

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：33924

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03853

研究課題名(和文) 薄板構造体の超軽量設計を実現する形態・材料のパラメータフリー最適設計法の開発

研究課題名(英文) Research on parameter-free shape and material optimization method for ultra light weight design of thin plate 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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：モノ創り、特に輸送機器の開発では構造体の抜本的な軽量化が求められている。同一材料による従来型の軽量化は限界に近いとされ、材料を適所に配置するマルチマテリアル構造が注目されている。

本研究ではマルチマテリアル構造に不可欠な繊維強化樹脂(FRP)やセル構造(ポーラス材料、ラチス構造)を含む多層薄板構造体を対象に、全体形状とFRP各層の材料配向、及びセル構造の内部形状を求める最適設計手法の開発に取り組んだ。この超大規模設計問題を統一的、且つ効率的に扱うための分布系の解法を構築し、マルチマテリアル構造の材料性能を無駄なく最大限に発揮させ得る超軽量構造設計法の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

FRPや多孔質材料からなる多層薄板構造体に対して、これまででない究極の軽量化のための最適設計法を示した。従来のパラメトリック手法ではなく、関数空間で解を求める分布系の解法であるため、大規模設計問題を効率的に解くことができる。そこではFRPの最適繊維配向を連続自由曲線として求めることに初めて成功し、曲率のコントロールも可能にした。また、コア部のポーラス構造の孔形状やラチス構造の部材形状の最適化法も新たに提案した。

複雑、且つ超大規模な最適設計問題の解法の開発はこれまで解けなかった問題への対応を可能にしたばかりでなく、設計者に最適解の知見を与え、経験の浅い設計者への支援システムにもなる。

研究成果の概要(英文)：In the creation of things, especially in the development of vehicles, there is a need for drastic weight reduction of structures. It is said that the conventional weight reduction by one material is near the limit, and the multi-material structure that arranges the material in the right place is attracting attention.

In this study, we targeted multi-layer thin plate structures including FRP and cell structures (such as porous materials, lattice structures), which are indispensable for multi-material structures. We worked on the development of the optimum design method for obtaining the overall shape, the material orientation of each layer of FRP, and the shape of the cell structure. We have constructed a solution based on the distributed-parameter system to handle this ultra-large-scale design problem in a unified and efficient manner, and succeeded in developing an ultra-lightweight structural design method that can maximize the material performance of the multi-material structure.

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：形状最適化 トポロジー最適化 軽量化 複合材料 ポーラス構造 シェル構造 最適設計 マルチス  
ケール

## 1. 研究開始当初の背景

エネルギー消費量やCO<sub>2</sub>排出量の削減等、厳しい環境対策が求められる中、高性能化する工業製品の力学特性や機能を最小重量で実現させるための軽量化への要求は増々厳しくなっている。高い燃費と運動性能が求められる輸送機器においてはその要求は特に厳しい。そうした背景の下、工業製品を構成する基本構造体の抜本的な軽量化の解として、再注目され、その革新が期待されているのがマルチマテリアル構造である。限界に近いとされる従来の単一材料構造に変わるもので、高張力鋼板やアルミ、セル構造<sup>(1)</sup>、CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 等の異なる材料を組み合わせることにより、それぞれの持つ優れた特性を活かしながら単一材料では得られない力学特性と大幅な軽量化を両立しようとするものである。関連する研究は欧州が先行しているとされ、国内でもNEDOが推進を行っている。主たる技術的課題は①材料開発 ②接合技術の開発 ③設計手法の開発である。本研究では③を対象とし、軽量化への寄与が大きく、輸送機器の基本構造として幅広く利用されている薄板構造体に焦点をあてる。FRPとセル構造を含む多層（サンドイッチ）構造体(図1)を取り上げ、新たな構造最適設計法の開発を行う。

