

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03757

研究課題名（和文）超軽量メタポラス構造創成のためのマルチスケール形状最適化手法の開発

研究課題名（英文）Development of multi-scale shape optimization method for creating ultra-lightweight meta-porous structures

研究代表者

下田 昌利（Shimoda, Masatoshi）

豊田工業大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：00350570

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）：3Dプリンティング技術の発展に伴い、軽量化への寄与の大きいポラス材料が注目されている。空孔を有するポラス材料（マイクロ構造）を構造本体（マクロ構造）に適所に分布させれば革新的な軽量化が期待できる。本研究ではマクロ構造の形状最適化とマクロ構造中に分布するマイクロ構造の具体的な形状、材料、断面寸法を同時に最適設計する新たなマルチスケール形状最適化手法の開発を行った。剛性、振動、強度の各設計問題を扱い、その解法を提案した。弾性体と板・シェルマクロ構造と、ポラス構造やラチス構造から成るマイクロ構造の形状と寸法の設計変数をノンパラメトリックで自由に変動させ、最大の力学特性と超軽量構造の獲得に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでのマルチスケール問題の最適設計に関する研究はトポロジー最適化に関するものであり、形状最適化を対象にした本研究は新たな研究である。トポロジー最適化に比べて設計自由度は少ないが、形状と材料と寸法を設計変数とすることで、同等もしくはそれ以上のマイクロ構造の創成が可能となる。更に、トポロジー最適化では得られない明瞭で滑らか、且つ具体的な境界設計やより微細構造が直接求められることを可能にし、3Dプリンティングへのダイレクトな適用も可能とした。提案手法を設計に利用することにより、設計者にマルチスケールの最適設計の知見を与えると共に、経験の浅い設計者への設計支援システムにもなる。

研究成果の概要（英文）：With the development of 3D printing technology, innovative weight reduction can be expected by distributing porous materials (microstructures) with voids in appropriate locations in the main body of a structure (macrostructure). In this study, we developed a novel multi-scale shape optimization method that optimizes the shape, material, and cross-sectional dimensions of the microstructures distributed in the macrostructure while optimizing the shape of the macrostructure. We dealt with design problems of rigidity, vibration, and strength, and proposed solutions to them. We freely varied the design variables of the shapes, materials and dimensions of elastic bodies, plate and shell macrostructures, and microstructures consisting of porous and lattice structures without shape design parameterization, and succeeded in obtaining maximum mechanical properties and ultra-lightweight structures.

