

## 超小形・高速応答の流量センサの開発

伊藤 彰浩\*

### Development of Ultra-small and High-speed Response Flow Sensor

Akihiro ITO\*

Recently as the electronic parts have become smaller and smaller, in the adsorption check using the pressure sensor, the pressure differences at the time of adsorption and non-adsorption was very small, and there were incorrect detection problems.

To solve these problems, the adsorption check which uses the flow sensor is best. As flow rate is decided by the diameter of an adsorption nozzle and vacuum pressure, so if the flow sensor with the flow range suitable for nozzle diameter is used, the adsorption check will be performed certainly.

Then, the flow sensor with ultra-small dimensions and high-speed response which combines the flow path structure of new proposal with the sensor chip using MEMS technology was developed.

**Keywords:** flow sensor, ultra-small, high-speed, MEMS technology, adsorption check, pressure sensor

#### 1. はじめに

従来、マウンター、ボンダーに代表される、電子部品の実装工程において、部品の真空吸着搬送時の吸着確認には、圧力センサが用いられている。しかし近年、携帯電話・ノートパソコン等の普及によって、電子部品の小型化が進み、吸着ノズル径も小さくなり、吸引時にノズルを通して流入してくる流量が微量になるため、圧力センサを用いた吸着確認では、吸着時と非吸着（吸引）時の圧力差がわずかで誤検知してしまう問題点があった。

この問題点を解決するためには、流量センサを用いた吸着確認が最適である。流量は、吸着ノズル径と真空圧力により決まるため、吸引時にノズルを通して流入してくる流量が微量になった場合でも、ノズル径に合った流量レンジの流量センサを用いれば、確実に吸着確認ができる。しかし、吸着確認に流量センサを用いる場合、以下の事項が求められている。

- ・装置のタクトタイムを上げるため、高速応答であること。
- ・吸着ノズル付近の可動部に設置するため、超小形・軽量であること。
- ・各ノズル径に対応した流量レンジであること。

このような要求に対応するため、MEMS技術を用いたセンサチップと新提案の流路構造を組み合わせ、超小形で高速応答の流量センサを開発した。

#### 2. 構造

##### 2.1 センサチップ

センサチップの外観を Photo 1 に示す。シリコンマイクロ加工技術を用いたセンサチップを採用することにより、超高速応答が実現した。センサチップの大きさは、 $3 \times 3.5 \text{mm}$  で、シリコンウエハ上に窒化珪素で構成される保護膜と、白金で構成される抵抗パターンを形成し、シリコンの異方性エッチングにより、厚さ  $2 \mu\text{m}$  のセンサ部をシリコン基板から浮い

た状態にする。よってセンサ部の熱容量がきわめて小さいため、高速応答で高感度が実現できた。

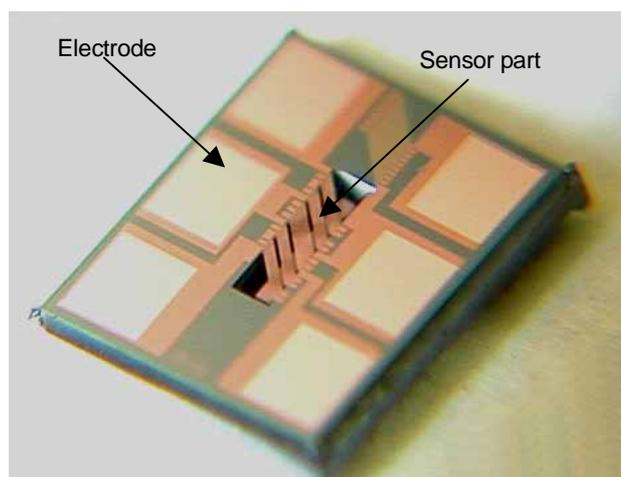


Photo 1 Photograph of the sensor chip

##### 2.2 計測原理

計測原理を Fig.1 に示す。センサ部には、2つの温度センサがヒータを挟んで配置されている。温度センサの材質には、温度によって抵抗値が変化する、白金を用いている。ヒータに通電加熱すると、流れの無い場合は、温度分布がヒータを中心に対称となる。流れを受けた場合は、温度分布の対称性が崩れ、ヒータ上流側の温度は低下し、ヒータ下流側の温度は上昇する。この温度差は、温度センサの抵抗値の差となって現れ、流量によって変化する。また、逆方向に流れた場合は、温度差（抵抗値の差）が逆転する。この方式を用いると、双方向の流量を検知することができる。

