

第1回 流量計測の世界

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さととり としお

はじめに

皆さん流量計というと、どのようなものを思い浮かべられますか。水道メータやガスメータ、それにガソリンスタンドのガソリン計量機あたりでしょうか。温度計や分析計と同様、流量計も実に多種多様で、専門家ですべてに精通することはできません。

よってこの連載の狙いは、代表的な流量計の解説と、使用上の注意とします。その中で、信号変換器との関わりにも触れたいと思います。

1. 流量計測システム

流れを測るには、流量計本体のほかに、図1に示すような流量計を含むシステム全体を検討する必要があります(図には最大限の構成要素を示しました。流量計の種類によって、この中のいくつかが必要になります)。高価な流量計を買っても、必ずしも高精度の測定ができるわけではありません。表示器、積算器など関連するハードウェアだけではなく、用途別にどのような流量計を選ぶか、精度をどうやって保証するかなどのソフトウェア技術も重要なのです。

今回は連載の最初なので、まず流量計測の基本的な事項をお話ししましょう。

2. 流量とは何でしょうか？

一口に流量といってもいろいろあります。まずは**瞬時流量**と**積算流量**。瞬時流量とはある瞬間にどのくらいの量が流れているかを示すもので、流量の監視や調節に必要です。積算流量は流量計をどのくらい物質が通過したかを示す用語です。ちよろちよろ流そうと、どっと流そうと、結果に変わりはありません。水道メータやガスメータ、ガソリン計量機はすべて積算流量が重要で、瞬時流量の指示部は付いていません。複数の物質を一定割合で混ぜ合わせながら出荷するシステムがありますが、この場合は瞬時流量も、積算流量も、ともに重要です。

次は**体積流量**と**質量流量**。多くの流量計は物質の占める体積を測る仕組みになっています。質量流量を知りたい場合は、温度計と圧力計、あるいは密度計の助けを借

りて、体積流量から換算して求めるのが一般的です。近年、質量流量を直接測るタイプの流量計も登場し、特定の分野で普及しつつあります。

また**脈動流**・**間欠流**などもあります。ダイヤフラムポンプやプランジャーポンプから出てくる流れは脈動しているのです。流量計の種類によっては測定誤差を生じます。脈動の振幅が大きくなった極限は流れたり止まったりする間欠流です。この場合、瞬時流量は何の役にも立ちません。

3. 測定対象について

流量を知りたい対象は何でしょうか。まず一般的な対象は液体、気体、蒸気でしょう。ベルトコンベアで運ばれる石炭や鉱石も「流れ」ですから、固体流量を知りたいときもあります。

また、液体と気体、気体と固体など複数の相が混在する**二相流**あ

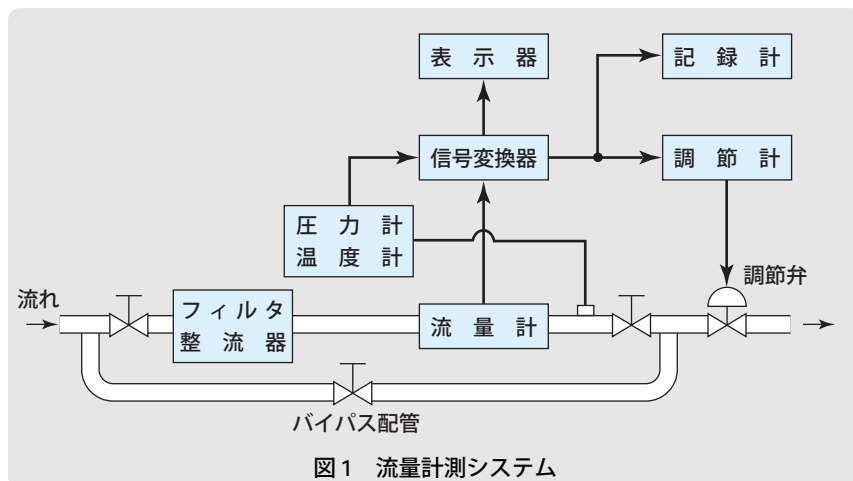


図1 流量計測システム

るいは多相流という測定対象もあります。多相流の測定には特別な工夫が必要で一般的な流量計では測定できません。ただし、液体の中に細かい固体粒子が存在するものはスラリーと称し、いくつかの種類流量計で測定できます。

また、測定対象が流れる流路の断面状態も図2に示すように様々です。一般的な丸パイプのほかに、角ダクトがありますし、天井のない開水路もあります。下水道は円形断面ですが、通常は非満水状態です。

ほとんどの流量計は、丸パイプを完全に満たして流れる状態を想定しており、それ以外の状態では正常に動作しません。よってこのシリーズでは、測定対象を円形断面のパイプ内を完全に満たして流れる単一相の液体、気体、蒸気、スラリーに限定します。

後に説明しますが、流量計を使いこなすには、測定対象の性質や流れの状態を正確に理解することが大変重要です。

4. 流量計は、なぜ種類が多いのか？

今後の予定(表1)に示したように、流量計の形式は代表的なものだけでも10近くあります。ではなぜこんなに種類が多いのでしょうか。それは測定対象である流体の性状や流量範囲、必要な精度などに応じ、なるべく経済的に測りたいからです。

ここで参考のため、理想的な流量計とはどのようなものか、項目を挙げてみましょう。

- 1)液体、気体、蒸気、スラリーなど、何でも測れる。
- 2)高粘度、腐食性流体が扱える。
- 3)流路に障害物がなく、圧力損失がない。
- 4)磨耗部品や可動部品がなく、保守点検が不要。
- 5)設置工事が簡単で、どのような姿勢でも使用できる。
- 6)小型軽量、かつ流量計の前後に直管部が不要。
- 7)測定精度が高い。
- 8)TCO(購入から廃棄までの総費用)が低い。

残念ながら、これらすべてを同時に満たす製品はありません。測定対象と用途に応じて、どの種類の流量計が最適か検討する必要があります。この作業は、実はかなりの経験と知識を必要とし、間違いとはいえないまでも最適ではない選択がよく見受けられます。

5. 今後のスケジュール

次回以降どのようなテーマについてお話しするか、およその目安を表1にまとめました。途中で考えが変わり、順番や内容を入れ替えるかもしれませんが、その節はご容赦ください。

連載終了を待たず、今すぐ流量計を使いたい方は、センサとフィール

著者紹介



佐鳥 聡夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail : satori@ksplz.info

TEL/FAX : 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト

「計装プラザ」を運営中

<http://www.ksplz.info/>

《著者略歴》東京工業大学機械工学科卒、北辰電機製作所で各種流量計の開発に従事。73年～76年、米国フィッシャ・アンド・ポータ社に就任。北辰電機と横河電機の合併後、欧米市場への流量計拡販を担当。89年退社し、(有)佐鳥インターテックを設立。2000年12月同社を解散、(有)計装プラザを設立。センサとフィールド機器専門のポータルサイト「計装プラザ」を開設。

表1 今後の連載予定

回数	テーマ
第2回	差圧式流量計
第3回	電磁流量計
第4回	超音波流量計
第5回	渦流量計
第6回	コリオリ式流量計
第7回	容積式流量計
第8回	面積式流量計
第9回	熱式流量計
第10回	タービン流量計他
第11回	流量計の選び方
第12回	トラブルシューティング

ド機器の情報センター「計装プラザ」<http://www.ksplz.info/>をご利用ください。また流量計全般を勉強したい方には、前々回この連載を担当された松山裕氏の著書「実用流量測定」をお薦めします。表題のとおり実用的で平易な入門書です。出版元などの情報は計装プラザに掲載してあります。■

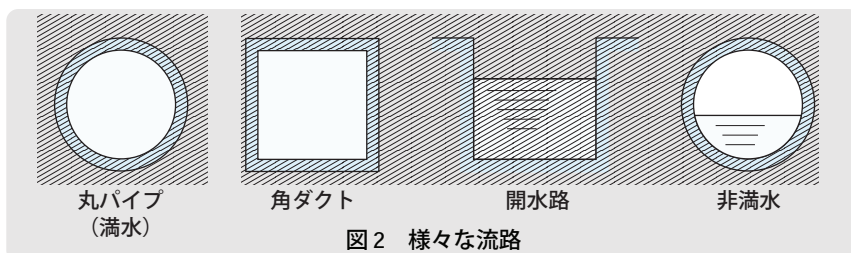


図2 様々な流路

第2回 差圧式流量計

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さとり としお

1. 名前の由来

今回から具体的な流量計の話に入ります。まず、いたる所で見かける差圧式流量計から始めましょう。名前の由来は、絞り機構の前後の差圧(Differential Pressure)を利用することから来ています。絞り機構としてはオリフィスプレートが一般的なので、オリフィス流量計とも呼ばれています。

2. 動作原理

図1に示すように、管の途中で流れが絞られると、流体の圧力が下がります。下がる程度は流体密度と流速に関係するので、上流側と下流側の圧力差を測れば流量が分かります。この流量は体積流量であり、質量流量を知りたい場合はこれに密度を掛けて求めます。気体は、温度と圧力によってその体積が大きく変化するため、標準状態(0℃、1気圧)における体積流量 Nm^3 (注)/hに換算して表示するのが一般的です。

注)ノーマル立方メートル、慣用的には「ノーマル・リューベ」ということが多い。

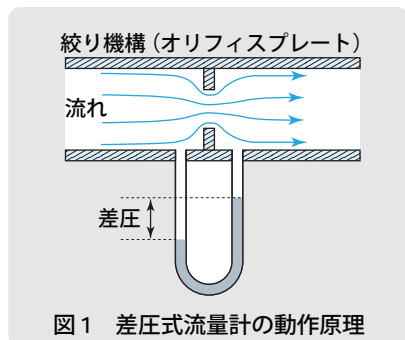


図1 差圧式流量計の動作原理

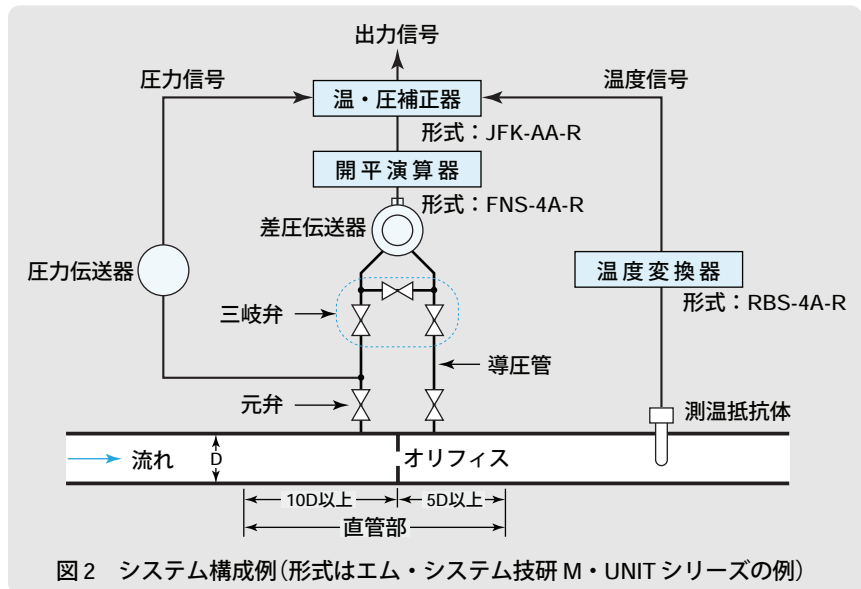


図2 システム構成例(形式はエム・システム技研M・UNITシリーズの例)

流量と差圧の関係はリニアでなく、自乗特性です。つまり、流量が2倍に増えると差圧は4倍になります。リニアな流量信号を得るには、差圧信号を開平しなければなりません。

温度・圧力補正システムを含むシステム構成例を図2に示します。

三岐弁(三箇所弁)は流れを止めずに、差圧伝送器のゼロ点調整を行うために必要です。オリフィス前後の直管部は流速分布の偏りや旋回流を減少させ、測定条件を一定にします。

図2に示したシステムは比較的複雑な例です。最も簡単なシステムは、開平演算器を内蔵した差圧伝送器と絞り機構だけから構成されます。

3. 差圧式流量計の特長

歴史的に最も古い差圧式が、いまだに流量計の形式別シェアで首位を

占めているのは、差圧式流量計に次のような特長があるからです。

1) 広い適用範囲

液体、気体、蒸気はもちろん、工夫によってはスラリーも測れ、また小流量から大流量まで測れます。

2) 構造が簡単で低価格

可動部がないため故障しにくく、オリフィスプレートは安価です。

3) 実流校正が不要

流量計は出荷前に流体(通常は水または空気)を流し、流量対出力の関係を調べる校正作業を行います。しかし、差圧式流量計については、特定の絞り構造と管口径範囲について国際的な規格があり、これに従って製作・設置すれば実流校正が不要です。

