

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H06059

研究課題名(和文) 微細組織から最先端材料の力学挙動を予測する実践的CAEシステムの創成

研究課題名(英文) Creation of Practical CAE System Predicting Mechanical Properties of Advanced Materials on the Basis of Microstructures

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) 19,500,000円

研究成果の概要(和文)：今後構造用材料として使用される機会が急増する繊維強化熱可塑樹脂や超微細粒金属材料といった最先端材料の変形挙動を高精度に再現するCAE技術を確立した。実験観察から得られる材料の微視構造の情報に基づいて変形挙動を記述する実験的マルチスケールメカニクスに基づき、構造解析用CAEに使用する降伏関数を数値解析的に予測した。解析の結果を実験による組織観察や二軸引張試験の結果と比較することによって、等塑性仕事面の推定制度を向上させた。汎用の構造解析用ソフトウェアに求めた降伏関数を組み込み、CAEによる材料設計から開発、実用までの一連のプロセスをシームレスにつなぐことが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

微視的な変形の素過程に基づいてFRTPやUFGMといった最先端材料の等塑性仕事面を数値解析的に予測し、材料微細組織に基づく大変形問題を解くマルチスケールメカニクスを構築する点に本研究の学術的特色がある。実験的知見をマルチスケールモデリングの体系に強固に組み込んだ実験マルチスケールメカニクスの構築に取り組み、超微細粒FCC材料の降伏点降下現象や焼鈍処理による硬化といった従来の塑性論では表現することのできない現象を初めて表現することができた。このような微視組織は、成形条件や加工処理によって決定されるため、最終的には組織観察のみに基づく、詳細な力学解析も実験も不要な新材料創製支援ツールが開発できる。

研究成果の概要(英文)：A CAE system was established to reproduce the deformation behavior of advanced materials, such as fiber-reinforced thermoplastics and ultrafine-grained metal materials. Such advanced materials will be rapidly used as structural materials in the future. We numerically predicted the yield function used in CAE for structural analysis based on the experimental multiscale mechanics. The deformation behavior of advanced materials was described based on information on the microstructure obtained from experimental observations. The estimation system for contours of constant plastic work was improved by comparing the analysis results with the experimental results of microstructural observations and biaxial tensile tests. By installing the yield function into general-purpose structural analysis software, it is possible to seamlessly connect a series of processes from material design to development and practical use using CAE.

研究分野：計算塑性力学

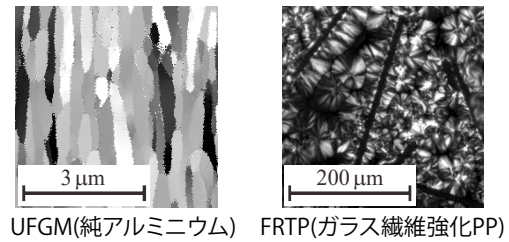
キーワード：繊維強化熱可塑樹脂 超微細粒金属材料 CAE マルチスケールメカニクス 降伏関数

1. 研究開始当初の背景

近年、構造材料の大部分に炭素繊維強化プラスチックを用いたボーイング 787 が就航するなど、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。また、卓越した強度を有する金属材料の実現を目指し、強ひずみ冷間加工による UFGM (超微細粒金属材料: Ultrafine-Grained Metal) にも注目が集まっている (図 1)。これらの最先端材料の生成性向上や低コスト化などの課題を解決すべく国内外で研究が進められているが、その歴史はまだ浅く未解明の点も多い。一方、航空機や自動車などの設計に使用される CAE 技術はここ 10 年で驚くべき進歩を遂げ、CAE 技術なしには航空機や自動車を開発することができないといっても過言ではない。しかしながら、上述の最先端材料は図 1 のように複雑かつ異方的な組織を有しており、既存の材料には見られない特異な力学特性を示すことが多い。構造物材料の変形挙動は経験的現象論に基づく連続体塑性論などを用いて解析されることが多いが、特異な力学特性を有する最先端材料に従来の連続体理論をそのまま適用することはできない (図 2)。汎用性の高い最先端材料としての成形性や信頼性を高めるためには、その力学特性を材料の微視的観点から理解するマルチスケールメカニクスという概念が必要不可欠である。

