

小型フローセンサとそのシリーズ展開

Small Plastic Flow Sensor FM01 / FM21 Series for Integration into Various Systems

占部 修司^{*1} 本橋 浩明^{*1}
 URABE Shuuji MOTOHASHI Hiroaki
 丸山 登^{*2} 石田 克己^{*1}
 MARUYAMA Noboru ISHIDA Katsumi

各種装置組込用小型フローセンサとして、プラスチック製小型渦流量計を開発した。樹脂一体成形によるシンプルな構造とすることでローコスト化を実現した。また、微小流量の計測に最適な流路形状および信号処理回路技術を採用し、微小流量域での測定精度を確保した。一般工業用水用の小型軽量・堅牢なFM01シリーズと、半導体製造装置用にイオンフリーのPFA樹脂を用いたFM21シリーズを揃えた。

Small plastic vortex flow sensors FM01 and FM21 have been developed for integration into various equipment systems such as semiconductor manufacturing equipment. The simple construction based on injection-molded body gives the flow sensors manufactured at low-cost. The oval-shaped sensing pipes suitable for a low flow-rate measurement and signal processing circuit technologies achieve the measurement accuracy in low flow rate. FM01 series made of PPS (polyphenylene sulfide) resin are suitable for industrial water, and gives excellent cost-performance. FM21 series made of high quality PFA (perfluoroethylene) resin are suitable for semiconductor manufacturing in pure water and chemicals.

1. はじめに

横河電機は、渦流量計 Y E W F L O⁽¹⁾ や電磁流量計 ADMAG⁽²⁾ などの工業計測用の流量計を通じて、PA用流量計について、ユーザの信頼を勝ち得てきた。一方、溶接装置や成形装置などのFA分野や、メッキ装置や洗浄機などの半導体製造分野においても、装置内部の流量監視や流量制御を行うFA用フローセンサのニーズがある。FA用フローセンサはPA用流量計と異なり、シビアな精度や高温・高圧流体への対応は不要である。しかしながら、小型・軽量であることや、取り扱いが容易でメンテナンスフリーであることが要求される。また、半導体製造装置向けでは、イオンフリー、パーティクルフリーが要求される。

これらのFA用フローセンサのニーズに対して、表1に示す各種流量計が、機器組み込み用として使用されている。この中で、渦流量計は、FA用フローセンサとしての要求に応えうる、以下に示すような長所を有している。

(1) 面積流量計などに見られる可動部が無く、信頼性・耐久性に優れており、メンテナンスフリーである。

- (2) 流路には、渦発生体と渦検出器があるだけのシンプルな構造である。このため、圧力損失が小さく、液溜まりも少ない。
- (3) 設置姿勢に対する感度が鈍感であるため、組み込み機器内での取り付け姿勢に対する制限がなく、取り扱いが容易である。
- (4) 渦発生体を含む流量計のボディを、プラスチック樹脂で一体成形することにより、小型・軽量化を実現できる。また、用途に応じて成形樹脂を選択することにより、耐薬液性やイオンフリー、パーティクルフリーに対応できる。

表1 装置組み込み用流量計の比較

| | 耐久性 | 設置方向 | 耐薬液 | 信号出力 |
|---------|------------|------------|-------------------|------------------|
| 面積流量計 | × 摺動部あり | × 垂直に限定 | フロート部： テフロンコート | × フロートの 目視 |
| タービン流量計 | × 回転軸あり | 水平 | タービン部： テフロン製 | パルス |
| 渦流量計 | 可動部なし | フリー | プラスチック 成形で対応 | パルス、 4-20 mA等 |

*1 モーション&メジャメント事業部 アブライドオプティクスセンター

*2 横河エレクトロニクス・マニュファクチャリング株式会社



(a) FM01シリーズ



(b) FM21シリーズ

図1 小型プラスチック渦流量計の外観

(5) 出力信号が周波数であるので、ゼロ点変動が無く、且つセンサの感度変化の影響を受けない。また、リモートセンシング用の電流出力や電圧出力などの出力回路の実装も容易である。

以上の渦流量計の長所に着目し、約20年の実績ある「YEFWLO」の技術とノウハウを基に、FA・半導体製造装置への組込用フローセンサとしてミニチュア化した小型プラスチック渦流量計を開発した。