以上列举した3つの特長の中で、最後の実流校正作業が不要である点は、この形式の最大の特長です。校正装置に対しては、流量が大きくなると多大な投資を必要としま

す。その点、旋盤作業と寸法検査だけで精度が保証される差圧式は、製造コストの面で非常に有利です。

4. 差圧式の欠点

差圧式の理解を深めるため、この形式の弱点とされるポイントを挙げ、それが正当であるか否かを論じてみましょう。

1) 流量範囲が狭い

自乗特性のため、測定できる最大最小流量比が3:1程度しかとれないといわれます。これは差圧伝送器の性能が向上した今日、状況が少し変わりました。一方、流量範囲はこの程度で十分という反論もできるのです。

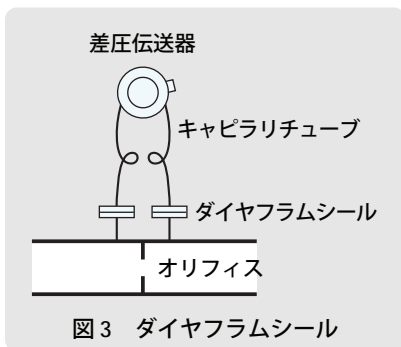
差圧式流量計の測定範囲は、絞り機構の設計と差圧レンジの設定で自由に選べます。したがって、比較的狭い流量範囲でも、実際に使う範囲に合わせれば、実用上困ることはありません。使用流量域が当初の計画から変わる場合には、差圧伝送器のレンジ再調整かオリフィスプレートの交換で対応できます。

2) 測定精度が低い

精度がフルスケールの2~3%であり、低いといわれています。また、実際の使用状態における精度が不明であるという人もいます。これは実流校正を省いているためであり、絞りと直管部を一体化し、実流校正を行えば、精度はずっと良くなります。

使用状態でいくらの精度が出るかは、現場に校正装置を持ち込まない限り、どの形式の流量計でも証明できません。とくに高精度を要求されるパイプライン用流量計は、校正装置と組み合わされています。

3) 導圧管が詰まりやすい

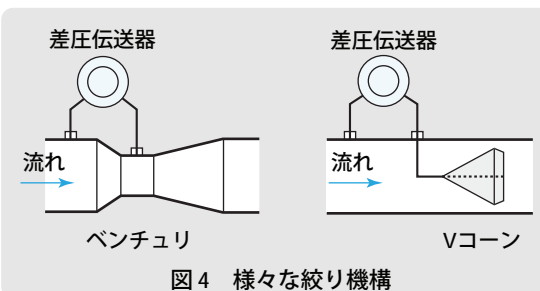


これは本当です。差圧式流量計のほとんどのトラブルは、差圧を差圧伝送器に導く導圧管に起因するといつてよいでしょう。しかし、導圧管はダイヤフラムシールに置き換えることもできます(図3)。また近年差圧伝送器の改良によって、ゼロ点調整用の三岐弁の必要性が減り、差圧伝送器を配管に直接取付けるダイレクトマウント方式が増えました。この場合、導圧管部はきわめて短く、トラブルが減少します。

4) 上下流に長い直管部が必要

これも事実ですが、渦式、超音波式、タービン式など、管内の流速分布の影響を受ける流量計に共通する問題です。流速分布の乱れがとくに大きい場合は、整流器を置くことにより上流側直管長を短縮できます。また、絞り機構にはオリフィスプレート以外にも様々なタイプ(筆者の「計装プラザ」参照)があり、たとえばベンチュリやVコーン(図4)では、必要直管長が大幅に短くなります。

5) 圧損(圧力損失)が大きい



著者紹介



佐鳥 聡夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail: satori@ksplz.info
TEL/FAX: 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト
「計装プラザ」を運営中
<http://www.ksplz.info/>

流れを絞るため圧損が大きいといわれていますが、圧損が問題になる場合は差圧レンジを低目に設定すればよいのです。また、前記のベンチュリやVコーンの場合は、構造上、オリフィスプレートより圧損が小さくて済みます。

5. まとめ

以上説明したように、差圧式はいわば万能流量計です。しかし、精度については、容積式やタービン式に見られる指示値の0.2%にとてまかないません。圧損については、電磁式や超音波式の「まったくない」より劣るのは明らかです。古い形式と見られている差圧式の利点を今回強調したのは、流量計の特性を知ることの重要性をご理解いただきたかったからです。弱点も分かった上で、「私はできるだけこの形式の流量計を使うことにする」と決めるのは一つの見識です。見識がないと各社の宣伝に踊らされ、右往左往する結果になります。 ■

第3回 電磁流量計

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さと とり とし お

1. 名前の由来

電磁流量計は、電気と磁気の相互作用を利用する流量計です。19世紀にこの原理を見出したイギリスのファラデーは、地磁気を利用してテムズ川の流速を測ろうとしたが、失敗したと伝えられています。原理自体は古くから知られていましたが、流量計として実用化されたのは1950年代です。

2. 動作原理

図1に示すように、磁界の中を導電性液体が流れると、流れと直角の方向に、流速に比例した起電力を生じます。原理としては発電機と同じです。流量計の管体パイプは非磁性のステンレス鋼で作るのが一般的ですが、起電力がショートして消えないよう、電極をパイプから絶縁し、さらにパイプの内側も絶縁性物質で内張りします。

3. 電磁流量計の特長

流量計には、形式ごとにそれぞれ

れ得意不得意の応用分野があります。したがって、形式別のマーケットシェアもなかなか変わりません。しかし、電磁流量計は幾多の改良を経て次第に応用分野を広げ、現在国内の流量計形式別シェアの20%を占めるまでになりました。

このような成長をもたらした理由は、以下に挙げる特長に求められます。

1)管内に障害物がない

管体内部に機構部品がなく、電極も管壁に配置されているため、流れを妨げるものがまったくありません。これに伴い、次の特長が生じます。

●圧力損失ゼロ

(口径10mm以下は、内部で管路を絞るため圧損あり)

●スラリーも測定可能

●構造が簡単で、故障し難い

●清掃・保守に手間がかからない

2)耐食性、耐磨耗性がよい

接液部の材質は測定対象に応じ、フッ素樹脂、ゴム、セラミックなど様々なものから選べます。

したがって、耐食性や耐磨耗性を高めることができます(計装プラザ <http://www.ksplz.info/> に材質選定表があります)。

3)密度・粘度の影響を受けない

電磁流量計の流量信号は、体積流量に直線的に比例し、原理上密度や粘度の影響を受けません。

4)測定できる流量範囲が広い

電磁流量計のフルスケール流量は、変換器側での設定により自由に変えられます。流量信号は流量ゼロ付近まで出ますから、1つの流量計で広い流量範囲の測定ができます。

口径も、大は2000mmを超えるものから小は2.5mmまで、広い範囲で作られています。

5)高精度

電磁流量計の精度は、以前はフルスケールの1%程度といわれていましたが、その後の技術の進歩により、現在では指示値の0.5%が普通になりました。

6)必要直管長が短い

上流側に口径の5倍程度の直管部を必要としますが、これはオリフィス流量計に比べるとはるかに短い寸法です。

7)応答が速い

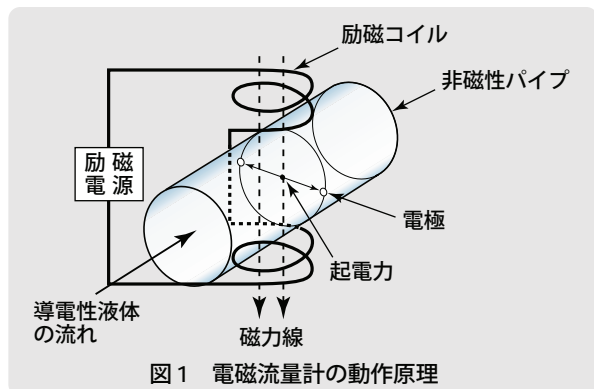
電磁現象を直接利用し、質量や熱容量が介在しないため、流量変化に素早く追従できます。

8)附着性異物に強い

粘着性異物や液体からの析出物が管壁に付きにくく、附着してもその電気伝導度が液と同じであれば誤差を生じません。また、構造上附着物の清掃も簡単です。

9)逆方向の測定が可能

構造が上下流対称なので、逆方



向の流れも測定できます。このような流量計は、ほかにはあまりありません。

以上述べたように、良いことづくめの流量計ですが、測定対象が導電性の液体に限られるという大きな制約条件があります。すなわち、気体・蒸気・非導電性液体には使えません。

4. 電磁流量計の応用分野

電磁流量計が高価であった時代は、その特長が最も発揮できる分野(表1参照)に応用が限られていました。しかし、価格が下がるにつれて用途が広がり、最近では中口径の水道メータにさえ使われるようになりました。

表1 電磁流量計の応用分野例

応用分野	対応する特長
化学プラント	耐食性
紙パルププラント	耐食性、耐磨耗性
セメントミルグ	障害物がない
浄水場	大口径
下水処理プラント	障害物がない
食品プラント	障害物がない 高速応答(充填用)
浚渫機械	障害物がない 耐磨耗性

特殊仕様としては、防爆型、サニタリ構造、2線式、電池駆動(水道メータ用)、非満水用(下水、排水用)などがあります。

5. 技術的進歩

今日まで数々の改良がなされて

きましたが、そのうちでとくに重要な次の2つについて説明します。

1) 低周波励振

かつて電磁流量計の最大の弱点はゼロ点の不安定でした。流れによって生じる起電力、すなわち流量信号は数 μV から数 mV と微弱なレベルであるため、いろいろな変動要因の影響を受けやすいのです。最大の変動要因は100Vの商用電源につながった励磁コイルであり、そこから誘導ノイズが信号線に入り込みます(永久磁石で磁界を作ると電極表面に分極という現象を生じ、起電力が生じなくなります)。

この問題を抜本的に解決したのが低周波励振方式です。これは図2に示すように、直流で断続的に磁界を作り、磁界があるときの信号からないときの信号を差し引きます。磁界がないときの信号はノイズですから、差し引き後の信号にはノイズ成分が消え、流量成分だけが残る仕組みです。

励振周波数は商用周波数(50または60Hz)の約 $1/4 \sim 1/8$ とするのが一般的です。励振周波数を遅くするほどゼロ点はより安定になります。その代わり応答速度も低下し、別の種類のノイズも増え

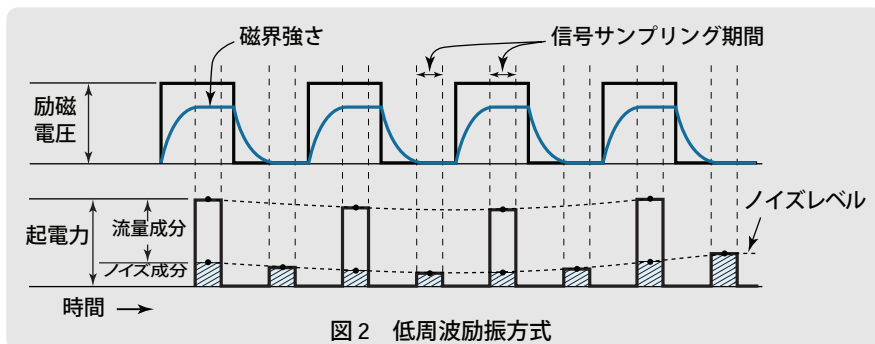


図2 低周波励振方式

著者紹介



佐鳥 聡夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail: satori@ksplz.info

TEL/FAX: 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト

「計装プラザ」を運営中

<http://www.ksplz.info/>

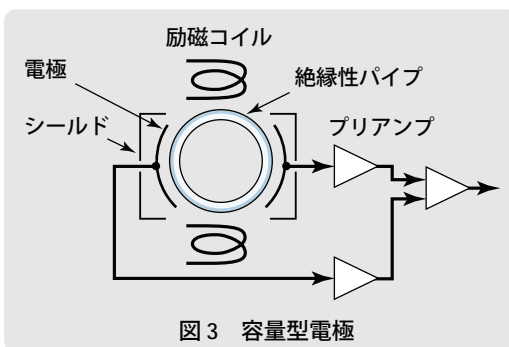


図3 容量型電極

るので、バランスのよい点を選びます。

2) 容量型電極

もう一つの制約条件である導電性の問題は、容量型電極の開発により改善されました。これは、図3に示すように絶縁性パイプ(通常はセラミック)の外側に電極を配置し、静電容量を介して起電力を取り出す仕組みです。詳細な説明は省きますが、このようにすると従来数 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった導電率の下限値を、さらに数十分の一まで下げることができます。この結果、アルコールや脱イオン水など導電性の低い液体が測れるようになりました。ただし、油や超純水のように導電性がまったくないものは、現在も測れません。

