

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（特設分野研究）

研究期間：2017～2020

課題番号：17KT0039

研究課題名（和文）人工物デジタルツイン構築のためのマルチスケールモデル・モニタリングのシンセシス

研究課題名（英文）Digital twin of artifact systems by synthesizing multiscale modeling and inspections

研究代表者

沖田 泰良（Okita, Taira）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：50401146

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、検査・モニタリングで得られた人工物システム構造材料の状態を入力データとする数値モデルにより、計算機内仮想空間で人工物システムを再現する人工物デジタルツインを構築した。特に、人工物システム共通の脆弱性として構造材料の疲労損傷に着目し、マクロレベルにおけるき裂進展から原子スケールにおけるき裂発生の前兆までも捉える検査技術とそれを再現する数値モデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光ファイバセンサによる繰り返し負荷に伴う面内ひずみ分布測定、ひずみ集中部分の損傷蓄積を予測する塑性力学モデル構築、き裂発生の前兆である材質変化を検出する非線形超音波、およびその分子シミュレーションによる定量化、これらが学術的に特に意義の高い成果である。また、構造材料の挙動評価は人工物システムの安全性・信頼性に直結する課題であり、これらの技術をベースとする人工物デジタルツイン構築により、検査時期や運用計画の適正化、人工物システムの強靱化、システム可塑性の付与が可能となる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we constructed Digital Twin of Artifact Systems (DTAS) in which physical and numerical models of structural materials at several length scales are constructed and integrated, while monitoring and inspection data are used as input parameters; DTAS reproduces the current state of structural materials and predict their degradation. In particular, we focused on fatigue damage of structural materials, which is a common vulnerability in artifact systems. We developed inspection techniques that can detect crack growth at the macroscopic scale, or precursors of crack formation at the atomistic scale. We have also developed numerical models that reproduces the degradation of structural materials.

研究分野：非破壊検査，分子シミュレーション

キーワード：構造健全性 非破壊検査 疲労損傷 分子シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

社会の安全性・効率性に役立つ様々な機能を備えた人工物システムは、現代社会に大きな恩恵をもたらしている一方、巨大化・複雑化にともない、ときには制御不能な手に余る振る舞いによって社会に長きにわたり癒え難い傷を残し、ときには代替の難しさから不安やジレンマを抱えたままに使用され続けることがある。このように危険や不具合が発生する頻度が増すことに加え、社会に深く入り込んだ人工物の劣化・破綻が与える損失や被害の大きさを考えると、この増大するリスクは社会の持続可能性への脅威である。これらを解決するためには、複雑なシステムの挙動を適確に把握し、科学的根拠に基づいて適切な処置を講じて人工物システムを強化しなければならない。

2. 研究の目的

本研究では、人工物の躯体ともいえる、構造およびそれを構成する材料の健全性という観点から人工物システム強化の問題に取り組んだ。人工物システム構造材料の劣化進行具合を広範囲に検出するマクロ検査技術、その結果に基づいて特に劣化が進行している箇所を重点的に検出するミクロ検査技術により、構造材料の劣化状態を適切に把握する。本研究においては、これら各々のスケールでの時々刻々の検査・モニタリングデータを入力値として構造材料劣化を計算できる数値モデルを開発し、それらを連成させるマルチスケール解析により仮想空間でシステム構造材料の状態を再現あるいは予測する「人工物デジタルツイン」を構築することを目的とした。

構造材料の挙動評価は人工物システムの安全性・信頼性に直結する課題であるため、人工物デジタルツインにより、以下の4つの観点から人工物システム強化に資することが可能となる。(1)損傷進展を継続的に評価することで、検査時期や運用計画の最適化を図る。(2)人工物デジタルツイン内でのストレステストによりシステム脆弱箇所を検出しリスク低減を図る、また過酷事故時の負荷を再現しシステム構造変化を瞬時に把握するとともに大事故防止のための処置を提言する。これらにより人工物システムを強靱化する。(3)システムの目的・運用条件が変化した場合、システム形態・仕様の適切な変更を明らかにすることで、柔軟な運用を可能とするシステム可塑性を付与する。(4)得られたシステム運用上の知見に基づき、合理的な設計変更の提案、科学的根拠に基づいた規格策定によって、次世代システムに還元する。

このように、構造材料を対象とした予測モデルにより検査の時期と箇所を評価する従来のシステム保全学では得ることができなかった、システム環境変化を取り入れた上でより安全で高効率なシステムの運用を可能にすることが、人工物デジタルツインの大きな特徴である。

