

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330245

研究課題名(和文) 楽器の物理モデルに基づく演奏情報の記録システムとその応用

研究課題名(英文) Performance information recording system based on the physical model of musical instruments and its applications

研究代表者

西口 磯春(NISHIGUCHI, Isoharu)

神奈川県工科大学・創造工学部・教授

研究者番号：70231503

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)：本研究においては、楽器の演奏情報の測定・記録システムを開発することを目的としている。演奏情報の測定・記録システムを開発することの意義は、優れた演奏者の技術の解明やそれを後世に伝えるという文化的な意義、演奏技術習得支援、音楽鑑賞など、多岐にわたるが、本研究ではこれらのいずれにも寄与できる高精度なシステムを開発することを目指している。具体的には有弦楽器を対象とし、楽器の物理モデルを援用したシステムを開発した。その結果、バイオリン等の小型の弦楽器にも搭載可能な、弦の2次元運動を測定できる小型ピックアップを開発し、これによって得られる情報を楽器の物理モデルを組み合わせることが可能となった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a performance information recording system of musical instruments. There might be various purposes of developing such a system e.g. investing the techniques of prominent musicians or handing them down to the generations or enjoying listening to the music, we are, however, aiming to develop an advanced system which contributes most of these purposes. Specifically, we tried to develop a system for stringed musical instruments in which physical modeling of them is incorporated. The result is that we have developed a small size pickup which can be mounted on the violin and two dimensional forces on a string can be measured and performance information can be obtained by combining with physical modeling.

研究分野：音響学，計算力学，構造力学

キーワード：演奏情報 小型ピックアップ 楽器の物理モデル バイオリン ギター 打弦鍵盤楽器

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 演奏情報の記録システムの意義

音楽に限らず芸術・文化・技術は正確に記録して後世に残すべきであろう。音楽の例として、中山一郎氏は歌声データベース「日本語を歌・唄・歌う」の収録時の映像を4枚のDVDに収めた映像アーカイブを2008年に発刊した(引用文献①)。このDVDでは、日本の伝統的な音楽や芸能の各ジャンルと洋楽や歌謡曲などの代表的な演奏者の演奏が記録されており、貴重な基本資料と高く評価されている。しかし、後世に残す記録としては、演奏時の意識や意図を知る糸口となる演奏者へのインタビューだけでなく、演奏者が必ずしも意識していない詳細な演奏情報も計測・記録することが望まれる。楽譜は演奏情報のごく一部にしか過ぎない。現在の楽器博物館に収められている楽器に対して、音色も含めた演奏情報が存在すれば、その文化的価値は一段と高くなる。しかし、楽器に限定して考えると、MIDI キーボード等を利用できる場合にはある程度の奏者情報が取得できるが、楽器の発音機構や奏法によっては、従来技術ではその記録は容易ではない。本研究で対象とする有弦楽器はその典型的な例である。

### (2) これまでの研究

本研究で対象とするのはギター、バイオリン、クラヴィコード等の有弦楽器である。従来技術では演奏情報の測定・記録が難しかった楽器である。

例えばギターについては、様々な奏法があり、打弦の位置、スピード、角度、強さ、タイミング等の複雑な演奏情報を取得する必要がある。報告者らはこのために弦がブリッジに作用する荷重を計測するための2次元ピックアップを開発した。このピックアップからの情報を、ギター弦振動特性を再現できる物理モデルと組み合わせることにより、打弦の位置、打弦力の方向と大きさ等を求め、更に弦等の振動挙動を可視化することができる。

一方、クラヴィコードはギターやピアノほど一般には知られていない楽器であるが、14世紀頃に誕生した鍵盤楽器である。キーを押すと、キーの奥に設置されたタンジェントと呼ばれる金属製の棒が上昇し、水平に張られた弦に接触する。キーを押し下げている間、弦との接触が持続するため、キーに与える力を変化させることにより、音の高さに変化を与えることができる。このような奏法はピアノやチェンバロでは不可能であり、クラヴィコードの特徴の一つであるが、一方で、奏者には繊細なタッチのコントロールが要求されることとなる。クラヴィコードの物理モデルに関する研究は一部の例外(引用文献②)を除いて数少ないが、報告者らは、高速度カメラにより弦とタンジェントの動きを定量的に測定するとともに、物理モデルの検討を

