

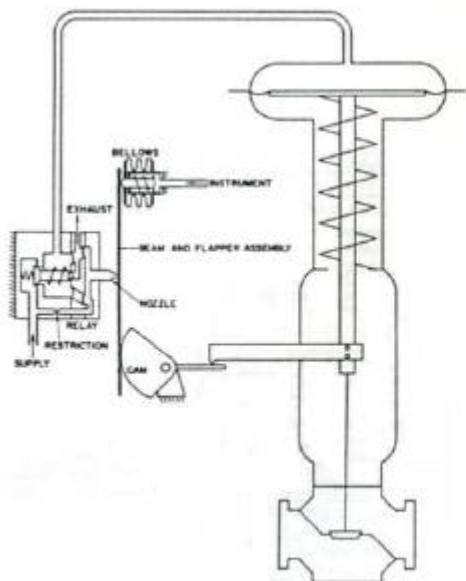
【整番】 FE-20-TM-011	【標題】 制御弁ポジション不安定 (ISA RP75.18)
分類：流れ(流れ不安定)／種別：技術メモ	作成年月：H17.1／改訂：Ver0.0 (H19.5)

作成者：N.Miyamoto

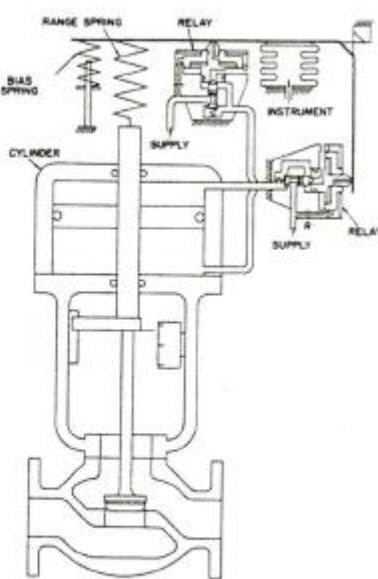
全7枚

コントロール弁の不安定はしばしばハンチングという言葉でくくられるが、実際にはいくつかのパターンが存在している。そのなかでポジション不安定は内部の流体力が関与した現象でしばしばトラブルの種になる。ISA RP75.18⁽¹⁾はこの不安定現象について概念的な定義と手引きをあたえており、現象の理解に役立つ。以下、この指針を要訳してその内容を紹介する。

(制御弁の不安定に関する情報は、早晚【FE-20-TM-010 制御弁不安定に関する情報】でまとめたい。)



Spring-diaphragm Actuator with positioner
システム図



Piston Actuator システム図

* * * * *

1. 範 囲

この指針は、制御弁システム位置の機械的不安定を定義し、その計量基準を与えるものである。これ以外の制御弁及び制御系に係わる不安定については範囲外である。

2. 目 的

本書は、ユーザーがバルブの不安定な動作を認識しこれを定量化して診断する際に、役に立つようになされている。更に詳しくは末尾の要約付き参考書目を見て欲しい。

3. 定 義

3.1 ポジション不安定は、制御出来ないバルブトラブルのことを指している。この現象は流体力がポジションの力と干渉して起こる。制御信号とは矛盾した執拗な繰り返し動作であり、不感帯^(*1)やヒステリシス^(*2)によって生じる静的な作動逸脱ではない。

3.2 制御ループ不安定は ループ のゲイン^(*3)が過剰になって起こるフィードバック制御系の規則的な揺らぎである。それは外部擾乱とは関係しない。

3.3 流量不安定(bistable flow)^(*)4)はバルブポジションとは関連なく起きる制御弁流量の唐突な変化で、バルブ絞りにおける流れの壁面付着の変動、フラッシングあるいはキャビテーションによって起きる。

