

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420197

研究課題名(和文) ヴァイオリンから学ぶ機械製品の静穏化

研究課題名(英文) Reducing Noise and Vibration by using Some Items Derived from Violin Structure

研究代表者

山崎 徹 (YAMAZAKI, TORU)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：70272416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ヴァイオリン構造体の振動伝搬特性について、統計的エネルギー解析法(SEA)により分析を行った。その結果、駒構造による一方向振動伝搬、魂柱構造による振動促進・抑制の効果を見出した。簡易構造物を用いた駒構造の検討より、衝突現象によることを明らかにし、実機械製品への適用を行い、一方向振動伝搬を実現した。また魂柱構造については、市場に投入されている、ダンパストロークが小さいにも関わらず振動低減効果を発揮させるダンパの振動低減メカニズムを解明するとともに、モデル化を行った。

研究成果の概要(英文)：Vibration propagation characteristics of the violin structure were analyzed by statistical energy analysis (SEA). As a result, it has been found the effect of the one-way vibration propagation through the bridge, and of vibration promotion and suppression by the sound post. The mechanism of vibration propagation through the bridge has been deduced by the discussion using the simple aluminum blocks which are attached by the strings. And then the bridge structure has been applied to realize the unidirectional vibration propagation on the real mechanical products. With respect to the sound post structure the commercial damper which is independent of the piston velocity was focused and the elucidation of the vibration reduction mechanism of the damper has been carried out.

研究分野：振動

キーワード：楽器 振動 衝突 非線形

1. 研究開始当初の背景

擦弦楽器を代表するヴァイオリンは、およそ2世紀も前に構造および音色において完成されており、古いヴァイオリン(古い木)の方がより良い音色を奏でると言われている。一方、ヴァイオリンの構造的、音響的特徴についても古くから研究がなされてきた。特に胴体の振動特性に関する研究では、実験モード解析や有限要素法による胴体の固有振動特性に関するものがほとんどであり、個々のヴァイオリンによる固有振動の違いなどに関して考察はなされていないようである。また近年では、振動騒音の分野においても、よりよい機械構造物の音響設計を目指し、各種楽器の構造および音響特性を理解するための研究がなされている。

一方、我々は、実験データに基づく統計的エネルギー解析法(Experimental Statistical Energy Analysis: 以下、実験SEA)を用いて、実機械製品の低騒音化を実現してきた。SEAは、対象系を要素の集合体とみなし、要素間のパワー平衡に着目する手法である。実験SEAモデルと実験時の各要素エネルギーより、各要素への入力パワー、要素間のパワーフローの同定が可能である。ヴァイオリンなどの楽器に関する研究として、SEAなどによる振動エネルギー伝搬に着目した検討は今のところ見られない。

そこで我々は、実験SEAを用いてヴァイオリン構造(図1)を振動エネルギー伝搬から考察し、その知見を機械構造物の振動騒音設計に活用することを目指し、研究に着手している。これまでに、ヴァイオリンの実験SEAモデルの構築法について検討を行った上で、二種のヴァイオリンを対象に実験SEA解析を実施し、結果の比較からよりよいヴァイオリンとしての以下、二つの知見を得た。

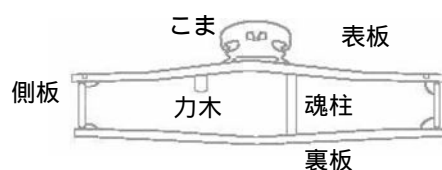


図1 ヴァイオリンの断面構造

知見(1) 表裏体への入力パワーの周波数特性が周波数の平方根に反比例する。

知見(2) 表板の振動エネルギーは魂柱を介して裏板へ効率よく伝わる。

これらの知見から以下のようなことが期待される。すなわち、知見(1)からは、弦の振動はこまを介して表板に伝わるが、それは表板への一方通行(すなわち、無限構造物への伝搬と同様)であり、こま構造を利用すれば、振動源から筐体への振動入力をなくす(減らす)ことができるのではないかと。知見(2)からは、振動源や振動が大きい箇所から振動が問題とならない箇所に、魂柱構造によって振動の伝搬をコントロールできるのではないかと。

2. 研究の目的

以上の背景の下、本研究では、ヴァイオリンから学ぶ低振動騒音化技術を明確にし、機械構造設計に活用することを目的とする。そのために、大きく以下の研究を行った

- (1) こま構造による振動一方通行メカニズムの解明
- (2) 魂柱構造を用いた振動伝達効率化構造設計法の確立
- (3) 機械への応用

3. 研究の方法

- (1) 検討対象は以下である。
 - ヴァイオリン
 - ヴァイオリンそのものを対象とするアルミブロック
 - こま構造の振動伝搬メカニズムを解明するために、二つのアルミブロック(剛体とみなしうる)を結束バンドで拘束、ブロック間は押し付けられるだけである。
- (2) 解析方法は以下である。
 - 統計的エネルギー解析法
 - 対象物を複数の要素とみなし、要素間の振動エネルギー伝搬特性を評価することができる。
 - 振動インテンシティ法
 - 振動中の物体の振動速度と内力を測定することで、振動エネルギー伝搬の向き、大きさを評価することができる。

