

# 702 音響信号を利用した液面レベルと傾斜角度の測定

## Measurement of Water Level and Slant Angle by Using Sound Signal

正 一宮 亮一 (新潟大)      正 坂本 秀一 (新潟大)  
 正 田中 誠三 (日本精機)    ○学 島崎 義之 (日本精機)

Ryoichi ICHIMIYA, Niigata University, Igarashi 2-8050, Niigata

Shuichi SAKAMOTO,

Seizo TANAKA, Nippon Seiki CO., LTD., Higashi-Zaoh 2-2-34, Nagaoka

Yoshiyuki SHIMAZAKI,

Key Words : Sound, Sensor, Measurement, Water level, Slant angle, Helmholtz resonator, Anti resonance

### 1. 緒 言

現在、自動車の燃料タンク内の残量を測定する方法は、フロートと可変抵抗を組み合わせて検出部を形成し、抵抗変化によってメータを駆動する方式が一般的である。したがって車体が傾いた状態にある場合には、原理的に残量の誤指示をする欠点がある。また、車載燃料タンクの形状が複雑化、異形化する傾向にあり、従来の測定方法では精度が更に悪化すると考えられる。このような問題に対し、高精度な指示を行うセンサの開発を目的として、ヘルムホルツの吸音原理を用いた、容器内の液体残量測定について研究を行った。容器内の液量とヘルムホルツ共鳴器内に発生する反共振周波数との関連について実験し、具体的な検出部形状を考案して各種実験を行った結果について報告する。

### 2. 測定法の原理<sup>(1)</sup>

図1に実験装置の概略を示す。検出部は、アクチュエータにより音響を発生しマイクロホンにより音を測定する上部空洞部と、それに接合した3つのヘルムホルツ共鳴器により構成されている。3つのヘルムホルツ共鳴器は、検出部中心軸に対し同一円周上に等間隔に配置されている。上部空洞部内に発生した音響は、下部ヘルムホルツ共鳴器に特定周波数のみ吸音され、上部空洞部内では反共振周波数として現れる。ヘルムホルツ共鳴器は下端面を液面により構成しており、液面高さに応じて空洞部内の容積が変化し、吸音される音響周波数も液面高さに追従することになる。ヘルムホルツ共鳴器は、頸部形状と空洞容積に応じた特定周波数の共鳴現象なので、3つのヘルムホルツ共鳴器の頸部径を、それぞれ異なった穴径にすることで、上部空洞部内では3つの異なった周波数が吸音される。検出部を取り付けた容器が傾いたとき、3つの空洞部容積が傾斜角度に応じて変化し、3つの反共振周波数は傾斜角度に応じそれぞれ変化することになる。

上部空洞と3つの共鳴器を有する本検出部の解析においては、音響系全体の合成インピーダンスを求める必要がある。3つのヘルムホルツ共鳴器を仮に音響系A B Cとおき、各インピーダンスを表すと次式のようにになる。

$$Z_u = -i \frac{\rho c}{S_u} \frac{1}{\tan(2\pi f h_u / c)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Z_A = i \frac{\rho c}{S_A} \tan(2\pi f l_A / c) - i \frac{\rho c}{S_p} \frac{1}{\tan(2\pi f h_A / c)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Z_B = i \frac{\rho c}{S_B} \tan(2\pi f l_B / c) - i \frac{\rho c}{S_p} \frac{1}{\tan(2\pi f h_B / c)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{音響系Cの音響インピーダンス} \\ Z_C = i \frac{\rho c}{S_C} \tan(2\pi f l_C / c) - i \frac{\rho c}{S_p} \frac{1}{\tan(2\pi f h_C / c)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{検出部内全体の音響インピーダンス} \\ Z = \frac{1}{\frac{1}{Z_u} + \frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$\rho$ : 空気密度,  $c$ : 音速  
 $h_u$ : 上部空洞長さ,  $S_u$ : 上部空洞断面積,  $S_p$ : パイプの断面積  
 $S_A$ : 頸部Aの断面積,  $S_B$ : 頸部Bの断面積,  $S_C$ : 頸部Cの断面積  
 $l_A$ : 頸部Aの実効長,  $l_B$ : 頸部Bの実効長,  $l_C$ : 頸部Cの実効長  
 $h_A$ : 空洞部Aの長さ,  $h_B$ : 空洞部Bの長さ,  $h_C$ : 空洞部Cの長さ

