

LPA を用いた傾斜センサの特性

The Characteristics of the Inclined Plane Sensor by LPA

○伊勢博規*, 清水久記**, 廣木富士男***, 山本圭治郎†

○Hiroki Ise*, Hisaki Shimizu**, Fujio Hiroki***, Keijiro Yamamoto†

*一関高専専攻科 **一関高専 ***工学院大学 †神奈川工科大学

*Ichinoseki National College of Technology Advanced Engineering Course,

Ichinoseki National College of Technology, *Kogakuin Univ.,

†Kanagawa Institute of Technology

キーワード：層流形比例素子(Laminar Proportional Amplifier), 傾斜(Inclined Plane),
圧力増幅(Pressure Amplifier), 周波数応答(Frequency Response)

連絡先：〒021-8511 一関市萩荘字高梨 一関工業高等専門学校 制御情報工学科 清水久記
Tel. : 0191-24-4759, : E-mail : shimiz6@ichinoseki.ac.jp

1. 緒言

一般的な傾斜測定は電気計測で行っている場合が多い。しかし、嫌火性の環境においては使用できないことや高電圧の環境のもとではノイズの影響が大きいなどの問題が生じており、このような環境での計測では電気計測によらない傾斜測定方法が望まれている。

本研究ではこれまで研究している層流形比例素子(Laminar Proportional Amplifiers 以下 LPA と略す)を用いた流体式傾斜センサを考案し、その有用性を検討した。この測定法は僅かな傾斜をノズル方式の近接センサで測定し、その出力を LPA で増幅する傾斜センサである。近接センサ, LPA および傾斜センサの出力特性実験, 周波数応答実験を行ったのでその結果を報告する。

2. 近接センサおよび LPA の形状と動作原理

2.1 近接センサの形状と動作原理

センサの構造を Fig.1 に示す。これまでの背圧

型近接センサとは異なり、二重管構造となっていることに特徴がある。供給部から送られた流体は外側の管を通り、ノズル先端より外部に噴出するが、先端部にフラップなどがある場合、噴流が反射し、中心部の管内に流れ込み圧力 P_o を上昇させる。フラップと先端との隙間 x が狭い場合 P_o は高く、 x が広い場合 P_o は低くなる。この圧力は x に関係するため x の変化を圧力 P_o により読み取ることが可能となる。このセンサは旋回流型センサと呼ばれ、背圧型センサより間隔を広く測定できるといわれている。

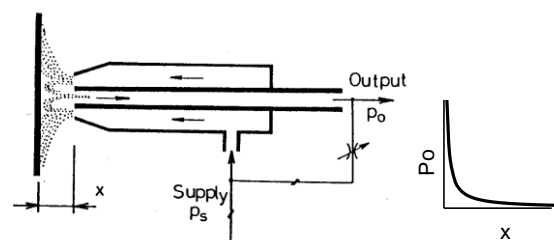


Fig.1 Schematic Diagram of Conventional Proximity Sensor

2.2 LPAの形状

Fig.2にLPAの形状と各部寸法を示す。LPAは主ノズル、スプリッターと左右に設けられた入力ポート、出力ポート、ベントおよびベントベンで構成されており、左右対称の形状である。この流路パターンに厚みのあるカバープレートを上下に挟み込むことで気密性を高める構造となっている。

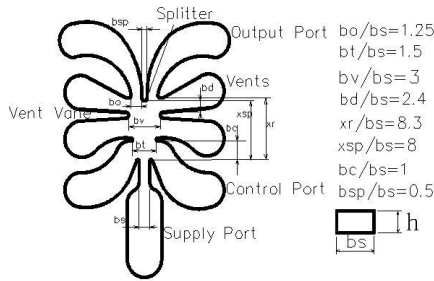


Fig.2 Schematic Diagram of LPA

また素子の各部寸法は主ノズル幅 bs を基準として図の右のように決定している。

2.3 LPAの動作原理

噴流の偏向の状況を Fig.3 に示す。(a)のように供給ポートから噴出した流体は、左右の入力ポートの圧力 P_{iL} , P_{iR} の差が無い場合、流体は真直ぐ