第4回 超音波流量計

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さとりのしお

1. 超音波とは

国語辞典を引くと「超音波とは周波数が2万ヘルツ以上の、人間の耳には音として聞こえない周波数をもつ音波」とあります。

ところで、超音波の応用は、内臓の診断から魚群探知、金属探傷、超音波加工まで多岐にわたり、超音波流量計では1MHz程度の周波数を用いますが、超音波応用機器の中には20kHz以下の周波数を使うものもあるため、「音としての利用を意図しない音波はすべて超音波」と定義されています。

2. 動作原理

超音波流量計は、1960年代に実用化されましたが、いくつかの異なる動作原理の製品があり、その特性もまた異なります。現在は、超音波を流れの上流側と下流側から交互に打ち込み、超音波の伝播時間の差を測る時間差式が主流です。

この動作原理は、図1に示すように、川の流れと船の速度の例で考えると容易に理解できます。対水速度が一定でA→B→Aと往復する船は、A→B間は川の流れに

押されて早く対岸に到着し、B→A間は流れに逆らい遅く到着します。この時間差から川の流速を知ることができます。

超音波は物質を透過して伝播するため、送受波器を流体導管の外側に取り付けて、内部流体の流速を測ることができます。この形式はクランプオン型と呼ばれ、とくに大口径管の流量を経済的に測る方法としてよく用いられます。これに対し、送受波器が管内に直接開口する形式は接液型と呼ばれます。

測定精度を高めるため、超音波の道筋(測線)を複数にしたり(図2)、管内で反射させた製品があります。精度はよくなりますが、当然製造コストも上がります。

超音波流量計は超音波を斜めに打ち込むため、小口径になるほど設計が難しく、以前は口径300mmあたりが下限といわれていました。最近では、図3に見られるようなU字型管路を用い、4mmの小口径用も作られるようになりました。

主な測定対象はごみや気泡の少ない液体ですが、気体や蒸気が測れる製品もあります。ただし、気体用・蒸気用はすべて接液型です。

時間差式は精度はよいのですが、超音波の道筋にごみや気泡があると測定できません。これと対

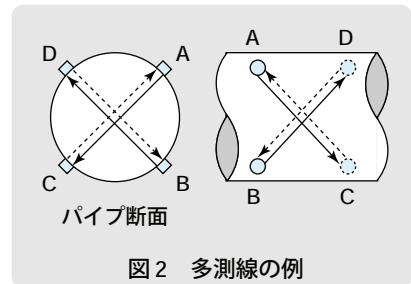


図2 多測線の例

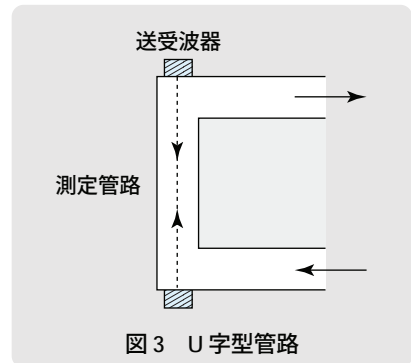


図3 U字型管路

照的に、ごみや気泡を積極的に利用するのがドップラー効果による流量計です。

ドップラー効果とは、音の発生源が観測者に対して近づいたり遠ざかったりしたとき、見かけ上音波の周波数が変化する現象で、実例として踏切で聞く列車の汽笛がよく挙げられます。

ドップラー式超音波流量計の動作原理については図4をご参照ください。超音波を液中のごみや気泡に当て、反射波の周波数変化から流速を測定します。

3. 超音波流量計の特性

超音波流量計が優れているのは次に挙げるポイントです。ただし、時間差法超音波流量計を念頭に抱いています。

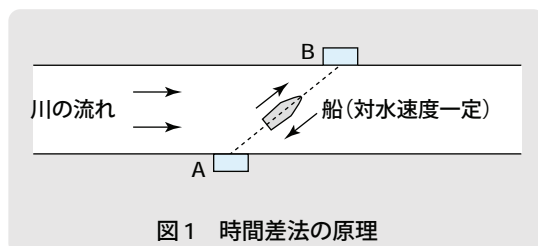


図1 時間差法の原理

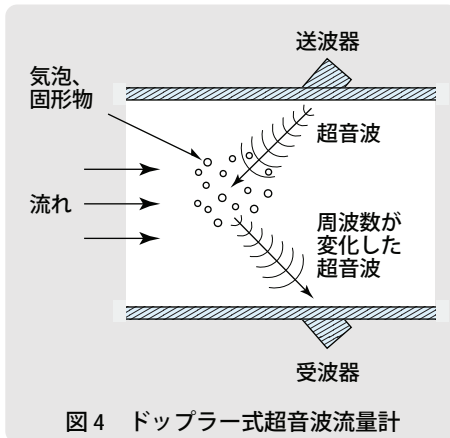


図4 ドップラー式超音波流量計

1) 管内に障害物がない

管内に流れを妨げるものがまったくありません。これに伴い、次の特長が生じます。

- 圧力損失ゼロ(ただし小口径は管路を曲げるため圧損あり)

- 構造が簡単で、故障しにくい

2) 管路が清浄

U字管タイプのように、管壁の外側に送受波器を取り付ければ、流体とは完全に非接触で測定できます。

3) 密度・粘度の影響を受けない

超音波流量計の流量信号は体積流量に直線的に比例し、原理上密度や粘度の影響を受けません。

4) 測定できる流量範囲が広い

超音波流量計のフルスケール流量は、変換器側で自由にその設定を変えられます。流量信号はゼロ付近まで出ますから、1つの流量計で広い流量範囲にわたって測定ができます。

口径も、大は数mから小は4mmまで、広い範囲で作られています。

5) 高精度

接液型超音波流量計の精度は、フルスケールの1~2%程度といわれていましたが、最近では技術の向上により指示値の0.5%までできるようになりました。測線の数を増

やし、より高精度化した製品もあります。

6) 応答が速い

質量や熱容量が介在しないので、流量変化に素早く追従できます。脈動流にも追従可能です。

7) 逆方向の測定が可能

構造が上下流対称なので、逆方向の流れも測定できます。

以上並べてみると、前号の電磁流量計の特長によく似ていますが、超音波流量計は「導電性の液体」以外の流体も測定できます。では、すべての面で電磁流量計より勝っているかというと、次のような弱点もあります。

1) 直管部が必要

差圧式流量計と同様、流量計の上流側に口径の10倍、下流側に5倍程度、配管状況によってはさらに長い直管部を必要とします(詳細は私の運営する計装プラザ <http://www.ksplz.info/>)。測線を

増やせば、直管長は短くできますがコストが上ります。

2) 気泡に弱い

液体中の気泡は超音波の通り道を遮断します。わずかの気泡で動作停止するのが超音波流量計の最大の弱点でした。しかし最近では、信号処理に工夫をこらし、気泡の影響を受けにくい製品も現れました。

クランプオン型は、上記のほか、次に挙げる特長をもっています。

1) 大口径でもコスト一定

2) 流体と完全に非接触

3) 流れを止めずに修理可能

ただし、配管の肉厚推定や超音波の屈折など誤差要因は増えます。そのため、測定精度はよくてもフルスケールの2~3%止まりです。

著者紹介



佐鳥 聡夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail: satori@ksplz.info

TEL/FAX: 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト

「計装プラザ」を運営中

<http://www.ksplz.info/>

ドップラー式はごみや気泡を積極的に利用しますが、測定精度はフルスケールの5~10%程度です。

4. 応用分野の広がり

クランプオン型は、コスト面の優位性を活かし、すでに大口径電磁流量計の市場を奪いました。

管内の清浄を阻害しないことが半導体製造業に歓迎され、超純水や特殊薬液の計測に使われています。また、食品や薬品を測る流量計としても用いられています。

精度の悪いドップラー式も、排水路など環境計測に役立っています。海外では高精度の超音波流量計が、ガスパイプラインで多く使われているそうです。

計装プラザには、微小流量や高速応答など、特色ある製品が紹介されています。

かつて「値段が高く、使い方が難しい製品」と見られていた超音波流量計ですが、電子技術の発達による価格低減に伴い、今後ますます汎用流量計として手軽に利用されるようになるでしょう。 ■

第5回 渦流量計

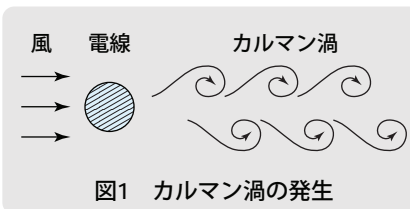
(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さとりのしお

1. 名前の由来

木枯しにヒューヒューと鳴る電線。冬の風物詩ですね。ところで、なぜ電線が鳴るかご存じですか。これは図1に示すように、電線の後ろに空気の渦が発生し、これが音となって聞こえるのです。

電線に限らず、流れの中にそれを横切るように柱状の物体(渦発生体)を置くと、その両側縁部から交互に渦が剥離し、下流側に規則正しい渦列が発生します。そして、その発生頻度(周波数)は流速と物体の形状・寸法(主として断面の幅)によって決まります。この現象を理論的に解明した研究者の名にちなみ、この渦列をカルマン渦(列)と呼びます(図1)。

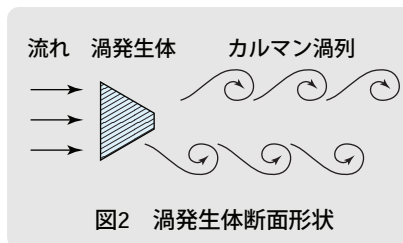
カルマン渦には、高い煙突や潜水艦の潜望鏡を揺らしたりする悪影響があり、どうやってこの影響を減らすかがまず問題でした。ところが、この現象を積極的に利用した流量計が、70年代に実用化されました。



2. 動作原理

カルマン渦の周波数は流速に比例しますから、パイプの中に渦発生体を置き、発生する渦を数えれば流量が分かります。実際の渦発

生体の断面形状は、渦の剥離する場所を一定にするため、図2に示すような台形がよく用いられます。渦の検出方法は、渦によって生じる力を圧電素子か半導体歪ゲージで電気信号に変えるのが一般的です。そのほか、サーミスタ式、静電容量式、超音波式などがあります。



3. 渦流量計の特性

渦流量計の長所は次のような点です。

1) 構造が簡単で堅牢

機械的可動部がなく、定期点検が不要です。渦発生体は磨耗しにくい形状です。

2) 精度がよい

(10mm以下の小口径を除き)指示値の1%が一般的で、流量が下がっても、積算流量精度は低下しません。

3) 流量範囲が広い

精度を保證する最大最小流量比が、液体の場合で10:1から15:1程度あります。

4) 多種類の流体に適合

液体、気体、蒸気と多種類の流体が測れます(ただし、超音波渦検出方式の場合は液体専用)。

5) 圧損が少ない

渦発生体による圧損は、オリフィスによる圧損より小さい値です。

6) パルス信号が直接得られる

渦の数を数えているため、流量積算に便利なパルス信号が直接得られます。瞬時流量(アナログ信号)からパルス信号を作り出す方式と違って、余計な変換誤差が生じません。では、短所はどうでしょうか。

1) 直管部が必要

差圧式流量計、超音波流量計と同様、流量計の上流側に口径の10倍、下流側に5倍程度、配管状況によってはさらに長い直管部を必要とします(詳細は私の運営する計装プラザ <http://www.ksplz.info/> 参照)。

2) 振動に弱い

流量計には、様々な外部振動が配管を通して伝わってきますが、渦検出素子がこの振動を拾い、偽の流量信号を出力することがあります。最近の製品では改良が進み、振動の影響を受けにくくなりました。

3) 脈動流の影響

プランジャーポンプやダイヤフラムポンプは、流速が周期的に変わる脈動流を作り出します。脈動と渦の発生周波数が近いと、両者が同期してしまうことがあります。脈動流は容積式流量計や渦流量計の出口にも生じますから、これらのすぐ下流側に設置するのは避けてください。

4) 高粘度流体に不適

流体の粘度が高くなると、精度を保証できる下限流量が上がります。下限流量以下でも信号は出ますが、これにも限界があり、限界を超えると信号が消えます(詳細は計装プラザ参照)。

5) 低流量で信号が消える

前項の問題と関連しますが、流量がある値以下に下がると信号が出なくなります。出力が急にゼロになるので、システム設計の際注意が必要です。

4. 応用例

いろいろ短所を挙げましたが、弱点を避ければ渦流量計は素晴らしい能力を発揮します。150mm以下の口径であれば、比較的安価で、何でも測れる汎用流量計としての条件を満たしています。シンプルな構造であるため取付けが簡単であり、一旦うまく動き出せば後は放っておいてかまいません。

以下、渦流量計の応用例をいく

つご紹介いたします。

1) 高温流体の測定

400℃の高温で使える製品があり、過熱蒸気も測れます。オリフィスを使った差圧式流量計より測れる流量範囲が広いので、季節により流量が大きく変わる蒸気配管の流量測定には好適です。またオリフィスの場合のように、導圧管内部に凝縮水を満たす必要もありません。

