バーチャルレーダによる障害物情報提示システム

妻 木 勇 一^{*1} 高 橋 三 恵^{*2} 尹 祐 根^{*1} 内 山 勝^{*1}

An Obstacle Information Display System with Virtual Radar

Yuichi Tsumaki^{*1}, Mie Takahashi^{*2}, Woo-Keun Yoon^{*1} and Masaru Uchiyama^{*1}

During teleoperation, when the operator's attention is concentrated in controlling the end-effector motion, it is very difficult to recognize a possible link collision. Such collision may damage the environment or the link seriously, because usually the link has no sensors. In this paper, we propose a so-called "virtual radar" which displays the collision information considering the whole manipulator at the end-effector level. The computer checks for unreachable areas due to the presence of obstacles and displays the appropriate information mapped in task-space coordinates using a 3D graphical image. This enhances the reliability of the system. However, in the case of a 6 D.O.F manipulator, collision possibility space must be a 6 dimensional one and hence it is difficult to visualize and understand. To tackle this problem, a deformed sphere and patterns on its surface are employed. We have applied this method to a 6 D.O.F. manipulator and have verified the effectiveness of the proposed approach by experiments with a real telerobotic system.

Key Words: Teleoperation, Collision Avoidance, Virtual Reality, Operator Support System, Virtual Radar

1. は じ め に

宇宙空間や原子力プラントなどに代表される極限環境下における遠隔操作には、高い信頼性と安全性を確保することが求められる。マニピュレータの障害物回避は、このような遠隔操作を実現するために重要な技術の一つと位置付けられる。

この障害物回避の重要性は、ロボット工学初期のころより認識されており、これまで盛んに研究が行われ様々な手法が提案されてきた。これらの手法は、大きく二つに分けて考えることができる。一つは、目標位置あるいは手先軌道をオフラインで与え、障害物回避を行う軌道を計算機により算出し、ロボットを動かす方法である[1]~[4]。もう一つは、手先速度をオンラインで与え、障害物に衝突しないように手先速度方向を変更したり、あるいは冗長性を利用するなどして障害物回避をリアルタイムに行う方法である[5]~[8]。前者の方法は、スーパーバイザリコントロールに代表されるような高いレベルの指令を与える遠隔操作に適しており、後者はジョイスティックなどを用いて直接低レベルの指令を与えるマニュアル操作型の遠隔操作に適していると考えられる。実際の遠隔操作においては、作業に応じて両方の遠隔操作の形態を使い分ける必要があり、障害物回避

に関してもそれぞれの形態に適した方法を確立する必要がある。

一般にマニュアル操作型の遠隔操作では、オペレータが指示した手先速度をスレーブアームが正確に実現することが重要である。しかし、手先速度を変更する従来のやり方では、オペレータの指示通りにマニピュレータが動かないため、大きな混乱を招く可能性がある。冗長性を利用した場合でも、冗長自由度が飽和してしまえば結局手先速度を変更しなくてはならない。そこで、本論文では、バーチャルレーダという障害物回避のための新しい手法を提案する。本手法は、マニピュレータの作業領域内の衝突領域を計算機により算出し、障害物に衝突しない領域をマニピュレータ手先近傍にコンピュータグラフィックスを用いて提示する方法である。バーチャルレーダを見ることによりオペレータは衝突しない領域を容易に認識することができ、安全な領域内でマニピュレータを自由に操作することが可能となる。すなわち、マニピュレータはオペレータが与えた運動を変更することなく安全に作業を実現できるため、提案する手法はマニュアル操作型の遠隔操作に適しているといえる。さらに、本手法を6自由度のマニピュレータに適用した実験を行いその有効性を検証する。

2. バーチャルレーダ

安全な遠隔操作を実現するためには、オペレータがシステムの状態を常に把握しながら遠隔操作を行うことが望ましい。しかし、手先の細かい作業を行うような場合には、手先に注意が集中するため、全体の様子を把握することが困難となる。この