3.4 ハンチングは、ポジショナーがセット位置に落ち着く際に、摩擦によって生じる連續した繰り返し動作である。

4. 考察

4.1 3.1で定義されるポジション不安定は、バルブの可動なトリム(要部)に流体が作用して生じる即座の[フォース/トラベル]勾配がアクチュエータの剛性を越える時に起こる。特に flow-to close^(*)5)で然り。電気・機械及び油圧式のアクチュエータは固有の剛性をもっているので、機械的なバックラッシュ^(*)6)がある場合を除いて、ポジション不安定になることは稀である。これに比べ圧縮性流体に依存する空気式アクチュエータはポジション不安定に敏感である。しかし空気式アクチュエータの剛性はその設計や適用によって大きく変わり機械ばねの割合、内部のガス密度(圧力)及び風袋(間隙)容量がすべてその剛性に寄与する。

4.2 フォースの解析には以下の次項が含まれる。

- 【1】閉止弁体(valve closure member)の有効な非平衡面積越しに作用する流体差圧
- 【2】スライディングステムバルブのシステム(弁軸)面積に作用する流体静圧
- 【3】渦列、衝撃、乱流、キャビテーション及びフラッシングなど流速に伴うバフェティングフォース^(*)7)
- 【4】アクチュエータの機械バネ、空気バネ及びこれに対応する空気圧
- 【5】パッキング(グランド部)など機械的インターフェースによって生じる摩擦力

4.3 下記の場合、流体力は不安定を助長する傾向がある。

- 【1】差圧が、アクチュエータによる力に抵抗または助長するように揺動し変動する時
- 【2】バルブトリムの有効な非平衡面積が急激に変化する時
- 【3】密度変化する混相流がバルブに流入する時
- 【4】流体力が2相スラグ流れあるいは下流のフラッシングやキャビテーションで揺動する時

4.4 フォース勾配や潜在的な不安定を解析するため幾つかの方法が使用される。制御弁技術の開発過程にあって安定性解析法に何ら特定のものは存在しないが、ガトとしての参考書目とその要約を紹介する。

4.5 閉止弁体や圧力均衡用通路の設計の弱点から不安定運転になることがある。完全ないし部分的压力平衡を狙って設計された閉止弁体では、流体力変化量が低い圧力差を上回り、不安定に対して特に敏感になる。力の逆転は圧力均衡設計ではまれではない。圧力均衡した閉止弁体がその有効表面で十分な均分された圧力分布を持つように注意深い配慮が要る。

4.6 流れに関係しない幾つかの因子は、実際のバルブポジションとアクチュエータへのコマンドに矛盾を引き起す。例えば不感帯は、バルブとアクチュエータのバックラッシュや摩擦によって派生する。ヒステリシスはトラベルの方向によってバルブポジションに影響を及ぼす。ヒステリシスやdead bandは、ポジション不安定を起すことはないが、制御ループ不安定を生じる。

5. ポジション不安定の測定

5.1 アクチュエーターへの信号が一定の状態で、弁システムが全く動かない時、トータルの弁システムポジションは機械的に安定している。ポジション不安定即ち弁システムの移動は絶対的な現象ではない。それは多くの制御弁でも同じように起きている。不安定が存在する多くの事例では、それに注目が集まることもなく適用上の許容を上回ることもない。不安定の許容規準は主観的なもので、事例によって異なる。故に不安定を表現し許容挙動レベルを規定する定量的な方法が必要になる。不安定は、振幅、振動数、および波形で表現されるが、多くの場合、振幅のみで表される。振動数や波形は測定の対象ではない。

5.2 アクチュエーターへの信号が一定の時に、不安定な動きの最大振幅を測定する。振幅の測定はリニア・スケール、ダイアル指示計、モーション変換器などによるのがいいだろう。不安定の度合いを定めるうえで、定格バルブトラベルに占めるその割合を次式で計算する。

$$\text{不安定\%} = \frac{\text{最大不安定モーション振幅}}{\text{定格トラベル}} \times 100$$

5.3 サンプル

$$\text{定格レベル} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{不安定モーション振幅} = 2.5 \text{ mm}$$

$$\text{不安定クラス} = 2.5 \times 100 / 50 = 5$$

5.4 上記のサンプルの不安定\%は許容レベルを意味するものではない。許容レベルは顧客との間で決ることである。製造者は、正確な流体圧、流体タイプ、流量、流体温度、トラベル位置および配管形状が定義されないまま、特定バルブの不安定\%を述べることは不可である。

