

水流下での過渡状態に対応した導圧管の詰まり監視

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

Monitoring of Impulse Line Blockage Under Transient States in a Water Line

Jyun-ichi EINO*, Akira UEHARA*, Tetsuya WAKUI**, Takumi HASHIZUME*,

Nobuo MIYAJI***and Yoshitaka YUUKI***

Abstract: Differential pressure transmitters with orifice are widely used as flowmeters in process automation systems. Since the most frequent problem that these transmitters have is impulse line blockage, a function of online blockage monitoring is required. The authors derived an evaluation index, called the Blockage evaluation parameter, for conditions of impulse line blockage in the previous study. Even though this Blockage evaluation parameter is not affected by the operating points, its effectiveness in the transient state is not clear. Hence, the purpose of this paper is to develop a monitoring method of impulse line blockage under the transient state in a water line. Experimental results show that the blockage detection using the Blockage evaluation parameter is getting impossible with the increase of the line pressure change rate. We derived the root mean square of the moving averaged line pressure, called IPV (the Index of Pressure Variation), to evaluate the line pressure change rate. Through the experiments, the monitoring method using IPV under transient states is as follows: IPV is calculated and evaluated first; if IPV exceeds the threshold value, the blockage detection is suspended and a report of that is high IPV is sent to a distributed control system (DCS); otherwise blockage is evaluated using the Blockage evaluation parameter.

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制御対象のほとんどが流体であるため、流量計はアクチュエータと同様に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。様々な特徴を持つ流量計が開発されているが、適用範囲（プロセス流体・温度条件）の広さと価格の安さ、そして稼働部がないことによる堅牢さから、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は、オリフィス、差圧伝送器、そして両者を接続する導圧管から構成されるが、使用中の不具合の多くは導圧管に関するものである。その内訳は漏れ、腐食、詰まりなどであるが、発生件数の多さから詰まりが大きな問題になっている⁽¹⁾。現在は、定期点検時に対処しているが、ライン停止時間の増加に伴う経済的損失が大きいだけでなく、突発的な詰まりには対応できないことから、導圧管詰まりのオンライン監視機能の開発が強く求められている。

ここで、プロセスオートメーションにおける運転制御に必要な通信技術に目を向けると、フィールド機器の高機能化による稼働率と安全性の向上を意図したフィールドバスの導入が進んでいる。プロセスオートメーション用フィールドバスの1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、プロセス値や操作量の送・受信だけでなく、従来は DCS（制御システム）でしか行なえなかった制御演算や、機器の状態監視を行なうことができる⁽²⁾。した

がって、導圧管の詰まり監視機能を差圧伝送器に搭載できれば、導圧管詰まりのオンライン監視が可能になる。そこで、この機能を 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）へ搭載するために、本研究では導圧管詰まりのオンライン監視手法を考案することを目的とする。これにより、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。

著者らが研究に着手する以前より、導圧管の詰まり監視に関する研究は行われてきたが、その多くは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）の変化を考慮していない^{(3),(4)}。また、この点を考慮したものであっても、運転動作点が変わるたびに詰まりがない時の基準値を測定しなければならないという問題⁽⁵⁾や、詰まりの状態を定量評価できないという問題⁽⁶⁾があった。さらに、いずれの研究においても、詰まりによる差圧測定への影響が定量的に評価されていないため、差圧測定に支障を来す前に詰まりを検出することは難しいといえる。そこで、著者らはこれまでにプロセス流体を水とした場合の実験調査を通して、運転動作点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した。その上で、詰まり状態と差圧測定値の関係を明らかにし、詰まり状態の評価パラメータを用いることで定常状態において差圧測定に支障を来す前に詰まりを検出できることを示した⁽⁷⁾。

確かにライン稼働時間の多くは定常状態と考えられるが、制御ループの調整値の設定によっては、運転動作点の変化時または外乱入力時に比較的長時間にわたり過渡状態が続く。このときに詰まりの誤検出や検出漏れがあると実用上問題になる。また、定常状態でも実際にはある程度のライン圧力の変化が生じるものと考えられるため、この場合にも同様の問題が起こる可能性がある。過渡状態での詰まり監視はいずれの従来研究^{(3)~(6)}でも取り扱っていないことから、本論文では過渡状態に対応した導圧管の詰まり監視手法を構築する

