

DY形渦流量計

TI 01F06A00-01 初版

目 次

1.	まえがき	1-1
2.	特長	2-1
2.1	渦流量計の原理的特長	2-1
2.2	YEFLO独自の特長	2-1
2.2.1	センサ部の特長	2-1
2.2.2	変換部の特長	2-2
3.	測定原理	3-1
4.	渦発生周波数検出方式	4-1
4.1	周波数検出の原理	4-2
4.2	YEFLOの基本動作	4-3
4.2.1	検出部の構造	4-3
4.2.2	スペクトラル・シグナル・プロセッシング(SSP)	4-4
5.	流量演算	5-1
6.	補正機能	6-1
6.1	レイノルズ補正	6-1
6.2	気体の膨張補正	6-2
7.	自己診断機能	7-1
8.	基本データ	8-1
8.1	スペクトラル・アダプティブ・フィルタ(SAF)の効果	8-1
8.2	アダプティブ・ノイズ・サプレッション(ANS)の効果	8-3
8.3	低流量における測定	8-4
9.	サイジング	9-1
10.	各種流体データ	10-1

1. まえがき

流れの中に柱状物体(渦発生体)を挿入すると、その表面から境界層が剥離して、後方の流れにカルマン渦列と呼ばれる回転方向が逆な渦が交互に発生します。この渦列の発生周波数は一定のレイノルズ数範囲において、流速に一次比例することが確認されております。従ってこの渦発生周波数を計測することによって、流速または流量を測定することができます。渦流量計はこの原理を利用した流量計です。

当社は1968年に世界で初めて渦流量計を製品化して以来、世界で20万台の販売実績と経験を元にこのたびdigitalYEWFLOWを開発いたしました。

digitalYEWFLOWは最新のデジタル回路技術を応用したSSP(Spectral Signal processing)を搭載することにより、これまでの信頼性・耐久性に加えて、より高度な安定性高精度を実現しました。

* SSPは、当社独立のデジタル信号処理の略号です。

新機能SSP(Spectral Signal Processing)アンプ

電源投入直後から常に最適な測定条件へと完全自動調整する新機能です。

振動の影響を受けることなく正確に渦信号を捉え、安定した出力信号を確保することができます。低流量域の測定も格段に安定しました。

一步進んだ自己診断機能

アプリケーションの状況変化(配管振動や流体の乱れなど)を予測して表示します。状況を把握することにより、現場での早期判断・対応が可能になります。

多機能な表示器

2列構成で瞬時流量と積算流量を同時に表示できます。自己診断結果も表示いたします。

2. 特長

digitalYEWFLOは、渦流量計の原理に伴う特長とYEWFLO独自の技術的な特長を持ち合わせております。

2.1 渦流量計の原理的特長

高精度

液体、気体とも指示値の $\pm 1\%$ (パルス出力)とオリフィス流量計などと比べて高い精度を誇っています。流体とその条件によっては、なお、液体では、最高 $\pm 0.75\%$ が可能です。

レンジアビリティが広い。

レンジアビリティとは、ここでは測定可能範囲の最大値と最小値の比として定義しています。レンジアビリティが広いことにより、流量の測定点が大きく変化するプロセスに対しても対応できます。

出力と流量は比例関係にある。

出力が流量(流速)に比例するため、オリフィス流量計と異なり開平演算は不要です。

ゼロ点変動が無い。

センサからの出力は周波数であるため、ゼロ点変動はありません。

圧力損失が小さい。

渦流量計の管内には、渦発生体があるのみで、流路の絞りは小さいので、オリフィスなどを挿入する場合に比べ、圧力損失は比較的小さくなります。

2.2 YEWFLO独自の特長

2.2.1 センサ部の特長

センサが接液しない

YEWFLOはセンサに圧電素子を採用し、素子は渦発生体の内部にあります。このため測定流体に直接触れません。

可動部のないシンプル構造

流路には台形断面を有する渦発生体があるのみで、可動部がありませんので、頑丈でシンプルな構造にできます。

高温、高圧まで使用可能

最高で450 (25 ~ 200A, 高温用HPTリモート形)の高温流体を測定できます。また、圧力は標準でANSIクラス900フランジ定格(常温において15MPa)まで十分に使用できます。

トータルコストが安価

計装コストまで含めたトータルコストは他の流量計に比較して低価格です。

2.2.2 変換部の特長

SSP(Spectral Signal Processing)

最新のデジタル回路技術を応用して、新たに開発した横河独自のSSP(Spectral Signal Processing)* アンプは、常に最適な条件へと自動調整します。信頼性の高い従来品の伝統を受け継ぎ、この革新的なデジタルフィルタを搭載することによって、長期安定、安全な運転が、より確かなものになりました。

アダプティブ・ノイズ・サプレッション

電源投入直後から常に最適な条件へと完全自動調整する新機能です。振動の影響を受けることなく正確に渦信号を捉え、安定した出力信号を確保することができました。低流量域の測定も格段に安定しました。

一步進んだ自己診断機能

アプリケーションの状況変化（配管振動、流体の乱れなど）を予測して表示します。状況を把握することにより、現場での早期診断・対応が可能になりました。

パラメータの操作性向上

使用頻度の高いパラメータを抜き出して1ブロックにまとめることにより、操作性を向上させました。

多機能な表示器

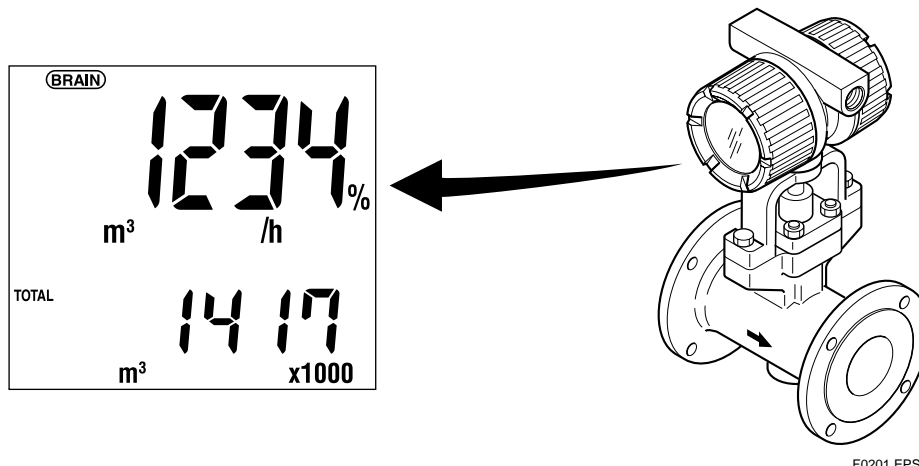
2列構成で瞬時流量と積算流量値を同時に表示できます。自己診断結果も表示いたします。

変換器を小型軽量化

部品点数を削減し、信頼性が向上しました。

アナログ/パルス同時出力

瞬時値と積算値の両方が同時に測定できます。



F0201.EPS

3. 測定原理

図3.1に示すように渦発生体を流れの中におくと、下流側に交互に配列されるカルマン渦列が発生します。

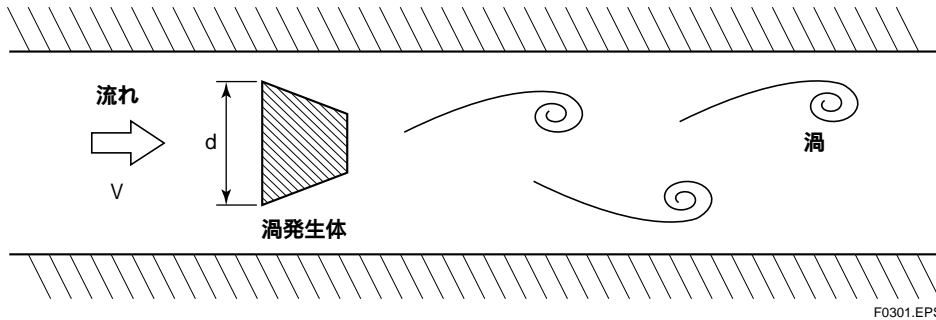


図3.1 カルマンの渦列

このとき発生する渦の周波数をf，流速v，渦発生体の幅をdとすると，

$$f = St \cdot \frac{V}{d} \dots\dots\dots (1)$$

の関係があります。これは円管内を流れるYEWFLOの場合にも同様に適用できます。ここで，

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4} - dD} \dots\dots\dots (2)$$

- Q：体積流量
- D：YEWFLOの内径
- St：ストローハル数

(1)，(2)式をまとめて，体積流量で表わすと，

$$Q = \frac{f \cdot (\frac{\pi \cdot D^2}{4} - d \cdot D) \cdot d}{St} \dots\dots\dots (3)$$

となります。
ストローハル数(St)とは渦発生体の形状，寸法によって決定される無次元数で，形状を適切に選ぶことにより，広いレイノルズ数範囲にわたって一定の値になります。

