画像情報を利用した2輪駆動型ロボットの制御

小 川 伸 夫^{*1} 武士俣 進^{*2} 嶋 岡 芳 弘^{*1} 川 谷 亮 治^{*3}

Control of Two-Wheeled Mobile Robot using Image Information

Nobuo Ogawa^{*1}, Susumu Bushimata^{*2}, Yoshihiro Shimaoka^{*1} and Ryoji Kawatani^{*3}

Considering the problem to let a robot move to a given position, we have to decide an appropriate path and control the robot so as to follow the decided path. For the former, many researches have been reported until now. But, for the latter, enough discussion has not been done. In this research, we propose a path following control strategy based on the observer based regulator using image information from CCD camera. Our controlled object is a two wheeled moving robot. First, we derive a state space model taking account of the dynamics of both actuators and the robot. Next, we design a controller based on the modern control theory. And we confirm the validity of our strategy via simulation and experiment.

Key Words: Path-Tracking, Mobile Robot, Image Information, Feedback Control, Pole Placement

1. は じ め に

ロボットが自律的に目標地点へ移動するという行動は、経路探索などの意志決定とその決定された経路に忠実に追従する経路追従制御がうまく動作してはじめて達成できる。前者の意志決定については、これまでに多様な方法が述べられている。例えば、ポテンシャル法に代表されるような仮想ポテンシャル関数を空間内に張る方法 [1] や仮想インピーダンス法、スケルトン法のように障害物との幾何学的な位置関係から軌道を決定する方法、空間分割法などである [2]。これらの方法を使えば、それぞれの特徴をもった軌道計画を立てることができる。しかし、得られた軌道計画に対して、ロボットの運動学、アクチュエータの特性などを盛り込んだ経路追従制御に関する議論は少ない。この点に着目し、運動学も取り入れカーブ時の速度の緩急を論じた例もある [3] が、ポテンシャル法を導入しているために、決定すべき未知数の多さという点で、実際の応用には困難であることが予想される。したがって、経路追従問題について設計の方向性が示される必要がある。

ところで、ロボットにはロボット自身の状態、外界の状態を把握するために多数のセンサを取り付けることが一般的である。例えば、マニピレータ型のロボットには各関節に角度センサ、

先端には近接センサ、接触センサなどを取り付けることが普通に行われている。最近では画像処理用ソフトとパソコンの処理能力の急速な発展に伴い、特別なハードウェアを必要とせず汎用パソコンで安価に画像処理システムの構築が可能となりつつある。このような状況で、ロボットの制御に必要な情報を画像を処理することから得られれば応用範囲は広い。例えば、工場内に多数のロボットが働いている場合、天井にカメラを設置することで個々のロボット自身の状態と外界の状態を得ることができ、ロボットの制御に利用できる。したがって、ロボットのセンサを省略できることから保守性の向上、コスト面に有利になる。しかし、画像から得られる情報をロボットの外界の状態を知るために使う報告はある [4] が、ロボット自身の状態を画像から積極的に取り入れるという報告は見受けられない。

そこで、本研究では、2輪駆動型ロボット（以下、移動ロボット）を制御対象として、移動ロボットを駆動するアクチュエータの特性などを考慮した状態空間モデルを構築し、画像処理により得られるデータに基づくオブザーバーストレギュレータの設計について検討する。また、その有効性を検証するために、移動ロボットを製作し、カメラ情報のみを使用して経路追従制御を行った結果について報告する。さらに、その応用事例の一つとして、障害物回避問題を取り上げる。

2. 移動ロボットのダイナミクスと状態方程式

システム構成を Fig. 1 に示す。

本移動ロボットは二つの車輪を持ち、両輪を独立に DC モータで駆動することによって床平面を移動できる。そこで、移動ロボットの上空に CCD カメラを床面に対して水平に置く。カ