研究対象の多層薄板構造は人や鳥の骨構造や植物構造にも多く見られ、力学的に合理的な構造として工業製品にも古くから利用されている。従来は材料力学や積層理論、或いはCAEを利用し、経験に基づく知見を加えながら設計が行われていた。平板や軸対象シェル基調で直線配向（長繊維の場合）の構造が多く、材料性能を利用しきれていないのが現状である。近年では最適化手法の研究が進められ、製品開発へも応用されてきている。これまでの最適化手法の研究では薄板構造の形状のみ、材料配向のみ、あるいはセル構造の形状のみの個別の最適設計に関する研究は多数行われ、そこでは設計変数を予めパラメータ化し、数値計画法やGA (Genetic Algorithm)等を用いてベクトル空間で解探索を行う手法が用いられている。材料配向角に関して、曲線配向装置の開発が進み、スプライン関数等を用いて連続繊維の自由配向分布を求める研究が国内外<sup>(2)</sup>で行われている。セル構造の形状設計にはトポロジー最適化や均質化法を利用する手法が提案されているが、そこでは設計自由度を減らすために周期性の境界条件が導入されている。パラメータ化や周期性条件は解の探索を容易にする反面、設計者に経験や知識を要求し、得られる形状と性能も限定的となる。自由度を増やせば性能や特性が向上することは自明であるが、本研究のような全体形状と各層の材料配向、及びセル構造の内部形状を自由変動させる研究は行われてこなかった。この自由変動のアイデアが実現できない背景には異なる種類の大規模設計変数の表現方法とその自由変動に対する感度解析の課題がある。全体形状の形状設計変数に各層の材料配向角とセル構造の形状変数を加えた場合、設計自由度は超大規模となり、解探索の難しさや設計変数の不適切性（設計可能解の決定）の問題も加わり、従来手法の適用は困難となる。こうした課題を解決する新たな手法を提案するのが本研究である。

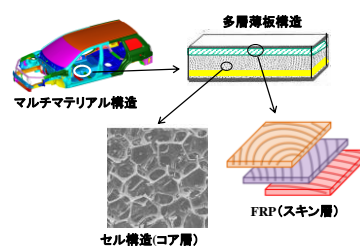


図1 多層薄板構造の構成

## 2. 研究の目的

本研究ではマルチマテリアル構造の基本構造であるFRPと軽量化効果の大きいセル構造を含む多層薄板構造体を対象に、全体形状とFRP各層の材料配向、及びセル構造の空間形状をパラメータ化せず求める形状と材料の同時最適設計手法の開発を目的とする。扱う設計問題は設計の基本となる剛性設計問題、強度設計、固有振動と周波数応答問題に加え、有害な反りの発生を抑える、逆に反りを積極的に発生させるような変形コントロール問題とする。パラメータ化が不要な分布系の解法を構築することにより、超大自由度設計問題の扱いが容易になり、従来の離散系のパラメトリック手法では難しかった問題への対応が可能となる。全体形状とセルの空間形状、及びFRP各層の材料配向を最適な方向へ全て自由変動させることにより、多層薄板構造の力学特性を最大限に発揮する超軽量構造設計を可能とする。表面のFRP層は膜応力を、内部のセル構造はせん断応力と圧縮応力を分担するが、本手法により板厚方向を含む構造全体に渡って無駄のない荷重伝達構造を実現する。合理的で