図3.2にレイノルズ数とストローハル数の関係を示します。

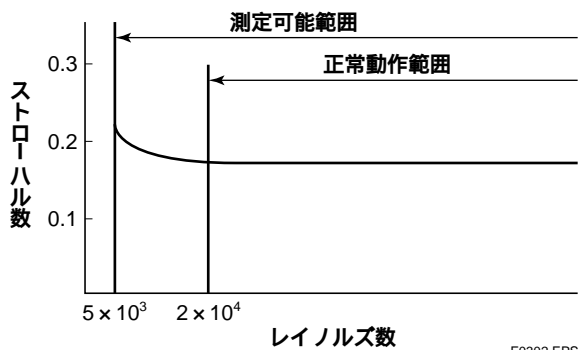


図3.2 ストローハル数とレイノルズ数の関係

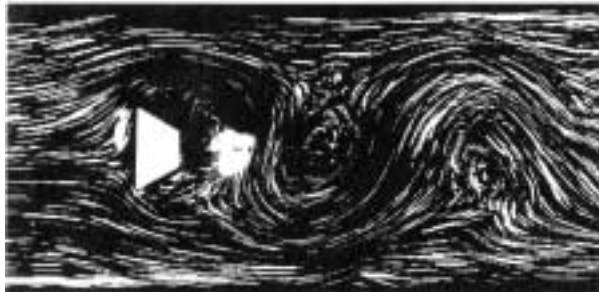
F0302.EPS

従って、ストローハル数をあらかじめ把握しておけば、渦周波数を計測することにより流量を測定することができます。

また、(3)式により流量は流体の圧力、温度、密度、粘度などに無関係に測定できることが判ります。しかし、標準(基準)状態における体積流量や質量流量を測定する場合は、温度補正や圧力補正が必要です。

4. 渦発生周波数検出方式

YEFLOの渦発生体は台形断面形状になっています。台形断面は渦発生周波数の直線性に優れており、安定で強い渦を発生します。図4.1に台形断面の渦発生体から生成される渦の可視化写真を示します。



F0401.EPS

図4.1 台形柱状物体のカルマン渦列

YEFLOでは渦発生周波数検出方式として、渦の発生に際して渦発生体に加わる交番揚力によって生じる応力を圧電素子で検出する方式を採用しています。

圧電素子方式は、

- (1) センサである圧電素子を接液しない構造にできます。
- (2) 応力を検出する方式であるため、渦発生体を大きく変位させる必要がなく、頑丈な構造にできます。
- (3) 圧電素子は高感度であるため、低流速から高流速まで広い範囲の流量が測定可能です。
- (4) 使用温度・圧力範囲を非常に広くできます。

といった特長を有しています。

4.1 周波数検出の原理

図4.2に渦発生周波数検出の原理を示します。

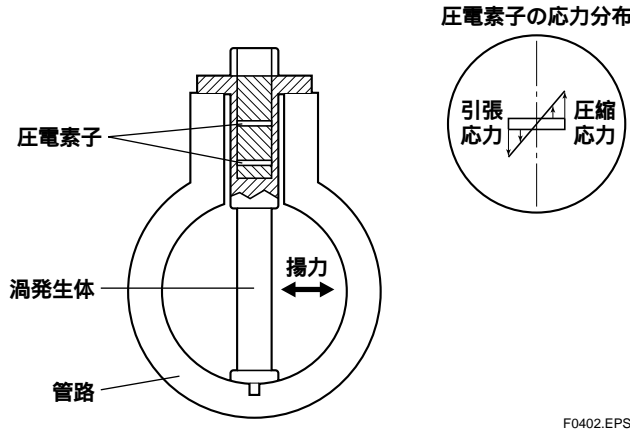


図4.2 渦発生周波数検出の原理

流体が紙面と垂直方向に流れると、渦が渦発生体から放出されます。この際、渦発生体に渦発生周波数と同一周波数の交番揚力が加わります。この交番揚力により渦発生体には応力変化が生じ、渦発生体に固定されている圧電素子がこの応力変化の周波数すなわち渦発生周波数を検出します。

交番揚力の大きさは流速の二乗に比例し、交番揚力のピーク値 F_L は次式で示されます。

$$F_L = \pm 1/2 \cdot C_L \cdot \rho \cdot V^2 \cdot d \cdot D \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

- C_L : 無次元の係数
- V : 流速
- D : 管内径
- ρ : 流体の密度
- d : 渦発生体の幅

圧電素子に発生する平均応力 M , 圧電素子に誘起される電荷量 q は次式で示されます。

$$M = K \cdot F_L$$

$$q = d_0 \cdot M \cdot S$$

ここで、

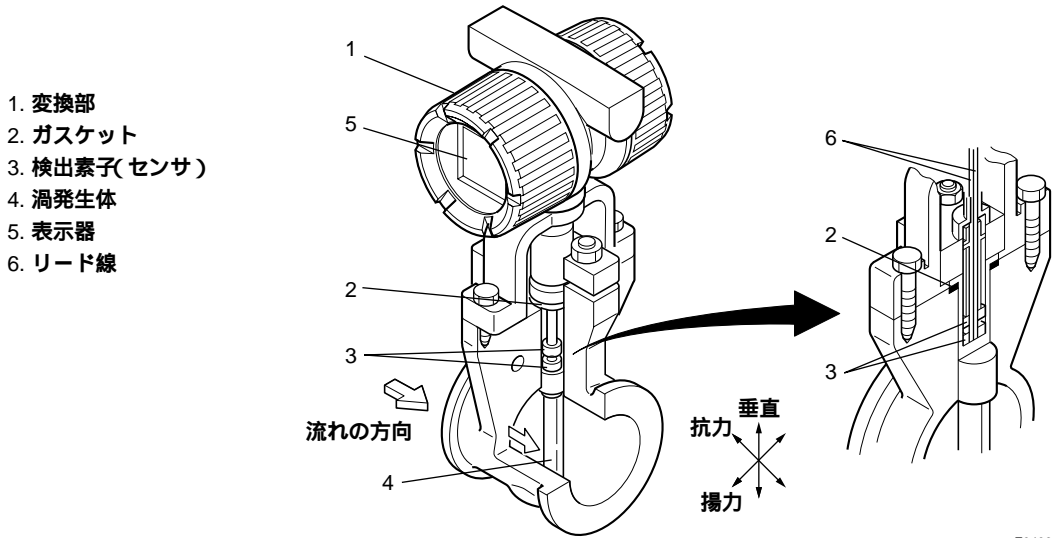
- K : 渦発生体の形状と支持方法から決まる定数
- d_0 : 圧電係数
- S : 圧電素子の面積

この交流電荷量は電子回路により信号処理されて、渦周波数が検出されます。

4.2 YEWFLOの基本動作

4.2.1 検出部の構造

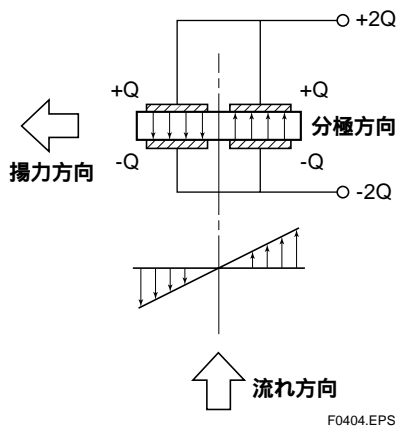
図4.3に検出器の構造を示します。



F0403.EPS

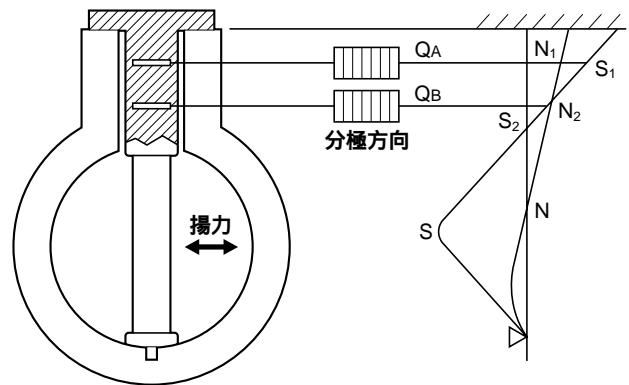
図4.3 検出器の構造

渦発生体の上部には図4.4に示すような圧電素子が2個配置され、渦により発生した信号を効率良く検出し、配管振動等のノイズの影響を除去する役割をしています。



F0404.EPS

図4.4 圧電素子



F0405.EPS

図4.5 揚力方向の信号とノイズの分布

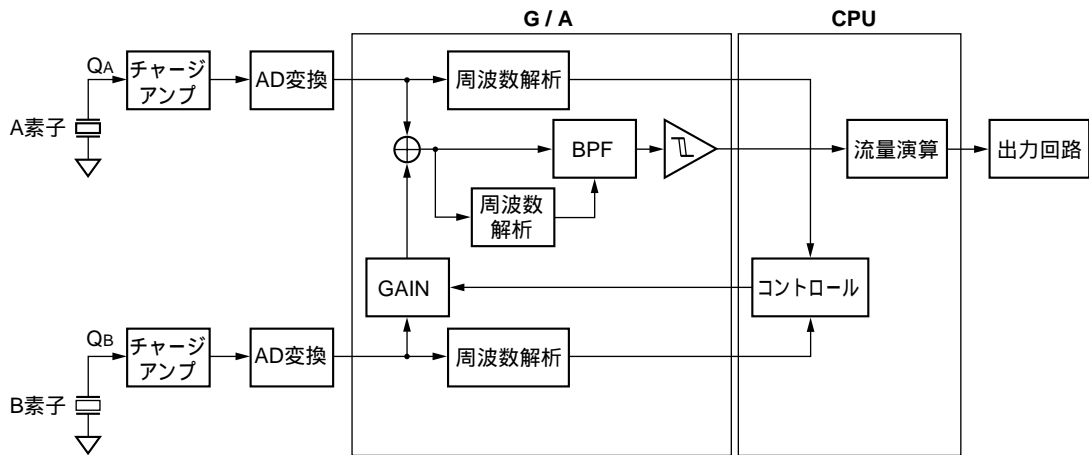
配管振動は図4.3の矢印に示すように、揚力、抗力、垂直方向の振動が考えられます。通常、図4.4に示す圧電素子の構造から、抗力、垂直方向の振動は検出しないようになっております。揚力方向の振動は、流体により発生した渦と同じ方向になるので、この振動ノイズを渦信号として検出してしまう場合があります。

digital YEWFLOではこの揚力方向の振動に関して、2つの圧電素子の構造と最新のデジタル技術に応用したSSP(SPECTRAL SIGNAL PROCESSING)の技術を有効に組み合わせて、配管振動等のノイズを除去しています。

