

流量とは何か？
基礎知識から選定の仕方までこれ一冊で

完全版 流量の教科書

第1章 流量を知る

流量とは	4
流量と他の物理量(温度・圧力)との違い	6
流量の表現方法・単位	8
プロセス管理と流量	12

第2章 流量管理の目的

品質管理	14
装置保護	17
省エネルギー(コストダウン)・省メンテナンス	19
流量管理の対象物	22

第3章 流量計の選定

流量管理の課題	24
流量計選定の流れ	28
電磁式流量計	31
カルマン渦式流量計	32
羽根車式流量計	33
浮き子式流量計	34
熱式流量計	35
ダイヤフラム式流量計	36
超音波式流量計	37
コリオリ式流量計	38
精度保証検出範囲	40
液体の粘度の目安	42

第4章 失敗しない流量管理

トラブルとその対策技術／トラブル要因	44
圧力損失とその原因	57
配管テクニック／流量計の設置位置	59
配管テクニック／特殊な配管での流量計の設置方法	62
配管テクニック／配管の呼び径	66

第5章 装置別流量計導入事例

冷却水・洗浄水の流量管理が必要な装置	69
その他の流量管理が必要な装置	73
気体の流量管理が必要な装置	77

第6章 流量関連用語

流量関連用語	81
--------------	----

第1章 流量を知る

Ⅰ 流量とは

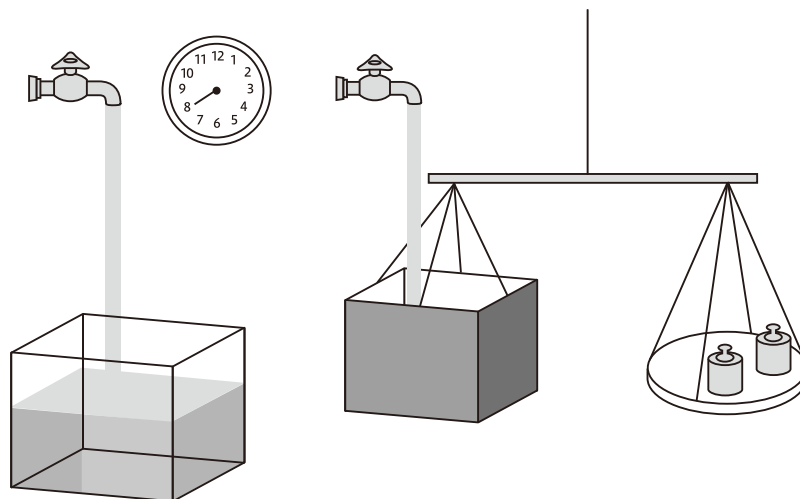
流体管理の基本となる「流量」の基礎知識

工場では切削水や切削油、冷却用クーラントや作動油、溶接時のシールドに利用されるアルゴンガス、酸化防止や熱処理に使われる窒素など、さまざまな液体や気体がいられます。これらの液体や気体を総称して「流体」と呼び、その物理量を「流量」として表します。こちらでは流量管理の基本となる「流量」の定義や流量計の必要性について、わかりやすくご説明します。

単位時間に流れる流体の体積または質量＝流量

日本工業規格のJISB0100バルブ用語では、流量を「単位時間に流れる流体の体積または質量」と定義しています。「1分間に何ccの水が流れたのか?」「1時間に何m³のガスが流れたのか?」を示す物理量が流量であり、流量を計測するものが流量計や流量センサとなります。

流量の計測方法には、体積を計測する「体積流量」と質量を計測する「質量流量」という2種類があります。また流量管理には、「瞬間流量」と「積算流量」という2種類があり、流体の性質によって「体積流量」と「質量流量」を、流量管理の目的によって「瞬間流量」と「積算流量」を使い分ける必要があります。



体積流量と質量流量、瞬間流量と積算流量の違いについては、以下のページをご覧ください。こちらでは、「流量とは、液体や気体などの流体が一定時間内に移動する量(体積もしくは質量)を示す物理量」と覚えていただければと思います。

製造現場における流量計の必要性

製造現場では、品質の向上や安定、装置保護、火災などの事故防止のために流量を監視する必要があります。
例えば、以下のようなシチュエーションをイメージしてください。

■ 冷却水の流量を管理し、工作機械の温度上昇を防ぐ

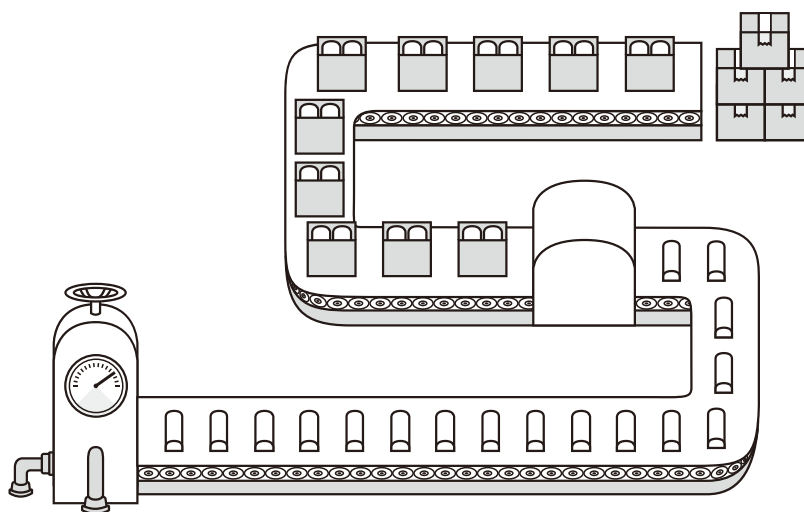
■ 作動油の流量を管理し、油圧制御の動作異常を検知する

■ 不活性ガスの使用量を一定に保ち、溶接時の酸化を防いで品質を高める

■ 各種ガスなどの流量を監視し、「見える化」することでコストカットにつなげる

上記はあくまで一例ですが、流量管理によって「品質管理」「装置保護」「省エネルギー（コストカット）・省メンテナンス」といった効果を得ることができます。流体管理の目的や効果、改善策については別ページでも詳しく解説しています。(流量管理の目的
①品質管理・流量管理の目的 ②装置保護・流量管理の目的 ③省エネルギー（コストダウン）・省メンテナンス)

また、製造工程では冷却水や作動油、各種ガス、蒸気などのさまざまな流体を利用するため、個別の流体に対して最適な流量計の選定や設置はもちろん、生産ライン全体を連続したプロセスと捉えて流量管理する必要があります。さらに流量だけではなく、温度や圧力なども考慮することが重要です。



第1章 流量を知る

Ⅰ 流量とほかの物理量(温度・圧力)との違い

流量管理における流量・温度・圧力の関係性と違いとは

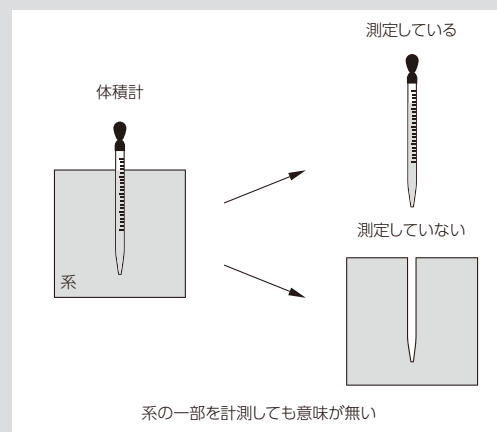
流量管理では、流量のほかに温度や圧力などの物理量も密接に関連しており、流量と同時に温度や圧力の計測も同時に行なうケースがよくあります。そこで流量計を使用するうえで覚えておきたい、流量とほかの物理量(温度・圧力)との違い、それぞれの特長についてまとめてみました。

流量=示量性変数、温度・圧力=示強性変数

流量管理では、物理的状態量を表す状態変数「流量」「温度」「圧力」が非常に重要です。これらは、一見同じような状態変数に見えますが、物理化学や熱力学で明確に「示量性変数」と「示強性変数」に区別されます。流量は示量性変数、温度・圧力は示強性変数となり、流量は温度・圧力の計測とは異なる条件が要求されることを覚えておきましょう。

Ⅰ 示量性変数とは

示量性変数(extensive variable)とは、「熱平衡関係ならば系を分割すると、それに比例して少なくなる状態量」と定義されています。例えば、100 kgを2つに分割すれば50 kgと50 kgに、100 m³を分割すれば50 m³と50 m³になるようなものが示量変数です。流量は、パイプ内の一部の流速成分を計測するのではなく、パイプ断面全体の流速成分を測定して、体積や質量と積分操作することで求められるので示量性変数となります。



流量と温度・圧力の測定おける相違点

示強性変数となる温度・圧力は、例えばタンク内の液体を測定する場合、どの場所を測定しても基本的には同じ結果を得ることができます。そのため、複数のセンサをタンク内に設置(測定系を増やす)すれば信頼性を高めることができます。またセンサ不良によるトラブルも測定系を増やすことで未然に防ぐことができます。

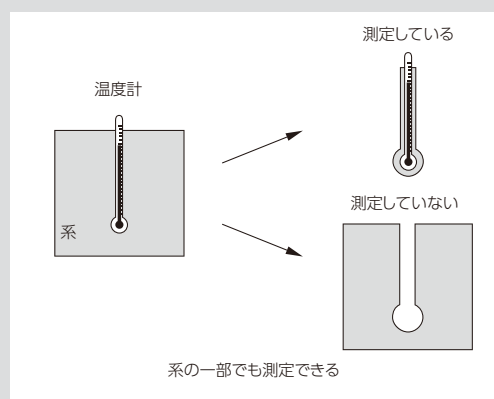
しかし、示量性変数となる流量は、パイプの断面のように一定範囲の状態変化を測定する必要があるため、複数のセンサを使って信頼性やメンテナンス性を高めるということが難しい傾向にあります。そのため流量計を選定する際には信頼性や耐久性が非常に重要な要素となります。

流量計測では温度や圧力も重要な要素です

少し話が変わりますが、体積流量を計測する場合は、圧力や温度によって比体積が異なるため基準状態に換算して流量で示す必要があります。質量流量の場合は問題ないようにも感じますが、体積流量計で測定した表示単位を質量流量に変換する場合には注意が必要です。このように正確な流量管理には温度や圧力の知識も必要不可欠です。体積流量と質量流量については別ページで詳しくご説明します。

Ⅰ 示強性変数とは

示強性変数とは、「熱平衡関係ならば系をどのように分割しても変化しない状態量」と定義されています。例えば、50℃のお湯を2つの容器にわけても両方50℃で、25℃になることはありません。また50℃のお湯が入った容器であれば、容器内のどこを測定しても50℃を示します。液体や気体などの温度や圧力は、小さく分割(微分)しても測定値が変わらず、一部を測定することで全体の状態を知ることができるので示強性変数となります。



第1章 流量を知る

Ⅰ 流量の表現方法・単位

瞬時流量と積算流量

工場内での流量管理と一口で言っても、2種類の流量があります。それが、「瞬時流量」と「積算流量」です。

A 瞬時流量

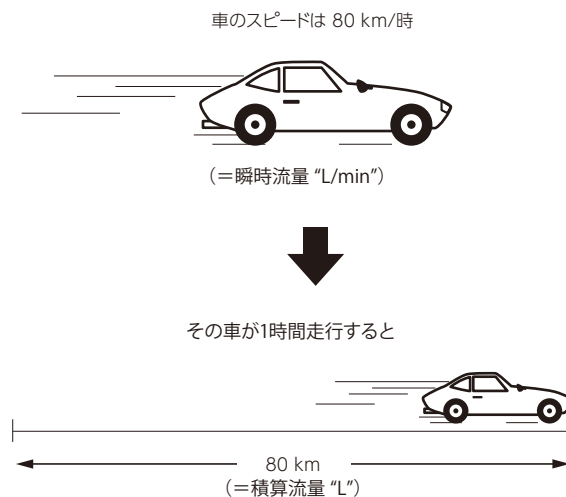
「瞬時流量」とは、一定時間あたりに流れる量を指します。例えば、1分間に10リットル流れるときの瞬時流量は10 L/min、1秒間に100 mL流れる瞬時流量は100 mL/sec(=6 L/min)となります。

例) この真空ポンプは毎分5リットルの冷却水を供給しなければならない。⇒ **瞬時流量**

B 積算流量

「積算流量」とは、測定開始から流れた量の累積値を指します。例えば、瞬時流量100 L/minで1時間、タンクに水を貯めた場合、積算流量は6000 L (6 kL)となります。

例) この研削盤は1日でどれぐらいのクーラントを使用しているのだろうか?⇒ **積算流量**



車のスピードメーターは瞬時、トリップメーター、オドメーターは積算になります。

流量計の表示について

最近の流量計には、表示器が内蔵されているものが多いようです。これは数値表示がないと正確な設定が非常に困難なためです。配管内の流量は、配管径、液体を押し出す圧力、液体の粘度などの要素によって物理的に決まります。しかしながら、実際に「この管の中の流量はいくら?」と尋ねられても、正確に分かる方はいないと言えるでしょう。表示器のない流量計で正確な下限警報を出そうとしても、以下の手順で「現物合わせ」が必要となります。

通常の流量を測る

1. 流量計とバルブを配管に設置する。
2. 通常流量を確保し、水を流してみる。
3. 流れている水を一定時間容器に貯めてみる。
4. 貯まった水の質量または容積から瞬時流量を求める。

警報設定を行なう

1. 水を流してバルブを絞り、下限警報レベルを擬似的に作り出す。
2. 容器に水を貯めて計量し、求める下限警報レベルの瞬時流量かを確認する。
3. その時、まさに信号が出るように流量計の設定を行なう。

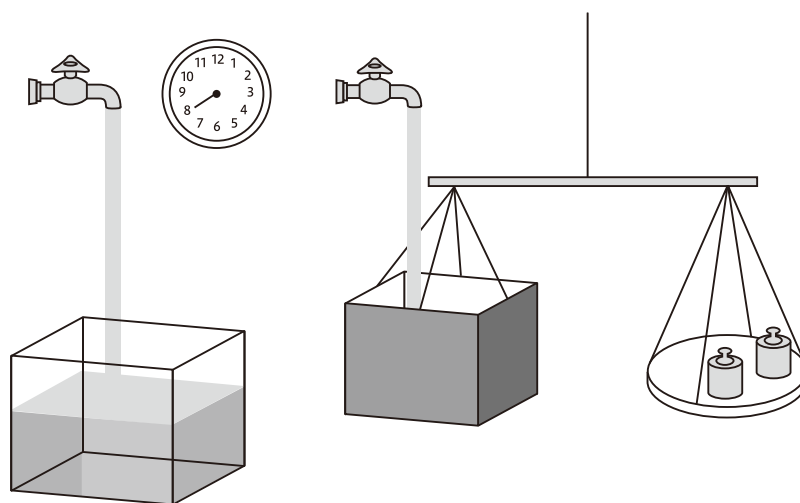
第1章 流量を知る

体積流量と質量流量

流量は、JIS B0100バルブ用語で「単位時間に流れる流体の体積または質量」と定義されているように体積または質量から求めることができ、「体積流量」と「質量流量」に区別されています。こちらでは体積流量と質量流量の定義、計算方法などをご説明します。

体積流量と質量流量の違い

体積流量は単位あたりの体積変化を指標にした流量であり、質量流量は単位あたりの質量変化を指標にした流量です。一般的には体積流量を用いるケースが多いですが、蒸気などの場合は温度や圧力で体積が変化するため、質量流量で表すこともあります。体積流量と質量流量の概念については以下ようになります。

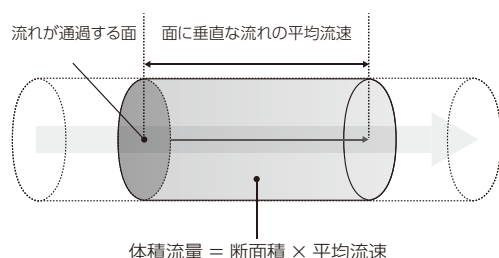


体積流量と質量流量の使い分けについて

液体の流量計測では、体積流量が一般的に用いられます。ただし、温度や圧力によって体積が変化する気体や蒸気などは、質量流量が用いられることもあります。計測する流体にあわせて流量計・流量センサを選定しましょう。

体積流量の概念と計算式

「体積流量」は、単位時間あたりにある面を通過する体積から流量を割り出す方法です。単に流量というと一般的に「体積流量」を指し、単位は「 m^3/s (立法メートル毎秒)」を用います。また日本の計量法では、「 m^3 (立法メートル)」を「 L (リットル)」に、「 s (秒)」を「 m (分)」 「 h (時)」に置き換えることも認められています。体積流量の算出式は、一般的な配管内の流れであれば以下となります。



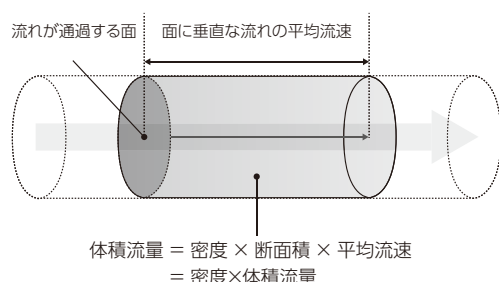
体積流量 Q [m^3/s] は、ある断面の面積 A [m^2]、平均流速 v [m/s] とした場合、断面積と平均流速の積によって求めることができます。

$$\text{体積流量 } Q \text{ } [\text{m}^3/\text{s}] = \text{断面積 } A \text{ } [\text{m}^2] \times \text{平均流速 } v \text{ } [\text{m/s}]$$

ただし、体積は圧力や温度によって変化するため、測定条件を明示する必要があります。一般的には標準状態を測定条件とします。

質量流量の概念と計算式

「質量流量」は、単位時間あたりにある面を通過する質量から流量を割り出す方法です。単位は [kg/s (キログラム毎秒)] で、 [kg (キログラム)] を [g (グラム)] [t (トン)]、 [s (秒)] を [m (分)] [h (時)] に置き換えることも計測法では認められています。体積流量の算出式は、一般的な配管内の流れであれば以下となります。



質量流量 [kg/s] は、流体の密度 ρ [kg/m^3]、流体が通過する面の面積 A [m^2]、平均流速 v [m/s] とした場合、以下のような計算式から求められます。

$$\text{質量流量 } [\text{kg/s}] = \text{密度 } \rho \text{ } [\text{kg/m}^3] \times \text{断面積 } A \text{ } [\text{m}^2] \times \text{平均流速 } v \text{ } [\text{m/s}]$$

また、体積流量 Q [m^3/s] を用いると、

$$\text{質量流量 } [\text{kg/s}] = \text{密度 } \rho \text{ } [\text{kg/m}^3] \times \text{体積流量 } Q \text{ } [\text{m}^3/\text{s}]$$

と書き換えることもできます。

ただし、体積流量から質量流量を導き出す場合は、圧力に応じて正しい比体積を使わなければ正確な質量流量は得られません。そのため温度計や圧力計、あるいは密度計も利用して換算する必要があります。従来の質量流量は体積流量から求めることが一般的でしたが、近年では質量流量を直接計測できる流量計も登場しています。

