可撓性シャフトを用いたクローラロボットの遠隔操縦機構

林 良太* 辻 尾 昇 三* 余 永*

Remote Control Mechanism for the Crawler-type Robot by use of Flexible Shafts

Ryota Hayashi*, Showzow Tsujio* and Yong Yu*

In this paper, a remote control mechanism for the crawler-type robot by use of flexible shafts is proposed. Since the robot does not have to mount any power unit for the locomotion on the body, the weight of the robot can be lightened and it can mount other devices alternatively. Furthermore, since the electric power is not used to the mobile mechanism on the body, the danger of fire is extremely low even if it performs rescue operation in collapsed building with gas leakage. To construct the proposed mobile mechanism, we devise the structure of the flexible shafts. We make up an experimental crawler-type robot which is composed of the proposed mechanism. Then the feasibility of the remote control system with the proposed mechanism is demonstrated by several experiments.

Key Words: Flexible Shaft, Mobile Mechanism, Crawler, Rescue Robot, Maneuverability

1. は じ め に

近年、レスキュー工学における重要な課題として、地震などの災害発生時に倒壊した建物内に残された被災者を緊急に探索するための瓦礫内探索用レスキューロボットの研究が盛んに行われている[1]~[5]。人が入り込めない瓦礫の中を移動できるレスキューロボットの有用性が注目されているが、実用的なレスキューロボットの開発には多くの解決すべき問題が残っている[6][7]。

本論文では、可撓性シャフトを用いた遠隔操縦型クローラロボットの移動機構を提案する。そして、試作機を用いて提案する移動機構の検証実験を行ったので、その結果について報告する。提案する移動機構は、安全な場所に設置した動力源が発生する回転トルクを、可撓性シャフトを介して離れた位置にあるクローラロボットに伝えるというものである。この移動機構をクローラロボットに適用することによって、駆動トルクを発生するための動力源をクローラロボットに搭載する必要がなくなるので、クローラロボットの小型化が容易になるだけでなく、動力源の代わりに探索活動に必要な機器を搭載することができるようになる。また、無線操縦型のクローラロボットに比べて確実な操縦性能が得られる。さらに、ロボット本体には、駆動トルクを得るための電気的な動力源を搭載していないので、火災を誘発する危険性が極めて低いという利点がある。

以下、第2章では瓦礫内探索用のレスキューロボットにおい

て、可撓性シャフトを用いた移動機構が有用であることを述べる。第3章では、可撓性シャフトを用いたクローラロボットの移動機構に必要な性能と遠隔操縦システムについて述べる。そして、第4章で移動機構に用いるための可撓性シャフトの構造について詳しく述べる。第5章では、試作した可撓性シャフトの特性を調べ、提案する移動機構の検証実験を行ったのでその結果について報告する。おわりに本論文のまとめと今後の展開について述べる。

2. 瓦礫内探索用レスキューロボット

従来の無線操縦型レスキューロボットの場合は、指令電波が瓦礫内の機体に届かなくなるという脆弱性が指摘されている。また、自律型のレスキューロボットの場合は、瓦礫内で探索活動をしている間に、レスキューロボット本体が行方不明になる可能性がある。特に、無線型の場合はバッテリーの充電または交換を行う必要があるため、レスキューロボットが活動できる時間が限られているため、瓦礫内を十分に継続して探索することができないという問題がある。一方、有線により電気エネルギーを供給して継続的に活動できるレスキューロボットも数多く提案されているが、本体に搭載されるアクチュエータの重量と移動に要する駆動トルクとのバランスやケーブルの取り回しが、非常に難しい課題となっている[8]。また、その他の問題点として、これまでに提案されているレスキューロボットのほとんどは、本体に電気的な動力源を搭載しているので、ガス漏れが頻発するような瓦礫内では、火災を誘発する危険性が高い。