滑らかな自由曲面が生成されるため、意匠的にも洗練された形状が得られる。

### 3. 研究の方法

これまでに扱われたことのない自由曲面形状と自由材料配向角を設計変数とする構造最適化問題の設計変数を統一的に扱いながら設計的に意味のある解を決定し、且つ効率的に解くため、設計変数を独立した変数ではなく連続関数とし、最適設計問題を従来のベクトル空間ではなく関数空間で定式化する。これに変分法を適用し、設計（変数）関数の微小変動に対する感度関数を、ラグランジュ乗数法、物質導関数法と随伴変数を利用しながら理論的に導出する。効率的な解探索のため、関数空間の勾配法を構築する。更に意味のある解の探索のため、勾配法で必要な正定値テンソルには弾性テンソルを利用し、線形方程式を解くことにより解（形状、材料配向）の滑らかさを保ちながら目的汎関数を減少させる。全体形状とセル構造の形状設計関数はベクトル変数であるが、これはこれまでに開発した形状最適化用手法を発展させて用いる。一方、多層の材料配向角関数はスカラー変数であり、そのための勾配法を新たに開発する。そこで必要となる正定値テンソルには熱伝導テンソルを利用し、ポアソン方程式を解いて得られる温度場が求める材料配向角分布となる。開発する手法は偏微分方程式を介して滑らかな（意味のある）設計変数分布を求めることができる独創的な手法といえる。形状と材料設計変数の自由変動によるパラメータフリーの形状・材料最適設計手法の構築、及びそれを計算機に実装した最適設計システムの開発を、以下のプロセスを進める。

(1) 基礎となる単層構造の解法の開発から着手する。目的汎関数は剛性最大化のためのコンプライアンス、変形コントロールのための変位 2 乗誤差、及び強度最大化のための最大ミーゼス応力とする。自由材料配向角問題の定式化、感度関数の導出、及びその数値計算法を確立し、材料配向角用の勾配法と計算機への実装のためのアルゴリズムを開発する。これと構築済みの単層のシェル構造用形状最適化手法とを組み合わせたシステムを開発する。なお、実用性と汎用性を有するシステムとするため、有限要素解析部分は市販の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計算を行う。検証後、得られた構造（自由曲面形状と自由材料配向）を試作し、試験を行う。問題点があれば手法へのフィードバックを行う。

(2) (1)の形状最適化手法と配向角最適化を多層へ発展させる。多層化には界面の変位とコーナー応力の連続性を仮定し、古典積層理論を適用する。各層の感度関数を導出後、その数値計算法を確立し、最適化システムへ組み込み、(1)と同様、検証計算を行う。

(3) セル構造の形状最適化手法はこれまでに開発してきた骨組構造用の自由形状最適化手法(図 4 右)を発展させる。セル構造はトラス構造、またはラーメン構造からなるものとする。セル構造を構成する全部材を自由変動させて形状最適化する具体的手法を開発する。異なるセルサイズ、部材サイズのセル構造を幾つか作成し、検証計算を行う。

(4) セル構造の上下に積層 FRP 層を接合したサンドイッチ構造を作成し、(2)と(3)の手法を最適化システムに組み込んだ後、検証計算を行う。

(5) 固有振動問題と周波数応答問題について、(1)から(4)と同様のプロセスにて解法の開発を行う。目的汎関数は指定固有振動数の最大化と指定周波数帯の応答の最小化とする。定式化から感度関数の導出を行い、最適化システムへ組み込む。検証計算と試作を行い、振動試験による検証試験を行う。

(6) 最終的に、全体形状と各層の材料配向角、及びセル構造の形状の最適化が可能な統合最適化システムを完成させる。方法論とシステムの構築により、種々の多層薄板構造体への適用が可能となると共に、経験依存設計の解消にも繋がる。また、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への薄板軽量構造の知見となる。

### 4. 研究成果

初年度（2018 年度）は FRP 直交異方性材料の性能を最大限に発揮させるための自由配向最適化手法を確立し、積層シェル構造の剛性設計問題へ適用し、その効果と有効性を確認した。ここでは、まず、基礎となる単層構造の解法の開発から始め、変分法に基づく関数空間での自

由材料配向角問題の定式化、感度関数の理論的な導出を行った。続いて、実現可能な滑らかな自由配向角分布を求めるための関数空間の勾配法を利用した数値計算法を開発し、計算機に実装した。これにより、大規模設計変数問題となる本研究の基盤が築けた。図2に3層円筒シェルの計算例を示す。各層の応力分布に応じて異なった、且つ滑らかな材料配向が得られていることが分かる。これにより質量の増加なしで、剛性は約2.9倍になった。

