

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03745

研究課題名（和文）微視的ゆらぎが引き起こす巨視的材料特性を再構築する統計塑性学の創成

研究課題名（英文）Development of Statistical Plasticity for Reconstruction of Macroscopic Material Properties Induced by Microscopic Fluctuations

研究代表者

青柳 吉輝（Aoyagi, Yoshiteru）

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70433737

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：力学異方性の原因となる結晶方位配向に存在する「ゆらぎ」を制御するために、結晶方位配向を定量的に評価する手法を提案した。微視的材料組織に起因する力学的異方性を再現するためには結晶方位情報だけでは不十分であり、結晶方位に基づいてすべり系ごとに適切な初期転位密度を与えることで結晶方位のみでは表現しきれない力学的異方性を再現することができた。また、本研究では30通りの材料に対する応力ひずみ線図および荷重変位曲線を入出力データとして「ゆらぎ」を考慮した機械学習を行い、荷重変位曲線から未知の応力ひずみ線図を予測した。微視的力学特性に「ゆらぎ」のある多結晶金属材料の巨視的力学特性予測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

局所的に材料を見てしまうと材料の持っている巨視的な性質を見誤る可能性がある。本研究では、材料内に存在する「ゆらぎ」を適切に処理することによって、局所的な微視的材料組織から巨視的な力学特性を予測することに成功した。このような研究は、材料開発において多大なコストがかかる試作や力学特性測定回数を激減させることができる。本研究成果によって従来の特性を凌駕した新たな材料組織を予測することが数値解析的に可能となるため、材料開発のブレークスルーとなりえる。

研究成果の概要（英文）：This study proposed a quantitative method to evaluate the crystal orientation to control the “fluctuation” in crystal orientation that causes mechanical anisotropy. The presented method could reproduce the mechanical anisotropy that could not be expressed only by the crystal orientation by giving an appropriate initial dislocation density for each slip system. Furthermore, in this study, machine learning considering “fluctuation” was performed using stress-strain curves and load-displacement curves for 30 different materials as input and output data, and unknown stress-strain curves were predicted from the load-displacement curves. The macroscopic mechanical properties of polycrystalline metals with fluctuating microscopic mechanical properties were successfully predicted.

研究分野：計算塑性力学

キーワード：ゆらぎ 結晶塑性論 統計処理 機械学習 力学異方性 微視的材料組織 転位密度 結晶方位

1. 研究開始当初の背景

近年、従来の性能を凌駕する新材料の開発によって、あらゆる構造物の設計の可能性が広がってきている。一方で、従来の変形予測理論の体系では、あらゆる材料を完全に均一な単純構造として扱っている。実際には、金属材料、高分子材料、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)、多孔質材料といった構造用材料は図1に示すように0.1 mm オーダーの不均質構造を有している。従来の「構造解析」は、均一材料を仮定した単なる仮想材料のための強度解析であるにも関わらず、この経験的アプローチは過去40年もの間重要視されてきた。しかしながら、近年では計算技術や観察・分析技術の格段なる進歩に伴い、材料の微視的構造を考慮した「真の構造解析」に移行してきている。最先端材料の有用性や信頼性を高めるには、その機械的特性を材料の微視的組織から理解するという概念が必要不可欠である。

材料の微視的構造に基づいて変形挙動を模擬する手法の代表例として分子動力学シミュレーション、金属材料の結晶粒レベルの塑性変形挙動を表現する結晶塑性論、微視的構造に基づいて巨視的変形を評価する均質化法などがあげられる。これらの手法の利点・欠点を表1に示す。いずれの手法も決まったスケールでは有効であるが、そのほとんどが計算コストの面から実践的なCAE解析に用いられた例はない。あらゆる構造用材料の内部に潜む不均質性、すなわち微視的組織の「ゆらぎ」に注目し、古典的塑性論に頼った構造解析の現状を打破する。材料が微視的「ゆらぎ」を有するが故に、ナノ・マイクロスケールの数値シミュレーションでは材料の巨視的機械的特性を未だに再現出来ていない。本研究では、微視的構造を模擬した変形シミュレーションの結果に基づいて、構造用材料の巨視的機械的特性にも発現する「ゆらぎ」を統計学的に予測する。すなわち、微視的「ゆらぎ」の情報を巨視的に再構築することによって、機械的特性の微視的「ゆらぎ」に起因する局所的な強度や使用寿命の低下を予測できるようになり、信頼性の高い構造解析が短時間で行えるようになる。これまでの手法では解析精度の向上と解析時間の削減はトレードオフの関係であるが、この現状を劇的に改善する構造解析手法のブレークスルーを達成し、真の構造解析手法への新機軸と加速力を与える。

