

省エネ管理用エア流量計

株式会社 山武

千村 暢孝
Nobutaka Chimura

山武産業システム株式会社

野沢 文峰
Fumitaka Nozawa

山武産業システム株式会社

刑部 彰一
Syouichi Osakabe

キーワード

省エネルギー，省エネ法，空気流量計測，工場用圧縮空気，
楕円スロート流量計

工場におけるエネルギー管理は，製品コストの低減を図る上で重要な要素である。また，メーカ各社は地球温暖化防止の法規制を受けて二酸化炭素の排出量削減に取り組んでおり，エネルギーの中でも生成，搬送に要するエネルギー消費が多い工場エアの流量管理に対しては強い関心を示している。

測定流体の工場エアはダスト，ミスト，オイルを含んでいることが多いが，今回，空気消費量管理を目的とし，流量計としての基本性能に加えて汚れに対する強さを持った省エネ管理用エア流量計を開発したので報告する。

Air flow meter for energy-saving control

Energy control in a production factory is an important factor in attaining cost reduction for products. Manufacturers are now working on the reduction of the discharged amount of carbon dioxide to meet the legal restrictions for the prevention of the effects of global warming. They are showing a strong interest in flow control for air in factories since these systems have a higher energy consumption with respect to the energy used in the factory when generating and transferring air.

In many cases, the flow of factory compressed air that will be measured contains dust, mist, and/or oil. The authors would like to report the results of development on an air flow meter for energy-saving control that has strong resistance against contamination while having the basic performance of a flow meter.

1. はじめに

1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議を受けて，1999年4月にエネルギー使用の合理化に関する法律（以下，省エネ法）が改正された。省エネ法は全国の工場を「エネルギー管理指定工場」に指定し，工場・事業所における事業活動に伴うエネルギーの使用合理化のための取り組みを推進している。指定工場はエネルギー管理者の選任，省エネに関する将来計画の作成，国への提出を義務付けられ，エネルギー使用合理化が著しく不十分な場合には，国からの勧告，命令が下る。また，従来から企業競争力の維持・強化を図る上でコストの低減は各事業所の課題であり，エネルギーを最適に無駄なく使用するための計測，管理が求められる。対象となるエネルギーの中でも圧縮空気は生成，搬送に要するエネルギー消費が多いため，無駄づかいや配管からの漏れが問題視されている。⁽¹⁾

工場用の圧縮空気を計測するための流量計は，各種測定原理の流量計の適用が考えられるが，工場用の圧縮空気がダスト，ミスト，油分を含んでいることが多いために汚れに強いこと，エネルギー損失を避けるために低圧力損失であることが求められる。これらの要求に対し，弊社はプロセス市場において，従来から広く使われている差圧式流量計の汚れに対する弱さとエネルギー損失が大きいという問題を解決した楕円スロート流量計を開発した実績を持っている。本稿で報告する省エネ管理用エア流量計は，プロセス市場で実績のある楕円スロート流量計の技術を適用した，工場用の圧縮空気測定用の流量計である。

2. エネルギー消費の実態

平成11年9月末時点までに終了しているエネルギー消費実態分析1994年～1998年度工場総点検の結果および定

期報告データでは下記の報告がされている。

(対象は第一種管理指定工場：1,200万kW/年度以上)

- (1) 最近5年間平均でエネルギー原単価が悪化した工場は全体の54%。
- (2) 基準値の遵守状況についてはばらつきがある。
- (3) 管理標準については、管理の及ぶ範囲が不十分なもの23%、基準値の設定などの具体性にけるものが27%
- (4) 計測機器の設置や計測・記録の実施状況が不十分なものの2.1%
- (5) 保守・点検が不十分なものが7%

エネルギー原単価の低減結果ならびに活動状況により、指導の強化が計られるため、早急な設備計測機器の設置や計測が必要となる。

3. 工場用圧縮空気の流量計測

これまでの工場における圧縮空気の流量管理の多くは、コンプレッサから吐出される消費量が管理対象であった。省エネ法にも示されているように、省エネルギー管理において工場全体のみならず、設備単位でのエネルギー消費量管理が必要になる。ユーザは、流量計の設置箇所、使用目的、要求仕様を明確にしてそれぞれに応じた流量計を選定する。

