操作性を考慮したヘビ型レスキューロボットの開発 —走破性と操作性の両立—

伊藤 一之^{*1} 村井 亮一^{*2} 中道 和也^{*1}

Development of Snake-Like Rescue Robot Designed for Ease of Use — Successfully Combine Mobility with Operability —

Kazuyuki Ito^{*1}, Ryoichi Murai^{*2} and Kazuya Nakamichi^{*1}

Rescue operation is one of the most effective applications of snake-like robots, because it is very dangerous for human beings to locate survivors in collapsed buildings and, in addition, snake-like robots can move into narrow spaces to find survivors. However, previous rescue systems that use robots have a significant problem that is shortage of professional operators. To solve the problem, we have focused on volunteer non-professional staffs as operators of the rescue robots, and have developed a three dimensional snake-like robot that can be controlled easily. In this paper, we extend our previous works, and propose new snake-like robot which can be controlled easily by using simple steering wheel without losing mobility.

Key Words: Snake-Like Robot, Passive Mechanism, Mobility, Operability

1. はじめに

地震などの大規模な災害時には、人間による救助活動が困難な状況が発生することが知られている。レスキューロボットは人間の侵入が困難な狭い場所や倒壊のおそれのある危険な場所などにおいて、要救助者を探索することが可能であり非常に有用である [1] ~ [8]。ヘビ型ロボットはその有力な候補の一つであり、様々なロボットが開発されている [9] [10]。これらのロボットは、レスキュー隊員が使用することを想定して設計されており、高い走破性を実現するための移動機構や各種センサなど、様々な機能が埋め込まれ、高い探索能力を有している。しかしその反面、ロボットが高機能であるがゆえに、ロボットを操縦するためのインターフェースは複雑なものとなっており、その結果、ロボットの操縦には十分な訓練と技能を必要とする [11]。

一方、大規模災害時には、限られた時間内に広範囲を探索する必要がある、レスキューロボットの使用においても多数のロボットが同時に稼働されることが望まれる。しかし、大規模災害時にはレスキュー隊員の不足により十分な救助活動が行えないことが報告されている。阪神大震災においては、生き埋めとなった約 35,000 人の被災者のうち、レスキュー隊員によって救

助されたのは、わずか 20%程度であり、約 70%の被災者は、一般の人々によって救助されたことが報告されている [12]。

したがって、十分な救助活動を行うためには、レスキュー隊員を支援するための高機能なロボットに加え、レスキュー隊員の不足を補うための仕組みが必要となる。

このレスキュー隊員の不足の問題に対し、我々は、被災を免れた一般の人々の果たす役割の重要性に注目し、一般の人々からなるボランティアスタッフとレスキュー隊員とが協力して大規模災害に対処する枠組みを提案し、その際、レスキュー隊員のための高機能なロボットに加え、ボランティアスタッフが事前訓練を必要とせず容易に操作可能なロボットが必要となることを指摘してきた [13]。そして、その一例として、上下および左右の 2 自由度の操作のみでヘビ型ロボットの多自由度を操作可能な機構を提案するとともに、自動車と類似したユーザインタフェースによって操作可能な試作機を実現し、簡単な操作で 15 [cm] 程度の段差を走破可能なことを実験により確認した [14]。しかし、上下方向の操作は、本来の自動車には存在しない操作であり、この上下方向の操作を自動化することができれば、操作方法はより自動車の運転に近いものとなり、自動車を運転可能な人であれば、事前知識を必要とせず、直感的に操作可能なレスキューロボットが実現できると考えられる。

本論文では、我々の従来研究をさらに発展させ、走破性を落とすことなく、移動方向を操作するための自由度を左右の 1 自由度に削減し、より直感的に操作可能なレスキューロボットを実現する。

