アクティブ吸振器付き移動ロボットによる液体タンクの制振制御 —液面振動の逆モデルを利用した制振法—

浜 口 雅 史*・谷 口 隆 雄*

Damping Control of Liquid Container by Swing-type Active Vibration Reducer on Mobile Robot
—Damping Control Method by Using Inverse Model of Sloshing—

Masafumi HAMAGUCHI* and Takao TANIGUCHI*

This paper proposes a damping control of sloshing in a cylindrical container with a swing-type active vibration reducer on a wheeled mobile robot (WMR). The WMR runs along a straight path on a horizontal plane. The container is mounted on the active vibration reducer. A laser displacement sensor is used to observe the liquid level in the container. The container can be tilted in the running direction by the active vibration reducer. A sloshing model is obtained from a spherical pendulum-type sloshing model, which approximately expresses (1, 1)-mode sloshing. The sloshing model is used to design a damping control system. The control system of the active vibration reducer is designed with an inverse model of sloshing and an optimal regulator with a Kalman filter. The WMR is driven by an acceleration pattern designed with an input shaping method. The usefulness of the proposed method is demonstrated through simulation and experimental results.

Key Words: damping control, sloshing, wheeled mobile robot, active vibration reducer

1. はじめに

鉄鋼・鋳造業における溶融金属搬送やパイプレス化学プラントにおける混合液搬送などの液体タンク搬送では、搬送時の液面振動（スロッシング）を抑制し、かつ高速に液体タンクを搬送する自動化が望まれている。

液体搬送に関する研究として、固定レール上の搬送を対象としたものがある^{1)~5)}。しかし、これらは固定レール上を走行するため、搬送工程の変化に迅速に対応することが困難である。それ以外にも、天井クレーン⁶⁾によるスロッシングの制振搬送に関する研究がある。天井クレーンは、空間を有効利用できるが設置コストが高いという欠点がある。設置コストが低く、搬送経路を容易に変更できることから、車輪型移動ロボットや搬送車による液体搬送に関する研究も行なわれている^{7)~9)}。また、著者らは、制振性能を高めるために、2軸回転式アクティブ吸振器を移動ロボットに取り付け、制振搬送制御を行なった¹⁰⁾。しかし、これはフィードバック補償器のみを使用しており、スロッシングの制振性能が十分であるとはいえないものであった。

よって、本論文では、フィードフォワード補償器を付加す

ることにより、回転式アクティブ吸振器付き移動ロボットによる液体タンクの制振制御における制振性能の向上を図ることを目的とする。ただし、ここでは、移動ロボットは水平面上の直線軌道を走行するものとする。

2. 実験装置

実験装置を **Fig. 1** に示す。移動ロボット上の2軸回転式アクティブ吸振器により、円筒液体タンクは進行方向と横方向へ独立に傾斜させることができる。ただし、ここでは、直進経路走行のみを考えるため、進行方向の吸振器のみを動作させ、横方向の吸振器は使用しない。タンクの内径は0.10m、高さ0.30mであり、この中に液位が0.10mになるまで水を注入する。タンクの傾斜角は、各回転軸に取り付けたロータリーエンコーダにより検出される。後方壁近傍の液位変動量はレーザ変位計により観測される。これらのセンサ値はDSPボードへ入力され、制御則によって算出された吸振器への指令値がDSPボードから出力される。一方、移動ロボットには、走行速度ならびに走行経路の曲率が与えられる。与えられたとおりに走行するよう、PID制御系によって左右動輪の回転速度ならびに操舵輪の舵角が制御される。左右動輪の回転角はロータリーエンコーダで、操舵輪の舵角はポテンシオメータで測定される。移動ロボットの走行加速度は加速度センサにより計測される。なお、移動ロボットは、2駆動輪と1操舵輪をもつ3輪車型である。

* 島根大学総合理工学部 松江市西川津町 1060

* Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue

(Received March 18, 2011)

(Revised June 8, 2011)