研究分野：計算力学や数値設計に基づく構造最適設計に関する研究

キーワード：マルチスケール 形状最適化 軽量化 ポラス構造 最適設計 シェル構造

1. 研究開始当初の背景

省資源や CO₂ 排出等の環境問題と工業製品の高性能化の課題を持続的に両立する解の 1 つとなるのが製品の軽量化であり、その要求は開発を重ねるごとに厳しくなる。燃費と運動性能が求められる輸送機器にとって軽量化は死活問題であり、設計者はその解決策に常に目を光らせている。解決策の 1 つとして注目されているのが、種々のポーラス材料からなるマイクロ構造を適所に分布配置するマルチスケール構造体とその設計方法である。生物構造に多く見られるポーラス材料の利用は古くからあるが、それを現実にしたのが近年の金属及び樹脂材料の 3D プリンティング技術の革新である。ドイツの自動車メーカーでは実際の製造に利用し始めているとされる。3D プリンティング技術に関する研究は材料の開発やその積層技術の開発が先行してきた。材料に応じた積層パスやサポート材を考慮した最適設計手法も提案され、ポーラス材料の実用化に貢献している。ポーラス材料はバルクではなく、構造として適切に組み上げられて、初めてその効果を発揮するため、構造設計上、すなわちマクロ構造の力学特性をコントロールするためにはどのようなポーラス構造が最適化でどこに配置するのが重要となる。これに対し、歴史と実績のあるマルチスケール解析と最適化手法を組み合わせたマルチスケール最適設計手法の開発が行われ、幾つかの提案が行われている。しかし、これらの研究の殆どはトポロジー最適化に関するものであり、3D プリンティングに必要な具体的なマイクロ構造の形状・寸法までは直接求められないことが課題とされており、それをどう解決するか。また、軽量化を追求すると、複数のポーラス材料を用いる発想は自然であるが、どのような構造をどこに分布させればよいか。更に、マクロ構造の形状最適化と組み合わせることを考えると、マクロ構造内に分布するマイクロ構造とマクロ構造は両者の応力状態に影響される。そのための定式化と感度関数の理論的な導出、及びその数値解法をどう構築するか。構造設計問題としては、剛性問題、振動問題、及び強度問題は基本であり、各設計問題にどう対応するのか。これまでに報告されているマルチスケール構造最適化の対象は基本的な 2 次元もしくは 3 次元連続体に関するものが殆どで、輸送機器に多用されるシェル構造に利用できるものがないのが現状であり、その解法をどう構築するか。また、形状最適化とマルチスケール問題の組合せを考えた場合、従来のパラメトリック手法、すなわち設計変数を事前にパラメータ化し、そのパラメータをマトリクス剛性方程式と数値計画法を用いて決定する方法も考えられるが、設計変数のパラメータ化は設計自由度を招き、得られる力学特性を制限してしまう。更に、有限要素で離散化されたマクロ構造のある領域もしくは全要素に埋め込まれたマイクロ構造の形状・寸法設計をマルチスケール最適化問題として解く場合、従来手法はその設計変数の多さからたちまち破綻してしまう。大規模自由度の最適設計問題をどう解くか、設計境界が過自由度のために波打つ数値不安定問題をどう解決するか。マイクロ構造としては種々の構造が考えられる。基本は有孔の周期的連続体であるが、マイクロ骨組構造や板・シェル構造はマイクロ構造の設計問題として重要であり、各マイクロ構造の設計変数設定とマクロ構造との接続が課題となる。これらの課題を同時解決する解法を構築するのが本研究である。

2. 研究の目的

例えば片持ちばりを考えると、表面付近には垂直応力に抵抗する密なマイクロ構造が創成され、中立面付近にはせん断応力に抵抗する疎なマイクロ構造が各部の応力に応じて自動的に創成され、これまでにない革新的な軽量メタ構造が創成される。マクロ構造の形状とマクロ構造内に分布する全マイクロ構造の形状を自由に変動させることができれば、大規模設計自由度の構造設計となり、力学的に無駄のない革新的、極限的な軽量構造、メタマイクロ構造が実現される。構造設計問題として、剛性問題、振動問題、及び強度問題を取り上げ、マイクロ構造として有孔構造、マイクロ骨組構造や板・シェル構造を考える。各設計問題に対する解法を構築し、マクロ構造とマイクロ構造を同時に最適化するマルチスケール形状最適化手法の開発が本研究の目的である。取り組むマルチスケール形状最適設計(マクロと分布マイクロ構造の同時最適化)のイメージを図 1 に示す。方法論とシステムの構築により、種々のマルチスケール形状設計への適用を可能とすると共に、経験依存設計の解消にも繋がる。これまでに解かれたことのない大規模設計問題であり、手法の提示に留まらず、計算結果を示すことにも意義がある。また、得られた構造は設計者にマ