6. 参考書目

下記の文献は内容的に特定分野の手引きとなる。これらの文献を丹念に使用することで当該問題についてある基準が得られる。

“Selecting Spring Spans for Control Valve Actuators” by J.T. Muller, Fluid Control Institute

制御弁のスプリングレンジ指定についての問題がメーカー～ユーザー間に混乱と議論を引き起こしてきた。これは、アンバランス弁といわゆるアンバランス弁の可変システムスラスト規定の違いが正しく理解されていなかったことに原因がある。この資料はこの問題の端的な理解のために FCI の技術分科会に準備されたもの。

“Effect of Fluid Compressibility on Torque in Butterfly valves” by Floyd P. Harthum, ISA transactions, Vol.8 No.4 1969

バタフライ弁を通る流体から生じる軸トルクを圧縮性及び非圧縮性流れについてかなりの精度で決定できるテクニックが提案されている。まず非圧縮性流れについて一般的なトルク式が与えられる。ついでこの関係を拡張して流体の圧縮性の効果を取り込んでいる。このテクニックの適用結果と実験結果はよく合っている。

"Valve Plug Force Effects on Pneumatic Actuator Stability" by Richard F. Lytle, presented at ISA/70 Conference (765-70)

弁のプラグフォースとそれが空気式アクチュエータの動的安定性に与える影響に関するスタディでは、静的スラスト規定とともに設置状態のバルブーアクチュエータシステムのトータル動剛性もアクチュエータのサイジング規定に含まれねばならないことが示されている。またバフェッティングフォースや負性プラグフォース勾配が描写される。更に設置状態のアクチュエータ剛性に基づいてアクチュエータの安定性基準を開発するために、周波数応答のテクニックが用いられている。

"Analytical Protection of Valve Stability" by Gareth A. Keith, Presented at the ISA/70 Conference (838-70)

開度が広範囲に変化する弁の安定性は、制御弁アプリケーションにおける関心事の一つである。不平衡力を求めるために開発されたこの数理解析は、弁の不平衡面積、流れの特性および変動するプラグ位置の影響に加えて、[弁の圧力降下/全システムの圧力降下比]の影響を考慮している。その場合、弁の不平衡力の変化率を求め、アクチュエータフォースの変化率と比較する。アクチュエータフォースの変化率がバルブプラグに作用するフォースの変化率を超えるとき、弁の安定性が得られる。この数理解析はラボテストで確認されている。このアプローチはまだ限界には至らない流況でガス/液を制御するために、弁の安定性を判定するうえで一つの実務的な解析法と言える。

