

LPA フィードバック発振流量センサの発振下限について

一関高専 ○門間岳大, 清水久記, 工学院大学 廣木富士男, 神奈川工大 山本圭治郎

The Oscillating Limit of the Oscillating LPA Flow Sensor

○Takehiro MONMA, 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 flow sensor utilizing Laminar Proportional Amplifiers (LPA) is available for the measurement of the small flow rates. The oscillating frequency of the oscillating LPA flow sensor closely connected with the geometry and size of the oscillating LPA flow sensor. We studied to the relationship between frequency and flow rate which changed dimensions of the oscillating LPA flow sensor. As the results, it was proved that each dimensions of oscillating LPA flow sensor influences the oscillating limit and measuring flow range.

Keyword : oscillating limit, measuring flow range, LPA, flow sensor,

1. はじめに

層流域で作動する層流形比例素子 (Laminar Proportional Amplifiers 以下 LPA と略す) を用いた LPA フィードバック発振流量センサは微小流量を測定することが可能な流量センサであり, 化学, 医療等の分野への応用が期待されている. 筆者等のこれまでの研究¹⁾より, LPA フィードバック発振流量センサの発振周波数と流量特性には, センサを構成する形状と密接な関係があることが分かった.

測定流量が微小であれば応用分野が更に拡大することになるので, 本研究では, この流量センサを構成する各部の寸法を変えて形状と発振周波数, 流量との関係を実験し, 発振下限の流量と流量測定範囲への影響を検討したので報告する.

2. LPA および流量センサの形状

LPA の形状と各部寸法を Fig.1 に示す.

ここで, 各部の基本寸法は主ノズル幅 b_s を基準として以下の通りである.

$$\begin{aligned} b_o/b_s &= 1.25 & b_t/b_s &= 1.5 \\ b_v/b_s &= 3 & b_d/b_s &= 2.4 \\ X_r/b_s &= 8.3 & X_{sp}/b_s &= 8 \\ b_c/b_s &= 1 & b_{sp}/b_s &= 0.5 \end{aligned}$$

LPA フィードバック発振流量センサの形状を Fig.2 に示す. 流量センサは LPA の出力部と入力部を LPA と同一平面上に設けたフィードバック流路

でつないだ構造になっている.

この流量センサは, 主ノズルから出た噴流が粒子の乱れ等により左右どちらかに傾き, フィードバック流路を通りコントロール部で噴流の側面に作用して噴流を反対側に傾ける動作を左右交互に行うことで発振現象が誘起されることを利用している. 流路に設けた圧力変換器で測定した発振周波数と流量には密接な関係があり, 発振周波数から流量を算出することができる流量センサであり, また内部に稼動部を有さないため微小流量の測定が可能である.

流量センサはワイヤカット放電加工機を用いて精密に加工し, 上下より厚いカバープレートではさみ, センサとした.