クロとミクロの最適構造の知見を与えることになる。

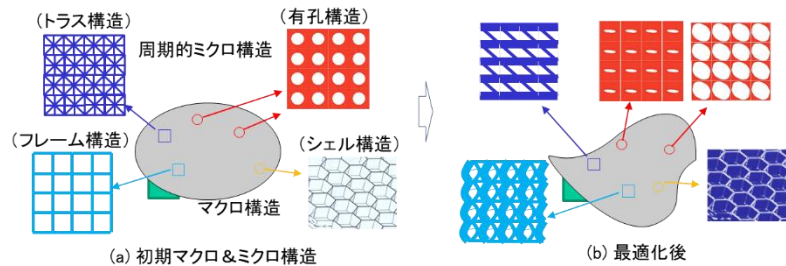


図1 マルチスケール形状最適化のイメージ

3. 研究の方法

研究目的を達成するため、具体的な課題解決内容を含む下記(1)から(5)のプロセスで研究を進めた。

(1) まず、基礎となる剛性設計問題を対象に、マルチスケール形状最適化問題の解法の核となる部分を開発する。目的汎関数は汎用性を考慮し、目標変位分布との変位二乗誤差積分とした。マクロ構造の弱形式の平衡方程式と複数のミクロ構造の均質化方程式、及びミクロ構造の体積を考慮した全体積を制約条件とし、ミクロとマクロ構造の同時形状最適化問題を変分法に基づく分布系の形状最適化問題として定式化後、設計変数変動に対する感度関数を物質微分法と随伴変数法を利用しながら理論的に導出する。変分法に基づくため、オイラーの方程式が求まるが、近似的に解くのも難しいため、最小化問題に置き換え、開発してきた関数空間の勾配法を利用して最小化する。なお、関数空間の勾配法が必要となる正定値テンソルには構造体の剛性テンソルを利用する。計算機への実装のため、感度関数の数値計算法を構築し、最適化システムへ実装する。実用性と汎用性を有するシステムとするため、有限要素解析部は商用コードを関数化してシステムに組み込む。基本例題と応用設計例で手法とシステムの検証を行い、得られた構造を3Dプリンターで試作し、剛性試験を行う。ミクロ構造として、有孔構造、骨組構造を扱い、骨組構造は形状と断面寸法を設計変数とし、ミクロ構造とマクロ構造とは漸近型の均質化法で接続する。初期形状から最適形状に向けて変動する全ミクロ構造(ユニットセル)の均質化弾性定数を繰り返しごとに求め、マクロ構造に適用した。ミクロ骨組構造の均質化弾性定数に関しては商用FEMコードが利用でき、開発システムと組み合わせ易く、汎用性のあるNIAH法を利用する。用いる関数空間の勾配法の解は初期形状に依存するため、複数の初期形状を準備しての解探索を行い、その違いが最終形状に与える影響も考察する。

(2) (1)で確立した解法を振動設計問題へ応用する。均質化弾性係数に加え、均質化密度を全ミクロ構造について求め、マクロ構造に接続した。弱形式の固有振動方程式を制約条件に加えて分布系の形状最適化問題として定式化後、感度関数を理論的に導出する。固有振動問題では重根のスイッチ問題、周波数応答問題では減衰の扱いが重要となるが、これは既報にて提案した方法を利用する。感度関数の数値計算法を構築し、(1)の最適化システムへ組み込む。

(3) (1)と(2)で構築した解法を強度設計問題へ応用する。ミクロ構造中の最大応力を目的関数とし、定式化を行う。最大応力はその局所性に基づく微分不可能問題を有するため、微分可能な目的汎関数への変換が必要となるが、既報にて提案したKS関数法を利用しながら感度関数を導出する。ミクロ構造としては基本の有孔構造を用いる。

(4) (1)から(3)で確立した方法を積層シェル構造の剛性設計問題と固有振動問題へ応用する。各問題を定式化し、感度関数を導出する。ミクロ構造として基本の有孔構造とする。積層の場合は中立面を考慮しながら層ごとにミクロ構造の平面応力状態の均質化弾性定数を求め、マクロ構造と接続する。シェルのマクロ構造の最適化にはこれまでに構築済みの手法を用いる。

(5) 最終的に、マクロ構造と分布するミクロ構造の形状を同時に最適化するマルチスケール最適化システムを完成させる。

4. 研究成果

初年度(2021年度)は基礎となる剛性設計問題を対象に、マルチスケール形状最適化問題の解法の核となる部分を開発した。目的汎関数は汎用性を考慮し、目標変位分布との変位二乗誤差積分とした。マクロ構造の弱形式の平衡方程式と複数のミクロ構造の均質化方程式、及びミク