3-1 工場用圧縮空気の流量計測の目的

工場用の圧縮空気の流量計測管理は工場全体とライン・設備単位では目的が異なり、それぞれに適用する流量計の仕様、測定原理も異なる。

3-1-1 工場全体の圧縮空気の流量計測

コンプレッサからヘッダー・タンク間、もしくはヘッダー・タンクから工場各棟への配管上に設置される。この間に設置される流量計測の目的を以下に示す。

- (1) 工場全体総消費量の把握
- (2) 総消費量から製造コストの算出
- (3) 空気配管漏れの把握

3-1-2 ライン・設備単位での圧縮空気の流量計測

工場各棟の内部でのライン・設備単位での配管上に設置される目的を以下に示す。

- (1) 各ライン・設備単位での消費量の把握
- (2) 部品製造コストの算出
- (3) 省エネルギー活動の活性化

3-2 工場用圧縮空気の流量計測に求められる仕様

工場全体、各ライン・設備単位で流量計に求められる仕様について述べる。

3-2-1 工場全体の圧縮空気の流量計測における要求仕様

(1) レンジアビリティとターンダウンレシオ

工場は生産の負荷によって圧縮空気の消費量が大きく異なり、局部稼働と一斉稼働時では消費量に10倍以上の差が出る。また、配管漏れを検知するために可能な限りのレンジアビリティが要求される。また、既設配管に設置する際、流量が未知であることが多いため、広範なターンダウンレシオが必要になる。

(2) 低圧力損失

配管に設置された流量計によって大きな圧力損失が生じると省エネ活動の効果が薄れる。設置する流量計は、低圧力損失の必要がある。

(3) 高精度

工場全体の圧縮空気の流量計測を実施し、消費量から製造コストの算出をするために高精度が要求される。

3-2-2 ライン・設備単位での圧縮空気の流量計測における要求仕様

(1) レンジアビリティ

工場全体の圧縮空気の流量計測と同様に、局部稼働時の流量減少に対応する必要がある。

(2) 低圧力損失

配管に設置された流量計によって大きな圧力損失が生じると省エネ活動の効果が薄れる。設置する流量計は、低圧力損失の必要がある。

(3) 空気汚れに対する耐性

工場で使用する圧縮空気は、末端になるにつれ汚れが目立ってくる。適用する流量計は、空気汚れ(油分・水分・ゴミ)による影響が小さいことが必要になる。

(4) 必要直管長

末端配管では直管長が短い場合が多く、諸原理の流量計では測定に必要とする直管長が確保できないことがある。適用する流量計の必要直管長が短いことで設置箇所の制限がなくなる。

(5) 低コスト

設置数が膨大になるため、流量計単体のコストだけでなく、設置工事費を含めた低コストが必要である。

4. 省エネ管理用エア流量計

本稿で報告する省エネ管理用エア流量計は、プロセス市場で実績のある楕円スロート流量計⁽²⁾の技術を用いて工場用圧縮空気の流量計測用に設計することで価格低減を実現した製品である。主にライン・設備別の圧縮空気の流量計測を目的として開発した。楕円スロート流量計の技術を適用したのは、楕円スロート流量計が3-2-2で述べた要求仕様に合致するためである。

4-1 測定原理

省エネ管理用エア流量計の検出器内部は絞り機構を有しており、オリフィス、ノズル、ベンチュリといった差圧式流量計と測定原理は同じである。流量の算出は、絞り機構の前後の差圧と流量の関係(実験係数)を利用して差圧の測定から行う。

質量流量の計算式は、次の式が用いられる。(2)

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho_1}$$

ここで

- q_m [kg/s] : 質量流量
- C : 実験係数
- β : 絞り直径比
- ε : 気体の膨張補正係数
- d [mm] : 使用状態における絞り孔径
- Δp [Pa] : 差圧
- ρ_1 [kg/m³] : 流体の密度

圧縮空気の圧力、温度変動の大きいプロセスでは密度の補正を行うために、計測点の温度、圧力を測定する必要がある。

4-2 構造と仕様

省エネ管理用エア流量計の外観を図.1に、検出器内部に挿入する絞り部を図.2に、さらに従来機種である楕円スロート流量計の外観を図.3に示す。表.1は省エネ管理用エア流量計の標準仕様である。



図.1 省エネ管理用エア流量計外観図(100A)



図.2 挿入式絞り部



図.3 楕円スロート流量計

工場用圧縮空気の流量計測専用の設計として、小型化、軽量化、環境性、コスト低減を目的に行った。65A以上の検出器は分解可能な構造であり、配管材にはステンレス、内部に挿入する絞り部の材質にはポリアセタール樹脂を選定した。ポリアセタール樹脂は性能、環境性に優れている。表.2にポリアセタール樹脂の特性を示す。

