

令和 5 年 5 月 10 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K03899

研究課題名(和文) 脳機能計測を用いた力学的感性に基づく形状創生

研究課題名(英文) Shape and Layout Imagery Creation using BMI Based on Mechanical Kansei

研究代表者

長谷川 浩志 (Hasegawa, Hiroshi)

芝浦工業大学・システム理工学部・教授

研究者番号：40384028

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)：本研究では、「力学的感性に基づいた頭の中の形状を自動的に取り出せないか」という設計者の挑戦的な学術的問いを取り扱う研究である。ここでは、設計者個々にオーダーメイドした脳機能情報取得手法の開発、脳機能情報によるトポロジー最適化の開発、創生形状の質保証のための妥当性確認を実施した。この新たな形状創生手法の開発により、イメージ形状から力学的感性に基づいた設計者の個性や芸術性を反映した形状創生が可能となった。以上、品質・機能にデライトを与えた価値を創生する、超上流デライト設計手法の一つとして、物理的制約下での力学的感性と経験的知識を考慮した形状創生手法を実現することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「力学的感性に基づいた頭の中の形状を自動的に取り出せないか」という設計者の挑戦的な学術的問いを取り扱ったものである。設計者の前向きな期待を伴った形状創生支援が実現できれば、物理的制約下での力学的感性と経験的知識を考慮した最適形状の創生が可能となる。これは、設計者が長年抱いていた最適形状に対する違和感、設計意図の説明の困難さを解消するための一助となる。この開発した新たな形状創生手法は、品質・機能にデライトを与えた価値を創生する、超上流デライト設計手法となることから、ものづくり産業を輝かせるためのツールとなる。

研究成果の概要(英文)：This research deals with a challenging academic question from designers: Can we automatically extract the shape and layout in our brains based on our mechanical kansei?

In this study, we developed a method of collecting brain function information custom-made for each designer, developed topology optimization based on the brain function information, and performed validation to quality assured the derived shape and layout. The development of the shape and layout imagery creation method has made it possible to create shapes that take into consideration the designer's individuality and artistic sensibility based on mechanical kansei. The validity of the imagery creation was confirmed by SD analysis. In conclusion, the method that considered mechanical kansei and experiential knowledge under physical constraints was realized as one of the super-upstream delight design methods to create value by adding delight to quality and function.

研究分野：設計工学

キーワード：設計工学 力学的感性 人間中心設計 Human-centered computing Brain machine interface 位相最適化 脳波計測

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。

### 1. 研究開始当初の背景

本研究では、「力学的感性に基づいた頭の中の形状を自動的に取り出せないか」という設計者の挑戦的な学術的「問い」を取り扱うものである。この力学的感性は、「建築の力学に関し、無自覚的・直観的・情報統合的に下す印象評価判断能力(日本建築学会)」である[1]。しかしながら、この直観的な判断の源が脳の領域のどの部分であるかが発見されていなかった。ところが、Fischerらが物理を理解する能力、「物理エンジン」が脳の領域にあることを発見し、計画と行動に関連する領域、前運動皮質と補助運動野で最も反応することを発表した[2]。この発見と「力の流れを推定し、その後、力の伝達経路を短くする」ように形状設計するという力学的感性を組み合わせることで、脳機能情報に基づく形状創生が可能になると考えた。この形状創生手法は、品質・機能にデライト(喜び品質・満足等)を与えた価値を創生する超上流デライト設計手法としての革新的設計手法となる。この設計手法の確立を目指す。

### 2. 研究の目的

設計者の前向きな期待を伴った形状創生支援が実現できれば、物理的制約下での力学的感性と経験的知識を考慮した最適形状の創生が可能となる。これは、設計者が長年抱いていた最適形状に対する違和感、設計意図の説明の困難さを解消するための一助となる。ここでは、本研究の具体的な目標として、つぎの3項目を実施した。

- (1) 設計者個々にオーダーメイドした脳機能情報取得手法の開発
- (2) 脳機能情報によるトポロジー最適化の開発
- (3) 創生形状の質保証のための妥当性確認