行ってきた。これにより、タンジェントの運動履歴から演奏者の押す力を推定することができる。

## 2. 研究の目的

本研究は、ギター等の有弦楽器に関する演奏情報の測定・記録システムとして、最終的には、高精度で信頼性の高いシステムの実用化に直結するレベルを目指している。

楽器の演奏を演奏者と楽器の二つの要素間の相互作用として捉えると、演奏情報の測定・記録の対象としては、演奏者側の身体的あるいは心理的な側面と楽器側の力学的な挙動の両方が含まれることになる。

しかしながら、本研究においては、主に、楽器側で測定可能な演奏情報を対象とし、演奏者の情報としては、楽器との接点における作用に限定する計画である。ギターを例に挙げれば、弾弦する指の運動や作用する力は対象とするが、そのときの手や腕の動きについては対象としない方針とした。

最終的には演奏者を含めたフィードバック系としての理解が重要であることは当然であるが、本研究においては楽器側で測定可能な演奏情報に注力することにより、完結したシステムとしての完成度を高めることを目指した。もちろん、アーカイブとして、演奏の動画記録と併用することはいつでも可能である。

## 3. 研究の方法

本研究における演奏技術の記録システムは、(1)楽器の振動挙動を測定し記録する機能(センサー機能)、(2)物理モデルに基づき演奏情報を推定する機能、(3)演奏情報を記録する機能からなる。本研究においては、この3つの機能のうち、最初の二つの機能について、これまでの技術を更に発展させて高精度化を試みる。また、記録した情報を元に、演奏音を再現する技術についても検討を行う。

センサー機能に関する課題としては、これまでに開発した2次元ピックアップのさらなる小型化があげられる。物理モデルの課題としては、弦と指あるいはタンジェントの接触、弦の3次元運動のモデル化、響板等の振動特性の考慮、バイオリンなどの擦弦のモデル化等が挙げられる。また、物理モデルに基づき推定した演奏情報を検証することも重要である。このためには実験的な検証を行うことが望ましい。

## 4. 研究成果

(1)センサー機能については、2次元ピックアップの小型化を実現した。

従来の設置面積は9.5mm×7.3mmであったが7.0mm×4.0mmとなり、従来と比較して約60%の減少となった。また、重量も一個あたり1.6gが0.6gとなり、従来から、約63%減少した。

これにより、汎用性が向上し、バイオリンのすべての弦に2次元ピックアップを設置することができた。

バイオリンに4個の2次元ピックアップを設置した例を図1に示す。図1においては、各弦2チャンネル、合計8チャンネルの信号をチャージアンプに入力している。また、図2はギターに設置した従来型のピックアップとバイオリンの駒部の小型ピックアップを比較したものである。

2次元ピックアップにおいて、重要な課題は感度校正である。ピックアップの小型化に伴い、感度校正の難易度が増すが、校正法の工夫により測定することができた。今回製作したピックアップについては、約 $6.50[\text{pC}/\text{N}]$ であった。周波数特性については、現在計測中である。



図1 小型ピックアップを設置したバイオリン



図2 従来型と新型ピックアップの比較

(2) 演奏情報記録システムとしては、ブリッジ部の2次元ピックアップ等の出力値から加振部における演奏情報を求める必要があり、このために弦の物理モデルの検討を行った。

一般に、弦は3次元運動をしており、弦の中心軸に対して上下あるいは左右の運動も存在する。また、軸方向の張力の局所的な変

化や、上下左右方向の運動との連成効果もある。さらに、変形の大きな場合には有限変形による幾何学的な非線形の影響も考慮する必要がある。これらの影響について、モード重ね合わせ法に基づく定式化を行ない、汎用の有限変形理論に基づく有限要素解析プログラム等との比較により、その妥当性を検証した。