この式(5)で $|Z|$ (絶対値 $Z$ )が極小値をとるときの周波数 $f$ を共鳴周波数として定義する。

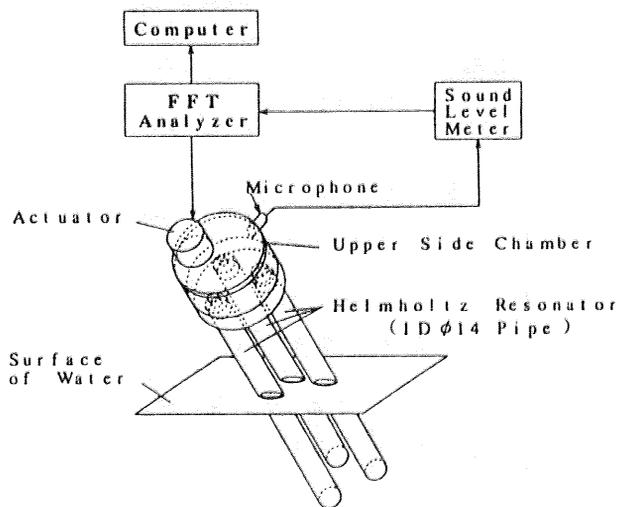


Fig.1 Outline of the Measuring System

### 3. 実験装置と方法

音源は、FFTアナライザ内蔵の信号発生器により、0 Hz から 2 kHz 迄の正弦波スイープ信号をアクチュエータから上部空洞内部に放射させ、その基準信号をFFTアナライザのAチャンネルに入力し、上部空洞部内の測定信号を、Bチャンネルに入力し、高速フーリエ解析を行った。

実験は、液面に対し垂直に検出部を固定し、液面レベルを変化させたときの、伝達関数の周波数応答を測定する液面レベル特性と、検出部の傾斜角度を変化させた傾斜角度特性の、二種類について行った。

### 4. 実験結果

4.1 液面レベル特性 図2に液面レベルに応じた、伝達関数の周波数応答を測定した結果を示す。実験には水を用い、液面レベル変化量を 20mm 間隔で、ヘルムホルツ共鳴

器下端面を0mmとして、160mmまで変化させ測定した。それぞれの液面レベルにおいて明確な3つの反共振周波数が現れ、液面レベルの変化に応じ反共振周波数も変化することが判る。本検出部では頸部径にφ5,7,10mmの三種類を用いた。一番低く現れる反共振周波数は、頸部径5mmの空洞共鳴によるもの、中央は7mm、そして一番高い周波数は10mmによるものである。図3に液面レベルに応じた反共振周波数測定値の推移と、インピーダンス計算値との比較結果を示す。インピーダンスが極小値をとる3つの周波数(計算値)と、実験により得られた反共振周波数値とは、良く一致するのが判る。