### 3. 研究の方法

#### 3.1 設計者個々にオーダーメイドした脳機能情報取得手法の開発

脳機能情報取得には、非侵襲型の脳波計測装置、EPOC+ (EMOTIV社)を用いた。電極は、国際10-20法に基づくAF<sub>3</sub>, AF<sub>4</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, FC<sub>5</sub>, FC<sub>6</sub>, F<sub>7</sub>, F<sub>8</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub>, O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>の計14[ch]である(図1)。これらの電極は、思考や創造性の前頭前野、物理現象の思考の補助運動野、物体認知やエピソード記憶の側頭連合野、視覚情報を分析する視覚野からの脳電位を計測できる。ここでは、形状を創生するための制御因子として、「太くする/細くする」を用いることにした。この「太く」と「細く」にそれぞれ対応した動画(中央にある球体がだんだん大きく、または小さく変化する)を見てもらうことで、脳波を測定し、得られたデータから判別関数を作成した。この判別関数を脳機能情報として利用することにした。なお、脳波を取得する部位間には、相互作用があることから、電極間の相互作用も考慮することが必要である。また、人の意思決定の0.8秒以上前に準備電位という脳波が発生するという研究報告もある[4]。さらに、瞬きや電磁ノイズなどの誤差要因、アーチファクトについても配慮する。これらを考慮して、本研究では、脳機能情報となる判別関数の生成に、重回帰分析、Neural Network (NN)、時間軸を考慮したTime Delay Neural Network (TDNN)を適用して、どの電極の組み合わせで、どの判別関数生成方法を用いるべきかを比較検討をしたうえで決定を行うことにした。

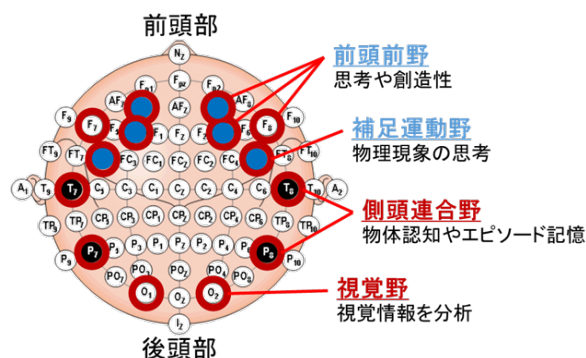


図1 頭部上部から見た国際10-20法に基づく電極配置[3]

#### 3.2 脳機能情報によるトポロジー最適化の開発

脳機能情報に基づく形状創生には、「力の流れを推定し、その後、力の伝達経路を短くする」ように形状設計する。これはよく知られた力学的感性であり、力の流れを示す主応力とミーゼスの相当応力を利用する。この考え方に基づいたトポロジー最適化手法に、形状創生の制御因子となる「太くする/細くする」を判別する判別情報、すなわち脳機能情報を組み合わせたものを開発した。また、経験的知識に基づく発想支援のために、発想の起点となるイメージ画像を認識し、トポロジー最適化の設計領域に有限要素メッシュを自動生成する技術を導入、開発した。

### 3. 3 創生形状の質保証のための妥当性確認

「力学的感性に基づいた頭の中の形状を自動的に取り出せないか」という問いに対する妥当性確認を行った。この方法は、得られた形状に対して、表1の12個の形容詞対を用いた7段階評価によるSD法を適用した。このアンケート結果を用いた主成分分析を行い、創生形状の質保証のための妥当性確認を実施した。

表1 アンケートで用いる形容詞対

評価項目	形容詞対								
	形容詞対	7	6	5	4	3	2	1	形容詞対
安定性	安定感のある	7	6	5	4	3	2	1	安定感のない
自然さ	自然な	7	6	5	4	3	2	1	人工的な
実用性	実用的な	7	6	5	4	3	2	1	実用的でない
おしゃれさ	シャレた	7	6	5	4	3	2	1	シャレてない
美しさ	美しい	7	6	5	4	3	2	1	美しくない
バランス性	バランスの取れた	7	6	5	4	3	2	1	バランスの取れていない
強度	丈夫な	7	6	5	4	3	2	1	丈夫でない
遊び心	遊び心のある	7	6	5	4	3	2	1	遊び心のない
個性	個性的な	7	6	5	4	3	2	1	個性的でない
芸術性	芸術的な	7	6	5	4	3	2	1	芸術的でない
快さ	快適な	7	6	5	4	3	2	1	不快な
好み	好ましい	7	6	5	4	3	2	1	好ましくない