また、バイオリンの物理モデルの検討を行った。実際のバイオリンの形状を非接触3次元測定器により測定し、有限要素解析モデルを作成した。一例として、バイオリンボディの固有振動モードを図3に示す。本解析例では、木材の異方性も考慮している。

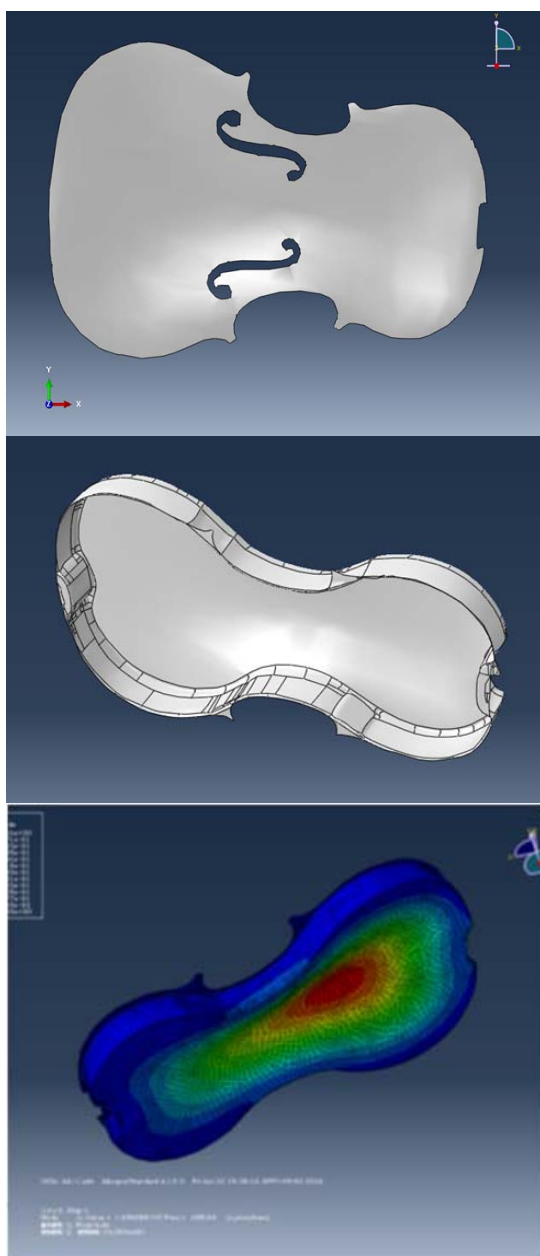


図3 バイオリンの形状と振動モード図の例

バイオリンに関しては、弦のいわゆるスティック・スリップ現象のモデル化が重要であ

り、現在、弦と弓の摩擦を考慮した有限要素解析を実施中である。

(3) 物理モデルの精度評価のためには、実際の演奏者と同様でかつ再現性のある加振装置が必要となる。シリコンゴムと人工骨を用いて指部をモデル化した装置を開発し、良好な再現性を確認しているが、今回の検討で、従来の錘の自重を利用したシステムから、新たにステップモーターをシステムに変更し、再現性を向上させた。作成した装置を図4に、人工骨を埋め込んだ指モデルを図5に示す。

2次元ピックアップの出力値を垂直・水平成分の力成分に変換し、立上り部の垂直力と水平力の波形からそれぞれの弦の振動形状とリサージュ図形が求められる。このリサージュ図形から弾弦方向、弾弦力、弾弦スピード等が算出可能となる。