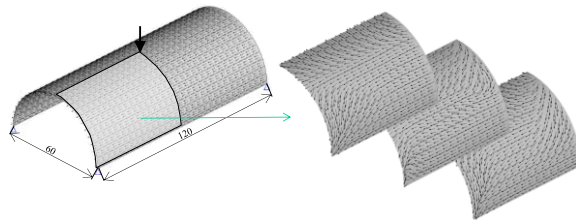


図2 積層シェルの剛性最大化配向の計算例 (左:境界条件と初期配向、右:1/4部分の最適化配向)

2019年度は前年度着手したFRP積層シェルの繊維自由配向を設計変数とする強度設計問題と熱変形コントロール問題に対する手法を確立した。サンドイッチ構造のコア部を形成するセル構造の最適化に関しては、前年度着手した周期性マイクロセル構造から構成されるマクロ構造の逆均質化法を利用したマルチスケール2段階最適化手法を構築した。図3に、2次元マクロ構造の弾性マトリクス成分を設計変数にして得られた目標弾性マトリクスに対し、逆均質化法を用いて求めた形状とその均質化弾性マトリクスを示す。異なる2つの目標値に対し、両者とも目標値に一致する形状が得られていることが分かる。

|     | Target Value  | Homogenized elastic moduls after optimization   | Shape of moduls after optimization |
|-----|---|---|------------------------------------|
| (a) | $\begin{bmatrix} 1.21 & 0.21 & 0.00 \\ & 1.18 & 0.00 \\ \text{sym.} & & 0.14 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 1.21 & 0.21 & 0.00 \\ & 1.18 & 0.00 \\ \text{sym.} & & 0.14 \end{bmatrix}$ |                                    |
| (b) | $\begin{bmatrix} 0.91 & 0.17 & 0.00 \\ & 0.91 & 0.00 \\ \text{sym.} & & 0.19 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 0.91 & 0.17 & 0.00 \\ & 0.91 & 0.00 \\ \text{sym.} & & 0.19 \end{bmatrix}$ |                                    |

図3 逆均質化法によって求めたマイクロユニットセル形状と均質化弾性マトリクス

2020年度はFRP積層シェルの繊維自由配向を設計変数とする最適設計問題に対し、前年度までの静的問題を動的問題に発展させ、固有振動問題と周波数応答問題の解法の開発に成功した。固有振動問題では、指定した任意の固有振動数の最大化、及び2つの固有振動数の差を最大化することを目的とし、周波数応答問題では指定した任意の周波数帯での応答の合計を最小化することを目的とした。いずれもラグランジュ乗数法と随伴変数法を利用して定式から最適性条件、及び要となる感度関数の導出を行い、これまで構築してきた最適化システムへ追加実装した。サンドイッチ構造のコア部を形成するセル構造の最適化に関しては、マクロ構造の剛性を最大化する周期的マイクロ構造の形状最適化問題を定式化し、感度関数を導出した後、 $H^1$ 勾配法で最適形状を求める手法を確立し、最適化システムへ実装すると共に、設計例題に適用し、その有効性を確認した。ここでは任意のマイクロ領域を設定し、それぞれの領域に最適な周期的マイクロ構造を求めることを特徴とした。図4に、マルチ材料(2材料)サンドイッチ構造の最適化計算例を示す。左下はセル構造からなるコアのトポロジー最適化のみの結果を、右下は形状とトポロジーの同時最適化の結果を示すが、狙い通り機能していることが分かる。また、図5に、サンドイッチ構造のコア部を形成するセル構造が周期性マイクロセル構造から構成されると考え、均質化法を利用したマルチスケール最適化手法による計算例を示す。2次元のマクロ構造(10個のサブ領域)とサブ領域ごとに形状最適化したマイクロ構造