\*CKD (株) 愛知県小牧市応時 2-250  
CKD Corporation  
(Received March 15, 2004)

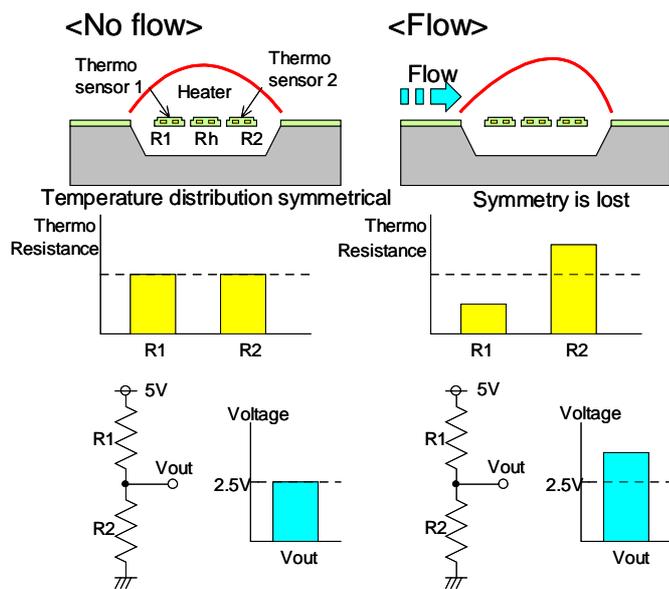


Fig.1 Measurement principle

### 2.3 流路構造

シリコンマイクロ加工技術を応用した流量センサは、他社からも発売されているが<sup>1)</sup>、本開発品の最大の特徴は、シリコンマイクロ加工されたセンサと新提案の流路構造の組み合わせである。

新提案の流路構造を Fig.2 に示す。Photo 2 のように溝加工した電子基板にセンサチップを実装し、センサチップと電子基板間にセンサ流路を構成する。また、Photo 3 のように 0.3mm 厚のステンレス板を微細加工した整流板を、ボディ内に積み重ねることによって主流路を構成する。このような流路の構造により、以下の様な特性を実現できた。

- ・センサ流路と主流路のバイパス比により、フルスケール  $\pm 50\text{mL/min}$  から  $\pm 10\text{L/min}$  までの流量レンジを得られる。また、すべての流量レンジにおいて、センサ流路を通過する流量は同じであるため、流量に対する電気出力精度は同じである。
- ・整流板のメッシュ部により、センサ流路に流入する気体は整えられ、安定した出力が得られる。また、センサ内にゴミ等が流入してきた場合、メッシュ部がフィルタの役目をして、センサ部を保護する。
- ・整流板によりセンサ内部で流れを強制的に曲げているため、センサの上流側・下流側に直管部は不要である。

