

水流下でのオリフィス前後圧力の位相差を利用した導圧管の詰まり診断

栄野隼一*・上原彬*・涌井徹也**・橋詰匠*・宮地宣夫***・結城義敬***

Diagnostic of Impulse Line Blockage Using Phase Difference between Orifice Upstream and Downstream Pressure

Jyun-ichi EINO*, Akira UEHARA*, Tetsuya WAKUI**, Takumi HASHIZUME*,
Nobuo MIYAJI***and Yoshitaka YUUKI***

Abstract : Differential pressure transmitter with an orifice is widely used as flowmeters in the process automation. Since the most frequent problem they present is impulse line blockage, online blockage diagnostic system is required. In previous studies, the authors developed an evaluation index of the impulse line blockage, called the blockage index, based on RMS of the pressure fluctuations. Though the blockage index is effective to diagnose the blockage without the influence due to change of the operational point (flow rate and line pressure), it is getting impossible to diagnose the blockage with the increase of the rate of line pressure change. However, unsteady state condition as continuous and frequent line pressure changes is not little in an actual application. Hence, the purpose of this paper is to diagnose the impulse line blockage in a water line even when the rate of line pressure change is so high as the former blockage index is not effective. The authors focus on the delay of the pressure transmission caused by the blockage, and evaluate the delay quantitatively using the phase difference between the orifice upstream and downstream pressure as a new blockage evaluation index. By selecting frequency components with high power spectral density, the new blockage evaluation index becomes remarkably effective to diagnose the blockage in more rapid line pressure change compared with the former blockage index.

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

1. 緒言

プロセスオートメーションでは、流量計はアクチュエータと並んで非常に重要なフィールド機器として位置づけられている。これまでに様々な流量計が開発され、それぞれの特徴に合わせて使い分けられているが、オリフィス式流量計は適用範囲（プロセス流体・温度条件）が広く、価格が安いことなどのために、広く使われている。オリフィス式流量計は稼働部がないために長寿命で信頼性が高いが、稀に不具合が発生し、特にオリフィスから差圧伝送器へ圧力を伝える導圧管で発生する割合が大きい。導圧管で発生する不具合には、漏れ、腐食、詰まりがあり、そのなかでも発生の度合いと検出の難しさから詰まりによる不具合が大きな問題となっている⁽¹⁾。現状では、定期点検時に詰まりを検出し、必要に応じて導圧管を交換することで対処しているが、突発的な詰まりの発生には対応できないため、オンラインでの詰まり診断が強く望まれている。

一方で、近年の半導体技術の高性能化、低価格化は目覚しく、フィールド機器にも反映され、個々の機器内で様々な演算が可能になっている。これにより、4–20[mA]の電流信号が主流であったフィールド機器間の通信が、様々なメリットを持つデジタル通信方式のフィールドバスへと移行しつ

つある。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 フィールドバスに対応したフィールド機器では、双方向・多変数通信が可能である⁽²⁾。さらに、フィールド機器が取得した情報に基づいて自己診断を実行し、異常時にのみホスト（DCS）へ通知することで、ホストの負荷を増やすことなく監視範囲を拡大することもできる。以上を踏まえて、導圧管の詰まり診断機能を 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）へ搭載することを目指し、本研究では導圧管詰まりのオンライン診断手法を確立することを目的とする。これにより、定期点検の時間短縮や突発的な詰まりへの対処が可能となり、プラントの生産性だけでなく、安全性の向上も期待できる。

導圧管の詰まり診断に関する先行研究はいくつかあるが、運転動作点（ライン圧力、流量）の変更を考慮していない^{(3),(4)}、または、運転動作点を変更するたびに詰まり状態を評価するための閾値を再設定する必要がある⁽⁵⁾、などの問題があった。さらに、いずれの研究においても詰まり状態と差圧測定値の関係が定量的に評価されておらず、詰まりによって差圧測定値が影響を受ける前に詰まりを診断できるか否かは明らかではなかった。

著者らはこれまでに、運転動作点の影響を受けにくい導圧管の詰まり評価指標を導出し、詰まり状態と差圧計測値の関係を定量的に評価した上で、差圧計測に支障を来す前に詰まりを診断できる手法を明らかにした⁽⁶⁾。さらに、運転動作点の変更や外乱に対する制御動作から発生する過渡状態への対応のために、ライン圧力の変化速度の大きさを定量的に評価する評価指標を導出し、詰まりを診断できる範囲（以後、適用範囲）を明らかにすることで、検出漏れにも対応した導圧管の詰まり診断手法を構築した⁽⁷⁾。

しかし、ある圧力変化速度以上では詰まりを診断できず、

* 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

* Waseda Research Institute for Science & Engineering, Waseda University

** Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

*** Yokogawa Electric Corporation

(Received January 31, 2008)