## 4. 研究成果

### 4. 1 設計者個々にオーダーメイドした脳機能情報取得手法の開発

計測可能な頭部全体の14[ch]、前側頭部、側頭部、後頭部のF<sub>7</sub>, F<sub>8</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub>, P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub>, O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>の8[ch]、前頭部のAF<sub>3</sub>, AF<sub>4</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>, FC<sub>5</sub>, FC<sub>6</sub>の6[ch]の3ケースに対して、重回帰分析、NN、TDNNを適用して判別関数の比較実験を実施した。脳波計測の流れは、①体積増減動画の視聴、②取得脳波で各手法の重み・係数を最適化、③得られた最適化した各手法で未知データを判別・比較する(図2)。図3に、脳波の判別手法の判別率比較結果を示す。最も精度の高い判別手法は、8[ch]の脳波データに対してTDNNを用いて判別関数を生成したものであった。

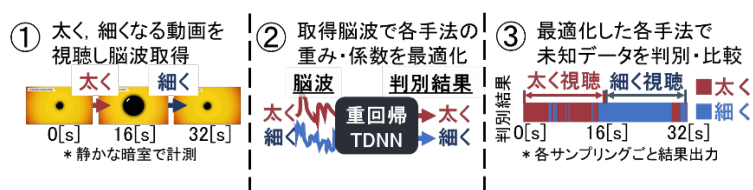


図2 脳波測定方法

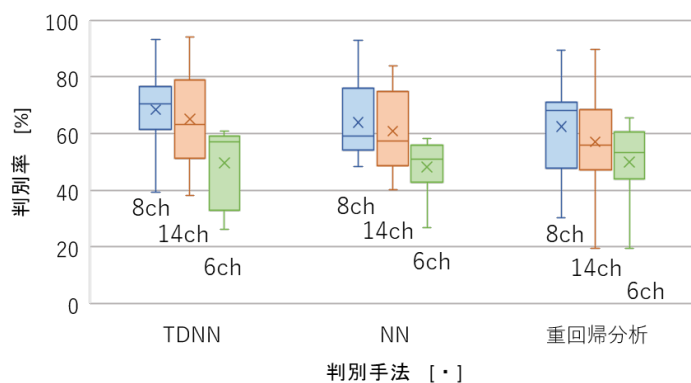


図3 脳波の判別手法の判別率比較結果

教師データに使用した動画が徐々に「太く」や「細く」などの形状を変化させるものであったことから、感性に関わる部位から視覚情報を分析する視覚野までを含めた8[ch]が望ましかったことが分かった。また、脳の部位間には相互作用があるため、相互作用の分析が可能なNNの方が重回帰分析よりも判別率が高かったと考えられる。さらに、時系列に「太く」「細く」を判別するため、最も望ましい判別関数の生成方法がTDNNになった考察できる。

#### 4. 2 脳機能情報によるトポロジー最適化の開発

本研究では、構造物の位相表現として制約付き等方性固体材料法(Solid Isotropic Material with Penalization, SIMP法)を用いた。また、経験的知識に基づく発想支援のために、発想の起点となるイメージ画像の位相配置や形状の太さを考慮させるために、新たに比例配分型の形状更新式を導入した。

$$x_i^{k+1} = x_i^k \left( \frac{\sigma_i^k}{\sigma_{al}} \times \left( \frac{V_{lim}^k}{V^k} \right)^\beta \right)^\alpha, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