* 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 November 14, 2007)

ことを目的とする。まず、これまでに明らかにした詰まり監視手法を用いた場合に、過渡状態での誤検出や検出漏れなどの不具合について実験調査する。さらに、過渡状態に対応するために、ライン圧力変化の定量評価方法を検討し、その上で過渡状態での詰まり監視手法を導出する。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、本論文では既報(7)と同じくプロセス流体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 Fig.1 に示す。水槽からポンプ (1.2[m³/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) を経て、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。調節弁は空気圧により駆動するが、その空気圧は電空変換器 (横河電機: PK200) を介してプログラマブル電圧・電流源 (横河電機: 7651) 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導圧管には、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。

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(8)。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 (計測間隔に相当し、本論文では 37[ms]) に合わせて、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

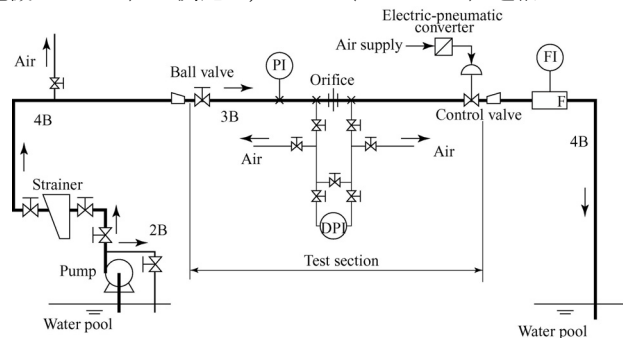


Fig.1 Experimental apparatus

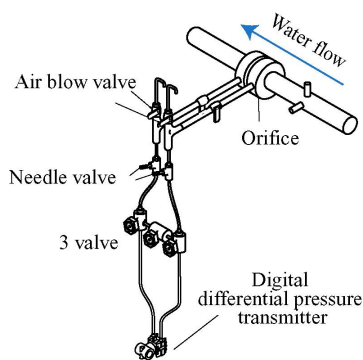


Fig.2 Test section

に送られる。そして、PC 上で周波数-圧力変換式を用いて各圧力を算出する(7)。これら測定器の接続図を Fig.3 に示す。

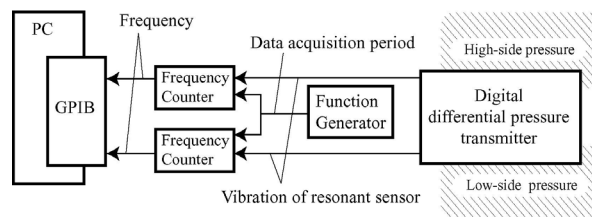


Fig.3 Construction of measurement system

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を模擬する。

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. 定常状態での詰まり監視

本章では、既報にて構築した定常状態での詰まり監視手法の概要を説明する(7)。

詰まり監視に関するいずれの先行研究(3)~(6)においても、測定した圧力信号に含まれる揺動成分が詰まりの影響を受けることに着目している。本研究でもこの特徴を利用し、揺動成分の大きさを以下に示す RMS を用いて定量的に評価する。

$$P_{RMS} \equiv \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (P_n - P_{n-1})^2} \quad (1)$$

ここで、 N : 測定回数, P_n : n 回目の圧力測定値[kPa], P_{RMS} : 測定圧力の RMS[kPa].

本論文では、特に断りがない限り測定時間を 5[min]としているため、 N は 8000 程度である。

ある運転動作点で定常状態にある時の詰まり状態と 3 つの RMS (高圧側圧力, 低圧側圧力, 差圧) の関係を Table1 に示す。これより、RMS に注目することにより、どちらの導圧管が詰まっているかを検出できることがわかる。しかし、RMS は運転動作点の影響を大きく受けるため、運転動作点が変化した場合には詰まりを正しく検出できなくなる。