第1章 流量を知る

I プロセス管理と流量

「生産ライン=プロセス」と捉えた流量管理

流量計・流量センサは、製造工程のさまざまなシーンで活用されています。石油や天然ガスのように液体・気体を直接扱うコンビナートのパイプラインをはじめ、工場の冷却水や作動油、溶接や熱処理で使う各種ガスの監視、生活に近いところでは水道やガスの使用量メーターにも流量計が活用されています。このように幅広い場所で利用されている流量計ですが、こちらでは製造工程における流量管理についてご説明します。

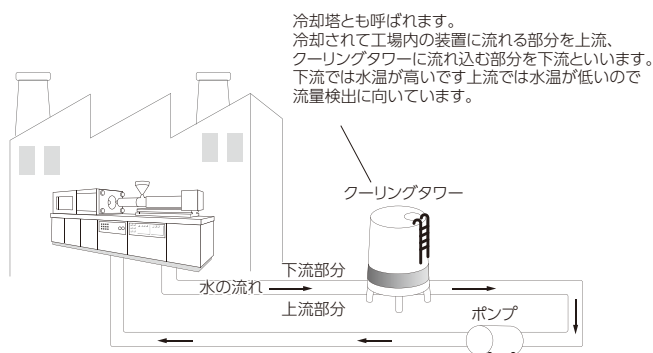
生産ライン=プロセスと捉えた場合、重要な物理量とは

「課程・工程・方法」などの意味を持つ「プロセス」という言葉ですが、こちらでは生産ラインを「プロセス」として定義して説明を進めます。生産ラインは、ご存知のとおり材料から製品を作り出す工程です。その中では、各種工作機器を正常に作動させるために冷却水や作動油が循環し、加工の精度や品質を高めるために切削油やシールドガス（不活性ガス）が利用され、環境汚染を防ぐために下水処理が行われます。このように最終工程までさまざまな流体がプロセスに組み込まれて連携しているのです。

近年の工場は、ファクトリー・オートメーション（FA）が進み、流体の監視・制御がプロセス全体に大きな影響を及ぼすことはご存知のとおり。流量計・流量センサから得た情報をPLCへ出力し、制御にフィードバックすることも一般的です。単純に流量異常を知らせるだけでなく、データの管理・解析の重要度が増し、圧力や温度に加え、近年では時間変化する流量の正確な計測が求められるようになっていきます。

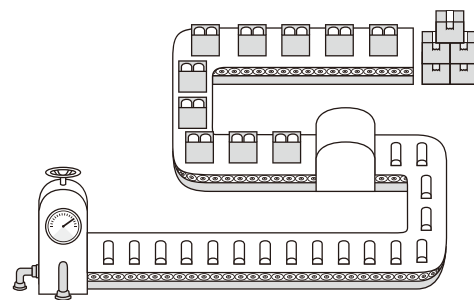
従来

単独のプロセスにおける流量管理が中心で、下限値と上限値の範囲を超えた場合に警報を出力する。



現在

複数のプロセスが連携した「連続プロセス」として流量管理し、警報出力と同時にPLCやデータベースなどに流量データを出力し、管理・制御を行なう。



一般的にプロセスでは物理的な状態量として「温度」「圧力」「流量」「レベル」の4つが重要な変数として取り扱われます。こちらではプロセス管理における「流量」を中心に解説します。

管内の流量を知るプロセス流量計

流量計には、広い空間を流れる空気や河川の水の流れを計測するものも含まれますが、こちらではプロセス物理量に限定し、工場で使用される流量計について説明します。工場内で使用される流体の多くは、円形断面配管の中に充満した状態で流れます（工場排水などは管路に液体が充満していないケースもあり）。このように管内を流れる流体の流量を計測する装置を「プロセス流量計」もしくは「工業用流量計」と呼びます。

そして、流量計の測定値の信頼性を表す指標として、「精度」と「不確かさ」という2つの言葉があります。語句の説明については後ほどしますが、国際基準では「不確かさ」という用語を使うように推奨しています。そのほかにもプロセスで扱う水が油などは粘性流体である場合がほとんどで、「粘度」「動粘度」「レイノルズ数」などを考慮する必要もあり、差圧式流量計やコリオリ流量計などでは一定の流量に対する圧力損失も意識しなければなりません。そのほかにも配管の接続方法や流量計の設置方法などの要素も検討する必要があり、プロセス流量計ではさまざまな要因を考えなければいけません。

第2章 流量管理の目的

I 品質管理

異常発生を検知はもちろん、流用管理による解析の重要度が高まっています

流量管理を行なう主な目的として、「品質管理」「装置保護」「省エネルギー化（コストダウン）・省メンテナンス」という3つが挙げられます。こちらでは、3つの目的のうち「品質管理」に絞り、流量計・流量センサの活用方法やプロセスにおける課題解決手段をご紹介します。

品質管理に重点をおいた流量管理へ

「プロセス管理と流量」でもご説明しましたが、製品が完成するまでのプロセスでは、さまざまな流体が利用されています。これらを監視し、適切に管理・解析することで製品品質を高めたり、安定させたりすることが流量管理の第一の目的です。

従来の流量管理は、適切な流量が確保されているか監視し、異常発生時に警報を出力する程度でしたが、ファクトリー・オートメーション（FA）進んだ近年のプロセスにおいては、より緻密な流量管理が求められるようになっていきます。トラブル回避を目的とした流量管理から、品質管理を目的とした流量管理に目的がシフトしていると言えるでしょう。

流量管理でこんなお悩みはありませんか？

流量計・流用センサを使って品質管理を行なう際に、このようなお悩みはありませんか？

- 警報出力だけでなく、解析用の出力データを取得したい
- 流量計で吐出量や噴霧量までコントロールしたい
- 瞬時流量と積算流量を1台の流量計で計測し、流量の「見える化」をしたい
- 周囲の温度や圧力の影響を受けない、質量流量を直接計測したい
- 流量と同時に流体温度も計測して、相関性も把握したい

品質管理の精度を高める改善提案

流量計・流量センサを活用した品質管理として、キーエンスでは以下のようなご提案をしています。こちらはあくまで一例ですので、もしご興味がありましたらお気軽にご相談ください。

「異常の警報出力」と「診断・解析用データの出力」を1台の流量計で行ないたい

キーエンスの流量計・流量センサ全シリーズはアナログ出力標準装備 警報出力に加え、診断・解析用データの出力も可能です



キーエンスの流量計・流量センサは、警報出力に加えてアナログ出力に対応。1台で2系統の出力が可能で、警報出力と診断・解析用データ出力をカバーします。フリーレンジアナログ機能を使えば、必要な範囲の下限値と上限値に応じて4～20 mA(機種によって0～20 mAに切替可)で出力できます。さらにNPN/ PNP切替えが可能な制御出力で、さまざまなデータをPLCやパソコンと通信できます。クランプオン式流量センサの「FD-Q」「FD-R」シリーズはIO-Link通信にも対応していますので、制御信号だけでなく、瞬時流量や使用量、配管表面温度などのデータも出力します。予知保全や常時監視に活用することができます。

吐出量や噴霧量の管理を行ないたい

分解能0.1 mL/minの微小流量測定に対応 精度が要求される吐出量や噴霧量の管理も可能です



コリオリ式流量センサ「FD-Sシリーズ」は、離型剤の塗布量管理や殺菌用アルコールの吐出量管理、フラックスの塗布量管理のような微小流量の測定に対応。高精度な吐出量・噴霧量の管理に最適です。分解能0.1 mL/minと微小流量の測定が可能で、油などの非伝導性流体にも対応。応答時間50 msと高速流量に対応し、コリオリ式なので直管部が不要といったメリットもあります。

第2章 流量管理の目的

気体の瞬時流量と積算流量を1台で確認したい

空気や窒素、アルゴンガスの瞬間流量と積算流量を
FD-V40シリーズなら1台で確認できます



キーエンスの「FD-V40」シリーズなら「今毎分何Lのガスを使用したのか?」「累計で何Lのガスを使用したのか?」という瞬時流量と積算流量を1台で確認できます。食品パックの窒素充填のほか、溶接時のアルゴンガス使用量などの確認に最適で、気体の使用量の見える化に効果的です。また、質量流量タイプのセンサであれば、温度や圧力の影響を受けずに正確な流量計測ができるので気体に最適です。

流量以外の物理量も計測したい

温度センサを追加できるモデルや
1台で流量・温度・密度の検出ができるモデルもあります



「FD-M」シリーズは、温度センサ「FD-T1」を追加することで流量と流体温度の同時計測が可能です。冷却水の場合、流量が確保できていても温度が上昇すれば、品質に影響が出る恐れがあります。しかし、流量+温度を同時監視すれば、異常を確実に検知できます。コリオリ式センサ「FD-S (F)」シリーズは、流量・温度・密度を1台で検出可能です。また、大口径対応のクランプオン式センサ「FD-R」シリーズは、流量と配管表面温度を同時に検出し、本体に直接記録できるので、記録用の機器を別途用意する必要がありません。

Ⅰ 装置保護

予知保全で異常を早期発見する装置保護の重要度が高まっています

こちらでは、3つの目的のうち「装置保護」に絞り、流量計・流量センサの活用方法やプロセスにおける課題解決手段をご紹介します。

異常発生はもちろん、予知保全で装置保護をする

工作機器は、パフォーマンスを発揮する適切な温度域があり、冷却水(クーラント)を循環させて温度管理する必要があります。もし、冷却異常が発生すれば品質低下や装置の故障を招き、メンテナンスや修理に時間とコストがかかるばかりか、生産がストップすることで大きな損害となる可能性もあります。そのようなトラブルを未然に防ぎ、装置を保護するために冷却水の管理は必要不可欠。異常が発生してからの対処はもちろん、流量低下を素早く察知し、予知保全することが重要であり、流量管理は欠かせないものとなっています。

流量管理でこんな悩みはありませんか？

流量計・流量センサを使って装置保護を行なう際に、このような悩みはありませんか？

- Ⅰ 冷却水の流量低下によるトラブルを早く予測し、予知保全を行ないたい
- Ⅰ フィルタやストレーナの目詰まり状態を監視し、流量低下を未然に防ぎたい
- Ⅰ 装置を保護するセンサだからこそ、壊れにくく、長期間安定した動作を保証してほしい
- Ⅰ タンク液面レベルセンサの誤動作を防ぎ、オーバーフローや供給ミスリスクを減らしたい

第2章 流量管理の目的

装置保護の安心感を高める改善提案

流量計・流量センサを用いた装置保護として、キーエンスでは以下のようなご提案をしています。こちらはあくまで一例ですので、もしご興味がありましたらお気軽にご相談ください。

異常を検出する前段階で予知保全を行ないたい

キーエンスの流量計・流量センサは2出力標準装備で 予知警報と本警報を1台で実現します

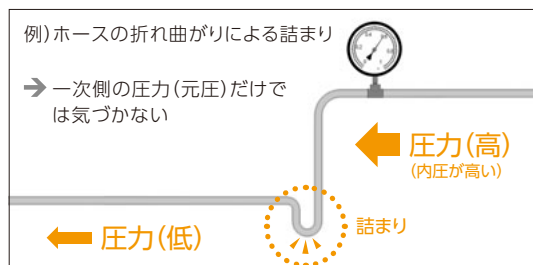


通常の流量計・流量センサは、1出力のみで異常発生時に警報を出すことが目的でした。しかし、キーエンスの流量計・流量センサは、全シリーズ2出力標準対応で、本警報の前に予知警報を出すことができます。異常が発生してからでは治具や装置が破損してしまう可能性もありますが、2出力対応ならあらかじめメンテナンスの必要なタイミングで予知警報を出すことができるので安心です。

圧力だけではわからない、配管の折れ曲りなどを検知したい

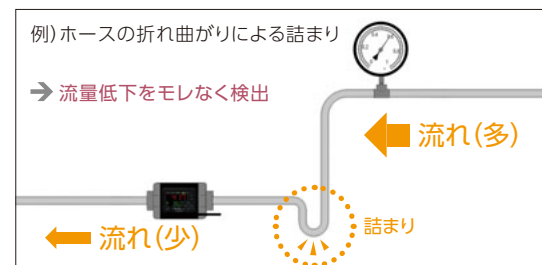
配管の詰まりや折れ曲りなども流量計・流量センサなら 確実に検知できます

圧力(元圧)



ゴムホースの折れ曲がりなどで、流量が低下していても、詰まりによるホース内の圧力上昇で、元圧管理では異常に気づかないことがあります。

圧力(元圧)+流量



流量を管理することでゴムホースなどの曲がりによる流量低下を検出できます。

圧力(元圧)管理だけでは、配管の折れ曲りや目詰まりを検知できないケースがありました。その理由は、折れ曲りや詰まりの場合、流量が低下しても圧力は変わらないこともあるためです。しかし、圧力センサと流量計・流量センサを併用すれば、詰まりや折れ曲りによる流量低下も確実に検出可能です。

Ⅰ 省エネルギー(コストダウン)・省メンテナンス

流量管理で省エネルギー(コストダウン)、省メンテナンスを実現します

こちらでは、3つの目的のうち「省エネルギー化(コストダウン)・省メンテナンス」に絞り、流量計・流量センサの活用方法やプロセスにおける課題解決手段をご紹介します。

製造現場では、溶接加工時のアルゴンガスをはじめ、酸化防止や熱処理に用いられる窒素ガス、そのほかにも作動油や冷却水などの資源を利用します。これら資源の使用量を正確に把握し、適正流用で運用できればコストを削減に効果的です。

また、従来の流量計は羽根車式など配管内部に可動部があり、メンテナンスの手間に加え、エア漏れや空気漏れのリスクがありました。しかし、キーエンスで取り扱っている電磁式・コリオリ式などの流量計・流量センサは内部に可動部がなく、クランプオン式であれば挟み込むだけなので設置の手間やメンテナンス性が飛躍的に向上。

また、可動部のない完全貫通式の流量計・流量センサは、圧力損失が少なくポンプなどに負担をかけないというメリットがあります。このような省エネルギー（コストダウン）・省メンテナンスという目的で流量計・流量センサの交換を検討されるケースも近年では増えています。

流量管理でこんなお悩みはありませんか？

流量計・流量センサを使って省エネルギー(コストダウン)・省メンテナンスを検討する際に、このようなお悩みはありませんか？

Ⅰ 液体や気体など、流体の「見える化」をしたい

Ⅰ メンテナンス性に優れた流量計・流量センサを導入したい

Ⅰ ポンプに負担をかけないエコな流量計・流量センサを探している

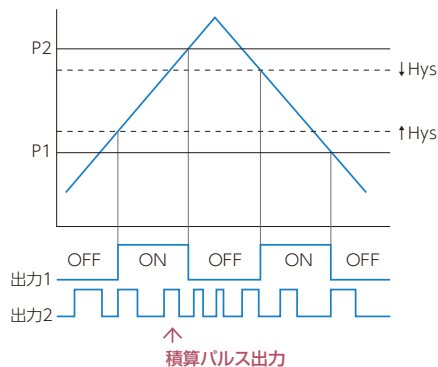
第2章 流量管理の目的

省エネルギー・省メンテナンスを実現するために改善提案

流量計・流量センサを用いた省エネルギー・省メンテナンスとして、キーエンスでは以下のようなご提案をしています。こちらはあくまで一例ですので、もしご興味がありましたらお気軽にご相談ください。

液体や気体の使用量を「見える化」し、コスト削減をしたい

キーエンスの流量計・流量センサは 瞬時流量と積算流量を同時に管理できます



キーエンスの流量計・流量センサ「FDシリーズ」は積算パルス出力を搭載しており、瞬時流量と積算流量を1台で出力できます。例えば、出力1では瞬時流量を検出して「流量異常」を検出して品質管理と装置保護を行います。そして出力2で「時間あたりの使用量」を検出し、実際にどれだけ使用量を削減できたのかを判断するデータを蓄積するといった使い方もでき、流量の「見える化」を実現します。

メンテナンス性の良い流量計・流量センサを導入したい

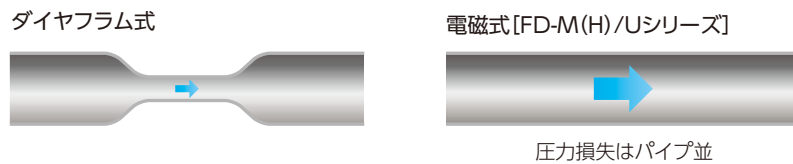
貫通式の「FD-M(H)」 「FD-U」シリーズなら 目詰まりなどによるトラブルを抑えられます



従来の流量計・流量センサは、「浮き子式」や「羽根車式」など配管内に可動部が存在し、サビやゴミなどが目詰まりしやすく、定期的なメンテナンスが必要不可欠でした。しかし、キーエンスが採用している電磁式流量計・流量センサ「FD-M (H)」 「FD-U」シリーズは、配管内に可動部がないため目詰まりの発生を最小限に抑えることができます。また、クランプオン式の「FD-R」「FD-Q」シリーズであれば、配管を切断せずに挟み込むだけで流量管理ができるので、配管からのエア漏れ・液漏れといったトラブルが起こる心配もありません。

ポンプの負荷を最小限に抑えたい

可動部がない電磁式流量計・流量センサは
圧力損失が少なく、ポンプに負担がかかりません



従来の「浮き子式」や「羽根車式」などの流量計・流量センサは、内部に可動部があり、流路を狭めてしまうというデメリットがありました。そのため、流量を確保するために必要以上にポンプの出力を上げる必要があり非効率的でした。しかし、電磁式流量計・流量センサは完全貫通式のため、センサのない配管と同等まで圧力損失を低減。ポンプの出力を上げることなく流量を確保できるので省エネルギーで、ポンプの負担を減らしてメンテナンスサイクルを伸ばすこともできます。

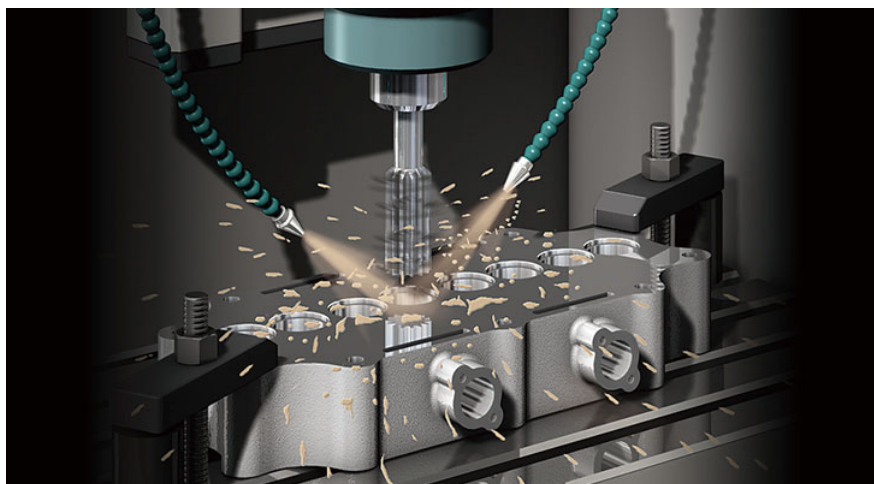
第2章 流量管理の目的

Ⅰ 流量管理の対象物

業界ごとで流量管理の対象になる気体・液体をご紹介します

流体管理といっても液体や気体、さらに水や油、アルゴンガスや窒素など、さまざまな流体に細分化することができます。業界や工程によっても扱う流体は異なり、求められる目的や精度も異なります。そこでこちらでは、流体管理の対象物を業界別にまとめてみました。

