

LPA フィードバック発振流量センサの発振周波数

一関高専 ○関谷祐太, 清水久記, 工学院大学 廣木富士男, 神奈川工科大学 山本圭治郎

The Oscillating Frequency of the Oscillating LPA Flow Sensor

○Yuta Sekiya, Ichinoseki National College of Technology
 Hisaki Shimizu, Ichinoseki National College of Technology
 Fujio Hiroki, Kogakuin University
 Keijiro Yamamoto, Kanagawa Institute of Technology

ABSTRACT : The oscillating LPA (Laminar Proportional Amplifier) flow sensor having bilateral feedback loops is available for the measurement of small volume flow. We has known there are relationships between the oscillating frequency and flow volume of the LPA flow sensor. But departmental dimension which structure LPA sensors didn't clear how to affect. This research examined property of transmission time for departmental geometry to use FFT.

Keywords : Laminar proportional amplifier, flow sensor, feedback oscillator, frequency, geometry

1. はじめに

LPA フィードバック発振流量センサは層流域で作動する層流形比例素子 (Laminar Proportional Amplifiers 以下 LPA と略す) の出力ポートと入力ポートにフィードバック流路を設けた構成である。この流量センサは、流路内での発振現象をもとに、流量を測定する流量センサであり、小流量測定には有効なセンサである。これまでの研究¹⁾では流量と発振周波数特性は、流量センサを構成する流路寸法と密接な関係があることが分かってきた。しかしながら、センサを構成する各部の寸法がどのように影響するのか明確ではなかった。そこで、各部の信号伝達の遅れを測定し各部の寸法が発振周波数にどのように影響を与えるのか実験的に検討し、算定式を試みたので報告する。

2. 流量センサの構造

Fig.1 に流量センサの構造を示す。この流量センサでは主ノズルより出た噴流がどちらかのフィードバック流路を通り、入力部で噴流の側面に加わることにより、交互に噴流の偏向が行われ発振現象が誘起される。よって、伝達信号はこの流路を一巡する。Fig.2 に主要寸法を示す。

流量センサ内に信号伝達の上で重要と考えられる 8 つの箇所に測定点を設けて、その点の圧力変化をもとに伝達時間を測定し、発振周波数の算定を試みた。各部の名称は

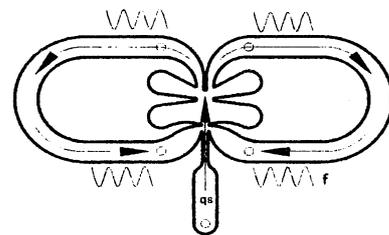


Fig.1 structure of LPA sensor

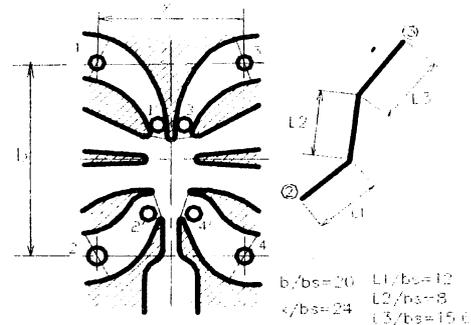


Fig.2 measure point and dimension

t_{11} 及び t_{33} : 左右の出力部流路長さの伝達時間
 t_{22} 及び t_{44} : 左右の入力部流路長さの伝達時間
 t_{23} 及び t_{41} : 噴流偏向部の伝達時間
 t_{23} 及び t_{34} : フィードバック伝達時間
 である。これにより以下の式が成り立つ。

$$T = t_{11} + t_{12} + t_{22'} + t_{2'3} + t_{3'3} + t_{34} + t_{44'} + t_{4'1} \quad (1)$$

