

バルブ・サイズの選定

技術資料

適用範囲

バルブ・サイズは、エンド・コネクシオンの呼びサイズで表すケースが多く見られますが、より重要な指標として、バルブが供給できる流量が挙げられます。なお、バルブを通る流量は、簡単に算定することができます。

本技術資料では、複雑な計算を行わずに、バルブ・サイズの選定に必要な流量を簡単に概算する方法について記載しています。また、流量算定の原理、基本的な公式、比重および温度による影響についても記載しています。さらに、バルブなどのコンポーネントを通る水または空気の流量の概算に使用する6種類の簡単なグラフおよびその活用例についても記載しています。

バルブ・サイズの選定

記載のグラフは、小型のメータリング・バルブ（微量流量調節用）から大型のボール・バルブに至るまで、一般的な産業におけるほとんどの用途（最高システム圧力：10 000 psig、100.0 MPa）をカバーしています。

水用の公式およびグラフは、一般的な液体には適用できますが、沸騰液体、急速に気化する液体、スラリー（固体と液体の混合物）、高粘性の液体などには適用できません。

空気用の公式およびグラフは、圧力、温度、容積が比例するという理想気体の法則がほぼ当てはまる気体に適用することができます。ただし、液化する圧力・温度に近い気体や蒸気（低温の窒素や酸素など）には適用できません。

便宜上、空気の流量グラフはゲージ圧力で示していますが、公式の中では絶対圧力（ゲージ圧力+1気圧）を使用しています。記載のグラフはすべて、ISA S75.01, Flow Equations for Sizing Control Valves¹ を応用した公式に基づいています。

安全な製品の選定について

安全にトラブルなく機能するよう、システム全体の設計を考慮して、製品をご選定ください。機能、材質の適合性、数値データなどを考慮し製品を選定すること、また、適切な取り付け、操作およびメンテナンスを行うのは、システム設計者およびユーザーの責任ですので、十分にご注意ください。

流量算定の原理

図1では、一般的なオリフィス流量計を使用して、流量算定の原理を図解しています。オリフィスのサイズおよび形状、パイプ・サイズ、流体の密度がわかれば、オリフィスを通るいかなる差圧値（一次側圧力と二次側圧力の差）での流量を算定することができます。

バルブの流量を算定する場合は、差圧および流体の密度を知っておく必要があります。また、パイプ・サイズおよびオリフィス・サイズに加えて、すべてのバルブ流路の寸法、バルブを通る流れのサイズおよび方向の変化を知っておく必要があります。

しかし、複雑な計算を行う代わりに、ここでは、バルブ内のすべての流量制限による影響を単純な数値で表したバルブの流量係数 (C_v 値) を使用します (図2)。

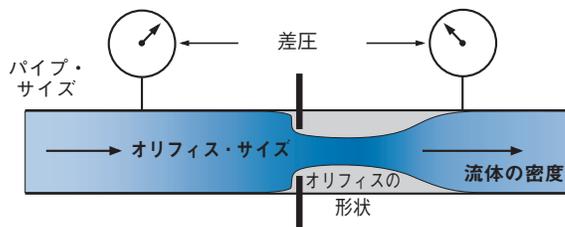


図1：一定のオリフィスを通る流量は、パイプ・サイズ、オリフィスのサイズおよび形状から算定することができます。

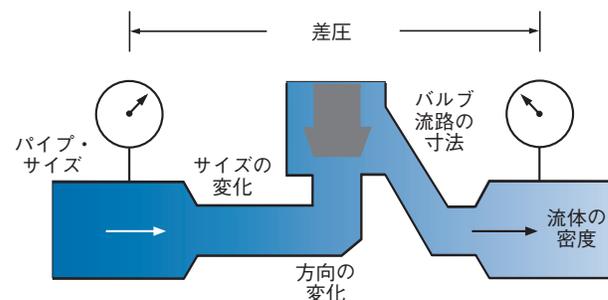
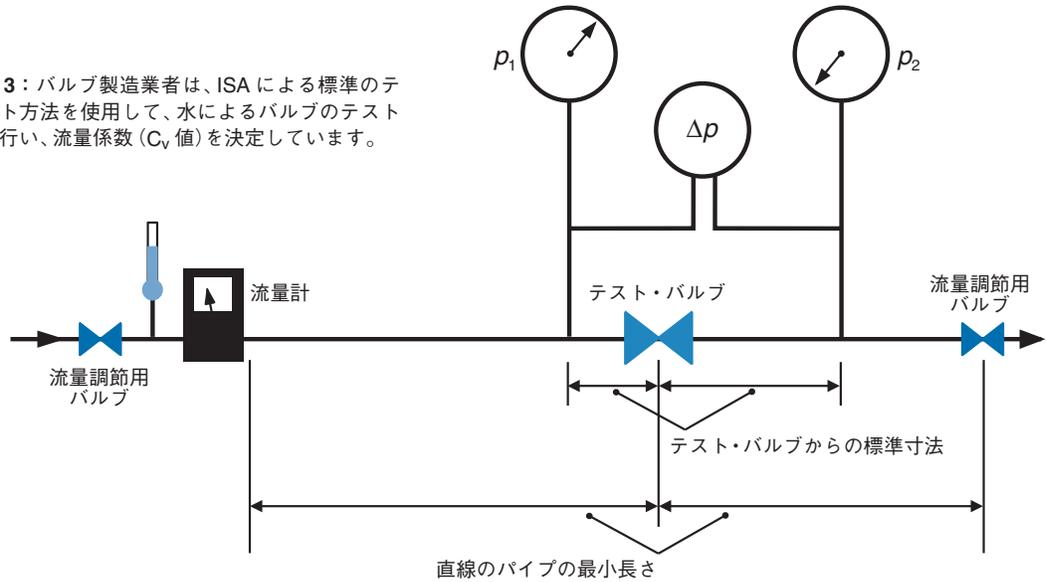


図2：バルブを通る流量の算定は、図1の場合と比較するとかなり複雑です。バルブの流量係数 (C_v 値) は、流体流量に影響するすべての寸法やその他の要因 (サイズおよび方向の変化を含む) を考慮した数値です。

図 3：バルブ製造業者は、ISA による標準のテスト方法を使用して、水によるバルブのテストを行い、流量係数 (C_v 値) を決定しています。

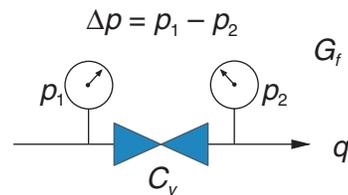


バルブ製造業者は、さまざまな流量の水によるバルブのテストを行い、バルブの流量係数 (C_v 値) を決定しています。その際は、Instrument Society of America (ISA) の標準テスト方法²を使用しています。このテストは、もともと調節用バルブ向けに開発されましたが、現在ではあらゆるバルブに対して広く行われています。流量テストは、バルブと同じサイズの直線のパイプ・システム内で行っているため、継手およびパイプ・サイズの変化による影響は含まれません (図 3)。