Fig. 1 Experimental equipment

Fig. 2 Pendulum-type sloshing model in X-direction

3. システムモデル

本論文で使用する X - Z 平面における単振り型スロッシングモデルを Fig. 2 に示す。ここで、 X 軸が移動ロボットの走行方向を、 Z 軸が鉛直方向を表す。対象とするスロッシングモードは、走行状態において最も影響を及ぼす 1 次モードスロッシングとし、液面を直線で近似した。 O_x 点周りのモーメントの釣り合いを考え、線形近似を行ない、次式を得る 2), 5)。

$$\ddot{\theta}_x = -\frac{g}{l}\theta_x - \frac{c}{m}\dot{\theta}_x + \left(\frac{c}{m} + \frac{l_o}{T_x l}\right)\dot{\phi}_x - \frac{K_x l_o}{T_x l}u_x + \frac{1}{l}a_x \quad (1)$$

ここで、 θ_x は振り角度、 ϕ_x はタンク角度、 c は粘性係数、 m は振り質量 (= タンク内液体質量)、 g は重力加速度、 l は振り長、 l_o はタンク回転中心 O_x と振り支点 O_x 間の距離、 $a_x (= \ddot{x}_c)$ は移動ロボットの走行加速度である。なお、アクティブ吸振

Table 1 Actual values in system parameters

c [Ns/m]	1.27
l [m]	0.0252
m [kg]	0.7854
l_o [m]	0.0500
L [m]	0.0255
T_x [s]	0.0078
K_x [rad/(Vs)]	0.1785

器の入力電圧 u_x からタンク角速度 $\dot{\phi}_x$ までの伝達関数は、次式の 1 次遅れ系で近似した。

$$G_x(s) = \frac{\dot{\phi}_x}{u_x} = \frac{K_x}{T_x s + 1} \quad (2)$$

ここで、 T_x は時定数、 K_x はゲインである。なお、本論文では、伝達関数が含まれる式において、表記上、入出力などの信号は時間領域のものを使用するが、実際には、ラプラス変換された信号を表わす。

液位変動量 h_x は

$$h_x = L(\theta_x - \phi_x) \quad (3)$$

で与えられる。ここで、 L はタンク中心から測定点までの距離である。

したがって、 X - Z 平面におけるシステム方程式は

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}_x &= \mathbf{A}_x \mathbf{x}_x + \mathbf{b}_x u_x + \mathbf{d}_x a_x \\ \mathbf{y}_x &= \mathbf{C}_x \mathbf{x}_x \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

となる。ここで

$$\mathbf{A}_x = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{g}{l} & -\frac{c}{m} & 0 & \frac{c}{m} + \frac{l_o}{T_x l} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{T_x} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b}_x = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{K_x l_o}{T_x l} \\ 0 \\ -\frac{K_x}{T_x} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_x = \begin{bmatrix} L & 0 & -L & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{d}_x = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{l} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_x = \begin{bmatrix} \theta_x \\ \dot{\theta}_x \\ \phi_x \\ \dot{\phi}_x \end{bmatrix}, \quad \mathbf{y}_x = \begin{bmatrix} h_x \\ \phi_x \end{bmatrix}$$

である。スロッシングならびに吸振器に関するパラメータは、過渡応答法によって同定した。本実験装置における各種パラメータ値を Table 1 に示す。

実際の制御には、(4) 式をサンプリング時間 δt で離散化した次式の離散時間系モデルを用いる。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{x}_x(k+1) &= \mathbf{P}_x \mathbf{x}_x(k) + \mathbf{q}_x u_x(k) \\ \mathbf{y}_x(k) &= \mathbf{C}_x \mathbf{x}_x(k) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここで

$$P_x = \exp(A_x \delta t), \quad q_x = \int_0^{\delta t} \exp(A_x \tau) d\tau b_x \quad (7)$$

である。本論文では、 $\delta t = 1.0\text{ms}$ とした。

4. 制振制御系

スロッシングの逆モデルを利用したフィードフォワード補償器、ならびに最適レギュレータによるフィードバック補償器の設計方法について説明する。

4.1 スロッシングの逆モデルを利用したフィードフォワード補償器

移動ロボットの加速度 a_x を入力、振子角度 θ_x を出力とする伝達関数を $G_1(s)$ 、吸振器への入力電圧 u_x を入力、振子角度 θ_x を出力とする伝達関数を $G_2(s)$ 、吸振器への入力電圧 u_x を入力、タンク角度 ϕ_x を出力とする伝達関数を $G_3(s)$ とおくと、(1)、(2) 式より

