空気圧サーボ系の学習ポジカスト制御†

則次俊郎*・和田 力**・小原浩志***

Learning Posicast Control of a Pneumatic Servo

Toshiro NORITSUGU*, Tsutomu WADA** and Hiroshi KOBARA***

To apply a pneumatic actuator more effectively in various automation systems, a pneumatic servo technology should be developed. Recently, from such a viewpoint, the effects of some advanced control strategies as an optimal control or an adaptive control have been confirmed. However, they seem to need some time until put into practical use because of their relatively complicated control algorithms. From the practical application of view, it should be as simple as possible.

In this paper, we take notice of the simplicity of a posicast control and propose an advanced posicast control scheme with learning function to execute the self tuning. First, we describe the typical features of proposed control scheme. Next, we apply it to the positioning and force control of a pneumatic servo system comprising a pneumatic cylinder and electro-pneumatic proportional control valves. The following is experimentally confirmed.

1) The addition of learning function to the original posicast control scheme allows a finite time settling step response even in a certain degree of high order system such as a pneumatic system. Moreover, it is considered to allow the system to adapt to the change in system parameters, the control input saturation and so on.

2) The proposed control scheme can attain the higher speed and more accurate positioning and force control compared with an usual PI control scheme, so it is well available to a pneumatic servo control.

Generally, a posicast control may be effective for a low damping system such as a pneumatic servo, because it basically utilizes a oscillation property of the controlled system.

Key Words: pneumatic servo, posicast control, learning control, positioning, force control

1. 緒 言

空気圧アクチュエータは、各種自動機械の操作部としてすでに数多く利用されているが、近年、これまでの単純作業だけでなく、より高度で複雑な作業にも対応できる制御性の向上が望まれている。しかし、空気圧システムは空気の圧縮性による低剛性特性や圧力の応答遅れ、制御弁や摩擦の非線形特性などにより決して制御しやす

い制御対象とはいえない。

このような問題に対処するため空気圧システムに対する現代制御理論の応用研究が活発となり¹⁾、最適制御や適応制御を用いた空気圧サーボがいくつか提案されている^{2)~5)}。これらの研究によりそれぞれの有効性が示されているが、実用上いくつかの問題点も残されている。まず、最適制御の適用に当たっては、制御対象の動特性はあらかじめ正確に把握されかつ不変でなければならない。しかし、前述のような非線形特性を有する空気圧システムでは、その動特性を前もって正確に把握することは容易でなく、また、せっかく同定しても環境条件や動作条件によってしばしば変動することがある。このような問題に対して適応制御が有効であるが、その制御アルゴリズムはかなり複雑であり、通常のデジタル計算機を用いた場合、現状では十分な高速運動の制御には対応できない。制御用計算機の負担を軽減してより高速の運

† 平成2年秋季油空圧講演会で一部発表 (1990・11)

* 岡山大学工学部 岡山市津島中 3-1-1

** 津山工業高等専門学校 津山市沼 624-1

*** 三菱重工業(株) 三原市糸崎町 5007

* Faculty of Engineering, Okayama University, Okayama

** Tsuyama National College of Technology, Tsuyama

*** Mitsubishi Heavy Industry Corporation, Mihara
(Received April 1, 1991)

(Revised December 10, 1991)

動に対応するためには制御アルゴリズムはできるだけ単純であることが望ましい。

本研究では、このような立場から、ポジカスト制御法⁶⁾に注目する。ポジカスト制御は、制御系が 2 次振動系であれば、目標入力ステップ高さと切換えのタイミングを調整するだけで振動の半周期で目標値に達する有限時間整定応答を生成することができ、非振動的かつ高速応答を実現するために有効である。しかし、一般の空気圧駆動システムが厳密な 2 次振動系となることはありえない。また、適切なステップ高さや切換えのタイミングは駆動系の特性や負荷条件に依存する。したがって、ポジカスト制御を空気圧駆動システムに実用するためには、ステップ高さや切換えのタイミングを制御対象の特性に応じて最適化できる自己調整機能が求められる。

本論文では、この自己調整機能を付与するため、元来のポジカスト制御に学習機能を付加した学習ポジカスト制御法を提案する。まず、提案する制御法の原理と特徴を記述する。つぎに、本制御法を空気圧シリンダと電空比例制御弁からなる空気圧サーボ系の位置決め制御と力制御に応用し、その有効性を実験的に検討する。この結果、本制御法によれば、極めて単純な制御アルゴリズムにより空気圧サーボ系の高速、高精度な制御が可能であることを示す。