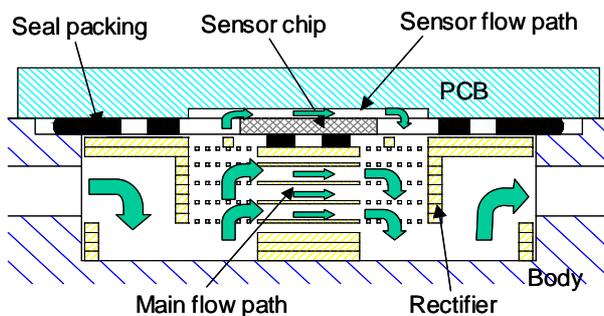


Fig.2 Cross section of flow path

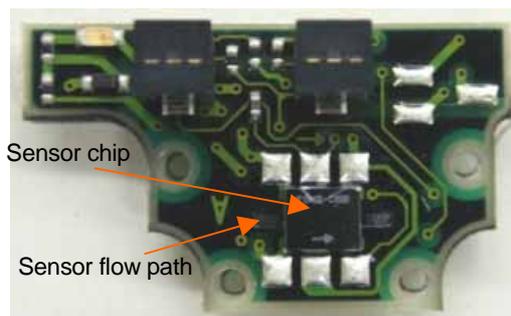


Photo 2 Photograph of the print circuit board

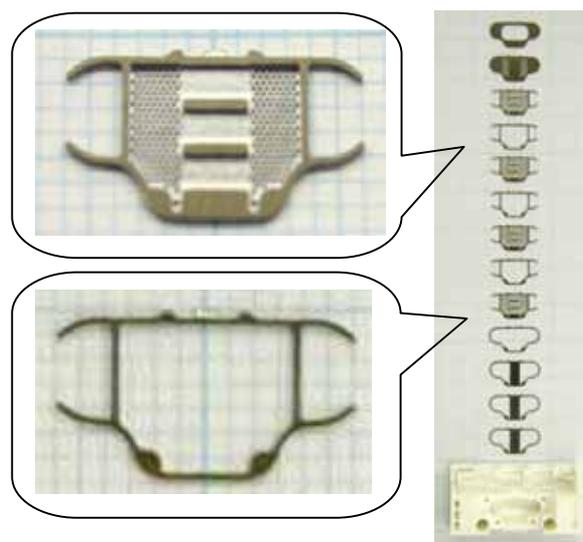


Photo 3 Photograph of the rectifier

## 3. 特性

### 3.1 精度 (直線性)

フルスケール (以下 F.S.) 流量  $\pm 0.05, 0.1, 0.5, 1, 5, 10\text{L/min}$  の各流量レンジにおける出力特性を Fig.3 の試験配管で測定した。その結果を Fig.4 ~ 9 に示す。このとき、流体の圧力は  $0.1\text{MPa}$ 、周囲および流体の温度は  $25^\circ\text{C}$  で一定で、測定検体は各レンジ 10 個で行った。図中の流量の+ (プラス) は順方向の流れ、- (マイナス) は逆方向の流れを示す。また、今回流量の測定に使用したデジタルマノメータは (株) コスモ計器製の DF-2800 で、測定した流量はすべて  $20 \pm 1$  気圧 ( $101.3\text{kPa}$ ) での体積流量に換算した値である。

いずれの流量レンジにおいても、直線性は良好で精度は  $\pm 5\%$  F.S. 以内であった。この結果より、新提案の流路構成により、センサ流路と主流路のバイパス比がうまく設定でき、F.S.  $\pm 0.05 \sim \pm 10\text{L/min}$  までの流量レンジを得られることが分かった。

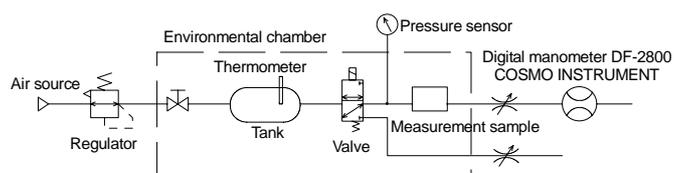


Fig.3 Experimental setup of flow rate characteristics

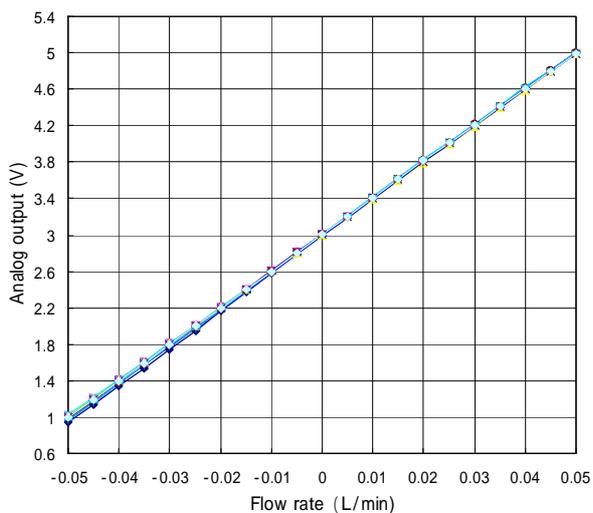


Fig.4 Accuracy (flow range:-0.05 ~ +0.05L/min)

