

低周波の音を利用した計測器

1. はじめに

音を利用した計測といえば、医療用エコー診断装置のような、超音波を利用した計測装置がまず想起される。機械工学の関連分野でも、超音波探傷器や超音波流速計をはじめとして、超音波応用計測器は広く用いられている。本稿では、超音波ではなく、可聴域以下の低い周波数の音を利用した、少し様相の異なる計測器を紹介する⁽¹⁾。

2. 音響式体積計

容積 V の容器内の空気を、体積 $V - \Delta V$ まで断熱的に圧縮したとき、 $PV^\gamma = \text{const}$ だから、容器内の圧力は

$$p = \frac{\gamma P_0}{V} \Delta V \quad (1)$$

だけ上昇する。ここで、 γ は空気の比熱比 (約 1.4)、 P_0 は平均圧力 (大気圧) である。圧力変化は容器容積に反比例するから、容器を既知量 ΔV だけ圧縮したときの圧力変化 p を検出すれば、容器の容積 V を知ることができる。

図 1 および図 2 に、音響式体積計の構造と外観を示す。装置は、測定対象を中に入れる測定槽と、測定槽のふたに取り付けられた基準槽の 2 槽からなる。ふたは測定槽と基準槽の隔壁になっており、スピーカが図のように取り付けられている。スピーカを正弦波 (約 40Hz) で駆動すると、二つの槽には、絶対値が等しく位相が反転した正弦的容積変動が加わる。このときの両槽内の圧力変化 (音圧) p_1 および p_2 をマイクロホンで検出する。それぞれの槽について式 (1) の関係が成り立つから、これらの音圧の比をとると

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

となる。ここで、 V_1 は基準槽の容積、 $V_2 = V_0 - V$ は、測定槽容積 V_0 から測定対象物体の体積 V を差し引いた、測定槽内の空間の容積 (余積) である。基準槽容積 V_1 は既知で一定であるから、この比が求めれば、測定槽内に置いた物体の体積を計算することができる。

一見すると、式 (1) に基づいて、測定槽の音圧だけから目的の体積を計

算できそうに思われるが、実際には、原理を素朴に装置化しただけでは実用的な計測器はできない。体積を求めるために必要な γ 、 P_0 、 ΔV の値が、気温や気圧あるいは湿度などの影響を受けて変化するからである。これらの影響量の効果を相殺して高精度の測定を実現するために、測定槽のほかに基準槽を設けて差動的な容積変動を加え、二槽の音圧の比を検出する構成をとっているのである。

物体体積の測定法の標準となってきたのは、アルキメデスの原理に基づく水中秤量法である。しかし、この方法には、対象を水中に浸すという不可避の制約があり、また、測定手順も煩瑣である。音響式体積計は、対象を濡らすことなく、短時間 (通常数秒) で測定ができる。図 3 は、音響式体積計をエンジン燃焼室の容積測定に応用した例である⁽²⁾。精密分銅の浮力補正に適用した音響式体積計では、 1×10^{-3} の相対不確かさを実現している⁽³⁾。

3. 音響式表面積計

式 (1) の説明では、気体の圧縮膨張が断熱的であると仮定した。しかし、厳密にいうと、容器壁面の温度はほぼ一定だから、壁面と空気間に熱伝導が生じ、壁面近傍の気体の状態変化は等温変化に近づく。容器内の音圧も、当然、壁面熱伝導の影響を受ける。そして、その影響の大きさは、壁面の面積に比例する。このように、壁面での熱伝導は体積測定の見誤差要因となるが、このことを逆に利用して、実際の音圧と断熱圧縮と仮定した場合の音圧との差から、容器の内表面積や既知容器に入れた物体の表面積を測定する計測器を構成することが可能になる (図 4)。

4. リークテスト

音響式体積計のもう一つの誤差要因は、測定槽とふたの間に存在する微小なリークである。ここでもまた発想を逆転して、この「誤差要因」を、リークを検出する新原理として利用できる。現在、音を利用したリークテスト

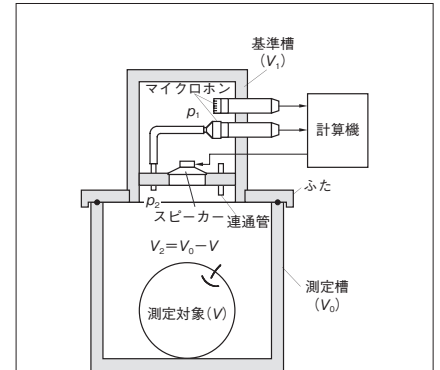


図 1 音響式体積計の構造

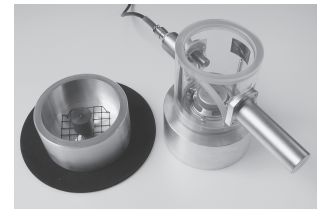


図 2 音響式体積計外観

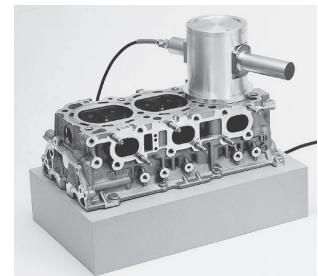


図 3 燃焼室容積の測定

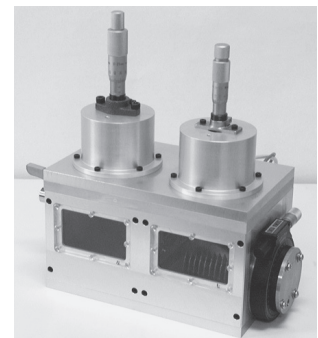


図 4 音響式表面積計

を研究開発中である。

(原稿受付 2008年9月11日)

[鳥越一平 熊本大学]

●文 献

- (1) 鳥越一平, 可聴帯域の音を利用した計測, 日本音響学会誌, 61-11 (2005), 653-658.
- (2) http://www.rion.co.jp/dbcon/pdf/VM-230_120_300.pdf
- (3) Kobata, T. ほか, Metrologia, 41 (2004), S75-S83