

令和4年度サイエンス・ファイト作品紹介

学 校 長 崎 県 立 大 村 高 等 学 校

学 年 3 年

氏 名 自作ヘルムホルツ共鳴器を用いた高精度
体積測定班
山本幸広、岩永千輝、山崎隆之介、
古賀遼汰郎

タイトル 自作ヘルムホルツ共鳴器を用いた高精度
体積測定を目指して

概 要

ヘルムホルツという共鳴原理を生かして共鳴器内の体積を測定(誤差 1%以内の精度)する。

自作ヘルムホルツ共鳴器を用いた高精度体積測定を目指して

長崎県立大村高等学校 3年

研究者氏名 山本 幸広 古賀 遼汰郎

山崎 隆之介 岩永 千輝

指導者氏名 松田 大輔



要旨

自作した共鳴器を用いて高精度(誤差1%以下)の体積測定ができるか明らかにするために、瓶などの身近な材料を用いて共鳴器を3個製作しそれぞれの共鳴音を解析ソフトでデータ化し数式に当てはめることで体積を測定した。その結果、自作の共鳴器で誤差1%以下は実現できなかったが数%の誤差で体積を測定することができた。このことから自作の共鳴器を用いた体積測定は可能であると判断した。より高精度にしていくためにも誤差の原因の特定、改善を行っていくことが今後の課題である。

1. 背景と目的

ヘルムホルツ共鳴を利用し、食パン内部の気泡の状態を把握し食感を測定する研究論文を見つけた。この方法を寿司のシャリの食感などの測定に利用できるのではないかと考えた。そこで、このような食品の測定を最終目標に、今回の研究では気泡を含む食品の高精度な(誤差1%以下)体積測定ができるヘルムホルツ共鳴器の製作を目的とし研究を行った。

2. 研究の方法 参考文献(i)(ii)をもとに以下の方法で体積測定を行った。

(イ) 体積の測定原理

何も入れていない時の共鳴周波数 f_0 は(1)の式で、物体 V を入れた時の共鳴周波数 f は(2)の式で表される。(1)と(2)の式から物体 V の体積を求める(3)の式が得られる。

$$(1) f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{(l_1 + l_2)W}}$$

$$(3) V = W \left\{ 1 - \left(\frac{f_0}{f} \right)^2 \right\}$$

$$(2) f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{(l_1 + l_2)(W - V)}}$$

C : 空気中の音速 S : ネック断面積
 l_1 : ネックの長さ l_2 : 開口端補正 W : 斜線部の体積

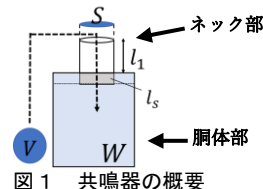


図1 共鳴器の概要

(ロ) 共鳴器の製作

図2の共鳴器[1]~[3]