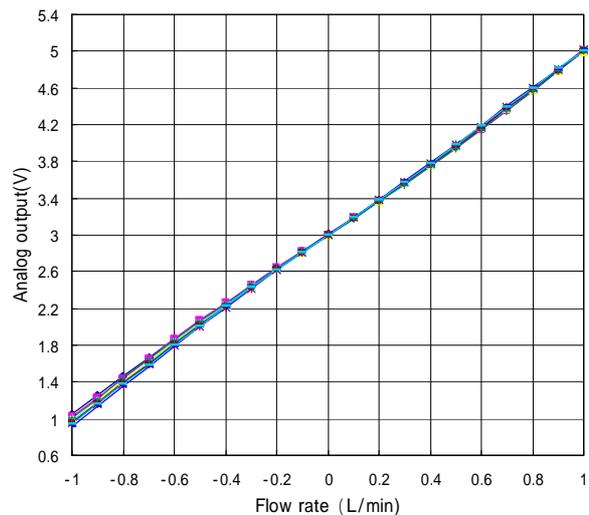


Fig.7 Accuracy (flow range:-1 ~ +1L/min)

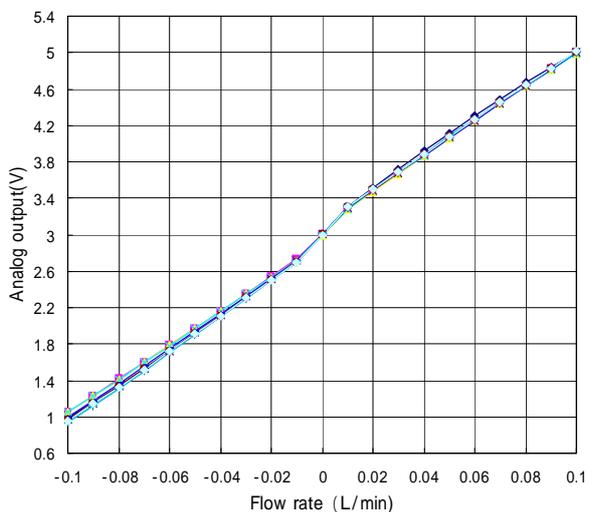


Fig.5 Accuracy (flow range:-0.1 ~ +0.1L/min)

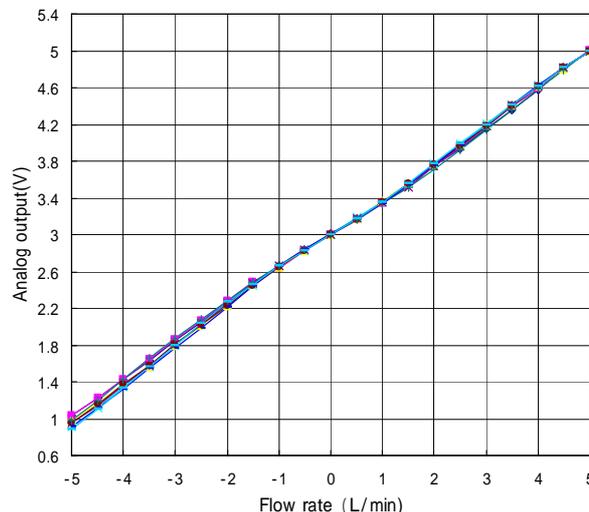


Fig.8 Accuracy (flow range:-5 ~ +5L/min)

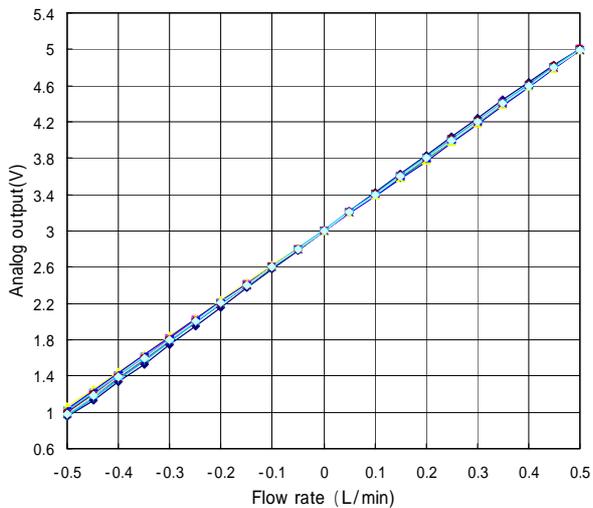


Fig.6 Accuracy (flow range:-0.5 ~ +0.5L/min)