原稿受付 2007 年 12 月 19 日

^{*1}法政大学

^{*2}三菱電機株式会社

^{*1}Hosei University

^{*2}Mitsubishi Electric Corporation

■ 本論文は提案性で評価されました。

2. レスキュー隊の構成

本論文で想定するレスキュー隊の構成について説明する。Fig. 1 に概要を示す。大規模災害におけるレスキュー隊員の不足を解決するため、被災を免れた一般の人々からなるボランティアスタッフによる情報収集を行う。レスキュー隊は少数のレスキュー隊員と多くのボランティアスタッフで構成される。ボランティアスタッフは、情報収集用のレスキューロボットを用いて生き埋めとなっている生存者を探索する。レスキュー隊員はボランティアスタッフにより集められた情報をもとに優先度および救助方法を決定し救助を行う。これにより、効率的な救助活動が可能となり、レスキュー隊員の不足による問題を解決することが可能となる。

本論文では、この枠組みを実現するために必要となるボランティアスタッフ用のレスキューロボットについて考える。

3. レスキューロボットに求められる性能

本論文では、レスキューロボットとして、多数のクローラを直列に接続したヘビ型のロボットを考える。ヘビ型ロボットは、ボディが細長いという性質を活かすことで、狭小空間への進入性と高い走破性を両立することが可能であり、レスキューロボットとして極めて有用であると考えられる。しかし、その一方で、ヘビ型ロボットは多くの自由度を持つことから、ロボットの操縦が複雑となり、ボランティアスタッフには操作が困難であるという問題がある。

本論文では、狭小空間への進入性と高い走破性という長所を保持しつつ、ボランティアスタッフにも容易に操作可能なヘビ型ロボットを考える。具体的には、以下の六つの要件を満たすロボットの実現を目標とする。

- (1) 半自律 (2) 軽量 (3) 容易な組立
- (4) 頑健 (5) 低コスト (6) 省電力

ここで、(1)~(3)は、主にボランティアスタッフが使用することを考慮した仕様である。半自律性は、多自由度を有するヘビ型ロボットを自由度の少ない簡易なユーザインタフェースを用いて操作する際に求められる要件である。また、ボランティアスタッフが容易に使用できるよう、大人一人で持ち運びが可能な重さであり、10分程度で準備可能なロボットの実現を目標とする。

(4)~(6)は、災害時に多数のロボットを同時に稼働することを考慮した要件である。本論文では、ボランティアスタッフ用のロボットは、消火栓のように事前に多数配備されることを想定し、これを実現するため、コストの削減を図るとともに、特

Fig. 1 Rescue team

別なメンテナンスを必要とせず、災害現場での使用にも耐えられる頑健性をもったロボットの実現を目標とする。

4. 提案するロボット

4.1 概要

Fig. 2 に提案するロボットの概要を示す。本論文では、ユーザインタフェースとして自動車のユーザインタフェースを用いる。これにより、自動車を運転できる者であれば、事前知識や訓練を必要とせず、直感的にロボットを操縦することが可能となる。また、前章で述べた要件を満たすため、ワイヤによる拘束、および、ゴムの弾性といったロボットの機構的な特性を利用してロボットの半自律性を実現する。ロボットの機構は以下の通りである。

ロボットは、クローラを有するリンクを直列に接続して実現される (Fig. 2)。関節はすべて受動関節とし、各リンクはゴム材により結合される。また、リンクには左右に2本のワイヤを張り巡らし、ワイヤの一端を先頭リンクに固定し、もう一端をユーザインタフェースであるステアリングに固定する。ロボットとステアリングの間のワイヤはホースで包まれている (Fig. 2 および Fig. 3)。

次に、ロボットの操作方法について述べる。ロボットは、各リンクに取り付けられたクローラにより推進し、クローラはユーザインタフェースのペダルにより操作される。方向転換の操作はステアリングにより行われる。ステアリングを回転させるこ