液体の流量

液体は圧縮できないため、その流量は一次側圧力と二次側圧力の差 ($\Delta p =$ 差圧) のみによって決まります。一次側圧力と二次側圧力の差が同じであれば、システム圧力が低くても高くても、液体の流量は一定です。以下の方程式は、その関係を表しています。

$$q = N_1 C_v \sqrt{\frac{\Delta p}{G_f}}$$



水の流量グラフ (6 ページおよび 7 ページ) は、さまざまな流量係数 (C_v 値) に対する差圧と流量の関係を示しています。

気体の流量

気体の流量を算定する場合は、液体の流量の場合と比較すると少々複雑です。なぜならば、気体は圧縮性があるため、圧力によって密度が変化するからです。さらに、低差圧時と高差圧時では、流量の算定方法が異なります。

流量方程式で使用している記号

- C_v = 流量係数 (C_v 値)
- q = 流量
- p_1 = 一次側圧力
- p_2 = 二次側圧力
- Δp = 差圧 ($p_1 - p_2$)
- G_f = 液体の比重 (水 = 1.0)
- G_g = 気体の比重 (空気 = 1.0)
- N_1, N_2 = 定数 (単位によって異なる)
- T_1 = 一次側の絶対温度：
 - K = °C + 273
 - °R = °F + 460

注意： p_1 および p_2 は、気体の流量を算出する際には、絶対圧力で表します。

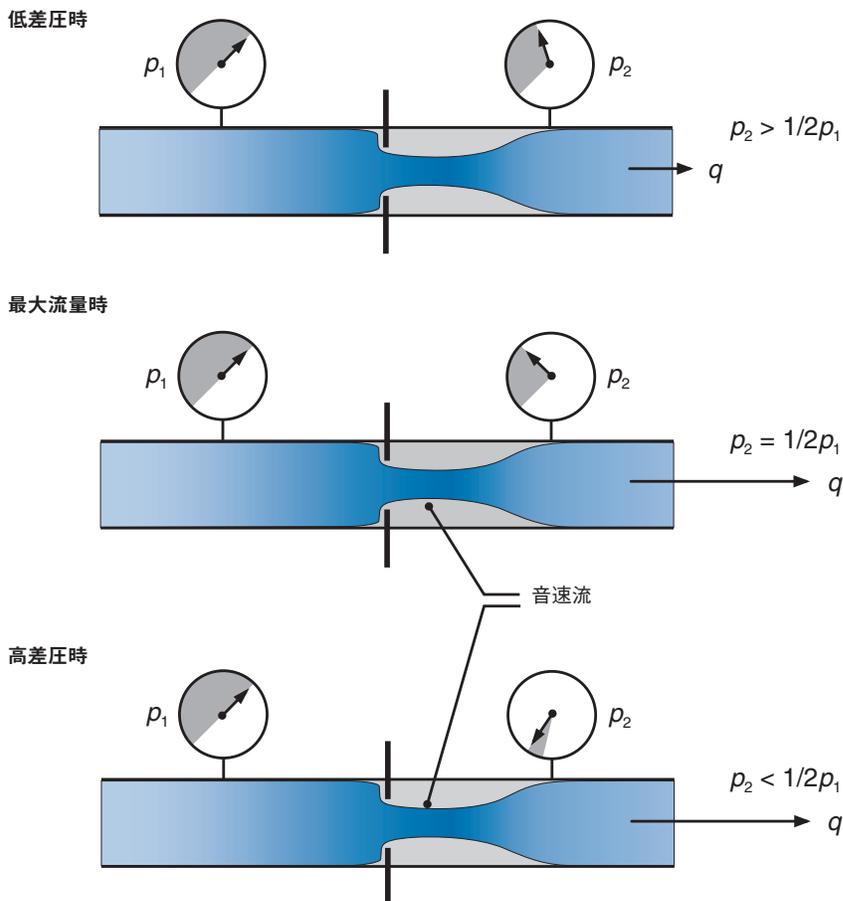
低／高差圧時の気体の流量

一般的なオリフィス流量計は、高差圧時と低差圧時の流量状態の差を示します。

低差圧時 [二次側圧力 (p_2) が一次側圧力 (p_1) の半分を超えている状態] は、二次側圧力がオリフィスを通る流量を制限します。つまり、二次側圧力が下がると、流量およびオリフィスを通過する気体の流速が増加します。

二次側圧力が一次側圧力の半分まで下がると、気体は音速でオリフィスを通過します。気体は音速以上で流れることはないため、これが最大流量となります。最大流量は、チョーク流量または臨界流(量)とも呼ばれます。

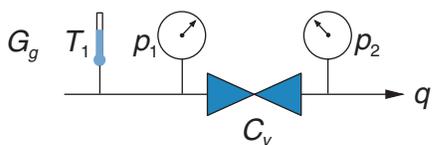
二次側圧力がさらに下がっても、流量は増加しません。二次側圧力がゼロになっても同じです。したがって、高差圧時の流量は、二次側圧力ではなく、一次側圧力によって決まります。



以下の方程式は、低差圧時 [二次側圧力 (p_2) が一次側圧力 (p_1) の半分を超えている状態] の流量の場合に適用することができます。

$$q = N_2 C_v p_1 \left(1 - \frac{2\Delta p}{3p_1}\right) \sqrt{\frac{\Delta p}{p_1 G_g T_1}}$$

$$p_2 > 1/2 p_1$$



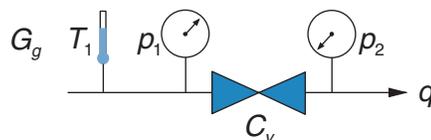
低差圧時の空気の流量グラフ (8 ページおよび 9 ページ) は、流量係数 (C_v 値) が 1.0 の場合のさまざまな差圧 (Δp) に対する一次側圧力 (p_1) と低差圧時の空気の流量の関係を示しています。

高差圧時 [二次側圧力 (p_2) が一次側圧力 (p_1) の半分以下の状態] は、二次側圧力がさらに下がっても、流量は増加しません。というのは、気体はオリフィスを通過する際にすでに音速に達しており、「音速の壁」を超えることはないからです。

高差圧時の流量用の方程式は、低差圧時の流量に比べると簡単です。なぜならば、高差圧時の流量は、一次側の圧力と温度、バルブの流量係数 (C_v 値)、気体の比重によってのみ決まるからです。

$$q = 0.471 N_2 C_v p_1 \sqrt{\frac{1}{G_g T_1}}$$

$$p_2 < 1/2 p_1$$



高差圧時の空気の流量グラフ (10 ページおよび 11 ページ) は、さまざまな流量係数 (C_v 値) に対する一次側圧力と高差圧時の空気の流量の関係を示しています。