4.2.2 スペクトラル・シグナル・プロセッシング(SSP)

図4.6はスペクトラル・シグナル・プロセッシング(SSP)を搭載した変換器のブロック回路図を示します。

この回路では、配管振動を効率よく除去する最新の技術が組み込まれています。



F0406.EPS

図4.6 変換器のブロック回路図

アダプティブ・ノイズ・サプレッション(ANS)

圧電素子からの信号を周波数解析により的確に渦信号を捕らえ、振動ノイズを常に自動的に除去します。

スペクトラル・アダプティブ・フィルタ(SAF)

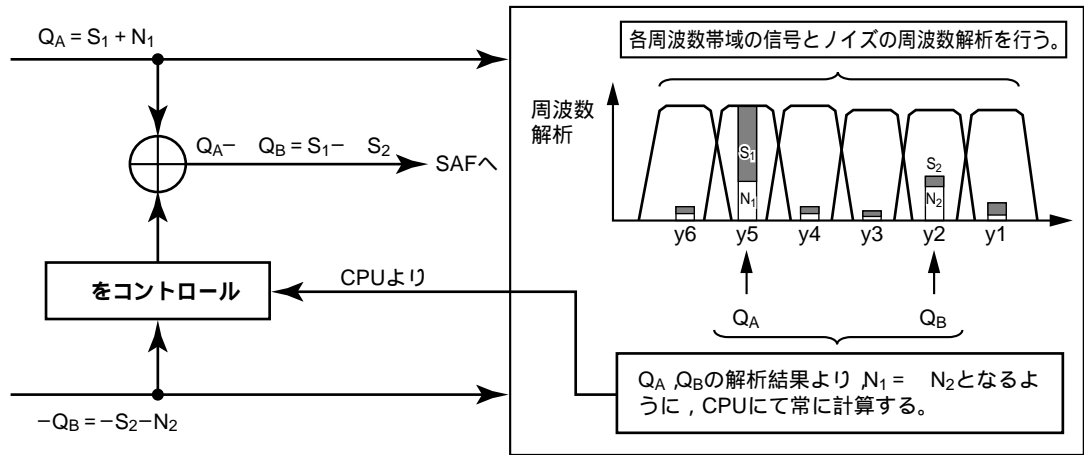
圧電素子からの信号を常に周波数解析を行い、その結果から複数のバンドパスフィルタの中の最適なフィルタを常に選択し、渦信号と振動ノイズを分離し、ノイズを除去します。

このデジタル技術により以下の効果が発揮されます。

- (1) **振動性能を向上!**
従来機種に比べ、振動性能の大幅な改善を実現。
- (2) **低流量時の安定測定を実現!**
振動ノイズによる出力変動を除去し、正常な信号を出力します。
- (3) **自己診断機能を拡張!**
常に、信号の解析(周波数解析)を行っているので、不安定な流れや付着、振動など異常時にアラームを出すことができます。

(1) アダプティブ・ノイズ・サプレッション(ANS)

digitalYEWFOIは、図4.5に示される揚力方向の信号とノイズの分布を利用し、配管振動のノイズを除去する構成になっております。ここでは、信号とノイズをバランス良く除去することから、“アダプティブノイズサプレッション”と呼ぶことにします。2つの圧電素子から発生した信号 Q_A, Q_B は、2つのチャージコンバータにより交流信号に変換されます。それぞれの交流信号はA/D変換にてデジタル信号に変換されます。SSPは常にこのデジタル信号の周波数解析を行い、圧電素子から発生した信号成分とノイズ成分を測定しています。この測定結果を利用し、次に示す原理からノイズ除去を常に行っています。



F0407.EPS

図4.7 ANSの動作ブロック図

図4.7にANSの動作ブロック図を示します。

図4.5に示される、2つの圧電素子の出力を Q_A, Q_B 信号分析を S_1, S_2 、ノイズ成分を N_1, N_2 とすると、2つの圧電素子の分極はそれぞれ逆にしているため、次の式となります。

$$Q_A = S_1 + N_1 \dots\dots\dots (1)$$

$$-Q_B = -S_2 - N_2 \dots\dots\dots (2)$$

ここで、圧電素子の出力 Q_B を 倍 ($0.5 < < 1.2$) すると、

$$-Q_B = -S_2 - N_2 \dots\dots\dots (3)$$

この信号と圧電素子の出力 Q_A を加算すると、

$$Q_A - Q_B = S_1 - S_2 + N_1 - N_2 \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $N_1 = N_2$ となるようにすると、

$$Q_A - Q_B = S_1 - S_2 \dots\dots\dots (5)$$

となり、信号成分だけが検出できることとなります。

このように、周波数解析によりノイズの大きさ（振幅）を N_1, N_2 を測定し、を決定すると、配管振動によって生じるノイズは除去できる構成になっています。

従来機種では N_1, N_2 を出荷時に測定し、を調整しています。従ってプラント設置時にこのと違うノイズ比となった場合には、出力に影響を及ぼします。
 digitalYEWFLOWでは、常に最適なを自動的に演算し、その値を適用していますので、ノイズが変化した場合にも、その影響は除去され、信号成分のみを取り出すことが可能になりました。

(2) スペクトラル・アダプティブ・フィルタ(SAF)

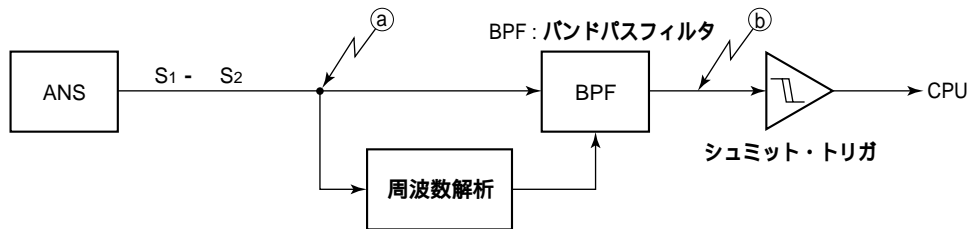


図4.8 スペクトラル・アダプティブ・フィルタ(SAF)のブロック図

図4.8はスペクトラル・アダプティブ・フィルタ(SAF)のブロック図を示します。A/D変換回路によりデジタル信号にされた2つの信号はANSの処理後、バンドパスフィルタ(BPF)に入力されます。通常、ANSにより、ノイズ成分が除去されますが、高周波ノイズなど除去しきれない信号が残ると、図4.9 ㉠のような信号波形になります。



図4.9 入出力波形図

従来機種では、このようなノイズ成分を含んだ信号を除去するために、図4.9 ㉠の波形をオシロスコープなどで観測しながら、手作業によるパラメータ設定にてフィルタの設定をしておりました。またフィルタ回路の特性により設定に限界を持っていました。
 しかし、スペクトラル・アダプティブ・フィルタ(SAF)はこの除去しきれない信号を周波数解析することにより最適なフィルタを自動設定することができます。その様子を図4.10に示します。

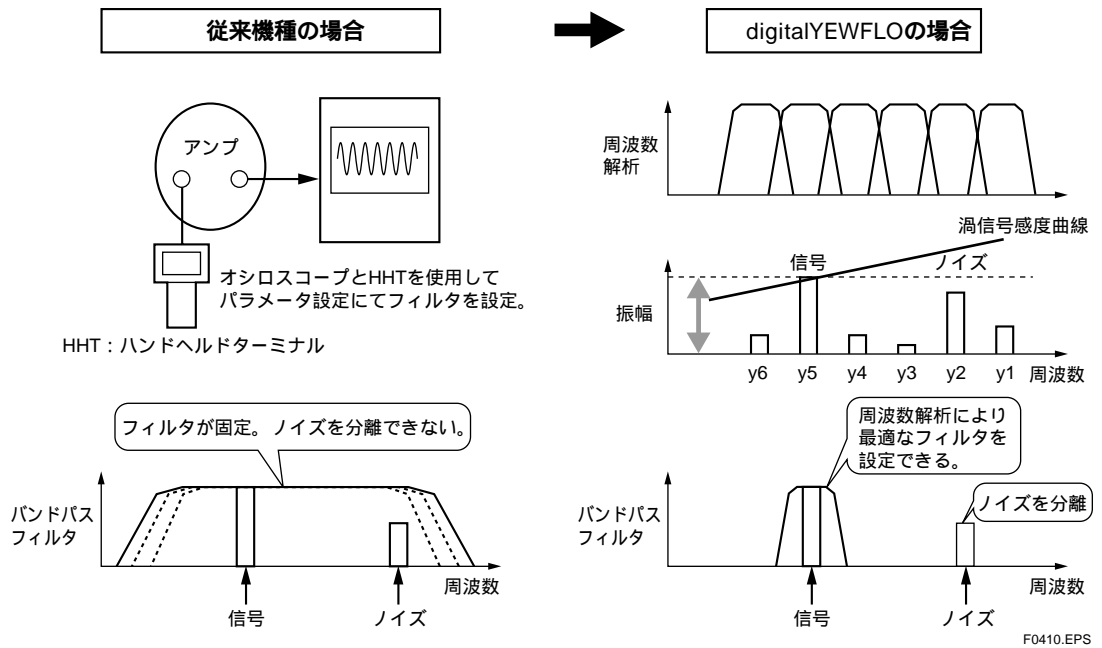


図4.10 スペクトラル・アダプティブ・フィルタの動作

SAFは複数の帯域に分割されたバンドパスフィルタを持っています。

図4.9 ①のようなノイズが含まれた信号が入力されると、各帯域で周波数解析を行います。この分析結果と各口径で定められた渦信号感度曲線を比較します。この比較結果により、信号成分とノイズ成分を自動判別ができるので、信号成分だけが通過できるようなフィルタを自動的に設定できます。したがって、SAFは図4.9 ①の波形を図4.9 ②のきれいな波形にすることができます。

