

# 水ラインでのデジタル式差圧伝送器による導圧管の詰まり検出

栄野隼一\*・涌井徹也\*\*・橋詰匠\*・宮地宣夫\*\*\*・黒森健一\*\*\*・結城義敬\*\*\*

## Detection of Impulse Line Blockage with Digital Differential Pressure Transmitter on Water Line

Jyun-ichi EINO, Tetsuya WAKUI, Takumi HASHIZUME, Nobuo MIYAJI, Kenichi KUROMORI and Yoshitaka YUUKI

**Abstract:** Differential pressure transmitters with an orifice are widely used as flowmeters in process industries. Since the most frequent problem they present is impulse line blockage, an online blockage detection is required. Thus, we developed an online detecting method of impulse line blockage built in a digital differential pressure transmitter. This transmitter can measure not only the differential pressure but also the static pressures at the high- and low-pressure sides of the orifice. The detecting method is based on the ratio of the root mean square values of fluctuations in measured differential and static pressures. This method has two unique advantages: first, it is able to detect blockages on either side before they affect the differential pressure measurement; second, it is unaffected by the static operating points.

**Keywords:** diagnostic, impulse line, blockage, differential pressure transmitter

### 1. 緒言

流量計は、プロセスオートメーションにおける物質の移動量・エネルギー量の制御のために欠かせないフィールド機器の一つであり、用途に応じて様々な流量計が使用されている。その中でも適用範囲（作動流体・温度条件）が広いこと、可動部がないため故障しにくく TCO（Total Cost of Ownership：導入、維持、管理などにかかる費用の総額）が低いことなどから、オリフィス式流量計が広く使われている。

オリフィス式流量計の不具合は、プロセス中のラインから差圧伝送器に差圧を伝達する導圧管で多く発生している。その内訳として、詰まり、漏れ、腐食などが挙げられるが、発生件数の多さから詰まりが大きな問題になっている<sup>(1)</sup>。プラントの生産性、安全性の低下を引き起こすという点では、詰まりは漏れや腐食などの不具合と同様に捉えることができる。しかし、漏れは外見から検知可能であり、腐食は進行速度が緩やかであることから、ある程度は予測できる。これに対して、詰まりは検知や予測が容易ではないため、定期点検時に対処しているのが現状である。近年、ライン停止による稼働率の低下や、突発的に生じる詰まりには対応できないという問題点が重要視され、オンラインでの導圧管詰まり診断機能が強く求められている。

その一方で、近年の情報通信、機器製造の著しい技術革新により、フィールド機器のインテリジェント化が進み、プラントの稼働率、安全性の向上に大きく貢献している。たとえば、プロセスオートメーション用フィールドバスの一つである FOUNDATION フィールドバス<sup>(2)</sup>に対応したフィールド機器には、プロセス値の送信機能に加え、プロセスアラーム機能や、センサ異常などを検知する自己診断機能を搭載することができる。したがって、導圧管の詰まり診断を自己診断機能の一つとして差圧伝送器に搭載することができれば、フィールドバスを介した導圧管詰まりのオンライン診断が可能

となる。そこで本研究では、FOUNDATION フィールドバスに対応したデジタル式差圧伝送器（以後、差圧伝送器）によるオンライン詰まり診断機能を開発することを目的とする。これにより、プラントの経済性、安全性の著しい向上が期待できる。ただし、導圧管の詰まり診断は、詰まりを検出するだけでなく、誤検出や検出漏れへの対処も必要と考えるが、本報では第一段階として、詰まりの検出手法のみを焦点を当てる。

これまでにも、導圧管の詰まり検出手法に関する研究は行われてきており、そのほとんどが差圧測定値に含まれる揺動成分の減衰に注目している。しかし、生産品目の変更などに伴う運転動作点（ラインの流量、圧力）の変更を考慮していない手法が多い<sup>(3),(4)</sup>。SZANYI<sup>(5)</sup>らは複数の運転動作点に対応した詰まり検出手法を提案しているが、運転動作点ごとに評価パラメータに対する閾値を設定する必要がある。閾値を求めるためには、各運転動作点での揺動データを予め蓄積するか、運転動作点を変更する度に詰まりのない状態で基準となる評価パラメータを再決定する必要があるため、実用的とは言いがたい。そのような中で桑山<sup>(6)</sup>らは、差圧だけでなくオリフィスの高圧側圧力と低圧側圧力も測定し、それらの揺動成分の変化の相関をパターンマッチングにより評価する詰まり検出手法を提案している。これにより、異なる運転動作点においても単一の評価パラメータを用いて詰まりを検出することができるようになったが、詰まり状態を定量的に評価することが難しいという問題がなお残っている。また、これまでの研究では、詰まり状態による差圧測定値への影響が定量的に評価されていない。したがって、詰まりが検出できたとしても、その時点ですでに差圧測定に支障を来しているならば、その検出手法を有効とみなすことはできない。

以上を踏まえて本論文では、まず、導圧管の詰まりが差圧測定値に及ぼす影響を定量的に評価する。その上で、差圧伝送器に搭載可能で、かつ複数の運転動作点に適用できる詰まり状態の評価パラメータを考案し、差圧計測に支障を来す詰まりに至る前に詰まりを検出できることを実証する。前述の通り、オリフィス式流量計は様々なプロセス流体に用いられるが、本論文では第一段階として水を取り上げる。

