絶対座標系の動作記述とキネマティクスに基づいた 2足ロボットの動歩行制御の実現

学生員 真 島 勝 行 (長岡技術科学大学)

学生員 宮 崎 敏 昌 (長岡技術科学大学)

正 員 大 石 潔 (長岡技術科学大学)

Dynamic Gait Control of Biped Robot Based on Kinematics and Motion Description in Cartesian Space
Katsuyuki Majima, Toshimasa Miyazaki, Student-member and Kiyoshi Ohishi, Member (Nagaoka University of Technology)

This paper proposes a new dynamic gait control method of biped robot based on robust joint servo control. The method consists of two subjects. The first subject is the approximation of biped robot to the inverted pendulum for sagittal plane and lateral plane. The second subject is the constitution of dynamic gait control based on robust joint servo control and kinematics.

The motion description in Cartesian space is determined from the motion of the inverted pendulum for sagittal plane and lateral plane. Suitability of the biped motion reference is confirmed by distribution of ZMP (Zero Moment Point). Using the inverse kinematics of biped robot, the biped motion references in Cartesian space is transformed to the position references in joint space. In joint space, the robust position control system consists of two-degrees-of-freedom control system based on coprime factorization and disturbance observer. Since the robust joint servo control system compensates the inertia variation and disturbance torque on dynamic gait control, this control system is suitable for the dynamic gait control of biped robot. The validity of the proposed method is confirmed by the experimental results.

キーワード：2足ロボット、動歩行制御、キネマティクス、ZMP、ロバスト位置制御

1. はじめに

2足歩行ロボットの動歩行制御に関して、これまで基本的に動力学問題に基づく制御で行われてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。動力学問題に基づく制御法では、非線形の複雑な逆動力学計算を用いることで、ロボットの力や位置などをシンプルな線形制御としている。これは、制御量がトルクであるため、所望の出力応答を達成するための各関節トルクを計算する。この逆動力学計算は、その計算量と各パラメータの精度などが実現上の問題となる。また、動力学問題に基づくロボットの動作は、複雑な非線形方程式となる。そのため、動歩行を実現する非線形方程式の解を直接求めて行う手法は、ほとんど例がない。また、2足歩行ロボットの有効な制御手法として、倒立振子近似による方法がよく用いられる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。この手法は、一質点系で2足ロボットを表現するため、その片足支持期における運動特性を、比較的容易に記述することができると同時に、片足支持期における安定性についてもより簡単に考慮できる。しかしながら、この方法も最終指令値がトルクとなる逆動力学計算を抱えてしまう制御方式が一般的である。

これに対して、動力学問題を用いずにロボットを制御する方法として、各関節をロバスト加速度制御して、絶対座標系での指令値を関節空間座標に座標変換して制御する方法が提案されてきた⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。このロバスト加速度制御に基づく2足歩行ロボットの動歩行制御は、実用的でシンプルな方法であるが、まだ3次元動歩行までには至っていない⁽¹⁰⁾。各関節をロバスト位置制御する方法で動歩行させる方法として、近似した倒立振子の長さを擬似的に変化させることで歩行の加減速を行う手法が提案されている⁽¹¹⁾。この方法では、歩行の指令を関節空間において生成しているため、実際の動歩行指令としてはなじみにくい。これに対して、絶対座標系で歩行指令を記述することは、設計者にとって簡便性を与えるとともに、種々の目的のための歩行動作指令生成をより簡単にできる。

本論文では、絶対座標系における歩行のための動作記述及びキネマティクス、そして各関節を動作させるロバスト位置制御の3つを構成する。これらに基づいて、動力学問題を用いずに2足ロボットの3次元動歩行の実現を目指すものである。但し、本論文では、床面は水平面であることを前提条件とする。

2. 2 足動歩行システム

本論文では、次の方法によって関節位置情報のみの記述による2足動歩行制御を実現する。まず、ロボットの腰部リンク中点をロボットの重心とし、倒立振子近似を行う。この倒立振子の動作に基づいて、絶対座標系での2足ロボットの動作の記述を得る。ロボットの支持脚は、前後方向、左右方向共に倒立振子のように振る舞う。得られた絶対座標系での2足ロボットの動作を逆キネマティクスによって、関節空間における動作の記述に変換し、各関節角度指令を得る。そして、この角度指令に対する2自由度位置制御系を構成し、ロバスト位置制御による歩行制御を実現する。各関節にロバスト位置制御系を配置することにより、床面からの反力などの外乱を瞬時に打ち消して、倒立振子動作に基づいた動歩行を実現させる。