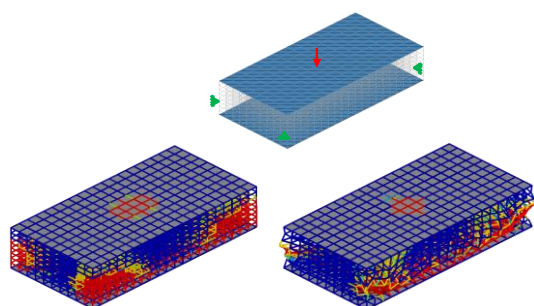


図4 サンドイッチ構造のコアセルの最適化計算例(上:境界条件、左下:トポロジー最適化、右下:形状とトポロジー最適化)

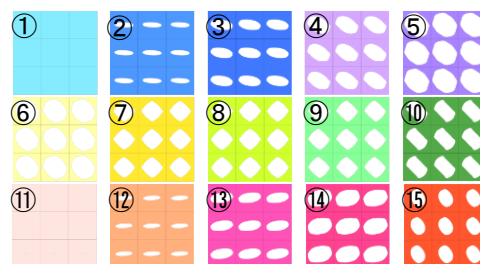


図5 マクロ構造(上)と領域ごとに最適化されたマイクロ構造(下)の計算例

(3x3 の集合図) が同時に最適化され、サブ領域ごとに異なるマイクロ形状が創成されていることが分かる。

最終年度 (2021 年度) は多層薄板構造体における各層の材料配置 (トポロジー) と全体形状を同時に最適化する手法を完成させた。全体形状の最適化には、これまで開発してきた分布系の形状最適化手法の  $H^1$  勾配法に基づくシェル構造の形状最適化手法を利用した。これまでの単層の形状最適化手法の単純な多層への適用では上手くいかず、多層用に改良したことが大きな成果であった。一方、各層の材料配置には、従来の 1 材料用の SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization) 法に基づくトポロジー最適化手法を複数材料用に応用した。長論文となったが主要な雑誌に受理された。図 6 に、3 層からなる T 型薄板構造体の形状とトポロジーの同時最適化 (剛性最大化) の計算例を示す。なお、材料は 2 種類とし、全体体積と個別材料の体積を制約した。応力分布に応じて層ごとに異なる材料配置が得られていることが分かる。

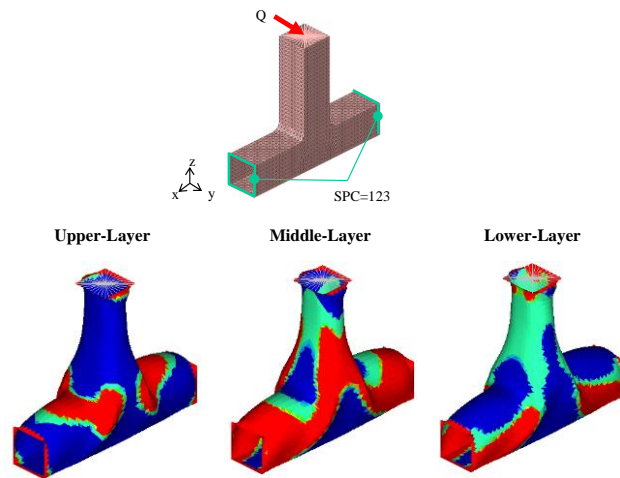
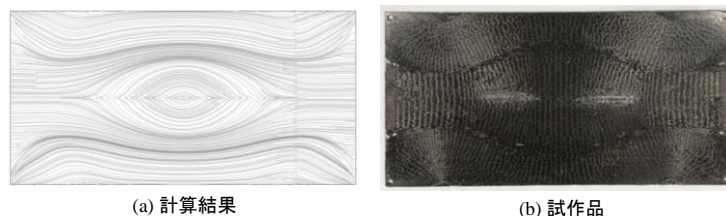