ここで、 $i$ は位相番号、 $k$ は位相変更回数、 $x_i$ は設計変数(位相の密度)、 $\sigma_i^k$ は応力、 $\sigma_{al}$ は許容応力、 $\alpha$ は緩和係数である。また、脳機能情報に基づく形状の太さを考慮するため、全応力設計法の式に新たに脳波から決定した体積割合 $V_{lim}^k$ 、体積 $V^k$ 、指数 $\beta$ を式に適用した。更新量に関わる $\alpha$ を初期位相の部材は0.01、それ以外は1に設定し、イメージ形状部の位相を変化しにくくした。 $\beta$ はイメージ形状の部材は400、それ以外を1に設定した。

つぎに、トポロジー最適化の反復ごとに、生成された位相形状に対して、5秒間の脳波計測を行い、100ケースのサンプリングデータを取得する。このサンプリングデータに対してTDNNを用いて「太く/細く」の判別結果を取得する。この結果から、形状に変化を加える度合い(%)を決定する(図4)。

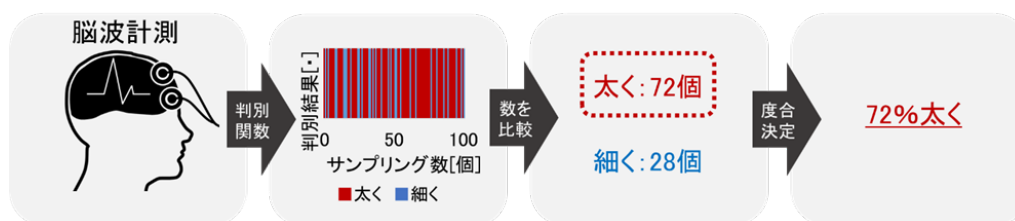


図4 脳機能情報による体積割合 $V_{lim}^k$ の決定

図5に本開発手法を用いてイメージ形状から形状創生をした一例を示す。以上のことから、脳機能情報によるトポロジー最適化手法を用いた形状創生手法の開発をすることができた。

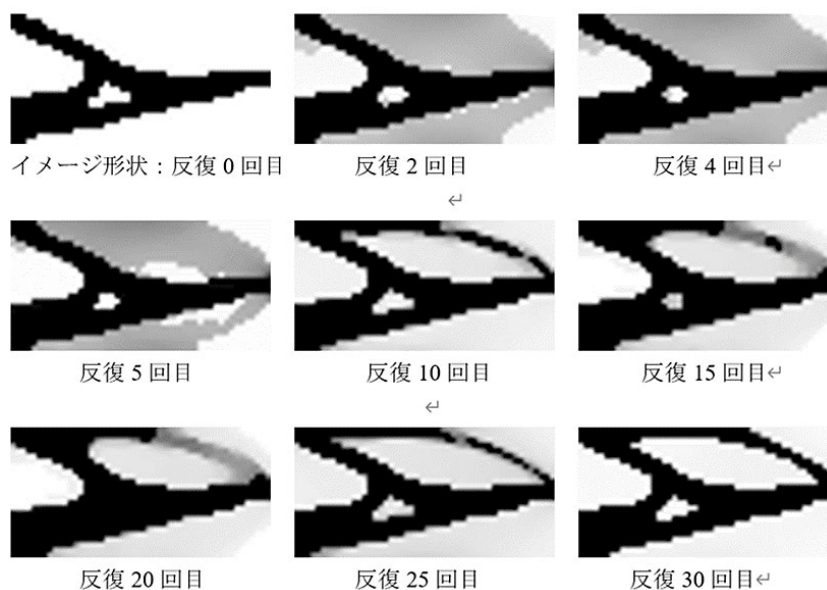


図5 形状創生結果の一例

#### 4. 3 創生形状の質保証のための妥当性確認

開発した形状創生手法の妥当性を確認するために、図6のイメージ形状、本研究で開発した手法(本研究)、位相最適化により得られた最適形状(位相最適化)、脳機能情報を用いた全応力設計法によるトポロジー最適化(全応力設計+BMI)に対して力学的感性の評価を、被験者5名で実