4. 研究成果

(1) 25年度においては、こま構造、魂柱構造、およびこれらの機械への基礎的検討の三つの観点で研究を実施した。

こま構造に関しては、こまと表板は圧着していないことから、結束バンドで固定した二つのアルミブロックの振動伝搬モデルを検討し、接触による非線形振動(Duffing方程式)でモデル化できることを明らかにした。

魂柱構造については、二本のはりを短いはりで接続した単純モデルを対象に、一般的な振動モードを用いた解析手法では説明、設計しづらいことを見出し、SEAなどのエネルギー伝搬に基づく解析手法を検討し、エネルギー伝搬かつ周波数平均結果として考察することにより、魂柱位置の影響を考察しやすいことを明らかにした。

機械への応用の基礎検討としては、デジタルカメラで動画撮影時にズーム音が収録され、音質を劣化させる問題を例として、ズーム時の振動をこま構造模擬部材を介して三脚に振動を逃がすことができるかの検討を行った。その結果、こま構造模擬部材とカメラの間の接触具合により、振動を逃がす程

度が異なるが、振動を逃がす（ズーム時の振動を三脚側に逃がす）ことは可能であることを確認した。

(2)26年度においては、前年度の検討を踏まえ、二つのブロックの衝撃加振時の応答データから振動インテンシティ（パワーフロー）を簡易的に測定することにより、一方向振動伝搬であることを明確にした。それにより、前年度に導出した数値モデル、Duffing方程式では周波数応答特性は実測結果と対応したものの、時刻歴応答特性は表せていないことを明らかにした。

また、こまの振動伝搬特性を表し得る式を、統計的エネルギー解析法の結合損失率を参考に導出した。その上で、本式に基づくこまと基づかないこまの二種を作成し、デジタルカメラを対象に、カメラと三脚を「こま」を介して接続し、振動伝搬を検証した。その結果、本式に基づくこまは、基づかないこまより多くの周波数帯域で一方向振動伝搬となっていることを確認した。

一方、魂柱構造については、直接接続しない要素間も考慮するエネルギー分布解析モデルを検討してきたが、直接接続した要素間のみを考慮する統計的エネルギー解析モデルでも扱うことができるモデル化を新に考案した。この成果により、従来高い周波数に限定されていた統計的エネルギー解析法を、周波数によらず、どんな構造系にも適用できる可能性が見出された。また、対象系のFEMモデルを用いて、統計的エネルギー解析法モデルおよびエネルギー分布解析モデルを作成するプログラムを作成した。

(3)27年度においては、ヴァイオリンのこま構造による一方向振動伝搬の整理および魂柱構造に対応しうる低速でも振動低減効果のあるダンパのモデリングを行った。

こま構造は衝突現象であり、これを実機械製品の振動伝搬制御装置として検討を実施し、特定の周波数域での振動伝搬制御が可能であることを確認した。はじめに、一方向振動伝搬であることを確認するために、瞬時振動インテンシティの測定を実施した。次いで、内部に駆動装置を有する機械製品を対象に、駆動装置で発生する振動を機械製品の指示構造物へ一方向振動伝搬とすべくこま構造を設置し、機械製品自体の振動の低減を確認した。

魂柱構造に関しては、対応しうるダンパを対象に、性能試験を実施した。その結果および構造諸元を考察し、ダンパによる振動低減メカニズムを明らかにした。また、ダンパを一自由度非線形モデルで記述できること、さらに、その線形化モデルを考案した。

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2件)

Yoshiaki ITOH, Naoto YAMAGUCHI, Toru YAMAZAKI, Vibration Analysis Based on Time-Frequency Analysis with Digital Filter, Journal of System Design and Dynamics, Vol.7, No.4, pp.441-455, 2013, 査読有。

伊東圭昌, 山口尚人, 山崎徹, デジタルフィルタによる時間-周波数分析を用いた振動解析に関する基礎的検討, 日本機械学会論文集 C 編, 79 巻 801 号, pp.1633-1646, 2013-5, 査読有。

[学会発表](計18件)

山崎徹, 総合工学委員会・機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計応用分科会, 計算音響学小委員会「楽器の振動エネルギー伝搬から学ぶ機械の静穏化」, 2016年3月23日, 日本学会会議(東京)

山崎徹, 自動車技術会シンポジウム「自動車の振動騒音に求められるもの」, 「モードと伝搬の両視点による NV 設計」, No.11-15, p.45-49, 2015年12月15日, 工学院大学(東京)

山崎徹, ヴァイオリン駒構造の振動伝搬解析, 日本音響学会騒音・振動研究委員会, 騒音・振動研究会資料資料番号 N-2015-58, 2015年11月27日, しいのき迎賓館(石川)