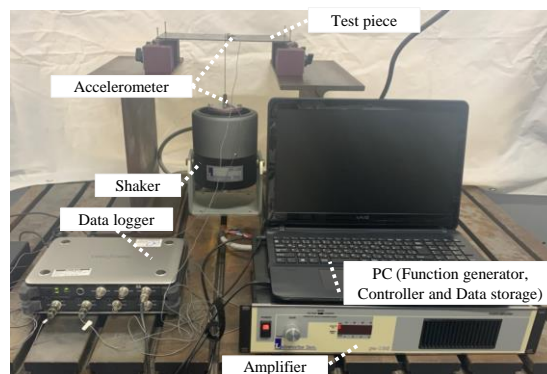
図6 3層2材料の形状&トポロジーの同時最適化の計算例(上:初期形状と境界条件、下:最適化結果)

また、FRP 各層の材料配向の最適化手法についても完成させることができた。これまで、剛性、強度、固有振動問題に対する解法を提示してきたが、最終年度は周波数応答問題の解法を提示し、試作と評価試験を行い、その有効性を確認した。図 7 に、周波数応答問題の最適配向の計算例と試作した供試品、及び試験装置を示す。試作時の誤差により、試験と計算とは完全には一致しないが、定性的には最適化配向の効果があることが確認された。



(a) 計算結果

(b) 試作品



(c) 周波数応答試験

図7 周波数応答に対する最適化配向(a)と試作供試品(b)、及び周波数応答試験(c)

#### <引用文献>

- [1] L. J. Gibson and M. F. Ashby, Cellular Solids, Pergamon Press (1988).
- [2] 例えば、C. Y. Kiyono, et al., Composite Structures;160-15 (2017), pp. 503-515.