表.1 省エネ管理用エア流量計標準仕様
(組み合わせ差圧発信器:弊社製 JTD920相当の場合)

精度	± 4%FS
設定可能流量 スパン	2.5KPa ΔP 30KPa
最小測定流量	ΔP 0.05KPa
圧力損失	発生差圧に対して約 15%
流体圧力	0.01 ~ 0.9MPa
流体温度	-10 ~ + 60
接続口径	25A ~ 150A
配管接続	ストラップカップリング接続(口径25A~150A) または JIS10Kフランジ(口径25A~150A)
本体材質	配管部 : ステンレス 絞り機構部: ポリアセタール樹脂 (65A~150A) ステンレス(25A~50A)
絞り直径比	0.6
直管長	上流側: 最小で 3.0D 下流側: 1.5D

表.2 ポリアセタール特性表

環境性	焼却時にダイオキシンなどの有害物質を出さない
耐薬品性	酸に対する耐性は弱い。油、アルカリ、有機溶剤に対しては耐久性がある
吸水性	吸水性が低い。長期にわたる使用では若干の性質劣化がある
耐スチーム性	耐久性がない

表.3 各種測定原理流量計比較

種類	精度	コスト	レンジアビリティ	必要直管長	圧損	流体の汚れ	温圧補正
省エネ管理用エア流量計	± 4%FS		20 : 1	3D			必要
楕円スロート流量計	± 0.75%FS		10 : 1	3D			必要
渦式	± 1%RD		10 : 1	10D			必要
ピトー管式	± 2%FS		4 : 1	10D			必要
熱式	± 0.5%FS		50 : 1	-			不要
超音波式	± 2%RD		30 : 1	20D			必要

：最適 ：適 ：条件付適

4-3 各種測定原理流量計との比較

工場用圧縮空気の測定には、さまざまな原理の流量計が適用できる。表.3において省エネ管理用エア流量計と他測定原理流量計の比較を行う。

4-3-1 精度

省エネ管理用エア流量計の測定精度は、下記の不確かさ要因によって算出する。

- (1) 組付け発信器の精度
- (2) 実験係数（差圧と流量の関係）の不確かさ
- (3) 絞り部の寸法公差ならびに使用温度範囲における形状変化による不確かさ
- (4) 気体の膨張補正係数の不確かさ
- (5) 測定圧縮空気の挿入式絞り部と測定管壁の隙間通過による不確かさ

プロセス市場向けの楕円スロート流量計は、不確かさ要因が(1)～(4)であるために± 0.75%FSという高精度を実現できる。省エネ管理用エア流量計では、工場用の圧縮空気流量専用にコスト低減を実現するために(5)の誤差要因を容認する設計を行った。工場全体の流量計測に適用される流量計は高精度が要求されるため、5章で後述するように超音波流量計を適用するのが望ましいが、ライン・設備単位での流量計測においては、高精度よりも3-2-2で述べた要求仕様を満足する流量計が必要となる。

4-3-2 トータルコストの低減

流量計を設置する際の接続方式はフランジ接続が一般的であるが、既設配管へ設置されるケースがほとんどであることを踏まえ、設置工事に及んでコスト低減をするためにカップリング方式を標準採用した。カップリング方式は流量計と配管をボルト締めのみで接続可能であり、フランジの溶接作業を省くことができるため、流量計コストを削減できることに加えて設置工事コストも削減できる。

4-3-3 レンジアビリティ

検出器内部の楕円形状の絞り部は、その絞り機構自体に整流作用があり、広範な流量において安定した出力が得ら

れることを確認した。⁽²⁾ 図.4にオリフィス、電磁流量計との流量指示波形の比較を示す。この整流作用により、表.1に示したように通常設定する差圧レンジにおいて、レンジアビリティ 20 : 1を実現することができる。