自動車用構造材料として使用が想定される FRTP (繊維強化熱可塑性樹脂: Fiber-Reinforced Thermoplastic) (図 1) の母材となる結晶性高分子材料は、分子鎖が規則正しく配列されている結晶相およびランダムコイル構造を有する非晶相から成る (図 3)。結晶性高分子材料は各々の相の性質に依存した複合材料のような性質を示し、このような材料に関する研究に対して工業的な要請は強い。そこで代表者は、結晶性高分子材料の変形挙動に関する実験的観察に基づき、結晶質部分と非晶質部分の混在する球晶組織の情報を構成則に組み込んだ結晶性高分子塑性モデルを構築した (図 4)。また、金属材料の結晶粒径を小さくしていくと機械的力学特性が向上することが経験的に知られている。そこで代表者は、転位源としての粒界の役割を考慮したマルチスケール結晶塑性モデル (図 5) を構築し、結晶粒構造を直接表現した数値解析を行った (図 6)。しかしながら、材料の微細組織に基づくこれらの数理モデルを構造解析などの巨視的な FEM 解析に直接利用することは現状の計算機能力では不可能に近い。このような材料の微細組織から巨視的な力学挙動を予測するマルチスケールメカニクス (図 7) を構造解析に利用するためには、もう一段階上のスケールへとつなぐ架け橋が必要となる。

CAE 技術における弾塑性変形挙動を表現する材料モデルには、等塑性仕事面 (降伏関数) に基づく降伏条件がよく使用される。代表的な Mises の等方性降伏関数などを二軸引張試験などの実験結果から同定することによって実材料の弾塑性変形挙動が模擬される。しかしながら、降伏関数をより忠実に再現するためには数多くの条件での実験結果が必要となり、そのデータは新たな材料を開発するたびに要求される。また、強い異方性を示す材料など、特異な力学特性を有する新材料の等塑性仕事面を従来の降伏関数で表現するのは困難である。図 8 は代表者が提案したマルチスケール結晶塑性モデルを用いて求めた強ひずみ加工によって創製された UFGM 純アルミニウムに対する等塑性仕事面である。実験



