

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：57403

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18472

研究課題名(和文)音響工学的観点によるバイオリン職人の技術継承支援

研究課題名(英文) Support for the succession of violin craftsmen's skills from the viewpoint of acoustic engineering

研究代表者

西村 勇也(Nishimura, Yuya)

熊本高等専門学校・電子情報システム工学系C Iグループ・准教授

研究者番号：60585199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：バイオリンの音色を決定づける要素は多岐にわたるが、本研究ではバイオリンを調整する際に分解の必要がない「駒」と「魂柱」に着目し、音響再現性の良い手法を採用した。バイオリンの音響評価方法は複数あるが、本研究では音響評価方法として、魂柱の調整による音圧指向性の変化に着目した。複数台のバイオリンを用いて職人による調整前後の音圧指向性をプロのバイオリン奏者の協力を得て測定し、その時の魂柱の位置関係と指向性の相関を得ることができた。指向性は正二十面体のマイクロフォンアレイモデルを用い、三次元ベクトル及びカラースケールにより視覚化するシステムを構築し、視認性の高い音圧指向特性図を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、バイオリンが調整によって生まれ変わる可能性を秘めていることを世界中の職人が理解しているにもかかわらず、これまで研究されてこなかったという点に加え、楽器の調整技術は職人育成のため習熟の必要があることから社会的意義が深い。さらに音響工学を専門とする研究者とバイオリン職人が職業的枠組みを超えて、工学理論と洗練された職人の感性とが有機的に結び付けば、17-18世紀に製作された銘器の音響法則の解明と、その法則を反映したより優れたバイオリン製作・調整技術が開発される潜在的可能性を有している。本研究の成果は可能性の一要素となり職人の技術継承を推進する意味でも意義は深い。

研究成果の概要(英文)：Although there are many factors that determine the sound of the violin, this study focuses on the "bridge" and "sound post" that do not need to be disassembled when adjusting the violin.

Several violins were used to measure the sound pressure directivity before and after adjustment by a craftsman with the support of a professional violinist, and the correlation between the position of the sound post and the sound pressure directivity was obtained.

The sound pressure directivity was visualized using an icosahedral microphone array model with a three-dimensional vector and a color scale, and a highly visible pressure directivity diagram was obtained.

研究分野：音響工学

キーワード：バイオリン 指向性 魂柱 駒 波動方程式 CTスキャン 技術継承

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

バイオリン製作は1500年代中期に始まり、今日までさまざまな技法・流派により製作・調整されている。製作・調整の大半は職人のこれまでの試行錯誤や経験的な勘などの工房内ノウハウの蓄積に頼って行われており、門外不出とされている。また、製作指導書や文献は極めて少なく、その多くは音響学的に正しいか否かの判断が付かないことが多い。

1978年にL. Cremerらの研究によって明らかになった^[1]“バイオリンの銘器は鋭い指向特性を持つ”に始まりこれまでバイオリンの指向性について様々な研究がなされている。現代も銘器を作るためにバイオリン工房ではAntonio Stradivariusを代表とする歴史上の名匠が作った銘器を研究し製作を続けている。

バイオリンの歴史的研究^[2]から1700年代に製作された銘器と呼ばれるバイオリンは、表裏の板の固有振動数が半音から全音(約30[Hz])異なるよう成形されていることが判明し、現在ではこの手法による製作が一般的に普及している。さらに、近年の研究では板の固有振動のみでなく、図1に示す表板の左右2ヶ所あるf字孔によるエアトーン(筐体内空気による共鳴音)との関係が重要であると結論付けている。このように表裏の板のみを論じて、未だ銘器を生む製作方法が確立しておらず、職人は日々試行錯誤を重ね製作せざるを得ない。



図1 表板とf字孔

またバイオリン職人は製作だけではなく、既存の楽器をも調整するスキルが必要である。300年前に作られた銘器が今もなお演奏家の要求を満たしているのは職人による調整の賜物であり、銘器であっても調整次第では模造品以下の音質になってしまう。つまり腕の良い職人が調整を施し、奏者を満足させることで工房の信頼を得ることができるのである。

