

フィールド機器診断の技術動向と 差圧・圧力発信器導圧管詰まり診断技術の開発

Technological Trends in Field Device Diagnosis and the Development of Blockage Diagnosis for Impulse Lines Connected to Differential Pressure Transmitters / Pressure Transmitters

株式会社 山武

田原 鉄也
Tetsuya Tabaru

株式会社 山武

青田 直之
Naoyuki Aota

キーワード

差圧・圧力発信器, フィールド機器診断, 導圧管詰まり, AT9000

近年、フィールド機器に対し、機器や対象プロセスをオンラインで監視、診断したいというニーズが高まっている。本稿ではフィールド機器のオンライン診断の概要と背景技術を紹介する。また、新たな診断項目として差圧・圧力発信器の導圧管詰まり診断の開発を進めているので、その原理と診断アルゴリズム、及び実流による実験結果を説明する。

Recently, there has been a growing need for online monitoring and diagnosis of devices and target processes for field devices. This paper presents an overview of online diagnosis for field devices and their component technology. Development is proceeding on blockage diagnosis for impulse lines connected to differential pressure transmitters / pressure transmitters as a new diagnosis item, and so this paper describes these basic ideas, diagnosis algorithms, and experimental results using actual flows.

1. はじめに

プロセス産業においては、プラントを安全かつ安定に操業するための様々な取り組みが行われている。そこには生産性を高く保つという要求もさることながら、企業の社会的責任という現代社会における要請も大きく背景としてある。しかし現実問題としては、運転員・保全員の減少や高齢化とあいまって、プラントにおける災害件数は年々増加傾向にある。例えば、高圧ガス保安協会の調査では、製造事業所における事故件数が2000年以降、一貫して増加していることが報告されている⁽¹⁾。

一方、FOUNDATIONフィールドバス（以下FF）やHARTをはじめとしたフィールドへのデジタル通信の導入が国内でも始まり、フィールド機器のインテリジェント化による、保全業務の効率化、プラント全体の情報化など多くのメリットがもたらされている。中でも、予知診断による状態基準保全(CBM: Condition Based Maintenance)への期待は高まりを見せている。本稿では、状態基準保全への貢献を可能とする調節弁の診断技術とあわせ、新たに開発した差圧・圧力発信器(以下、発信器)の導圧管詰まり診断技術の紹介を行う。

2. フィールド機器診断とデジタルネットワーク化

本章ではフィールド機器診断の基盤となるフィールドネットワーク技術、及びそれを利用した診断に対する当社の取り組みについて簡単に述べる。

2.1 ネットワーク技術、規格

従来のアナログ4-20mA伝送を利用したフィールド機器では、単一の値を単方向に通信するのみであったが、HARTやFFを中心とした各種フィールドバス規格の出現により、複数データを双方向にデジタル通信することが可能となった。これにより、インテリジェント化した機器が診断情報に基づいてアラーム発報したり、遠隔のホストシステムから機器状態の収集・監視が可能となり、保全業務の効率化に効果があらわれてきている(図1)。

また、ホストシステムからフィールド機器へのアクセスに関しては、専用のソフトウェアの使用から、EDDL (Electronic Device Description Language)やFDT/DTM (Field Device Tool / Device Type Manager)⁽²⁾の利用が増加してきた。FDT/DTMはホストシステムや利用するネットワークプロトコルに依存しないインタフェースを規定した国際規格である。DTMを採用することで、ハンディターミナ

ルによる表現を超えた複雑な画面構築が可能であり、グラフなどの機器診断に特化した機能を提供できる。フィールド機器の診断・管理において、重要な技術であると考えている。

