

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04239

研究課題名(和文) 確率的マルチフィジックス・マルチスケールモデリング法の提案と各種応用・妥当性確認

研究課題名(英文) Proposition of stochastic multiphysics and multiscale modeling with its applications and validation

研究代表者

高野 直樹 (Takano, Naoki)

慶應義塾大学・理工学部(矢上)・教授

研究者番号：10206782

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：繊維強化複合材料と3D積層造形品を主たる対象として、製造に起因するばらつき・不確かさを考慮し、材料特性予測や製造プロセス設計に役立つ確率的有限要素解析手法を開発した。複合材料のミクロ構造における不均質性が考慮できるマルチスケール問題、および、製造プロセスにおけるマルチフィジックス問題に焦点を当て、不確かさの要因分析、感度解析、不確かさの伝播の解析に有用な確率的モデリング・非線形シミュレーション法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

繊維強化複合材料や3D積層造形品は今後の用途拡大が期待されているが、低コスト化・高サイクル化を図る新製造技術の開発において、試作品の特性にばらつきが生じ、次の試作時にばらつきの要因がどのように発現するか予測できないという不確かさの問題が障壁となる。開発した確率的シミュレーション法では、不確かさの要因を分析し、製造プロセス改善に役立てることが可能である。3D積層造形におけるサポート構造の設定方法などに欠かさない熟練技術者のノウハウの定量化は、技術伝承にも有用な新しいアプローチである。開発技術の応用例として、鋼材焼入れにおいて、鋼材成分のばらつきが及ぼす影響を定量的に算出することにも成功した。

研究成果の概要(英文)：Stochastic finite element analysis procedure has been developed to be used for the prediction of material properties and for the design of manufacturing process mainly for fiber reinforced composite materials and additively manufactured products considering the variability and uncertainty due to manufacturing. Focusing on the multiscale problem that can take microstructural heterogeneity into account and the multiphysics problem in the manufacturing process, stochastic modeling and nonlinear simulation methods have been developed that can be applied to the analysis of sources of uncertainty, sensitivity analysis and the analysis of uncertainty propagation.

研究分野：計算力学、材料力学

キーワード：確率的シミュレーション、マルチフィジックスモデル、マルチスケールモデル、複合材料、3D積層造形、不確かさ、熱処理シミュレーション、相変態

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

- (1) 機械・材料・土木・建築・原子力・生体などの広範囲な分野において、不確かさのモデリング・シミュレーション法の重要性が認知されるようになった。平成 27 (2015)年度までに実施した基盤研究(B)において、材料の物理的パラメータに対するランダム変数を用いた一次展開近似に基づく確率的マルチスケール法の開発に成功し、多孔質材料や複合材料への応用可能性を示すことができた。
- (2) 課題として、製造・造形不良を含むさまざまな幾何的不確かさの取り扱い、複合材料のミクロな損傷進展を考慮した非線形シミュレーション法の開発、樹脂含浸を考慮したマルチフィジックス問題への応用があげられた。
- (3) 新たな製造技術として期待が高まりつつあった選択的レーザ焼結による金属 3D 積層造形への応用が考えられた。積層造形プロセスパラメータの決定には熟練技術者のノウハウが必須であったため、複合材料の成形プロセスとの共通課題として、不確かさととらえてパラメータ化・定量化に取り組む着想を得た。

