

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 13 日現在

機関番号：25301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560268

研究課題名(和文) 軸力制御可能な新規ねじ締結体を含む複雑構造物の振動特性に関する研究

研究課題名(英文) Research on Vibration Characteristics of Complex Structures consist of a new Bolted Joint which can be Controlled Axial Force

研究代表者

西山 修二(Nishiyama, Shuji)

岡山県立大学・情報工学部・教授

研究者番号：10448798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：ねじ締結体の軸力を許容範囲の最小値から最大値まで変化させた場合に締結部の振動特性を定量的に把握できるモデルを探索し確定した。

軸力制御可能な新規ねじ締結体の基礎研究から産業応用へと展開するために、以下の研究項目を実施した。
軸力制御可能な新規ねじ締結体のモデル化と解析システムの開発及びパラメータの同定を行った。新規ねじ締結体の軸力制御により形状が異なる種々の構造物と一致する振動特性への最適化を実施した。新規ねじ締結体の軸力を能動制御して構造物の振動特性のコントロール法を研究した。新規ねじ締結体を含む複雑構造物への展開と振動特性の解明・制御について研究した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a new model which can analyze the vibration characteristics of a bolted joint quantitatively, when changing the axial tension of the bolted joint from the minimum to the maximum in tolerance level. In order to apply to industrial application based on the basic research of the new bolted joints in which axial tension can be controlled.

The following research items are carried out. (1) We investigated modeling of the new bolted joints in which axial tension can be controlled, development of an analysis system, and identification of the parameters. (2) We made it in agreement of vibration characteristics for various structures by controlling the axial tension of the new bolted joint. (3) We studied the method of controlling the vibration characteristic of structures. (4) We applied to the complicated structure including the new bolted joint. And we developed control method of the vibration characteristics of structure.

研究分野：機械工学

キーワード：機械力学・制御 ねじの軸力制御 ねじ締結体 物理機能モデル

1. 研究開始当初の背景

申請者は、ねじ締結体の緩みの問題を解決する方法として、新しい緩み止め機構を備えている緩み止めナットを開発した(右田、西山、特開 2006 - 143929)。それらはトルクメイトとハイパーロックナットである。前者は、1種六角ナットと同等の形状を有し、ねじの軸心が傾斜している。後者は、六角ナットにスリットとナット座面に傾斜面が加工してある。また、どちらも締付けの際に複雑な工具や手順を要しないことを特徴とする。これらの緩み止めナットの有効性は理論的および実験的に検証している(西山ほか、日本機械学会論文集 2007、2009)。両者とも商品化され、前者は M20 までのサイズに、後者は M20 以上のサイズに対応し、産業界において広く使用されている。

図1は、申請者が開発した緩み止めナットと JIS 標準ナットの締付けトルクと締付け軸力の関係の実測結果を示す。一般のナットは、緩まないように締付けトルクをある一定値以上で使用される。軸力も常に一定の状態で使用され、ねじで組み立てられた構造物の振動特性(減衰比や固有振動数など)が常に一定の状態で使用されている。緩み止めナットは、JIS 標準ナットと比較して実用上、広い範囲の軸力で使用しても緩まない。締付けトルクを 250Nm 以上に設定する場合を考えると、材料の許容限界から最大軸力が定まり 120kN とする。この場合 JIS 標準ナットでは B-C 間(98~120kN)が軸力の許容範囲となる。

一方、緩み止めナットでは A-D 間(75~120kN)が許容範囲となる。この軸力の許容範囲が広い緩み止めナットを使用すれば、構造物の組み立てに際して、締付け軸力を任意に設定して構造物を組み立てることができ、新たな最適設計が可能となる。すなわち、ねじ締結体の軸力を制御して構造物の振動特性をいろいろと変化させることが可能となる。