原稿受付 2000年4月6日

^{*1} 東北大学大学院工学研究科

^{*2} 日本電気株式会社

^{*1} Graduate School of Engineering, Tohoku University

^{*2} NEC Corporation

Fig. 1 An example of collision between a link and an obstacle

Fig. 2 Concept of the virtual radar for a planar arm

ため、手先と障害物との衝突は容易に認識することができてもマニピュレータのリンクと障害物との衝突を認識することは難しい。特に、Fig. 1 に示すように、手先部を拡大した画面を見ながらの操作ではリンクの衝突を認識することは極めて困難である。なかでも、マニピュレータの特異点近傍では手先の動きに対しリンクの動きが複雑で大きいため、オペレータがその動きを予測することは非常に困難である [9]。このため、リンクの衝突も考慮したマニピュレータ全体の衝突を表す障害物情報を何らかの方法でオペレータに知らせる必要がある。

そこで、バーチャルレーダと呼ぶ障害物情報提示システムを提案する [10]。障害物の位置、形状を何らかの方法で取得することができれば、マニピュレータと障害物との干渉情報を得ることができる。一方、手先位置に対するマニピュレータのコンフィギュレーションは、現在値からの連続性を考慮すると一意に定めることが可能である。したがって、リンクと障害物との接触情報を手先位置レベルすなわちデカルト空間で表すことが可能となる。Fig. 2 に平面マニピュレータの場合に手先レベルで提示した衝突情報の一例を示す。このようにリンクの衝突情報を手先レベルでオペレータに提示することでオペレータは容易に衝突領域を認識することが可能となり、操作性の向上が期待できる。しかも、安全な領域内であれば軌道を自由に決めることができるため、オペレータは、様々な他の条件を考慮しながら軌道をリアルタイムで決定していくことができる。ところが、図のような平面マニピュレータの場合は衝突情報を手先レベルで提示することが容易であるが、6 自由度マニピュレータの場合、六次元空間へのマッピングが必要となり、提示方法が難し

Fig. 3 Virtual radar for a 6-DOF manipulator

いばかりではなく、提示できたとしてもオペレータがそれを理解することは困難である。

そこで、形状が非衝突領域に合わせて変化する半透明な球をバーチャルレーダとして導入する。バーチャルレーダの中心はマニピュレータ手先に固定され、その形状は、手先の並進運動に関する非衝突領域（安全可動範囲）を表す。すなわち、リンクが衝突する領域では、その領域だけバーチャルレーダが凹まされたように提示される。これをマニピュレータ手先の動きに合わせ、リアルタイムで提示することにより、オペレータに障害物情報を分かりやすく提示することができる。バーチャルレーダの内側であれば、障害物に衝突することなく安全にマニピュレータを操作可能である。概念図を Fig. 3 に示す。

ここで、球の形状は、手先の並進に対応した衝突情報であるが、この形状は手先姿勢の変動によっても変化する。すなわち、手先姿勢を変更することによりリンクが障害物に近づくとき並進可能な手先領域の余裕が少なくなり、バーチャルレーダの凹みが大きくなる。したがって、時間的なバーチャルレーダの形状変化を見ることによって並進だけではなく姿勢に関する衝突情報も得ることができる。しかし、より分かりやすい提示を行うために、さらにバーチャルレーダ表面に姿勢変動に対する衝突情報を提示することを提案する。まず、マニピュレータ手先からバーチャルレーダに向け仮想ビームを照射し、仮想ビームとバーチャルレーダの交点を現在の姿勢を表す点とする。したがって、バーチャルレーダ表面上の点は、最終軸回りの回転を除く姿勢 2 自由度に対応する。そこで、これに合わせて衝突情報を模様としてバーチャルレーダ表面に提示すれば良い。バーチャルレーダ表面に提示された非衝突領域の中にこの交点が常にあるようにすれば、マニピュレータは障害物には衝突しない。なお、バーチャルレーダの表面は二次元のため、2 自由度の姿勢情報しか提示することはできない。しかし、通常マニピュレータの最終軸は、ツール回りの回転に一致するように取られているため、最終軸回りの動きは他のリンクの動きを伴わない場合が多い。したがって、姿勢に関しては二次元の情報でも十分と

考える。

ただし、このような手先近傍の衝突情報だけでは、大きく動かす場合など大局的な判断を下すことは難しい。一方、バーチャルレーダのような三次元可視化システムを使って作業領域全体の衝突情報を一度に提示しても形状が複雑すぎてそれを理解することは困難になると考えられる。そこで、マニュアル操作で大きくマニピュレータを動かす場合は、全体の衝突情報を二次元平面にマッピングしたものを提示するなどの工夫が必要と考えられる。なお、バーチャルレーダの半径は、作業に応じて決めれば良い。