2. 研究の目的

- (1) 成形・造形プロセスに起因する不確かさを反映した確率的マルチフィジックス・マルチスケールモデリング法の確立を目的とする。
- (2) 実験・観察により、材料特性（物理的パラメータ）とさまざまな幾何的パラメータに含まれる不確かさを統計的に計測し、ランダム変数の数理的表現を行う。3D 積層造形においては、CAD との寸法の差異も造形不良ととらえ、不確かさのパラメータとし、造形プロセスとの相関性を示すことも目的に加えた。
- (3) 繊維強化複合材料について、ハンドレイアップ成形による積層板の静的試験結果に含まれるばらつきを説明可能な不確かさのモデリング法、RTM(resin transfer molding)法の樹脂完了時間のばらつきにおける裾野分布の詳細解析のためのサンプリング法を開発する。成形中の樹脂含浸（ダルシー則）と繊維束の大変形を連成した確率的マルチフィジックスモデリングにも取り組む。さらに、短繊維強化複合材料のミクロスケールにおける損傷進展を考慮した確率的非線形マルチスケールシミュレーション法を開発する。
- (4) 金属 3D 積層造形に対して、マルエージング鋼とアルミ合金によるラティス構造（骨スキャフォールド（足場材）として応用可能）を主たる対象とし、マイクロ CT による造形不良の統計的計測・モデリングから、マルチフィジックス問題となる造形プロセスシミュレーションまで、不確かさの要因を考慮したモデリング・シミュレーションを行う。
- (5) 応用事例として、鋼材焼入れシミュレーションにおいて鋼材成分のばらつきを考慮した確率的シミュレーション法と感度解析手法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 基盤となる確率的モデリング・シミュレーション法の開発

(1A) 不確かさの数理的モデリング法

偏微分方程式に基づき、物理的パラメータ、幾何的パラメータ、拘束条件、荷重条件、初期条件に不確かさの要因のパラメタリゼーションを行い、適した計算手法を検討する。

(1B) サンプリング法

注目する物理量の確率分布における裾野分布の高精度な解析のため、多次元パラメータ空間の分析方法とサンプリング方法の研究を行う。

(1C) 物理的パラメータの不確かさを考慮した確率的シミュレーション法の開発

一次展開近似に基づく確率的マルチスケール法を開発する。高次項が精度に及ぼす影響と非線形問題への応用における問題点の抽出と解決策について深く検討する。

(1D) 確率的マルチフィジックスシミュレーション法の開発

相変態を考慮した鋼材焼入れプロセスにおいて、物理量間の相関性を明示したパラメタリゼーション、PIRT(phenomena identification and ranking table)作成、入力データのばらつきに対する感度解析手法を開発する。金属 3D 積層造形プロセスシミュレーションも取り上げる。

(2) 統計的データの取得

第一に、短繊維強化複合材料の繊維長分布を得て、確率的マルチスケール解析のためのマイクロ構造生成ツールを開発する。第二に、ハンドレイアップによる平織複合材料積層板を用いて、マイクロな幾何的パラメータの統計的計測データとマイクロ構造モデリングを行う。第三に、金属 3D 積層造形によるラティス構造に対しても同様の研究を行う。

(3) 繊維強化複合材料への応用および妥当性確認

(3A) 短繊維強化複合材料の非線形確率的マルチスケールシミュレーション

マイクロな損傷進展モードの違いを考慮すると膨大なシナリオが想定できるため、通常のサンプリング法に加えてサブサンプリング法を追加する。計算時間短縮の手法開発も行う。

(3B) 平織複合材料積層板の確率的マルチスケールモデリング

ハンドレイアップによる作業員間のばらつきも含め、実験、統計的計測と確率的モデリングを行う。また、粘弾塑性モデリング、積層ずれやネスティングを考慮した解析を行う。

(3C) RTM 成形プロセスシミュレーション

成形プロセス時間の確率分布における裾野分布の解析を行う。加えて、樹脂流れ・浸透流・繊維束変形を考慮したマルチフィジックスシミュレーション法の検討も行う。

(4) 3D 積層造形への応用および妥当性確認

(4A) 物理的パラメータにおけるばらつきの統計的計測

チタン合金、アルミ合金、マルエージング鋼のダンベル試験片を用いて破断に至るまでの静的引張試験を行い、EOS データシートとの比較を行う。あわせて、表面粗さも検討する。