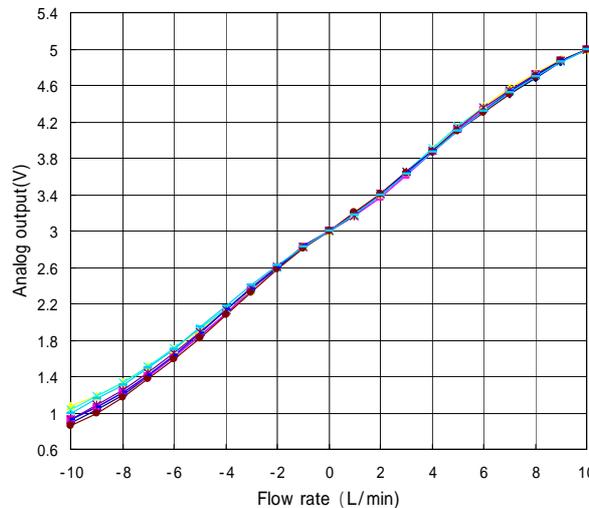


Fig.9 Accuracy (flow range:-10 ~ +10L/min)

### 3.2 温度特性

F.S.流量  $\pm 5\text{L/min}$  レンジにおいて,周囲および流体温度を  $0 \sim 50$  に変えた場合の流量特性を Fig.10 に示す. 試験配管は Fig.3 と同じで,このときの流体圧力は  $0.1\text{MPa}$  で一定である.

この結果,周囲および流体温度が変化しても流量特性は安定しており, $0 \sim 50$  の温度範囲において,温度特性は  $\pm 0.2\%$ F.S./以下 (25 基準) であった.

### 3.3 圧力特性

F.S.流量  $\pm 5\text{L/min}$  レンジにおいて,流体の圧力をゲージ圧で  $-0.09 \sim 0.3\text{MPa}$  に変えた場合の流量特性を Fig.11 に示す. 正圧での試験配管は Fig.3 と同じで,負圧での試験配管を Fig.12 に示す. このときの周囲および流体温度は  $25$  で一定である.

この結果,圧力が変化しても流量特性は非常に安定しており,  $-0.09 \sim 0.3\text{MPa}$  の圧力範囲において,圧力特性は  $\pm 1\%$ F.S.以下 ( $0.1\text{MPa}$  基準) であった.

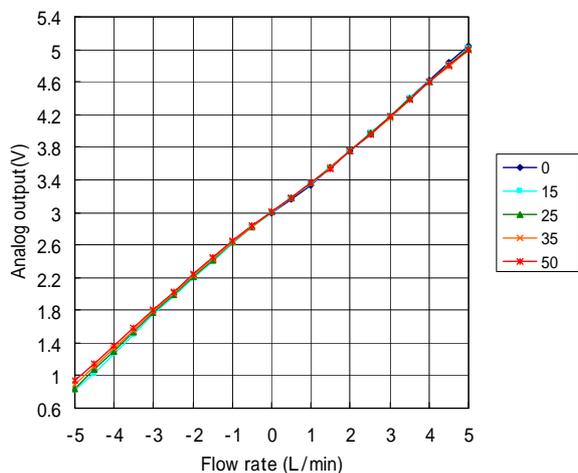


Fig.10 Temperature characteristics (flow range:  $-5 \sim +5\text{L/min}$ )