図4：ほとんどの一般的な液体の場合、流量に対する比重の影響は10%以下です。また、ほとんどの高密度の液体（高濃度の酸やアルカリなど）は通常、水で希釈するため、結果として、その比重は純粋の液体よりも水の比重にかなり近くなります。

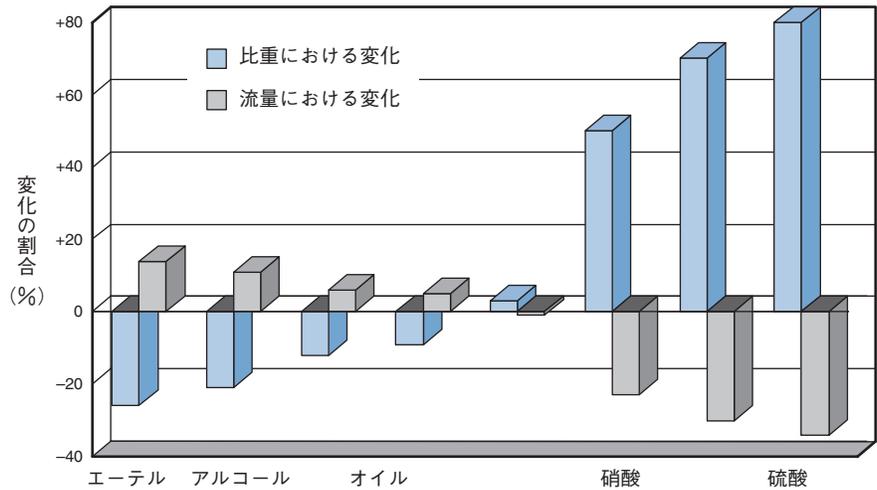
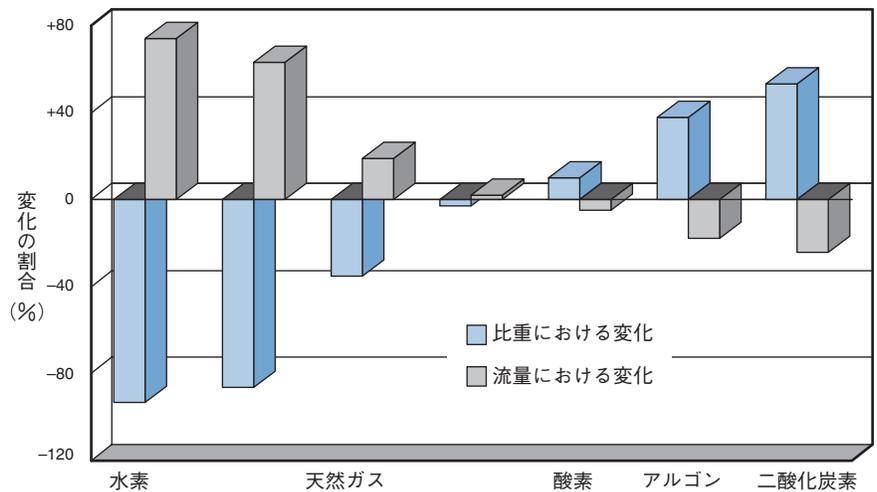


図5：一般的な気体の場合、流量に対する比重の影響は10%以下です。液体と同様に、密度が極めて高いまたは低い気体の場合は、窒素などのキャリア・ガスを混合させるケースが多いため、その比重は空気の比重に近くなります。



比重による影響

流量方程式には、液体の比重 (G_l) および気体の比重 (G_g) の変数が含まれています。これらの変数は、水（液体の場合）または空気（気体の場合）と比較した流体の密度を表します。

しかし、本技術資料に記載のグラフでは比重を考慮していないため、補正係数 (G の平方根を含む) を適用する必要があります。平方根を算入することで比重による影響を減らし、算出値を水または空気の比重 (1.0) にかなり近づけることができます。

例えば、硫酸の比重は、水より 80% 高くなりますが、流量に対する影響は 34% に過ぎません。また、エーテルの比重は、水より 26% 低くなりますが、流量に対する影響はわずか 14% です。

図4は、平方根を算入することによって、液体の流量に対する比重の影響が減少する割合を示しています。液体の比重が非常に低いまたは高い場合のみ、水の流量と 10% 以上の変化が生じます。気体の流量に対する比重の影響も同様です。例えば、水素の比重は、空気より 93% 低くなりますが、流量に対する影響は 74% に過ぎません。また、二酸化炭素の比重は、空気より 53% 高くなりますが、流量に対する影響はわずか 24% です。気体の比重が非常に低いまたは高い場合のみ、空気の流量と 10% 以上の変化が生じます。

図5は、平方根を算入することによって、気体の流量に対する比重の影響が減少する割合を示しています。

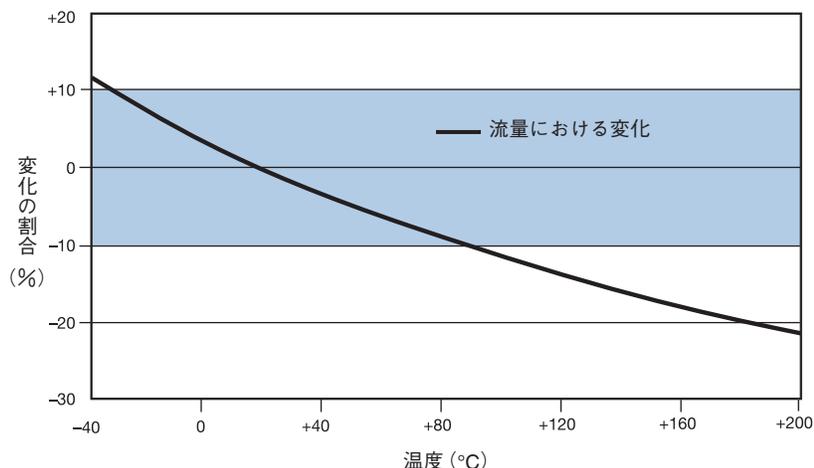


図6：-40～100°Cの範囲で使用するほとんどのシステムの場合。この範囲内では、温度変化による影響は、10%をわずかに上回る程度に過ぎません。

流量方程式で使用している定数

| 定数 | 方程式で使用している単位 | | | |
|-------------|--------------|--------------------------|--------------------|----|
| N | q | p | T_1 | |
| $N_1 \dots$ | 1.0 | U.S.(米) gal/min | psia | — |
| | 0.833 | Imperial (英) gal/min | psia | — |
| | 14.42 | L/min | bar | — |
| | ***** | L/min | MPa | — |
| | 14.28 | L/min | kg/cm ² | — |
| $N_2 \dots$ | 22.67 | std ft ³ /min | psia | °R |
| | 6950 | std L/min | bar | K |
| | ***** | std L/min | MPa | K |
| | 6816 | std L/min | kg/cm ² | K |

