

電磁弁流量特性

(流量特性の表示方法)

1. 流量特性の表示

電磁弁などの機器の仕様欄における流量特性の表示は、表1によります。

表1. 流量特性の表示

対象機器	国際規格による表示	他の表示	準拠規格
空気圧用機器	C, b	—	ISO 6358:1989 JIS B 8390:2000
	—	S	JIS B 8390:2000 機器: JIS B 8379, 8381-1, 8381-2
		C_v	ANSI/(NFPA) T3.21.3 R1-2008
プロセス流体用機器	K_v	—	IEC60534-1:2005 IEC60534-2-3:1997 JIS B 2005-1:2012
	—	C_v	JIS B 2005-2-3:2004 機器: JIS B 8471, 8472, 8473

2. 空気圧用機器

2.1 国際規格による表示

(1) 準拠規格

ISO 6358:1989 : Pneumatic fluid power-Components using compressible fluids-Determination of flow-rate characteristics

JIS B 8390:2000 : 空気圧-圧縮性流体用機器-流量特性の試験方法

(2) 流量特性の定義

音速コンダクタンス C と臨界圧力比 b の対によって、流量特性を表示します。

音速コンダクタンス C : チョーク流れ状態の機器の通過質量流量を、上流絶対圧力と標準状態の密度の積で割った値。(sonic conductance)

臨界圧力比 b : この値より小さいとチョーク流れになる圧力比(下流圧力/上流圧力)。(critical pressure ratio)

チョーク流れ : 上流圧力が下流圧力に対して高く、機器のある部分で速度が音速に達している流れ。気体の質量流量は上流圧力に比例し、下流圧力には依存しない。(choked flow)

亜音速流れ : 臨界圧力比以上における流れ。(subsonic flow)

標準状態 : 温度20℃、絶対圧力0.1MPa (= 100kPa = 1bar)、相対湿度65%の空気の状態。空気量の単位の後には略号(ANR)をつけて表記する。(standard reference atmosphere)

準拠規格 : ISO 8778:1990 Pneumatic fluid power-Standard reference atmosphere, JIS B 8393:2000 : 空気圧-標準参考空気

(3) 流量計算式

実用単位により次のように表されます。

$\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} \leq b$ のとき、**チョーク流れ**

$$Q = 600 \times C(P_1+0.1) \sqrt{\frac{293}{273+T}} \dots\dots\dots (1)$$

$\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} > b$ のとき、**亜音速流れ**

$$Q = 600 \times C(P_1+0.1) \sqrt{1 - \left[\frac{\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} - b}{1-b} \right]^2} \sqrt{\frac{293}{273+T}} \dots\dots\dots (2)$$

Q : 空気流量 [L/min (ANR)]

C : 音速コンダクタンス [$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{bar})$]、SI単位の dm^3 (立方デシメートル)=L(リットル)。

b : 臨界圧力比 [-]

P_1 : 上流圧力 [MPa]

P_2 : 下流圧力 [MPa]

T : 温度 [$^{\circ}\text{C}$]

注) 亜音速流れの式は楕円近似曲線です。

流量特性線図を図1に示します。詳しくは、当社ホームページの計算ソフトをご利用ください。

例)

$C=2$ [$\text{dm}^3/(\text{s}\cdot\text{bar})$]、 $b=0.3$ の電磁弁で $P_1=0.4$ [MPa]、 $P_2=0.3$ [MPa]、 $T=20$ [$^{\circ}\text{C}$]のときの空気流量を求める。

$$\text{式(1)より最大流量} = 600 \times 2 \times (0.4 + 0.1) \times \sqrt{\frac{293}{273 + 20}} = 600 \text{ [L/min (ANR)]}$$