### 2. 実験設備・計測装置

本論文で使用する実験設備および計測機器の概略図を

\* 早稲田大学理工学術院総合研究所 新宿区喜久井町 17 番

\*\* 大阪府立大学大学院工学研究科 堺市中区学園町 1-1

\*\*\* 横河電機（株）武蔵野市中町 2-9-32

\* Research Institute for Science & Engineering, Waseda University

\*\* Osaka Prefecture University

\*\*\* Yokogawa Electric Corporation

(Received February 27, 2007)

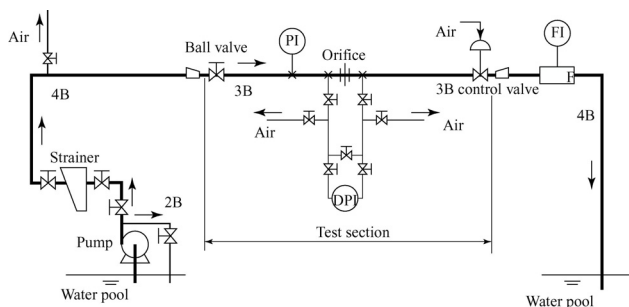


Fig.1 Experimental apparatus

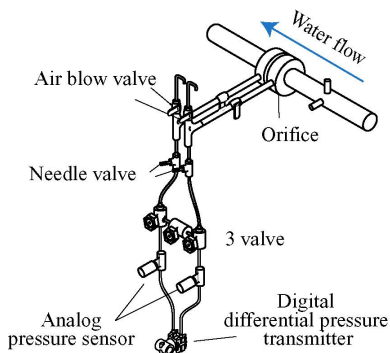


Fig.2 Test section

Fig.1に示す. 水槽からポンプ (1.2[m<sup>3</sup>/min], 100[m]) で圧送された水は, ポンプ出口弁, ストレーナ (100 メッシュ) を経た後に, 実験区間に流入する. 運転動作点 (流量, 圧力) は, ポンプ出口弁とオリフィス下流の調節弁により調整する. オリフィス前, 後の圧力タップと差圧伝送器とを接続する導圧管には, 詰まり状態を模擬するために, ニードル弁 (フジキン: UN-14MB-S, Cv 値 0.015) を取り付けている. 差圧計測部の拡大図を Fig.2 に示す.

供試差圧伝送器は, 受圧部の 2 つの振動子の振動数を測定することにより, 差圧とラインの静圧 (オリフィス高圧側圧力と低圧側圧力) を同時に測定することができる<sup>(7)</sup>. 2 つの振動子の振動数を  $F_C$ [Hz],  $F_R$ [Hz]とすると, 差圧  $P_D$ [kPa], 高圧側圧力  $P_H$ [kPa], 低圧側圧力  $P_L$ [kPa]は以下の式で表される.

$$P_D = X_1 \left[ 1 - \left( \frac{F_C}{F_{C0}} \right)^2 - B_D \left\{ 1 - \left( \frac{F_R}{F_{R0}} \right)^2 \right\} \right] \quad (1)$$

$$P_H = X_2 \left[ 1 - \left( \frac{F_C}{F_{C0}} \right)^2 + B_H \left\{ 1 - \left( \frac{F_R}{F_{R0}} \right)^2 \right\} \right] \quad (2)$$

$$P_L = X_2 \left[ 1 - \left( \frac{F_C}{F_{C0}} \right)^2 + B_L \left\{ 1 - \left( \frac{F_R}{F_{R0}} \right)^2 \right\} \right] \quad (3)$$

ただし,  $F_{C0}$ ,  $F_{R0}$ : 無加圧時の振動数[Hz],  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $B_D$ ,  $B_H$ ,  $B_L$ : 圧力算出のための係数.

なお,  $F_{C0}$ ,  $F_{R0}$  および  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $B_D$ ,  $B_H$ ,  $B_L$  は振動素子により固有の値を持つため, 下記の周波数カウンタとアナログ式圧力センサにより算出する.

振動子の振動数は差圧伝送器外部の周波数カウンタ (横河電機: TC110) で測定し, GPIB 通信で PC (Pentium III 600[MHz]) に送信する. 周波数発生器 (Yokogawa-Hewlett-Packard: HP3314A) により振動数の積算時間 (圧力データの計測間隔に相当) を任意に設定できるが, 本論文では 25[ms]とする. また, 圧力揺動をより高い時間分解能で捉えるために, それ

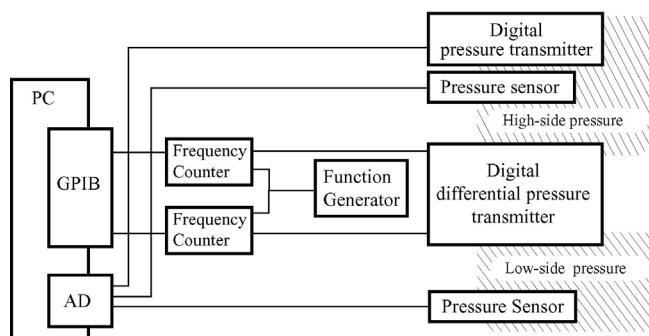


Fig.3 Measurement construction

ぞれの導圧管にアナログ式圧力センサ (横河電機: FP101, 時定数 3[ms]以下) を取り付け, 5[ms]周期で計測する. これらとは独立してオリフィス上流圧力を計測するために, デジタル式圧力伝送器 (横河電機: EJA430) も設置している. 以上の計測系の構成図を Fig.3 に示す.