そこで、運転動作点の影響を受けにくい詰まり状態の評価パラメータを明らかにした。これは、運転動作点の変化に対する 3 つの RMS の増減傾向が一致することに注目するものである。詰まり状態の評価パラメータは、高圧側の詰まり状態を表す H と低圧側の詰まり状態を表す L から構成され、それぞれ以下の式で定義している。

$$H \equiv \frac{P_{RMS,H}}{P_{RMS,D} + P_{RMS,L}} \quad (2)$$

Table 1 Condition and RMS

Blockage condition	RMS		
	Differential pressure	High-side pressure	Low-side pressure
High-side blockage	Increase	Decrease	Stable
Low-side blockage	Increase	Stable	Decrease

$$L \equiv \frac{P_{RMS,L}}{P_{RMS,D} + P_{RMS,H}} \quad (3)$$

ここで、 $P_{RMS,H}$ ：高圧側圧力の RMS [kPa]、 $P_{RMS,L}$ ：低圧側圧力の RMS [kPa]、 $P_{RMS,D}$ ：差圧の RMS [kPa]。

これらは詰まりがない状態では運転動作点によらずほぼ一定の値となり、また、詰まりの進行とともに詰まった側の評価パラメータのみがゼロに近づくという特徴を持っている。

4. 過渡状態での詰まり監視

これまでに明らかにした詰まり状態の評価パラメータは運転動作点の影響を受けにくい、実用性の点からは、さらに制御動作などにより生じる過渡状態にも対応できることが求められる。そこで、過渡状態での詰まり状態の評価パラメータの変化を調査し、過渡状態に対応した導圧管の詰まり監視手法を導出する。

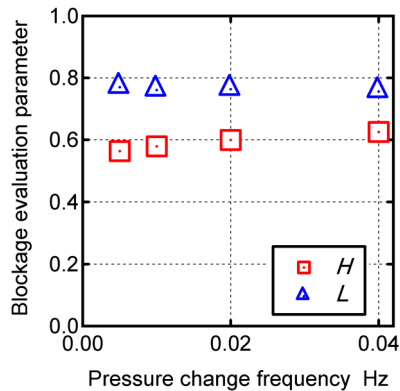
4. 1 過渡状態での詰まり状態の評価パラメータ

差圧計測ラインに過渡状態を作り出すために、オリフィス下流に設置した調節弁を操作して、ライン圧力（オリフィス高圧側圧力）を正弦波状およびランプ状に変化させる。正弦波状変化では、中心ライン圧力が 450[kPa]で振幅が±300[kPa]となるように調節弁を操作し、周波数は 0.005, 0.01, 0.02, 0.04[Hz]の 4 通りとする。ランプ状変化では、ライン圧力を 150[kPa]から 750[kPa]へと変化させ、その変化速度が 10, 20, 40, 60, 80, 100[kPa/s]の 6 通りとなるように調節弁を操作する。なお、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流量はほとんど変化しない。また、調節弁にはポジションを装備

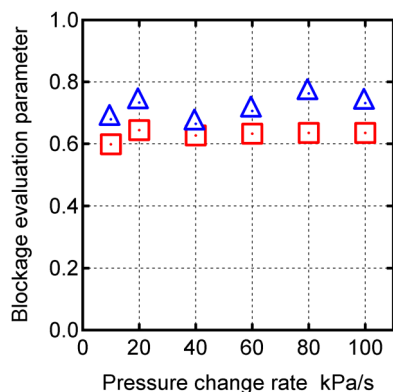
していない。しかし、その応答帯域はいずれの実験条件よりも十分高く、また、グランドバックアップ部の締め付けによるシステムの摩擦力⁹⁾も小さいため、ライン圧力は歪みがほとんどない正弦波状・ランプ状変化を呈することを確認している。正弦波状変化の場合は測定時間 (5[min]) よりも長い時間にわたって連続変化させるが、ランプ状変化の場合は 1 度のみの変化である。したがって、ランプ状変化は測定時間よりも短い時間で完了するため、調節弁を操作して圧力が変化している間のデータのみを対象とする。また、詰まり状態は、詰まり無しと高圧側詰まりの 2 通りとし、高圧側詰まりの弁開度は既報⁹⁾にて設定した詰まり検出目標である弁開度 5%とする。