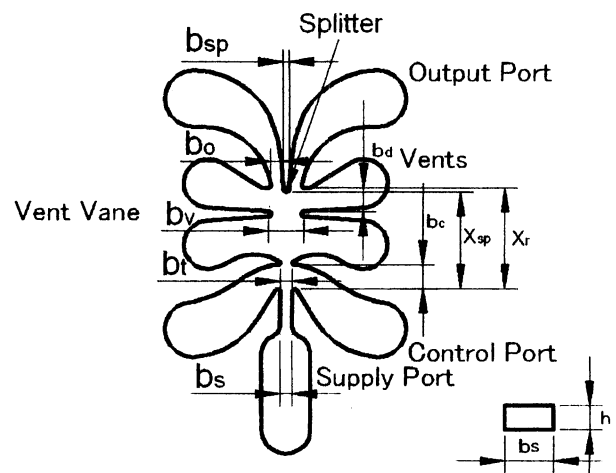


Fig.1 Geometry of LPA

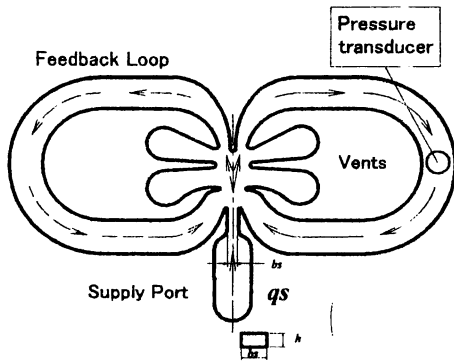


Fig.2 Geometry of Oscillating Flow Sensor

3. 実験装置および実験方法

実験装置図を Fig.3 に示す。コンプレッサで圧縮した空気をフローメータで任意の流量に調節し、流量センサに供給する。圧力変化を圧力センサで検出した後、電圧に変換し、DCアンプで増幅してストレージオシロスコープで波形を観測しながら周波数を測定する。

実験は発振が確認できる層流域から、波形が乱れる乱流域まで測定を行った。作動流体として空気を使用し、また圧力センサとしてコンデンサマイクロフォンを用いた。

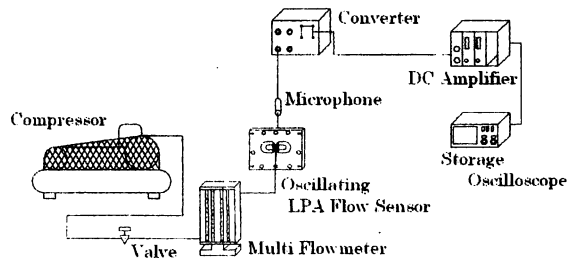


Fig.3 measurement system

Fig.4に流量センサの主要部寸法を示す。ここで、 b_o はセンサ出力部幅、 b_c はセンサ入力部幅、 X_{sp} は主ノズルからスプリッタまでの距離、 b_f はフィードバック流路幅である。

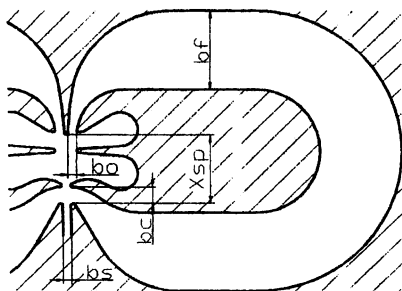


Fig.4 major dimensions of LPA Flow Sensor

実験では、素子形状を構成する主要寸法と考えられる、1)主ノズル幅、2)入力部幅、3)出力部幅、4)スプリッタ距離、5)フィードバック幅、を変えた流量センサを多数作製し、各部寸法の変化が発振下限、流量測定範囲にどのように影響するかを検討した。

4. 実験結果および考察

4. 1 主ノズル幅 b_s の変化

主ノズル幅 b_s の変化について検討する。

b_s を変化させた場合の流量センサの発振周波数-供給流量特性を Fig.5 に、Fig.5 の発振下限付近を拡大した図を Fig.6 にそれぞれ示す。実験では、 b_s を 0.25(mm) から 0.5(mm) まで段階的に変えている。図の縦軸は発振周波数 f (Hz)、横軸は供給流量 q_s (cc/s) である。

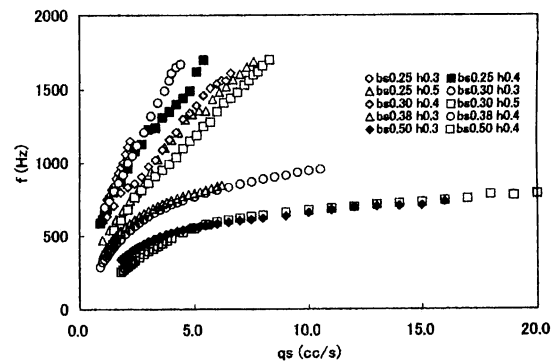


Fig.5 f vs q_s (change of b_s)