こうした背景の中、土井らによって移動機構に電力を使わない簡易型探索機械の開発が試みられている[9]。これは、できる

原稿受付 2006年4月17日

*鹿児島大学工学部

*Faculty of Engineering, Kagoshima University

だけ簡易な装置で瓦礫内探索活動を行える機械の開発を目指したものである。この機械は、自転車に用いられているブレーキ用ワイヤを人力でねじるように回転させ、その回転トルクを探索機械本体の車輪に伝えるというものであった。しかしこの方式では、ワイヤが撓んだところに回転トルクが伝えられると、撓みによって生じた応力が大きな抵抗力となり、著しく操縦性能が悪化することが判明した。そこで土井らは、人力によって発電した電力を、探索機械に搭載したモータに伝えて車輪を駆動する方式を採用することで、簡易型探索機械の開発に成功している。

本研究では、前述の問題点を克服するための工夫を施した可撓性シャフトを開発し、クローラロボットの移動機構への適用を試みる。従来、可撓性シャフトはスクリュードドライバや研磨工具などのエクステンションとして用いられているものや、医療用カテーテルとして用いられているものが存在するが、遠隔操縦用の移動機構に応用している例は見当たらない。本研究で提案する可撓性シャフトを用いた移動機構には、ロボット本体から離れた場所に動力源を配置することで、ロボット本体のトルクウエイトレシオを非常に小さくすることができるという利点がある。その結果、動力源をロボット本体に搭載する代わりに、CCD カメラや赤外線センサなど探索活動に必要な機材を搭載することが可能になる。また、電気的な動力源を本体に搭載しないので、ガス漏れが頻発するような倒壊家屋内で、火災を誘発する危険性は極めて低くなる。

3. 可撓性シャフトを用いた遠隔操縦型クローラロボット

可撓性シャフトを用いた遠隔操縦型クローラロボットをレスキュー活動に適用したときの概念図を **Fig. 1** に示す。家屋の倒壊現場など、2次災害の危険がある場所に被災者が取り残されているかどうかを調査する場合、安全な場所からクローラロボットを操縦して探索活動を行うことになる。図に示しているように、操縦者がいる基地に動力源を配置して、そこから可撓性シャフトを介して探索用クローラロボットを遠隔操縦する。このような遠隔操縦型クローラロボットを実現するために必要な基本性能を以下に挙げる。

- S1) 動力源から離れたところで探索活動するクローラロボットに回転トルクがスムーズに伝えられる。
- S2) 前進・左右旋回・後退の操縦が可能で、瓦礫を乗り越えることができる。
- S3) シャフトを伝わってきた回転トルクによってクロー

Fig. 1 Crawler-type robot by use of flexible shaft

ラロボットが転倒してしまわない。

3.1 基本性能 S1)の検討

回転トルクを伝えるシャフトに一般のZ 折り単層構造のワイヤを用いた場合は、撓んでいる状態でワイヤを回転させると、ワイヤ内側の圧縮応力とワイヤ外側の引っ張り応力とに起因する周期的な抵抗力が発生する。そのため、一般のワイヤをシャフトに用いた場合には、スムーズに回転トルクを伝えることは困難である。そこで本研究では、折り方向が層ごとに反転している多層構造のワイヤを用いることにする。これにより、ワイヤが撓んだ状態であっても回転トルクはスムーズに伝わっていくと期待できる。ただし、全長の長いワイヤを用いて回転トルクを伝えると、エネルギー効率は悪くなると考えられる。しかし、大容量の動力源と減速機を効果的に用いることで、クローラロボットの駆動に必要な回転トルクを伝えることはできるようになると考えられる。

3.2 基本性能 S2)の検討

図に示しているクローラロボットには2機のクローラが装備されており、両方が同方向に回転するときに前進後退、互いに異なる方向に回転するときに左右の旋回を行うことができる。そこで、可撓性シャフトを2本用いて、1本を左のクローラに、別の1本を右のクローラに減速機を介して接続する。そして、それぞれの端を別々の動力源に接続する。以上により、2機のクローラの回転方向を独立に操作することで、前進・左右旋回・後退の操縦が可能になる。また、クローラロボットは動力源を搭載していないので、トラクション性能を得るために、錘などを用いて機体の重量を調整することができる。

