

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月12日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (特設分野研究)

研究期間：2016～2018

課題番号：16KT0129

研究課題名(和文) Stochastic homogenization for uncertainty quantification in multiscale analysis

研究課題名(英文) Stochastic homogenization for uncertainty quantification in multiscale analysis

研究代表者

正宗 淳 (Masamune, Jun)

北海道大学・理学研究院・教授

研究者番号：50706538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：リーマン多様体上の均質化法理論(H-収束理論)を構築して、H-収束に関するコンパクト性定理を得た。さらに、H-収束がモスコ収束を導くことを示した。マイクロファイバーの束に関する均質化法による数理モデルを構築し、そのモデルを平均化法と均質化法を用いて比較検討した。非均質材料である一方向強化炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の静的強度について均質化法とデータマイニングを用いたばらつき抑制について検討した。さらに、均質化理論を用いた数値解析を行い、CFRPの各軸方向のマクロな破壊基準値を算出する方法を提案して調査も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界に先駆けて、曲がった空間上の均質化法理論を構築した。人工透析等への広い応用が期待されるマイクロファイバーの束に関する均質化法による数理モデルとその解析を平均化法と均質化法を用いて検討した。等方性がある場合は、これらの二つの手法から得られる結果が無視できる範囲で一致することが確認された。航空宇宙産業のみならず、自動車産業等でも本格的な適用が始まり、今後急速な普及が見込まれるCFRPの静的強度のばらつきを評価し、データマイニングによる支配的なばらつき因子の特定を行った。さらに、繊維配置の不均一性に起因するマクロな破壊強度のばらつきについても調査を行った。

研究成果の概要(英文)：We established a homogenization theory, more precisely, the H-convergence theory on general Riemannian manifolds. The main theoretical result in the project was to show a compactness result for a family of diffusion coefficients and that H-convergence implies Mosco convergence. As a consequence, there is a weak converging sequence of Brownian motions provided the tightness. As applications of homogenization theory, we constructed a mathematical model for micro-fibers and analyzed it, and, discussed the results obtain by the averaging methods and homogenization theory. We also studied the Carbon Fiber Reinforced Polymer Composites (CFRP) using the homogenization theory and numerical analysis. In particular, we proposed several new methods to evaluate the strengths of CFRP and conducted tests using numerical methods combined with homogenization theory.

研究分野：大域解析学

キーワード：均質化法 コンパクト性理論 CFRP マルチスケール静的強度解析

1. 研究開始当初の背景

航空宇宙産業のみならず、自動車産業等でも本格的な適用が始まり、今後急速な普及が見込まれる一方向強化炭素繊維強化プラスチック (CFRP) などの非均質材料に対応する数学理論は空間がユークリッド空間もしくはその部分空間の場合に限定されており、より一般の曲がった空間における H-収束理論は存在していなかった。また、H-収束とそれ以外の重要な収束の関係についても明らかではなかった。さらに、複合材料の性能ばらつきを評価する手法は多く提案されているが、限られた因子によるばらつきの予測にとどまっており、網羅的に因子を考慮し、更に予測した性能ばらつきの抑制まで検討できる手法は存在しなかった。

2. 研究の目的

リーマン多様体の均質化理論 (H-収束理論) を構築して、H-収束とそれ以外の重要な収束の関係を明らかにする。CFRP の静的強度について均質化法とデータマイニングを用いたばらつき抑制について検討し、実際の手法を構築する。

3. 研究の方法

均質化理論 (H-収束理論) の数学理論の世界的拠点の一つであるドレスデン工科大学と情報交換を行いながら、リーマン多様体の均質化理論を構築する。強度性能ばらつき予測、及びその抑制検討を可能とする実際の手法を提案、検討する。

4. 研究成果

(1) リーマン多様体の均質化理論 (H-収束理論) を構築して、H-収束に関するコンパクト性定理を得た。さらに、H-収束がモスコ収束を導くことを示した。このことより、従来知られている条件よりはるかに弱い条件のもとでモスコ収束が成立することが分かった。

(2) マルチスケール静的強度解析によるサンプリング計算結果から応答局面による代理モデルを構築し、モンテカルロシミュレーションにより静的強度のばらつきを評価し、更にデータマイニングによる支配的なばらつき因子の特定を行った。代理モデル・モンテカルロシミュレーション・SOM (Self-Organizing Map, 自己組織化マップ) を組み合わせることにより、目的変数のばらつきを評価するだけでなく、更に支配的な因子を特定することで、目的変数のばらつき抑制方法の検討を可能にする、実際の手法を構築した。

(3) ミクロ構造を構成する炭素繊維および熱硬化性樹脂のそれぞれに対して破壊基準を設け、均質化理論を用いた数値解析を行うことによって、CFRP の各軸方向のマクロな破壊基準値を算出する方法を提案した。そして、CFRP の横断面内の繊維位置をランダムに変化させ、繊維配置の不均一性に起因するマクロな破壊強度のばらつきについても調査を行った。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

1. 齋藤理沙, 山口裕矢, 森口周二, 三原康子, 小林卓哉, 寺田賢二郎, 硬化プロセスを考慮した繊維強化プラスチックのマクロ構成則における粘弾性特性および熱変形・硬化収縮特性の同定方法, 査読有, Vol. 85, No. 870, 2019, 396-396
2. 西紳之介, 寺田賢二郎, liker Temizer, 繊維束の接触・摩擦を考慮したドライファブリックのアイソジオメトリック均質化解析, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol. 84, No. 859, 2018, 554-554

3. Funamoto, K; Yoshino, D; Matsubara, K; Zervantonakis, I; Funamoto, K; Nakayama, M; Masamune, J; Kimura, J; Roger, K, Endothelial monolayer permeability under controlled oxygen tension, Integrative Biology, 査読有, 6, 2017, 529-538

〔学会発表〕(計5件)

1. Jun Masamune, H-compactness of elliptic operators on weighted Riemannian Manifolds, CUNY Geometric Analysis Seminar (招待講演) (国際学会) 2019
2. Kenjiro Terada, Shinnosuke Nishi, Ilker Temizer, Characterization of Macroscopic Mechanical Behavior of Dry Woven-fabrics in Consideration of Mesoscopic Frictional-contact between Fiber Bundles, The 13th World Congress in Computational Mechanics (招待講演) (国際学会) 2018
3. 寺田賢二郎, 繊維強化複合材料のミクロ構造に対するアイソジオメトリック接触・摩擦解析と時空間均質化, 第21回応用力学シンポジウム(招待講演) 2018
4. 石橋慶輝、寺田賢二郎、平山紀夫、山本晃司、小谷拓磨、森口周二、新宅勇一, データマイニングによるCFRP静的強度ばらつき抑制手法について, 第23回計算工学講演会(招待講演) 2018
5. Jun Masamune, H-convergence on Riemannian manifolds, Analysis and Geometry on Graphs and Manifolds (招待講演) (国際学会) 2017

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：寺田 賢二郎

ローマ字氏名：TERADA KENJIRO

所属研究機関名：東北大学

部局名：災害科学国際研究所

職名：教授

研究者番号（8桁）：40282678

研究分担者氏名：平山 紀夫

ローマ字氏名：HIRAYAMA NORIO

所属研究機関名：日本大学

部局名：生産工学部

職名：教授

研究者番号（8桁）：70582518

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。