

# 人工吹鳴装置を用いたシングルリード木管楽器のリード振動計測系の検討\*

☆ 内川耕輔, 新美智也, 矢田部浩平 (農工大)

## 1 はじめに

サクソフォンやクラリネットなどのシングルリード木管楽器において、リード振動は吹鳴圧力や唇の押圧力などの吹鳴条件に応じて変化することが知られている [1]。そのため、吹鳴条件の違いに伴うリード振動の変化を計測することは、シングルリード木管楽器の発音特性を理解する上で重要である。我々はこれまで、レーザ照射によって生じるスペックルパターンを利用した非接触かつ非破壊なリード振動計測手法を実装し、人の演奏時に得られたリード振動と録音音源の周波数成分の対応を確認した [2]。一方、人による演奏では、吹鳴条件を定量的に設定してリード振動を比較することが難しい。そこで本稿では、吹鳴条件を設定した比較計測を行うための人工吹鳴装置を構築した。人工吹鳴装置を用いて吹鳴条件を変更した際のリード振動を、スペックルパターンを利用した高速度カメラによる非接触計測手法によって計測し、得られた画像上の変位時系列を比較した。

## 2 スペックルによるリード振動の計測

我々がこれまで実装した光学的な非接触リード振動計測手法 [2] では、レーザと高速度カメラを用いる。図-1 (左) に計測系の模式図を示す。図-1 (右) のようにリード表面へレーザ光を照射すると、表面で散乱した光が干渉してスペックルパターンが形成される。吹鳴時のスペックルパターンを高速度カメラで連続撮影することで、リード振動に伴うパターンの時間変化を動画像として取得する。

撮影した動画像にデジタル画像相関法 (DIC) を適用し、スペックルパターンを追跡することで、画像上の変位時系列を算出する。DIC では、撮影画像内に局所的な解析領域 (ROI) を設定し、基準フレームの ROI 内のスペックルパターンに対応する位置を各フレームで探索する。基準フレームにおける ROI の位置と各フレームで推定した位置との差を、画像上の変位として算出する。

## 3 人工吹鳴装置の構築

吹鳴条件を定量的に設定・変更してリード振動を比較するため、人工吹鳴装置を構築した。図-2 に本実験で用いた人工吹鳴装置の構成を示す。装置は、エア

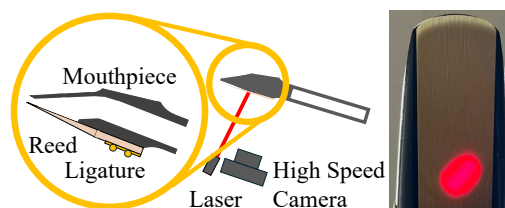


図-1 [2]におけるマウスピースの断面および計測系の模式図 (左) とレーザの照射範囲 (右)

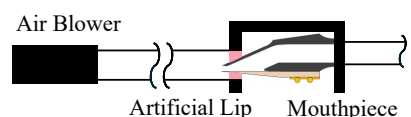


図-2 人工吹鳴装置の模式図

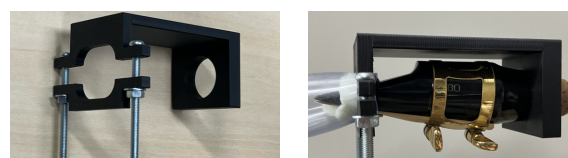


図-3 作製したパーツ (左図) と実際にマウスピースに取り付けた様子 (右図)

ダスターとチューブからなる空気供給部と、人工唇を用いてマウスピース周辺を保持する固定部から構成される。空気供給源には市販のエアダスターを用い、ポリ塩化ビニル製チューブを介してマウスピースへ空気を供給した。空気供給条件には、メーカー仕様に記載されたエアダスターの公称風速  $v$  を用いた。人工唇にはウレタンゲルを用いた。図-3 に、作製した固定パーツ (左) とマウスピースへの取付状態 (右) を示す。人工唇を保持する固定パーツを 3D プリンタで作製し、ねじで締結する構造とした。上下の固定パーツ間隔を  $d$  とし、ねじにより  $d$  を変更することで人工唇の固定条件を設定した。