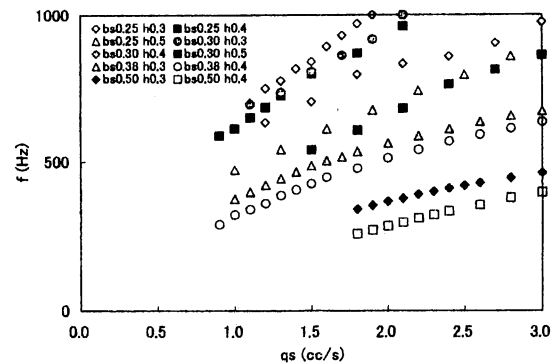


Fig.6 f vs q_s (change of b_s)(2)

図において最小流量が得られたのは、 b_s 0.25(mm)、 h 0.4(mm)と、 b_s 0.38(mm)、 h 0.4(mm)の寸法の流量センサの場合で、0.9(cc/s)あった。しかし、前者の流量測定範囲は約 4.3 倍と低い。また、 b_s 0.25(mm)、 h 0.2(mm)と b_s 0.3(mm)、 h 0.2(mm)の寸法の流量センサでは発振現象が起きなかった。

供給圧力-供給流量特性を Fig.7 に示す。ここで、縦軸は供給圧力 p_s (Pa)、横軸は流量 q_s (cc/s) である。

主ノズル断面積が大きいほど、同じ供給流量における供給圧力は低い。また、測定可能な最大流量も増加している。これは主ノズル断面積が大きい場合、流体抵抗が小さくなり測定可能な最大流量が増加していることが分かる。

主ノズル断面積が小さければ流量も少なくなると考えられるが、粘性による流体抵抗が大となるため限度がある。そのため発振下限が最も低いのは主ノズル断面積が最も小さい場合とは限らない。

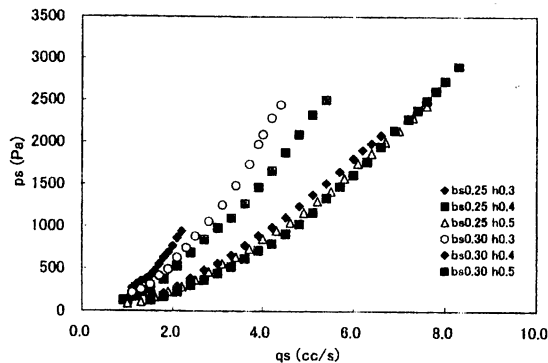


Fig.7 ps vs qs (change of bs)

4.2 出力部 bo の変化

次に、出力幅 bo をそれぞれ変化させた場合について検討する。

bo を変化させた場合の流量センサの発振周波数-供給流量特性を Fig.8 に示す。ここで、実験には bs0.25(mm), h0.4(mm)の寸法の流量センサを用いた。bo の寸法は、基準の 0.31(mm)と拡大した 0.64(mm)の2種類である。図の縦軸は発振周波数 f(Hz), 横軸は供給流量 qs(cc/s)である。

図より、bo を大きくすると発振下限が低下し、このときの下限流量は 0.85(cc/s)であった。これは板厚を変化させた場合も同様の傾向を示した。出力部の幅を広げることは流体が流れやすくなることになり、bo の幅は発振下限に影響を与えていると考えられる。

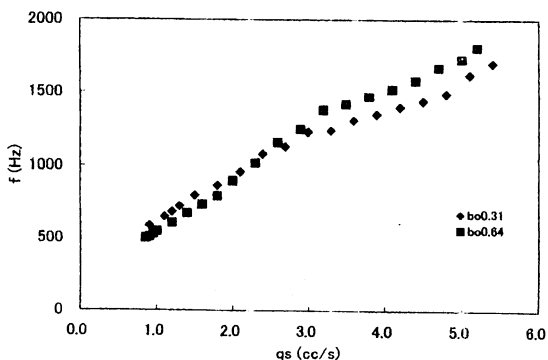


Fig.8 f vs qs (change of bo)

