



OpreX™ Field Instruments

流量測定ハンドブック

流量測定の基本ガイド

はじめに

プロセス制御の最適化を進めるうえで、測定の品質は非常に重要です。

高品質な測定は、すべてのプロセス制御の基本となります。

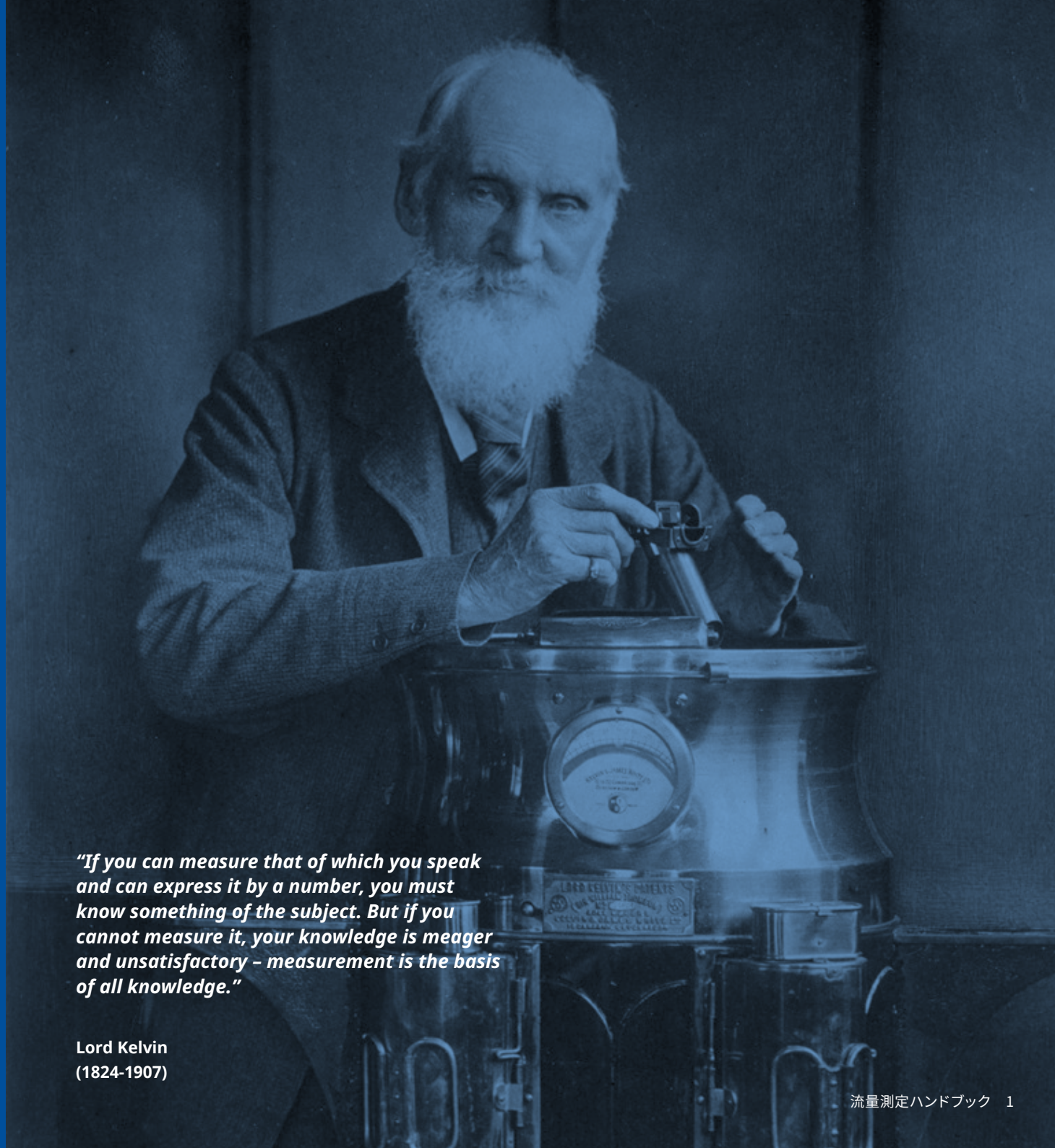
分散制御システム (DCS)、プログラマブル・ロジック・コントローラ (PLC)、監視制御およびデータ収集システム (SCADA)、さらにはクラウドベースのデータ収集システムがどれほど高度であっても、測定データの精度と信頼性が確保されていないければ、本来の性能を十分に発揮することはできません。

プロセスを測定する機器とデータ収集・制御システムが適切に連携し、コストに見合った最適な性能を実現することで、より高い生産性と効率向上が可能になります。これは、お客様にとっても、大きなメリットとなります。

特に、流量の正確な測定は、プロセスデータの品質を左右する重要な要素です。

優れた流量計は、正確で信頼性の高い測定値を迅速に提供し、プロセス全体の安定性を支えます。

本ハンドブックでは、その重要性や具体的な活用方法について詳しくご紹介します。



"If you can measure that of which you speak and can express it by a number, you must know something of the subject. But if you cannot measure it, your knowledge is meager and unsatisfactory – measurement is the basis of all knowledge."

Lord Kelvin
(1824-1907)

目次

- 1 はじめに
- 2 流れの基礎と基本物理学
 - 2.1 流体力学
 - 2.2 流体と流体特性
 - 2.3 熱力学状態変数: 圧力、温度、体積、質量
 - 2.4 流量
- 3 流量計の設置
 - 3.1 はじめに
 - 3.2 直管長確保の重要性
 - 3.3 流量計の設置条件 (必要直管長)
 - 3.4 気体・蒸気を測定する際の設置条件
 - 3.5 液体を測定する際の設置条件
- 4 流量計の選択
 - 4.1 流量計の種類
 - 4.2 物理的および環境的条件
 - 4.3 流量計選定フロー

YOKOGAWA について



1. はじめに



流量計とは、液体・気体・蒸気・粉粒体やその混合状態が、管路や溝（閉水路および開水路ともいいます）を単位時間あたりに流れる量を測定する計測器であり、様々な分野で利用されています。

例えば、ガソリンが10リットルに達した時点で燃料供給を停止する場合や、材料の混合において正確な材料量を投入する場合など、正確な流量管理が求められる場面で不可欠です。特に、連続生産プロセスの最適化（Process Automation）において流量計は不可欠な機器です。

本ハンドブックでは、工業プロセス制御で広く使用される流量計技術について、その基本的な仕組みや活用方法をご紹介します。プロセスの組み合わせは多岐にわたり、適切な流量計を選択する手法については、現在のオンラインソフトウェアやAIでも完全には網羅できていません。

最適な流量計を選ぶためには、一定の工学的知識とプロセスに関する理解が欠かせません。

本ハンドブックでは、流量力学の基本的な原理、主要な流量計技術、そして実際のアプリケーションにおける流量計の役割について解説します。

さらに、測定の精度に大きな影響を及ぼす設置条件についても取り上げており、適切な設置が流量計の性能を最大限に引き出すうえで重要であることをお伝えします。

本書を通じて、お客様の用途に適した流量計を選定するための手順やツールについて詳しくご紹介いたします。流量計選びに関するお役立ち情報として、ぜひご活用ください。

2. 流れの基礎と基本物理学

目的

本章では、「流れ」とは何かを理解し、その種類や測定方法について学びます。また、流れに関する多様な現象を取り上げるとともに、流体と流体力学の関係についても整理・考察していきます。



2.1 流体力学

流体力学は、物理学の一分野であり、流体の流れと流体中の物体に及ぼす力を記述する工学的な学問です。ここでいう「流体」とは、工学的には液体と気体の両方を指します。流体力学は、航空機に作用する力の計算、天気予報、船体設計、風力タービンの高効率ブレード設計など、さまざまな工学分野で広く活用されています。また、配管内を通る油の流量の決定にも流体力学は重要な役割を果たします。流量測定技術は、流体力学の実用的な応用のひとつであり、流速・圧力・密度など、流体のさまざまな特性を計算し、それらを温度や空間、時間の関数として解析することが含まれます。





2.2 流体と流体特性

流体の基本的な特性について簡単に説明いたします。

流体

「流体」という言葉は、通常「液体」と同じ意味で使われますが、実際にはもう少し広い意味を持っています。流体とは、液体だけでなく、気体やプラズマなども含まれる物質のことです。

これらの物質は、温度や圧力の変化によってさまざまな状態（相）を取ります。液体は自由に液面を形成し、容器の形によらず自らの形状を保ちます。

一方、ガスは表面を持たず、容器全体に広がります。さらに、粘度が高く固体に近いふるまいをする液体の総称で黒色でタールのような物質（ピッチ）は、液体でありながら、固体のように振る舞うこともあります。

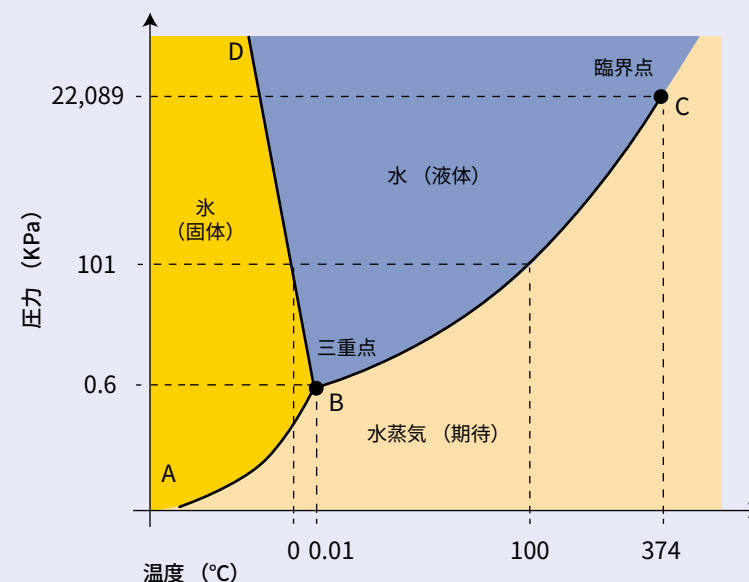
ピッチは非常にゆっくりと流れ落ちるため、固体と液体の間のように振る舞います。

さらに流体の状態は、温度と圧力によって異なります。これらの関係を示す「相図」を使うことで、流体がどのような状態であるかを視覚的に理解することができます。

パイプラインやコンテナなど、実際の運用においては、このような相図を参考にすることで、流体の取り扱いや管理がより確実に行うことが可能です。



宇宙空間や星の内部には、プラズマと呼ばれる別の種類の流体が存在します。



流体の分類

成分構成で分類した場合

- 単純流体 (1): 水、グリコール、その他の純粋な液体 (単相、1 成分、低粘度、凍結や沸騰が起こりにくい範囲で安定している)。
- 単純流体 (2): 5% NaOH、ディーゼル燃料、およびその他の多成分液体 (成分は複数だが、よく混ざっていて見た目は均一 (単相))。
- 多成分流体: チーズ、油、化粧品、マヨネーズ (複数成分であり、分離しやすく、粘度が一定でない。温度や力の加わり方で状態が変化する)。

粘度で分類した場合

- ニュートン流体: 流れの挙動が単純で粘度が一定である流体であり、粘度は温度と圧力にのみ依存。
- 非ニュートン流体: 流れの条件や速度によって流体の粘度が変化する流体を指し、粘度はせん断力に依存。
例: ケチャップ

混合物の分類

- 均質混合物 (HOMOGENEOUS)
成分が全体にわたって均一に分布している混合物
二相-液体/液体: ミルク、血液、接着剤、乳化混合物、流速制限のある物質
二相-液体/固体: 塗料、よく混合された懸濁液、流速制限のある物質
二相-液体/気体: 発泡体
- 不均質混合物 (HETEROGENEOUS)
成分が全体に均一に分布していない混合物
成分間に分離が見られる
液体/ガス 気泡流量
液体/液体 スラッグ流量
液体/固体 スラリー



コリオリ式質量流量計のような高度な流量計や、複数のセンサーを組み合わせることで、混相流の比率を測定することが可能。追加の(流量)コンピュータを使用し、プロセスを演算することで、有用な測定結果が得られます。



単純流体 (1): 水



単純流体 (2): ディーゼル燃料



多成分流体: マヨネーズ

密度

密度は流体の体積あたりの質量です。液体はほとんどが非圧縮性であり、密度は圧力に依存しません。一方、気体は圧縮性であるため、温度や圧力などの条件が密度に大きく影響します。