UFGM(純アルミニウム) FRTP(ガラス繊維強化PP)  
図1 高強度を有する最先端材料

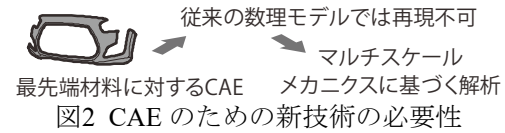


図2 CAEのための新技術の必要性

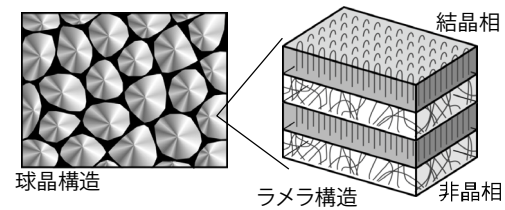


図3 結晶相と非晶相の構成式を融合

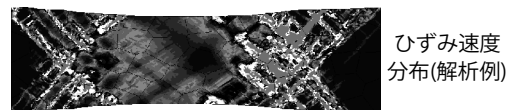


図4 せん断帯やくびれ伝ぱを再現

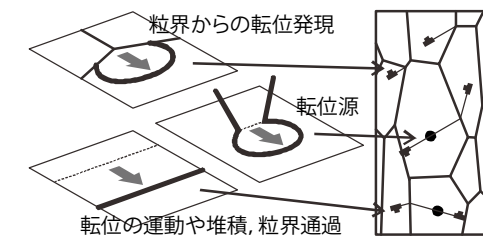


図5 転位挙動に基づく結晶塑性モデル

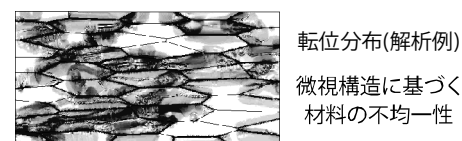


図6 結晶粒構造を考慮した解析

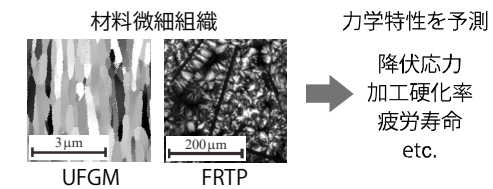


図7 実験観察に基づくマルチスケールメカニクス

で測定した圧延集合組織の情報を反映している。図8からわかるように、UFGMの等塑性仕事面は一般的な降伏関数で表現することはできない。

## 2. 研究の目的

本申請課題では、FRTPやUFGMといった一般的にはまだ実用に至っていないが、今後使用されることが急増すると考えられる最先端材料の微細組織に基づいて変形挙動を表現するマルチスケールメカニクスに基づく降伏関数を用いたCAEシステムの構築を目的とする。高分子塑性モデルおよびマルチスケール結晶塑性モデルを基礎に、二軸引張・圧縮変形を想定した数値解析によって等塑性仕事面の発展を再現する。解析結果と二軸引張試験の結果を比較し、本モデルの妥当性の検証ならびにモデルの改善を行う。得られた等塑性仕事面を高次の降伏関数を用いて表現することによって、材料固有の微視的組織の情報に基づいて等塑性仕事面の発展を推定する降伏関数を構築する。求めた降伏関数を構造解析用の汎用ソフトウェアに組み込み、実験結果と比較して検証を行う。

## 3. 研究の方法

(1) 強圧延加工された板厚0.06 mmのSUS316L微細粒鋼について、EBSD（電子線後方散乱回折：Electron Back Scattered Diffraction Pattern）法による結晶組織観察を行った。次に、解析に用いる材料パラメータを同定するため板材のRD（圧延方向：Rolling Direction）およびTD（板幅方向：Transverse Direction）と平行になるように試験片を切り出して単軸引張試験を行った。SUS316L微細粒鋼の等塑性仕事面を測定するために、本研究課題で導入した二軸引張試験機（図9）を用いて二軸引張試験を実施した。

また、降伏点降下を示す強圧延加工された微細粒アルミニウム板材に対する単軸引張試験によってその基礎的力学物性を測定し、EBSD測定によって材料微細組織の情報を得た。二軸引張試験によって等塑性仕事面の形状を測定した。

さらに、熱プレス成形によって異方性を有するポリプロピレン板を作製し、単軸引張試験および二軸引張試験の結果から結晶性熱可塑性高分子材料の降伏曲面を測定した。ポリプロピレンの微視的組織が力学特性に影響を及ぼす影響およびその支配因子について調査するために、ポリプロピレンに熱処理を施すことで異なる微視的組織を有する板材を作成し、その材料特性の評価を行った。また、単軸引張、圧縮試験および二軸引張試験を行いヤング率の測定および等塑性仕事面の作成を行うことによって、微視的組織が引張・圧縮非対称性および降伏挙動に及ぼす影響とその支配因子について評価した。ナノインデントを用いて超微小押し込み硬さ試験を行い、押し込み硬さから結晶化条件によって異なる各球晶の力学特性を評価した。

加えて、TC（トランスクリスタル：Trance Crystal）層がCFRPP（炭素繊維強化ポリプロピレン：Carbon Fiber Reinforced Polypropylene）の力学特性に及ぼす影響を調査するために処理条件の異なる試料に対する引張試験及び界面せん断強度の推定を行った。

(2) EBSD法を用いて測定したSUS316L微細粒鋼の結晶組織情報をマルチスケール結晶塑性シミュレーションの解析モデルへ適用し、RDの単軸引張試験から得られた応力ひずみ線図とのカーブフィッティングによって材料パラメータの同定を行った。このようにして強圧延加工による集合組織を模擬した解析モデルに対して、二軸引張試験を想定した結晶塑性論に基づくFEM解析を行った。得られた結果を二軸引張試験結果と比較し、集合組織による力学異方性の評価および解析モデルの妥当性の検証を行った。その際、降伏関数は高次の関数であるYld2000-2dを用い、遺伝的アルゴリズムを用いることによって異方性パラメータの最適値を同定した。

同様に、微細粒アルミニウム板を想定し、実験で測定した結晶方位情報に基づいて二軸引張試験を想定した結晶塑性有限要素解析を行った。

高分子材料に関してはポリ乳酸の球晶組織観察、力学試験および数値解析から、球晶組織などの微細組織がひずみ速度依存性などの巨視的力学特性に与える影響についての検討を行った。FEM解析では静水圧応力依存性の硬化則を適用した高分子塑性モデルを用いて、二軸引張試験を想定した数値解析を行った。