過渡状態における詰まり無しの場合の詰まり状態の評価パラメータを Fig.4 に、高圧側詰まりの場合の詰まり状態の評価パラメータを Fig.5 にそれぞれ示す。正弦波状変化の場合は横軸に圧力変化の周波数をとり、ランプ状変化の場合は横軸に圧力変化速度をとっている。縦軸はいずれも詰まり状態の評価パラメータである。本論文では、正弦波状変化での圧力変化の周波数が高い状態と、ランプ状変化でのライン圧力の変化速度が速い状態を”圧力変化が速い“と呼ぶ。

ここで、高圧側の詰まり状態の評価パラメータ H に注目すると、詰まりのない場合 (Fig.4) では、ライン圧力の変化によらずほぼ同じ値 (約 0.6) になっている。一方、高圧側が詰まると (Fig.5)、定常状態では小さな値になる詰まり状態の評価パラメータ H が、圧力変化が速くなるにつれて増加していることがわかる。特にランプ状変化で圧力変化速度が最も速い場合には、詰まり状態の評価パラメータ H が 0.4 以上になり、詰まりがない場合の値に近くなる。したがって、圧力変化が速くなると、詰まりが発生しても詰まり状態の評

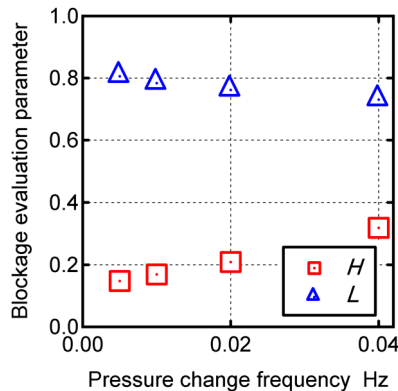


a) Sinusoidal change

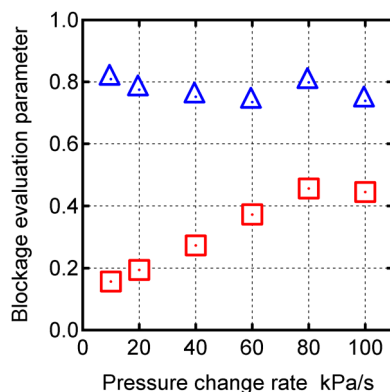


b) Ramp change

Fig.4 Influence of transient state on Blockage evaluation parameter (No blockage)



a) Sinusoidal change



b) Ramp change

Fig.5 Influence of transient state on Blockage evaluation parameter (High-side blockage)

価パラメータが十分に減少せず、詰まりを判別できない恐れがある。また、詰まり状態の評価パラメータ L はどちらの詰まり状態でも圧力変化の影響を受けないことがわかる。

4. 2 過渡状態における RMS

詰まり状態の評価パラメータが過渡状態の影響を受ける理由を解明するために、過渡状態での 3 つの RMS (詰まり状態の評価パラメータの構成要素) を調査する。Fig.4 と Fig.5 に示す実験結果における RMS を Fig.6 と Fig.7 にそれぞれ示す。定常状態では、詰まりが発生すると詰まりが発生した側の静圧の RMS のみが減少し、差圧の RMS は詰まりの進行とともに増加する特徴を持つ⁷⁾。

まず、詰まりのない場合 (Fig.6) に注目する。Fig.6-a では、圧力変化が速くなくても 3 つの RMS はほとんど変化しないため、詰まり状態の評価パラメータも変化しない。一方、Fig.6-b では、圧力変化が速くなるにつれて、高圧側圧力と低圧側圧力の RMS は増加するが、差圧の RMS は変化しない。高圧側圧力と低圧側圧力の RMS が増加しても、詰まり状態の評価パラメータの分子・分子の値の変化は小さいため、Fig.4-b に見るように詰まり状態の評価パラメータはほとんど変化しない。

つぎに、高圧側詰まりの場合 (Fig.7) に注目する。低圧側圧力と差圧の RMS は詰まりのない場合と同様であるが、高圧側圧力の RMS は圧力変化が速くなるにつれて増加することがわかる。ただし、高圧側には詰まりが生じているため、高圧側圧力の RMS は低圧側圧力の RMS よりもかなり小さくなる。また、高圧側圧力の RMS のほうが低圧側圧力の RMS よりも圧力変化が速くなった時の増加の割合が大きい。