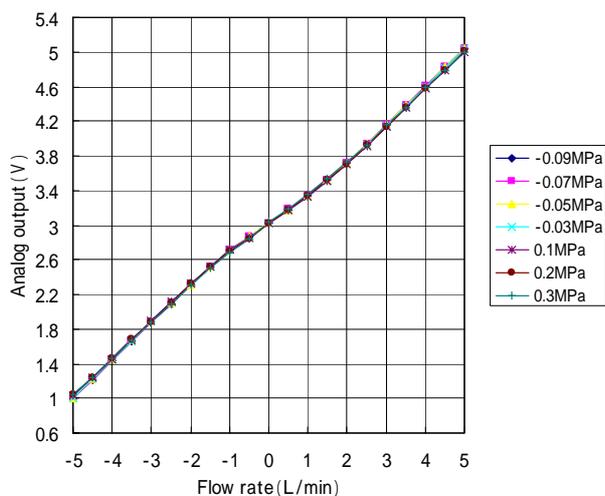


Fig.11 Pressure characteristics (flow range:  $-5 \sim +5\text{L/min}$ )

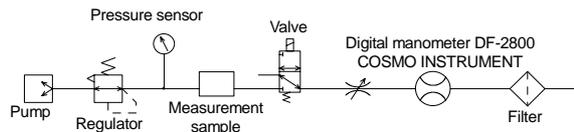


Fig.12 Experimental setup of negative pressure characteristics

### 3.4 応答速度

Fig.13 のような試験配管で,バルブを ON / OFF した時の流量センサの出力変化を Fig.14,15 に示す. 測定検体は各 5 個で行った. また,バルブから測定サンプルまでの配管は内径  $2.5\text{mm}$ ,長さ  $50\text{mm}$  である.

この結果,バルブ ON / OFF 時ともに, $20\text{msec}$  以下 ( $90\%$  応答) であった.

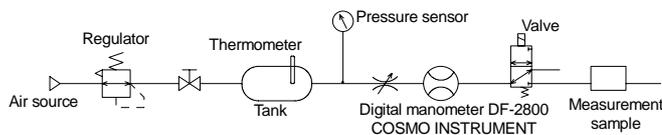


Fig.13 Experimental setup of response speed

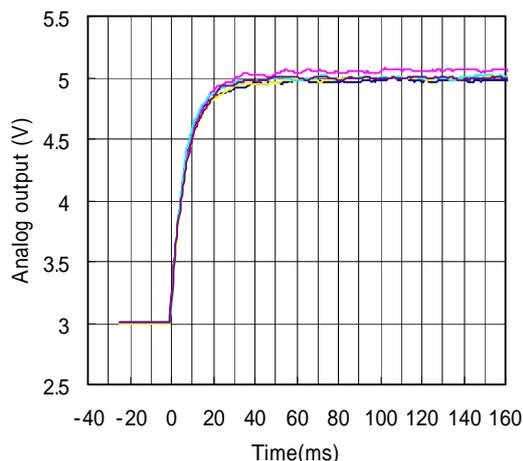


Fig.14 Response time at the time of Valve ON

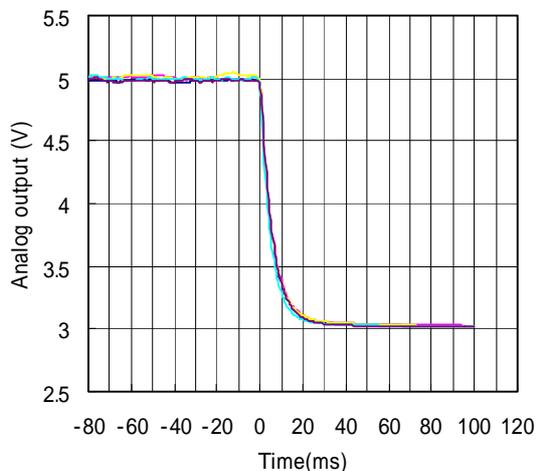


Fig.15 Response time at the time of Valve OFF

### 3.5 再現性 (繰り返し性)

Fig.13 のような試験配管で, F.S. 流量  $\pm 1.5\text{L/min}$  のレンジにおいて, 各流量における出力の安定性を Fig.16,17 に示す.