温度による影響

液体の流量に対する温度の影響はごくわずかなため、液体の流量算定は、通常、温度を無視して行います。

一方、気体の流量算定の場合は、液体の場合と比べて温度が大きく影響してきます。なぜならば、気体の容積は、高温下では膨張し、低温下では収縮するからです。しかし、比重の場合と同様に、気体の流量に対する温度の影響は、平方根の補正係数分に過ぎません。-40～+100°Cで使用するシステムの場合、補正係数はわずか+12～-11%です。

図6は、さまざまな温度範囲における、流量に対する温度の影響を示しています。ほとんどの一般的な用途における通常の操作温度では、±10%の範囲内に収まります。

その他の条件

これまで述べてきたように、本技術資料は、一般的な用途や条件におけるバルブ・サイズの選定方法をカバーしています。では、高粘性の液体、スラリー、沸騰液体、急速に気化する液体の場合はどうすればよいのでしょうか？蒸気や液化ガスを使用する場合もあります。これらの流体を使用する場合は、どのようにバルブ・サイズを選定すればよいのでしょうか？

このような用途は、本資料の適用範囲外です。しかし、ISA standards S75.01 および S75.02 では、さまざまな特殊用途で使用するバルブ・サイズを選定するための公式や、流量テストの原理および手順についても記載しています。これらを含むISAの資料につきましては、**引用文献**の項をご参照ください。また、流体力学について解説している標準的な工学ハンドブックにつきましても、**その他の参考文献**の項で一部紹介しています。

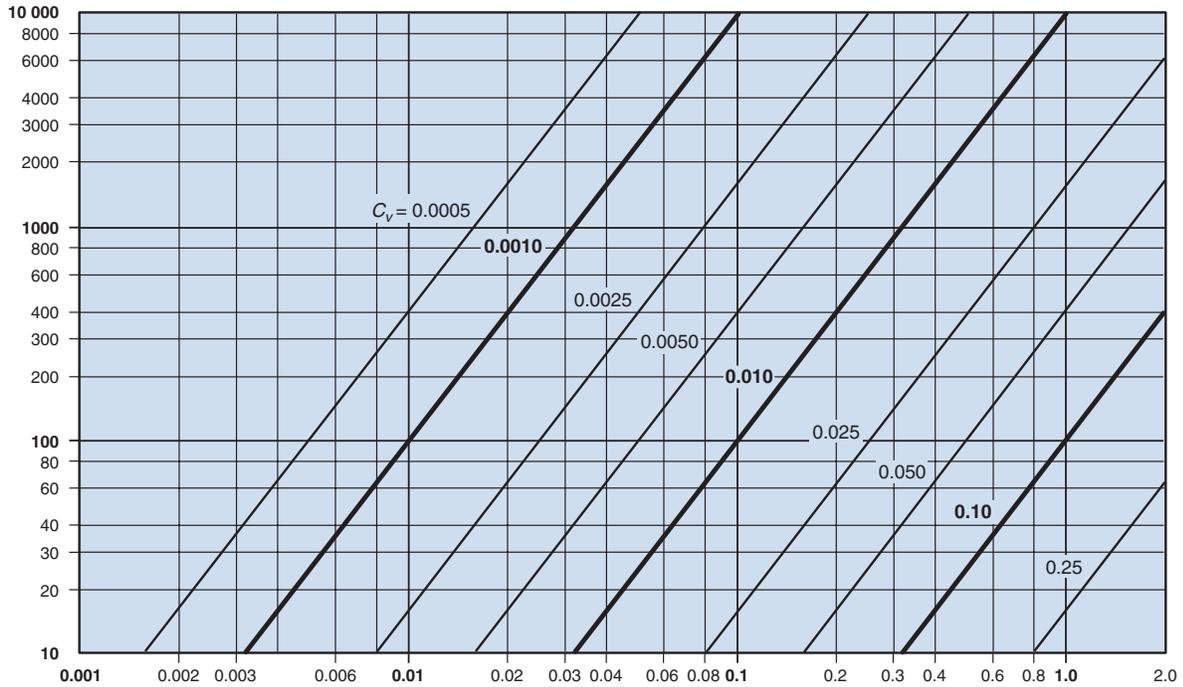
引用文献

1. ISA S75.01, Flow Equations for Sizing Control Valves, Standards and Recommended Practices for Instrumentation and Control, 10th ed., Vol. 2, 1989.
2. ISA S75.02, Control Valve Capacity Test Procedure, Standards and Recommended Practices for Instrumentation and Control, 10th ed., Vol. 2, 1989.