Fig. 2 Proposed robot

Fig. 3 User interface

とで、ステアリングに固定されたワイヤがホースに対して引かれ、ロボットにはホースから押す力が、ワイヤから引く力が加わる (Fig. 3). これにより、ロボットは円弧状となり、旋回する。ワイヤは、ロボットの先端部のみ固定されていることから、ロボットの各関節はワイヤによる拘束の範囲内で自由に動くことができ、ロボットが小型の障害物と接触した場合には、受動関節が自動的に障害物を回避する。したがって、オペレータは小型の障害物をよけるための操作を特にする必要はない。同様に段差に対しても受動関節が適応的に動くため、特に操作を必要としない。さらに、受動関節のゴム材が適度な弾性を有するため、瓦礫の凹凸にあわせてクローラに荷重が加わり、走破性を確保することができる。

したがって、提案した機構により、オペレータは、ロボットの巨視的な振る舞いをステアリングとアクセルにより操作するだけでよく、瓦礫を走破するための微視的な振る舞いは、ロボットの機構的な特性によって自律的に実現される。これにより、操作性と走破性を両立することが可能となる。

各部の具体的な実現方法については次節以降で述べる。

4.2 試作機

実際に試作機を製作し、提案手法の有用性を検証する。

Fig. 4 および Table 1 に製作したロボットの仕様を示す。なお Table 1 においてユーザインタフェースの重さにはディスプレイおよび椅子は含まれていない。ロボットは5リンクで構成され、各リンクに一つアクチュエータを搭載している。ワイヤの長さはロボットを含め 5,500 [mm] であり、一般的な広さの部屋に対応可能である。また重量も、ワイヤを含め、5.8 [kg] であり大人一人で容易に運ぶことが可能である。

4.3 ワイヤによる操作系

Fig. 5 に実際に作製したロボットのリンクを示す。ワイヤはプーリーを介して張られ、先端が先頭リンクに固定されている。このプーリーにより、ワイヤは前後方向へは自由に動くものの、左右方向には自由に動くことができず、リンクの運動を拘束する働きをする。これにより、一方のワイヤを短くすることで、ロボットは円弧状となりワイヤが短くなった側へ旋回する。

ワイヤの拘束はリンク全体に対する拘束であり、ワイヤは各関節に固定されていないため、関節は、この拘束の範囲内で自

由に動くことが可能である。したがって、リンクが小型の障害物に接触した場合には、障害物からの反力により、関節が受動的に回転し、障害物を回避する。したがって、小型の障害物の回避は、ロボットの受動関節により自動的に行われ、操縦者による回避操作を必要としない。

4.4 関節

すべての関節はゴム材を用いて実現される。関節の受動的な運動はこのゴムの弾性によって制御される。ヨー、ロール、ピッチの各向において必要とされる弾性の大きさが異なることから、ゴムの形状は直方体とし、縦横高さの大きさをそれぞれ変えることで各方向に必要な弾性を実現した。弾性の大きさのチューニングは実機を用いて実験によって行った。

4.5 クローラ

Fig. 6 にクローラを示す。上下方向の操作を削減しつつ、段差の走破性を確保するため、クローラの前輪を大型化した。その一方、リンク間のクローラの干渉を最小限にとどめ、関節の上下方向の可動範囲を確保するため、クローラの後輪は小型のものとした。これにより、上下方向の操作を行うことなく、従来のロボット [14] [15] と同等以上の走破性を実現した。

4.6 ユーザインタフェース

Fig. 7 にユーザインタフェースを示す。本論文では、普通自動車の免許を有しているものであれば、特別な訓練を必要とせず操作できるよう、自動車に類似したユーザインターフェースを採用した。

Fig. 2 に示したように、ロボットに張られたワイヤはそのままユーザインタフェースのステアリングに接続されている。これにより、ステアリングを回転させることで、ロボットのワイヤが引かれ、ロボットは旋回する。また、ロボットが障害物と接触した場合には、関節が受動的に障害物を回避するとともに、関節の回転に伴ってワイヤが引かれ、この張力が直接ステアリ