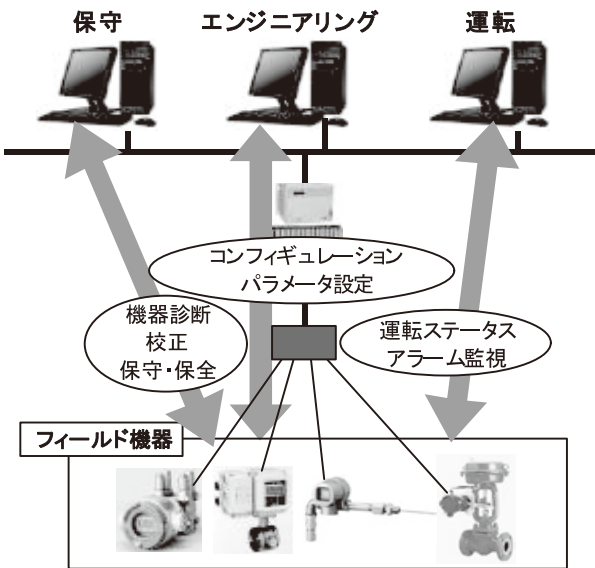


図1 フィールドのデジタルネットワーク化

2.2 山武における取り組み

当社においても、HARTやFFに対応したフィールド機器、コントローラなどの製品を展開している。ここでは診断の観点から、調節弁メンテナンスサポートシステム「Valstaff」について簡単に紹介する(図2)。

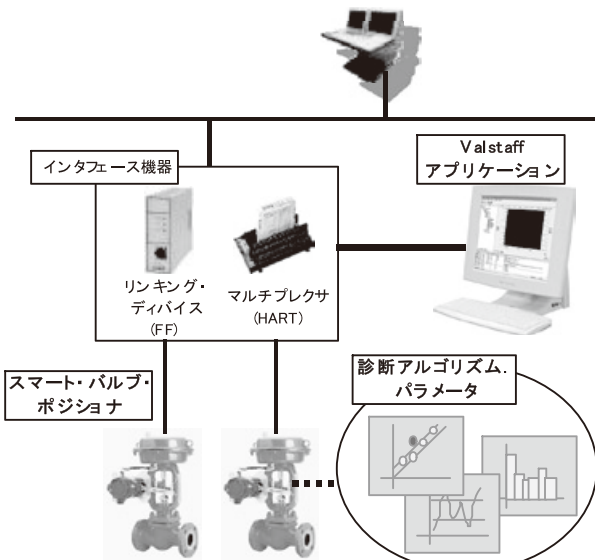


図2 調節弁メンテナンスサポートシステムValstaff

Valstaffは、HARTまたはFF接続により、当社製スマートバルブポジショナAVP3000 Alphaplusと組み合わせて使用される。ポジショナ内では調節弁の稼働状況にかかわる情報、例えば摺動距離積算値、全閉回数、スティックスリップ指標値などを逐次更新している。Valstaffは定期的に上記情報を収集・蓄積すると共に、保全員に対してビジュアル

に表現することで、調節弁に対するメンテナンスの意思決定支援を行うシステムである。

デジタルネットワーク化、及びその上での機器診断という観点から、お客様のValstaff活用事例が報告されつつあるが⁽³⁾⁽⁴⁾、このようなお客様との協働に研究開発のメンバも参加することで、既存の診断手法の高度化や新たな診断技術の開発に取り組んでいる。

3. フィールド機器の診断コンテンツ

前章で述べたようにフィールド機器診断の基盤は整備されつつあり、機器からデータや情報を収集、蓄積したり、それを元にアラームを出したりすることが容易になった。しかし、ユーザにとって重要なのは基盤そのものではなく、基盤の上で実行される診断コンテンツ、すなわち中味である。例えば前章で取り上げたValstaffの場合でも、提供する情報が調節弁の状態や稼働状況と関連の深いものであるからユーザのメリットになるのであって、そうでなければメリットはずっと小さいものになる。よって、診断コンテンツはインテリジェントなフィールド機器の差別化要素として、今後重要性がさらに増すものと考えられる。実際、各社とも様々な診断機能を開発してユーザに提供しており、その種類は近年ますます増加している。