質量、体積、密度の関係

$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{体積}} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

$$\text{体積} = \frac{\text{質量}}{\text{密度}} \quad V = \frac{m}{\rho}$$

$$\text{質量} = \text{体積} \times \text{密度} \quad m = V \times \rho$$

流体の質量や物質質量は一定であり、温度、圧力、その他の環境要因によって影響を受けません。

流体の体積と密度は、どちらも以下の影響を受けるため一定ではありません。

- 温度（熱膨張）
- 圧力（圧縮性）



パリ近郊の Saint-Cloud の Pavillon de Breteuil にある
国際キログラム原器



風船は体積が大きい、密度が小さいため軽い



鉛の延べ棒は体積は小さいが、密度が大きいので重い

粘度

すべての流体には粘度があります。粘度は、流体の内側に働くせん断力のことで、流体が配管の中をどれだけ流れやすくどれだけ抵抗が発生するかを表しています。

気体は粘度が低いですが、それでも粘性があります。水は液体としては粘度が低く、蜂蜜やアスファルトは粘度が高いです。

粘度は温度に大きく依存します。液体の粘度は温度が上昇すると低下します。気体は反対の挙動を示すため、温度が高いほど粘度が高くなります。





外力が加えられた際に、流体がどれほど流れにくいを示す指標の一つが粘度です。粘度は、一般的に CGS 単位でセンチポアズ (Centipoise (cP)) で定義されています。

粘度の測定には、Brookfield 回転法が用いられ、回転子を試料液中で回転させ、発生するせん断応力を測定することで求められます。

動粘度 (Kinematic Viscosity) は、液体の試料がキャピラリー (細い管) 内の開口部を重力の作用で流れ落ちるのにかかる時間を測定することで求められます。測定された時間を記録し、液体の密度を考慮して動粘度に換算します。動粘度はセンチストークス (cSt) や平方ミリメートル毎秒 (mm²/s) の単位で表されます。

上記の流体パラメータはすべて温度に依存しています。動粘度は通常、液体にのみ適用されます。

Kinematic Viscosity (cSt) = Dynamic Viscosity (cP) / Density

動粘度 (cSt) = 粘度 (cP) / 密度

■ ニュートン流体と非ニュートン流体

ほとんどの液体は、流動しているかどうかに関係なく同じ粘度を持ちます。これらはニュートン流体です。典型的な例は、水、空気、アルコール、グリセロール、および希釈したモーターオイルです。

ケチャップやヨーグルトなどの非ニュートン流体は、流動開始時にはせん断応力抵抗が高くなりますが、相対運動が大きくなるとせん断応力が低下し、流動しやすくなります。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

ν : 動粘度 Kinematic Viscosity [ν] = m²/s

μ : 粘度 Dynamic Viscosity [μ] = Pa*s=N*s/m²

ρ : 密度 Density (kg/l) [ρ] = kg/m³

【SI 単位系表示】

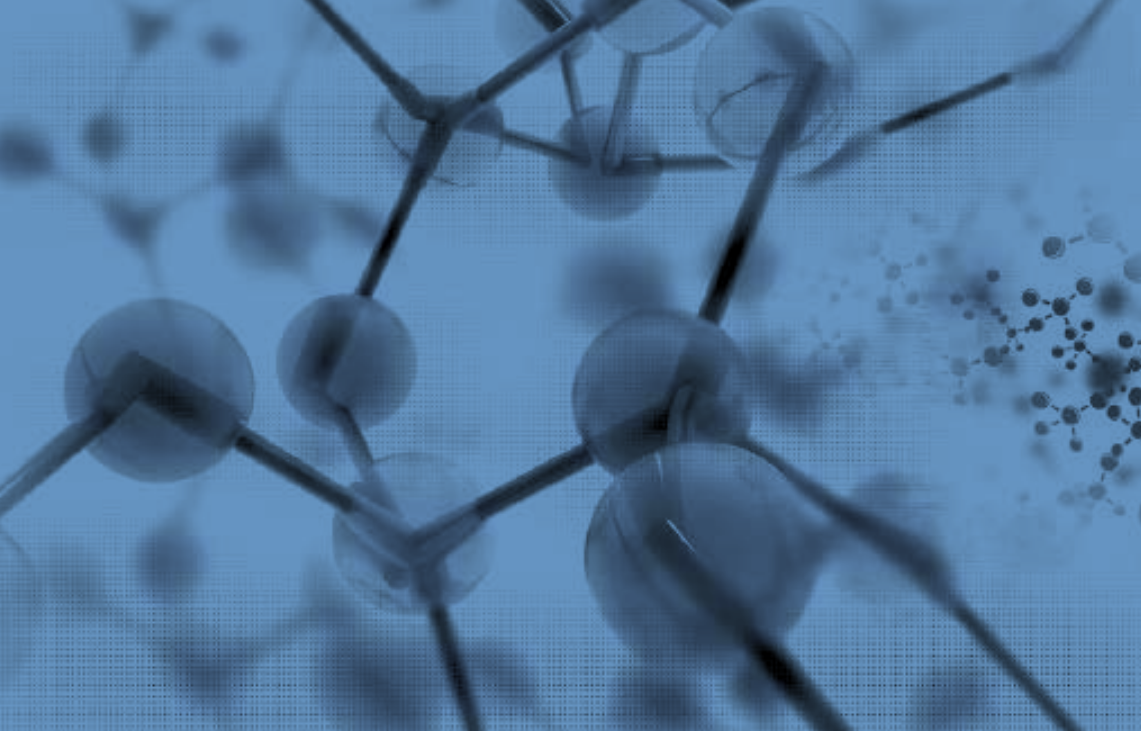


非ニュートン流体とは、応力や圧力を加えると粘度が変化する液体または流体のことです。



2.3 熱力学状態変数：圧力、温度、体積、質量

システムの熱力学的状態は、温度、圧力、体積などのさまざまな変数によって決まります。そのため、まずどの変数が独立しているのかを確認し、その上で、どの変数を変化させ、どの変数を一定に保つのかを明確にすることが重要です。



閉じた容器内で一定のランダム運動をする分子



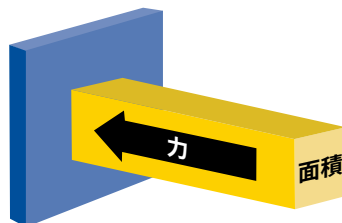
Blaise Pascal (1623-1662)

圧力

気体や液体が閉じた容器内に含まれている場合、それらの分子は一定ですが、ランダムな運動をしており、容器の壁だけでなく、互いに常に衝突しています。

これらのすべての衝突は、力をもたらすために組み合わされた特定の領域で発生します。定義された領域でのこの力は、圧力と呼ばれます。

$$\text{圧力} = \frac{\text{力}}{\text{面積}}$$



パスカルの法則（気体と液体）

1600年代、ブレーズ・パスカルは、後に「パスカルの法則」として知られる、流体圧力の伝達に関する原理を発見しました。この法則は、閉じた容器内の圧力の変化が容器内のすべての方向に等しく伝わることを示しています。したがって、容器内の圧力は、容器内の任意の点から測定できます。



圧力はすべての方向に等しく作用します。

絶対圧 ゲージ圧 差圧 大気圧

■ 絶対圧

真空（完全な無圧状態）を基準とする圧力。大気圧を含むため、一般的に絶対圧 = ゲージ圧 + 大気圧で計算される。気圧計や高度計などで使用されます。

■ ゲージ圧

周囲の大気圧を基準とする圧力。ゲージ圧 = 絶対圧 - 大気圧で求められる。タイヤの空気圧や工業用機器の圧力測定に利用されます。

■ 差圧

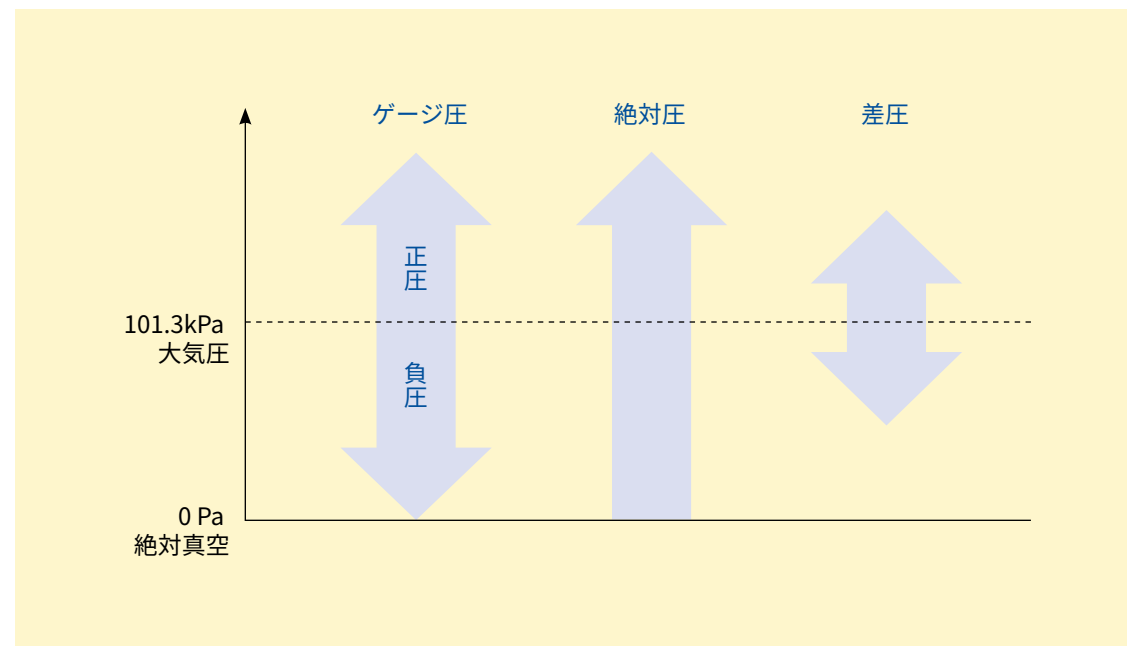
差圧は基準となる圧力と測定する圧力との差で表現されます。

■ 大気圧

一般的には大気圧は 101.3kPa abs を示します。

大気の状態や場所によって変動します。

絶対真空とは、絶対圧力が 0 の状態を指します。



温度

流体の密度と粘度は常に温度に依存します。

温度とは、物質の内部にある分子の活性度を表したものです。

分子活動のレベルが上がると、物質の温度が上がります。

「暑い」や「寒い」といった言葉は非常に主観的であるため、数値で温度を表すために温度の尺度が定義されました。

- [一般的な単位]
- °C: Celsius (摂氏)
 - °F: Fahrenheit (華氏)
 - °R: Rankine (ランキン)
 - °K: Kelvin (ケルビン)

単位変換の概要

元の単位		変換する単位		計算式
Fahrenheit (華氏)	°F	Celsius	°C	$[^{\circ}\text{C}] = ([^{\circ}\text{F}] - 32) \times 5/9$
		Rankine	°R	$[^{\circ}\text{R}] = [^{\circ}\text{F}] + 459.67$
		Kelvin	°K	$[^{\circ}\text{K}] = ([^{\circ}\text{F}] + 459.67) \times 5/9$
Celsius (摂氏)	°C	Fahrenheit	°F	$[^{\circ}\text{F}] = ([^{\circ}\text{C}] + 273.15) \times 9/5$
		Rankine	°R	$[^{\circ}\text{R}] = ([^{\circ}\text{C}] + 273.15) \times 9/5$
		Kelvin	°K	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{C}] + 273.15$
Rankine (ランキン)	°R	Fahrenheit	°F	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{R}] - 459.67$
		Celsius	°C	$[^{\circ}\text{C}] = ([^{\circ}\text{R}] - 491.67) \times 5/9$
		Kelvin	°K	$[^{\circ}\text{K}] = [^{\circ}\text{R}] \times 5/9$
Kelvin (ケルビン)	°K	Fahrenheit	°F	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{K}] \times 9/5 - 459.67$
		Celsius	°C	$[^{\circ}\text{C}] = [^{\circ}\text{K}] - 273.15$
		Rankine	°R	$[^{\circ}\text{R}] = [^{\circ}\text{K}] \times 9/5$

 液体金属：岩石や金属は、十分に加熱されるとすべて流動化します。これは、地球の内部深くで実際に起きていることです。



気体の体積

気体の流量を計測する場合、気体は圧縮性流体であるため、圧力や温度の影響を考慮する必要があります。

したがって、気体の状態を温度と圧力の観点から理解することが重要です。

圧力、温度、体積の関係性を示すために理想気体の状態方程式を利用します。

この方程式はシャルルの法則（一定圧力下では気体の体積が温度に比例する）およびボイルの法則（一定温度下では、圧力と体積の積が一定である）の実験的測定から導き出すことができます。

シャルルの法則とボイルの法則を組み合わせると、**理想気体の状態方程式**は次のように表せます。

一般的にはボイル・シャルルの法則として知られています。

$$P \times V = n \times R \times T$$

理想気体の状態方程式は、次の形式で記述することもできます。

$$\frac{V}{V_0} = \frac{P_0 \times T}{P \times T_0}$$

P : Pressure (圧力)