胴体部の材質: [1]プラスチック

[2][3]はガラス

大きさ: [3]のみ胴体部を小さくした。

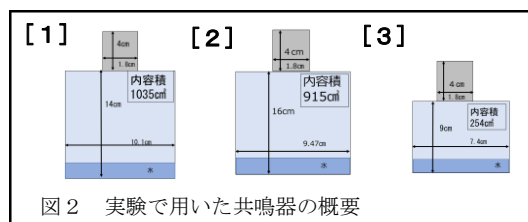


図2 実験で用いた共鳴器の概要

(ハ) 共鳴周波数の測定

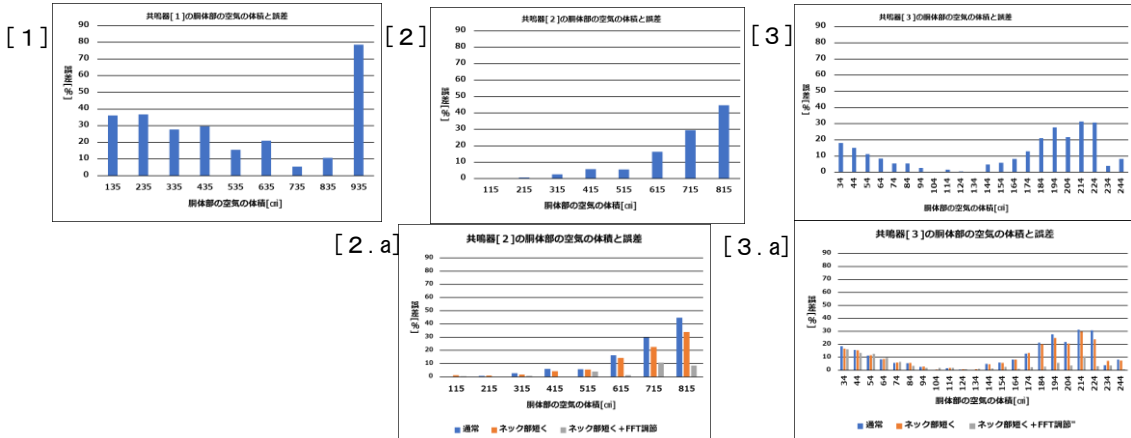
①木製の棒でネック部を打撃、②打撃音をマイクロフォンで測定、③パソコンでFFT解析
 胴体部に水を入れ、胴体部の体積を変えて①~③を繰り返し測定を行った。

(ニ) 共鳴周波数および水の体積の算出方法

FFT解析の結果から音圧が最大の周波数を共鳴周波数とし、 f と f_0 を測定して(3)の式から体積を算出、また以下の式から測定精度を比較した。

$$\text{測定誤差} = \frac{\text{算出した体積} - \text{入れた水の体積}}{\text{入れた水の体積}} \times 100$$

3. 結果



結果[1]ではどの体積も誤差が1%以下にならず、体積測定用の共鳴器としては使えないことが分かった。結果[2]では体積が115, 215 cm³の誤差が1%以下になった。結果[3]では誤差は小さくなったが誤差が安定せず、体積測定用の共鳴器としては使えないことが分かった。また、どの結果も誤差が大きかった。その原因として従来の共鳴器に比べ、ネック部の体積が大きかったことと測定時間に適した周波数分解能を設定できていなかったことだと考えた。改善策として、ネック部の長さを短くすることと打撃音の時間から周波数分解能の設定の二つを行った。すると、改善後の結果[2.a][3.a]よりどちらもネック部の長さを短くし、FFTの周波数分解能を調節したときの誤差が一番小さくなり、胴体部の体積が100 cm³あたりで誤差が一番小さくなった。

4. 考察

[1][2]の結果から胴体部の体積が変化しにくい材質が良い。[4][5]の結果から胴体部の体積による誤差への影響は小さい。胴体部の空気の体積は100 cm³が体積測定に適している。また、ネック部の体積を変えると誤差が小さくなると考えられる。

・誤差の原因

1つ目に周波数分解能が低かったため周波数を細かく測定できず、それによって算出した体積にずれが生じた。2つ目に自作した共鳴器自体に問題があったことによらずれが生じた。3つ目に胴体部の体積を水の体積から求めたため実際の体積とのずれが生じた。一つ目と二つ目の誤差を明らかにするために従来のヘルムホルツ共鳴器で測定を行い誤差の原因が共鳴器とFFTのどちらかを区別していきたい。また、三つ目の誤差をなくするために(3)の式が胴体部の体積 W を傾きとする一次直線になることを利用して周波数のみによって物体の体積を求められるようにすることで胴体部の体積 W を使わないで測定する方法を行っていきたい。

5. 結論

ガラス製の共鳴器[2][3]で胴体部に100 cm³の空気が含まれる時に誤差が1%以下になったが実用的に使うためには今後も改善が必要であると考えられる。

6. 謝辞

本校の松田大輔先生の指導・助言をいただきました。感謝申し上げます。

7. 引用文献

- (i) 西津貴久：音響による食品物性評価法「日本食品工学会誌」Vol. 21, No. 2, pp. 59 - 60, Jun. 2020
- (ii) 西津貴久、池田善郎：農産物の音響的体積測定法(第一報) 農機誌 57(5)、1995
- (iii) 一宮亮一：機械系の音響工学、コロナ社 160-164、1992