超音波の減衰を利用した湿度測定の基礎研究

Hygrometry Using Ultrasonic Attenuation in the Air

正 坂本 秀一 (新潟大)   ○ 学 石川 洋 (新潟大院)
 学 高井 光太郎 (新潟大)   正 一宮 亮一 (福山大)

Shuichi SAKAMOTO, Niigata University, Igarashi 2- 8050, Niigata

Hiroshi ISHIKAWA,

"

Kotaro TAKAI,

"

Ryoichi ICHIMIYA, Fukuyama University, Gakuencho 1 Sanzo, Fukuyama

Key Words: Attenuation Coefficient, Humidity, Hygrometry, Ultrasonic Transducer

1. 緒 言

音波は距離減衰や反射による減衰, 空気中の温度・大気圧変化による減衰など様々な要因で減衰する。また, 空気中の湿度が変化すると, 音波の減衰も変化するということがわかっている。本研究は, この点に着目し, 空気中を伝搬する超音波の減衰を利用して湿度を測定する方法に関するものである。

音波の減衰には, 着目すべき特徴がある。それは, 音波の周波数が高くなるほど, 音波の減衰が大きくなるという点である。減衰の絶対量が大きくなれば湿度変化あたりの減衰量も大きくなり測定分解能の点で有利になる。よって, 本研究では音波の減衰に対して湿度の影響がより顕著に現れるように, 空気中としては極めて高い周波数 200, 400 kHz の超音波を使用した。

従来の湿度測定では測定点での値しか知ることができなかったのに対し, この湿度測定法では音波が通過した区間の平均湿度を求められる。さらに, 湿度変化に対応して変形する物質を利用したバイメタル式湿度計等と異なり, 空気そのものを媒質とするために, 応答速度が速いなどの特色がある。よって, 優れた湿度測定法になると考えられる。

2. 減衰係数

減衰係数を m , 基準点の音の強さを I_0 とし, その点から距離 x 離れた点での音の強さを I としたとき, その関係は式(1)のようになる。

$$I = I_0 e^{-mx} \quad (1)$$

減衰係数 m は湿度の関数であるので, 減衰係数または, 音波の減衰を求めることにより湿度を知ることができる。

式(1)を変形すると減衰係数 m は式(2)となる。

$$m \cong -\frac{1}{0.434 \cdot x} \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2)$$

ここで, 式(2)より, 距離 x の単位が m (meter) で表されるならば, 減衰係数 m の単位は $(1/\text{meter})$ で表されることがわかる。減衰係数 m とは, $1m$ あたりの減衰率であり, この値が大きいほど減衰が大きいことになる。

湿度と音波の減衰の関係については, H.O.Kneser の理論とANSIの理論を用いて本実験に使用する周波数である 200 kHz の超音波における理論値を算出した結果を後の図3に測定結果とともに示す^{(1), (2)}。この2つの理論の結果は異なるが, 周波数が高くなるほど, 減衰係数が大きくなり, 減衰係数が最大になるときの湿度が高くなるという特徴がある点では一致している。このように高い周波数を用いるこ

とで湿度変化あたりの減衰が大きくなり, 測定分解能の点で有利になる。よって, 本研究では湿度変化の影響がより顕著に現れるように空気中としては極めて高い200, 400kHzの超音波を使用した。これは, 現在市販されている超音波トランスデューサの中で 200,400kHz のものが最も周波数の高い部類であることによる⁽³⁾。

3. 測定方法及び測定装置の概要。

図1に測定装置の概略を示す。まず超音波トランスデューサを送波側と受波側に2つ使用し, 角度を精密に設定できるミラーホルダーに取り付ける。これは, 200, 400kHzの超音波トランスデューサの指向性が非常に高いためである。そして, 一対の超音波トランスデューサをある距離だけ離して対向させ設置する。また, 大気温度の変化により音波の減衰は大きく影響を受けるため, 実験雰囲気中の温度・湿度を恒温恒湿装置で制御した。測定は, シグナルジェネレータから送波側の超音波トランスデューサと伝達関数測定器のAチャンネルに 200,400kHz, 20V_{pp} の正弦波を入力し, 受波側の超音波トランスデューサで受信した信号を伝達関数測定器のBチャンネルに入力し, その2信号を比較するという方法を取った。