熱エネルギーを運ぶ熱媒油は常温で高い粘度を示しますが、運転時の粘度は大幅に下がるため、渦流量計が使えます。同様にして熔融プラスチックを測った例もあります。

2) スラリーの測定

渦発生体から渦が剥離する部分のエッジは、オリフィスのエッジと同様にシャープに保つ必要があります。しかし、オリフィスより流れの絞り具合が緩やかで、磨耗しにくいといえます。したがって濃度の低いスラリーであれば測定可能です。

あるユーザーが磨耗性のスラリーに渦流量計を試用したところ、1年足

著者紹介



佐鳥 聡夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail: satori@ksplz.info
TEL/FAX: 03-6809-8622

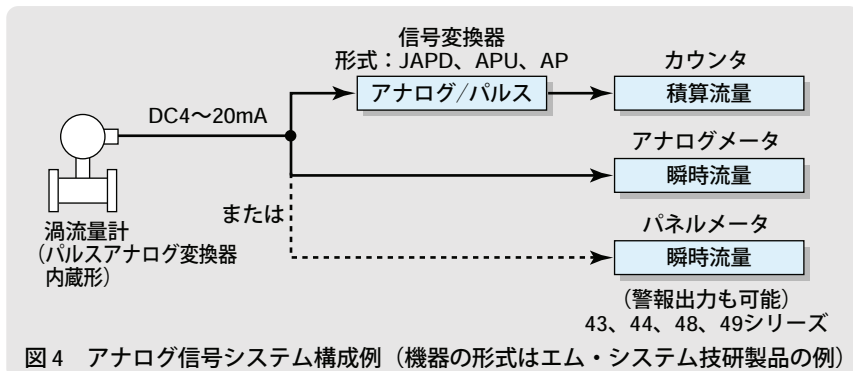
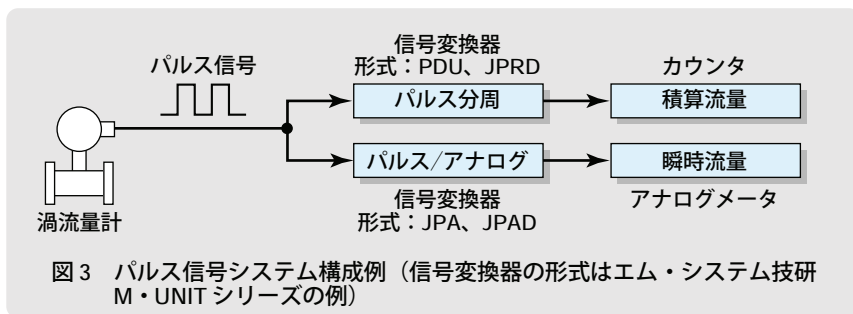
センサとフィールド機器専門のポータルサイト
「計装プラザ」を運営中
URL: <http://www.ksplz.info/>

らずでエッジが磨耗しました。このスラリーは非導電性であるため、スラリー計測に標準的に用いられる電磁流量計は使えません。そこで、渦流量計を毎年交換するのが、最も経済的な方法であると決めたそうです。

3) 信号変換器との組合せ

渦流量計は精度がよいので、流量の積算によく使われます。流量計の出力パルスに対応する流量値は、流量計1台ごとに異なり、また一般に整数値にはなっていません。そこで、1パルス当たり100Lなどになるように、分周器で調整します(図3)。瞬時流量を表示するにはパルスアナログ変換器を用います。

渦流量計の信号は本来パルスです。しかし、2線式DC4~20mA伝送システムが普及しているため、流量計内部でパルスをDC4~20mA信号に変えて送り出すことが多いのです。この流量信号をカウンタを使って積算表示するには、電流パルス変換器でパルス信号に再変換します。瞬時流量(アナログ信号)はパネルメータで表示するのが便利です(図4)。



第6回 コリオリ式流量計

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さと とり とし お

1. 質量流量計の必要性

前回までご紹介した流量計は、いずれも単位時間に流れる量を、リットルや立方メートルなど体積で測るものでした。ところがアプリケーションによっては、質量流量を知りたい場合があります。最も質量流量を必要とする測定対象は、温度・圧力の影響で体積が大幅に変わる気体ですが、今回はまず液体について考えてみましょう。

たとえば、化学プロセスで反応に影響するのは原料の体積ではなく質量です。その他質量流量計を必要とするアプリケーションはいろいろあります。一般的な体積流量計で質量流量を知るには、別途、測定対象の密度を測り、これと体積を掛け合わせなければなりません。しかも密度測定は、それ自体かなり面倒な仕事なのです。測定対象の温度対密度の関係が分かっているならば、温度測定により密度が推定できますが、他の成分が混じると、これも難しくなります。

この面倒な問題を一挙に解決したのが1970年代の終わりに登場したコリオリ式流量計です。

2. 動作原理

コリオリ式流量計は、名前のとおり、物理学で習うコリオリの力を利用した流量計です。これは19世紀に、フランスの物理学者ガス

パル・ド・コリオリが数学的に解析した現象で、回転座標系でその回転中心から離れたり、近づくように運動する物体には、その進路を曲げる力が働くというものです。具体的な例としては、自転する地球上で北半球に発生した台風が、北上するにつれて東に向きを変えるのは、コリオリの力の影響を受けるためです。

では、この力がどうして流量計測に役立つかというと、図1に示すように、振動するU字形パイプの中を流体が流れると、2つの脚の間で逆方向のコリオリの力が作用し、パイプがねじられます。コリオリの力は物体の質量と速度に比例するので、パイプのねじれ角度を測れば質量流量が分かります。

とはいえ、実は台風から振動パイプまで話をつなげるのには、かなり面倒な解説が必要で、誌面が限られていますので、例によって詳しい話は私の運営する計装プ

ラザ <http://www.ksplz.info/> をご覧ください。

3. コリオリ式流量計の特性

コリオリ式流量計の長所は次のようなポイントです。

1) 質量流量が直接測れる

なんと言ってもこれが一番の長所です。複雑な補正システムなしに、流量計単体で質量流量が得られます。

2) 高精度

指示値の0.15%という高い精度で測定できます。ただし、ゼロ点がずれている場合は、その分バイアス誤差となるので、ご注意ください。

3) 流量範囲が広い

最大流量の1/100まで測定可能です。

4) 多種類の流体に適合

一般的な液体のほか、高粘度液、スラリーにも使えます。電磁流量計のように、測定流体の電気伝導

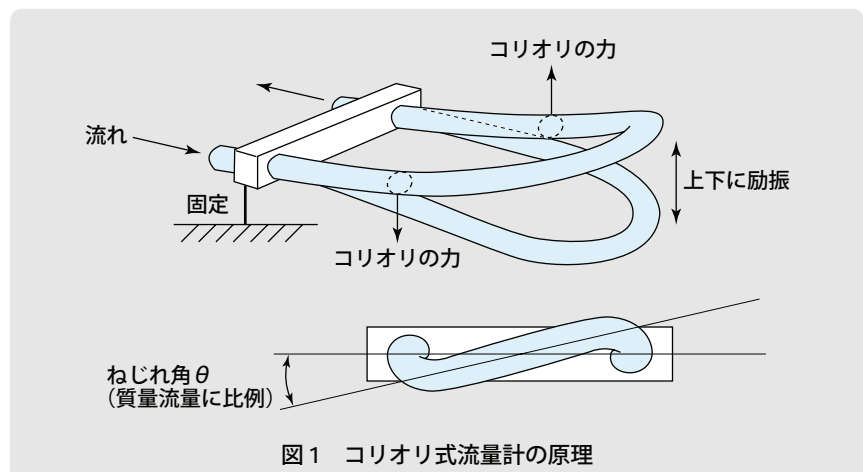


図1 コリオリ式流量計の原理

度の制約もありません。気体も、高圧下では密度が高くなり測定可能です。

5) 直管部が不要

原理的に流速分布の影響を受けない測定方式なので、流量計前後の直管部が要りません。

6) 脈動流に追従可能

応答が速く、流れに脈動成分が含まれていても追従できます。

7) 流量以外の信号も得られる

これはいわばおまけの特長ですが、振動パイプの固有振動数は流体の密度によって変わるので、密度信号も同時に得られます。また、パイプの弾性率補正のために温度も測っているので、流体温度も表示できます。

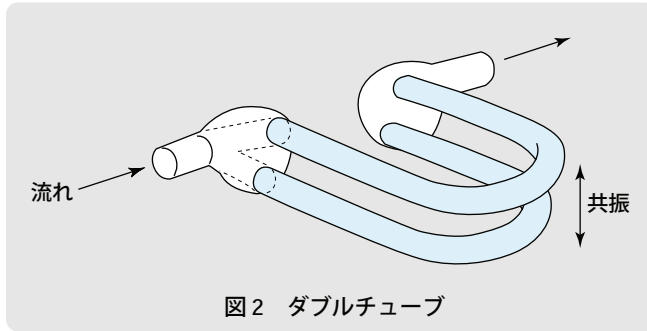
正に理想的な流量計としての条件をすべて備えているようですが、これにも他の流量計同様、次のようないくつかの弱点があります。

1) 値段が高い

パイプを曲げて振動させたり、わずかなねじれ角の差を検出したり、機械的にも電気的にも高度な技術を必要とするため、他の流量計より高価になります。ただし、体積流量計の出力を密度補正するシステムよりは安価です。

2) 圧損が大きい

測定部は何の障害物もないパイプなので、一見圧力損失が少ないようですが、パイプ内の流速が早いため、かなりの圧力損失を生じます。パイプを細くし、流速を上げるのは、コリオリの力を強くし



感度を上げるためです。

なお、高粘度液やスラリーの中には非ニュートン性流体と呼ばれるものがあり、単純な計算では圧損が予測できないことがあります。

3) 振動の影響を受けやすい

逆説的な言い方ですが、測定に振動を利用するので、外部振動の影響を受けやすいのです。初期の製品はコンクリートの床に直接ボルト止めし、配管への接続はフレキシブルチューブを使ったほどこでした。その後、図2に示すように、U字形チューブを2本向かい合せて配置して共振させ、外部振動の影響を排除する方法が考案されました。この場合2本のチューブを同じ状態に保つ必要があり、片方に気泡や沈殿物が溜まるとバランスが崩れ、計測誤差を生じます。

4) 掃除がしにくい

流路が曲がっているため、内部の清掃がしにくいと指摘されることがあります。この問題は、流路が直線的で、かつ1本しかないシングルチューブ型が開発されて解決しましたが、この形式は外部振動の影響に弱いので、取り付けはメーカーの指示どおり慎重に行う必要があります。システム設計の際注意が必要です。

4. 応用例

コリオリ式流量計は、質量流量

著者紹介



佐鳥 聡夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail : satori@ksplz.info
TEL/FAX : 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト
「計装プラザ」を運営中
URL : <http://www.ksplz.info/>

の計測が必要な食品、薬品の製造プロセスによく用いられます。特長を生かしたアプリケーション例として、スラリー、液化ガス、高密度ガスなどの計測が挙げられます。ことに、液化天然ガス(LNG)はマイナス162℃という低温の上、産地によって密度が変わるという厄介な流体ですが、コリオリ式はこの計測に便利に使われています。

また変わったアプリケーションとしては、建設現場から出る濁水の濃度管理があります。掘削した土砂などを含む濁水を直接放流することは現在禁じられており、放流前に濁水中の土砂を凝集剤で固め分離する必要があります。濁水の密度は、含まれる浮遊物質の量に比例するため、流量と同時に密度を監視し、ちょうど適当な量の凝集剤を添加しています。

以上述べたように、質量流量の計測を切実に必要とする分野では、この流量計は大いに歓迎され、歴史が最も浅いにも関わらず、今や主要な形式として不動の地位を占めるまでになりました。 ■

第7回 容積式流量計

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さとり としお

1. 積算流量と瞬時流量

この連載の第1回(2001年7月号)で、流量には瞬時流量と積算流量の2種類があると述べました。前回までに紹介した流量計は、すべて瞬時流量を測るものでした。積算流量は、原理的には瞬時流量を細かい時間間隔で測定し、それらを足し合わせれば求まります。しかし実際にはそれで済まない場合が多いのです。

たとえば、車のガソリンを買う場合を考えましょう。給油ポンプに瞬時流量計が付いていて、その指示値が50L/minになるよう調節しながら1分間給油したとします。これで50Lのガソリンを買ったと納得できるでしょうか? 「ポンプの起動から一定の流量値になるまでの給油量はどうなるのか」とか「給油中に流量の指示が振れていたじゃないか」など次々疑問が出るのは必定です。

ガソリンに限らず、液体を正確に受け渡すには、やはり計量カップで1杯ずつ測り取るような仕組みが必要です。実はこの計量カップを内蔵した流量計が今回解説する容積式流量計です。名前の由来は英語の Positive Displacement Meter(略称PD Meter) すなわち流量計に内蔵された計量室の容積がはっきりと決まっていることから来ています。