$$G_1(s) = \frac{\theta_x}{a_x} = \frac{\frac{1}{l}}{s^2 + \frac{c}{m}s + \frac{g}{l}} \quad (8)$$

$$G_2(s) = \frac{\theta_x}{u_x} = \frac{-\frac{K_x l_o}{l}s + \frac{K_x c}{m}}{\left(s^2 + \frac{c}{m}s + \frac{g}{l}\right)(T_x s + 1)} \quad (9)$$

$$G_3(s) = \frac{\phi_x}{u_x} = \frac{K_x}{s(T_x s + 1)} \quad (10)$$

となる。液位変動量 h_x は、(3) 式ならびに (8)~(10) 式より次式のように表わされる。

$$h_x = L(G_1(s)a_x + (G_2(s) - G_3(s))u_x) \quad (11)$$

上式より、液位変動量 $h_x = 0$ とする吸振器の入力電圧 u_x^* は次式となる。

$$u_x^* = -(G_2(s) - G_3(s))^{-1} G_1(s)a_x = C(s)a_x \quad (12)$$

この $C(s)$ がフィードフォワード補償器となる。スロッシングモデルにおいて、入力は移動ロボットの加速度と吸振器への入力電圧、出力は液位変動量である。ここでは、その逆モデルを利用して、移動ロボットに加速度が加わった際に液位変動量を零とする吸振器の入力電圧を求めた。

移動ロボットに加速度 a_x 、吸振器に入力電圧 u_x^* が加わった際の振子角度 θ_x^* は

$$\theta_x^* = G_1(s)a_x + G_2(s)u_x^* = G_3(s)u_x^* = \phi_x^* \quad (13)$$

となる。つまり、振子角度 θ_x とタンク角度 ϕ_x を一致させることによって、液位変動量 h_x を零としている。(8)~(10) 式より、 $C(s)$ は次式となる。

$$C(s) = \frac{s(T_x s + 1)}{K_x((l + l_o)s^2 + g)} \quad (14)$$

ここで、 $l, l_o, g > 0$ より、 $C(s)$ の極は複素 s 平面の虚軸上にあることがわかる。つまり、スロッシングの逆モデルを利

Fig. 3 2-impulse technique of input shaping method

用することによって液位変動量を零とすることができるが、入力電圧 u_x^* は非減衰振動となり、タンクは振動し続けることになる。そこで、コントローラ $C(s)$ への入力である移動ロボットの加速度 a_x を整形することにより、タンクの振動をなくすことを考える。

移動ロボットの加速度 a_x を入力、吸振器の入力電圧 u_x^* によるタンク角度 ϕ_x^* を出力とする伝達関数 $G_4(s)$ は、(10) 式、(12)、(14) 式より

$$G_4(s) = \frac{\phi_x^*}{a_x} = G_3(s)C(s) = \frac{1}{(l + l_o)s^2 + g} \quad (15)$$

となる。上式より、タンク角度の振動は 2 次遅れ系で表わされるので、入力整形理論¹¹⁾を利用することができる。すなわち、入力整形理論を用いて移動ロボットの加速度を整形することにより、加減速終了時にタンク角度を零にすることができる。なお、(15) 式より、 u_x^* を入力するとタンクは $l + l_o$ の振子長をもつ非減衰単振子と同じ挙動を示すことがわかる。

入力整形理論の原理を Fig. 3 に示す。Fig. 3(a) に示すように単位インパルス入力により生じた振動を、 ΔT 後に加えた大きさ k のインパルス入力により生じる振動で相殺するというものである。整形後の入力が Fig. 3(b) である。これは整形前の入力と同じ大きさの入力になるように全体を $1+k$ で除してある。システムの伝達関数が (16) 式で表わされるとき、 ΔT ならびに k は (17) 式で求められる¹¹⁾。

$$G(s) = \frac{K_n \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2}, \quad (16)$$

$$\Delta T = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}}, \quad k = \exp\left(\frac{-\zeta \pi}{\sqrt{1 - \zeta^2}}\right), \quad (17)$$