3. 研究の方法

本研究では、人工物システムを構成する機器故障要因の大方を占める疲労損傷に着目し、その発生を予測する人工物デジタルツインの構築を行った。具体的には、光ファイバを用いて構造材料のひずみ分布を測定するマクロ検査技術の開発、マクロ検査技術により高ひずみが蓄積していると考えられる箇所に対して超音波法等を用いひずみ蓄積の微細組織要因である転位を検出するミクロ検査技術の開発を行った。これらによって得られた各々のスケールにおける検査結果を数値モデルの入力データとして、機械的特性変化の空間分布を計算機内で再現した。特に、転位組織に関しては、分子シミュレーションにより、局所領域における機械的特性を定量化した。また、マクロ検査技術で得られたひずみ分布、及び分子シミュレーションで得られた局所的機械特性値を入力値とする有限要素法解析により、計算機内で構造材料の状態を再現する。再現された状態を初期条件としてマルチスケール連成解析を実施し、劣化・損傷発生・損傷進展を予測する手法の構築を検討した。

4. 研究成果

(1) 光ファイバセンサによる構造材料内ひずみ分布測定

光周波数領域反射計により、光ファイバに描き込まれた回折格子に沿って約0.5 mmの空間分解能でひずみを連続的に計測できる分布型光ファイバセンサを用いて、面内ひずみ場を分布的、かつ動的に把握するための最適なセンサ配置決定手法及び信号処理技術、データ同化手法を開発した。また、円孔周辺部に光ファイバを重点的に装荷した模擬試験片を用意し、常温において最もふさわしい負荷様式にて繰り返し負荷を行い面内ひずみ分布測定を行った。更に、模擬試験片を再現したFEMメッシュを作成し、実験と同様の繰り返し応力を負荷した。

(2) 構造部材ひずみ集中部の損傷蓄積状況を高精度予測可能な塑性力学モデル開発

疲労亀裂発生寿命を精度良く予測するため、ランダム荷重付与条件下での材料損傷量を定

量化するための実験研究を実施し、複合効果則を前提とした相当背応力更新による有効損傷量概念が効率よく損傷を記述できることを示した。また、簡易的であり、マクロ問題に適した結晶塑性法を有限要素法に実装することに成功し、粒界に多く蓄積する転位量を推定するツールを完成させた。

この結果に基づいて、光ファイバセンサによって検出されたひずみ集中部に対して破壊発生の駆動力となるメゾスケール現象を塑性力学に基づいたモデルによって解明した。すなわち、鋼中に存在する第二相とマトリックスの境界での転位の蓄積挙動に対して、適度な計算負荷にて精度良く推定可能なCMSGP法を、市販有限要素法ソフトウェアに拡張適用することにより、損傷量を推定可能な計算手法を確立した。

(3) 超音波による転位測定

引張試験によりひずみを導入した鉄鋼材料に対し、超音波減衰率変化の周波数分散を算出した。また、超音波試験後、電子顕微鏡観察を行い、転位密度と超音波率変化との対応を明らかにした。これらの結果に基づいて、複数の周波数における減衰率変化ならびに音速変化から転位密度を検出しようとする可能性を明らかにした。

(4) 分子シミュレーションを用いた転位組織形成に伴う機械特性変化の定量化、および非線形超音波成分の定量化

分子動力学（MD）法により転位組織形成に伴う機械的特性変化を算出した。単一の結晶粒を想定したMD計算セル内に転位、および結晶欠陥集合体を配置した上で、せん断変形下での応力応答を算出し、降伏応力等に対応する機械的特性変化を求めた。これに基づいて、転位論をベースとした従来モデルの適用性を検討し、結晶欠陥の密度と平均径から硬化を算出する方法を開発した。またモンテカルロ法をベースとした原子レベルの挙動から転位組織発達を予測するモデルを構築した。

さらに、ナノレベルでの検査技術として用いる超音波測定において、構造材料中の微細組織を非線形応答によって精緻に検出しようことが可能であることに着目し、ナノ構造の結晶欠陥を配置したMDセルに対して、片側（波源）から複数の弾性波を導入し、その反対側（検出位置）での各原子の変位の平均をタイムステップ毎に記録しこれをフーリエ変換することによって、各々の微細組織形成に伴う非線形超音波応答を定量化した。