与える歩行軌道の妥当性については、ゼロモーメント点 (Zero Moment Point : 以降 ZMP と記す) 分布をあらかじめ計算し、歩行の可能性を判別しておく。

<2-1> 2 足動歩行ロボットの構成

上記の目的を達成するために、図1に示すロボットを製作する。図2にそのロボットのモデル図を示す。人間の脚の自由度は、足首が3、膝が1、股関節が3の計7自由度に集約される⁽¹²⁾。本論文では、足首が2、膝が1、股関節が2の計5自由度の脚を持つ2足歩行ロボットを製作した。これは、ピポット動作のような回転して方向を変える自由度だけを無くしたことに相当する。したがって、このロボットは、11リンク10関節を有している。矢状面 (Sagittal Plane) 内の動作に加え、ロボットの重心を左右方向に移動するための、前頭面 (Lateral Plane) 内の動作を持たせている。

図1 2 足動歩行ロボット
Fig.1. Biped robot

ロール軸 (x 軸) まわりに各脚2自由度の計4自由度、ピッチ軸 (y 軸) まわりに各脚3自由度の計6自由度、合計10自由度を配している。正面 (Lateral Plane) 内の動作を持たせることにより横方向への重心の移動を可能とし、左右の足底範囲が干渉し合わない場合でも、単脚支持を可能としている。

図2 ロボットのモデル図
Fig.2. Model of biped robot

各関節は1:100の減速機を有するDCサーボモータによって駆動される。各サーボモータは1000[p/rev]の分解能のロータリーエンコーダが直結されており、関節角度 θ をカウンタにより取得する。また、キャリア周波数17kHzのDCチョップパへ電圧指令 V^{cmd} を与えることにより駆動される。表1にロボットの仕様を示す。全高は52[cm]、全幅は約66[cm]、総重量は約18[kg]である。

表1 ロボットの仕様

Table 1. Specification of biped robot

リンク	リンク長さ l_i [m]	リンク重量 m_i [kg]
1,11	0.040	1.948
2,10	0.110	0.434
3,9	0.110	1.684
4,8	0.110	1.684
5,7	0.070	1.540
6	0.175	3.518

<2-2> ハードウェア構成

図3にハードウェアの構成図を示す。各関節のサーボ系、キネマティクス、そして歩行軌道生成のすべてのアルゴリズムは、サンプリング時間840 [μ sec] のDSP(TMS320C30)のソフトウェアによって実現される。

3. ロバスト位置制御系

各軸のモータのサーボ系は、図4に示す2自由度位置制御系で実現する。本論文では、この制御系は、各関節軸に対して全く同じ仕様で構成している。

2自由度制御系は、目標値応答特性とロバスト性を独立に設計できる利点を有している。また、パラメータ変動に対しロバストな制御系を構成することで、歩行ロボット等の多関節を有するロボット関節の制御に適したコントローラを構成できる。

図4の内部構造は、著者らが提案している既約分解表現と外乱オブザーバによる2自由度制御系であり、ロバスト

図3 制御システム

Fig.3. Control system of biped robot

安定性を考慮して制御系を設計することができる⁽¹³⁾。図4の内部ループ G_{in} は、状態フィードバック+状態オブザーバによる補償器であり、制御系の安定化と特性改善を行う。また、外部の外乱オブザーバは制御系のロバスト安定化のための補償器となっている。

図4 既約分解表現と外乱オブザーバによる2自由度制御系

Fig.4. Two-degrees-of-freedom control system based on coprime factorization and disturbance observer