また, 恒温恒湿装置内部では温度・湿度分布を均一にするため風を発生させている。過去の実験から, この風が測定データに影響してくることが分かっているので, 超音波トランスデューサと音波の経路をアクリル製の風よけで囲って測定を行った。なお, 風よけ内の温度・湿度を恒温恒湿装置の設定通りとするために測定時以外は側面を開けた状態にしている。

Fig.1 Outline of the attenuation measuring system

Fig.2 Comparison of the values of Attenuation Coefficient between before and after temperature correction

Fig.3 Comparison of the values of Attenuation Coefficient between continuous and intermittent drive

ここで、減衰係数 m を算出するにあたり、前章の式(2)を用いるわけだが、本研究では、音の強さではなく式(3)に示すような送波側、受波側トランスデューサの電圧の実効値を用い減衰係数を求めた。

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_m^2 \sin^2(\omega t + \theta) dt} \cong \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

V_{rms} : 電圧の実効値

V_m : 電圧の振幅

減衰係数 m を算出するには、式(3)に示した電圧の実効値の二乗を式(2)に代入して得られた次の式(4)を用いる。

$$m = -\frac{1}{0.434 \cdot x} \log \left(\frac{V_{rmsA}^2}{V_{rmsB}^2} \right) \quad (4)$$

V_{rmsA} : 送波側の電圧の実効値

V_{rmsB} : 受波側の電圧の実効値

なお、超音波トランスデューサの間隔は 250mm とし、温度 20℃一定で測定を行った。

4. 測定結果

基礎実験として温度湿度をそれぞれ 20℃・50%で一定に保ち周波数 200 kHz の正弦波を連続で放射して伝達関数を測定した例を示す。横軸に時間、縦軸に減衰係数をとった結果を図 2 の白丸「○」に示す。恒温恒湿装置では温度を 20℃に制御しているが、実際は温度が約 20.1~20.4℃の範囲で変化している。この影響を取り除くために温度 20.0℃における値を求め温度補償を行った結果が図 2 の黒丸「●」である。特に温度変化の激しかった 3~5 時間と 10~12 時間付近での急激な変化が収まり、縦軸方向のばらつきも補

Fig.4 Comparison of the values of Attenuation Coefficient between continuous and intermittent drive

Fig.5 Phase lag vs. Percent R.H

償前よりかなり小さくなった。

図 2 の黒丸「●」に見られるように、温度補償を行った後も 0~3 時間付近で減衰係数は、時間が経つにしたがって減少する傾向が見られる。これは連続で音波を放射することで、超音波トランスデューサ内の温度が上昇し、周波数特性が変化することが原因であると考えられた。そこで、音波を測定時のみに放射して測定を行い、減衰係数を求めた結果を図 3 の黒丸「●」に示す。このように間欠で音波を放射することによって、減衰係数はほぼ一定の値を示した。

図 4 は温度 20℃で湿度を変化させて実験を行い、減衰係数を求めた結果である。2つの理論とは異なる傾向を示したが、湿度が変化するに従い減衰係数も変化している。

また、図 5 に位相差を測定した結果を示す。減衰係数と同様に湿度変化に対応して位相差も変化していることが確認できる。

5. 結 言

超音波の減衰を利用した湿度測定の基礎実験を行い、次の結果を得た。

- (1) 音波の減衰は大気中の温度の影響を受ける。また、素子の特性を考慮して測定を行う必要がある。
- (2) 測定を行った結果、湿度変化によって減衰係数・位相差が変化することを確認できた。

文 献

- (1) H. O. Kneser, "The Interpretation of the Anomalous Sound-Absorption in Air and Oxygen in Terms of Molecular Collisions," J. Acoust. Soc. Am. 5, (1963), 122-126.
- (2) ANSI S1.26-1995 ASA 113-95, "Method for the calculation of the absorption of sound by the atmosphere."
- (3) 坂本・一宮・佐藤, "超音波の減衰を利用した湿度の測定", 第 18 回熱物性シンポジウム, (1997), 321-324.