Blank Page

5. 流量演算

流量演算は、発生した渦のカウント数Nを基に以下の式により行います。

a) **瞬時流量(実流量単位)**

$$RATE = N \cdot \frac{1}{t} \cdot f \cdot e \cdot r \cdot p \cdot \frac{1}{KT} \cdot U_{KT} \cdot U_k \cdot U_{TM} \cdot \frac{1}{S_E} \dots\dots\dots (8)$$

$$KT = KM \{ 1 - 4.81 \times (T_f - 15) \times 10^{-5} \} \dots\dots\dots (9)$$

b) **瞬時流量(%)**

$$RATE (\%) = RATE \cdot \frac{1}{F_s} \dots\dots\dots (10)$$

c) **積算値**

スケールドパルスするとき

$$TOTAL = N \cdot f \cdot e \cdot r \cdot p \cdot \frac{1}{KT} \cdot U_{KT} \cdot U_k \cdot \frac{1}{T_E} \dots\dots\dots (11)$$

アンスケールドパルスするとき

$$TOTAL = f \cdot e \cdot r \cdot p \cdot N \dots\dots\dots (12)$$

d) **流速**

$$V = N \cdot \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{KT} \cdot U_{KT} \cdot \frac{4}{D^2} \dots\dots\dots (13)$$

e) **レイノルズ数**

$$Red = \frac{V \cdot D}{\frac{\mu}{\rho f} \times 1000} \times 10^6 \dots\dots\dots (14)$$

ここで、

N	: 入力パルス数(パルス)	μ	: 粘性係数(cP)
f	: 器差補正係数	D	: 内径(m)
r	: レイノルズ数補正係数	t	: Nに対応する時間(second)
KT	: 使用状態の温度でのKファクタ(P/l)	e	: 圧縮性流体の膨張補正係数
U _{KT}	: Kファクタの単位変換係数	p	: 隣接管補正係数
U _{TM}	: 流量単位時間に対応する係数 (例: /m(分) = 60)	KM	: 15 でのKファクタ(P/l)
S _E	: スパンファクタ(例: E + 3 = 10 ³)	U _k	: 流量変換係数
F _s	: 流量スパン	T _f	: 使用状態の温度()
		T _E	: トータルファクタ
		ρf	: 使用状態の密度(kg/m ³)

流量変換係数U_kはパラメータ(温度・圧力・密度など)を設定するだけで自動的に算出されます。

設定が必要なパラメータは流体の種類を指定することにより、BT200(プリンターミナル)上に順次表示されます。

Blank Page

6. 補正機能

digitalYEWFLOWは、さまざまなアプリケーションに対応するために、各種の補正機能を備えています。以下で、それぞれの補正機能の概略説明を致します。

6.1 レイノルズ補正

円管内の3次元の流れにおいては、低レイノルズ数(2000)になるに従って、図6.1に示すようにストローハル数(Kファクタ)が徐々に高くなります。このKファクタの曲がり方を5点の折れ線近似により補正を行います。

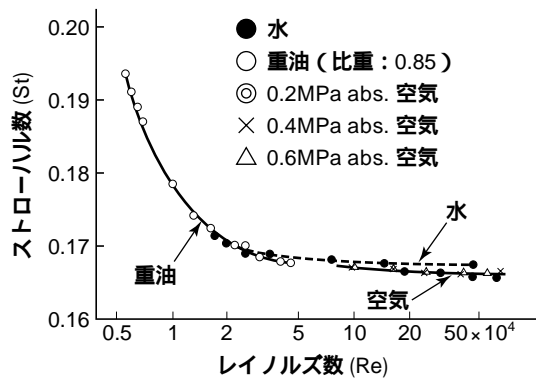


図6.1 低レイノルズ数におけるストローハル数

6.2 気体の膨張補正

圧縮性流体は流れが高速になるにつれて、圧力が変化し誤差が発生します。
流体の状態変化を断熱変化とすると、圧縮流体の渦発生周波数(15)式のように表わせます。

$$f = A \cdot \left(\frac{P1}{P2} \right)^{1/K} \cdot St \cdot \frac{V_2}{d} \dots\dots\dots (15)$$

ここで、

- V₂ : 渦発生体下流2.5Dでの局所平均流速
- P1 : 渦発生体上流1Dの圧力
- K : 気体の比熱比
- A : 流速分布および絞り比の影響を示す係数
- P2 : 渦発生体下流2.5Dの圧力
- St : ストローハル数
- d : 内径

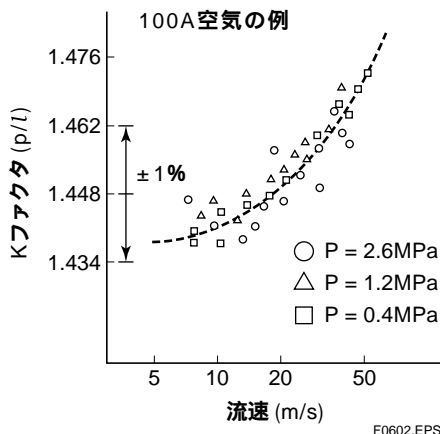


図6.2 圧縮性流体のKファクタ

通常の場合、圧力の安定した渦発生体下流2～6Dの位置に圧力タップを設け、温度、圧力の補正を行いますが、実際には、圧力は0.5D付近でも最も低下するため、図6.2に示されるように、高速流になるに従って式(11)のP2の測定点の違いにより、Kファクタに誤差が生じます。

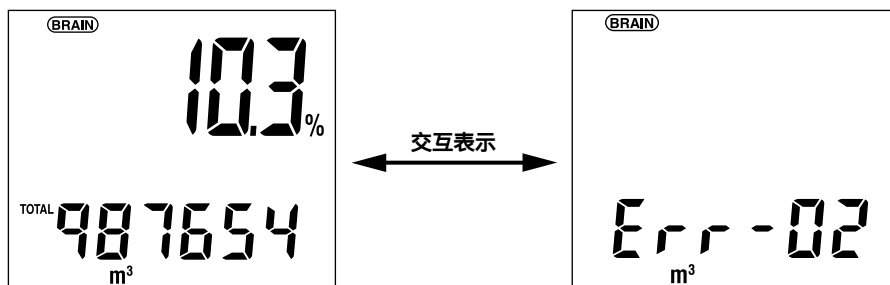
この誤差を流速の2次関数で近似することにより、測定点の違いによる誤差を補正します。

7. 自己診断機能

digitalYEWFLOは、下記に示すような自己診断機能を備えています。

指示 / 積算計	通信表示	エラー名称	異常内容	異常時の動作					異常時の対策
				電流出力	パルス出力	%表示	実目表示	積算表示	
Err-01	FLOW OVER OUTPUT	アナログ出力オーバーフロー	アナログ出力信号がスパンの110%超過	110%固定	定常動作	110%固定	定常動作	定常動作	流量の確認 流量スパンの確認
Err-02	SPAN SET ERROR	スパン設定エラー	スパン流速が測定可能最大流速の1.5倍以上	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	パラメータの確認 / 変更 (主にC.E項目)
Err-06	PULSE OUT OVER	パルス出力オーバーフロー	パルス出力周波数が10kHz以上	定常動作	10kHz固定	定常動作	定常動作	定常動作	流量の確認
Err-07	PULSE SET ERROR	パルス出力設定エラー	100%点での出力周波数が10kHz以上	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	パラメータの確認 / 変更 (主にC.E項目)
CHECK Vibration	Transient Noise	振動異常	過渡的な外乱	ホールド	定常動作	ホールド	ホールド	定常動作	振動の確認
CHECK Vibration	High Vibration	振動異常	振動大	0%固定	出力停止	0%固定	0固定	積算停止	振動の確認
CHECK Flow	Clogging	流体異常	詰まり	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	詰まり等の確認
CHECK Flow	Fluctuating	流体異常	出力変動大	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	気泡等の確認
Err-20	PRE-AMP ERROR	入力回路部異常	入力回路部の故障	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	定常動作	アンプ交換
Err-30	EEPROM FAULT	EEPROM異常	EEPROMの故障	110%以上または-2.6%以下 (バーンアウト設定)	出力停止	0%固定	0固定	積算停止	アンプ交換
-	-	CPU異常	CPUの故障など	110%以上または-2.6%以下 (バーンアウト設定)	不定	不定	不定	不定	アンプ交換

T0701.EPS



F0701.EPS

Blank Page

8. 基本データ

8.1 スペクトラル・アダプティブ・フィルタ(SAF)の効果

試験目的

digitalYEWFLOのキーテクノロジーである“スペクトラル・アダプティブ・フィルタ”の効果調べます。

試験方法

低流量時(流体：水)に振動を与え、従来機種との比較をします。

試験条件

- (1) 振動(1G相当)を与えたときに、渦波形、渦パルスに影響がないこと。
- (2) 4-20mA出力に影響がないこと。

実測値

- (1) 渦パルスの発生はなし。

(試験データ)