ロ構造の体積を考慮した全体積を制約条件とし、マイクロとマクロ構造の同時形状最適化問題を変分法に基づく分布系の形状最適化問題として定式化し、設計変数変動に対する感度関数を物質微分法と随伴変数法を利用しながら理論的に導出した。マイクロ構造として、ポーラス構造とラチス構造を用いた。ポーラス構造は孔形状を、ラチス構造は断面寸法を設計変数とし、マイクロ構造とマクロ構造とは均質化法で接続し、初期形状から最適形状に向けて変動する全マイクロ構造（ユニットセル）の均質化弾性定数を繰り返しごとに求め、マクロ構造に適用した。なお、ラチス構造の均質化弾性定数に関しては変位ベースの汎用的解法を構築した。得られたポーラス構造とラチス構造に対する感度関数を関数空間の勾配法に適用し、最適なマイクロとマクロ設計変数分布を同時に求める手法を構築した。なお、ポーラス構造の孔形状設計に対してはベクトル設計変数用の勾配法を、ラチス構造の断面設計に対してはスカラー変数用の勾配法を適用した。開発した手法を計算機へ実装するため、感度関数の数値計算のアルゴリズムを構築し、PCベースの最適化システムへ実装した。実用性と汎用性を有するシステムとするため、有限要素解析部は商用コードを関数化してシステムに組み込んだ。種々の基本例題と応用設計例で手法とシステムの検証を行い、得られた構造を3Dプリンターで試作した。