原稿受付 1999 年 9 月 22 日

^{*1}鳥羽商船高等専門学校

^{*2}株式会社リンクスコーポレーション

^{*3}長岡技術科学大学

^{*1}Toba National College of Maritime Technology

^{*2}LinX Corporation

^{*3}Nagaoka University of Technology

Fig. 1 A wheeled robot system

メラから得られた画像情報を移動ロボットとは別の場所にあるコンピュータへ送信する。このコンピュータは、カメラ座標から床平面座標への変換を一次変換で行い、解析し、移動ロボットに対する指令である DC モータへの印加電圧値を算出した後、赤外線を利用した無線通信で送信する。ここで、カメラ座標から床平面座標への変換には、普通、一次変換では対応できない歪みを生じるが、本研究では微小として扱う。もしこの歪みが大きいようなら、床平面座標を得る前に必要なフィルタを施すことで対処する必要がある。

本章では、床平面座標 (x, y) に対して移動ロボットが x 軸に一定速度で漸近するレギュレータ問題を議論するための状態方程式の導出を行う [3]。まず、ロボットの幾何学的な関係から式 (1)(2)(3) を得る。

$$V_G = r(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)/2 \quad (1)$$

$$\dot{y} = V_G \sin \phi, \dot{x} = V_G \cos \phi \quad (2)$$

$$\dot{\phi} = (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) r/L \quad (3)$$

また、ロボットの総運動エネルギー量 $K.E.$ が

$$K.E. = \frac{M}{2} V_G^2 + \frac{J_G}{2} \dot{\phi}^2 + \frac{J_W}{2} (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2)$$

で与えられるので、上式にラグランジュ法を適用すると、移動ロボットのダイナミクスを表現する微分方程式を得る。

$$c_1 \ddot{\theta}_1 + c_2 \ddot{\theta}_2 = \tau_1 \quad (4)$$

$$c_2 \ddot{\theta}_1 + c_1 \ddot{\theta}_2 = \tau_2 \quad (5)$$

ここで、 $c_1 = Mr^2/4 + J_G r^2/L^2 + J_W$, $c_2 = Mr^2/4 - J_G r^2/L^2$ であり、

M : ロボットの質量 [kg]

J_G : 重心まわりの慣性モーメント [kgm^2]

r : 駆動輪の半径 [m]

J_W : 車輪軸の軸回りの慣性モーメント [kgm^2]

τ_1, τ_2 : 軸トルク [Nm]

$\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2$: 車輪の角速度 [rad/sec]

である。本論文では、式 (4)(5) 中の駆動用 DC モータが発生するトルク τ_1, τ_2 が

$$\begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 & \dot{\theta}_1 \\ u_2 & \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

u_1, u_2 : モータ印可電圧 [V]

k_1 : モータ印可電圧に関する係数

k_2 : 逆起電力に関する係数

で与えられると仮定する。次に、制御目的を、移動ロボットを x 軸に一定速度で漸近させることとしているので、一定速度で移動している状態を考える。このとき、両輪の速度を $\dot{\theta}_{equ}$ 、各モータに与える印加電圧を u_{equ} としたとき式 (7)(8) のような偏差系を構成する。

$$c_1 \Delta \ddot{\theta}_1 + c_2 \Delta \ddot{\theta}_2 = k_1 \Delta u_1 + k_2 \Delta \dot{\theta}_1 \quad (7)$$

$$c_2 \Delta \ddot{\theta}_1 + c_1 \Delta \ddot{\theta}_2 = k_1 \Delta u_2 + k_2 \Delta \dot{\theta}_2 \quad (8)$$

ここで、

$$\Delta u_1 = u_1 - u_{equ}, \Delta u_2 = u_2 - u_{equ}$$

$$\Delta \dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_{equ}, \Delta \dot{\theta}_2 = \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_{equ}$$

である。

また、式 (2) の中で y 方向の速度に関する式を、偏差量 $\Delta \dot{\theta}_1$, $\Delta \dot{\theta}_2$, ϕ が微小であると仮定することによって次式に示すように線形化する。

$$\begin{aligned} \dot{y} &= V_G \sin \phi \simeq r(\Delta \dot{\theta}_1 + \Delta \dot{\theta}_2 + 2\dot{\theta}_{equ}) \phi/2 \\ &\simeq r\dot{\theta}_{equ} \phi \end{aligned} \quad (9)$$

