

番号	CI-08	提出年月日	令和 7 年 2 月 18 日
箏に使用される箏柱の材質、形状及び取り付け角による音色の違いについて			
研究者	清原 凜		
所属	制御情報システム工学科		
指導教員	西村 勇也 准教授		

## 1 緒言（はじめに）

箏は和楽器の代表的な楽器であり、13本の弦に可動式の柱を使用して音高を変化させ、箏爪を使って弦を弾いて演奏する。楽器筐体は桐材が使用され、内部が空洞となっているため共振現象により音圧レベルを増幅させている。弦を弾いた際の弦振動は、柱を通じて筐体を振動させるため柱と筐体との接触点や柱の形状が音色に大きく影響を与える。

かつて柱の材質は象牙が主流だったが、象牙の輸入規制などで値段が高騰し入手が困難になったため現在はプラスチックが主流となっている。また、裾を広げた山形で、頂上に弦をわたす溝と底に半月形の削りがある形状は奈良時代から変化していない。柱によって音色は違うと言われるが、具体的にどのように違うのか研究した事例は見られない。これらの背景から本研究を行うに至る。

本研究の目的は、箏柱の材質・形状・接触点の違いによる周波数特性の違いを測定し、音色への影響を解析することである。この解析により、音色の特性を理解し精密な調整を行うことやその特性を生かした演奏が出来るようになる。そしてより質の高い演奏が出来るようになることが期待される。

本研究では以下の5種類の材質の柱を使用する。普段演奏に使用している白象印のプラスチック柱に加え、かつて主流であった象牙、PETG、ABS、PLAの3つの素材で3Dプリントした柱を使用する。

また、接触点の違いとして、通常の設定方法に加え、筐体と柱の間に不織布やラバー材を敷いたもの、柱を弦に対して10度傾け筐体との設置面積を変更したものを検証する。

さらに、形状の違いについては、横幅を大きくしたもの、半月状の削りを無くしたものを3Dプリントし上で述べた3つの素材で検証する。なお、プラスチックや象牙質の柱で望む形状のものが見つからなかったため、検証は3Dプリントしたもののみで検証を行うことにする。

録音方法として、弾き方は左手で柱の反対側を押さえながら爪の角で下から上に弾く。3,7,11弦の柱をG音程に調弦し、弾く位置を通常の龍角側と中央部分の2パターンで録音を行う。録音環境は箏の裏穴から10cmほど離れたところにマイクを置き無響室で録音する。また、箏爪は象牙のものを使用する。

最後に、録音したデータを周波数解析とケプストラム解析し音色の評価を行う。また、余韻時間の解析も行う。



図1 録音環境

## 2 研究結果・考察

### 2.1 柱の作成

3Dプリントする柱はOnshapeというCADソフトウェアを使用して作成した。Onshapeは完全クラウド上で3DCADモデリングを行うことが出来るソフトウェアである。以下図2に作成したモデルを示す。



図2 柱の3Dモデル(通常,横幅2倍,半月状の削りを埋める)

寸法はプラスチックの柱と同様に設定した。完璧に再現することはできなかったが大まかな形状の特性を再現した。そして、このモデルデータから実際にABS、PLA、PETGの材質でプリントした。

### 2.2 録音

#### 2.2.1 録音データ

録音したデータ表1に示す。

表1 録音データ

材質	10度傾ける	ラバー材を挟む	不織布を挟む	横幅2倍	半月状の削り
プラスチック	○	○	○		
象牙	○	○	○		
3Dプリンタ				○	○

これを、3弦7弦11弦それぞれ録音を行った。

#### 2.2.2 設置方法

以下に柱の設置方法の図を示す。

まず図6の通常の設定法は、弦に対して柱は垂直に設置している。これは通常演奏活動を行う際と同じ設置方法である。次

に図7は10度傾けて設置している.傾けることによって筐体のカーブにより接地面積が減少している.次に図8は設置面に不織布を挟んでいる.最後に図9は設置面にラバー材を挟んでいる.



図3 通常

図4 10度傾ける



図5 不織布

図6 ラバー

## 2.3 周波数解析

以下に録音データを周波数解析した結果を示す.左の図がスペクトルで右がケプストラム包絡である.

### 2.3.1 材質比較

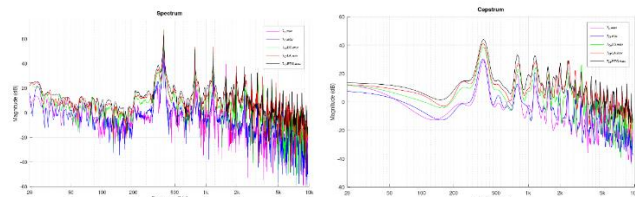


図7 材質比較スペクトルとケプストラム包絡

図7から以下のことがわかる.