当社においてもフィールド機器の診断コンテンツの充実を図るべく、開発を進めている。図3に診断コンテンツの例を示す。フィールド機器の電子回路や通信インタフェースの自己診断から、センサやアクチュエータの異常検知、測定・操作対象と機器間の接続部分、さらには装置が設置されているプロセスのように、診断の対象は機器の内部から外側へと広がりつつある。また、調節弁のようなアクチュエータに比べ、差圧・圧力発信器のようなセンサ機器では、フィールド機器そのものの故障だけでなく、その周辺の故障や異常もあるため、それらの検知や診断は非常に重要である。

	差圧・圧力 発信器	バルブ ポジショナ	電磁流量計	内部の 自己診断
機器内部の 回路部分	セルフチェック CPU異常、ROM異常			
	A/D変換部診断			
機器自身の 動作	センサ異常			■ ■ ■ ■
	ゼロ点校正履歴 過大圧	スティックスリップ 摺動距離積算 全閉回数 ゼロ点、偏差 内部温度異常		
機器とプロセス の接続部分	導圧管詰まり		空検知	▼ 機器の外側へ
対象プロセス	配管の漏洩、腐食、閉塞 異常振動			

図3 診断コンテンツの一例とその分類

次章ではその一例として、当社で新たに開発している導圧管詰まり診断について紹介する。導圧管は差圧・圧力発信器とプロセスを接続する部分であるが、この部分は発信器まわりのトラブルの多くに関係している⁽⁵⁾。導圧管に関す

るトラブルに対して当社ではリモートシールによる導圧管レス計装を提案しているが、様々な事情によりリプレースできず、導圧管を使い続けている箇所は未だに多い。そのため、リモートシール形発信器の開発だけでなく、導圧管の異常診断にも取り組む必要があると考えた。なかでも導圧管の詰まりは発生件数、発生した時の影響の大きさから検知することが強く望まれており、重要な診断コンテンツになると考えられている。

4. 導圧管詰まり診断

本章では導圧管詰まり診断の原理、診断アルゴリズムについて述べ、社内実験設備での実験結果を報告する。また、診断用DTMプロトタイプの開発についても触れる。

4.1 詰まり診断の原理

提案する手法は、発信器で測定される流体圧力の微小な上下動の速さが、導圧管の詰まりにより低下することを利用している(図4)。この原理を採用するメリットとして、圧力や流量などの条件によって診断のしきい値を変える必要性が小さいことがある。これは圧力等が変化しても、上下動の速さが大きく変化しないことによる。

以下、原理をより詳しく説明する。プロセス流体の圧力は通常、不規則に上下動している。流体が乱流状態にある場合は流体内の圧力分布が不規則に変化するので、流れのあるプロセスの多くではこのような振舞いがあるとよい。この上下動の振幅は圧力値に比べれば微小といえる程度だが、発信器の圧力センサであればその動きを十分捉えることができる。また、乱流に起因する圧力の上下動は不規則な現象である。そのため周波数解析をしても、特定の周波数だけを含むのではなく、低周波から高周波まで様々な周波数の上下動を含んでいる。

正常時、すなわち導圧管に詰まりがない場合は、プロセス配管の流体圧力がそのまま発信器に伝わる。そのため、圧力の頻繁な上下動が発信器で観測できる。しかし、導圧管が詰まると挙動が変化する。詰まった導圧管のように管路中に細い閉塞区間がある場合、この区間は圧力に対する一種のローパスフィルタとして作用する。そのため、周波数の高い上下動は閉塞区間を通過する際に振幅が減少する。一方で、比較的周波数の低い上下動は閉塞区間を通過しても振幅の減衰幅が小さい。その結果、周波数の高い上下動の割合が相対的に低下するため、検出される上下動は滑らかでゆっくりしたものになる。