適用範囲外である旨を通知するのみとなっており、運転条件によっては大半の時間が適用範囲外になってしまうことも考えられる。そこで本論文では、詰まりによりオリフィス前後圧力に位相差が生じることに着目し、これまでの詰まり評価指標では適用範囲外となった高い圧力変化速度の運転条件下でも、導圧管の詰まり診断が可能で、より実用的な手法を提案する。

2. 実験設備・計測装置

プロセス流体を水とする実験設備、および計測機器の配置図を Fig.1 に示す。水槽からポンプ（流量 1.2[m³/min]、揚程 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）を経て試験区間に流入し、調節弁を通過した後水槽へ戻る。運転動作点（流量、圧力）はポンプ出口弁と試験区間下流の調節弁により調整する。調節弁は空気圧駆動であり、その空気圧は電空変換器（横河電機：PK200）を介して周波数発生器（横河・ヒューレット・パカード：HP3314A）で操作する。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長さ約 2[m]の導圧管には、その中央に詰まり状態を模擬するためのニードル弁（フジキン：UN-14MB-S、定格 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。

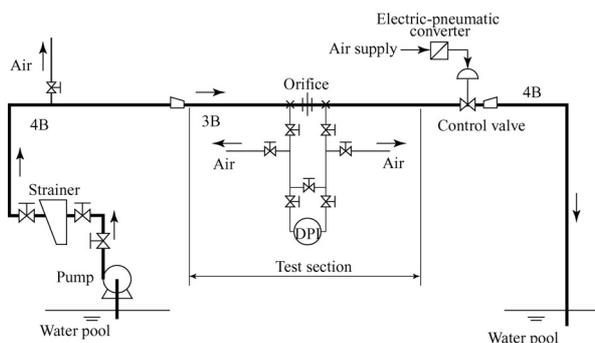


Fig.1 Experimental facility

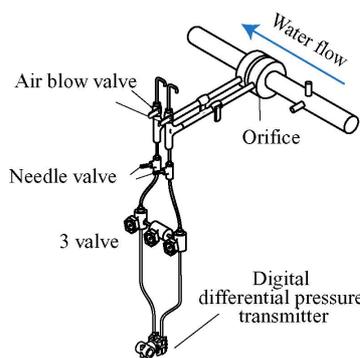


Fig.2 Test section

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⁽⁶⁾。差圧と静圧の測定レンジは、それぞれ 100[kPa]と 16[MPa]で、圧力を一定に保ったときの測定値の標準偏差は、それぞれ 3σで 0.06[kPa]と 1.9[kPa]である。2 つの振動子の振動数は、周波数発生器（横河電機：FC120）が出力するトリガ信号の周期（測定間隔に相当し、本論文では 37[ms]）に同期して、それぞれ個別の周波数カウンタ（横河電機：TC110）で測定し、GPIB（IEEE 488）通信にて PC に送られる。そして、PC 上で周波数-圧力間の変換式を用いて各圧力を算出する⁽⁶⁾。測定機器の接続図を Fig.3 に示す。

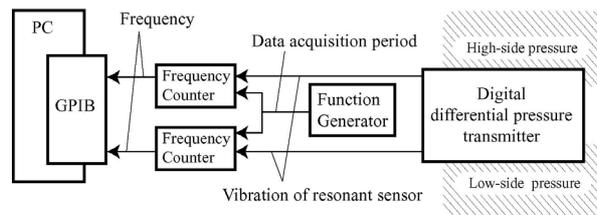


Fig.3 Measurement system

導圧管の詰まり状態には様々なものがあるが、本論文では以下の 2 通りの詰まり状態を定義し、ニードル弁により集中的に生じる詰まりとして模擬する。

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。

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。なお、最大弁開度 100%のときを詰まりのない状態と見なす。

3. オリフィス前後圧力の位相差を利用した導圧管詰まり診断手法

本章では、圧力揺動に基づく詰まりの診断手法では適用範囲外となるような大きなライン圧力変化においても導圧管の詰まりを診断できる新たな手法を提案する。これは差圧伝送器に伝達されるオリフィス前後圧力の伝達速度に注目するもので、以下にその導出と診断の手順を示す。

3.1 圧力伝達の遅れと位相差の相関

オリフィス式流量計は、プロセスのライン上にオリフィスを設置し、その前後圧力より差圧を計測して流量を算出する。その際、高圧側と低圧側の導圧管内のプロセス流体の密度や質量の違いに起因する差圧の計測誤差を防ぐため、高圧側と低圧側の導圧管は同じ長さで、かつ束ねることによって、導圧管内でのプロセス流体の温度差を極力小さくすることが推奨されている⁽⁹⁾。したがって、高圧側、低圧側の圧力は圧力タップからほぼ同じ距離を伝達し、差圧伝送器へほぼ同時に到達する。一方で、詰まりが発生すると詰まった側の圧力伝達に遅れが生じることをこれまでの筆者らの研究で明らかにしている⁽⁶⁾。一般にライン圧力の変化周期は差圧伝送器での圧力測定周期よりも十分に長いことから、導圧管が詰まった場合には、ライン圧力の変化に準じて、差圧伝送器で測定した高圧側と低圧側の圧力揺動に位相差が生じるものと考えられる。