2. 動作原理

計量室の作り方にはいろいろあり、それに対応して容積式流量計の構造もロータリーベーン式、往復動ピストン式、膜式など多様に分かれています。ここでは、構造が簡単で動作が分かりやすいルーツ式について説明しましょう。

図1に示すように、ケーシングの中に1対のまゆ形回転子があります。回転子には歯車(パイロットギア)が組み付けられていて、これが相互にかみ合い回転子が擦れ合わないようになっています。また摩擦を避けるため、回転子とケーシング内壁の間にわずかの隙間が設けられています。

流体がケーシング内に入ると回転子は流体に押され、回転子は外側に回転します。すると回転子とケーシング内壁との間に計量室A・Bが交互に形成されます。その結果、流体はA・Bいずれかを通り下流側に排出されます。これは計量カップで1杯ずつ測り取る作業を連続的に行うのと同じです。回

転子の回転数を数えれば積算流量が分かります。

測定対象となる流体は主に液体ですが、オーバルギヤ式とルーツ式の場合は気体用としても使えます。

3. 容積式流量計の特性

まず長所について述べます。

1) 精度が高い

計量カップで測るのと等価ですから、測定精度は指示値の0.5~0.2%という高いレベルです。

2) 高粘度でも使用できる

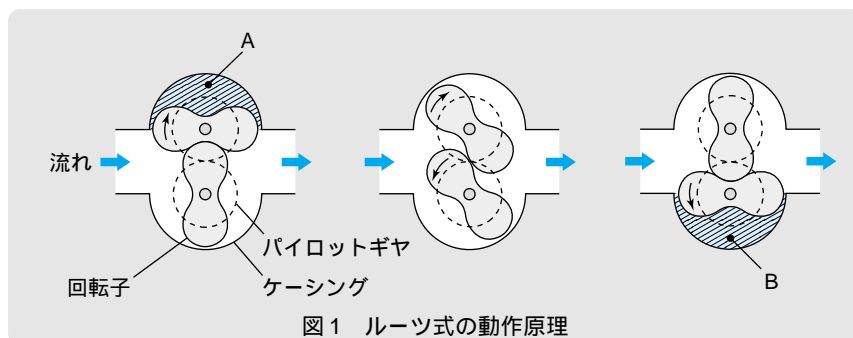
多くの流量計では、流体の粘度が高くなると、精度を保証できる流量範囲が狭まります。ところが、容積式流量計の場合は、粘度が高くなると回転子とケーシングの隙間からの漏れが減り、精度を保証できる流量範囲が広がります。

3) 直管部が不要

測定原理上、計測値と管路内の流速分布とは無関係なので、差圧式流量計で要求されるような上下流直管部を必要としません。

4) 電源が不要

流体からエネルギーを得て動作



するため、積算表示するだけであれば外部電源は不要です。ガソリンスタンドや灯油販売車のように、引火性のガスが存在する可能性の高い場所で使用するには、ありがたい特長です。

次に短所について述べます。

1) 異物に弱い

流体中に固形物があると回転子とケーシングの間に挟まり、回転子の動きを止めます。繊維状の異物も回転軸に絡まって回転子の動きを止めるので禁物です。

したがって、通常は上流側に異物除去用のストレーナを設置します。ストレーナの点検・洗浄の際には流れを止める必要があり、流れを止められない場合はバイパス配管を設置します。図2に標準的な設置例を示します。

2) 定期点検が必要

容積式流量計では、定期的に軸

受けや回転子の状態を点検する必要があります。形式によっては液のシールに摺動部品を使うこともあり、その部品は当然磨耗します。

流量計の機構が複雑なため、分解・点検・組立・実流校正作業を自社内で行うには、技術レベルの高い作業者を必要とします。これらの作業をメーカーに依頼することも可能ですが、メーカーで整備完了するまでの期間、操業に支障がないか、あらかじめ検討すべきです。

3) 低粘度の限界

高粘度の液体に使える反面、低粘度になると回転子とケーシングの間からの漏れが増え、精度が低下します。ピストンや摺動ベーンを用いるタイプは漏れが少なく、ガソリン程度までは測れますが、液化ガスのような低粘度液体は測定が困難です。

著者紹介



佐鳥 聡夫

(有)計装プラザ 代表取締役 / 技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail : satori@ksplz.info

TEL/FAX : 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト

「計装プラザ」を運営中

URL : <http://www.ksplz.info/>

4) コストが高い

流量計本体もさることながら、ストレーナ、バイパス配管、設置工事などを勘案するとかなりの費用になります。また定期点検に要する費用も加えると、TCO(Total Cost of Ownership)が高いことは否めません。

4. 応用例

以上述べたようにいくつかの短所はありますが、こと高精度の積算流量測定を必要とする分野では極めて優れた流量計です。その長所を最大に発揮する応用分野は石油製品の取引です。高粘度に強いという長所を生かし、潤滑油やアスファルトの計量にも用いられています。

長所を発揮できる分野では、今後ともシェアNo.1の地位を保つことでしょう。

容積式流量計の出力信号は基本的にパルスなので、瞬时流量を知りたい場合は、図3に示すように信号変換器でパルス信号をアナログ信号に変換します。

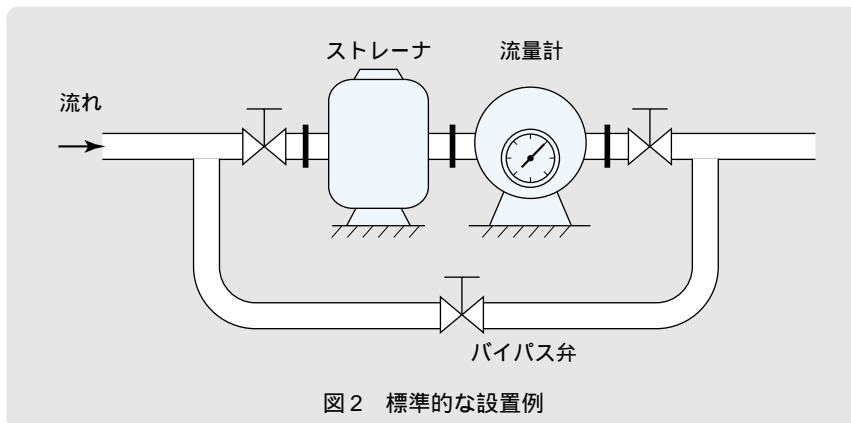


図2 標準的な設置例

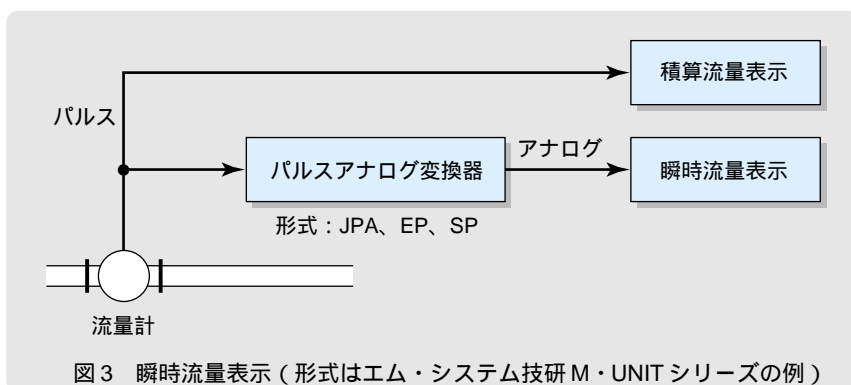


図3 瞬时流量表示(形式はエム・システム技研M・UNITシリーズの例)

第8回 面積式流量計

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さとりとしお

1. 名前の由来

面積式流量計は、差圧式流量計と並んで最も古い形式の流量計ですが、今日でもなお広く使われています。面積式という呼び名は、英語の Variable Area Flowmeter、すなわち可変面積式に由来します。では、いったい何の面積が変わるのでしょうか。それについては、次の動作原理のところで説明します。

2. 動作原理

面積式流量計の動作原理は、単純明快です。図1に示すように、下から上に向かって広がった透明なテーパ管の中にフロートがあり、このフロートは流れに押されて上方に動きます。フロートが上がるにつれて、テーパ管の内壁とフロートの間から流体が抜け出る量が増え、フロートを押し上げる力が弱くなります。最後にフロートはその押し上げ力と重さがバランス

した位置で止まり、この位置が流量を表します。フロート自体が指針の役割を果たすため、ほかに余分な表示機構は要りません。

テーパ管の材質としては、耐熱ガラスのほか、アクリル樹脂など透明であれば何でも使えます。流路からのイオンの溶出を嫌う半導体産業では、多少見えにくいのを我慢して、半透明のフッ素樹脂を用いることもあります。

高温・高圧流体や腐食性をもつ流体など、ガラス管では耐えられない場合にはテーパ管を金属で作りますが、困ったことに内部が見えません。そこで、フロートの位置を外部に知らせる仕組みが必要になります。仕組みとして一般的なのは、フロートに内蔵した磁石で外部の磁石を回転させる方式です。具体的なメカニズムについては、図2をご覧ください。磁石を利用する以上、テーパ管は当然非磁性でなければならず、金属ならばすべて使えるわけではありません。

フロートの材質としては、錆びないようにステンレスが多く用いられていますが、これも測定対象との関係で、金属、ガラス、プラスチックと様々なものが使われます。測定対象の密度はフロートに加わる浮力に関係し、測定対象の密度が大きくなるほど、フロートは見かけ上軽くなります。極端な場合、測定流体の密度がフロートの密度より大きければ、流量ゼロでもフロートは浮いてしまうでしょう！

測定対象としては、液体・気体・蒸気のほか、低濃度のスラリーも含まれます。粘度については、口径にもよりますが、10ミリパスカル秒(=10センチポアズ)程度の中粘度領域まで使用できます。

3. 面積式流量計の特性

まず長所について述べます。

1) 構造が簡単

テーパ管とフロートという簡単な構成です。流量計として、これ以上簡単な設計はできないでしょう！

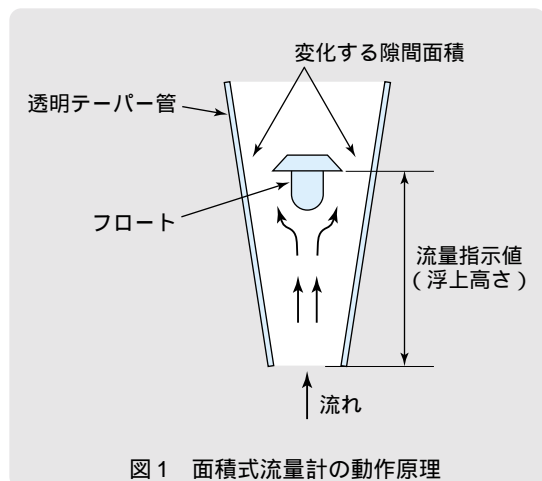


図1 面積式流量計の動作原理

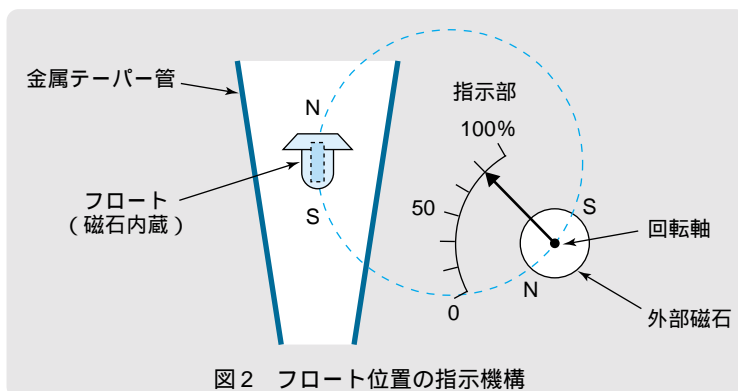


図2 フロート位置の指示機構

2) ローコスト

構造が極めて簡単であるため、当然他の形式の流量計よりローコストです。ほとんどの場合メンテナンスも不要なので、TCO(Total Cost of Ownership)を低く抑えることができます。

3) 直管部が不要

管路内の流速分布が測定精度に影響しないため、差圧式流量計の場合のような上下流直管部は必要としません。

4) 電源が不要

流れのエネルギーを利用するため、現場指示には電源が不要です。事故や災害で停電になっても流量が分かるので安心です。

5) 何でも測れる

前節で述べたように、液体・気体・蒸気・スラリーと適用対象が広範です。温度が下がると固まる液体も、スチームジャケットでテーパ管を保温すれば測れます。

6) 微小流量まで測定可能

テーパ管を細くし、かつ上下のテーパ比を小さくする、あるいはフロートを軽くするなどの手段で、極めて小流量の計測が可能になります。

7) 流量範囲が広い

1つの流量計で測定できる最大流量と最小流量の比は10:1程度です。ただし、テーパ管とフロートの選択により流量範囲を大幅に変更できます。

8) 異物の混入に強い

フロートにごみが引っかかって、フロートが上昇すればテーパ管との隙間が広がり、ごみは流れ去ります。

では次に、長所の反面ともいえ

る短所を見てみましょう。

1) 垂直取付けが必要

フロートの重さを利用する関係上、垂直以外の姿勢はとれません。しかし実際問題としては、プロセスの中に立ち上がり配管は随所にあるため、取付姿勢が制約となることはほとんどありません。なお、スプリングでフロートを押し戻す工夫を施した水平取付用の製品もありますが、ストロークが短い、スプリングが腐食するなどの問題があり、アプリケーションは限定されます。