(4B) ラティス構造の造形不良を考慮した確率的マルチスケールシミュレーション

マイクロ CT を用いて内部観察を行い、造形不良のパラメータ値の統計的計測を行う。

(4C) 歯科補綴物の力学的特性の実験と品質保証のための確率的シミュレーション

歯科補綴物(クラスプ)の造形を行い、静的試験を通じて、品質保証に必要な検討項目と確率的シミュレーションによるバーチャルテストの可能性を調査する。

(5) 応用探索：鋼材成分のばらつきを考慮した焼き入れプロセスシミュレーション

相変態－熱伝導－熱変形のマルチフィジックス問題に対して、新しいパラメタリゼーションと感度解析を行い、不確かさの伝播の定量的検討を行う。

4. 研究成果

(1) 不確かさを有する物理的パラメータに関する展開近似による確率的シミュレーション法の開発 (研究の方法における 1A, 1B, 1C, 2, 3A の成果)

一次展開近似による確率均質化法(First-order Perturbation based Stochastic Homogenization 法、FPSH 法)による確率的非線形シミュレーション法を開発した。ひずみ基準の損傷測を用いて、損傷進展を考慮した短繊維強化複合材料の確率的非線形マルチスケールシミュレーションを行った。図 1、図 2 にマイクロ構造モデルと損傷モードの解析結果を示す。非線形解析時の反復法ソルバー (EBE-SCG 法) の初期値の工夫により 1.5 倍程度速くなることを確認した。

高次項を含む Neumann 展開による確率有限要素法において、1 次、2 次、3 次近似により、入力データの変動係数がそれぞれ 3%、12%、20% の範囲内であれば、出力の確率分布における裾野分布まで精度が維持されることを確認した。本研究で扱う工業用材料では、変動係数はほぼ 3% 以内であるため、上記の FPSH 法により十分な精度が保証されていることを確認した。

(2) 幾何的パラメータおよび初期・境界条件における不確かさを考慮した確率的シミュレーション（研究の方法における 1A, 2, 3, 4B, 4C の成果）

繊維強化複合材料に対して、平織複合材料の成形時に発生する繊維束の変形にともなう不確かさについて、繊維束の位置のずれ、ネスティング、繊維束内の繊維含有率分布に代表される不確かさのパラメタリゼーションと統計データ計測、モデル生成に成功した。短繊維強化複合材料については、繊維長、繊維配向、繊維配置の事前確率の定義とモデル生成に成功した。

3D 積層造形品に対しても、図 3 に示すラティス構造に含まれるさまざまな造形不良のほか、円孔付きダンベル試験片の積層角度に応じた円孔形状のゆがみを統計データに基づきシミュレーションし、実験結果と比較し、良好な結果を得た。

初期条件として、3D 積層造形品の疲労破壊につながる微小初期欠陥の考慮、短繊維強化複合材料の損傷進展解析における各時間ステップの初期配置に多数のシナリオの考慮ができた。境界条件として、歯科補綴物の 3D 積層造形の性能評価試験において、拘束が完全でない場合や、荷重ベクトルにばらつきが含まれる場合の簡便な計算法を考案した。