ここで、 ω_n は固有角振動数、 ζ は減衰係数、 K_n はゲインである。

Fig. 4 に示すように、台形加速度パターンに対して入力整形理論を適用する。Fig. 4(a) の台形加速度パターンに入力整形理論を適用したものが Fig. 4(b) である。この加速度パターンで移動ロボットを走行させる。なお、(15)、(16) 式より、 $\zeta = 0$ 、 $\omega_n = \sqrt{g/(l + l_o)} = 11.42\text{rad/s}$ となり、(17) 式より、 $\Delta T = 0.275\text{s}$ 、 $k = 1$ となる。本論文のように $k = 1$ の場合、 $t_1 = \Delta T$ とすれば、Fig. 5 のように単純な台形加速度パターンにすることができる。すなわち、 $t_a = 2\Delta T$ である。Fig. 5 は、加速後、等速で走行し、減速後に停止する加速度パターンであり、この加速度パターンを用いて移動ロボットを走行させる。

Fig. 4 Designed acceleration pattern with input shaping method

Fig. 5 Designed trapezoidal acceleration pattern of WMR

4.2 最適レギュレータによるフィードバック補償器の付加
スロッシングの逆モデルを利用したフィードフォワード補償器のみでは、モデル化誤差や外乱に弱いという欠点がある。これを解決するために、フィードバック補償器である最適レギュレータ¹²⁾を制振制御系に付加することを考える。制振制御系のブロック線図を Fig. 6 に示す。移動ロボットの加速度 a_x としては、入力整形理論によって整形されたものが入力される。この加速度によって発生する液位変動量 h_x を零とする吸振器の入力電圧 u_x^* が、フィードフォワード補償器 $C(s)$ によって生成される。この加速度 a_x と入力電圧 u_x^* が入力されたときの状態 x_x を目標値とし、カルマンフィルタより推定された状態 $\hat{x}_x$ を目標値に一致させるように、フィードバック補償が付加されている。レーザ変位計によって測定した液位には、観測ノイズが混入しており、また、直接観測できない状態量を推定するため、カルマンフィルタを用いた¹²⁾。カルマンフィルタゲインは、システムノイズを零とし、液位変動量とタンク角度に関する観測ノイズ分散値をそれぞれ、 $8.274 \times 10^{-5} \text{m}^2$ 、 $1.000 \times 10^{-10} \text{rad}^2$ として求めた。

最適レギュレータのフィードバックゲイン F は、(18) 式の離散形 2 次形式評価関数 J を最小化することにより求められる。

$$J = \sum_{k=0}^{\infty} (\|x_x(k)\|_{Q_e}^2 + \|u_x(k)\|_{r_e}^2) \quad (18)$$

離散形 2 次形式評価関数 J の重み行列は、以下のように与

Fig. 6 Damping control system

Fig. 7 Simulation results of damping control

えた。

$$Q_e = C_x^T W C_x, \quad r_e = 1.0 \quad (19)$$

ここで、 W は、液位変動量とタンク角度に関する重み行列である。制御シミュレーションならびに実験を行ない、この重み行列の値を (20) 式のように決定した。なお、スロッシングの制振を重視するため、液位変動量に関する重みのほうを大きくした。

$$W = \text{diag}(5.0 \times 10^5, 10) \quad (20)$$

5. 制振制御結果

提案手法を用いて、液体タンクの制振搬送制御を行なった。まず、シミュレーション結果を示し、つぎに実験結果を示す。

5.1 制御シミュレーション結果

制振制御のシミュレーション結果を Fig. 7 に示す。移動ロボットの最大加速度は $a = 0.5 \text{m/s}^2$ 、等速走行時の速度は 0.5m/s である。なお、比較のために、1) 逆モデルを利用したフィードフォワード補償器と最適レギュレータのフィードバック補償器の併用（提案手法）、2) 逆モデルを利用したフィードフォワード補償器のみ、3) 最適サーボ¹⁰⁾、4) 無制御の 4 通りの結果を併せて示してある。無制御時の結果は、吸振器を動作させず、 $t_a = 0.5 \text{s}$ とした Fig. 5 の台形加速度パターンで移動ロボットを走行させたときのものである。このときの t_a の値が、入力整形理論を用いて整形した台形加速度パターンの値 ($2\Delta T = 0.55 \text{s}$) に近いため、あまり振動的ではなくなっている。搬送終了時間を制御ありのものと同程度とするために、無制御時の t_a の値を 0.5s としたが、この値を変えれば、より振動的な結果となる。Fig. 7 より、提案手法を用いれば、液位変動量は完全に零となり、タンク角度も加減速終了後に速やかに零とすることができる。なお、逆モデルを利用したフィードフォワード補償器のみの結果と提案

