

# 知的制御の空気圧ロータリアクチュエータへの適用

Intelligent Control for Pneumatic Rotary Actuator

劉 成琳

Chenglin Liu

筑波大学

University of Tsukuba

安信 誠二

Seiji Yasunobu

筑波大学

University of Tsukuba

**abstract:** Pneumatic actuators are widely used in the industrial field by the way of ON-OFF, despite their many advantages. In the paper, we propose an intelligent control method for a pneumatic servo nonlinear system which have static friction, delay time and variable load.

## 1 はじめに

空気圧サーボ系は経済性、安全性、環境保全性等に優れ、産業界の多くの分野で応用されている。また、空気圧アクチュエータは柔らかな動作が可能である特徴から、人と直接接するような機械をはじめ、小型で軽量のマニピュレータやリハビリ用装具[1]等の分野で利用も期待されている。本研究でも身体の不自由な方に飲水などのサービスを想定し、空気圧回転アクチュエータを用いる制御系の開発を進めている。

この空気圧系は、負荷や温度変化による動特性変動、空気の圧縮性による低剛性や圧力の応答遅れ等、制御性能に悪影響を与える非線形要素を有している。特に小型のアクチュエータでは、静止摩擦力による影響が大きく、また、むだ時間も存在するため、従来のPID制御手法では、システムを思い通りに動かすことが困難である。これらの問題に対処し、制御性能を向上に関する試みが行われている[2]。

これまで本研究室では、無駄時間や静止摩擦を考慮した非線形システムに対する知的制御の有効性を検証した[3]。サービスする機器系を本研究の目的とすれば、負荷変動に対する制御が重要になる。本研究では、負荷変動による動特性の変化を含む空気圧サーボ非線形系に対して、定常特性と過度特性を改善するために、人間の制御知識を組み込み、システムの特性を把握した制御を行う。実機実験により知的制御系の有効性を検証する。

## 2 空気圧サーボ系の構成

図1に現在本研究で用いている空気圧サーボ系の構成を示す。空気圧回転アクチュエータは内径30mm、回転角度90°、ダブルベーン形(SMC社製)であり、使用圧力範囲は0.15MPa~1.0MPaであり、理論出力は0.5Nm~7.5Nmである。棒の先端にはチャックにより最大0.5kgの負荷を把持する。二個の制御弁はPIDコントローラが内蔵されており、現在の出力圧力値とPCからの目標圧力信号との偏差がゼロになるように

制御を行う電空レギュレータを用いている。制御弁の一次側への供給圧力 $P_s$ は0.4MPaとし、二次側圧力は一端圧力を一定とし、平衡時に0.3MPaを設定した。回転角度位置はアクチュエータの出力軸に固定した回転ポテンシオメータからの電圧信号として出力され、12ビットA/D変換した後にPCに取り込まれる。また、PCからの指令は、12ビットD/A変換されアナログ量として電空レギュレータに出力され、制御弁を介して空気圧回転アクチュエータを駆動する。そして、左右室内の圧力の変化によって、負荷を動かす。

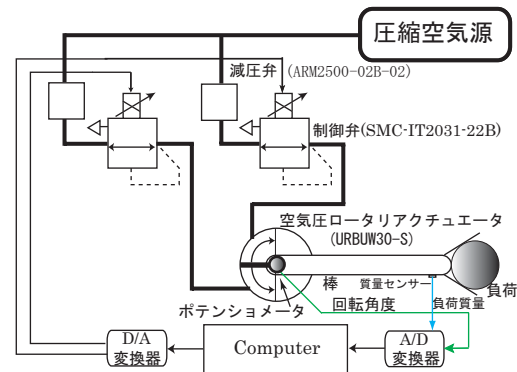


図1: 空気圧サーボ系の構成

## 3 知的制御システムの構築

### 3.1 問題点の考察

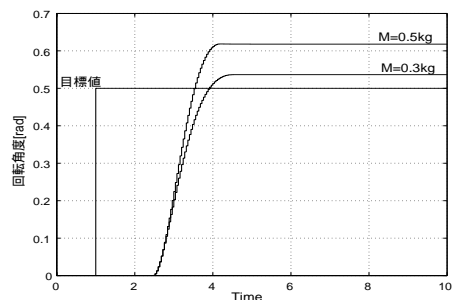


図2: PD制御による異なる質量負荷に対する応答

従来のPID制御法により、目標値(0.5rad)と同じPIDゲインで制御を行った結果、負荷質量が0.5kgの

時定常誤差が 0.12rad であるが、負荷質量が 0.3kg の時定常誤差が 0.04rad となり、質量の変化などに伴い制御性能が異なっている。また、定常誤差を有している (図 2)。

### 3.2 解決方法

この問題を解決するために本研究では、知的制御 (予見ファジィ制御 [4]) 方式により制御系を構築する。

このシステムの制御目的は、

目標値に速く応答する。 停止精度を良くする。

である。これらの制御目的に関して、測った質量を対象モデルに代入し、具体的な式をきめ、制御知識を利用する。つぎに、「制御偏差が非常に小さい」、「オーバーシュートをしない」といったファジィ命題を、停止位置を予測し、ファジィ評価することにより制御指令を決定する。この将来状態を予測する予見ファジィ制御方式を用いて空気圧サーボ系の知的制御システムを図 3 のように構築する。