Fig. 4 Specification of robot

Table 1 Specification of robot

Length of a wire [cm]	550
Weight of the robot [kg]	5.8
Weight of a link [kg]	1.1
Weight of the user interface [kg]	2.3
Powersupply	Ni-cd BATTERY 7.2V-1400mAh × 5
Actuator	TAMIYA Geared Motor 540K75 × 5
Minimum turning radius [cm]	130

Fig. 5 Link and joint

Fig. 6 Crawler

Fig. 7 User interface

Fig. 8 Camera

(a) Front camera (b) Rear camera

Fig. 9 Image from camera

ングへ返される．したがって、オペレータは、センサなどの情報を読むことなく、ステアリングに伝えられた力からロボットと障害物との接触状況を直感的に認識することができる．また、クローラの操作は、Fig. 7 に示したペダルにより行い、クローラの回転方向はシフトレバーにより前後に切り替えることができる．このほか、ロボットには先頭および後方にそれぞれ 1 台のカメラが取り付けられており (Fig. 8)、ロボットの前方および後方をユーザインタフェースのディスプレイを通して見ることができる．Fig. 9 は、各カメラからの視界の一例である．なお、Fig. 7 左において、ノートパソコンを使用しているが、これは単にカメラの映像を表示するためのディスプレイとして使われており、センサ情報の処理や制御系などの計算は一切行っていない．提案した枠組みでは、ロボットの機構的な特性を利用して半自律制御を実現しているためコンピュータは必要とされない．

また、本論文で開発したユーザインタフェースは、容易に格納できるよう組み立て式となっており、大人一人が 5 分程度で組み立てることが可能である．これにより、普段は消火栓のように事前に専用の収納場所に保管しておき、災害時に取り出して使用するという使い方が可能であり、大規模災害時にそなえて事前に多数配備しておくことで、同時に多数のロボットを用いた情報収集が可能となる．Fig. 10 に分解時のユーザインタフェースを示す．

4.7 必要条件の確認

この節では 3 章で示した要件が満たされていることを確認する．提案したロボットでは、関節はすべて受動関節であり、機

Fig. 10 Separated parts of user interface

構的な特性を利用して半自律制御が実現されている．したがって、ロボットは関節を動かすためのモータ、センサ、制御器を必要とせず、これにより、軽量、低コスト、省電力が実現されている．また、機構が簡単であるため、従来の複雑なロボットに比べ頑健であるとともに、特別なメンテナンスを必要とせず保管が可能であり、また、容易に組み立てることができる．

以上から 3 章で示した要件が満たされていることが分かる．

5. 基本性能実験

操縦者の能力によらない、ロボットの基本的な性能について実験により検証する．

5.1 自重による形状変化

自重による変形を測定する．Fig. 11 にロボットを中央で支えた場合の形状の変化、および、先頭リンクのみの形状の変化を示す．

これらの結果から、準静的な場合の走破可能なくぼみの幅は 1 リンク程度であると考えられる．溝の幅が 1 リンク程度であれば、先頭リンクのクローラが溝の対岸の壁面に接触するので、クローラの回転により先頭リンクが浮上し、溝を越えることが可能であると考えられる．

なお、助走をつけた場合の走破可能なくぼみの幅については次節にて検証する．

5.2 自重による形状変化

ワイヤのねじれに対する操作限界を測定する．Fig. 12 に示す 3 種類のねじれ方について、内接する円の直径を 5 [cm] 間隔で小さくしていき、操作可能な最小の大きさを求める．円に沿うようにワイヤを曲げて固定し、ステアリングの接線方向に 1 [kg] 重の力を加えることでステアリングを回転させる．Table 2 に、1 [kg] 重の力でハンドルを操作可能な最小の直径を示す．

5.3 転倒限界

障害物に斜めから進入した場合の転倒しない最小進入角度を求める．Fig. 13 に実験環境を示す．日常的に存在する段差の一具体例として、実在する階段を用いる．またステアリング操作は行わないため、肉眼での目視が可能な状態で実験を行う．

