

研究の課題名

フィールドバスを利用した電子式バルブ ポジションナの負荷補償機能の開発

早稲田大学理工学総合研究センター 講師

(現 大阪府立大学大学院 工学研究科 助手)

報告者 涌井 徹也

報告日 2005年(平成17年)3月1日

1. 本研究の意義、特色

プラントの高効率運転を意図した高温・高圧ラインで使用する空気圧式調節弁は、負荷であるヒステリシス(グランドパッキン締め付け力の増大による)と流体反力の増加が著しく、ポジションナの制御性能を低下させる主要因になっている。流体反力を定量的に把握するためには、周囲のプロセス量を収集する必要があるため、本研究では、フィールド機器間の双方向デジタル通信を行うフィールドバス技術を用いた電子ポジションナの負荷補償アルゴリズムを開発することを目的とする。

2. 実施した研究の具体的内容、結果

本研究では、既存の実流試験ラインに調節弁・ポジションナ系の実機シミュレータを設置し、バルブポジションナの負荷の影響を十分に低減し、制御性能を著しく向上させるアルゴリズムの開発、実証を行った。実験対象となる実機シミュレータは、空気圧式調節弁(4B)、ステム位置を計測する角度センサ、離散演算部としてのPC、PCから出力された電気信号を圧力信号に変換するI/P変換モジュール、圧力信号を増幅してダイヤフラム室内圧力を操作するパイロットリレーより構成される。PCを離散演算部とすることで任意の制御アルゴリズムの構築が可能となり、その効果を実機にて確認できる点が大きな特徴である。離散演算周期は15msである。また、調節弁のグランドパッキンには、高温・高圧下での使用を想定して、石綿系の網組みパッキン(P6610)とピラーフォイルのモールドパッキン(P118)の2種を組み合わせ、ダイヤフラム室内圧力に対するステム変位量のヒステリシスがフルスパンの約20%程度になるように常に調整して実験を行った。収録する運転データは、ポジションナ内の角度センサから得られるステム位置、半導体圧力センサにて測定するダイヤフラム室内圧力、ステムに挿されたロードセルにより測定する弁軸推力、PC上で演算する調節計の各出力信号、そして前述の弁上、下流圧力と弁通過流量である。以上のデータはポジションナでの離散演算周期と同一のサンプリング周期で測定し、A/D変換器を介してPC上に保存した。

まず、本研究の第1課題として、実流下での流体半力を調査した。具体的には、ステム位置50%における弁上流圧力が0.1、0.2、0.3[MPa]となるように、調節弁上流のボール弁開度を固定した上で、水流状態下での調節弁のヒステリシス特性を測定した。これより、ステム位置50%で設定した弁上流圧力を高くするほど、また、弁開度が小さくなり弁上流圧力が上昇するほど、調節弁はより大きな流体反力を受け、同一のステム位置を保持するために必要なダイヤフラム室内圧力が高くなることを明らかにした。また、これに伴い、ダイヤフラム室内圧力に対するステム位置のゲインが小さくなることも確認した。このように調節弁には大きなヒステリシスが存在するため、ステム位置の目標値の変化方向と変化前のステムの動作

方向との関係により、その応答に顕著な違いが現れる。本研究では目標値の変化と変化前のステム動作が同一方向の場合をFORWARD MODE、逆方向の場合をREVERSE MODEと呼ぶ。REVERSE MODEでは、ダイヤフラム室内圧力がヒステリシス相当分を変化するまで（弁軸推力がパッキンの静止摩擦力に打ち勝つまで）、ステムは動き出すことが出来ない。本研究では、電子式ポジション構成要素内に存在する強い非線形要素を低減するため、ステム位置制御に加えて、ダイヤフラム室内圧力のフィードバック制御ループを付与したカスケード制御を採用しているが、この場合でもREVERSE MODEでステム位置目標値の変化が小さい時には、ダイヤフラム室内圧力の変化速度が非常に緩やかになるため、長い無駄時間を生じた。この無駄時間は上位制御ループの位相を著しく遅らせるため、改善する必要がある。

