

# 操作端診断におけるフィールドバス技術の有用性

工業システム事業部

石塚 光正  
Mitsumasa Ishizuka

## キーワード

操作端, コンディショナル・メンテナンス, 機器間通信, オンライン診断

操作端の診断を実施する場合, フィールドバスで利用できるネットワーク上の機器間通信技術を利用することが, オンライン診断を低コストで実現できる方法であることを, 操作端診断技術と合わせて報告する。

## Utilities of Fieldbus Technologies in Actuator Diagnosis

Fieldbus provides interdevice communication among connected devices. Use of this communication technique is one which would enable on-line diagnosis of actuators at a low cost. The on-line diagnosis technique is also discussed.

### 1. はじめに

プロセス制御で使用される操作端は, 制御における最後の砦としてかねてよりその重要性が認識され, プロセスを長期間安全かつ安定して操業するためにその健全性維持が重要とされている。健全性維持をより低コストで実現する手法として, 操作端の状態を評価しながら機能維持が実現できる状態保守(コンディショナル・メンテナンス)が強く求められるようになってきている。しかし現状ではあらかじめ期間を定めて, 健全性を確認・維持していくレベルの保全活動が一般的であり, いわゆる期間保守(ピリオディカル・メンテナンス)が保全方法としての大勢を占めている。保全方法を状態保全に変革していくためには, 操作端が稼働状態の中で診断できるオンライン診断技術が必須である。そこで本稿では, フィールドバス計装を用いることで低コストで実現できる現場機器の状態診断を, 操作端(調節弁)のオンライン診断を主体に説明することで, プロ

セスの長期安全操業維持に対してどのようにフィールドバス計装が活用できるか示すこととする。

### 2. 安全・安定操業維持活動の現状

プラントの安全・安定操業維持のために大きく分けて下記3つの活動がある。1) 日常の巡回点検活動 2) プロセス状態の監視活動(運転状態監視) 3) 機器管理活動(定期, 不定期いずれにおける機器保守を含む)この3つの活動では, 1) および 2) が操業状態の確認と万一異常が発生した場合, 異常発生箇所の早期検知(発見)と早期対応の実施であり, 3) は機器健全性の維持である。この活動の連鎖は, 1) および 2) の活動が, 主として健全性確認活動となり 3) で行った管理活動の結果をチェックしている行動であると言える。また 3) に示した機器管理活動は次に予定されている機器管理活動までの間, 機器が正常動作を維持するために, 事前に機器の健全性のあるレベルまで高めておいて試

用期間によって発生するかもしれない機器劣化がプラントの安全・安定操業に影響を与えないために予防的な措置を事前にとる手法(期間保守)として行われていると考えられる。すなわち、現状行われている安全・安定操業維持のための保守活動はPlan(期間保守の計画)、Do(定期保守の実施)、See(日常の監視)の3要素が組み合わされて実現されており、保守活動の低コスト化を考える場合に、それぞれの要素にどのような効果が期待できるか検討する必要がある。とりわけプラントの現場で実際にプロセスと接して使用される機器の中で、回転機器と調節弁は機械的稼働部があるうえに、その稼働部がプロセスエネルギーを直接受けている部分から外界(大気中)へ繋がっていることから、重要な保守対象および健全性確認対象とされている。参考として図.1に調節弁に関わる点検と発見できる異常の関係を示す。

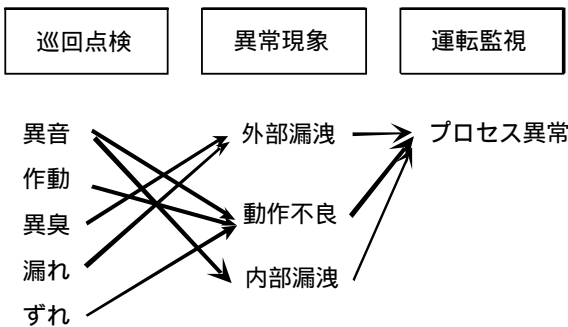


図.1 点検と異常現象

### 3. 期間保守から状態保守への転換に必須の技術

期間保守を行っている背景には、安全・安定操業維持に必要なとされる各機器の健全性レベルが定量的に把握しにくいいため、過去の状況分析ないし実績を基準に予防期間を定めざるおえない側面がある。したがって、期間保守を状態保守へ転換していくためには機器の健全性レベルを操業状況と合わせて定量的に評価する手法が必要とされることとなる。現在プラントで多く用いられているスマート形現場機器には自己診断機能が多く搭載されているが、これら自己診断機能は機器自身にあらかじめ設定されている評価基準と比較して現在の状況に問題がある場合を異常と判定して通知する機能である。したがって、異常が発生した場合の検知機能であり前述の健全性レベルを使用されている条件(操業状況など)から評価して今後の傾向を判定するものではない。つまり、状態保守へ転換するための最大要因として、機器自体が稼働状態を評価して今後の傾向を判定することが必須となる。この傾向評価をするためには機器の状態を正常と判断される状態を機器の使用状態を加味して数式化するためのモデリング技術が必要とされる。つまり、機