導圧管の詰まり状態には様々なものが考えられるが, 本論文では 3 通りの導圧管の詰まり状態を定義し, 以下のようにニードル弁を用いて集中的な詰まりとして模擬している.

**1) 高圧側詰まり: 導圧管の高圧側のみが詰まっている状態**

低圧側のニードル弁は全開で固定し, 高圧側のニードル弁の弁開度のみを絞る.

**2) 低圧側詰まり: 導圧管の低圧側のみが詰まっている状態**

高圧側のニードル弁は全開で固定し, 低圧側のニードル弁の弁開度のみを絞る.

**3) 両側詰まり: 導圧管の高圧側, 低圧側の両方が同様に詰まっている状態**

両方のニードル弁の弁開度を同様に絞る.

ニードル弁の弁開度 (以後, 弁開度) は, 定格 Cv 値 0.015 に対する実験時の Cv 値の比で定義する. また, 最大弁開度の 100%時は詰まりのない状態と見なすことができる.

### 3. 詰まりが差圧測定値に与える影響

前述のとおり従来の研究では, 導圧管の詰まり状態が差圧測定値に及ぼす影響を定量的に評価していない. そこで本章では, 本実験設備における詰まり状態と差圧測定値との関係を明らかにすることにより, 詰まり検出の目標値を設定する.

多くの場合, 測定差圧は制御ループの制御量として使用するため, 静特性のみならず動特性についても詰まりによる影響を調査する必要がある. 静特性に関しては, 導圧管内が密封されていればニードル弁を全閉にしない限りは詰まりによる影響がないことを確認している. そこで, ラインの水流量をステップ状に変化させたときの差圧測定値の応答に着目して動特性を評価する. まず, オリフィス上流部のボール弁を全開からわずかに絞り, オリフィス上流圧力 800[kPa], 差圧 40[kPa]とし, その後, ボール弁を手動で全開にすることで水流量をステップ状に変化させる. このときの詰まりなし, 高圧側詰まり (弁開度 5%), 低圧側詰まり (弁開度 5%), 両側詰まり (弁開度 5%) の 4 つの状態における差圧測定値の応答を Fig.4 にそれぞれ示す. 図中破線時に水流量がステップ状に変化している. 本実験では測定差圧の経時変化を評価するため, 時定数の小さな圧力センサによる測定値を用い, また, 5[ms]毎の測定値に移動平均処理 (サンプル数: 11 点) を施し, 動特性を評価しやすくしている.

Fig.4 より, 詰まりがない場合にはほぼ一次遅れに近い応答となるのに対して (Fig.4-a), 高圧側詰まりの場合は逆応答

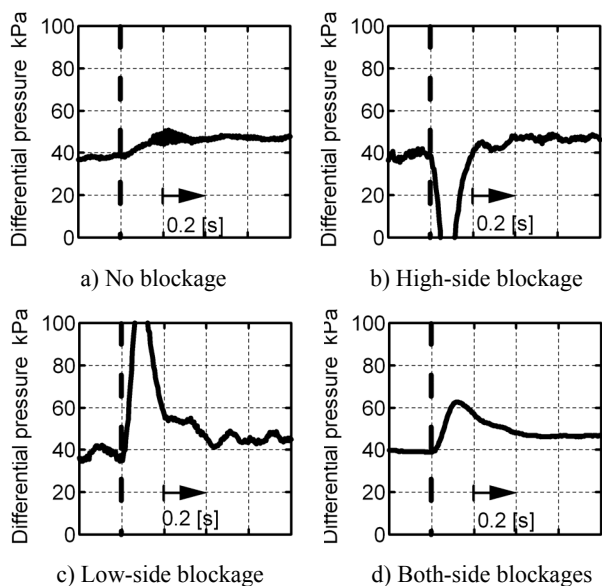


Fig.4 Dynamic response of measured differential pressure

で、差圧が過渡的に負になり (Fig.4-b)、低圧側詰まりの場合、整定時の差圧変化幅が 5[kPa]であるのに対して、60[kPa]以上のオーバーシュートを生じていることがわかる (Fig.4-c)。また、両側詰まりの場合にも 20[kPa]程度のオーバーシュートが生じている (Fig.4-d)。これらの原因を明らかにするために、水流量のステップ状変化に対する高圧側と低圧側の圧力測定値に見る応答の時定数と詰まりの関係を調査する。高圧側詰まり時の高圧側圧力の時定数と、低圧側詰まり時の低圧側圧力の時定数を Fig.5 に示す。これより、弁開度 5%まではどちらの時定数もほぼ一定 (0.1[s]) であるのに対して、弁開度 5%以下では時定数が急激に増大することを確認できる。よって、詰まりがない導圧管側の圧力のほうがより早く変化することに起因して、上述のような差圧の応答になっている。なお、時定数を決定する容量要素については現在調査中である。両側詰まりの場合は同一の弁開度としているが、高圧側、低圧側のニードル弁 Cv 値の個体差が現れていると考えられる。いずれの場合もこのような制御量の変化は制御動作に支障を来すため好ましくない。そこで通常の使用状態に合わせ、差圧測定に時定数 1[s]のダンピングをかけた場合の応答を Fig.6 に示す。これより、ダンピングをかけることで、最大オーバーシュート量が高圧側詰まり時の応答で 4[kPa]に、低圧側詰まり時で 1[kPa]に低減されていることがわかる。両側詰まりの場合にはオーバーシュートがなくなっている。多くの場合、時定数が 1~2[s]のダンピング