下図は、この文献から引用である。

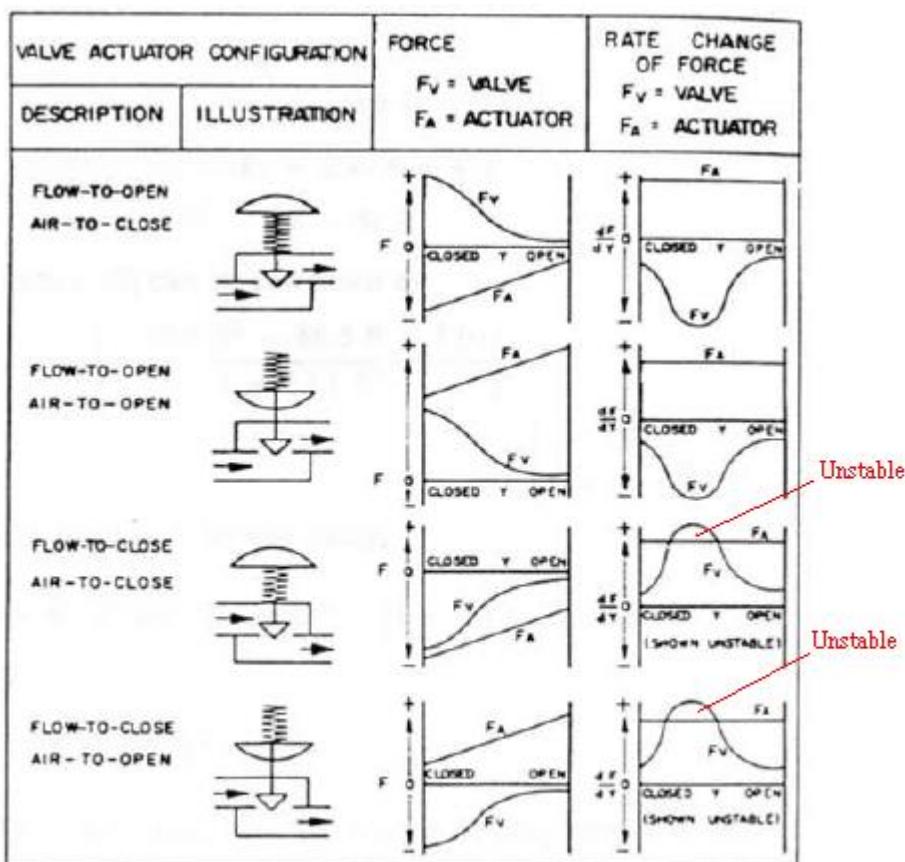


Figure 1. Comparison of valve plug position rate of change of force with spring diaphragm actuator stiffness.

“Understanding Fluid Force in Control Valves” by Carles B, Schuder ,Instrumentation Technology Journal, ISA, May,1971

流体力から生じる現場の問題を最小限にするためには、流体力の性癖を特定して弁の使用条件に結びつける必要がある。11 タイプの流体反力が特定されここで描写されている。これらの力は、弁の可動部例えば摺動弁のプラグや回転弁のボールあるいはディスクに作用する。多くの場合、その適正使用限界は差圧で決まり、流速や水圧(油圧)馬力には拠らない。

“Problems of undersized Actuator” by C.E. Wood and A. R.Nenn, presented at the ISA /72 Conference Abstract (prepared by Committee)

アクチュエータのタイプやサイズは制御弁メーカーで決定されるべきである。メーカーが各制御弁のアクチュエータ動力を決定する際、次のようなデータがプロジェクト仕様から供給されている。

(1)流量、(2)上流圧、(3)下流圧、(4)流体の比重、(5)流体温度、(6)制御弁サイズ
これらのデータは計算値であって運転で計測されたものではないが、ファイナルの運転数値に十分近いもので、メーカーは必要動力について理に合った見積りを出すことができる。その場合、数理的評価から引き出された結論では、バネ力の変化率はシステムフォースの変化率の少なくとも 2 倍以上にすべきである。

“Hammering Control Valves-Diagnosis and Solution of a stability Problem” by W.G. Gulland and A.F. Scott, Transactions Institute of Instrument Measurement Control, Vol. 3 no.2,April June 1981

プラグタイプの制御弁はしばしば flow-to-close (流れ方向閉)/close-on-air failed (FC) という構成で設置される。この場合、アクチュエータが定常状態において流れに十分打ち勝てるだけの力を持っていても弁が不安定になる恐れがある。ポジショナーがフィットしていない弁で curve-of-equilibrium valve actuator pressure against lift が単調に増加しない場合に不安定になる。ポジショナーがフィットしていても、弁アクチュエータ内の空気の curve-of- equilibrium mass が単調に増加しない場合、不安定になる。この論文はこの両方のケースについて安定性解析を提供している。また、不安定がおきそうな場所を示し、種々の解を提案している。

