要素の不均一変形や破壊の重ね合わせによってもたらされる現象であるにもかかわらず、均一変形を前提としたモデルによって記述されているためと考えられる。原子炉圧力容器鋼のように比較的照射量が低い範囲では妥当な近似であると考えられるが、次世代原子力システムや核融合炉に想定される重照射材料においては、適用が困難となる可能性が高い。実際に、核融合炉用低放射化フェライト鋼では照射硬化と照射脆化の線形関係は重照射後には失われているという報告が見られる(E. Gaganidze et al., JNM 255 (2006) 83.)。すなわち、材料強度変化と照射脆化の相関に関わるミッシングリンクの影響が顕在化しつつある。

このようなミッシングリンクを繋ぐ上での学術的問いを研究代表者は次のように設定し、研究分担者らとともに解決すべく研究を進めてきた。

- ・マイクロスケールの強度特性におけるサイズ効果に及ぼす照射影響の解明
- ・照射による不均一変形促進のメカニズム解明
- ・脆性破壊起点となる析出物等の微細組織要素の材料強度特性・変形・破壊に及ぼす照射影響の解明

2. 研究の目的

以上の背景のもと、本研究では、原子力・核融合炉材料の照射脆化の要因とされるマイクロ組織変化とマクロな変形・破壊現象の間にあるミッシングリンクを繋ぐ上での課題となっている照射後変形・破壊挙動のスケール性に潜む微細組織要素や変形・破壊挙動そのものの不均一性の影響について、ナノインデンテーション法やマイクロピラー圧縮試験等の超微小試験技術を用いて直接的に明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

上記の目標を達成するため、以下の5項目に関する研究を実施した。

- (1) 強度特性の統計的性質に及ぼす微細組織影響
- (2) 原子炉圧力容器鋼の局所力学特性に及ぼす照射影響
- (3) タングステン被覆フェライト鋼界面せん断強度特性のサイズ依存性
- (4) ステンレス鋼モデル合金における照射硬化機構
- (5) ナノインデンテーション硬さ試験法の高度化
- (6) 鋼中炭化物モデル材料の強度特性・変形挙動

4. 研究成果

- (1) 強度特性の統計的性質に及ぼす微細組織影響の解明

不均一なサイズ分布の結晶粒組織を有する酸化物分散強化(ODS)銅合金の強度特性の統計的性質に及ぼす微細組織影響を明らかにするために、マイクロピラー圧縮試験を行った。得られ

た降伏応力の統計的性質に対する結晶粒サイズの不均一性の影響について、微細組織データを用いたモンテカルロ法による解析によって明らかにすることができた。また、重イオン照射材における照射硬化評価については、微細結晶粒を有する ODS 銅合金においてもマイクロピラー圧縮試験の適用には限界があり、ナノインデンテーション硬さ試験法の優位性が示された(図1)。得られた成果は、Materials Transaction 誌、Nuclear Materials & Energy 誌等に掲載された。

(2) 原子炉圧力容器鋼の局所力学特性に及ぼす照射影響に関する研究では、超微小試験技術を用いて原子炉圧力容器鋼である A533B 鋼における局所力学特性に及ぼす電子線照射影響を調べた。局所力学特性の評価に際しては、微小変形理論に基づくイオン照射材のような数マイクロメートル以下の極微小領域からバルク相当の押込硬さを予測するための理論モデルを電子線照射した A533B 鋼に対するナノインデンテーション硬さ試験結果に適用し、局所力学特性の統計的性質に及ぼす照射影響について検討した。得られたナノインデンテーション硬さとビッカース硬さの相関性についても示すことができた。加えて、マイクロピラー圧縮試験を圧力容器鋼の照射硬化評価に適用し、バルク相当の強度特性が得られる試験片サイズを明らかにした(図2)。また、A533B 鋼の照射後の強度特性の統計的性質に変化が見られ、照射硬化に対して異なる感受性を有する微細組織因子が存在することが示唆された。得られた成果は、Journal of Nuclear Science & Technology 誌に掲載された。

(3) タングステン被覆フェライト鋼界面せん断強度特性のサイズ依存性に関する研究では、図3に示す超微小試験技術によって、鉄鋼材料に被覆した 0.2mm の薄いタングステン被覆の接合強度の測定に成功し、爆発接合法によって鉄鋼材料に被覆されたタングステンの界面せん断強度は、タングステンや鉄鋼材料のせん断強度よりも強いことを定量的に明らかにした。本成果は想定していた鋼中炭化物界面強度の評価への展開だけではなく、様々な被覆材料の界面強度を測定可能な技術であり、様々な機器で活用が進むマルチマテリアル技術の安全性評価に貢献できる可能性がある。得られた成果は、Materials Science and Engineering A 誌に掲載され、プレスリリースを行った。