$$\text{圧力比} = \frac{0.3 + 0.1}{0.4 + 0.1} = 0.8$$

図1より圧力比0.8で $b=0.3$ の流量比を読み取ると0.7。

流量 = 最大流量 \times 流量比 = $600 \times 0.7 = 420$ [L/min (ANR)]となる。

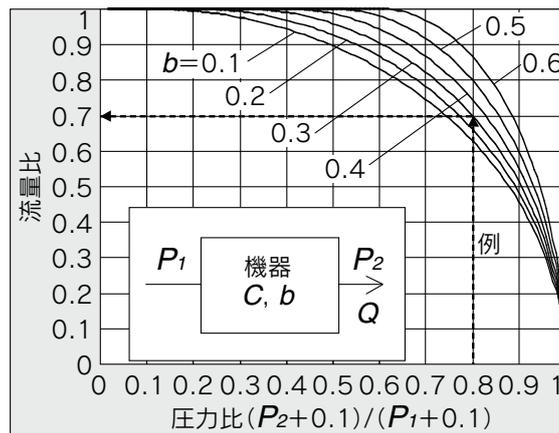


図1. 流量特性線図

(4) 試験方法

図2に示す試験回路に供試機器を配管接続し、上流圧力を0.3MPaを下回らない一定値に維持しつつ、まず飽和する最大流量を測定します。次いでこの流量の80%、60%、40%、20%点の流量と上流圧力、下流圧力を測定します。

そして、この最大流量から音速コンダクタンス C を算出します。また、他の各データを用いて亜音速流れの式から b を算出し、その平均値から臨界圧力比 b を求めます。

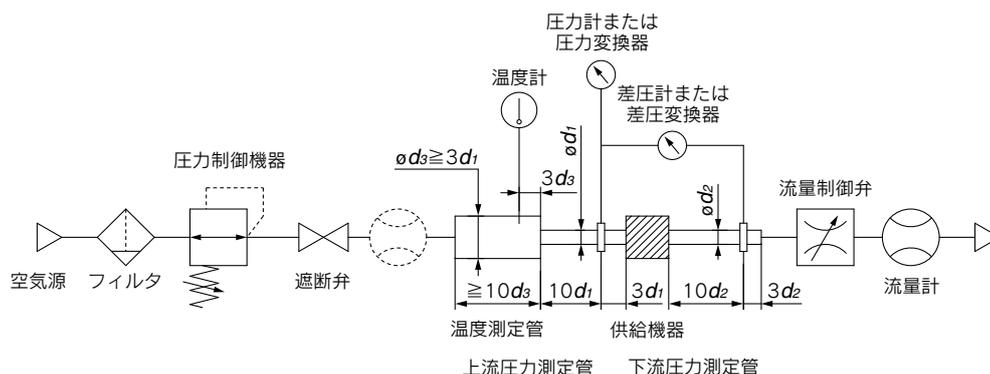


図2. ISO6358:1989, JIS B 8390:2000 の試験回路

電磁弁流量特性

2.2有効断面積S

(1) 準拠規格

JIS B 8390:2000：空気圧-圧縮性流体用機器-流量特性の試験方法

機器規格：JIS B 8373：空気圧用電磁弁

JIS B 8379：空気圧用消音器

JIS B 8381-1：空気圧用継手-第1部：熱可塑性樹脂チューブ用プッシュイン継手

JIS B 8381-2：空気圧用継手-第2部：熱可塑性樹脂チューブ用締込み継手

(2) 流量特性の定義

有効断面積S：空気タンクに取付けた機器からチョーク流れの状態では圧縮空気を放出したとき、空気タンク内の圧力変化から計算で導いた摩擦や縮流のない理想的な絞りの断面積。音速コンダクタンスCと同じ「流れやすさ」を代表する概念です。(effective area)

(3) 流量計算式

$\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} \leq 0.5$ のとき、**チョーク流れ**

$$Q = 120 \times S (P_1 + 0.1) \sqrt{\frac{293}{273 + T}} \dots\dots\dots (3)$$

$\frac{P_2+0.1}{P_1+0.1} > 0.5$ のとき、**亜音速流れ**

$$Q = 240 \times S \sqrt{(P_2 + 0.1) (P_1 - P_2)} \sqrt{\frac{293}{273 + T}} \dots\dots\dots (4)$$