## 4 実験

人工吹鳴装置を用い、空気供給条件および人工唇の固定条件を変更した際のリード振動を比較した。本実験で使用した主な機材を表-1 に示す。アルトサクソフォンは楽器スタンドに固定し、人工吹鳴装置を用いてリードを振動させ、光学的な非接触リード振動計測手法 [2] を用いて計測を行った。高速度カメラのフレームレートは 5000 fps、撮影画素数は  $256 \times 256$  pixel とし、レンズの焦点をリード表面に合わせて撮

\* A Study on a Vibration Measurement System for Single-Reed Woodwind Instruments Using an Artificial Sound-Generating Device. By Kosuke UCHIKAWA, Tomoya NIIMI and Kohei YATABE (Tokyo University of Agriculture and Technology).

表-1 使用機材

|           | 製品名                      | メーカー           |
|-----------|--------------------------|----------------|
| リード       | Anches Traditionnelles 3 | Vandoren PARIS |
| マウスピース    | S80C ☆                   | Selmer         |
| リガチャー     | ゴールドラッカー                 | Selmer         |
| アルトサクソフォン | AXOS                     | Selmer         |
| 楽器スタンド    | DS530BB                  | HERCULES       |
| カメラ       | FASTCAM Mini AX50        | Photron        |
| レンズ       | 25 mm F2.8 ULTRA MACRO   | LAOWA          |
| レーザー      | RP650AD5-4C              | Realpoo        |
| レコーダー     | TASCAM Portacapture X8   | TEAC           |
| マイクロホン    | AT4050                   | audio-technica |
| エアダスター    | DAD-401BK                | Nakabayashi    |
| ウレタンゲル    | 人肌のゲル原液 乳白 硬度 0          | エクシール          |
| チューブ      | 耐寒クリスタルチューブ              | 三洋             |

影した。吹鳴音はマイクロホンを用いて同時に録音し、録音音源から基本周波数を求めた。また、DIC から得られた画像上の変位時系列を用いて、吹鳴条件によるリード振動波形の違いを比較した。

#### 4.1 固定パーツ間隔によるリード振動の比較

人工唇の固定条件によるリード振動の変化を調べるため、公称風速を  $v = 41 \text{ m/s}$  に固定し、固定パーツ間隔  $d$  を  $1.5 \text{ mm}$  および  $2.0 \text{ mm}$  に設定した。

図-4 に録音音源のパワースペクトルを示す。基本周波数は  $d = 1.5 \text{ mm}$  で  $333 \text{ Hz}$ 、 $d = 2.0 \text{ mm}$  で  $332 \text{ Hz}$  となり、固定パーツ間隔によって基本周波数に差がみられた。演奏時に唇の押圧力が強くなると基本周波数が上がることが知られており [1]、本結果では同様の傾向を確認した。図-5 に DIC から得られた画像上の変位時系列を示す。 $d = 1.5 \text{ mm}$  と  $d = 2.0 \text{ mm}$  では波形形状が異なり、 $d = 2.0 \text{ mm}$  では振幅が大きくなっていることがわかる。これは、 $d$  の増加により、リード振動の振幅が大きくなっていると考えられる。

#### 4.2 風速によるリード振動の比較

空気供給条件によるリード振動の変化を調べるため、固定パーツ間隔を  $d = 1.5 \text{ mm}$  に固定し、公称風速  $v$  を  $41 \text{ m/s}$  および  $50 \text{ m/s}$  に設定した。