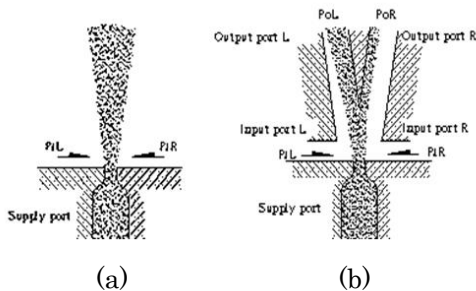


Fig.3 Jet Deflection

流れる。しかしながら(b)のように、一方の入力ポートに圧力差を生じさせると、流体は噴流偏向し、左右に設けた出力ポートに圧力差を生ずることができる。例えば、図のように P_{iR} が大であれば流体は左側の出力ポートに偏向し P_{oL} が大となる。

これにより、圧力増幅率 G は次式で計算される。

$$G = \frac{\Delta P_o}{\Delta P_i} = \frac{P_{oR} - P_{oL}}{P_{iL} - P_{iR}} \quad (1)$$

この素子は流体式増幅器と呼ばれており、一般

に約 10 倍の増幅率を持っている。

一方、LPA は層流域で作動するため、圧力ゲインが高く、パワー消費量が小さいなどの特徴がある。そのため特に微小圧力の増幅が可能であり、様々な応用が期待されている素子である。

3. 試作近接センサおよび LPA の寸法

3.1 試作近接センサの寸法

今回試作したセンサの形状と各部寸法を Fig.4 に示す。

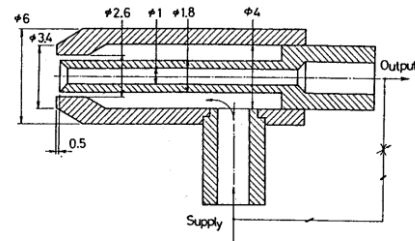


Fig.4 Trial Conventional Proximity Sensor

供給噴流は径 2.6mm と 1.8mm の形状より噴出し、出力部径 1mm の円筒に回収される二重管構造となっている。ノズルの径が小さいため、小面積のフラップ等で動作することが可能である。

3.2 試作 LPA の寸法

試作した LPA の寸法を Fig.5 に示す。



Fig.5 Trial LPA

今回用いた LPA は $bs=0.375\text{mm}$, 0.75mm の 2 種類であり、厚さは両方共 0.2mm のものを使用した。特に傾斜測定にはアナログ量の検出に適する $bs=0.75\text{mm}$ の LPA を使用した。

3.3 傾斜センサの構成

近接センサに LPA を組み込んだ傾斜センサの

構成を Fig.6 に示す. 近接センサの出力部を LPA の入力ポートに接続した構成である. これにより, フラップとの隙間 x は LPA を用いて増幅することが可能である.

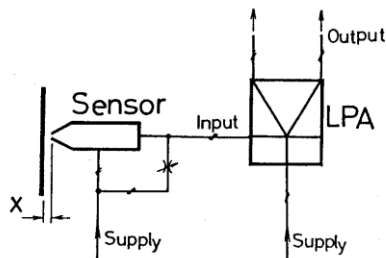


Fig.6 Inclined Plane Sensor

4. 実験方法および実験結果

実験方法および実験結果を近接センサの場合, 傾斜センサの場合, 傾斜測定の場合に分けて説明する. 尚, 使用流体は空気を用いた.

4.1 近接センサの出力特性実験結果

近接センサの出力特性実験装置を Fig.7 に示す. センサの供給部に流量計を接続し, 出力部に U 字管マンノメータを接続している. フラップを取り付けたマイクロメータをセンサの先端部に徐々に接近させ, 隙間と出力圧力を U 字管マンノメータにて測定した.