3.3 基本性能 S3)の検討

何らかの原因でクローラロボットがスタックした場合に、可撓性シャフトを伝達する回転トルクの大きさを強くすると、可撓性シャフトそのものがねじれるだけでなく、トルクの回転方向にクローラロボットを転倒させてしまう力が作用する。そこで、可撓性シャフトを2本並列にして1束にまとめ、クローラロボットを前進・後退させる際には、それぞれの可撓性シャフトの回転方向が互いに反対向きになるようにする。このようにすることで、伝達するトルクの回転方向にクローラロボットを転倒させようとする力は、互いに打ち消しあって作用しなくなると期待できる。また、可撓性シャフトそのものがねじれようとする力についても同様に打ち消しあう効果が期待できる。

4. 移動機構に用いるための可撓性シャフト

工具のエクステンションとして一般に用いられている可撓性シャフトは **Fig. 2** に示すように、回転トルクを伝えるインナーシャフトをアウターチューブで覆う構造をしている。アウターチューブは、シャフトの曲線形状を維持する効果があり、それ自身は回転しない。アウターチューブの中には、回転するインナーシャフトとの摩擦を軽減するためのグリースが封入されている。このような構造の可撓性シャフトには、インナーシャフトを連続で高速回転させるとアウターチューブの内側が磨耗してしまうという問題がある。また、高負荷の回転トルクが作用するとアウターチューブごとシャフトがねじれてしまうので、そのようなおそれがある場合は、固定具を用いてアウターチュー

Fig. 2 Machine tool with flexible shaft

Fig. 3 Flexible shaft for mobile mechanism

ブを定位置に固定するのが通例である。

そこで、本研究では移動機構に適用できるように、Fig. 3 に示す構造の可撓性シャフトを考える。インナーシャフトには、撓り方向が層ごとに反転している多層構造のワイヤを用いる。そして、図に示すように一定間隔ごとにベアリングを取り付け、インナーシャフトの回転トルクが直接アウターチューブに伝わらないようにする。

ところで、アウターチューブ内部で、インナーシャフトにわずかでも撓みが生じていると、高負荷の回転トルクが作用したとき、その回転トルクは、インナーシャフトを回転させる方向には有効に作用せず、インナーシャフトがねじれながら巻き込んでしまうので、軸方向に強く引き込む力となって作用する。この現象を、アウターチューブのない状態でインナーシャフトに回転トルクを加えて実験的に再現してみた。その様子を Fig. 4 に示す。上図は、撓みが生じるまえの直線状態のインナーシャフトであり、下図が、撓みが生じた後にインナーシャフトがねじれながら巻き込んでしまい、軸方向に強く引き込む力が作用している状態である。

このような現象を防ぐために、フランジ付きのベアリングを用いてアウターチューブに対して軸方向にベアリングがずれることのないような構造にする。さらに、留め具を用いてベアリングに対して軸方向にインナーシャフトがずれることのないような構造にする。このように工夫することによって、問題となる現象を防ぐ効果が期待できる。