ここで、

T は 1 周期にかかる時間であり、 T の逆数が流量センサの発振周波数 f となる。よって、各部の伝

達時間を測定することにより各部形状および寸法がどのように発振周波数に影響するのかが分かることになる。

3. 実験装置および実験方法

実験装置の概略を Fig.3 に示す。コンプレッサよりの空気圧は、フローメータにより流量を調整し流量センサに流す。圧力変化すなわち発振周波数はコンデンサマイクロフォンを用いてアンプで増幅し、圧力を電圧に変化し測定した。これまでの研究では、ストレージオシロスコープで測定したが、この方式では、正確な正弦波が必ずしも得ることができないことがあり、計測上限界があった。そこで、FFTを用いて、この信号をパソコンで出力することにより自動計測を行った。FFTは得た信号を高速フーリエ変換して波形を周波数分析することが出来る。これにより、人の目ではどうしても判断できない波形も測定することが可能になった。小野測器製のFFTを用いた。

実験で用いた流量センサの寸法を Table1 に示す。流量センサ h を除き bs を基準として相似形に作成した。 lf はフィードバック流路長さ、 lo は出力部の流路長さ、 li は入力部の流路長さ、 Xsp はノズルからスプリッタまでの寸法を示す。実験では、ノズル幅 bs と板厚 h の異なる寸法の流量センサ各部伝達時間の測定を行った。

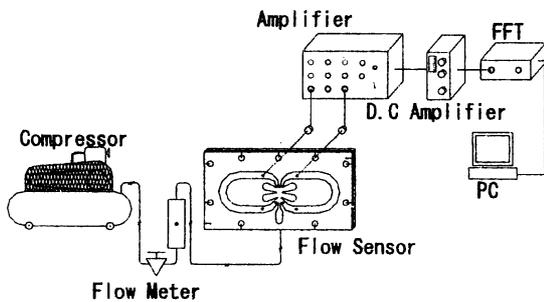


Fig.3 measurement system

Table1 dimension of flow sensor (mm)

bs	lf	lo	li	Xsp	h
0.75	67.005	11.7	9	6.0	0.8 , 0.4
1.00	89.34	15.6	12	8.0	1.0 , 0.8 , 0.7
1.50	134.01	23.4	18	12.0	1.0 , 0.9 , 0.7

4. 実験結果及び考察

4.1 噴流偏向部伝達時間について

George Mon²⁾ は流量センサの発振周波数に関して噴流の到達時間 t_j を

$$t_j = Xsp / 0.5 \cdot Us \quad (2)$$

としている。ここで、 Xsp はスプリッタ距離、 Us は主ノズル流速であり、噴流の平均流速として主噴流の $1/2$ を用いている。Fig.4 は $bs1.5mm$ の流量センサにおける主ノズル流速 Us と伝達時間 t_2 の実験結果を示す。横軸は主ノズル流速 Us 、縦軸は伝達時間 t_2 である。

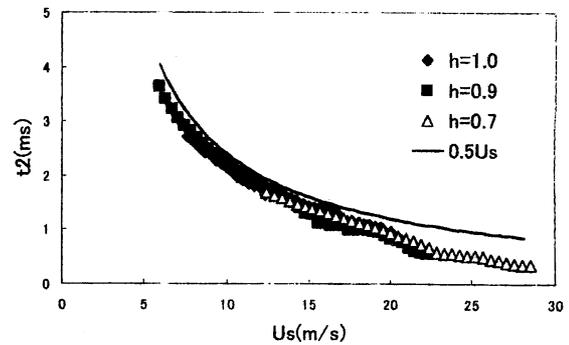


Fig.4 t_2 versus Us ($bs1.5$)

George Mon の解析結果と、実験値においてはほぼ一致している。しかし、主ノズル流量が大きくなるのに従い、実験値との差が大きくなっている。また、伝達時間は他の流路の伝達時間の約 10 倍の値を示している。 $bs1.0, 0.75mm$ でも同様の傾向が見られた。