本研究計画は、軸力制御可能な新規ねじ締結体のまだ解明されていない基礎研究を完成し、この新規ねじ締結体を利用した新技術や産業応用に展開するための基礎研究を行う。計画を進めていくうえで、申請者は次のような予備的な研究結果を得ている。

(1)三次元有限要素法による新規ねじ締結体の弾塑性解析をおこない力学特性を明らかにした(Nishiyama et al. J. System Design and Dynamics 2009)。

(2)2個の新規ねじ締結体と2枚の平板からなる構造物において軸力が固有振動数に及ぼす影響を実験的に確認した。

(3)新規ねじ締結体のモデル化において非線形要因(塑性変形、摩擦、面圧の影響円錐など)を考慮するため物理機能モデルの有効性を確認した。

(4)軸力を能動制御可能とするねじ自動回転制御装置の実現可能性を確認した。

(5)複雑構造物として自動車用シートフレームのねじ締結体の軸力制御による人体に優

しいシートフレームの最適設計法の可能性を示した(Nishiyama et al. J. Sound and Vibration 2000)。

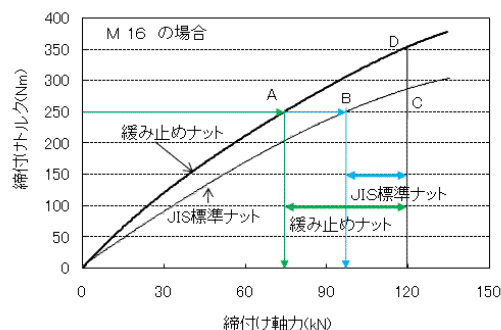


図1 締付け軸力の許容範囲の比較

2. 研究の目的

申請者が開発した緩み止めナットを使用すれば、ねじの軸力を広い範囲で任意のレベルに設定して、ねじで締結された構造物の振動特性を自由に变化させることが可能となる。本研究は、申請者の基礎研究成果の応用展開として、ねじ締結体の締付け軸力を制御して、構造物の振動特性を最適化する技術的可能性を探索する研究を行い、産業応用へと展開するための研究基盤を確立することが目的である。

計画している具体的な研究項目は、(1)軸力制御可能な新規ねじ締結体のモデル化と解析システムの開発およびパラメータの同定、(2)新規ねじ締結体の軸力制御により形状が異なる種々の構造物と一致する振動特性への最適化、(3)新規ねじ締結体の軸力を能動制御して構造物の振動特性のコントロール、(4)新規ねじ締結体を含む複雑構造物への展開と振動特性の解明・制御、の4項目である。

3. 研究の方法

軸力制御可能な新規ねじ締結体の基礎研究から産業応用へと展開するために、本研究計画では以下の研究項目を予定している。

(1)研究項目

軸力制御可能な新規ねじ締結体のモデル化と解析システムの開発及びパラメータの同定を行う。

新規ねじ締結体の軸力制御により形状が異なる種々の構造物と一致する振動特性への最適化を行う。

新規ねじ締結体の軸力を能動制御して構造物の振動特性のコントロールを行う。

新規ねじ締結体を含む複雑構造物への展開と振動特性の解明・制御について研究する。

(2)軸力制御可能な新規ねじ締結体のモデル化と解析システムの開発およびパラメータの同定

ねじ締結体の軸力を許容範囲の最小値から最大値まで変化させた場合に締結部の振動特性を定量的に把握できるモデルが存在

しないので、新たにモデルを探索し確定する。そして、仮想試験用モデル構築ツールを用いて、解析システムを開発し、実験的にパラメータの同定を行う。

軸力がねじ締結部に及ぼす影響の解明

2枚の平板を1個のねじ締結体で締結する場合について、軸力が変化した場合、ねじ締結体の弾性変形や塑性変形に及ぼす影響は不明である。従って、2枚の平板をねじで締結した場合の弾塑性変形を明らかにする。さらに、どのような要因が接触面の摩擦力に影響を及ぼしているか解明する。