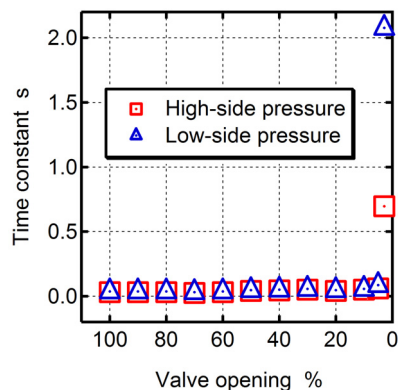


Fig.5 Influence of blockage condition on time constant of measured static pressure

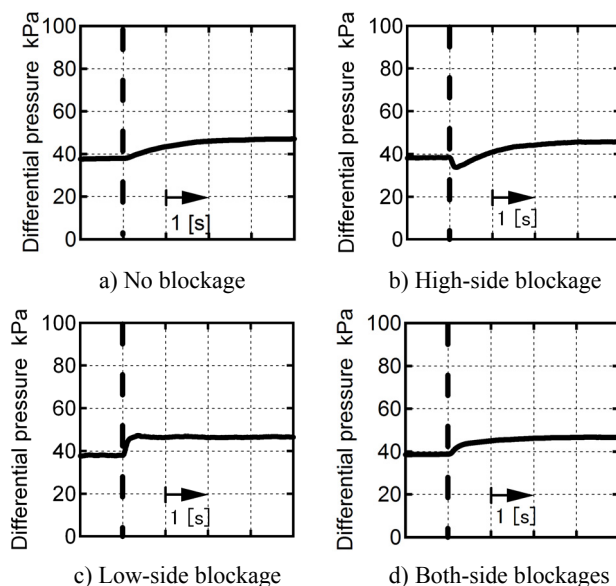


Fig.6 Dynamic response of differential pressure with 1[s] damping

が設定されることに留意すると、弁開度 5%の場合でも差圧測定値に支障を来さないものと考えられる。

以上より、本実験設備ではいずれの詰まり状態でも、弁開度 5%に相当するまで詰まりが進行しても差圧の測定には影響がないことを明らかにした。これより弁開度が小さくなると時定数が急激に増大するため、本論文では詰まり検出の目標値を弁開度 5%とする。

#### 4. ある運転動作点における詰まり検出

本章では、運転動作点の変更がない場合を対象に、導圧管の詰まり状態を定量的に評価し、その検出方法を検討する。

##### 4. 1 RMS の定義

まず、導圧管が詰まった時の特徴を明らかにするために、詰まりがない時と高圧側詰まり (弁開度 5%) 時の高圧側圧力の測定値を比較する。なお、以後の実験調査では圧力測定に、差圧伝送器での測定値を用いる。Fig.7 に示す実験結果より、詰まりがない時には圧力揺動の幅が 10[kPa]程度であることがわかる。この圧力揺動は、ポンプ、配管系に起因してラインに存在するものである。一方、弁開度 5%の場合は、圧力振動の幅が 5[kPa]程度に減少していることがわかる。そこで、本論文では導圧管の詰まりを検出するために、揺動の定量評価に着目する。

従来の研究では、揺動の定量評価として標準偏差を評価する手法<sup>(5)</sup>や、周波数解析を用いる手法<sup>(4)</sup>が用いられてきた。しかし、将来的に詰まり診断機能をフィールド機器に搭載することを考えるならば、これらの手法は演算負荷が大きい

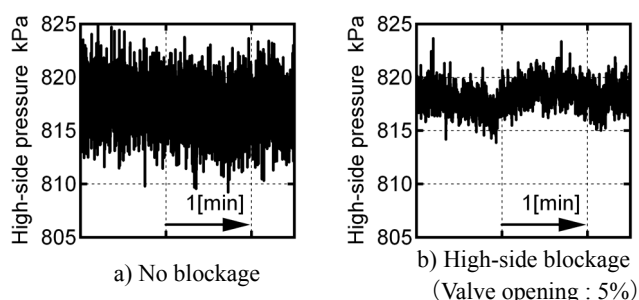


Fig.7 Influence of blockage on pressure fluctuation

め不適切といえる。また、評価期間中の圧力の最大値と最小値の差を評価する手法<sup>(5)</sup>や、測定間隔毎の圧力階差を評価する手法<sup>(3)</sup>もあり、両者の演算負荷はほぼ同様といえる。本論文では、圧力階差を評価する方が揺動の特徴をより詳しく捉えうると考え、その2乗和平方根を詰まり状態の評価パラメータとし、(4)式、(5)式のように揺動のRMS (Root Mean Square) を定義する。

$$\Delta P_n = P_n - P_{n-1} \quad (4)$$

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \Delta P_n^2} \quad (5)$$

ただし、 $N$ : 測定回数、 $P_n$ :  $n$  回目の圧力測定値[kPa]。  
以下の実験調査では測定時間を5[min]としているため、 $N$ は8000程度である。