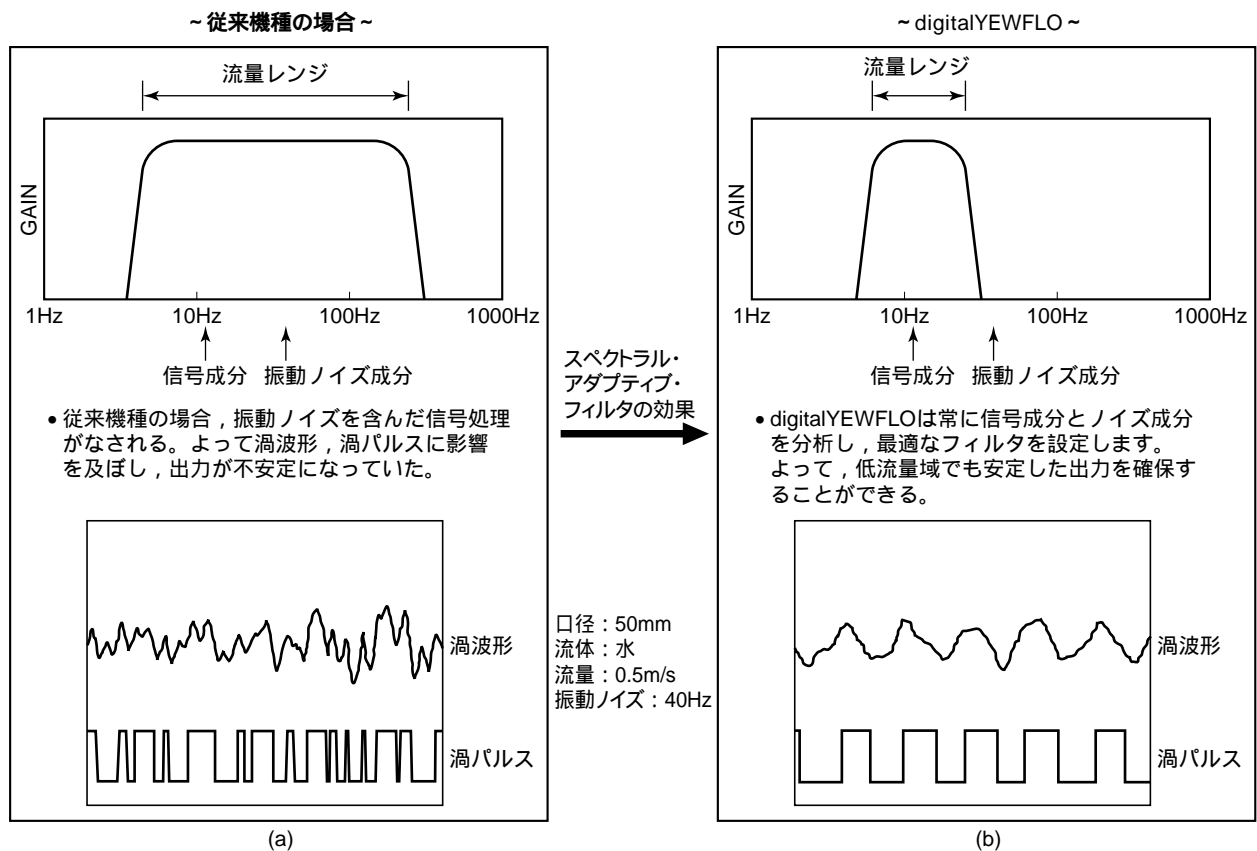


図8.1

F0801.EPS

(解説)

SSPフィルタ設定の効果を図8.1に示します。

図8.1(a)は、従来形の場合を示します。振動ノイズの影響が渦波形に現われ、渦パルスが発生し、出力に影響をおよぼします。

図8.1(b)では、digitalYEWFLOのSSPフィルタ設定の効果を示します。従来品と同じ振動を加えた場合でも、渦信号成分とノイズ成分を常に分析し、信号処理をしております。すなわち、振動ノイズがあっても、出力に影響がないことを示しています。

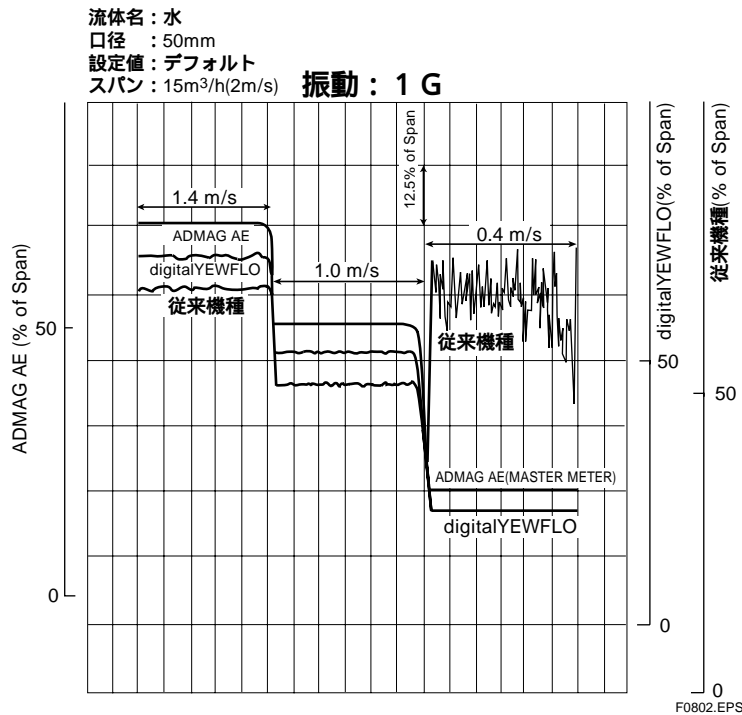


図8.2

図8.2は、流量ゼロから流体を流し、振動を1G相当与えたときの出力結果を示します。流量ゼロにおいて、従来機種は振動による誤出力がなされているのに対しdigitalYEWFLOは常に安定していることがわかります。

8.2 アダプティブ・ノイズ・サプレッション(ANS)の効果

試験目的

digitalYEWFLOWの特長である“アダプティブ・ノイズ・サプレッション(ANS)”の効果調べます。

試験方法

流量ゼロ時に振動を与え、従来機種とアダプティブ・ノイズ・サプレッションの効果を確認します。

試験条件

- (1) 振動(1G相当)を与えたときに、渦パルスが発生しないこと。
- (2) 4-20mA出力に影響がないこと。

実測値

- (1) 渦パルスの発生はなし。
- (2) 出力に影響なし。

(試験データ)

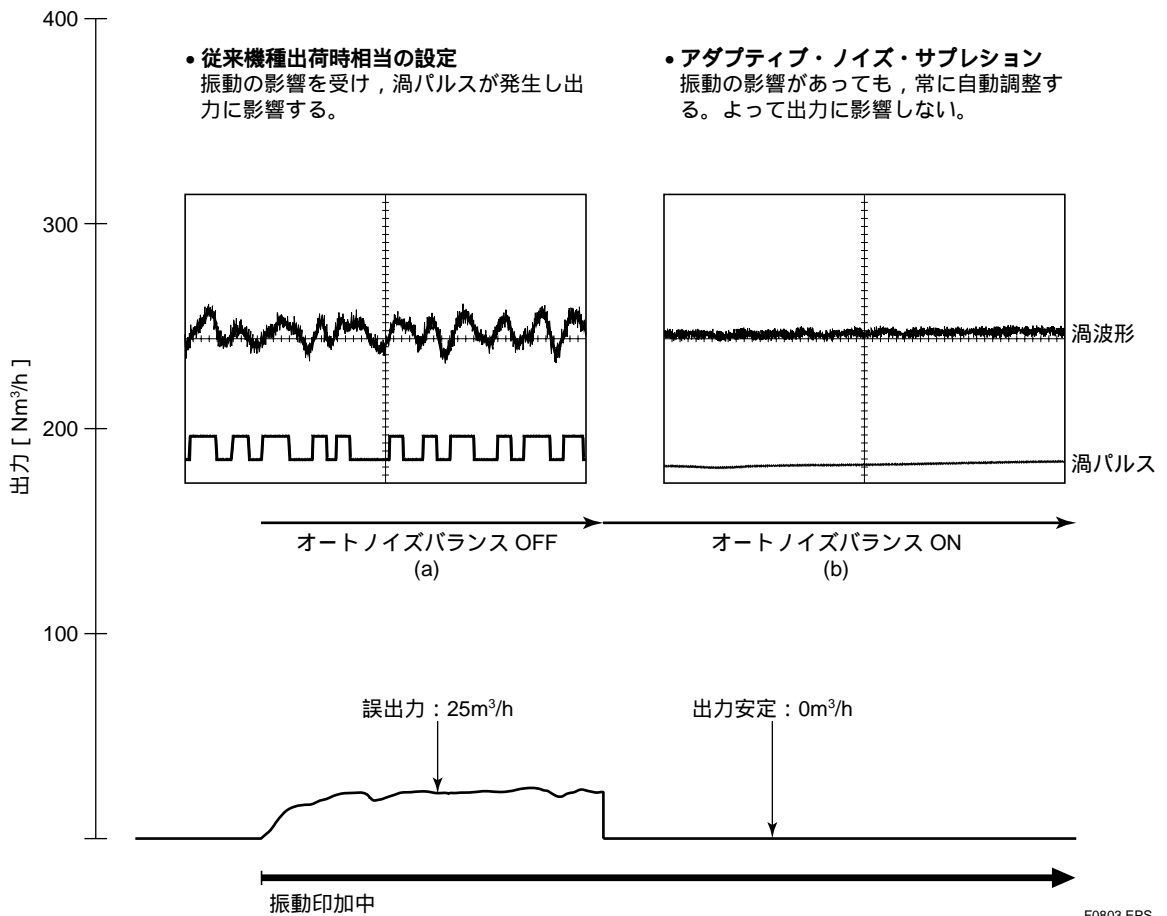


図8.3

(解説)