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<br>月原僚佑, 下田昌利   | 4. 巻<br>87-895         |
| 2. 論文標題<br>シェル構造体の振動固有値制御のための自由材料配向設計  | 5. 発行年<br>2021年        |
| 3. 雑誌名<br>日本機械学会論文集  | 6. 最初と最後の頁<br>20-00429 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1299/transjsme.20-00429   | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |
| 1. 著者名<br>Minami Fujioka, Masatoshi Shimoda, Musaddiq Al Ali   | 4. 巻<br>238            |
| 2. 論文標題<br>Shape optimization of periodic-microstructures for stiffness maximization of a macrostructure   | 5. 発行年<br>2021年        |
| 3. 雑誌名<br>Composite Structures   | 6. 最初と最後の頁<br>113873   |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.compstruct.2021.113873   | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |
| 1. 著者名<br>加藤匠, 藤岡みなみ, 下田昌利   | 4. 巻<br>85-880         |
| 2. 論文標題<br>逆均質化法とH1勾配法を用いた周期的マイクロ構造のマルチスケール形状最適化   | 5. 発行年<br>2019年        |
| 3. 雑誌名<br>日本機械学会論文集  | 6. 最初と最後の頁<br>19-00279 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1299/transjsme.19-00279   | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |
| 1. 著者名<br>Masatoshi Shimoda, Yoshiaki Muramatsu and Motoki Uemura  | 4. 巻<br>13-4           |
| 2. 論文標題<br>Material-orientation optimization for tailoring thermal deformation of laminated composite shell structures using a parameter-free approach | 5. 発行年<br>2019年        |
| 3. 雑誌名<br>Bulletin of the JSME, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing  | 6. 最初と最後の頁<br>19-00382 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1299/jamdsm.2019jamsm000x   | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Masatoshi Shimoda, Yoshiaki Muramatsu and Ryosuke Tsukihara  | 4. 巻<br>61              |
| 2. 論文標題<br>Minimization of maximum failure criterion of laminated composite shell structure by optimizing distributed-material orientation | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Structural and Multidisciplinary Optimization  | 6. 最初と最後の頁<br>1547-1571 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s00158-019-02435-z   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                  |
|--|------------------|
| 1. 著者名<br>Masatoshi Shimoda and Yoshiaki Muramatsu   | 4. 巻<br>なし       |
| 2. 論文標題<br>Parameter-free optimization of material orientation for high performance composite shell structures | 5. 発行年<br>2019年  |
| 3. 雑誌名<br>Proceedings of IX ECCOMAS Thematic Conference on Smart Structures and Materials (SMART 2019)         | 6. 最初と最後の頁<br>なし |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし   | 査読の有無<br>有       |
| オープンアクセス<br>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<br>-        |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Yoshiaki Muramatsu, Masatoshi Shimoda   | 4. 巻<br>59              |
| 2. 論文標題<br>Distributed-parametric optimization approach for free-orientation of laminated shell structures with anisotropic materials | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Structural and Multidisciplinary Optimization   | 6. 最初と最後の頁<br>1915-1934 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s00158-018-2163-4   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Masatoshi Shimoda, Hiroataka Nakayama, Shota Suzaki, Ryo Tsutsumi   | 4. 巻<br>64              |
| 2. 論文標題<br>A unified simultaneous shape and topology optimization method for multimaterial laminated shell structures | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>Structural and Multidisciplinary Optimization   | 6. 最初と最後の頁<br>3569-3604 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s00158-021-03039-2  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Masatoshi Shimoda, Ryosuke Tsukihara and Kazuhiko Shima   | 4. 巻<br>294          |
| 2. 論文標題<br>Numerical and experimental study on optimization of distributed material-orientation for frequency response of CFRP shell structures | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>Composite Structures  | 6. 最初と最後の頁<br>115697 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.compstruct.2022.115697  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Ryosuke Tsukihara, Masatoshi Shimoda  |
| 2. 発表標題<br>Material Orientation Optimization of Laminated Shell Structure for Frequency Response Problem |
| 3. 学会等名<br>14th World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization (国際学会)                   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Motoki Umemura, Masatoshi Shimoda, Katsuharu Yoshikawa  |
| 2. 発表標題<br>Deployment optimization method for designing pre-form of DFRP shell structures with free material-orientation |
| 3. 学会等名<br>ICCS24 24th International Conference on Composite Structures (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>月原僚佑, 下田昌利, 志摩和彦, 大橋功, 加藤大貴 |
| 2. 発表標題<br>最適材料配向を持つCFRP板の構造特性の試験評価    |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス    |
| 4. 発表年<br>2021年                        |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>月原僚佑, 下田昌利                        |
| 2. 発表標題<br>CFRPシェル構造体の振動固有値設計問題に対する材料配向最適化手法 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会2020年度年次大会                  |
| 4. 発表年<br>2020年                              |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>下田昌利, 藤岡みなみ, 加藤匠        |
| 2. 発表標題<br>逆均質化法を用いた3次元マイクロ構造の形状同定 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会2020年度年次大会        |