この手法の長所は最初にも述べたように、圧力の変化に対する依存性が低いことである。圧力上下動の振幅はその時の圧力値に依存し、圧力が高ければ振幅も大きく、低ければ小さくなる。そのため、導圧管の詰まり診断に用いるためには、圧力値に応じてしきい値を変えたり、正規化するといったことが必要になる。一方、上下動の速さはその振幅とは独立した特性である。圧力の変化に対する上下動の速さの変化量は、振幅の変化量に比べ小さい。そういう点では導圧管詰まり診断に有効な特徴量の1つと考えられる。

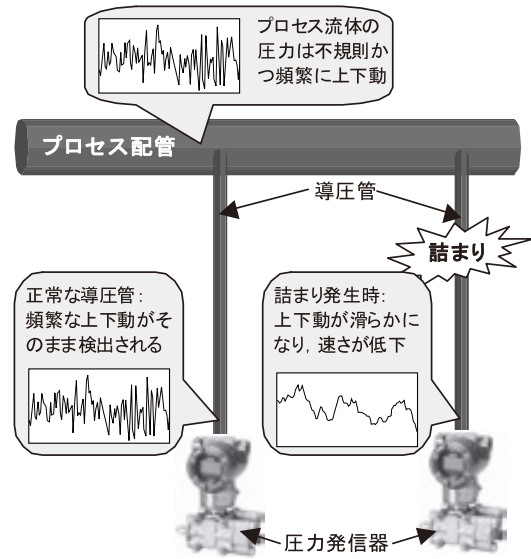


図4 導圧管詰まりによる圧力上下動の変化

4.2 診断アルゴリズムの開発

4.1で述べた原理に基づき、診断アルゴリズムを開発した。アルゴリズムの開発にあたっては、オンラインで実行できるように、できるだけシンプルで処理が軽くなるようにした。例えば、FFT(高速フーリエ変換)による周波数解析は圧力値の精密な分析を可能にするが、比較的長時間かつ大量のデータを必要とし、どちらかといえばオフラインでの解析に向けた手法である。これに対し、開発したアルゴリズムは圧力センサ値の上下動回数をカウントするものであり、比較的単純な演算だけで構成されているため、オンライン診断に向けた手法となっている。以下、アルゴリズムについて順を追って説明する。

まず、圧力センサ値をサンプリングする。次に、サンプリングして得られた圧力値の時系列を一定点数の区間に区切り、区間毎に上下動検出の基準値を決定する。基準値としては圧力センサ値の平均値や中央値などが利用可能である。基準値が決定したら、各区間で圧力センサ値が基準値を横切った回数をカウントする(図5)。

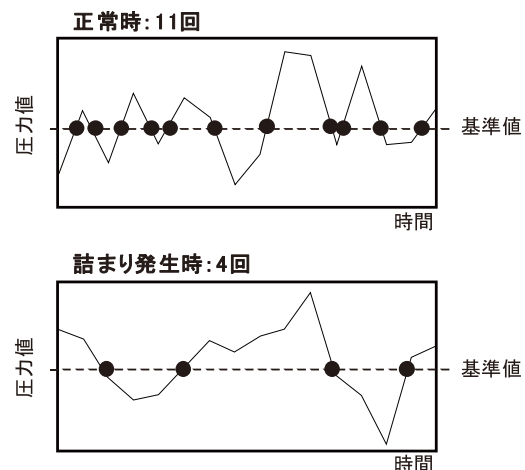


図5 圧力上下動の計数

ここまでで各区間の上下動回数が得られるが、流体の圧力は不規則な挙動をするので、この回数は区間毎にバラツキがある。これは正常時、詰まり時、いずれの場合にもあてはまる。そのため、一区間の上下動回数だけでは詰まりの判定は難しい。そこで、ある程度の数の区間を集め、上下動回数の集合平均を取る。こうすることでバラツキが小さくなり、詰まりの診断が可能になる。

実際には次式のような指標を算出することで、上下動回数のバラツキの影響を抑えている。

$$\frac{\sum(\text{各区間の上下動回数})}{(\text{区間数}) \times ((\text{区間サンプル点数}) - 1)} \quad \text{式(1)}$$