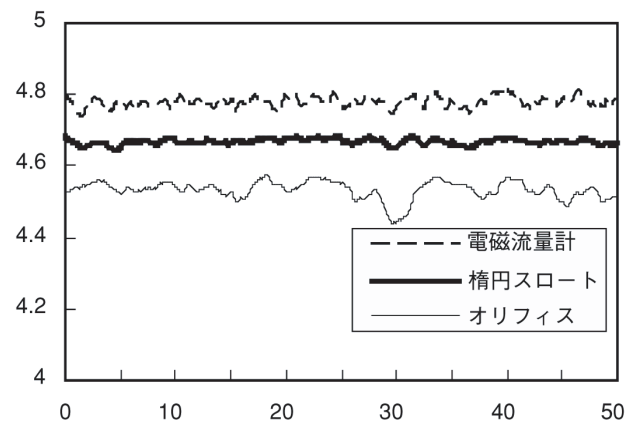


図.4 流量指示波形比較（縦軸：出力[V]、横軸：時間[SEC]）

4-3-4 必要直管長

楕円形状による絞り機構自体に整流作用があることについては先に述べた。この作用により、必要直管長において他測定方式の流量計と比較して優れた性能を発揮する。表.4に上流直管長不足による流量測定への影響を基準状態からの付加誤差で表す。また、図.5, 6試験状況を示す。⁽³⁾

ライン・設備単位での空気流量計測においては、必要直管長が十分に確保できない箇所が多い。必要直管長が短い省エネ管理用エア流量計は、他方式の流量計が設置できない箇所にも設置可能である。

表.4 上流直管長試験結果

試験状況	差圧取出し方向	付加誤差[%FS]
図.5	鉛直上向き	0.12
	流れ方向から 半時計回りに 90°	-0.18
	流れ方向から 時計回りに 90°	0.51
図.6	鉛直上向き	0.09

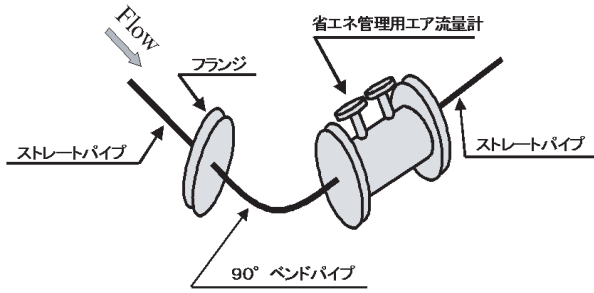


図.5 上流直管長試験(90°ベンド1個)

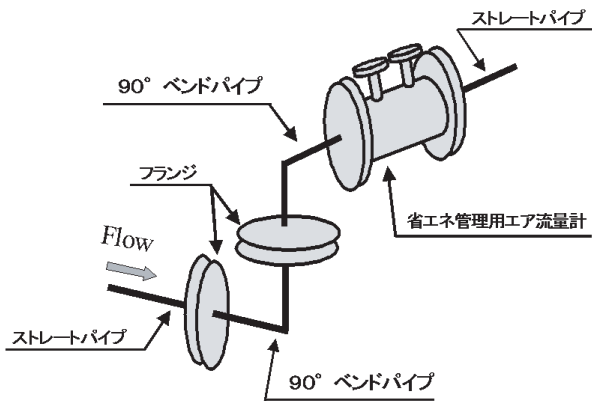


図.6 上流直管長試験(同一平面にない2個の90°ベンド)

4-3-5 低圧力損失

代表的な差圧式流量計であるオリフィスは、発生差圧の50%以上が圧力損失となる。一方、差圧式流量計の中でもベンチュリは圧力損失が発生差圧の数%と非常に小さいが、重厚長大な検出器である。省エネ管理用エア流量計の圧力損失は、発生差圧の約15%に抑えるように検出器の設計を行った。省エネ管理用エア流量計の圧力損失は、一般的に圧力損失が少ないといわれている渦式流量計よりも圧力損失が少ない。図.7に省エネ管理用エア流量計と渦式流量計の圧力損失の比較を示す。

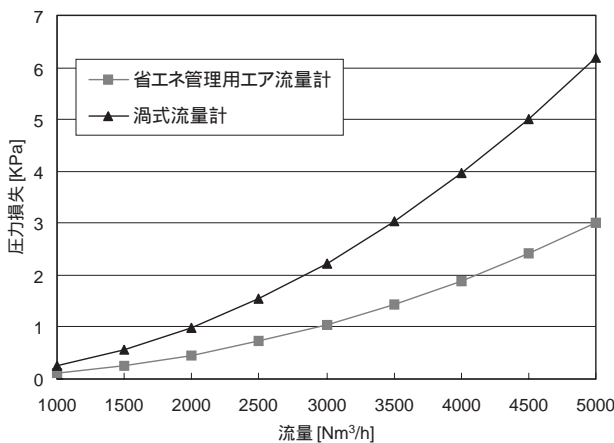


図.7 圧力損失比較 (口径: 100A, 圧力: 0.5MPa, 温度: 20 のとき)