Fig. 4 Winding phenomenon of the flexible shaft

5. 検証実験

5.1 可撓性シャフトの試作

提案する移動機構の実現可能性を確認するため、前章で述べた可撓性シャフトを試作した。以下にその詳細について述べる。まず、インナーシャフトには、朝日インテック株式会社製のトルクコイルを用いた。このトルクコイルは、全長が 2,000 [mm]、直径が 1.2 [mm] であり、素材が SUS 304 の素線からなる 3 層 (S-Z-S 撓り) 構造をしている。そして、アウターチューブには、一般に市販されているもので、柔軟かつ軽量のシリコンチューブ (内径: 4 [mm] 外径: 6 [mm]) を用いた。またベアリングには、フランジ付きタイプのものを用いた。このベアリングの厚さは 2.3 [mm]、内径は 2 [mm]、外径は 5 [mm]、フランジ部の外径は 6.1 [mm]、厚さは 0.6 [mm] である。インナーシャフトに対して、ベアリングが軸方向にずれることのないように、内径 1.3 [mm] 外径 2 [mm] の長さ 10 [mm] の銅製パイプを留め具として用いた。そして、インナーシャフトが中弛みしないように、可撓性シャフト全体にわたって 100 [mm] 間隔ごとに留め具を用いてベアリングを装着した。一方、アウターチューブに対してはフランジ部を介してベアリングを固定した。以上により、全長 2,000 [mm]、重量 70 [gf] の可撓性シャフトを試作することができた。

5.2 クローラロボットの試作

クローラロボットの試作機には、株式会社タミヤ製のブルドーザー工作基本セットを利用した。左右それぞれのクローラの駆動ホイールに減速比 58.2:1 の減速機を介して 2 本の可撓性シャフトを接続した。そして、クローラロボットから離れた位置に 2 台の直流サーボモータ (定格出力 23 [W]) を設置して、それぞれの直流サーボモータにクローラに繋がる 2 本の可撓性シャフトを接続した。その様子を Fig. 5 に示す。クローラロボットの全長は 145 [mm]、全幅 105 [mm]、全高 75 [mm] であり、クローラの駆動ホイールの直径は 40 [mm] である。また、機体の主な材質はプラスチックおよび木材であり、可撓性シャフトを

Fig. 5 Experimental model

除いた重量は、170 [gf] と非常に軽量なものになった。

クローラロボットの操縦は、パーソナルコンピュータのキーボードで「前進」、「後退」、「右旋回」、「左旋回」に対応付けたキーを押すことで実現した。これらのキーを押している間は、指令電圧が DA 変換器からアンプを通してそれぞれのサーボモータへ入力され、クローラロボットはキーに対応した運動を行う。そしてキーを押すのを止めると、サーボモータへの指令電圧が零になりクローラロボットは静止する。試作機では、可撓性シャフトの全長が 2,000 [mm] ということもあり、目視によって操縦を行うことにした。

5.3 試作機を用いた走行実験

試作機を用いていくつかの走行実験を行った[10]。まず、可撓性シャフトが届く範囲内であれば、平坦な地面を前後方向および左右旋回方向に問題なく移動できることを確認した。

次に、可撓性シャフトを直径 240 [mm] のループ状にして二重に巻いている状態から、クローラロボットを操縦して障害物を乗り越えさせる実験を行った。ここで用いた障害物は、高さ 20 [mm]、長さ 130 [mm]、幅 40 [mm] の直方体の形をした木片である。このときの様子を Fig. 6 に示す。前進して障害物を乗り越え、最後に右旋回できていることが画像から確認できる。

5.4 可撓性シャフトの改良とその特性

前述の試作機によって提案する移動機構の実現可能性を確認することはできたが、遠隔操縦を行って瓦礫内の探索活動を行うためには、クローラロボットの活動範囲を拡大する必要がある。本研究では、一般的な日本家屋の一部屋が 4 畳半～8 畳であることを考慮すると、可撓性シャフトの長さは 10 [m] 程度が実用的であると考えた。そこで、インナーシャフトの直径を 1.2 [mm] から 2.0 [mm] へ、アウターチューブについては、外径 6.0 [mm] から 10.0 [mm] へ変更を行い、より太い可撓性シャフトを用いることにした。また、これに合わせてフランジ付きベアリングの寸法を厚さ 3 [mm]、内径 2 [mm]、外径 6 [mm]、フランジ部の外径 7.5 [mm]、厚さ 0.8 [mm] に変更した。さらに、インナーシャフトに対してベアリングが軸方向にずれることのないように、内径 2 [mm]、外径 6 [mm]、長さ 12 [mm] の真ちゅう製の留め具を用いた。その結果、可撓性シャフトの重量は 2 [m] 当たり 1 本 170 [gf] に、クローラロボット本体の重量は 180 [gf] になった。留め具を用いてインナーシャフトとフランジ付きベアリングを固定している様子を Fig. 7 に示す。