そこでまず、差圧伝送器により計測した高圧側圧力と低圧側圧力を FFT 処理により周波数解析する（計測時間 5[min]）。そして、(1) 式に示すように、各周波数で高圧側圧力と低圧側圧力の位相差 $\Delta\phi(f)$ を算出する。

$$\Delta\phi(f) = \phi_H(f) - \phi_L(f) \quad (1)$$

ここに、 $\Delta\phi(f)$: 周波数 f [Hz] の位相差[deg]、 $\phi_H(f)$: 周波数 f [Hz] の高圧側圧力の位相[deg]、 $\phi_L(f)$: 周波数 f [Hz] の低圧側圧力の位相[deg]。また、計測時間が 5[min]、計測周期が 37[ms] であることから、基本周波数 f_0 は 3.3×10^{-3} [Hz] であり、最大周波数 f_s は 13.5[Hz] となる。

ライン圧力 900[kPa]、流量 0.8[m³/min] の整定状態において、詰まりがない時の周波数に対する位相差の分布を Fig.4-a に示す。これより、いずれの周波数においてもオリ

フィス前後圧力の位相差は 0[deg]付近に集中しており、高圧側圧力、低圧側圧力の圧力伝達速度はほぼ同じであることがわかる。一方、弁開度を 10%, 5%として高圧側詰まりを進行させた場合の位相差の分布を Fig.4-b, Fig.4-c にそれぞれ示す。導圧管の詰まりが進行するにつれて、位相差の分布が負側（遅れ）に偏っていくことがわかる。これは、高圧側詰まりが進行することにより、高圧側圧力の伝達が遅れるためである。なお、Fig.4 に対応した高圧側圧力の時系列変化（約 2[s]のデータ：50 点）は Fig.5 のようになっており、詰まりの進行とともに、圧力揺動が小さくなっていることがわかる。ここで、無加圧状態（ポンプ停止）で測定した高圧側圧力の時系列変化である Fig.6 と弁開度 5%の Fig.5-c を比較する。Fig.6 では測定信号にノイズが現れており、弁開度 5%の状態（Fig.5-c）では測定信号がノイズに近づいているものの、

流体の圧力揺動は計測できていることがわかる。なお、低圧側詰まりが進行した場合には、位相差は正側（進む）に偏ることを確認している。

3.2 位相差に基づいた導圧管詰まり評価指標

前節の結果より、位相差分布の偏りに注目することによって、詰まりの有無を判別し、さらに、どちらの導圧管が詰まっているかを特定できると考えられる。ただし、Fig.4 に見るように、詰まりが進行するにつれて、高周波数域では位相差のばらつきが大きくなり、詰まりを判定する際の支障となる。そこで、詰まりが進行するにつれて位相差がばらつく原因を調査する。

ここで、周波数解析により位相差と同時に算出されるオリフィス前後圧力のパワースペクトル密度（以後、スペクトル密度と呼び、PSD と表記する）に注目する。Fig.4 に対応す