V : Volume (体積)

n : Number of moles (モル数)

R : Gas constant (気体定数)

T : Temperature (温度)

気体の流量は、実際の条件ではなく、定義された条件のもとで「体積流量」として表現されることが多いです。実際に測定された体積流量は、定義された温度と圧力の条件を基に換算されます。

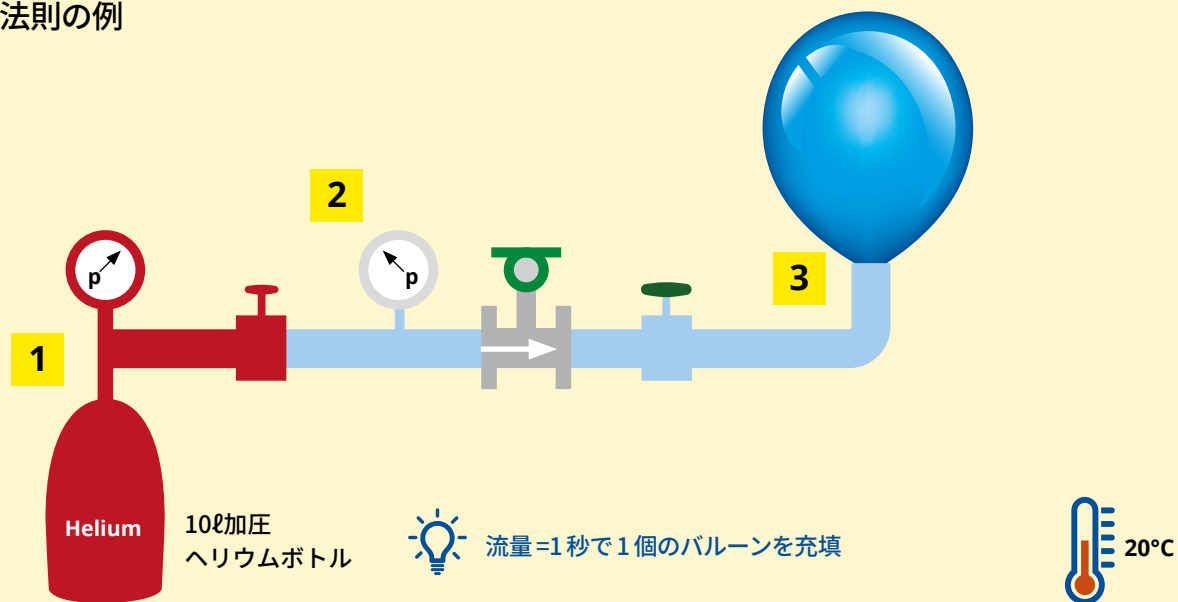


理想気体は、3つの状態変数：絶対圧 (P)、体積 (V)、絶対温度 (T) によって定義付けることができます。

通常の流量測定では、温度と圧力は一定にすることは困難なため、実際に測定された温度と圧力を用いて（例：0°C 1気圧）流量を計算します。

気体の質量

質量保存の法則の例



1 ヘリウムは高圧のボトルに貯蔵されており、輸送が容易です。限られたスペースに多くのガスを効率よく貯蔵することができます。

200 bar
33 kg/m³
10ℓ = 0.01m³
= 330 g

2 バルーン充填工程では、ヘリウムはコントロールバルブによって高圧ボトルから低圧で放出されます。この例では、ヘリウムは流量計を通ります。これらは流量計の運転条件になります。

20 bar
3.3 kg/m³
330 g
= 100ℓ = 0.1m³

3 ヘリウムはバルーンの中にあります。圧力は大気圧よりわずかに高く、バルーンは完全に膨張しています。10リットルのボトルに入った加圧ヘリウムは、直径 30 cm の 137 個のバルーンを満たします。

1.01 bar
0.16 kg/m³
330 g
= 2060ℓ = 2.06m³



バルーンは屋外にあり、温度は摂氏 0 度と低温です。気圧は 1.0135 bar です。この状態は一般的に標準状態と呼ばれ、基準状態として明確に示すために体積単位に「N」が表示されます。

330 g のヘリウムは、0°C で 1.94 m³ の空間を満たします。10ℓ He=137 バルーンと 1.0135 bar の場合、これは 1.94 N m³ です。

10ℓHe = 137 balloons

質量は、上記のような環境条件の影響を受けずに測定できると言えます。



2.4 流量

流れの物理学を理解するには、流体の特性と配管内の基本的な現象を把握することが重要です。また、最も重視すべきは、流体が配管内をどれだけ流れているかを正確に測定することです。測定の目的は、質量流量または体積流量のいずれかを求めることにあります。

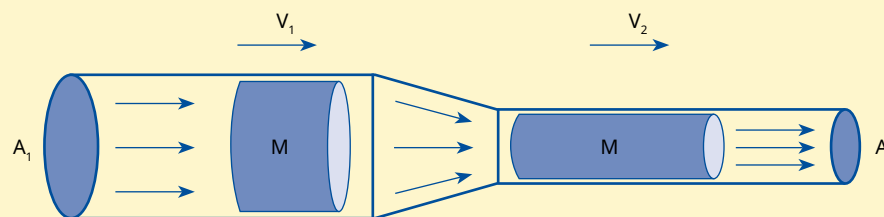
連続方程式

配管の直径が変化しても、配管内を流れる 1 秒当たりの質量を一定に保つためには、連続方程式を利用し、流速を調整する必要があります。

配管内の流れは、質量流量と体積流量として記述できます。配管の寸法と形状が判っている場合は流速を測定することで体積流量を求めることができ、更に流体の密度もわかっている場合は質量流量を求めることができます。



流体が安定している場合密度は一定です（非圧縮性流体）



■ 体積流量の連続方程式

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Q: 体積流量 (m³/s) A: 断面積 (m²) V: 流速 (m/s)

〔適用対象〕 非圧縮性流体（液体）：密度 ρ が一定なので、流体の流れをシンプルに表せる水や油などの液体流れの計算

〔式の意味〕 ・断面積が小さくなれば流速が上がる
・ホースの先を絞ると水の勢いが増す現象

■ 質量流量の連続方程式

$$M = \rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2$$

M: 質量流量 (kg/s) ρ : 密度 (kg/m³) A: 流れの断面積 (m²) V: 流速 (m/s)

〔適用対象〕 圧縮性流体（気体）：密度 ρ が変化するため、体積流量だけでは流れを正しく表せない空気、蒸気、天然ガスなどの流れの計算

〔式の意味〕 ・気体は密度が変わるため、圧力や温度の影響を考慮する必要がある
・圧力が低くなると、気体は膨張して流速が変わる

配管設備の最大流速

配管設備内の流体の流速は、騒音や配管および接続部の損傷を避けるために、特定の流速を超えないよう設計する必要があります。

次の表は、配管サイズの選定時に参考になる最大流速のガイドです。

	m/s
Liquids (液体)	1 – 3
City Water (都市水)	1 – 2.5
Tap Water (low noise) 水道水 (低騒音)	0.5 – 0.7
Benzine, Light Fuel (ベンジン、軽油)	1.8 – 2
Lubricating Oil, Heavy Fuel (潤滑油、重質燃料)	1.5
Saturated Steam (飽和蒸気)	20 – 30
Superheated Steam for Turbines (タービン用過熱蒸気)	30 – 80
Gas (ガス)	10 – 30
Compressed Air (圧縮空気)	20
Natural Gas (天然ガス)	30
Oxygen (酸素)	9 – 20

* 本表は参考用であり、これに該当しない、より厳しい条件の場合は慎重な検討が必要です。



ベルヌーイの定理

ベルヌーイの定理は、流体力学において、圧力の低下または流体のポテンシャルエネルギーの減少と同時に流速の増加が起こることを示しています。この原理は、ダニエル・ベルヌーイが1738年にHydrodynamicaで発表したことにちなんで名付けられました。

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh + P = \text{constant (定数)}$$

P : 圧力 (Pa)

ρ : 流体の密度 (kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

v : 流速 (m/s)

h : 位置エネルギーの高さ (m)

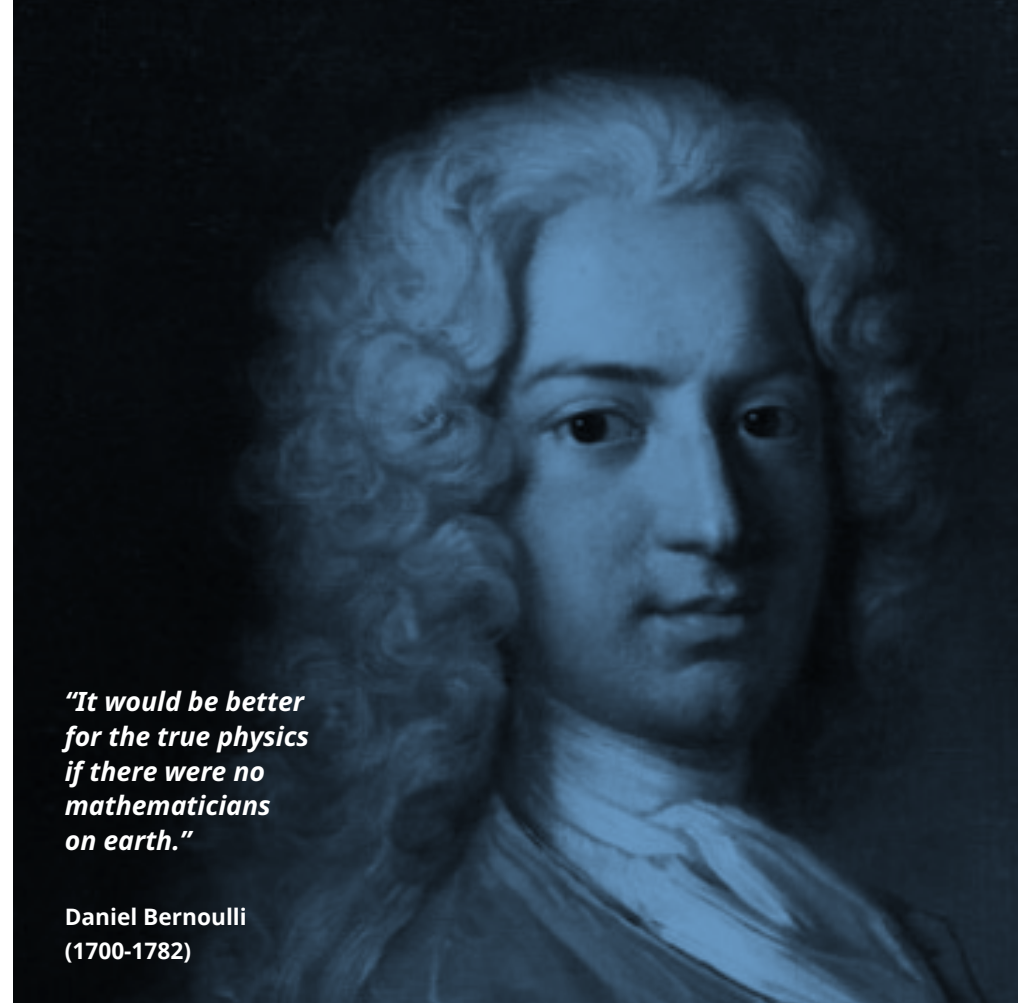
上記の原理は、運動エネルギー、位置エネルギー、圧力による仕事の和が常に一定であることを示しています。パイプラインの2つの異なるポイントで流速圧力を測定することにより、パイプ径の変化による測定が可能になります。

流れの測定

ベルヌーイの定理の応用としてオリフィスと差圧伝送器を使用した流量測定があります。これは、配管内の絞り前後の差圧から流量を求めるものです。

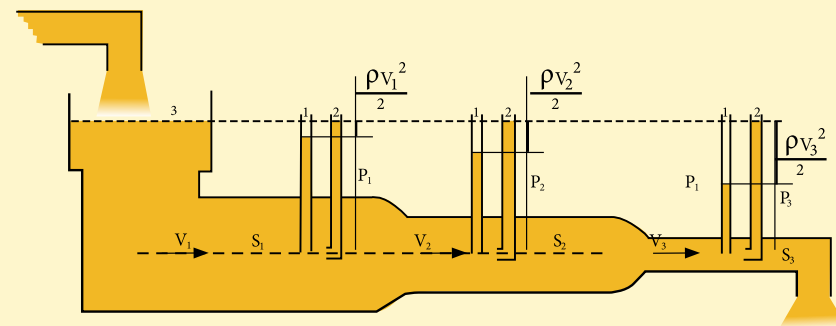


YOKOGAWA の差圧流量計の詳細については、[こちらをクリックしてください](#)。



*"It would be better
for the true physics
if there were no
mathematicians
on earth."*