Fig. 6 Test of riding over a rubble

Fig. 7 Fastening of the inner shaft

可撓性シャフトの全長を長くしていくと、クローラロボットの操縦性能の劣化は避けられない。そこで以下では、段階的に長さを変えて、次の 3 項目について比較実験を行い、長さの変更に伴う可撓性シャフトの特性変化について考察する。

- (1) 無負荷の状態でも撓性シャフトの一端を回転させていくとき、他端がはじめて回転を始めるときのねじれ角 (あそび角)
- (2) 可撓性シャフトの両端のねじれ角が 180 [deg] に達するときの負荷トルク

(3) クローラロボットが押し操作できる前方床面に置かれた障害物の重量

ただし、(1)と(2)は可撓性シャフト単体についての特性であり、(3)は2本の可撓性シャフトを接続して駆動したときのクローラロボットの特性である。

5.5 可撓性シャフトのトルク伝達特性

前述の項目(1)と(2)について実験を行ったので、その結果について述べる。いずれの実験も、1本の可撓性シャフトを直線状に伸ばした状態で測定した値を示している。測定結果はTable 1のとおりである。

これらの結果から、可撓性シャフトの全長が長くなると、大幅にあそび角が大きくなり、負荷トルクを与えたときの両端のねじれ角も大きくなっていることが分かる。ただし、可撓性シャフトの両端のねじれ角が180[deg]に達するときの負荷トルクについては、全長が6.0[m]を超えるとあそび角が180[deg]を超えてしまうため測定ができなくなった。そこで参考のため、両端のねじれ角が360[deg]に達するときの負荷トルクを、全長が6.0[m]、8.0[m]、10.0[m]について測定した。その結果はそれぞれ、34.2[gf·cm]、25.2[gf·cm]、18.0[gf·cm]であったことをここに記しておく。

以上より、全長の長い可撓性シャフトを用いてクローラロボットを遠隔操縦する場合は、可撓性シャフト両端の回転角度差が無視できないほど大きくなるため、クローラロボットの高精度な位置決めは難しいといえる。しかし、ある程度にあそび角と位置決め誤差を許容することができれば、全長10[m]程度の可撓性シャフトを用いて、クローラロボットを操縦することは難しくない。

5.6 クローラロボットの牽引力

本節では、前述の項目(3)について、段階的に可撓性シャフトの長さを変えて比較実験を行ったので、その結果を述べる。

可撓性シャフトの全長を長くすると、クローラロボットが移動できる範囲は広がるが、長くなった分の可撓性シャフトを引きずらなければならない。そのため、ある程度以上の牽引力がクローラロボットに要求される。そこで、押し操作できる前方床面に置かれた障害物の重量を測定することで、クローラロボットのトラクション性能を調べることができると考えた。しかし、可撓性シャフトを部分的に引きずりながらの状態では、可撓性シャフトの全長が同じ場合であっても実際に引きずられる部位の長さは一様ではない。よって、その状態で測定しても、全長が異なる場合についての牽引力を比較して評価することができない。そこで、同じ条件で牽引力を比較して評価するために、できるだけ可撓性シャフトを弛ませて、これを引きずることのない状態で測定を行った。また、押し操作の可否の判断は、ク

ローラロボットが20[s]以内に10[cm]進むことができるかどうかで判断した。なお、実験で用いた押し操作の対象物(障害物)は、実験室床面との接地面が60[mm]×58[mm]の長方形の形状をしたプラスチック製の板に、鉛の錘を載せることで重量を調整できるものを用いた。

ところで、試作したクローラロボットの機体重量はわずか180[gf]であったが、床との摩擦力の関係からこの機体重量より重い障害物を押し操作することは難しい。したがって、クローラロボット本体にも錘を積載することで床との摩擦力によるトラクションを確保して実験を行った。