2) 流体密度の影響

容積式流量流体の密度が変わるとフロートに加わる浮力が影響を受け、フロートの位置が変わります。つまり、体積流量が変わらなくても、流量の指示は変わってしまいます。気体の密度は温度と圧力により大幅に変わるため、とくに注意してください。

3) 口径の限界

面積式流量計は、あまり大きなものは作れません。口径50mm以下が一般的であり、150mm程度が限界です。反対に小口径については、数ミリまで細くすることができます。

4) フロートによるトラブル

フロートの汚れ、磨耗、腐食など、ほとんどのトラブルは、この唯一の可動部品であるフロートに起因します。空の配管に液体が勢いよく流れてくると、フロートが上部ストッパーに激しくぶつかり、内部を損傷することがあります。また、高圧気体が充満した配管で上流側の圧力が突然抜けると気体が逆流し、フロートが下部ストッパーに打ち付けられ、最悪の場合

著 者 紹 介



佐 鳥 聡 夫

(有)計装プラザ 代表取締役 / 技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail : satori@ksplz.info

TEL/FAX : 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト

「計装プラザ」を運営中

URL : <http://www.ksplz.info/>

破裂事故に至ります。高圧ガスインにガラス管パージメータ(面積式流量計の一種で、パージ装置などに使用される)を使う場合には、とくに注意してください。

5) 磁性異物に注意

金属テーパ管の場合、フロートに磁石を内蔵しているため、配管の鉄錆などを吸着します。流体中に磁性をもつ異物が多く混入している場合は、上流側に磁気フィルタを設置する必要があります。

4. 応 用 例

面積式流量計は、差圧式流量計と同様に汎用流量計として広く普及しています。とくに、透明なテーパ管を用いたパージメータは、ローコストの特長が買われ、流量監視用として大量に使われています。発信器付きの金属管面積式流量計は、コスト面での有利さは低下しますが、事故や災害で電源が失われても、現場指示計が使えるため安心です。これは、プラントの安全に対する保険と考えることもできます。

第9回 熱式流量計

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さとり とし お

1. 洞窟の出口を知る方法

昔読んだ子供向けの雑誌に、「洞窟の中で灯りが消えた。出口の方向を知るにはどうしたら？」という話がありました。答えはたしか「指を唾で濡らし、真っ直ぐに立ると風の吹いてくる方が冷たく感じる。そちらの方向に出口がある」というものでした。

「風の動きが分かるくらい出口に近ければ、何も汚い指を舐めなくても方向くらい分かるだろう」と異論がでそうですが、今回取り上げる流量計は、本質的にはこの話と同じ理屈で動いています。

この連載の第6回で取り上げたコリオリ式流量計は、液体やスラリーの質量流量が直接測れることが最大の特長でしたが、気体は限られた条件の下でしか測れませんでした。今回解説する熱式流量計はその逆で、気体の質量流量が直接測れます。その代わりに、液体への適用は微小流量に限られています。

熱式流量計はサーマルフローメータ、またはサーマル式流量計とも呼ばれます。

2. 動作原理

熱式流量計にはいくつかの異なる動作原理がありますが、いずれも発熱体から流体が熱を運び去る程度を測る点で共通しています。その中の一つを図1に示します。

金属細管にヒータを巻きつけ、その両側に温度センサを配置すると、流体が流れていないときはヒータの熱が両側に均等に伝わり、両方のセンサの出力はバランスしています。流体が流れると上流側センサは冷えて出力が下がり、下流側は逆に上がって、出力バランスが崩れます。この崩れる度合いが流体の質量流量に比例しているのです。

細管の内径は0.5mm程度なので流せる流量は極めて少なく、図2

に示すように、流れを流量計の内部で主流とバイパス流に分け、バイパス流量を測って全体の流量を推定する方式が一般的です。

主流が流れるメイン配管の内部にあるフローエレメントは、金属細管を束ねたものや金属板に細かい孔を多数開けたもの、あるいは焼結金属が用いられ、流れに適切な抵抗を与えることによってバイパス流に対する比率を決めています。主流とバイパス流は常に一定の比率で増減しますから、バイパス流量を測れば全体の流量が分かることになります。

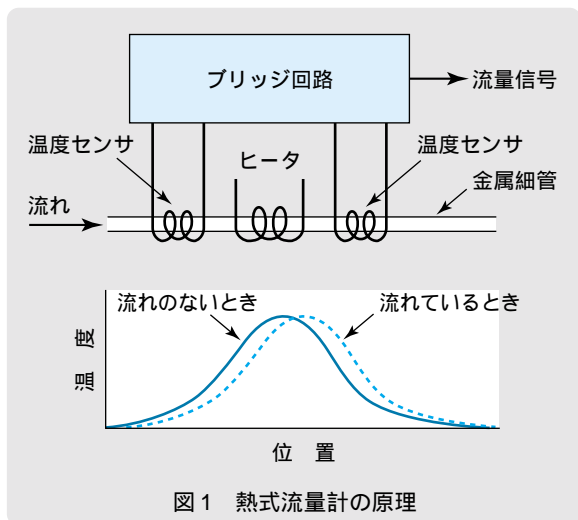


図1 熱式流量計の原理

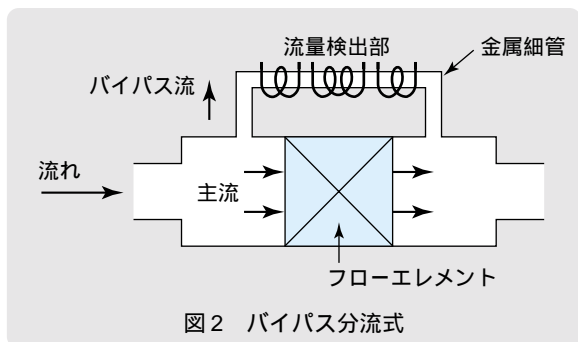


図2 バイパス分流式

小型の熱式流量計をコントローラおよび制御弁と一体化し、それ自体で流量を一定の値に制御する、マスフロー・コントローラと呼ばれる製品も普及しています。

熱式流量計の測定対象はほとんど気体ですが、中には液体の微小流量を測る製品もあります。

3. 熱式流量計の特性

いつものように、まず長所から述べましょう。

1) 質量流量が直接測れる

液体と異なり、気体は温度・圧力の影響で体積が大幅に変わります。

す。したがって、体積流量で測っても、0、1気圧の標準状態に換算した値、NL/minやNm³/hで表示します。これは質量流量表示と実質的には同じです。そのため、体積流量計、温度発信器、圧力発信器、さらに補正演算器から成るシステムを必要とします。

ところが、熱式流量計はそれ自身が直接質量流量信号を出力するのですから、これほどありがたいことはありません。

2)可動部がない

回転軸のように動く部品がないため、一旦うまく動き出せば後の面倒はありません。メンテナンスが不要です。

3)微量流量まで測定可能

気体で3NmL/min、液体で0.7mL/minという極めて微量な流量まで測定可能です。

4)流量ゼロ付近まで信号が出る

温度センサは風の動きに敏感で、流速がゼロ付近になっても出力信号を出し続けます。ある流速でパッと信号が消えることはありません。逆に過大流量で壊れる部品もなく、1つの流量計で広い流量範囲をカバーできます。

5)高温・低温で使える

+550の高温から-200の低温まで使えます。ただし、1台の流量計で高低温すべてをカバーするのではなく、流体の温度範囲が定められています。カタログで検討する際、注意してください。

物にはすべて良い面と悪い面があります。弱点のない流量計などありません。熱式流量計について注意すべき点を以下に挙げます。

1)測定対象の制約

クリーンな気体専用です。蒸気も液体もスラリーも測れません。ただし、微量液体流量を測定対象とする製品があり、これは電気信号を必要とする用途に好適です。

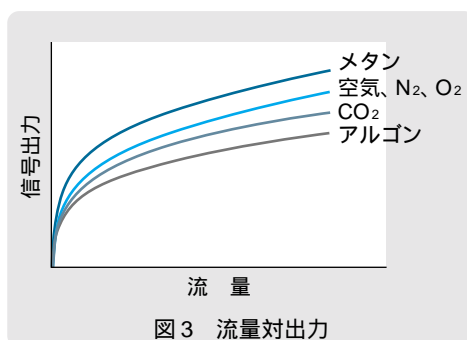
2)汚れに弱い

前項で「クリーンな」と断ったのは、熱式が汚れに弱いからです。塵や埃で細管が詰まれば当然測れなくなります。流量計入口の金網をフィルタと思う方が多いのですが、これは実は整流器で、塵埃を防ぐ効果はありません。もし、効果があるほど目の細かいフィルタを入れれば、すぐに詰まってしまうでしょう。細管を使わないタイプでも、ヒータやセンサの表面が汚れると誤差が増えます。したがって、湿ったガスやオイルミストのあるラインは避けてください。

3)流体ごとに特性が変わる

熱式流量計の流量対出力信号の関係は、図3に示すように流体ごとに異なります。熱を運び去る能力が流体によって違うからです。

したがって、窒素ガス用に購入した流量計を、そのまま水素ガス用に使うことはできません。実流校正は本来ならば実ガスで行うべきですが、これは大変なので、空気または窒素ガスで校正し、あらかじめ実験で求めた換算係数を適用するのが一般的です。



著 者 紹 介



佐 鳥 聡 夫

(有)計装プラザ 代表取締役 / 技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail : satori@ksplz.info

TEL/FAX : 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト
「計装プラザ」を運営中

URL : <http://www.ksplz.info/>

4)直管部が必要な場合もある

図2に示した構造の製品は直管部を必要としますが、大きい口径の配管に棒状のセンサを挿入する構造をとる製品もあり、この場合は原理的に流速を測定することになるため、上下流にある程度の直管部を必要とします。詳細は、参考書(たとえば松山 裕 著「実用流量測定」省エネルギーセンター1995年刊)をご覧ください。

4. 応用分野

熱式流量計は、クリーンなガスに用いたとき、その特長を最大に発揮します。したがって、多種類の純粋な原料ガスを用いる半導体製造プロセスは、正にぴったりの応用分野です。

一方、ごみ焼却場の排煙ガス流量測定にも、高温に強い熱式流量計が使われています。排煙の中の細かい埃で、センサの表面が次第に汚れて来ますが、間歇的に空気を吹き付ける装置を取り付け、問題を解決しました。このように、計装の工夫で弱点を補うこともできるのです。

第10回 タービン流量計 その他

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さとりのしお

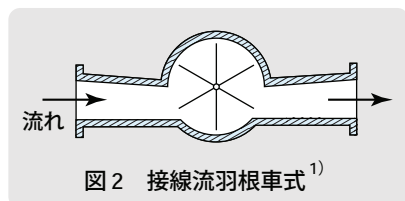
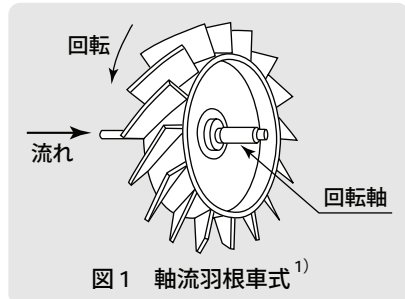
1. 風車のような流量計

これまでいろいろな流量計をご紹介しましたが、簡単な風車や水車のような流量計が無いのか疑問を持たれた方もいるでしょう。風車や水車は流速に比例した速さで回りますから、流量計にならぬ筈がありません。

どちらも流れて羽根車を回す点と同じですが、風車に似たものはタービン流量計(またはタービンメータ)、水車に似たものは羽根車式流量計として実用化されています。タービン流量計は主として高精度の流量計測に、羽根車式は簡便な流量監視に用いられています。

2. 動作原理

流体で羽根車を回す方式には、流れを羽根車の回転面と直角に当てる軸流式(図1)と、回転面と平行に当てる接線流式(図2)の2種



類があります。羽根車の回転回数が体積流量に、回転速度が瞬時流量に比例します。

接線流式は容積式に似ていますが、容積式は回転子と流路の壁との隙間を極力狭め、漏れを最小に抑えています。一方、羽根車式は漏れを問題にせず、口径が大きくなると図3に示すように、流れの一部で羽根車を回します。

羽根車の動きを外部に取り出す機構には、機械式、光式、磁気式があります。機械式は、図4に示すように羽根車の動きを機械的の伝達機構で外部に取り出し、積算計を駆動するもので、大型の水道メータなどに用いられています。