主要因の選定とエネルギー流れの解明

軸力制御可能な新規ねじ締結体の振動特性は、まったく解明されていない。振動特性を把握するために必要となる主要因を解明する。軸力の増減に伴ってねじ締結体近傍のエネルギー流れを解明する。

モデル化と解析システムの開発およびパラメータの同定

ねじ締結体のモデル化は、従来は、ばねのみあるいはばねとダンパーでモデル化することが一般的とされていた。本研究では軸力を制御することから、従来のモデルは適用できない。新規のモデル化を考案しなければいけない。本研究では、ばね、ダンパー、さらに接触面の非線形特性を考慮した摩擦力と塑性変形を新たに考慮し、物理機能モデルを適用してモデル化を行う。

(3)新規ねじ締結体の軸力制御により形状が異なる種々の構造物と一致する振動特性への最適化の解明

軸力が変化すると、固有振動数が変化することは知られているが未解明の問題が多い。ねじ締結体の軸力を変化させて、構造物を組み立てるといふ考え方は見受けられない。そこで、複数のねじ締結体から構成された、構造物の軸力を個々に制御して、加工または組立困難と考えられる構造物が有する振動特性と一致した特性を示すためには、基本構造体のねじ締結部の軸力をどのように最適化すればよいか探索する。構造体として図2に示す基本構造体と任意の断面が取り付け部から先端に直線的に増加する場合(A)あるいは減少する場合(B)、2次元的に中央部で最大になる場合(C)あるいは最小になる場合(D)の4種の等価構造体を考慮する。

複数のねじ締結部を有する実験用構造物の設計・製作

基本構造体に関する実測結果を得るために、複数個の軸力制御可能なねじ締結体を使用して、複数枚の平板を締結した構造物を設計・製作する。平板の接触面あさは構造物の振動特性に影響を及ぼすことが知られているので、仕上げ面を配慮する。4種の等価構造体(図2、AからD)も設計する。

等価構造体の設計・数値実測

設計した4種の等価構造体の振動特性を数値実験により解明する。各試験片の振動特

性(減衰比および固有振動数)を計測する。等価構造体の振動特性と一致するように軸力制御法の探索

4種の等価構造体が有する振動特性と一致した特性を示すためには、基本構造体のねじ締結部の軸力をどのように最適化すればよいか軸力制御法を探索する。

ねじ締結体の軸力制御効果の解析

本計画で研究開発する解析システムにより、上記4種の等価構造体と一致する振動特性を示すためには、基本構造体のそれぞれのねじ締結体の軸力をいかに最適化すればよいか探索する。

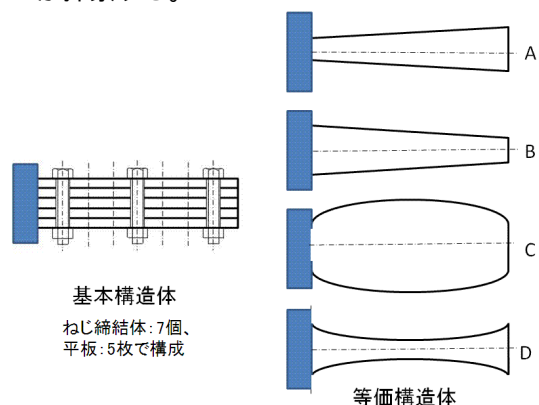


図2 基本構造体と等価構造体

(4)新規ねじ締結体の軸力を能動制御して構造物の振動特性のコントロール

軸力を能動制御してねじ締結体を使用する考え方は現在のところまだない。従って、構造物の周波数応答特性において、構造物の変位が常に最小となるように、軸力を能動制御する手法を探索する。基本構造体を対象に検討する。図3は、ねじ締結体の軸力の制御効果を示す研究計画図を示す。