なお、この指標は0から1の範囲の値をとるようになっており、正規化された指標となっている。こうすることで、一区間あたりのサンプル点数が異なる場合についても比較が可能となる。

4.3 実流実験の結果

診断アルゴリズムの妥当性を検証するため、水を流体として実流実験を社内で行なった。実験設備の概略図を図6に示す。オフィスから発信器までは導圧管代用の樹脂チューブにより接続した。詰まりの模擬は内径を絞った試験流路(ステンレス製)を作成し、これをチューブの途中にはさみ込むことで行なった。この試験流路を用いることで、様々な程度の閉塞を再現性良く実現できる。また、試験流路を挿入する位置を変えることで、詰まりの位置を変えた場合の実験も比較的容易に実施可能である。本実験ではこの試験流路を高圧側(上流側)、低圧側(下流側)双方の導圧管に挿入した。よって、両側詰まりの模擬となる。また、差圧の違いによる影響を調べるため、差圧が16kPaの場合(流速は1.00 m/s)と6kPa(同0.63 m/s)の場合の2通りで実験を行なった。

図7は4.2で説明した詰まり指標<式(1)>の値を、正常時と模擬詰まり挿入時とで比較したグラフである。模擬詰まりによって指標値が低下したことを確認した。また、指標値は差圧によって多少差異はあるものの、その違いは比較的小さく、実験した2通りの差圧において、同じしきい値で判定できることを確認した。例えば図7の場合、しきい値を0.30~0.35に設定すれば、いずれの差圧でも詰まりの判定が可能である。

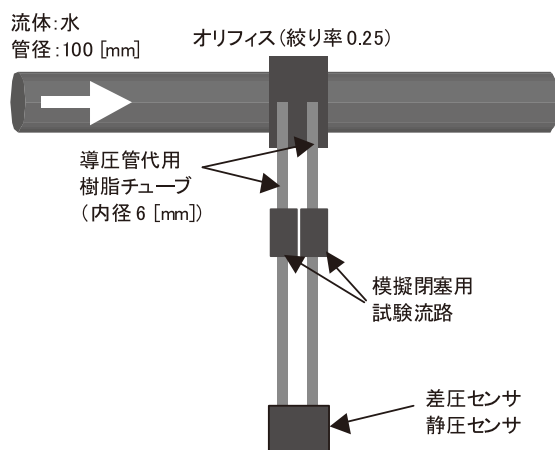


図6 実流実験設備 概略図

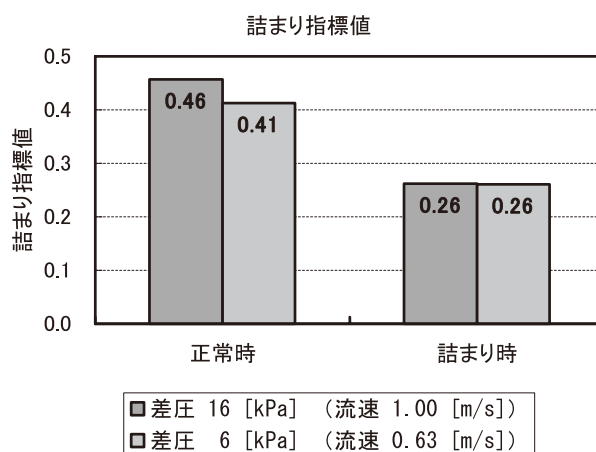


図7 詰まり指標値の比較

なお、この結果は差圧発信器によるものであるが、圧力発信器による実験でも同様の結果を得ている。以上のように、社内での実流実験を通じ、開発した診断アルゴリズムの妥当性を確認した。また、異なる差圧やライン圧でも同じしきい値で詰まりを判定できることを確認した。広い範囲の差圧やライン圧を単一のしきい値でカバーすることができれば、本手法の大きな特長になりうると考えられる。