音速コンダクタンスCとの換算：

$$S = 5.0 \times C \dots\dots\dots (5)$$

Q：空気流量[L/min(ANR)]

S：有効断面積[mm²]

P₁：上流圧力[MPa]

P₂：下流圧力[MPa]

T：温度[°C]

注) 亜音速流れの式(4)は、臨界圧力比**b**が不明の機器にのみ適用されます。音速コンダクタンスCによる式(2)において、**b**=0.5の場合と同一の式です。

(4) 試験方法

図3に示す試験回路に供試機器を配管接続し、0.6MPaを下回らない一定圧力(0.5MPa)に圧縮空気が充填された空気タンクから、空気タンク内圧力が0.25MPa(0.2MPa)に下がるまで空気を大気に放出します。この時の放出時間と定常値になるまで放置した後の空気タンク内の残存圧力を測定し、次の式により有効断面積Sを算出します。空気タンクの容積は供試機器の有効断面積に対応して規定の範囲で選定します。

JIS B 8379の場合、圧力値はカッコ内、式の係数は12.9です。

$$S = 12.1 \frac{V}{t} \log_{10} \left(\frac{P_s + 0.1}{P + 0.1} \right) \sqrt{\frac{293}{T}} \dots\dots\dots (6)$$

S：有効断面積[mm²]

V：空気タンク容積[L]

t：放出時間[s]

P_s：放出前の空気タンク内圧力[MPa]

P：放出後の空気タンク内残存圧力[MPa]

T：放出前の空気タンク内温度[K]

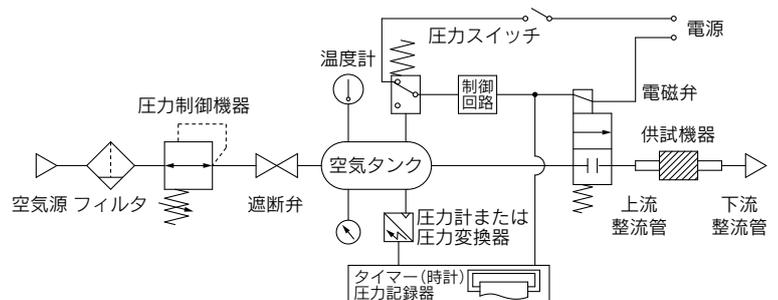


図3. JIS B 8390:2000 の試験回路

2.3 容量係数 C_v 値

アメリカ規格 ANSI/(NFPA) T3.21.3:R1-2008R: Pneumatic fluid power-Flow rating test procedure and reporting method-For fixed orifice components

この規格は、ISO 6358 と類似する試験回路における試験により、容量係数 (flow coefficient) C_v 値を次の式で定義しています。

$$C_v = \frac{Q}{114.5 \sqrt{\frac{\Delta P (P_2 + P_a)}{T_1}}} \dots\dots\dots (7)$$

ΔP : 静圧取出し口間の圧力降下 [bar]

P_1 : 上流取出し口の圧力 [barゲージ]

P_2 : 下流取出し口の圧力 [barゲージ] : $P_2 = P_1 - \Delta P$

Q : 流量 [L/s 標準状態]

P_a : 大気圧 [bar 絶対]

T_1 : 上流絶対温度 [K]

試験条件は、 $P_1 + P_a = 6.5 \pm 0.2 \text{ bar 絶対}$ 、 $T_1 = 297 \pm 5 \text{ K}$ 、 $0.07 \text{ bar} \leq \Delta P \leq 0.14 \text{ bar}$ です。

これは、圧力降下が上流圧力に対して小さく、空気の圧縮性が問題とならない場合にのみ適用するとして ISO 6358 が記載している有効流路面積 (effective area) A と同様の概念です。