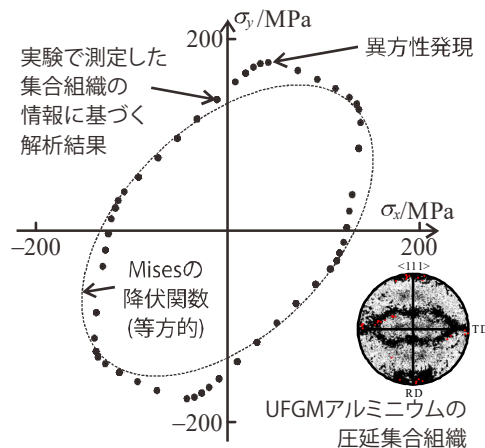


図8 UFGM 純Alの等塑性仕事面



図9 二軸引張試験機

また、分子動力学法を用いてポリプロピレン非晶相の変形解析を行い、等塑性仕事面を測定した。一部変形条件における微細構造変化を調べた。

(3) 上記の解析で予測した等塑性仕事面を表す降伏関数を汎用構造解析用ソルバ RADIOSS に組み込むことによって、汎用の FEM 解析ソフトウェアで使用可能なサブルーチンを開発した。

#### 4. 研究成果

(1) SUS316L 微細粒鋼および微細粒アルミニウム板に対する単軸引張試験の結果から、RD および TD で引張強度までのひずみが異なることや降伏付近で応力値が異なることがわかった。これにより、RD および TD で力学異方性が発現していることが確認された。また、二軸引張試験の結果から、RD および TD 以外でも力学異方性が発現していることが確認された (図 10)。

ポリプロピレンの等塑性仕事面の場合、金属材料と比較して二軸応力条件下で降伏応力の著しい低下が見られた (図 11)。これは静水圧応力の上昇に伴って、高分子材料特有の欠陥である自由体積密度が増加したためであると考えられる。また、球晶直径および結晶化度の増加に伴い、引張および圧縮ヤング率が約 30 %程度増加し、引張負荷では結晶化度が支配的となり、圧縮負荷では球晶直径が支配的となることが明らかとなった。

TC に関しては、せん断のみならず力学的エネルギーの変化によって TC の形成が誘起されることが示唆された。また、CFRPP の引張強度は界面せん断強度のみならず母材強度の影響を複合的に受けることが明らかとなった。

(2) SUS316L 微細粒鋼および微細粒アルミニウム板に対する数値解析で得られた等塑性仕事面の変化について材料の微視組織観察および単軸・二軸引張試験の結果と比較検討したところ、良い一致が見られた (図 12)。二軸引張試験を想定した数値解析から、力学異方性を十分に表現するには解析モデルの結晶粒数が 100 程度必要であることが確認された。

ポリプロピレンに関する数値解析の結果から、数値解析においても図 11 のような二軸引張条件下での降伏応力の低下が見られた。また、解析の結果から、ポリプロピレン非晶相の降伏曲面は圧縮方向に移動した楕円形になると推測される。引張時と比較して圧縮時の自由体積、絡み点数の変化が小さいことが、引張・圧縮非対称性に寄与していることが示唆された。

(3) 本研究で開発したサブルーチンは材料微細構造に基づく降伏関数を適用することが可能である。本サブルーチンを用いて、単純な立方体形状の超微細粒アルミニウムの引張変形に対する巨視的スケールの解析を行い、実験と同様の力学異方性が発現することを確認した。