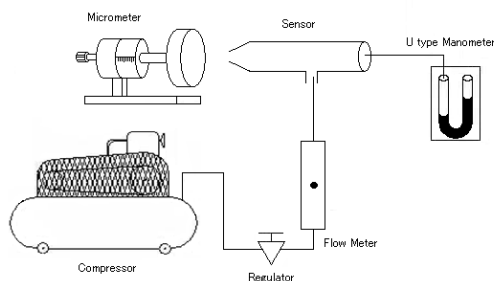


Fig.7 Experimental Equipment (Output Characteristics)

4.2 出力特性の実験結果

近接センサに用いる供給流量を段階的に変化させた場合の近接センサの出力特性結果を Fig.8 に示す. 縦軸は出力圧力, 横軸はセンサとフラップとの隙間である. 全ての供給流量において隙間が 3mm 以内になると出力圧力が得られ, 1mm 以内

で出力圧力が急激に上昇していることが分かる. この傾向は供給流量が大きい場合顕著であり, 特に供給流量が 150ml/s のとき, 隙間が 1mm の時点で出力圧力が 0.2kPa 得られることからセンサの供給流量が増加すると, グラフの傾きが比較的緩やかになり, 分解能が増すことが分かる.

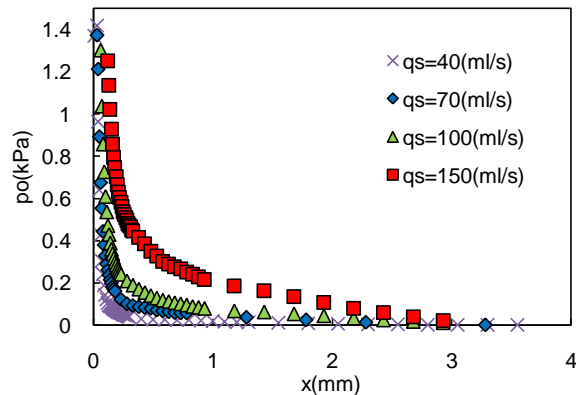


Fig.8 Output Characteristics of Conventional Proximity Sensor

$qs=150\text{ml/s}$ における隙間 x と出力圧力 P_o の関係は次式で表される.

$$P_o < 0.2 \quad x = -10.3 \cdot P_o + 3.07 \quad (2)$$

$$0.2 \leq P_o \leq 0.6 \quad x = 0.101 \cdot P_o^{-1.47} \quad (3)$$

$$P_o > 0.6 \quad x = -0.151 \cdot P_o + 0.298 \quad (4)$$

4.3 LPA の入出力特性

LPA の入出力特性を Fig.9 に示す. 縦軸は出力圧力差, 横軸は入力圧力差である. 主ノズル幅 bs

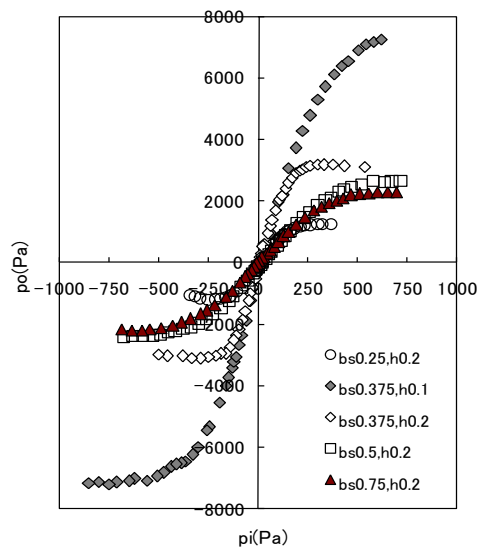


Fig.9 Input-Output Characteristic of LPA

と板厚 h を変化させた場合の結果を示す。入力と出力の間には比例関係があり、これが増幅率を示している。

流路が狭い場合には内部圧力が上昇するため、形状の小さい LPA では出力圧力は高くなる。よって、スイッチング動作等を行う場合は有効な素子である。

一方、流路の大きい形状の場合、出力圧力は低いが動作できる入力範囲が広いため、アナログ測定を行う場合には有効な素子である。

4.4 傾斜センサの入出力特性結果(1)