(4) ステンレス鋼モデル合金における照射硬化機構に関する研究では、京都大学 DuET 施設において Fe イオンを照射し、照射後焼鈍処理(PIA)を施したステンレス鋼モデル合金のアトムプローブトモグラフィー、透過電子顕微鏡による微細構造観察及びナノインデンテーション法による強度評価を実施した。照射済試験片には微小ブラックドット、フランクループ、Ni-Si クラスタが形成され、PIA によりそれらが回復することが観察された。オロワン型の分散障害物硬化モデルに欠陥集合体の密度とサイズを適用し、微細組織から照射硬化を評価したところ、Ni-Si クラスタとフランクループは照射硬化の増加に大きく寄与したが、ブラックドットはほとんど寄与しないことが示された。このことは、分散障害物硬化モデル

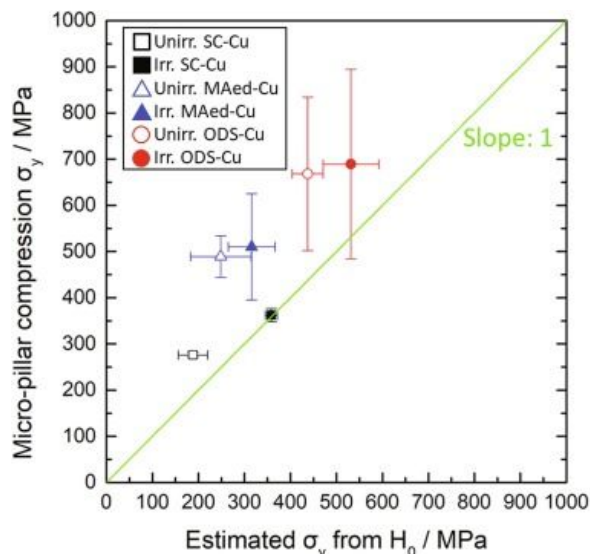


図1 イオン照射前後の ODS-Cu におけるナノインデンテーション硬さとマイクロピラー降伏応力の関係 [Liu et al. NME

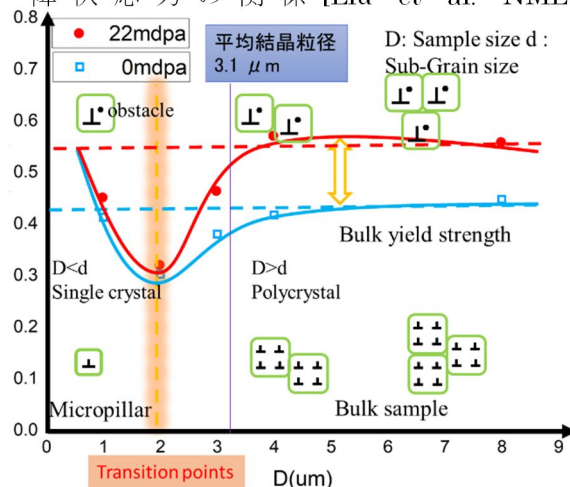


図2 A533B 鋼の降伏応力のマイクロピラーサイズ依存性に及ぼす電子線照射影響。

によって鉄鋼材料に被覆されたタングステンの界面せん断強度は、タングステンや鉄鋼材料のせん断強度よりも強いことを定量的に明らかにした。本成果は想定していた鋼中炭化物界面強度の評価への展開だけではなく、様々な被覆材料の界面強度を測定可能な技術であり、様々な機器で活用が進むマルチマテリアル技術の安全性評価に貢献できる可能性がある。得られた成果は、Materials Science and Engineering A 誌に掲載され、プレスリリースを行った。

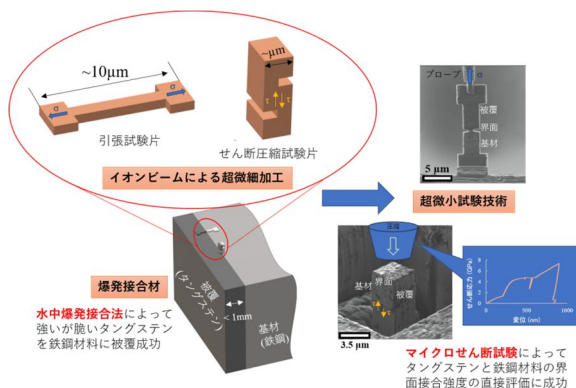


図3 超微小試験技術によるタングステン被覆鉄鋼材料の異材界面せん断強度の直接測定。

ルでは、個々のNi-Si クラスターはすべり転位に対して弱い障害物であるが、Ni-Si クラスターの密な形成が照射硬化挙動を支配していることを示唆している。整合歪みによる Ni-Si クラスターからの強度上昇をミスフィットパラメータに基づき定量的に解析し、溶質原子クラスターを含むステンレス鋼の照射硬化機構を考察した。得られた成果は、Journal of Nuclear Materials 誌に掲載された。