4-3-6 汚れに対する耐久性

工場で使用される圧縮空気は、通常、コンプレッサで生成された後にサクシオンフィルタ、脱湿機を経て工場各棟へ供給される。圧縮空気は精製過程を経ているが、ライン・設備の末端配管に行くほどオイル、ミスト、ダストといった汚れが目立つようになる。したがって、このような配管に設置する流量計には、汚れに対する耐久性が必要である。

差圧式流量計はその差圧取り出し穴径の大きさの制限から、汚れに対する耐久性が弱いとされてきた。この問題に対して、楕円スロート流量計は差圧取り出し穴を拡大した拡大タップ⁽¹⁾を採用することで解決している。省エネ管理用エア流量計にもこの技術を適用したため、圧縮空気の汚れに対する耐久性を発揮する。また、内部が楕円形状の絞りとなっている検出器は、滞留部を作らないために異物が堆積して流量測定精度を落とすことがない。

製品材質にも汚れに対する耐久性を考慮した選定を行った。配管材にステンレス、配管サイズ65A～150Aの絞り部に採用したポリアセタール樹脂は、油分、水分に対する耐久性がある。

5. アプリケーション事例

省エネ管理用エア流量計を設置しているアプリケーションの代表例を図.8に紹介する。

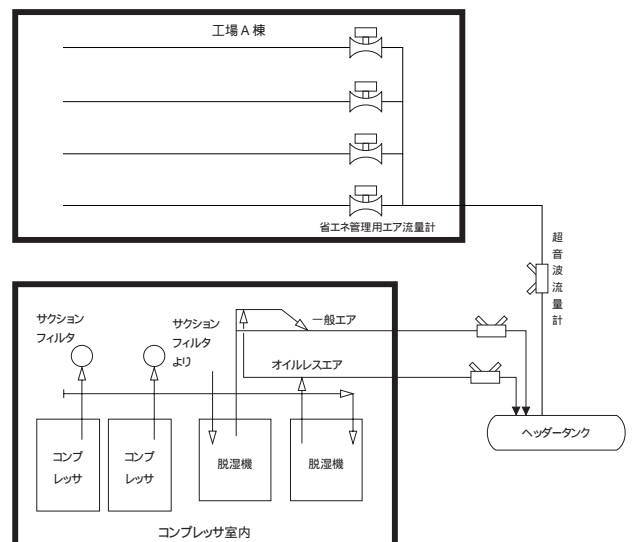


図.8 アプリケーション事例(ライン・設備別計量)

コンプレッサから各工場への供給は、200A以上のメイン配管で行われる。この配管には、高精度で大流量測定にも対応できる超音波流量計を設置する。工場内に入り分岐したのち、150A以下のサブ配管以下となったところに省エネ管理用エア流量計を設置する。サブ配管以下には、汚

れに強く、安価に多数設置できる流量計が要求される。

工場用圧縮空気の流量計測を既設配管で行う際、流量を把握できていないケースが多い。そのような場合、メイン配管にターンダウンレシオが大きく、高精度な超音波流量計を設置して流量を把握した後、各ライン・設備のサブ配管以下に流量計を設置していくのがよい。

6. おわりに

山武グループは計測と制御に関する技術を応用し、省資源、省エネルギーへの貢献をしてきた。本稿で説明した省エネ管理用エア流量計は、工業プロセス市場で実績のある楕円スロート流量計を工場用圧縮空気の測定用に特化させた流量計である。この製品は、差圧の測定に工業プロセス用の差圧発信器を採用するなど、さらに開発を進める余地を残している。今後は、温度・圧力補正機能を備える専用発信器の開発を行い、さらにユーザ各位の期待に応えていきたい。

参考文献

- (1) 刑部 “空気流量計” 計測技術 Vol.28 No.12 P12～15 日本工業出版社 (2000)
- (2) 千村, 菊池, 市原 “楕円スロート流量計” Savemation Review Vol.15 No.1 山武 P14～P19 (1997)
- (3) Nobutaka Chimura "Elliptical Tube Flowmeter" ISA TECH/EXPO Technology Update Vol.3 No.1025 (1999)

著者所属

Tx開発部 千村 暢孝
プロダクトマーケティング部 野沢 文峰
プロダクトマーケティング部 刑部 彰一