

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H00740

研究課題名（和文）局所共振現象を取り入れた弾性波動・電磁メタマテリアル構造の創成

研究課題名（英文）Design methods of elastic wave and electromagnetic metamaterial structures incorporating local resonance phenomena

研究代表者

松本 敏郎（Matsumoto, Toshiro）

名古屋大学・工学研究科・教授

研究者番号：10209645

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 26,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、開放型共振器に適用するための新しいトポロジー最適化手法について検討を行い、効率的な固有周波数とモードの計算、音響共振問題の精密な固有値計算、フォトニック構造の微小構造のアイソジオメトリック境界要素法による滑らかな表現、メタマテリアルスラブへの特殊な機能の実装、そして音響導波路の新たな最適化スキームの開発、厳密な体積制約の取り扱い、非線形境界条件へのトポロジー導関数の拡張など、幅広い技術的進展を成し遂げた。これらの成果は、計算コストの大幅な削減と、物理的制約の厳密な遵守を目的としており、フォノンニック構造の新機能の実現のための先進材料やデバイスの設計で重要な役割を担うと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した開放型共振器に適用するための革新的なトポロジー最適化手法は、境界要素法と櫻井・杉浦法を組み合わせた新しい計算手法を用いて固有周波数とモードの効率的な計算が可能となり、複素固有値の精密な計算に対応した点が大きな学術的意義を有している。さらに、フォトニック構造やメタマテリアルスラブの設計において、微小構造の滑らかな境界表現やメタマテリアルとしての特殊機能の実装など、新しい物理的現象の理解と利用が進むことが期待される。社会的には、これらの技術的進歩がエネルギー効率の良い素材設計や次世代の電子デバイス、音響導波路、防音材料などの開発に貢献する可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, new topology optimization methods for open resonators, achieving broad technological advancements including efficient calculation of eigenfrequencies and modes, precise eigenvalue calculations for acoustic resonance problems, smooth representation of microstructures in photonic structures using isogeometric boundary element methods, implementation of special functions in metamaterial slabs, and the development of new optimization schemes for acoustic waveguides. Moreover, strict volume constraints and extended topological derivative formulations to nonlinear boundary conditions are investigated. These results aim to significantly reduce computational costs and strictly adhere to physical constraints, playing a crucial role in the design of advanced materials and devices for realizing new functionalities in phononic structures.

研究分野：計算力学、設計工学，材料力学

キーワード：topology optimization phononic material boundary element method finite element method

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、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

異なる材料定数(ヤング率, 密度など)を持つ異種材料が接合した構造を周期的に配置した人工的な構造(フォノンニック結晶・構造)に音波や弾性波が入射する際の弾性波や音波を遮断できる周波数帯であるバンドギャップが存在することが知られている。弾性波や音波を遮断できる周波数帯は, この周期構造の材料特性, 形状, サイズなどに関係し, 特定の用途に対してこのような周期構造からなる人工的な材料(メタマテリアル)を開発できれば, 高機能な防振・防音材料の開発が期待できるとともに, 構造のスケールによっては振動エネルギーや音響エネルギー, 熱エネルギーの流路をコントロールすることが可能となる。振動遮断特性を有するメタマテリアルの設計には, 周期境界という特殊な境界条件も考慮できる, 効率的で高精度な固有値解析法とフォノンニック構造の介在物材料に対するトポロジー導関数の計算法の開発, および固有振動数を目的関数とした周期構造のトポロジー最適化手法の開発が必要であった。

### 2. 研究の目的

有効な振動遮断特性を有するフォノンニックメタマテリアルの周期構造の開発に必要なトポロジー最適化の基礎的技術を開発することを目的とした。すなわちこのようなフォノンニック構造特有のトポロジーと形状を数値計算により最適化において発生する諸問題を解決することを目指した。振動遮断特性を有するメタマテリアルの設計のために, 周期境界という特殊な境界条件を考慮した, 効率的で高精度な固有値解析法とフォノンニック構造の介在物材料に対するトポロジー導関数の計算法の開発, および固有振動数を目的関数とした周期構造などに付随するトポロジー最適化の諸問題の解決を目的とした。