アダプティブ・ノイズ・サプレッションの効果を図8.3に示します。

図8.3(a)は、従来機種相当の設定をした場合、すなわちアダプティブ・ノイズ・サプレッションがOFFのときを示します。振動ノイズの影響が渦波形に現われ、渦パルスが発生し、出力に影響をおよぼします。

図8.3(b)では、digitalYEWFLOWのアダプティブ・ノイズ・サプレッションの効果を示します。従来機種と同じ振動を加えても、自動的にノイズがキャンセルされ、渦パルスは発生しません。

すなわち、出力にも影響がなく、振動ノイズがあっても、出力に影響がないことを示しています。

8.3 低流量における測定

試験目的

従来機種とdigitalYEWFLOWの低流量域における流量特性の比較をします。

試験方法

電磁流量計(ADMAG AE)と比較し、低流量の測定を行います。

(試験データ)

流体名：水
口径：50mm
設定値：デフォルト

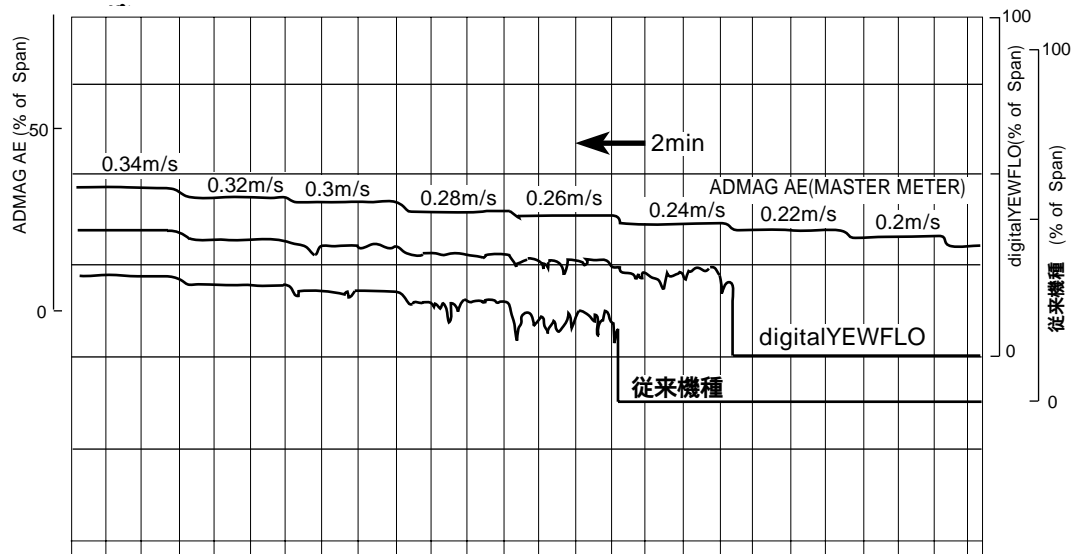


図8.4 低流量域の測定結果

(解説)

低流量域の測定結果を図8.4に示します。従来機種に比べてdigitalYEWFLOWはSSPの効果により低流量域も拡大していることがわかります。

9. サイジング

サイジングの詳細はGS 01F6A00-01にて述べられておりますが、ここでは各種流体のチェック用として示します。

具体的なサイジングは“ digitalYEWFLOサイジングソフト ” を使用して実施してください。

(1) 液体の場合

最大測定可能流量のチェック

表9.1 各種液体の最大測定可能範囲

最大測定可能範囲 [m ³ /h]										
呼び径	15A	25A	40A	50A	80A	100A	150A	200A	250A	300A
各種液体	6	18	44	73	142	248	544	973	1506	2156

T0901.EPS

(1) 基準は15 ，ただしアンモニアは - 40

(2) 最大流量は、流速10m/sより算出した。

最小測定可能流量のチェック

表9.2 各種液体の最小測定可能範囲

最小測定可能範囲 [m ³ /h]										
呼び径 各種液体	15A	25A	40A	50A	80A	100A	150A	200A	250A	300A
水 (H ₂ O)	0.3	0.65	1.3	2.2	4.3	7.5	17	34	60	85
メタノール (CH ₃ OH)	0.4	0.7	1.5	2.5	4.8	8.4	18	38	67	97
エタノール (C ₂ H ₅ O)	0.5	0.9	1.5	2.5	4.8	8.4	18	38	67	97
アニリン (C ₆ H ₅ N)	0.8	1.5	2.4	3.1	4.3	7.3	16	33	59	85
アセトン (CH ₃)	0.34	0.73	1.5	2.5	4.7	8.3	18	38	67	96
二硫化炭素 (CS ₂)	0.26	0.58	1.2	2.0	3.8	6.6	15	30	54	77
四塩化炭素 (CCl ₄)	0.24	0.51	1.1	1.8	3.4	5.9	13	27	48	68
アンモニア (NH ₃)	0.34	0.74	1.5	2.5	4.8	8.4	18	37	65	93

T0902.EPS

もし、通常配管と同じ呼び径のYEWFLOで、常用最小流量が測定可能範囲を下まわってしまったら、通常配管より1~2サイズのYEWFLOでチェックしてください。大丈夫なら、そのサイズのYEWFLOをレギュレーサを使って配管に設置してください。

キャピテーションのチェック

液体測定においてライン圧力が低く、流速が大きいときにキャピテーション(空洞現象)が生じ、正しい測定ができないことがあります。

キャピテーションチェックを必ず行ってください。

(2) 圧力損失とキャビテーション

圧力損失

水にて流速10m/sのとき108kPa

大気圧下の空気の場合流速80m/sのとき9kPa

圧力損失は次式により算出します。

$$P = 108 \times 10^{-5} \times \rho \times V^2 \dots\dots\dots (1)$$

または

$$P = 135 \times \rho \times \frac{Q^2}{D^4} \dots\dots\dots (2)$$

- P : 圧力損失(kPa)
- ρ : 使用状態の流体密度(kg/m³)
- V : 流速(m/s)
- Q : 使用状態の体積流量(m³/h)
- D : YEWFLO内径(mm)

この式に基づいてグラフ化したのが図9.1です。

なお呼び径15mm～50mmにおいて隣接管がSch40パイプのとき，呼び径80mm～300mmにおいて隣接管がSch80パイプのときは圧力損失が計算式より約10%小さくなります。

キャビテーション(最小ライン圧力)

液体測定においてライン圧力が低く，流速が大きいときにキャビテーション(空洞現象)が生じ，正しい流量測定ができないことがあります。

空洞現象を生じないための最小ライン圧力は次式により算出します。

$$P = 2.7 \times P_v + 1.3 \times P_o \dots\dots\dots (3)$$

- P : 流量計下流側端面から下流側2～7Dのライン圧力〔kPa abs〕
- P : 圧力損失〔kPa〕
- P_o : 使用状態の液体の飽和蒸気圧〔kPa abs〕

(例)圧力損失の算出例

呼び径50A，80 の温水の流量30m³/hのときの圧力損失はいくらになるか？

80 に温水の密度は972kg/m³なので，(2)式から

$$P = 135 \times 972 \times \frac{30^2}{51.1^4}$$

$$= 17.3\text{kPa}$$

(1)式から求める。流量30m³/hのとき流速は

$$V = \frac{354 \times Q}{D^2} = \frac{354 \times 30}{51.1^2} = 4.07\text{m/s}$$

なので

$$P = 108 \times 10^{-5} \times 971.8 \times 4.065^2$$

$$= 17.3\text{kPa}$$

図9.1から求める方法

C = 18.5と読めるので， P = 98.1 × 18.5 × 972 × 10⁻⁵ = 17.6kPa

(例)キャピテーションの有無の確認

上の例でライン圧力が120kPa abs.，流量目盛0～30m³/hとすると，最大流量の時だけを確認すればよいので，80 の水の飽和蒸気圧は飽和蒸気表よりPo = 47.4kPaです。