新規ねじ締結体による軸力の能動制御の探索と機能解析に関する理論的研究

基本構造体において、従来の締付け軸力一定では、周波数応答特性において、共振が発生し、構造体の変位が大きく発散することが予測される(図3)。

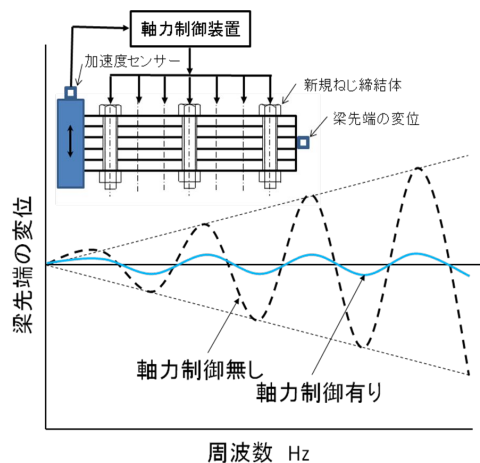


図3 ねじ締結体の軸力の能動制御

基本構造体の軸力を変化させて、共振を防止する方法、あるいは、周波数に応じて、軸力を能動制御する方法で、共振を回避する手法を研究する。

新規ねじ締結体による軸力の能動制御の探索と機能解析に関する実験的研究

理論的研究に基づいて、実測装置及び計測装置により実験検証する。入力される周波数に対して軸力を能動制御することにより、基本構造体の変位を最小とする理論的結果を実験的に検証する。

(5)新規ねじ締結体を含む複雑構造物への展開と振動特性の解明・制御

自動車用シート開発において、シートフレームの振動特性は課題が多い。従って、複雑構造物として、人体に優しい自動車用シートフレームの開発について解明する。自動車用シートフレームに対して、使用されている複数本のねじ締結体の軸力を適切に設定し、振動特性を実測する。本課題で研究した解析システムを自動車用シートフレームに適用し、最適設計への実用性について探索し検証する。

自動車用シートフレームの振動特性とねじ締結体の軸力制御の探索

自動車用シートフレームは多数のねじ締結体を使用されている。現状の自動車用シートフレームの振動特性を計測して、問題点および課題を抽出する。人体に優しい自動車用シートフレームを探索する。

人体に優しい自動車用シートフレームの最適設計法の探索

実験的に探索した人体に優しい自動車用シートフレームに基づいて、どの位置のねじ締結体の軸力をどのように最適化すればよいか解明する。自動車用シートフレームは、20個を超えるねじ締結体により部品が組み立てられている。シート固有の振動低減を実現するためには、自動車用シートフレームに使用されているねじ締結体の軸力を制御して、振動特性を人体に優しい柔軟な構造に最適化する。

4. 研究成果

(1) 軸力制御可能な新規ねじ締結体の基礎研究から産業応用へと展開するために、本研究計画では以下の研究項目を計画実施した。

軸力制御可能な新規ねじ締結体のモデル化と解析システムの開発及びパラメータの同定を行った。

新規ねじ締結体の軸力制御により形状が異なる種々の構造物と一致する振動特性への最適化を実施した。

新規ねじ締結体の軸力を能動制御して構造物の振動特性のコントロールを行った。

新規ねじ締結体を含む複雑構造物への展開と振動特性の解明・制御について研究した。

(2) 軸力制御可能な新規ねじ締結体のモデル

化と解析システムの開発およびパラメータの同定

ねじ締結体の軸力を許容範囲の最小値から最大値まで変化させた場合に締結部の振動特性を定量的に把握できるモデルが存在しないので、新たにモデルを探索し確定した。そして、仮想試験用モデル構築ツールを用いて、解析システムを開発し、実験的にパラメータの同定を行った。