たとえば Fig.7-b では、圧力変化速度が 10[kPa]から 100[kPa]になると、高圧側圧力の RMS は約 4 倍増加するが、低圧側圧力の RMS の増加は 2 倍にも満たない。これに対して、差圧の RMS は圧力変化によらずほぼ一定である。よって、高圧側の詰まり状態の評価パラメータ H では、分子に当たる高圧側圧力の RMS のほうが、分母に当たる残り 2 つの RMS の和よりも大きな割合で増加することになり、圧力変化が速くなるにつれて H は増加する。

さらに、詰まりによる RMS の増加と圧力変化速度との関係を調査するため、ランプ状変化 (Fig.6-b, Fig.7-b) に注目する。圧力変化速度 10[kPa/s]の場合は、詰まりが生じることで、高圧側圧力の RMS が 3.5[kPa]から 1[kPa]へと 70%以上減少するが、100[kPa/s]では 4.4[kPa]から 3.6[kPa]へと 20%程度の減少に留まる。したがって、圧力変化が速くなるにつれて、詰まりによる RMS の減少が抑制されることがわかる。そこで、RMS の算出の基となる測定間隔ごとの圧力階差が、詰まりによりどのような影響を受けるのか調査する。

定常状態における高圧側圧力の時系列変化を Fig.8 に、過渡状態 (圧力変化速度 60[kPa/s]) の場合を Fig.9 に示す。いずれも詰まりなしと高圧側詰まり (弁開度 5%) の場合を取り上げている。定常状態での測定圧力の階差を比較すると、詰まりのない Fig.8-a では 1~2[kPa]程度の階差が多いが、詰まりが生じている Fig.8-b では 1[kPa]未満のものが多く、よって、詰まりによって測定圧力の階差が減少していることがわかる。一方、過渡状態ではライン圧力の変化が圧力階差に含まれているため、詰まりが生じても圧力階差が定常状態の場合ほど小さくならないことを確認できる。したがって、圧力変化が速くなると、詰まりの有無によらず RMS が大き

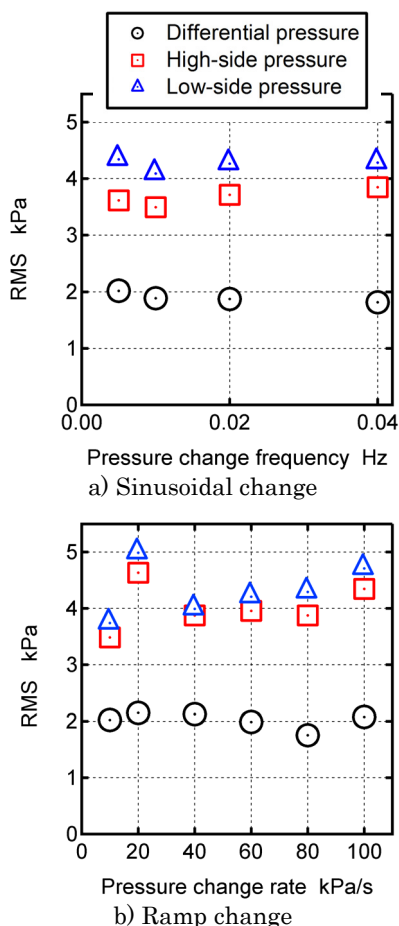


Fig.6 Influence of transient state on RMS (No blockage)