2. 学習ポジカスト制御

2 次振動系についてポジカスト制御の原理を説明する。つぎに、提案する学習制御則を示した後、その効果を考察する。

2.1 ポジカスト制御の原理

次式で表わされる 2 次振動系について考える。

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

この系の目標入力 $y_r = y_h$ に対するステップ応答は次式で表わされる。

$$y(t) = y_h \left\{ 1 - \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin(\omega_d t + \phi) \right\} \quad (2)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \omega_d &= \omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \\ \phi &= \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} \end{aligned} \quad (3)$$

である。Fig. 1(a) は (2) 式より計算される応答を示す。応答の最初のピーク値 y_p は時刻

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} \quad (4)$$

において生じ、 t_p は振動の半周期である。線形系においては t_p と y_p/y_h の値は y_h によらず一定である。

ポジカスト制御の原理は以下のように説明できる。ま

Fig. 1 Principle of posicast control

ず、 $t=0$ において大きさ

$$y_{r1} = \frac{y_h}{y_p} y_h \quad (5)$$

の第 1 のステップ入力を加える。Fig. 1(b) に示すように、そのステップ応答 y_1 のピーク値は y_h に等しく、時刻 t_p でこれに達する。この瞬間に大きさ $y_h - y_{r1}$ のステップ入力を付加する。この付加入力に対する応答 y_2 は、Fig. 1(c) に示すように応答 y_1 よりも半周期だけ遅れることになり両応答の振動成分は互いに相殺される。この結果、 y_1 と y_2 を合計した全応答 y_3 は、Fig. 1(d) に示すように $t \geq t_p$ において目標値 y_h に一致する。ポジカスト制御を実行するためには、時刻 t_p において目標入力を y_{r1} から y_h に切り換えればよい。これにより、線形 2 次振動系の場合、オーバーシュートなしに振動の半周期で目標値に整定する制御系が実現できる。

2.2 学習機能の付加

空気圧駆動システムは、制御弁の動作遅れや空気の圧縮性による圧力の応答遅れのため、厳密には 3 次以上の高次系となるが、本研究では近似的に 2 次系とみなしてポジカスト制御を適用する。この場合、高次の遅れやシステムパラメータの変動に対応するため、ステップ高さ y_{r1} と切換え時間 t_p を繰返し動作により修正する学習機能を付加する。

Fig. 2 は繰返し動作の k サイクル目における目標入力 $y_{r1}(k)$, $y_{r2}(k)$ とそれに対する応答を示す。

ピーク値 $y_p(k)$ は入力 $y_{r1}(k)$ により生じることを考

Fig. 2 Learning of system dynamics from response

慮して、 $k+1$ サイクル目の入力 $y_{r1}(k+1)$ を次式により更新する。

$$y_{r1}(k+1) = \frac{y_{r1}(k)}{y_p(k)} y_h \quad (6.a)$$

ただし、 $y_{r1}(k)/y_p(k) < 0.5$ のとき、

$$y_{r1}(k+1) = 0.5 y_h \quad (6.b)$$

とする。(6.a)式は、 k サイクル目の応答から制御系の振動特性を学習し、これに応答の相似性を利用して次回 $k+1$ 回目の応答のピーク値 $y_p(k+1)$ を目標値 y_h に一致させようとするものである。なお、安定な2次振動系のステップ応答において、 $y_{r1}(k)/y_p(k) < 0.5$ となることはありえないことを考えて、(6.b)式の条件を設ける。

2.1節で述べたように、2次振動系では切換え時間 t_p は振動の半周期にすればよい。また、(1)式の分子にむだ時間が存在する場合にも、応答は全体にむだ時間分だ

け遅れるため、やはり t_p は振動の半周期としておけばよい。本研究では、 $t_w(k)$ を振動の半周期とみなして、 k サイクル目の応答から $k+1$ サイクル目の切換え時間 $t_p(k+1)$ を次式により近似して更新する。

$$t_p(k+1) = t_w(k) \quad (7)$$

$t_w(k)$ は極値 $y_p(k)$ と $y_d(k)$ の時間間隔である。

また、制御精度向上のため、仮想目標入力 y_{r2} を導入し、これを誤差学習により次式で更新する。

$$y_{r2}(k+1) = y_{r2}(k) - \lambda e(k) - \gamma \{e(k) - e(k-1)\} \quad (8.a)$$

$$e(k) = y_f(k) - y_h \quad (8.b)$$

ここで、 $y_{r2}(1) = y_h$ 、 $y_f(k)$ は応答の定常値、 λ および γ は誤差修正係数である。(8)式は過去の応答を参照し、発生すべき定常誤差を見込んで仮想目標入力 y_{r2} を修正するものである。