### 3. 研究の方法

上記の目的を達成するため, 以下の方法により研究を行なった。

- (1) 開放型共振器の新しいトポロジー最適化手法を検討し, 固有周波数と対応する固有モードをより効率的に計算するために, 境界要素法と櫻井・杉浦法(SS法)を併用したアルゴリズムを採用する。
- (2) 積分方程式を用いた共振問題の固有値の計算法を確立する一環として, 境界要素法と経路積分を組み合わせて, 2次元音響外部共振問題の散乱周波数を決定する方法を開発する。
- (3) フォトニック構造中の周期単位構造中に含まれる微小構造形状を滑らかに表現する方法を, 形状と境界で定義される物理量とともにNURBS等のスプラインで表現するアイソジオメトリック境界要素法を開発する。
- (4) 弾性体の複合構造からなるメタマテリアルスラブのトポロジー最適化を考え, 完全吸収, 波動モード変換, 負の屈折などの異常な機能を実現することを目指す。
- (5) 境界で物理量の接線微分が規定される周期構造を考え, 随伴問題とトポロジー最適化の定式化を行う。
- (6) 弾性材料の周期配列を含む開放型音響導波路に沿って連続体内の束縛状態を実現するためのトポロジー最適化スキームを開発する。
- (7) レベルセット法で, 境界を発生させて実際の材料領域のみを離散化して物理量を計算するトポロジー最適化において, 体積制約が厳密に満たされ方法を開発する。
- (8) トポロジー最適化において, 支配方程式は線形であるが, フラックスの境界条件が非線形である場合について, 随伴問題と厳密なトポロジー導関数を導出する。

### 4. 研究成果

- (1) 開放型共振器の新しいトポロジー最適化手法を検討した(計算数理工学論文集, 19, 49-54, (2019))。この境界値問題が非自明解を有するような固有角振動数を, Burton-Miller法を適用して境界積分方程式を離散化して得られる連立一次方程式の係数行列に対してSS法により, 固有角振動数と固有モードを計算した。また, 新しいトポロジー導関数を導出した。次の

図1のように、領域中に円板を4個配置した状態から、導出したトポロジー導関数を用いて共振器のトポロジー最適化を行った。4つの円板の一つの固有角振動数  $\omega = 1.232 - 0.8315i$  に対して、目標固有角振動数を  $\tilde{\omega} = 2.0 - 0.3i$  として、目的関数  $J = |\omega - \tilde{\omega}|^2$  として最適化を行ったところ、図2のような結果が得られた。図3には、 $\omega = 1.0$  (左) と  $\omega = 2.0$  (右) のときの  $|u|$  の分布を示す。 $\omega = 2.0$  の場合は共振器の内部に場が局在している様子が確かめられた。

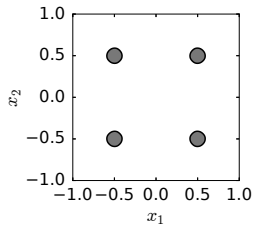


図1 初期配置

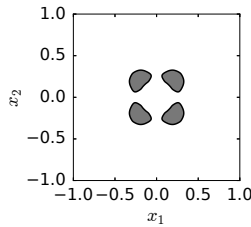


図2 最適形状と配置

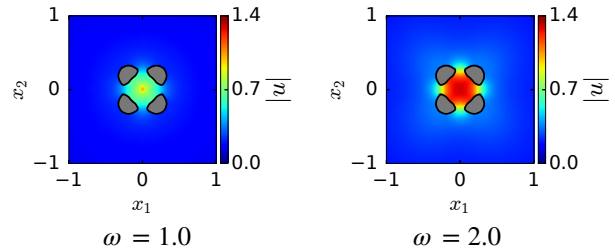


図3  $|u|$  の分布

- (2) 積分方程式を用いた共振問題の固有値の計算法を確立する一環として、境界要素法と経路積分を組み合わせ、2次元音響外部共振問題の散乱周波数を決定する方法[3]を開発した (Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 1-21, (2019), DOI:10.1177/1461348419879604)。計算する固有値の範囲を囲む複素平面のジョルダン曲線に沿った経路積分を評価する方法の一つであるブロック櫻井・杉浦法 (BSS法) により、無限領域に対する離散化された境界積分方程式を用いる方法を開発した。
- (3) フォトニック構造中の周期単位構造中に含まれる微小構造形状を滑らかに表現する方法を開発した (Advances In Engineering Software, 149, 1-19, (2020))。形状と境界で定義される物理量とともにNURBS等のスプラインで表現するアイソジオメトリック境界要素法を開発して、その有効性を検証した。図4には、開発した方法による解析例のユニットセルを示す。図5にはこのユニットセルに対する分散曲線、図6には分散曲線の点Gにおける固有振動数  $2093 - 3.658i$  に対する固有モードを示す。以上のように、開発したアイソジオメトリック境界要素法がフォトニック構造の固有振動数の計算に有効であることが示された。