実験の結果、ステアリングの操作を行わない場合の転倒しない最小の進入角度は 55 [deg] であった．

Fig. 11 Shape variation by own weight

Fig. 12 Twisted wires

Table 2 Results of experiment for operational limitation

	Diameter [cm]
Circle	75
Semicircle	40
S-curve	45

Fig. 13 Experiment of approach angle

5.4 障害物の自動回避

旋回中に障害物と接触した場合に、障害物を受動的に回避可能であるかを検証する。障害物として、半径 10 [cm] の円柱および、一辺の大きさが 30 [cm] の四角柱を用意し、障害物へ向けて様々な角度からロボットを接触させる。ステアリングは切った状態のまま固定し、障害物を回避するための操作は一切行わない。肉眼による目視が可能な状態で実験を行う。

Fig. 14 に実験結果の一例を示す。円柱、四角柱どちらの場合にも障害物からの反力により受動的に障害物を回避しつつ、ステアリングを切った方向へ旋回する動きが実現されることが確認された。これは、障害物と接触しているリンクは、障害物からの反力により受動的に障害物をさけるものの、ワイヤによる拘束が存在するため、他のリンクはロボットを旋回させる方向へ向いており、全体としては、旋回動作が維持されるためであると考えられる。

ただし、障害物が先頭リンクの中央付近に接触し、左右のクローラに均一の力がかかるような特殊な場合には、障害物を乗り越える方向に力が働き、障害物を回避しないことがあった。こ

No. 1

No. 3

No. 2

No. 4

Fig. 14 Autonomous evading

の実験は、ステアリングを固定した状態で行ったため、このような結果となったが、実際の運用では少しステアリングを切ることによってこのような状態は回避することが可能であり、特に支障はないと考えられる。

6. 総合評価実験

非熟練者を被験者として走行実験を行い、特別な訓練を行うことなく、高い走破性の実現可能であることを確認する。

6.1 性能評価実験

提案したロボットの走破性を実験により確認する。環境として、段差および溝を用意し、それぞれの大きさを変化させ走行性能を調べる。被験者は、普通自動車免許を有する 10 人の学生とし、ロボットを操作するための事前訓練は行わない。またロボットの操作には、ロボットに搭載されたカメラからの映像のみを使用し、肉眼による目視は行わない。実験環境を Fig. 15 に示す。

Table 3 に段差の高さを変化させた場合の、走行実験の結果を示す。成功率は、10 人の被験者のうち、成功した被験者の割合である。事前訓練を行わないことを想定しているため、試行は各段差について 1 回のみとした。

この結果は、従来のロボット [15] の性能 (20 [cm]) と同程度であり、この結果から、提案したロボットでは、操作系の自由度が一つ削減されているにもかかわらず高い走破性は保持され、操作性と走破性が両立されていることが確かめられる。Fig. 16 に実現された運動の一例を示す。段差を上る際に観測された動きは以下の通りである。

Fig. 16, No. 3 に見られるように、先頭リンクが段差に接触することで先頭リンクが上方向へと持ち上がる。さらに、後方リンクの推進力により、垂直な壁と先頭リンクのクローラとの

(a) bump

(b) dent

Fig. 15 Experiment environment

Table 3 Experiment result of bump

Bump [cm]	16	17	18	19	20	21	22	23
Success rate [%]	100	100	90	80	80	70	50	0

Fig. 16 Experiment result of bump

間に摩擦力が生じ、段差を上へる力が発生する。関節の弾性により、ロボットの推進方向は保持され、かつ、段差とクローラとの間の摩擦力も維持されるため、リンクは順に段差を乗り越えていく (No.5)。

以上の各関節の運動は受動的に実現され、オペレータには関節の操作は要求されない。したがって、操作のための特別な訓練を必要とせず、段差を超えることが可能であったと考えられる。なお、被験者によって走破可能な段差の高さが異なるのは、主に速度の違いによるものであり、特徴的なハンドル操作は観測されなかった。

次に、Table 4 および Fig. 17 に溝の走行実験の結果を示す。溝の場合も段差と同様に、特別な操作を必要とせず容易に溝を走破することが可能であった。これらの結果は従来のロボッ