2. 構成

2.1 渦流量計の原理

流れの中に、障害物となる柱状物体である渦発生体を置くと、その後方に著名なカルマン渦列が形成される。このカルマン渦列の発生周波数 f は、流速 V に比例する。即ち、渦発生体の流れに対抗する幅を d とすると、 f 、 v 、 d の間には、次の関係式が成り立つ。

$$f = St \cdot \frac{V}{d}$$

St はストローハル数と呼ばれる無次元数である。ストローハル数を予め把握しておけば、渦の発生周波数を計測することにより、流量を求めることができる。

2.2 仕様

流量レンジ及び対象流体に応じて、口径と材質を対応させた以下のシリーズを開発した。

・ FM01シリーズ

ボディ材質 : PPS樹脂 (Polyphenylene Sulfide)
 対象流体 : 一般工業用水, 純水
 特長 : 小型軽量, 堅牢, 安価

・ FM21シリーズ

ボディ材質 : New PFA (Perfluoroalkoxy)
 対象流体 : 超純水, 純水, 水
 特長 : イオンフリー, 耐薬液性

図1と表2に、小型プラスチック渦流量計FM01シリーズ及びFM21シリーズの外観とその主な仕様を示す。各シ

表2 フローセンサ表

| 主な仕様 | FM01シリーズ | FM21シリーズ |
|--------|---|---|
| ボディ材質 | PPS樹脂 (ポリフェニレンサルファイド, 30%ガラス繊維入り) | New PFA(420HP-J) |
| 測定流体 | 純水, 水 | 超純水, 純水, 水 |
| 流量レンジ | FM0101: 0.5 ~ 4 ℓ/min FM0102: 2 ~ 16 ℓ/min FM0103: 4 ~ 40 ℓ/min FM0104: 15 ~ 150 ℓ/min (開発中) | FM2101: 0.5 ~ 4 ℓ/min FM2102: 2 ~ 16 ℓ/min FM2103: 4 ~ 40 ℓ/min |
| 精度 | | ±3 %F.S. |
| 再現性 | | ±0.5 %F.S. |
| 流体圧力 | 0 ~ 1 MPa | 0 ~ 0.5 MPa |
| 流体温度 | 0 ~ 70 | 0 ~ 90 |
| 出力 | <ul style="list-style-type: none"> 電流出力タイプ: 3線式 4~20 mA パルス出力タイプ: オープンコレクタ 表示・電流出力タイプ: 3桁LEDによる流量表示および電流出力, 警報出力(2点独立設定) 電圧出力タイプ: 0 ~ 5 V | <ul style="list-style-type: none"> 電流出力タイプ: 3線式 4~20 mA パルス出力タイプ: オープンコレクタ 表示・電流出力タイプ: 3桁LEDによる流量表示および電流出力, 警報出力(2点独立設定) |
| 電源電圧 | 12 ~ 24 VDC | |
| プロセス接続 | FM0101: 管用テーパおねじ R3/8 FM0102: 管用テーパおねじ R1/2 FM0103: 管用テーパおねじ R1/2 | PFAチューブエンド または各種PFA継ぎ手 |
| 備考 | <ul style="list-style-type: none"> 東京計装(株) 殿よりVF-2000シリーズとして販売 コフロック(株) 殿よりFM01シリーズとして販売 | <ul style="list-style-type: none"> 東京計装(株) 殿よりVF-3000シリーズとして販売 |

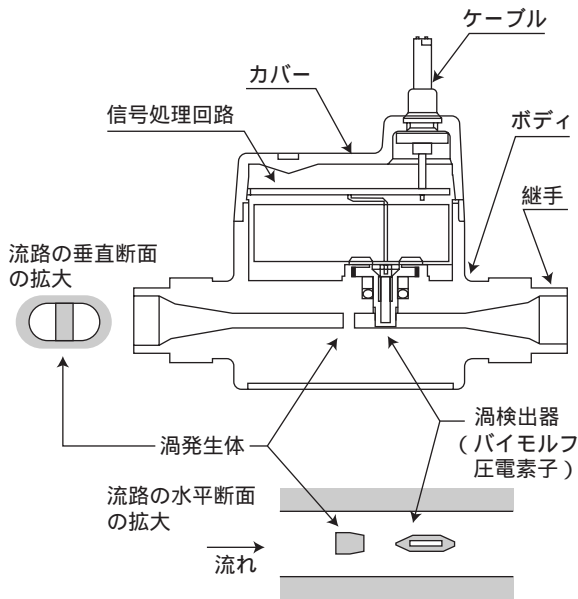


図2 小型プラスチック渦流量計の構成

リーズは、横河電機にて設計、製造し、OEM(Original Equipment Manufacturing)として、東京計装株式会社殿及びコフロック株式会社殿にて販売されている。