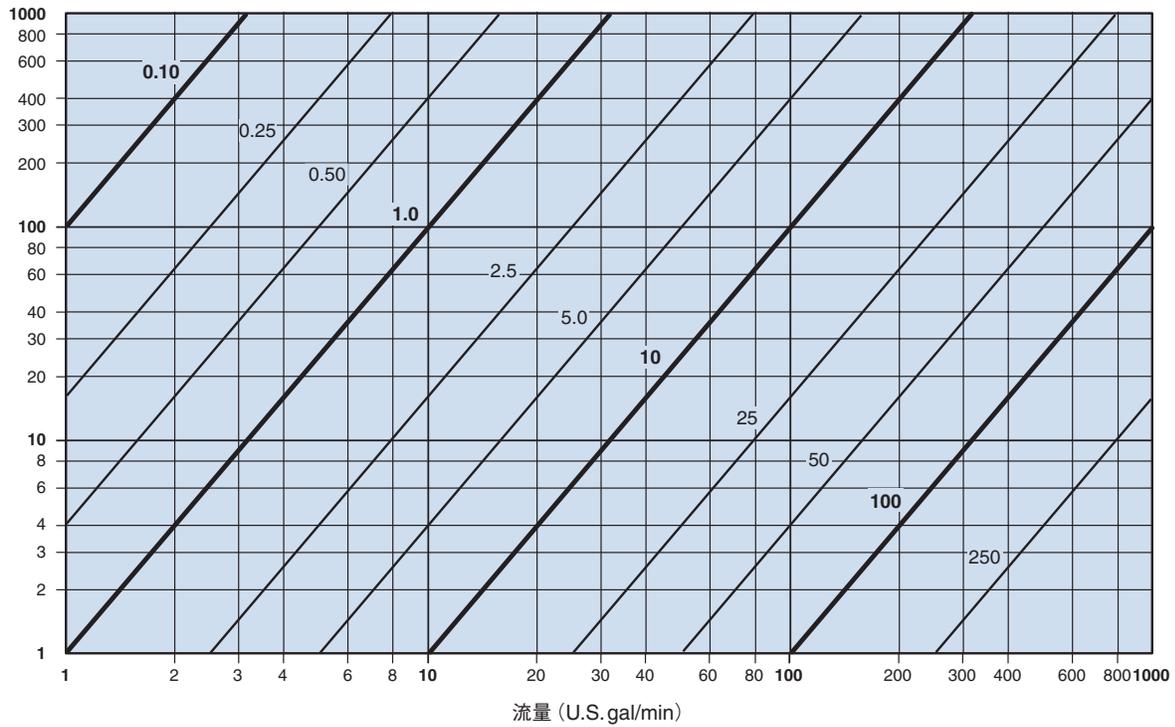
その他の参考文献

- L. Driskell, Control-Valve Selection and Sizing, ISA, 1983.
 J.W. Hutchinson, ISA Handbook of Control Valves, 2nd ed., ISA, 1976.
 Chemical Engineers' Handbook, 4th ed., Robert H. Perry, Cecil H. Chilton, and Sidney D. Kirkpatrick, Ed., McGraw-Hill, New York.
 Instrument Engineers' Handbook, revised ed., Béla G. Lipták and Kriszta Venczel, Ed., Chilton, Radnor, PA.
 Piping Handbook, 5th ed., Reno C. King, Ed., McGraw-Hill, New York.
 Standard Handbook for Mechanical Engineers, 7th ed., Theodore Baumeister and Lionel S. Marks, Ed., McGraw-Hill, New York.

水の流量 (単位 : U.S. gal/min)



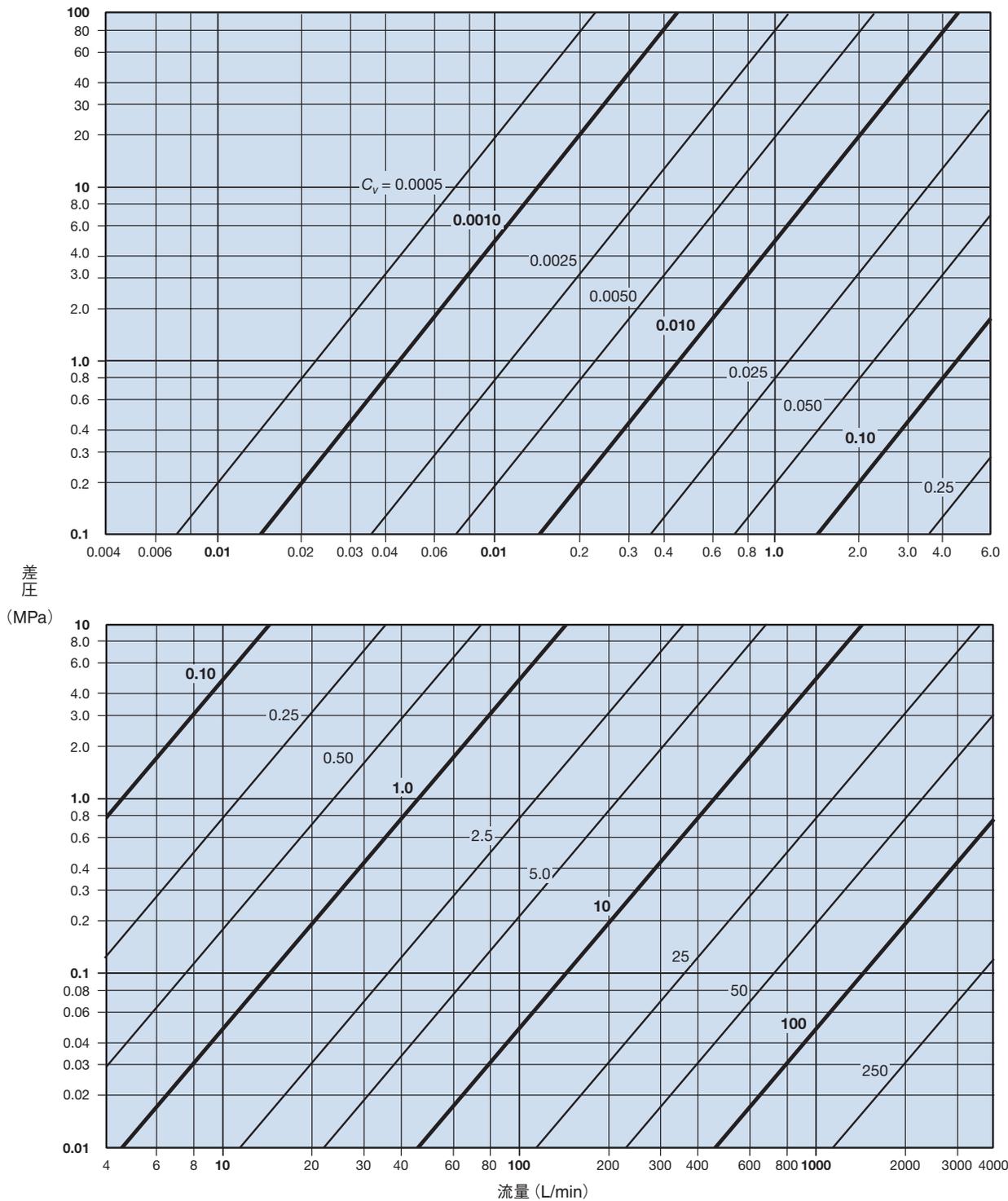
差
圧
(psi)



例 :

- バルブを通る差圧をグラフの縦軸にとります ($\Delta p = 60 \text{ psi}$)。
- 希望する流量をグラフの横軸にとります ($q = 4 \text{ U.S. gal/min}$)。
- 差圧と流量が交わる点を求めます。その交点を通る斜線が、希望する流量係数 (C_v 値) です (C_v 値 = 0.50)。