これらの成果を統合し、構造材料のひずみ分布から不連続面での損傷蓄積、それに伴う機械的特性変化、時間進展を記述することが可能となり、デジタルツインの基盤を確立した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Terayama Satoshi, Iwase Yuuki, Hayakawa Sho, Okita Taira, Itakura Mitsuhiro, Suzuki Katsuyuki	4. 巻 195
2. 論文標題 Molecular dynamic simulations evaluating the effect of the stacking fault energy on defect formations in face-centered cubic metals subjected to high-energy particle irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Materials Science	6. 最初と最後の頁 110479 ~ 110479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.commatsci.2021.110479	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 -
1. 著者名 Zhan Jie, Okita Taira, Ye Minyou, Kato Daiji, Suzuki Katsuyuki	4. 巻 187
2. 論文標題 Simulation study of helium bubble coalescence in tungsten at various temperatures relevant to fusion conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational Materials Science	6. 最初と最後の頁 110076 ~ 110076
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.commatsci.2020.110076	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 -
1. 著者名 Kosuge Hiroaki, Kawabata Tomoya, Okita Taira, Nako Hidenori	4. 巻 10
2. 論文標題 Accurate Estimation of Brittle Fracture Toughness Deterioration in Steel Structures Subjected to Large Complicated Prestrains	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 867 ~ 867
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10100867	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 -
1. 著者名 Hayakawa Sho, Okita Taira, Itakura Mitsuhiro, Kawabata Tomoya, Suzuki Katsuyuki	4. 巻 54
2. 論文標題 Atomistic simulations for the effects of stacking fault energy on defect formations by displacement cascades in FCC metals under Poisson's deformation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 11096 ~ 11110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-019-03688-1	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 Hayakawa Sho, Doihara Kohei, Okita Taira, Itakura Mitsuhiro, Aichi Masaatsu, Suzuki Katsuyuki	4. 巻 54
2. 論文標題 Screw dislocation-spherical void interactions in fcc metals and their dependence on stacking fault energy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 11509 ~ 11525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-019-03716-0	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 Kosuge Hiroaki, Kawabata Tomoya, Okita Taira, Murayama Hideaki, Takagi Shunsuke	4. 巻 185
2. 論文標題 Establishment of damage estimation rules for brittle fracture after cyclic plastic prestrain in steel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials & Design	6. 最初と最後の頁 108222 ~ 108222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matdes.2019.108222	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 Hayakawa Sho, Okita Taira, Itakura Mitsuhiro, Aichi Masaatsu, Suzuki Katsuyuki	4. 巻 98
2. 論文標題 Interactions between clusters of self-interstitial atoms via a conservative climb in BCC?Fe	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Philosophical Magazine	6. 最初と最後の頁 2311 ~ 2325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14786435.2018.1486047	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 Nakanishi D., Kawabata T., Doihara K., Okita T., Itakura M., Suzuki K.	4. 巻 98
2. 論文標題 Effects of stacking fault energies on formation of irradiation-induced defects at various temperatures in face-centred cubic metals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Philosophical Magazine	6. 最初と最後の頁 3034 ~ 3047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14786435.2018.1515507	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 Ratanaphan Sutatch, Sarochawikasit Rajchawit, Kumanuvong Noppadol, Hayakawa Sho, Beladi Hossein, Rohrer Gregory S., Okita Taira	4. 巻 54
2. 論文標題 Atomistic simulations of grain boundary energies in austenitic steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 5570 ~ 5583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-018-03297-4	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 Okita Taira, Kawabata Tomoya, Murayama Hideaki, Nishino Nariaki, Aichi Masaatsu	4. 巻 79
2. 論文標題 A new concept of digital twin of artifact systems: synthesizing monitoring/inspections, physical/numerical models, and social system models	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Procedia CIRP	6. 最初と最後の頁 667 ~ 672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.procir.2019.02.048	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 沖田泰良, 板倉充洋	4. 巻 59
2. 論文標題 材料挙動と計算機シミュレーションの接点(第2回)原子力材料の分子シミュレーション, 現状と展望	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本原子力学会誌	6. 最初と最後の頁 34-38
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 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 Kohei Doihara, Taira Okita, Mitsuhiro Itakura, Masaatsu Aichi, Katsuyuki Suzuki	4. 巻 accepted
2. 論文標題 Atomic simulations to evaluate effects of stacking fault energy on interactions between edge dislocation and spherical void in face-centred cubic metals	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Philosophical Magazine	6. 最初と最後の頁 accepted
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14786435.2018.1472401	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 -