器の状態を使用状態を変数として組み込める関数化を行う必要が出てくる。図.2に、ここで示した検知と診断の概念を示す。

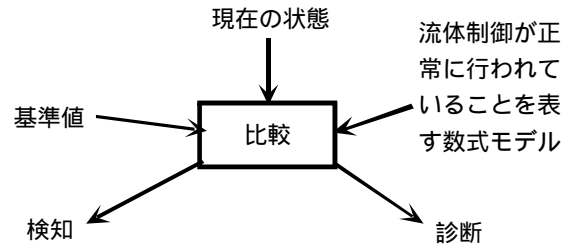


図.2 検知と診断の概念

図.2に示したように、検知と診断では、検知が機器があらかじめ設定されている基準から外れたことを知ることであり、一方診断はプロセス条件を変数として取り込みながら、想定(モデリング)された状態とどれくらい偏差があるのか定量的に評価することが可能となる。

### 4. 機器の維持管理活動を低コスト化する必須の技術

先に現在の保守活動を3つの活動に大別し、それぞれの活動が相互に補完し合う形で現状の保全活動が進んでいることを述べた。低コスト化する方法もその3つの区分にしたがって次のように捉えることができる。a)稼働状態での機器異常検知(いわゆる自己診断) b)制御情報(たとえばプロセス流量)と自己診断結果の同時伝送による点検項目の削減 c) 不必要な保守活動を削減する、状態評価結果による状態管理そして4番目として、これらの情報処理が、診断や評価のための特別な機器を設置しなくてもすむ(余分なコストを発生させない)計装手法。つまり、1) プロセス計測値と自己診断結果を同時に伝送する。2) プロセス状態を知るために本来そのプロセス制御を行うために設置されている他の現場機器が計測している値を入手することが可能である。3) 機器自体に傾向評価を行うための演算機構(アルゴリズム)が搭載されている。といった3つの条件が同時に成立していれば、診断のために余計なコストを発生させることなく、状態診断が実現できると考えられる。1) および 3) は機器の機能そのものの開発となるが、2) で示したプロセス情報の入手については計装方法に変革がないと容易に実現することはできない。そこで、フィールドバスによるネットワーク上の機器間通信が重要な意味を持つことになる。すなわち、フィールドバスを計装手法として用いたうえで、前述した傾向評価するためのアルゴリズムが開発されれば、低コストで期間保守から状態保守へ転換できるようになるわけである。今操作端の診断を行おうとすると、操作端にかかっている負荷(流量や圧力)をプロ

セス情報として取り込む必要がでてくる。図.3にフィールドバスにより実現できる機器間通信によるプロセス情報を利用した操作端診断の計装概念を示す。

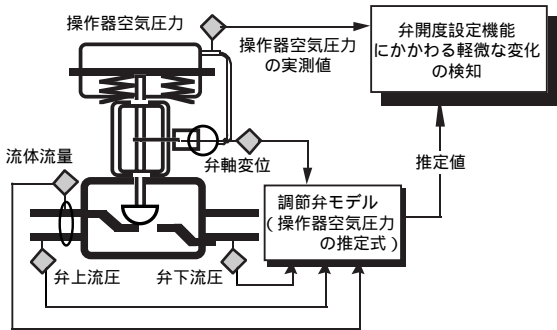


図.3 調節弁傾向評価の計装方法

### 5. 状態評価のためのモデリング技術の現状

前述までにフィールドバスを用いることで状態保守が低コストで実現できることを示したが、もっとも肝心な機器の状態評価技術がどのレベルまで来ているか説明することとする。先に現場機器の中でも回転機器と操作端（調節弁）の保守が非常に重要であることは述べた。そこで、調節弁のモデリング方法とその評価結果を示すこととした。弊社では、操作端の操作器、本体部の動作機能診断については、本体内部を通過する流体の弁軸におよぼす影響を考察すること、異常動作時の弁開度の挙動の特徴をとらえることにより、プロセス運転中における、操作器、本体部の動作機能にかかわる変化を対象とする2つの診断手法を得たので以下にその概要と試験結果を示す。