施した。表1の形容詞対を用いたSD法によるアンケートを行い、主成分分析を行った。その結果を図7に示す。第1主成分の寄与率が0.56、第2主成分の寄与率が0.22であった。図7(a)は、力学的感性の評価項目の主成分分析、図7(b)は、各形状に関する主成分分析である。図7(a)の結果から、第1主成分を「総合的な評価」、第2主成分を「強度評価」とした。つぎに、図7(b)の第1主成分に着目した。第1主成分から、イメージ形状に比べ、高い総合評価の形状を創生できたことがわかる。また、平均値で見ると全応力設計+BMIに比べて、高い総合評価となった。第2主成分に着目すると、全応力設計+BMIに比べると強度については低い評価であったことがわかる。一方で、本研究の創生形状は、総合評価の高い形状を創生でき、力学的感性を伴った個性や芸術性などの高い、被験者特有の形状が創生可能であることがわかった。なお、総合評価が低くなってしまった創生形状は、いずれもイメージ形状の総合評価が低いものであった。以上のことから、創生形状の質保証のための妥当性確認ができたと言える。

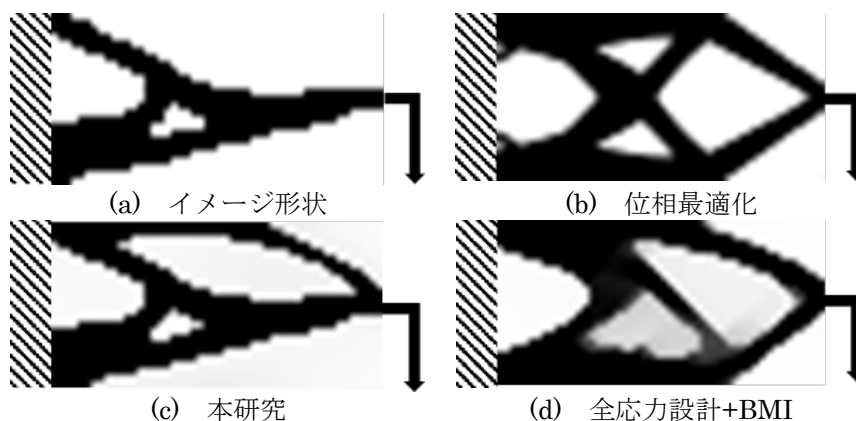


図6 形状比較例

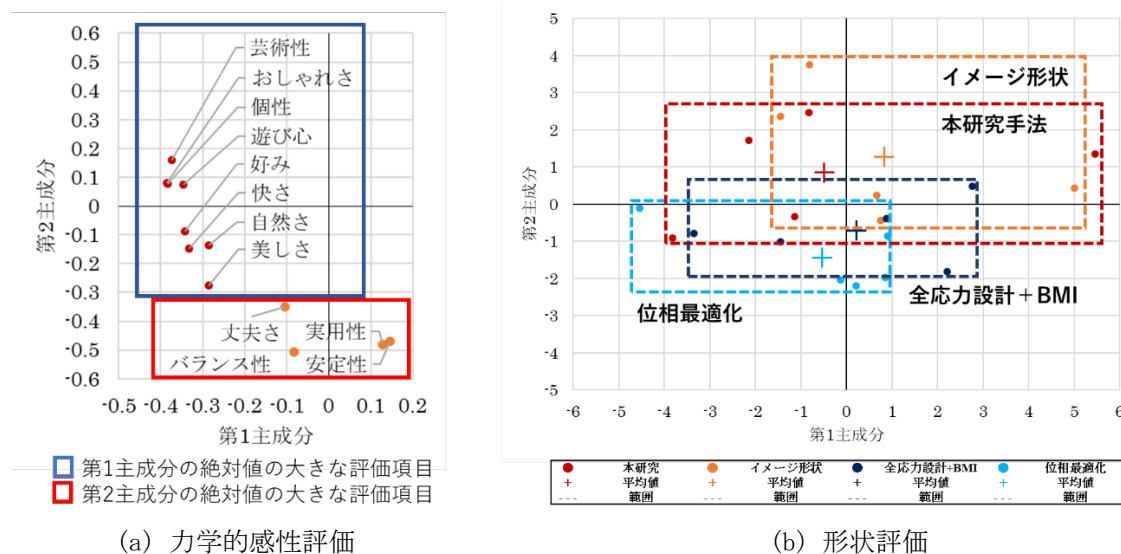


図7 SD分析による主成分分析結果

<引用文献>

1. 日本建築学会, 建築形態と力学的感性, 丸善出版, 2014
2. Fischer, J., Mikhael, J.G., Tenenbaum, J.B., Kanwisher, N., Functional neuroanatomy of intuitive physical inference, PNAS 113(34), 2016 E5072-E5081
3. 松田信義, 菅野剛史, 臨床検査技術学 7 臨床生理学, 医学書院, 1995
4. 岡本厚, マインド・タイム ベンジャミン・リベット, 岩波書店, 2015 144-156

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Gentaro Miyaki, Komei Tanaka, Hiroshi Hasegawa	4. 巻 42
2. 論文標題 Imagery Creation based on Autonomic System for Finite Element by using Fully Convolutional Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Procedia Manufacturing, Elsevier	6. 最初と最後の頁 383-386
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.promfg.2020.02059	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 Nanami Hoshi, Ryu Kitamura, Hiroshi Hasegawa	4. 巻 62
2. 論文標題 Shape and Layout Imagery Creation using BMI based on Mechanical Kansei	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2nd International Symposium on Computer Science and Intelligent Control, ISCSIC 2018	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3284557.3284736	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 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 長谷川浩志, 小林翼, 豊島葵輝, 横井宏昭
2. 発表標題 BMIに基づく形状創生：オーダーメイド化に向けた妥当性確認
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 豊嶋葵輝, 長谷川浩志