従って(3)式から

$$P = 2.7 \times 17.3 + 1.3 \times 47.4$$

$$= 108.3\text{kPa abs.}$$

とつまり，ライン圧力(120kPa)が最小ライン圧力(108.3kPa)より高いので，キャピテーションが発生しないことが確認できました。

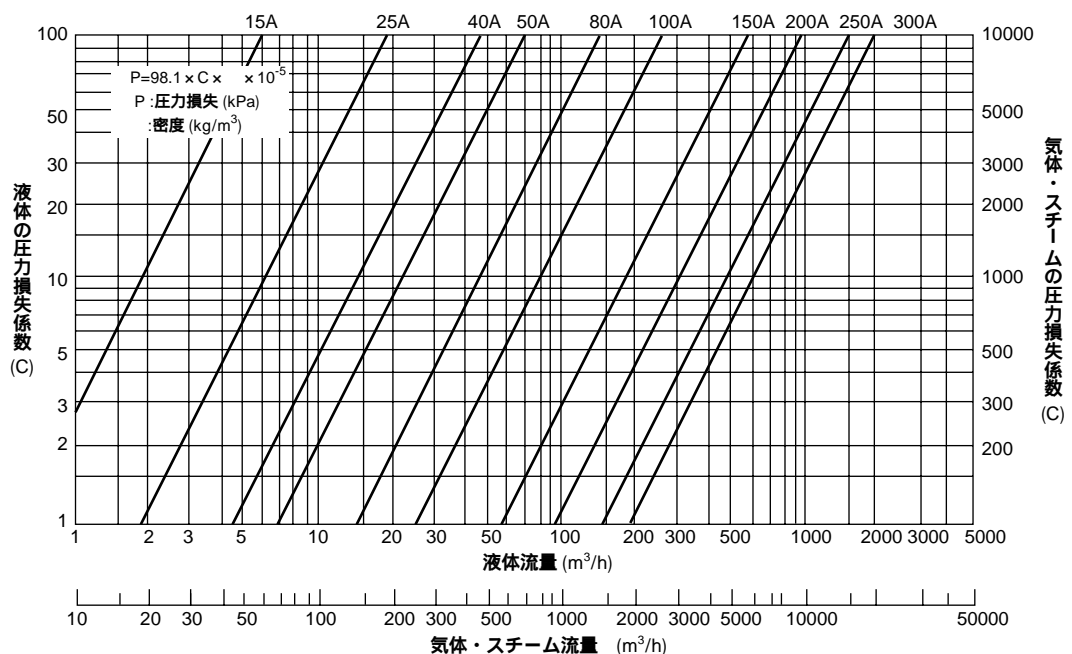


図9.1 圧力損失と流量（使用状態）の関係

F0901.EPS

(3) 空気の場合

最小・最大測定可能流量のチェック

表9.3 空気の測定可能範囲

呼び径		測定可能範囲 (Nm ³ /h)									
		0 MPa	0.1 MPa	0.2 MPa	0.4 MPa	0.6 MPa	0.8 MPa	1 MPa	1.5 MPa	2 MPa	2.5 MPa
15mm	最小	4.8(11.1)	6.7(11.1)	8.2(11.1)	10.5(11.1)	12.5	16.1	19.7	28.6	37.5	46.4
	最大	48.2	95.8	143	239	334	429	524	762	1000	1238
25mm	最小	11.0(19.5)	15.5(19.5)	19.0(19.5)	24.5	29.0	33.3	40.6	59.0	77.5	95.9
	最大	149	297	444	739	1034	1329	1624	2361	3098	3836
40mm	最小	21.8(30.0)	30.8	37.8	48.7	61.6	79.2	97	149	184	229
	最大	356	708	1060	1764	2468	3171	3875	5634	7394	9153
50mm	最小	36.2(38.7)	51	62.4	80.5	102	131	161	233	306	379
	最大	591	1174	1757	2922	4088	5254	6420	9335	12249	15164
80mm	最小	70.1	98.4	120	155	197	254	310	451	591	732
	最大	1140	2266	3391	5642	7892	10143	12394	18021	23648	29274
100mm	最小	122	172	211	272	334	442	540	786	1031	1277
	最大	1990	3954	5919	9847	13775	17703	21632	31453	41274	51095
150mm	最小	268	377	485	808	1131	1453	1776	2583	3389	4196
	最大	4358	8659	12960	21559	30163	38765	47365	68867	90373	111875
200mm	最小	575	809	990	1445	2202	2599	3175	4617	6059	7501
	最大	7792	15482	23172	38549	53933	69313	84693	123138	161591	200046
250mm	最小	1037	1461	1788	2306	3127	4019	4911	7140	9370	11600
	最大	12049	23939	35833	59611	83400	107181	130968	190418	249881	309334
300mm	最小	1485	2093	2561	3303	4479	5756	7033	10226	13419	16612
	最大	17256	34286	51317	85370	119441	153499	187556	272699	357856	443017

T0903.EPS

- (1) 各圧力は0 のときのゲージ圧力。
- (2) 流量値は標準状態〔0 , 101.325kPa(1気圧)〕に換算して表示。
- (3) 最小値の()内の値は正常動作範囲の下限値を示す。
その他はすべて正常動作範囲の下限値と同一。
- (4) 最大流量は、流速80m/sより算出した。

もし、通常配管と同じサイズのYEWFLOWで、常用最大流量が測定可能範囲を下まわってしまったら、通常配管より1~2サイズ下のYEWFLOWでチェックしてください。大丈夫なら、そのサイズのYEWFLOWをレギュレーサを使って配管に設置してください。

(4) スチームの場合

最大測定可能流量のチェック

表9.4 飽和スチームの測定可能範囲

呼び径		測定可能範囲 (kg/h)									
		0.1 MPa	0.2 MPa	0.4 MPa	0.6 MPa	0.8 MPa	1 MPa	1.5 MPa	2 MPa	2.5 MPa	3 MPa
15mm	最小	5.8(10.7)	7.0(11.1)	8.8(11.6)	10.4(12.1)	11.6(12.3)	12.8	15.3	19.1	23.6	28.1
	最大	55.8	80	129	177	225	272	390	508	628	748
25mm	最小	13.4(18.9)	16.2(20.0)	20.5	24.1	27.1	30	36	41	49	58
	最大	169.7	247.7	400	548	696	843	1209	1575	1945	2318
40mm	最小	26.5(29.2)	32	40.6	47.7	53.8	59	72	93	116	138
	最大	405	591	954	1310	1662	2012	2884	3759	4640	5532
50mm	最小	44.0	53	67.3	79	89	98	119	156	192	229
	最大	671	979	1580	2170	2753	3333	4778	6228	7688	9166
80mm	最小	84.9	103	130	152	171	189	231	300	371	442
	最大	1295	1891	3050	4188	5314	6435	9224	12024	14842	17694
100mm	最小	148	179	227	267	300	330	402	524	647	772
	最大	2261	3300	5326	7310	9276	11232	16102	20986	25907	30883
150mm	最小	324	392	498	600	761	922	1322	1723	2127	2536
	最大	4950	7226	11661	16010	20315	24595	35258	45953	56729	67624
200mm	最小	697	841	1068	1252	1410	1649	2364	3081	3803	4534
	最大	8851	12918	20850	28627	36325	43976	63043	82165	101433	120913
250mm	最小	1256	1518	1929	2260	2546	2801	3655	4764	5882	7011
	最大	13687	19977	32243	44268	56172	68005	97489	127058	156854	186978
300mm	最小	1799	2174	2762	3236	3646	4012	5235	6823	8423	10041
	最大	19602	28609	46175	63397	80445	97390	139614	181960	224633	267772

T0904.EPS

- (1) ()内の値は正常動作範囲内の下限値を示す。
- (2) その他すべて正常動作範囲内の下限値と同じ。
- (3) 各圧力は、ゲージ圧力。
- (4) 最大流量は、流速80m/sより算出した。

表9.5 加熱スチーム最大測定範囲補正係数 K1

圧力	MPa	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.5	2	2.5	3
飽和温度		120.5	133.7	152	165.1	175.5	184.2	201.5	214.9	226.1	235.7
密度	kg/m ³	1.1362	1.6582	2.6752	3.6731	4.6607	5.6426	8.0891	10.545	13.016	15.518
過熱温度	150	1.0492	1.5851	2.132	—	—	—	—	—	—	—
	比率	0.92	0.96	0.80	—	—	—	—	—	—	—
	200	0.9317	1.4022	2.3596	3.3408	4.3485	5.3856	—	—	—	—
	比率	0.82	0.85	0.88	0.91	0.93	0.95	—	—	—	—
	250	0.8396	1.2612	2.1135	2.9787	3.8576	4.751	7.0549	9.4729	12.026	14.738
	比率	0.74	0.76	0.79	0.81	0.83	0.84	0.87	0.90	0.92	0.95
	300	0.7648	1.1476	1.9187	2.6978	3.4849	4.2805	6.3083	8.3964	10.551	12.78
	比率	0.67	0.69	0.72	0.73	0.75	0.76	0.78	0.80	0.81	0.82
	350	0.7025	1.0534	1.7589	2.4696	3.1855	3.9068	5.7342	7.5979	9.5003	11.444
	比率	0.62	0.64	0.66	0.67	0.68	0.69	0.71	0.72	0.73	0.74
400	0.6498	0.9738	1.6246	2.279	2.9369	3.5984	5.2684	6.9623	8.6808	10.425	
比率	0.57	0.59	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67	0.67	

T0905.EPS

飽和スチームの測定流量と、補正係数K1を掛ければ過熱スチームもサイジングすることができます。

過熱スチームの最大測定可能流量 = 飽和スチームの最大測定可能流量 (Mmax) × 補正係数 (K1)

(例) 50Aの場合、圧力2.5MPa、温度250 の過熱スチームを測定したときの最大測定可能流量は？

$$M_{\max} \times K1 = 7688 \times 0.92 = 7073 \text{kg/h}$$

となります。

これらの表と計算で、測定したいスチームの圧力とサイズ別による最大測定可能流量がわかります。

(5) サイジングのまとめ

本流量計は、液体条件により測定可能範囲および、正常動作範囲(精度保証範囲)が定められます。以下の条件を考慮して、最適な口径を選定してください。

測定可能最小流速：レイノルズ数5000以上でかつ、最小流速と密度の関係より求まる流速の大きい方。

正常動作範囲(精度保証)最小流速：レイノルズ数20000以上(150A, 200A, 250A, 300Aは40000以上)かつ、最小流速と密度の関係より求まる流速の大きい方。