Table 4 Experiment result of dent

Dent [cm]	20	25	30	35	40
Success rate [%]	100	100	100	20	0

Fig. 17 Experiment result of dent

ト [15] の性能 (30 [cm]) を上回るものであり、この結果からも提案したロボットでは操作性と走行性が両立されていることが分かる。

この実験においても、被験者による走破性の違いは速度によるものであり、広い溝の走行に成功している被験者は、十分な助走をつけていることが観測された。なお、走破可能な溝の大きさは、関節の弾性に依存し、弾性を大きくすることで走破可能な溝の幅は広がるものの、段差の走破性に影響をもたらすため、これらはトレードオフの関係にある。

6.2 災害現場を想定した走行実験

実際の環境を想定した走行実験として、階段の走行および、瓦礫を模擬した環境上を目標へ向かって走行する実験を行う。階段は、実験用に傾斜を変化させることができるものを用意し、高さ 15 [cm] の階段の奥行きを変化させることで傾斜を調節し、走破可能な最大傾斜を調べる。階段の長さは、ロボットの全長が入る長さとし、すべてのリンクが階段上にあるときの走破性を検証する。階段の走行実験ではステアリング操作を行わないため、肉眼による目視が可能な状態で行う。一方、瓦礫の走行実験では、ステアリング操作が必要なため、肉眼による目視は行わず、ロボットに搭載されたカメラからの映像のみを用いて操作を行う。

Fig. 18 および Fig. 19 に実現された走行の一例を示す。走行可能な階段の最大傾斜は約 30 [deg] (高さ 15 [cm], 奥行き 25 [cm]) であった。実験により、階段の走行においても、関節の運動が適応的に調節されるため、関節を動かすための操作を必要とせず、階段を踏破可能であることを確認した。ただし、最大傾斜より低い角度であっても、リンクの間隔と階段の間隔とが同じになるような場合には、多くのクローラが空転し、登れなくなることがあることが確認された。これは、リンクの大きさをすべて異なる大きさにするなどにより軽減することが可能

Fig. 18 Experiment result of steps

Fig. 19 Experiment result of complex environment

であると考えられ、今後の課題である。

瓦礫上の走行においては、オペレータは車と同様に、フットペダルを踏みステアリングを操作することで、目標まで走行することが可能であることを確認した。ただし、複数回切り返しを行った場合、関節の弾性力だけでは関節が元の状態に復帰せず、ロボットが海老反り状となり操作が困難となる場合があることが観測された。これについては、ワイヤとホースとの摩擦を軽減する、ワイヤを誘導するブリーの取り付け位置を変更するなどにより改善することが可能であると考えられ、今後の課題である。

7. 結 論

本論文では、地震などの大規模災害において生存者を探索するためのレスキューロボットについて考え、この際問題となるレスキュー隊員の不足を解決するため、訓練を必要とせず容易に操作可能なヘビ型レスキューロボットを開発した。

提案したロボットでは、すべての関節は受動関節であり、関節に適度な弾性を持たせることで、関節を動かすための操作を必

要とせず、適応的に瓦礫上を走行できる仕組みを実現した。また、ワイヤを用いて各関節の運動を拘束し、この拘束を操作することによってロボットの進行方向を操作する機構を実現した。これらにより、ロボットの走破性を落とすことなく、ロボットを操作するために必要となる操作系の自由度を削減することが可能となり、多自由度のヘビ型ロボットを自動車のユーザインタフェースを用いて操作することが可能となった。提案したロボットの有用性を確認するため実験を行い、走破生と操作性が両立されていることを確認した。