伊東圭昌, 今津卓, 中村弘毅, 山崎徹, ヴァイオリンの駒構造から学ぶ機械の静穏化技術の開発, 日本機械学会[No.15-7] Dynamics and Design Conference 2015 USB 論文集, 529.pdf, 2015年8月26日, 弘前大学(青森)

山崎徹, ヴァイオリン駒構造の振動伝搬, 日本機械学会 2015v-BASE フォーラム, 2015年8月25日, 弘前大学(青森)

Y. Itoh, T. Imazu, H. Nakamura, T. Yamazaki, TIME-FREQUENCY ANALYSIS WITH DIGITAL FILTER FOR NONLINEAR SYSTEM CHARACTERIZATION IN MECHANICAL VIBRATIONS, Proceedings of The 22th International Congress on Sound and Vibration, 1009, 2015年7月16日, Firenze(Italy)

(INVITED) T. Yamazaki, H. Nakamura, PASSIVE CONTROL OF STRUCTURAL INTENSITY ON A FLAT PANEL BY BEAM ATTACHMENT, Proceedings of The 22th International Congress on Soound and Vibration, 940, 2015年7月14日, Firenze(Italy)

Chida Shohei, Nakamura Hiroki, Yamazaki Toru, Impulsive Response Analysis Using Transient Energy Distribution Analysis, Proceedings of Inter-Noise 2014, p448.pdf, 2014年11月18日, Melbourne

(Australia)
Nakamura Hiroki, Chida Shohei, Yamazaki Toru, Improvement of Experimental SEA model accuracy using Independent Component Analysis, Proceedings of Inter-Noise 2014, p445.pdf, 2014年11月17日, Melbourne (Australia)
Itoh Yoshiaki, Imazu, Taku, Nakamura Hiroki, Yamazaki Toru, Vibration analysis based on time-frequency analysis with a digital filter: Application to nonlinear system identification, Proceedings of Inter-Noise 2014, p361.pdf, 2014年11月19日, Melbourne (Australia)
Omata Nobuaki, Nakamura Hiroki, Waki Yoshiyuki, Kitahara Atsushi, Yamazaki Toru, Measurement of Structural Intensity Using an Angular Rate Sensor, Proceedings of Inter-Noise 2014, p317.pdf, 2014年11月19日, Melbourne (Australia)
今津卓, 中村弘毅, 伊東圭昌, 山崎徹, ヴァイオリンの駒構造の振動伝搬モデルの基礎検討, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2014 USB 論文集, 634.pdf, 2014年8月27日, 上智大学(東京)
千田祥平, 中村弘毅, 山崎徹, エネルギーフロー解析による衝撃振動応答エネルギー解析, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2014 USB 論文集, 322.pdf, 2014年8月27日, 上智大学(東京)
小俣延明, 渡邊岳, 中村弘毅, 和氣充幸, 北原篤, 山崎徹, 角速度計を用いたSI計測法, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2014 USB 論文集, 661.pdf, 2014年8月27日, 上智大学(東京)
今津卓, 山崎徹, 伊東圭昌, 中村弘毅, ヴァイオリンの駒と表板の衝突モデルの基礎検討, 日本機械学会関東支部第20期講演会, No.140-1, 20902.pdf, 2014年3月15日, 東京農工大学(東京)
Ken Sato, Toru Yamazaki, Eiichi Kojima, Noise and Vibration Contribution Analysis on Hydraulic System Using SEA, Proceedings of Inter-Noise 2013, 0563.pdf, 2013年9月17日, Innsbruck(Austria)
今津卓, 山崎徹, 伊東圭昌, ヴァイオリンの駒構造の振動伝搬特性の基礎検討, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2013 USB 論文集, 361.pdf, 2013年8月27日, 九州産業大学(福岡)
伊東圭昌, 山崎徹, 加藤優馬, 今津卓, 工藤邦男, 竹村兼一, デジタルフィルタによる時間周波数分析を用いた振動モデル化に関する基礎的検討, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2013 USB

論文集, 317.pdf, 2013年8月27日, 九州産業大学(福岡)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 徹(YAMAZAKI, Toru) 神奈川大学・工学部・教授 研究者番号: 70272416

(2) 研究分担者

伊東 圭昌(ITOH, Yoshiaki) 神奈川県産業技術センター・機械・材料技術部・研究員 研究者番号: 60426343

(2) 連携研究者

中村 弘毅(NAKAMURA, Hiroki) 神奈川大学・工学部・助教 研究者番号: 50710141

(3) 研究協力者

今津 卓(IMAZU Taku) 神奈川大学大学院・工学研究科・大学院生

佐藤 健(SATOH Ken) 神奈川大学大学院・工学研究科・大学院生

千田 祥平(CHIDA Shohei) 神奈川大学大学院・工学研究科・大学院生