(5) ナノインデンテーション硬さ試験法の中でも連続剛性測定法(CSM 法)は一度の押込試験で深さに対して連続にヤング率や押込硬さを得ることができるため、イオン照射材の評価に多く用いられている。本研究では、CSM 法において課題となっている押込深さのゼロ点の決定法について高精度かつ実用的な手法を提案し、ゼロ点位置が押込硬さの押込深さ依存性すなわちインデンテーションサイズ効果の解明において重要な影響を及ぼしうることを示した(図4)。本研究成果は、Scientific Reports 誌に掲載された。また、Fe-Cr 合金におけるナノインデンテーション硬さとビッカース硬さの相関に及ぼす諸因子を詳細に検討し、金属材料において広く適用しうる相関則について明らかにした(論文投稿中)。

(6) 鋼中炭化物モデル材料の強度特性・変形挙動については、得られた成果を現在投稿準備中であるため、本報告では割愛する。

(7) 以上のように、本研究では、ナノインデンテーション法やマイクロピラー圧縮試験等の超微小試験技術を駆使して、原子炉圧力容器鋼や低放射化フェライト鋼、被覆材界面における変形・破壊現象を直接的に評価することに成功した。この中で、超微小試験技術の高度化を進めるとともに得られる強度特性のマクロ強度特性との相関論に関しても理解が進んだ。また、照射後変形・破壊挙動のスケール性に及ぼす微細組織因子を明らかにした。特に照射脆化の要因とされるミクロ組織変化とマクロな変形・破壊現象の間にあるミッシングリンクを繋ぐ析出物や界面の力学特性を直接評価することが可能となり、これまでに考慮されていなかった微細組織因子に対する照射影響を照射脆化モデルに統合するための成果を得ることができた。