式 (3)(7)(8)(9) に対して状態量を式 (10) と定義する。

$$\mathbf{x} = [\Delta \dot{\theta}_1, \Delta \dot{\theta}_2, y, \phi]^T \quad (10)$$

以上から次の状態方程式を得る。

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_1 \\ \Delta u_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

ここで

$$a_{11} = a_{22} = c_1 k_1 / \eta, \quad a_{12} = a_{21} = -c_2 k_1 / \eta$$

$$a_{34} = r\dot{\theta}_{equ}, \quad a_{41} = r/L, \quad a_{42} = -r/L$$

$$b_{11} = b_{22} = c_1 k_2 / \eta, \quad b_{12} = b_{21} = -c_2 k_2 / \eta$$

であり $\eta = c_1^2 - c_2^2$ としている。上式が可制御であることは容易に示せる。

3. 観測方程式と画像処理

3.1 観測方程式

前章で定義した状態量中の $\Delta\theta_1$, $\Delta\theta_2$ は、車輪にセンサを設置しないために直接測定することができない。そこで、次節で述べる画像処理を利用して、移動ロボットの速度 ΔV_G [m/s] (V_{equ} からの偏差), x 軸との距離 y [m] および角度 ϕ [rad] を計測することにする。この場合、観測方程式は式 (12) となる。式 (11)(12) から本系が可観測であることは容易に示せる。

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} \Delta V_G \\ y \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r/2 & r/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x} \quad (12)$$

3.2 画像処理

本研究で使用した移動ロボットの写真を Fig. 2 に、移動ロボットの基本構成を Table 1 に示す。

Fig. 2 に示すように、移動ロボットの重心位置と方向の検出を行うために、上面に二つの大きさの異なる円形のマークを取り付けた。このマークはエッジが強調されやすいように黄色の蛍光色のものを使用した。移動ロボットの重心位置を示すマークは直径 45 [mm] を、移動ロボットの向きを測定するマークは直径 30 [mm] を使用した。これは、カメラの画素数でいうとそれぞれ、38~40 画素、16~18 画素に相当する。

マークの取り付け位置を Fig. 3 に示す。

各マークの位置を測定することによって移動ロボットの重心位置、方向の検出を行うことが可能となる。画像処理に使用したコンピュータは DELL OptiPlex Gxi の Pentium 233 [MHz] で OS は Windows NT4.0、画像処理用ソフトには HALCON (MVTech 社) を使用した。

Fig. 2 Two-wheeled robot

Table 1 Construction of mobile robot

CPU	PIC16F84
Communication System	RS232C 1200[bps]
Communication Media	Infrared Ray
Motor	FC-130RA × 2 (MABUCHI)
Gear	Twin Motor Gear Box (TAMIYA)

マーク位置の認識の手順を以下に示す [5].

(1) 画像の取り込み

画像の非同期取り込みにより、コンピュータが処理を行っている間に画像ボードは次の画像を取り込む。これにより、画像取り込み時間が短縮され、全体の処理時間が短縮される。Fig. 4 参照。

(2) 画像の平均化による平滑化

場所によるしきい値処理の前処理として、オリジナル画像に平均化処理を行う。Fig. 5 参照。

(3) 場所によるしきい値処理

マークと背景は、コントラストをつけてあるので、ある明るさ以上を認識（輝度によるしきい値処理）すればマークだけ認識できる。しかし、実際の撮影領域には、照明などの輝度むら（輝度変化）が存在するので単純に輝度によるしきい値処理を行うと、認識率が低下する可能性がある。この対策として、場所に依存したしきい値処理を行うことで認識率を上げる。オリジナル画像の平均とオリジナル画像との差分をしきい値処理するため、輝度むらの影響を受けないしきい値処理が可能となる。この処理はエッジ部分が強調され、オリジナル画像にハイパスフィルタを適用す

