

音響共鳴法を用いた微量液量測定 96点測定装置

石橋孝泰

東京工業大学 精密工学研究所

1 はじめに

近年、極めて微量の液体の体積を非接触、リアルタイムに測定する要求が増えている。これまでに音響特性を用いて、容積や体積を測定する方法として、ヘルムホルツ共鳴を用いるもの、体積比と音圧比との関係を用いるものなどがある。筆者らは、微量液体分析のための分注装置を対象に、容器ウェルの音響共鳴を利用した液量測定方法を検討している。前報までは単独ウェルに関して測定誤差の検討を行ったが、今回は 96 ウェルプレート（300 μ l ウェル，8 \times 12）用自動測定装置を製作し、多数ウェルが並んだ場合の測定精度を検討した。

2 測定原理

微小容器（ウェル）は Fig. 1 で示すように、共鳴時には共鳴吸収によりウェル開口付近の音圧低下が生じる。この音圧極小となる周波数を測定することにより分注された液量を推定する。この共鳴は液体が入っていない上部気柱の共鳴であり、第一次近似としては 1/4 波長共鳴となっている。実際は開口端や横方向モードの影響を受けるので、単純な 1/4 波長共振の式では正確な共鳴周波数は求まらない。また、液面形状に鈍感で、液体形状に依らず比較的正しい体積を測定できる。

3 96 ウェル測定装置

Fig. 2, Fig. 3 のような測定装置を製作した。1 つのスピーカで測定音を照射し、直線上に並べた 8 素子のエレクトレットコンデンサマイクロホン（直径 6 mm）でウェル 1 列分の音圧を測定する。ウェルプレートをステージに搭載し移動させて次の列を測定していく。測定音をスイープさせ、測定された信号はロックインアンプを介し、ADコンバータで変換してPCで記録している。

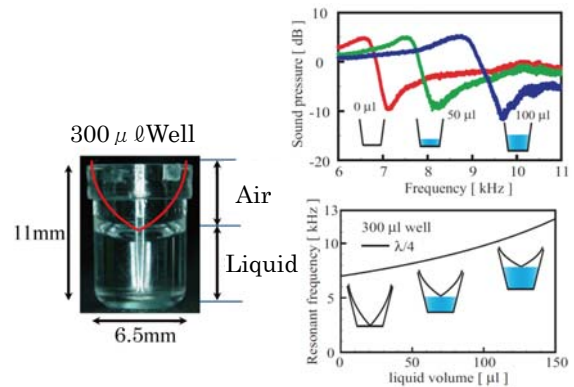


Fig. 1 Principle of the micro-volume measurement.

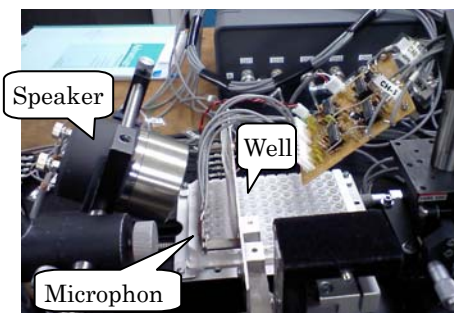


Fig. 2 A 96-well measurement system.

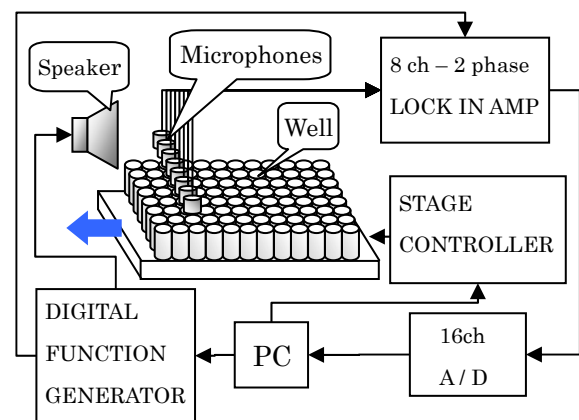


Fig. 3 Block diagram of the measurement system.

