

注水したガラスビンの振動姿態の 3Dレーザースキャニング振動計による測定*

○平原達也（富山県立大学），石山 亮，フランソワ ブテイ，財満啓彰（ポリテックジャパン）

1 はじめに

ガラスビンを押くとガラスビンが振動して打音が鳴る。ガラスビンに水を注ぐと、注水量が多いほどその打音のピッチは低くなる。これはガラスビンの等価質量が増加したために振動周波数が下がったからと理解できる^[1]。

しかし、注水したガラスビンを傾けると、注水量が多いと打音のピッチは高くなり、注水量が少ないと打音のピッチは低くなる^[2]。ビンを傾けても等価質量は変わらないから、単純化したビンの振動モデルでは、この打音ピッチが変化する理由を説明できない。

本稿では、この現象の理解を深めるために、3Dレーザースキャニング振動計を用いて注水したガラスビンの振動姿態を測定した結果について述べる。

2 方法

2.1 ガラスビン

測定対象のガラスビンは、GB12と名づけたジュース用のガラスビン^[3]である。その全長は248 mm、最大外径は79 mm、質量は337g、内容積は788 ml、ガラスの厚さはビン底が4.0 mm、壁面が平均2.8 mmである。また、縦弾性率、ポアソン比、質量密度の測定結果から、ビンの材質はソーダ石灰ガラスと判断される。

2.2 打音装置

ガラスビンは、村田式打音装置^[2]で叩いた。同装置は、クランプで注ぎ口を固定したビンを押型ソレノイド（TDS, PS1901）の鉄心（3 mm ϕ ）で叩くもので、ビンを傾けたときも同じ打音点を同じ力で叩くことができる。

ソレノイドの駆動電流は、USB-オーディオインタフェース装置（RME, Fireface UC）から出力した17 msのパルス電圧信号でトランジスタをスイッチングしてDC 12 V電源から供給した。高速度カメラ映像から、鉄心とガラスビンの接触時間は約750 μ sであることを確認してある。



Fig. 1 RoboVib スキャニング振動計による測定の様子

2.3 振動測定装置

ガラスビンの振動は、多関節ロボットに3Dスキャニングレーザ振動計（Polytec, PSV-500-3D）を搭載したRoboVib スキャニング振動計システム（Fig. 1）を用いて測定した。測定場所はポリテックジャパンのRoboVibテストセンターである。

測定点はガラスビン表面の991点で、打音装置の陰になる部分を除いた各点の三軸方向の速度をサンプリング周波数51.2 kHzで0.64 s収録した。打音装置は約1.73秒間隔でビンを叩き続け、多関節ロボットの移動時間を含めた一条件あたりの計測時間は40～60分であった。

2.2 測定条件

ガラスビン振動の測定条件は、注水量 V_w が0, 200, 500 ml、ビンの傾斜角 θ が 0° （鉛直）と 60° である。ガラスビンに注いだ水は水道水で、振動測定中のガラスビン表面の温度は $23.8 \sim 24.5^\circ\text{C}$ であった。なお、ガラスビンからレーザの反射光を得るために、ビンの外側全体に浸透探傷用現像剤を塗布した。

* Vibration measurement of a water-filled glass bottle using a 3D laser scanning vibrometer, by HIRAHARA Tatsuya (Toyama Prefectural Univ.), ISHIYAMA Ryo, Francois BOUTEILLE, ZAIMAN Hiroaki (Polytec Japan)

3 結果

Fig.2 は、1~6 kHz の帯域における、各条件の x 軸方向の振動速度スペクトルである。黒線は空 ($V_w = 0$ ml)、赤線は $V_w = 200$ ml、緑線は $V_w = 500$ ml で、実線は $\theta = 0^\circ$ 、破線は $\theta = 60^\circ$ の場合である。この帯域では、 y, z 軸方向の振動スペクトルに現れる成分の周波数は、 x 軸方向に現れたものと同じであった。

1~2 kHz の帯域には、打音のピッチを決定する振動周波数成分 f_1 が認められた。 f_1 は双峰で、10~20 Hz 隔てた二つの成分から成っていた。そのいずれの成分の振動モードも、長軸方向は 1 次 ($m=1$)、周方向は 2 次 ($n=2$) であった。そして、 f_1 のうち周波数が高いほうの成分は捻れ振動をしていた。

$\theta = 0^\circ$ の場合、注水量が多いほど f_1 の周波数は低かった。また、 $\theta = 60^\circ$ の場合、200 ml 注水時の f_1 は空の場合より低く、500 ml 注水時の f_1 は空の場合より高かった。この傾向は、打音の解析結果^[1]と一致する。