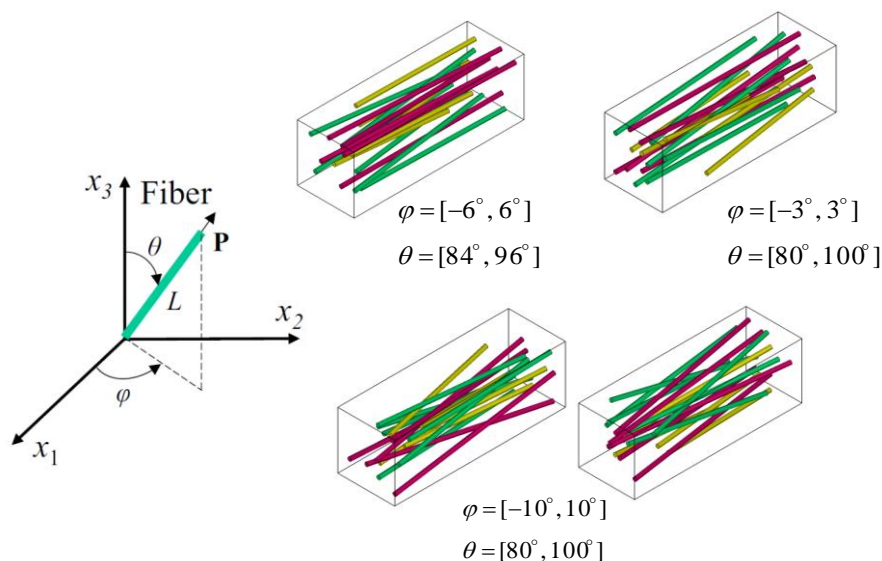


図 1 短繊維強化複合材料のマイクロ構造モデル（繊維配向、繊維配置の違いを有するモデル）

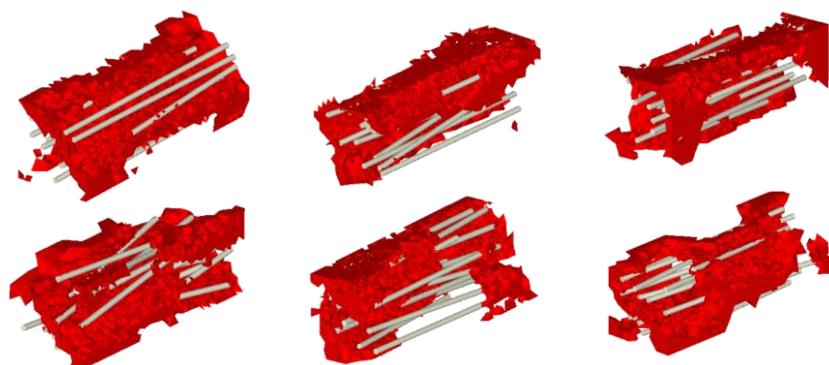


図 2 確率的非線形マルチスケールシミュレーションにより予測された損傷モードの一部

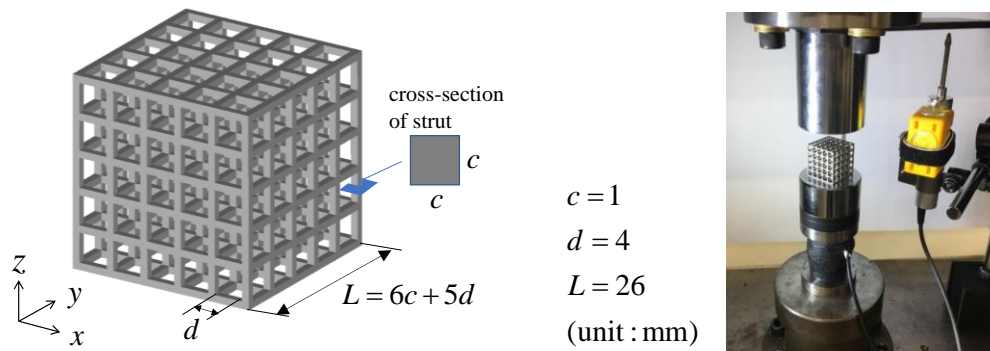


図3 3D積層造形によるラティス構造と圧縮試験の様子

(3) 多次元パラメータ空間の分析法と裾野分布に着目したサンプリング法（研究の方法における1B, 3A, 3Cの成果）

多次元パラメータ空間において複数の断面をとり、計算結果を断面上に投影し、出力の裾野分布につながる入力パラメータの組合せを自動的に分析するアルゴリズムと、裾野分布を精度よく計算するサンプリング法を提案した。複合材料のRTM成形プロセスシミュレーションに適用し、市販ソフトウェアPAM-RTMをカスタマイズし、裾野分布の解析結果を得る実用的手法を開発した。不確かさの要因として、時間変動する境界条件も扱った。