2. 研究の目的

本研究では、材料内部に存在する「ゆらぎ」に注目し、材料の微視的構造に基づく真の構造解析システムの創成を目指す。材料の微視的構造に注目すると、完全に同じ構造を有する領域は一部として見られず(図2)、構造の差に起因して材料は異なる挙動を示す。すなわち、ごく一部の微視的構造に注目しても材料全体としての力学挙動を再現することは不可能である。本研究

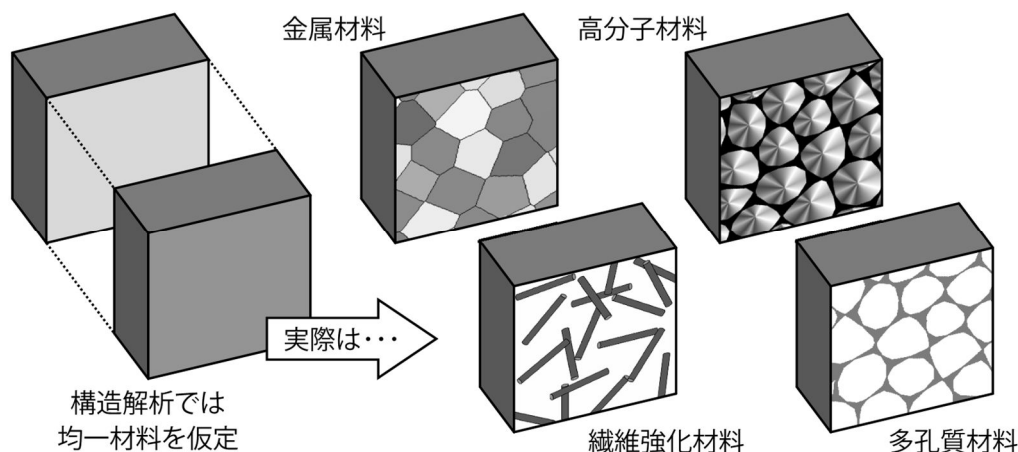


図1 実材料のマイクロオーダーの不均質構造

表1 本手法と従来手法とのベンチマーク

	信頼性	寸法	計算時間	汎用性
統計塑性学				
従来塑性論	× (経験則)	(無次元)		× (金属専用)
分子動力学		× (nm オーダー)	×	
結晶塑性論	(モデル依存)	× (μm オーダー)	(粒子数に依存)	× (金属専用)
均質化法	(モデル依存)		×	

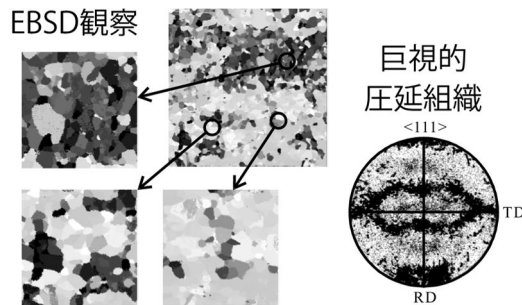
ではこの様な構造の差を「ゆらぎ」とし、統計学分野における極値分布理論を用いて不均質材料の変形挙動を高精度に再現する CAE システムを確立する。