図2と図3に、それぞれ2次元と3次元構造のコンプライアンス最小化の計算例を示す。

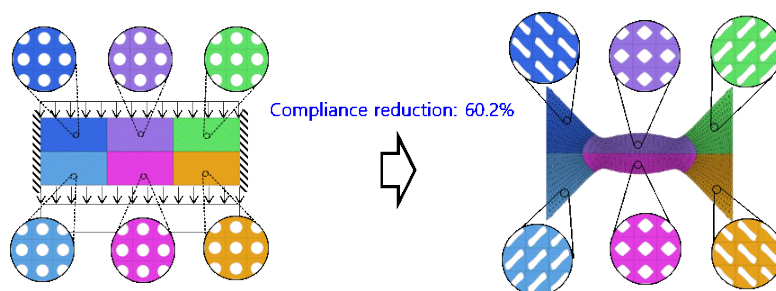


図2 両端固定構造の計算例

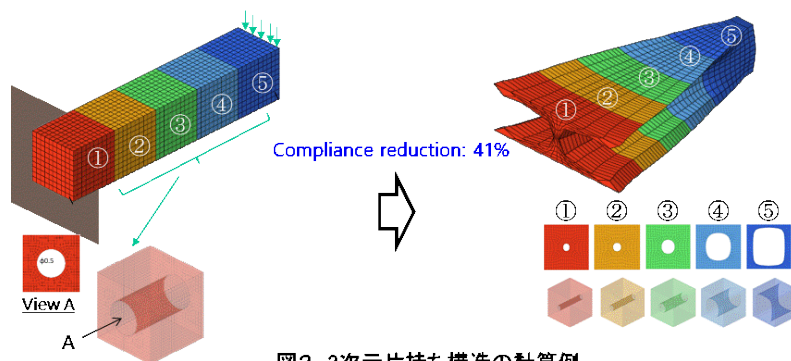


図3 3次元片持ち構造の計算例

2022年度は初年度に開発したマルチスケール形状最適化問題の解法の核となる部分を大きく発展させることができた。その1つは、マイクロ構造としてポーラス構造を用いた固有振動設計問題に対する解法の開発である。そこでは固有振動問題に潜在する重根問題を解決し、2次元と3次元の複数のマイクロ構造から成るマクロ構造のマイクロ構造分布をトポロジー最適化で決定しながらマイクロ構造中のポーラス形状を同時に最適化した。なお、マイクロ構造とマクロ構造は均質化法で接続した。2つめはマイクロ構造としてポーラス構造を用いた強度設計問題に対する解法の開発である。そこではマイクロのポーラス形状を変動させながら、マイクロ構造中の最大応力の最小化とマクロ構造の最大応力の最小化を行い、両者の効果を比較しながら手法の特徴を示した。3つめは積層シェル構造中のマイクロ構造の形状最適化手法の開発である。設計問題としては剛性設計を取り上げ、各層と各領域中のポーラス形状を、体積制約下で同時に最適化する手法を開発した。4つめはマイクロ構造としてラチス構造を用いた剛性設計問題の解法の開発である。そこではマクロ構造中に分布するマイクロラチス構造の断面寸法と部材形状を同時に最適化した。5つめは、新たにテーマに加えた熱伝導設計問題を対象にしたマクロ構造とマイクロ構造の同時トポロジー最適化手法の開発である。各設計問題は異なる特徴と解決すべき課題を有していたが、プロセスを統一しながら手法とシステム開発を行った。得られた構造の幾つかは3Dプリンターで試作し、性能の評価試験も実施、狙い通りの特性が得られていることを確認した。

図4と図5に、それぞれ固有振動問題、積層シェルの剛性問題の計算例を示す。

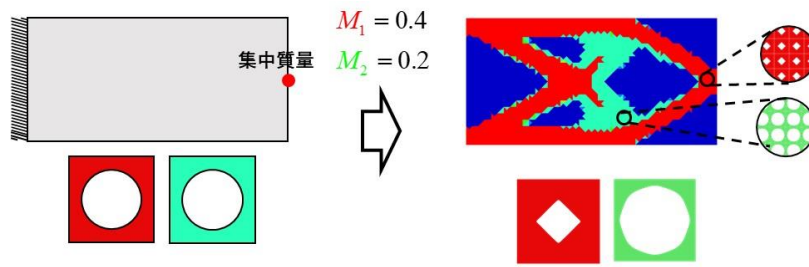


図4 1次固有振動数の最大化の計算例

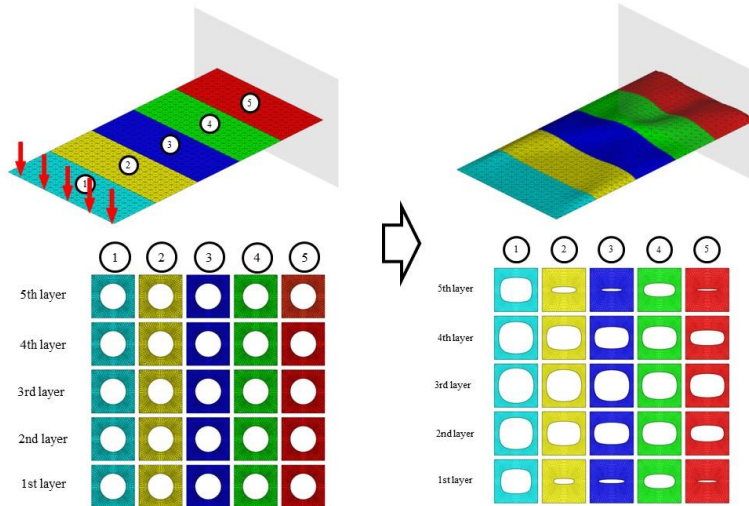


図5 積層シェルのコンプライアンス最小化の計算例

最終年度（2023年度）は2022年度に着手し、基礎が出来上がった固有振動問題、強度問題、シェル構造、マイクロチス構造の解法を完成させると共に、論文としてまとめた（そのため、校閲結果への対応もあり、テーマや取り組みに前年度との重複も生じた）。その中で、強度問題に関して構築した手法を熱応力問題まで発展させ、外力として温度を与え、熱伝導問題を解いて温度分布を求め、それによって生じるマイクロ熱応力の最小化手法を開発したことは大きな成果であった。更に、連続体に対して確立した方法を積層シェル構造へ応用し、レーザー加工での試作評価によって手法を検証したことも当初の計画を超えた成果といえる。固有振動問題では、マイクロ構造の配置にマルチマテリアルトポロジー最適化を導入したが、材料数に制限が生じたため、その解決が課題となった（将来の課題として今後取り組む予定である）。また、当初の計画ではマルチスケールの形状最適化手法の開発が目的であったが、それをトポロジー最適化まで展開し、通常の剛性問題や変位コントロール（コンプライアントメカニズム）問題、熱弾性問題に対する手法を提示したことも大きな成果であった。