(4) 統計的弾塑性材料モデルと確率的シミュレーション（研究の方法における4A, 4Cの成果）

マルエージング鋼、アルミ合金、チタン合金の3D積層造形において、実験により得た弾塑性材料モデルの上限・下限モデルを用い、歯科補綴物の確率的シミュレーションを行った。硬化則としてはSwiftの式を用い、パラメータの同定を行った。

(5) マルチフィジックスシミュレーション（研究の方法における1B, 1D, 2, 4B, 5の成果）

鋼材焼入れ時の急冷プロセスシミュレーションにおいて、相変態、熱伝導、熱変形を連成したマルチフィジックス問題を扱い、鋼材成分のばらつきの影響を定量的に調査するため、物理量間の相関性を明示したパラメタリゼーションと感度解析手法を提案した。直交表による18サンプルに対する温度履歴、変形にあらわれるばらつきが無視できないことを確かめた。温度に対する鋼材成分の感度を得ることができた。加えて、他の考えられる全パラメータをPIRTに整理した。また、アルミ合金の3D積層造形プロセスシミュレーションにおいては、造形企業のノウハウに依存したサポート構造の違いに注目し、実験結果との相関性を検討した。

(6) 情報発信

大学・研究室HPの中で、毎年の成果を公表した。日本計算工学会主催の計算工学講演会では毎年オーガナイズドセッションを実施した。国際会議12th World Congress on Computational Mechanics (WCCM2016, Seoul, Korea)ではミニシンポジウムを実施した。産業界に対して、同学会不確かさのモデリング・シミュレーション法に関する研究会（主査：高野直樹、副査：研究分担者の松田哲也）では、定期的な研究会会合とセミナーを開催し、日本計算工学会誌「計算工学」に特集号を組んだ。また、連携研究者の仲井朝美が主査、研究分担者の大谷章夫が幹事を務めるオートモーティブ・コンポジット研究会を通じた研究成果の発信も行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 5件）

| | |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名 T.-D. Hoang, Y. Abe, S. Nakamura, A. Miyoshi and N. Takano | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Stochastic Nonlinear Multiscale Computational Scheme for Short Fiber Reinforced Composites to Study the Influence of Microstructural Variability on Damage Propagation | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 SN Applied Sciences | 6. 最初と最後の頁 Paper No. 182 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s42452-020-1961-7 | 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 高野直樹, 瀧澤英男, 伊藤幸太, 小高研人, 松永智, 阿部伸一 | 4. 巻 68 |
| 2. 論文標題 3Dプリンティング技術により積層造形されたアルミ合金ラティス構造の圧縮特性に関する研究 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 材料 | 6. 最初と最後の頁 351-357 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2472/jsms.68.351 | 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 Tien-Dat Hoang and Naoki Takano | 4. 巻 230 |
| 2. 論文標題 First-order Perturbation-based Stochastic Homogenization Method Applied to Damage Prediction for Composite Materials | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Acta Mechanica | 6. 最初と最後の頁 1161-1076 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00707-018-2337-6 | 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 G. Kubo, T. Matsuda, H. Nagaoka and Y. Sato | 4. 巻 794 |
| 2. 論文標題 Development and Validation of Multiscale Thermo-Elasto-Viscoplastic Analysis Method for Plain-Woven Composites | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Key Engineering Materials | 6. 最初と最後の頁 78-88 |
| 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.794.78 | 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 高野直樹, 石島慎太郎 | 4. 巻 83 |
| 2. 論文標題 FRPの確率的RTM成形プロセスシミュレーションにおける裾野分布の解析 | 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 1-12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.17-00216 | 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 Kohei Hagiwara, Shintaro Ishijima, Naoki Takano, Akio Ohtani, Asami Nakai | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 Parameterization, Statistical Measurement and Numerical Modeling of Fluctuated Meso/micro-structure of Plain Woven Fabric GFRP Laminate for Quantification of Geometrical Variability | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal | 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) 10.1299/mej-17.00053 | 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 Naoki Takano, Hideo Takizawa, Pin Wen, Kento Odaka, Satoru Matsunaga, Shinichi Abe | 4. 巻 134 |
| 2. 論文標題 Stochastic Prediction of Apparent Compressive Stiffness of Selective Laser Sintered Lattice Structure with Geometrical Imperfection and Uncertainty in Material Property | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Mechanical Sciences | 6. 最初と最後の頁 347 ~ 356 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijmecsci.2017.08.060 | 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 該当する |