3. バーチャルレーダの適用

本章では、バーチャルレーダを実際の遠隔操作システムに適用する方法を示す。バーチャルレーダを提示するための手順は、以下のようになる。

- (1) 障害物の位置、形状の取得
- (2) マニピュレータと障害物との干渉チェック
- (3) バーチャルレーダの提示

ここで、環境情報が既知か未知かにより障害物干渉チェックを行う手順として以下の3通りが考えられる。

- 1) 未知の環境に対し、センサなどによって障害物の位置、形状を取得し、リアルタイムで干渉チェックを行う。
- 2) 既知の環境に対し、手先近傍の作業領域に関してリアルタイムで干渉チェックを行う。
- 3) 既知の環境に対し、あらかじめ作業領域全域に関する干渉チェックを行い衝突判定テーブルを作成しておく。

高速な干渉チェックシステムと信頼性の高いセンサシステムがあれば、1)の方法は動的な環境に対応可能である。一方、高速な干渉チェックシステムさえあれば、2)の方法は、密な干渉チェックが可能である。しかし、十分な計算能力がない場合は3)の方法を取る必要がある。この方法は、メモリの制約を受けるため、密な干渉チェックを行うことができないが、時間の制約がないため全体の干渉チェックを行い大局的な地図を作成することも可能である。理想的には上記の方法を組み合わせることが望ましいと考えられる。いずれの場合も、モデル化誤差および衝突情報の分解能はバーチャルレーダの精度に大きく影響を与えるため、できる限り高い分解能が得られるようセンサ構成を工夫したり、十分密で正確な衝突テーブルを作成する必要がある。ただし、機器などの制約から十分な分解能や精度が得られない場合は、オペレータがその精度を認識してバーチャルレーダを活用する必要がある。

本論文では、バーチャルレーダの有効性の検証を目的とするため、3)の方法を用いることとする。なお、環境が既知の場合でもバーチャルレーダなしにオペレータがマニピュレータ全体の衝突を認識することは難しいことを指摘しておく。また、環境が既知の場合でも状況によりマニュアル操作が必要な状況は多々あることを明記したい。

3.1 衝突判定テーブルの作成

まず、作業空間を位置、姿勢に関してそれぞれ一定の間隔で分割し、各点におけるマニピュレータのコンフィギュレーションを求め衝突判定を行う。マニピュレータのリンクと環境（障

Fig. 4 Making of the virtual radar

Fig. 5 Details of the virtual radar

物)の衝突は、リンクを円筒とみなしたとき、リンクの半径分計算上の障害物を太らせることで、リンクを線分と考えることができ、結局、線分と障害物の衝突問題に帰着することができる[11]。ここから、幾何学的条件を用いて衝突を判定し、結果を衝突判定テーブルに格納する。なお、六次元の衝突判定テーブルは巨大なメモリを必要とするため、1ビットごとに“0”(衝突しない)、“1”(衝突する)を割り当てて作成する。

3.2 バーチャルレーダの表示法

仮想環境やバーチャルレーダは、三次元グラフィックスを用いて提示する。ただし、バーチャルレーダは非衝突領域に合わせ自由に曲面を変更させる必要がある。このため、ここでは、Fig. 4に示すように初期状態である球面を自由曲面を用いて作成した。したがって、いくつかの点は重複している。自由曲面の頂点の数は、衝突判定テーブルにおける衝突判定点の間隔とのバランスを考えて決定すると良い。

バーチャルレーダの変形は、衝突判定テーブルに基づいて自由曲面の各頂点を動かすことで実現される。このため、各頂点の可動範囲をFig. 5のように決定する。この各頂点の可動範囲内に衝突すると判定された点が存在する場合、その中から手先との距離が一番近い点を選びバーチャルレーダの頂点とする。これにより、バーチャルレーダの形を衝突領域に合わせて変形することができる。具体的なバーチャルレーダの生成アルゴリズムをFig. 6に示す。ここで、 n はバーチャルレーダの頂点の数、 L はバーチャルレーダの半径 R よりも十分大きな適当な数、 i_s, j_s, k_s は衝突判定テーブルにおける衝突点探索の開始点番号、 g はバーチャルレーダの大きさに依存した探索領域一辺あたりの点の個数、 $dist$ は探索点と手先位置の距離、 $P_{pos}^{i,j,k}$ は探索点の位置、 E_{pos} はマニピュレータの手先位置、 q はバーチャルレーダの頂点の番号、 VV_{pos}^q は、バーチャルレーダの q 番目の頂点の位置である。このアルゴリズムを用いてバーチャ