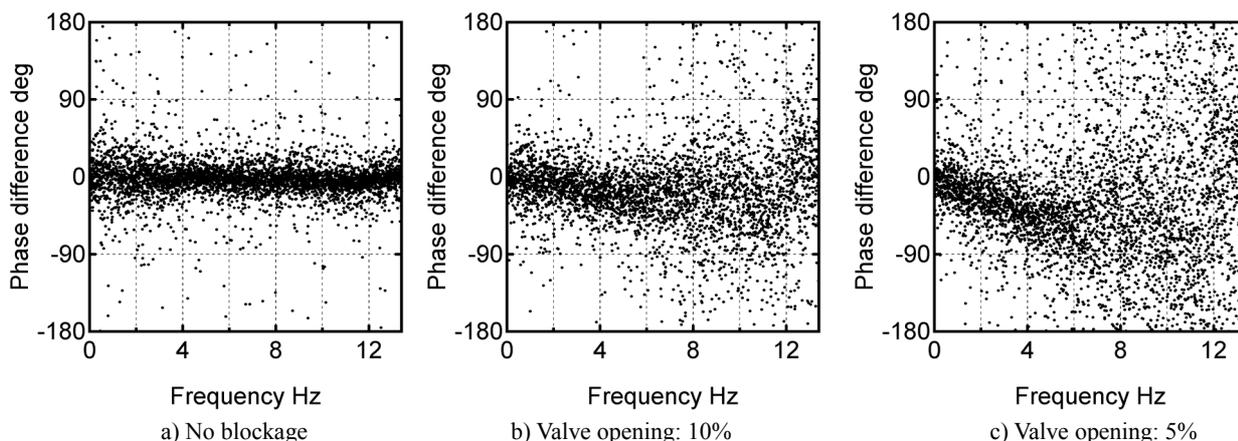


Fig.4 Phase difference distribution with high-side blockage

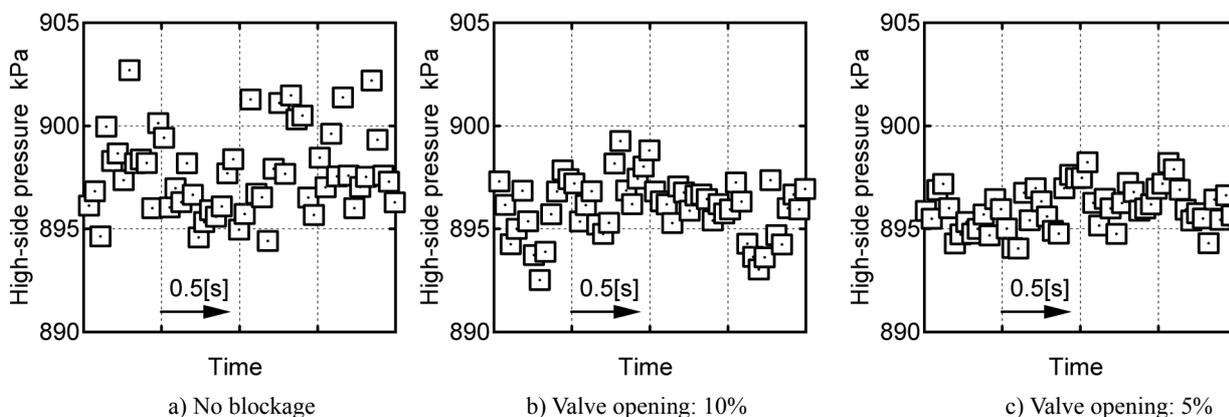


Fig.5 Time-series data of high-side pressure with high-side blockage

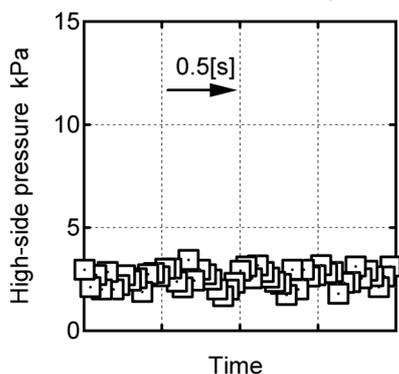


Fig.6 Time-series data of high-side pressure with no pressure

る高圧側圧力のスペクトル密度を Fig.7 に示す。これより、詰まりがない場合には、対象周波数全域においてほぼ同様な強度のスペクトル密度を持つが、詰まりが進行するにつれて、高周波数域ではスペクトル密度が大きく減少していることがわかる。ここで、スペクトル密度の大きさが時系列変化では振幅の大きさに相当することを考慮すると、スペクトル密度が小さい場合には振幅が小さく、ノイズの影響を受けていることが考えられる。したがって、スペクトル密度の小さい周波数の位相は信頼性が低いために、低圧側圧力の位相と相関が弱く、位相差を適切に算出できないと考えられる。そこで、このような位相差が適切に算出されていないと考えられるデータを取り除き、詰まり検出に有効な位相差データのみを選定する方法を検討する。

まず、高圧側圧力と低圧側圧力の対象周波数域（本研究では $3.3 \times 10^{-3} \sim 13.5$ [Hz]）のスペクトル密度の平均値 $\overline{\text{PSD}}_H$ 、 $\overline{\text{PSD}}_L$ をそれぞれ求める。そして、高圧側圧力のスペクトル密度が $\overline{\text{PSD}}_H$ より大きく、かつ、低圧側圧力のスペクトル密度も $\overline{\text{PSD}}_L$ より大きい周波数の位相差のみを評価対象とする。ただし、スペクトル密度は広い範囲に分布しており、一部の非常に大きなスペクトル密度を持つデータが支配的にならないように、 $\overline{\text{PSD}}_H$ と $\overline{\text{PSD}}_L$ の算出には下記のとおり対数平均を用いる。

$$\overline{\text{PSD}} = \exp \left\{ \frac{1}{f_s/f_0} \sum_{i=1}^{f_s/f_0} \ln(\text{PSD}(if_0)) \right\} \quad (2)$$

弁開度 5%におけるデータ選定前の位相差分布 (Fig.4-c) とデータ選定後の位相差分布を Fig.8 に示す。高周波数域で発散していた位相差が適切に算出されていないと考えられるデータが取り除かれ、詰まりによる位相差の偏りの把握が容易になることがわかる。