#### 4. 2 詰まり状態とRMSの相関

高圧側圧力、低圧側圧力、差圧のRMS(以後、 $P_{\text{RMS,H}}$ ,  $P_{\text{RMS,L}}$ ,  $P_{\text{RMS,D}}$ )を、高圧側詰まり、低圧側詰まり、両側詰まりの3通りの詰まり状態で測定する。まず、詰まりのない状態で、オリフィス上流圧力を900[kPa]、オリフィス前後差圧を45[kPa]とした上で、弁開度を100%から10%刻みで10%まで減少させ、最後は5%とする。それぞれの弁開度で定常状態になっていることを確認した後、5分間測定して、RMSを算出した結果をFig.8に示す。

これより、導圧管の詰まり状態とRMSには以下の相関があることが明らかとなった。

- 1) **両側詰まりの場合**: 詰まりの進行(弁開度が小さくなる)とともに、高圧側圧力、低圧側圧力、差圧のすべてのRMSが減少する。
- 2) **高圧側詰まりの場合**: 詰まりの進行とともに $P_{\text{RMS,H}}$ は減少するが、 $P_{\text{RMS,L}}$ は特に変化せず、 $P_{\text{RMS,D}}$ は増加する。
- 3) **低圧側詰まりの場合**: 詰まりの進行とともに $P_{\text{RMS,L}}$ は減少するが、 $P_{\text{RMS,H}}$ は特に変化せず、 $P_{\text{RMS,D}}$ は増加する。

以上の相関をTable1に整理する。これより、3つの圧力測定値のRMSを監視することで、両側詰まりだけでなく、どちらか片側の導圧管のみが詰まった場合でも検出できると考える。さらに、RMSの大きさにより、詰まりの進行状況の推測も可能になる。Fig.8より、いずれのRMSも弁開度30%

付近から変化がみられることがわかる。よって、3つの圧力測定値のRMSが、Table1に示すいずれかの詰まり状態の特徴を示した時に詰まりの判定が可能となり、適切な閾値を設定することで弁開度5%までに詰まりを検出できると考える。

### 5. 複数の運転動作点における詰まり検出

前章では運転動作点の変更・変化をとまなわれない場合の詰まり検出について検討したが、実際には種々の要因により、監視中に運転動作点の変更・変化をとまなうことが考えられる。そこで本章では、異なる運転動作点(定常状態)にも適用できる詰まり状態の評価パラメータを用いて、詰まりを検出する手法を考案する。

#### 5. 1 運転動作点がRMSに及ぼす影響

前章において詰まり状態の評価パラメータとしたRMSが、運転動作点の変更によりどのような影響を受けるのか調査する。12点の定常状態下の運転動作点(ニードル弁は全開)におけるRMSの測定結果をFig.9に示す。オリフィス上流圧力は300, 500, 700, 900[kPa]の4通り、オリフィス前後の差圧は10, 45, 95[kPa]の3通りである。これより、RMSはオリフィス上流圧力だけでなく、オリフィス前後の差圧(流量)の影響も大きく受けることがわかる。運転動作点の変更に対する3つの圧力測定値のRMSの増減傾向はおおむね一致しているが、運転動作点とRMSとの相関は必ずしも明確ではないため、運転中のRMSの正常値を把握することは困難である。したがって、運転動作点の変更される場合には、RMSから詰まりを検出することはできないと考える。そこで、運転動作点の変更の影響を受けにくい詰まり状態の評価パラメータを考案する。評価パラメータに求められる条件は以下の3つである。

- 1) 運転動作点による影響を受けにくいこと
- 2) 詰まっている導圧管を判別できること
- 3) 弁開度5%で導圧管の詰まりを検出できること

以下では、片側詰まり(高圧側詰まりと低圧側詰まり)の場合と両側詰まりの場合の2つに分けて検出方法を考える。

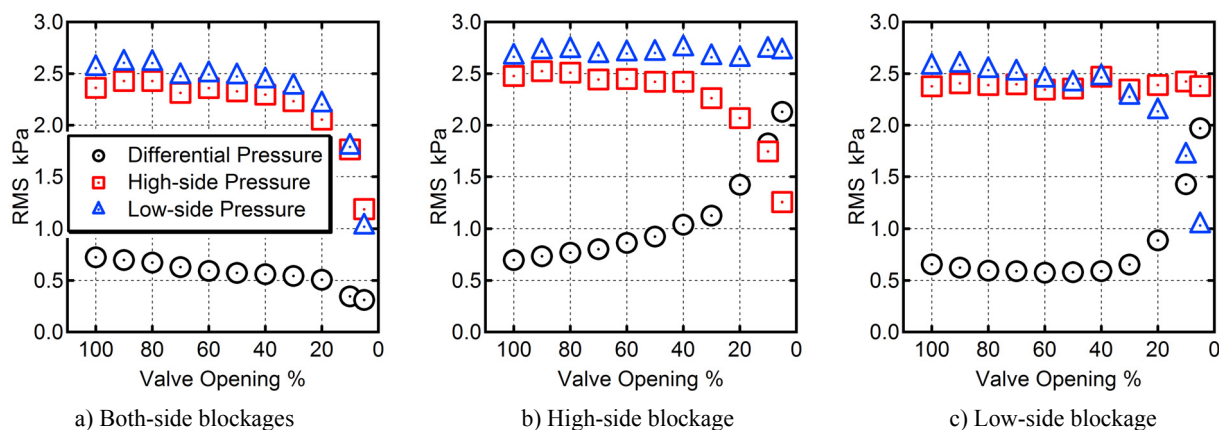


Fig.8 Relationship between blockage condition and RMS

Table 1 Correlation between blockage conditions and RMS

Blockage condition	RMS value		
	Differential pressure	High-side pressure	Low-side pressure
Both-side blockages	decrease	decrease	decrease
High-side blockage	increase	decrease	stable
Low-side blockage	increase	stable	decrease