図4の制御系において θ^{cmd} が関節角度指令を、 T_L が外乱トルクをそれぞれ表している。また、 $N(s), D(s), Y(s), X(s)$ は、各関節のサーボ系の既約分解パラメータである。これらの既約分解パラメータは、(1)式の制御対象に対する状態フィードバックゲイン及び状態オブザーバゲインを計算することにより求まる。また、外乱オブザーバのフィルタ $g(s)$ は、(2)式により設計する。フリーパラメータ $K(s)$ は、目標値応答特性 $G_{ry}(s)$ を決める。

$$P(s) = \frac{\theta(s)}{V^{cmd}(s)} = \frac{K_T}{JR s^2 + K_T K_E s} \quad (1)$$

$$g(s) = \frac{g_0}{s^2 + g_1 s + g_0} \quad (2)$$

(1)式において、 J はモータイナーシャ、 R は電機子抵抗、 K_T はトルク定数、 K_E は逆起電力定数である。本制御系の外乱抑圧特性 $G_{dy}(s)$ 及び制御対象のパラメータ変動 $E(s)$ に対するロバスト安定条件は、それぞれ(3),(4),(5)式となる。

$$G_{dy}(s) = Y(s)D(s)(1 - g(s)) \quad (3)$$

$$G_{in}(s) = \hat{G}_{in}(s)\{1 + E_{in}(s)\} = \hat{G}_{in}(s)\left\{1 + \frac{Y(s)D(s)E(s)}{1 + N(s)X(s)E(s)}\right\} \quad (4)$$

$$\|r_{in}(s)g(s)\|_\infty < 1, \quad |r_{in}(j\omega)| \geq |E_{in}(j\omega)| \quad \forall \omega \quad (5)$$

これらの式を用いて提案する制御系のロバスト性に関する $g(s)$ の設計を行う。 $E_{in}(s)$ は、内部ループ $G_{in}(s)$ の乗法的変動を表し、 $r_{in}(s)$ はロバスト安定条件のための重み関数となっている。具体的には、(5)式の条件式を満たし、(3)式の感度関数の大きさをできるだけ小さく抑え、且つ定常状態で零にするようにボード線図上の整形により決める。以上により、図4の補償器 $C_1(s)$ と $C_2(s)$ が得られる。

図1の2足動歩行ロボットが1秒間に最大10cmの歩幅で進むことを想定すると、各関節の目標値応答特性は、30 [rad/sec] 程度必要となる。そして、その動歩行における各関節の負担を慣性モーメントの変動と見なすと、最大値でノミナル値の10倍以下となった。以上より、本サーボ系の設計仕様は表2とする。

表2 制御系設計仕様

Table 2. Specification of control system	
目標値応答特性 $G_{ry}(s)$	30 [rad/sec]
外乱抑圧特性 $G_{dy}(s)$	50 [rad/sec]
ロバスト安定性	モータ軸換算の慣性がノミナル値 J_{nom} の10倍変動まで安定

表2に基づいて設計した2自由度制御系の周波数特性を図5に示す。

4. 2足動歩行制御法

<4.1> 動歩行のための動作記述

本論文では、ロボットの歩行軌道を支持脚及び遊脚先端の3次元絶対座標にて与える。このとき支持脚先端は、第6リンクの中央とし、遊脚先端を遊脚つま先（第1リンクまたは、第11リンク先端）とする。

歩行軌道生成のためにロボットの支持脚を一質点で表現し倒立振子近似を行う。図6は側面(Sagittal Plane)における、倒立振子近似されたロボットを示す。このとき、重心を G で示す。ここでは、第1リンク中点をこの重心にあてる。 r は振子の脚の長さである。

図5 ボード線図

Fig.5. Frequency characteristics of control system

図6 倒立振子近似

Fig.6. Approximation to inverted pendulum

ロボットの動作は3次元であるが、簡単のため統一的には扱わず、 $x-z$ 平面で構成されるSagittal Planeおよび $y-z$ 平面で構成されるLateral Planeに、それぞれ分けて考えることとする。自然な歩行では、体を左右に揺らす角度が少ないのでSagittal Plane内の運動が、Lateral Plane内の運動に影響することがないと見なせる⁽¹⁴⁾。また、Lateral Plane内の運動によるSagittal Plane内の運動への力の影響は、本論文では、外力と見なしている。この外力の抑圧には、2自由度制御系の $G_{dy}(s)$ の応答で十分となる様にする。Sagittal Planeの重心 G について、(6)式の運動方程式を得る。

$$M\ddot{P} = (J^T)^{-1}\tau + Mg \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここで、

$$M = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} x \\ z \\ 0 \end{bmatrix} \quad g = \begin{bmatrix} 0 \\ -g \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$J = \frac{dP}{d\theta} = \begin{bmatrix} \frac{dx}{d\theta} & \frac{dz}{d\theta} & \frac{d\theta}{d\theta} \end{bmatrix}^T \quad \dots\dots\dots(7)$$

