

## 注水したガラスビン打音のピッチ\*

○ 平原達也, 村田剛史, 岡沢浩樹 (富山県立大学)

### 1 はじめに

ガラスビンを叩くと特定の音色で特定のピッチの打音が鳴る。その音色とピッチはガラスビンの形状に依存するが、ガラスビンに水を注ぐとその打音の音色もピッチも変わる。ガラスビン鉛直に置いた場合、注水量が多いほど打音のピッチは低くなるが、これは等価質量の増加によると理解される<sup>[1]</sup>。しかし、注水したガラスビン傾けると、打音のピッチは傾斜角度と水量によって高くなる場合と低くなる場合がある。このほかにも、ガラスビン叩くことにより、いくつかの興味深い音響現象を見つけた。

本稿では、注水したガラスビンの打音を音響解析し、ガラスビンの傾斜角度と注水量と打音のピッチの関係、および注水量と打音の響きの関係などについて調べた結果を述べる。

### 2 ガラスビン打音装置

まず、ガラスビンと同じ条件で叩くガラスビン打音装置を設計し製作した。一つはマレットを剛体振り子として運動させてガラスビン叩く岡沢式打音装置 (Fig. 1 左) で、もう一つはソレノイドの鉄心でガラスビン叩く村田式打音装置 (Fig. 1 右) である。

いずれの装置も一升瓶までの大きさのガラスビン満水にした状態まで支えることができ、かつ注水したガラスビン鉛直状態から倒立状態まで傾斜角度を設定できる。また、いずれの装置も常にガラスビンの同じ打点を同じ力で叩き、傾斜角度によらず打点から同じ位置にあるマイクロホンで打音を録音できる。なお、高速度カメラで観測した結果、マレットもソレノイドも打音時のガラスビンとの接触時間は 1 ms 以下であった。

なお、いずれの装置もガラスビンの支持はガラスビンの口とした。これは、ひもでガラスビン吊り下げても口を治具で固定しても、打音のピッチを決める  $f_0$  成分 (大振幅、低周波数で最も持続時間が長いスペクトル成分) の周波数に有意差がなかったからである。

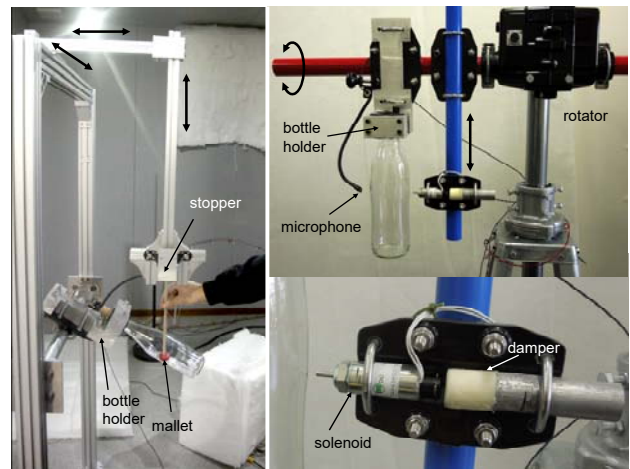


Fig. 1: 二種類のガラスビン打音装置

### 3 ガラスビン打音の分析ソフトウェア

打音装置のソレノイドを制御してガラスビン打音を収録し、スペクトル分析を行い、スペクトルピークの周波数と各スペクトルピーク成分の減衰特性を表示する GUI ベースのソフトウェアを MATLAB で作成した (Fig. 2)。

村田式打音装置のソレノイドの制御は当初シリアルポートを用いて行っていた。しかし、打音時にソレノイドのピンがガラスビンに接触する時間を短くするために、最終的には DAC の出力電圧を用いてソレノイドを制御した。また、打音とともにガラスビンに装着した加速度センサーの信号も同時記録できるようにした。

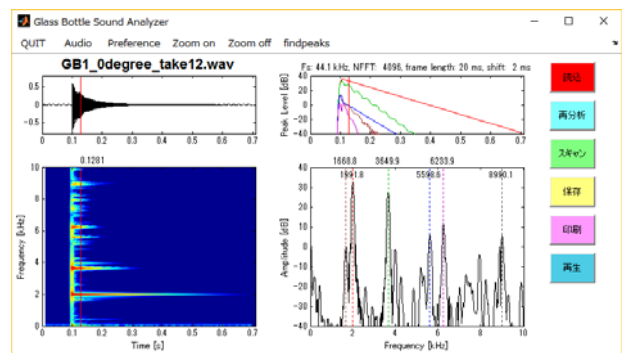


Fig.2: 打音解析ソフトウェア。打音波形 (左上)、打音スペクトログラム (左下)、時間カーソルがあるフレームのスペクトルスライス (右下)、および各スペクトルピーク成分の減衰特性 (右上) が表示される。

\* The pitch of a tapping sound of a water-filled glass bottle,  
by HIRAHARA Tatsuya, MURATA Tsuyoshi and OKAZAWA Hiroki (Toyama Prefectural Univ.)