3. プロセス流体用機器

(1) 準拠規格

IEC60534-1:2005 : Industrial-process control valves. Part 1: control valve terminology and general considerations

IEC60534-2-3:1997 : Industrial-process control valves. Part 2: Flow capacity, Section Three-Test procedures

JIS B 2005-1:2012 : 工業プロセス用調節弁—第1部: 調整弁用語及び一般的必要条件

JIS B 2005-2-3:2004 : 工業プロセス用調節弁—第2部: 流れの容量—第3節: 試験手順

機器規格: JIS B 8471 : 水用電磁弁

JIS B 8472 : 蒸気用電磁弁

JIS B 8473 : 燃料油用電磁弁

(2) 流量特性の定義

K_v 値: 圧力差が $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ (1 bar) のとき、バルブ (供試機器) を流れる $5 \sim 40^\circ \text{C}$ の温度の上水の流量を m^3/h で表す数値。次の式によって算出します。

$$K_v = Q \sqrt{\frac{1 \times 10^5}{\Delta P} \cdot \frac{\rho}{1000}} \dots\dots\dots (8)$$

K_v : 容量係数 [m^3/h]

Q : 流量 [m^3/h]

ΔP : 圧力差 [Pa]

ρ : 流体の密度 [kg/m^3]

(3) 流量計算式

実用単位により次のように表されます。また、流量特性線図を図5に示します。

液体の場合:

$$Q = 53 K_v \sqrt{\frac{\Delta P}{G}} \dots\dots\dots (9)$$

Q : 流量 [L/min]

K_v : 容量係数 [m^3/h]

ΔP : 圧力差 [MPa]

G : 比重 [水=1]

飽和水蒸気の場合:

$$Q = 232 K_v \sqrt{\Delta P (P_2 + 0.1)} \dots\dots\dots (10)$$

Q : 流量 [kg/h]

K_v : 容量係数 [m^3/h]

ΔP : 圧力差 [MPa]

P_1 : 上流圧力 [MPa] : $\Delta P = P_1 - P_2$

P_2 : 下流圧力 [MPa]

電磁弁流量特性

容量係数の換算：

$$K_v = 0.865 C_v \dots\dots\dots (11)$$

ここに、

C_v 値：圧力差が1 lbf/in²(psi)のとき、バルブを流れる40~100°Fの温度の上水の流量をUS gal/minで表す数値です。

空気用の K_v , C_v とは試験方法が異なるので数値は一致しません。

(4) 試験方法

図4に示す試験回路に供試機器を配管接続し、5~40℃の水を流して乱流で気化現象が起こらない圧力差(入口圧力0.15MPa~0.6MPa以上において圧力差0.035MPa~0.075MPa)における流量を測定します。ただし、確実に乱流を起こすため、レイノルズ数が 1×10^5 を下回らない、より大きな圧力差とし、液体の気化現象を防止するため、入口圧力を高めにする場合があります。