一般産業



自動車や金属、半導体、樹脂、鉄鋼などを一般産業としてまとめてご紹介します。これらの業界では、切削加工やプレス加工、成型、熱処理といったさまざまな加工を行いますが、その多くは工作機械によって行なわれます。そして、工作機械を動かすためには、油圧制御であれば作動油が必要ですし、冷却のために冷却水(クーラント)も欠かせません。溶接加工や熱処理では各種ガスも利用されます。

一般産業で対象になる主な流体

溶接加工	アルゴンガス／炭酸ガス など
金造加工	切削油／作動油／冷却水／廃油 など
半導体・電子部品	空気／窒素／冷却水／廃液 など
樹脂加工	空気／冷却水 など
鉄鋼	窒素／冷却水 など

食品・薬品業界



食品業界は、食品加工で使用する水や液糖、水あめ、醤油や酢のような調味料、そのほかにも酸化防止のためにパッケージ内に封入される窒素などの流量管理が必要です。一般産業に比べて粘度の高い水あめ、酸性の酢、そのほかアルコールなど多種多様な流体を扱うので、流量計・流量センサには耐腐食性が求められます。

食品業界で対象になる主な流体

液糖／水あめ／イオン交換水／アルコール／醤油／酢／純水／油／冷却水／窒素 など

化学業界



化学業界も食品業界と同様に多種多様な流体を利用し、有機溶剤や香料、着色料、各種スラリーなど多岐に渡ります。スラリーなど粘性が強い流動体も多く、目詰まりを起こしやすいので、配管内に可動部のない貫通式の流量計・流量センサが適している工程もあります。

化学業界で対象になる主な流体

有機溶剤／香料／着色料／各種スラリー／純水 など

製紙業界



パルプ・紙産業が、パルプ液や染料といった大量の液体を使う業界です。紙の材料となるパルプの洗浄や漂白、古紙であればインクを剥離するために薬品による脱墨、紙の加工では染料やのりなども使います。さらに各工程では大量の水も使用するので、流量管理によるコントロールはコスト削減にも効果的です。

製紙業界で対象になる主な流体

パルプ液／炭酸カルシウム液／染料／洗浄水 など

第3章 流量計の選定

Ⅰ 流量管理の課題

流量計・流量センサの選定で、最初に押さえておきたいポイント

流量管理を行う際に課題になるのが流量計・流量センサの選定です。流体と言っても液体や気体、液体でも水や油などさまざまですし、目的や設置場所によって選ぶ流量計・流量センサは異なります。そこで流量計・流量センサの選定で押さえておくべきポイントをまとめました。

流量計・流量センサの種類



流量計・流量センサには、電磁式やカルマン渦式、羽根車式、浮き子式など、さまざまな種類があります。その選定を誤ると流量管理の目的を達成できないばかりか、時間やコストが増加したり、エア漏れや液漏れのようなトラブルに発展したりする可能性があります。そこで流量計・流量センサを選定する際には、最初に「何を測るのか?」「何のために測るのか?」という2つを明確にしておくことが大切です。

測定対象を知る ～何を測るのか?～

最初に「何を測るのか?」という対象物の情報を整理しましょう。



Ⅰ 流体の種類・流体名

対象となる流体が「液体」「気体」「蒸気」「スラリー」のどれなのかを最初に明確にしておきましょう。また、液体であれば「冷却水」「純水」「切削油」「作動油」「アルコール」「液糖」など、流体名も明確にしておく必要があります。

Ⅰ 密度(比重)

液体・気体ともに流体密度をあらかじめ計算しておきましょう。流体名と温度、圧力から密度は計算可能です。比重は、ある物質の密度と4℃の水の密度との比なので、密度がわかれば算出できます。

密度の計算式 ρ [密度]=M [質量]÷V [単位体積]

Ⅰ 粘度

液体は、種類によって粘度が異なります。流体名と温度から粘度を推測することが可能です。気体・蒸気は粘度を調べる必要はありません。

Ⅰ 導電率

電磁式流量計・流量センサを利用する場合は、導電率を確認しておきましょう。そのほかの方式の流量計・流量センサを利用する場合は不要です。

Ⅰ 色・透明度

直視型の流量計・流量センサを利用する場合は、流体の色・透明度も確認しておきましょう。直視型以外の流量計・流量センサを利用する場合は不要です。

第3章 流量計の選定

■ 混入物

流体中に気泡が発生したり、異物が侵入したりする場合は、混入物の有無や形状、量などもあらかじめ推測しておきましょう。

■ 腐食性

酸性やアルカリ性の強い水、有機溶剤などの流体を扱う場合は、流量計・流量センサを侵食する可能性があるので腐食性の適合を確認しましょう。

■ 流量レンジ

流量計・流量センサによって対応している流量が異なるので、実際に使用するときの最大流量・常用流量・最小流量を推測しておきましょう。

■ 脈動の有無

使用するポンプによって脈動が発生し、正確に流量が検出できない場合もあります。特に往復動式ポンプは脈動が発生するので注意が必要です。

■ 流体温度

材質によっては高温に耐えられない、温度変化に耐えられないケースもあるので流体温度も重要です。高温または温度変化の激しい流体を扱う場合には注意が必要です。

■ 流体圧力

流量計・流量センサによって対応圧力も異なるので確認しておきましょう。気体・蒸気の場合は密度計算でも流体圧力を使用します。

■ 許容圧損

圧力損失が発生する流量計・流量センサの方式があるので、必要に応じて許容圧損も確認しておきましょう。

測定目的を明確にする ～何のために測るのか?～



次に測定した結果をどのように利用するのかという目的を明確にします。測定目的が決まれば測定精度も明確になり、必要な流量計・流量センサが絞られてくるはずです。例えば、流量の監視と警報であれば、それほど高い精度は必要ありません。しかし、塗布量や噴霧量のコントロールをするのであれば、精度の高い流量計・流量センサが必要になります。

また、質量流量は一般的に体積流量から換算して求めることが多いですが、高精度な質量流量が必要であれば、直接計測できる流量計・流量センサを選定する必要があります。このように目的を明確にすることで、求められる流量計・流量センサの測定方式やスペックがある程度見えてくるはずです。

以下には、一般的な流量計・流量センサの種類と適合流量、一般的な使用例、測定精度についてまとめています。

測定目的(精度)	形式	適応流量			特長	制約
		液体	気体	蒸気		
監視・警報・制御 (低～中)	差圧式	○	○	○	広い測定範囲に対応	狭い流速範囲に限定
	電磁式	○	×	×	耐食性&耐摩耗性あり	伝導性流体のみ
	面積式	○	○	○	構造がシンプルで ローコスト	垂直取り付けに限定
	超音波式	○	○	△	汎用性が高く、 圧力損失も少ない	気泡などの影響を受ける
	羽根車式	○	×	×	ローコスト	可動部があるので 軸受けの寿命もあり、 圧力損失も大きい
質量流量の特設測定 (中～高)	熱式	△	○	×	質量流量を直接計測できる	クリーンガス専用
	コリオリ式	○	△	×	質量流量を直接計測できる	高価格
体積流量の積算 (高)	容積式	○	○	×	高精度で、高粘度に対応	軸受けの寿命があり、 高価格
	渦式	○	○	○	可動部がなく、 圧力損失も少ない	解析が難しい
	タービン式	○	○	△	高精度	軸受けの寿命がある
流速の監視と警告 (低)	ピトー管式	○	○	○	構造がシンプルで ローコスト	流速分布の影響を 受けやすい

第3章 流量計の選定

I 流量計選定の流れ

流量計・流量センサを選定する手順について

流量計・流量センサの選定順序

流量計・流量センサは、以下の順序で選定しましょう。

1. 検出する流体の性質を確認する

検出する流体の種類や密度、粘度、導電率、混入物の有無、流量などの性質を確認しましょう。



2. 流量管理の目的を明確にし、検出方法を決める

監視と警報を行ないたいのか、塗布量や噴霧量のコントロールをしたいのか、積算流量から流量の「見える化」をしたいのか、目的を明確にしたうえで最適な検出方法を検討します。



3. 製品仕様書を確認し、製品を絞り込む

流体の性質と流量管理の目的を明確にし、最適な検出方法と必要なスペックが確認できたら、製品仕様書を見て要求スペックを満たしているか検討します。



4. コストを比較検討し、最終決定をする

最終的にコストを比較し、導入する製品を決定します。その際に初期費用だけではなく、メンテナンスや修理などの運用コストも加味しましょう。流量計・流量センサ単体の価格ではなく、関連機器の価格と設置費、保守運用費も含めてコストを比較することが大切です。

製品仕様書で確認すべき内容は？

流量計・流量センサを選定する際に、製品仕様書で確認すべき内容をまとめました。
以下のポイントを確認し、要求スペックを満たしているか検討しましょう。

■ 出力信号

出力信号には、電流や電圧、パルス、警報設定などの種類があります。パルス信号の場合は、その特性を理解したうえで使用する必要があるため注意が必要です。

■ 電源

電源の電圧・電流を確認しましょう。製品によっては起動時に平常時の数倍の電流が流れるものもあるので、同一電源から複数の流量計・流量センサに電力を供給する場合には注意が必要です。

■ 設置場所/設置方法

流量計・流量センサは、配管に割り込ませて使うものが一般的なので、割り込ませるスペースがあるのか、前後に直管部が必要なのか、どのように接続するのか、重量がある場合は架台が必要ではないかなど、設置場所を検討しましょう。ちなみにキーエンスのクランプオン式流量計「FD-Rシリーズ」とクランプオン式流量センサ「FD-Qシリーズ」は、配管を切断せずに挟み込むだけで流量管理ができるので、配管からのエア漏れや液漏れといったトラブルの心配ありません。

■ 耐環境性

設置場所/設置方法に関連する内容ですが、設置する場所の環境も考慮する必要があります。製品によっては屋外や高温になる場所、直射日光に弱い製品もあります。そこで設置場所/設置方法に加えて、製品の耐環境性にも注意しましょう。

■ 保守点検作業

実際に運用する際の保守点検作業も考慮し、メンテナンス性や耐久性、堅牢性なども確認しましょう。羽根車式などは可動部があり、軸受けが消耗するのでメンテナンスの手間がかかり、目詰まりなども起こしやすいので注意が必要です。電磁式などは可動部がないので、そのようなトラブルの可能性も最小限に抑えられます。

第3章 流量計の選定

■ 関連製品の有無

流量管理では、流量のほかに流体速度や流体圧力、流体温度などを同時に計測することがよくあります。また、流量の計測データをPLCやパソコンに送信する場合は、通信ユニットの有無なども確認しておきましょう。キーエンスでは、全シリーズで通信ユニットを用いて、瞬時流量や積算流量、制御出力状態などをPLCやパソコンに送信することが可能です。また、コリオリ式流量センサ「FD-S(F)シリーズ」は、1台で流量・温度・密度の計測に対応。そのほか電磁式流量センサ「FD-Mシリーズ」は温度センサを追加することもできます。

流量計・流量センサ 検出方式ごとの比較(代表例)

最後に代表的な流量計・流量センサの対応表をご覧ください。あくまで一般例ですが、より詳しく知りたい方は当社HP「流量センサ選定ナビ」も併せてご活用ください。

	電磁式	カルマン 渦式	羽根車式	浮き子式	熱式	ダイヤ フラム式	超音波式	コリオリ式
液体	○	○	○	○	×	○	○	○
気体	×	○×	△	○	○	○	○	△
蒸気	×	○	×	○×	△	○	△	×
高温対応	○	○	○	○	○	○	○	○
微少流量	○	×	○	×	○	△	×	○
中流量	○	○	△	○	○	○	△	○
大流量	○	○	△	○	○	○	○	△
粘度	○	×	×	△	—	×	○	△
スラリー	○	△	×	△	—	○	○	○
油・オイル	×	×	○	○	—	○	○	○
精度	○	○	△	△	○	×	○	○
メンテ ナンス性	○	○	×	×	×	×	○	○
圧力損失	○	△	×	△	×	×	○	×
気泡	△	△	△	△	—	×	×	○

■ 流量計の種類

電磁式流量計

電磁式流量計は、その名も示す通りファラデーの電磁誘導を利用して流量を検出します。

電磁式流量計の内部には、磁界を発生する電磁コイルと、起電力を捉える電極があります。

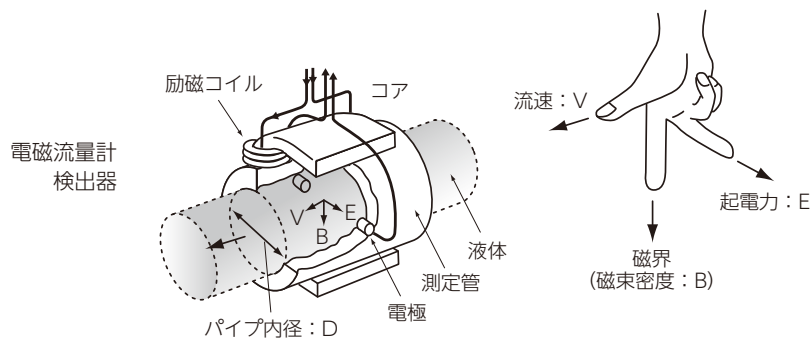
このため、電磁式流量計の通水管内部には何も無いように見えますが、流量を測定できるのです。

ファラデーの電磁誘導の法則では、導電性液体が磁場の中を移動すると、

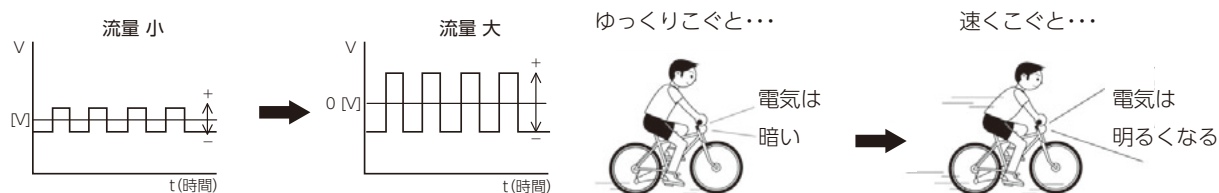
管内径×磁束密度×平均流速

に比例した起電力(電圧)が発生します。

つまり、磁束帯の中を動く液体の『流速』を電気に変換していることになります。



流量が変化すると、電極で捉える起電力(電圧)は以下の様に变化します。



水の移動エネルギーが大きく異なるため発生する電圧も大きくなります

長所

- 液体の温度・圧力・密度・粘度の影響を受けない。
- 混入物(個体・気泡)を含む液体の検出が可能。
- 圧力損失がない。
- 可動部が無い(メンテナンス性良)。

短所

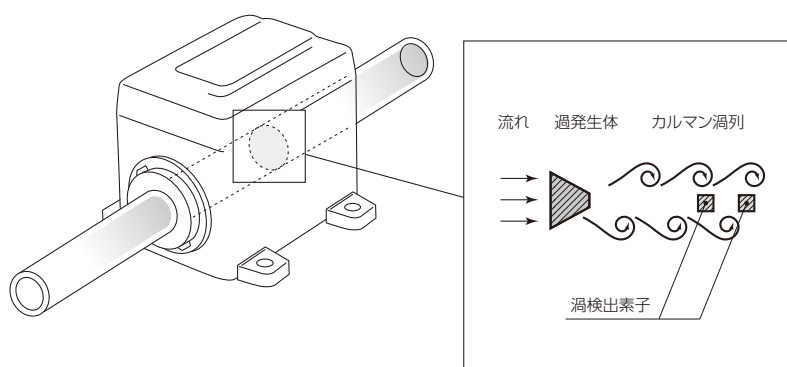
- 気体や導電率のない液体は検出できない。
- 直管部が必要。

第3章 流量計の選定

カルマン渦式流量計

渦流量計に大別され、1912年にカルマンによって理論的に証明された法則を利用しています。流れている流体の中に、柱状の障害物(渦発生体)があると、その下流側に交互の渦が発生します。流体の流速と渦の発生周波数は比例関係にあり、渦の個数を検出すれば流量が測定できることになります。検出は圧電素子で渦の振動をピックアップする方法が主流ですが、超音波で渦を検出する方法もあります。

カルマン渦式構造図



長所

- 機械的可動部がない。
- 液体・気体・蒸気のいずれも検出できる。
- 電極がないため耐薬品に優れた仕様のものがある。
- レンジアビリティが大きく精度がよい。

短所

- 流路を絞るので、圧力損失が発生する。
(絞らないタイプもあります)
- スケールの析出や固形物を含む液体は「詰まり」の原因になる。
- 高粘性液体には不適。
- 配管の振動に弱い。
- 直管部が必要。

羽根車式流量計

構造上、下記2つのタイプに分類できます。

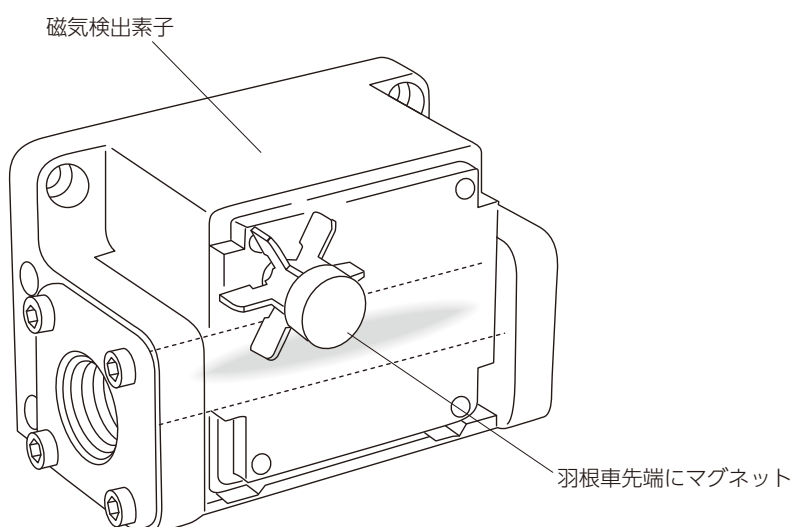
- (1) 水車構造の「接線流羽根車式流量計」
- (2) 風車構造の「軸流羽根車式流量計」

常に流量と羽根車の回転は、比例しています。よって、羽根車を流体の流れる力で回転させて、回転数により流量を測定することが可能になっています。回転数のカウントは、羽根の先や回転軸にマグネットを埋め込むことにより、パルスを信号として取り出すことができ、流量に換算されます。

流量計算方法

1パルスあたりの流量 × パルス数 ÷ 時間 = 瞬時流量

羽根車式構造図



長所

- 再現性(繰り返し精度)・応答性に優れている。
- 構造が簡単で安価。
- 小型で大容量の測定が可能。

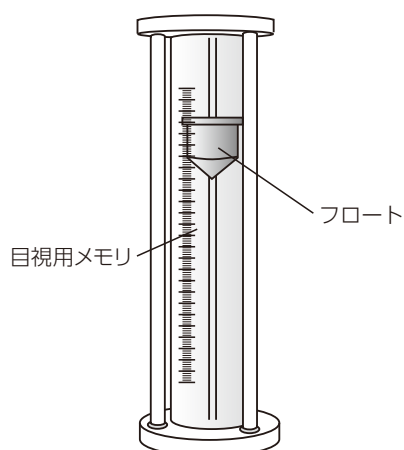
短所

- 異物に弱い。(詰まりの原因になる)
- 羽根車が高速回転するので、軸やせなどの原因で定期的なメンテナンスを要する。

第3章 流量計の選定

浮き子式流量計

面積流量計に大別されます。テーパ管(上方に行くにしたがって徐々に広がっていく管)の中にフロートを浮かせる方法が主流です。流体はテーパ管とフロートの間をすり抜ける時、差圧を発生させます。このとき、フロートは、『差圧による上向きの力』と『フロート重量の下向きの力』のつり合ったところで停止し、瞬時流量を示すことになります。一般的によく目にする「浮き子式流量計」は、テーパ管を透明の材質で製作し、これに流量目盛りをつけ、直読させるものです。またフロート内にマグネットが内蔵されており、磁気センサで検出するタイプもあります。