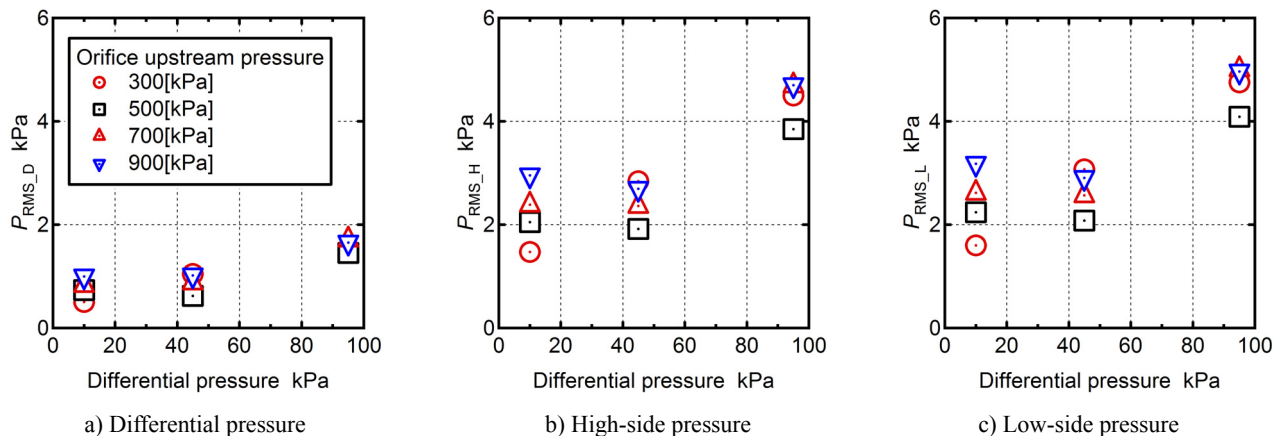


Fig.9 Influence of operating points upon RMS

## 5. 2 片側詰まりの検出方法

### 5.2.1 評価パラメータの考案

Fig.9 より、運転動作点の変更により 3 つの圧力測定値の RMS はいずれも変化するが、増減の傾向は一致していることがわかる。そこで、これら RMS の比を詰まり状態の評価パラメータとすることを考える。

Table1 より、詰まりがない時と高圧側詰まり時の違いとして、 $P_{RMS\_D}$  の増加と  $P_{RMS\_H}$  の減少が挙げられる。運転動作点の変更により、それぞれの RMS はほぼ同様の比率で変化するため、これらの比をとることで運転動作点の変更による影響が低減される。ここで、詰まりが発生した時に評価パラメータが 0 に近づくように設計し、高圧側、低圧側それぞれの詰まり状態の評価パラメータ  $H^I$ 、 $L^I$  を以下の式のように定義する。

$$H^I \equiv \frac{P_{RMS\_H}}{P_{RMS\_D}} \quad (6)$$

$$L^I \equiv \frac{P_{RMS\_L}}{P_{RMS\_D}} \quad (7)$$

ここで、高圧側詰まりの場合を考えると、 $P_{RMS\_H}$  が減少し、 $P_{RMS\_D}$  は増加するため、 $H^I$  は減少する。しかし、 $P_{RMS\_D}$  の増加により  $L^I$  も減少することになる。 $P_{RMS\_L}$  は変化しないために  $H^I$  と  $L^I$  の減少の割合は異なるものの、詰まりが発生していない低圧側の評価パラメータが減少することは、先に挙げた 2 番目の条件に反しており不適切である。低圧側詰まりの場合にも同様のことが言える。

そこで、高圧側詰まりの評価パラメータ  $H^I$  の分母に、 $P_{RMS\_L}$  を加えることで、低圧側詰まり時 ( $P_{RMS\_L}$  が減少) の  $P_{RMS\_D}$  の増加を相殺し、高圧側詰まりの評価パラメータ  $H^I$  に影響を及ぼさないようにする。同様に、低圧側詰まりの診断パラメータ  $L^I$  では、分母に  $P_{RMS\_H}$  を加える。改良した、高圧側、低圧側それぞれの詰まり状態の評価パラメータ  $H^{II}$ 、 $L^{II}$  を以下の式のように定義する。

$$H^{II} \equiv \frac{P_{RMS\_H}}{P_{RMS\_D} + P_{RMS\_L}} \quad (8)$$

$$L^{II} \equiv \frac{P_{RMS\_L}}{P_{RMS\_D} + P_{RMS\_H}} \quad (9)$$

### 5.2.2 実証試験

前項で考案した詰まり状態の評価パラメータ  $H^{II}$ 、 $L^{II}$  が、先に示した 3 つの条件を満たしているか実証試験を行なう。

まず、Fig.9 に示す詰まりがない状態での、前述の 12 点の運転動作点に対して  $H^{II}$ 、 $L^{II}$  を算出した結果を Fig.10 に示す。

これより、運転動作点を変更しても  $H^{II}$ 、 $L^{II}$  の値はほぼ一定になっていることがわかるため、 $H^{II}$ 、 $L^{II}$  は 1 番目の条件を満たしている。