ルレーダの各頂点の位置を算出し、これを基に自由曲面を用いてバーチャルレーダを実現させることができる。

一方、姿勢に関する衝突情報は、バーチャルレーダの4頂点により構成される各メッシュに色を付けることで提示する。このとき、基本状態における4頂点の中心と手先中心を結ぶ線分

Fig. 6 Algorithm for generating the virtual radar

Fig. 7 The virtual radar

が基準座標系となす角度を衝突判定時における姿勢角と一致するように取ると衝突判定テーブルとの対応を容易にすることができる。なお、衝突判定テーブルは離散的に判別を行っているため、手先位置に最も近い点における姿勢に関する衝突情報を提示情報として利用する。

実際にバーチャルレーダを提示した様子を Fig. 7 に示す。バーチャルレーダの形状および模様をオペレータが認識しやすいようワイヤフレームと半透明なソリッドモデルを組み合わせで提示している。グラフィックス支援画面において、マニピュレータ手先から出ている細いビームは、手先の姿勢を表すために用いている仮想ビームである。この仮想ビームとバーチャルレーダの交点の色がその姿勢における衝突情報を表している。図では、濃い灰色（実際は青）の範囲が手先姿勢の安全可動範囲を示している。一方、薄い灰色（実際は赤）の範囲の姿勢を取ると、マニピュレータのどこかが障害物と衝突することを示している。手先中心から鉛直方向に伸びた太い仮想ビームは、オペレータに三次元的な位置を容易に認識させるためのものである。

4. 実験

4.1 実験システム

バーチャルレーダの有効性を検証するために、当研究室の双腕宇宙遠隔操作実験システムを用いて検証を行った。システム構成を Fig. 8 に示す。7自由度のスレーブアームである PA-10 には BarrettHand が取り付けられている。オペレータは並進3自由度および回転3自由度の計6自由度の指令を同時に与えることが可能な三次元マウス (SPACE MOUSE) によりマニピュレータを遠隔操作する。また、ビデオ信号は、デジタルビデオボードにより取り込まれ、ビデオ会議システム vic を用いてオペレータに提示される。実験ではマニピュレータのすぐそばから遠隔操作を行ったため、ビデオ信号が直接入力される WS を使って操作を行ったが、インターネットを介して別の場所から操作することも可能である。なお、本システムは双腕システムであるが、実験では片腕のみを使用した。また、マニピュレータの軸を一つ固定し、6自由度マニピュレータとして用いている。

Fig. 8 The experimental system

Fig. 9 The experimental task environment

バーチャルレーダおよび仮想環境は、グラフィックスワークステーション上に Open Inventor を用いて描画している。

4.2 実験環境

二つの直方体の障害物をアーム前方に置き、一方の直方体の上にボールを載せた環境下で実験を行った。Fig. 9 に実験環境とアームのパラメータを示す。座標原点をアームの取り付け位置に取り、座標系は Fig. 9 に示すように取った。このとき、障害物 1 の大きさは幅 480 [mm]、高さ 1130 [mm]、奥行き 400 [mm]、中心位置は (25, -1015, 300) [mm] である。また、障害物 2 の大きさは、幅 400 [mm]、高さ 1055 [mm]、奥行き 480 [mm]、中心位置は (25, -1052.5, 900) [mm] である。ボールの直径は 110 [mm] であり、中心位置は (25, -450, 800) [mm] である。なお、これらは、衝突判定を行うために用いたモデルの座標、寸法であり、実際の環境との間にはモデル誤差が存在する。ただし、肘部の衝突が発生することが予想される障害物 1 と把持するボールに関しては大きなモデル誤差が発生しないよう慎重にモデル化を行った。一方、ボールを置く台として用いた障害物 2 に関しては、大きなモデル誤差が存在している。しかし、障害物 2 の大きさは、オペレータが認識しやすい手先部の衝突にしか影響しないため、バーチャルレーダの有効性を検証する目的には大きな影響を与えない。なお、衝突判定は、第 2 関節から第 4 関節、第 4 関節から第 6 関節および第 6 関節から BarrettHand の指付根までの 3 個のリンクと 2 個の直方体の障害物および対象物であるボールに関して行っている。ただし、指部の衝突判定は行っていない。

実験は、初期位置よりボールを把持しにいく作業を行った。アームの初期位置は (-245, -360, 660) [mm]、姿勢は (-1.44, -0.69, 0.11) [rad] である。

なお、手先がボールを把持可能な位置にくるとグラフィックス画面において自動的にボールの色が黄色から赤に変化し、オペレータに把持可能な状態であることを提示するオペレータ支援システムが組み込まれている。

Fig. 10 Control block diagram of the system

Table 1 Parameters of the collision table

Parameter	Range	Resolution
x	-500~500 [mm]	20 [mm]
y	-500~500 [mm]	20 [mm]
z	800~1300 [mm]	20 [mm]
α	$-7\pi/8 \sim \pi$ [rad]	$\pi/8$ [rad]
β	$-7\pi/8 \sim \pi$ [rad]	$\pi/8$ [rad]
γ	$-3\pi/8 \sim \pi/2$ [rad]	$\pi/8$ [rad]

実験におけるブロック線図を Fig. 10 に示す。ここで、 k_v はマニピュレータの速度ゲイン、 k_c は仮想カメラの速度ゲイン、 $\dot{x}_d$ は目標手先速度、 $\dot{q}_d$ は目標関節角速度、 q_{cur} は現在関節角度、 x_{cur} は現在手先位置である。オペレータはグラフィックス支援画面と実画像を見ながら三次元マウスであるスペースマウスを用いて 6 自由度の指令を同時に与えながらマニピュレータを操作する。なお、実際のカメラは固定されているが、仮想環境内の視点は、スペースマウスとキーボードを使って自由に操作することができる [12]。

今回の実験では、バーチャルレーダの計算、グラフィックスのレンダリングなどに平均 250 [ms] かかるため、ソケット通信の周期は 300 [ms] とした。一方、スレーブアームのサーボ周期は 2 [ms] である。実験に用いた衝突判定テーブルにおける手先の検索範囲を Table 1 に示す。バーチャルレーダの半径は 300 [mm] とした。

実験は、バーチャルレーダの有効性を検証するために、以下の二つの条件の下で行った。

- バーチャルレーダを表示しない支援画面と実画像を表示。
- バーチャルレーダを表示した支援画面と実画像を表示。

4.3 実験結果

バーチャルレーダを表示しない場合のオペレータ支援画面と実際のマニピュレータの動きをそれぞれ Fig. 11, 12 に示す。一方、バーチャルレーダを表示した場合のオペレータ支援画面と実際のマニピュレータの動きをそれぞれ Fig. 13, 14 に示す。

バーチャルレーダを表示しない場合、オペレータは、最短距離でターゲットのボールに近づこうとする。そのため操作時間は比較的短かったが、オペレータが支援画面から確認できないリンクが衝突している (Fig. 12 (3))。

一方、バーチャルレーダを表示した場合、オペレータは主に並進動作により最短距離を取る方向に動かそうとする。しかし、

Fig. 11 Operator support display without virtual radar

Fig. 13 Operator support display with virtual radar

Fig. 12 Motion of the manipulator without virtual radar

Fig. 14 Motion of the manipulator with virtual radar

5. お わ り に

バーチャルレーダが移動方向に対しつぶれ始めるため、そのまま進むとリンクの衝突が発生することを認識する。このため、バーチャルレーダの表面の模様を見ながら、バーチャルレーダの凹みがなくなる方向へ姿勢を変化させ、ふたたび対象物に近づくという手順を取り障害物にぶつかることなく作業を実現している。バーチャルレーダを見て、次にどのように操作するのかを考えるため、時間がかかるものの安全にターゲットのボールを把持している。

これらの結果から、バーチャルレーダの有効性が検証されたといえる。

遠隔操作においては、リンクの衝突を考慮したマニピュレータ全体の衝突情報をオペレータに提示する必要があることを指摘した。そして、手先レベルでこのような障害物情報を提示できるバーチャルレーダと呼ぶ手法を提案した。さらに、バーチャルレーダを6自由度マニピュレータに適用する方法を確立し、実際のマニピュレータに本手法を適用した。また、その効果を実験により検証した。なお、本手法は、冗長自由度の動作決定に対する指針としても利用できると考えられるため、冗長マニピュレータへの適用を今後検討したい。また、バーチャルレーダの提示方法に関する定量的な比較検討が今後の課題として挙