長所

- 気体・液体・蒸気の検出が可能
- 価格は一般的に安価
- 圧力損失は比較的小さい

短所

- 精度があまり高くない
- 固形物を含んだ流体には適さない
- 直読するタイプはテーパ管が汚れるとフロートが見えない

熱式流量計

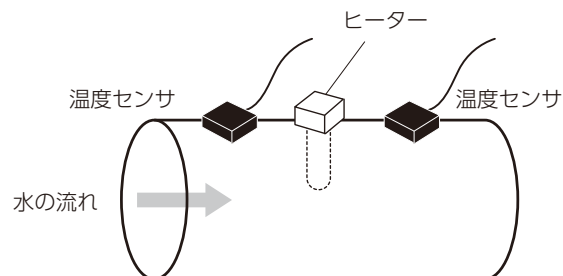
流体が熱物体に接触すると、流体は物体から熱を奪って温度が上昇します。熱式流量計は、これを利用して流量を測定しています。熱式流量計は2つの方式に分けられます。

温度差測定法

流体の中にヒーターを設置し、その上流と下流の2点で流体温度を測定し、2点間の温度差で流量を割り出します。主には小流量向です。

消費電力測定法

流体の中にヒーターを設置し、その上流と下流の2点で流体温度を測定、2点間の温度差が常に一定になる様にヒーターを制御します。



長所

- 気体の検出が可能
- 圧力損失が基本的にはない
- 質量流量が測定できる

短所

- 流体の温度が変化すると、誤差が出る
- 流体の種類・組成にあわせた仕様設定が面倒

第3章 流量計の選定

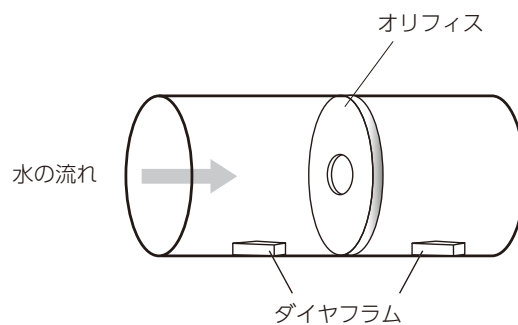
ダイヤフラム式流量計

差圧式流量計に大別されます。差圧式流量計は、現在の流量計生産額のトップシェアを占めているタイプです。原理としては、ベルヌーイの定理から流体の流れている流路にオリフィス（絞り弁）を設置し、圧力損失を故意に発生させ、オリフィス（絞り弁）の前後の圧力差（差圧）を検出して流量を検出します。オリフィス（絞り弁）によって発生する圧力損失と流量・流速の関係は以下の通りです。

流量小 ⇒ 流速小 ⇒ オリフィス（絞り弁）の前後の圧力損失小

流量大 ⇒ 流速大 ⇒ オリフィス（絞り弁）の前後の圧力損失大

圧力損失による上流側と下流側の圧力差は、ダイヤフラムを利用して検出します。



長所

- 気体・液体・蒸気の検出が可能
- 価格は一般的に安価
- 可動部がない

短所

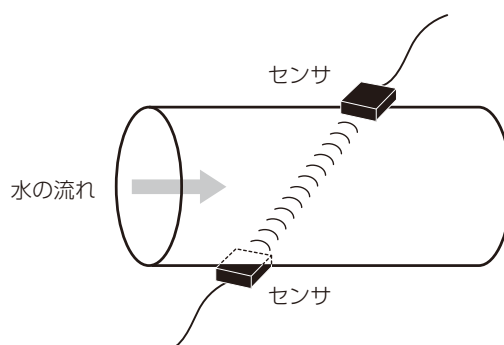
- オリフィスがあるため、圧力損失が大きく発生する
- 固形物を含む液体には適さない
- 不均一な流速分布に弱いので長い直管部分が必要

超音波式流量計

現在製品化されている超音波流量計は、『伝播時間差式』が中心です。

伝播時間差式

管内の流体を斜めに横切って交互に超音波を送受信します。2つの超音波の伝播時間の差が、流量に換算されます。水中を進む超音波は、流れに逆らうと遅く伝わり、逆に流れに乗ると速く伝わります。



長所

- 圧力損失がない
- 配管の外側から検出できるタイプがある

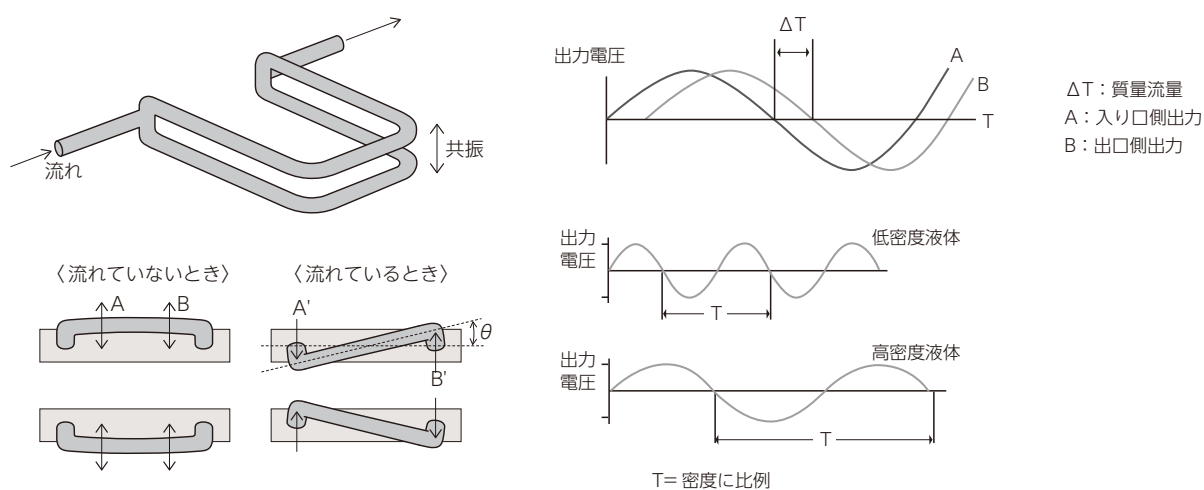
短所

- 直管部が必要
- 液中の固形分が多いと誤動作の原因になる
- 気泡が多いと測定不可能になる

第3章 流量計の選定

コリオリ式流量計

コリオリ式流量計は流量計内部にて、物理現象であるコリオリの力を利用した流量計です。下図のように振動するU字パイプの中を流体が流れると、入り口側A と出口側B 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量を測れば質量流量がわかります。



長所

- 高精度
- 質量流量が測定できる
- 直管部が不要
- 高速応答
- 高粘度液体の検出が可能
- 密度測定ができる

短所

- 他の検出原理と比べると高価
- 圧損が大きい
- 振動の影響を受けやすい

コリオリの力とは？

北半球において赤道上から真北に撃った砲弾は、標的よりもわずかに東(右)にずれます。これは地球が西から東に自転しており、赤道上で静止時にかかっている物体の移動スピードが速いので標的地点で慣性の力がはたらくためです。

同様にU字型のチューブの中間点で振幅を大きく振動させると、その内部に流体を流した際に、その質量と速度(質量流量)に比例したコリオリの力が働きます。

この力はパイプの入り口側と出口側では逆方向にはたらき、パイプがねじれたような状態となります。パイプの入り口側と出口側の出力電圧信号を比較、演算し、ねじれ量を測ることで質量流量がわかります。

第3章 流量計の選定

■ 精度保証検出範囲

「精度保証検出範囲」は実用流量から検討しましょう

流量計・流量センサの選定では、「何を測るのか?」という測定対象と、「何のために測るのか?」という測定目的を明確にしたうえで、製品仕様書から必要なスペックを検討します。その際に重要な項目「精度保証検出範囲」についてご説明します。

流量計・流量センサの計測範囲について

流量計・流量センサは、計測できる流量範囲が製品ごとに細かく設定されています。

例えば、キーエンスの電極非接触型 電磁式流量センサ「FD-Mシリーズ」であれば以下のように分けられています。

あくまで一例ですが、製品ごとに精度保証検出範囲(定格流量範囲)が異なるので、測定対象の流量によって流量計・流量センサを選定する必要があることを覚えておきましょう。

FD-Mシリーズの定格流量範囲・表示可能範囲・設定可能範囲・ゼロカット流量

型式	定格流量範囲	表示可能範囲	設定可能範囲	ゼロカット流量
FD-M5ATP	0.25～5 L/min	0.15～10 L/min	0～10 L/min	0.15 L/min
FD-M5AYP				
FD-M10ATP	0.5～10 L/min	0.5～30 L/min	0～30 L/min	0.5 L/min
FD-M10AYP				
FD-M50ATP	2.5～50 L/min	2.5～100 L/min	0～100 L/min	2.5 L/min
FD-M50AYP				
FD-M100ATP	5～100 L/min	5～200 L/min	0～200 L/min	5 L/min
FD-M100AYP				

精度保証検出範囲について

製品仕様書では、性能が保証できる「精度保証検出範囲」を「定格流量範囲」のように記載しています。

定格流量範囲は、「精度」や「不確かさ」などの性能が保証される流量で、一般的な使用を想定した流量範囲です。一方で製品によっては「表示可能流量範囲」「設定可能範囲」が併記されている場合もあります。基本的に定格流量範囲と同様に使用できますが、流量によっては精度・不確かさを保証できないケースもありますので、定格流量範囲を基準に流量計・流量センサを選定しましょう。

そのほか、流量範囲に関する語句として「ゼロカット流量」というものもあります。ゼロカット流量は、それ以下の流量を0 L/minと表示します。このゼロカット流用は任意で変更できる製品もあります。微少流量を計測する必要がある、流量変化が大きいなどの場合は、ゼロカット流量も必ず確認しましょう。

フルスケール(F.S)精度とリードスケール(RD)精度

一般的に流量精度は、「フルスケール(F.S.)精度」と「リードスケール(RDまたはRdg)精度」のいずれかが使用されます。

フルスケール(F.S.)精度は、測定最大値を決め、その最大値に対して何%の誤差が発生するのかを「 $\pm 1\%$ F.S.」「 $\pm 2\%$ F.S.」と表記します。例えば、100 m³/hまで測定可能な流量計で精度が「 $\pm 1\%$ F.S.」ならば、以下のように計算され、流量が小さくなるほど相対的に誤差が大きくなります。

実際の瞬間流量が100 m³/h（フルスケールの100%）

$100 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.01 = 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ （誤差率1%）

$50 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.01 = 1.0 \text{ m}^3/\text{h}$ （誤差率2%）

一方、リードスケール(RDまたはRdg)精度は、どの流量域でも指示(表示)値に対して何%の誤差率という精度(不確かさ)で、「 $\pm 1\%$ RD」「 $\pm 1\%$ Rdg」のように表記されます。精度が保証されている流量範囲であれば常に同じ誤差率なので、微少流量や流量変化の大きい計測でも安定検出が可能です。

実用流量を踏まえてカタログを比較しましょう

流量計・流量センサを選定する際には、実際に利用する流量を明確にしたうえで、精度保証検出範囲および必要な精度(不確かさ)を考慮して製品仕様書から必要なスペックを判断しましょう。

液体の粘度の目安

流量計選びの参考情報「物質ごとの粘度一覧」

流量管理で扱う液体は、一般的に粘性流体であり、流量計・流量センサによって対応粘度が異なります。また、オイルなど温度によって粘度変化が大きい場合、塗料のように高粘度な流体の計測は注意が必要です。こちらでは、一般的な液体の粘度の目安についてまとめています。

流体の粘度は温度によって変化します

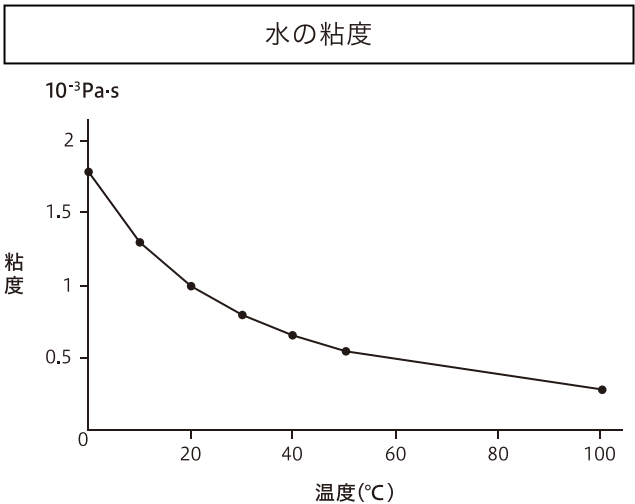
流量計・流量センサの選定では測定対象の情報を整理し、最適な測定方法を選択することが大切です。その項目の一つとして体の粘度が挙げられます。

粘度は、物質ごとに決まっており、温度によって変化するので流体名と温度から推測することができます。SI単位では「Pa・s（パスカル秒）」で、以前はCGS単位「P（ポアズ）」「cP（センチポアズ）」が使われていました。

液体の場合は、温度が低いと「ドロドロの状態」、温度が高いと「サラサラの状態」に粘度が変化します。参考として水の温度変化と粘度の変化をご覧ください。

水の温度と粘度変化の関係

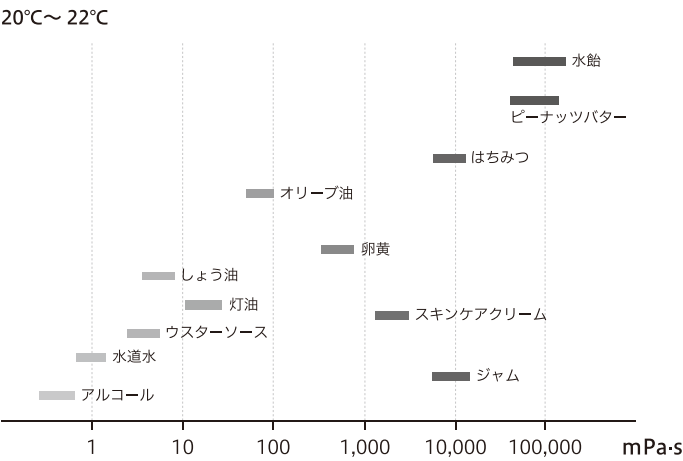
0℃	25℃	50℃	75℃	100℃
1.792 mPa・s	0.890 mPa・s	0.548 mPa・s	0.378 mPa・s	0.282 mPa・s



液体の粘度と目安

生活の中で一般的に使われている液体の粘度は以下ようになります。単位は「mPa・s（ミリパスカル秒）=0.001Pa・s（パスカル秒）=1cP（センチポアズ）」で、20℃での数値になります。

一般的な液体の粘度の目安



実際に製造現場で利用される各種物質の粘度をまとめてきました。単位は「mPa・s（ミリパスカル秒）」で、20℃の粘度になります。

流体名と粘度一覧

流体名	粘度
二酸化炭素	0.074
アンモニア	0.115
エーテル	0.24
塩化エチル	0.27
アセトン(100%)	0.322
二酸化硫黄	0.34
二硫化炭素	0.366
酢酸メチル	0.381
酢酸エチル	0.449
酸化ビニル	0.45
オクタン	0.56
トルエン	0.586
メチルアルコール(100%)	0.62
クロロホルム	0.63
四塩化炭素	0.97
クロルベンゼン	1.01

流体名	粘度
水	1.01
エチルアルコール(100%)	1.20
酢酸(100%)	1.22
水銀	1.554
ニトロベンゼン	2.01
塩酸(31.5%)	2.40
灯油	2.42
ブチルアルコール	2.95
イソブチルアルコール(100%)	4.20
アニリン	4.40
アミルアルコール	4.50
石炭酸	11.60
エチルグリコール	23.5
硫酸(111%)	59.00
水酸化ナトリウム	110.00
グリセリン(100%)	1499

第4章 失敗しない流量管理

Ⅰ トラブルとその対策技術

流量管理でトラブルを引き起こす要因とその対策について

流量管理で発生しやすいトラブルの要因をまとめました。流用管理では、常に監視し、正確な計測を行う必要があります。もし流量計・流量センサに異常が発生すれば、それが原因で製品品質や生産効率の低下、工作機器の破損を招く可能性もあります。メンテナンスや修理に時間がかかれば、費用はもちろん大きな機会損失にもつながるでしょう。そのような重大なトラブルを引き起こさないように原因を理解し、しっかりと対策して流量管理することが大切です。

トラブル要因 1 結晶化した「スケール」

地下水や水道水に含まれる金属イオンが結晶化し、配管内壁に付着したものを「スケール」と呼びます。主成分はカルシウムやマグネシウム、ナトリウムなどで、何層にも重なって付着すると配管の流路を狭め、流量低下を引き起こす原因になります。そのほか流量計内部に付着したり、配管内壁から剥離した“かけら”が可動部に詰まったり、伝導率を変化させて誤作動を招いたりする恐れもあります。

対処方法

浮き子式や羽根車式のように流体と直接接触する流量計・流量センサは、スケールを除去するために定期的なメンテナンスが必要です。電磁式は基本的にトラブルが発生しにくい傾向にありますが、流路内部にスケールが厚く付着すると電圧を感じできなくなるので、定期的なメンテナンスと校正が望ましいでしょう。

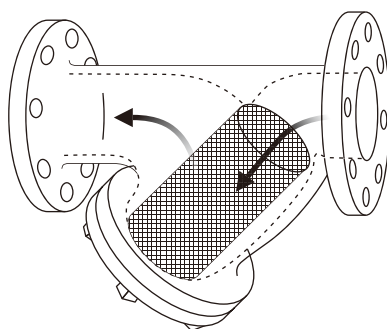
トラブル要因 2 流体内の異物「スラッジ」

浮遊物や沈殿物など、流体内にある異物を「スラッジ」と呼びます。広義では、水に混じった泥や土砂など、製造ラインであれば研磨・切削などで出た小さな「キリコ（切り粉）」などもスラッジに当たります。スラッジは、常に流体と共に流路内を循環し、流量計・流量センサのつまり、ノイズ成分としての外乱要因になります。通常は流体内の異物（スラッジ）を取り除く「ストレーナ」や「マグネットセパレータ」を用いて除去しますが、完全に除去することが難しく、定期的な点検や清掃が必要です。また、スケール同様に流路や流量計の詰まりや破損、流路を狭める要因にもなります。

対処方法

定期的にストレーナやマグネットセパレータに付着したスラッジを除去したり、ストレーナやマグネットセパレータ自体を交換したりすることでスラッジによるトラブルを防げます。電磁式など貫通構造の流量計であれば詰まる可能性は低いですが、電極にスラッジが衝突するとノイズ成分が発生して誤作動する恐れもあります。その場合は応答時間を遅くしたり、検出サンプリングの回数を増やしたりすることでノイズ成分を無視できます。