## 4 注水したガラスビン打音のピッチ

Fig.2 に示されるように、ガラスビンの打音スペクトルには複数の強い成分が現れる。それらのスペクトル成分の周波数を低い順に  $f_0, f_1, f_2, \dots, f_n$  とすると、 $f_0 \sim f_n$  は倍音関係にはない。そして、打音のピッチは概ね  $f_0$  によって決まる。

なお、ガラスビンを買レットで叩いてもソレノイドで叩いても、注水量と傾斜角度が同一であれば打音の  $f_0$  に有意差はなく、 $f_0$  によって決まる打音のピッチは両者で変わらない。これに対して、マレットで叩いた時とソレノイドで叩いた時の打音の  $f_1 \sim f_n$ 、およびそれらの成分の  $f_0$  成分に対する相対レベルは異なるために、叩く物によって打音の音色は違う。

Fig.3 は GB12 と命名したソーダガラス製のジュースビンの外形で、容量 788 ml、質量 337 g、全長 248 mm、最大外径 79 mm、平均側壁厚 2.8 mm である。Fig.4 は、注水量ごとに GB12 の打音の  $f_0$  と傾斜角度の関係を描いたものである。

同図に示されるように、傾斜角度が同じであれば、注水量が多いほど打音の  $f_0$  は低くなる。一方、注水量が 200 ml 以下であれば傾斜角度が 90 度に近いほど打音の  $f_0$  は低くなり、注水量が 500 ml 以上であれば傾斜角度が 90 度に近いほど打音の  $f_0$  は高くなる。この現象は調査したすべてのガラスビンで起きたが、附加質量の効果では説明できず、その機序は不明である。

GB12 では概ね C#6 から B6 まで約 1 オクターブにわたる打音が鳴る。下限よりも少し低い C6 や B5 の打音を鳴らすには、水に塩などを入れて注入液体の密度を高くすればよい。



Fig.3 ガラスビン GB12 の外形

## 5 ガラスビン打音の響き

Fig.2 に示されるように、ガラスビンの打音スペクトルに出現する強い成分は対数的に振幅が減衰する。叩いた直後と比較して振幅が 60 dB 減衰するまでの時間 ST60 を測ると、空の GB12 では  $f_0$  成分の ST60 は 0.45 秒だが、注水するにつれて ST60 は増加し 700 ml 注水時には 2 秒に達する。しかし、 $f_1$  成分の ST60 は 400 ml 注水時に最大の 0.9 秒になり、注水量が少なくても多くても ST60 はそれ以下である。 $f_2$  以上の高音成分の ST60 は最大でも 0.4 秒程度である。

また、水道水を注入したガラスビンをしばらく放置すると、脱気によりビンの内壁面にまばらに細かな気泡が附着する。その状態のビンを叩くと打音はほとんど響かなくなった。気泡がダンパーの役目を果たしているためと推測されるが、その機序は不明である。

## 6 おわりに

(1) ガラスビンに注水すると打音のピッチはどう変化するか、(2) ビンを傾けるとピッチはどうなるか、(3) 細かな気泡が附着すると打音はどうなるか、を学界会場などで約 20 名の音響学あるいは振動工学の専門家に尋ねた。その結果、(1) に正解したのは 5 名だけで、他は気柱共鳴を想起し誤解答した。(2) と (3) については誰もその現象を知らなかった。

### 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

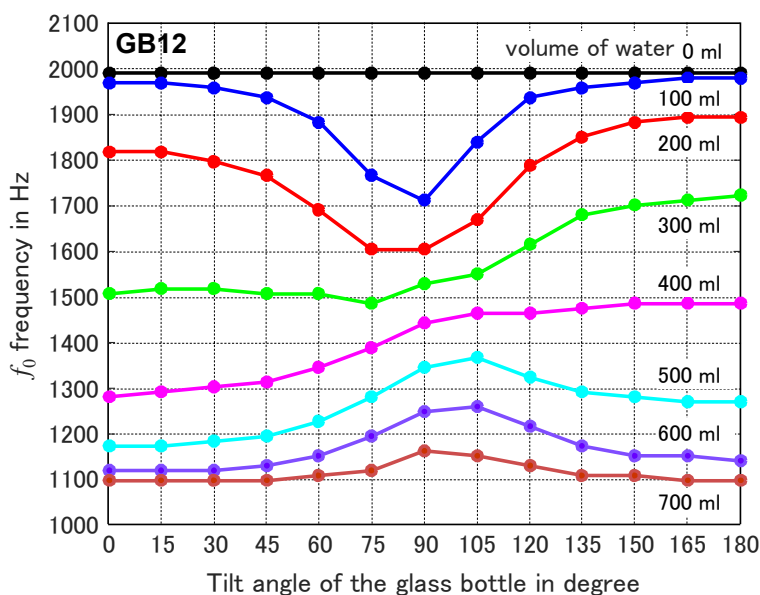


Fig.4 GB12 の注水量ごとの打音の  $f_0$  と傾斜角度の関係