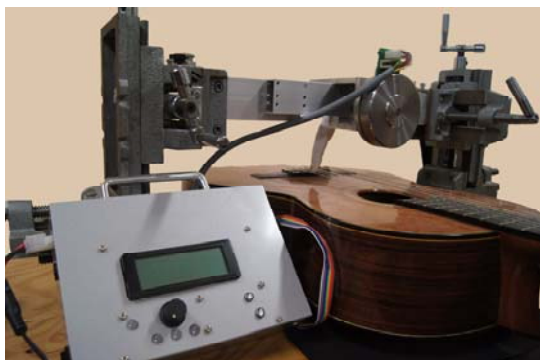


図4 指形状を有するギター弾弦装置

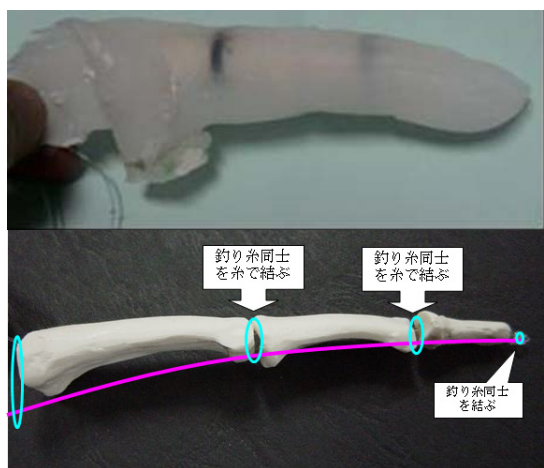


図5 指部モデル（上）と内部の人工骨（下）

(4) 以上に述べた2次元ピックアップの小型化により、バイオリン等の擦弦楽器の弦振動および加振力に関する情報の取得が可能となった。今後は、擦弦の物理モデルの検討をすすめ、弦のねじれ等の変形を含む演奏情報の取得を目指す予定である。また、指部モデ

ルを含む再現性の高いギターに加振装置の開発により、ギター個体による音色の違いの検討等にも応用が可能だと考えている。

(5) 本研究では主に有弦楽器の演奏情報の計測・記録システムを検討したが、有弦楽器以外の楽器についてもその意義は大きいと考えられ、今後検討を進めていく予定である。

#### <引用文献>

① 中山一郎編, 日本語を歌・唄・謡う(映像アーカイブ), アド・ポポロ, 2008.

② S. Thwaites and N. H. Fletcher, "Some notes on the clavichord," J. Acoust. Soc. Am., vol. 69, pp. 1476-1483, 1981.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

① Ichiro TOKUHIRO, Aya MORISHITA, Isoharu NISHIGUCHI, Kiyohiko YAMAYA, "Measuring progressions in the play technologies of French Horn by the professional musician lessons," The Japanese Journal of Ergonomics Vol. 51 (2015) No. Supplement pp. S454-S455, 2015.

[学会発表] (計3件)

① 徳弘 一路, 西口 磯春, 山家 清彦, バイオリン搭載用小型2次元ピックアップの製作と性能評価, 日本人間工学会第57回大会, 2016年6月25日, 三重県立看護大学(三重県・津市)

② 徳弘 一路, 西口 磯春, 山家 清彦, バイオリン搭載用小型2次元ピックアップの製作と性能評価, 日本人間工学会第24回システム大会, 2016年3月10日, 早稲田大学理工学部(東京都・新宿区)

③ 徳弘 一路, 赤堀 友哉, 西口 磯春, 山家 清彦, 弦楽器の弦振動を計測できる2次元ピックアップの小型化の試み, 日本人間工学会第56回大会, 2015年6月14日, 芝浦工業大学(東京都・江東区)

[図書] (計1件)

① 西口 磯春 編著, ピアノの音響学, コロナ社, 2014年, 218

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

西口 磯春 (NISHIGUCHI, Isoharu)  
神奈川工科大学・創造工学部・教授  
研究者番号: 70231503

(2) 研究分担者

徳弘 一路 (TOKUHIRO, Ichiji)  
神奈川工科大学・情報学部・准教授  
研究者番号: 30114929