2.3 学習機能の効果

問題とする空気圧サーボ系は厳密には3次以上の系である⁴⁾。そこで、一例として、3次系に対するポジカスト制御の効果をシミュレーションにより検討する。

Fig. 3 は次式で表わされる3次振動系にポジカスト制御を適用した結果である。

$$G(s) = \frac{\omega_n^2 p}{(s+p)(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (9)$$

t_p は最初のピークが生じる時間であり、 y_{r1} は(5)式により求めた。ここで、 $\zeta=0.2$ 、 $\omega_n=10$ 、また、Fig. 3(a) では $p=50$ 、Fig. 3(b) では $p=10$ である。 $p \gg \zeta\omega_n$ となり、系が代表共役複素極により2次振動系に近い挙動を示す場合にはポジカスト制御はそのまま有効である。反面、系の挙動が2次振動系から離れるに従い、ポジカ

Fig. 3 Simulated response of original posicast control applied to third order system

スト制御の効果は低下する。

つぎに、Fig. 3(b)の系について学習機能の効果を調べた結果を Fig. 4 に示す。繰返し動作ごとに(6)式および(7)式に基づいて y_{r1} と t_p が修正され、サイクルを繰り返すごとに振動が低減し、5 サイクル目では振動がほとんどない良好な応答が得られている。学習機能を付加することによりポジカスト制御の効果をある程度の高次系まで拡張できることが期待される。

さて、ポジカスト制御の原理は厳密には 2 次の線形系

Fig. 4 Effect of learning function of advanced posicast control applied to third order system

に対してのみ成り立つものであるが、以下では、提案した学習ポジカスト制御法が 3 次以上の高次でかつ非線形特性を有する空気圧システムに対してどの程度有効であるか実験により検討する。

3. 空気圧サーボ系の構成

空気圧サーボ系の構成を Fig. 5 に示す。片ロッド複動形空気圧シリンダ(内径 50 mm, ロッド径 20 mm, ストローク 200 mm)が水平に設置され、レールに沿って移動する台車が負荷質量として取り付けられている。制御弁には、2 ポート電空比例流量制御弁(最大開口面積 8.6 mm²)を 4 個使用する。各弁の初期平衡状態からの開口面積の変化量を $\delta S_{P1} = -\delta S_{A1} = -\delta S_{P2} = \delta S_{A2} = \delta S$ として、 δS を操作量とする等価な 1 入力 4 方向弁を構成する。

ピストン位置 x は、台車に取り付けたベルト、プーリを介してロータリーエンコーダで検出し、デジタルカウンタを通して計算機に入力する。その検出分解能は 6.3 μ m である。対象物との接触力 F は負荷質量の先端に取り付けた歪ゲージ式の力センサによって検出し、A/D 変換器を通して計算機に入力する。その検出分解能は 0.21 N である。なお、力センサの検出信号は高周波ノイズを含むため、カットオフ周波数 10 Hz のローパスフィルタを通した後 A/D 変換する。計算機内で演算された操作信号は、D/A 変換器によりアナログ信号に変換され、専用のパワーアンプを介してそれぞれの制御弁を駆動する。

Fig. 6 は制御系の構成を示す。Fig. 5 に示した空気圧駆動系に対して、PI 動作によるフィードバック制御系を構成する。本研究では、PI コントローラを含めたフィードバック制御系

Fig. 5 Experimental pneumatic servo system

Fig. 6 Structure of pneumatic servo system

ドバック制御系が2次系に近い挙動を示すものと仮定して、その制御にポジカスト制御の原理を応用するものである。通常のPI制御では、目標入力 $y_r=y_h$ の単一ステップ入力とする。学習ポジカスト制御では、 y_r を2.2節で示した要領で与える。制御時のサンプリング時間は、ポジカスト制御では3ms、通常のPI制御においては2msとする。