●ストレーナ



トラブル要因 3 鉄配管に発生した「サビ」

鉄配管の場合は、酸化によって流路内壁に「サビ」が発生することもあります。サビが発生すると、スケールと同様に流路を狭めて流量低下を招いたり、サビが剥離して流量計内部に詰まったり、流量計の透明部に付着して数値を確認できなくなったりします。

対処方法

基本的にはスラッジと同様で、ストレーナやマグネットセパレータの装着と、定期的なメンテナンスや交換でトラブルを防げます。電磁式の場合も同様で、応答速度や検出サンプリング回数の設定変更によりノイズ成分を無視できます。

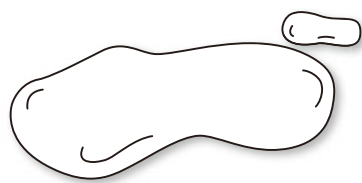
第4章 失敗しない流量管理

トラブル要因 4 粘着性で泥のような「スライム」

水中の藻類や微生物などによる生成物を「スライム」と呼びます。スライムは粘着質で、泥のような形状をしているため、配管や流量計の詰まりを引き起こす可能性があります。

対処方法

流路内で詰まりやすいので、内部に可動部のある流量計・流量センサであれば定期的な清掃とメンテナンスが必要です。電磁式などの貫通構造であれば、詰まる可能性が低いのでメンテナンスの頻度を最小限に抑えることができます。



トラブル要因 5 微粒子を含んだ「スラリー」

石灰と粘土を混ぜた石灰水、研磨剤を含んだ液体など、固形粒子を均一に含んだ液体を「スラリー」と呼びます。「泥漿（でいしょう）」とも呼ばれ、ドロドロと粘度が強い流動体であることが多く、個体粒子による流量計内部の磨耗、凝固による詰まりの原因になります。

対処方法

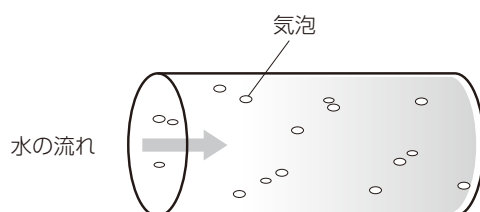
基本的にはスライムと同様です。定期的なメンテナンスを実施するか、流路を確保しやすい貫通構造の流量計・流量センサの採用が望ましいです。

トラブル要因 6 流体中に発生した「気泡」

液体と一緒に取り込んでしまったり、液体中に溶け込んでいた空気や不純物が温度変化で気化したりすると発生するのが「気泡」です。渦式流量計ではカルマン渦の発生を、超音波式流量計では超音波の伝搬を阻害し、誤作動を引き起こす原因になります。

対処方法

体積流量計の場合は気泡の影響を受けるので、精度が必要な場合は質量流量計への変更もご検討ください。コリオリ式であれば、気泡の影響を受けずに流量計測することができます。



トラブル要因 7 不均一な「流速分布」

十分な直感部を確保した円形配管であれば、流速分布は均一になりますが、実際の配管には曲げや分岐、口径の変化が多く、その影響を受けて流速分布が不均一になります。流速分布の中心が配管中心からずれる「偏流」、流体が流れに平行な軸を中心に回転しながら流れる「旋回流」などが発生すると測定誤差が大きくなる場合があります。

対処方法

流速分布を均一にするには、流量計・流量センサの上流部に十分な直管部を設けることです。直管部の長さは、流路口径の5倍以上、偏流・旋回流などが激しい場合は20倍を目安にしましょう。それでも影響が大きい場合は、バルブや絞りなどを設置します。



第4章 失敗しない流量管理

トラブル要因 8 流量・流速が変化する「脈動」

流体を送るポンプの性能によっては、脈を打つように周期的に流量・流速が変化する「脈動」が発生します。脈動が大きく、瞬間的に定格流量を超えてしまう場合は、実際の流量よりも小さく数値が表示されることもあります。

対処方法

脈動は、一般的に容積式往復ポンプで発生します。また、回転容積式のポンプであっても1分間に10回転程度の低速回転では脈動が発生するケースもあります。対策方法としては、脈動が発生しない「多連型往復運動ポンプ」「非容積式の渦巻きポンプ」などへの変更、ポンプの吐き出し側に脈動を緩和する「エアチャンバ」「アキュムレータ」などを装着するなどの方法が挙げられます。また、脈動は周期的な変化なので、流量計の応答時間を長くすることで安定化を図ることもできます。

トラブル要因 9 配管に発生する「振動」

流体を流したり、バルブを開閉したり、接続されたポンプや工作機器の振動が伝わると配管に振動が発生します。この振動によって計測誤差が発生することもあります。

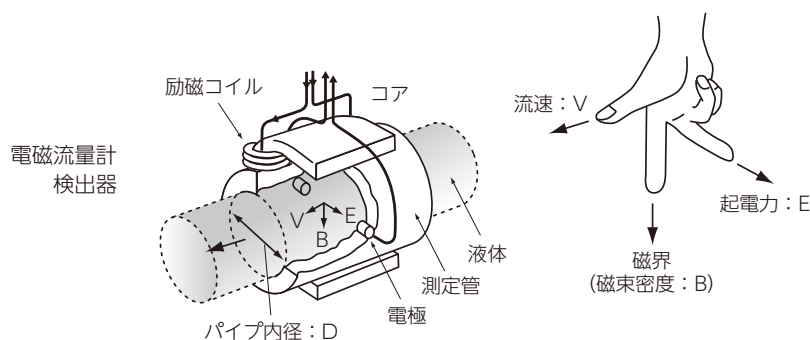
対処方法

コリオリ式やカルマン渦式は、振動の影響を受けて流量を正しく測定できない場合があります。電磁式や超音波式は、基本的に振動の影響を受けずに計測できます。そこで振動の影響を受けやすい場所では、電磁式や超音波式の流量計・流量センサの採用が望ましいでしょう。

流量計別 発生しやすいトラブルと対策例

「流量計の選定」で各種流量計・流量センサの特徴や構造、流量管理における課題や選定方法をご紹介しましたが、こちらでは流量計別のトラブルとその対策方法についてまとめました。

電磁式流量計で起こりやすいトラブルと対策方法



電磁誘導を利用して流量を計測する「電磁式流量計」で発生しやすいトラブルとその対策方法は以下となります。

■ 電極付着やライニング付着

電磁式流量計で起こりやすいトラブルとして挙げられるのが、電極付着やライニング付着による誤動作です。電極付着によるトラブルは方形波励磁の開発によってほぼ解消されましたが、一般的な液設置型電極では管内全体にわたるライニング付着によって測定不能となるケースがあります。このような場合は、測定管の外側に電極のある容量検出型が有効ですが、管内の付着物が激しい場合は定期的な洗浄が必要です。

■ 流体ノイズ

以前の電磁式流量計は、磁性体を含む流体の測定で誤差が出ることもありましたが、2周波励磁方式の開発によって流量ノイズの問題もほぼ解消されています。また、タングステンカーバイトなど耐ノイズ性に優れた電極材質の活用も、スラリーなどの流量管理では有効な手段です。

第4章 失敗しない流量管理

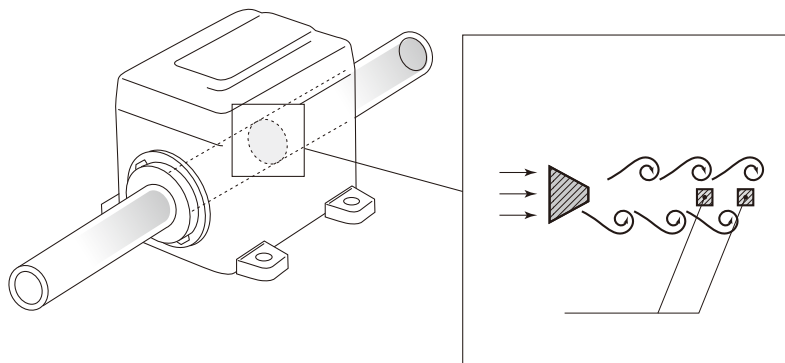
■ 気泡混入

スラリーに比べて誤差は少ないですが、気泡混入によって指示変化が発生する場合があります。気泡混入による誤差は、検出方法に関わらず発生するので、配管上流部にセパレータ（気液分離器）を設置し、物理的に気泡を除去することで解消できます。

■ 伝導率不均一

電磁式流量計は、管内の流体の伝導率が一定であることを前提にしています。そのため薬液などがしっかりと混合されていないと、伝導率分布にばらつきが発生して誤差が生じます。薬剤の混合をしっかりと行うことで解消できますが、製造ラインによっては難しいケースもあります。そのような場合は、流体ノイズと同様で2周波励磁にすることで問題を解消できます。

カルマン渦式流量計で起こりやすいトラブルと対策方法



渦流量計に分類される「カルマン渦式流量計」で発生しやすいトラブルとその対策方法は以下となります。

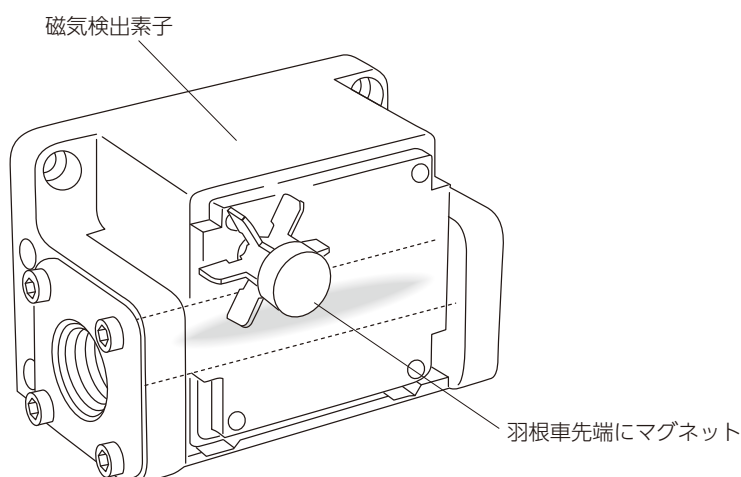
■ 振動や音響ノイズ

カルマン渦式流量計は、渦周波数をカウントする振動センサのため、外部振動に弱い特性があります。さまざまな技術開発が進んでいますが振動ノイズの除去には限界があり、振動ノイズに強い超音波を使ったセンサも開発されていますが気泡に弱く、カルマン渦式流量計で振動と気泡の両方に対応することは困難です。流体が流れるときに発生する振動、接続されているポンプなどの振動をゼロにすることも難しいため、高精度な検出が必要であれば電磁式やコリオリ式などを選定しましょう。

■ 気体・蒸気の下限流速

カルマン渦流量計は、通常は前後配管と同じ口径のものを選択しますが、気体・蒸気計測時に下限流量を下回ることもあり、その場合は口径を絞るためにレジューサタイプを利用します。しかし、レジューサタイプを使用すると圧力損失が生じ、部品点数が増えることでコスト上昇にもつながります。この場合はコストバランスを考え、別方式の流量計を選定する方が良いケースもあります。

羽根車式流量計で起こりやすいトラブルと対策方法



水車のような羽根車を回転させる「羽根車式流量計（タービン流量計）」で発生しやすいトラブルとその対策方法は以下となります。

■ 可動部の詰まりや破損

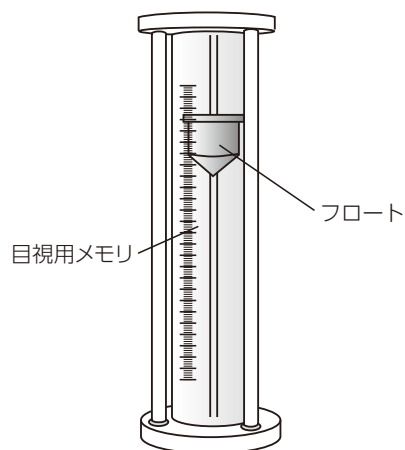
羽根車式流量計は、構造上「スケール」「スラッジ」などが詰まりやすく、可動部があるので磨耗や破損のリスクがあります。このようなトラブルを防ぐには、定期的な清掃やメンテナンスが必要不可欠です。

■ 圧力損失

管内に可動部があるので、小流量の場合は圧力損失が発生します。圧力損失は計算から求めることもできますが、ポンプに負担をかける心配もあります。電磁式のような貫通構造の流量計を用いることで圧力損失をなくすることができます。

第4章 失敗しない流量管理

浮き子式流量計で起こりやすいトラブルと対策方法



テーパ管の中にフロートを浮かせた「浮き子式流量計」で発生しやすいトラブルとその対策方法は以下となります。

■ 固形物を含んだ流体

浮き子式流量計は、スラリーなど固形物を含んだ流体、高粘度流体には適しません。スラリーや高粘度に対応した製品もありますが、20 mPa・s程度の粘度が限度でしょう。それ以上の粘度の場合は、電磁式や超音波式などの流量計を選択することになります。同様に付着性流体にも弱い傾向にあり、耐付着性能にも限界があります。

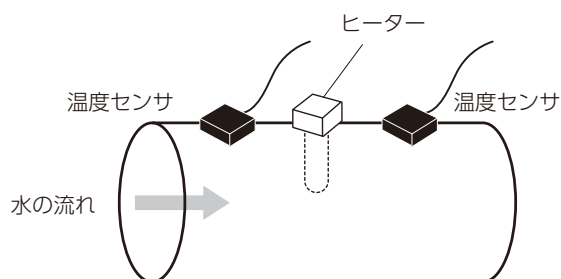
■ 熱衝撃

テーパ管や外筒直管がガラス製の場合、通常は熱衝撃の許容温度差が定められています。熱衝撃に懸念がある場合は、関節指示で外筒が金属製のものを選択することで対策できます。

■ 脈動や振動

脈動が発生するとフロートが振動してしまい誤差が生じます。対処法としては、エアチャンバやアキュムレータを設けて脈動を抑えることが有効です。

熱式流量計で起こりやすいトラブルと対策方法



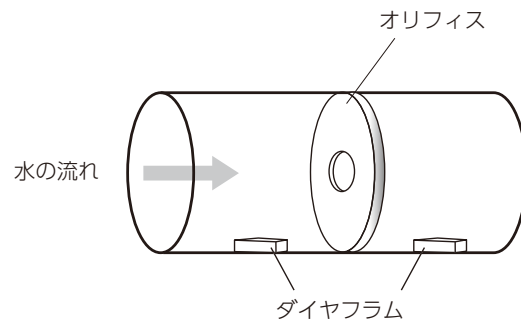
温度変化を検出して流量を計測する「熱式流量計」で発生しやすいトラブルとその対策方法は以下となります。

■ 測定対象と汚れ

熱流量計は、気体と一部の微小液体に測定対象が限られます。一般的に使用される気体でよくあるトラブルとして汚れに弱いことが挙げられます。熱式流量計は、クリーンな気体での使用を前提としており、汚れに弱いという特徴があります。したがって湿ったガスやオイルミストが含まれる気体には使用できません。細かいチリやホコリにも敏感なため、フィルタを使用してもすぐに目詰まりを起こしてしまいます。そのため、少しでもホコリやチリなどが発生するプロセスでは、ほかの流量計を使用するしか対策はありません。

第4章 失敗しない流量管理

ダイヤフラム式流量計で起こりやすいトラブルと対策方法



オリフィス前後の圧力差(差圧)から流量を検出する「ダイヤフラム式流量計(差圧式流量計)」で発生しやすいトラブルとその対策方法は以下となります。

■ 圧力管の詰まり

ダイヤフラム式(差圧式)流量計は、オリフィスがあるため詰まりやすい傾向にあり、固形物を含む液体に適応せず、使用するのであれば詰まりが発生しないように定期的なメンテナンスが必要不可欠です。また、オリフィスによって絞りがあるため、圧力損失も大きくなります。

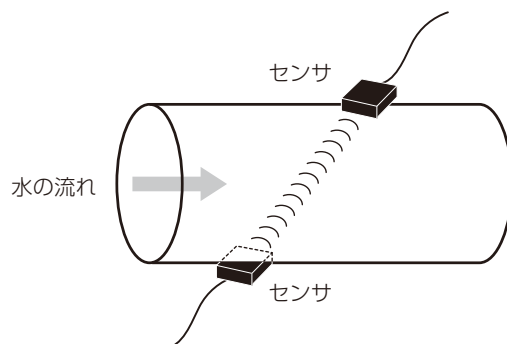
■ 直管長不足

ダイヤフラム式(差圧式)流量計は、上・下流共に一定以上の直管長を必要とします。どうしても規定の直管長が取れない場合は、上流部に整流器を挿入することで対策できます。

■ 脈動

原則として脈動には適合しません。対処法としては、エアチャンバやアキュムレータを設けて脈動を抑えることが有効です。詳しくは以下をご覧ください。

超音波式流量計で起こりやすいトラブルと対策方法



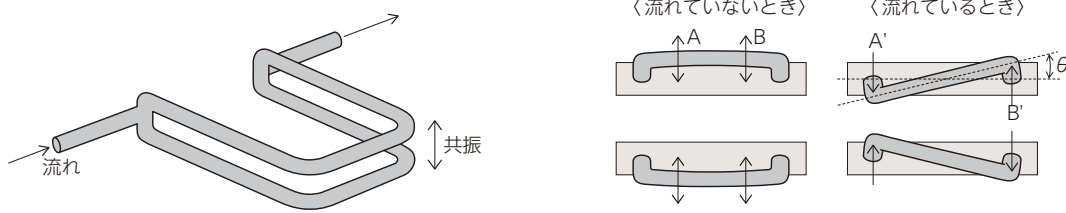
超音波の伝搬時間から流量を換算する「超音波式流量計」で発生しやすいトラブルとその対策方法は以下となります。

■ 気泡

超音波式流量計でもっとも多いトラブルが気泡混入による不良です。流速が高くなるとキャビテーションが生じやすく、気泡が発生すると送受信ができずに流量計測ができません。対策は、気泡を除去する気液分離器(セパレータ)の設置、気泡が発生しやすい場所から離して設置のいずれかとなります。設置場所が見つからない場合は、ドップラー式超音波流量計または電磁流量計の導入が検討されます。

第4章 失敗しない流量管理

コリオリ式流量計で起こりやすいトラブルと対策方法



高精度な質量流量計測ができる「コリオリ式流量計」で発生しやすいトラブルとその対策方法は以下となります。

■ 振動

一般的に1本管(曲管)が採用されているコリオリ流量計は、接続されているポンプや工作機器などから発生する外部振動に弱い性質があります。対策としては、外部振動の影響を受けにくい場所に設置することです。

■ 気泡

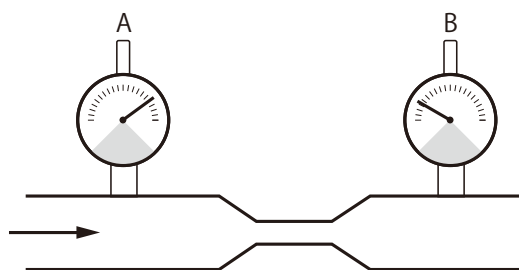
コリオリ式流量計は、スリラーや気泡を含んだ流体にも対応していますが、気泡の含有量が多くなると流量計測できない場合があります。対策としては、流量計の上流に気液分離器(セパレータ)を設置します。