以上を踏まえて、詰まりの進行により位相差分布が偏る特性を利用した導圧管詰まりの診断手法を提案する。新たな導圧管詰まり評価指標を算出するフロー図を Fig.9 に示す。まず、計測した圧力データ（計測時間 5[min]）を、周波数解析（FFT 処理）し、高圧側圧力、低圧側圧力のスペクトル密度とそれに対応する位相を算出する（図中 A）。つぎに、対象周波数域のすべてのデータ、すなわち f_s/f_0 個のデータから（4）式を用いて、高圧側圧力、低圧側圧力のスペクトル密度の対数平均値をそれぞれ算出する（図中 B）。その上で、高圧側圧力と低圧側圧力の両方のスペクトル密度が、それぞ

れのスペクトル密度の対数平均値よりも大きなデータのみを選定する（図中 C）。そして、選定されたデータから（1）式を用いて位相差を算出し、位相差の符号が正（0[deg]～+180[deg]）になるデータの数と、負（0[deg]～-180[deg]）になるデータの数を集計する。これらの比を、（3）式のように評価し、これを位相差に基づく導圧管詰まり評価指標 Φ として定義する（図中 D）。

$$\Phi = S_{\phi-} / S_{\phi+} \quad (3)$$

ただし、 $S_{\phi+}$ ：位相差が正となるデータ数、 $S_{\phi-}$ ：位相差が負となるデータ数。

位相差に基づく導圧管詰まり指標は、詰まりがない時には約 1 となり、高圧側詰まり時は 1 よりも大きく、低圧側詰まり時は 1 よりも小さくなる。これにより、詰まりの有無だけでなく、どちらの導圧管に詰まりが生じたかを判別できる。

4. 位相差に基づく導圧管詰まり指標による詰まり診断

本章では、第 4 章で導出した位相差に基づく導圧管詰まり評価指標による詰まり診断能力を調査する。なお、既報の同一設備を使用した研究により、弁開度 5%未満では差圧測定に支障を来たすことが明らかになっている⁽⁶⁾ため、詰まりが弁開度 5%相当に達する前に診断できる必要がある。

4.1 整定状態での詰まり検出

位相差に基づく導圧管詰まり評価指標（以後、詰まり指標）を用いて、まず、整定状態での詰まりの診断能力を調査する。ライン圧力 900[kPa]、流量 0.8[m³/min]一定の下で、弁開度