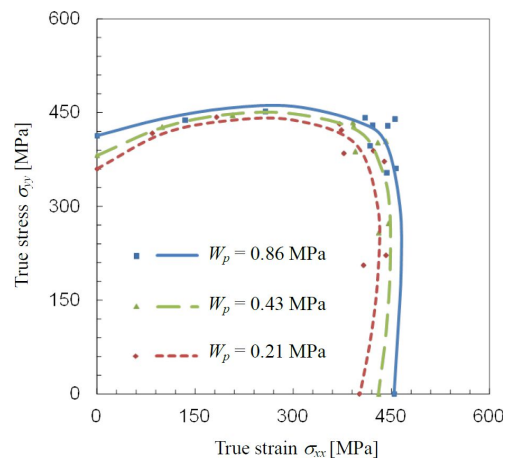


図10 SUS316L 微細粒鋼の等塑性仕事面

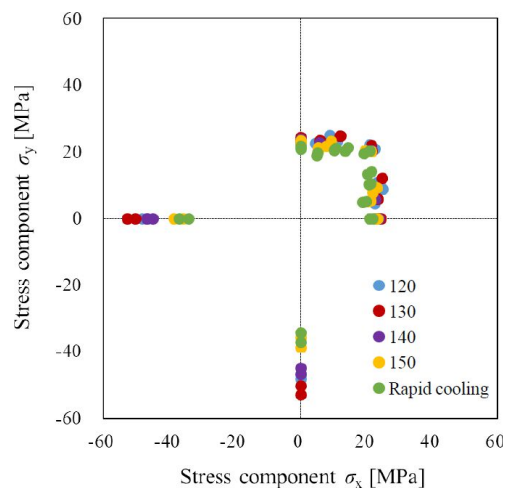


図11 ポリプロピレンの等塑性仕事面

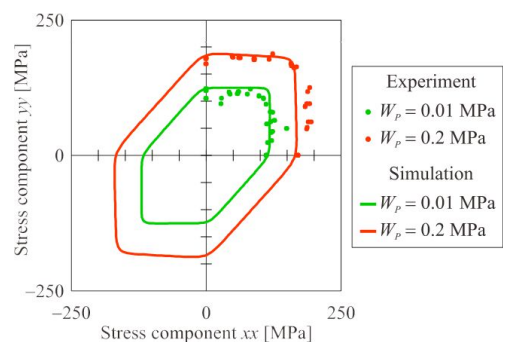


図12 微細粒アルミニウム板の等塑性仕事面

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Aoyagi, Y., Sagara, A., Watanabe, C., Kobayashi, M., Todaka, Y. and Miura, H.	4. 巻 941
2. 論文標題 Crystal Plasticity Simulation Considering Microstructures of Austenitic Stainless Steel on Macroscopic Yield Function	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 212-217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.941.212	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 青柳吉輝, 渡邊千尋, 小林正和, 戸高義一, 三浦博己	4. 巻 105
2. 論文標題 強圧延誘起ヘテロナノ組織がオーステナイト系ステンレス鋼の力学特性に与える影響に関する結晶塑性シミュレーション	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 262-271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-078	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 渡邊千尋, 小林秀平, 青柳吉輝, 戸高義一, 小林正和, 杉浦夏子, 吉永直樹, 三浦博己	4. 巻 105
2. 論文標題 冷間強圧延したSUS316LN鋼のヘテロナノ組織とその形成過程	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 254-261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-075	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 山崎恭和, 小林正和, 戸高義一, 渡邊千尋, 青柳吉輝, 三浦博己	4. 巻 105
2. 論文標題 冷間強圧延によりヘテロナノ組織を付与した二相ステンレス鋼の疲労破壊	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 272-281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-080	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 Watanabe, C., Kobayashi, B. Aoyagi, Y., Todaka, Y., Kobayashi, M., Sugiura, N., Yoshinaga, N. and Miura, H.	4. 巻 3
2. 論文標題 Heterogeneous Nano-structure and Its Evolution in Heavily Cold-rolled SUS316LN Stainless Steels	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 582-589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-445	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 小林正和, 岩間翔平, 渡邊千尋, 青柳吉輝, 三浦博己	4. 巻 7
2. 論文標題 強冷間圧延によりヘテロナノ組織を発達させたSUS316LNステンレス鋼板材の疲労特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 掲載決定
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koga, N., Suzuki, S., Jiang, H., Watanabe, C., Aoyagi, Y., Kobayashi, M. and Miura, H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Characterization of Heterogeneous-nano Structure in Austenitic Stainless Steel: Crystal Orientations and Hardness Distribution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 掲載決定
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 柘植洋太, 青柳吉輝	4. 巻 83
2. 論文標題 ポリプロピレン結晶相の弾性異方性およびすべり系に関する分子動力学シミュレーション	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 16-00525(1-20)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.16-00525	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 Y Aoyagi	4. 巻 194
2. 論文標題 Multiscale Crystal Plasticity Modeling Considering Nucleation of Dislocations Based on Thermal Activation Process on Ultrafine-grained Aluminum	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 12048(1-6)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/194/1/012048	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 三浦博己, 小林正和, 戸高義一, 渡邊千尋, 青柳吉輝	4. 巻 81
2. 論文標題 単純強圧延オーステナイト系ステンレス鋼中のヘテロナノ組織が集合組織と延性に及ぼす影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 536-541
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/jinstmet.JC201701	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 Yoshiteru Aoyagi	4. 巻 725
2. 論文標題 Macroscopic Yield Function Predicted by Crystal Plasticity Simulation on Ultrafine-grained Aluminum	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 249-254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/KEM.725	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 H. Miura, M. Kobayashi, Y. Todaka, C. Watanabe, Y. Aoyagi, N. Sugiura, N. Yoshinaga	4. 巻 133
2. 論文標題 Heterogeneous nanostructure developed in heavily cold-rolled stainless steels and the specific mechanical properties	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 33-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2017.02.016	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 -