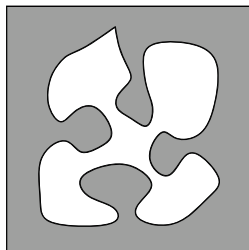


図4 ユニットセル

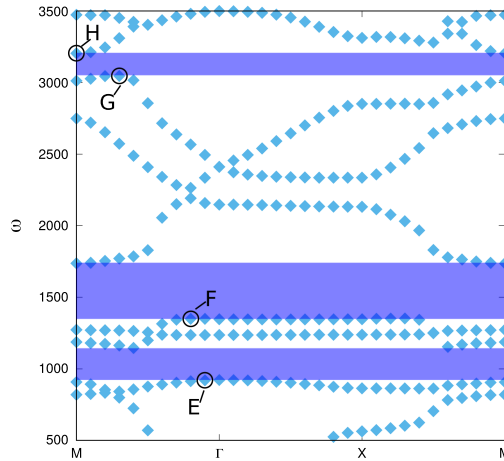


図5 分散曲線

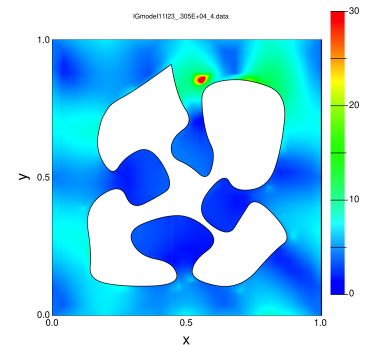


図6 分散曲線の点Gにおける固有振動数  $2093 - 3.658i$  に対する固有モード

- (4) 弾性体の複合構造からなるメタマテリアルスラブに対して、(粘弾性)弾性介在物により完全吸収、波動モード変換、負の屈折などの異常な機能を実現するためのトポロジー最適化を行った (Structural And Multidisciplinary Optimization, 63, 231-243, (2021))。例として、定常の弾性波を考え、下から  $u_{in}$  が入社するときの散乱波を遮断するようにレベルセット法で介在物のトポロジー最適化を行った。図7には仮定した初期介在物とトポロジー最適化によって得られた介在物の形状を示す。図8には仮定した初期介在物とトポロジー最適化によって得られた介在物の分布に対して、領域の下から平面波が入射したときの変位分布を

示す。最適な介在物形状においては、隙間があるにもかかわらず設計領域の上部には弾性波が伝播しないことがわかり、本方法の有効性が示された。

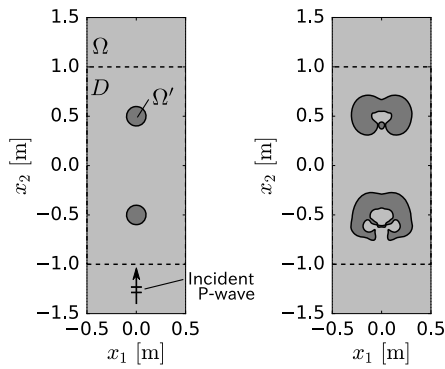


図7 初期介在物(左)と最適化された介在物形状(右)

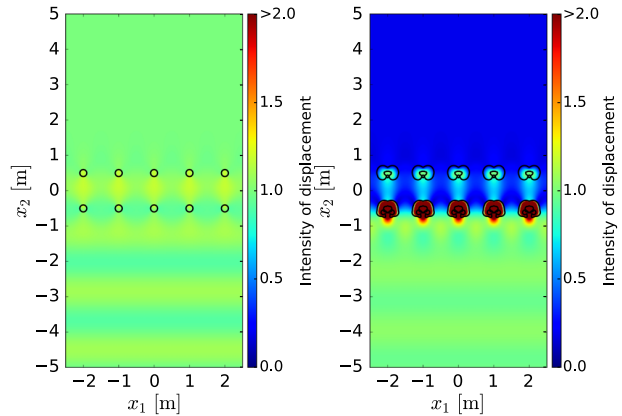


図8 初期介在物に対する弾性波の変位分布(左)と最適化された介在物に対する変位分布(右)

- (6) 弾性材料の周期配列を含む開放型音響導波路に沿って連続体内の束縛状態を実現するためのトポロジー最適化スキームを開発した(Mechanical Engineering Journal, 8, 1-21, (2021))。導波路の単位構造に関する散乱行列を使用して、周期的問題を線形代数方程式系として定式化し、線形システムに対する非線形固有値問題を解くことで共振周波数とフロケ波数を決定するために櫻井・杉浦法を使用しで効率的な解析法を開発した。