Fig. 2において、 $y_p(k)-y_d(k)$ が目標値 y_h の10%を越えた場合に応答は振動的であると判断して $t_w(k)$ を測定し、(6)式および(7)式により次回の $y_{r1}(k+1)$ および $t_p(k+1)$ を更新する。10%以下の場合には同じ値に保持する。 $y_p(k)$ および $y_d(k)$ は、サンプリング時間ごとの応答の差分により変化速度を計算し、その符号が変化する瞬間の状態を極値とみなすことにより測定する。

以下、位置決め制御においては y を x 、力制御においては y を F と置けばよい。

4. 位置決め制御

4.1 基本性能

提案する学習ポジカスト制御法を位置決め制御に応用し、その有効性を検討する。位置決め制御の実験ではFig. 5において負荷質量と対象物を接触させない。実験装置の主なパラメータをTable 1に示す。以下では、シリンダ中央をピストン位置 $x=0$ とし、ピストンが $x=0$ で停止している状態を初期状態として3秒ごとに目標位置 x_h を50mm、0mmと変化させてステップ応答を繰り返す。

Table 1 Principal system parameters

Load mass	26.5	kg
Coefficient of viscous friction	13	N·s/m
Coulomb's friction	6.8	N
Static friction	10.2	N
Supply pressure	$P_s=0.495$	MPa
Initial pressures in cylinder	$P_{10}=0.307$	MPa
	$P_{20}=0.347$	MPa
	$S_{P10}=1.91$	mm ²
	$S_{A10}=3.00$	mm ²
	$S_{P20}=2.26$	mm ²
Initial opening areas of control valves	$S_{A20}=3.00$	mm ²
	$\lambda=0.5$	
Coefficients of learning control	$\gamma=0.1$	

(1) 応答性能

Fig. 7(a)は通常のPI制御による結果であり、各ゲインはできるだけ良好な応答が得られるように $K_P=1.6 \times 10^{-5}$ m, $K_I=1.0 \times 10^{-6}$ m/sと決定した。位置決め時間は1s前後である。目標位置 $x_h=0$ mmに対して、位置決め誤差が大きいのは摩擦の影響によるものと考えられる。ただし、 $x_h=0$ mmの状態を長時間保持すれば積分動作の効果により、ピストンはスティックスリップ状の動きをしながら目標位置へ近づく。

Fig. 7(b)は学習ポジカスト制御の場合であり、各ゲインは、1サイクル目に前述の方法で振動の半周期 t_w が測定できる程度に振動的な応答となるように $K_P=3.5 \times 10^{-5}$ m, $K_I=2.0 \times 10^{-6}$ m/sと設定した。1サイクル目の目標入力は単一のステップ信号であり、2サイクル目以降は2段のステップ信号である。この例では、1サイクル目の応答から求められる切換え時間 t_p は $x_h=50$ mmの場合0.153 s, $x_h=0$ mmの場合0.147 sである。

制御系は厳密な2次振動系ではないため3サイクル目までは若干の振動が残るが、学習の効果により4サイクル目以降はオーバーシュートのない良好な応答が得られる。これは、Fig. 4のシミュレーション結果と一致する。

(a) Usual PI control

(b) Advanced posicast control

Fig. 7 Repeated positioning

Fig. 8 Positioning accuracy

ポジカスト制御では、通常の PI 制御に比べて高ゲイン制御が可能のため、位置決め時間は約 0.3 s に短縮されて高速な位置決めが実現できる。

(2) 位置決め精度

Fig. 8 は 30 回ステップ応答を繰り返したときの 6 回目以降 25 回分の定常値のヒストグラムである。Fig. 8 (a) は通常の PI 制御の場合であり、Fig. 7(a) でも述べたように $x_h = 0$ mm に対して大きな位置決め誤差が残る。Fig. 8(b) は学習ポジカスト制御の場合であり、 $x_h = 50$ mm, 0 mm の両者に対して位置決め誤差は ± 0.3 mm 以下である。このような位置決め精度の向上は、ポジカスト制御の特長である高ゲイン制御と、(8) 式の誤差学習機能によるものである。(8) 式における λ および γ は、学習の収束性を考慮して試行錯誤的に Table 1 のように決定した。