軸力がねじ締結部に及ぼす影響の解明

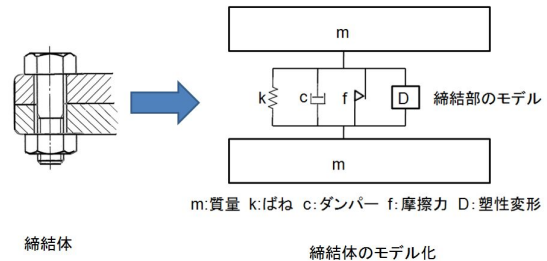


図4 ねじ締結体のモデル化

2枚の平板を1個のねじ締結体で締結する場合について、軸力が変化した場合、ねじ締結体の弾性変形や塑性変形に及ぼす影響は不明である。従って、2枚の平板をねじで締結した場合の弾塑性変形を明らかにした。さらに、どのような要因が接触面の摩擦力に影響を及ぼしているか解明した。

主要因の選定とエネルギー流れの解明

軸力制御可能な新規ねじ締結体の振動特性は、まったく解明されていない。振動特性を把握するために必要となる主要因を解明した。軸力の増減に伴ってねじ締結体近傍のエネルギー流れを解明した。

モデル化と解析システムの開発およびパラメータの同定

ねじ締結体のモデル化は、従来は、ばねのみあるいはばねとダンパーでモデル化することが一般的とされていた。本研究では軸力を制御することから、従来のモデルは適用できない。新規のモデル化を考案しなければいけない。本研究では、図4に示すように、ばね、ダンパー、さらに接触面の非線形特性を考慮した摩擦力と塑性変形を新たに考慮し、物理機能モデルを適用してモデル化を試みた。

(3) 新規ねじ締結体の軸力制御により形状が異なる種々の構造物と一致する振動特性への最適化の解明

軸力が変化すると、固有振動数が変化することは知られているが未解明の問題が多い。ねじ締結体の軸力を変化させて、構造物を組み立てるという考え方は見受けられない。そこで、複数のねじ締結体から構成された、構造物の軸力を個々に制御して、加工または組立困難と考えられる構造物が有する振動特性と一致した特性を示すためには、基本構造体のねじ締結部の軸力をどのように最適化すればよいか探索した。

構造体として図2に示す基本構造体と任意の断面が取り付け部から先端に直線的に増加する場合(A)、あるいは減少する場合(B)、2次元的に中央部で最大になる場合(C)、あるいは最小になる場合(D)の4種の等価構造体を考慮した。

(4)ねじ締結体の軸力を許容範囲の最小値から最大値まで変化させた場合に締結部の振動特性を定量的に把握できるモデルを探索し確定した。そして、仮想試験用モデル構築ツールを用いて、解析システムを開発し、実験的にパラメータの同定を行なった。軸力がねじ締結部に及ぼす影響を解明するために、2枚の平板をねじで締結した場合の弾塑性変形を明らかにした。さらに、接触面の摩擦力に影響を及ぼしている要因を解明した。主要因の選定とエネルギー流れの解明として、振動特性を把握するために必要となる主要因を解明した。軸力の増減に伴ってねじ締結体近傍のエネルギー流れを解明した。

モデル化と解析システムの開発およびパラメータの同定として、ねじ締結体のモデル化は、本研究では軸力を制御することから、ばね、ダンパー、さらに接触面の非線形特性を考慮した摩擦力と塑性変形を新たに考慮し、機能モデルを適用してモデル化を行なった。複数のねじ締結体から構成された、構造物の軸力を個々に制御して、加工または組立困難と考えられる構造物が有する振動特性と一致した特性を示すためには、基本構造体のねじ締結部の軸力をどのように最適化すればよいか探索した。構造体として、基本構造体と任意の断面が取り付け部から先端に直線的に増加する場合、あるいは減少する場合、2次元的に中央部で最大になる場合、あるいは最小になる場合の4種の等価構造体を考慮した。基本構造体に関する実測結果を得るために、複数個の軸力制御可能なねじ締結体を使用して、複数枚の平板を締結した構造物を設計・製作した。平板の接触面あさは構造物の振動特性に影響を及ぼすことが知られているので、仕上げ面を配慮し設計した。