2.3 構成

図2に、小型プラスチック渦流量計の構成を示す。本体は、流路を形成するボディ、渦検出器、信号処理回路及びカバー・出力ケーブルの必要最小限のシンプルな構成から成る。以下に各部の特長を示す。

(1) ボディ

渦発生体、流路及び継ぎ手部まで、プラスチック樹

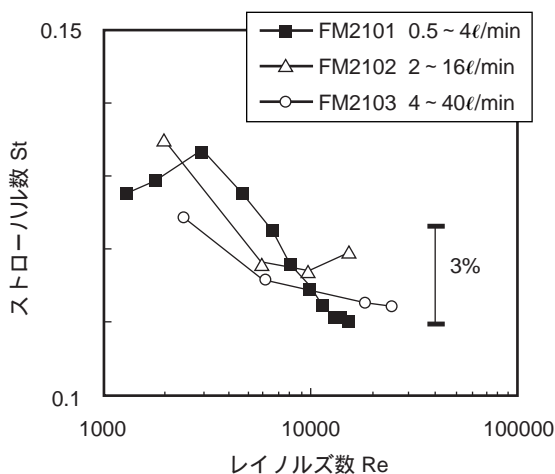


図3 Re-St特性

脂の射出成形で一体成形する。これにより、低コストで、可動部が無く、信頼性・耐久性に優れた構造を実現した。

(2) 渦検出体

渦検出体は、パイモルフ圧電素子をボディと同材質の鞘に埋め込む構造とした。渦検出体を、渦発生体の後方流路内に挿入し、渦信号を高感度に検出する。ゼロ流量近くの微小流量域における測定精度を維持するためには、流路内に均一な流速分布を確保し、渦信号品質を高める必要がある。しかしながら、レイノルズ数が低下する低流量域では、流路壁での抵抗により、流路壁近くの流速が低下し、渦信号が不安定となる。この問題を避ける目的で、本渦流量計の流路は、断面が陸上競技場のトラックのような特徴ある形状とした。これは、渦発生体と流路壁との間隔を広く確保することにより、流路壁での抵抗による流速低下の影響を避け、均一な流速分布を得るためである。

(3) 信号処理回路

本稿では詳細な記述を割愛するが、YEFLOと同等の構成の差動チャージアンプと、アクティブフィルタより成る渦信号検出回路を用い、低周波ノイズや高周波ノイズを除去する。表示部の無い電流、電圧、パルス出力タイプでは、渦周波数を4~20 mAの出力信号や電圧信号に変換する変換回路を、前述の渦信号検出回路と同一基板に実装して、回路基板1枚のコンパクトな構成とした。