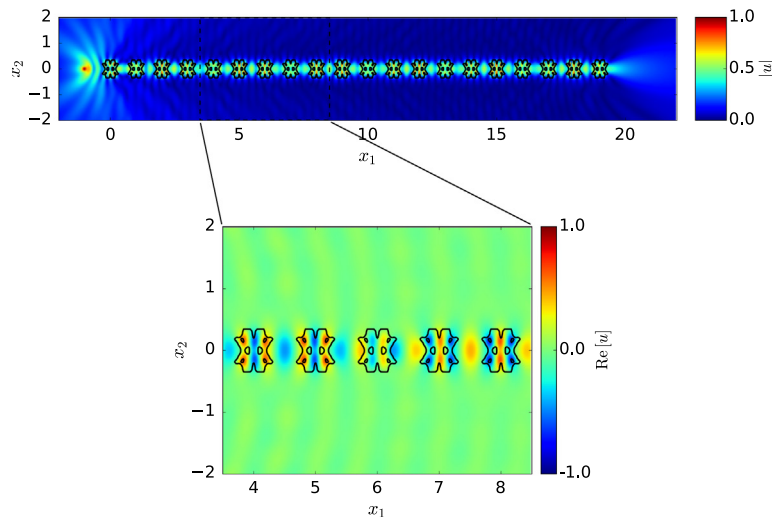


図9 (上)  $\omega = 10.0$ における全波の強度と(下)全波の実部の分布

図9には、導波路の例に対して計算した $\omega = 10.0$ における全波の強度と全波の実部の分布を示す。

- (7) レベルセット法でトポロジー最適化を行う場合、レベルセット関数のゼロ等値面を抽出て行うトポロジー最適化が、体積制約が厳密に満たされないために構造の形状が滑らかでなくなる場合があった。この研究では、レベルセット関数を本来の目的関数の部分と体積制約の部分に分離し、それぞれについて反応拡散方程式を満足するように計算することにより、体積制約を厳密に満足するようにラグランジュ定数を決定する方法を開発した(Mechanical Engineering Journal, 9, 00281-00281, (2022))。本解法の有効性を検証するために、図10のような片持ち梁構造の右端の中心の辺に下向きに一樣せん断力が作用する構造に対して、平均コンプライアンス最小化を目的としたトポロジー最適化を行った。図11にその結果を示す。
- (8) トポロジー最適化において、支配方程式は線形であるが、フラックスの境界条件が非線形である場合が稀に存在する。このような場合についても一貫してレベルセット法によるトポロジー最適化を可能にする方法を検討した(WIT Trans. Eng. Sci., 135, 33-40, (2023))。

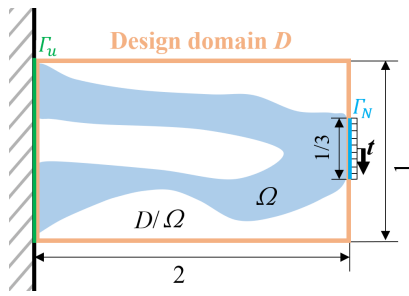


図10 片持ち梁構造の右端の中心の辺に下向きに一様せん断力が作用する構造

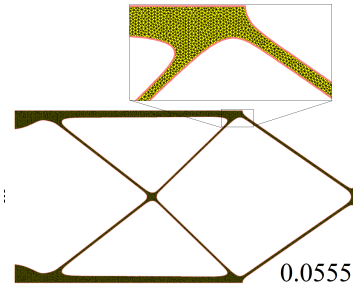


図11 体積制約が0.0555の場合の得られた最適形状

- (9) トポロジー最適化において、支配方程式は線形であるが、フラックスの境界条件が非線形である場合が稀に存在する。このような場合についても一貫してレベルセット法によるトポロジー最適化を可能にする方法について検討した(WIT Transactions on Engineering Sciences, 135, 33-40, (2023), DOI:10.2495/BE460041)。簡単のためにラプラス方程式に対する境界値問題を対象とし、境界の一部 $\Gamma_n$ において非線形境界条件  $q := -k \nabla u \cdot n = \nu(u)$  を考えた。ただし $\nu(u)$ は $u$ の非線形関数であるものとする。

目的関数は、ラプラス方程式に対する弱形式で拡張した次の一般形を考えた。

$$J = \int_{\Gamma} f(u, q) d\Gamma - \int_{\Gamma} \mu q d\Gamma - \int_{\Omega} \nabla \mu \cdot (-k \nabla u) d\Omega$$

ただし、 $\mu$ は随伴変数であり、次の境界値問題の解とすると、トポロジー導関数が導出できることがわかった。

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (-k \nabla \mu) &= 0 && \text{in } \Omega \\ \mu &= -\frac{\partial f}{\partial q} && \text{on } \Gamma_u \\ \eta &:= -k \nabla u \cdot n = \frac{\partial f}{\partial q} && \text{on } \Gamma_q \\ \eta &:= -k \nabla \mu \cdot n = \frac{\partial \mu}{\partial u} \mu + \frac{\partial f}{\partial u} + \frac{\partial \nu}{\partial u} \frac{\partial f}{\partial q} && \text{on } \Gamma_n \end{aligned}$$