〔学会発表〕 計35件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Aoyagi, Y.
2. 発表標題 Multiscale Crystal Plasticity Modeling Considering Nucleation of Dislocations Based on Thermal Activation Process on Ultrafine-grained Aluminum
3. 学会等名 The 7th International Conference on Nanomaterials by Severe Plastic Deformation (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相樂篤志, 青柳吉輝
2. 発表標題 SUS316L微細粒鋼の微視組織を考慮した結晶塑性解析による巨視的降伏関数の評価
3. 学会等名 日本材料学会第66期学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大澤凌太, 青柳吉輝
2. 発表標題 ポリ乳酸のひずみ速度依存性に及ぼす球晶組織の影響に関する数値解析的評価
3. 学会等名 日本材料学会第66期学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 相樂篤志, 青柳吉輝
2. 発表標題 微細粒AIの微細組織に基づく巨視的降伏関数に関する結晶塑性シミュレーション
3. 学会等名 第3回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 大澤凌太, 青柳吉輝
2. 発表標題 熱可塑性高分子材料における結晶化メカニズムの評価と数値解析的予測
3. 学会等名 第3回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青柳吉輝
2. 発表標題 金属微細組織情報に基づく結晶塑性シミュレーションによる巨視的変形挙動の予測
3. 学会等名 日本金属学会2018年春季講演大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉原鉄朗, 青柳吉輝
2. 発表標題 ポリプロピレンの繰返し引張・繰返し圧縮非対称性に関する弾粘塑性モデルの検討
3. 学会等名 日本材料学会第67期学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 附田拓也, 青柳吉輝
2. 発表標題 熱圧縮ポリプロピレンの2軸引張り試験による降伏曲面の力学異方性評価
3. 学会等名 日本材料学会第67期学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aoyagi, Y., Sagara, A., Watanabe, C., Kobayashi, M., Todaka, Y. and Miura, H.
2. 発表標題 Crystal Plasticity Simulation Considering Microstructures of Austenitic Stainless Steel on Macroscopic Yield Function
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 2018年

1. 発表者名 吉原鉄朗, 青柳吉輝
2. 発表標題 ポリプロピレンの二軸引張・圧縮試験による巨視的降伏曲面の評価
3. 学会等名 第4回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 附田拓也, 河原木雄介, 岡村一男, 青柳吉輝
2. 発表標題 結晶塑性論に基づくマルテンサイト変態誘起塑性モデルの構築
3. 学会等名 第4回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osawa, R. and Aoyagi, Y.
2. 発表標題 Monte Carlo Simulation Predicting Generation and Growth of Spherulites in Thermoplastic Polymer
3. 学会等名 The 9th International Conference on Multiscale Materials Modeling (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sagara, A. and Aoyagi, Y.
2. 発表標題 Development of a Multiscale Simulation System Based on Microstructure of Fine-grained Aluminum
3. 学会等名 The 9th International Conference on Multiscale Materials Modeling (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aoyagi, Y., Watanabe, C., Kobayashi, M., Todaka, Y. and Miura, H.
2. 発表標題 Multiscale Crystal Plasticity Modeling on Twinning of Hetero-Nanostructured Stainless Steels
3. 学会等名 International Symposium on Plasticity, Damage, and Fracture 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 附田拓也, 青柳吉輝
2. 発表標題 混合則を用いた双晶誘起塑性モデリングおよび結晶塑性シミュレーション
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aoyagi, Y. and McDowell, D.
2. 発表標題 Multiscale Crystal Plasticity Modeling on Martensitic Transformation Based on Mixture Law
3. 学会等名 International Symposium on Plasticity, Damage, and Fracture 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aoyagi, Y. and McDowell, D.
2. 発表標題 Multiscale Crystal Plasticity Simulation Based on Fatigue Indicator Parameters on Ultrafine-grained Metals
3. 学会等名 5th World Congress on Integrated Computational Materials Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsukuda, T. and Aoyagi, Y.
2. 発表標題 Modeling of Twinning-Induced Plasticity of High Entropy Alloy Based on Crystal Plasticity
3. 学会等名 The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aoyagi, Y., Sagara, A., Watanabe, C., Kobayashi, M., Todaka, Y. and Miura, H.
2. 発表標題 Multiscale Simulation Based on Macroscopic Deformation Model Predicted by Microstructure Information of Ultrafine-Grained Metals
3. 学会等名 The 10th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