| | |
|---|--------------------|
| 1. 著者名 Pin Wen, Naoki Takano and Shusuke Akimoto | 4. 巻 印刷中 |
| 2. 論文標題 General Formulation of the First-order Perturbation Based Stochastic Homogenization Method Using Many Random Physical Parameters for Multi-phase Composite Materials | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Acta Mechanica | 6. 最初と最後の頁 1-15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00707-017-2096-9 | 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 Gai Kubo, Tetsuya Matsuda, Yoshihiko Sato | 4. 巻 印刷中 |
| 2. 論文標題 A Novel Basic Cell Modeling Method for Elastic-Viscoplastic Homogenization Analysis of Plain-Woven Laminates with Nesting | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Mechanical Sciences | 6. 最初と最後の頁 1-10 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijmecsci.2018.01.007 | 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 Gai Kubo and Tetsuya Matsuda | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Effects of Laminate Misalignment on Macroscopic Strength and Microscopic Damage Development of Plain-Woven Laminates | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Mechanical Engineering Letters | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mel.16-00248 | 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 Pin Wen, Naoki Takano and Daichi Kurita | 4. 巻 227 |
| 2. 論文標題 Probabilistic Multiscale Analysis of Three-phase Composite Material Considering Uncertainties in Both Physical and Geometrical Parameters at Microscale | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Acta Mechanica | 6. 最初と最後の頁 2735-2747 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00707-016-1640-3 | 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 Shusuke Akimoto and Naoki Takano | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Numerical Prediction of Scattered Initial Fracture Load of Perforated Thin Plate under Tension by Monte Carlo FEM Simulation with Stepwise Limited Sampling | 5. 発行年 2016年 |
| 3. 雑誌名 Mechanical Engineering Letters | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mel.16-00316 | 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100件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 25件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 中島広貴, 北村雅之, 大谷章夫 |
| 2. 発表標題 NCFにおける編糸条件が浸透係数およびFRPの力学的特性に及ぼす影響 |
| 3. 学会等名 日本材料学会第5回材料WEEK |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 北村雅之, 大谷章夫, 仲井朝美 |
| 2. 発表標題 作製条件の異なるNCFで強化した複合材料の内部構造と力学的特性 |
| 3. 学会等名 日本繊維機械学会第72回年次大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高野直樹, 村田知優, 松永智 |
| 2. 発表標題 3D積層造形のサポート構造内アーキテクチャの影響に関する数値解析 |
| 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 井上千晴, 松田哲也, 高野直樹, 瀧澤英男 |
| 2. 発表標題 金属積層造形におけるサポート構造内アーキテクチャの非弾性均質化材料モデルの開発 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第24回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐藤章平, 高野直樹, 大谷章夫, 仲井朝美 |
| 2. 発表標題 テキスタイル複合材料の繊維体積含有率のばらつき発生に関する大変形FEM解析 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第24回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松田哲也 |
| 2. 発表標題 複合材料のマルチスケール非弾性シミュレーション |
| 3. 学会等名 高分子学会第24回高分子計算機科学研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Kubo, T. Matsuda |
| 2. 発表標題 Development of Multiscale Damage Propagation Analysis Method for Woven Laminates Using a Homogenization Theory |
| 3. 学会等名 22nd International Conference on Composites Material (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 銭場望美, 松田哲也, 久保凱 |