一方、実験の結果、上下動を検出するためのサンプリング周期が手法の性能に影響することも明らかになった。長すぎるサンプリング周期では上下動が検出できないのは当然だが、短いほど性能が向上するわけではない。対象となる圧力の上下動間隔に比べて過度に短いサンプリング周期では、上下動が適切に検知できず、正常な状態と詰まり状態の区別が困難になるケースがあった。また、流体条件や適用するプロセスによっても適切なサンプリング周期が異なる可能性がある。圧力センサ値のサンプリング周期・方法については今後も研究を進めていく予定である。

4.4 導圧管詰まり診断用DTM

アルゴリズムの開発と合わせ、導圧管詰まり診断用DTMのプロトタイプを開発した(図8)。本DTMでは、複雑なGUI構築が可能というDTMの利点を活用し、発信器から収集した診断データを様々な観点から分析するためのプロット機能などを実装した。各診断コンテンツに特化した可視化機能や分析機能をユーザに提供できる点は、DTMのメリットの中でも特に重要なものと考えられる。

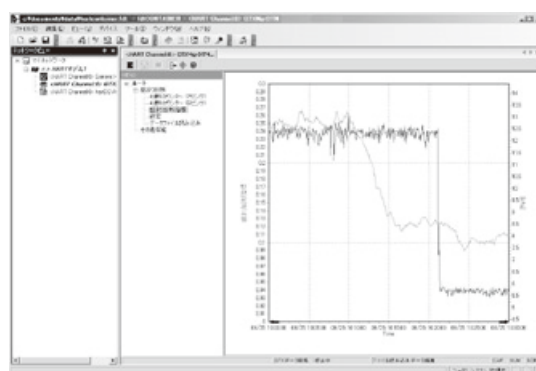


図8 診断用DTMプロトタイプ 画面例

5. おわりに

本稿では、フィールド機器診断に関連するデジタルネットワーク技術の概要と当社のこれまでの取り組み、及び新たに開発した差圧・圧力発信器の発信器の導圧管詰まり診断技術について説明した。開発した導圧管詰まり診断手法は、発信器で検出される圧力の微小な上下動の回数に着目したもので、その回数が詰まり発生時に減少することを利用している。この現象を利用した診断アルゴリズムと診断指標を開発し、複数の社内設備で実験による検証を行った。その結果、圧力や流量の条件が変わっても、提案した指標値の変化が比較



図9 AT9000 Advanced Transmitter Model GTX

的小さいことを確認した。今後、さらなる検証が必要ではあるが、運転条件によってしきい値を切り替えなくとも導圧管の詰まりを診断できるような、扱いやすい手法になると考えている。なお、この詰まり診断機能の一部は2010年春に発売予定のFF版AT9000 Advanced Transmitter Model GTX (図9)に搭載される予定である。

今後はお客様の実プラントにおける検証を実施し、導圧管詰まり診断手法の検証や改良を進めていく予定である。また、他の診断コンテンツに関しても、対象フィールド機器の拡大や診断項目の拡充を進め、お客様のプラントにおける保全業務の効率化、及び安全と安心に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- (1) 高圧ガス保全協会編:高圧ガス事故統計資料・最新の高圧ガス事故集計グラフ(平成10年又は平成17年～平成20年12月), http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/jiko2012graph.pdf
- (2) <http://www.fdtgroup.org/>
- (3) 西村泰治:FOUNDATIONフィールドバスの有効活用に向けて, 計装, Vol. 52, No. 5, pp. 17-20(2009)
- (4) 喜多井剛志:デジタルフィールドソリューションへの取り組み, 計装, Vol. 52, No. 5, pp. 51-55(2009)
- (5) 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, Vol. 42, No. 2, pp. 32-36 (1999)

商標

Valstaffは株式会社 山武の登録商標です。
HARTはHART Communication Foundationの登録商標です。
FoundationTMはFieldbus Foundationの登録商標です。

著者所属

田原 鉄也	研究開発本部 コアテクノロジーセンター
青田 直之	研究開発本部 コアテクノロジーセンター