以上の結果より、提案する学習ポジカスト制御法によれば通常の PI 制御に比べて高速、高精度な位置決め制御が可能であることがわかる。

4.2 適応性能

提案する制御法は、その学習機能により繰返し動作途中での系の特性変動やある程度非線形性にも対応できることが期待される。

Fig. 9 は繰返し位置決め途中で負荷質量を 26.5 kg から 36.5 kg に変化させた場合の結果である。負荷質量変化は系の動特性を変化させるため、負荷質量変化直後の応答は振動的である。しかし、制御系の学習機能により、この振動に基づいて y_{r1} および t_p が修正され、つぎのサイクルからは振動のない良好な応答が得られる。切換え時間 t_p は負荷質量変化の前後で、 $x_h = 50$ mm に対して 0.153 s、 $x_h = 0$ mm に対して 0.147 s であったものが、それぞれ 0.189 s および 0.183 s に修正され、負荷質量増加による振動周期の増加に適切に対応している。

Fig. 10 は、Fig. 7(b) に示した初期の学習過程が収束

Fig. 9 Adaptability of advanced posicast control for change in system dynamics

Fig. 10 Response for varying desired input

Fig. 11 Influence of control input saturation $|\delta S| \leq 0.9$ mm² in advanced posicast control

した後、位置決め目標値 y_h を種々に変化させた場合の応答である。負荷質量は 26.5 kg である。ここで、誤差学習は (8) 式に代わり次式を用いた。

$$y_{r2}(k+1) = y_{r2}(k) + \{y_h(k+1) - y_h(k)\} - \lambda e(k) - \gamma \{e(k) - e(k-1)\} \quad (10.a)$$

$$e(k) = y_r(k) - y_h(k) \quad (10.b)$$

すべての目標値に対して非振動的な有限整定応答が得られている。

ポジカスト制御の原理は厳密には線形系に対してのみ有効である。しかし、現実には、位置決め距離が長く初期偏差が大きい場合、あるいは使用する制御弁の最大開口面積が小さい場合など、制御の途中で操作量 δS に飽和が生じて系が非線形となることがある。Fig. 11 は、このような場合を想定して $|\delta S| \leq 0.9$ mm² に制限した場合の応答を示す。Fig. 7(b) と比較すると数サイクル多くの繰返し回数を必要とするが、最終的には良好な応答が得られる。飽和の程度がさほど大きくなければ、本制御法は操作量に制限がある系に対しても有効である。

5. 力 制 御

Fig. 5 に示すように負荷質量を力センサを介して対象物と接触させた状態で、接触力 F の制御に学習ボジカスト制御法を適用する。負荷質量が対象物に $F=50\text{ N}$ で接触、静止している状態から、目標力 F_h を 3 秒ごとに 100 N, 50 N と変化させる。

5.1 基本性能

Fig. 12 は対象物を剛体とした場合の応答である。Fig. 12(a) は通常の PI 制御によるものであり、ゲインはできるだけ良好な応答が得られるよう、 $K_p=3.0\times 10^{-9}\text{ m}^2/\text{N}$, $K_I=1.0\times 10^{-8}\text{ m}^2/\text{N}\cdot\text{s}$ とした。整定時間は約 1.0 s である。これに対して、Fig. 12(b) は学習ボジカスト制御によるものである。ゲインは、位置決め制御の場合と同様に、少なくとも 1 サイクル目において振動周期が測定できるように適度に振動するように選択しておけば十分であり、 $K_p=1.0\times 10^{-8}\text{ m}^2/\text{N}$, $K_I=4.0\times 10^{-8}\text{ m}^2/\text{N}\cdot\text{s}$ とした。切換え時間 t_p は $F_h=100\text{ N}$ に対して 0.189 s, $F_h=50\text{ N}$ に対して 0.192 s である。2 サイクル目からは非

Fig. 12 Contacting force control for rigid object

(a) Usual PI control (b) Advanced posicast control

Fig. 13 Accuracy of force control

(a) Usual PI control

(b) Advanced posicast control

Fig. 14 Contact force control for elastic object with same gains as Fig. 12

振動的な応答が得られ、その整定時間は約 0.3 s であり、通常の PI 制御に比べてかなり高応答な力制御が実現されている。

Fig. 13 は剛体対象物に対して 30 回ステップ応答を繰り返したときの 6 回目以降 25 回の定常値のばらつきを示す。Fig. 13(a) の通常の PI 制御と Fig. 13(b) の学習ボジカスト制御の両者において、ばらつき幅には大差ないが、後者においては (8) 式の誤差学習の効果により平均誤差は低減している。定常偏差は $\pm 1\text{ N}$ 以下であり満足できる制御精度が得られている。