測定可能範囲、精度保証範囲の算出方法を、仕様書GS 01F06A00-01に示します。

なお、求まる最小流速より小さい流速時には、出力(アナログ出力、パルス出力のいずれも)はゼロを示します。

最大流速：液体の場合は、10m/s
気体の場合は、80m/s

キャピテーションのチェック (液体のみ)

10. 各種流体データ

(1) 液体の密度, 粘度

表10.1 液体の粘度

液体物質	粘度 (センチポアズ)				
	0	10	20	40	80
アセトン100%	0.395	0.356	0.322	0.268	
アセトン 35%	3.2	2.4	1.80	1.070	0.41
アニリン	10.2	6.5	4.40	2.300	1.10
アミルアルコール	8.0	6.0	4.50	2.580	0.94
二酸化イオウ	0.42	0.37	0.34	0.290	0.22
アンモニア100%	0.15	0.13	0.115	0.088	
アンモニア 26%	1.9	1.54	1.27	0.850	0.44
イソブチルアルコール	7.8	5.7	4.20	2.320	0.80
エチルアルコール100%	1.84	1.46	1.20	0.829	0.435
エチルアルコール 80%	3.69	2.71	2.01	1.200	
エチルアルコール 30%	6.94	4.05	2.71	1.370	0.57
エチレングリコール	48.00	33.50	23.50	11.800	3.40
エーテル	0.292	0.263	0.24	0.200	0.141
塩化エチル	0.335	0.300	0.27	0.230	0.165
o-クロルトルエン	1.38	1.20	1.06	0.820	0.52
クロルベンゼン	1.18	1.01	0.88	0.670	0.41
塩酸31.5%	3.10	2.7	2.40	1.870	1.21
オクタン	0.71	0.63	0.56	0.450	0.305
水酸化ナトリウム50%			110.00	42.500	6.70
o-キシレン	1.06	0.94	0.84	0.670	0.45
グリセリン100%	12100.00	3950	14.99		
グリセリン 50%	12.5	9.0	6.05	3.500	1.20
クロロホルム	0.70	0.63	0.57	0.466	
酢酸100%			1.22	0.900	0.56
酢酸 70%	5.13	3.57	2.66	1.630	0.78
酢酸エチル	0.578	0.507	0.449	0.360	0.248
酢酸メチル			0.381	0.312	0.217
酢酸ビニル	0.56	0.50	0.45	0.370	0.26
四塩化炭素	1.35	1.13	0.97	0.740	0.472
ジフェニル	4.15	3.50	3.00	2.290	1.34
水銀	1.685	1.615	1.554	1.450	1.298
石炭酸			11.60	4.770	1.59
二酸化炭素	0.10	0.085	0.074		
テレピン油	2.10	1.76	1.50	1.100	0.62
灯油	3.65	3.00	2.42	1.660	0.82
トルエン	0.768	0.667	0.586	0.466	0.319
ナフタリン					0.967
ニトロベンゼン	3.09	2.46	2.01	1.440	0.87
二硫化炭素	0.433	0.396	0.366	0.319	
ブライン (CaCl ₂ 25%)	4.83	3.450	2.45	1.320	0.42
ブチルアルコール	5.19	3.870	2.95	1.780	0.76
ヘキサン	0.397	0.355	0.320	0.264	
ヘプタン	0.517	0.458	0.409	0.332	0.231
ベンゼン	0.910	0.760	0.65	0.492	0.316
ペンタン	0.283	0.254	0.229		
水	1.79	1.310	1.01	0.650	0.36
メチルアルコール100%	0.86	0.720	0.62		
メチルアルコール 60%	2.85	2.100	1.59		
メチルアルコール 30%	3.63	2.440	1.76		
硫酸111%	90.00	66.000	59.00	28.000	9.60
硫酸 98%		39.000	27.00	14.000	5.50
硫酸 60%	10.00	7.500	5.70	3.710	2.21

T1001.EPS

表10.2 液体の密度

液体名	T	g/cm ³	Vm/s
アセトン	20	0.7905	1190
アニリン	20	1.0216	1659
アルコール	20	0.7893	1168
エーテル	20	0.7135	1006
エチレングリコール	20	1.1131	1666
n-オクタン	20	0.7021	1192
o-キシロール	20	0.871	1360
クロロフォルム	20	1.4870	1001
クロルベンゼン	20	1.1042	1289
グリセリン	20	1.2613	1923
酢酸	20	1.0495	1159
酢酸メチル	20	0.928	1181
酢酸エチル	20	0.900	1164
シクロヘキサン	20	0.779	1284
ジオキサン	20	1.033	1389
重水	20	1.1053	1388
四塩化炭素	20	1.5942	938
水銀	20	13.5955	1451
ニトロベンゼン	20	1.207	1473
二硫化炭素	20	1.2634	1158
プロモフォルム	20	2.8904	931
n-プロピルアルコール	20	0.8045	1225
n-ペンタン	20	0.6260	1032
n-ヘキサン	20	0.654	1083
軽油	25	0.81	1324
変圧器油	32.5	0.859	1425
スピンドル油	32	0.905	1342
石油	34	0.825	1295
ガソリン	34	0.803	1250
水	13.5	1	1460
海水(塩分35%)	16	1	1510

(注) T: 温度, ρ: 密度, V: 音速度
 参考文献: 超音波技術便覧 日刊工業新聞社

T1002.EPS

(2) 気体の粘度，密度

代表的気体の分子量および標準状態(1atm, 0)に於ける密度

気体名	化学式	分子量	密度g/l
亜硫酸ガス	SO ₂	64.07	2.9268
アルゴン	Ar	39.94	1.7828
アンモニア	NH ₃	17.03	0.7708
一酸化炭素	CO	28.01	1.2501
塩化水素	HCl	36.47	1.6394
塩素	Cl ₂	70.91	3.2204
空気		28.97	1.2928
酸素	O ₂	32.00	1.4289
水素	H ₂	2.016	0.0898
炭酸ガス	CO ₂	44.01	1.9768
窒素	N ₂	28.02	1.2507
ネオン	Ne	20.18	0.8713
ヘリウム	He	4.003	0.1769
硫化水素	H ₂ S	34.08	1.5392
イソブタン	C ₄ H ₁₀	58.12	2.081
エタン	C ₂ H ₆	30.07	1.048
エチレン	C ₂ H ₄	28.05	0.976
塩化メチル	CH ₃ Cl	50.49	2.3044
ブタン (n)	C ₄ H ₁₀	58.12	2.094
ブタジエン (1,3)	C ₄ H ₆	54.09	(2.301)
1-ブテン	C ₄ H ₈	56.11	2.013
フレオン12	CCl ₂ F ₂	120.9	(5.533)
フレオン13	CClF ₃	104.5	(4.762)
プロパン	C ₃ H ₈	44.10	1.562
プロピレン	C ₃ H ₆	42.08	1.480
メタン	CH ₄	16.04	0.555

「化学工学便覧」に基づく。

() 内圧縮係数考慮の上算出したもの

JIS K2301 (1992) の実在状態における値

T1003.EPS

(3) 気体の粘度

気体物質	粘度 (10 ⁻⁶ ポアズ)				
	0	20	50	100	200
亜酸化窒素	137	146	160	183	225
アセチレン	96	102	111	126	
アセトン	71	77	83	95	119
二酸化イオウ	116	126	140	163	207
アルゴン	212	222	242	271	321
アンモニア	93	100	111	128	165
一酸化炭素	166	177	189	210	247
イノブタン	69	74		95	
エタン	86	92	101	115	143
エチルアルコール	75			109	140
エチルエーテル	68			96	120
エチレン	94	101	110	126	140
塩化エチル	90	97	107	124	157
塩化水素	131	143		183	230
塩素	123	132	145	168	210
空気	171	181	195	218	
酢酸	72	78	86	101	133
酢酸エチル	70	75.5	83	95	120
酸化窒素	179	188	204	227	268
酸素	192	203	218	244	290
シアン	93			127	
シアン化水素	94	99	108	121	148
シクロヘキサン	66	70	77	87	109
3H ₂ +1N ₂	132	139	148	162	190
臭化水素	170			234	
臭素	146	153			
水素	84	88	94	103	121
二酸化炭素	138	147	162	185	229
トルエン	65	69	76	88	110
二硫化炭素	89	97	107	126	162
ブチレン	71	76	83	95	119
フッ素	205	224	250	299	396
ブテン	79	84	91	105	130
フレオン11 (CCl ₃ F)	130	109	116	130	154
フレオン21 (CHCl ₂ F)	107	113	121	134	159
プロパン	75	80	88	101	125
プロピレン	78	84	96	107	
ヘキサン	60	65	71	82	104
ヘリウム	186	196	208	229	270
ベンゼン	68	74	82	96	121
水				128	166
メタン	102	108	118	133	147
メチルアルコール	89	95	106	122	155
ヨウ化水素	173	186	202		293
硫化水素	117	124		159	

気体の粘度 (1atm以上)						
気体物質	温度 ()	粘度 (10 ⁻⁶ ポアズ)				
		1atm	40atm	60atm	80atm	200atm
空気	16 ~ 20	170	180	187	198	330
炭酸ガス	20	148	166	700	810	
炭酸ガス	40	157	176	187		
水素	30	90	96	97	99	110
水素	70	98	102	103	104	113
窒素	30	179	194	202	207	241
窒素	70	196	210	215	222	256

T1004.EPS