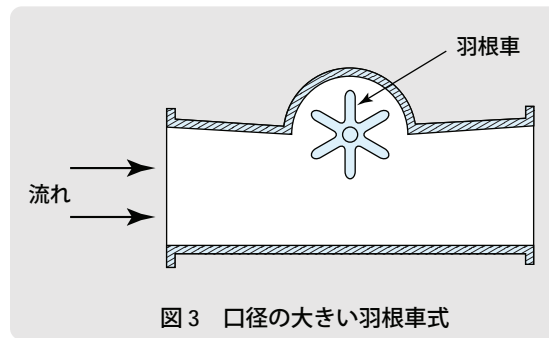


図3 口径の大きい羽根車式

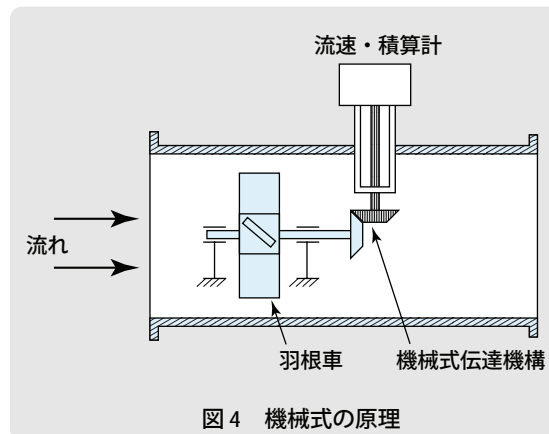


図4 機械式の原理

光式は流体と流路が透明な場合に適用可能ですが、より一般的には、図5にその原理を示す磁気式が使われます。磁石、検出コイル、磁性材質の羽根車、非磁性材質のボディーから構成され、羽根が検出コイルの前を通るたびに、磁束変化により検出コイルにパルス電圧信号を発生させます。羽根車が非磁性の場合は、羽根の先端に小さな磁石を埋め込みます。

3. 特徴

タービン流量計と羽根車流量計には、その特徴に共通の部分と異なる部分があります。以下の解説で、とくに断りのない部分は両者共通の特徴です。

それではまず長所について述べましょう。

1) 高精度

タービン流量計は、設置条件を守り、保守管理を怠らなければ、指示値の0.5～0.2%という高い精度で測定ができます(羽根車式はフルスケールの2～5%程度)。

ただし、同じ軸流式でも水道メータや灌漑用水流量計は、それほど高い精度を要求されないため、指示値の2%程度が一般です。

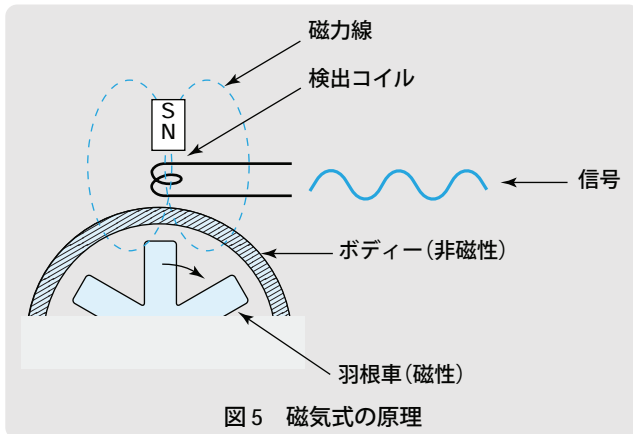


図5 磁気式の原理

油類のように潤滑性のある液体が測定対象として最適です。気体用のタービン流量計は、羽根車を支える軸受の潤滑が難しいため、特殊な製品としてだけ存在

します。蒸気やスラリーは測れません。

2) 低粘度流体が測れる

容積式流量計では、流体の粘度が高くなると流量測定範囲が広がりましたが、タービン流量計はその反対で、粘度が低い方で流量測定範囲が大きくなります。

3) 小型軽量

基本的な構成要素は羽根車と軸受けだけなので、全体が小型軽量になります。また圧力損失も比較的少なく、口径の割に大きな流量を流すことができます。同じく高精度計測が可能な容積式と比べると差がよく分かります。

4) 取付姿勢が自由

全体が小型軽量であり、面積式のような原理上の制約がないため、水平、垂直、斜めと、どのような姿勢でも設置可能です。

5) 羽根の動きが見える

一部の羽根車式流量計には、羽根の動きが見えるよう、透明窓をもつ製品があります。この場合には、たとえ信号系統が故障しても、現場で流れの有無を監視できます。

以上長所の宣伝をしましたが、逆に次に挙げる諸問題点には注意してください。

1) 測れる流体の制約

タービン流量計、羽根車式流量計の測定対象は主に液体です。石

2) 軸受の磨耗

この形式の最大の弱点は軸受の磨耗です。車のタイヤと同様、すり減っていつか寿命が尽きます。

水道メータのように測定対象が決まっているものでは、あらかじめ軸受の寿命が予測できますが、一般的には流量計の使用条件、流体の潤滑性などいくつかの因子が関係し、一概に寿命は決められません。とくに高精度計測用の場合は、軸受の定期点検が必須です。

3) 高粘度液に不適

粘度が高くなると羽根の周りに液がへばりつき、その実質的な輪郭が変わるため、特性が悪くなります。

4) 直管部が必要

タービン流量計では、羽根車に当たる流速分布が偏ると計測誤差を生じます。また、流れが旋回していると、羽根に当たる角度が変わり、これも誤差の要因になります。

ただし小口径の羽根車式では、流速分布の影響がないため直管部を必要としません。

4. 応用分野

タービン流量計が得意とする用

著者紹介



佐鳥 聡夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail: satori@ksplz.info
TEL/FAX: 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト
「計装プラザ」を運営中
URL: <http://www.ksplz.info/>

途は石油製品取引の分野です。とくに低粘度のLPGやガソリンで、特長を最大に発揮します。

羽根車式は水道メータとして普及しているほか、安価なので流量監視用として広く使われています。軸受に寿命があることも、冷却水の監視用では、「故障時に信号が消えるので安全」と、むしろプラスに評価されています。

5. その他の流量計

流量計の種類には、これまで紹介した各種流量計のほかにも、次に挙げるように、まだまだたくさんあります。

- ピトー管式
- 層流式
- 動圧板式
- 堰式など

さらに勉強なさいたい方は、専門ポータルサイト「計装プラザ」
<http://www.ksplz.info/> で紹介している、参考図書をご覧ください。

◆ 参考・引用文献 ◆

- 1) 松山 裕：実用 流量測定、省エネルギーセンター(1995)

第11回 流量計の選び方

(有)計装プラザ 代表取締役 佐鳥 聡夫
さとりのしお

1. 枕と流量計の選び方

あるラジオ番組で「安眠アドバイザー」なる人が、「半分以上の人が自分に合わない枕を使っています。枕選びは本当は難しいことなのです」と言っていました。

流量計もこれに似て、以前イギリスの専門誌に「流量計の選択が適切か調査したところ、半数以上が最適ではなかった」と書いてありました。枕も流量計も種類が多い上、ひどい間違いがなければ、何とか用が足りるからでしょう。

流量計メーカーに相談すれば、当然自社製品を薦めますから、それが最適かどうかは運次第。

そこで今回は、どのようにして流量計を選ぶべきか、基礎的な解説をします。

2. 流量計選びの手順

流量計を選ぶ手順は、およそ表1に示すようになります。

以下、表の順序に従って話を進めます。

表1 流量計選定順序

1	測定対象の性質把握
2	測定目的の明確化
3	流量計形式の絞込み
4	製品仕様の検討
5	コスト比較
6	決定

3. 何を測るのか？

まず、何を測るのかははっきりさせなければなりません。液体か気体か、どのくらいの流量かなど、表2に示すような項目です。こんなにたくさん！と驚くかもしれませんが、いつも全項目が必要なわけではありません。表の下の注記をご覧ください。

表2 測定対象の性質

項目	備考
流体の種類	液体、気体、蒸気、スラリー
流体名	
密度(比重)	注1
粘度	注2
導電率	注3
色、透明度	注4
混入物	気泡、異物など
腐食性	注5
流量	最大、常用、最小
脈動の有無	注6
流体温度	注7
流体圧力	注8
許容圧損	注9

注1：流体名と温度・圧力から計算可能

注2：気体・蒸気の場合は不要
 液体は、流体名と温度が分かれば推定可能

注3：電磁流量計の場合のみ必要

注4：直視型流量計にのみ必要

注5：温度・濃度によって変化することに注意

注6：往復動式ポンプに注意

注7：接液部材質がセラミックの場合は、温度の急変に弱いので温度変化速度も必要

注8：液体・スラリーの場合は、耐圧チェック用
 気体・蒸気では、密度計算にも必要

注9：必要に応じ指定

4. 何のために測るのか？

次に考えるべきことは、測った結果をどのように使うか、すなわち計測の目的です。測定対象と目的が決まれば、それに適する流量計の形式はある範囲に絞られ、選定作業が楽になります。また、必要な測定精度も目的から決まります。測定の対象と目的に適合する流量計の形式を表3にまとめます。

表3中の測定精度で、高精度とは、測定誤差が指示値またはフルスケールの1%以下、中精度とは1%から3%の間、低精度とは3%以上と定義していますが、これは公的な規格ではなく、この場での約束です。

ここで、流量計測の目的と必要な測定精度の関係について考えてみましょう。

まず、体積流量の監視、警報、制御は、いわば流量計の一般的な使い方です。この場合、表示される流量はいずれも瞬時流量であり、あまり精度を上げてても意味がありません。流量の監視に高精度は要らないし、警報設定も2~3%の違いが問題になるようでは危なくて使えません。

瞬時流量は常に細かく変動していて、完全に平滑な制御はできません。無理に制御しようとするれば制御弁を常時動かす必要

表3 流量計適合表

測定量と測定目的 (測定精度)	形 式	適用流体			特長と制約	
		液 体	気 体	蒸 体	特 長	制 約
体積流量の監視、 警報、制御 (中～低)	差圧式	○	○	○	広い測定対象	狭い流量範囲
	電磁式	○	×	×	耐食性、耐磨耗性	要導電性
	面積式	○	○	○	構造簡単、ローコスト	垂直取付のみ
	超音波式	○	○	△	汎用、圧損ゼロ	気泡などの影響
	羽根車式	○	×	×	ローコスト	軸受寿命
質量流量の 直接測定 (高～中)	熱 式	△	○	×	質量流量信号	クリーンガス専用
	コリオリ式	○	△	×	質量流量信号	口径範囲、高価格
体積流量の積算 (高)	容積式	○	○	×	高精度、高粘度可	軸受寿命、高価格
	渦 式	○	○	○	可動部なし	信号
	タービン式	○	○	△	高精度	軸受寿命
流速の監視、警報 (低)	ピトー管式	○	○	○	構造簡単、ローコスト	流速分布の影響大

○：適用可 △：制約あり ×：不適

があり、すぐにシール部が磨耗します。

質量流量は体積流量から換算して求めることが多く、これを直接測るのは主に高精度が要求される場合です。精度が必要なのは積算流量です。理由は、ガソリンの給油量、水道の使用量など取引に絡むことが多いからです。反応タンクへの原料供給なども高精度を必要とする例でしょう。

5. 製品仕様書の検討

表3に従ってある程度流量計の形式を絞り込んだら、次にメーカーの製品仕様書が、要求されている仕様を満足するか否かを検討します。仕様書を読む際は、次に挙げる諸項目にも注意すべきです。

1) 出力信号

出力信号には、電流、電圧、パルス、警報接点などの種類があり、伝送可能な最大距離も様々です。パルス信号の場合は、その特性も

よく理解する必要があります。

2) 電 源

起動時に平常時の数倍の電流が流れる流量計もあります。同一電源から複数の流量計に供給する場合は、とくに注意しましょう。

3) 設置場所

流量計の前後に直管部が必要な場合は、配管中にそれだけのスペースがとれるか、また重い製品は特別な架台が必要かなど、あらかじめ検討すべきです。

機械的振動の大きい場所や、モータやトランスのすぐ近くは避けてください。

製品によっては筐体が屋外設置に耐えられないもの、あるいは直射日光を嫌うものもありますから、これも確認する必要があります。

4) 保守作業

定期的な点検を必要とする製品については、その作業方法も検討しておきます。後になって、流量計に近づけない、重過ぎて作業で

著 者 紹 介



佐 鳥 聡 夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail : satori@ksplz.info
TEL/FAX : 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト
「計装プラザ」を運営中
URL : <http://www.ksplz.info/>

きないなど、トラブルになっては困るでしょう。

5) 関連製品のチェック

流量計を保護するストレーナ、流れの乱れを取る整流器、信号変換器や受信計器など、流量計本体以外の関連機器についても、その必要性と仕様を検討します。関連機器の手配を忘れると、流量計が届いても使えません。