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

1. 発表者名 金谷海, 丹野英幸, 青柳吉輝
2. 発表標題 2D-C/Cコンポジットの引張特性に及ぼすひずみ速度の影響
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚田悠介, 椿翔太, 黒澤瑛介, 青柳吉輝
2. 発表標題 画像処理モデリングに基づくDP 鋼マルテンサイト組織形状に関するFEM 解析
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林亮太, 相樂篤志, 青柳吉輝
2. 発表標題 微細粒アルミニウムの微視組織情報に基づく巨視的降伏挙動に関する検討
3. 学会等名 日本機械学会第32回計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚田悠介, 渡邊千尋, 小林正和, 戸高義一, 三浦博己, 青柳吉輝
2. 発表標題 オーステナイト鋼におけるヘテロナノ組織形態の影響に関するFEM 解析
3. 学会等名 第5回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金谷海, 青柳吉輝
2. 発表標題 炭素繊維強化ポリプロピレンの力学特性に及ぼす母材の微細組織の影響
3. 学会等名 第5回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤凌介, 青柳吉輝
2. 発表標題 分子動力学シミュレーションによるポリプロピレン非晶相の多軸応力変形挙動の検討
3. 学会等名 第5回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi and Yota Tsuge
2. 発表標題 MULTISCALE PLASTICITY MODELING AND SIMULATION ON CRYSTALLINE POLYMER BASED ON MICROSCOPIC DEFORMATION BEHAVIOR OF MOLECULAR CHAINS
3. 学会等名 The 24th International Symposium on Plasticity, Damage, and Fracture (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi, Tomoki Uoji, Chihiro Watanabe, Masakazu Kobayashi, Yoshikazu Todaka and Hiromi Miura
2. 発表標題 Multiscale Simulation on Effect of Hetero-nanostructure on Mechanical Properties of Severe Rolled Stainless Steel
3. 学会等名 The 9th Pacific Rim International Congress on Advanced Materials and Processing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi
2. 発表標題 Macroscopic Yield Function Predicted by Crystal Plasticity Simulation on Ultrafine-grained Aluminum
3. 学会等名 13th Asia-Pacific Symposium on Engineering Plasticity and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshiteru Aoyagi, Chihiro Watanabe, Masakazu Kobayashi, Yoshikazu Todaka and Hiromi Miura
2. 発表標題 MULTISCALE CRYSTAL PLASTICITY SIMULATION ON ROLLING PROCESS FOR PRODUCTION OF HETERO-NANOSTRUCTURED STAINLESS STEELS
3. 学会等名 The 23th International Symposium on Plasticity, Damage, and Fracture (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柘植洋太, 青柳吉輝
2. 発表標題 分子動力学シミュレーションによる自由体積および分子鎖配向がポリプロピレンの巨視的力学特性に与える影響の評価
3. 学会等名 日本機械学会第29回計算力学講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 片浦瑞希, 青柳吉輝
2. 発表標題 トランスクリスタル層が炭素繊維強化ポリプロピレンの降伏応力に与える影響
3. 学会等名 第2回材料WEEK 材料シンポジウム ワークショップ
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 片浦瑞希, 笹山俊貴, 井上良徳, 青柳吉輝
2. 発表標題 トランスクリスタル層の組織制御とポリプロピレンの機械的特性に与える影響
3. 学会等名 日本材料学会第65期学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yota TSUGE, Yoshiteru AOYAGI
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulation on Microscopic Plastic Deformation Behavior of Crystalline Phase of Polypropylene
3. 学会等名 Asia-Pacific Conference on Fracture and Strength 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 青柳吉輝, 渡邊千尋, 戸高義一, 小林正和, 三浦博己
2. 発表標題 圧延プロセスがステンレス鋼のヘテロナノ組織に与える影響に関する結晶塑性解析
3. 学会等名 日本金属学会2017年春季講演大会
4. 発表年 2017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 最先端材料塑性の実験・シミュレーション  
<https://web.tohoku.ac.jp/aoyagi/>



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