| 2. 発表標題 平織複合材料の非弾性特性に及ぼす内部構造の不確かさの影響 |
| 3. 学会等名 日本複合材料学会第44回複合材料シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 高野直樹, 松永智 |
| 2. 発表標題 3D積層造形による歯科補綴物の設計・造形・評価 |
| 3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 古川達也, 高野直樹, 杉本剛, 木島秀弥, 田村茂之 |
| 2. 発表標題 鋼材成分のばらつきを考慮した焼入れプロセスシミュレーションにおける感度解析 |
| 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 阿部裕太郎, 野瀬達人, 伊藤幸太, 高野直樹 |
| 2. 発表標題 3D積層造形品のFEMモデルの妥当性確認における不確かさの効率的計算法 |
| 3. 学会等名 日本材料学会関東支部2019学生研究交流会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高野直樹 |
| 2. 発表標題 確率的非線形マルチスケール解析法の開発と短繊維強化複合材料への応用 |
| 3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hoang Tien Dat and Naoki Takano |
| 2. 発表標題 Stochastic Homogenization Analysis of Multi-phase Composite Materials based on the First-order Perturbation Method |
| 3. 学会等名 4th International Conference on Computational Design in Engineering (CODE2018) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高野直樹, 瀧澤英男, 松永智, 小高研人 |
| 2. 発表標題 3D積層造形によるマルエージング鋼およびアルミ合金ラティス構造の造形不良が圧縮強度に及ぼす影響 |
| 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 杉本剛, 木島秀弥, 田村茂之, 高野直樹 |
| 2. 発表標題 Verification&Validationによる熱処理品質シミュレーションの品質調査報告 |
| 3. 学会等名 第85回(平成30年春季)日本熱処理技術協会講演大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高野直樹, 瀧澤英男, 松永智, 小高研人 |
| 2. 発表標題 金属3D積層造形によるラティス構造の造形不良を考慮した数値解析 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第23回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 杉本剛, 木島秀弥, 田村茂之, 高野直樹 |
| 2. 発表標題 熱処理温度解析における物性値の影響度に関する研究 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第23回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 久保凱, 松田哲也 |
| 2. 発表標題 ネスティングを有する平織複合材料の弾-粘塑性挙動とその積層ずれ依存性の均質化解析 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第23回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Naoki Takano, Akio Ohtani and Asami Nakai |
| 2. 発表標題 Stochastic Multiscale Computational Framework for Fibrous Composites Considering Many Physical and Geometrical Random Parameters |
| 3. 学会等名 18th European Conference on Composite Materials (ECCM18) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hoang Tien Dat and Naoki Takano |
| 2. 発表標題 Stochastic Nonlinear Analysis of Composites by First-order Perturbation based Homogenization Method |
| 3. 学会等名 The 12th Canada-Japan Workshop on Composites (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 G. Kubo, T. Matsuda |
| 2. 発表標題 A Basic Cell Modeling Method For Homogenization Analysis Of Plain-Woven Composites With Nesting |
| 3. 学会等名 13th World Congress on Computational Mechanics (WCCM) and 2nd PanAmerican Congress on Computational Mechanics (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hoang Tien Dat, Daichi Kurita and Naoki Takano |
| 2. 発表標題 Stochastic Multiscale Analysis of Macroscopic Properties, Microscopic Strain and Damage Propagation for Fibrous Composites by First-order Perturbation based Method |
| 3. 学会等名 11th Asian-Australasian Conference on Composites Materials (ACCM-11) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Naoki Takano |
| 2. 発表標題 Stochastic Multiscale Modeling and Analysis of Multi-phase Composite Materials Considering Many Random Parameters |
| 3. 学会等名 Thirteenth International Conerence on Computational Structural Technology 2018 (CST2018) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高野直樹, 瀧澤英男, 小高研人, 松永智, 阿部伸一 |
| 2. 発表標題 金属3D積層造形によるラティス構造体の品質保証へのCAEの貢献 |