(a) Proposed method

(b) Compared with only inverse model

(c) Compared with optimal servo

Fig. 8 Experimental results of displacement of liquid level with damping control

(a) Proposed method

(b) Compared with only inverse model

(c) Compared with optimal servo

Fig. 9 Experimental results of angle of container with damping control

手法の結果は完全に一致している。これは、シミュレーション上では、モデル化誤差や外乱を加えていないためである。

5.2 制御実験結果

制振制御の実験結果を **Fig. 8** ならびに **Fig. 9** に示す。Fig. 8 は液位変動量、Fig. 9 はタンク角度を表わしている。Fig. 8(a) より、提案手法は無制御のものより高い制振効果を得ていることがわかる。このときのタンク角度のようすを示したものが Fig. 9(a) である。加減速時に、タンクを大きく傾け、等速走行時ならびに停止時にはタンク角度を零に保持している。

Fig. 8(b) では、提案手法と、逆モデルを利用したフィードフォワード補償器のみを用いたものとの比較を行なった。同図より、提案手法のほうがより高い制振効果を得ていることがわかる。この制振性能の違いは、最適レギュレータによるフィードバック補償に起因するものである。このときのタンク角度のようすを示したものが Fig. 9(b) である。路面の凹凸などの外乱によって励起されたスロッシングを制振するため、タンク角度を変化させていることがわかる。また、フィードフォワード補償のみでは、吸振器のモデル化誤差のためにタンク角度を最終的に零にすることができていない。

Fig. 8(c) では、提案手法と、フィードバック補償器である最適サーボを用いたものとの比較を行なった。等速走行時や停止時以降の制振効果において、両者に顕著な差はない。この区間では、両者ともフィードバック補償のみが動作しているためである。しかし、加減速時（約 0.5s と約 6.2s）における最大液位変動量においては、両者に違いがある。すなわち、提案手法のほうが最大液位変動量を低く抑えていることがわかる。これはフィードフォワード補償の効果である。Fig. 9(c) のタンク角度の変化のようすを見ると、提案手法のものは、波形の立ち上がりならびに立ち下がりが急峻であることがわかる。フィードバック補償器である最適サーボは、液位変動量に変化が生じてから制御入力が発生するのに対し、提案手法では、移動ロボットの加速度情報から直ちに制御入力が発生させることができるため、より速くて大きな制御入力が発生させることができています。

制御実験結果において、制御シミュレーション結果のように完全に液位変動量を零にすることはできなかった。この原因としては、以下のことが考えられる。

- 走行路面の凹凸ならびに液体タンクの支持機構の剛性不足（タイミングベルト機構のバックラッシュ含む）によ

て、液体タンクが振動してスロッシングが励振された。

●目標の走行加速度パターンとなるように、PID制御則を用いて移動ロボットを制御しているが、駆動輪には少なからずスリップが生じる。このため、移動ロボットの加速度が振動的になり、スロッシングが励振された。

上記は、Fig. 7とFig. 8(a)の無制御時の液位変動量を比較することによりわかる。等速区間(1.5~6.0s)では、実験結果において液面が振動している。この振動は、約3Hzの振動数をもっており、これは、振子モデルで近似した1次モードスロッシングの振動数($f_n = \sqrt{g/l}/2\pi = 3.14\text{Hz}$)に一致する。Fig. 8(a)の提案手法を用いた場合においても、上記の理由により、液面が振動したと考えられる。これは、移動ロボットの走行中(0~7.5s)は、液面が振動的になっているが、移動ロボットの停止後(7.5s以降)は、液面の振動が速やかに制振されていることから明らかである。

どの程度まで液面を制振すればよいかは、ユーザや使用目的によって異なる。本実験装置では、液位変動量が静止液位(100mm)の±1%以内、すなわち±1mm以内であれば、目視で液面振動はないように見える。提案手法は、搬送中の全区間にわたり、この条件をほぼ満たしており、十分な制振効果が得られているといえる。ただし、さらなる制振性能を得たい場合には、装置の高剛性化ならびにアクティブ吸振器の駆動機構の改良が必要である。