Fig. 3 Top view of two-wheeled robot

Fig. 4 Captured image

Fig. 5 Mean image

Fig. 7 Filling up image

Fig. 6 Thresholded image

Fig. 8 Selecting shape image

ることに相当する。Fig. 6 参照。

- (4) 領域内で指定した形状特徴をもつホールを埋める

(3) の処理でエッジ (輪郭) が強調された。次に、マーカ輪郭をある面積をもつ円として認識するために、輪郭内部の照明などによる輝度むらと思われる領域を無視する。通常、輝度むらはマーカ輪郭内部に細かい点のように散在しているので、ある面積以下のものは輝度むらとみなし塗りつぶす。Fig. 7 参照。

- (5) 領域の連結成分の計算

マーカの明るさに類似した部分を領域として認識する。この領域の中には今回の目的であるマーカ以外に、光の反射などによりマーカの明るさに類似した部分を取り出される場合もある。この段階で、マーカの候補となる領域がすべて認識される。

- (6) 形状特徴量に基づいた条件付き領域の選択

多くのマーカ候補領域から、面積と真円度の特徴量をもとにマーカ領域を抽出する。面積と真円度の範囲を指定し、両方の条件を満足する領域を抽出する。移動ロボットには重心と進行方向に離れた場所に面積の異なる真円のマーカが設置されている。面積の違いより、重心位置と方向を検出するためのマーカを区別する。また真円度を利用することで、精度よくマーカ領域を認識することができる。Fig. 8 参照。

- (7) 領域の面積と重心の算出

抽出されたマーカ領域の重心座標を求める。

以上 7 段階の処理を行いマーカ位置を測定し、その位置変化から速度を計算する。

4. 制御器の設計と直線走行実験

4.1 物理パラメータ

Fig. 2 の移動ロボットの物理パラメータ値を Table 2 に示す。使用した CCD カメラ (TOSHIBA 製 IK-C40MF) は、 640×480 の画素数をもつが、画像ボード (DATA TRANSCRIPTION 製 DT-3155) において 320×240 にデータを間引いて使用することで、処理時間の短縮を行っている。カメラは床より約 2 [m] 上空に設置され $1.53 \text{ [m]} \times 2.06 \text{ [m]}$ の範囲を撮影している。したがって、このカメラの 1 [pixel] は、床面上で約 6 [mm] 四方に対応する。

4.2 制御器の設計

3 章で導出した観測方程式からも明らかのように、本制御系においては状態量すべてを直接観測できない。したがって、状態フィードバック制御を行うためにはオブザーバを構成し、状態量を推定する必要がある [6]。ここでは、レギュレータとオブザーバとともに極配置法 (Pole Placement) で設計する。レギュレータの極は操作量の関係から、オブザーバの極は観測ノイズの関係から双方ともあまり安定側に配置することは望ましくない。また、オブザーバによって状態量が推定され、そこからレギュレータとしての有効な制御が行えることを考えると、オブザーバの極をレギュレー

Table 2 Physical parameters

$M[kg]$	0.338
$J_G[kgm^2]$	2.043×10^{-3}
$L[m]$	0.015
$J_W[kgm^2]$	1.29×10^{-6}
k_1	6.54×10^{-2}
k_2	5.61×10^{-2}

タ極より安定側に配置することが一般的である。以上のことを考慮して、レギュレータの極の位置を $[-1.5 \pm 0.6i, -1.8, -2.2]$, オブザーバの極を $[-2.5 \pm 1.0i, -3.0, -5.0]$ として極配置法により状態フィードバックゲインとオブザーバゲインを設計した。

以上から、3 入力 2 出力の連続時間制御器が得られる。これに対して、画像処理を行い、移動ロボットへ指令を出すまでの時間が約 170 [msec] であることから、少し余裕を見てサンプリングタイム 200 [msec] で、0 次ホールド法により離散化し、離散時間制御器を得た。結果を式 (13) に示す。

$$\begin{cases} \hat{x}[k+1] = A_{kd}\hat{x}[k] + B_{kd}y[k] \\ u[k] = C_{kd}\hat{x}[k] \end{cases} \quad (13)$$