5.2 対象物の剛性の影響

力制御においては、対象物の特性も閉ループ内に介入するため対象物の剛性変化は制御系のパラメータ変動を引き起こす。ここでは、対象物の剛性変化に対する学習ボジカスト制御の効果を考察する。

Fig. 14 は、Fig. 12 と同じゲインを用いて弾性対象物 (剛性 3900 N/m) に対して力制御を行った結果である。Fig. 14(a) の通常の PI 制御の場合には、対象物の剛性変化により応答波形も変化し、当然のことながら対象物が異なるごとにゲイン調整が必要である。一方、Fig. 14(b) の学習ボジカスト制御においては、その学習機能により対象物が異なっても Fig. 12(b) と同様の良好な応答が得られている。このことから本制御法は剛性が未知な対象物にも対応可能であることがわかる。

提案した学習ボジカスト制御法は力制御に対しても有効である。

6. 結 言

空気圧サーボ実用化のためには、制御性能の向上に加え、制御アルゴリズムができるだけ単純であることが必

要である。本研究では、このような立場から、元来のボジカスト制御に学習機能を付加した学習ボジカスト制御法を提案した。本制御法の特徴を考察するとともに、これを空気圧シリンダの位置決めおよび力制御に適用し、以下の項目が実験的に確認された。

1) ボジカスト制御に学習機能を付加することにより、その効果を空気圧系のようなある程度の高次系まで拡張することができ、さらに、系の特性変動や操作量の飽和などにも対応できることが予想される。

2) 本制御法によれば、比較的単純な制御アルゴリズムにより通常の PI 制御法に比べて高速、高精度な位置決めおよび力制御が実現でき、本制御法は空気圧サーボ系に対して極めて有効かつ実用的である。

ボジカスト制御は原理的に系の振動特性を利用するものであり、一般に空気圧系のような低減衰系の制御に適するものと考ええる。なお、本論文では提案する制御方式の有用性を実験的に示すにとどめ、学習過程の収束性などについての理論的な考察は今後の課題とする。

参 考 文 献

- 1) 則次俊郎：空気圧シリンダ系の制御に関する研究の現状と展望，油圧と空気圧，**21**-3，257/260 (1990)
- 2) 山藤，小林，石橋：空気圧シリンダの最適制御，日本機械学会論文集 (C 編)，**53**-487，757/762 (1987)
- 3) 則次，和田，伴野：電空制御弁の動作遅れを考慮した空気圧サーボ系の最適制御，計測自動制御学会論文集，**24**-5，490/497 (1988)
- 4) 則次，和田，矢野坂：空気圧サーボ系の適応制御，同上，**24**-11，1187/1194 (1988)
- 5) 荒木，山本：空気圧サーボ系の固定トレース適応則によるモデル規範形適応制御，油圧と空気圧，**20**-3，232/

239 (1989)

- 6) 高橋安人：制御と力学系，150/152，コロナ社 (1977)

[著 者 紹 介]

則 次 俊 郎 (正会員)

1974 年，岡山大学大学院工学研究科修士課程生産機械工学専攻修了。津山工業高等専門学校を経て，1986 年岡山大学工学部生産機械工学科 (現機械工学科) 助教授，1991 年同教授，現在に至る。空気圧サーボ技術を中心としたロボティクス，振動制御，制御理論の機械システムへの応用に関する研究に従事 (工学博士)。

和 田 力 (正会員)

1953 年，京都大学工学部応用物理学学科卒業。大阪市立大学理工学部を経て，1961 年岡山大学工学部講師，助教授を経て，1968 年同教授。1991 年津山工業高等専門学校長，岡山大学名誉教授，現在に至る。フルイデックス，メカトロニクスおよびロボティクスに関する研究に従事 (工学博士)。

小 原 浩 志

1991 年，岡山大学大学院工学研究科生産機械工学専攻修了。同年三菱重工業 (株) 三原製作所に入社，印刷機械設計部商業輪転機設計課に所属，現在に至る。商業用オフセット輪転機的设计業務に従事。