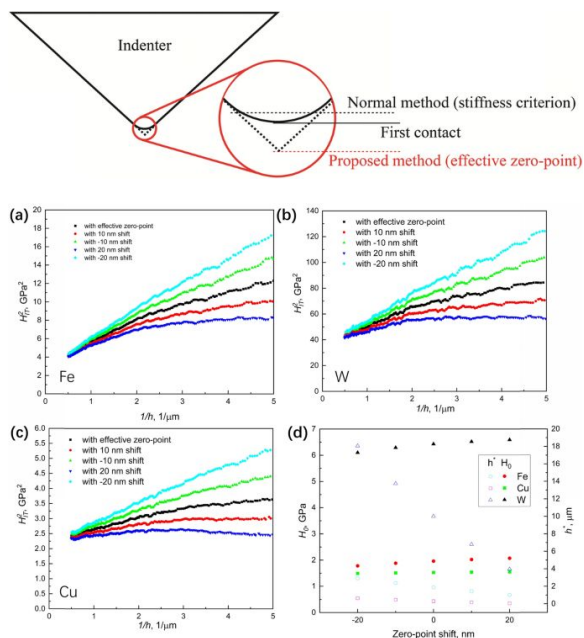


図4 CSM 法によるナノインデンテーション硬さ試験における押込深さゼロ点位置が押込硬さの深さ依存性に及ぼす影響。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Liu Yuchen, Kondo Sosuke, Yu Hao, Yabuuchi Kiyohiro, Kasada Ryuta | 4. 巻 61 |
| 2. 論文標題 Statistical Approach for Understanding the Effect of Specimen Size on the Yield Stress and Its Scattering in Mechanically-Alloyed Cu and ODS-Cu Obtained by Micro-Pillar Compression Test | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS | 6. 最初と最後の頁 955 ~ 962 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-MBW2019005 | 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 Zheng Yuyang, Geng Diancheng, Yu Hao, Kondo Sosuke, Kimura Akihiko, Yuya Hideki, Kasada Ryuta | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 Evaluating the irradiation hardening of reactor pressure vessel steels by nanoindentation hardness test and micropillar compression test | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology | 6. 最初と最後の頁 1 ~ 12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/00223131.2022.2067258 | 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 Geng Diancheng, Yu Hao, Okuno Yasuki, Kondo Sosuke, Kasada Ryuta | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Practical method to determine the effective zero-point of indentation depth for continuous stiffness measurement nanoindentation test with Berkovich tip | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 6391 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-10490-8 | 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 Gao Zimo, Yu Hao, Geng Diancheng, Liu Yuchen, Kondo Sosuke, Okuno Yasuki, Kasada Ryuta | 4. 巻 899 |
| 2. 論文標題 Effects of zirconium addition on the material properties and microstructure of ODS-Cu alloys | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Alloys and Compounds | 6. 最初と最後の頁 163328 ~ 163328 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jallcom.2021.163328 | 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 Yu Hao, Wang Haoran, Kondo Sosuke, Okuno Yasuki, Kasada Ryuta, Oono-Hori Naoko, Ukai Shigeharu | 4. 巻 29 |
| 2. 論文標題 Radiation tolerance of alumina scale formed on FeCrAl ODS ferritic alloy | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy | 6. 最初と最後の頁 101102 ~ 101102 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2021.101102 | 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 Wu Xiangyu, Kondo Sosuke, Yu Hao, Okuno Yasuki, Ando Masami, Kurotaki Hironori, Tanaka Shigeru, Hokamoto Kazuyuki, Ochiai Ryosuke, Konishi Satoshi, Kasada Ryuta | 4. 巻 826 |
| 2. 論文標題 Bonding strength evaluation of explosive welding joint of tungsten to ferritic steel using ultra-small testing technologies | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A | 6. 最初と最後の頁 141995 ~ 141995 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2021.141995 | 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 Liu Yuchen, Kondo Sosuke, Yu Hao, Yabuuchi Kiyohiro, Kasada Ryuta | 4. 巻 26 |
| 2. 論文標題 Evaluation of irradiation hardening in ODS-Cu and non ODS-Cu by nanoindentation hardness test and micro-pillar compression test after self-ion irradiation | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Nuclear Materials and Energy | 6. 最初と最後の頁 100903 ~ 100903 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nme.2021.100903 | 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 敷内 聖皓, 近藤 創介, 檜木 達也, 笠田 竜太 | 4. 巻 97 |
| 2. 論文標題 プロジェクトレビュー「複合ビーム材料照射装置 DuET を用いた核融合炉材料研究と関連材料研究の展開」 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 プラズマ・核融合学会誌 | 6. 最初と最後の頁 403 ~ 418 |
| 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 - |