Ⅰ 圧力損失とその原因

圧力損失とは

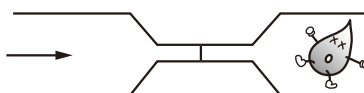
例えば流路の一部が絞られていると、絞られている箇所より下流の圧力が減少します。これを『圧力損失』と呼びます。『圧力損失』は、『エネルギー損失』であり、下流側の圧力低下だけではなく、流量、流速も減少させてしまいます。

圧力計A と圧力計B の圧力差が『圧力損失』です。また、絞るだけではなく、配管が長くなっても同様に『圧力損失』が発生します。



製造ラインで圧力損失が発生すると、循環される冷却水の流量が低下したり、噴射されるクーラントの水量が減少したりして様々な支障が発生します。対応としては、圧力損失部を取り除くことが望ましいのですが、ほとんどの場合、循環ポンプの発生元圧を上げたり、ポンプそのものをパワーアップすることで対応します。この対応方法は、エネルギーやコストの無駄につながります。

ダイヤフラム式



電磁式



第4章 失敗しない流量管理

『圧力損失』を発生させる原因

1. 配管径を細くする

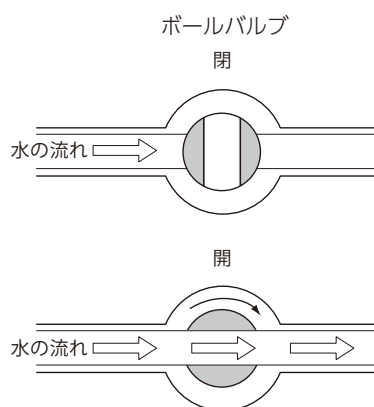
流路を絞るという意味では、過剰な異径配管のジョイントは圧力損失が発生します。

2. 配管を曲げる

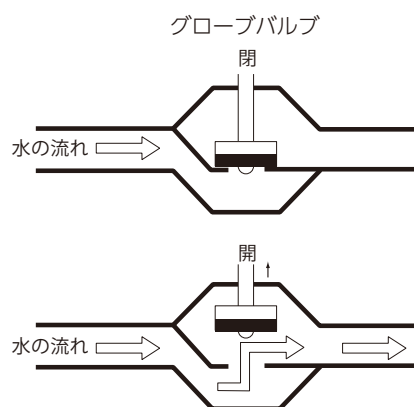
通常、液体は慣性の法則に従い、真っ直ぐに流れています。しかし、曲り部分では慣性の法則に逆らって運動方向を変えられるため、『エネルギーの損失』が発生します。(変化することで変化のためのエネルギーが消費されます)『エネルギーの損失』は圧力低下をまねきます。その結果、圧力損失が発生してしまいます。

3. 開閉バルブ(弁)を取り付ける

ボールバルブなどは、全開にしておけば『圧力損失』をあまり気にする必要はありません。但し、内部で流路が大きくベンド(曲がっている)しているタイプは、全開していても圧力損失が発生してしまいます。



一般的に『ボールバルブ』と呼ばれています。全開時には貫通構造になりますので、圧力損失がありません。



一般的に『グローブバルブ』と呼ばれています。全開時でも流路が曲がっており、圧力損失が発生します。

4. 流量計を取り付ける

原理で述べましたように、「差圧式流量計(ダイヤフラム式)」は、オリフィス(絞り弁)による『圧力損失』を利用して流量を検出します。また「カルマン渦式流量計」は、圧電素子に安定した振動を与えるために流路を絞り、流速を速めています。「羽根車式流量計」も、羽根を回す推力を得るために小流量の場合、流路を絞ります。これらの流量計に関しては、『圧力損失』が発生しやすいと言えます。逆に、電磁流量計・熱式流量計・超音波式流量計は、検出のために流路を絞る必要もなく、『圧力損失』に対してはメリットが大きいと言えます。

■ 配管テクニック／流量計の設置位置

正確な流量管理を行なうために流量計・流量センサ配管テクニック

流量計・流量センサを使用するには、配管や設置位置などのちょっとした気配りが大切です。製品によっては、設置位置によって測定精度が向上したり、トラブルのリスクが抑えられたりするケースもあるのでご確認ください。

十分な直管部を設ける

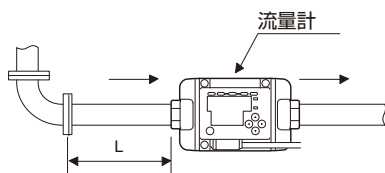
流量計・流量センサを設置する場合、十分な直管部を設けて不均一な流速分布や振動の影響を抑えることが重要です。流体は曲がりや絞りなどがあると流れが乱れ、偏流が発生して流量計測に誤差が生じることがあります。一般的に流量計上流側は、呼口の口径Dの5倍以上の直管部が必要とされています。呼口径Dの5倍以上の直管部を設けることで、不均一な流量分布を収め、流量計測に適した均一な流れを作ることができます。

流量計測に適した層流を作るために必要な直管部の長さ(目安)

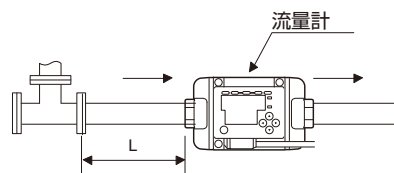
L (直管部の長さ) = $5 \times D$ (呼口径)

※流量計・流量センサの種類によって変化します。

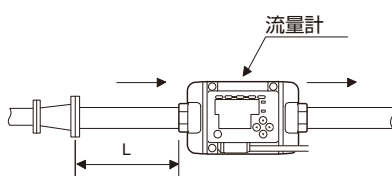
90° ベント



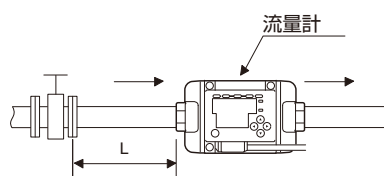
ティー



拡大管



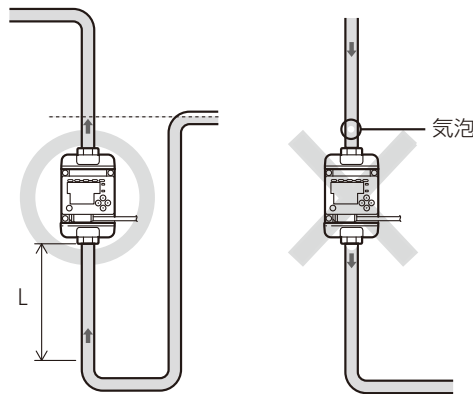
仕切弁全開



第4章 失敗しない流量管理

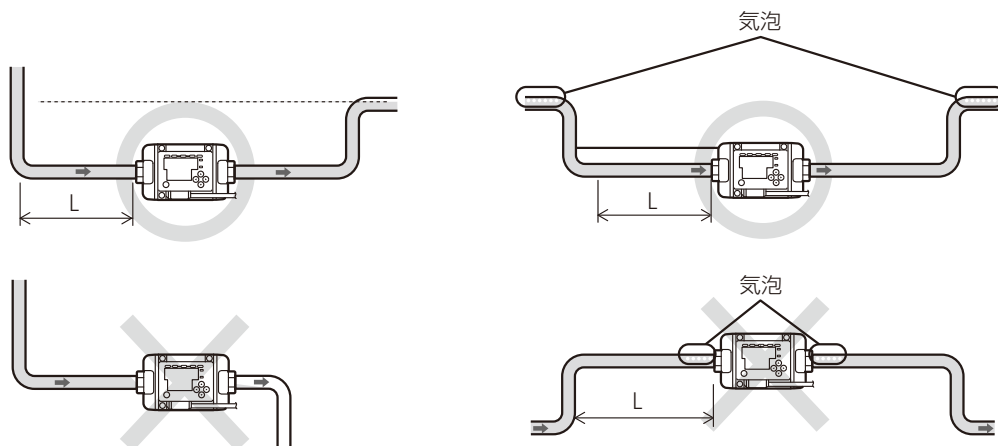
流体を下方から上方へ流す

流量計・流量センサは、基本的に流路が満たされた状態（満水状態）で計測を行います。液体は、一般的に重力で下方に溜まるので、上方から下方に流すと気泡が滞留しやすくなります。そこで流量計を設置する場合は、必ず下方から上方に液体が流れるように取り付けてください。



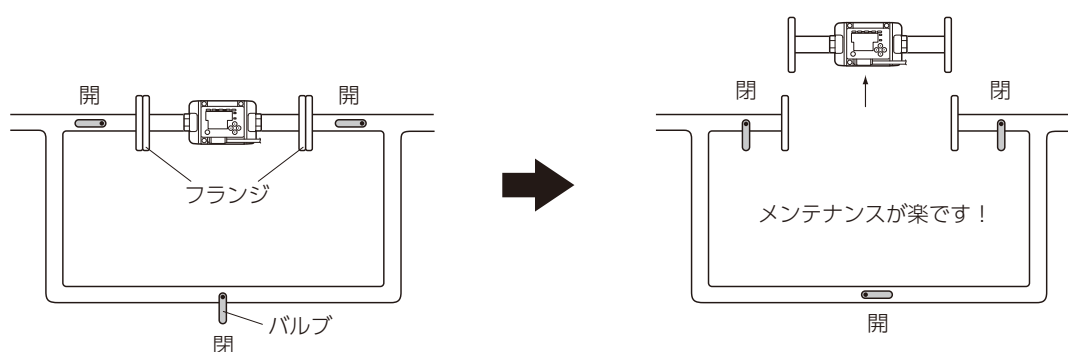
配管よりも低い位置に設置する

「流体を下方から上方に流す」でも説明しましたが、流路が満水でないと不均一な流速分布や気泡が発生しやすくなり、安定した検出ができません。そこで地面と水平な配管は、配管よりも低い位置に流量計を設置し、常に満水になるようにしましょう。気泡は高い位置に集まるので、低い位置に流量計を設置することで気泡の混入を防ぐことができます。気泡が含まれていない流体であっても、ライン圧（配管の圧力）が低下するとキャビテーションが発生・拡大するので、できるだけ低い位置で、なおかつライン圧の高い場所に流量計を設置することも重要です。



バイパスラインを設置する

流量計に詰まりや故障が発生しても、流路が確保できるようにバイパスラインを設置しましょう。メンテナンス性の向上はもちろん、トラブル発生時に流路を切り替えて生産を続けられるので、生産ストップによる機会損失を防ぐことができます。



振動やノイズにも配慮する

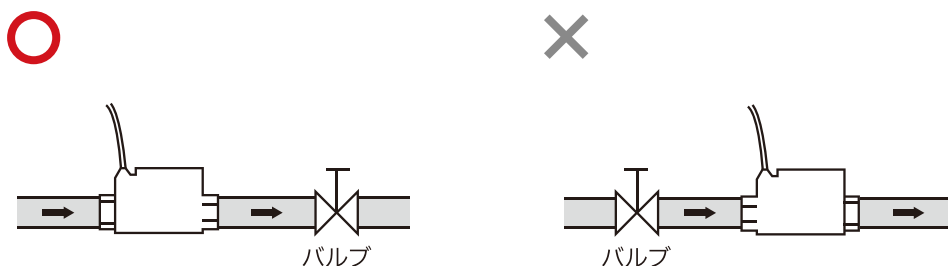
流量計によっては、振動やノイズの影響を受けるものもあるので、設置環境にも気をつけましょう。例えば、浮き子式やコリオリ式の流量計は振動の影響を受けやすいといった特性があります。流量計ごとによくあるトラブルとその対策方法については以下をご覧ください。

第4章 失敗しない流量管理

■ 配管テクニック／特殊な配管での流量計の設置方法

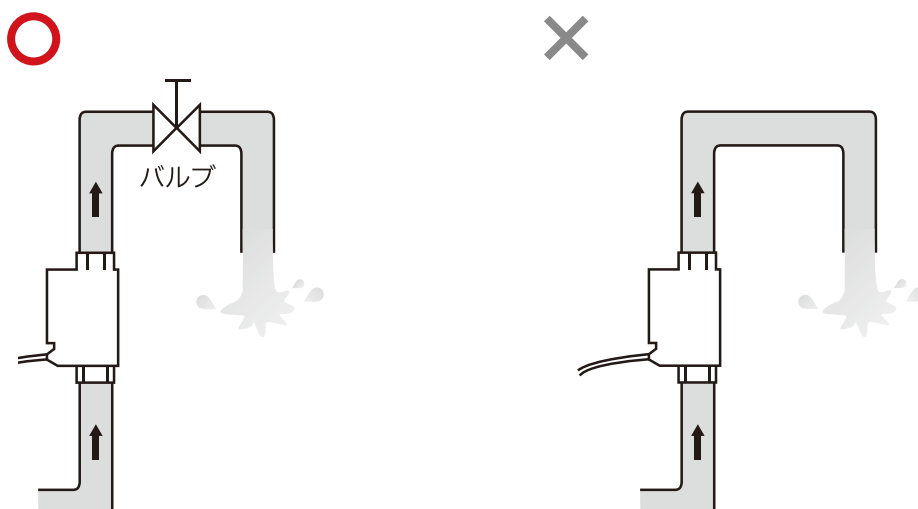
バルブは流量計の下流に設置する

流量調整バルブなどは、ライン圧を確保するために流量計の下流に設置してください。また、半開状態のバルブ部では不均一な流速分布が発生するので、口径の5～20倍の直管部を確保しましょう。



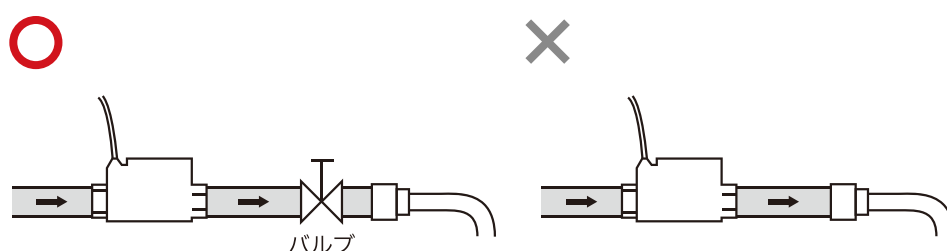
配管の最終端が開放状態になる場合はバルブなどを入れる

配管の最終端が開放状態になる場合は、開放端までにバルブなどを入れ、負圧などによる流体関連振動が流量計・流量センサに伝わらないようにしましょう。下流側(出口側)が開放または下りになっているとライン圧が低下して渦が消えたり、キャビテーションが発生したりする恐れがあります。ライン圧が低下する場合は、流量計・流量センサの下流側にバルブや絞りを入れて圧力を確保しましょう。ただし、絞りを入れると圧力損失が発生するので、ポンプのパワーに余裕を持たせてください。



柔らかい樹脂チューブによる配管ではバルブを入れる

柔らかい樹脂チューブによる配管で外部から加圧があったり、内部が負圧傾向になったりすると振動が発生する恐れがあります。振動が発生すると渦の周波数に干渉して検出値がずれたり、変動したりすることがあるので、流量計・流量センサの下流側にバルブなどを入れてライン圧を確保しましょう。

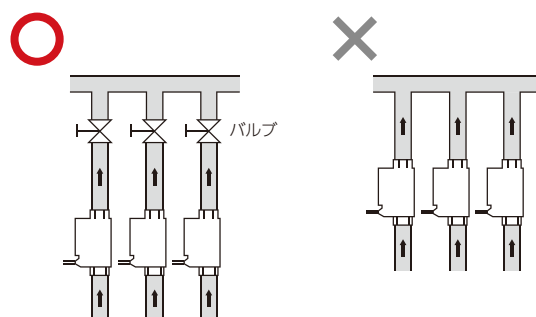


集合配管ではバルブを入れてライン圧を確保する

集合配管(分岐)付近では脈動が相互干渉することがあるので、バルブを入れてライン圧を確保してください。以下には、集合配管(分岐)のパターン別に対策をまとめています。

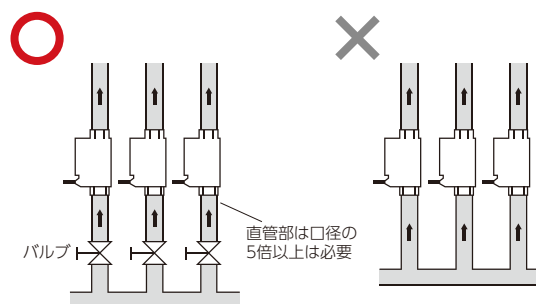
下流側が集合配管になっている場合

流量計・流量センサの下流側に集合配管(分岐)がある場合、母管に合流する手前にバルブを入れてライン圧を確保します。バルブを入れることで合流地点からの脈動の影響を低減できます。



上流側が集合配管になっている場合

上流側に集合配管(分岐)がある場合、分岐後(流量計や流量センサの手間)にバルブを入れてライン圧を確保することで、合流地点からの脈動の影響を低減できます。ただし、バルブ設置位置で不均一な流速分布が発生するので、バルブから流量計・流量センサまでの直管部は最低でも口径の5倍以上確保してください。



第4章 失敗しない流量管理

口径変換では、口径が絞られる時であれば基本的にバルブは不要

口径変換する場合は、上流側の配管が細いのか、下流側の配管が細いのかによって配管方法が異なります。以下には、口径変換のパターン別に対策をまとめています。

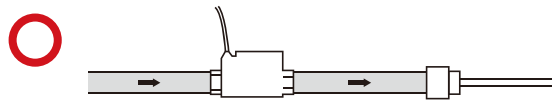
上流側で細管から拡張する場合

細管から拡張されるとライン圧が低下し、不均一な流速分布やキャビテーションが発生する可能性があります。この場合は、下流側にバルブなどを入れてライン圧を確保することで、その影響を低減できます。



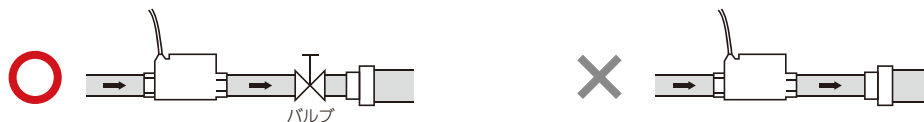
下流側で細管に絞られている場合

下流側で細管に絞られている場合は、ライン圧が確保されているのでバルブなどの設置は不要です。



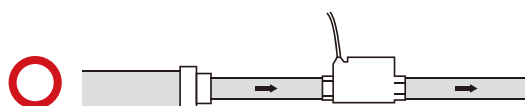
下流側で太管がある場合

「上流側で細管から拡張する場合」と同様、配管が拡張されるとライン圧が低下するので不均一な流速分布やキャビテーションが発生する可能性があります。この場合は、下流側の太管に接続する手前にバルブなどを入れ、ライン圧を確保することで影響を低減できます。



上流側に太管がある場合

「下流側で細管に絞られている場合」と同様に、ライン圧が確保されているのでバルブなどの設置は不要です。



バルブなどを利用した標準的な配管方法について

最後におさらいとして標準的な配管をご紹介します。

下流側バルブ

流量計・流量センサの下流側にバルブを入れることでライン圧を確保し、気泡や振動などの影響を低減します。

下流側の直管部

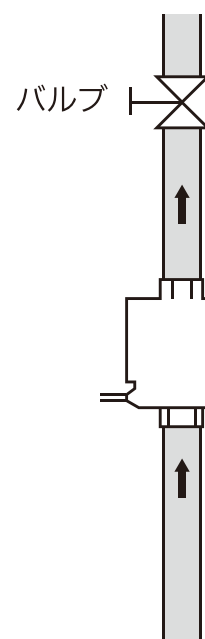
下流側の直管部は、口径の5倍以上確保することで不均一な流速分布を低減する効果があります。