今後の課題は、より複雑な環境での走行性の向上、および、各種センサの搭載による探査の力の向上である。

参 考 文 献

- [1] 大須賀公一：“ヘビ型ロボットによる狭空間探索”，日本ロボット学会誌，vol.22, no.5, pp.554-557, 2004.
- [2] M. Arai, T. Takayama and S. Hirose: “Development of Souryu-III: Connected Crawler Vehicle for Inspection inside Narrow and Winding Spaces,” Proc. of Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.52-57, 2004.
- [3] K.L. Paap, T. Christaller and F. Kirchner: “A robot snake to inspect broken buildings,” Proc. of Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.2079-2082, 2000.
- [4] Murphy, R.R.: “Marsupial and shape-shifting robots for urban search and rescue, Intelligent Systems and Their Applications,” IEEE, Intelligent Systems, pp.14-19, 2000.
- [5] M. Guarnieri, P. Debenest, T. Inoh, E.F. Fukushima and S. Hirose: “Development of Helios VII: an arm-equipped tracked vehicle for search and rescue operations,” Proc. of Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.39-45, 2004.
- [6] A. Wolf, H.B. Brown, R. Casciola, A. Costa, M. Schwerin, E. Shamas and H. Choset: “A mobile hyper redundant mechanism for search and rescue tasks, Intelligent Robots and Systems,” Proceedings IROS, 2003.
- [7] J. Tanaka, K. Suzumori, M.T. Akata, T. Kanda and M. Mori: “A Mobile Jack Robot for Rescue Operation,” SSRP, pp.99-104, 2005.
- [8] K. Nagatani, H. Ishida, S. Yamanaka and Y. Tanaka: “Three-dimensional localization and mapping for mobile robot in disaster environments,” IROS, pp.3112-3117, 2003.
- [9] S. Ma, Y. Ohmameuda and K. Inoue: “Dynamic Analysis of 3-dimensional Snake Robots,” Proceedings of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.767-772, 2004.
- [10] M. Hashimoto, T. Yamada and M. Yamakita: “Control of Locomotion and Head Configuration for 3D Snake Robot,” SICE02-036, pp.1470-1475, 2002.
- [11] 横小路泰義：“レスキューロボットの操縦インタフェース—大大特「ヒューマンインタフェースグループ」の研究紹介—”，日本ロボット学会誌，vol.22, no.5, pp.566-569, 2004.
- [12] 河田恵昭：“大規模地震災害による人的被害の予想”，自然災害科学，vol.16, no.1, pp.3-13, 1997.
- [13] K. Ito, Z. Yang, K. Saijo, K. Hirotsune, A. Gofuku and F. Matsuno: “A rescue robot system for collecting information designed for ease of use—To propose a system concept—,” Advanced Robotics, vol.19, no.3, pp.249-272, 2005.
- [14] R. Murai, K. Ito and F. Matsuno: “An intuitive human-robot interface for rescue operation of a 3D snake robot,” Proc. of 12th IASTED Int. Conf. on Robotics and Applications, pp.138-143, 2006.
- [15] K. Ito and R. Murai: “Snake-like robot for rescue operation—Proposal of simple adaptive mechanism designed for ease of use—,” Advanced Robotics, vol.22, no.6-7, pp.771-785, 2008.

伊藤一之 (Kazuyuki Ito)

2002 年 3 月東京工業大学大学院総合理工学研究科
知能システム科学専攻博士後期課程修了。同年 4 月
岡山大学工学部システム工学科助手。2005 年 4 月
法政大学工学部システム制御工学科専任講師。2008
年 4 月改組により同大学理工学部電気電子工学科専
任講師となり現在に至る。2003 年日本ロボット学
会研究奨励賞，2004 年船井情報科学奨励賞などを受賞。主に知能ロ
ボットに関する研究に従事。博士（工学）。（日本ロボット学会正会員）

村井亮一 (Ryoichi Murai)

2006 年法政大学工学部システム制御工学科卒業，
2008 年同大学大学院工学研究科システム工学専攻
修士課程修了。現在，三菱電機株式会社所属。

中道和也 (Kazuya Nakamichi)

2008 年法政大学工学部システム制御工学科卒業，現
在，同大学大学院工学研究科システム工学専攻修士
課程に在籍中。