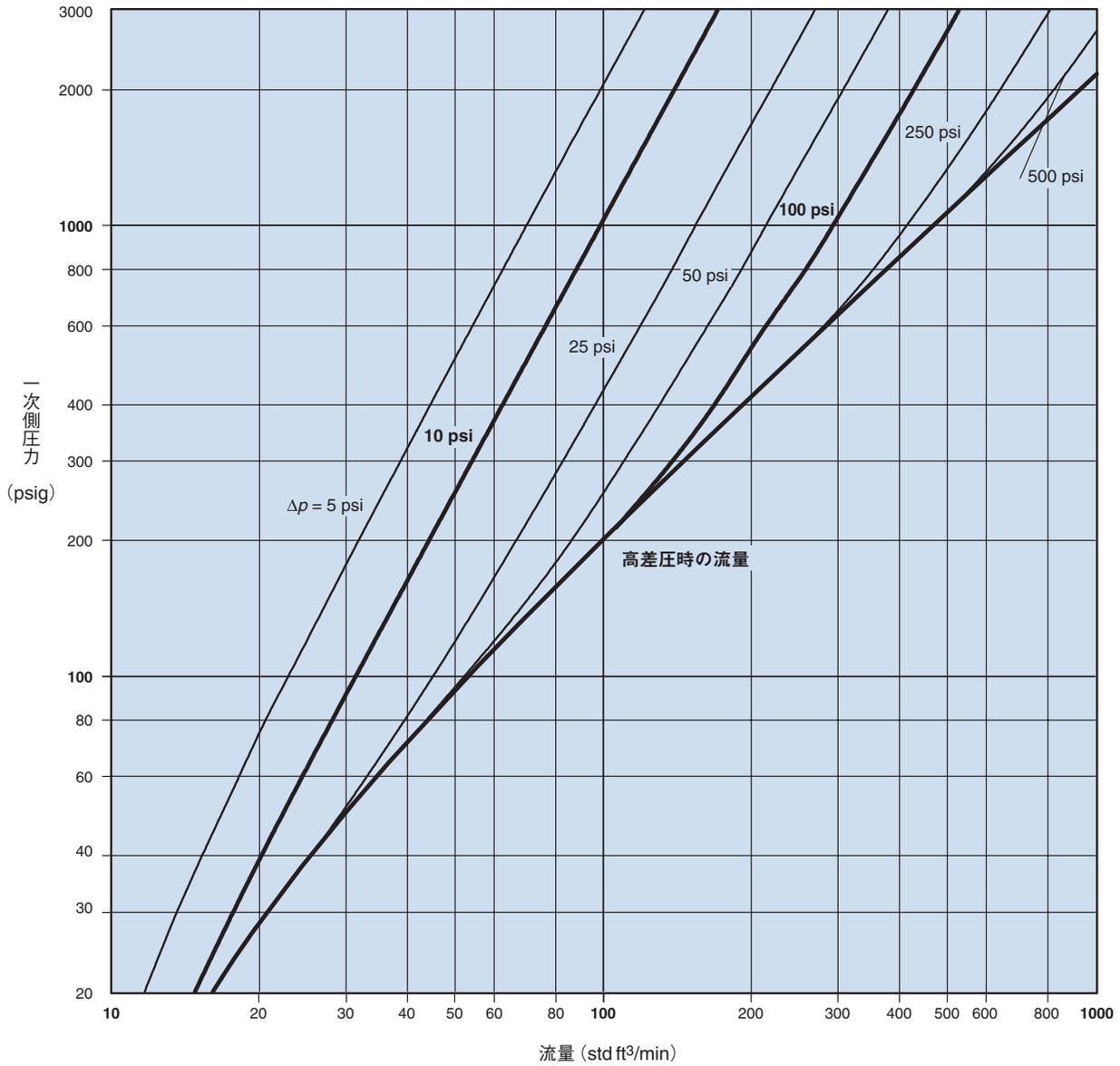
水の流量 (単位 : L/min)



例:

- バルブを通る差圧をグラフの縦軸にとります ($\Delta p = 3.00$ MPa)。
- 希望する流量をグラフの横軸にとります ($q = 0.2$ L/min)。
- 差圧と流量が交わる点を求めます。その交点を通る斜線が、希望する流量係数 (C_v 値) です (C_v 値 = 0.0025)。

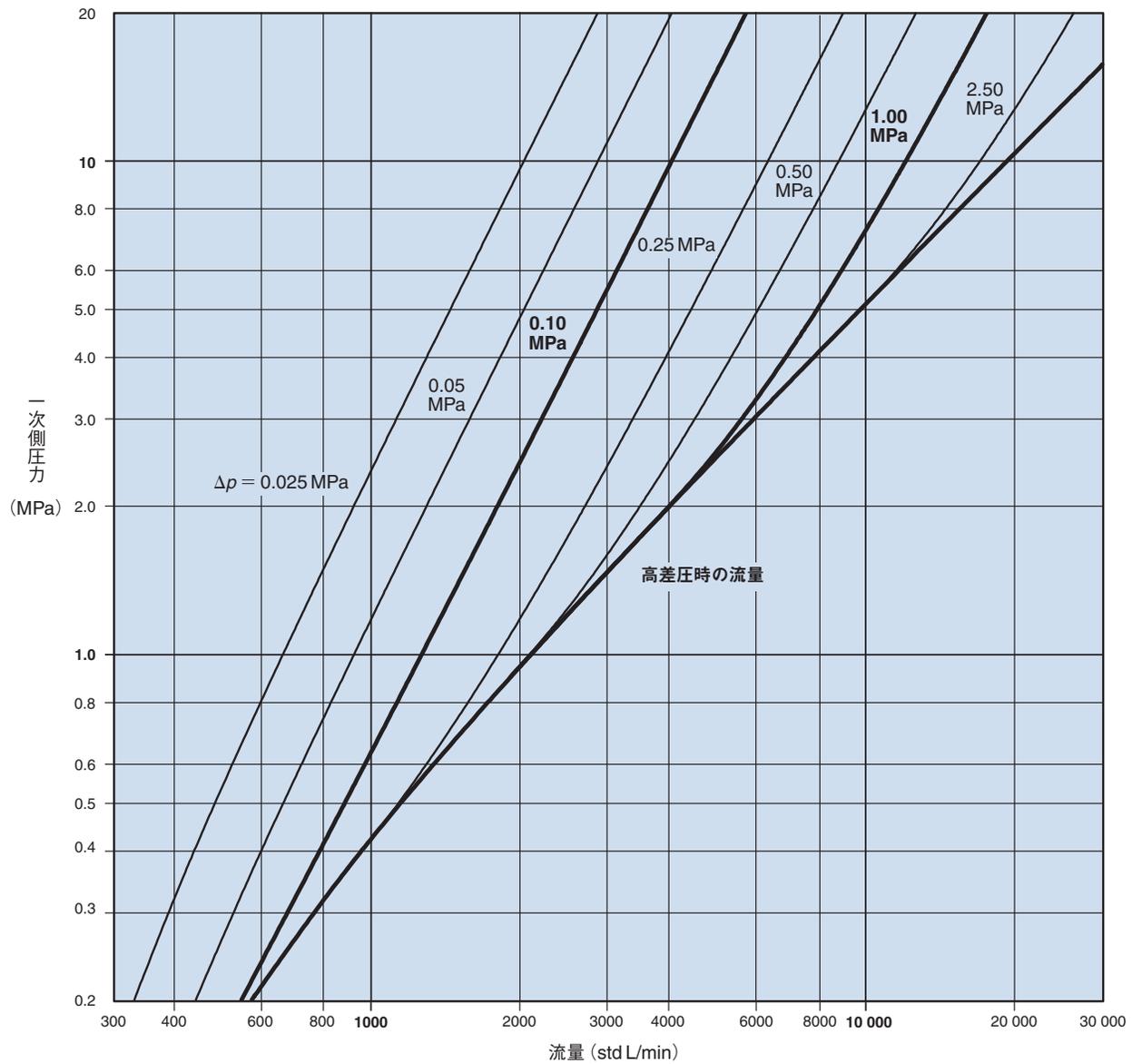
空気の流量 (低差圧時) (単位 : std ft³/min)