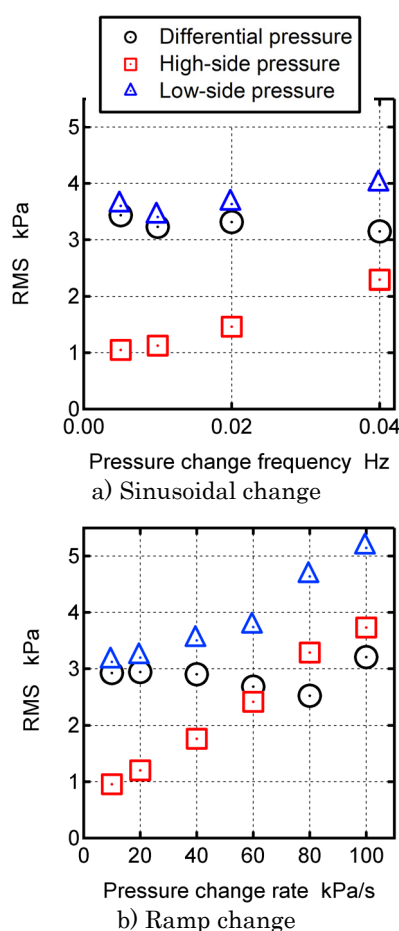


Fig.7 Influence of transient state on RMS (High-side blockage)

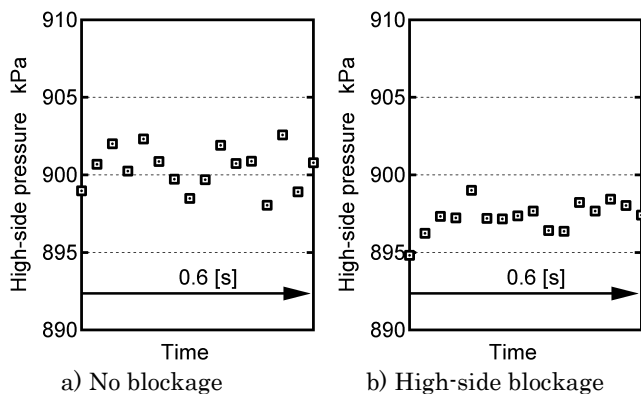


Fig.8 Fluctuation of high-side pressures in steady state

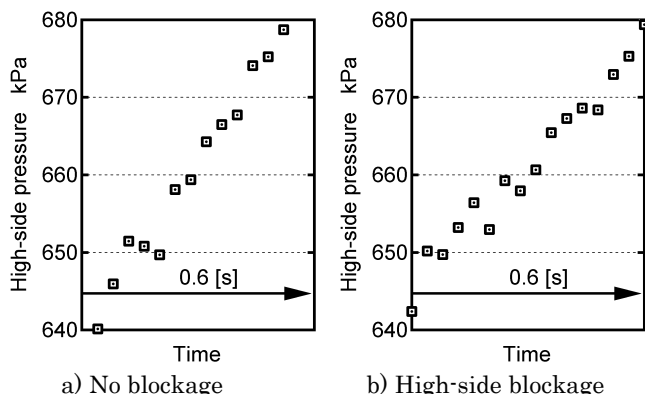


Fig.9 Fluctuation of high-side pressures in transient state

くなる。なお、正弦波状変化では1周期中にライン圧力の変化速度が大きく変化するため、ここで取り上げた周波数の範囲では、詰まりがない時のRMSの増加はほとんど見られない。

以上より、圧力変化が速くなると、詰まりが発生した際の詰まり状態の評価パラメータの減少量が少なくなるのは、測定間隔ごとのライン圧力の変化を揺動の一部と誤認識するためといえる。

4. 3 圧力変化速度の評価

前節にて、詰まり状態の評価パラメータがライン圧力変化の影響を大きく受けることを明らかにした。そこで、ライン圧力の変化速度を定量的に評価するため、新たにIPV (the Index of Pressure Variation) [kPa]を以下のように定義する。

$$IPV \equiv \sqrt{\frac{\sum (\bar{P}_{Hn} - \bar{P}_{Hn-1})^2}{N - (M - 1)}} \quad (4)$$