今回使用した 8 種類の流量センサから各部の寸法のみで伝達時間が推定できる算定式を試みた。噴流偏向部での伝達時間 t_2 を次の様に算定する。

$$t_2 = A \cdot Us^{-B} \quad (3)$$

Xsp を係数 A で割ったものを A^* とおく。実験より得られた A^* と B は次の式で示される。

$$A^* = (4.387bs - 4.303)\lambda - 3.471bs + 4.004 \quad (4)$$

$$B = (-7.104bs + 6.073)\lambda + 4.936bs - 3.217 \quad (5)$$

係数はそれぞれ主ノズル幅 bs 、アスペクト比 λ より求めることが出来る。

$$A = \frac{X_{sp}}{A^*} \quad (6)$$

この A, B を式(3)に代入すると伝達時間を推定することが出来る。この算定式と実験値を比べた結果、約 5 割が一致した。

4.2 フィードバック部伝達時間について

Fig.5 に主ノズル幅 1.0mm の寸法の流量センサでのフィードバック流路内の伝達速度 U_f と流量特性を示す。縦軸は U_s 、横軸は q_s である。伝達速度は流路の長さ l_f と伝達時間 t_f により算定した平均速度である。図よりフィードバック流路の伝達速度は q_s の増加と共に増加している。なお、他の 2 つのノズル幅でも同様の傾向が見られた。

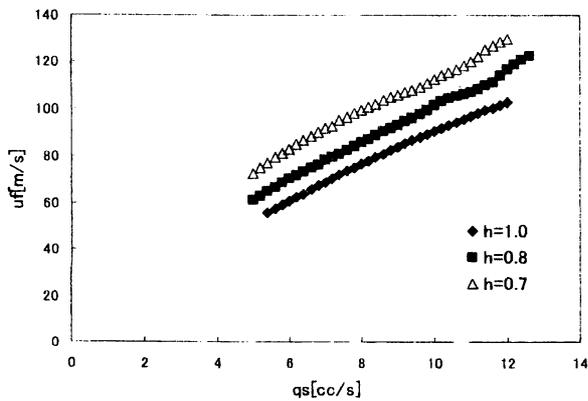


Fig.5 u_f versus q_s (bs1.0)

この伝達速度は噴流偏向部伝達時間の 10 倍ほどの高い流速である。したがって、フィードバック流路で噴流偏向部よりも速い速度で伝わっている。

よってこの部分は実流として信号が伝播されているのではなく圧縮波として信号が伝わっていると考えられる。

また、流路の断面積が大きいほど、流速が大きくなっている。これは流路での抵抗が少なくなることより音速に近い速度で信号が伝播していると考えられる。

また、グラフの傾きが 3 種類の板厚でもほぼ等しいことが分かった。

噴流偏向部と同様にフィードバック伝達時間の算定式を試みた。伝達時間 t_2 は次のように示される。

$$t_2 = C \cdot q_s^{-D} \quad (7)$$

ここで C, D は次の通りである。

$$C = (-0.0709bs - 0.0559) \frac{l_f}{4dm} + 20.398bs - 7.7008 \quad (8)$$

$$D = (0.019bs - 0.0323) \frac{l_f}{4dm} - 0.8503bs + 2.2544 \quad (9)$$

l_f はフィードバック流路長さで、 dm は流路の水力直径である。

この C, D を式(7)に代入すると伝達時間を推定することが出来る。この算定式と実験値を比較すると、5 割以上で一致が見られた。

4.3 入力部伝達時間について

主ノズル幅 bs1.0mm の寸法の流量センサでの入力ポート伝達時間と流量特性を Fig.6 に示す。

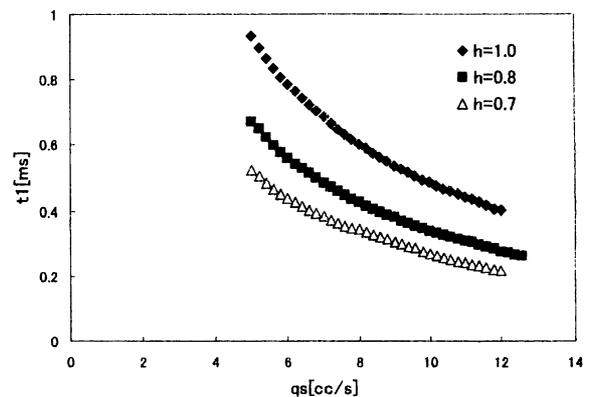


Fig.6 t_1 versus q_s (bs1.0)