$bs=0.375\text{mm}$, $h=0.2\text{mm}$, $qs=4.8\text{ml/s}$ の LPA を接続した傾斜センサの実験結果を Fig.10 に示す。センサの供給流量は 70ml/s である。縦軸は出力圧力、横軸は近接センサとフラップとの隙間である。

1.93mm から 3mm の範囲において近接センサ単体の場合に比べ、出力圧力が約 18.5 倍増加している。これにより、対象物との隙間が非接触で高い出力圧力を検知することが可能である。

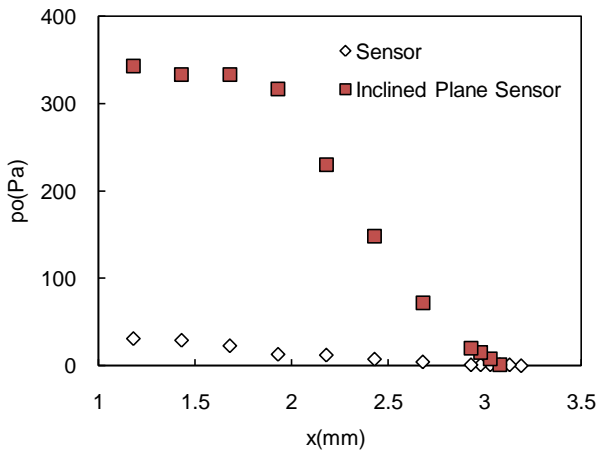


Fig.10 Output Characteristics(1)
(Sensor, Inclined Plane Sensor by $bs0.375$, $h0.2$)

4.5 近接センサシステムの入出力特性結果(2)

$bs=0.75\text{mm}$, $h=0.2\text{mm}$, $qs=10\text{ml/s}$ の LPA を接続した傾斜センサの実験結果を Fig.11 に示す。センサの供給流量は 70ml/s である。縦軸は出力圧力、横軸はセンサとフラップとの隙間である。結果から 2.18mm から 3.08mm の範囲において、出力圧力が約 6.6 倍増加していることが分か

る。この傾斜センサにおいては LPA の形状が大きいため出力圧力が高くないが、高速応答が可能である。

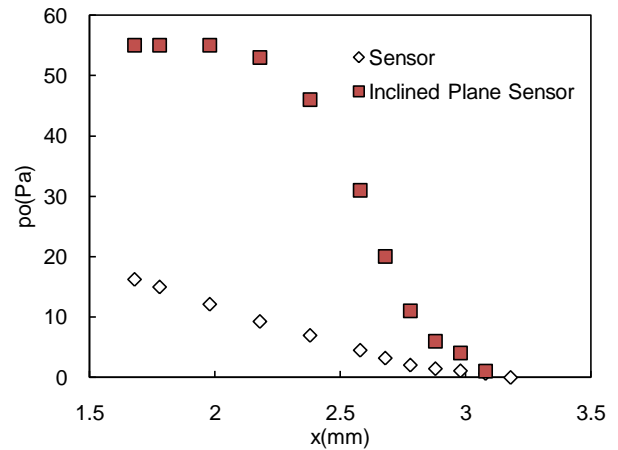


Fig.11 Output Characteristics(2)
(Sensor, Inclined Plane Sensor by $bs0.75$, $h0.2$)

4.6 周波数応答特性実験

周波数応答実験装置を Fig.12 に示す。モータには回転円板がついてあり、ノズル先端との隙間が変わるようにしている。モータの回転数を変えて LPA の出力圧力の変化を測定した。LPA の出力ポートにはコンデンサマイクロフォンを取り付け出力圧力の変化をオシロスコープで観測した。