| 3. 学会等名 日本機械学会第31回計算力学講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 野瀬達人, 高野直樹, 村田知優, 小高研人, 松永智, 阿部伸一 |
| 2. 発表標題 チタン合金製歯科補綴物の3D積層造形のためのCAE技術の開発 |
| 3. 学会等名 日本機械学会第31回計算力学講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 東野祐希, 上條光翔, 高野直樹, 大谷章夫, 仲井朝美 |
| 2. 発表標題 平織GFRPの成形プロセス中に発生する繊維束変形予測のためのマルチフィジックスシミュレーション法 |
| 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 高野直樹 |
| 2. 発表標題 複合材料の構成素材が持つ物理的パラメータのばらつきを考慮した確率的マルチスケールシミュレーション |
| 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 杉本剛, 木島秀弥, 高野直樹 |
| 2. 発表標題 PIRTの考え方を活用した金属熱処理シミュレーションの品質管理に関する一考察 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第22回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高野直樹, 秋元秀介, 栗田大地 |
| 2. 発表標題 多数のランダムパラメータを用いた確率的均質化・局所化シミュレーション法 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第22回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 東野祐希, 上條光翔, 高野直樹, 大谷章夫, 仲井朝美 |
| 2. 発表標題 GFRP積層板のHL成形プロセス中に発生する繊維束変形と繊維含有率の分布の予測 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第22回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 久保凱, 松田哲也 |
| 2. 発表標題 種々の織物複合材料の損傷挙動・強度特性とその積層ずれ依存性の均質化解析 |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第22回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高野直樹, 東野祐希, 大谷章夫, 仲井朝美 |
| 2. 発表標題 テキスタイルFRPの成形プロセス中に発生する繊維束変形予測のためのマルチフィジックスシミュレーション |
| 3. 学会等名 日本機械学会第30回計算力学講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuki Higashino, Kohei Hagiwara, Naoki Takano, Akio Ohtani, Asami Nakai |
| 2. 発表標題 Preparation of Random Geometrical Parameters for Stochastic Homogenization Analysis of Textile FRP by Multiphysics Process Simulation |
| 3. 学会等名 The Second International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2017) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高野直樹, 石島慎太郎 |
| 2. 発表標題 モンテカルロRTMプロセスシミュレーションシステムの構築 |
| 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 秋原晃平, 上野駿之, 高野直樹, 魚住忠司, 大谷章夫, 仲井朝美 |
| 2. 発表標題 テキスタイルGFRPの成形プロセスに起因する幾何的ばらつきを考慮したマイクロ構造モデリング |
| 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 高野直樹 |
| 2. 発表標題 テキスタイルFRP積層板の確率的マルチスケールモデリング |
| 3. 学会等名 日本計算工学会第21回計算工学講演会 |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Naoki Takano |
| 2. 発表標題 Stochastic Computational Methods - Applications to Textile FRP |
| 3. 学会等名 The 13th International Conference on Flow Processes in Composite Materials (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kohei Hagiwara, Takayuki Ueno, Shintaro Ishijima, Naoki Takano, Akio Ohtani, Tadashi Uozumi and Asami Nakai |
| 2. 発表標題 Parameterization of Geometrical Uncertainteis for Textile Composite Laminate Made by Hand Layup |
| 3. 学会等名 The 12th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XII) (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Tetsuya Matsuda, Gai Kubo, Tsubasa Ogaki and Yoshihiko Sato |
| 2. 発表標題 Multiscale Simulation and Validation for Inelastic Heterogeneous Materials |
| 3. 学会等名 Mini-workshop on Practical Multiscaling (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2016年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Mechanical Simulation Laboratory 高野研究室へようこそ
<http://www.takano-lab.jp/>
<http://www.takano-lab.jp/project.html>

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 | 大谷 章夫 (Otani Akio) (80569533) | 京都工芸繊維大学・繊維学系・准教授 (14303) | |
| 研究分担者 | 松田 哲也 (Matsuda Tetsuya) (90345926) | 筑波大学・システム情報系・准教授 (12102) | |
| 連携研究者 | 仲井 朝美 (Nakai Asami) (10324724) | 岐阜大学・工学部・教授 (13701) | |