伝達時間は流量の増加に伴い減少する傾向がある。また、板厚が小さいほど伝達時間は短い。また主ノズル幅 bs が小さいほど(相似形なので入力部幅も対応し小さくなる)同じように伝達時間は小さくなることも分かった。Fig.7 に流路内速度と供給流量の関係を示す。 u_1 は流路の長さ l_1 と伝達時間により算定した速度である。

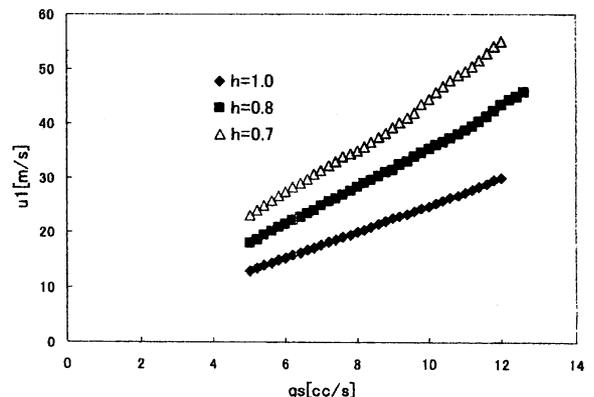


Fig.7 u_1 versus q_s (bs1.0)

入力部での伝達信号はフィードバック流路よりも小さいが、主ノズル流速より約 2 倍大きい。よって、この流路での流れは圧縮波の伝達から実流に変わっていく遷移領域と考えられる。

同様に、次のように算定式を試みる。

$$t_1 = E \cdot qs^{-F} \quad (10)$$

ここでE, Fは次の通りである。

$$E = (-0.9372bs + 0.4705) \frac{l1}{4dm} + 20.025bs - 11.778 \quad (11)$$

$$F = (-0.0603bs + 0.0688) + 0.8054bs - 0.044 \quad (12)$$

l1 は入力部流路の長さ, dm は入力部の水力直径を示す。

このE, Fを式(4.3.1)に代入すると伝達時間を推定することが出来る。バラツキも多く、この算定式と実験値との一致は3割程度であった。

4.4 出力部伝達時間について

主ノズル幅 bs1.0mm の寸法の流量センサでの出力ポート伝達時間を Fig.8 示す。

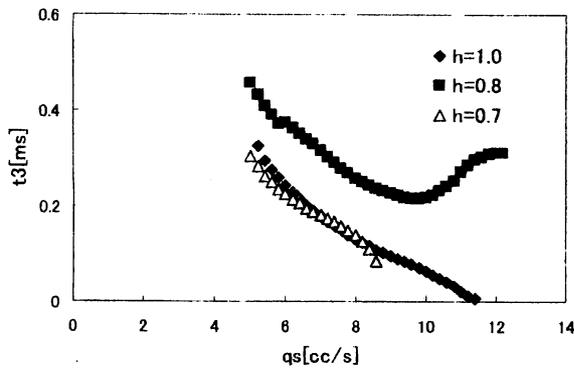


Fig.8 bs=1.0 qs-t3

出力部では、全体的に流量が増加に伴い伝達時間が減少する傾向が見られるが、逆に増加する特性を示すセンサもあった。この部分は供給される噴流がスプリッタにより分けられ、出力部流路に流れるが回復する部分であるので不安定であり乱れやすい部分であると思われる。しかし、この部分は全体の時間の1割程度しか占めておらず発振周波数にはそれほど影響はない。

4.5 各流路伝達時間の占める割合について

Fig.9, Fig.10, Fig.11 にノズル幅 bs0.75, 1.00, 1.50mm の流量センサにおける各流路伝達時間の全体の伝達時間 T に占める割合を示す。縦軸に割合 t/T, 横軸に供給流量 qs である。