4.3 入力部幅 bc の変化

出力幅 bc をそれぞれ変化させた場合について検討する。

bc を変化させた場合の流量センサの発振周波数-供給流量特性を Fig.9 に示す。ここで、実験には bs0.25(mm), h0.4(mm)の寸法の流量センサを用いた。bc の寸法は、基準の 0.25(mm)と拡大した 0.60(mm)の2種類とした。図の縦軸は発振周波数 f(Hz), 横軸は供給流量 qs(cc/s)である。

図のように、bc を大きくしても発振下限にはほとんど変化がないが、流量測定範囲は基準寸法と比較して2倍程度広がっている。これは板厚を変えた場合にも同様の傾向を示した。

このことより、bc を大きくすることで流量測定範囲が広がることがわかった。

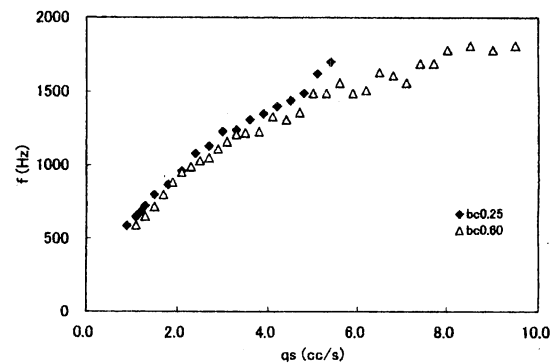


Fig.9 f vs qs (change of bc)

4.3 スプリッタ距離 Xsp の変化

主ノズルからスプリッタまでの距離 Xsp を変化させた場合について検討を行う。流量センサの基礎となる LPA では 8bs が Xsp の基準寸法であるが、ここでは 6bs~10bs と5種類のセンサを作製し検討を行った。ここで、実験に用いた流量センサの寸法は bs0.3(mm)である。

Xsp を変化させた場合の発振下限となる最小流量値を Fig.10 に示す。

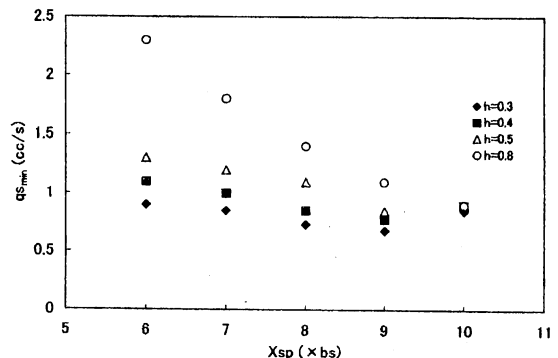


Fig.10 qsm vs Xsp

Xsp の増加に伴い発振下限となる流量の値は低下していることがわかる。最も発振下限が低いのは Xsp が 9bs の時であり、下限流量は bs0.3(mm), h0.3(mm)の寸法の流量センサで 0.65(cc/s)であった。

ここで、発振下限となる最小流量値は、実験データより次式で算定される。

$$q_{s\min} = C \cdot Xsp^{-D} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、C, D は

$$C = 1.1309 \cdot \lambda^{3.8542} \dots \dots \dots (2)$$

$$D = 0.3111 \cdot \lambda^{1.8303} \dots \dots \dots (3)$$

λ : 主ノズル部アスペクト比

である。よって、スプリッタ距離を変更させた場合の最小流量値は、λによって算定することができることがわかった。

Xsp を変化させた場合の発振周波数－供給流量特性を Fig.11 に示す。ここで、bs0.3(mm) , 板厚 h0.3(mm)の寸法の流量センサを用いたものであり、図の縦軸は発振周波数 f(Hz), 横軸は供給流量 qs(cc/s)である。