本研究は「音響工学的観点によるバイオリン職人の技術継承支援」をタイトルに掲げ、音響学的に正しい手法によるバイオリン工房の持続可能性を支援する必要性があることから構想に至った。

2. 研究の目的

バイオリンの研究はこれまで様々なパーツで行われ、最も重要とされる表板・裏板については振動解析、ニス・接着剤の化学的特性や木材の乾燥方法など多岐に渡る。本研究がターゲットとしている楽器の放射特性については、L. Cremerらのストラディバリウスを用いた研究などがあるが、いずれも楽器の「個体差」について論じた研究である。

バイオリンが調整によって生まれ変わる可能性を秘めていることを世界中の職人が理解しているにもかかわらず、これまで研究されてこなかったという点に加え、調整技術は職人育成のため習熟の必要がある。以上より本研究は、バイオリン職人と音響工学の研究者が職業的枠組みを超えて、工学と芸術を有機的に結び付けるための潜在的可能性を有したバイオリン職人の技術継承支援を目的とした。

バイオリンの調整として駒・魂柱をターゲットとした。これは表板と裏板は製作時に緻密に寸法を決定する必要があり、製作後は厚み以外の形状変更はできないからである。板厚は固有振動数に関係し、さらにf字孔によるエアトーンとの兼合いが音色を左右する大きなパラメータとなるのは上述した通りである。このように板は最重要パーツである反面、固有振動数を測定するためには当然楽器を分解する必要がある。事実、一度分解した楽器を再度組上げたときの組み立て誤差や駒と魂柱の位置関係が再現できないことより、音響の変化点が膨大になる。

一方、駒と魂柱の位置調整は楽器を分解する必要がない。駒は直接手で触れて調整でき、魂柱はf字孔から治具を用いて調整が可能である。いずれも接着剤などで固定されておらず破損のリスクも無く、音響の再現性は非常に高いと言える。このことから本研究ターゲットの魂柱と駒は十分適切である。

3. 研究の方法

駒と魂柱の調整とは、図2に示す「駒」と「魂柱(こんちゅう)」のバランス調整を行うものであり時間にして数十分の作業である。実はこのバランス調整こそが職人の腕の見せ所であり、経験や勘が必要である。バランス調整は駒と魂柱の位置を最適化することである。この位置関係は音色をはじめ音量や指向性に大きく関係するが、指導書や文献といったマニュアルは皆無である。奏者によって音色や音量の嗜好は異なるため調整方法は奏者の依頼に応じて調整することが多いが、指向性についてはL. Cremerの研究で述べられた通り、一貫して鋭い楽器が良いとされる。この「駒と魂柱のみの調整で如何にして鋭い指向特性を得ることができるか」を以下の研究手順(図3)により取り組む。

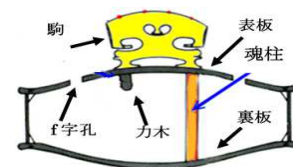


図2 筐体内の魂柱と駒

- (1)バイオリンの筐体・駒・魂柱のX線CT測定により寸法・位置関係を明らかにする。
- (2)理論計算によって楽器の筐体内共振周波数・音圧の解析を行う
- (3)無響室でのバイオリンの実演奏音収録により空間放射特性(指向性)を測定する。
- (4)バイオリン職人による駒・魂柱のバランス調整を実施する。

(5)調整後のバイオリンに対し研究手順(1)～(4)を再度行い駒・魂柱の移動度と指向性の変化を解析する。この手順を複数回繰り返し、調整による位置関係と指向性の相関指標を作成する。