測定結果を式(8)に代入して K_v を算出します。

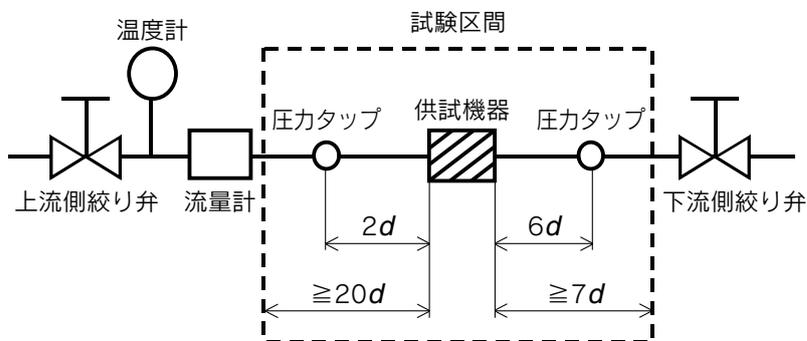


図4. IEC60534-2-3, JIS B 2005-2-3による試験回路

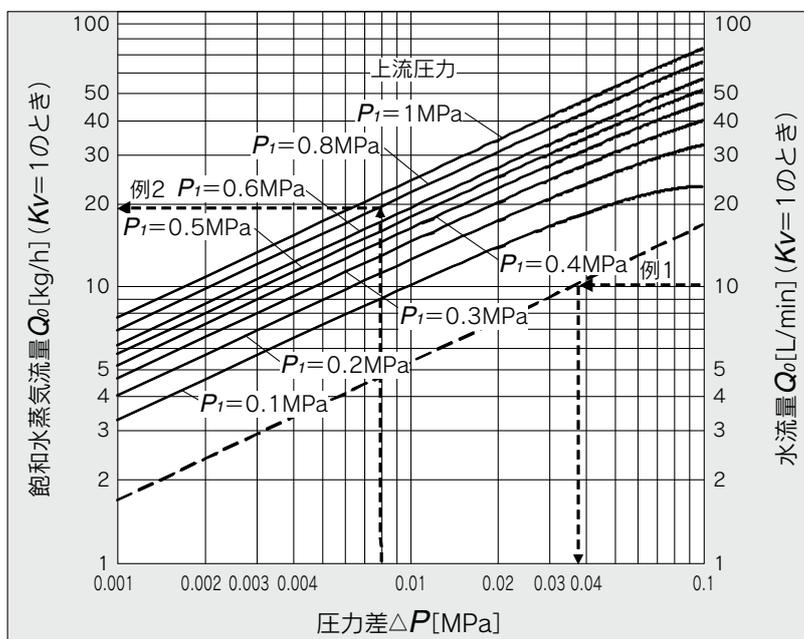


図5. 流量特性線図

例1)

$K_v=1.5$ [m³/h]の電磁弁を15 [L/min]の水が流れるときの圧力差を求めると。

$K_v=1$ における流量は、 $Q_0=15 \times 1/1.5=10$ [L/min]であるから、図より Q_0 が10 [L/min]のときの ΔP を読み取ると0.036 [MPa]となる。

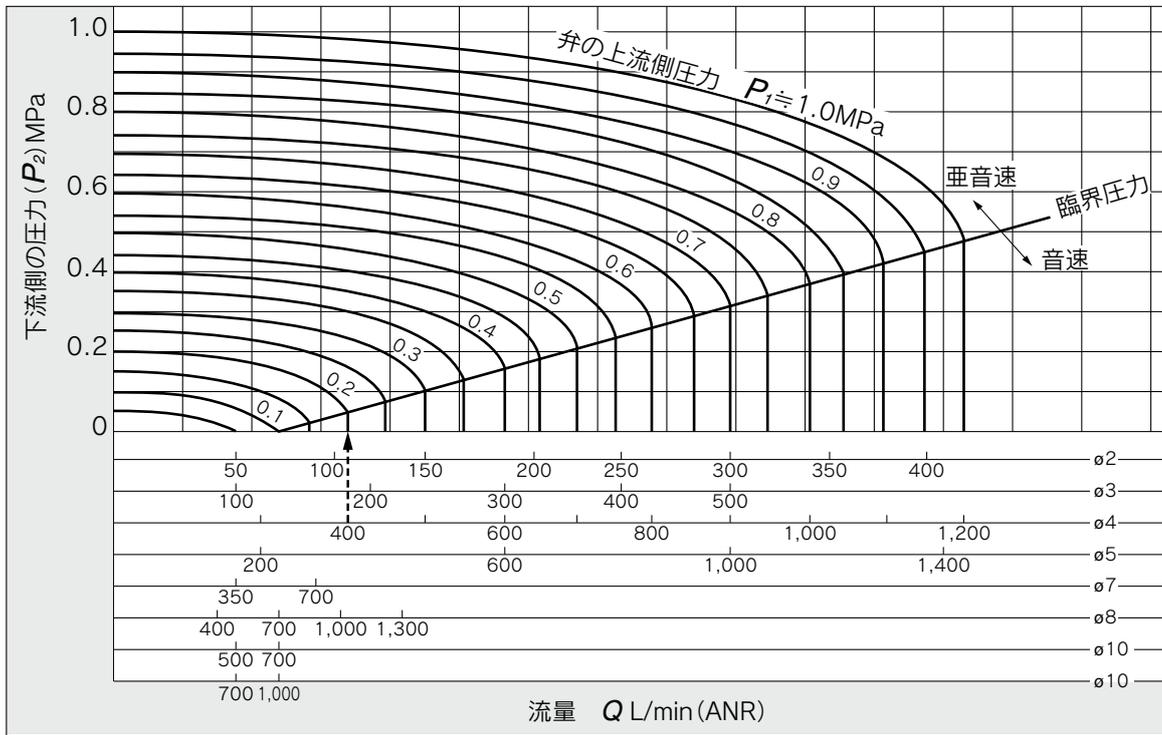
例2)

$K_v=0.05$ [m³/h]の電磁弁で $P_i=0.8$ [MPa]、 $\Delta P=0.008$ [MPa]のときの飽和水蒸気の流量を求めると。図より P_i が0.8における ΔP が0.008のときの Q_0 を読み取ると20 [kg/h]であるから、流量 $Q=0.05/1 \times 20=1$ [kg/h]となる。

流量特性表

注) この表は、目安として使用してください。正確な流量を求める場合は、P.803~807をご参照願います。

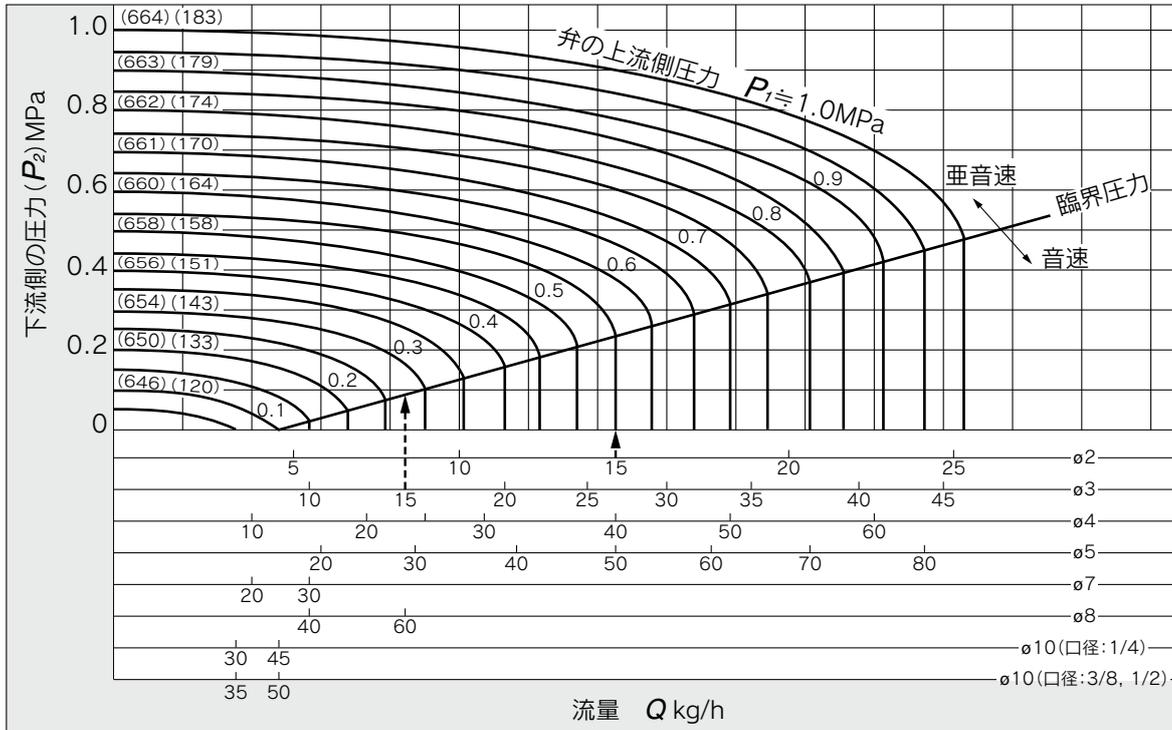
空気の場合



図の見方

流量400L/min (ANR)を流すための音速領域での圧力はオリフィス径φ4は $P_1 \approx 0.2 \text{ MPa}$ 、オリフィス径φ3は $P_1 \approx 0.58 \text{ MPa}$ となります。

飽和水蒸気の場合

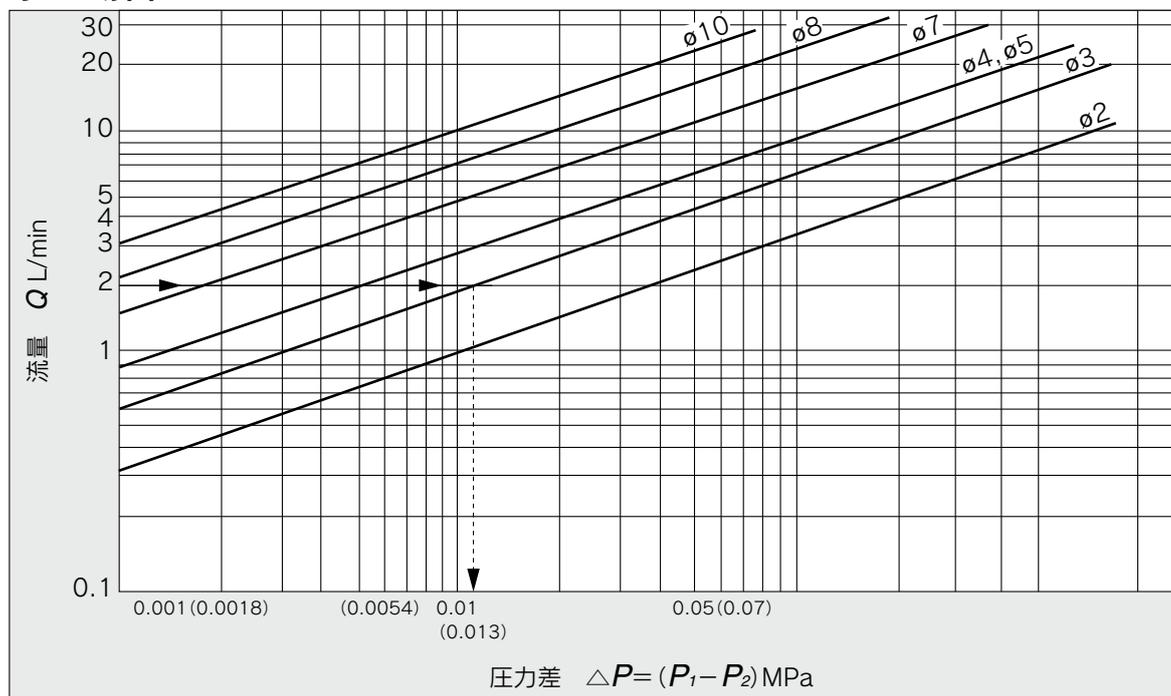


図の見方

流量15kg/h流すための音速領域での圧力はオリフィス径φ2は $P_1 \approx 0.55 \text{ MPa}$ 、オリフィス径φ3は $P_1 \approx 0.28 \text{ MPa}$ となります。
保有熱量は圧力 P_1 により多少異なりますが、15kg/hでは約9700kcal/hの熱量となります。

流量特性表

水の場合



図の見方

2L/minの水を流した時、オリフィス径 $\phi 3$ のバルブでは $\Delta P \approx 0.013$ MPaとなります。