このとき、トポロジー導関数が最終的に次のような簡単な形に得られた。

$$\mathcal{T} = \mu(\mathbf{x}) \nu(\mathbf{x})$$

このトポロジー導関数が正しいことは、実際に領域から有限な半径の微小な円形領域を取り除いて目的関数を計算した場合との差分近似によるトポロジー導関数の近似値と比較することにより確かめられた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Qin Jincheng, Isakari Hiroshi, Takahashi Toru, Matsumoto Toshiro	4. 巻 140
2. 論文標題 A robust topology optimisation for wideband structures in acoustic-elastodynamic coupled fields	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Engineering Analysis with Boundary Elements	6. 最初と最後の頁 544 ~ 561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.enganabound.2022.04.012	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 Gao Haifeng, Liang Jianguo, Zheng Changjun, Lian Haojie, Matsumoto Toshiro	4. 巻 401
2. 論文標題 A BEM-based topology optimization for acoustic problems considering tangential derivative of sound pressure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering	6. 最初と最後の頁 115619 ~ 115619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cma.2022.115619	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 Matsushima Kei, Isakari Hiroshi, Takahashi Toru, Matsumoto Toshiro	4. 巻 113
2. 論文標題 A topology optimization of open acoustic waveguides based on a scattering matrix method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Wave Motion	6. 最初と最後の頁 102987 ~ 102987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wavemoti.2022.102987	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 CUI Yi, TAKAHASHI Toru, MATSUMOTO Toshiro	4. 巻 9
2. 論文標題 A time-saving FEM-based approach for structural topology optimization with exact boundary representation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 00281-00281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mej.22-00281	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 Yi Cui, Toru Takahashi And Toshiro Matsumoto	4. 巻 22
2. 論文標題 The influence of volume constraint method on achieving the exact boundary representation in FEM-based topology optimization: Case studies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions of JASCOME	6. 最初と最後の頁 189-198
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 Kei Matsushima, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto	4. 巻 63
2. 論文標題 A topology optimisation of composite elastic metamaterial slabs based on the manipulation of far-field behaviours	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 STRUCTURAL AND MULTIDISCIPLINARY OPTIMIZATION	6. 最初と最後の頁 231-243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00158-020-02689-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 Peijun Tang, Toshiro Matsumoto, Hiroshi Isakar, Toru Takahashi	4. 巻 9
2. 論文標題 A new adjoint problem for two-dimensional Helmholtz equation to calculate topological derivatives of the objective functional having tangential derivative quantities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements	6. 最初と最後の頁 74-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2495/CMEM-V9-N1-74-82	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 Haifeng Gao, Changjun Zheng, Xiaolai Qiu, Huidong Xu, Toshiro Matsumoto	4. 巻 40
2. 論文標題 Determination of scattering frequencies for two-dimensional acoustic problems using boundary element method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JOURNAL OF LOW FREQUENCY NOISE VIBRATION AND ACTIVE CONTROL	6. 最初と最後の頁 39-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1461348419879604	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 Jincheng Qin, Hiroshi Isakari, Kouichi Taji, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto	4. 巻 122
2. 論文標題 A robust topology optimization for enlarging working bandwidth of acoustic devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING	6. 最初と最後の頁 2694-2711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nme.6637	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 Haifeng Gao, Jianguo Liang, Bingxun Li, Changjun Zheng, Toshiro Matsumoto	4. 巻 381
2. 論文標題 A level set based topology optimization for finite unidirectional acoustic phononic structures using boundary element method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 COMPUTER METHODS IN APPLIED MECHANICS AND ENGINEERING	6. 最初と最後の頁 113776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cma.2021.113776	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 Kei Matsushima, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto	4. 巻 8
2. 論文標題 A numerical method for elastic wave scattering in multi-layered periodic media based on the scattering matrix and BEM	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MECHANICAL ENGINEERING JOURNAL	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mej.20-00364	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 Jincheng Qin, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto	4. 巻 21