### 3. 研究の方法

(1) 本研究では低積層欠陥エネルギーに起因して動的回復が起こりにくく加工組織が残りやすい CoFeCrMnNi 等原子量合金を対象とした。アルミニウムなどの高積層欠陥エネルギー材料と比べて力学的異方性が出やすいと考えられる。アーク溶解によって作製した鋳塊を 1100 で熱間圧延した後に 20% の冷間圧延を施した CoFeCrMnNi 等原子量合金圧延材を供試材とした。EBSD 測定を行い供試材の結晶粒径および結晶方位を測定した。板材から試験片を RD (圧延方向: Rolling direction) および TD (横断方向: Transverse direction) と平行にそれぞれ切り出して単軸引張試験を行った。

圧延によって結晶方位が配向することで集合組織が発生するため、圧延材料内には結晶方位が互いに近い領域が多数存在しており、その結晶方位が集合組織の優先方位であると考えられる。本研究では、力学異方性の原因となる結晶方位配向に存在する「ゆらぎ」を制御するために、結晶方位配向を定量的に評価する手法を提案した。提案手法では、ある EBSD 測定点の結晶方位に対して近い結晶方位の領域が多いほど配向しているとして「配向度」というパラメータを各測定点に付与した。まず、ある EBSD 測定点に注目し、その測定点とその他すべての測定点との方位差を算出した。方位差が  $5^\circ$  以下の測定点の数を EBSD 全データ数で除した値をその EBSD 測定点の配向度とした。結晶塑性有限要素シミュレーションの解析モデルに結晶方位を適用するために、EBSD 計測の結晶方位データを配向度順に並べ、それを解析モデルの結晶粒数だけ分割し、分割された各データ群から無作為に 1 つずつ結晶方位を選択した。また、圧延加工に伴うすべり系ごとの転位密度分布を予測するために、圧延を模擬した大変形シミュレーションを行った。シミュレーションの結果に基づいて加工後の結晶方位から転位密度を見積もる手法を提案した。これらの提案手法を用いて力学異方性を評価する結晶塑性有限要素シミュレーションを行った。

(2) ニューラルネットワークを用いた機械学習を適用して微視的力学特性に「ゆらぎ」があるような多結晶金属材料の、巨視的な応力ひずみ関係を予測する手法の開発を行った。微視的力学特性の分布広がりおよび巨視的な応力ひずみ関係を、複数の材料に対するナノオダの押し込み試験であるナノインデンテーション試験および単軸引張試験によって測定した。力学特性に分布広がりがある材料に対するナノインデンテーション試験結果から抽出された微視的力学特性の特徴量をニューラルネットワークの入力パラメータとし、単軸引張試験結果から得られた巨視的力学特性の特徴量を出力パラメータとして抽出した。単一の材料に対して、複数回のナノインデンテーション試験から得られる入力パラメータと一度の引張試験から得られる出力パラメータを 1 組の入出力データセットとし、ニューラルネットワーク用の学習データを材料数だけ作成した。巨視的力学特性予測に寄与度の高い微視的荷重変位曲線の特徴量の選択方法は未知であったため、入力パラメータを複数の方法で選択して出力パラメータを予測した。予測された出力パラメータと引張試験で得られた出力パラメータを比較し、巨視的力学特性予測に最適な入力パラメータを検討した。本研究では 9 種類の金属材料に対して処理条件が異なる計 30 通りの材料に対して引張試験およびナノインデンテーション試験を行い、応力ひずみ線図および荷重変位曲線を取得した。それらを入出力データとして前述の機械学習を行い、荷重変位曲線から未知の応力ひずみ線図を予測した。