である。ただし、

$$m : \text{重心の質量} \quad I : \text{慣性モーメント} \\ g : \text{重力加速度} \quad \tau : \text{原点まわりの回転トルク}$$

である。

(6)式において、両辺に左側からヤコビ行列の転置行列 J^T をかけて、展開すると(8)式が得られる。

$$m \frac{dx}{d\theta} \ddot{x} + m \frac{dy}{d\theta} \ddot{y} + I \ddot{\theta} = \tau - m \frac{dz}{d\theta} g \quad \dots\dots\dots(8)$$

ここで図6の関係より、(9)式を得る。

$$\begin{aligned} x &= r \sin \theta & z &= r \cos \theta \\ \frac{dx}{d\theta} &= r \cos \theta = z & \frac{dz}{d\theta} &= -r \sin \theta = -x \end{aligned}$$

$$m(z\ddot{x} - x\ddot{z}) + I\ddot{\theta} = \tau + mgx \quad \dots\dots\dots(9)$$

Lateral Planeにおいても同様に求められ、(9)式に対し、(10)式を得る。

$$-m(z\ddot{y} - y\ddot{z}) + I\ddot{\theta} = \tau - mgy \quad \dots\dots\dots(10)$$

(9),(10)式について、重心の高さが一定である拘束条件の $z = z_l(\text{const.})$ 、重心が等速運動する拘束条件の $\ddot{\theta} = 0$ ⁽¹⁰⁾、自由振り子運動のための必要十分条件の $\tau = 0$ を代入すると、それぞれは(11),(12)式となる。

$$\ddot{x} - \frac{g}{z_l}x = 0 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$\ddot{y} - \frac{g}{z_l}y = 0 \quad \dots\dots\dots(12)$$

ここで、 z_l は、支持脚先端の高さを表す。

(11)および(12)式の微分方程式を解けば、これらは絶対座標系での振子の動作、すなわち、支持脚先端の軌道指令となる。それぞれを解くと、(13)および(14)式となる。

$$x(t) = \frac{v_{x0}}{\alpha} \sinh(\alpha t) \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$y(t) = \frac{v_{y0}}{\alpha} \sinh(\alpha t) \quad \dots\dots\dots(14)$$

ただし、

$$\alpha = \sqrt{\frac{g}{z_l}} \quad \begin{aligned} x(0) &= 0 & \dot{x}(0) &= v_{x0} \\ y(0) &= 0 & \dot{y}(0) &= v_{y0} \end{aligned}$$

である。

遊脚の軌道については、本論文では、歩行に支障をきたさないように定めている。この軌道の妥当性は、後述の妥当性の検討で判断される。

<4.2> 関節角度の生成について

歩行のための3次元軌道から、各関節角度指令を生成する。このために、関節座標系と直交座標系を結びつけているキネマティクスを求める。この際に、支持脚及び遊脚について別々にキネマティクスを計算する。支持脚は、直交座標系原点から第6リンク中点までとし、遊脚は、第6リンク中点から遊脚先端までとする。これにより、直交座標系と関節座標系を結びつけている逆キネマティクスを得る⁽¹⁵⁾。得られた逆キネマティクスは、支持脚及び遊脚の足首と胴

Fig.7. Total control system of biped robot

体リンクが、床面に対して常に鉛直となる関節角度指令を生成する。

図7に、歩行制御系全体のブロック図を示す。

遊脚の軌道は、直交座標系原点を基準とした遊脚先端の座標となっているので、そのままでは、遊脚の逆キネマティクスに適用できない。そこで、図7では、遊脚の軌道座標から支持脚の軌道座標を差し引くことで、遊脚の逆キネマティクスへ適用している。

<4.3> 歩行軌道の妥当性について

実際に 2 足歩行を行う前に、(13)、(14) 式によって与える歩行軌道が歩行を可能とするものであるかどうかを、あらかじめ判別しておかなければならない。本論文では ZMP 分布を解析することによって歩行の可能性を判別する⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

x, y 各方向の ZMP、 x_{ZMP}, y_{ZMP} は次式で与えられる。

$$x_{\text{ZMP}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g) x_i - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{x}_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g)} \quad \dots \dots \dots (15)$$

$$y_{\text{ZMP}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g) y_i - \sum_{i=1}^n m_i \ddot{y}_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i (\ddot{z}_i + g)} \dots\dots\dots (16)$$