〔学会発表〕 計45件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 Zhan Jie, Okita Taira, Ye Minyou, Watanabe Yoshiyuki
2. 発表標題 Atomistic study to evaluate interactions between helium bubbles and an edge dislocation in iron
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺山怜志、沖田泰良、板倉充洋、奥村雅彦
2. 発表標題 機械学習分子動力学法によるZr中の照射劣化挙動の解明
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津川聖人、岩瀬祐樹、沖田泰良、早川頌、板倉充洋
2. 発表標題 分子動力学法を用いた面心立方金属における析出硬化のナノメカニズム解明に関する研究
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森承宇、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 分子動力学法を用いた非線形超音波成分のナノ構造依存性に関する定量化
3. 学会等名 日本原子力学会2020年秋の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津川聖人、岩瀬祐樹、沖田泰良、早川頌、板倉充洋
2. 発表標題 分子動力学法を用いた面心立方金属における析出硬化のナノメカニズム解明に関する研究(2)
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 森承宇、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 分子動力学法を用いた非線形超音波成分のナノ構造依存性に関する定量化(2)
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 沖田泰良
2. 発表標題 マルチスケールモニタリングとモデリングのシンセシスによる人工物デジタルツイン構築
3. 学会等名 第32回CCSEワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 二宮孝太、沖田泰良、川畑友弥
2. 発表標題 亀裂材弾塑性変形における小規模降伏項の高精度分離 -CTOD算定 式の高精度化に向けた取り組み-
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会2019年春季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 沖田泰良、川畑友弥、村山英晶、西野成昭、愛知正温
2. 発表標題 人工物デジタルツイン構築のためのマルチスケールモデル・モニタリングのシンセシス
3. 学会等名 日本保全学会第16回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小菅寛輝、川畑友弥、沖田泰良、村山英晶
2. 発表標題 高精度な損傷蓄積則構築のためのメゾ空間スケールモデル構築
3. 学会等名 日本保全学会第16回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 早川頌、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 構造材料を対象とした原子スケールの精度を有するマルチ時間スケールモデルの構築
3. 学会等名 日本保全学会第16回学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺山怜志、岩瀬祐樹、早川頌、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 MD法を用いた高エネルギー中性子照射下における欠陥形成過程の解明
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 G. Qiang, T. Okita, Y. Adachi, S. Hayakawa, M. Itakura
2 . 発表標題 The microstructural evolution of c-type dislocation loop in zirconium and the effects of iron atoms on the formation process
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 S. Hayakawa, T. Okita, M. Itakura
2 . 発表標題 Atomistic simulations for the absorption process of an SIA cluster via self-climb in BCC-Fe
3 . 学会等名 14th International Symposium on Fusion Technology (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Hayakawa, T. Okita, K. Shibasaki
2 . 発表標題 Temperature Parallel Simulated Annealing with Self-generated Basins for Searching the Stable State of Microstructures in Materials
3 . 学会等名 14th International Symposium on Fusion Technology (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 S. Hayakawa, T. Okita, M. Itakura, K. Suzuki, H. Xu, Y.N. Osetsky
2 . 発表標題 Study of the stable configuration of cascade-induced defects in FCC metals using the temperature parallel simulated annealing with self-generated basins
3 . 学会等名 19th International Conference on Fusion Reactor Materials (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 岩瀬祐樹、早川頌、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 面心立方金属における析出硬化のメカニズム解明に関する研究
3. 学会等名 日本原子力学会2020年春の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺山怜志、岩瀬祐樹、早川頌、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 MD法を用いた高エネルギー中性子照射下における自己格子間原子集合体形成過程の解明
3. 学会等名 日本原子力学会2020年春の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬場貴生、寺山怜志、沖田泰良、板倉充洋、奥村雅彦
2. 発表標題 機械学習分子動力学法を用いたZr中における空孔集合体挙動の解明
3. 学会等名 日本原子力学会2020年春の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 沖田泰良
2. 発表標題 中性子照射脆化検出のための非破壊検査技術開発に関する研究
3. 学会等名 ちゅうでんサイエンス・フォーラム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Okita, T. Kawabata, H. Murayama, N. Nishino, M. Aichi
2. 発表標題 A new concept of digital twin of artifact systems: synthesizing monitoring/inspections, physical/numerical models, and social system models
3. 学会等名 12th CIRP International Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 板倉充洋、沖田泰良、中村博樹
2. 発表標題 二酸化ウランおよびガンマ鉄のノンコリニア常磁性状態の第一原理計算
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 川満昭英、沖田泰良、早川頌、板倉充洋