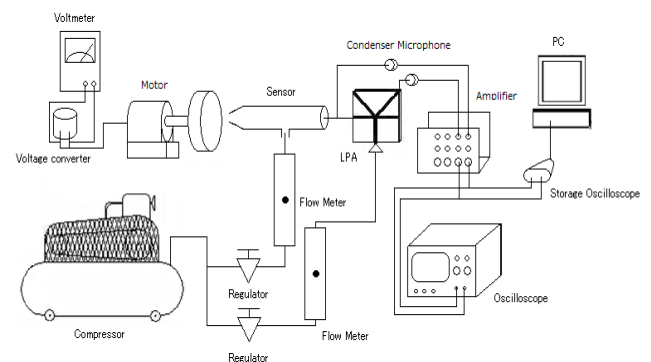


Fig.12 Experimental Equipment
(Frequency Response)

$bs=0.75\text{mm}$, $h=0.2\text{mm}$, $qs=10\text{ml/s}$ の LPA 接続の傾斜センサにおける周波数応答特性の実験結果を Fig.13 に示す。縦軸は増幅率であり、横軸は周波数である。また、増幅率は最初の測定値を基準とした比率で示している。図から LPA は 50Hz を超えても圧力増幅率が減衰しないことが分かる。

これにより,今回測定した領域であれば LPA はセンサの信号を十分に追従することが可能である. また,位相差は今回の測定では生じていない.

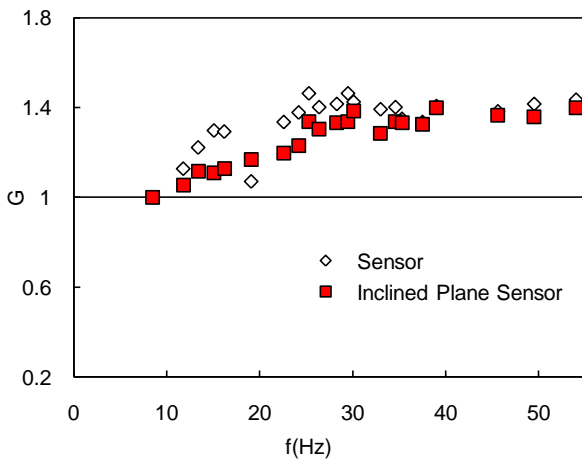


Fig.13 Frequency Response

4.7 傾斜測定実験

今回考案した傾斜実験装置を Fig.14 に示す. 傾斜装置にある円板の上下に近接センサをそれぞれ取り付けており,センサの出力部は LPA の左右の入力ポートに接続している. 平面が傾斜すると傾斜装置の円板が傾斜する. これにより LPA を組み合わせた傾斜センサの出力圧力に差が生じるため,傾斜角度による出力圧力を測定できる.

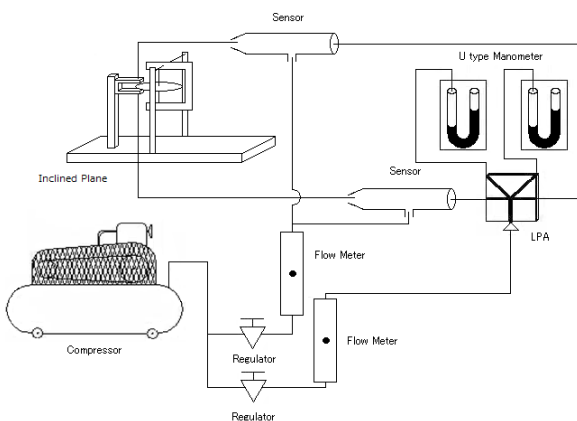


Fig.14 Experimental Equipment of Inclined Plane

傾斜部分の構造を Fig.15 に示す. 台が傾斜すると台と平行であるコの字型の部分が一軸方向に回転し平板 A が傾斜する構造である. また,僅かな角度でも軸を回転させ,圧力変化を得るようにす

るため回転部 B にベアリングを取り付けている. これにより,測定精度を高くすることが可能である. C には近接センサのノズルを取り付けている.