REVERSE MODE時に生じる無駄時間を改善するため、位置制御調節計と圧力制御調節計との間に新たに補償器を設け、ステム位置の目標値変化に対して、ステムがすぐに動き出すよう、ダイヤフラム室内圧力をフィードフォワード操作する負荷補償を導入した。具体的には、補償器で調節弁のヒステリシス特性を把握し、まず、ステム位置の目標値変化に対して、調節弁のヒステリシスを打ち消してステムが動き出すまでに必要なダイヤフラム室内圧力の変化量を補償信号として算出する。この補償信号を位置制御調節計の出力信号 P_{sp} に加えたものを圧力制御調節計の目標値とし、ダイヤフラム室内圧力をこれに追従させる制御動作を行う。そのためには、運転中の流体反力も含めた調節弁のヒステリシス特性の把握が重要となるが、これは無負荷状態下でのヒステリシス特性と流体反力より構成されることに着目する。水流状態下で静特性実験を行った結果、流体反力は弁前後差圧にほぼ比例することを明らかにした。本研究では、運転中も準定常的にこの線形関係が成立するものと仮定し、前述の補償器にて把握している無負荷状態下でのヒステリシス特性に、計測した弁前後差圧より算出する流体反力に起因するダイヤフラム室内圧力の増加分を加えることで、水流状態下のヒステリシス特性を得た。実証実験として1%幅のステム位置の目標値ステップ状変化を行った結果、負荷補償を導入することにより、ステム位置の目標値変化の入力に応じて、位置制御調節計の出力信号に補償信号が適切に加算されるため、ダイヤフラム室内圧力が調節弁のヒステリシス分を速やかに変化することを確認した。さらに、ステム位置の応答に見る無駄時間が著しく短くなり、FORWARD MODEの場合とほぼ同様の挙動になることを明らかにした。また、1%、0.1%幅のステム位置の目標値連続ステップ状変化に対する応答を調査した結果、REVERSE MODEとなる目標値変化が入力された場合に、調節弁の動作点と弁前後差圧が異なっても適切な補償信号が算出され、それぞれFORWARD MODEとほぼ同様の挙動が得られることがわかった。

構築した負荷補償アルゴリズムは、弁上、下流圧力を測定するためのセンサが新たに必要となるが、1本の配線でフィールド機器間で双方向にデジタル通信を行うフィールドバス機器への実装が有効かつ実用的である。フィールドバスではプラント運転に必要なフィールドバス機器間のデータ転送に優先度の最も高い定周期通信を用いることから、開発したアルゴリズムが所期の効果を発揮することが出来るデータ通信間隔を明らかにする必要がある。実機シミュレータ上で弁上下流圧力の取得間隔を設定パラメータとして実験調査を行った結果、ステム位置目標値の入力間隔(通常、1[s]程度)と同一としておけば、良好な制御動作が得られることを確認した。これは、本補償アルゴリズムでは、ステム位置目標値の変化に応じて補償信号が算出・加算されるため、その時の流体反力が把握できれば良いことを示している。

以上に確立した電子式バルブポジション負荷補償機能は、高効率運転が求められる各種プラントにて使用する空気圧式調節弁の制御性能の向上に大きく貢献しうる。また、今後普及が進むフィールドバス通信型機器に対応することから、次世代型バルブポジションが持ちうる新機能を提案できたものと確信する。

3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

涌井 徹也 早稲田大学理工学総合研究センター 講師
天野 嘉春 早稲田大学理工学総合研究センター 助教授
竹下 恵介 早稲田大学理工学総合研究センター 助手

4. 研究実施時期

平成16年3月1日から17年2月28日まで

5. 本研究に関連して発表した主な論文等

- (1) 涌井徹也、橋詰匠、西島剛史：電子式バルブポジションナに搭載する調節弁のヒステリシス補償機能、計測自動制御学会産業論文集、第3巻、第7号、(2004-7)、pp.51-58 ※
- (2) T.Wakui, T.Hashizume, T.Nishijima:Valve Hysteresis Compensation Considering Flow Conditons for Digital Valve Positioner, Proc. of the SICE Annual Conference 2004,TAII-4-1, (2004-8), pp.1508-1513 ※
- (3) 計測自動制御学賞(論文賞)受賞、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ナの高性能化。2004-8。

6. 内外における関連研究の状況

国内外の調節弁・ポジションナ系の研究としては、シミュレーションモデルを用いた動特性の調査が多い。本研究では、電子式ポジションナ構成要素の非線形性が系の不具合に大きな影響を及ぼすことを重視し、実験調査による検討を行ったのが特徴である。また、調節弁のヒステリシスによる不具合に関する調査、さらに、その改善方法に関する研究は他に報告を見ない。

7. 今後の発展に対する希望

本研究では、無負荷状態の調節弁ヒステリシス特性を既知と仮定して、運転中の流体反力を算出したが、調節弁のヒステリシスは周囲の外気温度やグランドパッキンの劣化等の影響を大きく受けるため、この点を考慮したオンライン診断機能の開発が不可欠である。