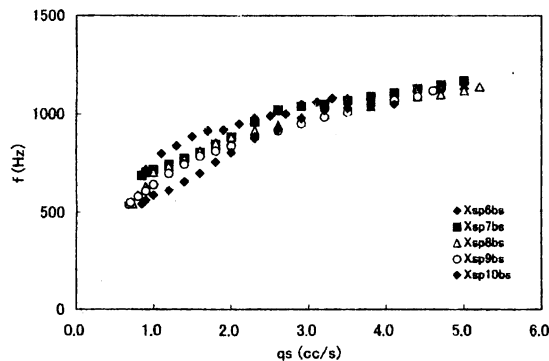


Fig.11 f vs qs (change of Xsp)

Xsp が変化することで発振下限も変化しているが、流量測定範囲には大きな変化が見られなかった。これは板厚を変化させても同様の傾向を示した。そのため、Xsp の変化は発振下限に影響を与えているが、流量測定範囲には影響していないと考えられる。

4. 4 フィードバック幅 bf の変化

フィードバック幅 bf を変化させた場合について検討する。bf は 1bf, 1.5bf, 2bf と幅を 3 種類に変えたセンサを作製し実験を行った。

フィードバック幅 bf を変化させた場合の発振周波数－供給流量特性を Fig.12 に、Fig.12 の発振下限付近を拡大した図を Fig.13 に示す。ここで、bs0.3(mm), h0.3(mm)の寸法の流量センサを使用したものであり、縦軸は発振周波数 f(Hz), 横軸は供

給流量 qs(cc/s)である。

図より、bf を大きくすると、流量測定範囲は 10% 程度拡大していることがわかる。しかし、bf を基準の 1.5bf と 2bf で比較すると、測定可能な流量範囲に変化が見られない。これは、板厚が変化した場合でも同様の傾向がみられる。このことから、流量測定範囲の拡大には bf の拡大が有効であるが、範囲の拡大には限度があると考えられる。

また 2bf の場合には、1bf および 1.5bf の場合と比較して、流量測定範囲の増加だけでなく発振下限も低下している。このときの下限流量は、bs0.3(mm), h0.3(mm)の寸法の流量センサで 0.65(cc/s)であった。これは、bf を大きくすることによって LPA 出力部からフィードバック部への流路形状が緩やかに拡大し、流路の抵抗が少なくなり流体が流れやすくなることで発振が誘起されやすくなったためであると考えられる。

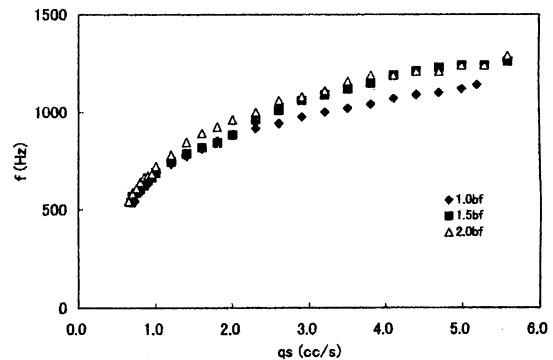


Fig.12 f vs qs (change of bf)

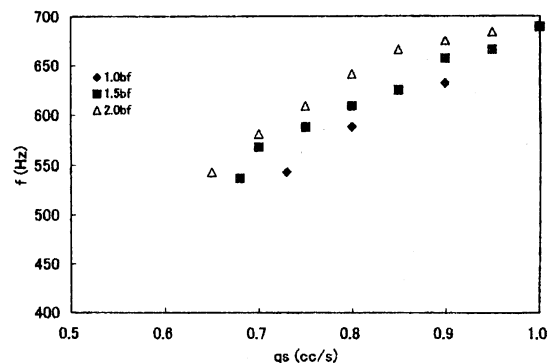


Fig.13 f vs qs (change of bf)(2)