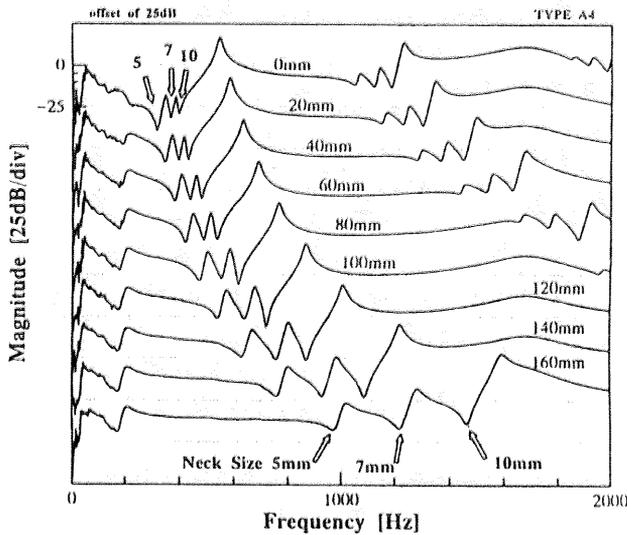


Fig.2 Result of Spectrum Analysis

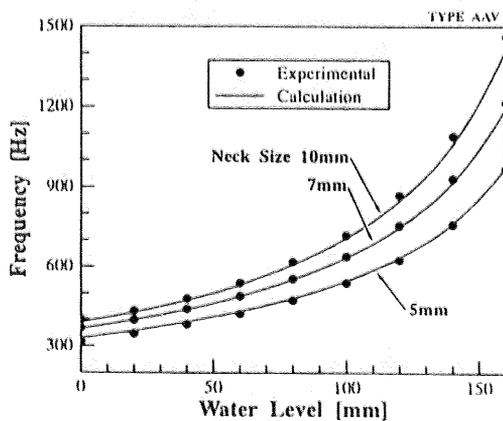


Fig.3 Relationship between Water Level and Anti Resonant Frequency

4.2 傾斜角度特性 図4に検出部傾斜角度の変化に応じた、伝達関数の周波数応答を測定した結果を示す。傾斜角度特性は、検出部と液体の入った円筒容器を同一中心軸上に固定し、検出部と円筒容器とを同時に傾斜させ測定した。グラフは検出部固定角度が液面に対し90度の位置を0度として、二方向について10度間隔で40度まで傾斜させ測定したものである。便宜上、傾斜方向を北側南側と示す。グラフから、傾斜角度に応じた明確な反共振周波数値の変化が判る。一番高い反共振周波数値に角度による変化がないのは、その頸部が傾斜方向に対して直角方向の軸上に存在するため、傾斜を加えても液面レベルに変化はなく空洞容積が変化しないためである。図5に検出部傾斜角度に応じた反共振周波数(測定値)の推移と計算値との比較結果を

示す。反共振周波数(測定値)と、インピーダンスが極小値をとる3つの周波数(計算値)とが、ほぼ同じ傾向で変化しているのが判る。

このように一對の音源とマイク、3つのヘルムホルツ共鳴器により、明確な3つの反共振周波数を得ることができ、液面レベル及び傾斜角度に関連して、周波数値がそれぞれ変化することが判明した。結果として、3つの反共振周波数を利用することにより、容器内の液面レベルと傾斜角度を計算し、測定対象容器の形状から液体残量の容量を算出することが可能となった。

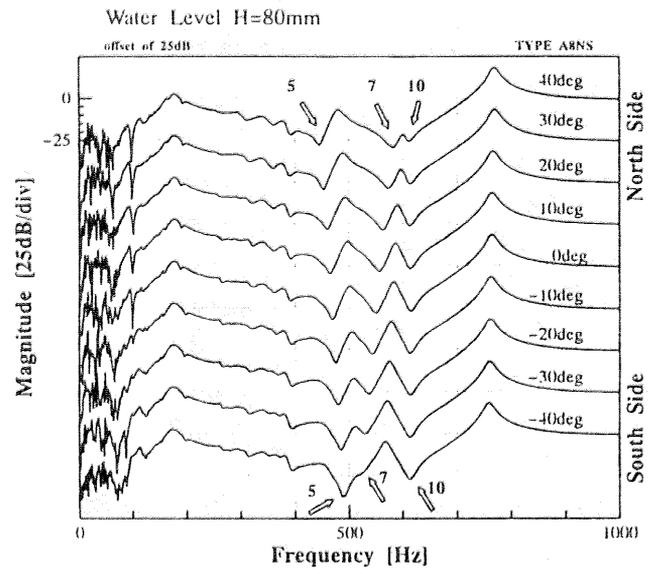


Fig.4 Result of Spectrum Analysis

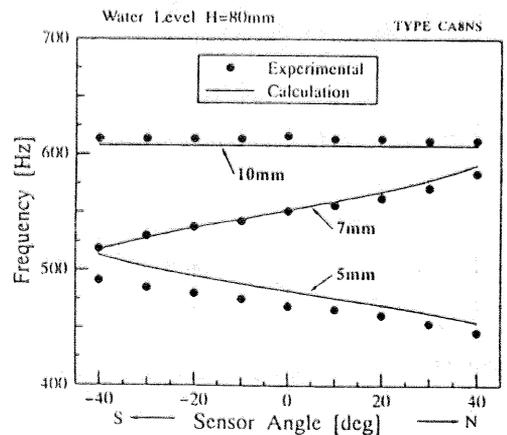


Fig.5 Relationship between Sensor Angle and Anti Resonant Frequency

## 5. 結 言

3つのヘルムホルツ共鳴器を用いた検出法に対し、液面レベル高さ実験および傾斜角度実験を行い次の結論を得た。

- (1) 液面レベルに対応した、明確な3つの反共振周波数が得られた。
- (2) 傾斜角度に対応した、明確な3つの反共振周波数が得られた。
- (3) 検出部内の空洞共鳴に対応した理論解析を行い、計算を行った結果、実験値と計算値は良く一致した。

## 文 献

- (1) 一宮・石川・藤田, 機論, 60-570,C(1994),538.