実験結果をFig. 8に示す。横軸がクローラロボットに積載した錘の重量であり、縦軸がそのときに押し操作が可能であった障害物の重量の最大値を示している。最大値を超えると床面をクローラがスリップしてしまうことを確認した。

この結果から、可撓性シャフトの全長が長くなると、押し操作できる障害物の重量が小さくなることが分かる。一方、錘をクローラロボットに積載してトラクションを十分に確保すると、2,000[gf]を超える重量の障害物を押し操作することができた。したがって、全長が10.0[m]の2本の可撓性シャフトの総重量は1,700[gf]程度であったので、クローラロボットは、この長さの可撓性シャフトを引きずって移動することが可能であると考えられる。

5.7 操縦システムの改良と走行実験

クローラロボットの遠隔操縦を容易にするため、動力源であるサーボモータへの指令電圧は、Fig. 9に示すポテンショメータを内蔵した操縦スティックを用いて出力するようにした。こ

Fig. 8 Traction ability of the crawler-type robot

Fig. 9 Control stick

Table 1 Characteristics of torque transmission

Shaft length	(1) Play angle [deg]	(2) Load [gf·cm]
2.0 m	15	90.0
4.0 m	55	30.6
6.0 m	120	9.0
8.0 m	200	-
10.0 m	250	-

Fig. 10 Modified system of the remote control

の二つの操縦スティックを両手で操作することによって、左右二つのクローラを独立に制御できるようにした。

また、クローラロボット本体に、コロナ電業株式会社製の有線式小型カメラ TR-202C（本体重量 110 [gf]、ケーブル重量 [gf]/10 [m]）を搭載して、小型カメラが捉えた映像をモニターを通して見ながらクローラロボットを操縦できるようにした。

以上のシステム構成で、10 [m] の可撓性シャフトを用いたクローラロボットの走行実験を行った。実験の様子を Fig. 10 に示す。実験の結果から、以下のことが明らかになった。

可撓性シャフトが緩く弛んだ状態であれば、モニターを見ながら両手の操縦スティックを操作することによって、クローラロボットを良好に遠隔操縦することができた。また、可撓性シャフトを比較的高速に回転させているので、操縦者は可撓性シャフトの伝達特性に問題を感じることはなかった。この実験での巡航速度は、インナーシャフトの回転数が 720 [rpm] に対して約 2.0 [cm/s] であった。なお、5.3 節と同様に、クローラの駆動ホイールの半径に相当する高さ 20 [mm] の障害物を乗り越えることができることも確認している。

ところで、可撓性シャフトの全長が 6 [m] 以上である場合に、直径 30 [cm] 以下の円形のループを作って可撓性シャフトを巻いた状態で、クローラロボットを前進させると、円形のループは解けることがなく、その直径が次第に縮まり、最後にはある部分で鋭角に折れ曲がりインナーシャフトが破損してしまうという事態に至った。

一方、可撓性シャフトを 8 の字の形で緩く弛ませて巻いた状態で、クローラロボットを前進させると、8 の字で巻いた状態は簡単に解けて、前述のような問題は生じなかった。したがって、提案する移動機構の実用化に向けて、曲率半径があまり小さく

なり過ぎず、鋭角に折れ曲がることのないようなやや硬い材質のアウトチューブの使用を検討する必要がある。また、全長が長い可撓性シャフトの巻き取り方法について考えることが今後の課題である。

6. おわりに

本論文では、可撓性シャフトを用いた遠隔操縦型クローラロボットの移動機構を提案した。そして、試作機を用いて検証実験を行い、提案する移動機構の実現可能性を示した。今後の課題として、探索活動を行う際の条件を絞り、その条件に応じて高性能なクローラロボットを開発し、瓦礫内などの不整地走行実験を通して提案する移動機構の有効性を定量的に評価する必要がある。また、提案する移動機構の長所を活かしつつ、可撓性シャフトの取り回しの工夫を検討していく必要がある。これまでに、多くの瓦礫内探索用レスキューロボットが研究開発されているが、本研究で提案する遠隔操縦機構を適用したレスキューロボットは、その優れた防爆性能と小型化の可能性により有用となる場面は少なくないと考えられる。