6. おわりに

移動ロボットに搭載した回転式アクティブ吸振器に対し、スロッシングの逆モデルを利用することにより、制振性能が向上することを明らかにした。また、最適レギュレータとの併合システムとすることにより、実験においても良好な制振結果を得ることができた。曲線経路や斜面路へ本手法を適用することも可能であるため、実用性の高い搬送システムを構築することができる。

本手法は、移動ロボットのみならず、各種クレーンやその他の搬送システムへも容易に適用することができ、各種搬送システムの制振制御ならびに自動化に貢献することができる。と考える。

今後は、装置の高剛性化ならびにアクティブ吸振器の駆動機構を見直し、さらに良好な制振性能が得られるものに改善する予定である。

参考文献

- 1) 浜口, 寺嶋, 野村: 各種設計条件における液体タンクの最適搬送制御, 日本機械学会論文集 C 編, **60**-573, 182/189 (1994)
- 2) 浜口, 山本, 寺嶋: 曲線軌道における円筒容器内液体搬送のモデリングと制御, 日本機械学会論文集 C 編, **62**-601, 114/121 (1996)
- 3) 大塚, 岩井, 永本: 強正実性に基づく離散時間適応状態フィードバック制御とその液体搬送制御への応用, 日本機械学会論文集 C 編, **63**-611, 108/113 (1997)
- 4) 矢野, 寺嶋: LMIに基づく極配置制約付き混合 H2/H ∞ 制御による液体搬送制御, 日本機械学会論文集 C 編, **64**-625, 187/194 (1998)

- 5) 浜口, 谷口: 曲線軌道設計と台車速度制御による円筒タンク内液体の制振搬送, 日本機械学会論文集 C 編, **69**-684, 194/201 (2003)
- 6) 兼重, 西田, 寺嶋: 振動抑制と目標値追従性を考慮したクレーンによる液体コンテナ搬送制御, 日本機械学会論文集 C 編, **62**-596, 75/82 (1996)
- 7) 福田, 柴田, 鈴木: 液体容器の液位の振動抑制制御の研究(第2報, 容器の回転モーメントを考慮した液体搬送時の液位振動制御), 日本機械学会論文集 C 編, **56**-532, 99/106 (1990)
- 8) T. Acarman and U. Ozguner: Rollover Prevention for Heavy Trucks Using Frequency Shaped Sliding Mode Control, Proceedings of 2003 IEEE Conference on Control Applications, **1**, 7/12 (2003)
- 9) Y. Yoshida, M. Hamaguchi and T. Taniguchi: Damping Path Design for Liquid Container Transferred with Wheeled Mobile Robot along Multiple Turn Sections, Proceedings of the 17th IFAC World Congress, 12667/12672 (2008)
- 10) 吉田, 浜口, 谷口: 2軸回転式アクティブ吸振器付き搬送車による液体タンクの制振制御, 日本機械学会論文集 C 編, **74**-744, 101/107 (2008)
- 11) N.C. Singer and W.P. Seering: Preshaping Command Inputs to Reduce System Vibration, ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, **112**, 76/82 (1990)
- 12) 古田, 川路, 美多, 原: メカニカルシステム制御, 126/130, オーム社 (1991)

[著者紹介]

浜口 雅史 (正会員)

1995年豊橋技術科学大学大学院工学研究科博士後期課程総合エネルギー工学専攻修了。同年豊橋技術科学大学工学部生産システム工学系助手, 98年徳山工業高等専門学校機械電気工学科助教授, 2001年島根大学総合理工学部電子制御システム工学科助教授, 2007年同准教授, 現在に至る。移動ロボットや制振制御に関する研究に従事。博士(工学)。

谷口 隆雄 (正会員)

1975年九州工業大学工学部制御工学科卒業。同年九州工業大学工学部制御工学科助手, 89年山口大学工学部生産機械工学科助教授, 94年California大学 Berkeley 校客員研究員(文部省在外研究員), 98年島根大学総合理工学部電子制御システム工学科教授, 現在に至る。自動走行自動車やメカトロニクス機器のインテリジェント制御に関する研究に従事。工学博士。