2. 発表標題 BMIに基づく形状創生：前向きな期待を用いた形状評価
3. 学会等名 日本機械学会 情報・知能・精密機器部門(IIP部門)講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横井宏昭, 長谷川浩志
2. 発表標題 TDNNを用いたBMIの開発による形状創生の改善
3. 学会等名 第25回日本計算工学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮木巖太郎, 田中孔明, 長谷川浩志
2. 発表標題 FCNによる単一画像より生成した有限要素モデルの妥当性確認
3. 学会等名 第25回日本計算工学会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田勝行, 星七海, 長谷川浩志
2. 発表標題 環境の変化を想定したACOを用いたトポロジー最適化
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第27期総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Gentaro Miyaki, Komei Tanaka, Hiroshi Hasegawa
2. 発表標題 Imagery Creation based on Autonomic System for Finite Element by using Fully Convolutional Network
3. 学会等名 International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮木 厳太郎, 田中孔明, 長谷川浩志
2. 発表標題 単一画像による有限要素モデルの自己生成 : FCNへのプーリング層の導入
3. 学会等名 第24回日本計算工学会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 星七海, 横井宏昭, 長谷川浩志
2. 発表標題 ACOによるトポロジー最適化 : フェロモンコントロールの影響
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 横井宏昭, 長谷川浩志
2. 発表標題 形状創生を目的としたBMIの開発
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 大澤 匠, 長谷川浩志
2. 発表標題 BCIにおけるTDNNを用いた汎化性能に対する数値実験
3. 学会等名 日本機械学会関東支部第26期総会・講演会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Nanami Hoshi, Hiroshi Hasegawa
2. 発表標題 Ant Colony Topology Optimization: The Pheromone Control for the Mechanical Kansei
3. 学会等名 7th International Conference on Modeling and Applied Simulation, MAS 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北村隆, 星七海, 長谷川浩志
2. 発表標題 脳波情報による力学的感性を用いた形状創生システムの提案
3. 学会等名 日本機械学会第13回最適化シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsubasa Kobayashi, Hiroshi Hasegawa
2. 発表標題 Shape and Layout Imagery Creation Based on BMI: Validation for Custom-made
3. 学会等名 The Asian Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization 2022(ACSMO 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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