ここで、

$$A_{kd} = \begin{bmatrix} 0.4672 & 0.2888 & -27.1521 & -4.4903 \\ 0.4710 & 0.7257 & 18.9334 & 4.0371 \\ 0 & 0 & 0.3679 & 0 \\ 0.0367 & -0.0031 & -1.4484 & 0.7331 \end{bmatrix}$$

$$B_{kd} = \begin{bmatrix} -4.9795 & -20.9451 & 1.2973 \\ -39.4259 & 15.6671 & -1.4673 \\ 0 & 0.6321 & 0.0052 \\ -2.6923 & -0.5869 & 0.1314 \end{bmatrix}$$

$$C_{kd} = \begin{bmatrix} 0.4918 & 0.8589 & -195.8295 & -12.4952 \\ 0.7452 & 0.6127 & 156.3751 & 10.6304 \end{bmatrix}$$

である。

また、このように得た制御値を、赤外線を利用した RS-232C (1200bps) により移動ロボットへ送信する。このときのデータ構造を **Table 3** に示す。

4.3 直線走行実験

前節までで述べた設計法の有用性を確かめるために、直線走行実験およびシミュレーションの結果を示す。なお、移動ロボットの走行速度 V_{equ} は 0.05 [m/s] とした。なお、この走行速度は、コンピュータの演算処理能力が高くなれば更に速くすることは可能である。 x 軸から少し離れた位置からスタートさせた応答の実験結果とシミュレーション結果を **Fig. 9** に示す。図より定常状態における目的経路からの最大偏差が 8 [mm] 程度であることが分かる。カメラの最小分解能が約 6 [mm] であることを考えると、良好に追従しているといえる。

5. 曲線走行への拡張と障害物回避問題への応用

5.1 曲線走行への拡張

次に曲線の経路追従問題を議論する。前章では x 軸（直線）

Table 3 Data structure

0bit	1bit	2bit	3bit	4bit	5bit	6bit	7bit
Right Motor Voltage				Left Motor Voltage

Fig. 9 Experimental result

Fig. 10 Coordinate conversion

に漸近する制御系を構成した。これを座標変換を利用することで曲線の経路追従に拡張する。なお、議論を単純化するために経路は x の n 次多項式 $F(x)$ で表されている滑らかな曲線とする。

Fig. 10 に示すように、移動ロボットの重心座標を (x_1, y_1) とする。このとき経路 $F(x)$ 上で移動ロボット重心位置と同じ x 座標をもつ点 (x_1, y_2) を選び出す。また、点 (x_1, y_2) を通り経路 $F(x)$ の接線でロボットの進行方向を正とする新たな座標軸を X とする。直線 X の傾きを α とし点 (x_1, y_2) を中心として X の正方向を反時計回りで 90 度回転した方向を正とする座標軸を Y とする。式 (14) のように、移動ロボットの座標系を x から X , y から Y へ座標変換する。前章で示したように、制御系は x に漸近するようになっている。したがって十分時間が経過すれば、移動ロボットが曲線に漸近することが期待できる。

Fig. 11 Experimental result

Fig. 13 Output from observer (ϕ) Fig. 12 Output from observer (y)

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_1 \\ y - y_2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \sin \alpha \\ \cos \alpha \end{bmatrix} (y - y_2) \end{aligned} \quad (14)$$

5.2 曲線走行実験

曲線の経路追従実験について述べる。ここでは、一例として経路が式(15)で与えられるとする。この経路は、滑らかな曲線を得るために人間が作為なく指定した経路を10点に分割し、最小二乗法で七次近似したものである。七次近似をした理由は、与えた経路の再現性が良好なためである。

$$\begin{aligned} F(x) &= -0.166x^7 + 0.939x^6 - 1.586x^5 + 0.180x^4 \\ &\quad + 1.413x^3 - 0.431x^2 - 0.675x + 1.263 \end{aligned} \quad (15)$$

移動ロボットの走行速度は直線走行実験と同じく0.05[m/s]とする。Fig. 11にシミュレーションおよび実験結果を示す。シミュレーションと実験結果が良好に一致していることが分かる。また実験結果において、オブザーバの有効性を調べるために直接観測できる y と ϕ に関してオブザーバの推定結果をFig. 12とFig. 13に示す。両方とも良好に推定されており、オブザー