Daniel Bernoulli
(1700-1782)

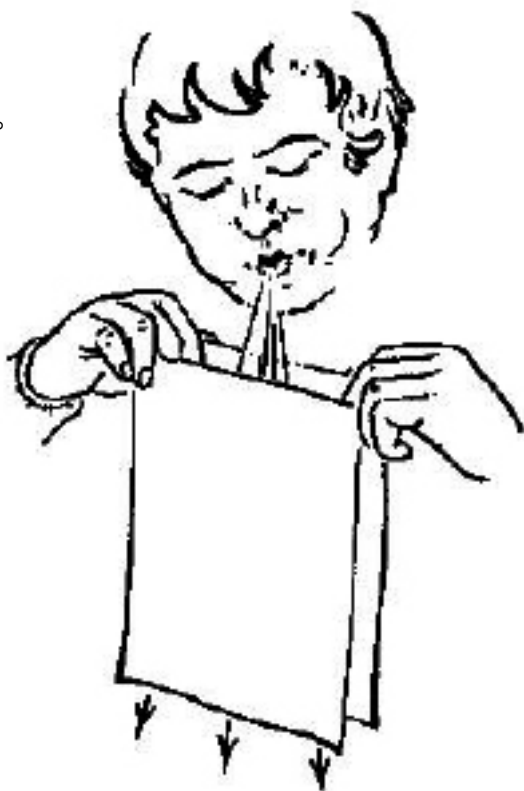


チューブ内の三点でのベルヌーイ比較

Do It Yourself (やってみよう)

1. 薄い紙を二枚持って

垂直に短い距離を離して
間のスペースに息を吹き込む。



2. 小さな紙の一端を両手で持つ。

握った端を水平に保ち、もう一方の端は自重で垂れ下がる。
紙の「上側」に向かって息を吹きかけます。



紙が「上向き」に持ち上がります。息を吹きかけることで、紙の「上側」の空気の速度が速くなります。ベルヌーイの定理によれば、**空気の速度が速い部分では圧力が低くなる**ため、紙の「下側」の空気の圧力が相対的に高くなります。この圧力差によって、紙が「下から上に押し上げられる」ように動きます。

レイノルズ数 (Re)

レイノルズ数は、流体の流れのパターンを表し、流れが乱流か層流かを判断するために使用されます。

これは無次元であり、異なる流体での流れの挙動の比較とシミュレーションを可能にします。レイノルズ数 (Re) と流体の速度分布や形状は、流量計の設計において重要です。

層流

実際には、レイノルズ数が 2000 未満の場合、流れは層流です。

乱流

レイノルズ数が 3500 を超える場合、流れは乱流です。ほとんどの流体システムは乱流で動作します。

$$\text{Re} = \frac{\text{慣性力 (Inertia forces)}}{\text{粘性力 (Viscous forces)}} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

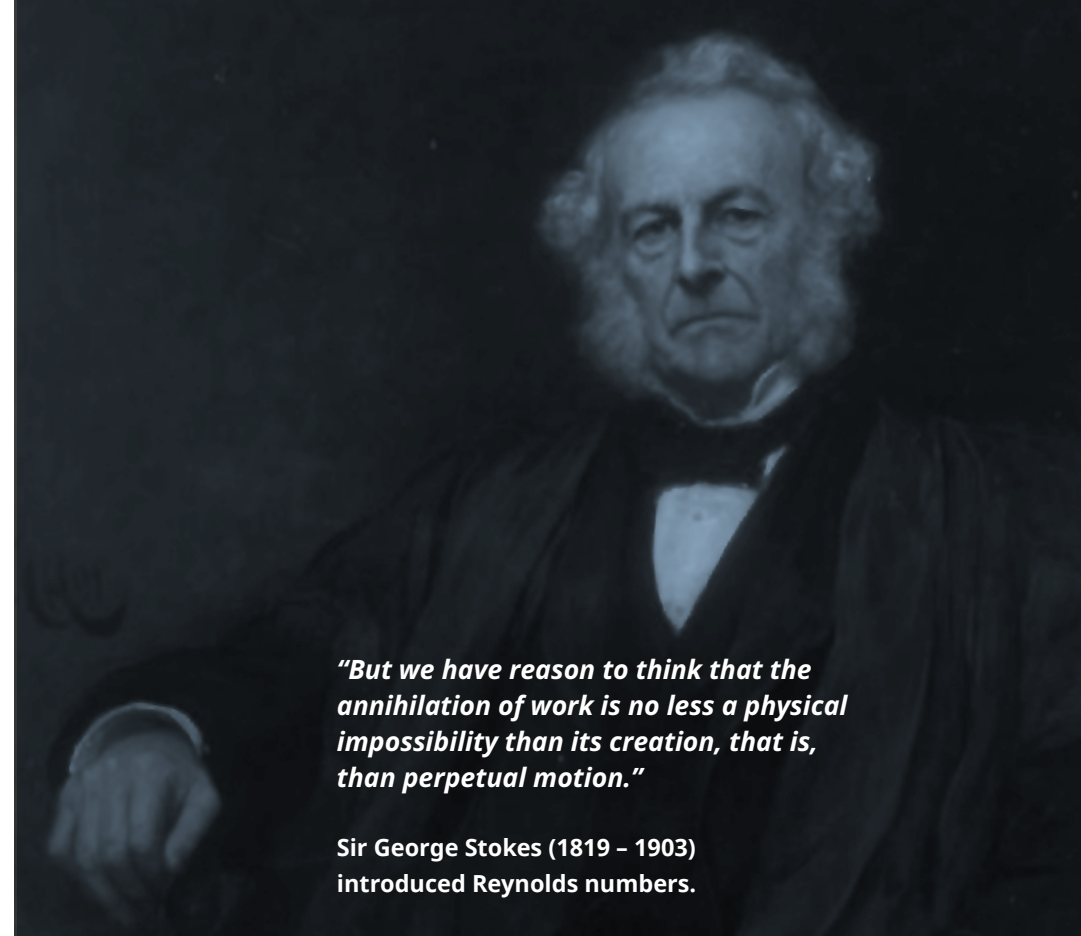
Re : レイノルズ数

ρ : 流体の密度 (kg/m³)

v : 流体の流速 (m/s)

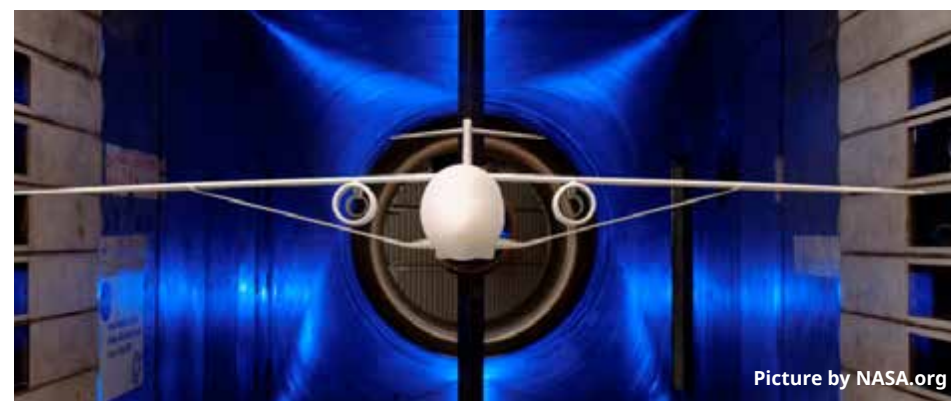
D : 管の直径 (m)

μ : 流体の動粘度 (Pa·s または N·s/m²)



"But we have reason to think that the annihilation of work is no less a physical impossibility than its creation, that is, than perpetual motion."

Sir George Stokes (1819 – 1903)
introduced Reynolds numbers.

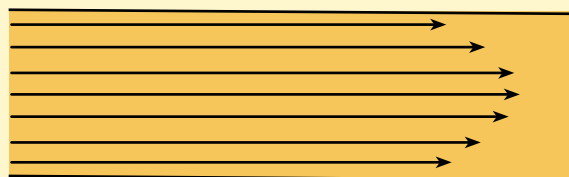


Picture by NASA.org

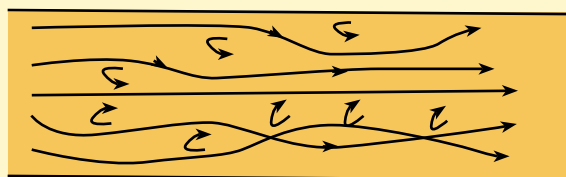
レイノルズ数を使用すると、風洞内のスケールモデルを使用して飛行機の設計をシミュレートできます。

流速分布

流速分布は、速度と粘度に基づいて、パイプ内で流体の流れがどのように動作するか、またはどのように動作する可能性があるかを説明します。これが明確になると、使用可能なさまざまな種類の流量計のうち、アプリケーションの要求に最適なものを決定することができます。流れは、層流または乱流として記述できます。



Laminar flow (層流)



Turbulent flow (乱流)

流れはより乱れ、渦が流れの抵抗を引き起こします。流れが層流か乱流かの条件は、流体の密度や粘度だけでなく、流体が通る管の直径など、流体を含む体の寸法にも依存します。無次元で表現されるのがレイノルズ数 (Re) です。

層流とは、安定した低速の流れの中で発生する、最も予測しやすいタイプの流れであり、流体が層状に滑らかに流れる状態を指します。このような流れは、特に流速が低いときに顕著に見られます。

乱流は、流速が速くなると発生します。レイノルズ数が約 2000 を超えると、流れは層流から乱流へと移行しています。流速が増加すると、それまで整然としていた流体の層構造が乱れ、分子の動きが不規則になり、複雑な渦を巻くようになります。その結果、パイプ内の流速分布も変化し、流れは乱流になります。

パイプ内の摩擦、圧力損失

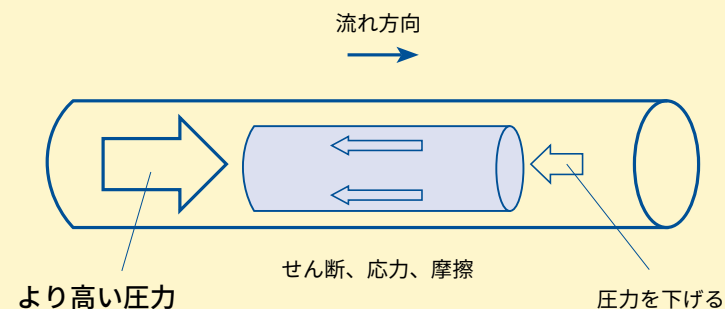
流体は高圧側から低圧側に流れます。流体がパイプ内を移動すると、抵抗（圧力損失）が発生します。上流側の圧力がパイプなどの抵抗圧力よりも低い場合は流体が流れなくなります。

多くの流量計は、圧力損失を生みます。配管設計をする際は流量計の圧力損失も考慮する必要があります。

圧力損失は、流量計メーカーが提供する情報でもあります。



圧力損失がほとんどないYOKOGAWAの電磁流量計の製品情報はこちらをクリックしてください。



パイプ内の流体体積の自由体図

二箇所の圧力差は、流体とパイプ内面との間の粘性せん断応力のバランスをとります。

流体は平衡状態にあり、一定の速度で移動します。

上流側の圧力がパイプなどの抵抗圧力よりも低い場合は流体が流れなくなります。

流量要素における圧力損失

流量計測の原理と圧力損失について

多くの流量計測の原理は、流路内の制限とそれによる圧力差に基づいています。また、渦流などの流れのパターンを活用するために、流れを変化させる方法もあります。流路の制限により圧力が低下し、この圧力の低下には瞬時圧力損失と永久圧力損失の2種類があります。

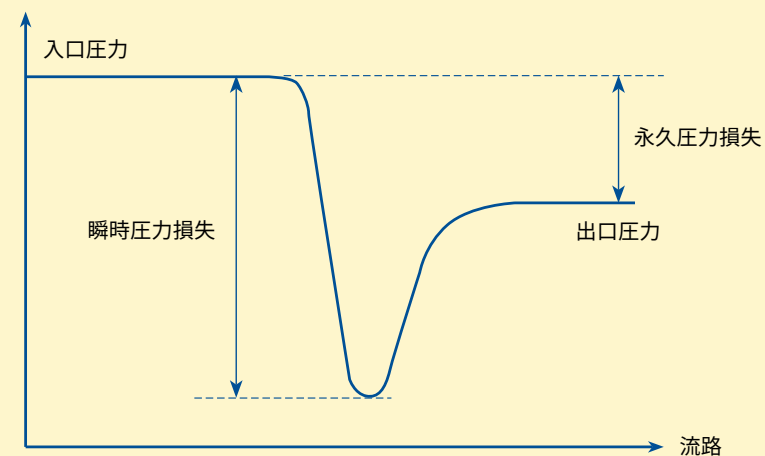
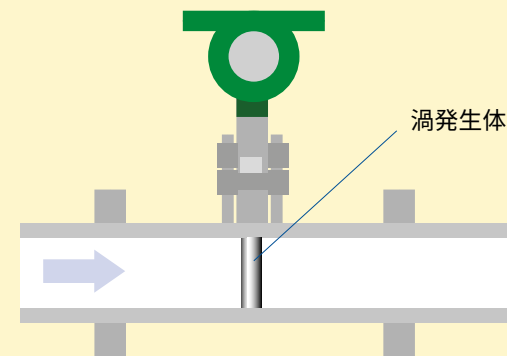
永久圧力損失は入口圧力と出口圧力の差の事を指します。

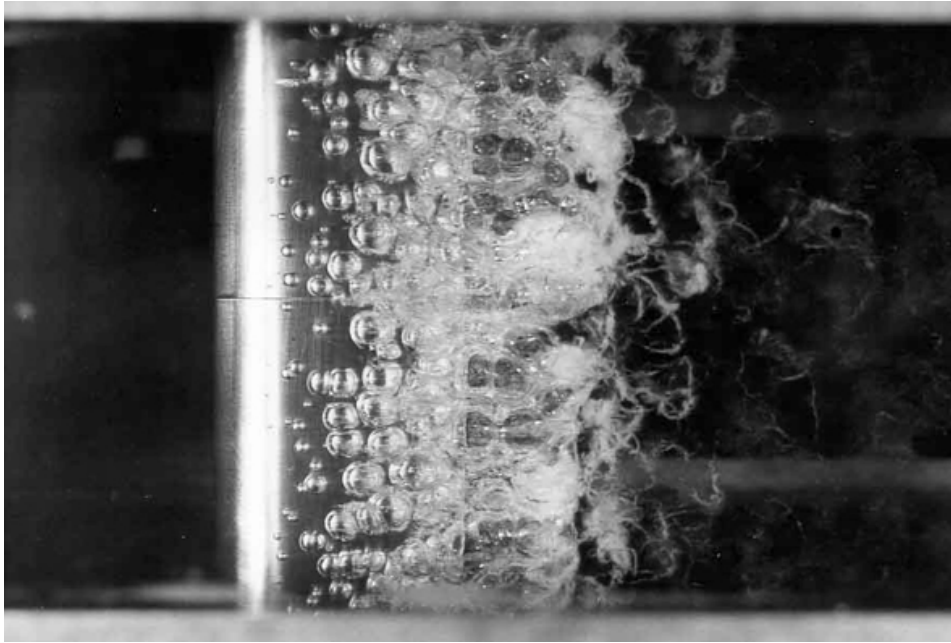
瞬時圧力損失は、流速が最も高い狭窄部（絞り部分）での最も低い絶対圧を指します。
絶対圧は、流体の状態（気体・液体）の維持に影響します。

注意点：圧力低下が気化圧を下回る場合

絶対圧が流体の気化圧を下回ると、液体中に気泡が発生し、測定精度が低下する可能性があります。この現象は、計測の正確性に大きな影響を与えるため注意が必要です。この現象をキャビテーションと言います。

Yokogawa では、正確な計測をサポートするツールをご提供していますので、ぜひご活用ください。





キャビテーション

蒸気圧（極低温流体）

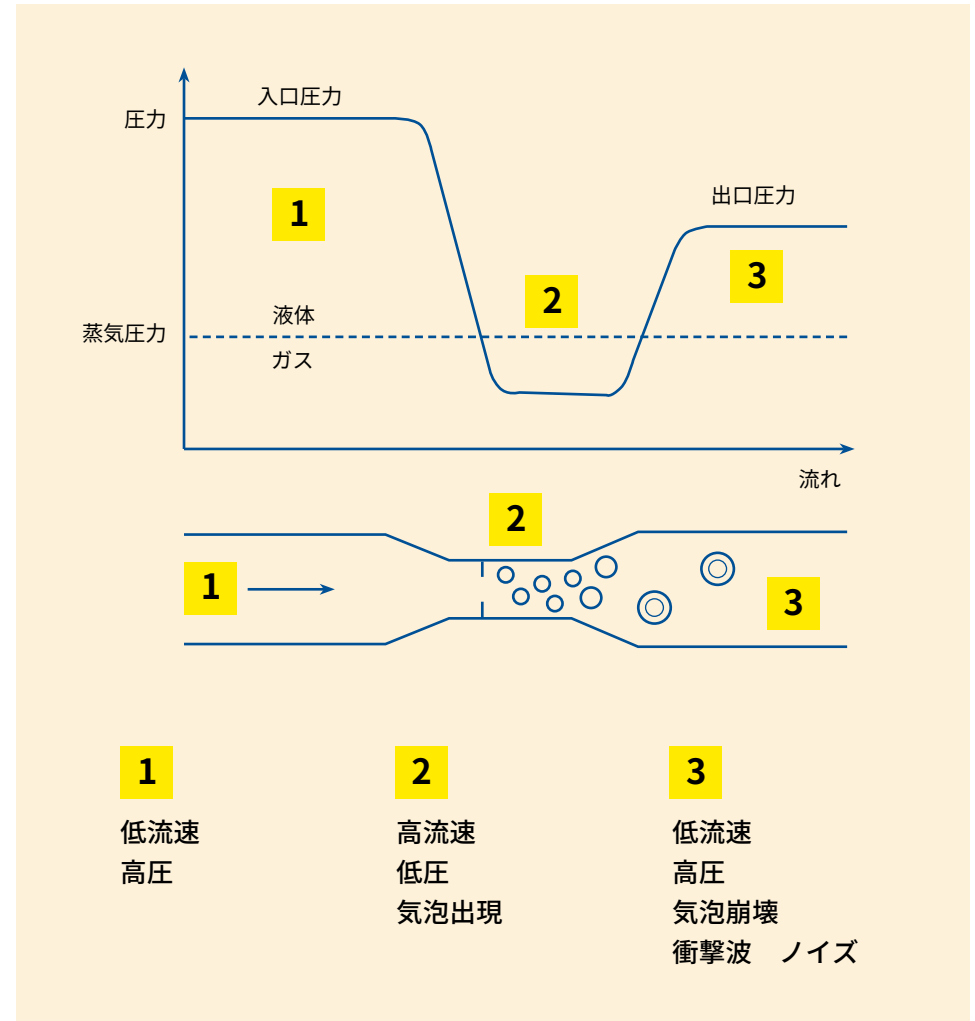
極低温流体を取り扱う際には、フラッシングの影響が顕著に現れます。極低温流体とは、常温では気体の状態にある流体を指します。これらの気体は、さまざまな理由で液体化されます。

代表的な例は、液体窒素や LNG です。これらの液体は、常に沸点よりわずかに低い温度で容器に貯蔵されます。圧力の低下や温度の上昇は蒸発につながります。したがって、極低温流体の流量測定に関しては、特別な注意が必要です。

その他の流体現象：キャビテーション

キャビテーションとは、液体が低圧領域で急速に気化し、圧力が回復すると液体状態に戻る現象です。キャビテーションは、圧力が液体の蒸気圧を下回ると発生します。

YOKOGAWA ◆



流量計が流体の流れを測定する際に発生する音やノイズ

キャビテーションによって蒸気泡が形成され、圧力回復領域で再び液化します。この蒸気泡の突然の生成と崩壊は激しい現象であり、機器の部品に深刻な損傷を与える可能性があります。キャビテーションを防止するためには、局所的な圧力低下を考慮し、圧力を常に蒸気圧以上に保つこと、そして運転時の流速を適正な範囲に維持することが重要です。

3. 流量計の設置

目的

流量計の性能を最大限生かすために、
設置の意義をよりよく理解する

流量計を選ぶときは、どこに、どうやって設置するかをしっかりと考えることが非常に重要です。これをおろそかにすると、精度や効率に影響が出てしまいます。たとえ高性能な流量計でも、設置の仕方が間違っていると正確な測定はできません。

流量計ごとに決まった設置条件があり、それは機器に付属している取扱説明書に書かれています。

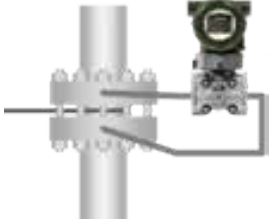
この章では、流量計を設置する際に気をつけたいポイントと、よく使われる設置のコツをわかりやすく紹介します。

ほとんどの流量計は、測定する流体が単相流体（気体または液体）の場合に最も良い性能を発揮します。もし流体がスラリーや気泡を含むなどの二相流であることが分かっている場合、そのような条件下での測定における影響を考慮し、それを踏まえた上で流量計を選定する必要があります。



3.1 はじめに

この章では、流量計の取り付けの向きと設置方法が流量計の性能と精度に影響することを説明します。

	コリオリ流量計	電磁流量計	渦式流量計	差圧式流量計
上向き方向				
水平方向				
必要直管長	No	Yes	Yes	Yes
逆流量測定可否	Yes	Yes	No	No

横河電機が供給している流量計の固有の設置要件

3.2 直管長確保の重要性

流量計の設置ガイドラインは、主に配管に関する要件に基づいており、どの流量計を選定するかを判断する上で重要な役割を果たします。

電磁流量計や渦流量計は、流体の流速を測定し、配管の断面積を掛けることで体積流量を計測する機器です。体積流量の算出には、配管の断面積と流速の情報が必要となります。

ただし、正確な測定を行うためには、流れが乱れず安定していることが重要です。そのため、流量計の上流側および下流側には、十分な長さの直管（まっすぐな配管）を設ける必要があります。必要な直管長は、機器ごとに異なるため、各流量計の設置マニュアルを参照してください。

直管長とは流体の流れに影響を与える要因のないストレートな配管部分の長さを指します。流体の流れに影響を与える要因の代表例としては拡大管、縮小管、エルボ管や分岐管、バルブなどが挙げられます。



 **ADMAG TI シリーズ AXG 電磁流量計**
スタートアップマニュアル
3 設置の章をご参照ください



 **渦流量計 VY シリーズ**
スタートアップマニュアル
3 設置の章をご参照ください

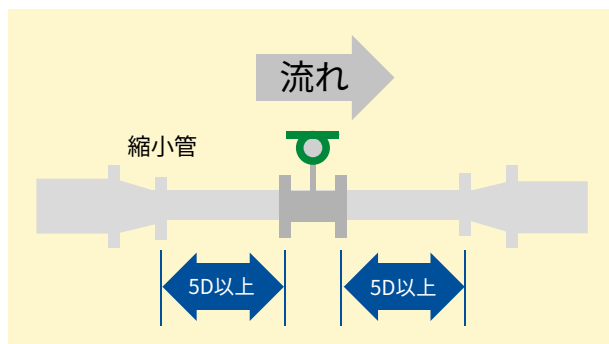
3.3 流量計の設置条件（必要直管長の事例）

流量計は、流れがない場合でも常に流体で満たされている位置に設置する必要があります。

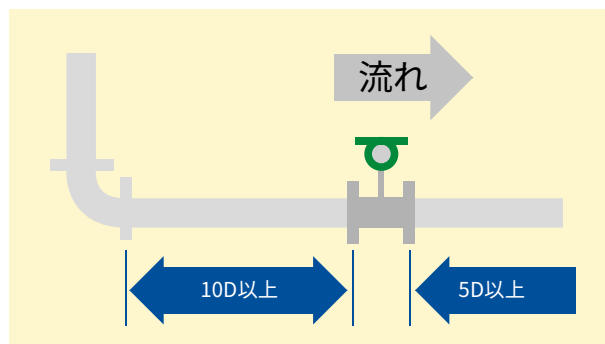
また、不必要な第2相（液体内の気体や気体サービス内の液体）の逃げ道を確保する必要があります。