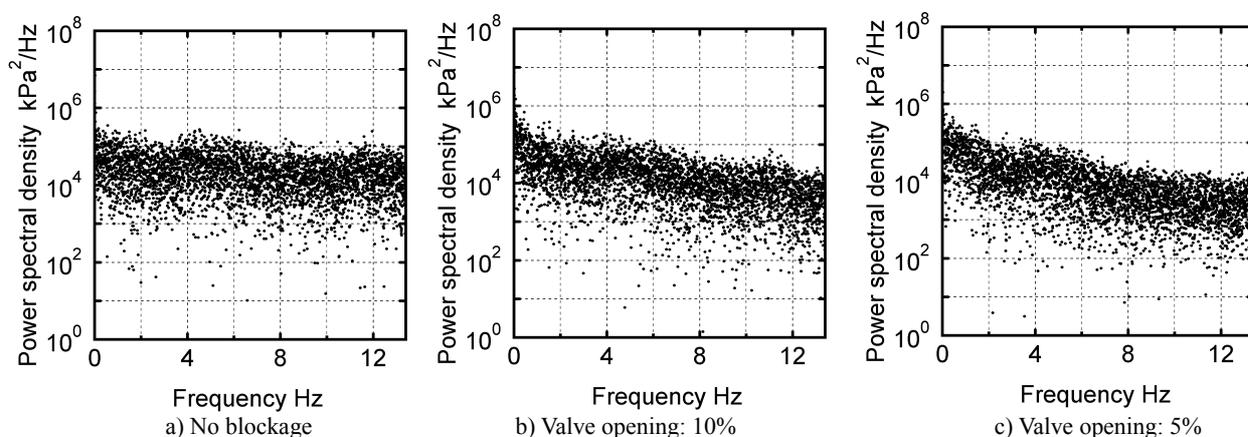


Fig.7 Power spectral density of high-side pressure with high-side blockage

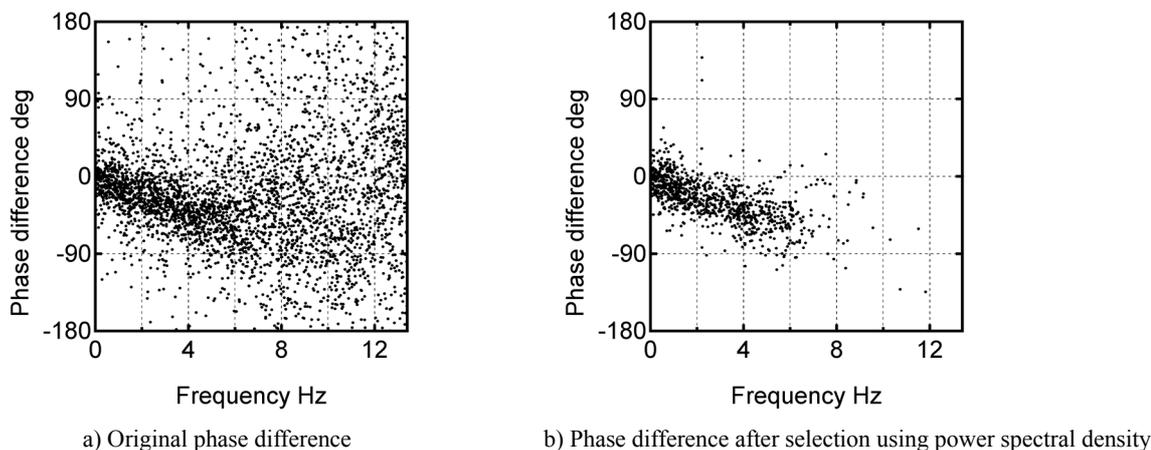


Fig.8 Effect of the selection using power spectral density at the condition of high-side blockage

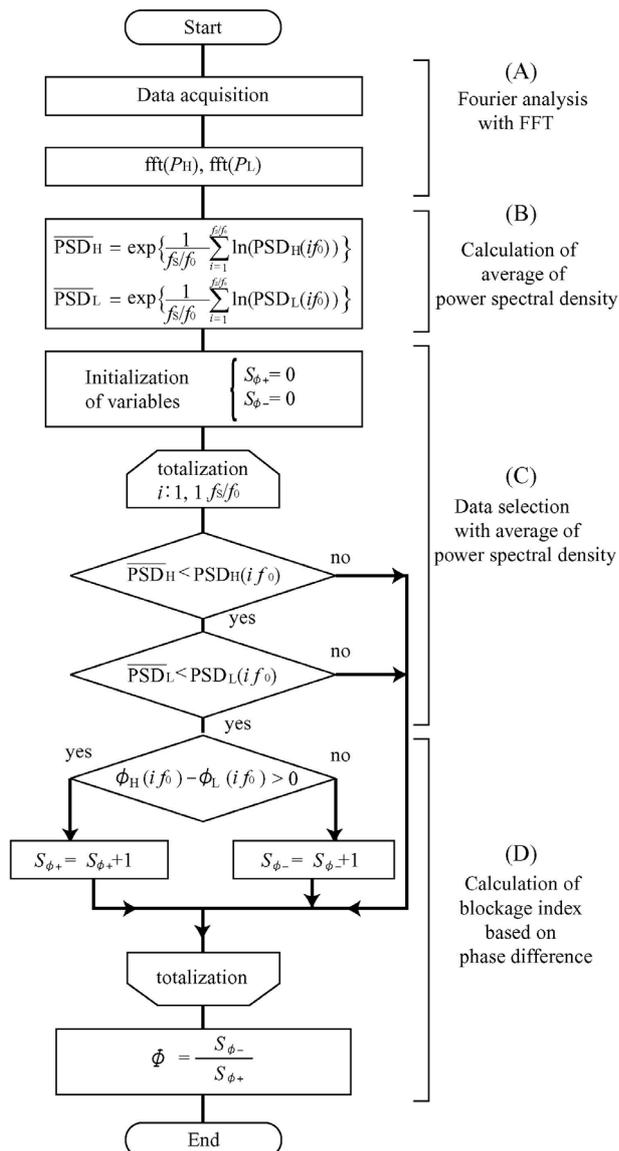


Fig.9 Calculation flow of blockage index based on phase difference

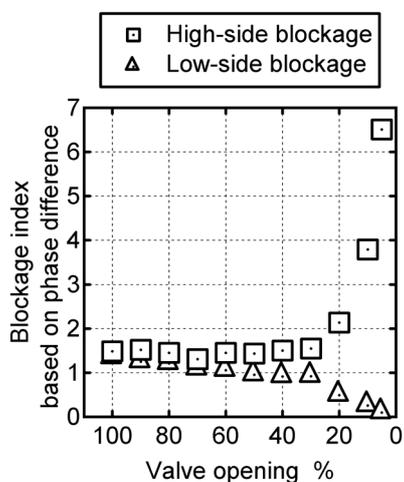


Fig.10 Relationship between blockage index based on phase difference and valve opening in steady state (high-side blockage and low-side blockage)

を 100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20%, 10%, 5%とした高圧側詰まり時と低圧側詰まり時の詰まり指標を Fig.10 に示す。これより、高圧側詰まりが進行すると詰まり指標は増加し、低圧側詰まりが進行すると指標は減少することがわかる。弁開度 5%では高圧側詰まり時と低圧側詰まり時の詰まり評価指標はそれぞれ約 6.5, 約 0.17 となり、いずれも初期値から大きく変化する。よって、詰まり指標に対して適切な閾値を設定すれば、整定状態では、高圧側詰まりだけでなく低圧側詰まりでも、詰まりの診断目標である弁開度 5%相当まで詰まりが進行するまでに詰まりを判定できることがわかる。