微視的な組織の「ゆらぎ」

図 2 金属内部の微視的構造「ゆらぎ」

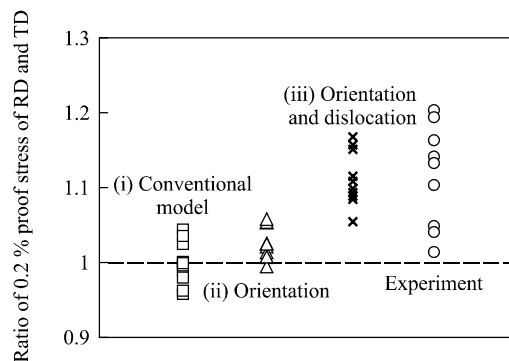


図 3 結晶方位の「ゆらぎ」を処理した解析モデルによる力学異方性の予測

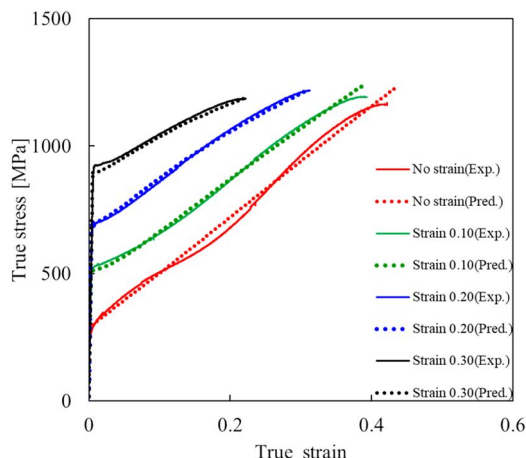


図 4 「ゆらぎ」を考慮した機械学習による SUS304 の応力ひずみ線図の予測

#### 4. 研究成果

(1) 図3に提案手法および従来手法を用いた解析結果から得られたRDとTDへの0.2%耐力の比とその実験結果を示す。各プロットは各解析モデルを異なる方向に引っ張った場合の解析結果から求めた0.2%耐力の比を表す。(i)従来手法に関しては実験結果と逆傾向の異方性を示すものもあり、「ゆらぎ」が多くなっている。一方、(i)従来手法と比較して(ii)優先方位のみを考慮した手法の結果では力学異方性が実験に近い傾向を示し、「ゆらぎ」は小さくなっている。これは、(ii)優先方位のみを考慮した手法では配高度の大きい結晶方位が必ず選択され、実際の材料の力学異方性を表現する結晶方位の組み合わせが解析モデルに適用されるためであると考えられる。しかしながら、定性的な傾向は一致するものの、実験で見られるほどの力学異方性は発現していない。実際の微視的材料組織に起因する力学的異方性を再現するためには結晶方位情報だけでは不十分である可能性が示唆される。(iii)優先方位・転位密度分布を考慮した手法の解析結果を見ると、力学異方性の傾向は実験に近づいているのがわかる。結晶方位に基づいてすべり系ごとに適切な初期転位密度を与えることで、結晶方位のみでは表現しきれない力学的異方性が発現した。圧延材料の力学的異方性を結晶塑性FEMを用いて再現するためには、圧延誘起の転位密度分布も考慮することが必須であるといえる。

(2) 図4に本システムで予測したSUS304の応力ひずみ線図を示す。図4から、精度よく応力ひずみ線図を予測できていることがわかる。その他の材料でも同様の予測結果が得られており、予測結果の比較から、押込み変位50nm以上の押込み荷重だけでは加工硬化率の低い材料の予測は困難であり、押込み変位50nm未満の荷重情報を考慮する必要性が示唆された。また、変形初期の荷重情報を考慮することで加工硬化率の低い材料の予測精度は向上した。一材料につき複数のナノインデンテーション試験結果から巨視的応力ひずみ関係へ寄与度の高い荷重変位曲線を抽出し、抽出した荷重変位曲線上の点を機械的に選択してニューラルネットワークモデルの入力パラメータとすることで、微視的力学特性に「ゆらぎ」のある多結晶金属材料の巨視的力学特性予測に成功した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 青柳 吉輝, 柳沼 雄介	4. 巻 72
2. 論文標題 圧延誘起加工組織に起因する力学的異方性を再現する結晶塑性シミュレーション	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 774 ~ 781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.72.774	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 青柳吉輝	4. 巻 6
2. 論文標題 結晶塑性解析による超微細結晶粒アルミニウムの巨視的降伏挙動	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ぶらすとす	6. 最初と最後の頁 38-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.32277/plastos.6.61_38	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 Jiang Hua, Watanabe Chihiro, Miyajima Yoji, Koga Norimitsu, Aoyagi Yoshiteru, Kobayashi Masakazu, Miura Hiromi	4. 巻 815
2. 論文標題 Effects of strain rate on mechanical properties of heterogeneous nano-structured SUS316LN stainless steel: Revealed by in-situ X-Ray diffraction at synchrotron radiation facility	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 141251 ~ 141251
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2021.141251	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 Miura Hiromi, Watanabe Chihiro, Aoyagi Yoshiteru, Oba Yojiro, Kobayashi Masakazu, Yoshinaga Naoki	4. 巻 833
2. 論文標題 Age-hardening mechanisms of heterogeneous-nanostructured SUS316LN stainless steel fabricated by heavy cold rolling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 142531 ~ 142531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2021.142531	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35件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 17件）