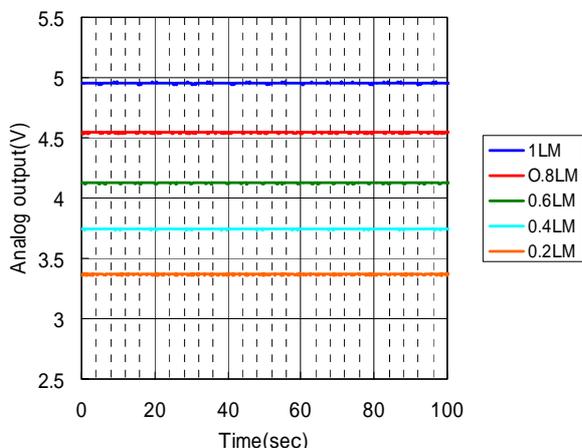


Fig.16 Repeatability (flow range: -1 ~ +1L/min)

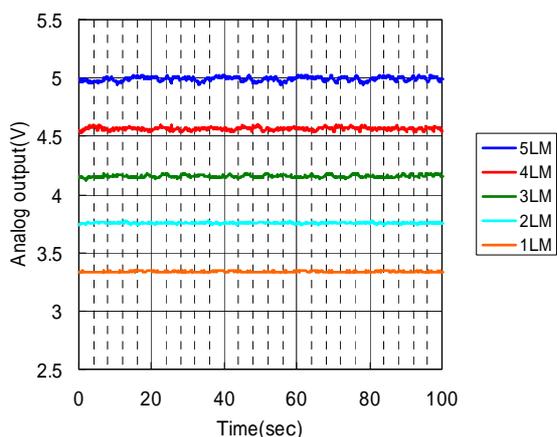


Fig.17 Repeatability (flow range: -5 ~ +5mL/min)

この結果, 1L/min レンジの再現性 (繰り返し) は 1%F.S. 以下で, 5L/min レンジは 2%F.S. 以下であった. 流量レンジが大きくなるほど再現性は悪くなるが, これは整流板による整流作用が悪くなるためであると考えられる.

### 4. 用途

#### 4.1 吸着確認

開発した流量センサを実際に吸着確認で使用した場合の一例を示す. Fig.18 のような試験配管で, 吸引 吸着 ブロー 吸引を繰り返した場合の, 流量センサ (流量レンジ:  $\pm 1\text{L/min}$ ) と圧力センサの出力の比較を Fig.19 に示す.

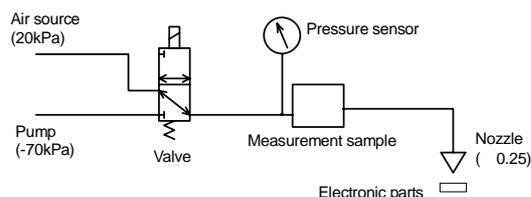


Fig.18 Experimental setup of absorption check

3 方弁が真空源側の場合, ノズルから空気が吸引されて, ノズル径と真空度から決まる流量が流れる. ノズル径 0.25, 真空度 -70kPa の時, 流量は 0.5L/min となる. ノズルがワークに近づくとき, ワークが吸着され, 流量がゼロになる. このときの圧力差は 2kPa で, 流量センサの方が圧力センサより出力差が大きく取れる. 3 方弁が圧力源側に切り換わった時, ワークはリリースされ, 逆方向に一定流量 0.3L/min が流れる. 流量センサでは, 吸引・ブローの両方向の流量出力が取れる. 吸着からブロー, ブローから吸引に切り替わる時に, 流量特性にオーバーシュートが見られる. これは, 3 方弁が切り替わり, 流量センサからノズルまでの配管内にエアが充填されたり, 配管内から排気されたりするときに生じる過流量が原因である. このオーバーシュートの大きさは, 配管の内容積や圧力の変化量に依存する (吸引から吸着に切り替わる時, 圧力変化はわずかであるから, オーバーシュートは見られない).