象牙,プラスチックは基本周波数と倍音成分が目立っており.そのほかの成分は低くなっていたり,高周波域倍音の減衰が緩い.樹脂3つは偶数倍音成分が奇数倍音成分より目立ち高周波数域の減衰が激しい.また,基本周波数の少し前の周波数が目立つ.象牙は高周波倍音成分の減少が緩く奇数倍音が目立つ.プラスチックは高周波にかけて緩やかに減少している.よってプラスチックは明瞭な音で高周波数でもノイズが少ない音である.象牙は明るくはっきりした音で非常に音が明瞭で豊かである.ABSは樹脂3つの中では明瞭であるがプラスチックや象牙に比べるとかなり劣る.やわらかい音だが高周波数成分のノイズが多い.PLAは明るく硬めな音色である.樹脂3つの中では基本周波数が目立ちやすい.PLAは樹脂3つの中では高周波数成分のノイズが少ないがプラスチック,象牙にはかなり劣る.基本周波数が目立ちにくい.音色をしていると考察付けることができる.

### 2.3.2 設置比較

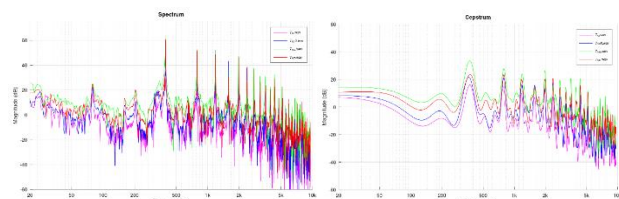


図8 設置比較スペクトルとケプストラム包絡

図8から以下のことが分かる.通常の設定方法と10度傾けた方法にあまり違いは見られない.ラバー材を挟んだものと不織布を挟んだものは中周波数域から高周波数の間が特に倍音成分以外の成分が少なく倍音成分が目立ち,低周波域成分が多い.

よって10度傾けた方法は通常の設定方法とあまり設置面積は変わっておらず音色の違いは見られない.ラバー材を挟んだ方法は弦の振動が上手く筐体に伝わっておらず箏らしい音というより弦の振動そのものの音にちかくなっている.基本周波数の明瞭さに欠ける.不織布を挟んだ方法はラバー材を挟んだ方法に比べると箏らしい音は残っているが筐体に振動が伝わりずらくなっている.基本周波数の明瞭さに欠ける.といった音色をしていると考察付けた.

### 2.3.2 形状比較

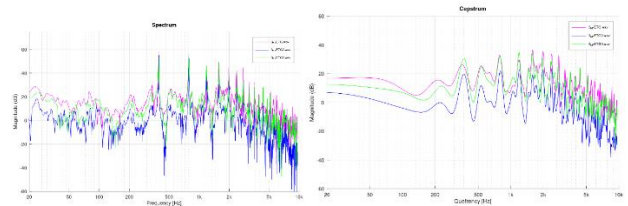


図9 材質比較スペクトルとケプストラム包絡

図9から横幅2倍にしたものと半月状の切りを埋めたものは通常形状に比べ倍音以外の成分が低く目立たず高周波数成分の減少が激しいことが分かる.よって横幅2倍は高周波数の明瞭さと鳴りやすさに欠ける.半月状の切りを埋めるのは弦の振動が筐体に伝わっておらず箏らしい音はしない.柱に振動が吸収されている.高周波数成分の明瞭さと鳴りやすさに欠ける.と音色を考察付けた.

## 2.4 余韻時間解析

音圧レベルの最大値から30dB減少するまでの時間(秒)を求めた.その結果を図10のグラフに示す.

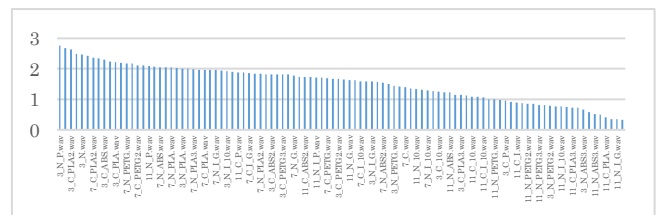


図10 余韻時間解析

余韻時間は何か特定の条件の違いが影響すると言えない結果となった.全体の音圧レベルではなく倍音成分の重みを考えて分析することで期待される結果が出る可能性がある.

## 3 結言(おわりに)

柱の材質や形状が音色にどのように影響を与えるかという点は,これまで演奏者の経験や感覚に頼ってきた部分が大きく,具体的な解析がされていることはほとんどなかった.本研究により,これらの音響特性が明確に示されることで,より精密で多様な音作りが可能となり,箏演奏の幅が広がることが期待される.

本研究は箏以外の和楽器やその他の弦楽器にも応用可能であり,楽器の進化や演奏技術の向上に貢献することが期待できる.そしてより一層箏の魅力をさらに引き出すための一助となることを目指している.