6. コスト比較

最後に重要なのはコスト比較です。流量計本体の価格だけではなく、TCO(Total Cost of Ownership)を最小にすることが大切です。

TCO = 流量計・関連機器の価格 + 設置費 + 保守作業費 なので、全体を見通す目が必要です。

* * *

以上述べたように、流量計の選択はかなり面倒な仕事です。迷ったときは、お気軽に「計装プラザ」
<http://www.ksplz.info/> の無料相談窓口をご利用ください。

本稿をお読みくださった方のお役に立てれば幸いです。

1. 郵便ポストが赤いのも・・・

一昔前、♪電信柱が高いのも、郵便ポストが赤いのも、みーんな私が悪いのよ♪という戯れ歌がありました。流量計の場合も罪も無いのに責められることが多いのです。

ことに利害が絡む取引用流量計は鬼門です。流量計測の国際シンポジウムで、講演者が「高精度流量計測は、2度続けてやってはいけない」と述べたときは満場爆笑でした。出席者は皆、この種のトラブルを経験した人達だったからでしょう。

そこで今回は、流量計のトラブルのお話です。ただし、単純な故障や誤配線によるトラブルではなく、流量計は悪くないのに、あたかもそれが原因のように見られる例を取り上げます。

2. トラブルの症状と主な原因

「流量計がおかしい」と言われる場合の症状を類別し、それぞれの主な原因を表1にまとめました。

以下、トラブルの原因について解説を加えます。

表1 トラブルの症状と主な原因

症 状	主な原因
次第に信号が低下する	管路に異物が堆積
次第に誤差が大きくなる	異物堆積、内部部品の磨耗
当初から誤差が大きい	設置環境、関連機器、仕様不適合、誤差検証方法の違い、誤解

1) 管路中の異物

比較的起こりやすいトラブルは、流体中に含まれている重い成分の分離、あるいは塩類の析出凝固により管壁が覆われる場合です。樹脂など粘着性のある物質が管壁に付着することもあります。誤差が次第に増える場合は、まずこの可能性を検討してください。

地熱発電所で使われていた差圧式流量計のトラブルでは、蒸気に含まれている不純物が管内壁に厚い層として付着していました。付着物がオリフィスの孔をほとんど覆い隠し、精度はまったく問題外という状態でした。

電磁流量計は、電極が樹脂など絶縁物で覆われると動作しません。このようなアプリケーションには、電極が管内壁に露出していない容量型電極の電磁流量計が威力を発揮します。

プラント建設が盛んだった時代は、工事中に置き忘れたボルトナットや手袋が配管内を流れてくる事故がよくありました！

2) 部品の磨耗

可動部品の磨耗より、オリフィ

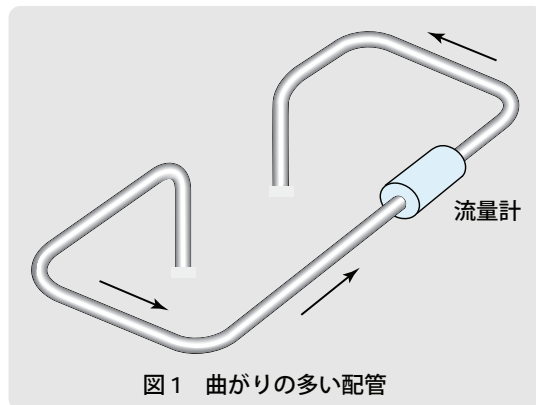


図1 曲がりの多い配管

ス孔のエッジや渦発生体のエッジなど、精度に直接影響する部分の磨耗が問題です。研磨性粒子を含むスラリーの流量測定に使われていた渦流量計を分解点検したところ、エッジの磨耗だけでなく、渦の当たる管内壁部分が深く抉られていて、驚いたことがあります。

3) 設置環境

電子回路を内蔵する流量計の場合には、周囲の電氣的ノイズに注意を払ってください。ノイズの発生源は電磁リレー、ソレノイドコイル、インバータなど様々です。

流速分布の影響を受ける流量計の場合には、流量計前後の直管部が重要です。狭いスペースに直管部を確保するため、図1に示すような配管を見たことがあります。二平面にまたがるエルボーは強い旋回流を作り出し、タービンメータに大きな誤差を生じさせます。

気泡が溜まりやすい配管(図2)やごみが溜まりやすい配管(図3)も要注意です。

4) 関連機器

増補ページ

「流量のお話」が書かれたのは 2001 年。それから 20 年近く経った現在流量計測の世界も状況がだいぶ変わりました。その変遷を眺めてみましょう。

1. 普及した流量計、廃れた流量計

電磁流量計はかつてゼロ点が徐々にずれるという問題があり、 $\pm 2\%FS$ の精度がやっとでした。ゼロ点の安定性は低周波励振により飛躍的に改善され長期にわたり再チェックの必要も無くなりました。また微小な信号を増幅する技術も発展し、しかも電子部品は微細化・複合化によって安価に入手できるようになりました。誕生した当時は高価で扱いにくかった製品が、安くて安定かつ $\pm 0.5\%R$ の高精度な製品に進化したのです。

こうなると当然電磁流量計は売れ、今では油や純水以外の電気が通る液体には、第一候補として検討されるようになりました。かつて高価で扱いにくいと目されたコリオリ式質量流量計は、その後メーカーが増えて技術的改良が進み、現在はずいぶん普及しました。

逆にあまり使われなくなった流量計の代表は容積流量計です。重くて構造が複雑で軸受けの定期交換が必要であり、設置と保守に多大の手間と費用が掛かるのが不人気の理由です。翼車流量計（タービンメータ）も軸受けの交換が嫌われ衰退しました。しかし現在でも重質油など容積式が最適の用途は残っています。

2. 生き延びた流量計

差圧流量計や面積流量計など古くからある機種は、「こんな旧時代の遺物はすぐ無くなるよ」と言われながらしぶとく生き残っています。それらに共通する特徴は、指示が安定しかつコストパフォーマンスがよいことです。

例えば差圧流量計は国際規格に従って製作すれば、実流校正無しに精度が保障されます。

差圧エレメントと組み合わせられる差圧伝送器は電子技術により精度と安定性が向上し、機械式では面倒な開平演算も標準的にできるようになりました。電磁流量計は気体の計測ができないので、両者の競合はありません。

面積流量計、ことに小口径のガラステーパ管型（パージメータ）は、コストパフォーマンスのよさで他を圧倒しています。将来も決して消え去ることは無いでしょう。その他、面積流量計は半導体産業や飽和蒸気測定用など、幅広く使われています。

その他、蒸気用の渦流量計、半導体産業向けの超音波流量計、熱式質量流量計など特定の用途に特化した機種もあります。

3. 機種別選択表

1・2項の解説を受け、測定対象により先ず検討すべき機種を下表にまとめます。

測定対象	機種
気体・蒸気・液体、汎用	差圧
気体・液体、現場指示	面積
導電性液体、汎用	電磁
液体質量	コリオリ
気体質量	熱式
(過熱) 蒸気	渦
液体、半導体製造	超音波
重質油	容積

ただし、この表は一例であり、工夫次第で様々な組み合わせが可能です。

4. 二種類の精度

流量計の精度にはフルスケール ($\%FS$) と指示値 ($\%R$) の二種類があります。

フルスケール $100m^3/h$ 、精度 $\pm 1\%$ の流量計を例にとると、 $100m^3/h$ では $\%FS$ も $\%R$ も $\pm 1m^3/h$ の誤差が許されます。ところが $10m^3/h$ では $\%R$ は $0.1m^3/h$ の誤差しか許されず、格段に厳しいのです。よって $\%R$ 誤差は適用流量範囲を併記しなければなりません。

5. 校正技術

流量計メーカーは、製造する流量計の目盛が正しいことを保障しなければなりません。実はこれが流量計メーカーの地位を守る重要な技術であり、流量計自体を作る技術を持っているメーカーでも、校正技術が無ければ参入できないのです。以下代表的な技術を紹介します。

マスターメータ（比較法）

正確に校正（目盛付け）された流量計（マスターメータ）を基準器とし、これと校正する流量計を直列に繋いで、マスターメータの目盛を写し取ります。生産現場で最も多く用いられる方法です。

基準タンク法

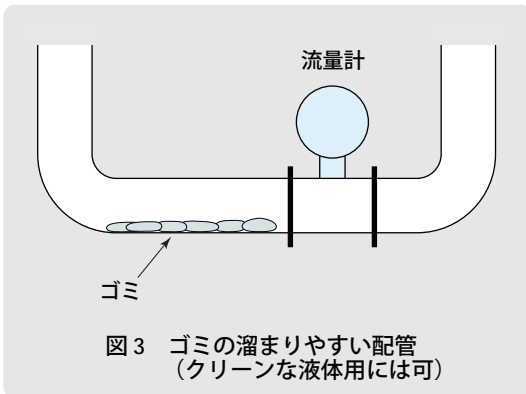
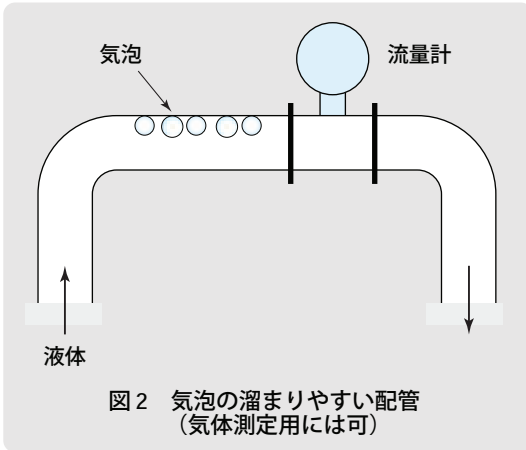
正確に容積を計測したタンクに一定流量で流体を流し込み、流し込んだ積算流量と時間から流量を計算で求めます。

秤量法

タンクの代わりに秤を用います。

音速ノズル

(以下作成中)



流量が少なすぎるという事例もあります。

特異な測定対象の場合には、流量計との相性に注意を払う必要があります。たとえば水素ガスには低密度・高熱伝達率という性質があり、面積式流量計で計る際は加圧し、熱式流量計で計る際は流速を制限する必要があります。

6) 誤差検証方法の誤り

新しい流量計が入ると、それまで使っていた流量計やレベル計と比較することが多いのですが、実はそちらの方が狂っているケースは珍しくありません。

現場で正確な校正作業を行うのは、基準器の選定からして難しいことなのです。臨時に寄せ集めた機器のどれかが不具合だったり、基準器の精度が足りなかったり、誤差が入る可能性はいろいろとあります。

7) 不思議なトラブル

以上のほか、一見「どう考えても分からない」トラブルもあります。私は以前「バルブを絞ると流量が増える」とか「魚が遊ぶ流量計」などいくつかの事例を、月刊誌「計装」に「フィールド計器の不思議なトラブルシューティング」と題して執筆しました。「計装プラザ」<http://www.ksplz.info/>にPDFファイルがありますから、ご興味のある方はご覧ください。

先日、ある読者から「面積式の最大口径は150mmとあるが、もっ

著者紹介



佐 鳥 聡 夫

(有)計装プラザ 代表取締役/
技術士(機械、電気・電子部門)

E-mail: satori@ksplz.info

TEL/FAX: 03-6809-8622

センサとフィールド機器専門のポータルサイト
「計装プラザ」を運営中

URL: <http://www.ksplz.info/>

と大きな製品もある。また上流側に直管部が必要」とのコメントが寄せられました。たしかに大口徑の面積式流量計は存在しますし、垂直流入型で面間距離が短い(テーパー比の大きい)場合には直管部を必要とするケースもあります。

しかし、あまり細かい話をするに「木を見て森を見ぬ」方向へ読者を導く恐れがあるため、特殊な例は切り捨てました。流量計の世界は複雑多岐で、高粘度流体用タービンメータやベアリングレス羽根車流量計など、原則から外れた製品も存在します。

* * *

この連載を始める前は「やれやれ、この先一年間毎月原稿の締切りに追われるのか」と気が重くなりましたが、月日の経つのはまことに早く、気が付けばもう最終回です。毎月、拙文にお付き合いくださった皆様に感謝いたします。

今後とも流量計のことで何か疑問がございましたら、(有)計装プラザ、佐鳥宛にお気軽にご相談ください。 ■

流量計と組み合わせる関連機器も往々にしてトラブルの原因になります。オリフィスに開演算機能付の差圧発信器を使っているのに、受信計器側でまた開演算を行ったり、温度圧力補正器やパルススケーラーの設定を間違えるなどのミスはよく見られます。

保守点検用のバイパス弁に漏れが生じていたこともあります。バイパス弁が漏れれば、流れの一部が分流するため、流量計には当然マイナス誤差が生じます。

5) 仕様不適合

仕様決定時に想定していた流体条件が実際と大きく異なるため、トラブルになることもあります。液体の粘度・密度、また気体の温度・圧力を再度確認してください。将来の需要拡大を見込んで大容量の流量計を選定し、使用開始時の