参考文献

- [1] 大須賀公一，原口林太郎，牧田忍，田所諭：“瓦礫内探索ロボット MOIRA2 の開発と実験”，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005，CD-ROM，ALL-N-009，2005。
- [2] 西山貴史，松本章，大坪義一，山本昌彦，小林滋，高森年：“ヘビ型レスキューロボットの開発”，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005，CD-ROM，1P2-S-077，2005。
- [3] K. Tabata, A. Inaba, Q. Zhang and H. Amano: “Development of a Transformational Mobile Robot to Search Victims under Debris and Rubbles,” IROS2004, CD-ROM, TA1-B3, 2004.
- [4] T. Takamori, S. Kobayashi, M. Takashima, A. Ikeuchi and S. Takashima: “Development of a UMRS (Utility Mobile Robot for Search) and a Searching System for Casualties Using a Cell-phone,” System and Human Science For Safety, Security and Dependability, ELSEVIER, CHAPTER 26, pp.353-366, 2005.
- [5] S. Ma, Y. Ohmameuda and K. Inoue: “Dynamic Analysis of 3-dimensional Snake Robots,” IROS2004, CD-ROM, TP1-B4, 2004.
- [6] 高橋祥栄，金田忠裕：“瓦礫内探索ロボットの開発”，SICE SI2002 講演論文集 (I)，pp.59-60, 2002。
- [7] 牧田忍，武村史朗，土井智晴，田所諭，田中礼治：“がれき内探索用ロボットに関する提案”，SICE SI2003 講演論文集，CD-ROM，3J2-5, 2003。
- [8] 新井雅之，田中良典，広瀬茂男：“有線式レスキューロボットのためのリール機構を搭載した半球殻車輪移動体の開発”，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005，CD-ROM，1P1-S-073，2005。
- [9] 土井智晴，笹原龍樹，玉利寿靖：“人力発電方式による簡易型探索機の製作”，SICE SI2003，CD-ROM，3J2-2，2003。
- [10] 林良太，辻尾昇三，余永：“可撓性シャフトを用いた遠隔操縦型クローラロボットの試作”，第 23 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM，2G25，2005。

林 良太 (Ryota Hayashi)

1967 年 1 月 26 日生。1993 年大阪府立大学大学院工学研究科博士前期課程修了，1995 年同大学大学院工学研究科博士後期課程修了。1996 年近畿大学理工学部助手，1999 年同講師を経て，2000 年鹿児島大学工学部機械工学科講師となり現在に至る。ロボティクス，メカトロニクス，制御工学の研究に従事。博士（工学）。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）

余 永 (Yong Yu)

1957 年 1 月 29 日生。1991 年京都大学大学院工学研究科博士前期課程修了，1995 年同大学大学院工学研究科博士後期課程修了。鹿児島大学工学部機械工学科講師を経て，1999 年同助教授となり現在に至る。ロボット知的マニピュレーション，アクティブセンシング，センサメカニズム，パラレルメカニズムなどに興味を持つ。博士（工学）。システム制御情報学会，米国 IEEE 学会などの会員。（日本ロボット学会正会員）

辻尾昇三 (Showzow Tsujio)

1944 年 2 月 8 日生。1968 年大阪府立大学大学院工学研究科修士課程修了。同年日立造船（株）を経て，1970 年大阪府立大学助手（機械工学科），1985 年同講師，1990 年同助教授（航空工学科），1992 年鹿児島大学教授（機械工学科）となり現在に至る。ロボットの動力学と制御，脳卒中による運動麻痺・高次脳機能障害などのリハビリテーション検査・訓練装置の開発などの研究に従事。工学博士。日本機械学会，システム制御情報学会，計測自動制御学会などの会員。（日本ロボット学会正会員）