図-6 に録音音源のパワースペクトルを示す。基本周波数は  $v = 41 \text{ m/s}$  で  $335 \text{ Hz}$ 、 $v = 50 \text{ m/s}$  で  $332 \text{ Hz}$  となり、本実験では公称風速の増加に伴って基本周波数がわずかに下がった。演奏時に吹鳴圧力が大きくなると基本周波数が上がることが知られているが [1]、本結果では、異なる傾向を確認した。これは、公称風速の増加に伴ってチューブに力が加わり、マウスピースに対する空気の流入角が変化することが影響している可能性がある。図-7 に DIC から得られた画像上の変位時系列を示す。 $v = 50 \text{ m/s}$  では、 $41 \text{ m/s}$  の場合と比較して、負方向への急峻な変位を伴う非対称な波形が確認された。これは、リードがマウスピースに接触することでマウスピース方向への振動が制限されている可能性がある。

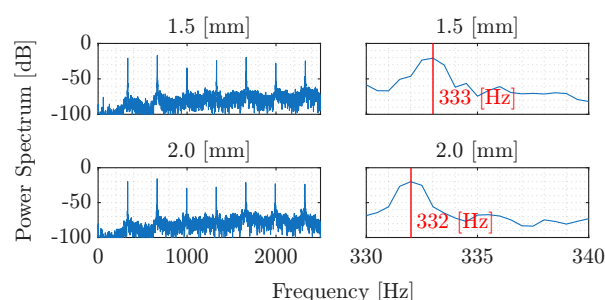


図-4 固定パーツ間隔による振動の比較（周波数領域）

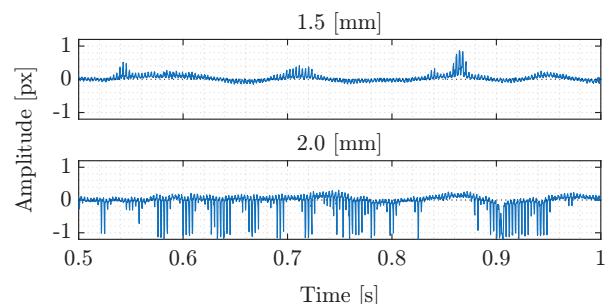


図-5 固定パーツ間隔による振動の比較（時間領域）

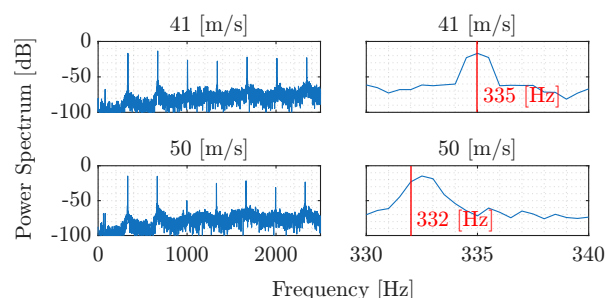


図-6 風速による振動の比較（周波数領域）

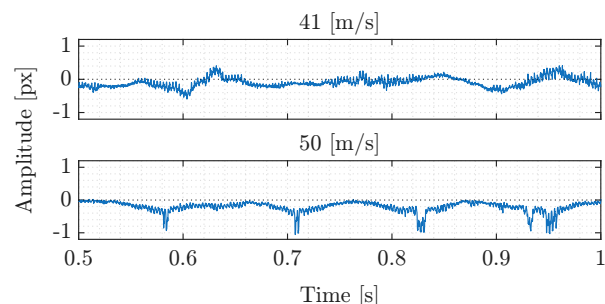


図-7 風速による振動の比較（時間領域）

## 5 むすび

本稿では、吹鳴条件を定量的に設定するための人工吹鳴装置を構築し、シングルリード木管楽器のリード振動を光学的な非接触計測手法により計測した。今後は、人工吹鳴装置の固定方法を改良した上で、実験条件と結果の対応をより詳細に解析する。

### 参考文献

- [1] E. Ukshini and J. Dirckx, "Time relationship between reed motion and acoustic pressure in the saxophone mouthpiece," *J. Sound Vib.*, **624**, 119567 (2026).
- [2] 内川耕輔, 新美智也, 矢田部浩平, "レーザスペックルを利用したリード振動計測の検討," 音講論集, pp. 289–290 (2026.3).