2. 論文標題 A robust topology optimisation in 2D acoustics for impedance materials using the boundary element method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transactions of JASCOME	6. 最初と最後の頁 137-143
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 Peijun Tang, Kei Matsushima, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto	4. 巻 20
2. 論文標題 An adjoint variable method for the topological derivative of the tangent derivative of boundary data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 111-118
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 飯盛浩司, 松島慶, 鶴田健二, 高橋徹, 松本敏郎	4. 巻 20
2. 論文標題 共分散行列適応進化戦略と S 行列を用いたフォノンニック構造のパラメータ最適化	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 65-74
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 松島慶, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎	4. 巻 20
2. 論文標題 高周波散乱行列と境界要素法に基づく多重散乱解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 53-64
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 Peijun Tang, Toshiro Matsumoto, Kei Matsushima, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi	4. 巻 20
2. 論文標題 Non-standard adjoint problem in topology optimization using BEM in time harmonic elastodynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 41-52
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 Gao Haifeng, Chen Leilei, Lian Haojie, Zheng Changjun, Xu Huidong, Matsumoto Toshiro	4. 巻 149
2. 論文標題 Band structure analysis for 2D acoustic phononic structure using isogeometric boundary element method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ADVANCES IN ENGINEERING SOFTWAREADVANCES IN ENGINEERING SOFTWARE	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.advengsoft.2020.102888	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 PEIJUN TANG, TOSHIRO, MATSUMOTO, HIROSHI ISAKARI, TORU TAKAHASHI	4. 巻 9
2. 論文標題 A new adjoint problem for two-dimensional Helmholtz equation to calculate topological derivatives of the objective functional having tangential derivative quantities	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements	6. 最初と最後の頁 74-82
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 松島慶, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎	4. 巻 19
2. 論文標題 松本敏郎境界要素法と櫻井・杉浦法を用いた開放型共振器のトポロジー最適化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 49-54
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 山本遼, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎	4. 巻 19
2. 論文標題 散乱断面積最小化によるクロッキングデバイスのトポロジー最適設計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 計算数理工学論文集	6. 最初と最後の頁 67-72
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 Haifeng Gao, Changjun Zheng, Xiaolai Qiu, Huidong Xu, Toshiro Matsumoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Determination of scattering frequencies for two-dimensional acoustic problems using boundary element method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1461348419879604	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 Hao Ren, Yi Cui, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto,	4. 巻 23
2. 論文標題 A mode reduction method used for calculating the frequency response and topological derivatives	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Transactions of JASCOME	6. 最初と最後の頁 13-19
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 Yi Cui, Sungmin Yoon, Shaojie Gui, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto,	4. 巻 23
2. 論文標題 A generalized exact volume constraint method for the topology optimization based on the nonlinear reaction-diffusion equation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Transactions of JASCOME	6. 最初と最後の頁 81-92
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 Shinsei Sato, Yi Cui, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto	4. 巻 135
2. 論文標題 A treatment of topology optimization of a two-dimensional field governed by Laplace's equation under nonlinear boundary condition	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 WIT Transactions on Engineering Sciences	6. 最初と最後の頁 33-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2495/BE460041	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 Cui, Y., Takahashi, T., Matsumoto, T.	4. 巻 280
2. 論文標題 An exact volume constraint method for topology optimization via reaction-diffusion equation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Computers & Structures	6. 最初と最後の頁 1-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compstruc.2023.106986	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47件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 Level-set based topology optimization of flow field using the lattice Boltzmann method
3. 学会等名 FMFP 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shinsei Sato, Toru Takahashi, Hiroshi Isakari, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 Topology optimization based on level set method of heat conduction for the heat radiation boundary condition