$$\bar{P}_{Hn} = \frac{1}{M} \sum_{k=n-(M-1)/2}^{n+(M-1)/2} P_{Hk} \quad (5)$$

ここに、 N : 全データ数、 M : 移動平均数、 P_{Hk} : 高圧側圧力の k 番目の計測値[kPa]。

IPVは移動平均処理により揺動成分を平滑化したライン圧力のRMSである。なお、移動平均数 M は、実験調査を通して121とした。

Fig.4とFig.5に示す実験結果を対象に、高圧側の詰まり状態の評価パラメータについて、IPVを用いて再整理した結

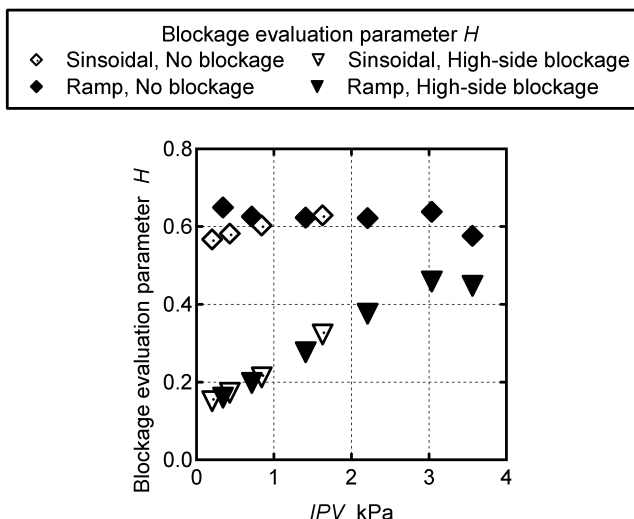


Fig.10 Relationship between Blockage evaluation parameter and IPV

果をFig.10に示す。正弦波状変化時の高圧側詰まり(白三角のプロット)とランプ状変化時の高圧側詰まり(黒三角のプロット)の詰まり状態の評価パラメータはIPVに対してほぼ線形に増加している。よって、IPVにより圧力変化速度の影響を定量的に評価できているといえる。また、詰まりによる詰まり状態の評価パラメータの減少量がIPVの影響を大きく受けていることもわかる。具体的には、IPVが0.2[kPa]程度であれば、高圧側詰まり時の詰まり状態の評価パラメータは約0.15になるが、IPVが3.7[kPa]の場合には0.45程度までしか減少しない。Fig.10から明らかのように、詰まりがない場合の高圧側の詰まり状態の評価パラメータは0.6を中心に±0.05程度の変動が生じるため、たとえば、詰まり状態の評価パラメータがその3倍である0.15減少した時に詰まりを認識するためには、IPVが2.0[kPa]以下の過渡状態であれば、詰まりを検出することができないことになる。なお、IPVが2.0[kPa]となるライン圧力変化は54[kPa/s]のランプ状変化に相当する。

4. 4 過渡状態での詰まり監視

本章での調査結果をもとに作成した過渡状態における詰まり監視のプロセスフローをFig.11に示す。はじめに5[min]の間測定圧力を取得し、ライン圧力の変化速度を評価するためにIPVを算出する。IPVが閾値以上であれば、圧力変化速度が大きいため詰まり検出を中断するというレポートをDCS(オペレータ)に通知し、再び測定圧力を取得する。一方、IPVが閾値以下であれば、詰まり状態の評価パラメータ H と L を算出し、それらが閾値以下になった場合に、導圧管での詰まり発生をDCSにアラームとして通知し、再び測定圧力を取得する。これは、FOUNDATIONフィールドバスに対応したフィールド機器では、異常が検出された時のみ機器より自動的にアラームをDCSに送信することができる特徴を生かすものである。また、 H と L がともに閾値以上であった場合には、詰まりのない正常な状態であると判断し、DCSへの通知は行わずに再び測定圧力を取得する。これにより、差圧伝送器での過渡状態にも対応した導圧管詰まりのオンライン監視が可能となる。

5. 結言

本研究では、FOUNDATIONフィールドバスに対応した差圧伝送器に導圧管詰まり監視機能を搭載することを意図して、導圧管詰まりのオンライン監視手法を実験調査を通して構築することを目的としている。既報にて明らかにした詰まり状態の評価パラメータは、詰まりにより圧力揺動が減衰することに着目するもので、運転動作点の影響を受けにくいという特長を持つが、本論文ではさらなる実用化のために、