Fig. 14 Move path function for obstacle avoidance

バが適切に動作していることが分かる。

5.3 障害物回避問題への応用

前節までの結果を利用して障害物回避への応用を検討する。移動経路に障害物が存在した場合、その障害物を回避するように経路を関数化できれば障害物回避ができる。経路の関数化には、ポテンシャル法を利用する。使用したポテンシャル関数は、静的な物体の場合停留点が生じないとされる静電ポテンシャル[7]を利用した。Fig. 14に実験結果を示す。移動ロボットは経路を良好に追従しており、その結果として障害物を回避していることが分かる。

6. ま と め

本研究では、2輪駆動型ロボットを対象として、そのアクチュエータなどの特性を含むダイナミクスを考慮したモデルを構築し、画像情報に基づくオブザーバースドレギュレータを設計した。これにより直線の追従の方法を示し、実験で設計の妥当性を示した。また、一般的な経路も座標変換を用いることで対応できることを実験で示した。さらに障害物回避問題への応用も示した。これらのことで、2輪駆動型ロボットの線形制御理論

に基づく経路追従制御設計の一つの方向性とロボットの制御に必要な情報量を画像を処理することから得られることを示した。

参 考 文 献

- [1] 辻敏夫, 千種和幸, 金子真: “人工ポテンシャル場の変形を用いた移動ロボットの軌道生成法”, 日本機械学会論文集, (C 編) 62 巻 597 号, pp.1905-1911, 1996.
- [2] 藤村希久雄: “行動ストラテジーとアルゴリズム”, 日本ロボット学会誌, vol.11, No.8, pp.1124-1129, 1993.
- [3] 橋本幸男, 王碩玉, 土屋武士, 松田敏彦: “経路の未来情報を利用し

た車輪型自立移動ロボットの経路追従制御”, 日本ロボット学会誌, vol.12, no.4, pp.630-637, 1994.

- [4] 滝沢穂高, 白井良明, 三浦純: “注視・ズームを用いた自律移動ロボットのための 3D シーン記述の選択的精密化”, 日本ロボット学会誌, vol.11, no.8, pp.1124-1129, 1993.
- [5] 田村秀行: コンピュータ画像処理入門. 総研出版, 1985.
- [6] 小郷寛, 美多勉: システム制御理論入門. 実教出版株式会社, 1979.
- [7] 橋本幸男, 國井康晴, 原島文雄: “静電ポテンシャル法および Sliding Mode を用いた多自由度マニピレータの障害物回避制御”, 日本ロボット学会誌, vol.13, no.7, pp.963-970, 1995.

小川伸夫 (Nobuo Ogawa)

1965 年 9 月 29 日生. 1992 年長岡技術科学大学大学院博士後期課程中途退学. 同年新潟職業能力開発短大講師. 1995 年鳥羽商船高専助手. 1996 年同講師. 現在に至る. 日本機械学会, 計測自動制御学会などの会員. (日本ロボット学会正会員)

嶋岡芳弘 (Yoshihiro Shimaoka)

1967 年 7 月 18 日生. 1993 年神戸商船大学大学院商船学研究科海洋機械管理学専攻修了. 同年鳥羽商船高専助手. 1996 年同講師. 現在に至る. 日本機械学会, 空気調和・衛生工学会, 日本冷凍空調学会などの会員.

武士俣進 (Susumu Bushimata)

1974 年 7 月 15 日生. 1998 年長岡技術科学大学大学院修士課程修了後, 株式会社リンクスコーポレーションに勤務. 画像処理・制御に関する機器の研究, 開発に従事.

川谷亮治 (Ryoji Kawatani)

1957 年 3 月 24 日生. 1984 年大阪大学大学院博士課程後期修了. 同年同大学工学部助手, 1990 年同講師. 1991 年長岡技術科学大学助教授. 現在に至る. ロバスト制御の実システムへの応用に関する研究に従事. 1993 年計測自動制御学会論文賞受賞. 計測自動制御学会, システム制御情報学会などの会員. 博士 (工学). (日本ロボット学会正会員)