逃げ道の確保についての詳細は次ページにて説明します。

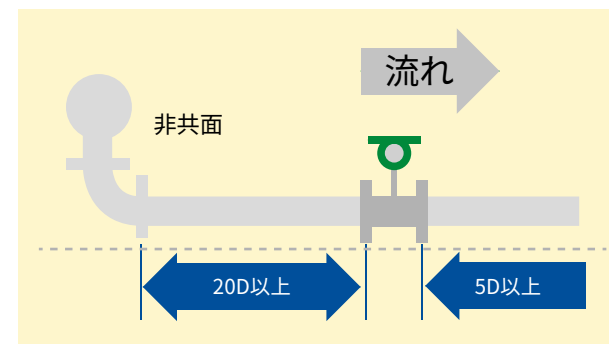
縮小管への設置



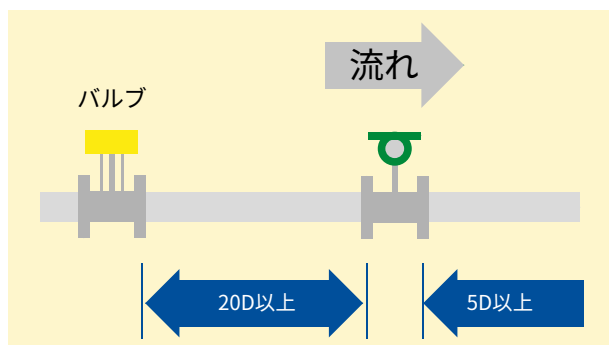
単一の曲がり管へ設置



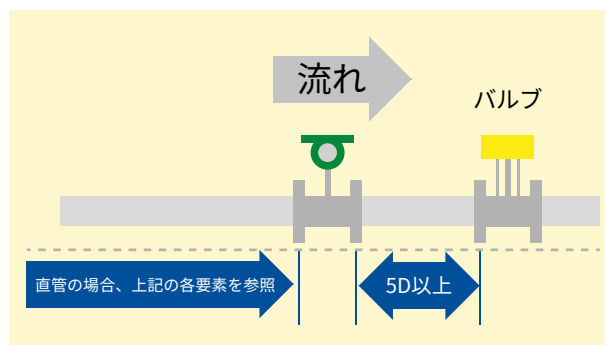
二重の曲がり管で同一平面ではない



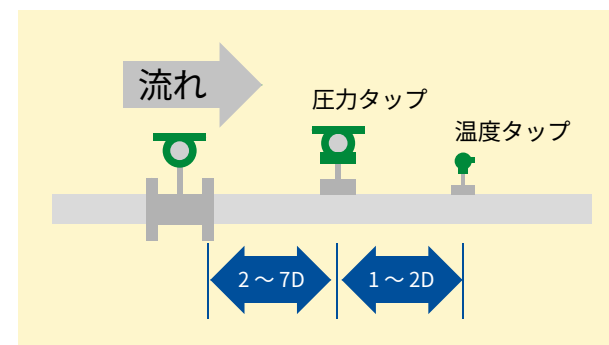
バルブを上流に設置する場合



バルブを下流に設置する場合



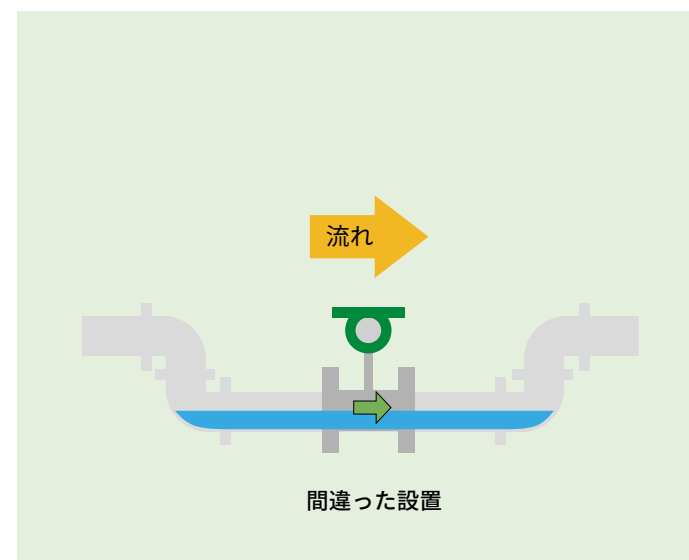
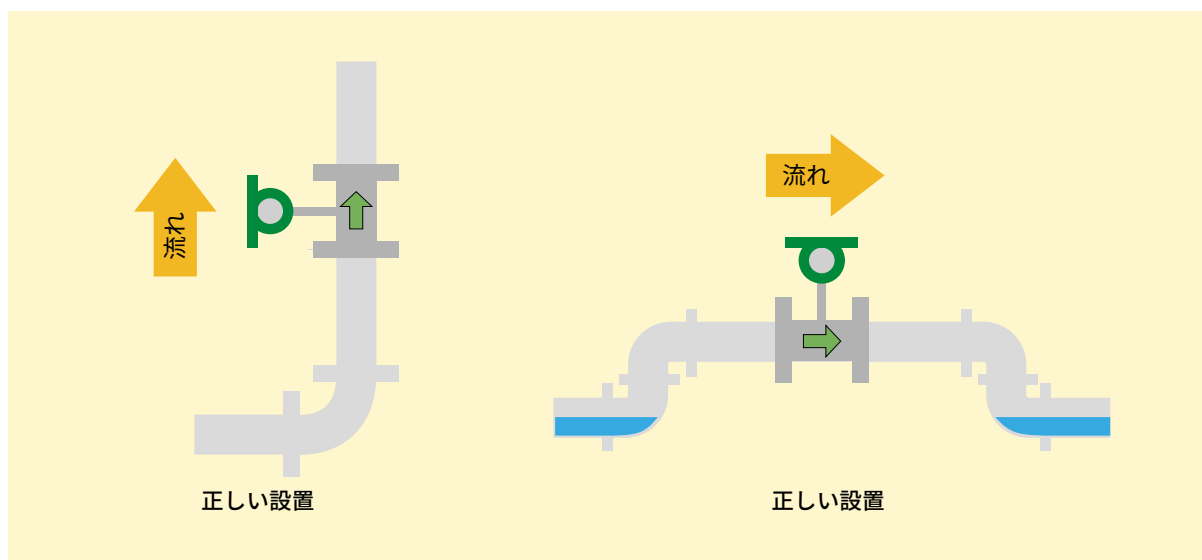
圧力計や温度計を設置する場合



横河電機の渦流量計 VY シリーズの直管長の要求例

3.4 気体・蒸気を測定する際の設置条件

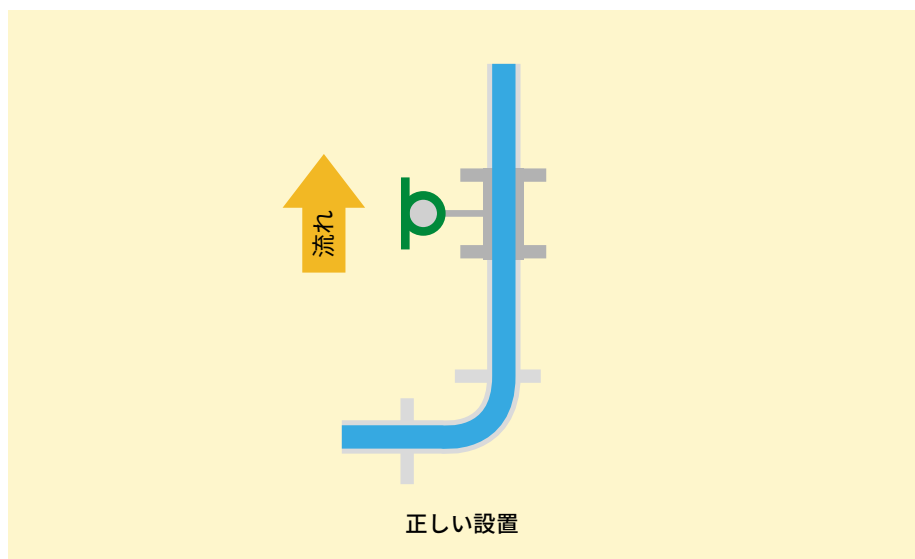
気体は、圧力や温度の条件によって液体に変化します。このような凝縮が発生すると、生成された凝縮液が配管の下部に滞留します。そのため、水平配管においては、流量計の検出部内で気体と液体が混在しないよう、**流量計は配管の高い位置に設置する必要があります**。



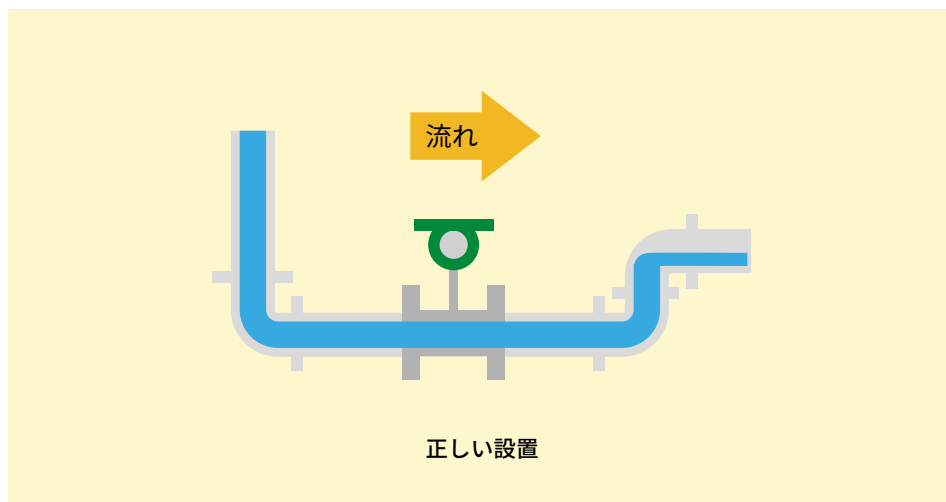
流量計は液体が閉じ込められる可能性のある場所には、設置するのは避けてください。

3.5 液体を測定する際の設置条件

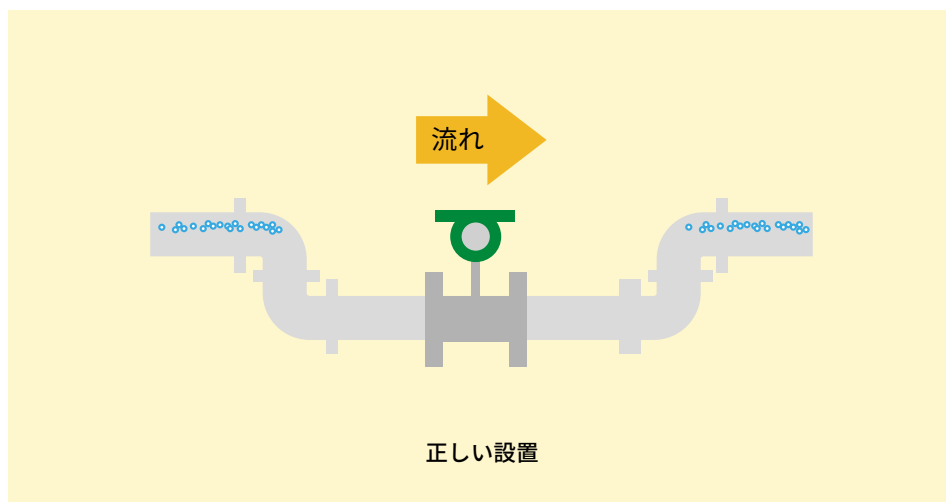
液体測定の際には満水状態を確保し、気泡が抜けやすくするために下から上に流れるように配管することが推奨されます。



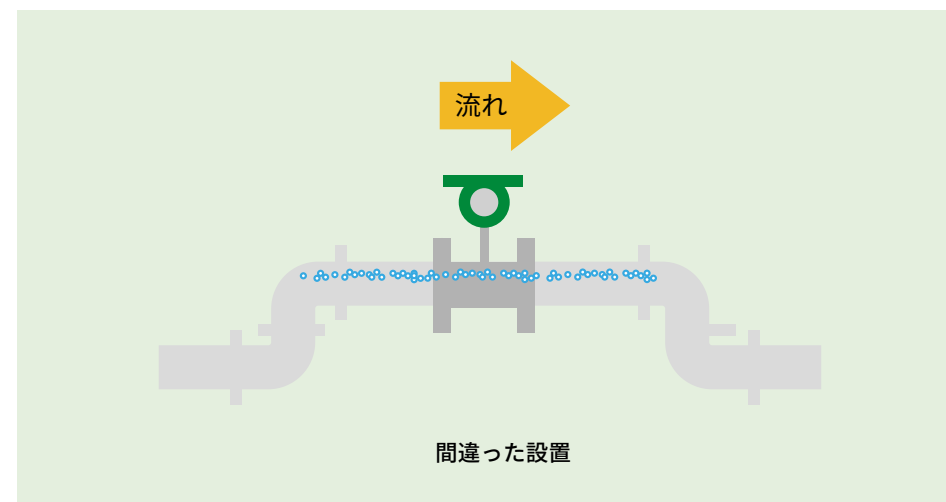
上から下への流れは推奨されませんが、ただし、流量計が常に液体で満たされていることが確認されている場合を除きます。