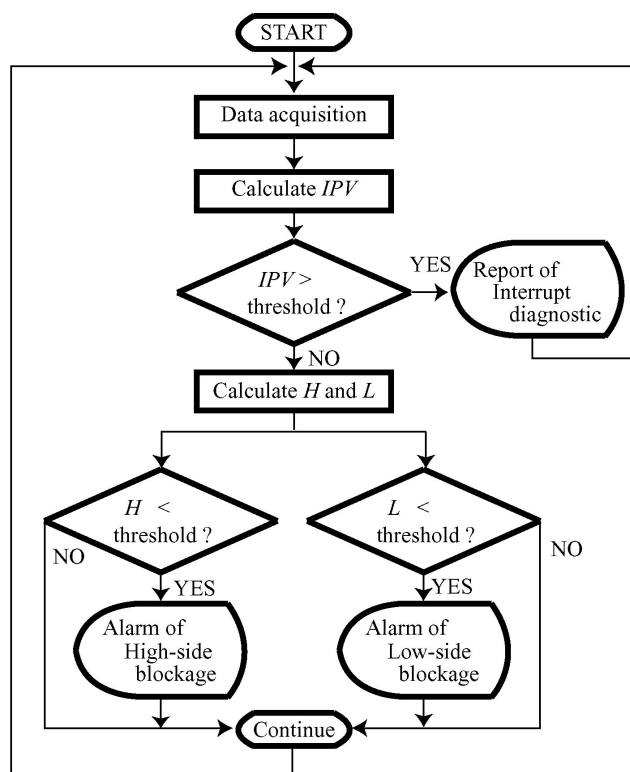


Fig.11 Blockage monitoring flow under the transient state

過渡状態にも対応した詰まり監視手法を明らかにした。

過渡状態での実験調査より、詰まりがない場合の詰まり状態の評価パラメータは過渡状態の影響をほとんど受けないが、詰まりがある場合には、圧力変化速度が上昇するにつれて検出が困難になることを確認した。これは、圧力揺動を評価するための測定圧力の階差にライン圧力の変化が含まれていることによる。そこで、ライン圧力の変化速度を定量的に評価するための指標として、IPV (ライン圧力の移動平均値のRMS) を定義した。その結果、以下のような過渡状態に対応した導圧管詰まり監視手法を構築することができた。まず、一定間隔で算出したIPVが閾値を超えている場合には、ライン圧力の変化速度が速すぎるために詰まり検出を中断するというレポートをDCSに通知し、IPVの評価を引き続き継続する。また、IPVが閾値以下であれば、詰まり状態の評価パラメータを用いて導圧管の詰まり検出を行い、詰まりを検出した時のみアラームをDCSに通知する。なお、本実験設備での調査ではIPVの閾値を2.0[kPa]としたが、これは54[kPa/s]のランプ状圧力変化に相当する。ただし、本論文ではランプ状変化時には圧力が変化している間のデータのみを対象としたが、他の場合と同様の時間のデータを対象として定常状態のデータも含めれば、詰まり状態の評価パラメータに対する過渡状態の影響が減少するため、詰まり検出が可能なIPVの上限、すなわち上記で2.0と定めた閾値は大きくなると考えられる。また、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の変化もあるため、今後のフィールド試験を通して調査を進めていきたい。

本詰まり監視手法によるならば、圧力変化速度に上限はあるものの、過渡状態での誤検出や検出漏れを生じることなく詰まりをオンラインで監視できる。よって、導圧管詰まり監視の適用範囲が広がり、より安全で効率的なプラントの運転が可能になるものと考えられる。さらに、供試差圧伝送器にソフトウェアを追加するだけで容易に実装できるだけでなく、詰まり監視を差圧伝送器上で自律的に実行できるため、DCS

の演算・通信負荷を増やすことがないという利点もある。ただし、本論文では、詰まり監視手法の評価は、プロセス流体を水に留めている。オリフィス式流量計は水以外にも、油、蒸気、ガスなどのプロセス流体でも多く使用されていることから、それらのプロセス流体への適用について、さらにはより多様な運転条件下での導圧管詰まり診断手法の有効性について調査する必要がある、今後の研究のなかで明らかにしていきたい。

[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, 菌田, 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, **53/55**, 58/59 (2003)
- 6) Eiji Taya, Hideki Kuwayama: Detecting Blockage in Process Connections of Differential Pressure Transmitters, Proceedings of the 34th SICE Annual Conference, **1605/1608** (1995)
- 7) 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)
- 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**, 13/18 (2004)
- 9) 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。日本機械学会学生会員。

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。