図6に、強度問題（熱伝導からの最大熱応力最小化）の計算例を示す。

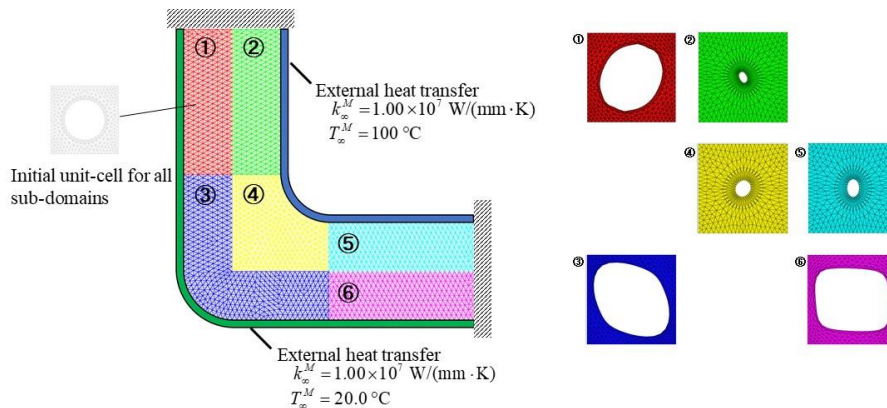


図6 熱伝導→熱応力最小化の計算例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Minami Fujioka, Masatoshi Shimoda, Musaddiq Al Ali	4. 巻 65-211
2. 論文標題 Concurrent shape optimization of a multiscale structure for controlling macrostructural stiffness	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Structural and Multidisciplinary Optimization	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） 10.1007/s00158-022-03304-y	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 Musaddiq Al Ali, Masatoshi Shimoda	4. 巻 179
2. 論文標題 Investigation of concurrent multiscale topology optimization for designing lightweight macrostructure with high thermal conductivity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Thermal Sciences	6. 最初と最後の頁 107653
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijthermalsci.2022.107653	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 Musaddiq Al Ali, Masatoshi Shimoda	4. 巻 65-7
2. 論文標題 Toward multiphysics multiscale concurrent topology optimization for lightweight structures with high heat conductivity and high stiffness using MATLAB	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Structural and Multidisciplinary Optimization	6. 最初と最後の頁 26
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00158-022-03291-0	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 Mihiro Torisaki, Masatoshi Shimoda, Musaddiq Al Ali	4. 巻 -
2. 論文標題 Shape optimization method for strength design problem of microstructures in a multiscale structure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal for Numerical Methods in Engineering	6. 最初と最後の頁 7186
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/nme.7186	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 内匠祐太郎, 下田昌利	4. 巻 88-915
2. 論文標題 マルチスケール構造設計における骨組マイクロ構造の寸法最適化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 21-00240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.22-00240	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 Musaddiq Al Ali, Masatoshi Shimoda, Brahim Benaissa, Masakazu Kobayashi	4. 巻 317
2. 論文標題 Concurrent multiscale hybrid topology optimization for light weight porous soft robotic hand with high cellular stiffness	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Conference of Steel and Composite for Engineering Structures. ICSCES 2022. Lecture Notes in Civil Engineering	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) 10.1007/978-3-031-24041-6_22	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 Minami Fujioka, Masatoshi Shimoda, Musaddiq Al Ali	4. 巻 268
2. 論文標題 Shape optimization of periodic-microstructures for stiffness maximization of a macrostructure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Composite Structures	6. 最初と最後の頁 2021.113873
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compstruct.2021.113873	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 藤岡みなみ, 下田昌利	4. 巻 87-902
2. 論文標題 構造体のマイクロ・マクロ形状設計のためのマルチスケール同時形状最適化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 21-00194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00194	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 藤田隼平, 下田昌利	4. 巻 87-902
2. 論文標題 多孔質構造体の固有振動設計を目的とするマイクロ孔構造の形状最適化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 21-00200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.21-00200	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18件(うち招待講演 0件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Musaddiq Al Ali, Masatoshi Shimoda