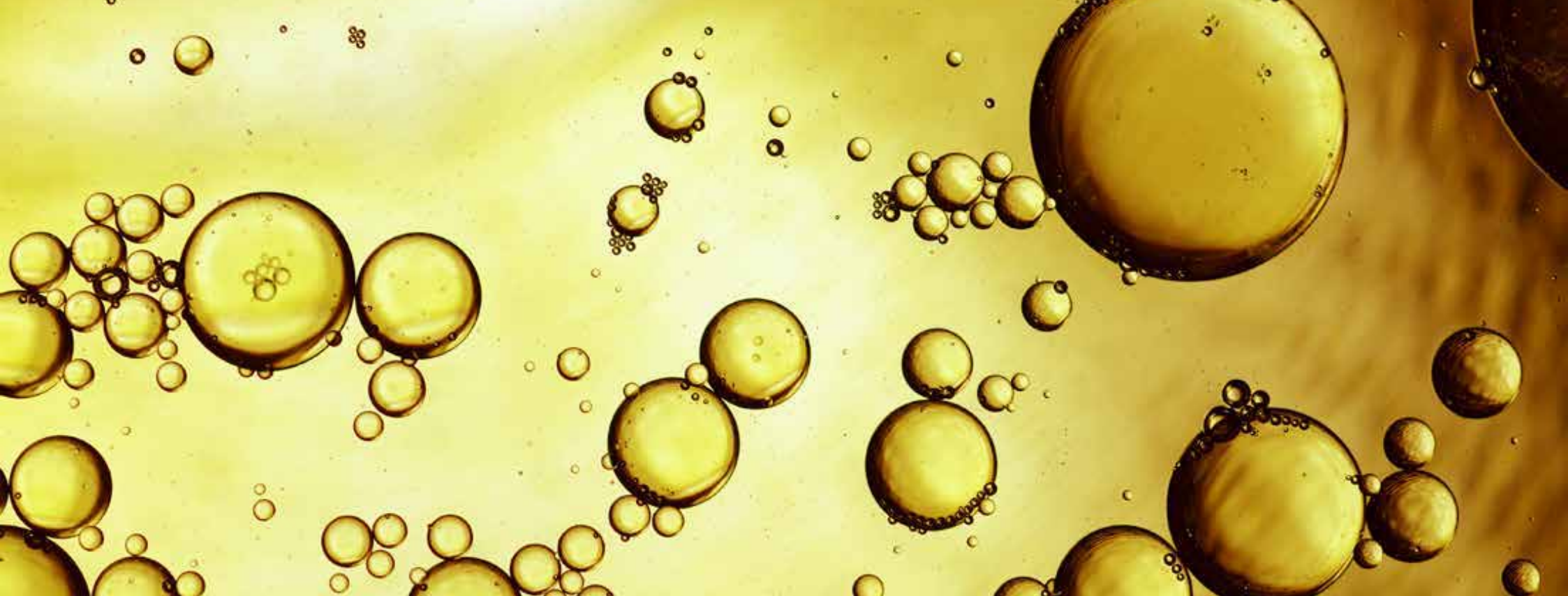


この図では、流量計が液体で部分的にしか満たされていない状況が見られます。流量を制御するには、液体を重力に逆らって流れるようにするのが最適です。もし流れが重力に従っている場合は、流量計の下流の配管を持ち上げて、配管が完全に液体で満たされるようにしてください。



液体用途の場合、流量計をパイプラインの低い位置に設置します。これにより、気泡が流量計を通過するのを防ぐことができます。



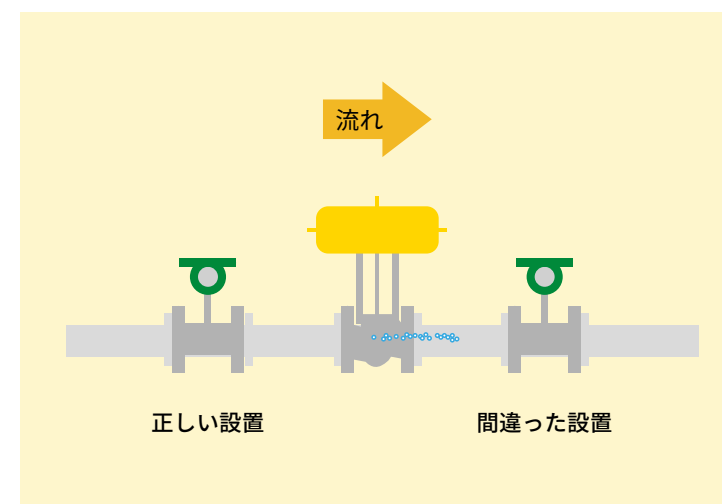


気泡を避ける

配管を設置する際は、気泡が発生しないような配管にする必要があります。流路内で急激な圧力低下が起こると、液体溶液から気体が発生します。この現象はキャビテーションと呼ばれます。気化しやすい要因としては、バルブなどにより急激な直径変化による圧力低下が挙げられます。

これらのガイドラインは、アプリケーションにおいて流量計を最適な位置に設置するための有効な指針となります。

ただし、場合によっては制約がある場合もあり、その結果として流量計の測定精度にわずかな影響が生じる可能性があることを考慮する必要があります。特に、非常に重要な測定を行う場合で、最適な設置が困難な状況では、正規運用前に、試験場などでその条件をシミュレーションし、性能を事前に確認することを推奨します。





ガスケット

ガスケット（**Gasket**）とは、主に配管や機械部品の接続部分に使用されるシール材です。接続部の隙間を埋めて、液体や気体が漏れるのを防ぐ役割を果たします。

流量計はガスケットやボルトが付属していない状態で提供されることがほとんどですので、ガスケットの準備は設置者が行います。

ガスケットは、使用する液体に適したものを選択する必要があり、ガスケットメーカーは、ツールや選定ガイドを提供しています。

流量計の配管の接続には主に平型ガスケットが使用されます。設置時には、ガスケットが配管の内径に突き出ることがないように注意してください。万が一突き出してしまうと流れに乱れが生じ、測定値が不正確になる可能性があります。そのため、適切なサイズと内径を確認する必要があります。

ボルト穴付きのガスケットの使用を推奨します。スパイラルガスケット（ボルト穴なし）を使用する場合は、標準品が特定のフランジ規格に使用できない場合があるため、ガスケットメーカーにサイズを確認してください。また、密閉面が清潔であり、設置の前後にガスケットが損傷していないことを確認してください。



最適な位置合わせを実現するために、ボルト穴付きのガスケットを使用することが推奨されます。

流量計の設置環境チェックリスト

☒ 危険区域（防爆要件）

承認タグに記載されている危険区域が、流量計を設置する環境に適していることを確認してください。

☒ 温度

周囲環境およびプロセス温度が、流量計の仕様範囲内であることを確認してください。

☒ 電源

供給電圧が正しいかどうかを確認してください。
(24V 電源用に 100V を供給すると壊れる可能性があります)

☒ 通信環境

通信プロトコルを確認し、制御システムへの信号をシームレスに転送できるようにしてください。



4. 流量計の選択

目的

流量を測定するための可能性、流量計技術、
および利用可能なツールを理解すること。

理想的な流量計とは、どのような流体（液体、気体、または蒸気）でも扱うことができ、さらに広範囲の運転条件（極低温から過熱蒸気まで）に対応できるものです。その精度は高く（0.25% 以上）、測定範囲も広い（ゼロから無限）ものであることが理想的です。しかしながらそのような流量計は存在しないため、多くの流量測定技術をよりよく理解し、用途に適した流量計を選ぶ必要があります。



4.1 流量計の種類

横河電機は、各種流量計の開発・設計・製造において 60 年にわたる豊富な経験を有しており、その長い歴史に裏打ちされた信頼と実績を誇ります。

業界初となる数多くの技術的成果を達成してきた横河は、流量計測分野における技術革新をリードし続けています。



コリオリ流量計



電磁流量計



渦流量計



差圧 (DP) 流量計

コリオリ流量計



製品の詳細情報は[こちら](#)

この 10 年で、コリオリ質量流量計は汎用的な流量測定の使用から、特定の分野における高度な要求にも応える流量計として、その活躍の場を広げてきました。複雑で高度な市場要求が増加するにつれ、よりシンプルな操作や取り扱いも要求されるようになってきています。

横河電機は、用途別の 6 種類の製品と選択可能な 2 種類の変換器による高い柔軟性で、そのようなご要求にお応えします。



2016
ROTAMASS
TI

2008
ROTAMASS
3 series XR

2003
ROTAMASS
3 series

1998
ROTAMASS
2 series

1993
ROTAMASS

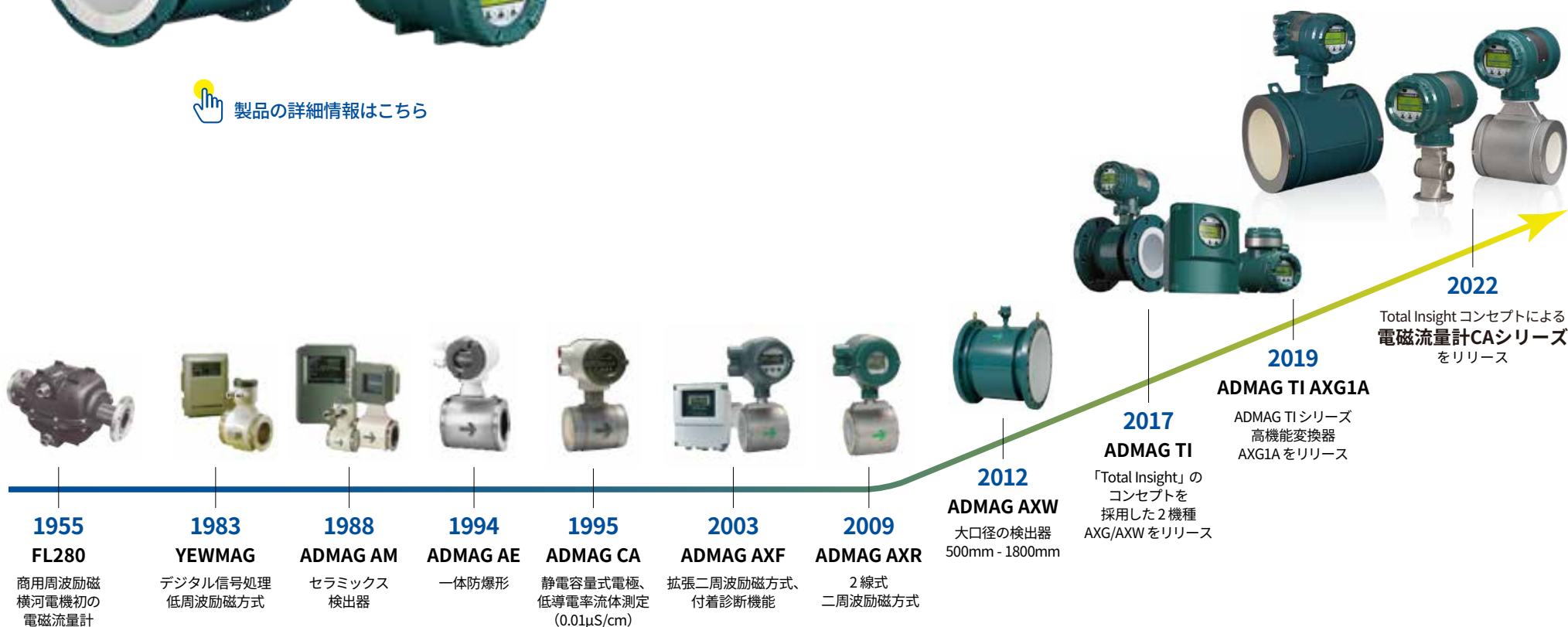
電磁流量計



 製品の詳細情報は[こちら](#)

当社の電磁流量計は半世紀を超える長い歴史に支えられています。それぞれの時代において革新的な仕様を実現し、常に産業界をリードしてきました。2017 年には、ADMAG Total Insight（トータルインサイト）と呼ばれるライフサイクルの各段階の課題に対してソリューションと機能を提供し、運用コスト低減の実現に貢献するコンセプトを採用しました。

2022 年に発表した電磁流量計 CA シリーズは、スラリー性流体、付着性流体といった測定困難な流体でも安定した測定を可能にし、Total Insight コンセプトによる設計により、お客様の操作性・メンテナンス性を向上させます。