次に、Xsp を 8bs, 9bs, bf を 1 bf, 2 bf とそれぞれ変化させた場合の発振周波数－供給流量特性を Fig.14 に、Fig.14 の発振下限付近を拡大した図を Fig.15 にそれぞれ示す。ここで、使用した寸法は bs0.3(mm), h0.3(mm)であり、縦軸は発振周波数 f(Hz), 横軸は供給流量 qs(cc/s)である。

bf が 1bf の場合、発振下限は Xsp が 9bs のほうが

低く、流量測定範囲は X_{sp} が 8bs のほうが広い。

しかし bf が $2bf$ となると、流量測定範囲の傾向は同じであるが、下限流量は X_{sp} が 8bs と 9bs で同じ値になっている。このことから、 bf が発振下限および流量測定範囲に与える影響は X_{sp} のそれよりも大きいと考えられる。

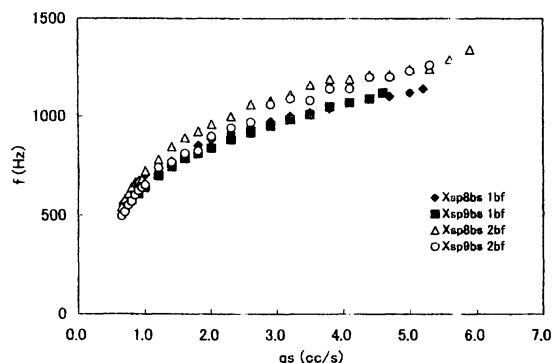


Fig.14 f vs q_s (change of X_{sp} and bf)

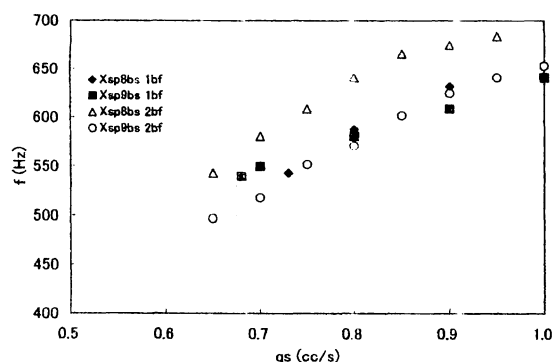


Fig.15 f vs q_s (change of X_{sp} and bf)(2)

5. まとめ

流量センサを構成する主要部寸法を変え、発振下限となる流量値を実験した結果、次のことがわかった。

- 1) 供給ノズル幅 bs を小さくすれば、発振下限となる流量値は低下するが、流体抵抗が大となるため限度がある。
- 2) 出力部幅 bo の変化は発振下限に影響を与える。 bo を大とすることで発振下限が低下する。
- 3) 入力部幅 bc の変化は流量測定範囲に影響を与える。 bc を大とすることで、流量測定範囲は拡大する。
- 4) スプリッタ距離 X_{sp} の変化は発振下限に影響を与える。発振下限が得られる最適寸法は、 X_{sp} が 9bs の時であった。
- 5) フィードバック幅 bf の変化は流量測定範囲に影響するが、測定範囲の拡大には限度がある。

また、 bf を大きくすると流路の抵抗が少なくなることで発振が誘起されやすくなり、発振下限が低下する。最小流量は主ノズル幅 $bs0.3(\text{mm})$ 、板厚 $h0.3(\text{mm})$ 、スプリッタ距離 X_{sp} が 9bs、フィードバック部幅 bf が $2bf$ の寸法の流量センサの場合で、 $0.65(\text{cc/s})$ を得られた。

- 6) スプリッタ距離 X_{sp} の変化よりもフィードバック幅 bf の変化のほうが、発振下限に与える影響が大きい。

参考文献

- 1) 清水, 廣木, 山本: LPA フィードバック発振流量センサの形状と特性, 計測自動制御学会第 21 回センシングフォーラムシンポジウム講演論文集 17/20(2004)
- 2) 清水, 千葉, 廣木, 山本: LPA フィードバック発振流量センサの特性比較 (作動流体が異なる場合), 計測自動制御学会第 20 回センシングフォーラムシンポジウム講演論文集 105/108(2003)