2. 発表標題 MD法による中性子照射下結晶欠陥形成過程に及ぼす材料物性の影響(4)-ひずみ負荷の影響-
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 土井原康平、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 MD法を用いた原子空孔集合体-転位相互作用に及ぼす積層欠陥エネルギーの影響解明(4)
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 早川頌、柴崎京介、沖田泰良、板倉充洋、H. Xu、Y.N. Osetsky
2. 発表標題 On-the-fly キネティック・モンテカルロ法を用いた面心立方金属中における照射誘起欠陥の挙動に関する検討
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 板倉充洋、沖田泰良
2. 発表標題 ボイドによる転位ピン止め過程の原子論的モデル化
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋の大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Okita、A. Kawamitsu、S. Hayakawa、T. Kawabata、M. Itakura
2. 発表標題 The effects of stacking fault energies on defect formation by collision cascade in FCC metals
3. 学会等名 Nuclear Materials 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Hayakawa、T. Okita、M. Itakura、H. Xu、Y.N. Osetsky
2. 発表標題 The evolution processes of self-interstitial atom clusters under displacement cascades in FCC metals
3. 学会等名 Nuclear Materials 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安達悠希也、強光友、早川頌、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 Zr中における空孔型転位ループ形成過程の解明
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 二宮孝太、早川頌、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 面心立方金属における原子空孔集合体形成過程の照射劣化に及ぼす影響
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 早川頌、沖田泰良、板倉充洋
2. 発表標題 Active volume を用いた温度並列Simulated annealing によるメゾ時間スケール原子シミュレーション
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 小菅寛輝、川畑友弥、高木俊輔
2. 発表標題 鉄鋼材料における繰返し予ひずみが脆化に及ぼす影響の考察
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安達 悠希也
2. 発表標題 面心立方金属を対象とした照射欠陥挙動のモデル化
3. 学会等名 日本原子力学会2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 早川 頌
2. 発表標題 BCC-Feにおける転位 結晶欠陥集合体間相互作用の原子論的解析
3. 学会等名 日本原子力学会2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 沖田 泰良
2. 発表標題 MD法による中性子照射下結晶欠陥形成過程に及ぼす材料物性の影響 (3)
3. 学会等名 日本原子力学会2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 土井原 康平
2. 発表標題 MD法を用いた原子空孔集合体-転位相互作用に及ぼす積層欠陥エネルギーの影響解明 (2)
3. 学会等名 日本原子力学会2017年秋の大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Doihara
2. 発表標題 MD simulations to investigate the effect of stacking fault energy on the interaction between screw dislocation and vacancy cluster in FCC metals
3. 学会等名 ICFRM-18 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Okita
2. 発表標題 Molecular dynamics simulations to elucidate effects of stacking fault energy on defect formation process under high energy of a primary knock-on atom
3. 学会等名 ICFRM-18 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 沖田泰良
2. 発表標題 マルチスケールモデル・モニタリングのシンセシスによる人工物デジタルツインの構築
3. 学会等名 第二回サイバ - NDE研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沖田泰良
2. 発表標題 照射下微細組織発達検出のための非破壊検査技術の開発
3. 学会等名 第22回 原子力計算科学セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 早川 頌
2. 発表標題 On-the-fly機構論的モンテカルロ法による原子炉構造材料の原子シミュレーション
3. 学会等名 第22回 原子力計算科学セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hu Yilun
2. 発表標題 Molecular dynamics simulation to evaluate behaviors of vacancy-type defect clusters in Zirconium fuel claddings
3. 学会等名 第22回 原子力計算科学セミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Okita
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulations of Effects of Stacking Fault Energies on Defect Formation Process in FCC Metals
3. 学会等名 TMS2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 早川 頌
2. 発表標題 BCC鉄における自己格子間原子集合体の三次元的運動に関する検討
3. 学会等名 日本原子力学会2018年春の大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土井原 康平
2. 発表標題 分子動力学法を用いたFCC金属におけるボイド-転位相互作用の定量化
3. 学会等名 日本原子力学会2018年春の大会
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	村山 英晶 (Murayama Hideaki) (10361502)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授 (12601)	
研究分担者	川畑 友弥 (Kawabata Tomoya) (50746815)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601)	
研究分担者	西野 成昭 (Nishino Nariaki) (90401299)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	
研究分担者	愛知 正温 (Aichi Masaatsu) (40645917)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師 (12601)	

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
---------	---------