複数のねじ締結部を有する実験用構造物の設計・製作

基本構造体に関する実測結果を得るために、複数個の軸力制御可能なねじ締結体を使用して、複数枚の平板を締結した構造物を設計・製作する。平板の接触面あさは構造物の振動特性に影響を及ぼすことが知られているので、仕上げ面を配慮する。4種の等価構造体(図2、AからD)を設計した。

等価構造体の設計・実測

設計した4種の等価構造体の振動特性を数値実験により解明した。各試験片の振動特性(減衰比および固有振動数)を解析した。

等価構造体の振動特性と一致するように軸力制御法の探索

4種の等価構造体が有する振動特性と一致

した特性を示すためには、基本構造体のねじ締結部の軸力をどのように最適化すればよいか軸力制御法を探索した。

ねじ締結体の軸力制御効果の解析

本計画で研究開発する解析システムにより、上記4種の等価構造体と一致する振動特性を示すためには、基本構造体のそれぞれのねじ締結体の軸力をいかに最適化すればよいか探索した。

(5)ねじ締結体の軸力を許容範囲の最小値から最大値まで変化させた場合に締結部の振動特性を定量的に把握できるモデルを探索し確定した。そして、仮想試験用モデル構築ツールを用いて、解析システムを開発し、実験的にパラメータの同定を行なった。新規ねじ締結体の軸力制御により形状が異なる種々の構造物と一致する振動特性への最適化の解明として、構造体として、基本構造体と任意の断面が取り付け部から先端に直線的に増加する場合、あるいは減少する場合、2次元的に中央部で最大になる場合、あるいは最小になる場合の4種の等価構造体を考慮した。

複数のねじ締結部を有する実験用構造物の設計・製作を実施した。基本構造体として考案した4種の等価構造体の振動特性を数値実験により解明した。4種の等価構造体が有する振動特性と一致した特性を示すためには、基本構造体のねじ締結部の軸力をどのように最適化すればよいか軸力制御法を探索した。本計画で研究開発する解析システムにより、上記4種の等価構造体と一致する振動特性を示すためには、基本構造体のそれぞれのねじ締結体の軸力をいかに最適化すればよいか探索した。

次に、軸力を能動制御して構造物の変位が常に最小となるように、軸力を能動制御する手法を探索した。新規ねじ締結体による軸力の能動制御の探索と機能解析に関する理論的研究、新規ねじ締結体による軸力の能動制御の探索と機能解析に関する実験的研究を実施した。

さらに、自動車用シート開発において、シートフレームの振動特性は課題が多い。従って、複雑構造物として、人体に優しい自動車用シートフレームの開発について応用展開できる可能性を示した。自動車用シートフレームに対して、使用されている複数本のねじ締結体の軸力を適切に設定し、振動特性から実現可能性を検証する方法を示した。本課題で研究した解析システムを自動車用シートフレームに適用し、最適設計への実用性について探索した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計8件)

大田慎一郎、西山修二、篠原大樹、幼児二

人同乗用自転車における振動特性に関する研究(第2報, 幼児の重量と自転車の諸元が乗員へ及ぼす影響)日本機械学会論文集, 査読有, Vol.81, No.824, 機械力学・計測制御分野特集号 2015, 1-13.

S. Ota, S. Nishiyama and T. Shinohara, "Vibration Analysis System for a Bicycle with a Rider and Two Infant Seats", Proceedings of IMECE 2014, 査読有, ASME 2014 IMECE, November 15-20, 2014 Montreal, CANADA.

大田慎一郎, 西山修二, 能動制御を用いた自動車用シートの乗り心地向上に関する研究(第1報, 乗員シートステアリングホイールペダル系の場合), 日本機械学会論文集, 査読有, 第80巻 第812号, 1-16.