“Control Valve and Process Stability” by Gale E, Berb, presented at the ISA/82 conference

制御対象プロセスに応じてスプリング付き空気作動制御弁の安定操作を得るために、その安定性を定義したうえであるテクニックを提案している。その場合、安定試験に必要な情報の殆どは弁製造業者から入手できるもので、プログラム計算機を使うところに斬新さがある。

次頁に続く

“Actuator Selection” by Gayle E. Barb, presented at the ISA/84 Conference(84-780)

バネ付き空気式ダイヤグラムやピストン式アクチュエータを使用する場合、アクチュエータの選定では幾つかの可変量の一意的な組合せを行う。組み合わせの解析は、対象可変量から合成されたフォースの作用方向を明らかにするために行われる。ここではプロセス/バルブ/アクチュエータに関連する重要な合成フォースが得られている。また安定性のクライテリアも出されている。

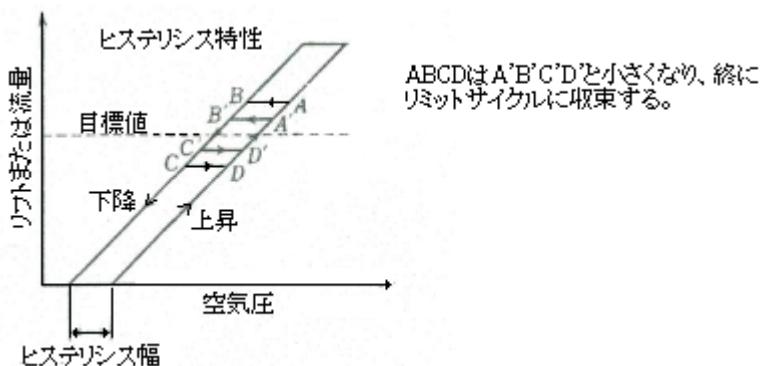
“Fluid Inertia Effects on unbalanced Valve Stability” by Paul J, Schabach, presented at the ISA Final Control Element Symposium, April 1985, New Orleans(85-207)

制御弁では、安定性は重要な性能上の問題点である。安定性のための要件の一つはアクチュエータ剛性が負性プラグフォース勾配の大きさを越えることである。このスタディで流体の慣性力がある種の弁のダイナミック勾配に大きく影響し、特にバフェッティングの高周波数域で然りであることがわかった。アンバランスな stem-guided 弁の厳密な数式が Joukowsky の水撃関係式から導かれている。この表式は何故、剛性の高いピストンアクチュエータが、液体流れにおけるアンバランスな流下弁について通常に必要であるかを説明している。以前のスタディでは、あいまいにしかこの事実を説明していない。この表式によって実際のアクチュエータサイジングのガイドラインは単純になる。実験結果もまた引用されている。

< 補注 >

(*1) Dead-band という。入力信号が変化しても弁体がそれにともなって動かない入力信号の範囲。

(*2) 下図のように空気圧が同じでもその値に上昇して到達したか、下降して到達したかでリフトの採る値が違ってくること。



(*3) 入力と出力のふれの比。

(*4) bi-stable は、双安定即ち回路において 2 つの安定点をもつこと。この場合、あるポジションに対し 2 つの流量の存在、即ち一種の流量逸走を云っていると思われる。

- (*5) 流体の1次側圧力が弁体を閉じる方向に働く動作(あるいは流れ方向に弁体が閉じる動作)。なお流体の1次側圧力が弁体を開く方向に働く動作を[flow to open]という。
- (*6) 寄せては返す波。ここでは機械的な遊びを指すと思われる。
- (*7) バッフェティングは本来、剥離渦による振動を云うが、ここでは変動流体力全般をいっているようである。

引用文献 :

- (1) ISA-RP75.18-1989 Recommended Practice 「Control Valve Position Stability」
Instrument Society of America