1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Crystal Plasticity FE Simulation Reproducing Mechanical Anisotropy Based on Microstructure of Rolled Metals
3. 学会等名 International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiromi Miura, Yojiro Oba, Yoshiteru Aoyagi, Masakazu Kobayashi, Chihiro Watanabe
2. 発表標題 Microstructure and strengthening mechanisms of heterogeneous-nanostructured 316LN stainless steel prepared by heavy cold rolling
3. 学会等名 International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nom Gerel-Erdene, Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Crystal Plasticity Simulation Considering Microstructures of Metals on Mechanical Anisotropy Induced by Rolling
3. 学会等名 The 11th Pacific Rim International Conference on Advances Materials and Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Haruki Ohashi, Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Modeling of Crystal Plasticity Predicting Microstructural Changes Caused by Twinning-Induced Plasticity
3. 学会等名 The 11th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaki Nishimura, Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Prediction of Macroscopic Mechanical Properties of Heterogeneous Structured Metals Based on Neural Network
3. 学会等名 The 11th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Multiscale modeling of nonlinear viscoelasticity-viscoplasticity of amorphous polymers under various loading conditions
3. 学会等名 International Symposium on Plasticity, Damage, and Fracture 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大橋春希, 柳沼雄介, 青柳吉輝
2. 発表標題 圧延加工に起因する結晶方位配向および転位組織を考慮した結晶塑性シミュレーション
3. 学会等名 日本材料学会第72期学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大橋春希, 青柳吉輝
2. 発表標題 双晶変形における格子変形および双晶境界の影響を考慮した結晶塑性シミュレーション
3. 学会等名 第9回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 林剣心, 渡辺千尋, 三浦博己, 青柳吉輝
2. 発表標題 ヘテロナノ組織を有したSUS316LNステンレス鋼の粒界偏析に関する結晶塑性解析
3. 学会等名 第9回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yusuke Yaginuma and Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Reproduction Method of Mechanical Anisotropy Induced by Cold Rolling in Crystal Plasticity FE Simulation
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics & 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hong Liqin, Koichi Tatsuno and Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Spherulite Microstructure Formation Simulation Based on Effect of Molding Conditions on Polylactic Acid
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics & 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiromi Miura, Chihiro Watanabe, Yoshiteru Aoyagi, Yojiro Oba, Masakazu Kobayashi
2. 発表標題 Microstructure and mechanical properties of heterogeneous-nanostructured austenitic stainless steel fabricated by heavy cold rolling
3. 学会等名 International Symposium on Plasticity, Damage, and Fracture 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Crystal plasticity modeling on martensitic transformation induced plasticity based on lattice deformation
3. 学会等名 International Symposium on Plasticity, Damage, and Fracture 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 牛込良海, Narita Camboulives Louis, 青柳吉輝
2. 発表標題 結晶性ポリマの球晶組織が力学特性に与える影響および非線形粘弾塑性シミュレーション
3. 学会等名 日本材料学会第71期学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hong Liqin, Aoyagi Yoshiteru
2. 発表標題 Evaluation of Local Mechanical Properties of Polylactic Acid Spherulite Microstructures by Nanoindentation Test
3. 学会等名 日本材料学会第71期学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村将輝, 青柳吉輝
2. 発表標題 ナノインデンテーション法による準安定オーステナイトの変態誘起塑性に関する力学的特性評価
3. 学会等名 日本材料学会第71期学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村将輝, 青柳吉輝
2. 発表標題 準安定オーステナイトの初期結晶組織が変態誘起塑性の微視的力学特性に与える影響
3. 学会等名 第7回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂巻巧, 西本圭佑, 貝ヶ石康平, 黒澤瑛介, 西村将輝, 青柳吉輝