4 検量曲線の求め方

前述のように単純な 1/4 波長共振モデルでは正確な共鳴周波数は求まらないので、実際の測定値を使って 1/4 波長共振曲線を修正することで検量曲線を作った。すなわち、Fig. 4のように ΔV_1 、 ΔV_2 、 f_1 、 f_2 を決めるとき、補正值を $\Delta V_{\text{補正}}$

$$\Delta V_{\text{補正}} = \frac{\Delta V_2 - \Delta V_1}{f_2 - f_1} (f - f_1) + \Delta V_1$$

とし、これを 1/4 波長共振特性の値に足したものを検量曲線とした。なお、今回は予め 20 回測定した平均値を補正值とした。

5 測定結果

96 ウェル測定装置で得られる各ウェルの測定データはFig. 5のような音圧と周波数の関係である。今回は 50 Hz 間隔で音圧を測定し、加重平均を用いて音圧極小となる周波数を求め共鳴周波数とし、検量曲線に代入して求めた液量を推定値とした。なお、温度測定を行い音速の補正を行っている。一方、ウェル内の液に対し電子天秤で重量測定を行い、既知の密度から体積に換算し、これを液量の真の値として、両者の差をとって誤差とした。重量測定による液量分解能は 0.1 μl ある。今回測定したウェルはスピーカから向かって最前列の左端から 1, 4, 8 番目の 3 つ (それぞれを A, B, C と名づける) で、分注量が約 0, 40, 50 μl であるとき、それぞれを 10 回測定した。液量の真値、推定値の平均値と誤差の平均値、標準偏差、最大偏差を求めたものが Table 1 である。標準偏差は 0.3 μl 以下であり、測定のばらつきは小さいが、全体的に液量が小さく見積もられていることがわかる。これは検量曲線決定時と測定時とでマイクロホン位置などの差異があるためと思われる。

6 まとめ

多点の液量の同時測定のために 96 ウェルプレート用自動測定装置を製作し、その測定精度を検討した。その結果、ばらつきは小さいが、最大 2.0 μl 程度の測定値の系統的なずれが生じた。今後マイクロホン位置などの測定毎の条件を同じにする方法を検討する必要がある。

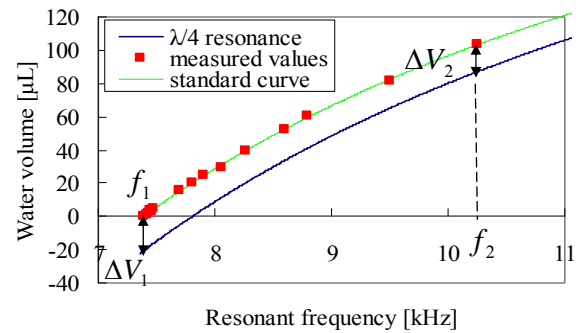


Fig. 4 Standard curve.

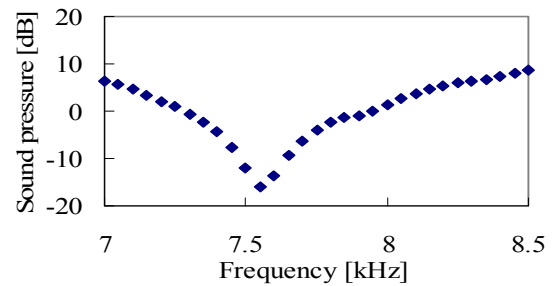


Fig. 5 Sound pressure v.s. the frequency.

Table 1 Results of the experiment.

	Liquid volume [μl]		Error volume [μl]		
	True value	Estimate value	Average value	Standard deviation	Maximum deviation
A	0	-2.13	-2.13	0.15	-0.27
	37.7	36.26	-1.44	0.16	-0.32
	47.6	45.75	-1.85	0.06	-0.10
B	0	-0.96	-0.96	0.11	-0.23
	39.6	39.11	-0.49	0.09	-0.15
	49.7	48.90	-0.80	0.09	0.16
C	0	-0.35	-0.35	0.07	-0.16
	37.5	36.65	-0.85	0.27	-0.48
	47.2	46.10	-1.10	0.08	0.18