例 :

- バルブの一次側圧力をグラフの縦軸にとります ($p_1 = 200$ psig)。
- バルブを通る差圧をグラフの斜線にとります ($\Delta p = 25$ psi)。
- 一次側圧力と差圧が交わる点を求めます。そこから線を下に伸ばし、流量係数 (C_v 値) を 1.0 として、バルブの流量をグラフの横軸にとります ($q = 65$ std ft³/min)。
- 流量にバルブの流量係数 (C_v 値) を乗じ、実際の流量を求めます。

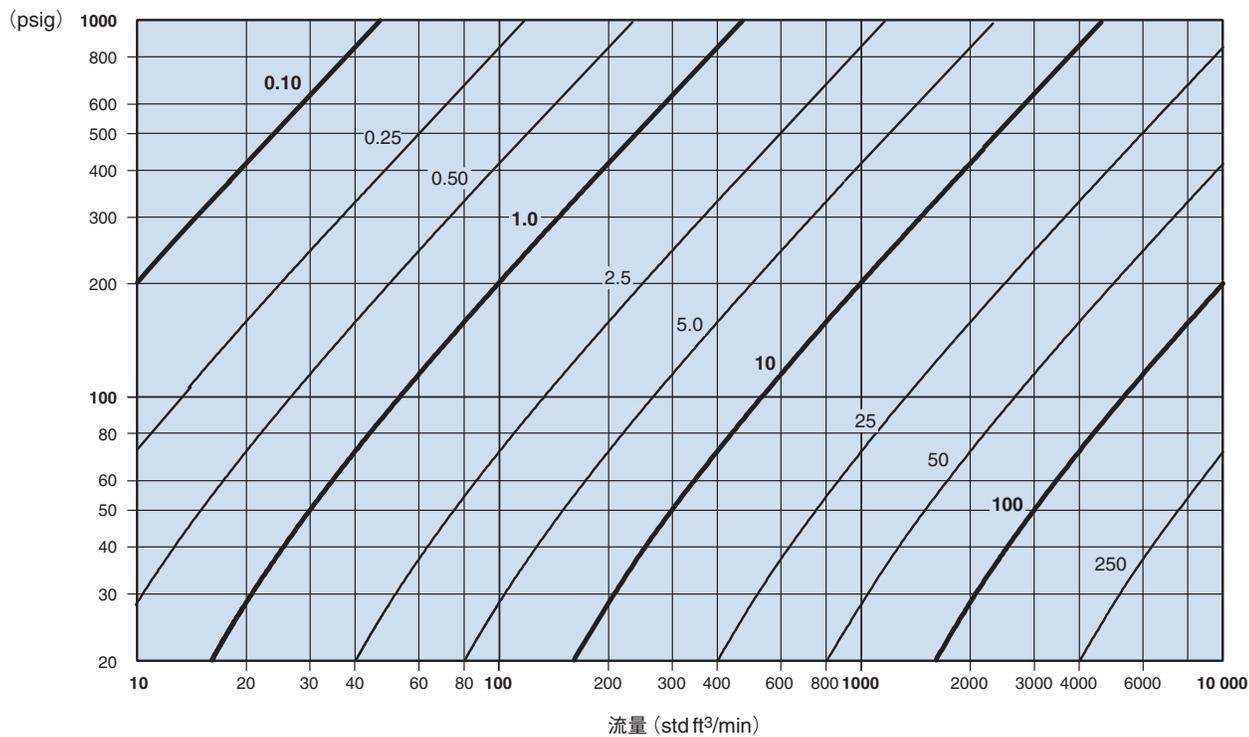
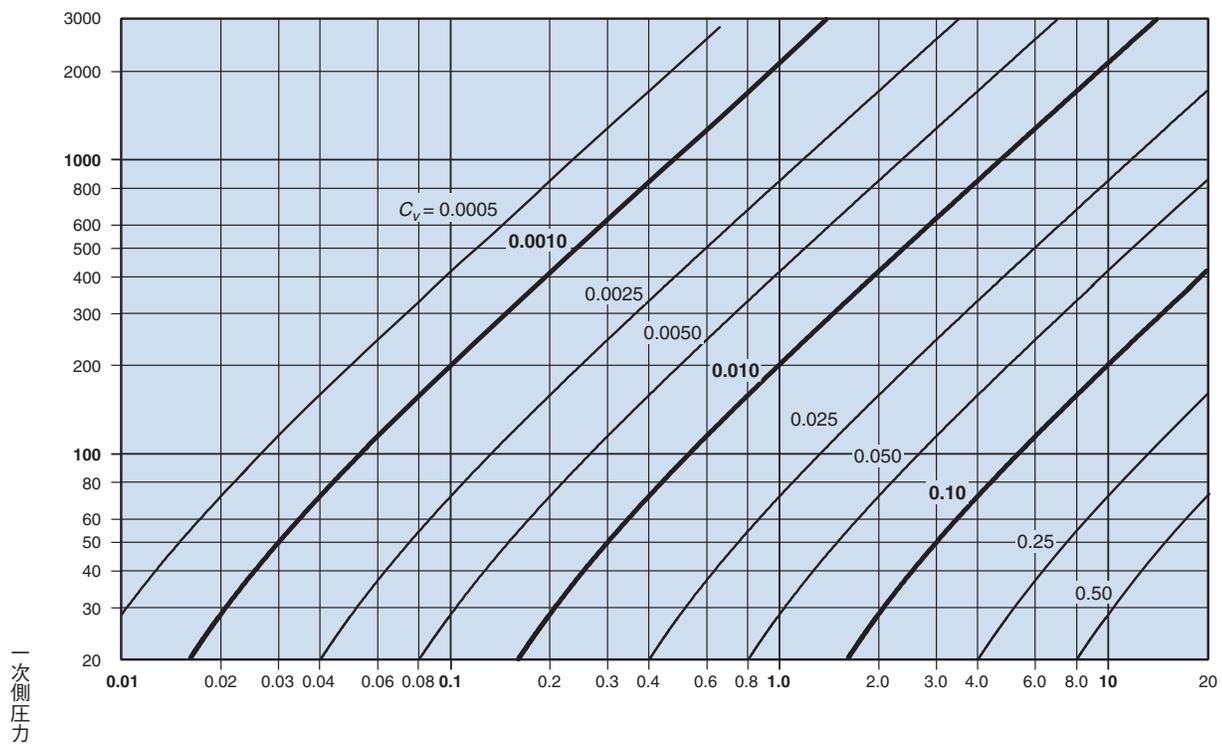
空気の流量 (低差圧時) (単位 : std L/min)