S. Ota, S. Nishiyama and T. Nakamori, "Investigation of a Vibration Reduction System for Vehicle Seats by a Vibration Model Consisting of a Vehicle, Seat, and Human Body", Proceedings of IMECE 2013, 査読有, ASME 2013 IMECE, November 13-21, 2013 San Diego, California, USA.

大田慎一郎, 西山修二, 幼児二人同乗用自転車における振動特性に関する研究(第1報, 幼児二人同乗用自転車-運転者-幼児系振動解析システムの開発), 日本機械学会論文集(C編), 査読有, Vol. 79 (2013), No. 806, 3771-3785.

大田慎一郎, 西山修二, 能動制御を用いた自動車用シートにおける乗員頭部の振動低減に関する研究, 日本機械学会論文集(C編), 査読有, Vol. 78 (2012), No. 791, 2396-2404.

S. Ota, S. Nishiyama and T. Nakamori, "Investigation of a Seat with an Active Control System for Reducing Vibrations from the Seat, Steering Wheel, and Pedals to the Human Body in a Vehicle", ASME 2012 IMECE, 査読有, November 9-15, 2012 Houston, Texas, USA.

〔学会発表〕(計22件)

湯浅加苗, 西山修二, 大田慎一郎, 円筒容器内分割形状が非線形ころがり抵抗に及ぼす影響, 日本機械学会中国四国学生会第45回学生員卒業研究発表講演会, 2015.3.6, 近畿大学工学部(東広島市).

小原加奈, 西山修二, 大田慎一郎, 軸力制御可能な新規ねじ締結体を含む構造物の振動特性に関する研究, 日本機械学会中国四国学生会第45回学生員卒業研究発表講演会, 2015.3.6, 近畿大学工学部(東広島市).

小山英昭, 西山修二, 大田慎一郎, ねじ締結体の軸力制御による振動特性に関する理論的および実験的研究, 日本機械学会中国四国支部第52期総会・講演会, 2014.3.7, 鳥取大学(鳥取市).

中岡広志, 西山修二, 大田慎一郎, 物理機能モデルによる三次元人体シート系の振

動モデルの開発, 日本機械学会第23回交通・物流部門大会, 2014.12.1-3, 東京大学生産技術研究所(東京都).

小山英昭, 西山修二, 大田慎一郎, 軸力制御可能な新規ねじ締結体を含む複雑構造物の振動特性に関する研究, 日本機械学会中国四国支部第51期総会・講演会, 2013.3.8, 高知工科大学(香美市).

石飛克裕, 西山修二, 大田慎一郎, エアクションを用いた自動車用シートの振動低減に関する研究, 日本機械学会第22回交通・物流部門大会, 2013.12.6, 東京大学生産技術研究所(東京都).

西山修二, 大田慎一郎, 北風博久, 角田鎮男, 乗り心地解析を可能とする新しい人体モデルの開発, 日本機械学 D&D Conference, 2012.9.18-21, 横浜国大(横浜市).

大田慎一郎, 西山修二, ステアリングホイール, シート, ペダルからの振動低減を目的とした自動車用シートに関する研究, 日本機械学会 2012年度年次大会, 2012.9.9-12, 金沢大学(金沢市).

〔図書〕(計1件)

西山修二, 郁文社, 情報工学部の機械力学, 2015, 154

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

なし

取得状況(計1件)

名称: 自動車用シートの振動抑制装置

発明者: 西山修二・大田慎一郎・角田鎮男・小泉敏明

権利者: 株式会社ダイモス, 岡山県立大学

種類: 特許

番号: 5508202

出願年月日: 平成22年9月17日

取得年月日: 平成26年3月28日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-he.ss.oka-pu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西山 修二 (NISHIYAMA Shuji)

岡山県立大学・情報工学部・教授

研究者番号: 10448798

(2) 研究分担者

大田 慎一郎 (OTA Shinichiro)

岡山県立大学・情報工学部・助教

研究者番号: 90550393

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号: