

JIS B 8390

電磁弁の流量特性の表示が変わりました

1. 背景

現在、空気圧システムは作動機器として産業分野において幅広く応用されている。空気圧システムの設計には流量の把握が極めて重要である。空気圧電磁弁、速度制御弁などの空気圧要素の流量特性は空気圧システムの動特性に大きな役割を果たしているため、機器選定などの段階で重要な指標とされている。空気圧機器の流量特性の表示では、それぞれの国によって基準が違い、アメリカとヨーロッパでは C_v 値と K_v 値、日本では有効断面積 S を使っている。

ISO 規格 (ISO 6358 1989) によって、音速コンダクタンス C と臨界圧力比 b を用いて流量特性を表示している。測定要素を流れる流量と要素の上流と下流圧力から音速コンダクタンスと臨界圧力比を求める方法を提案している。しかしながら、ISO 方法の測定精度が流量計の精度に依存する。また、実験中に圧縮空気を常に流し続けるために、空気の消費量が多く、特に、大型バルブの流量特性を測定する際に、コンプレッサーなどの設備が大きくなり、一般ユーザーでは実行不可能なことが多い。

一方、従来の JIS 規格 (JIS B 8373) には、臨界圧力比を理論的な、一定の値 0.5283 と固定して、音速コンダクタンス C に相当する有効断面積 S を用いて流量特性の表示および有効断面積の便利な測定方法を提案している。有効断面積の測定方法では、流量計を使わず、圧縮空気がタンクから測定要素を通して放出させる際、タンク内空気の圧力応答から有効断面積を求める。この方法は放出法と呼ばれる。

また空気圧機器の流量特性の表示法、およびその計測方法においても国家間の統一化が進展しつつあり、国際的に、機器の通過能力の公正な評価が求められるようになってきている。これに対応して、2000 年に、新しい JIS 規格 (JIS B 8390-2000) では従来の有効断面積の使用を認めると共に、ISO 方法を採用することにした。

2. 流量特性

流量特性は、簡単に言うと、空気圧機器の流れる能力を表すパラメータである。電気抵抗の場合には、Fig.1 に示すとおり、上流電圧が一定とされたとき、抵抗を流す電流 i は下流電圧の減少に従って増加し、線型特性となっている。また、非圧縮性流体の場合には、ベルヌイ方程式から流量特性を表すことができ、Fig.2 の破線に示すように二乗特性となる。一方、圧縮性流体の場合には、流体が圧縮性を持つため、電気抵抗と非圧縮流体とも異なる。上流圧力が一定とされた場合に、ある範囲で、質量流量 G は下流圧の降下によって増える。ある圧力から、下流圧が減少しても、質量流量は一定のまま増加しない。この現象はチョークと呼ばれる。

ISO 規格によって、流量と圧力の関係は、チョーク流れる場合に音速コンダクタンス C を用いて表す。流量が変わるところの下流と上流圧の比 P_2/P_1 を臨界圧力比 b と呼ぶ。非チョーク範囲で音速コンダクタンスと臨界圧力比を使って表示されている。

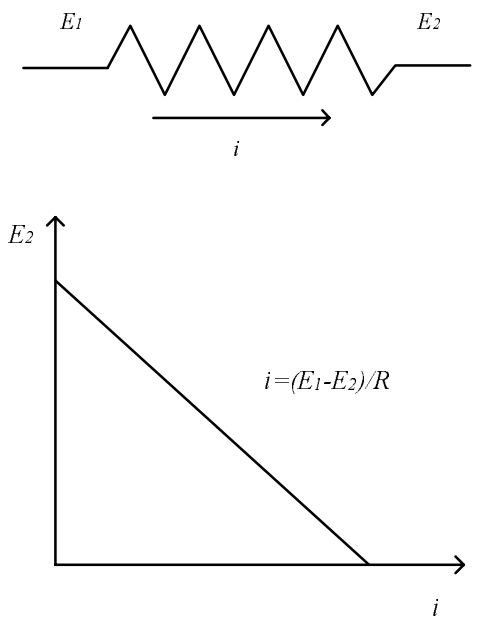


Fig.1 電気抵抗における電圧と電流の関係

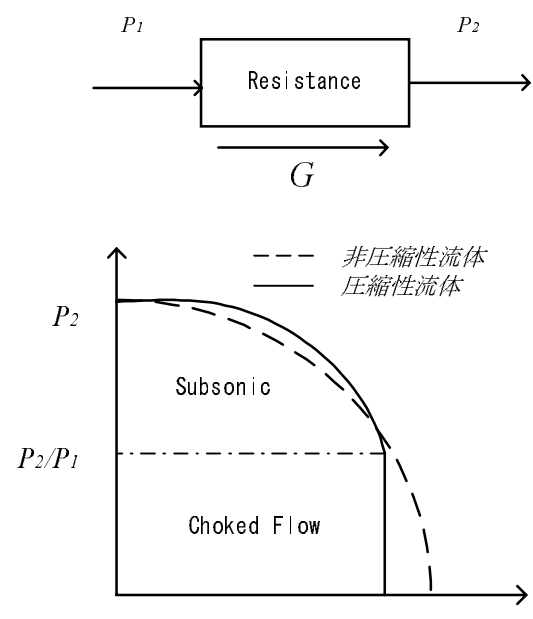


Fig.2 流体の流量特性

3. ISO の方法

ISO 規格では、空気圧要素では音速コンダクタンスと臨界圧力比をパラメータとして流量表示を行う方法が採用された。これらを用いた流量表示式は次式となる。この式は「一般的な弁は音速流れのときには流量がほぼ一定のままであるが、亜音速流れのときには、流量は式(1)のように楕円曲線を用いて実際の流量特性を表すことができる」という考えによるものである。

$$G = \begin{cases} C\rho_0 P_1 \sqrt{1 - \left(\frac{P_2 - b}{P_1} \right)^2} \sqrt{\frac{293}{\theta_1}} & \frac{P_2}{P_1} \geq b \\ C\rho_0 P_1 \sqrt{\frac{293}{\theta_1}} & \frac{P_2}{P_1} < b \end{cases} \quad (1)$$

また測定される空気圧要素を通過する流量とその要素の上流と下流の圧力から、音速コンダクタンス臨界圧力比を求める方法が決められている。その方法は Fig.3 のような装置で行われる。装置は空気圧源、減圧弁、圧力計、供試機器、流量制御弁および流量計から構成される。測定は、上流圧力が 0.4 [MPa]以上である一定値と設定され、流量制御弁を使って、チョーク流れ発生するまで下流圧力を減少させる。その時の上流温度 θ_1 を測定し、式(3)から音速コンダクタンスを計算する。

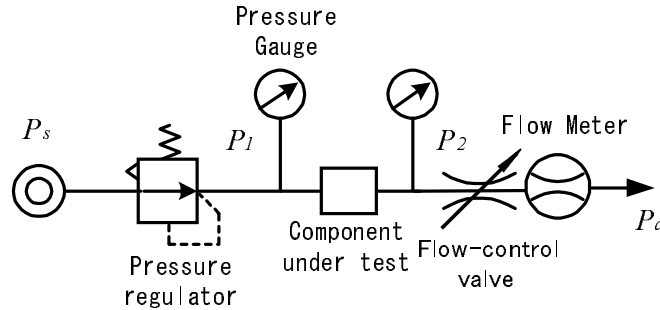


Fig.3 ISO 規格による流量特性の測定方法

$$C = \frac{G_c}{\rho_0 P_1} \sqrt{\frac{\theta_1}{\theta_0}} \quad (3)$$

臨界圧力比の測定では、Fig.4 に示すように流量制御弁を使って、チョーク時の流量 G_c の 20, 40, 60, 80%に減少させ、式(4)からそれぞれ質量流量に対する臨界圧力比を計算し、それらの平均値を臨界圧力比とする。

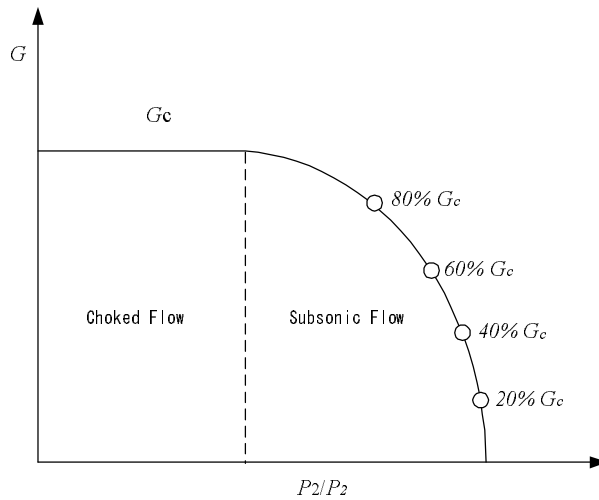


Fig.4 流量特性の測定方法

$$b = 1 - \frac{1 - P_2/P_1}{1 - \sqrt{1 - (G/G_c)^2}} \quad (4)$$

4. JIS 方法

新しい JIS 規格 (JIS B 8390-2000) では、ISO 方法を採用すると共に、従来の有効断面積の表示および測定方法を附録書の中に残している。臨界圧力比が理論的な値 0.5283 と固定して、有効断面積を用いて流量特性を表示している。

JIS に規定された有効断面積を求める方法は以下のとおりである。実験装置は Fig.5 示すように空気圧源、減圧弁、空気圧タンク、制御用電磁弁、測定要素、圧力センサーおよびパソコンなどに構成される。

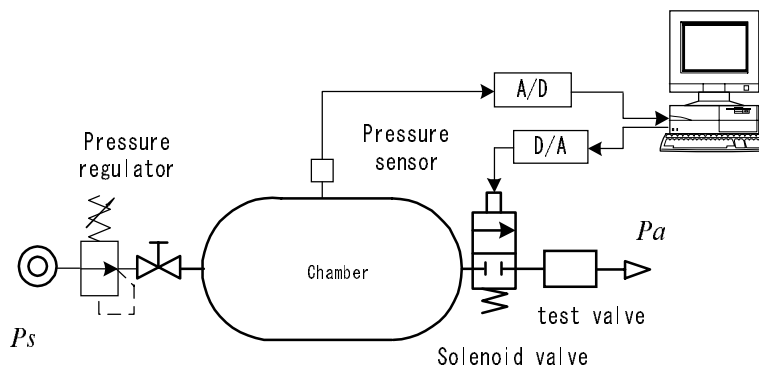


Fig.5 JIS規格による有効断面積の測定方法

測定については、最初、タンクを絶対圧力 0.7 [MPa]で充填し、タンク内の圧力および温度が定常状態になるまで放置する。その後、タンク内の絶対圧力が 0.35 [MPa]に下がるまで空気を放出させ、その放出時間 t_b 域を測定する。放出終了後、タンク内の温度が大気温度に回復するため、

タンク内圧力が安定するまで待ち、残存圧力 P_e を測定する。放出する時にはタンク内空気の圧力および温度変化は Fig.6 に示している。放出するときタンク内空気は断熱変化と仮定して、式(5)によって有効断面積を求める。

$$S = 12.1 \cdot \frac{V}{t_b} \cdot \log_{10} \frac{P_s}{P_e} \cdot \sqrt{\frac{293}{\theta_a}} \quad (5)$$

実際には、有効断面積は音速コンダクタンスと換算できるものである。式(6)から音速コンダクタンスを有効断面積の換算ができる。

$$S = 5.0C \quad (6)$$

ただし、ここで、 S の単位は[mm²]、 C の単位は[dm³/(s·bar)]である。

しかし、従来の JIS 規格 (JIS B 8373) には、タンク内空気が圧力 0.6 [MPa] から 0.3 [MPa] まで放出することを規定している。

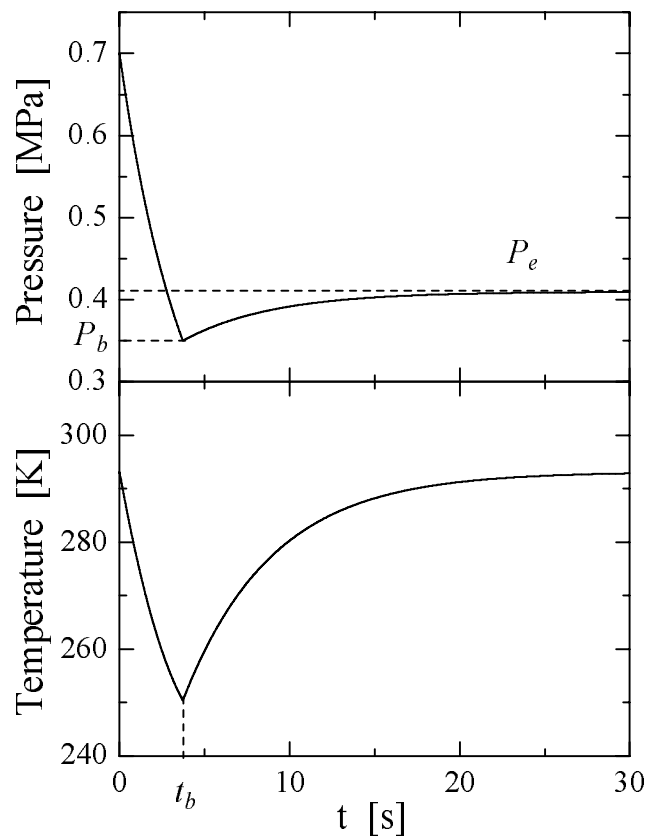


Fig.6 放出するときタンク内空気圧力と温度の応答