例：

- バルブの一次側圧力をグラフ縦軸にとります ($p_1 = 10.0 \text{ MPa}$)。
- バルブを通る差圧をグラフの斜線にとります ($\Delta p = 0.10 \text{ MPa}$)。
- 一次側圧力と差圧が交わる点を求めます。そこから線を下に伸ばし、流量係数 (C_v 値) を 1.0 として、バルブの流量をグラフの横軸にとります ($q = 4000 \text{ std L/min}$)。
- 流量にバルブの流量係数 (C_v 値) を乗じ、実際の流量を求めます。

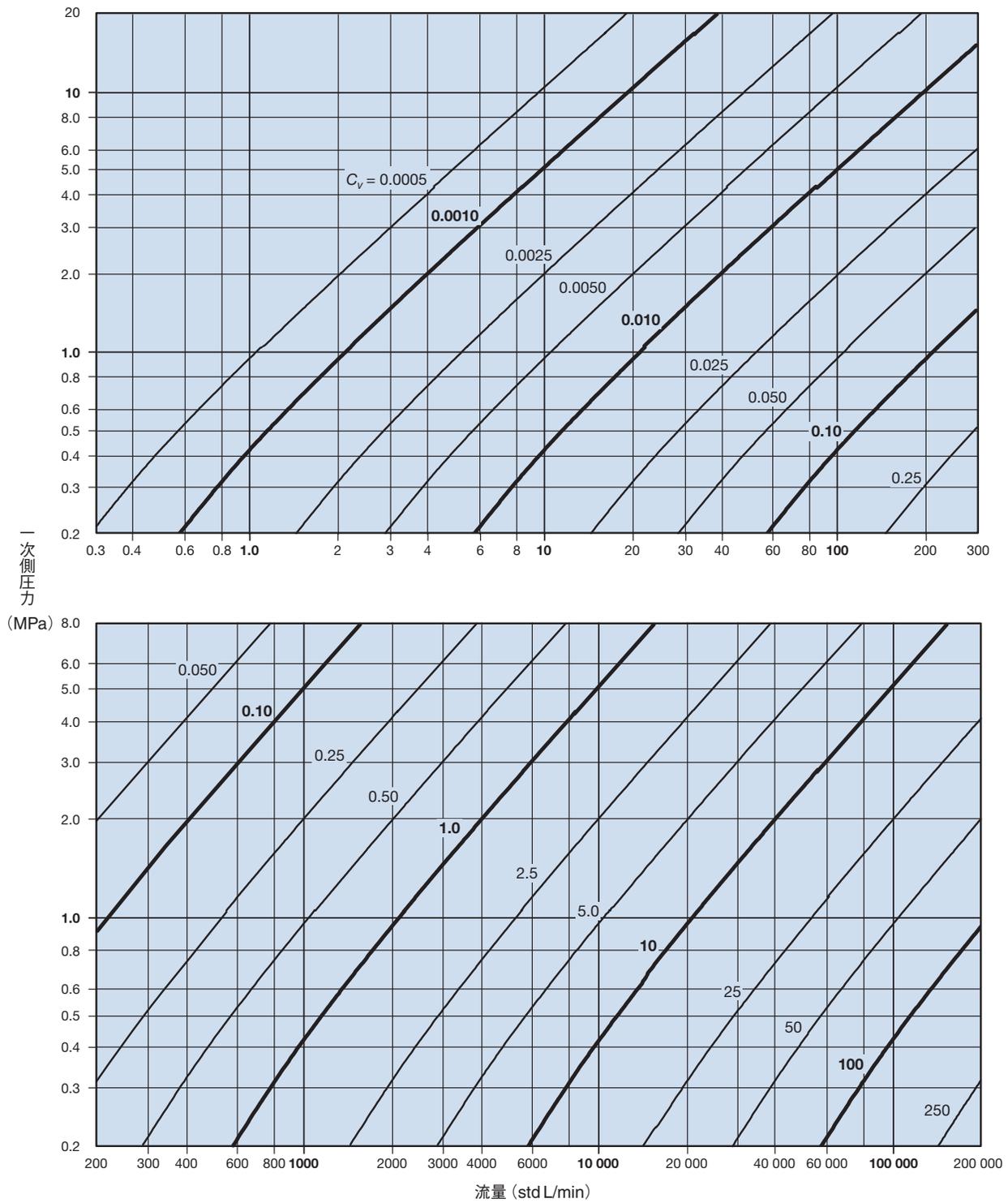
空気の流量 (高差圧時) (単位 : std ft³/min)



例 :

- バルブの一次側圧力をグラフ縦軸にとります ($p_1 = 200$ psig)。
- 希望する流量をグラフの横軸にとります ($q = 10$ std ft³/min)。
- 差圧と流量が交わる点を求めます。その交点を通る斜線が、希望する流量係数 (C_v 値) です (C_v 値 = 0.10)。

空気の流量 (高差圧時) (単位 : std L/min)



例：

- バルブの一次側圧力をグラフ縦軸にとります ($p_1 = 2.00 \text{ MPa}$)。
- 希望する流量をグラフの横軸にとります ($q = 4000 \text{ std L/min}$)。
- 差圧と流量が交わる点を求めます。その交点を通る斜線が、希望する流量係数 (C_v 値) です (C_v 値 = 1.0)。

安全な製品の選定について

安全にトラブルなく機能するよう、システム全体の設計を考慮して、製品をご選定ください。機能、材質の適合性、数値データなどを考慮し製品を選定すること、また、適切な取り付け、操作およびメンテナンスを行うのは、システム設計者およびユーザーの責任ですので、十分にご注意ください。

ご注意：他社部品との混用や互換は絶対に行わないでください。

この日本語版技術資料は、英語版技術資料の内容を忠実に反映することを目的に、製作いたしました。日本語版の内容に英語版との相違が生じないように、細心の注意を払っておりますが、万が一相違が生じてしまった場合には、英語版の内容が優先されますので、ご留意ください。