げられる。

謝 辞 本研究は(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する地上研究公募」プロジェクトの一環として行ったものである。

参 考 文 献

- [1] L.A. Loeff and A.H. Soni: "An Algorithm for Computer Guidance of a Manipulator in Between Obstacles," Tran. of the ASME, J. of Eng. for Industry, vol.97, no.3, pp.836-842, 1975.
- [2] T.L. Pérez: "Automatic Planning of Manipulator Transfer Movements," IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics, vol.SMC-11, no.10, pp.681-698, 1981.
- [3] R. Brooks: "Solving the Find-Path Problem by Good Representation of Free Space," IEEE Systems, Man and Cybernetics, SMC-13, pp.190-197, 1983.
- [4] P. Bhatia and M. Uchiyama: "A VR-Human Interface for Assisting Human Input in Path Planning for Telerobots," Presence, vol.8, no.3, pp.332-354, 1999.
- [5] 花房秀郎, 吉川恒夫, 中村仁彦: "関節形ロボットアームの冗長性の解析とその優先順位を有する作業への応用", 計測自動制御学会論文集, vol.19, no.5, pp.421-426, 1983.
- [6] O. Khatib: "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots," Proc. 1985 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.500-505, 1985.
- [7] J.T. Feddema and J.L. Novak: "Whole Arm Obstacle Avoidance for Teleoperated Robots," Proc. 1994 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.3303-3309, 1994.
- [8] B. Bon and H. Seraji: "On-Line Collision Avoidance for the Ranger Telerobotic Flight Experiment," Proc. 1996 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2041-2048, 1996.
- [9] 妻木勇一, 小寺真司, D.N. Nenchev, 内山勝: "6 自由度マニピュレータの特異点適合遠隔操作", 日本ロボット学会誌, vol.16, no.2, pp.195-204, 1998.
- [10] M. Takahashi, Y. Tsumaki, D.N. Nenchev and M. Uchiyama: "A Teleoperation System with Collision Avoidance Capability Based on Virtual Radar," Proc. 1997 6th IEEE Int. Workshop on Robot and Human Communication, pp.154-159, 1997.
- [11] T.L. Pérez and M.A. Wesley: "An Algorithm for Planning Collision-Free Paths Among Polyhedral Obstacles," Communication of the ACM, vol.22, no.10, pp.560-570, 1979.
- [12] 妻木勇一, 小寺真司, Dragomir N. Nenchev, 内山勝: "特異点適合法を用いた宇宙遠隔操作実験", 日本機械学会論文集(C編), vol.65, no.636, pp.3268-3274, 1999.

妻木勇一 (Yuichi Tsumaki)

1965 年 10 月 26 日生。1990 年東北大学工学部精密工学科卒業, 1992 年同大学大学院修士課程修了。同年三菱電機(株)鎌倉製作所入社, 1994 年東北大学工学部機械航空工学科助手, 1999 年文部省在外研究員として JPL (NASA/Caltech) に滞在。現在, 同大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻助手, 博士(工学)。テレロボティクスの研究に従事。(日本ロボット学会正会員)

尹 祐根 (Woo-Keun Yoon)

1972 年 1 月 13 日生。1996 年九州大学工学部動力機械工学科卒業, 1998 年同大学大学院工学研究科修士課程修了, 同年東北大学大学院工学研究科博士課程後期 3 年の課程編入学, 1999 年同課程中途退学, 同研究科航空宇宙工学専攻助手, 現在に至る。双腕宇宙ロボットの遠隔操作の研究に従事。(日本ロボット学会正会員)

高橋三恵 (Mie Takahashi)

1974 年 10 月 28 日生。1997 年東北大学工学部機械航空工学科卒業, 1999 年同大学大学院修士課程修了。同年日本電気株式会社入社, 現在に至る。

内山 勝 (Masaru Uchiyama)

1949 年 9 月 16 日生。1972 年東京大学工学部産業機械工学科卒業, 1977 年同大学大学院博士課程修了, 工学博士。同年東北大学工学部精密工学科助手, 1980 年同助教授, 1992 年同学部機械航空工学科教授, 1997 年同大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻教授, 現在に至る。ロボット工学の研究に(日本ロボット学会正会員)

従事。