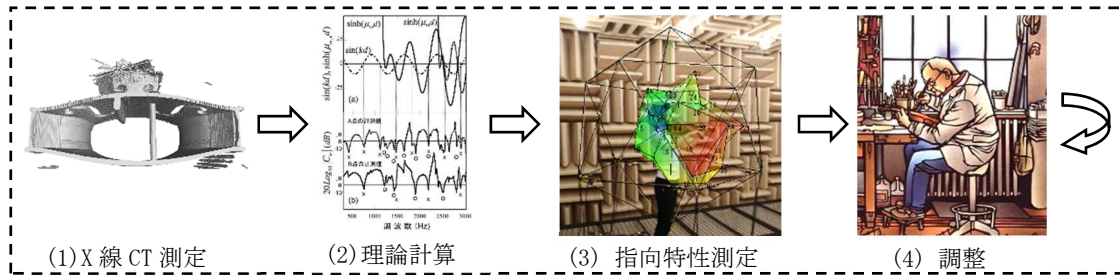


図3 研究手順

4. 研究成果

研究手順に則りバイオリン職人に魂柱のみの調整を依頼し、調整前後の楽器によるX線CT測定【手順(1)】、バイオリン管体と魂柱位置による共振周波数の理論計算【手順(2)】、本校所有の無響室での指向特性測定【手順(3)】、調整後のバイオリンに対して再び職人による調整【手順(4)】を繰り返し行うものである。X線CT測定の結果(一例)を図4に示す。

図4は魂柱のみの手順(1)、調整前後の状態を示しており、CT画像をメッシュデータ(STL形式)とし、魂柱の移動度を詳細に測定した。図4(A)は表板・駒・魂柱の位置関係を示しており、僅かに魂柱のみが移動している様子がわかる。魂柱の位置を拡大したものが図4(B)である。X線CTの解像度は非常に高いため、今回の調整による魂柱の移動は5.49[mm]と詳細に計測可能である。図4(C)はバイオリン管体の断面図であり、魂柱の傾きを計測している。取得したX線CT画像から手順(2)の理論計算を行い、共振周波数の理論計算を行った。

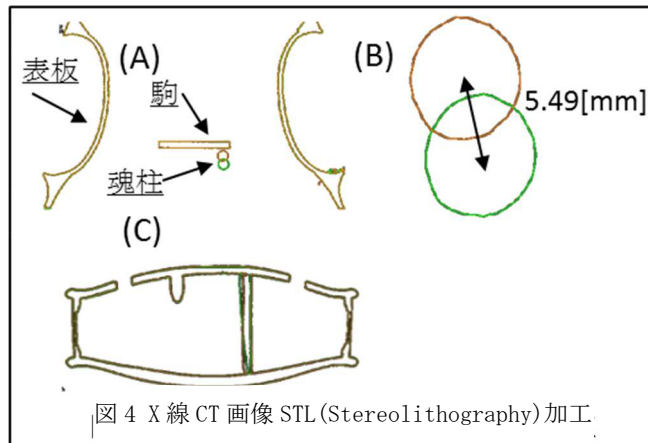


図4 X線CT画像STL(Stereolithography)加工

手順(3)では無響室にて正二十面体の均等密度配置となる42点にマイクロフォンを設置し、指向特性の測定を実施している。各マイクロフォンから中心までの距離は90cmとし、中心点がバイオリンの駒となるように設置し、演奏中に奏者の体が動かないよう注意して演奏するが、演奏時に奏者が微動することによる音圧レベルの変化は、演奏音が65dB程度に対して概ね±0.5dBであり、指向特性を測定する上では全く問題にならない値である。図5及び図6にそれぞれ調整前後の指向特性を示す。音圧レベルをベクトル量とカラースケールで表している。調整により指向特性が先鋭化し、バイオリンのスクロール(先頭部)からの放射音が尖鋭さを増していることが確認できる。この研究結果から僅か5.49[mm]の魂柱の移動により大きな指向特性の変化が確認できた。