| 4. 発表年<br>2020年                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>水越祐希, 下田昌利                  |
| 2. 発表標題<br>離散的構造の創成を目的としたシェル構造体の形状最適設計 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会CMD2020計カスクウェア研究報告集   |
| 4. 発表年<br>2020年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>月原僚佑, 下田昌利                  |
| 2. 発表標題<br>シェル構造体の周波数応答問題に対する材料配向最適化手法 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会CMD2020計カスクウェア研究報告集   |
| 4. 発表年<br>2020年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>藤岡みなみ, 下田昌利                             |
| 2. 発表標題<br>マクロ構造のコンプライアンス最小化を目的とする内部周期マイクロ構造の形状最適化 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会第30回設計工学・システム部門講演会講演論文集           |
| 4. 発表年<br>2020年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>梅村元稀, 下田昌利, 藤江文明, 吉川勝治, 牧田義博  |
| 2. 発表標題<br>CFRPシェルの力学的に適切な平面展開手法の開発      |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会第30回設計工学・システム部門講演会講演論文集 |
| 4. 発表年<br>2020年                          |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masatoshi Shimoda, Shota Suzaki and Hirotaka Nakayama                        |
| 2. 発表標題<br>Optimum Shape and Topology Design of Shell Structures by H1 Gradient Method  |
| 3. 学会等名<br>IASS Annual Symposium 2019 - Structural Membranes 2019 Form and Force (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masatoshi Shimoda and Shota Suzaki   |
| 2. 発表標題<br>A Unified Approach with H1 Gradient Method for Shape and Topology Optimization of Shell Structures |
| 3. 学会等名<br>Asia Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM 2019) (国際学会)                               |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yuki Mizukoshi and Masatoshi Shimoda                                 |
| 2. 発表標題<br>Shape Optimization Method for Shell Structure with Ridges            |
| 3. 学会等名<br>Asia Pacific Congress on Computational Mechanics (APCOM 2019 (国際学会)) |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Masatoshi Shimoda and Yoshiaki Muramatsu   |
| 2. 発表標題<br>Free material-orientation design for high stiffness composite shell structure using a parameter-free optimization method |
| 3. 学会等名<br>KSME-JSME Joint Symposium on Computational Mechanics & CAE 2019 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>加藤匠, 下田昌利                 |
| 2. 発表標題<br>異種材料を用いた三次元構造体のマルチスケール最適化 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会2019 年度年次大会         |
| 4. 発表年<br>2019年                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>史金星, 下田昌利, 酒井忍                 |
| 2. 発表標題<br>CFRP複合構造の固有振動問題に対する形状最適設計手法の開発 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会第29回設計工学・システム部門講演会       |
| 4. 発表年<br>2019年                           |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>水越祐希, 下田昌利               |
| 2. 発表標題<br>稜線の生成を含むシェル構造体の形状最適設計    |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会第29回設計工学・システム部門講演会 |
| 4. 発表年<br>2019年                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Masatoshi Shimoda, Hirotaka Nakayama  |
| 2. 発表標題<br>Shape and Topology Optimization Method for Designing a Shell Structure with Multi-materials |
| 3. 学会等名<br>The 9th International Conference on Computational Methods (ICCM2018) (国際学会)                 |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yoshiaki Muramatsu, Masatoshi Shimoda  |
| 2. 発表標題<br>A Novel Non-Parametric Optimization Method for Free-Orientation of a Laminated Composite Shell Structure for Tailoring Thermal Deformation |
| 3. 学会等名<br>The 13th World Congress on Computational Mechanics (WCCM2018) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>下田昌利, 中山展空                  |
| 2. 発表標題<br>マルチマテリアル多層シェルの形状・トポロジー同時最適化 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会第31回計算力学講演会           |
| 4. 発表年<br>2018年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>村松吉晃, 下田昌利                        |
| 2. 発表標題<br>強度最大化問題における積層シェル構造体の自由配向のための最適化手法 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会第31回計算力学講演会                 |
| 4. 発表年<br>2018年                              |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>加藤匠, 下田昌利                |
| 2. 発表標題<br>逆均質化法を用いた構造体のマルチスケール最適化  |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会第28回設計工学・システム部門講演会 |
| 4. 発表年<br>2018年                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>村松吉晃, 下田昌利                        |
| 2. 発表標題<br>熱変形規定問題における積層シェル構造体の自由配向のための最適化手法 |
| 3. 学会等名<br>日本機械学会2018年度年次大会                  |
| 4. 発表年<br>2018年                              |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

|  |                             |               |
|--|-----------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称<br>3次元繊維強化複合材料シェル構造物のプリフォームに適した平面展開データを作成する方法 | 発明者<br>下田昌利, 梅村元<br>稀, 吉川勝治 | 権利者<br>同左     |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、特願2020-185687                        | 出願年<br>2020年                | 国内・外国の別<br>国内 |

|  |                             |               |
|--|-----------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称<br>3次元繊維強化複合材料シェル構造物のプリフォームに適した平面展開データを作成する方法 | 発明者<br>下田昌利, 梅村元<br>稀, 吉川勝治 | 権利者<br>同左     |
| 産業財産権の種類、番号<br>特許、102021127801.5                       | 出願年<br>2021年                | 国内・外国の別<br>外国 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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 |
|---------|---------|
|---------|---------|