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuchen LIU, Sosuke KONDO, Hao YU, Kiyohiro YABUUCHI, Ryuta KASADA |
| 2. 発表標題 Evaluation of irradiation hardening of ion-irradiated ODS-Cu Alloy using ultra-small testing technologies (USTT) |
| 3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuchen LIU, Sosuke KONDO, Hao YU, Kiyohiro YABUUCHI, Ryuta KASADA |
| 2. 発表標題 Evaluation of ion irradiation effect on mechanical properties of ODS-Cu alloy using ultra-small testing technologies |
| 3. 学会等名 ICFRM-19 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Yuchen LIU, Sosuke KONDO, Hao YU, Kiyohiro YABUUCHI, Ryuta KASADA |
| 2. 発表標題 Evaluation of Irradiation Hardening Behavior for ODS-Cu Based on Statistical Analysis of Micro-Pillar Compression Test |
| 3. 学会等名 日本金属学会2020年春期大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 WU XIANGYU, Ando Masami, Kasada Ryuta, Kondo Sosuke, YU Hao |
| 2. 発表標題 Evaluation of bonding strength of explosive welded W/F82H using FIB ultra-small tensile test |
| 3. 学会等名 日本金属学会2020年春期大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 水元希、近藤 創介、松川 義孝、余浩、笠田 竜太 |
| 2. 発表標題 クロム炭化物の強度特性に及ぼすホウ素添加の影響 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2020年春期大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 鄭宇暘、笠田竜太、近藤創介、余浩、木村晃彦、熊野秀樹 |
| 2. 発表標題 RPV鋼におけるピッカース硬さ ナノインデンテーション硬さ相関 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2020年春期大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuchen LIU, Sosuke KONDO, Hao YU, Kiyohiro YABUUCHI, Ryuta KASADA |
| 2. 発表標題 Evaluation of irradiation hardening in ion-irradiated ODS-Cu alloy using ultra-small testing technologies |
| 3. 学会等名 SMINS-5 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 耿 殿程、余 浩、奥野 泰希、近藤 創介、笠田 竜太 |
| 2. 発表標題 連続剛性測定法を用いたナノインデンテーション試験におけるゼロ点補正法の最適化 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2022年春期大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 WU XIANGYU、笠田 竜太、近藤 創介、余 浩、奥野 泰希 |
| 2. 発表標題 Determining the mechanical properties of VPS W coated F82H bonding interface using micro-cantilever bending and double-notch shearing |
| 3. 学会等名 日本金属学会2022年春期大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 水元希 |
| 2. 発表標題 Cr23C6の強度特性に及ぼすホウ素置換の影響 |
| 3. 学会等名 2021年度日本金属学会No.82「微小領域の力学特製評価とマルチスケールモデリング」研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Xiangyu Wu |
| 2. 発表標題 Comparative evaluation of bonding strength of vacuum plasma spraying/explosive welding W-F82H using ultra-small double-notch shear compression test ” |
| 3. 学会等名 Internation Toki Conference (ITC30) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 笠田竜太、近藤創介、藪内聖皓、檜木達也 |
| 2. 発表標題 複合ビーム材料照射装置DuETを用いた核融合炉材料研究の展開 |
| 3. 学会等名 第38回プラズマ・核融合学会年会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Wu Xiangyu, S.Kondo, H. Yu, Y. Okuno, R. Kasada |
| 2. 発表標題 Bonding strength evaluation of VPS-tungsten coated F82H using ultrasmall double notch shear compression testing |
| 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 Wu Xiangyu |
| 2. 発表標題 Dissimilar bonding strength measurement of tungsten-coated ferritic steels using ultra-small double-notch shear compression test |
| 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 Mizumoto Nozomi |
| 2. 発表標題 Effect of B substitution on the chemical bonding state of Cr23C6 investigated by SXES and DFT calculation |
| 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 Geng Diancheng |
| 2. 発表標題 Characterization of micro-scale strength and deformation in ion- irradiated RAFM steel F82H using micro-pillar compression test |
| 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 水元 希、近藤 創介、松川 義孝、余 浩、笠田 竜太 |
| 2. 発表標題 Cr23C6の強度特性に及ぼすホウ素置換の影響 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 松戸 玲菜、笠田 竜太、水元 希、耿 殿程 |
| 2. 発表標題 M23C6単結晶の強度特性に及ぼすMの化学組成の影響 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Geng Diancheng、Hao Hao、Okuno Yasuki、Kondo Sosuke、Kasada Ryuta |
| 2. 発表標題 On the correlation of Vickers hardness and nanoindentation hardness in Fe-Cr alloys |
| 3. 学会等名 日本金属学会2021年秋期大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 水元 希、近藤 創介、松川 義孝、余 浩、笠田 竜太 |
| 2. 発表標題 Cr23C6の強度特性に及ぼすB置換の影響 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2021春期大会発表 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松戸 玲菜、耿 殿程、笠田 竜太 |
| 2. 発表標題 ナノインデンテーション硬さ試験におけるパイルアップ補正法の開発 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2021春期大会発表 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 WU XIANGYU、安堂 正巳、笠田 竜太、近藤 創介、YU HAO |
| 2. 発表標題 Study on specimen size effect of interfacial shear strength of W-coated ferritic steel by micro-scale double notch shear compression test |
| 3. 学会等名 日本金属学会2021春期大会発表 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 笠田 竜太、鄭 宇暘、近藤 創介、余 浩、木村 晃彦、熊野 秀樹 |
| 2. 発表標題 電子線照射A533B鋼の降伏応力に及ぼすマイクロピラーサイズの影響 |
| 3. 学会等名 日本金属学会2021春期大会発表 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| <p>1. 水元 希、2021年度日本金属学会No.82「微小領域の力学特製評価とマルチスケールモデリング」優秀ポスター賞 2. 松戸玲菜、日本金属学会2021年秋期大会優秀ポスター賞 3. Wu Xiangyu、日本金属学会2020年秋期大会優秀ポスター賞</p> |
|---|

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 | 近藤 創介 (Kondo Sosuke) (10563984) | 東北大学・金属材料研究所・准教授 (11301) | |
| 研究分担者 | 余 浩 (Yu Hao) (10825871) | 東北大学・金属材料研究所・助教 (11301) | |
| 研究分担者 | 福元 謙一 (Ken-ichi Fukumoto) (30261506) | 福井大学・附属国際原子力工学研究所・教授 (13401) | |
| 研究分担者 | 安堂 正己 (Masami Ando) (30370349) | 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・主幹研究員(定常) (82502) | |
| 研究分担者 | 松川 義孝 (Yoshitaka Matsukawa) (70566356) | 熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授 (17401) | |
| 研究分担者 | 藪内 聖皓 (Kiyohiro Yabuuchi) (70633460) | 京都大学・エネルギー理工学研究所・助教 (14301) | |

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 |
|---------|---------|
| | |