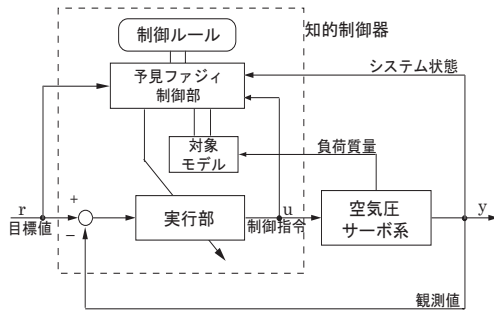


図 3: システムの構成

## 4 制御対象のモデル化

### 4.1 電空レギュレータのモデル

電空レギュレータへの印加電圧と空気圧アクチュエータ内の圧力の関係をむだ時間を含んだ 1 次遅れ系で近似できる。入力電圧  $E$  に対する出力圧力  $P$  の伝達関数  $G_p$  は次のように表せる。

$$G_p(s) = \frac{P(s)}{E(s)} = \frac{\alpha e^{-Ls}}{\tau s + 1} \quad (1)$$

ただし、 $\alpha$ : 電圧から圧力への変換ゲイン、

$L$ : むだ時間、 $\tau$ : 時定数

### 4.2 アクチュエータの動作

ベーン角度位置  $\theta$  の運動方程式は以下のように表される。

$$I \frac{d^2 \Delta \theta}{dt^2} + D \frac{d \Delta \theta}{dt} = K_1 \Delta P \quad (2)$$

$$I = m_r \frac{L_1^2}{3} + m \frac{2r^2}{5} \quad (3)$$

ただし、 $\Delta$ : 初期状態からの変化分、 $D$ : 粘性摩擦係数、 $K_1$ : 使用圧力から実効トルクに変換係数、

$I$ : 棒と負荷の慣性モーメントの合計

### 4.3 圧力と位置の関係

アクチュエータ室内の入力圧力  $P$  に対するベーンの出力角度  $\theta$  の伝達関数  $G_\theta$  は次のようになる。

$$G_\theta(s) = \frac{\theta(s)}{P(s)} = \frac{K}{s(Ts + 1)} = \frac{K_1 \cdot \mu}{s\{Is + D\}} \quad (4)$$

## 5 予見ファジィ制御の推論過程

予見ファジィ制御の推論過程を図 4 に示す。まず、制御指令の候補の実行を仮定し、対象システムモデルを用いて将来状態を計算する。次に、ファジィ多目的評価をファジィ目的に基づき行い、最大の評価値を持つ制御方を決定する。最後に、実行部での計算値を制御指令として出力する。

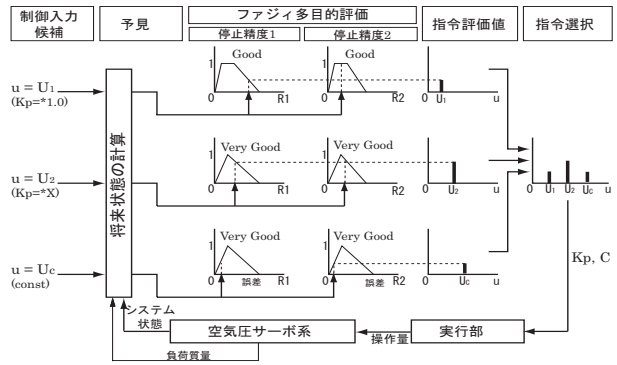


図 4: 予見ファジィ制御の推論過程

## 6 おわりに

本報告では、予見ファジィ制御方式により空気圧サーボ非線形系への知的制御システムを提案した。現在の制御システムの構築を進めている。今後、この制御システムの有効性を実機実験などにより確認する。

さらに、空気圧アクチュエータによるマニピュレータを開発する予定である。

## 参考文献

- [1] 川村, 早川, 須藤, 米沢, S.R.Pandian, "空気圧アクチュエータを用いた立ち上がり動作補助装置の基礎研究", バイオメカニズム学術講演会, SOBIM, pp.900-909 (1999)
- [2] 松下, 水上, 佐藤, 田中, "空気圧サーボ系の  $\delta$  演算子を用いた NN 併用 MRAC", 第二回適応学習シンポジウム, pp.77/82 (2002)
- [3] 伊藤, 安信 "静止摩擦を有する非線形系への知的制御の適用", 第 30 回知能システムシンポジウム, pp.133/136 (2003)
- [4] 安信, "ファジィ工学", 昭晃堂 (1991)

連絡先:

〒 305-8573

茨城県つくば市天王台 1-1-1

筑波大学機能工学系安信研究室

劉 成琳

電話: 029-853-6186

Email: chenglin@edu.esys.tsukuba.ac.jp