以上の手順を複数台のバイオリンを使用して調整による位置関係と指向性の相関指標を作成し、研究成果を発表した。

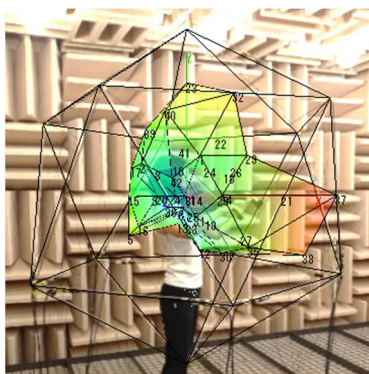


図5 調整前指向特性

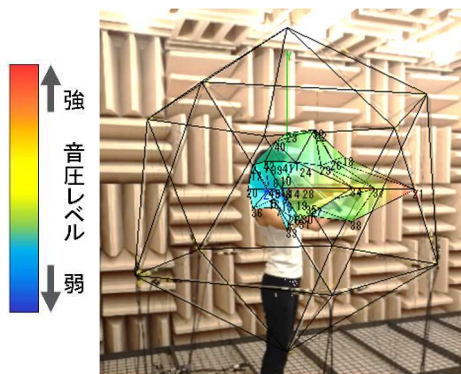


図6 調整後指向特性

[1] L. Cremer, "On the Radiation of Closed Body Surfaces", Acta acustica, Vol29, pp. 137-147(1973)

[2] C.M.Hutchins, "The physics of violins", Scientific American Nov.78-92(1962)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yuya Nishimura, et al.	4. 巻 5
2. 論文標題 Calculation of Sound Propagation in Ventilation Hole Device	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Emerging Engineering Research and Technology, Vol.5, Issue4, pp.1-5	6. 最初と最後の頁 1-5
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 該当する

1. 著者名 Sohei Nishimura, Yuya Nishimura	4. 巻 6
2. 論文標題 Sound Propagation in a Square Duct having an Inlet and Outlet	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Emerging Engineering Research and Technology	6. 最初と最後の頁 9-13
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 該当する

1. 著者名 Yuya Nishimura, et al.	4. 巻 Vol. 5, No. 3
2. 論文標題 Study on the Spatial Radiation Characteristic by Adjusting the Violin Sound Post	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 European Journal of Engineering Research and Science	6. 最初と最後の頁 314-319
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24018/EJERS	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 該当する

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 西村勇也
2. 発表標題 バイオリンの音調整技術伝承に関する音響工学的支援
3. 学会等名 電気学会九州支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村勇也
2. 発表標題 バイオリンの音調整技術伝承に関する音響工学的支援の一考察
3. 学会等名 日本音響学会音楽音響研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村勇也
2. 発表標題 金属製バイオリン実演奏音の音響特性：放射指向性の観点から
3. 学会等名 日本音響学会音楽音響研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村勇也
2. 発表標題 金属製バイオリンの音響放射特性に関する研究
3. 学会等名 電子情報系高専フォーラム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村勇也
2. 発表標題 バイオリンの音調整技術伝承に関する音響工学的支援
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村勇也
2. 発表標題 バイオリンの弱音器使用による放射特性変化
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西村勇也
2. 発表標題 金属製バイオリン実演奏音の放射指向性に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会九州支部
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 続裕樹、西村勇也
2. 発表標題 ヴァイオリンの音響特性：職人の調整による音響特性変化の一考察
3. 学会等名 平成29年度電気・情報関係学会九州支部連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡村勇輝、西村勇也
2. 発表標題 アルミ製バイオリンの音響放射特性に関する研究
3. 学会等名 音楽音響研究会2017年10月研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 続裕樹、西村勇也
2. 発表標題 バイオリン職人の技術継承に対する音響工学的な支援
3. 学会等名 平成29年度 第16回 電子情報系高専フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sohei Nishimura, Yuya Nishimura
2. 発表標題 Acoustic performance of soundproof ventilation units installed in dwelling walls
3. 学会等名 23rd International Congress on Acoustics, proceedings of ICA 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sohei Nishimura, Yuya Nishimura
2. 発表標題 Study on Theoretical Calculation of Soundproofing Air Vents
3. 学会等名 The 49th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, PROCEEDINGS INTERNOISE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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
研究協力者	北澤 孝治 (Kitazawa Takaharu)		バイオリン職人

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	黒葛原 康子 (Tsuzurabara Yasuko)		ヴァイオリニスト