### 6. 操作端の状態評価

操作端の診断については、診断のための操作入力を与え、操作端の動作機能を診断する手法がすでに提案されている。この診断手法は、プロセス停止時の実施を想定したオフライン診断となっている。これに対し、ここで示す評価手法は、診断のための外乱を与えることなく実現できる、プロセス運転中の動作機能の診断を想定した、オンライン動作評価手法である。

#### 6.1 弁軸に作用する流体力のモデリング手法

操作端の本体内部の流体の流れを図.4のように仮定し、本体内部を通過するプロセス流体の運動量を考えると、弁軸に作用する流体力は、プラグ周辺の流体圧力による力と、弁上流部と縮流部間の流体の運動量変化による力との和に等しいと考えられる。また、ヘッドの損失（圧損）は縮流部から下流部へ至る急拡大の過程でのみ発生し、急縮小に

伴う損失はないものと仮定したうえで、流体力と、プロセス流体の圧力、流量との数式化を行えば、調節弁の弁軸に作用するモデリングを行えることとなる。操作端においては、プロセス条件に変化がないにもかかわらず、弁軸に作用する運動量が変化することは、エロージョンや流体の堆積などにより弁縮流部の状態が変化してきていることを示すことと考えている。

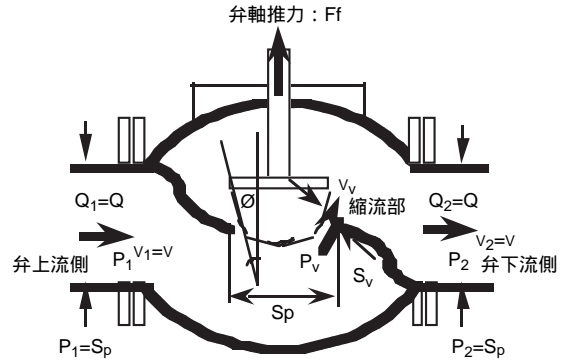


図.4 調節弁本体内部流れの模式図

#### 6.2 スティックスリップ発生による弁動作機能不全のモデリング手法

操作端の動作機能不全の原因の1つであるスティックスリップ（付着 滑り）現象を、弁開度を監視することで評価する手法として捉える。スティックスリップは従来より図.5のような原理の装置を用い分析されており、摩擦振動とも呼ばれている。このような分析においては、スティックスリップを発生させる要因は、図.6に示したような、接触摺動する2つの物体の摺動面に作用する摩擦力（静摩擦力、動摩擦力）と、物体が物体の上を滑る際の滑り速度との関係であるとしている。操作端においても、図.6のような摩擦力を仮定し、シミュレーションを行うと図.7に示したようにスティックスリップの発生を確認できる。また、弁軸に関する運動方程式と、図.6の摩擦力の仮定から、付着状態から滑り状態となった時の弁開度の挙動をモデリングすることができる。付着状態から滑り状態となった時の弁開度の挙動を図.7および図.7の拡大図に示す。操作端において、バッキン劣化、潤滑油消耗、異物混入、高温下における金属摺動面の活性化などにより、このようなスティックスリップが発生すると考えている。

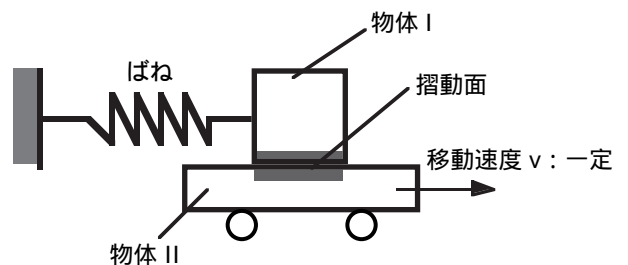


図.5 スティックスリップの原理

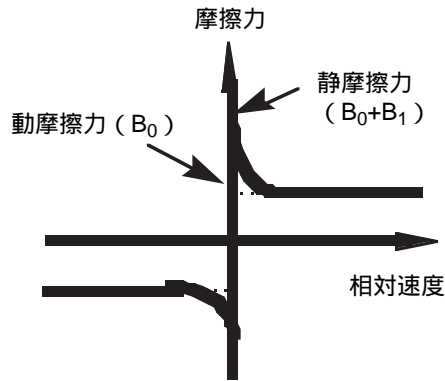


図.6 摩擦力の挙動

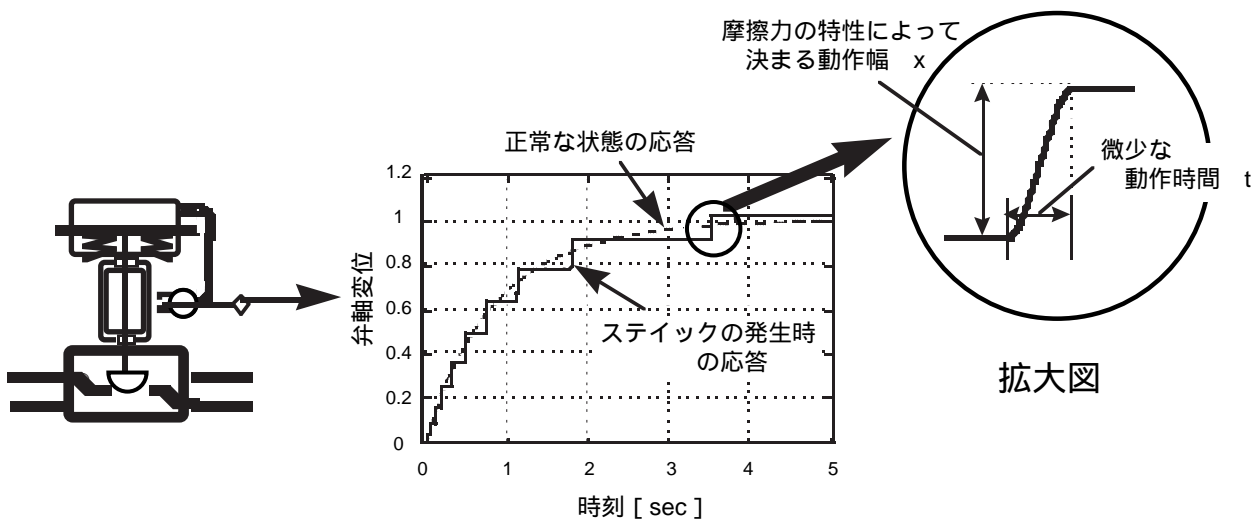


図.7 弁開度の挙動

7. 状態評価の検証

弁軸に作用する力のモデリングを利用した弁開度設定機能の健全性診断手法について、検証した結果を図.8に示す。(a)は流体力を考慮しない場合、つまり操作器空気圧力を弁開度の計測値のみで推定した場合の検証結果であり、(b)は流体力を考慮する場合、つまり本診断手法を適用し、弁開度、プロセス流体の圧力、流量の計測値に対して操作器空気圧力を推定した場合の検証結果である。図.8の(a)、(b)において、+は弁開度設定機能が健全な調節弁におけるデータ、\*は弁開度計測のための部位の取り付け状態を変化させて、操作器、本体部の動作機能にかかわる部位に人為的な変化(外乱)を生じさせた場合のデータである。また、図.8における破線は、健全な調節弁における、操作器空気圧力の推定値の誤差を表している。つまり、この誤差が小さいほど、診断精度が向上し、操作器、本体部の動作機能にかかわる部位の、より軽微な変化を捉えることができる。また、本診断手法は、検証実験において、操作器、本体部の動作機能にかかわる部位の人為的な変化を分離弁別している

ことがわかる。スティックスリップ発生による弁動作機能不全のモデリングについて、検証した結果を図.9に示す。xは弁動作機能が健全な調節弁、\*は人為的にスティックスリップを発生させ弁動作機能を不全とした調節弁に関する検証結果である。図.9の破線は、本検出手法において計算される特徴量の下限值を表している。計算される特徴量はこの破線以下には存在しない。また、弁動作が滑らかであれば、計算される特徴量の値は破線に近くなる性質がある。検証実験における特徴量の値は、図.9に示したように、弁動作機能が健全な場合には破線近傍となった。一方、スティックスリップが発生して弁動作機能不全となった場合には、特徴量の値は破線近傍から外れていた。つまり、本検出手法は、検証実験における弁動作機能不全の状態を分離するとともに、弁動作機能が健全な調節弁において安定した結果となったと判断できる。

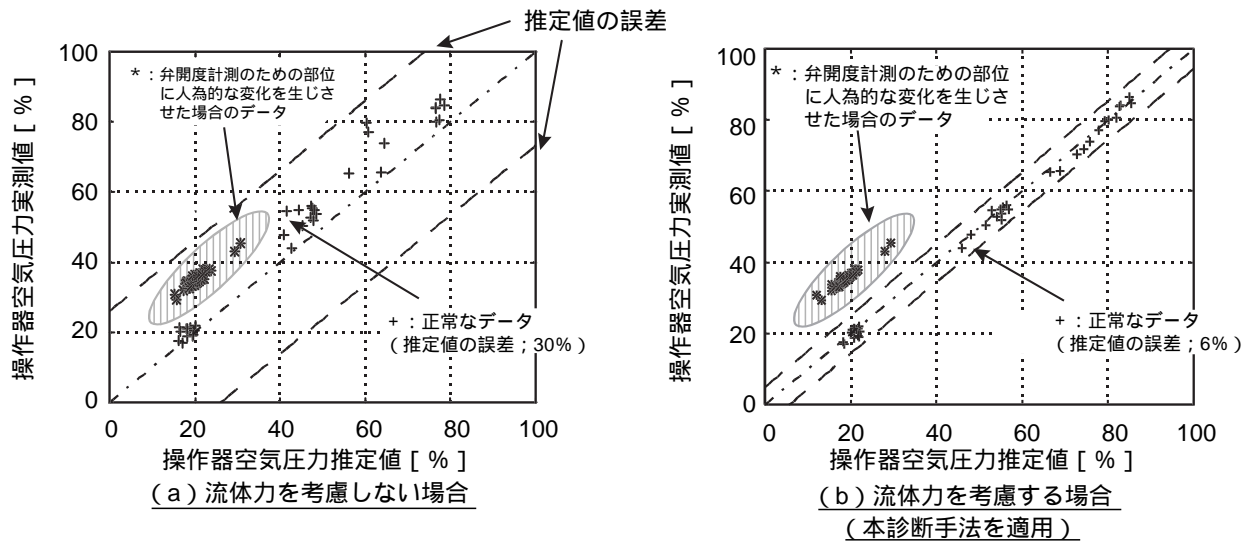


図.8 流体力モデリングの検証

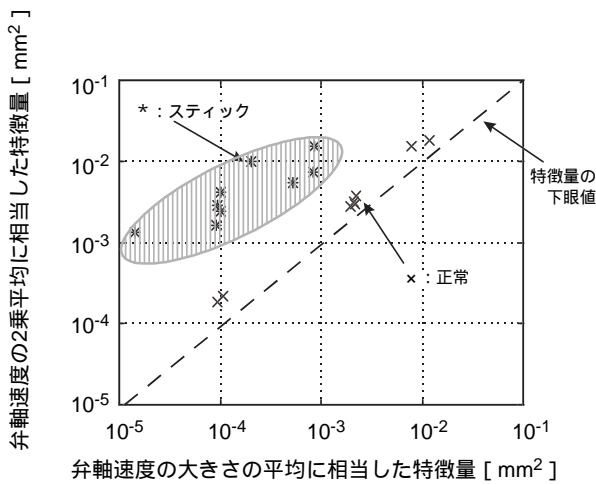


図.9 スティックスリップモデリングの検証

### 8. 実機への搭載

フィールドバス対応機器へ実際に先に述べてきたようなアルゴリズムを搭載する機器として現在フィールドバス対応ポジションナの開発を進めている。図.10に示すポジションナは現状の4~20mA信号やフィールドバス信号に対応できるマイクロプロセッサ搭載のスマート形ポジションナであり、弊社の調節弁はもとより他社の調節弁に搭載しても多くの機能を発揮することができると考えている。本稿にて説明した状態評価の各モデリング手法は開発当初より小形の現場機器に搭載可能なアルゴリズムを目標としており、CPU(マイクロプロセッサ)資源に限界がある現場機器でも十分に搭載可能であると判断している。しかし、この種の状態評価方法は実際に機器を使用するユーザの個別特徴や経験則を反映することで、状態診断に利用できる情報としての信頼性を高めていく必要があることを機器提供者として忘れてはならないことだと強く認識している。

### 9. おわりに

フィールドバス自体は信号伝送の一形式であるがその計装がもたらすものは従来コストが多大にかかり諦めていたような状態評価も低コストで実現できる計装をもたらしてくれる。本稿が今後の保守活動を考察している多くの方々にとって少しでも役立てばと願う次第である。



図.10 スマートバルブポジションナ