4.2 過渡状態での詰まり診断

つぎに、過渡的にライン圧力が変化する状態での詰まり診断能力を調査する。運動動作点はファンクションジェネレータを用いてオリフィス下流の調節弁を駆動し、Table1 に示すオフセットを中心に正弦波状にライン圧力を変化させる。ただし、表中の IPV はライン圧力の変化速度を示す指標であり、大きいほどライン圧力の変化が急激な状態にあることを示している⁽⁷⁾。本実験設備では圧力損失の大部分をポンプ出口弁が担うため、調節弁を操作しても圧力の変化に比べて流量の変化は少ない。なお、本実験設備では調節弁にポジションを装備していない。しかし、その応答帯域はいずれの実験条件よりも十分高く、また、グランドパッキン部の締め付けによるシステムの摩擦力⁽¹⁰⁾も小さいため、ライン圧力は歪みがほとんどない正弦波状・ランプ状変化を呈することを確認している。この運転条件で、前節と同様に高圧側詰まり時の詰まり指標を算出する。ライン圧力が正弦波状に変化した時の弁開度に対する詰まり指標を Fig.11 の Ex.1, Ex.2 に示す。これより、いずれの場合も弁開度 40%以下では詰まり指標が増加しており、ライン圧力が正弦波状に変化しても、詰まりを診断できる弁開度が変わらないことがわかる。また、いずれの運転条件でも、詰まり診断の目標である弁開度 5%では、詰まり指標は十分大きな値をとることから、詰まりを判定できるといえる。

さらに、圧力揺動に基づく導圧管詰まり評価指標では適用範囲外となる場合 (IPV が 2.0[kPa]以上) も含めた運転条件下で、詰まり指標の診断能力について調査する。Table2 に

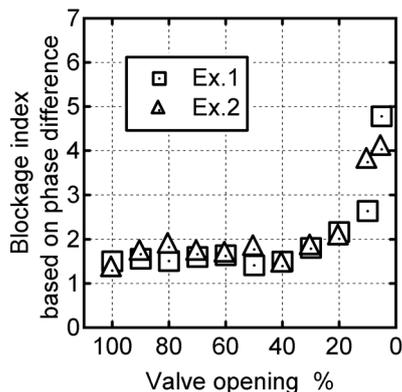


Fig.11 Relationship between blockage index based on phase difference and valve opening (high-side blockage)

Table1 Experimental conditions of high-side pressure (1)

Experimental number	IPV kPa	Off set kPa	Frequency Hz	Amplitude kPa
1	0.1	510	0.02	30
2	0.4	510	0.02	85

示す運転条件において、詰まりがない時と高圧側詰まりで弁開度 5%時の詰まり指標を IPV との関係で Fig.12 に示す。IPV が 3.1[kPa]となる運転条件は、本実験設備で実現できる最も急激なライン圧力変動であるが、この場合でも、弁開度 100%のときの詰まり指標は 2 以下となっていることがわかる。一方、詰まり診断の目標となる弁開度 5%では、いずれの IPV でも詰まり指標は 3 以上になっている。以上より、位相差に基づく導圧管詰まり評価指標 ϕ を用いた詰まり診断手法は、圧力揺動に基づく導圧管詰まり評価指標を用いた詰まり診断の適用範囲外となるようなライン圧力変化においても、詰まりを判定できることがわかる。なお、圧力揺動に基づく詰まり診断が適用可能な最大の IPV である 2.0[kPa]の状態、および本実験設備で実現できる最大の IPV である 3.1[kPa]の状態では、ライン圧力の正弦波状変化において単調増加している間の平均圧力変化速度がそれぞれ 54[kPa/s]、84[kPa/s]となる。

Table2 Experimental conditions of high-side pressure (2)

IPV kPa	Off set kPa	Frequency Hz	Amplitude kPa
0	900	0	0
0.2	600	0.05	300
0.4	600	0.01	300
0.9	600	0.02	300
1.9	600	0.04	300
2.7	600	0.08	250
2.8	600	0.1	250
3.1	600	0.1	300

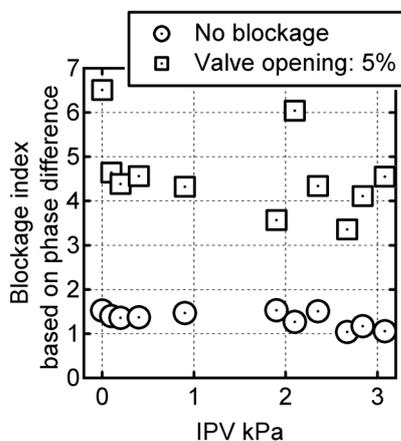


Fig.12 Relationship between blockage index based on phase difference and IPV

5. 結言

これまでに報告した圧力揺動に基づく導圧管詰まり診断手法では適用範囲外となるようなライン圧力変化にも対応できる導圧管の詰まり診断手法を新たに導出した。この詰まり診断手法は、詰まりが発生することによりオリフィス前後圧力に位相差が生じることを利用するものである。まず、計測したオリフィス前後圧力の周波数解析を行い、そのパワースペクトル密度が十分大きい時の位相差データのみを選定する。その上で、オリフィス前後圧力の位相差が正側（進む）か負側（遅れる）のいずれに偏っているかを定量的に評価し、詰まっている側の導圧管の識別とあわせて、詰まりを判定す