つぎに 2 番目の条件について評価する。Fig.8 に示す詰まり模擬実験に対して  $H^{II}$ 、 $L^{II}$  を適用した結果を Fig.11 に示す。これより、どちらの評価パラメータも分子の RMS に対応する導圧管の詰まりに対してのみ減少していることがわかる。また、それとは反対側の導圧管の詰まりに対してほぼ一定値を示していることから、高圧側と低圧側のどちらの導圧管が詰まっているのか判別できている。以上より、2 番目の条件を満たしていることを確認できる。

3 番目の条件については、Fig.11 より、弁開度 100% (詰まりがない) 時の  $H^{II}$ 、 $L^{II}$  に比べて、弁開度 5% 時の値が大きく減少していることがわかる。よって、適切な閾値を設ける

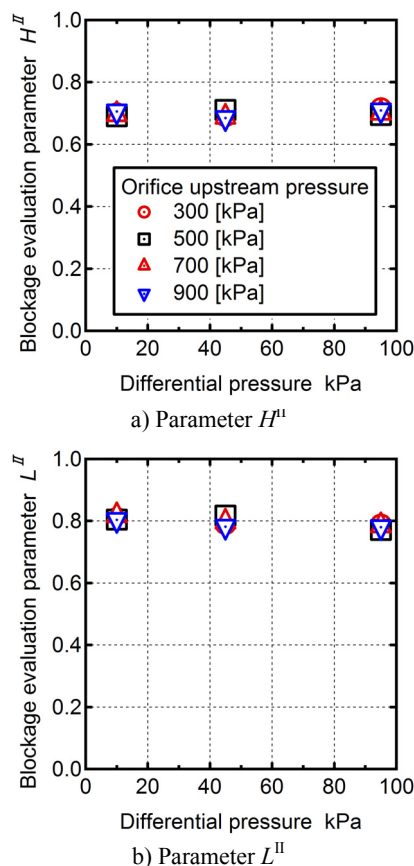


Fig.10 Influence of operating points on blockage evaluation parameters

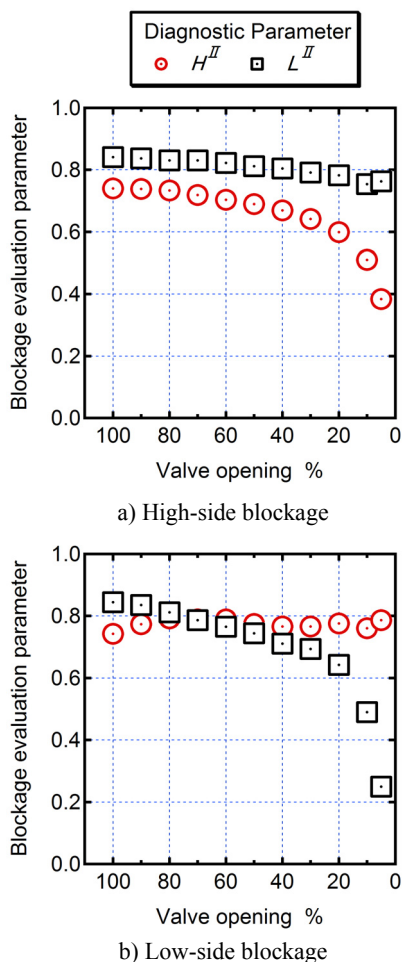


Fig.11 Blockage evaluation parameters under blockage conditions

ことにより、弁開度 5%相当に詰まりが進行するまでに検出できる。よって、 $H^{II}$ 、 $L^{II}$ は 3 番目の条件も満たしており、片側詰まりを検出する評価パラメータとしての有効性を明らかにした。

### 5. 3 両側詰まりの検出方法

Fig.8 に見るように、両側の導圧管が詰まった場合は、3 つの圧力測定値の RMS がすべて減少するため、詰まりとは関係ない、流量や圧力の減少に見るような、プロセス状態の変化と区別することができない。ただし、導圧管の両側が全く同じ詰まり状態になることは稀で、詰まりの進行には高圧側と低圧側で若干なりと差が生じるのが現実と考える。若干なりと高圧側と低圧側の詰まりに差があれば、前節までの片側詰まりに対する診断手法を適用することができるため、両側詰まりに見る問題は実用上、あまり問題にならないと考える。

## 6. 結言

デジタル式差圧伝送器に搭載する導圧管の詰まり診断機能を開発する第一段階として、プロセス流体が水の場合を対象に、ニードル弁を用いて詰まりを模擬した実験調査を行い、詰まりの検出方法を検討した。まず、ラインの運転動作点が一定の場合は、差圧伝送器で計測した 3 つの圧力すなわち、高圧側圧力、低圧側圧力、差圧の測定値に含まれる揺動の大きさを RMS として評価することにより、片側詰まり、両側詰まりのどちらでも検出できることを明らかにした。しかし、運転動作点の変更により RMS は大きな影響を受ける

ため、3 つの圧力測定値の RMS に基づく詰まり状態の評価パラメータを考案した。実証試験の結果、この評価パラメータは運転動作点の影響がわずかであること、また、差圧測定に支障が生じる前に詰まりを検出でき、高圧側、低圧側どちらの導圧管が詰まっているか判別できることを示した。しかし、両側詰まりの場合は 3 つの RMS すべてが減少するため、運転動作点の変更と詰まりを区別できない。ただし、両側の導圧管が同一の詰まり状態であることは極めて稀であることから、両側詰まりへの対応としては、当面は、高圧側と低圧側の弁開度に差がある状態で詰まりを検出することによって対応する。したがって、本検出手法は十分有効であると考える。