2.5~4 kHz の帯域には、 f_1 の約 2 倍の振動周波数成分 f_2 が認められた。これらの振動モードは全て $m=1$ 、 $n=3$ であった。なお、 $V_w = 200$ ml、 $\theta = 60^\circ$ の f_2 成分だけ捻れ振動をしていた。

4~6 kHz の帯域には、 f_1 の 2.8~3.5 倍の振動周波数成分 f_3 と、多くの振動成分が認められた。 f_3 の振動モードは全て $m=2$ 、 $n=3$ であった。

$V_w = 500$ ml、 $\theta = 0^\circ$ の 4.28 kHz 成分 (緑色☆) の振動モードは $m=2$ 、 $n=2$ で、捻れ振動であった。また、 $V_w = 500$ ml、 $\theta = 0^\circ$ の 4.95 kHz 成分 (緑色★) の振動モードは $m=2$ 、 $n=4$ で、これも捻れ振動であった。一方、同じ周波数にある $V_w = 200$ ml、 $\theta = 0^\circ$ の 4.95 kHz 成分 (赤色★) の振動モードは $m=2$ 、 $n=2$ で、捻れ振動ではなかった。

Fig.2 上部に示した図は空のビンの振動姿態である。打音のピッチを決める f_1 だけでなく、第二、第三の主振動成分である f_2 、 f_3 も、その振動モードと振動姿態は、注水量とビンの傾斜角度によらず、空のビンと全く同じであった。

4 おわりに

注水したガラスビンの振動姿態を測定した結果、打音のピッチを決める f_1 成分の周波数は注水量とビンの傾斜角で異なったが、その振動モードと振動姿態は注水量とビンの傾斜角によらず全く同じであった。

注水量の多寡によりビンを傾けたときの打音ピッチが異なる理由は、不明のままである。

参考文献

- [1] 神原, 中村, 上羽, "音響特性変化を利用したボンベ残量測定," 音講論, 1161-1162, 2005.09
- [2] 平原, 村田, 岡沢, "注水したガラスビン打音のピッチ," 音講論, 1115-1116, 2016.09.

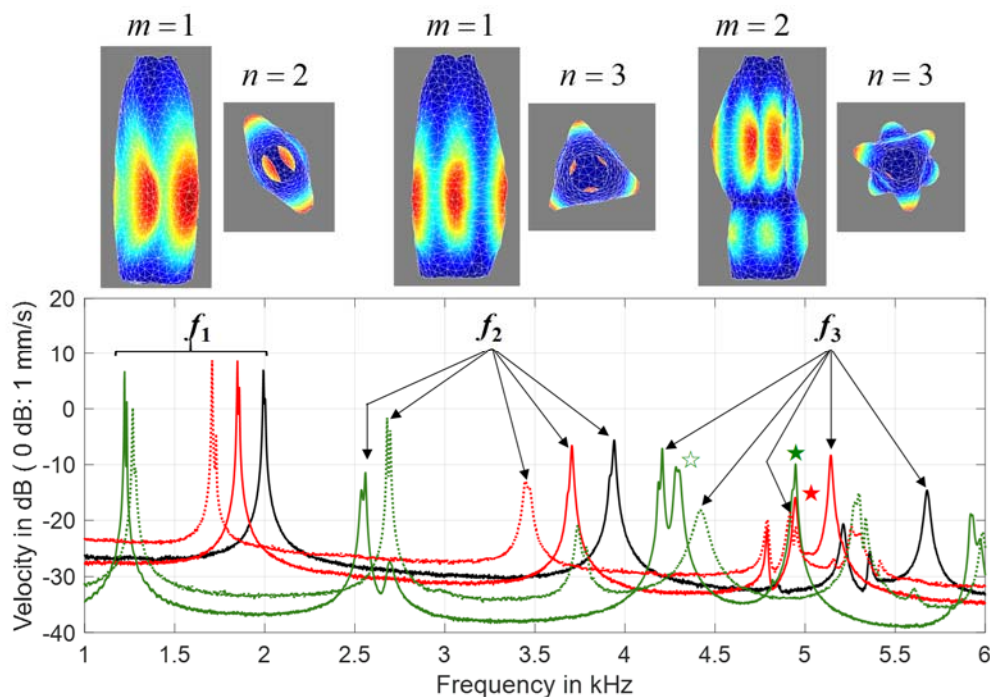


Fig.2 各条件の x 軸方向の振動速度スペクトル (下) と f_1 、 f_2 、 f_3 成分の振動姿態 (上)。黒線は注水量 $V_w = 0$ ml、赤線は $V_w = 200$ ml、緑線は $V_w = 500$ ml、実線は傾斜角 $\theta = 0^\circ$ 、破線は $\theta = 60^\circ$ の場合。