入力段及び出力段にEMI対策を施すことにより、特別な電磁シールドを設けることのできない樹脂ボディに関わらず、CE規格をクリアした。

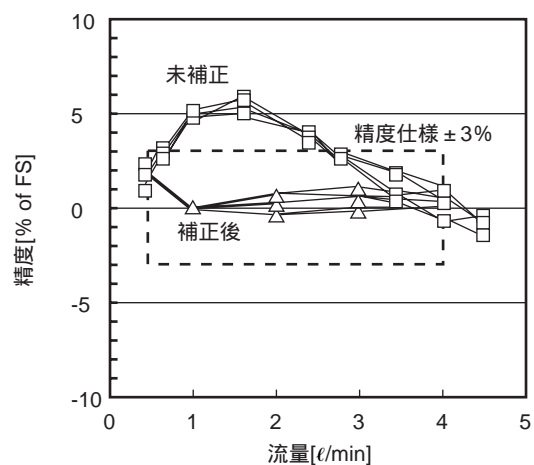


図4 出力精度

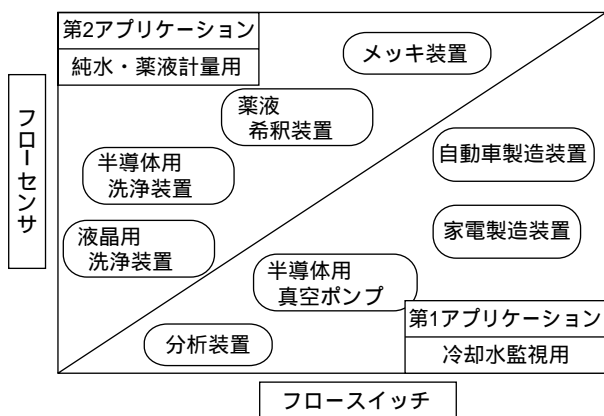


図5 アプリケーション例

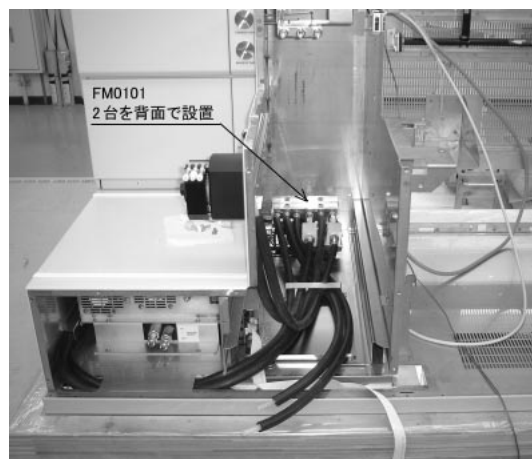


図6 機器組み込み例

3. 特性

渦流量計では、一般的に、低レイノルズ数において、流速と渦周波数の比例係数であるストローハル数が大きくなる。図3に示すように、小口径即ち小流量レンジのものほどその傾向は著しい。このストローハル数のレイノルズ数依存性は、流量と渦周波数のリニアリティ悪化をもたらし、単純なリア演算回路では、図4の未補正特性の様に、精度 $\pm 3\%$ を確保できない。本渦流量計では、アナログのノンリニア演算回路にて、流量と渦周波数のノンリニアリティを補正する方式をとった。その結果、図4に示す補正後の特性のように、仕様 $\pm 3\%$ の精度を確保した。

4. アプリケーション

本フローセンサのアプリケーション例を図5にまとめて示す。冷却水監視用等のフロースイッチとしての用途と、純水・薬液などの定量を目的とするフローセンサとしての用途に、大きく分類される。前者の冷却水監視用途には、一般工業用水用であるPPS樹脂製のFM01シリーズが主に適用される。後者の純水・薬液定量用途には、PFA樹脂製のFM21シリーズが適用可能と考えている。

本フローセンサの機器組み込み時の写真を図6に示す。横河アナリティカルシステムズ社のAgilent 7500 ICP

(高周波誘導結合プラズマ)質量分析装置に組み込まれた例である。高周波電源及びプラズマ発生装置の冷却水配管に設置し、冷却水流量の監視用途に用いられている。写真中央の狭い配管スペース内に背面で設置している。一般的に、機器組み込みの際には、設置方向と設置スペースが限られるケースが多い。渦式フローセンサは、コンパクトで設置方向を選ばない点でメリットが大きいと考えられる。

5. まとめ

FA・半導体製造装置への組込用の渦式小型フローセンサFM01シリーズ及びFM21シリーズについて述べた。ボディの樹脂一体成形、回路の小型化によりローコスト・コンパクト化と精度の確保を両立することができた。

現在、シリーズ開発の一環として、熱式フローセンサの開発を進めている。液体用微小流量計として、 $0.01 \sim 0.5 \text{ l/min}$ の微小流量域及び 0.001 l/min までの極微小流量域に対応予定である。

参考文献

- (1) 伊藤一造, 潮見一宏, 阿賀敏夫, “YEFLO小口径渦流量計”, 横河技報, vol. 23, no. 4, 1979, p. 130-139
- (2) 黒森健一, 後藤茂, 西山清, 西島剛志, “2周波励磁形新電磁流量計 - ADMAG”, 横河技報, vol. 32, no. 3, 1988, p. 129-134