ただし、

 (x_i, y_i, z_i) : i 番目のリンクの重心位置

m_i : i 番目のリンクの質量

g : 重力加速度

実際の歩行軌道解析は、次の条件によって行った。

- ・ 1 歩に要する時間 1[sec]
- ・ 1 歩の距離
 - 腰部 4[cm]
 - 遊脚先端 4[cm] (1 歩目)
 - 8[cm] (2 歩目以降)

図8は、与える歩行軌道の歩行中のZMP分布をシミュレーションによって解析した結果を示したものであり、破線で囲まれた範囲が支持脚足底範囲である。歩行中は支持脚足底内にZMPが分布しており、この歩行軌道は妥当であると言える。

<4.4> 歩行アルゴリズム

図8 ZMP解析
Fig.8. Analyze of ZMP

歩行動作は、基準姿勢である直立姿勢から始める。そのアルゴリズムを概略的に示すと、図9のようになる。

図9 歩行アルゴリズム
Fig.9. Walking algorithm

先ず、歩数カウンタと指令歩数を比較し、歩数カウンタが指令歩数に等しくなればサーボループを終了する。歩数カウンタが指令歩数よりも少ない場合、支持脚フラグにより、左右の脚を遊脚と支持脚のどちらに使うかを決定する。この時点で、支持脚と遊脚の入れ替えが行われる。したがって、脚の入れ替えは1歩が終了した後の定常状態において行われることになる。さらに、右足支持の場合、歩き始め判別フラグにより、基準状態からの歩き始めかどうかを判別する。ここで、歩行指令の生成、各関節軸の位置の読みとり、補償器計算を繰り返す。歩行指令が定常状態となつてから、遊脚の着地判定を行う。着地判定は、各関節の位置情報を順キネマティクスによって直交座標での先端位

図10 各関節角度応答

Fig.10. Angle responses of each joint

図11 スティック線図

Fig.11. Stick diagram

置を計算して行う。着地したとされたら現在の歩の終わりとなり、歩数カウンタに1を加え、支持脚フラグを入れ替えて、新たな歩を始めるために、歩数カウンタのチェックへ戻る。以降この繰り返しで歩行が継続される。

5. 実験結果

上記の歩行軌道と歩行アルゴリズムを用いて歩行実験を行った。その各関節角度応答を図10、スティック線図を図11にそれぞれ示す。

図10は、右足の各関節角度指令および応答を示している。右足は1歩目、3歩目、5歩目において支持脚となり、2歩目、4歩目では遊脚となる。角度応答は、多少のオーバーシュートが見受けられるが、いずれの場合においても指令値によく追従できており、各関節をロボストに位置制御できていることが確認される。

図11は、実験により得られた角度応答をスティック線図で表したものである。図11(a)は、基準姿勢から1歩目終了までを示し、(b)は2歩目を、(c)は3歩目をそれぞれ示している。それぞれより、2足動歩行ができていることが確認される。実際の歩行では、遊脚着地の瞬間にロボットの姿勢が若干乱れているが、所望の姿勢を達成していることが確認できた。実現した歩行は、支持脚が加速運動し、それを着地点で支えるように遊脚を置きに行く歩行となった。着地時に受ける床の反力の影響を、各関節軸に配したロボスト位置制御系が外乱として瞬時に打ち消すことで、歩行を継続している。

本論文で提案している歩行制御は、各関節のロボスト位置制御系により、倒立振り運動を用いて記述した遊脚及び支持脚の軌道を確実に実現するものである。したがって、本制御系では、反力等の外乱の影響をロボスト位置制御系で打ち消せなくなった場合が歩行継続の限界だと考えらる。これは、一歩に要する時間を短くしたとき、あるいは歩幅を大きくとったときなどの場合に相当する。