流量計・流量センサの配管方向、流れの方向

縦配管の場合は下から上にすることで満水状態を保ちます。上から下に流体を流すとライン圧が確保できず、不均一な流速分布やキャビテーションが発生しやすくなります。

上流側の直管部

上流側の直管部は、口径の5倍以上、不均一な流速分布や脈動が激しい場合は口径の20倍以上確保します。



第4章 失敗しない流量管理

■ 配管テクニック／配管の呼び径

配管サイズと呼び径

流量計・流量センサを設置する金属管は、外径サイズ(配管径)によって「呼び径」が規定されています。JIS規格では、「A呼称」「B呼称」という呼び径が定められ、A呼称・B呼称どちらも示す配管の外径は同じです。また現場では、「俗称(通称)」と言われる呼び径がよく利用されます。こちらでは、流量計・流量センサの配管に欠かせない配管サイズの呼び径「A呼称」「B呼称」「俗称(通称)」の3つについてご説明します。

A呼称とB呼称、俗称(通称)の違い

A呼称とB呼称の違いは、「ミリメートル」を基準にしているか、「インチ」を基準にしているかです。俗称は、B呼称を基準にした呼び径となり、現場などで頻繁に使用されます。

A呼称とは

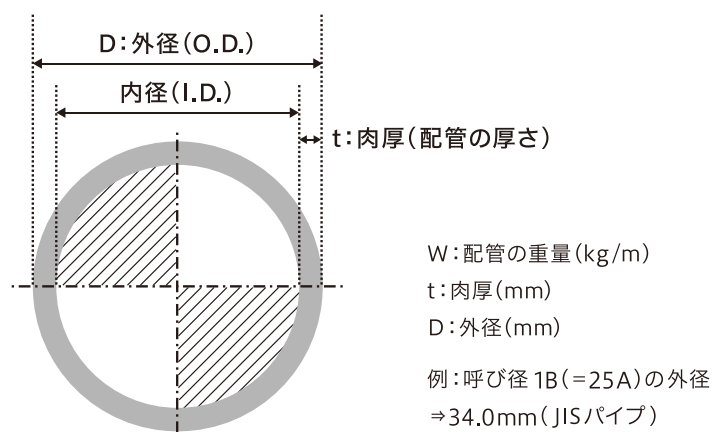
「えーこしょう」と読み、ミリメートル系の寸法です。呼び方は、「10A (じゅうえー)」「20A (にじゅうえー)」のようになります。

B呼称とは

「びーこしょう」と読み、インチ系の寸法です。呼び方は、「3/8 (さんぶんのちインチ)」「1 (いちインチ)」のようになります。

俗称(通称)とは

現場でよく利用されている配管サイズの呼び方で、B呼称の分母を8に固定した呼び名です。例えば、B呼称で「1/8」なら「一分(いちぶ)」、「1/4」なら「二分(にぶ)」のようになります。



A呼称・B呼称・俗称の対応表は以下のようになります。

A呼称	B呼称	俗称(通称)	外径D[mm]
6	1/8	1分	10.5
8	1/4	2分	13.8
10	3/8	3分	17.3
15	1/2	4分	21.7
20	3/4	6分	27.2
25	1	インチ	34.0
32	1 1/4	インチ2分	42.7
40	1 1/2	インチ半	48.6
50	2	2インチ	60.5
65	2 1/2	2インチ半	76.3
80	3	3インチ	89.1
90	3 1/2	3インチ半	101.6
100	4	4インチ	114.3
125	5	5インチ	139.8
150	6	6インチ	165.2
175	7	7インチ	190.7
200	8	8インチ	216.3
225	9	9インチ	241.8
250	10	10インチ	267.4
300	12	12インチ	318.5
350	14	14インチ	355.6
400	16	16インチ	406.4
450	18	18インチ	457.2
500	20	20インチ	508.0

第4章 失敗しない流量管理

JIS規格とANSI規格の違い

日本国内で生産されるパイプは、基本的にJIS規格で生産されています。しかし、一部の海外性パイプなどはANSI規格で外径寸法を決めている場合があるので注意が必要です。「A呼称」「B呼称」「俗称(通称)」は日本独自の規格で、ANSI規格とは微妙に外径寸法が異なります。JIS規格とANSI規格の外径の違いは、以下の表をご覧ください。

JISとANSIでの外径比較

呼び径		外径		
A呼称	B呼称	JIS	ANSI	
		mm	mm	インチ
6	1/8	10.5	10.3	0.405
8	1/4	13.8	13.7	0.540
10	3/8	17.3	17.1	0.675
15	1/2	21.7	21.3	0.840
20	3/4	27.2	26.7	1.050
25	1	34.0	33.4	1.315
32	1 1/4	42.7	42.2	1.660
40	1 1/2	48.6	48.3	1.900
50	2	60.5	60.3	2.375
65	2 1/2	76.3	73.0	2.875
80	3	89.1	88.9	3.500
90	3 1/2	101.6	101.6	4.000
100	4	114.3	114.3	4.500
125	5	139.8	141.3	5.563
150	6	165.2	168.2	6.425
200	8	216.3	219.1	8.625
250	10	267.4	273.1	10.75
300	12	318.5	323.9	12.75
350	14	355.6	355.6	14.00
400	16	406.4	406.4	16.00
450	18	457.2	457.2	18.00
500	20	508.0	508.0	20.00

第5章 装置別流量計導入事例

■ 冷却水・洗浄水の流量管理が必要な装置

射出成型機の金型冷却管理

射出成型機は、金型の冷却が適切でないとバリ（成形品の形状から樹脂がはみ出ること）、ショートショット（樹脂が行きわたらずに欠けること）、ウェルドライン（成型品の表面にスジができること）、ひけ（成型品の表面にくぼみができること）などが発生します。そのようなトラブルを未然に防ぐには、流量計・流量センサによる金型冷却管理が有効です。例えば、ホッパーゲートの冷却最適化、金型の冷却管理を行うことで品質の安定、金型の破損を防いで超寿命化などの効果が見込めます。常に循環する冷却水の流量管理では、詰まりや汚れに強い電磁式やコリオリ式の流量計・流量センサが最適です。またキーエンスでは、配管を切断せずに外側から流量が検出できる超音波式のクランプオン式流量センサ「FD-Qシリーズ」もご用意しています。



射出成型機

ダイカストマシンの冷却水・離型剤の流量管理

ダイカストマシンには、「作動油の冷却水」「鍛造金型の冷却水」「プランジャチップの冷却水」「離型剤」など、さまざまな液体が利用されています。これら各種冷却水の流量が変化し、冷却不足になると成型品のひけ・焼きつき・巣の原因になります。また、金型と溶融合金の溶着を防ぐ離型剤の塗布量が少なくなると焼きつき・金型破損、多すぎると乾燥に時間がかかってタクト低下を招きます。そこで冷却水および離型剤の流量管理が欠かせません。常に循環する冷却水の管理では、汚れの詰まりによるトラブルが少ない完全貫通構造、離型剤では高速応答に対応した流量計・流量センサが最適です。

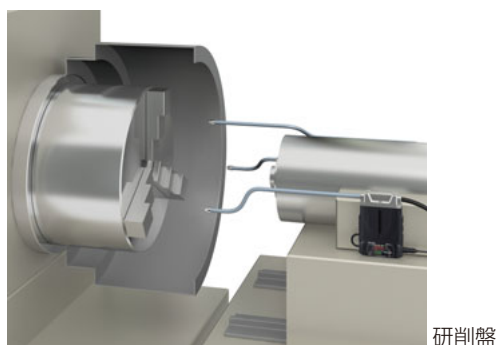


ダイカストマシン

第5章 装置別流量計導入事例

研削盤・切削機のクーラントの流量管理

研削盤・切削機では、ワークや工作機械を冷却するためにクーラント(冷却水)を使用します。このクーラントの流量が低下すると、ワークだけではなく刃物の破損(潤滑作用低下)につながり、研削焼けやビブリの原因になるので流量管理が必要です。研削盤・切削機の場合、切り粉が発生するので詰まりや汚れに強い流量計・流量センサが最適です。



スパッタリングの冷却水の流量管理

スパッタリングのカソードやターゲットのまわりが冷却不足になると、装置の破損やスパッタの品質低下を招きます。具体的には、カソードの温度管理や適切でないと交換寿命を縮めたり、極端な温度上昇は装置の寿命低下の要因になります。また、カソードの温度が下がりすぎると本来のスパッタ効果ができず、品質低下につながる恐れもあります。キーエンスでは、スパッタリングに対して、電磁式、カルマン渦式、コリオリ式などメンテナンス性に優れた流量計・流量センサをおすすめしています。より手軽に流量管理を行いたい場合は、配管工事不要の超音波式クランプオン流量センサ「FD-Qシリーズ」もご紹介します。



スポット溶接機の冷却水の流量管理

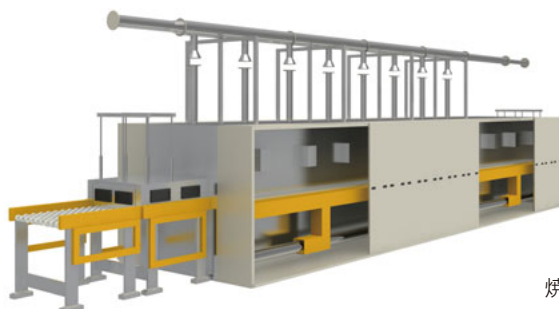
スポット溶接では、チップ(電極)の冷却が不十分だとチップ抜けや溶接不良が発生します。チップ抜けが発生すれば復旧に手間がかかりますし、溶接不良が発生すれば検品の手間が増えます。その結果として生産性低下やコスト増大につながります。また、スポット溶接機の温度が上昇すると、トランスが焼き付いて交換になる可能性もあるので注意が必要です。キーエンスでは、スポット溶接機のクーラントの流量管理向けに、メンテナンス性に優れた電磁式流量計・流量センサをおすすめしています。



スポット溶接機

焼成炉・アニール炉の洗浄水の流量管理

食器やセラミック、リチウムイオン電池やソーラー電池などの生産には欠かせない焼成炉、再結晶化や界面改質などを行う焼鈍(アニール)工程を行うアニール炉は、炉内の温度のばらつきが品質不良に直結します。そこで冷却水の流量管理を行い、炉内を一定に保つ必要があります。常に循環して汚れが発生しやすい冷却水の流量管理には、メンテナンス性に優れた電磁式、カルマン渦式、コリオリ式の流量計・流量センサがおすすめです。内部に稼動部がなく、配管の外側から流量管理ができるタイプのある超音波式流量計・流量センサも最適でしょう。



焼成炉

第5章 装置別流量計導入事例

ベベリング装置(ガラス用/ウエハ用)の洗浄水の流量管理

ガラスやウエハの端面を幅広く滑らかに削り・磨く「面取り(ベベリング)」では、洗浄水の流量管理が非常に重要です。洗浄水が多すぎると加工精度が落ち、少なすぎるとガラス(ウエハ)が焼き付いて割れてしまうことがあります。通常、ベベリングでは洗浄水の供給側と排出側で流量管理を行うことが多くなっています。流量計・流量センサの選定では、排出側はガラス洗浄の際にカレットが混ざるため、管内に障害物のない電磁式や配管を切らないクランプオン式が最適です。

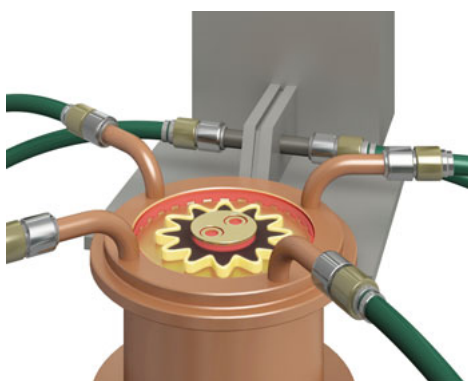


ベベリング装置

■ その他の流量管理が必要な装置

高周波焼入装置の焼入れ水の流量管理

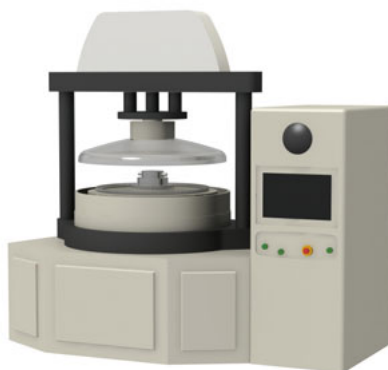
熱処理では、装置の冷却に加え、焼入れや焼戻しなどでも冷却水を利用します。例えば、高周波焼入装置で焼入れ水の流量が変化するとワークの割れ・欠け・硬度不足などの原因になるので、焼入れ水の流量管理が欠かせません。焼戻し水も同様に、冷却不足になると酸化・脱炭・変形を招きます。



高周波焼入装置

ラッピング・ポリッシング・CMPのスラリーの流量管理

ラッピング・ポリッシング・CMPでは、小さな粒子を含むスラリー（研磨液）を利用するので、配管抵抗のない電磁式やカルマン渦式、流量が少ない場合はコリオリ式などの流量計・流量センサが最適です。また、研磨液の流量が変化すると研磨後の製品の平坦度に影響が出るため、通常は供給側と排出側の両方に流量計・流量センサを設置して流量管理を実施します。



ポリッシング

第5章 装置別流量計導入事例

塗布装置の塗布液の流量管理

生産ラインでは、フラックス・防錆剤・ホットメルト・インク・グリス・エマルジョン・接着剤・塗装液・コーティング剤・レジスト液・離型剤など、さまざまな液体の塗布を行います。この塗布工程では、塗布量を一定にすることが重要であり、流量管理が欠かせないものになっています。塗布装置では、瞬間流量だけではなく、積算流量が計測できる流量計・流量センサが適しており、応答性の早さも求められるのでコリオリ式の流量計・流量センサがおすすめです。



塗布装置

精密プレス機の潤滑油の流量管理

精密プレスでは、プレス打ち抜き前に金型に潤滑油を塗布しますが、塗布量が少ないとワークのカス・上がりが発生したり、ピッチ送りで引っかかりたりして製品不良や金型破損の原因になります。そのため潤滑油の流量管理が必要ですが、潤滑油は塗布量が微量なので流量計・流量センサの選定が大切です。コリオリ式の流量計・流量センサなら微小流量の計測にも対応しているので、正確な潤滑油の流量管理が実施できます。



精密プレス

2液混合装置の混合前液・混合後液の管理

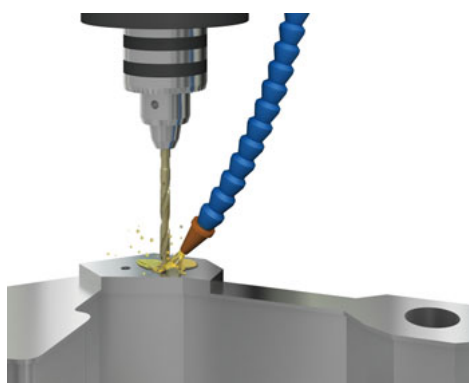
硬化剤・水・印刷塗料・薬液・エマルジョン・接着剤・油など、別々の液体を2つのタンクから一定量排出し、混ぜ合わせる2液混合装置でも流量計・流量センサが活躍しています。流量計・流量センサは、混合前の液体の流体管理はもちろん、混合後の液体を送るときに流量管理などにも利用。2液混合装置では、微小流量や水・薬剤・油などの液体、気体を混合する場合もあり、扱う流体に合わせて最適な流量計・流量センサを選ぶ必要があります。



2液混合装置

滴下確認時の流量管理

イラストのような切削油のほか、硬化剤・薬剤・防湿剤・エポキシ樹脂・接着剤・グリス・シーリング材・ロウ剤・蛍光剤・油・電解液・水・ダム液など、さまざまな液体・工程で滴下確認が行われます。その際に流量計・流量センサによる流量管理が実施されます。滴下管理では、微小流量や水・薬剤・油などさまざまな液体を使用するので、扱う流体に合わせて最適な流量計・流量センサを選ぶ必要があります。



滴下確認

第5章 装置別流量計導入事例

コンクリート混合・製造設備材料と水の混合時の水量の管理

材料と水の割合が直接品質に関わるので、混合用水量管理のために流量計・流量センサが利用されています。コンクリートは、水が多過ぎれば強度が弱くなり、少ないとすぐに固まって作業性が悪くなります。また、セメントミルの流量管理で流量計・流量センサを使用する場合もあります。流量計を選定する際は、配管抵抗が少なく、汚れに強い、非接液でメンテナンス性に優れた電磁式がおすすめです。



コンクリート混合・製造設備

排煙中和設備の排煙時に使用する水・薬液の水量管理

炉から発生したガスは酸性なので、環境汚染を防ぐため中和してから排出します。通常は排煙に水をかけて不純物を水分に混ぜ、中和するために別の薬品を混ぜ、残った水を加熱して水蒸気として排出する「排煙中和施設」が利用されます。この水や薬品などの流量管理を行う際に流量計・流量センサが必要です。排煙中和設備では、さまざまな物資、薬品に対応し、大流量に対応した流量計・流量センサが必要なので、キーエンスでは電磁式のFD-Uシリーズや、より手軽に流量管理をしたいというニーズにお応えするため、配管に挟み込むだけのクランプオン式で、大口径配管に対応した超音波式のFD-Rシリーズもご用意しています。



排煙中和設備

■ 気体の流量管理が必要な装置

リフロー炉の酸化防止のための窒素(N₂)の流量管理

熱処理では、装置の冷却に加え、焼入れや焼戻しなどでも冷却水を利用します。例えば、高周波焼入装置で焼入れ水の流量が変化するとワークの割れ・欠け・硬度不足などの原因になるので、焼入れ水の流量管理が欠かせません。焼戻し水も同様に、冷却不足になると酸化・脱炭・変形を招きます。



焼き入れ炉の酸化防止のための窒素(N₂)供給量管理

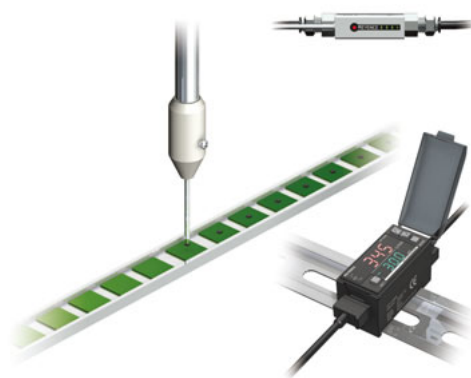
焼入れを行う際、酸化防止のために窒素(N₂)を供給しますが、供給量が少ないと酸化して品質低下を招く恐れがあります。流量計・流量センサを使い、窒素(N₂)の流量管理を実施すれば、供給量低下時に警報出力できるので流量低下をいち早く知ることができ、酸化を防止して品質低下を未然に防ぐことができます。