2. 発表標題 Toward concurrent multiscale topology optimization for high heat conductive and light structure
3. 学会等名 the 15th World Congress on Computational Mechanics (WCCM-XV), 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM-VIII) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Musaddiq Al Ali, Masatoshi Shimoda
2. 発表標題 Concurrent multiscale topology optimization for designing displacement inverter
3. 学会等名 the 15th World Congress on Computational Mechanics (WCCM-XV), 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM-VIII) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Junpei Fujita, Masatoshi Shimoda
2. 発表標題 Concurrent multiscale optimization method for natural vibration design of porous structures
3. 学会等名 Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yutaro Takumi, Masatoshi Shimoda
2. 発表標題 Size optimization of micro-frame structure for designing multiscale structure
3. 学会等名 Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Musaddiq Al Ali, Masatoshi Shimoda
2. 発表標題 Concurrent multiscale topology optimization for designing light weight heat activated compliant mechanism
3. 学会等名 Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥崎海広, 下田昌利
2. 発表標題 マルチスケール構造体の強度設計問題に対するミクロ構造の形状最適設計手法
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日笠求, 下田昌利
2. 発表標題 多孔質積層シェル構造体のミクロ孔構造の形状最適化法
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下田昌利, 藤岡みなみ
2. 発表標題 3次元マルチスケール多孔質構造体のマクロ・ミクロ構造の同時形状最適化
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田隼平, 下田昌利
2. 発表標題 多孔質構造体の固有振動設計を目的とする形状およびトポロジーのマルチスケール同時最適化
3. 学会等名 第32回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 内匠祐太郎, 下田昌利
2. 発表標題 マルチスケール構造体におけるマイクロラチス構造の形状最適化手法
3. 学会等名 第32回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥崎海広, 下田昌利
2. 発表標題 マルチスケール構造体の熱応力問題に対する形状最適設計
3. 学会等名 日本機械学会 第14回最適化シンポジウム(OPTIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日笠 求, 下田昌利
2. 発表標題 多孔質積層シェル構造体におけるマクロ・ミクロ同時形状最適化法
3. 学会等名 日本機械学会 第14回最適化シンポジウム(OPTIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Musaddiq Al Ali, Masatoshi Shimoda
2. 発表標題 Concurrent topology optimization for cellular high conductive heat sink with high stiffness
3. 学会等名 14th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Minami Fujioka, Masatoshi Shimoda
2. 発表標題 Concurrent shape optimization for multiscale structure using H1 gradient method
3. 学会等名 14th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤岡みなみ, 下田昌利
2. 発表標題 マクロ構造の剛性最大化を目的とするマクロ構造とミクロ構造の同時形状最適化
3. 学会等名 日本機械学会 第31回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田隼平, 下田昌利
2. 発表標題 多孔質構造体の固有振動問題に対するミクロ構造の形状最適化
3. 学会等名 日本機械学会 第31回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤岡みなみ, 下田昌利, Musaddiq AI ALI
2. 発表標題 所望変形を実現するマルチスケール構造の同時形状最適化
3. 学会等名 日本機械学会第34回計算力学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内匠祐太郎, 下田昌利, Musaddiq AI ALI
2. 発表標題 マルチスケール最適化のための均質化法の骨組ミクロ構造への応用
3. 学会等名 日本機械学会第34回計算力学講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

豊田工業大学HOME > 研究・産学連携 > 研究室紹介 > 固体力学
<https://www.toyota-ti.ac.jp/research/laboratory/post-3.html>
 TOP > 研究室情報>固体力学研究室
<https://ttiweb.toyota-ti.ac.jp/public/labo.php?s=1&i=2644>

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
研究協力者	アルアリ ムサディク (Al Ali Musaddiq)	豊田工業大学・固体力学研究室・PD 研究員	

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