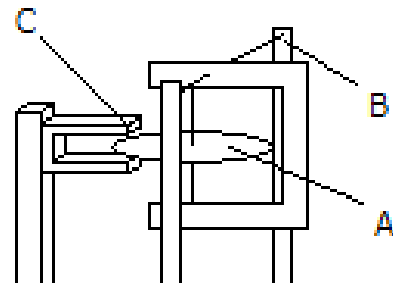


Fig.15 Inclined Plane

$bs=0.75\text{mm}$, $h=0.2\text{mm}$, $qs=10\text{ml/s}$ の LPA に $qs=150\text{ml/s}$ の近接センサを取り付け,傾斜測定を行った結果を Fig.16 に示す. 縦軸は出力圧力,横軸は傾斜角度である. $-3^\circ \sim 3^\circ$ の範囲で検出角度と出力圧力は比例関係にある.

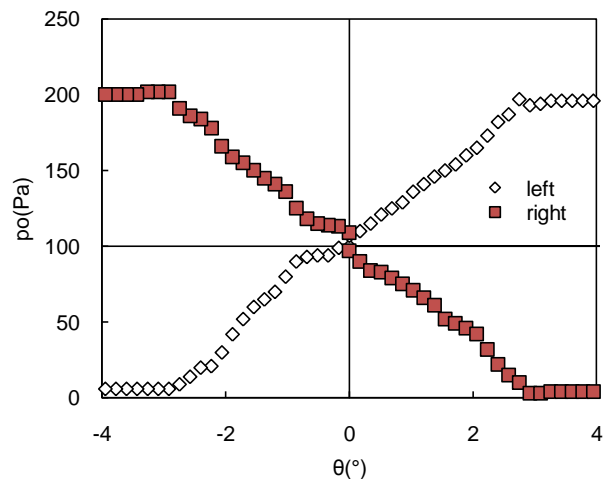


Fig.16 Inclined Plane Characteristics

傾斜角度 θ と出力圧力 P_o の関係は次のように示される. (5)は左側, (6)は右側の出力圧力特性である.

$$\theta^\circ = 0.0311 \cdot P_o - 3.22 \quad (5)$$

$$\theta^\circ = -0.0308 \cdot P_o + 3.13 \quad (6)$$

上式から, $\pm 10\text{Pa}$ の出力圧力において角度約 $\pm 0.3^\circ$ が検出できる.

以上の結果より傾斜装置に LPA を組み合わせた傾斜センサを取り付けることで広範囲で精密な測定が可能である.

傾斜円板と近接センサのノズルの位置を変える

ことで傾斜角度測定範囲を変えることができる。

応用例としては微圧スイッチなどの計測機器が挙げられ、今後更なる応用範囲の拡大が可能である。

5. 結言

近接センサと LPA を組み合わせた流体式傾斜センサを考案し傾斜測定実験を行った結果、次のことがわかった。

- 1) 近接センサと LPA を組み合わせることで高出力圧力が得られる。
- 2) 僅かな傾斜測定が可能であり、圧力 $\pm 10\text{Pa}$ で約 $\pm 0.3^\circ$ の傾斜が測定できた。
- 3) 50Hz 程度の高速応答に対し傾斜センサの出力圧力が充分追従し、高精度で応答範囲の広い傾斜測定が可能である。

参考文献

- 1) 例えば 清水, 佐藤, 畑中 : 層流形比例素子の圧力ゲインと動作範囲に及ぼす寸法形状の影響, 計測自動制御学会論文集 Vol.22, No.12 76/81(1985)
- 2) 清水, 佐藤, 畑中 : 平面形状が相似な層流形比例素子の特性比較, 計測自動制御学会第 1 回流体制御シンポジウム講演論文集 70/74(1985)
- 3) Shimizu, Hayashi : Characteristics of Pneumatic Proximity Sensor Using a Swirling Jet (Driven by Low Supply Pressure), 油空圧学会 Fluid Power Yokohama'96 pp265~269 (1996)