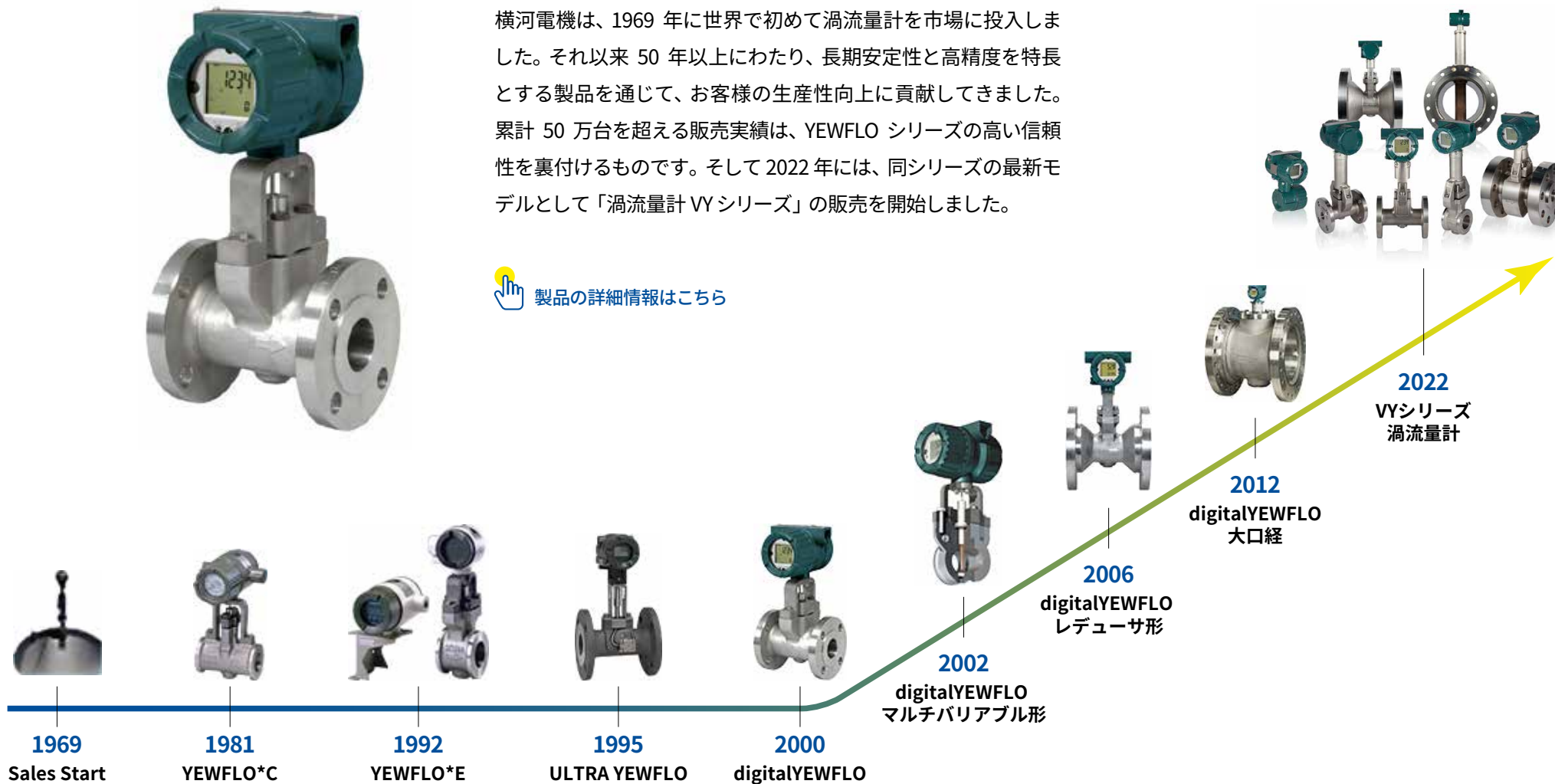


渦流量計

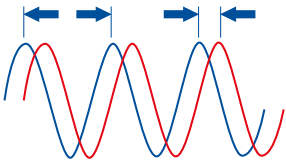
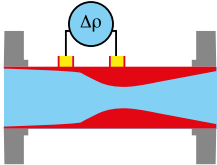


横河電機は、1969 年に世界で初めて渦流量計を市場に投入しました。それ以来 50 年以上にわたり、長期安定性と高精度を特長とする製品を通じて、お客様の生産性向上に貢献してきました。累計 50 万台を超える販売実績は、YEWFLO シリーズの高い信頼性を裏付けるものです。そして 2022 年には、同シリーズの最新モデルとして「渦流量計 VY シリーズ」の販売を開始しました。

 [製品の詳細情報はこちら](#)



流量計の特性

	質量測定	体積測定		
流量計タイプ	コリオリ	電磁	渦	差圧
	 RotaMass	 ADMAG	 VYシリーズ	 EJA + Orifice/Ventury/ Pitotube/Annubar
液体	最良	最良	最良	最良
ガス/蒸気	最良	N/A	最良	最良
測定の原理				
テクノロジー	質量流量に依存したコリオリ力の原理に基づく。液体が流れる際、流れの方向と垂直な振動が生じ、位相シフトが質量流量に比例し、振動周波数が密度に比例する。	ファラデーの電磁誘導の法則に基づき、導電性液体が磁場内を流れると、その流速に比例した電圧が発生する。	カルマン渦列の原理に基づき、シェダー棒の後方に交互に渦が発生する。単位時間あたりに発生する渦の数（渦周波数）は流速に正比例する。	ベルヌーイの流線エネルギー方程式に基づいて動作する。オリフィスやベンチュリなどの一次要素による配管内の狭窄部が、上流と下流の圧力差を生じさせ、流速の平方根に比例する差圧を発生させる。
対応口径	15～250mm	2.5～1800mm	15～400mm	制限なし
用途				
指示用途のみ	√	√	√	√
プロセス制御	√	√	√	√

4.2 物理的および環境的条件

このページでは、流量測定に影響を及ぼす可能性のある環境条件などの要因について、いくつかの具体例を挙げてご紹介します。



スペース要件



流量計の重量と高さ



設置の制約と配管



周囲温度と変化



湿度



風、日光



危険区域



電磁干渉



フローコンピュータ、補正のための圧力および温度測定などの追加機器

流量計を選定する際には、測定特性だけでなく、実用的な要素も十分に考慮する必要があります。

実際の使用環境は、機器のダウンタイム（稼働停止）に影響を及ぼす可能性があり、地域特有の環境条件や政府の規制も無視できません。

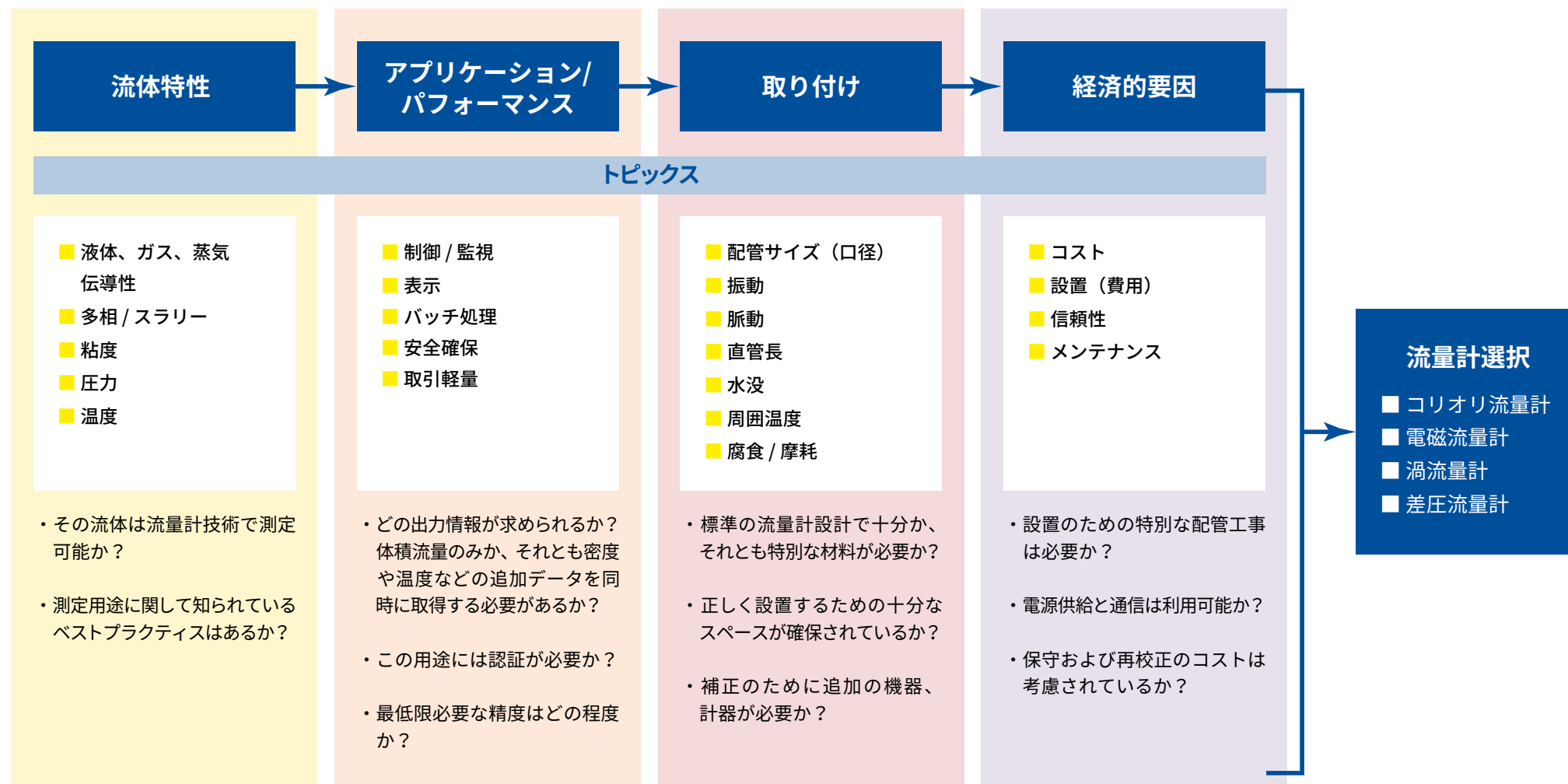
また、設置業者の選定も重要な要素の一つです。さらに、流量計の設置に関わるさまざまな要因や、機器全体の寿命も、最適な流量計を選定する上で重要な判断材料となります。

4.3 流量計選定フロー

流量計選定チャートは、流量計の選定において、設置・運用・保守に至るまでに確認すべきポイント把握できる、非常に有用なツールです。

このチャートに沿って各項目を確認していくことで、最適な流量計を効率的に選定することができます。

全体の概要を把握した後に、流量計の最適な口径や機種など、具体的な仕様の選定へと進みます。



最終決定前に…

流量計を最終的に選定する際には、その機能だけでなく、「できないこと」を理解することも同様に重要です。

すべての機器には長所と短所があり、性能に対する満足度は、その機器の能力と限界がアプリケーションの要件にどれだけ適合しているかに大きく左右されます。

検出方式が決定した後は、選定したモデルの詳細な仕様についてさらに検討を進めることができます。

そして最後に、コスト面の比較も忘れてはなりません。流量計の取り外しには時間がかかるため、製品の単価だけでなく、設置後のメンテナンスにかかる時間や、セットアップ、トラブルシューティングに要するコストも含めて、総合的に判断する必要があります。

精度 (Accuracy)

非常に高い精度を提供する流量計は、低精度で測定する流量計よりも高価になります。

再現性 (Repeatability)

再現性についても同様ですが、低精度でも良好な再現性を実現することは可能です。

圧力損失 (Pressure Loss)

磁気誘導式やクランプオン超音波式流量計を除き、ほとんどの流量計は配管の形状が狭くなることによって圧力損失が発生します。多くの場合、高精度な流量計は比較的高い圧力損失を伴います。この圧力損失は考慮する必要があります。

測定範囲 (Range)

用途に応じて、測定範囲が広い流量計を選択してください。測定範囲が広い流量計を選択することで、予測される流量の変動に対応しやすくなります。



横河電機について

横河電機は、エネルギー、化学、材料、医薬品、食品など、幅広い業界のお客様に、計測・制御・情報の分野で先進的なソリューションを提供しています。横河電機は、デジタル技術の効率的な適用により、生産、資産、サプライチェーンの最適化に関する顧客課題に対処し、自律的な運用への移行を可能にします。

1915年に東京で設立された横河電機は、60カ国に126社のグローバルネットワークを持つ17,000+人の従業員を通じて、持続可能な社会に向けて取り組み続けています。

横河電機の詳細については、
<https://www.yokogawa.co.jp/> をご覧ください。

横河電機株式会社

横河プロダクト本部営業・マーケティングセンター
プロダクト・サービスサポート部 伝送器課

Tel : 0120-05-9505



YOKOGAWA



Co-innovating tomorrow™

Bulletin 01E00A01-01JA

お見積りのご相談 | 横河電機

Follow us on:

