マニピュレータの自律的障害物回避動作を 高速化するためのセンサ統合システム

正 員 山 田 陽 滋 (豊田工大)

正 員 土 田 縫 夫 (豊田工大)

A Sensor Integration System for High-Speed Autonomous Collision Avoidance Movements of a Manipulator

Yoji Yamada, Member, Nuiro Tsuchida, Member (Toyota Technological Institute)

This paper deals with a system with originally developed visual and proximity-tactile sensors mounted on a 2-link manipulator. A sensor integration system for autonomous collision avoidance movements in real time is proposed firstly and the hierarchical structure of the system is described. The strategy to control the manipulator is nextly proposed, which includes how to plan a global path by using visual sensor data and a local path correction procedure with proximity-tactile sensor signals directly given to the servo controller. Finally, an experimental result is shown in which the manipulator is controlled according to the strategy. The time spent for the system to do with a stair-shaped obstacle was about 22 s in which only 3.3 s was required for calculating a global path, which shows the effectiveness of the developed sensor integration system.

キーワード：障害物回避，センサ統合，視覚センサ，近接覚-触覚センサ，経路計画，経路変更

1. 序 論

本研究は、2リンクアームによる自律的な障害物回避動作に関するものである。垂直多関節形マニピュレータシステムに独自に開発した視覚および近接覚-触覚センサを付加し、それらのセンサから得られたデータを統合的に利用することにより、自律動作の応答の高速化を図ることを目的とした。

複数のセンサを用いてロボットの自律的な動作の信頼性を向上させる試みは、特に移動ロボットの分野で多くなされてきた⁽¹⁾⁽²⁾。最近では、TVカメラから得られる視覚情報と超音波センサから得られる近接覚情報を統合化して確実な移動経路を決定するシステムも報告されている⁽³⁾。しかしながら、これらの技術をそのままマニピュレータに適用すると幾つかの問題が生じる。まず、移動ロボットの場合には、床に水平な二次元平面内の物体の移動をモデルとして与えて経路探索を行う場合が多いのに対して、マニピュレータの

場合には三次元的な経路を求める必要があり、システムの応答時間内に占める探索時間の割合が大きくなる。また、マニピュレータでは、経路を局所的に変更するにも高速性が要求される。従って、システムを高速化するためには、動作経路の計画時間および実際の動作時間の両方の短縮化を図らなければならない。

本研究では、第一段階として、マニピュレータが自律的に作業環境をとらえて動作経路を計画するために、検出範囲の広い視覚センサのデータを用いて、大域的観点に立った経路の探索を行う。さて、動作経路の自動計画に関するこれまでの研究の中では、(i)ポテンシャル法⁽⁴⁾、(ii)空間セル法⁽⁵⁾、(iii)準空間法⁽⁶⁾をそれぞれ利用したものが大きな成果を収めている。これらの中で(i)および(ii)のアプローチは、自動計画の前処理にあたる空間の記述に多くのプログラミングと処理時間を要する。この点で(iii)の場合には、幾何学的な関数表現を活用でき、処理時間を短縮することができるという点で実時間処理に適している。この

手法では、パラメータを固定した各準空間内でマニピュレータが障害物を回避することのできる候補姿勢を算出しておき、パラメータを変化させたときに最適な姿勢変化を与えるジョイント角の系列を探索するというアルゴリズムが用いられる。従って、パラメータの変化が小刻みでその準空間の数 n が大きいと、経路探索に要する計算量も多くなり、応答時間の遅れの原因になる。これを避けるために、経路計画の段階で検出データをより離散的に削減し、 n を減らすことによって、探索作業の負荷を軽減するアプローチが考えられる。しかし、検出データが減ると、回避経路を決定するのに情報量が不十分な局面が現れる。

そこで、この信頼性の低下を補償する目的で、第二段階として、検出領域は狭いが高速に障害物との干渉を検出できる近接覚-触覚センサ（〈2・1〉節参照）を用い、その情報に応じて経路の局所的な変更を実時的に行う制御手法を考えた⁽⁷⁾。

以下の章では、まず、独自に開発した視覚および近接覚-触覚センサをマニピュレータに実装し、これらによって得られる情報を統合的に利用できるセンサ統合システムについて、その階層的なフィードバック構造を説明する。次に、視覚情報を用いて生成した経路に沿ってマニピュレータを動作させながら、アクチュエータに直接フィードバックされる近接覚および触覚信号を利用して障害物を局所的に回避する制御戦略を提案する。最後に、この戦略に従って実際にマニピュレータを制御した結果を表し、システムの評価を行う。

2. センサ統合システムの構成

マニピュレータ（三菱電機製 MOVEMASTER EX）に視覚および近接覚-触覚センサを装着して、その情報を統合的に利用することのできるセンサ統合システムを構成した。マニピュレータは5自由度を有する垂直多関節形で、その2リンク部分（3自由度）が用いられる。

〈2・1〉 視覚および近接覚-触覚センサの実装

図1にシステムの構成図を、また図2にその外観写真を示す。本システムで用いられる視覚センサ S_v は、障害物表面の三次元的な位置座標を求めることができるもので、その検出データはセンサ座標系 O_v において (θ, r, z) の円柱座標で出力される⁽⁸⁾。ここで、 θ はマニピュレータの第一ジョイント θ_1 軸（図9参照）に一致している。そのため、 O_v からマニピュレータの動作を記述する基準（円柱）座標系 O への座標変換は簡単になり、計算処理時間が短縮され

図1 視覚および近接覚-触覚センサの装着
Fig.1. Equipment of visual and proximitytactile sensors.

図2 センサ統合システムの外観写真
Fig.2. Photo of the sensor integration system.

図3 三次元位置検出結果
Fig.3. Result of 3D position detection.

る。図3はマニピュレータの直交作業座標系において、

$$P_0(x, y, z) = (0, 500, 150) \dots\dots\dots (1)$$

の位置に置かれた階段状の障害物の検出結果である。この場合の最大誤差は、 R 方向で 17.1 mm、 Z 方向で 14.7 mm であった。

図 4 近接覚部の検出特性

Fig. 4. Characteristics of proximity sensing.

一方、近接覚-触覚センサ S_{pi} は、障害物の接近を検出する近接覚と、接触を検出する触覚の二つの機能を一つの素子にもたせるものである⁽⁹⁾。これを図 1 示すように、マニピュレータの前腕部の上と下に 2 枚装着した。この理由は、第 3 章でも述べるように、アームを垂直平面上に投影した場合の上辺、下辺において障害物との干渉が生じる場合を想定しているためである。図 4 は S_{pi} の近接覚の原理である障害物の接近距離 h に対するセンサ電極の対地静電容量の変化 ΔC_p を表したものである。本研究では、 $\Delta C_p = 5 \text{ pF}$ 程度で障害物の接近を検出し始めるように設定されている。ただし、同図に見られるように、平面あるいはかがそれぞれ接近する場合で、これを検出し始める距離が 10 mm 程度の差を有する。

〈2・2〉 システムのブロック構成 図 5 は提案するセンサ統合システムにおけるセンサ信号の流れを表している。本システムは、センサ信号を経路プラナやコントローラまで階層的にフィードバックする構成とした。

まず、 S_v のデータはシリアルインタフェースを介して、マニピュレータの動作経路を計画するための経路プラナに入力される。一方、 S_{pi} から得られる障害物の干渉検出データのうち、A/D 変換された 8 ビットの近接覚データは、 θ_3 サーボ CPU を介して第三ジョイントのサーボコントローラへ直接フィードバックされる。 θ_3 サーボ CPU は、位置指令の制御ループとは非同期で動作し、そのサンプリング時間は 5 ms である。

本システムでは、 S_v のデータから計画された経路に更に近接覚データが加算される形でセンサデータの統合が行われる。ただし、ゴール地点近傍に障害物がある場合、近接覚が働き続けると、マニピュレータが

図 5 システムにおけるセンサ信号の流れ
Fig. 5. Signals' flow in the system.

ゴール地点に到達できない。そこで、この地点において、経路プラナからの指令によって加味される近接覚データの重みを 0 とすることができるよう w_p が設けられている。

他方の触覚の ON・OFF データは、応答が 20 ms 程度で、コントローラ CPU への割込み信号として入力され、マニピュレータの非常停止を司る。

3. 動作経路の計画と変更

マニピュレータの作業領域内において、存在する障害物より上側は、すべて自由空間、すなわちマニピュレータが自由に動作できる空間であるとする (skyward property⁽¹⁰⁾)。この仮定が成立する局面は、ピックアップブレースなどマニピュレータが対象とする作業に多く存在する。本論文では、この仮定のもとで、オペレータによって与えられたスタート S からゴール G まで、マニピュレータに自律的に障害物を回避しながら移動させる方策として以下に示す制御手法を提案する。すなわち、第一ステップとして、経路プラナでは、視覚センサから得られた検出データを用いて大域的な動作経路を計画する。そして第二ステップとして、実際のマニピュレータに計画された経路に沿って動作をさせるが、その間、近接覚-触覚センサによって障害物との干渉をチェックし続ける。もし、近接覚センサが働いたら、駆動ジョイントへの直接フィードバック指令により、局所的な経路変更動作をする。更にもし、触覚センサが働いたら、マニピュレータの動作を停止した後、経路プラナによって局所的に経路の計画を立て直す。

〈3・1〉 大域的な経路計画 第 2 章で述べたように、マニピュレータの三次元的な動作空間を、その第一ジョイント角 $\theta_i = \theta_i$ ($i = S, S+1, 2, \dots, G-1, G$) で決定される準空間であるところの θ_i 平面の集合と

図 6 大域的経路計画のための流れ図
Fig. 6. Flowchart for global path planning.

して記述する。つまり、マニピュレータの動作を決定するジョイント角のうち $\theta = (\theta_2, \theta_3)$ と、視覚センサによる検出点をマニピュレータの円柱座標系に変換したデータとを離散的な θ_i の値をパラメータとしてメモリーに格納する。このとき、データの中からまず視覚センサにとって死角となる領域を除外し、更に適当な点を選び出して連結することによって、障害物を包含する凸多角形 B_i を構成する。この前処理は、情報を圧縮し干渉チェックに要する計算量を削減するのに寄与する。

本論文では、動作経路を決定するにあたり、 S から G までの移動時間が最小となるように、図 6 に示す流れ図に従って θ_i 平面におけるマニピュレータの姿勢を求める。以下に、同図中に付した * 印の部分について補足説明を行う。

マニピュレータが G まで直線的に向かう途中、 θ_i 平面における補間姿勢 θ_{ci} の状態でそのリンクが B_i と干渉する場合（すなわち、 B_i を構成する辺群とマニピュレータの各リンクの辺群が交点をもつ場合）、そこから離脱できる姿勢を求める必要がある。この干渉状態と、離脱状態すなわちマニピュレータにとっての自由空間との境界は、リンクが障害物と接触する状態である。

さて、二次元平面内の 2 多角形間の幾何学的な接触は、一方の各頂点と他方の各辺との間で生ずる⁽¹⁰⁾。そこで、 B_i を構成する頂点 B_{ij} ($j:1$ から凸多角形の頂点の数まで) の各点および点間を結んだ線分と、 $\theta_i = \theta_{ci}$ の状態にあるマニピュレータのリンクを θ_i 平面上に投影した各辺および各頂点との間で接触状態を調べる。

図 7 第二リンクのかどと障害物の 1 辺の接触
Fig. 7. Contact of 2nd link corner with an edge of an obstacle.

図 8 第二リンクの 1 辺と障害物の頂点の接触
Fig. 8. Contact of 2nd link edge with a vertex of an obstacle.

本研究の実験では、第 4 章で述べるように、障害物が第二リンク部位と干渉をきたすように設置される。第二リンクと B_i が接する状態を図 7 および図 8 に表す。図 7 では、第二リンク先端の角と多角形に近似された障害物の 1 辺が接触した状況を示しており、障害物辺上の 1 点 $B'(r_0, z_0)$ を定めれば、長さ L_2' だけ θ_3 軸方向へ戻った $J_3(r, z)$ を算出することができ、これより $\theta_i = (\theta_{2i}, \theta_{3i})$ は同図中の記号 λ などを用いて、

$$\theta_{2i} = \tan^{-1} \frac{z}{r} \dots \dots \dots (2)$$

$$\theta_{3i} = -\lambda - \tan^{-1} \frac{z_0 - z}{r_0 - r} - \theta_{2i} \dots \dots \dots (3)$$

と求めることができる。

また、図 8 は第二リンクの 1 辺と障害物の 1 頂点が接触している状態を示しており、この場合も同様にしてリンク辺上の 1 点 $L(r_0, z_0)$ を定めることにより、(2)、(3) 式によって θ_i を計算することができる。

θ_i 平面内で第二リンクが障害物と接するような姿勢は無数に存在するので、次に、 θ_{ci} の状態から最小時間でリンクが障害物から離脱するという条件を導入する。本マニピュレータは、 θ_2 および θ_3 の最大角速度が等しいので、これは、 θ_2 あるいは θ_3 が最小移動量で離脱できるマニピュレータの姿勢を求めることを意味する。そこで、まず図 7 の B_i の辺に沿って点 B'

を、あるいは図8のリンク辺に沿って点 L をそれぞれ離散的に変化させながら、そのつど(2)、(3)式によって $\theta_{ik}(k: \theta_i$ 平面内で離散的に変化させた点 L あるいは点 B' の数)を算出する。そしてその中から、

$$\Delta\theta_k = \max(|\theta_{3cl} - \theta_{3il}|, |\theta_{2cl} - \theta_{2il}|) \quad \cdots \cdots (4)$$

$$\Delta\theta_i = \min_k \Delta\theta_k \quad \cdots \cdots (5)$$

の条件を満たす $\theta_{il}(l: \theta_i$ 平面内の候補の数)をすべて求める。

そして、(5)式で求めた各 θ_{il} 平面内の候補 θ_i のうち、いずれかの姿勢を各 θ_{il} 平面内でとりながら S から G まで移動させるときに、

$$\min \left(\sum_{i=1}^6 \Delta\theta_{ii} \right) \quad \cdots \cdots (6)$$

を満たす経路を後戻り探索によって求め、これを最終的な大域的計画経路の出力とする。

<3・2> 局所的な経路変更 前節で述べた大域的な経路の計画は、以下に掲げる三つの点で不十分である。

(1) 実際のマニピュレータには横幅方向にも肉厚があるので、準空間 θ_1 内のマニピュレータの姿勢の計算では、これを考慮しなくてはならない。これについては、 θ_1 の変化につれてリンクの形状を準空間である平面に投影することによって逐一姿勢を計算することも可能である⁽¹¹⁾。しかしながら、計算量が増加すること、また例えば、マニピュレータのリンクが円柱形状であるような場合には、投影像が時々刻々に変化するため、取扱いが煩雑になるなどの問題がある。

(2) 準空間を決定するパラメータ θ_1 を離散的に変化させるので、その離散値以外の値に対応する準空間の記述や、その空間における経路の計画ができない。これは、準空間法に限らず第1章で述べた空間の記述の方法すべてに共通する問題である。

(3) 視覚センサのデータには検出誤差や死角が存在するため、経路の計画には修正や補正が必要である。これについては、検出データから死角領域の幾何学的状態を補間する手法も考案されている⁽¹²⁾が実時間的な取扱いは困難である。

以上(1)~(3)の問題を同時に解決する方策として、マニピュレータを実際に動かしているときに障害物との干渉を監視し、干渉が発生した場合に経路を変更させる機能を考えることができる。そこで、視覚データに近接覚-触覚センサからの干渉検出データを加味して、動作経路を実時間的に変更する方法として以下に示すプロセスを本システムに付加した。

<3・1>節で求めた大域的計画経路に沿ってマニピュ

図9 近接視覚信号に応じた第三ジョイントの動き方

Fig. 9. Driving rule of joint 3 according to proximity sensing signals.

レータが動作中に、近接覚-触覚センサが取付けられている第二リンク部において障害物との衝突の可能性を有する部位は、上面もしくは下面、そして前面(この部分にはセンサが取付けられておらず、本研究では回避の対象としない)である。障害物の位置およびこれと干渉するリンクの部位は、経路計画の段階であらかじめ求められているので、近接覚センサが働いた場合には、その θ_1 平面内でそれぞれの部位を障害物から遠ざけるように θ_i を変更させるのが適当である。その速度ベクトル量は、例えば図7では、

$$(\Delta\theta_2, \Delta\theta_3)^T = J^{-1}(\Delta r, \Delta z)^T \quad \cdots \cdots (7)$$

として与えることができる。ただし $(\Delta r, \Delta z)$ は、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta z}{\Delta r} m_j &= -1 \\ \Delta r^2 + \Delta z^2 &= d^2 \end{aligned} \right\} \quad \cdots \cdots (8)$$

を満たす量であるとする。また、(7)式の J は、リンク先端の位置 (r, z) について、

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial r}{\partial \theta_2} & \frac{\partial r}{\partial \theta_3} \\ \frac{\partial z}{\partial \theta_2} & \frac{\partial z}{\partial \theta_3} \end{bmatrix} \quad \cdots \cdots (9)$$

で求められる 2×2 のマニピュレータヤコビ行列、更に、 m_j は線分 $B_{ij}B_{i+1}$ の傾き、 d は単位時間の経路変更移動量であるとする。

しかし本システムでは、近接覚信号が θ_3 軸のサーボ系にだけフィードバックされているので、図9に示すように、下面の近接覚センサ $S_{pt.d}$ の検出信号によって θ_3 を正転方向に、また、上面のセンサ $S_{pt.u}$ では θ_3 を逆転方向に回転させるようにし、その回転速度量は、図3の特性に従ったものを与えることにした。

一方、触覚センサが働いた場合には、高速な直接サーボによる回避動作だけでは障害物を回避しきれなか

図 10 $\theta_1 = -2^\circ$ における第二リンクと障害物との接触

Fig. 10. Contact of 2 link with the obstacle when $\theta_1 = -2^\circ$.

図 11 階段状障害物を回避する動作経路の計画結果

Fig. 11. Result of path planning to avoid a stair-shaped obstacle.

ったとして、割込み信号によってマニピュレータの動作を停止させて、再び経路プラナに制御権を渡す。

4. 障害物回避動作の結果と考察

図 3 に表した階段状の物体を障害物とみなし、第 3 章で提案した制御手法によって、マニピュレータにこれを回避させる動作を実現した。

まず、準空間においてマニピュレータが動作し得る姿勢を求めた例として、図 10 に -2° 平面におけるマニピュレータの障害物との接触の様子を示す。図中の右側の黒点は障害物の検出点を表している。障害物の凸多角形近似によって障害物の点が削減され、これらを結んだ線上の一点とマニピュレータ第二リンクの前下かどが接触している状態を表している。また図 11 は、マニピュレータが障害物を回避しながら S から G へ向かう姿勢の変化を

$$-12^\circ \leq \theta_1 \leq 6^\circ \dots\dots\dots (10)$$

の範囲において 2° 間隔でリンク線表示したものである。同図から、それぞれの θ_1 平面内でマニピュレータが障害物を回避する姿勢が計画されていることがわかる。

経路プラナとしてワークステーション NWS-811

(a) 障害物を除き、計画経路に従った場合
(b) 障害物を置き、近接覚による経路変更を伴った場合

図 12 第三ジョイント角度のモニタ

Fig. 12. Monitor of joint 3 angle.

(2.3 MIPS) を用いた。計算処理時間は、各 θ_1 平面内の姿勢決定(図 10)に約 0.3 s、また、全 θ_1 平面の障害物点 118 点に対して大域的な計画経路を探索するのに(図 11)3.3 s を要した。更に、(10)式に表す範囲において θ_1 パラメータの間隔を 4° とした場合でも回避動作は実現でき、そのときの全経路の探索所要時間は 1.6 s に短縮された。

図 12 は近接覚-触覚センサを働かせながら実際にマニピュレータを制御したときのジョイント角 θ_3 の変化を回避動作の 18 s の間、第三ジョイントに取付けたポテンシオメータによってモニタしたものである。同図には、特にマニピュレータが障害物に接近する時点あるいは障害物から離れる時点において、近接覚信号に従って局所的にオーバーランしている様子が示されている。この実験では、準空間の中で経路を計画する段階で、姿勢探索アルゴリズムの中に時々刻々変化する肉厚部の計算処理など煩雑なルーチンは加えられていない。にもかかわらず、実際にマニピュレータが動作するときに近接覚センサデータを統合して ($\Delta\theta_3 = 7^\circ$ 程度の) 経路変更を行うことにより、計算処理時間を短縮することができ、また確実に障害物回避動作が実現できることが実験結果からわかる。

5. 結 言

本論文では、2 リンクマニピュレータによる自律的かつ実時間的な障害物回避動作を目的として、視覚センサおよび近接覚-触覚センサを実装したシステムの構成について述べ、これらのセンサから得られたデータを統合的に利用する制御戦略を提案した。そして、動作実験を通じてシステムの応答時間に関する評価を行った。本論文で得られた成果を以下の 3 点に要約する。

(1) マニピュレータの視覚として、三次元位置検出センサを装着し、また、実時間的な干渉チェックを目的として近接覚・触覚センサを第二リンク部に装着したセンサ統合システムを構築した。

(2) 視覚情報を用いて経路プランナで大域的な動作経路を計画するプロセスと、近接覚・触覚情報をジョイントサーボ系に直接フィードバックして局所的に経路を変更するプロセスを組合せた制御戦略を提案した。

(3) 本マニピュレータシステムが階段状の障害物を実際に回避する動作の所要時間は全体でおよそ 22 s で、そのうち経路計画に要する時間は 3.3 s に短縮された。これにより、構築したシステムの応答の高速化およびその有効性が確認された。

本制御戦略においては、局所的な経路の変更を θ_1 平面内でヒューリスティックに行っている。この動作の収束性については、既に考察が与えられている⁽¹³⁾。しかしながら、 θ_1 平面から外れて経路を変更しなければならないような場合には、更に力覚センサなどを利用して障害物との接触時に回避の方向ベクトルを定めるアプローチ⁽¹⁴⁾などが有効であると考えられる。

最後に、本論文にまとめるにあたり、御助言をいただきました東京工業大学教授 梅谷陽二先生に深く感謝いたします。また、システムの構築にあたり、プログラム開発に御助力いただきました松下昌之君（現、住友ゴム）ほかに感謝いたします。なお、本研究の一部は、昭和 63 年度科学研究費補助金（課題番号 63750428）によって達成されました。

（平成 2 年 4 月 2 日受付，同 2 年 9 月 27 日再受付）

文 献

- (1) 小林：「自律形移動ロボットにおける知識処理」，計測と制御，26，128(昭 62-2)
- (2) G. Giraldo, R. Chatila & M. Vaisset: "An Integrated Navigation and Motion Control System for Autonomous Multisensory Mobile Robots", Proc. 1st Int. Symp. Robotics Research, p. 191(1983)
- (3) 久保田・橋本・原島：「視覚センサとレンジセンサの協調による移動ロボットのナビゲーション」，ロボット学誌，7，11(平元・4)
- (4) O. Khatib: "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots", Int. J. Robotics Res., 5, 90 (1986)
- (5) 長谷川：「ロボットの作業環境記述と動作計画に関する研究」，電総研報告，No. 894(昭 63)
- (6) T. Lozano-Pérez: "Spatial Planning: A Configuration Space Approach", IEEE Trans. Computers, C-32, No. 2, 108(1983)
- (7) Y. Yamada, N. Tsuchida & M. Komai: "Visual and Proximity-Tactile Sensors for Collision Avoidance Control of an Industrial Manipulator", Proc. 19th ISIR, p. 741 (1988)
- (8) 山田・土田・駒井・平川：「微分処理により抽出された特徴点の 3 次元位置を検出するレーザ光走査型センサ」，ロボット学誌，7，23(平元-6)
- (9) 山田・土田・上田：「同筒形アームのための障害物検出用近接覚・触覚センサ」，同上，6，292(昭 63-4)
- (10) T. Lozano-Pérez: "Motion Planning for Simple Robot Manipulators", Robotics Res., 3, 133(1985)
- (11) A. Rodney: "Planning Collision-Free Motions for Pick-and-Place Operations", Int. J. Robotics Res., 2, No. 4 19 (1983)
- (12) 広瀬・前川・梅谷：「地図作成型視覚システムの情報処理」，ロボット学誌，2，191(昭 59-3)
- (13) V. J. Lumelsky: "Dynamic Path Planning for a Planar Articulated Robot Arm Moving Amidst Unknown Obstacles", Automatica, 23, 551(1987)
- (14) K. Kosuge, K. Furuta & T. Tokoyama: "A Control Architecture for Intelligent Mechanical System: Visual Internal Model Following Control", Proc. IEEE Int. Symp. Intelligent Control, p. 489(1987)

山 田 陽 滋 (正員)

昭和 56 年 The University of Texas に留学，M. S. 取得。58 年名古屋大学工学部修士課程修了。同年豊田工業大学制御情報工学科に勤務。工学博士。以来，ロボットのセンサおよび制御の研究に従事。平成元年電子情報通信学会東海支部創立 50 周年記念奨励賞受賞。

土 田 縫 夫 (正員)

昭和 47 年名古屋大学大学院博士課程満了。名古屋大学助手を経て，現在，豊田工業大学制御情報工学科助教授。工学博士。主として，薄膜トンネルエミッタ素子を応用した液体誘電体物性の研究，ロボット用アクチュエータおよびセンサの研究に従事。46 年電気学会論文賞受賞。