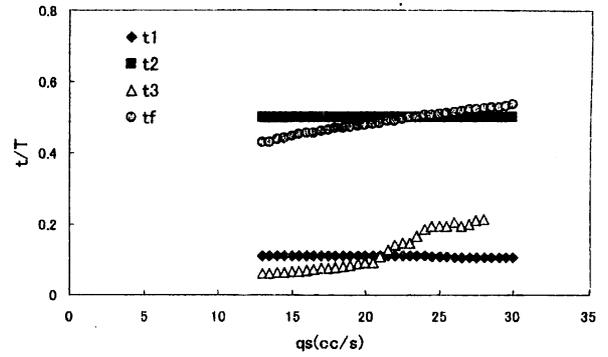


Fig.9 t / T versus qs(bs1.5 h0.7)

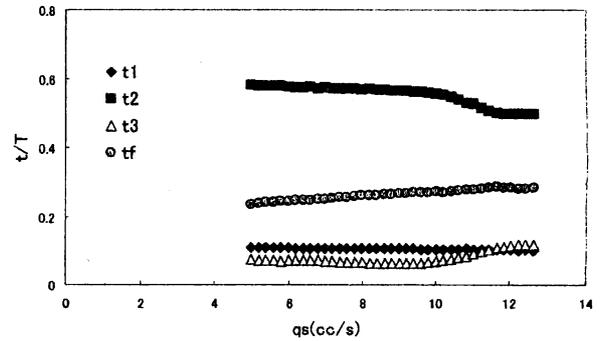


Fig.10 t / T versus qs (bs1.0 h0.8)

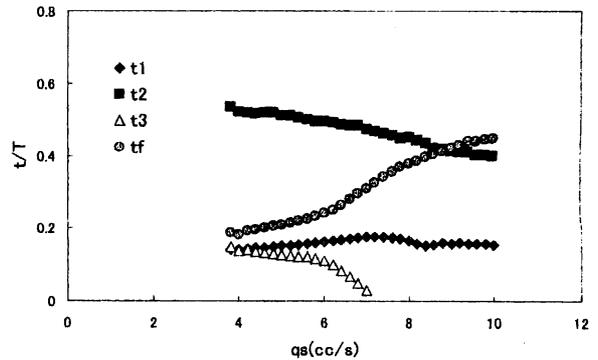


Fig.11 t / T (bs0.75 h0.8)

これらの図から流量センサの寸法によって各部の信号伝達の特性に大きな違いが生じていることが分かる。bs0.75mm の流量センサの場合は各部の伝達時間 t の全伝達時間に占める割合は流量の増加に伴い減少しているが、bs1.5, 1.0mm の流量センサでは流量増加による変化はほぼ見られずほぼ一定である。噴流偏向部伝達時間は全体の6割から5割程度を占めている。bs0.75mm の流量センサでも、発振が最小流量で励起された時の噴流偏向部伝達時間の時間割合は各部の中で一番大きい値を示している。

また、bs1.5mm の流量センサの場合にはセンサ

形状が大きくなり、フィードバック流路も長くなるためにフィードバック伝達時間が大きくなると考えられる。bs0.75mm の流量センサの場合には流路寸法が小さくなるため流体抵抗が大となる。よって、全体的に信号伝達に要する時間の割合が大きくなり、偏向時間にかかる割合が大きくなり低下しているものと考えられる。

5. おわりに

実験の結果、次のことが分かった。

- 1) 噴流の到達時間が発振周波数の約 1/2 を占めている。
- 2) フィードバック流路の伝達時間は発振周波数の 2 割から 4 割を占め流量の増加に伴い、その割合は増加する。
- 3) 入力部と出力部の伝達時間の全体に占める割合は 20%程度である。
- 4) 噴流の到達時間、フィードバック流路の伝達時間、入力部伝達時間の算定が可能となった。

本研究の一部は科学研究費補助金(No.17560218)によった。

参考文献

- 1) 清水久記, 廣木富士男, 山本圭治郎: LPA フィードバック発振周波数の発振周波数について: 計測自動制御学会 2005 年度産業応用部門大会
- 2) George Mon : A fluidic Volumetric-flow, Mass Flow Density and Viscosity Meter, The Journal of Fluid Control 7/18(1987)