第5章 装置別流量計導入事例

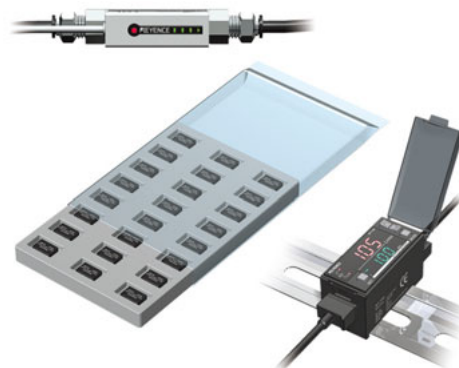
チップ部品搬送機の吸着確認

近年の生産ラインでは、部品の搬送や取り付けにエアを利用しています。このようなチップ部品の吸着確認も流量計・流量センサを利用すれば手軽に実施でき、部品の取り付けミスなどを防ぐことが可能です。キーエンスの気体用流量センサ「FD-V40シリーズ」であれば、フルオートチューニングによってワンタッチで設定が完了します。



電子部品パッケージの封入ガス(N₂)流量管理

電子部品を酸化などから守り、品質を保持するためにパッケージに窒素(N₂)を封入します。気体用流量センサ「FD-V40シリーズ」の積算モードを利用すれば、封入量がひと目で確認できるので封入漏れを見逃しません。また、FD-V40シリーズにエアフィルター「FD-C5」を使用すれば、封入ガスを常にクリーンに保てるのでゴミなどの異物侵入も防げるので安心です。



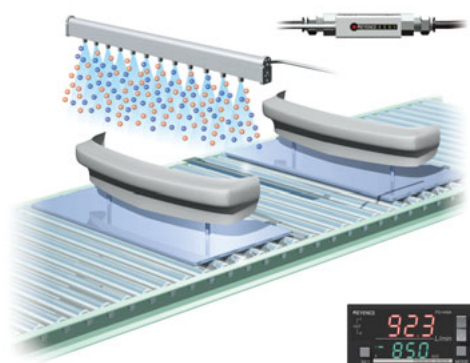
エアブローの乾燥用エア流量管理

流量計・流量センサを利用すれば、缶の表面に付着した水滴を吹き飛ばすエアブローのエア流量管理も簡単に行えます。気体用流量センサ「FD-V40シリーズ」の機能「2点チューニング」を使用すれば、乾燥用エアブローのオン・オフの流量管理も簡単です。



イオナイザーのエアパージ流量管理

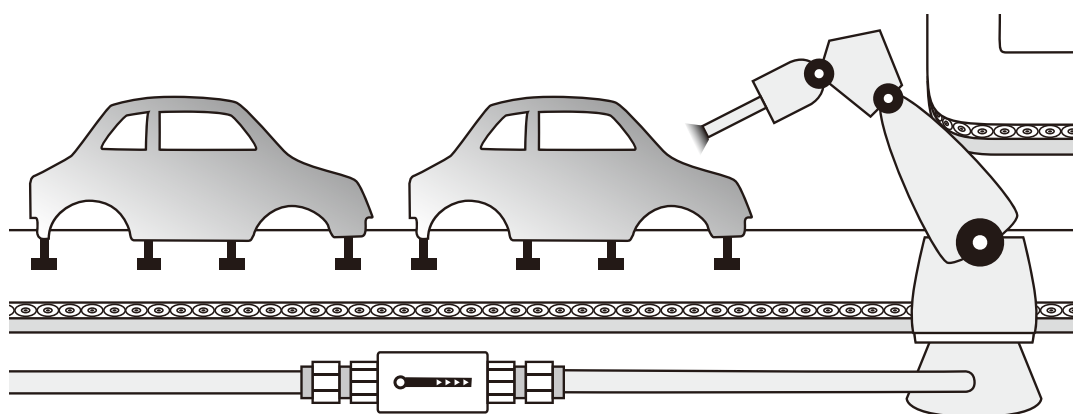
流量計・流量センサを使えば、静電気を除去するイオナイザーのエアパージ量管理も簡単です。気体用流量センサ「FD-V40シリーズ」のゾーンチューニング機能を利用すれば、設定値の上限と下限の範囲内に流量が収まっているかの確認、パージ量の調整なども手軽に行なえます。



第5章 装置別流量計導入事例

塗装ロボットの塗装量の管理

塗装ロボットに流量計・流量センサを取り付けることで、塗料の使用量やエアの使用量などを正確に管理・制御できます。吐出量や混合比などを流量管理すれば、塗装品質の向上と安定化に貢献します。キーエンスでは、気体はもちろん、塗料のような粘度の高い流体に対応した流量計・流量センサもラインアップしています。



第6章 流量関連用語

■ 流量関連用語

流量計・流量センサを活用した流量管理では、さまざまな専門用語が登場します。こちらでは、「精度と不確かさ」や「粘度と動粘度」など少しわかりにくい流量関連用語についてご説明します。流量計・流量センサを選定するために製品仕様書を見るとき、流量管理を実施するときなどにご活用ください。

精度と不確かさ

流量計・流量センサの信頼性を示す指標として、「精度 (accuracy)」と「不確かさ (uncertainty)」という2つの用語があります。国際標準では「不確かさ」を使うことが推奨されていますが、製品仕様書などでは現在も「精度」という言葉が使われています。信頼性を示す「精度」と「不確かさ」は、流量に限ったことではなく、測定や校正などで幅広く使われている用語ですが、今回は流量計・流量センサに限定してご説明します。

■ 精度

流量計・流量センサの精度は、フルスケールに対して何%の誤差があるのかを示す「フルスケール (F.S.) 精度」と、指示 (表示) 値に対して何%の誤差があるのかを示す「リードスケール (RDまたはRdg) 精度」の2つがあります。

フルスケール (F.S.) 精度・リードスケール (RDまたはRdg) 精度ともに共通することは、測定値と真の値とのズレ量を誤差としてことです。測定値から真の値を引き算し、そのズレ量を誤差範囲としてフルスケール (F.S.) 精度であれば「 $\pm 1\%$ F.S.」「 $\pm 2\%$ F.S.」のように表記しています。

上記のように精度は、真の値から求められますが、真の値は日本工業規格のJIS Z8103で「ある特定の量と定義を合致する値。備考: 特別な場合を除く、観点的な値で実際には求められない」と定義されています。鉛筆の長さを例にすると、実測値はわかっても生産でばらつきが発生しますし、測定者によっても数値が変わるので真の値はわかりませんよね? 精度は、あくまで真の値を仮定して、メーカー校正によって決められた誤差範囲というわけです。

実際の使用環境では、測定流体や設置条件も変わるため、メーカーの推奨条件からはずれる場合の影響も考慮する必要があります。そのためコリオリ式流量計などでは付加誤差として「ゼロスタビリティ」を設定する場合もあります。

第6章 流量関連用語

■ 不確かさ

近年、測定や校正の現場で使われるようになっている指標が「不確かさ」です。不確かさは、簡単に説明すると統計処理から誤差を推測した指標です。

ISO5167-1,2,3,4-2003で流量測定における不確かさの考え方と導入方法を規定していますが、少し難しいのでわかりやすく解説します。例えば、測定環境や測定方法、流体の条件などを変えながら測定し、そのデータから真の値がどの範囲にあるかを算出します。例えば、 $\pm 1\%$ の範囲に95%以上あることがわかれば、真の値は不明ですが不確かさは「 $\pm 1\%$ 」で信頼性が95%あることがわかります。

ちなみにオリフィス式流量計の場合は、JIS Z8762-1やISO5168で不確かさの算出方法が掲載されています。絞り系比 β 、管路径D、レイノルズ数 ReD 、管内の相対粗さ Ra/D が誤差なしとわかっていれば、流出係数の相対不確かさは、以下のようになります。

$0.1 \leq \beta < 0.2$ において	$(0.7 - \beta)\%$
$0.2 \leq \beta \leq 0.6$	0.5%
$0.6 < \beta \leq 0.75$	$(1.667 \beta - 0.5)\%$

オリフィスの規格は、管径Dが50 mm以上に適用され、50 mm未満については上記の不確かさが適用されない点にご注意ください。

レンジアビリティ

ある精度を保証する最大流量と最小流量の比をレンジアビリティと言います。例えば、10 ～ 100 m³/hにフルスケール設定できる流量計で、20 ～ 100%の間で $\pm 1\%$ の指示精度を表示する場合は、誤差 $\pm 1\%$ で測定できる最大流量と最小流量は100 m³/hと2 m³/hなのでレンジアビリティは50:1になります。

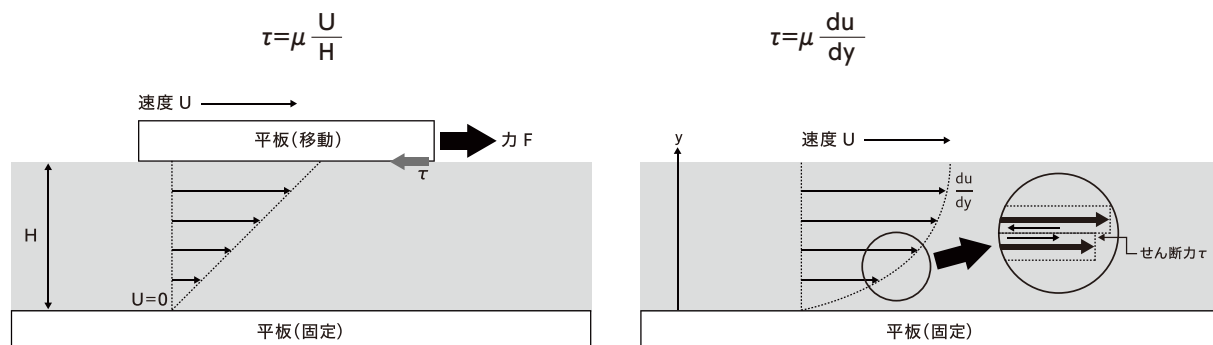
粘度と動粘度

流量管理で扱う流体は、粘性流体なので「粘度」も重要な項目です。粘度とは、「さらさら」や「ねばねば」のように粘り気を示す物性値で、物質ごとに決まっており温度によって変化します。

■ 粘度

粘度は「粘性係数」とも呼ばれ、平行な2枚の平板の間を流体で満たし、一方だけを動かす際に必要な力として定義されています。下のイラストを見ていただくとわかりやすいですが、固定した平板に近い流体の速度は0となり、移動する平板の近くの流速は平板と同じになります。このような流速分布を「クエットの流れ」と呼びます。

クエットの流れにおいて、平板に加える力をF、平板の面積をAとすると剪断応力 τ は F/A で表すことができ、平板を動かす速度をU、2枚の平板の間隔をHとすると、以下のような公式が成り立ちます。粘度(粘性係数) μ の単位は、 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ (パスカル秒)です。ただし、一般的な物体表面付近の流れの速度分布はクエットの流れのように直線的とは限らず、下のイラストのように微小流域では流速の差によって剪断応力が働きます。この剪断応力は、速度勾配 du/dy に比例し、以下の公式で求めることができます。



■ 動粘度 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

粘度は、流体中にある物体(平板)の動きにくさを表していますが、動粘度は流体自体の動きにくさを表します。流体の動きにくさ(動粘度)は、同じ粘度であっても密度が変わると変化します。動粘度 ν は、粘度を密度で割ることで算出でき、単位は $[\text{m}^2/\text{s}]$ で表します。

第6章 流量関連用語

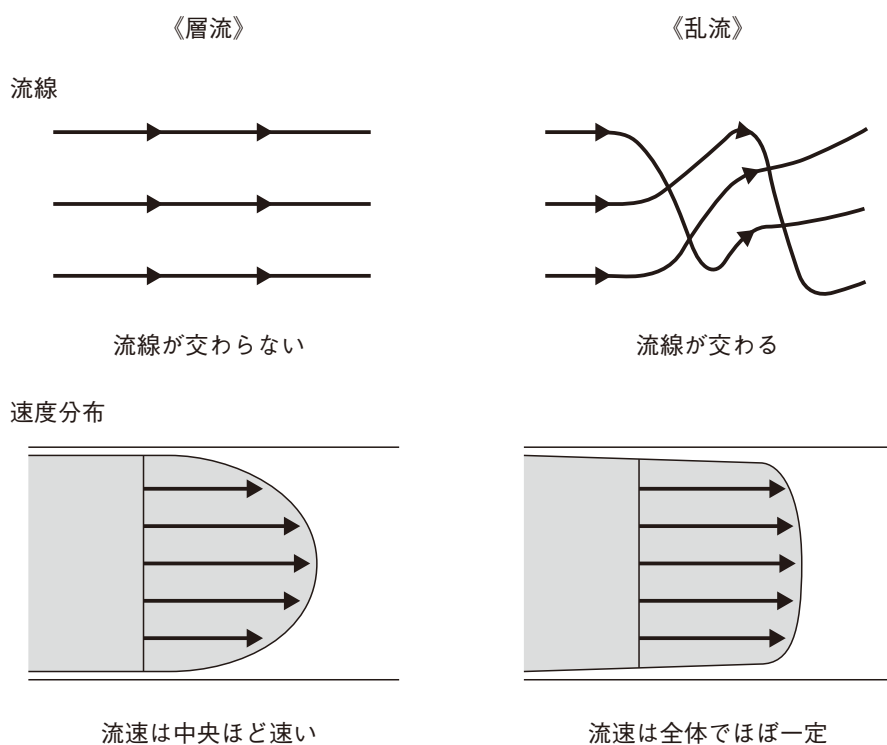
レイノルズ数 $R = \frac{Ul}{\nu}$

レイノルズ数とは、流体の慣性力と粘性力の比を示す無次元量で、レイノルズ数と同じであれば力学的に相似な流れとして扱うことができます。レイノルズ数 R は、一様な流れの速度 U 、物体の代表長さ l 、動粘度 ν すると上記のように表されます。流量計が設置される管路の場合、代表長さを管の内径 D にするケースが多く、粘性力の強い流れではレイノルズ数が小さくなり、慣性力の強い流れではレイノルズ数が大きくなります。

層流と乱流

水の流れの中に葉っぱを置いたとします。この際、葉っぱが配管に対して平行に進むときの流れを「層流」、葉っぱがランダムに進むときの流れを「乱流」と言います。

通常、液体は粘度の影響を受けるため、配管に近い場所では流速が遅くなります。このため、層流の場合、配管中央ほど流速が早くなります。一方、乱流の場合、直管長が十分取れていると、流速分布が均一となります。一般的には、レイノルズ数が2300を境界に層流から乱流に移行します。ただし、レイノルズ数2000～7000の領域を遷移領域と呼ぶこともあります。流量計は、レイノルズ数が $10^4 \sim 10^9$ と大きく、乱流状態かつ流速分布が均一の状態を用いて、流速を測定しています。ただし、層流流量計、熱式流量計の一部、微小口径での超音波流量計では、層流状態となるケースもあります。



流速分布

流速分布とは、その名称のとおり管内における流速の分布を示す言葉です。十分な直管長が確保された管内であれば、通常は管軸に対して軸対象な流速分布になります。しかし、プロセスの配管は、曲がりやバルブ、ポンプなどの要素が多く、流速分布に影響が生じます。

流量管理では、このような軸対象ではない流れ「偏流」の場合に影響を受けます。管径が大きくなると直管部の長さも必要になり、十分な直管部を確保できずに偏流が発生する可能性も高まるので、流量分布の影響を考慮した流量計の選定と設置が重要です。

プロセス接続

通常の流量計・流量センサは、配管に割り込ませて配置しますが、この接続方法をプロセス接続と呼びます。一般的にはフランジを使用することが多く、流量計にもフランジを取り付ける、または最初からフランジ形状になっているものが一般的です。そこで流量計を選ぶ際には、フランジのサイズや規格、圧カランクなど、上下配管と同一のものを選ぶ必要があります。フランジタイプのほか、フランジレスの「ウェーハタイプ」、既存配管を切断せずに被せて取り付ける「クランプオンタイプ」などもあります。

キーエンス流量センサラインナップ

流量センサバリエーション

クランプオン式流量センサ

FD-Qシリーズ 〈超音波式〉

検出範囲 1~500 L/min

口径 8A 10A 15A 20A 25A 32A 40A 50A

使用可能流体：水/純水/油/薬液など

耐圧力 : 高圧でも使用可能



クランプオン式流量計

FD-Rシリーズ 〈超音波式〉

検出範囲 36~9500 L/min

口径 40A 50A 65A 80A 100A 125A 150A 200A

使用可能流体：液体全般（水、油、薬品など）※

耐圧力 : 高圧でも使用可能

※超音波が伝搬する均一液体かつ多量の気泡を含まないこと。
また、配管の種類、状態によっては測定不安定となります。



電極非接液型 電磁式流量センサ

FD-Mシリーズ 〈電磁+静電容量式〉

検出範囲 0.15~1000 L/min

口径 10A 20A 25A 50A

導電率 : 5μS/cm以上

接液部材質 : SCS13、PPS、FKM

耐圧力 [2 MPa] ※

※使用圧力範囲は1 MPa以下。



コリオリ式デジタル流量センサ FD-Sシリーズ 〈コリオリ式〉

検出範囲	0~40 L/min
口径	8A 10A 4×3mm、3/8"×1/4"
動粘度	:油レベル※ ¹
接液部材質	:SCS14、SUS316L、PPS、FKM※ ² 、PFA
耐圧力	[SUS配管タイプ:10MPa]※ ³ [PFA1 Lタイプ:1.5MPa]※ ⁴ [PFA8 Lタイプ:0.9MPa]※ ⁵

※¹ 高粘度流体は圧力損失が大きくなります。

※² 別材質FKMはお問い合わせください。

※³ 使用圧力範囲は5 MPa以下。 ※⁴ 使用圧力範囲は1.0 MPa以下。 ※⁵ 使用圧力範囲は0.6 MPa以下。



アンプ分離型デジタル流量センサ FD-V70シリーズ 〈渦+超音波式〉

検出範囲	PPS:0.5~100 L/min PFA:0.4~50 L/min
口径	10A 15A 20A 25A φ3/8inch、φ1/2inch、φ3/4inch
動粘度	:水レベル※
接液部材質	:PPS/PFA
耐圧力	[PPS:1MPa以下] [PFA:0.7MPa以下]

※高粘度流体は測定できなくなります。



アンプ分離型気体用流量センサ FD-V40シリーズ 〈熱式〉

検出範囲	0.03~600 L/min
口径	10A 15A
使用可能流体	:空気/ちっ素/アルゴン
材質	:SUS303、SUS304、PEI、FKM、シリコン、アルミダイカスト
耐圧力	[1 MPa以下]※

※使用圧力範囲は-0.07~0.7 MPa以下。



流量計バリエーション

電極非接液型 2線式電磁流量計 FD-Uシリーズ 〈電磁+静電容量式〉

防爆	サニタリ	校正
検出範囲	3.18~4712 L/min	
口径	15A	25A 40A 50A 80A 100A
導電率	:5μS/cm以上	
接液部材質	:アルミナセラミック、SUS316L、FKM※	
耐圧力	〔1MPa〕〔2MPa〕	

※サニタリタイプはアルミナセラミック、SUS304、EPDM。

接液部材質の異なるオプションもご用意しております。別途お問い合わせください。



株式会社 キーエンス

本社・研究所／センサ事業部

〒533-8555 大阪市東淀川区東中島1-3-14 Tel 06-6379-1121 Fax 06-6379-1120

この商品に関する
お問い合わせは



0120-663-000

一部のIP電話からはご利用いただけません。

www.keyence.co.jp

記載内容は、発売時点での当社調べであり、予告なく変更する場合があります。記載されている会社名、製品名等は、それぞれ各社の商標または登録商標です。

センサ7-1017