2. 発表標題 押込み試験を用いた鋼材構成組織単体における応力ひずみ関係推定手法の提案
3. 学会等名 第7回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hong Liqin, Aoyagi Yoshiteru
2. 発表標題 Investigation of Effect of Crystallinity on Local Mechanical Properties of Polylactic Acid
3. 学会等名 第7回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 牛込良海, 青柳吉輝
2. 発表標題 ポリ乳酸の球晶構造を模擬した三次元高分子塑性シミュレーション
3. 学会等名 第7回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大橋春希, 青柳吉輝
2. 発表標題 双晶の体積分率に依存する流れ応力を考慮した双晶誘起塑性モデルに基づく結晶塑性解析
3. 学会等名 日本機械学会第35回計算力学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大橋春希, 青柳吉輝
2. 発表標題 双晶変形に起因する不均一変形の緩和を考慮した結晶塑性モデリング
3. 学会等名 日本機械学会東北支部第58期総会・講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 呉高天, 青柳吉輝
2. 発表標題 Investigation of Effect of Microstructure on Mechanical Properties of Poly (L-lactic acid) by Molecular Dynamics Simulation
3. 学会等名 日本機械学会東北支部第58期総会・講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Aoyagi, Y. and Mori, S.
2. 発表標題 Crystal Plasticity Simulation Considering Microstructures of High Entropy Alloy on Mechanical Properties
3. 学会等名 International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aoyagi, Y., Kobayashi, R. and McDowell, D. L.
2. 発表標題 Simulated Microstructure Effects on Macroscopic Mechanical Properties Based on Multiscale Crystal Plasticity
3. 学会等名 The 13th International Conference on the Technology of Plasticity (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳沼雄介, 下川智嗣, 渡邊千尋, 三浦博己, 青柳吉輝
2. 発表標題 純チタン中のヘテロナノ組織に関する結晶塑性解析手法の構築と変形挙動の評価
3. 学会等名 日本材料学会第70期学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Narita Camboulives Louis, Aoyagi Yoshiteru
2. 発表標題 Plasticity Modeling of Glassy Polymer Based on Microscopic Behavior of Molecular Chains
3. 学会等名 第7回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柳沼雄介, 青柳吉輝
2. 発表標題 結晶塑性FEM解析における圧延集合組織のモデリング
3. 学会等名 第7回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 龍野孝一, 青柳吉輝
2. 発表標題 ポリ乳酸の球晶組織形成に成形温度が与える影響に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会第29回 機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森茂樹, 青柳吉輝
2. 発表標題 ハイエントロピー合金の双晶誘起塑性に関する結晶塑性論的検討
3. 学会等名 日本機械学会第29回 機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nom Gerel-Erdene, Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Crystal Plasticity Simulation Considering Microstructures of Metals on Mechanical Anisotropy Induced by Rolling
3. 学会等名 The 11th Pacific Rim International Conference on Advances Materials and Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Haruki Ohashi, Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Modeling of Crystal Plasticity Predicting Microstructural Changes Caused by Twinning-Induced Plasticity
3. 学会等名 The 11th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaki Nishimura, Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Prediction of Macroscopic Mechanical Properties of Heterogeneous Structured Metals Based on Neural Network
3. 学会等名 The 11th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Multiscale modeling of nonlinear viscoelasticity-viscoplasticity of amorphous polymers under various loading conditions
3. 学会等名 International Symposium on Plasticity, Damage, and Fracture 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi and Masaki Nishimura
2. 発表標題 Prediction of mechanical properties of metals using machine learning based on distribution of nanoindentation test results
3. 学会等名 20th International Conference on Textures of Materials (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

青柳研究室@東北大学機械系 <a href="https://web.tohoku.ac.jp/aoyagi/">https://web.tohoku.ac.jp/aoyagi/</a> 東北大学大学院工学研究科 青柳研究室 <a href="https://web.tohoku.ac.jp/aoyagi/">https://web.tohoku.ac.jp/aoyagi/</a>
---

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

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