6. まとめ

本論文では、2足動歩行ロボットの新しい歩行制御法を提案した。提案する手法は、倒立振り近似モデルとキネマティクスにより、支持脚の歩行軌道の計算を簡単にしている。また、支持脚と遊脚について別々にキネマティクスを計算することで、サーボモータへの角度指令生成を簡単にしている。さらに、生成された角度指令は、各関節軸に施された2自由度位置制御系によって、ロボストに制御される。各関節軸の2自由度位置制御系は、2足動歩行時の慣性変動に対してロボスト安定となるように設計される。

提案する制御法を実際の2足動歩行ロボットに適用し、実験によってその歩行が確認された。今後は、凹凸や摩擦係数が変化する路面など、さまざまな路面に対応できる歩行制御法へ発展させてゆきたい。

(平成9年2月25日受付, 平成9年6月27日再受付)

- (1) 高西・石田・山崎・加藤:「2足歩行ロボットWL-10RDによる動歩行の実現」, 日本ロボット学会誌, 3, 4, 325~336 (昭60-4)
- (2) 高西:「上体の運動によりモーメントを補償する2足歩行ロボット」, 日本ロボット学会誌, 11, 3, 348~353 (平5-3)
- (3) 宮崎・有本:「特異摂動法による多自由度二足歩行系の解析」, 計測自動制御学会論文集, 15, 4, 498~504 (昭54-8)
- (4) 古荘・森塚・増淵:「局所フィードバックの概念を考慮した2足歩行の低次元モデル」, 計測自動制御学会論文集, 17, 5, 596~601 (昭56-8)
- (5) 梶田・谷:「凹凸路面における動的2足歩行の制御について」, 計測自動制御学会論文集, 27, 2, 177~184 (平2-2)
- (6) 佐野・古荘:「角運動量制御による2足歩行ロボットの3次元動歩行」, 計測自動制御学会論文集, 26, 4, 459~466 (平2-4)
- (7) 駒田・村上・大西:「加速度に基づく多自由度ロボットの力フィードバック制御」, 電学論D, 109, 5, 325~332 (平元-5)
- (8) K. Ohnishi, M. Shibata and T. Murakami, "Motion Control for Advanced Mechatronics", IEEE/ASME Trans on Mechatronics, Vol.1, No.1 pp.56-67, (1996-3)
- (9) 大石・大西・宮崎:「ロボスト速度コントローラに基づく多関節ロボットの一モーション制御法」, 電学論D, 116, 2, 144~151 (平8-2)
- (10) 空尾・村上・大西:「安定性を考慮した2足歩行ロボットのインピーダンス制御」, 平成8年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集[III], No.275
- (11) 南方・堀:「Biped Bikeに関する研究—矢状面運動の解析と制御—」, 平成8年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集[III], No.277
- (12) M. Vukobratović (加藤・山下訳):「歩行ロボットと人工の足」, 日刊工業新聞社, (昭50)
- (13) K. Ohishi, T. Miyazaki and Y. Nakamura: "High Performance Ultra-Low Speed Servo System Based on Doubly Coprime Factorization and Instantaneous Speed Observer", IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, Vol.1, No.1 (1996-3)
- (14) 下山・三浦・光石:「2足歩行ロボットBIPER-4の動歩行に関する研究」, 機学論C, 49, 444, 1372~1381 (昭58-8)
- (15) 広瀬:「ロボット工学—機械システムのベクトル解析—」, 裳華房 (昭62)

真島 勝行

(学生員) 1972年11月4日生まれ。1995年3月長岡技術科学大学電子機器工学課程卒業。同年4月同大学大学院工学研究科入学。現在主として、ロボティクスに関する研究に従事。

宮崎 敏昌

(学生員) 1971年12月8日生まれ。1994年3月長岡技術科学大学電子機器工学課程卒業。1996年4月同大学大学院工学研究科電気・電子システム工学専攻修士課程修了。同年4月同大学院エネルギー・環境工学専攻博士課程入学。現在主として、電動機制御とモーションコントロールに関する研究に従事。

大石 潔

(正員) 1957年10月14日生まれ。1981年3月慶応大学工学部電気工学科卒業。1986年3月同大学大学院工学研究科博士課程修了。大阪工業大学講師、助教授を経て、1993年4月長岡技術科学大学電気系助教授、現在に至る。工学博士。主として、制御工学、パワーエレクトロニクス、ロボティクスに関する研究に従事。IEEE会員など。