供試差圧伝送器は、本論文で考案した詰まり検出方法を実行するのに必要な圧力をすべて取得できるため、機器の改良を行わずに演算機能を実装するだけで良く、実用性に優れている。さらに、詰まり検出に必要な演算は、3 つの圧力測定値をもとにした RMS の算出処理のみであり、実用上問題になる負荷ではない。ただし、過去の同一ラインを用いた研究により、計測周期が長いと詰まり検出の感度が低いことが明らかになっている<sup>(8)</sup>。一方、既存の差圧伝送器は計測周期が 25[ms]よりも長いものが多い<sup>(9)</sup>ため、今後計測周期を短くすることが望まれる。

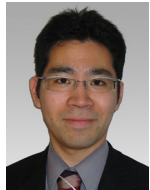
本論文で明らかにした詰まりが差圧測定値に与える影響や詰まり検出手法の有効性は、本実験設備での調査にのみ基づくものであるため、フィールド試験を重ねることでその適用性を確認したい。さらに今後は、非定常状態下での詰まり検出、誤検出や検出漏れの防止方法、両側詰まり検出方法などを構築することで、詰まり診断機能の確立を目指す予定である。また、導圧管内に詰まりが分布する場合についても検討する必要がある。さらに、オリフィス式流量計は水だけに限らず、粘度が異なる油や、圧縮性を有する水蒸気やガスにも使用されているため、異なるプロセス流体についても調査を進めて行きたい。

### [ 参 考 文 献 ]

- 1) 泉頭太郎: リモートシール形差圧発信機による導圧管レス計装 vs ダイレクトマウントによる導圧管レス計装, 計装, 42-2, pp32/36 (1999)
- 2) Fieldbus Foundation: FOUNDATION Fieldbus Technical Overview, FD-043, Rev 3.0 (2003)
- 3) 宮地宣夫, 藪田薫, 赤堀秀雄: 差圧伝送器の導圧管詰まり診断, 横河技報, 48-1, pp33/36 (2004)
- 4) J.E.Amadi-Echendu, Hengjun Zhu, E.H.Higham: Signal Analysis Applied to Detect Blockages in Pressure and Differential Pressure Measurement Systems, IMTC 10-12, pp741/744 (1994)
- 5) R.SZANYI, M.RATERMAN, E.ERYUREK: Diagnostics capabilities of FOUNDATION fieldbus pressure transmitters, HYDROCARBON PROCESSING, pp 53/55, 58/59 (2003)
- 6) Eiji Taya, Hideki Kuwayama: Detecting Blockage in Process Connections of Differential Pressure Transmitters, SICE'95, pp1605/1608 (1995)
- 7) 石川環, 尾土平徹, 新国雅章, 小山越太郎, 津曲哲郎, 浅田龍: 新差圧・圧力伝送器 Dpharp EJX シリーズ, 横河技報, 48-1, pp13/18 (2004)
- 8) 柴野隼一, 涌井徹也, 橋詰匠, 宮地宣夫, 齋藤洋二, 西島剛志, 桑山秀樹: 差圧伝送器による導圧管の詰まり診断に関する研究 第 1 報: 揺動の RMS 値による診断, 日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2005, CD-ROM, No.110 (2005)
- 9) 横河電機: EJX シリーズ FOUNDATION フィールドバス通信形差圧・圧力伝送器, GS 01C26T02-01 (2006)

[ 著 者 紹 介 ]

栄野 隼一 (正会員)



2004年早稲田大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程終了。同年同博士後期課程入学。2006年早稲田大学理工学術院助手、現在に至る。エネルギー・動力システムの診断・監視に関する研究に従事。日本機械学会会員。

涌井 徹也 (正会員)



2001年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。1999年日本学術振興会特別研究員、早稲田大学理工学総合研究センター助手、同客員講師を経て、2005年大阪府立大学大学院工学研究科助手、現在、同助教。エネルギーシステム・各種プラントの最適設計、運用・監視統合システムの開発・研究に従事。日本機械学会、ASME他会員。

橋詰 匠 (正会員)



1979年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。76年同大学理工学研究所助手、同専任講師、同助教授を経て、87年同教授。現在同大学理工学術院教授。エネルギー・動力システムに関する研究等に従事。日本機械学会、日本フルードパワーシステム学会他会員。

宮地 宣夫



1973年東京工業大学機械物理工学部卒業、同年横河電機㈱入社、フィールド機器、差圧・圧力伝送器の開発設計に従事。現在、フィールド機器を利用したプラント周辺機器診断技術開発に従事。

黒森 健一 (正会員)



1967年京都大学理学部物理学科卒業、1972年北海道大学大学院修士課程修了、同年横河電機㈱入社、フィールド機器、流量計の開発に従事。1995年博士(工学)(早稲田大学)、2004年同社退職。現在、横河電機㈱IAプロダクト事業センター技術コンサルタント、日本機械学会の会員。

結城 義敬



1983年早稲田大学理工学部電気工学科卒業、同年横河電機㈱入社。工業用ミニコンピュータ YEWCOM などの基本ソフトウェア、アプリケーション開発、米国ソフトウェア開発センター (USDC) 設立に従事。現在、IAプロダクト事業センタープラットフォーム開発部長。