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics & 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (WCCM--APCOM) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yi Cui, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 Boundary element method to investigate the interaction between geometrically necessary dislocations and voids by the nonsingular dislocation theory
3. 学会等名 15th World Congress on Computational Mechanics & 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (WCCM--APCOM) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiro Matsumoto, Yotaro Konishi, Shinsei Sato, Yi Cui, Toru Takahashi
2. 発表標題 Topological derivative for potential problems with nonlinear boundary conditions
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 佐藤伸成、Yi Cui、高橋徹、松本敏郎
2. 発表標題 熱伝導問題に対するレベルセット法に基づくトポロジー最適化における熱輻射境界条件の導入
3. 学会等名 日本機械学会第 14 回最適化シンポジウム 2022 (OPTIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yi Cui, Toru Takahashi And Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 Structural topology optimization via level set method by considering small strain plasticity to impose stress constraint
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 松本 敏郎, Cui Yi, 高橋 徹, 小西 洋太郎
2. 発表標題 非線形境界条件を有するトポロジー最適化問題における随伴問題とトポロジー導関数の導出
3. 学会等名 M&M2022材料力学カンファレンス
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 崔 Yi, 高橋 徹, 松本 敏郎
2. 発表標題 異方性弾性材料の構造最適化におけるトポロジー導関数と密度導関数の比較
3. 学会等名 日本機械学会第14回最適化シンポジウム 2022 (OPTIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 崔 Yi, 高橋 徹, 松本 敏郎
2. 発表標題 異方性材料の任意の目的関数のトポロジー導関数について
3. 学会等名 日本機械学会第 14 回最適化シンポジウム 2022 (OPTIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 崔 Yi, 高橋 徹, 松本 敏郎
2. 発表標題 厳密な体積制約と境界表現による熱伝達問題における有限要素法を用いたトポロジー最適化
3. 学会等名 日本機械学会第14回最適化シンポジウム 2022 (OPTIS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 崔 Yi, 高橋 徹, 松本 敏郎
2. 発表標題 線形および非線形連続体力学のトポロジー導関数の導出について
3. 学会等名 日本機械学会第35回計算力学講演会 (CMD2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮澤直哉, 高瀬史, 高橋徹, 谷川将規, 飯盛浩司, 松本敏郎
2. 発表標題 時間領域高速境界要素法による3次元音響問題に関する最適設計
3. 学会等名 JSCEs 第26回計算工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Qin J., Isakari H., Takahashi T., and Matsumoto T.
2. 発表標題 A robust topology optimisation for acoustic-elastodynamic coupled structures with broad working bandwidths
3. 学会等名 14th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toru TAKAHASHI, Masaki TANIGAWA, Naoya MIYAZAWA, Hiroshi ISAKARI, Toshiro MATSUMOTO
2. 発表標題 Extensions and applications of the fast time-domain boundary element method for the 3D wave equation
3. 学会等名 IUTAM Symposium on Computational Methods for Large-scale and Complex Wave Problems (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋徹, 石田大樹, 飯盛浩司, 松本敏郎
2. 発表標題 ニューラルネットワークと境界要素法を用いた2次元Helmholtz方程式の求解
3. 学会等名 日本機械学会M&M2021材料力学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮澤直哉、高橋徹、谷川将規、飯盛浩司、松本敏郎
2. 発表標題 高速時間領域境界要素法を用いた3次元非定常音響問題に関する形状最適化
3. 学会等名 日本機械学会第34回計算力学講演会 (CMD2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Qin Jincheng, 飯盛浩司, 高橋徹
2. 発表標題 インピーダンス境界条件を有する開放型共鳴器の固有値のトポロジー最適化
3. 学会等名 日本機械学会第34回計算力学講演会 (CMD2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 PEIJUN TANG, TOSHIRO, MATSUMOTO, HIROSHI ISAKARI, TORU TAKAHASH
2. 発表標題 A new adjoint problem for two-dimensional Helmholtz equation to calculate topological derivatives of the objective functional having tangential derivative quantities
3. 学会等名 The 43rd International Conference on Boundary Elements and other Mesh Reduction Methods (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松島慶, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎
2. 発表標題 散乱行列と境界要素法に基づく周期散乱問題におけるトポロジー最適化
3. 学会等名 応用数理学会 2020年度年会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 宮澤 直哉, 高橋 徹, 谷川 将規, 飯盛 浩司, 松本 敏郎
2. 発表標題 時間域高速境界要素法とOpenMDA0を用いた3次元音響問題に関するパラメトリック最適化
3. 学会等名 日本機械学会 東海支部第69期総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 徹, 宮澤直哉, 飯盛浩司, 松本敏郎
2. 発表標題 非定常波動問題に対する時間領域境界要素法の開発と応用
3. 学会等名 日本機械学会 東海支部第69期総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯盛浩司, Jincheng Qin, 高橋徹, 松本敏郎
2. 発表標題 音響デバイスの広帯域化のための高次ロバストトポロジー最適化
3. 学会等名 CMD2020計カスクウェア
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 A 3D topology optimisation with level-sets of B-spline surface
3. 学会等名 WCSM013 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Matsushima, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 A topology optimisation of elastic metamaterials exhibiting negative refraction with the boundary element method
3. 学会等名 WCSMO13 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松島慶, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎
2. 発表標題 S行列と境界要素法に基づく多層周期構造による弾性波散乱解析
3. 学会等名 第24回計算工学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松島慶, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎
2. 発表標題 S行列と高速直接境界要素法に基づくフォノンニックバンド計算について
3. 学会等名 第65回理論応用力学講演会・第22回土木学会応用力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jincheng Qin, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎
2. 発表標題 音響デバイスの広帯域化のためのロバストトポロジー最適化
3. 学会等名 第65回理論応用力学講演会・第22回土木学会応用力学シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松島慶, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎
2. 発表標題 散乱行列と境界要素法に基づく弾性体多層周期構造のトポロジー最適化
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 中島寛也, 飯盛浩司, 高橋徹, 松本敏郎
2. 発表標題 2次元Helmholtz方程式の1周期境界値問題の境界要素法とその応用
3. 学会等名 日本機械学会計算力学講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Matsushima, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 A Numerical Method for Computing the Scattering Matrix by the Boundary Element Method with Applications to Phononic Band Analysis
3. 学会等名 Metamaterials2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jincheng Qin, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 A boundary integral formulation for topology optimisation problems with frequency uncertainty
3. 学会等名 ICOME2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jincheng Qin, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 BEM-Based Robust Topology Optimisation for Broadening Bandwidth of Acoustic Devices
3. 学会等名 APCOM, Taipei (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Matsushima, Hiroshi Isakari, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 A Multiple Scattering Analysis Based on the Scattering Matrix and a Fast Direct BEM
3. 学会等名 APCOM, Taipei (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yi Cui, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 Reaction-diffusion equation-based topology optimization of lightweight elastoplastic structures by exact volume constraint
3. 学会等名 XVII International Conference on Computational Plasticity, COMPLAS 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Toshiro Matsumoto, Yi Cui
2. 発表標題 An exact treatment of volume constraint on achieving the exact boundary representation of topology optimization
3. 学会等名 The 7th Asia-Pacific International Conference on Computational Methods in Engineering (ICOME2023) & The 13th Chinese National Conference on Computational Methods in Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinsei Sato, Yi Cui, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto
2. 発表標題 A treatment of topology optimization of a two-dimensional field governed by Laplace's equation under nonlinear boundary condition
3. 学会等名 BEM/MRM44 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinsei Sato, Yi Cui, Toru Takahashi, Toshiro Matsumoto,
2. 発表標題 Deriving the topological derivative in topology optimization problems under general nonlinear boundary conditions
3. 学会等名 The 7th Asia-Pacific International Conference on Computational Methods in Engineering (ICOME2023) & The 13th Chinese National Conference on Computational Methods in Engineering (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堤 翔傑, Cui Yi, 松本 敏郎, 高橋 徹
2. 発表標題 厳密な体積制約法に基づく、弾塑性問題のトポロジー最適化
3. 学会等名 日本機械学会第36回計算力学講演会(CMD2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 杉原 祐貴, 高橋 徹, Cui Yi, 松本 敏郎
2. 発表標題 境界要素法による音響散乱体の位置および形状の逐次的推定手法の開発
3. 学会等名 日本機械学会第36回計算力学講演会(CMD2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 栗田 柚希, 松本 敏郎, 高橋 徹, Cui Yi
2. 発表標題 レベルセット法による異方性材料のトポロジー最適化
3. 学会等名 日本機械学会第36回計算力学講演会(CMD2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 章刈 佑季, Cui Yi, 高橋 徹, 松本敏郎
2. 発表標題 超弾性材料の大変形を伴うトポロジー最適化における感度分析の考察
3. 学会等名 日本機械学会第36回計算力学講演会(CMD2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Cui Yi, 高橋 徹, 松本 敏郎
2. 発表標題 異方性材料の実境界トポロジー最適化の実現
3. 学会等名 日本機械学会第36回計算力学講演会(CMD2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 伸成, Cui Yi, 高橋 徹, 松本 敏郎
2. 発表標題 黒体に対する熱輻射の相互作用を考慮した境界条件を有するトポロジー最適化
3. 学会等名 日本機械学会第36回計算力学講演会(CMD2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松本 敏郎, 佐藤 伸成, 高橋 徹, Yi Cui
2. 発表標題 非線形境界条件を有する場の最適化問題におけるトポロジー導関数
3. 学会等名 日本機械学会M&M2023材料力学カンファレンス
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Cui Yi, 高橋 徹, 松本 敏郎
2. 発表標題 構造最適化における厳密体積制約法と実境界手法の一般化
3. 学会等名 第33回設計工学・システム部門講演会 Design & Systems Conference '23
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hao Ren, Yi Cui, 高橋 徹, 松本 敏郎,
2. 発表標題 A mode reduction method for topology optimization of elastic structural frequency response based on topological derivative
3. 学会等名 第33回設計工学・システム部門講演会 Design & Systems Conference '23
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堤 翔傑, Cui Yi, 松本 敏郎, 高橋 徹
2. 発表標題 3次元弾塑性問題のトポロジー最適化
3. 学会等名 日本機械学会東海支部東海支部第73期総会・講演会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	田地 宏一 (Taji Kouichi) (00252833)	名古屋大学・工学研究科・准教授  (13901)	
研究分担者	植田 毅 (Ueta Tsuyoshi) (30251185)	東京慈恵会医科大学・医学部・教授  (32651)	
研究分担者	山田 崇恭 (Yamada Takayuki) (30598222)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授  (12601)	
研究分担者	飯盛 浩司 (Isakari Hiroshi) (50638773)	慶應義塾大学・理工学部(矢上)・准教授  (32612)	
研究分担者	高木 賢太郎 (Takagi Kentaro) (60392007)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授  (13904)	
研究分担者	高橋 徹 (Takahashi Toru) (90360578)	名古屋大学・工学研究科・准教授  (13901)	

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