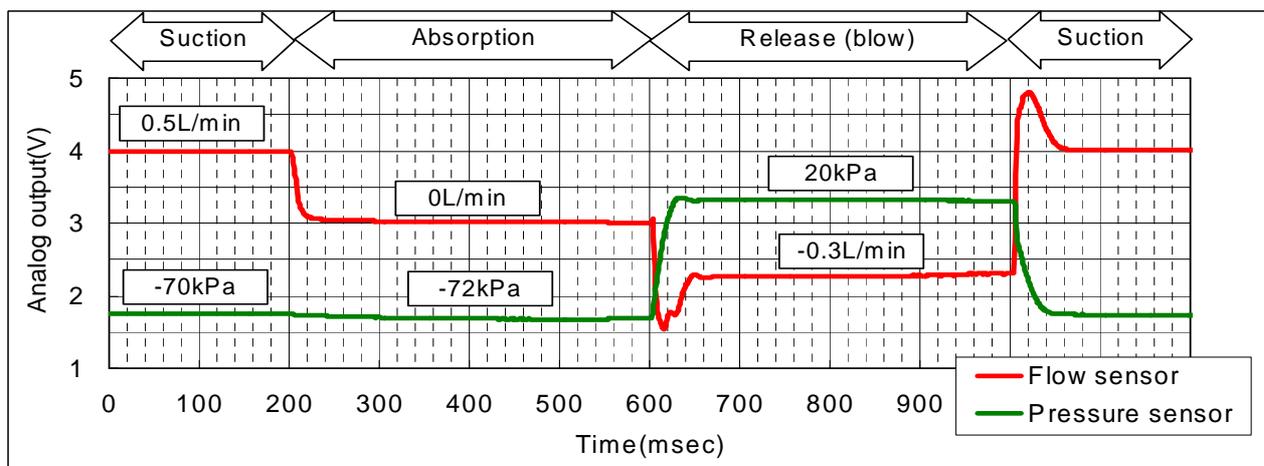


Fig.19 Output comparison at the time of absorption check

このように吸着確認の場合、流量が安定するまでの応答時間は、配管条件により決まる。今回の測定結果では、圧力が安定するのと同時に流量出力が安定していることから、流量センサの応答が、圧力センサと同等であることが分かる。

以上の結果より、開発した流量センサは、圧力センサでは検出の難しい、ノズル径の小さい吸着確認に最適である。

#### 4.2 吸着確認

流量はノズルの有効断面積に比例するため、吸着確認の他に、ノズルの目詰まりや、ワークの異常吸着の検知もできる。Fig.20は異常吸着時の出力の一例である。また、流量出力に直線性があるため、複数のノズルを一括管理することもできる。

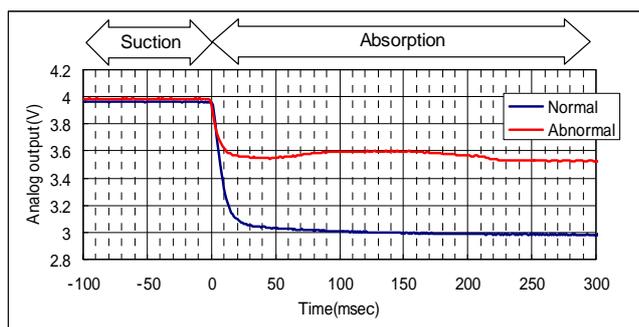


Fig.20 Output at the time of unusual absorption

#### 5. まとめ

今回開発した流量センサの特長をまとめると以下のようになる。

超小形・軽量：長さ 33mm,幅 10mm,高さ 17mm の超小形,本体質量 8g の超軽量のため、ノズル付近の可動部に設置可能である。

超高速応答：応答速度 20msec 以下を実現,装置の高速タクトに対応できる。

流量レンジ：フルスケール  $\pm 50\text{mL}/\text{min}$  から  $\pm 10\text{L}/\text{min}$  まで 6 種類を用意,各ノズル径に対応できる。また,低流量タイプは漏れ検査等にも使用できる。

双方向検知：双方向検知のため,吸着・リリースの両方の確認ができる。

質量流量：計測される流量は質量流量で,温度や圧力の影響を受けない。

取付方向自由：上下左右どの方向にも取付ることができる。また上流側・下流側の直管部が不要である。

最後に,今回開発した流量センサは吸着確認の用途はもとより,幅広い分野で付加価値の高い機能を提供すると確信している。

今後は,整流機構の理論的解明を行っていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1)伊勢谷順一：次世代気体流速センサ(「マイクロフローセンサ」)とその応用製品の紹介 計測技術, 28-12 (2000)

#### [著者紹介]



伊藤彰浩 (正会員)

1994 年中部大学工学研究科修了  
同年 C K D (株) 入社,現在に至る。  
シリコンマイクロ加工技術を用いた流量センサの開発に従事。