る。実際に、実験設備の水ラインの圧力が正弦波状に変化する運転条件下で、新たに提案する手法の詰まり診断能力を調査した。その結果、本実験設備で実現できる最も急激なライン圧力変化、すなわち圧力揺動に基づく詰まり診断手法の適用限界より約 1.5 倍の速さで圧力が変化する場合であっても、差圧計測に支障を来す前に導圧管の詰まりを判定できることを明らかにした。この詰まり診断手法を用いることで、詰まりを診断できる運転条件が広がり、より安全で効率的な、実用に即したプラントの運転が可能になると考える。なお、本詰まり診断手法では、計測した圧力データを一旦記憶領域に保存した後に、周波数解析を行なう必要がある。したがって、差圧伝送器に自己診断機能としてこの詰まり診断能力を搭載する場合には、さらなるフィールド機器の能力の向上を必要とするが、詰まりの診断を差圧伝送器上で自律的に実行でき、DCS の演算・通信負荷の軽減に結びつくことを考えれば早期の実現が必要といえる。

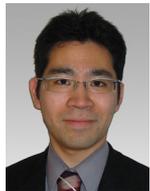
本論文で明らかにした詰まり診断手法は詰まりにより生じる圧力伝達の遅れに基づいているため、原理的にはライン圧力の変化速度によらず有効であると考えられる。しかし、どの程度の周波数領域まで解析すべきかは明らかにされていない。また、実流ラインの過渡状態には、本論文で対象とした圧力変化だけでなく、流量（差圧）の変化に起因するものもある。さらに、導圧管の長さは箇所ごとに様々であり、導圧管のどの位置で詰まりが発生するかも一定ではない。よって、これらの実用化に必要な検討事項についてはさらなるフィールド試験による検証が必要である。また、本論文ではプロセス流体を水のみとしているが、オリフィス式流量計はさまざまなプロセス流体に適用されることから、油、空気、水蒸気など、粘度や圧縮性の異なる流体への適用性についても調査を進めていきたい。

【 参 考 文 献 】

- 1) 泉頭: 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, 32/36 (1999)
- 2) Fieldbus Foundation: FOUNDATION Fieldbus Technical Overview, FD-043, Rev 3.0 (2003)
- 3) 宮地, 藪田, 赤堀: 差圧伝送器の導圧管詰まり診断, 横河技報, 48-1, 33/36 (2004)
- 4) J.E.Amadi-Echendu, Hengjun Zhu, E.H.Higham: Signal Analysis Applied to Detect Blockages in Pressure and Differential Pressure Measurement Systems, Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 10-12, 741/744 (1994)
- 5) R.SZANYI, M.RATERMAN, E.ERYUREK: Diagnostics capabilities of FOUNDATION fieldbus pressure transmitters, HYDROCARBON PROCESSING, pp 53/55, 58/59 (2003)
- 6) 柴野, 涌井, 橋詰, 宮地, 黒森, 結城: 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, 計測自動制御学会産業論文集, 6-13, 103/109 (2007)
- 7) 柴野, 上原, 涌井, 橋詰, 宮地, 結城: 水流下での過渡状態に対応した導圧管の詰まり監視, 計測自動制御学会産業論文集, 7-2, 9/15 (2008)
- 8) 石川, 尾土平, 新国, 小山, 津曲, 浅田: 新差圧・圧力伝送器 Dpharp EJX シリーズ, 横河技報, 48-1, pp13/18 (2004)
- 9) M J Reader-Harris, J M McNaught: Impulse Line for Differential-Pressure Flowmeters, Best Practice Guide, 19 (2005)
- 10) 涌井, 橋詰, 西島, 石井: ヒステリシスの大きな空気圧式調節弁に使用する電子式ポジションの高性能化, 計測自動制御学会産業論文集, 2-5, 34/41 (2003)

[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、ASME 会員。

上原 彬 (学生会員)



2006年早稲田大学理工学部機械工学科卒業。同年同大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程入学。エネルギー・動力システムの診断・監視技術の研究に従事。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)



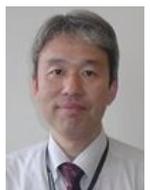
1979年早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。76年同大学理工学研究所助手、同専任講師、同助教授を経て、87年同教授。現在同大学理工学術院教授。エネルギー・動力システムに関する研究などに従事。日本機械学会、日本フルードパワーシステム学会他会員。

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。

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。